

# 시화호 해양환경 개선 사업

주관연구기관 : 한국해양연구원

협동연구기관 : 명지대학교

(주)에코션

(주)하이드로코어

(주)백년기술

서해수산연구소

시화호 생명지킴이

연안보전네트워크

2009. 12

국토해양부

# 제 출 문

국토해양부 장관 귀하

본 보고서를 “시화호 해양환경 개선 사업”의 최종보고서로 제출합니다.

2009. 12

연구기관명 : 한국해양연구원

연구책임자 : 김은수

연구 원 : 김경태, 강성현, 조성록, 김종근, 박준건, 나공태,  
전미경, 이정무, 이계숙, 이해경, 방재현, 신동혁,  
권수재, 장 석, 장남도, 금병철, 원문성, 이희일,  
정백훈, 박요섭, 이철구, 구분주, 신상호, 김현진,  
우한준, 김희정, 강지연(한국해양연구원)  
이창희, 유승훈, 오은선(명지대학교)  
명철수, 홍현표, 송태운, 유정규, 김형준, 이재일,  
이인우, 박창이, 손대선, 신상원(에코선)  
구분경, 김종구, 조홍래, 정의상, 주신애  
(하이드로코어)  
권남선, 안재구, 최송범, 임병권, 김현덕, 나두성  
유명선, 김정유, 김정진(백년기술)  
김평중, 안경호, 박승윤, 손재경, 허 승, 이승민,  
이완석, 윤이구, 전상백(서해수산연구소)  
박선미, 한미영(시화호생명지킴이), 김갑곤, 황문식  
조기진(연안보전네트워크)



# 요약문

**1. 사업개요** - 본 연구용역사업은 시화호 종합관리계획('01.9)의 목적을 달성하기 위하여 제도적, 정책적 및 기술적인 지원을 하고, 동 계획 및 시화호관리위원회 운영규정(총리훈령 443호)에서 정한 국토해양부 소관 사업을 종합적으로 이행하여 시화호의 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 개발을 도모하고자 수행되었다.

본 연구에서는 2단계 시화호 특별관리해역 종합관리계획('06~11) 및 세부시행계획의 성과평가, 통합 환경모니터링 수행방안, 육상기인 수질오염 개선 방안 검토 및 관련기술의 시범적용, 시화호 환경관리 지역역량강화, 시화호 특별관리해역 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 발전 도모 관련 이해당사자간 갈등최소화 방안 검토 및 효율·효과적인 유역통합관리체계 검토 등을 통하여 시화호 유역의 연안통합관리체제를 구축하고자 하였다. 특히 2단계 시화호 종합관리계획과 동 계획의 순환관리체제를 수립하여 시화호 및 유역에 대한 환경모니터링을 통하여 오염 추세를 파악하고, 비점오염 관리를 위한 최적관리기술의 적용 등 관련기술의 시범적용을 통해 수질개선과 생태계 복원사업을 지원하였다.

**2. 시화호 종합관리계획 순환관리체계 구축** - 시화호 종합관리계획 순환관리체계 구축을 위하여 시화 제4간선수로 수질개선 사업, 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업, 안산·시화 하수처리장 운영사업의 3개 세부시행사업에 대한 사업평가를 시범적으로 실시하였다. 시화 제4간선수로 수질개선사업 시행으로, 시화 제4간선수로 주변 입주업체 전수조사, 오점관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 일일수질모니터링 등의 활동으로 1년여 기간 동안에 COD 100mg/L를 빈번하게 초과하던 수질이 COD 10~20mg/L로 큰 폭으로 개선되는 성과가 나타났다. 하지만 일부 토구에서 수질 개선이후 다시 COD 농도가 소폭 상승한 경우도 있었다. 따라서 개선된 수질을 유지하기 위해서는 정기적인 수질 모니터링과 주변 업체에 대한 교육의 지속적 시행이 중요하다.

인공습지 조성 및 운영·관리 사업 평가결과, 2002년부터 2008년까지 인공습지의 평균 오염물질 제거효율은 BOD의 경우 29.4%, SS는 34.9%, TN, TP는 각각 25.6%, 19.7%였다. 인공습지에 의한 반월천, 동화천, 삼화천 유역의 오염부하 저감효과는 강우의 영향을 적게 받는 TN 이외의 항목(BOD, SS, TP)은 5%이하로 매우 낮은 편이었다. 이러한 결과는 인공습지에 조성 당시 목적인 상류하천 유역의 비점오염부하 저감 기능이 거의 없음을 보여주는 것이므로, 향후 시화호 인공습지 운영방안에 대한 논의가 필요할 것이다.

안산, 시화 하수처리장에 의한 2004년부터 2008년까지 시화호 내·외해로 유입되는 오염부하저감량 평균은 BOD 기준으로 각각 55,475kg/day, 57,299kg/day이었다. 고도처리 시설 도입이후 안산·시화 하수처리장의 방류수질은 대체적으로 향상되었지만, 시화하수처리장의 경우 고도처리 이전보다 이후에 방류수의 TP 농도가 상승하였고, TP 오염부하가 감소한 경우에도 오염부하제거율이 저하된 경우가 있으므로 하수처리 공정 및 운전상황에 대한 분석이 필요하다. 안산하수처리장 1처리장의 경우 BOD, SS 항목이 방류수 수질기준을 초과하는 경우가 발생하므로 유기물 처리효율 개선이 필요할 것으로 판단된다. 또한 안산, 시화 하수처리장 유입수는 오염물질 농도 변동이 매우 크고 TN, TP의 최대 농도가 매우 높으므로, 반월·시화산업단지의 폐수배출업체에 대한 상시적인 지도·점검이 필요하다.

**3. 시화호 오염총량규제 시행을 위한 로드맵 수립** - 시화호 유역의 여건분석과 설문조사결과를 토대로 향후 시화호 연안오염총량관리 시행을 위한 로드맵을 작성하였다.

분석결과 시화호 총량관리 시기는 해수유통결과를 확인하고 마산만 2단계 총량관리시행시기와 병행하여 2012년에 시화호 내부부터 시행하며, 대상물질은 COD, T-N, T-P를 하는 것이 바람직하나 최종적인 대상물질은 2010년 시행방안 연구를 통해 결정하는 것이 바람직할 것이다. 분석결과대로 2012년에 총량관리를 시행하기 위해서는 준비과정이 필요하다. 따라서 1단계 시화호 총량관리 시행방안에 대한 연구를 통해 기본계획 및 시행계획을 수립해야 한다. 현재 지침에서는 기본계획과 시행계획을 따로 수립하게 되어있지만, 2012년에 총량관리를 시행하기 위해서는 기본계획과 시행계획을 같이 수립할 필요가 있다. 시화호 목표수질은 적어도 2단계까지 10년 내 달성될 수 있도록 하고, 1단계 총량관리 시행결과를 보고 2단계부터 시행지역을 시화-인천연안으로 시행지역을 확대 추진하는 것이 바람직할 것이다. 1단계 총량관리에서 이행평가를 위한 모니터링 사업과 추후에 총량관리 지역의 확대를 위한 연구조사가 필요하고, 2단계 총량관리를 준비하기 위해서 2단계 총량관리 시행방안연구와 기본계획 및 시행계획 수립을 한다. 계획수립은 5년 단위이기 때문에 1단계 총량관리와는 달리 2단계 총량관리는 5년이라는 시간적인 여유가 있기 때문에 단계적으로 기본계획을 수립하고 시행계획을 수립한다. 현재 시화호 환경개선사업은 총량관리를 하기 위한 사업과 연계할 수 있는 부분이 많아서 재정적인 낭비를 줄이고 효율성을 높이기 위해 연계성을 고려하여 시행하는 것이 바람직할 것이다.

**4. 시화호유역 통합 모니터링 업무조정·정보공유망 구축방안** - 모니터링 기관간 정도관리는

지속 시행하고, 자료의 신뢰성 확보 및 활용을 위해 '통합환경모니터링 지침'을 마련하여 활용키로 하였으며, 수질예측 모델링에 필요한 항목을 조사하는 것으로 하고 빠진 부분은 기관별로 추가방안을 모색키로 하였다. 시화호 유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안)은 전문위원회와 소위원회의 관계, 위원장 선출방식, 회의 소집 등에 관한 사항 등 운영세칙에 대한 실질적인 내용을 명확히 하기로 하였다. 수질분석기관간의 정도관리는 분석결과가 다른 원인을 규명하기 위하여 분석방법 및 분석장비를 검토하고, 상호방문에 의한 문제점을 해소하는 방향으로 결정하였으며, 부유생태 모니터링 방법은 기관별 식물 및 동물플랑크톤 모니터링 방법을 취합하여 전문가의 자문을 받아 조정하였다.

**5. 시화호 수질 및 퇴적물 모니터링** - 표층 용존산소포화도는 10월 반월공단 및 시화공단과

인접한 상류지역에서 200%를 보였고 저층수의 경우, 여름철에 전반적으로 10% 이하의 낮은 포화도를 나타냈다. 표층수의 화학적산소요구량의 공간적 분포를 보면, 4월과 6월에 상류지역에서 높고 배수갑문으로 가면서 점차적으로 낮아졌으며 강우의 영향으로 부유물질이 높았던 8월에서는 상대적으로 유기물 함량이 낮은 부유물질의 유입을 시사하고 있다. 특히 시화호의 상류지역은 여전히 식물플랑크톤 증식에 의한 유기물 형성이 화학적산소요구량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤의 시·공간 분포가 시화호 내 입자성유기탄소에 주요한 영향을 미치고 있었으며, 강우나 하천을 통해 유입된 영양염과 유기물이 시화호 내 기초생산에 기여를 하고 있음을 알 수 있었다. 총인은 2005년을 제외하고 봄철에 낮은 농도를 여름철에는 높은 농도를 보였다. 총인 및 총질소는 강우가 적었던 2008년을 제외하고 다른 조사시기에 비하여 여름철(8월)에 총인 및 총질소의 평균 농도가 높았으

며, 특히 8월 공단에 인접한 상류지역에서의 영양염 농도가 시화호 중앙부와 배수갑문 지역에 비해 인산염 5배, 질산염 10배, 규산염 3배의 높은 농도를 보였다. 상류지역에서는 강우나 하천을 통한 육상기원의 부유물질의 유입되고 있었으며, 호 중앙부의 경우 대부분 식물플랑크톤에 의한 생물기원의 부유물질이 많았다. 염분과 영양염간의 상관관계는 전반적으로 염분도가 낮을 때 높은 영양염 농도를, 염분이 높을 때 상대적으로 낮은 영양염을 보였다. 따라서 강우를 통해 일시적으로 영양염이 높은 담수가 유입되었으며 시화호 내 영양염의 주요한 공급원은 외해수에 의한 유입과 더불어 강우나 하천을 통한 육상기원으로 큰 부분을 차지하고 하천을 통해 유입되는 양에 조절 받고 있음을 보여주고 있다.

시화호 내측 표층수의 유기물 분포 및 변화양상을 통해 입자성 유기탄소 분포는 클로로필-a에 많은 영향을 받고 있었다. 특히 여름철 식물플랑크톤 대량증식에 의한 입자성유기물의 증가는 저층환경의 용존산소를 고갈시켜 저산소 환원환경을 초래하여 시화호 수질에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 시화호 내측 표층퇴적물의 유기탄소와 화학적산소 요구량(COD)은 상류지역 및 호 중앙지역에서 높은 값을 보였으며, 평균 농도는 예년과 유사하였다. 최근에는 호 중앙부에서 총유기탄소 함량 및 COD가 높게 나타났으며 이는 식물플랑크톤에 의해 생성된 유기물이 저층 퇴적물로 퇴적되기 때문으로 사료된다. 시화호 저층 퇴적환경은 표층수괴로부터 지속적으로 공급되는 유기물이 퇴적되어 미생물에 의해 분해되면서 퇴적물 내 인산염, 암모니움염 등이 재 용출되며 산소를 소비하여 저층의 용존산소를 고갈시키고 있음을 알 수 있었다.

표층퇴적물 내 중금속의 공간적 분포는 오염원이 존재하는 공단과 신길천 주변, 호수의 중앙에서 높았으며, 배수갑문 주변에서 낮은 농도를 보여 해수화에 의한 효과를 반영하고 있었다. Cu의 경우 9개정점에서 미국의 ERL을 초과하였으며, 시화호 내 중금속은 하천을 통한 유입에 많은 영향을 받고 있었다.

시화호로 유입되는 하천 내 퇴적물 중금속 및 지속성유기오염물질의 농도는 공단유역을 흐르는 하천에서 최고 농도를 보였으며, 농업지역에 비해 최대 400배 이상 높았다. 따라서 시화호로 유입되는 하천수 및 하천 퇴적물내 높은 농도의 중금속 및 지속성유기오염물질은 강우시 재부유되어 시화호로 직접 유입이 되어 주요한 오염원으로써 시화호 퇴적환경 뿐만 아니라 서식하는 해양생물에도 영향을 미치기 때문에 지속적인 모니터링 (구체적 오염원 파악 및 오염부하량 파악) 및 감시가 필요할 것으로 사료된다.

**6. 시화호 부유생태계 모니터링** - 시화호의 식물플랑크톤 출현종수는 총 120종으로 전년도에 비해 증가하였고, 기타 분류군의 출현이 증가하여 상대적으로 규조류와 와편모조류의 조성률은 다소 감소하였다. 금번 조사에서는 시화호 내 한 개의 정점에서 조사가 이루어졌고, 이로 인해 예년에 비해 다소 감소한 현존량과 엽록소-a 농도를 나타낸 것으로 사료된다. 그러나 하계와 일부 춘계 조사에서 높은 현존량과 엽록소-a 농도를 보여 연도 별로 유사한 계절 변화 양상을 보였다.

원생동물은 *M. rubrum*과 같은 혼합식성의 섬모충류와 종속영양와편모류가 주로 급격한 현존량 증가를 나타내었고, 주로 초여름과 초가을 등 염분감소 후 증가시기에 크게 증가하는 경향을 나타내어 염분 적응이 타 종들에 비해 높기 때문에 기회성 종으로 판단된다. *Katodinium glaucum*은 2009년 저층 DO 농도가 낮았던 10월에 우점하는 경향을 나타내어 낮은 DO 환경내에서 잘 적응하는 종으로 판단되었다.

동물플랑크톤은 최근 6년 간 춘계와 추계에 2번의 개체수 peak를 보이며, 추계를 제외하면 종 다양성 지수도 낮게 나타나며, 소수종에 의한 우점현상도 지속적으로 나타나고 있다. 배수 갑문 개방 후 연안종의 유입으로 인해 출현종수는 증가하였으나 연안종이 우점하는 현상은 야광충을 제외하고 나타나지 않고 있다. 다만 동계에 *Acartia hongii*가 우점하는 경향을 나타내기도 하지만 춘계에 접어들면서 다른 종으로 천이되는 경향을 보인다. 따라서 배수 갑문을 통한 해수 유통은 연안종의 유입을 통해 시화호의 동물플랑크톤의 종수를 증가시키지만 군집의 안정도를 증가시키는데 한계를 나타내고 있다.

난자치어의 우점종은 공간적 우점종인 망둑어과와 시기적 우점종인 전어로 구분되었다. 망둑어과는 정착성 어종으로 조사시기별 출현량의 차이가 크지 않았으며, 춘계 이후 추계까지 지속적으로 출현하였고, 전어는 연안성 어종으로 출현량은 4월에 가장 많았다. 두 우점종의 출현양상을 볼 때 망둑어과는 시화호 내에서 정착한 종으로 판단되며, 전어의 어란은 외부에서 유입되기 보다는 내부에서 산란된 어란으로 사료된다.

시화호의 부유생물 군집은 소수종에 의한 우점현상이 2009년에도 지속적으로 발생하고 있어 연중 낮은 종다양성지수를 나타내고 있다. 이러한 소수종의 발생은 시화호 내 환경변화가 크기 때문에 일부 환경변화에 잘 적응된 종이나 기회성 종들의 출현이 빈번하기 때문이다. 하계에 지속적으로 발생하는 저층 DO 감소는 식물플랑크톤 증식 시기에 크게 감소하고 있으며, 퇴적물 내 식물플랑크톤의 분해산물인 phaeopigment와 DO 농도가 반비례 관계를 나타내고 있어, 수층에서 발생한 식물플랑크톤의 저층 축적이 하계 DO 감소의 주요 요인으로 판단된다. 또한 2009년 해파리 구제는 성체를 대상으로 하였으나, 수거에 필요한 인력과 시간을 고려할 때 효율이 크지 않은 것으로 보인다. 따라서 향후 해파리 구제는 에피라 또는 해파리가 성체로 자라기 전인 young medusa 단계에서 제거하는 것이 더 바람직 할 것으로 보인다.

7. 시화호 저서생태계 모니터링 - 시화갯벌 예정지의 저서생태계 현황과 바지락의 개체군 특성 및 바지락에 의한 해수 여과율 연구를 수행하였다. 시화갯벌 예정지 조사는 음섬과 형도 사이의 얕은 수심지역과 현 조간대에서 수행하였으며, 바지락 개체군 특성과 해수 여과율 조사는 시화갯벌과 근소만 갯벌에서 수행하였다. 두 지역 간의 결과 차이로부터 시화호 바지락 개체군의 현 상태와 향후 복원 가능성을 진단하고자 하였다. 시화갯벌 예정지의 대형저서동물은 빈약한 상태를 보였으며, 유기물 오염지시종인 얼굴갯지렁이류인 *Poludora pulchra*와 *Pseudopolydora kempfi*, 등가시버들갯지렁이 (*Capitella capitata*) 등이 우점하는 특성을 보였다. 이 지역의 대형저서동물군집은 수심과 퇴적상 분포와 연관된 공간적 분포 특성을 보였으며, 군집유사성에 따라 5개의 서식지로 구분할 수 있었다. 시화갯벌의 바지락은 근소만 갯벌의 바지락과 비교해 비만도와 성장률이 높았으며, 이는 먹이원의 풍부함과 창조류 및 낙조류의 정온성 영향 때문인 것으로 해석되었다. 두 지역에서 바지락의 서식지 범위는 노출빈도 33% 이하, 침수빈도 67% 이상인 지역으로 국한되었으며, 노출빈도 15 ~ 17%, 침수빈도 83 ~ 85%인 지역에서 가장 높은 성장을 보였다. 이 지역에 외해역 바지락을 이식한 결과 약 97%의 생존율과 함께 높은 성장률 추이를 보였다. 시화갯벌은 바지락의 성장에 유리한 조건(퇴적물 입자 크기, 노출 및 침수빈도, 먹이원)을 갖추고 있었다. 시화갯벌의 바지락의 평균 해수 여과율은 4.20 L/h/gDW 으로 근소만 갯벌의 1.15 L/h/gDW에 비해 약 3.7배 높았다. 이는 시화호 수층의 높은 먹이원과 창조류 및 낙조류

시 조류의 정온성 때문에 바지락의 대사율이 증가하기 때문으로 해석되었다. 시화갯벌이 효과적으로 복원되어 바지락 개체군이 번창 시에는 하루 동안에 시화호 전체 해수 내 포함되어 있는 입자성 유기물질 중 약 15%가 바지락에 의해 여과될 것으로 계산되었다.

**8. 시화호 조력발전소 주변 정밀 지형 및 퇴적물 특성조사** - 2009년 조력발전소 건설지역 시화호 내측 조사지역의 수심은 2.43~21.45 m범위를 보이고 준설에 의해 인위적으로 형성된 2 개의 웅덩이, 흐름에 의해 형성된 침식지형 및 small과 medium subaqueous dune 그리고 인공구조물인 방조제 근처의 파이프와 철탑이 존재하고 있다.

조사지역의 표층퇴적물은 대부분 빨 퇴적물이 존재하며 조사지역 방조제 근처와 남쪽의 탄도수로에서 약자갈빨질 모래가 분포하고 탄도수로 제방과 북서쪽으로 이어지는 지역에서 빨질모래가 분포하고 있다. 또한 시추퇴적물 및 박스 시추퇴적물의 결과를 보면, E-01정점(탄도수로제방)을 제외하고 다른 정점(A-03, B-02, C-03)에서 표층부터 0.5~1.0 m 깊이의 퇴적물은 매우 부드러운 빨층으로 구성되어 있으며 그 하부는 단단한 모래층 또는 빨층으로 구분되어 지고 있다. 이것은 시화방조제가 건설되기 전에 조간대 퇴적물 위에 방조제가 건설된 후 안정화된 환경에서 퇴적된 빨층으로 보인다.

연구결과 시화방조제 건설이후 시화호 내측은 퇴적현상이 우세하게 진행되고 있으며 기존자료 분석결과 1996년부터 2005년까지의 순수 퇴적률은 약 3.8 cm/yr로 나타났으나 이들 자료는 단빔음향측심기에 의한 분석결과로 오차범위가 클 것으로 판단되나 시화호에서 현재까지 조사된 퇴적률에 대한 결과로는 가장 과학적인 조사 자료로 나타났다. 퇴적물 분포 역시 시화방조제 건설로 인한 해수운동에너지의 감소로 인하여 대부분 지역에서 세립화가 진행된 것으로 나타났으며 해저퇴적층의 전단강도측정결과 대부분 지역에서 깊이 0.5~1.0 m의 퇴적층은 부드러운 빨로 구성되어 있으며 이들 퇴적층은 시화방조제 건설 이후에 쌓인 퇴적층으로 보이며 인공적인 공사로 인하여 형성된 방조제 인접한 해역의 해저웅덩이에서는 그 두께가 1.5 m로 깊어진다. 또한 유동성 저질토의 분포 및 특성을 조사하기 위하여 2009년 11월에 이중주파수 수심측정기에 의한 측선조사, 현장에서의 퇴적층의 전단강도 측정 및 해저면 수중촬영을 실시하였으나 유동성 저질토는 조사기간 동안 형성되지 않은 것으로 나타났다. 또한 본 연구 사업에서 확보된 격자간격 50 cm 이하의 정밀도를 가지는 조사결과는 2010년 조력발전소 가동에 의한 침·퇴적량 변화산정의 측정자료 이용될 것이며 퇴적물이동모델의 입력 및 검증자료로 활용될 것이다.

**9. 시화호 수산물 보건 위해성 평가** - 2009년 7월에 시화호 주변 해역에 서식하는 유용수산물의 식품위생 안전성을 파악하고자 어패류 중의 위생세균 및 중금속 조사결과를 요약하면 다음과 같다

진주담치 체내 미량금속 농도범위(평균±편차)는 카드뮴 (Cd) 시화호에서 0.12-0.21 (0.14±0.04)mg/kg.wet, 외해역에서 0.22-0.26 (0.24±0.02)mg/kg.wet, 납 (Pb) 시화호 0.066-0.209 (0.133±0.023)µg/kg.wet, 외해역 0.189-0.217 (0.205±0.015)mg/kg.wet, 수은 (Hg) 시화호 2.6-4.7 (3.2±0.8) µg/kg.wet, 외해역 5.4-7.9(6.3±1.9) µg/kg.wet 및 아연 (Zn) 시화호 8-21(14±5) mg/kg.wet, 외해역 16-21(19±3)mg/kg.wet 였다.

시화호에서 채취된 굴 체내 미량금속 농도범위(평균±편차)는 카드뮴(Cd) 0.12-0.53(0.28±0.16)

mg/kg.wet, 납(Pb) 0.077-0.125(0.095±0.018)mg/kg.wet, 수은(Hg) 2.0-4.9(3.6±1.4) µg/kg.wet 및 아연(Zn) 124-599(287±168) mg/kg.wet였다.

진주담치 체내 미량금속 함량은 전 성분이 우리나라 수산물 잔류허용기준 이내의 양호한 함량을 보였으며, 전 조사성분이 대체로 외해역에서 높은 농도분포를 보이며, 수은의 경우 2007년 이후 시화호 및 외해역 모두 급격한 평균 농도감소를 보이며, 카드뮴의 경우 시화호에서 매년 평균농도가 감소하는 경향을 보였다.

시화호의 진주담치내 납 농도의 경우 시화호의 가장 내측 정점에서 가장 높고 배수 갑문 쪽으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 보였다.

굴 체내 카드뮴, 납 및 수은의 경우 우리나라 수산물잔류허용기준 이하의 농도를 보이거나 아연의 농도범위가 124-599ppm으로 우리나라 양식 굴의 함량에 비해 월등히 높은 농도이고, 우리나라 폐광산 유출수의 영향을 받는 좌광천(기장), 철괴광산(진해만) 주변해역에서 식하는 굴체내 함량과 유사한 매우 높은 농도를 보였다.

시화호 내의 굴체내 카드뮴, 수은 및 아연의 경우 배수갑문에 가까운 정점에서 높고, 내측으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 연평균농도의 경우 전 조사성분이 2007과 2008년에 비해 2009년에 다소 감소하는 경향을 보였다.

어패류중 근육 내 미량금속의 함량은 우리나라 수산물 잔류허용기준(카드뮴 및 납 2ppm 이하, 수은 0.5ppm이하) 이하의 양호한 농도를 보이거나, 시화호 일부정점에서 채취된 피뿔고둥 내장 내 카드뮴의 농도는 2.0ppm 이상으로 우리나라 수산물 안전기준 값과 유사한 농도를 보였다. 패류중의 미량금속의 농도는 굴>피뿔고둥>진주담치의 농도 순서를 보였으며, 이는 굴과 피뿔고둥의 생리적 필수성분의 농축기작으로 보여 진다. 또한, 시화호 내·외측의 굴과 진주담치 체내 구리와 아연의 농도는 일반적인 양식해역에서 채취된 굴과 진주담치 체내에서 보다 5배 이상 높은 수준으로 검출되어 식용은 부적절할 것으로 판단된다.

10. **유입하천의 비점오염부하 모니터링** - 안산천의 총인은 2009년에 농도 변화폭도 크고 평균농도도 0.650mg/L로 2008년의 0.354 mg/L 보다 2배 가량 높아졌다. 총질소는 전체적으로 평균농도는 변화가 크지 않았으며, 2009년에는 과거에 비하여 변화범위가 작으며, 평균농도도 낮아졌다. 2004-2008년간에 부유물질은 2008년 5월과 6월에 200mg/L를 초과하였고, 2009년에는 농도 변화폭이 커지고 평균농도도 134mg/L로 2008년의 87.4mg/L 보다 크게 높았다. COD는 2006년 7월 10월과 2007년 6월에 변화폭이 크게 나타났고, 2008년과 2009년에는 변화폭이 작아졌으며 농도는 2004년 이래 유사하였다. 화정천의 총인은 2009년에 0.604mg/L로 2008년의 0.363mg/L에 비하여 높게 나타났고, 안산천 보다는 약간 낮은 농도를 보였다. 총질소는 2009년에 농도변화폭이 작아졌으며, 2008년에 비하여 약간 낮은 농도를 보였다. 부유물질은 안산천과 마찬가지로 2009년에 2008년에 비하여 높은 농도를 나타냈다. COD는 2009년에는 과거에 비하여 농도변화는 작았으나, 평균농도는 13.7mg/L로 2007년과 2008년에 비하여 약간 높게 나타났다. 반월공단토구 유출수의 COD, 총인, 총질소 및 부유물질은 강우 2시간 이내에 높은 농도로 나타났다. 한편, 8월 반월공단토구 유출수의 COD, TN, TP 및 부유물질 부하량은 수위에 따라 변화하는 것으로 나타났다. COD는 강우초기에 부하량이 크게 나타나는데, 강우초기에 집중적으로 유출되는 것을 알 수 있다. TN은 강우초기에 부하량이 크지만, 시간에 따라 감소하는 경향을 보이지 않았다.

는데, 질소화합물은 공급원이 다양하여 지속적으로 유출되는 것으로 판단된다. TP 및 부유물질은 강우초기에 부하량이 크며 강우 후반기에 급속하게 감소하는 것으로 나타났다.

**11. 시화호 유역 비점오염 모델링(II) 및 비점오염 저감계획 수립** - 본 연구는 마도수로와 반월공단, 시화공단을 대상으로 시화호로 유입하는 육상기인 비점오염부하의 시공간적 특성을 분석, 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 유역모델링을 위한 기초 공간, 시간자료를 수집 분석하여 유역모형 CAMEL 2.6의 입력자료를 생성하였으며, 대상유역의 현실조건을 모의에 반영하기 위하여 CAMEL 2.6 모델의 기능을 하였다. 구체적으로 마도수로 유역의 배수문 조작을 모델에 반영하기 위해 CAMEL 내에 Underflow Gate 모듈을 개발하였으며, 도시지역인 시화, 반월공단에서의 강우유출 과정을 모의하기 위하여 우수관망에 의한 강우유출 및 차집, 월류 과정을 CAMEL 2.6 모형에 추가하여 적용하였다. 이상의 과정을 통하여 마도수로 유역과 시화, 반월공단에 대해 CAMEL 모델을 구축하고 1일의 시간 간격으로 물, 유사, 탄소, 질소 및 인의 변환 및 이동과정을 모의하였다. 모델 적용은 2008년 1년의 기간에 대해 수행하였다.

분석결과 마도수로로부터 시화호로 유입되는 2008년 부유사가 2,610,516 kg/year, 소류사가 4,514 kg/year, DOC가 1,246,585 kg/year, POC가 15,305 kg/year, NO<sub>3</sub>가 37,765 kg/year, NH<sub>4</sub>가 14,817 kg/year, TP가 31,520 kg/year 인 것으로 나타났다. 마도수로 유역으로부터 시화호로 유입되는 유사의 99.8%는 부유사이며, 이 중에서도 약 72%가 점토로 구성되었다. DOC, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> 및 Soluble-P의 주 발생원은 논으로서 거의 유사한 형태의 공간적 분포를 나타내었다. POC와 Particulate-P는 유사에 흡착되어 이동하는 탄소와 인으로서 부유사의 공간적인 분포와 동일한 경향을 보였다. 반월공단 유역에 대한 물순환 분석결과 2008년 지표면유출량 중 61.1%인 580 mm가 월류되어 시화호로 유입되고, 38.9%인 370 mm가 차집되는 것으로 분석되었다. 입자성물질에 대해서는 반월공단 유역에서 시화호로 유출되는 입자성 물질의 총량은 연간 544,004 kg/year, 차집량은 764,965 kg/year에 이르는 것으로 나타났다. 반월공단 유역에서 7개의 우수토구를 통해 시화호로 월류되는 연간 유출량은 COD 910,005 kg/year, NH<sub>4</sub> 7,542 kg/year, NO<sub>3</sub> 14,966 kg/year, TP 18,193 kg/year이며, 차집량은 COD 997,915 kg/year, NH<sub>4</sub> 7,807 kg/year, NO<sub>3</sub> 17,010 kg/year, TP 20,523 kg/year으로서 전체 우수토구를 통한 오염물질 총유출량의 50.9% ~ 53.2%는 차집되고 나머지가 시화호로 유출되는 것으로 나타났다. 시화공단 유역에 대한 물순환 분석결과 시화 1간선수로에서 2008년 차집관거를 통해 차집되는 유량은 81.3 mm(15.2%)에 불과하고, 시화호로의 월류량은 453.1 mm(84.8%)인 것으로 나타났다. 나머지 시화2~4간선수로에서는 차집이 이루어지지 않아 하천유출량 전량이 시화호로 유출된다. 시화공단 소유역별 입자성 물질에 대한 모의 결과를 보면, 지표면에 축적되는 입자성 물질은 연간 2,139,854 kg/year로서 강우유출과 함께 세정되어 관망으로 유입되는 것으로 분석되었다. 시화공단 유역에서 시화호로 월류 및 유출되는 연간 오염물질량은 COD 733,021 kg/year, NH<sub>4</sub> 15,480 kg/year, NO<sub>3</sub> 26,436 kg/year, TP 17,383 kg/year이며, 차집량은 COD 277,806 kg/year, NH<sub>4</sub> 5,798 kg/year, NO<sub>3</sub> 3,553 kg/year, TP 4,149 kg/year으로서 오염물질 총유출량의 11.8% ~ 27.5% 만이 차집되고 나머지는 시화호로 유출되는 것으로 나타났다.

유역에서 발생하는 비점오염은 점오염과 달리 유역의 곳곳에 산재되어 있어 오염물질 처

리를 위해서는 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 특히, 산업단지유역은 도시지역과 같은 수준으로 관리되어야 하며, 산업지역의 특성을 반영하여 업종별 관리사항을 추가적으로 제시해야 한다. 이에 본 연구에서는 반월공단유역을 대상으로 하여 비점오염을 효과적으로 저감할 수 있는 비점오염 저감계획안을 수립하였다. 구조적 저감방안으로는 도로청소를 검토하였으며, 반월 4토구 유역을 대상으로 진공식 도로청소와 물청소 방식의 도로청소를 5 가지 시나리오로 적용하여 수질 개선 효과를 분석하였다. 분석결과 시화호로 월류되는 입자성물질을 기준으로 평가할 때, 도로청소의 경우 개선효과가 나타나나 도로청소와 물청소를 병행할 경우 물청소에 의해 우수관거로 유입된 입자성물질이 퇴적되었다가 큰 강우에 하천으로 유입되어 도로청소만 실시한 경우에 비하여 입자성물질의 월류량 저감효과가 크게 나타나지는 않는 것으로 분석되었다.

**12. 비점오염원 저감을 위한 최적관리기법(BMPs) 시범적용 및 평가 - 국토해양부의 시화호 해양환경교육 시범학교로 지정된 송호중학교내에서 설치된 비점오염 저감시설과 교육전시관을 연중 운영하여 방문객들에게 비점오염 최적관리기법을 교육하고 저영향개발을 통한 물 순환생태도시 조성의 필요성을 홍보하였다.**

시화호 유역의 신길천에 설치된 하천 정화시설이 신길천 하천 정비사업에 의해 보가 철거됨에 따라 구조를 변경하여 도로 비점오염물질을 정화하는 내부순환형 인공습지를 조성하였다. 내부 순환형 인공습지는 합류식 하수관거 지역의 우수나 고농도의 초기우수를 시설내에 저류했다가 식생 여과층을 통해 반복 여과하는 최신 공법의 수직 지하흐름형 인공습지로서 비점오염 저감시설로 설치된 기존 인공습지의 수질 정화기능을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

**13. 지역역량강화 및 연안관리 시민참여강화 - 2009년의 지역역량강화 및 연안관리 시민참여 분야 사업은 크게 홍보, 교육 및 훈련, 시민참여 강화, 대외협력 등의 4부분에서 진행되었다.**

홍보분야의 시화호관리위원회 홈페이지 운영사업에서는 디자인 개선 및 기능 보완이 이루어지고 공문목록, 법령자료 등이 콘텐츠가 추가되었다. 홍보사업은 지역의 다양한 주체들과 협력하여 시화호와 연안통합관리의 성과를 알리는 홍보부스 운영, 시화호 골든벨 프로그램 시행, 전시행사인 ‘시화호바다에서 건져 올린 희망전2’ 등이 실시되었다. 홍보물로는 ‘시화호에서 사라져 가는 것들’ 영문판을 새로 번역하여 발간하였고, 시화호 종합관리계획의 성과를 소개하는 영문판 자료를 재발간 하였으며, PEMSEA EAS 참가를 위한 영문 포스터를 3종 제작하였다.

교육 및 훈련분야에서는 시화호환경지도자 양성을 위한 심화강좌가 운영되었고, 일반시민을 위한 시화호투어가 총19회 실시되었다. 한편 시민단체와 시화호시범학교 교사들을 중심으로 구성된 교재개발팀이 학교환경교육을 위한 교재를 개발하고 여름방학을 이용하여 교사교육을 실시하였다. 교재개발의 결과는 ‘시화호환경교육을 위한 교사용지도서’ 로 발간하였다.

시민참여 강화 분야에서는 2008년에 이어 시화호시범학교 운영과 어업자료 목록화 사업을 위한 시민조사단 운영 사업의 2차년도 사업이 진행되었다. 특히 이 분야의 사업 중 주목할 만한 것은 시화호유역의제 차원에서 장기적인 시화호 비전, 의제, 행동강령을 작성하는 의제작성 사업과 청소년을 대상으로 하는 공동 시범사업으로 ‘시화호 청소년 생태문



학캠프'가 시작되었다는 것이다. 이 사업은 향후 지역의 공동인식과 비전을 이끌어 낼 수 있는 기반과 분위기를 조성해 줄 것으로 기대된다.

2009년의 대외협력분야 사업은 크게 2가지로 구별할 수 있는데 하나는 시화호를 방문하는 외국의 전문가 및 공무원들을 대상으로 시화호 연안관리성과를 홍보하고 시화호 현장 답사 프로그램을 진행하는 것이고, 두 번째는 PEMSEA와의 국제협력사업 이다. 올해는 PEMSEA의 EAS총회가 개최되는 해로 시범해역인 시화호는 이 총회에 참석하고 그간의 성과를 홍보하는 홍보부스도 운영하였으며, 매년 개최되는 PEMSEA의 지방정부간 네트워크(PNLG) 총회에도 참석하였다.



# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구 추진배경 .....	3
제 2 절 연구 목적 .....	4
제 3 절 2008년 사업의 연구 범위 .....	4
1. 과업기간 .....	4
2. 지역적 범위 .....	5
3. 내용적 범위 .....	5
4. 연구 방법 .....	6
5. 공동연구기관별 과업 내용 .....	7
6. 추진 체계 .....	8
제 2 장 시화호 종합관리체계 확립 및 제도 개선 .....	9
제 1 절 시화유역 통합관리기구 운영지원 .....	11
제 2 절 시화호 종합관리계획 순환관리체계 구축 .....	13
1. 성과평가 시범적용 실시 개요 .....	13
1.1. 기존 순환관리체계 구축 연구의 한계 .....	13
1.2. 성과평가 시범적용을 위한 방법론 .....	13
1.3. 성과평가 시범적용 대상 사업 선정 .....	15
2. 시화 제4간선수로 수질개선 사업평가(안) .....	17
2.1. 사업평가 방향 .....	17
2.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항 .....	17
2.1.2. 평가지표 .....	18
2.1.3. 사업평가의 한계 .....	19
2.2. 시화 제4간선수로 현황 .....	19
2.3. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 추진경과 .....	24
2.3.1. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 개요 .....	24
2.3.2. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 추진경과 .....	24
2.4. 수질개선 활동에 따른 수질변화 분석 .....	32
2.5. 사업평가 결과 .....	40
3. 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업 평가(안) .....	43
3.1. 사업평가 방향 .....	43
3.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항 .....	43

3.1.2. 평가지표 및 평가의 한계 .....	43
3.2. 시화호 인공습지 유역 현황 .....	44
3.3. 시화호 인공습지 현황 .....	47
3.3.1. 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업 개요 .....	47
3.3.2. 시화호 인공습지 규모 및 시설개요 .....	48
3.3.3. 국내외 인공습지 사례 .....	50
3.4. 시화호 인공습지의 수질 개선효과 분석 .....	53
3.4.1. 시화호 인공습지의 오염물질 제거효율 .....	53
3.4.2. 인공습지의 유입·유출수 수질 .....	58
3.4.3. 『시화호 인공습지 수질정화기능향상 연구』 검토 .....	59
3.5. 시화호 인공습지에 의한 상류하천의 오염부하 저감 효과 .....	61
3.6. 향후 시화호 인공습지 운영방안 .....	65
4. 안산·시화 하수처리장 운영 사업평가(안) .....	67
4.1. 사업평가 방향 .....	67
4.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항 .....	67
4.1.2. 평가지표 및 평가의 한계 .....	67
4.2. 안산·시화 하수처리장 운영사업의 개요 .....	69
4.3. 안산 하수처리장 현황 .....	70
4.3.1. 안산 하수처리장 시설현황 .....	70
4.3.2. 안산 하수처리장 운영현황 .....	73
4.4. 시화 하수처리장 현황 .....	91
4.4.1. 시화 하수처리장 시설현황 .....	91
4.4.2. 시화 하수처리장 운영현황 .....	93
4.5. 안산·시화 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율 분석 .....	103
4.5.1. 안산 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율 .....	103
4.5.2. 시화 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율 .....	105
4.6. 사업평가 결과 및 향후 고려되어야 할 사항 .....	107
<b>제 3 절 시화호 오염총량규제 시행을 위한 로드맵 수립 .....</b>	<b>109</b>
1. 연구목표 및 내용 .....	109
1.1. 연구목표 .....	109
1.2. 연구의 내용 .....	109
1.2.1. 연안총량규제 시행의 필요성 검토 .....	109
1.2.2. 연안총량관리 시행에 대한 정책방향 제시 .....	109
1.2.3. (시행이 필요한 경우) 연안총량규제 시행을 위한 로드맵 개발 .....	109
2. 시화호의 여건분석 .....	110
2.1. 시화호의 수질현황 .....	110
2.2. 시화호의 오염원(부하량) .....	114

2.2.1. 오염원 현황 .....	114
2.3. 시화호의 오염원(부하량) 예측 .....	127
2.3.1. 개발계획에 따른 오염원 .....	127
2.3.2. 수질오염개선 추진현황 .....	128
2.4. 연안오염총량관리제의 도입 타당성 .....	130
3. 로드맵 수립을 위한 설문조사 .....	131
3.1. 개요 .....	131
3.2. 설문조사내용 .....	131
3.2.1. 목표수질 및 달성시기 .....	132
3.2.2. 대상지역의 경계설정 .....	132
3.2.3. 목표수질 설정방법 .....	133
3.2.4. 대상물질 선정 .....	133
3.2.5. 총량관리 시행시기 .....	134
3.3. 설문조사 .....	134
3.3.1. 설문조사 현황 .....	134
3.3.2. 설문조사 분석 .....	135
4. 오염총량규제 시행을 위한 로드맵 수립 .....	151
4.1. 총량관리 시행전략 .....	151
4.1.1. 비전 .....	151
4.1.2. 목표 .....	151
4.1.3. 전략 .....	151
4.2. 총량관리 로드맵 .....	151
4.3. 시화호 총량관리와 환경개선 사업과의 연계성 .....	152
4.4. 시화호 총량관리 시행 지원체제 .....	153
4.5. 총량관리 시행을 위한 지원 사업 .....	154
4.5.1. 단기사업(2009~2011): 추가사업 .....	154
4.5.2. 단기사업(2009~2011): 기존사업 .....	156
4.5.3. 중장기사업(2012~2017) .....	157
5. 결론 .....	160

## **제 3 장 시화호 유역의 환경모니터링 ..... 161**

### **제 1 절 시화호 유역 통합환경모니터링 업무 조정·정보공유망 구축방안 ..... 163**

1. 시화호 유역 통합환경모니터링 세칙(안) 검토 .....	163
1.1. 시화호 유역 통합환경모니터링 TF회의 .....	163
1.2. 제5차 시화호 실무협의회 .....	164
2. 시화호 유역 통합환경모니터링 자문회의 .....	165
2.1. 제5차 시화호 통합환경모니터링 자문회의 .....	165

2.2. 제6차 시화호 통합환경모니터링 자문회의	165
2.3. 제7차 시화호 통합모니터링 자문회의	166
2.4. 부유생태 모니터링 방법 조정	167
3. 정도관리 시험	170
3.1. 제4차 정도관리 시험 결과	170
3.2. 제5차 정도관리 시험 결과	172
4. 결론	173
<b>제 2 절 수질 및 퇴적물 모니터링</b>	<b>174</b>
1. 연구개요	174
2. 연구방법	175
2.1. 조사 및 분석방법	175
2.1.1. 시료채취 및 보존방법	175
2.1.2. 분석방법	177
3. 결과 및 고찰	180
3.1. 방조제 내측 해수	180
3.1.1. 표층조사	180
3.1.2. 수층별조사	229
3.1.3. 연속관측	239
3.2. 표층퇴적물	251
3.2.1. 지화학적 특성	251
3.2.2. 중금속	253
3.3. 용출실험	265
3.4. 입자성 침강물질	267
3.5. 유입하천조사	271
3.5.1. 유입하천수 중금속	271
3.5.2. 유입하천 퇴적물 내 중금속	275
3.5.3. 유기오염물질	279
4. 결론	283
4.1. 일반수질 및 영양염	283
4.2. 중금속	284
4.3. 유입하천조사	285
<b>제 3 절 시화호 부유 생태계 모니터링</b>	<b>286</b>
1. 연구개요	286
2. 연구방법	287
2.1. 연구 내용 및 연구 지역	287
2.2. 시료채집 및 분석방법	287

2.2.1. 식물플랑크톤 .....	287
2.2.2. 원생동물플랑크톤 .....	288
2.2.3. 동물플랑크톤 .....	289
2.2.4. 난·자치어 조사 .....	290
2.2.5. 해파리의 물리적 구제 .....	290
3. 연구결과 및 고찰 .....	291
3.1. 시화호 및 주변해역의 부유생태계 현황과악 .....	291
3.1.1. 식물플랑크톤 .....	291
3.1.2. 원생동물플랑크톤 .....	301
3.1.3. 중형동물플랑크톤 .....	310
3.1.4. 난·자치어 .....	317
3.1.5. 해파리의 물리적 구제 .....	321
3.2. 부유생태계와 환경요인과의 관련성 .....	324
4. 결론 .....	329
4.1. 식물플랑크톤 .....	329
4.2. 원생동물플랑크톤 .....	330
4.3. 중형동물플랑크톤 .....	330
4.4. 난·자치어 .....	331
4.5. 환경개선방안 .....	332
4.5.1. 하계 저산소 현상 방지 .....	332
4.5.2. 해파리 구제 .....	332
<b>제 4 절 시화호 저서생태계 모니터링 .....</b>	<b>333</b>
1. 연구개요 .....	333
2. 연구방법 .....	333
2.1. 시화갯벌 예정지 저서생태계 조사 .....	333
2.1.1. 현장조사 .....	333
2.1.2. 자료분석 .....	336
2.2. 바지락 서식지 환경 및 개체군 특성 조사 .....	336
2.2.1. 현장조사 .....	336
2.2.2. 자료분석 .....	339
2.3. 바지락에 의한 수층 유기물 여과율 실험 .....	342
2.3.1. 현장실험 .....	342
2.3.2. 시료분석 .....	344
2.3.3. 수층 입자성 유기물 여과율 산출 .....	345
3. 연구 결과 및 고찰 .....	346

3.1. 시화 갯벌 예정지 저서생태계 조사 .....	346
3.1.1. 환경요인 .....	346
3.1.2. 대형저서동물 종조성 및 시·공간적 분포 .....	350
3.1.3. 저서동물 군집 특성 .....	354
3.2. 시화호 바지락 개체군 특성 .....	360
3.2.1. 바지락 서식지 환경 .....	360
3.2.2. 시화호 수변부에 서식하는 바지락 서식밀도 분포 .....	366
3.2.3. 바지락 개체군 특성 연구 .....	368
3.2.4. 바지락 이식 실험 .....	385
3.2.5. 시화호 바지락 개체군 특성 결론 .....	386
3.3. 바지락에 의한 수층 유기물 여과율 .....	387
3.3.1. 시화갯벌 .....	387
3.3.2. 근소만 갯벌 .....	391
3.3.3. 바지락의 수층 유기물 여과율 .....	395
3.3.4. 해수 여과율 실험에 대한 고찰 .....	395
3.3.5. 시화호 바지락에 의한 해수정화 효과 .....	397
4. 결론 및 제안 .....	398
4.1. 결론 .....	398
4.2. 정책 제안 .....	399
<b>제 5 절 시화호 조력발전소 주변 정밀 지형 및 퇴적물 특성조사 .....</b>	<b>400</b>
1. 연구개요 .....	400
2. 현장 조사 및 연구방법 .....	401
2.1. 현장조사 .....	401
2.2. 연구방법 .....	401
2.2.1. 지형조사 .....	401
2.2.2. 퇴적학적 분석 .....	408
2.2.3. Sting MK II를 이용한 퇴적층 전단강도 측정 .....	409
3. 결과 및 고찰 .....	410
3.1. 지형 .....	410
3.2. 퇴적학적 특징 .....	415
3.2.1. 표층퇴적물 .....	415
3.2.2. 진동시추퇴적물 .....	415
3.2.3. 박스시추퇴적물 .....	425
3.3. 해저퇴적층의 전단강도 특성 .....	428
4. 결론 및 요약 .....	433



<b>제 6 절 시화호 수산물 보건위해성 평가</b> .....	<b>434</b>
1. 연구개요 .....	434
2. 연구방법 .....	434
2.1. 조사 및 분석방법 .....	434
2.1.1. 시료채취 및 보존방법 .....	434
2.1.2. 분석방법 .....	436
3. 결과 및 고찰 .....	439
3.1. 진주담치( <i>Mytilus edulis</i> )의 물리적 특성 .....	439
3.2. 위생세균조사 .....	441
3.2.1. 패류 .....	441
3.1.2. 어류 .....	443
3.3. 중금속 .....	444
3.3.1. 진주담치 .....	444
3.3.2. 굴 .....	445
3.3.3. 피빨고둥 .....	448
3.3.4. 어류 .....	458
4. 결론 및 요약 .....	464
<b>제 4 장 비점오염원 관리</b> .....	<b>465</b>
<b>제 1 절 유입하천의 비점오염 부하 모니터링</b> .....	<b>467</b>
1. 유입하천 .....	467
1.1. 안산천 .....	467
1.2. 화정천 .....	480
1.3. 2004-2009년 강우시 자료 비교 .....	496
2. 반월공단 토구 .....	500
3. 수위-유량 관계식 .....	516
4. 결론 .....	517
<b>제 2 절 시화호 유역 비점오염 모델링(II) 및 비점오염 저감계획 수립</b> .....	<b>518</b>
1. 시화호 유역 비점오염 모델링(II) .....	518
1.1. 연구목표 .....	518
1.2. 연구범위 .....	518
1.2.1. 지리적 범위 .....	518
1.2.2. 내용적 범위 .....	519
1.3. 과업의 세부내용 .....	519
1.3.1. 대상 소유역 기초 환경자료 및 하천 유량·수질자료 수집 및 분석 .....	519

1.3.2. 대상 소유역에 대한 분포형 비점오염모델 CAMEL 2.6 구축 .....	519
1.3.3. 대상 소유역에서 시화호로 유입되는 비점오염부하의 평가 .....	520
1.4. 연구 결과 .....	520
1.4.1. 대상 소유역 기초 환경자료 및 유량·수질자료 수집 및 분석 .....	520
1.4.2. CAMEL 2.6 모델 기능 개선 .....	536
1.4.3. 대상 소유역에 대한 분포형 비점오염모델 CAMEL 구축 .....	541
1.4.4. 결과 및 고찰 .....	542
2. 반월공단유역 비점오염 저감계획 수립 .....	574
2.1. 연구목표 .....	574
2.2. 연구범위 .....	574
2.2.1. 지리적 범위 .....	574
2.2.2. 내용적 범위 .....	575
2.3. 과업의 세부내용 .....	575
2.3.1. 비점오염 저감계획 수립 절차 검토 .....	575
2.3.2. 반월공단 유역 환경현황 분석 .....	575
2.3.3. 비점오염 저감목표 설정 .....	575
2.3.4. 비점오염 저감시설 후보지 평가 .....	575
2.3.5. 구조적 최적관리방안 선정 .....	575
2.3.6. 비구조적 최적관리방안 선정 .....	575
2.4. 연구 결과 .....	576
2.4.1. 비점오염 저감계획 수립 절차 검토 .....	576
2.4.2. 반월공단 유역환경현황 분석 .....	578
2.4.3. 비점오염 저감목표 4-2-설정 .....	586
2.4.4. 구조적 최적관리방안 선정 .....	587
2.4.5. 비구조적 최적관리방안 선정 .....	601
2.4.6. 유역모델링을 이용한 최적관리방안 평가 .....	607
<b>제 3 절 비점오염원 저감을 위한 최적관리기법(BMPs) 시범적용 및 평가 .....</b>	<b>611</b>
1. 연구 배경 및 목적 .....	611
2. 신길천 식생정화습지 구조변경 .....	612
2.1. 신길천 식생정화습지 구조변경 .....	612
2.2. 기본설계 및 실시설계 .....	613
2.3. 용량계산서 .....	615
2.3.1. 자연형 비점오염저감시설 수질처리용량 .....	615
2.3.2. 전처리시설(펌핑조) .....	616
2.3.3. 내부순환형 식생정화습지 .....	616
2.3.4. 방류조 및 비상급수저류조 .....	619
2.4. 계측제어설비 .....	620

2.5. 내부순환형 식생정화습지 조성 .....	621
2.5.1. 처리공정도 .....	621
2.5.2. 내부순환형 식생정화습지 구조변경 내역 .....	622
2.5.3. 각조 명칭 및 기능 .....	622
2.5.4. 제어 및 기계설비 .....	624
2.5.5. 식생정화식물 .....	629
2.5.6. 공사사진 .....	631
2.5.7. 구조변경 전·후 사진 .....	635
2.5.8. 부대시설 .....	636
3. 시화호 해양환경교육 시범학교 홍보 및 운영관리 .....	637
4. 시범 설치된 오염 저감시설의 운영 .....	639
5. 향후 계획 .....	639

## 제 5 장 지역역량강화 및 연안관리 시민참여 강화 ..... 641

제 1 절 홍보 .....	643
1. 시화호 홈페이지 운영 및 활용방안 .....	643
1.1. 개요 .....	643
1.2. 추진방법 .....	643
1.3. 추진결과 .....	645
1.3.1. 시화호 홈페이지 초기화면 디자인 개선 .....	645
1.3.2. 시화호 홈페이지 기능보완 .....	646
1.3.3. 새로운 콘텐츠 추가 .....	646
1.3.4. 2009년 자료 업데이트 .....	664
2. 시화호 인터넷 사진전 운영 .....	672
2.1. 개요 .....	672
2.2. 추진방법 .....	672
2.2.1. 사전회의 .....	672
2.2.2. 제2회 시화호 출사대회 진행 .....	673
2.2.3. 제3회 시화호 사진전 홍보 및 사진접수 .....	674
2.3. 추진결과 .....	676
3. 홍보사업 .....	679
3.1. 개요 .....	679
3.2. 추진방법 및 결과 .....	679
3.2.1. 홍보행사 .....	679
3.2.2. 홍보물 제작 .....	680

<b>제 2 절 교육 및 훈련</b> .....	<b>681</b>
1. 일반시민을 위한 시화호투어 실시 .....	681
1.1. 개요 .....	681
1.2. 추진경과 .....	681
1.3. 추진결과 .....	685
1.3.1. 시화호투어 결과 .....	685
1.3.2. 시화호투어 설문결과 .....	687
1.4. 결론 및 향후계획 .....	704
2. 학교환경교육 교재 개발 .....	705
2.1. 개요 .....	705
2.2. 추진방법 .....	705
2.2.1. 기획회의 .....	705
2.2.2. 시화호 교사연수 .....	707
2.2.3. 해양의식함양 시범학교 운영보고회 .....	708
2.3. 추진결과 .....	708
3. 시화호 환경교육지도자 심화과정 운영 .....	709
3.1. 개요 .....	709
3.2. 추진과정 및 결과 .....	709
3.2.1. 심화강좌 .....	709
3.2.2. 현장실습 .....	710
3.2.3. 보고대회 및 시화호 지역역량강화를 위한 워크숍 .....	713
<b>제 3 절 시민참여 강화</b> .....	<b>714</b>
1. 자료목록화를 위한 시민조사단 운영 .....	714
1.1. 개요 .....	714
1.2. 추진방법 .....	714
1.2.1. 보상대책 자료수집 및 주민생업 대안 의견 .....	714
1.2.2. 시화지구 연안생태문화 자료 초안작성 .....	715
1.2.3. 시화호 어업과 연안문화 자료집 제작 .....	715
1.3. 결과 및 고찰 .....	716
1.3.1. 주요민원 및 주민 생업대안 의견 .....	716
1.3.2. 시화지구 연안생태문화 자료 초안 작성 .....	718
1.4. 결론 및 향후계획 .....	730
2. 유역의제 시범사업 : 청소년 생태문학캠프 .....	731
2.1. 개요 .....	731
2.2. 추진경과 .....	731
2.2.1. 기획회의 .....	731
2.3. 추진결과 .....	732

2.3.1. 시화호 청소년 생태문학캠프 .....	732
2.3.2. 시화호 백일장 .....	733
2.3.3. 시화호 골든벨 .....	733
2.3.4. 시화호 문집발간 .....	736
2.4. 결론 및 향후계획 .....	736
3. 시화호유역의제 의제작성 .....	737
3.1. 개요 .....	737
3.2. 추진방법 .....	737
3.2.1. 시화호 유역의제(안) 작성경과 .....	737
3.2.2. 유역의제(안) 작성을 위한 소위원회 구성 .....	739
3.2.3. 시화호유역의 문제점 식별과 해결방안 검토를 통한 의제안 발굴 .....	739
3.3. 결과 .....	741
3.3.1. 시화호유역의제(안) 기본체계 .....	741
3.3.2. 시화호유역의제(안) 내용 .....	741
<b>제 4 절 대외협력 .....</b>	<b>746</b>
1. 시화호 방문단 지원 .....	746
1.1. 개요 .....	746
1.2. 추진결과 .....	746
1.2.1. 일본 사가현 자유민주당 청년당원 방문 .....	746
1.2.2. 람사르사무국 아시아-오세아니아 지역 담당관 방문 .....	746
1.2.3. 일본 사가현 현의원단 방문 .....	747
1.2.4. 워싱턴대 해양정책학과 교수단 방문 .....	747
2. PEMSEA 협력사업 .....	748
2.1. 개요 .....	748
2.2. 추진결과 .....	748
2.2.1. PNLG 포럼 .....	748
2.2.2. 2009 PEMSEA EAS총회 .....	749
<b>참고문헌 .....</b>	<b>751</b>

# 표 목 차

표 2-2-1. 시화호 종합관리계획 세부시행사업 중 총사업비 대비 예산규모가 큰 사업	16
표 2-2-2. 사업별 자료의 이용가능성 및 사업 분야	17
표 2-2-3. 기존연구에서 제시된 공단내 간선수로 수질개선 사업의 성과지표	18
표 2-2-4. 시화 제4간선수로 현황	20
표 2-2-5. 시화 제4간선수로 배수구역별 입주업체 규모	23
표 2-2-6. 시화 제4간선수로 수질개선사업의 시기별 수질개선 활동 내용	24
표 2-2-7. 시화 제4간선수로 수질개선사업의 주요 활동 내용	26
표 2-2-8. 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 단계별 중점 활동	28
표 2-2-9. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 조사·점검표 내용	28
표 2-2-10. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 전수조사 결과	30
표 2-2-11. 기존연구에서 제시된 인공습지 조성 및 운영·관리 사업의 성과지표	44
표 2-2-12. 반월천·동화천·삼화천 유역 토지피복 현황	46
표 2-2-13. 시화호 인공습지 규모	48
표 2-2-14. 시화호 인공습지의 주요 시설 현황	49
표 2-2-15. 시화호 인공습지 방문객 현황	50
표 2-2-16. 인공습지의 처리효율	51
표 2-2-17. 마산저수지 인공습지의 형태에 따른 수질정화효과	53
표 2-2-18. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(반월천 습지)	54
표 2-2-19. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(동화천 습지)	54
표 2-2-20. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(삼화천 습지)	54
표 2-2-21. 시화호 인공습지의 계절별 평균 오염물질 제거효율(2002-2008년)	57
표 2-2-22. 한국수자원공사에서 시행한 인공습지 수질정화기능향상 방안 및 성과	60
표 2-2-23. 물흐름 유도시설 처리효율	61
표 2-2-24. 반월천·동화천·삼화천 합류지점 오염부하량(2008년)	62
표 2-2-25. 시화호 인공습지의 연평균 오염부하 저감 효과	63
표 2-2-26. 한강수계에 설치된 비점오염저감시설의 오염부하 평균 처리효율('06~'08)	64
표 2-2-27. 향후 시화호 인공습지 운영 시나리오별 장·단점	66
표 2-2-28. 기존연구에서 제시된 안산·시화 하수처리장 확장 및 운영 사업의 성과지표	68
표 2-2-29. 안산하수처리장 현황	70
표 2-2-30. 안산하수처리장 확장 및 운영 사업 추진경과	71
표 2-2-31. 안산하수처리장 방류관거 현황	72
표 2-2-32. 안산하수처리장 악취 방지시설 현황	73
표 2-2-33. 안산 하수처리장 1처리장의 연도별 월별 유입하수량	74
표 2-2-34. 안산 하수처리장 2처리장의 연도별 월별 유입하수량	75

표 2-2-35. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입수질(BOD, COD, SS) .....	77
표 2-2-36. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입수질(TN, TP) .....	79
표 2-2-37. 안산하수처리장 2처리장 유입수의 연도별 설계기준 농도 초과일수 .....	81
표 2-2-38. 안산하수처리장의 연도별 평균 방류수질(BOD, COD, SS) .....	82
표 2-2-39. 안산하수처리장 연도별 평균 방류수질(TN, TP) .....	84
표 2-2-40. 안산하수처리장 방류수의 연도별 수질기준 초과일수 .....	87
표 2-2-41. 안산 하수처리장 1처리장 고도처리 전·후 방류수질 .....	87
표 2-2-42. 안산 하수처리장의 방류수 수질기준 적합도 .....	90
표 2-2-43. 시화하수처리장 현황 .....	91
표 2-2-44. 시화하수처리장 확장 및 운영 사업 추진경과 .....	92
표 2-2-45. 시화하수처리장의 연도별 월별 유입하수량(혼합하수량) .....	94
표 2-2-46. 시화하수처리장의 연도별 유입수(혼합하수) 수질(BOD, COD, SS) .....	96
표 2-2-47. 시화하수처리장의 연도별 유입수(혼합하수) 수질(TN, TP) .....	97
표 2-2-48. 시화하수처리장 유입수의 연도별 설계기준 농도 초과일수 .....	98
표 2-2-49. 시화하수처리장의 연도별 방류수 수질(BOD, COD, SS) .....	99
표 2-2-50. 시화하수처리장 방류수의 연도별 수질기준 초과일수 .....	101
표 2-2-51. 시화하수처리장 고도처리 전·후 방류수질 .....	101
표 2-2-52. 시화하수처리장의 방류수 수질기준 적합도 .....	101
표 2-2-53. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입·유출 오염부하량 .....	104
표 2-2-54. 안산하수처리장의 연도별 평균 제거 오염부하량 및 오염부하 제거율 .....	105
표 2-2-55. 시화하수처리장의 연도별 평균 유입수 오염부하량 .....	106
표 2-2-56. 시화하수처리장의 연도별 평균 유출 및 제거 오염부하량 .....	106
표 2-3-1. 시화호 방조제 내측 일반수질 농도 .....	110
표 2-3-2. 시화호 방조제 내측 중금속 농도 .....	111
표 2-3-3. 시화호 방조제 내측 여름철 일반수질농도 .....	111
표 2-3-4. 시화호 방조제 내측 여름철 중금속 농도 .....	113
표 2-3-5. 시화호 유역의 COD 농도 .....	113
표 2-3-6. 해역수질환경기준 .....	113
표 2-3-7. 시화호 행정구역 및 인구현황 .....	114
표 2-3-8. 시화호 주변의 연도별 인구변화 .....	114
표 2-3-9. 안산시 배출원별 인구현황 .....	114
표 2-3-10. 시흥시 배출원별 인구현황 .....	115
표 2-3-11. 화성시 배출원별 인구현황 .....	115
표 2-3-12. 생활계 물사용량 .....	115
표 2-3-13. 안산시 축산현황 .....	116
표 2-3-14. 시흥시 축산현황 .....	116
표 2-3-15. 화성시 축산현황 .....	116
표 2-3-16. 안산시 하수 및 분뇨발생량 .....	117

표 2-3-17. 안산시 처리현황 .....	117
표 2-3-18. 시흥시 하수 및 분뇨 발생량 .....	117
표 2-3-19. 시흥시 처리현황 .....	118
표 2-3-20. 화성시 하수 및 분뇨발생량 .....	118
표 2-3-21. 화성시 처리현황 .....	118
표 2-3-22. 안산시 폐수배출시설 .....	119
표 2-3-23. 시흥시 폐수배출시설 .....	119
표 2-3-24. 화성시 폐수배출시설 .....	119
표 2-3-25. 종별배출업체 .....	119
표 2-3-26. 등급·종별 배출업체 .....	120
표 2-3-27. 안산시 토지지목별 현황 .....	120
표 2-3-28. 시흥시 토지지목별 현황 .....	121
표 2-3-29. 화성시 토지지목별 현황 .....	122
표 2-3-30. 선박현황 .....	122
표 2-3-31. 안산시 하천의 수질현황 .....	123
표 2-3-32. 화성시 동화천 수질현황 .....	123
표 2-3-33. 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화 .....	123
표 2-3-34. 시화방조제 완공 후 1996년부터 2005년까지의 퇴적량 변화 .....	124
표 2-3-35. 환경기초시설 현황 .....	124
표 2-3-36. 하수관거 및 보급률 .....	125
표 2-3-37. 시화호의 유달부하량 .....	126
표 2-3-38. 개발계획 .....	128
표 2-3-39. 수질오염개선추진현황 .....	129
표 2-3-40. 수질악화요인 VS 수질개선요인 .....	130
표 2-3-41. 목표수질 및 달성시기 설정 시 고려사항 .....	132
표 2-3-42. 목표수질 및 달성시기의 대안 .....	132
표 2-3-43. 대상지역의 경계설정 시 고려사항 .....	132
표 2-3-44. 대상지역의 경계설정의 대안 .....	132
표 2-3-45. 목표수질 설정방법 선정 시 고려사항 .....	133
표 2-3-46. 목표수질 설정방법의 대안 .....	133
표 2-3-47. 대상물질 선정 시 고려사항 .....	133
표 2-3-48. 대상물질의 대안 .....	133
표 2-3-49. 총량관리 시행시기 결정 시 고려사항 .....	134
표 2-3-50. 총량관리 시행시기의 대안 .....	134
표 2-3-51. 해수유통을 기점으로 연안총량규제 시행시기의 대안 .....	134
표 2-3-52. 설문조사 현황 .....	135
표 2-3-53. 설문조사 전체결과 .....	135
표 2-3-54. 10년 미만 설문조사 결과 .....	137



표 2-3-55. 10년 이상 설문조사 결과 .....	139
표 2-3-56. 공무원 설문조사 결과 .....	141
표 2-3-57. 연구기관 및 대학 설문조사 결과 .....	143
표 2-3-58. 시민단체 및 산업체 설문조사 결과 .....	145
표 3-1-1. 제4차 정도관리 시료 분석 결과(한국해양연구원, 한국수자원공사, 서해수산연구 소, 농어촌연구원, 2009. 1월) .....	170
표 3-1-2. 제4차 정도관리 시료 분석 결과(한국해양연구원, 한국수자원공사, 서해수산연구소, 농어촌연구원, 2009. 4월) .....	172
표 3-2-1. 시화호 방조제 내측 해수중의 일반수질 및 유기물 분포(2009. 4. 28) .....	180
표 3-2-2. 시화호 방조제 내측 표층수의 일반수질 농도범위 및 평균값 .....	184
표 3-2-3. 시화호 방조제 내측 해수중의 영양염 분포(2009. 4. 28) .....	196
표 3-2-4. 시화호 방조제 내측 표층수의 영양염 농도범위 및 평균값 .....	200
표 3-2-5. 2003-2009년간의 시화호 방조제 내측 일반수질 연변화 .....	205
표 3-2-6. 2003-2009년간의 시화호 방조제 내측 영양염 연변화 .....	208
표 3-2-7. 시화호 방조제 내측 해수중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 28) .....	214
표 3-2-8. 시화호 방조제 내측 해수중의 총중금속 농도(2009. 4. 28) .....	216
표 3-2-9. 시화호 방조제 내측 해수중의 용존성 중금속 농도 변화 범위와 평균 농도 .....	218
표 3-2-10. 시화호 방조제 내측 해수중의 연도별 평균 중금속 농도 비교 .....	218
표 3-2-11. 자동채수기에 의한 연속관측 결과(2009. 6/12~15) .....	241
표 3-2-12. 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성(2009. 6. 25) .....	252
표 3-2-13. 2002-2009년간의 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화 .....	252
표 3-2-14. 시화호 표층 퇴적물 중의 중금속 농도(2009. 6. 25) .....	255
표 3-2-15. 미국의 퇴적물에 대한 중금속 기준 .....	262
표 3-2-16. 입자성 침강물질의 지화학적 특성 .....	268
표 3-2-17. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 농도 .....	270
표 3-2-18. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 농축계수 .....	270
표 3-2-19. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 침강속 .....	270
표 3-2-20. 시화호 유입하천 중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 14) .....	272
표 3-2-21. 시화호 유입하천 중의 총중금속 농도(2009. 4. 14) .....	274
표 3-2-22. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 중금속 농도(2009. 4. 14) .....	276
표 3-2-23. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 PAHs 농도(2009. 4. 14) .....	280
표 3-2-24. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 PCBs 농도(2009. 4. 14) .....	281
표 3-2-25. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 APs 농도(2009. 4. 14) .....	282
표 3-3-1. 시화호에서 식물플랑크톤 분류군별 월평균 현존량(단위: cells/mL) .....	292
표 3-3-2. 조사 시기별 식물플랑크톤 주요 우점종 및 평균 우점율 .....	294
표 3-3-3. 조사 시기에 따른 총 엽록소-a 농도 변동(단위: $\mu\text{g/L}$ ) .....	296
표 3-3-4. 조사해역의 소광계수, 엽록소-a 및 일일 일차생산력 .....	298
표 3-3-5. 조사 기간 중 원생동물 우점종 분포 .....	306

표 3-3-6. 부유성 어란의 종조성 및 출현량 .....	317
표 3-3-7. 조사 시기별 부유성 어란의 우점종(%) .....	318
표 3-3-8. 자치어의 종조성 및 출현량 .....	319
표 3-3-9. 조사 시기별 자치어의 우점종(%) .....	320
표 3-3-10. 해파리 구제 개요 .....	321
표 3-4-1. 시화호 갯벌 예정지의 대형저서동물 및 환경 조사 위치 (WGS-84) .....	335
표 3-4-2. 시화호 갯벌 예정지의 각 정점에서 표층 퇴적물 특성 (Folk & Ward, 1957) .....	349
표 3-4-3. 시화 갯벌 예정지에서 출현한 저서동물 분류군별 개체수와 종수 조성 및 평균서식밀도 분포 .....	350
표 3-4-4. 시화 갯벌 예정지에서 출현한 저서동물 우점종의 서식밀도와 출현빈도. ....	351
표 3-4-5. 시화 예정지 갯벌에서 출현한 저서동물 종별 출현개체수 자료를 이용한 집괴분석 결과 도출된 각 정점군별 각 서식지의 환경 특성 및 우점종. ....	357
표 3-4-6. 시화호 바지락 서식지와 근소만 갯벌에서 각 정점별 퇴적물 입도 특성 .....	363
표 3-4-7. 시화 수변부의 조위별 노출시간과 침수시간 비교 .....	365
표 3-4-8. 근소만 갯벌의 조위별 노출시간과 침수시간 비교 .....	365
표 3-4-9. 시화호 형도 수변부에서 출현한 바지락( <i>Ruditapes phippinarum</i> )의 수위별 서식밀도 및 생체량 .....	366
표 3-4-10. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 각 조고별 바지락의 성장률의 비교 .....	383
표 3-4-11. 시화 형도 주변 수변부에서 실험경과 동안 바지락의 생존률 .....	385
표 3-4-12. 시화갯벌 및 근소만 갯벌에서 바지락에 의한 수층 입자성 유기물질 여과율의 비교 .....	395
표 3-4-13. 조력발전소 가동 후 시화갯벌 바지락에 의한 시화호 해수 정화율 예상 .....	398
표 3-5-1. 반빈 시료채취기를 이용해 채취된 표층퇴적물의 위치 .....	403
표 3-5-2. Sting MK II을 이용해 전단강도를 측정한 정점 위치 .....	404
표 3-5-3. 진동시추퇴적물이 채취된 정점 위치 및 길이 .....	404
표 3-5-4. 박스시추퇴적물이 채취된 정점 위치 및 길이 .....	405
표 3-5-5. 표층퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 분석결과 .....	417
표 3-5-6. 진동시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성 분석결과 .....	420
표 3-5-7. 박스시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성 분석 결과 .....	426
표 3-5-8. 퇴적층 전단강도 측정 장비인 Sting MK II 장비의 해저층 퇴적층 투과깊이 .....	429
표 3-6-1. Dogfish 근육(muscle)과 간(liver)의 표준물질인 DORM-3(NRC)를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과 .....	438
표 3-6-2. Mussel의 표준물질인 SRM-2976(NIST)를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과 .....	438
표 3-6-3. 시화호 내·외측해역에서 채취된 진주담치의 각장, 각고, 각폭 및 무게의 범위 및 평균 값 .....	439

표 3-6-4. 진주담치 체내 위생세균 조사결과 .....	442
표 3-6-5. 굴 체내 위생세균 조사결과 .....	442
표 3-6-6. 피빨고등 체내 위생세균 조사결과 .....	442
표 3-6-7. 어류 근육내 위생세균 조사 결과 .....	443
표 3-6-8. 우리나라 연안해역에 서식하는 진주담치 및 굴 체내 중금속 함량 .....	447
표 3-6-9. 주요 국가별 수산물 미량금속 잔류허용기준 .....	449
표 3-6-10. 해양 생물체내 대사 작용에 관여하는 화합물과 관련된 중금속 .....	458
표 3-6-11. 우리나라 주요 연안에서 어획된 어류 근육 내 미량금속 함량 .....	460
표 3-6-12. 세계 해양에서 주요 생물의 중금속 축적 농도 분포 .....	463
표 4-1-1(a). 강우시 안산천의 수질분포(2009. 2. 13~14) .....	468
표 4-1-1(b). 계속(2009. 6. 9~10) .....	470
표 4-1-1(c). 계속(2009. 6. 29) .....	471
표 4-1-1(d). 계속(2009. 7. 2) .....	473
표 4-1-1(e). 계속(2009. 7. 9) .....	475
표 4-1-1(f). 계속(2009. 8. 11~12) .....	477
표 4-1-2(a). 강우시 화정천의 수질분포(2009. 2. 13~14) .....	481
표 4-1-2(b). 계속(2009. 4. 20~21) .....	483
표 4-1-2(c). 계속(2009. 6. 9~10) .....	485
표 4-1-2(d). 계속(2009. 6. 29) .....	487
표 4-1-2(e). 계속(2009. 7. 2) .....	489
표 4-1-2(f). 계속(2009. 7. 9) .....	491
표 4-1-2(g). 계속(2009. 8/11-12) .....	493
표 4-1-3. 강우시 안산천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 분포 .....	497
표 4-1-4. 강우시 화정천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 분포 .....	498
표 4-1-5(a). 강우시 반월토구의 수질 분포(2009. 7. 7) .....	500
표 4-1-5(b). 계속(2009. 7. 9) .....	502
표 4-1-5(c). 계속(2009. 8. 11) .....	505
표 4-2-1. 연구 대상 유역의 고도 및 경사 .....	522
표 4-2-2. 시화공단 소유역별 토지이용 현황 .....	525
표 4-2-3. 반월공단 유역의 집수구역별 토지이용현황 .....	526
표 4-2-4. 환경부 토지이용도(2001)와 ASTER 위성영상(2006)으로 갱신한 토지이용도 비교 .....	527
표 4-2-5. 시화공단 유역 집수구역별 토양분포 .....	528
표 4-2-6. 시화공단 유역 집수구역별 토양분포 .....	529
표 4-2-7. 시화공단 유역 배수구역별 지질분포 현황 .....	531
표 4-2-8. 반월공단 유역 배수구역별 지질분포 현황 .....	532
표 4-2-9. 각 측정지점별 오염물질의 연평균 농도 .....	536

표 4-2-10. 마도수로 유역의 2008년 물 수지 분석 결과 .....	543
표 4-2-11. 마도수로 유역의 2008년 유사 운반 분석 결과 .....	544
표 4-2-12. 마도수로 유역의 2008년 탄소 수지 분석 결과 .....	547
표 4-2-13. 마도수로 유역의 2008년 질소 수지 분석 결과 .....	551
표 4-2-14. 마도수로 유역의 2008년 인 수지 분석 결과 .....	554
표 4-2-15. 마도수로 유역으로부터 시화호로 유입되는 각 물질별 2008년 총량 .....	556
표 4-2-16. 반월공단 소유역별 2008년 물수지 분석 결과 .....	559
표 4-2-17. 반월공단 소유역별 우수관망에 의한 강우유출의 월류와 차집 .....	559
표 4-2-18. 반월공단 소유역별 우수관거에 의한 입자성 물질의 연간 운반량 .....	563
표 4-2-19. 반월공단 소유역별 탄소, 질소, 인의 연간 시화호 유출량 .....	565
표 4-2-20. 시화공단 소유역별 2008년 물수지 분석결과 .....	568
표 4-2-21. 시화공단 소유역별 입자성 물질의 연간 운반량 .....	571
표 4-2-22. 시화공단 소유역별 탄소, 질소, 인의 연간 시화호 유출량 .....	573
표 4-2-23. 집수구역별 면적 및 비율 .....	578
표 4-2-24. 반월공단 유역의 최근 10년간 월별 강수량 .....	580
표 2-2-25. 집수구역별 오염물질(COD, SS, TN, TP)의 농도 .....	581
표 4-2-26. 비강우 시, 강우 시 반월공단 4토구에서 측정된 오염물질의 농도 .....	581
표 4-2-27. 해역수질환경기준 .....	587
표 4-2-28. 토지이용별 유출계수 .....	588
표 4-2-29. 토지이용별 오염물질에 따른 평균 EMCs .....	588
표 4-2-30. 오염물질별 토지이용에 따른 평균 EMCs .....	589
표 4-2-31. CPI 계산을 위한 권장 가중치의 예 .....	590
표 4-2-32. 집수구역 우선순위 산정 결과 .....	591
표 4-2-33. 우선사업지구 후보지 .....	592
표 4-2-34. 우선사업지구 후보지 평가 결과 .....	600
표 4-2-35. 우선사업지구별 구조적 BMPs 선정 .....	601
표 4-2-36. 기계식 도로청소와 진공식 도로청소의 처리효율 .....	603
표 4-2-37. 인력보유현황 .....	603
표 4-2-38. 청소장비 현황 .....	604
표 4-2-39. 도로청소장비의 종류와 특징 .....	605
표 4-2-40. 청소주기에 따른 청소차량종류별 필요한 대수 .....	606
표 4-2-41. 반월공단 도로청소 시나리오 계획 .....	607
표 4-2-42. 청소주기와 청소방법에 따른 총 부유물질의 월류량 저감효과(%) .....	608
표 4-2-43. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 탄소의 월류량 저감효과(%) .....	609
표 4-2-44. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 질소의 월류량 저감효과(%) .....	609
표 4-2-45. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 인의 월류량 저감효과(%) .....	610
표 4-3-1. 신길천 식생정화습지 조성 내역 .....	613
표 4-3-2. 수질처리 용량계산서 .....	615

표 4-3-3. 펌핑조 용량계산서 .....	616
표 4-3-4. 식생정화습지 설계기준 .....	616
표 4-3-5. 식생정화습지 용량계산서 .....	617
표 4-3-6. 방류조 및 비상급수저류조 시설규격 .....	619
표 4-3-7. 내부순환형 식생정화습지 구조변경 내역 .....	622
표 4-3-8. 운전모드 조건 .....	624
표 4-3-9. 운전주기 및 반응시간 .....	625
표 4-3-10. 펌핑조펌프 사양 .....	626
표 4-3-11. 에어리프트 펌프 사양 .....	626
표 4-3-12. 방류펌프 사양 .....	627
표 4-3-13. 비상급수저류조 펌프 사양 .....	627
표 4-3-14. 기기장비LIST .....	628
표 4-3-15. 식생정화식물 .....	629
표 4-3-16. 송호중학교 방문자 명단 .....	638
표 4-3-17. 시범 설치 운영중인 오염 저감시설 .....	639
표 5-1-1. 2007~2008년 홈페이지 구성 .....	644
표 5-1-2. 시화호 관계법령 목록 .....	646
표 5-1-3. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15) .....	649
표 5-1-4. 시화호 홈페이지 2009년 자료 업데이트 내용 .....	665
표 5-1-5. 2009년 시화호관련 보도자료 목록 .....	667
표 5-1-6. 2009년 시화호 인터넷 사진전 및 출사대회 자문위원 목록 .....	672
표 5-1-7. 2009년 제2회 출사대회 현황 .....	674
표 5-1-8. 주제별 작품 수 .....	675
표 5-1-9. 응모작 촬영장소별 .....	675
표 5-1-10. 참가자 거주지역별 .....	676
표 5-1-11. 2009년 시화호사진전 당선작 목록 .....	676
표 5-2-1. 시화호투어 일정1-일반적인 투어 .....	681
표 5-2-2. 시화호투어 일정2-역사를 중심으로 .....	682
표 5-2-3. 시화호투어 일정3-철새탐조를 중심으로 .....	682
표 5-2-4. 시화호 유역의 장소에 따른 설명 .....	682
표 5-2-5. 2009년 시행된 시화호관련 강좌와 투어일정 .....	685
표 5-2-6. 시화호투어 사전 설문지 .....	688
표 5-2-7. 시화호투어 사후 설문지 .....	689
표 5-2-8. 시화호 교사연수 일정 .....	707
표 5-2-9. 시화호 환경교육지도자 심화과정 내용 .....	709
표 5-2-10. 2009 시화호 환경교육지도자 양성과정 현장실습 보고서 .....	710
표 5-2-11. 보고대회 및 시화호 지역역량강화를 위한 워크숍 일정 .....	713
표 5-3-1. 시민조사단 및 주민면접활동 일지 .....	714

표 5-3-2. 송산남양 민속문화 리스트 .....	715
표 5-3-3. 시화호 기록 자료집 제작표 .....	716
표 5-3-4. 시화호 청소년생태문학 캠프 일정 .....	733
표 5-3-5. 시화호 퀴즈문제 .....	734
표 5-3-6. 2009년 시화호 유역의제(안) 작성과정 .....	738
표 5-3-7. 유역의제작성을 위한 소위원회 명단 .....	739
표 5-3-8. 시화호유역의 문제점과 의제(안) .....	740
표 5-3-9. 시화호 유역의제(안) 행동강령 및 실천사업 1차안 .....	742
표 5-4-1. PNLG 회원현황 .....	748

# 그림 목 차

그림 2-2-1 성과평가 시범적용 추진절차 .....	14
그림 2-2-2. 시화 제4간선수로 수질변화 추이 .....	20
그림 2-2-3. 시화 제4간선수로 주변 입주업체수 변화 추이 .....	21
그림 2-2-4. 시화 제4간선수로 주변 입주업체의 업종 현황 .....	21
그림 2-2-5. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 규모 .....	21
그림 2-2-7. 시화 제4간선수로 월별 수질(1997~2008년) .....	33
그림 2-2-8. 단계별 수질개선 활동에 따른 7토구 수질 변화 .....	36
그림 2-2-9. 단계별 수질개선 활동에 따른 5토구 수질 변화 .....	37
그림 2-2-10. 단계별 수질개선 활동에 따른 2토구 수질 변화 .....	38
그림 2-2-11. 단계별 수질개선 활동에 따른 9토구 수질 변화 .....	39
그림 2-2-12. 사후 모니터링 단계에서 COD 농도 증가한 토구 사례 .....	40
그림 2-2-13. 단계별 수질개선 활동에 따른 시화 4간선수로 차집펌프장 수질(COD) .....	41
그림 2-2-14. 시화 제1~4간선수로 하류 수질(COD) .....	41
그림 2-2-15. 반월천, 동화천, 삼화천 수질 현황 .....	46
그림 2-2-16. 반월천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 .....	55
그림 2-2-17. 동화천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 .....	56
그림 2-2-18. 삼화천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 .....	56
그림 2-2-19. 시화호 인공습지 유입·유출수 수질(BOD) .....	59
그림 2-2-20. 안산하수처리장 하수처리 계통도 .....	72
그림 2-2-21. 안산 하수처리장 1처리장 유입유량 및 시설용량 대비 유입량 .....	75
그림 2-2-22. 안산 하수처리장 2처리장 유입유량 및 시설용량 대비 유입량 .....	75
그림 2-2-23. 안산하수처리장의 월별 평균 유입수질(BOD, COD, SS) .....	78
그림 2-2-24. 안산하수처리장의 월별 평균 유입수질(TN, TP) .....	80
그림 2-2-25. 안산하수처리장 2처리장 설계기준 대비 월평균 유입수 농도 비율 .....	81
그림 2-2-26. 안산하수처리장 월별 평균 방류수질(BOD, COD, SS) .....	83
그림 2-2-27. 안산하수처리장 월별 평균 방류수질(TN, TP) .....	85
그림 2-2-28. 안산 하수처리장 1처리장 공장계통(공장폐수) 일별 방류수질 .....	88
그림 2-2-29. 안산 하수처리장 1처리장 생활계통(생활하수) 일별 방류수질 .....	89
그림 2-2-30. 안산 하수처리장 1처리장 오염물질 제거율 .....	90
그림 2-2-31. 시화하수처리장 하수처리 계통도 .....	92
그림 2-2-32. 시화하수처리장 유입하수량 및 시설용량 대비 유입하수량 .....	94
그림 2-2-33. 시화하수처리장 월별 유입하수량 대비 공장폐수 및 생활하수 비율 .....	94
그림 2-2-34. 시화하수처리장 증설 전 일별 유입하수량 .....	95
그림 2-2-35. 시화하수처리장 증설 후 일별 유입하수량 .....	95
그림 2-2-36. 시화하수처리장의 월평균 유입수(혼합하수) 수질(BOD, COD, SS) .....	96

그림 2-2-37. 시화하수처리장의 월평균 유입수(혼합하수) 수질(TN, TP)	96
그림 2-2-38. 시화하수처리장 설계기준 유입수 농도 대비 월평균 유입수질 농도 비율	98
그림 2-2-39. 시화하수처리장의 월평균 방류수 수질(BOD, COD, SS)	100
그림 2-2-40. 시화하수처리장의 월평균 방류수 수질(TN, TP)	100
그림 2-2-41. 시화하수처리장 일별 방류수 수질	102
그림 2-2-42. 시화하수처리장의 오염물질 제거율	103
그림 2-3-1. 연구의 추진 전략 및 흐름	109
그림 2-3-2. 시화호 방조제 내측 여름철 일반수질 변화	112
그림 2-3-3. 시화호 유역의 오염부하량(현재)	126
그림 2-3-4. 시화호 유역의 오염부하량(미래)	130
그림 2-3-5. 설문조사 전체결과	136
그림 2-3-6. 10년 미만 설문조사 결과	138
그림 2-3-7. 10년 이상 설문조사 결과	140
그림 2-3-8. 공무원 설문조사 결과	142
그림 2-3-9. 연구기관, 대학 설문조사 결과	144
그림 2-3-10. 시민단체, 산업체 설문조사	146
그림 2-3-11. 목표수질 및 달성시기 설문조사결과	147
그림 2-3-12. 대상지역의 경계설정 설문조사결과	147
그림 2-3-13. 목표수질 설정방법 설문조사결과	148
그림 2-3-14. 대상물질 선정 설문조사결과	148
그림 2-3-15. 총량관리 시행시기 설문조사결과	149
그림 2-3-16. 해수유통으로 인한 수질개선 설문조사결과	149
그림 2-3-17. 해수유통을 기점으로 시행시기 설문조사결과	149
그림 2-3-18. 시화호-인천연안	150
그림 2-3-19. 총량관리 로드맵	152
그림 2-3-20. 시화호 총량관리와 환경개선사업과의 연계성	153
그림 2-3-21. 시화호 총량관리 지원체제	154
그림 3-1-1. 제4차 정도관리 시험 결과	171
그림 3-1-2. 제5차 정도관리 시험 결과	172
그림 3-2-1. 시화호 수질 및 표층퇴적물 조사지점	177
그림 3-2-2. 표층수의 염분 분포	186
그림 3-2-3. 표층수의 pH 분포	186
그림 3-2-4. 표층수의 용존산소포화도 분포	188
그림 3-2-5. 저층수의 용존산소포화도 분포	188
그림 3-2-6. 표층수의 COD 분포	190
그림 3-2-7. 조사기간 중 시화호 표층의 정점별 입자성유기탄소(POC), 용존유기탄소(DOC), 그리고 클로로필-a(Chl-a)의 분포	192
그림 3-2-8. 2009년 시화호 내측해역의 입자성유기탄소(POC)와 클로로필-a의 상관관계	192



그림 3-2-9. 시화호 표층에서 입자성유기탄소(POC)의 정점별 연변화 양상 .....	193
그림 3-2-10. 시화호 표층에서 클로로필-a 농도의 정점별 연변화 양상 .....	193
그림 3-2-11. 시화호 표층 해역의 총유기탄소(TOC)중 용존유기탄소(DOC)가 차지하는 비율 .....	194
그림 3-2-12. 시화호 표층의 총 유기탄소(TOC) 및 용존유기탄소(DOC) 평균 농도의 연변화 양상 .....	194
그림 3-2-13. 표층수의 총인 분포 .....	201
그림 3-2-14. 표층수의 총질소 분포 .....	201
그림 3-2-15. 2003~2009년의 일반수질 월변화 .....	203
그림 3-2-16. 표층수의 염분과 일반수질과의 상관관계 .....	204
그림 3-2-17. 표층수의 클로로필-a 및 POC에 따른 COD, DO% 변화 .....	204
그림 3-2-18. 표층수의 형태별 인 및 질소의 분포 .....	206
그림 3-2-19. 염분에 따른 인 및 질소화합물의 농도변화 .....	207
그림 3-2-20. 표층수 중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 28) .....	219
그림 3-2-21. 표층수 중의 총중금속 농도(2009. 4. 28) .....	221
그림 3-2-22. 표층수 중의 부유물질과 PM의 상관관계 .....	223
그림 3-2-23. 표층수 중의 부유물질과 TM의 상관관계 .....	224
그림 3-2-24. 표층수 중의 염분과 용존성 중금속간의 상관관계 .....	225
그림 3-2-25. 표층수 중의 용존성 중금속의 정점 및 연도별 비교 .....	226
그림 3-2-26. 시화호의 정점 13에서 용존성 중금속의 시기별 변화 .....	227
그림 3-2-27. 표층수 중 용존성 중금속의 연도별 비교 .....	228
그림 3-2-28. 정점 5에서의 수질 수직분포 .....	231
그림 3-2-29. 정점 9에서의 수질 수직분포 .....	232
그림 3-2-30. 정점 12에서의 수질 수직분포 .....	233
그림 3-2-31. 정점 5에서의 용존성 중금속 수직분포 .....	236
그림 3-2-32. 정점 9에서의 용존성 중금속 수직분포 .....	237
그림 3-2-33. 정점 12에서의 용존성 중금속 수직분포 .....	238
그림 3-2-34. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 6/12~16) .....	246
그림 3-2-35. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 7/27~30) .....	247
그림 3-2-36. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 8/14~17) .....	248
그림 3-2-37. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 9/7~10) .....	249
그림 3-2-38. 연속관측에 의한 인 및 질소화합물 농도 변화 .....	250
그림 3-2-39. 표층 퇴적물의 분포 .....	253
그림 3-2-40. 표층 퇴적물 중의 중금속 농도 분포 .....	256
그림 3-2-41. 표층 퇴적물 중의 중금속/Al 비의 분포 .....	258
그림 3-2-42. 표층 퇴적물 중의 Al과 중금속간의 상관관계 .....	260
그림 3-2-43. 표층 퇴적물 중의 TOC와 중금속간의 상관관계 .....	261
그림 3-2-44. 표층 퇴적물 중의 중금속 연도별 변화 .....	263

그림 3-2-45. 표층 퇴적물 중의 중금속 함량과 NOAA 기준과의 비교 .....	264
그림 3-2-46. 하계 저층 퇴적물의 용출량 연변화 .....	266
그림 3-2-47. 총유기탄소(TOC), 유기탄소(Org-N), 인(P)의 침강속(Flux) .....	268
그림 3-2-48. 시화호 유입하천 중의 용존성 중금속 변화 .....	273
그림 3-2-49. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 AI과 중금속 변화(2009. 4. 14) .....	277
그림 3-2-50. 시화호 유입하천 중의 유기오염물질 변화(2009. 4. 14) .....	282
그림 3-3-1. 시화호 내측의 부유생태계 조사 정점(정점 5: 부유생물 조사정점, 정점 1~8: 4~5월 ephyra 집중조사정점, 정점 4, 5, 7: 해파리 조사정점) .....	287
그림 3-3-2. 조사해역의 식물플랑크톤 분류군별 조성비 .....	291
그림 3-3-3. 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 그룹별 출현종수의 변화 .....	292
그림 3-3-4 2009년 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 현존량 변동 .....	293
그림 3-3-5 조사시기에 따른 수층별 평균 현존량 변화 .....	293
그림 3-3-6. 2009년 조사 시기별 식물플랑크톤 크기 분급에 따른 엽록소-a 농도 변화 .....	296
그림 3-3-7. 2009년 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 종 다양성 지수 변동 .....	297
그림 3-3-8. 조사시기에 따른 수층별 평균 종 다양성 지수 변화 .....	297
그림 3-3-9. 조사 시기에 따른 식물플랑크톤의 일일 일차생산력 변화 .....	299
그림 3-3-10. 최근 6년 간 시화호 식물플랑크톤의 현존량 변화 .....	300
그림 3-3-11. 최근 5년 간 시화호 엽록소-a 농도 변화 .....	300
그림 3-3-12. 최근 6년 간 시화호 종 다양성 지수 변화 .....	301
그림 3-3-13. 조사 기간 중 원생동물 출현종수 변동 .....	302
그림 3-3-14. 월별 원생동물 출현종수 변동 .....	302
그림 3-3-15. 조사 기간 중 원생동물 현존량 변동 .....	303
그림 3-3-16. 월별 원생동물 현존량 변동 .....	303
그림 3-3-17. 월별 원생동물 군집분포(표층) .....	304
그림 3-3-18. 월별 원생동물 군집분포(저층) .....	304
그림 3-3-19. 조사 기간 중 원생동물 종다양성지수 변동 .....	307
그림 3-3-20. 월별 원생동물 종다양성지수 변동 .....	307
그림 3-3-21. 조사 시기에 따른 원생동물 군집 유사도(표층) .....	308
그림 3-3-22. 조사 시기에 따른 원생동물 군집 유사도(저층) .....	309
그림 3-3-23. 원생동물 현존량의 장기 변동 .....	310
그림 3-3-24. 원생동물 종다양성지수의 장기 변동 .....	310
그림 3-3-25. 조사 시기에 따른 동물플랑크톤 출현 분류군 수 변화 .....	311
그림 3-3-26. 조사 기간 동안 전체 동물플랑크톤 및 요각류의 출현 개체수 변화 .....	312
그림 3-3-27. 주요 동물플랑크톤 우점종의 조사 시기 간 출현 개체수 변화 .....	312
그림 3-3-28. 조사 시기 간 동물플랑크톤 군집의 종 다양성 지수 변화 .....	313
그림 3-3-29. 조사 시기 간 동물플랑크톤 군집 유사도의 수상도(Dendrogram) .....	313
그림 3-3-30. 2004-2009년 시화호 동물플랑크톤 변화 양상 .....	314
그림 3-3-31. 해파리 성장 단계별 출현량 변동 .....	316

그림 3-3-32. 조사일시 별 에피라~young medusa 단계의 크기분포 .....	316
그림 3-3-33. 해파리 성장 단계별 분포 범위 .....	317
그림 3-3-34. 조사 시기별 부유성 어란의 출현분류군수 및 평균출현량 .....	318
그림 3-3-35. 부유성 어란의 연도별 출현양상 .....	319
그림 3-3-36. 자치어의 조사 시기별 출현분류군수 및 평균 출현량 .....	320
그림 3-3-37. 자치어의 연도별 출현양상 .....	321
그림 3-3-38. 수층별 해파리 성체 분포 현황 .....	322
그림 3-3-39. 해파리 성체 출현량 분포(8/25) .....	322
그림 3-3-40. 해파리 성체 출현량 분포(8/26) .....	323
그림 3-3-41. 채집된 해파리 성체의 크기 그룹별 출현 비율(%) .....	323
그림 3-3-42. 채집된 해파리의 체장에 대한 체중비 .....	324
그림 3-3-43. 최근 6년 간 시화호의 표층 식물플랑크톤 현존량과 저층 용존산소 변화 .....	325
그림 3-3-44. 퇴적물 내 phaeopigment와 저층 DO와의 관계 .....	325
그림 3-3-45. 일차생산력과 환경요인과의 관계 .....	326
그림 3-3-46. 원생동물 현존량 분포와 환경요인과의 관계 .....	326
그림 3-3-47. 수온-염분에 따른 동물플랑크톤 출현 개체수 분포 .....	327
그림 3-3-48. 엽록소 a 농도와 요각류 출현 개체수의 월별 변화 양상 .....	327
그림 3-3-49. 동물플랑크톤과 해파리 분포 .....	328
그림 3-3-50. 해파리(에피라, 해파리 유체, 성체) 분포와 표층 수온 및 염분 분포 .....	329
그림 3-4-1. 시화호 갯별 예정지 환경 및 저서생태 조사 정점도 (5개 조사선, 총 25개 정점) .....	334
그림 3-4-2. 시화호 및 근소만 갯별 (비교해역)의 바지락 개체군 및 환경조사를 위해 설정한 정점 위치도 .....	338
그림 3-4-3. 바지락에 의한 해수 정화율 측정을 위한 현장 실험 모식도. C1, C2는 대조구 챔버 (바지락을 투입하지 않는 실험구), R1, R2는 바지락 챔버 (바지락을 투입한 챔버) .....	343
그림 3-4-4. 시화호 갯별 예정지의 3개 정점(L1-5, L3-5, L5-5)에서 수온, 염분 및 용존산소량의 수직분포 .....	347
그림 3-4-5. 시화호 갯별 예정지의 표층 퇴적물 평균입도 (위) 및 유기물 함량(IL) (아래) 분포. ....	348
그림 3-4-6. 시화 갯별 예정지에서 대형저서동물의 출현종수, 출현개체수 및 생체량 분포 .....	353
그림 3-4-7. 시화갯별 예정지에 출현하는 대형저서동물 우점종 분포 .....	354
그림 3-4-8. 시화호 갯별예정지 조사에서 출현한 저서동물 정점별 종별 개체수 자료에 대한 집괴분석 결과를 바탕으로 작성된 수지도. 수지도의 빨간 실선은 각 정점 간 군집 유사도가 유의한 수준에서 차이 있음을 의미 (SIMPROF, $p < 0.05$ ) .....	356
그림 3-4-9. 대형저서동물의 종별 출현개체수 자료를 이용한 집괴분석 결과 도출된 각 정점군의 구획도 .....	356

그림 3-4-10. 시화 갯벌 예정지의 대형저서동물(종수, 개체수)과 환경요인 (조위, 입도, 유기물함량) 분포 간의 관계 .....	358
그림 3-4-11. 시화 갯벌 예정지에서 우점종의 조고와 퇴적물 입도에 따른 분포 (원의 크기는 서식밀도 정도를 의미함) .....	359
그림 3-4-12. 시화호 바지락 서식지에서 3개의 조고별 따른 온도변화 .....	361
그림 3-4-13. 근소만 갯벌 각 정점에 따른 온도변화 .....	361
그림 3-4-14. 시화호 바지락 서식지에서 월별 강수량에 대한 염분(psu) 변화 .....	362
그림 3-4-15. 2009년 시화호 갑문운영에 따른 수위 변화 양상 .....	364
그림 3-4-16. 시화호 바지락 서식지 (아래)와 근소만 갯벌 (위)에서 각 정점의 노출시간 빈도분포도 .....	364
그림 3-4-17. 시화호 형도 수변부에 서식하는 바지락의 서식밀도 (위)와 생체량 (아래) 공간 분포도. ....	367
그림 3-4-18. 2009년 3월과 6월 시화호에서 채집된 바지락의 각장과 육질부 건조량의 빈도분포 .....	369
그림 3-4-19. 2009년 3월, 6월, 8월, 11월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 각 조고별 (GS1: -0.9m, GS2: -1.8m, GS3: -2.5m) 바지락의 각장(mm)의 빈도분포 .....	370
그림 3-4-20. 2009년 3월, 6월, 8월, 11월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 각 조고별 (GS1: -89cm, GS2: -181cm, GS3: -250cm) 바지락의 육질부 건조량(g)의 빈도분포 .....	370
그림 3-4-21. 정점별 시화호 바지락의 서식밀도 변동 .....	371
그림 3-4-22. 비교해역 (근소만 갯벌)에서 조위별 바지락의 서식밀도 변동 .....	372
그림 3-4-23. 2009년 3월, 6월 시화호에서 채집된 바지락의 각장과 각고, 각장과 각폭간의 관계 (위) 및 각장과 육질부 건조량 간의 관계 .....	373
그림 3-4-24. 2009년 3월, 6월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 채집된 바지락의 각장과 각고, 각장과 각폭간의 관계 .....	374
그림 3-4-25. 2009년 3월, 6월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 채집된 바지락의 각장과 육질부 건조량간의 관계 .....	375
그림 3-4-26. 2009년 3월, 6월에 시화호 (SH) 수변부에서 서식하는 바지락의 연령별 비만도 비교 .....	377
그림 3-4-27. 2009년 3월, 6월에 비교해역인 근소만 갯벌 (GS)에서 서식하는 바지락의 연령별 비만도 비교. ....	377
그림 3-4-28. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 연령군별 각장의 계절변동 .....	378
그림 3-4-29. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 연령군별 육질부 건조량의 계절변동 .....	379
그림 3-4-30. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 각장의 연령에 따른 성장과 절대성장을 (빨간색) 비교 .....	381

그림 3-4-31. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 육질부 건중량의 연령별 성장과 절대성장을 (빨간색) 비교 .....	382
그림 3-4-32. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 각장 및 육질부 건조량 절대성장을 비교 .....	383
그림 3-4-33. 시화호(SH)와 비교해역(근소만, GS) 바지락의 시기별, 연령군별 육질부 건중량의 생물량 변동 .....	384
그림 3-4-34. 시화호 형도 주변 수변부에서 실험경과 동안 바지락의 생육상태 (비만도) 지수 변동 .....	385
그림 3-4-35. 시화갯벌의 현장 실험기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 수온 (A) 및 용존산소 농도 (B) 변화. 그림의 역삼각형은 해수 채집시간을 표시 ....	387
그림 3-4-36. 시화갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 부유물질 (SS) 농도 변화 .....	388
그림 3-4-37. 시화갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 입자성 유기탄소 (A), 유기질소 (B), 엽록소 (C) 농도 변화 .....	390
그림 3-4-38. 근소만 갯벌의 현장 실험기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 수온 및 용존산소 농도 변화. 그림의 역삼각형은 해수 채집시간을 표시 .....	391
그림 3-4-39. 근소만 갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 부유물질 (SS) 농도 변화 .....	392
그림 3-4-40. 근소만 갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 입자성 유기탄소 (A), 유기질소 (B), 엽록소 (C) 농도 변화 .....	394
그림 3-5-1. 다중빔음향측심기를 이용한 해저지형조사의 실측선 및 조석자료를 얻기 위한 정성관측 정점(a)과 채취된 표층퇴적물 33개 정점 위치도(b) .....	402
그림 3-5-2. Sting MK II를 이용한 전단강도 측정 정점과 진동시추퇴적물과 박스시추퇴적물을 얻은 정점의 위치도 .....	402
그림 3-5-3. 퇴적학적 조사에 이용된 진동시추기(a), 박스시추기(b) 그리고 Sting MK II(c) .....	405
그림 3-5-4. Sonic 2024 다중빔음향측심기(a)와 모식도(b) .....	406
그림 3-5-5. 해저지형조사를 위한 장비들을 프레임에 배치(a, b) 및 설치(c, d) .....	407
그림 3-5-6. 조석보정을 위해 정성관측된 조석계(RBR; (a))와 음속보정을 위해 SVP(SVP-15; (b)) .....	408
그림 3-5-7. 조사지역의 등수심도(a) 및 3차원 지형도(b) .....	411
그림 3-5-8. 조사 지역 내 인위적으로 형성된 지형들. (a): 파이프, (b), (c) : 웅덩이, (d), (c) : 철탑기둥 .....	412
그림 3-5-9. 조사지역내 발달되어 있는 침식지형(a, b, c) 및 dune(d, e) .....	413
그림 3-5-10. 시화호 내측 방조제 주변의 1996년과 2005년 해저지형 .....	414
그림 3-5-11. 표층퇴적물의 퇴적상 분포도 .....	416
그림 3-5-12. 표층퇴적물의 모래함량(a)과 빨함량(b), 평균입도(c), 분급도(d), 함수율(e) 그리고 전밀도(f) 분포 .....	418

그림 3-5-13. 진동시추퇴적물 및 박스시추퇴적물의 사진 .....	422
그림 3-5-14. 진동시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 수직적 분포 ....	423
그림 3-5-15. 박스시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 수직적 분포 ....	427
그림 3-5-16. 2009년 조사해역의 Sting MK II의 정점(정점번호는 그림 3-5-2 참조) 및 지역별 해저층 투과깊이 .....	430
그림 3-5-17. 정점 A-03(a), C-01(b) 및 E-01(c)의 해저퇴적층의 깊이별 전단강도 분포(정점번호는 그림 3-5-2 참조) .....	431
그림 3-5-18. 시화호 북쪽 수로에 위치한 5개 정점(a: CH-01, b: CH-02, c: CH-03, d: CH-04, e: CH-05)에서의 해저퇴적층의 깊이별 전단강도 분포(정점번호는 그림 3-5-2 참조) .....	432
그림 3-6-1. 시화호 주변해역 정착성 패류 및 어류 조사 정점. ....	435
그림 3-6-2. 어류 어획을 위한 삼각망 모식도 .....	435
그림 3-6-3. 삼각망을 통한 어류 어획장면 .....	436
그림 3-6-4. 시화호에서 채취된 진주담치의 각장과 무게 .....	440
그림 3-6-5. 시화호 외해역에서 채취된 진주담치의 각장과 무게 .....	441
그림 3-6-6. 시화호 주변해역에 서식하는 진주담치내 미량금속 함량 .....	450
그림 3-6-7. 시화호 주변해역에 서식하는 굴 체내 미량금속 함량 .....	453
그림 3-6-8. 시화호에 주변해역에 서식하는 피빨고둥 내 미량금속 함량 .....	456
그림 3-6-9. 시화호 주변해역에서 어획된 어류 근육 내 카드뮴 및 납의 함량 .....	461
그림 4-1-1(a). 강우시 안산천의 수질변화(2009. 2. 13~14) .....	469
그림 4-1-1(b). 계속(2009. 6. 9~10) .....	470
그림 4-1-1(c). 계속(2009. 6. 29) .....	472
그림 4-1-1(d). 계속(2009. 7. 2) .....	474
그림 4-1-1(e). 계속(2009. 7. 9) .....	476
그림 4-1-1(f). 계속(2009. 8. 1-12) .....	478
그림 4-1-2. 강우시 안산천의 질소 및 인의 성분별 분포 .....	479
그림 4-1-3(a). 강우시 화정천의 수질변화(2009. 2. 13~14) .....	482
그림 4-1-3(b). 계속(2009. 4. 20~21) .....	484
그림 4-1-3(c). 계속(2009. 6. 9-10) .....	486
그림 4-1-3(d). 계속(2009. 6. 29) .....	488
그림 4-1-3(e). 계속(2009. 7. 2) .....	490
그림 4-1-3(f). 계속(2009. 7. 9) .....	492
그림 4-1-3(g). 계속(2009. 8. 11~12) .....	494
그림 4-1-4. 강우시 화정천의 질소 및 인의 성분별 분포 .....	495
그림 4-1-5. 강우시 안산천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 변화 .....	499
그림 4-1-6. 강우시 화정천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 변화 .....	499
그림 4-1-7. 강우시 반월토구 3의 수질 변화(2009. 7. 9) .....	503
그림 4-1-8. 강우시 반월토구 7의 수질 변화(2009. 7. 9) .....	504

그림 4-1-9. 강우시 반월토구 1의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	508
그림 4-1-10. 강우시 반월토구 2의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	509
그림 4-1-11. 강우시 반월토구 3의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	510
그림 4-1-12. 강우시 반월토구 5의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	511
그림 4-1-13. 강우시 반월토구 6의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	512
그림 4-1-14. 강우시 반월토구 7의 수질 변화(2009. 8. 11) .....	513
그림 4-1-15. 강우시 반월토구의 COD 유출 부하량 변화(2009. 8. 11) .....	514
그림 4-1-16. 강우시 반월토구의 총질소 유출 부하량 변화(2009. 8. 11) .....	514
그림 4-1-17. 강우시 반월토구의 총인 유출 부하량 변화(2009. 8. 11) .....	515
그림 4-1-18. 강우시 반월토구의 부유물질 유출 부하량 변화(2009. 8. 11) .....	515
그림 4-2-1. 연구 대상구역의 공간적 위치 .....	519
그림 4-2-2. 시화공단 구역의 공간적 모습 .....	520
그림 4-2-3. 반월공단 구역의 공간적 모습 .....	521
그림 4-2-4. 마도수로(문산천) 구역의 공간적 모습 .....	521
그림 4-2-5. 시화공단, 반월공단, 마도수로 구역의 지형자료 .....	523
그림 4-2-6. 시화공단구역의 토지이용 분포 .....	525
그림 4-2-7. 반월공단구역의 토지이용분포 .....	526
그림 4-2-8. 마도수로구역의 토지이용분포 .....	527
그림 4-2-9. 시화공단구역의 토양분포 .....	528
그림 4-2-10. 반월공단구역의 토양분포 .....	529
그림 4-2-11. 마도수로구역의 토양분포 .....	530
그림 4-2-12. 시화공단구역의 지질분포 .....	531
그림 4-2-13. 반월공단구역의 지질분포 .....	532
그림 4-2-14. 마도수로구역의 지질분포 .....	533
그림 4-2-15. 안산, 시흥, 화성, 수원 지역의 2008년 연간 강우량 그래프 .....	534
그림 4-2-16. 수원기상대에서 측정된 2008년 기상자료 그래프 .....	535
그림 4-2-17. Underflow Gate 모듈 개요 .....	537
그림 4-2-18. 도시 모듈의 개요 .....	538
그림 4-2-19. 우수관 차집 모의 개요 .....	539
그림 4-2-20. 마도수로 구역 출구에서의 2008년 유량 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량 .....	542
그림 4-2-21. 마도수로 구역 출구의 유량에 대한 모형의 보정 및 검정 결과 .....	542
그림 4-2-22. 마도수로 구역의 2008년 누적 지표 유출량 .....	543
그림 4-2-23. 마도수로 구역의 2008년 누적 지하수 하천유입량 .....	543
그림 4-2-24. 마도수로 구역 출구에서의 2008년 부유사 농도 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량 .....	544
그림 4-2-25. 마도수로 구역의 평균 부유사(점토) 부하량의 2008년 시간별 추이 .....	545
그림 4-2-26. 마도수로 구역의 평균 부유사(실트) 부하량의 2008년 시간별 추이 .....	545

그림 4-2-27. 마도수로 유역의 평균 부유사(세립사) 부하량의 2008년 시간별 추이	545
그림 4-2-28. 마도수로 유역의 평균 소류사(점토) 부하량의 2008년 시간별 추이	545
그림 4-2-29. 마도수로 유역의 평균 소류사(실트) 부하량의 2008년 시간별 추이	545
그림 4-2-30. 마도수로 유역의 평균 소류사(세립사) 부하량의 2008년 시간별 추이	545
그림 4-2-31. 마도수로 유역의 평균 소류사(조립사) 부하량의 2008년 시간별 추이	545
그림 4-2-32. 마도수로 유역의 2008년 누적 부유사 하천 운반량	546
그림 4-2-33. 마도수로 유역의 2008년 누적 소류사 하천 운반량	546
그림 4-2-34. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 COD 농도 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량	546
그림 4-2-35. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입(Cresidu) 및 분해(Cdecom_l)	547
그림 4-2-36. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 부식질(Cminer_h)과 미생물(decom_b)의 분해	548
그림 4-2-37. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 부식화(Chunifi) 및 미생물 합성(Cbiosyn)	548
그림 4-2-38. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 생성(DOCgen) 및 흡착(DOCads)	548
그림 4-2-39. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 분해(DOCminer) 및 이산화탄소 발생(CO2rel)	548
그림 4-2-40. 마도수로 유역 하천에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 흡착	548
그림 4-2-41. 마도수로 유역 대수층에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 분해(DOCminerAq) 및 흡착(DOCadsAq)	549
그림 4-2-42. 마도수로 유역의 2008년 누적 DOC 하천 운반량	549
그림 4-2-43. 마도수로 유역의 2008년 누적 POC 하천 운반량	549
그림 4-2-44. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 NO3-N 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량	550
그림 4-2-45. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 NH3-N 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량	550
그림 4-2-46. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입 (Nresidu) 및 비료 투입(Nfertil)	551
그림 4-2-47. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 식물 뿌리 흡수 (Nuptake) 및 식물 잔재물 분해(Ndecom_l)	551
그림 4-2-48. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 부식질(Nminer_h)과 미생물(Ndecom_b)의 분해	552
그림 4-2-49. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 부식화(Nhumifi) 및 미생물 생합성(Nbiosyn)	552
그림 4-2-50. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(Nnitri), 암모니아 휘산(Nvolat) 및 탈질화(Ndenit)	552



그림 4-2-51. 마도수로 유역 하천에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(NnitriCh), 암모니아 휘산(NvolatCh) 및 탈질화(NdenitCh) .....	552
그림 4-2-52. 마도수로 유역 대수층에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(NnitriAq), 암모니아 휘산(NvolatAq) 및 탈질화(NdenitAq) .....	552
그림 4-2-53. 마도수로 유역의 2008년 누적 NO <sub>3</sub> -N 하천 운반량 .....	553
그림 4-2-54. 마도수로 유역의 2008년 누적 NH <sub>3</sub> -N 하천 운반량 .....	553
그림 4-2-55. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 TP 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량 .....	553
그림 4-2-56. 마도수로 유역 토양에서의 인변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입(Presidu) 및 비료 투입(Pfertil) .....	554
그림 4-2-57. 마도수로 유역 토양에서의 인변환과정 모의 결과: 식물 뿌리 흡수(Puptake) 및 식물 잔재물 분해(Pdecom_l) .....	554
그림 4-2-58. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 부식질(Pminer_h)과 미생물(Pdecom_b)의 분해 .....	555
그림 4-2-59. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 부식화(Phumifi) 및 미생물 생합성(Pbiosyn) .....	555
그림 4-2-60. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra_so) 및 완속 흡착(Psa_so) .....	555
그림 4-2-61. 마도수로 유역 하천에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra_ch) 및 완속 흡착(Psa_ch) .....	555
그림 4-2-62. 마도수로 유역 대수층에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra_aq) 및 완속 흡착(Psa_aq) .....	555
그림 4-2-63. 마도수로 유역의 2008년 누적 용존성 인 하천 운반량 .....	556
그림 4-2-64. 마도수로 유역의 2008년 누적 입자성 인 하천 운반량 .....	556
그림 4-2-65. 반월공단 4토구 소유역 유량 모의 결과 .....	557
그림 4-2-66. 반월공단 4토구 유량보정 .....	557
그림 4-2-67. 반월공단 4토구 유량검정 .....	557
그림 4-2-68. 반월공단 4토구 집수구역 물수지 분석 결과 .....	558
그림 4-2-69. 반월공단 소유역별 투수지역과 불투수지역에서의 지표면유출 구성비율 .....	559
그림 4-2-70. 반월공단 소유역별 강우유출 우수관거 차집량과 월류량 .....	560
그림 4-2-71. 반월공단 4토구 소유역 SS 보검정 결과 .....	560
그림 4-2-72. 반월공단 4토구 소유역 SS 보정 결과 .....	560
그림 4-2-73. 반월공단 4토구 소유역 SS 검정 결과 .....	560
그림 4-2-74. 반월공단 4토구 소유역에서의 입자성물질의 추적 및 세정 .....	561
그림 4-2-75. 반월공단 4토구 소유역에서의 입자성물질의 우수관망 추적 .....	562
그림 4-2-76. 반월공단 4토구로부터 입자성물질의 월류 .....	562
그림 4-2-77. 반월공단 소유역별 지표면에서의 입자성 물질의 추적 및 세정량 (kg/ha/year) .....	564

그림 4-2-78. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과 .....	564
그림 4-2-79. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과 .....	564
그림 4-2-80. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과 .....	564
그림 4-2-81. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과 .....	564
그림 4-2-82. 반월공단 소유역별 오염물질(C, N, P)의 평균 차집률과 월류율 .....	566
그림 4-2-83. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 모의 결과 .....	566
그림 4-2-84. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 검정 결과 .....	566
그림 4-2-85. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 보정 결과 .....	566
그림 4-2-86. 반월공단 4토구 집수구역 물수지 분석 결과 .....	567
그림 4-2-87. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 보검정 결과 .....	568
그림 4-2-88. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 보정 결과 .....	569
그림 4-2-89. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 검정 결과 .....	569
그림 4-2-90. 시화공단 1간선수로 소유역에서의 입자성 물질의 지표면 축적 및 세정 .....	569
그림 4-2-91. 시화공단 1간선수로 소유역에서의 입자성 물질의 우수관망 축적 .....	570
그림 4-2-92. 시화공단 1간선수로부터 입자성 물질의 월류 .....	570
그림 4-2-93. 시화공단 소유역별 지표면에서의 입자성 물질의 축적 및 세정량 .....	571
그림 4-2-94. 시화공단 소유역별 우수관거에 의한 입자성 물질의 이동 .....	572
그림 4-2-95. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 COD 보검정 결과 .....	572
그림 4-2-96. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 NH <sub>4</sub> 보검정 결과 .....	572
그림 4-2-97. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 NO <sub>3</sub> 보검정 결과 .....	572
그림 4-2-98. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 TP 보검정 결과 .....	572
그림 4-2-99. 시화공단 소유역별 오염물질 시화호 유출 기여율 (%) .....	573
그림 4-2-100. 연구대상구역의 공간적 위치 .....	574
그림 4-2-101. 반월공단 비점오염 저감계획 수립절차 .....	577
그림 4-2-102. 반월공단구역 집수구역 구분 .....	578
그림 4-2-103. 반월공단 구역 우수관망 .....	579
그림 4-2-104. 반월공단 제4토구의 강우-유량 곡선 .....	580
그림 4-2-105. 반월국가산업단지 용도별 구획 배치도 .....	582
그림 4-2-106. 반월국가산업단지 업종별 배치 계획도 .....	582
그림 4-2-107. 도로 비점오염 발생 사례 .....	583
그림 4-2-108. 토사유출에 의한 비점오염 발생 사례 .....	584
그림 4-2-109. 불특정 비점오염 발생 사례 .....	585
그림 4-2-110. 토구 출구의 비점오염 발생 사례 .....	585
그림 4-2-111. 반월공단 비점오염 저감시설 우선사업지구 후보지 조사지점 .....	593
그림 4-2-112. 연안습지 .....	593
그림 4-2-113. 별망공원 주차장 .....	594
그림 4-2-114. 별망공원 서쪽 .....	594
그림 4-2-115. 안산세관창고 .....	595

그림 4-2-116. 제5주구 운동장(원시운동장) .....	595
그림 4-2-117. 공단삼거리 옆 녹지대 .....	596
그림 4-2-118. 명광산업 옆 녹지대 .....	596
그림 4-2-119. 제4주구 운동장(능안운동장) .....	597
그림 4-2-120. 제3주구 운동장(안산시 야구장) .....	597
그림 4-2-121. 안산하수처리장 북쪽 녹지대 .....	598
그림 4-2-122. 성곡동 무릉공원 .....	598
그림 4-2-123. 반월공단 내 6차선 이상의 도로 .....	599
그림 4-2-124. 청소주기와 청소방법에 따른 총 부유물질의 월류량 비교 .....	608
그림 4-2-125. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 탄소의 월류량 비교 .....	609
그림 4-2-126. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 질소의 월류량 비교 .....	610
그림 4-2-127. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 인의 월류량 비교 .....	610
그림 4-3-1. 신길천 인근 우수관망도 .....	614
그림 4-3-2. 우수관망 확인 및 우수맨홀 내부모습 .....	614
그림 4-3-3. 계획평면도 .....	615
그림 4-3-4. 자동제어반 외형도 및 내부 회로도 .....	620
그림 4-3-5. 내부순환형 식생정화습지 개념도 .....	621
그림 4-3-6. 처리공정도 .....	621
그림 4-3-7. 펌핑조 .....	622
그림 4-3-8. 분배조 .....	623
그림 4-3-9. 우수저류조 내부 .....	623
그림 4-3-10. 식생여과층 .....	623
그림 4-3-11. 방류조 및 비상급수저류조 .....	624
그림 4-3-12. 제어설비 .....	624
그림 4-3-13. 공사사진 .....	631
그림 4-3-14. 공사 전·후 사진 .....	635
그림 4-3-15. 부대시설 .....	636
그림 4-3-16. 교육 홍보 사진 .....	637
그림 4-3-17. 송호중학교 방문사진 .....	638
그림 5-1-1. 홈페이지 초기화면 디자인 개선내용 .....	645
그림 5-1-2. 잡지에 소개된 시화호출사대회 내용 .....	673
그림 5-1-3. 시화호 사진전 현수막과 홍보 웹화면 .....	674
그림 5-1-4 . 시화호에서 건져올린 희망전2 관련 홍보물 .....	680
그림 5-2-1. 시화호투어 활동사진 .....	687
그림 5-2-2. 응답자의 성별 .....	691
그림 5-2-3. 응답자의 나이 .....	692
그림 5-2-4. 응답자의 사는 곳 .....	692
그림 5-2-5. 시화호에 가본 적이 있나 .....	693

그림 5-2-6. 시화호 방문횟수 .....	693
그림 5-2-7. 시화호 방문장소 .....	694
그림 5-2-8. 시화호 방문성격 .....	694
그림 5-2-9. 다시 방문하고 싶은 시화호장소 .....	695
그림 5-2-10. 소개하고 싶은 시화호 .....	695
그림 5-2-11. 시화호에 대해 알고 있는 항목 .....	696
그림 5-2-12. 시화호에 관한 궁금점 .....	696
그림 5-2-13. 시화호투어 만족도 .....	697
그림 5-2-14. 시화호투어 방법 .....	698
그림 5-2-15. 갯벌매립여부 .....	698
그림 5-2-16. 시화호의 철새서식지 이용에 대하여 .....	699
그림 5-2-17. 과학기술의 발달이 환경문제를 해결하는가? .....	699
그림 5-2-18. 미래의 시화호의 모습은 .....	700
그림 5-2-19. 경제발전과 환경보전 중 어느 것이 중요한가? .....	700
그림 5-2-20. 시화호유역 개발에 따른 수혜자 .....	701
그림 5-2-21. 시화호 개발 중 보호종이 발견된다면? .....	702
그림 5-2-22. 시화호의 오염정도 .....	702
그림 5-2-23. 시화호 건설로 인한 멸종위기종 감소에 대한 국제적 지탄을 받는다면? .....	703
그림 5-2-24. 시화호내 수산물에 대한 신뢰도 .....	703
그림 5-2-25. 시화호 환경교육을 위한 교사용 지도서 .....	707
그림 5-2-26. 시화호 교사연구모임 활동사진 .....	708
그림 5-3-1. 시민감시단 및 현장조사활동 .....	715
그림 5-3-2. 시화호 기록 자료집 .....	716
그림 5-3-3. 문집 시화호 시간여행 .....	736
그림 5-3-4. 시화호 청소년 생태문학캠프 활동사진 .....	736
그림 5-3-5. 시화호 유역의제(안) 기본체계와 포함내용 .....	741
그림 5-4-1. PNLG 포럼 사진 .....	749
그림 5-4-2. 2009 PEMSEA EAS 시화호 포스터 .....	750

# 제 1 장 서 론



# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 추진배경

1994년 1월 12.7km의 시화방조제의 물막이 공사가 완료되어 외해와의 해수교환이 중단되자 시화호 수질은 급격하게 악화되기 시작했다. 시화호 유역에서 유입되는 미처리된 오폐수로 인하여 시화호의 부영양화가 급속히 진행되었으며, 호 내에는 식물플랑크톤의 대증식으로 연중 적조가 발생했다. 담수화 과정에서 형성된 밀도 성층으로 인하여 상·하층간의 교환이 원활하지 않게 됨으로써 저층에서는 유기물의 분해에 의하여 용존산소가 고갈되었다(한국해양연구원, 1997, 1998). 1996년 이후 시화호의 수질오염 문제가 언론에 집중 보도되자 환경부는 2005년까지 4,500억 원을 투자하는 시화호 수질개선대책을 수립하였다. 그러나 1996년 8월 시화호에서 수십만 마리의 어류가 집단 폐사하여 시화호 수질을 개선하기 위한 여러 가지 방안이 시도되었으나, 효과를 거두지 못했다. 응급조치로 1997년 3월 시화 방조제 배수갑문을 개방하여 해수를 유입시켰으나, 1997년 표층수의 COD농도는 11.0~30.9mg/L의 범위를 나타냈으며, 연평균 COD농도가 17.4mg/L에 달했다(한국수자원공사 1998).

시화호를 담수화하는 것이 불가능 하다는 판단에 따라 2000년 12월 정부는 시화호를 해수호로 관리하기로 결정하였으며, 시화호 환경관리주체는 환경부에서 해양수산부로 이관되었다. 한편, 해양수산부는 2000년 2월 해양오염방지법을 개정하여 '환경관리해역'제도를 신설하고 시화호 유역을 포함하는 시화호-인천연안을 특별관리해역으로 지정하였다(해양수산부고시 제 2000-3호). 이러한 상황을 배경으로 2001년 8월 해양수산부가 주관이 되어 관계기관합동으로 1단계 시화호 종합관리계획이 마련되었으며, 이에 대한 세부시행계획이 2002년 12월 확정되었다. 아울러 시화호 종합관리계획 및 세부시행계획의 원활한 이행을 위하여 유역 통합의사결정기구로서 2002년 12월 총리훈령으로 '시화호 관리위원회의 구성 및 운영에 관한 규정'이 마련됨에 따라, 관련부처와 지자체, 전문가, 지역사회 이해당사자가 모두 참여하는 '시화호 관리위원회'가 설치되었다. 해양수산부는 시화호 종합관리계획의 원활한 시행에 필요한 제도, 정책, 핵심 기술 등을 확보하고 각 프로그램의 시행 지원 등 시화호 종합관리계획에서 정한 소관 사업을 종합적으로 시행·이행하기 위하여 2003년 5월부터 '시화호 해양환경개선사업'을 시작하게 되었다.

'06년 시화호 전문위원회에서 1단계 종합관리계획의 성과를 평가한 것에 따르면, 시화호 관리위원회를 중심으로 한 통합적인 유역관리체계가 구축된 것은 큰 성과이나 의사결정의 기반 자료획득과 시민참여 등은 미흡했으며, 시화호 수질개선을 위한 다양한 사업들이 시행되어 육상기인 오염부하 저감에 기여하였으나, 1단계 목표 수준까지 수질개선을 이루지 못하였고, 하계의 저산소 상태 등이 지속되고 있는 것으로 나타나 생태계 정밀모니터링이 필요한 것으로 나타났다. 또한 1단계 사업에서 투자실적이 미흡하고, 목표달성이 미진했던 것은 평가체제의 미흡이 가장 중요한 원인으로 평가되어 종합관리계획의 순환관리체계구축의 필요성이 제기되었다.

이에 '07년 5월 시화호 관리위원회는 앞서 제기된 문제점들을 보완하여 2단계 시화호 종합관리계획을 심의·의결하였고 현재('07년 12월) 세부시행계획(안)이 마련되었다. 2단계 계획의

가장 큰 특징 중의 하나는 종합관리계획의 공간적 범위를 시화호 내해에서 시화호 내·외해 및 인근유역인 인천 연안까지 확대하였다는 것이고, 둘째는 수질 및 저질 환경, 생태계 및 생물자원관리, 연안이용 및 공간관리, 관리체계 및 제도개선 등 4대 관리 분야를 1)환경오염개선, 2) 생태계 보전·복원, 3)연안자원관리, 4)지역역량 강화, 5)통합관리, 6)환경조사 및 예측 등 6대 관리 분야로 확대 개편한 점이다.

## 제 2 절 연구 목적

본 연구용역 사업은 시화호의 해양환경을 개선하기 위하여 수립된 「시화호 특별관리해역 종합관리계획」의 목적을 달성할 수 있도록 제도적, 정책적 및 기술적인 지원을 하고, 궁극적으로는 시화호의 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 개발을 도모함에 그 목적이 있다.

본 연구의 세부 목표는 시화호유역 환경모니터링(수질, 퇴적물, 저서·부유생태계, 간석지 생태계, 대기유입 오염부하 등)수행, 육상기인 수질오염 개선 방안 검토 및 관련기술 개발·시범적용, 시화호 환경관리 지역역량강화 및 홍보, 시화호 특별관리해역 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 발전 도모, 관련 이해당사자간 갈등최소화 방안 검토 및 효율·효과적인 시화호유역 연안통합관리체계 검토 등을 수립·시행하는 것이다.

또한, 시화호 관리위원회를 활성화하여 시화호유역 연안통합관리체제를 구축하고, 시화호 종합관리계획과 동 계획의 세부시행계획의 성과를 평가하여 추진 상 문제점 도출 및 개선방안 제시 등 순환관리체계를 구축하는데 있다.

2005년까지는 주로 시화호 및 유역에 대한 환경모니터링을 수행하여 환경변화 및 추세를 파악하고, 비점오염 관리를 위한 최적관리기술의 적용 등 관련기술의 개발과 시범적용을 통해 수질개선과 및 생태계 복원 등을 지원해왔으나, 2007년에 종합관리계획의 평가를 위한 순환관리체계 및 조력발전 가동에 따른 영향범위 산정의 내용이 추가되었다. 2008년에는 기존의 사업을 지속적으로 추진함과 동시에 조력발전소 가동에 따른 저층퇴적물의 침식 및 부유사 확산 범위를 산정하고, 비점오염 저감을 위한 최적관리기법을 시범적으로 국토해양부 지정 해양환경교육 시범학교 부지에 적용한 후 공무원, 일반인, 학생 등을 대상으로 한 연안비점오염 저감시설 견학코스를 조성하고 홍보를 실시하였다. 2009년에는 시화호 유역 총량오염관제제도 도입을 위한 사전검토와 조력발전 운영에 따른 방조제 내측 퇴적물의 동태를 파악하기 위한 사전 조사 및 반월공단에서 유출되는 비점오염저감대책 마련을 위한 반월공단 토구 조사를 추가로 수행하였다.

## 제 3 절 2009년 사업의 연구 범위

### 1. 과업기간

○ 2009년 1월 2일 ~ 2009년 12월 20일



## 2. 지역적 범위

- 시화호-인천 특별관리해역을 대상으로 하되 주 연구 대상지는 시화호와 주변 간척지, 유입 하천 등 시화호 주변유역으로 함.
- 특별관리해역이라 함은 해양환경기준의 유지가 곤란하고, 해양환경보전에 현저한 장애가 있거나 장애를 미칠 우려가 있는 해역으로 해양환경관리법 제15조의 4 및 동법 시행령 제4조의 2, 제3항 별표2의 규정에 의하여 지정된 해역을 말함.

## 3. 내용적 범위

- 시화호 특별관리해역 종합관리계획에 따른 국토해양부 소관 의무사항을 이행하고 동 계획의 목적달성에 필요한 제도적, 정책적 및 기술적인 지원을 하며, 시화호의 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 발전 도모에 필요한 정책을 제안
- 시화호 특별관리해역 종합관리계획과 동 계획의 세부시행계획의 추진결과에 대한 시의 적절성(Timeliness)의 평가, 시화호 특별관리해역 환경복원 및 시화호 유역의 지속가능한 발전 도모 관련 이해당사자간 갈등최소화 방안 검토 및 효율적인 유역통합관리체계 검토 등
- 주요 연구주제
  - 기존 시화호 특별관리해역 종합관리계획 및 동 계획의 세부시행계획에 대한 성과 평가, 문제점 도출 및 개선방안 제시
  - 시화호 특별관리해역 종합관리계획 개선·강화계획 및 동 계획 세부시행계획을 수립하고, 동 계획들의 심의·확정에 필요한 시화호 관리위원회 회의 및 관련 회의 지원
  - 시화호 특별관리해역 종합관리계획 관리 및 시화호 관리위원회 운영체계 등에 대한 평가, 문제점 도출 및 제도적 개선방안 제시
  - 시화호지구지속가능발전협의회 등 시화호유역 개발사업 관련 회의참석 및 결과보고, 영향 분석 및 관련정책 제안 등 지속가능한 연안이용 및 공간관리 지원
  - 시화호 특별관리해역 유역에서 각 관계부처, 지자체, 산하단체 등 개별적으로 추진되고 있는 환경모니터링 관련 업무조정 및 정보공유망 구축방안 검토
  - 시화호 수질, 퇴적물, 부유생태, 저서생태 모니터링
  - 조력발전 운영에 따른 방조제 내측 퇴적물 통태 파악을 위한 사전조사
  - 시화호 유역 비점오염 모델링(II) 및 비점오염 저감계획 수립
  - 시화호 유역 총량오염관리제 시행 검토
  - 비점오염 저감을 위한 최적관리기법(BMPs) 시범 적용 및 평가
  - 시화호 유역의 지역역량 강화 및 연안관리 시민참여 강화
  - 시화호 관련 국제협력 지원 등

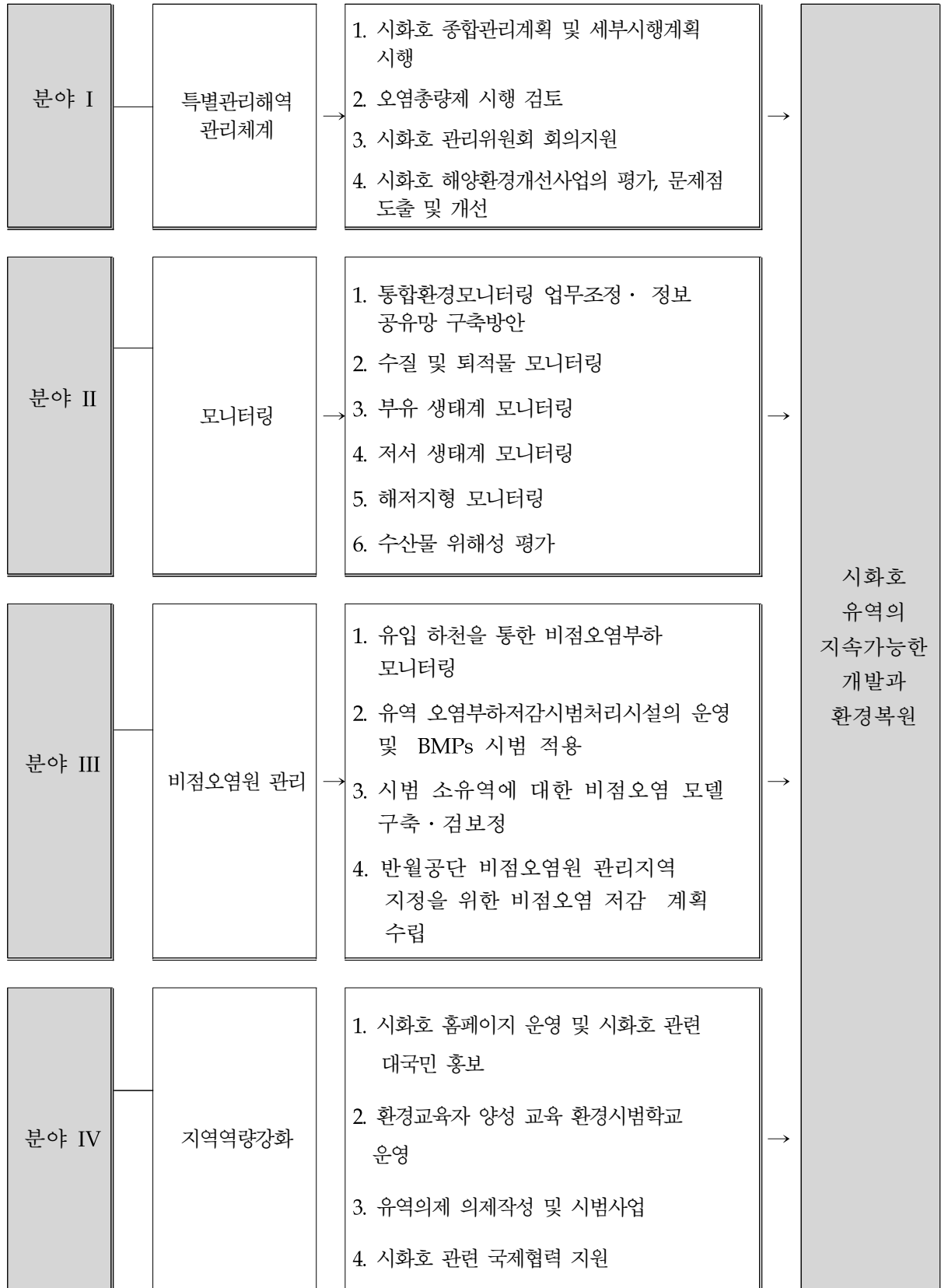
## 4. 연구 방법

- 2단계 시화호 종합관리계획의 순환관리체계를 구축하기 위하여 외국의 연안통합관리 성과 평가체계를 조사·분석하여 평가지표와 평가과정, 운영방안 등을 제시하고 중요 사업부터 평가 실시
- 시화호 통합 환경 모니터링 체계를 구축하기 위하여 시화 유역의 환경모니터링 현황을 조사하고, 분야별 소위원회 구성방안을 제시
- 시화호 유역내의 연안이용과 공간관리 관련 이슈의 문제점을 분석하여 갈등 조정에 이용하고 이해당사자의 정책결정을 지원
- '03년부터 시행해 온 시화호 및 유역에 대한 환경모니터링을 지속적으로 시행하여 환경현황과 추세를 분석
- 비점오염관리 시범 소유역 말단 및 반월공단 토구에서의 강우 시 오염부하량 조사
- 연안오염총량관리제 시행의 필요성 검토 및 연안총량규제 시행을 위한 로드맵 개발
- 조력발전소 건설지역(방조제 내측) 퇴적물의 퇴적량 정밀측정
- 지역 역량강화를 위한 교육 훈련을 계속 시행하고, 환경교육 네트워크를 구축
- 비점오염 저감을 위한 다양한 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)을 해양환경교육 시범학교에 적용하고, 학생, 공무원, 일반인 등을 대상으로 한 연안 비점오염 최적관리기법 견학코스 조성

## 5. 공동연구기관별 과업 내용

연구기관	과업분야	내 용
한국해양 연구원	사업총괄, 통합모니터링 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 사업총괄</li> <li>○ 통합환경모니터링 업무조정 및 정보유통망 구축</li> </ul>
	지역역량강화 및 홍보	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 홍보사업                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인터넷 사진전, 골든벨 등 홍보행사</li> <li>- 시화호 홈페이지 운영</li> </ul> </li> <li>○ 교육 및 훈련                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 청소년 문학캠프 개최</li> <li>- 환경지도자 양성 및 환경시범학교 운영</li> </ul> </li> <li>○ 시민참여 강화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역의제 지표설정과 시범사업</li> <li>- 자료 목록화사업을 위한 시민조사단 운영 및 자료 집 제작</li> </ul> </li> </ul>
	시화호종합관리계획 및 순환관리체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시화호 종합관리계획의 순환관리체계 구축 및 실행</li> <li>○ 시화호 관리위원회 운영지원</li> <li>○ 시화호 유역 연안통합관리정책 개발</li> <li>○ 총량오염관리제 시행을 위한 로드맵 수립</li> </ul>
	환경조사	○수질 및 저질 모니터링
		○저서생태계 모니터링
		○하천비점오염 조사 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 안산천, 화정천 조사</li> <li>- 시화유역 하천퇴적물 오염물질 조사</li> <li>- 비점오염원 관리지역 지정을 위한 조사</li> </ul>
○수산물 보건 위해성 평가		
○조력발전소 주변 지형 및 퇴적물 조사		
오염정화 시범처리 시설운영 및BMPs 시범적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 송호중학교 환경시범시설 운영</li> <li>○ 오염저감시설 운영</li> <li>○ 신길천 하천정화시설 구조변경</li> </ul>	
하이드로 코어	비점오염 모델 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시화 및 반월공단, 문산천 오염부하량 예측</li> <li>○ 비점오염원 관리지역 지정을 위한 비점오염 저감 계획 수립</li> </ul>
(주) 에코션	부유생태계 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 부유생태계 모니터링</li> <li>○ 해파리 퇴치</li> </ul>

## 6. 추진 체계



## **제 2 장 시화호 종합관리체계 및 제도 개선**



# 제 2 장 시화호 종합관리체계 확립 및 제도 개선

## 제 1 절 시화호유역 통합관리기구 운영지원

'09년도 시화호관리위원회 임시 사무국의 시화호 관리위원회, 실무협의회, 전문위원회 운영 지원 현황은 다음과 같다.

### ○ 제3차 시화호유역 통합환경모니터링 TF회의

#### - 개요

- 일시 및 장소: 2009.4.2(목). 15:30 / 한국해양연구원 서해
- 참석자: 국토해양부, 시흥·안산·화성시, 국립수산과학원, 한국수자원공사, 한국농촌공사 등 TF 위원(13명) 등 총 19명

#### - 주요안건 및 회의결과

- 시화호유역 모니터링 시행기관간 협의사항 검토  
: '시화호유역 환경모니터링 지침'을 마련하여 활용키로 합의  
: 시화호유역 환경모니터링 자료의 관계기관 내부 공유 합의
- 시화호유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안) 검토

### ○ 제5차 시화호 실무협의회

#### - 개요

- 일시 및 장소: 2009.4.15(수). 10:00 / 한국해양연구원 서해
- 참석자: 국토해양부, 지식경제부, 인천시, 경기도, 시흥·안산·화성시, 한국수자원공사 등 총 19명

#### - 주요안건 및 회의결과

- 시화호 오염퇴적물 처리방안(한국수자원공사) 검토
- 시화호 종합관리계획의 순환관리체계 시범적용 방안  
: 순환관리체계 시범적용 대상 사업은 완료사업으로 한정
- 시화호유역 모니터링 소위원회 운영세칙(안)

### ○ 시화호 전문위원회(서면자문)

- 시화호 퇴적토 처리방안 설계용역 계획(안) 검토: 2009.5.29
- 시화호 중권역 물환경관리계획(안)(환경부) 검토: 2009.8.7
- 시화호유역 환경모니터링 및 분석방법(안) 및 시화호 종합관리계획 세부시행사업(3개 사업)에 대한 사업평가서(안) 검토: 2009.12.14

○ 2009년도 시화호 해양환경개선사업 설명회

- 개요

- 일시 및 장소: 2009.5.19(화). 16:00 / 한국해양연구원 서해
- 참석자: 인천시, 경기도, 시흥시, 한국수자원공사, 평택지방해양항만청, 한국산업단지공단, 인하대 중부 SG사업단, 에버그린21, 안산환경운동연합, 푸른경기21 등 총 30명

- 주요 내용

- 시화호 해양환경개선사업 발표
- 한국산업단지공단 반월·시화 ECO 사업단, 중부 SEA GRANT 사업단, 시흥환경기술개발센터 소개



## 제 2 절 시화호 종합관리계획 순환관리체계 구축

### 1. 성과평가 시범적용 실시 개요

#### 1.1. 기존 순환관리체계 구축 연구의 한계

동 「시화호 해양환경 개선 사업」에서는 2003년부터 시화호 종합관리계획의 순환관리체계 구축을 위해 외국의 연안통합관리 성과평가체제를 조사·분석하고, 평가지표와 평가과정, 운영방안 등을 제시하여 왔다. 그러나 국내에서 연안통합관리 정책 시행이 초기 단계이고, 시화호 유역 연안통합관리 조직의 예산 및 인력이 미약하여 외국의 연안통합관리 성과평가체제를 시화호 종합관리계획에 그대로 적용하기에는 어려움이 있다.

제6차 시화호 관리위원회('07.7.10)에서는 시화호 종합관리계획 세부시행사업에 대한 성과지표를 개발하고 지속적인 성과모니터링 체계를 구축, 운영하여 시화호 종합관리계획의 목표를 효과적·효율적으로 달성하기 위한 성과관리체계 구축의 필요성에 합의하였다. 이에 따라, 2008년도에는 외부 컨설팅회사에 순환관리체계 구축 연구를 위탁하여 2단계 시화호 종합관리계획 및 세부시행계획의 전략을 체계화하고, 세부시행계획의 6개 사업 분야 및 7개 사업 수행기관에 대한 성과목표, 성과지표 등을 포함한 scorecard를 설계하였다.

그러나 다음과 같은 문제점으로 인하여 이 연구 결과를 시화호 종합관리계획의 순환관리에 직접 활용하기에는 어려운 점이 있다. 첫째, 시화호 관리위원회와 사업수행기관간의 시화호 종합관리계획의 성과관리에 대한 이해와 협조 부족, 둘째, 사업수행기관의 소극적 참여로 성과지표 설정에 어려움이 있었으며, 사업의 예산만이 성과지표의 가중치 설정 근거로 이용되어 사업의 시행과정에서 행해지는 다양한 활동에 대한 고려가 이루어지지 않았다. 셋째, 성과지표의 적절성 검증 및 성과관리체계 운영시 발생가능한 문제점을 사전에 점검하기 위한 성과분석의 시험적용이 이루어지지 못했고, 마지막으로 성과관리체계의 원활한 운영을 위해서는 사업수행기관의 수용성이 무엇보다 중요한 요소이지만, 사업수행기관에서 제대로 된 성과평가가 이루어지려면 성과평가 컨설턴트와 조정된 지표가 아니라, 이상적인 평가지표를 제시하고 각 기관과의 협의 및 합의 과정을 거쳐 성과평가 방안을 마련해야 한다는 의견('08.9.19. 제4차 시화호 실무협의회 결과)을 제시하였다.

따라서 시화호 수질개선에 직접적으로 관련된 주요 사업을 대상으로 성과평가를 시범적으로 실시하여, 타당하고 신뢰할 수 있는 성과지표를 설정하고 성과관리체계 운영의 객관성·전문성·공정성을 확보할 필요가 있다.

#### 1.2. 성과평가 시범적용을 위한 방법론

순환관리체계 구축 및 운영의 목적은 세부사업별 성과관리 및 감독을 체계화하여 사업별 성과, 문제점 및 개선안을 도출함으로써 사업수행의 위험을 최소화하는 동시에 시화호 종합관리계획의 목표를 효과적·효율적으로 달성하는데 있다. 이를 위해서는 사업의 성과를 주기적으로 측정하여 목표치 또는 기대치와 비교하는 성과감독(performance monitoring)보다는 특정 사업이 기대했던 성과를 달성하는 데 얼마나 기여했는지를 여러 가지 과학적 기법을 사용하

여 분석하고, 그 성공요인 또는 실패요인을 객관적으로 파악하여 사업운영체계 개선에 반영할 수 있는 사업평가(program evaluation) 방식이 적합할 것으로 판단된다. 사업평가를 통해 산출 및 성과가 “왜”, “어떻게” 나타나게 되었는지를 설명해줌으로써 장래의 의사결정에 유용하게 사용될 정보를 제공 할 수 있다(고영선·윤희숙·이주호, 2004).

평가모형(evaluation design)은 사업이 유발한 효과에 대한 증거를 제시하기 위한 모형이다. 이상적인 평가모형은 실험집단과 통제집단을 구별하여 사업시행 전후의 관찰결과를 비교하는 것이지만, 이는 현실적으로 불가능하다. 여러 가지 평가모형 중에서 시계열모형은 사업시행 전후의 여러 시점에 걸친 측정결과를 분석하여 추세변화를 비교함으로써 사업시행의 효과를 파악할 수 있다. 사업효과를 파악하는 또 다른 방법은 몇 개의 독립변수 또는 설명변수가 종속변수에 미치는 영향을 하나의 방정식으로 나타내는 인과관계모형을 사용하는 것이다(고영선 외, 2004).

사업의 성과를 나타내는 성과지표 도출을 위해서는 목표 달성을 위한 관리포인트가 고려되어야 한다. 즉, 투입-과정(또는 활동)-산출-결과의 각 단계에서 무엇이 소요되는가, 어떻게 관리했는가, 직접적으로 무엇을 얻었는가, 궁극적으로 무엇이 좋아졌는가가 고려되어야 한다. 각 관리포인트의 흐름에 따라 성과지표를 도출하되, 가능한 산출 및 결과지표 위주로 핵심성과지표(KPI, Key Performance Indicator)를 선정해야 한다(한국전자거래진흥원 편, 2007).

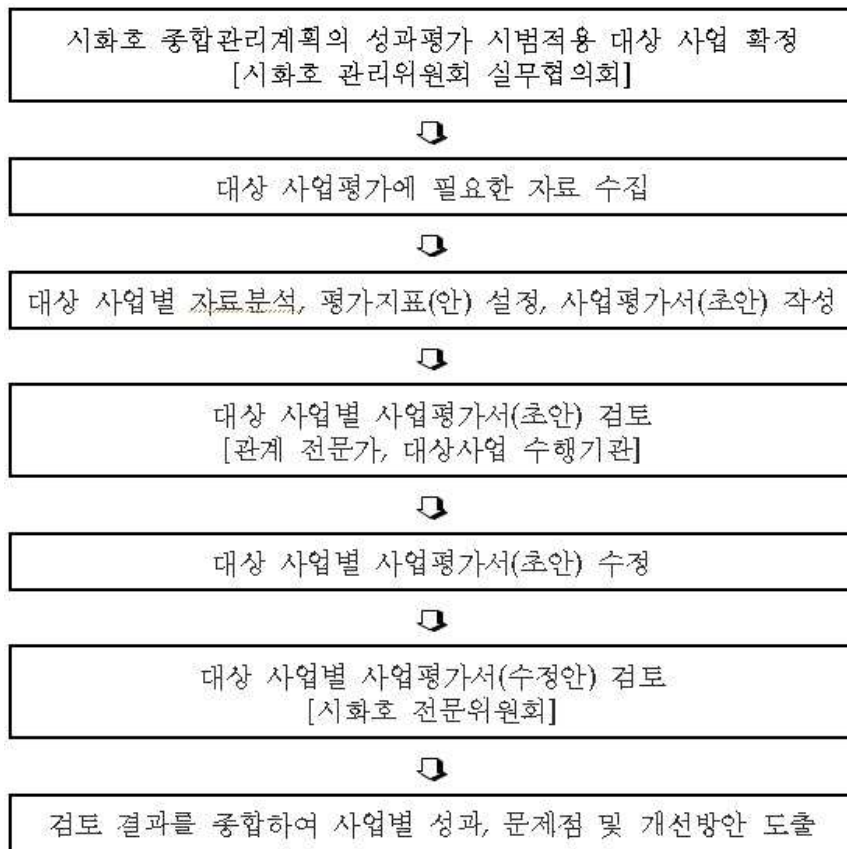


그림 2-2-1 성과평가 시범적용 추진절차

따라서 시화호 종합관리계획은 2001년부터 시행되어 세부사업에 대한 자료가 상당한 기간 동안 축적되었으므로, 기본적으로 시계열모형을 활용하여 사업평가를 시범적으로 실시하고자 한다. 사업추진과정에서 행해진 다양한 활동이나 특별한 사건을 고려하여 가능한 수준에서 활동과 성과 사이의 인과관계를 분석하며, 기존 연구를 통해 개발된 성과지표의 적절성을 검토하여 필요시 사업단계 중 산출이나 결과지표로 핵심성과지표를 재설정하여 성과평가를 시행하였다. 시범적용 대상 사업의 수행기관이 보유하고 있는 모니터링 자료, 대상 사업 관련 보고서 및 행정기록 등 성과평가에 필요한 자료를 수집하고, 관련 자료들의 내용분석 및 사업 참여자들에 대한 면담, 모니터링 자료 분석을 통해 사업성과를 파악하였다. 성과평가 시범적용을 위한 절차는 그림 2-2-1과 같다.

### 1.3. 성과평가 시범적용 대상 사업 선정

성과평가 시범적용 대상 사업은 예산 규모, 사업 내용, 시화호 수질개선에 미친 영향, 정량적 평가에 필요한 자료의 이용가능성 등을 고려하여 선정하였다. 선정된 사업에 대한 성과평가를 실시한 후, 평가결과를 검토하여 평가대상 사업을 확대할 예정이다.

성과평가 시범적용 대상 사업은 다음과 같은 절차로 선정하였다(표 2-2-1, 표 2-2-2). 우선 대상사업 선정을 위해 1단계에서는 시화호 종합관리계획 세부시행사업 중 총사업비 대비 예산규모가 큰 사업을 우선 선별한 후, 사업별로 예산 대비 2007년도까지 투자실적 비율이 높은 사업을 선정하였다. 2단계에서는 현재 사업이 진행 중이어서 시화호 수질개선에 대한 영향을 평가할 수 없거나 시화호 수질개선에 직접적인 영향을 미치지 않는 사업을 제외하고, 완공 또는 완료된 사업을 대상으로 하였다. 마지막 3단계에서는 정량적 평가에 필요한 자료의 이용가능성과 점 및 비점오염부하 삭감과 관련된 사업 분야를 고려하였다.

이와 같은 절차를 통해, 안산·시화 하수처리장 운영, 인공습지 조성 및 운영·관리, 시화 제4간선수로 수질개선 사업을 성과평가 대상사업으로 선정하여, 제5차 시화호 실무협의회('09.4.15)를 통해 확정하였다. 공단내 간선수로 수질개선사업은 진행 중인 사업이지만, 제4간선수로에 대한 집중관리로 수질이 대폭 개선('03년 COD(mg/L) 104.1 → '05년 8월 COD(mg/L) 12)되었기에 시화 제4간선수로 수질개선 사업을 성과평가 대상사업으로 선정하였다.

표 2-2-1. 시화호 종합관리계획 세부시행사업 중 총사업비 대비 예산규모가 큰 사업

관리 코드	세부시행사업	주관 시행처	합계 (억원)	총사업비 대비 예산*		'07까지 투자실적 (억원)	사업별 예산 대비 '07까지 투자실적		비고
				%	순위		%	순위	
오염8-01	조력발전소 건설·운영	수자원 공사	3,551	31.60	1	1,064	29.96	5	공사중
이용16-01	공룡알화석산출지등 문화관광자원 관리	화성시	1,150	10.23	2	10	0.87	12	
오염2-01	하·폐수처리장 설치 및 하수관거 정비	안산시	1,001	8.91	3	165	16.48	6	완공 운영중
오염7-01	시화호 오염퇴적물 처리	수자원 공사	948	8.44	4	89	9.39	9	
오염2-05	하·폐수처리장 설치 및 하수관거정비	시흥시	842	7.49	5	30	3.56	10	
오염2-02	시화호수처리장 운영 및 관거정비	시흥시	729.03	6.49	6	396.28	54.36	2	완공 운영중
생태13-02	인공습지 조성 및 운영·관리	수자원 공사	378	3.36	7	346	91.53	1	완공 운영중
오염4-02	가축분뇨 공공처리시설 설치사업	화성시	246.40	2.19	8	24.90	10.11	8	
오염9-01	탄도호 수질개선	농촌 공사	203	1.81	9	92	45.32	4	진행중
생태13-01	주요하천의 생태하천화	수자원 공사	199	1.77	10	4	2.01	11	
오염2-06	오염우수처리를 위한 차집시설 설치 및 관리	수자원 공사	175	1.56	11	92.30	52.74	3	진행중
오염3-02 오염3-04	수질오염물질 배출업체 집중관리 공단내 간선수로 수질개선	수자원 공사	140	1.25	12	15.50	11.07	7	진행중

\* 시화호 종합관리계획 총사업비(11,238.35억원) 중 해당사업예산이 차지하는 비율  
 (※ 이 자료는 「시화호 종합관리계획 '07년도 추진실적 및 '08년도 추진계획」을 기준으로 작성되었으며, '07년도까지 투자실적이 없는 사업은 제외하였음)

표 2-2-2. 사업별 자료의 이용가능성 및 사업 분야

세부사업	이용 가능한 자료	사업 내용
안산·시화 하수처리장 운영	- 유입수·방류수 수질측정 자료 - 유입수·방류수 유량 자료 - 방류수 수질 자동측정 자료 등	시화호로 유입되는 점오염부하 삭감
인공습지 조성 및 운영·관리	- 고습지·저습지 유량 - 유입수·유출수 및 인공습지 내 수질측정 자료 - 조류조사 자료 - 방문객 현황 자료 등	시화호로 유입되는 비점오염부하 삭감
시화 제4간선수로 수질개선	- 제4간선수로 수질모니터링 자료	시화호로 유입되는 점 및 비점오염부하 삭감

## 2. 시화 제4간선수로 수질개선 사업평가(안)

### 2.1. 사업평가 방향

#### 2.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항

- 시화 제4간선수로 수질개선 사업 평가의 시간적 범위는 시화지역 지속가능발전협의회에서 시화 제4간선수로 오염배출 원인조사를 위한 방안 마련에 합의한 2004년 3월부터 2008년 12월까지임
- 시화 제4간선수로 수질개선 사업이 포함된 공단내 간선수로 수질개선 사업은 2004년 10월에 시화호 종합관리계획 개선계획에서 추가되었지만, 4간선수로 수질개선 필요성에 대한 논의 및 활동은 그 이전부터 지발협을 통해 시작되었기 때문에, 이 사업에 대한 필요성이 합의된 시점부터를 사업평가의 대상으로 함
- 이 사업에서 수질개선을 위한 구체적인 활동은 4간선수로의 13개 도구 및 하류지점에 대한 수질조사가 시행된 2006년 5월까지로 볼 수 있지만, 사업목표를 달성한 후에도 그 상태가 지속적으로 유지되어야 하므로 가용한 수질조사 자료가 있는 2008년까지를 평가의 대상으로 함
- 중점적으로 평가할 사항은 이 사업의 목표인 4간선수로 수질개선이 어떠한 요인들에 의해 달성되었는가와 각 요인들이 목표 달성에 기여한 정도를 이용 가능한 자료의 범위 내에서 분석하여 이 사업의 성공요인과 미흡한 점을 파악하는 것임.
- 시화 제4간선수로 수질개선 사업 평가의 시간적 범위는 시화지역 지속가능발전협의회에서 시화 제4간선수로 오염배출 원인조사를 위한 방안 마련에 합의한 2004년 3월부터 2008.12월까지임.
- 시화 제4간선수로 수질개선 사업이 포함된 공단내 간선수로 수질개선 사업은 2004년 10월에 시화호 종합관리계획 개선계획에서 추가되었지만, 4간선수로 수질개선 필요성에 대한 논의 및 활동은 그 이전부터 지발협을 통해 시작되었기 때문에, 이 사업에 대한 필요성이 합의된 시점부터를 사업평가의 대상으로 함

- 이 사업에서 수질개선을 위한 구체적인 활동은 4간선수로의 13개 토구 및 하류지점에 대한 수질조사가 시행된 2006년 5월까지로 볼 수 있지만, 사업목표를 달성한 후에도 그 상태가 지속적으로 유지되어야 하므로 가용한 수질조사 자료가 있는 2008년까지를 평가의 대상으로 함
- 중점적으로 평가할 사항은 이 사업의 목표인 4간선수로 수질개선이 어떠한 요인들에 의해 달성되었는가와 각 요인들이 목표 달성에 기여한 정도를 이용 가능한 자료의 범위 내에서 분석하여 이 사업의 성공요인과 미흡한 점을 파악하는 것임.

### 2.1.2. 평가지표

- 기존 순환관리체계 구축 연구에서 제시된 성과지표(표 2-2-3)인 '사업추진실적'으로는 개별 사업의 목표가 달성되고 있는가와 그로 인해 궁극적으로 시화호 종합관리계획의 목표가 달성되고 있는지 확인할 수 없음. 기존 연구에서 공단내 간선수로 수질개선 사업이 진행 중인 사업이라는 점이 감안되었다하더라도 평가지표는 사업의 산출(outputs)이나 결과(outcomes)를 반영하도록 재설정되어야 함
- 따라서 본 사업평가에서는 4간선수로의 수질 개선 정도를 평가지표로 활용
  - 4간선수로의 수질은 이 사업의 목표와 직접적으로 관련이 있으며 사업추진 과정에서의 모든 활동은 수질개선이라는 목표 달성에 기여해야 하므로 평가지표로서 적절하다고 판단됨

표 2-2-3. 기존연구에서 제시된 공단내 간선수로 수질개선 사업의 성과지표

구분	성과목표	성과지표	측정방안
2007년 시화호 해양환경개선사업 보고서	간선수로 전수조사 및 DB구축	사업추진실적	공정률
2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획 (2008.2)	간선수로 전수조사 및 DB구축	용역 준공	용역 공정률
2008년 시화호 해양환경개선사업 보고서	간선수로 수질개선 사업 적기 진행	간선수로 수질개선사업 진행률	(간선수로 수질개선 사업 진행률/간선수로 수질개선사업 계획)*100

### 2.1.3. 사업평가의 한계

- 4간선수로 유역에서 시화호로 유입되는 오염부하 저감은 시화호 종합관리계획의 목표 달성과 관련된 것으로, 이 지표를 통해 4간선수로 수질개선 사업이 시화호 종합관리계획의 세부사업으로서 적절한가를 판단하는 근거가 될 수 있음. 하지만 4간선수로 수질개선 사업 전후의 유량 자료가 없기 때문에 이를 통한 평가는 불가능함
- 사업평가에서는 평가 대상 사업에서 수행한 여러 활동 중에서 어떤 활동에 의해 성과가 달성되었는지 그리고 개별 활동들이 성과 달성에 어느 정도 영향을 주었는지를 분석하는 것이 중요함.
- 그러나 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 경우, 수질개선을 위해 수행한 주요 활동(전수조사, 오접관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 수질조사)이 수행된 시기가 중복되는 경우가 있기 때문에 활동별 수질개선 효과를 분석하기에는 한계가 있음
  - 더구나 사업을 수행한 기관에도 각 활동이 수행된 정확한 일시에 대한 기록이 남아있지 않거나 사업 수행기관이 여러 가지 이유로 이에 대한 자료 제공을 꺼려하는 경우가 있기 때문에 각 활동별 수행시기를 파악하는데 어려움이 있음
- 수질개선 사업의 평가에서 환경의식의 변화, 생물상 변화 등은 중요한 지표가 될 수 있음. 하지만 4간선수로 수질개선 사업에서는 사업 전·후에 입주업체 대상으로 환경의식 관련 설문조사 등이 수행되지 않았기 때문에 환경의식 변화를 평가할 수 없음. 또 생물상은 4간선수로 수질개선 대책이 논의되는 단계에서 조사되었지만 사업 수행 후 조사된 내용이 없어 생물상 변화를 분석할 수는 없음
- 수질개선 사업의 평가에서 투입된 사업비 대비 수질개선 정도에 대한 평가도 중요한 요소임. 그러나 시화 제4간선수로 수질개선 사업은 공단내 간선수로 수질개선 사업의 일부로 우선 시행되었기 때문에 4간선수로 수질개선 사업에 투자된 비용만을 산출하는데 어려움이 있음

## 2.2. 시화 제4간선수로 현황

- 시화국가산업단지는 수도권 내 이전대상공장에 이전용지를 제공하고 중소기업전문단지 조성을 목적으로 수자원공사에 의해 1987년부터 2004년까지 조성되었으며, 1996년부터 입주가 시작되었음. 시화국가산업단지가 조성된 지역의 지형은 공유수면 및 염전지대이며 한국표준산업분류상 전 제조업종이 입주하고 있고, 환경성 유해물질 배출업종, 용수 다소비업종, 용지 과다소요 업종 등은 입주를 제한하고 있음. (한국수자원공사, 1997; <http://shhd.kwater.or.kr>, <http://www.e-cluster.net> 참조)
- 시화국가산업단지 내 간선수로는 단지 내 우수를 배제하기 위한 인공하천으로, 시화국가산업단지에는 4개의 간선수로가 조성되었음. 4간선수로 유역면적은 2.6km<sup>2</sup>이고 13개의 우수토구가 있음(표 2-2-4)

표 2-2-4. 시화 제4간선수로 현황

유역면적	하천연장	우수관연장	우수토구
2.6km <sup>2</sup>	1.5km (우수관 연장 23km)	23km	13개

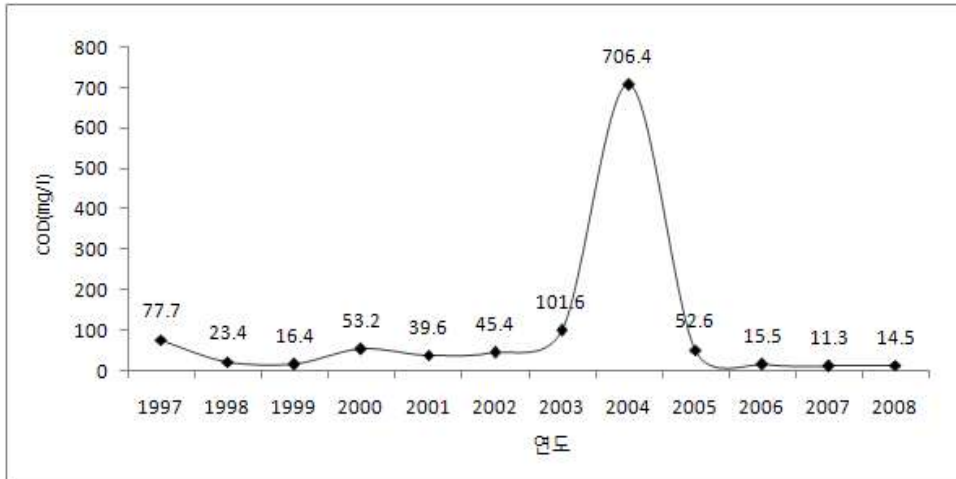


그림 2-2-2. 시화 제4간선수로 수질변화 추이(자료: 수자원공사)

- 시화 제4간선수로에는 시화호로의 오염물질 유입을 차단하기 위한 오염우수 차집수로가 설치되어 1997년 9월부터 간선수로의 오·폐수가 차집수로를 통해 시화하수처리장에서 처리되어 왔으나, 수질개선 사업으로 수질이 개선된 이후 2006. 1. 16 부터는 시화호로 직접 유입되고 있음
  - 차집수로의 용량은 '97년에 3,000m<sup>3</sup>/day이었으나 '04년에 증설하여 7,000m<sup>3</sup>/day
- 시화 제4간선수로의 수질은 관로오점 및 무단방류 등으로 인한 오·폐수 배출, 하천퇴적물로 인한 하천수 지체, 강우시 도로, 공장부지 등에서 비점오염물 유입 등으로 2002년 평균 COD(mg/L) 45.5에서 2003년 평균 COD(mg/L) 101.6, 2004년 평균 COD(mg/L) 706.4로 악화되었으나 수질개선 사업 추진으로 2006년에는 평균 COD(mg/L)가 15.5로 수질이 개선되었음(그림 2-2-2)
  - 2004년 4간선수로 하천퇴적토는 약 3,300m<sup>3</sup>로 각 구간별로 8~63cm로 분포하는 것으로 추정('04. 8. 10. 4간선수로 주변 입주업체 설명회 자료)
- 시화국가산업단지의 계획 유치 공장수는 약 2,100개소였지만 2008년 12월의 가동업체수는 6,931개소로 계획 당시 보다 3배 이상의 업체가 입주한 상태임. 배수구역이 제4간선수로인 입주업체의 경우, 1997년에 177개소에서 2008년에는 1,096개소로 6배 이상 증가하였음(그림 2-2-3).
  - 입주업체 중 자가업체보다 임대업체의 수가 급격히 증가하였는데, 1998년에는 총 227개소 중 44개소(19.4%)가 임대업체였으나 2000년에는 총 408개소 중 115개소(28.2%), 2002년에는 총 643개소 중 239개소(37.2%), 2004년에는 총 786개소 중 347개소(44.1%), 2006년에는 총 881개소 중 413개소(46.9%), 2008년에는 총 1,096개소 중 610개소(55.7%)가 임대업체임



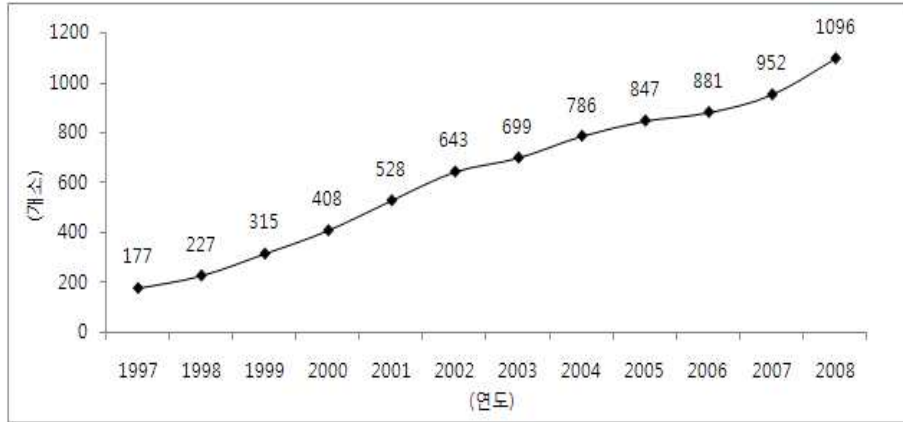


그림 2-2-3. 시화 제4간선수로 주변 입주업체수 변화 추이  
(자료: 한국산업단지공단)

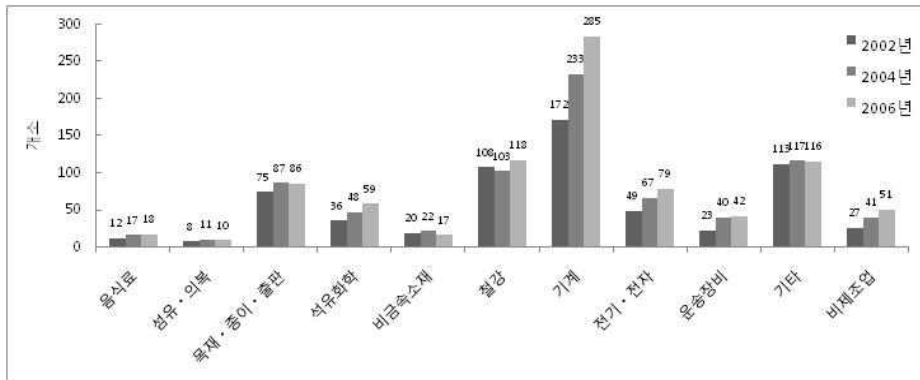


그림 2-2-4. 시화 제4간선수로 주변 입주업체의 업종 현황  
(자료: 한국산업단지공단)

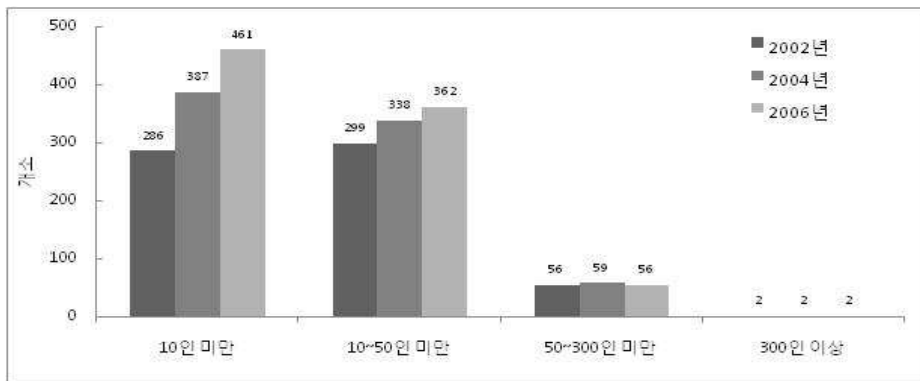
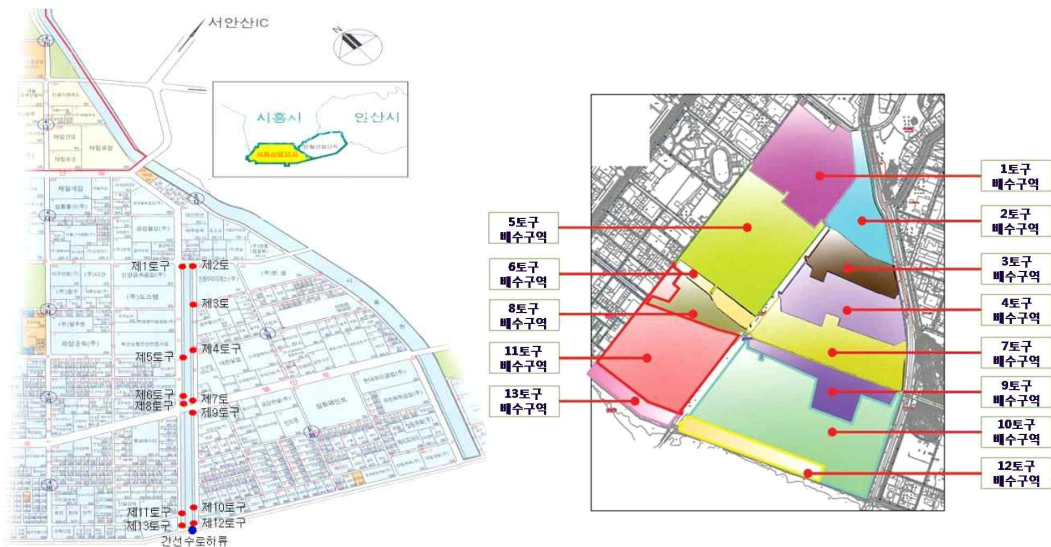


그림 2-2-5. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 규모  
(자료: 한국산업단지공단)

- 시화 제4간선수로 주변 입주업체의 업종은 기계 및 철강 업종이 차지하는 비중이 45%정도로 가장 크고, 그 다음은 목재·종이·출판, 전기전자, 석유화학 업종 등으로 구성되어 있고, 연도별 입주업체의 업종 구성 비중에 큰 차이는 없음(그림 2-2-4)
  - 기계 및 철강 업종이 차지하는 비중은 2002년에 43.5%, 2004년에 42.7%, 2006년에는 45.7%였음. 목재·종이·출판 업종은 소폭으로 감소하는 추세로 2002년 11.7%에서 2006년에는 9.8%를 차지하였음. 반면에 전기전자 및 석유화학 업종은 소폭으로 증가하는 추세로, 전기전자 업종은 2002년에 7.6%에서 2006년에는 9.0%, 석유화학 업종은 2002년에 5.6%에서 2006년에는 6.7%였음
- 시화 제4간선수로 주변 입주업체의 규모를 보면, 90% 정도가 종업원 수 50인 미만의 소기업이며, 그 중의 50% 정도가 종업원 수 10인 미만의 영세 사업체임(그림 2-2-5)
  - 소기업이 차지하는 비중은 2002년에는 91%, 2004년에는 92%, 2006년에는 93%로 소폭이지만 계속 증가하고 있음. 소기업 중에서 10인 이상 50인 미만 사업체는 조금씩 감소하고 있지만, 10인 미만 사업체는 2002년에 44.5%, 2004년에 49.2%, 2006년에 52.3%로 증가하여 전체 입주 사업체 중 절반이 넘는 사업체가 규모가 매우 작은 사업체임
- 제4간선수로 주변 입주업체 중 폐수배출업체는 2006년 1월 현재, 762개 입주업체 중 147개 소로 전체의 20%를 차지하며 나머지 615개소(80%)는 생활오수를 배출하는 사업체이고('06. 1. 18. 시화 제4간선수로 수질개선을 위한 폐수 배출업소 대표자 환경교육 자료), 2008년 말 기준으로 보면, 폐수배출업체는 1,096개 입주업체 중 157개소로 14.3%를 차지하고 있음(경기도 공단환경관리사업소 자료 참조). 입주업체의 수는 크게 증가한 반면에 폐수배출업체는 조금 증가하였지만 전체 업체에서 차지하는 비중은 감소하였음



(a) 시화 제4간선수로 우수토구 위치 (b) 시화 제4간선수로 우수토구별 배수구역  
 그림 2-2-6. 시화 제4간선수로 우수토구 위치 및 우수토구별 배수구역

- 시화 제4간선수로 주변 입주업체 현황을 13개 토구의 배수구역별로 살펴보면, 업체 수는 토구별 배수구역에 따라 차이가 있는데 10토구, 11토구, 4토구, 5토구 배수구역에 위치한 업체는 100개소 이상이며, 6토구, 8토구, 9토구, 12토구 배수구역에는 대개 30개소 이하의 업체가 있음. 9토구 배수구역에 위치한 업체수는 적지만 종업원 수가 50인 이상인 중기업 및 대기업의 비중은 다른 토구 배수구역보다 높음. (그림 2-2-6, 표 2-2-5)

표 2-2-5. 시화 제4간선수로 배수구역별 입주업체 규모

(단위 : 개소)

구분	2002년				2004년				2006년			
	10인 미만	10인 이상~50인 미만	50인 이상	합계	10인 미만	10인 이상~50인 미만	50인 이상	합계	10인 미만	10인 이상~50인 미만	50인 이상	합계
1토구 배수구역	15 (30.0)	27 (54.0)	8 (16.0)	50 (100.0)	28 (42.4)	30 (45.5)	8 (12.1)	66 (100.0)	33 (47.1)	29 (41.4)	8 (11.4)	70 (100.0)
2토구 배수구역	18 (54.1)	9 (29.0)	4 (12.9)	31 (100.0)	19 (59.4)	9 (28.1)	4 (12.5)	32 (100.0)	23 (60.5)	11 (28.9)	4 (10.5)	38 (100.0)
3토구 배수구역	15 (53.6)	10 (35.7)	3 (10.7)	28 (100.0)	18 (52.9)	13 (38.2)	3 (8.8)	34 (100.0)	18 (52.9)	13 (38.2)	3 (8.8)	34 (100.0)
4토구 배수구역	65 (67.0)	30 (30.9)	2 (2.1)	97 (100.0)	66 (68.0)	29 (29.9)	2 (2.1)	97 (100.0)	70 (63.6)	38 (34.5)	2 (1.8)	110 (100.0)
5토구 배수구역	33 (37.9)	48 (55.2)	6 (6.9)	87 (100.0)	34 (37.8)	49 (54.4)	7 (7.8)	90 (100.0)	50 (49.0)	45 (44.1)	7 (6.9)	102 (100.0)
6토구 배수구역	5 (33.3)	10 (66.7)	0 (0.0)	15 (100.0)	5 (31.3)	10 (62.5)	1 (6.3)	16 (100.0)	7 (38.9)	10 (55.6)	1 (5.6)	18 (100)
7토구 배수구역	17 (38.6)	21 (47.7)	6 (13.6)	44 (100.0)	26 (46.4)	24 (42.9)	6 (10.7)	56 (100.0)	33 (50.8)	26 (40.0)	6 (9.2)	65 (100.0)
8토구 배수구역	5 (27.8)	13 (72.2)	0 (0.0)	18 (100.0)	11 (50.0)	11 (50.0)	0 (0.0)	22 (100.0)	11 (50.0)	11 (50.0)	0 (0.0)	22 (100.0)
9토구 배수구역	6 (40.0)	6 (40.0)	3 (20.0)	15 (100.0)	11 (44.0)	11 (44.0)	3 (12.0)	25 (100.0)	13 (59.1)	6 (27.3)	3 (13.6)	22 (100.0)
10토구 배수구역	57 (42.2)	65 (48.1)	13 (9.6)	135 (100.0)	91 (51.1)	74 (41.6)	13 (7.3)	178 (100.0)	92 (50.0)	80 (43.5)	12 (6.5)	184 (100.0)
11토구 배수구역	43 (41.7)	48 (46.6)	12 (11.7)	103 (100.0)	62 (48.4)	55 (43.0)	11 (8.6)	128 (100.0)	77 (49.7)	68 (43.9)	10 (6.5)	155 (100.0)
12토구 배수구역	2 (16.7)	9 (75.0)	1 (8.3)	12 (100.0)	11 (39.3)	15 (53.6)	2 (7.1)	28 (100.0)	22 (61.1)	13 (36.1)	1 (2.8)	36 (100.0)
13토구 배수구역	5 (62.5)	3 (37.5)	0 (0.0)	8 (100.0)	5 (35.7)	8 (57.1)	1 (7.1)	14 (100.0)	12 (48.0)	12 (48.0)	1 (4.0)	25 (100.0)
합계	286 (44.5)	299 (46.5)	58 (9.0)	643 (100.0)	387 (49.2)	338 (43.0)	61 (7.8)	786 (100.0)	461 (52.3)	362 (41.1)	58 (6.6)	881 (100.0)

\* ( ) 안은 해당연도의 업체 규모에 따른 비율(%)

\* 자료: 한국산업단지공단

- 각 토구 배수구역별 입주업체의 업종 분포는 비슷한 양상으로 기계 업종의 비중이 높음. 1·8토구 배수구역은 기계 업종 다음으로 목재·종이·출판 업종의 비중이 높고, 2·5·6·11·13토구 배수구역은 철강, 4·7토구 배수구역은 전기·전자, 9·10토구 배수구역은 석유화학 업종의 비중이 높음

## 2.3. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 추진경과

### 2.3.1. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 개요

- 시화 제4간선수로 수질개선 사업은 시화호 종합관리계획 개선계획(2004.10)에 추가된 공단내 간선수로 수질개선 사업의 일부분이며 사업수행기관은 수자원공사
  - 시화호 종합관리계획의 공단내 간선수로 수질개선 사업 목표: 폐수의 무단방류 등으로 오염된 공단내 1~4간선수로의 수질개선 및 시화호에 대한 오염물질 유입저감
- 2004년에 총리실 수질개선기획단('04.5), 감사원('04.5) 등 정부 차원에서 시화호 수질개선 현황에 대한 현장 점검시, 폐수로 심하게 오염된 시화 제4간선수로와 인공습지 유출지점의 수질오염 상황을 파악하고 이에 대한 대책을 요구하였음. 이를 계기로 해양수산부(현, 국토해양부)는 공단내 간선수로 수질개선, 인공습지 기능강화 사업 등이 추가된 시화호 종합관리계획 개선계획을 수립
- 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 계획수립 및 구체적인 활동은 '시화지역 지속가능발전협의회'(이하, 지발협)에서 수자원공사, 안산시, 환경단체 등의 논의를 통해 결정되고 시행되었음
- 4간선수로 수질개선을 위한 구체적인 활동으로는 ① 4간선수로 주변 입주업체 전수조사, ② 오접관로 보수, ③ 하천 및 우수관 준설, ④ 입주업체 환경교육, ⑤ 비점오염 유발업체 관리·감독, ⑥ 4간선수로 내 13개 토구 및 하류지점에 대한 수질조사(일일모니터링)가 수행되었음

### 2.3.2. 시화 제4간선수로 수질개선 사업 추진경과

- 시기별 활동 내용은 표 2-2-6과 같음

표 2-2-6. 시화 제4간선수로 수질개선사업의 시기별 수질개선 활동 내용

일시	내용	비고(담당기관)
'04.3.26	시화4간선수로 오염배출 원인조사를 위한 방안 마련에 합의	- 지발협
'04.4.22	시화·반월공단 입주업체 대표 간담회	- 참석자: 입주업체 대표, 건교부, 시민환경단체, 수공, 산업단지공단
'04.5	4간선수로 주변 사업장 폐기물 관리상태 합동 점검·단속	- 경기도, 검찰, 안산시

일시	내용	비고(담당기관)
'04.6~7	4간선수로 수질개선 관련 실무회의, 관계기관 회의	- 수공-안산시 실무협의 - 안산시, 경기도, 산업단지공단, 수공
'04.7.12~21	4간선수로 퇴적토 시험준설	- 수공
'04.7.23	4간선수로 수질개선대책 확정	- 지발협
'04.8.10	4간선수로 주변 입주업체 설명회	- 지발협, 안산시, 경기도, 산단공, 수공
'04.8.16~10.1	4간선수로 수질 오염원 전수조사	- 조사·점검표 이용 - 3개조 12명(각 조별 4명: 안산시 1, 수공 1, NGO 2)
'04.8.26	임시차집관로(4천톤/일) 추가 증설 완료	- 수공
'04.9.14~10.30	빗물받이 준설	- 안산시
'04.11.22~25	제4간선수로 주변 사업장 폐기물 관리 상태 점검	- 안산시, 검찰청 - 전수조사 결과, 87개 비점오염 발생 업체 대상
'04.11.25~12.17	제4간선수로 주변 폐기물배출업소 지도·점검	- 안산시 - 전수조사 결과, 87개 비점오염 발생 업체 대상
'04.11~12	4간선수로 주변업체 오염원 청소 및 시설정비	- 안산시, 입주업체 - 우수받이 등 유출혼적 청소 및 준설
'04.12~'05.4	우·오수관 오점 시정	- 수공, 입주업체 - 오점관거 65개소 시정
'04.12~'06.5	4간선수로 13개 토구 및 하류지점 수질 모니터링 시행	- 수공, NGO, 안산시
'04.12~'05.4	오염이 심한 토구(9토구 중심) 주변 입주업체 합동조사	- 경기도, 수공, NGO
'04.12.13	입주업체를 대상으로 환경교육 및 설명회 실시	- 지발협, 안산시, 경기도, 산단공, 수공
'05.1~3	4간선수로 퇴적오염물 준설	- 수공 - 준설구간 1,500m, 준설물량 4,524m <sup>3</sup>
'05.2	입주업체 간담회	- 수공 - 4개 구역에서 1회씩 총4회
'05.3.15~5.	하수관거 준설	- 안산시
'05.5.2~14	제4간선수로 주변 사업장 폐기물 관리 상태 점검	- 안산시 - 전수조사 결과, 87개 비점오염 발생 업체 대상
'05.5.4	9토구 문제지점 수질조사	- Pb, Hg, Cr6+ 등 중금속 11항목
'05.6~7	4간선수로 수질개선대책 추진상황 점검 및 개선방안 마련	- 지발협 수질생태분과 TF팀

일시	내용	비고(담당기관)
'05.6~9	박스형 우수관거 준설	- 수공 - 9개 토구, 준설량 1,431m <sup>3</sup>
'05.10.12-13	시화4간선수로 주변 컨테이너 박스의 우수처리상태 조사	- 안산시 - 전수조사 결과 확인된 38개 불법 컨테이너
'05.11~12	시화4간선 주변 완충녹지대 현장조사 및 불법적치물 관리	- 안산시
'05.12.28	시화산업단지 하천살리기 캠페인	- 지발협 - 홍보리플렛 배포
'06.1.18	시화공단 입주기업대상 환경교육 설명회	- 경기도, 안산시 - 하천살리기 서약서 체결
'06.1.19	통수식(4간선수로 시화호 방류)	- 지발협
'06.3.2	시화 제4간선수로 통수 이후 관리현황 및 관리주체 관련 관계기관 업무협약	- 경기도, 안산시, 수공
'06.3.6~13	시화 제4간선수로 폐수배출업체 집중조사	- 경기도, 안산시, 수공, 시민감시단 - 수질조사 중단 후, 오염배출행위 재발 방지

○ 주요 활동 내용은 표 2-2-7과 같음

표 2-2-7. 시화 제4간선수로 수질개선사업의 주요 활동 내용

활동	시기	내용	담당기관
전수조사	'04.8.16~10.1	4간선수로 주변 입주업체 전수조사	안산시, 수공, NGO
	'04.12~'05.4	오염이 심한 토구(9토구 중심) 주변 입주업체 합동조사	경기도, 수공, NGO
오직관로 보수	'04.12~'05.4	우·오수 오직관거(65개소) 보수	안산시, 입주업체
하천 및 우수관 준설	'04.7.12~21	4간선수로 퇴적토 시험준설	수공
	'04.9.14~11.1	빗물받이 준설	안산시
	'05.1~3	4간선수로 준설	수공
	'05.3.15~5	하수관거 준설	안산시
	'05.6~9	박스형 우수관거 준설	수공
입주업체 환경교육	'04.4.22	4간선수로 주변 입주업체 환경교육 및 수질개선 사업 설명회	경기도, 안산시, 산단공, 수공
	'04.8.10		
	'04.12.13		
	'05.2		
	'06.1.18		
	'05.12.28	시화산업단지 하천살리기 캠페인	지발협

활동	시기	내용	담당기관
비점오염 유발업체 관리·감독	'04.5	4간선수로 주변 사업장 폐기물 관리상 태 합동 점검·단속	경기도, 검찰, 안산시
	'04.11.22~25	전수조사 결과, 4간선수로 주변 비점오 염 유발업체(87개소) 중심 조사·단속	안산시 (경기도)
	'04.11.25~12.17		
	'05.5.2~14		
	'05.10.12~13		
	'05.11~12		
	'06.3.6~13	4간선수로 폐수배출업체 민관 합동점검	경기도, 안산시, 수공, 시민감시단
수질조사	'04.12~'05.12	1회/일, 13개 토구 및 하류지점	수공, NGO
	'05.5.4	9토구 문제지점 수질조사	
	'06.3.20~5.31	3회/주, 13개 토구 및 하류지점	
	'06/6~	1회/월, 하류지점	안산시, 수공

- 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 주요 활동은 표 8에 제시된 바와 같이 전수조사, 오점 관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 수질 조사의 여섯 가지로 구분할 수 있으며, 시기별로는 크게 4단계로 구분할 수 있음
- 각 단계의 시기구분과 중점적인 활동은 다음과 같음. I 단계는 원인조사 단계('04.8~9)로 참여기관들이 여러 차례 회의를 거쳐 수질개선 대책을 확정하고 4간선수로 주변 입주업체를 대상으로 전수조사를 시행한 시기, II단계는 문제해결 단계(1)('04.10~'05.4)로 4간선수로 유역에 대한 대책으로 오점관로를 보수하고 하천대책으로 하천의 오염퇴적물을 준설한 시기, III단계는 II단계와 같은 문제해결 단계(2)('05.5~9)로 유역대책으로서 박스형 우수관거를 준설한 시기, IV단계는 사후 모니터링 단계('05.10~'06.5)로 이전 단계에서 수행한 수질오염 원인조사 및 문제해결 대책의 적합성 및 그 결과의 지속성을 점검하기 위해 4간선수로 내 13개 토구 및 하류지점에 대한 수질 일일모니터링을 지속적으로 수행한 시기임 (표 2-2-8).
- 입주업체 대상 환경교육과 비점오염 유발업체 관리·감독은 수질개선 대책 추진과정에서 필요시마다 이루어졌기 때문에 특정 단계에 수행된 활동으로 보기는 어려움

표 2-2-8. 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 단계별 중점 활동

구분	시기	중점 활동
I 단계 : 원인조사 단계	'04.8~9	수질개선 대책 확정 및 전수조사
II 단계 : 문제해결 단계(1)	'04.10~'05.4	4간선수로 유역의 오점관로 보수 및 하천 준설
III 단계 : 문제해결 단계(2)	'05.5~9	4간선수로 유역의 박스형 우수관거 준설
IV 단계 : 사후 모니터링 단계	'05.10~'06.5	13개 도구, 하류지점에 대한 수질 일일모니터링 지속

표 2-2-9. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 조사·점검표 내용

구분	내용	
사업장 현황	사업장명, 업종, 폐수처리방법, 1일 처리 능력, 소재지, 연락처	
점검사항	사업장 내부	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우·우수관거 연결상태 확인</li> <li>· 빗물받이 연결상태 확인</li> <li>· 공장내 우수맨홀 점검, 오염물질 유출흔적 발견시 집중조사</li> <li>- 폐수발생시설 유무</li> <li>- 폐수발생시설 신고사항</li> <li>- 방지사설 처리 여부</li> <li>- 처리 후 최종방류 위치 확인</li> <li>· 필요시, 채수하여 분석 의뢰</li> <li>- 수처리 현황(배출 및 방지사설) 자료제공 협조 요청</li> </ul>
	사업장 외부	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수관거 맨홀확인 (필요시, 염료 확인 조사)</li> <li>· 우수관거내 유수확인</li> <li>· 우·우수관거 연결 상태 확인</li> </ul>
	기타	

○ 각 단계별로 수행된 주요 활동을 정리하면 다음과 같음

I 단계('04.8~9) : 원인조사 단계

① 전수조사

- 개요

- 시기 및 대상 : '04.8.16 ~ 10.1, 4간선수로 주변 입주업체 762개
- 조사인원 : 3개조 12명(각 조별 4명으로 안산시 1명, 수공 1명 NGO 2명)
- 조사방법 : 개별 업체 방문조사, 조사·점검표(표 2-2-9. 참조) 및 오점 요도 작성
- 조사내용 : 우·우수관거 접합상태 확인, 공장 내 우수맨홀 점검(폐수 유출 흔적 조사), 공장부지 내 폐기물 야적 등 오염원 현황조사, 4간선수로 및 주변 오염원 조사
- 입주업체의 협조를 구하기 위해 안산시에서 전수조사 전에 입주업체에 협조공문을 시행



하였으며, 조사인원은 안산시장 직인이 날인된 출입신분증을 패용하고 개별업체를 방문하여 조사하였음

- 전수조사 결과, 우수관을 우수관에 연결한 관거오점 50개소, 공장부지내에 원료와 폐기물 방치로 강우시 빗물에 의한 오염물질 배출 87개소 등이 발견되었으며, 오점유형은 건물 내 오수를 단지 내 최종 우수맨홀에 연결, 단지 내 최종 우수맨홀을 우수관에 연결, 단지 내 최종 우수맨홀을 최종 우수맨홀에 연결, 무허가 건축물(컨테이너) 등이었음(표 2-2-10)

② 오점관로 보수 : 활동 사항 없음

③ 하천 및 우수관 준설 : 빗물받이 준설 시작(안산시)

④ 입주업체 환경교육

- 전수조사 실시 전 '04.8.10에 지발협 주관, 안산시, 경기도, 산업단지공단, 수공 주최로 4간선수로 주변 입주업체 설명회 개최

- 43개 입주업체, 시민환경단체, 건교부, 안산시, 수공, 산단공 등 관계자 20여 명 참석
- 시화 4간선수로 수질개선 대책의 일환인 오점 관련 조사시 관련업체의 적극적인 협조 당부, 오폐수의 적정처리로 4간선수로에 유입되는 오염원 차단 협조 요청

⑤ 비점오염 유발업체 관리·감독 : 활동 사항 없음

⑥ 수질조사 : 활동 사항 없음

## II 단계('04.10~'05.4) : 문제해결 단계(1)

① 전수조사

- '04.12부터 시행한 일일 수질모니터링 결과, 13개 토구 중 오염이 심한 토구에 대해 경기도 주관, 수공과 NGO로 구성된 지발협의 수질모니터링감시단이 폐수의 성상분석, 처리방식 및 유출여부, 우수 및 우수관리 상태, 기타 오염원의 존재여부를 중점적으로 점검

- 추진경과

- '04.12.15 9토구 상류 전구간 맨홀조사
- '04.12.21 9토구 주변 30개소 점검
- '04.12.30 9토구 및 11토구 주변 사업장 점검
- '05.1.4 2토구 주변 사업장 점검
- '05.1.7~13 9토구 관로내 CCTV 조사
- '05.1.21 2토구 주변 사업장 점검
- '05.2~3 9토구 주변 맨홀내 물막이 작업
- '05.4.13~26 9토구 관로조사

- 합동조사 결과, 폐수 및 우수배관 일부 오점사실을 확인하여 업체에서 자체적으로 시정하도록 하였음. 관로 내 연결부위에서 발견되는 노란색 계통의 유수의 출처를 밝히기 위해서는 광범위한 지역의 절개, 굴착 등에 의한 조사가 필요하나 현실적 어려움으로 시행하지 못함

표 2-2-10. 시화 제4간선수로 주변 입주업체 전수조사 결과

조사대상 업체	조사 결과						
	소계	단지내 오점	우·우수관 오점	컨테이너 오점	단지내 오염물질 방치	우수받이 투기흔적	기타 (냉각수)
804	232	36	6	8	87	55	40
	100%	15.5%	2.5%	3.5%	37.5%	23.7%	17.3%

\* 자료: 2004.10.29. 시화지역 지속가능발전협의회 전체회의 자료

② 오점관로 보수

- 수자원공사와 입주업체가 1단계에서 시행한 전수조사 결과 발견된 오점관거 65개소 개선

③ 하천 및 우수관 준설

- 안산시에서 빗물받이 준설을 '04.9.14부터 11.1까지 시행
- 수자원공사에서 '05.1~3월에 간선수로의 퇴적오염물 준설
  - 준설구간 1.5km, 준설물량 4,524m<sup>3</sup>

④ 입주업체 환경교육

- '04.12.13에 지발협 주관, 안산시, 경기도, 산업단지공단, 수공 주최로 4간선수로 주변 입주업체를 대상으로 환경교육 및 설명회 개최
- '05.2에는 수자원공사가 문제 토구지역을 4개 구역으로 구분하여 각 구역별 1회씩, 입주업체를 대상으로 수질모니터링 현황 및 수질개선 대책 추진현황, 시설개선 관련 협조 요청, 무단방류 관련 협조 요청 등의 내용으로 간담회 개최

⑤ 비점오염 유발업체 관리·감독

- 전수조사 결과 확인된 비점오염 유발업체 87개소를 대상으로 안산시와 검찰청 합동으로 관리상태 점검('04.11.22~25), 안산시 자체 점검('04.11.25~12.17)

⑥ 수질조사

- '04.12월부터 수자원공사와 시민환경단체가 합동으로 일일 수질모니터링 시행
  - 조사 지점 : 13개 토구 및 하류지점
  - 조사 항목 : pH, 수온, 전기전도도, DO, COD
  - 수질분석 요원 2명(시화호 환경연구소), 현장조사 요원 2명(시민환경단체)
- 수질조사시, 4간선수로 및 토구별 배출수 성상, 주변 적치물 등 특이사항, 수질분석 결과를 기록한 현장일지를 매일 작성
- 모니터링 결과는 시화지역 지속가능발전협의회 및 안산시청 홈페이지에 게시
- 안산시, 경기도, 수자원공사로 구성된 단속반을 운영하여 모니터링 결과 특이사항 발생하면 즉시 점검하여 필요한 조치를 함

### Ⅲ단계('05.5~9) : 문제해결 단계(2)

- ① 전수조사 : 활동 사항 없음
- ② 오접관로 보수 : 활동 사항 없음
- ③ 하천 및 우수관 준설
  - 수자원공사에서 '05.6~9월에 박스형 우수관거 준설
  - 준설 대상 토구 : 9개 토구(1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11토구)
  - 준설연장 4.4km, 준설물량 1,431m<sup>3</sup>
- ④ 입주업체 환경교육 : 활동 사항 없음
- ⑤ 비점오염 유발업체 관리·감독
  - 안산시에서 전수조사 결과 확인된 비점오염 유발업체 87개소 중심으로 4간선수로 주변 사업장 폐기물 관리상태 점검('05.5.2~14)
- ⑥ 수질조사
  - 수자원공사 및 시민환경단체에서 '04.12월 이후 13개 토구 및 하류지점에 대한 일일 수질 모니터링 지속
  - 9토구 문제지점 수질조사 시행('05.5.4)
    - 분석 항목 : 중금속 11항목 (Pb, Hg, Cr6+, As, Se, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn, Al)
    - 9토구내 오염배출 예상지점에서 Cr6+, Cu, Zn, Mn이 검출되었고, Cr6+, Cu, Zn의 검출 농도는 폐수배출허용기준 초과

### Ⅳ단계('05.10~'06.5) : 사후 모니터링 단계

- ① 전수조사 : 활동 사항 없음
- ② 오접관로 보수 : 활동 사항 없음
- ③ 하천 및 우수관 준설 : 활동 사항 없음
- ④ 입주업체 환경교육
  - 지발협 주최로 홍보리플렛(수질개선대책 시행에 따른 수질변화 제시)을 배포하며 시화산업단지 하천살리기 캠페인 개최('06.1.18)
  - 경기도와 안산시가 공동으로 4간선수로 수질개선 대책 추진경과 및 통수계획을 설명하는 시화공단 입주기업 대상 환경교육 및 설명회 개최('06.1.18)하고, 입주업체를 대상으로 '하천살리기 서약서' 체결
- ⑤ 비점오염 유발업체 관리·감독
  - 안산시에서 시화 4간선수로 주변 컨테이너 박스의 오수처리상태 조사 및 시정 요구('05.10.12~13)
  - 안산시에서 시화 4간선수로 주변 완충녹지대 현장조사 및 불법 적치물(목재 등 간단한 적치물 및 불법 컨테이너)점검 및 시정 요구('05.11~12)
- ⑥ 수질조사
  - 수자원공사 및 시민환경단체에서 '05.12월까지 13개 토구 및 하류지점에 대한 일일 수질 모니터링 지속

## 2.4. 수질개선 활동에 따른 수질변화 분석

- 1997~2008년의 4간선수로 수질은 수질개선 사업 기간을 거치면서 TP를 제외하고 수질항목별 변화의 폭이 크게 줄어든 것을 볼 수 있음(그림 2-2-7)
  - BOD의 경우, 1999년 하반기부터 간헐적으로 100mg/L 이상의 값을 보이다가 2003년부터 1,000mg/L 이상을 나타내기도 하며 지속적으로 100mg/L 이상의 농도를 유지하다가 2005년 초 이후부터 30mg/L 이하로 개선되었음. 하지만 2008년에는 BOD 농도가 조금 높아지는 추세임
  - CODmn의 경우도 BOD와 마찬가지로 '99년 하반기부터 조금씩 상승하다가 2004년 3월에는 1970mg/L의 값을 보이기도 했으나 2006년 이후부터는 대체적으로 20mg/L 이하의 농도를 유지하고 있음
  - pH와 전기전도도의 경우는 공장 폐수 유입 등으로 2005년 까지 변동이 심하게 나타났으나, 그 이후 변동 폭이 감소하였음
  - 하지만 TP 농도의 경우, 수질개선 활동으로 감소하였다가 2008년 1월, 2월에 7~8mg/L까지 올라가는 등 다시 높아졌으며 변동 폭도 증가하는 추세임
- 단계별 수질개선 활동에 따른 4간선수로 13개 토구 및 차집펌프장의 수질개선 정도를 비교해 보면, 오접관로 보수, 하천 및 박스형 우수관거 준설이 이루어진 II, III단계(문제해결 단계)이후에 대부분의 경우 COD 농도가 20mg/L 이하로 개선되었음.
  - 4간선수로 주변 입주업체에 대한 전수조사가 이루어진 I 단계(원인조사 단계) 시기와 그 이전에는 토구 및 하류지점에 대한 일일 수질모니터링이 수행되지 않았기 때문에, 전수조사 활동으로 수질 개선 효과가 있었는지는 판단할 수 없음
- II, III단계(문제해결 단계)에서 수질(COD 농도 기준)은 토구별로 큰 차이를 보였으며, 변동 폭도 매우 크게 나타났음. 13개 토구는 평균적인 COD 농도에 따라 다음과 같은 4개의 그룹으로 구분할 수 있음
  - COD 20mg/L 이하 : 3, 6, 7, 8 토구
  - COD 10~40mg/L : 1, 5, 12 토구
  - COD 10~60mg/L : 2, 4, 11 토구
  - COD 40mg/L 초과 : 9, 10, 13 토구

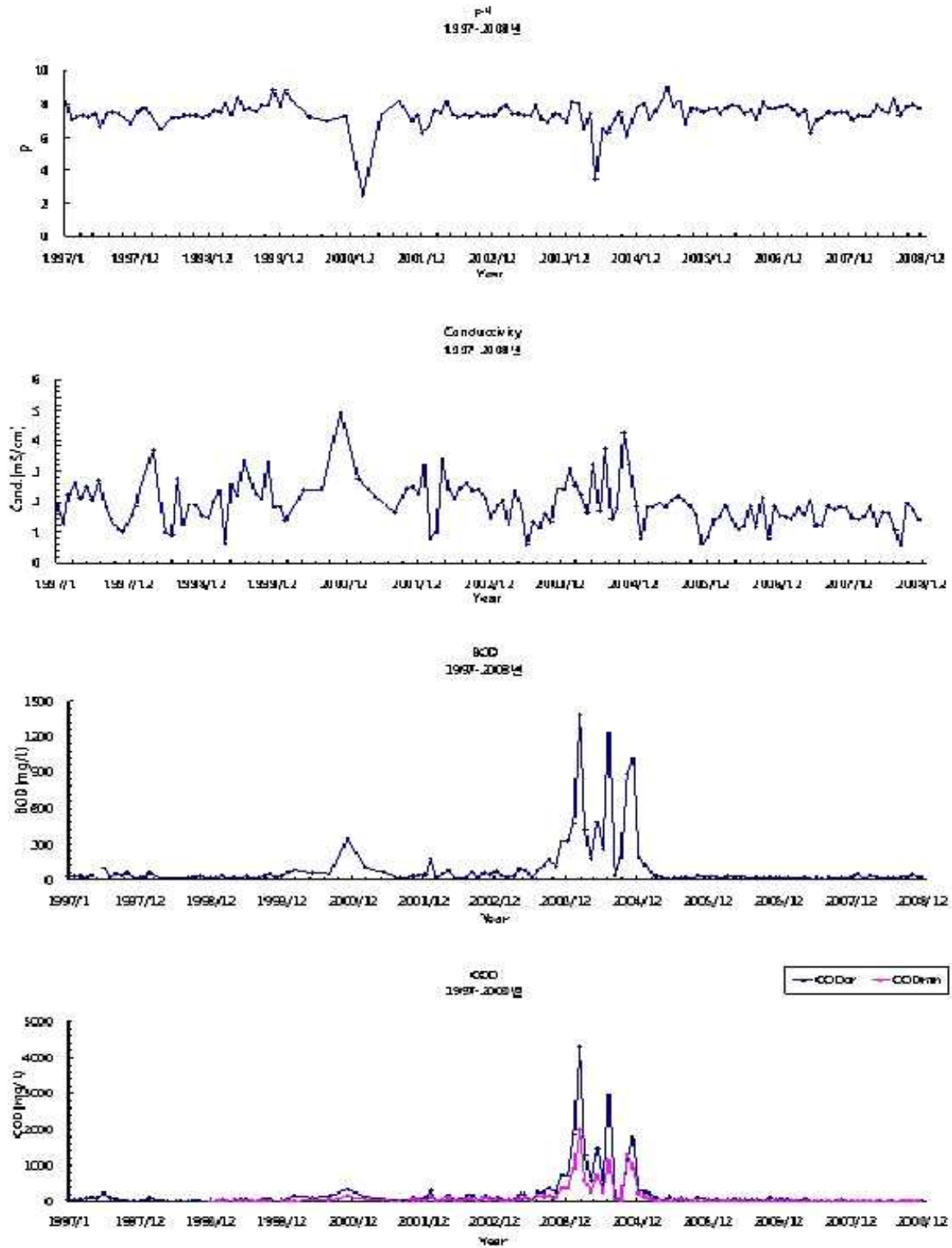
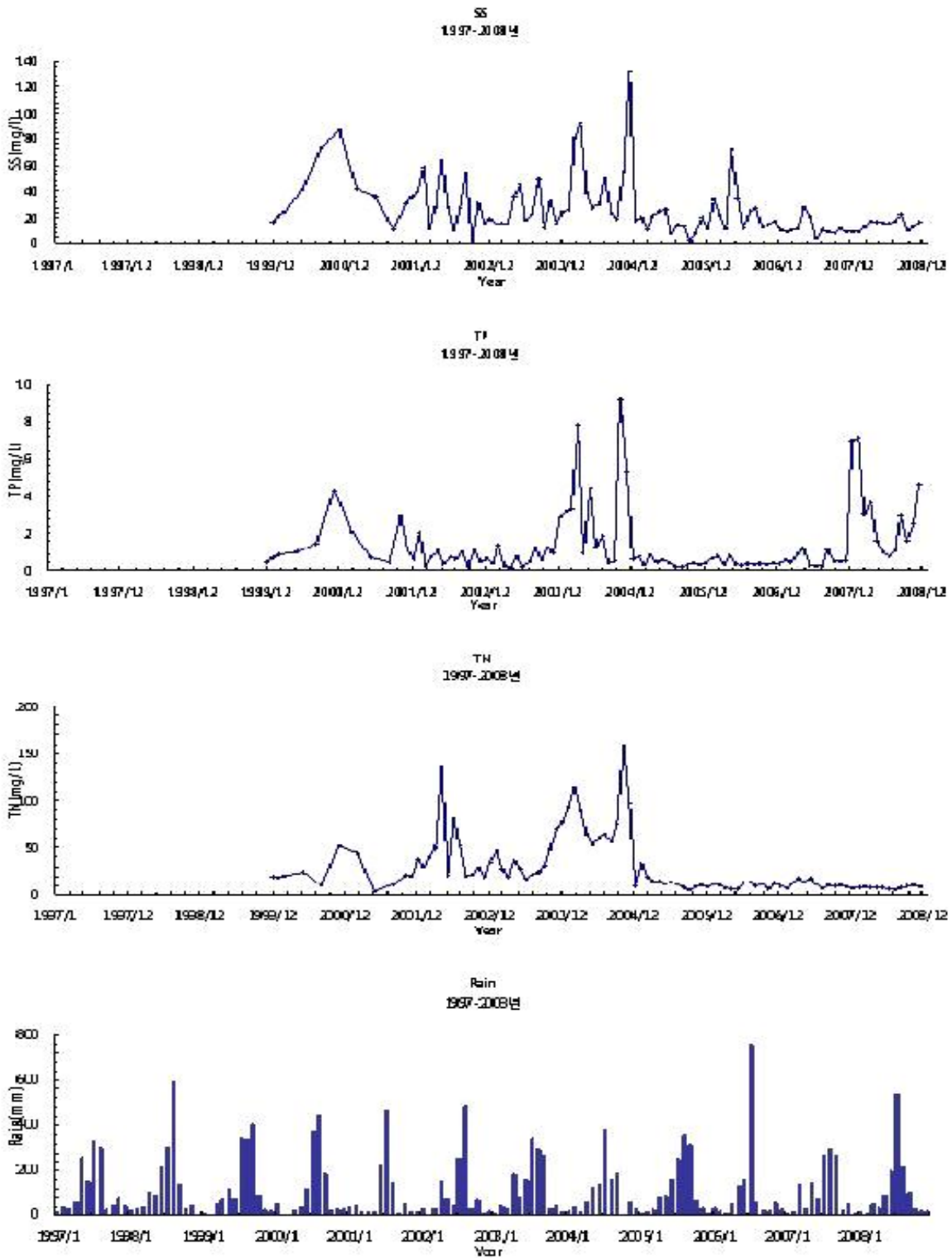


그림 2-2-7. 시화 제4간선수로 월별 수질(1997~2008년)  
(자료: 한국수자원공사)

(그림 2-2-7. 계속)



- 3, 6, 7, 8 토구는 COD 농도 20mg/L 이하로 수질이 비교적 양호함. 이 중 7토구의 경우를 보면, 오접관로 보수 및 하천 준설이 이루어진 II단계(문제해결 단계(1)) 이후 COD 변동폭이 크게 감소하였음. COD 농도가 개선된 III단계에서 전기전도도가 증가한 시점이 있는 것으로 보아 폐수 유입이 근절되지는 않은 것으로 보임. 하지만 VI단계(사후 모니터링 단계)에서는 개선된 수질이 비교적 안정적으로 유지된 것으로 나타났음(그림 2-2-8)
- 1, 5, 12토구는 COD 10~40mg/L에 해당됨. 이 중 5토구의 경우는 COD 농도는 III단계 중반 이후로 안정적으로 개선된 것으로 나타났으나 전기전도도는 IV단계 초기까지 변동이 나타났으면 이후로는 개선된 수질이 어느 정도 안정적으로 유지된 것으로 나타났음(그림 2-2-9)
- COD 10~60mg/L에 해당되는 토구는 2, 4, 11토구로 II단계에 수질의 변동폭이 다소 크게 나타났음. 이 중 2토구의 경우를 보면, COD 농도 및 전기전도도가 II단계 중반 이후로 안정화 된 것으로 나타났음. COD 농도의 경우 100mg/L를 초과하는 경우도 빈번하였으나 II단계 말기부터는 10mg/L 내외 정도의 수질을 유지. 특히 2토구의 경우 COD 농도와 전기전도도가 비슷한 패턴으로 증가한 후 감소하고 있는데, 이는 폐수 유입에 의한 영향으로 볼 수 있음(그림 2-2-10)
- COD 40mg/L를 초과하는 토구에는 9, 10, 13토구가 해당됨. 이 중 9토구는 기름띠, 노란색 계통의 폐수, 심한 악취 등으로 오염이 심한 토구로 집중점검이 이루어지기도 하였음. 9토구의 COD 농도는 II단계 활동 중반까지 500mg/L를 초과하는 경우가 많았으나 점차 수질이 개선되어 III단계 활동 중반이후로는 10~20mg/L 유지(그림 2-2-11)
- 1, 6, 8, 10 토구의 경우는 II, III단계 활동을 통해 COD 농도가 20mg/L이하 정도로 개선되었으나 사후 모니터링 단계인 VI단계 중반의 수질 일일모니터링이 중단되었다가 다시 수행될 때 증가하는 경향을 보였음. 이는 수질개선을 위한 활동이 전혀 이루어지지 않은 시기이후에 나타난 현상으로, 개선된 수질을 유지하기 위한 지속적 활동이 필요함을 보여 주는 것으로 판단할 수 있음(그림 2-2-12)

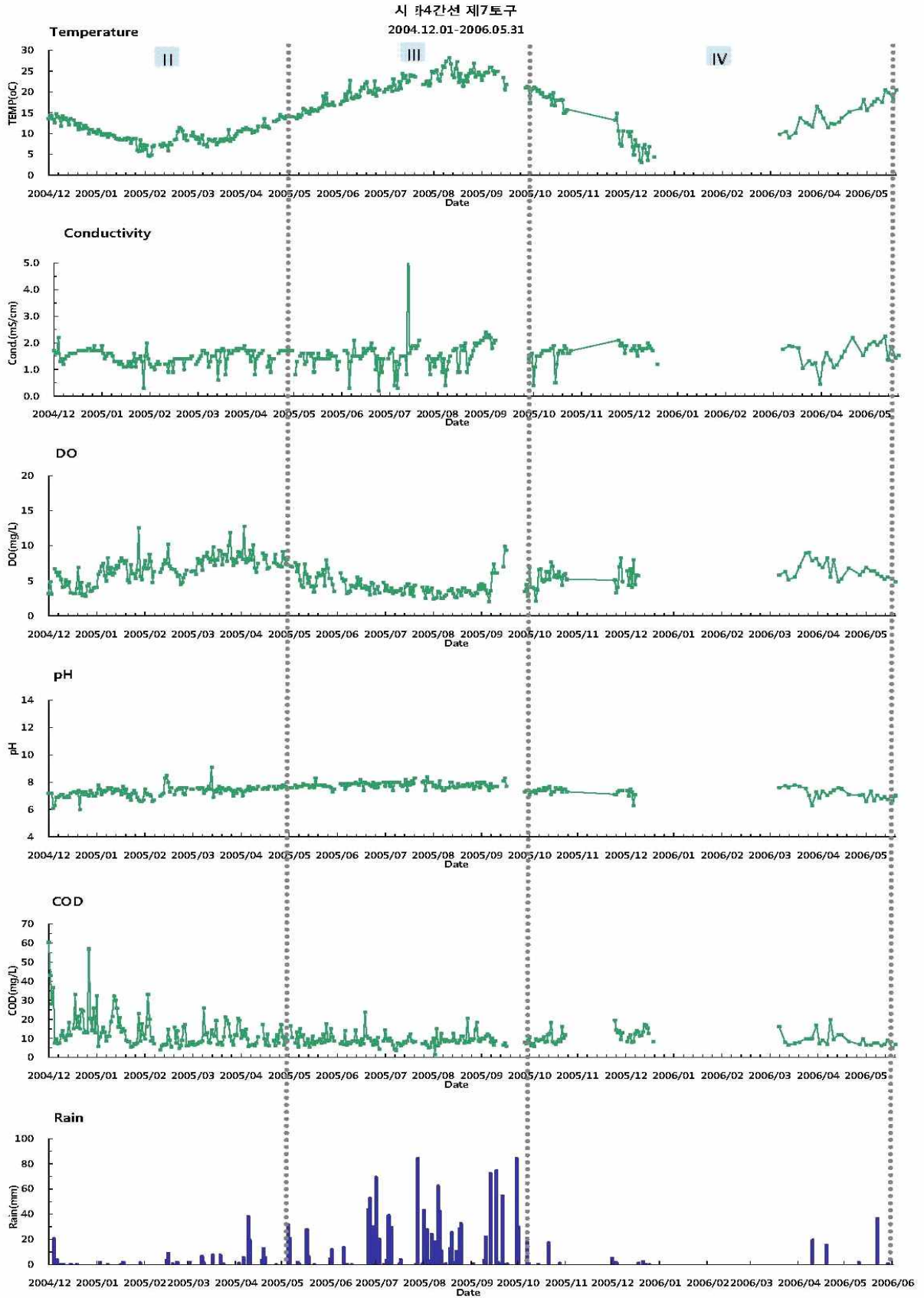


그림 2-2-8. 단계별 수질개선 활동에 따른 7토구 수질 변화



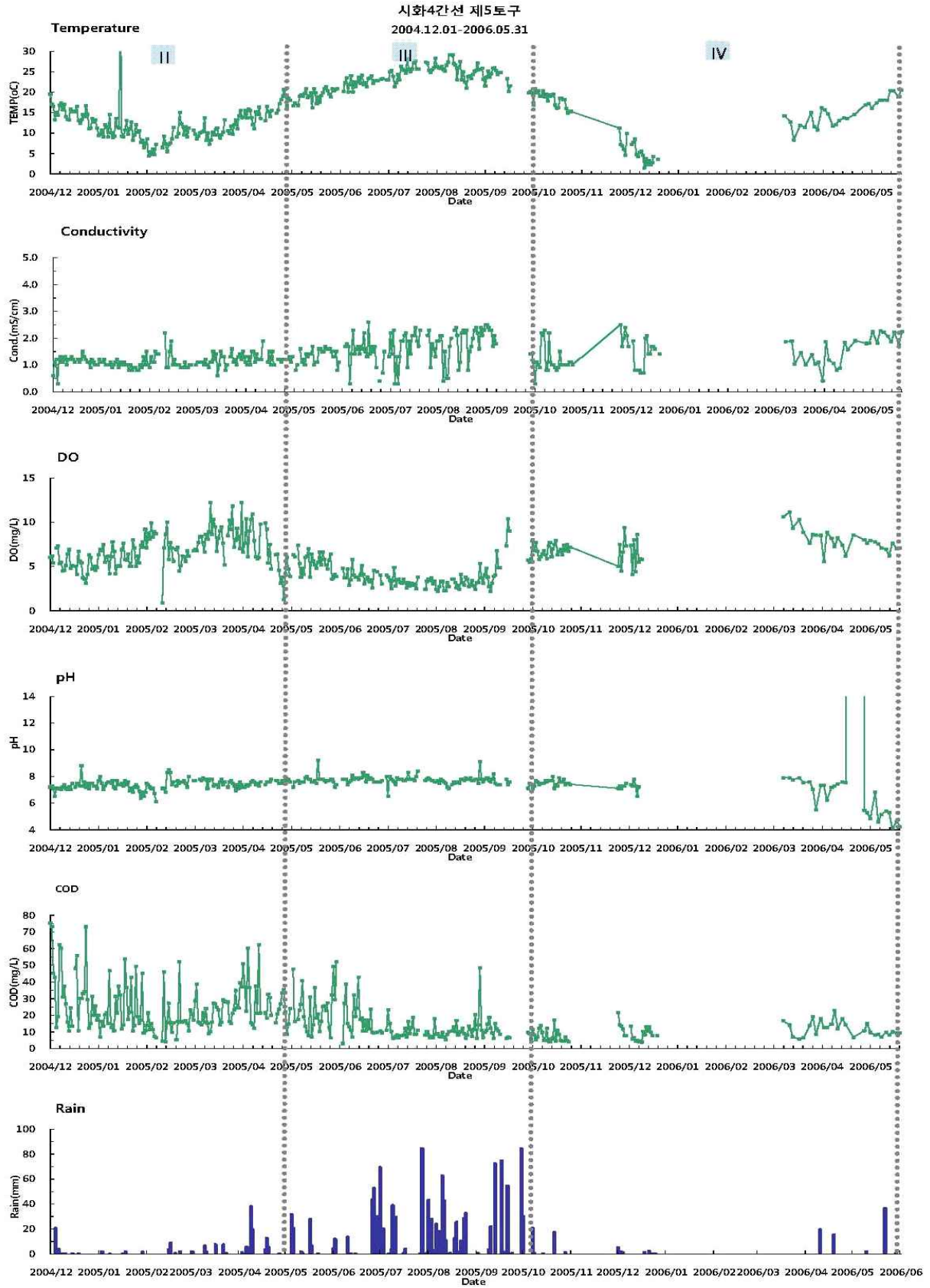


그림 2-2-9. 단계별 수질개선 활동에 따른 5토구 수질 변화

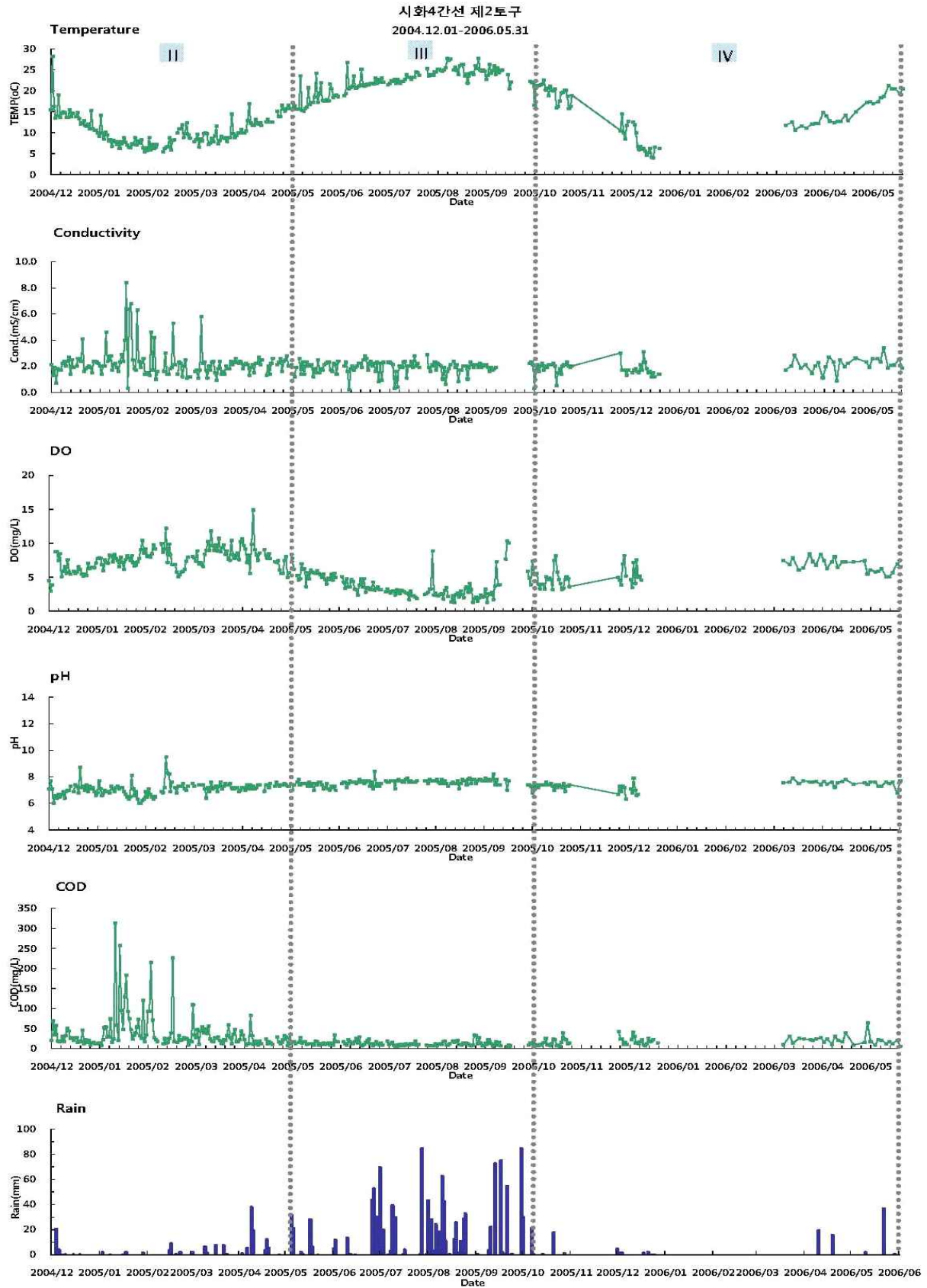


그림 2-2-10. 단계별 수질개선 활동에 따른 2토구 수질 변화

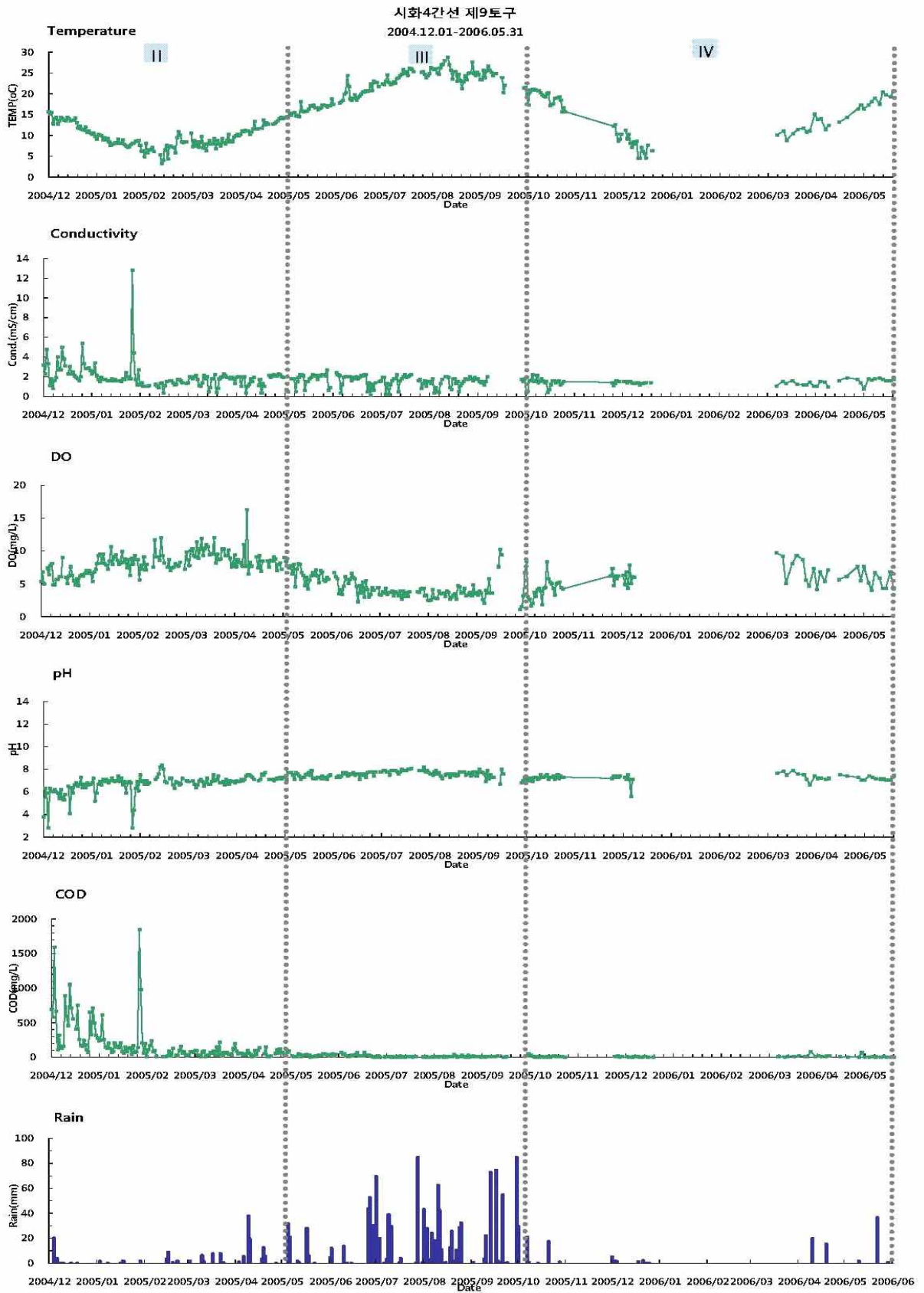


그림 2-2-11. 단계별 수질개선 활동에 따른 9토구 수질 변화

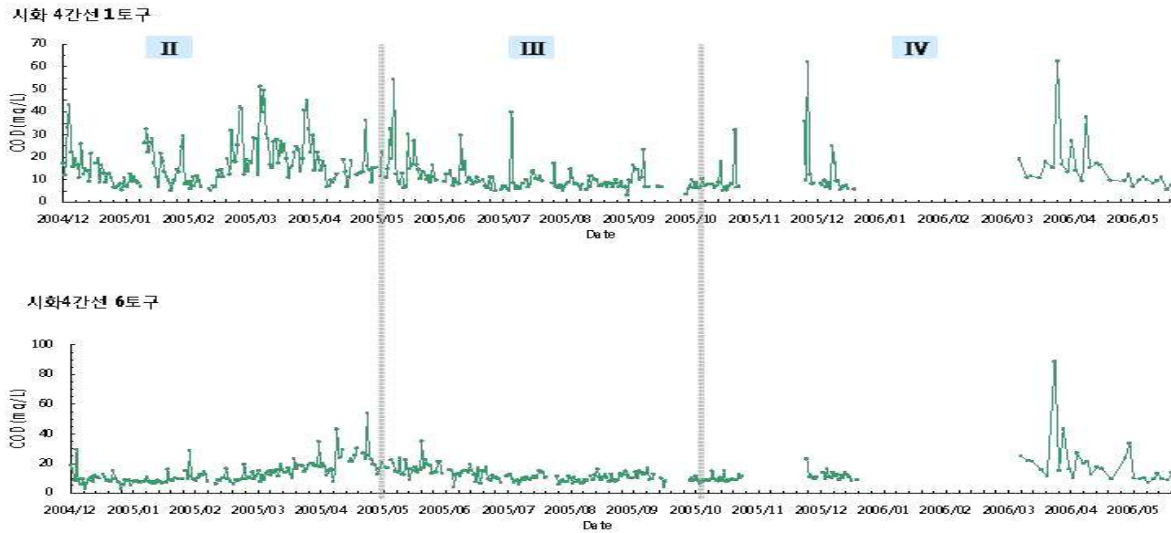


그림 2-2-12. 사후 모니터링 단계에서 COD 농도 증가한 토구 사례

## 2.5. 사업평가 결과

- 시화 4간선수로의 수질은 주변 입주업체 전수조사, 오접관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 일일 수질모니터링 등의 활동으로 1년 정도의 기간 동안에 100mg/L를 빈번하게 초과하던 COD 농도가 활동 말기에는 10~20mg/L로 큰 폭으로 개선되었음(그림 2-2-13)
- 시화 제4간선수로와 1~3간선수로의 월별 수질을 비교해 보면, 4간선수로 수질개선 사업의 단계별 활동이 종료된 2006년 이후에 4간선수로 수질은 안정화되었으나 1간선수로의 경우는 최근까지 수질 변화의 폭이 크고 COD 농도가 100mg/L를 초과하는 경우가 발생하고 있음. 이러한 점은 4간선수로의 수질이 수질개선 사업으로 개선되었음을 보여주는 것으로 판단할 수 있음(그림 2-2-14)
- 수질 개선을 위한 I 단계(원인조사 단계) 활동이 수질 개선에 끼친 영향은 수질 자료가 없기 때문에 판단할 수 없음. 그러나 II~IV단계의 활동 즉, 오접관로 보수, 하천 준설, 박스형 우수관거 준설, 수질 일일모니터링 등으로 수질 개선 성과를 달성한 것으로 판단할 수 있음
- 특히 II단계에 시행된 오접관로 보수, 하천 준설로 COD 농도가 현격히 낮아졌으나, 각각의 활동으로 수질이 어느 정도 개선되었는지는 두 활동이 이루어진 시기가 중복되기 때문에 판단하기 어려움. 박스형 우수관거 준설이 이루어진 III단계를 지나면서 대부분의 토구 수질이 안정적으로 개선되었음
- 하지만 사후 모니터링 단계 이후 COD 농도가 악화된 토구가 나타난 것으로 보아 개선된 수질을 지속적으로 유지하기 위해서는 주 2-3회 이상의 정기적인 수질 모니터링과 이에 따른 입주업체 감시효과가 중요함을 알 수 있음

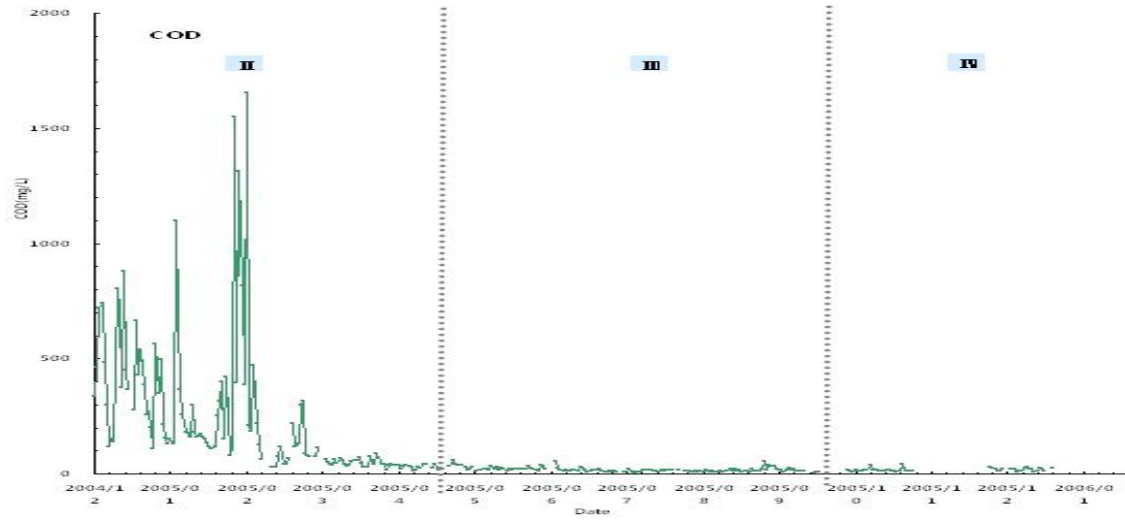


그림 2-2-13. 단계별 수질개선 활동에 따른 시화 4간선수로 차집펌프장 수질(COD)

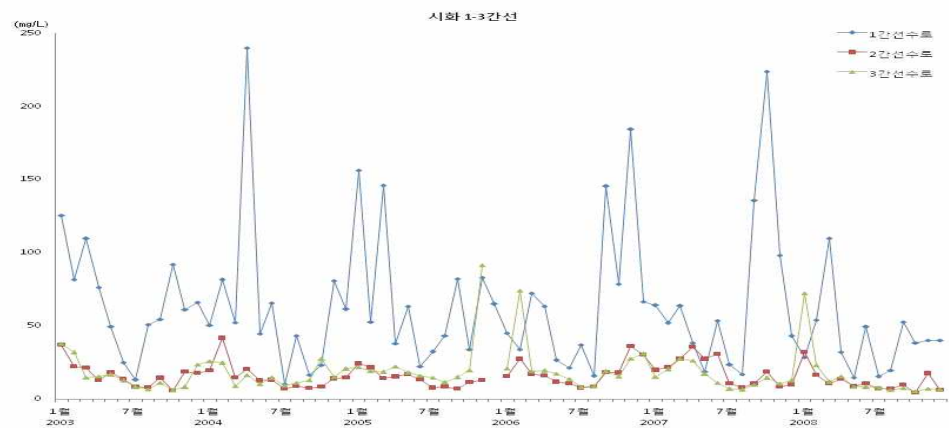
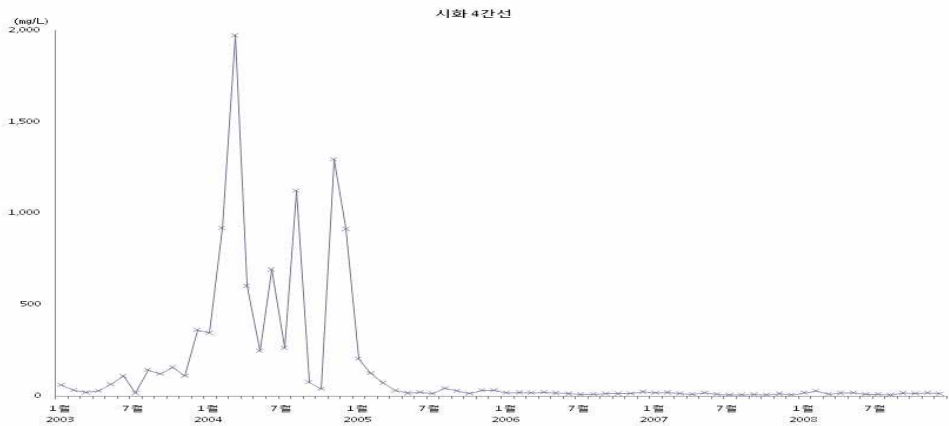


그림 2-2-14. 시화 제1~4간선수로 하류 수질(COD)  
(자료: 한국수자원공사)



- 시화 제4간선수로 수질개선 사업은 공단내 간선수로 수질개선 사업의 일부로 시범적으로 수행된 사업으로, 나머지 시화 1~3 간선수로의 수질개선 사업도 이와 거의 동일한 방식으로 진행될 예정이며, 현재 지발협 환경개선분과위원회에서 시화 제1간선수로 수질개선 사업이 진행 중임
  - 시화 제1간선수로 수질개선을 위해 제4간선수로의 경우와 같이, 입주업체 전수조사, 오접관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 수질조사(일일모니터링) 활동을 추진하고 있음
  - 제1간선수로의 경우 하천준설은 2005년 1~3월, 입주업체 전수조사는 2007.10~2008.2에 수행된 후, 2009년 5월 일일 수질모니터링을 시작으로 나머지 활동들이 추진될 예정임. 4간선수로의 경우 수질개선을 위한 일련의 활동들이 연속적으로 추진된 반면에, 1간선수로의 경우는 각각의 활동들이 비연속적으로 추진되고 있다는 점에서 차이가 있음
  - 하지만 4간선수로에서 추진한 활동들과 수질개선 관계에 대한 분석 결과는 현재 진행 중인 시화 제1간선수로 수질개선 사업에도 시사하는 바가 큼
- 관련 기관들 및 환경단체가 협력하여 전수조사, 오접관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 입주업체 환경교육, 비점오염 유발업체 관리·감독, 수질조사 등 여러 활동을 수행한 결과, 수질이 개선된 시화 제4간선수로 수질개선 사업은 향후 공단지역 하천 수질개선을 위해서 요구되는 활동이 무엇인지를 보여주는 사례라고 할 수 있음.
  - 하천 주변의 입주업체에 대한 전수조사는 하천수질 악화의 원인을 파악하기 위한 중요한 활동으로, 이를 통해 수질을 개선하기 위해 수행되어야 하는 활동이 무엇인지를 파악할 수 있음. 따라서 전수조사를 위해서는 전수조사 인력에 대한 교육이 선행되어야 하며, 현장방문을 통해 구체적인 조사·점검표가 작성되어야 함. 이를 위해서는 관련 행정기관 및 입주업체와의 협조가 필수적임
  - 오접관로 보수, 하천 및 우수관 준설, 비점오염 유발업체에 대한 관리·감독은 수질악화를 유발하는 물리적 요인을 제거하는 과정의 하나임. 이러한 활동을 원활히 수행하기 위해서는 공단지역 입주업체에 대한 환경교육이 무엇보다 중요함. 또한 오폐수 무단방류, 업체 내 비점오염유발 물질 방치 등으로 개선된 수질이 다시 악화되지 않도록 하기 위해서는 입주업체에 대한 환경교육이 수질이 개선된 이후에도 지속적으로 이루어져야 함
  - 수질조사는 수질개선 활동 수행에 따른 수질개선 효과를 파악하기 위해서 뿐만 아니라 상시적으로 수질현황을 파악하여 문제가 발생한 경우 적절한 조치를 취하기 위해서도 지속적으로 수행되어야 함. 시화 제4간선수로 수질개선 사업의 경우, 입주업체에 대한 전수조사가 종료되고 오접관로 보수 등 문제해결 단계에서부터 일일수질조사가 시작되어 그 전 단계에서 행해진 수질개선 활동의 효과를 파악할 수는 없었음. 또한 수질이 개선된 이후에도 적절한 빈도로 수질조사가 지속되어야 하며, 사후 모니터링 단계의 수질조사 결과는 인접 입주업체에 대한 교육 및 홍보자료로 활용하여 개선된 하천수질이 유지될 수 있도록 하는 것이 중요함

### 3. 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업 평가(안)

#### 3.1. 사업평가 방향

##### 3.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항

- 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업 평가의 시간적 범위는 인공습지가 완공(2005.5)된 후, 인공습지의 유입·유출수에 대한 수질측정 자료가 있는 2002년 8월부터 2008년 12월까지임. 내용적으로는 인공습지의 수질정화기능, 인공습지에 의한 시화호 유입 오염부하저감 효과를 평가대상으로 하며, 시화호 종합관리계획 개선계획(2004.10)에 의해 수행된 인공습지 기능강화 방안에 대한 연구를 검토함
- 반월천, 동화천, 삼화천의 하천수 전량이 인공습지를 거쳐 시화호로 유입되는 것은 아니므로, 시화호 유역 하천으로부터 시화호로 유입되는 오염물질의 저감 정도와 인공습지의 수질정화효율을 중점적인 평가 대상으로 함. 이러한 점에 대한 검토결과를 바탕으로 향후 가능한 인공습지 운영방안을 제시하고 각 운영방안에 따른 장·단점을 제시하고자 함

##### 3.1.2. 평가지표 및 평가의 한계

- 기존 순환관리체계 구축 연구에서 제시된 성과지표(표 2-2-11)인 '유출수의 목표수질 달성(BOD 8ppm 이하)'만으로는 인공습지가 시화호유역 하천으로부터 시화호로 유입되는 오염물질 저감에 기여한 정도를 판단할 수 없음. 또한 40mm 이상의 강우시에는 대부분의 하천수가 인공습지를 거치지 않고 시화호로 직접 유입되고 있기 때문에, 강우시 반월천, 동화천, 삼화천 유역에서 발생하는 오염부하를 저감시키는 인공습지의 기능에는 한계가 있음
- 시화호로 유입되는 오염물질 저감이라는 인공습지의 조성목적을 고려하면, 시화호 상류지역에 있는 반월천, 동화천, 삼화천의 세 개 하천유역에서 발생하는 오염부하가 인공습지를 거치면서 저감된 정도, 즉 인공습지에 의한 오염부하저감율이 평가지표가 되어야 함. 하지만 습지로 유입되는 정확한 유량과 강우시 인공습지를 거치지 않고 시화호로 직접 유입되는 유량에 관한 자료가 거의 없기 때문에, 이에 대한 분석에는 어려움이 있으며 자료 분석결과도 불확실성이 클 수밖에 없는 한계가 있음
- 따라서 본 평가에서는 인공습지 유입수·유출수 수질자료, 인공습지의 기능향상 방안 시행 관련 수질자료 등 이용 가능한 자료의 범위 내에서 인공습지의 수질정화효율을 평가하고, 기 시행된 수질기능향상 방안의 효과를 검토하고자 함. 인공습지에 유입되는 유량, 인공습지로 유입되지 않고 시화호로 직접 유입되는 하천수의 유량, 수질 등은 최근에 조사되기 시작하여 자료에 한계가 있지만, 여러 기관에서 수행된 인공습지 관련 자료를 활용하여 인공습지에 의한 오염부하저감효과를 추정한 기존 연구의 내용을 통해 인공습지에 의한 오염부하저감효과를 검토하고자 함. 또 인공습지의 생태학습장으로서의 기능을 고려하여 향후 가능한 인공습지 운영방안을 제시하고 시나리오별 장·단점을 제시하고자 함

표 2-2-11. 기존연구에서 제시된 인공습지 조성 및 운영·관리 사업의 성과지표

구분	성과목표	성과지표	측정방안
2007년 시화호 해양환경개선사업 보고서	인공습지의 안정적 유지 및 관리	유출수의 목표 수질 달성 (BOD 8ppm 이하)	정기적인 수질조사
2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획 (2008.2)	시화호 유입하천의 수질개선 도모	유출수의 목표 수질 달성 (BOD 8ppm 이하)	정기적인 수질조사
2008년 시화호 해양환경개선사업 보고서	인공습지 유출수 목표수질 달성	유출수의 목표 수질 달성도 (BOD 8ppm 이하)	(유출수 정기조사 평균수질/목표수질)*100

### 3.2. 시화호 인공습지 유역 현황

- 시화호 인공습지는 반월천, 동화천, 삼화천 합류부의 간석지에 위치하며, 이 하천들은 인공 습지를 거쳐서 시화호로 유입됨. 시화호로 유입되는 각종 오염원 중 이 3개 하천 유역의 경우 주요오염원이 축산폐수 및 미차집 도시하수가 주를 이루며, 주로 비점오염원으로 산재 되어 있음
- 시화호유역에 대한 소유역 분석결과, 전체 시화호 유역 면적 48376.61 ha에서 인공습지를 경유하여 방류되는 반월천·동화천·삼화천 유역의 면적이 11,162.1 ha로 가장 큰 23.1%를 차지하였고, 다음으로는 간석지 지역 17.3%, 안산·화정천 유역 10.3%, 문산천 유역 9.0%, 시화공단 5.8%, 송산유역 4.7%, 신길천 유역 4.5%, 대부도유역 4.2% 등이며, 시화호 자체의 경우에는 8814.7 ha로 18.2%를 차지하고 있음(국토해양부, 2008)
  - 반월천·동화천·삼화천 유역의 경우 반월천이 4350.8 ha, 동화천이 4644.4 ha, 삼화천이 1839.7 ha이며, 이는 전체 시화호 유역의 각각 9%, 9.6%, 3.8%의 면적에 해당함. 또한 반월천, 동화천, 삼화천은 평상시 인공습지로 유입되어 방류되는데, 반월천 인공습지 방류지점을 기준으로 인공습지 유역을 산정할 경우 326.2 ha의 면적이 이 유역에 추가됨(국토해양부, 2008)
  - 반월천의 경우 유로연장 12.70km, 하천연장 10.5km이고, 동화천은 유로연장 12.56km, 하천연장 10.50km, 삼화천은 유로연장 10.00km, 하천연장 3.75km임(안산환경기술개발센터, 2007)
- 반월천 유역에는 군포시, 안산시, 화성시 일부가 위치하며, 동화천과 삼화천 유역에는 화성시가 위치하고 있음. 표 2-2-12에서 보는 것과 같이, 반월천·동화천·삼화천 유역은 산림(46.63%)과 농경지(37.73%)가 대부분을 차지하는 전형적인 농업 유역의 특징을 보이며, 시가화 지역의 경우 반월천 유역에 일부 밀집되어 분포하고 있으나, 전체 점유율이 6.39%로 도시화 지역이 상대적으로 적음(국토해양부, 2008)
  - 각 하천의 특성을 살펴보면, 반월천의 중·상류부에서는 생활하수가 유입되고 하류부에는 반월도금단지 등 소규모 공장들이 있어 공장폐수가 유입되고 있었으나, 2004년 6월 27일 이후 도금단지 폐수는 안산 하수처리장으로 전량 차집되고 있음. 삼화천 하류부에는 농업



용수 확보를 위한 갑문이 설치되어 있으며, 동화천 유역은 건기에는 하천유량이 적으며 유역면적에 비해 유로연장이 짧아 우기에는 유량이 일시에 집중됨(한국수자원공사, 2006)

- 반월천·동화천·삼화천 유역에서의 2006년 물순환 분석결과, 2006년 1년 동안 반동삼 유역에는 총 1322 mm의 강우가 내렸으며, 이 중 증발산이 전체의 41.4%인 544 mm, 하천 유출량이 62%인 825 mm, 저류량의 변화가 -4%인 -47 mm이었음. 하천 유출량의 대부분은 침투초과우량으로 전체 강우량의 49%이며, 대공극류는 강우량의 약 9%인 것으로 분석되었음(국토해양부, 2008)
- 시화호 유역을 10개의 소유역으로 구분하여 비점오염원에 의해 시화호로 유입되는 BOD 유달부하량을 추정된 결과, 총 BOD 유달부하량은 1541.98kg/day이고 반월천·동화천·삼화천 유역에서의 BOD 유달부하량은 465.28kg/day로 30.2%를 차지하고, 총 TN 유달부하량 289.95kg/day 중 3개 하천 유역에서의 TN 유달부하량은 71.48kg/day로 24.7%, 총 TP 유달부하량 85.57kg/day 중 3개 하천 유역에서의 TP 유달부하량은 22.23kg/day로 26.0%를 차지함(해양수산부, 2004)
  - 각 하천 유역별 BOD 유달부하량은 반월천 272.06kg/day, 동화천 154.59kg/day, 삼화천 38.63kg/day이고, TN 및 TP 유달부하량은 각각 반월천 37.83kg/day, 14.623kg/day, 동화천 28.60kg/day, 6.618kg/day, 삼화천 5.05kg/day, 0.987kg/day임
- 인공습지 유역의 반월천, 동화천, 삼화천의 수질은 BOD 농도 기준으로 하천 생활환경기준 IV~VI 등급이며, 반월천과 동화천에 비해 삼화천의 수질이 양호한 편임. 인공습지가 운영되기 시작한 2002년의 경우 반월천의 연평균 BOD는 10.0mg/L, 동화천 9.5mg/L, 삼화천 6.6mg/L이었으며, 그 이후 대체적으로 수질이 개선되는 추세로 2007년의 연평균 BOD 농도는 반월천의 경우 5.9mg/L, 동화천은 5.2mg/L, 삼화천은 5.0mg/L였음. 그러나 2008년에 반월천의 BOD가 10.2mg/L, 동화천 7.8mg/L, 삼화천 5.4mg/L로 반월천, 동화천의 오염도는 이전 시기에 비해 다소 높아졌음(그림 2-2-15)
- 반월천, 동화천, 삼화천의 COD 농도는 1997년에는 반월천 25.8mg/L, 동화천 15.3mg/L, 삼화천 9.7mg/L였으나 최근에는 3개 하천 모두 연평균 COD 농도가 10mg/L내외임. TN의 경우는 증가추세였으나 2004년 이후 감소하기 시작하여 2008년에는 10mg/L 내외임. TP 농도도 1997년 이후 지속적으로 감소하는 추세이나 TN의 경우와 달리 반월천, 삼화천보다 동화천의 농도가 더 높음. SS는 농도 변화 폭이 컸으나 2002년 이후 비교적 안정화되었으며 3개 하천에서 대체로 15~25mg/L로 나타났음(그림 2-2-15)

표 2-2-12. 반월천·동화천·삼화천 유역 토지피복 현황

토지이용	면적(k㎡)	점유율(%)
수역	0.75	0.67
시가화지역	7.14	6.39
나대지	5.47	4.90
습지	0.93	0.83
초지	5.71	5.12
산림	52.04	46.63
농경지	39.57	35.45
총계	111.62	100.00

\* 자료: 국토해양부, 2008, 시화호 해양환경 개선 사업

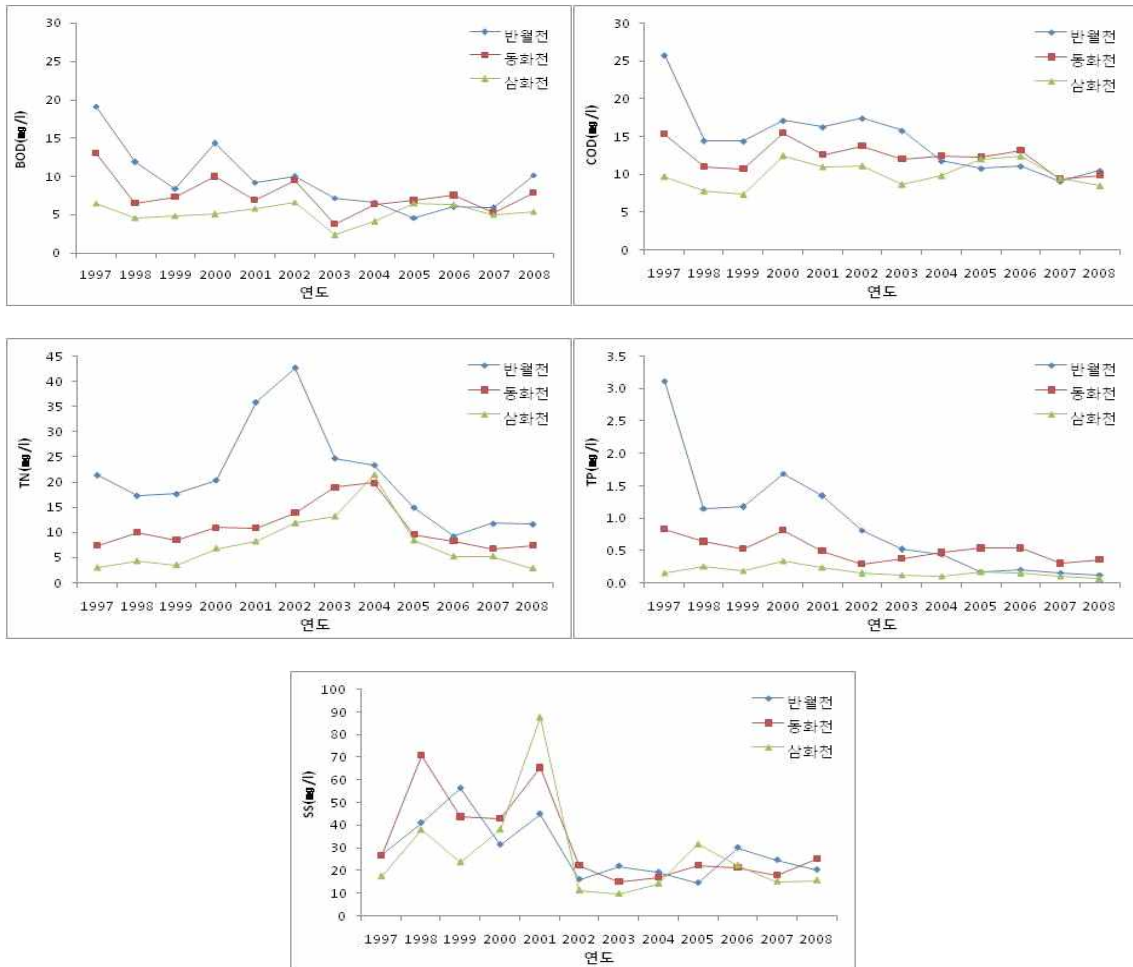


그림 2-2-15. 반월천, 동화천, 삼화천 수질 현황  
(자료: 한국수자원공사)

### 3.3. 시화호 인공습지 현황

#### 3.3.1. 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업 개요

- 인공습지 조성 사업은 1996년 7월에 환경부 주관으로 수립된 '시화호 수질개선 대책'에서 육상기인 오염부하 저감 사업의 하나로 결정되어 시화호 종합관리계획에서도 지속적으로 추진된 사업이며, 사업수행기관은 수자원공사임
- 인공습지 조성 목적은 다음과 같음(한국수자원공사, 1997)
  - 반월천, 동화천, 삼화천 상류에서 유발된 도시하수, 축산폐수의 물리적, 생물학적 처리
  - 야생동물의 서식지 창출
  - 자연생태공원의 조성에 의한 도시민의 휴게 및 교육공간 확보
  - 최종방류 수역과의 자연완충지대 조성
- 인공습지는 1997년 6월에 공사가 시작되어 2002년 5월에 완료되었음. 인공습지의 오염물질(BOD, TN, TP) 제거효율은 조성 초기에 약 50% 수준을 보였으나, 2003년 이후부터 제거효율이 저하되는 현상을 보였고, 일시적으로 방류수질이 유입수질보다 높게 나타나는 문제점이 발견되었음. 이에 시화호 종합관리계획 개선계획(2004.10)에 인공습지 기능강화 사업이 추가되었으며, 2단계 시화호 종합관리계획(2008.2)에서는 인공습지 조성, 인공습지 기능강화의 두 가지 사업을 통합하여 인공습지 조성 및 운영·관리 사업으로 추진되고 있음
  - 시화호 종합관리계획의 세부시행사업 중 하나인 시화호 인공습지 조성 및 운영·관리 사업의 목표는 시화호 유역 하천으로부터 오염물질 유입을 저감시키기 위하여 갈대 등 수생식물을 식재하여 자연정화 작용을 이용한 수질개선임
- 수자원공사에서는 인공습지의 교육 및 생태공원 기능을 위해 2002년 5월에 시화호 인공갈대습지공원을 개장하여 운영하고 있으며, 시화호 환경관리센터(2002년 6월 개소)에서 조정유지관리, 습지시설물 보수, 습지 수질조사, 조류피해대책 지원, 체수문 운영 및 점검정비 등 인공습지를 유지관리하고 있음
  - 인공습지 유입·유출수에 대한 수질조사를 2~3회/월 정기적으로 수행하고 있으며, 수질조사 항목은 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, 클로로필-a, 전기전도도, 총인, 총질소 등임
  - 인공습지는 시화호 환경관리센터 소속 12명, 인공습지 전문위원 1명, 공익요원 8명 등 20여명에 의해 운영·관리되고 있음. 시화호 환경관리센터 소속 인원의 경우, 인공습지 관련 업무만을 전담하고 있지는 않음
- 인공습지의 오염물질 제거효율이 조성 초기에 비해 저하됨에 따라 인공습지의 효율적 운영방안 마련을 위해 2005~2006년에 인공습지 기능강화 대책 연구를 시행하였음
- 인공습지 사업의 총 예산은 378억원으로 2008년까지 356억원이 투자되어 전체 예산의 94.2%가 집행되었음. 2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획(2008.2)에 의하면, 인공습지를 현재와 같은 상태로 유지·관리하기 위해 연간 8억원이 소요될 것으로 예상하고 있음
- 현재 인공습지는 수자원공사가 운영하고 있지만 인공습지가 위치한 구간은 안산시와 화성시 관할 지역임. 따라서 향후 인공습지 시설의 해당 지자체로의 귀속 및 운영주체에 대한 협의가 필요함
  - 인공습지 점·사용 허가기간: 1997~2011

### 3.3.2. 시화호 인공습지 규모 및 시설개요

- 시화호 인공습지는 시화호 상류하천인 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점의 간석지인 경기도 안산시 본오동 및 경기도 화성시 비봉면, 매송면 일원에 위치함. 인공습지의 전체 규모는 104ha(1,037,500m<sup>2</sup>), 습지조성면적은 75ha(750,923m<sup>2</sup>)이며, 반월천, 동화천 습지는 습지조성지역의 특성상 고습지와 저습지로 구분됨(표 2-2-13)
- 고습지는 저류보에 저장된 물을 펌핑하여 유입시키며 저습지는 저류보의 일정 수위 이상에서 물이 자연적으로 유하되어 습지로 유입됨. 고습지와 저습지 사이에는 2개의 연결구가 있어 물 분배를 효과적으로 할 수 있게 되어 있으나, 실제로는 운영되고 있지 않기 때문에 고습지와 저습지는 차단되어 있는 것으로 볼 수 있음. 습지의 유입구는 한 곳인 반면 방류구는 여러 곳(반월천 고습지의 경우 4곳)에 설치되어 있음(최돈혁 외, 2008)
- 시화호 인공습지는 강우시 설계유량 3.0m<sup>3</sup>/sec 이상의 유입수량에 대해서는 상류지역 홍수조절을 위하여 시화호로 직접 방류되도록 계획되었음(한국수자원공사, 1997)
  - 반월천, 동화천의 경우, 강우량이 3.0m<sup>3</sup>/sec 이하일 때는 펌프를 이용하여 0.3m<sup>3</sup>/sec까지를 고습지로 이송 처리하고 잔여 2.7m<sup>3</sup>/sec에 이르는 유량은 수위형성에 따른 자연유하로 저습지로 유입됨. 3.0m<sup>3</sup>/sec 이상의 강우 발생시는 초기강우에 의한 오염부하는 대부분 습지에 유입되었다는 가정하에 수문을 열어 인공습지를 거치지 않고 시화호로 직접 유입되도록 by-pass 시킴. 삼화천 습지의 경우, 0.4m<sup>3</sup>/sec 이하의 유입수 발생시는 자연유하로 유입 처리하며 0.4m<sup>3</sup>/sec 이상의 강우 발생시에는 습지로의 유입을 차단하고 설치된 weir를 이용하여 시화호로 유출시키도록 계획되었음
- 시화호 인공습지는 폐쇄수역(Close water), 개방수역(Open water), Island, 저류시설, Stop-log weirs 등으로 구성되어 있으며, 주요 시설 현황은 표 2-2-14와 같음
- 폐쇄수역과 개방수역은 식물의 식재 여부에 따라 구분되는데, 폐쇄수역은 수심이 0.5~0.6m로 인공습지의 수질정화기능을 담당하는 갈대와 부들로 채워져 있음. 개방수역은 식물이 식재되어 있지 않은 구간으로 수심 1.0~1.1m로 유지되어 어류 및 야생동물의 서식공간으로서 기능함과 동시에 습지내 산소를 공급하는 기능을 가지고 있음(최돈혁 외, 2008)

표 2-2-13. 시화호 인공습지 규모

구분		면적(m <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>
반월천	고습지	190,063
	저습지	225,889
동화천	고습지	152,500
	저습지	113,499
삼화천 습지		68,672
총 습지면적		750,923

주: 1) 면적은 갈대가 식재된 면적만을 말함

\* 자료: 한국수자원공사, 2002, 시화호 인공습지 운영관리 방안 연구

표 2-2-14. 시화호 인공습지의 주요 시설 현황

시설물	구분	시설내용
Close Water	목적	정수식물(갈대) 식재로 수질개선 및 자연 생태공원 조성
	규모	면적: 58 ha (583,408m <sup>2</sup> )
Open Water	목적	어류 및 야생동물 활동공간 제공
	규모	면적: 15 ha (148,324m <sup>2</sup> )
Island	목적	야생 조류의 휴게 및 서식지 제공
	규모	면적: 2 ha (18,891m <sup>2</sup> )
하천조성	내용 및 목적	- 가능한 한 현 자연수로를 유지하며, 동화천 480m, 내하천 440m의 유로변경 - 홍수시 제방 및 조성습지의 유실방지를 위한 수로형성
	제방	폭 3.5m * 연장 5,911.3m 기울기 1:3 ~ 1:4, 제방높이 EL 3.0~5.5m
	세굴방지 시설	중자부착 거적 덮기, 사석 쌓기
	유로변경	동화천 480m, 삼화천 440m
저류시설	목적	유량분배 및 자연 유하를 위한 일정수위 및 수량 확보
	제수문	- 위치: 반월천, 동화천 각 1개소 - 형식: Roller Gate(Pin Jack Double Type) - 규모: Clear span(W) 6.0m * Clear height(H) 3.8m*5set
	취수보	- 위치: 삼화천 1개소 - 규모: H3.5m*B25m, Apron 12.0m, 언체 5.06m, 하상보 호공 18m
진입도로	목적	반월천, 동화천 습지의 주접근로 형성
	규모	폭 8.5m * 연장 1,152.9m, 아스팔트 포장
유지관리도로	목적	내부 Cell 운영 및 유지관리
	규모	유지관리도로 A: 폭 4.5m * 연장 1,583m 유지관리도로 B: 폭 3.5m * 연장 711m 유지관리도로 C: 폭 3.0m * 연장 3,383m
관찰로 및 자연학습원	목적	방문객의 자연관찰을 위한 동선확보 및 교육, 식물 식종/식재시 이용
	조경 시설물	관찰로 2.6km, 관찰 Pocket 9개소, 관찰데크(대) 12개소, 정자 1개소, 연못 1개소
	자연 학습원	전망대/전시관(2층) 연면적 1,092 m <sup>2</sup> , 관리사무소(1층) 연면적 95.76m <sup>2</sup> , 온실(1층) 연면적 109.72m <sup>2</sup> , 주차장(42대), 운동장관리사무소 67m <sup>2</sup> , 화성시 전망대 324m <sup>2</sup>
Stop-log Weirs	목적	수위관리 및 Cell 별 유지관리
	규모	W1,200 * H1,200, W1,200 * H1,700, W1,700 * H1,700
펌프시설	목적	각 습지로의 유량 균등 공급
	위치	반월천, 동화천 각 1개소
	시설	25,920m <sup>3</sup> /day

\* 자료: 한국수자원공사, 2007, 2007년 시화호 인공습지 수질조사보고서

표 2-2-15. 시화호 인공습지 방문객 현황

(단위 : 명)

구분	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
전체	38,000	116,044	182,130	251,562	260,077	263,136	288,367
유관기관			425	470	698	707	3,978
워터투어 <sup>1)</sup>			1,013	1,450	1,924	2,523	2,652
단순견학			180,692	249,642	257,455	259,906	281,737

주: 1) 수자원공사의 물 관련 시설 견학 프로그램

\* 자료: 수자원공사

- 시화호 인공습지는 수질정화 기능뿐 아니라 자연 학습 체험장으로서 기능하고 있음. 인공 습지 방문객은 완공 당시인 2002년에 38,000명이었고, 이후 지속적으로 증가하여 2008년에는 288,367명이었음(표 2-2-15)

### 3.3.3. 국내외 인공습지 사례

- 유럽국가 및 미국, 일본 등에서 여러 가지 다양한 이유와 목적으로 습지가 조성되고 복원되고 있음. 습지를 조성하는 가장 보편적인 목적은 수질개선, 다른 지역에서 손실되는 습지의 보충, 야생동물의 서식처 제공 등임(박병훈, 2003). 국내의 경우, 조성 또는 계획 중인 인공습지는 주로 호소 상류 유입하천 주변부에 조성되어 하류 저수지로의 점·비점오염원의 유입을 방지하는 역할을 하고 있으며, 환경부의 4대강 물관리종합대책의 일환으로 기존 상수원댐의 유입하천에 인공습지 조성 사업이 집행되고 있음(최지용·반양진, 2007)
- 인공습지의 처리효율은 설계방법, 오염원의 종류, 부하량, 전처리방법, 처리면적/체류시간에 따라 변하게 됨. 국내외 주요 인공습지의 처리효율은 표 2-2-16과 같음. 일본의 가스미가우라호 Bio-Park과 농업기반공사 신정호 인공습지는 호소수를 직접처리하는 방법이며, 일본의 山王川과 靑明川은 가스미가우라호 수질개선을 위한 유입하천의 설치된 습지임. 미국 습지 경우에는 Des Plains River의 인공습지를 제외하고는 나머지 습지들은 산화지의 처리수를 재처리하는 습지임(박병훈, 2003)
  - 체류시간과 처리효율의 관계를 보면 체류시간이 길수록 처리효율은 높게 나타남. 일본의 습지와 국내의 신정호 습지의 경우는 체류시간을 0.5~10시간 정도로 짧게 운영하고 있으며, TN 처리효율은 15~32%임. 반면에 4일 이상의 체류시간으로 운영하는 미국의 경우는 TN 처리효율이 60%이상임
  - 유입되는 수질농도가 높은 경우에 인공습지의 처리효율이 높게 나타남. 미국 Hillsboro 습지의 경우에는 SS의 농도가 낮기 때문에 습지의 처리수가 유입수보다 높게 나타나는 결과가 나타났음

표 2-2-16. 인공습지의 처리효율

(단위 : 유입수질(mg/L), 처리효율(%))

구분	체류 시간	구분	BOD	SS	T-N	T-P	비고
일본 가스미가우라호 Bio-Park	0.5시간	유입수질	6.9	20.9	3.7	0.12	
		처리효율	28	42	15	21	
농업기반공사 신정호 인공습지	1.9시간	유입수질	3.1~10.4	7.0~42.0	1.4~4.0	0.08~0.33	
		처리효율	9.1~78.8 (49.2)	4.3~89.5 (65.7)	0.1~55.0 (23.9)	0~49.7 (27.4)	
일본 세네가와(青明川)	5시간	유입수질			2.82	0.185	
		처리효율			17	21	
일본 산노가와(山王川)	5~10시간	유입수질			3.4	0.23	
		처리효율			32	39	
전남 고흥군 신양천 전남대 실험시설	1.5일	유입수질	6.0	15.4	5.8	0.198	
		처리효율	58	65	57	57	
북미 습지 DB (지표흐름형 습지)	4~14일	유입수질	5.1~151.0		3.32~51.0	0.53~11.0	
		처리효율	64.8		70.1	54.3	
미국 Lakeland, FL	-	유입수질	3.88	5.60	10.36	9.05	
		처리효율	19.6	16.1	80.8	53.4	
미국 Canon Beach, OR	10~14일	유입수질	27	51			
		처리효율	77.8	78.4			
미국 West Jackson County, MS	12일	유입수질	13~46	12~49			
		처리효율	62~93	53~89			
미국 Hillsboro, OR	4~27일	유입수질	5.1	7.7	11.9	6.3	
		처리효율	40	-24.7	59.7	39.7	
미국 Des Plains River, IL	6.5일	유입수질		49.8	1.8		T-N은 NO <sub>3</sub> -N임
		처리효율		86~90	61~92	65%	
초기강우유출수 처리 인공습지		처리효율		50-80	<30	15-45	

\* 자료: 박병훈, 2003, 자연형하천정화를 위한 인공습지 조성방안, 환경관리공단

- 시화호 인공습지와 같이 하천수 정화를 목적으로는 하는 인공습지의 사례로는 미국의 Des Plaines River 인공습지를 들 수 있음. 이 인공습지는 Illinois주 Wadsworth 주변에 4개의 습지(규모는 1.9~3.4 ha)로 조성되어, 하천정비를 위한 기준을 얻고 유지관리 지침서를 작성하는 것을 목적으로 시범사업으로 운영되고 있음(박병훈, 2003)
- Des Plaines River 인공습지가 위치하고 있는 유역은 농업(80%) 및 도시지역(20%)으로 구성되어 있으며, 하천은 토지이용활동에 따른 비점오염물질과 소규모 가정하수처리장으로부터 점오염물질로 인해 오염이 되어 있음. 습지의 경우는 대부분 자연유하식으로 물을 유입하는 것이 더 좋은 방법이지만 본 사업에서는 부지의 제약과 다양한 수리학적 조건

- 에 대한 실험을 위해서 양수를 통해서 강에서 습지로 물이 유입되도록 하였음
- 습지의 체류시간은 평균 6.5일임. 하천에서 중요한 수질문제는 탁도와 관련되어 있는데, 하천의 SS는 59mg/L정도이고, SS의 처리효율은 86~90%수준임. 인의 처리효율은 평균 65%인데, 겨울철에는 하천의 인의 농도가 낮고 저온으로 습지의 생물학적 처리과정이 낮기 때문에, 인 처리효율은 겨울철에는 낮고 여름철에는 높음.
  - 질소의 경우 유입수의 유기성 질소는 약 0.6 mg/L이며, 암모니아성 질소는 약 0.05 mg/L로 매우 낮으며, 질산성 질소는 1.22~2.46 mg/L의 분포를 보임. 인공습지에 의한 질소 처리효율은 61~92%로 나타났음. 질산성 질소의 제거는 탈질작용으로 추정되며, 온도가 높은 계절에 처리효율이 높게 나타났음. 미생물과 관련된 이러한 처리과정은 수리학적 부하량이 낮아 체류시간이 길어지는 조건에서 훨씬 효과적인 것으로 나타나 습지의 전반적인 효과는 충분한 접촉시간이 가능할 때 질산성 질소가 제거되는 것으로 보고하였음
- 인공습지는 흐름형태에 따라 지표흐름형(Surface flow system 또는 Free water surface flow system), 지하흐름형(Subsurface flow system), 지하침투형(Vertical subsurface water flow system)으로 구분할 수 있으며, 국내 저수지에 비점오염원 저감을 위해 조성된 인공습지는 모두 지표흐름형 습지에 해당됨(최지용·반양진, 2007)
- 지표흐름형 습지는 자연습지와 매우 유사한 형태와 기능을 갖고 있으며 가장 광범위하게 적용되어 왔으나, 오염물질 제거 효율이 높지 않기 때문에 넓은 면적의 부지가 필요함. 지하흐름형 습지는 지표흐름형 습지보다 필요면적이 적은 장점이 있지만, 초기 조성비용이 많이 소요되고 운영 중 심각한 폐쇄현상이 발생할 수 있기 때문에 대부분 소규모 생활하수처리에 국한되어 적용됨. 지하침투형은 지표흐름형과 지하흐름형이 혼합된 형태의 습지로, 유입수의 일부가 지하로 침투하여 지하흐름형 습지에서와 같이 처리되지만 다른 일부는 지표흐름형 습지와 같이 지표면 위로 흘러가면서 침전, 분해과정을 거치고 지표에서 지하로 침투하여 차집관을 통해 최종 방류되는 형태임(최지용·반양진, 2007; 한국수자원공사, 2006)
- 인공습지의 흐름형태에 따른 오염물질 처리효율은 지표흐름형보다 지하흐름형에서 높은 것으로 나타남. 한국농촌공사 농어촌연구원에서 충남 아산시 마산 저수지 수변에 위치한 연구목적의 인공습지에 2005~2006년에 침강연못-지표흐름-지하흐름 인공습지시스템(실용화시스템)을 적용한 결과, 표 2-2-17과 같이 지하흐름형 습지에서의 처리효율이 지표흐름형 습지와 자체 개발한 실용화시스템보다 높은 것으로 나타났음(한국농촌공사 농어촌연구원, 2006)
- 한국농촌공사 농어촌연구원에서 개발한 인공습지의 실용화시스템은 수질정화효과를 극대화하기 위해 시설물을 재배치한 것으로, 지표흐름습지와 지하흐름습지를 직렬로 배치하고 침강지를 전처리시설로 도입하였음. 침강지는 유량의 균등분배와 유입수의 입자상 고형물을 1차 제거하기 위해 설치하였으며, 지표흐름습지를 통해 식물체에 의한 흡수와 호기성 산화물, 지하흐름습지를 통해 탈질화를 유도하였음. 이와 같은 배치가 지하흐름 습지의 여재의 막힘현상을 방지하고 장기간 안정적인 운영에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단하였음



표 2-2-17. 마산저수지 인공습지의 형태에 따른 수질정화효과

(단위 : mg/L)

구분		BOD	COD	SS	TN	TP
유입수		7.7	9.6	28.7	1.918	0.160
지표흐름형	농도	2.5	8.2	6.6	0.969	0.077
	효율	68%	15%	77%	49%	52%
지하흐름형	농도	0.3	4.7	4.7	0.357	0.043
	효율	96%	51%	84%	81%	73%
실용화시스템 <sup>1)</sup>	농도	0.8	5.8	3.2	0.752	0.035
	효율	88%	34%	81%	54%	72%

주: 1) 한국농촌공사 농어촌연구원에서 개발한 침강연못-지표흐름-지하흐름의 인공습지시스템

\* 자료: 한국농촌공사 농어촌연구원, 2006, 농업용수 수질개선 실용화연구(최종)

### 3.4. 시화호 인공습지의 수질 개선효과 분석

#### 3.4.1. 시화호 인공습지의 오염물질 제거효율

##### ① 인공습지의 연평균 오염물질 제거효율

- 시화호 인공습지의 오염물질 제거효율은 개별 습지에 따라 그리고 시기 및 수질항목에 따라 다르게 나타나고 있음(표 2-2-18~2-2-20). 인공습지의 오염물질 제거효율은 운영초기에 더 높았던 것으로 나타났고, 2004~2005년에 오염물질 제거효율이 운영초기보다 크게 저하되었다가 그 이후 향상되는 추세임. 2002년부터 2008년까지의 시화호 인공습지의 평균 오염물질 제거효율은 BOD의 경우 29.4%, TN은 25.6%, TP는 19.7%, SS는 34.9%임. 그리고 연평균 제거효율은 항목에 따라 불규칙한 연변동을 보이고 있음
- 인공습지의 연평균 오염물질 제거효율을 보면, BOD의 경우 반월천 습지에서는 14.2~48.6%, 동화천 습지에서는 13.8~45.1%, 삼화천 습지에서는 10.0~33.5%의 제거효율을 보임. TN, TP 항목은 반월천 습지에서 각각 23.3~41.7%, -12.2~57.6%, 동화천 습지에서는 13.3~45.2%, -5.3~56.5%, 삼화천 습지에서는 10.9~26.1%, -42.8~53.4%의 제거효율을 보이고 있음. SS의 경우는 반월천 습지에서 -10.9~82.5%, 동화천 습지에서 -6.9~51.1%, 삼화천 습지에서는 3.9~46.9%의 제거효율을 보임.
- 시화호 인공습지의 오염물질 제거효율을 시화호 인공습지와 같이 하천수를 처리하는 일본의 가스미가우라호 Bio-Park, 2002년 공사가 완료되어 시화호 인공습지와 운영된 기간이 비슷한 복내 Bio-Park(하수처리장 방류수 및 비점오염원 처리)와 비교하면, BOD 제거효율은 가스미가우라호 Bio-park(20.8%), 복내 Bio-Park(26%)와 비슷한 수준임. SS 및 TP 제거효율은 두 습지에 비해 대체적으로 낮은 편으로, 가스미가우라호 Bio-Park의 SS와 TP 제거효율은 각각 42%, 42%이고, 복내 Bio-Park의 경우는 43%, 83%임. TN 제거효율은 가스미가우라호 Bio-Park(15%)보다는 높지만 복내 Bio-park(62%)보다는 낮은 수준임(박병훈, 2003; 국립환경과학원 영산강물환경연구소, 2009)

표 2-2-18. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(반월천 습지)

(단위 : %)

구분	BOD			TN			TP			SS		
	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균
2002	54.8	42.3	48.6	23.3	41.0	32.2	49.8	65.3	57.6	86.5	78.4	82.5
2003	41.7	43.1	42.4	30.2	16.3	23.3	17.1	44.5	30.8	79.1	50.3	64.7
2004	27.7	15.2	21.5	29.8	17.4	23.6	-11.0	-13.3	-12.2	56.2	28.1	42.2
2005	37.9	31.5	34.7	33.2	25.9	29.6	-10.0	32.0	11.0	59.1	40.4	49.8
2006	24.5	19.7	22.1	42.0	35.2	38.6	28.4	12.8	20.6	39.5	12.4	26.0
2007	54.7	29.5	42.1	52.3	31.0	41.7	52.4	37.3	44.9	34.6	9.8	22.2
2008	27.1	1.2	14.2	30.0	18.1	24.1	3.7	13.1	8.40	10.6	-32.3	-10.9
평균	38.3	26.1	32.2	34.4	26.4	30.4	18.6	27.4	23.0	52.2	26.7	39.5

\* 자료: 2002~2007년 제거효율은 『2007년 시화호 인공습지 수질조사보고서』(한국수자원공사, 2007)에서 인용, 2008년 제거효율은 한국수자원공사의 인공습지 수질조사 자료 이용

표 2-2-19. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(동화천 습지)

(단위 : %)

구분	BOD			TN			TP			SS		
	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균	고습지	저습지	평균
2002	45.7	42.1	43.9	37.9	27.9	32.9	71.3	41.6	56.5	65.9	33.1	49.5
2003	37.6	35.9	36.8	27.3	12.0	19.7	37.7	37.6	37.7	57.3	44.9	51.1
2004	8.1	19.5	13.8	36.3	-6.5	14.9	6.5	17.3	11.9	42.7	45.5	44.1
2005	49.1	41.0	45.1	23.6	3.0	13.3	-4.3	-6.2	-5.3	32.3	-46.0	-6.9
2006	26.5	22.8	24.7	44.8	23.1	34.0	33.3	15.6	24.5	45.9	12.7	29.3
2007	31.4	29.8	30.6	36.1	22.9	29.5	0.1	17.6	8.9	47.9	22.9	35.4
2008	47.4	26.7	37.1	48.7	41.7	45.2	25.4	21.8	23.6	46.5	51.3	48.9
평균	35.1	31.1	33.1	36.4	17.7	27.1	24.3	20.8	22.5	48.4	23.5	35.9

\* 자료: 2002~2007년 제거효율은 『2007년 시화호 인공습지 수질조사보고서』(한국수자원공사, 2007)에서 인용, 2008년 제거효율은 한국수자원공사의 인공습지 수질조사 자료 이용

표 2-2-20. 연평균 인공습지의 오염물질 제거효율(삼화천 습지)

(단위 : %)

구분	BOD	TN	TP	SS
2002	33.5	21.6	53.4	46.9
2003	21.9	19.5	41.8	38.2
2004	19.2	16.7	16.9	44.1
2005	26.2	26.1	4.2	33.8
2006	22.6	22.9	16.6	29.6
2007	19.3	17.0	5.0	3.9
2008	10.0	10.9	-42.8	8.7
평균	22.8	19.2	13.6	29.3

\* 자료: 2002~2007년 제거효율은 『2007년 시화호 인공습지 수질조사보고서』(한국수자원공사, 2007)에서 인용, 2008년 제거효율은 한국수자원공사의 인공습지 수질조사 자료 이용

② 인공습지의 계절별 오염물질 제거효율

○ 반월천, 동화천, 삼화천 습지의 계절별 오염물질 제거효율은 비슷한 경향을 보임. BOD와 TP는 대부분 봄철과 여름철에 효율이 저하되었으며, SS는 여름을 제외한 계절에 제거효율이 저하되는 등 계절에 따른 변동이 매우 심함. TN의 경우는 반월천 고·저습지, 동화천 고습지에서 다른 항목에 비해 비교적 안정적인 제거효율을 보였으나, 동화천 저습지와 삼화천 습지에서는 제거효율이 저하되는 경우가 발생하는 등 습지에 따라 제거효율이 상이하였음(그림 2-2-16~2-2-18)

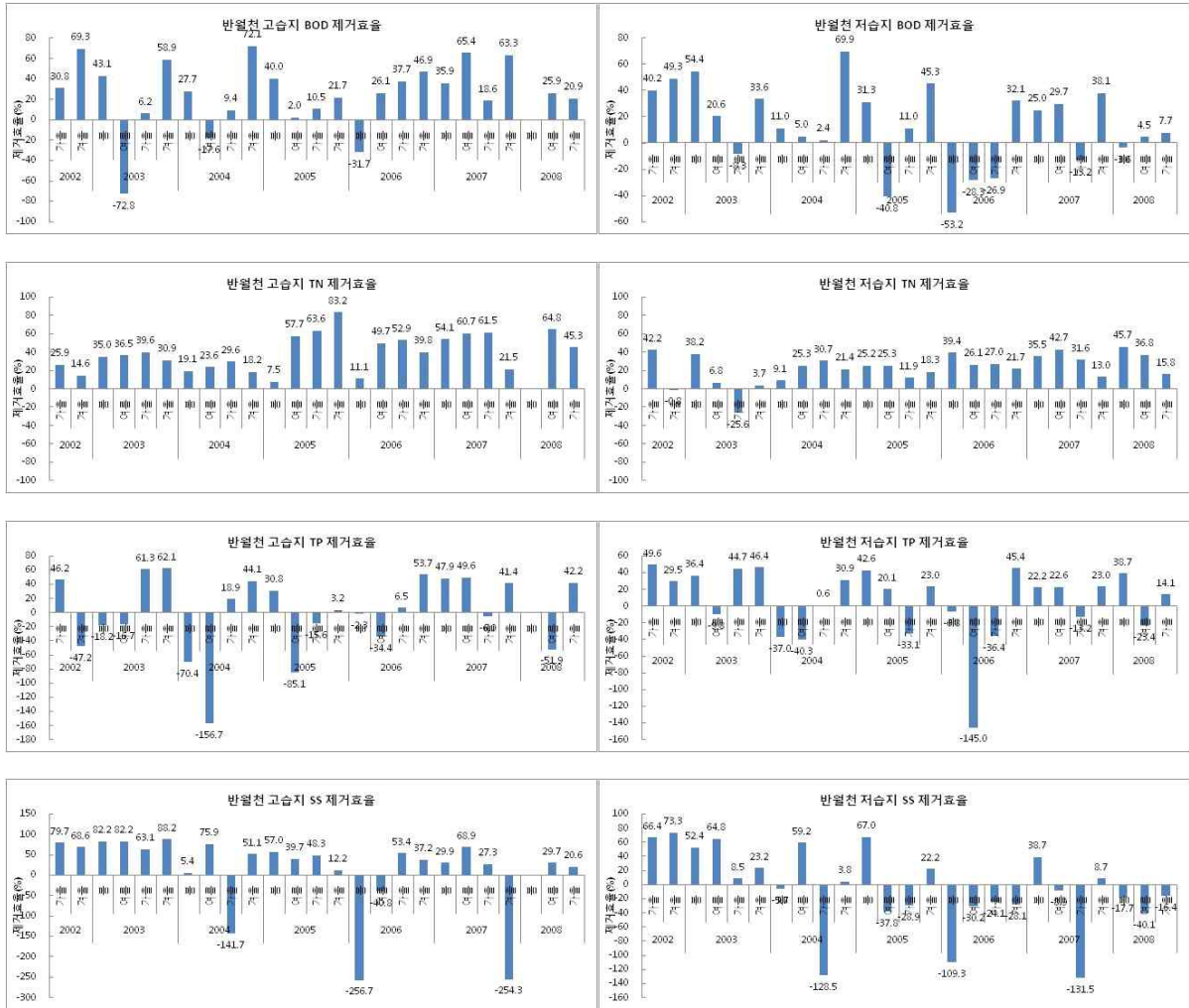


그림 2-2-16. 반월천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 (자료: 한국수자원공사)



그림 2-2-17. 동화천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 (자료: 한국수자원공사)

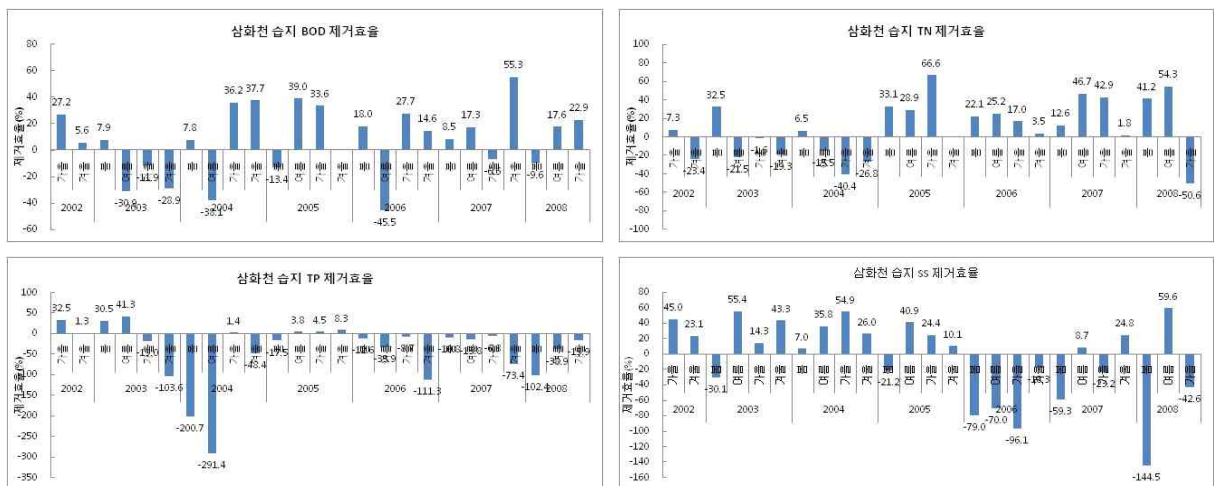


그림 2-2-18. 삼화천 습지의 계절별 오염물질 제거효율 (자료: 한국수자원공사)

표 2-2-21. 시화호 인공습지의 계절별 평균 오염물질 제거효율(2002-2008년)

(단위 : %)

구분	봄	여름	가을	겨울
BOD	19.6	21.3	32.5	37.4
TN	30.0	24.9	22.8	15.7
TP	-9.9	-23.5	42.5	32.2
SS	-1.3	43.8	28.3	37.7

\* 자료: 한국수자원공사

- 인공습지의 오염물질 제거효율을 2002년부터 2008년까지 계절별 평균으로 보면, BOD 제거효율은 겨울에 37.4%로 가장 높았고, 가을에는 32.5%, 여름에는 21.3% 였으며, 봄에는 19.6%로 가장 낮았음. TN 제거효율은 봄에 30.0%로 가장 높았고, 여름, 가을에는 각각 24.9%, 22.8%로 비슷한 수준이었으며, 겨울에 15.7%로 가장 낮았음. TP 제거효율은 가을에 42.5%로 가장 높았으며, 겨울에는 32.2%였으나, 봄, 여름에는 각각 -9.9%, -23.5%로 마이너스 효율을 나타냈음. SS 제거효율은 여름에 43.8%로 가장 높았으며, 겨울, 가을에는 각각 37.7%, 28.3%였으나 봄에는 -1.3%로 제거효율이 없는 것으로 나타남(표 2-2-21).
- BOD 제거효율은 인공습지내의 습지식물과 식물플랑크톤 증식에 의해 습지 자체의 BOD가 증가되고, 과도하게 증가된 유기물로 인해 습지 내 산소가 고갈되어 혐기성 환경이 조성되면 미생물에 의한 유기물의 분해속도가 느려지기 때문에 저하될 수 있음
- 시화호 인공습지에서 식물플랑크톤에 의한 평균 1차 생산력은 4,211mgC/m<sup>2</sup>/day로 부영양화 수준인 600mgC/m<sup>2</sup>/day보다 훨씬 높은 것으로 나타났음(최광순 외, 2007)
- 인공습지에서 질소는 대부분 미생물에 의한 암모니아화-질산화-탈질화에 의해 제거되는데, 유입수의 유기태 질소(organic N)가 호기성 미생물에 의해 암모니아로 전환되고 암모니아성 질소가 질산화를 통해 아질산성 질소로 전환된 후 질산성 질소로 전환됨. 질산태 질소는 혐기상태인 습지의 토양으로 확산되어 혐기성 미생물에 의해 탈질화가 일어나면서 질소(N<sub>2</sub>)와 아산화질소(N<sub>2</sub>O)로 전환되어 대기 중으로 이동하여 질소가 제거됨. 질산화는 호기조건 하에서 적당한 온도와 충분한 알칼리도가 있고, 질산화균이 종속영양생물과 이용가능한 산소에 대해 경쟁할 수 있을 정도로 유기물이 제거된 후에 발생하므로, 질소제거를 위한 중요한 요소는 용존산소 농도라고 할 수 있음(한국수자원공사, 2006)
- 습지 운영 초기에는 바닥부에 유기물 함량이 적고 미생물이 부착할 수 있는 공간이 넓어 바닥의 토양입자 표면에 흡착되어 높은 인 제거 효율을 보이는 경우가 많으나 운영기간이 경과되면서 인공습지에 의한 인 제거 효율은 감소하게 됨. 반월천과 동화천 저습지에서는 운영 초기에도 마이너스 인 제거 효율을 보였으나, 모든 습지에서 유입수보다 유출수에서 인 농도가 높은 경우가 발생한 것은 2004~2006년 사이임. 인공습지의 운영기간이 경과되면서 인 제거효율이 낮아지는 것은 습지 퇴적토에 흡착된 인 함량이 높아져 침전에 의한 인 제거가 둔화된 것으로 볼 수 있음
- 인은 호기성 상태에서는 미생물에 의해 섭취되고 혐기상태에서는 방출되는 순환기작에 의해 제거되나, 대부분은 유입수 및 퇴적물 중에 있는 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>)과 결합하여

인산염의 상태로 침강하는 화학적 침전에 의해 제거됨. 화학적으로 침전된 인은 퇴적토 내의 pH가 낮고 용존산소의 농도가 낮으면 퇴적토로부터 재용출됨. 따라서 습지 내에 유기물 농도가 높아 미생물에 의한 유기물 분해가 활발해져 산소가 고갈되어 혐기성 환경이 형성되면 습지 바닥에 침전되었던 인이 재용출되어 유출수에서의 인 농도가 증가하게 됨. 이와 같은 이유로 시화호 인공습지에서도 봄, 여름철에 유입수보다 유출수의 인 농도가 높았던 것으로 볼 수 있음

- 시화호 인공습지는 조성 이후 습지 내에서 생산된 식물의 생체 또는 고사체가 제거되지 않고 운영되어 왔기 때문에 분해되지 않은 고사체의 일부가 습지 내에 지속적으로 퇴적되어 왔음. SS 제거효율이 마이너스를 보이는 이유는 습지 내에 쌓여 있던 부유물질이 유출되기 때문으로 볼 수 있음.
- 시화호 인공습지의 경우, 수생식물에 의한 연간 유기물생산(285 tonC/yr)의 40% 정도가 분해되지 않고 습지 내에 퇴적되는 것으로 나타났으며, 퇴적물 내 유기물함량은 4.1~47.7 mg/g으로 매우 높은 것으로 나타났음(한국수자원공사, 2006)
- 시화호 인공습지에서 오염물질 제거효율이 마이너스 또는 낮은 효율인 경우가 발생하는 이유는 『시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구』(한국수자원공사, 2006)에서 제시된 바와 같이, 습지 내에서의 과도한 유기물 생산에 의한 습지의 혐기성 환경과 이에 따른 습지 하류부에서 용출된 인과 대량 증식한 식물플랑크톤이 균등하지 못한 물 흐름에 의해 식생대를 거치지 않고 유출되었기 때문으로 볼 수 있음

### 3.4.2. 인공습지의 유입·유출수 수질

- 인공습지 조성당시 예상 설계수질의 기준으로 사용된 BOD 농도의 경우, 반월천·동화천 습지의 예상 유입수질은 BOD 15~30mg/L(갈수기 30mg/L, 평수기 및 풍수기 15mg/L), 삼화천 습지는 3~10mg/L(갈수기 10mg/L, 평수기 5mg/L, 풍수기 3mg/L)이었으며, 유출수질은 BOD 8mg/L이하였음(한국수자원공사, 1997)
- 하지만 인공습지가 운영된 이후, 인공습지 유입수의 BOD 농도가 인공습지의 예상 유입수질보다 낮아졌으며, 유출수의 설계 목표 수질인 8mg/L보다도 낮은 경우가 많았음(그림 2-2-19)
- 2002년 8월부터 2008년 12월까지의 월평균 인공습지 유입수질이 설계 당시 평수기 기준의 예상 유입수질(반월천·동화천 15mg/L, 삼화천 5mg/L)을 초과한 경우는 반월천 고습지는 수질데이터가 없는 경우를 제외한 총 68회 중 3회로 4.4%, 반월천 저습지는 총 71회 중 3회로 4.2%, 동화천 고습지는 총 73회 중 3회로 3.1%, 동화천 저습지는 총 74회 중 2회로 2.7%, 삼화천 습지는 총 70회 중 31회로 44.2%임. 즉 인공습지의 월평균 유입수질이 설계 당시의 예상 유입수질 농도 수준인 경우는 반월천, 동화천의 경우 5%에도 미치지 못하며, 삼화천의 경우도 44.2%로 실제 유입수질이 설계당시 예상 유입수질 농도 이하인 경우가 예상 유입수질을 충족시킨 경우보다 훨씬 많았음
- 인공습지의 월평균 유입수질이 유출수의 설계 목표 수질인 8mg/L이하인 경우는 반월천 고습지는 총 68회 중 49회로 72.1%, 반월천 저습지는 총 71회 중 47회로 66.2%, 동화천 고습지와 저습지는 각각 총 73회 중 49회로 67.1%, 총 74회 중 52회로 70.3%, 삼화천 습지는

총 70회 중 76회로 91.4%임. 유출수의 설계 목표 수질보다 유입수의 BOD 농도가 낮은 경우가 반월천, 동화천의 경우는 60% 이상이었고, 삼화천은 90% 정도임. 이와 같이 상류 하천수가 인공습지를 거쳐 시화호로 유입되지 않더라도 인공습지 유출수의 설계 목표 수질보다 농도가 낮은 하천수가 유입되고 있음

- 3.3.3 국내외 인공습지 사례(표 2-2-16)에서 살펴보았듯이, 인공습지에 유입되는 수질이 낮아지면 인공습지의 오염물질 제거효율은 낮아짐

### 3.4.3. 『시화호 인공습지 수질정화기능향상 연구』 검토

- 현재 인공습지의 운영주체인 수자원공사는 조성 당시보다 저하된 인공습지의 오염물질 제거효율을 향상시킬 방안을 모색하기 위하여 『시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구』를 2005~2006년에 진행하였음. 시화호 인공습지가 조성당시의 목적인 수질정화기능을 수행하도록 하기 위해 보완되어야 할 사항을 검토한 동 연구의 내용을 살펴보고자 함
- 동 연구에서는 인공습지의 오염물질 제거효율이 저하된 원인을 유입수의 부유물질과 습지 내의 식물고사체의 지속적 퇴적, 습지내 사수역 발생 등 불균등한 물흐름 분포, 개방수역에서의 식물플랑크톤 증식, 유입수의 수질 개선, 물고기의 대량증식에 의한 탁수발생 등으로 분석

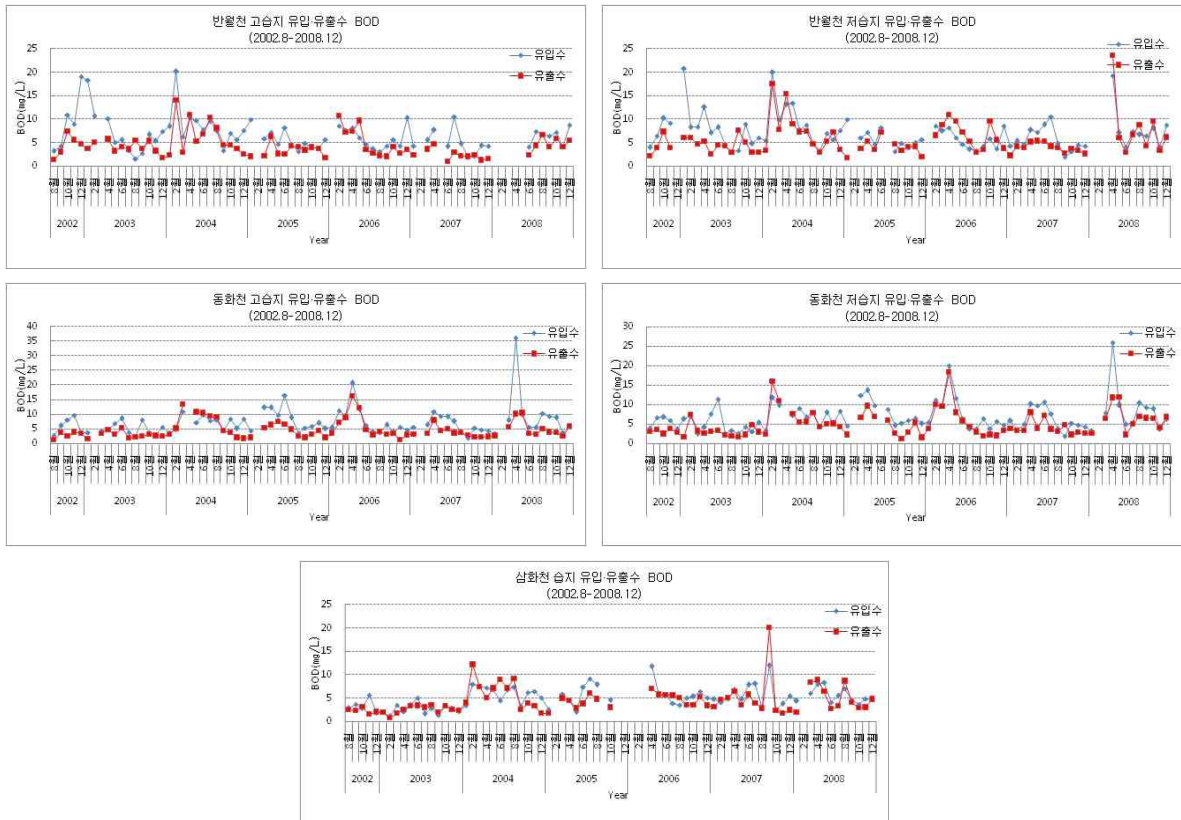


그림 2-2-19. 시화호 인공습지 유입·유출수 수질(BOD)  
(자료: 한국수자원공사)



- 시화호 인공습지는 조성 이후 습지내에서 생산된 식물의 생체 또는 고사체의 제거 없이 운영되었음. 반월천과 동화천 두 습지에서 식물에 의한 연간 유기물생산은 880ton/yr(갈대 760 ton/yr, 부들 120 ton/yr)이며, 생산된 유기물 중 많은 부분이 분해되지 않고 습지내 퇴적됨. 동화천 습지의 습지식물의 고사체 퇴적층이 6.3cm로 2002년 운영 이후 연평균 1.76cm 정도 퇴적되었으며, 반월천 고습지 경우 유입된 부유물질이 침전지에서 30%정도 침전되고 70%는 습지내에 유입되어 일부는 분해되고 나머지는 습지내에 퇴적되는 것으로 나타났음
  - 현재 인공습지의 퇴적물은 오염물질의 함량이 높고 퇴적물의 혐기화에 의해 일부 오염물질이 퇴적물로부터 용출되어 습지의 수질정화기능을 저하시킴. 반월천의 퇴적물이 동화천에 비해 오염물질 제거 능력이 낮으며, 반월천의 경우 고습지와 저습지 모두 질소제거능력은 어느 정도 있는 것으로 보이나, 인과 구리는 제거능력이 없고 오히려 퇴적물로부터 습지내 수체로 용출됨
    - 질소, 아연, 납은 각각  $32.23\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ,  $88.41\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ,  $1.68\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ 의 속도로 제거
    - 인, 구리, 카드뮴은  $0.36\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ,  $35.51\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$ ,  $0.74\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}\text{h}^{-1}$  속도로 용출
  - 장기간 유입수의 부유물질과 식물고사체가 퇴적되어 습지 퇴적물의 오염물질 함량이 높기 때문에 습지내의 산소를 쉽게 고갈시키는 혐기성 환경이 되고, 혐기성 환경은 유기물 제거 효율을 저하시키고 퇴적물로부터 인의 용출을 가속화시킴
  - 동화천과 반월천 습지에서 식물플랑크톤의 1차 생산에 의한 연간 총 유기물 생산력은 5,282 ton/yr(반월천 3,488 ton/yr, 동화천 1,794 ton/yr)로 매우 높게 나타남. 습지 하류부에 위치한 open water에서 생산된 유기물이 유출될 경우 유입수보다 유출수에서 높은 유기물(BOD)값을 보일 수 있음
- 인공습지 수처리 효율 향상을 위해 인공습지내에서 부분적으로 수위조절방안, 물흐름 개선방안, 탁수발생 원인 물고기 관리방안을 시행하고, 퇴적물 개선제에 의한 인용출 저감방안, 습지식물의 고사체 처리방안에 대한 검증실험을 실시했음. 동 연구에서 수행된 인공습지의 수처리 효율 향상을 위한 방안과 그 결과는 표 2-2-22와 같음

표 2-2-22. 한국수자원공사에서 시행한 인공습지 수질정화기능향상 방안 및 성과

인공습지 수질정화기능 향상방안	내용	성과
혐기성 환경 개선	수위조절 및 공기공급 장치 이용	산소용해장치 가동시 개방수역 끝 지점의 DO가 평균 5.4% 증가
물 흐름 개선	물 흐름 유도시설을 설치하여 물 흐름을 식생지역으로 유도	BOD 제거효율 평균 42.7% 개선
탁수발생 원인 물고기 관리	폐쇄수역의 물고기 포획	물고기 포획 후 개방수역의 탁도 50% 저감
퇴적물 개선제에 의한 인용출 저감방안 검증실험	퇴적물 개선제를 이용한 인용출 저감효과 실험	Double layer(B+sand)와 Brucite를 적용한 경우, 70% 이상의 높은 인 제어 효율을 보임

\* 자료: 한국수자원공사, 2006, 시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구



표 2-2-23. 물흐름 유도시설 처리효율

(단위 : mg/L)

구분	물흐름 유입 평균수질 (최대~최소)	물흐름 유입 평균수질 (최대~최소)	처리 평균효율
BOD	3.09 (1.70~3.76)	1.77 (1.11~3.27)	42.7%
TN	4.089 (2.611~6.063)	6.406 (1.574~5.708)	8.4%
TP	0.107 (0.056~0.171)	0.098 (0.035~0.176)	16.7%
SS	20.1 (5.7~40.3)	1.77 (1.11~3.27)	32.8%

\* 자료: 한국수자원공사(2006)

- 인공습지의 혐기성 환경을 개선하기 위해 습지의 수위조절과 공기공급장치를 이용하였는데, 반월천 고습지 및 저습지 유입에 각각 1개소, 동화천 저습지 유입 1개소에 설치되어 있는 산소용해장치를 이용한 용존산소 일주기 조사결과, 산소용해장치 가동시 개방수역의 끝 지점의 DO 평균 증가율이 5.4%로 고농도 액체산소 용해가 반월천 고습지 유입부 침전지 말단까지 영향을 미치는 것으로 나타남
- 반월천 고습지의 불균등한 물흐름(염료시험 결과 침전지를 통해 유입된 유입수의 이동은 수리 정향이 없는 수로와 자유수면지역을 중심으로 이동되며, 식생 밀집지역으로 이동이 있으나 지체시간이 길어짐)을 개선하여 물 흐름을 식생지역으로 유도한 결과, BOD 제거효율이 평균 42.7%로 개선되었음. 이는 2006년도 연평균 BOD 제거효율 24.5%보다 57% 정도 향상되었음(표 2-2-23)
  - 물흐름 유도시설은 반월천 고습지 하류부 중앙수로에 모래주머니와 칸막이를 이용하여 유로형태의 수로를 형성하여 한쪽 수로로만 흐르던 물길을 엇갈리게 설치된 차단보에 의해 식생지역으로 유도하기 위한 것임
- 탁수발생 원인인 물고기 관리 방안으로는 큰 물고기를 포획하는 방안을 시행. 반월천 고습지의 수위를 낮추어 폐쇄수역(식생대)의 물고기를 개방수역으로 유도하여 망목이 큰 그물로 포획한 결과, 물고기 포획 후 open water의 탁도가 50% 저감(시행 전 평균 22NTU, 시행 후 평균 10.5NTU)되었음
- 퇴적물 개선제에 의한 인용출 저감효과를 컬럼내에서 30일간 실험한 결과, 방안, 습지식물의 고사체 처리방안에 대한 검증실험 결과, sea sand는 35%의 저감 효율, Gypsum은 64%, Double layer(B+sand)와 Brucite를 적용한 컬럼에서는 70% 이상의 높은 인 제어 효율이 있었음.

### 3.5. 시화호 인공습지에 의한 상류하천의 오염부하 저감 효과

- 시화호 인공습지에 의한 인공습지 유역의 오염부하 저감 효과를 파악하기 위해서는 인공습지 상류하천 및 인공습지 유입·유출, 그리고 인공습지를 거치지 않고 시화호로 직접 유입되는 by-pass 유량과 수질자료가 필요하지만, 이에 대한 자료가 부족한 상태임

- 인공습지에 유입되는 유량에 대한 실측 자료가 거의 없기 때문에 인공습지 유입유량 파악을 위해서는 반월천과 동화천에 설치되어 있는 펌프가동 시간으로 유입유량을 추정해야 하며, 삼화천 습지로의 유입은 자연유하 방식이므로 유량 추정에 한계가 있음. 인공습지를 거치지 않고 by-pass되는 유량에 대한 조사는 최근에 와서 수행되기 시작하였으나 이용 가능한 자료가 매우 빈약함
- 인공습지 수질은 2002년 8월부터 현재까지 시화호 환경관리센터에서 측정하여 왔지만 수질조사가 1~4회/월 이루어지거나 겨울철 자료는 없는 등 관측빈도가 제한적이며, 인공습지를 거치지 않고 by-pass되는 하천수의 수질조사는 2008년에 일시적으로 수행되었음
- 이와 같이 인공습지에 의한 오염부하 저감효과 분석에 필요한 자료는 매우 빈약한 상황임. 하지만 “반월천, 동화천, 삼화천 상류에서 유발된 도시하수, 축산폐수의 물리적, 생물학적 처리”라는 인공습지 조성 목적과 “시화호 내·외 해역을 해역수질기준 II등급으로 개선”한다는 시화호 종합관리계획의 목표를 고려할 때, 인공습지에 의한 오염부하 저감효과에 대한 분석은 인공습지 조성 및 운영·관리 사업평가에서 매우 중요한 부분임
- 따라서 인공습지에 의한 오염부하 저감효과를 현재 이용 가능한 자료를 활용하여 추정해 보고자함. 인공습지 유역의 오염부하량, 유역에서 인공습지로 유입되는 오염부하량, 인공습지의 오염물질 제거효율을 이용하여 인공습지에 의한 오염부하 저감효과를 추정함
- 인공습지 유역의 오염부하량은 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점의 오염부하량(표 2-2-24)과 반월천 습지로 유입되는 오염부하량을 합산하여 산정함
- 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점의 오염부하량은 수자원공사에서 2008년에 수행한 『시화호 유역 수질오염원 전수조사』 자료를 이용함. 동 보고서에서는 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점에서 2008년에 실측한 유량 및 수질자료를 이용하여 오염부하량을 산정하였음. 2008년 이전에 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점에서 유량, 수질을 실측한 자료가 거의 없으므로 2008년의 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점의 오염부하량을 2003년부터 2008년까지의 연평균 오염부하량으로 간주함

표 2-2-24. 반월천·동화천·삼화천 합류지점 오염부하량(2008년)

(단위 : kg/day)

구분	COD	BOD <sup>1)</sup>	SS	TN	TP
반월천 <sup>2)</sup>	990	891	59,192	294	30
동화천 <sup>2)</sup>	1,015	913.5	60,672	302	31
삼화천 <sup>2)</sup>	470	423	28,116	140	14
합계	2,475	2,228	147,980	736	75

주: 1) BOD 오염부하량은 2008년에 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점에서 실측한 BOD와 COD 비를 고려하여 산정하였음

2) 각 하천의 오염부하량은 합류지점의 오염부하량을 3개 하천 유역의 면적비를 고려하여 산정하였음

자료: 한국수자원공사, 2008, 시화호 유역 수질오염원 전수조사(2차년도)

- 반월천 습지로 유입되는 연평균 오염부하량은 2003년부터 2008년까지 반월천 고습지 및 저습지 유입수의 연평균 수질자료와 습지에 설치된 펌프 용량을 이용하여 추정하였음. 반월천 및 동화천 습지에는 각 2기씩의 펌프가 운영되고 있으며, 펌프 1기의 용량은 540m<sup>3</sup>/hr임. 또 2008년에 수자원공사가 '시화호 유역 수질오염원 전수조사'를 통해 실측한 자료에 의하면, 강우시 하천수가 인공습지로 유입되지 않은 일수는 45일임
- 인공습지로 유입되는 오염부하량은 반월천, 동화천, 삼화천 습지의 오염부하량을 합산하였으며, 동화천 습지의 유입유량은 반월천 습지의 유입유량 산정방식과 동일한 방식으로 산정하였음. 삼화천 습지의 유입유량은 인공습지의 표준취입기준(한국수자원공사, 2002)을 사용해 계산했음
- 인공습지의 표준취입기준에 따르면, 삼화천 습지 운영수량은 평상시와 갈수기에는 0.1m<sup>3</sup>/sec, 강우시에는 0.4m<sup>3</sup>/sec임. 평상시는 4~6월과 9~10월이며, 갈수기는 1~3월과 11~12월, 강우시는 7~8월을 말함. 강우시는 62일이지만 반월천, 동화천 습지의 유입유량을 계산할 때와 동일하게 하천수가 인공습지로 유입되지 않은 45일을 제외한 17일로 계산하였음
- 인공습지의 오염물질 제거효율은 2003년부터 2008년까지의 연평균 자료를 이용하였음
- 2003년부터 2008년까지 시화호 인공습지에 의한 상류 하천유역의 연평균 오염부하량 저감 효과를 살펴보면, BOD, SS, TN, TP 오염부하 중에서 TN 오염부하 저감효과가 16.3%로 추정되어 가장 높고, SS 오염부하 저감효과는 0.3%로 추정되어 매우 낮았음. BOD와 TP 오염부하 저감효과도 각각 4.1%, 3.0%로 추정되었음(표 2-2-25)

표 2-2-25. 시화호 인공습지의 연평균 오염부하 저감 효과

(단위 : kg/day)

구분	유역 오염부하량 <sup>1)</sup>	인공습지 유입 오염부하량 <sup>2)</sup>	인공습지 효율(%) <sup>3)</sup>	인공습지 제거 오염부하량 <sup>4)</sup>	오염부하 저감 효과(%) <sup>5)</sup>
BOD	2,380	364	26.9	98	4.1
SS	148,522	1,221	30.8	376	0.3
TN	1,089	710	25	178	16.3
TP	82	18	13.7	2	3.0

- 주: 1) '유역 오염부하량'은 반월천, 동화천, 삼화천 합류지점의 오염부하량과 반월천 습지로 유입되는 오염부하량을 합산한 값임  
 2) '인공습지 유입 오염부하량'은 반월천, 동화천, 삼화천의 3개 습지로 유입되는 오염부하량을 합산한 값임  
 3) '인공습지 효율'은 2003년부터 2008년까지 인공습지의 연도별 오염물질 제거효율의 평균 값임  
 4) '인공습지 제거 오염부하량'은 인공습지 유입 오염부하량 중 인공습지에 의해 제거된 오염부하량으로, 인공습지의 오염물질 제거효율을 이용하여 계산하였음  
 5) '오염부하 저감 효과'는 인공습지에 의한 반월천, 동화천, 삼화천 유역의 오염부하 저감 효과를 말하며, 유역 오염부하량 대비 인공습지 제거 오염부하량 비율임

- 인공습지 상류 하천유역의 연평균 TN 오염부하량은 1,089kg/day, 인공습지에 의해 제거된 TN 오염부하량은 178kg/day로 추정되었으며, SS의 경우는 유역 오염부하량 148,522kg/day, 인공습지에 의해 제거된 오염부하량 376kg/day로 추정되었음. BOD와 TP의 경우는 각각 유역 오염부하량 2,380kg/day, 82kg/day, 인공습지에 의해 제거된 오염부하량은 98kg/day, 2kg/day로 추정되었음
- 환경부에서 한강수계에 시범 설치한 비점오염저감시설을 모니터링 한 결과를 보면, 비점오염저감시설의 종류에 따라 차이가 있지만 전반적으로 자연형 시설이 장치형 시설보다 처리효율이 높은 것으로 나타났음. 또한 장치형이 자연형에 비해 처리효율 편차가 큰 것으로 나타났음. 자연형 비점오염저감시설의 오염부하 처리효율은 BOD의 경우 평균 49.5 ~ 93.7%, 장치형의 경우는 2.5~79.1%였음(환경부, 2009). 이는 단기간('06~'08년, 최대 18회) 모니터링 한 결과라는 한계가 있어 시화호 인공습지 오염부하 저감효과와 직접 비교하기에는 무리가 있으나, 인공습지의 BOD 오염부하 저감효과(연평균 4.1%)는 한강수계에 설치된 비점오염저감시설의 오염부하 저감효과와 비교했을 때 매우 낮은 편임(표 2-2-26)
- 시화호 인공습지에 의한 상류 하천유역 오염부하 저감 효과를 추정한 결과, 인공습지에 의한 오염부하 저감효과는 낮은 것으로 나타났음. 따라서 현 상태의 인공습지에 의해서는 시화호로 유입되는 오염부하 저감이라는 조성 당시의 목표를 달성하기 어려울 것으로 판단되므로 향후 인공습지 운영 방안에 대한 논의가 필요함

표 2-2-26. 한강수계에 설치된 비점오염저감시설의 오염부하 평균 처리효율('06~'08)

시설종류		BOD 오염부하 평균 처리효율(%) <sup>1)</sup>
자연형	전체	49.5 ~ 93.7
	식생수로	49.5 ~ 62.3
	인공습지	65.3 ~ 89.3
	식생여과대	53.1 ~ 67.9
	침투도랑	59.2 ~ 86.9
	침투저류지	83.1 ~ 93.7
	스크린+저류	58.6 ~ 77.7
장치형	전체	2.5 ~ 90.4
	스크린형	2.5 ~ 26.1
	와류형	20.6 ~ 20.8
	여과형	15.4 ~ 79.1
	와류+여과	27.7 ~ 45.9

주: 1) 제시된 오염부하 처리효율은 설치된 비점오염저감시설의 평균값임  
 자료: 환경부, 2009, 비점오염저감시설 모니터링 결과

### 3.6. 향후 시화호 인공습지 운영방안

- 시화호 인공습지는 습지별로 연도별 평균 오염물질 제거효율이 마이너스를 나타내는 경우도 있었지만, 2002년부터 2008년까지 인공습지의 평균 오염물질 제거효율은 BOD의 경우 29.4%, SS는 34.9%, TN, TP는 각각 25.6%, 19.7%였음
- 시화호로 유입되는 비점오염부하 중 평수기와 40mm 이하의 강우는 인공습지로 유입시켜 처리하고 있으나, 비점오염부하가 집중되는 40mm 이상의 강우시에는 습지로 유입되지 않고 시화호로 직접 유입됨
- 2003년부터 2008년까지 시화호 인공습지의 연평균 반월천, 동화천, 삼화천 유역 오염부하 저감효과는 강우의 영향을 적게 받는 TN 이외의 항목(BOD, SS, TP)은 5%이하로 매우 낮은 편임
- 현재 시화호 인공습지 유입하천인 반월천, 동화천, 삼화천의 BOD는 8~10mg/L로 유지되고 있는데, 이는 인공습지 계획 및 조성 당시의 유출수 목표수질인 10~30mg/L보다 현격히 낮은 농도이며, 현재 유입수의 BOD 농도는 설계당시 유출수 목표 수질인 BOD 8mg/L과도 거의 차이가 없는 상태임
- 시화호 인공습지의 현재 운영주체는 수자원공사이지만, 인공습지가 위치한 구간은 안산시와 화성시 관할 지역이며 점사용 허가기간은 2011년까지이므로 향후 인공습지 시설의 귀속 및 운영주체에 대한 협의가 필요함
- 인공습지는 시화호로 유입되는 오염물질 저감이외에 생태학습장 및 휴게공간으로서 역할을 하고 있으며, 방문객 수가 해마다 증가하여 2008년에는 288,367명이었음
- 이와 같이 인공습지 조성 당시와는 변화된 상황들을 고려할 때 향후 인공습지의 운영방안을 세 가지로 생각해 볼 수 있음(표 2-2-27)
  - 인공습지의 비점오염부하 저감 기능 향상 : 인공습지 조성 목적에 부합하도록 인공습지의 시설 및 운영방식을 변경하는 방안. 이를 통해 반월천, 동화천, 삼화천 유역에서 발생하는 오염부하의 상당 부분을 인공습지를 경유하여 오염부하가 저감된 후 시화호로 유입될 수 있도록 함. 또한 계절별 변동이 심하며 마이너스 효율을 나타내기도 하는 인공습지의 오염물질 제거효율을 향상시키도록 함. 이는 시화호로의 오염부하를 저감시킬 수 있는 방안이지만, 새로운 시설 도입을 위한 예산 확보와 가능한 인공습지 기능 향상 시나리오별 전문적인 검토가 필요함
  - 현재의 인공습지 운영방식 유지 : 현재와 같은 방식으로 운영하는 방안. 오염부하량에 의한 수처리효율 평가, 습지운영시 유입수량 관리 등을 위해 계수문, 인공습지 유입·유출부의 유입수량 모니터링 시스템이 필요함. 또한 인공습지에 의한 반월천, 동화천, 삼화천 유역 오염부하 저감 효과가 낮으므로 상류 하천유역의 비점오염 저감 대책이 별도로 마련되어야 함. 인공습지 자체의 운영비용은 현재수준보다 크게 상승하지 않을 것임
  - 인공습지의 생태학습장 기능 확대 : 인공습지에 의한 반월천, 동화천, 삼화천 유역의 비점오염 부하 저감 효과가 매우 낮으므로 상류 하천유역의 비점오염부하 저감이라는 인공습지의 목적을 생태학습장 및 학술연구 기능으로 전환 및 확대하는 방안. 인공습지 방문객이 2008년에 30만 명 정도에 달했으므로 방문 대상별 교육 및 체험프로그램을 개발하여

운영하면 생태학습장 및 자연친화적인 휴식공간으로서 높은 가치를 갖게 될 것임. 또한 시화호 인공습지는 국내 최대 규모이므로 인공습지를 부분적으로 학술연구 공간으로 활용하면, 습지분야 연구에 학술적으로 기여할 수 있음. 비용 측면에서도 운영비용을 현재보다 절감할 수 있음. 이를 위해서는 상류 하천유역의 비점오염 저감 대책이 별도로 마련되어야 함

- 시화호 인공습지의 점·사용 허가기간이 2011년까지인 점을 고려하면 이제부터라도 향후 시화호 인공습지 운영방안에 대한 논의가 시작되어야 함. 향후 시화호 인공습지 운영방안은 현재 인공습지의 운영주체인 수자원공사, 인공습지가 위치한 구간의 관할기관인 안산시와 화성시, 3자가 협의를 통하여 결정하여야 함. 향후 인공습지 운영방안을 결정하기 위해서는 시나리오별 타당성, 경제성 등이 검토되어야 함. 특히, 인공습지 구조변경을 통해 인공습지의 오염물질 제거효율을 향상 시키고자 하는 경우는, 전문기관에 의해 구조변경으로 인공습지의 기능이 어느 정도 향상될 것인지, 구조를 어떻게 변경해야 할 것인지 등에 대한 기술적 검토가 이루어져야 함

표 2-2-27. 향후 시화호 인공습지 운영 시나리오별 장·단점

구분	장점	단점
인공습지의 비점오염부하 저감기능 향상	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공습지 조성당시 목적에 부합</li> <li>- 반월천, 동화천, 삼화천 유역의 비점오염 부하 저감</li> <li>- 인공습지 자체의 오염물질 제거 효율 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 시설 도입 및 운영방식 변경에 따른 예산 필요</li> <li>- 가능한 인공습지 기능 향상 시나리오별 전문적 검토 필요</li> </ul>
현재의 인공습지 운영방식 유지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공습지 운영을 위한 추가 비용이 최소한으로 발생</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공습지에 의한 상류지역의 오염부하 저감 효과 기대 할 수 없음</li> <li>- 인공습지 상류 하천에 대한 별도의 비점오염저감 대책 필요</li> </ul>
인공습지의 생태학습장 기능 확대	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공습지 운영비용 절감</li> <li>- 생태학습장 기능 활성화</li> <li>- 국내 인공습지에 대한 학술연구 사이트 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공습지에 의한 상류지역의 오염부하 저감 효과 기대 할 수 없음</li> <li>- 인공습지 상류 하천에 대한 별도의 비점오염저감 대책 필요</li> </ul>

## 4. 안산·시화 하수처리장 운영 사업평가(안)

### 4.1. 사업평가 방향

#### 4.1.1. 사업평가의 범위 및 중점사항

- 안산 및 시화 하수처리장 확장 및 운영 사업 평가의 시간적 범위는 하수처리장의 유입·방류수 수질 및 유량자료를 이용할 수 있는 기간으로 설정함
  - 안산하수처리장 확장 및 운영 사업 평가 시기: 2003년 4월 ~ 2009년 8월
  - 시화 하수처리장 확장 및 운영 사업 평가 시기: 2001년 1월 ~ 2009년 9월
  - 하수처리장 유입·방류수 수질 및 유량자료는 안산시 상하수도사업소와 시흥시 상하수도사업소에서 제공한 자료임
  - 안산하수처리장의 경우, 2003년 4월부터 2009년 5월까지의 자료는 수동으로 측정된 일자료이고, 2009년 6~8월 자료는 시간단위 방류수 수질 TMS 자료의 일 평균값임. 생활하수와 공장폐수를 처리하는 1처리장은 2003년 4월부터 2009년 8월까지의 자료를 이용하여 평가함. 생활하수만을 처리하는 2처리장은 2004년 9월부터 운영되기 시작하였고, 2004년 11월부터의 유입·방류수 수질자료를 이용할 수 있으므로 2005년부터 2008년까지를 평가대상으로 함
  - 시화하수처리장의 경우, 2009년도 방류수 수질 TMS 자료를 확보하였지만, 평가 대상 시기인 2009년 9월까지 수동으로 측정된 일자료가 있으므로 자료의 연속성과 일관성을 고려하여 수동측정 일자료를 이용하여 평가하고자 함
- 내용적 범위는 하수처리시설 증설, 고도처리시설 설치 및 시설개량 전·후의 방류수질을 분석하여 하수처리시설 확장 및 개량의 효과를 살펴보고, 유입·방류수 유량과 수질자료를 이용하여 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 정도를 평가함
  - 특히, 안산 및 시화 하수처리장의 처리구역에는 반월 및 시화 산업단지가 위치하고 있어 공장폐수가 하수처리장으로 유입되어 처리되고 있으므로, 공장폐수 유입이 하수처리장 운영에 미치는 영향을 가능한 수준에서 살펴보고자 함
  - 안산·시화 하수처리장의 방류수는 시화호로 유입되지 않고 시화 방조제 외해로 방류되고 있음. 하지만 2단계 시화호 종합관리계획에 의한 관리대상 영역은 시화호 내·외해 및 인근 유역이, 향후 조력발전소가 가동되면 해수 유통이 확대될 것이므로, 안산·시화 하수처리장 방류수에 의한 오염부하 정도는 시화호 종합관리계획의 목표 달성에 영향을 미치는 중요한 요인임

#### 4.1.2. 평가지표 및 평가의 한계

- 기존 순환관리체계 구축 연구에서 제시된 성과지표(표 2-2-28)인 '방류수 수질기준'이나 '방류수 수질기준 적합도'는 하수처리장이 하수도법 시행규칙에서 규정하고 있는 방류수질 기준에 적합하게 하수처리장이 운영되고 있는지를 평가하는 지표로서, 개별 사업으로서 하수처리장 운영 사업의 성과를 평가하는 지표로 적합한 것으로 판단됨. 하지만 이에 대한 평가만으로는 시화호 종합관리계획에서 하수처리장 운영을 통해 궁극적으로 이루고자

하는 목표인 시화호 내·외 해역을 해역수질기준 II등급으로 개선시키고 있는지는 판단하기 어려움. 더구나 '사업추진실적'이라는 평가지표로는 이 두 가지 사항 모두를 판단할 수 없음

표 2-2-28. 기존연구에서 제시된 안산·시화 하수처리장 확장 및 운영 사업의 성과지표

구분	성과목표	성과지표	측정방안	
<b>안산하수처리장 확장 및 운영 사업</b>				
2007년 시화호 해양환경개선사업 보고서	하수처리장 위탁운영	방류수 수질기준	기준준수율	
	1처리장 고도처리시설 공사	사업추진실적	공정율	
	2처리장 3차처리시설 도입	사업추진실적	공정율	
2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획 (2008.2)	하수처리장 위탁운영	방류수 수질기준	공정율	
	1처리장 고도처리시설 공사	시설공사시행	공정율	
	2처리장 3차처리시설 도입	시설공사 사업계획 수립 및 시행	공정율	
2008년 시화호 해양환경개선사업 보고서	방류수 수질기준 달성	방류수 수질기준 적합도	{(365-4개 항목 수질기준 초과일수)/365}*100 <sup>1</sup>	
	하수처리장 시설 건설	시설공사시행 공정율	(시설공사시행 실제 공정율/목표 공정율)*100	
<b>시화하수처리장 확장 및 운영 사업</b>				
2007년 시화호 해양환경개선사업 보고서	하수처리 방류수질 안정화	방류수 수질기준	기준준수율	
	안정적인 시설물 운영	하수처리량	목표달성율	
2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획 (2008.2)	맑은물 하수처리수 확보	하수처리 방류수질 안정화	법적 방류수질 준수율 노후시설 개선 실적 오염물질 제거율	
		안정적인 시설물 운영	처리장 가동일 수 처리량 장비점검 횟수	
		체계적인 수질 분석	수온변화에 따른 분석항목일수 수질분석자료 DB화율 열린환경교실 참여자 수	
	2008년 시화호 해양환경개선사업 보고서	방류수 수질기준 달성	방류수 수질기준 적합도	{(365-4개 항목 수질기준 초과일수)/365}*100 <sup>1</sup>
		하수처리장 시설 건설	시설공사시행 공정율	(시설공사시행 실제 공정율/목표 공정율)*100

주: 1) 수질기준 4개 항목은 TN, TP, SS, BOD 또는 COD; 수질기준 초과일 수 산정=4개 항목중 1개라도 3시간 단위 9시간 초과할 경우 초과일로 산정함



- 본 평가에서는 기존 연구에서 제시된 법적 기준에 근거한 평가지표인 ‘방류수 수질기준 적합도’를 이용하여 안산·시화 하수처리장에 유입된 오염물질이 적정하게 처리되어 배출되고 있는지 살펴보고자 함. 기존연구에서 방류수 수질기준 적합도의 측정방안이 방류수 수질기준 측정방안보다 구체적으로 제시되었기 때문에 본 평가에서도 방류수 수질기준 적합도를 평가지표로 이용함. 하수처리장 방류수의 수질은 법적 기준을 충족시켜야 하므로 방류수 수질기준 적합도가 100%일 때 방류수 수질기준을 달성한 것으로 판단할 수 있을 것임
  - 방류수 수질기준 적합도(%) =  $\{(365-4\text{개 항목 수질기준 초과일수})/365\} \times 100$
  - 수질기준 4개 항목은 TN, TP, SS, BOD 또는 COD임. 기존연구에서는 수질기준 4개 항목 중 1개 항목이라도 3시간 단위 9시간 초과할 경우를 수질기준 초과일수로 제시하였음. 그러나 본 평가에서는 수질 TMS자료가 아닌 일 단위 수동측정 자료를 이용하였으므로 수질기준 초과일수는 수질기준 4개 항목 중 1개 항목이라도 수질기준을 초과한 경우를 초과일로 산정
- 안산, 시화 하수처리장 운영사업이 시화호 종합관리계획의 목표 달성에 기여한 정도를 파악하기 위해서는, 하수처리장 운영으로 시화호 유역에서 시화호 내·외 해역으로 유입되는 하수처리장 방류수가 해역수질에 미치는 영향을 분석할 필요가 있음. 하지만 시화 방조제 배수갑문 개방에 따른 해수유통 및 해수의 유동 특성 등 여러 요인이 고려되어야 하기 때문에, 시화호 내·외 해역 수질과 하수처리장 방류수의 직접적인 관계를 파악하기는 매우 어려움
- 해당 하수처리장 처리구역 내의 하수관거(우수 및 오수관거)의 오점이나 누수 현상 등은 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효과에 영향을 끼치는 중요한 요인이 될 수 있으나, 하수관거 정비사업의 범위가 광범위하고 정확한 현황 파악이 매우 어렵기 때문에 본 사업평가에서는 하수처리장 운영 실태에 중점을 두어 평가하고자 함. 또한 본 평가에서는 각 하수처리 공정에 대한 구체적인 평가보다는 전체 하수처리 공정의 효과를 유입수와 방류수 수질 자료를 이용하여 분석하고자 함

## 4.2. 안산·시화 하수처리장 운영사업의 개요

- 안산·시화 하수처리장 확장 및 운영 사업은 1996년 7월에 환경부 주관으로 수립된 ‘시화호 수질개선대책’에서 공단폐수, 생활오수를 전량 차집 처리하여 육상기인 점오염부하를 저감하기 위한 사업의 하나로 결정되었음. 그 이후 시화호 환경관리 담당기관이 해양수산부로 변경되면서 수립된 시화호 종합관리계획(2001.8)에 의해서도 지속적으로 추진된 사업임
- 시화호 종합관리계획 세부시행계획(2002.12)에 제시된 안산하수처리장 확장 및 운영사업의 목표는 안산하수처리장을 2004년 3월까지 534천 $m^3$ /일 규모로 증설(149천 $m^3$ /일 증설)하고 고도처리시설을 설치하여 하수처리능력을 확충하는 것임. 시화하수처리장 확장 및 운영사업의 목표는 시화하수처리장의 1일 처리능력을 2003년 1월까지 279천 $m^3$ /일로 확충(103천 $m^3$ /일 증설)하고 질소·인 처리를 위한 고도처리시설을 설치하는 것임.

- 안산하수처리장 확장 사업은 안산시 주관으로, 시화하수처리장 확장사업은 수자원공사 주관으로 시행되었음
- 2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획(2008.2)에서 제시된 안산·시화 하수처리장 확장 및 운영사업의 목표는 시화 유역내 환경처리시설을 보완하여 방류수질을 개선함으로써 시화연안의 수질오염 개선에 기여하는 것임

### 4.3. 안산 하수처리장 현황

#### 4.3.1. 안산 하수처리장 시설현황

- 안산시 하수처리시설은 1987년 2월에 1차 하수처리시설 121천<sup>3</sup>/일이 준공된 이후, 2001년에 2차로 시설용량 385천<sup>3</sup>/일의 1처리장으로 확장되었으며 2005년에 고도처리공법이 적용된 시설용량 149천<sup>3</sup>/일의 2처리장이 준공되었음. 1처리장 하수처리시설에 대한 고도처리시설은 2008년 12월에 완료되고 종합시운전 및 공장계통 3차 처리시설 공사 시행 후 2009년 5월에 준공되었음. 안산하수처리장 시설 현황은 표 2-2-29와 같으며, 하수처리시설 증설 및 고도처리 시설 공사 추진경과는 표 2-2-30과 같음
- 1처리장은 생활하수를 처리하는 생활계통(시설용량 179천<sup>3</sup>/일)과 공장폐수를 처리하는 공장계통(시설용량 206천<sup>3</sup>/일)으로 구분되고, 2처리장은 생활하수만을 처리하는 생활계통임

표 2-2-29. 안산하수처리장 현황

구분		시설용량 ( <sup>3</sup> /일)	위치	부지면적( <sup>2</sup> )	처리공법	비고	
계		534,000		382,717 (115,773평)			
1처리장	소계	385,000	단원구 성곡동 621	164,717 (49,827평)	고도처리공법 (symbio)	'09.3	
	생활계통	179,000					
	공장계통	206,000					
2처리장	생활계통	149,000	단원구 성곡동 681	229,325 (69,371평)	고도처리공법 (BNR-C)	'05.12	
구분		설계수질(mg/L)					
		BOD	COD	SS	TN	TP	
1처리장 <sup>1)</sup>	생활	유입수	165	140	150	42	4.4
		방류수	9	23	9	15	1.8
	공장	유입수	135	150	165	95	6.9
		방류수	9	35	10	18	1.7
2처리장		유입수	160	160	160	42	5.5
		방류수	13	30	18	15	1.5

주: 1) 1처리장 설계수질은 고도처리공법 적용시 설계수질임

\* 자료: 안산시 상하수도사업소 홈페이지, 안산시 상하수도사업소

표 2-2-30. 안산하수처리장 확장 및 운영 사업 추진경과

일시	내용	비고
'81.12.29	1차 하수처리시설 착공	- 사업비: 138,950백만원
'93. 3 .3	하수처리시설 확장공사 착공(1처리장)	- 사업비: 127,297백만원
'96. 6.15	하수처리장 방류수 시화호 외해 방류	- 해양방류관거 9.6km (육상 7.2km, 해양 2.4km)
'97. 3. 1	생활하수와 공장폐수 병합 처리	
'00. 3. 1	생활하수와 공장폐수 분리 처리	
'00.12.26	하수처리시설 1처리장 사업 준공	
'01. 3. 5	하수처리시설 2처리장 사업 착공	- 질소·인 고도처리
'03. 4. 1	하수처리장 민간위탁 운영 실시	
'04. 7. 1	하수처리시설 1처리장 고도처리시설공사 착공	
'05. 2	기존 처리장 탈취시설 설치	
'05.12.15	하수처리시설 2처리장 사업 준공	- '04.9월부터 2처리장 가동
'09. 3	하수처리시설 1처리장 고도처리시설공사 완료	- 3차 처리시설 - 소독시설 및 슬러지 처리시설

- 1처리장의 포기조를 활성슬러지법에서 Symbio 공법으로 개조하는 고도처리시설 공사시, 소독시설(차아염소산 나트륨 법) 및 슬러지 처리시설(가압부상 농축시설, 4,000m<sup>3</sup>/일) 공사를 시행하였음. 또한 하수처리효율을 향상시키기 위해 생활계통에 HFBF(횡류식생물막 여과지), 공장계통에 MDF(마이크로디스크필터) 3차 처리시설 공사를 2008년 11월부터 2009년 5월까지 시행하였음
- 안산하수처리장의 계획 처리면적은 6,219ha(1처리장 2,863ha, 2처리장 3,356ha)이며, 계획 처리인구는 1,376,500명(1처리장 554,000명, 2처리장 813,500명)임(안산시, 2005)
- 안산하수처리장은 생활하수계통과 공장폐수계통으로 분류되어 있으며 하수처리 공정은 그림 2-2-20과 같음. 공장폐수계통으로는 반월공단 공장폐수 및 공단지역의 오수가 유입되는데, 반월공단에서도 염색단지과 피혁단지는 공동처리시설을 갖추고 있어 1차적 자체 처리 후 전용하수관로를 통하여 공장폐수계통 포기조로 유입됨. 기타 공장폐수는 공장폐수계통 유입부를 통하여 유입되어 1차 처리 후 염색폐수와 합류되어 2차 처리 및 질소·인 제거 처리절차를 거쳐 방류되고 있음. 반월공단 이외 지역에서 발생하는 하수는 중계펌프장에서 압송되어 생활하수계통으로 유입되어 처리되고 있음(안산시, 2005)
- 안산하수처리장은 분뇨처리장과 연계되어 운영되고 있음. 분뇨는 펌프장에서 압송하여 하수처리장의 침사지 전단에 유입시켜 하수와 혼합하여 연계 처리하였으나, 2002년 6월 이후에는 생활계통 중력농축조로 직투입하여 처리하고 있으며, 하수유입량 대비 분뇨가 차지하는 비율은 약 0.27%임(안산시, 2005)
- 하수처리 방류수는 1996년 6월 이후부터, 시화공단 하수종말처리시설까지 별도의 방류펌프장 및 방류관로(7.2km)를 거쳐 해양방류관거(2.4km)를 통하여 시화하수처리시설 방류수와

합류하여 시화방조제 외해로 방류되고 있음. 해양방류관거 및 안산시 육상방류관거 현황은 표 2-2-31과 같음

- 안산하수처리장은 처리과정에서 발생하는 악취가 미세하더라도 공단 내 위치하는 특수성으로 인해 악취발생시설로 인식되는 문제가 있어 2005년에 기존 처리장의 최초 침전지에 탈취시설을 설치하였음(표 2-2-32)

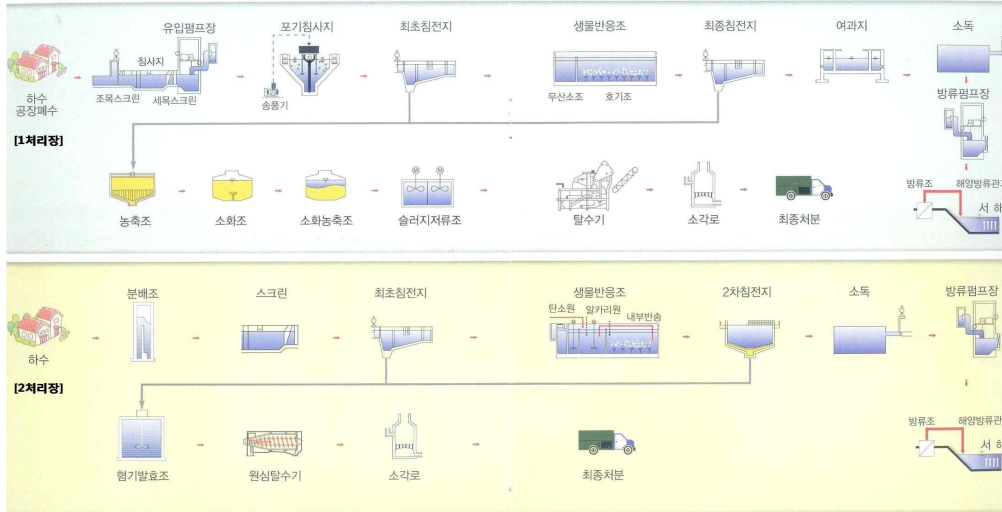


그림 2-2-20. 안산하수처리장 하수처리 계통도  
(자료: 안산시 상하수도사업소, 하수처리장 홍보 팜플렛)

표 2-2-31. 안산하수처리장 방류관거 현황

해양방류관거	안산시 육상방류관거
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 방류지점: 시화방조제 외해 2.4km</li> <li>- 1995.7.5. 준공</li> <li>- 제원: D= 2,500mm, L=2.4km</li> <li>- 사업시행사: 한국수자원공사</li> <li>- 목표연도: 2011년</li> <li>- 시설용량: 1,205천m<sup>3</sup>/일(우천시)</li> <li>- 시설관리자: 시흥시</li> <li>- 시설인계인수일자: 1998.8.20</li> <li>- 방류접합정: 위치 시화하수처리장 내</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1994.11.22. 준공</li> <li>- 제원: D=2,300mm(강관), L=7.2km</li> <li>- 사업시행사: 한국수자원공사</li> <li>- 목표연도: 2011년</li> <li>- 시설용량: 637천m<sup>3</sup>/일(시간최대)</li> <li>- 시설관리자: 안산시</li> <li>- 시설인계인수일자: 1994.12.30</li> </ul>

\* 자료: 안산시, 2005, 안산시 하수도정비 기본계획 변경 보고서

표 2-2-32. 안산하수처리장 악취 방지시설 현황

구 분	내 용	
	기 존	중 설
탈취형식	바이오필터 (메디아:다공성세라믹)	바이오필터 (메디아:다공성세라믹)
탈취용량	405m <sup>3</sup> /분	1,000m <sup>3</sup> /분(생활1:280m <sup>3</sup> /분, 생활2:380m <sup>3</sup> /분, 공장:340m <sup>3</sup> /분)
탈취설비실	건물: 철골 + 판넬 규격: 12mL×16mW×6.0mH 면적: 192m <sup>2</sup>	건물: 철골조 + 우레탄판넬 규격: 20.8mL×11.8mW×8.7mH 면적: 245m <sup>2</sup>
DUCT(FRP)	총길이: 약1,160M (Ø200mm ~ Ø1,000mm)	총길이: 약 2,105M (Ø100mm ~ Ø900mm)
공사기간	2001.3.5 ~ 2002.4.30 (준공일: 2002. 5.)	2005.3.11 ~ 2005.11.30 (준공일:2005.12.8)
탈취설비 설치공정	농축조, 소화오니농축조, 신탈수실, 생)최초침전지	유입펌프장, 침사지, 최초침전지(생활, 공장),기존염색펌프장

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

#### 4.3.2. 안산 하수처리장 운영현황

##### ① 안산하수처리장 유입유량

- 안산 하수처리시설 1·2처리장의 연평균 유입유량은 공장폐수의 경우는 2005년까지 감소 하였으나, 그 이후 큰 변화없이 일정한 수준으로 유지되고 있으며, 생활하수의 경우도 유입량에 큰 변화는 없음(표 2-2-33, 2-2-34)
- 1처리장의 경우, 2003년부터 2009년까지의 공장폐수의 연평균 유입량은 153,698~226,811m<sup>3</sup>/일, 생활하수의 연평균 유입량은 110,712~145,508m<sup>3</sup>/일이며, 2 처리장은 2005년부터 2008년까지의 연평균 유입량이 94,477~102,822m<sup>3</sup>/일임
  - 1, 2처리장의 월평균 유입유량을 보면, 장마철이 있는 하절기에 강우가 집중되기 때문에 증가하는 경향을 보이며 매년 주기적인 양상을 보임(그림 2-2-21, 2-2-22)
- 설계용량 대비 유입량 비율은 공장폐수의 경우, 2003년과 2004년에 101.7%와 110.1%로 높게 나타났으나, 2005년부터 2009년까지 약 75% 정도로 일정하게 유지되고 있음. 생활하수는 설계용량 대비 유입량 비율이 1처리장은 61.9~69%, 2처리장은 63.4~69%로, 설계용량 대비 유입량 비율은 생활하수보다 공장폐수가 높음
- 일별 하수 유입량은 생활하수의 경우 1처리장에서는 연도별로 일 최대유량과 최소유량이 1.6~2.4배, 2처리장에서는 2.1~3.0배 정도 차이가 있지만, 공장폐수의 경우는 3.2~9.7배로 유입량의 변동이 매우 큼. 일별 유입량의 변화는 시간대에 따른 공장 가동과 가정하수 발생 특성을 반영하고 있는 것으로 판단됨
- 유입량이 시설용량을 초과한 경우는 생활하수보다 공장폐수에서 많이 발생하였으나, 공장폐수가 시설용량을 초과하여 유입되는 경우도 감소하는 추세임
  - 공장폐수 유입량이 시설용량을 초과한 경우는 2003년(4~12월)에 212일(58.1%), 2004년에

123일(33.7%), 2005년에 27일(7.4%), 2006년에 16일(4.4%), 2007년에 43일(11.8%), 2008년에 20일(5.5%)이었으며, 2009년 1월부터 5월까지는 유입량이 시설용량을 초과한 적은 없었음  
 - 생활하수의 경우는 2005년부터 2008년까지 유입량이 시설용량을 초과하는 경우는 매우 적었음. 1처리장의 경우 2007년까지 유입량이 시설용량을 초과하여 유입된 경우는 없었으나, 2008년에 21일(5.8%)이 시설용량을 초과하여 유입되었음. 2처리장에서 유입량이 시설용량을 초과한 경우는 2005년 및 2007년에 3일, 2008년에 2일로 극히 드물었음

표 2-2-33. 안산 하수처리장 1처리장의 연도별 월별 유입하수량

(단위 : m<sup>3</sup>/일)

구분		2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
평균	공장	226,811	182,078	162,446	160,108	167,781	160,667	153,698
	생활	145,508	122,897	110,712	122,299	123,567	131,307	112,292
최대	공장	326,855	275,551	308,452	258,428	231,244	251,407	205,819
	생활	193,114	163,199	140,870	170,158	174,740	231,894	171,495
최소	공장	103,082	45,999	35,548	26,168	39,490	47,276	50,408
	생활	83,342	86,839	90,517	89,138	88,119	97,687	90,742
1월	공장		189,550	148,899	147,397	141,719	153,683	121,838
	생활		131,471	107,126	100,190	114,841	119,614	120,260
2월	공장		213,674	134,794	161,442	147,598	139,795	152,439
	생활		134,146	114,190	98,400	102,520	119,254	112,006
3월	공장		217,282	156,518	162,936	159,717	159,101	161,895
	생활		129,771	115,771	102,069	121,269	124,421	111,826
4월	공장	221,544	203,240	160,798	164,203	161,853	162,560	164,196
	생활	126,668	123,444	117,173	112,920	120,804	124,938	103,793
5월	공장	202,306	174,520	161,762	166,055	166,827	165,002	168,338
	생활	144,734	109,260	107,444	132,771	126,558	120,878	113,271
6월	공장	210,618	179,568	172,327	169,202	174,863	173,821	
	생활	146,342	105,047	101,470	138,728	126,001	125,515	
7월	공장	252,024	193,629	179,161	194,570	190,249	187,709	
	생활	163,324	139,505	113,189	148,392	139,853	159,578	
8월	공장	252,924	172,469	183,874	162,619	186,322	173,164	
	생활	153,256	136,297	118,942	136,669	133,868	159,450	
9월	공장	257,320	170,548	167,409	163,439	172,526	169,168	
	생활	150,387	126,792	112,166	122,000	141,057	139,202	
10월	공장	229,329	159,872	169,160	137,697	180,536	167,057	
	생활	143,955	112,405	110,837	118,037	123,329	118,547	
11월	공장	213,728	158,542	158,363	149,053	170,711	143,288	
	생활	140,852	116,420	107,324	129,404	119,667	134,446	
12월	공장	198,671	153,551	153,902	142,988	158,789	132,503	
	생활	139,317	110,286	103,094	126,138	111,430	129,025	

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

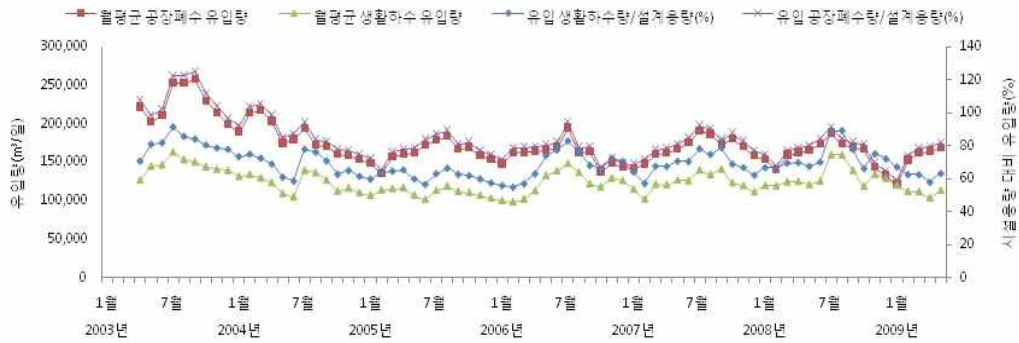


그림 2-2-21. 안산 하수처리장 1처리장 유입유량 및 시설용량 대비 유입량

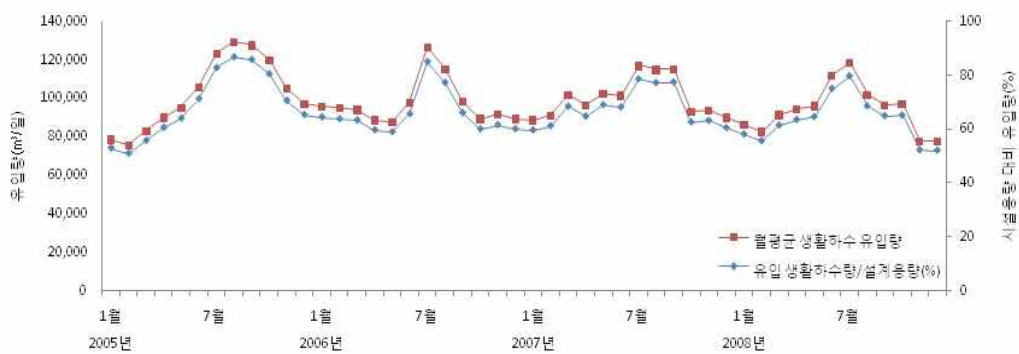


그림 2-2-22. 안산 하수처리장 2처리장 유입유량 및 시설용량 대비 유입량

표 2-2-34. 안산 하수처리장 2처리장의 연도별 월별 유입하수량

(단위 : m³/일)

구분	2005년	2006년	2007년	2008년
평균	102,822	97,571	100,665	94,477
최대	156,820	145,440	149,500	183,920
최소	54,560	70,280	68,100	60,540
1월	78,834	96,053	88,789	86,552
2월	75,852	94,976	91,142	82,791
3월	82,965	94,195	101,861	91,450
4월	90,182	88,841	96,456	94,632
5월	95,352	87,757	102,741	96,176
6월	106,091	97,747	101,515	111,789
7월	123,262	126,723	117,055	118,686
8월	129,246	115,121	114,961	102,081
9월	127,790	98,309	115,349	96,671
10월	119,845	89,381	93,225	96,989
11월	105,127	91,638	94,027	77,705
12월	97,282	89,419	90,087	77,542

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

② 안산하수처리장 유입수질

- 1처리장 공장폐수 유입수의 연평균 BOD 농도는 1, 2처리장의 생활하수 BOD 농도보다 낮은 편이고, COD 농도는 생활하수보다 공장폐수가 높은 편임. 유입수의 SS 농도는 2006년까지 공장폐수와 생활하수에서 비슷한 수준이었으나, 2007년부터 1처리장 생활하수가 공장폐수보다 높으며 2처리장 생활하수가 가장 낮음. 일별 유입수의 BOD와 SS의 최대 및 최소 농도 변화폭은 생활하수보다 공장폐수에서 높았음(표 2-2-35)
  - 유입수의 연평균 BOD 농도는 1처리장 공장폐수의 경우 124.1~195.8mg/L, 1처리장 및 2처리장 생활하수는 각각 117.4~211.6mg/L, 132.1~173.1mg/L이며, 연도별 BOD 최대농도는 공장폐수의 경우는 계속 증가하여 2007년에 최대농도가 504.0mg/L에 달한 이후 감소하고 있음. 반면에 1·2처리장 생활하수의 BOD 최대농도는 증가하는 추세임
  - COD의 경우는 공장폐수는 99.9~131.5mg/L, 1처리장 및 2처리장 생활하수는 각각 71.9~110.2mg/L, 78.1~90.7mg/L이며, 최대농도와 최소농도의 변화폭은 공장폐수와 생활하수에서 비슷한 수준이나, 최대 및 최소농도 모두 생활하수보다 공장폐수에서 높았음. 유입 공장폐수의 SS 농도는 103.6~148.8mg/L, 생활하수의 경우는 1처리장에서 97.3~195.4mg/L, 2처리장에서 103.5~128.7mg/L임
- 월별 1·2처리장 유입수의 BOD, COD, SS 농도는 그림 2-2-23과 같음. 유입 공장폐수의 BOD는 2004년 7월에서 2006년 7월 사이에 특히 높게 나타났음. 유입 생활하수의 경우는 최근에 BOD, COD, SS의 월평균 농도가 증가하는 추세임
- 유입수의 연평균 TN, TP 농도는 공장폐수의 경우는 2006년에 감소하였다가 다시 증가하고 있으며, 유입 생활하수는 1처리장의 경우 소폭으로 증가하는 추세이고 2처리장에서는 큰 변화는 없음(표 2-2-36)
  - 유입수의 연도별 평균 TN 농도는 공장폐수의 경우 39.7~60.0mg/L, 생활하수의 경우는 1처리장과 2처리장에서 각각 30.3~46.9mg/L, 35.0~39.3mg/L 수준임. 연도별 평균 TP 농도는 공장폐수에서 3.5~4.8mg/L 수준이고, 1처리장 생활하수에서 2.8~5.0mg/L, 2처리장 생활하수에서 3.3~3.8mg/L 수준임
  - 유입 공장폐수의 TP 농도를 제외하고는 연도별 유입 공장폐수 및 생활하수의 TN, TP 최대 및 최소농도 변화폭은 크지 않음. 유입 공장폐수의 일별 TP 농도 변화폭은 2007년에 41.7배, 2008년에 110.0배에 달했음
  - 1·2처리장 유입수의 월평균 TN, TP 농도는 그림 2-2-24와 같음



표 2-2-35. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입수질(BOD, COD, SS)

(단위 : mg/L)

구분		2003년 (4-12월)	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 (1-5월)
1처리장 - 공장계통(공장폐수)								
BOD	평균	134.1	124.9	181.3	195.8	126.1	124.1	124.2
	최대	253.7	272.6	356.9	342.8	504.0	486.0	347.5
	최소	61.9	66.9	68.7	35.4	36.0	23.0	37.2
	일별 변화폭	4.1배	4.1배	5.2배	9.7배	14배	21.1배	9.3배
COD	평균	99.9	108.5	121.7	131.5	115.2	116.8	122.5
	최대	187.6	230.8	227.6	235.2	311.1	296.7	361.0
	최소	57.8	66.2	58.4	69.3	41.4	45.5	60.8
	일별 변화폭	3.2배	3.5배	3.9배	3.4배	7.5배	6.5배	5.9배
SS	평균	103.6	128.0	132.3	148.8	123.4	139.0	131.9
	최대	406.0	382.0	285.0	393.3	570.0	790.0	680.0
	최소	32.0	52.0	70.0	50.0	44.0	30.0	62.0
	일별 변화폭	12.9배	7.3배	4.1배	7.9배	13.0배	26.3배	11.0배
1처리장 - 생활계통(생활하수)								
BOD	평균	117.4	155.8	180.4	167.0	159.9	141.7	211.6
	최대	166.5	229.9	275.0	284.4	402.8	452.0	533.0
	최소	54.6	103.8	139.7	76.5	80.4	35.7	96.4
	일별 변화폭	3.0배	2.2배	2.0배	3.7배	5.0배	12.7배	5.5배
COD	평균	71.9	84.5	88.5	96.3	101.2	84.6	110.2
	최대	122.0	131.6	162.0	183.1	185.4	186.8	145.2
	최소	36.6	60.1	61.1	56.4	46.4	29.6	63.3
	일별 변화폭	3.3배	2.2배	2.7배	3.2배	4.0배	6.3배	2.3배
SS	평균	97.3	130.2	142.6	147.3	173.1	156.8	195.4
	최대	326.0	224.0	294.0	316.0	435.0	386.0	336.0
	최소	45.0	64.0	90.0	90.0	68.0	46.0	68.0
	일별 변화폭	7.2배	3.5배	3.3배	3.5배	6.4배	8.4배	4.9배
2처리장 - 생활계통(생활하수)								
BOD	평균			132.1	146.0	137.6	173.1	
	최대			235.7	342.6	241.8	398.2	
	최소			63.3	76.9	79.8	88.0	
	일별 변화폭			3.7배	4.5배	3.0배	4.5배	
COD	평균			78.7	90.7	75.8	78.1	
	최대			162.1	252.7	189.7	170.7	
	최소			35.5	52.7	43.2	46.7	
	일별 변화폭			4.6배	4.8배	4.4배	3.7배	
SS	평균			103.5	105.5	107.7	128.7	
	최대			302.0	420.0	380.0	368.0	
	최소			52.0	50.5	52.0	56.0	
	일별 변화폭			5.8배	8.3배	7.3배	6.6배	

\* 자료: 안산시 상하수도사업소



표 2-2-36. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입수질(TN, TP)

(단위 : mg/L)

구분		2003년 (4-12월)	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 (1-5월)
1처리장 - 공장계통(공장폐수)								
TN	평균	48.7	58.7	55.7	39.7	57.9	60.0	52.2
	최대	77.3	99.5	173.7	96.7	226.4	172.3	113.6
	최소	21.6	23.9	19.2	17.4	22.7	15.7	21.2
	일별 변화폭	3.6배	4.3배	9.0배	5.6배	10.0배	11.0배	5.4배
TP	평균	3.5	4.5	4.8	3.6	3.8	3.7	3.7
	최대	15.6	18.4	14.9	7.8	15.1	27.7	21.9
	최소	0.8	1.2	1.7	1.0	0.4	0.3	0.9
	일별 변화폭	18.7배	15.5배	8.6배	7.5배	41.7배	110.0배	25.8배
1처리장 - 생활계통(생활하수)								
TN	평균	30.3	39.0	44.0	41.4	45.7	46.9	42.9
	최대	42.9	56.7	68.9	58.2	87.3	127.0	75.1
	최소	15.5	17.8	25.1	19.2	24.6	14.3	29.4
	일별 변화폭	2.8배	3.2배	2.7배	3.0배	3.5배	8.9배	2.6배
TP	평균	2.8	4.1	4.1	4.5	4.9	4.6	4.6
	최대	6.0	5.8	6.9	8.7	7.1	7.9	6.7
	최소	1.2	1.1	1.4	2.3	2.3	1.4	2.1
	일별 변화폭	4.8배	5.3배	4.8배	3.7배	0.4배	5.5배	3.1배
2처리장 - 생활계통(생활하수)								
TN	평균			35.0	38.2	35.4	39.3	
	최대			83.4	90.9	73.3	88.1	
	최소			20.1	23.7	19.6	21.9	
	일별 변화폭			4.1배	3.8배	3.7배	4.0배	
TP	평균			3.3	3.7	3.5	3.8	
	최대			6.2	7.0	6.0	6.3	
	최소			1.8	2.1	1.8	2.4	
	일별 변화폭			3.5배	3.3배	3.3배	2.7배	

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

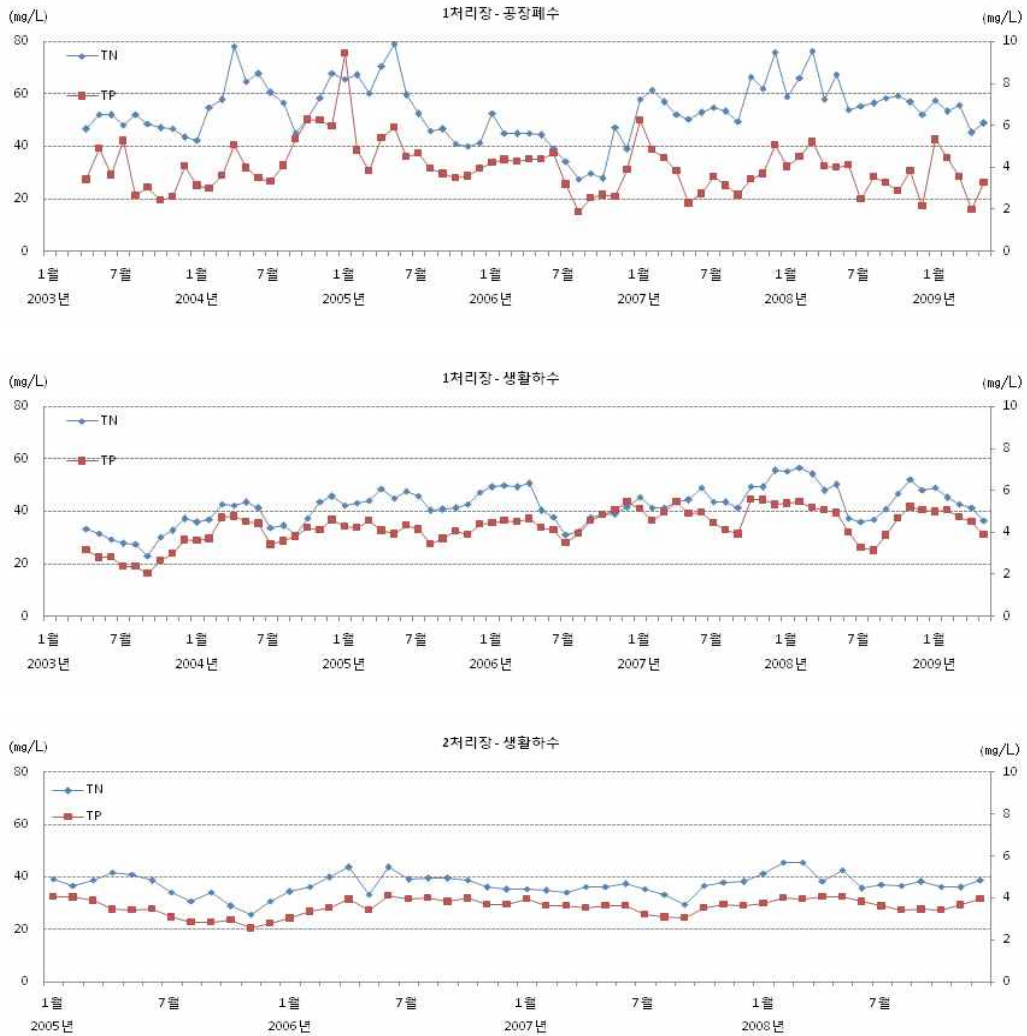


그림 2-2-24. 안산하수처리장의 월별 평균 유입수질(TN, TP)

- 2005년 이후 2처리장 유입수의 월평균 수질을 유입수 설계기준 농도와 비교하면, 5개 수질 항목 중에서 BOD가 설계기준 농도를 초과하여 유입된 경우가 가장 빈번하였음. SS와 TN의 경우는 간혹 설계기준 농도를 초과하여 유입되기도 하였지만, COD, TP는 설계기준 농도를 초과하여 유입된 경우는 없음
  - 안산하수처리시설 1처리장의 고도처리공법 적용 이전의 설계수질 자료를 수집하지 못하였고, 고도처리공사 이후의 운영기간이 매우 짧기 때문에, 설계수질 대비 유입수질은 2처리장에 한해서 살펴보고자함
  - 안산하수처리장 2처리장 유입수 설계기준 농도는 BOD, COD, SS는 각각 160mg/L이고, TN은 42mg/L, TP는 5.5mg/L임(안산시 상하수도사업소)
- 2처리장 유입수 설계수질 대비 월평균 유입수 농도를 항목별로 살펴보면, BOD는 설계수질 대비 평균 95.3%(55.8~133.4%) 농도로 유입되었고, COD는 평균 51.6%(35.7~68.1%), SS는 평균 71.7%(52.3~102.9%), TN은 88.2%(60.9~108.7%), TP는 평균 65.6%(46.4~76.8%)로 유입되었음(그림 2-2-25)

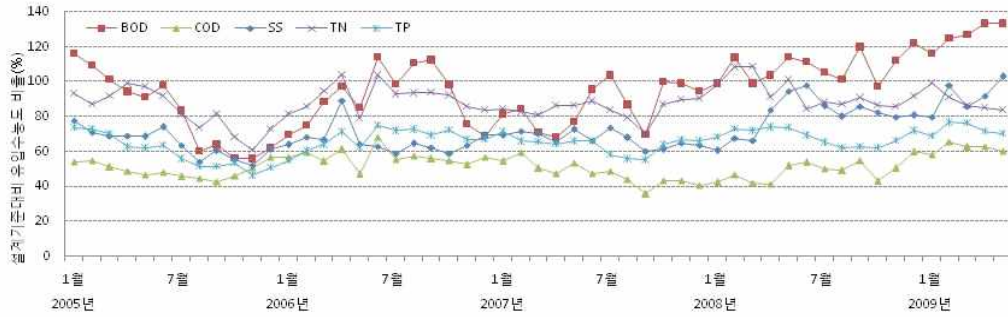


그림 2-2-25. 안산하수처리장 2처리장 설계기준 대비 월평균 유입수 농도 비율

표 2-2-37. 안산하수처리장 2처리장 유입수의 연도별 설계기준 농도 초과일수

(단위 : 일)

구분	BOD	COD	SS	TN	TP
설계기준농도(mg/L)	160	160	160	42	5.5
2005년	104	1	20	51	4
2006년	117	4	17	70	2
2007년	95	2	15	44	1
2008년	226	3	58	103	3
2009년(1-5월)	125	3	48	24	2

- 일별 유입수의 오염물질 농도가 유입수의 설계수질 농도를 초과한 일수는 표 2-2-37과 같음. 유입수의 COD, TP 농도는 설계수질을 초과한 경우가 극히 드물지만, 그 외 항목은 2007년에 비해 2008년에 수질기준을 초과하여 유입된 일수가 크게 증가하였음. 2008년에 유입수의 BOD가 설계수질을 초과한 일수는 226일(62.0%)이었고, SS와 TN의 경우는 각각 58일(15.9%), 103일(28.2%)이었음.

③ 안산하수처리장 방류수질

- 방류수의 연도별 평균 BOD 농도는 생활하수 처리수보다 공장폐수 처리수에서 높아 6.0~13.5mg/L이며, 1처리장 및 2처리장 생활하수 처리수의 연평균 BOD 농도는 각각 2.5~9.5mg/L, 4.9~8.2mg/L임. 2007년 이후 공장폐수 및 생활하수 처리장의 방류수 모두 연평균 BOD 농도가 현격하게 낮아졌음(표 2-2-38)
  - 방류수의 일별 BOD 최대 및 최소 농도도 생활하수 처리수보다 공장폐수 처리수의 경우가 차이가 큼. 공장폐수 처리수의 일별 BOD 최대농도는 14.8~22.6mg/L이며 2008년에 연평균 농도는 낮아졌으나 최대농도는 이전 시기에 비해 높아졌음
- 방류수의 연평균 COD 농도는 공장폐수 처리수가 가장 높아 26.2~31.8mg/L이며 2처리장 생활하수 처리수의 COD 농도가 가장 낮으며 8.5~13.0mg/L 수준임. 방류수의 SS 농도도 공장폐수 처리수가 1, 2처리장 생활하수보다 높게 나타남

표 2-2-38. 안산하수처리장의 연도별 평균 방류수질(BOD, COD, SS)

(단위 : mg/L)

구분		2003년 (4-12월)	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 <sup>1)</sup> (1-8월)
1처리장 - 공장계통(공장폐수)								
BOD	평균	11.4	14.7	13.5	13.5	13.5	8.2	6.0
	최대	19.6	17.4	16.2	19.8	18.8	22.6	14.8
	최소	6.2	12.0	7.3	4.0	4.5	0.9	1.4
	일별 변화폭	3.2배	1.5배	2.2배	5.0배	4.2배	25.1배	10.6배
COD	평균	26.9	29.7	30.7	31.8	30.3	29.4	26.2
	최대	38.8	34.3	37.1	39.7	39.1	39.6	35.8
	최소	16.7	20.3	19.5	21.2	10.7	12.0	13.9
	일별 변화폭	2.3배	1.7배	1.9배	1.9배	3.7배	3.3배	2.6배
SS	평균	10.8	14.8	14.0	15.1	15.1	12.2	8.7
	최대	19.0	18.0	18.0	19.0	19.0	19.7	19.2
	최소	5.0	7.0	8.0	8.0	4.0	3.2	0.9
	일별 변화폭	3.8배	2.6배	2.3배	2.4배	4.8배	6.2배	21.3배
1처리장 - 생활계통(생활하수)								
BOD	평균	7.4	6.9	6.0	8.9	9.5	4.0	2.5
	최대	12.5	9.1	8.6	12.6	12.5	9.8	11.1
	최소	5.0	4.8	3.4	3.2	5.4	0.2	0.1
	일별 변화폭	2.5배	1.9배	2.5배	3.9배	2.3배	49.0배	111배
COD	평균	15.7	15.6	15.1	14.5	13.4	10.2	10.0
	최대	25.9	20.6	20.1	21.0	20.4	19.1	17.0
	최소	8.5	9.6	10.5	7.5	7.4	5.4	5.0
	일별 변화폭	3.0배	2.1배	1.9배	2.8배	2.8배	3.5배	3.4배
SS	평균	6.3	7.1	6.6	8.9	10.5	3.7	1.5
	최대	17.0	11.5	13.5	16.5	17.0	9.6	9.2
	최소	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	0.7	0.2
	일별 변화폭	17배	5.8배	6.8배	5.5배	5.7배	13.7배	46배
2처리장 - 생활계통(생활하수)								
BOD	평균			5.3	7.7	8.2	4.9	
	최대			7.9	12.8	12.9	9.8	
	최소			2.8	3.5	4.0	1.7	
	일별 변화폭			2.8배	3.7배	3.2배	5.8배	
COD	평균			13.0	11.6	10.1	8.5	
	최대			19.9	19.2	17.2	12.4	
	최소			7.0	6.1	5.2	5.7	
	일별 변화폭			2.8배	3.1배	3.3배	2.2배	
SS	평균			5.2	6.1	6.0	4.9	
	최대			15.0	15.5	13.0	10.0	
	최소			2.0	1.0	3.0	1.5	
	일별 변화폭			7.5배	15.5배	4.3배	6.7배	

주: 1) 1처리장 COD, SS 농도는 1~8월 자료, 1처리장 BOD 및 2처리장은 1~5월 자료

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

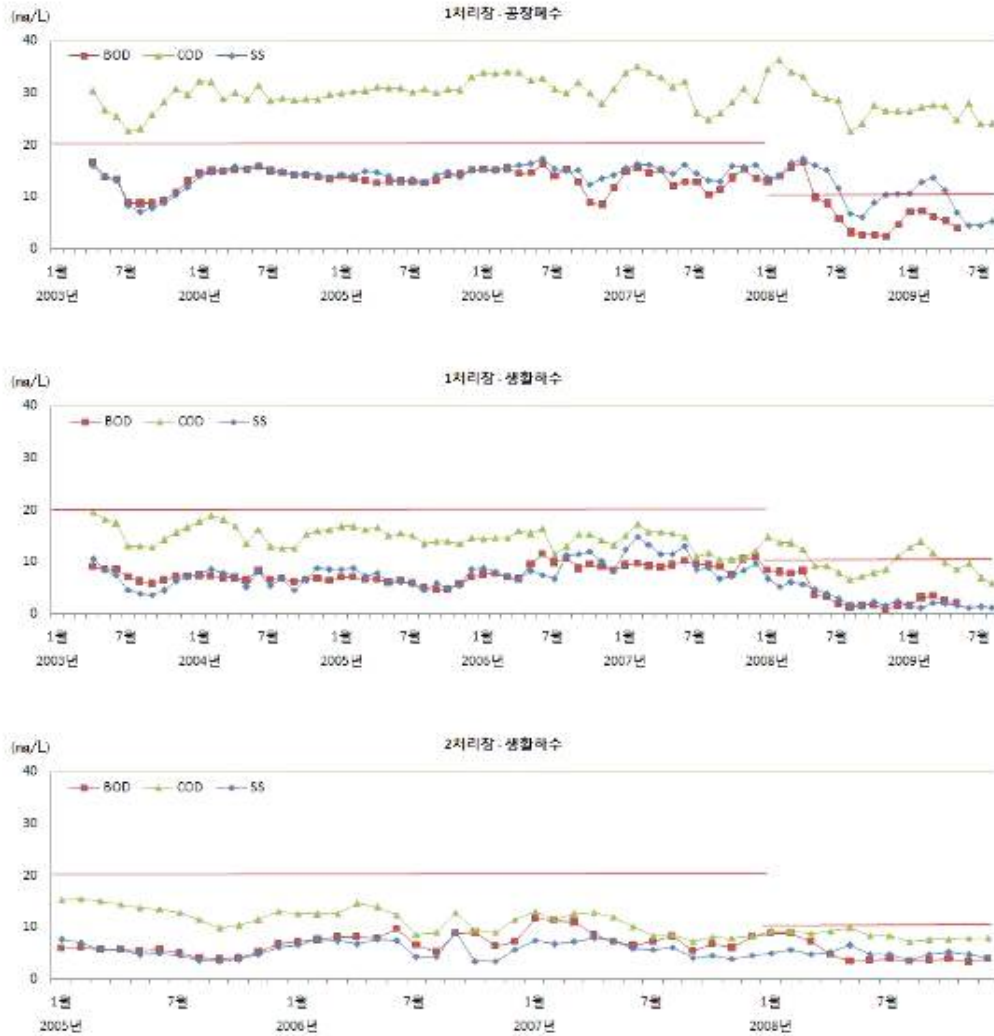


그림 2-2-26. 안산하수처리장 월별 평균 방류수질(BOD, COD, SS)

- 방류수의 BOD, COD, SS 농도를 월평균으로 보면 생활하수 처리수의 경우는 방류수질 기준을 초과한 경우는 없었음. 그러나 공장폐수 처리수의 경우 2008년 1~4월에 월평균 BOD 농도가 수질기준을 초과하였고, SS 농도는 2008년 및 2009년에 방류수질기준을 초과한 경우가 발생하였음. (그림 2-2-26)
  - 2008년 이전의 방류수 수질기준은 BOD 20mg/L이하, COD 40mg/L이하, SS 20mg/L이하이고, 2008년 이후에는 BOD 10mg/L이하, COD 40mg/L이하, SS 10mg/L이하
  - 공장폐수 처리수의 월평균 BOD 농도는 2.4~16.6mg/L, SS 농도는 4.5~17.3mg/L 수준임
- 고도처리공법이 적용된 2처리장은 2004년 9월부터 가동되었기 때문에 2008년 이전 방류수의 연도별 TN, TP 평균 농도는 1처리장에서보다 2처리장에서 낮은 편임. 2처리장의 경우는 TN, TP 연평균 농도 및 일별 최대 농도가 방류수 수질기준을 충족시킴. 1처리장 공장폐수의 경우 고도처리가 적용된 2009년에 TP 농도가 2008년과 비교하여 50% 정도 낮아졌음. 그러나 생활하수의 경우 고도처리 적용 전후의 TP 농도 변화는 거의 없음(표 2-2-39)

- 2008년 이전의 방류수 수질기준은 TN 60mg/L이하, TP 8mg/L이하이고, 2008년 이후에는 TN 20mg/L이하, TP 2mg/L이하. 단, 겨울철인 12~3월에는 TN, TP 방류수질 기준이 각각 60mg/L, 8mg/L임

표 2-2-39. 안산하수처리장 연도별 평균 방류수질(TN, TP)

(단위 : mg/L)

구분		2003년 (4-12월)	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 <sup>1)</sup> (1-8월)
1처리장 - 공장계통(공장폐수)								
TN	평균	27.6	35.0	33.1	27.4	30.7	22.5	11.5
	최대	39.0	51.5	49.7	57.6	52.3	56.8	19.9
	최소	12.320	16.2	15.7	12.1	14.3	5.3	3.7
	일별 변화폭	3.2배	3.2배	3.2배	4.8배	3.7배	10.6배	5.3배
TP	평균	1.1	1.4	1.4	1.4	1.0	1.5	0.8
	최대	5.9	3.5	4.5	5.2	3.3	4.5	1.8
	최소	0.1	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1
	일별 변화폭	50.8배	6.6배	12.0배	12.5배	13.1배	13.9배	22.8배
1처리장 - 생활계통(생활하수)								
TN	평균	19.5	23.2	22.4	21.8	17.1	11.0	8.9
	최대	30.3	36.7	39.5	33.5	30.5	32.9	16.5
	최소	4.6	11.2	12.9	6.4	4.3	3.4	4.8
	일별 변화폭	6.6배	3.3배	3.1배	5.2배	7.0배	9.7배	3.5배
TP	평균	0.6	0.7	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5
	최대	2.3	1.7	1.7	2.1	1.9	2.2	2.5
	최소	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
	일별 변화폭	17.8배	7.0배	12.4배	10.9배	9.1배	18.4배	41.2배
2처리장 - 생활계통(생활하수)								
TN	평균			11.5	10.7	9.6	9.6	
	최대			14.9	15.0	15.0	15.0	
	최소			6.7	3.9	3.9	4.3	
	일별 변화폭			2.2배	3.9배	3.8배	3.5배	
TP	평균			0.6	0.5	0.4	0.6	
	최대			1.4	1.4	1.2	1.5	
	최소			0.1	0.1	0.1	0.1	
	일별 변화폭			14.1배	10.8배	12.6배	11.8배	

주: 1) 1처리장은 1~8월 자료, 2처리장 1~5월 자료

\* 자료: 안산시 상하수도사업소



- 방류수의 월평균 TN 및 TP 농도 변화는 그림 2-2-27과 같으며, 2008년 7월에 공장폐수 방류수의 TN 항목을 제외하고는 방류수질 기준을 초과한 경우는 없었음. 1처리장의 경우 공장폐수 처리수의 농도는 2008년 이후, 생활하수 처리수는 2007년 6월 이후부터 감소하기 시작하였으며 생활하수 처리수의 월평균 TP 농도를 제외하면 처리수의 농도 변화폭도 감소하였음. 이는 2004년 7월에 착공하여 2009년 3월에 완료된 1처리장의 고도처리공법 도입에 의한 영향으로 생각할 수 있음. 하지만 고도처리시설 공사가 완료된 이후에 공장폐수 처리수의 월평균 TP 농도는 이전에 비해 조금 높아졌고, TN 농도는 고도처리공법이 적용된 3~5월 사이에 소폭으로 높아졌으나 5월 이후 낮아졌음

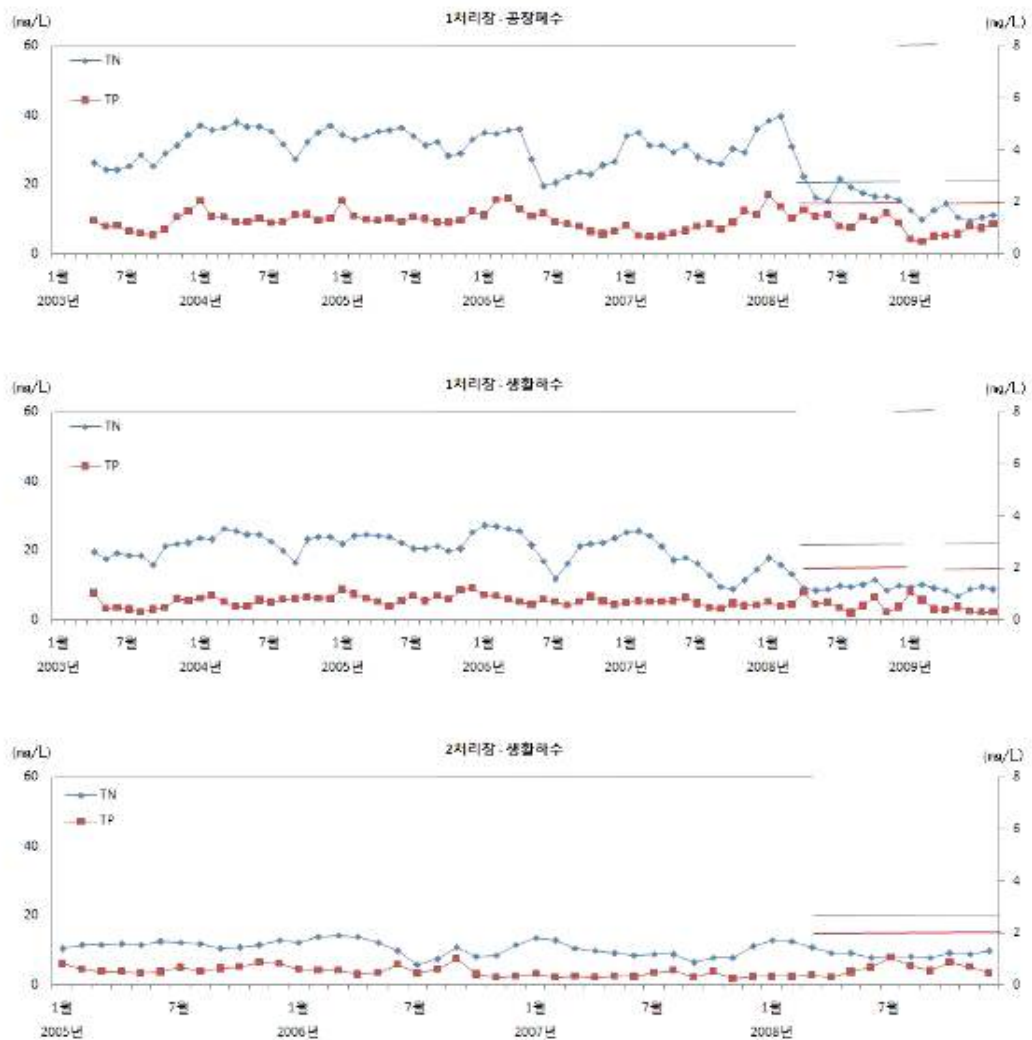


그림 2-2-27. 안산하수처리장 월별 평균 방류수질(TN, TP)

- 일별 방류수의 오염물질 농도가 방류수 수질기준을 초과한 일수를 연도별로 살펴보면, 1처리장의 경우는 2003(4~12월)년부터 2007년까지는 공장폐수 및 생활하수 처리수가 방류수 수질기준을 초과한 경우는 없었음. 하수처리장 방류수 수질기준이 강화된 2008년에는 방류수질이 수질기준을 초과한 경우가 크게 증가하였음. 그러나 1처리장의 고도처리시설이 완료된 2009년(1~8월)에는 방류수의 수질기준 초과일이 대폭 감소하였으며 특히, TN, TP 농도가 수질기준을 초과한 경우는 발생하지 않았음(표 2-2-40, 그림 2-2-28)
  - 1처리장 공장폐수 처리수가 방류수 수질기준을 초과한 경우는 2008년에 BOD는 140일, SS는 238일, TN은 79일, TP는 24일이었고, 생활하수 처리수의 경우는 TN, TP가 각각 1일씩 방류수 수질기준을 초과하여 배출되었음
  - 2009년에는 1처리장 생활하수 처리수는 BOD가 수질기준을 초과한 경우가 하루였으며 나머지 항목은 수질기준에 적합하였음. 반면에 공장폐수 처리수의 경우는 BOD가 17일, SS가 91일이 방류수 수질기준을 초과하여 배출되었음
  - 1처리장은 고도처리시설의 도입으로 공장폐수 및 생활하수의 TN, TP 처리는 적절하게 이루어져 강화된 방류수 수질기준을 충족시키고 있는 것으로 판단되지만, BOD, SS 등 유기물 처리효율을 향상시킬 필요가 있음
- 생활하수만을 처리하는 2처리장의 경우 평가대상 기간인 2005년부터 2008년까지 BOD, COD, SS, TN, TP 농도가 방류수 수질기준을 초과한 경우는 없었음(표 2-2-40, 그림 2-2-29)
- 1처리장에 고도처리 시설이 도입된 것은 최근이기 때문에 운영기간이 짧아 고도처리 시설의 효과를 평가하기에는 무리가 있지만, 고도처리 개선 공사 전·후의 1처리장의 방류수질을 비교해 보면 COD, SS, TN, TP 항목 모두 농도가 낮아졌으며 특히 TN과 SS 농도 감소폭이 큼(표 2-2-41)
  - 고도처리 시설 도입으로 공장폐수 처리수의 COD는 29.7mg/L에서 25.4mg/L, SS는 13.6mg/L에서 4.8mg/L로 감소하였으며 TN과 TP는 각각 28.8mg/L에서 10.5, TP 농도는 1.3mg/L에서 1.1mg/L로 감소하였음. 생활하수 처리수의 경우는 COD 13.8mg/L에서 7.6mg/L, SS는 6.8에서 1.3mg/L, TN 18.5mg/L에서 9.0mg/L, TP는 0.7mg/L에서 0.3mg/L로 감소하였음
- 안산하수처리장 방류수질을 평가지표인 방류수 수질기준 적합도를 이용하여 평가하면, 1처리장 공장계통 방류수의 수질기준 적합도는 2008년에 26%, 2009년(1~8월)에 63%로 현저히 낮았음. 1처리장 생활계통은 1회를 제외하고, 2처리장 생활계통은 평가대상 기간 모두 방류수 수질기준 적합도가 100%로 법적 방류수질 기준을 충족시켰음(표 2-2-42)
  - 방류수 수질기준 적합도 =  $\{(365-4\text{개 항목 수질기준 초과일수})/365\} \times 100$ , 수질기준 4개 항목으로는 TN, TP, SS, COD를 이용하였음

표 2-2-40. 안산하수처리장 방류수의 연도별 수질기준 초과일수

(단위 : 일)

구분		BOD	COD	SS	TN	TP
방류수 수질기준( mg/L)	2008년 이전	20	40	20	60	8
	2008년 이후 (겨울철)	10	40	10	20 (60)	2 (8)
1처리장 - 공장계통						
2003년		0	0	0	0	0
2004년		0	0	0	0	0
2005년		0	0	0	0	0
2006년		0	0	0	0	0
2007년		0	0	0	0	0
2008년		140	0	238	79	24
2009년(1-8월)		17	0	91	0	0
1처리장 - 생활계통						
2003년		0	0	0	0	0
2004년		0	0	0	0	0
2005년		0	0	0	0	0
2006년		0	0	0	0	0
2007년		0	0	0	0	0
2008년		0	0	0	1	1
2009년(1-8월)		1	0	0	0	0
2처리장 - 생활계통						
2005년		0	0	0	0	0
2006년		0	0	0	0	0
2007년		0	0	0	0	0
2008년		0	0	0	0	0

주: 1) 2009년 1월부터 5월까지 방류수질 기준을 초과한 일수

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

표 2-2-41. 안산 하수처리장 1처리장 고도처리 전·후 방류수질

(단위 : mg/L)

구분		COD	SS	TN	TP
공장계통 (공장폐수)	고도처리 이전 (2003.4~2009.5)	29.7	13.6	28.3	1.3
	고도처리 이후 (2009.6~2009.8)	25.4	4.8	10.5	1.1
생활계통 (생활하수)	고도처리 이전 (2003.4~2009.5)	13.8	6.8	18.5	0.7
	고도처리 이후 (2009.6~2009.8)	7.6	1.3	9.0	0.3

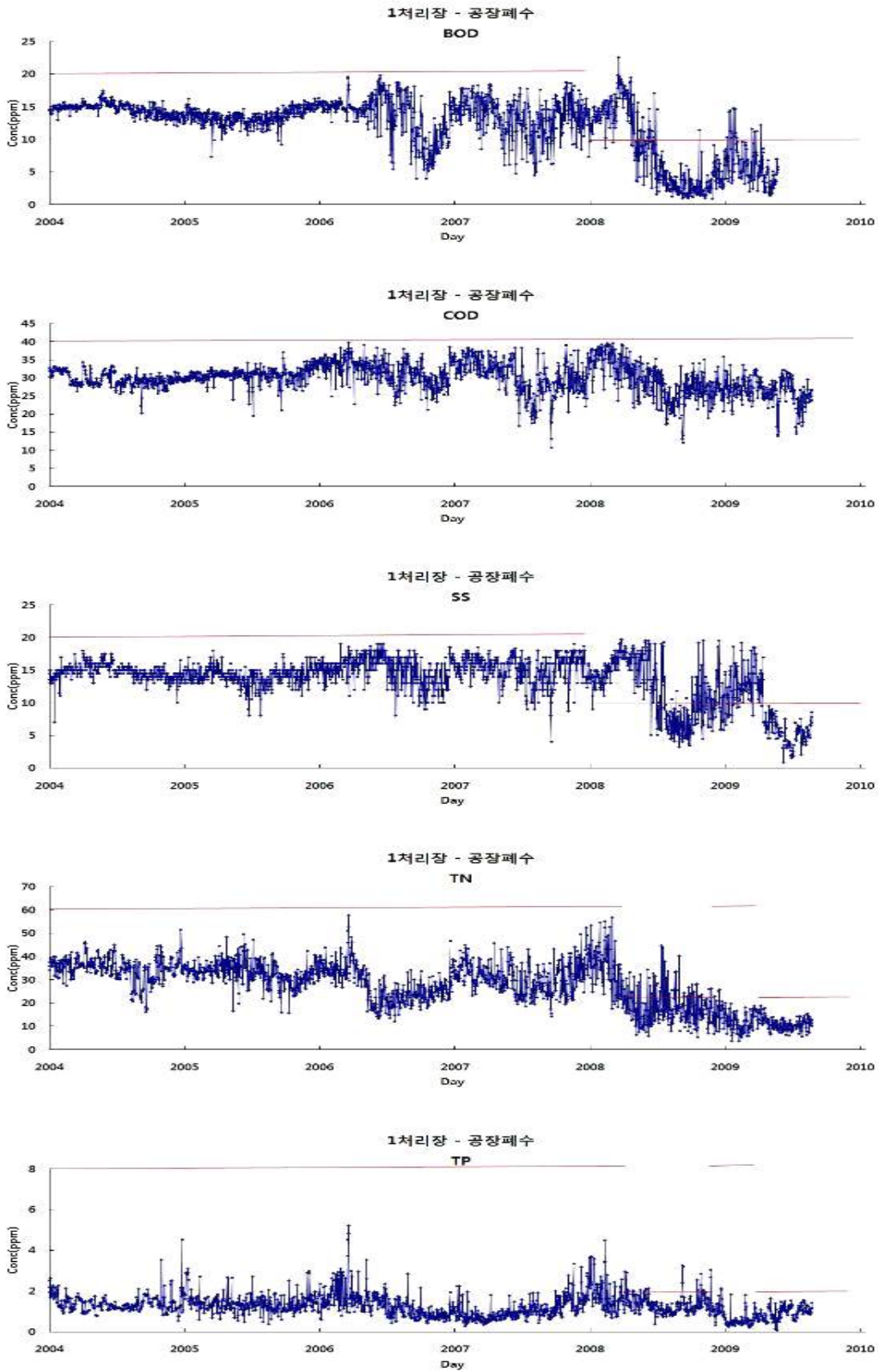


그림 2-2-28. 안산 하수처리장 1처리장 공장계통(공장폐수) 일별 방류수질

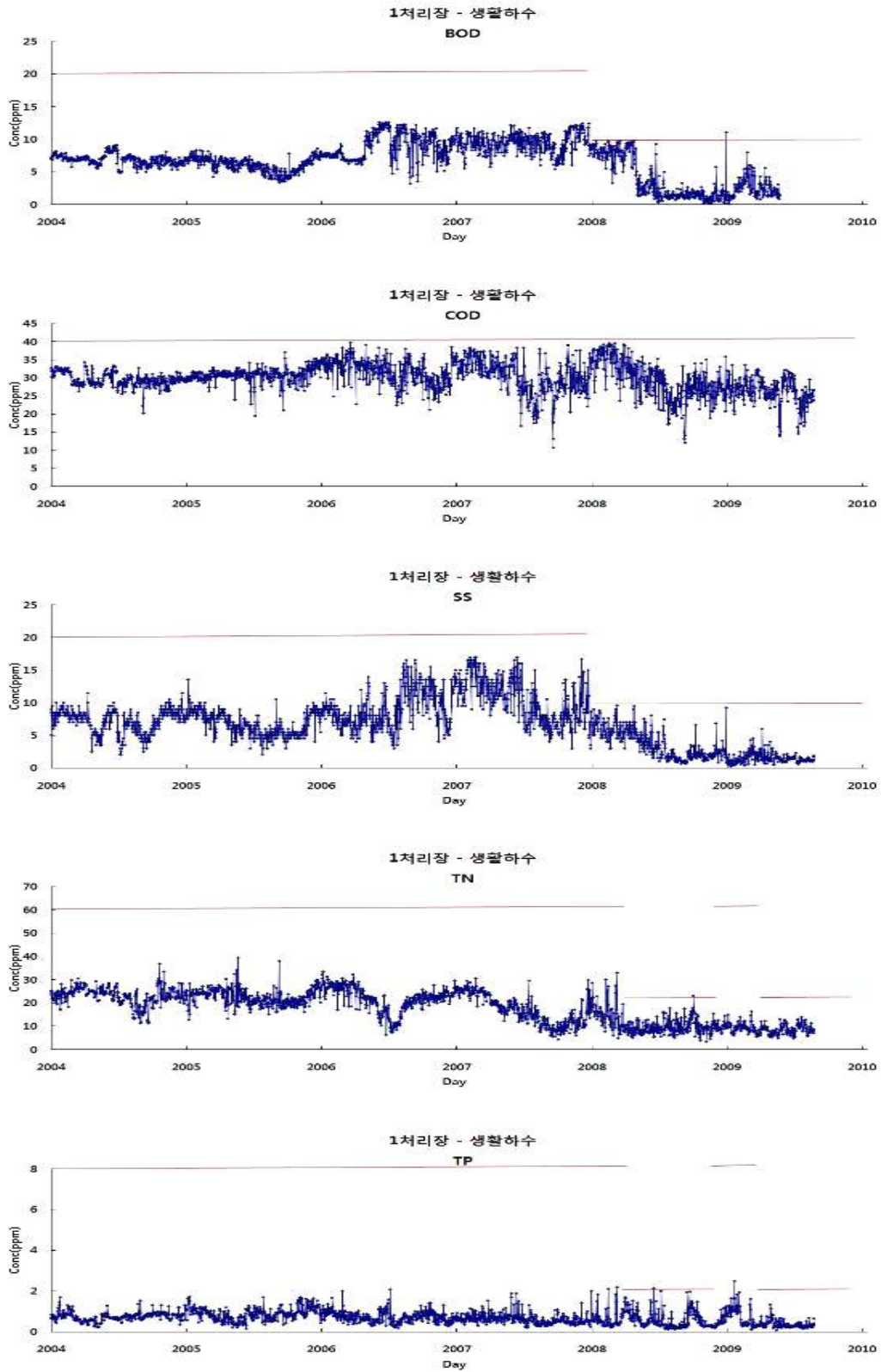


그림 2-2-29. 안산 하수처리장 1처리장 생활계통(생활하수) 일별 방류수질

표 2-2-42. 안산 하수처리장의 방류수 수질기준 적합도

(단위 : %)

구분	1처리장-공장	1처리장-생활	2처리장-생활
2004년	100	100	-
2005년	100	100	100
2006년	100	100	100
2007년	100	100	100
2008년	26	99	100
2009년(1~8월)	63	100	-

※ 방류수 수질기준 적합도 =  $\{(365-4\text{개 항목 수질기준 초과일수})/365\} \times 100$ , 수질 기준 4개 항목으로는 TN, TP, SS, COD를 이용하였음

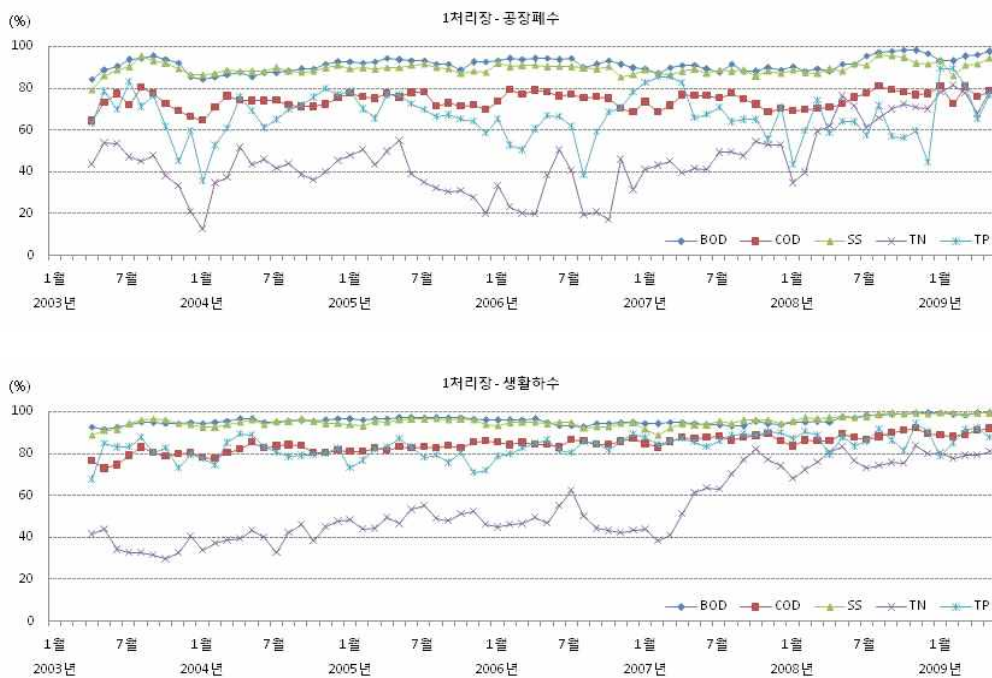


그림 2-2-30. 안산 하수처리장 1처리장 오염물질 제거율

- 방류수 수질기준을 초과한 경우가 발생한 안산하수처리장 1처리장의 오염물질 제거효율을 보면, TN, TP의 경우 월평균 최소 제거율이 다른 항목과 비교하여 낮은 편이며 특히, TN의 월별 평균 제거율은 50% 이하임. 이는 최근에 고도처리 공법이 적용된 때문으로 판단할 수 있음. 2004년부터 2009년 5월까지의 공장폐수에 대한 오염물질 제거효율은 BOD는 평균 91.3%(84.2~98.1%), COD는 평균 74.2%(81.064.41%), SS는 평균 89.3%(95.8~79.41%), TN, TP는 각각 평균 45.5%(12.7~81.5%), 66.8%(35.5~89.4%)임, 1처리장 생활하수에 대한 오염물질 제거율은 공장폐수의 오염물질 제거율보다 높은 편임. BOD는 월별 평균 95.6%(91.7~99.5%), COD는 평균 84.3%(72.8~92.0%), SS는 평균 95.1%(88.7~99.4%), TN은

평균 54.4%(29.6~83.8%), TP는 평균 83.3%(67.6~94.4%)임. 생활하수의 항목별 오염물질 제거율도 공장폐수의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있음(그림 2-2-30)

#### 4.4. 시화 하수처리장 현황

##### 4.4.1. 시화 하수처리장 시설현황

- 시화하수처리장은 시화산업단지에서 발생하는 공장폐수와 시화지구 전역에서 발생하는 생활하수 처리를 위해 1990년 11월 176천m<sup>3</sup>/일 규모로 1단계 처리시설이 준공된 후, 2단계 하수처리시설(103천m<sup>3</sup>/일)을 증설하여 현재 시설용량 279천m<sup>3</sup>/일 규모임. 시화하수처리장 시설 현황은 표 2-2-43와 같으며, 하수처리시설 확장 공사 추진경과는 표 2-2-44와 같음
- 시화하수처리장의 계획 처리구역 면적은 2021년 기준으로 2,040ha이고, 계획 처리인구는 160,000명임. (시흥시, 2009)
- 시화하수처리장의 하수처리는 1단계에서는 중력침강법에 의한 1차 처리와 호기성미생물의 분해 및 증식과정에서 유기물을 제거하는 표준 활성슬러지공법으로 운영하였으나, 2단계 하수처리장 증설시 전계열 포기조를 일부 개량하여 하수중의 질소·인 등의 영양염류를 제거하는 CNR(Cilium Nutrient Removal)공법으로 운영하고 있음(시흥시, 2009)
- 시화하수처리장의 하수처리 공정은 그림 2-2-31과 같음. 하수처리시설에 유입된 생활하수와 공장폐수는 균등조에서 혼합되고 1차 침전지에서 부유물질, 생물반응조 및 2차 침전조에서 유기물을 제거하고 최종 사여과시설에서 SS를 제거한 후 시화 방조제 외해로 방류하고 있음. 수처리공정에서 발생된 슬러지는 중력농축조에서 농축시킨 후 탈수기로 탈수하여 해양투기하였으나 최근에는 건조 후 매립 처리하고 있음(시흥시, 2009)

표 2-2-43. 시화하수처리장 현황

구분	시설용량 (m <sup>3</sup> /일)	위치	부지면적(m <sup>2</sup> )	처리공법	비고
계	279,000	시흥시 정왕동 공단2대로 2번지	210,338 (63,627평)	고도처리, 사여과	
1단계	176,000				'95.12
2단계	103,000				'04.3
구분	설계수질(mg/L)				
	BOD	COD	SS	TN	TP
유입수	157	160	144	50	7.7
방류수	18	36	15	19.1	2.0

\* 자료: 시흥시 상하수도 사업소 홈페이지  
시흥시, 2009, 시흥시 공공하수 및 분뇨처리시설 기술진단보고서



표 2-2-44. 시화하수처리장 확장 및 운영 사업 추진경과

일시	내용	비고
'90.11.13	하수처리장 1단계 공사 착공	- 사업비: 54,903백만원
'95.12.31	하수처리장 1단계시설 공사완료	
'96. 6.15	하수처리장 방류수 시화호 외해 방류	- 해양방류관거 2.4km
'97.12.20	하수처리장 2단계시설 공사착공	- 질소·인 고도처리 - 사업비: 60,000백만원
'01.12.31	하수처리장 1단계시설 인계·인수	- 수공 → 시흥시
'03. 6	하수처리장 2단계시설 증설 완료	
'04. 3.19	하수처리장 2단계시설 준공	

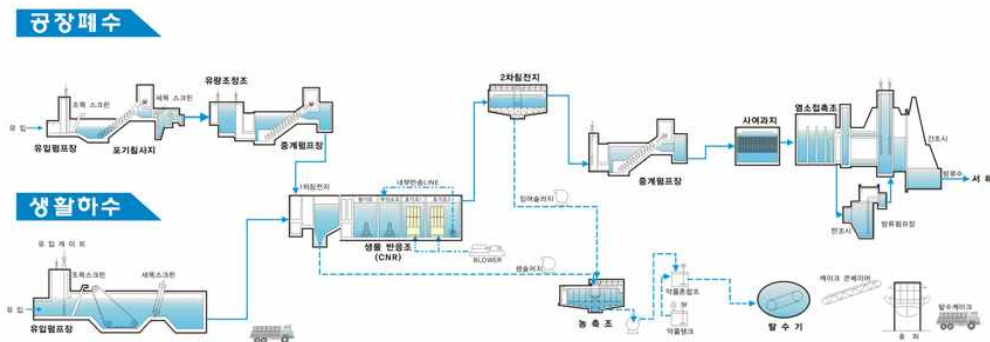


그림 2-2-31. 시화하수처리장 하수처리 계통도  
(자료: 시흥시 상하수도사업소 홈페이지)

- 분뇨 및 가축분뇨 병합처리시설과 음식물처리시설에서 발생하는 탈리액을 하수처리시설의 균등조의 전·후단으로 연계하여 처리하고 있음(시흥시, 2009)
  - 분뇨 및 음식물쓰레기 퇴비화시설은 시흥시 전역에서 발생하는 음식물쓰레기를 처리하기 위해 2000년 8월 시설용량 100m<sup>3</sup>/일(음식물침출수 50톤/일, 분뇨처리시설 50톤/일)로 하수처리장 부지 내에 설치되었으나 분뇨처리시설은 분뇨 및 가축분뇨 병합처리시설로 개선되었고(2005.10), 음식물 처리시설은 100m<sup>3</sup>/일로 증설(2009.2)되었음
  - 음식물탈리여액은 물리·화학처리(가압부상조)를 한 후 하수처리시설로 연계 처리하는 것으로 개선하였고, 분뇨 및 가축 분뇨 병합처리시설 탈리여액은 2005년 10월부터 생물학처리(B3공법) 및 침전지를 거쳐 하수처리시설로 연계 처리되고 있음
  - 음식물 처리시설이 하수처리장 부지 내에 있어 악취 발생원인 중 하나로 작용하지만, 음식물 처리시설과 하수처리시설의 운영·관리 담당기관이 다르기 때문에 적절한 대처방안 마련에 어려움이 있음
- 하수처리장 방류수는 안산하수처리장의 최종 방류수와 혼합 된 후, 시화호 방조제 외해로 방류되고 있음



#### 4.4.2. 시화 하수처리장 운영현황

##### ① 시화하수처리장의 유입유량 현황

- 2001년 1월부터 2009년 9월까지의 연도별, 월별 유입유량은 표 2-2-45와 같음. 연도별 평균 유입유량은 190,300~243,225m<sup>3</sup>/일이며, 2003년에 유입량이 증가한 것은 동년 6월에 2단계 하수처리시설이 완료되어 시설용량이 103,000m<sup>3</sup>/일이 증설되었기 때문으로 볼 수 있음. 그 후 유입유량은 일정한 수준으로 유지되다가 2007년 이후 다시 증가하고 있음
- 월별 평균 유입하수량은 163,149~283,156m<sup>3</sup>/일이며, 장마철이 있는 하절기에 강우가 집중되기 때문에 유입하수량이 하절기에 대폭 증가하는 경향을 보였으며, 매년 주기적인 양상을 보임. 하수처리시설의 용량 대비 유입하수량의 비율은 2단계 시설 증설이 완료('03.6)되기 전까지는 100%를 상회하는 경우가 많았으나, 증설 이후에는 평균 시설용량의 79.9%가 유입되고 있음. 하지만 2007년부터는 하절기에 유입량이 95%이상인 경우가 발생했으며 2008년에는 시설용량을 초과하여 유입되기도 하였음(그림 2-2-32)
- 월별 유입하수량 중 공장폐수의 비율은 2001년에 상반기에 75~80% 수준이었으나, 2001년 10월 이후에 58%까지 감소한 후 최근에는 55% 내외로 유지된 반면에 생활하수의 유입비율은 동 시기에 42%로 증가하였으며, 그 이후 다시 소폭 증가하여 45% 내외로 유지됨(그림 2-2-33)
- 일별 유입하수량은 2001년에는 8,804~246,220m<sup>3</sup>/일(평균 136,149m<sup>3</sup>/일, 시설용량 대비 109.9% 유입)이었으나, 시설이 증설된 이후인 2004년에는 133,400~297,000m<sup>3</sup>/일(평균 210,845m<sup>3</sup>/일, 시설용량 대비 75.6%)의 하수가 유입되었음. 2008년에는 하수유입량이 증가하여 123,700~342,300m<sup>3</sup>/일(평균 231,779m<sup>3</sup>/일, 시설용량 대비 83.1%유입)로 유입되었음
- 유입하수량이 시설용량을 초과한 경우는 2001년에 265일, 2002년에 237일, 2003년에 154일, 2004년에 4일, 2005년에 하여 10일, 2006년에 10일, 2007년에 45일, 2008년에 43일, 2009년(1~9월)에 20일이었음. 2004년에 유입하수량이 시설용량을 초과한 일 수가 감소한 것은 2003년 6월에 시설용량 증설이 완료되었기 때문으로 판단할 수 있음. 그러나 시설용량 증설 후에도 매년 하절기(7~9월)에 하수유입량이 시설용량을 초과하는 것을 보이므로 이에 대한 대책이 필요함(그림 2-2-34, 2-2-35)
- 『시흥시 공공하수 및 분뇨처리시설 기술진단보고서』(시흥시, 2009)에 의하면, 2008년 혼합하수 및 생활하수의 요일별 유입량의 변화는 각각 210,823~237,969m<sup>3</sup>/일, 108,522~114,685m<sup>3</sup>/일로 요일별 변화는 크지 않았지만, 생활하수가 제일 적은 목요일에 혼합하수량이 가장 많고 생활하수량이 가장 많은 일요일에 혼합하수량이 가장 적게 나타났음. 이는 유입하수량이 공장들의 가동율에 영향을 받고 있음을 보여주는 것임

표 2-2-45. 시화하수처리장의 연도별 월별 유입하수량(혼합하수량)

(단위 : m<sup>3</sup>/일)

구분	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
평균	193,429	190,300	205,802	210,845	213,171	212,569	237,231	231,779	243,225
최대	276,900	74,300	337,200	297,000	334,900	346,900	318,000	342,300	332,360
최소	69,500	185,200	121,900	133,400	105,900	112,800	128,400	123,700	150,900
1월	163,149	190,416	194,687	199,561	186,210	199,555	209,903	196,668	202,774
2월	189,521	174,382	194,852	221,117	175,832	198,311	192,011	196,603	226,486
3월	187,829	179,323	189,468	200,326	187,710	193,223	214,048	207,906	236,904
4월	191,033	179,733	200,607	201,493	187,473	204,997	223,177	227,340	236,686
5월	205,958	189,529	206,184	214,832	193,929	222,658	238,681	230,781	258,648
6월	217,827	177,130	198,070	221,847	208,950	228,570	237,863	261,737	247,876
7월	253,877	209,077	229,606	237,068	242,452	267,106	272,923	283,156	269,665
8월	197,913	212,210	228,626	220,152	256,116	227,555	273,587	272,845	258,587
9월	193,393	188,357	221,627	224,137	248,033	205,560	255,363	259,617	250,413
10월	180,913	206,684	206,655	213,935	242,261	191,955	263,990	218,913	
11월	173,973	199,137	196,473	188,720	223,020	197,283	242,473	213,993	
12월	165,468	175,539	201,503	186,595	202,926	212,223	218,697	210,661	

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

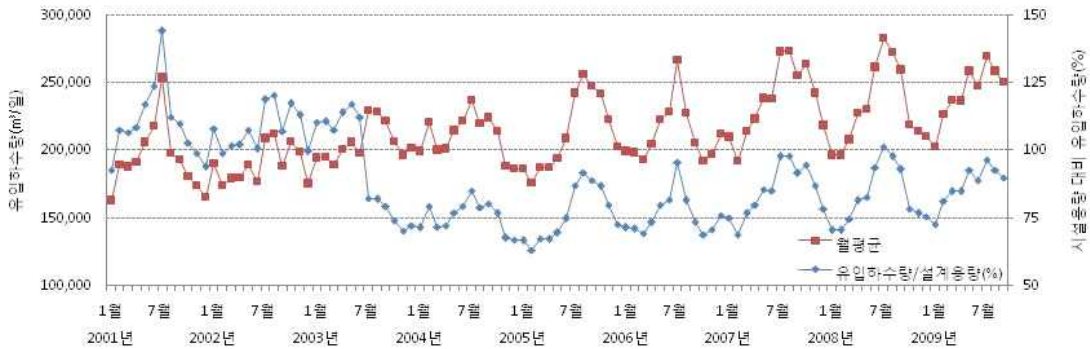


그림 2-2-32. 시화하수처리장 유입하수량 및 시설용량 대비 유입하수량

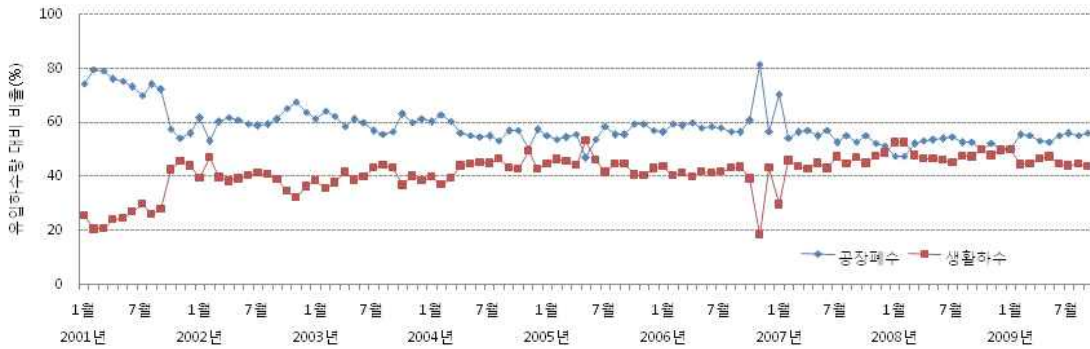


그림 2-2-33. 시화하수처리장 월별 유입하수량 대비 공장폐수 및 생활하수 비율

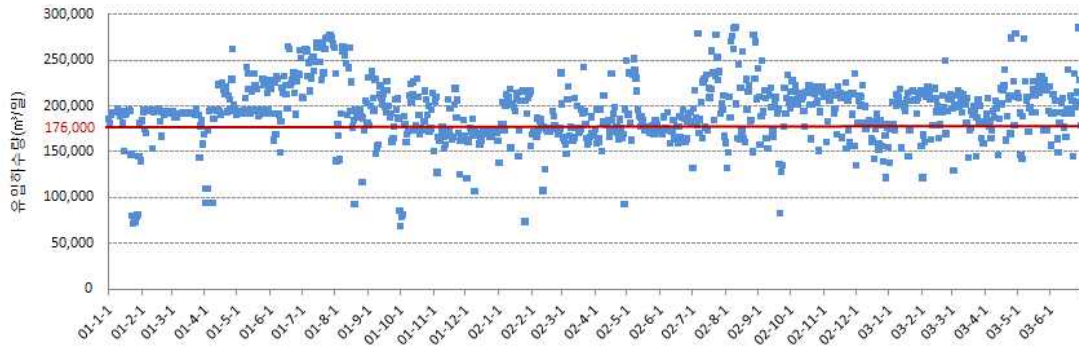


그림 2-2-34. 시화하수처리장 증설 전 일별 유입하수량

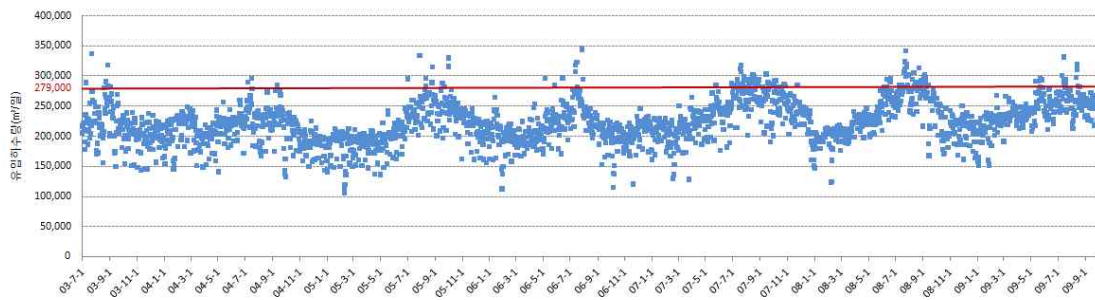


그림 2-2-35. 시화하수처리장 증설 후 일별 유입하수량

② 시화하수처리장 유입수(혼합하수) 수질 현황

- 시화하수처리장의 유입수질은 공장폐수, 반려수, 음식물 탈리액이 포함된 균등조의 수질로 분석함. 유입수의 연도별 평균 BOD 농도는 185.0~426.6mg/L, COD 농도는 137.5~282.0mg/L, SS 농도는 274.4~501.0mg/L였으며, 유입하수 농도는 점점 증가하고 있음. BOD, COD, SS의 일별 변화폭이 매우 큼(표 2-2-46)
  - BOD의 일별 농도 변화폭은 2006년에 52.8배로 가장 컸으며 그 이후 최대 농도는 소폭 증가한 반면 최소 농도는 대폭 증가하여 최대농도와 최소농도의 변화폭이 감소하였음. COD의 일별 농도 변화폭은 2004년에 가장 컸으며, 이후에 최대 농도가 감소하고 최저 농도는 증가하여 변화폭은 감소하였음. SS의 경우는 일별 농도 변화폭이 BOD, COD에 비해서는 크지 않았으나, 2008년 이후에는 BOD, COD보다 SS의 일별 농도 변화폭이 컸음
- 유입하수의 월별 BOD농도는 평균 259.0mg/L(124.6~556.3mg/L), COD는 평균 193.6mg/L(82.4~349.9mg/L), SS는 평균 393.7mg/L(131.9~889.4mg/L)로 유입되었음(그림 2-2-36)
- 2001년부터 2009년 9월까지 유입수(혼합하수) 영양염류의 연도별 평균 농도의 경우, TN은 41.1~120.6mg/L이고 TP는 5.6~11.5mg/L임. 2008년에 TN과 TP의 일별 농도 변화폭은 각각 38.4배, 30.1배로 유기물과 마찬가지로 큰 변화폭을 보였으며, 최대 농도가 너무 높음. 월평균 농도로 보면, TN의 경우는 농도가 지속적으로 감소하고 있으나 TP는 조금 증가하는 추세임. (표 2-2-47, 그림 2-2-37)

표 2-2-46. 시화하수처리장의 연도별 유입수(혼합하수) 수질(BOD, COD, SS)

(단위 : mg/L)

구분		2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 (1-9월)
BOD	평균	185.0	244.3	198.4	187.5	278.5	270.3	337.6	248.9	426.6
	최대	483.6	569.0	507.0	508.8	2064.0	2536.2	2298.0	704.0	2753.4
	최소	43.7	58.2	58.2	12.8	55.2	48.0	96.6	70.8	105.6
	일별 변화폭	11.1배	9.8배	8.7배	39.8배	37.4배	52.8배	23.8배	9.9배	26.1배
COD	평균	137.5	196.1	166.3	163.3	200.1	198.5	238.5	179.9	282.0
	최대	407.3	431.3	374.0	449.3	2132.0	2032.0	1496.0	497.3	572.0
	최소	21.8	74.8	33.2	7.2	18.4	46.0	36.8	73.5	65.4
	일별 변화폭	18.7배	5.8배	11.3배	63.3배	115.9배	44.2배	40.7배	6.8배	8.7배
SS	평균	274.4	409.9	430.5	339.3	391.7	501.0	469.3	254.4	497.0
	최대	1026.0	1225.0	1800.0	2445.0	4440.0	5240.0	4050.0	1615.0	1890.0
	최소	18.6	84.0	110.0	66.0	62.0	56.0	50.0	54.0	50.0
	일별 변화폭	55.2배	14.6배	16.4배	3.7배	71.6배	93.6배	81배	29.9배	37.8배

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

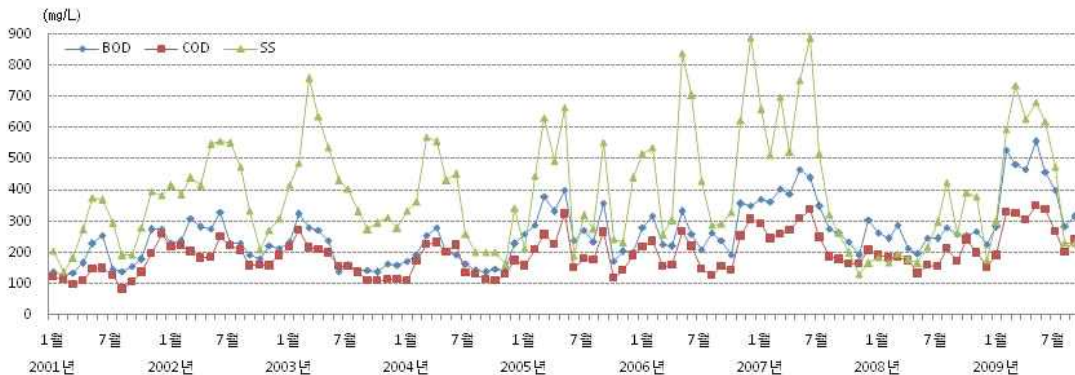


그림 2-2-36. 시화하수처리장의 월평균 유입수(혼합하수) 수질(BOD, COD, SS)

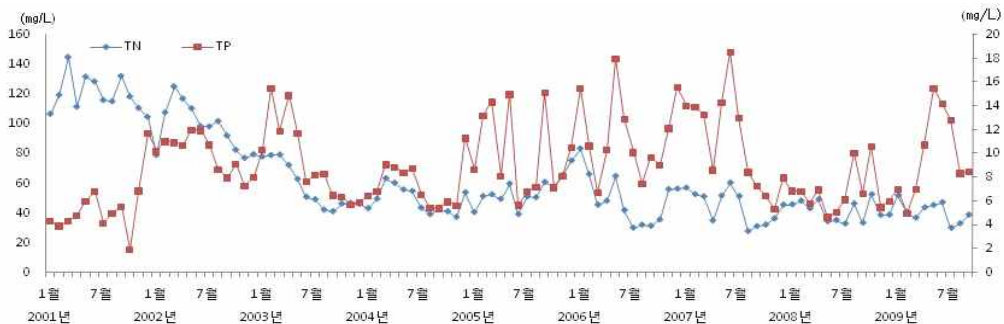


그림 2-2-37. 시화하수처리장의 월평균 유입수(혼합하수) 수질(TN, TP)

표 2-2-47. 시화하수처리장의 연도별 유입수(혼합하수) 수질(TN, TP)

(단위 : mg/L)

구분	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 (1-9월)
TN	평균	120.6	97.5	57.9	48.9	54.7	49.3	44.5	41.1
	최대	492.4	202.3	140.2	151.2	262.9	189.5	204.0	151.5
	최소	47.9	43.8	10.4	4.0	10.2	10.2	8.5	11.5
	일별 변화폭	10.3배	4.6배	13.4배	38.3배	25.7배	18.6배	23.9배	38.4배
TP	평균	5.6	9.9	9.4	7.4	10.0	11.5	10.9	6.7
	최대	17.7	30.7	69.3	40.5	93.3	59.8	81.2	51.0
	최소	0.3	2.1	1.7	1.7	0.2	0.9	1.4	1.7
	일별 변화폭	52.0배	14.5배	40.5배	23.8배	409.1배	65.2배	60.0배	30.1배

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

- 2단계 시설이 완공된 2004년 이후 하수처리장 유입수(혼합하수)의 월평균 수질을 유입수 설계 기준 농도와 비교하면, 유입수의 BOD, COD, SS, TN, TP의 농도가 설계기준 유입수 농도를 초과하는 경우가 대부분이었음. 5가지 항목중에서 SS가 설계기준 농도를 크게 초과하였으며, 300%이상 초과하는 경우도 많이 발생하였음(그림 2-2-38)
  - 오염물질에 대한 유입수 설계기준 농도는 BOD 157mg/L, COD 160mg/L, SS 144mg/L, TN 50mg/L, TP 7.7mg/L임(시흥시, 2009)
  - 유입수 설계기준 농도 대비 실제 월평균 유입수 농도를 항목별로 살펴보면, BOD는 설계 기준 보다 평균 181.4%(86.8~354.3%) 높은 농도로 유입되었고, COD는 평균 129.7%(68.7~218.7%), SS는 평균 281.5%(91.6~617.6%), TN은 93.9%(55.8~167.2%), TP는 평균 121.8%(60.3~240.7%)의 농도로 유입되었음
- 일별 유입수의 오염물질 농도가 유입수의 설계 기준 농도를 초과한 일수는 표 2-2-48과 같음. 유입수의 BOD 및 SS 농도는 설계기준 농도를 초과한 일수가 지속적으로 증가하고 있으며 2008년에는 각각 325일(89.0%), 316일(86.6%)이나 설계기준 농도를 초과한 하수가 유입되었음. 공장폐수의 영향으로 볼 수 있는 유입수의 TP 농도는 설계기준 농도 초과일수가 증가하다가 2008년에 이전 해에 비해 감소하였지만, 2009년에는 다시 증가하였음
- 『시화시 공공하수 및 분뇨처리시설 기술진단보고서』에 의하면, 2008년 시화하수처리장 운영자료를 이용한 공장폐수의 연평균 유입농도는 BOD 231.2mg/L(16.8~529.8mg/L), TN 38.0mg/L(1.2~194.9mg/L), TP 6.8mg/L(0.9~194.9mg/L)로 공장폐수의 유입농도가 유입설계기준을 초과하여 유입되고 순간 변화율이 높음. 이로 인해 부하량의 증가에 따른 처리수질 악화로 방류수 수질기준이 초과될 우려가 있음(시흥시, 2009)
  - 공장폐수 유입 설계기준 농도는 BOD 120mg/L, COD 122mg/L, SS 118mg/L, TN 57mg/L, TP 7mg/L임
  - 공장폐수 유입농도가 설계유입농도보다 높은 것은 배출수허용기준을 준수하지 않고 폐수를 배출하는 사업장 때문인 것으로 판단됨

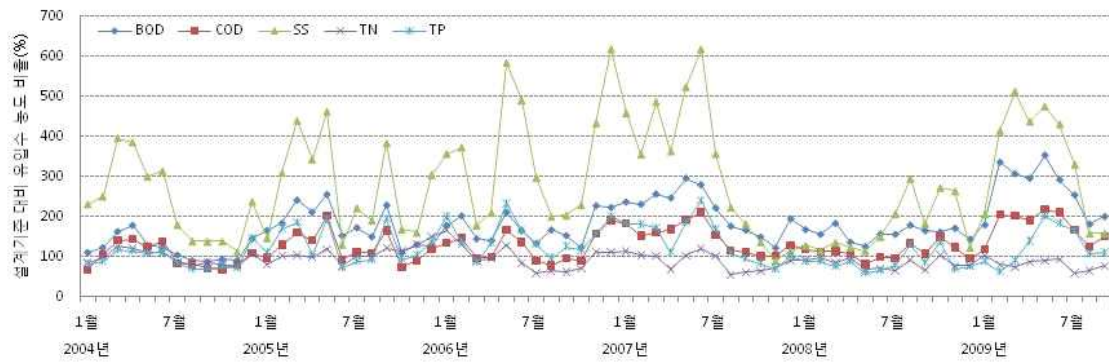


그림 2-2-38. 시화하수처리장 설계기준 유입수 농도 대비 월평균 유입수질 농도 비율

표 2-2-48. 시화하수처리장 유입수의 연도별 설계기준 농도 초과일수

(단위 : 일)

구분	BOD	COD	SS	TN	TP
설계기준농도(mg/L)	157	160	144	50	7.7
2004년	222	153	317	149	121
2005년	280	190	287	179	155
2006년	287	193	332	131	220
2007년	327	259	304	98	215
2008년	325	199	316	63	95
2009년(1-9월)	215	235	259	54	148

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

### ③ 시화하수처리장 방류수 수질 현황

- 시화하수처리장 방류수의 연도별 평균 BOD 농도는 6.1~14.0mg/L, COD는 21.6~32.1mg/L, SS는 5.9~16.1mg/L이었음. 세 항목 모두 방류수 농도가 2003년 이후 감소하였는데, 이는 2 단계 하수처리시설 증설 및 고도처리 공법 도입이 2003년 6월에 완료되었기 때문으로 판단할 수 있음. 방류수질의 일별 농도 변화폭은 COD보다 BOD와 SS의 경우에 변화폭이 더 큼(표 2-2-49)
- 방류수의 월별 BOD 농도는 평균 9.0mg/L(3.1~22.6mg/L), SS는 평균 9.2mg/L(2.9~24.5mg/L)로, 월평균 농도로 보면 방류수 수질기준 이하로 처리되어 배출되고 있지만 간헐적으로 방류수 수질기준을 초과하는 경우가 있음(그림 2-2-39)
  - 2008년 이전의 방류수 수질기준은 BOD 20mg/L이하, COD 40mg/L이하, SS 20mg/L이하이고, 2008년 이후에는 BOD 10mg/L이하, COD 40mg/L이하, SS 10mg/L이하
- 방류수의 연도별 TN, TP 평균 농도는 각각 15.8~82.6mg/L, 0.4~2.5mg/L이고 일별 방류수 농도는 TN보다 TP에서 그 변화폭이 큼. 방류수의 유기물 농도와 달리, TN, TP의 경우는 연도별 평균농도가 방류수 수질기준을 초과하는 경우가 발생했음(표 2-2-49)



- 2008년 이전의 방류수 수질기준은 TN 60mg/L이하, TP 8mg/L이하이고, 2008년 이후에는 TN 20mg/L이하, TP 2mg/L이하. 단, 겨울철인 12~3월에는 TN, TP 방류수질 기준이 각각 60mg/L, 8mg/L임
- 방류수의 연도별 TN 평균농도는 2001년을 제외하고 방류수 수질기준에 적합하였으며, TP의 경우는 연도별 평균농도가 방류수 수질기준에 초과되지는 않았음. 하지만 최대농도는 방류수 수질기준을 초과하는 수준임
- 방류수의 월평균 TN 농도는 지속적으로 감소하는 추세를 보이며, TP 농도는 2007년까지 증가하다가 2008년부터는 감소하는 추세임(그림 2-2-40)

표 2-2-49. 시화하수처리장의 연도별 방류수 수질(BOD, COD, SS)

(단위 : mg/L)

구분		2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년 (1-9월)
BOD	평균	13.6	14.0	7.7	7.7	8.6	7.7	7.5	7.1	6.1
	최대	41.4	41.0	18.8	30.8	19.9	19.7	19.8	10.0	10.0
	최소	4.0	2.4	1.2	1.3	1.9	1.0	0.3	1.3	0.8
	일별 변화폭	10.4배	17.1배	15.7배	23.7배	10.5배	19.7배	66.0배	7.7배	12.5배
COD	평균	31.3	32.1	23.1	21.6	22.2	24.7	25.6	29.3	24.6
	최대	69.1	60.3	36.7	38.4	39.8	39.0	38.6	39.8	39.4
	최소	11.5	14.0	11.6	4.7	3.9	9.3	7.1	15.5	3.2
	일별 변화폭	6.0배	4.3배	3.2배	8.2배	10.2배	4.2배	5.4배	2.6배	12.3배
SS	평균	16.1	14.8	8.3	6.9	5.9	8.6	6.5	7.9	7.1
	최대	44.0	145.0	20.5	30.5	19.0	18.7	19.0	10.0	30.2
	최소	3.0	4.0	1.5	1.5	0.5	1.5	1.0	1.0	2.0
	일별 변화폭	14.7배	36.3배	13.7배	20.3배	38.0배	12.5배	19.0배	10.0	15.1배
TN	평균	82.6	58.2	17.3	15.8	16.1	18.9	20.8	17.1	14.1
	최대	161.9	146.1	35.3	35.2	42.2	30.6	37.2	34.6	29.8
	최소	40.6	14.3	6.3	2.1	1.6	4.7	2.8	4.5	0.5
	일별 변화폭	4.0배	10.2배	5.6배	16.7배	26.2배	6.5배	13.1배	7.7배	63.2배
TP	평균	0.6	0.6	0.4	0.4	0.9	1.6	2.5	1.6	1.1
	최대	3.5	6.3	1.5	5.2	3.2	7.8	5.4	5.3	5.6
	최소	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2
	일별 변화폭	20.6배	34.7배	11.5배	104.8배	63.4배	39.6배	19.6배	19.5배	34.7배

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

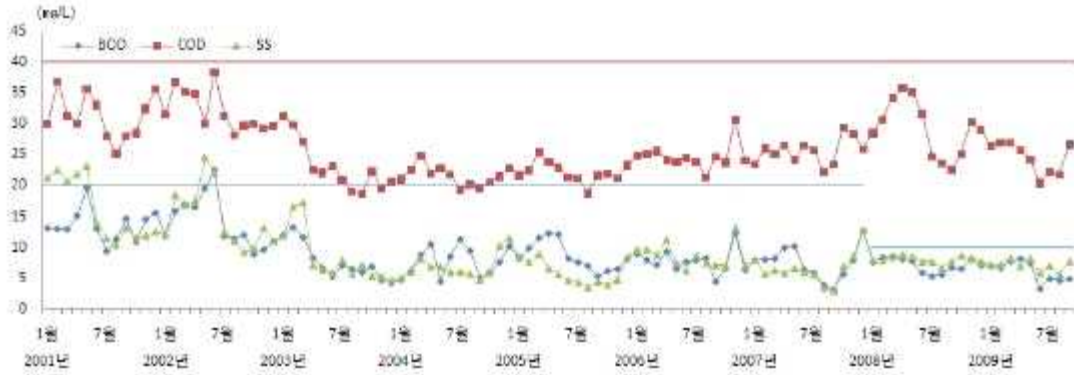


그림 2-2-39. 시화하수처리장의 월평균 방류수 수질(BOD, COD, SS)

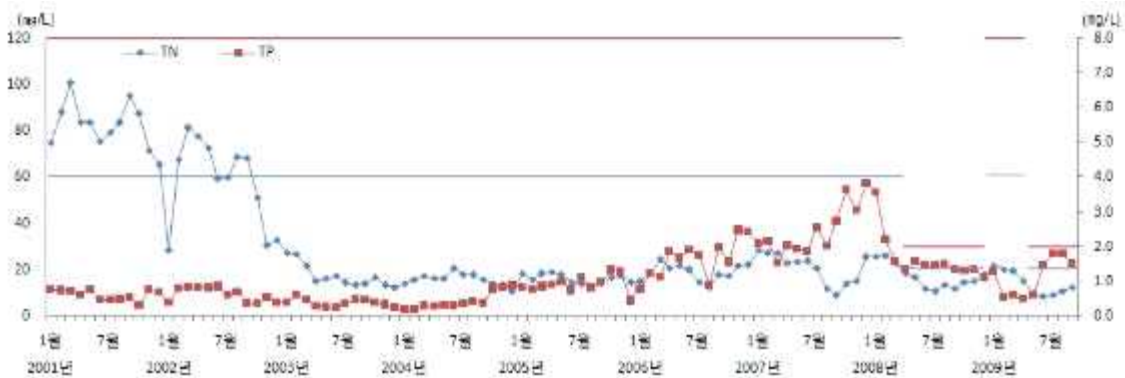


그림 2-2-40. 시화하수처리장의 월평균 방류수 수질(TN, TP)

- 하수처리시설 확장 및 고도처리공법 공사가 완료된 2003년 6월 이후 2008년까지 방류수의 BOD, COD, SS, TN, TP 농도가 방류수질 기준을 초과한 경우는 없었으나, 2009년에는 방류수질 기준을 초과하는 날이 발생하였는데, SS 항목은 2일, TP 항목은 20일이 수질기준을 초과하였음(표 2-2-50, 그림 2-2-41)
- 2009년에 방류수 수질기준을 초과하는 경우가 발생한 이유는 하수처리시설에 대한 한강유역환경청의 분기별 지도·점검 결과, 개선명령 시행으로 인한 영향임(시흥시 상하수도사업소)
- 시화하수처리장의 고도처리시설 설치 전·후 방류수질을 비교해 보면, 방류수의 BOD, SS, TN 농도는 현격히 감소하였고 COD 농도는 소폭 감소하였음. TP 농도는 고도처리 적용 후 이전보다 3배 정도 높아졌는데, 그 원인을 파악하기 위해서는 처리장 운전상황에 대한 접근이 필요함(표 2-2-51)
- 고도처리 이후 방류수의 BOD 평균농도는 11.3mg/L에서 7.6mg/L로, COD는 28.4mg/L에서 24.7mg/L, SS는 12.6mg/L에서 7.2mg/L, TN은 49.0mg/L에서 17.4mg/L로 감소하였고, TP 농도는 0.5mg/L에서 1.4mg/L로 증가하였음
- 안산하수처리장의 방류수 수질기준 적합도를 평가한 기간과 동일한 기간을 대상으로 시화하수처리장 방류수 수질기준 적합도를 평가한 결과는 표 2-2-52와 같음. 한강유역환경청



의 개선명령에 따른 조치로 하수처리시설의 정상 운영에 제한이 있었던 2009년을 제외한 2004년부터 2008년까지는 방류수 수질기준 적합도가 100으로 법적 방류수질 기준을 충족시켰음

- 방류수 수질기준 적합도(%) = {(365-4개 항목 수질기준 초과일수)/365}\*100, 수질기준 4개 항목으로는 TN, TP, SS, COD를 이용하였음

표 2-2-50. 시화하수처리장 방류수의 연도별 수질기준 초과일수

(단위 : 일)

구분		BOD	COD	SS	TN	TP
방류수 수질기준 (mg/L)	2008년 이전	20	40	20	60	8
	2008년 이후	10	40	10	20	2
2001년		33	21	72	317	0
2002년		35	16	45	209	0
2003년		0	0	1	0	0
2004년		7	0	1	0	0
2005년		0	0	0	0	0
2006년		0	0	0	0	0
2007년		0	0	0	0	0
2008년		0	0	0	0	0
2009년(1-9월)		0	0	2	0	20

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

표 2-2-51. 시화하수처리장 고도처리 전·후 방류수질

(단위 : mg/L)

구분	BOD	COD	SS	TN	TP
고도처리 이전 (2001.1~2004.3)	11.3	28.4	12.6	49.0	0.5
고도처리 이후 (2004.4~2009.9)	7.6	24.7	7.2	17.4	1.4

표 2-2-52. 시화하수처리장의 방류수 수질기준 적합도

(단위 : %)

구분	방류수 수질기준 적합도
2004년	100
2005년	100
2006년	100
2007년	100
2008년	100
2009년(1~9월)	92

※ 방류수 수질기준 적합도 = {(365-4개 항목 수질기준 초과일수)/365}\*100, 수질 기준 4개 항목으로는 TN, TP, SS, COD를 이용하였음

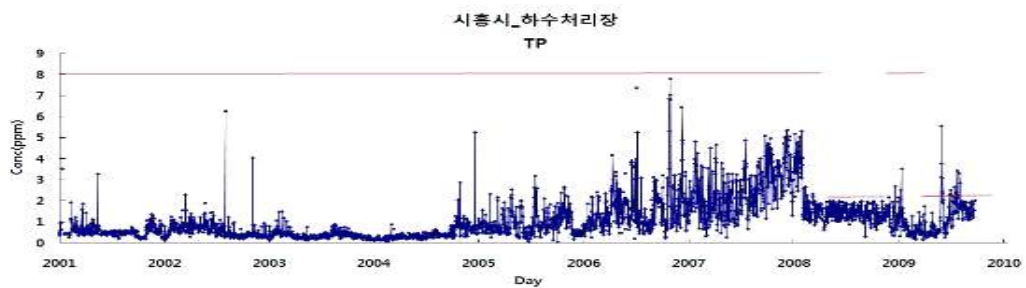
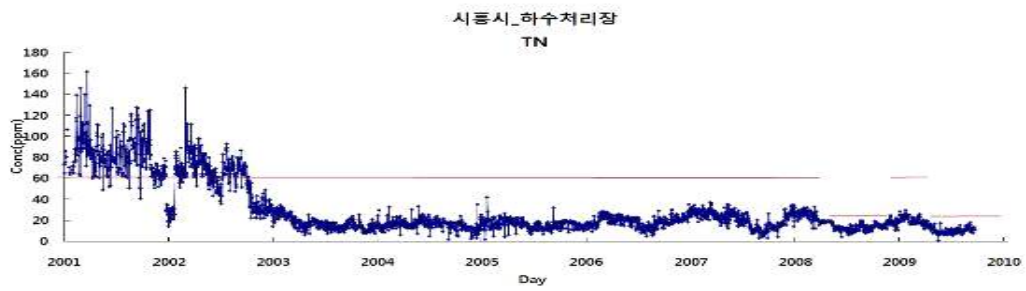
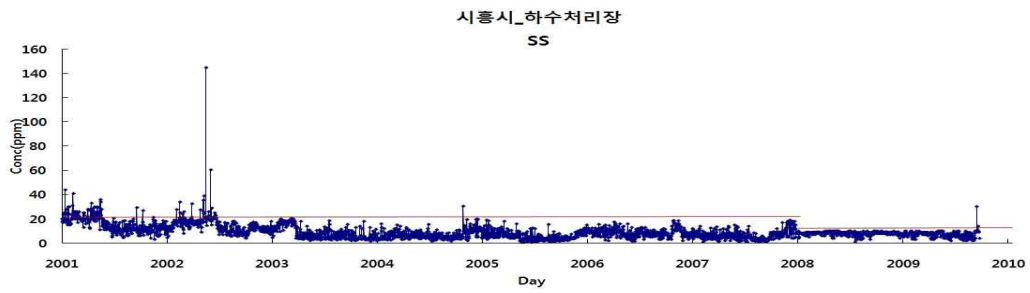
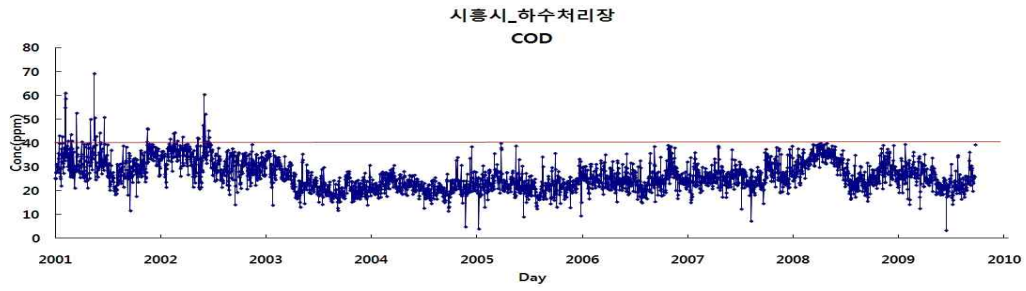
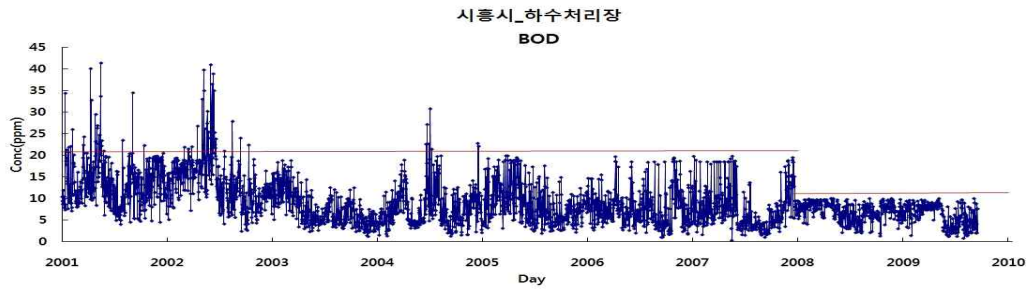


그림 2-2-41. 시화하수처리장 일별 방류수 수질

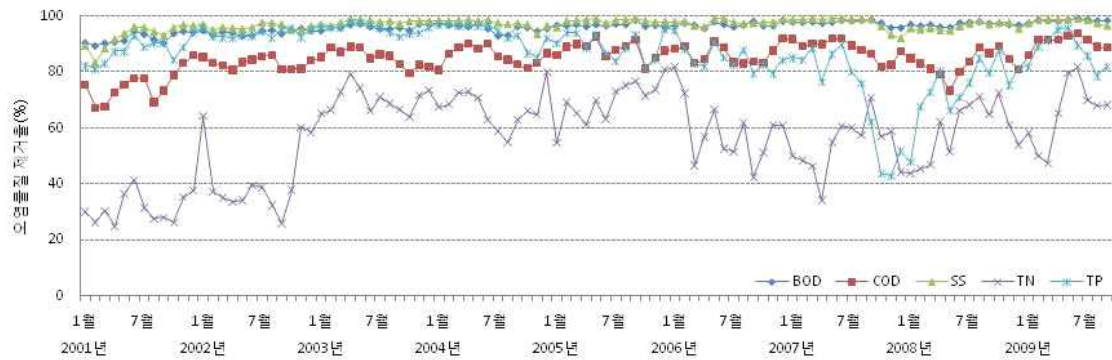


그림 2-2-42. 시화하수처리장의 오염물질 제거율

- 시화하수처리장의 2001년 1월부터 2009년 9월까지 월별 평균 오염물질 제거율은 BOD는 96.1%(89.6~99.3%), COD는 85.1%(67.4~94.0%), SS는 97.1%(88.7~99.3%), TN은 57.1%(24.9~81.7%), TP는 86.7%(42.9~98.2%)로, 다른 항목에 비해 TN의 제거율이 낮음(그림 2-2-42). TN 및 TP 제거율은 고도처리공법이 도입되면서 향상되었으나 2006년 이후 제거율이 저하되는 경향이 나타났으며 월평균 제거율의 변동이 심함. 고도처리공법 도입 이후에 질소와 인 제거율이 저하된 원인은 고도처리시설 운영상 문제점이 있거나 유입수의 농도가 높기 때문인 것으로 추정할 수 있음

#### 4.5. 안산·시화 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율 분석

##### 4.5.1. 안산 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율

- 2004년부터 2008년까지의 안산 하수처리장 1처리장(공장폐수+생활하수) 및 2처리장의 연도별 유입 오염부하량은 BOD의 경우 54,775~66,013kg/일, COD는 37,249~41,686kg/일, SS는 47,909~52,931kg/일, TN과 TP는 각각 15,146~19,503kg/일, 1,484~1,729kg/일임. 2처리장의 경우, 5개 수질항목의 연도별 유입 오염부하량이 설계기준 유입 오염부하량을 초과한 경우는 없음(표 2-2-53)
  - 고도처리시설 이전의 1처리장 설계수질 자료를 수집하지 못하여 설계기준 대비 유입 오염부하량은 2처리장에 한해 살펴보았음. 2처리장의 설계기준 대비 유입오염부하량은 BOD의 경우 2004년에서 2007년까지 60% 수준으로 일정하다가 2008년에는 68.6%로 증가하였으나, 그 외 항목의 설계기준 대비 유입 오염부하량은 큰 변화없이 일정함
- 안산하수처리장의 연도별 유출 및 제거 오염부하량은 표 2-2-54와 같음. 연도별 유출 오염부하량은 BOD와 SS는 2004년부터 2007년까지 증가 추세로, 2007년에는 BOD, SS의 유출 오염부하량이 각각 4,095kg/일, 4,264kg/일이었으나 2008년에는 큰 폭으로 감소하여 BOD, SS의 유출 오염부하량이 각각 2,239kg/일, 2,850kg/일이었음. COD와 TN의 유출 오염부하량은 지속적으로 감소하는 추세이며, TP 유출 오염부하량은 2007년에는 2004년 이후 감소하여 2007년에는 276kg/일이었으나, 2008년에는 355kg/일로 증가하였음

- BOD 및 SS 오염부하 제거율은 90% 이상이며, COD 및 TP 오염부하 제거율은 각각 80% 내외, 70~80% 수준임. 5개 수질항목 중에서 TN 오염부하 제거율은 48.8~70.4% 수준으로 가장 낮았음
- 안산하수처리장의 2004년부터 2008년까지 평균 유입 오염부하량은 BOD의 경우 58,924kg/일, COD는 38,773kg/일, SS는 52,141kg/일, TN은 18,036kg/일, TP는 1,585kg/일이며, 제거 오염부하량은 BOD는 55,475kg/일, COD는 31,210kg/일, SS는 48,451kg/일, TN은 10,078kg/일, TP는 1,236kg/일임. 평균 오염부하 제거율은 BOD의 경우 94.1%, COD는 80.5%, SS는 92.9%, TN과 TP는 각각 55.4%, 78.0%임

표 2-2-53. 안산하수처리장의 연도별 평균 유입·유출 오염부하량

구분	유입 오염부하량(kg/일)					설계기준 대비 유입오염부하량(%) <sup>1)</sup>					
	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP	
'04년	1처리장	41,883	30,147	39,313	15,476	1,319					
	2처리장	14,031	7,654	13,343	3,615	410	58.9	32.1	56.0	57.8	50.0
	합계	55,914	37,801	52,656	19,091	1,729					
'05년	1처리장	49,428	29,574	37,267	13,922	1,228					
	2처리장	13,579	8,087	10,642	3,596	337	57.0	33.9	44.6	57.5	41.1
	합계	63,007	37,661	47,909	17,518	1,565					
'06년	1처리장	51,768	32,838	41,832	11,420	1,123					
	2처리장	14,245	8,848	10,295	3,726	361	59.8	37.1	43.2	59.5	44.0
	합계	66,013	41,686	52,127	15,146	1,484					
'07년	1처리장	40,919	31,841	42,088	15,354	1,248					
	2처리장	13,856	7,628	10,843	3,566	353	58.1	32.0	45.5	57.0	43.0
	합계	54,775	39,469	52,931	18,920	1,601					
'08년	1처리장	38,559	29,870	42,919	15,788	1,192					
	2처리장	16,350	7,379	12,164	3,715	355	68.6	31.0	51.0	59.4	43.3
	합계	54,909	37,249	55,083	19,503	1,547					
평균	58,924	38,773	52,141	18,036	1,585						

주: 1) 고도처리시설 이전의 1처리장 설계수질 자료 미확보로 설계기준 대비 유입오염부하량은 2처리장에 한해 산정

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

표 2-2-54. 안산하수처리장의 연도별 평균 제거 오염부하량 및 오염부하 제거율

구분		유출 오염부하량(kg/일)					제거 오염부하량(kg/일) [오염부하 제거율, %]				
		BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP
'04년	1처리장	3,420	7,092	3,462	8,878	335	38,463 [91.8]	23,055 [76.5]	35,851 [91.2]	6,598 [42.6]	984 [74.6]
	2처리장	366	1,085	519	819	60	13,665 [97.4]	6,569 [85.8]	12,824 [96.1]	2,796 [77.3]	350 [85.4]
	합계	3,786	8,177	3,981	9,697	395	52,128 [93.2]	29,624 [78.4]	48,675 [92.4]	9,394 [49.2]	1,334 [77.2]
'05년	1처리장	2,766	6,436	2,918	7,525	312	46,662 [94.4]	23,138 [78.2]	34,349 [92.2]	6,397 [45.9]	916 [74.6]
	2처리장	506	1,246	494	1,104	60	13,073 [96.3]	6,841 [84.6]	10,148 [95.4]	2,492 [69.3]	277 [82.2]
	합계	3,272	7,682	3,412	8,629	372	59,735 [94.8]	29,979 [79.6]	44,497 [92.9]	8,889 [50.7]	1,193 [76.2]
'06년	1처리장	3,119	6,649	3,362	6,729	295	48,649 [94.0]	26,189 [79.8]	38,470 [92.0]	4,691 [41.1]	828 [73.7]
	2처리장	731	1,105	583	1,021	51	13,514 [94.9]	7,743 [87.5]	9,712 [94.3]	2,705 [72.6]	310 [85.9]
	합계	3,850	7,754	3,945	7,750	346	62,163 [94.2]	33,932 [81.4]	48,182 [92.4]	7,396 [48.8]	1,138 [76.7]
'07년	1처리장	3,292	6,532	3,676	6,999	240	37,627 [92.0]	25,309 [79.5]	38,412 [91.3]	8,355 [54.4]	1,008 [80.8]
	2처리장	803	988	588	941	36	13,053 [94.2]	6,640 [87.0]	10,255 [94.6]	2,625 [73.6]	317 [89.8]
	합계	4,095	7,520	4,264	7,940	276	50,680 [92.5]	31,949 [80.9]	48,667 [91.9]	10,980 [58.0]	1,325 [82.8]
'08년	1처리장	1,787	5,900	2,395	4,892	303	36,772 [95.4]	23,970 [80.2]	40,524 [94.4]	10,896 [69.0]	889 [74.6]
	2처리장	452	781	455	879	52	15,898 [97.2]	6,598 [89.4]	11,709 [96.3]	2,836 [76.3]	303 [85.4]
	합계	2,239	6,681	2,850	5,771	355	52,670 [95.9]	30,568 [82.1]	52,233 [94.8]	13,732 [70.4]	1,192 [77.1]
평균		3,448	7,563	3,690	7,957	349	55,475 [94.1]	31,210 [80.5]	48,451 [92.9]	10,078 [55.4]	1,236 [78.0]

\* 자료: 안산시 상하수도사업소

#### 4.5.2. 시화 하수처리장 운영에 의한 오염부하 저감 효율

- 2004년부터 2008년까지 하수처리장 유입수의 연도별 오염부하량은 BOD는 39,538~80,0891 kg/일, COD는 34,425~56,578kg/일, SS, TN, TP는 각각 58,976~111,326kg/일, 9,661~11,660kg/일, 1,556~2,590kg/일로 2007년까지 증가하다가 2008년에는 감소하였음. 유입 오염부하량은 TN을 제외한 항목에서 설계기준 유입 오염부하량을 초과한 경우가 발생하였는데, BOD와 SS의 경우는 지난 5년간 계속 유입 오염부하량이 설계기준을 초과하였음(표 2-2-55)
- 설계기준 대비 BOD 유입 오염부하량 비율은 2007년에 182.88%까지 증가하였다가 2008년에는 131.7%로 감소하였고, 설계기준 대비 SS 유입 오염부하량 비율은 146.8~277.1%임. COD의 경우는 2007년을 제외하고 유입 오염부하량이 설계기준을 초과하지는 않았지만, 유입 오염부하량이 설계기준의 95% 내외 정도임. TP는 2006년에 113.8%, 2007년에

120.6%로 설계기준을 초과하였으나 2008년에는 72.8%로 감소하였음

- 같은 기간의 유입하수량이 설계기준의 75~85% 정도임에도 유입 오염부하량이 설계기준을 초과하는 것은 유입수의 농도가 설계기준 농도를 초과하기 때문으로 생각할 수 있음.
- 시화하수처리장의 연도별 유출 및 제거 오염부하량은 표 2-2-56과 같음. 연도별 유출 오염부하량은 BOD의 경우 2004년에 비해 2005년에 증가하였으나 2006년에 소폭 감소한 후 큰 변동없이 유지되었음. COD 유출 오염부하량은 2004년에서 2008년까지 지속적으로 증가하는 추세이며 2008년에는 6,136kg/일임. TN, TP의 경우는 유출 오염부하량이 2007년까지 증가하는 추세였으나 2008년에는 감소하였음. 2007년에 TN, TP 유출 오염부하량은 각각 4,086kg/일, 482kg/일이고, 2008년에는 각각 3,584kg/일, 344kg/일임

표 2-2-55. 시화하수처리장의 연도별 평균 유입수 오염부하량

구분	유입오염부하량(kg/일)					설계기준 대비 유입오염부하량(%)				
	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP
2004년	39,538	34,425	71,534	10,308	1,556	90.3	77.1	178.1	73.9	72.4
2005년	59,361	42,649	83,502	11,660	2,125	135.3	95.5	207.8	83.6	98.9
2006년	57,456	42,200	106,523	10,486	2,444	131.2	94.5	265.1	75.2	113.8
2007년	80,089	56,578	111,326	10,545	2,590	182.8	126.7	277.1	75.6	120.6
2008년	57,684	41,693	58,976	9,661	1,563	131.7	93.4	146.8	69.3	72.8
평균	58,825	43,509	86,372	10,532	2,055	134.3	97.4	215.0	75.5	95.7

\* 자료: 시흥시 상하수도사업소

표 2-2-56. 시화하수처리장의 연도별 평균 유출 및 제거 오염부하량

구분	유출 오염부하량(kg/일)					제거 오염부하량(kg/일) [오염부하 제거율, %]				
	BOD	COD	SS	TN	TP	BOD	COD	SS	TN	TP
2004년	1,381	3,869	1,230	2,830	77	38,157 [96.5]	30,556 [88.8]	70,304 [98.3]	7,748 [72.5]	1,479 [95.0]
2005년	1,841	4,767	1,265	3,460	197	57,519 [96.9]	37,882 [88.8]	82,238 [98.5]	8,200 [70.3]	1,928 [90.7]
2006년	1,456	4,648	1,609	3,549	307	56,000 [97.5]	37,553 [89.0]	104,914 [98.5]	6,937 [66.2]	2,137 [87.5]
2007년	1,468	5,038	1,280	4,086	482	78,622 [98.2]	51,540 [91.1]	110,046 [98.9]	6,459 [61.3]	2,108 [81.4]
2008년	1,485	6,136	1,661	3,584	344	56,199 [97.4]	35,558 [85.3]	57,315 [97.2]	6,078 [62.9]	1,219 [78.0]
평균	1,526	4,892	1,409	3,502	281	57,299 [97.3]	38,618 [88.6]	84,963 [98.3]	7,030 [82.3]	1,774 [86.5]

자료: 시흥시 상하수도사업소

- BOD와 SS 오염부하 제거율은 95% 이상, COD 오염부하 제거율은 85% 이상으로 비슷한 수준으로 유지되었으나, TN과 TP 오염부하 제거율은 각각 72.5%에서 62.9%로, 95.0%에서 78.0%로 저하되었음. TN의 경우 유입 오염부하가 설계기준을 초과한 경우가 없으며 유입수의 TP 오염부하는 2008년에 감소하였음에도, 오염부하 제거율이 저하된 점으로 보아 하수처리 공정에 대한 점검이 필요함
- 시화하수처리장의 2004년부터 2008년까지 평균 유입 오염부하량은 BOD의 경우 58,825kg/일, COD는 43,509kg/일, SS는 86,372kg/일, TN은 10,532kg/일, TP는 2,055kg/일이며, 제거 오염부하량은 BOD는 57,299kg/일, COD는 38,618kg/일, SS는 84,963kg/일, TN은 7,030kg/일, TP는 1,774kg/일임. 평균 오염부하 제거율은 BOD의 경우 97.3%, COD는 88.6%, SS는 98.3%, TN과 TP는 각각 82.3%, 86.5%임

#### 4.6. 사업평가 결과 및 향후 고려되어야 할 사항

- 방류수 수질기준 적합도를 이용하여 2004년부터 2009년 8월까지의 안산, 시화 하수처리장 운영현황을 평가한 결과, 안산하수처리장의 생활하수를 처리하는 1처리장 생활계통과 2처리장 그리고 시화하수처리장은 방류수 수질기준 적합도가 대부분 100%이었음. 그러나 공장폐수를 처리하는 안산하수처리장 1처리장 공장계통의 경우는 방류수 수질기준 적합도가 2008년 26%, 2009년(1~8월) 63%로 법적 방류수 수질기준을 충족시키지 못하는 경우가 많았음
  - 안산하수처리장 1처리장 공장계통의 방류수가 수질기준을 초과한 경우는 2008년에는 BOD, SS, TN, TP 항목에서 발생하였고, 2009년에는 거의 대부분 BOD, SS 항목에서 발생하였음
- 안산 및 시화하수처리장의 방류수질은 고도처리시설 도입으로 대체적으로 향상되었음. 안산하수처리장 1처리장은 고도처리시설의 도입으로 공장폐수 및 생활하수의 TN, TP 처리는 적절하게 이루어져 강화된 방류수 수질기준을 충족시키고 있는 것으로 볼 수 있으나, BOD, SS 등 유기물 처리는 개선되어야 할 것으로 판단됨
  - 안산하수처리장의 경우, 고도처리 시설 도입으로 공장폐수 처리수의 COD는 29.7mg/L에서 25.4mg/L, SS는 13.6mg/L에서 4.8mg/L로 감소하였으며 TN과 TP는 각각 28.779mg/L에서 10.451, TP 농도는 1.252mg/L에서 1.062mg/L로 감소하였음. 생활하수 처리수의 경우는 COD 13.8mg/L에서 7.6mg/L, SS는 6.8에서 1.3mg/L, TN 18.452mg/L에서 9.008mg/L, TP는 0.689mg/L에서 0.303mg/L로 감소하였음
  - 시화하수처리장의 경우, 고도처리 이후 방류수의 BOD 평균농도는 11.3mg/L에서 7.6mg/L로, COD는 28.4mg/L에서 24.7mg/L, SS는 12.6mg/L에서 7.2mg/L, TN은 49.005mg/L에서 17.357mg/L로 감소하였고, TP 농도는 0.500mg/L에서 1.433mg/L로 증가하였음
- 시화하수처리장의 경우는 고도처리 적용 후 TP 농도가 고도처리 적용 이전보다 3배 정도 높아졌음(고도처리 이전 0.5mg/L → 고도처리 이후 1.4mg/L). 또 2004년에서 2008년까지 TP 유입 오염부하량은 설계기준을 초과한 경우가 없으며, 2008년에는 TP 오염부하가 감소하였음에도 오염부하 제거율이 저하되었음. 이에 대한 원인을 파악하기 위해 하수처리 공정 및 처리장 운전상황에 대한 분석이 필요함

- 2004년부터 2008년까지 하수처리장 운영으로 저감된 오염부하량은 안산하수처리장의 경우, 평균 BOD 제거 오염부하량은 55,475kg/일, COD는 31,210kg/일, SS는 48,451kg/일, TN은 10,078kg/일, TP는 1,236kg/일임. 시화하수처리장의 경우는 평균 BOD 제거 오염부하량은 57,299kg/일, COD는 38,618kg/일, SS는 84,964kg/일, TN은 7,030kg/일, TP는 1,774kg/일임
- 안산하수처리장 1처리장 공장계통과 시화하수처리장의 경우 시설용량을 초과하여 하수가 유입되는 경우가 있으므로 이에 대한 대책이 필요함
  - 하수처리장 증설 후 설계용량과 유입하수량을 비교한 결과, 2003년부터 2009년(1~5월)까지 안산 하수처리장 1처리장의 공장폐수는 연도별 평균 설계용량 대비 74.6~110.0%, 생활하수는 61.9~81.3%, 2처리장은 63.4~69.0% 수준으로 유입되었음. 일별 유입유량이 시설용량을 초과한 경우는 거의 대부분 공장계통에서 발생하였음. 따라서 안산하수처리장의 연도별 평균 유입량이 감소하는 추세이지만, 향후 공장폐수 유입량 변화 추이에 대한 예측이 필요하며 그 결과에 따라 공장폐수 계통 용량 증설을 검토해 볼 필요가 있음
  - 시화하수처리장의 경우 2단계 시설이 증설('03.6)되기 전에는 시설용량 대비 유입하수량의 비율이 100%를 상회하는 경우가 많았으나 증설 이후에는 월평균 유입량이 시설용량의 79.9% 수준임. 그러나 시설용량 증설 후에도 매년 하절기에 하수유입량이 시설용량을 초과하는 경우가 발생하므로 이에 대한 대책이 필요함
- 안산 및 시화 하수처리장에는 반월산업단지와 시화산업단지의 공장폐수가 유입되고 있기 때문에 하수처리장 유입수의 오염물질 농도 변동이 매우 크며 TN, TP의 최대 농도가 매우 높음.
  - 2003년 4월부터 2009년 5월까지 안산 하수처리장 1처리장의 공장계통 유입수의 TN, TP 연평균 농도는 각각 39.7~60.0mg/L, 3.5~4.8mg/L이고, 일별 TP 농도변화 폭은 2007년에 41.7배, 2008년에는 110.0배에 달했음
  - 2001년부터 2009년 9월까지 시화하수처리장 유입수의 TN 농도는 연평균 41.1~120.6mg/L, TP는 5.6~11.5mg/L이며, 2008년에 TN과 TP의 일별 농도 변화폭은 각각 38.4배, 30.1배임
  - 시화하수처리장에서 하수처리 슬러지 연료화 추진을 위해 자체적으로 슬러지 성분 검사를 시행(2009.11.6)한 결과, Hg, Cd, Pb 성분이 폐기물관리법 연료화기준을 초과하였음. 슬러지의 중금속 성분 초과는 하수처리장에 유입된 공장폐수에 의한 영향으로 볼 수 있음
- 시화하수처리장의 경우 2004년부터 2008년까지 유입하수량이 설계기준의 75~85% 수준임에도 유입 오염부하량이 설계기준을 초과하는 경우가 발생했는데, 이는 유입수의 농도가 설계기준 농도를 초과했기 때문임
- 하수처리장의 정상적 운영을 위해서는 반월·시화산업단지의 폐수배출업체에서 폐수배출 허용기준을 준수하여 공장폐수를 배출하도록 상시적인 지도·점검이 필요함. 고농도의 공장폐수가 하수처리장에 유입되는 것을 방지하기 위하여 안산시와 시흥시 상하수도사업소는 자체적으로 폐수배출업체에 대한 감시활동을 하고 있지만 단속권한이 없기 때문에 산업단지 수질관리 기관의 적극적인 협조가 필요한 상황임



## 제 3 절 시화호 연안총량규제 시행을 위한 로드맵 수립

### 1. 연구목표 및 내용

#### 1.1. 연구목표

시화호 수질개선을 위해 연안총량규제 시행의 타당성을 검토하고, 필요하다면 총량규제시행을 위한 정책 방향 및 로드맵을 개발한다.

#### 1.2. 연구의 내용

##### 1.2.1. 연안총량규제 시행의 필요성 검토

연안총량규제 시행의 필요성을 검토하기 위해 문제가 되는 오염물질이나 해수순환 등 구조적 문제 등과 같은 수질문제의 지역적 특성과 기존 수질관리 수단의 한계 여부, 시화호 개발사업 제어의 필요성을 검토한다.

##### 1.2.2. 연안총량관리 시행에 대한 정책방향 제시

합리적 부하량 제어를 위한 총량규제 이외의 관리수단 적용 가능성을 검토하고 시화호 연안총량관리 정책방향을 제시한다.

##### 1.2.3. (시행이 필요한 경우) 연안총량규제 시행을 위한 로드맵 개발

연안총량규제 시행이 필요한 경우에 연안총량관리 시행시기 및 대상물질 선정, 목표수질 설정 등에 대한 대안을 평가하여 연안총량규제 시행을 위한 로드맵을 개발한다.

### 연안총량규제 필요성 검토

국내외 자료  
및 사례조사

연안총량규제 시행  
로드맵 개발

### 연안총량관리 정책방향 제시

그림 2-3-1. 연구의 추진 전략 및 흐름

## 2. 시화호의 여건분석

### 2.1. 시화호의 수질현황

COD, T-N, T-P의 농도가 목표수질인 II등급에 크게 미치지 못하고 있으며, 이들의 항목의 관리가 필요하다. 시화호 표층수의 COD는 방조제 완공 후에 급격히 증가하였으며, 1998년부터 실시한 해수유통에 의해 크게 낮아지고 있다. 2003~2007년의 일반수질 항목의 연간 평균 값을 비교해 보면, 2006년에 비하여 2007년에 COD 및 Chl-a가 높아진 것으로 나타났다. 또한 영양염 연평균 농도를 비교하면, 2005년에 용존 영양염이 비교적 높았으며, 2006년에는 인산염을 제외하고는 크게 낮아졌으나, 2007년에 전체적으로 높아져서 2005년과 유사한 분포를 보이고 있다.

중금속의 연변화를 살펴보면 수질기준을 초과하지 않고 있는데, 각 중금속의 농도는 Ni, Cu는 2004년, Hg은 2005년에 다른 연도보다 매우 높은 농도를 보였으며, 2007년의 농도는 전 연도와 비슷하거나 약간 낮았다. 우리나라의 해역별 수질 기준에서 중금속은 Cd 10 $\mu$ g/L, Cu 20 $\mu$ g/L, Pb 50 $\mu$ g/L, Zn 100 $\mu$ g/L, Hg 500ng/L로 정해져 있으며, 시화호의 조사결과는 기준 이하였다. 하지만 미국의 기준은 Cd 8.8 $\mu$ g/L, Cu 3.1 $\mu$ g/L, Pb 8.1 $\mu$ g/L, Zn 81 $\mu$ g/L, Hg 940 $\mu$ g/L로 우리나라 기준보다 더욱 엄격한데, 결과를 살펴보면 이들 기준을 대부분 만족하지만 Cu에 한해서 기준을 초과하는 경향을 보이고 있다.

표 2-3-1. 시화호 방조제 내측 일반수질(연평균) 농도

측정항목	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
pH	8.53	8.43	8.32	8.07	8.28
DO(%)	155	129	138	112	125
COD(mg/L)	8.7	8.5	7.5	4.7	6.6
chl-a( $\mu$ g/L)	35.9	24.4	24.1	16.5	27.6
TP(mg/L)	0.107	0.153	0.115	0.081	0.119
TN(mg/L)	1.012	1.025	0.973	0.506	0.799
TOC(mg/L)	-	7.0	6.0	4.2	4.87

참고: 시화호 환경개선사업 연구용역

표 2-3-2. 시화호 방조제 내측 중금속(연평균) 농도

측정 항목	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Cd( $\mu\text{g/L}$ )	0.045	0.037	0.056	0.045	0.041
Co( $\mu\text{g/L}$ )	0.192	0.155	0.175	0.117	0.092
Cu( $\mu\text{g/L}$ )	3.38	9.98	3.56	2.58	3.10
Ni( $\mu\text{g/L}$ )	5.24	6.42	4.17	3.04	2.73
Pb( $\mu\text{g/L}$ )	0.044	0.050	0.025	0.035	0.028
Zn( $\mu\text{g/L}$ )	4.96	3.84	3.69	4.66	2.52
Fe( $\mu\text{g/L}$ )	-	-	0.92	0.82	2.48
Mn( $\mu\text{g/L}$ )	-	-	-	49.4	27.6
Hg( $\text{ng/L}$ )	0.55	0.83	5.50	2.73	1.12

참고: 시화호 환경개선사업 연구용역

물을 가장 많이 이용하는 시기인 여름철 수질이 중요함에 따라 여름철 수질변화를 분석하였다. 대체로 여름철 수질이 좋아지는 경향을 보이고 있으나, COD와 T-N, T-P를 보면 여름철 수질이 다시 상승하는 경향을 보이고 있다. 또한 여름철의 일반수질농도가 연평균보다 월등히 높게 나타남에 따라 여름철에 집중관리를 할 필요가 있다고 판단된다.

표 2-3-3. 시화호 방조제 내측 여름철 일반수질농도

측정 시기	pH	DO (%)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	chl-a ( $\mu\text{g/L}$ )	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	TOC (mg/L)
2005.6	8.20	116	11.5	9.4	26.4	0.174	1.850	7.4
2005.7	8.39	180	13.3	10.7	66.4	0.139	1.109	7.6
2005.8	8.09	100	8.3	5.7	22.4	0.136	1.019	5.1
2006.7	8.15	122	5.0	5.3	23.5	0.061	0.416	4.0
2006.8	8.15	126	7.5	5.5	26.8	0.139	0.568	5.1
2007.6	8.23	109	14.2	6.3	25.1	0.133	0.858	5.34
2007.8	8.60	148	18.7	8.9	45.4	0.171	1.280	5.05

참고: 시화호 환경개선사업 연구용역

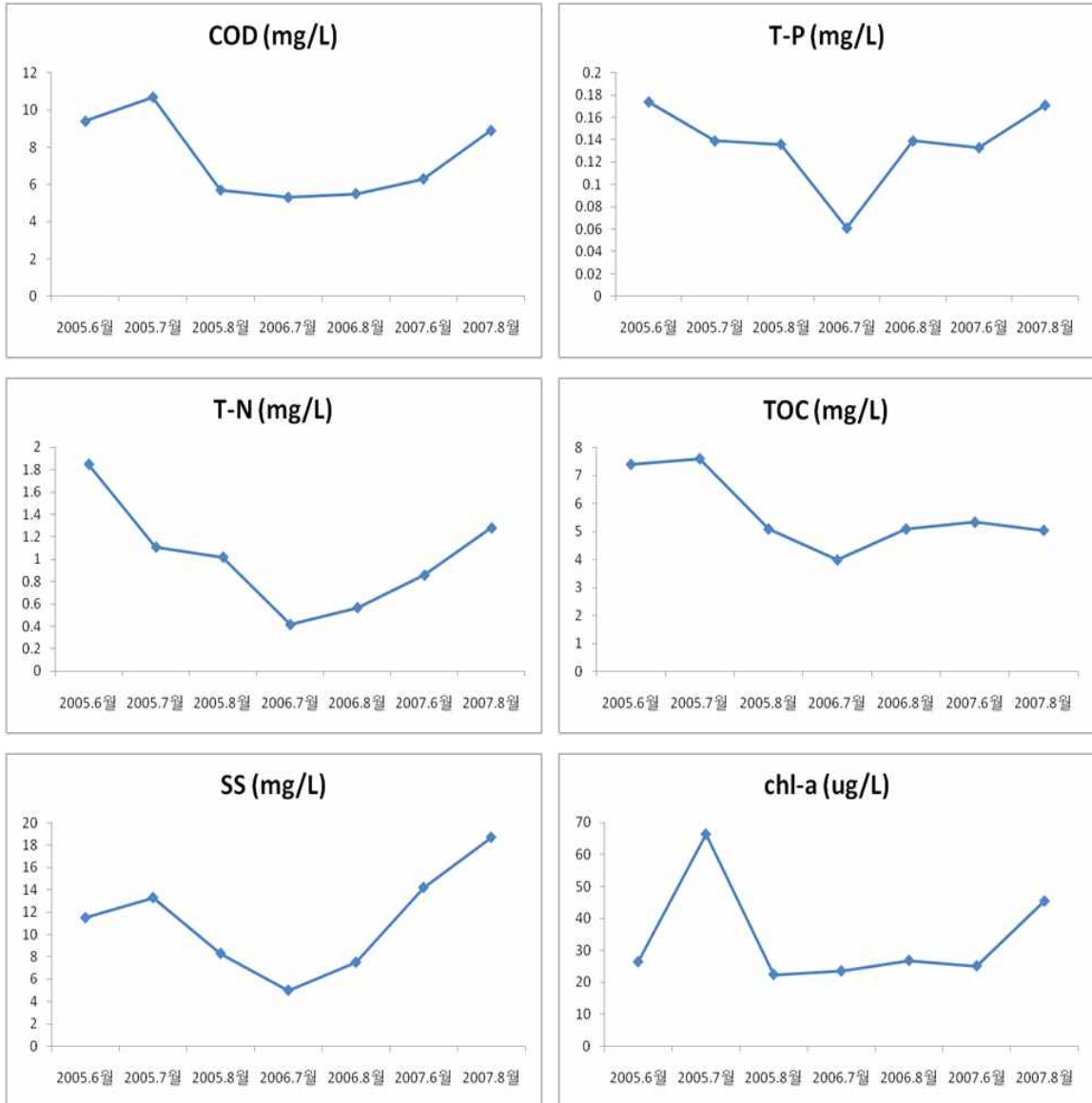


그림 2-3-2. 시화호 방조제 내측 여름철 일반수질 변화

시화호 방조제 내측 여름철 중금속 농도를 살펴보면 중금속은 여름철보다 봄철의 농도가 높은 경향을 보이고 있으나, 수질기준을 초과하지 않았다.

표 2-3-4. 시화호 방조제 내측 여름철 중금속 농도

측정 시기	Cd (μg/L)	Co (μg/L)	Cu (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Zn (μg/L)	Fe (μg/L)	Mn (μg/L)	Hg (μg/L)
2005.5	0.073	0.208	4.36	4.73	0.029	5.31	0.66	-	7.21
2005.7	0.040	0.141	2.76	3.61	0.021	2.08	1.19	-	3.80
2006.4	0.069	0.205	2.30	3.96	0.047	5.87	1.12	93.5	1.40
2006.8	0.022	0.030	2.58	2.12	0.023	3.34	0.52	5.27	4.05
2007.4	0.069	0.138	3.36	3.00	0.038	3.61	2.98	51.9	0.72
2007.8	0.014	0.045	2.83	2.46	0.018	1.43	1.98	3.28	1.52

참고: 시화호 환경개선사업 연구용역

전체적인 분석결과 관광, 생태, 용수 기준인 II등급에 크게 못 미치고 있으므로 목표수질을 만족하기 위해서는 지속적인 오염원 삭감이 필요하다. 특히 현재 COD, T-N, T-P의 농도가 높은 경향을 나타내고 있고 여름철의 농도는 연평균 농도보다 월등히 높은 경향을 보이고 있어 집중적인 관리가 필요하다.

표 2-3-5. 시화호 유역의 COD 농도(중양값)

연도	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06
시화호(ppm)	17.4	7.9	5.1	4.3	4.5	4.7	5.7	7.4	4.2	2.6
배수갑문 해수유입(백만톤)	512	5,914	7,733	7,571	5,261	3,253	3,623	3,779	3,978	7,856

표 2-3-6. 해역수질환경기준

등급	기준								
	pH	COD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (%)	대장균군수 (MPN/100mL)	노르말 헥산 추출물질 (mg/L)	총 질소 (mg/L)	총인 (mg/L)	무기물질 등 (mg/L)
I	7.8~8.3	1 이하	10 이하	포화율 95 이상	200 이하	검출되어서는 안 됨	0.05 이하	0.007 이하	크롬(VI)(Cr <sup>6+</sup> ) : 0.05 이하 비소(As) : 0.05 이하
II	6.5~8.5	2 이하	25 이하	포화율 85 이상	1,000 이하	검출되어서는 안 됨	0.1 이하	0.015 이하	카드뮴(Cd) : 0.01이하 납(Pb) : 0.1이하
III	6.5~8.5	4 이하	-	포화율 80 이상	-	-	0.2 이하	0.03 이하	아연(Zn) : 0.1 이하 구리(Cu) : 0.02 이하 시안(CN)·유기인·수은(Hg)·폴리염화페닐(PCB): 검출되어서는 안됨

## 2.2. 시화호의 오염원(부하량)

### 2.2.1. 오염원 현황

#### (1) 육상계 오염원 현황

##### (가) 생활계

##### ① 시화호 유역 주변의 인구변화 추이

안산시의 인구밀도는 시흥시나 화성시에 비해 높은 수준에 있다. 연도별 인구변화 추이를 살펴보면 안산시, 시흥시, 화성시 모두 인구가 증가하고 있는 추세이다.

표 2-3-7. 시화호 행정구역 및 인구현황

구 분	면적(km <sup>2</sup> )	인구(명)
안산시	148.05	734,713
시흥시	134.56	405,428
화성시	218.40(688.37)	55,623(392,832)
합계	501.01	1,195,764

참고: 안산시, 시흥시, 화성시 통계연보

표 2-3-8. 시화호 주변의 연도별 인구변화

구분	연도별(명)							
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
안산시	575,574	598,560	637,660	671,687	686,873	697,239	723,075	734,713
시흥시	322,457	342,351	359,072	379,336	390,933	397,983	403,648	405,428
화성시 (전체)	195,362	214,729	231,347	249,917	286,736	310,562	329,312	392,832

참고: 안산시, 시흥시, 화성시 통계연보

##### ② 배출원별 인구현황

안산시와 화성시의 하수도 보급률은 전국 평균(83.5%)을 상회하지만, 화성시의 하수도 보급률은 평균에 미치지 못하고 있다.

표 2-3-9. 안산시 배출원별 인구현황

인구(명)	하수처리구역			하수처리구역 외			하수도 보급률
	계	2차처리	2차처리	계	시가	비시가	
734,713	724,427	520,343	204,084	10,286	1,714	8,572	98.6%

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-10. 시흥시 배출원별 인구현황

인구(명)	하수처리구역				하수처리구역 외			하수도 보급률 (%)
	하수종말처리		폐수종말처리		인구			
총계	계	3차처리	계	3차처리	계	시가	비시가	
405,428	348,045	348,045	12,739	12,739	44,644	-	44,644	89

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-11. 화성시 배출원별 인구현황(시화호 영향지역)

인구(명)	행정구역	하수처리구역			하수처리구역 외			하수도 보급률
		총계	계	3차처리	계	시가	비시가	
매송면	7,991	-	-	-	7,991	-	7,991	-
비봉면	6,843	-	-	-	6,843	-	6,843	-
마도면	6,155	1,214	1,214		4,941	-	4,941	19.7%
송산면	10,686	3,452	3,452		7,234	-	7,234	32.3%
남양동	23,948	10,523	10,523		13,425	-	13,425	43.9%
합 계	55,623	15,189	15,189		40,434	-	40,434	avg.31.97%

참고: 화성시 통계연보

③ 생활계 물 사용량 현황

물 사용량은 감소하거나 비슷한 수준을 보이고 있다.

표 2-3-12. 생활계 물사용량

(단위: m<sup>3</sup>/일)

연도	안산시	시흥시	화성시 (전체)
2002	361,225	15,027	41,170
2003	357,126	15,035	41,191
2004	367,375	15,042	41,212
2005	365,164	15,050	41,232
2006	237,652	15,057	41,253
2007	239,375	15,065	41,273

참고: 안산시, 시흥시, 화성시 통계연보

(나) 축산계

안산시, 시흥시, 화성시에서 분뇨 및 축산폐수가 가장 많이 발생하는 한우와 돼지의 축산이 증가하는 추세이다. 특히 화성시에서 축산이 많이 이뤄지고 있다.

표 2-3-13. 안산시 축산현황

년도	한육우	젓소	돼지	닭	마 필	산 양	사 슴	토끼	개	오리	칠 면 조	거 위
2002	678	1,303	3,034	4,270	2	596	987	6,040	8,715	2,895	25	30
2003	869	1,006	2,368	4,112	5	681	822	6,745	8,507	2,202	4	6
2004	744	1,043	1,043	3,879	3	812	816	812	8,607	37	4	-
2005	1,115	1,055	2,258	15,510	54	655	410	600	7,898	625	17	10
2006	...	...	...	...	66	595	617	100	20,770	547	22	8
2007	1,286	726	2,774	8,115	73	419	527	-	21,803	300	2	-

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-14. 시흥시 축산현황

년도	한육우	젓소	돼지	닭	마 필	산 양	사 슴	토끼	개
2002	1,548	2,006	9,453	16,429	48	368	636	7,800	8,315
2003	1,457	1,530	8,172	1,105	80	266	633	6,508	7,633
2004	1,502	1,379	5,750	2,625	98	152	598	6,500	7,592
2005	1,824	1,241	4,358	14,893	90	238	602	1,500	8,689
2006	2,005	1,137	4,993	24,210	97	205	534	2,008	8,466
2007	2,882	1,115	7,044	37,995	63	367	494	10	10,500

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-15. 화성시 축산현황

년도	행정구역	한육우	젓소	돼지	산 양	사 슴	토끼	개	오리	거 위
2007	매 송 면	185	1,056	10,150	17	259	120	896	1,700	-
	비 봉 면	647	1,474	1,425	44	32	1,060	2,166	360	2
	마 도 면	1,639	1,531	9,797	75	163	7	5,312	15,002	-
	송 산 면	1,477	1,840	4,759	605	51	51	1,483	8,133	18
	남 양 동	4,796	3,535	22,673	560	273	78	3,440	83	3

참고: 화성시 통계연보

하수 발생량은 모두 증가하고 있고 처리지역 외에서 하수 발생량도 증가하고 있다. 분뇨발생량은 화성시를 제외하고 감소하고 있는 추세이다.



표 2-3-16. 안산시 하수 및 분뇨발생량

년도	하수 및 분뇨 발생량(m <sup>3</sup> /일)					
	하수			분뇨		
	계	하수처리 구역	하수처리 구역 외	계	수거식	수세식
2005	161,444	159,823	1,621	697	1	696
2006	179,496	177,097	2,399	723	1	722
2007	205,620	202,741	2,879	508	29	479

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-17. 안산시 처리현황

년도	분뇨(m <sup>3</sup> /일)					
	처리대상량			처리대상 제외		
	계	수거분뇨	정화조오니	계	오·벽지 분뇨	정화조 등 처리
2005	697	1	696	-	-	-
2006	723	1	722	-	-	-
2007	508	29	479	-	-	-

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-18. 시흥시 하수 및 분뇨 발생량

년도	하수 및 분뇨 발생량(m <sup>3</sup> /일)					
	하수			분뇨		
	계	하수처리 구역	하수처리 구역 외	계	수거식	수세식
2002	-	-	-	359	12	347
2003	-	-	-	379	7	372
2004	-	-	-	378	7	371
2005	222,320	222,320	-	177	-	177
2006	212,416	212,416	-	169	-	169
2007	333,269	292,435	40,834	164	5	159

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-19. 시흥시 처리현황

년도	분뇨(m <sup>3</sup> /일)					
	처리대상량			처리대상 제외		
	계	수거분뇨	정화조오니	계	오·벽지 분뇨	정화조 등 처리
2002	181	7	174	-	-	-
2003	193	7	186	-	-	-
2004	200	7	193	-	-	-
2005	177	-	177	-	-	-
2006	169	-	169	-	-	-
2007	164	5	159	-	-	-

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-20. 화성시 하수 및 분뇨발생량

년도	하수 및 분뇨 발생량(m <sup>3</sup> /일)					
	하수			분뇨		
	계	하수처리 구역	하수처리 구역 외	계	수거식	수세식
2005	94,049	20,903	73,146	297	29	268
2006	98,930	40,486	58,444	315	31	284
2007	98,930	40,486	58,444	392	36	356

참고: 화성시 통계연보

표 2-3-21. 화성시 처리현황

년도	분뇨(m <sup>3</sup> /일)					
	처리대상량			처리대상 제외		
	계	수거분뇨	정화조오니	계	오·벽지 분뇨	정화조 등 처리
2005	144	20	124	152	9	143
2006	154	22	132	160	9	151
2007	176	20	156	216	16	200

참고: 화성시 통계연보

(다) 산업계

화성시를 제외하고는 폐수배출시설이 감소하고 있는 추세이다.

표 2-3-22. 안산시 폐수배출시설

년도	계	1종	2종	3종	4종	5종
2002	495	-	-	2	4	489
2003	172	-	-	2	5	165
2004	176	-	-	2	5	169
2005	171	-	-	3	5	163
2006	178	-	-	2	6	170
2007	173	-	-	2	7	164

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-23. 시흥시 폐수배출시설

년도	계	1종	2종	3종	4종	5종
2002	251	-	-	-	1	250
2003	244	-	-	-	-	244
2004	159	-	-	-	-	159
2005	178	-	-	-	2	176
2006	181	-	-	-	3	178
2007	181	-	-	1	3	177

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-24. 화성시 폐수배출시설

년도	계	1종	2종	3종	4종	5종
2002	726	-	-	3	14	709
2003	781	-	-	2	14	765
2004	866	-	-	2	12	852
2005	1,006	-	-	2	16	988
2006	1,097	-	-	3	16	1,078
2007	1,206	-	-	2	13	1,191

참고: 화성시 통계연보

표 2-3-25. 종별배출업체

구분	대기배출업체						수질배출업체					
	계	1종	2종	3종	4종	5종	계	1종	2종	3종	4종	5종
총계	1,816	23	91	95	251	1,356	1,556	18	92	110	188	1,148
반월 공단	1,070	7	45	56	121	841	995	11	64	83	121	716
시화 공단	746	16	46	39	130	515	561	7	28	27	67	432

참고: 안산환경기술개발센터

표 2-3-26. 등급·종별 배출업체

구분	대기배출업체				수질배출업체			
	계	청색	녹색	적색	계	청색	녹색	적색
계	1,816	1,075	661	80	1,556	1,138	373	45
1종	23	15	6	2	18	15	1	2
2종	91	60	26	5	92	80	10	2
3종	95	68	22	5	110	79	24	7
4종	251	163	78	10	188	143	33	12
5종	1,356	769	529	58	1,148	821	305	22

참고: 안산환경기술개발센터

(라) 토지계

토지현황을 보면 투수지역은 점차 감소하고 주차장, 도로, 주유소와 같이 비점오염원을 많이 발생시키는 불투수지역은 증가하는 추세이다. 따라서 비점오염에 의한 영향이 점차 커질 것으로 판단된다.

표 2-3-27. 안산시 토지지목별 현황

(단위: km<sup>2</sup>)

년도	계	전	답	과수원	목장	임야	염전	대지	공장	학교 용지
2002	146.233	11.072	18.739	0.574	0.387	5.714	2.778	13.833	11.099	2.626
2003	146.621	11.277	18.418	0.583	0.408	5.682	2.778	13.940	11.349	2.656
2004	147.146	11.438	15.027	0.585	0.413	5.660	2.775	16.047	11.424	2.879
2005	147.134	11.678	14.739	0.587	0.426	5.641	27.734	16.157	11.447	2.979
2006	147.914	11.440	14.207	0.587	0.429	5.587	2.733	16.898	11.446	3.009
2007	148.047	11.550	13.906	0.595	0.437	5.547	2.697	17.081	11.450	3.327

년도	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거	유지
2002	0.042	0.081	0.035	12.678	0.780	1.126	0.422	1.667	1.614
2003	0.043	0.084	0.037	13.012	0.780	1.136	0.425	1.664	1.616
2004	0.110	0.090	0.039	13.907	1.013	1.501	0.608	1.533	0.976
2005	0.112	0.092	0.049	13.914	1.013	1.496	0.603	1.529	0.976
2006	0.116	0.098	0.051	14.560	1.019	1.576	0.601	1.508	0.805
2007	0.179	0.100	0.057	14.736	1.018	1.574	0.594	1.502	0.794

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-28. 시흥시 토지지목별 현황

(단위: km<sup>2</sup>)

년도	합계	전	답	과수원	목장	임야	염전	대지	공장
2002	132.742	1.746	2.150	0.134	1.595	42.621	4.570	9.339	6.361
2003	133.974	1.798	2.083	0.196	1.608	42.123	4.134	9.710	7.126
2004	134.400	1.848	2.025	0.241	1.623	41.664	4.122	10.029	7.270
2005	134.402	1.923	1.947	0.296	1.626	41.021	4.122	10.233	7.278
2006	134.523	1.936	1.920	0.296	1.625	40.748	4.089	10.565	7.283
2007	134.558	1.948	1.904	0.299	1.627	40.521	4.090	10.698	7.291

년도	학교	주차장	주유소	창고	도로	철도	하천	제방	구거
2002	0.791	0.0388	0.0071	0.0539	12.105	0.638	1.559	0.367	2.253
2003	0.800	0.0481	0.0074	0.1008	12.642	0.647	1.628	0.367	2.265
2004	0.799	0.0526	0.0110	0.1170	12.899	0.705	1.653	0.414	2.259
2005	0.886	0.0579	0.0114	0.1166	13.301	0.707	1.653	0.414	2.258
2006	0.918	0.1445	0.0127	0.1372	13.530	0.707	1.653	0.422	2.253
2007	0.923	0.1445	0.0131	0.1433	13.640	0.708	1.676	0.422	2.269

년도	유지	양어장	수도	공원	체육	종교	사적지	묘지	잡종지
2002	2.034	0.0826	0.258	1.894	-	0.056	0.000089	0.389	6.574
2003	1.989	0.0850	0.359	1.939	0.038	0.059	0.000089	0.383	6.848
2004	1.989	0.0896	0.359	1.987	0.038	0.063	0.000089	0.370	6.823
2005	1.897	0.0896	0.363	2.001	0.038	0.066	0.000089	0.356	6.805
2006	1.861	0.0896	0.367	2.058	0.038	0.072	0.000089	0.353	6.618
2007	1.861	0.0925	0.367	2.058	0.038	0.076	0.000089	0.349	6.620

참고: 시흥시 통계연보

표 2-3-29. 화성시 토지지목별 현황

(단위: km<sup>2</sup>)

행정구역	합계	전	답	과 수 원	목장	임야	염전
매 송 면	27.439	2.764	6.406	0.0199	0.0978	13.718	0.000
비 봉 면	38.554	4.831	7.908	0.0695	0.1311	20.321	0.000
마 도 면	31.736	4.412	7.616	0.0465	0.3921	11.905	0.481
송 산 면	53.840	8.733	12.546	0.4038	0.3999	17.770	4.615
남 양 동	66.902	7.451	13.831	0.0980	0.6033	31.761	0.631

행정구역	대지	공장	학교	주차장	주유소	창고	도로
매 송 면	0.653	0.0129	0.0250	0.00071	0.00264	0.0112	1.575
비 봉 면	0.928	0.4240	0.0524	0.00010	0.00969	0.0198	2.181
마 도 면	1.099	1.4439	0.0392	0.01064	0.01338	0.0187	1.158
송 산 면	1.995	0.3587	0.0991	0.00371	0.00493	0.0425	1.397
남 양 동	2.217	1.6668	0.0745	0.00632	0.02207	0.0504	1.819

참고: 화성시 통계연보

**(2) 해역계 오염원 현황**

**(가) 선박계**

화성시를 제외한 안산시, 시흥시의 선박의 수가 점차 감소하고 있다.

표 2-3-30. 선박현황

년도	안산시		시흥시		화성시	
	동력	무동력	동력	무동력	동력	무동력
선박 수(척)						
2002	234	2	169	4	617	24
2003	279	2	178	6	583	20
2004	205	2	178	7	615	16
2005	200	2	178	7	626	16
2006	169	2	158	7	635	16
2007	156	2	159	6	641	16

**(3) 시화호 주변 하천의 수질현황**

시화호로 유입되는 하천의 COD농도가 점차 감소하는 추세를 보이고 있으나, 아직 해역수질환경기준 II등급을 만족시키지 못하고 있다.

표 2-3-31. 안산시 하천의 수질현황

연도별	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
2002	7.5	6.9	10.6	8.6	10.5
2003	7.3	6.8	7.6	6.9	9.1
2004	7.7	10.8	3.5	6.7	7.1
2005	7.7	8.9	8.4	6.8	11.6
2006	7.5	9.3	3.9	6.0	10.4
2007	7.5	12.0	3.7	5.3	13.7

참고: 안산시 통계연보

표 2-3-32. 화성시 동화천 수질현황

년도	하천	온도(°C)	pH	DO (mg/L)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
2006	동화천 상류	16.82	7.27	7.70	72.67	11.33	13.77
	동화천 중류	15.44	7.24	7.84	11.50	6.72	12.22
	동화천 하류	17.66	7.88	8.33	17.95	8.45	12.93
2007	동화천 상류	17.17	6.89	6.49	27.16	5.70	12.23
	동화천 중류	17.25	6.79	7.61	14.35	5.38	9.52
	동화천 하류	17.17	6.88	7.03	14.87	4.53	10.42

참고: 화성시 통계연보

#### (4) 시화호의 퇴적물 현황

COD는 2004년 이후 점차적으로 낮아지는 경향을 보이고 있고, 총인은 과거보다는 낮아졌지만, 2007년에는 2006년 보다 높은 분포를 보이고 있다. 전체적으로 살펴보면 퇴적물의 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으나, 크게 감소하지 않았다.

표 2-3-33. 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화

측정항목	2002	2003	2004	2005	2006	2007
COD(mg/g)	16.5	20.4	22.8	21.9	21.0	20.9
TC(%)	0.99	1.12	1.24	1.17	1.17	-
TOC(%)	0.92	1.03	1.10	1.10	1.02	1.00
TOC/TC	0.93	0.92	0.90	0.93	0.87	-
S(%)	0.22	0.27	0.32	0.34	0.21	-
IL(%)	5.6	6.6	6.5	7.4	7.1	6.6
TP( $\mu$ g/g)	545	480	500	535	465	498

참고: 시화호 해양환경개선사업 연구용역

시화호에서 방조제 완공 후 퇴적지역에서는 91cm의 퇴적층의 감소가 발생한 것을 의미하며 시화호 방조제 완공 후 순수퇴적물의 퇴적량은 3.8cm/yr로 나타났다. 시화호 내 미고형 유기물 퇴적층의 축적량은 약 1,100만 톤으로 추정하고 있다.

표 2-3-34. 시화방조제 완공 후 1996년부터 2005년까지의 퇴적량 변화

조사면적	21,732,500 m <sup>2</sup>
퇴적면적	14,169,618 m <sup>2</sup>
침식면적	7,562,881 m <sup>2</sup>
9년간 퇴적량	12,848,589 m <sup>3</sup>
9년간 침식량	5,446,146 m <sup>3</sup>
9년간 퇴적량 변화	7,402,443 m <sup>3</sup>
9년간 퇴적률	0.3406 m/9yr
연간 퇴적률	3.8 cm/yr
퇴적지역 퇴적률	0.9068 m/9yr
침식지역 침식률	0.7201 m/9yr

참고: 시화호 해양환경개선사업 연구용역

#### (5) 환경기초시설 현황

분뇨 및 축산 폐수처리장은 대부분 하수종말처리장과 연계되어 있다. 방류수는 시화호의 외측인 외해로 방류가 되고 있다. 그러나 안산시를 제외하고 점차 증가하고는 있으나, 하수관거 보급률이 상당히 낮은 수치를 보이고 있다.

표 2-3-35. 환경기초시설 현황

지역	읍면동	시설명	시설용량 (m <sup>3</sup> /일)	방류수역
안산	성곡동	안산(1단계)하수종말처리장	385,000	서해
	성곡동	안산(2단계)하수종말처리장	149,000	서해
	대부북동	대부 하수종말처리장	3,000	서해
	성곡동	분뇨처리시설 (하수종말처리장연계)	480	서해
시흥		위생처리장 (하수종말처리장연계)	80	서해
		분뇨 및 축산병합처리시설 (하수종말처리장연계)	160	서해
	정왕동	맑은물관리센터	279,000	서해
화성	향남읍	향남 하수종말처리시설	22,000	남양호(서해)
	봉담읍	봉담 하수종말처리시설	8,000	시화호(서해)
	우정읍	조암 하수종말처리시설	8,000	화성호(서해)
	남양동	남양 하수종말처리시설	12,900	화성호(서해)

참고: 안산시, 시흥시, 화성시 통계연보



표 2-3-36. 하수관거 및 보급률

연도	안산시			시흥시			화성시		
	계획 연장 (km)	시설 연장 (km)	보급률 (%)	계획 연장 (km)	시설 연장 (km)	보급률 (%)	계획 연장 (km)	시설 연장 (km)	보급률 (%)
2002	1,401.7	1,297.6	92.6	951.2	704.3	74.0	647.5	193.5	29.9
2003	1,401.7	1,297.6	92.6	951.2	712.5	74.9	647.5	234.2	36.2
2004	1,401.7	1,300.3	92.8	951.2	714.4	75.1	502.7	239.7	47.7
2005	1,635.2	1,514.2	92.6	951.2	727.6	76.5	1,091.8	519.7	47.6
2006	1,635.2	1,539.1	94.1	951.2	730.4	76.8	1,091.8	596.6	54.6
2007	1,635.2	1,548.8	94.7	951.2	731.6	76.9	1,218.1	693.3	56.9

**(6) 오염부하량 현황**

하·폐수처리장 건설 및 증진, 관거 정비 등의 육상기인 점오염원 처리를 추진하여 시화호 유역의 육상기인 오염부하량 56,024kg/일 중 약 86%인 47,977kg/일을 삭감한 것으로 추정된다(2004년 말). 06년도까지 조력발전소 가동을 통해 해수유통량을 기존 3천만 톤/일에서 16천만 톤/일로 확대할 예정이었으나 조력발전소 완공 지연으로 해수 유통량 확대가 지연되어, 조력발전소 가동 후 2~3ppm 수준으로 개선될 것으로 예상되나 목표 수질(Ⅱ등급)을 달성하기에는 미흡할 것으로 판단된다. 시화호로 유입되는 하천 및 지천의 저질 환경은 일부 개선되었으나, 시화호 내 오염 퇴적물 문제는 상존하고 있다. 시화호의 수질개선을 위해 점오염원 중심으로 수질개선 사업을 진행하였고, 수질개선이 많이 향상 되었지만 목표수질(Ⅱ등급)을 달성하기에는 한계가 있다. 즉, 지속적으로 수질이 향상이 되지 않고 다시 상승하는 경향을 보이고 있다. 또한 시화호 유역에서 도시 비점오염관리 투자가 미흡하여 강우 시 우수토구를 통한 오염물질의 시화호 유입이 지속되고 있다. 제4간선수로에 대한 집중관리로 수질이 대폭 개선되었으나('03년 COD 104.1 ppm → '05년 8월 12ppm), 다른 유입구는 여전히 오염이 심각하다.

비점오염원의 배출량 및 유달부하량의 비중이 높아져 유입부하의 효과적인 저감을 위해서는 비점오염원관리를 중심으로 한 오염원 관리 노력이 본격적으로 투입되어야 한다. 시화호 유역에서 발생하는 오염부하량에 대한 체계를 간단히 표현하였다. 오염부하량 체계는 그림 2-3-3과 같이 구성하였다. BOD의 유달 부하량을 COD 유달부하량으로 변환하였다(COD=1.64×BOD: 마산만 특별관리해역 연안오염총량관리 기술지침).

표 2-3-37. 시화호의 유달부하량

(단위: kg/일)

연도		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
BOD	점오염원	1,512	1,128	989	1,161	1,039	1,321	982
	비점오염원	4,564	4,500	6,989	5,703	3,219	2,849	4,843
	합계	6,076	5,628	7,978	6,864	4,258	4,170	5,825
TN	점오염원	800	833	885	868	1,035	1,300	1,243
	비점오염원	1,324	833	1,291	800	615	688	1,004
	합계	2,124	1,666	2,176	1,668	1,650	1,988	2,247
TP	점오염원	101	81	85	87	89	64	70
	비점오염원	362	15	11	10	12	6	111
	합계	463	96	96	97	101	70	181

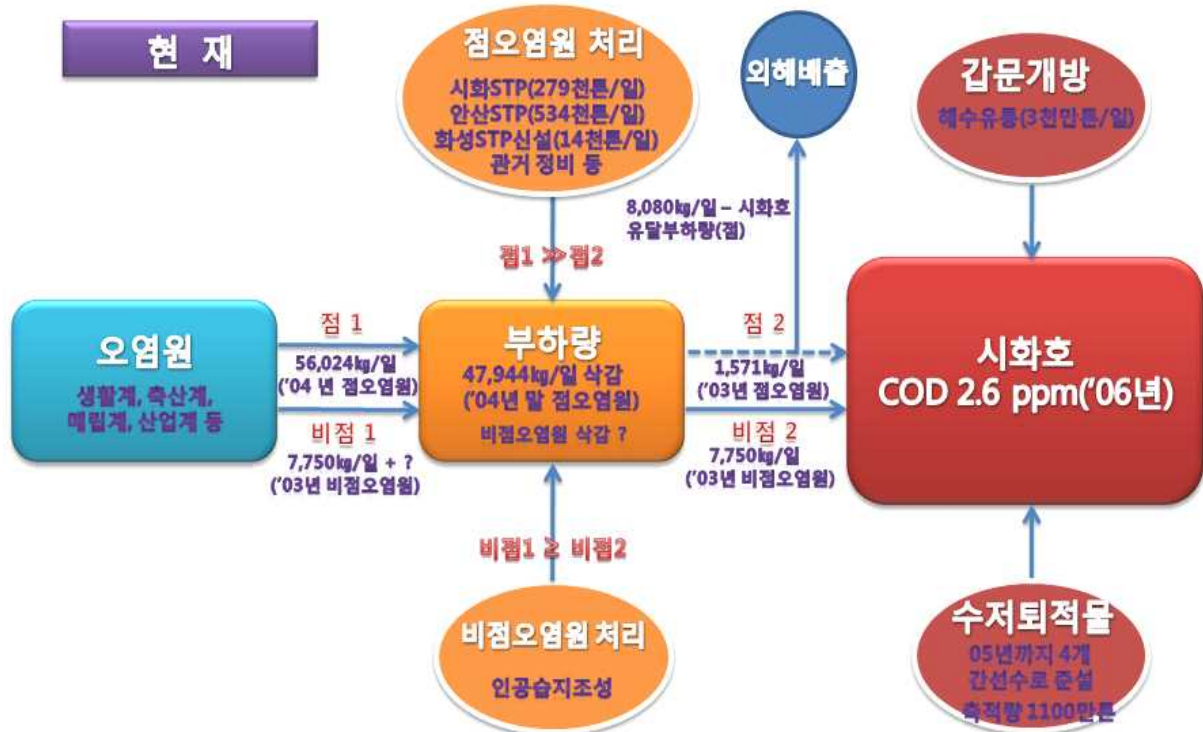


그림 2-3-3. 시화호 지역의 오염부하량(현재)

## 2.3. 시화호의 오염원(부하량) 예측

시화호 유역의 대단위 개발계획 추진에 따른 시화호 유입 오염부하량(특히 비점오염원)의 증가가 불가피할 것으로 판단된다. 이로 인한 지역개발과 환경보전을 둘러싼 이해당사자간 갈등이 상존할 것이며, 남측 간석지 농지조성으로 탄도호 수질오염 악화가 예상되고 있다. 또한 조력발전소 완공에 따른 해수유통으로 인한 수질개선이 예상되고 있다.

### 2.3.1. 개발계획에 따른 오염원

#### (1) 시화 MTV

- 조성 기간: 2002~2016년
- 입주업종: 첨단산업, 벤처(R&D) 업종
- 조성계획
  - 첨단 복합용지: 첨단벤처산업, IT산업, 연구기관 등
  - 지원시설: 물류, 유통 등의 지원시설을 유치
  - 상업·업무용지: 금융, 경영자문, 회계, 법률 등의 산업 도입
  - 관광·휴양시설: 수도권 지역의 여가수요를 흡수하는 레저시설 조성
- 개발목표
  - 자연환경과 첨단산업이 함께 하는 21세기형 첨단 복합 산업단지로 조성한다.
  - 첨단·벤처업종 등 지식 기반산업을 중심으로 연구개발, 유통 등의 지원기능과 관광·휴양의 여가기능이 조화된 미래지향적 첨단복합단지로 조성한다.
  - 수도권 중소기업의 계획입지 제공으로 개별입지에 따른 난개발을 방지하고 주변단지와 상호보완 기능으로 기업 경쟁력 제고 및 지역 경제 활성화를 도모한다.
  - 개발이익으로 시화지역 환경개선사업비 확보로 시화지역 환경을 획기적으로 개선할 것으로 예상된다.

#### (2) 송산그린시티

- 조성 기간: 2007~2022년
- 입주업종
  - 서비스업: 문화, 오락 및 운동관련업(마린리조트, 자동차테마파크, 골프장 등), 연구개발업(사이언스파크, 에듀타운) 등
  - 제조업: 자동차 및 트레일러 제조업(자동차엔진 및 부품), 운송장비 제조업(선박, 보트, 자전거, 모터사이클 제조), 기타 기계 및 장비 제조업 등
  - 최근 유니버설 스튜디오를 송산그린시티 동측 470만m<sup>2</sup>에 조성하기로 협약을 체결하였으며 2012년 3월중 개장을 목표로 하고 있다.
- 개발목표
  - 시화지역 자연환경의 적극적인 보전과 국토의 효율적인 활용방안을 마련하기 위해 시화 간척지를 활용하여 자연과 인간을 고려한 합리적인 이용방안을 모색하고자 한다.
  - 관광과 레저, 주거가 어우러지는 새로운 도시공간을 제공하여 국민의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 여가공간으로 제공하고자 한다.

**(3) 남측간석지(농업용지)**

- 조성 기간: 1998~2012년
- 주요공사: 방조제 7조(40km), 양수장 3개소, 배수장 2개소
- 사업효과: 국토확장 및 식량증산, 수자원의 확보

**(4) 조력발전소**

- 사업위치: 경기도 안산시 대부동 시화방조제 일원
- 발전시설용량: 254천kW(수차 10기), 배수갑문: 8문
- 연간 발전량: 552백만 kWh
- 발전방식: 단류식 창조발전(밀물 때 낙차를 이용한 발전방식)
- 사업기간: 2003~2010
- 목적: 청정에너지 개발로 에너지 자급도 향상, 해수유통으로 시화호 수질개선
- 사업효과: 연간 552.7GWh의 전력에너지 생산, 청정에너지 개발을 통한 대기환경오염 저감, 대체에너지 개발로 인한 에너지 자급도 향상

표 2-3-38. 개발계획

개발 계획	북측간석지 (MTV)	남측간석지 (송산그린시티)	남측간석지 (농업용지)
면적	317만평(10.46km <sup>2</sup> )	1,720만평(56.76km <sup>2</sup> )	1,330만평(43.89km <sup>2</sup> )
내용	침단벤처, 상업 관광휴양 시설	생태, 관광레저 학술연구, 주거	농지
수행	한국수자원공사	한국수자원공사	한국농촌공사

**2.3.2. 수질오염개선 추진현황**

**(1) 점오염원 처리**

- 기존(안산, 시화, 화성) 하수종말처리장 운영 및 관거 정비
- 신규 하·폐수처리장 설치 및 운영(시화 MTV, 송산 신도시 등)
- 마을하수도, 소규모 오수처리시설 설치 및 관리 강화
- 우·오수관 오점 조사, 관거 정비 및 개보수 등

**(2) 비점오염원 처리**

- 반월, 시화 국가공단을 비점오염 관리지역으로 지정하여 시화호에서 본격적인 비점오염관리를 시행할 수 있는 기반 마련(비점오염관리지역에는 시행계획 수립·시행에 필요한 경비의 전부 또는 일부를 국비 지원하므로 관리지역 지정을 위한 준비 필요).
- 기존 비점오염 시범 저감시설 운영 및 성능개선

**(3) 시화호 해수 유통 확대 및 외해 영향 저감**

- 시화 조력발전소 건설로 해수 교환량 증대
- 조력발전소 가동 시 초기 충격 저감
- 탄도호 방류수에 의한 외해 영향 저감

**(4) 하천 및 해저 퇴적물 관리**

- 오염된 하천 퇴적토의 준설 및 정화
- 시화호 내 오염 퇴적물의 준설, 복토 및 현장 처리
- 시화호 내 미고형 퇴적층의 외해 방출 영향 저감

표 2-3-39. 수질오염개선추진현황

부문	수질오염개선추진	기관명
환경기초시설 설치·운영	하·폐수처리장 설치 및 하수관거 정비	안산시
	시화하수처리장 운영 및 관거정비	시흥시
	화성하수처리장 설치 및 하수관거 정비	화성시
	하·폐수처리장 설치	수자원공사
	하수관거 정비	시흥시
	오염우수처리를 위한 차집시설 설치 및 관리	수자원공사
산업폐수 관리	반월·시화산업단지 산업폐수 관리	경기도공단환경 관리사업소
	수질오염물질 배출업체 집중관리	수자원공사
	생물통합독성관리체계구축	환경부
	공단내 간선수로 수질개선	수자원공사
축산폐수 관리	축산분뇨자원 재활용 운반사업	안산시
	가축분뇨 공공처리시설 설치사업	화성시
비점오염원관리	비점오염원 실태 조사	해양수산부
	비점오염 관리계획 수립	
	비점오염물질 처리시설 설치, 운영 및 평가	
	비점오염물질 처리시설 설치	수자원공사
	시화호 부유쓰레기 처리	수자원공사
지하수 관리	지하수 관리계획 수립 및 시행	화성시
퇴적물 관리	시화호 오염퇴적물 처리	수자원공사
조력발전소 건설운영	조력발전소 건설 운영	수자원공사
	시화호 유통 및 부유사 확산 수치 모형 실험	해양수산부
탄도호 수질개선	탄도호 수질개선	농촌공사

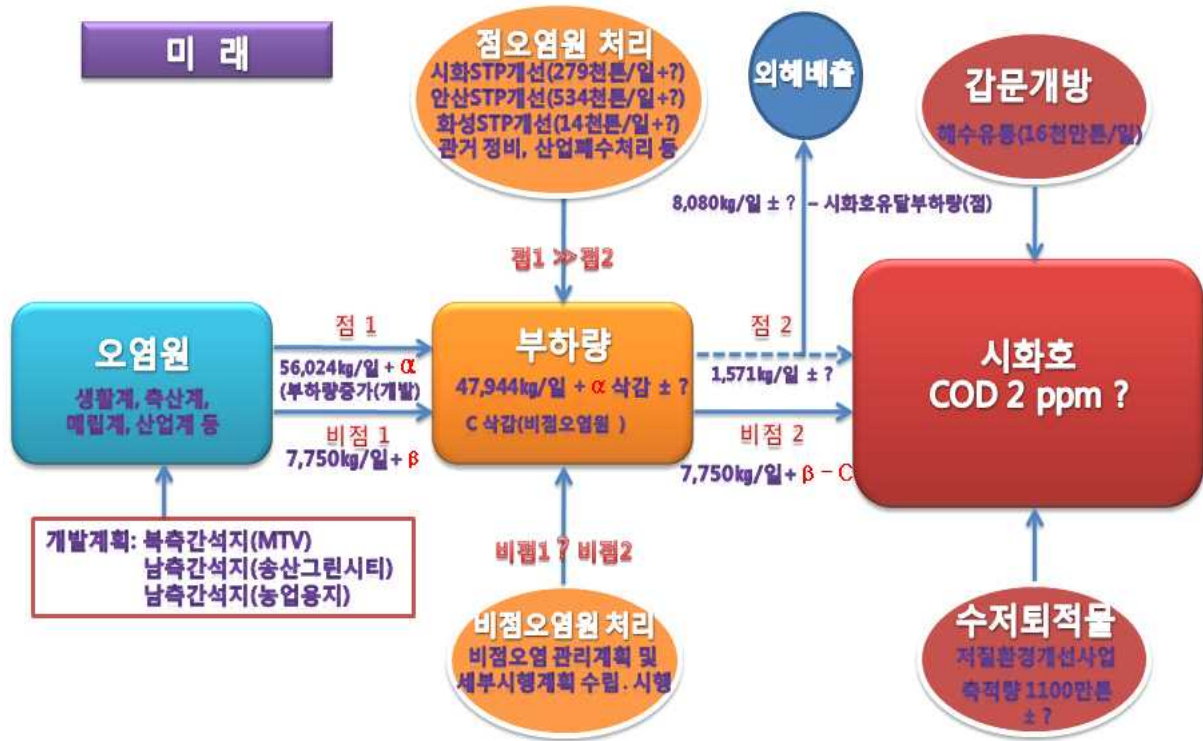


그림 2-3-4. 시화호 지역의 오염부하량(미래)

#### 2.4. 연안오염총량관리제의 도입 타당성

위의 2.3장에서 살펴본 수질악화요인과 수질개선요인에 대해 비교를 해보면 시화호 지역에서 수질악화요인이 수질개선요인보다 크게 작용한다면 연안오염총량관리제가 필요할 것으로 판단되고, 수질개선요인이 클 경우에는 연안오염총량관리제가 불필요할 것으로 판단된다. 그러나 현재 시화호의 수질모의가 거의 불가능하고 어느 요인이 크게 작용할 수 있는지 쉽게 판단할 수 없다. 따라서 현 수질 상태를 감안하여 연안오염총량관리제를 시행하고 추후에 시화호의 여건 분석을 통하여 연안오염총량관리제의 지속 및 확대실시 여부를 결정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

표 2-3-40. 수질악화요인 VS 수질개선요인

수질악화요인	수질개선요인
부하량 증가(점오염원, 비점오염원) → 환경용량을 무시한 개발계획, 불투수층 증가 등	조력발전소 완공에 따른 해수유통, 퇴적물 준설, 처리시설 개선 및 증설, 관거 개선 등

수질악화요인 > 수질개선요인: 연안오염총량관리제 필요

수질악화요인 < 수질개선요인: 연안오염총량관리제 불필요

### 3. 로드맵 수립을 위한 설문조사

#### 3.1. 개요

설문조사는 총량관리 로드맵 수립을 위해 다각적인 대안평가를 위해 수행되었다. 로드맵을 작성하기 위해서 총량관리의 시행시기, 목표수질 및 달성시기, 대상물질, 목표수질을 설정하는 방법, 대상지역의 경계에 대한 설문조사를 실시하여야 한다.

시화호의 총량관리 시행 시기는 해수유통 시기와 현재 시화호 내에서 행해지고 있는 환경개선사업 등과 같은 중요한 요소들을 고려해야 하며, 총량관리를 시작하기 위해서는 기본계획 수립 및 시행계획 수립 등과 같은 준비과정을 필요로 한다. 따라서 복잡한 요소들을 만족시킬 수 있는 적절한 시기를 선정해야한다. 또한 시행시기에 맞춰서 목표수질을 설정하고, 달성하는 시기를 정해야하며, 목표수질 달성에 대한 대상물질을 설정한다. 대상물질의 설정은 대상해역의 오염지표로서의 대표성, 현 시점의 수질문제, 기술적 제어가능 항목, 오염물질간의 연관성, 현행 수질 규제항목과의 연계성, 모니터링 자료의 활용성 등이 고려되어야한다.

목표수질의 설정은 대상해역의 목적에 필요한 수질목표로 설정되어야 한다. 이는 오염총량관리제를 실시하는 정책적 목표가 되고 이를 위해 기본방침 및 관리계획을 수립하고 그에 따라 규제를 강화하는 관리수단 등이 뒤 따른다. 그리고 목표수질과 달성시기를 선정하는 데에 있어서는 현재의 오염물질 처리 기술력, 삭감시설 투자재원의 가용성, 신규 규제방식 적용에 대한 오염원의 수용성 등이 고려되어야 한다. 따라서 단시간 내 획기적 수질개선을 위해서는 보다 강화된 수질목표를 설정하고 목표달성을 위한 집중투자와 노력이 요구되지만, 오염물질 처리 기술력, 삭감시설 투자재원의 가용성 등을 고려하여 수질목표와 달성시기의 단계별 설정도 유용한 대안일 수 있다.

대상지역의 설정은 현재 또는 향후의 해역이용의 현황 및 방향 그리고 지리적 위치를 중심으로 설정되어야 한다. 현재 해역의 이용이 향후에는 어떻게 이용될 지에 대한 연안이용의 용도에 따른 관리목표를 설정하여야 한다. 이에 따라 기존수질관리 방식으로서의 문제점인 농도 규제로서의 한계, 환경기초시설 확충위주의 사후관리의 한계, 개발사업 등을 통한 오염원 증가 등에 대한 문제해결이 필요하고 이를 위한 수질의 개선 또는 유지가 요구되는 지역을 대상으로 대상지역을 설정하여야 한다. 그리고 지리적 위치에 있어서는 대상해역의 수질에 영향을 미치는 유입하천, 외해 또는 타 해역과의 경계지역으로 구분되어야 할 것이다. 연안 육역의 경우 분수령을 기준으로 지역적 구분이 필요하고 유입하천의 경우 하천의 전유역이 포함되어야 할 것이다. 그리고 외해에 대해서는 지리적 구분을 뚜렷하게 단정하기 어려우나, 공간적인 수질변화를 고려하여 산정할 필요가 있고 타 해역과의 경계지역에 대해서는 연안해역의 이용 특성과 육역의 분수령을 고려하여 산정하는 것이 바람직할 것이다.

따라서 총량관리의 로드맵을 전문가들의 의견을 반영하여 수립하기 위하여 설문조사를 실시하였다.

#### 3.2. 설문조사내용

설문조사 항목은 대분류하면 5개, 소분류하면 7개로 구성하였다. 핵심적인 사항인 목표수질

및 달성시기, 대상지역의 경계설정, 목표수질 설정방법, 대상물질 선정, 총량관리 시행시기에 대한 다각적인 대안을 설문조사를 통해 평가하였다. 설문조사 각 항목의 내용은 다음과 같다.

### 3.2.1. 목표수질 및 달성시기

목표수질 및 달성시기에 대한 내용은 다음과 같다.

표 2-3-41. 목표수질 및 달성시기 설정 시 고려사항

<고려사항>	
○ 계획은 5년 단위	
○ 시화호종합관리계획의 최종적인 목표수질은 수질환경기준 II등급(예: COD 2ppm)	
○ 시화호 유역의 부하량 변화 (시화호 간석지 개발 등)	
○ 부하량 변화에 대한 수질 반응(수역의 환경용량)	
○ 기술적 준비(부하량 산정, 모델링, 모니터링)	
○ 시화호 해수유통 확대 (2010년)	

표 2-3-42. 목표수질 및 달성시기의 대안

대 안		
수질환경기준II등급 달성 (5년 내)	수질환경기준II등급 달성 (10년 내)	수질환경기준II등급 달성 (15년 내)

### 3.2.2. 대상지역의 경계설정

대상지역의 경계설정에 대한 내용은 다음과 같다.

표 2-3-43. 대상지역의 경계설정 시 고려사항

<고려사항>	
○ 현 수질의 시공간적 분포 및 범위	
○ 향후 예상되는 수질악화 범위(향후에 조력발전소 완공에 따른 해수유통의 영향, 외해로 배출되고 있는 점오염원 처리수의 영향 등)	
○ 유역오염원의 영향 범위	
○ 수질변화 모니터링 가능 여부(기존모니터링+계획된 모니터링)	

표 2-3-44. 대상지역의 경계설정의 대안

대 안		
내해	내해+외해 (특별관리해역 포함)	내해 중 수질악화 수역



### 3.2.3. 목표수질 설정방법

목표수질 설정방법에 대한 내용은 다음과 같다.

표 2-3-45. 목표수질 설정방법 선정 시 고려사항

<고려사항>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수질예측의 과학적, 기술적 불확실성(한계요인)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 부하량 산정: 특히 비점오염원</li> <li>• 수질모델(유동모델+유역모델)</li> <li>• 부하량과 수질과의 관계</li> </ul> </li> <li>○ 목표수질 달성에 대한 관리적 부담(수질 ≠ 부하량)</li> <li>○ 목표수질 설정에 따른 규제의 강도</li> <li>※ 총량관리 시행 시 총량관리의 목표를 미국의 TMDL(Total Daily Maximum Load)처럼 해역의 정량적인 수질로 설정하고 이를 달성하기 위한 부하량을 추정하고 할당하는 방법(대상해역 평균 수질 또는 대상해역 수역별 수질)과 일본의 해역총량규제처럼 총량 관리의 목표를 기준년도 대비 부하량 감소율로 정하여 부하량을 할당하는 방법(기준대비 부하량 감소율)</li> </ul>

표 2-3-46. 목표수질 설정방법의 대안

대 안		
대상해역 평균 수질	대상해역 수역별 수질	기준대비 부하량 감소율

### 3.2.4. 대상물질 선정

대상물질 선정에 대한 내용은 다음과 같다.

표 2-3-47. 대상물질 선정 시 고려사항

<고려사항>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당 수역의 용수이용 저해 항목</li> <li>○ 해당 수역의 생태계 건강성 악화 항목</li> <li>○ 기술적 제어가 가능한 항목</li> <li>○ 정책적(기준규제기준, 모니터링) 연계성</li> </ul>

표 2-3-48. 대상물질의 대안

대 안				
COD	T-N, T-P	COD + T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+ T-N, T-P + 중금속(퇴적물)

### 3.2.5. 총량관리 시행시기

총량관리 시행시기에 대한 내용은 다음과 같다.

표 2-3-49. 총량관리 시행시기 결정 시 고려사항

<고려사항>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 간석지 개발계획 구체화 시기(사전 예방)</li> <li>○ 조석 발전소 완공에 따른 해수 유통 시기(배경농도/수질개선 확인)</li> <li>○ 기술적 지원수준(비점부하 측정, 모델링 등)</li> <li>○ 유관계획과의 관계</li> </ul> <p>ex) 마산만 2차 총량관리 시작(2012~2016년)</p> <p>ex) 제2차 시화호 종합관리계획 완료(2007~2011년)</p>

표 2-3-50. 총량관리 시행시기의 대안

대 안				
2010년	2011년	2012년	2013년	2014년

조력발전소 완공에 따른 해수유통으로 인한 시화호 유역의 환경변화가 일어날 것이다. 따라서 총량규제 시행시기와 조력 발전소 완공에 따른 해수유통시기의 관계에 대한 대안을 평가하였다. 대안의 내용은 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질은 개선될 것인가, 연안오염총량관리제의 시행시기를 해수유통을 기점으로 언제 시행되어야 하는가에 대한 것이다.

표 2-3-51. 해수유통을 기점으로 연안총량규제 시행시기의 대안

대 안		
해수유통시기와 무관	해수유통 직후 (1-2년)	해수유통 후 (3년 이상 이후)

### 3.3. 설문조사

총량규제 로드맵 수립을 위해 설문조사를 통하여 대안평가를 실시하였다. 설문조사는 전문가 설문조사를 통해 각각의 대안에 대한 객관적이고 과학적인 방법으로 대안을 평가하기 위하여 분석하였다.

#### 3.3.1. 설문조사 현황

설문조사는 국토해양부와 환경부 관련 공무원, 관련 업무를 수행하고 있는 연구기관 및 대학, 그리고 시민단체 및 산업체의 전문가 24명에 대하여 조사를 실시하였다. 소속별, 근무년수별 설문조사 현황은 표 2-3-52와 같이 구성하였다.

표 2-3-52. 설문조사 현황

소속별	공무원		연구기관 및 대학		시민단체 및 산업체	계
전체	6		14		4	24
분석	5		13		4	22
근무년수	5년 미만	5~10년 미만	10~15년 미만	15년 이상	계	
전체	4	9	5	6	24	
분석	4	9	4	5	22	

### 3.3.2. 설문조사 분석

설문조사 분석은 일반항목에서 보통이상으로 답한 전문가의 결과를 대상으로만 분석을 하였다. 설문조사에 참여한 총 24명 중 수계오염총량에 대해서는 잘 알지만 연안오염총량에 대해서는 잘 모른다고 답한 2명을 제외하고 분석하였다.

#### (1) 전체분석 결과

표 2-3-53. 설문조사 전체결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
31.82%		45.45%		22.73%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 구역
45.45%		54.55%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 구역별 수질		기준대비 부하량 감소율
19.05%		38.1%		42.86%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
19.05%	0%	52.38%	0%	28.57%
5. 총량관리 시행시기				
2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
9.09	9.09	63.64	13.64	4.55
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선된다			개선되지 않는다	
95.45%			4.55%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후 (3년 이상 이후)
22.73%		54.55%		22.73%

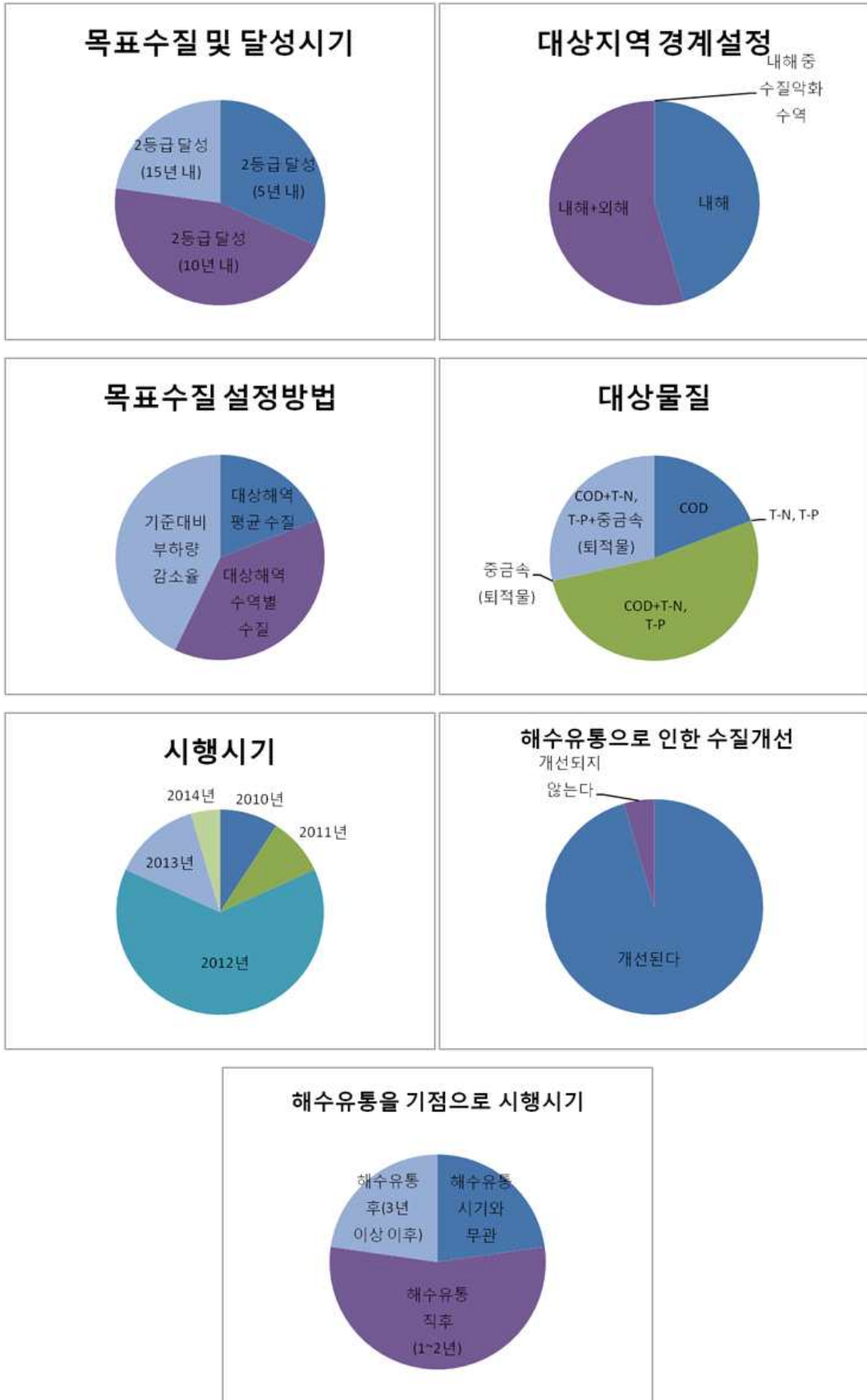


그림 2-3-5. 설문조사 전체결과

설문조사 전체분석 결과 연안오염총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 10년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 45.45%로 가장 높게 나타났고, 대상지역의 경계로는 시화호의 내해와 외해를 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 54.55%로 가장 높게 나타났다. 또한 목표수질 설정방법으로는 기준대비 부하량 감소율이 42.86%로 가장 높게 나타났고, 대상물질로는 COD, T-N, T-P로 선정하는 것이 타당하다는 의견이 52.38%로 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 63.64%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 95.45%로 높은 수치를 보였고, 해수유통이 시작된 후 1~2년 후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 54.55%로 가장 높은 결과를 보였다.

## (2) 근무년수별 설문조사 결과

근무년수별 분석은 근무년수에 따라 경험의 차이와 그에 따른 지위 및 해당업무에 차이로 인해 견해가 다를 것으로 판단되어 분석을 실시하였다. 분석은 근무년수에 따라 10년 미만, 10년 이상으로 분류하여 의견의 차이를 알아보았다.

표 2-3-54. 10년 미만 설문조사 결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
23.08%		61.54%		15.38%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 수역
53.85%		46.15%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 수역별 수질		기준대비 부하량 감소율
25.0%		41.67%		33.33%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
16.67%	0%	58.85%	0%	25.0%
5. 총량관리 시행시기				
2010	2011	2012	2013	2014
15.38%	15.38%	53.85%	7.69%	7.69%
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선 된다			개선되지 않는다	
92.31%			7.69%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후 (3년 이상 이후)
23.08%		46.15%		30.77%

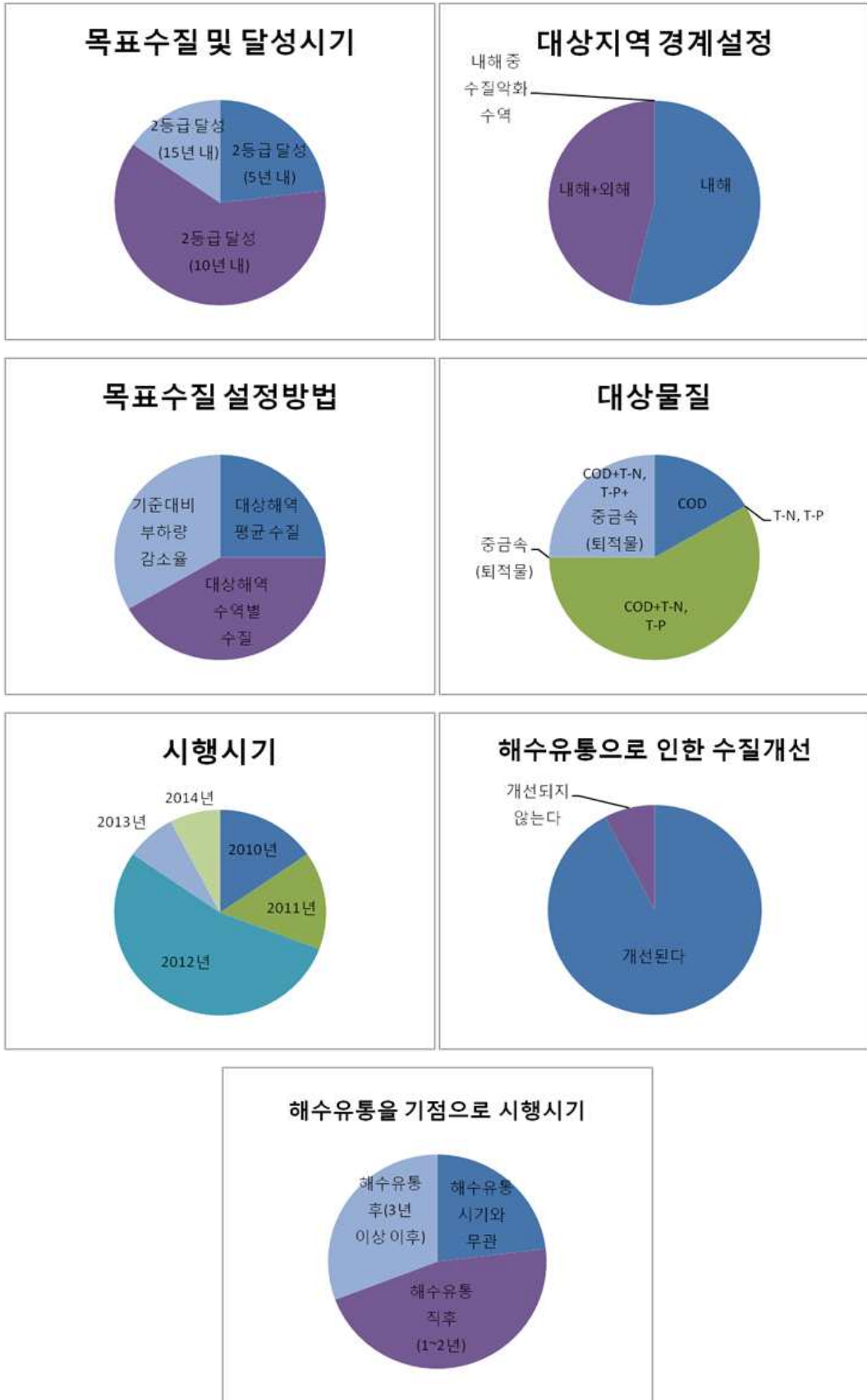


그림 2-3-6. 10년 미만 설문조사 결과

첫 번째로 근무년수가 10년 미만인 전문가 13명에 대한 분석결과 연안오염총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 10년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 61.54%로 가장 높게 나타났고, 대상지역의 경계로는 시화호의 내해만 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 53.85%로 높게 나타났지만 내해와 외해를 포함해야 한다는 의견과 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 목표수질 설정방법으로는 대상해역 수역별 수질이 41.67%로 높게 나타났으나 기준대비 부하량 감소율에 대한 의견과 큰 차이를 보이지 않았다. 대상물질로는 COD, T-N, T-P로 선정하는 것이 타당하다는 의견이 58.33%로 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 53.85%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 92.31%로 나타났고, 해수유통이 시작된 후 1~2년 후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 46.15%, 3년 이상 이후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 30.77%로 뒤를 이었다.

표 2-3-55. 10년 이상 설문조사 결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
44.44%		22.22%		33.33%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 수역
33.33%		66.67%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 수역별 수질		기준대비 부하량 감소율
11.11%		33.33%		55.56%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
22.22%	0%	44.44%	0%	33.33%
5. 총량관리 시행시기				
2010	2011	2012	2013	2014
0%	0%	77.78%	22.22%	0%
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선 된다			개선되지 않는다	
100%			0%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후 (3년 이상 이후)
22.22%		66.67%		11.11%

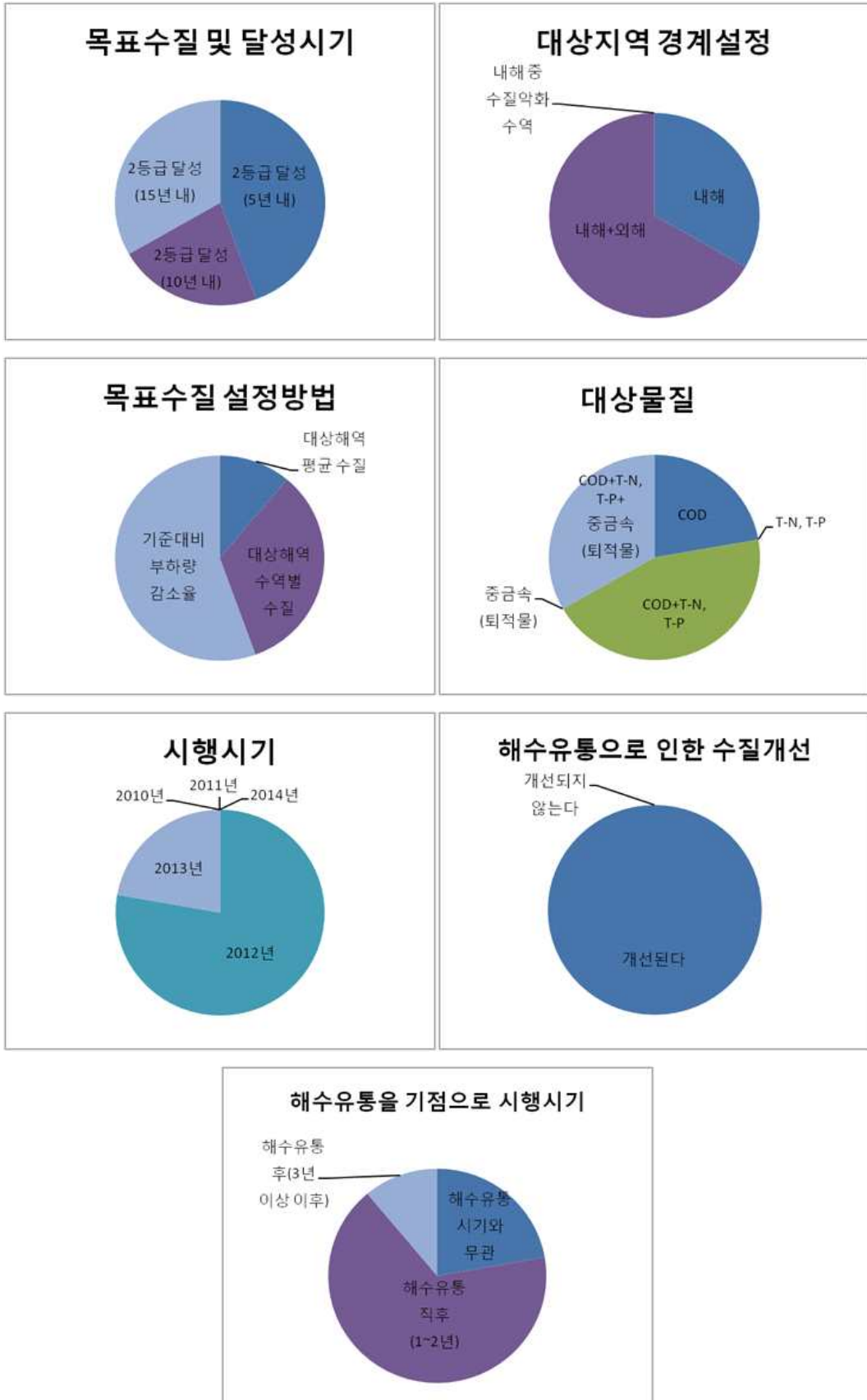


그림 2-3-7. 10년 이상 설문조사 결과



두 번째로 근무년수 10년 이상인 전문가 9명에 대한 분석결과 연안오염총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 5년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 44.44%로 가장 높게 나타났고 뒤이어 15년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 37.5%를 보였다. 대상지역의 경계로는 시화호의 내해와 외해 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 66.67%로 가장 높게 나타났다. 또한 목표수질 설정방법으로는 기준대비 부하량 감소율이 55.56%의 높은 비율로 나타났고, 대상물질로는 COD, T-N, T-P로 선정하는 것이 타당하다는 의견이 44.44%로 가장 높게 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 77.78%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 100%로 나타났고, 해수유통이 시작된 후 1~2년 후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 66.67%로 가장 높은 결과를 보였고, 결국 해수유통의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 지배적으로 나타났다.

### (3) 소속별 설문조사 결과

소속별 분석은 근무년수의 경우와 마찬가지로 소속에 따라 지위 및 해당업무에 차이로 인한 견해가 다를 것으로 판단되어 분석을 실시하였다.

표 2-3-56. 공무원 설문조사 결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
0%		80.0%		20.0%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 수역
60.0%		40.0%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 수역별 수질		기준대비 부하량 감소율
20.0%		40.0%		40.0%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
40.0%	0%	40.0%	0%	20.0%
5. 총량관리 시행시기				
2010	2011	2012	2013	2014
0%	0%	80.0%	0%	20.0%
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선 된다			개선되지 않는다	
100%			0%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후 (3년 이상 이후)
40.0%		40.0%		20.0%

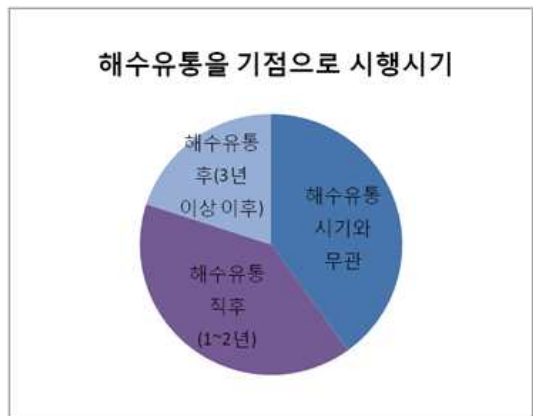
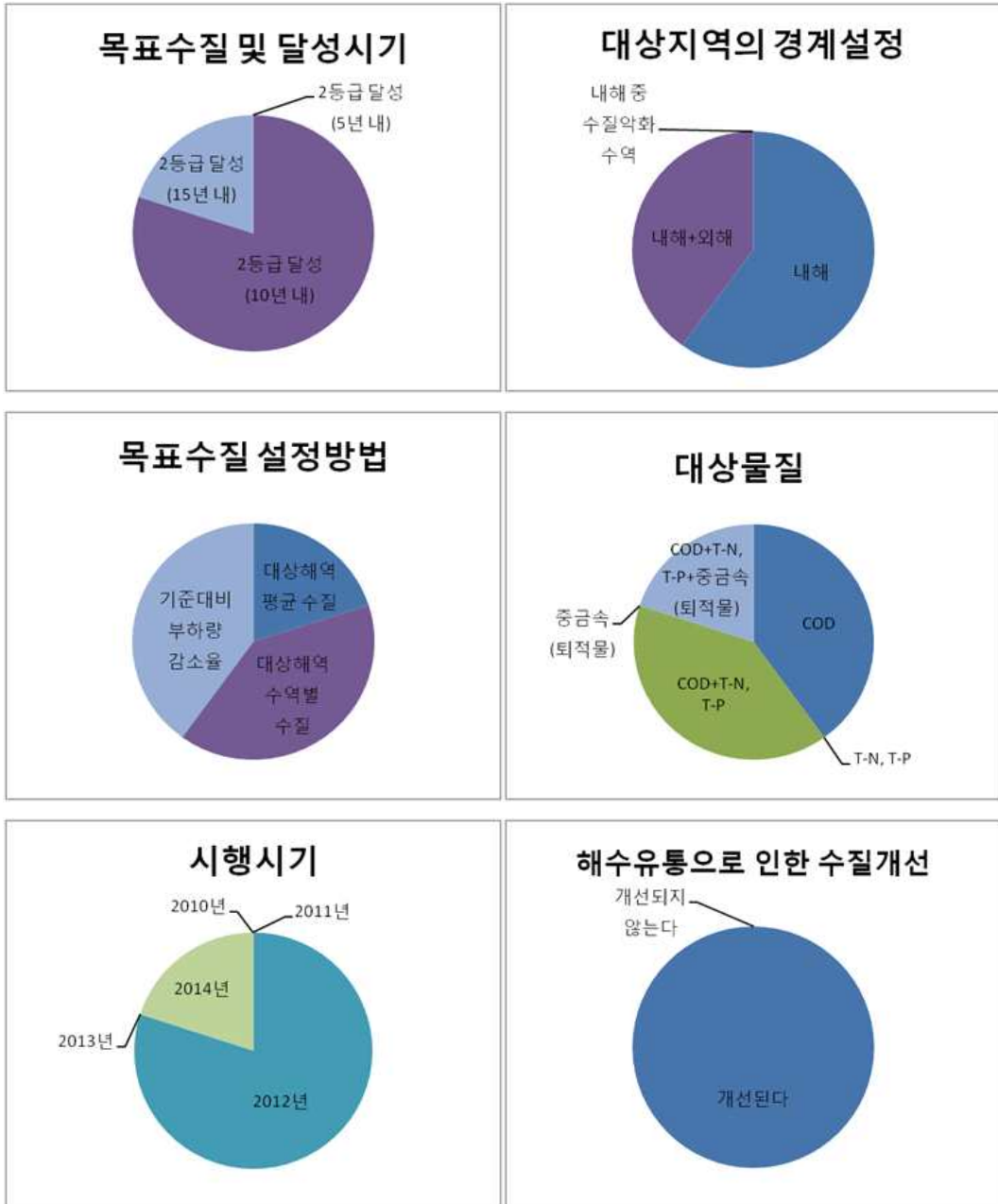


그림 2-3-8. 공무원 설문조사 결과

첫 번째로 국토해양부 및 환경부 관련 공무원 5명에 대한 조사결과 연안오염총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 10년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 80%로 가장 높게 나타났고, 대상지역의 경계로는 시화호의 내해만 포함하는 것이 타당하다는 의견이 60%로, 뒤이어 내해와 외해를 모두 포함해야 된다는 의견이 40%로 나타났다. 또한 목표수질 설정방법으로는 대상해역 수역별 수질과 기준대비 부하량 감소율이 40%의 같은 비율로 나타났고, 대상물질로는 COD만을 선정하는 경우와 COD, T-N, T-P로 선정하는 경우가 40%로 같은 비율로 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 80%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 100%로 나타났고, 해수유통이 시작된 후 1~2년 후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견과 해수유통시기와 무관하다는 의견이 40%로 같은 비율로 나타났고 해수유통 후 3년 이상 경과해야 한다는 의견이 20%로 나타나 해수유통의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 우세한 것으로 나타났다.

표 2-3-57. 연구기관 및 대학 설문조사 결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
46.15%		23.08%		30.77%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 수역
46.15%		53.85%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 수역별 수질		기준대비 부하량 감소율
16.67%		25.0%		58.33%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
16.67%	0%	66.67%	0%	16.67%
5. 총량관리 시행시기				
2010	2011	2012	2013	2014
7.69%	15.38%	53.85%	23.08%	0%
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선 된다			개선되지 않는다	
100%			0%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후 (3년 이상 이후)
0%		69.23%		30.77%

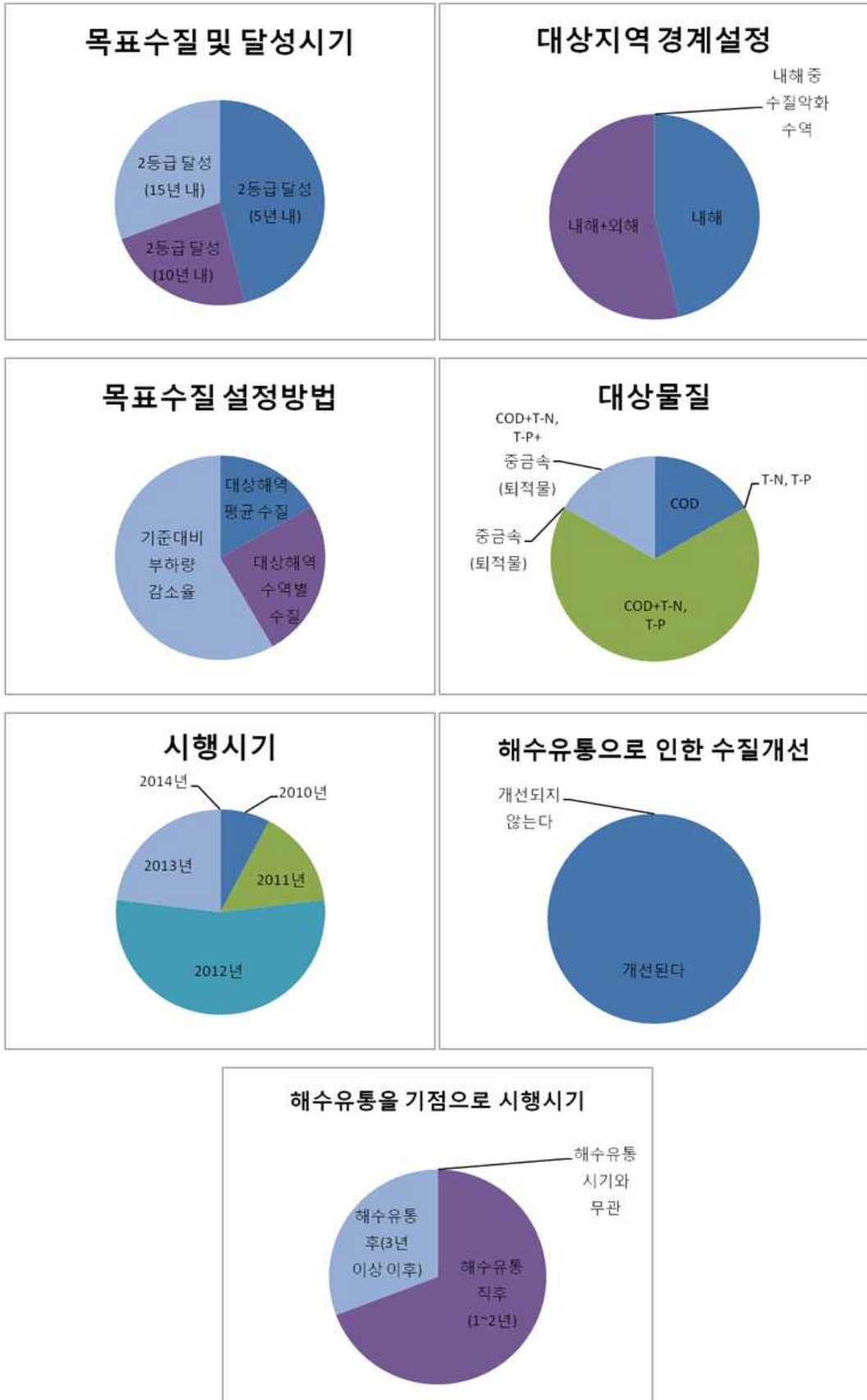


그림 2-3-9. 연구기관, 대학 설문조사 결과

연구기관 및 대학에서 관련 연구를 수행하고 있는 전문가 13명에 대한 조사결과 연안오염 총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 5년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 46.15%로 가장 높게 나타났고 2등급 달성 15년 내와 10년 내가 뒤를 이었다. 대상지역의 경계로는 시화호의 내해와 외해 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 53.85%로, 뒤이어 내해만 포함해야 된다는 의견이 46.15%로 근소한 차이를 보였다. 또한 목표수질 설정방법으로는 대상해역 수역별 수질과 기준대비 부하량 감소율이 58.33%로 높게 나타났고, 대상물질로는 COD, T-N, T-P로 선정하는 경우가 66.67%로 높은 비율로 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 53.85%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 100%로 나타났고, 해수유통이 시작된 후 1~2년 후의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 69.23%로 나타났고 해수유통 후 3년 이상 경과해야 한다는 의견이 30.77%로 나타나 해수유통의 경과를 지켜보고 시행해야 한다는 의견이 대부분으로 나타났다.

표 2-3-58. 시민단체 및 산업체 설문조사 결과

1. 목표수질 및 달성시기				
2등급달성(5년 내)		2등급달성(10년 내)		2등급달성(15년 내)
25.0%		75.0%		0%
2. 대상지역의 경계설정				
내해		내해+외해		내해 중 수질악화 수역
25.0%		75.0%		0%
3. 목표수질 설정방법				
대상해역 평균 수질		대상해역 수역별 수질		기준대비 부하량 감소율
25.0%		75.0%		0%
4. 대상물질 선정				
COD	T-N, T-P	COD+ T-N, T-P	중금속 (퇴적물)	COD+T-N,T-P+ 중금속(퇴적물)
0%	0%	25.0%	0%	75.0%
5. 총량관리 시행시기				
2010	2011	2012	2013	2014
25.0%	0%	75.0%	0%	0%
5-1(1) 해수유통으로 인한 수질개선				
개선 된다			개선되지 않는다	
75.0%			25.0%	
5-1(2) 해수유통을 기점으로 시행시기				
해수유통시기와 무관		해수유통 직후(1~2년)		해수유통 후(3년 이상 이후)
75.0%		25.0%		0%

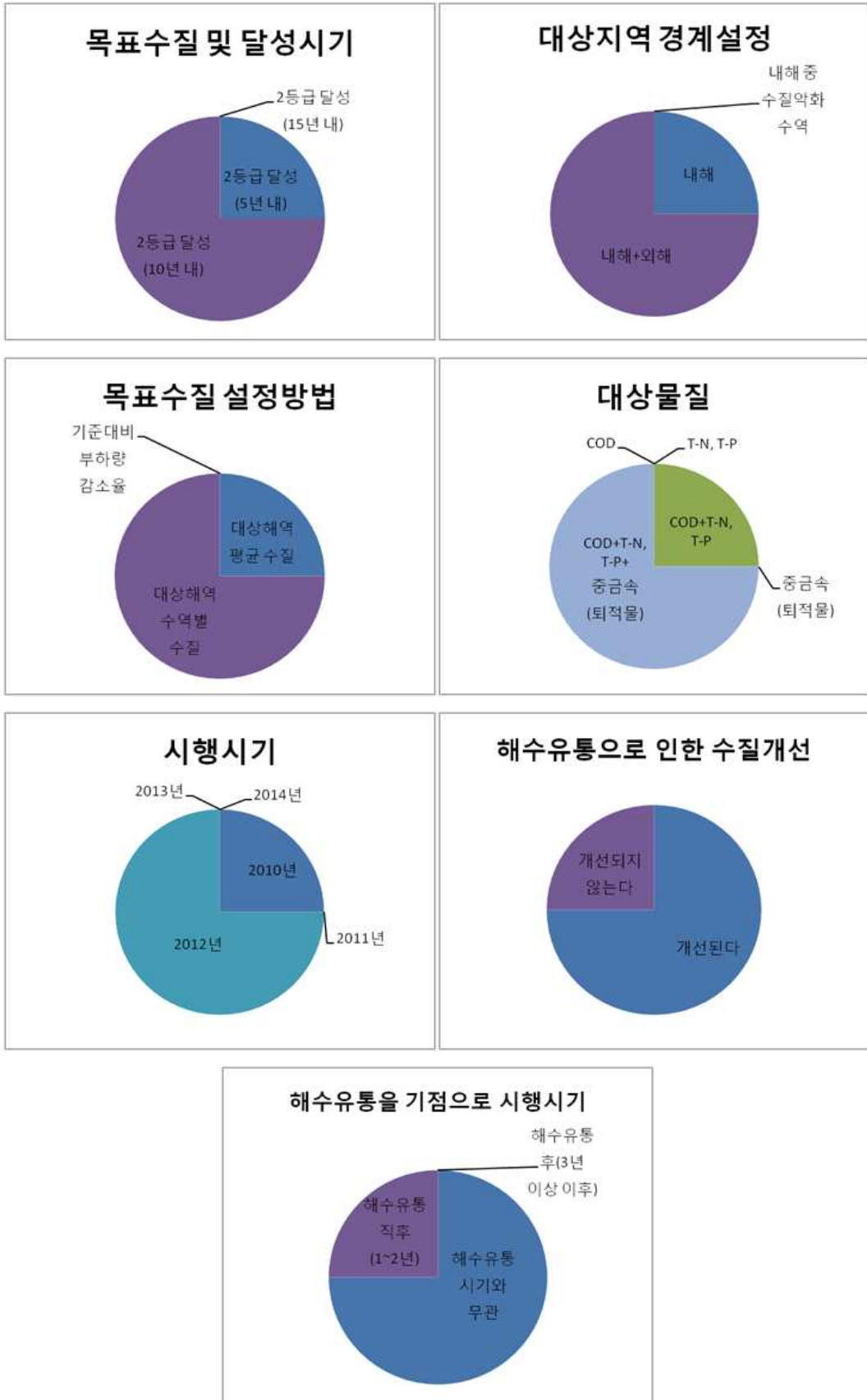


그림 2-3-10. 시민단체, 산업체 설문조사

시민단체 및 산업체에서 관련 연구를 수행하고 있는 전문가 4명에 대한 조사결과 연안오염 총량관리제 시행 시 목표수질 및 달성시기로 2등급 달성을 10년 내로 하는 것이 좋다는 의견이 75%로 가장 높게 나타났고, 대상지역의 경계로는 시화호의 내해와 외해 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 75.0%로 나타났다. 또한 목표수질 설정방법으로는 대상해역 수역별 수질이 75%로 높게 나타났고, 대상물질로는 COD, T-N, T-P, 중금속(퇴적물)로 선정하는 경우가 75%로 높은 비율로 나타났으며, 총량관리 시행 시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 종합관리계획 완료 시기와 맞물리는 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 75%로 가장 높은 의견을 보였다. 추가적으로 해수유통으로 인해 시화호 유역의 수질이 개선될 것이라는 의견이 66.67%로 나타났고, 해수유통시기와 무관하다는 의견이 75%로 나타났다.

#### (4) 항목별 설문조사 결과

전체, 근무년수별, 소속별로 설문조사를 분석하였으면, 이를 항목별로 비교하여 분석하였다.

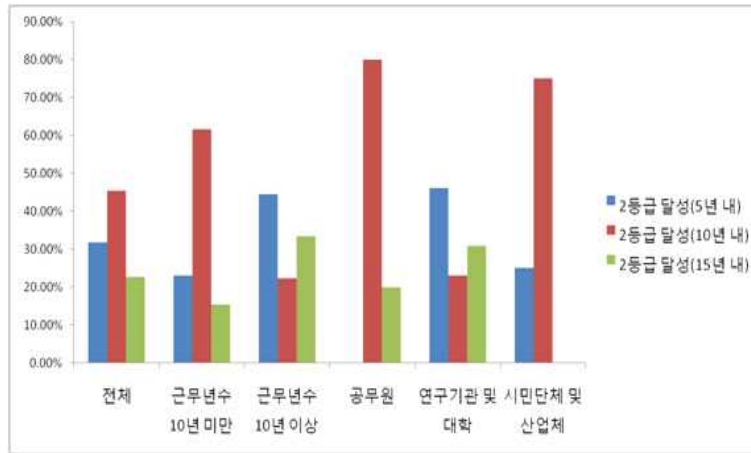


그림 2-3-11. 목표수질 및 달성시기 설문조사결과

설문조사 전체결과를 보면 목표수질 및 달성시기 항목에서 수질환경기준 2등급을 10년 내로 설정하는 것이 타당하다는 의견이 높게 나타났으나, 근무년수 10년 이상, 연구기관 및 대학에서 수질환경기준 2등급을 5년 내로 설정하는 것이 타당하다는 의견이 나타났다.

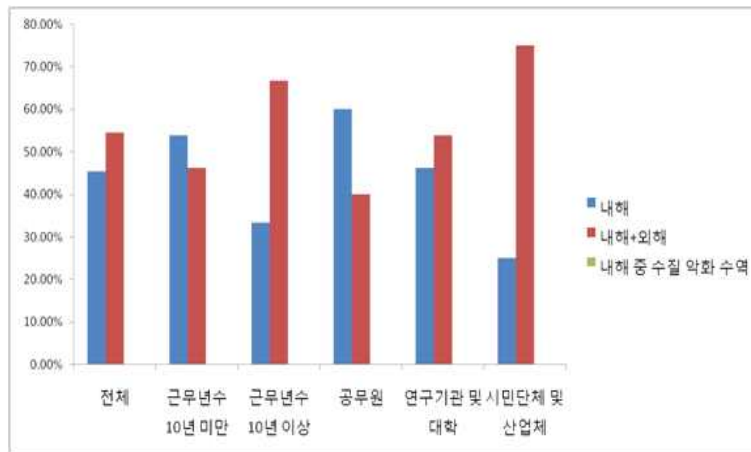


그림 2-3-12. 대상지역의 경계설정 설문조사결과

설문조사결과 대상지역의 경계설정은 내해와 외해 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견이 높게 나타났다. 근무년수 10년 미만, 공무원에서 내해만 포함하는 것이 타당하다는 의견이 높게 나타났다.

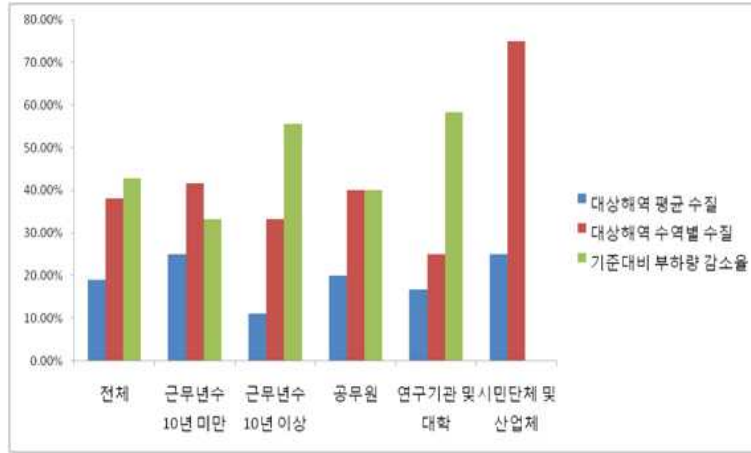


그림 2-3-13. 목표수질 설정방법 설문조사결과

설문조사결과 목표수질 설정방법으로 기준대비 부하량 감소율이 우세하게 나타났지만 대상해역 수역별 수질과는 큰 차이를 보이지 않았고, 근무년수 10년 미만, 시민단체 및 산업체에서는 대상해역 수역별 수질방법이 타당하다는 의견이 높게 나타났다.

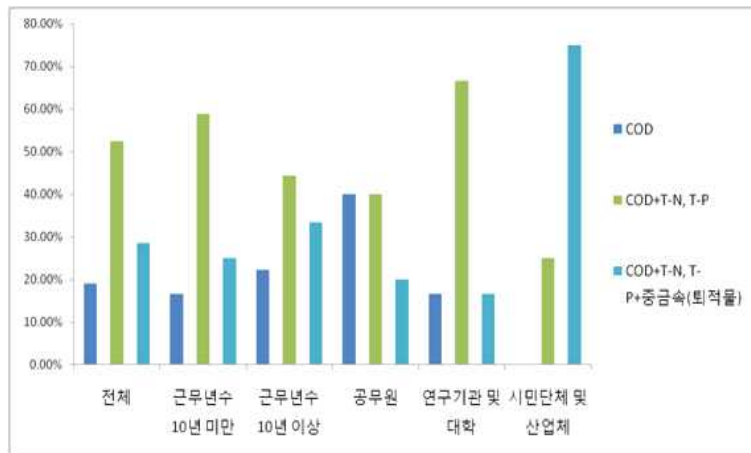


그림 2-3-14. 대상물질 선정 설문조사결과

설문조사결과 대상물질로는 COD, TN, T-P로 설정하는 것이 타당하다는 의견이 우세하였다. 반면 유일하게 시민단체 및 산업체에서는 대상물질을 모두 포함하는 것이 타당하다는 의견을 보였다.



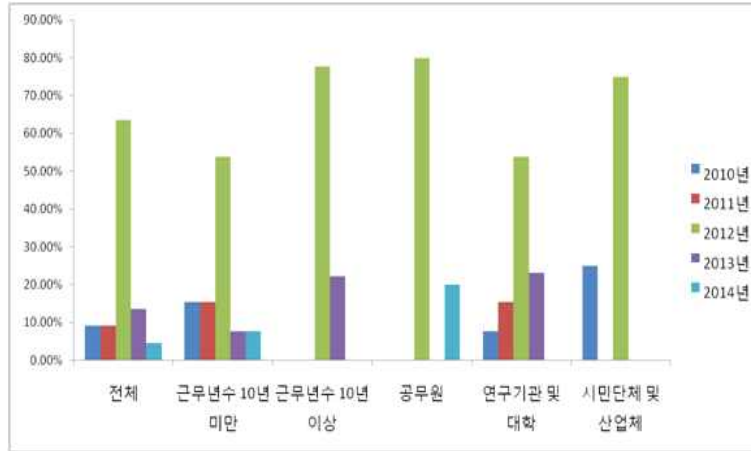


그림 2-3-15. 총량관리 시행시기 설문조사결과

총량관리 시행시기는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 시화호 종합관리계획의 완료시점과 병행하여 2012년부터 시작하는 것이 타당하다는 의견이 높게 나타났다.

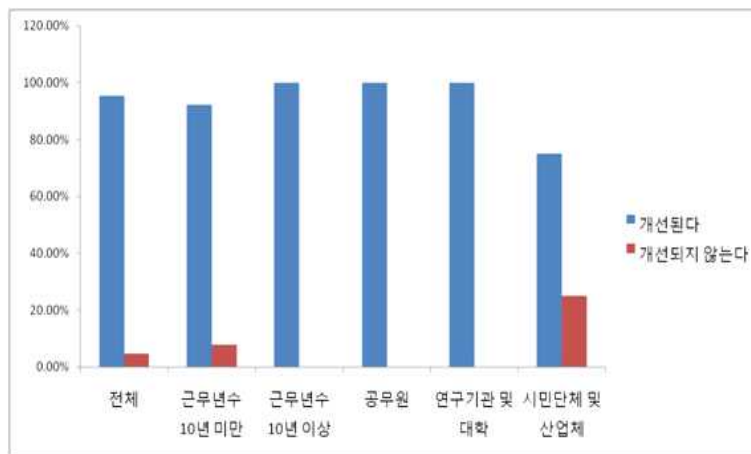


그림 2-3-16. 해수유통으로 인한 수질개선 설문조사결과

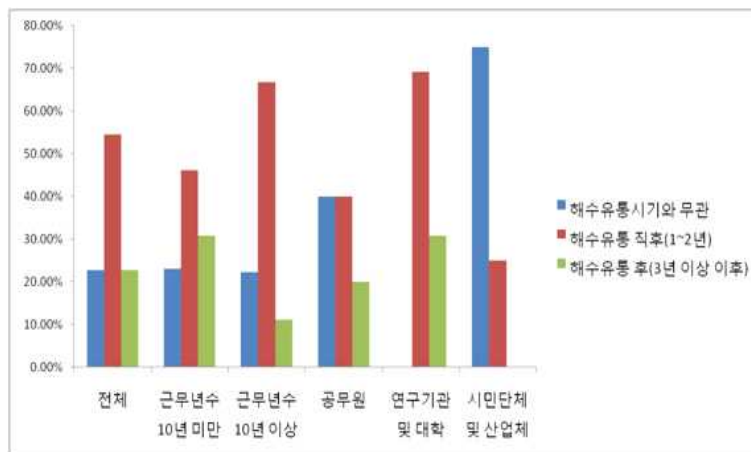


그림 2-3-17. 해수유통을 기점으로 시행시기 설문조사결과

대부분의 전문가들은 해수유통으로 인한 시화호 지역의 수질이 개선될 것이라는 의견을 보였고, 총량관리 시행시기를 해수유통이 시작된 후 경과를 지켜보고 시행하는 것이 좋다는 의견이 나타났다. 그러나 시민단체 및 산업체에서는 해수유통시기와 관계없이 시행하는 것이 좋다는 의견이 나타났다.



그림 2-3-18. 시화호-인천연안

전체결과분석, 근무년수별 결과분석, 소속별 결과분석, 전문가들의 추가적인 의견을 종합해 보면 대체적으로 목표수질 및 달성시기를 수질환경기준 2등급 달성은 10년 내로 설정하는 것이 타당하다고 판단되고 연안수계의 수질 등을 고려하여 단계적으로 목표를 수립하는 것이 타당하다고 판단된다. 대상지역의 경계는 내해와 외해 모두로 설정하는 것이 타당하다고 판단되나 경계가 뚜렷한 내해를 최우선적으로 고려하고, 1단계 총량관리 시행결과를 보고 2단계부터 점차 그림 2-3-18에서 보이는 것처럼 시화-인천연안으로 확대해가는 방향으로 추진하는 것이 타당할 것이다. 설문조사를 통한 결과에 따르면 목표수질 설정방법으로는 기준대비 부하량 감소율로 정하는 것이 우세하게 나타났으나 대상해역 수역별 수질 방법과 큰 차이를 보이지 않았으므로, 향후 삭감여력 등을 기초로 이해관계자의 협의 아래 타당한 방법을 설정하는 것이 바람직할 것이다. 대상물질에 대한 부분으로는 COD, T-N, T-P를 포함하는 것이 좋을 것으로 판단되고 1차적으로 시급한 대상물질로부터 시행하고 단계적으로 확대하는 방향이 바람직할 것으로 판단되며, 최종적인 대상물질은 2010년 시행방안 연구를 통해 결정하는 것이 바람직하다. 총량관리 시행시기로는 마산만 2차 총량관리 시작과 제2차 시화호 종합관리계획 완료 시기와 병행하여 2012년부터 시작하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 대부분의 전문가들은 해수유통으로 인해 시화호 지역의 수질이 개선될 것이라 판단하고 있고, 연안오염총량관리제의 시행시기를 해수유통이 발생한 후에 실시해야 한다는 의견이 지배적으로 나타났다.

## 4. 오염총량규제 시행을 위한 로드맵 수립

### 4.1. 총량관리 시행전략

#### 4.1.1 비전

풍요로움이 지속되는 삶의 터전 시화호(지속가능한 연안, 안전하고 생명력 있는 해양)

#### 4.1.2. 목표

- 1단계: 총량관리가 시행되는 2017년까지 II등급으로 수질(부하량) 개선(COD, T-N, T-P) (쾌적한 시화호)
- 2단계: 시화호 및 인근해역의 중금속, 유해화학물질 배출량의 30% 감소(안전한 시화호)
- 3단계: 현재 계획된 개발 외 추가적인 간석지 개발 유보(생명력 있는 시화호)

#### 4.1.3 전략

- 기존에 추진되던 시화호 환경개선사업의 연구 인프라 및 조정협의 메커니즘을 최대한 활용해 총량관리 사업추진과 연관된 추가적인 사업비를 최소화한다.
- 마산만 연안총량관리 및 수계총량관리와의 연계성 확보를 통해 총량관리 시행과 관련된 국가정책의 일관성을 유지한다.
- 조력발전에 따른 해수유통의 확대 등 시화호 환경의 전면적인 변화를 고려하여 총량관리 시행의 유연성을 확보한다.
- 시화호 간석지 및 시화-인천연안 개발로 인한 수질악화 및 환경훼손을 사전에 예방하고 지역의 지속가능발전을 지원할 수 있는 선제적 대응을 한다.

### 4.2. 총량관리 로드맵

여건분석과 설문조사결과를 토대로 향후 시화호 연안오염총량관리 시행을 위한 로드맵을 작성하였다.

분석결과 시화호 총량관리 시기는 해수유통결과를 확인하고 마산만 2단계 총량관리시행시기와 병행하여 2012년에 시화호 내부부터 시행하며, 대상물질은 COD, T-N, T-P를 하는 것이 바람직하나 최종적인 대상물질은 2010년 시행방안 연구를 통해 결정하는 것이 바람직할 것이다. 분석결과대로 2012년에 총량관리를 시행하기 위해서는 준비과정이 필요하다. 따라서 1단계 시화호 총량관리 시행방안에 대한 연구를 통해 기본계획 및 시행계획을 수립해야한다. 현재 지침에서는 기본계획과 시행계획을 따로 수립하게 되어있지만, 2012년에 총량관리를 시행하기 위해서는 기본계획과 시행계획을 같이 수립할 필요가 있다. 시화호 목표수질은 적어도 2단계까지 10년 내 달성될 수 있도록 하고, 1단계 총량관리 시행결과를 보고 2단계부터 시행지역을 시화-인천연안으로 시행지역을 확대 추진하는 것이 바람직할 것이다. 1단계 총량관리에서 이행평가를 위한 모니터링 사업과 추후에 총량관리 지역의 확대를 위한 연구조사가 필요하고, 2단계 총량관리를 준비하기 위해서 2단계 총량관리 시행방안연구와 기본계획 및 시행계획 수립을 한다. 계획수립은 5년 단위이기 때문에 1단계 총량관리와는 달리 2단계 총량관리는

5년이라는 시간적인 여유가 있기 때문에 단계적으로 기본계획을 수립하고 시행계획을 수립한다. 현재 시화호 환경개선사업은 총량관리를 하기 위한 사업과 연계할 수 있는 부분이 많아서 재정적인 낭비를 줄이고 효율성을 높이기 위해 연계성을 고려하여 시행하는 것이 바람직할 것이다.

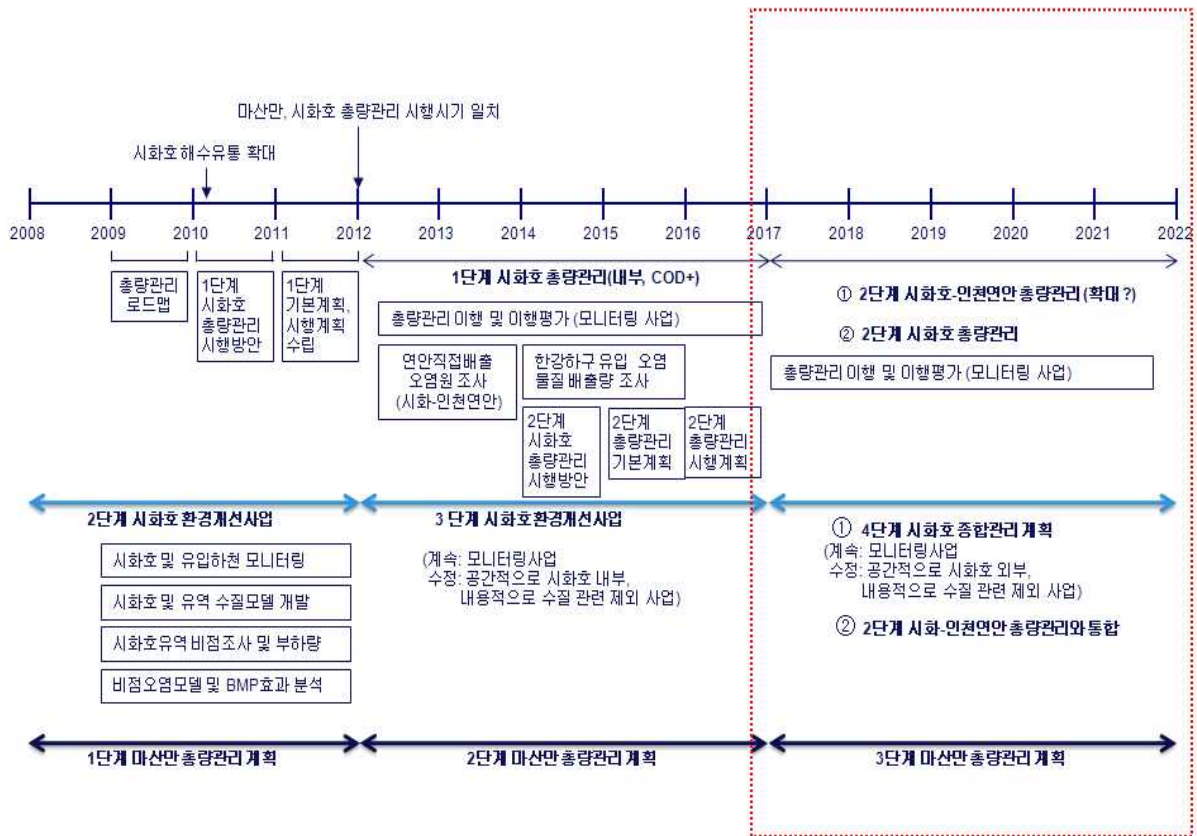


그림 2-3-19. 총량관리 로드맵

#### 4.3. 시화호 총량관리와 환경개선 사업과의 연계성

기존에 추진되던 시화호 환경개선사업의 연구 인프라 및 조정협의 메커니즘을 최대한 활용하여 총량관리시행과 관련된 사업비를 최소화하고 효율성을 높이며, 마산만 연안총량관리 및 수계총량관리와의 연계성 확보를 통해 총량관리 시행과 관련된 국가정책의 일관성을 유지한다.

2단계 시화호 환경개선사업을 통해 1단계 총량관리를 3단계 시화호 환경개선사업 기간과 병행하여 시행한다. 1단계 총량관리에서는 시화호 내부로 대상지역을 설정하고 그 대상지역을 중심으로 연구를 수행하고 추후에 총량관리의 확대를 위해 시화호 환경개선사업에서는 시화호 외부 및 인천연안을 중심으로 연구를 수행한다. 1단계 총량관리를 시행할 경우 시화호 환경개선사업이 시화호 외부 및 인천연안을 중심으로 이루어지기 때문에 시화-인천연안 환경개선사업으로 바뀌는 것이 바람직할 것이다. 시화호 유역에서 해수유통에 의한 수질개선효과가 클 경우에는 2단계 총량관리에서는 ①안에 따라 시화-인천연안으로 총량관리를 확대하고, 해수유통에 의한 수질개선 효과가 제한적일 때는 ②안에 따라 시화호 내부를 집중적으로 총량관리를 시행한다.

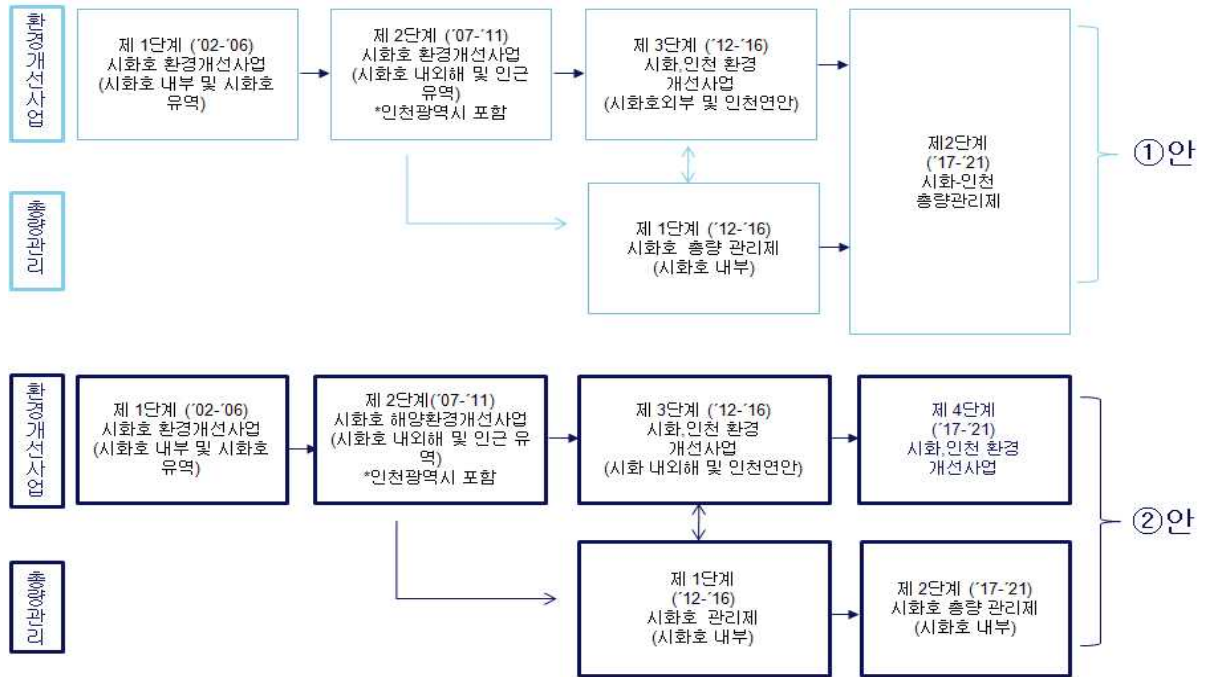


그림 2-3-20. 시화호 총량관리와 환경개선사업과의 연계성

- ①안: 해수유통에 의해 수질개선 효과가 클 때
- ②안: 해수유통에 의해 수질개선 효과가 제한적일 때

#### 4.4. 시화호 총량관리 시행 지원체제

시화호 총량관리 시행 지원체제는 기존에 추진되던 시화호 환경개선사업의 연구 인프라 및 조정협의 메커니즘을 최대한 활용하여 총량관리 사업추진을 하는 것이 바람직하다. 그리고 현재 시행중인 마산만 연안오염총량관리의 지원체제는 효율적이기 때문에 시화호 환경개선사업과 마산만 연안오염총량관리의 지원체제와 연계성을 갖는 것이 바람직할 것이다.

현재 시화호 환경개선사업의 지원체제 중에 시화호 유역관리 위원회와 시화지구 지속발전 협의회가 존재하고 있다. 그러나 두 조정협의는 동등한 위상을 구축하여 비효율적으로 보이고 있기 때문에 마산만 연안총량관리의 지원체제와 같이 역할을 달리 두는 것이 바람직할 것이다. 시화지구 지속발전 협의회는 마산만 민관산학협의회의와 같이 시화지구 민관산학협의회의로 하여 시화호 총량관리제에 관한 과학적 진단과정과 정책결정과정을 실무적으로 연계하는 중간단계의 검토·협의기구가 되고, 시화호 유역관리 위원회는 시화지구 민관산학협의회의와 연계하여 최종의사 결정기구가 된다. 이에 시화호 관리 위원회 사무국은 행정지원을 한다. 그리고 현재 마산만 연안오염총량관리제의 지원체제 중 마산만 특별관리해역 조사·연구반은 민관산학협의회의의 실무검토 기능을 원활하게 지원하기 위하여 마산만 연안오염총량관리 기본계획 수립 연구팀과 긴밀한 관계를 유지하고, 민관산학협의회의와 순차적 검토체계(back-to-back)를 유지하고 있다. 따라서 이와 같이 시화호 총량 조사연구반과 총량관리 연구TFT는 긴밀한 관계를 유지하고, 시화지구 민관산학 협의회의와 순차적 검토체계(back-to-back)를 유지하는 것이 바람직할 것이다.

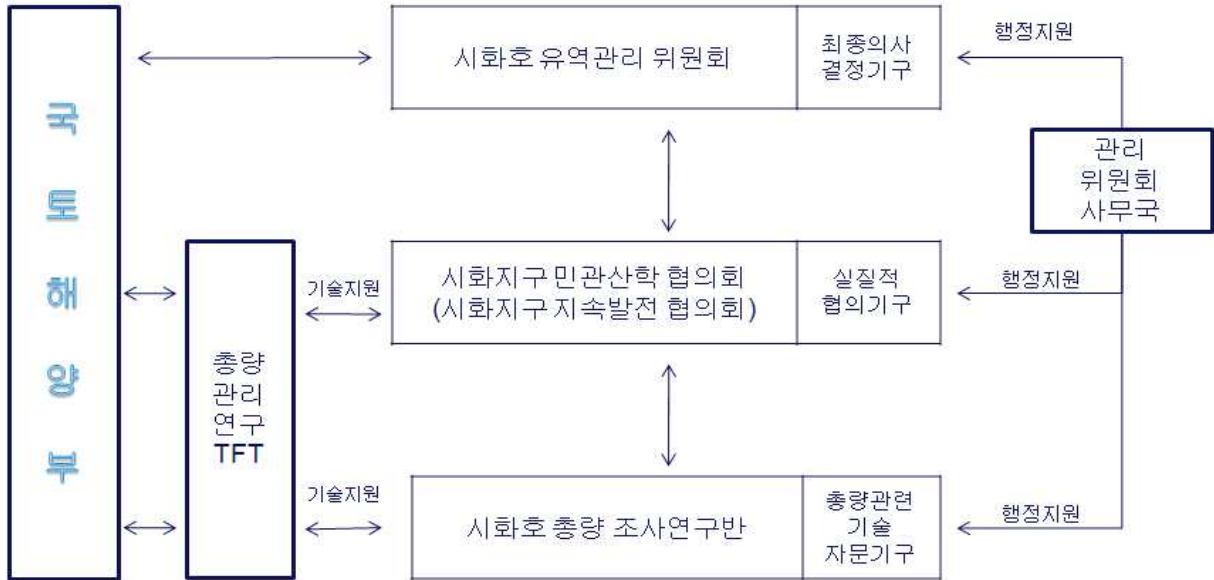


그림 2-3-21. 시화호 총량관리 지원체제

#### 4.5. 총량관리 시행을 위한 지원 사업

총량관리의 시행을 지원하기 위한 사업 및 그 내용을 연차별로 제시하였으며, 현행 그리고 향후 추진될 시화호 환경개선사업과 연계성을 고려하였다.

##### 4.5.1. 단기사업(2009~2011): 추가사업

• 사업명: 시화호 총량관리 시행방안 연구
• 사업시기: 2010.2~2010.10
• 사업비: 100,000,000원
• 사업내용 - 시화호 총량관리 시행여건 분석 - 시행방안 개발을 위한 사례 분석 - 시화호 총량관리 시행방안 개발 (대상지역, 대상물질, 목표수질 평가지점, 모니터링 지점, 평가체제, 삭감수단 등) - 시화호 총량관리 기본방침 제시 - 시화호 총량관리 기술지침 개발 - 이행평가 방안 - 시화호 관리체계 정비 방안
• 비고 - 시화호 관리체계 정비는 총량제 시행을 효과적으로 지원하기 위한 관점에서의 접근

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 시화호 총량관리 기본계획 수립</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2011.1~2011.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 600,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유역, 해역 환경조사</li> <li>- 오염원 및 처리시설 조사</li> <li>- 오염원 예측 및 부하량 산정</li> <li>- 해역 수질모델 구축 및 수질 예측</li> <li>- 부하량 삭감계획</li> <li>- 자치단체별 부하량 할당</li> <li>- 사업예산 및 조달방안</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사업추진의 효율성 확보를 위해 시행계획 수립과 병행하여 추진</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 안산시, 화성시, 시흥시 총량관리 시행계획 수립</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2011.1~2011.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 300,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자치단체별 유역, 하천환경조사</li> <li>- 오염원 및 처리시설조사</li> <li>- 오염원 예측 및 부하량 산정</li> <li>- 부하량 삭감계획 수립</li> <li>- 개별 오염원별 부하량 할당</li> <li>- 이행사업 예산 및 조달 계획</li> <li>- 이행 모니터링 계획(자치단체별)</li> <li>- 기준년도 총량관리 대장 작성</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호 관리체계 정비는 총량제 시행을 효과적으로 지원하기 위한 관점에서의 접근</li> </ul> </li> </ul>



#### 4.5.2. 단기사업(2009~2011): 기존사업

• 사업명: 시화호 유역모델 구축
• 사업시기: 2009.1~2010.12
• 사업비: 20,000,000원
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용</li> <li>- 시화호 유역에 대한 유역모델 구축</li> <li>- 유역 내 비점오염원 분포 및 유출경로 파악</li> <li>- 유역모델의 보정 및 검증</li> <li>- 검증된 유역모델을 이용한 비점오염부하량 산정(지역별, 시기별, 오염원별)</li> <li>- 시화호 및 유역개발에 따른 비점오염원 시나리오 작성</li> <li>- 시나리오에 따른 비점부하량 변화 예측</li> <li>- 가용한 BMP에 따른 부하량 저감효과 및 민감성 분석</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고</li> <li>- 개발된 유역모델을 총량관리계획 수립 시(2011) 비점오염부하량 정량화 및 할당에 사용</li> </ul>

• 사업명: 수질 및 퇴적물 모니터링
• 사업시기: 2010.1~2011.12(계속)
• 사업비: 300,000,000원
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용</li> <li>- 호 내 수질변화</li> <li>- 방조제 외측 수질변화</li> <li>- 퇴적물질 조성(일반항목, 중금속 포함)</li> <li>- 입자성 물질 침강량 산정 및 화학적 조성</li> <li>- 퇴적물로부터 영양염류 용출량</li> <li>- 퇴적물의 용존산소 소모량</li> <li>- 지역별, 계절별 수질변화 패턴 및 원인 분석</li> <li>- 국가 수질측정망 수질, 퇴적물 자료와의 비교분석</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고</li> <li>- 모니터링 자료는 시화호 수질모델의 입력, 보정 및 검증 자료로 사용되고 분석결과는 총량관리 목표수질 설정에 활용</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 강우 시 유입하천 유량 및 수질모니터링(시범사업 확대)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2009.1~2011.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 400,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 강우 시 실제 유역으로부터 유입되는 부하량 측정(자동+수동)</li> <li>- 화정천, 안산천, 신길천, 반월천, 동화천, 삼화천, 마도수로</li> <li>- 공단 간선수로</li> <li>- 유량, 수질(COD, SS, 영양염류 등)</li> <li>- 4개 이상의 강우사상/년</li> <li>- 강우사상별, 유역별 EMC 산정 및 오염부하 곡선 개발</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2009년 추진되던 시범사업을 확대하여 추진. 유역모델의 검 보정, 실측에 근거한 비점 오염부하량 산정에 활용</li> </ul> </li> </ul>

#### 4.5.3. 중장기사업(2012~2017)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 중점이행 이행평가보고서 작성(안산시, 시흥시, 시흥시)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2012.12~2013.5 2014.12~2015.5 2016.12~2017.5</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 200,000,000원/년</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 총량관리 중점이행평가보고서 작성</li> <li>- 수질변화추이 및 원인분석</li> <li>- 오염원 조사 및 부하량 산정</li> <li>- 처리시설 설치 및 처리효율 현황조사 및 분석</li> <li>- 할당부하량 준수여부평가</li> <li>- 할당부하량 초과원인 분석 및 조치사항(할당부하량 초과 시)</li> <li>- 시행계획변경 신청(필요시)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원칙적으로 각 기초자치단체별로 작성. 이행평가지침에 따라 일부 지역만 포함된 자치 단체는 인근지역에 통합하여 작성</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 시화호 총량관리시행방안(2단계)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2014.1~2014.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 150,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호 관리 및 정책여건 변화분석</li> <li>- 시화호 수질변화평가</li> <li>- 오염원 및 부하량 변화추이분석</li> <li>- 시화호 외부해역 및 인천연안 총량관리 확대 타당성 검토</li> <li>- 2단계 총량관리 관리대상물질 선정</li> <li>- 정책여건 변화를 고려한 기본방침, 시행체제, 기술지침 등의 개정</li> <li>- 시화호 환경개선사업과의 연계성 검토</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 핵심사항은 총량관리 대상지역 및 대상물질의 확대</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 시화호 총량관리기본계획(2단계)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2015.1~2015.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 300,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유역, 해역환경조사</li> <li>- 오염원 및 처리시설 조사</li> <li>- 오염원 예측 및 부하량 산정</li> <li>- 해역 수질모델 구축 및 수질예측</li> <li>- 부하량 사감 계획</li> <li>- 자치단계별 부하량 할당</li> <li>- 오염원별 부하량 할당</li> <li>- 사업예산 및 조달방안</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2단계 총량관리 시행여건에 따라 2단계 총량관리시행방안 연구와 병행(통합)하여 추진 가능</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 안산시, 화성시, 시흥시 총량관리 시행계획 수립(단계)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2016.1~2016.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 300,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 자치단체별 유역, 하천환경조사</li> <li>- 오염원 및 처리시설조사</li> <li>- 오염원예측 및 부하량 산정</li> <li>- 부하량 삭감계획 수립</li> <li>- 개별 오염원별 부하량 할당</li> <li>- 이행사업예산 및 조달계획</li> <li>- 이행모니터링 계획(자치단체별)</li> <li>- 기준년도 총량관리대장 작성</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 이행평가지침에 따라 일부 지역만 포함된 자치단체는 인근 지역에 통합하여 작성</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 시화-인천연안 직접배출 오염원 실태조사(시화호 외부)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2012.1~2013.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 400,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연안 수질변화 분석</li> <li>- 연안 직접배출 오염원 조사</li> <li>- 연안 직접배출 배출량 조사</li> <li>- 대표 배출원에 대한 실측 조사(시기별)</li> <li>- 직접 배출원 분류 및 데이터베이스 구축</li> <li>- 직접 배출원 mapping</li> <li>- 연안 수질과 배출량의 관계분석</li> <li>- 조사결과를 반영한 기술지침개정(안)(오염원조사 및 부하량 산정)</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현행 총량관리기술지침은 기본적으로 수계총량관리지침을 준용. 연안특성반영을 위한 기초자료 확보 필요</li> </ul> </li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업명: 한강하구 유입 오염물질 배출량 조사</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업시기: 2014.1~2014.12</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업비: 300,000,000원</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업내용 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 한강 하구 유출 유량 장기 통계자료 자료 분석(시기별)</li> <li>- 한강하구 장기 수질변화 자료 분석(시기별)</li> <li>- 주요 오염물질 별 배출부하량 추정(시기별)</li> <li>- 한강하구 유출 오염물질의 연안분포 특성 예측</li> <li>- 직접 배출부하량과 하구 배출부하량의 비율 추정</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비고 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화-인천 전 연안으로 총량관리 확대적용 여부 판단을 위한 기본 자료로 활용</li> </ul> </li> </ul>

## 5. 결론

시화호 총량관리는 시화호 해수유통결과를 확인하고 마산만 2단계 총량관리 시행시기에 맞추어 2012년에 시화호 내부부터 시행하며, 대상물질은 COD, T-N, T-P를 하는 것이 바람직하나, 최종적 대상물질은 2010년 시행방안 연구를 통해 결정하는 것이 바람직할 것이다. 그리고 시화호 목표수질(부하량)은 적어도 2단계까지(10년 내) 달성될 수 있도록 하고, 1단계 총량관리 시행결과를 보고 2단계부터 시행지역을 시화-인천연안으로 시행지역을 확대 추진하는 것이 바람직할 것이다.

시행여건분석과 설문조사결과를 토대로 향후 시화호 총량관리의 로드맵을 작성하였다. 또한 총량관리의 시행을 지원하기 위한 사업 및 그 내용을 연차별로 제시하였으며, 현행 그리고 향후 추진도리 시화호 환경개선사업과 연계성을 고려하여 로드맵을 수립하였다.

## **제 3 장 시화호 유역의 환경모니터링**



# 제 3 장 시화호 유역의 환경모니터링

## 제 1 절 시화호 유역 통합환경모니터링 업무 조정·정보공유망 구축방안

### 1. 시화호 유역 통합환경모니터링 세칙(안) 검토

#### 1.1. 시화호 유역 통합환경모니터링 TF회의

##### (1) 회의 개요

- 일시/장소 : 2009.4.2(목). 15:30/ 한국해양연구원 서해관
- 참석자 : 국토해양부, 시흥·안산·화성시, 국립수산과학원, 한국수자원공사, 한국농촌공사 등 TF위원(13명) 등 총 19명
- 회의안건
  - 시화호 유역 통합환경모니터링 TF팀 운영경과 보고
  - 시화호 유역 환경모니터링 시행기관간 협의사항 검토
  - 시화호 유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안) 검토

##### (2) 주요논의 사항

- 시화호유역 모니터링 시행기관간 협의사항 검토
  - 모니터링 기관간 정도관리는 지속 시행하고, 자료의 신뢰성 확보 및 활용을 위해 '통합환경모니터링 지침'을 마련하여 활용기로 합의
    - ※ 시화호 유역 환경모니터링 지침(안) 마련(09.하반기)
  - 수질예측 모델링에 필요한 항목을 조사하는 것으로 하고 빠진 부분은 기관별로 추가방안을 마련기로 합의
    - ※ 안산시는 하천의 총인, 총질소 항목을 금년부터 추가 분석기로 함.
  - 환경조사자료의 활용도 제고를 위해 기존의 정도관리 기관(한국해양연구원, 한국수자원공사, 농어촌연구원, 서해수산연구소)외 지자체에도 자료를 공유하는 한편, 정도관리 대상에 포함하기로 합의
- 시화호 유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안) 검토
  - 전문위원회와 소위원회의 관계, 위원장 선출방식, 회의 소집 등에 관한 사항 등 운영세칙에 대한 실질적인 내용을 명확히 해야함
    - ※ 4.15(수)에 예정된 실무협의회에서 동협의 내용의 수용여부를 검토기로 합의

- 시화호 유역 통합환경모니터링 지침(안)은 정도관리 수행결과를 수용하되 관련기관 협의를 거쳐 확정하는 것으로 합의
- 소위원회 구성(안)에 산업계(에코션) 1인을 추가에 전원 동의

### (3) 향후 추진계획

- 회의결과 관련기관(TF위원)에 통보 : 즉시
- 시화호 유역 통합환경모니터링 운영세칙(안) 보완 : 4월초
- 제5차 시화호 관리위원회 실무협의회 개최 ('09.4.15)
  - ※ 시화호 유역 환경통합모니터링 소위원회 운영세칙(안) 검토 등
- 시화호 유역 환경통합모니터링 지침(안) 마련 ('09.하반기)

## 1.2. 제5차 시화호 실무협의회

### (1) 회의 개요

- 일시/장소 : 2009.4.15(수). 10:00/ 한국해양연구원 서해관
- 참석자 : 국토해양부, 지식경제부, 인천시, 경기도, 시흥시, 안산시, 화성시, 한국수자원공사 등 총19명
- 회의안건
  - 시화호 유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안) 검토

### (2) 주요논의 사항

- 시화호유역 모니터링 소위원회 운영세칙(안)
  - 환경조사의 방법의 통일성, 자료의 이용도 제고 등을 위한 운영세칙 및 모니터링 지침 마련에 적극 협조하기로 함
  - 운영세칙(안) 중 다음사항을 변경기로 합의
    - 환경조사, 모니터링, 통합모니터링 등 혼용되어 사용되는 용어는 '통합환경모니터링'으로 통일하여 혼선이 없도록 함
    - 원활한 업무추진을 위해 위원회의 구성을 20명 내외로 상향 조정
  - 산업단지공단은 소위원회에 관계기관으로 참여하기로 함
  - 모니터링 관련 자료는 우선 지자체를 포함한 관계기관이 공유하기로 하고, 일반시민에게 자료 공개여부는 다음 회의에서 확정하기로 함
    - ※ 실무협의회 위원들에게는 각 기관의 모니터링 자료를 계속 공유기로 함

### (3) 향후 추진계획

- 회의결과 관련기관에 통보 : 즉시
- 시화호 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안) 관계기관 협의 : 5월
- 시화호 유역 환경모니터링 지침(안) 마련 ('09.하반기)



## 2. 시화호 유역 통합환경모니터링 자문회의

### 2.1. 제5차 시화호 통합환경모니터링 자문회의

#### (1) 회의개요

- 일시/장소 : 2009년 6월 15일(월)/ 한국해양연구원
- 참석자 : 김은수, 김정태, 조성록, 이해경, 구분주(한국해양연구원), 황인서(한국수자원공사), 홍현표(에코션)
- 회의안건
  - 생태계 모니터링 방법 비교 및 검토

#### (2) 주요논의 사항

- 다음 사항을 고려하여 조사방법을 상세히 기술하여 제출(6월 30일까지)
  - 수심
  - 땅의 크기
  - 정량 및 정성조사 방법을 구분
  - 채집시간 등
  - 해양환경공정시험방법을 참고
- 갯벌예정지 : 조간대, 조하대 구분 여부
  - 갯벌 예정지에 대한 연구는 조력발전소 운영영향과 관련하여 매우 중요한 부분
  - 서식처환경에 따른 구분보다는 목적에 따른 구분이 적절
    - > 수공의 균집 변화 모니터링의 목적과 해양연의 바지락 개체군기능 또는 복원 목적의 연구
  - 예시) 균집 모니터링 : 조간대, 조하대, 갯벌복원 : 현 조간대, 신조간대 등.
  - 자료공유를 위해 두 기관이 동일 수행하는 정선(2-3개)에 대한 협의가 필요
- 저서생태 통합 조사 방법 수행여부
  - 수공은 2009년부터 협의한 정점과 조사방법을 준수하여 수행중

### 2.2. 제6차 시화호 통합환경모니터링 자문회의

#### (1) 회의개요

- 일시/장소 : 2009년 7월 2일(수)/ 한국해양연구원
- 참석자 : 김은수, 조성록, 김종근, 구분주, 신동혁, 홍현표(에코션), 임병권(백년기술), 구분경(하이드로코어)
- 회의안건
  - 생태계 모니터링 방법 초안 작성
  - 수질정도관리 상호방문 토의
    - : 정도관리 결과를 토대로 기관간의 분석방법 차이점 도출 후 상호 비교

**(2) 주요논의 사항**

- 각 기관에서 수행하고 있는 부유생태계 조사방법을 취합하여 외부 전문가의 자문 요청

**2.3. 제7차 시화호 통합모니터링 자문회의**

**(1) 회의개요**

- 참석자 : 김은수, 강성현, 조성록, 김종근(한국해양연구원), 김동섭, 최광순, 박우하, 서경화(한국수자원공사)
- 일시/장소 : 2009년 7월 28일(화)/ 한국해양연구원
- 회의안건
  - 정도관리 분석결과 검토
  - 수질정도관리 상호방문 토의

**(2) 주요논의 사항**

- 한국해양연구원 분석 담당자가 분석기관 방문하여 현황 파악 및 기관 간 분석상의 차이점 도출
  - 분석시료 전처리 과정
  - 표준물질 사용여부
  - 분석장비의 현황 파악
  - Blank test 등
- 공동시료의 순회 분석
  - 각 기관에서 분석하는 과정에 전 기관이 참여
  - 각 기관의 분석일정을 한국해양연구원에 통보

## 2.4. 부유생태 모니터링 방법 조정

### (1) 기관별 부유생태 모니터링 방법

#### ○ 식물플랑크톤

조사 기관	조사방법	비고
서해수산연구소	<p>○ 계수 : 해수를 채취한 후, 선상에서 Lugol's solution으로 고정. 고정된 시료는 침전법에 의해 상등액을 제거하여 100~150mL로 농축시킨 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경으로 계수</p> <p>○ 종조성 : Kitahara type net (mesh size: 20<math>\mu</math>m) 로 시료채집. 채집된 시료를 1L 폴리에틸렌 병에 담아 Lugol's solution으로 고정. 일정량의 시료로 임시 프레파라트를 만들어 <math>\times 100 \sim \times 1,000</math> 배율의 광학현미경 (Olympus Vanox AHB T3, Japan) 으로 검경</p>	
에코선	<p>해수를 1L 폴리에틸렌 병에 옮겨 Lugol's solution으로 고정. 고정된 시료를 실험실로 옮겨와 침전법에 의해 50mL로 농축시킨 다음 상등액을 제거한 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 Olympus 현미경하에서 계수</p>	
한국수자원공사	<p>해수시료는 1L용 폴리에틸렌병에 넣어 4% 중성포르말린으로 현장에서 고정. 고정된 해수시료를 침전법에 의하여 24시간 침전시킨 후 상등액을 버리고 농축된 시료를 사용하여 정량분석. 시료의 농축은 siphone을 이용한 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 100~200mL가 되도록 농축하여 검경 시료로 사용. 농축된 시료를 균일하게 희석한 후 1mL를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 광학현미경(BX51, Olympus)의 150배에서 엽록체를 함유하고 있는 세포를 계수한 후, 해수의 단위체적당 세포수를 현존량으로 환산</p> <p># 고정방법: 해수를 채취한 후, 선상에서 Lugol's solution으로 고정. 고정된 시료는 침전법에 의해 상등액을 제거하여 100~150mL로 농축시킨 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경으로 계수</p> <p>종조성 : Kitahara type net (mesh size: 20<math>\mu</math>m) 로 시료채집. 채집된 시료를 1L 폴리에틸렌 병에 담아 Lugol's solution으로 고정. 일정량의 시료로 임시 프레파라트를 만들어 <math>\times 100 \sim \times 1,000</math> 배율의 광학현미경 (Olympus Vanox AHB T3, Japan) 으로 검경</p>	

○ 동물플랑크톤

조사 기관	조사방법	비 고
서해수산연구소	<p>○ 수직채집 : 원추형 넷트 (망목 크기 330 <math>\mu\text{m}</math>, 입구 직경 76 cm) 를 사용하여 전수층을 대상으로 수직 인항 방식으로 채집된 시료는 중성 포르말린으로 고정. 포르말린 최종농도는 5-8%가 되도록 하고 해부현미경을 사용하여 검경</p> <p>○ 수평채집 : Bong Net (망목 size 300 <math>\mu\text{m}</math>, 500 <math>\mu\text{m}</math>입구, 직경 60 cm, 역회전 방지 flow meter 장착)를 선박 후미에 달고 예인속도 2.0knot로 5분간 1m 수층에서 시료 채집하여 중성 포르말린으로 고정. 포르말린 최종농도는 5-8%가 되도록 하고 해부현미경으로 검경</p>	
에코선	<p>망구 45cm, 망목 200<math>\mu\text{m}</math>인 원추형 넷트를 이용하여 수심 5m 이하에서는 표층에서 5~7분간 수평 예인. 수심 5m 이상에서는 저층부터 표층까지 경사 인양. 4~5%가 되도록 중성포르말린으로 고정. 채집된 동물플랑크톤 시료는 총량을 메스실린더로 계량한 후 잘 혼합하여 우점종이 100개체 이상이 되게 분할하여(UNESCO, 1979) 계수 챔버로 옮긴 후 해부 현미경(Olympus SZX-12) 하에서 분류하고 계수</p> <p>경우에 따라 요각류의 부속지를 해부하였으며, 해부한 부속지는 광학현미경(Olympus BX-51) 하에서 동정하였다. 요각류는 종 수준까지 동정. 요각류를 제외한 다른 동물플랑크톤 및 부유 유생은 광범위한 상위 분류군으로 구분</p>	
한국수자원공사	<p>원추형의 플랑크톤 넷트(conical type, mesh aperture 300<math>\mu\text{m}</math>, mouth diameter 0.6 m)로 채집. 플랑크톤 넷트를 가능한 바다의 밑에서부터 표면까지 당기도록 하여 전 수층에 분포하는 동물이 가능한 모두 채집. 시료는 중성 포르말데히드 수용액으로 최종 농도가 5~10 %가 되도록 고정. Folsom 타입의 분할기구(divider 또는 splitter)로 균등하게 분할한 시료 가운데 일정량(1/8 - 1/512)을 Bogorove's chamber 형식의 계수판위에 놓은 다음 해부현미경(SZX 9-ILLD w/PLAPO, Olympus)으로 관찰하여 동정. 요각류 등, 작은 갑각류의 정확한 동정을 위하여 해부할 필요가 있을 경우, 움푹 팬 슬라이드(hollow slide)에 lactic acid 또는 glycerin 등을 증류수, 또는 여과해수와 함께 떨어뜨린 후 텅스텐 침을 이용</p> <p># 수자원공사의 방법이 적절한 것으로 판단됨.</p>	

(2) 부유생태 모니터링 조정(안)

기관별 식물 및 동물플랑크톤 모니터링 방법을 취합하여 전문가 4인(충남대, 전북대, 한국해양연구원)의 자문을 받아 정리하였는데, 채집 및 계수방법은 기관간 결과를 상호비교할 수 있는 방법으로 조정하였다.

## 1) 시료채집

### ○ 식물플랑크톤

- 정성 : Kitahara type net (망목 크기: 20 $\mu$ m)로 시료채집 후, 1L 폴리에틸렌병에 담아 포르말린 또는 Lugol's solution으로 고정한다.
- 정량 : 채취된 해수시료는 1L용 폴리에틸렌 병에 넣어 포르말린 또는 Lugol's solution으로 고정한다.  
# 포르말린은 무각종(naked species)의 세포를 일부 파괴할 수 있으므로 무각종의 세포수가 과소평가 될 수 있다.

### ○ 동물플랑크톤

- 망구 지름이 60~100cm, 망목은 약 200~300 $\mu$ m인 채집용 네트를 사용하여 바닥근처에서 표층까지 경사 또는 수직채집을 한다.  
# 봉고네트를 사용하는 것이 효율적이며, 수심이 5m 이하인 지역에서는 수평채집을 할 수 있다.  
# 수평채집은 네트를 선박 후미에 달고 예인속도 2.0knot로 5분간 1m 수층에서 시료를 채집한다. (해파리가 다량 발생되어 있을 경우 1분 정도 예인)
- 여과된 해수의 양은 네트입구에 설치한 유량계로부터 계산한다.
- 채집된 시료는 중성 포르말린으로 포르말린 최종농도가 5~10% 되도록 고정한다.

## 2) 시료보관

- 채집된 시료는 직사광선을 피하여 동정 및 계수시까지 암소에 보관한다.

## 3) 시료분석

### ○ 식물플랑크톤

- 고정된 시료는 24시간 침전시킨 후 상등액을 버리고 농축된 시료를 사용하여 정량분석을 실시한다.
- 시료의 농축은 siphone을 이용한 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 100~200mL가 되도록 농축하여 검경 시료로 사용한 후 균일하게 희석한 후 1mL를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 광학현미경에서 엽록체를 함유하고 있는 세포를 계수한 후, 해수의 단위체적당 세포수를 현존량으로 환산한다.

### ○ 동물플랑크톤

- 시료의 생물량을 고려하여, 전체 계수에 어려움이 있을 경우, Folsom 타입의 분할기구로 분할하여 약 100~300개체를 Bogorov chamber 형식의 계수판위에 놓은 다음 해부현미경으로 관찰하여 동정 후 계수하여 동물플랑크톤 개체수/ $m^3$ 로 표시한다.
- 정확한 동정을 위하여 해부할 경우, 움푹 팬 슬라이드(hole slide)에 lactic acid 또는 glycerin 등을 증류수, 또는 여과해수와 희석하여, 떨어뜨린 후 해부용 침을 이용하여 주요 분류 형질을 해부 후 동정한다.
- 동정에 사용한 분류형질은 프레파라트를 만들어 보관하여 사후검증에 대비한다.

### 3. 정도관리 시험

#### 3.1. 제4차 정도관리 시험 결과

시료를 각각 50, 100mL로 하여 KI용액을 냉각전 및 후에 첨가하여 분석을 실시하였는데, 시료량의 차이나 KI 용액 넣는 시간에 따른 차이는 나타나지 않았다.

표 3-1-1. 제4차 정도관리 시료 분석 결과(한국해양연구원, 한국수자원공사, 서해수산연구소, 농어촌연구원, 2009. 1월)

기관	COD (mg/L)				PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	DIN	SiO <sub>2</sub> -Si	TP	TN
	50mL		100mL									
	냉각전	냉각후	냉각전	냉각후	(mg/L)							
1	2.5	2.2	2.0	1.6	0.009	0.007	0.488	0.025	0.520	-	0.024	1.316
2	2.3	2.8	2.1	2.6	0.007	0.002	0.014	0.009	0.025	0.014	0.044	0.332
3	1.6	2.0	2.2	1.6	0.004	0.000	0.036	0.015	0.051	-	0.032	0.145
4	2.4	2.1	2.4	2.2	0.005	0.001	0.013	0.009	0.023	0.040	0.029	0.295

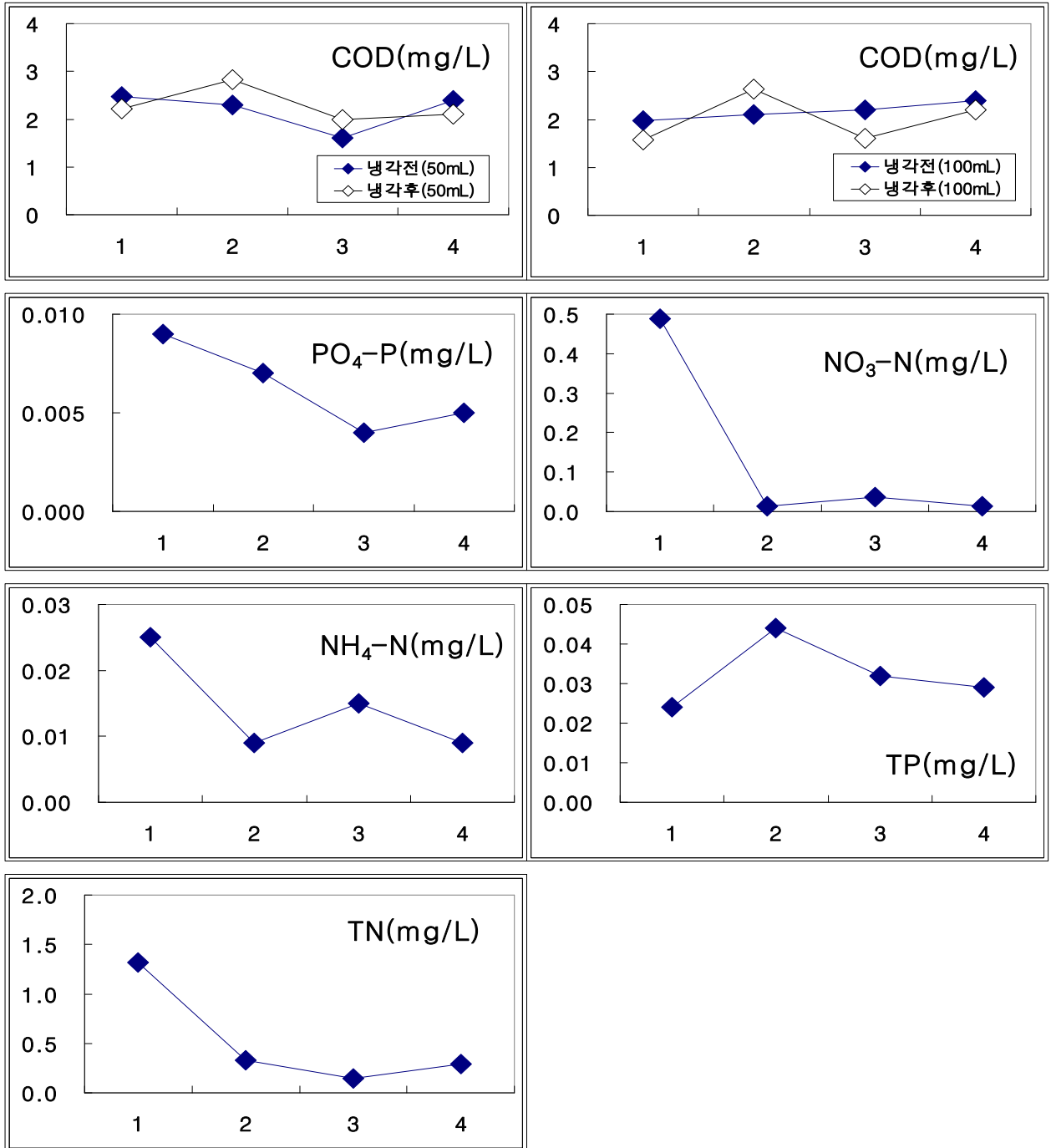


그림 3-1-1. 제4차 정도관리 시험 결과

### 3.2. 제5차 정도관리 시험 결과

표 3-1-2. 제4차 정도관리 시료 분석 결과(한국해양연구원, 한국수자원공사, 서해수산연구소, 농어촌연구원, 2009. 4월)

기관	COD	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	DIN	SiO <sub>2</sub> -Si	TP	TN
	(mg/L)								
1	3.7	0.032	0.026	0.033	0.028	0.087	-	-	0.316
2	2.1	0.000	0.000	0.010	0.017	0.027	0.346	0.068	0.289
3	2.0	0.000	0.000	0.027	0.038	0.064	-	0.041	0.220
4	2.7	0.023	0.000	0.000	0.009	0.009	3.531	0.042	0.339

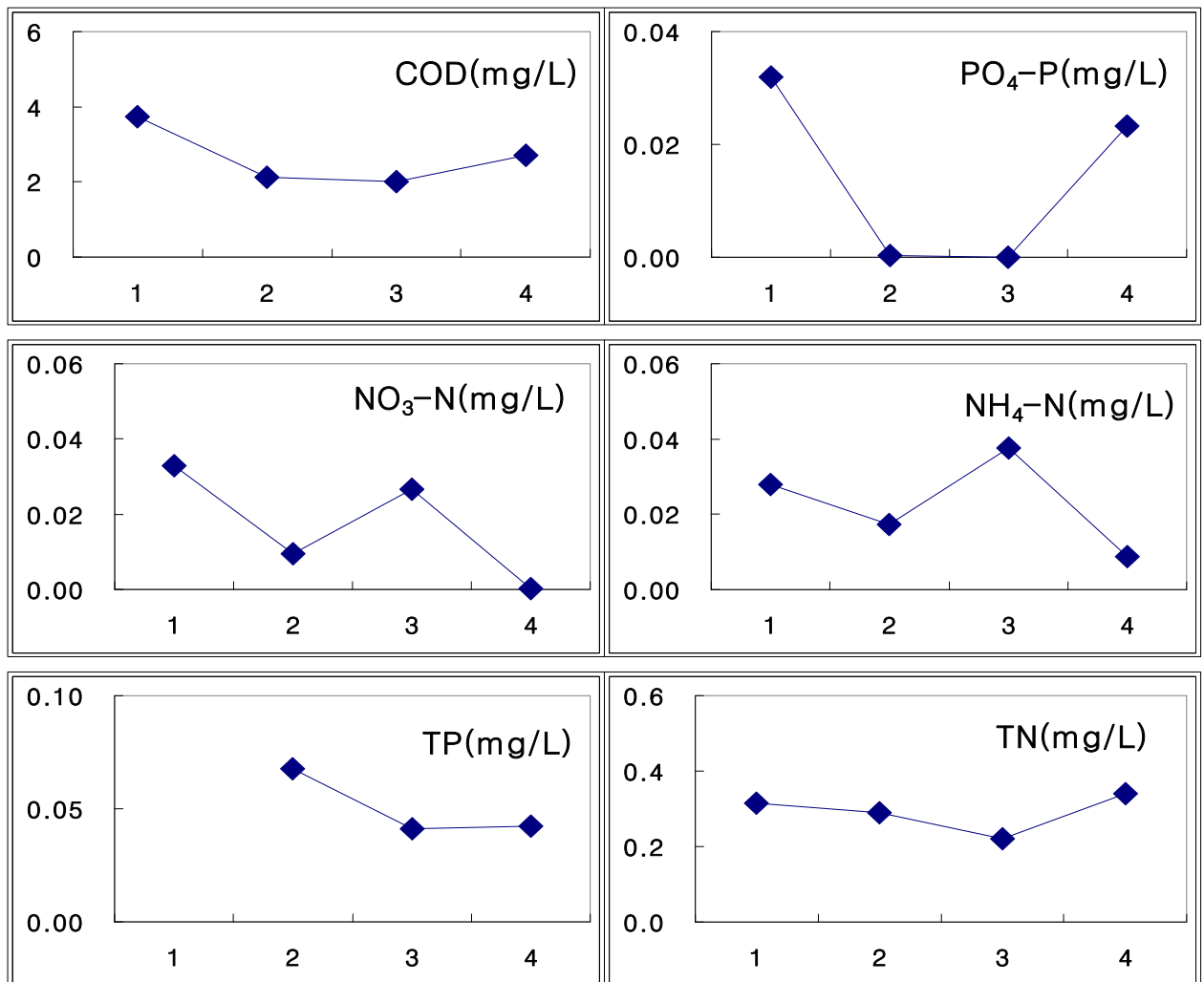


그림 3-1-2. 제5차 정도관리 시험 결과



## 4. 결론

### (1) 시화호유역 모니터링 시행기관간 협의사항

- 모니터링 기관간 정도관리는 지속 시행하고, 자료의 신뢰성 확보 및 활용을 위해 '통합 환경모니터링 지침'을 마련하여 활용키로 합의
- 수질예측 모델링에 필요한 항목을 조사하는 것으로 하고 빠진 부분은 기관별로 추가방안을 마련

### (2) 시화호 유역 통합환경모니터링 소위원회 운영세칙(안)

- 전문위원회와 소위원회의 관계, 위원장 선출방식, 회의 소집 등에 관한 사항 등 운영 세칙에 대한 실질적인 내용을 명확히 하기로 함

### (3) 수질분석기관간의 정도관리

- 분석결과가 다른 원인을 규명하기 위하여 분석방법 및 분석장비를 검토하고, 상호방문에 의한 문제점을 해소하는 방향으로 결정

### (4) 부유생태 모니터링 방법 조정

- 기관별 식물 및 동물플랑크톤 모니터링 방법을 취합하여 전문가 4인(충남대, 전북대, 한국해양연구원)의 자문을 받아 조정
- 모니터링 조정(안)은 전문위원회의 검토를 받아 실무협의회를 통하여 확정할 계획임

## 제 2 절 수질 및 퇴적물 모니터링

### 1. 연구개요

시화호는 경기도 안산시, 시흥시 및 화성군에 걸쳐 위치하고 있으며 1994년 물막이 공사로 완공되었다. 방조제 축조 이후 폐쇄된 시화호 환경은 수질 및 저질 환경의 악화, 식물플랑크톤의 대량번식과 종조성 변화, 저서동물의 감소와 오염지시종의 대량번식이 일어났다(박 등, 1997; 한 등, 1997; 류 등, 1997; 현 등, 1999). 방조제 건설 전에 비해 퇴적물 내 중금속 함량이 약 2~5배의 증가를 보였다 (최 등, 1999; 김 등, 2003). 수질이 악화됨에 따라 수질개선을 위하여 97년 3월에 시험방류를 시작으로 방류를 했으며, 98년 3월 이후에는 조석주기에 따라 1일 약 2,000만 톤의 외해수가 유입되고, 호 내의 물이 방류됨으로써 수질에는 커다란 변화를 가져왔다 (한국해양연구소, 1999; 2000; 2001). 그러나 배수갑문 조작만으로는 유통되는 유량이 한정되고, 배수갑문이 호의 끝에 설치되어 있기 때문에 전체의 원활한 순환이 이루어지지 않고 있다.

2003~2008년간의 시화호 방조제 내측 일반 수질의 연변화를 살펴보면, pH의 경우 2003년 8.53에서 2008년 8.27로 약간 감소하는 경향을 보였으며, COD (mg/L)는 2003년 8.7에서 2009년 5.0으로 감소하는 것으로 나타났다. 클로로필-*a* ( $\mu\text{g/L}$ ), 입자성 유기탄소함량 (POC; mg/L) 및 총 유기탄소함량 (TOC; mg/L) 역시 감소하는 추세를 보였다. 영양염의 농도를 비교해 보면, 2005년까지는 비교적 높게 나타났으며, 2006년에 매우 낮은 값을 보였다. 2007년에 다시 높은 농도를 보였으며 2008년에는 강우가 적어 하천으로부터 유입된 영양염의 양이 작았기 때문에 2006년에 비해 낮은 농도를 보였다. 2008년의 염분과 영양염의 상관성을 통해 시화호로 들어오는 영양염은 하천을 통하여 규칙적으로 유입되지 않고, 강우 시 일시적으로 유입되는 것을 나타내었다. 최근 6년간의 시화호 내 퇴적물 중금속의 자료는 공단 인근 정점에서 다른 정점에 비해 높은 농도를 보였고, Cd를 제외하며 대부분의 시기에 고단의 영향을 많이 받는 호수의 내측 정점에서 외해수의 영향을 받는 방조제와 배수갑문 방향으로 갈수록 감소하는 경향이였다. 시화호 표층수 중 용존성 중금속의 연도별 변화 역시, 2001년에서 2004까지 Co, Ni, Cu, Pb 등이 증가하는 경향을 보였고 이후 감소하였다. 수직적 변화는 DO와 관련된 산화/환원 환경과 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났으며, 표층보다 저층에서 낮은 농도를 보였다. 표층 퇴적물 역시 반월공단과 시화공단 주변에서 높은 함량을 보여, 시화호 주변 환경 기초시설의 미비로 주요하천과 공단 토구를 통하여 지속적인 유입이 있음을 알 수 있었다.

지금까지의 결과를 보면, 시화호내의 수질은 동식물 플랑크톤의 증감이나 강우 시 육상으로부터의 비점오염물질 유입, 시화호 배수갑문을 통한 외해수의 유입 등에 따라 변동이 심하므로, 시화호 내의 수질변화 요인을 정확히 파악하고 영양염 물질순환을 이해하기 위해서는 모니터링 빈도를 증가시켜야 한다. 또한 시화호는 폐쇄해역으로서 계절적으로 온도나 염분에 의한 뚜렷한 성층 현상이 나타나고 있으며, 시화호 저층에는 무산소 또는 저산소 현상이 나타나고 있으므로 수질개선을 위한 보다 심층적인 연구와 모니터링이 필요하다.

시화호 수질모델 및 환경용량 모델을 수립하고 정확도를 개선하기 위해서는 시화호 내부의 물질순환을 파악해야하며, 수질 변화의 역학을 정확히 이해해야한다. 따라서 시화호 유역의 지속적인 조사를 통한 자료의 축적은 시화호 수질모델과 환경용량 모델의 입력 자료를 제공

함과 동시에 예측결과에 대한 검증이 가능하게 할 것이다. 이러한 모니터링 자료는 시·공간적인 변화가 있으므로, 2006년~2008년에 실시한 동일 정점과 같은 시기에 시화호 내 수질, 퇴적물 특성 변화를 모니터링 하였으며 시화호 내로 유입되는 하천에 대한 조사를 실시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사 및 분석방법

#### 2.1.1. 시료채취 및 보존방법

##### (1) 해수

수질은 2009년 4회(4, 6, 8, 10월)에 걸쳐 11개 정점의 표층조사와 3개 정점(정점 5, 19, 12)에서 수층별 조사를 실시하였다(그림3-2-1). 정점 9에서 자동채수기를 이용하여 6, 7, 8, 9월에 각각 3시간 간격으로 3일간 표층수와 저층수를 채취하였다. 측정항목은 수온, 염분, pH, 용존산소량(DO), 화학적 산소요구량(COD), 영양염, 부유물질, 클로로필-*a*, 입자성유기탄소 및 용존유기탄소였다. 3개 정점의 수층별 조사에서의 층(수심)별 채수는 먼저 DO meter로 용존산소포화도를 측정하여 용존산소의 변화가 크게 나타나는 수심에서 실시하였으며 표층에서 2m 간격으로 채수를 실시하였다. 표층수는 60cm 수심에서 저층수는 조사 시기에 따라 수심이 약간씩 변하여 채수수심이 다르나 수심을 측정 후 저층 퇴적물의 50cm 위에서 채수하였다.

COD 시료를 폴리에틸렌 병에 담아 즉시 냉동보관 하였고, 그 외 시료는 선상에서 유리섬유(Whatman 47mm GF/F, 0.7 $\mu$ m pore size)를 통하여 여과한 후, 여액을 채취하여 영양염 및 유기탄소 분석을 위해 냉동보관 하였다. 클로로필-*a*는 영양염 시료를 얻기 위하여 여과한 막 여과지를 분해를 최소화하기 위하여 MgCl<sub>2</sub>를 몇방울 떨어트린 후 알루미늄 호일에 싸서 냉동하였다.

표층수와 수층별 중금속 조사는 2009년 4월 28일과 8월 14일에 그림 3-2-1에 제시한 정점에서 실시하였다. 표층수는 PVC 막대에 산으로 세척한 시료병을 매달아서 채취하였고, 산 가용성 수은 분석 시료는 산으로 세척한 300mL BOD 병을 Tygon tubing을 사용하여 PVC 막대에 매달아 채수하였다(Boyle *et al.*, 1981). 저층수는 Peristaltic pump와 산 세척된 실리콘 튜브를 이용하여 각 시료병에 채취하였다. 채취된 시료는 실험실로 옮겨서 미리 산으로 세척한 pore size 0.4 $\mu$ m(직경 47mm)인 폴리카보네이트 막여과지로 여과하여 용액과 부유물질을 분리하였다. 여과액에는 고순도 HCl을 가하여 pH 2 이하로 처리하였으며, 여과지는 건조하여 부유물질 양을 측정 후 Petridish에 보관하였다. 수은 시료의 경우 여과를 하지 않고 시료에 정제된 BrCl 0.5~1.5mL를 가하여 분석 때까지 보관하였다.

##### (2) 퇴적물

표층퇴적물은 2009년 6월 25일에 방조내 내측에서 van Veen Grab을 이용하여 채취하여 그랩의 뚜껑과 접촉하지 않은 퇴적물의 상층부(1cm이내)를 Zipper bag에 담아 냉동시킨 후 실험실로 운반하였다(그림 3-2-1). 퇴적물 시료는 동결건조(Labconco, Freezone<sup>®</sup>) 시킨 후 균일하게 섞었으며, 200mesh 체를 통과하도록 agate mortar가 장착된 분쇄기(Fritsch Corp., Pulverisette 6)로 분쇄하여 분석 때까지 보관하였다.

### (3) 용출실험

저층 용출량 산정을 위한 실험을 위해 정점 9에서 7월과 9월 2회에 걸쳐 다이버가 직접 지름 14cm, 높이 40cm의 아크릴 코아를 이용하여 퇴적물 코아 시료를 채취한 후 상층부가 교란되지 않게 주의하여 즉시 실험실로 이동하였다. 실험 시 퇴적물 코아의 높이를 일정하게 조절한 후 동일 정점 저층수에서 채수하여 여과된 직상수를 연동펌프를 이용하여 서서히 주입하였다.

### (4) 침강물질 포집

입자성 침강물질은 정점 9에서 4회(6, 7, 8, 9월)에 걸쳐 각각 3일간 침강물질 트랩을 계류하여 채취하였다. 트랩은 해저에서 1m 상단에 위치하도록 설치하였으며, 채취된 시료는 즉시 냉동하여 동결건조 후 균일하게 섞어 200mesh체로 걸러 분석 때까지 보관하였다.

### (5) 유입하천 조사

시화호 유입되는 9개의 하천에 대해 2009년 4월 14일과 8월 19일 2회에 걸쳐 하천수 및 퇴적물을 채취하였다. 중금속 분석용 하천수 시료는 PVC 막대에 Tygon tubing을 이용하여 고정된 뒤 채취하였으며 해수와 같은 방법으로 여과한 뒤 분석 때까지 보관하였다. 퇴적물 시료는 오염되지 않게 하천퇴적물을 채집하여 시화호 표층퇴적물과 동일한 방법으로 채취하였다.

지속성 유기오염물질(PAHs, PCBs, APs) 분석을 위한 표층 퇴적물은 중금속과 동일한 지점에서 스텐레스 손가락을 사용하여 표층에서 약 2cm 이내의 것을 채취하여 미리 세척된 250mL 유리병에 담아 현장에서 즉시 영하 20℃로 냉동 보관하였다. 시화호로 유입되는 하천 퇴적물 중 중금속 및 지속성 유기오염물질은 동결건조 후, 분쇄하여 분석 때까지 보관하였다.

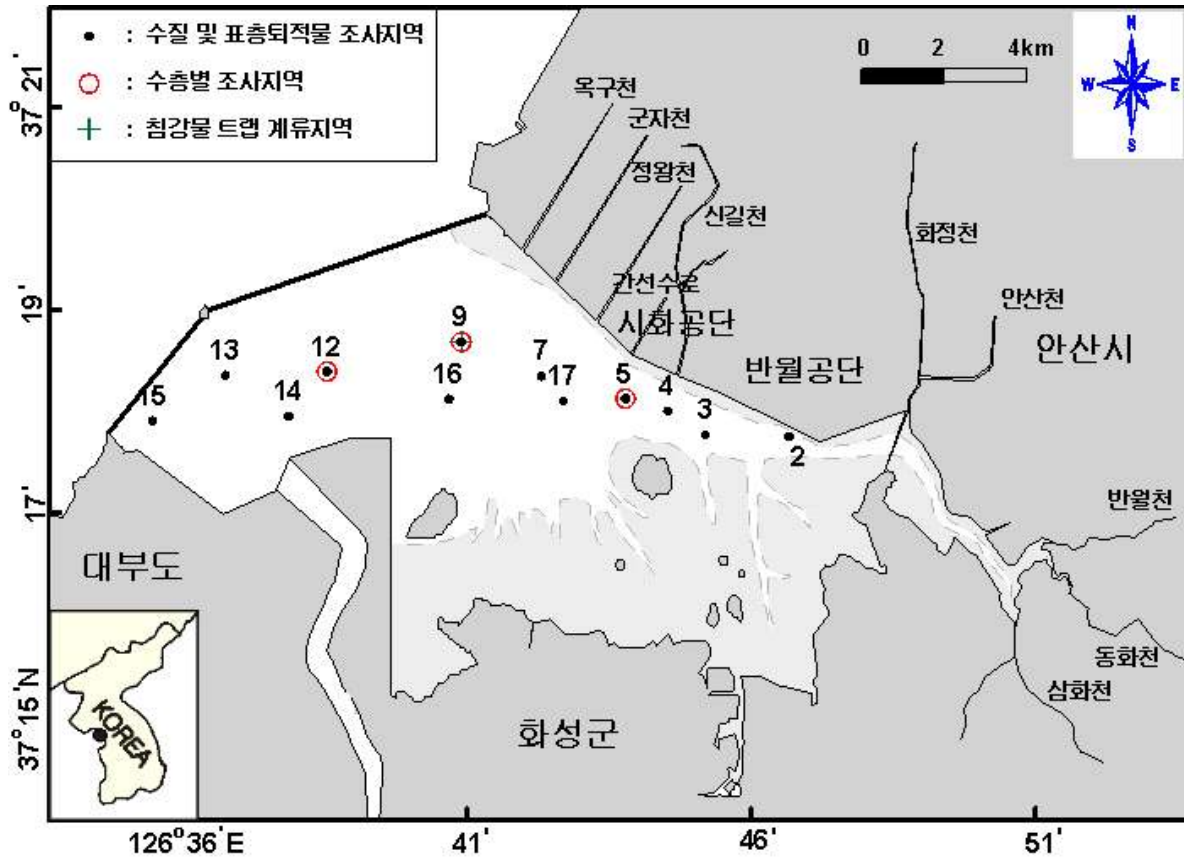


그림 3-2-1. 시화호 수질 및 표층퇴적물 조사지점

## 2.1.2. 분석방법

### (1) 해수

수온, 염분, pH, DO는 YSI CTD System-6600으로 선상에서 현장 측정하였다. 영양염(질산염, 인산염, 규산염, 암모니아)은 SFA(Segmented Flow Analysis, O.I. analytical)로 측정하였으며, 총질소(TN) 및 총인(TP)는 시료를 과황산칼륨 용액으로 산화시킨 다음, FIA(Lachat Quickchem AE flow injection system)로 분석하였다(Valerama, 1981). COD는 해양환경공정 시험방법에 따라 분석하였으며(해양수산부, 1998), 클로로필-*a*는 90% 아세톤으로 추출한 뒤 UV-VIS Spectrometer (Milton Roy Spectronic-3000)으로 측정하였다.

입자성유기탄소 및 질소는 500℃에서 5시간 회화시켜 무게를 측정한 GF/F filter paper(Whatman)로 시료를 여과한 후 이 여과지를 1N 염산(HCl, Merck ultra pure)으로 처리하여 Tin Capsule에 넣은 뒤 CHN Analyzer (Flash 2000 series, Thermo Scientific)로 측정하였다. 용존유기탄소(Dissolved organic carbon; DOC) 분석의 위의 GF/F 막 여과지로 여과한 시료를 Sugimura와 Suzuki (1988)의 방법에 따라 HTO(High-temperature catalytic oxidation)/NDIR(non-dispersive infrared gas analysis)의 방법으로 TOC-VCPH (Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 분석하였다.

해수의 용존 중금속(Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn)은 Clean bench(class 100)내에서 시료

를 DDTC-APDC-Freon(HCHC 141b) 용매추출법으로 추출한 후(Statham, 1985), ICP-MS (Thermo Elemental, X-7)를 이용하여 측정하였다. 사용된 모든 시약은 시약에 의한 중금속 오염을 배제하기 위하여 이 등(1989)에 따라 정제 후 사용하였다. 분석자료의 정확도를 검증하기 위하여 연안 해수 표준물질인 NRCC(National Research Council Canada)의 CASS-4도 함께 분석하였다.

해수의 입자성 중금속은 부유물질이 여과된 여과지를 60mL 테프론 용기(Savillex #561R2)에 넣고 Ultrapure HNO<sub>3</sub>와 HF를 각각 2.0, 0.25mL씩 가하여 170°C에서 분해 후 증발건고시켰다. 여기에 1% 질산 4mL를 넣고 뚜껑을 닫고 낮은 온도에서 약 2시간 재환류시킨 후 상온으로 냉각시켰으며(Windom *et al.*, 1991), 위의 모든 과정은 Class-100 청결벤취 또는 크린룸에서 하였다. 각 원소는 시료 원액 또는 적당히 희석한 용액을 ICP-MS로 측정하였다. 분석자료의 정확도를 검증은 NRC의 Marine sediment 표준물질인 MESS-2 약 10mg을 취하여 시료 분석법과 같이 수행하였다.

수은은 실험실에서 제작된 자동 수은증기 발생장치와 금포집 장치에 농축한 후 원자형광분광기(Tekran 2500)를 이용한 CVAFS법으로 측정하였다. 분석 과정은 보존된 시료에 30% NH<sub>2</sub>OH · HCl 0.2mL를 넣어 정치한 다음 시료 150mL를 취하고, 20% 염화 제1주석 0.5mL를 가하였다. 이후 알곤을 1 L/min의 속도로 5분 동안 흘려주어 발생된 수은 증기를 석영관내에 충전된 금 코일에 포집하였다. 다음에 금 트랩내의 세라믹 히터에 600°C이상의 고열을 가하여 금으로부터 분리된 수은 증기를 원자형광 검출기로 측정하였으며(김 등, 1998), 측정된 농도는 산 가용성 형태이다.

## (2) 퇴적물

강열감량은 건조된 시료 약 1g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550°C로 2시간 가열하여 감소된 중량을 유기물 농도로 하였다(해양수산부, 1998). 유기탄소 및 질소는 시료를 10% 염산으로 처리한 후에 건조한 시료를 CHN Analyzer로 측정하였다. 총인은 건조된 시료를 1M HCl로 16시간 동안 추출하여 FIA (Lachat Quickchem AE flow injection system)로 측정하였다(Ruttenberg, 1992).

중금속은 분쇄된 시료 0.05g을 60mL PFA 테프론 용기(Savillex #561R2)에 넣고 고순도(Merck, suprapur급)의 HF 2mL, HNO<sub>3</sub> 1mL를 각각 가하여 2시간 이상 실온에 둔 다음 HClO<sub>4</sub> 0.5mL를 가한 후 테프론 뚜껑을 덮고 가열판에서 170°C로 가열하였다. 용기내의 시료가 거의 분해되면 뚜껑을 열고 용액을 완전히 증발건고시켰다. 이때 시료는 흰색 또는 옅은 노란색을 나타내게 되며, 그렇지 않은 시료에 대해서는 위 과정을 다시 반복하여 시료를 완전히 용해시켰다(Windom *et al.*, 1989). 여기에 1% HNO<sub>3</sub>를 가해 비커내의 잔사를 녹여 10mL로 맞추었다. 이 용액을 1% HNO<sub>3</sub>으로 적당히 희석하여 ICP-MS를 이용하여 측정하였다.

수은은 분쇄 시료 20mg을 60mL 테플론 용기에 넣고 정제된 염산과 질산을 각각 2mL씩 가하여 뚜껑을 꼭 닫고 가열판 위에서 170°C로 2시간 가열하였다. 냉각 후 용액을 취하여 해수중의 수은 측정과 같은 방법으로 하였다. 한편, 퇴적물의 중금속분석 정확도를 검증하기 위하여 NRC의 Marine sediment 표준물질인 MESS-2도 함께 처리하여 측정하였다. 본 연구의 퇴적물과 입자성 침강물질의 측정값은 건중량으로 표시하였다.

### (3) 용출실험

실험 시 퇴적물 코아의 높이를 일정하게 조절한 후 직상수를 연동펌프를 이용하여 서서히 주입하였다. 이때 직상수로 사용할 해수는 각 정점의 저층수를 현장에서 여과하여 사용하였다. 용출량 산정은 Miller-Way and Twilley(1996)의 방법에 따라 직상수를 순환시키며 진행하였다(식1).

$$\text{Flux} = \frac{Q(C_o - C_i)}{A} \quad \text{--- (1)}$$

$Q$  : 코아 내로 공급되는 유량

$A$  : 코아 면적

$C_o$  : 유출수 중의 농도 (out flow)

$C_i$  : 유입수 중의 농도 (in flow)

### (4) 입자성 침강물질

입자성 침강물질의 유기탄소, 질소, 강열감량, 중금속 등의 분석은 퇴적물 시료와 같은 방법으로 수행하였으며, 중금속의 분석 정확도도 퇴적물과 동일한 표준물질로 검증하였다. 본 연구에서 입자성 침강물질의 측정값은 건중량으로 표시하였다.

### (5) 유입하천 조사

하천수 및 하천내 퇴적물 내 중금속 농도는 앞서 언급한 해수 및 퇴적물 중금속과 같은 방법으로 전처리한 뒤 농도에 따라 적절히 희석하여 ICP-MS로 분석하였다.

지속성 유기오염물질은 16종 PAHs, 22종 PCBs, 9종 APs에 대하여 분석을 실시하였다. PCB 화합물은 IUPAC No. 8, 18, 28, 29, 44, 52, 66, 87, 101, 105, 110, 118, 128, 138, 153, 170, 180, 187, 195, 200, 206, 209를 포함하며  $\Sigma$ PCB는 이들 물질의 총합으로 표시하였다. 균질화된 퇴적물 시료(3g)을 각 분석화합물에 적합한 내부표준물질(Surrogate standard)를 각 시료에 첨가한 뒤 200mL 디클로로메탄으로 16시간 동안 Soxlet 추출하였다. 추출액은 활성화된 구리를 이용하여 황화합물을 제거한 후 실리카/알루미나 칼럼 크로마토그래피를 한다. 실리카/알루미나 칼럼에는 10g 알루미나(1% 수분함량)와 20g 실리카겔(5%수분함량)을 충전하며, 100mL 디클로로메탄으로 시료추출액을 용출시킨다. 용출액은 회전 농축기로 농축한 후 고순도 액체크로마토그래피 (HPLC; Phenomenex사의 Phenogel 100Å이 충전된 250 x 22.5 mm id size-exclusion column)에 통과시켜 분취 및 추가 정제 단계를 밟는다. 분취액은 헥산으로 용매치환한 후 고순도 질소가스에 0.5mL 농축한 후 내부표준물질(GC internal standard)을 첨가한 후 각 화합물에 대해 GC/MS-SIM을 이용하여 PAHs 및 PCBs를 분석하였다.

페놀류의 추출은 acid digested sediment suspension extraction 방법 (LLE, Li *et al*, 2001)의 방법을 이용하였다. 균질화된 퇴적물 5g의 FEP Teflon tube에 정확하게 취한 후 0.1N HCl을 퇴적물에 첨가하여 퇴적물이 염산이 잠기게 한다. Vortex를 이용하여 균일하게 섞이게 한 다음 15분간 방치한다. 적당량의 내부표준물질(Bisphenol A-d14)을 주입한 후 디클로로메탄 5mL을 첨가하고 Vortex를 이용하여 2분간 진탕 추출한다. 원심분리기 (RPM=3000)를 이용하여 디클로로메탄과 염산층을 분리한다. 이 과정을 3번 반복하여 분리된 디클로로메탄을 15mL 원심분리 tube에 옮기고 질소가스로 1mL까지 농축한다. 농축액에 약간의 무수황산 나트륨을 첨가하여 수분을 제거한 후 깨끗한 활성화된 구리 조각을 넣어 황을 제거한다. 2mL의 아세톤을 농축액에 첨가한다. 아세톤 용액을 0.5mL까지 질소가스로 농축한 후 kit를 이용하여 유도

체과정과 정제과정을 동시에 진행하고 내부표준물질 100ng/mL 되게 주입하고 추출액의 최종 부피를 1mL로 만든 후 GC/MS를 이용하여 페놀류의 농도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 방조제 내측 해수

##### 3.1.1. 표층조사

##### (1) 일반수질 및 유기물

일반 수질 및 유기물의 조사 결과는 표 3-2-1, 각 조사시기별 평균 농도 및 농도범위는 표 3-2-2에 나타내었다.

표 3-2-1. 시화호 방조제 내측 해수중의 일반수질 및 유기물 분포(2009. 4. 28)

정점	Depth	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	Tr	SS	COD	Chl-a	POC	PON	POC/	DOC	TOC
	(m)		(mg/L)	(%)	(°C)		(m)	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)	PON	(mg/L)			
3	0.6	8.70	12.26	146	15.23	29.27	0.8	5.9	4.8	15.1	1.57	0.27	5.9	2.37	3.94
4	0.6	8.60	12.01	143	15.09	29.79	1.0	5.7	4.9	13.3	1.47	0.25	5.8	2.33	3.80
5	0.6	8.48	12.25	145	14.68	29.92	1.2	6.7	5.3	18.8	1.68	0.31	5.5	2.31	3.99
	2.0	8.45	10.67	123	13.08	30.52	-	4.8	3.5	11.8	1.27	0.21	6.0	2.11	3.38
	4.0	8.53	10.38	119	12.95	30.63	-	4.1	3.7	9.3	1.20	0.18	6.7	1.90	3.10
	6.0	8.56	9.06	103	12.63	30.63	-	3.8	2.8	10.0	1.22	0.20	6.2	1.84	3.06
7	0.6	8.65	10.41	122	13.99	30.59	1.5	3.9	3.0	6.1	1.02	0.14	7.5	1.95	2.97
9	0.6	8.37	10.13	118	13.62	30.76	1.9	2.9	2.7	5.1	1.08	0.16	6.9	1.83	2.90
	2.0	8.44	10.24	117	12.68	30.76	-	2.9	2.8	5.7	1.03	0.14	7.1	1.80	2.82
	4.0	8.51	9.90	113	12.58	30.76	-	3.2	3.0	5.2	0.97	0.13	7.2	1.87	2.84
	6.9	8.39	6.69	75.0	11.80	30.81	-	5.8	2.6	13.2	1.23	0.23	5.3	1.90	3.12
12	0.6	8.39	10.54	122	13.33	31.12	1.9	3.8	2.9	7.7	0.96	0.15	6.4	1.79	2.75
	2.0	8.42	10.47	120	12.85	31.07	-	4.0	3.1	7.7	1.11	0.18	6.3	1.74	2.85
	4.0	8.44	10.15	116	12.54	31.09	-	3.5	2.5	7.3	1.15	0.20	5.9	1.76	2.91
	6.0	8.39	8.73	97.7	11.54	31.18	-	2.6	1.9	6.1	0.96	0.15	6.6	1.66	2.61
	8.0	8.46	9.57	108	11.73	31.26	-	4.0	1.9	5.5	0.99	0.13	7.5	1.63	2.62
	10.0	8.59	9.57	107	11.54	31.37	-	3.9	2.4	2.6	0.77	0.06	12.8	1.51	2.28
	14.0	8.63	9.42	105	11.37	31.49	-	9.4	1.7	1.6	1.04	0.06	16.1	1.46	2.49
13	0.6	8.94	10.38	120	12.96	31.13	2.0	2.9	2.4	4.3	0.88	0.12	7.4	1.71	2.59
14	0.6	8.91	9.83	114	13.16	31.23	2.0	3.9	1.8	4.1	0.87	0.11	8.0	1.76	2.62
15	0.6	9.08	9.60	108	12.19	30.36	2.3	1.7	1.8	3.0	0.74	0.06	11.6	1.75	2.49
16	0.6	8.75	10.26	120	13.63	30.83	1.5	3.8	2.8	6.1	1.12	0.17	6.7	1.93	3.05
17	0.6	8.56	10.22	120	14.23	30.65	1.6	4.0	2.8	5.7	1.29	0.16	8.2	1.98	3.27
	<b>최소*</b>	<b>8.37</b>	<b>9.60</b>	<b>108</b>	<b>12.19</b>	<b>29.27</b>	<b>0.8</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>3.0</b>	<b>0.74</b>	<b>0.06</b>	<b>5.5</b>	<b>1.71</b>	<b>2.49</b>
	<b>최대*</b>	<b>9.08</b>	<b>12.26</b>	<b>146</b>	<b>15.23</b>	<b>31.23</b>	<b>2.3</b>	<b>6.7</b>	<b>5.3</b>	<b>18.8</b>	<b>1.68</b>	<b>0.31</b>	<b>11.6</b>	<b>2.37</b>	<b>3.99</b>
	<b>평균*</b>	<b>8.68</b>	<b>10.72</b>	<b>125</b>	<b>13.83</b>	<b>30.51</b>	<b>1.6</b>	<b>4.1</b>	<b>3.2</b>	<b>8.1</b>	<b>1.15</b>	<b>0.17</b>	<b>7.3</b>	<b>1.97</b>	<b>3.13</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.



표 3-2-1. 계속(2009. 6. 15)

정점	Depth	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	Tr	SS	COD	Chl-a	POC	PON	POC/	DOC	TOC
	(m)		(mg/L)	(%)	(°C)		(m)	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)	PON	(mg/L)			
3	0.6	8.57	9.17	123	23.12	23.29	1.3	6.1	8.2	15.0	1.67	0.29	5.7	6.58	8.25
4	0.6	8.31	8.35	115	23.52	27.26	1.4	3.7	5.6	10.9	0.98	0.14	7.2	3.19	4.17
5	0.6	8.36	9.13	128	23.86	28.62	2.0	3.8	5.0	7.0	1.31	0.21	6.3	4.61	5.92
	2.0	8.01	5.28	71.4	21.95	29.71	-	4.4	3.7	12.1	1.35	0.21	6.5	4.83	6.18
	4.0	7.65	2.14	28.0	19.31	31.10	-	5.2	1.9	4.3	0.92	0.12	7.8	5.00	5.92
	6.0	7.59	2.08	26.7	18.39	31.38	-	7.9	2.6	3.1	0.82	0.07	11.6	2.67	3.49
7	0.6	8.41	9.70	134	23.72	27.76	1.2	4.1	5.8	6.9	1.22	0.17	7.4	3.32	4.55
9	0.6	8.30	8.86	122	22.75	30.08	1.6	2.5	4.0	4.3	1.12	0.12	9.3	2.96	4.08
	2.0	8.30	8.43	116	22.69	30.08	-	2.6	4.2	4.7	1.07	0.12	9.0	3.52	4.59
	4.0	7.86	4.78	62.4	19.30	31.30	-	3.3	1.9	4.7	0.86	0.10	8.9	2.38	3.24
	6.7	7.77	4.46	57.3	18.33	31.66	-	18.1	1.8	4.1	1.25	0.13	9.3	3.62	4.87
12	0.6	8.32	9.30	129	22.75	30.55	2.2	3.3	3.6	5.5	1.20	0.12	10.3	2.88	4.08
	2.0	8.32	9.04	125	22.60	30.57	-	2.6	3.8	5.9	1.30	0.15	8.6	3.82	5.12
	4.0	8.07	7.59	99.9	19.72	31.41	-	2.7	2.2	7.9	1.00	0.13	7.8	2.50	3.49
	6.0	7.96	6.85	88.8	18.83	31.66	-	4.0	1.6	4.1	0.73	0.07	10.7	4.72	5.45
	8.0	7.90	6.38	82.2	18.45	31.74	-	3.6	1.6	2.4	0.71	0.05	13.3	5.48	6.19
	10.0	7.73	4.09	52.1	17.81	31.73	-	5.0	1.4	2.5	0.65	0.04	16.9	3.50	4.16
	15.0	7.62	2.87	36.3	17.35	31.71	-	7.8	1.5	2.9	0.85	0.06	13.5	2.34	3.18
13	0.6	8.33	6.98	95.9	22.27	30.72	1.6	2.6	3.5	6.9	1.43	0.16	9.2	3.76	5.18
14	0.6	8.32	9.41	131	22.84	30.57	1.4	2.8	3.9	6.5	1.35	0.14	9.7	3.60	4.95
15	0.6	8.33	7.57	104	21.98	30.93	2.1	2.9	3.8	6.7	1.46	0.18	8.0	2.73	4.19
16	0.6	8.28	8.64	119	22.87	29.92	1.9	3.0	3.9	5.9	1.26	0.14	8.7	3.95	5.21
17	0.6	8.26	8.54	119	23.64	29.41	1.4	3.4	4.4	4.9	1.08	0.11	9.5	3.41	4.48
<b>최소*</b>		<b>8.26</b>	<b>6.98</b>	<b>95.9</b>	<b>21.98</b>	<b>23.29</b>	<b>1.2</b>	<b>2.5</b>	<b>3.5</b>	<b>4.3</b>	<b>0.98</b>	<b>0.11</b>	<b>5.7</b>	<b>2.73</b>	<b>4.08</b>
<b>최대*</b>		<b>8.57</b>	<b>9.70</b>	<b>134</b>	<b>23.86</b>	<b>30.93</b>	<b>2.2</b>	<b>6.1</b>	<b>8.2</b>	<b>15.0</b>	<b>1.67</b>	<b>0.29</b>	<b>10.3</b>	<b>6.58</b>	<b>8.25</b>
<b>평균*</b>		<b>8.34</b>	<b>8.70</b>	<b>120</b>	<b>23.03</b>	<b>29.01</b>	<b>1.6</b>	<b>3.5</b>	<b>4.7</b>	<b>7.3</b>	<b>1.28</b>	<b>0.16</b>	<b>8.3</b>	<b>3.72</b>	<b>5.01</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-1. 계속(2009. 8. 14)

정점	Depth	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	Tr	SS	COD	Chl-a	POC	PON	POC/	DOC	TOC
	(m)		(mg/L)	(%)	(°C)		(m)	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)	PON	(mg/L)			
3	0.6	7.86	5.31	68.1	27.35	3.08	0.4	27.8	6.1	4.8	1.72	0.16	10.8	5.09	6.81
4	0.6	7.50	4.51	61.1	26.64	14.40	0.7	13.1	5.0	8.6	1.31	0.18	7.2	3.55	4.86
5	0.6	7.75	4.86	66.6	28.92	10.29	0.5	12.2	5.6	5.7	0.94	0.11	8.7	3.31	4.26
	2.0	7.54	2.85	39.1	25.32	20.58	-	3.5	3.2	4.7	0.69	0.06	11.2	3.11	3.80
	4.0	7.30	0.94	13.1	23.82	28.52	-	4.3	1.6	2.0	0.43	0.02	24.7	2.07	2.49
	6.0	7.27	0.37	5.20	23.28	28.90	-	14.0	1.5	3.2	0.75	0.07	10.0	3.10	3.85
7	0.6	7.71	5.88	77.9	27.20	8.85	0.5	15.9	3.9	8.4	1.33	0.17	7.6	3.43	4.76
9	0.6	7.94	6.99	94.7	27.99	10.41	0.5	13.6	5.9	13.5	1.66	0.27	6.1	3.42	5.08
	2.0	7.79	3.30	45.5	25.53	21.44	-	2.7	3.2	5.1	0.65	0.06	10.2	3.40	4.05
	4.0	7.42	1.06	14.8	24.51	26.16	-	2.5	2.0	2.4	0.46	0.03	17.1	2.90	3.36
	7.0	7.33	0.75	10.6	23.26	29.65	-	16.3	1.8	2.7	0.70	0.07	10.4	2.47	3.18
12	0.6	8.45	11.12	154	27.55	15.71	0.8	8.5	7.2	41.8	2.48	0.43	5.8	3.40	5.88
	2.0	8.22	7.85	107	26.21	17.66	-	5.4	4.2	26.3	1.53	0.28	5.4	2.89	4.42
	4.0	7.89	5.55	78.2	25.02	26.51	-	4.5	2.1	3.8	0.47	0.04	11.0	2.35	2.82
	6.0	7.73	4.24	60.1	24.47	29.12	-	3.8	1.6	2.0	0.34	0.01	41.3	1.76	2.10
	8.0	7.59	3.84	54.1	24.20	29.23	-	3.5	1.5	1.4	0.38	0.00	79.7	2.22	2.60
	10.0	7.43	0.50	7.00	23.00	29.82	-	3.5	1.6	1.0	0.40	0.02	19.1	2.20	2.60
	14.0	7.56	0.46	7.30	21.92	30.67	-	1.7	3.2	1.0	0.49	0.03	15.0	2.36	2.85
13	0.6	8.52	12.43	175	28.25	16.50	0.8	8.8	7.3	41.5	3.13	0.56	5.6	4.44	7.57
14	0.6	8.31	10.27	141	27.43	17.49	0.8	6.6	5.9	36.9	2.37	0.43	5.6	3.67	6.04
15	0.6	8.34	10.93	151	27.30	17.59	1.0	6.9	6.4	29.3	2.54	0.45	5.6	3.53	6.07
16	0.6	8.10	9.37	131	28.48	15.15	1.0	7.4	5.7	21.1	1.97	0.34	5.9	3.54	5.51
17	0.6	7.89	6.64	93.2	28.17	15.80	1.1	4.6	5.3	14.9	1.12	0.15	7.3	3.32	4.44
최소*		7.50	4.51	61.1	26.64	3.08	0.4	4.6	3.9	4.8	0.94	0.11	5.6	3.31	4.26
최대*		8.52	12.43	175	28.92	17.59	1.1	27.8	7.3	41.8	3.13	0.56	10.8	5.09	7.57
평균*		8.03	8.03	110	27.75	13.21	0.7	11.4	5.9	20.6	1.87	0.30	6.9	3.70	5.57

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-1. 계속(2009. 10. 29)

정점	Depth	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	Tr	SS	COD	Chl-a	POC	PON	POC/ PON	DOC	TOC
	(m)		(mg/L)	(%)	(°C)		(m)	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)	(mg/L)				
3	0.6	8.74	19.54	242	16.74	27.45	0.3	28.7	17.0	170	10.0	1.20	8.3	2.83	12.8
4	0.6	8.43	11.45	145	17.38	30.28	1.0	9.7	7.2	46.5	3.58	0.45	8.0	3.05	6.62
5	0.6	8.54	16.43	205	17.52	29.44	1.3	21.7	13.4	114	8.18	0.96	8.6	2.82	11.0
	2.0	8.26	8.68	107	17.38	30.59	-	5.4	4.2	15.4	1.85	0.20	9.2	3.70	5.55
	4.0	8.04	5.57	70.7	17.65	31.91	-	3.3	2.3	2.3	0.68	0.09	7.7	2.53	3.20
	5.8	7.99	5.39	68.5	17.66	31.92	-	4.2	2.0	1.7	0.61	0.07	9.0	1.92	2.52
7	0.6	8.48	14.18	175	17.25	29.44	1.0	15.1	9.3	58.0	5.75	0.68	8.4	2.93	8.68
9	0.6	8.38	11.36	141	16.83	29.86	2.4	2.1	3.8	3.1	0.73	0.09	8.5	3.51	4.25
	2.0	8.32	11.95	147	12.00	30.02	-	2.9	3.9	7.8	0.88	0.11	8.3	2.77	3.65
	4.0	8.16	11.52	142	16.59	30.13	-	1.3	3.1	2.5	0.59	0.07	7.9	2.28	2.87
	7.0	7.63	5.75	73.0	17.71	31.77	-	3.6	2.1	1.9	0.53	0.07	7.3	2.29	2.82
12	0.6	8.50	15.13	189	17.21	30.57	1.8	19.4	11.6	78.7	8.31	0.79	10.5	3.03	11.3
	2.0	8.47	13.55	168	16.68	30.61	-	6.9	6.6	32.2	3.25	0.47	6.8	2.38	5.62
	4.0	8.39	11.07	137	16.51	30.65	-	6.9	6.4	30.3	3.07	0.50	6.2	2.40	5.48
	6.0	8.36	10.44	129	16.63	30.76	-	2.0	2.9	3.3	0.61	0.10	6.2	2.19	2.80
	8.0	8.16	7.18	91.2	17.53	31.70	-	1.5	1.8	1.2	0.32	0.05	6.0	2.96	3.28
	10.0	8.09	6.46	82.5	17.76	32.09	-	2.1	2.0	1.0	0.44	0.04	10.0	1.90	2.34
	11.0	8.02	6.11	78.0	17.81	32.16	-	2.2	1.7	0.8	0.44	0.05	9.5	2.13	2.57
13	0.6	8.37	11.95	150	17.41	30.64	3.2	3.1	4.4	8.0	1.33	0.14	9.5	2.28	3.62
14	0.6	8.34	11.48	143	17.08	30.76	2.7	5.5	5.2	12.1	2.82	0.24	11.6	2.22	5.04
15	0.6	8.37	9.91	125	17.58	30.84	2.5	4.9	6.5	19.9	2.65	0.27	9.7	2.64	5.29
16	0.6	8.52	13.70	170	16.82	30.49	1.3	10.9	7.9	30.7	4.41	0.44	10.1	2.52	6.92
17	0.6	8.49	12.83	154	16.91	30.21	1.6	9.0	8.1	36.7	3.40	0.34	9.9	2.33	5.73
<b>최소*</b>		<b>8.34</b>	<b>9.91</b>	<b>125</b>	<b>16.74</b>	<b>27.45</b>	<b>0.3</b>	<b>2.1</b>	<b>3.8</b>	<b>3.1</b>	<b>0.73</b>	<b>0.09</b>	<b>8.0</b>	<b>2.22</b>	<b>3.62</b>
<b>최대*</b>		<b>8.74</b>	<b>19.54</b>	<b>242</b>	<b>17.58</b>	<b>30.84</b>	<b>3.2</b>	<b>28.7</b>	<b>17.0</b>	<b>170</b>	<b>10.0</b>	<b>1.20</b>	<b>11.6</b>	<b>3.51</b>	<b>12.8</b>
<b>평균*</b>		<b>8.47</b>	<b>13.45</b>	<b>167</b>	<b>17.16</b>	<b>30.00</b>	<b>1.7</b>	<b>11.8</b>	<b>8.6</b>	<b>52.5</b>	<b>4.65</b>	<b>0.51</b>	<b>9.4</b>	<b>2.74</b>	<b>7.40</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-2. 시화호 방조제 내측 표층수의 일반수질 농도범위 및 평균값

조사 시기	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	Tr	SS	COD	Chl-a	POC	PON	DOC	TOC
		(mg/L)	(%)	(°C)		(m)	(mg/L)		(µg/L)	(mg/L)			
4월	8.37-9.08 (8.68)	9.60-12.26 (10.72)	108-146 (125)	12.19-15.23 (13.83)	29.27-31.23 (30.51)	0.8-2.3 (1.6)	1.7-6.7 (4.1)	1.8-5.3 (3.2)	3.0-18.8 (8.1)	0.74-1.68 (1.15)	0.06-0.31 (0.17)	1.71-2.37 (1.97)	2.4-3.99 (3.13)
6월	8.26-8.57 (8.34)	6.98-9.70 (8.70)	95.9-134 (120)	21.98-23.86 (23.03)	23.29-30.93 (29.01)	1.2-2.2 (1.6)	2.5-6.1 (3.5)	3.5-8.2 (4.7)	4.3-15.0 (7.3)	0.98-1.67 (1.28)	0.11-0.29 (0.16)	2.73-6.58 (3.72)	4.08-8.25 (5.01)
8월	7.50-8.52 (8.03)	4.51-12.43 (8.03)	61.1-175 (110)	26.64-28.92 (27.75)	3.08-17.59 (13.21)	0.4-1.1 (0.7)	4.6-27.8 (11.4)	3.9-7.3 (5.9)	4.8-41.8 (20.6)	0.94-3.13 (1.87)	0.11-0.56 (0.30)	3.31-5.09 (3.70)	4.26-7.57 (5.57)
10월	8.34-8.74 (8.47)	9.91-19.54 (13.45)	125-242 (167)	16.74-17.58 (17.16)	27.45-30.84 (30.00)	0.3-3.2 (1.7)	2.1-28.7 (11.8)	3.8-17.0 (8.6)	3.1-17.0 (52.5)	0.73-10.0 (4.65)	0.09-1.20 (0.51)	2.22-3.51 (2.74)	3.62-12.8 (7.40)
<b>전체 평균</b>	<b>7.50-9.08 (8.38)</b>	<b>4.51-19.54 (10.22)</b>	<b>61.1-242 (131)</b>	<b>12.19-28.92 (20.44)</b>	<b>3.08-31.23 (25.68)</b>	<b>0.3-3.2 (1.4)</b>	<b>1.7-28.7 (7.7)</b>	<b>1.8-17.0 (5.6)</b>	<b>3.0-17.0 (22.1)</b>	<b>0.73-10.0 (2.24)</b>	<b>0.06-1.20 (0.28)</b>	<b>1.71-6.58 (3.04)</b>	<b>2.49-12.8 (5.27)</b>

① 염분

지금까지의 조사에서 시화호 표층수의 염분 분포는 반월공단 상류지역은 비교적 낮으며, 배수갑문 지역으로 가면서 점차적으로 높아지는 양상을 보였다. 이는 강우 등을 통한 하천수의 영향으로 방조제 내측 공단 인접 정점에서는 낮은 염분도를 배수갑문쪽으로 갈수록 외해수의 유입으로 인하여 염분도가 높았다. 2009년의 표층수의 염분 변화는 4월 29.27~31.23psu(평균 30.51psu), 6월 23.29~30.93psu(평균 29.01psu), 8월 3.08~17.59psu(평균 13.21psu), 10월 27.45~30.84psu(평균 30.00psu)로 나타났다(표 3-2-1). 표층 염분을 비교해 보면, 4월에는 반월공단 앞에서 29.27psu이었으며 호 중앙지역에서는 30.76~30.65psu의 균일한 분포를 나타냈다.

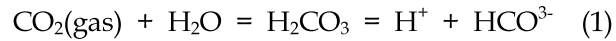
6월에서는 상류지역 23.29psu 중앙지역 29.41~30.08psu의 분포를 나타냈으며 이는 6월 조사 며칠전 강우의 영향을 나타냈다. 8월을 제외하고 예년에 비하여 염분 차이가 크지 않았다.

2008년의 경우 하계에 강우량이 크게 적었기 때문에 20.79~23.14psu(평균 22.15psu)를 보였으며 2009년은 8월조사(8월14일) 전에 이틀 동안 257mm의 강우량이 관측되었다. 따라서 염분도의 큰 변화는 하천수 및 토구를 통한 담수의 유입으로 인하여 공단 인근정점인 정점 3에서 3.08psu를 보였고 배수갑문쪽도 15.80psu의 다른 조사시기에 비하여 낮은 염분도를 보였다.

강우가 있을 경우 하천으로부터 담수가 유입되어 상류지역에 염분 등고선이 좁게 나타나고 있었으며 이러한 집중강우는 시화호 내측 표층수에 염분도를 전체적으로 감소시키고 있음을 알 수 있었다(그림 3-2-2). 염분도의 수직적 분포를 살펴보면, 예년과 같게 표층에서는 낮고 저층으로 갈수록 높은 경향을 나타내었다. 특히 8월 조사의 경우 상류지역(정점 5), 중앙지역(정점 9)에서의 2m 수심에서의 염분도는 각각 20.58psu, 21.44psu로 나타났으며 가장 수심이 깊은 지역에서는 17.66psu 였다. 시화호의 염분은 시화호로 유입되는 담수와 외해수에 따라 크게 변화하며, 식물플랑크톤의 증식 정도를 조절하고 있다. 매년 여름철에는 강우의 영향으로 불규칙한 분포를 나타내고 있으나 2009년의 경우 강우를 통한 하천 및 토구를 통한 담수의 유입은 시화호 내측 지역 전반에 걸쳐 표층수(-2m 수심까지)의 염분도를 낮출 정도의 많은 양이 유입이 있었으며, 배수갑문을 통하여 유입되는 외해수에 의하여 조절되는 것으로 조사되었다.

## ② pH

일반적으로, 연안에서의 pH는 하천수의 혼합정도 및 광합성의 정도에 따른 이산화탄소의 농도에 의하여 좌우되는데, 이산화탄소가 용해하면 다음과 같은 상태로 존재한다.



이와 같이 해수에서  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ 가 평행 상태를 이루고 있으며 pH가 8.1~8.3으로 약알칼리성을 나타낸다. 표층에서의 광합성이 급속히 일어날 경우 pH가 올라가며, 연안, 늪지대에서 이러한 현상이 종종 일어난다. 저층에서는 광합성에 의하여 생성된 유기물이 분해하면서  $\text{CO}_2$ 가 방출되어 pH가 어느 정도 떨어진다.

2009년 조사된 표층수의 pH는 4월 8.37~9.08(평균 8.68), 6월 8.26~8.57(평균 8.34), 8월 7.50~8.52(평균 8.03), 10월 8.34~8.74(평균 8.47)로 지역에 따라 불규칙적인 분포를 보였으며 8월을 제외하고 예년과 비슷한 분포를 보였다. 8월에 강우에 의한 하천을 통한 담수의 유입으로 인하여 상류지역 표층에서 7.50의 낮은 pH를 보였고 전체적으로 다른 조사시기에 의하여 낮은 pH를 보이고 있었다(그림 3-2-2). 최근 5년간의 시화호 방조제 내측 일반수질을 각 조사시기별로 비교한 결과, 조사시기 혹은 연도에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

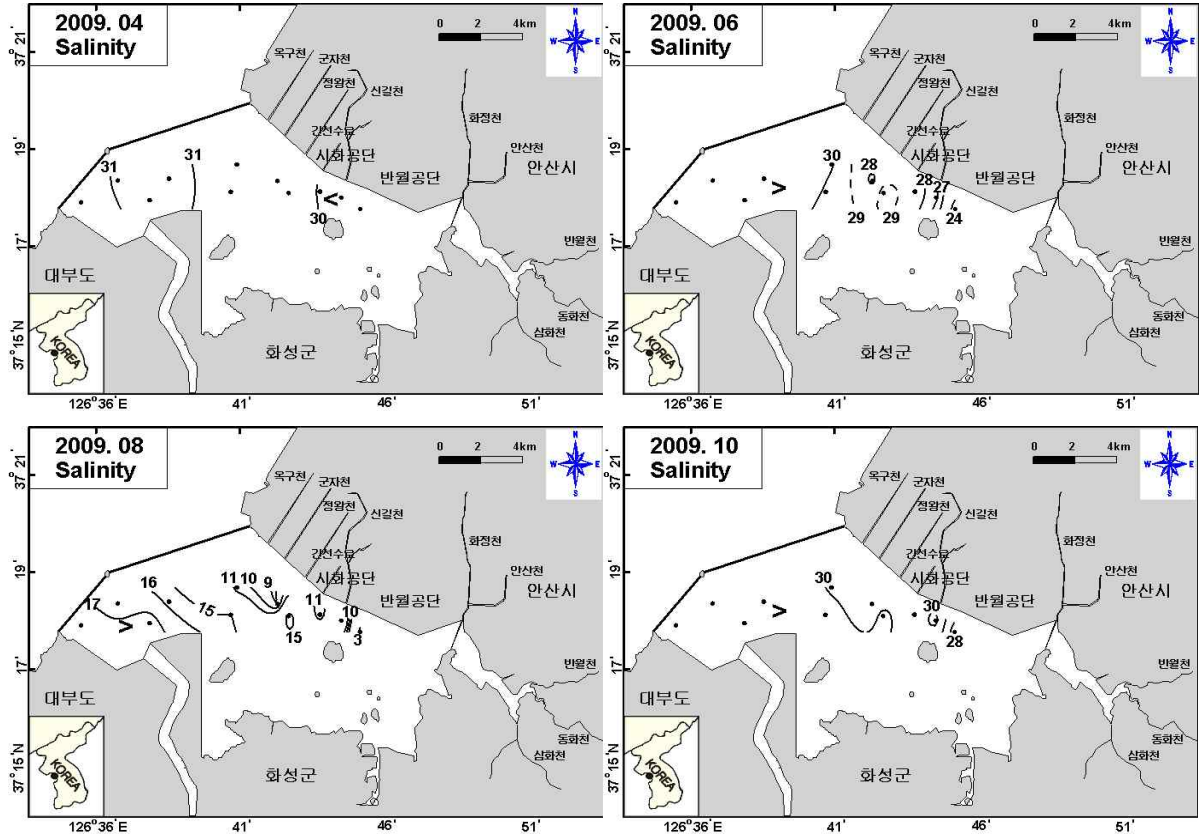


그림 3-2-2. 표층수의 염분 분포

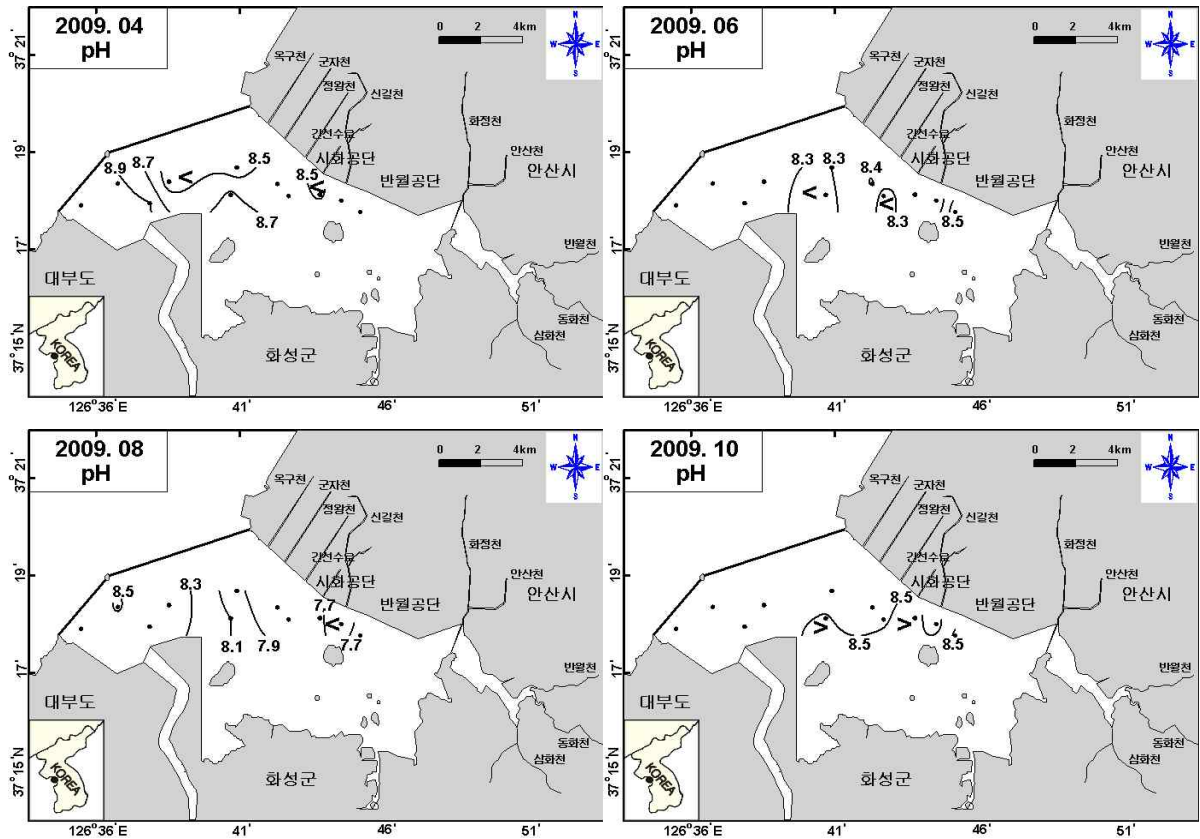


그림 3-2-3. 표층수의 pH 분포

### ③ 용존산소포화도

용존산소는 해양에서 가장 변화가 큰 용존 기체로 해양에서의 생물 및 화학적 제반 과정에 밀접하게 관련한다. 해수중의 용존산소는 대기-해양간의 접촉에 의하여 대기에서 공급되고, 표층에서는 광합성에 의하여 생산되므로 표층해수의 용존산소는 포화되어 있다. 수심이 깊은 곳에서는 대기의 교환과 식물의 성장에 따른 산소의 공급이 없기 때문에 생물, 식물의 호흡과 유기물의 분해에 의하여 산소가 소비되어 용존산소량은 감소한다.

표층 용존산소포화도를 보면(그림 3-2-4), 4월 108~146%(평균 125%), 6월 95.9~134%(평균 120%), 8월 61.1~175%(평균 110%), 10월 125~242%(평균 167%)로 10월에 높게 나타났다. 4월에는 반월공단 인근지역에서 140%를 상회하였고, 큰 차이는 없으나 배수갑문지역으로 가면서 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 6월에는 4월에 비해 약간 낮은 값을 보였으며 공단 인접지역과 호의 중앙부에서 높았다. 강우가 많았던 8월에는 다른 시기에 비하여 크게 낮았으며, 상류지역에서 낮은 용존산소포화도를 호 중앙부에서 배수갑문으로 갈수록 증가하여 수심이 가장 깊은 정점 13에서는 175%로 가장 높았다. 한편 10월에는 반월공단과 시화공단 사이인 정점 3과 4에서 각각 242%와 205%의 높은 포화도를 나타났다. 이 시기에는 호내의 포화도가 다른 시기에 비해 전반적으로 높았으며 배수갑문 지역 역시 150%내외의 높은 포화도를 보였다.

저층수의 경우, 용존산소포화도는 4월에는 반월공단 및 시화공단 앞 지역과 북쪽지역에는 100% 내외의 포화도를 보였으며 호 중앙부가 80~90%의 낮은 포화도를 보였다(그림3-2-5). 포화도의 수직적 분포는 표층에서 높았으며 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 나타냈다. 6월에는 상류지역에서 20%내외의 낮은 포화도를 보였고 배수갑문지역으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 8월에는 호내의 남쪽지역을 제외하고는 전반적으로 10%이하의 낮은 포화도를 나타냈다. 정점 12에서의 포화도의 수직적 분포를 보면, 표층에서 145%의 포화도가 수심증가에 따라 감소하여 8m 수심에서는 54.1%, 10m 이하 수심에서는 약 7%의 저산소층이 존재하고 있었으며 상류지역인 정점 5와 호 중앙부인 정점 9역시 유사하게 저산소층이 형성되었다. 저층에서의 낮은 포화도는 2006년 이후 지속적으로 관측되는 현상으로 배수갑문을 통한 배수 및 외해수의 유입이 저층의 저산소층을 소멸시키기에는 부족한 것을 보여주고 있다. 10월에는 상류지역은 70%를 상회하는 포화도를 보였고 남측지역과 배수갑문 지역은 110%정도의 높은 포화도를 가지고 있었으며 수심이 깊은 정점 14에서 70%수준의 포화도를 보이는 것으로 나타났다. 표 3-2-4은 최근 5년간 용존산소 포화도의 각 시기별로 평균값과 편차를 구하여 비교하였다. 연도별로 약간의 차이는 있으나 4월에는 104~125%의 범위를 보였다. 6월 조사 역시 109~122%의 유사한 포화도를 보이고 있었다. 강우가 많았던 8월 표층 용존산소포화도는 2005년 100%, 2006년 126%, 2007년 148%, 2008년 198%, 2009년 175%로써 2009년 표층수의 포화도 평균이 2008년에 비해 약간 낮았으나 2005년 이후 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있었다. 10월에는 95.6~167%의 각 조사 연도별로 큰 차이를 보이고 있었다.

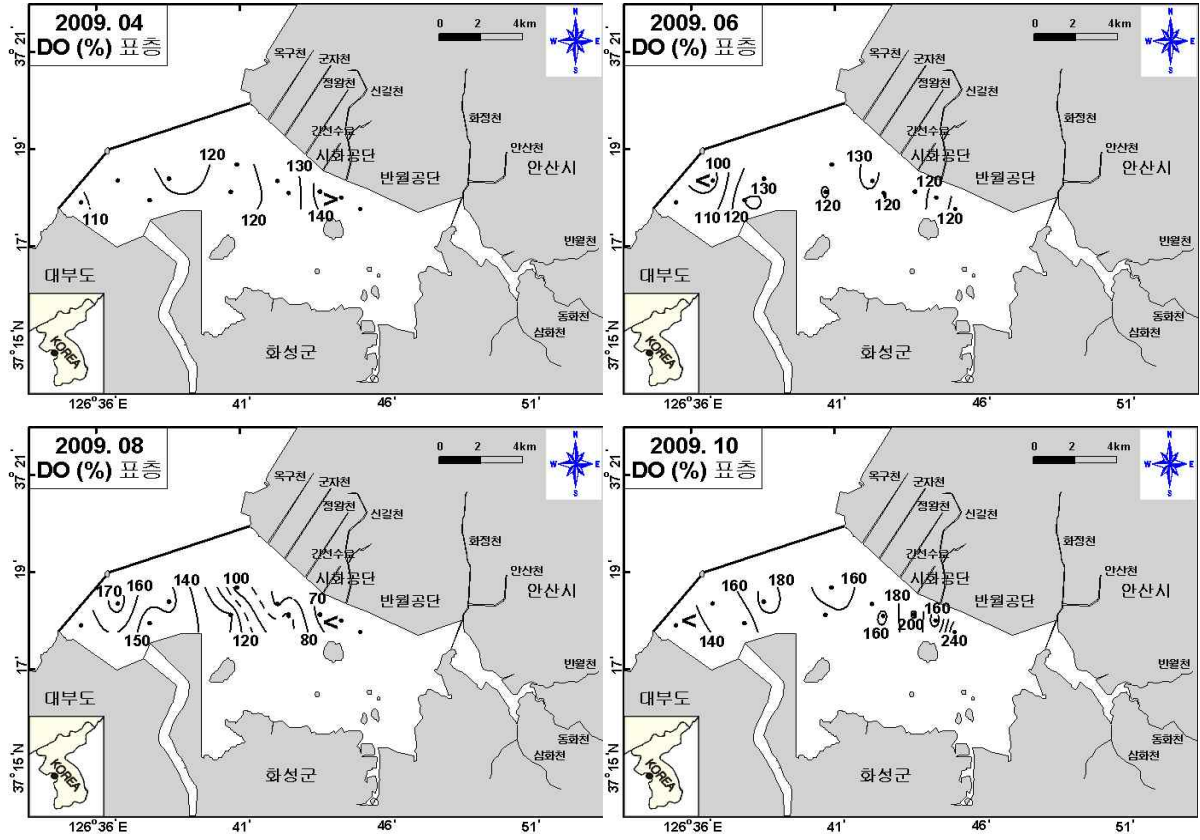


그림 3-2-4. 표층수의 용존산소포화도 분포

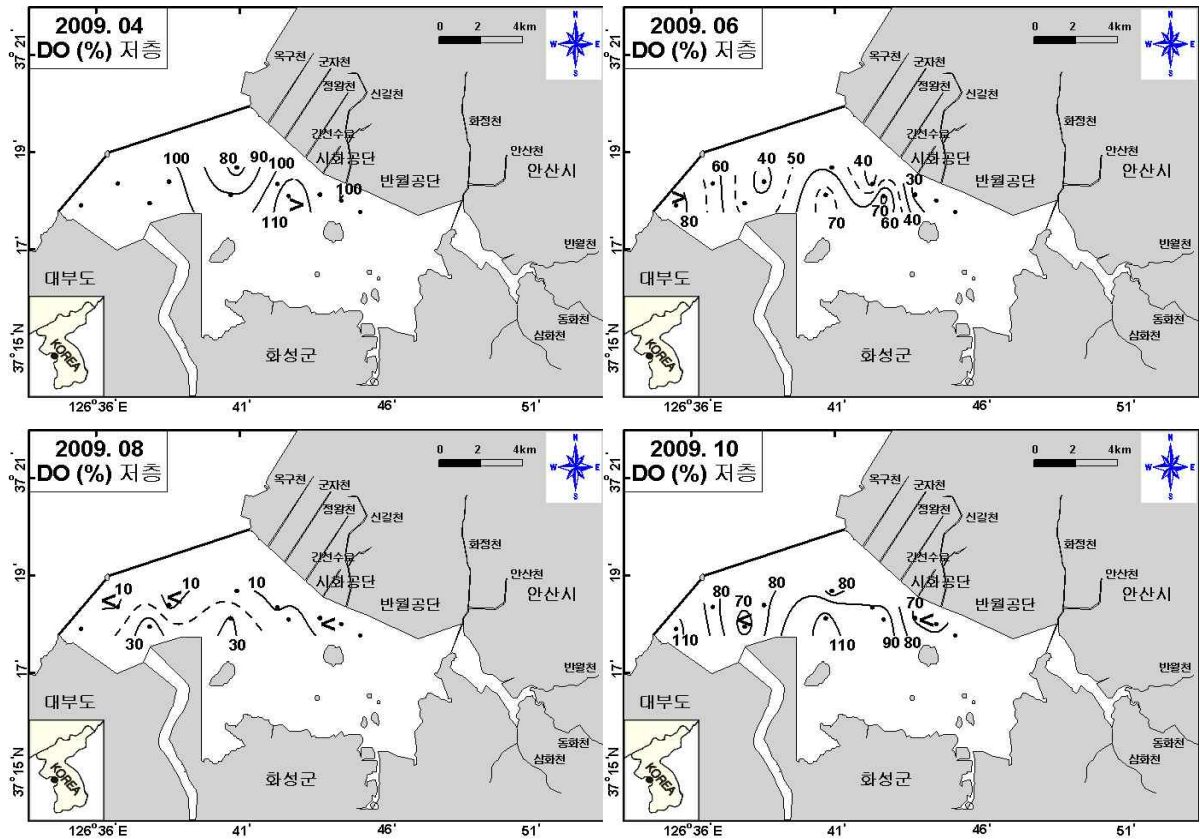


그림 3-2-5. 저층수의 용존산소포화도 분포



#### ④ 부유물질

해수중의 입자성 물질은 수 mg 정도인데, 그 구성은 생물 및 사체, 먼지, 화산재, 광물부스러기 등으로 이루어지며, 해역 및 수심에 따라 부유물질의 조성 및 양은 크게 변동하게 된다. 원양일수록 식물플랑크톤이 차지하는 비율이 커지며, 해수 표층에 떠있는 입자성 물질의 대부분은 식물 플랑크톤의 광합성에 의하여 생산된다. 따라서 표층에서는 부유물질 중의 유기물이 차지하는 비율이 높고, 유기물은 수층에서 분해되므로 수심이 깊어질수록 유기물의 비율은 낮아진다. 연안지역의 경우 강이나 하천을 통해 암석기원의 부유물질이 주로 유입되며, 인위적인 영향으로 생물분해 가능한 유기물질 많은 경우 용존산소의 농도를 감소시키는 원인이 되기도 한다.

부유물질은 4월 1.7~6.7mg/L(평균 4.1mg/L), 6월 2.5~6.1mg/L(평균 3.5mg/L), 8월 4.6~27.8mg/L(평균 11.4mg/L), 10월 2.1~28.7mg/L(평균 11.8mg/L)을 범위를 보였다. 2009년에는 8월에는 공단 인접지역 정점 3에서 27.8mg/L로 부유물질의 양이 많았으나 용존산소 포화도는 68.1%로 낮았다. 이는 8월 조사 전 이틀간의 집중강우로 인하여 하천 및 토구를 통한 육상기원의 부유물질이 많이 유입되었음을 보여주고 있다. 10월의 경우, 정점 3에서 28.7mg/L의 많은 부유물질이 해수 중에 존재하고 있었으나 8월 조사와는 달리 표층수에서의 포화도가 242%로써 부유물질의 대부분이 식물플랑크톤이 차지하고 있음을 보여주고 있으며, 육안으로도 적조가 발생한 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 수온이 높아지면서 식물플랑크톤의 번식이 왕성해져서 입자성 물질이 증가함으로써 계절적인 변동이 나타나는데, 최근 5년간의 부유물질 양을 비교해보면 6월과 8월이 4월과 10월에 비해 평균적으로 부유물질의 양이 많았다. 2009년에는 8월과 10월이 평균적으로 높았다. 이는 8월에는 강우에 따른 하천수를 통한 육상기원 부유물질의 유입이 있었으며, 10월에는 식물플랑크톤의 대량 발생에 따른 생물기원의 부유물질이 많았음을 보여주고 있다.

#### ⑤ 클로로필-*a*

입자성 물질 중 살아있는 생물의 양을 나타내는 척도로서 흔히 클로로필-*a*의 양을 측정한다. 클로로필-*a*는 4월 3.0~18.8 $\mu$ g/L(평균 8.1 $\mu$ g/L), 6월 4.3~15.0 $\mu$ g/L(평균 7.3 $\mu$ g/L), 8월 4.8~41.8 $\mu$ g/L(평균 20.6 $\mu$ g/L), 10월 3.1~170 $\mu$ g/L(평균 52.5 $\mu$ g/L)의 범위를 보였다. 지역적으로 살펴보면 상류지역에서는 높은 클로로필-*a*농도를 보였으며 배수갑문 지역으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 8월에는 공단 인접지역은 낮은 클로로필-*a* 농도를 보였으나 호 중앙부에서 가장 높은 농도를 보였고 배수갑문 지역도 높은 수준이었다. 10월 상류지역인 정점 3과 4에서는 각각 170 $\mu$ g/L과 114 $\mu$ g/L의 높은 값을 보였다. 표층과 2m에서 높았으나 저층으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다.

#### ⑥ 화학적 산소요구량(COD)

COD와 유기물량 간에는 일정한 관계가 있기 때문에 해수에 있어서 유기물 오염의 지표로 종종 COD가 이용되고 있으며 유기물의 종류에 따라서 산화의 정도가 현저하게 다르게 나타난다. 해역에 존재하는 COD의 성분은 육지에서 공급되는 것과 해역에서 식물플랑크톤에 의하여 생산되는 것으로 나눌 수 있다. 연안에서 여름철에 COD가 이상적으로 높은 현상이 종종 일어나는데 이것은 수온과 일사량의 증가에 따른 식물플랑크톤의 증식 때문이다.

COD는 4월 1.8~5.3mg/L(평균 3.2mg/L), 6월 3.5~8.2mg/L(평균 4.7mg/L), 8월 3.9~7.3mg/L

(평균 5.9mg/L), 10월 3.8~17.0mg/L(평균 8.6mg/L)의 범위를 보였다. 이는 2007년 각 시기별 농도범위와 평균에 비해 크게 낮아졌으며 2008년에 비해서는 10월에는 높은 화학적산소요구량을 보였다.

표층수의 화학적산소요구량 수평분포를 보면(그림 3-2-6), 4월과 6월에는 상류지역에서 높고 배수갑문으로 가면서 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 반면에, 집중강우가 유입이 있었던 8월에는 상류지역보다 배수갑문으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 이는 강우시 하천수를 통해 다량의 부유물질이 유입되었으나 상대적으로 유기물 함량은 낮았던 것으로 보인다. 10월에는 식물플랑크톤의 증식으로 인하여 반월공단 및 시화공단 인접한 상류지역에는 17mg/L를 초과하는 높은 농도를 보였으며 호의 중앙부에서 다시 높아지며 갑문쪽으로 갈수록 낮아지는 것으로 나타났다.

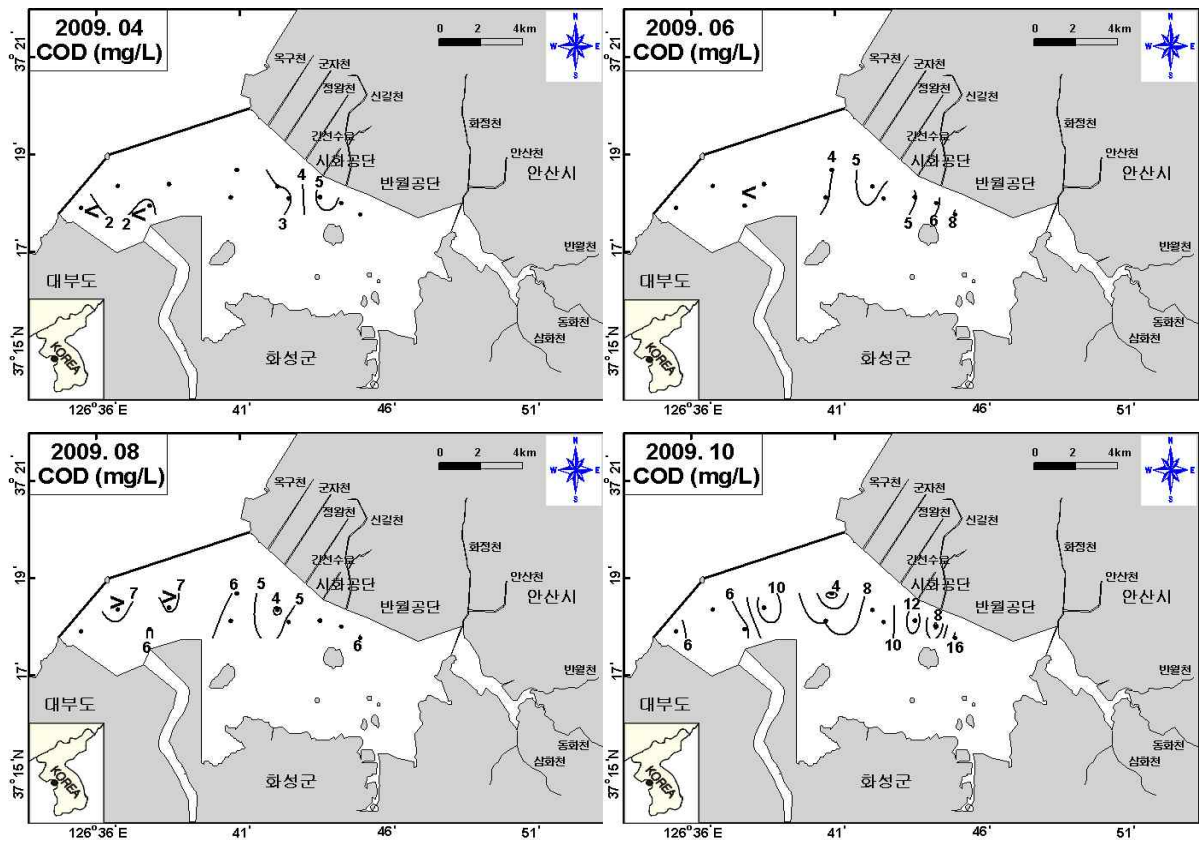


그림 3-2-6. 표층수의 COD 분포

⑦ 유기탄소

입자성유기탄소(POC)의 분포는 4월 0.74~1.68mg/L(평균 1.15mg/L), 6월 0.98~1.67mg/L(평균 1.28mg/L), 8월 0.94~3.13mg/L(평균 1.87mg/L), 10월 0.73~10.0mg/L(평균 4.65mg/L)을 범위를 나타냈다. 조사 기간 중 10월이 가장 높은 평균농도범위를 나타냈으며 10월 정점 3과 4에서 각각 10.0mg/L과 8.18mg/L를 가장 높은 농도를 나타냈다(표 3-2-1).

2009년 조사기간 중 시화호 표층의 정점별 입자성유기탄소와 용존유기탄소 및 클로로필-a

농도를 보면, 4월, 6월 시화호 상류지역에서 배수갑문으로 갈수록 이들 농도가 낮아지는 것을 볼 수 있다(그림 3-2-7). 8월의 경우 정점 13에 입자성유기탄소, 용존성유기탄소 등이 증가하며 클로로필-*a*의 농도 역시 증가하였다. 10월에는 정점 3, 5, 12에서 높은 농도를 보였으나 전반적으로 다른 조사시기와 마찬가지로 배수갑문쪽으로 갈수록 낮아지는 것을 알 수 있었다.

그림 3-2-8은 입자성유기탄소와 클로로필-*a*간의 상관성을 보여주며, 클로로필-*a*가 높을수록 POC 역시 높아 양의 좋은 상관성을 보였다. 시화호 표층 입자성유기탄소는 지속적으로 클로로필-*a* 농도와의 상관성은 입자성유기탄소의 대부분이 식물플랑크톤으로부터 유래한 것임을 보여주고 있다(해양수산부, 2005; 2006; 2007, 국토해양부 2008). 입자성유기탄소의 지역적 공간분포는 정점 3~4가 위치한 시화호 상류에서 높고 조사시기에 따라 호수의 중앙이나 배수갑문 지역에서 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 입자성유기탄소의 대부분을 차지하는 식물플랑크톤이 하천수를 통한 담수의 유입원이 있고 해수 혼합이 활발하지 못한 상류지역에서 증식했다는 사실을 보여주고 있었다. 또한 시화호 중심부에서도 클로로필-*a*와 함께 크게 증가하는 경향을 보였다.

2004~2009년 4월 입자성유기탄소의 연변화는 2004년 상류지역에서 가장 높은 농도를 보였으며 2008년까지 감소하다가 2009년 약간 증가하는 추세를 보였다(그림 3-2-9). 6월 조사의 경우 2007년까지 감소하는 경향을 보이다가 2008년 이후 약간 증가하여 2009년에는 2006년과 유사한 농도를 보이고 있었다. 8월은 전반적으로 적은 농도범위 안에서 큰 차이를 보이지 않고 있고 10월의 경우 식물플랑크톤의 대량 번식으로 인하여 다른 조사 년도에 비해 높은 값을 보이고 있음을 나타냈다. 전반적으로 입자성유기탄소의 연변화는 클로로필-*a*의 연변화와 매우 유사하게 나타나고 있었다(그림 3-2-10). 따라서 식물플랑크톤의 시·공간 분포가 시화호 내 입자성유기탄소에 주요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 반월공단 및 시화공단 인근 정점에서 입자성유기탄소의 양이 높았던 것은, 하천 등을 통해 유기물의 유입이 있었음을 간접적으로 시사하고 있으며 이러한 육상기원 물질로 인하여 시화호 내 기초 생산도에 적지 않은 기여를 하고 있음을 보여주는 것이다.

식물플랑크톤 기원의 입자성유기탄소는 표층에서 저층으로 떨어져 박테리아에 의해 용존유기탄소로 분해되며 이때 용존산소를 소비한다. 따라서 저층환경의 저산소 내지 무산소 환경을 일으키는 요인이 된다(박 등, 1997). 입자성유기탄소 및 용존성유기탄소의 수직적인 분포를 보면 입자성유기탄소는 표층에서 높고 수심증가에 따라 감소하는 경향을 보이나 용존성유기탄소는 반대로 저층으로 갈수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 용존산소의 수직적 분포 역시 저층으로 갈수록 감소하는 경향으로 시화호 해수 저층의 저산소 및 무산소환경의 원인은 식물플랑크톤을 포함한 유기물의 분해과정에서 용존산소를 다량으로 소비하기 때문이다.

입자성유기탄소와는 달리 용존유기탄소의 정점에 따른 농도가 일정하고, 특정 계절에 증가되는 것은 용존유기탄소로 대표되는 용존 유기 화합물의 구성이 크게 생물기원과 육상기원이 두가지 기원이 있음을 시사하며, 특히 시화호의 경우 전 계절에 걸쳐 시화호 내측 표층의 거의 모든 정점에서 두가지 기원의 용존성 유기물이 동시에 공급되고 있음을 보여주고 있다(손, 2001; 해양수산부, 2004; 2005; 2006).

시화호 내 용존유기탄소의 공급원은 육상유입과 함께 시화호 내 자체 생물생산에 크게 조절되며 총유기탄소(TOC) 중 용존유기탄소가 차지하는 비율이 4월, 6월, 10월에 60% 이상으로 나타나, 시화호 내 유기탄소의 존재형태는 대부분 용존유기탄소임을 보여주고 있다. 아울러 표층에서 용존산소가 높고 식물플랑크톤이 대량으로 번식하였던 10월에는 조사지역에 따라

용존유기탄소가 차지하는 비율이 넓은 범위(20~80%)를 가지고 있었다(그림 3-2-11). 최근 6년간의 총유기탄소 및 용존유기탄소 평균 농도의 연변화 양상을 보면, 2004년에서 2008년까지 감소추세를 보였으나 2009년에 약간 증가하는 경향을 보였다(그림 3-2-12).

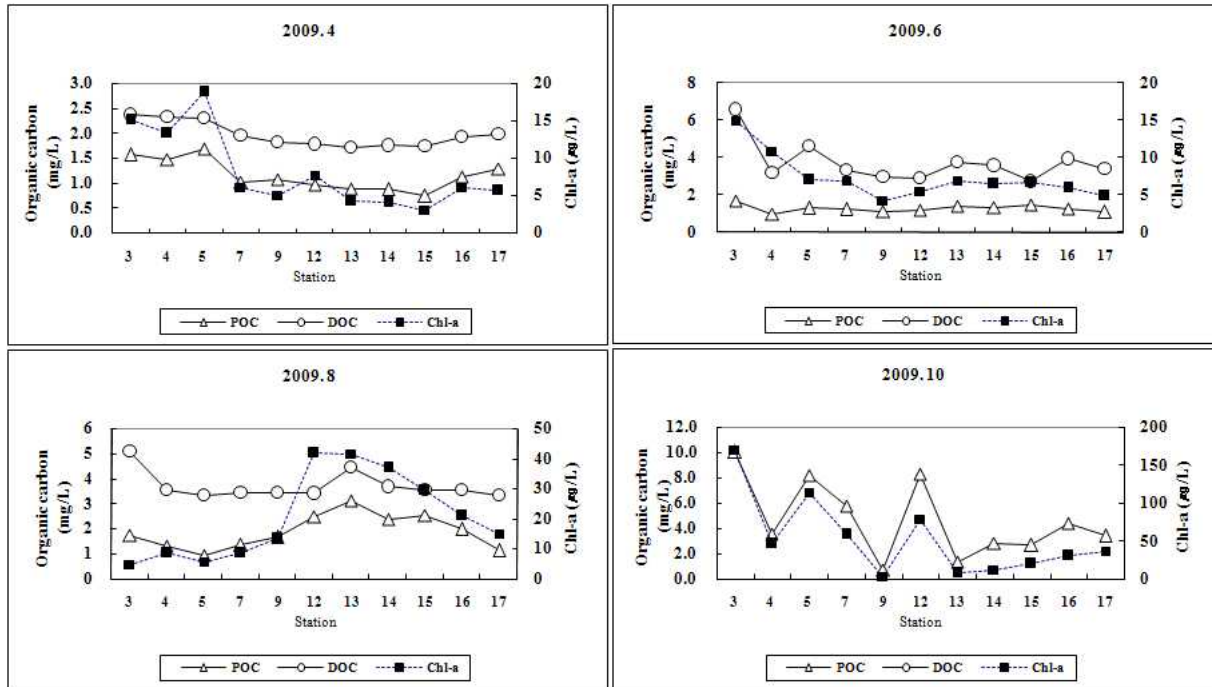


그림 3-2-7. 조사기간 중 시화호 표층의 정점별 입자성유기탄소(POC), 용존유기탄소(DOC), 그리고 클로로필-*a*(Chl-*a*)의 분포

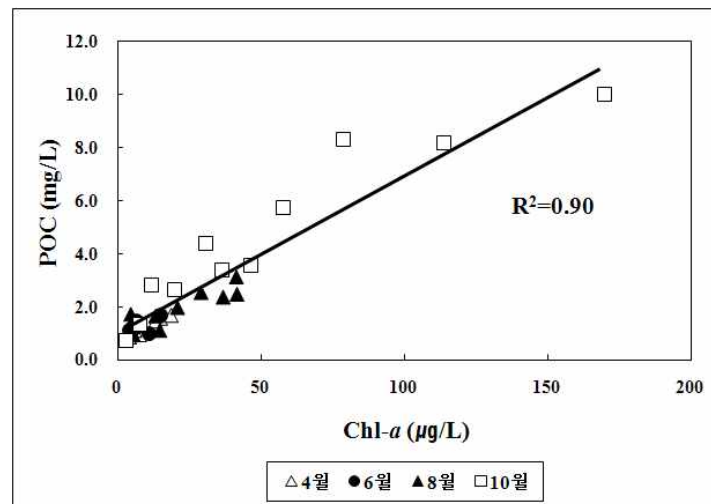


그림 3-2-8. 시화호 내측해역의 입자성유기탄소(POC)와 클로로필-*a*(Chl-*a*)의 상관관계

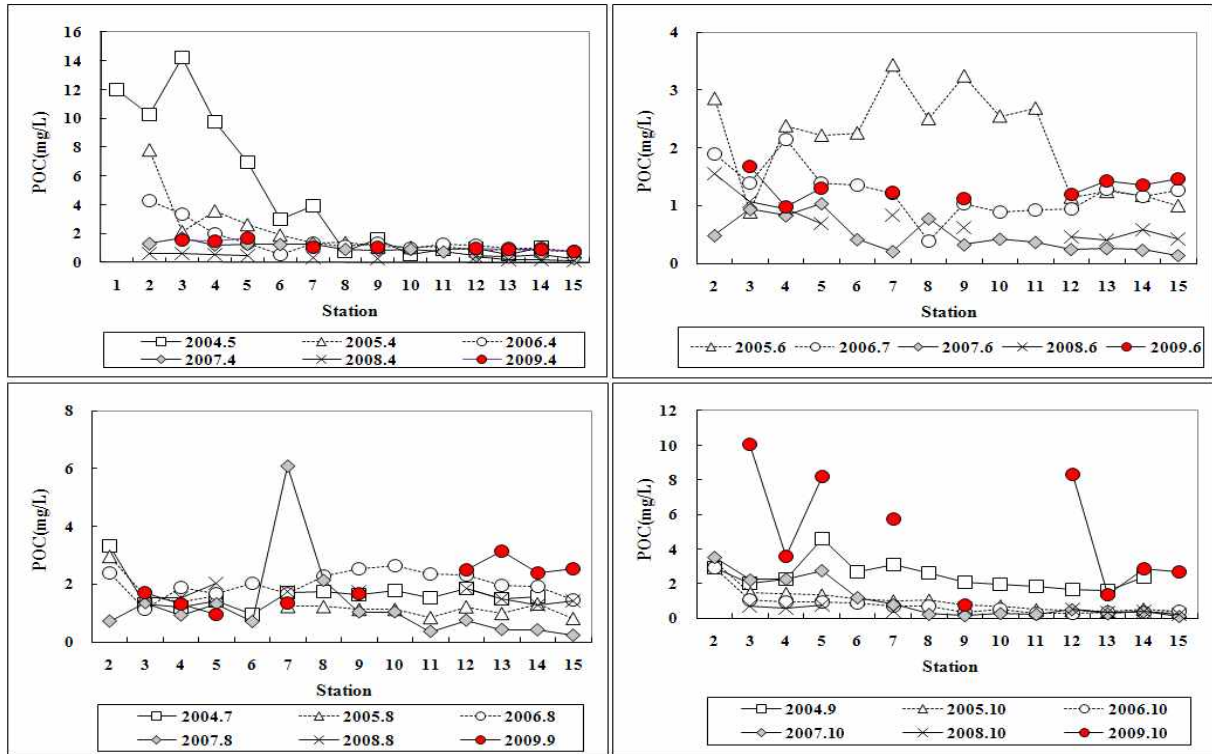


그림 3-2-9. 시화호 표층에서 입자성유기탄소(POC)의 정점별 연변화 양상

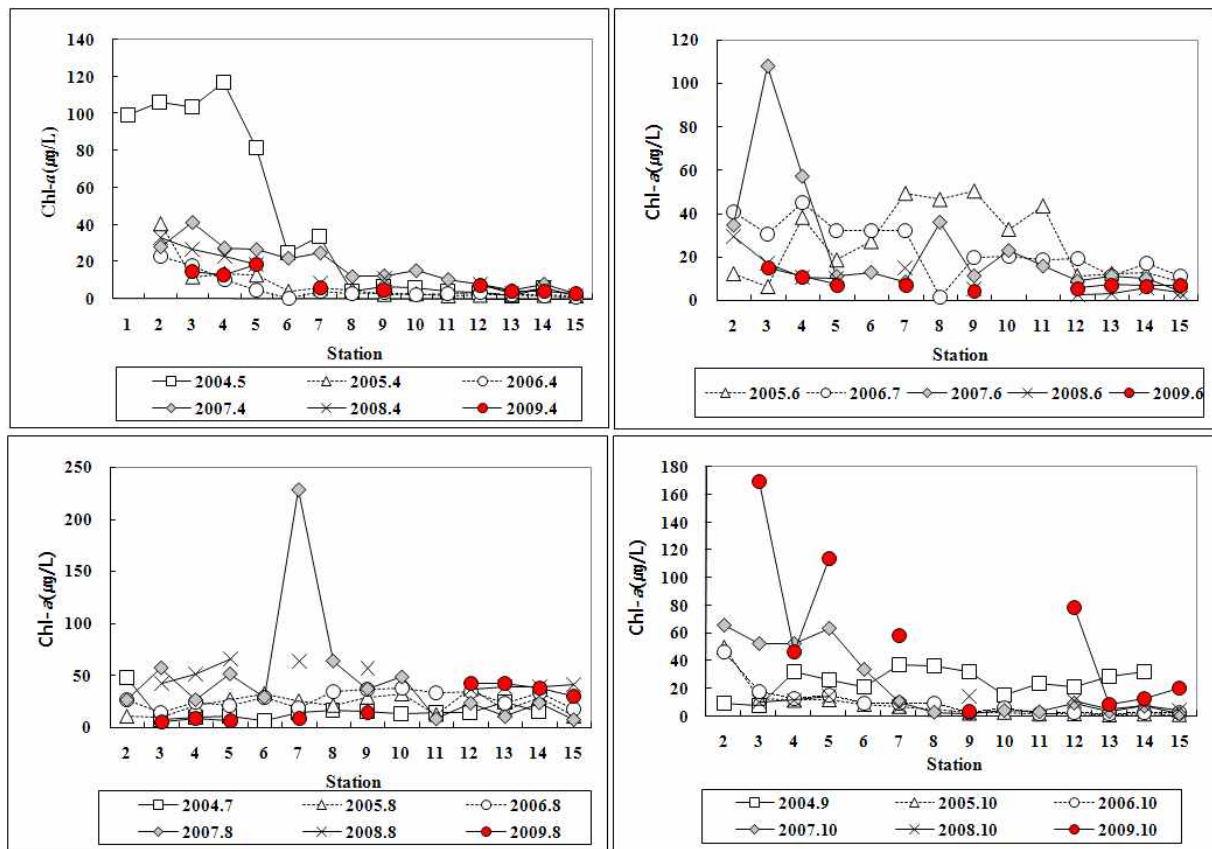


그림 3-2-10. 시화호 표층에서 클로로필-a 농도의 정점별 연변화 양상

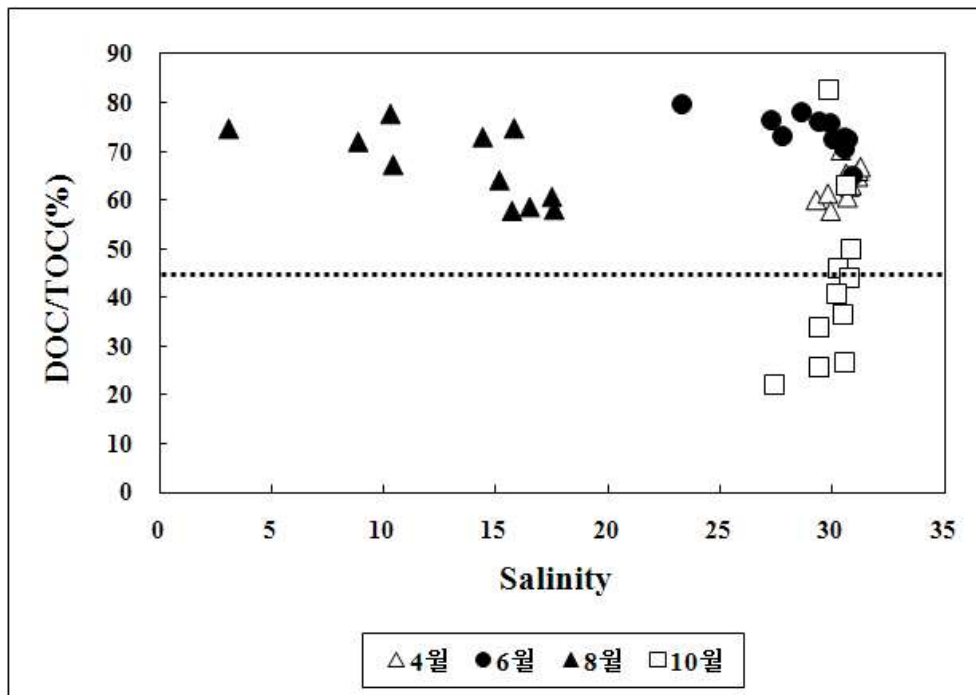


그림 3-2-11. 시화호 표층 해역의 총유기탄소(TOC)중 용존유기탄소(DOC)가 차지하는 비율

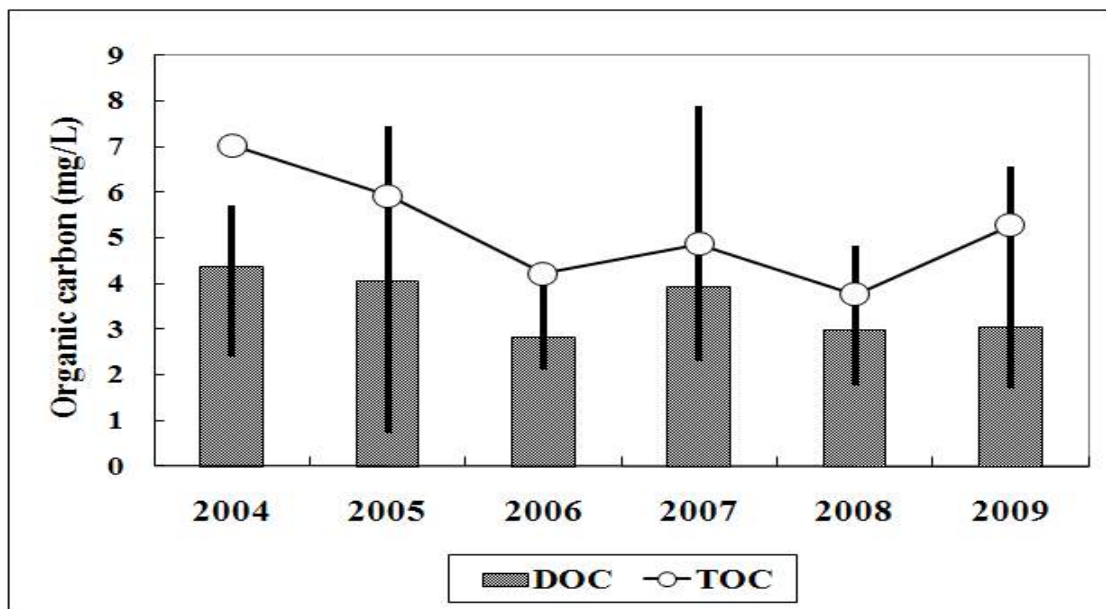


그림 3-2-12. 시화호 표층의 총 유기탄소(TOC) 및 용존유기탄소(DOC) 평균 농도의 연변화 양상



## (2) 영양염

해수 중에 존재하는 인산염, 질산염, 아질산염, 암모니움염 및 규산염류는 식물플랑크톤에 섭취되어 물질대사의 에너지원 혹은 그 일부를 구성한다. 해양에서의 이들 농도는 표층에서는 낮고 지역에 따라 차이는 있으나 1km 최대 농도를 보이고 수심증가에 따라 약간씩 감소하는 경향을 보인다. 표층에서 농도가 낮은 것은 광합성에 의해 식물플랑크톤이 영양염을 소비하기 때문이며, 유광층 이하의 수심에서는 식물플랑크톤이 분해되어 다시 이용 가능한 형태의 영양염으로 바뀐다. 여름에는 수온증가와 광합성이 활발하여 식물플랑크톤에 의한 소비가 많고 물이 성층화 되어 저층으로부터의 영양 공급이 제한되기 때문에 영양염 농도는 여름철에 낮고 겨울철에 높다. 따라서 해양에서의 영양염 농도는 식물플랑크톤에 의한 소비와 분해를 통해 재공급에 의해 조절되고 있다. 질산염은 질소화합물 중 대부분을 차지하며, 주로 하천을 통하여 유입되고 있으며 규산염의 대부분의 광물의 풍화작용으로 강이나 하천등을 통해 해양으로 공급되고 있다. 암모니움염은 플랑크톤 사체 및 배설물이 박테리아 등이 미생물에 의해 분해되어 생성되는데 해양에서의 농도 변화가 크다. 2009년 조사결과는 표 3-2-3에 나타내었으며 각 조사시기별 농도범위 및 평균값은 표 3-2-4에 정리하였다.

### ① 용존 영양염

인산염의 농도범위는 4월 0.018~0.023mg/L(평균 0.020), 6월 0.001~0.041(평균 0.009mg/L), 8월 0.022~0.126mg/L(평균 0.073mg/L), 10월 0.002~0.017mg/L(평균 0.009mg/L)였다. 질산염은 4월 <0.001~0.025mg/L(평균 0.005mg/L), 6월 <0.001~0.001mg/L(평균 0.001mg/L), 8월 0.094~1.201mg/L(평균 0.432mg/L), 10월 <0.001~0.024mg/L(평균 0.008mg/L)의 농도범위 및 평균값을 보였다. 규산염은 4월 0.053~0.290mg/L(평균 0.211mg/L), 6월 0.046~0.426mg/L(평균 0.221mg/L), 8월 0.688~2.322mg/L(평균 1.371mg/L), 10월 0.161~0.493mg/L(평균 0.283mg/L)의 농도범위를 보였다. 8월의 인산염, 질산염 및 규산염 평균 농도가 다른 조사시기(4월, 6월, 10월)에 비해 상당히 높았다. 특히 8월 반월공단 및 시화공단 인근 정점 3, 4, 5에서 시화호 중앙부 또는 배수갑문 지역에 비해 인산염이 5배, 질산염이 10배, 규산염이 3배 정도 높은 농도가 검출되었다. 이는 강우시 하천을 통하여 다량의 영양염의 유입이 있었음을 보여준다. 최근 5년간의 표층수의 영양염 자료를 보면 4월, 6월, 10월에는 큰 변화를 보이지 않고 전반적으로 낮은 수준으로 존재하고 있으나, 2008년 8월을 제외하고 하천 인근 지역에서 최대 농도를 보이고 있는 것으로 시화호 내 영양염의 주요한 공급원은 육상기원의 영양염으로 보여진다.

### ② 총인, 총질소

총인의 분포는 4월 0.030~0.092mg/L(평균 0.055mg/L), 6월 0.065~0.211mg/L(평균 0.095mg/L), 8월 0.085~0.196mg/L(평균 0.131mg/L), 10월 0.013~0.126mg/L(평균 0.063mg/L)였다. 수평분포를 보면, 전체적으로 시화공단 상류지역에서 높고 호 중앙부와 배수갑문 지역까지 낮은 양상을 보였다(그림 3-2-13). 8월의 경우 반월공단 및 시화공단 유역을 흐르는 하천과 인접한 정점들이 전반적으로 높은 농도를 보여 강우에 의한 공급이 있었음을 보여준다.

총질소는 4월 0.285~0.574mg/L(평균 0.379mg/L), 6월 0.394~0.790mg/L(평균 0.464mg/L), 8월 0.771~2.046mg/L(평균 1.185mg/L), 10월 0.203~0.604mg/L(평균 0.434mg/L)의 농도범위를 보였다. 총인과 유사하게 상류지역에서 높고 배수갑문으로 가면서 낮아지는 경향을 보였으며

특히 8월은 하천 인근 지역이 높은 총 질소농도를 보였다(그림 3-2-14). 2005~2009년 자료를 보면 강우가 적었던 2008년을 제외하고 다른 조사 시기에 비하여 8월 중에 총인, 총질소의 최대농도 및 평균농도가 높았는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 강우에 의한 영양염이 높은 담수의 유입을 보여주고 있다.

표 3-2-3. 시화호 방조제 내측 해수중의 영양염 분포(2009. 4. 28)

정점	Depth	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SiO <sub>2</sub> -Si	DIN	DIN/ PO <sub>4</sub>	TP	TN
	(m)	(mg/L)							(mg/L)	
3	0.6	0.018	0.002	0.004	0.018	0.053	0.023	1.3	0.091	0.531
4	0.6	0.018	<0.001	0.001	0.008	0.081	0.009	0.5	0.079	0.504
5	0.6	0.018	<0.001	0.001	0.018	0.099	0.018	1.0	0.092	0.574
	2.0	0.018	0.003	0.001	0.006	0.231	0.010	0.6	0.057	0.423
	4.0	0.018	0.001	0.001	0.008	0.238	0.009	0.5	0.058	0.375
	6.0	0.039	<0.001	0.001	0.009	0.348	0.010	0.2	0.063	0.505
7	0.6	0.019	<0.001	0.001	0.014	0.252	0.015	0.8	0.048	0.327
9	0.6	0.020	0.001	0.001	0.010	0.290	0.012	0.6	0.048	0.329
	2.0	0.020	0.001	0.002	0.005	0.294	0.007	0.4	0.045	0.334
	4.0	0.021	0.006	0.001	0.048	0.294	0.056	2.7	0.055	0.366
	6.9	0.076	0.003	0.010	0.005	0.619	0.018	0.2	0.080	0.455
12	0.6	0.021	<0.001	<0.001	0.009	0.252	0.009	0.4	0.050	0.361
	2.0	0.021	<0.001	<0.001	0.005	0.243	0.005	0.2	0.042	0.353
	4.0	0.021	<0.001	<0.001	0.020	0.249	0.020	1.0	0.043	0.354
	6.0	0.037	0.003	0.044	0.023	0.254	0.070	1.9	0.042	0.346
	8.0	0.037	0.002	0.054	0.025	0.228	0.081	2.2	0.049	0.327
	10.0	0.041	0.004	0.091	0.047	0.215	0.142	3.5	0.084	0.345
	14.0	0.052	0.004	0.122	0.071	0.227	0.198	3.8	0.142	0.374
13	0.6	0.021	0.002	0.002	0.005	0.237	0.009	0.4	0.041	0.287
14	0.6	0.023	0.001	0.012	0.005	0.248	0.019	0.8	0.037	0.285
15	0.6	0.023	0.002	0.025	0.023	0.265	0.050	2.2	0.030	0.290
16	0.6	0.020	0.001	0.001	0.005	0.276	0.007	0.3	0.047	0.352
17	0.6	0.020	0.001	0.001	0.005	0.263	0.007	0.4	0.044	0.332
<b>최소*</b>		<b>0.018</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.005</b>	<b>0.053</b>	<b>0.007</b>	<b>0.3</b>	<b>0.030</b>	<b>0.285</b>
<b>최대*</b>		<b>0.023</b>	<b>0.002</b>	<b>0.025</b>	<b>0.023</b>	<b>0.290</b>	<b>0.050</b>	<b>2.2</b>	<b>0.092</b>	<b>0.574</b>
<b>평균*</b>		<b>0.020</b>	<b>0.001</b>	<b>0.005</b>	<b>0.011</b>	<b>0.211</b>	<b>0.016</b>	<b>0.8</b>	<b>0.055</b>	<b>0.379</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.



표 3-2-3. 계속(2009. 6. 15)

정점	Depth	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SiO <sub>2</sub> -Si	DIN	DIN/ PO <sub>4</sub>	TP	TN
	(m)								(mg/L)	
3	0.6	0.041	0.001	0.001	0.027	0.088	0.029	0.7	0.211	0.790
4	0.6	0.016	0.001	0.001	0.008	0.096	0.010	0.6	0.122	0.506
5	0.6	0.011	<0.001	0.001	0.008	0.092	0.009	0.8	0.102	0.461
	2.0	0.034	0.001	0.002	0.010	0.449	0.014	0.4	0.139	0.424
	4.0	0.027	0.004	0.029	0.089	1.041	0.122	4.4	0.103	0.422
	6.0	0.039	0.007	0.047	0.221	1.097	0.274	7.0	0.123	0.490
7	0.6	0.011	<0.001	<0.001	0.028	0.046	0.028	2.6	0.115	0.511
9	0.6	0.002	<0.001	<0.001	0.051	0.196	0.051	21.8	0.068	0.400
	2.0	0.003	<0.001	<0.001	0.032	0.197	0.032	11.9	0.073	0.407
	4.0	0.003	0.002	0.023	0.023	0.656	0.049	16.0	0.045	0.301
	6.7	0.020	0.006	0.084	0.135	0.715	0.225	11.5	0.092	0.445
12	0.6	0.002	<0.001	<0.001	0.039	0.343	0.039	24.1	0.065	0.403
	2.0	0.002	<0.001	<0.001	0.007	0.344	0.007	4.1	0.067	0.441
	4.0	0.004	0.002	0.041	0.043	0.468	0.086	23.2	0.055	0.377
	6.0	0.010	0.005	0.099	0.055	0.420	0.158	15.8	0.051	0.377
	8.0	0.013	0.006	0.114	0.091	0.445	0.210	15.8	0.056	0.379
	10.0	0.028	0.009	0.100	0.200	0.774	0.309	10.9	0.083	0.478
	15.0	0.057	0.010	0.096	0.398	1.060	0.504	8.9	0.142	0.669
13	0.6	0.001	<0.001	0.001	0.004	0.402	0.005	5.1	0.066	0.416
14	0.6	0.002	<0.001	<0.001	0.014	0.350	0.014	8.1	0.072	0.425
15	0.6	0.001	0.001	<0.001	0.011	0.426	0.011	7.8	0.065	0.394
16	0.6	0.003	0.001	<0.001	0.012	0.229	0.013	5.0	0.078	0.395
17	0.6	0.003	<0.001	<0.001	0.039	0.163	0.039	12.0	0.080	0.398
<b>최소*</b>		<b>0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.004</b>	<b>0.046</b>	<b>0.005</b>	<b>0.6</b>	<b>0.065</b>	<b>0.394</b>
<b>최대*</b>		<b>0.041</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.051</b>	<b>0.426</b>	<b>0.051</b>	<b>24.1</b>	<b>0.211</b>	<b>0.790</b>
<b>평균*</b>		<b>0.009</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.022</b>	<b>0.221</b>	<b>0.023</b>	<b>8.0</b>	<b>0.095</b>	<b>0.464</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-3. 계속(2009. 8. 14)

정점	Depth	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SiO <sub>2</sub> -Si	DIN	DIN/ PO <sub>4</sub>	TP	TN
	(m)	(mg/L)							(mg/L)	
3	0.6	0.126	0.057	1.201	0.638	2.322	1.897	15.0	0.196	2.046
4	0.6	0.110	0.079	0.438	0.391	1.635	0.908	8.3	0.141	1.206
5	0.6	0.125	0.069	0.720	0.623	2.071	1.412	11.3	0.166	1.555
	2.0	0.093	0.116	0.140	0.508	0.930	0.764	8.2	0.106	0.898
	4.0	0.141	0.265	0.073	0.322	1.212	0.660	4.7	0.144	0.735
	6.0	0.184	0.245	0.035	0.349	1.428	0.629	3.4	0.208	0.773
7	0.6	0.116	0.067	0.764	0.584	1.857	1.416	12.2	0.167	1.720
9	0.6	0.103	0.074	0.609	0.373	1.851	1.056	10.2	0.154	1.297
	2.0	0.078	0.091	0.087	0.326	0.813	0.504	6.5	0.093	0.793
	4.0	0.116	0.253	0.096	0.354	1.062	0.702	6.0	0.126	0.888
	7.0	0.151	0.264	0.064	0.261	1.270	0.589	3.9	0.174	0.727
12	0.6	0.036	0.057	0.214	0.019	0.944	0.290	8.1	0.120	0.900
	2.0	0.036	0.051	0.180	0.028	0.827	0.259	7.3	0.093	0.772
	4.0	0.052	0.030	0.090	0.189	0.585	0.309	6.0	0.066	0.522
	6.0	0.076	0.105	0.084	0.154	0.739	0.343	4.5	0.083	0.514
	8.0	0.086	0.117	0.077	0.179	0.786	0.374	4.3	0.094	0.519
	10.0	0.178	0.202	0.037	0.329	1.372	0.567	3.2	0.183	0.666
14.0	0.349	0.000	0.002	1.112	2.122	1.115	3.2	0.353	1.134	
13	0.6	0.022	0.038	0.106	0.037	0.719	0.181	8.4	0.109	0.888
14	0.6	0.024	0.038	0.094	0.021	0.725	0.152	6.3	0.085	0.771
15	0.6	0.025	0.040	0.128	0.031	0.688	0.199	8.1	0.093	0.825
16	0.6	0.052	0.070	0.289	0.038	1.115	0.398	7.7	0.103	0.935
17	0.6	0.068	0.065	0.192	0.359	1.150	0.617	9.0	0.102	0.893
<b>최소*</b>		<b>0.022</b>	<b>0.038</b>	<b>0.094</b>	<b>0.019</b>	<b>0.688</b>	<b>0.152</b>	<b>6.3</b>	<b>0.085</b>	<b>0.771</b>
<b>최대*</b>		<b>0.126</b>	<b>0.079</b>	<b>1.201</b>	<b>0.638</b>	<b>2.322</b>	<b>1.897</b>	<b>15.0</b>	<b>0.196</b>	<b>2.046</b>
<b>평균*</b>		<b>0.073</b>	<b>0.060</b>	<b>0.432</b>	<b>0.283</b>	<b>1.371</b>	<b>0.775</b>	<b>9.5</b>	<b>0.131</b>	<b>1.185</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-3. 계속(2009. 10. 29)

정점	Depth	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SiO <sub>2</sub> -Si	DIN	DIN/ PO <sub>4</sub>	TP	TN
	(m)	(mg/L)							(mg/L)	
3	0.6	0.002	<0.001	0.024	0.012	0.298	0.036	16.5	0.126	0.604
4	0.6	0.017	0.006	0.006	0.015	0.493	0.027	1.6	0.055	0.395
5	0.6	0.007	<0.001	0.001	0.025	0.405	0.026	4.0	0.102	0.542
	2.0	0.025	0.012	0.014	0.020	0.507	0.046	1.8	0.037	0.255
	4.0	0.034	0.027	0.042	0.023	0.521	0.093	2.7	0.036	0.216
	5.8	0.035	0.030	0.049	0.011	0.532	0.090	2.6	0.036	0.224
7	0.6	0.005	0.001	0.004	0.044	0.352	0.049	10.3	0.075	0.509
9	0.6	0.007	<0.001	<0.001	0.036	0.231	0.036	4.8	0.013	0.203
	2.0	0.007	0.001	0.001	0.023	0.219	0.025	3.4	0.017	0.224
	4.0	0.009	<0.001	<0.001	0.039	0.201	0.039	4.4	0.014	0.174
	7.0	0.037	0.037	0.062	0.088	0.536	0.187	5.0	0.038	0.236
12	0.6	0.010	0.001	0.004	0.035	0.269	0.040	3.9	0.096	0.550
	2.0	0.011	0.001	<0.001	0.033	0.223	0.034	3.1	0.046	0.340
	4.0	0.012	<0.001	0.025	0.050	0.228	0.075	6.4	0.044	0.311
	6.0	0.016	0.002	0.003	0.014	0.278	0.020	1.2	0.019	0.198
	8.0	0.032	0.044	0.104	0.113	0.382	0.260	8.1	0.040	0.315
	10.0	0.042	0.051	0.133	0.155	0.477	0.339	8.1	0.047	0.351
	11.0	0.040	0.052	0.138	0.146	0.503	0.336	8.4	0.050	0.377
13	0.6	0.010	0.001	0.010	0.036	0.170	0.047	4.5	0.023	0.204
14	0.6	0.016	0.001	<0.001	0.036	0.214	0.037	2.4	0.032	0.300
15	0.6	0.012	<0.001	<0.001	0.032	0.161	0.032	2.6	0.041	0.406
16	0.6	0.011	0.001	<0.001	0.027	0.291	0.028	2.6	0.069	0.568
17	0.6	0.006	0.007	<0.001	0.027	0.234	0.034	5.8	0.056	0.490
<b>최소*</b>		<b>0.002</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.012</b>	<b>0.161</b>	<b>0.026</b>	<b>1.6</b>	<b>0.013</b>	<b>0.203</b>
<b>최대*</b>		<b>0.017</b>	<b>0.007</b>	<b>0.024</b>	<b>0.044</b>	<b>0.493</b>	<b>0.049</b>	<b>16.5</b>	<b>0.126</b>	<b>0.604</b>
<b>평균*</b>		<b>0.009</b>	<b>0.002</b>	<b>0.008</b>	<b>0.030</b>	<b>0.283</b>	<b>0.036</b>	<b>5.4</b>	<b>0.063</b>	<b>0.434</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-4. 시화호 방조제 내측 표층수의 영양염 농도범위 및 평균값

조사 시기	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	SiO <sub>2</sub> -Si	DIN	TP	TN
	(mg/L)							
4월	0.018-0.023 (0.020)	<0.001-0.002 (0.001)	<0.001-0.025 (0.005)	0.005-0.023 (0.011)	0.053-0.290 (0.211)	0.007-0.050 (0.016)	0.030-0.092 (0.055)	0.285-0.574 (0.379)
6월	0.001-0.041 (0.009)	<0.001-0.001 (0.001)	<0.001-0.001 (0.001)	0.004-0.051 (0.022)	0.046-0.426 (0.221)	0.005-0.051 (0.023)	0.065-0.211 (0.095)	0.394-0.790 (0.464)
8월	0.022-0.126 (0.073)	0.038-0.079 (0.060)	0.094-1.201 (0.432)	0.019-0.638 (0.283)	0.688-2.322 (1.371)	0.152-1.897 (0.775)	0.085-0.196 (0.131)	0.771-2.046 (1.185)
10월	0.002-0.017 (0.009)	<0.001-0.007 (0.002)	<0.001-0.024 (0.008)	0.012-0.044 (0.030)	0.161-0.493 (0.283)	0.026-0.049 (0.036)	0.013-0.126 (0.063)	0.203-0.604 (0.434)
<b>전체 평균</b>	<b>0.001-0.126 (0.028)</b>	<b>&lt;0.001-0.079 (0.016)</b>	<b>&lt;0.001-1.201 (0.112)</b>	<b>0.004-0.638 (0.086)</b>	<b>0.046-2.322 (0.521)</b>	<b>0.005-1.897 (0.212)</b>	<b>0.013-0.211 (0.086)</b>	<b>0.203-2.046 (0.615)</b>

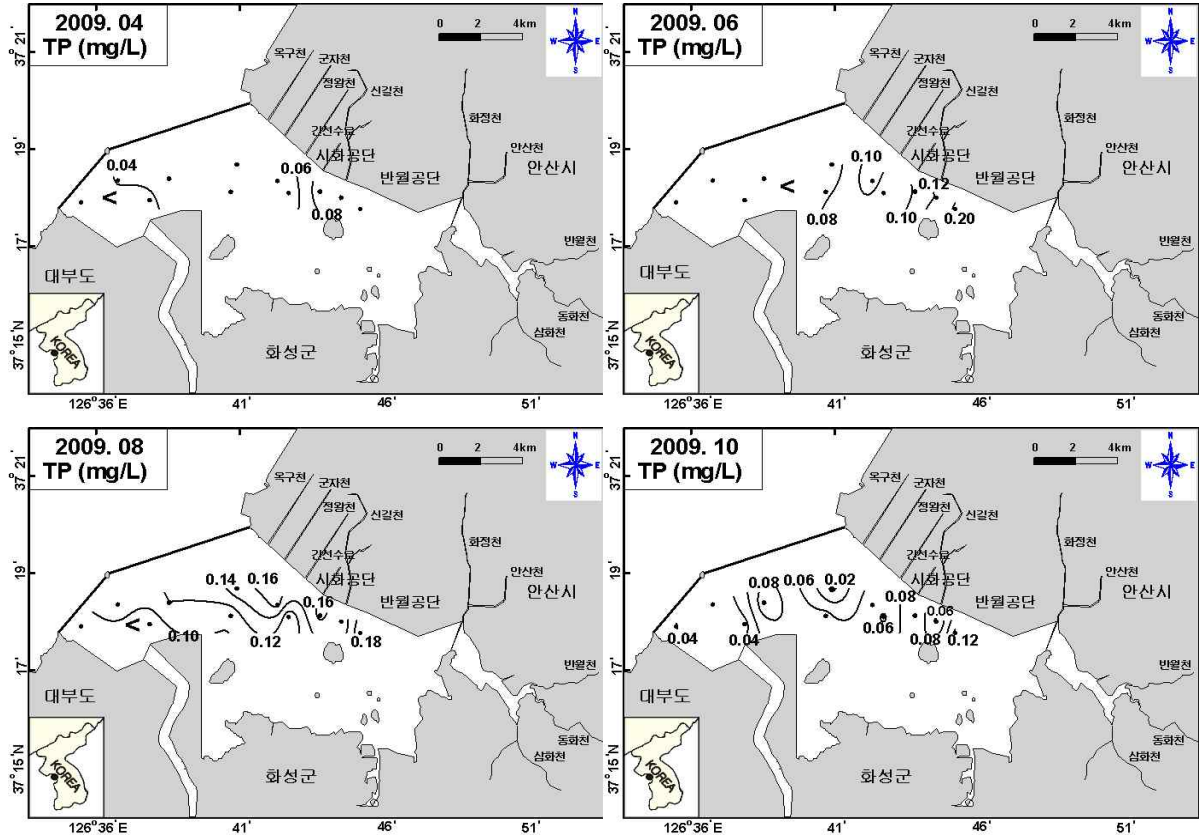


그림 3-2-13. 표층수의 총인 분포

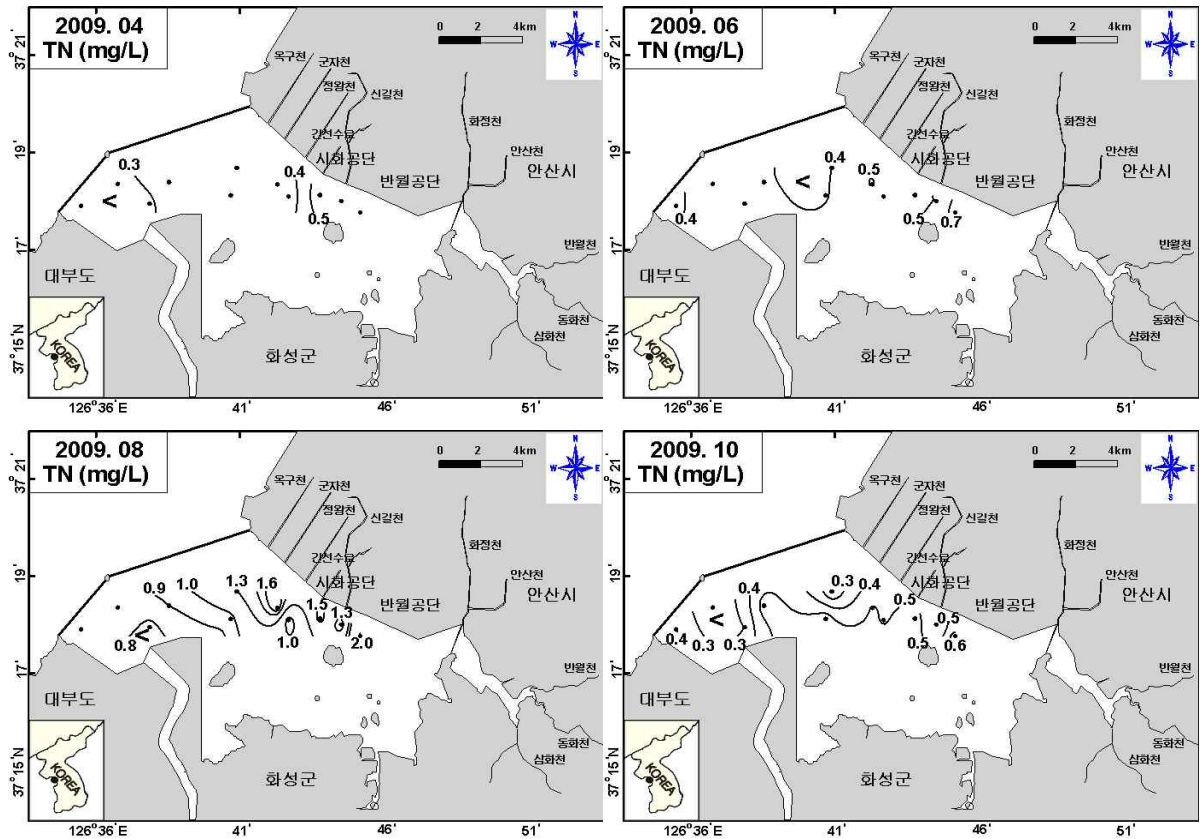


그림 3-2-14. 표층수의 총질소 분포

### (3) 수질변화 요인

#### ① 일반수질 변화

2003~2009년간의 월별 수질변화를 그림 3-2-15, 시화호 방조제 내측 일반수질의 연변화는 표 3-2-5에 나타냈다.

염분과 일반수질항목간의 관계를 보면, 2008년 염분과 pH는 상관성을 보이지 않았으나, 8월 염분이 20~22psu일 때 높은 pH를 보였다. 일반적으로 담수의 pH는 해양에 비해 낮은 값을 갖고 있으며, 식물 플랑크톤의 번식이 증가하면 pH가 상승하므로 이들 두 변수가 혼합되어 뚜렷한 관계를 보이지 않는 것으로 판단되었다. 2009년의 경우 예년과는 달리 어느 정도 상관관계를 보이고 있으며(그림 3-2-16), 2009년 pH의 전체 평균인 8.38에 비해 8월 공단 인근 정점에 pH가 7.50~7.86으로 낮았다. 또한 8월의 경우 낮은 염분도와 낮은 pH를 보여 강우의 영향이 시화호 전반에 미쳤음을 보여주고 있다. 식물플랑크톤의 증식이 관찰되었던 4월과 10월의 높은 pH는 하천을 통한 유입보다는 식물플랑크톤의 번식이 증가하여 pH가 상승한 것으로 생각된다. 2008년의 경우 클로로필-*a*, COD, DO등이 염분도가 음의 상관성을 보였음에 반해 2009년에는 뚜렷한 관계를 보이지 않았다.

그림 3-2-17은 표층수의 클로로필-*a* 및 POC에 따른 COD와 용존산소의 관계를 보여주고 있다. 10월 시화호 상류지역 식물플랑크톤 대량 증식으로 인하여 표층수 클로로필-*a*의 농도범위가 큼에도 불구하고 클로로필-*a*는 COD, 용존산소 및 입자유기탄소와 양의 상관성을 보이고 있으며 입자성유기탄소와 COD간에도 좋은 상관성을 보이고 있다.

시화호 표층수의 COD는 방조제 완공 후 급격히 증가하였으며, 98년부터 실시한 해수유통에 의해 크게 낮아진 것으로 보고되었다(해양수산부, 2002a). 과거 조사에도 COD와 클로로필-*a*가 뚜렷한 상관성을 보였으며 특히 시화호의 상류지역은 여전히 식물플랑크톤 증식이 계절에 따라 크게 변동하여 COD에 영향을 주는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤내 유기물은 COD 분석법으로 충분히 분해되기 때문에 POC의 대부분이 식물 플랑크톤으로 차지하고 있었다. COD의 7년간 연변화는 2003년에서 2006년까지 점차적으로 8.7mg/L에서 4.7mg/L로 감소하고 오차범위 내 큰 변화 없이 유지되고 있었다(표 3-2-5).

입자성유기탄소는 2003년 이후 2008년까지 지속적으로 감소하고 2009년에는 2004년과 유사한 정도까지 증가했으나, 이는 10월 조사의 입자성유기탄소가 식물플랑크톤 bloom을 반영한 결과로 예년에 비해 큰 차이가 없었다.

클로로필-*a*도 2003년 이후 2005년까지 감소하는 추세를 보이다가 그 이후에는 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 이는 매년 4차례 동일한 시기에 조사를 실시하였으나 식물플랑크톤 bloom의 정도, 시기별 차이 및 강우 등의 복잡한 영향일 것으로 사료된다. 용존산소 역시 2003년 이후 감소하다가 2006년을 기점으로 다시 약간 증가하는 경향을 보였으며, 2009년은 예년과 유사한 평균값을 보였다.

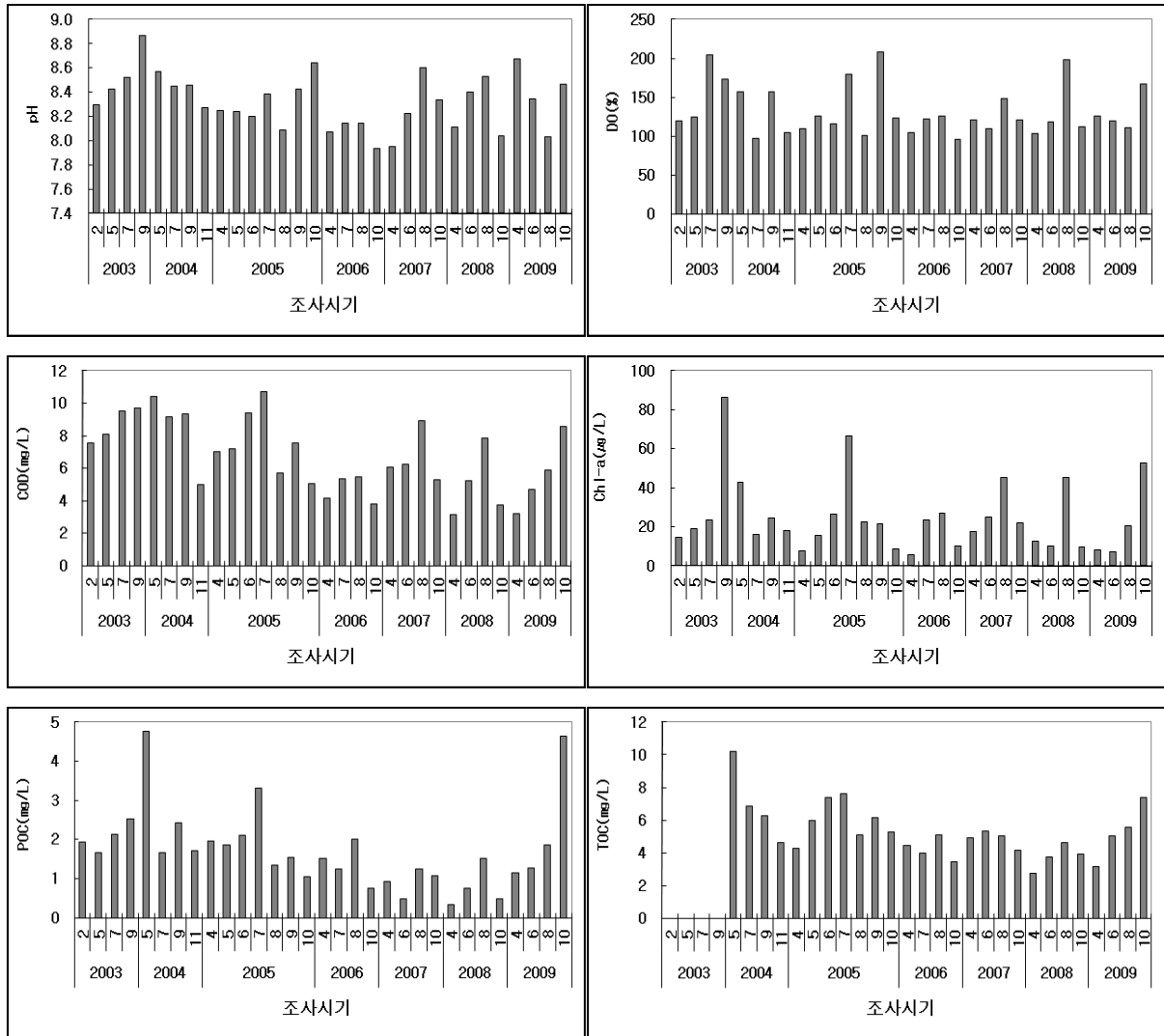


그림 3-2-15. 2003~2009년의 일반수질 월변화

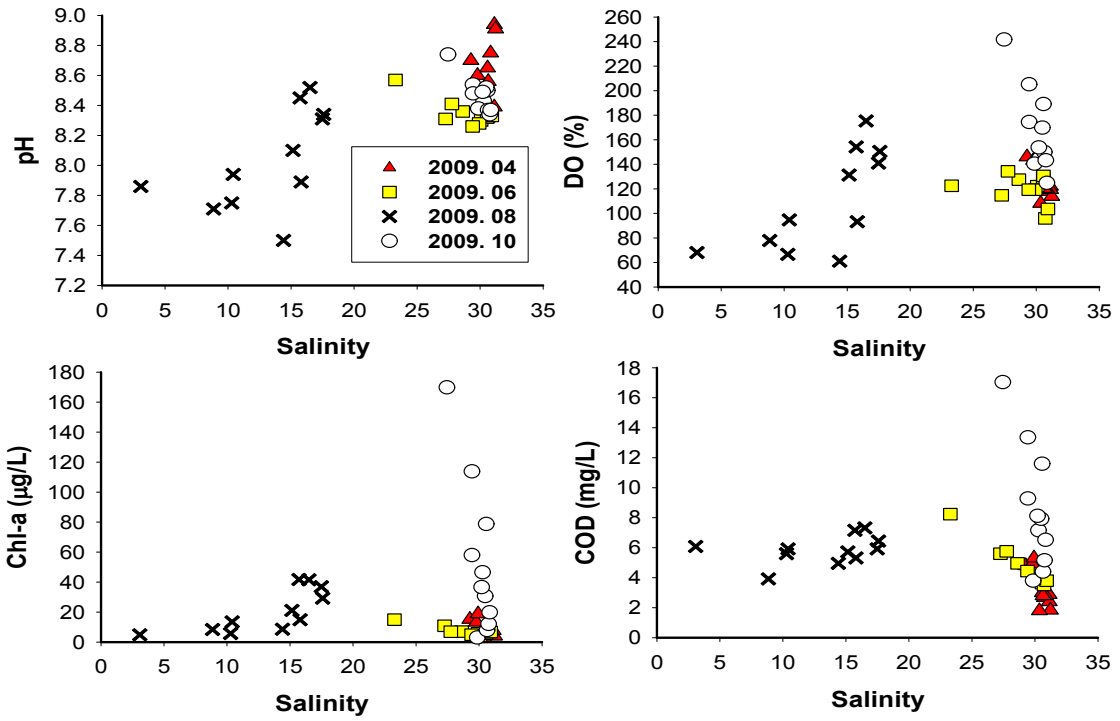


그림 3-2-16. 표층수의 염분과 일반수질과의 상관관계

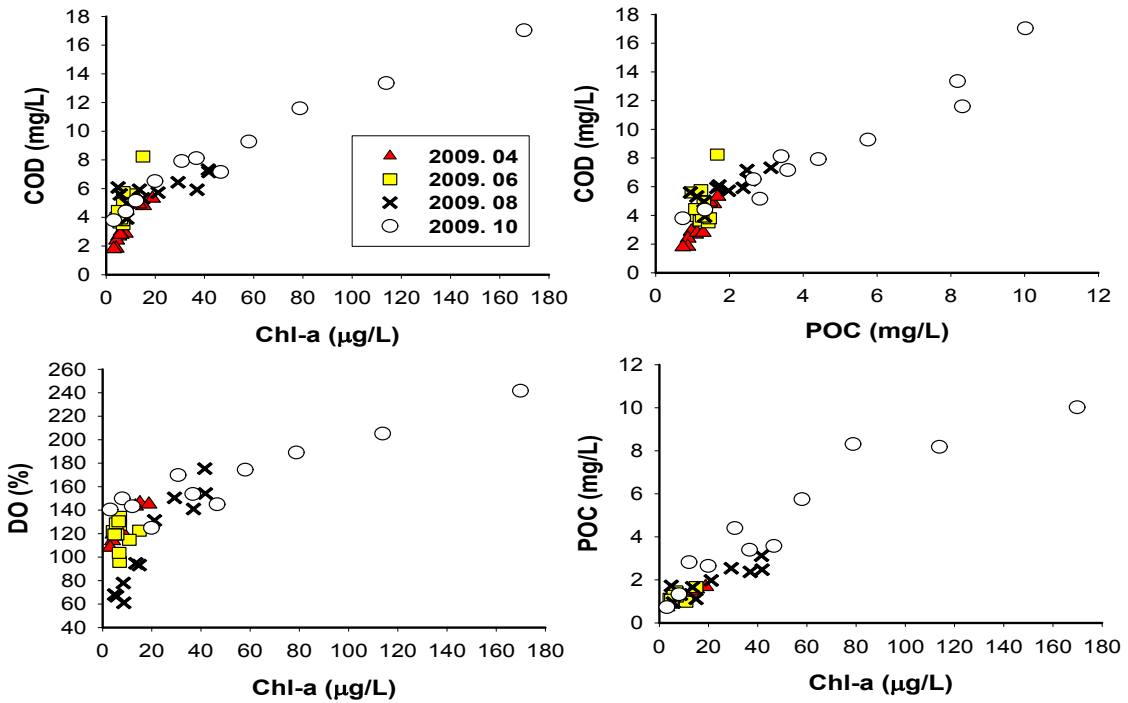


그림 3-2-17. 표층수의 클로로필-*a* 및 POC에 따른 COD, DO% 변화



표 3-2-5. 2003-2009년간의 시화호 방조제 내측 일반수질 연변화

조사 년도	pH	DO	COD	Chl-a	POC	TOC
		(%)	(mg/L)	( $\mu\text{g/L}$ )	(mg/L)	
2003	8.17-9.00 (8.53)	100-244 (155)	4.7-17.9 (8.7)	1.4-144 (35.9)	0.63-7.88 (2.06)	-
2004	7.85-9.14 (8.43)	56.4-293 (129)	3.0-21.5 (8.5)	1.9-117 (25.4)	0.51-14.3 (2.64)	3.40-19.8 (6.99)
2005	7.44-8.73 (8.32)	47.7-263 (138)	3.1-19.6 (7.5)	0.9-270 (24.1)	0.41-9.61 (1.88)	1.70-15.6 (5.96)
2006	7.68-8.43 (8.07)	71.4-162 (112)	2.2-10.3 (4.7)	0.6-46.4 (16.5)	0.27-4.25 (1.38)	2.43-7.09 (4.24)
2007	7.42-9.12 (8.28)	73.8-252 (125)	1.9-23.2 (6.6)	1.5-228 (27.6)	0.12-6.07 (0.93)	2.59-10.4 (4.87)
2008	7.87-8.71 (8.27)	79.2-232 (133)	1.0-9.2 (5.0)	1.4-65.0 (19.5)	0.13-2.03 (0.77)	1.95-5.45 (3.76)
2009	7.50-9.08 (8.38)	61.1-242 (131)	1.8-17.0 (5.6)	3.0-170 (22.1)	0.73-10.0 (2.24)	2.49-12.8 (5.27)

② 영양염 변화

총인은 2005년을 제외하고 봄철에 낮은 농도를 여름철에 높은 농도를 나타낸다(그림 3-2-18). 강우시 하천을 통한 유입이 있는 여름철을 제외하고 용존 인산염보다는 그 이외의 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 2008, 2009년의 경우 다른 조사 연도에 비해 총인 및 용존인산염의 농도가 낮았다. 특히 집중 강우가 있었던 2009년 8월 역시 다른 조사 시기에 비해서는 총인 및 용존인산염 농도가 높았으나, 예년에 비해서는 적은 농도를 보였다. 강우시 하천을 통해 용존인산염의 유입은 다른 영양염에 비해 적었기 때문으로 사료된다.

총질소도 총인과 유사하게 여름철이 높게 나타나고 2005년까지는 비교적 높게 나타났으나 2006년 감소하였다가 2007년 다시 증가한 후 2008년 이후 다시 감소하는 경향을 보였다(그림 3-2-18). 다른 계절과는 달리 8월에는 용존무기질소(DIN)의 비율이 높게 나타났다. 이는 강우에 의한 육상 질소화합물의 유입이 있었음을 보여주고 이들 중 용존무기질소가 가장 많았던 것을 보여주고 있다.

그림 3-2-19은 염분과 영양염간의 상관관계를 보여주고 있다. 총질소를 제외하고는 큰 상관성을 보이지 않았으나 전반적으로 염분도가 낮을 때 높은 영양염을, 염분이 높을 때 상대적으로 낮은 영양염 농도를 보였다. 이는 시화호내로 유입되는 영양염이 외해수의 유입보다는 하천을 통해 유입되는 양에 조절 받는다는 것을 보여준다.

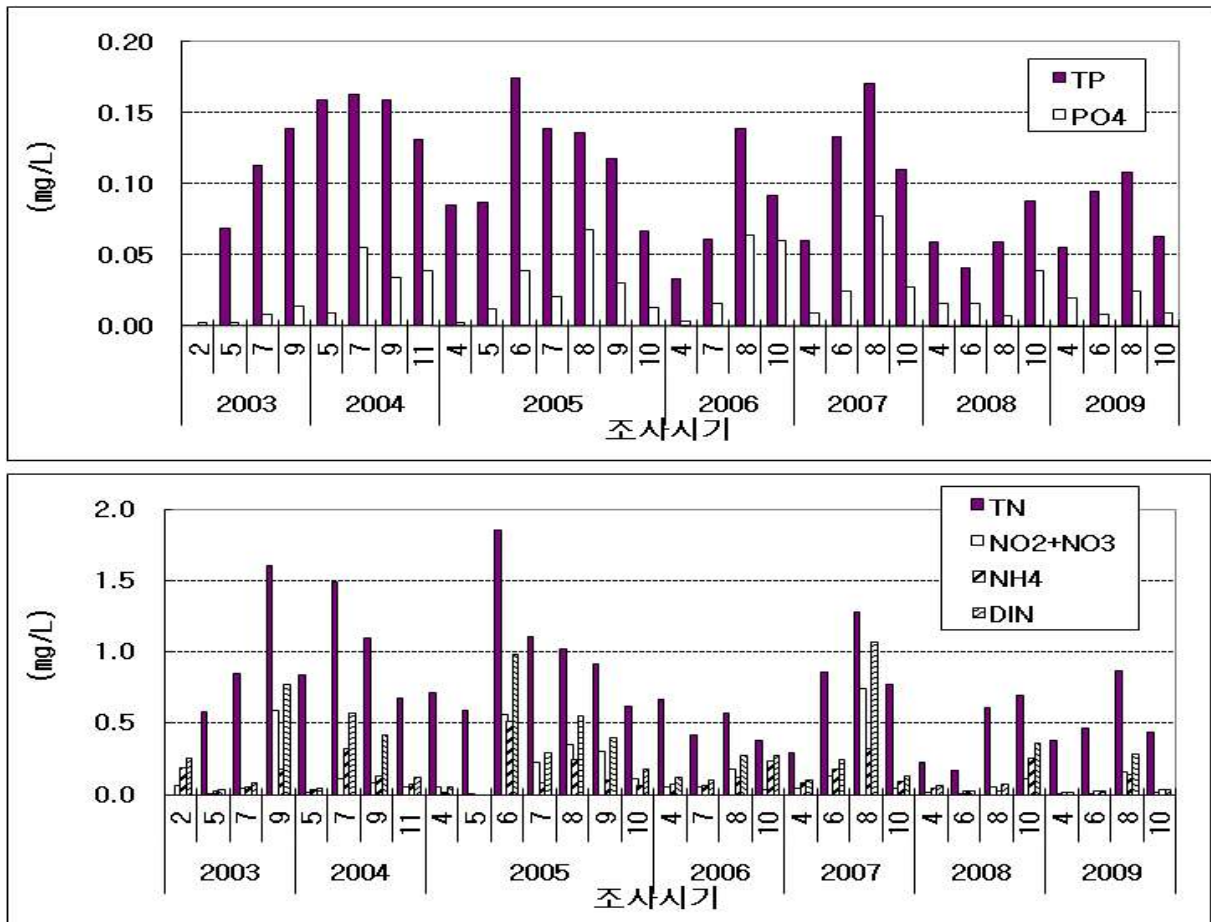


그림 3-2-18. 표층수의 형태별 인 및 질소의 분포



표 3-2-6. 2003-2009년간의 시화호 방조제 내측 영양염 연변화

조사 년도	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	DIN	TP	TN
	(mg/L)					
2003	0.001-0.068 (0.007)	0.001-1.500 (0.146)	0.014-1.685 (0.110)	0.015-2.765 (0.283)	0.035-0.214 (0.107)	0.420-3.532 (1.012)
2004	0.003-0.148 (0.035)	<0.001-0.119 (0.151)	0.004-0.739 (0.136)	0.004-1.401 (0.288)	0.029-0.544 (0.153)	0.361-2.135 (1.025)
2005	0.001-0.233 (0.026)	<0.001-1.258 (0.200)	<0.001-1.375 (0.144)	<0.001-2.422 (0.349)	0.033-0.405 (0.115)	0.364-4.764 (0.973)
2006	0.002-0.130 (0.036)	<0.001-0.263 (0.063)	0.004-0.463 (0.122)	0.004-0.724 (0.193)	0.016-0.214 (0.081)	0.231-1.358 (0.506)
2007	0.003-0.147 (0.035)	<0.001-1.317 (0.220)	<0.001-1.155 (0.168)	<0.001-1.866 (0.385)	0.024-0.340 (0.119)	0.145-2.786 (0.799)
2008	0.002-0.068 (0.019)	<0.001-0.192 (0.033)	0.009-0.447 (0.086)	0.010-0.640 (0.129)	0.011-0.134 (0.062)	0.100-1.010 (0.421)
2009	0.001-0.126 (0.028)	<0.001-1.201 (0.112)	0.004-0.638 (0.086)	0.005-1.897 (0.212)	0.013-0.211 (0.086)	0.203-2.046 (0.615)

#### (4) 중금속

2009년 4월과 8월에 채취된 시화호의 표층 및 수층별 시료의 중금속 분석 결과는 표 3-2-7~8에 나타내었으며, 표층수의 분포도는 그림 3-2-20~21과 같다. 그리고 2009년의 각 조사 시기 및 전체 조사기간 중의 용존성 중금속 농도와 산가용성 Hg의 범위와 평균을 표 3-2-9에 나타내었으며, 조사 시기별로 살펴보았다.

4월에 표층수의 용존성 중금속 농도는 Cd 0.049~0.062 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.055 $\mu\text{g/L}$ ), Co 0.114~0.254 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.167 $\mu\text{g/L}$ ), Cu 1.21~2.68 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.77 $\mu\text{g/L}$ ), Ni 2.24~7.16 $\mu\text{g/L}$ (평균 3.53 $\mu\text{g/L}$ ), Pb 0.013~0.044 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.021 $\mu\text{g/L}$ ), Zn 1.24~4.53 $\mu\text{g/L}$ (평균 2.53 $\mu\text{g/L}$ ), Fe 0.66~1.22 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.96 $\mu\text{g/L}$ ), Mn 54.8~85.9 $\mu\text{g/L}$ (평균 69.2 $\mu\text{g/L}$ ), 그리고 산가용성 Hg <0.10~0.92ng/L(평균 0.29ng/L)의 범위였다.

Cd은 정점간의 차이가 크지 않지만 시화호 중앙부인 정점 16에서 가장 낮고, 이 정점의 내측에 위치한 정점 17에서 가장 높은 농도였다. 이들 정점을 제외하면 모두 0.05 $\mu\text{g/L}$ 대의 농도였으며, 전년도보다 약간 높은 농도였지만 전년도의 경우 나타난 호수의 내측에서 낮고 갑문 방향으로 가면서 다소 증가하는 분포를 나타내지 않았다. 전년도와 마찬가지로 Co, Cu, Ni, Pb, Zn은 모두 배수 갑문에 가장 인접한 정점으로 외해수 영향을 많이 받고 있는 정점 15에서 가장 낮았다. 하지만 최고 농도는 Co, Ni은 조사 정점 중 호수의 가장 내측에 위치한 정점 3에서, Cu, Pb, Zn은 시화공단의 간선수로에 가까운 정점 5에서 최고 농도를 나타내었다. 이들 중금속 공간적인 분포는 호수의 내측에 위치한 오염원과 상대적으로 낮은 농도인 외해수 유입에 의한 혼합에 따른 결과로 내측에서 배수갑문 방향으로 가면서 낮아지는 분포가 뚜렷하였다. 또한 내측의 정점에서는 호수의 중앙부까지는 농도 경사가 컸으며, 호수 중앙부에서 방조제까지는 농도의 변화가 크지 않았다. 2008년 4월 조사에서는 내측인 정점 2에서 가장 높은 농도를 나타내었지만 2009년 조사에서는 조사선의 접근이 곤란함에 따라 정점 2까지 이루어지지 않음에 따라 정점 3 또는 5에서 가장 높은 농도를 나타내었다. Ni의 경우 전년도 4월의 최고 농도보다 1.6배 높았을 뿐 Co, Cu, Pb, Zn은 전년도보다 7~56% 낮았으며, 정점 2를 제외한 비교에서는 Co와 Zn은 올해 조사가 약간 높았다(국토해양부, 2008). Fe은 정점 7에서 가장 높은 농도를 나타내었고, 정점 3에서 1.20 $\mu\text{g/L}$ 로 최고 농도에 근접하는 높은 값을 나타내었으며, 호수의 중앙부부터 배수갑문까지는 1 $\mu\text{g/L}$  이하를 나타내었다. 2008년 4월 농도와 비교하면 최고 농도로는 약 1/8, 평균은 약 1/3에 해당하는 낮은 농도였다. Mn은 정점 3에서 가장 높은 85.9 $\mu\text{g/L}$ 를 나타내었으며, 정점 4, 5, 17과 9에서는 70~80 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 나타내었으며, 정점 17과 이웃한 정점 7에서 가장 낮은 54.8 $\mu\text{g/L}$ 를 나타내는 등 정점간의 농도 차이는 크지 않았다. 전체적으로 내측에서 높고 외측에서 낮은 농도 분포를 보였다. 본 조사의 Mn 농도는 2008년 4월의 58.3~92.2 $\mu\text{g/L}$ (평균 69.5 $\mu\text{g/L}$ )와 비슷하고 수평분포도 유사하였으나 2007년 4월에 내측의 일부 정점에서 수백  $\mu\text{g/L}$ 에 이르는 높은 농도를 나타내었지만 배수갑문 주변에서 10 $\mu\text{g/L}$  이하의 낮은 농도를 나타낸 것과 큰 차이를 나타내었다. 이와 같은 큰 차이는 용존 성분의 공급과 입자성 Mn의 형성, 혼합 희석의 영향이 크게 작용하기 때문으로 보인다. Hg은 방조제 중앙부와 가까운 정점 12에서 0.92ng/L로 가장 높은 농도를 나타내었지만 이곳을 제외하면 모든 정점이 0.3ng/L 이하였으며, 배수 갑문 주변과 내측에서 0.2ng/L 이하의 분포를 나타내었다.

8월 조사에서 용존성 중금속의 농도 범위는 Cd 0.011~0.027 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.018 $\mu\text{g/L}$ ), Co 0.038~0.150 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.081 $\mu\text{g/L}$ ), Cu 1.75~3.79 $\mu\text{g/L}$ (평균 2.48 $\mu\text{g/L}$ ), Ni 1.56~3.39 $\mu\text{g/L}$ (평균

2.45 $\mu\text{g/L}$ ), Pb 0.011~0.031 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.016 $\mu\text{g/L}$ ), Zn 0.63~10.8 $\mu\text{g/L}$ (평균 3.19 $\mu\text{g/L}$ ), Fe 0.57~6.15 $\mu\text{g/L}$ (평균 2.59 $\mu\text{g/L}$ ), Mn 0.47~92.1 $\mu\text{g/L}$ (평균 22.7 $\mu\text{g/L}$ ) 그리고 산가용성 Hg 0.70~4.91ng/L(평균 1.86ng/L)를 나타내었다.

Cd은 배수갑문과 가까운 정점 12~15에서 0.015 $\mu\text{g/L}$  이하의 낮은 농도를 나타내었으며, 방조제 북단에 가까운 정점에서 가장 높았고, 그 외에는 0.02 $\mu\text{g/L}$  내외의 농도였다. Co는 반월 및 시화공단 접경부에 가까운 정점 5와 7에서 가장 높은 농도를 나타내었고 주변으로 나가면서 농도가 급격히 감소하였으며, 호수 중앙부부터 배수갑문까지는 0.6 $\mu\text{g/L}$  이하였고, 정점 14에서는 가장 낮은 농도를 보였다. 그 외의 중금속 가운데 Pb을 제외한 Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, Hg은 본 조사의 가장 내측인 정점 3에서 최고 농도를 나타내었으며, Pb은 정점 12에서 가장 높았다. 최저 농도는 Hg은 정점 12, 그 외의 중금속은 정점 14에서 나타나는 등 대체로 호수의 내측에서 방조제 방향으로 가면서 감소하는 분포였다. 한편 Cd, Cu, Ni, Pb은 최소 농도와 최고 농도의 차이가 2~3배 정도로 다른 중금속들에 비하여 변화가 적었다. Zn, Fe, Mn의 경우는 정점간 차이가 컸는데, 특히 Mn은 편차가 컸고 호수 중앙부에서 배수갑문까지는 4 $\mu\text{g/L}$  이하로 2009년 4월보다 매우 낮은 농도를 보였다.

수 중에서 중금속은 용존과 입자성으로 대별되며, 총 중금속은 이들의 합을 의미한다. 본 조사에서 측정된 각 중금속의 합인 총 중금속의 농도를 살펴보면 4월의 경우 Cd은 0.050~0.063 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.057 $\mu\text{g/L}$ )의 범위로 정점 17에서 가장 높지만 정점간의 변화가 크지 않다. Co, Ni, Mn은 호수 가장 내측 정점인 정점 3에서 가장 높았으며, 그 외의 중금속들은 정점 5에서 최고 농도를 나타내었다. 하지만 최저 농도는 Mn을 제외하면 배수갑문에 인접한 정점 15에서 나타났으며, Mn은 호수의 중앙부인 정점 7에서 가장 낮았다. 이상과 같이 원소별로 다소의 차이가 있으나 호수의 내측에서 배수갑문쪽으로 가면서 농도가 낮아지는 경향이 강하였으며, Cd, Fe, Mn은 분포가 다소 복잡하면서 위와 같은 경향이 약했다. 8월에는 Cd의 경우 방조제 북단에 가까운 정점 9에서 0.032 $\mu\text{g/L}$ 로 가장 높았으며, 그 외의 모든 중금속들은 호수의 가장 내측 정점으로 반월공단에 인접한 정점 3에서 가장 높은 농도를 보였다. 최저 농도는 Fe의 경우만 배수갑문과 가까운 정점 15에서 나타났으며, 그 외에는 정점 14에서 나타났다. 공간적인 분포는 모든 중금속이 4월보다 더욱 강하게 내측에서 배수갑문쪽으로 가면서 낮아졌다. 한편 Co와 Pb은 정점 3에서 입자 형태의 기여율이 높음에 따라 용존 형태의 농도에서와 달리 정점 3에서 최고 농도를 나타내었다. 이것은 입자성 중금속에 있어서 인접한 정점들과 함량 차이는 거의 없는 것으로 보면 하계 강우에 의한 토사 및 부유입자들의 기여에 따른 것이다.

총 중금속에서 용존 또는 입자성 중금속이 차지하는 비율(DM/TM 또는 PM/TM)을 살펴보면 4월의 경우 Cd, Co, Cu, Ni, Zn, Mn은 절대적으로 용존 형태가 우세하였고 각 원소별로 변동 범위도 크지 않았다, 한편 Cd, Ni, Mn은 각각 96.9%, 97.6%, 91.1%의 높은 평균 점유율을 나타내었으며, Co, Cu는 각각 84.3%, 88.6%의 평균 점유율을 나타내었고, Zn은 정점에 따라 56.1~77.2%(평균 67.2%)를 나타내었는데 Mn을 제외하면 호수의 내측 정점들에서 약간 낮은 점유율을 나타내어 다소 높은 농도의 부유물질에 기인한 것으로 보인다. 반면 Pb과 Fe은 용존성 중금속의 비율이 각각 9.2~19.1%(평균 12.5%), 0.6~1.7%(평균 1.1%)로 입자 성분이 크게 영향을 미치는데, 특히 Fe의 경우는 절대적으로 입자 성분이 우세한데 이것은 입자내에 Fe의 함량이 수 % 수준으로 존재하기 때문이다. 8월에는 4월과 다르게 용존 성분의 점유율이 감소하였는데, Cd, Cu, Ni,은 각각 63.7~89.1%(평균 80.6%), 52.8~88.3%(평균 75.5%), 67.6~

91.2%(평균 82.2%)로 용존 성분이 우세하였으나 그 외의 중금속은 Co 31.5%, Pb 3.0%, Zn 30.4%, Fe 0.9%, Mn 22.0%로 입자 성분이 우세하게 차지하였으며, 그러한 경향이 4월보다 강하게 나타났는데 이는 부유물질의 농도 증가에 기인하고 있다. 한편 Zn, Mn을 제외하면 호수의 내측에서 배수갑문 방향으로 가면서 용존 성분의 비가 다소 증가하였다. 특히 Mn은 4월과 8월에 점유율의 큰 변화가 있었는데 8월에는 상대적으로 매우 낮은 용존성 금속 농도와 입자 성분이 우세에 따라 호수의 중앙부에서 배수갑문까지 10% 이하의 DM/TM 비를 나타내었다.

부유물질 내의 금속 함량은 부유물질의 생성 기원은 물론 수계 내의 흡·탈착 및 흡수, 분해 과정의 복잡한 거동 과정을 반영하고 있다. 본 조사에서 부유물질은 4월과 8월에 각각 1.7~6.7mg/L(평균 4.1mg/L), 4.6~27.8mg/L(평균 11.4mg/L)로 농도 변동 범위 뿐 아니라 평균으로 보면 8월에 약 3배의 높은 농도였는데 이것은 강우에 의한 육상 기원 부유물질이 다량 유입하였기 때문이다. 이러한 부유물질들의 농도에 따른 입자성 금속의 함량과의 관계를 보면 금속 및 시기별로 다소의 차이가 있는데 시기별 평균으로는 4월이 8월에 Cd과 Cu, 그 외의 중금속은 8월에 높은 함량을 나타내었다. 또한 8월에는 Cd, Mn은 부유물질 농도 증가에 따라 함량이 감소하지만 Al, Fe, Co, Cu, Ni, Pb, Cr, As는 부유물질 농도와 양의 상관성을 뚜렷하게 나타내었다. 또한 4월에는 Cu, Ni, C도 부유물질 양의 상관관계를 보였다(그림 3-2-22). 이와 같은 양의 상관성은 내측의 높은 부유물질 농도에 주변의 산업단지의 영향이 작용하고 있기 때문이라고 생각된다. 총 중금속 농도와 부유물질의 관계에서는 시기와 금속에 따라 차이가 있지만 4월에 Cd를 제외하면 모두 양의 상관성을 나타내었으며(그림 3-2-23), Cd의 경우 분포 경향 차이가 있고 상대적으로 Cd은 용존 형태의 점유율이 높고, 용존성 농도가 정점간에 큰 차이를 나타내지 않기 때문이다. 상관성이 양호한 중금속 중에서도 Co, Ni, Zn, Mn은 8월보다 4월에 부유물질 농도에 대하여 상대적으로 높게 형성되었는데 이것은 용존 성분의 농도가 높게 차지하기 때문이다.

2009년 4월과 8월에 각각 1회씩 실시된 조사의 용존 중금속(Hg; 산가용성 농도) 농도의 범위 및 평균을 비교하였다. Cd의 경우 두 시기 모두 변동 범위는 좁지만 농도 분포는 4월이 전체적으로 2~4배 이상 높았는데, 평균 농도로는 3배 높았다. 분포 범위에 있어 차이가 있지만 평균 농도로는 Co, Ni, Pb, Mn이 8월보다 4월에 높은 농도를 나타내었는데 Co는 2배, Mn은 3배 정도 높았으며, Ni과 Pb은 1.4배 정도 높았다. 그 외의 중금속은 8월에 높게 나타났는데 Fe과 Hg의 경우 8월에 2.7배, 6.4배 높았다(표 3-2-9).

시화호는 형성 초기에 내부의 해수를 제거하는 담수화 과정을 거쳤으며, 이 과정 중에 오염도 증가함에 따라 다시 해수화 과정을 거쳤으며, 현재도 호수의 물과 외해수는 지속적인 교환이 이루어지고 있다. 이에 따라 호수 내부에서는 염분의 변화가 시기 및 정점, 그리고 수직적으로 큰 차이를 나타내고 있다. 하구와 해양에서 염분은 다양한 물질의 거동을 이해하는데 주요한 물리, 화학적 인자의 하나로 활용되고 있다. 담수와 해수가 혼합되는 지역은 생지화학적 작용이 활발한 곳으로 육상 기원 물질의 해양 유입 억제 기능을 하는 등 그 중요성이 크다(Schubel and Kennedy, 1984). 중금속 역시 이러한 지역에서 급격한 변화를 보이며, 염분과 밀접한 관계를 갖는데(Sharp *et al.*, 1984; Byrd *et al.*, 1990), 이것은 염분 변화가 중금속의 흡·탈착 및 화학종에 크게 영향을 미치기 때문이다(Millero *et al.*, 1987). 용존성 중금속은 염분과 밀접한 관련을 가졌지만 시기 및 원소에 따라 다르게 나타났는데 4월에는 염분의 변동 폭이 좁음에도 불구하고 대부분의 중금속은 음의 상관성을 나타내었으며, 다만 Cd과 Hg은 염분에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 8월에는 강우에 의하여 염분의 변동이 컸

으며, 이에 따라 음의 상관성이 명확하게 나타났으며, Pb의 경우도 분산이 되지만 약한 음의 상관관계를 볼 수 있었다(그림 3-2-24). 한편 높은 음의 상관성을 나타내는 중금속들은 고염분을 가진 외해수의 유입에 따른 희석에 의한 영향이 크게 작용하지만 시기에 따라 변화가 크다. 2008년의 조사에서는 용존성 Cd의 경우 염분의 증가에 기인한 이온강도의 상승으로 부유물질로부터 탈착이 이루어짐에 따라 양의 상관성은 보였지만(국토해양부, 2008), 본 조사에서는 이러한 현상을 볼 수 없었다.

그림 3-2-25에는 최근 2003년부터 2009년까지 총 7년 동안 시화호 각 정점의 연도별 평균 농도를 나타내었다. 전체 조사 자료 중에서 2004년에 정점 4에서 Pb를 제외한 대부분 중금속이 다른 정점이나 시기보다 매우 높은 농도를 보였고, Pb는 2007년에 정점 5에서 가장 높았다. Cd의 경우는 다소 약하지만 나머지 중금속들은 대부분의 연도에 공단의 영향을 많이 받는 호수의 내측 정점에서 외해수의 영향을 받는 방조제와 배수갑문쪽으로 갈수록 감소하는 경향이 강하게 나타났다. Cd의 경우 2005년에는 다른 시기보다 높으면서 방조제 주변에서도 높은 농도를 나타내었으며, 2006~2009년에는 0.4 $\mu\text{g/L}$  내외의 농도 분포를 나타내는 정점이 많았다. 각 정점에 대하여 보면 Co, Cu, Ni은 2003~2005년에 높게 나타나는 곳이 많았으며, 이후에는 다소 낮은 농도를 보였다. Pb은 각 정점에서의 최대 농도의 출현이 다소 복잡하였지만 각 정점들에서 Pb 농도는 최근들어 낮아지는 추세를 보였다.

시화호와 유역의 환경모니터링 조사에서 용존성 중금속 자료는 2000년을 제외하고는 연간 1~3회의 빈도로 시화호를 대상으로 수행되었다(해양수산부, 2007; 국토해양부, 2008). 이들 자료 중에서 시화호의 배수갑문에 가까워서 외해수의 영향을 많이 받으면서 지속적으로 조사된 정점 13(1997년 8월 경우는 정점 11)의 표층수 중의 용존성 중금속 평균 농도 변화를 그림 3-2-26에 나타내었다.

Co, Ni, Cu, Zn은 해수를 담수화하는 초기임에도 불구하고 1996년 10월에 비해 1997년 4월에 급격하게 상승하였으며, 이후부터 2001년까지는 조사 시기 및 원소별로 변동이 매우 클 뿐 아니라 불규칙적이었다. 시간의 경과에 따라 전반적으로 농도가 낮아지는 경향이 있었지만 2002년에는 상승 및 감소가 반복되었고, 2003년 7월에는 매우 증가하였는데 특히, Ni, Cu은 2002년에 비해 약 2배, Pb은 3배 이상 높은 농도였다. 2004년에도 Ni과 Cu는 2003년과 비슷하거나 다소 높은 농도를 보였지만 2005년엔 전년도보다 약간 감소하였고, 2006년에는 더 낮아졌다. 2007년 8월에는 상당히 상승한 값을 나타내었지만 그 외에는 2006년과 비슷한 농도를 보였다. Zn도 2003년의 후반기 조사에 비해서는 높고, 계속 상승하는 추세였지만 2006년은 2005년 5월보다는 낮은 수준이었으며, 최근까지 감소 추세가 이어졌다. Co는 초기의 큰 변동을 제외하면 변동폭이 줄어들면서 농도가 낮아지는 경향이었는데, 2006년 8월부터 2007년까지는 비교적 낮은 농도를 보이다가 2008~2009년에는 증가와 감소를 반복하였다. Cd도 Co와 같이 초기에 변화가 크게 나타났으며, 이후부터 최근까지도 큰 폭은 아니지만 증감이 지속적으로 반복되었는데 농도의 감소 경향은 보이지 않았다. Pb은 1998년 9월과 2003년 7월의 높은 농도를 나타내었으나 전체적으로 0.05 $\mu\text{g/L}$  이하였고 2008~2009년에는 0.025 $\mu\text{g/L}$ 보다 낮은 농도를 나타내었다.

그림 3-2-27에는 2001년 이후 시화호의 전체 조사 정점에 대한 각 연도의 최소와 최대 및 평균 농도의 변화, 그리고 표 3-2-10에는 2003~2009년까지 각 연도별 평균을 나타내었다. Co, Ni, Cu, Zn은 2004년에 변동 범위가 가장 크게 나타났으며, Pb은 2007년 뿐 아니라 2004년에도 큰 변화를 보였으며, Hg은 2005년에 가장 큰 변동을 하였지만 이후부터 다소 변동이 줄었



다. 2004년의 큰 변동은 시화호에 대한 주요한 오염원으로 작용하는 신길천과 가까운 정점 4에서 9월에 나타난 고농도에 영향을 받았기 때문이다. 각 중금속의 연평균 농도는 Ni, Cu는 2004년, Hg은 2005년에 다른 연도보다 매우 높은 농도를 보였으며, 2007년에 Pb이 크게 변동하였으나 평균 농도는 전년도와 비슷하거나 약간 낮았으며, 2008년은 모든 중금속이 2007년보다 변동폭이 적었으며, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg은 2006년 및 2007년보다 낮았다. 그러나 Ni, Zn, Hg은 2009년이 전년도보다 변동 범위가 컸으며, 평균 농도로는 전년도보다 2009년에 Cd, Co, Ni, Zn의 경우 약 24~63%의 증가, Pb과 Fe은 각각 24%, 22% 감소하였고, Cu, Mn, Hg은 서로 비슷하였다.

전체적으로 보면 초기의 높은 농도, 2003~2005년 사이의 불규칙적인 상승으로 부하가 있었으나 최근의 정점별 자료 및 호수 중앙부의 경시변화는 감소 추세를 나타내어 지속적인 해수 유입에 의한 환경의 개선 효과가 있는 것으로 판단된다. 그러나 2008년보다 2009년에도 일부 중금속의 변동폭과 평균 농도의 증가로 볼 때 지속적인 환경 개선과 모니터링이 필요하다.

우리나라의 해역별 수질 기준에서 인간의 건강보호 항목으로 중금속이 설정되어 있으며, 그 기준은 Cd  $10\mu\text{g/L}$ , Cu  $20\mu\text{g/L}$ , Pb  $50\mu\text{g/L}$ , Zn  $100\mu\text{g/L}$ , 그리고 Hg  $500\text{ng/L}$ 이다. 본 조사에 의한 시화호의 중금속 농도는 이들 기준 이하였다. 그러나 미국의 기준은 Cd  $8.8\mu\text{g/L}$ , Cu  $3.1\mu\text{g/L}$ , Pb  $8.1\mu\text{g/L}$ , Zn  $81\mu\text{g/L}$ , 그리고 Hg  $940\text{ng/L}$ 로 우리나라 보다 엄격한데, 본 조사 결과는 이들 기준을 대부분 만족하지만 Cu의 경우 8월에 정점 3은 미국의 기준을 초과하였다.

표 3-2-7. 시화호 방조제 내측 해수중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 28)

정점	Depth	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(m)									
3	0.6	0.055	0.254	2.55	7.16	0.028	3.79	1.20	85.9	0.20
4	0.6	0.054	0.222	2.24	4.47	0.027	3.54	1.10	73.5	0.19
5	0.6	0.058	0.221	2.68	4.66	0.044	4.53	1.06	72.5	0.30
	2.0	0.058	0.189	1.92	3.67	0.025	3.54	0.88	59.8	0.23
	4.0	0.054	0.177	1.82	3.48	0.022	3.21	0.78	51.0	0.24
	6.0	0.052	0.180	1.62	3.18	0.014	3.02	1.35	75.0	0.07
7	0.6	0.051	0.170	1.65	3.11	0.027	3.20	1.22	54.8	0.28
9	0.6	0.059	0.151	1.62	3.11	0.015	2.11	0.99	76.5	0.24
	2.0	0.049	0.158	1.53	2.97	0.014	2.14	1.05	49.9	1.12
	4.0	0.050	0.158	1.52	3.00	0.017	2.18	0.96	52.7	0.35
	6.9	0.044	0.172	1.31	2.61	0.017	2.60	1.39	110	1.50
12	0.6	0.055	0.134	1.37	2.66	0.014	1.64	0.87	68.7	0.92
	2.0	0.058	0.127	1.33	2.59	0.014	1.61	0.78	64.3	3.40
	4.0	0.053	0.120	1.30	2.40	0.015	1.61	0.78	63.2	0.42
	6.0	0.055	0.117	1.19	2.30	0.019	1.70	0.81	68.7	0.60
	8.0	0.056	0.106	1.11	2.12	0.015	1.64	0.71	54.6	1.08
	10.0	0.054	0.097	1.01	1.91	0.023	1.66	0.82	51.0	0.30
	14.0	0.041	0.093	0.72	1.71	0.032	1.55	0.54	49.1	1.07
13	0.6	0.057	0.125	1.37	2.52	0.014	1.39	0.91	64.0	<0.10
14	0.6	0.058	0.129	1.36	2.46	0.014	1.31	0.72	66.1	0.25
15	0.6	0.050	0.114	1.21	2.24	0.013	1.24	0.74	60.9	0.09
16	0.6	0.049	0.133	1.42	2.62	0.017	1.73	0.66	60.0	<0.10
17	0.6	0.062	0.184	2.02	3.77	0.023	3.33	1.10	78.0	0.12
<b>최소*</b>		<b>0.049</b>	<b>0.114</b>	<b>1.21</b>	<b>2.24</b>	<b>0.013</b>	<b>1.24</b>	<b>0.66</b>	<b>54.8</b>	<b>&lt;0.10</b>
<b>최대*</b>		<b>0.062</b>	<b>0.254</b>	<b>2.68</b>	<b>7.16</b>	<b>0.044</b>	<b>4.53</b>	<b>1.22</b>	<b>85.9</b>	<b>0.92</b>
<b>평균*</b>		<b>0.055</b>	<b>0.167</b>	<b>1.77</b>	<b>3.53</b>	<b>0.021</b>	<b>2.53</b>	<b>0.96</b>	<b>69.2</b>	<b>0.29</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-7. 계속(2009. 8. 14)

정점	Depth	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(m)									
3	0.6	0.020	0.117	3.79	3.39	0.020	10.8	6.15	92.1	4.91
4	0.6	0.021	0.079	2.37	2.46	0.013	3.57	2.27	6.06	2.23
5	0.6	0.019	0.150	2.77	2.67	0.015	5.63	3.21	82.5	1.56
	2.0	0.021	0.037	1.98	2.44	0.018	2.98	1.28	21.7	0.81
	4.0	0.008	0.010	0.63	1.35	0.006	0.93	1.47	0.41	1.76
	6.0	0.004	0.008	0.50	1.19	0.004	0.76	1.19	0.32	2.83
7	0.6	0.024	0.150	3.07	3.31	0.017	6.03	4.61	59.1	3.56
9	0.6	0.027	0.116	3.19	2.93	0.013	2.63	1.64	3.69	1.36
	2.0	0.019	0.027	1.73	1.85	0.019	2.75	2.00	0.28	0.86
	4.0	0.016	0.014	1.02	1.63	0.012	2.41	0.55	0.52	2.21
	7.0	0.012	0.009	0.68	1.12	0.007	0.91	0.41	0.33	3.50
12	0.6	0.015	0.053	2.27	2.01	0.031	1.22	3.97	2.42	0.70
	2.0	0.015	0.038	1.97	1.76	0.012	0.92	1.40	0.35	1.93
	4.0	0.025	0.028	1.04	1.13	0.010	0.96	1.05	0.71	0.67
	6.0	0.024	0.014	0.78	1.00	0.007	0.65	0.24	0.25	0.56
	8.0	0.021	0.010	0.73	0.96	0.010	0.60	0.15	0.24	0.69
	10.0	0.007	0.009	0.44	1.01	0.002	0.39	0.11	0.76	3.25
	14.0	0.002	0.267	0.23	1.23	0.007	1.02	1.39	1702	1.24
13	0.6	0.011	0.053	1.98	1.77	0.018	0.89	3.24	1.18	1.07
14	0.6	0.012	0.038	1.75	1.56	0.011	0.63	0.57	0.47	1.02
15	0.6	0.015	0.046	2.10	2.33	0.017	1.02	1.02	0.61	1.15
16	0.6	0.018	0.039	1.93	2.25	0.012	1.14	0.69	0.85	1.76
17	0.6	0.017	0.050	2.02	2.28	0.012	1.58	1.11	1.21	1.15
<b>최소*</b>		<b>0.011</b>	<b>0.038</b>	<b>1.75</b>	<b>1.56</b>	<b>0.011</b>	<b>0.63</b>	<b>0.57</b>	<b>0.47</b>	<b>0.70</b>
<b>최대*</b>		<b>0.027</b>	<b>0.150</b>	<b>3.79</b>	<b>3.39</b>	<b>0.031</b>	<b>10.8</b>	<b>6.15</b>	<b>92.1</b>	<b>4.91</b>
<b>평균*</b>		<b>0.018</b>	<b>0.081</b>	<b>2.48</b>	<b>2.45</b>	<b>0.016</b>	<b>3.19</b>	<b>2.59</b>	<b>22.7</b>	<b>1.86</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-8. 시화호 방조제 내측 해수중의 총중금속 농도(2009. 4. 28)

정점	Depth	Total Cd	Total Co	Total Cu	Total Ni	Total Pb	Total Zn	Total Fe	Total Mn
	(m)	(μg/L)							
3	0.6	0.058	0.297	3.02	7.34	0.311	6.60	140	91.7
4	0.6	0.056	0.260	2.61	4.60	0.274	6.31	122	79.0
5	0.6	0.060	0.269	3.24	4.83	0.405	7.91	155	79.1
	2.0	0.060	0.230	2.27	3.79	0.270	5.29	134	66.8
	4.0	0.056	0.209	2.07	3.56	0.205	4.56	97.9	57.8
	6.0	0.053	0.210	1.89	3.27	0.187	4.30	110	81.4
7	0.6	0.053	0.199	1.90	3.19	0.199	4.53	93.4	60.4
9	0.6	0.061	0.169	1.78	3.15	0.114	2.88	58.6	83.8
	2.0	0.052	0.178	1.70	3.02	0.126	3.13	66.5	58.1
	4.0	0.052	0.181	1.73	3.06	0.136	3.14	72.9	61.0
	6.9	0.047	0.226	1.81	2.76	0.251	4.06	190	126
12	0.6	0.057	0.162	1.55	2.73	0.112	2.41	83.5	76.9
	2.0	0.060	0.156	1.53	2.65	0.119	2.40	90.8	72.9
	4.0	0.055	0.144	1.46	2.46	0.105	2.43	72.4	71.6
	6.0	0.058	0.136	1.32	2.35	0.090	2.30	58.6	74.8
	8.0	0.058	0.144	1.30	2.20	0.126	2.49	110	62.3
	10.0	0.056	0.143	1.24	2.01	0.145	2.62	132	58.4
	14.0	0.052	0.212	1.55	2.01	0.366	3.86	344	58.0
13	0.6	0.059	0.148	1.47	2.58	0.093	1.89	74.8	71.0
14	0.6	0.059	0.170	1.51	2.56	0.129	1.96	125	72.7
15	0.6	0.050	0.128	1.28	2.26	0.069	1.60	45.3	67.1
16	0.6	0.051	0.164	1.63	2.69	0.142	2.51	96.3	68.1
17	0.6	0.063	0.213	2.27	3.84	0.1989	4.69	93.0	83.9
<b>최소*</b>		<b>0.050</b>	<b>0.128</b>	<b>1.28</b>	<b>2.26</b>	<b>0.069</b>	<b>1.60</b>	<b>45.3</b>	<b>60.4</b>
<b>최대*</b>		<b>0.063</b>	<b>0.297</b>	<b>3.24</b>	<b>7.34</b>	<b>0.405</b>	<b>7.91</b>	<b>155</b>	<b>91.7</b>
<b>평균*</b>		<b>0.057</b>	<b>0.198</b>	<b>2.02</b>	<b>3.62</b>	<b>0.185</b>	<b>3.94</b>	<b>98.8</b>	<b>75.8</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-8. 계속(2009. 8. 14)

정점	Depth	Total Cd	Total Co	Total Cu	Total Ni	Total Pb	Total Zn	Total Fe	Total Mn
	(m)	(μg/L)							
3	0.6	0.026	0.705	7.17	5.02	2.603	25.4	1708	134
4	0.6	0.023	0.343	3.64	3.17	1.063	8.93	700	55.1
5	0.6	0.023	0.431	4.30	3.61	1.428	12.3	910	119
	2.0	0.022	0.102	2.31	2.60	0.338	4.18	119	34.5
	4.0	0.010	0.123	0.98	1.62	0.417	2.67	232	108
	6.0	0.008	0.320	1.80	1.91	1.152	5.54	670	276
7	0.6	0.028	0.459	4.98	4.30	1.618	13.6	895	96.5
9	0.6	0.032	0.369	4.43	3.77	1.253	11.8	639	70.8
	2.0	0.019	0.070	1.93	1.96	0.297	3.95	70.7	8.89
	4.0	0.016	0.060	1.19	1.75	0.249	3.18	77.7	17.1
	7.0	0.018	0.351	2.40	1.96	1.327	5.80	862	156
12	0.6	0.020	0.148	2.61	2.29	0.405	5.12	140	25.7
	2.0	0.017	0.112	2.23	1.96	0.294	3.66	98.1	18.1
	4.0	0.026	0.079	1.17	1.23	0.183	1.68	102	11.6
	6.0	0.024	0.042	0.85	1.04	0.098	0.98	55.9	7.90
	8.0	0.022	0.069	0.86	1.09	0.171	1.29	121	21.1
	10.0	0.008	0.036	0.50	1.06	0.062	0.80	31.6	92.8
	14.0	0.004	0.282	0.35	1.28	0.088	1.74	40.4	1748
13	0.6	0.018	0.132	2.29	2.05	0.367	4.71	133	22.2
14	0.6	0.016	0.107	2.00	1.78	0.290	3.51	105	18.0
15	0.6	0.020	0.115	2.38	2.55	0.317	4.58	98.2	18.0
16	0.6	0.021	0.171	2.40	2.58	0.463	5.91	174	31.3
17	0.6	0.020	0.150	2.36	2.52	0.349	4.18	148	40.4
<b>최소*</b>		<b>0.016</b>	<b>0.107</b>	<b>2.00</b>	<b>1.78</b>	<b>0.290</b>	<b>3.51</b>	<b>98.2</b>	<b>18.0</b>
<b>최대*</b>		<b>0.032</b>	<b>0.705</b>	<b>7.17</b>	<b>5.02</b>	<b>2.603</b>	<b>25.4</b>	<b>1708</b>	<b>134</b>
<b>평균*</b>		<b>0.022</b>	<b>0.285</b>	<b>3.51</b>	<b>3.06</b>	<b>0.923</b>	<b>9.10</b>	<b>514</b>	<b>57.4</b>

\* 이 값들은 표층수의 자료임.

표 3-2-9. 시화호 방조제 내측 해수중의 용존성 중금속 농도 변화 범위와 평균 농도

측정 시기	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(μg/L)								(ng/L)
4월	0.049~0.062 (0.055)	0.114~0.254 (0.167)	1.21~2.68 (1.77)	2.24~7.16 (3.53)	0.013~0.044 (0.021)	1.24~4.53 (2.53)	0.66~1.22 (0.96)	54.8~85.9 (69.2)	<0.10~0.92 (0.29)
8월	0.011~0.027 (0.018)	0.038~0.150 (0.081)	1.75~3.79 (2.48)	1.56~3.39 (2.45)	0.011~0.031 (0.016)	0.63~10.8 (3.19)	0.57~6.15 (2.59)	0.47~92.1 (22.7)	0.70~4.91 (1.86)
전체 평균	0.011~0.062 (0.037)	0.038~0.254 (0.124)	1.21~3.79 (2.12)	1.56~7.16 (2.99)	0.011~0.044 (0.019)	0.63~10.8 (2.86)	0.57~6.15 (1.77)	0.47~92.1 (46.0)	0.70~4.91 (1.08)

표 3-2-10. 시화호 방조제 내측 해수중의 연도별 평균 중금속 농도 비교

조사 연도	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(μg/L)								(ng/L)
2003	0.045	0.192	3.38	5.24	0.044	4.96	-	-	0.55
2004	0.037	0.155	9.98	6.42	0.050	3.84	-	-	0.83
2005	0.056	0.175	3.56	4.17	0.025	3.69	0.92	-	5.50
2006	0.045	0.117	2.58	3.04	0.035	4.66	0.82	49.4	2.73
2007	0.041	0.092	3.10	2.73	0.028	2.52	2.48	27.6	1.12
2008	0.029	0.100	2.21	2.07	0.025	1.76	2.25	35.2	0.97
2009	0.037	0.124	2.12	2.99	0.019	2.86	1.77	46.0	1.08

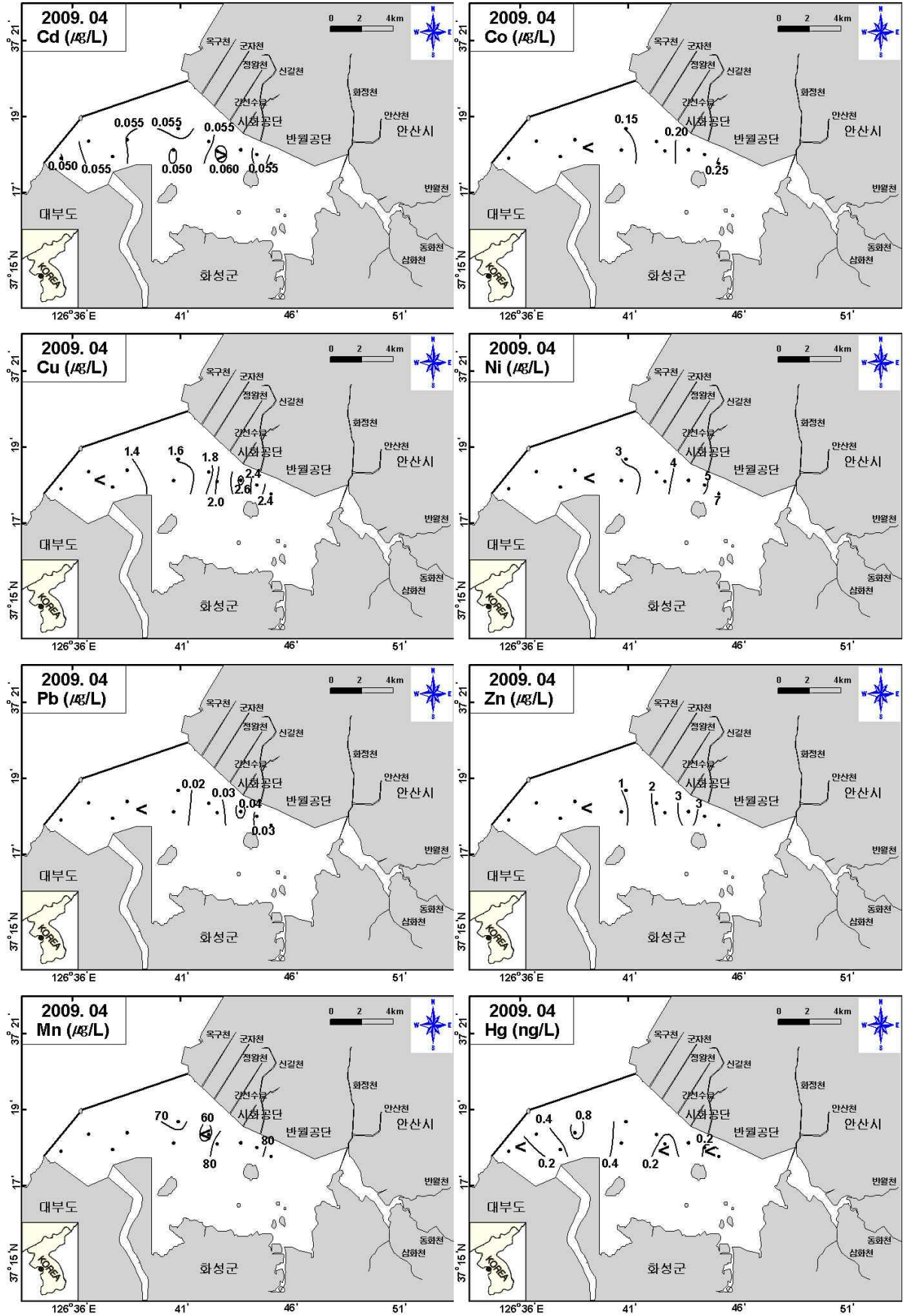


그림 3-2-20. 표층수 중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 28)

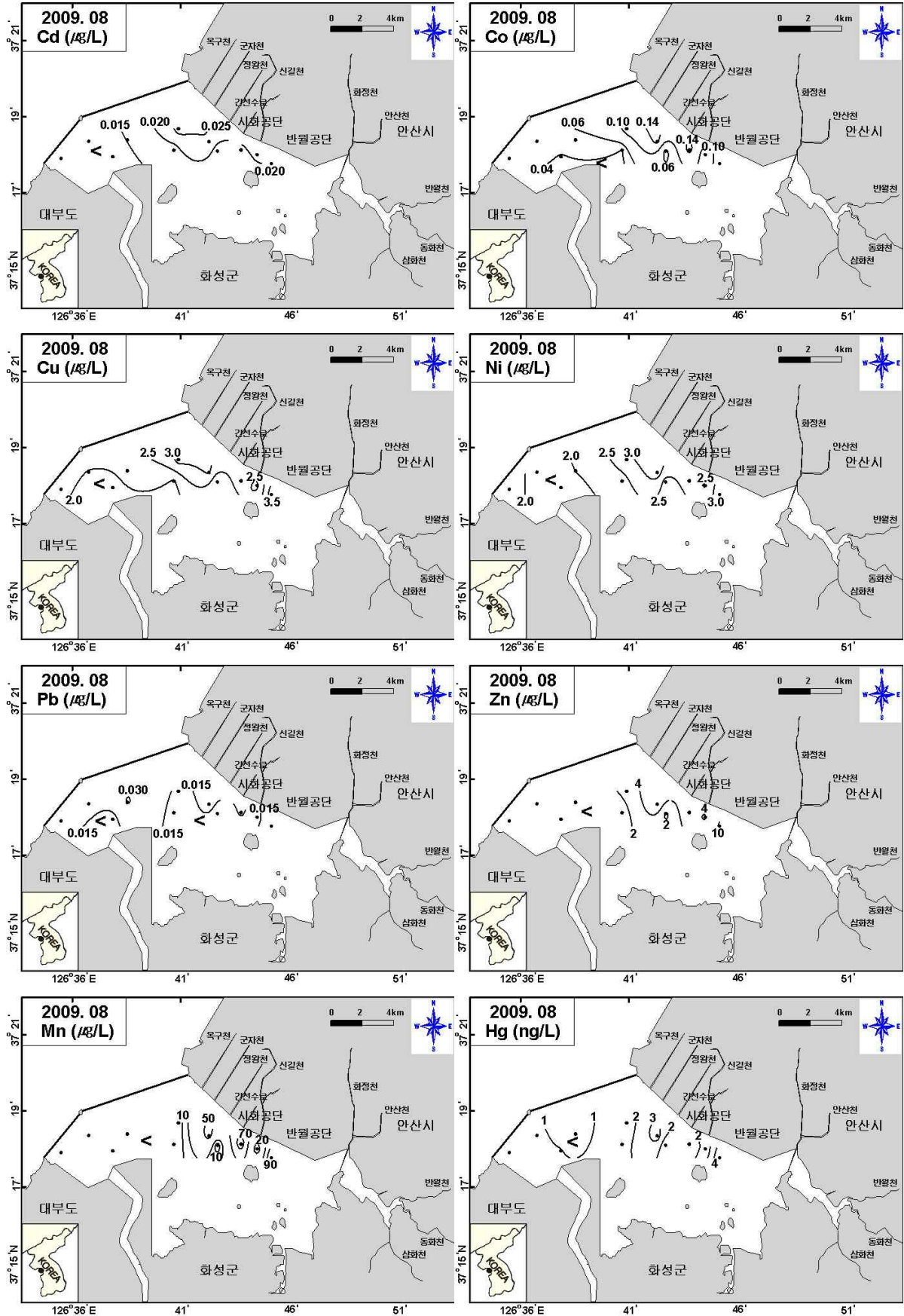


그림 3-2-20. 계속(2009. 8. 14)



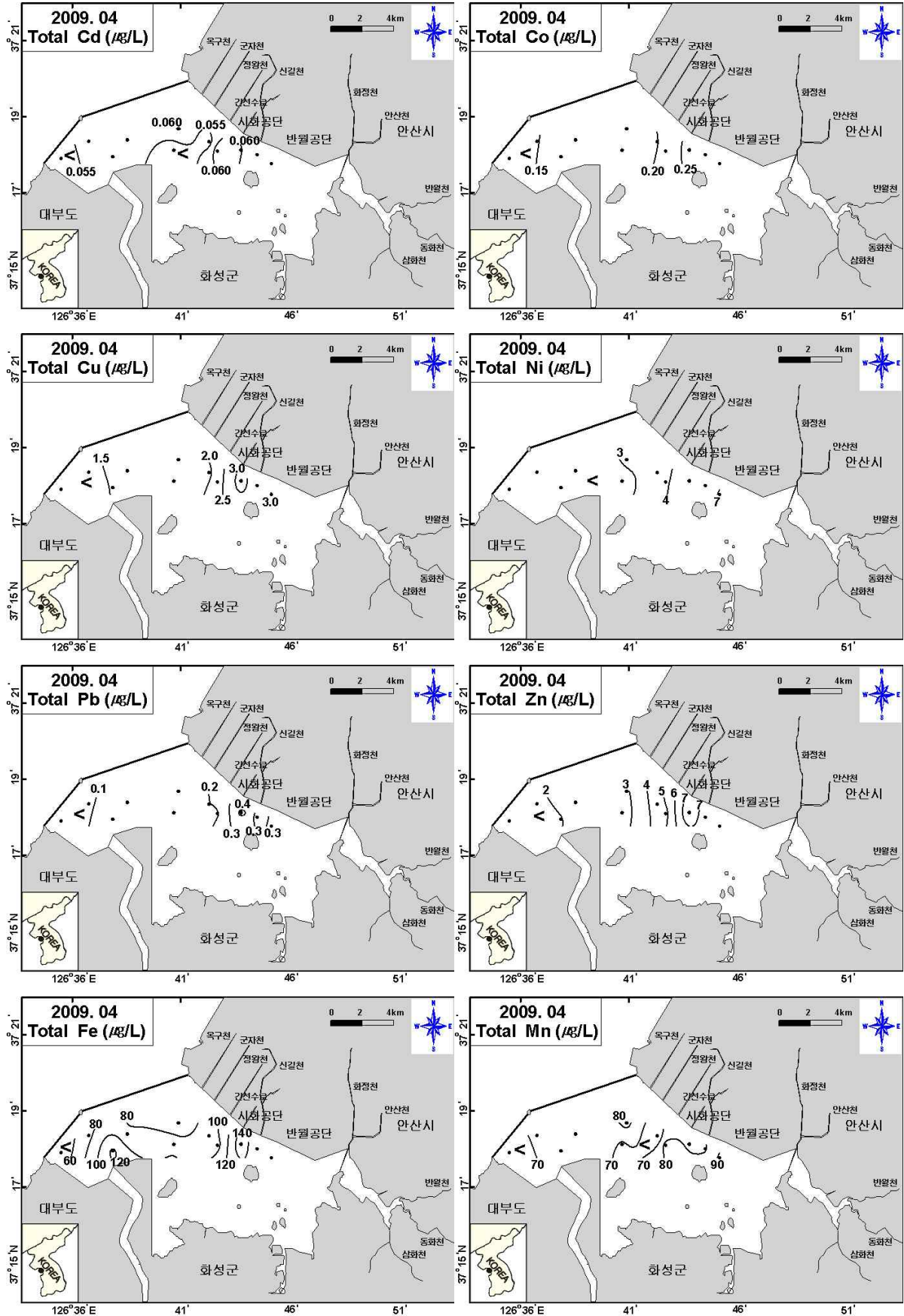


그림 3-2-21. 표층수 중의 총중금속 농도(2009. 4. 28)

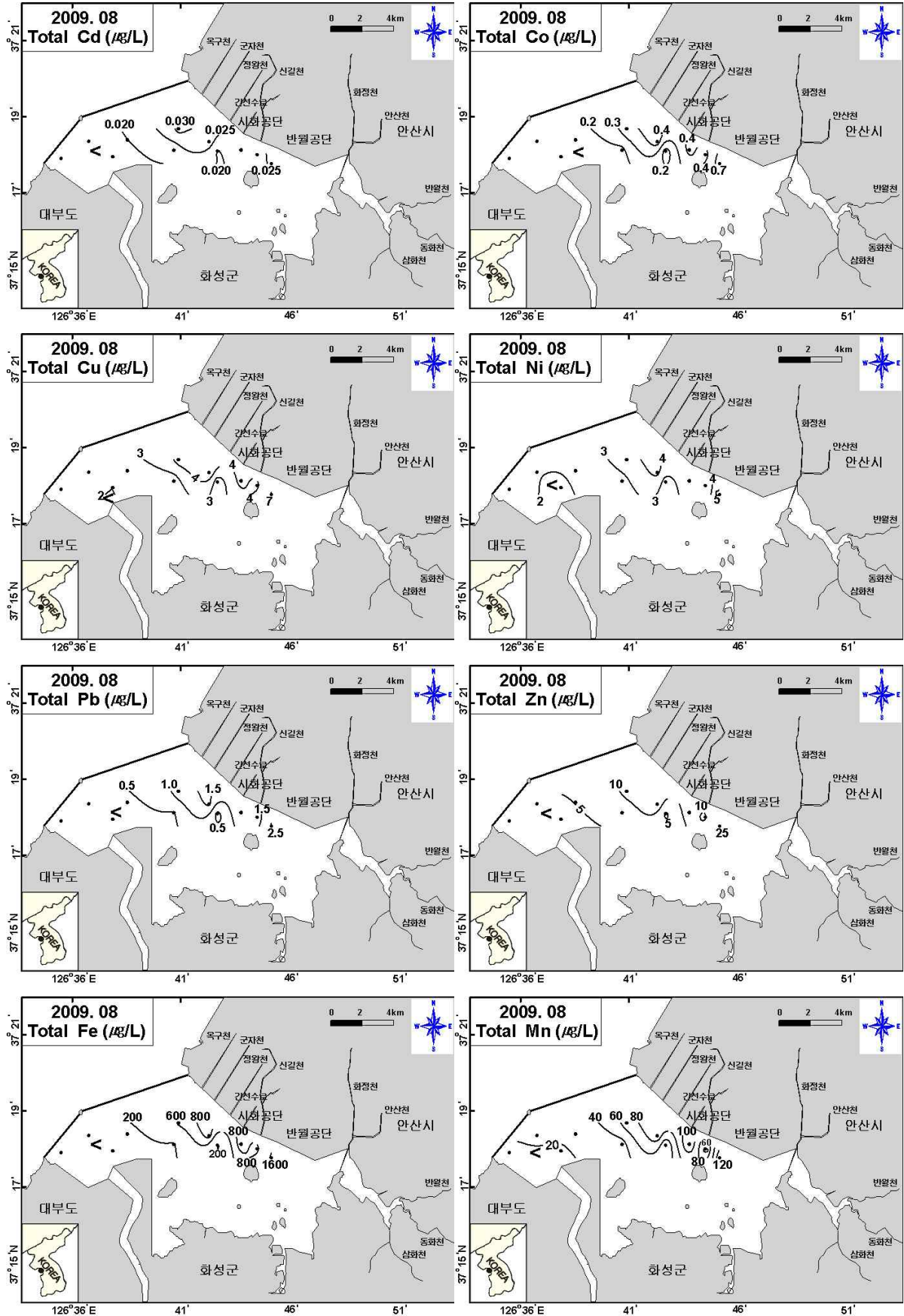


그림 3-2-21. 계속(2009. 8. 14)

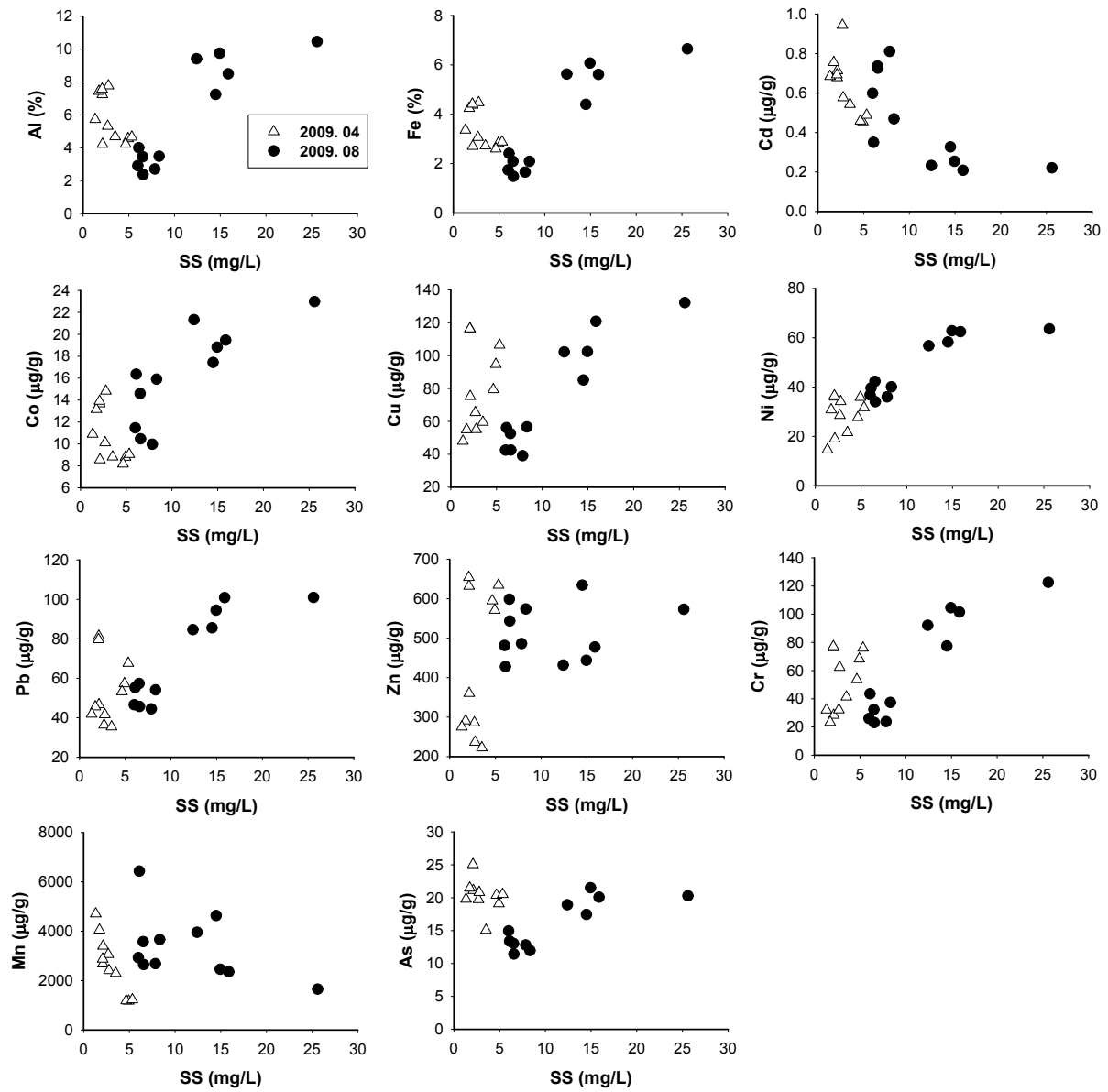


그림 3-2-22. 표층수 중의 부유물질과 PM의 상관관계

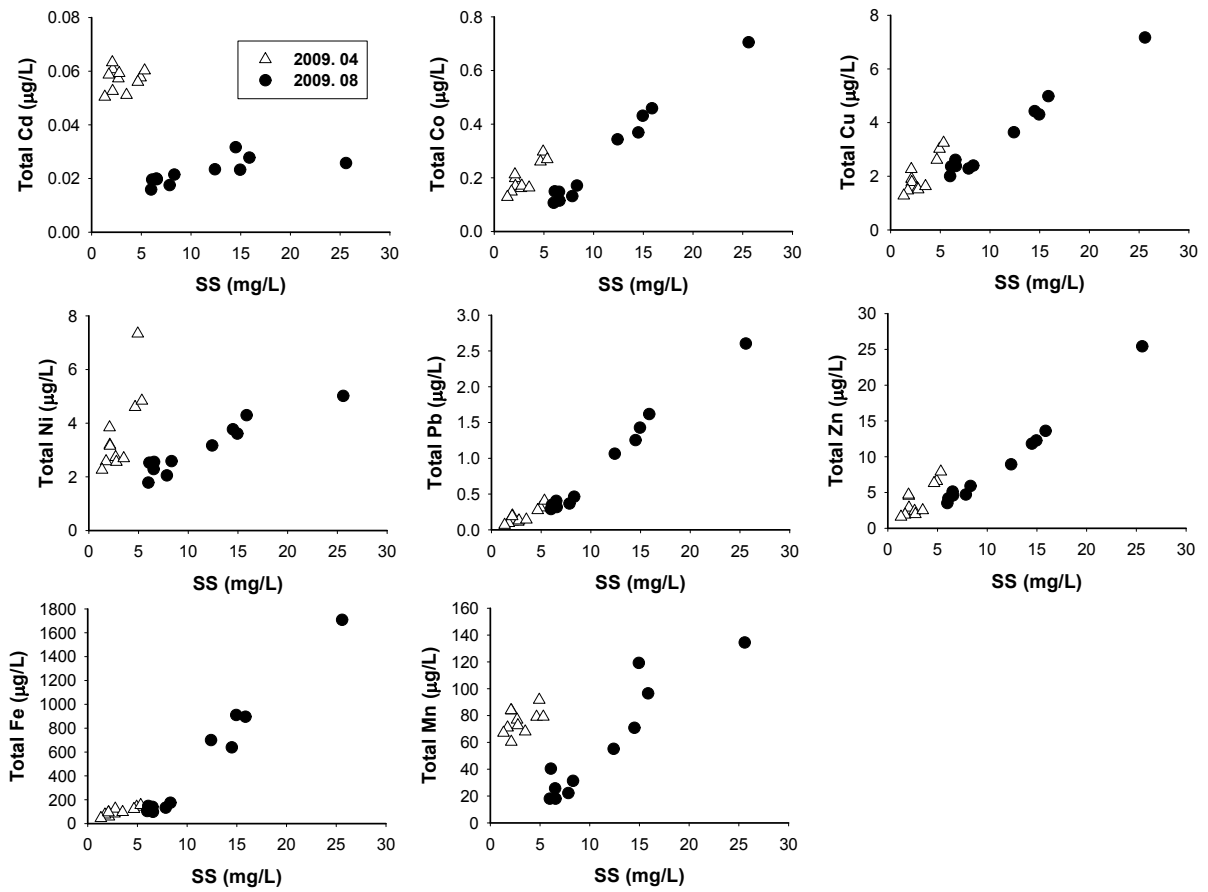


그림 3-2-23. 표층수 중의 부유물질과 TM의 상관관계

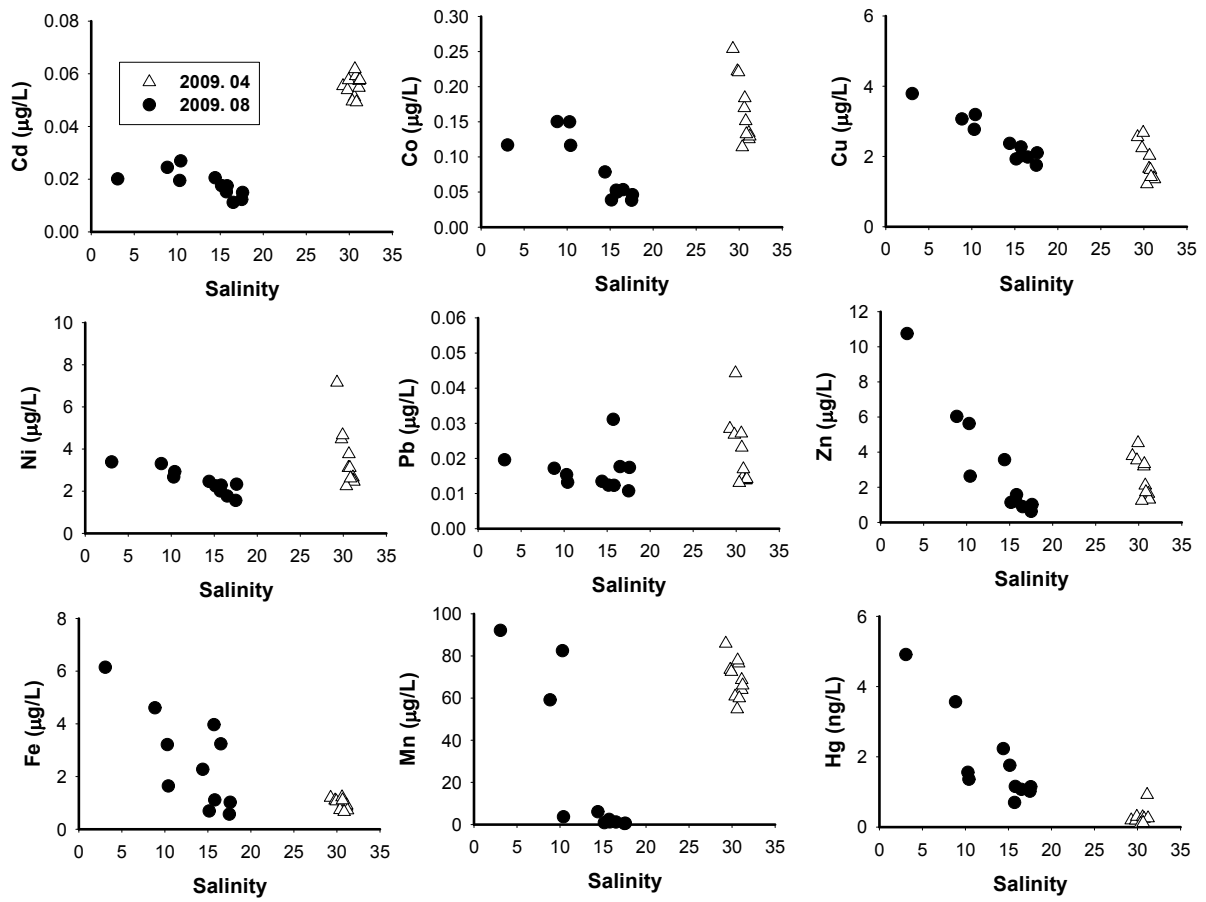


그림 3-2-24. 표층수 중의 염분과 용존성 중금속간의 상관관계

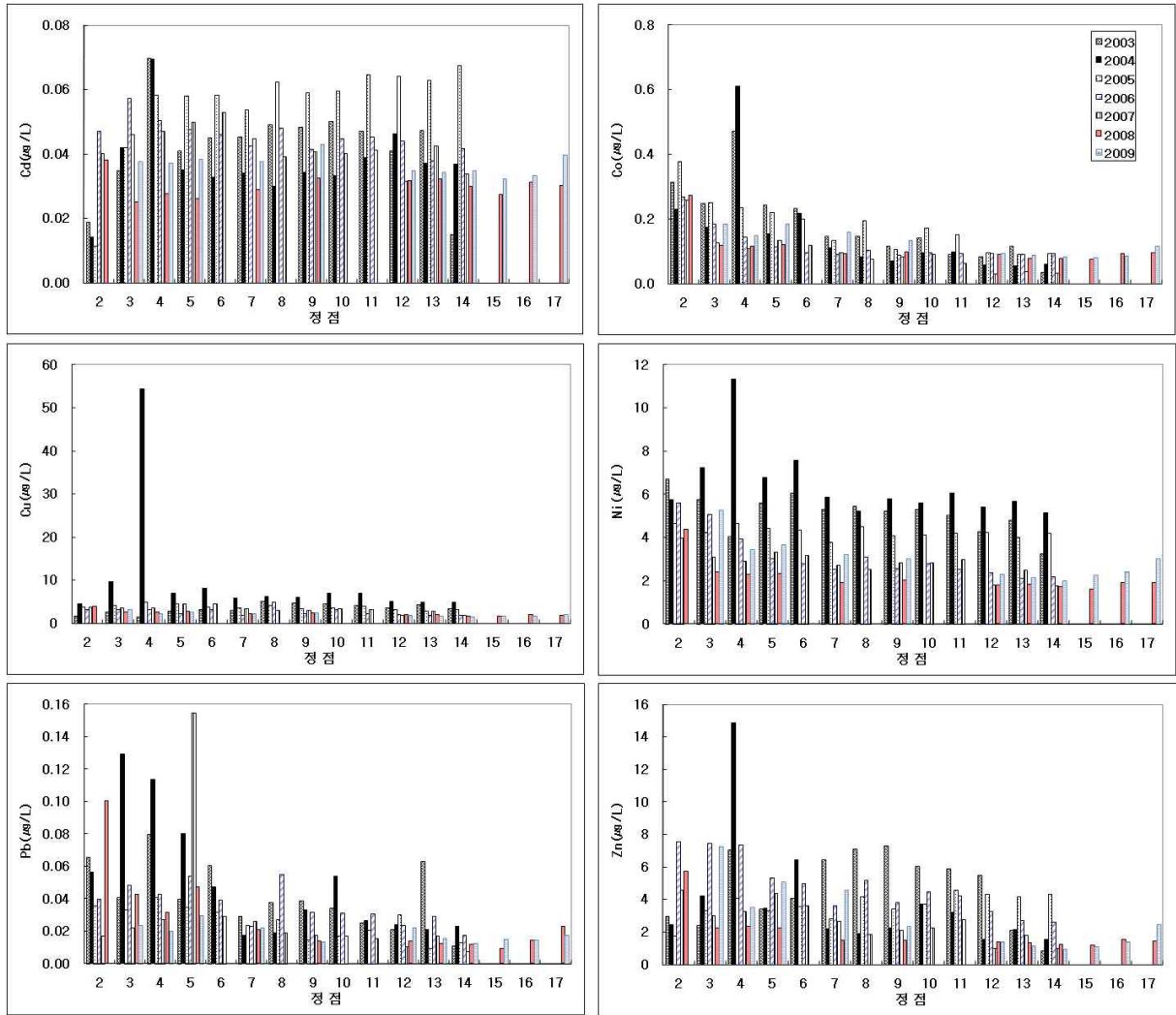
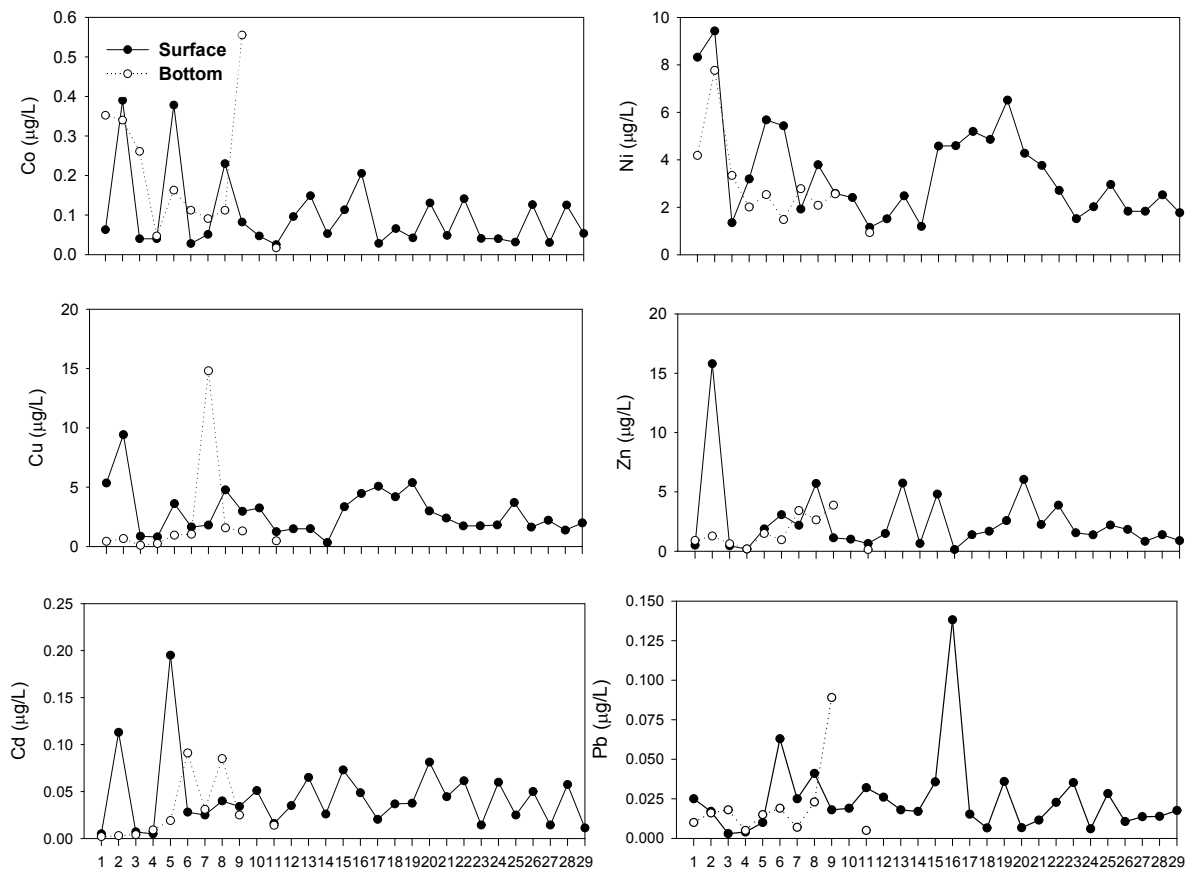


그림 3-2-25. 표층수 중의 용존성 중금속의 정점 및 연도별 비교



번호	시 기	번호	시 기
1	1996/10	16	2003/07
2	1997/04	17	2003/09
3	1997/08	18	2004/07
4	1997/10	19	2004/09
5	1998/06	20	2005/05
6	1998/09	21	2005/07
7	1998/12	22	2006/04
8	1999/03	23	2006/08
9	1999/08	24	2007/04
10	2001/08	25	2007/08
11	2001/09	26	2008/04
12	2001/10	27	2008/08
13	2002/04	28	2009/04
14	2002/10	29	2009/08
15	2003/05	-	-

그림 3-2-26. 시화호의 정점 13에서 용존성 중금속의 시기별 변화

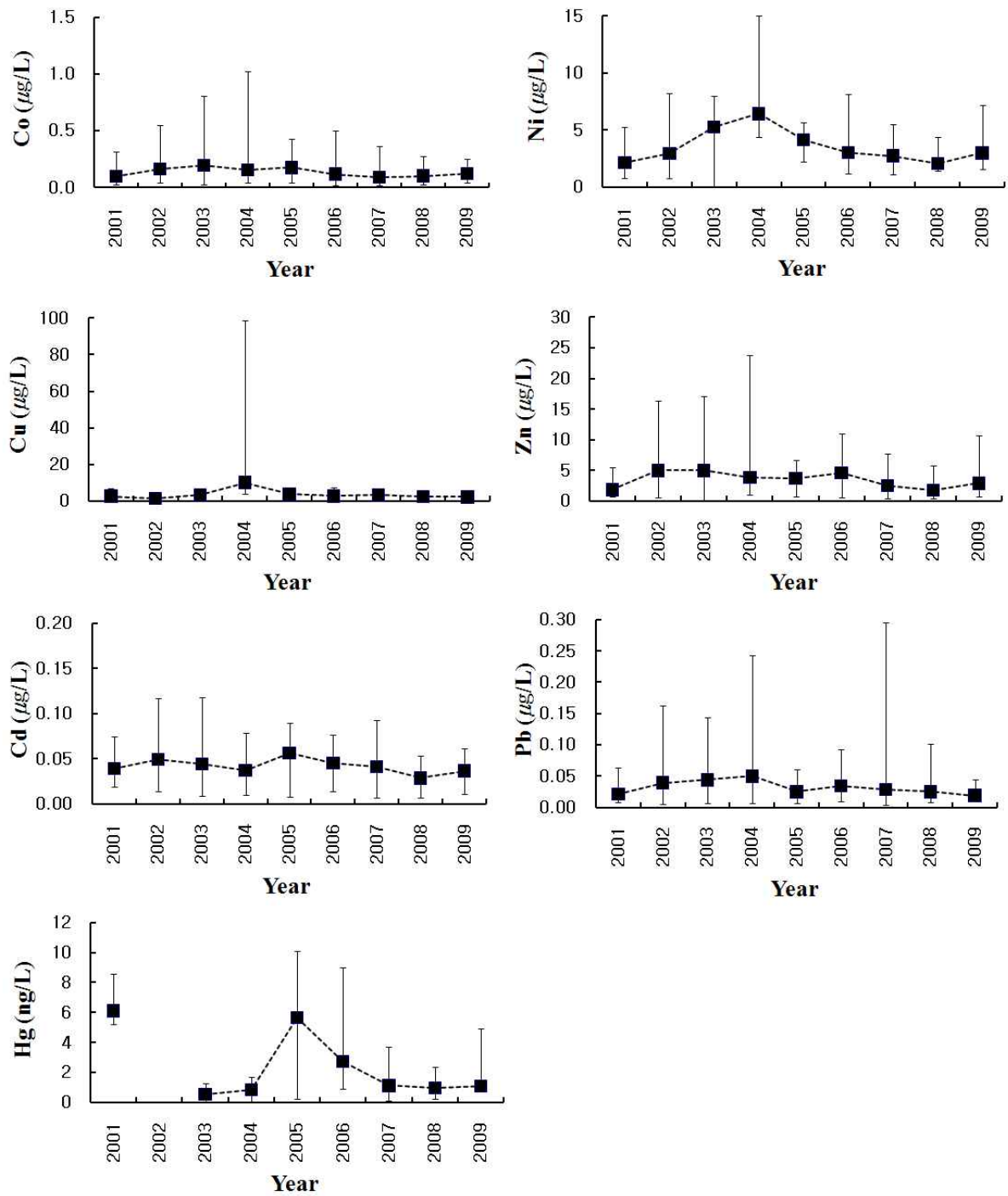


그림 3-2-27. 표층수 중 용존성 중금속의 연도별 비교



### 3.1.2. 수층별조사

#### (1) 일반수질 및 영양염

##### ① 정점 5(그림 3-2-28)

정점 5은 반월공단과 시화공단 경계면에 위치하였으며 이들 지역과 가장 인접한 정점으로 공단폐수와 하천수 혹은 강우 등에 직접적으로 영향을 받는 지역이다. 염분은 8월을 제외하고 수직적으로 큰 차이를 보이지 않았으며, 예년과 마찬가지로 저층까지 매우 균일한 분포를 보였다. 8월은 강우를 통한 유입의 영향으로 표층에서 10.29psu에서 2m 수심에서 증가하다가 4m 이하에서 다른 시기와 비슷한 값을 보였다.

표층에서의 pH는 조사시기에 따라 차이는 있으나 표층에서 높고 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으며, 4m 이하 저층에서는 거의 큰 변화를 보이지 않았다. 4월에는 표층에서 저층으로 갈수록 pH가 약간 증가하는 경향을 보였다. 용존산소포화도는 pH와 유사한 수직적 분포를 보였다. 표층에 10월에 205%로 매우 높았으며 2m 수심부터 107%로 약 50% 정도 급격히 감소하였으며 저층에서는 68.5%의 포화도를 보였다. 8월에는 다른 조사시기에 비해 용존산소포화도가 낮았으며 표층에서 66.6% 저층에서 5.20%의 포화도를 보였다. 여름철에는 성층으로 인하여 표층으로부터 산소공급이 원활하지 않고, 표층에서 생산된 입자성 물질이 저층에서 분해하면서 산소를 소비하기 때문에 매년 여름철에는 저층에서 빈산소 혹은 무산소 환경이 형성되고 있었다. 4월에는 표층과 저층의 차이가 크지 않음을 알 수 있었다.

COD, 클로로필-a 및 입자성 유기탄소는 매우 유사한 경향을 보였는데 10월 표층을 제외하고 큰 차이가 없었으며 수심에 따라 변화는 작았으나 수심 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 표층에서 생성된 식물플랑크톤에 의해 생성된 유기물이 저층에까지 영향을 미치지 때문이다. 10월 표층에서는 COD와 클로로필-a 농도가 각각 13.4mg/L와 114 $\mu$ g/L 높았으며 이는 식물플랑크톤의 대량 증식 때문으로 판단된다.

영양염은 전반적으로 표층에서 높고 저층에서 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 표층에서 식물플랑크톤에 의해 영양염이 소비되기 때문이며, 강우의 영향을 가장 많이 받았던 8월에는 인산염 및 질산염 농도가 다른 조사시기에 비하여 높았는데 이는 강우시 하천을 통해 영양염이 풍부한 담수의 유입을 보여주고 있다.

부유물질은 표층과 저층에서 높았으며 8월과 10월 표층에서 높은 값을 보였다.

##### ② 정점 9(그림 3-2-29)

정점 9에서의 염분의 수직적 분포는 4월(30.76~30.81psu), 6월(30.08~31.66psu), 8월(10.41~29.65psu), 10월(29.86~31.77psu)였다. 강우량이 작았던 2008년과 유사하게, 수심증가에 따라 약간 증가하는 경향을 보였으나 수심에 따른 염분 구배는 작게 나타났다. 8월에는 담수 유입으로 인해 표층에서는 정점 5와 비슷한 10.41psu를 보였고 2m 수심에서는 21.44psu로 증가하다가 저층(7m)에서는 29.65psu를 보였다. pH는 전체적으로 수심증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며 8월에서 다른 조사시기에 비해 낮은 수직적 분포를 보였다. 용존산소포화도와 pH 분포는 매우 유사하였으며 여름철인 8월에는 표층에서 94.7%였으나 4m 이후 급격히 낮아져 저층에서는 10.6%의 낮은 포화도를 보였으며 다른 조사시기(57.3~75%)에 비해서도 낮은 값이었다. 영양염은 2008년에 강우량이 적어 큰 수직적 변화를 보이지 않았으나 2009년 조사

에서는 8월 강우에 의한 담수의 대량 유입으로 8월이 높은 농도를 보였다. 특히 인산염은 표층에서 저층까지 다른 조사시기에 비해 높은 농도를 보였는데 이는 하천을 통한 담수의 유입이 시화호의 중앙부분인 정점 9 지역까지 직접적으로 영향을 준다는 것을 보여준다. 정점 5와 COD, 클로로필-*a*, 입자성유기탄소의 수직적 분포가 유사한 양상을 보여 식물플랑크톤에 의한 유기물 생산이 많은 것으로 판단된다.

### ③ 정점 12(그림 3-2-30)

이 지역은 시화호에서 수심이 가장 깊은 지역에 위치하고 있어 표층에서 수심이 깊어지면 서 변화가 크게 나타나는 곳이다. 8월에 표층에서 15.71psu를 나타냈으나, 그 이하의 수심에서는 서서히 증가하고 있고 수심 10m 이하에서는 일정하며 저층에서 30.67psu를 보였다.

2007~2008년에도 이와 같은 수직적 분포를 나타냈다. 다른 조사시기에는 수심에 따른 차이(31psu 내외)가 크지 않았으며, 저층으로 갈수록 외해수의 영향으로 증가하는 양상을 보였다.

용존산소포화도와 pH는 유사하게 나타났으며 4월에는 수심이 깊어질수록 pH가 증가하였으며 다른 시기에는 수심이 증가할수록 pH가 감소하는 양상을 보였다. 용존산소포화도는 대부분의 조사시기에 정점 9보다 높았으며 이후 깊이에 따라 감소하였다. 2008년과 유사하게 8월에서는 용존산소포화도가 다른 조사시기에 비하여 높음을 알 수 있었다. 식물플랑크톤의 영향으로 COD, 클로로필-*a* 및 입자성유기탄소는 정점5와 9에 유사하게 표층에서 높았고 이후 감소하였으며 8월에는 강우의 영향으로 10월에는 식물플랑크톤 bloom의 영향으로 표층이 저층에 비해 상당히 높았다. 인산염의 경우, 2m 수심까지 매우 결핍되어 있었으며 저층에서도 비교적 낮게 나타났다. 8월만이 저층에서 표층에 비해 10배 수준의 상당히 높은 인산염 농도가 관찰되었다.

질산염은 8월을 제외하고 4m 수심까지 굉장히 고갈되어 있었으며 저층으로 갈수록 증가하였다. 이는 식물플랑크톤에서 유래된 유기물이 박테리아 및 미생물에 의해 분해되어 영양염으로 재방출 되기 때문으로 생각된다. 또한 8월에는 질산염의 농도가 표층에서 0.214mg/L로 가장 높았고 다른 조사시기와는 반대로 수심증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이 지역은 외해수의 영향을 받는 지역이지만, 여름철에는 강한 성층 형성으로 저층은 연중 저산소 상태를 유지하는 곳으로 2009년에도 저층에서의 용존산소포화도가 4월(105%), 6월(36.3%), 8월(7.30%), 10월(78.0%)로 예년과 유사했다. 따라서 저층에서의 인산염, 암모니아, 총인 및 총질소의 농도가 크게 증가하고 있다. 또한 표층수의 경우 여름철 강우시 공단유역을 흐르는 하천을 통한 담수의 유입이 수심이 가장 깊은 정점 12까지 직접적으로 영향을 미쳤음을 보여준다.

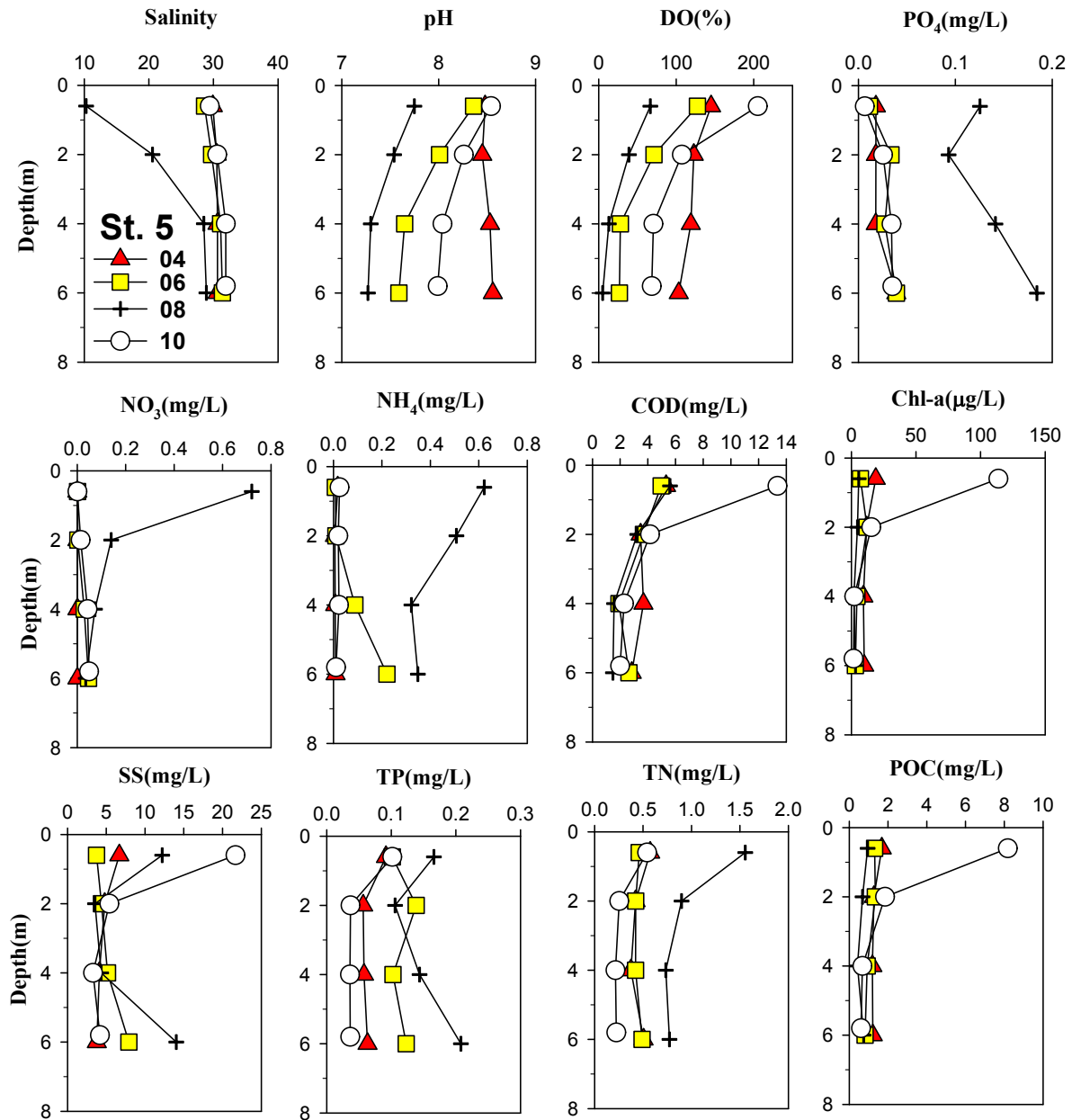


그림 3-2-28. 정점 5에서의 수질 수직분포

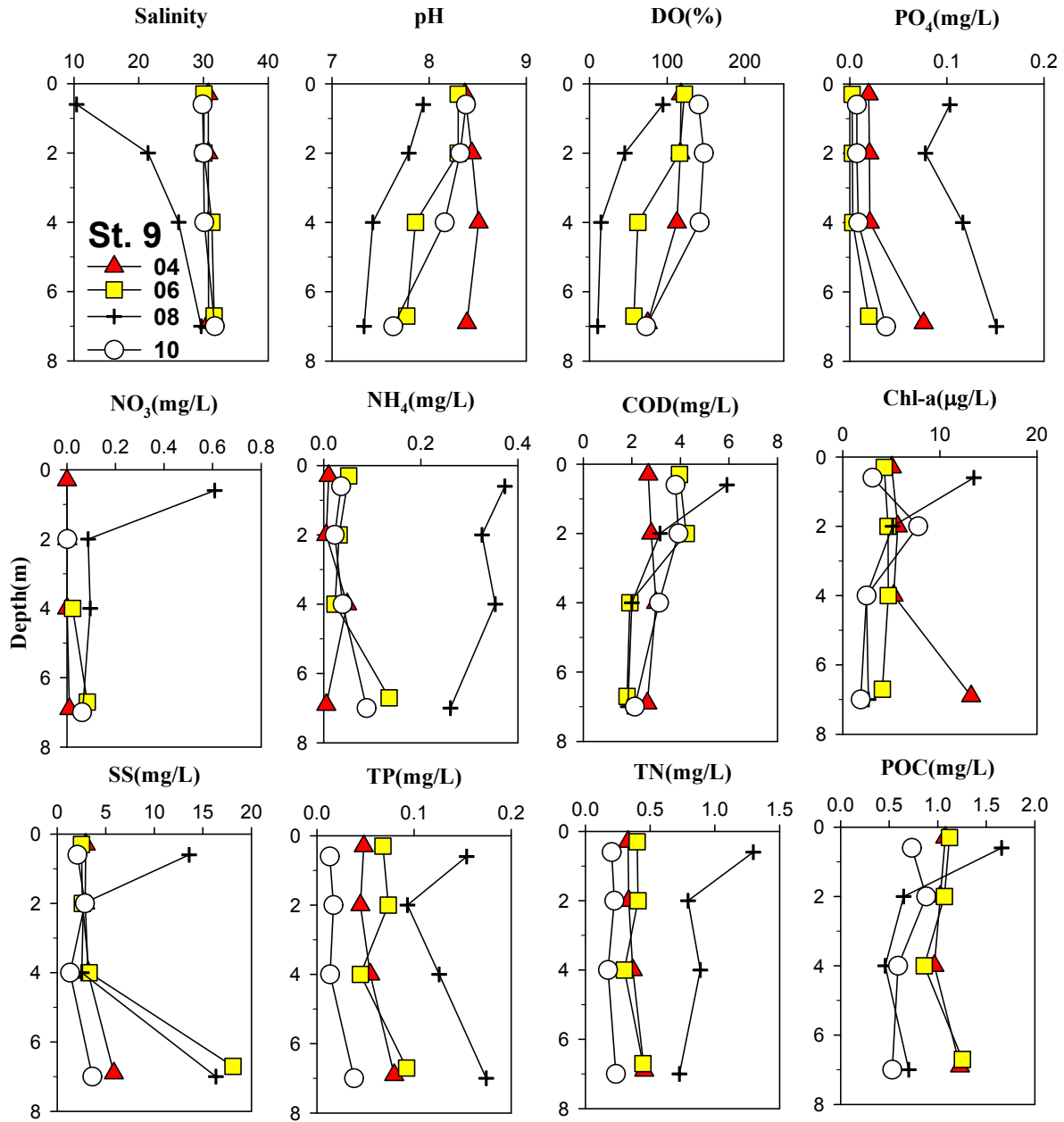


그림 3-2-29. 정점 9에서의 수질 수직분포

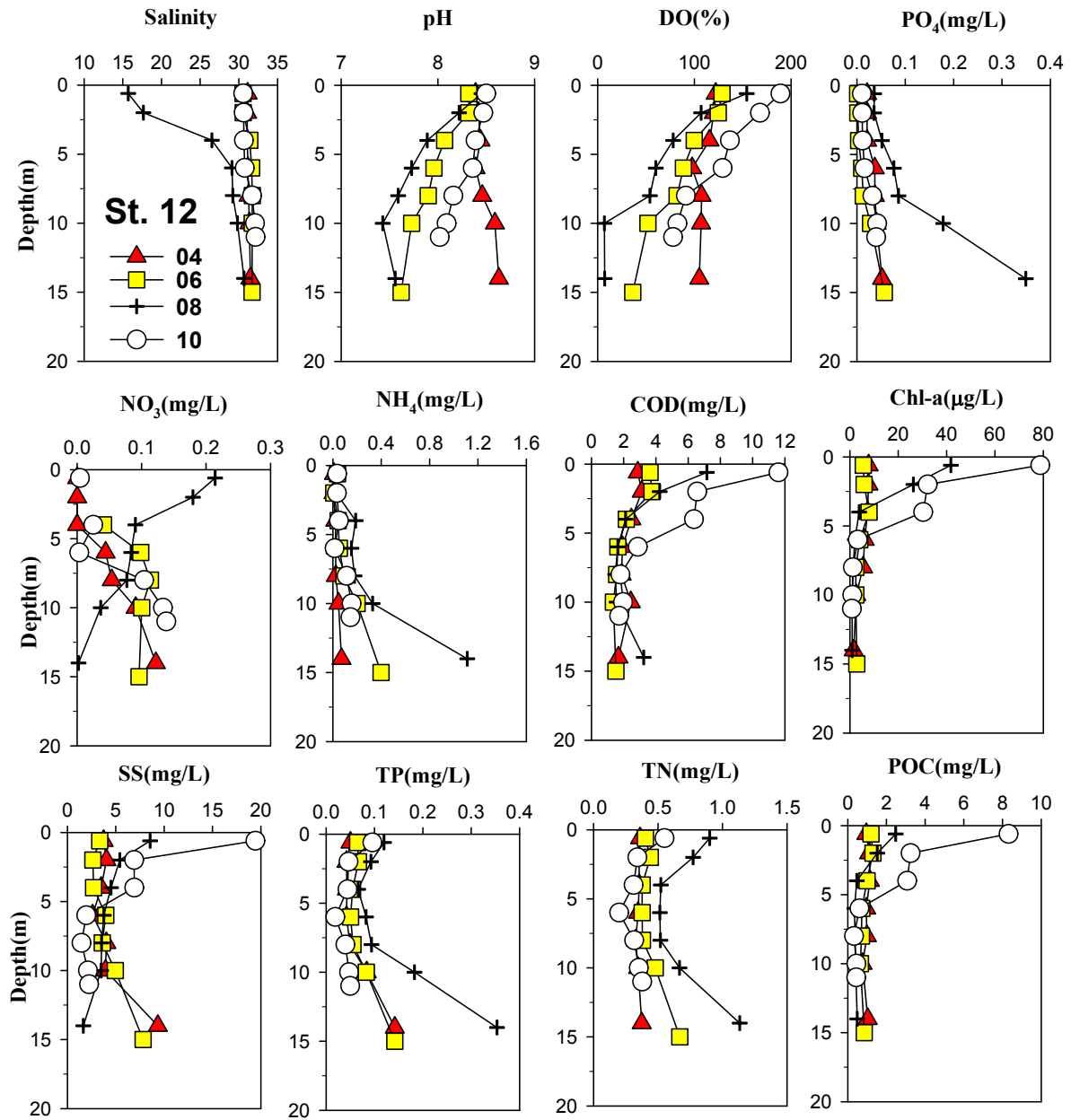


그림 3-2-30. 정점 12에서의 수질 수직분포

## (2) 중금속

### ① 정점 5

수층별 조사 지점 중에서 수심이 가장 낮고, 반월과 시화공단의 영향이 가장 많이 작용하는 곳이다(국토해양부, 2008). 본 조사에서는 두 시기 모두 6m까지 채취되었으며, 시기와 중금속 별로 수층별 분포가 다양하게 나타났는데 정도의 차이는 있으나 8월에 Hg을 제외하면 표층보다 저층으로 가면서 지속적으로 감소하는 경향이 많았다. 전체적으로 보면 Hg을 제외하면 대부분의 중금속이 4월이 8월보다 높은 농도를 나타내었으며, 수직적인 변화는 8월에 뚜렷하게 나타났다. 4월에 Cd, Co는 수직적으로 감소 추세지만 20% 이내로 큰 변화는 아니었지만 Cu, Ni, Pb, Zn, Hg은 저층으로 갈수록 감소하였는데 Pb과 Hg은 최저층이 표층에 비하여 각각 1/3, 1/4 정도로 낮았다. 8월에는 Cd과 Pb의 경우 2m에서 약간의 상승이 있으나 4m, 6m에서 상층부의 1/2.5~1/5 정도에 해당하는 낮은 농도였다. Co, Cu, Ni, Zn, Mn은 모두 표층에서 최대 농도였고, 4m까지 급격히 감소한 후 6m층에서는 4m와 비슷하게 유지되었는데, Mn은 4m와 6m에서 0.5 $\mu$ g/L 이하의 낮은 농도를 나타내었다. 반면 Fe과 Mn은 4월에, Hg은 8월에 저층인 6m에서 상승하여 표층보다 높은 농도를 나타내었다(그림 3-2-31).

한편 이상과 같은 수직적인 분포 특성에 작용하는 수질 환경을 보면 염분의 경우 4월엔 표층보다 저층에서 0.69psu 밖에 높지 않지만 8월엔 다량의 강수 유입으로 표층은 10.29psu, 2m층에서는 20.58psu, 그 이하인 4m층에서는 28.52psu로 급격한 변화를 보여서 성층을 형성하는 주요 조건이 갖추어진 것으로 판단된다. 이러한 조건에 의해서 DO는 4월엔 과포화되어 있었으나 8월엔 저층에서 1mg/L 이하의 낮은 농도를 보였고, 암모니아염 역시 8월에는 급격히 증가하였는데 이는 아마도 담수에 의한 표층에서의 유입보다 저층 환경 악화에 의한 것으로 추정되며, 인산염의 농도가 이를 뒷받침하고 있다. Kremling(1983)에 따르면 환원 환경이 지속되는 발트해의 저층수에서는 용존성 Zn, Ni, Cu, Cd은 생성된 sulfide와의 결합으로 용존 형태의 농도가 감소하지만, Co는 이온상태가 주종을 이루는 것으로 나타나는데 본 조사에서는 Co의 경우 이러한 분포를 보이지 않았으며, 이는 전년도와 같은 현상이다.

### ② 정점 9

정점 9는 정점 5보다 4월에 Cu, Ni, Pb, Zn, 8월에 Zn, Fe, Mn이 뚜렷하게 낮았다. 이 정점의 수층별 농도는 정점 5와 유사한 분포를 나타내는 경우가 많았고, Cd, Co, Ni, Mn은 모든 수층에서 4월보다 8월에 낮은 농도를 나타내었다. 4월에는 Cd, Cu, Ni은 저층으로 가면서 약간의 감소가 있었고, Co, Pb, Zn은 저층으로 가면서 약간 증가하였으나 변화폭은 크지 않았다. 반면 Mn은 중층에서 급격한 감소 후 최저층인 6.9m에서 표층보다 1.5배 상승하였고, Hg은 변동이 있으나 최저층에서 가장 높았다. 8월에는 모든 중금속이 급격한 농도 변화를 나타내었는데 Cd, Co, Cu, Ni은 표층에서 저층으로 갈수록 지속적으로 감소하여 최저층에서 가장 낮았으며, Pb, Zn, Fe, Mn은 2m층에서 상승한 다음 그 이하 층에서 급격히 감소하는 분포였는데 Mn은 4월보다 매우 낮은 농도를 나타내었다(그림 3-2-32). 정점 9의 염분, DO, 암모니아염과 인산염은 시기별 수직적인 변화가 정점 5와 비슷하였는데 다만 DO는 4월에 저층에서 포화도에 다소 미치지 못하였다. 한편 8월에 용존성 Mn과 Co는 최저층에서 산화-환원 경계층 아래에서 최대 농도를 나타내고, 입자성 Mn과 Co는 산화-환원 경계층 부근이나 환원 환경 수층 바로 위에서 최대 함량을 나타낸다고 하였다. 이것은 Mn, Co, Fe는 서로 거동 형태

가 비슷하여 Mn 산화물 형성시 Co도 같이 공침되며, 환원 환경에서 같이 용해되기 때문이다(Öztürk, 1995). 본 조사의 결과의 일부도 이러한 거동 특성을 반영하고 있는 것으로 여겨진다.

### ③ 정점 12

전체적으로 4월보다 8월에 높은 농도를 나타내는 경향이 강하였으며, Cd, Ni, Zn은 전체 수층에서 8월에 높은 농도를 나타내었다. 정점 12의 수직 분포는 앞에서 언급한 두 정점과 약간의 차이를 나타내었는데 Cd는 두 시기 모두 중층에서 약간의 상승 피크를 나타낸 후 최저층에 급격히 감소하는 분포였다. Co는 지속적으로 감소하지만 8월에 저층에서 급격히 증가하였는데 Fe과 Mn을 비롯하여 Ni, Zn도 8월에 이러한 분포를 나타내었는데 특히 Mn은 1702 $\mu\text{g/L}$ 로 표층~10m의 농도인 0.24~2.42 $\mu\text{g/L}$ 보다 매우 높은 농도를 나타내었다. 한편 이 시기의 염분 역시 2m와 4m 사이에는 약 11psu의 차이를 나타내었지만 6m 이하에서는 30psu 내외로 일정함으로 인해 성층이 발달한 것을 알 수 있으며, 최저층에서의 낮은 DO(0.46mg/L), 높은 암모니움염 농도, 그리고 황화수소의 냄새가 나는 것 등을 고려하면 환원 상태하의 영향으로 저층에서 용존 중금속의 급격한 증가가 있는 것으로 판단된다. Cu는 두시기 모두, Ni, Zn, Mn은 4월에 표층에서 저층으로 갈수록 감소하였다. Pb의 경우는 저층으로 갈수록 4월엔 증가, 8월엔 감소 추세를 나타내었고, 8월에 최저층(14m)은 그 상층보다 상승하는 분포였다. Hg은 수층별로 변화가 심하였는데 4월에는 2m, 8월에는 10m층에서 최대 농도를 보였다(그림 3-2-33). 정점 5와 9에 비하여 수심이 깊어짐에 따라 변화가 다양하게 나타났는데 이것은 외해수의 유입과, 성층 형성 유무, 최저층 환경 특성에 기인한 것이다.

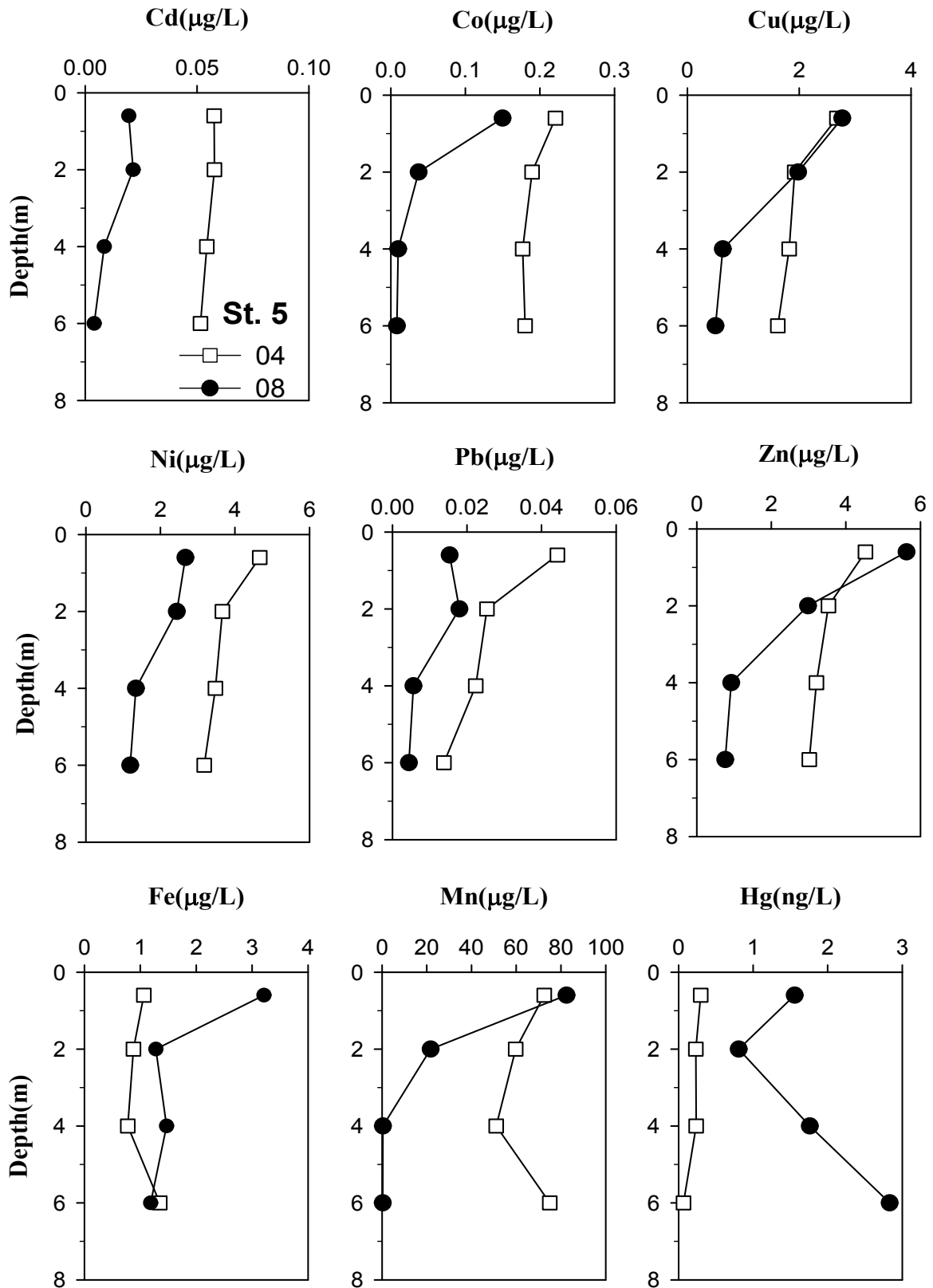


그림 3-2-31. 정점 5에서의 용존성 중금속의 수직분포



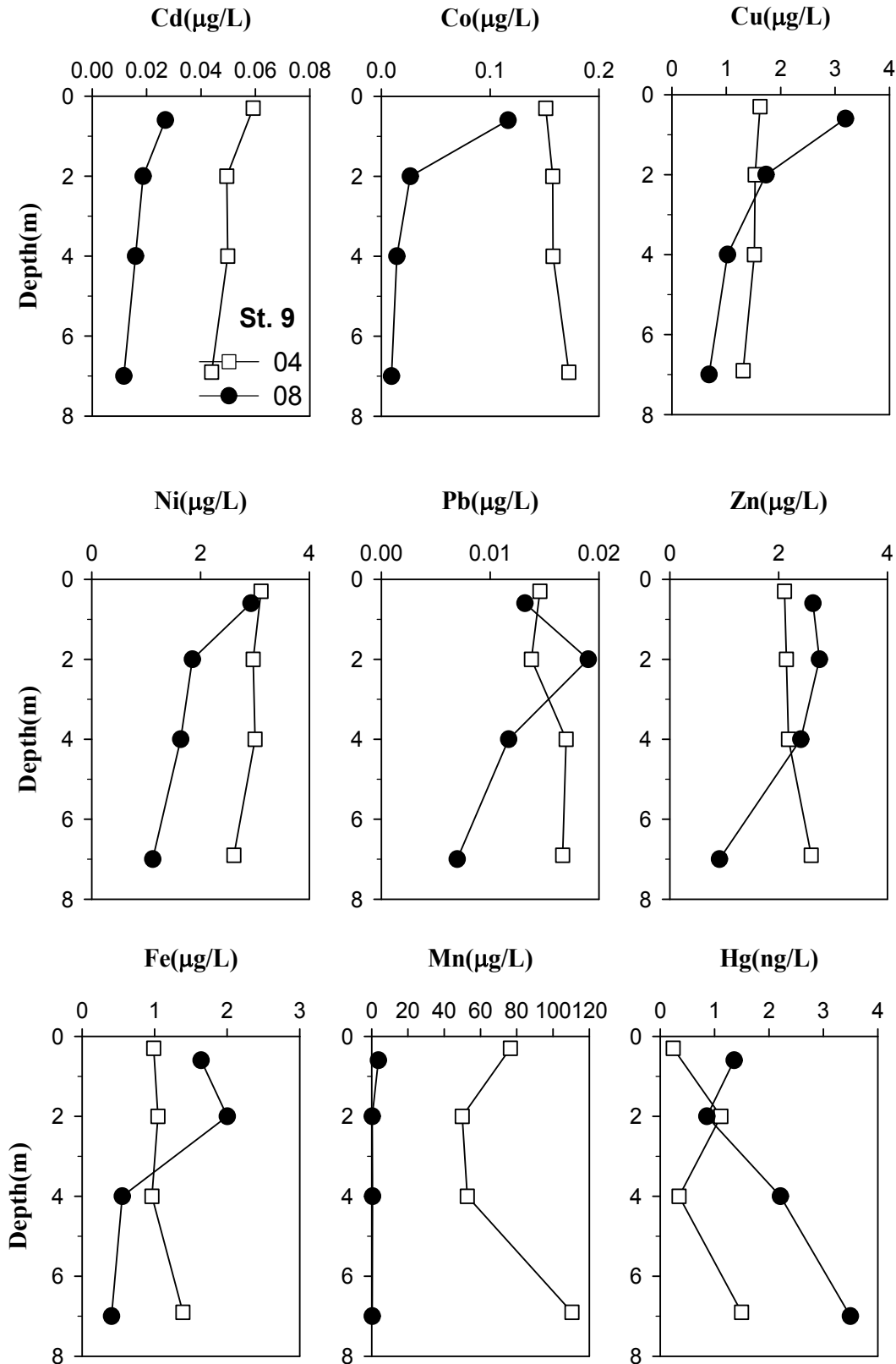


그림 3-2-32. 정점 9에서의 용존성 중금속의 수직분포

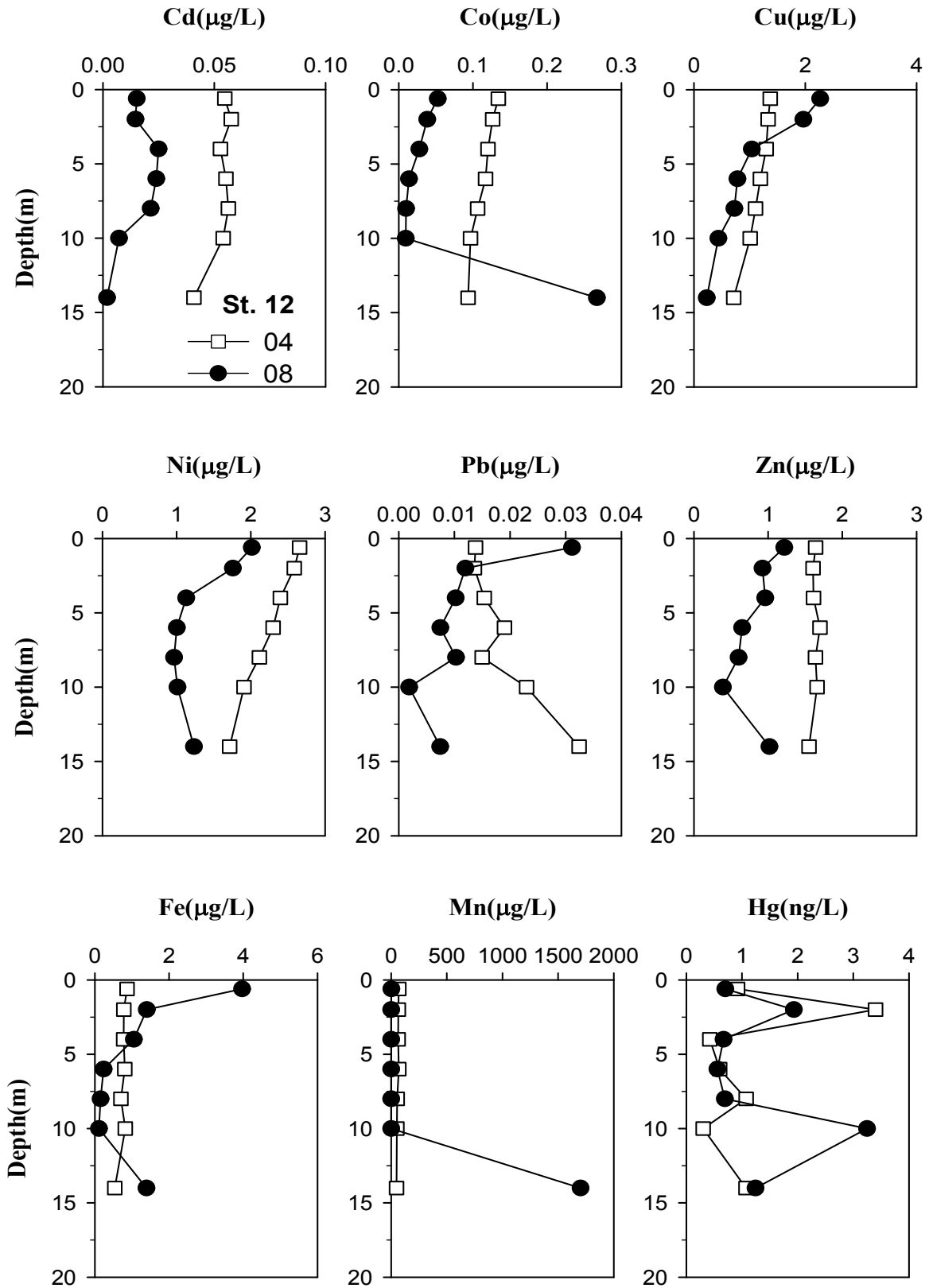


그림 3-2-33. 정점 12에서의 용존성 중금속의 수직분포

### 3.1.3. 연속관측

6월 조사에서 수온은 표층 21.22~23.07℃(평균 21.99℃), 저층 17.58~19.27℃(평균 18.23℃)의 변화를 보였으며, 염분은 표층에서 30.40~31.94psu(평균 31.59psu), 저층 31.96~32.44psu(평균 32.21psu)로 나타났다(표 3-2-11, 그림 3-2-34). 2008년과 유사한 범위를 보였고 배수 및 유입에 따른 염분변화를 보이지 않았다. 용존산소포화도는 표층에서 108~146%(평균 122%), 저층에서 21.4~71.3%(평균 40.7%)로써 표층은 2008년에 비해 낮았으며 저층은 약간 높은 범위였다. 총인은 표층에서 평균 0.076mg/L(0.063~0.099mg/L), 저층에서 0.086mg/L(0.057~0.124mg/L)였다. 예년에는 저층이 표층에 비해 약 2배정도 높게 나타났으며 2008년에 비해 표층은 약 2.5배 정도 높은 총인의 평균농도를 보였다. 인산염은 표층에서 0.010mg/L, 저층에서 0.021mg/L로 저층이 2배정도 높았으며 저층에서의 용출량이 더 많은 것을 알 수 있었다. 총질소의 경우, 표층에서 0.381~0.540mg/L(평균 0.430mg/L), 저층에서 0.406~0.570mg/L(평균 0.471mg/L)로 비슷한 농도를 보였다. 암모니움염은 저층(0.149mg/L)이 표층(0.035mg/L)에 약 4배이상 높은 농도를 보였다. COD는 표층 3.3~5.3mg/L(평균 4.3mg/L), 저층 1.7~4.3mg/L(평균 2.5mg/L)의 농도를 나타냈다.

7월에는 표층에서의 염분도가 9.41~10.08psu(평균 9.82psu), 저층에서는 29.11~31.28psu(평균 29.77psu)로서 조사 며칠전 있었던 강우에 의한 하천유입이 있었음을 보여주고 있다. 6월과 같이 배수갑문을 통한 배수 및 유입에 의한 영향은 보이지 않았다. 수온은 표층이 평균 26.35℃, 저층이 평균 22.27℃로써 6월 조사에 비해 3~4℃정도 증가하였다. 용존산소포화도 역시 표층에서는 평균 133%였으나 저층에서는 22.6%로 저산소 상태가 관측되었다. 암모니움염과 인산염은 저층이 표층보다 약 3배정도 높아 유기물이 분해되면서 산소를 소비하고 영양염이 재 방출되는 것이 확인되었다. 저층에서의 인산염 농도는 6월에 비해 약 5배 이상 높은 수준이었으며 암모니움염 표층에서는 6월에 비해 낮아졌으나 저층은 약 1.5배 정도 증가하였다. 또한 저층에서는 총질소의 대부분이 암모니움염이었다. 총인은 표층 0.078~0.112mg/L(평균 0.092mg/L), 저층 0.106~0.193mg/L(평균 0.151mg/L)로 6월에 비해 표층, 저층이 함께 증가하였다. 총질소의 농도범위는 표층에서 1.258~1.383mg/L(평균 1.316mg/L), 저층에서 0.761~1.820mg/L(평균 1.078mg/L)였으며 표층이 저층에 비해 높았다. COD는 표층 6.5~8.9mg/L(평균 7.7mg/L), 저층 2.0~3.3mg/L(평균 2.5mg/L)의 농도범위를 나타냈다(그림 3-2-35).

8월 조사에는 표층에서 YSI system의 이상으로 수온, 염분, 용존산소포화도 등이 측정되지 않았으나 연속관측을 실시할 때 실시했던 정점조사의 표층자료를 이용하여 비교하였다. 표층에서는 수온, 염분도, 용존산소포화도가 각각 27.99℃, 10.41psu, 94.7%였으며, 저층에서는 각각 평균적으로 22.74℃, 29.53psu, 4.21%의 값을 보였다. 저층에서의 용존산소 포화도는 7월 조사 평균(22.5%)에 비해 낮아 저산소상태가 심화되었음을 알 수 있었으며, 배수갑문을 통한 영향보다는 8월에도 강우시 하천을 통한 유입이 있었음을 보여주고 있다. 암모니움염은 저층에 표층에 비해 4.7배 높았으며 총질소의 약 60%를 차지하고 있었다. 또한 시간에 따라 암모니움염이 증가하는 경향을 보였다(그림 3-2-36). 인산염은 표층에서 0.015~0.106mg/L(평균 0.042mg/L), 저층에서 0.136~0.237mg/L(평균 0.186mg/L)로써 저층이 표층에 비해 4배 이상 높았으며 7월 조사에 비해 저층에서 약간 증가하였다. 총인은 표층에서 0.091~0.143mg/L(평균 0.111mg/L), 저층에서 0.145~0.253mg/L(평균 0.200mg/L)로써 저층이 표층에 비해 약 1.9배 높았다. COD는 표층에서 4.0~10.7mg/L(평균 8.0mg/L), 저층에서 2.0~3.1mg/L(평균

2.5mg/L)로 나타났으며, 표층에서는 높아진 클로로필-*a*로 미루어 식물플랑크톤에서 유래된 유기물이 산화되므로 7월에 비해 높아진 것으로 판단된다.

9월에는 수온이 표층에서 25.04~26.15℃(평균 25.64℃)의 범위였으나 저층에 설치된 YSI의 system이상으로 저층은 23.61℃로 측정되었다. 전반적으로 6~8월에 비해 수온이 상승하였으며 수온변화는 매우 작았다. 염분은 표층에서 22.51~23.76psu(평균 23.34psu)로 2008년 10월에 비해 낮았다. 암모니움과 인산염 농도는 각각 저층에서 4배와 9배정도 높았는데 각각 0.381~0.667mg/L와 0.121~0.187mg/L의 농도범위였다. 총질소는 표층에서 0.367~0.583mg/L(평균 0.454mg/L), 저층에서 0.554~0.707mg/L(평균 0.646mg/L)의 범위를 보였으며 총질소 중 암모니움염이 차지하는 비율이 표층에서는 평균적으로 13%였으나 저층에서는 88%로 높았다. 8월에 비해 표층과 저층의 총질소와 총인이 감소하는 경향을 보였다. COD는 표층 4.0~5.9mg/L(평균 4.7mg/L), 저층 2.2~3.1mg/L(평균 2.6mg/L)로 나타났으며 저층은 8월과 유사하나 표층에서는 8월에 비해 58% 수준으로 감소하는 것으로 나타났다(그림 3-2-37).

그림 3-2-38는 연속관측에 의한 인 및 질소화합물의 농도변화를 보여준다. 표층과 저층에서 총인의 농도가 6월에서 9월로 갈수록 증가하고 있으며, 저층에서의 증가폭은 표층보다 컸음을 보여주고 있다. 표층에서 총인 농도의 증가는 강우시 하천을 통한 유입에 영향 받아 식물플랑크톤이 활발히 번식하였기 때문에 입자성 총인, 즉 식물플랑크톤에 포함된 인 성분이 반영된 결과이며, 저층에서의 높은 증가는 유기물의 분해에 따른 영양염의 재생산에 기인한 것으로 용존성 인산염이 높은 증가는 유기물의 분해에 따른 영양염의 재생산에 기인한 것으로 용존성 인산염이 높은 비중을 차지하고 있었으며 9월에는 표층과 저층에서 8월에 비해 감소하는 경향을 보였다. 총질산의 경우 6월에는 표층과 저층이 0.5mg/L로 낮았다가 7월에 두배 이상 증가하였다가 이후 감소하는 경향을 보였으며 7월에서 9월까지 저층에서 총질소의 대부분이 암모니움염이 차지하고 있었다. 질산염과 아질산염은 7월 표층에서 높았다가 8월에 감소하였고 9월에는 상당히 낮은 농도가 관측되었다.

표 3-2-11. 자동채수기에 의한 연속관측 결과(2009. 6/12~15)

조사 날짜	조사 시간	Layer	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	COD	DOC	
				(mg/L)	(%)	(℃)		(mg/L)										
6/12	15:00	표	8.27	10.37	145	22.92	31.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	7.56	2.23	28.4	17.83	32.05	0.020	0.008	0.051	0.187	0.963	0.246	0.073	0.476	2.1	3.61	
	18:00	표	8.30	10.58	146	22.18	31.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	7.54	1.68	21.4	17.61	32.15	0.025	0.009	0.054	0.233	1.036	0.295	0.087	0.514	2.2	2.50	
21:00	표	8.28	9.78	134	21.71	31.64	0.011	<0.001	0.001	0.024	0.233	0.025	0.093	0.490	5.3	4.37		
	저	7.63	2.43	31.0	17.76	32.18	0.025	0.008	0.063	0.207	0.895	0.278	0.097	0.555	2.6	3.68		
6/13	00:00	표	8.24	8.84	120	21.43	31.73	0.008	<0.001	0.002	0.013	0.281	0.014	0.076	0.430	4.3	3.57	
		저	7.66	2.65	33.9	17.95	32.12	0.031	0.008	0.049	0.198	1.068	0.255	0.114	0.570	3.1	4.22	
	03:00	표	8.25	8.75	119	21.29	31.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.69	2.68	34.4	18.16	32.16	0.028	0.007	0.056	0.210	0.937	0.274	0.111	0.553	2.8	2.89	
	06:00	표	8.22	8.29	112	21.22	31.65	0.007	0.001	0.002	0.015	0.253	0.018	0.066	0.407	4.2	4.22	
		저	7.75	2.53	32.9	18.85	31.97	0.036	0.007	0.044	0.208	1.121	0.260	0.124	0.551	2.7	2.83	
	09:00	표	8.25	8.80	120	21.48	31.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.81	2.75	35.6	18.76	31.96	0.032	0.007	0.044	0.202	1.079	0.254	0.110	0.485	4.3	2.83	
	12:00	표	8.19	8.35	115	21.89	31.56	0.025	<0.001	0.004	0.018	0.376	0.022	0.089	0.418	4.3	5.61	
		저	7.80	3.06	39.7	18.84	32.01	0.018	0.004	0.048	0.094	0.851	0.147	0.111	0.432	2.9	2.49	
	15:00	표	8.22	8.71	120	22.10	31.58	0.014	<0.001	<0.001	0.094	0.209	0.094	0.099	0.540	5.3	4.49	
		저	7.74	2.41	31.3	18.64	32.16	0.019	0.005	0.038	0.105	0.983	0.149	0.096	0.442	2.7	3.68	
	18:00	표	8.22	8.70	120	22.02	31.60	0.009	<0.001	0.003	0.052	0.316	0.056	0.069	0.420	4.1	3.57	
		저	7.77	2.83	36.6	18.42	32.30	0.012	0.005	0.059	0.054	0.646	0.119	0.075	0.415	2.5	2.71	
	21:00	표	8.23	8.60	118	22.05	31.70	0.009	<0.001	0.002	0.031	0.329	0.033	0.069	0.403	3.9	3.34	
		저	8.00	5.45	71.3	19.09	32.18	0.012	0.007	0.058	0.046	0.641	0.111	0.070	0.406	2.4	3.19	
6/14	00:00	표	8.21	8.24	113	21.88	31.73	0.008	0.001	0.001	0.041	0.350	0.043	0.065	0.408	3.3	3.03	
		저	7.90	3.74	49.0	19.27	32.08	0.013	0.002	0.011	0.032	0.601	0.044	0.082	0.417	3.1	3.03	
	03:00	표	8.21	8.10	111	21.79	31.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.72	2.19	28.5	18.80	32.22	0.022	0.005	0.031	0.085	0.993	0.121	0.099	0.483	2.9	2.85	
	06:00	표	8.20	7.95	109	21.71	31.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.73	2.59	33.4	18.30	32.34	0.020	0.006	0.050	0.215	0.977	0.271	0.092	0.473	2.4	3.40	
	09:00	표	8.20	7.92	108	21.64	31.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.71	2.77	35.3	17.58	32.28	0.024	0.009	0.073	0.210	0.917	0.291	0.078	0.480	1.8	2.22	
	12:00	표	8.24	8.82	121	22.02	31.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.72	2.80	35.6	17.70	32.25	0.018	0.007	0.056	0.141	1.019	0.204	0.072	0.432	1.7	2.25	
	15:00	표	8.33	9.89	138	23.07	30.40	0.009	0.001	0.001	0.011	0.161	0.013	0.081	0.441	4.9	4.06	
		저	7.70	3.05	38.9	17.66	32.30	0.020	0.007	0.066	0.154	0.909	0.227	0.076	0.449	1.8	2.25	
18:00	표	8.27	9.60	133	22.62	31.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	저	7.80	3.66	46.6	17.64	32.37	0.026	0.008	0.084	0.201	0.811	0.293	0.083	0.508	2.0	2.26		
21:00	표	8.25	9.01	124	22.14	31.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	저	7.77	3.12	39.7	17.69	32.33	0.022	0.008	0.072	0.188	0.848	0.269	0.072	0.487	2.3	2.20		
6/15	00:00	표	8.24	8.81	122	22.15	31.94	0.009	0.001	0.003	0.019	0.340	0.023	-	-	-	3.53	
		저	7.81	3.41	43.9	18.19	32.21	0.013	0.006	0.064	0.143	0.728	0.214	0.057	0.416	2.2	2.11	
	03:00	표	8.22	8.43	115	21.74	31.68	0.009	0.001	0.003	0.048	0.402	0.052	0.063	0.395	-	2.99	
		저	7.85	3.58	46.1	18.29	32.21	0.016	0.007	0.061	0.117	0.812	0.185	0.069	0.445	2.5	2.24	
	06:00	표	8.23	8.55	117	21.86	31.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.93	4.51	58.0	18.25	32.31	0.013	0.006	0.073	0.080	0.653	0.158	0.065	0.432	1.9	2.23	
	09:00	표	8.24	8.67	119	22.00	31.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		저	7.93	5.09	65.6	18.19	32.38	0.017	0.006	0.080	0.126	0.720	0.212	0.075	0.449	2.1	2.04	
12:00	표	8.26	9.10	127	22.94	31.50	0.005	<0.001	0.001	0.055	0.205	0.056	0.063	0.381	3.9	3.17		
	저	7.90	4.58	58.8	18.02	32.44	-	-	-	0.133	0.659	-	0.080	0.432	2.5	2.97		
최소	표	8.19	7.92	108	21.22	30.40	0.005	<0.001	<0.001	0.011	0.161	0.013	0.063	0.381	3.3	2.99		
	저	7.54	1.68	21.4	17.58	31.96	0.012	0.002	0.011	0.032	0.601	0.044	0.057	0.406	1.7	2.04		
최대	표	8.33	10.58	146	23.07	31.94	0.025	0.001	0.004	0.094	0.402	0.094	0.099	0.540	5.3	5.61		
	저	8.00	5.45	71.3	19.27	32.44	0.036	0.009	0.084	0.233	1.121	0.295	0.124	0.570	4.3	4.22		
평균	표	8.24	8.87	122	21.99	31.59	0.010	0.001	0.002	0.035	0.288	0.037	0.076	0.430	4.3	3.83		
	저	7.77	3.16	40.7	18.23	32.21	0.021	0.007	0.056	0.149	0.869	0.212	0.086	0.471	2.5	2.78		

표 3-2-11. 계속(2009. 7/27~30)

조사 날짜	조사 시간	Layer	pH	DO	DO	Temp. (°C)	Sal.	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	COD	Chl-a (µg/L)	DOC (mg/L)
				(mg/L)	(%)			P	N	N	N	Si						
7/27	14:00	표	9.01	9.91	131	26.79	9.41	0.056	0.059	0.715	0.251	1.084	1.025	0.089	1.339	8.2	17.2	4.54
		저	7.40	0.95	12.9	22.06	30.56	0.173	0.023	0.117	1.043	1.572	1.183	0.189	1.195	3.3	1.8	2.36
	17:00	표	9.11	10.41	138	26.90	9.53	0.044	0.059	0.723	0.156	0.979	0.938	0.080	1.313	6.5	23.5	4.70
		저	7.46	1.51	20.6	22.23	29.89	0.155	0.025	0.164	0.997	1.453	1.185	0.166	1.219	2.9	2.3	2.84
	20:00	표	9.19	10.71	142	26.88	9.56	0.040	0.057	0.708	0.207	0.974	0.973	0.078	1.258	8.9	28.5	4.19
		저	7.41	0.89	12.2	22.16	29.56	0.187	0.023	0.143	0.986	1.614	1.151	0.193	1.820	2.8	2.6	2.70
23:00	표	9.12	10.19	134	26.66	9.67	0.042	0.058	0.706	0.187	0.971	0.951	0.085	1.275	8.0	26.7	4.05	
	저	7.48	1.44	19.7	22.26	29.68	0.152	0.026	0.160	0.821	1.495	1.007	0.155	1.030	2.8	3.0	2.84	
7/28	02:00	표	8.99	9.62	126	26.52	9.68	0.050	0.062	0.704	0.267	0.958	1.032	0.092	1.351	7.3	20.5	4.63
		저	7.51	1.53	20.9	22.15	30.17	0.149	0.027	0.147	0.821	1.424	0.995	0.151	1.119	2.8	3.3	3.16
	05:00	표	8.95	9.58	126	26.43	9.79	0.062	0.064	0.704	0.276	1.157	1.044	0.112	1.306	7.4	22.9	3.83
		저	7.42	0.46	6.30	21.85	31.28	0.174	0.034	0.083	0.992	1.528	1.109	0.177	1.222	2.9	3.2	2.67
	08:00	표	8.94	9.08	119	26.24	9.74	0.053	0.063	0.716	0.223	1.114	1.002	0.105	1.383	7.1	22.0	3.58
		저	7.62	2.58	35.3	22.35	29.93	0.119	0.029	0.192	0.501	1.199	0.722	0.121	0.869	2.4	1.8	3.32
	11:00	표	9.04	9.96	131	26.42	9.78	0.045	0.062	0.695	0.231	1.067	0.989	0.094	1.302	8.4	26.1	5.70
		저	7.56	1.85	25.3	22.26	30.02	0.135	0.032	0.160	0.895	1.340	1.088	0.142	1.119	2.6	1.7	3.25
	14:00	표	9.04	10.89	144	26.77	9.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	7.58	1.96	26.7	22.43	29.19	0.123	0.030	0.178	0.752	1.337	0.960	0.126	1.009	2.2	1.3	2.76
	17:00	표	9.06	10.82	143	26.63	9.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	7.48	1.22	16.6	22.25	29.40	0.162	0.035	0.149	0.980	1.531	1.164	0.168	1.183	2.4	1.8	2.71
	20:00	표	9.11	10.47	137	26.32	10.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	7.56	1.9	25.9	22.37	29.39	0.131	0.033	0.174	0.746	1.368	0.953	0.134	1.029	2.5	1.5	2.07
23:00	표	9.22	10.4	136	26.04	9.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	저	7.63	2.39	32.6	22.41	29.38	0.124	0.027	0.189	0.706	1.274	0.922	0.131	0.999	2.0	1.8	2.81	
7/29	02:00	표	9.13	9.59	125	25.76	10.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.55	1.73	23.7	22.29	29.74	0.138	0.036	0.165	0.946	1.364	1.147	0.141	1.242	2.6	1.9	2.22
	05:00	표	9.16	9.41	122	25.47	9.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.64	2.66	36.4	22.42	29.56	0.118	0.030	0.195	0.832	1.198	1.057	0.131	1.118	2.5	1.3	2.20
	08:00	표	9.14	9.48	123	25.55	10.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.64	2.47	33.8	22.45	29.38	0.120	0.030	0.192	0.803	1.238	1.025	0.128	1.149	2.6	1.3	4.23
	11:00	표	9.26	11.2	147	26.36	10.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	7.47	0.89	12.1	22.32	29.11	0.169	0.042	0.151	0.958	1.540	1.150	0.171	1.225	2.1	2.3	3.25
	14:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	-	-	-	-	-	0.123	0.035	0.185	0.551	1.277	0.771	0.136	0.863	2.5	1.5	2.62
	17:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	-	-	-	-	-	0.151	0.044	0.149	0.775	1.500	0.968	0.162	0.989	2.5	1.9	4.22
	20:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		저	-	-	-	-	-	0.140	0.040	0.185	0.628	1.360	0.853	0.149	0.932	2.5	1.5	3.76
23:00	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	B	-	-	-	-	-	0.159	0.043	0.141	0.664	1.531	0.848	0.163	0.957	2.8	3.2	2.31	

표 3-2-11. 계속(2009. 7/27~30)

조사 날짜	조사 시간	Layer	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	COD	Chl-a	DOC	
				(mg/L)	(%)	(°C)		P	N	N	N	Si	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)				
7/30	02:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	-	-	-	-	-	0.168	0.063	0.122	0.702	1.532	0.886	0.177	0.934	2.5	2.7	2.45	
	05:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	-	-	-	-	-	0.142	0.060	0.148	0.626	1.345	0.834	0.142	0.867	2.2	1.8	2.50	
	08:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		저	-	-	-	-	-	0.105	0.050	0.185	0.384	1.027	0.619	0.106	0.761	2.2	1.7	3.05	
11:00	표	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	저	-	-	-	-	-	0.148	0.063	0.142	0.753	1.384	0.959	0.153	1.013	2.6	1.8	3.48		
최소	표	8.94	9.08	119	25.47	9.41	0.040	0.057	0.695	0.156	0.958	0.938	0.078	1.258	6.5	17.2	3.58		
	저	7.40	0.46	6.30	21.85	29.11	0.105	0.023	0.083	0.384	1.027	0.619	0.106	0.761	2.0	1.3	2.07		
최대	표	9.26	11.20	147	26.90	10.08	0.062	0.064	0.723	0.276	1.157	1.044	0.112	1.383	8.9	28.5	5.70		
	저	7.64	2.66	36.4	22.45	31.28	0.187	0.063	0.195	1.043	1.614	1.185	0.193	1.820	3.3	3.3	4.23		
평균	표	9.09	10.11	133	26.36	9.82	0.049	0.061	0.709	0.225	1.038	0.994	0.092	1.316	7.7	23.4	4.40		
	저	7.53	1.65	22.6	22.27	29.77	0.144	0.037	0.159	0.786	1.393	0.981	0.151	1.078	2.5	2.0	2.91		

표 3-2-11. 계속(2009. 8/14~17)

조사 날짜	조사 시간	Layer	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	COD	Chl-a	DOC
				(mg/L)	(%)	(°C)		P	N	N	N	Si					(μg/L)	(mg/L)
8/14	13:00	표	-	-	-	-	-	0.106	0.083	0.575	0.328	1.820	0.986	0.143	1.283	6.7	14.9	4.99
		저	7.24	0.41	5.60	22.79	29.47	0.167	0.252	0.085	0.397	1.380	0.735	0.180	0.827	2.5	3.4	3.13
	16:00	표	-	-	-	-	-	0.075	0.086	0.453	0.080	1.429	0.619	0.130	1.120	7.8	44.1	3.73
		저	7.24	0.40	5.50	22.87	29.41	0.170	0.240	0.077	0.259	1.384	0.576	0.181	0.735	2.8	4.1	2.87
	19:00	표	-	-	-	-	-	0.052	0.072	0.256	0.055	0.943	0.384	0.110	0.939	7.5	38.9	3.63
		저	7.22	0.32	4.40	22.89	29.26	0.174	0.230	0.071	0.321	1.404	0.621	0.195	0.763	3.1	4.1	3.40
22:00	표	-	-	-	-	-	0.071	0.080	0.314	0.129	1.103	0.523	0.123	1.029	7.3	28.7	4.00	
	저	7.21	0.26	3.60	22.88	29.25	0.182	0.228	0.069	0.314	1.423	0.611	0.194	0.758	2.4	2.7	2.17	
8/15	01:00	표	-	-	-	-	-	0.072	0.081	0.308	0.129	1.092	0.518	0.118	0.993	4.7	25.9	4.12
		저	7.22	0.28	3.80	22.89	29.26	0.179	0.229	0.074	0.382	1.419	0.686	0.197	0.780	2.0	2.7	2.83
	04:00	표	-	-	-	-	-	0.070	0.080	0.332	0.084	1.078	0.496	0.120	1.022	6.6	24.2	3.17
		저	7.23	0.37	5.20	22.91	29.43	0.174	0.227	0.075	0.371	1.392	0.673	0.194	0.776	2.8	3.7	2.24
	07:00	표	-	-	-	-	-	0.062	0.080	0.330	0.047	1.048	0.457	0.118	0.987	4.0	27.9	4.65
		저	7.25	0.36	5.00	22.63	29.72	0.199	0.153	0.037	0.379	1.512	0.569	0.213	0.698	2.2	2.2	2.79
	10:00	표	-	-	-	-	-	0.040	0.052	0.150	0.048	0.947	0.250	0.116	0.988	8.0	47.4	4.66
		저	7.25	0.26	3.60	22.54	29.84	0.204	0.131	0.030	0.442	1.501	0.604	0.208	0.724	2.4	1.7	3.34
	13:00	표	-	-	-	-	-	0.035	0.040	0.033	0.058	0.624	0.131	0.110	0.890	7.4	36.5	4.87
		저	7.32	0.25	3.50	22.57	29.74	0.209	0.104	0.012	0.479	1.560	0.596	0.219	0.705	2.5	2.8	2.23
	16:00	표	-	-	-	-	-	0.037	0.051	0.073	0.055	0.568	0.179	0.101	0.853	8.5	38.7	4.23
		저	7.30	0.25	3.50	22.73	29.71	0.186	0.150	0.033	0.435	1.462	0.618	0.204	0.742	2.7	4.1	2.90
19:00	표	-	-	-	-	-	0.031	0.060	0.090	0.066	0.531	0.216	0.092	0.820	8.2	33.6	3.54	
	저	7.29	0.25	3.50	22.91	29.25	0.178	0.217	0.060	0.343	1.408	0.620	0.187	0.752	2.2	3.3	3.49	
22:00	표	-	-	-	-	-	0.032	0.055	0.074	0.103	0.522	0.232	0.091	0.821	7.8	31.8	3.51	
	저	7.28	0.25	3.50	22.95	29.18	0.174	0.224	0.061	0.437	1.382	0.722	0.176	0.769	2.4	2.8	2.85	
8/16	01:00	표	-	-	-	-	-	0.051	0.054	0.130	0.169	0.807	0.353	0.126	1.063	8.4	37.9	4.26
		저	7.27	0.42	5.90	22.92	29.52	0.172	0.180	0.060	0.447	1.384	0.687	0.191	0.768	2.8	4.1	3.06
	04:00	표	-	-	-	-	-	0.043	0.046	0.152	0.152	0.855	0.350	0.120	1.100	7.7	36.8	3.55
		저	7.38	0.26	3.60	22.42	29.97	0.237	0.028	0.009	0.580	1.669	0.617	0.253	0.797	2.5	2.8	3.43
	07:00	표	-	-	-	-	-	0.037	0.032	0.130	0.103	0.895	0.266	0.105	0.971	7.4	45.7	6.53
		저	7.36	0.25	3.50	22.42	29.77	0.226	0.040	0.007	0.569	1.628	0.616	0.251	0.721	2.9	6.0	2.40
	10:00	표	-	-	-	-	-	0.027	0.029	0.087	0.094	0.748	0.211	0.104	0.909	9.2	46.4	5.05
		저	7.33	0.27	3.70	22.55	29.73	0.214	0.075	0.018	0.605	1.559	0.697	0.221	0.725	2.5	2.9	2.62
	13:00	표	-	-	-	-	-	0.020	0.017	0.008	0.072	0.562	0.097	0.099	0.866	9.7	38.3	3.91
		저	-	-	-	-	-	0.211	0.075	0.015	0.515	1.557	0.605	0.222	0.721	2.4	2.2	3.06
	16:00	표	-	-	-	-	-	0.024	0.007	<0.001	0.163	0.496	0.170	0.106	0.858	9.8	43.5	3.93
		저	-	-	-	-	-	0.176	0.170	0.057	0.418	1.375	0.645	0.186	0.721	2.8	3.7	4.17
19:00	표	-	-	-	-	-	0.032	0.022	0.015	0.072	0.461	0.109	0.108	0.900	10.6	41.3	4.11	
	저	-	-	-	-	-	0.136	0.184	0.079	0.290	1.167	0.553	0.145	0.703	2.4	3.7	2.41	
22:00	표	-	-	-	-	-	0.019	0.026	0.043	0.071	0.630	0.140	0.129	1.036	10.7	62.1	4.83	
	저	-	-	-	-	-	0.141	0.200	0.081	0.378	1.204	0.658	0.149	0.741	2.4	3.3	2.95	
8/17	01:00	표	-	-	-	-	-	0.018	0.029	0.057	0.125	0.627	0.211	0.103	0.912	9.2	52.3	3.42
		저	-	-	-	-	-	0.148	0.191	0.082	0.480	1.254	0.752	0.160	0.827	2.6	3.7	2.73
	04:00	표	-	-	-	-	-	0.015	0.025	0.053	0.055	0.525	0.133	0.091	0.819	8.2	47.6	3.51
		저	-	-	-	-	-	0.184	0.128	0.043	0.639	1.458	0.809	0.202	0.847	2.7	3.7	3.54
	07:00	표	-	-	-	-	-	0.020	0.043	0.126	0.053	0.676	0.222	0.098	0.861	7.7	44.0	3.78
		저	-	-	-	-	-	0.210	0.038	0.012	0.918	1.537	0.968	0.230	1.027	2.4	2.8	2.56
10:00	표	-	-	-	-	-	0.021	0.056	0.154	0.086	0.747	0.296	0.109	0.940	8.2	53.4	3.31	
	저	-	-	-	-	-	0.212	0.034	0.012	0.905	1.573	0.950	0.240	0.771	2.4	3.8	2.66	
최소	표	-	-	-	-	-	<b>0.015</b>	<b>0.007</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.047</b>	<b>0.461</b>	<b>0.097</b>	<b>0.091</b>	<b>0.819</b>	<b>4.0</b>	<b>14.9</b>	<b>3.17</b>	
	저	7.21	0.25	3.50	22.42	29.18	0.136	0.028	0.007	0.259	1.167	0.553	0.145	0.698	2.0	1.7	2.17	
최대	표	-	-	-	-	-	0.106	0.086	0.575	0.328	1.820	0.986	0.143	1.283	10.7	62.1	6.53	
	저	7.38	0.42	5.90	22.95	29.97	0.237	0.252	0.085	0.918	1.669	0.968	0.253	1.027	3.1	6.0	4.17	
평균	표	-	-	-	-	-	0.042	0.050	0.171	0.100	0.822	0.314	0.111	0.957	8.0	39.2	4.14	
	저	7.27	0.30	4.20	22.74	29.53	0.186	0.155	0.048	0.471	1.441	0.674	0.200	0.767	2.5	3.3	2.91	



표 3-2-11. 계속(2009. 9/7~10)

조사 날짜	조사 시간	Layer	pH	DO	DO	Temp.	Sal.	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	COD	Chl-a	DOC
				(mg/L)	(%)	(°C)		(mg/L)										(µg/L)
9/7	15:00	표	8.69	7.82	110	25.87	23.07	0.040	0.004	0.014	0.025	0.136	0.044	0.060	0.376	4.4	6.9	3.37
		저	7.39	0.28	4.00	23.61	32.44	0.152	0.006	0.005	0.381	1.370	0.391	0.178	0.554	2.6	0.8	3.23
	18:00	표	8.78	8.35	117	25.75	23.08	0.036	0.001	0.004	0.045	0.091	0.050	0.052	0.371	4.7	5.7	3.46
		저	-	-	-	-	-	0.181	0.001	0.004	0.624	1.522	0.629	0.199	0.653	2.9	0.9	1.87
	21:00	표	8.79	8.27	115	25.55	23.16	0.035	0.001	0.005	0.043	0.079	0.049	0.050	0.373	4.8	4.8	2.81
저	-	-	-	-	-	-	0.184	0.001	0.003	0.585	1.553	0.589	0.200	0.672	2.8	1.6	1.84	
9/8	00:00	표	8.77	8.00	111	25.46	23.19	0.035	0.001	0.005	0.039	0.080	0.046	0.051	0.367	5.9	3.6	2.92
		저	-	-	-	-	-	0.178	0.001	0.004	0.595	1.516	0.599	0.196	0.643	2.6	1.6	2.35
	03:00	표	8.71	7.51	104	25.43	23.25	0.039	0.002	0.007	0.068	0.095	0.077	0.055	0.383	4.2	3.4	3.70
		저	-	-	-	-	-	0.184	0.001	0.006	0.558	1.557	0.564	0.202	0.670	2.6	1.3	2.01
	06:00	표	8.65	6.91	96.3	25.44	23.33	0.051	0.005	0.012	0.129	0.192	0.147	0.067	0.425	4.2	2.8	3.41
		저	-	-	-	-	-	0.175	0.001	0.014	0.591	1.506	0.607	0.197	0.648	2.8	1.6	2.28
	09:00	표	8.63	6.91	96.1	25.40	23.23	0.052	0.007	0.013	0.163	0.244	0.184	0.077	0.469	4.2	4.1	4.12
		저	-	-	-	-	-	0.150	0.002	0.004	0.553	1.413	0.559	0.174	0.598	2.3	1.3	2.06
	12:00	표	8.67	7.65	108	25.96	23.32	0.051	0.006	0.009	0.051	0.228	0.065	0.084	0.484	4.9	7.9	2.84
		저	-	-	-	-	-	0.138	0.001	0.006	0.531	1.406	0.538	0.167	0.604	2.2	1.2	2.86
	15:00	표	8.74	8.48	119	26.15	22.69	0.045	0.002	0.005	0.050	0.171	0.056	0.069	0.423	4.6	6.5	3.03
		저	-	-	-	-	-	0.168	0.002	0.006	0.500	1.470	0.507	0.193	0.651	2.6	1.7	2.79
	18:00	표	8.75	8.60	121	26.10	22.51	0.046	0.001	0.004	0.047	0.172	0.052	0.069	0.414	4.7	6.3	2.82
		저	-	-	-	-	-	0.174	0.002	0.007	0.563	1.525	0.571	0.197	0.654	2.7	2.5	1.75
	21:00	표	8.74	8.25	116	25.89	23.76	0.045	0.001	0.006	0.034	0.136	0.041	0.070	0.374	5.0	5.2	2.92
저		-	-	-	-	-	0.180	0.002	0.004	0.660	1.489	0.666	0.206	0.689	2.8	2.8	2.01	
9/9	00:00	표	8.72	7.91	111	25.75	23.76	0.045	0.001	0.005	0.062	0.154	0.068	0.071	0.420	4.7	4.5	3.14
		저	-	-	-	-	-	0.187	0.001	0.006	0.567	1.544	0.573	0.214	0.707	2.6	2.6	2.36
	03:00	표	8.68	7.50	105	25.68	23.59	0.049	0.002	0.008	0.055	0.190	0.064	0.083	0.485	4.0	6.9	3.98
		저	-	-	-	-	-	0.171	0.001	0.005	0.551	1.469	0.556	0.201	0.662	2.6	3.3	3.14
	06:00	표	8.63	7.05	98.2	25.40	23.57	0.054	0.005	0.011	0.101	0.221	0.117	0.089	0.506	4.4	8.3	2.72
		저	-	-	-	-	-	0.150	0.002	0.006	0.611	1.430	0.620	0.180	0.631	2.4	2.2	2.55
	09:00	표	8.59	6.96	97.1	25.49	23.56	0.059	0.010	0.017	0.078	0.246	0.105	0.101	0.554	4.8	12.3	2.77
		저	-	-	-	-	-	0.131	0.002	0.037	0.550	1.356	0.589	0.161	0.649	2.5	2.8	2.28
	12:00	표	8.66	8.14	114	25.90	23.28	0.060	0.008	0.011	0.046	0.219	0.065	0.103	0.583	5.4	11.5	2.98
		저	-	-	-	-	-	0.137	0.002	0.007	0.579	1.419	0.588	0.169	0.653	2.5	2.2	1.80
	15:00	표	8.76	8.83	124	25.90	23.47	0.050	<0.001	0.003	0.062	0.182	0.066	0.083	0.473	5.0	9.3	3.62
		저	-	-	-	-	-	0.144	0.002	0.006	0.525	1.402	0.533	0.173	0.617	2.3	2.3	2.88
	18:00	표	8.78	8.97	126	25.83	23.65	0.052	0.001	0.004	0.078	0.187	0.082	0.090	0.495	4.5	9.6	3.27
		저	-	-	-	-	-	0.170	0.002	0.006	0.627	1.461	0.635	0.196	0.662	2.9	3.5	2.32
	21:00	표	8.75	8.52	119	25.57	23.64	0.053	0.001	0.004	0.053	0.175	0.058	0.098	0.497	4.5	8.8	3.85
저		-	-	-	-	-	0.173	0.001	0.005	0.599	1.493	0.606	0.210	0.701	3.0	3.8	2.40	
9/10	00:00	표	8.72	8.08	113	25.33	23.65	0.053	0.001	0.005	0.033	0.163	0.038	0.086	0.493	5.0	8.1	4.43
		저	-	-	-	-	-	0.178	0.003	0.006	0.667	1.499	0.676	0.206	0.694	2.8	3.1	2.38
	03:00	표	8.68	7.63	106	25.21	23.52	0.054	0.002	0.004	0.037	0.147	0.043	0.092	0.479	4.8	8.2	3.19
		저	-	-	-	-	-	0.163	0.003	0.008	0.562	1.449	0.572	0.201	0.653	2.8	3.5	1.84
	06:00	표	8.72	7.69	107	25.04	23.52	0.048	0.001	0.003	0.046	0.109	0.050	0.082	0.457	4.6	9.3	3.42
		저	-	-	-	-	-	0.149	0.003	0.007	-	1.471	-	0.193	0.637	2.7	5.1	2.13
	09:00	표	8.81	8.47	117	25.22	23.23	0.044	<0.001	0.005	0.067	0.132	0.072	0.084	0.494	5.0	13.7	3.15
		저	-	-	-	-	-	0.135	0.004	0.005	0.587	1.373	0.596	0.175	0.610	3.1	2.9	1.91
	12:00	표	8.93	10.32	145	26.01	23.17	0.042	<0.001	0.004	0.042	0.129	0.045	0.086	0.498	5.4	13.0	3.85
		저	-	-	-	-	-	0.121	0.003	0.032	0.575	1.266	0.610	0.157	0.593	2.4	2.6	1.99
최소	표	8.59	6.91	96.1	25.04	22.51	0.035	<0.001	0.003	0.025	0.079	0.038	0.050	0.367	4.0	2.8	2.72	
	저	7.39	0.28	4.00	23.61	32.44	0.121	0.001	0.003	0.381	1.266	0.391	0.157	0.554	2.2	0.8	1.75	
최대	표	8.93	10.32	145	26.15	23.76	0.060	0.010	0.017	0.163	0.246	0.184	0.103	0.583	5.9	13.7	4.43	
	저	7.39	0.28	4.00	23.61	32.44	0.187	0.006	0.037	0.667	1.557	0.676	0.214	0.707	3.1	5.1	3.23	
평균	표	8.72	8.03	112	25.64	23.34	0.047	0.003	0.007	0.061	0.162	0.070	0.077	0.454	4.7	7.5	3.32	
	저	7.39	0.28	4.00	23.61	32.44	0.161	0.002	0.008	0.571	1.457	0.582	0.190	0.646	2.6	2.4	2.29	

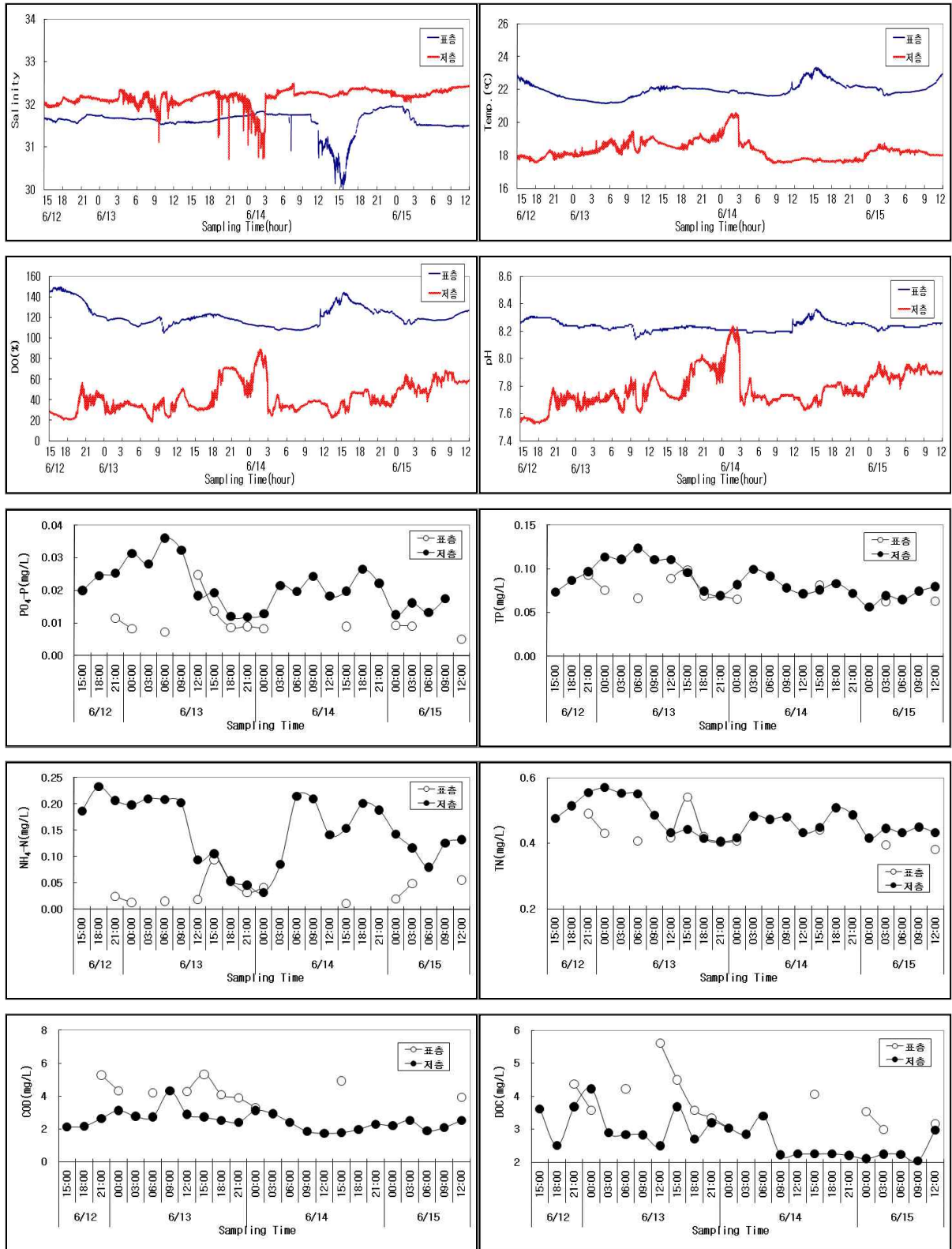


그림 3-2-34. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 6/12~16)

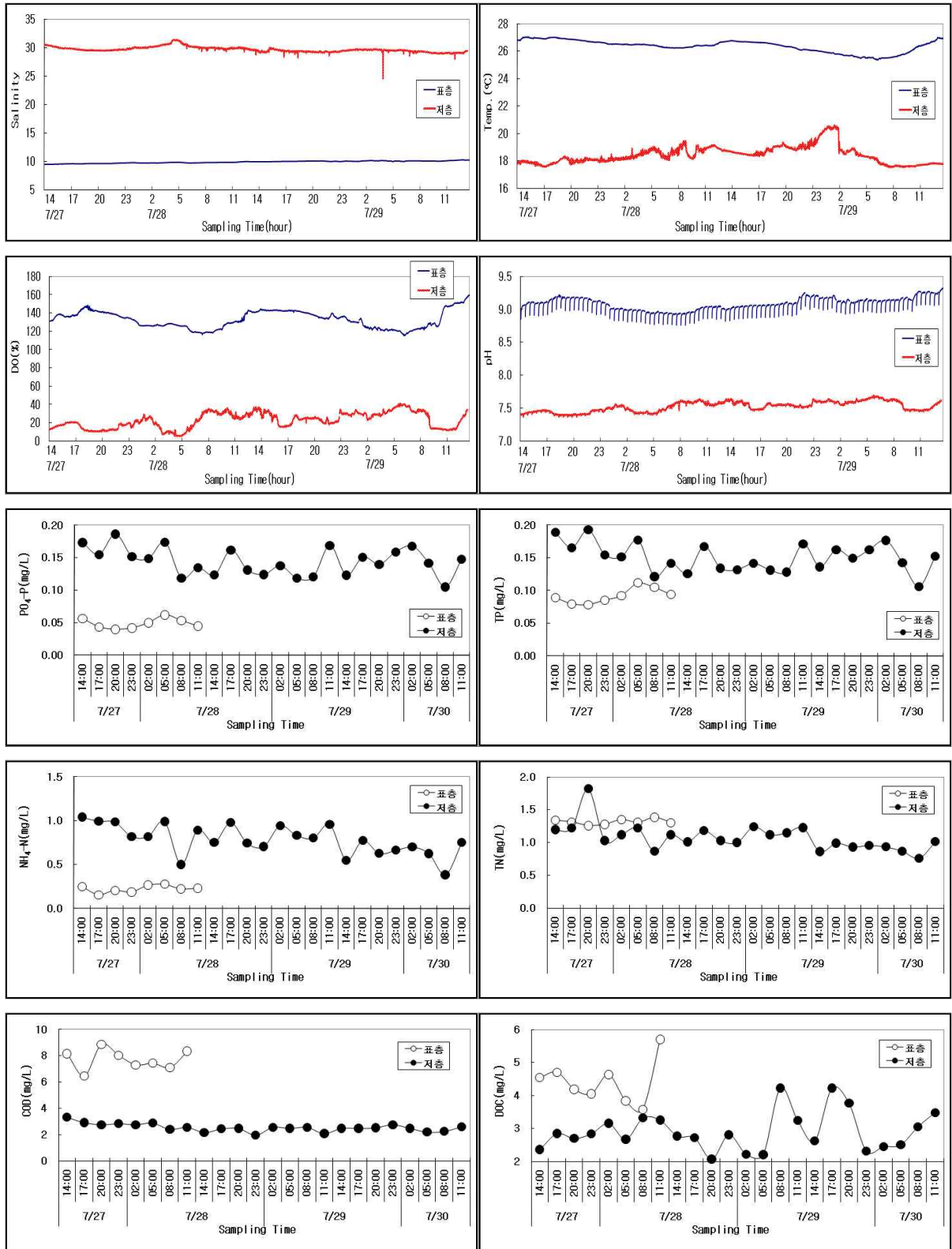


그림 3-2-35. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 7/27~30)

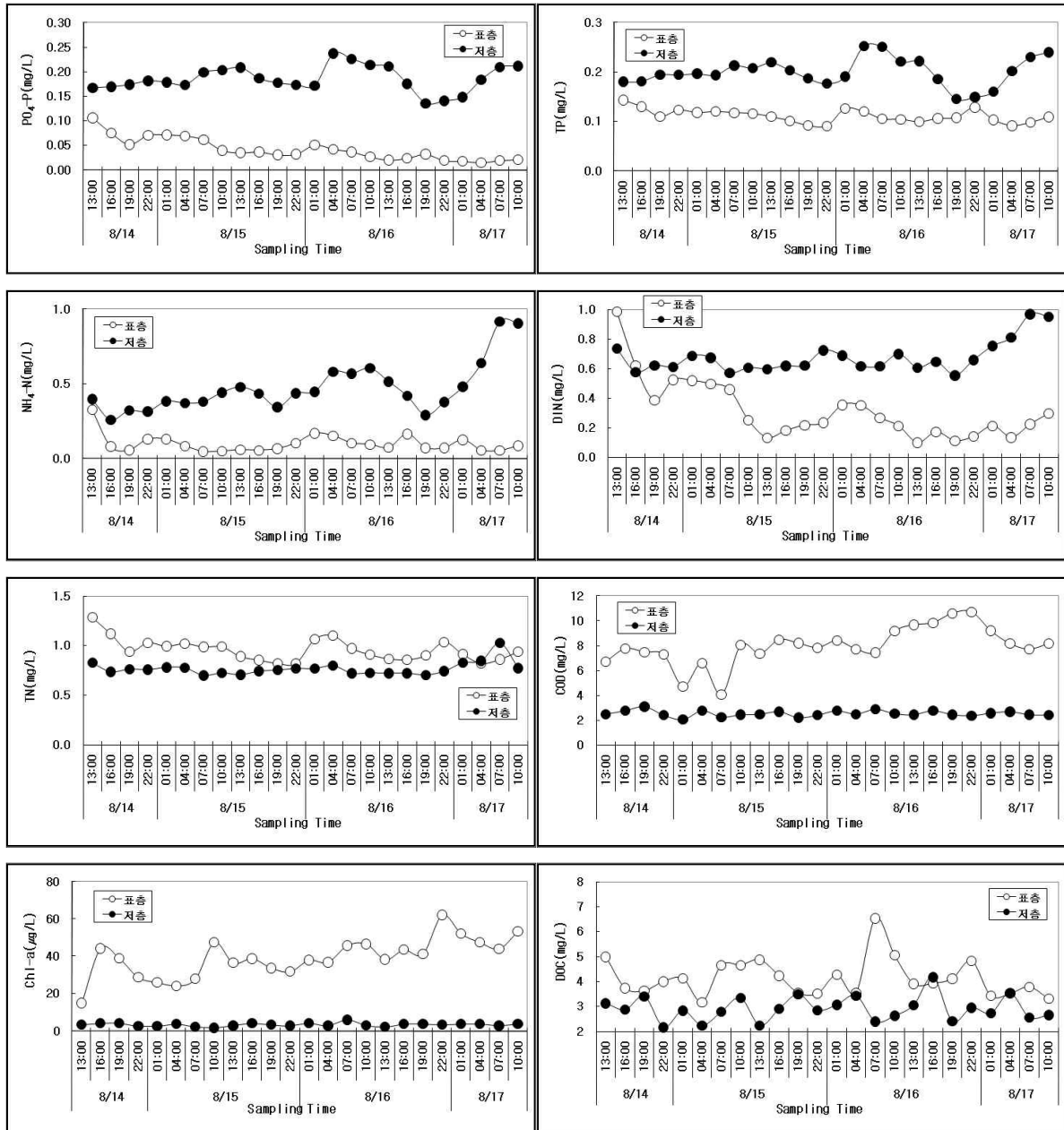


그림 3-2-36. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 8/14~17)

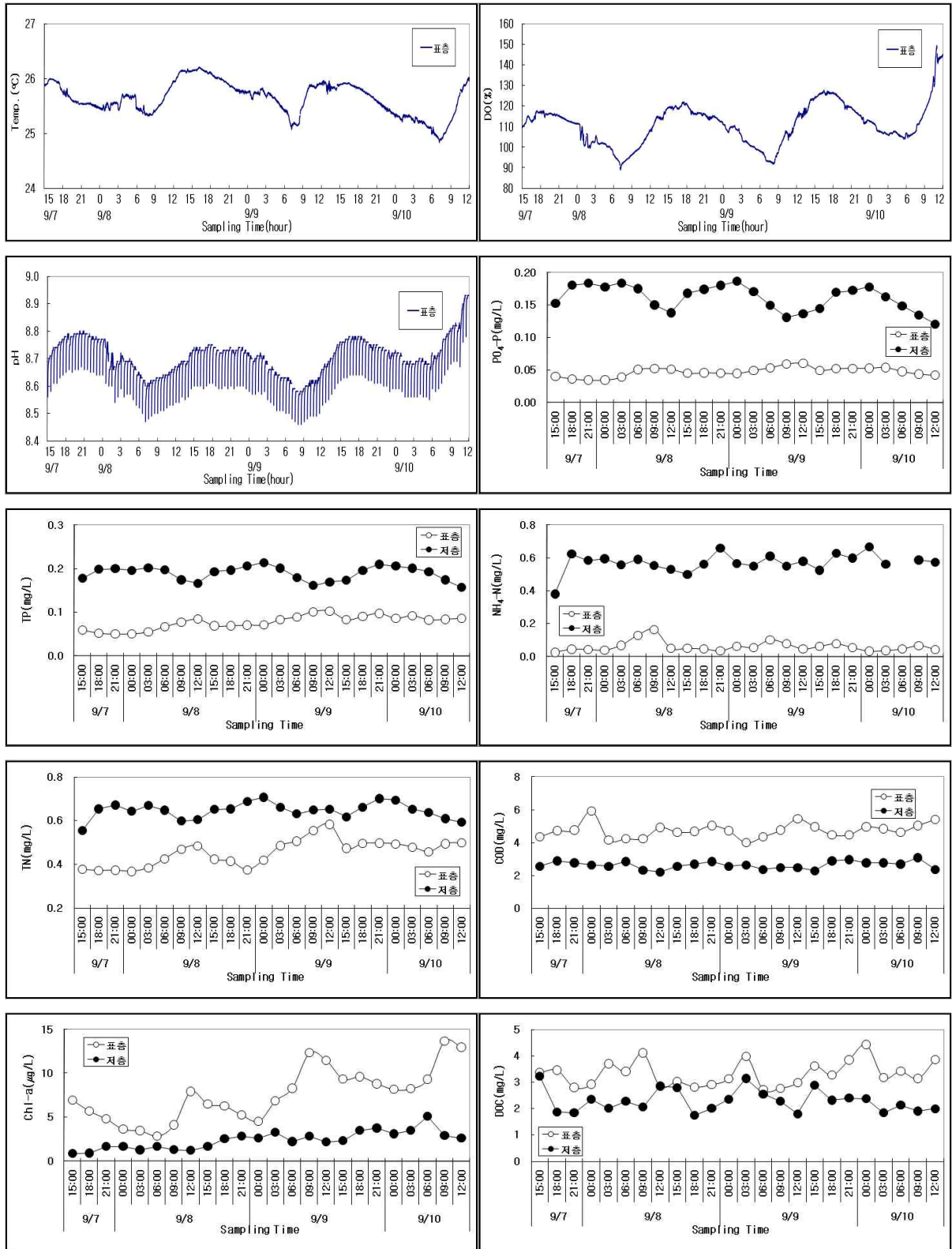


그림 3-2-37. 자동연속 채수장치를 이용한 연속관측 결과(2009. 9/7~10)

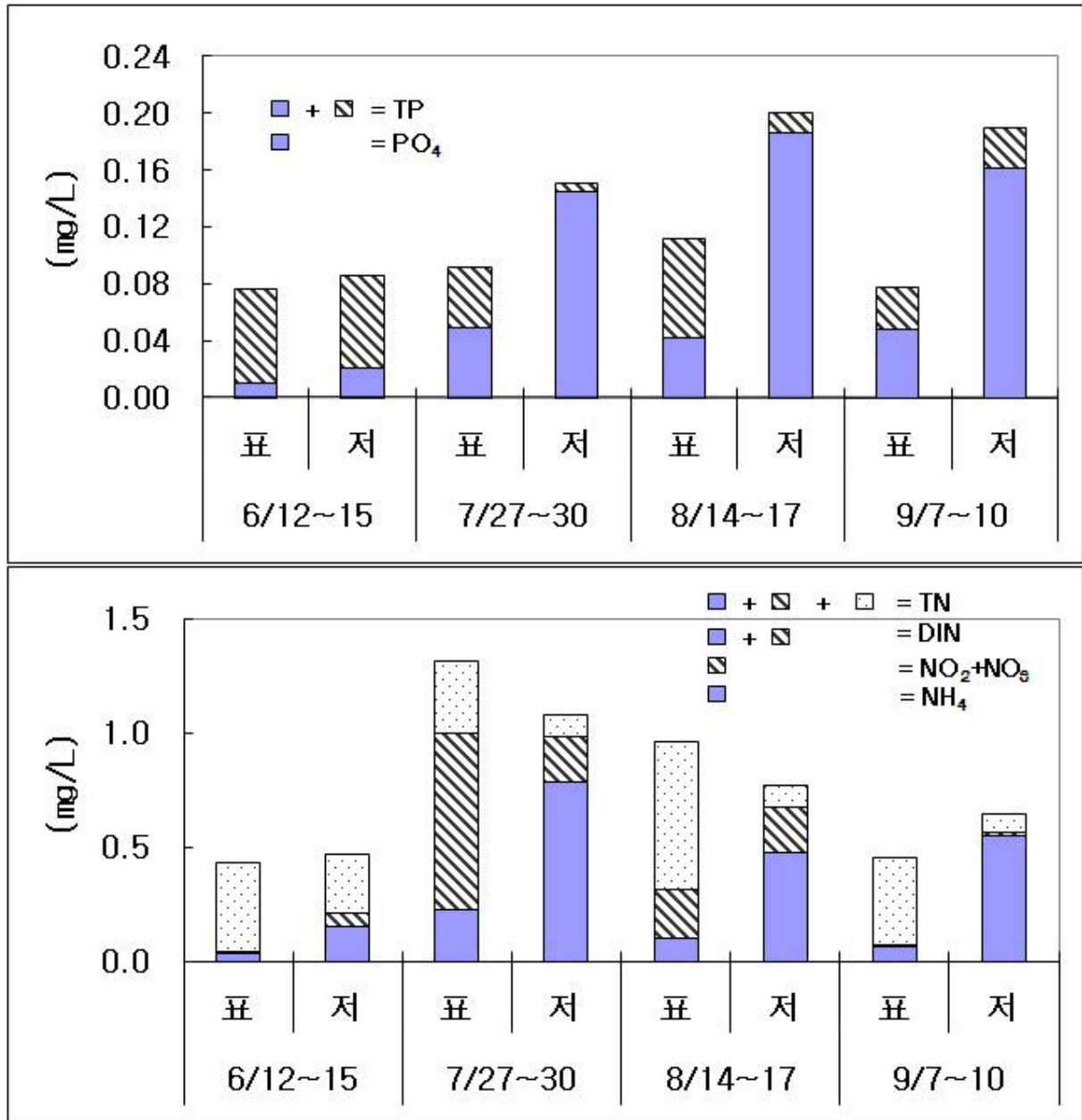


그림 3-2-38. 연속관측에 의한 인 및 질소화합물 농도 변화



## 3.2. 표층퇴적물

### 3.2.1. 지화학적 특성

방조제 내측 표층퇴적물의 지화학적 특성은 표 3-2-12 및 그림 3-2-39에 나타내었다. COD는 15.3~37.8mg/g(평균 25.7mg/g)으로 호 중앙지역인 정점 12에서 37.8mg/g로 가장 높았으며 공단 앞 지역은 30.0mg/g, 배수갑문에 인접한 정점 15에서는 16.3mg/g으로 낮았다. 연도별 퇴적물 내 COD의 변화는 2002년에서 2004년까지 꾸준히 증가하다가 이후 큰 변화를 보이지 않았으나 다시 2008년 이후 증가하는 경향을 보였다(표 3-2-13). 이는 시화호 내 MTV 공사 등 지형변화로 인해 정점의 위치가 변화되었기 때문이며, COD의 평균 농도가 2007년에 비해 2008년에 증가한 것으로 보였다. 2009년은 2008년 실시했던 정점에 상류지역인 COD가 높았던 정점 2가 추가되었음에도 평균 농도는 감소하였다. 2008년과 2009년의 자료를 비교해 보면, 새로 추가된 정점 16과 17번에서 2008년에 비해 2009년의 COD가 낮았다. 표층 퇴적물의 COD가 상류지역보다는 호의 중앙부에서 높은 것을 시화호 내 퇴적된 유기물이 강우나 하천등을 통한 유입보다는 시화호 내 식물플랑크톤과 같이 자체 생산된 유기물이 퇴적이 많았기 때문으로 판단된다.

유기탄소는 0.59~1.67%(평균 1.11%)로 농도범위를 보였으며, COD와 마찬가지로 호 중앙지역 및 상류지역에서 높은 값을 보였다. 반월공단 및 시화공단과 인접한 정점에서는 1.00~1.32%의 유사한 유기탄소 함량을 나타냈다. 배수갑문에 가까운 정점 13과 15에서 각각 0.89% 및 0.72%의 낮은 값을 보였으며, 정점 17에서 가장 낮은 함량인 0.59%를 보였다. 총유기탄소의 연변화는 2002년 0.92%에서 2004년과 2005년 1.10%로 증가하였고 이후 2008년 정점의 변화로 인하여 1.26%로 증가하였다가, 2009년에는 다시 예년의 농도와 유사하였다. 최근에는 호 중앙부에서 총유기탄소 함량이 높게 나타났는데 식물 플랑크톤의 번식이 왕성하여 이때 생성된 유기물이 침강하여 저층퇴적물에 퇴적되기 때문으로 사료된다.

퇴적물 내 총질소는 0.03~0.16%(평균 0.08%)의 농도범위를 보였다. 퇴적물 내 TOC/TN비는 유기물의 조류기원과 육상식물기원을 구별하는데 이용되는데 해양의 경우 4~10의 사이를 보이고 있다. 2008년의 경우 TOC/TN 평균이 7.32였음에 비해 2009년에는 9.0~26.8(평균 16.3)으로 약 2배 이상 증가하였다. TOC는 2008년과 유사한 농도를 보였으나 TN이 낮은 값을 보였다. TOC/TN비는 퇴적물 속성과정에 의해 달라지기는 하나 육상기원의 유기물이 많이 유입된 것으로 판단된다.

강열감량(IL)은 4.0~12.2%(평균 8.4%)를 보였으며 2009년과 유사하였다. 호 중앙부에서 높은 값을 보였으며 상류지역과 배수갑문 지역에서 낮은 값을 보였다. 연변화를 보면 2002년 이후 2007년을 제외하고는 지속적으로 증가하는 양상을 보이고 있다. 총인은 311~633 $\mu$ g/g(평균 480 $\mu$ g/g)의 농도범위 및 평균을 보였는데 예년과 비슷한 농도를 보이고 있었다. 반월공단과 인접한 최상류지역인 정점2에서 가장 높은 농도인 633 $\mu$ g/g를 보였다. 총인은 2002년 383~1,049 $\mu$ g/g(평균 528 $\mu$ g/g), 2003년 227~798 $\mu$ g/g(평균 480 $\mu$ g/g), 2004년 331~693 $\mu$ g/g(평균 500 $\mu$ g/g), 2005년 368~905 $\mu$ g/g(평균 535 $\mu$ g/g), 2006년 356~793 $\mu$ g/g(평균 465 $\mu$ g/g), 2007년 308~822 $\mu$ g/g(평균 498 $\mu$ g/g), 2008년 340~636 $\mu$ g/g(평균 535 $\mu$ g/g), 2009년 311~633 $\mu$ g/g(평균 480 $\mu$ g/g)로 과거에 비해 낮아지는 경향을 보였다. 퇴적물 자료는 좁은 지역에서도 해저지형에 영향을 받아 농도차이가 크게 나타나기 때문에 정밀한 시료채취가 필요하다.

표 3-2-12. 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성(2009. 6. 25)

정점	COD (mg/g)	TOC (%)	TN (%)	TOC/TN	IL (%)	TP ( $\mu\text{g/g}$ )
2	30.3	1.32	0.05	26.8	8.0	633
3	23.6	1.07	0.05	22.1	8.2	516
4	27.9	1.20	0.09	13.2	9.7	505
5	20.7	1.00	0.06	16.6	8.1	452
7	23.8	1.03	0.06	16.0	7.5	405
9	36.2	1.67	0.15	11.0	11.0	487
12	37.8	1.53	0.15	10.4	12.2	518
13	23.0	0.89	0.04	20.6	8.2	430
14	31.2	1.43	0.16	9.0	11.1	583
15	16.3	0.72	0.05	15.4	6.9	557
16	22.2	0.90	0.06	14.8	6.2	364
17	15.3	0.59	0.03	20.1	4.0	311
최소	15.3	0.59	0.03	9.0	4.0	311
최대	37.8	1.67	0.16	26.8	12.2	633
평균	25.7	1.11	0.08	16.3	8.4	480

표 3-2-13. 2002-2009년간의 시화호 표층퇴적물의 지화학적 특성 변화

조사 년도	COD	TC	TOC	TOC/ TC	S	IL	TP
	(mg/g)	(%)			(%)		( $\mu\text{g/g}$ )
2002	16.5	0.99	0.92	0.93	0.22	5.6	545
2003	20.4	1.12	1.03	0.92	0.27	6.6	480
2004	22.8	1.24	1.10	0.90	0.32	6.5	500
2005	21.9	1.17	1.10	0.93	0.34	7.4	535
2006	21.0	1.17	1.02	0.87	0.21	7.1	465
2007	20.9	-	1.00	-	-	6.6	498
2008	27.3	-	1.26	-	-	8.5	471
2009	25.7	-	1.11	-	-	8.4	480



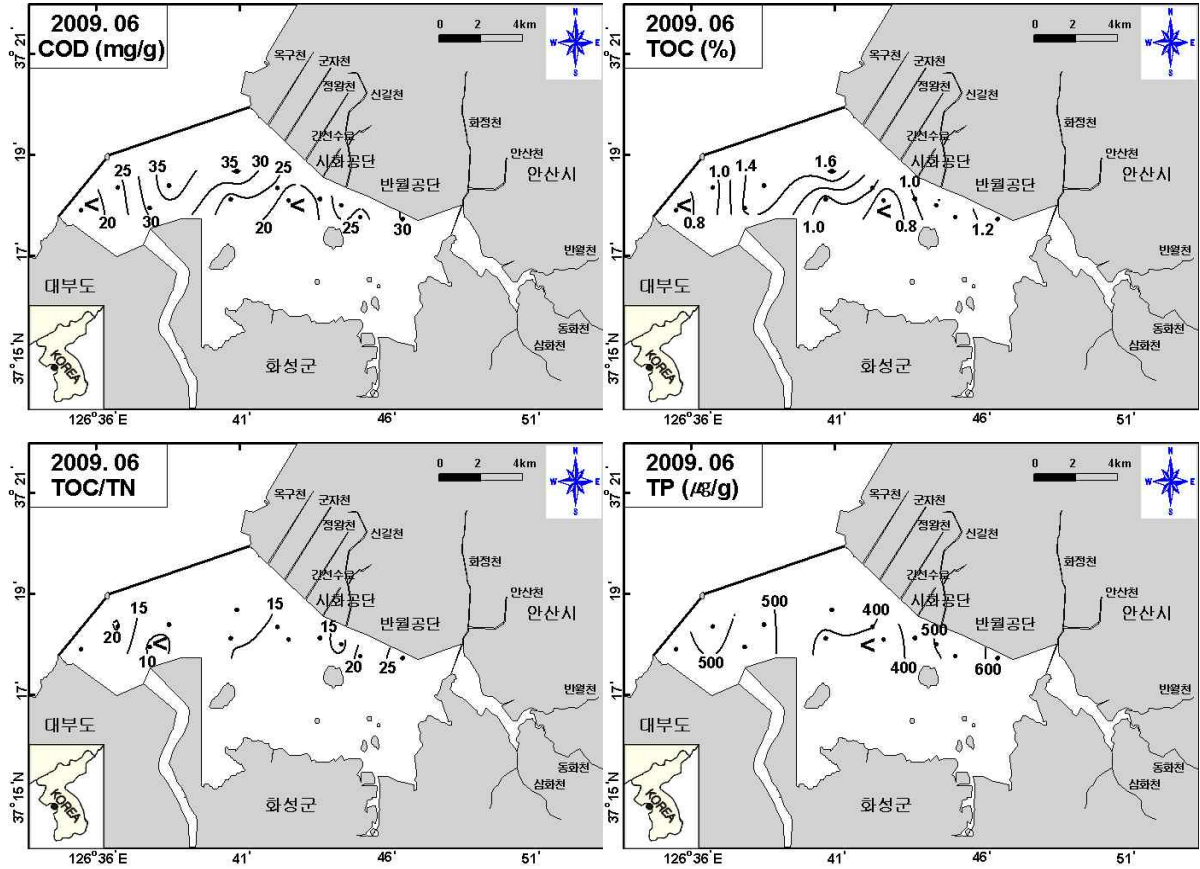


그림 3-2-39. 표층 퇴적물의 분포

### 3.2.2. 중금속

2009년 6월 채집한 시화호 내측 표층퇴적물의 금속 분석 결과는 표 3-2-14에 나타내었으며, 수평적 분포는 그림 3-2-40에 나타내었다.

각 금속들의 농도 범위는 Al 6.44~9.10%(평균 7.54%), Fe 2.39~4.51%(평균 3.50%), Mn 350~887µg/g(평균 523µg/g), Cr 53.6~106µg/g(평균 83.5µg/g), Co 9.08~17.4µg/g(평균 13.6µg/g), Ni 20.3~48.9µg/g(평균 35.3µg/g), Cu 22.6~156µg/g(평균 85.2µg/g), Zn 102~369µg/g(평균 227µg/g), As 4.99~12.2µg/g(평균 8.91µg/g), Cd 0.15~0.66µg/g(평균 0.40µg/g), Pb 27.6~68.9µg/g(평균 48.8µg/g), Hg 0.024~0.124µg/g(평균 0.064µg/g)이었다. Al은 퇴적물 내에 % 단위로 존재하는 주요원소이며, 대부분이 퇴적물 내에서 안정성이 높은 광물격자에 존재하기 때문에 일반적으로 중금속 오염과 크게 상관이 없는 것으로 인식되고 있으며, 퇴적물의 입도 보정이 가능한 원소(Al, Fe, Li, Sc, Cs, Co 등) 중의 하나로 활용되고 있고 높은 농도를 나타낼수록 퇴적물이 더욱 세립해 진다는 것을 의미한다(Schropp 등, 1990; Hanson 등, 1993).

Al의 농도는 수심이 가장 깊은 정점 12에서 가장 높은 9.1%를 보였고 상류지역에서 높았으며, 갑문지역으로 갈수록 감소하였다. 따라서 정점 12와 반월공단 및 시화공단 인접한 정점들에서는 비교적 세립한 퇴적물이 분포하며 외해수의 영향을 받는 배수갑문 인근 지역에서는 상대적으로 조립한 퇴적물이 분포할 것으로 판단된다. 2008년에는 배수갑문에 가까운 정점 15에서 가장 낮았고, 신길천이 유입되고 시화공단에 가까운 정점에서 최저값과 비슷한 농도를

보였는데 2009년에는 정점 15에서는 낮은 값을 보였으나 상류지역에서는 비교적 높은 값을 보여 하천을 통해 세립한 퇴적물의 유입이 있었음을 알 수 있었다. Fe의 경우 AI와 유사하게 정점 12에서 가장 높은 4.51%를 보였으며 갑문쪽에서는 낮은 값을 상류지역에서는 높은 값을 보였다. 퇴적물의 입도 보정으로 이용되는 Co 역시 AI와 Fe와 같은 수평적인 분포를 보이고 있었다. 산화·환원 환경의 변화와 밀접하게 관련된 금속 중 하나인 Mn은 상류지역과 가까운 정점7과 17에서  $400\mu\text{g/g}$ 이하의 농도를 보였으며, 정점 12에3에서 가장 높은  $887\mu\text{g/g}$ 의 농도를 보였다. 이들 정점 주변에서 높은 농도로 존재하는 것으로 보아 입도에 의한 영향보다는 산화·환원 환경에 크게 작용하고 있는 것으로 보인다. Ni은 호 중앙부와 수심이 가장 깊은 정점9와 12에서 각각  $44.1\mu\text{g/g}$ 와  $48.9\mu\text{g/g}$ 의 높은 농도를 보였으며 대체로 배수갑문에 근접한 지역이 공단 인접지역에 비해 상대적으로 낮았다. As 역시 Ni과 유사한 수평적 분포를 보였으며 정점 17에서 가장 낮은  $4.99\mu\text{g/g}$ 의 농도를 보였다. Cr, Cu, Cd, Pb는 모두 정점 4에서 가장 높은 농도를 보였으며 대체적으로 배수갑문 부근에서 갈수록 낮아지는 분포를 보였다.

2008년에도 신길천에 가까운 정점 4에서 가장 높은 농도를, 이 정점과 인접한 반월 및 시화공단 주변의 정점들에서 아주 높고 배수갑문 주변에서는 낮은 농도를 보였는데 2009년에 유사한 경향을 보여 공단 유역을 흐르는 하천으로부터 이들 원소의 유입이 있었음을 보여주고 있다. Hg은 정점 9에서 가장 높은  $0.124\mu\text{g/g}$ 의 농도를 보였으며 상류지역에서 높고 배수갑문 지역으로 갈수록 낮은 농도를 보였다. 특히 정점 16과 17번에서 인접 정점에 비해 이들 원소의 농도가 낮은 것을 볼 수 있는데 이는 하천을 통해 유입된 금속이 이 지역까지는 영향을 미치지 않으며 시화호 내 이동과 퇴적물내 축적 경로에 대한 다각적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

일반적으로 퇴적물은 입도, 광물 조성, 탄산염 및 유기물 농도의 영향을 많이 받으며 (Calvert, 1976), 중금속과 유기물의 농도는 입자가 세립 할수록 높아지고 조립 할수록 낮은 농도를 보인다(Horowitz, 1991). 따라서, 시화호 표층퇴적물의 중금속 농도의 입도에 따른 영향을 배제하기 위하여 중금속 농도를 AI으로 표준화한 Metal(AI과 Fe %, 기타 중금속은  $\mu\text{g/g}$ )의 공간분포를 그림 3-2-41에 나타내었다. Ni은 정점 17에서 가장 낮았으며 호수의 중앙부에서 높고 배수갑문으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. Mn은 이와는 반대로 상류지역에서 낮고 호 중앙부에서 배수갑문으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. Cu, Zn, Cr, Cd, Pb, Hg 등의 원소는 상류지역 혹은 호 중앙부에서 높았으며 배수갑문으로 갈수록 감소하였고 정점 17에서 동일하게 배수갑문 지역과 같은 정도의 낮은 분포를 보였다. 2009년 시화호로 유입되는 유역하천 조사를 통해 이들 원소의 오염원이 정점 4에 가까운 하천인 제4간선수로와 신길천임을 알 수 있었다.

그림 3-2-42은 AI와 중금속 간의 상관관계를 나타내었다. AI에 대한 각 중금속의 상관성을 보면 입도 보정에 활용되는 금속을 언급한 바 있는 Fe, Co에 대해서 다른 중금속 보다 높은 상관성을 보였다. TOC와 중금속간의 상관성도 대체적으로 좋은 상관성을 보였다(그림 3-2-43). Cd이 상관계수(R)가 가장 높았으며(0.925), Ni(0.903), Co(0.874)로 높았고 Hg, As, Cr, Fe, Zn 역시 0.714~0.797의 상관계수를 보였다. 또한 Cu와 Zn, Pb, Hg간의 상관계수가 각각 0.922, 0.978, 0.901로 높은 것으로 나타났다. Mn은 산화·환원 환경 영향으로 Cr 등은 정점 4의 중금속 오염에 의하여 다른 중금속보다는 낮은 상관계수를 보였다.

표 3-2-14. 시화호 표층 퇴적물 중의 중금속 농도(2009. 6. 25)

정점	Al (%)	Fe (%)	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
	(μg/g)											
2	8.85	3.99	482	85.7	13.9	38.0	118	369	8.78	0.45	66.3	0.084
3	8.06	3.69	418	95.0	14.5	40.0	110	310	9.49	0.42	61.9	0.084
4	8.09	3.94	442	106	14.9	42.1	156	318	9.25	0.53	68.5	0.084
5	7.82	3.39	445	88.6	12.4	31.9	113	238	8.44	0.36	61.6	0.067
7	6.60	2.90	376	85.5	12.3	31.8	95.3	216	7.86	0.42	51.9	0.058
9	7.08	3.56	490	100	15.8	44.1	149	335	12.2	0.60	68.9	0.124
12	9.10	4.51	585	93.2	17.4	48.9	91.3	284	11.0	0.66	52.6	0.074
13	7.42	3.59	710	72.7	13.5	31.3	27.8	117	7.69	0.22	30.2	0.024
14	6.90	3.88	887	81.1	14.7	37.9	48.9	160	9.21	0.47	32.0	0.051
15	7.18	3.27	660	68.5	12.3	27.8	22.6	104	9.53	0.15	27.9	0.031
16	6.97	2.87	434	72.1	11.9	29.9	61.4	170	8.44	0.34	36.7	0.065
17	6.44	2.39	350	53.6	9.08	20.3	29.0	102	4.99	0.17	27.6	0.026
<b>최소</b>	<b>6.44</b>	<b>2.39</b>	<b>350</b>	<b>53.6</b>	<b>9.08</b>	<b>20.3</b>	<b>22.6</b>	<b>102</b>	<b>4.99</b>	<b>0.15</b>	<b>27.6</b>	<b>0.024</b>
<b>최대</b>	<b>9.10</b>	<b>4.51</b>	<b>887</b>	<b>106</b>	<b>17.4</b>	<b>48.9</b>	<b>156</b>	<b>369</b>	<b>12.2</b>	<b>0.66</b>	<b>68.9</b>	<b>0.124</b>
<b>평균</b>	<b>7.54</b>	<b>3.50</b>	<b>523</b>	<b>83.5</b>	<b>13.6</b>	<b>35.3</b>	<b>85.2</b>	<b>227</b>	<b>8.91</b>	<b>0.40</b>	<b>48.8</b>	<b>0.064</b>

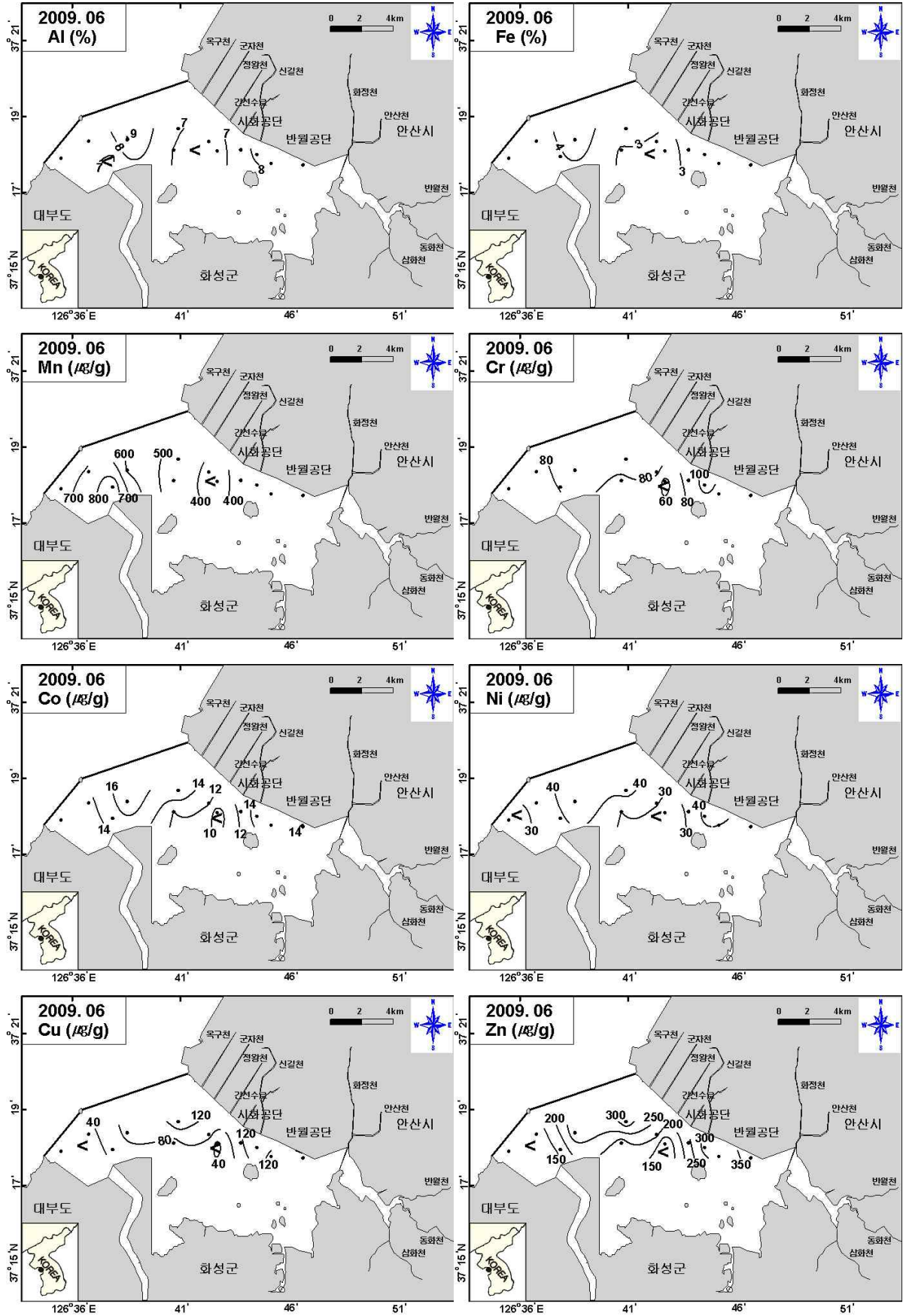


그림 3-2-40. 표층 퇴적물 중의 중금속 농도 분포

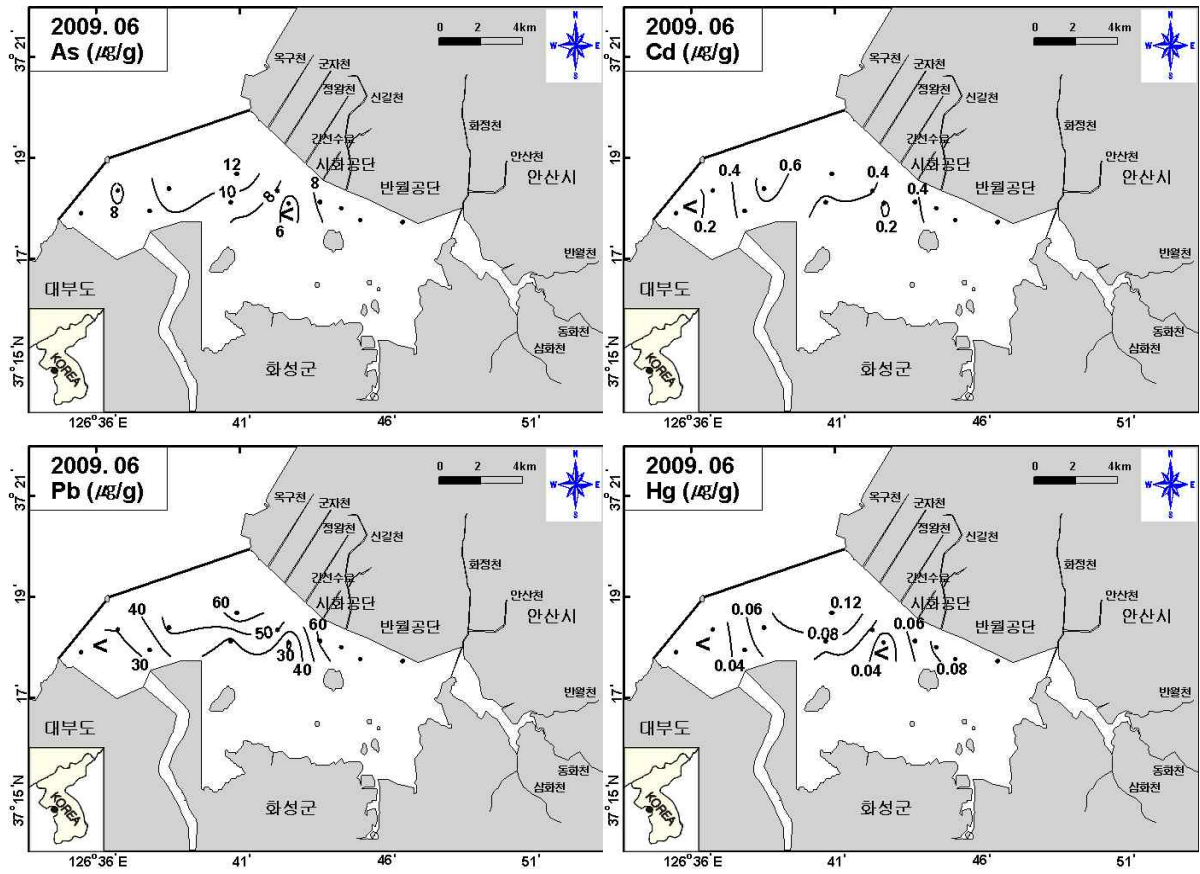


그림 3-2-40. 계속

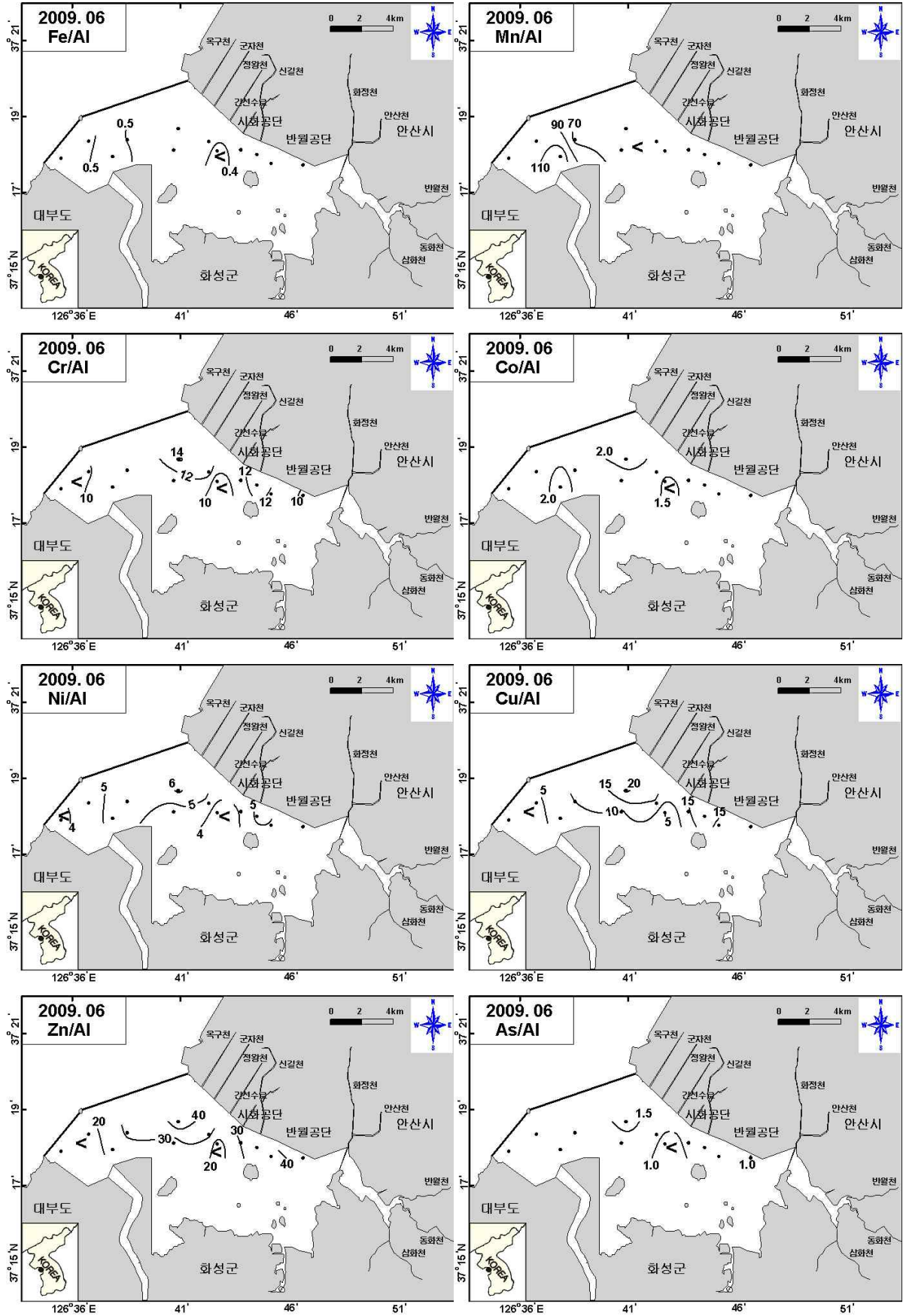


그림 3-2-41. 표층 퇴적물 중의 중금속/Al 비의 분포

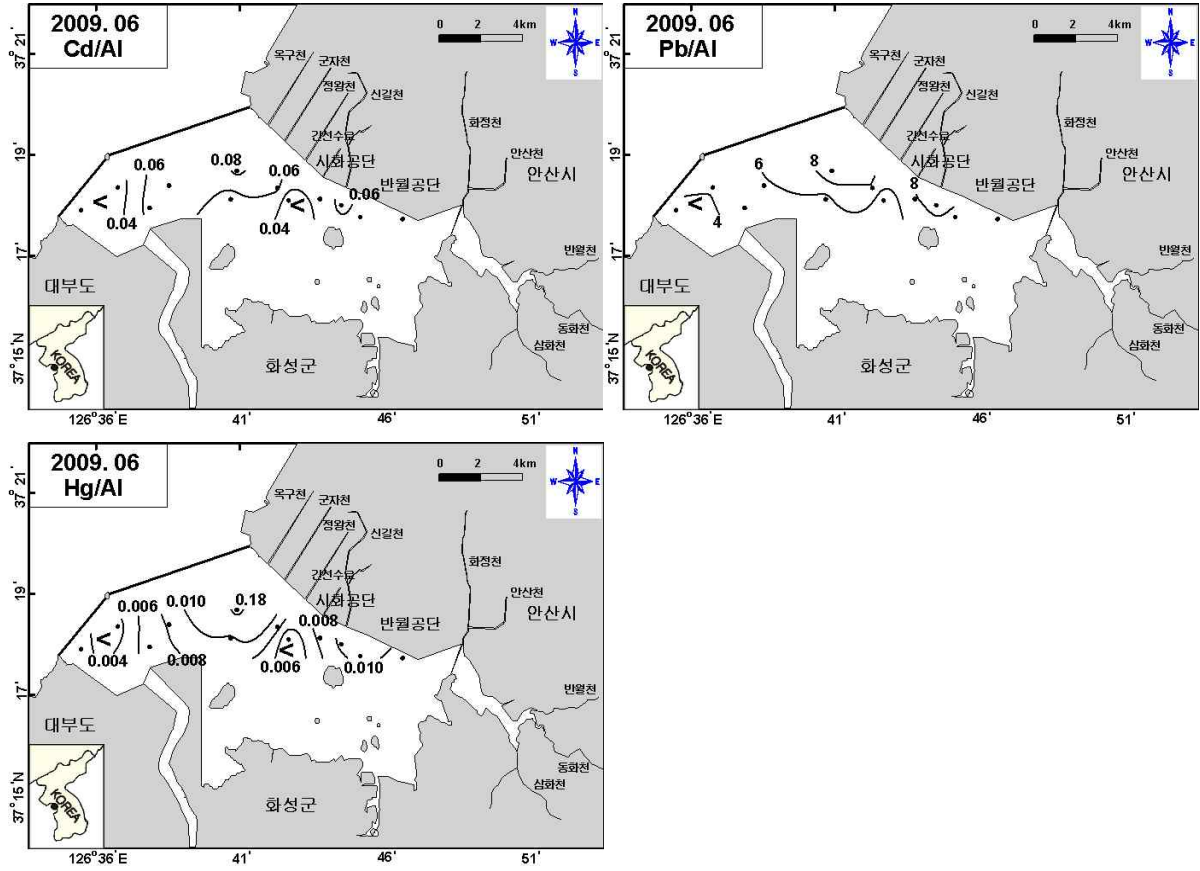


그림 3-2-41. 계속

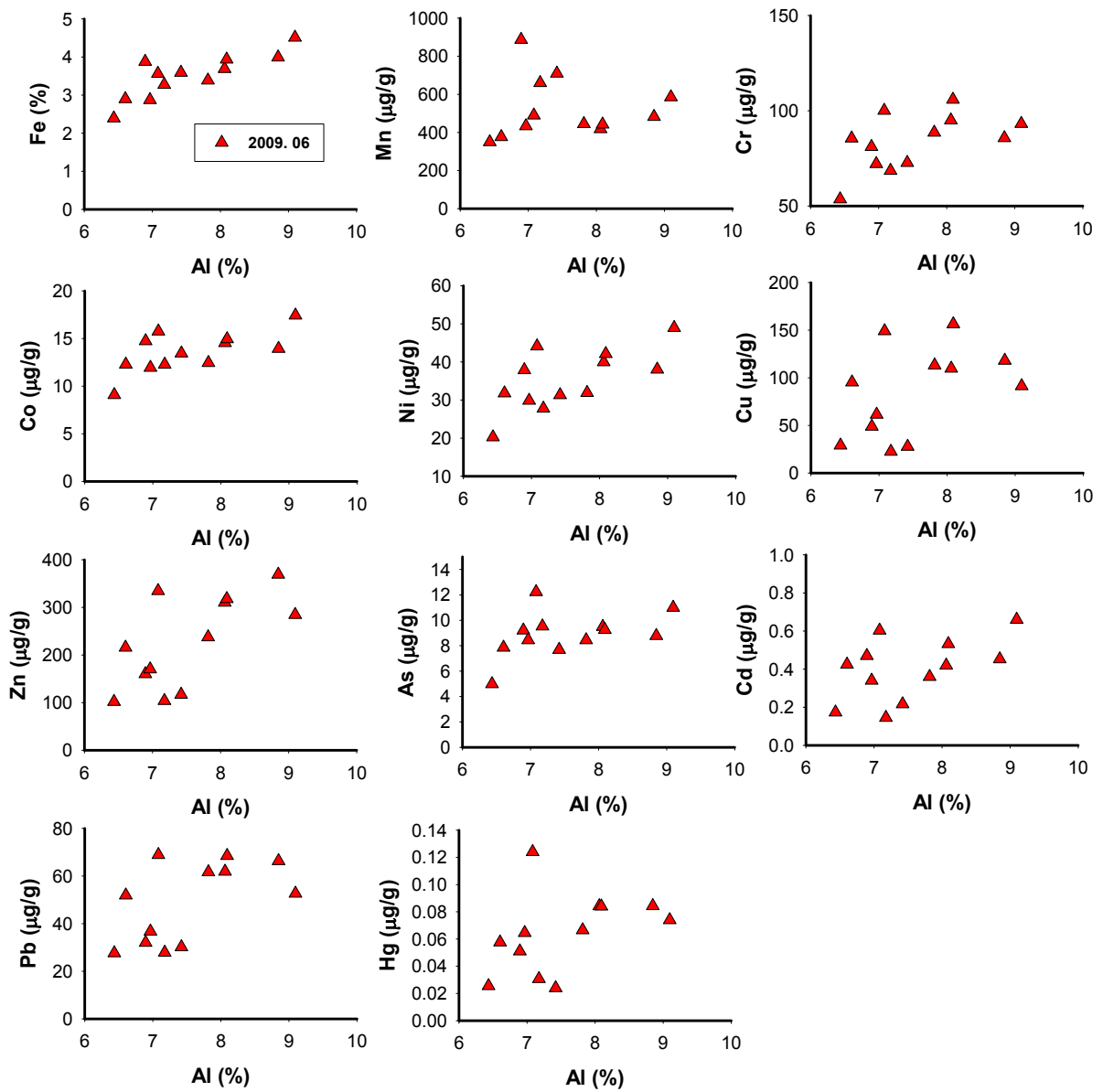


그림 3-2-42. 표층 퇴적물 중의 Al과 중금속간의 상관관계



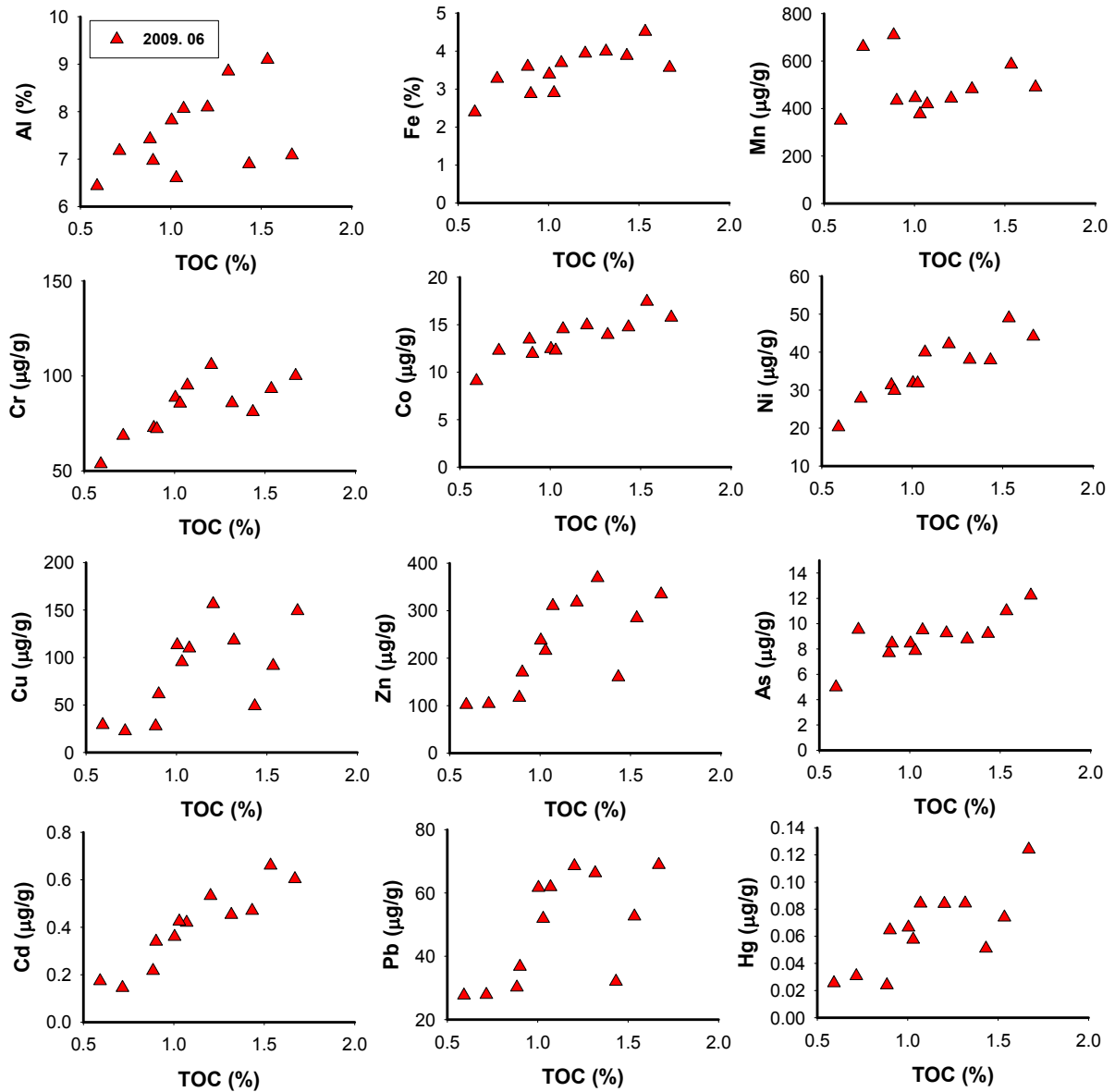


그림 3-2-43. 표층 퇴적물 중의 TOC와 중금속간의 상관관계

시화 방조제를 완공한 다음인 1997년 이후 현재까지 표층퇴적물 내 중금속 농도에 대한 모니터링이 지속되어 왔으며, 각 연도별 변동범위와 평균의 변화를 그림 3-2-44에 나타내었다.

Mn은 97년 이후 2000년까지 감소추세를 보이다가 2001년 큰 폭으로 상승하였고 이후 변동폭이 크지 않았으나 약간 상승하는 경향을 보였다. Cu의 경우 2001년까지는 변동이 작았으나 2001년부터 2004년 까지 평균 농도가 증가하여 최고의 평균 농도를 보였고 이후 감소하는 경향을 보이고 있었다. Pb 역시 2003년에 가장 높은 평균 농도를 보이고 이후 큰 변동 폭은 보이지 않지만 1997~2000년에 비해서는 높은 농도로 퇴적물 내 축적이 있었다. Cr의 경우 2004년에 최고 농도를 보였으며 이후 비슷한 농도변화를 보이고 있다. 입도보정으로 이용되는 Co의 경우 큰 변동폭을 보이지 않았으며 As은 Cr과 마찬가지로 2004년 높은 농도를 보이고

이후 감소하는 경향을 보이고 있다. Zn, Cd, Pb 역시 2003년에 높았다. 최근에는 2~3년 동안 정체되거나 원소에 따라 약간 감소 혹은 증가하는 등이 큰 변동을 보이지 않으며 전체적으로 방조제 건설 초기에 비해 상승한 것을 알 수 있었다.

우리나라에는 해양 퇴적물 관리를 위한 기준이 마련되어 있지 않다. 미국 NOAA의 ERL 및 ERM과 비교하였다(Long 등, 1995). ERL과 ERM은 각 매체간의 평형관계, 생물의 독성평가, 퇴적물의 오염물질과 생물에 대한 영향 등 다각적인 오염평가 방법을 포괄적으로 함축하여 제시한 것으로 생물학적인 반응이 측정된 방법과 오염물질의 농도에 따른 반응 정도가 포함되어 있다. ERL(Effect Range-Low)과 ERM(Effect Range-Median)은 오염질의 농도 증가에 따른 생물 영향의 정도를 순서대로 나열하였을 때 각각 하위 10%와 50%에 해양생물에 위해 영향을 미치는 기준으로 표 3-2-15에 제시하였다. 본 조사의 퇴적물 중금속 농도를 이들 기준과 비교하면, Cr의 경우 8개 정점에서 ERL의 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. Cu과 Zn은 각각 9개 정점에서 ERL의 기준치를 초과하였고 Zn은 정점2과 9에서 ERM에도 근접하는 높은 농도를 보였다(그림 3-2-45). 2008년의 경우 정점 4에서 Cu의 퇴적물 내 농도가 ERM을 초과하였으나 2009년에는 다른 지역에 비해 높은 수준이었으나 2008년에 비해서는 낮은 농도를 보였다. Pb은 7개 정점에서 ERL을 초과하였다. Ni의 경우 전 정점에서 ERL을 초과하는 것으로 보였는데 이것은 기반암의 특성에 따른 국내와 미국의 지질학적 차이로 인해 미국의 ERL, ERM에 상대적으로 높은 것으로 사료되며, 우리나라 주변 해역에서도 오염원과 큰 상관 없이 높게 나타나는 경우가 많다. Hg의 경우 2008년에서 정점 4에서 ERL에 기준치에 근접한 농도를 보였으나 2009년에는 정점 4에서 근접한 농도를 보였다. 이러한 표층퇴적물 내 중금속의 공간적 분포 및 연변화는 시화호 내 서식하는 저서생물에 영향을 미칠 뿐 만 아니라 유입원에 특성 및 이동경로 등을 포함하므로 지속적인 모니터링뿐만 아니라 정밀한 조사가 더 필요한 것으로 판단된다.

표 3-2-15. 미국의 퇴적물에 대한 중금속 기준

원소	ERL	ERM
	(μg/g)	
Cr	81	370
Ni	21	52
Cu	34	270
Zn	150	410
As	8.2	70
Cd	1.2	9.6
Pb	47	220
Hg	0.15	0.71

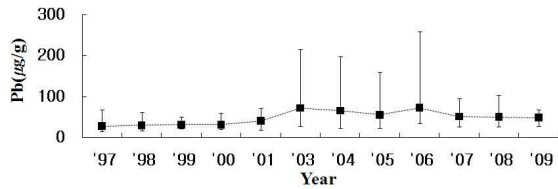
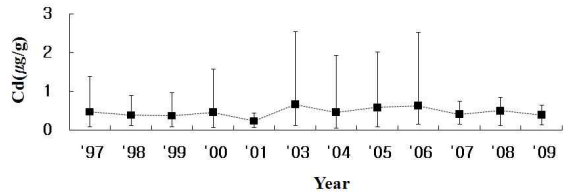
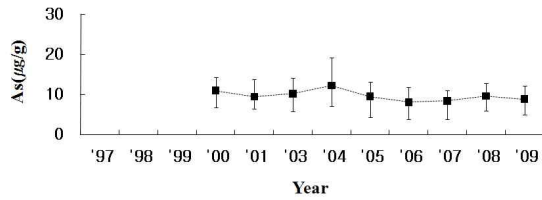
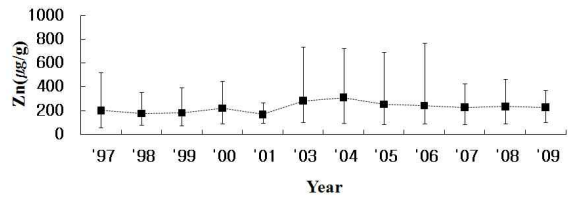
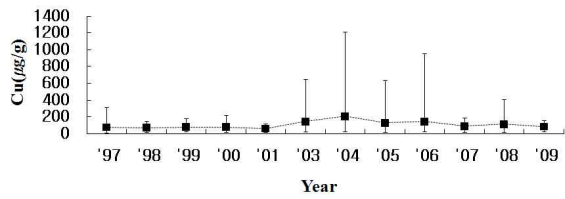
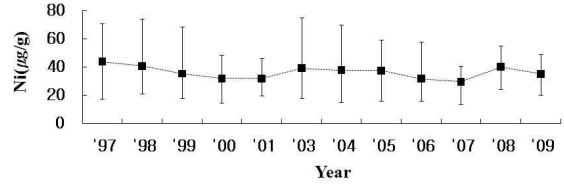
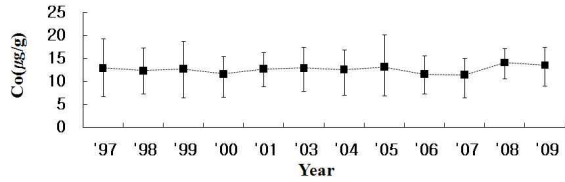
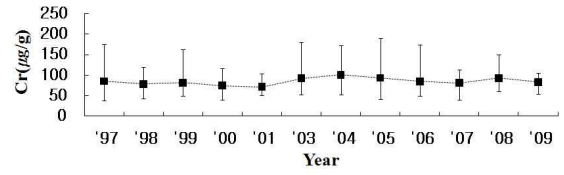
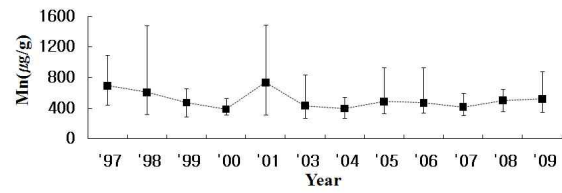


그림 3-2-44. 표층 퇴적물 중의 중금속 연도별 변화

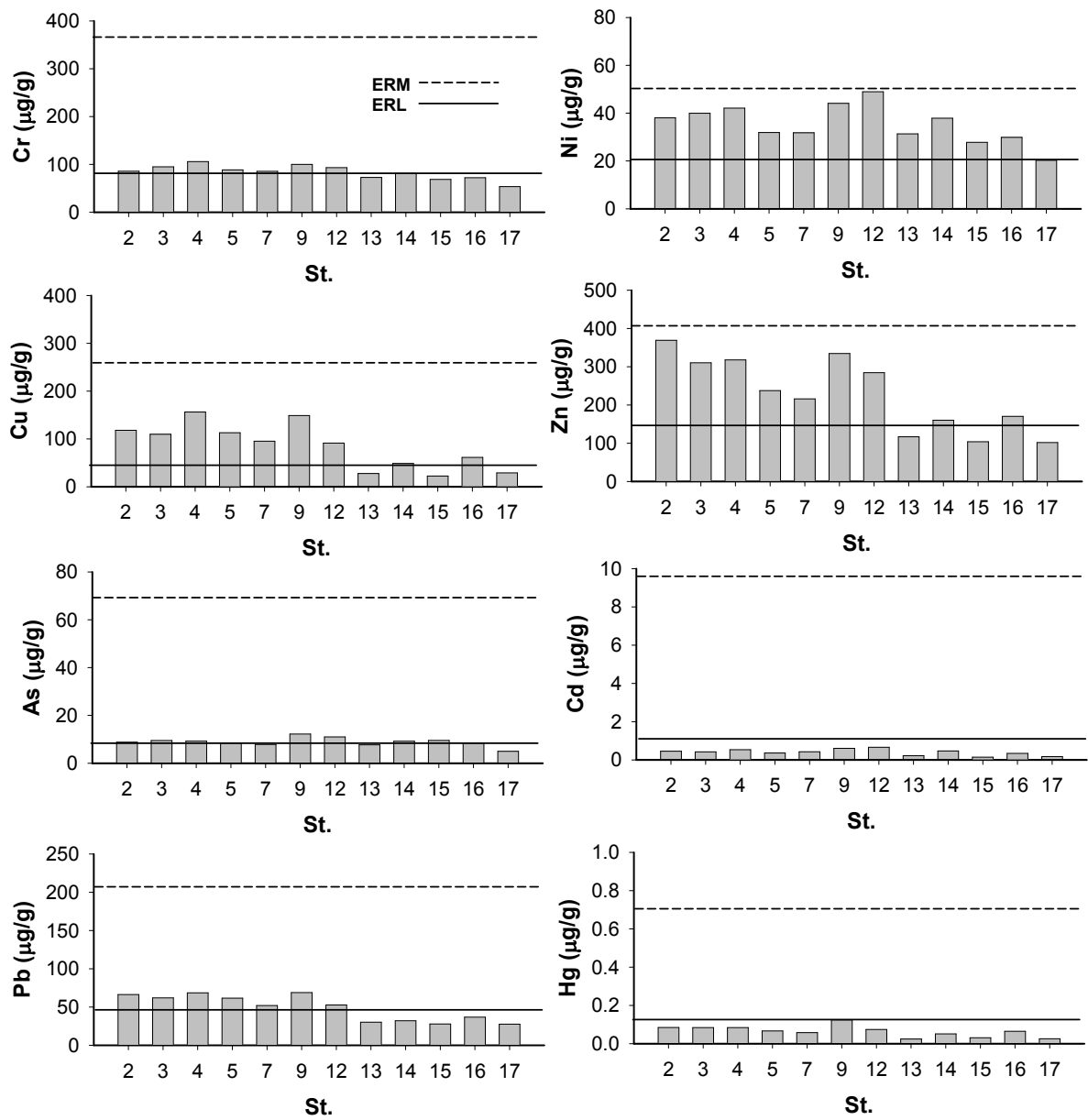


그림 3-2-45. 표층 퇴적물 중의 중금속 함량과 NOAA 기준과의 비교

### 3.3. 용출실험

2009년에는 정점 9에서 7월과 9월에 채집된 퇴적물 주상시료를 이용하여 용출실험을 실시하였다. 아질산염과 질산염을 제외한 암모니움염, 인산염, 규산염이 퇴적물에서 수층으로 용출되는 것으로 나타났다. 암모니움염의 경우 7월(95.69 mg/m<sup>2</sup>/d)에 비해 9월(155.67mg/m<sup>2</sup>/d)이 약간 높았으나 인산염과 규산염은 9월이 7월에 비해 용출량이 작았다. 예년은 8월과 10월에 용출실험을 진행하여 직접적인 비교는 힘들으나, 암모니움염은 세 정점 모두 용출량이 8월보다 10월에 높은 것으로 나타났다. 아질산염과 질산염은 대부분 음의 flux를 나타내 저층환경에서 소모되는 것을 나타냈다.

정점 9에서의 시화호 저층수질 환경이 악화되는 여름철의 용출량 연변화를 보면 암모니움염은 2003 58.53mg/m<sup>2</sup>/d에서 2006년 442.4mg/m<sup>2</sup>/d까지 증가하였다가 2007년 156.25mg/m<sup>2</sup>/d으로 감소하였다가 오차범위 안에서 변하지 않고 있음을 보여준다.

질산염의 경우, 퇴적물에서의 용출보다는 퇴적물로의 제거가 두드러졌는데, 2004년 -27.10mg/m<sup>2</sup>/d에서 꾸준히 flux가 작아지는 것을 볼수 있다. 인산염은 암모니움염과 마찬가지로 2003년에서 2006년까지 증가하다고 이후 다시 감소하는 경향을 보이고 있다(그림 3-2-46).

시화호 퇴적환경은 여름에는 용존산소가 거의 없는 환원환경으로, 질소의 경우 용존산소 대신 질산염이 미생물 호흡에 이용되면서 유기물이 분해하게 되고, 이에 따라 암모니움염의 공극수중 농도가 높아져 농도차에 의해 암모니움염이 수층으로 용출되는 것으로 보고되었다(한 등, 1997; Friedl 등, 1998). 인의 경우 유기물 또는 무기물의 형태로 흡착 침전된 인이 미생물의 혐기성 호흡에 따라 용출하게 된다(심 등, 2001; 한 등, 1997). 용존산소 소모량은 인위적으로 산소를 공급했을 때 어느 정도 유기물 분해과정에 의해 용존산소가 소모되는지를 알아보는 실험으로 퇴적물에 포함된 유기물이 많을수록 용존산소 소모량은 많아지게 된다. 정점 9에서 시화호 저층 퇴적물에 대한 용존산소 소모량은 7월과 9월에 각각 1263mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d와 1123mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d이었다. 정점 9에서의 용존산소 소모량은 암모니움염 및 인산염의 용출량이 많았던 2006년과 2007년에 증가했으나 2009년에는 예년과 비슷한 용존산소 소모량을 보이고 있다. 시화호 저층 퇴적환경은 표층수괴로 부터 지속적으로 공급되는 유기물이 퇴적되어 저층의 용존산소를 고갈시키고 있음을 보여주고 있다.

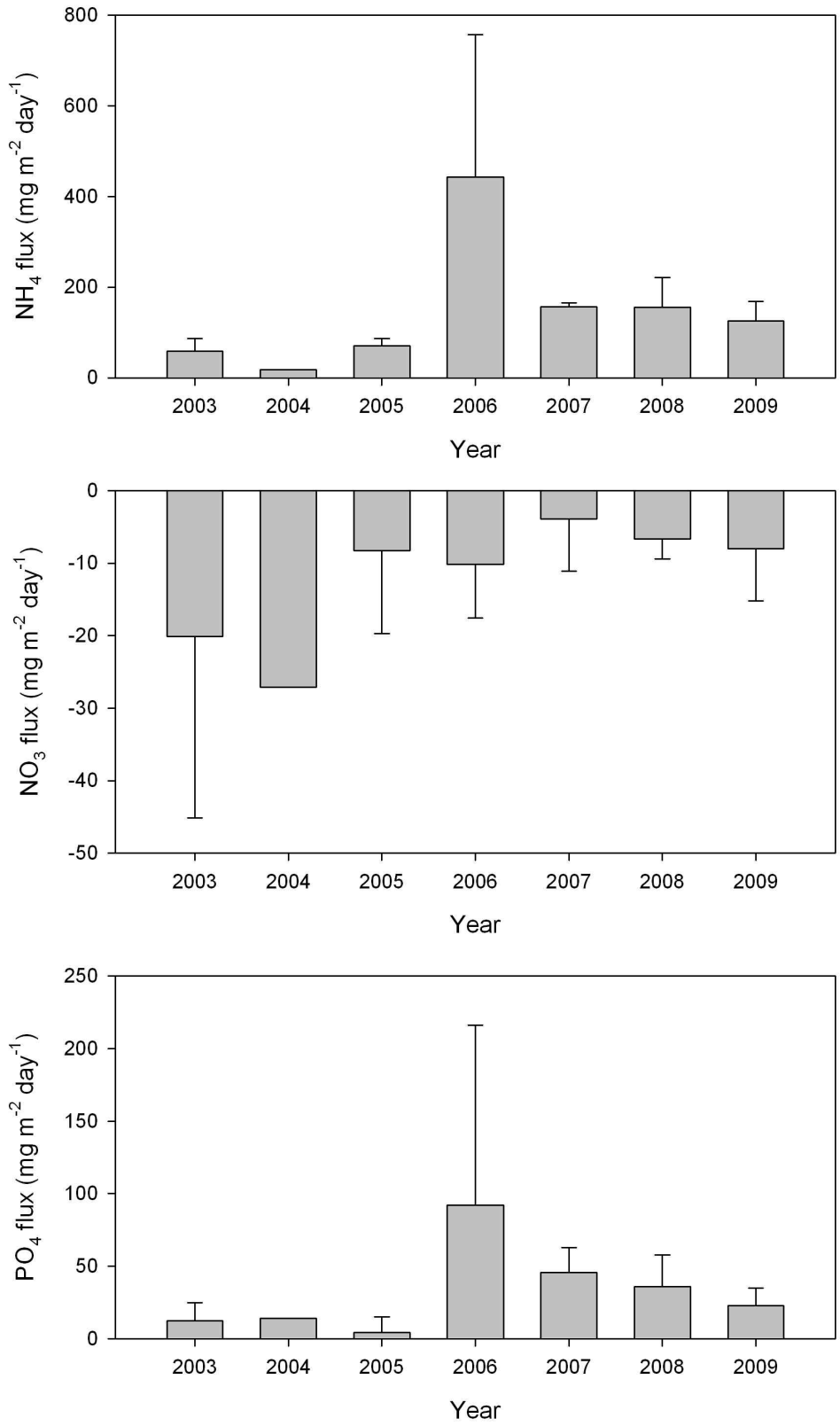


그림 3-2-46. 하계 저층 퇴적물의 용출량 연변화

### 3.4. 입자성 침강물질

입자성 침강물질에 대한 총 침강속(total flux), 총유기탄소(TOC), 유기질소(Org-N) 및 인 함량과 이들의 침강속(Flux)를 표 3-2-16에 나타내었다. 6월에서 9월까지 매월 약 3일 정도의 기간에 수행된 시료채집의 결과 6월 57.9g/m<sup>2</sup>/d, 7월 7.48g/m<sup>2</sup>/d, 8월 26.7g/m<sup>2</sup>/d, 9월 3.16g/m<sup>2</sup>/d로 나타났다. 입자성 침강물질의 침강속은 6월에 가장 높았으며 10월에 비해 17배 정도 높은 수준이었다. 총 유기탄소의 침강속은 6월 1.78g/m<sup>2</sup>/d, 7월 0.21g/m<sup>2</sup>/d, 8월 0.73g/m<sup>2</sup>/d, 9월 0.16g/m<sup>2</sup>/d로 나타났다. 인의 침강속 역시 6월과 8월에서 높았으며, 각각 0.06g/m<sup>2</sup>/d, 0.03g/m<sup>2</sup>/d 였다. 연구지역 강우량에 따르면 8월 조사전이 6월에 비해 강우량이 많았으나, 입자성 침강물질이 조사된 정점 9번까지 하천을 통한 입자성 물질이 도달하기 전에 퇴적되는 것으로 보인다. 2008년의 경우 여름철과 가을철에 각 인자간 침강속의 차이가 크지 않았으며 2007년은 여름철이 2~5배정도 높았다(해양수산부, 2007). 이는 조시시기에 시기적 특성이 다르기 때문으로 판단되며, 호수의 중앙부분까지 하천을 통한 입자성 물질이 도달되지 않고 공단 인근지역에 퇴적되기 때문일 것이다. 호수의 중앙부분에서의 입자성 침강물질의 침강속은 주로 조사시기의 부유물질의 양과 클로로필-a로 추정 가능한 식물플랑크톤 현존량도 정점 9 표층에서 10월이 8월에 비해 훨씬 높았다. 이 지역에서는 해류 등 다른 영향에 의해 입자성 침강물질의 침강속이 영향을 받고 있을 것으로 판단된다.

입자성 침강물질 중 총 유기탄소와 유기질소의 함량(%)은 침강속(flux)과는 달리 10월에 가장 높은 함유량을 보였으며, 유기질소 역시 6월에서 10월로 갈수록 증가하는 경향을 보였다(그림 3-2-47). 정점 9에서 입자성 유기물질의 C/N비는 6.9~10.2로 일반적인 해양생물의 C/N비인 5~7보다 높았으며(Redfield *et al.*, 1963), 6월 자료를 제외하고 예년과 비슷한 수준이었다. 입자성 유기물질의 C/N비는 수층에 따라 그 존재비율이 달라지지만, 일반적으로 육상 쇄설물의 영향을 많이 받는 곳에서는 이 비율이 증가한다고 알려져 있다(Schubert 와 Calvert, 2001; Toshihiro 등, 2006). 따라서 시화호 중심부인 정점 9는 생물학적 요소 외에 육상에서 기인되는 여러 유기물질의 영향 등 복잡한 영향을 받고 있음을 보여주고 있다. 입자성 침강물질의 인은 0.10~0.14%의 범위를 나타내며 2008년과 유사하였다. 이는 동일 정점 9 퇴적물 내 인의 농도 (약 0.4%)보다 낮은 값으로, 침강물질이 퇴적된 후 상당량이 다시 용출되는 것을 의미한다(해양수산부, 2005). 입자성 침강물질 중 강열감량은 12.1~18.8%로 2008년과 유사하였고 퇴적물의 강열감량 값보다 높았다. 이는 높은 유기물질을 포함한 입자성 침강물이 퇴적되어 퇴적층에서 산화, 분해되기 때문이며 이러한 입자성 침강물의 저층으로의 침강을 통한 유입은 시화호 저층 퇴적환경의 저산소 환원 환경을 유발하는 가장 큰 요인이라고 보고되었다(박 등, 2003).

표 3-2-16. 입자성 침강물질의 지화학적 특성

정점	Sampling date	Total Flux	TOC	Org-N	P	IL	TOC	Org-N	P	C/N
		(g/m <sup>2</sup> d)	(% )				(g/m <sup>2</sup> d)			(mol/mol)
9	6.12~15	57.9	3.08	0.35	0.11	13.7	1.78	0.20	0.06	10.2
	7.27~30	7.48	2.87	0.40	0.10	12.1	0.21	0.03	0.01	8.3
	8.14~17	26.7	2.75	0.42	0.12	13.5	0.73	0.11	0.03	7.7
	9.7~9.10	3.16	5.02	0.84	0.14	18.8	0.16	0.03	0.00	6.9

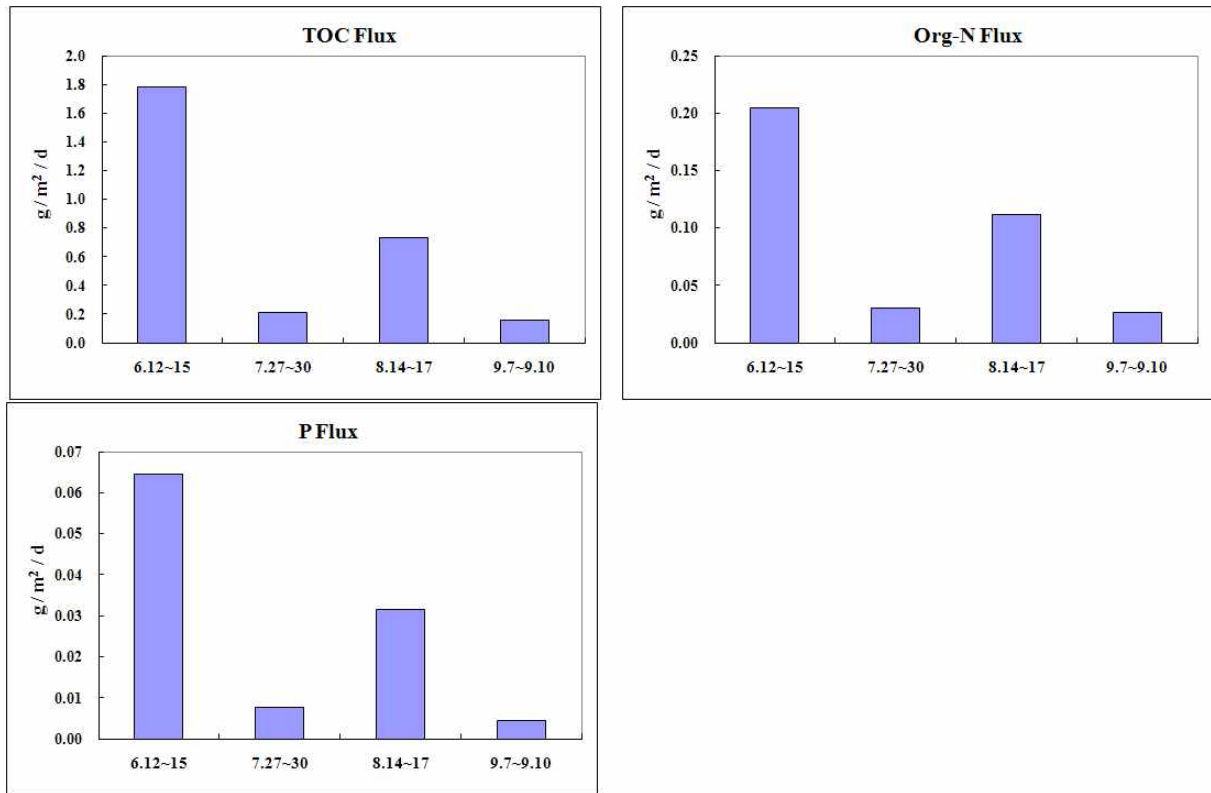


그림 3-2-47. 총유기탄소(TOC), 유기탄소(Org-N), 인(P)의 침강속(Flux)



2009년 호 중앙부인 정점 9에서 6월에서 9월까지 매월 채취된 입자성 침강물질의 금속 농도는 표 3-2-17에 나타내었다. Al, Mn, Pb, Hg는 8월에 최대농도를 보였고 각각 9.20%, 5536  $\mu\text{g/g}$ , 89.6  $\mu\text{g/g}$ , 0.096  $\mu\text{g/g}$ 였다. Mn은 강우량이 많았던 8월은 5,536  $\mu\text{g/g}$ 였으나 9월에는 627  $\mu\text{g/g}$ 로 확연히 감소하였다. Mn은 수층내의 이온의 공급과 산화과정에 의한 침전의 형성에 의한듯 8월이 가장 높았으나 2009년(11,064  $\mu\text{g/g}$ )에 비해 50% 수준이었다. Ni과 Zn은 9월이 다른 조사시기에 비해 높았으며, As과 Cd, Cr은 6월이 다른 시기에 비해 높은 것으로 나타났다. 2008년과 비교하면 강우에 의한 하천 등을 통한 유입이 많았던 6월과 8월에 채집된 입자성 침강물질의 중금속 농도가 높았다. 동일지점 퇴적물과의 비교는 대체로 비슷하게 나타났다.

Martin과 Whitfield (1983)이 제시한 지각 중의 금속 농도를 기준으로 입자성 침강물질 중 각 금속별 농축계수(Enrichment Factor; EF)를 구하였으며, 기준 원소로는 지각 및 시료중의 Al을 택하였다(표 3-2-18). 원소 및 시기에 따라 농축계수의 차이가 있었으나, Ni, Cu, Zn 등이 9월이 다른 시기에 비해 높은 값을 보였다. Mn은 경우 8월이 9월에 비해 8배 가량 높은 값을 보였다. Cr, Co, As는 1 내외의 농축계수를 가지고 있었고 Cu, Zn, Cd는 각각 2.16~2.88, 1.82~2.44, 2.06~2.87의 농축계수를 보였다. Pb은 3.03~4.22의 다른 원소에 비해 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 2008년에는 높은 농축계수를 갖는 원소에 있어 시기별로 큰 차이를 보이고 있었는데 2009년에는 Mn을 제외하고는 좁은 범위를 보이고 있었다. 계류기간동안의 입자성 침강물질의 양과 금속농도를 근거하여 입자성 금속의 침강속을 계산하였다. 2009년에는 Al은 0.26~5.15  $\text{g/m}^2/\text{d}$ , Fe 0.13~2.67  $\text{g/m}^2/\text{d}$ , Mn 1,982~222,024  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Cr 329~6,264  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Co, 46.6~1,008  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Ni 159~2,874  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Cu 347~6,633  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Zn 1,169~18,023  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , As 35.9~880  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Cd 1.55~42.73  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Pb 205~3,603  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ , Hg 0.21~4.78  $\mu\text{g/m}^2/\text{d}$ 의 범위를 보였다. 침강속(flux)은 침강물질의 양과 환경영향을 반영한 입자내의 금속농도에 의해서 결정되는데 6월과 8월에 침강속이 다른 시기에 비해 컸으며 시기에 따라 큰 변동범위를 나타내었다. 각 원소별로 6월이 9월에 비해 높은 침강속을 보였는데, Cu 약 20배, Zn 16배, Cd, 약 30배, Pb 18배 정도 6월이 높았으며 8월, 7월, 9월의 순이었다(표 3-2-19).

표 3-2-17. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 농도

Sampling date	정점	Al	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
		(%)		(μg/g)									
6.12~15	9	8.90	4.61	3836	108	17.4	49.7	115	311	15.2	0.74	62.2	0.083
7.27~30		7.91	4.03	3837	104	18.7	47.2	94.6	289	14.0	0.53	60.2	0.081
8.14~17		9.20	4.68	5536	101	18.1	46.2	91.7	306	15.0	0.56	89.6	0.096
9.7~9.10		8.26	4.26	627	104	14.8	50.2	110	370	11.4	0.49	64.9	0.066

표 3-2-18. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 농축계수

Sampling date	정점	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
6.12~15	9	1.00	4.1	1.19	1.04	0.79	2.79	1.91	1.50	2.87	3.03
7.27~30		0.98	4.7	1.28	1.26	0.84	2.59	1.99	1.55	2.32	3.29
8.14~17		0.98	5.8	1.07	1.05	0.71	2.16	1.82	1.43	2.09	4.22
9.7~9.10		0.99	0.7	1.23	0.95	0.86	2.88	2.44	1.21	2.06	3.40

표 3-2-19. 시화호의 입자성 침강물질중의 중금속 침강속

Sampling date	정점	Al	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
		(g/m <sup>2</sup> /d)		(μg/m <sup>2</sup> /d)									
6.12~15	9	5.15	2.67	22202 4	6264	1008	2874	6633	1802 3	880	42.7 3	3603	4.78
7.27~30		0.59	0.30	28684	777	139	353	707	2162	104	3.95	450	0.61
8.14~17		2.46	1.25	14769 0	2698	482	1234	2446	8172	400	14.8 1	2391	2.57
9.7~9.10		0.26	0.13	1982	329	47.6	159	347	1169	35.9	1.55	205	0.21

### 3.5. 유입하천조사

시화 방조제 완공 뒤 1997년부터 현재까지 시화호 내 표층퇴적물에 대한 모니터링이 지속되어 왔다. 퇴적물 내 중금속 농도는 반월공단 및 시화공단 인접정점이 높았고 배수갑문으로 갈수록 외해수의 유입 등의 영향으로 감소하였다. 그 중에도 정점 4에서 Cu, Zn, Cd 등의 원소가 NOAA의 해양생물 50%에 위해영향을 줄 수 있는 ERM의 근접하는 농도를 보였다(국토해양부, 2008). 이에 2009년 4월과 8월 2회에 걸쳐 하천수 용존 중금속과 퇴적물 내 중금속 및 지속성유기오염물질(PAHs, PCBs, APs) 농도를 조사하였다.

#### 3.5.1. 유입하천수 중금속

표 3-2-20는 4월과 8월에 채취된 9개 시화호 유입 하천 내 용존중금속 농도이다. 4월 조사의 경우 Cd 0.001~1.707 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.355 $\mu\text{g/L}$ ), Co 0.236~6.499 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.861 $\mu\text{g/L}$ ), Cu 0.98~417 $\mu\text{g/L}$ (평균 59.2 $\mu\text{g/L}$ ), Ni 2.23~760 $\mu\text{g/L}$ (평균 116 $\mu\text{g/L}$ ), Pb 0.019~0.551(평균 0.101 $\mu\text{g/L}$ ), Zn 0.47~432 $\mu\text{g/L}$ (평균 80.8 $\mu\text{g/L}$ ), Fe 0.98~17.2 $\mu\text{g/L}$ (평균 7.76 $\mu\text{g/L}$ ), Mn, 26.9~794 $\mu\text{g/L}$ (평균 345 $\mu\text{g/L}$ ), Hg 1.31~18.5ng/L(평균 7.12ng/L)의 농도범위를 보였다. 8월 조사의 경우 Cd 0.003~1.330 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.273 $\mu\text{g/L}$ ), Co 0.065~5.032 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.495 $\mu\text{g/L}$ ), Cu 1.33~398 $\mu\text{g/L}$ (평균 106 $\mu\text{g/L}$ ), Ni 1.53~313 $\mu\text{g/L}$ (평균 75.7 $\mu\text{g/L}$ ), Pb 0.013~0.366(평균 0.114 $\mu\text{g/L}$ ), Zn 0.37~1746 $\mu\text{g/L}$ (평균 251 $\mu\text{g/L}$ ), Fe 1.68~38.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 7.99 $\mu\text{g/L}$ ), Mn, 9.45~493 $\mu\text{g/L}$ (평균 194 $\mu\text{g/L}$ ), Hg <1~213ng/L(평균 46.9ng/L)의 농도범위를 보였다. 공단유역을 흐르는 제4간선수로에서 Co, Cu, Ni, Pb, Hg의 농도가 다른 하천에 비해 최대 400배 이상 높았다. Cd와 Zn의 경우 제3간선수로에서 가장 높은 농도를 보였다(그림 3-2-48). 8월조사 역시 제3간선수로와 제4간선수로에서 높은 중금속 농도를 보였으며, Zn의 경우 4월 최대치의 4배, 수은은 10배이상 높은 농도를 보이고 있었다. 채취시기에 따라 농도 차이는 있지만 도심유역을 흐르는 안산천과 화정천이 합쳐지는 지점인 해안교의 경우, Mn 농도만이 최고농도를 보였다. 농업유역을 흐르는 동화천 및 삼화천에서는 최소 농도를 나타내었다. 용존중금속에 입자성중금속을 포함한 하천수 중 총중금속 농도 역시 용존중금속과 유사했으나, 철의 총중금속 농도가 제1간선수로와 신길천에서 2000 $\mu\text{g/L}$ 을 초과하였다(표 3-2-21). Ni은 4월과 8월 동일하게 제4간선수로와 신길천에서 NOAA의 해양생물의 급성독성영향을 주는 기준인 74 $\mu\text{g/L}$ 를 초과하는 농도가 검출되었다. 따라서 시화호로 유입되는 중금속 및 퇴적물 내 높은 농도는 하천을 통한 유입이 주요한 원인이며 시화호 오염을 지속적으로 가중시키는 오염원으로 집중적인 모니터링 및 다양한 조사가 필요할 것으로 사료된다.

표 3-2-20. 시화호 유입하천 중의 용존성 중금속 농도(2009. 4. 14)

정점	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(μg/L)								(ng/L)
제1간선수로	0.006	3.631	2.39	29.8	0.037	11.1	17.2	450	3.13
제2간선수로	0.012	0.958	4.25	35.1	0.020	60.0	6.41	425	3.80
제3간선수로	1.707	2.171	89.7	21.8	0.095	432	4.97	355	18.5
제4간선수로	1.360	6.499	417	760	0.551	215	4.03	106	9.39
신길천	0.093	1.702	11.1	136	0.087	4.68	4.90	363	13.2
해안교	0.008	0.608	3.17	4.52	0.042	1.67	7.69	794	3.55
반월천	0.003	0.453	0.98	47.0	0.019	0.47	15.3	178	9.62
동화천	0.001	0.494	2.29	4.51	0.019	0.70	0.98	26.9	1.31
삼화천	0.004	0.236	2.13	2.23	0.037	1.77	8.41	412	1.67
최소	0.001	0.236	0.98	2.23	0.019	0.47	0.98	26.9	1.31
최대	1.707	6.499	417	760	0.551	432	17.2	794	18.5
평균	0.355	1.861	59.2	116	0.101	80.8	7.76	345	7.12

표 3-2-20. 계속(2009. 8. 19)

정점	Cd	Co	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
	(μg/L)								(ng/L)
제1간선수로	0.073	1.395	18.3	30.4	0.178	13.5	38.3	228	2.08
제2간선수로	0.278	0.709	17.2	71.1	0.032	348	5.03	228	43.4
제3간선수로	0.621	5.032	267	28.6	0.285	1746	2.37	493	19.4
제4간선수로	1.330	4.635	398	313	0.366	133	3.53	307	213
신길천	0.129	1.254	243	210	0.081	13.3	1.68	323	1.62
해안교	0.008	0.179	1.33	1.80	0.029	1.50	5.49	49.1	1.57
반월천	0.003	0.072	1.85	22.3	0.013	0.37	7.45	83.7	<1
동화천	0.009	0.118	2.37	2.27	0.023	3.59	3.41	25.7	<1
삼화천	0.007	0.065	1.58	1.53	0.022	3.18	4.70	9.45	<1
최소	0.003	0.065	1.33	1.53	0.013	0.37	1.68	9.45	<1
최대	1.330	5.032	398	313	0.366	1746	38.3	493	213
평균	0.273	1.495	106	75.7	0.114	251	7.99	194	46.9

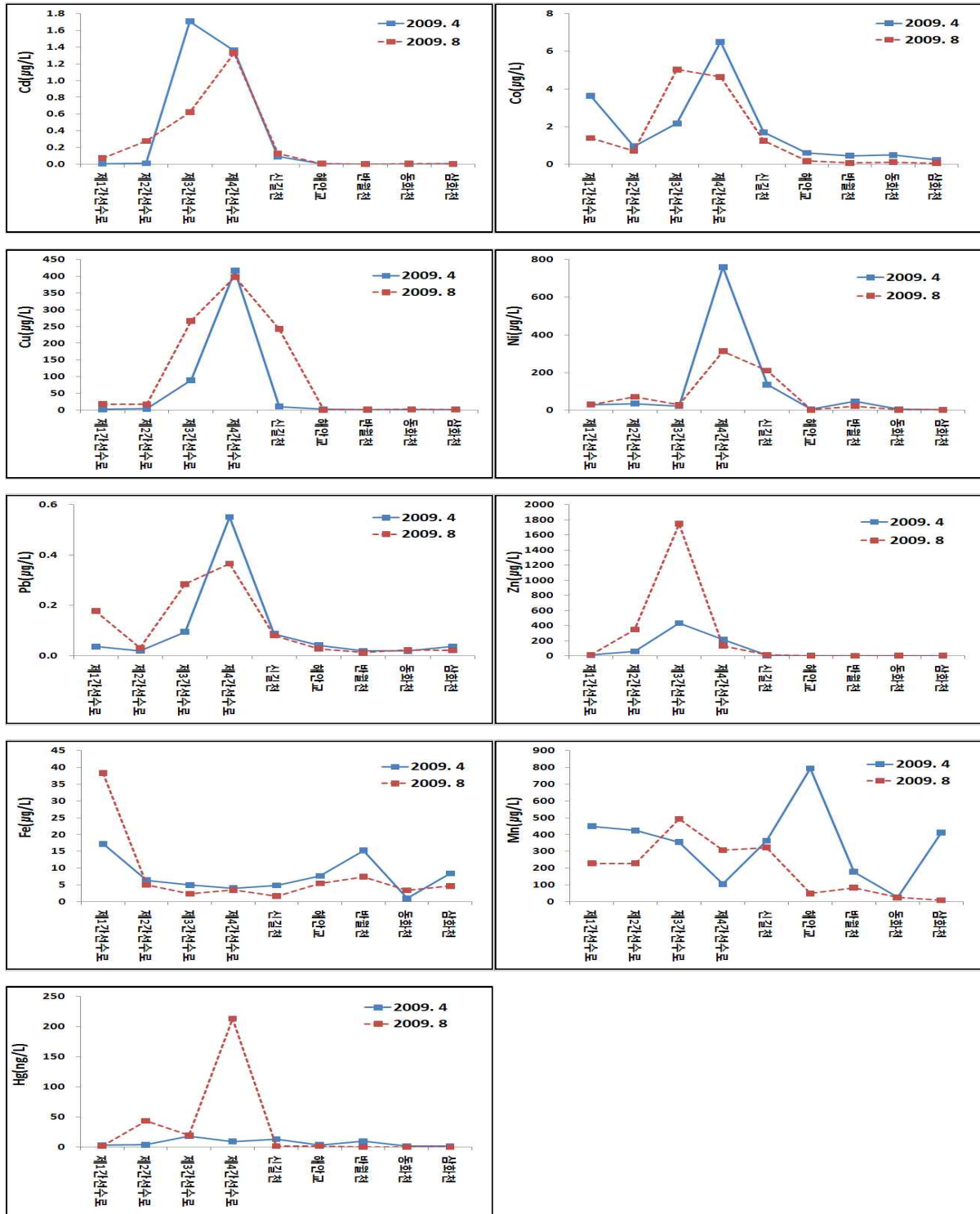


그림 3-2-48. 시화호 유입하천 중의 용존성 중금속 변화

표 3-2-21. 시화호 유입하천 중의 총중금속 농도(2009. 4. 14)

정 점	Total Cd	Total Co	Total Cu	Total Ni	Total Pb	Total Zn	Total Fe	Total Mn
	(µg/L)							
제1간선수로	0.391	4.178	10.6	31.5	7.87	75.7	2311	493
제2간선수로	0.094	1.593	20.7	38.6	1.19	138	691	806
제3간선수로	1.774	2.262	150	22.4	6.26	517	699	363
제4간선수로	1.499	6.809	667	774	55.0	288	1039	118
신길천	0.320	2.290	104	171	19.9	48.1	2417	429
해안교	0.025	0.692	6.48	4.91	1.17	5.97	463	811
반월천	0.010	0.574	1.77	50.1	0.77	4.44	1074	250
동화천	0.005	0.647	2.89	5.08	0.71	5.31	398	180
삼화천	0.011	0.401	2.97	2.72	0.89	6.44	487	807
<b>최소</b>	<b>0.005</b>	<b>0.401</b>	<b>1.77</b>	<b>2.72</b>	<b>0.71</b>	<b>4.44</b>	<b>398</b>	<b>118</b>
<b>최대</b>	<b>1.774</b>	<b>6.809</b>	<b>667</b>	<b>774</b>	<b>55.0</b>	<b>517</b>	<b>2417</b>	<b>811</b>
<b>평균</b>	<b>0.459</b>	<b>2.161</b>	<b>107</b>	<b>122</b>	<b>10.4</b>	<b>121</b>	<b>1064</b>	<b>473</b>

표 3-2-21. 계속(2009. 8. 19)

정 점	Total Cd	Total Co	Total Cu	Total Ni	Total Pb	Total Zn	Total Fe	Total Mn
	(µg/L)							
제1간선수로	0.469	1.560	23.1	30.7	2.55	50.1	589	301
제2간선수로	0.321	1.761	41.2	74.5	1.11	509	654	468
제3간선수로	0.662	5.255	503	29.2	13.9	1891	951	506
제4간선수로	1.410	5.267	511	325	33.8	204	693	366
신길천	0.152	1.463	360	221	3.07	24.8	657	337
해안교	0.020	0.455	2.68	2.29	1.32	7.26	570	136
반월천	0.007	0.203	2.41	24.1	0.48	2.76	463	167
동화천	0.026	0.228	2.98	2.53	0.80	25.7	345	89.6
삼화천	0.012	0.147	1.92	1.69	0.56	5.09	219	67.2
<b>최소</b>	<b>0.007</b>	<b>0.147</b>	<b>1.92</b>	<b>1.69</b>	<b>0.48</b>	<b>2.76</b>	<b>219</b>	<b>67.2</b>
<b>최대</b>	<b>1.410</b>	<b>5.267</b>	<b>511</b>	<b>325</b>	<b>33.8</b>	<b>1891</b>	<b>951</b>	<b>506</b>
<b>평균</b>	<b>0.342</b>	<b>1.815</b>	<b>161</b>	<b>79.0</b>	<b>6.40</b>	<b>302</b>	<b>571</b>	<b>271</b>

### 3.5.2. 유입하천 퇴적물 내 중금속

시화호 유입하천 중의 퇴적물 내 중금속을 표 3-2-22와 그림 3-2-49에 나타내었다. 용존중금속과 유사하게 전반적으로 제3, 4간선수로와 신길천에서 높은 값을 보였다. Zn의 경우 4월 제1간선수로에서 9550 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이 높은 농도가 검출되었으며 8월 제4간선수로에서 10160 $\mu\text{g}/\text{L}$ 이 검출되었다. Cu 역시 8월 제4간선수로에서 11126 $\mu\text{g}/\text{L}$ 의 오염원이 없는 동화천에 비해 500배 이상 높은 농도를 보였다. Al과 Cd를 제외하고 8월이 4월에 비해 높은 퇴적물 내 중금속 농도를 보였다. 8월의 경우 Al 5.81~9.02%(평균 7.15%), Fe 2.39~6.40%(평균 4.13%), Cd 0.18~80.7 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 13.2 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Co 9.40~78.6 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 30.1 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Cu 20.4~11126 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 1741 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Ni 22.6~607 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 193 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Pb 44.1~5652 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 935 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Zn 155~10160 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 2743 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Mn, 423~1213 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 688 $\mu\text{g}/\text{g}$ ), Hg 0.010~3.534 $\mu\text{g}/\text{g}$ (평균 0.534 $\mu\text{g}/\text{g}$ )의 농도범위를 보였다.

이러한 높은 농도는 NOAA의 ERM을 훨씬 상회하는 높은 농도이며, 원소에 따라 시기별로 약간의 차이는 있으나 해안교, 반월천, 동화천, 삼화천 하천퇴적물 내 중금속 농도가 공단유역을 흐르는 하천에 비해 굉장히 낮았다. 1999년에 실시한 하천퇴적물 내 수은 농도 역시 제4간선수로에서 다른 하천에 비해 20~161배 높은 수은(5.168 $\mu\text{g}/\text{g}$ )이 검출되었다고 보고되었다(나, 2000). 하천 내 퇴적물은 강우시 유량 및 유속 증가로 인해 재 부유되어 시화호로 직접 유입된다. 1998년 하천수로공사 이후 반월공단 및 시화공단 유역을 흐르는 하천수를 통해 많은 양의 중금속이 직접 유입된다는 사실을 말해주고 있다.

표 3-2-22. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 중금속 농도(2009. 4. 14)

정점	Al	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
	(% )											
제1간선수로	8.08	5.10	1194	200	69.5	156	698	9550	23.0	109	1250	0.367
제2간선수로	9.06	5.45	573	482	21.3	114	423	1245	13.4	1.47	186	0.128
제3간선수로	7.22	4.18	417	445	16.8	68.9	608	1931	13.1	2.11	461	0.187
제4간선수로	6.74	3.71	471	691	29.2	219	1693	4271	8.98	15.6	785	2.048
신길천	7.13	4.61	674	750	28.7	287	2938	1194	17.6	9.48	408	1.154
해안교	5.90	3.15	499	83.1	14.4	41.0	101	534	9.10	0.78	87.2	0.292
반월천	5.75	3.33	436	56.6	12.1	28.1	22.2	73.9	5.03	0.09	21.9	0.020
동화천	7.28	2.58	635	70.5	8.53	24.8	73.7	221	7.27	0.39	50.0	0.028
삼화천	9.71	4.67	602	92.9	17.0	39.7	36.6	130	10.2	0.11	36.0	0.009
최소	5.75	2.58	417	56.6	8.53	24.8	22.2	73.9	5.03	0.09	21.9	0.009
최대	9.71	5.45	1194	750	69.5	287	2938	9550	23.0	109	1250	2.048
평균	7.43	4.09	611	319	24.2	109	732	2128	11.9	15.4	365	0.470

표 3-2-22. 계속(2009. 8. 18)

정점	Al	Fe	Mn	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
	(% )											
제1간선수로	7.72	4.34	992	162	61.9	129	767	8302	21.9	80.7	1491	0.348
제2간선수로	7.97	4.93	614	722	27.8	178	720	1945	15.1	2.36	278	0.238
제3간선수로	7.18	4.21	526	475	16.7	75.1	1013	2535	13.7	1.86	443	0.190
제4간선수로	6.23	6.40	1213	4221	78.6	607	11126	10160	41.1	30.2	5652	3.534
신길천	5.87	3.59	494	422	28.0	592	1853	788	10.2	2.14	285	0.327
해안교	9.02	5.09	701	90.2	24.6	57.9	85.6	434	14.0	0.86	94.6	0.094
반월천	5.81	2.76	423	59.4	10.3	38.9	42.7	155	5.38	0.25	44.1	0.026
동화천	6.59	2.39	474	54.6	9.40	22.6	20.4	182	5.30	0.18	44.5	0.010
삼화천	7.99	3.47	751	80.2	13.9	33.3	43.2	185	13.1	0.38	80.2	0.040
최소	5.81	2.39	423	54.6	9.40	22.6	20.4	155	5.30	0.18	44.1	0.010
최대	9.02	6.40	1213	4221	78.6	607	11126	10160	41.1	80.7	5652	3.534
평균	7.15	4.13	688	699	30.1	193	1741	2743	15.5	13.2	935	0.534



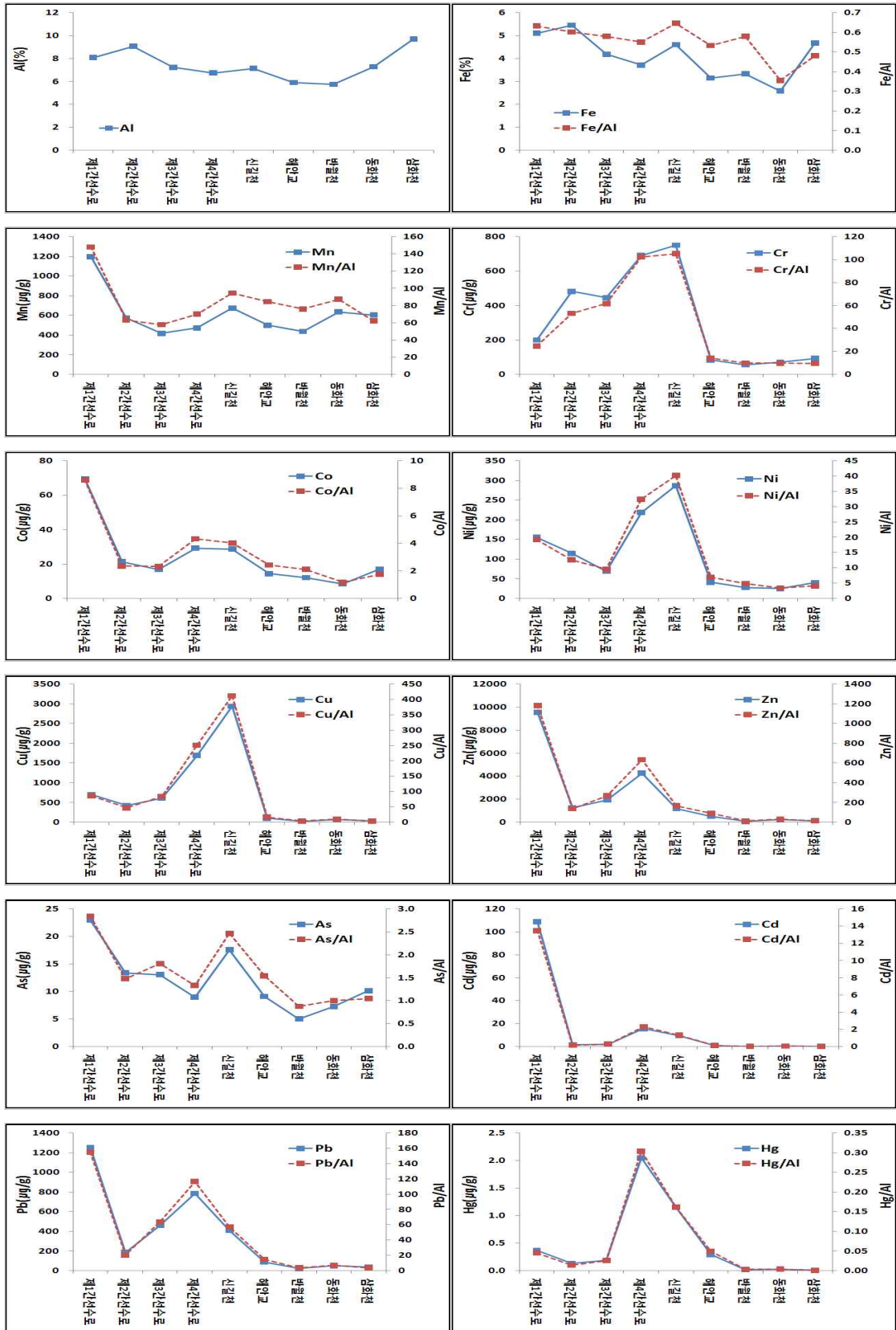


그림 3-2-49. 시화현 유입하천 중의 퇴적물 Al과 중금속 변화(2009. 4. 14)

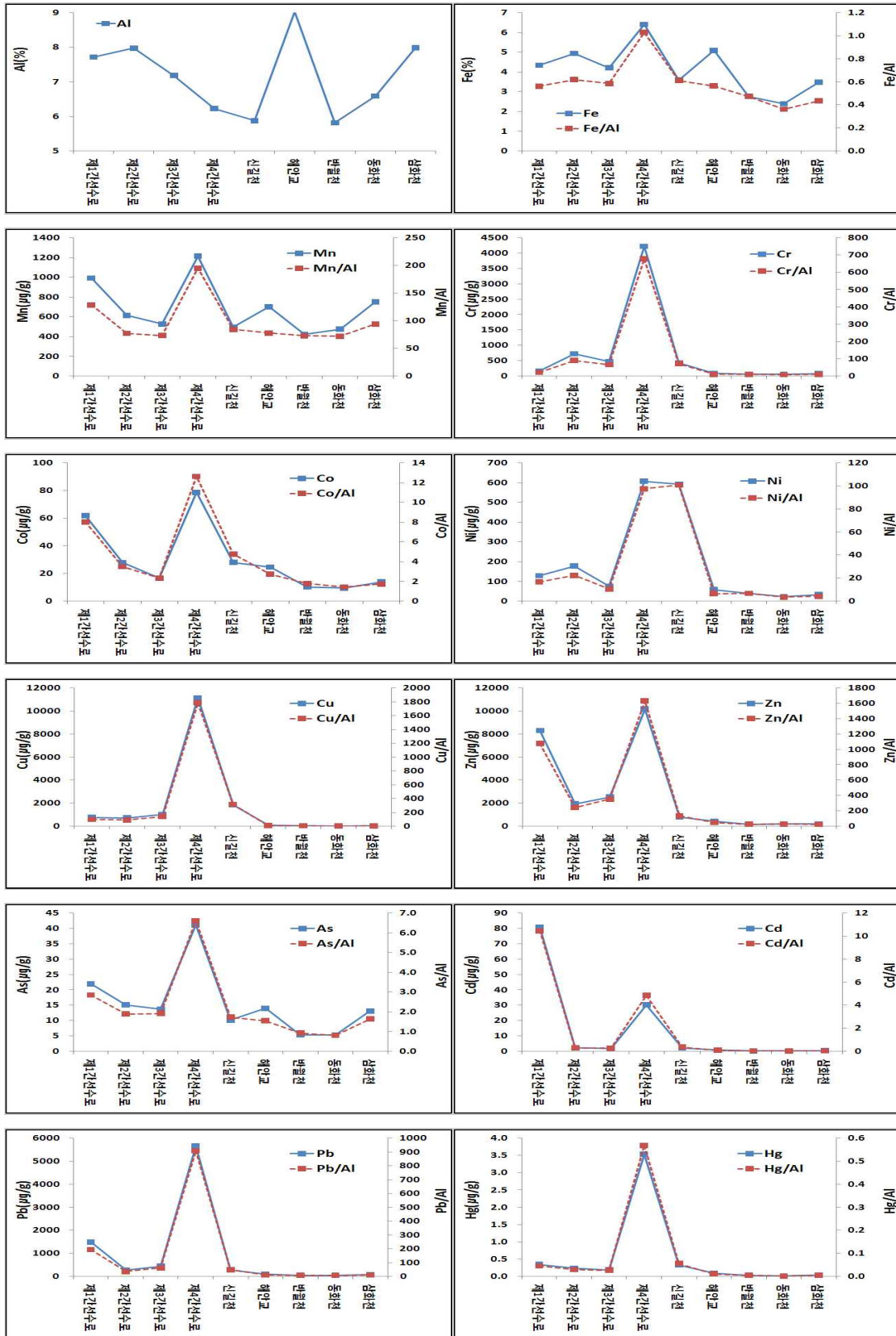


그림 3-2-49. 계속(2009. 8. 18)

### 3.5.3. 유기오염물질

PAHs, PCBs, 유기염소계 농약 등은 환경내에서 광화학적, 생물학적 및 화학적 분해가 잘 되지 않고 환경내에 오랫동안 잔류하면서 퇴적물과 생물체에 축적되어 해양생태계는 물론 인간의 건강에 악영향을 끼칠수 있는 화합물로서 지속성 유기오염물질로(Persistent Organic Pollutants, POPs) 분류된다.

#### ① 다환방향족탄화수소화합물(PAHs)

다환방향족탄화수소화합물(Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)은 2개 이상의 벤젠고리를 가진 환경내의 주요한 오염물질로써 유기물의 연소나 유류의 사용과정에서 환경 중에 방출되게 된다(Lake 등, 1979; Sporstol 등, 1983; Merril드와 Wade, 1985). PAHs는 특히 대규모 산업단지 및 인구밀집지역에서 많이 발생하며, 이들 대부분의 지역은 연안에 위치하는 지리적 특성상 해양환경에 지대한 영향을 줄 수 있다(Shoelhammer, 2002). 시화호로 유입되는 9개 하천 내 퇴적물에서의 총 16종의 PAHs의 농도는 평균 1338ng/g(범위; 19.6~4059ng/g)이었다(표 3-2-23). 신길천에서 최고 농도인 4059ng/g을 보였다. 이는 NOAA의 퇴적물 관리기준(ERL: 4020 ng/g)을 상회하는 값으로 신길천의 PAHs 농도수준은 오염퇴적물에 의한 주변생태계 영향이 우려되는 수준임이 확인되었다. 제4간선수로와 제1간선수로 역시 각각 3018ng/g와 2157ng/g의 높은 농도를 보였다. 농업유역인 동화천과 삼화천에는 낮은 농도가 검출되었으며, 각각 19.6ng/g과 35.3ng/g이었다. 전반적으로 시화호 하천 퇴적물내 PAHs 농도수준은 우리나라 주요 공업지역 및 항구 지역의 농도수준과 유사한 값을 보이고 있었다(박 등, 2009). 2001년 시화호내 표층퇴적물 중 PAHs는 44.9~177ng/g(평균 108ng/g)의 범위였으며 반월공단에 인접한 정점에서 가장 높은 오염도를 나타냈다고 보고되었다(해양수산부, 2002a). 이를 통해 반월공단 및 시화공단에서 하천이나 강우 등에 의해 유입되는 PAHs가 별다른 처리과정 없이 시화호로 직접 유입된다는 것을 확인 되었고 지속적인 모니터링 및 오염원에 대한 조사가 필요한 것으로 판단된다.

#### ② 폴리염화비페닐(PCBs)

다양한 환경에서 광범위하게 검출되는 폴리염화비페닐(Polychlorinated biphenyls, PCBs)은 209종의 이성체로 구성되어있으며 매우 안정된 염소화합물으로써 축전지, 전기변압기, 가스운반터빈, 염료, 고무플라스틱 류 등에 사용되어져 왔고, 자연적으로 쉽게 분해되지 않는다. 퇴적물은 환경중으로 배출된 PCBs의 가장 큰 축적원으로 널리 알려져 있다. 22종의 총 PCBs의 평균 농도는 75.8ng/g(범위; 0.33~238ng/g)였다(표 3-2-24). 제4간선수로에서 가장 높은 농도인 238ng/g이 검출되었고 제1, 2간선수로에서 각각 174ng/g과 150ng/g의 높은 농도가 검출되었다. PAHs와 마찬가지로 농업유역인 동화천과 삼화천에서는 0.33ng/g과 0.50ng/g의 낮은 농도를 보였다. NOAA가 제시한 저서생물에 대한 퇴적물기준치와 비교하면 제1, 2, 3, 4간선수로에서 ERL(50ng/g)을 초과하는 높은 수준이다. 2001년 시화호내 퇴적물 중 PCBs의 농도는 5.61~41.4ng/g이었으며 공단 인접지역에서 높은 농도를 보였다(해양수산부, 2002a). 따라서 PCBs는 공단지역에서 대부분 기인되고 있음을 알 수 있었다. 구체적인 오염원 파악과 오염부하량에 대한 다각적인 접근이 필요하다고 사료된다.

### ③ 알킬페놀(APs)

내분비계 장애물질로 알려진 알킬페놀(Alkylphenols, APs)은 알킬페놀 에톡시레이트의 알킬페놀 폴리 에톡시레이트는 농업용 및 생활용 세제로 매우 광범위하게 사용되었을 뿐만 아니라 계면활성제로도 많이 사용되고 있다(Hawrelak, 1999). 알킬페놀 폴리 에톡시레이트는 물에 쉽게 용해하고 생물 및 빛에 의한 분해속도가 빠를 뿐만 아니라 생물과 인체에 대한 독성이 작은 것으로 알려지고 있지만 이들이 분해산물인 알킬페놀은 그 구조적 특성과 친유성 특성으로 인하여 자연환경에서의 지속성 및 농축성 등 특성들을 보이고 있다(Ferrara 등, 2001; Kenth 등, 2000). 또한 알킬페놀은 생물 및 인체에 대한 내분비 교란작용도 이미 밝혀진 바 있다(Madigou 등, 2001). 모든 정점에서 t-octylphenol과 nonylphenol이 검출되었다. 시화호 하천 퇴적물 내 노닐페놀은 23~38396ng/g(평균 5226ng/g)의 농도 범위를 보였으며 제4간선수로에서 최대 농도인 38396ng/g였다. 반월천, 삼화천, 동화천에서 낮은 농도를 보였다(표 3-2-25, 그림 3-2-50). 노닐페놀 농도는 농업지역에서 낮은 수준으로 검출되었으며 공단지역이 밀집한 정점에서는 매우 높게 검출되었다. 노닐페놀의 전구물질인 노닐페놀 에톡시레이트는 가정과 농업용으로 많이 사용되고 있는 세제로서 주거지역과 공단지역 모두가 노닐페놀 오염원으로 볼 수 있는데 공단지역이 노닐페놀의 주요 오염원임을 보여주고 있다. 타 지역과 비교하여 시화호 주변하천은 노닐페놀에 의하여 비교적 높게 오염되어 있었다(해양수산부, 2002b). 따라서 시화호 주변지역에서의 노닐페놀 사용양에 대한 규제가 시급하다고 판단된다.

표 3-2-23. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 PAHs 농도(2009. 4. 14)

	제1간 선수로	제2간 선수로	제3간 선수로	제4간 선수로	신길천	해안교	반월천	동화천	삼화천
Naphthalene	123	43.7	32.4	832	247	67.5	22.1	3.09	4.47
Acenaphthylene	11.8	4.89	2.52	10.9	5.11	9.63	0.80	0.15	0.23
Acenaphthene	24.5	6.07	2.17	35.5	72.1	7.71	0.29	0.10	0.17
Fluorene	44.8	29.0	17.3	91.7	21.8	17.5	0.97	0.55	0.82
Phenanthrene	256	105	64.0	365	115	147	2.93	1.89	3.14
Anthracene	40.1	16.1	7.53	65.6	29.8	15.2	0.93	0.20	0.64
Fluoranthene	324	18.6	96.0	343	133	199	3.04	2.37	4.33
Pyrene	449	183	101	444	14.8	215	3.47	2.50	4.13
Benz[a]anthracene	79.8	36.4	16.3	101	563	51.8	0.59	0.77	1.53
Chrysene	171	84.1	47.0	205	1253	118	1.16	1.59	2.31
Benzo[b]fluoranthene	205	78.0	43.5	186	885	153	1.93	1.88	4.88
Benzo[k]fluoranthene	43.0	16.5	9.59	38.7	96.8	36.9	0.37	0.43	1.03
Benzo[a]pyrene	88.4	35.1	15.1	83.6	219	67.5	0.81	0.69	1.36
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	97.2	48.3	15.2	75.0	152	76.9	1.42	1.18	2.69
Dibenzo[a,h]anthracene	17.1	10.2	2.61	8.15	24.3	13.8	0.45	0.26	0.64
Benzo[ghi]perylene	183	160	33.5	133	227	138	2.61	1.93	2.93
<b>16 PAHs (ng/g dw.)</b>	<b>2157</b>	<b>875</b>	<b>505</b>	<b>3018</b>	<b>4059</b>	<b>1334</b>	<b>43.9</b>	<b>19.6</b>	<b>35.3</b>

표 3-2-24. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 PCBs 농도(2009. 4. 14)

	제1간선	제2간선	제3간선	제4간선	신길천	해안교	반월천	동화천	삼화천
	수로	수로	수로	수로					
PCB8	6.24	1.28	0.36	16.4	ND	0.53	0.98	0.01	0.01
PCB18	16.9	3.07	0.81	26.2	4.32	0.42	1.57	0.07	0.04
PCB28	12.8	1.90	1.38	27.1	3.16	0.93	1.55	0.01	0.02
PCB29	0.20	ND	0.47	ND	0.60	0.17	0.08	0.00	0.00
PCB44	12.5	4.68	2.29	13.9	ND	0.52	0.68	0.02	0.03
PCB52	12.3	8.83	5.60	21.3	0.16	0.59	1.34	0.01	0.01
PCB66	18.1	11.9	0.99	ND	ND	0.59	0.52	0.01	0.05
PCB87	4.04	6.38	4.63	9.31	0.90	0.39	0.64	0.01	0.01
PCB101	7.57	17.8	10.1	21.5	ND	0.87	1.52	0.01	0.02
PCB105	2.91	3.35	2.94	5.80	0.24	0.26	0.42	ND	ND
PCB110	9.04	18.3	10.5	24.2	1.43	ND	1.41	0.02	0.06
PCB118	7.89	12.2	8.07	17.9	1.46	0.70	1.05	0.01	0.01
PCB128	0.91	2.54	1.65	3.05	0.13	0.18	0.20	0.00	0.01
PCB138	9.34	20.5	9.84	19.4	1.31	1.29	1.10	0.03	0.06
PCB153	41.8	22.4	9.79	22.0	1.19	1.65	1.23	0.03	0.07
PCB170	1.77	4.01	1.55	2.47	0.26	0.36	0.19	0.02	0.02
PCB180	6.95	7.38	2.65	5.39	2.01	1.49	0.35	0.04	0.06
PCB187	1.71	2.77	1.03	2.04	0.22	0.26	0.13	0.01	0.02
PCB195	0.64	0.49	0.16	ND	0.17	0.07	0.03	0.00	0.00
PCB200	ND	ND	0.29	ND	0.23	ND	ND	ND	ND
PCB206	0.31	0.10	0.10	0.24	0.06	0.06	0.01	0.00	0.00
PCB209	0.54	0.18	0.08	ND	0.23	0.10	ND	0.00	0.00
<b>ΣPCB<sub>22</sub></b> <b>(ng/g dw.)</b>	<b>174</b>	<b>150</b>	<b>75</b>	<b>238</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>0.33</b>	<b>0.50</b>

표 3-2-25. 시화호 유입하천 중의 퇴적물 APs 농도(2009. 4. 14)

(ng/g dry wt.)

	제1간선 수로	제2간선 수로	제3간선 수로	제4간선 수로	신길천	해안교	반월천	삼화천	동화천
t-butylphenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,4-dichlorophenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
n-butylphenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
n-pentylphenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
n-hexylphenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
t-octylphenol	1771.5	945.3	772.2	990.3	823.7	1386.6	13.7	0.8	6.3
nonylphenols	2330.0	1326.0	1235.7	38396.2	1211.7	1984.5	300.1	23.0	234.1
n-octylphenol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
bisphenol A	0.0	0.0	0.0	3921.9	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0

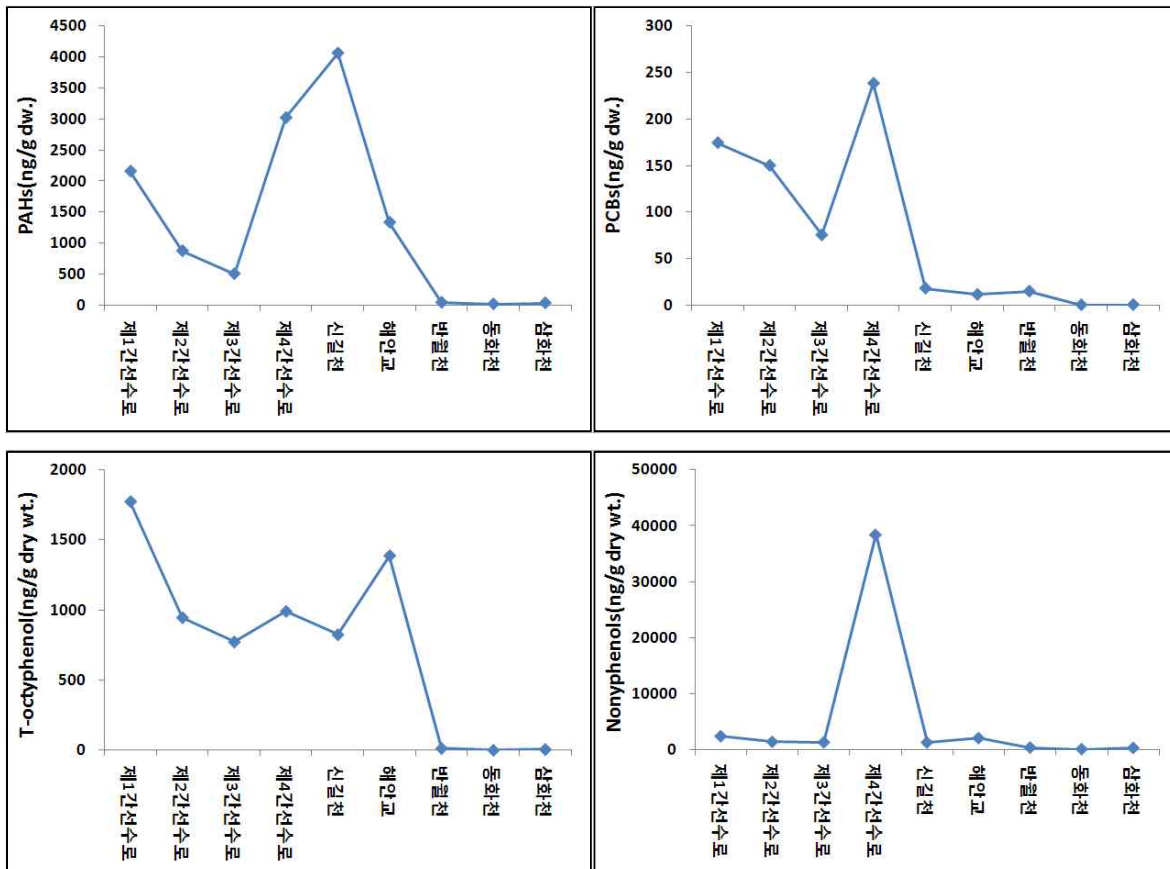


그림 3-2-50. 시화호 유입하천 중의 유기오염물질 변화(2009. 4. 14)

## 4. 결론

### 4.1. 일반수질 및 영양염

표층수 염분 분포는 반월공단 상류지역에서 강우나 하천을 통한 담수의 유입으로 비교적 낮으며, 배수갑문 지역으로 가면서 외해수의 영향으로 인하여 점차적으로 높아지는 경향을 보였으며, pH는 조사시기 혹은 연도별로 큰 차이를 보이지 않았다. 표층 용존산소포화도는 10월 반월공단 및 시화공단과 인접한 상류지역에서 200%를 보였고 저층수의 경우, 여름철에 전반적으로 10% 이하의 낮은 포화도를 나타냈다. 상류지역과 호중양부에서 높고 배수갑문으로 가면서 점차적으로 낮아지는 경향을 보였는데 예년에 비해 약간 낮았으나 2005년 이후 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있었다. 상류지역에서는 강우나 하천을 통한 육상기원의 부유물질의 유입되고 있었으며, 호 중양부의 경우 대부분 식물플랑크톤에 의한 생물기원의 부유물질이 많았다. 표층수의 화학적산소요구량의 공간적 분포를 보면, 4월과 6월에 상류지역에서 높고 배수갑문으로 가면서 점차적으로 낮아졌으며 강우의 영향으로 부유물질이 높았던 8월에서는 상대적으로 유기물 함량이 낮은 부유물질의 유입을 시사하고 있다. 특히 시화호의 상류지역은 여전히 식물플랑크톤 증식에 의한 유기물 형성이 화학적산소요구량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤의 시·공간 분포가 시화호 내 입자성유기탄소에 주요한 영향을 미치고 있었으며, 강우나 하천을 통해 유입된 영양염과 유기물이 시화호 내 기초생산에 기여를 하고 있음을 알 수 있었다. 총인은 2005년을 제외하고 봄철에 낮은 농도를 여름철에는 높은 농도를 보였다. 총인 및 총질소는 강우가 적었던 2008년을 제외하고 다른 조사시기에 비하여 여름철(8월)에 총인 및 총질소의 평균 농도가 높았으며, 특히 8월 공단에 인접한 상류지역에서의 영양염 농도가 시화호 중양부와 배수갑문 지역에 비해 인산염 5배, 질산염 10배, 규산염 3배의 높은 농도를 보였다. 염분과 영양염간의 상관관계는 전반적으로 염분도가 낮을 때 높은 영양염 농도를, 염분이 높을 때 상대적으로 낮은 영양염을 보였다. 따라서 강우를 통해 일시적으로 영양염이 높은 담수가 유입되었으며 시화호 내 영양염의 주요한 공급원은 외해수에 의한 유입과 더불어 강우나 하천을 통한 육상기원으로 큰 부분을 차지하고 하천을 통해 유입되는 양에 조절 받고 있음을 보여주고 있다. 연속관측에 의한 인 및 질소 화합물의 농도변화는 저층에서 총인의 농도가 6월에서 8월로 갈수록 증가하고 이후 표층과 저층에서 감소하는 경향을 보였다. 총인의 대부분이 용존 인산염이 차지하고 있었으며, 7월에서 9월까지 총질소의 대부분이 암모니움염이 차지하고 있었다.

시화호 내측 표층수의 유기물 분포 및 변화양상을 통해 입자성 유기탄소 분포는 클로로필-*a*에 많은 영향을 받고 있었다. 특히 여름철 식물플랑크톤 대량증식에 의한 입자성유기물의 증가는 저층환경의 용존산소를 고갈시켜 저산소 환원 환경을 초래하여 시화호 수질에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 시화호 내측 표층퇴적물의 유기탄소와 화학적산소요구량(COD)은 상류지역 및 호 중양지역에서 높은 값을 보였으며, 평균 농도는 예년과 유사하였다. 최근에는 호 중양부에서 총유기탄소 함량 및 COD가 높게 나타났으며 이는 식물플랑크톤에 의해 생성된 유기물이 저층 퇴적물로 퇴적되기 때문으로 사료된다.

시기에 따라 차이는 있으나 암모니움염, 인산염이 퇴적물에서 수층으로 용출되는 것으로 나타났다. 하계(7월)에 용출량이 추계(9월)에 비해 높았으며 질산염은 대부분 저층환경에서 소

모되는 것으로 나타났다. 영양염 용출량의 연변화는 2003년에서 2006년까지 증가하다가 이후 다시 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 2009년에는 예년과 비슷한 용존산소 소모량을 보였다. 이는 시화호의 저산소 혐기성 환경이 여전히 개선되지 않고 있으며, 시화호 저층 퇴적환경은 표층수괴로부터 지속적으로 공급되는 유기물이 퇴적되어 미생물에 의해 분해되면서 퇴적물 내 인산염, 암모니움염 등이 재 용출되며 산소를 소비하여 저층의 용존산소를 고갈시키고 있음을 알 수 있었다.

## 4.2. 중금속

시화호 표층수의 용존 및 총 중금속 분포는 차이가 있으나 반월공단과 시화공단의 인접한 정점들에서 높고 배수갑문으로 가면서 감소하는 경향이 강하게 나타났다. 용존 중금속은 시기 및 공간적으로 변화가 크게 나타나 환경 변화가 많은 것으로 판단되는데 특히 Mn의 경우 그 정도가 컸다. 금속별로 비율의 차이가 있지만 8월에는 강우시 부유물질 유입으로 인한 입자성 중금속 농도 증가가 총 중금속 농도에 크게 기여하였다. 용존성 중금속 중에서 Cd와 Hg를 제외하면 외해수에 의한 희석 효과로 염분과 음의 상관성을 나타내었다. 정점별 변화 또는 장기적인 변동에 따르면 해수화가 지속됨에 따라 시화호 형성 초기 이후 낮아지고 최근에는 비교적 저 농도를 유지하였으나 2000년대 중반에는 Ni, Cu, Zn 등은 큰 변동과 상승 추세를 보여 주변 환경으로부터 강한 오염부하가 있었다. 용존성 중금속 농도는 우리나라의 해역별 수질 기준을 만족하지만 Cu는 8월에 정점 3에서 미국의 기준을 초과하기도 하였다.

수직 분포 조사에서는 정점, 시기 및 원소에 따라 변화가 다양하였지만 8월보다 4월에 높은 농도를 나타내는 경우가 많았으며, 표층에서 저층으로 갈수록 감소하는 경향의 빈도가 높았다. 그러나 8월에 정점 12에서는 외해수의 유입에도 불구하고 환원 환경을 형성하는 수층 구조 형성으로 Co, Fe, Mn은 최저층에서 급격한 농도 상승을 보였다.

표층퇴적물 내 중금속의 공간적 분포는 오염원이 존재하는 공단과 신길천 주변, 호수의 중앙에서 높았으며, 배수갑문 주변에서 낮은 농도를 보여 해수화에 의한 효과를 반영하고 있었다. Al과 TOC와 금속들이 좋은 상관성을 나타내어 퇴적물 내 중금속 농도는 입도와 유기물에 밀접한 상관성이 있는 것으로 나타났다. Cr은 8개 정점에서 Cu와 Zn은 각각 9개 정점에서 해양생물 10%의 위해영향을 주는 NOAA의 ERL기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 최근 2-3년간 중금속 농도의 연변화는 최고 농도를 보였던 2004년에 비해 낮았으나, 전체적으로 방조제 건설 초기에 비해 높은 값으로 지속적인 중금속 오염물질의 유입이 있었음을 시사하고 있다. 공단에 근접하였으나 시화호 남측 지역은 배수갑문지역과 유사하게 낮은 농도를 보여, 표층퇴적물 내 중금속의 시·공간 변화는 유입원 및 이동경로 등에 대한 정밀한 조사가 필요할 것으로 사료된다. 입자성 침강물질 내 중금속 농도는 강우에 의한 하천 유입이 있었던 6월과 8월에 높게 나타났으며, 침강속(flux)은 시기에 따라 큰 변동범위를 보였으나, 6월과 8월의 침강속이 다른 시기에 비해 높았다. 따라서 시화호 내 중금속은 하천을 통한 유입에 많은 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

시화호의 중금속 환경은 전반적으로 외해수 유입에 따라 교환에 따라 오염도가 다소 개선되고 있으나 공단 주변 및 수심이 깊은 곳에서 높은 농도를 보이고, 축적 과정을 반영하는 퇴적물에서는 여전히 높은 농도를 나타내고 있어 현재의 외해수의 유입에 의한 효과가 제한적인 것으로 판단된다.



### 4.3. 유입하천조사

시화호로 유입되는 9개 하천 중 용존 중금속 농도는 농업유역을 흐르는 동화천 및 삼화천에 최소 농도를 나타냈으며, 공단유역을 흐르는 제3, 4 간선수로 및 신길천에서 Co, Cu, Ni, Pb, Hg의 농도가 다른 하천에 비해 최대 400배 이상 높은 것으로 나타났다. 특히 Ni의 경우 제4간선수로와 신길천에서 해양생물의 급성독성영향을 주는 기준을 초과하는 농도가 검출되었다. 하천 퇴적물 내 중금속 농도 역시 용존중금속과 유사하게 제3, 4간선수로 및 신길천에서 높은 농도가 검출되었다. 이러한 농도는 NOAA의 해양생물 50%에 위해영향을 주는 ERM을 훨씬 상회하는 수준으로, 이러한 하천 퇴적물은 강우시 재부유되어 시화호로 직접 유입이 이루어질 가능성이 높다. 따라서 시화호로 유입되는 중금속 및 퇴적물 내 높은 농도는 하천을 통한 유입이 주요한 오염원이며 시화호 퇴적물 내 중금속 오염을 가중시키는 원인으로 집중적인 모니터링 및 감시가 필요할 것으로 사료된다.

하천 퇴적물 내 지속성 유기오염물질 분석 결과, 다환방향족탄화수소화합물(PAHs)이 총농도가 특히 신길천에서 NOAA의 퇴적물 관리기준을 초과하는 값이었고, 농업유역인 동화천과 삼화천을 제외하고 전반적으로 시화호 하천 퇴적물 내 PAHs의 농도수준은 우리나라 주요 공업지역 및 항구지역의 농도수준과 유사한 값을 보였다. 폴리염화비페닐(PCBs)의 경우 제4간선수로에서 가장 높은 농도가 검출되었고 제1, 2, 3, 4 간선수로에서 ERL을 초과하는 농도가 검출되었다. 알킬페놀(APs)은 모든 정점에서 생물 및 인체에 대한 내분비 교란작용을 하는 노닐페놀이 가장 많이 검출되었으며, 다른 지속성 유기오염물질과 유사하게 농업지역에서 낮은 수준이, 제4간선수로에서 최대 농도를 보였으며 공단지역 모두가 노닐페놀의 주요 오염원임을 알 수 있었다. 하천 내 퇴적된 중금속 및 지속성유기오염물질은 강우시 별다른 처리 없이 시화호로 직접 유입되므로 구체적인 오염원 파악 및 오염부하량에 대한 다각적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

## 제 3 절 시화호 부유 생태계 모니터링

### 1. 연구개요

시화호의 부유생물 군집은 소수종에 의한 우점현상이 2009년에도 지속적으로 발생하고 있어 연중 낮은 종다양성지수를 나타내고 있다. 이러한 소수종의 발생은 시화호 내 환경변화가 크기 때문에 일부 환경변화에 잘 적응된 종이나 기회성 종들의 출현이 빈번하기 때문이다. 일차생산력의 경우 높은 광량에 잘 적응된 미소형 식물플랑크톤의 우점으로 광량이 증가할수록 일차생산력도 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 원생동물은 강우 시 염분 변화가 크기 때문에 염분이 회복되기 전 기회적으로 출현하는 종들이 현존량 증가에 주요 원인으로 나타나고 있다. 동물플랑크톤은 해파리 출현시기에 점차 감소하는 경향을 나타내고 있고, 해파리 감소와 더불어 다시 개체 증가가 발생하고 있어, 동물플랑크톤 출현량 변동은 해파리와 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다. 또한 동물플랑크톤의 개체수가 감소하는 시기에 식물플랑크톤의 생물량이 크게 증가하고 있어 포식자에 의한 피식자 군집의 하향 조절 기작이 크게 작용하는 것으로 사료된다. 해파리는 시화호 상류에서 planula 유생의 출현량이 높고 에피라는 중류의 전신주 인근 해역에서 높아 상류에서 발생된 planula 유생이 확산된 후 전신주를 기질로 삼아 polyp을 현성하는 것으로 보이며 특히, 중류지역에 polyp이 많이 형성되어 있을 것으로 예상된다. 하계에 지속적으로 발생하는 저층 DO 감소는 식물플랑크톤 증식 시기에 크게 감소하고 있으며, 퇴적물 내 식물플랑크톤의 분해산물인 phaeopigment와 DO 농도가 반비례 관계를 나타내고 있어, 수층에서 발생한 식물플랑크톤의 저층 축적이 하계 DO 감소의 주요 요인으로 판단된다. 식물플랑크톤의 성장을 억제하기 위해서는 질소 유입원 차단이 가장 좋은 방법이나, 유입된 질소원은 식물플랑크톤이 이용하기 전에 빠른 시간 내에 외해수와의 희석을 통해 배출하는 것이 바람직 할 것으로 보인다. 그러나 현재 갑문 운영 방식이 연속 유입 후 연속 배출하기 때문에 시화호로 유입된 질소원의 체류 시간이 길어질 것으로 판단된다. 따라서 갑문 운영방식과 질소원의 체류 시간과의 관계를 분석해서 체류시간이 짧은 운영방식으로 변경하는 것도 하나의 방법일 것으로 사료된다. 2009년 해파리 구제는 성체를 대상으로 하였으나, 수거에 필요한 인력과 시간을 고려할 때 효율이 크지 않은 것으로 보인다. 또한 성체는 이미 planula 유생을 발생시키기 때문에 성체까지 성장 후에 제거하는 방법은 큰 효과를 보기는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 향후 해파리 구제는 에피라 또는 해파리가 성체로 자라기 전인 young medusa 단계에서 제거하는 것이 더 바람직 할 것으로 보인다. 2009년 조사 결과 에피라 및 young medusa는 4~5월에 집중적으로 증가하는 것으로 나타나고 이 시기에 해파리를 제거하는 것이 더 효율적인 구제 방법일 것으로 판단된다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구 내용 및 연구 지역

부유생태계 단주기 모니터링을 위해 2002년 4~10월 7개월 간 시화호 내측의 고정점에서 매주 식물플랑크톤과 원생동물에 시료를 채집하였고, 동물플랑크톤과 난자치어에 대해서는 매월 총 7회에 걸쳐 정성, 정량 분포를 조사하였으며, 부유생태계 변화추이와 환경요인과의 상관성을 분석하였다. 해파리 동태를 파악을 위해서는 4~5월 두 달간 매주 조사를 통해 시화호 내측의 8개 정점에서 ephyra의 분포 현황을 파악하였으며, 이후 월 단위로 3개 정점에서 해파리 현황 파악을 실시하였다. 또한 해파리 물리적 제거를 위해 8~10월 그물망을 이용한 해파리 성체 제거 작업을 실시하였고, 해파리 제거 작업과 더불어 분포 패턴을 함께 조사하였다.

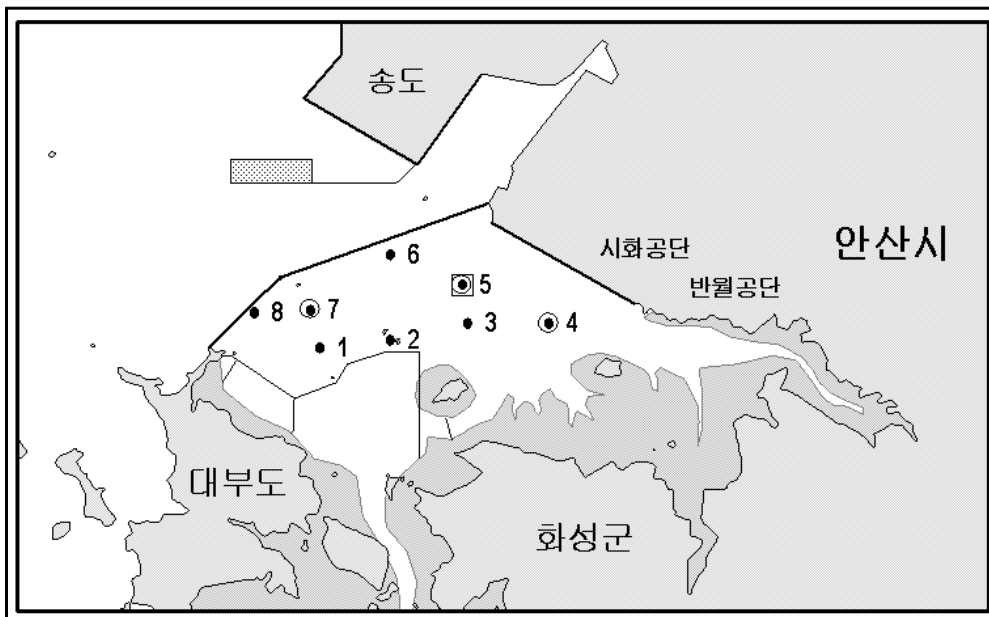


그림 3-3-1. 시화호 내측의 부유생태계 조사 정점(정점 5: 부유생물 조사정점, 정점 1~8: 4~5월 ephyra 집중조사정점, 정점 4, 5, 7: 해파리 조사정점)

## 2.2. 시료채집 및 분석방법

### 2.2.1. 식물플랑크톤

#### (1) 식물플랑크톤 균집조사

식물플랑크톤 분석을 위해 4~7월에는 시화호 내측 고정점에서 Niskin 채수기로 채수하였으며, 8~10월에는 고정점에 설치된 바지에 자동채수기를 설치하여 표층과 저층에서 매주 시료를 채집하였다. 채집된 해수시료는 1,000mL용 폴리에틸렌 표본병에 넣어 lugol 용액으로 현장에서 고정되었다. 이렇게 고정된 시료들을 실험실로 옮겨와 침전법에 의해 50mL로 농축시킨 다음 상등액을 제거한 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 Olympus 현미경하에서 계수하였다. 종의 동정시에는 (x400) 또는 (x1000) 고배율로 관찰하였고 심재형(1994),



에 넣어 lugol 용액으로 현장에서 고정되었다. 실험실에서 고정된 해수시료를 침전법에 의하여 시료를 24시간이상 침전시킨 후 상등액을 siphon으로 버리고 20-50mL로 농축하여 관찰시료로 사용하였다.

정량분석을 위하여 농축된 시료를 균일하게 희석한 후 1mL를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 Olympus 현미경(B × 51)하에서 계수한 후 해수의 단위체적당 세포수를 플랑크톤 현존량으로 환산하였다. 정성분석을 위하여 농축된 시료를 적당량 slide glass위에 놓고 400~1000배 하에서 검정·동정하였다.

시료의 분류 및 동정은 유광일 외(1988, 1990), Isamu Yamaji(1980), Kofoid and Campbell(1929) 등의 참고문헌을 이용하였다. 또한, 원생동물플랑크톤 군집을 분석하여 생태계의 기능을 파악하고자 종다양성 지수 (species diversity index :H')를 Shannon and Weaver(1963)의 아래의 공식을 따라 측정하였다.

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left[ -\frac{N_i}{N} \cdot \ell_n \frac{N_i}{N} \right]$$

(N: 원생동물플랑크톤 현존량,  $n$  ; 각각의 종이 차지하는 세포수)

### 2.2.3. 동물플랑크톤

#### (1) 중형동물플랑크톤

동물플랑크톤 채집은 망구 45cm, 망목 200 $\mu$ m인 원추형 네트를 이용하여 수심 5m 이하에서는 표층에서 5~7분간 수평 예인하였으며, 수심 5m 이상에서는 저층부터 표층까지 경사 인양하였으며, 고정점에서 3회 반복 채집하였다. 네트에 의해 여과된 해수의 양을 측정하기 위해 네트에 유량계(General Oceanics)를 부착하였다. 네트에 의해 여과된 해수량은 유량계의 회전수에 진행거리로 환산하기 위한 계수(0.027)와 망구 면적을 곱하여 구하였다(망구면적\*유량계회전수\*0.027). 예인 후 네트와 버킷을 세척하여 버킷에 모인 시료를 시료병으로 옮긴 후 즉시 시료 내 최종 농도가 4~5%가 되도록 중성포르말린(formalin)으로 고정하였다.

채집된 동물플랑크톤 시료는 종구분과 계수를 위해 총량을 메스실린더로 계량한 후 잘 혼합하여 우점종이 100개체 이상이 되게 분할하여(UNESCO, 1979) 계수 챔버로 옮긴 후 해부현미경(Olympus SZX-12) 하에서 분류하고 계수하였다. 경우에 따라 동물플랑크톤(주로 요각류)의 부착지를 해부하였으며, 해부한 부착지는 광학현미경(Olympus BX-51) 하에서 동정하였다. 요각류는 대부분 종 수준까지 동정하였으며, 요각류를 제외한 다른 동물플랑크톤 및 부유유생은 동정상의 어려움으로 인하여 광범위한 상위 분류군으로 구분하였다. 동정된 각 동물플랑크톤 분류군은 단위 체적(1m<sup>3</sup>)당 개체수로 환산하였다. 동물플랑크톤의 분류는 유(1995), 임(1994), 정(1989), Kim (1985), Mori(1964), Smith(1977), Yamaji(1984)에 의하였다.

조사 해역의 동물플랑크톤 군집 특성을 파악하기 위해 종 다양성 지수(species diversity index :H')를 Shannon and Weaver(1963)의 방법에 의해 구하였다. 또한 동물플랑크톤 출현종 및 출현 개체수에 따른 정점 간 유사도 분석(Cluster analysis)을 Bray-Cutis 방법을 이용하여 수행하였다. 유사도(percent similarity)가 높은 것끼리 묶을 때는 비가중평균결합법을 이용하였으며, 이를 수상도(Dendrogram)에 나타내었다. 분석에 이용된 동물플랑크톤 자료는 출현

개체수 간 편차가 큰 경우 자료 편중에 따른 분석 상 오류를 피하기 위해 자연로그  $\log_e(a+1)$ 로 변환하여 분석에 이용하였다. 또한 정준대응분석에서 환경 요인의 자료는 표준화하였다.

## (2) 해파리

시화호 내 해파리 유생 및 성체는 중형동물플랑크톤과 동시에 네트를 이용하여 채집하였다. 네트에 의해 채집된 해파리 유생은 선상에서 즉시 중성 포르말린으로 고정하였으며, 성체는 선상에서 크기를 재고 개수를 하였다. 중성 포르말린으로 고정된 유생 시기의 해파리는 해부현미경(Olympus SZX-12) 하에서 계수하고 검경하였다.

### 2.2.4. 난·자치어 조사

난·자치어 시료는 망구 45 cm, 망목 300  $\mu\text{m}$ 의 원추형 네트를 이용하여 수심이 5 m 미만인 정점은 표층 채집, 수심이 5 m 이상인 정점은 경사 채집하였으며, 고정점에서 3회 반복 채집하였다.

네트를 통과한 물의 양은 네트입구에 부착된 유량계를 이용하여 측정하였고(유량계로 측정된 거리 $\times$ 네트입구의 반경 $\times$ 네트입구의 반경 $\times\pi$ ), 채집된 시료는 선상에서 7% 중성 포르말린으로 고정하였다.

고정된 시료는 실험실에서 해부현미경을 이용하여 어란 및 자치어, 기타 부유생물로 구분한 후, 정 (1977), 이 등 (1981), 김 등 (1986), Okiyama (1988)의 문헌을 참고하여 동정하였다.

출현량은 1,000 $\text{m}^3$ 당 개체수로 표준화하였다.

### 2.2.5. 해파리의 물리적 구제

해파리의 물리적 구제를 위하여 8/17일 층별 조사를 통해 해파리가 가장 밀집되어 있는 수층을 조사하였으며, 이후 8월에 두 차례, 9월과 10월에 각각 한 차례씩 그물망(망구: 1.2m x 1m)을 이용한 해파리 구제를 실시하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1. 시화호 및 주변해역의 부유생태계 현황파악

##### 3.1.1. 식물플랑크톤

###### (1) 종조성

조사해역에서 출현한 식물플랑크톤은 총 67속 120종으로 나타났다. 이 중 규조류는 38속 73종이 출현하여 총 출현종수의 60.8%를 나타내었고, 다음으로 와편모조류가 13속 24종이 출현하여 20.0%를 차지하였다(그림 3-3-2). 그밖에 소수 분류군으로 규질편모조류, 녹조류, 남조류, 라피도조류, 유글레나류, 은편모조류, 식물성편모조류가 출현하였다. 2007년에 조사된 130종에 비해 감소하였으나, 2004년 ~ 2006년(110 ~ 117종)과 전년도인 2008년(115종)에 비해서는 다소 증가하였다. 2004년 ~ 2008년에 규조류와 와편모조류의 종 조성을 보면, 규조류는 61 ~ 70%, 와편모조류는 21 ~ 28%의 범위를 나타내었다. 금번 조사결과 규조류와 와편모조류의 조성이 다소 감소하였고, 이는 기타 분류군의 출현이 상대적으로 증가한 결과로 해석된다.

조사 시기에 따른 식물플랑크톤 출현종수는 그림 3-3-3과 같다. 4월 ~ 6월에는 46 ~ 60종이 출현하였고, 7월에 79종으로 증가하여 가장 높은 출현종수를 나타내었으며, 다시 감소하여 8월 ~ 10월에는 49 ~ 60종이 관찰되었다. 분류군별 조성은 모든 조사시기에 규조류와 와편모조류가 대부분을 차지하였고, 6월, 8월, 10월에는 30% 이상의 와편모조류가 출현하였다.

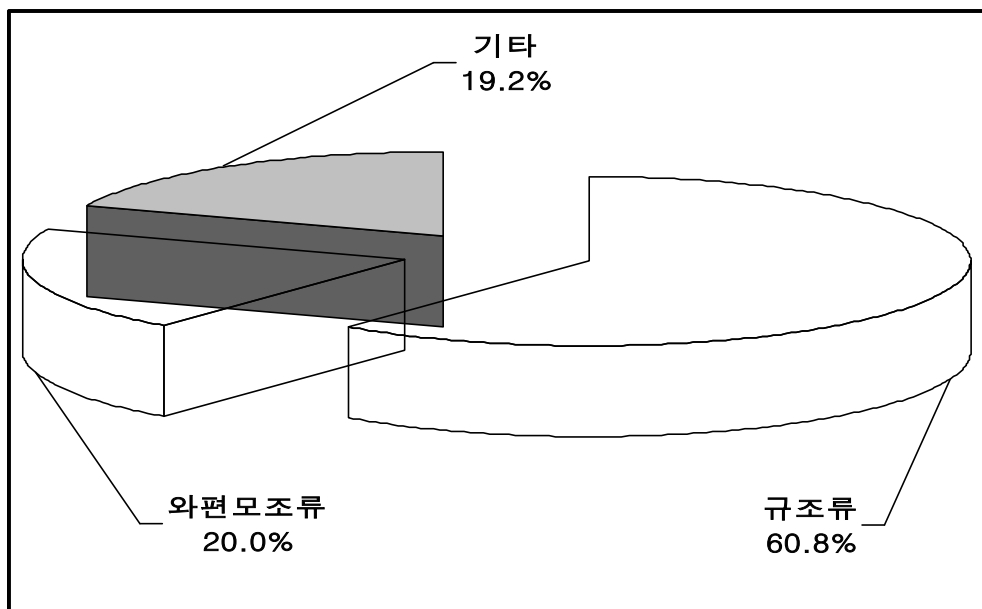


그림 3-3-2. 조사해역의 식물플랑크톤 분류군별 조성비

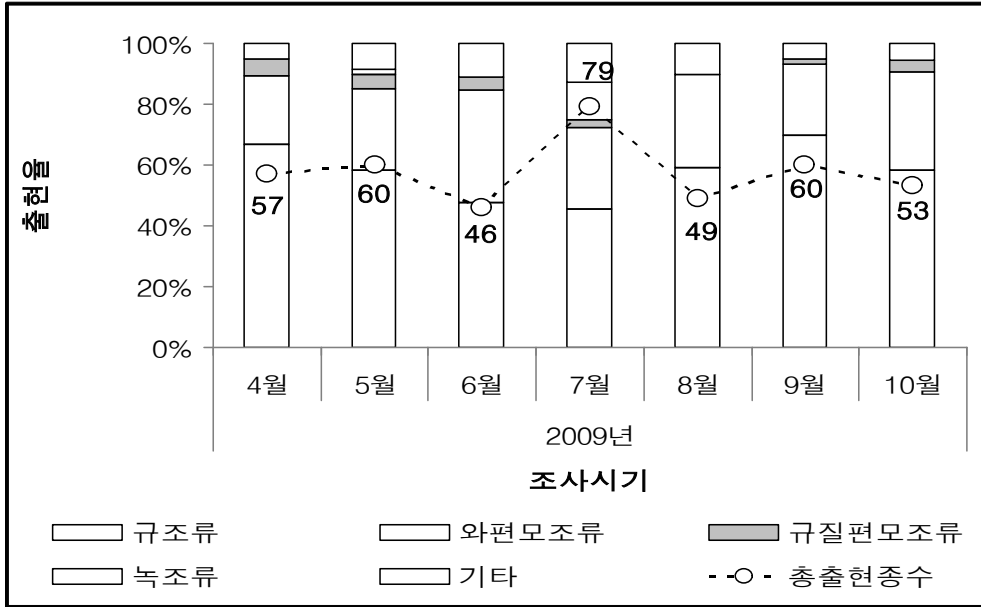


그림 3-3-3. 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 그룹별 출현종수의 변화

## (2) 현존량 분포

본 조사해역에서 식물플랑크톤 현존량은 137 ~ 6,510 cells/mL로 매우 큰 변동범위를 보였고, 평균 1,484 cells/mL의 높은 밀도를 나타내었다. 분류군별로 보면, 규조류는 0 ~ 3,480 cells/mL의 범위로 6월과 7월, 9월과 10월에, 와편모조류는 0 ~ 2,018 cells/mL의 범위로 5월과 9월, 10월에 증가 현상을 보였다. 미소형 플랑크톤을 포함한 기타분류군은 0 ~ 5,727 cells/mL의 범위로 4월과 8월에 높은 현존량을 나타내어 전체적으로 하계에 높은 현존량을 기록하였다(표 3-3-1).

표 3-3-1. 시화호에서 식물플랑크톤 분류군별 월평균 현존량(단위: cells/mL)

조사 시기 \ 분류군	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
규조류	25	179	697	929	263	604	505
와편모조류	16	294	170	162	101	377	248
기타 분류군	516	207	24	123	583	41	241
총 현존량	1,073	1,303	989	1,952	2,114	1,106	1,236

조사 시기에 따른 현존량 변동은 4월에 203 ~ 1,407 cells/mL의 범위로 평균 1,073 cells/mL를 보였고, 5월에는 217 ~ 4,242 cells/mL의 범위로 평균 1,303 cells/mL를 나타내었다. 6월에는 462 ~ 2,132 cells/mL의 범위로 평균 989 cells/mL를 보였고, 7월에는 137 ~ 5,658 cells/mL의 범위로 평균 1,952 cells/mL를 나타내었으며, 8월에는 167 ~ 6,510 cells/mL의 범위로 평균 2,114 cells/mL를 기록했다. 9월에는 229 ~ 2,919 cells/mL의 범위로 평균



1,106 cells/mL를 나타내었으며, 10월에는 172 ~ 3,989 cells/mL의 범위로 평균 1,236 cells/mL를 보여 하계인 7월과 8월에 높은 평균 현존량이 관찰되었다(그림 3-3-4).

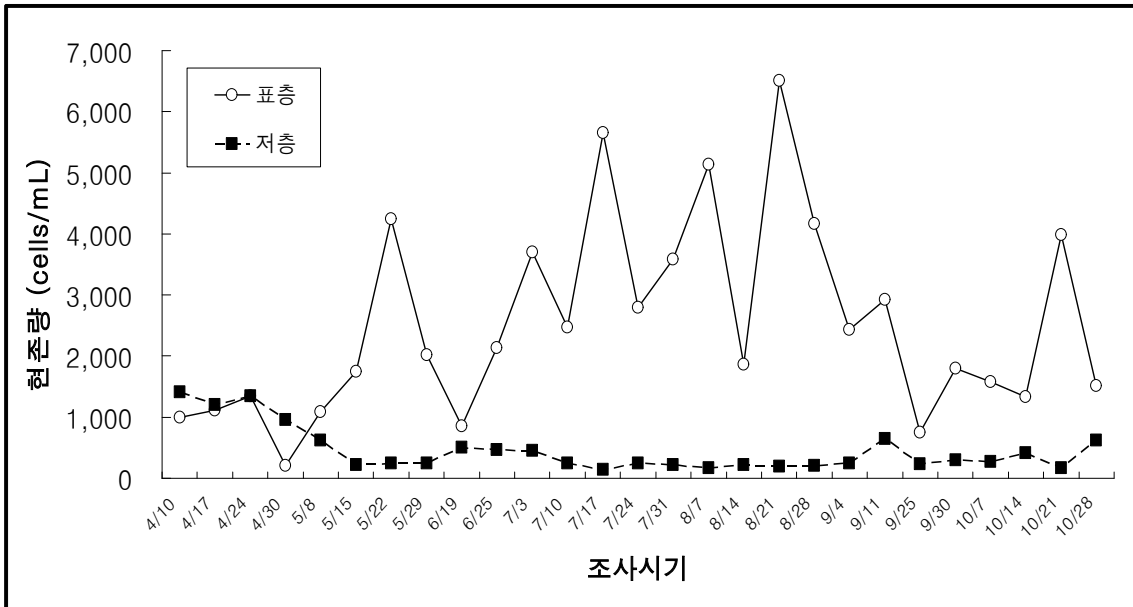


그림 3-3-4. 2009년 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 현존량 변동

조사 시기에 따른 수층별 평균 현존량 변화를 보면, 표층은 916 ~ 4,019 cells/mL의 범위로 평균 2,324 cells/mL를 나타내었고, 저층은 209 ~ 1,231 cells/mL의 범위로 평균 468 cells/mL를 보여, 전체적으로 표층에서 높은 현존량이 관찰되었다(그림 3-3-5).

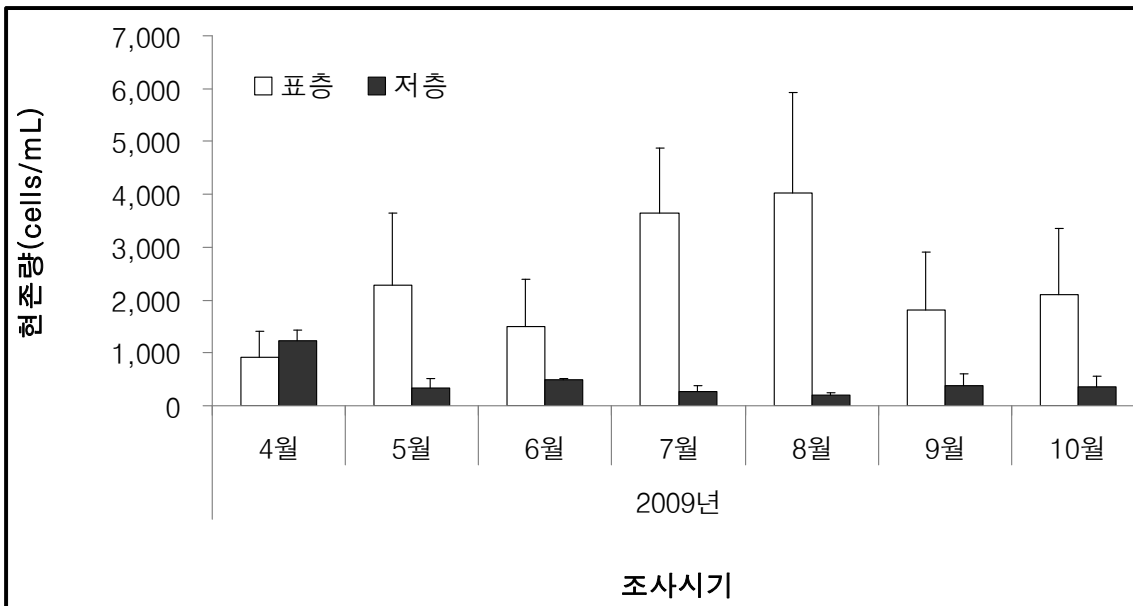


그림 3-3-5. 조사시기에 따른 수층별 평균 현존량 변화

### (3) 우점종

식물플랑크톤 우점종은 조사해역의 각 수층별 현존량에서 10% 이상의 우점율을 차지하는 종으로 정하였고, 전 조사정점에서 평균 우점율이 가장 높은 종을 제1 우점종이라 하였다.

2009년 2월에 식물플랑크톤 군집에서 제1 우점종으로 출현한 종은 은편모조류(cryptomonads)로 평균 95.5%를 차지하였고, 표층과 저층 모두에서 높은 우점 양상을 나타내었다. 5월 역시 제1 우점종으로 은편모조류가 출현하였고, 평균 67.1%의 우점율을 차지하였다. 제2 우점종은 *Skeletonema costatum*으로 평균 12.5%의 우점율을 나타내었고, 제1, 2 우점종 모두 수층별로 유사한 우점율을 보였다. 6월에 제1 우점종으로 출현한 종은 *S. costatum*으로 평균 57.5%의 우점율을 나타내었고, 저층(49.1%)에 비해 표층(65.9%)에서 다소 높은 우점 양상을 보였다. 제2 우점종은 은편모조류로 평균 13.9%를 차지하였고, 제3 우점종인 *Prorocentrum triestinum*은 13.2%의 우점율을 보였고, 저층(17.8%)에서 높은 우점 양상을 나타내었다(표 3-3-2).

표 3-3-2. 조사 시기별 식물플랑크톤 주요 우점종 및 평균 우점율

조사 시기	우점종	수층별 우점율(%)		우점율(%)	
		표층	저층		
2009년	4월	cryptomonads	94.4	96.6	95.5
	5월	cryptomonads	64.5	69.6	67.1
		<i>Skeletonema costatum</i>	13.5	11.5	12.5
	6월	<i>Skeletonema costatum</i>	65.9	49.1	57.5
		cryptomonads	12.1	15.7	13.9
		<i>Prorocentrum triestinum</i>	8.6	17.8	13.2
	7월	<i>Skeletonema costatum</i>	27.1	21.4	24.3
		cryptomonads	7.0	20.6	13.8
		<i>Eutreptiella</i> sp.	17.3	4.2	10.8
		<i>Chaetoceros socialis</i>	15.6	4.3	10.0
	8월	cryptomonads	78.0	44.2	61.1
		<i>Skeletonema costatum</i>	0.0	25.6	12.8
	9월	<i>Leptocylindrus danicus</i>	29.1	23.6	26.4
		<i>Chaetoceros debilis</i>	9.5	22.6	16.0
		cryptomonads	13.5	15.6	14.6
		<i>Prorocentrum minimum</i>	19.9	0.9	10.4
	10월	cryptomonads	28.0	18.0	23.0
		<i>Skeletonema costatum</i>	4.9	26.5	15.7
<i>Detonula pumila</i>		14.7	12.7	13.7	

7월에는 평균 24.3%의 우점율을 보인 *S. costatum*이 제1 우점하였고, 평균 13.8%를 차지한 은편모조류가 제2 우점하였다. *Eutreptiella* sp.과 *Chaetoceros socialis*는 각각 평균 10.8%, 10.0%의 우점율로 제3, 4 우점하였고, 모두 표층에서 높은 우점 양상을 나타내었다. 8월 역시 은편모조류와 *S. costatum*이 제1, 2 우점하였고, 각각 평균 61.1%, 12.8%의 우점율을 차지하였다. 은편모조류는 표층(78.0%)에서, *S. costatum*은 저층(25.6%)에서 높은 우점율을 보여 대조적인 양상을 나타내었다. 9월에는 *Leptocylindrus danicus*와 *Chaetoceros debilis*가 각각 평균 26.4%, 16.0%의 우점율을 차지하며 제1, 2 우점하였고, 은편모조류와 *Prorocentrum minimum*은 각각 평균 14.6%, 10.4%의 우점율을 차지하여 제3, 4 우점종으로 관찰되었다. 9월 조사에서는 일시적으로 크게 증가한 종들이 주요 우점종으로 나타나 우점종의 단주기적 변화 양상을 보였다. 10월에는 은편모조류가 평균 23.0%의 우점율을 차지하며 제1 우점하였고, 표층(28.0%)에서 높은 우점 양상을 보였다. 제2 우점종인 *S. costatum*은 저층(26.5%)에서 크게 우점하여 제2 우점하였고, 평균 15.7%의 우점율을 차지하였다. 제3 우점종인 *Detonula pumila*는 평균 13.7%의 우점율을 차지하였고, 수층별로 유사한 우점 양상을 나타내었다(표 3-3-2).

조사 시기별로 20  $\mu\text{m}$  이하 크기의 은편모조류와 군체를 형성하는 소형 규조류들이 주요 우점종으로 조사되었고, 일부 조사 시기에 유글레나류와 와편모조류의 우점 양상이 나타났다. 일부 종들이 일시적으로 증감 현상을 나타내었고, 이로 인해 단주기적 우점종 천이 현상이 나타난 것으로 사료된다.

#### (4) 엽록소-a 농도

엽록소-a는 식물플랑크톤의 생물량을 측정하는 보편적인 방법으로써 식물플랑크톤의 크기에 따라 생물량을 추정하기 위해 총 엽록소(total Chl-a) 농도와 20 $\mu\text{m}$  이하의 nano 엽록소 농도를 조사하여 소형 플랑크톤(microplankton)과 미소형 플랑크톤(nanoplankton)의 분포를 파악하였다.

조사기간 동안 본 해역의 총 엽록소 농도는 0.94 ~ 29.04  $\mu\text{g/L}$ 의 범위로 큰 변동폭을 보였고, 평균 7.91  $\mu\text{g/L}$ 를 나타내었다. 조사 시기에 따른 총 엽록소 농도를 보면, 4월에는 은편모조류의 극우점 양상에 의한 높은 현존량에도 불구하고 낮은 엽록소 함량에 의해 평균 5.13  $\mu\text{g/L}$ 로 나타났고, 5월에는 *S. costatum*과 같은 일부 종들의 일시적 증가현상에 의해 8.21  $\mu\text{g/L}$ 로 다소 증가하였다. 6월에는 *S. costatum*이 일시적 증가만을 보여 평균 5.95  $\mu\text{g/L}$ 로 다시 감소하였고, 7월에는 일시적이긴 하나 여러 종들이 높은 현존량을 보여, 평균 농도가 11.81  $\mu\text{g/L}$ 로 증가하여 가장 높은 농도를 기록하였다. 8월에는 다시 은편모조류가 크게 증가하여 높은 현존량을 기록하였으나, 평균 농도는 3.40  $\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 9월과 10월에는 7월과 마찬가지로 여러 종들의 일시적 증가현상에 의해 평균 엽록소 농도가 각각 8.22  $\mu\text{g/L}$ , 6.37  $\mu\text{g/L}$ 로 증가하였으나, 10월에는 저층에서 낮은 현존량을 보이면서 평균적으로 낮은 엽록소 농도를 나타내었다(표 3-3-3).

식물플랑크톤의 크기분급에 따른 평균 엽록소-a 농도를 보면, micro 엽록소-a는 평균 1.45  $\mu\text{g/L}$ 로 비교적 낮은 반면 nano 엽록소-a는 평균 5.56  $\mu\text{g/L}$ 를 보여 총 엽록소의 79.3%를 차지하여 본 조사해역의 식물플랑크톤 군집은 미소형 플랑크톤이 크게 우점하는 것으로 나타났다(그림 3-3-6).

표 3-3-3. 조사 시기에 따른 총 엽록소-a 농도 변동(단위:  $\mu\text{g/L}$ )

조사 시기	2009년						
	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
표층	4.84	13.49	6.97	20.01	4.70	13.94	10.92
저층	5.43	2.93	4.94	3.61	2.09	2.51	1.82
평균	5.13	8.21	5.95	11.81	3.40	8.22	6.37

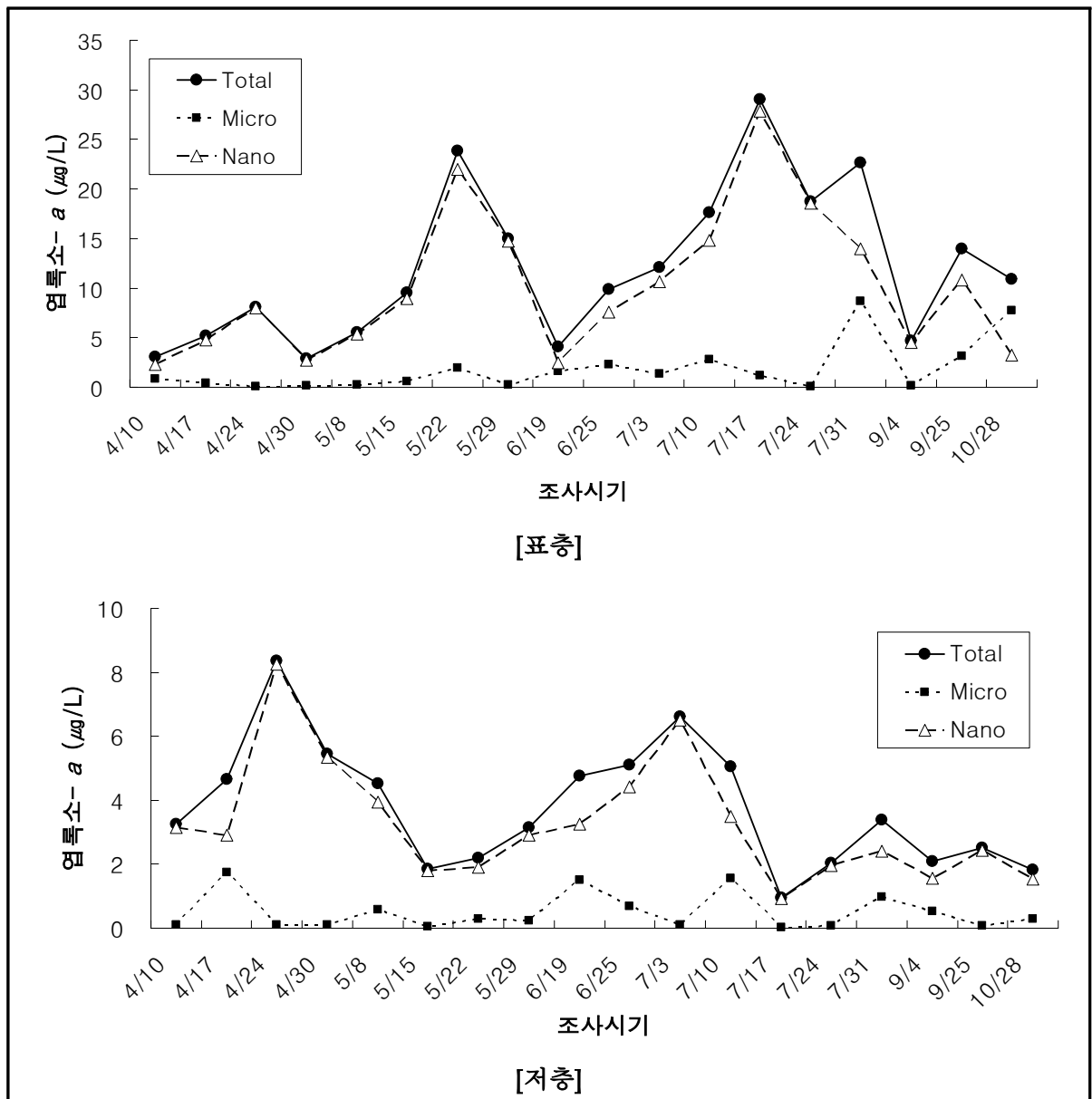


그림 3-3-6. 2009년 조사 시기별 식물플랑크톤 크기 분급에 따른 엽록소-a 농도 변화

(5) 종다양성 지수

종 다양성 지수(H')는 현장에 존재하는 환경요인과 생물학적 상호작용에 대한 식물플랑크톤 반응의 결과로써 식물플랑크톤 군집구조를 평가하는 수단으로 이용된다(강과 최, 2002; Mukai and Takimoto, 1985). 일반적으로 값이 클수록 서식환경에 대한 생물군집의 안정도가 증가한다고 알려져 있으며, 군집을 이루는 종수와 그 종의 우점 정도에 따라 영향을 받는다.

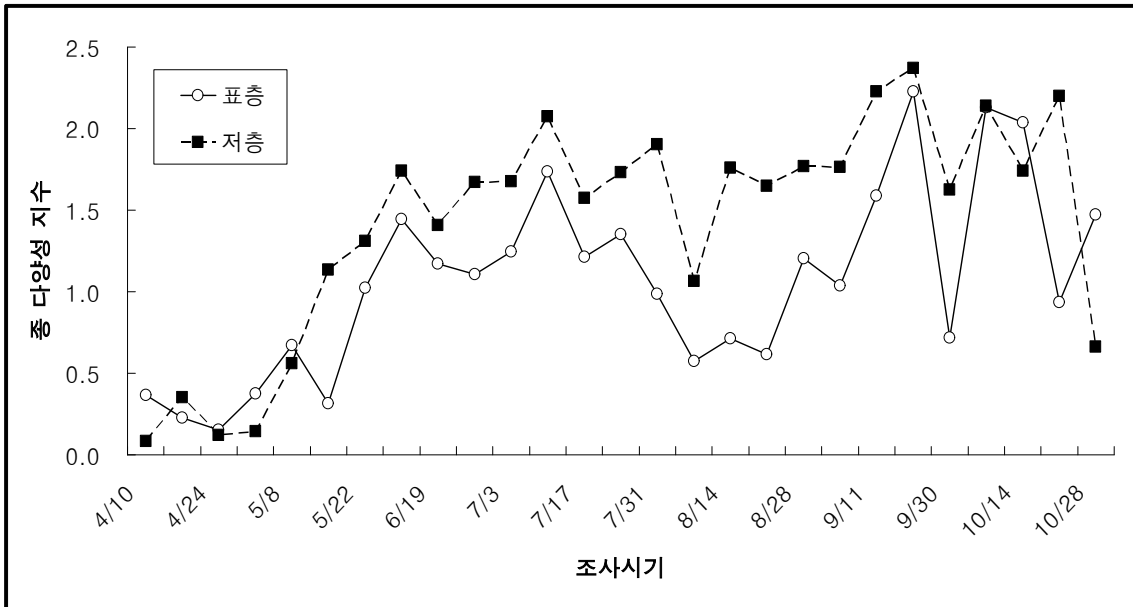


그림 3-3-7. 2009년 조사 시기에 따른 식물플랑크톤 종 다양성 지수 변동

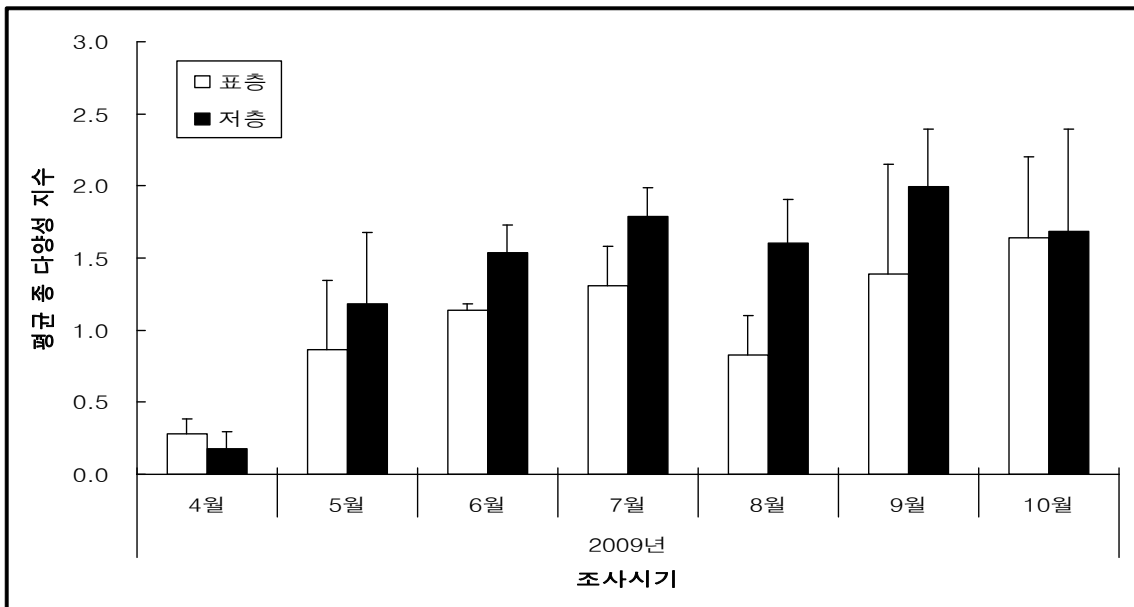


그림 3-3-8. 조사시기에 따른 수층별 평균 종 다양성 지수 변화

본 조사해역에서 식물플랑크톤 종 다양성 지수는 0.08 ~ 2.37로 큰 변동범위를 보였고, 평균 1.24의 낮은 다양성을 나타내었다. 조사 시기에 따른 종 다양성 지수 변동은 4월에 0.08 ~

0.37의 범위로 평균 0.23을 보였고, 5월에는 0.31 ~ 1.74의 범위로 평균 1.02를 나타내었다. 6월에는 1.11 ~ 1.67의 범위로 평균 1.34를 보였고, 7월에는 0.99 ~ 2.08의 범위로 평균 1.55를 나타내었으며, 8월에는 0.57 ~ 1.77의 범위로 평균 1.21을 기록했다. 9월에는 0.72 ~ 2.37의 범위로 평균 1.79를 나타내었으며, 10월에는 0.66 ~ 2.20의 범위로 평균 1.66을 보여 4월에 가장 낮고, 9월에 가장 높은 다양성을 나타내었다. 4월에는 제1 우점종인 은편모조류가 평균 95.5%의 우점율로 극우점하는 양상을 보여 소수종에 의한 낮은 다양성을 보였고, 9월에는 군체를 이루는 소형 규조류 및 와편모조류 등 여러 종들이 단주기적인 증감현상을 보여 높은 다양성을 나타낸 것으로 사료된다(그림 3-3-7).

조사 시기에 따른 수층별 평균 종 다양성 지수 변화를 보면, 표층은 0.28 ~ 1.64의 범위로 평균 1.06을 나타내었고, 저층은 0.17 ~ 2.00의 범위로 평균 1.42를 보여, 4월을 제외한 모든 조사 시기에 저층에서 높은 다양성이 관찰되었다(그림 3-3-8).

### (6) 일차생산력

조사해역의 일차생산력은 식물플랑크톤의 광에 대한 광합성 특성, 서식해역의 광조건(소광계수) 그리고 해역의 식물플랑크톤 생물량에 의해 크게 좌우되고, 이 중 광합성 특성은 수온, 염분, 광량 등의 여러 환경요인에 의해 조절된다. 본 조사에서는 광(irradiance)에 대한 전자전달율(electron transport rate) 반응을 나타내는 Rapid Light Curve(RLC) 결과로부터 추정된 광합성 동화효율과 각종 광합성 매개변수를 산정하였다.

소광계수는 0.40 ~ 2.70의 변동 범위를 보였고, 평균 1.11을 나타내었다. 엽록소-a 농도는 평균 6.60  $\mu\text{g/L}$ 로 다소 높았고, 3.40 ~ 11.51  $\mu\text{g/L}$ 의 변동 범위를 보였다. 조사해역의 일일 일차생산력은 858.1 ~ 3,017.6  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 의 변동범위로 평균 1,701.0  $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 를 보여, 인천항(Yoo, 1992)에서의 49.4 ~ 4359.4  $\text{mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$  범위에 속하였지만, 경기만(강 등, 1992)에서의 37.0 ~ 1028.5  $\text{mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$  범위 보다는 크게 높은 일차생산력을 나타내었다(표 3-3-4, 그림 3-3-9).

표 3-3-4. 조사해역의 소광계수, 엽록소-a 및 일일 일차생산력

조사 시기	소광계수 ( $K_d$ )	엽록소-a ( $\mu\text{g/L}$ )	일일 일차생산력 ( $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{d}$ )
4월	1.09	4.09	858.1
5월	1.64	8.21	1,389.8
6월	0.40	4.41	3,017.6
7월	2.70	11.51	1,304.7
8월	0.70	3.40	1,264.2
9월	0.56	8.22	2,761.8
10월	0.70	6.37	1,310.9
평균	1.11	6.60	1,701.0

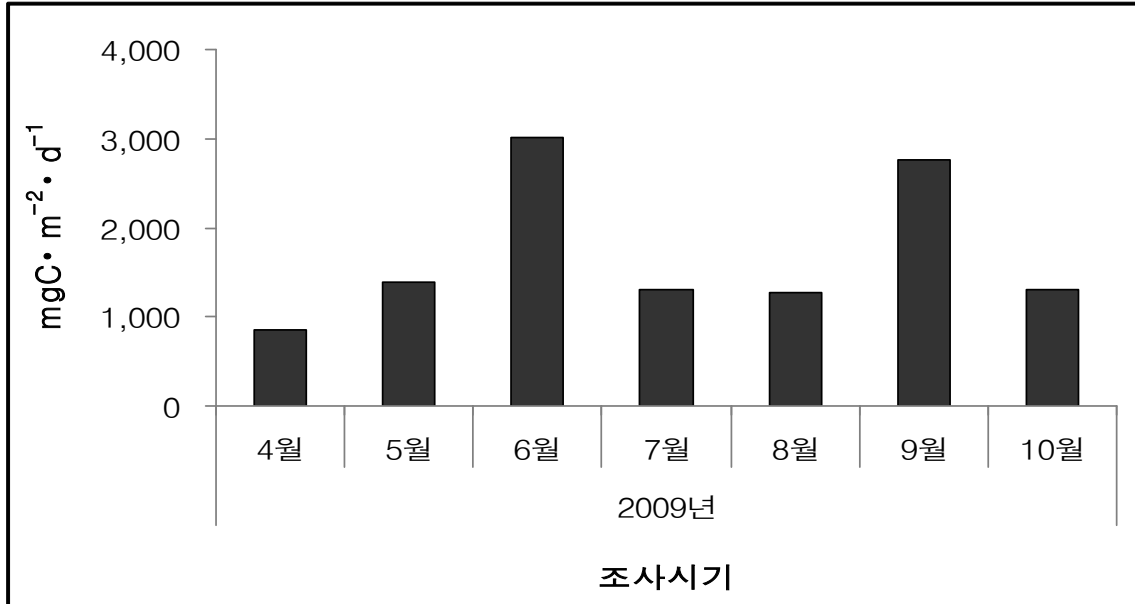


그림 3-3-9. 조사 시기에 따른 식물플랑크톤의 일일 일차생산력 변화

수중 광조건이 가장 양호한 6월에는 다른 계절에 비해 낮은 생물량에도 불구하고, 3,017.6 mgC·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>로 가장 높은 일일 일차생산력을 보였다. 이 등(2000)에 따르면, 서귀포 문섬 주변 해역에서 서식하는 nano 플랑크톤의 포화광량(주위 광조건에 대한 생리적 적응상태)이 높게 측정되어 높은 광에 적응되어 있다는 결과를 나타내었다. 본 조사해역에서도 nano 크기의 엽록소-a 농도가 79.3%의 높은 비중을 차지하였고, 이는 양호한 광조건이 nano 플랑크톤에 긍정적인 영향을 나타내 일차생산력에 높은 기여를 한 것으로 사료된다. 그러나 단위 생물량당 일차생산력(P/B ratio)을 보면, 8월과 9월, 10월에 유사한 광조건임에도 불구하고 생물량이 낮은 8월에 가장 높은 P/B ratio를 나타내어 8월에는 광조건과 생물량 외에 일차생산력에 다른 제한요인이 있다고 판단된다.

### (7) 연변화

최근 5 ~ 6년 간 시화호에서 식물플랑크톤의 군집 변화를 그림 3-3-10, 3-3-11, 3-3-12에 나타내었다. 식물플랑크톤의 현존량은 공통적으로 하계에 높은 특징을 나타내었으며, 2007 ~ 2009년에는 춘계와 하계에 높은 현존량이 측정되었다. 2007년 4월과 7월, 2008년 7월과 8월에는 현존량이 크게 높은 특징을 보였는데, 2007년 4월에는 초미세 플랑크톤(Picoplankton)과 은편모조류가, 7월에는 초미소 플랑크톤과 *Prorocentrum minimum*의 현존량이 크게 증가하는 양상을 보였고, 2008년 7월과 8월에는 남조류와 식물성편모조류(phytoflagellates)가 높은 현존량을 기록하여 조사 기간 중 가장 높은 현존량을 나타내었다. 엽록소-a 농도는 2005년 7월에 크게 높았다가 점차 감소하는 양상을 보였고, 현존량 변화와 마찬가지로 하계에 높은 농도를 나타내었다. 거의 모든 조사 시기에 nano 엽록소-a 농도가 높게 측정되었고, 실제로 대부분의 조사 기간에 20 μm 이하 크기의 작은 식물플랑크톤이 주요 우점종으로 조사되었다. 현존량과 엽록소 농도 모두 저층에 비해 표층에서 크게 높은 양상을 나타내었다.

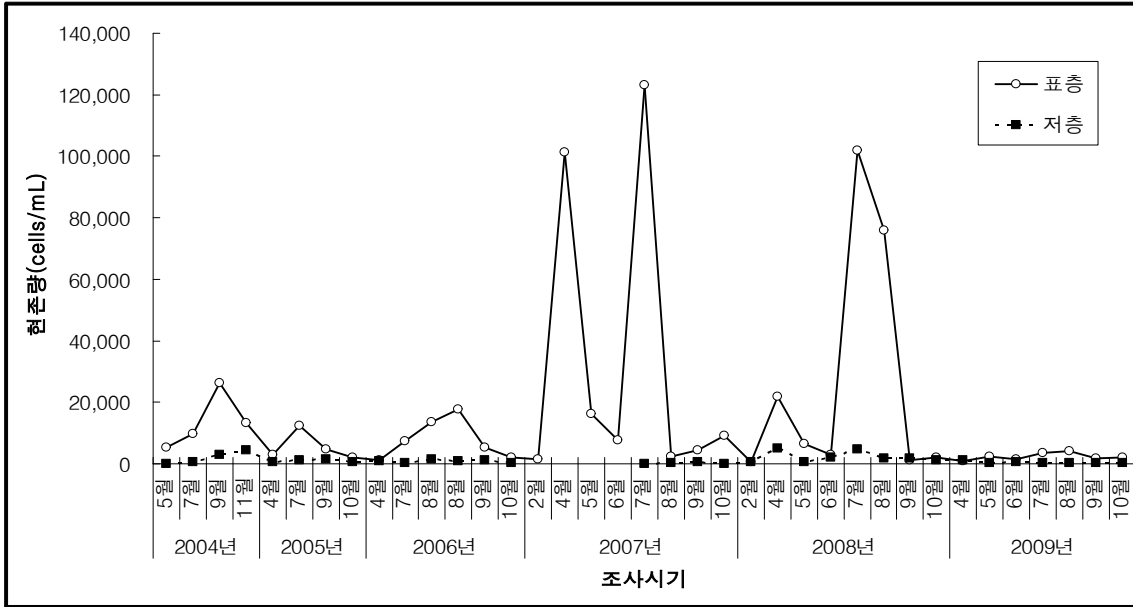


그림 3-3-10. 최근 6년 간 시화호 식물플랑크톤의 현존량 변화

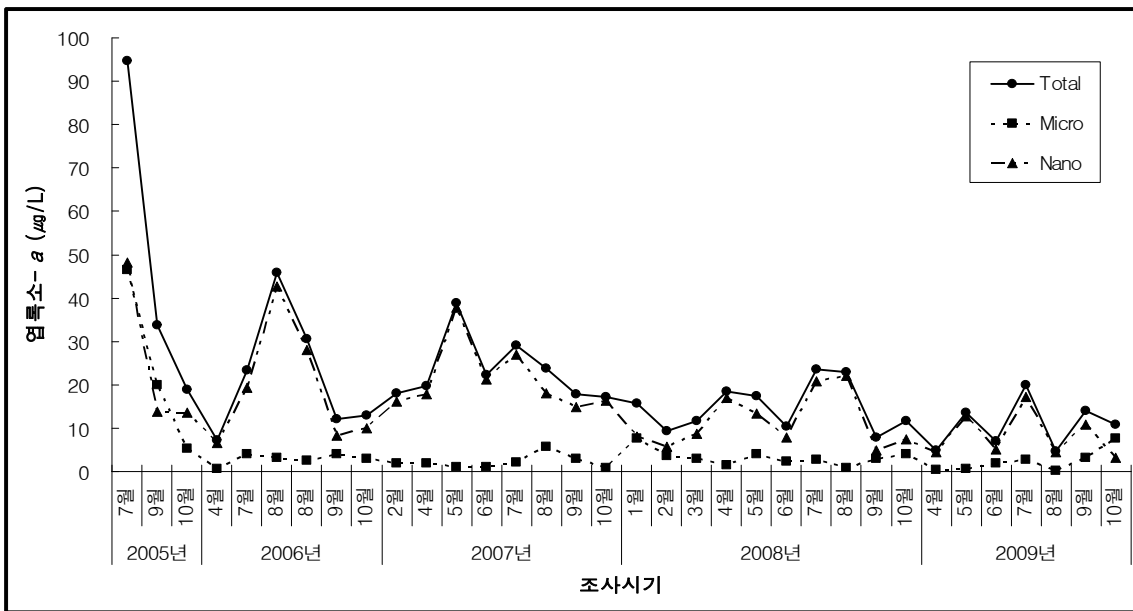


그림 3-3-11. 최근 5년 간 시화호 엽록소-a 농도 변화

종 다양성 지수는 전체적으로 유사한 단주기적 변동을 보이고 있고, 현존량과 엽록소 농도 변화와는 반대로 춘계와 하계에 낮은 다양성을 나타내었다. 이는 현존량과 엽록소-a 농도가 높은 계절에는 소수종의 극우점 양상이 관찰되었고, 이로 인해 다양성이 낮아진 결과이다. 조사 기간 내 시화호는 소수종의 높은 우점율로 인해 전체적으로 낮은 다양성을 보였다.



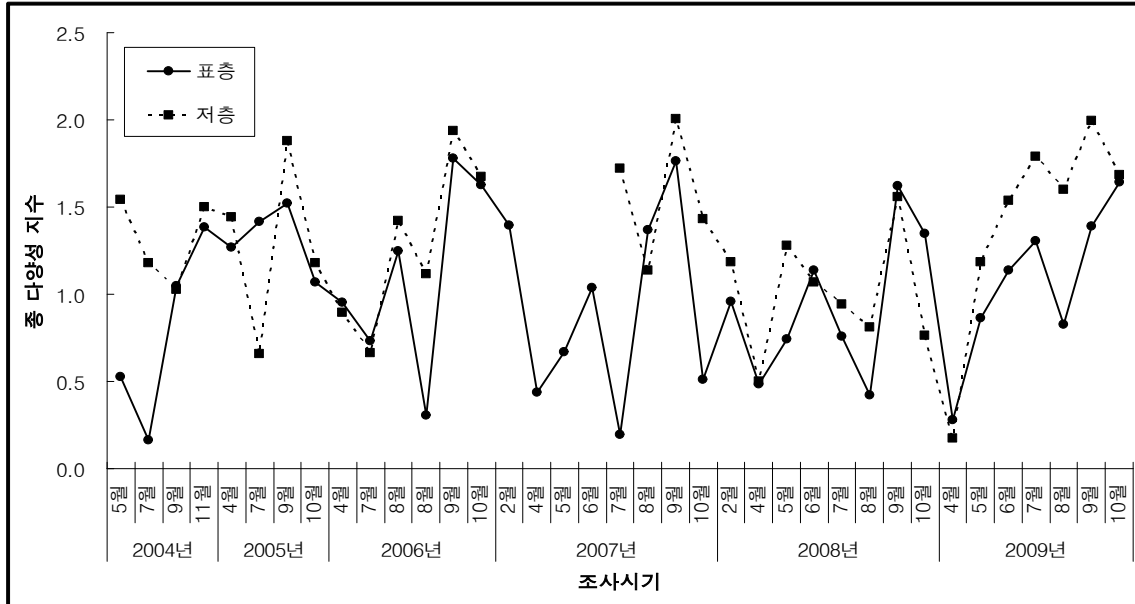


그림 3-3-12. 최근 6년 간 시화호 종 다양성 지수 변화

### 3.1.2. 원생동물플랑크톤

#### (1) 출현종 수

원생동물플랑크톤은 크게 종속영양와편모류(HDFs)와 섬모충류(Ciliates)로 나뉘었으며 섬모충류는 다시 피각을 가지는 종피성 섬모류(Tintinnids)와 피각이 없는 무피성 섬모류로 나뉘었고 무피성 섬모류는 빈모류(Oligotrichs)와 기타 분류군(Others)으로 다시 세분화 하였다.

조사 기간 중 원생동물플랑크톤은 3~13종의 분포를 보였으며 총 23종이 출현하였다. 이 중 종속영양와편모류 3속 3종, 빈모섬모충류, 그리고 기타섬모충류가 다수 출현하였고 종피성 섬모류가 5속 10종 출현하였다. 종피성 섬모류는 *Tintinnopsis* 속이 5종으로 50%를 차지하였다. 표층에서는 총 21종이 출현하였고, 저층에서는 17종이 출현하여 저층에서 다소 낮았다. 분포 경향은 7월초에 최고 출현종수를 나타내었고 이후 감소하여 8월 중순부터 다시 증가하는 양상을 나타내었다(그림 3-3-13).

표층에서는 조사 기간 중 3~10종의 분포를 보였으며, 총 21종이 출현하였고, 저층에서는 조사 기간 중 0~11종의 분포를 보였으며, 총 17종이 출현하였다.

월별 출현종수는 7~18종의 범위를 나타내었으며, 4월부터 7월까지 증가양상을 나타내었으며, 7월 이후 감소하여 8~9월은 유사한 출현종수를 나타내었다(그림 3-3-14).

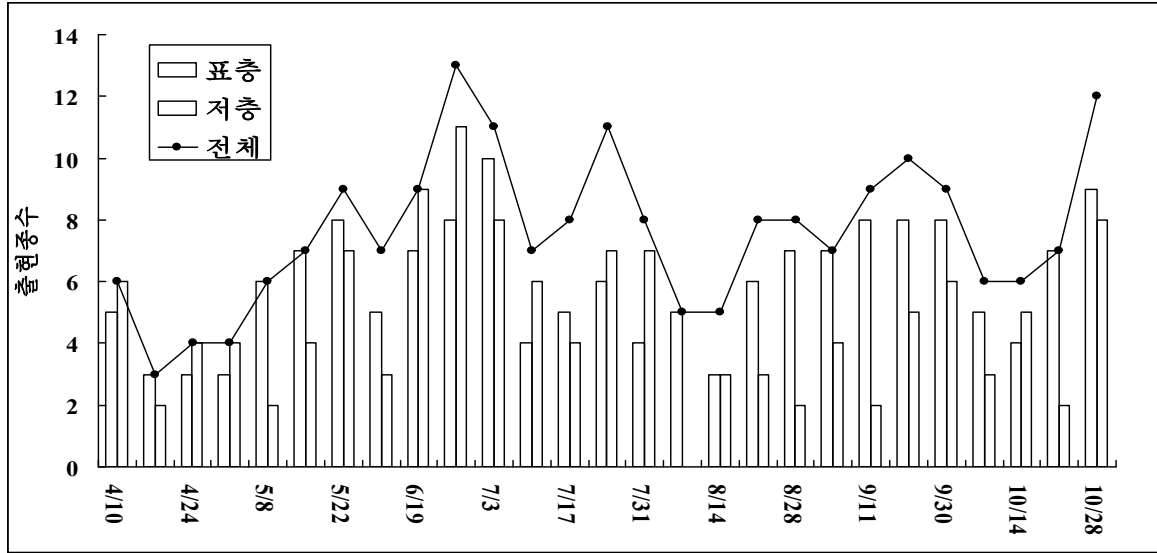


그림 3-3-13. 조사 기간 중 원생동물 출현종수 변동

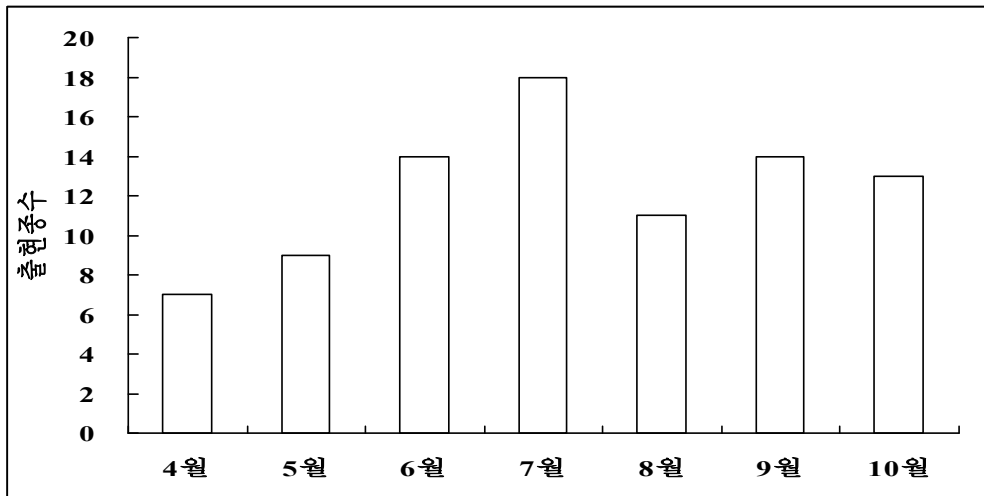


그림 3-3-14. 월별 원생동물 출현종수 변동

## (2) 현존량

조사 기간 중 현존량은 4,057~146,673 cells/L 범위로 평균 22,922 cells/L를 나타내어 연중 높은 현존량을 나타내었다.

표층에서는 7,401~286,019 cells/L의 범위로 평균 39,948 cells/L를 나타내었으며, 연중 높은 현존량을 나타내었으며, 조사 기간 중 크게 3차례의 현존량 증가가 있었으며, 그 외 상대적으로 낮으나 3차례의 현존량 증가를 추가로 나타내었다. 현존량이 가장 높았던 시기는 7월말로 20~50 $\mu$ m 빈모류의 현존량이 크게 증가한 시기이며, 6월과 9월말에는 *Mesodinium rubrum*에 의한 현존량 증가가 있었다. 이들 세 시기에는 100,000 cells/L 이상의 현존량을 나타내었다. 그 외 3차례의 낮은 현존량 증가 시기에는 30,000 cells/L 이상을 나타내었으며, 5월에는 *Tintinnopsis nana*가, 그리고 7월말~8월초에는 <20 $\mu$ m 빈모류와 20~50 $\mu$ m 빈모류가 현존량 증가에 가장 큰 기여를 하였다(그림 3-3-15).

저층에서는 ND~27,624 cells/L의 범위로 평균 22,922 cells/L를 나타내어 표층에 비해 낮았으며, 조사 기간 중 5차례의 현존량 증가를 나타내었다. 이 중 20,000 cells/L 이상을 나타낸 시기는 6월 중순과 말경으로 *M. rubrum*과 20~50 $\mu$ m 빈모류의 현존량 증가가 주요 원인이었다. 저층은 조사 시기에 따른 현존량 증감을 반복하였으나, 8~9월에는 낮은 현존량을 지속적으로 유지하였다(그림 3-3-15).

월평균 현존량은 1,808~43,631 cells/L의 범위를 나타내었으며, 6월과 7월에 크게 증가하였으며, 이후 급격히 감소하는 경향을 나타내었다(그림 3-3-16).

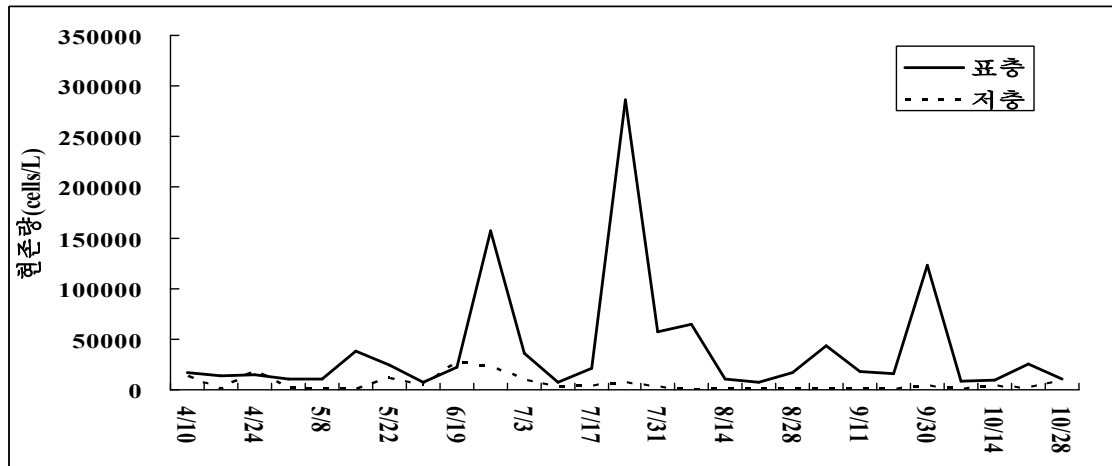


그림 3-3-15. 조사 기간 중 원생동물 현존량 변동

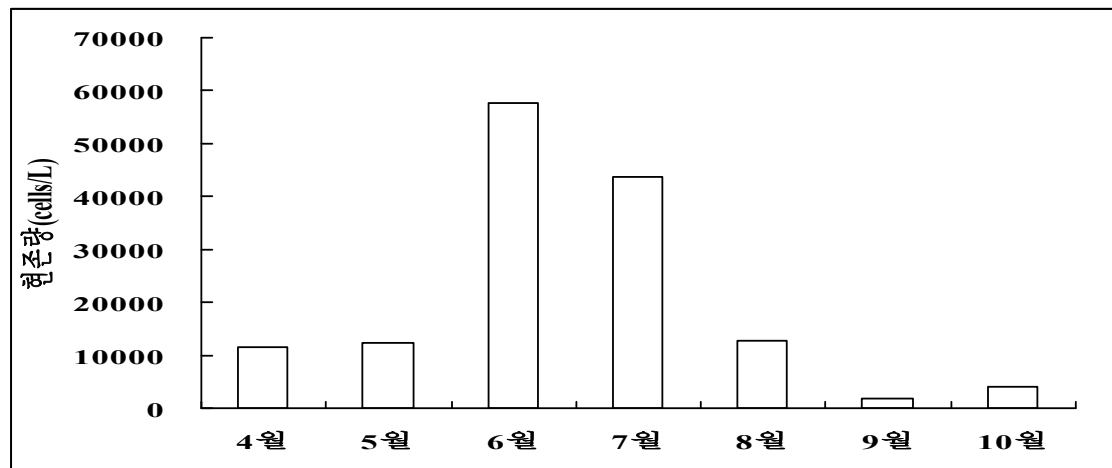


그림 3-3-16. 월별 원생동물 현존량 변동

원생동물의 군집조성은 표층에서 4월, 7월, 그리고 8월에는 빈모류(Oligotrichs)가 가장 우점하여 출현하였으며, 66.5~91.9%의 점유율을 나타내었다. 특히 4월에 빈모류의 점유율이 가장 높았다. 6월과 9월에는 기타섬모충류(Others)가 가장 우점하여 출현하였으며, 각각 66.7%와 91.3%의 점유율을 나타내었다. 5월에는 유충섬모충류(Tintinnids)가 58.9%로 가장 우점하였고, 10월에는 종속영양와편모류(HDFs)가 56.3%를 차지하여 가장 우점하였다(그림 3-3-17).

저층에서는 4월, 5월, 7월, 그리고 9월에 빈모류가 40.3~71.3%의 점유율로 가장 우점하였으

며, 표층과 마찬가지로 4월에 가장 높은 점유율을 나타내었다. 6월에는 기타섬모충류가 57.9%로 가장 우점하였으며, 8월과 10월은 중속영양와편모류가 각각 78.5%와 65.0%의 점유율로 가장 우점하여 출현하였다(그림 3-3-18).

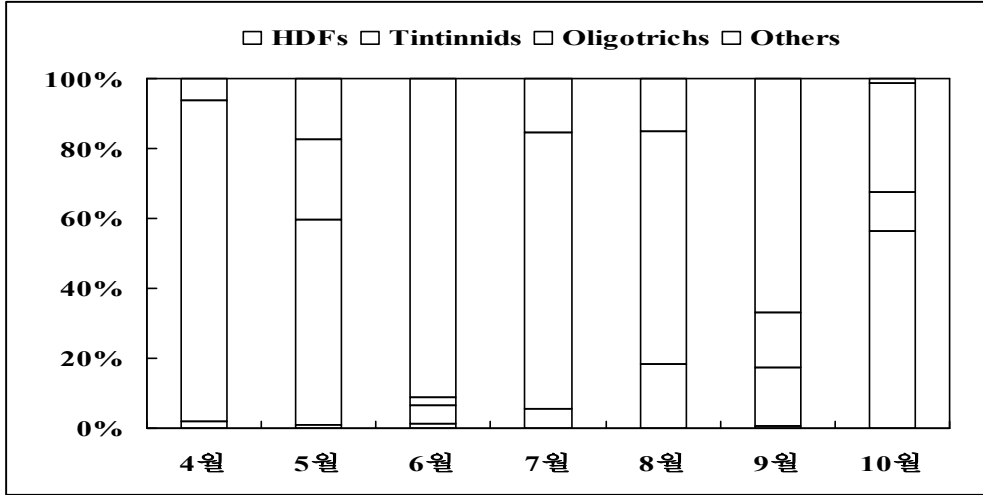


그림 3-3-17. 월별 원생동물 군집분포(표층)

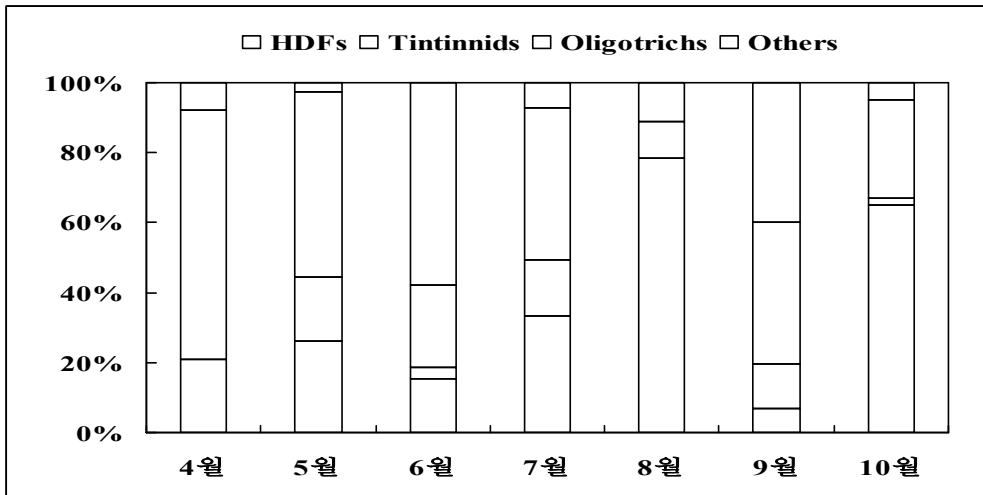


그림 3-3-18. 월별 원생동물 군집분포(저층)

### (3) 우점종 및 우점율

조사 기간 중 출현한 원생동물 우점종은 표층에서 총 27회 조사 중 빈모류가 11회 우점출현하여 40.7%의 빈도를 나타내었다. 이중 20~50 $\mu\text{m}$  빈모류가 9회로 4월에는 지속적인 우점종으로 출현하였고, 7월말~8월말, 그리고 9월말~10월 초순에 격주로 우점하였다. 그 외 <20 $\mu\text{m}$  빈모류가 7월말~8월말에 2회 우점하였다. 유중섬모충류는 7회 우점출현하여 25.9%의 출현빈도를 나타내었다. 이중 *Tintinnopsis nana*는 5월초~5월 중순에 2회, 8월말~9월초에 2회 우점하여 출현하였고, 그 외 *Tintinnopsis beroidea*가 5월말과 10월중순에 각각 1회씩 우점하였으며, *Eutintinnus* sp.가 7월초에 1회 우점하여 출현하였다. 기타섬모충류는 7회 우점출현하여 25.9%의 출현빈도를 나타내었다. 기타섬모충류 중 우점하여 출현한 종은 *Mesodinium rubrum* 1종이며 5월말~7월 중순에 걸쳐 5회 그리고 9월에 2회 우점종으로 출현하였다. 종속영양와편모류는 2회 우점출현하여 7.4%의 출현빈도를 나타내었다. 우점종은 *Katodinium glaucum*과 *Gyrodinium* spp로 10월말에 각각 1회씩 우점하였다(표 3-3-5).

저층에서는 27회 조사 중 빈모류가 10회 우점출현하여 37.0%의 출현빈도를 나타내었다. 이중 20~50 $\mu\text{m}$  빈모류가 4월 중순~7월 중순에 12회 조사 중 9회 우점하여 출현하였고, <20 $\mu\text{m}$  빈모류가 9월에 1회 우점하여 출현하였다. 유중섬모충류는 2회 우점출현하여 7.4%의 출현빈도를 나타내었고, *T. nana*와 *T. beroidea*가 5월과 9월에 각각 1회씩 우점하여 출현하였다. 기타섬모충류는 6회 우점출현하여 22.2%의 출현빈도를 나타내었고, *M. rubrum* 1종만이 출현하였다. 우점시기는 4월, 5월, 6월 각 1회씩 우점하였고, 9~10월에 3차례 우점하여 출현하였다. 종속영양와편모류는 10회 우점출현하여 37.0%의 출현빈도를 나타내었다. *Gyrodinium* spp.는 4월에 1회 우점하였고, *K. glaucum*은 5월, 7월, 8월, 10월에 9회 우점하였다(표 3-3-5).

표층과 저층 모두 빈모류 중 20~50 $\mu\text{m}$  빈모류의 우점 빈도가 가장 높았으며 4월에는 전 수층에서 지속적인 우점현상을 나타내었고, 그 외 시기에는 수층에 따른 우점시기의 차이를 나타내었다. *M. rubrum*은 주로 염분 감소 후 증가시기에 우점하는 양상을 나타내어 기회성 우점 경향을 보여주었다. 종속영양와편모류는 저층에서 7월 이후 우점빈도가 크게 증가하여, 낮은 DO 환경에서 잘 적응하는 분류군으로 판단되었다.

수층 전체에서 월별 우점종은 춘계인 4월과 하계인 7~8월에는 빈모류 중 20~50 $\mu\text{m}$  빈모류가 44.6~78.0%의 점유율을 나타내어 우점하였고, 5월에는 유중섬모충류 중 *T. nana*가 20.3%의 점유율로 가장 우점하였다. 초여름과 초가을인 6월과 9월에는 기타섬모충류인 *M. rubrum*이 각각 83.9%와 65.8%로 가장 우점하였고, 추계인 10월에는 종속영양와편모류인 *K. glaucum*이 31.1%로 가장 우점하였다(표 3-3-5).

20~50 $\mu\text{m}$  빈모류는 식물플랑크톤 생물량이 높았던 시기에 주로 우점하여 출현하였으며, *M. rubrum*은 강우로 염분감소 후 회복시기에 일시적으로 우점하는 특징을 보여주었다.

표 3-3-5. 조사 기간 중 원생동물 우점종 분포

조사일시		우점종(%)		
월	일	표층	저층	수층전체
4월	10	20-50 $\mu$ m oligotrichs(83.8%)	<i>Gyrodinium</i> spp.(39.7%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(78.0%)
	17	20-50 $\mu$ m oligotrichs(89.0%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (50.0%) 20-50 $\mu$ m oligotrichs(50.0%)	
	24	20-50 $\mu$ m oligotrichs(85.2%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(82.5%)	
	30	20-50 $\mu$ m oligotrichs(98.1%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(79.2%)	
5월	8	<i>Tintinnopsis nana</i> (45.9%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (50.0%) 20-50 $\mu$ m oligotrichs(50.0%)	<i>Tintinnopsis nana</i> (38.6%)
	15	<i>Tintinnopsis nana</i> (79.1%)	<i>Tintinnopsis nana</i> (63.6%)	
	22	<i>Mesodinium rubrum</i> (34.0%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(52.6%)	
	29	<i>Tintinnopsis beroidea</i> (40.5%)	<i>Katodinium glaucum</i> (47.3%)	
6월	19	<i>Mesodinium rubrum</i> (72.9%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (76.6%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (83.9%)
	25	<i>Mesodinium rubrum</i> (93.9%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(40.3%)	
7월	3	<i>Eutintinnus</i> sp.(47.0%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(27.4%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(51.5%)
	10	<i>Mesodinium rubrum</i> (77.6%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(65.5%)	
	17	<i>Mesodinium rubrum</i> (72.5%)	20-50 $\mu$ m oligotrichs(81.0%)	
	24	20-50 $\mu$ m oligotrichs(72.6%)	<i>Katodinium glaucum</i> (36.0%)	
	31	<20 $\mu$ m oligotrichs(75.0%)	<i>Katodinium glaucum</i> (42.3%)	
8월	7	20-50 $\mu$ m oligotrichs(54.5%)	-	20-50 $\mu$ m oligotrichs(44.6%)
	14	<20 $\mu$ m oligotrichs(48.9%)	<i>Katodinium glaucum</i> (60.0%)	
	21	20-50 $\mu$ m oligotrichs(81.4%)	<i>Katodinium glaucum</i> (60.0%)	
	26	<i>Tintinnopsis nana</i> (54.7%)	<i>Katodinium glaucum</i> (88.9%)	
9월	4	<i>Tintinnopsis nana</i> (54.6%)	<20 $\mu$ m oligotrichs(62.5%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (65.8%)
	11	<i>Mesodinium rubrum</i> (57.4%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (80.0%)	
	25	20-50 $\mu$ m oligotrichs(33.6%)	<i>Tintinnopsis beroidea</i> (36.4%)	
	30	<i>Mesodinium rubrum</i> (96.6%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (56.8%)	
10월	7	20-50 $\mu$ m oligotrichs(66.7%)	<i>Mesodinium rubrum</i> (71.4%)	<i>Katodinium glaucum</i> (31.1%)
	14	<i>Tintinnopsis beroidea</i> (38.9%)	<i>Katodinium glaucum</i> (51.5%)	
	21	<i>Katodinium glaucum</i> (53.7%)	<i>Katodinium glaucum</i> (70.0%)	
	28	<i>Gyrodinium</i> spp.(66.0%)	<i>Katodinium glaucum</i> (51.6%)	

(4) 종 다양성 지수

조사 기간 중 원생동물플랑크톤의 종 다양성 지수는 표층에서 0.11~1.55의 범위로 평균 0.92를 나타내었으며, 4/30일 조사에서 가장 낮았고, 9/25일 조사에서 가장 높은 값을 나타내었다. 계절 경향은 4월 이후 증가하여 5~6월에 상대적으로 높았고, 7~8월에 감소하였다가 9~10월에 다시 증가하는 양상을 보여주었다. 그러나 4월에 0.8 이하의 매우 낮은 값을 지속적으로 나타내었고, 이 시기 최우점은 80%이상의 점유율을 나타내며 극우점하는 양상을 나타내어 매우 낮은 종다양성지수를 나타내었다. 5월말과 8월말~9월 중순에 다소 증가하는 경향을

나타내었으나 대부분의 시기에 1.0 내외의 매우 낮은 값을 나타내며 극단순 상태의 군집 구조를 보여주었다. 우점종의 점유율은 33.6~96.6%를 나타내며 특정종의 우점이 군집구조에 지배적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(그림 3-3-19).

저층은 0.35~1.75의 범위로 평균 1.03을 나타내어 표층보다 다소 높았으나 유사한 수준이었으며, 8/28일 최저치를 나타내었고, 7/3일 최고치를 나타내었다. 계절적 경향은 4월 초순 이후 감소하였다가 서서히 증가하여 6월말에 최고치를 나타내었으며, 이후 감소하여 8~10월에 다시 증가하는 추세를 나타내었다. 그러나 저층에서도 우점종의 점유율이 27.4~88.9%를 나타내며, 특정종에 의한 우점 현상이 연중 지속되어 일부시기를 제외하면 연중 1.0 내외의 낮은 종다양성 지수를 나타내었다(그림 3-3-19).

월 평균 종다양성지수는 0.64~1.09의 범위로 4월에 가장 낮았고, 7월에 가장 높았으나, 모든 계절이 1.0 내외의 낮은 값을 나타내고 있어 특정종에 의해 군집이 좌우되는 극단순 상태의 군집구조를 반영하였다(그림 3-3-20).

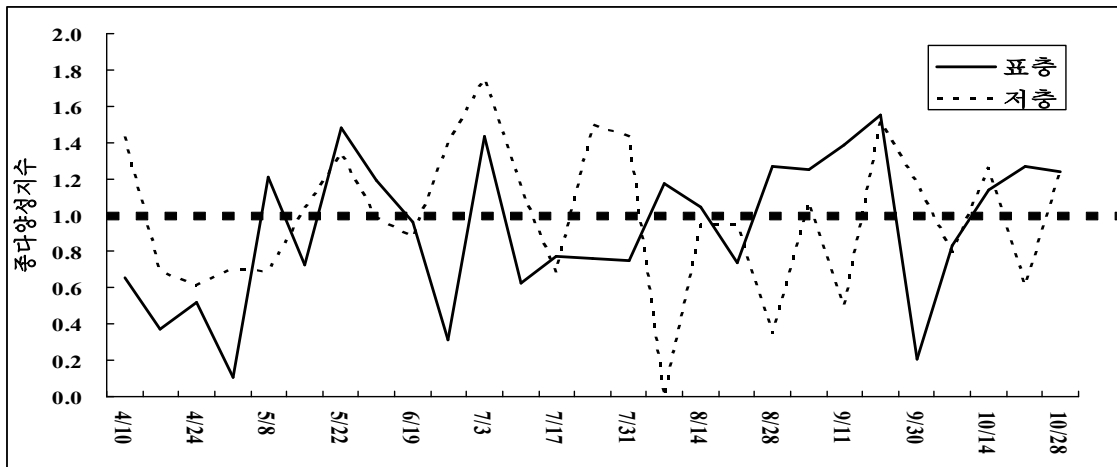


그림 3-3-19. 조사 기간 중 원생동물 종다양성지수 변동

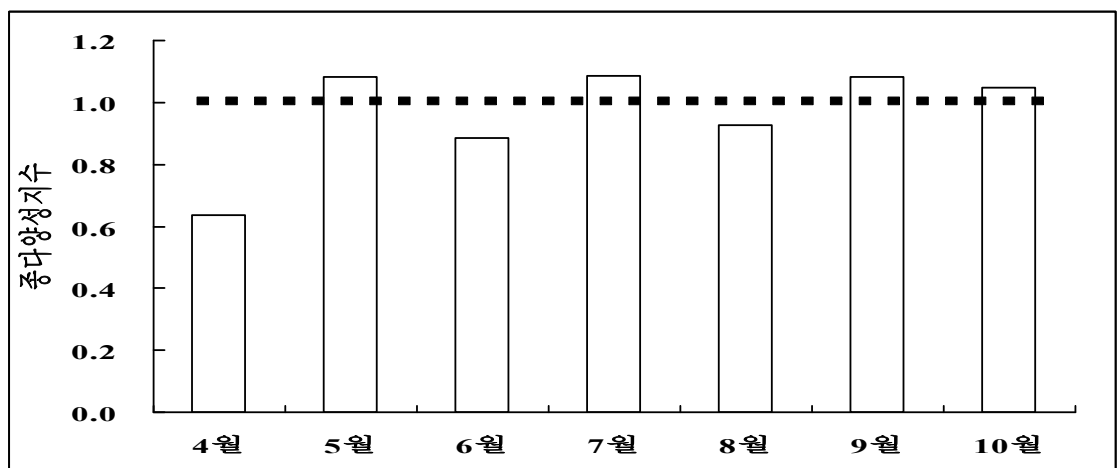


그림 3-3-20. 월별 원생동물 종다양성지수 변동

(5) 군집분석

출현종과 현존량에 근거하여 원생동물플랑크톤의 군집을 분석하였으며 조사 시기에 따른 군집의 유사도를 파악하였다.

표층에서는 조사 시기에 따라 크게 4개의 유사한 군집을 형성하는 것으로 나타났으며, 군집 A는 7월말에 출현한 군집으로, 출현종수 및 종다양성지수가 대체로 낮고 현존량은 높았으며, 빈모류가 우점한 시기였다. 군집 B는 5월과 8월말~9월초에 출현한 군집으로, 출현종수 및 종다양성지수가 상대적으로 높고 유충섬모충류가 우점한 시기이다. 군집 C는 6~7월 그리고 5월, 6월, 9월말에 출현한 군집으로 출현종수가 높고 *Mesodinium rubrum*의 현존량이 높았던 시기이다. 군집 D는 4월과 10월에 출현한 군집으로 우점종은 4월과 7월에 차이가 있으나 낮은 출현종수와 현존량을 나타내어 타 군집과 구분되었다(그림 3-3-21).

저층도 표층과 마찬가지로 조사 시기에 따라 크게 4개의 유사한 군집을 형성하는 것으로 나타났다. 군집 A는 5월, 8월, 9월에 출현한 군집으로 낮은 현존량 그리고 *Tintinnopsis nana*가 우점한 시기이다. 군집 B는 4월, 5월, 9월, 10월 중순에 출현한 군집으로 출현종수, 현존량 및 종다양성지수가 매우 낮은 특징을 보여주었으며, *M. rubrum*이 우점한 시기이다. 군집 C는 중송영양와편모류 중 *Katodinium glaucum*의 점유율이 높았던 시기이다. 군집 D는 우점종의 조성은 다소 차이가 있으나 빈모류의 우점율이 높고 타 군집에 비해 현존량이 높았던 시기이다(그림 3-3-22).

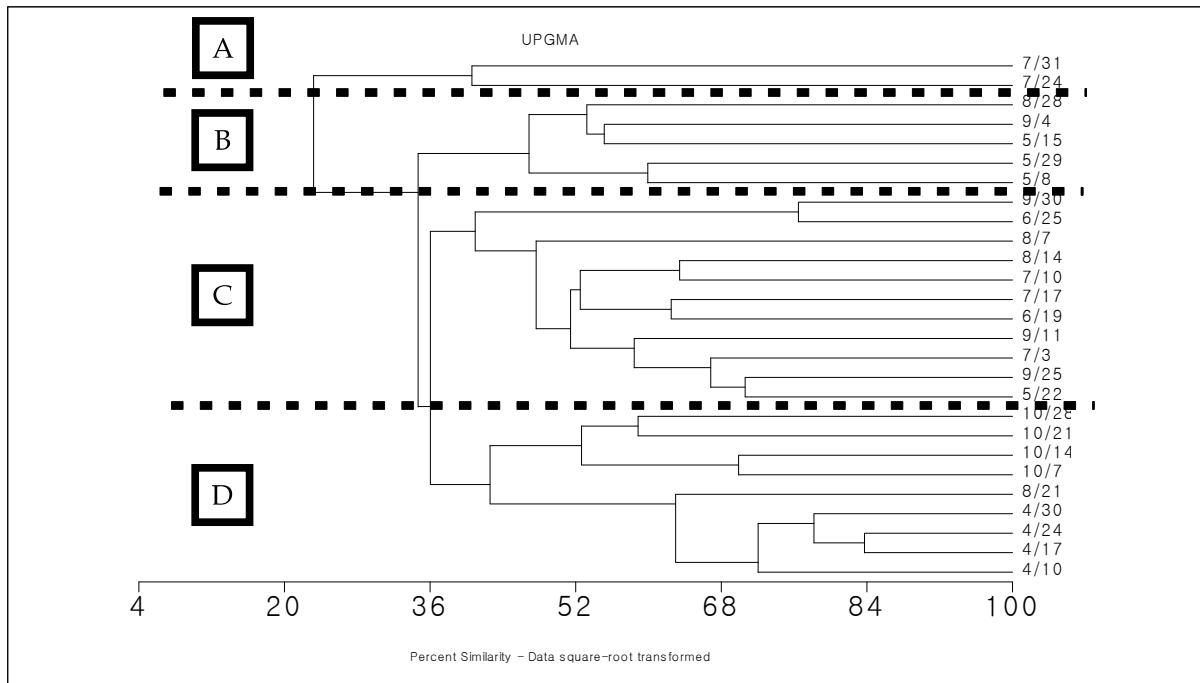


그림 3-3-21. 조사 시기에 따른 원생동물 군집 유사도(표층)



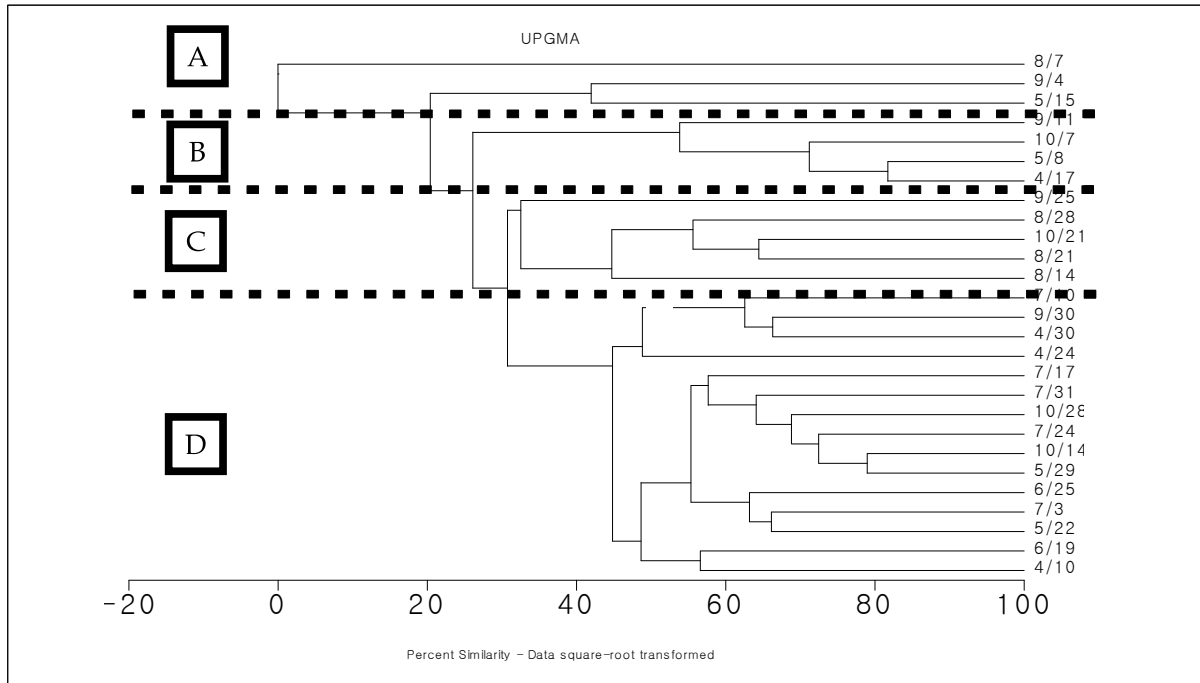


그림 3-3-22. 조사 시기에 따른 원생동물 군집 유사도(저층)

### (6) 연변화

2004~2009년 6년간 원생동물 현존량 변동을 살펴보면 동계를 제외하고 춘계, 하계 그리고 추계에 조사연도에 따라 2~3차례 현존량 증가를 나타내었다. 현존량의 급격한 증가는 5차례 있었으며, 2005년에 1차례, 2007년에 3차례 그리고 2009년에 1차례 발생하였고, 2004년, 2006년, 그리고 2008년에는 급격한 현존량 증가는 나타나지 않았다. 또한 연도별 최대 현존량은 점차 감소하는 경향을 보여주었다(그림 3-3-23). 2005년에는 추계에 *Mesodinium rubrum*이 평균 190,000 cells/L 정도로 높게 증가했으며 이 시기 우점율은 96.1%로 시화호 전체에서 100,000 cells/L 이상의 현존량을 나타내었다. 2007년은 춘계인 4월에 종속영양와편모류인 *Oxyrrhis marina*가 상류해역에서만 높은 현존량을 나타내었으며, 평균 70,000 cells/L로 우점율은 72.5%를 나타내었다. 하계인 6월에는 *M. rubrum*이 가장 우점하였고, 추계인 10월에는 종속영양와편모류인 *Katodinium glaucum*이 가장 우점하여 출현하였다. 2009년은 하계인 6월에 *M. rubrum*이 가장 우점하여 출현하였다. 조사 시기 마다 우점종의 변동이 나타났으며, 빈모류나 유충섬모충류가 우점하는 시기가 있으나 이들 분류군에서는 급격한 현존량 증가가 발생하지 않았고, *M. rubrum*과 같은 혼합식성의 섬모충류와 종속영양와편모류가 주로 급격한 현존량 증가를 나타내었다. *M. rubrum*은 혼합영양식자로 광합성 작용을 할 수 있어, 먹이 경쟁에 따른 성장을 저하를 보충할 수 있으며, 주로 초여름과 초가을 등 염분감소 후 증가 시기에 크게 증가하는 경향을 나타내어 염분 적응이 타 종들에 비해 높기 때문에 기회성 종으로 판단된다. *Oxyrrhis marina* 역시 염분 감소 후 증가시기에 크게 증가하여 *M. rubrum*과 같은 기회성 종으로 판단되며, *Katodinium glaucum*은 2009년 저층 DO 농도가 낮았던 10월에 우점하는 경향을 나타내어 낮은 DO 환경내에서 잘 적응하는 종으로 판단되었다. 따라서 시화호 내 원생동물 군집은 환경변화에 잘 적응된 소수 종들에 의해 연변동이 좌우되는 특징을 보여주고 있으며, 연도별 최대현존량이 감소하는 추세를 나타내고 있어, 과거에 비해 환경변화가 감소되고

있는 것으로 사료된다.

종 다양성 지수는 2004년부터 2009년까지 월별 다양성지수의 증감을 반복하고 있으나 대체적으로 1.0 미만으로 매우 불안정한 군집 특성을 보여주고 있다(그림 3-3-24). 그러나 종다양성지수의 최저치는 2004년 이후 점차 증가하는 추세를 나타내고 있어 원생동물 군집이 다소 호전되는 것으로 사료되나, 2009년에도 연중 1.0 내외의 수준을 나타내고 있어, 더 이상 군집상태가 악화되지는 않더라도 크게 호전되지는 않고 있음을 보여주고 있다. 이는 연중 시화호 내측에서 소수종에 의한 현존량 점유율이 높게 나타나고 있기 때문이며, 시화호는 여전히 환경변화에 잘 적응된 소수종에 의해 군집이 유지되고 있음을 의미한다.

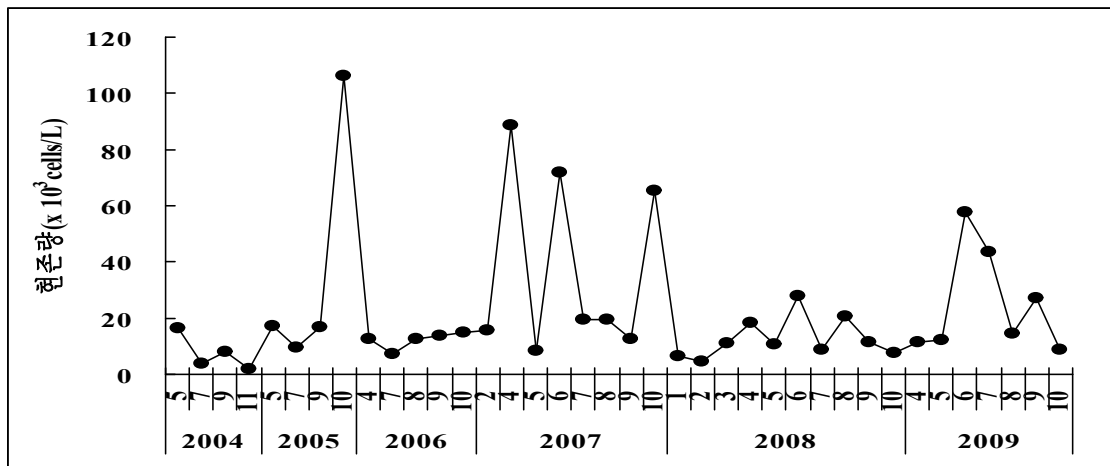


그림 3-3-23. 원생동물 현존량의 장기 변동

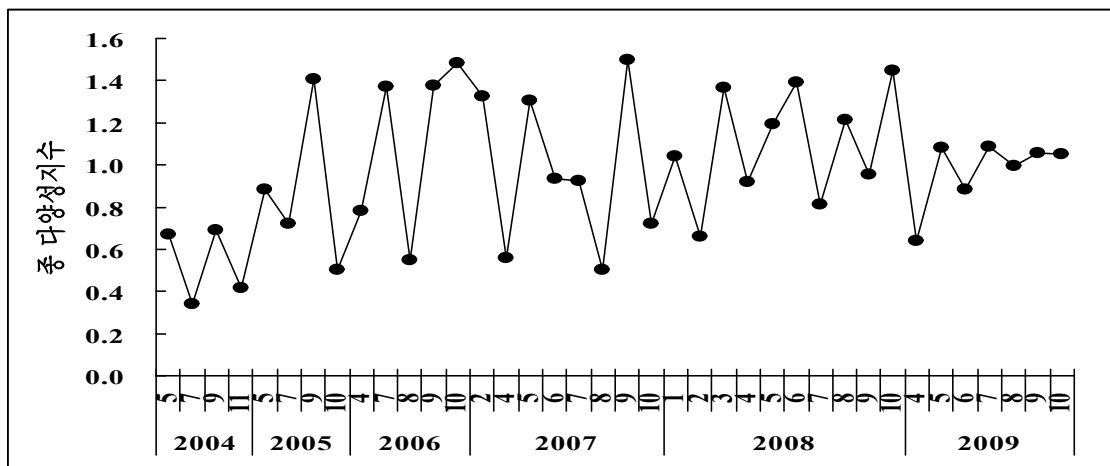


그림 3-3-24. 원생동물 종다양성지수의 장기 변동

### 3.1.3 중형동물플랑크톤

#### (1) 출현종 및 출현 분류군

2009년 조사에서 출현한 동물플랑크톤은 상위 분류군으로 원생동물(Protozoa), 자포동물

(Cnidiaria), 모악동물(Chaetognatha), 절지동물(Arthropoda), 척삭동물(Chordata), 부유유생(Planktonic larvae) 분류군 등으로 구분되어 전 년과 차이가 없었다. 절지동물은 지각류(Cladocera), 요각류(Copepoda), 단각류(Amphipoda), 십각류(Decapoda) 등으로 세분되었다.

시화호 동물플랑크톤은 조사 시기 간 5~22개 분류군 수 범위를 보였으며, 6월에 가장 낮고 8월에 가장 높게 나타났다(그림 3-3-25). 전체적으로 저수온기에 낮고 고수온기에 높은 특징을 보였다. 6월에는 특이한 환경 변화 양상이 감지되지 않았으나 매우 낮은 출현 분류군수를 보였다. 대부분 시기에서 요각류는 전체 분류군 수에서 차지하는 비중이 가장 높게 나타났다.

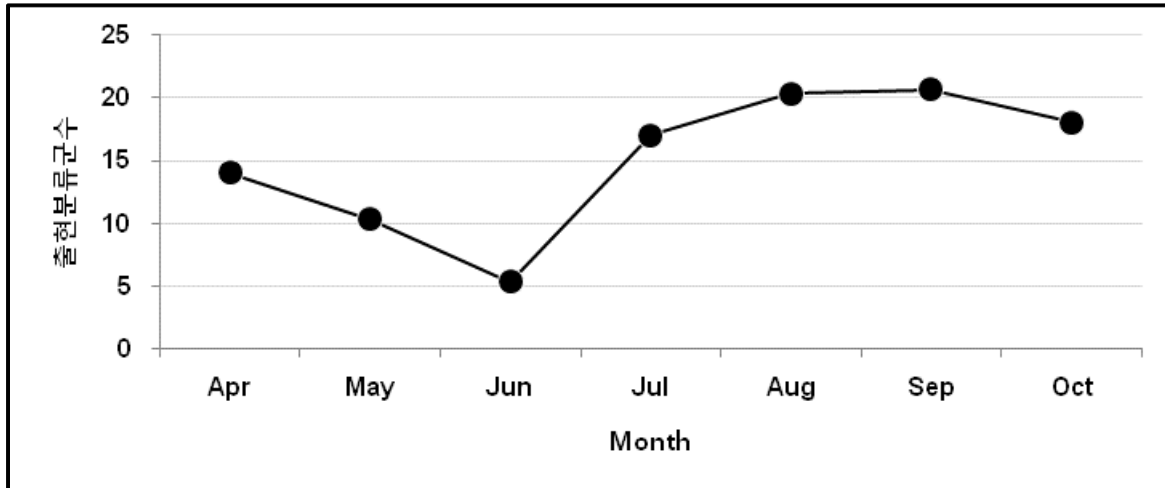


그림 3-3-25. 조사 시기에 따른 동물플랑크톤 출현 분류군 수 변화

## (2) 출현 개체수 및 우점종

동물플랑크톤의 출현 개체수는 조사 시기 간 769~119,455 indiv./m<sup>3</sup>의 큰 변동 범위를 나타냈다(그림 3-3-26). 4월에 개체수가 가장 높게 나타났으며, 이후 6월까지 큰 폭으로 감소하는 추세를 나타냈으며, 7월부터 증가하기 시작하여 8월과 9월에 높은 수준을 유지하였다. 이후 10월에 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 요각류 개체수는 조사 시기 간 <1~111,723 indiv./m<sup>3</sup>의 범위를 보였으며, 6월에는 1 indiv./m<sup>3</sup> 미만으로 출현하는 특징을 보였고 4월에 가장 높은 개체수가 나타났(그림 3-3-26). 전체 동물플랑크톤 개체수에서 요각류가 차지하는 비중은 조사 시기 간 <1~94% 범위를 보이며, 4, 5, 8월에 80% 이상을 나타냈다. 원생동물인 야광충은 연중 출현하며, 278~21,635 indiv./m<sup>3</sup>의 개체수 범위를 보였으며, 9월에 가장 높게 나타났다. 부유유생은 고수온기에 해당되는 8월부터 10월 사이에 높은 개체수를 유지하였으나 저수온기에는 출현이 미약하였다.

조사 기간 동안 동물플랑크톤 우점종은 계절적인 종 천이를 뚜렷하게 나타냈다. 4월부터 5월까지의 요각류 *Acartia* sp.(*hudsonica*)와 *Eurytemora pacifica*가 높은 우점율을 나타냈으며, 6월과 7월의 과도기적인 기간을 거치면서 요각류 *Acartia sinjiensis*와 *Paracalanus indicus*로 천이되는 경향을 보였다(그림 3-3-27). *Acartia* sp.는 4월에 15,384 indiv./m<sup>3</sup>, 5월에 18,472 indiv./m<sup>3</sup>로 출현하다가 6월에는 거의 소멸하는 경향을 보였고 *E. pacifica*는 4월에 28,245 indiv./m<sup>3</sup>로 출현하였으나 5월 이후 급격히 감소하다가 소멸되는 경향을 나타냈다. 이후 8월에는 *A. sinjiensis*가 30,783 indiv./m<sup>3</sup>으로 높은 개체수를 보이다가 9월에 1,061 indiv./m<sup>3</sup>로 크게 감소

한 후 10월에는 거의 출현하지 않는 특징을 보였다. *P. indicus*는 8월부터 10월까지 꾸준히 개체수가 증가하는 특징을 보였다. 야광충(*Noctiluca scintillans*)은 278~21,635 indiv./m<sup>3</sup> 범위로 연중 출현하였다(그림 3-3-27). 4월과 5월에 출현 개체수가 높게 나타났으며, 이후 6, 7월에 큰 폭으로 감소하였고 8월부터 개체수가 증가하기 시작하여 9월에 최대 개체수를 보인 후 10월에 큰 폭으로 감소하는 경향을 나타냈다. 지각류(*Evadne tergestina*, *Podon* sp.)는 8월부터 10월까지 출현하는 특징을 보였으며, 특히 9월에 출현 개체수가 가장 높게 나타났다(그림 3-3-27). 따개비 유생(*Cirripedia nauplii*)은 5, 6월을 제외하고 출현하는 특징을 보였으나 9월과 10월에 개체수가 집중되는 특징을 보였다.

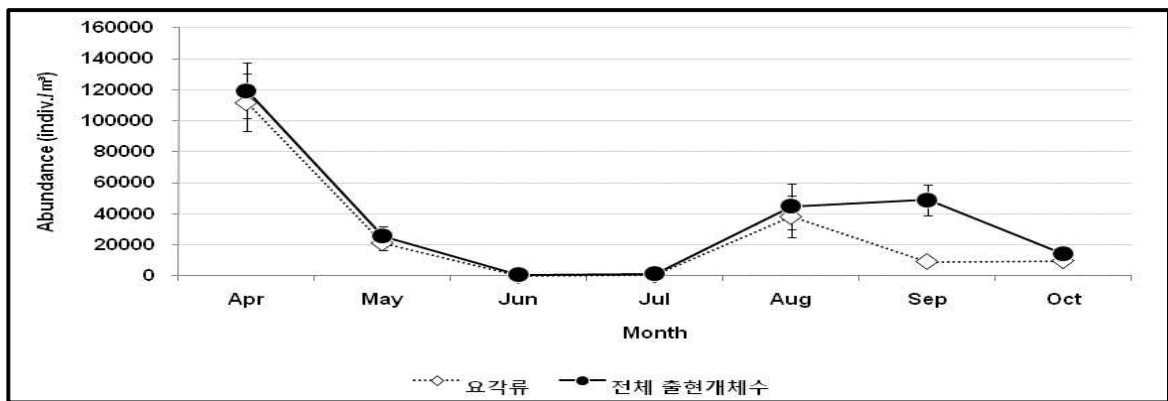


그림 3-3-26. 조사 기간 동안 전체 동물플랑크톤 및 요각류의 출현 개체수 변화

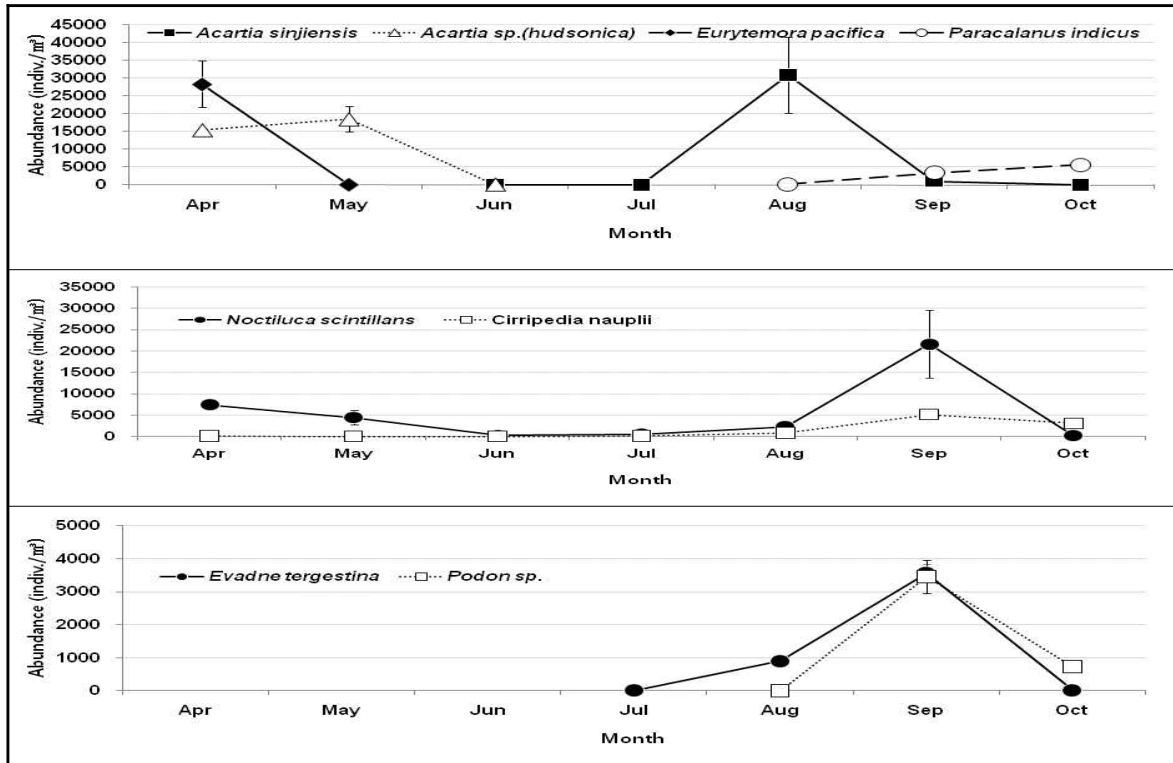


그림 3-3-27. 주요 동물플랑크톤 우점종의 조사 시기 간 출현 개체수 변화

### (3) 군집분석

시화호 동물플랑크톤 군집의 종 다양성 지수는 조사 시기별로 0.48~2.05의 범위로 나타났다(그림 3-3-28). 4월부터 6월까지 감소하다가 7월에 큰 폭으로 증가하고 이후 8월에 다소 감소하다가 9월에 가장 높은 다양성 지수를 보였다. 6월에 종 다양성 지수가 가장 낮은 이유는 출현종수도 낮지만 전체 개체수에서 야광충과 해파리 유생이 차지하는 비중이 99.6%에 달했기 때문이다. 5월에도 낮은 종 다양성 지수가 나타났는데 이는 요각류 중 *Acartia* sp.와 야광충이 전체 개체수에서 차지하는 비중이 매우 높았기 때문이다.

동물플랑크톤 출현개체수에 따른 계절 간 군집 유사도를 분석한 결과에서 60%를 기준으로 조사 기간 중 4개의 군집이 계절을 달리하며 나타나는 것으로 분석되었다(그림 3-3-29). 4월과 5월은 매우 유사한 동물플랑크톤 군집이 출현하는 것으로 나타났으며, 8월, 9월, 10월도 유사한 동물플랑크톤 군집이 출현하는 것으로 나타났다. 6월은 출현종수와 출현 개체수가 현저히 낮고 종 다양성 지수도 낮게 나타나며 타 정점과 크게 대별되는 경향을 보였으며, 7월은 8, 9, 10월 군집과 다소 유사한 군집 형태를 보였으나 유사도가 낮은 관계로 다른 동물플랑크톤 군집이 출현하는 것으로 나타났다.

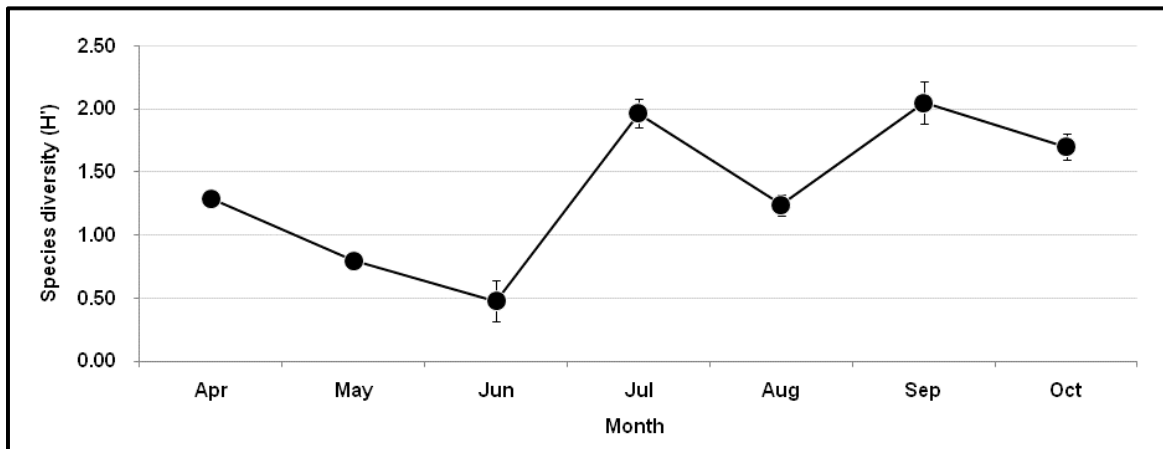


그림 3-3-28. 조사 시기 간 동물플랑크톤 군집의 종 다양성 지수 변화

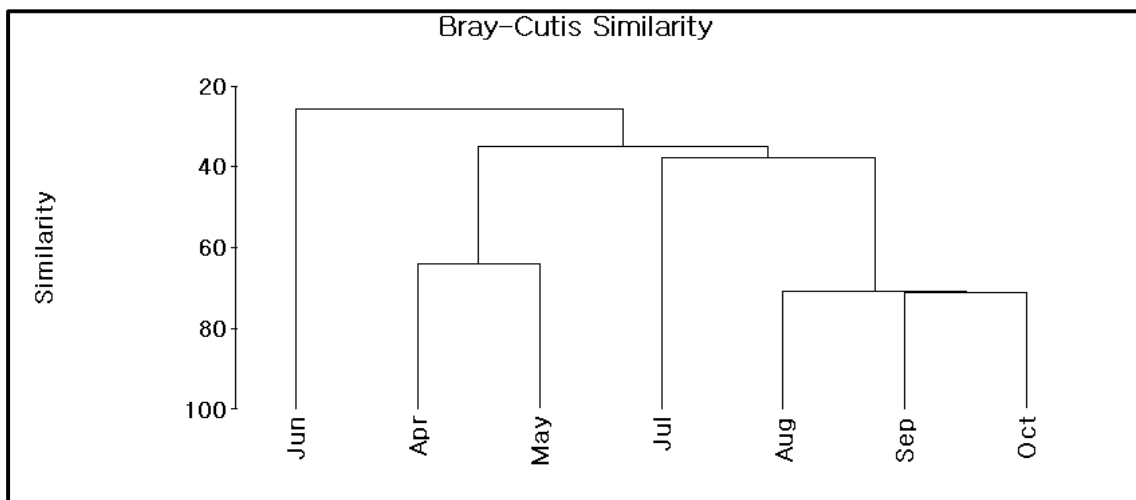


그림 3-3-29. 조사 시기 간 동물플랑크톤 군집 유사도의 수상도(Dendrogram)

#### (4) 연변화

2004년부터 2009년까지 시화호 동물플랑크톤의 변화 양상은 (그림 3-3-30)에 나타내었다. 출현 분류군 수는 저수온기보다 고수온기에 상대적으로 높은 공통적인 특징을 보여주고 있다. 특히 9월~10월에 가장 높은 분류군 수가 나타나고 있다. 출현 개체수는 4월과 8-9월에 peak를 보이는 공통적인 특징이 나타나고 있다. 2006년 전에는 4월 peak가 8-9월보다 상대적으로 낮았으나 2007년부터는 높게 나타나는 특징을 보였다. 종 다양성 지수는 9월에 공통적으로 높은 특징을 보이고 있으며 5월부터 7월 사이에 낮은 특징을 보였다.

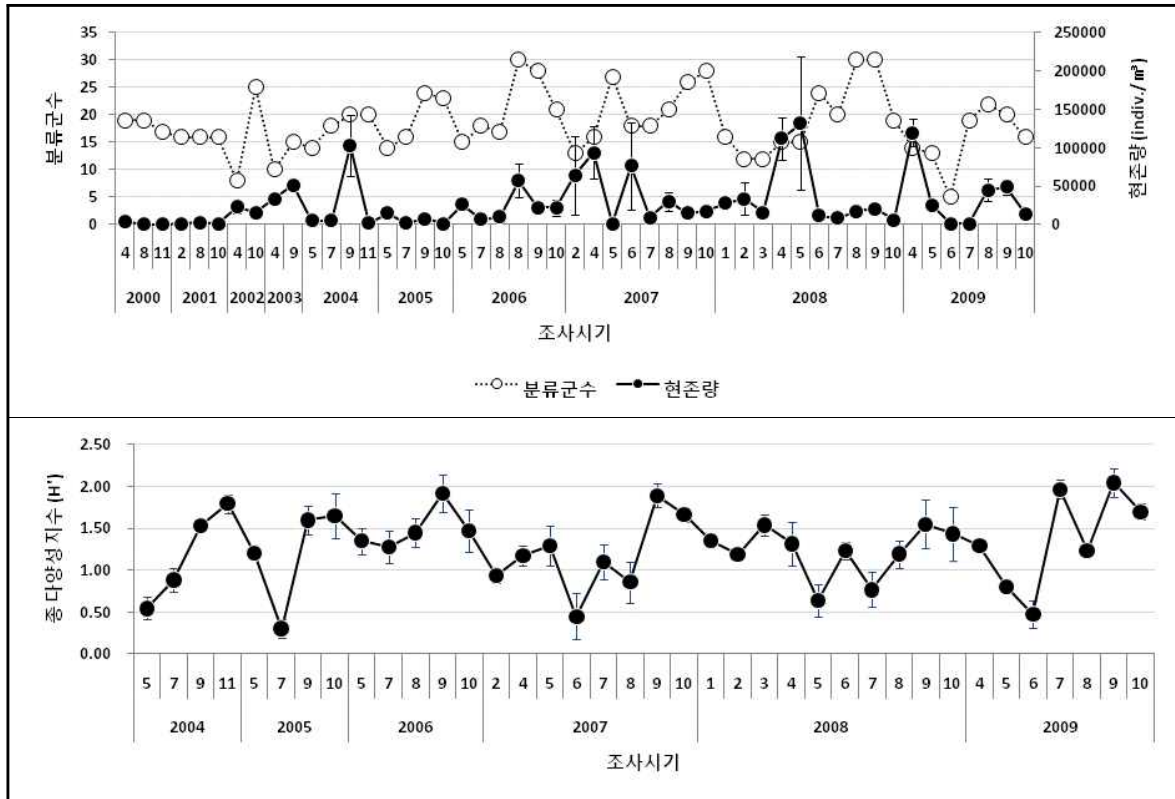


그림 3-3-30. 2004-2009년 시화호 동물플랑크톤 변화 양상

#### (5) 해파리

해파리는 전 세계적으로 대량 출현하는 추세에 있으며, 연안 생태계를 위협하여 사회적인 문제로까지 대두되고 있다. 최근 한반도 주변 해역에서도 대량 출현하고 있는데 해파리 증가의 원인은 명확히 알려지지 않았지만 해수온 상승과 연안 개발에 따른 부영양화 그리고 해파리 폴립이 부착하기 좋은 연구 구조물 및 시설물의 증가가 원인으로 지적되고 있다. Elliot and Leggett(1997), Moller(1980) 그리고 Bailey and Batty(1983)에 의하면 해파리는 대구, 빙어류, 청어 등의 난자치어를 포식함으로써 이들 어족자원에 영향을 미친다고 한다. 시화호에서 출현하는 성체 해파리는 대부분 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)이며, 이 종은 범 세계적으로 출현하며 연안에서 대량 출현하는 특징을 보인다(Kramp, 1961). *A. aurita*는 소형일 때 동물플랑크톤 중 요각류나 소형 갑각류를 먹다가 성장하면서 소형 어류를 먹는다고 알려져 있으며 (Percell, 1985; Sullivan *et al.*, 1994), 먹이 농도가 성장에 큰 영향 요인으로 알려져 있다(Ishii

and Bamstedt, 1998). 이들의 생활사를 살펴보면 폴립(Polyp) 형성 후 스트로빌라(Strobila)로 변태하고 무성생식을 통해 에피라(Ephyra)가 발생하고 에피라는 성장하여 어린 형태의 해파리(Young medusa)로 성장하게 된다. 어린 해파리는 성체(Adult medusa)가 되고 성체는 유성생식을 통해 플라눌라(Planula)를 방출하고 이는 기저질에 폴립 형태로 고착하게 된다. 이러한 생활사의 순환은 연중 반복적으로 진행되며, 해수 중과 해저질을 순환하며 나타나게 된다.

조사 기간 중 에피라는 4~5월중에만 출현하였으며, 6월 이후에는 관찰되지 않았다. 출현량은 13~8,135 개체/1,000m<sup>3</sup>이었으며, 4/17일에 최대치를 나타내었고, 5/22일에 최저치를 나타내었다. Young medusa(<4mm)는 4월부터 7월말까지 출현하였으며, 7~6,785 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위로 4~5월 초순까지 크게 증가하였고 이후 점차 감소하였다. 최저치는 4/24일에 관찰되었고, 최대치는 5/8일에 관찰되었다. 해파리 성체(Adult, 현미경적 크기가 아닌 육안으로 구분이 가능한 해파리를 모두 포함하였음)는 228~5,041 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위로, 5월에 출현하여 6월에 최대치를 나타낸 뒤 7월에 감소하였으며, 9월 중순 이후에는 관찰되지 않았다. 성체의 유성생식을 통해 발생하는 planula 유생은 해파리 성체가 많이 출현한 5~6월에만 출현하였으며, 5월에 134,756 개체/1,000m<sup>3</sup> 그리고 6월에 228,722 개체/1,000m<sup>3</sup>로 6월에 최대치를 나타내었다. 최대 출현량을 기준으로 에피라로부터 성체까지 성장 중 개체 감소는 에피라에서 young medusa 단계에서 16.6% 감소, 다시 young medusa에서 성체 단계에서 25.7% 감소를 나타내어 에피라에서 성체까지 성장 중 38.0%의 개체 감소가 발생하는 것으로 나타났으며, young medusa 단계에서 개체 감소가 더 크게 발생하는 것으로 사료된다(그림 3-3-31).

크기 분포는 4~5월에 1.4mm에서 18.3mm로 4월말 이후 크게 성장하였다(그림 3-3-32).

조사 기간 평균 출현량을 기준으로 한 정점 분포는 planula 유생의 경우 조사 정점에 따라 ND~34,671 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위를 나타내었으며, 정점 1과 2를 제외한 모든 정점에서 출현하였으며, 특히 시화호 중상류에서 출현량이 높았고, 갑문 인근으로 갈수록 감소하는 양상을 보여주었다. 에피라는 정점별로 151~3,686 개체/1,000m<sup>3</sup>의 분포 범위를 나타내었고, 시화호 중류의 전신주 인근 해역에서 높은 출현량을 나타내었다. young medusa는 정점별로 661~2,167 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위를 나타내었고, 시화호 중류의 북쪽해역인 정점 5와 6에서 높은 출현량을 보였다(그림 3-3-33). 에피라는 고착된 스트로빌라로부터 무성생식을 통해 발생되기 때문에 전신주를 기질로 시화호 중류에 위치한 전신주에 가장 많은 양의 polyp이 부착되어 있을 것으로 판단된다. 그리고 에피라는 성장하면서 기질 인근해역에서 확산되어 북쪽해역으로 이동하는 것으로 보이며, planula 유생은 특히, 시화호 중상류에서 높은 출현량을 나타내어 당시(5~6월) 성체의 출현량이 상류에서 높았을 것으로 사료된다.

금회 조사에서 해파리 생활사 중 planula~성체까지의 생활사는 현장조사를 통해 확인하였으나 부착상태의 폴립과 스트로빌라의 연중 분포 현황은 조사에서 제외되었다. 이는 부착생활을 하는 폴립과 스트로빌라의 분포 현황을 파악하기 위해서는 수중조사가 병행되어야 하기 때문이다. 따라서 기존의 시화호 내에서 수행되었던 자료를 인용하여 이들의 분포 현황을 예측하였다.

기존 자료에 의하면 해파리의 폴립은 영하의 수온에서 2일 이상 내성을 가지지 않아 부착기질로부터 탈락하며, 5℃ 이상에서는 행동의 제약은 있으나 섭이활동을 하는 것으로 보고되었다(한국수자원공사 2007). 따라서 시화호는 동계에도 1℃ 이상의 수온은 유지하기 때문에 부착된 폴립의 탈락을 예상되지 않았고, 수온이 5℃ 이상으로 증가하는 3~11월에는 섭이활동이 지속적으로 발생할 것으로 판단된다.

폴립의 부착관 실험에서는 3월에 부착관을 설치하고 5월, 8월, 1월에 부착관을 조사한 결과 5월과 8월에는 부착된 폴립이 없었고 1월에 폴립의 부착이 확인되었다. 5월에는 부착관에 부착된 생물이 거의 없었고 8월에는 부착생물이 다량 발견되었다(한국수자원공사 2007). 현장조사 결과 부착 전 단계인 planula 유생은 5월말~6월말에 다량 출현하였고, 이를 전후로 출현이 확인되지 않았다. 따라서 부착관 실험에서 5월 폴립 발견이 되지 않았던 이유는 planula 유생이 발생하기 이전이나 아직 폴립으로 발전하기 전 시기인 것으로 판단된다. 폴립의 부착이 활발히 진행 중일 것으로 예상되는 8월에는 부착기질에 해파리를 제외한 많은 부착생물이 기질을 점유하고 있어 폴립의 부착의 어려웠을 것으로 판단되었다. 그러나 planula 유생이 6월말까지 다량 출현하여 7월 이후에는 폴립의 부착이 이루어졌을 것으로 예상된다. 또한 부착관 실험에서 1월에 폴립이 발견되는 것으로 보아 시화호 내에서 하계~동계에는 부착상태의 폴립이 존재할 것으로 예상된다. 따라서 동계까지는 폴립상태로 머무르다 수온이 상승하는 춘계 4월에 부유상태의 에피라가 출현하는 것으로 보인다. 에피라의 출현 시기는 본 조사와 기존 조사(한국수자원공사 2007)가 일치하는 것으로 나타났다.

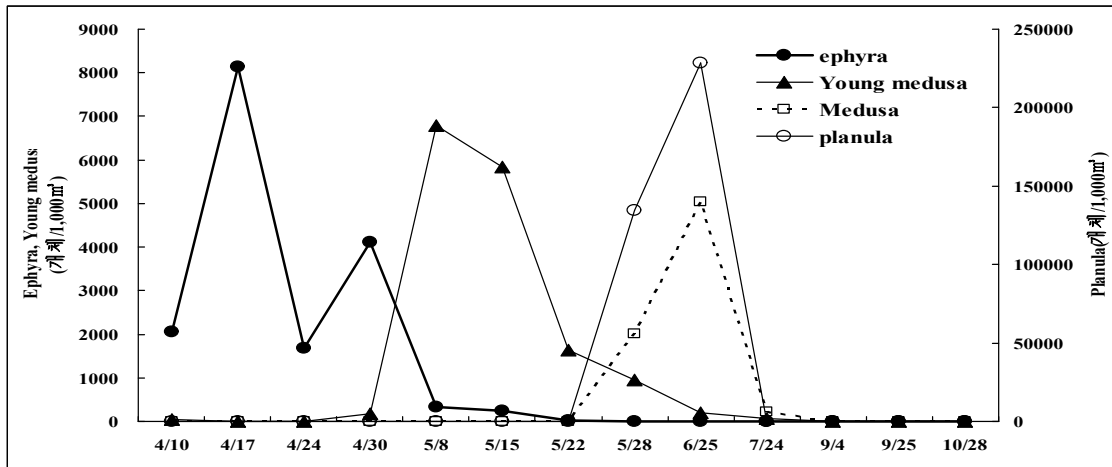


그림 3-3-31. 해파리 성장 단계별 출현량 변동

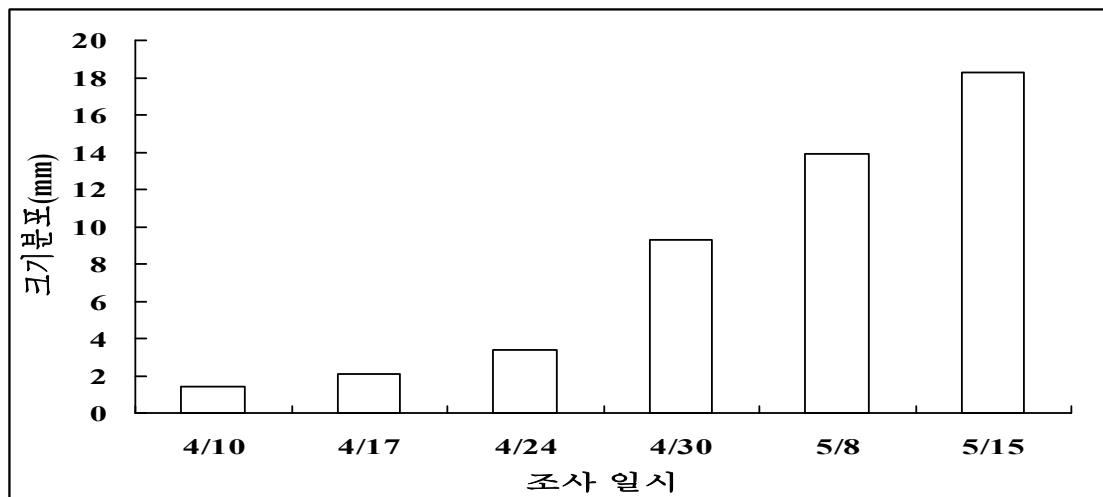


그림 3-3-32. 조사일시 별 에피라~young medusa 단계의 크기분포



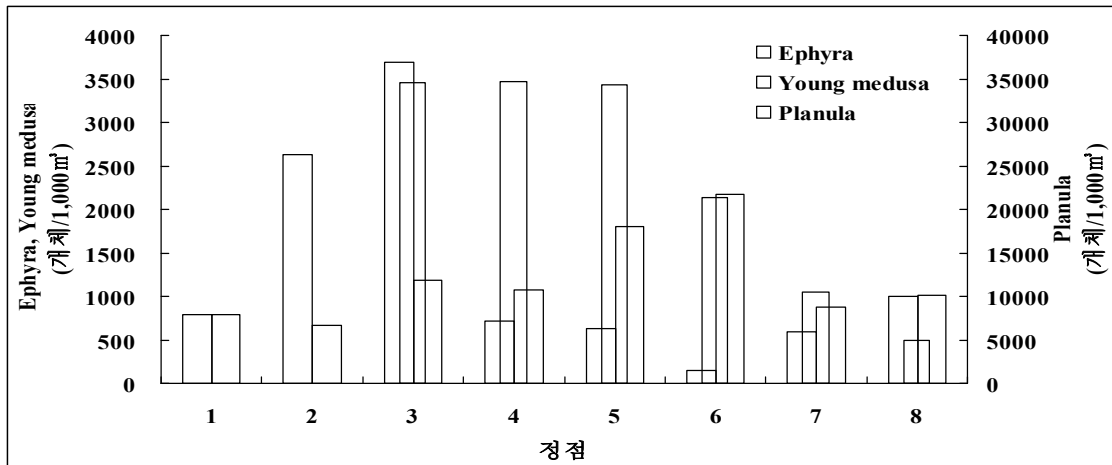


그림 3-3-33. 해파리 성장 단계별 분포 범위

### 3.1.4. 난·자치어

#### (1) 부유성 어란

##### ① 종조성 및 출현량

조사 기간 동안 부유성 어란은 전어(*Konosirus punctatus*), 멸치(*Engraulis japonicus*), 미동정 분류군(Others) 등 3개 분류군이 출현하였다. 출현분류군수는 4월과 7월에 각각 2개 분류군으로 가장 많았고, 다음으로 5월과 6월에 각각 1개 분류군이 출현하였으며, 8월 이후부터 10월까지는 부유성 어란이 출현하지 않았다(그림 3-3-34).

부유성 어란은 총 1,478 개체/1,000m³로 출현하였으며, 출현량은 4월에 1,155 개체/1,000m³ (78.1%)로 가장 많았고, 5월과 6월에는 각각 156 개체/1,000m³(10.6%)와 120 개체/1,000m³ (8.1%)로 출현하였으며, 7월에는 47 개체/1,000m³(3.2%)로 가장 낮았다(표 3-3-6).

분류군별 출현량을 살펴보면, 전어가 1,393 개체/1,000m³(94.3%)로 우점하였고, 다음으로 미동정 분류군 61 개체/1,000m³(4.1%), 멸치 24 개체/1,000m³(1.6%)로 출현하였다.

표 3-3-6. 부유성 어란의 종조성 및 출현량

학명/조사시기	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합계	%
<i>Konosirus punctatus</i> 전어	1,094	156	120	23				1,393	94.3
Others 미동정분류군	61							61	4.1
<i>Engraulis japonicus</i> 멸치				24				24	1.6
합계	1,155	156	120	47	-	-	-	1,478	100.0
%	78.1	10.6	8.1	3.2	-	-	-	100.0	
출현분류군수	2	1	1	2	-	-	-	3	

단위:개체/1,000m³

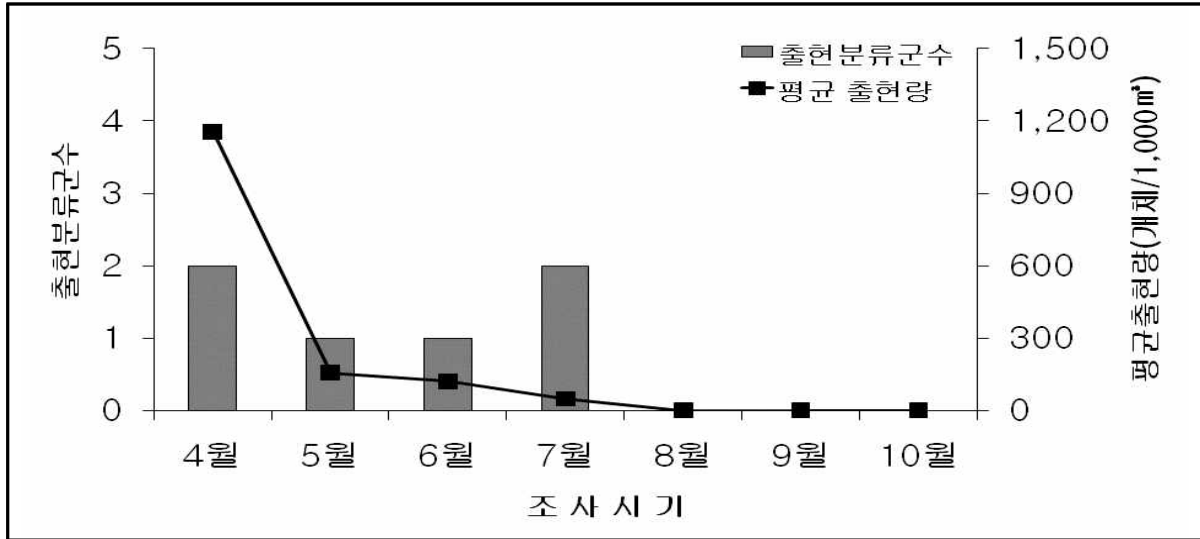


그림 3-34. 조사 시기별 부유성 어란의 출현분류군수 및 평균출현량

② 우점종

조사기간 중 4월부터 7월까지 전어가 지속적으로 우점하였다. 전어의 출현량은 4월에 1,094 개체/1,000m³로 가장 많았으며, 이후 7월까지 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, 7월에는 멸치가 전체 출현량의 49.3%로 우점하였으나 그 출현량은 24 개체/1,000m³로 미미하였다(표 3-3-7).

표 3-3-7. 조사 시기별 부유성 어란의 우점종(%)

조사시기	4월	5월	6월	7월
우점종(%)	전어(94.7%)	전어(100.0%)	전어(100.0%)	전어(50.7%) 멸치(49.3%)

③ 연 변화양상

2005년부터 2009년 본 조사까지의 조사결과를 살펴보면, 부유성 어란은 4월부터 9월까지 출현하고 있으며, 이 중 출현분류군수는 1 ~ 4개 분류군으로 5월과 6월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 출현량은 조사시기별로 차이를 보이고 있으나, 4월 ~ 7월 사이에 집중적으로 출현하는 양상을 나타내었고, 우점종은 4월부터 6월 사이에는 전어, 6월부터 8월 사이에는 멸치가 우점하였다(그림 3-3-35).

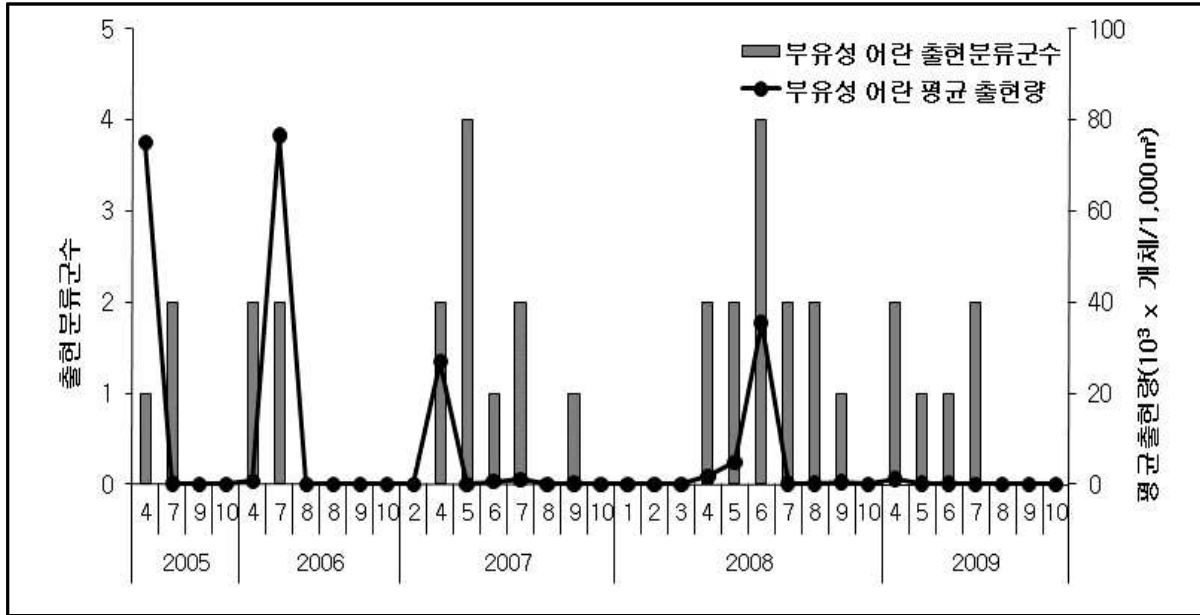


그림 3-3-35. 부유성 어란의 연도별 출현양상

(2) 자치어

① 종조성 및 출현량

조사 기간 동안 자치어는 망둑어과(Gobiidae), 학공치(*Hyporhamphus sajori*), 멸치(*Engraulis japonicus*) 등 3개 분류군이 출현하였다. 출현종수는 6월과 7월에 각각 2개 분류군으로 가장 많았고, 다음으로 4월, 5월, 7월, 8월에 각각 1개 분류군이 출현하였으며, 10월에는 자치어가 출현하지 않았다(표 3-3-8).

자치어는 총 1,254 개체/1,000m<sup>3</sup>로 출현하였으며, 출현량은 7월에 346 개체/1,000m<sup>3</sup>(29.0%)로 가장 많았고, 다음으로 5월과 6월에는 각각 326 개체/1,000m<sup>3</sup>(26.0%)와 273 개체/1,000m<sup>3</sup>(8.1%)로 출현하였으며, 4월에는 45 개체/1,000m<sup>3</sup>(3.6%)로 가장 낮았다(그림 3-3-36).

분류군별 출현량을 살펴보면, 망둑어과가 1,172 개체/1,000m<sup>3</sup>(93.43%)로 우점하였고, 다음으로 학공치 65 개체/1,000m<sup>3</sup>(5.2%), 멸치 17 개체/1,000m<sup>3</sup>(1.6%)로 출현하였다.

표 3-3-8. 자치어의 종조성 및 출현량

학명/조사시기		4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	합계	%
Gobiidae	망둑어과	45	326	208	347	135	111	0	1,172	93.4
Hyporhamphus sajori	학공치	0	0	65	0	0	0	0	65	5.2
<i>Engrauris japonicus</i>	멸치	0	0	0	17	0	0	0	17	1.4
합계		45	326	273	364	135	111	0	1,254	100.0
%		3.6	26.0	21.8	29.0	10.8	8.8	0.0	100.0	
출현분류군수		1	1	2	2	1	1	0	3	

단위:개체/1,000m<sup>3</sup>

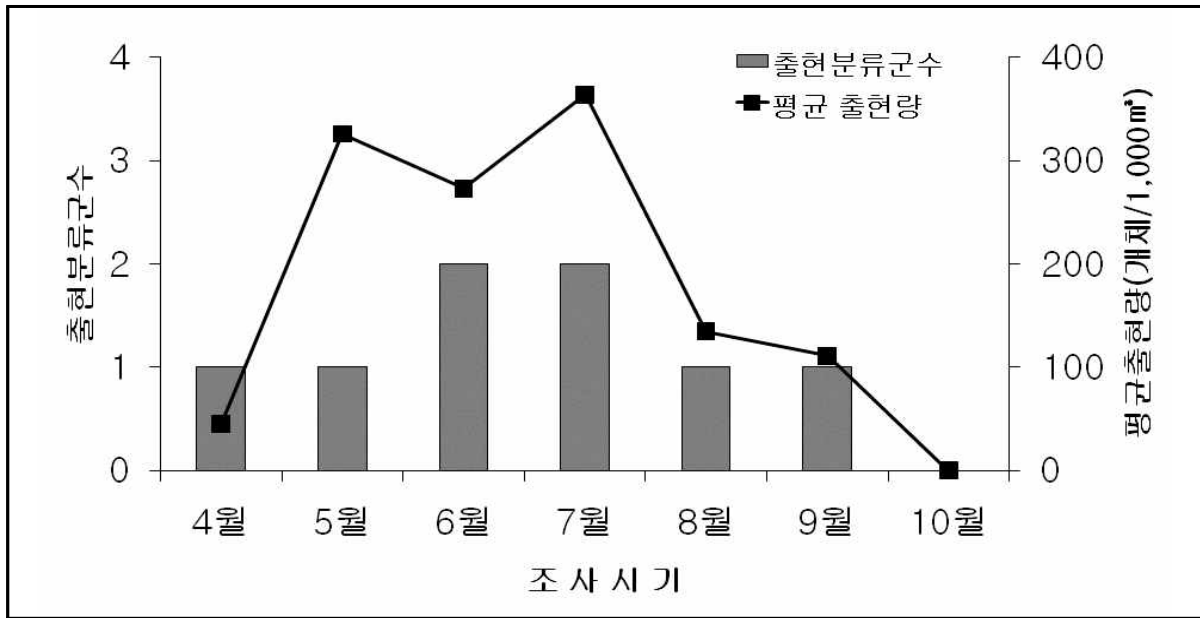


그림 3-3-36. 자치어의 조사 시기별 출현분류군수 및 평균 출현량(단위: 개체/1,000m³)

② 우점종

조사기간 중 4월부터 9월까지 망둑어과가 지속적으로 우점하였다. 망둑어과의 출현량은 45 ~ 326 개체/1,000m³의 범위로 4월에 가장 낮았으나, 이후 출현량은 큰 폭을 나타내지 않고 지속적으로 출현하였다(표 3-3-9).

표 3-3-9. 조사 시기별 자치어의 우점종(%)

조사시기	4월	5월	6월	7월	8월	9월
우점종(%)	망둑어과 (100.0%)	망둑어과 (100.0%)	망둑어과 (76.2%)	망둑어과 (95.4%)	망둑어과 (100.0%)	망둑어과 (100.0%)

③ 연 변화양상

2005년부터 2009년 본 조사까지의 조사결과를 살펴보면, 자치어는 2월부터 9월까지 출현하고 있으며, 이 중 출현분류군수는 1 ~ 4개 분류군으로 4월과 7월에 가장 높은 것으로 조사되었다. 출현량은 조사시기별로 차이를 보이고 있으나, 4월 ~ 7월 사이에 집중적으로 출현하는 양상을 나타내었고, 우점종은 동계인 2월에 흰배도라치, 4월부터 9월 사이에는 망둑어과가 우점하였다(그림 3-3-37).

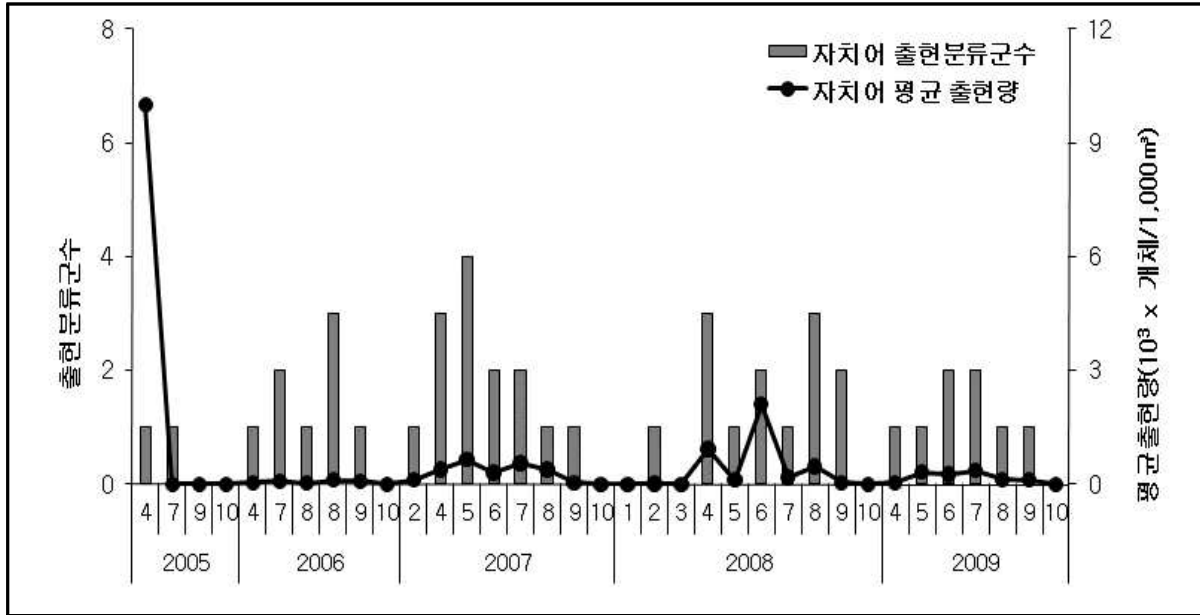


그림 3-3-37. 자치어의 연도별 출현양상

### 3.1.5. 해파리의 물리적 구제

해파리 성체의 물리적 구제를 위하여 입구 1.2 x 1m 크기의 그물망을 이용하여 8~10월에 제거 작업을 수행하였다. 제거 작업에 앞서 해파리의 출현량이 가장 높은 수층을 파악하기 위하여 수층별 출현양상을 조사하였고, 가장 높은 출현량을 나타낸 8m 수심에서 총 39회 예망 작업을 실시하였다. 총 예망시간은 약 17시간이었으며, 총 여수량은 약 120,000 m³이었다. 채집 중 출현한 해파리는 대부분 보름달물해파리였으며, 갑문 인근해역에서 노무라입깃해파리도 일부 출현하였다. 채집된 해파리의 총 개체수는 996개체, 126kg로 미약하였으며, 채집 기간 중 0~218 개체/1,000m³의 분포 범위를 나타내었다(표 3-3-10).

표 3-3-10. 해파리 구제 개요

일시	채집횟수	총 예망시간	총 여수량(m³)	총 채집개체수	총 채집무게(kg)	출현량 (개체/1,000m³)
8월19일	7회	70분	5,520	428	56.1	0~218
8월25일	8회	220분	28,000	394	34.5	0~119
8월26일	8회	240분	30,240	174	35.4	0~22
9월25일	8회	240분	30,240	0	0	0
10월28일	8회	240분	30,240	0	0	0
총계	39회	16시간50분	124,240	996	126	0~218

수층별 분포양상은 표층인 1~2m 수심에서는 해파리 성체의 출현이 확인되지 않았고, 4m 수심에서 평균 12 개체/1,000m³, 그리고 8m 수심에서 평균 189 개체/1,000m³로 저층으로 갈

수록 출현량이 증가하는 양상을 나타내었다(그림 3-3-38). 이는 7~8월에 표층 염분이 크게 감소하여 저층으로 해파리의 이동이 있었던 것으로 사료되었다.

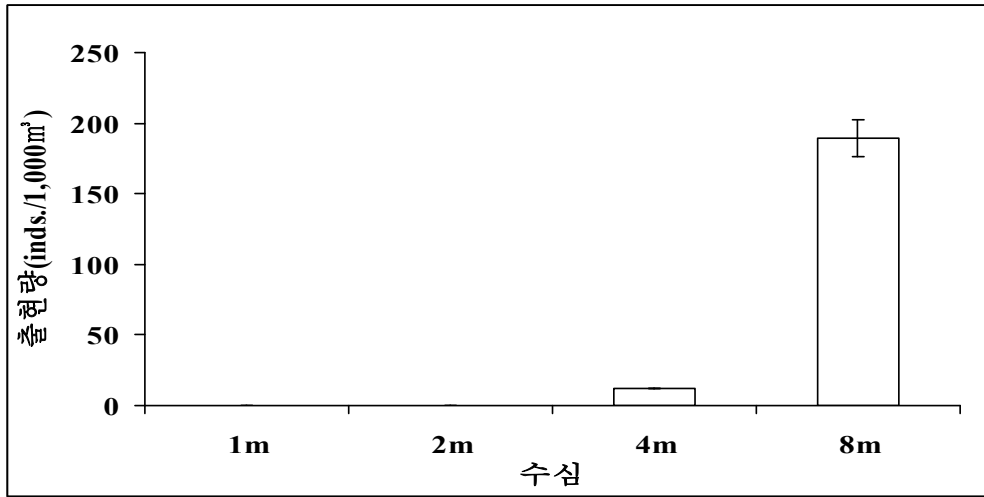


그림 3-3-38. 수층별 해파리 성체 분포 현황

구제 작업 중 출현한 해파리 성체는 8/25일시화호 중류에서 가장 높은 출현량을 나타내었으나 하루 후인 8/26일에는 해파리 성체의 최대밀도 해역이 시화호 하류로 이동되어 있는 것으로 나타났다(그림 3-3-39~40). 또한 이 시기에 갑문 개방을 통해 시화호수의 지속적인 방류가 이루어져 갑문개방에 따른 시화호수의 배출로 해파리 군집이 이동되는 것으로 판단되었다. 따라서 이러한 갑문개방을 통한 시화호수의 방류 시 시화호 내에서 성장한 해파리 성체의 외측 유입이 발생할 것으로 사료되어 시화호 외측의 해파리 분포에 배수갑문 개방이 중요한 역할을 하는 것으로 판단되었다.

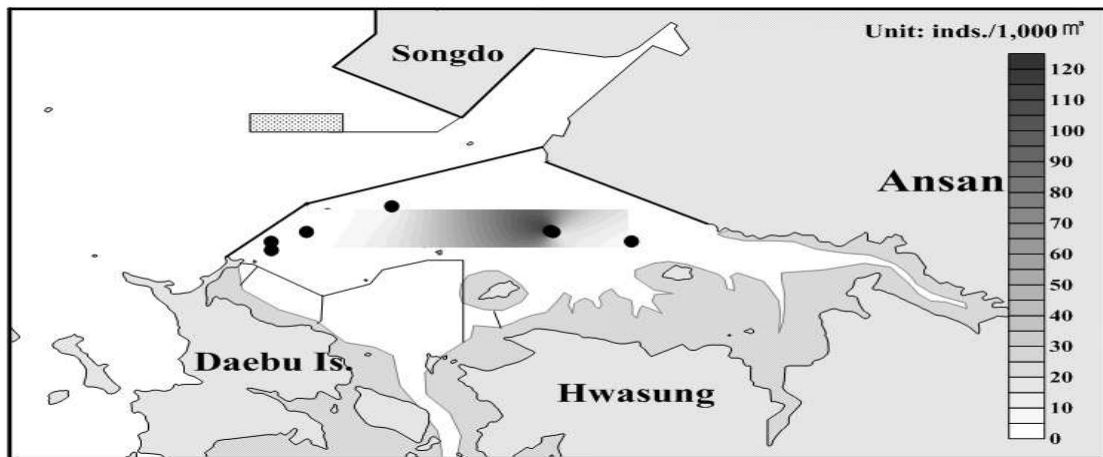


그림 3-3-39. 해파리 성체 출현량 분포(8/25)

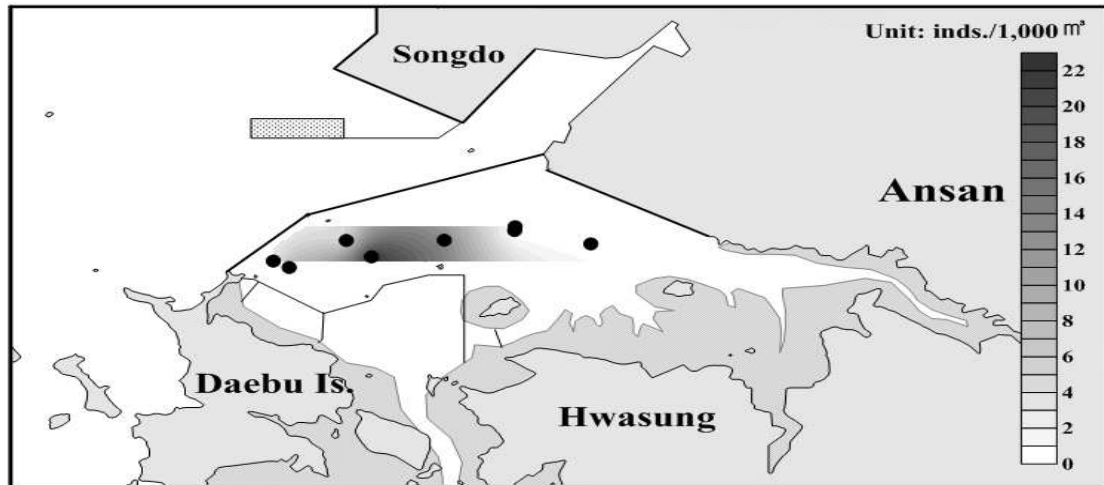


그림 3-3-40. 해파리 성체 출현량 분포(8/26)

구제 작업 중 해파리 성체의 크기 분포는 6~22cm 범위를 나타내었으며, 이 중 13~15cm 크기의 성체가 전체 출현량의 28%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 9~11cm, 11~13cm 그리고 15~17cm 크기 그룹의 출현량은 15% 이상으로 유사한 수준이었다. 소형 및 대형 크기 그룹의 출현량은 5% 미만으로 미약한 수준이었다(그림 3-3-41).

채집된 해파리 성체의 체중은 체장의 2.4승에 비례하는 것으로 나타났으며, 약 12cm 이상의 크기부터는 체중이 급격히 증가하는 양상을 나타내었다.

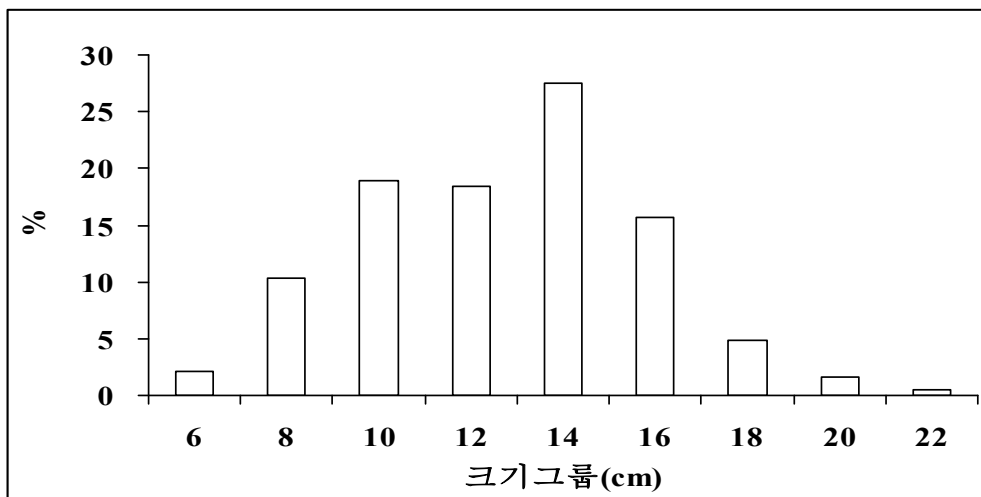


그림 3-3-41. 채집된 해파리 성체의 크기 그룹별 출현 비율(%)

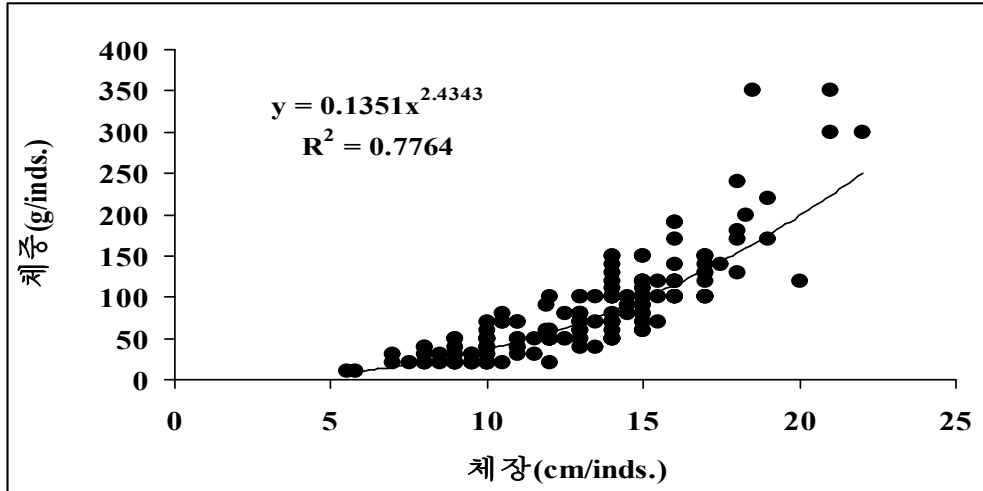


그림 3-3-42. 채집된 해파리의 체장에 대한 체중비

### 3.2. 부유생태계와 환경요인과의 관련성

#### (1) 식물플랑크톤 현존량 변동과 저층 DO 변동

시화호는 여름철 염분 성층기간에는 표층에서는 과포화 상태를 나타내지만, 6m 이하의 수심에서는 산소의 공급이 거의 이루어지지 않으며, 상대적으로 침전, 부유물질에 의한 산소 소모량이 많아서 결핍현상을 나타내는 것으로 알려져 있다(박 등, 1997). 2004 ~ 2009년 까지 용존산소의 변화를 보면, 표층은 7.0 ~ 25.1 mg/L의 범위로 평균 10.9 mg/L를 나타내었고, 저층은 0.1 ~ 20.0 mg/L의 범위로 평균 4.5 mg/L를 보였으며, 거의 모든 조사 시기에 하계 저층에서는 저산소 현상을 나타내고 있다(그림 3-3-43). 이러한 현상은 표층수에서 식물플랑크톤 세포와 동물플랑크톤 배설물 등의 형태로 침강하는 유기물이 심층에서 분해되며 용존산소를 소비하면서 일어나게 되고, 표층의 일차생산량이 클수록 용존산소의 감소는 더욱 심하게 일어나게 된다(최 등, 2001). 실제로 시화호에서 2009년 까지 조사된 결과에 따르면, 현존량과 엽록소 농도가 하계에 높게 측정되었고, 일차생산력 또한 하계에 높은 결과를 보였다. 또한 이 시기에는 저층 DO의 감소가 관측되고 있다. 그러나 하계에는 동물플랑크톤의 출현개체수가 낮은 경향을 보여주고 있어(그림 3-3-30) 하계의 저층 DO 감소는 동물플랑크톤 보다는 식물플랑크톤의 생물량 증가에 의한 영향이 더 클 것으로 예상된다.

더불어 퇴적물 내 식물플랑크톤의 분해산물인 phaeopigment는 4월 이후 점차 증가하는 추세를 나타내고 있으며, 이는 수층에서 발생한 식물플랑크톤의 사체가 저층 퇴적물에 축적되고 있음을 의미하며, 이와 반대로 저층 DO 농도는 4월 이후 점차 감소하는 추세를 나타내고 있어 저층 퇴적물의 phaeopigment와 저층 DO 농도는 반비례 관계를 나타내었다(그림 3-3-44). 따라서 수층 식물플랑크톤 현존량분포와 저층 DO와의 관계 그리고 저층퇴적물 내 phaeopigment와 저층 DO와의 관계를 통해 수층 식물플랑크톤의 현존량 변동이 저층 DO 변동에 중요한 요인임을 보여주고 있다.



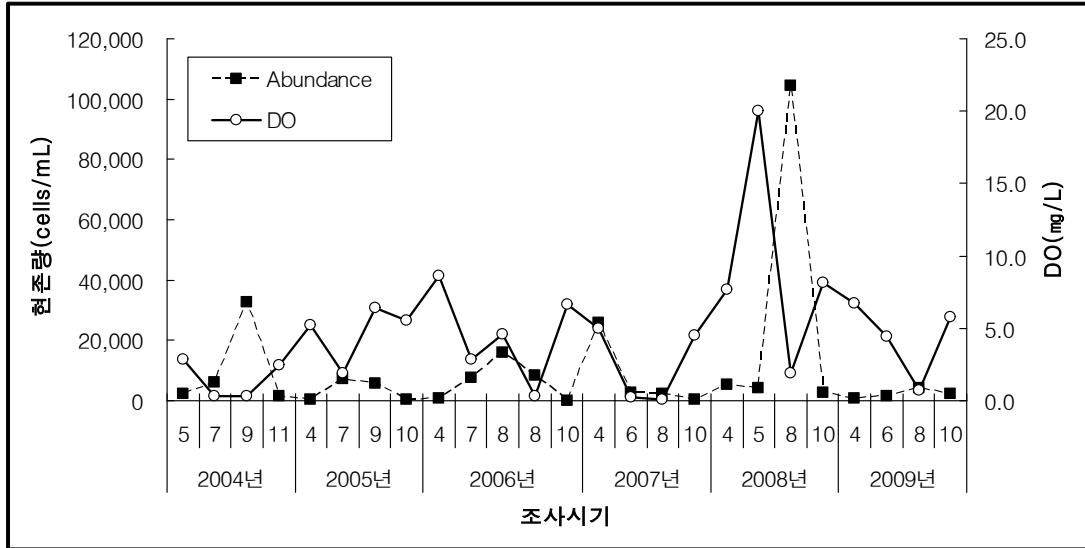


그림 3-3-43. 최근 6년 간 시화호의 표층 식물플랑크톤 현존량과 저층 용존산소 변화

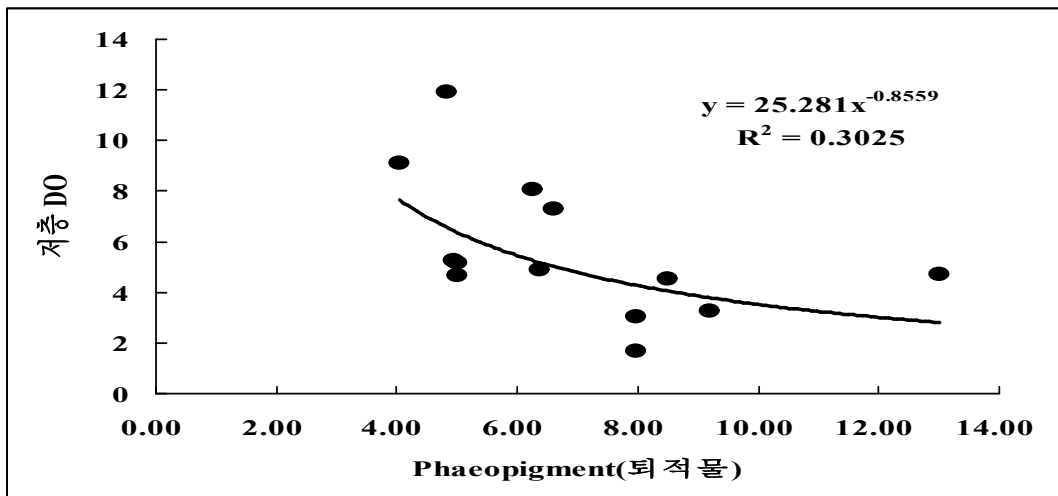


그림 3-3-44. 퇴적물 내 phaeopigment와 저층 DO와의 관계

## (2) 일차생산력과 환경요인과의 관계

일차생산력을 좌우하는 주요 요인은 광도, 생물량, 그리고 영양염 등을 들 수 있다. 시화호 내에서는 영양염이 고갈되는 현상은 발생하지 않아 시화호에서 영양염은 일차생산력을 좌우하는 주요 요인으로 고려되지는 않았다. 생물량은 중요요인이나 2009년 일차생산력과 관계에서 큰 의미를 나타내지는 않았다. 반면 광도를 나타내는 소광계수는 작을수록 광도가 크기 때문에 소광계수  $\circ$ 와 일차생산력과의 반비례 관계는 빛의 세기가 강할수록 일차생산력도 높아짐을 의미한다. 보통 높은 광량하에서는 광저해가 발생하여 일차생산력이 감소하는 경향을 나타내는데 시화호에서는 이와 같은 광저해 현상은 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 시화호의 식물플랑크톤 군집이  $<20\mu\text{m}$ 의 미소형 식물플랑크톤의 비중이 연중 크고, 미소형 식물플랑크톤이 높은 광에 잘 적응한다는 연구결과들도 있어, 시기에 따른 광량의 차이가 시화호에서 일차생산력을 좌우하는 가장 큰 요인일 것으로 판단된다.

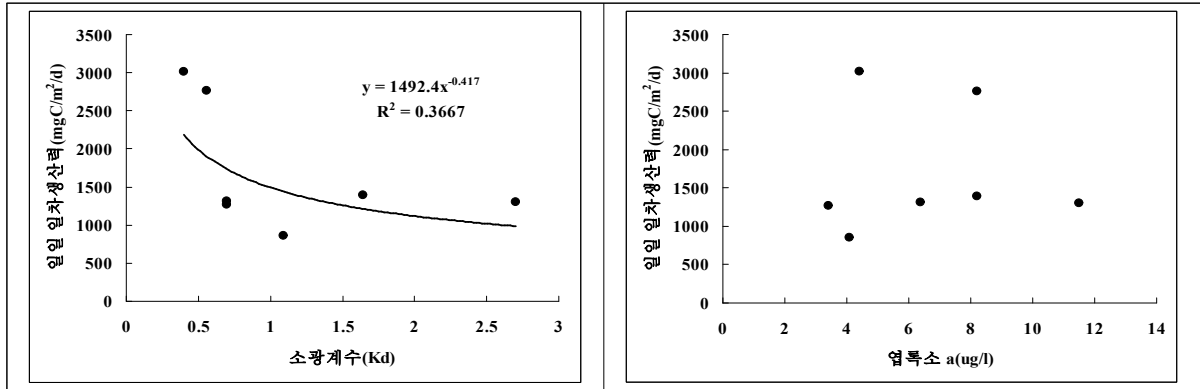


그림 3-3-45. 일차생산력과 환경요인과의 관계

### (3) 원생동물 현존량과 환경요인

2009년 원생동물 현존량 분포와 생물 및 수질환경과의 관계를 살펴본 결과 현존량 분포는 표층과 저층에서 차이를 나타내었다. 표층 현존량은 포식자인 동물플랑크톤의 출현개체수와 반비례 관계를 나타내었다(그림 3-3-45). 이는 동물플랑크톤의 출현개체수 증가 시 원생동물에 대한 포식압의 증가로 원생동물 현존량 감소를 나타내고 동물플랑크톤 감소 시에는 포식압의 감소로 원생동물의 현존량 증가가 발생하는 것으로 판단되었다. 반면 저층에서는 5월 이후 DO 농도와 원생동물 현존량 분포가 비례 관계를 나타내었다(그림 3-3-45). 저층 DO 농도는 5월 이후 감소하기 시작하여 8월에(1.69 mg/L) 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 생물량 역시 8월로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 저층 DO 감소시기에는 종속영양와편모류인 *Katodinium glaucum*이 우점종으로 출현하고 있어 저산소 환경에 잘 적응된 종으로 판단되었다.

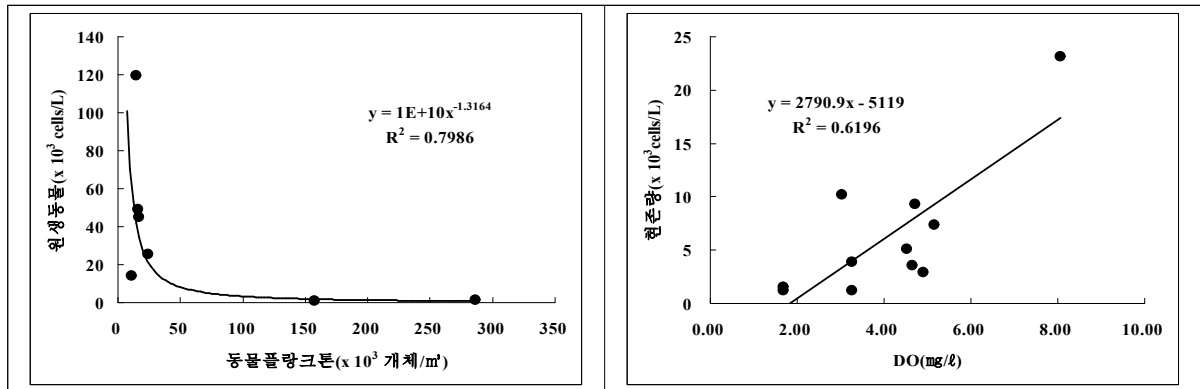


그림 3-3-46. 원생동물 현존량 분포와 환경요인과의 관계

### (4) 동물플랑크톤 출현량과 환경요인

수온, 염분에 따른 개체수 분포 특성을 보면 조사 시기 동안 수온 12~13℃, 염분 30 psu에서 출현 개체수가 가장 높게 나타났다(그림 3-3-46). 따라서 이른 봄 갈수기에 출현 개체수가 높은 특징을 보였다. 또한 수온 25℃ 내외, 염분 20~26 psu 사이에서도 높은 개체수가 나타났다. 따라서 하계 집중호우 시기가 지난 후 고온이 유지되면서 염분이 상승하는 시기에 출현

개체수가 높게 나타나는 특징을 보였다.

전체 동물플랑크톤 중 대부분을 차지하는 요각류와 엽록소 a 농도는 전체적으로 통계학적으로 유의한 상관성을 보이지 않고 있으나 전반적인 변화 추세를 보면 동물플랑크톤의 출현 개체수가 낮은 시기에 엽록소 농도가 상대적으로 높게 나타나고 개체수가 높은 시기에 엽록소 농도가 감소하는 경향을 보인다(그림 3-3-47). 이러한 경향성은 2008년 결과에서도 확인되었다. 이것으로 보아 생물학적인 포식-피식 관점에서 둘 사이에는 상-하향조절(Bottom-up, Top-down control)이 계절별로 나타날 수 있을 것으로 예상된다.

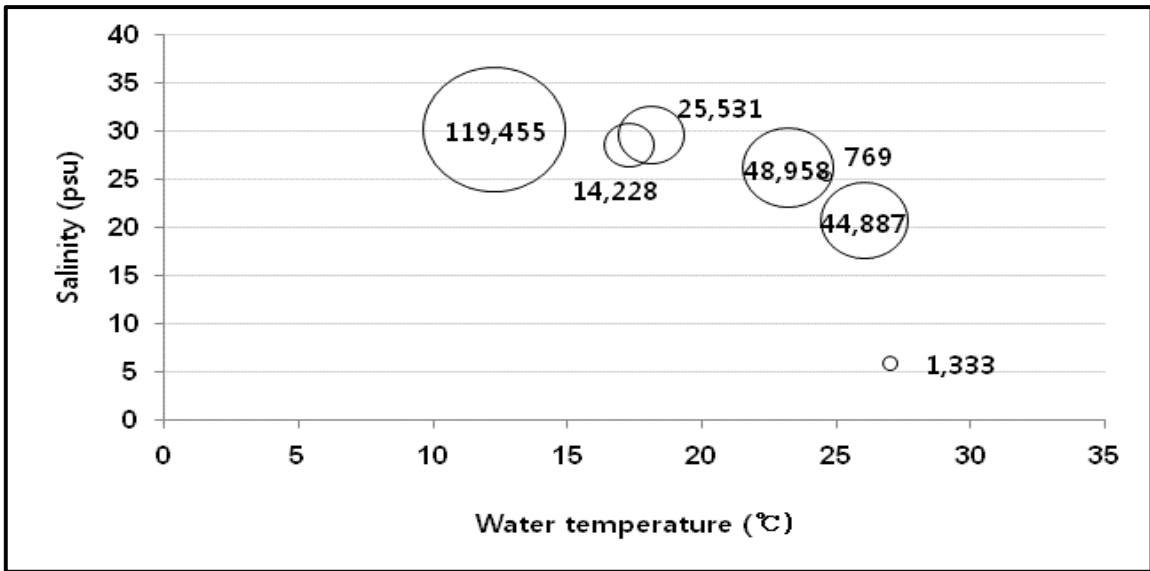


그림 3-3-47. 수온-염분에 따른 동물플랑크톤 출현 개체수 분포

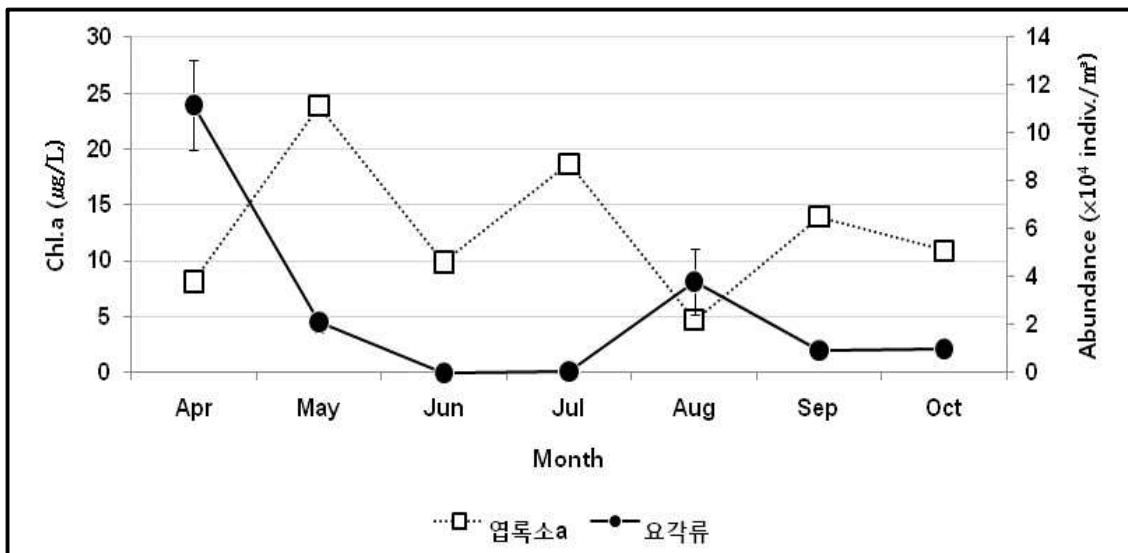


그림 3-3-48. 엽록소 a 농도와 요각류 출현 개체수의 월별 변화 양상

### (5) 해파리 출현 양상과 환경요인

동물플랑크톤은 4월 이후 출현개체수가 감소하여 6~7월에 매우 낮은 개체수를 나타내었다. 해파리의 경우 4월 이후 에피라가 출현하여 6월에 해파리 성체로 성장하였다(그림 3-3-49). 6~7월 동물플랑크톤은 저온종과 고온종의 천이가 나타나는 시기로 이러한 천이 과정 중에 동물플랑크톤의 출현개체수 감소가 발생할 수 있다. 그러나 4월 이후 해파리 출현과 함께 동물플랑크톤의 출현개체수가 감소하고 특히, 개체수가 가장 낮았던 6~7월은 해파리 성체의 출현량이 가장 높은 시기로 나타나, 동물플랑크톤 천이와 함께 해파리의 동물플랑크톤에 대한 포식압 증가가 동물플랑크톤의 출현개체수 감소에 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 따라서 동물플랑크톤의 출현량 변동은 계절적 천이와 해파리 출현 등에 의해 크게 좌우되는 것으로 판단되며, 이러한 동물플랑크톤의 변동은 식물플랑크톤 및 원생동물에 대한 포식압 감소로 이어져 하위 영양단계의 출현량 변동에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

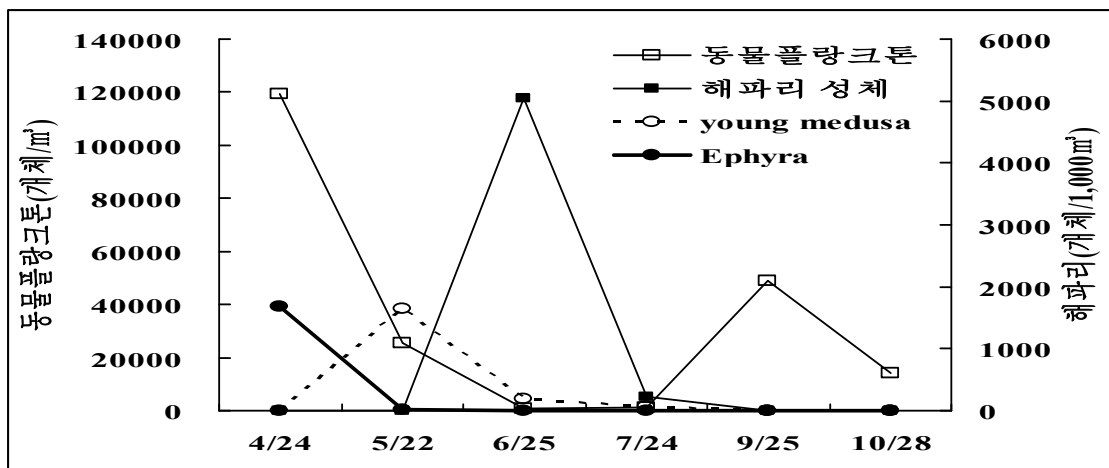


그림 3-3-49. 동물플랑크톤과 해파리 분포

해파리의 에피라 단계는 수온이 10°C 정도로 상승하는 4월부터 출현하기 시작하여 9월 이후 출현하지 않았다. 염분은 6월 이후 강우로 인해 5 psu까지 감소하는 양상을 보여주고 있으며, 염분 하락 시기 이후 해파리 출현은 급격히 감소하여 이후 출현하지 않았다(그림 3-3-50). 기존 연구에서 염분농도 10 psu 이하에서는 부착단계인 스트로빌라와 해파리 성체는 활력이 저하되면서 사망하는 것으로 나타났다. 그러나 저층의 경우 표층 염분이 7월에 5 psu까지 감소한데 반해 25 psu 이상을 유지하고 있어 부착단계인 스트로빌라에게는 영향을 없었을 것으로 판단되며, 수층에 있는 해파리 성체는 활력의 저하와 사망에 이르는 개체들이 상당수 발생하였을 것으로 예상된다. 8월 조사에서 표층에서는 해파리 성체가 발견되지 않았으나 저층에는 상당수의 해파리 성체가 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 급격한 염분 저하에 의해 상당수 개체들의 사망이 발생하고 사망하지 않은 개체들은 염분 농도가 높은 저층으로 수직 이동한 것으로 판단된다. 그러나 저층으로 이동한 개체들은 활력이 매우 저하된 상태로 관찰되어 많은 개체들이 이후 사망할 것으로 예상되었다. 따라서 해파리 발생과 증가는 수온과 먹이 농도 증가가 주원인으로 보이며, 이후 개체수 감소는 염분 감소와 밀접한 연관이 있을 것으로 판단된다.

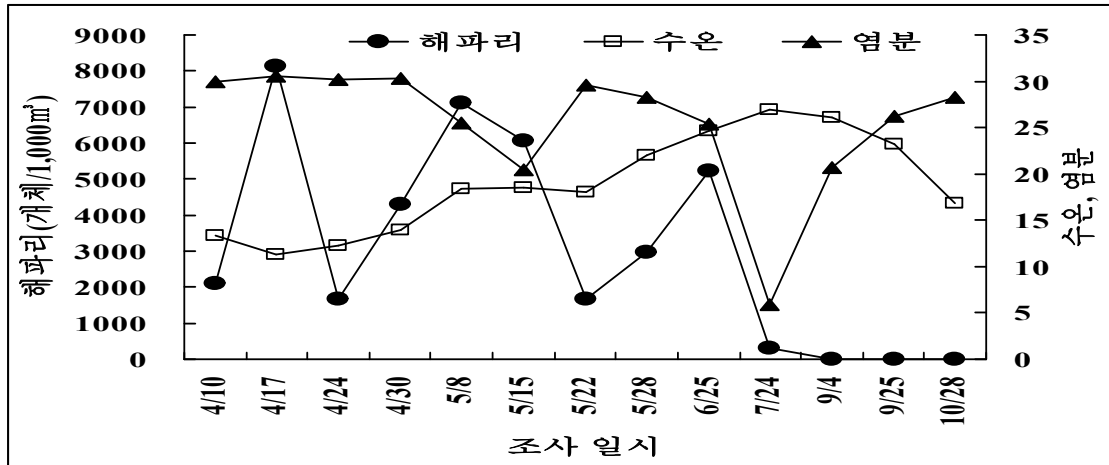


그림 3-3-50. 해파리(에피라, 해파리 유체, 성체) 분포와 표층 수온 및 염분 분포

## 4. 결론

### 4.1. 식물플랑크톤

시화호의 식물플랑크톤 출현종수는 총 120종으로 전년도에 비해 증가하였고, 기타 분류군의 출현이 증가하여 상대적으로 규조류와 와편모조류의 조성률은 다소 감소하였다. 현존량은 1998년부터 상시적으로 방류시키면서 감소추세를 보여 2004년에는  $13 \times 10^3$  cells/mL, 2005년에는  $5 \times 10^3$  cells/mL, 2006년에는 3,543 cells/mL을 보였으나, 2007년과 2008년에는 각각  $12 \times 10^3$  cells/mL,  $14.1 \times 10^3$  cells/mL로 증가하였고, 2009년에는 1,484 cells/mL로 다시 크게 감소하였다. 2007년과 2008년의 높은 현존량 증가는 2007년 4월에 초미세 플랑크톤(Picoplankton)과 은편모조류가, 7월에는 초미세 플랑크톤과 *Prorocentrum minimum*이, 2008년 7월과 8월에는 남조류와 식물성편모조류(phytoflagellates)가 대량 발생하였기 때문이다. 2006년에는 와편모조류에 의한 적조 발생이 적었으나, 2007년에는 상대적으로 크게 증가하여 *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum* 속의 종들이 빈번하게 대량 발생하였고, 본 조사년도에도 일부 계절에 *Prorocentrum* 속의 종들이 높은 현존량을 나타내었다. 연 평균 엽록소-a 농도는 2005년에  $19.2 \mu\text{g/L}$ 에서 2006년에  $12.0 \mu\text{g/L}$ 로 감소하였고, 2007년과 2008년에 각각  $16.5 \mu\text{g/L}$ ,  $12.4 \mu\text{g/L}$ 로 약간의 증가현상을 보였으나 금년에  $7.9 \mu\text{g/L}$ 로 다시 감소하여 현존량의 계절 변화와 유사하였다. 금년 조사에서는 시화호 내 한 개의 정점에서 조사가 이루어졌고, 이로 인해 다소 감소한 현존량과 엽록소-a 농도를 나타낸 것으로 사료된다. 그러나 하계와 일부 춘계 조사에서 높은 현존량과 엽록소-a 농도를 보여 연도 별로 유사한 계절 변화 양상을 보였다. 크기분급에 따른 엽록소 농도는 2005년에 nano 엽록소-a와 micro 엽록소-a 농도가 각각 50%씩 차지하였으나, 금년에는 79%와 21%를 차지하며 소형플랑크톤이 감소하고 미소형 플랑크톤이 증가하는 경향이 뚜렷하였다.

종 다양성 지수는 모든 조사년도에 유사한 단주기적 변동을 보였고, 현존량과 엽록소 농도 변화와는 반대로 춘계와 하계에 낮은 다양성을 나타내어 초미세 플랑크톤과 규조류, 와편모조류 중 극소수에 의한 우점현상이 두드러진 것으로 판단된다. 또한 하계에 현존량 및 엽록소

농도, 일차생산의 증가와 저층 DO의 감소 현상이 지속적으로 나타내고 있으며, 퇴적물 내 식물플랑크톤 분해산물인 phaeopigment 증가와 DO 감소가 나타나고 있어 수층 식물플랑크톤 증가에 따른 저층으로의 유기물 축적이 저층 DO의 감소를 유발하는 중요한 요인으로 판단된다. 또한 일차생산력은 미소형 식물플랑크톤이 큰 비중을 차지하는 시화호에서는 생물량보다 광량 증가가 더 큰 영향을 미치는 것으로 예상된다.

#### 4.2. 원생동물플랑크톤

원생동물은 조사 시기마다 우점종의 천이가 나타났으며, 빈모류나 유종섬모충류가 우점하는 시기에는 급격한 현존량 증가가 발생하지 않았으나, *M. rubrum*과 같은 혼합식성의 섬모충류와 종속영양와편모류가 주로 급격한 현존량 증가를 나타내었다. *M. rubrum*은 혼합영양식자로 광합성 작용을 할 수 있어, 먹이 경쟁에 따른 성장률 저하를 보충할 수 있으며, 주로 초여름과 초가을 등 엽분감소 후 증가 시기에 크게 증가하는 경향을 나타내어 엽분 적응이 타 종들에 비해 높기 때문에 기회성 종으로 판단된다. *Katodinium glaucum*은 2009년 저층 DO 농도가 낮았던 10월에 우점하는 경향을 나타내어 낮은 DO 환경내에서 잘 적응하는 종으로 판단되었다.

종 다양성 지수는 2004년부터 2009년까지 월별 다양성지수의 증감을 반복하고 있으나 대체적으로 1.0 미만으로 매우 불안정한 군집 특성을 보여주고 있으며 더 이상 군집상태가 악화되지는 않더라도 크게 호전되지는 않고 있음을 보여주고 있다. 이는 연중 시화호 내측에서 소수종에 의한 현존량 점유율이 높게 나타나고 있기 때문이며, 시화호는 여전히 환경변화에 잘 적응된 소수종에 의해 군집이 유지되고 있음을 의미한다.

원생동물 현존량 변동은 표층과 저층에서 차이를 나타내었으며, 표층에서는 포식자인 동물플랑크톤의 영향이 큰 것으로 보이며, 저층에서는 DO 농도 변화가 중요한 요소인 것으로 예상되었다. 저층 DO는 8월에 1.69 mg/L로 매우 낮아 생물의 서식이 어려운 환경이었다. 따라서 DO 농도가 크게 감소하는 시기에는 DO가 현존량 변동에 주요한 요소로 작용할 것으로 판단되었다.

#### 4.3. 중형동물플랑크톤

시화호 동물플랑크톤은 최근 6년 간 장기 변동 관점에서 4월과 8-9월에 2번의 개체수 peak를 보이는 공통적인 특징을 보이고 있다. 추계를 제외하면 종 다양성 지수도 낮게 나타나며, 소수종에 의한 우점현상도 지속적으로 나타나고 있다. 배수 갑문 개방 후 연안종의 유입으로 인해 출현종수는 증가하였으나 연안종이 우점하는 현상은 야광층을 제외하고 나타나지 않고 있다. 다만 동계에 *Acartia hongii*가 우점하는 경향을 나타내기도 하지만 춘계에 접어들면서 다른 종으로 천이되는 경향을 보인다. 따라서 배수 갑문을 통한 해수 유통은 연안종의 유입을 통해 시화호의 동물플랑크톤의 종수를 증가시키지만 군집의 안정도를 증가시키는데 한계를 나타내고 있다. 이는 지속적인 하계의 저층 저산소 현상과 주변 연안보다 현저히 높게 나타나는 일차생산자의 높은 밀도에서도 확인된다.

시화호에 출현하는 해파리는 4~6월에 성체로 성장하며, 성체 증가시기에 유성생식을 통해

planula 유생이 많이 방출되는 것으로 조사되었다. 스트로빌라로부터 무성생식을 통해 발생하는 초기 부유성 단계인 에피라는 시화호 중류의 전신주 인근 해역에서 가장 높은 출현량을 나타내어 중류에 위치한 전신주를 기질로 많은 양의 polyp이 부착되어 있을 것으로 판단되었다. 또한 해파리 성체 군집은 시화호 중상류에서 하류로 이동하는 경향을 보여주었으며, 이 시기 배수 갑문을 통한 시화호수의 방류가 있어 방류에 의한 해파리 군집의 이동으로 판단되었다. 또한 외해수 유입 시기에는 외측에 형성된 노무라입깃해파리가 시화호 배수 갑문 인근해역에서 출현하고 있어 배수갑문 운영이 시화호 내·외측의 해파리 이동에 중요한 요인으로 판단된다.

#### 4.4. 난·자치어

2009년 본 조사결과에서 부유성 어란은 춘계에 전어, 하계에 멸치가 우점하는 양상을 나타내고 있으며, 자치어의 경우 동계에 흰배도라치, 춘계와 하계에 망둑어과가 지속적으로 우점하여 과거 시화호 내측에서 조사된 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 반면, 경기만에서 출현하는 난·자치어는 동계에 흰배도라치, 춘계에는 볼락류, 전어, 밴댕이, 하계에는 망둑어과, 돛양태과, 참서대과, 멸치, 추계에는 농어 등으로 계절적 우점종이 뚜렷하고 종조성이 다양하였으며(임, 2003), 이와 비교한 본 조사에서 일부 우점종은 동일하였으나 그 외 종조성은 낮은 수준을 나타내었다. 이러한 결과는 시화호의 구조상 어류의 출입이 제한적이며, 또한 강우 시 유입되는 담수는 반폐쇄적인 환경에서 내성이 강한 정착성 어종들이 주로 서식하게 하는 주요 요인인 것으로 판단된다.

본 조사에서 우점종은 공간적 우점종인 망둑어과와 시기적 우점종인 전어로 구분되었다. 망둑어과는 수온이나 염분 등 환경 변화에 대한 내성이 강한(유 등, 1993) 정착성 어종으로 본 조사에서 평균 45 ~ 347 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위로 조사시기별 출현량의 차이가 크지 않았으며, 춘계 이후 추계까지 지속적으로 출현하였고, 과거조사에서도 2005년부터 본 조사까지 지속적인 우점하는 양상을 나타내었다. 전어는 연안성 어종으로 큰 회유는 하지 않지만 일반적으로 6 ~ 9월에는 외해역에 있다가 10 ~ 5월에는 연안의 내만으로 이동하며, 3 ~ 6월에 연안의 내만으로 떼를 지어 몰려와 만의 입구의 저층에서 산란을 한다(김 등, 2004). 본 조사에서 평균 23 ~ 1,094 개체/1,000m<sup>3</sup>의 범위로 조사시기별 출현량 차이가 크게 나타났으며, 출현량은 4월에 가장 많은 것으로 조사되었다. 과거 조사에서도 전어는 4월과 5월 사이에 우점하였으며, 이 시기 출현량 또한 매우 높은 것으로 조사되었다. 또한, 전어의 어란은 조사 정점별로 고른 분포를 나타내지 않고, 소수의 정점에서 높은 밀도로 출현하여 정점 간 출현량 차이가 큰 것으로 조사되었다. 이는 시화호 내의 조석, 조류, 파도 등의 물리적인 환경요인이 매우 제한적이기 때문에 밀도 높은 전어의 어란이 확산이나 희석되지 않고 밀집된 형태로 채집된 것으로 판단된다. 따라서 이와 같은 두 우점종의 출현양상을 볼 때 망둑어과는 시화호 내에서 정착한 종으로 판단되며, 전어의 어란은 외부에서 유입되기 보다는 내부에서 산란된 어란으로 사료된다.

## 4.5. 환경개선방안

### 4.5.1. 하계 저산소 현상 방지

동계 및 춘계 동식물플랑크톤의 증식은 이들에 의한 저층 유기물 축적과 함께 하계 성층 현상이 맞물려 저층 DO를 감소시키는 중요한 원인으로 사료된다. 특히, 수층에서 발생된 식물플랑크톤 사체는 저층에 축적되어 DO를 감소시키는 주요 요인으로 판단된다. 식물플랑크톤의 성장을 억제하기 위해서는 질소 유입원 차단이 가장 좋은 방법이나, 유입된 질소원은 식물플랑크톤이 이용하기 전에 빠른 시간 내에 외해수와의 희석을 통해 배출하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 그러나 현재 갑문 운영 방식이 연속 유입 후 연속 배출하기 때문에 시화호로 유입된 질소원의 체류 시간이 길어질 것으로 판단된다. 따라서 갑문 운영방식과 질소원의 체류 시간과의 관계를 분석해서 체류시간이 짧은 운영방식으로 변경하는 것도 하나의 방법일 것으로 사료된다.

### 4.5.2. 해파리 구제

2009년 해파리 구제는 성체를 대상으로 하였으나, 수거에 필요한 인력과 시간을 고려할 때 효율이 크지 않은 것으로 보인다. 또한 성체는 이미 planula 유생을 발생시키기 때문에 성체까지 성장 후에 제거하는 방법은 큰 효과를 보기는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 향후 해파리 구제는 에피라 또는 해파리가 성체로 자라기 전인 young medusa 단계에서 제거하는 것이 더 바람직할 것으로 보인다. 2009년 조사 결과 에피라 및 young medusa는 4~5월에 집중적으로 증가하는 것으로 나타나고 이 시기에 해파리를 제거하는 것이 더 효율적인 구제 방법일 것으로 판단된다.



# 제 4 절 시화호 저서생태계 모니터링

## 1. 연구개요

2010년 조력발전소가 가동이 되면 시화호의 생태계는 새로운 국면을 맞이하게 된다. 조력발전을 통해 외해수와의 해수 교환량이 현 수준보다 약 10배 정도 증가되어 시화호 수질은 크게 개선될 것으로 예상된다. 또한 수질 개선의 영향으로 악화되어 있는 시화호 저층의 저서생태계도 크게 개선될 것으로 전망된다. 또 하나의 큰 변화는 시화호 가장자리를 따라 새로운 갯벌이 형성된다는 것이다. 시화호 남측에 위치한 형도와 음섬 사이에 넓게 위치한 얕은 수심 지역이 갯벌로 새롭게 변모하게 된다. 시화호종합관리계획에 의하면 이 지역은 개발 유보지로서 자연 해안선이 유지되는 지역이다. 이럴 경우 음섬과 형도사이에는 약 13 평방킬로미터 정도의 갯벌이 만들어지게 된다 (평균해수면 기준 -1m ~ -5m 수심 지역). 현 조하대지역 (-2m ~ -5m 사이) 뿐만 아니라 현재 수문조작에 의한 조석영향 지역인 수변부 (-1 ~ -2m)에는 매우 큰 물리적 환경변화가 나타나게 될 것이다. 새롭게 형성되는 시화갯벌의 복원은 친환경적 시화호 관리를 위한 목표에 부합될 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다. 그러나 현재까지 시화갯벌에 대한 아무런 구체적 관리방안도 제시된 것이 없을 뿐만 아니라 이 지역에 대한 환경 및 생태계 전반에 관한 연구도 전무한 실정이다.

본 연구는 현 시점의 시화갯벌 예정지의 저서생태계 현황 진단을 통해 시화갯벌을 친환경적으로 관리하고 복원하기 위한 생태계 기본 자료를 생산하는데 연구목적이 있다. 이를 위해 시화갯벌 예정지의 저서생태계 특성과 이 지역 우점종인 바지락의 생태 및 개체군 연구를 수행하였다. 특히, 자연 상태의 바지락 개체군이 서식하는 근소만 갯벌을 대조 연구지역으로 설정하여 시화호의 바지락 개체군 특성과 비교를 통해 시화호 바지락 개체군의 현 상태를 진단하였다. 아울러 새로운 시화갯벌에 바지락 개체군을 복원하기 위해서 필수적으로 요구되는 환경요인의 조건을 찾고자 하였다. 마지막으로 새로운 갯벌에 바지락 개체군이 복원되었을 때, 바지락이 생물학적으로 시화호 수질개선에 어떠한 효과를 나타낼 수 있을지를 바지락에 의한 해수 여과율 실험을 통해 분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 시화갯벌 예정지 저서생태계 조사

#### 2.1.1. 현장조사

시화호 조력발전 가동 후 새로 생성되는 시화 갯벌 예정지의 환경요인과 저서동물군집 특성을 조사하기 위해 2009년 4월에 현장조사를 실시하였다. 조사지역인 형도와 음섬 사이의 해역에 5개 조사선을 설정하고, 각 조사선 별로 -1.0m, -1.5m, -2.0m, -3.0m, -5.0m (평균해수면 기준)의 수위에 해당되는 곳에 정점을 설정하였다. (그림 3-4-1, 표 3-4-1).

현장조사는 시화호 배수갑문 조작으로 형성되는 수변부 (-1.0m, -1.5m, 2.0m)와 항시 물에

잠겨있는 조하대 (-3.0m, -5.0m) 구역을 구분하여 각기 다른 방법으로 조사하였다. 수변부의 대형저서동물 조사는 물이 빠지는 시기에 도보로 캔코어 (채집면적 0.025m<sup>2</sup>)를 이용하여 정점당 퇴적물을 4회 반복 채취하여 수행하였다. 조하대 조사에는 선외기를 이용하였으며, 각 정점에서는 개량된 미니 반빈채니기 (van Veen grab; 채집면적 0.025m<sup>2</sup>)를 이용하여 퇴적물을 4회 반복 채취하여 대형저서동물 조사를 실시하였다. 채취한 퇴적물은 직경 0.5mm인 체에 걸러서 남은 잔존물을 해수로 중화된 10% 포르말린용액에 고정하였다. 동시에 퇴적물의 퇴적상과 유기물 함량 분석을 위해 표층 퇴적물을 정점별로 약 50g 채취하였다. 또한 조하대 수층의 환경요인 측정을 위해 DO sensor가 장착된 CTD (SBE-19)를 이용하여 온도, 염분 및 용존 산소 농도를 각 정점에서 수심별로 측정하였다.

수변부 정점의 조고는 이미 알고 있는 수위에서 오토레벨(AT-G3)를 이용하여 측정하였으며, 조하대 정점의 수심은 시화호 만 수위(-1m) 기준한 수심자료를 이용하였다.

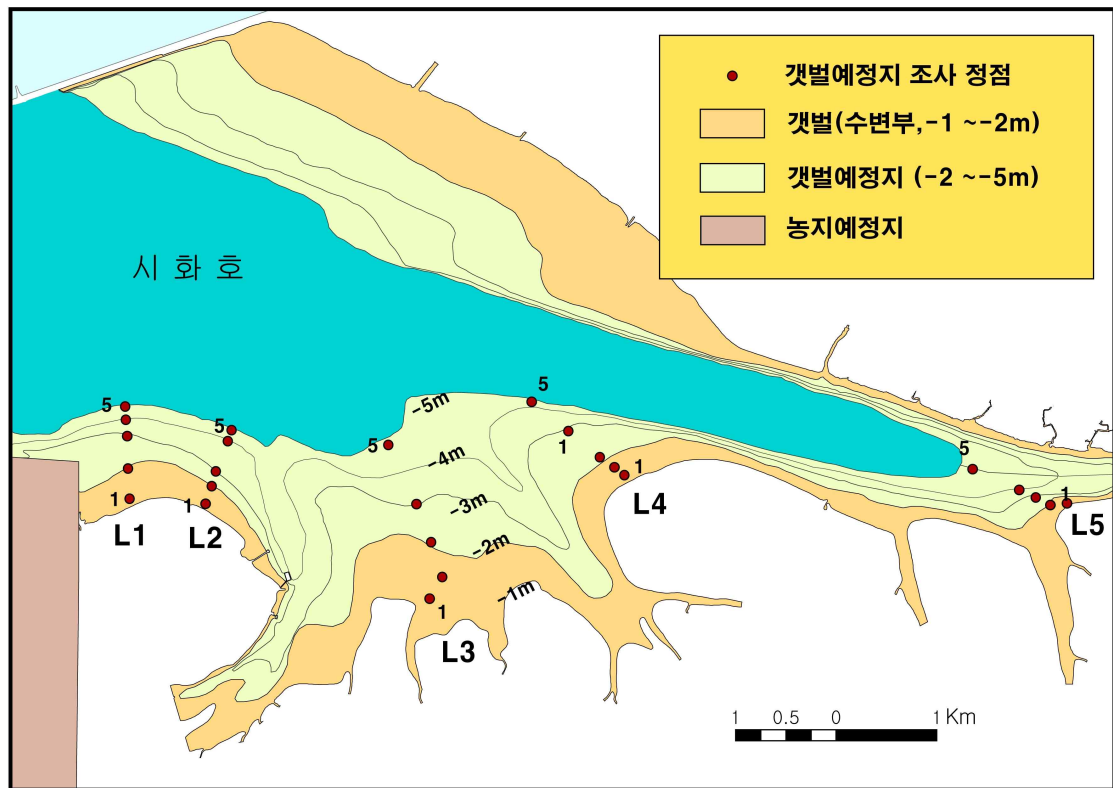


그림 3-4-1. 시화호 갯벌 예정지의 대형저서동물 및 환경요인 조사 정점도 (5개 조사선, 총 25개 정점)

표 3-4-1. 시화호 갯벌 예정지의 대형저서동물 및 환경 조사 위치 (WGS-84)

정점	위도	경도	비고
L1-1	N37° 17 ' 21.1 "	E126° 40 ' 10.4 "	
L1-2	N37° 17 ' 28.2 "	E126° 40 ' 10.1 "	
L1-3	N37° 17 ' 31.8 "	E126° 40 ' 09.5 "	
L1-4	N37° 17 ' 41.3 "	E126° 40 ' 08.4 "	
L1-5	N37° 17 ' 52.7 "	E126° 40 ' 07.7 "	
L2-1	N37° 17 ' 09.8 "	E126° 40 ' 41.3 "	
L2-2	N37° 17 ' 15.7 "	E126° 40 ' 43.8 "	
L2-3	N37° 17 ' 20.6 "	E126° 40 ' 45.5 "	
L2-4	N37° 17 ' 26.8 "	E126° 40 ' 48.5 "	
L2-5	N37° 17 ' 33.9 "	E126° 40 ' 51.7 "	
L3-1	N37° 16 ' 48.8 "	E126° 42 ' 05.3 "	
L3-2	N37° 16 ' 54.5 "	E126° 42 ' 12.9 "	
L3-3	N37° 17 ' 02.5 "	E126° 42 ' 09.0 "	
L3-4	N37° 17 ' 15.1 "	E126° 42 ' 03.3 "	
L3-5	N37° 17 ' 29.0 "	E126° 41 ' 54.7 "	
L4-1	N37° 17 ' 25.2 "	E126° 43 ' 26.3 "	
L4-2	N37° 17 ' 26.3 "	E126° 43 ' 25.2 "	
L4-3	N37° 17 ' 28.4 "	E126° 43 ' 20.4 "	
L4-4	N37° 17 ' 39.8 "	E126° 42 ' 59.6 "	
L4-5	N37° 17 ' 42.9 "	E126° 42 ' 52.5 "	
L5-1	N37° 17 ' 20.1 "	E126° 46 ' 24.2 "	
L5-2	N37° 17 ' 18.2 "	E126° 46 ' 14.9 "	
L5-3	N37° 17 ' 18.9 "	E126° 46 ' 12.2 "	
L5-4	N37° 17 ' 20.1 "	E126° 46 ' 03.8 "	
L5-5	N37° 17 ' 21.5 "	E126° 45 ' 51.1 "	

## 2.1.2. 자료분석

### (1) 퇴적물 분석

현장에서 채취된 퇴적물 시료는 실험실로 옮긴 후 약 5g을 1,000mL 비이커에 담아 유기물을 제거하기 위하여 10% 과산화수소수( $H_2O_2$ )로 24시간 이상 반응시켰다. 이후 조개껍데기 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거하였다. 입도 분석이 준비된 시료는 40체를 이용하여 습식체질 (wet sieving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 40이하의 사질 시료는 0.5 $\phi$  간격으로 Gradex 2000 입도분석기로 약 10분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였다. 40이상의 니질 시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2g을 취해 0.1% calgon용액을 80mL 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5100로 분석하여 입도무게 백분율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Folk and Ward (1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 통계적인 변수들을 구하였다.

퇴적물 내 유기물 함량은 강열감량(IL) 값으로 나타내었다. 강열감량은 건조된 시료 약 1g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550 $^{\circ}C$ 로 2시간 가열한 후 감소된 중량을 유기물 농도로 표현하였다 (해양수산부, 2002).

### (2) 저서동물 시료 및 자료 분석

실험실로 운반한 저서동물 시료는 1차 저서동물 선별작업을 거친 후, 해부현미경하에서 종 수준까지 동정하고 종별로 개체수를 계수하고 습중량을 측정하였다. 저서동물군집의 공간적인 분포특성을 파악하기 위해 각 정점별 출현종수, 개체수, 분류군별 구성비율 그리고 우점종 등의 분포특성을 분석하였다. 저서동물 군집구조를 분석하기 위해 집괴분석 (cluster analysis)을 실시하였으며, 정점별 출현개체수 자료를 유사도지수 (Bray-Curtis similarity)를 사용하여 정점간의 관계를 나타내는 수지도를 그렸다 (Primer v6). 집괴분석 결과 도출된 정점군별 생태학적 지수와 생물상의 특성을 비교하였다.

## 2.2. 바지락 서식지 환경 및 개체군 특성 조사

### 2.2.1. 현장조사

#### (1) 바지락 서식밀도 분포 조사

시화호 수변부에 서식하는 바지락의 공간적인 분포와 현존량을 파악하기 위하여 형도 주변 수변부의 -1.5m, -1.8m, -2.0m 조고를 기준으로 횡으로 12개씩의 정점을 정하여 총 36개 정점에서 바지락 밀도조사를 수행하였다 (그림 3-4-2). 각 정점에서는 50cm $\times$ 50cm 크기의 방형구 2개를 설치하고 호미를 이용하여 방형구내 바지락을 채집하였다. 조사 시 각 정점의 좌표는 GPS를 이용하여 경위도 좌표계 (WGS84)로 기록하였다. 시화 호도 수변부의 바지락 서식밀도 조사는 4월, 7월, 9월에 실시하는 것으로 계획하였다. 그러나 시화멀티테크노밸리(MTV) 방수재 공사로 인해 5월까지 호수 내 수위가 높게 유지되었고, 또한 7월에는 호내 염분급감으로 인한 바지락 폐사가 발생하는 등, 현장의 여건의 급변으로 3월과 6월에만 현장조사를 실시할 수 있었다.

## (2) 바지락 개체군 특성 조사

### 가. 서식지 환경요인 조사

현 시화호 수변부 갯벌과 자연성을 유지하면서 높은 바지락 생산을 보이고 있는 근소만 갯벌에서 수온, 기온, 염분, 퇴적상, 노출시간 등의 환경요인을 서로 비교 분석하였다. 현장조사는 시화호 수변부 갯벌의 SH1 (평균해수면 기준 -1.5 m), SH2 (-1.8 m), SH3 (-2.0 m) 3개 정점과 근소만 갯벌의 GS1 (-0.9 m), GS2 (-1.8 m), GS3 (-2.5 m) 정점에서 실시하였다 (그림 3-4-2).

수온과 기온 측정에는 HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger를 이용하였으며, 시화호에서는 2009년 6월부터 11월까지 그리고 근소만에서는 4월부터 11월까지 15분 간격으로 각 조사정점에서 측정하였다. 자료는 월별로 획득하고 분석하였으나, 센서의 오작동 및 분실사고로 몇몇 정점은 연속적인 자료를 얻지 못했다. 시간에 따른 온도변동 자료를 이용하여 각 정점의 실제 침수와 노출 시간을 분석하여 노출시간을 계산하였다. 조사해역의 염분은 본 사업 수질분야의 '연속측정 관측소'에서 6월, 7월, 9월, 10월에 측정된 자료를 재분석하여 사용하였다. 강수량은 기상청 2009년 강수량 통계자료를 활용하였다.

퇴적상은 4월에 시화호와 근소만 각 조사정점에서 시료를 채취하였으며, 퇴적물은 2.1.2의 분석방법과 동일하게 분석하였다.

### 나. 바지락 시료채집

시화호 바지락의 개체군 동태 파악에는 형도 앞 수변부의 개체군이 이용되었다. 3개의 조고 (평균해수면 기준 -1.5m, -1.8m, -1.95m)에서 3월, 6월, 8월과 10월에 바지락 개체군을 채집하여 분석에 이용하였다. 비교해역인 근소만 갯벌에서도 3개의 조고 (평균해수면 기준 -0.9m, -1.8m, -2.5m)에서 3월, 6월, 8월과 10월에 바지락 개체군을 채집하였다. 시료채취는 각 정점에서 방형구 (50×50cm)를 최소한 8회 이상 무작위로 설치하고 각 방형구내 바지락을 각 정점에서 채집하였다.

## (3) 바지락 이식 실험

염분 급감으로 인한 바지락 개체군의 대량폐사 이후 수층염분이 약 30 psu로 회복되었을 때 (10월), 외해역의 바지락을 시화호 수변부에 이식하여 그 생존율 정도를 현장에서 조사하였다. 1m×1m 크기의 실험구 8개를 설치하고 한 실험구 당 바지락 100개체를 10월 6일에 이식하였다. 이식 후 15일, 38일, 55일 경과 후의 시점에 각각 2개씩의 실험구를 무작위로 선정하여 생존한 바지락을 채취하였다. 최초 이식한 개체수와 생존한 개체수의 비로부터 생존율을 계산하였다. 채취한 바지락 시료는 곧 바로 실험실에서 각장과 육질부 건조량을 측정하여 비만도를 구하였다.

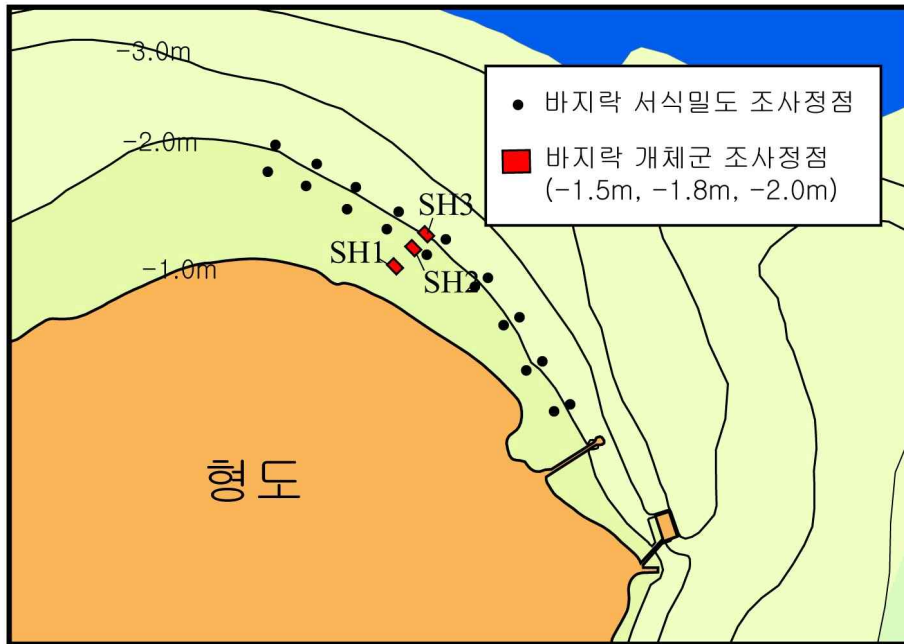


그림 3-4-2. 시화호 및 근소만 갯벌 (비교해역)의 바지락 개체군 및 환경조사를 위해 설정한 정점 위치도

## 2.2.2. 자료분석

### (1) 노출시간 분석

노출시간 분석을 위하여 시화 수변부와 근소만 갯벌 (비교해역)의 각 정점에 HOBO 온도계 센서를 설치하였다. 시화호에서는 갑문조작 운용표의 관리수위 자료와 HOBO 온도계의 노출과 침수에 의한 온도변화 차이를 이용하여 수변부의 조고별 정확한 노출시간을 계산하였다. 시화호 배수갑문 운용은 상반기에는 MTV 공사로 불규칙한 운용을 하였기 때문에 규칙적인 운영이 이루어진 2009년 5월 14일부터 11월 29일 기간 동안의 자료를 분석에 사용하였다. 근소만 갯벌은 2009년도 안홍항 조석 검조서 자료와 각 조고별로 연속 측정된 온도자료를 이용하여 각 정점의 정확한 노출빈도를 분석하였다. 안홍 검조소 조석자료 (2006년 1월 1일부터 2006년 12월 31일, 10분 간격 자료)를 이용하여 3개 정점의 노출시간을 IDL 프로그램을 실행하여 구하였다. 노출시간은 총 노출시간과 노출횟수, 최대 노출시간, 총 침수시간, 최대 침수시간을 계산하였다.

### (2) 바지락 개체군

#### 가. 길이 및 무게

현장에서 채집한 바지락은 실험실에서 각 개체별로 길이 (mm)와 중량 (g)을 측정하였다. 바지락의 각장, 각고, 각폭을 측정하여 길이 자료로 활용하였으며, 측정은 디지털 버니어캘리퍼스 (측정범위 : 0.01 mm)를 사용하였다. 각장 (shell length)은 패각 중 가장 길이가 긴 양쪽 끝 사이의 길이, 각고 (shell height)는 패각의 각정에서 수직인 점에 위치하는 변의 중앙까지의 길이, 각폭 (shell width)은 양 패각에서 가장 두꺼운 점 사이의 길이를 각각 의미한다. 바지락의 무게 (g)로는 육질부 건중량과 총습중량 (패각의 중량과 육질부 습중량의 합)을 측정하였다.

#### 나. 연령사정

바지락의 연령은 패각에 나타나는 연륜의 개수를 계수하여 사정하였다. 연령사정은 채집된 모든 개체를 대상으로 실시하였다.

#### 다. 빈도분포

바지락의 각장-빈도분포도는 각장 자료를 2mm 구간으로 구분한 다음 각 구간별로 개체수를 계수한 후 백분율로 환산하여 막대그래프로 나타내었다. 중량-빈도분포도는 육질부 건중량 자료를 0.05g 구간으로 구분하여 계수한 후 막대그래프로 나타내었다.

#### 라. 체형변수 간의 관계

바지락 체형변수 간의 관계를 파악하기 위하여 다음과 같은 변수를 이용하였다. 먼저 패각의 길이 변수로는 각장, 각고, 각폭을 그리고 무게 변수로는 육질부 건중량을 이용하였다. 각 관계식의 매개변수들은 일차선형관계식 (각장과 중량을 log-변환시킨 후)을 이용하여 추정하였다.

① 각장, 각고 및 각폭 간의 관계

$$H = a + b \cdot L$$

$$B = c + d \cdot L$$

$$B = e + f \cdot H$$

L : 각장 (mm)

H : 각고 (mm)

B : 각폭 (mm)

a, c, e : 상수

b, d, f : 계수 (기울기)

② 각장과 중량 간의 관계

각장과 중량 간의 관계는 power function 식을 적용하여 구하였다.

$$W = a \cdot L^b$$

W : 무게 (육질부 건중량)

L : 각장 (mm)

a, b : 상수

③ 비만도 (상태지수)

바지락의 발육상태 (비만도)는 각장과 육질부 건중량의 비로서 표현되는 Fulton의 상태지수 (Fulton's condition factor)를 이용하여 계산하였으며, 비만도는 아래와 같다.

$$C = 10^4 \times \frac{W}{L^3}$$

C : 상태지수 (condition factor)

마. 성장

바지락의 성장 양상을 파악하기 위하여 각 연륜의 길이를 측정한 다음 이를 중량으로 환산한 자료를 이용하였다. 연륜의 각장을 이용하여 각장 성장을 파악하였으며, 연륜의 각장으로 부터 환산한 중량을 이용하여 중량 성장을 파악하였다.

① 각장 성장

각장 성장식으로는 다음과 같은 von Bertalanffy 성장모델(1938)을 사용하였다.

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$



- $L_t$  : 연령  $t$ 에서의 각장 (mm)
- $L_\infty$ : 이론적인 최대 각장 (mm)
- $K$  : von Bertalanffy 성장 계수
- $t_0$  : 패각의 길이가 0이 될 때에 해당하는 가상의 이론적인 연령

위 성장식에서의 변수  $L_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$ 은 다음과 같은 방법으로 추정하였다. 먼저 위 성장식을 다음과 같이 선형화시킨 후 최소제곱법을 이용하여 회귀시켰다.

$$\ln\left(1 - \frac{L_t}{L_\infty}\right) = K \cdot t_0 - K \cdot t$$

이 식에 임의의  $L_\infty$ 값을 대입시켜 결정계수  $R^2$ 을 계산하였다. 이 후 반복적으로  $L_\infty$  값을 변화시키면서 결정계수  $R^2$ 이 가장 높을 때를 찾아서 이 때의  $L_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$ 를 가장 적합이 잘 되었을 때의 매개변수로 결정하였다.

각장의 절대성장률은 von Bertalanffy식을 미분하여 연령에 따른 각장 성장률의 변화로 나타내었다.

$$\frac{dL_t}{dt} = L_\infty \cdot e^{Kt_0} \cdot e^{-Kt}$$

## ② 중량 성장

중량 성장식은 다음의 Gompertz 성장모델(1925)을 사용하였다.

$$W_t = W_\infty \cdot \exp(-a \cdot e^{-gt})$$

- $W_t$  : 연령  $t$ 에서의 육질부 건중량
- $W_\infty$ : 이론적인 최대 중량
- $a, g$  : Gompertz 성장계수

위 성장식에서의 변수  $W_\infty$ ,  $a$ ,  $g$ 는 다음과 같이 선형화시킨 후, 최소제곱법을 이용하여 회귀시켰다.

$$\ln\left(\ln\left(\frac{W_\infty}{W^t}\right)\right) = \ln(a) - g \cdot t$$

이 때 각 매개변수는 여러 개의  $W_\infty$ 를 대입하여 결정계수  $R^2$  이 가장 높은 때를 선택하여 결정하였다.

중량의 절대성장률은 Gompertz 식을 미분하여 연령에 따른 각장 성장률의 변화로 나타내었다.

$$\frac{dW_t}{dt} = W_{\infty} \cdot a \cdot g \cdot \exp(-gt - a \cdot e^{-gt})$$

## 바. 생물량의 추정

각 정점에서 바지락의 생물량은 실제 채집한 개체들의 중량을 연급군별로 모두 합함으로서 생물량을 계산하였다. 여기서 생물량은 육질부 건조량 (g)을 사용하였다.

$$B_T = \sum b_{tT}$$

$B_T$  : 시간 T에서의 총생물량 ( $g \cdot m^{-2}$ )

$b_{tT}$  : 시간 T에서의 t-연령군의 생물량 ( $g \cdot m^{-2}$ )

## 2.3. 바지락에 의한 수층 유기물 여과율 실험

### 2.3.1. 현장실험

#### (1) 실험장치

바지락의 섭식활동에 의한 수층 내 입자성 유기물질의 제거량 측정은 폐쇄 순환형 챔버를 이용하여 현장에서 측정하였다 (그림 3-4-3). 투명 아크릴로 제작한 챔버의 크기는 내경 0.49m, 높이 0.6m, 단면적은  $0.19m^2$ , 그리고 부피는 약 113L 였다. 본 챔버의 밑바닥은 막혀져 있으며 윗면은 여단을 수 있도록 뚜껑이 설치되어 있다. 챔버 내부에는 뚜껑의 구멍을 통해 플라스틱 관으로 연결된 교반기를 설치하였다. 이는 실험 진행시 챔버 내부 해수의 정체로 인한 입자성 부유물질의 자연 침강을 방지하고 매질의 균질성이 유지되도록 고안한 것이다. 그리고 뚜껑의 연결부위는 침수 시에도 해수가 유입되지 않도록 방수 처리를 하였다. 챔버 내부와 연결된 플라스틱 관의 반대편에는 진공펌프를 연결하여 챔버 내 해수를 외부에서 채수할 수 있도록 하였다. 채수 동안에는 챔버 내부에 압력이 발생하게 되고 이를 상쇄하기 위해 챔버와 대기를 연결하는 공기관을 설치하였다. 그리고 챔버 내부의 용존산소 고갈로 인한 생물 대사활동 감소를 방지하기 위해 용존산소량을 모니터링 하였으며, 일정 농도 이상 감소할 경우에는 내부에 설치된 기포기를 통해 산소를 공급할 수 있도록 하였다. 현장 실험은 갯벌로 해수가 유입된 상태에서 진행되기 때문에 챔버와 연결된 모든 장비는 사람이 충분히 머무를 수 있는 규모의 타워를 설치하고 그곳에 설치하였다 (그림 3-4-3).

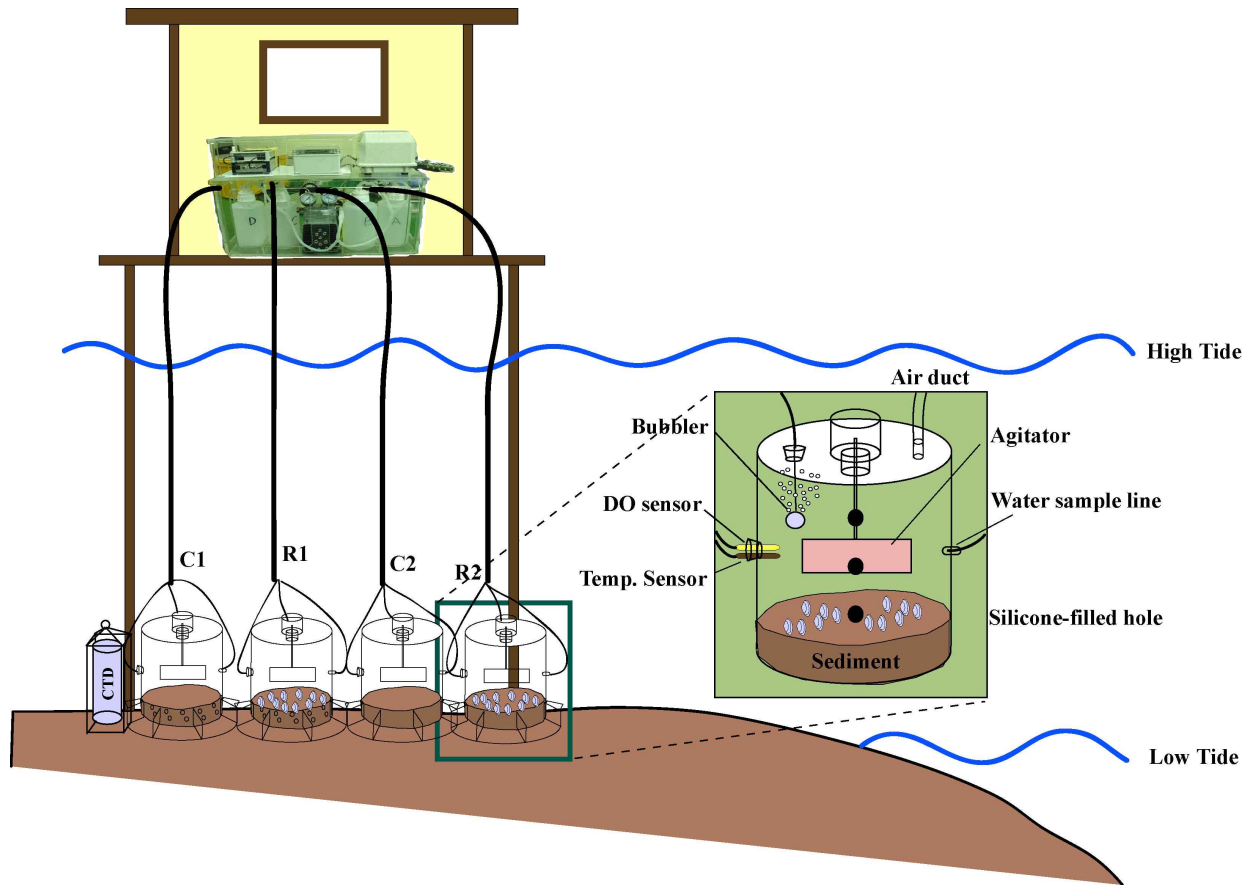


그림 3-4-3. 바지락에 의한 해수 정화율 측정을 위한 현장 실험 모식도. C1, C2는 대조구 챔버 (바지락을 투입하지 않는 실험구), R1, R2는 바지락 챔버 (바지락을 투입한 챔버)

## (2) 챔버 설치 및 현장 실험

실험은 시화호 내측 형도 앞 갯벌과 근소만 갯벌 (비교지역)의 바지락 서식지에서 2009년 10월에 아래에서 설명하는 방식으로 동일하게 이루어졌다. 네 개의 챔버를 갯벌 현장에 10cm 깊이까지 퇴적물에 묻히게 설치하였으며, 조류에 의해 움직이지 못하도록 타워의 지지대 부분과 철 프레임으로 연결하여 고정하였다. 챔버 내에는 미리 건조시켜 준비한 무생물 퇴적물 (defaunated sediment)을 10cm 깊이로 설치하였다. 무생물 퇴적물은 바지락이 서식하는 갯벌 현장의 퇴적물에서 눈에 보이는 대형저서동물을 걸러내고 27°C 항온실에서 10일간 건조시켜 준비하였다. 건조된 퇴적물을 챔버에 넣고 난 후에는 0.3mm 망목을 가진 플라스틱 체로 챔버 상부를 봉한 채 2일 동안 현장 해수에서 순치를 시켰다. 이때에는 아직 실험에 이용될 상기에서 언급한 장비를 설치하지 않았다. 해수로 순치된 퇴적물에는 현장에서 채집한 바지락을 두 개의 챔버에 각각 50개체씩 이식하였으며 (실험구), 나머지 두 개 챔버에는 퇴적물 만을 넣었다 (대조구). 바지락을 이식하고 난 후에는 뚜껑을 덮고 진공펌프, 공기관, 산소측정기 및 수온계, 교반기, 기포기 등을 설치하였으며, 밀물이 되었을 때 현장의 해수를 챔버 내로 유입시켰다. 이때는 유입된 해수에 의해 챔버 내 퇴적물이 교란되지 않게 하기 위해 챔버 벽면에 높

이별로 설치된 실리콘 마개를 아래에서부터 열면서 가능한 퇴적물의 교란을 억제하였다. 해수가 챔버를 채운 후부터 모든 마개를 막고 교반기를 작동시켜 챔버 내 해수 유속이 5cm/sec로 일정하게 유지되게 하였다. 실험 전 현장에 설치한 것과 동일한 퇴적물과 해수를 채운 챔버를 실험실에서 두고 입자성 유기물질의 자연 침강을 막으면서 퇴적물 내 유기물질이 부유되지 않게 하기 위한 교반기가 일으키는 해수 유속을 구하였다. 실험실 조건에서 얻어진 유속 결과를 바탕으로 챔버 내 해수 유속을 유지시켰다.

교반기를 작동한 1분 후부터 진공펌프를 이용하여 4개의 챔버 내 해수를 채수하였다. 채수는 썰물이 되어 실험지역이 대기에 들어날 때 까지 일정한 간격으로 5회 실시하였다. 이와 동시에 실험해역의 평균 입자성 유기물질의 농도를 파악하기 위해 동일한 방법으로 실험구와 동일한 깊이에서 채수를 하였다. 매번의 채수시에는 네 개의 챔버와 실험해역으로부터 각 1L씩 채수하였다. 해수 750mL는 부유물질 (SS) 농도, 입자성 유기탄소 (POC) 및 유기질소 (PON) 농도를 측정하기 위해 폴리에틸렌 용기에 넣고, 250mL는 엽록소 a 분석을 위해 현장에서 GF/F 여과지에 걸러 냉동 보관하였다. 밀폐된 챔버 내부의 용존산소량 감소가 바지락의 생물대사 활동을 저해시키지 않도록 용존산소측정기 (Fibox-3 oxygen meter)의 값을 모니터링 하면서 80% 이하로 떨어질 경우 산소를 기포기를 통해 공급해 주었다. 실험에 이용된 바지락은 실험 종료 후 회수하여 각장, 습중량, 육질부 건조량 (DW; dry weight)을 측정하였다. 수중 입자성 유기물의 제거율은 엽록소 a, POC, PON의 챔버 내 농도변화로부터 계산하였으며, 실험생물이 없는 대조구를 통해 자연 침강율을 보정하였다. 그리고 각 챔버 내 퇴적물 내 엽록소 a, POC, PON 농도를 실험 전과 후에 측정하여 자연 침강율의 정도를 파악하였다. 실험 기간 동안에는 현장 해수의 염분, 용존산소, 수온을 챔버와 같은 높이에서 동시에 측정하였다 (CTD SBE-19).

## 2.3.2. 시료분석

### (1) 부유물질 (total suspended solid)

0.7  $\mu\text{m}$  Whatman GF/F 여과지를 진공으로 흡입되는 여과기에서 20mL의 증류수로 3회 반복하여 여과 세척하고, 건조기로 103~105°C에서 1시간 동안 건조시킨 후 전자저울로 무게를 측정하였다. 현장에서 플라스틱병 (Nalgene, PP)에 채수된 해수는 잘 혼합하여 GF/F 여과지로 100ml을 거른 후 염분 제거를 위해 약 10mL의 증류수로 3회 반복하여 여과 세척하였다. 여과지 위에 남은 물질은 건조기로 105~110°C에서 약 2시간 동안 건조시킨 후 질량을 측정하였다. 부유물질의 양은 여과 전과 후의 여과지 무게차로 계산하였다.

### (2) 입자성 유기탄소 (POC)와 유기질소 (PON)

입자성 유기탄소와 질소농도는 해수 500mL를 여과한 0.7  $\mu\text{m}$  Whatman GF/F 여과지 (사용 전에 550°C에서 5시간 태움)를 동결 건조 시킨 후, 염산 원액이 들어있는 데시케이터에 24시간 동안 넣어 무기탄소와 질소를 제거한 뒤 무게를 잰 일정량을 주석용기(tin cup)에 담은 후 CHNS 원소분석기(CE Instrument, EA1110)를 이용하여 분석하였다.

### (3) 엽록소 a

해수시료 300mL을 0.7  $\mu\text{m}$  Whatman GF/F 여과지로 거른 후 냉동상태로 실험실로 이송한 여과지는 원심분리관에 넣고 90% 아세톤 10mL를 첨가하여 잘 흔든 후 24시간 동안 암실의

냉장상태에서 반응시켰다. 추출된 엽록소-a는 분광광도계(Cary 50, Varian)를 이용하여 측정하였다.

#### (4) 퇴적물 내 입자성 유기물

현장에서 플라스틱 숟가락으로 채집한 표층퇴적물을 실험실에서 동결건조 시켰다. 퇴적물 내 입자성 유기탄소와 유기질소 농도는 동결 건조된 퇴적물을 마노사발 (agate mortar)로 분말화 시켜 주석 용기 (tin cup)에 담은 후, CHNS 원소 분석기 (CE Instrument, EA1110)를 이용하여 분석하였다. 표층퇴적물의 엽록소-a 농도는 위의 방법대로 채취한 퇴적물을 주사기를 이용하여 일정량을 취한 후 90% 아세톤에 넣고 잘 흔들여 준 다음, 24시간 경과 후 분광광도계 (Cary 50, Varian)를 이용하여 측정하였다

#### 2.3.3. 수층 입자성 유기물 여과율 산출

실험 챔버 내의 입자성 유기물질은 바지락의 섭식활동이 일정하다고 가정할 때 일정비율로 제거되어 그 농도는 시간의 경과에 따라 지수 함수적으로 감소한다. 본 실험에서는 엽록소 a, POC, PON을 입자성 유기물의 지표물질로 삼았다. 지표물질의 초기농도를  $C_0$ 라고 하면,  $t$  시간 후의 농도  $C_t$ 는 농도감소계수를  $Z$ 라 할 때 다음의 식이 성립한다.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Zt}$$

여기서 감소계수  $Z$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$Z = -\ln(C_t/C_0)t$$

따라서 수층 입자성 지표물질의 단위 시간당 농도 감소율  $d$ 는

$$d = 1 - e^{-Z}$$

가 되며, 챔버의 수량을  $V$ 라 하고, 시간  $t$ 의 단위를  $h$ 라 하면, 단위시간당 여과율 (filtration rate, L/h) FR은 다음과 같다.

$$FR (L/h) = V \cdot d = V \cdot (1 - e^{-Z})$$

그러나 챔버 안의 입자성 물질은 한정되어 있기 때문에, 관측시간이 길어짐에 따라 농도의 감소속도는 작아지므로 여과율이 과소평가 될 수 있다. 본 연구에서는 지표물질 농도 감소 기울기가 최대값을 보이는 구간에서 여과율을 계산하였다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3.1. 시화 갯벌 예정지 저서생태계 조사

##### 3.1.1. 환경요인

시화 갯벌 예정지 조사는 4월에 5개 조사선에서 총 25개 정점에서 실시하였다. 각 조사선은 평균해수면 기준 -1.0m, -1.5m, -2.0m, -3.0m, -5.0m 조위별 정점에서 조사가 이루어졌다 (그림 3-4-1). 조사해역의 수온은 10.9~15.3℃ 범위를 보였다. 수평적 분포는 형도에서 상류로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 수직적 분포에서는 형도 앞 수역의 정점 L1-5에서 표층과 저층의 가장 큰 수온차이를 보였으며, 수심이 낮은 정점은 균질한 수온분포를 보였다. 염분은 27.7~31.1psu 범위를 보였으며, 배수갑문에 가장 인접한 형도 앞(L1-5) 표층에서 30.6psu로 가장 높은 값을 보였다 (그림 3-4-4). 상류로 갈수록 낮아져 정점 L5-3에서 염분 값 27.7psu를 보여 가장 낮았다. 수직적 분포 역시 정점 L5-5에서 약 수심 3m에서 염분약층이 형성되어 있었으며, 나머지 정점에서 잘 혼합된 수괴를 보였다. 용존산소는 6.6~12.5mg/L 범위를 보였다. 상류로 갈수록 용존산소량이 낮아지는 경향을 보였으며, 특히 가장 상류에 위치한 정점 L5-5에서 6.6mg/L의 낮은 값을 보였다. 수직적 분포는 수심 약 2m에서 용존산소량이 높게 분포한 특징을 보였다.

표층 퇴적물 평균입도는 1.0~9.0Φ 범위를 보여 폭넓은 퇴적상 분포를 보였다 (그림 3-4-5, 표 3-4-2). 형도 앞 해역에서 상대적으로 조립한 환경이었으며, 시화 상류해역의 L5 조사선 주변에서 가장 세립한 환경특징을 보였다. 수심이 깊어질수록 보다 세립해지는 퇴적상 분포 패턴을 보였다. 또한 상부 지역에 위치한 정점 L4-1의 평균입도는 1.0Φ값으로 매우 조립하였으며, 이 주변에는 모래가 쌓여있는 작은 해빈이 발달해 있었다.

표층 퇴적물 내 유기물 함량도 0.9~8.3%의 넓은 범위로 퇴적물 입자 크기와 연관된 분포 보였다 (그림 3-4-5, 표 3-4-2). 형도 앞 해역은 낮은 유기물 함량을 보였으며, 상류해역인 L5 조사선에서 높은 값을 보였다. 또한 -1.0m의 조고에 위치한 정점에서 높은 유기물 함량을 보이는 특징을 보였다. 특히 음섬 주변 해역에 위치한 정점 L3-1에서 8.3%의 높은 유기물 함량을 보였다. 이 정점은 구멍갈파래류 등 해조류가 파도에 밀려와 해조류 매트가 형성되어 있는 지역으로 높은 유기물 함량 특징을 보였다.

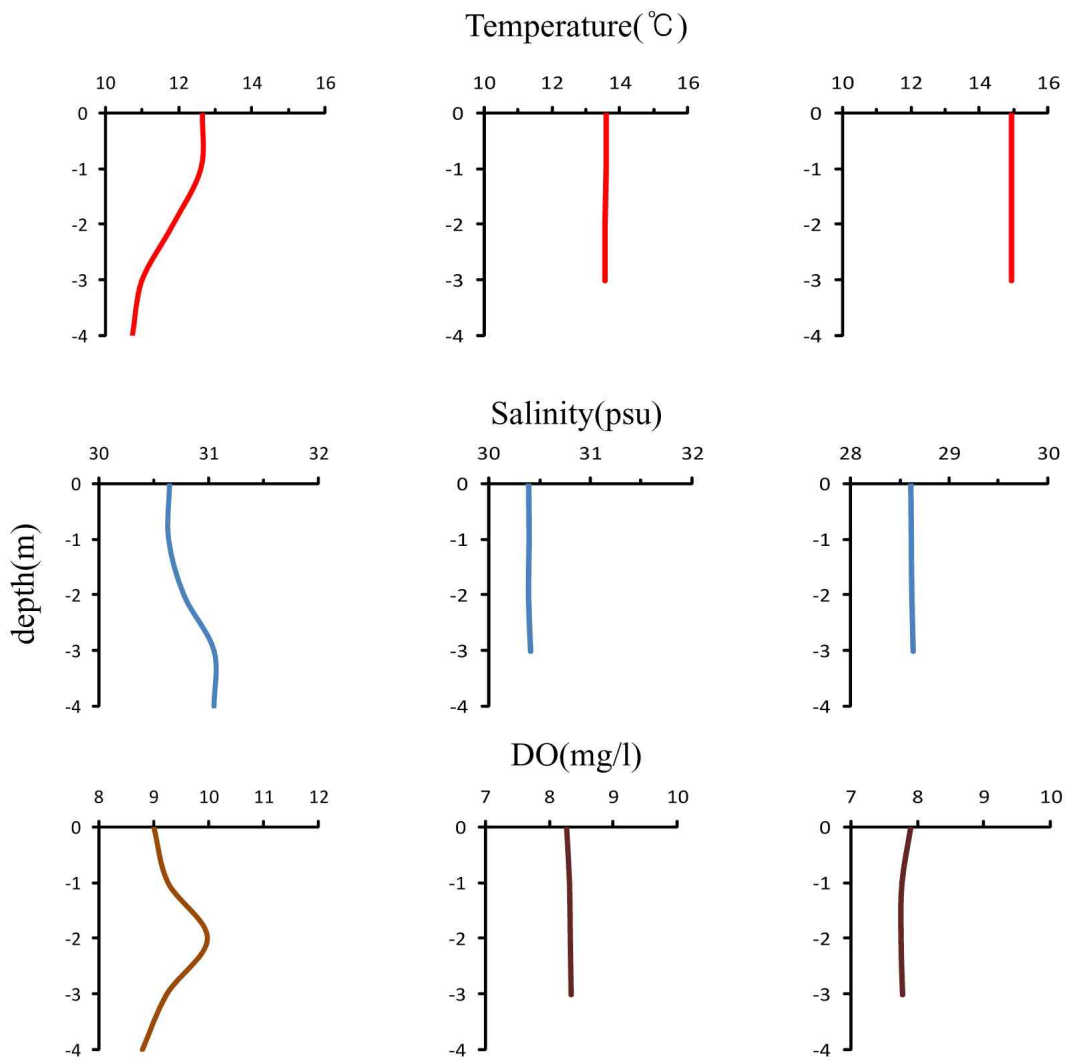
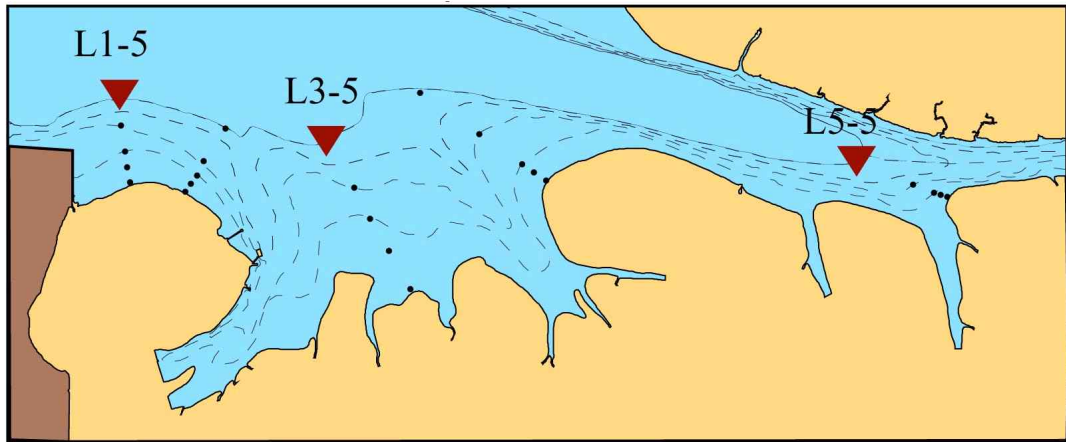


그림 3-4-4. 시화호 갯벌 예정지의 3개 정점(L1-5, L3-5, L5-5)에서 수온, 염분 및 용존산소량의 수직분포

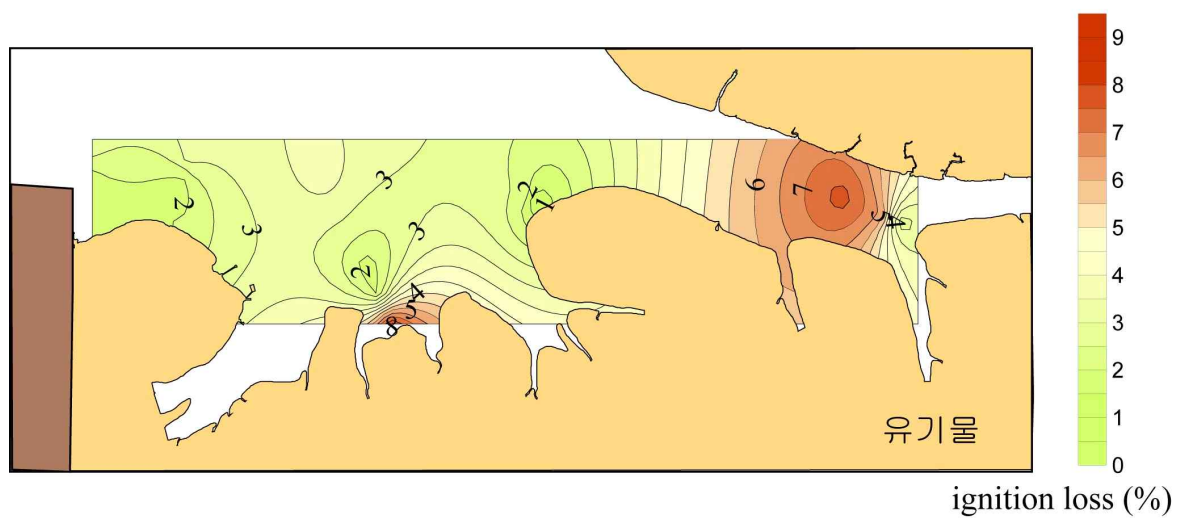
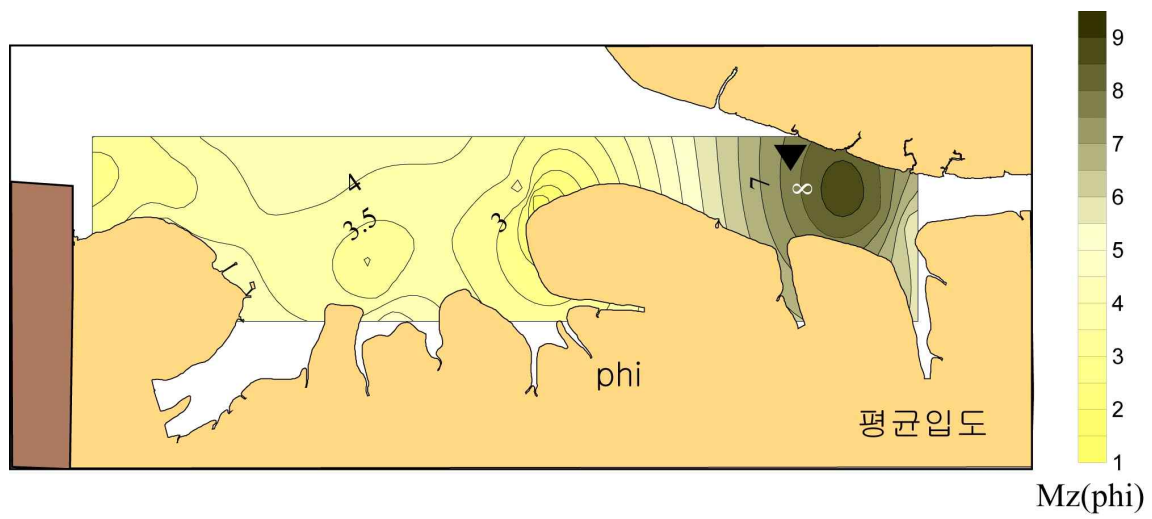


그림 3-4-5. 시화호 갯벌 예정지의 표층 퇴적물 평균입도 (위) 및 유기물 함량(IL) (아래) 분포



표 3-4-2. 시화호 갯벌 예정지의 각 정점에서 표층 퇴적물 특성 (Folk & Ward, 1957)

Station	Composition (%)				Mz (phi)	Sorting (phi)	Sediment Type	IL (%)
	Gravel	Sand	Silt	Clay				
L1-1	0.18	90.35	7.66	1.81	3.134	0.867	(g)S	1.75
L1-2	0.29	94.08	3.93	1.69	2.931	0.717	(g)S	1.86
L1-3	0	97.81	2.19	0	2.522	0.49	S	1.95
L1-4	0	91.57	4.4	4.03	2.926	0.876	S	2.63
L1-5	0	81.13	11.44	7.43	3.513	1.68	mS	2.77
L2-1	0	54.31	36.63	9.06	4.409	1.761	zS	1.89
L2-2	0	80.92	13.95	5.13	3.656	1.098	zS	2.04
L2-3	0	95.81	2.1	2.1	3.012	0.492	S	1.61
L2-4	0	87.24	8.03	4.73	3.171	1.075	mS	2.02
L2-5	0	71.78	18.92	9.3	3.923	1.857	zS	3.11
L3-1	0	29.16	59.13	11.71	4.98	1.965	sZ	8.29
L3-2	0	90.46	6.62	2.92	3.183	0.662	S	1.96
L3-3	0	97.56	1.14	1.3	2.939	0.444	S	1.86
L3-4	1.02	73.51	18.3	7.17	3.631	2.005	(g)mS	2.83
L3-5	0	61.59	27.41	11	4.277	1.911	zS	3.76
L4-1	0.24	97.24	1.61	0.91	0.998	0.728	(g)S	0.95
L4-2	3.27	67.63	21.12	7.97	3.759	2.244	(g)mS	2.31
L4-3	0.8	64.49	25.85	8.86	3.459	2.574	(g)mS	2.47
L4-4	0.44	75.94	16.45	7.16	3.623	1.856	(g)mS	2.72
L4-5	0	61.12	27.24	11.64	4.257	2.035	zS	2.94
L5-1	0	23.28	60.61	16.11	5.657	2.218	sZ	3.35
L5-2	0	26.55	58.1	15.35	5.495	2.164	sZ	2.92
L5-3	0	13.29	60.02	26.69	6.753	2.699	sZ	2.64
L5-4	0	3.15	48.17	48.68	7.928	2.401	M	6.36
L5-5	0	0	35.48	64.52	9.026	2.255	M	7.75

### 3.1.2. 대형저서동물 종조성 및 시·공간적 분포

#### (1) 종조성

2009년 4월에 시화 갯벌예정지의 25개 정점에서 출현한 저서동물의 분류군별 특징을 표 3-4-3에 나타냈다. 2009년 갯벌 예정지에서 출현한 저서동물은 총 57종, 43,375개체가 채집되었으며, 전체 출현한 저서동물의 평균 서식밀도는 17,349개체/m<sup>2</sup>로 2008년 시화호 조하대(2,795개체/m<sup>2</sup>)보다 훨씬 높은 값을 보였다. 평균 생체량은 81.8g/m<sup>2</sup>이었다. 이중 갯지렁이류가 출현종수와 개체수 면에서 가장 우점하는 분류군이었으며, 생체량 면에서는 연체동물이 38.7g/m<sup>2</sup>으로 (47.3%) 가장 우점하였다 (표 3-4-3). 특히 갯지렁이류의 생체량이 33.1g/m<sup>2</sup>로 전체 생체량의 40.5%를 차지하여 높은 값을 보인 것이 특징이다.

표 3-4-3. 시화 갯벌 예정지에서 출현한 저서동물 분류군별 개체수와 종수 조성 및 평균서식밀도 분포

분류군	전체 출현개체수	%	전체 출현종수	%	평균 서식밀도(m <sup>2</sup> )	평균 생체량(g)	%
갯지렁이류	36,982	85.3	33	57.9	14,792	33.1	40.5
연체동물	4,585	10.6	9	15.8	1,834	38.7	47.3
갑각류	1,742	4.0	11	19.3	397	8.0	9.8
기타동물군	66	0.2	4	7.0	26	2.0	2.4
합	43,375		57		17,349	81.8	

2009년 시화 갯벌 예정지에서 채집된 저서동물 중 가장 우점하는 종은 예쁜얼굴갯지렁이류인 *Prionospio pulchra* 였다. 이 종은 전체 출현개체수의 약 48.5%를 차지하였으며 평균 서식밀도는 21,018개체/m<sup>2</sup>였다 (표 3-4-4). 두 번째로 많은 출현개체수를 보인 종은 선녀얼굴갯지렁이류인 *Pseudopolydora kempfi*로 전체 출현개체수의 약 9.8%를 차지하였다. 다음으로 우점한 종은 등가시버들갯지렁이 (*Capitella capitata*)와 얼굴갯지렁이류의 *Polydora ligni*, 두줄박이참갯지렁이 (*Neanthes succinea*), 고둥류인 깨고둥불이류 (*Iravadia* sp.) 등의 순으로 우점하였다. 그 밖의 우점종으로 이매패류 분류군으로 종뭇 (*Musculista senhousia*)과 노랑꼭지대양조개 (*Macoma tokyoensis*)이었으며, 갑각류 분류군에는 세가시육질꼬리옆새우 (*Monocorophium ueno*)가 포함되었다.

표 3-4-4. 시화 갯벌 예정지에서 출현한 저서동물 우점종의 서식밀도와 출현빈도

우점종	분류군	출현 개체수	개체수 점유율(%)	평균서식밀도 (개체수/m <sup>2</sup> )	출현 빈도 (%)
<i>Prionospio pulchra</i>	P	21,018	48.5	8,407	21
<i>Pseudopolydora kemp</i>	P	4,255	9.8	1,702	14
<i>Capitella capitata</i>	P	3,558	8.2	1,423	23
<i>Polydora ligni</i>	P	3,116	7.2	1,246	23
<i>Neanthes succinea</i>	P	2,707	6.2	1,082	23
<i>Iravadia</i> sp.	G	2,219	5.1	887	21
<i>Musculista senhousia</i>	B	1,789	4.1	715	24
<i>Monocorophium uenoi</i>	C	1,619	3.7	647	19
<i>Mediomastus californiensis</i>	P	557	1.3	222	7
<i>Armandia lanceolata</i>	P	529	1.2	211	10
<i>Macoma tokyoensis</i>	B	345	0.8	138	14

P: 갯지렁이(Polychaeta), G: 고둥류(Gastropoda), B:이매패류(Bivalvia), C: 갑각류(Crustacea)

## (2) 저서동물 공간적 분포

2009년 4월 시화 갯벌 예정지의 저서동물 출현종수, 개체수, 생체량의 공간적인 분포 양상을 살펴보았다. 출현 종수는 비교적 수심이 깊은 해역에서 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 시화호 형태 앞 해역 (L1 조사선)이 상대적으로 높은 종수를 보였다 (그림 3-4-6). 그러나 시화호 상류해역은 대체로 낮은 종수를 보였으며, 조위별로는 L1 조사선을 제외한 모든 조사선 -1.0m에서 낮은 종수를 보였다. 특히 정점 L3-1은 4종만을 기록하였다.

시화 갯벌 예정지의 출현개체수 분포는 조사선 간의 차이는 크지 않았고, 조위별 차이가 있었다 (그림 3-4-6). 즉, 대기에 노출이 많은 각 조사선의 -1.0m 정점에서 24~287개체/0.1m<sup>2</sup> 범위로 낮은 개체수를 보였으나, 각 조사선의 -1.5~-5.0m 정점에서 높은 개체수 분포를 보였다. 정점 L3-1에서 240개체/0.1m<sup>2</sup>으로 가장 낮은 개체수를 보였으며, 정점 L3-4에서 8,921개체/m<sup>2</sup>의 가장 높은 개체수를 기록하였다.

생체량 분포는 개체수 분포와 유사한 경향을 보였다 (그림 3-4-6). 최상부에 위치한 각 조사선의 -1.0m 정점에서 가장 낮은 생체량을 보였으며, 수심이 깊은 곳에서 비교적 높은 생체량 분포를 보였다. 특히 정점 L3-4에서 27.2g/m<sup>2</sup>의 가장 높은 값을 보였으며, 정점 L3-1에서 0.01g/m<sup>2</sup>의 가장 낮은 값을 보였다. 또한 L4 조사선이 다른 조사선보다 낮은 생체량을 보인 것도 특징 중에 하나이었다.

시화 갯벌 예정지에서 출현한 우점종의 공간적 분포를 그림 3-4-7에 나타냈다. 조사 해역에서 개체수 기반으로 가장 우점종인 예쁜얼굴갯지렁이류인 *Prionospio pulchra*은 시화 상류해역을 제외한 -3.0~-5.0m 조위의 정점들에서 높은 밀도를 보였다. 특히 형태 앞 해역에 위치한 정점 L3-4에서 6,612개체/0.1m<sup>2</sup>의 높은 서식밀도를 보였다. 그러나 -2.0m 이상 조위의 정점에서는 59개체/m<sup>2</sup> 이하의 비교적 낮은 밀도를 보였다. 두 번째 우점종인 선녀얼굴갯지렁이류인 *Pseudopolydora kempfi*는 시화 상류 해역인 L5 조사선에서는 거의 나타나지 않고 -2.0m 조위 아래에서 주로 서식한다. 특히 정점 L2-5에서 3,959개체/0.1m<sup>2</sup>의 높은 밀도를 기록하였으며, 서식하는 나머지 정점에서 60개체/0.1m<sup>2</sup>이하의 낮은 밀도를 보였다. 일반적으로 오염지시종으로 알려져 있는 등가시버들갯지렁이 (*C. capitata*)는 거의 모든 정점에서 출현하였으며, -1.5m~-3.0m에 속하는 정점들에서 비교적 높은 밀도를 보인 경향을 보였다. 시화호 고유종인 얼굴갯지렁이류인 *Polydora ligni*은 거의 모든 정점에서 서식하였으며, 특히 L3과 L5 조사선 낮은 조위에서 많은 밀도를 보였다. 두줄박이참갯지렁이 (*N. succinea*)도 *Polydora ligni*의 분포와 비슷하였으며, 특히 형태 앞 낮은 조위에서 높은 밀도를 보였다. 고동류의 깨고동붙이류 (*Iravadia* sp.)는 주로 -1.5m~-3.0m의 정점에서 높은 밀도를 보여 비교적 높은 조위에서 서식하는 특징을 보였다. 종뿔 (*M. senhousia*)은 정점 L3-1을 제외하고 모든 정점에서 분포하였으며, 주로 시화호 상류 해역에서 높은 밀도를 보였다. 특히 조사지역 중 상류 해역에 위치한 정점 L5-4, L5-5에서 각각 610, 360개체/0.1m<sup>2</sup>의 상대적으로 높은 밀도를 보였다. 빈산소 수괴에 비교적 민감한 세가시육질꼬리옆새우 (*Monocorophium uenoi*)는 -1.0m 조위와 -5.0m 조위에 해당되는 정점에서 거의 서식하지 않았으며, 주로 -1.5m~-3.0m 조위의 정점들에서 서식하였다. 특히 정점 L4-2 (716개체/0.1m<sup>2</sup>), L4-3 (687개체/0.1m<sup>2</sup>)에서 집중적으로 분포하였다.

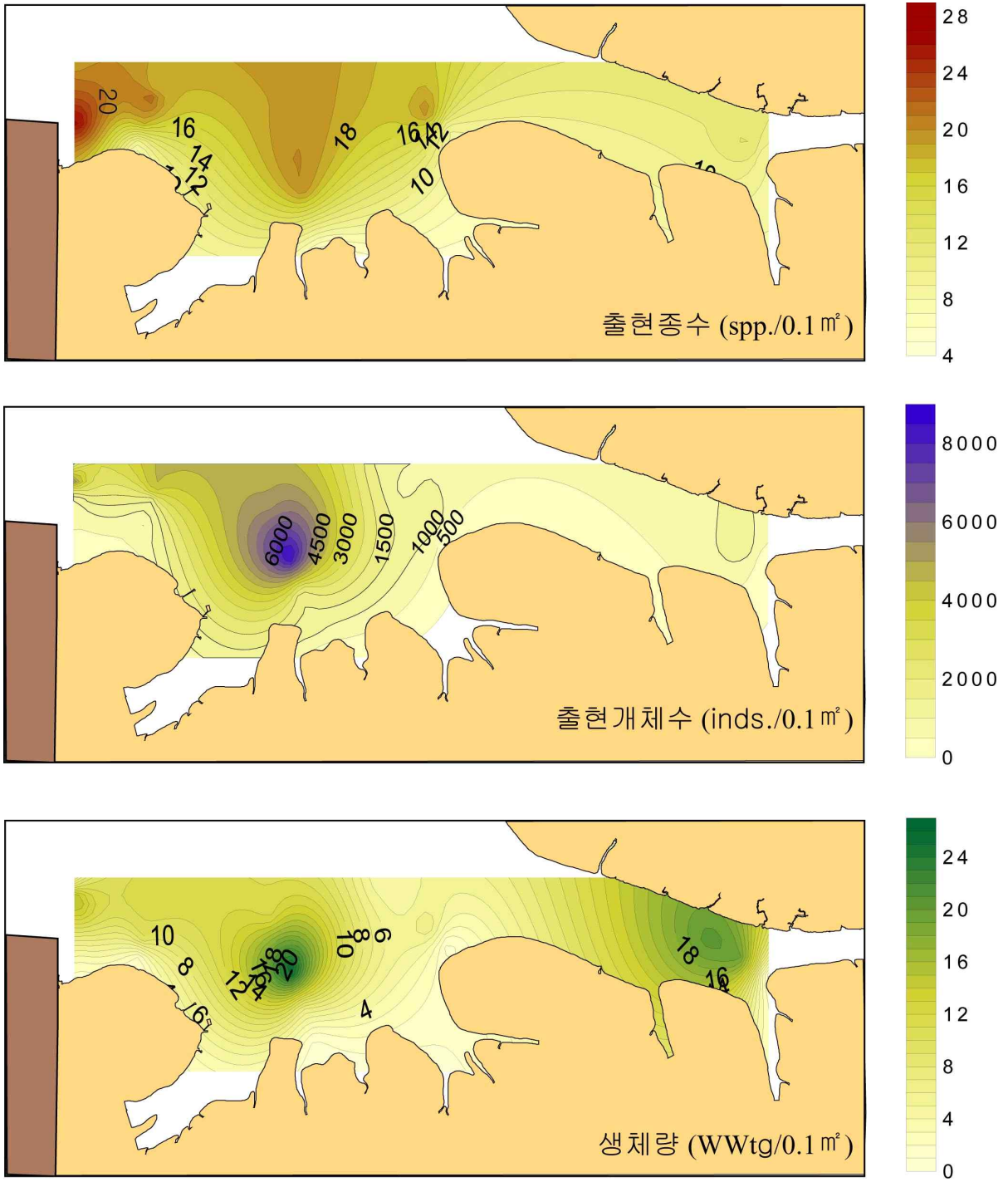
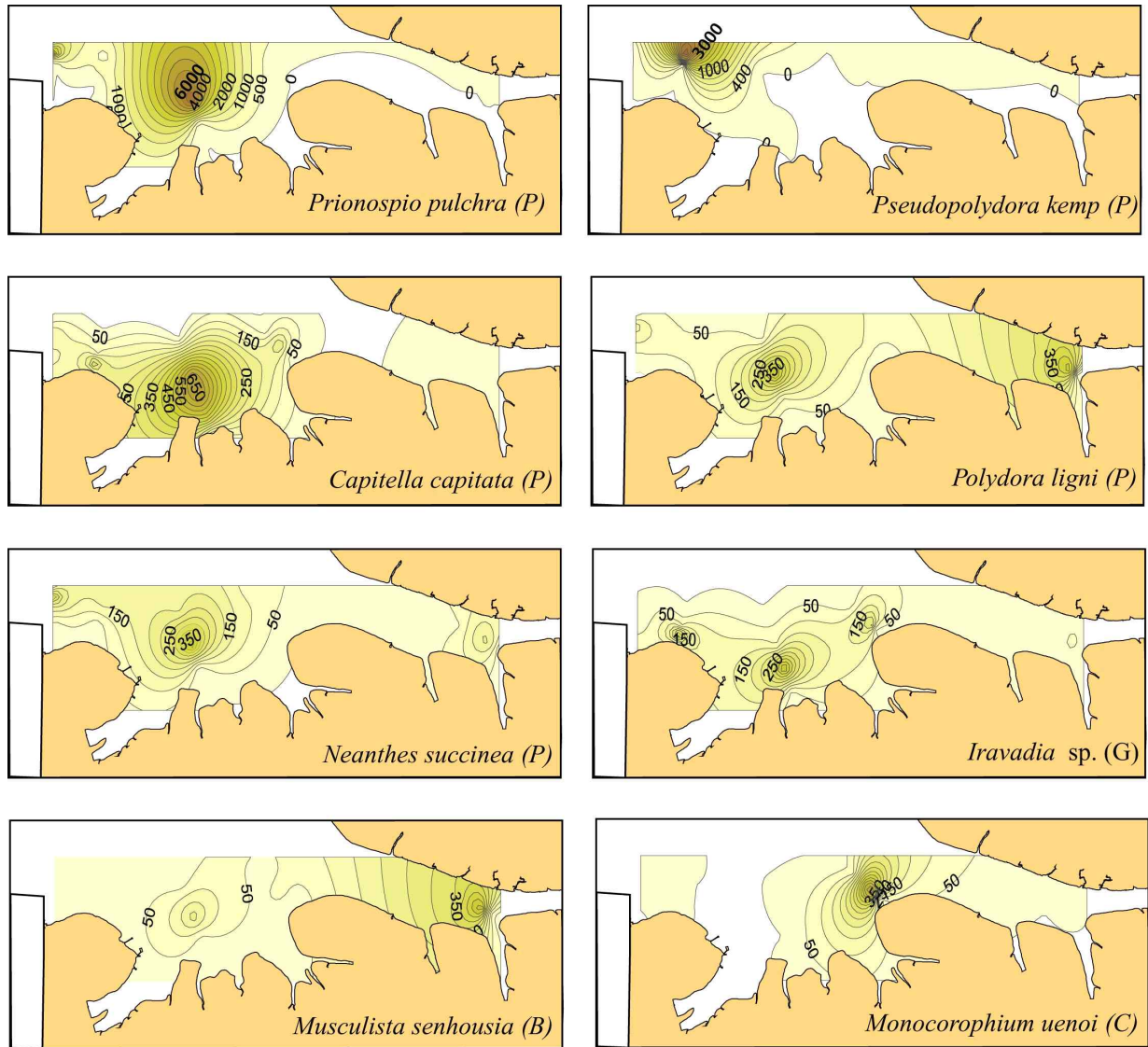


그림 3-4-6. 시화 갯벌 예정지에서 대형저서동물의 출현종수, 출현개체수 및 생체량 분포



P : 갯지렁이류, G : 고동류, B : 이매패류, C : 갑각류

(Unit : inds./0.1 m<sup>2</sup>)

그림 3-4-7. 시화갯벌 예정지에 출현하는 대형저서동물 우점종 분포

### 3.1.3. 저서동물 군집 특성

#### (1) 시화 갯벌 예정지 저서동물군집 특성

2009년 4월 시화갯벌 예정지에서 출현한 저서동물 군집의 구조를 분석하기 위해 대형저서동물의 각 정점별 종별 개체수 자료를 이용한 집괴분석 결과, 시화 갯벌 예정지의 저서동물 군집은 브레이-커티스 유사도 (Bray-Curtis similarity)가 유의한 수준에서 크게 다섯 개의 군집으로 구분할 수 있었다 (그림 3-4-8, 그림 3-4-9). 먼저 -1.0m 조위에 위치한 하나의 정점

L3-1이 일차적으로 구분되었으며 (정점군 U1), 또한 현재 갑문조작으로 불규칙적으로 노출되는 수변부 (-1.0m~-1.5m) 정점들이 또 하나의 정점군 U로 구분되어졌다. 주로 형도 앞 해역의 낮은 조위에 위치한 8개 정점이 유의한 수준으로 정점군 L\_S로 구분되었으며, 형도 수변부의 높은 조위에 위치한 5개 정점들이 정점군 M\_S로 나누어 졌다. 마지막으로 시화호 상부에 위치한 5개 정점들이 정점군 L\_M가 형성되어 있었다.

집괴분석 결과 도출된 각 정점군별로 환경요인과 우점종의 분포 특징을 표 3-4-5에 나타내었다. 정점군 U1는 하나의 정점이 해당하였으며, 대기 노출시간이 많은 조위 (-1.0m)에 위치하며, 표층 퇴적상이 세립하였으며, 특히 유기물 함량이 8.3%를 기록하여 유기물 오염이 진행된 정점이었다. 생물종은 아주 빈약한 군집이었으며, 얼굴갯지렁이류인 *Prionospio pulchra*만이 어느 정도 서식하는 특성을 보였다. 6개 정점이 해당되는 정점군 U는 비교적 높은 조위인 -1.25m에 위치하여 노출과 침수가 반복되는 서식지 환경이다. 평균 입도는 3.9Φ이었으며, 유기물 함량은 비교적 낮은 수치를 보였다. 생물종은 9종의 비교적 낮은 출현 종수와 밀도를 보였으며, 평균 생체량도 아주 낮았다. 주로 서식하는 우점종은 등가시버들갯지렁이(*C. capitata*)가 가장 높은 밀도를 보였으며, 깨고둥불이류인 *Iravadia* sp.와 버들갯지렁이류인 *Mediomastus californiensis*도 상대적으로 높은 밀도를 보인 정점군이다. 정점군 M\_S는 5개 정점이 해당되었으며, 평균 -1.7m의 조위에 위치하여, 어느 정도 침수되는 환경이다. 평균 입도는 가장 조립한 환경이며, 이에 따라 유기물 함량도 가장 낮은 값을 보였다. 평균 출현 종수는 21종으로 정점군 중에 가장 종다양성이 높은 정점군이다. 평균 서식밀도와 생체량은 상대적으로 낮은 값을 보였다. 우점종은 등가시버들갯지렁이와 *Iravadia* sp. 두 종이 100개체/0.1m<sup>2</sup>이상의 높은 밀도를 보였으며, 모래질에 주로 서식하는 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*)와 *P. ligni*, 두줄박이참갯지렁이도 상당히 높은 밀도를 보였다. 정점군 L\_S는 정점군 중 가장 많은 정점인 8개 정점이 해당하였으며, 가장 낮은 조위 (평균 -4.0m)에 위치하여 언제나 침수된 조하대 환경이다. 퇴적상은 펄모래이며, 유기물 함량은 평균 2.8%를 나타낸 서식지이다. 평균 출현 종수는 19종이며, 평균 서식밀도와 생체량은 각각 3,801개체/0.1m<sup>2</sup>, 11.3g/0.1m<sup>2</sup>으로 상당히 높은 밀도를 보였다. 우점종의 경우, *P. pulchra*와 *Pseudopolydora kempfi*가 500개체/0.1m<sup>2</sup> 이상의 극우점한 정점군이며, 두줄박이참갯지렁이와 *P. ligni*, 등가시버들갯지렁이도 높은 밀도를 보였다. 또한 정점군 L\_M의 경우, 5개 정점이 포함되며, 평균 -2.7m 조위에 위치하였다. 퇴적상은 평균 입도가 6.2Φ로 가장 세립하며, 상당히 높은 유기물량을 보인 정점군이다. 출현 종수는 평균 14종이었으며, 높은 평균 밀도와 생체량을 나타내었다. 이 정점군은 *P. ligni*와 *Iravadia* sp, 두줄박이참갯지렁이, 등가시버들갯지렁이가 높은 밀도를 보인 군집이었으며, 특히 세가시육질꼬리옆새우 (*Monocorophium uenoi*)와 종뱀 (*M. senhousia*)이 다른 정점군 보다 높은 서식밀도를 보였다.

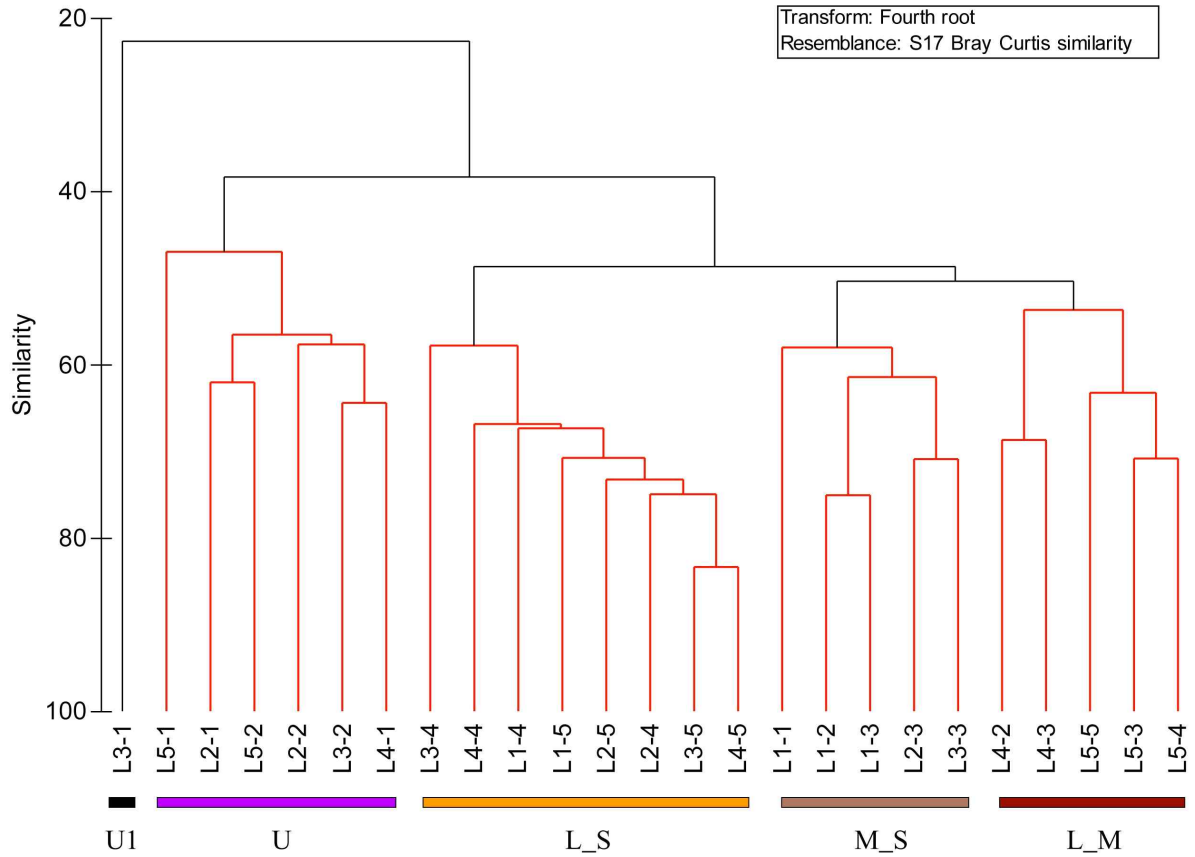


그림 3-4-8. 시화호 갯벌예정지 조사에서 출현한 저서동물 정점별 종별 개체수 자료에 대한 집괴분석 결과를 바탕으로 작성된 수지도. 수지도의 빨간 실선은 각 정점 간 군집 유사도가 유의한 수준에서 차이 있음을 의미 (SIMPROF,  $p < 0.05$ )

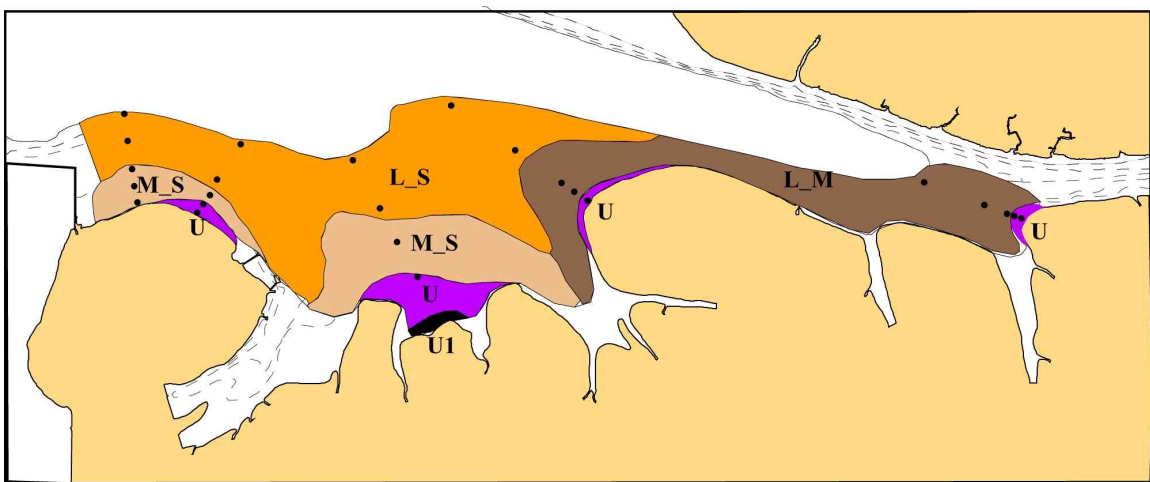


그림 3-4-9. 대형저서동물의 종별 출현개체수 자료를 이용한 집괴분석 결과 도출된 각 정점군의 구획도



표 3-4-5. 시화 예정지 갯벌에서 출현한 저서동물 종별 출현개체수 자료를 이용한 집괴분석 결과 도출된 각 정점군별 각 서식지의 환경 특성 및 우점종

정점군	U1	U	M_S	L_S	L_M
정점수	1	6	5	8	5
평균 출현종수	4	9±1	21.4±3	19±1	14±4
평균서식밀도(개체/0.1m <sup>2</sup> )	24	492±532	775±564	3,801±2,908	1,221±279
평균생체량(wwtg/0.1m <sup>2</sup> )	0.02	1.3±1.3	8.4±4.6	11.3±7.6	12.9±7.3
<b>서식환경</b>					
평균입도(phi)	5.0	3.9±1.7	2.9±0.2	3.7±0.4	6.2±2.5
유기물함량(%)	8.3	2.2±0.8	1.8±0.1	2.8±0.5	4.3±2.5
조위 (m)	-1.0	-1.25±0.3	-1.7±0.4	-4.0±1.1	-2.7±1.3
<b>우점종(개체/0.1m<sup>2</sup>)</b>					
<i>Mediomastus californiensis</i> (P)	-	88±160	1±2	-	4±10
<i>Capitella capitata</i> (P)	2	172±219	240±289	106±255	94±100
<i>Iravadia</i> sp.(G)	-	105±198	156±243	15±36	137±148
<i>Armandia lanceolata</i> (P)	-	-	84±104	14±33	-
<i>Pseudopolydora kempī</i> (P)	-	1±3	28±25	508±1,394	9±19
<i>Musculista senhousia</i> (B)	-	10±8	23±15	49±74	243±240
<i>Neanthes succinea</i> (P)	-	27±40	53±86	219±182	104±93
<i>Prionospio pulchra</i> (P)	17	8±17	17±24	2,596±2,579	19±21
<i>Polydora ligri</i> (P)	2	5±5	78±58	145±189	306±219
<i>Monocorophium uenoi</i> (C)	-	15±19	3±5	12±25	283±382
<i>Macoma tokyoensis</i> (B)	-	-	5±6	39±27	2±2

**(2) 시화 갯벌 예정지 저서동물 분포와 환경요인과 관계**

시화호 갯벌 예정지에서 서식지 환경 (조위, 퇴적상, 유기물 함량)에 대형저서동물의 반응 (종수 및 개체수)을 살펴보았다. 종수는 현재 해수의 노출과 침수가 반복되는 수변부 (-1.0m~-1.5m) 보다 항상 물에 잠겨있는 조하대(-2.0m~-5.0m)에서 상대적으로 높은 종수 분포를 보였다 (그림 3-4-10). 또한 개체수는 -3.0m~-5.0m에서 가장 높았으며, 노출되는 수변부에서는 밀도가 낮아지며 높은 곳으로 갈수록 더욱 낮아지는 경향을 보였다.

표층 퇴적물의 입자크기가 세립할수록 그리고 유기물 함량이 높은 곳일수록 출현 종수는 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 세립질 퇴적물은 주로 상부 해역에서 나타나 퇴적상만으로 저서생물 분포를 다루기에는 부족하다. 염분뿐만 아니라 황화합물 등 더 많은 환경 자료를 얻는 것이 필요하다.

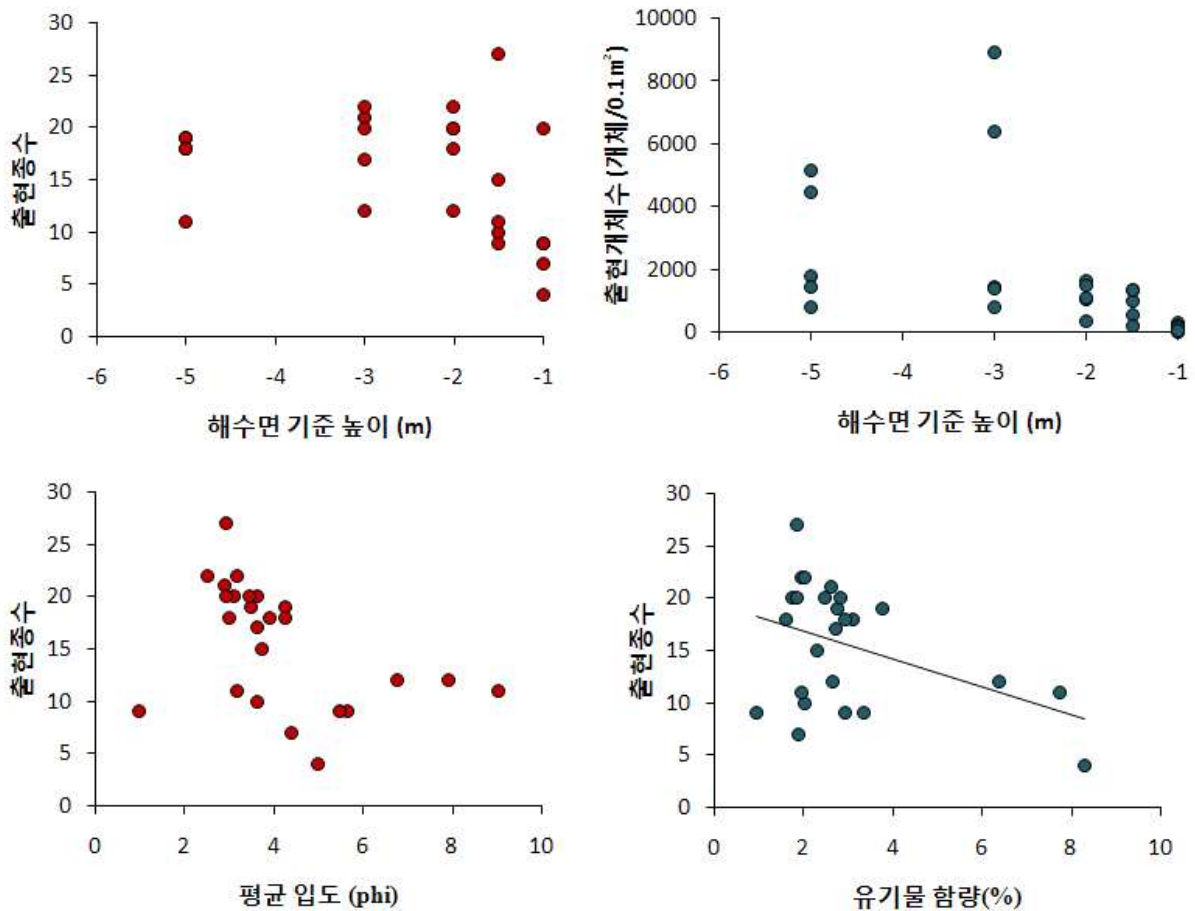


그림 3-4-10. 시화 갯벌 예정지의 대형저서동물(종수, 개체수)과 환경요인 (조위, 입도, 유기물함량) 분포 간의 관계

시화호 갯벌 예정지에서 서식하는 우점종 분포가 퇴적상과 조위에 따른 분포 양상을 분석하였다 (그림 3-4-11) 입도가 조립한 모래질 퇴적상에 주로 서식하는 종으로 얼굴갯지렁이류인 *P. pulchra*, *P. kempfi*, 등가시버들갯지렁이(*C. capitata*), 깨고둥불이류인 *Iravadia* sp., 세가시육질꼬리옆새우 (*M. uenoi*), 침보석요정갯지렁이(*A. lanceolata*)이었다. 특히 가시버들갯지렁이, *Iravadia* sp., 세가시육질꼬리옆새우 및 침보석요정갯지렁이는 일부 노출되는 수변부와 바로 아래 조하대에서 주로 서식하는 종이였다. 다양한 퇴적상에 서식하는 우점종으로는 얼굴갯지렁이류인 *P. ligni*, 두줄박이참갯지렁이(*N. succinea*) 및 종밧(*M. senhousia*)이었다. 이들 종은 또한 어느 조위에서도 잘 견디는 종이기도 하다.

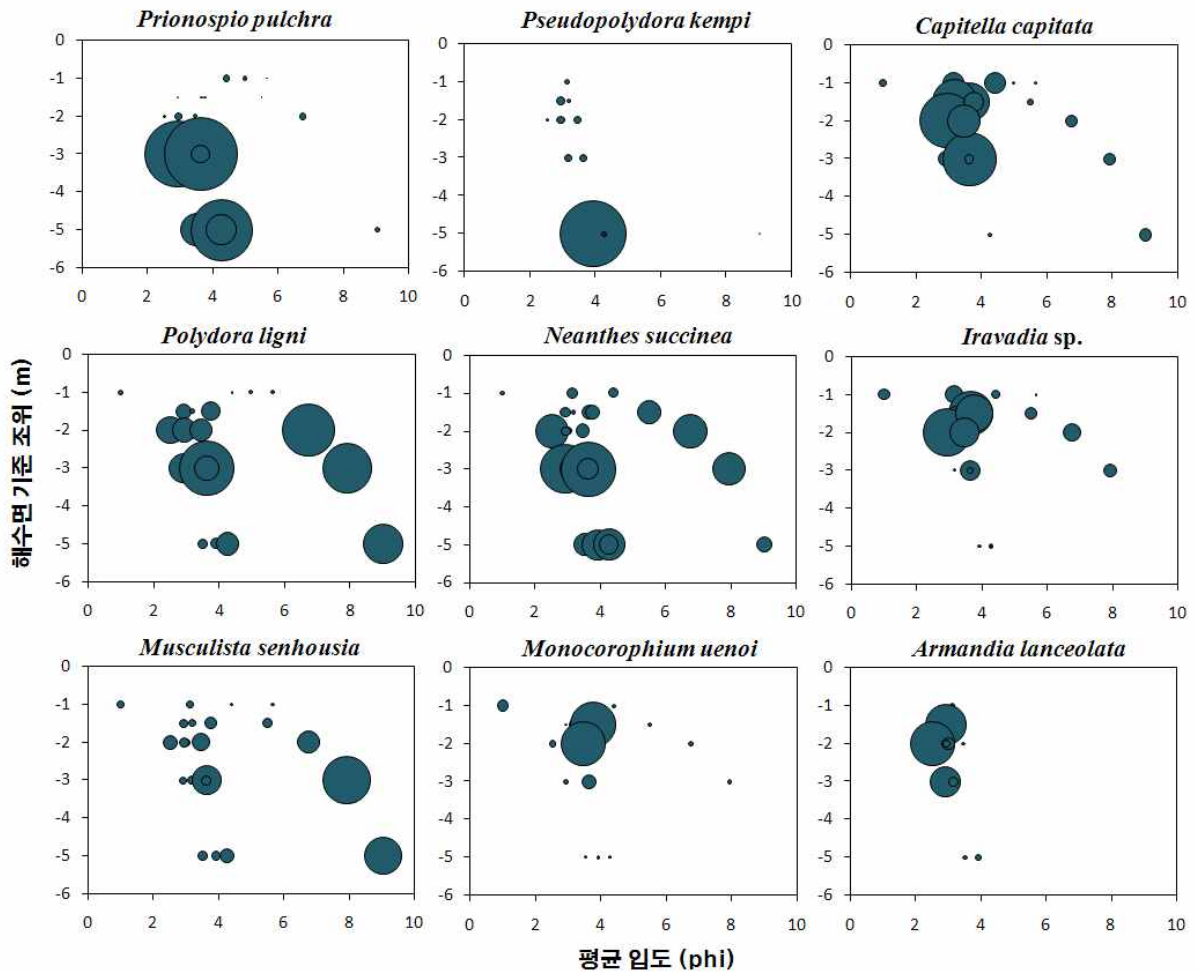


그림 3-4-11. 시화 갯벌 예정지에서 우점종의 조고와 퇴적물 입도에 따른 분포 (원의 크기는 서식밀도 정도를 의미함)

## 3.2. 시화호 바지락 개체군 특성

### 3.2.1. 바지락 서식지 환경

#### (1) 온도

시화호 수변부에서 3개 조고 위치 (SH1: -1.5m, SH2: -1.8m, SH3: -2.0m)에 온도 및 광도 센서를 설치하여 6월부터 계속 측정하였다 (그림 3-4-12). 그러나 센서의 오작동 및 분실사고에 의하여 정점 SH1과 SH2의 자료를 얻지 못한 일부 구간이 발생하였다. 정점 SH1에서는 9월 26일에 34.8℃로 가장 높게 나타났고, 11월 3일에 -2.1℃로 가장 낮게 나타났다. 정점 SH2의 경우도 11월 3일에 2.4℃로 낮게 나타났고, 6월 27일에 41.2℃로 가장 높게 측정되었다. 정점 SH3은 4℃로 11월 3일에 가장 낮게 측정되었고 8월 10일에 38.4℃로 가장 높게 나타났다. 각 정점 온도 추이는 6월에 높아지기 시작하여 7월 말쯤 최고조에 이르러 8월 중순부터 차츰 낮아지는 것으로 보였다. 7월 중순에 비교적 온도가 떨어지는 것은 장마의 영향이라고 판단된다.

비교해역인 근소만 갯벌의 각 정점 (GS1:-0.9m, GS2: -1.8m, GS3: -2.5m)은 바지락 어장으로 현지 어민들의 출입이 잦은 곳으로서 온도센서의 분실사고로 인해 온도의 연속관측이 어려웠다. 정점 GS1은 4월 28일에 5.4℃로 가장 낮게 나타났고 6월 27일에 39.3℃로 최고 온도를 기록했다. 정점 GS2는 GS1과 동일한 날에 최소와 최고 온도가 각각 5.5℃, 38.4℃로 나타났고, GS3의 경우도 같은 날 7.8℃와 35.7℃로 측정되었다. 시화호와 마찬가지로 8월 중순까지 점차 상승하다가 차츰 떨어지는 양상을 보이며 11월 18일에 2.2℃로 가장 낮은 온도를 보였다 (그림 3-4-13).

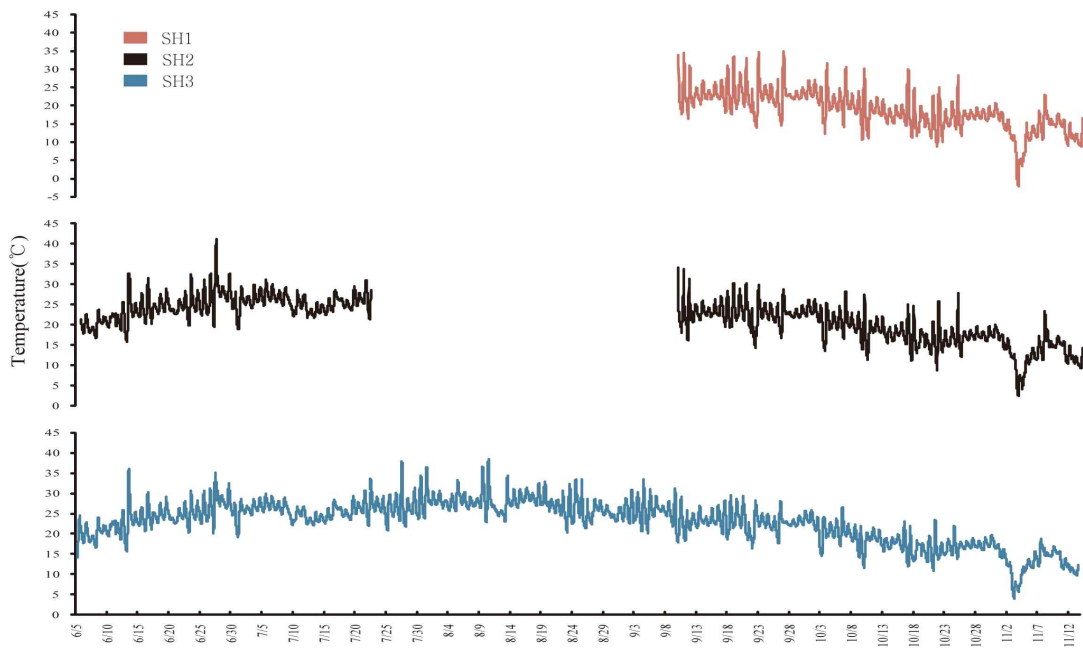


그림 3-4-12. 시화호 바지락 서식지에서 3개의 조고별 따른 온도변화

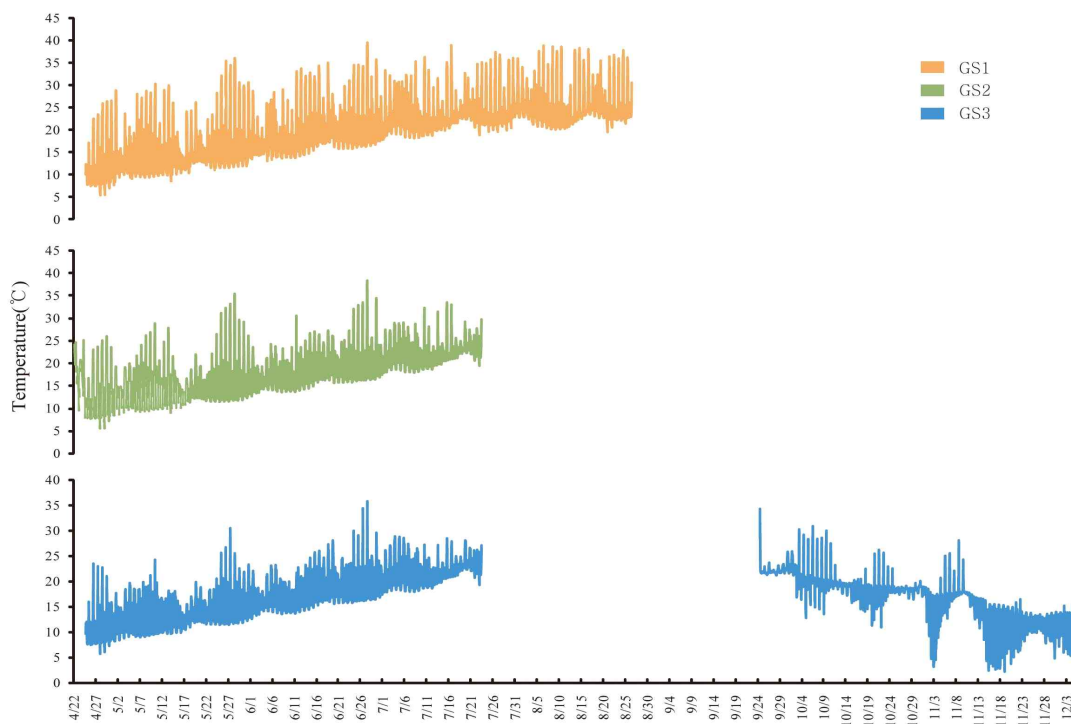


그림 3-4-13. 근소만 갯벌 각 정점에 따른 온도변화

## (2) 강수량과 염분

염분은 강수량에 따라 달라졌고 6월부터 10월까지 관측 기간 동안 평균 31.5 psu (6월), 9.8 psu (7월), 23.4 psu (8월), 32.2 psu (10월)를 나타냈다. 그림 3-4-14에서 보여 지는 강수량은 월별 총 강수량으로 7월에 766 mm로 장마에 의해 가장 높은 수치를 나타냈으며, 이는 7월에 가장 낮은 염분 값을 나타내는 데 결정적인 요인으로 작용하였다.

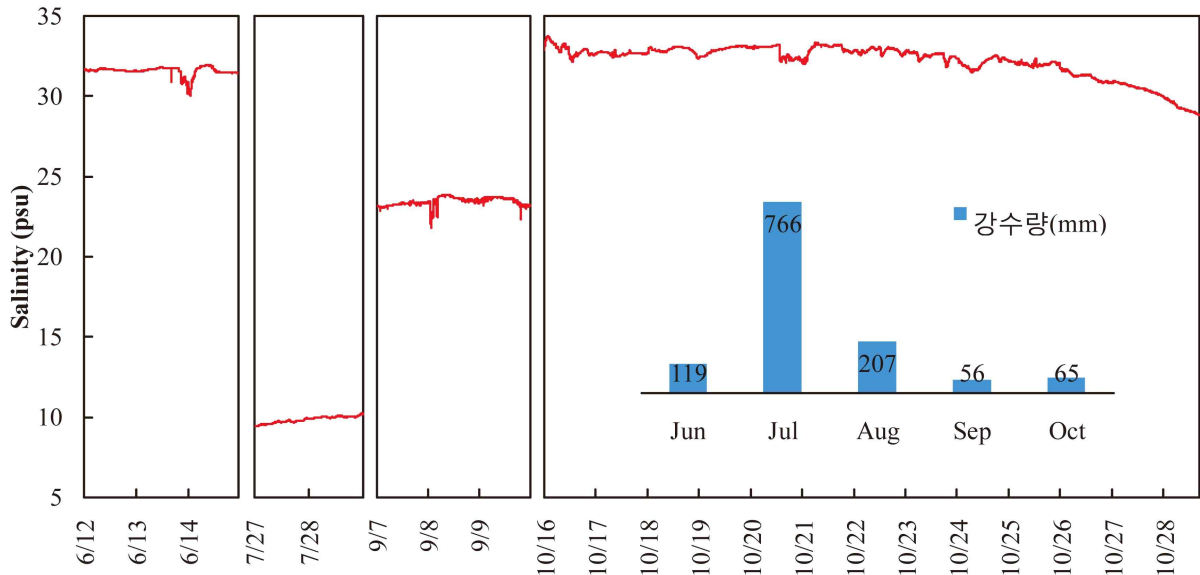


그림 3-4-14. 시화호 바지락 서식지에서 월별 강수량에 대한 염분(psu) 변화

## (3) 퇴적상

시화호 수변부 바지락 서식지에서 SH1, SH2, SH3 3개 정점에서의 퇴적상은 전형적인 모래(S)로 조성되었다. 퇴적물 입도조성은 -1.5m의 조고에 위치한 정점 SH1에서 모래 98.28%로 가장 조립하였고 정점 SH2 (-1.8m)에서 97.89%, -2.0m 조고에 위치한 SH3에서 96.14%의 모래가 포함되었다. 평균 입도크기 (Mz)는 각 정점별로 상부부터 각각 3.10φ, 3.10φ, 3.26φ로 분석되었다 (표 3-4-6). 또한 퇴적물 입도의 표준편차를 나타내는 분급도는 각각 0.45, 0.45, 0.47φ 범위를 보여 아주 좋은 분급을 보인 것이 특징이었다.

근소만 갯벌 퇴적상은 시화호와 달리 펄(clay-silt)이 많이 포함된 펄모래 (mS) 형태로 나타났다. 모래의 함량은 50~60% 정도였고 퇴적물 입도크기는 0.9m의 조고에 위치한 상부 정점 GS1은 4.88φ, 정점 GS2 (-1.8m)은 4.71φ, GS3 (-2.5m)은 4.28φ로 시화호에 비해 세립한 환경을 보였다. 또한 분급도는 각각 2.62, 3.03, 3.89φ로 시화 바지락 서식지보다 분량하였다.

서해수산연구소 (1999)의 1997년부터 1999년까지 연구에 의하면 이상적인 바지락 저질의 퇴적물 조성은 자갈, 패각, 모래, 뿔을 포함한 4φ 이상 퇴적물로 보았으며, 신과 신 (1999)에 의하면 바지락 최고 서식밀도를 보인 퇴적입도는 3.02~4.26φ로 보고하고 있다. 이렇게 이상적인 서식환경 퇴적물 입도는 3φ이상 4.5φ이하 수준 정도 일 것이라 생각되어진다. 그러나 이 등 (1999)은 입도조성 차이보다 퇴적물 입도의 표준편차를 나타내는 분급도에 영향을 받는다는 의견도 있어, 어느 정도 퇴적물 입도 환경에 바지락이 (특히 성패의 경우) 무리 없이 잘 적응한다고 판단된다.

표 3-4-6. 시화호 바지락 서식지와 근소만 갯벌에서 각 정점별 퇴적물 입도 특성

sample		composition (%)				textural parameters		sediment type
st.	no.	gravel	sand	silt	clay	Mz	sorting	
SH	1	0	98.28	1.72	0	3.097	0.455	S
	2	0	97.89	2.11	0	3.095	0.452	S
	3	0	96.14	3.86	0	3.259	0.467	S
GS	1	0	50.29	33.92	15.79	4.876	2.622	zS
	2	0	60.95	20.94	18.12	4.712	3.035	mS
	3	0.46	57.35	20.67	21.52	4.284	3.896	(g)mS

#### (4) 노출시간

온도센서를 이용하여 바지락이 서식하는 시화호 수변부와 근소만 갯벌의 각 정점의 높이를 구하였다. 시화호 수변부 정점 SH1은 평균해수면 기준 -1.5m, SH2는 -1.8m이었고, SH3은 -1.95m이었다. 근소만 갯벌 정점 GS1은 평균해수면 기준 -0.9m, GS2는 -1.8m, GS3은 -2.5m로 분석되었다. 시화호의 경우 시화호 방조제 배수 갑문의 인위적인 조작으로 인하여 조위가 일정하지 않았으며, 1월부터 3월까지 시화호 MTV 공사로 인해 인위적인 조작으로 -1.6~-1.8m까지, 4월부터 5월 중순까지 수위 -1.0~-1.5 m로 제한하였다. (그림 3-4-15). 시화호 수위 조절이 일반적인 양상 (-1.0m~-2.0m 조작)을 보인 5월 14일부터 11월 29일까지 자료를 이용하여 노출시간을 계산하였다. 노출 빈도수는 조고의 높이에 따라 정점 SH1에서 50회로 가장 많았고 정점 SH2와 SH3에서 각각 38회, 19회로 나타났다 (그림 3-4-16, 표 3-4-7). 조사 기간 동안 누적된 노출시간은 SH1에서 약 58.6% (89.7일)를 차지하였으며, SH2가 약 16.8% (25.7일), SH3가 약 5.8% (8.8일)로 분석되었다. 각 정점에서 최대노출시간을 보면 정점 SH1은 5.7일, SH2는 1일, SH3은 0.6일로 나타났다. 누적된 최대 침수시간은 SH1에서 약 41.4% (63.3일)이었으며, SH2에서 약 83.2% (127.3일), SH3에서 약 94.2% (144.2일)로 보였다. 최대침수시간은 SH1에서 8일, SH2와 SH3에서 각각 12.9일, 25.7일로 분석되었다.

일년 동안 (2006년 1월1일~12월 31일) 근소만 갯벌에서 노출빈도는 정점 GS1, GS2, GS3에서 각각 673회, 473회, 239회로 나타났고, 누적된 총 노출시간은 바지락 서식지 상부부터 약 33.0% (120.6일), 15.4% (56.3일), 5.7% (20.7일)로 나타났다 (그림 3-4-16, 표 3-4-8). 또한 누적된 총 침수시간은 바지락 서식지 하부 정점 GS3에서 약 94.3% (344.3일)로 가장 길었고, GS2에서 84.6% (308.7일). 최상부에 위치한 GS1에서 67% (244.4일)가 총침수시간이었다. 1회 최대 노출시간은 GS1에서 0.26일 (6.24시간), GS2에서 0.20일 (4.8시간), GS3에서 0.15일 (3.6시간)이었다. 최대침수시간은 상부정점인 GS1에서 GS3으로 각각 0.97일 (23.3시간), 7.70일 (184.8시간), 11.86일 (284.6시간)이었다. 또한 평균 노출시간은 GS1에서는 약 4.3시간, GS2에서는 약 2.8시간, GS3에서는 약 2.0시간이었다.

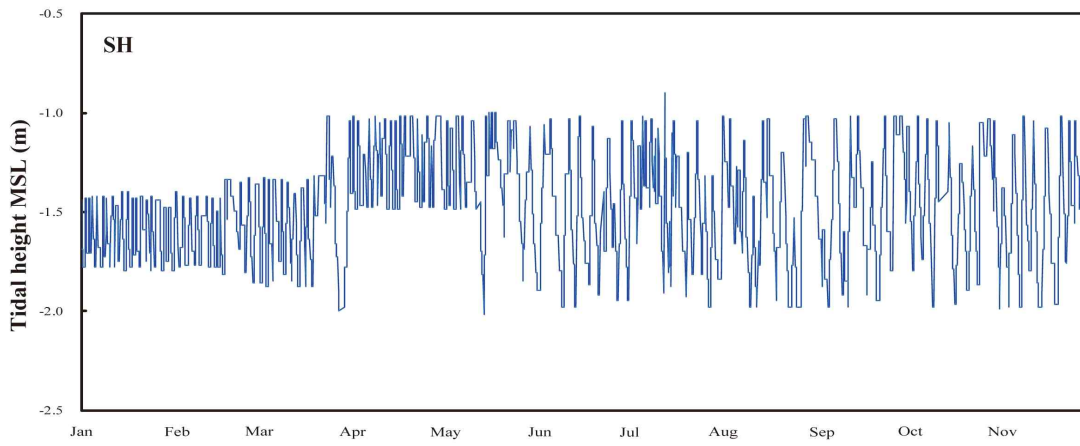


그림 3-4-15. 2009년 시화호 갑문운영에 따른 수위 변화 양상

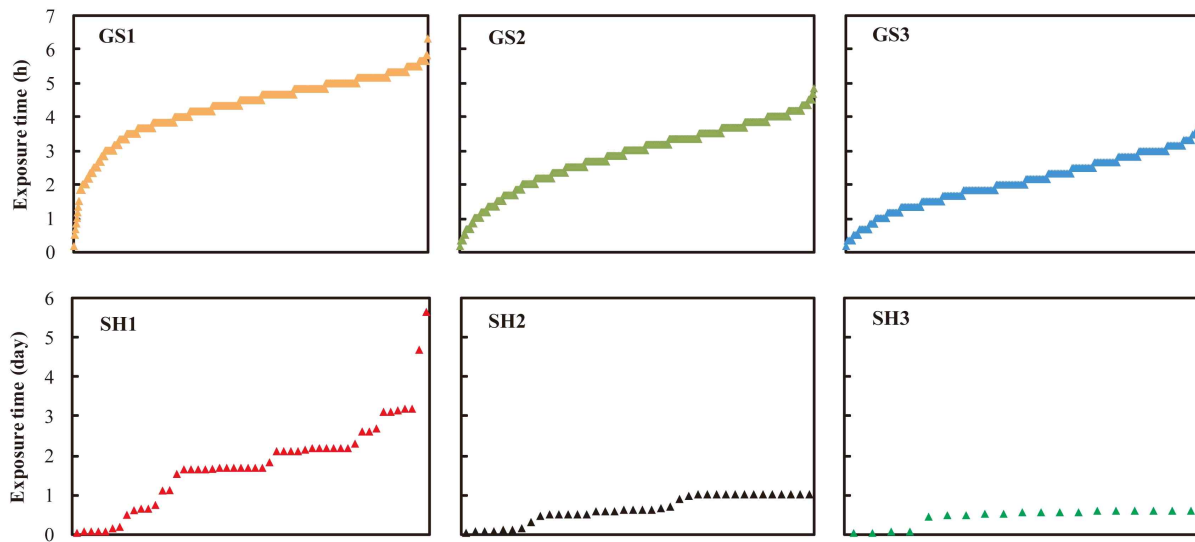


그림 3-4-16. 시화호 바지락 서식지 (아래)와 근소만 갯벌 (위)에서 각 정점의 노출시간 빈도분포도



표 3-4-7. 시화 수변부의 조위별 노출시간과 침수시간 비교

조고	평균 노출시간 (시간)	총 노출 시간 (day)	%	최대 노출시간 (day)	노출빈도 (회)	총 침수시간 (day)	%	최대 침수시간 (day)
-1.5m	42.9	89.7	58.6	5.7	50	63.3	41.4	8.0
-1.8m	16.2	25.7	16.8	1.0	38	127.3	83.2	12.9
-1.95m	11.0	8.8	5.8	0.6	19	144.2	94.2	25.7

표 3-4-8. 근소만 갯벌의 조위별 노출시간과 침수시간 비교

조고	평균 노출시간 (시간)	총 노출 시간 (day)	%	최대 노출시간 (day)	노출빈도 (회)	총 침수시간 (day)	%	최대 침수시간 (day)
-0.9m	4.3	120.6	33.0	0.26	673	244.4	67.0	0.97
-1.8m	2.9	56.3	15.4	0.20	473	308.7	84.6	7.70
-2.5m	2.0	20.7	5.7	0.15	239	344.3	94.3	11.86

### 3.2.2. 시화호 수변부에 서식하는 바지락 서식밀도 분포

2009년 6월에 시화호 형도 앞 수변부에 서식하는 바지락의 서식밀도 조사를 실시하였으며, 특히 시화호 수위와 노출시간에 바지락분포 특성을 살펴보기 위해 -1.5m, -1.8m, -2.0m 수위별 (평균해수면 기준)로 총 18개 정점에서 조사를 실시하였다. (그림 3-4-17). 시화호 형도 수변부 해역에서 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)의 서식하는 것을 확인하였다. -1.5m 수위에서는 바지락이 거의 출현하지 않았으며, 주로 -1.8m와 -2.0m 수위에서 주로 출현하였다. 특히 -2.0m 수위에서 높은 바지락 밀도를 보였다 (표 3-4-9). 공간적 분포 양상은 전년도와 유사하게 바지락은 서쪽 수변부에서 주로 서식하는 패턴을 보였다 (그림 3-4-17). 특히 -2.0m 조위에 위치한 정점 12에서 82.0개체/m<sup>2</sup> 가장 높은 현존량을 보였다. 2008년 자료와 비교 시 -1.8m 조위의 바지락 밀도는 13.16개체/m<sup>2</sup>에서 14.1개체/m<sup>2</sup>으로 유사한 밀도를 보였다.

표. 3-4-9. 시화호 형도 수변부에서 출현한 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 수위별 서식밀도 및 생체량

대상종	서식수위 (m)	서식밀도 (개체/m <sup>2</sup> )	습중 생체량 (WWtg/m <sup>2</sup> )	건조 육질량 (DWtg/m <sup>2</sup> )	개체당 건조 육중량 (DWtg)
바지락	-1.8m	14.4	95.6	6.93	0.48
	-2.0m	38.6	167.5	14.48	0.38
	평균	26.5	131.5	10.70	0.43
	최대값	82	502.9	39.11	0.48

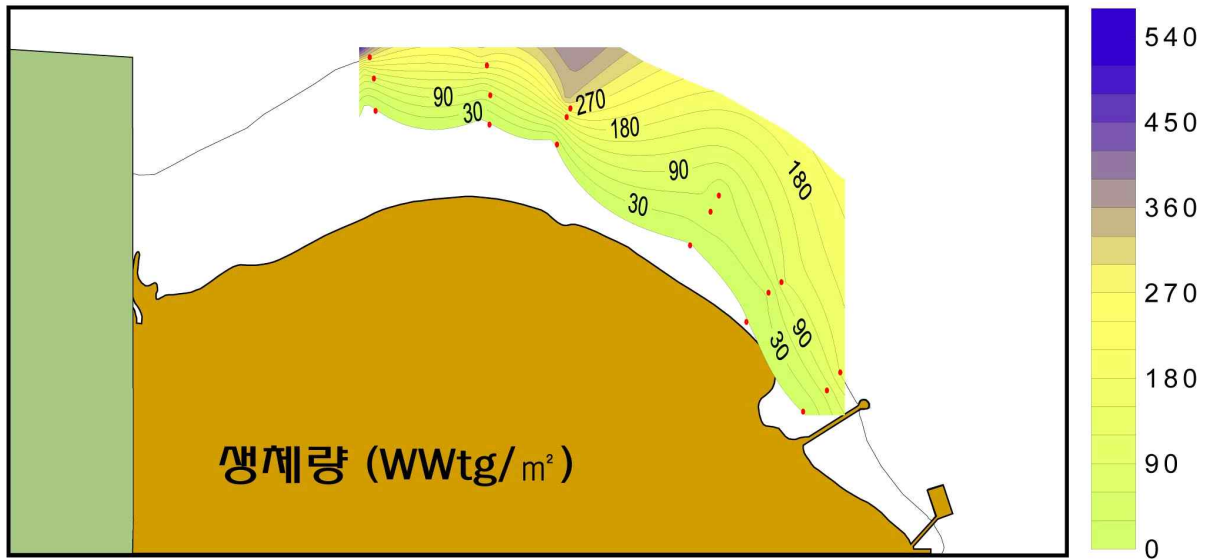
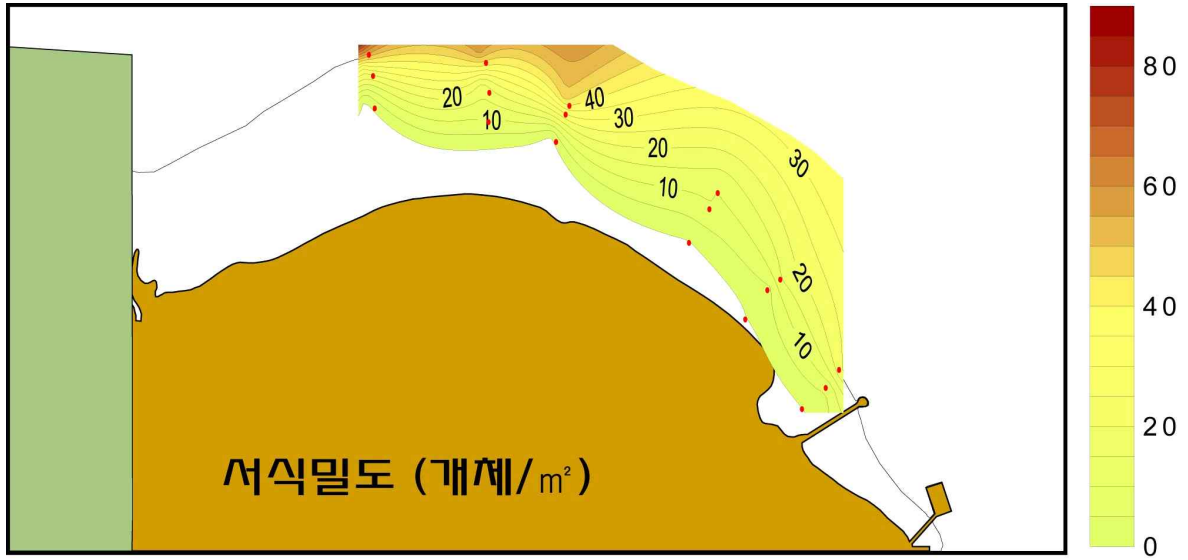


그림 3-4-17. 시화호 형도 수변부에 서식하는 바지락의 서식밀도 (위)와 생체량 (아래) 공간 분포도

### 3.2.3. 바지락 개체군 특성 연구

#### (1) 바지락 연령군 조성

##### 가. 크기빈도분포

2009년 시화호 형도 앞 수변부에서 3월과 6월에 조고별 (SH1, SH2, SH3) 바지락의 각장과 육질부 건조량의 빈도 분포를 그림 3-4-18에 나타내었다. 정점 SH1 (-1.5m)에서는 바지락이 서식하지 않았으며, 정점 SH2 (-1.8m)와 정점 SH3 (-2.0m)에서만 채집되었다. 정점 SH2와 SH3에서 3월에 각장의 빈도분포는 뚜렷한 이중모드 (bimode) 형태가 보였으나, 6월 조사에서 단일모드 (unimode) 형태로 변화한 모습을 보여 어린 연령군의 빠른 성장을 보여주고 있었다. 육질부 건조량 빈도분포는 전체적으로 연령군 모드를 구별하기 어려울 정도로 불명확하였다. 각장의 빈도분포와 비슷한 경향으로 3월에는 이중모드에서 6월에 약간 중량이 늘어났으며, 두 모드가 중첩되어 가고 있었다. 조고의 차이가 있는 두 정점간의 빈도분포는 큰 차이는 없었으나 정점 SH3보다 정점 SH2가 더욱 뚜렷하였다. 7월 조사시 살아있는 바지락을 찾아볼 수 없어 대량폐사가 일어났다고 추정되었다. 이것은 서식지 환경 중 염분 변화가 큰 영향을 주었을 것이라고 추정한다. 실제로 7월에 표층에서 9 psu까지 기록되었으며 (그림 3-4-14), 갯벌 수층은 수리적으로 표층 염분 변화에 바로 반응하는 해역이기도 하다. 이 등 (2005)은 바지락 치패의 5일 동안 염분에 노출 실험결과 10, 15, 20psu에서 각각 8.3%, 68.0%, 95.2%의 평균생존율을 보고 하였다. 또한 0, 5psu에서는 100% 사망률을 보였다. 비록 치패의 경우이지만, 10psu이하의 염분에 장기간 노출되면 바지락은 거의 사망에 이른다.

비교해역인 근소만 갯벌에서 2009년 3월에 모든 3개 조고에서 20mm이하 각장 빈도분포는 없었으며, 6월에 하부에 위치한 정점 GS3에서 9~18mm 사이의 하나의 큰 모드가 형성되어 새로 연령군의 가입을 보여주었다 (그림 3-4-19, 그림 3-4-20). 8월에는 모든 정점에서 가입 모드가 형성되어 조고에 따라 가입 시기가 다르게 나타난 특징이 보였다. 새롭게 가입된 어린 개체는 시간에 따라 오른쪽으로 이동하는 모습을 보여주어 빠른 성장 (각장)을 보여주고 있다. 근소만 갯벌 육질부 건조량 빈도분포에서도 새로운 개체의 가입이 뚜렷하게 나타나고 있다. 새로운 연령군은 폭이 아주 좁은 모드를 형성하며 1세 이상의 연령군 모드는 폭이 아주 넓은 단일 모드가 뚜렷이 나타났다.

자연적인 갯벌 (근소만)에는 2009년 6월부터 가입이 활발하게 일어나고 있으나 시화호 바지락에서는 6월 조사에서도 가입이 일어나지 않고 있어 추후 바지락 개체군의 자원 증가를 위하여 가입 활동에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

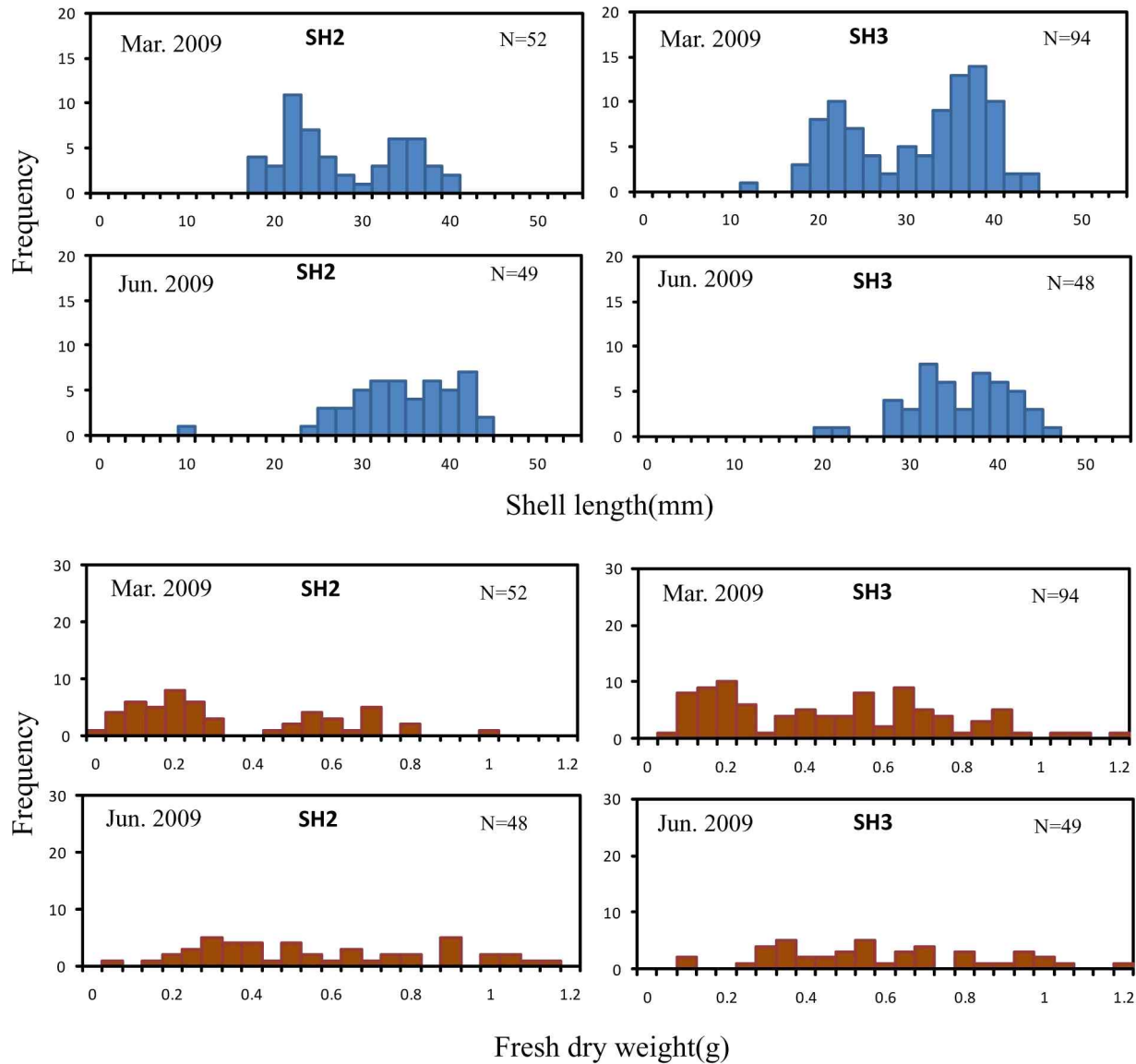


그림 3-4-18. 2009년 3월과 6월 시화호에서 채집된 바지락의 각장과 육질부 건조량의 빈도분포

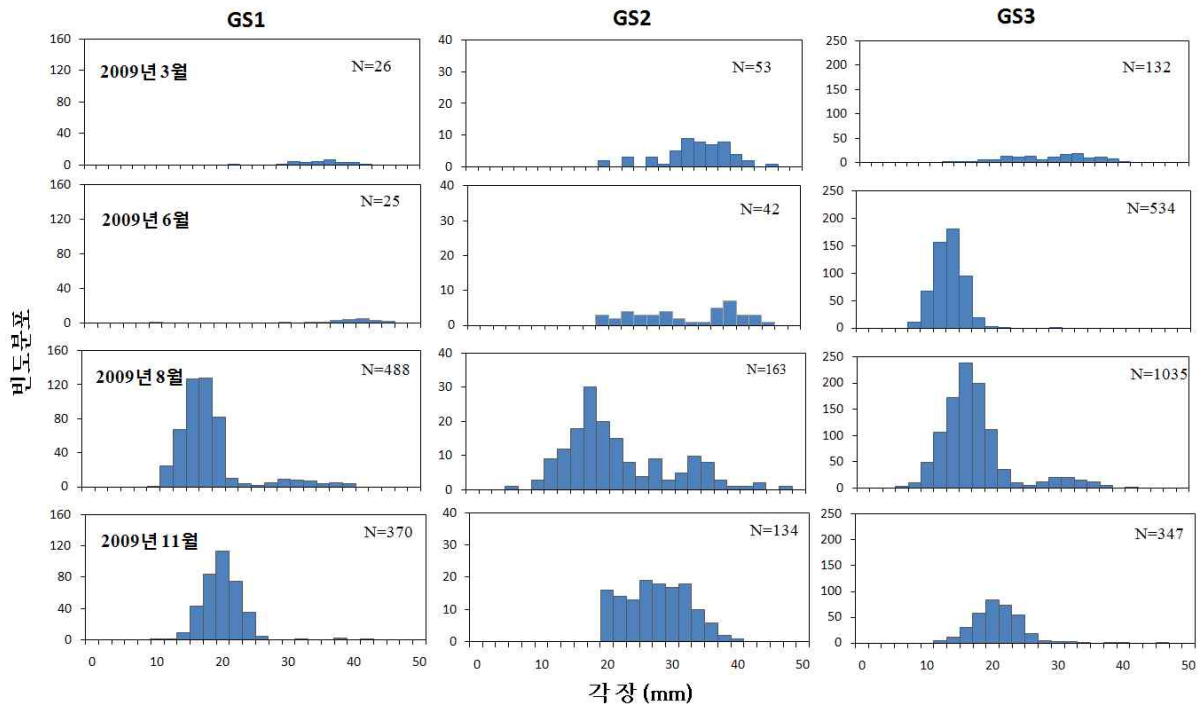


그림 3-4-19. 2009년 3월, 6월, 8월, 11월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 각 조고별 (GS1: -0.9m, GS2: -1.8m, GS3: -2.5m) 바지락의 각장(mm)의 빈도분포

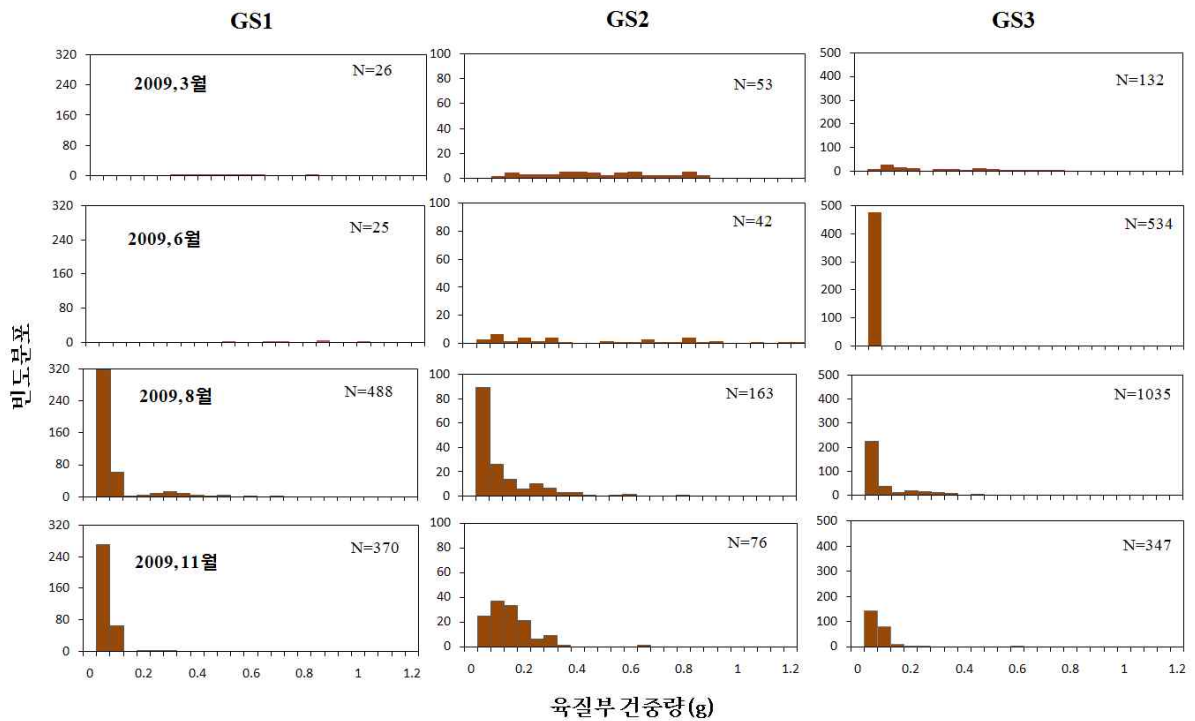


그림 3-4-20. 2009년 3월, 6월, 8월, 11월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 각 조고별 (GS1: -89cm, GS2: -181cm, GS3: -250cm) 바지락의 육질부 건중량(g)의 빈도분포

## 나. 서식밀도의 변동

두 갯벌에서 각 정점별로 계수하여 이를 단위면적당 ( $m^2$ )으로 환산하여 각 정점별로 모든 연령을 합친 총서식밀도의 변동은 그림 3-4-21와 그림 3-4-22에 나타내었다. 시화호 수변부 바지락의 서식밀도는 3월에 정점 SH3에서 54개체/ $m^2$ 으로 정점 SH2 30개체/ $m^2$ 보다 높았다. 6월에 정점 SH2는 거의 변화가 없었고, 정점 SH3는 24개체/ $m^2$ 으로 급격히 감소하였다. 또한 7월 장마시기를 지낸 후에는 모든 바지락 폐사가 일어났다.

근소만 갯벌에서 서식밀도 변동은 더욱 역동적이었다. 3월에 밀도는 3개 정점에서 26~53개체/ $m^2$ 으로 시화호와 거의 비슷한 서식밀도 수준이었다. 6월에 GS1과 GS2에서는 모두 29개체/ $m^2$ 이하의 밀도를 보였으나, GS3에서 어린개체의 가입으로 534개체/ $m^2$ 의 높은 서식밀도를 나타내기 시작하였다. 8월에 모든 정점에서 활발한 가입이 시작되어 서식밀도가 증가하기 시작하였다. GS1에서는 325개체/ $m^2$ , GS2는 130개체/ $m^2$  밀도를 보였으며, 특히 GS3에서 1,384개체/ $m^2$ 의 높은 밀도를 기록하였다. 11월에는 GS1과 GS2에서 각각 986개체/ $m^2$ , 357개체/ $m^2$  값을 보여 계속으로 밀도가 증가하는 모습을 보였으며, GS3에서는 증가하는 양상을 멈추고 1,388개체/ $m^2$  밀도를 보여 거의 변화가 없었다.

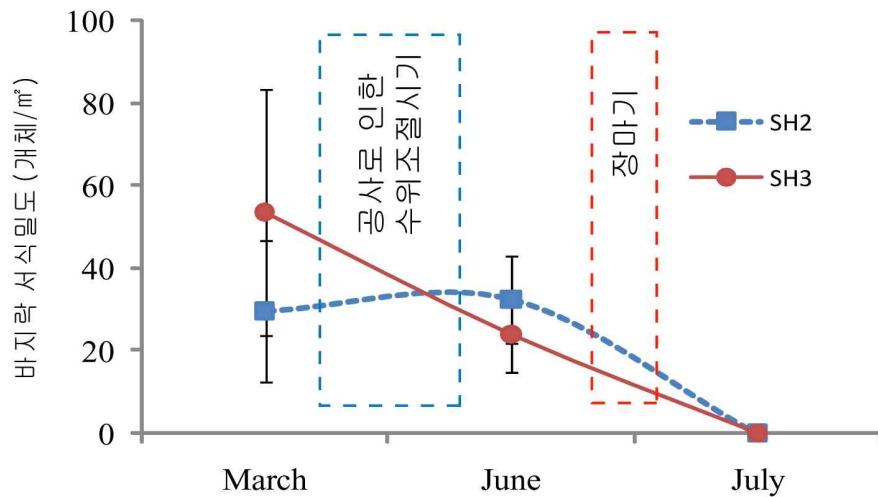


그림 3-4-21. 정점별 시화호 바지락의 서식밀도 변동

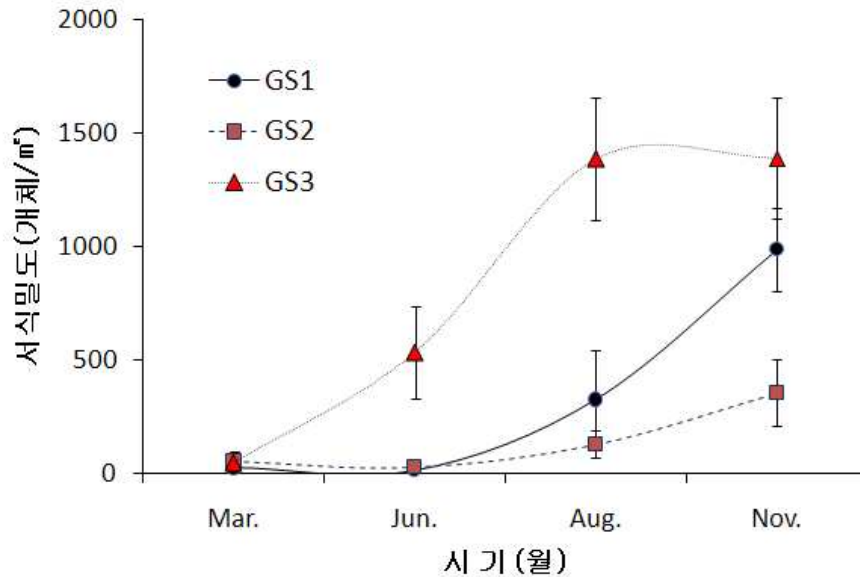


그림 3-4-22. 비교해역 (근소만 갯벌)에서 조위별 바지락의 서식밀도 변동

## (2) 바지락의 성장

### 가. 바지락의 체형 변수간의 관계

시화호와 근소만 바지락의 체형변수간 (각장 vs. 각고, 각장 vs. 각폭)의 관계와 각장과 육질부 건중량간의 관계를 그림 3-4-23와 그림 3-4-24, 25에 나타내었다. 시화호 수변부에 서식하는 바지락의 경우 각장과 각고간의 관계식에서 결정계수는 0.959이상의 높은 값을 보여 적합도가 높았으나, 각장과 각폭간의 결정계수는 0.915~0.977로 상대적으로 조금 낮았다. 이것은 동일 정점에서 각장과 각고에 대한 형태변이보다는 각폭에 대한 변이가 컸음을 나타낸다. 바지락의 모양과 관련 있는 각장과 각고간의 관계식의 기울기 (b)는 0.69~0.76 정도이었으며, 각장과 각폭간의 기울기는 0.52~0.53 정도이었다.

비교해역인 근소만의 경우도 비슷한 경향을 보였다. 각장과 각고간의 결정계수는 0.881~0.980범위이었으며, 각장과 각폭간의 결정계수는 0.911~0.975범위로 거의 비슷한 수준이었다. 각장과 각고간의 기울기는 0.65~0.73, 각장과 각폭간의 기울기는 0.49~0.57범위로 시화호와 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

각장과 육질부 건중량간의 관계는  $W=a \cdot Lb$ 의 관계식을 통하여 분석하였다. 해역별, 정점별, 채집시기별 각장과 건중량의 관계는 그림 3-4-23과 그림 3-4-25에 나타내었다.

시화호 수변부 바지락의 경우 결정계수는 0.851이상의 높은 값을 보여 적합도가 높았다. 회귀시킨 관계식에서 기울기는 3월 정점 SH2에서 3.60으로 가장 높았나, 정점 SH3에서 2.82로 가장 낮은 값을 보였다.

근소만 바지락의 경우 결정계수값은 0.730~0.977로 시화호보다 변화폭이 컸다. 가장 낮은 기울기는 3월 정점 GS2에서 3.129, 가장 높은 기울기는 6월에 GS2에서 3.906이었다.



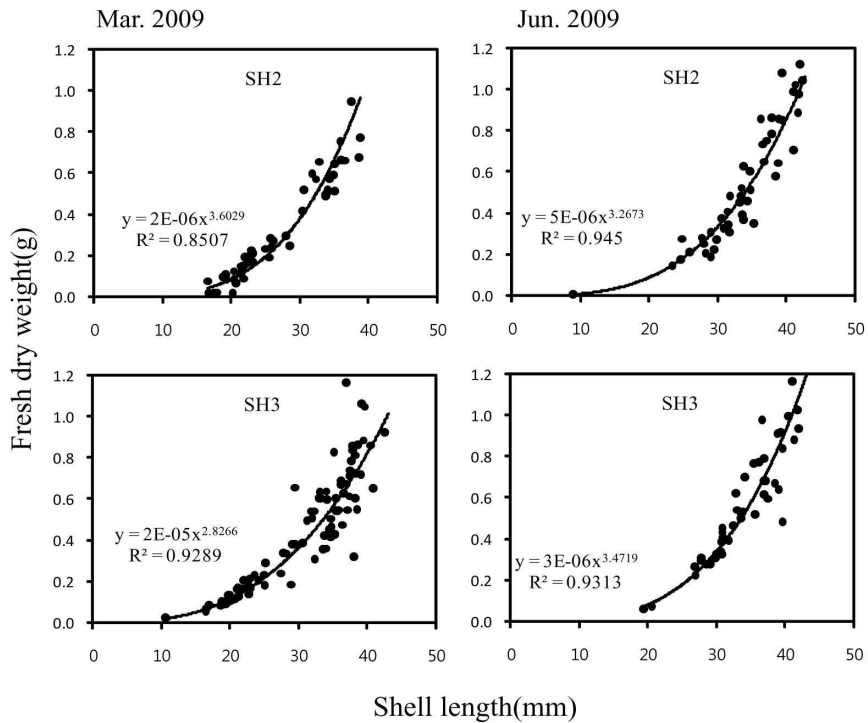
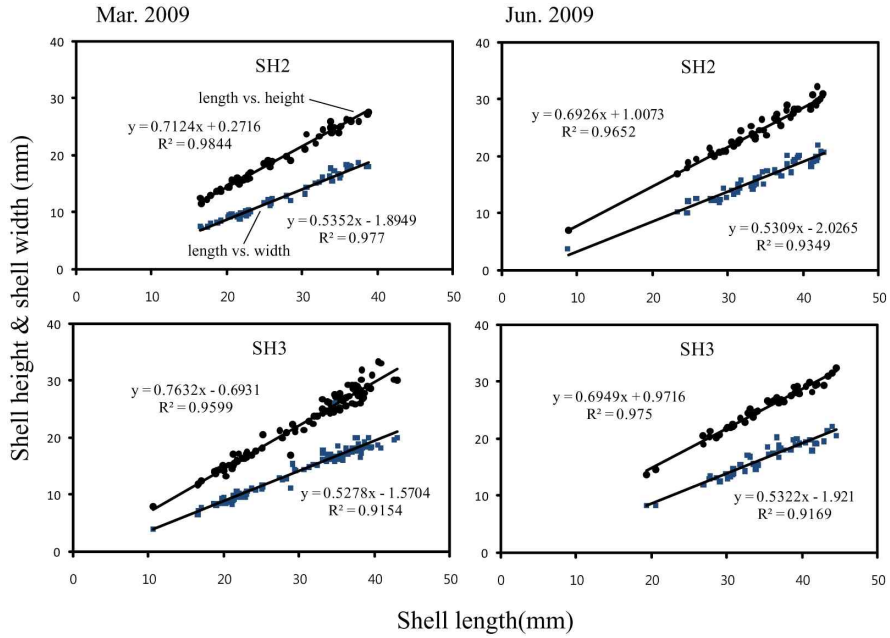


그림 3-4-23. 2009년 3월, 6월 시화호에서 채집된 바지락의 각장, 각고, 각폭간의 관계 (위) 및 각장과 육질부 건조량 간의 관계

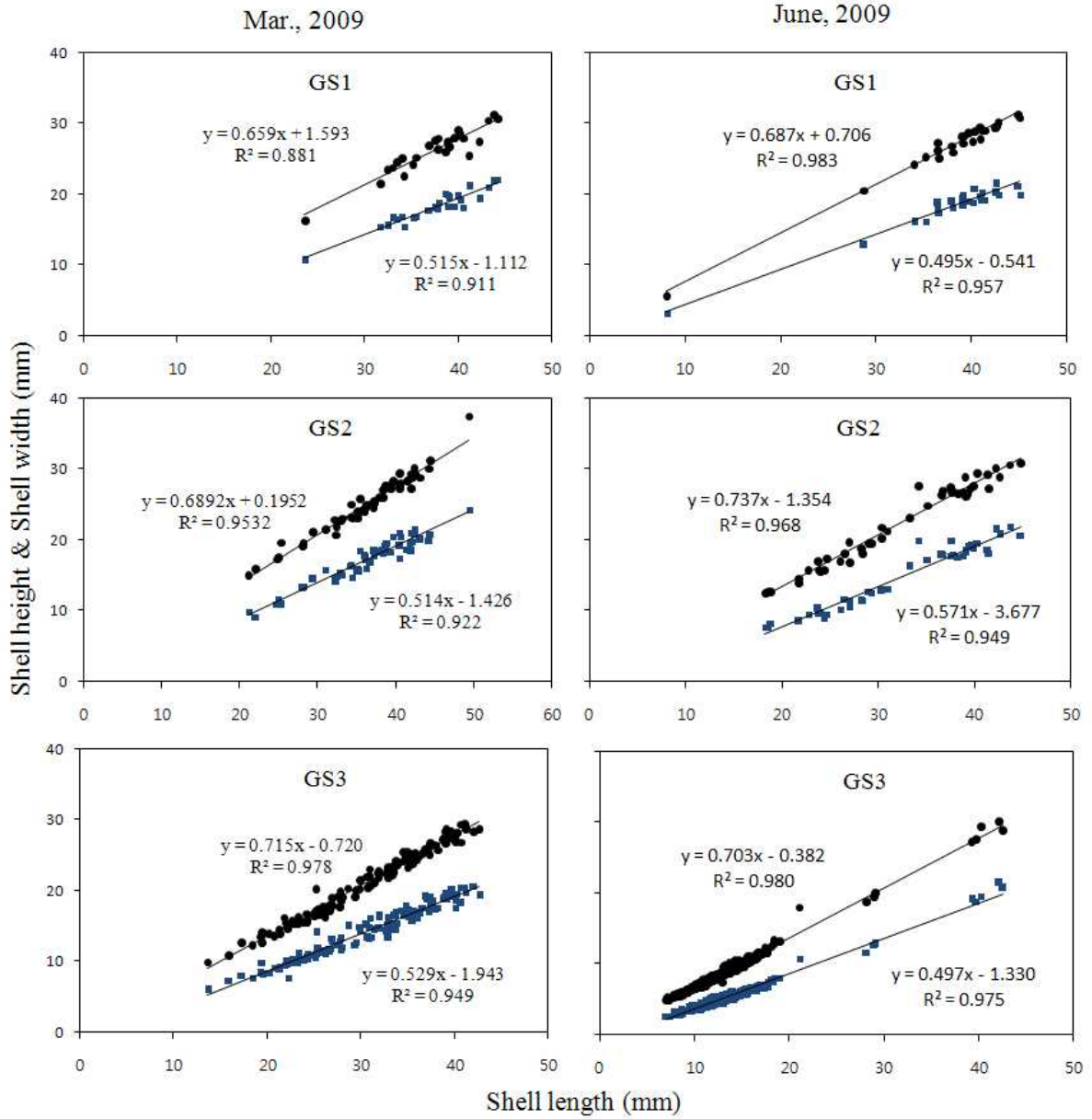


그림 3-4-24. 2009년 3월, 6월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 채집된 바지락의 각장과 각고, 각장과 각폭간의 관계

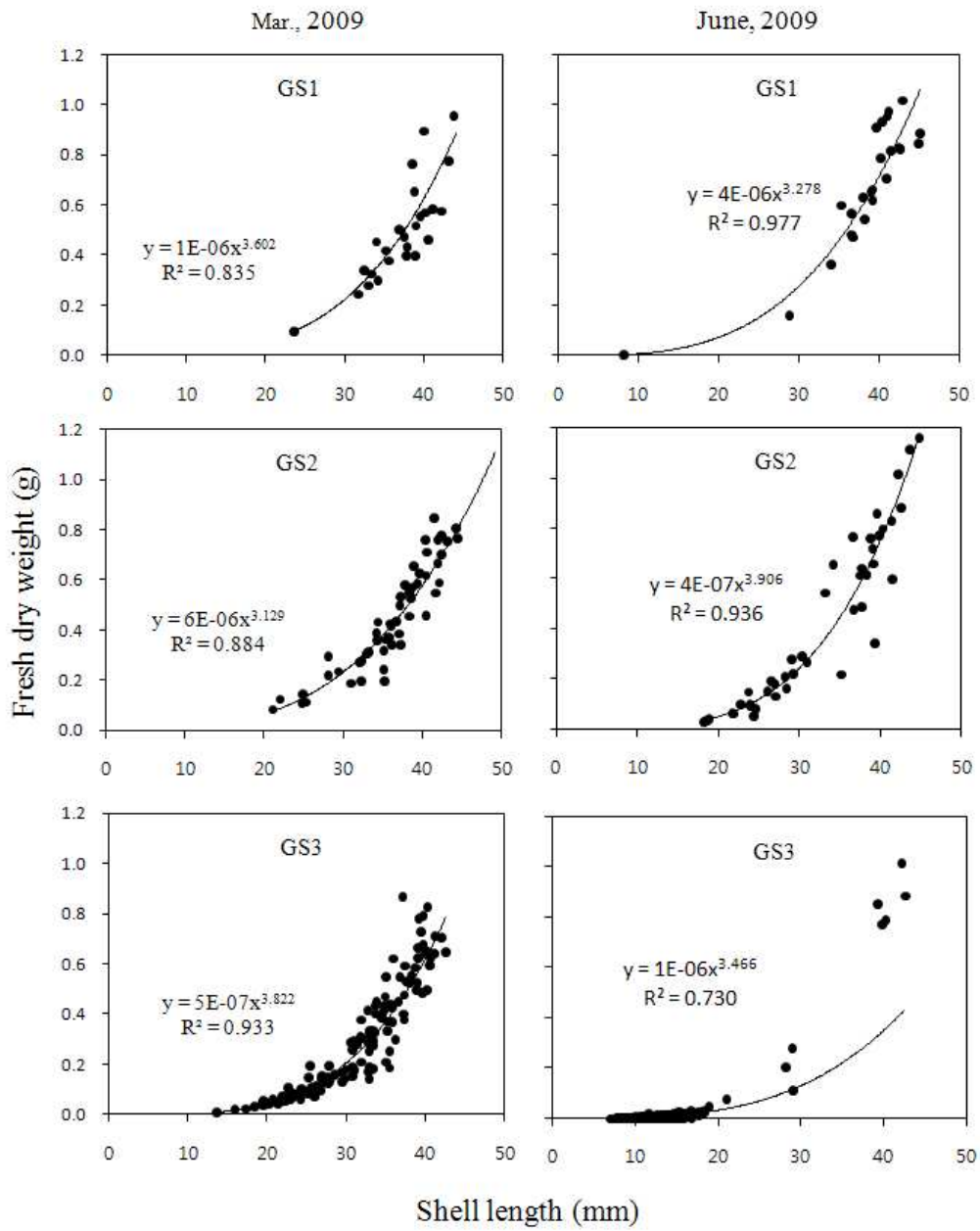


그림 3-4-25. 2009년 3월, 6월 비교해역 (근소만 갯벌)에서 채집된 바지락의 각장과 육질부 건중량간의 관계

#### 나. 바지락 성육상태 (비만도) 비교

시화호와 비교해역 (근소만)에서 채집된 바지락의 각장과 중량간의 관계에서 발육상태를 비교하기 위하여 연령군별 비만도 (Fulton's condition factor)를 산출하여 그림 3-4-26과 그림 3-4-27에 나타내었다. 시화호 바지락의 3월 경우 정점 SH2는 0.13~0.15이었으며, 정점 SH3은 0.13~0.14로 정점별로 유사하였다. 6월의 경우 정점 SH2는 0.12~0.14, 정점 SH3는 0.11~0.148 값을 보였다. 비교해역인 근소만 바지락의 3월의 경우 모든 정점, 모든 연령군에서 0.06~0.11 범위를 보였고 6월의 경우에도 모든 정점에서 0.06~0.11 범위를 보여 시화호 바지락이 높은 비만도를 보였다. 이는 시화호 수층의 풍부한 먹이원과 먹이섭식시간과 관련이 있다고 추정된다.

#### 다. 각장 및 중량의 계절변동

2009년 각장의 시기별 변동은 그림 3-4-28에 건중량의 시기별 변동은 그림 3-4-29에 나타내었다. 시화호 바지락의 각장의 경우 모든 연령군에서 조금 성장하는 모습을 보여주고 있다. 특히 1세 연령군의 성장이 상대적으로 컸다. 정점 SH2에서 평균 20.42mm에서 23.61mm가 성장하였고, 정점 SH3에서 21.16mm에서 25.45mm로 각장 성장을 하였다. 다른 연령군에서도 비슷하게 정점 SH2에서 2세 연령군은 29.26mm에서 33.5mm로 성장하는 모습을 보였다.

근소만의 경우 6월부터 가입한 연령군인 0세군은 가입초기에는 평균 12.5mm 이었으나, 8월, 11월에 계속적으로 성장하여 11월에는 21.4mm로 성장하였다. 고 연령군의 성장은 6월과 8월 사이에 크게 이루어지는 특징을 보였다.

중량의 경우 시화호 바지락은 고연령일수록 증가폭이 컸다. 정점 SH2의 경우 1세 연령군은 평균 0.13g에서 0.17g으로 성장하였고, 정점 SH3에서는 0.13g에서 0.20g으로 조금 높았다. 2세 연령군은 정점 SH2에서는 0.37g에서 0.53g, SH3에서는 0.46g에서 0.49g으로 중량 성장하였다. 3세 연령군에서 성장 차이가 가장 컸다. 정점 SH2에서는 평균 0.57g에서 0.98g, SH3에서는 0.63g에서 0.98g으로 성장하였다.

근소만의 경우 3월과 6월 사이의 중량차이는 크지 않았으며, 오히려 감소하는 연령군도 관측되었다. 전체 기간중 6월에 약간 감소하다가 8월과 10월에 다시 증가하는 양상을 보였다.

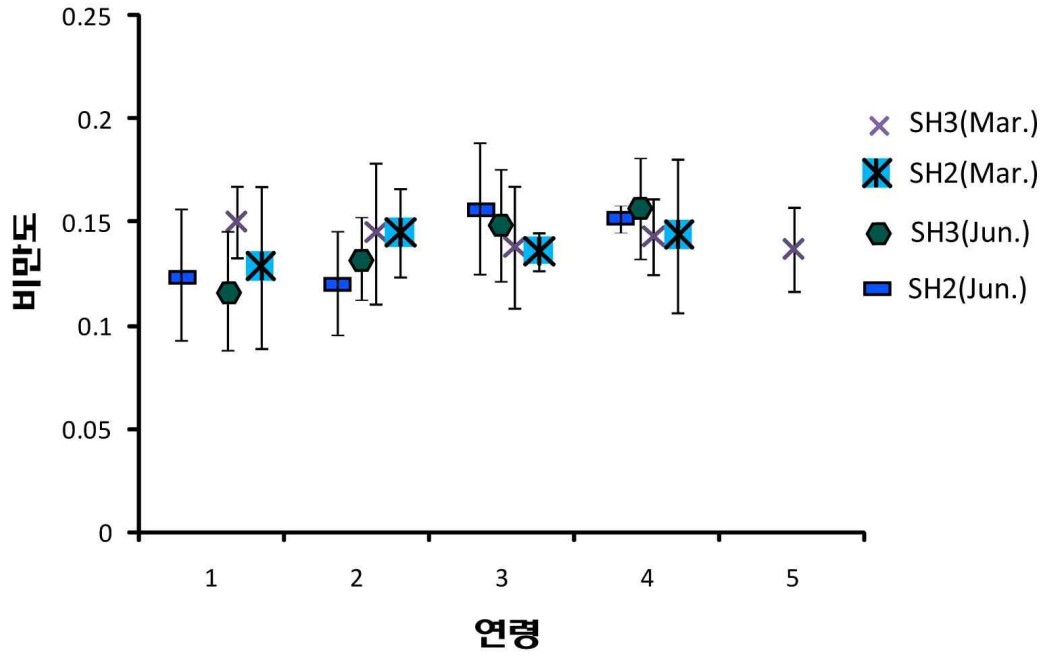


그림 3-4-26. 2009년 3월, 6월에 시화호 (SH) 수변부에서 서식하는 바지락의 연령별 비만도 비교

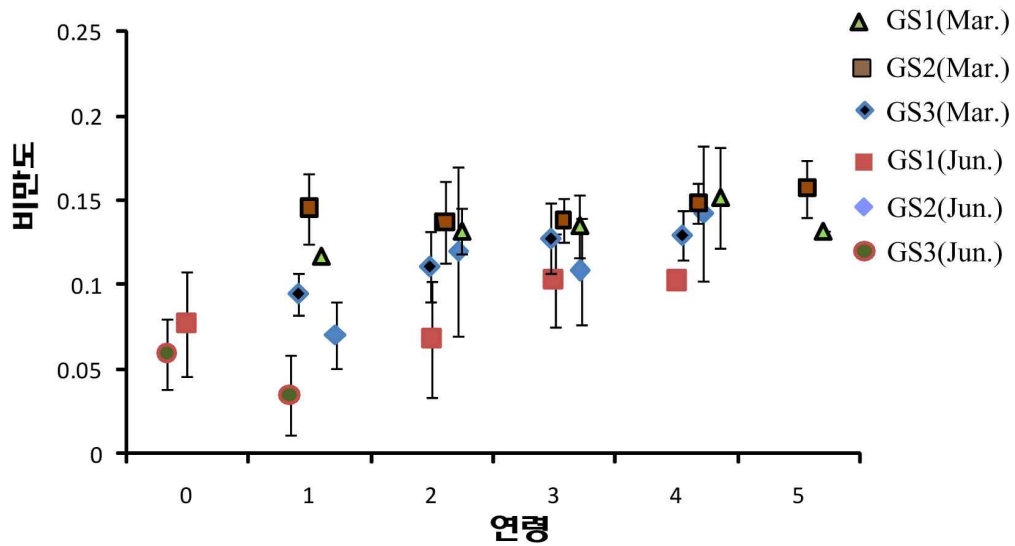


그림 3-4-27. 2009년 3월, 6월에 비교해역인 근소만 갯벌 (GS)에서 서식하는 바지락의 연령별 비만도 비교

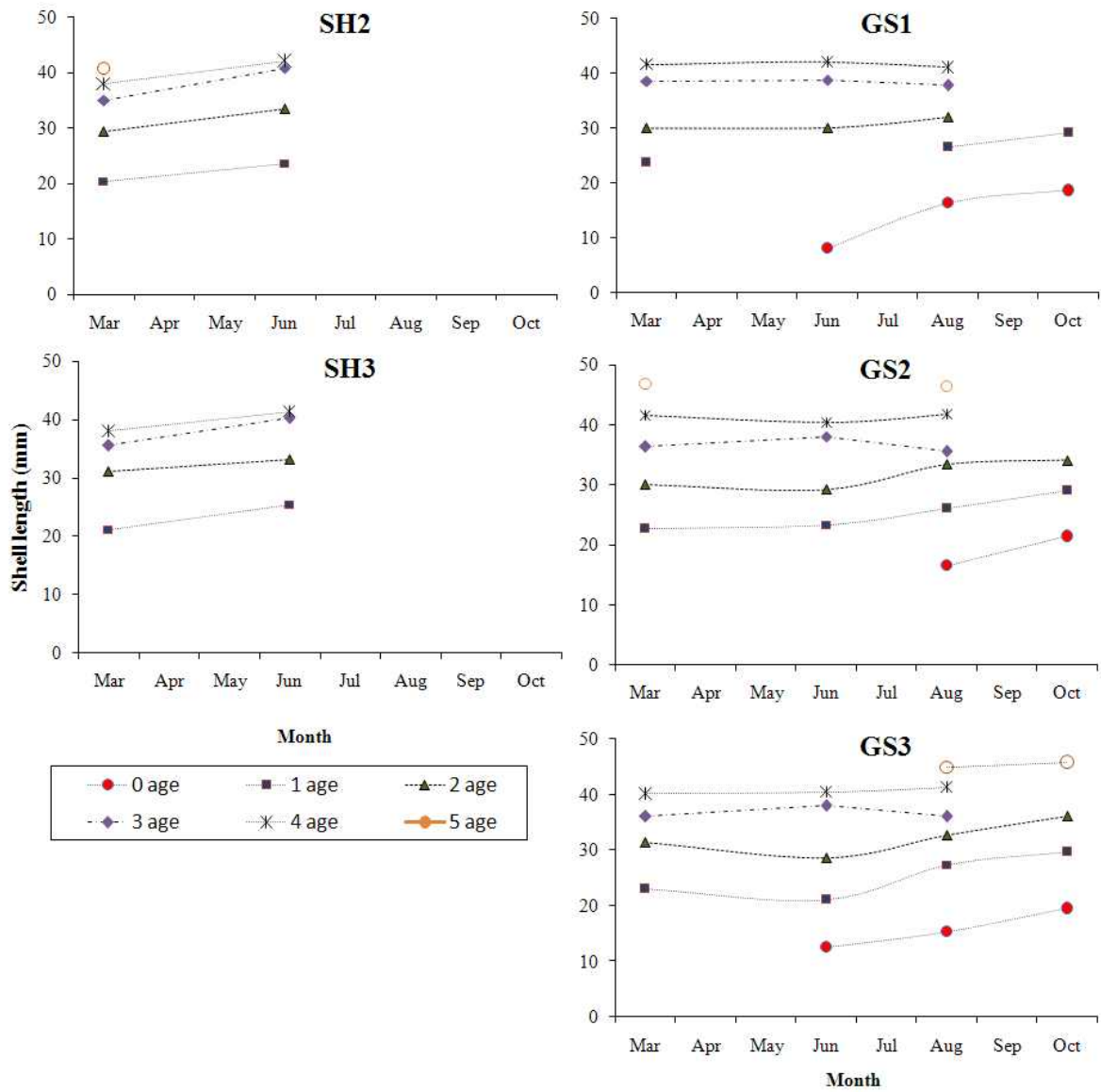


그림 3-4-28. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 연령군별 각장의 계절변동

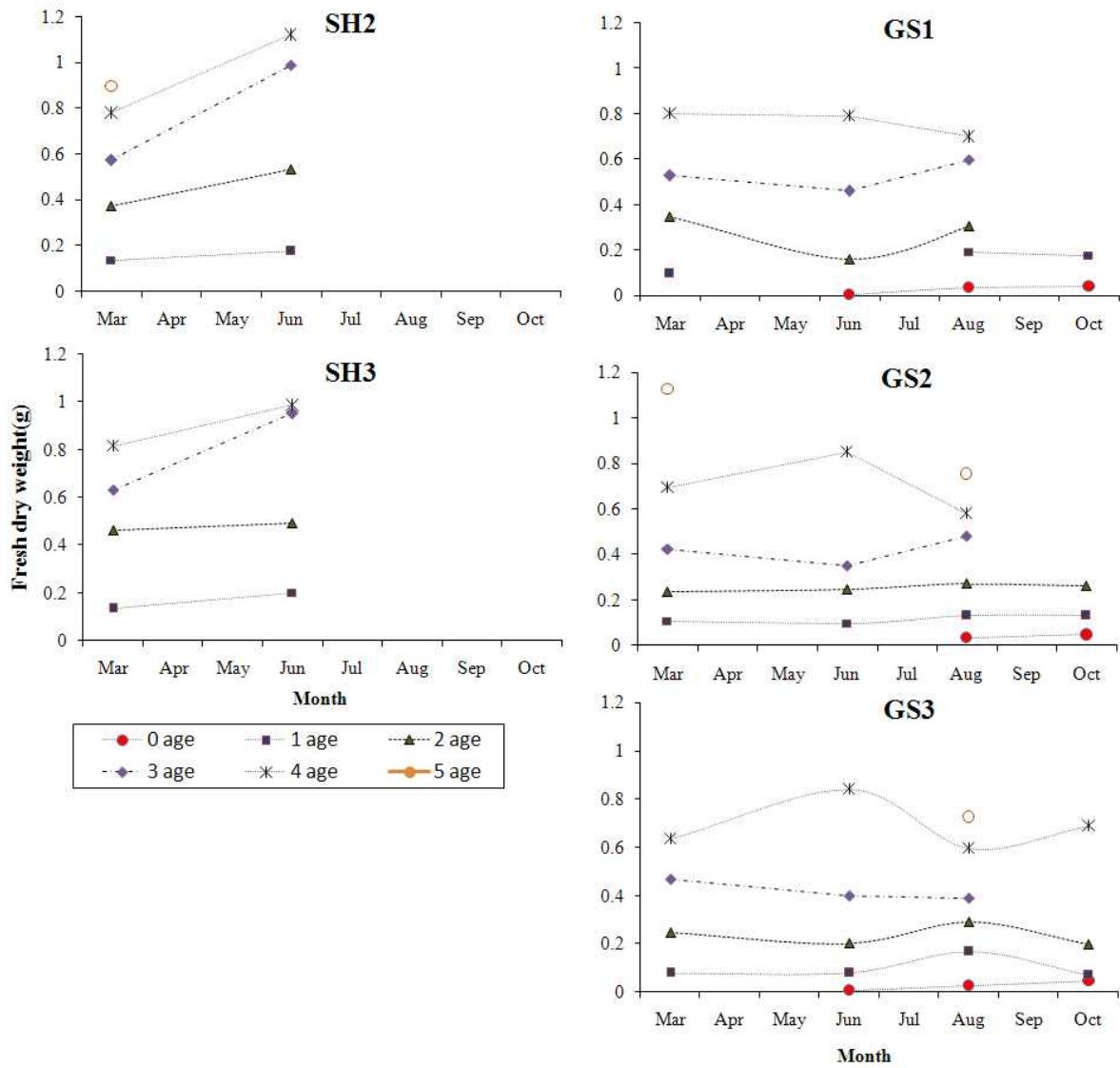


그림 3-4-29. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 연령군별 육질부 건조량의 계절변동

## 라. 바지락의 연령에 따른 성장

바지락의 성장 양상을 파악하기 위하여 패각에 나타나는 연륜의 길이를 측정하여 육질부의 건조량을 역계산하였다. 이 자료로부터 von Bertalanffy 성장식에 의해 각 성장계수를 도출하여 다시 연령별 각장과 육질부 건조량의 절대성장을 산출하였다 (그림 3-4-30, 그림 3-4-31).

바지락의 각장은 모든 연령군에서 연령이 증가함에 따라 점점 커진다. 초기에 급속히 성장하고 4세 이상이 되면 성장이 둔해지는 경향을 보였다. 절대성장률은 초기에 최대를 보이고, 연령이 증가할수록 거의 지수함수적으로 감소하여 4세 이상이 되면 거의 증가하지 않는 경향을 보였다. 이론적인 최대각장 ( $L_{\infty}$ )과 von Bertalanffy 성장계수(K)는 해역별 정점별에 따라 차를 보였다.  $L_{\infty}$ 는 GS2(53.51mm) > SH3(45.32mm) > GS1(44.88mm) > GS3(44.52mm) > SH2(40.72mm) 순이었다. von Bertalanffy 성장계수 (K)는 SH2(0.61) > GS1(0.59) > GS3(0.49) > SH3(0.41) > GS2(0.32) 순이었다.

육질부 건조량의 성장을 해역별 정점별로 살펴보았다. 육질부 건조량은 초기에 비교적 성장이 느리게 일어나고, 2~3세 정도에서 가장 빠르고, 이후 둔화되는 경향을 보인다. 이러한 경향은 절대성장률의 변화에서 잘 알 수 있다. 즉, 성장률은 초기에 낮다가 2~3세에서 최대를 기록하고, 이후 점점 감소하였다. 이론적인 최대 중량  $W_{\infty}$ 는 GS2(1.7g) > GS3, SH2 (1.1g) > GS1(1.06g) > SH3(0.93g) 순이었다.

각장과 육질부 건조량의 절대성장률을 해역별 정점별로 비교하였다 (그림 3-4-32). 각장 성장에서 초기 (1세)에 높은 성장률을 보인 정점은 GS1과 SH2, GS3 정점이었으며, SH3 정점과 GS2 정점이 낮은 성장률을 보였다. 육질부 건조량의 절대성장률은 SH2 정점이 다른 정정보다 1~3세까지 가장 높은 성장률을 보였다. 나머지 정점은 비슷한 수준이었다.

두 해역에서 조고에 따른 정점별의 성장식의 차이를 비교하기 위하여 각장의 성장식인 von Bertalanffy, 성장모델에서는 Gallucci and Quinn (1978)이 제안한 변수인  $\omega$ 를 이용하고, 중량의 성장식인 Gompertz 성장모델에서는 최대성장률 ( $AGR_{max}$ )를 이용하였다. 각장의 성장에서의 초기성장률과 중량성장에서의 최대성장률을 계산하면 표 3-4-10과 같다.

각장의 초기성장률  $\omega$ 은 근소만 GS1에서 가장 높았으며, 대체적으로 높은 위치에서 높게 나타났다. 최대성장률  $AGR_{max}$ 은 시화호 SH2에서 0.36으로 가장 높았다. 그러나 시화호 SH3에서 가장 낮은 최대성장률을 보였다. 중량에서 최대성장률을 나타낼 때 연령인  $AGR_{max(age)}$  또한 시화호 SH2 정점에서 가장 빠르게 나타났다. 전체적으로 시화호 SH2가 최대성장률에 도달하는 연령이 가장 빨랐다.



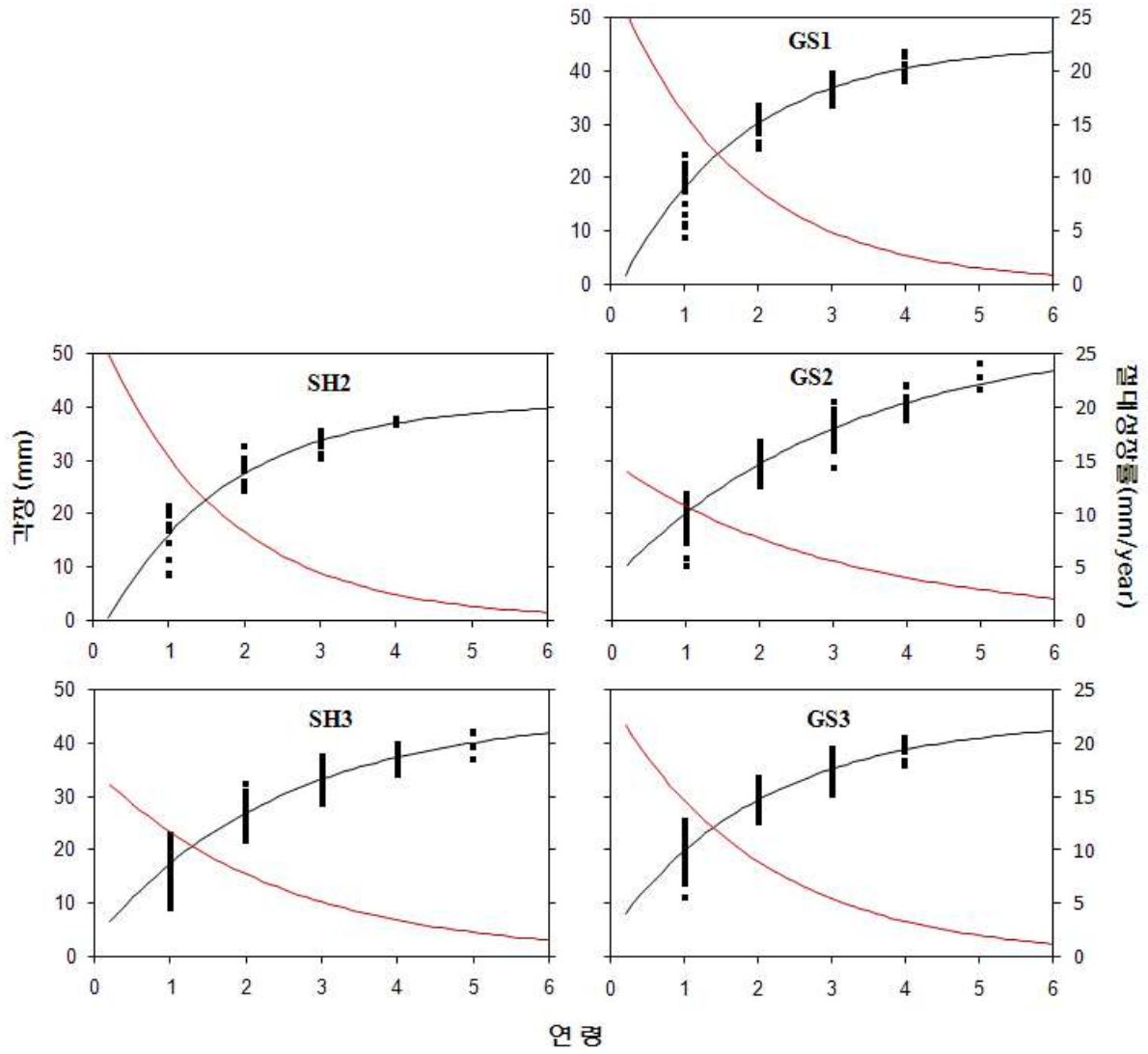


그림 3-4-30. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 각장의 연령에 따른 성장과 절대성장률 (빨간색) 비교

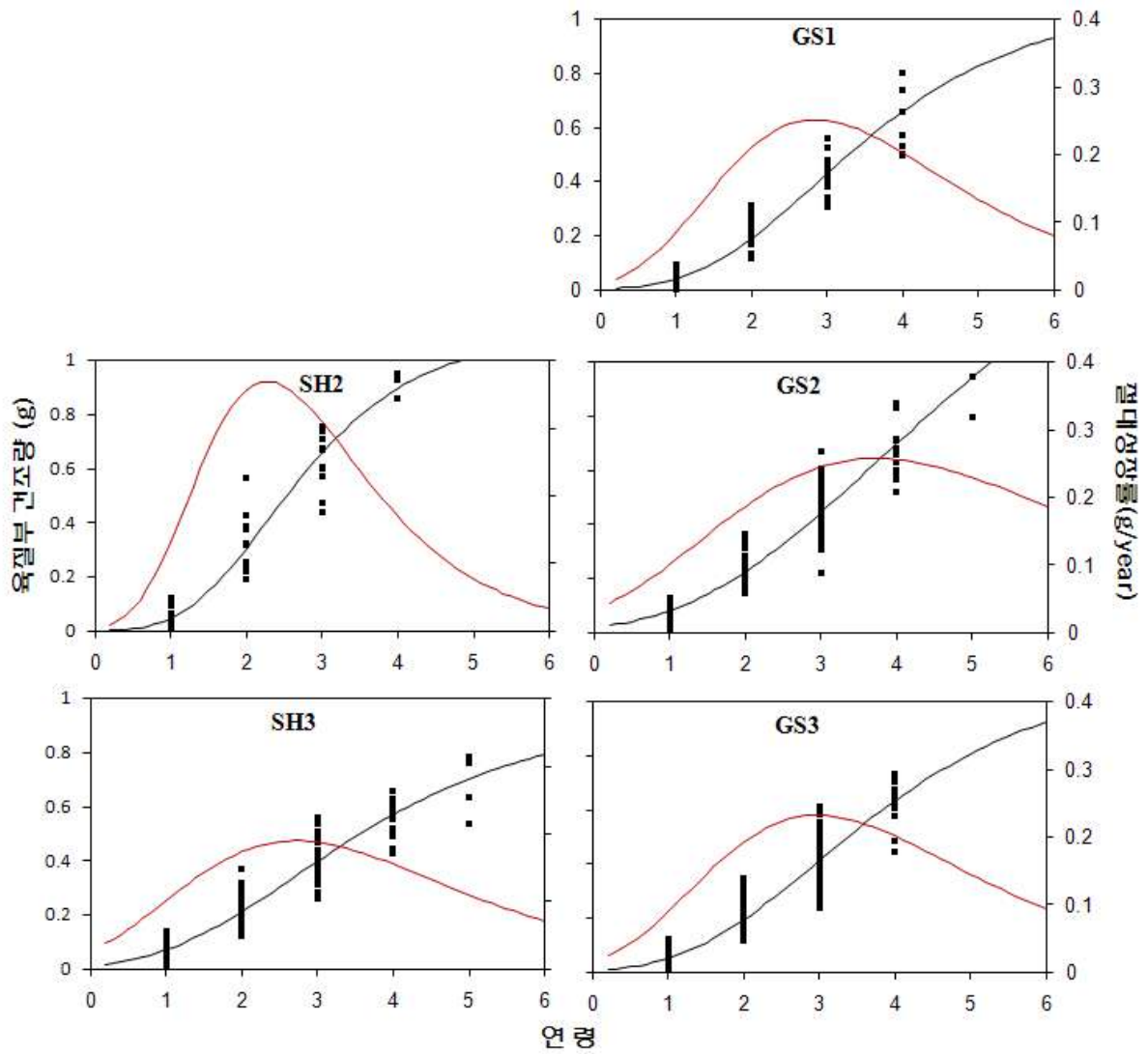


그림 3-4-31. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 육질부 건중량의 연령별 성장과 절대성장율 (빨간색) 비교

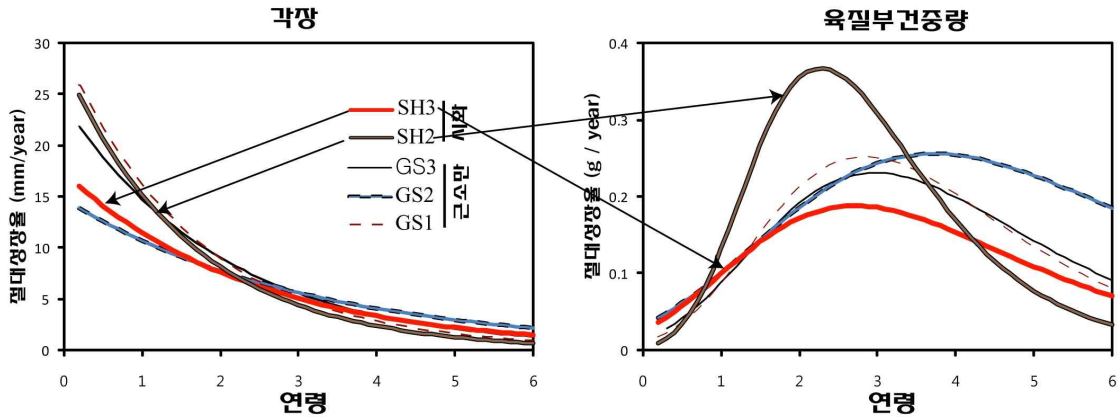


그림 3-4-32. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 바지락의 각장 및 육질부 건조량 절대성장을 비교.

표 3-4-10. 시화호(SH)와 비교해역 (근소만, GS) 각 조고별 바지락의 성장률의 비교

	초기성장률 ( $\omega$ )	최대성장률 (AGRmax)	최대성장률 연령 (AGRmax(age))
SH2	25.2	0.36	2.2
SH3	18.7	0.19	2.7
GS1	26.6	0.25	2.8
GS2	17.3	0.25	3.7
GS3	21.8	0.23	2.9

### (3) 바지락의 생물량 변동

채집시기별로 정점별, 연령군별 생물량을 산출한 다음 이를 합하여 총생물량을 계산하였다 (그림 3-4-33). 시화호 SH2 정점에서 육질부 건조량의 생물량은 3월에 총 13g/m<sup>2</sup>에서 6월에는 27g/m<sup>2</sup>으로 거의 두배가 증가하였으나, SH3 정점에서는 건조량은 증가하나 밀도 감소에 기인하여 거의 18g/m<sup>2</sup>의 생물량을 계속 유지하였다.

비교해역인 근소만 바지락은 가입 연령군에 의해 생물량이 좌우되었다. 즉, 3월과 6월에 생물량은 거의 비슷하거나 약간 감소하였으나, 0세 연령군이 가입과 건조량이 증가하면서 8월 10월에 모든 정점에서 생물량이 증가하였다.

시화호 생물량은 가입이 일어나지 않은 근소만 갯벌의 3월의 생물량과 거의 비슷한 수준으로 시화 갯벌 예정지에 가입이 충분히 일어나면, 아주 높은 생물량을 기대할 수 있을 것이다.

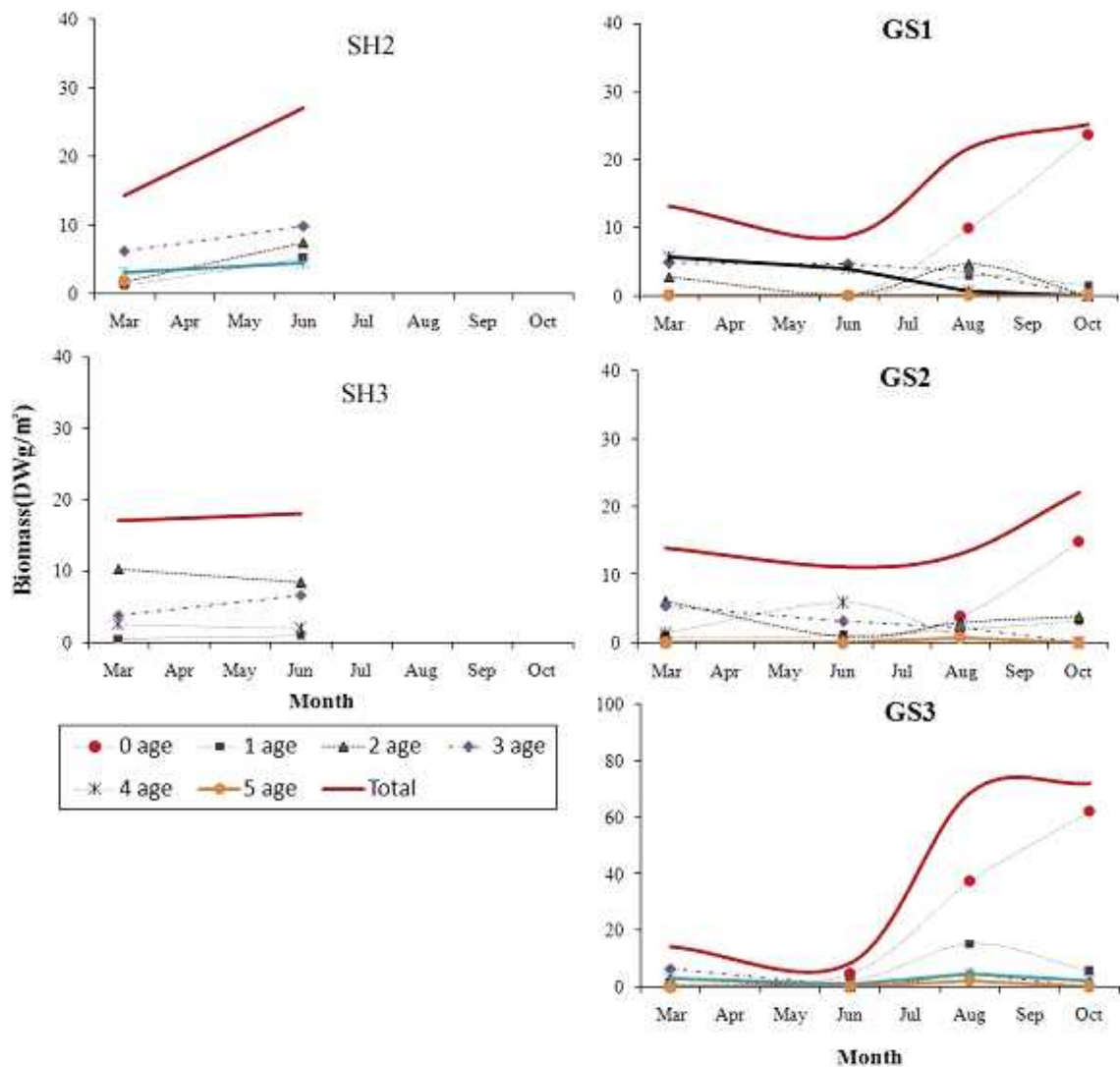


그림 3-4-33. 시화호(SH)와 비교해역(근소만, GS) 바지락의 시기별, 연령군별 육질부 건조량의 생물량 변동

### 3.2.4. 바지락 이식 실험

시화호 형도 주변 수변부에서 바지락 이식 실험을 수행한 결과, 총 55일 실험기간 동안 바지락 생존률은 평균 96.6%로 매우 높았다 (표. 3-4-11). 15일 경과 후에는 생존률이 평균 97.1%로 처음 적응하지 못한 개체들이 사망하였고, 38일과 55일 경과 후에는 각각 평균 97.1%, 96.6%의 생존률을 보여 거의 변화가 없었다. 처음 시화호 환경에 적응하지 못한 일부 개체들이 15일내로 사망하였고, 어느 정도 적응을 한 개체들은 생존한 것으로 보여진다.

바지락의 생육상태를 보여주는 비만도 지수 변동은 시간 경과에 따라 높아지는 양상을 보였다 (그림 3-4-34). 15일 경과 후에는 0.058이었으며, 38일과 55일 경과 후에는 각각 0.083, 0.087로 높아지는 경향을 보였다. 시화호에 이식된 바지락은 잘 성육할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 조력발전 가동 후에는 주요 바지락 폐사 원인이 되는 저염 교란은 거의 일어나지 않을 것이라 사료되어 적응한 바지락 개체군은 번성할 것이라 예상된다.

표 3-4-11. 시화 호도 주변 수변부에서 실험경과 동안 바지락의 생존률

	실험기간	생존률(%)	SD
2009-10-06	0	100.0	-
2009-10-21	15	97.1	0.2
2009-11-13	38	97.1	1.5
2009-11-30	55	96.6	0.9

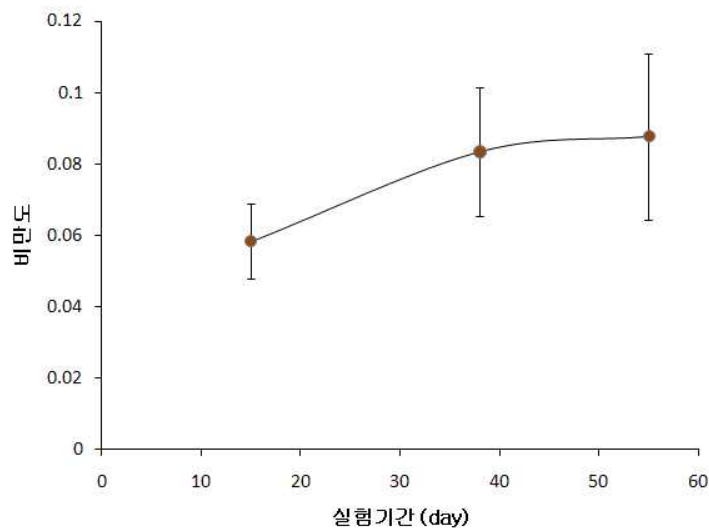


그림 3-4-34. 시화호 형도 주변 수변부에서 실험경과 동안 바지락의 생육상태 (비만도) 지수 변동

### 3.2.5. 시화호 바지락 개체군 특성 결론

시화호 바지락은 근소만 갯벌 (대조구 지역)에 비해 비만도 및 각장과 육질부 중량의 성장률이 높게 나타났다. 시화호 수층에서는 바지락 먹이원의 풍부함과 창조류 및 낙조류의 빠르지 않는 유속과 관련이 있다고 사료된다.

근소만 갯벌과 시화갯벌에서 바지락의 서식지는 노출빈도 33% 이하, 침수빈도 67% 이상인 지역으로 국한되었다. 높은 성장을 보이는 지역은 노출빈도 15 ~ 17%, 침수빈도 83 ~ 85%인 지역임을 이번 노출시간 분석에서 도출되었다. 현재 시화호 수변부에 서식하는 바지락이 정점 SH2이상에서 서식하지 않는 것으로 보아 평균 노출시간이 16.2시간 이상, 최대노출시간 하루 이상이 되면 바지락 생존에 큰 영향을 주는 것으로 나타나서 바지락 서식지 한계치일 것이다. 복원시 노출시간 한계치는 유용한 정보로 활용가능하다.

시화갯벌의 서식지 환경은 바지락 개체군 성장과 유지에 유리한 조건이라 생각된다. 비록 2009년 7월 염분 급감으로 인한 대량폐사가 일어났고, 이후 염분 회복시점 이후 외해역 바지락 이식실험 결과, 약 97%의 생존율과 함께 높은 성장률 추이를 확인하였다. 현 상태에서는 매년 반복되는 여름철 염분 급감과 빈산소층의 영향으로 개체군 유지가 불리한 상황이나, 조력발전소 가동 후면 이러한 문제점이 상당히 개선될 것으로 판단되며, 이럴 경우 시화호 바지락의 개체군은 크게 번창할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 바지락에 의한 수층 유기물 여과율

#### 3.3.1. 시화갯벌

##### (1) 수온 및 용존산소

현장실험 기간 동안 바지락 실험구 및 대조구 챔버와 현장해수의 수온은 큰 변화를 보이지 않았으며, 그 범위는 16.3 ~ 17.℃범위에 있었다 (그림 3-4-35A). 폐쇄된 환경 때문에 챔버에서의 수온이 주변 해수에서 보이는 값 보다 약간 높은 정도였다. 바지락 실험구 챔버 (Ruditapes) 와 대조구 챔버 (Control) 간에는 차이를 보이지 않았다.

현장 해수의 용존산소는 80~110% 농도 범위를 보였으나, 두 챔버에서는 110%를 초과하는 농도를 보였다. 바지락을 투입 한 챔버에서는 실험 시작 두 시간 반 후에 최대 농도를 보인 후 다소 감소하는 경향을 보였으나, 바지락을 투입하지 않은 대조구 챔버에서는 그 농도가 꾸준히 상승하여 실험 종료 시점에는 약 125%의 농도를 보였다 (그림 3-4-35B). 두 챔버에서의 농도 상승은 챔버가 위치한 곳의 수심이 1m를 넘지 않은 곳이라 식물플랑크톤에 의한 광합성이 일어났기 때문인 것으로 해석된다. 그리고 바지락 챔버에서 그 증가 폭이 적은 이유는 바지락에 의한 챔버 내에서의 소비 때문인 것으로 해석된다.

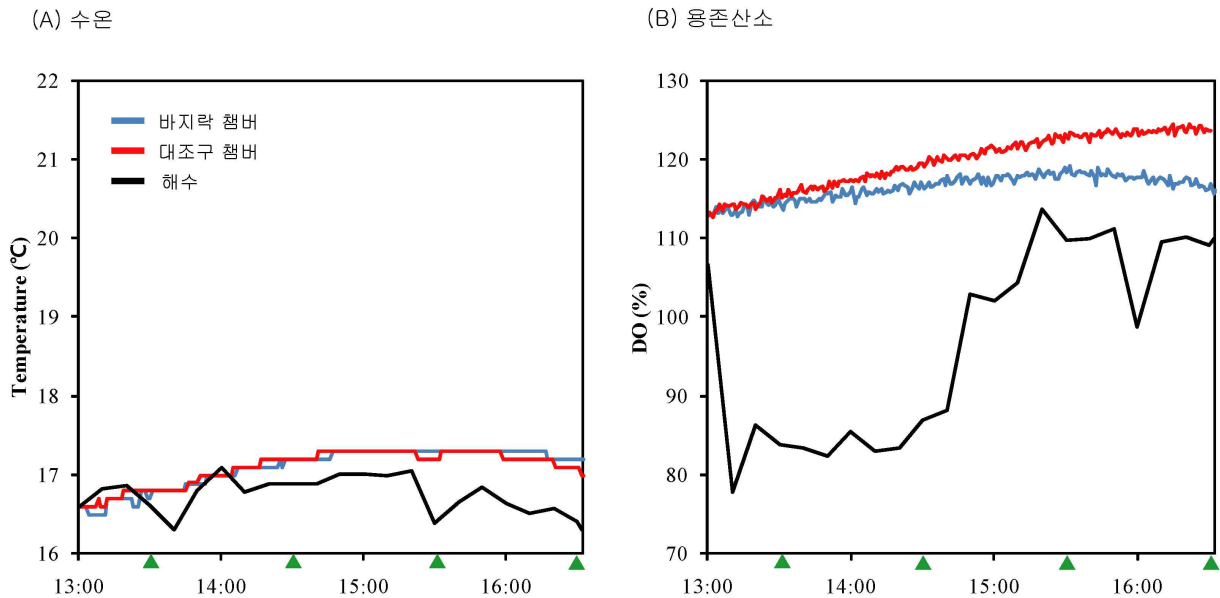


그림 3-4-35. 시화갯벌의 현장 실험기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 수온 (A) 및 용존산소 농도 (B) 변화. 그림의 역삼각형은 해수 채집시간을 표시

## (2) 부유물질 농도의 변화

현장 실험기간 동안 실험구 주변 해수에서의 부유물질 농도는 큰 변화를 보이지 않았다. 실험 초기에 부유물질 농도는 0.10 g/L 였으며, 1 시간 경과 후에는 0.12 g/L로 약간 증가한 후 실험 종료 시에는 0.091 g/L로 감소하는 분포를 보였다 (그림 3-4-36). 두 실험구의 부유물질 농도도 각각 약 0.10 g/L로 실험 초기 값에 유사하였으나, 바지락을 투입한 챔버에서는 시간 경과에 따라 뚜렷한 농도 감소가 나타났다. 특히, 실험 시작 후 한 시간에서 두 시간 사이의 기간 동안에는 0.076 g/L의 큰 폭의 농도 감소가 있었다. 반면, 바지락을 투입하지 않은 대조구 챔버에서는 일정한 농도 분포를 보였다.

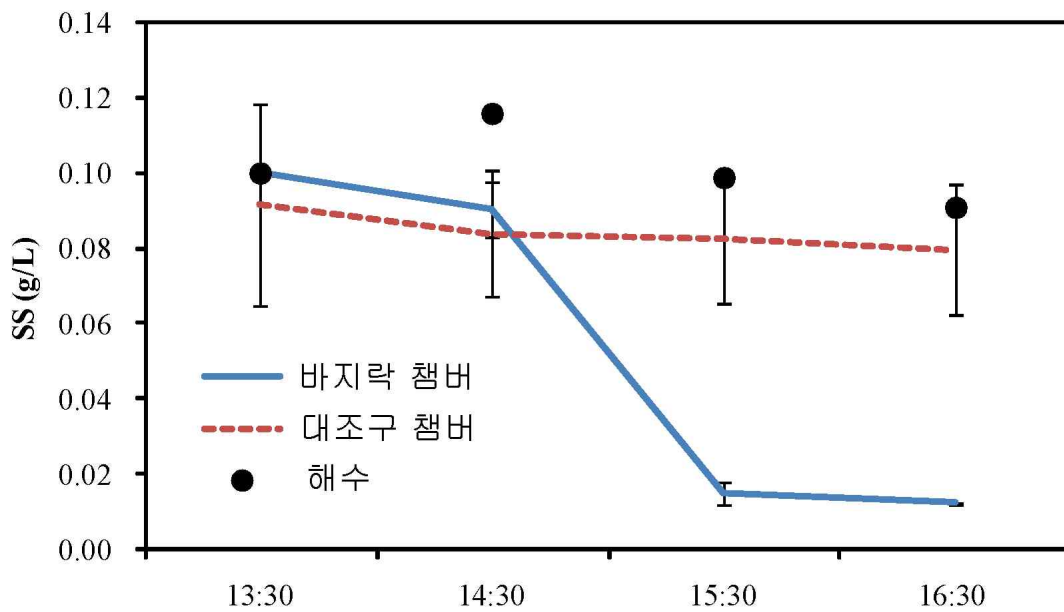


그림 3-4-36. 시화갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 부유물질 (SS) 농도 변화



### (3) 입자성 유기탄소 (POC) 및 유기질소 (PON) 농도의 변화

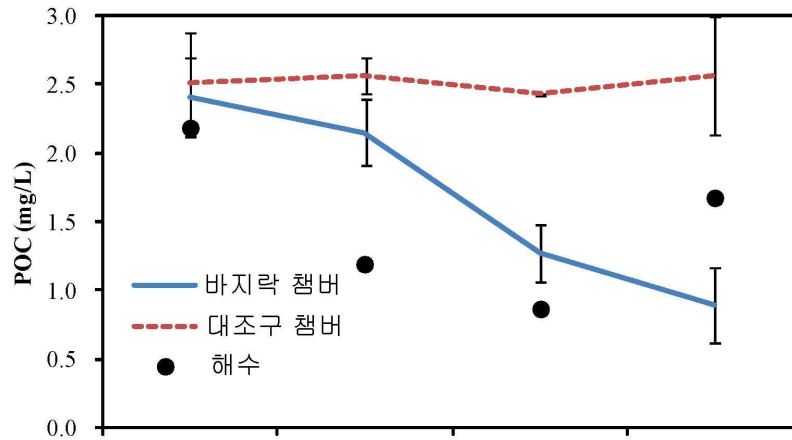
현장실험 기간 동안 현장 해수 내 유기탄소와 유기질소 농도는 각각 0.88 ~ 2.18 mg/L와 0.05 ~ 0.14 mg/L 범위에 있었다 (그림 3-4-37A, B). 현장 해수에서 각각의 농도는 초기에 차츰 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다. 초기의 상대적으로 높은 농도는 밀물 시 창조류에 의해 퇴적물로부터 부유된 입자성 유기물질이 농도에 기여된 것으로 판단된다. 두 실험 챔버에서 입자성 유기탄소와 유기질소 농도 변화는 유사한 경향을 보였다 (그림 3-4-37A, B).

생물을 투입하지 않은 대조구 챔버에서는 실험기간 동안 두 지표물질의 농도 변화가 거의 없었던 반면, 바지락을 투입한 챔버에서는 바지락의 여과섭식 활동에 의해 큰폭의 농도 감소가 나타났다. 실험기간 동안 유기탄소는 초기 2.40 mg/L에서 0.89 mg/L로 농도의 감소가 있었으며, 유기질소의 경우에도 초기 0.22 mg/L 농도에서 0.07 mg/L로 큰 폭의 감소가 있었다. 두 지표물질의 경우 두 번째와 세 번째 채수시기 사이에 가장 큰 폭의 농도 감소가 있었다. 유기탄소의 경우에는 2.15 mg/L에서 1.27 mg/L로, 유기질소의 경우에는 0.16mg/L에서 0.08mg/L로 농도가 감소되었다. 실험 후반부에는 농도 감소의 폭이 상대적으로 낮았는데, 이는 폐쇄된 환경의 챔버 내에는 농도가 한정되어 있기 때문인 것으로 해석된다.

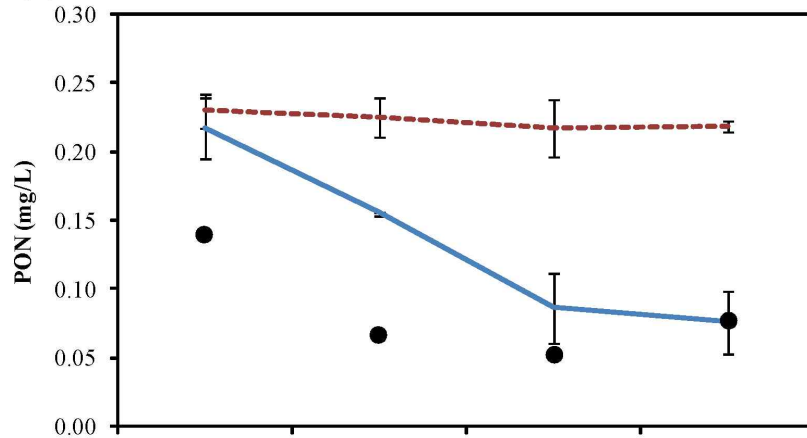
### (4) 엽록소 (Chl-a) 농도의 변화

현장 해수에서의 엽록소 농도는 초기 퇴적물 재 부유현상에 의해 상대적으로 높은 2.37  $\mu\text{g/L}$ 의 농도를 보였으나, 이후에는 약 2.0  $\mu\text{g/L}$  정도의 일정한 농도가 유지되었다 (그림 3-4-37C). 실험 초기에 바지락을 투입하지 않은 대조구와 바지락을 투입한 실험구 챔버에서의 농도는 약 3.3  $\mu\text{g/L}$  정도로 유사하였으나, 시간이 경과하면서 실험구와 대조구 챔버의 농도 차는 점차 증가되었다. 대조구의 경우, 초기 두 시간 동안에는 농도의 변화가 거의 없었으나 (3.24 ~ 3.27  $\mu\text{g/L}$ ), 실험 종료 시에는 4.54  $\mu\text{g/L}$ 의 농도로 크게 증가되었다. 반면, 실험구에서는 큰 폭의 농도 감소가 나타나 실험 종료 시에는 1.49  $\mu\text{g/L}$ 의 농도를 보였다. 대조구의 엽록소 농도가 세 시간 이후에 크게 증가 한 이유는 챔버 내 식물플랑크톤의 증식에 의한 결과로 해석된다. 현장 실험구를 설치한 곳은 수심이 1m 이하이며, 따라서 빛의 투과가 식물플랑크톤의 증식을 야기한 것으로 판단된다. 바지락을 투입한 실험구 챔버에서의 엽록소 농도 감소는 생물의 섭식활동에 의한 결과이며, 후반부의 농도 증가는 챔버 내 농도 감소로 인한 섭식활동의 감소와 식물플랑크톤의 증식 결과가 함께 기여한 것으로 해석된다.

(A) 입자성 유기탄소



(B) 입자성 유기질소



(C) 엽록소

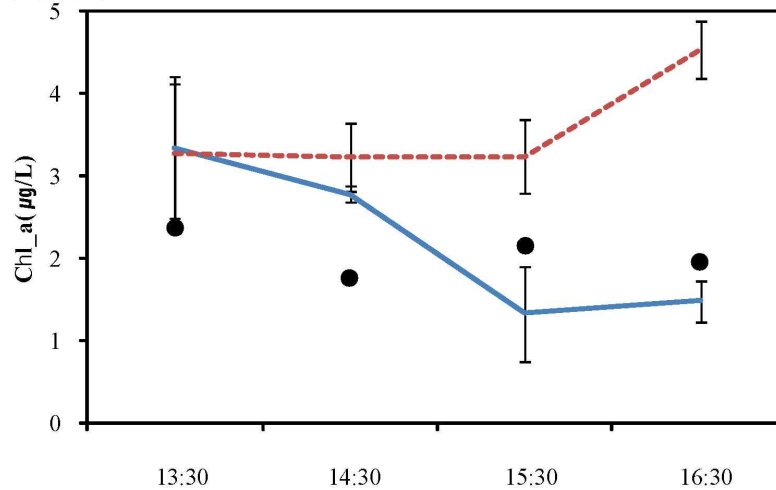


그림 3-4-37. 시화갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 입자성 유기탄소 (A), 유기질소 (B), 엽록소 (C) 농도 변화

### 3.3.2. 근소만 갯벌

#### (1) 수온 및 용존산소

현장실험 기간 동안 현장 해수의 수온은 시화호 갯벌에 비해 상대적으로 큰 변화를 보였다. 밀물 시 얕은 수심의 조수가 유입되면서 19.1 °C를 나타내었으나, 수심이 증가하면서 수온은 17.2 °C까지 감소하였다. 이후 대기온의 상승으로 수온은 빠르게 증가하였으며 밀물이 끝나는 정조 무렵부터는 완만하게 증가하는 경향을 보였다. 그리고 썰물이 되면서 낮 시간 동안 데워진 표층수가 실험 해역을 지나면서 수온은 21.2 °C까지 증가하였다 (그림 3-4-38A).

현장 해수의 용존산소는 108 ~ 121% 농도 범위를 보였으며, 수심이 얕았던 밀물 초기와 썰물 후반부에 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 바지락을 투입하지 않은 대조구 챔버에서는 실험기간 동안 용존산소 농도의 변화가 거의 없었다. 반면, 바지락을 투입한 실험구 챔버에서는 실험 종료 후 약 20%의 농도 감소가 있었다 (그림 3-4-38B). 바지락에 의한 신진대사 결과로 실험구 챔버에서는 용존산소 농도가 감소한 것이었다. 그러나 실험기간 동안 챔버 내 용존산소 농도는 100%를 상회하였다. 바지락의 호흡으로 산소 농도가 감소할 것이라는 예상과는 다르게 큰 감소현상은 관찰되지 않았다. 이는 바지락에 의한 산소 소비와 챔버 내 식물플랑크톤의 광합성에 의한 산소발생이 상쇄되어 나타나는 결과인 것으로 해석할 수 있었다.

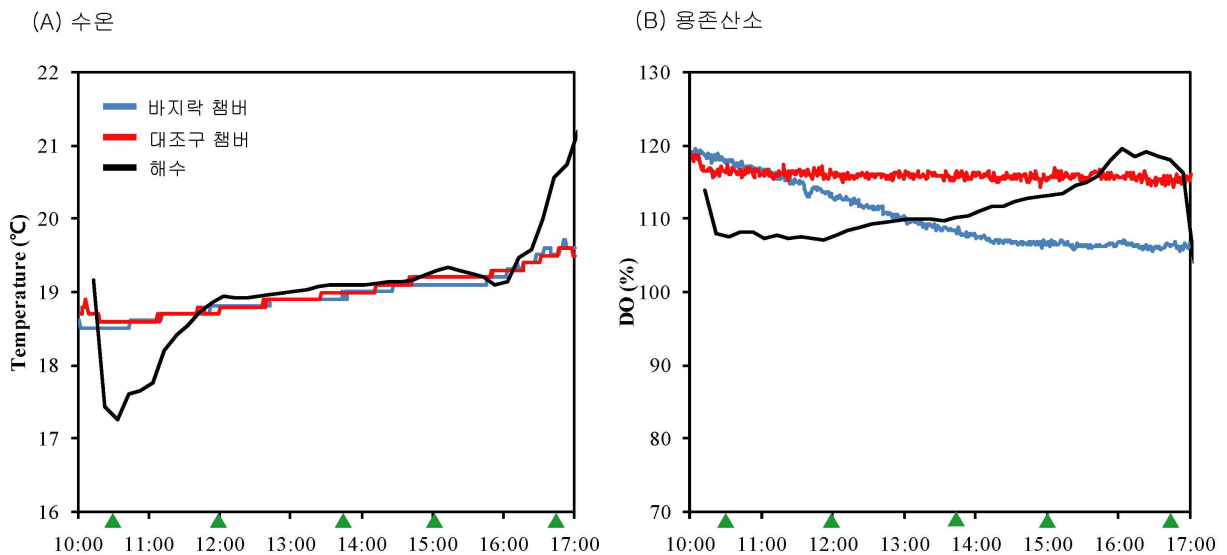


그림 3-4-38. 근소만 갯벌의 현장 실험기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 수온 및 용존산소 농도 변화. 그림의 역삼각형은 해수 채집시간을 표시

## (2) 부유물질 농도의 변화

근소만 갯벌에서 측정된 부유물질의 농도 변화는 시화갯벌에서 관측된 자료와는 상당한 차이를 보였다. 실험 초기 부유물질 농도가 0.14g/L로 시화호에 비해 상대적으로 높았다. 현장 해수에서의 농도는 초기에 가장 높은 값을 보인 후 시간 경과에 따라 급격히 감소하는 양상을 보였다. 그리고 실험 종료 직전에는 다시 증가하는 분포를 보였다 (그림 3-4-39). 이는 밀물 시 창조류와 썰물 시 낙조류의 영향으로 퇴적물이 재 부유되었기 때문으로 해석되었다. 바지락 챔버와 대조구 챔버에서도 초기 부유물질 농도는 해수 중의 그것과 유사한 분포를 보였으며, 실험 시작 1 시간 30분 경과 후까지 급격한 농도 감소양상을 보였다. 그러나 이 시점 이후부터의 부유물질 농도 변화 양상은 두 챔버에서 각각 달랐다. 대조구 챔버에서는 이후 큰 농도 변화가 나타나지 않은 반면, 바지락 챔버에서는 계속하여 농도가 감소되었다. 실험 초기 챔버 내에서의 급격한 부유물질 농도 감소의 원인은 챔버 내 해수 유속 (본 실험의 경우 5cm/sec)이 창조류에 의해 재부유된 부유물질을 침전되지 못 하도록 하기에는 약했던 것으로 판단되었다. 그러나 일정부분 무거운 부유물질이 가라앉고 난 후에는 대조구 챔버에서는 일정한 농도가 실험기간 동안 유지되었으며 바지락 챔버에서는 계속 감소하여 시화호의 경우에서처럼 두 챔버에서 농도의 차이가 나타났다.

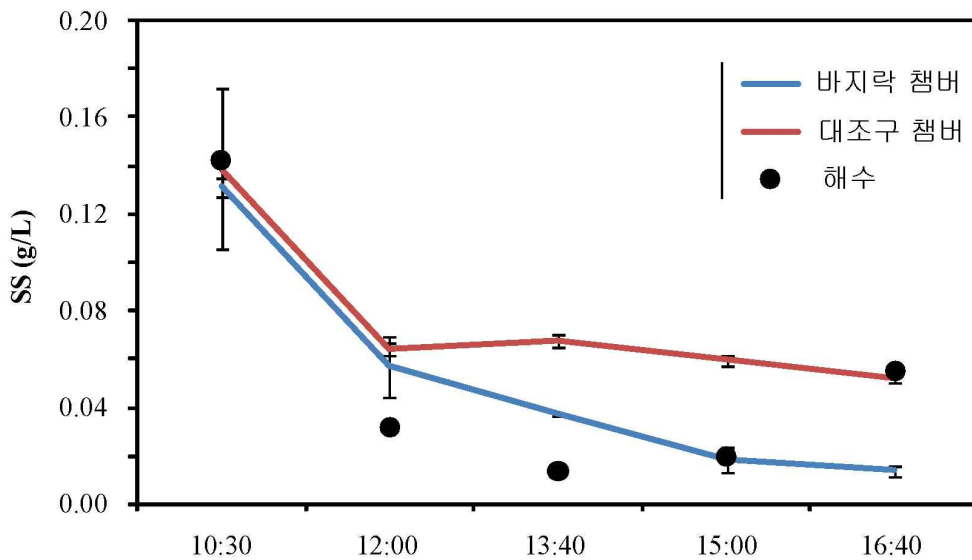


그림 3-4-39. 근소만 갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 부유물질 (SS) 농도 변화

### (3) 입자성 유기탄소 (POC) 및 유기질소 (PON) 농도의 변화

근소만 갯벌의 입자성 유기탄소와 입자성 유기질소의 현장실험 초기의 농도는 시화호에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다. 현장 해수 내 유기탄소와 유기질소 농도는 실험기간 동안 각각 1.00~6.56 mg/L와 0.05~0.43 mg/L 범위에 있었다 (그림 3-4-40A, B). 현장 해수에서 각각의 농도는 초기에 차츰 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다. 실험 초기와 후반부의 상대적으로 높은 농도는 창조류와 낙조류에 의한 퇴적물로부터 부유된 입자성 유기물질이 농도에 기여된 것으로 판단된다. 챔버 내에서는 부유물질의 경우와 마찬가지로 실험 초기에 큰 농도 감소가 있었으며, 두 번째 시료채취 시점 이후부터는 바지락 챔버와 대조구 챔버 간에는 농도 차이가 발생하기 시작하였다 (그림 3-4-40A, B). 실험 초기동안의 농도 감소 이유는 창조류에 의해 많은 양의 재부유된 입자성 물질이 챔버 내로 유입되었고 챔버 내 유속이 부족한 상태에서 다시 침전되어 나타난 결과로 해석되었다. 두 번째 시료채취 이후에는 대조구 챔버에서는 두 지표물질의 농도 변화가 거의 없었던 반면, 바지락을 투입한 챔버에서는 바지락의 여과섭식 활동에 의해 큰 폭의 농도 감소가 나타났다. 바지락 챔버에서는 유기탄소는 2.49 mg/L에서 0.89 mg/L로 농도의 감소가 있었으며, 유기질소의 농도는 0.15 mg/L 농도에서 0.06 mg/L로 감소되었다.

### (4) 엽록소 (Chl-a) 농도의 변화

현장 해수에서의 엽록소 농도는 창조류와 낙조류에 의한 재 부유현상으로 초기 농도와 실험 종료 시점에 상대적으로 높았으며, 초기와 종료 시점의 엽록소 농도는 각각 4.79  $\mu\text{g/L}$ , 6.10  $\mu\text{g/L}$  였다. 실험 초기동안에 급격한 감소 양상을 보인 후 정조 시 주변에서는 일정한 농도를 보이다가 낙조 시에 다시 급증하는 농도변화 패턴을 보였다 (그림 3-4-40C). 바지락 챔버와 대조구 챔버에서도 POC, PON의 경우처럼 초기 농도의 급감이 있었다. 두 번째 시료채취 시점에 바지락 챔버와 대조구 챔버의 엽록소 농도는 각각 2.36  $\mu\text{g/L}$ , 2.56  $\mu\text{g/L}$ 로 유사한 정도를 보였으나, 이후부터 두 챔버 내 해수의 엽록소 농도는 차이가 나타나기 시작했다. 세 번째 시료채취 시점의 두 챔버 간 농도 차이는 1.27  $\mu\text{g/L}$ 로 바지락 챔버가 낮았다. 이후 시점부터는 바지락 챔버에서는 농도의 변화가 거의 없었던 반면, 대조구 챔버에서는 오히려 농도가 증가하는 경향이 있었다. 두 챔버에서의 엽록소 농도 증가는 식물플랑크톤이 광합성을 통해 증식했음을 보여 주고 있었다. 대조구 챔버에서는 꾸준히 농도가 증가하였지만 바지락 챔버에서는 농도의 증가가 미미하였다. 이는 바지락에 의한 섭식과 식물플랑크톤의 증식이 상쇄되어 나타나는 결과였다.

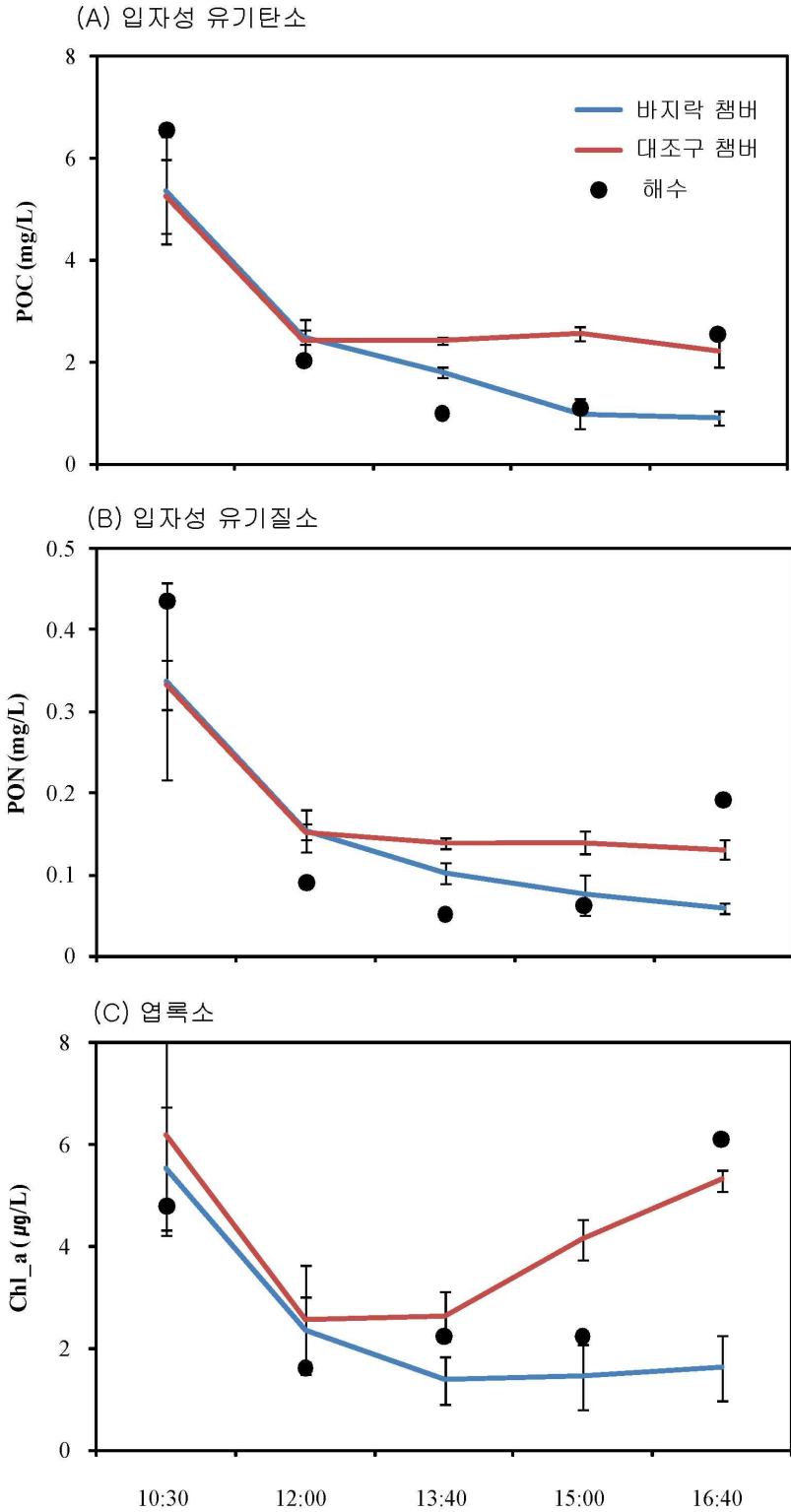


그림 3-4-40. 근소만 갯벌에서 수행된 현장실험 기간 동안 두 실험 챔버와 현장 해수에서의 입자성 유기탄소 (A), 유기질소 (B), 엽록소 (C) 농도 변화

### 3.3.3. 바지락의 수층 유기물 여과율

바지락 챔버 내 POC, PON, 엽록소-a의 농도 변화로부터 바지락의 해수 여과율 (L/h/gDW)을 계산하였다. 앞에서 언급한 것처럼 폐쇄된 챔버 내로는 초기에 유입된 먹이물질인 입자성 유기물의 공급이 제한되기 때문에 관측시간이 길어짐에 따라 농도의 감소속도는 작아지므로 여과율이 과소평가 될 수 있다. 그래서 지표물질 농도 감소 기울기가 최대값을 보이는 구간에서 여과율을 계산하였다. 시화갯벌의 바지락에 의한 해수 여과율은 POC 기준 3.75 L/h/gDW, PON 기준 4.06 L/h/gDW, 그리고 엽록소 기준하여서는 4.80 L/h/gDW이었다 (표 3-4-12). 시화갯벌에서 바지락 1g (육질부 건조중량)은 섭식활동을 통해 수층 입자성 유기물질을 포함한 해수를 시간당 평균 4.20 L/h/gDW 여과하였다. 한편, 근소만 갯벌에서 수행된 실험 결과는 시화갯벌과 비교하여 낮은 여과율을 보였다. POC, PON, 엽록소-a 기준하여 각각 0.92 L/h/gDW, 1.11 L/h/gDW, 1.42 L/h/gDW의 해수 여과율을 나타냈으며, 평균적으로는 1.15 L/h/gDW의 해수 여과율을 보였다.

표 3-4-12. 시화갯벌 및 근소만 갯벌에서 바지락에 의한 수층 입자성 유기물질 여과율의 비교

지역	시화갯벌			근소만갯벌			
	지표물질	POC	PON	Chl_a	POC	PON	Chl_a
여과율 (L/h/gDW)		3.75	4.06	4.80	0.92	1.11	1.42
평균 여과율 (L/h/gDW)		4.20			1.15		

### 3.3.4. 해수 여과율 실험에 대한 고찰

본 연구에서와 같이 폐쇄형 챔버를 이용하여 여과물 식자에 의한 해수 중 입자성 유기물 제거량을 산출 시 중요하게 고려되어야 할 실험 조건 중 하나는 실험 초기에 챔버로 유입된 입자성 유기물이 실험기간 동안 수층에서 일정한 농도로 유지되어야 한다는 것이다. 시화갯벌의 대조구 챔버 내 지표물질의 농도는 실험기간 동안 일정한 농도가 유지된 반면, 근소만 갯벌의 대조구 챔버의 경우에는 실험 초기에 지표물질 (POC, PON, Chl\_a)의 농도가 급격하게 감소되는 현상이 있었다 (그림 3-4-40). 이는 초기에 챔버로 유입된 입자성 유기물질 중 일부가 퇴적물로 가라앉은 것으로 해석할 수 있다. 이것은 시화갯벌과 근소만 갯벌의 밀물시 창조류의 세기와 연관이 있다. 즉, 폐쇄된 환경을 가진 시화호의 경우에는 창조류의 세기가 크지 않아 챔버 내로 퇴적물로부터 재부유된 입자성 물질의 유입이 제한적이었으나, 근소만의 경우에는 창조류의 세기가 강해 재 부유된 퇴적물이 다량으로 챔버로 유입되었기 때문이었다. 본 실험을 시작하기 앞서 시화호 퇴적물과 시화호 해수를 이용하여 유입된 챔버로 유입된 해수 중의 입자성 유기물질이 가라앉지 않으면서도 챔버 내 퇴적물의 입자성 물질이 재부유되지

않도록 하는 챔버 내 유속을 실험실 환경에서 측정하였다 (5cm/sec). 이 유속을 두 지역 실험에 공히 적용하였으나, 근소만 갯벌의 경우에는 이 유속이 실제 환경보다는 작았던 것으로 판단된다. 그러나 근소만의 경우에도 일정 시간이 경과한 후에는 대조구 챔버의 입자성 물질의 농도는 일정하게 유지되었고, 이에 반해 바지락 챔버의 입자성 물질의 농도는 이후 감소하는 경향을 보였기 때문에 이 차이에 의해 여과율을 구하는 데에는 큰 무리가 없는 것으로 여겨진다. 다만, 초기 농도가 급속하게 감소하는 구간에서도 바지락에 의한 여과도 일어났을 것으로 추정되기 때문에 본 실험에서 측정된 근소만 갯벌의 여과율은 다소 과소평가 되었을 수 있었다.

이러한 근소만 갯벌에서의 여과율 과소평가는 시화갯벌의 여과율과의 현저한 차이의 한 원인이었을 것으로 판단된다. 그러나 이 한 가지 요소로 두 지역 여과율의 차이를 해석하기에는 그 차이가 너무 컸다. 바지락의 대사활동 리듬에 관한 정 등 (1999)의 연구에 의하면, 바지락은 내재적 조석리듬 (endogenous circatidal rhythm)에 따라 하루에 두 번의 만조 즘음에 대사활동의 피크를 갖는다고 하였다. 이는 낙조류와 창조류에 의해 증가되는 무기 부유물질에 의해 바지락 대사활동이 저해 받기 때문이라고 해석하였다. 시화갯벌의 경우에는 자연 상태의 조석리듬을 갖지 않으며, 인위적인 수문 조작에 따라 창조류와 낙조류가 생긴다. 또한 자연 상태에서 보이는 것과 같이 하루에 두 번 창조류와 낙조류가 만들어지는 것이 아니라, 2일 혹은 3일 간격으로 창조류와 낙조류가 시화호에서 반복된다. 따라서 시화갯벌의 바지락은 밀물 시 보다 긴 시간 동안 효과적으로 섭식활동을 할 수 있다. 이러한 수리학적인 조건 차이에 의해 시화갯벌의 바지락에 의한 해수 여과율이 높게 나타는 것으로 해석된다. 또 다른 여과율의 차이는 시화호 수층에서의 높은 생산성, 즉 바지락 먹이원의 양 적인 차이에서 찾을 수 있었다. 시화갯벌 바지락의 경우 근소만 갯벌 바지락에 비해 높은 성장률을 보였다 (2장 참고). 이는 시화호 내 높은 먹이원 때문인 것으로 추정되고 있다. 그래서 시화호 바지락의 해수 여과율이 외해역인 근소만 갯벌에 비해 높게 나타나는 것으로 해석된다.

본 연구의 바지락 해수 여과율 결과는 선행연구의 그것에 비해 높은 수준이었다. 특히, 시화호의 해수 여과율은 선행연구 결과 중 가장 높은 값이었다. 본 연구와 같이 현장에서 챔버를 이용한 실험을 수행한 이 (2009)는 바지락의 해수 여과율을 0.13 ~ 0.97 L/h/gDW로 제시하였다. 이 값은 본 실험의 결과에 비해 상당히 낮은 수준인데, 이는 실험 방법의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 이 실험에서는 챔버 내 해수 유속을 65 cm/sec로 유지하였으며, 이는 본 실험의 5cm/sec에 비해 무려 13배 높은 수치였다. 바지락 서식지의 경우 15 cm ~ 20 cm/sec 이상의 유속에서는 바닥의 퇴적물과 이매패류의 배설물이 재 부유되기 시작한다 (Widdows *et al.* 1998). 챔버 내 65 cm/sec의 유속 유지는 퇴적물의 재부유를 일으켜 실험기간 동안 계속하여 퇴적물로부터 수층으로 입자성 유기물질이 공급되었음을 의미한다. 따라서 바지락에 의한 수층 입자성 유기물질의 농도 감소가 퇴적물로부터의 공급에 의해 상쇄되어, 결과적으로 바지락의 해수 여과율이 과소평가 되었을 것으로 판단된다.

또 다른 현장 챔버를 이용한 실험에서 Aoyama and Suzuki (1997)는 바지락의 해수 여과율을 3.44 L/h/gDW 로 제시하였다 (이 2009). 이들은 실험실에서 배양한 규조류 (*Chaetoceros* sp., *Skeletonema* sp. 2종 혼합)를 배양액과 함께 0.6 ~ 1.0L 첨가하여 챔버 내 지표물질의 초기 농도를 크게 높이고 실험하였다. 높은 초기 농도로 인해 바지락의 섭식활동이 촉진되어 비교적 높은 여과율 결과를 보였다. 즉, 시화호와 같이 해수 내 높은 먹이원이 존재하는 곳에서의 바지락의 섭식활동은 증가될 수 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 이러한 이유로 시화갯



별 바지락의 해수 여과율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

상기에서 언급한 것처럼 시화호 바지락의 높은 여과율은 자연 상태의 갯벌과 같은 낙조류 및 창조류에 의한 무기 부유물질의 재부유가 크지 않으며, 그리고 시화호 해수 중의 먹이원이 풍부하여 얻어진 결과로 해석할 수 있었다. 이는 조력발전소가 가동된 후 시화갯벌의 바지락이 수층 유기물을 효과적으로 제거할 수 있는 한 가지 대안이 될 수 있음을 시사하고 있다.

### 3.3.5. 시화호 바지락에 의한 해수정화 효과

해양 생태계로 유입된 유기물은 수층의 일차생산력을 지지하고, 이는 다시 소비자에 의해 먹이사슬로 이어져 생태계 먹이사슬의 주요한 구성원으로 역할을 함으로서 생태계의 항상성을 유지하는 주요한 요소이다. 그러나 시화호 수층 내 높은 유기물 함량은 시화호의 독특한 생태계 구조 때문에 상위의 먹이군으로 전달되지 못하고 바로 퇴적물로 유입되어 수층의 빈산소층 유발 및 퇴적물 내 황화합물과 같은 독성물질을 생산하여 시화호 저층환경을 악화시키는 주범으로 역할을 한다 (국토해양부 2008). 바지락과 같은 여과물식자는 수층 내 유기물을 먹이원으로 취하여 유기물이 오염원으로 작용하는 과정을 차단하는 역할을 한다 (Wolff 1983). 시화호의 경우처럼 유기물이 곧 바로 퇴적물로 유입되면 상기와 같은 저층 환경의 오염을 유발할 수 있으나, 바지락과 같은 여과물식자의 존재는 퇴적물로 유입되는 유기물 양을 감소시키며 이는 다시 고차소비자에 의해 소비되어 유기물에 의한 오염을 예방하는 역할을 할 수 있다. 즉 시화호 내 여과물식자의 존재는 퇴적물로 유입되는 유기물을 먹이원으로 취해 생태계 먹이사슬 내로 이동시킴으로서 수층의 오염부하를 감소시키는 역할을 할 수 있다. 따라서 시화갯벌의 바지락 서식지 복원은 수층 오염부하 저감을 위해서도 반드시 필요한 사안이다. 뿐만 아니라 바지락 서식지를 향후 갯벌 체험장 등으로 활용하면 시화호 환경개선 결과를 효과적으로 홍보할 수 있는 전략적인 대안이 될 수 있을 것이다 (바지락을 수산자원으로 활용하기에는 아직 위생 등의 문제가 있을 수 있음).

그렇다면 조력발전소가 가동된 후 시화갯벌에 바지락 개체군이 형성되었다고 가정했을 때 과연 어느 정도의 수질정화 효과가 있을 것인가? 아래의 네 가지 가정을 두고 향후 시화갯벌의 바지락에 의한 해수 정화 효과를 분석하였다.

- ① 향후에도 바지락은 본 실험에서 얻어진 해수 여과율을 갖는다
- ② 시화 갯벌에는 근소만 갯벌에서 보이는 바지락 개체군이 형성된다
- ③ 시화갯벌의 침수 시간은 하루 평균 16시간이다
- ④ 바지락 개체군은 음섭과 형도 사이의 평균해수면 기준 -2m ~ -5m 사이 조고에 해당하는 전 지역에 형성된다.

상기의 조건이 충족되었다고 가정 했을 때, 시화갯벌에 형성된 바지락 개체군에 의해 하루 동안에 약 45,673,702 톤의 시화호 해수가 여과되는 것으로 나타났다 (표 3-4-13). 이는 시화호 전체 해수 중의 입자성 유기물질이 바지락에 의해 여과되는데 약 6.5일이 소요된다는 의미였다.

표 3-4-13. 조력발전소 가동 후 시화갯벌 바지락에 의한 시화호 해수 정화율 예상

		단위	비고
바지락 여과속도	4.2	L/h/gDW	시화호 실험 측정치
바지락 평균개체수	257	개체/m <sup>2</sup>	근소만 갯벌 4월, 7월 평균개체
바지락 평균 건조량	78.3	gDW/m <sup>2</sup>	근소만 갯벌 4월, 7월 평균건중량
단위면적당 여과율	328.9	L/h/m <sup>2</sup>	
하루동안 여과율	5261.8	L/m <sup>2</sup> /d	16시간 침수 가정
시화 남측갯벌 예상 바지락 서식지 면적	8,680,309	m <sup>2</sup>	형도와 음섬사이 평균해수면 기준 -2m ~ -5m 지역
시화호 전체 해수량	294,913,000	m <sup>3</sup>	시화호종합계획 3단계 완료 후 해수량
시화호 바지락에 의한 하루동안 여과율	45,673,702,684	L/d	
시화호 전체 해수량 여과 소요 시간	6.45695406	d	

## 4. 결론 및 제안

### 4.1. 결론

#### (1) 시화갯벌 예정지 저서생태계

- 시화갯벌 예정지의 빈약한 생물상 조성
  - 정점 당 평균 15종의 대형저서동물이 출현하여 생물상이 빈약하였으며, 출현 종의 대부분은 유기물 오염지시종으로 구성되었음 (주요 우점종은 얼굴갯지렁이류인 *Prionospio pulchra*, *Pseudopolydora kempfi*, *polydora ligni*, 그리고 등가시버들갯지렁이 (*Capitella capitata*))
- 수심과 퇴적상 분포와 연관된 대형저서동물의 공간적 분포 특성
  - 대형저서동물 군집 유사성에 의해 5개의 서식지로 구분할 수 있었으며, 모래질이 우세한 -5m 수심에는 얼굴갯지렁이류인 *Prionospio pulchra*와 *Pseudopolydora kempfi*가 우점하였으며, 현 조간대 및 얕은 수심에는 등가시버들갯지렁이(*Capitella capitata*), 깨고등불이류(*Iravadia* sp.), 침보석갯지렁이(*Armandia lanceolata*), 세가시육질꼬리옆새우 (*Monocorophium ueno*) 등이 우점하는 공간적 분포 특징

#### (2) 바지락 개체군 동태

- 시화호 바지락의 상대적으로 높은 비만도와 성장율
  - 근소만 갯벌 (대조구 지역)에 비해 비만도 및 각장과 육질부 중량의 성장률이 높음

- 먹이원의 풍부함과 창조류 및 낙조류의 정온성 영향으로 해석
- 바지락 서식지의 노출 및 침수시간에 따른 제한
  - 근소만 갯벌과 시화갯벌에서 바지락의 서식지는 노출빈도 33% 이하, 침수빈도 67% 이상인 지역으로 국한
  - 높은 성장을 보이는 지역은 노출빈도 15 ~ 17%, 침수빈도 83 ~ 85%인 지역
- 시화갯벌의 서식지 환경은 바지락 개체군 성장과 유지에 유리한 조건
  - 2009년 7월 염분 급감으로 인한 대량폐사 이후 염분 회복시점 이후 외해역 바지락 이식 실험 결과, 약 97%의 생존율과 함께 높은 성장률 추이를 확인
  - 현 상태에서는 매년 반복되는 여름철 염분 급감과 빈산소층의 영향으로 개체군 유지가 불리한 상황이나, 조력발전소 가동 후면 이러한 문제점이 상당히 개선될 것으로 판단되며, 이럴 경우 시화호 바지락의 개체군은 크게 번창할 수 있을 것으로 판단됨

### (3) 바지락 해수 여과율

- 시화갯벌의 바지락은 대조해역인 근소만 갯벌에 비해 높은 해수 여과율을 보였음
  - 근소만 갯벌의 바지락에 의한 입자성 유기물질의 평균 여과율은 1.15 L/h/gDW 인데 반해, 시화갯벌의 여과율은 4.20 L/h/gDW 으로 약 3.7배 높았음
  - 이는 시화호 수층의 높은 먹이원과 창조류 및 낙조류에 의한 퇴적물 재부유가 상대적으로 낮아 바지락의 대사율이 증가하기 때문으로 판단
- 바지락에 의한 시화호 해수 정화효과 높을 것으로 추정
  - 시화갯벌이 효과적으로 복원되어 바지락 개체군이 번창 시에는 하루 동안에 시화호 전체 해수 내 포함되어 있는 입자성 유기물질 중 약 15%가 바지락에 의해 여과될 것으로 계산되었음

## 4.2. 정책 제안

- 시화갯벌 및 바지락 서식지 복원 필요
  - 현 상황과 같이 매년 반복되는 염분급감과 빈산소층 형성과 같은 문제가 조력발전 가동 이후 해소되면, 시화갯벌에는 바지락의 개체군이 잘 유지될 것으로 판단됨
  - 그 이유는 시화갯벌 예정지의 환경이 바지락이 서식하기에 적당한 조건 (퇴적물 입자 크기, 노출 및 침수빈도, 먹이원)을 갖추고 있기 때문
  - 바지락 서식지의 복원은 수질정화 효과 뿐만 아니라 이 지역을 바지락 체험 학습장 등과 같은 생태·교육장으로 활용 시 시화호 환경개선의 효과를 효율적으로 홍보할 수 있는 정책대안 중 하나가 될 것임

# 제 5 절 시화호 조력발전소 주변 정밀 지형 및 퇴적물 특성조사

## 1. 연구개요

1995년 시화방조제가 완공된 후 시화호 내·외측의 해저지형, 퇴적물 특성 등의 퇴적환경은 방조제가 건설되기 이전의 환경과는 매우 다른 양상을 보일 것으로 생각되나 그 동안 해저지형 및 퇴적물 분포특성 등의 변화현상에 관한 연구는 여러 기관에서 국지적이고 단편적인 조사만 수행되어 시화방조제의 축조에 따른 퇴적환경의 변화에 대한 사항은 정확히 규명되지 못하고 있는 실정이다. 또한 시화호 환경개선사업의 일환으로 한국수자원공사는 2010년 세계최대의 조력발전소를 완공·가동할 예정이며 조력발전소의 가동은 또 하나의 커다란 환경변화를 야기할 것이다. 새만금 방조제의 건설에서 경험하였듯이, 새만금방조제의 완공과 갑문을 통한 새만금의 해수유통을 조절함에 따라 해저지형의 침식, 침식된 퇴적물이 지역적으로 급격히 퇴적되어 나타나는 죽벌의 형성, 인근 해수욕장의 침식 및 해수운동에너지의 변화에 따른 해저퇴적층의 분포 변화와 이에 따른 생물상의 변화 등 크고 많은 해양환경의 변화가 나타났으며, 시화호 또한 조력발전소 가동과 동시에 이와 유사한 해양환경의 변화가 발생할 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 1995년 시화방조제가 완공된 이후 발생된 해저지형의 변화를 분석하고 조력발전소 건설예정지를 중심으로 시화호 내측에 대하여 다중빔음향측심기를 이용한 정밀해저지형자료를 사전에 구축하여 조력발전소 가동에 따른 해저지형의 변화량, 퇴적 및 침식현상을 규명할 수 있는 기초조사자료를 확보하고 시화방조제 완공에 따른 해수운동의 변화에 의한 퇴적물 및 퇴적층의 변화현상 분석 그리고 조력발전소 가동에 따른 해저퇴적층의 침식 및 퇴적현상을 규명하기 위한 사전 조사 자료의 확보에 그 목적이 있다. 또한 본 연구에서는 시화조력발전소 가동에 의해 침식현상이 우세하게 나타날 것으로 판단되는 유동성 저질토의 분포 및 특성을 확인하고자 시추퇴적물의 채취분석, 현장에서의 퇴적층의 전단강도측정 및 해저면 수중촬영을 통하여 유동성 저질토에 대한 조사를 실시하였다.

연구결과 시화방조제 건설이후 시화호 내측은 퇴적현상이 우세하게 진행되고 있으며 기존자료 분석결과 1996년부터 2005년까지의 순수 퇴적률은 약 3.8 cm/yr로 나타났으나 이들 자료는 단빔음향측심기에 의한 분석결과로 오차범위가 클 것으로 판단되나 시화호에서 현재까지 조사된 퇴적물에 대한 결과로는 가장 과학적인 조사 자료로 나타났다. 퇴적물 분포 역시 시화방조제 건설로 인한 해수운동에너지의 감소로 인하여 대부분 지역에서 세립화가 진행된 것으로 나타났으며 해저퇴적층의 전단강도측정결과 대부분 지역에서 깊이 0.5~1.0 m의 퇴적층은 부드러운 뺨로 구성되어 있으며 이들 퇴적층은 시화방조제 건설 이후에 쌓인 퇴적층으로 보이며 인공적인 공사로 인하여 형성된 방조제 인접한 해역의 해저웅덩이에서는 그 두께가 1.5 m로 깊어진다. 또한 유동성 저질토의 분포 및 특성을 조사하기 위하여 2009년 11월에 이중주파수 수심측심기에 의한 측선조사, 현장에서의 퇴적층의 전단강도 측정 및 해저면 수중촬영을 실시하였으나 유동성 저질토는 조사기간 동안 형성되지 않은 것으로 나타났다. 또한 본 연구 사업에서 확보된 격자간격 50 cm 이하의 정밀도를 가지는 조사결과는 2010년 조력발전소 가동에 의한 침·퇴적량 변화산정의 측정자료 이용될 것이며 퇴적물이동모델의 입력 및 검증자료로 활용될 것이다.

## 2. 현장 조사 및 연구방법

### 2.1. 현장조사

2009년도 시화호 조력발전소 내측 정밀지형 및 퇴적물 특성조사를 위해서 2009년 7월 1일~8일까지 다중빔음향측심기를 이용해서 조사지역 (2.5 km × 2.0 km)을 100% coverage 하였으며 33개 정점에서 반빈 시료채취기(Van Veen grab sampler)를 이용해서 상부 3 cm 이내의 퇴적물을 채취하였고(표 3-5-1과 그림 3-5-1) 이들 퇴적물은 현장에서 시료 봉투에 나누어 담아 실험실로 운반하였다. 또한 2009년 11월 2일~7일까지의 현장조사에서는 총 29 개 정점에서 Sting MK II 장비를 이용해서 퇴적층 전단강도를 측정하였으며 총 5개 정점(CH-05, A-03, B-02, C-03, E-01)에서는 진동시추기(Vibro-corer)를 이용해서 최대 230 cm의 시추퇴적물을 획득하였다. 또한 CH-05를 제외한 나머지 4개 정점에서는 채취를 통해서 발생하는 교란 작용을 받지 않는 시료를 채취하기 위해서 박스시추기(box corer)를 통해서 시료를 채취하였다. 모든 정점은 표 3-5-2~4와 그림 3-5-2에 나타내었으며 장비는 그림 3-5-3에 나타내었다.

### 2.2. 연구방법

#### 2.2.1. 지형조사

##### (1) 측위 시스템

일반적으로 위치는 인공위성항법장치(Global Positioning System, GPS)를 이용하여 획득되지만 위치좌표의 정밀도가 요구되는 해양조사에서는 DGPS(Differential GPS) 시스템이 필수적이다. DGPS 시스템은 원거리 고정국에서 전송되는 GPS 신호와 조사선에 설치된 GPS에서 수신된 자료를 통해서 조사선의 해상위치를 실시간 보정하게 된다. 본 조사에서는 현재 해양수산부에서 주관하여 운영하고 있는 한반도 주변의 DGPS 육상기지국 중 경기만의 팔미도 기지국의 송신 보정 값을 실시간 수신하여 GPS 신호를 보정하였다.

위치측정을 위한 장비 시스템의 구성은 Trimble사의 Beacon 방식의 수신 장비로, GPS 안테나, DGPS 신호를 동시에 수신하는 안테나, 안테나로부터 수신된 신호를 수신, 변환하는 수신기 그리고 변환된 위치자료를 저장하고 모니터 상에 표시하는 컴퓨터로 구성되어 있다. 시스템의 오차는 해상에서 일반적으로 최대 약  $\pm 1$  m 내외이고 좌표체계는 WGS-84(World Geodetic System-1984)이다.

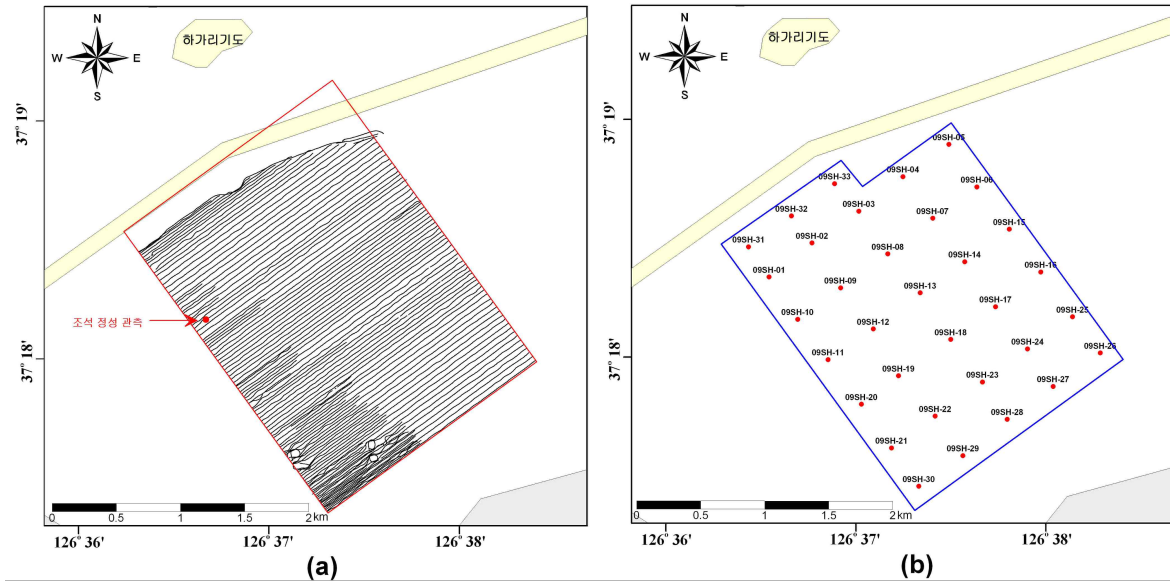


그림 3-5-1. 다중빔음향측심기를 이용한 해저지형조사의 실측선 및 조석자료를 얻기 위한 정성관측 정점(a)과 채취된 표층퇴적물 33개 정점 위치도(b)

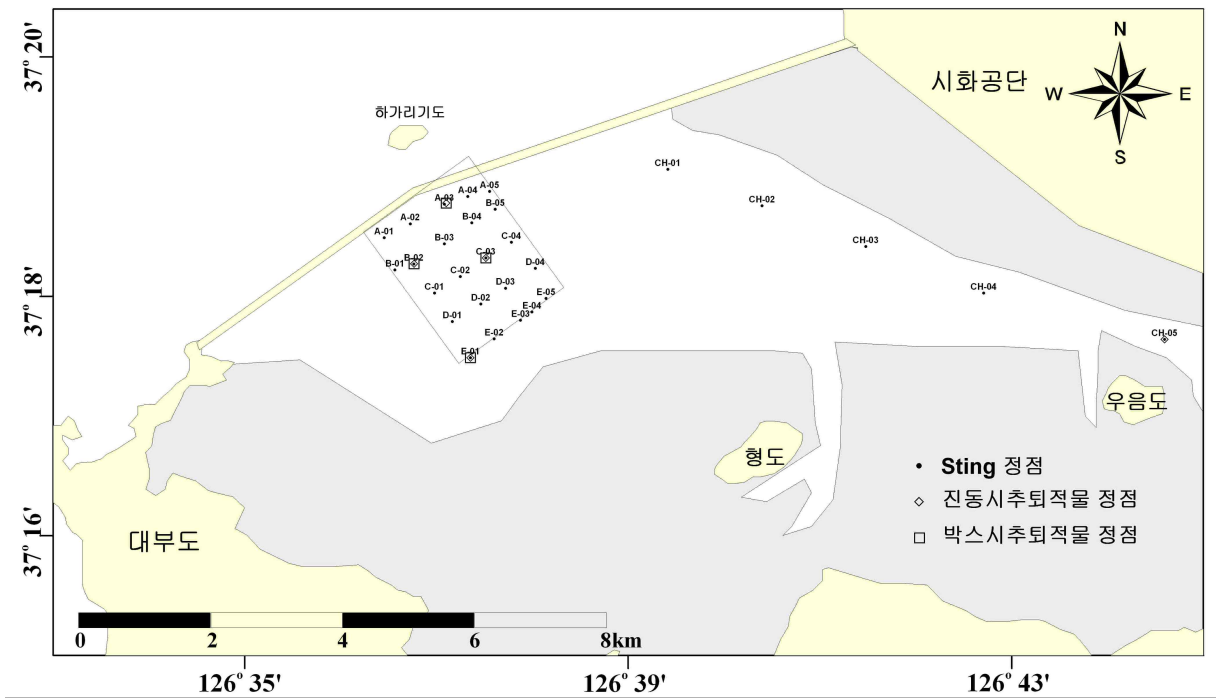


그림 3-5-2. Sting MK II를 이용한 전단강도 측정 정점과 진동시추퇴적물과 박스시추퇴적물을 얻은 정점의 위치도

표 3-5-1. 반빈 시료채취기를 이용해 채취된 표층퇴적물의 위치

정점	날짜 (2009)	위치 (WGS-84)		비고
		위도(N)	경도(E)	
09SH-01	7월 8일	37° 18.337 '	126° 36.543 '	
09SH-02	7월 8일	37° 18.48 '	126° 36.769 '	
09SH-03	7월 8일	37° 18.614 '	126° 37.015 '	
09SH-04	7월 8일	37° 18.759 '	126° 37.247 '	
09SH-05	7월 8일	37° 18.895 '	126° 37.489 '	
09SH-06	7월 8일	37° 18.716 '	126° 37.637 '	
09SH-07	7월 8일	37° 18.584 '	126° 37.404 '	
09SH-08	7월 8일	37° 18.434 '	126° 37.168 '	
09SH-09	7월 8일	37° 18.291 '	126° 36.919 '	
09SH-10	7월 8일	37° 18.159 '	126° 36.693 '	
09SH-11	7월 8일	37° 17.989 '	126° 36.853 '	
09SH-12	7월 8일	37° 18.118 '	126° 37.091 '	
09SH-13	7월 8일	37° 18.27 '	126° 37.338 '	
09SH-14	7월 8일	37° 18.401 '	126° 37.572 '	
09SH-15	7월 8일	37° 18.538 '	126° 37.807 '	
09SH-16	7월 8일	37° 18.358 '	126° 37.973 '	
09SH-17	7월 8일	37° 18.212 '	126° 37.735 '	
09SH-18	7월 8일	37° 18.074 '	126° 37.499 '	
09SH-19	7월 8일	37° 17.921 '	126° 37.224 '	
09SH-20	7월 8일	37° 17.801 '	126° 37.029 '	
09SH-21	7월 8일	37° 17.617 '	126° 37.187 '	
09SH-22	7월 8일	37° 17.751 '	126° 37.417 '	
09SH-23	7월 8일	37° 17.895 '	126° 37.666 '	
09SH-24	7월 8일	37° 18.034 '	126° 37.903 '	
09SH-25	7월 8일	37° 18.169 '	126° 38.140 '	
09SH-26	7월 8일	37° 18.017 '	126° 38.286 '	
09SH-27	7월 8일	37° 17.876 '	126° 38.038 '	
09SH-28	7월 8일	37° 17.738 '	126° 37.796 '	
09SH-29	7월 8일	37° 17.585 '	126° 37.563 '	
09SH-30	7월 8일	37° 17.456 '	126° 37.331 '	
09SH-31	7월 8일	37° 18.464 '	126° 36.435 '	
09SH-32	7월 8일	37° 18.594 '	126° 36.661 '	
09SH-33	7월 8일	37° 18.73 '	126° 36.888 '	

표 3-5-2. Sting MK II을 이용해 전단강도를 측정한 정점 위치

정점	날짜 (2009)	위치 (WGS-84)		비고
		위도(N)	경도(E)	
A-01	11월 3일	37° 18.490 ′	126° 36.454 ′	
A-02	11월 3일	37° 18.607 ′	126° 36.725 ′	
A-03	11월 3일	37° 18.770 ′	126° 37.082 ′	
A-04	11월 3일	37° 18.834 ′	126° 37.326 ′	
A-05	11월 3일	37° 18.878 ′	126° 37.554 ′	
B-01	11월 3일	37° 18.222 ′	126° 36.566 ′	
B-02	11월 3일	37° 18.271 ′	126° 36.762 ′	
B-03	11월 5일	37° 18.438 ′	126° 37.080 ′	
B-04	11월 5일	37° 18.615 ′	126° 37.368 ′	
B-05	11월 5일	37° 18.728 ′	126° 37.612 ′	
C-01	11월 3일	37° 18.027 ′	126° 36.978 ′	
C-02	11월 5일	37° 18.165 ′	126° 37.247 ′	
C-03	11월 6일	37° 18.322 ′	126° 37.514 ′	
C-04	11월 5일	37° 18.452 ′	126° 37.780 ′	
D-01	11월 3일	37° 17.791 ′	126° 37.164 ′	
D-02	11월 5일	37° 17.936 ′	126° 37.460 ′	
D-03	11월 5일	37° 18.069 ′	126° 37.718 ′	
D-04	11월 5일	37° 18.235 ′	126° 38.029 ′	
E-01	11월 5일	37° 17.487 ′	126° 37.353 ′	
E-02	11월 4일	37° 17.645 ′	126° 37.599 ′	
E-03	11월 4일	37° 17.802 ′	126° 37.876 ′	
E-04	11월 4일	37° 17.870 ′	126° 37.994 ′	
E-05	11월 4일	37° 17.984 ′	126° 38.141 ′	
CH-01	11월 5일	37° 19.061 ′	126° 39.413 ′	
CH-02	11월 4일	37° 18.757 ′	126° 40.396 ′	
CH-03	11월 4일	37° 18.417 ′	126° 41.478 ′	
CH-04	11월 4일	37° 18.027 ′	126° 42.708 ′	
CH-05	11월 4일	37° 17.640 ′	126° 44.595 ′	

표 3-5-3. 진동시추퇴적물이 채취된 정점 위치 및 길이

정점	날짜 (2009)	위치 (WGS-84)		길이 (cm)
		위도(N)	경도(E)	
A-03-VC	11월 6일	37° 18.779 ′	126° 37.100 ′	143
B-02-VC	11월 6일	37° 18.272 ′	126° 36.764 ′	71
C-03-VC	11월 6일	37° 18.322 ′	126° 37.514 ′	77
E-01-VC	11월 5일	37° 17.487 ′	126° 37.353 ′	230
CH-05-VC	11월 4일	37° 17.640 ′	126° 44.595 ′	139



표 3-5-4. 박스시추퇴적물이 채취된 정점 위치 및 깊이

정점	날짜 (2009)	위치 (WGS-84)		깊이 (cm)
		위도(N)	경도(E)	
A-03-BC	11월 6일	37° 18.779 ′	126° 37.100 ′	32
B-02-BC	11월 6일	37° 18.272 ′	126° 36.764 ′	33
C-03-BC	11월 6일	37° 18.322 ′	126° 37.514 ′	29
E-01-BC	11월 5일	37° 17.487 ′	126° 37.353 ′	13

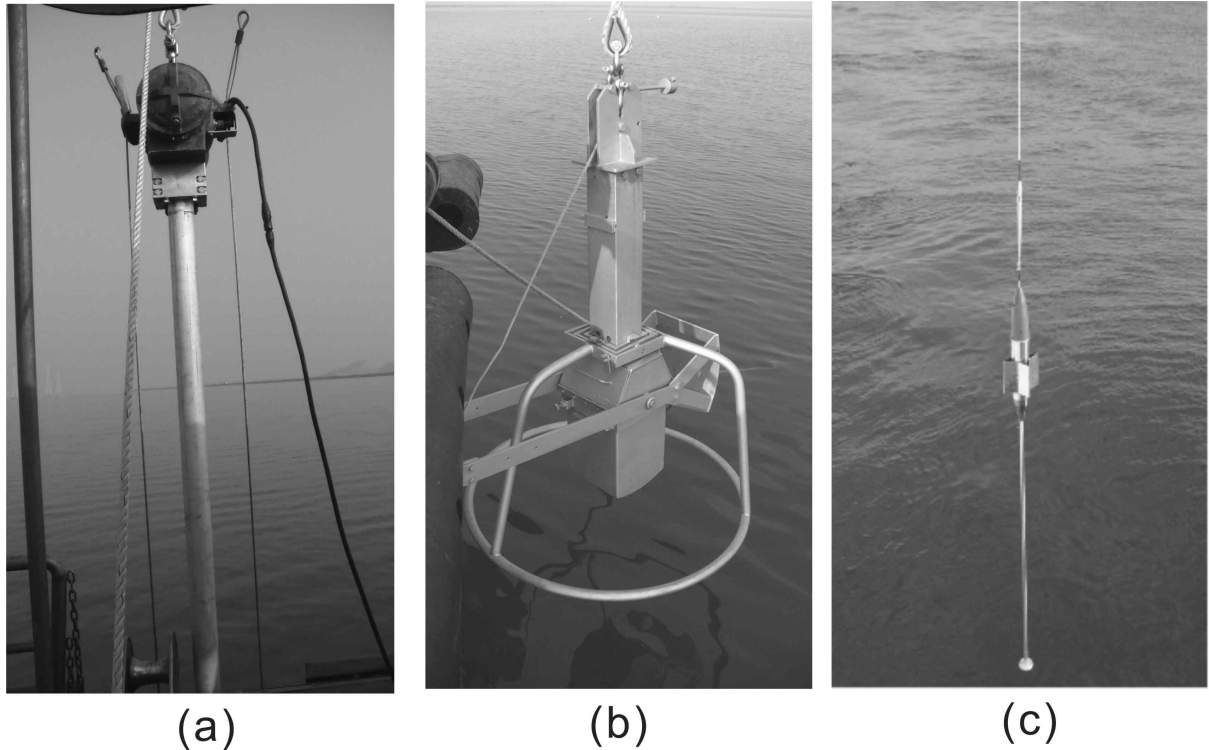


그림 3-5-3. 퇴적학적 조사에 이용된 진동시추기(a), 박스시추기(b) 그리고 Sting MK II(c)

**(2) Gyrocompass와 motion sensor**

여기서 사용된 Gyrocompass와 motion sensor는 OCTANS III Subsea (IXSEA OCEANO)로서 현장 조사시 실시간으로 배의 움직임과 방향을 보정하였다. motion sensor는 가속화된 수직적 움직임(heave)과 가속화된 수평적 움직임(surge) 그리고 가속화된 sideway 움직임(Sway)을 가장 높은 정확도인 0.05 m 또는 5%로 측정한다. 또한 수평적 축에 대한 움직임(roll)과 직각 축 주변의 움직임(pitch)은 0.01°의 정밀도로 감지할 수 있다. Gyrocompass는 Fiber Optic Gyroscope(FOG) 기술을 통해서 0.1° 정밀도를 가지고 true heading을 측정한다. 안정화하는 시간은 육상에서는 1분 이하이고 해상에서는 5분 내로 안정화가 된다. 수직적 축에 대한 움직임(yaw)은 0.01°의 해상도를 가지는 heading 값을 통해서 결정할 수 있다. 이 OCTANS III Subsea에 대한 더 많은 기술적 정보를 원하면 IXSEA OCEANO (2003)과 [www.ixsea.com](http://www.ixsea.com)을 참조하길 바란다.

### (3) 다중빔 음향측심기(Multi-beam echo sounder)

다중빔 음향측심기는 일정한 음파각을 갖는 송신기로부터 수십~수백 개의 빔을 동시에 발사 (ping)하여 수심에 따라 변화되는 해저면의 음파각 폭 만큼 수심지형 자료(일반적으로 수심의 3~5배 폭)를 획득하여 실제의 해저수심지형을 나타내게 된다.

현장조사에 사용된 R2Sonic사의 Sonic 2024 다중빔음향측심기는 200~400 kHz 가변주파수를 가지고 있으며 across track과 along track의 beamwidth 는 각각 0.5°와 1.0°을 가지며 빔 개수는 256개이다. 그리고 swath sector를 10°에서 160°까지 선택가능하다. 적용수심은 1~500 m 이다. 따라서 조사 목적에 따라서 다양한 주파수와 swath sector를 선택할 수가 있다. 이것은 projector 와 receiver modules 그리고 SIM(Sonar Interface Module)로 구성되어 있으며 여러 가지 auxiliary sensor 자료는 SIM에 연결된다(그림 3-5-4).

### (4) 조사

지형조사를 위해서 앞에서 설명한 장비들은 조사선 옆에 특수 제작된 프레임을 이용해서 설

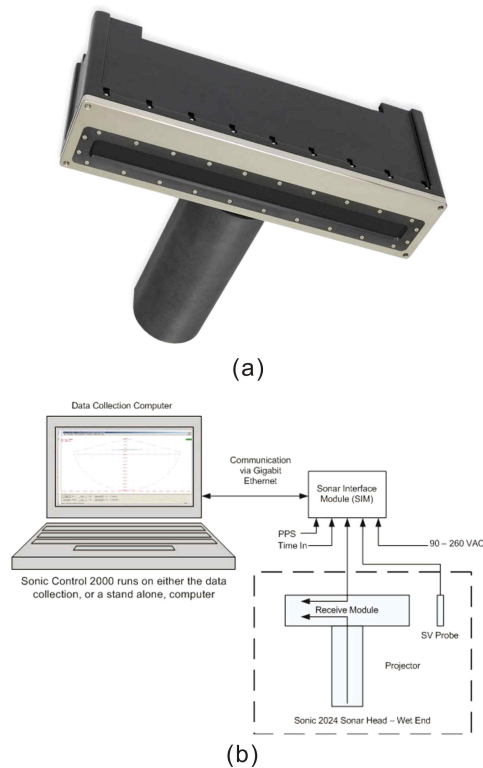


그림 3-5-4. Sonic 2024  
다중빔음향측심기(a)와 모식도(b)

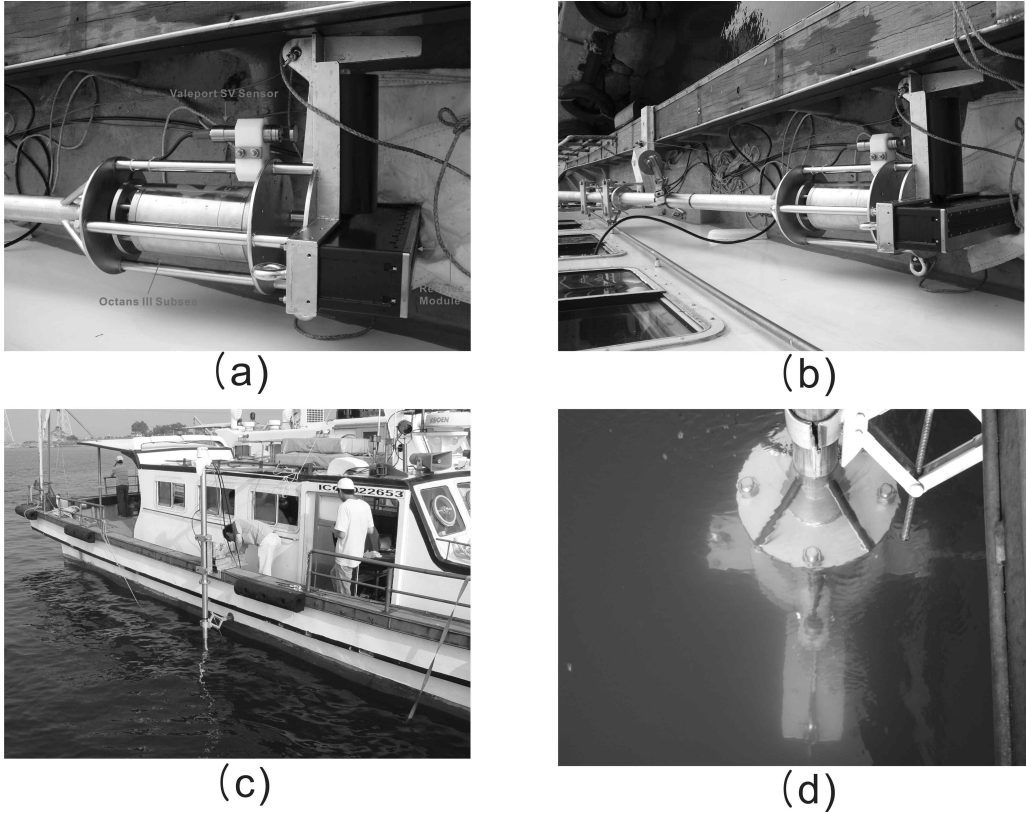


그림 3-5-5. 해저지형조사를 위한 장비들을 프레임에 배치(a, b) 및 설치(c, d)

치하였다(그림 3-5-5).

수심 측정 시 조석에 따른 오차를 보정하기 위해서 조사 기간 동안 정성관측정점에서 조석계(RBR; TR-2050)를 이용해서 관측하였고 이 위치의 절대고도를 알기 위해서 수준점(37° 18' 27.927", 126° 36' 10.876", DL=13.453 m)과 비교하여 절대고도를 유추하였다. 음파속도 및 선박의 방향과 운동에 의한 보정은 각각 수중음속측정기(Valeport사의 Mini SVS)와 IXSEA사의 Octan III Subsea를 이용하였다. 또한 센서를 배 옆에 설치할 때, 센서의 roll, pitch, yaw의 움직임과 system latency를 파악하고 매 현장 조사시 주변 시스템의 설치 위치가 달라짐에 따라 발생하는 오차를 최소화하기 위하여 시스템에 대한 패치실험(patch test)을 실시하였다. 다중빔 음향측심기는 음파의 왕복 전달되는 시간을 측정하여 수심으로 환산하는데 수중에서의 수층별 음파의 전달 속도 변화는 속도 변화 경계면에서 음파 굴절을 발생시켜 측정수심 및 빔의 위치계산에 오차를 발생시키는 원인이다. 따라서 다중빔 음향측심기를 이용한 해저지형 조사에서는 음속도의 지속적이고 정밀한 관측이 중요하다. 본 조사에서는 정확한 수층별 음파의 속도를 관측하기 위해 Navitronic사의 SVP-15를 이용하여 수층별 음파의 속도를 측정하였다(그림 3-5-6).

다중빔음향측심기로 측정지점의 정확한 위치 결정을 위하여 앞에서 언급한 GPS, Gyro sensor, Motion sensor, 음속도 측정센서 등이 부가적으로 요구되는데 DGPS는 선박의 지구타원체상의 절대위치를 제공하며, Gyro sensor는 진북을 기준으로 선수가 지향하는 방위를, Motion Sensor는 선박의 거동(Roll, Pitch, Heave)을 관측한다. 각각의 부가장비는 GPS의 시간에 동기화되어 있으며 송수신 순간의 관측치를 이용하여 빔의 수평위치를 계산하고 해저면 상에서의 절대 위치에 대해서 실시간으로 보정한다. 따라서 현장에서 실시간으로 수심자료를 얻기 위해서



(a)

(b)

그림 3-5-6. 조석보정을 위해 정성 관측된  
조석계(RBR; (a))와 음속보정을 위해 SVP(SVP-15;  
(b))

Triton Imaging사의 ISIS acquisition program을 이용하여 XTF 파일 형식으로 저장하였다.

### (5) 자료처리

현장조사를 하는 동안 앞에서 언급한 모든 주변 장비들로부터 들어오는 정보들이 통합되어 있는 다중빔음향측심기 자료인 XTF 파일을 Caris HIPS(Hydrographic Information Processing System)을 이용해서 자료 처리를 하였다. Caris HIPS의 자료처리 과정은 다음과 같다. 먼저 모든 센서에 적용되는 offset과 변수들을 포함하고 있는 HIPS Vessel file(HVF)을 만든 후, 새로운 project를 만들었다. 현장조사에 받아온 자료는 HIPS-SIPS format으로 전환시키고 모든 자료를 전환된 후, vessel과 장비의 위치와 움직임에 관련된 자료를 처리한다. 그다음으로 만들어져 있던 SVP(Sound Velocity Profile) 자료를 이용해서 선택된 조사선(survey line)에 음속자료를 적용시키고 조차가 큰 서해안에서 중요한 조석보정을 한다. 각 sounding에 대해서 위치와 수심 값을 만들기 위해서 모든 자료를 통합 시킨다. 그 후 자료에 따라서 CUBE filtering, Swath data 처리 또는 Subset Data 처리를 통해서 xyz값을 만들어내고 나타난 자료들은 Surfer 또는 Fledermaus를 이용해서 3차원 지형자료를 나타내었다.

### 2.2.2. 퇴적학적 분석

현장에서 채취된 표층퇴적물과 시추퇴적물들은 밀봉한 상태에서 실험실로 운반되었다. 표층

퇴적물은 입도분석을 실시하였으며 시추퇴적물은 다음과 같이 분석하였다. 실험실에서 시추퇴적물들을 절개한 후에 절개면을 육안관찰하고 퇴적물 조직과 구조에 대한 주상 단면을 작성하였다. 시추퇴적물들의 절개면에서 약 25 cm 간격으로 시료를 채취하여 입도를 분석하고 함수율과 전밀도를 측정하였다. 전단강도(shear strength)는 fall cone apparatus를 이용하였다. 반면 박스시추에서 얻어진 부 시료들은 5 cm 간격으로 분석하였다. 각각의 실험방법은 다음과 같다.

입도분석은 퇴적물에 과산화수소수(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)와 염산(HCl)을 넣어 유기물과 탄산염을 제거 후 습식체질(wet sieving)에 의해 4 Φ 이하의 조립질 퇴적물과 그 이상의 세립질 퇴적물로 각각 구분하였다. 4 Φ 이하의 조립질 퇴적물은 0.5 Φ 간격으로 건식체질(dry sieving)하여 무게백분율을 구하고, 4 Φ 이상의 세립질 퇴적물은 전체를 대표하는 2 g를 취해 300 ml의 0.1% 확산제 용액을 넣고 초음파 자기진동기로 균일하게 분산시킨 후 자동입도분석기(Sedigraoh 5100D)로 분석하였다. 퇴적상(Sediment type)분류는 Folk(1968) 방법을 따랐으며, 그 외 평균입도(Mz), 분급도(Sorting; Standard Deviation), 왜도(Skewness) 및 첨도(Kurtosis)는 통계 처리하여 각각의 값을 구하였다.

함수율 측정은 퇴적물 약 30 g를 떠내어 알루미늄 호일에 담아 해수와 퇴적물을 포함하는 무게를 구한다. 해수의 무게는 해수를 포함하는 퇴적물(습윤중량)을 110℃ 건조기에 넣어 하루 동안 완전히 말린 후 이때 손실된 무게를 해수의 무게로 그리고 남아 있는 퇴적물은 건조중량으로 계산한다. 퇴적물의 함수율 계산은 다음 식에 의해 구한다.

$$W.C.(\%) = \frac{W_w(g) - W_d(g)}{W_d(g)} \times 100$$

W.C. : 함수율

W<sub>w</sub> : 습윤중량

W<sub>d</sub> : 건조중량

퇴적물의 전밀도는 해수를 포함하는 퇴적물의 무게/부피이므로 퇴적물의 무게와 부피를 알면 퇴적물의 전밀도를 구할 수 있다. 퇴적물의 무게는 전자저울(Model: METTLER AE260)을 이용하였고 퇴적물 부피는 pycnometer(Model: AccPyc 1330)를 사용하여 퇴적물의 무게와 부피를 구하였다. pycnometer를 이용하여 부피를 구하는 원리는 일정용기의 셀(19 mm OD×39.8 mm long×0.254 mm wall)안에 퇴적물을 넣고 용기안의 빈 공간에 헬륨가스를 완전히 채운 후 이때 소모된 헬륨가스의 양을 기준으로 퇴적물의 부피를 계산하였다. pycnometer를 이용 시 퇴적물의 전밀도는 소수점 4자리까지 계산이 가능하며 이때 측정오차는 ±0.0005 g/cm<sup>3</sup>이다.

시추퇴적물에서 추가로 분석된 전단강도는 시추퇴적물을 반으로 절단한 후 절단면을 따라 퇴적물의 깊이별로 fall cone apparatus를 투하하여 fall cone이 절개면을 파문힌 깊이를 측정한 후 이 값을 이용하여 퇴적물의 전단강도로 환산하였다.

### 2.2.3. Sting MK II를 이용한 퇴적층 전단강도 측정

시추퇴적물에 의한 퇴적물의 전단강도 측정은 퇴적물채취 시 퇴적물이 변형되어 측정값의 신뢰도는 낮게 나타난다. 이의 보완 방법으로 해저면에 떨어진 물체가 퇴적물에 박히면서 퇴적물의 저항에 의한 속도 값의 변화를 측정하여 이를 퇴적물의 전단강도로 변환하는 장비를 사용하

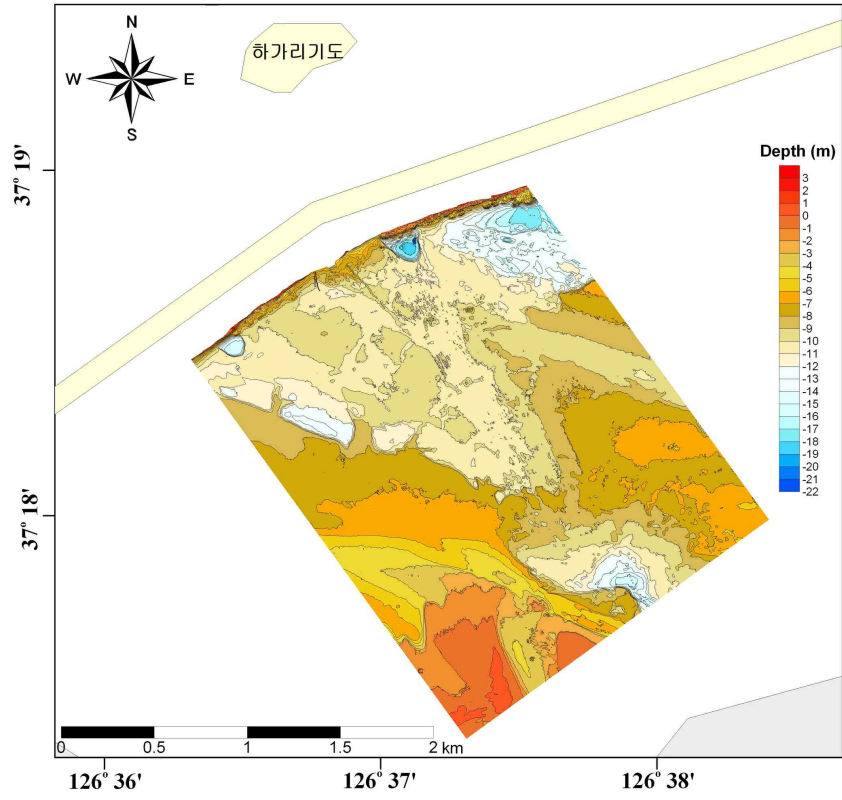
였다. 장비명은 Sting MK II이며 이 장비에 의해 현장에서 직접 퇴적물의 전단강도를 측정하였다. 또한 이 장비는 해저면에 투하된 후 퇴적물에 파묻힌 깊이의 측정이 가능하며 이 값은 해저 퇴적층의 단단한 정도를 비교할 수 있는 값으로 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

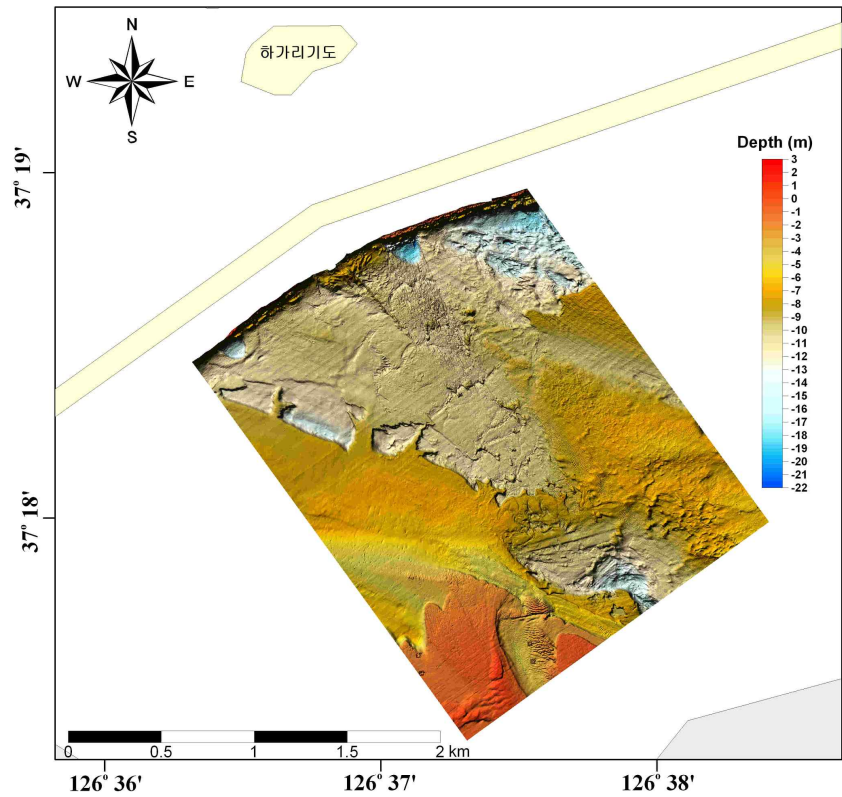
#### 3.1. 지형

2009년 7월에 Sonic 2024(R2Sonic사, 미국) 다중빔음향측심기를 이용해서 3차원 지형자료를 획득하였다. 조력발전 건설 지역을 중심으로 시화 내측 조사지역(2.5 km × 2.0 km)의 수심은 2.4~21.5 m의 범위를 보이고 있으며 가장 얇은 지역은 조사지역 남쪽에 존재하는 탄도수로 제방에서 나타나고 가장 깊은 지역은 조사지역 북쪽 중앙에 형성되어 있는 웅덩이에서 나타나고 있다. 조사지역은 방조제가 건설되기 전에 존재했고 동-서 방향으로 발달되어 있는 수로 2개가 조사지역 동쪽에 나타나며 그 사이에 수심이 얇은 제방이 존재하고 있다. 또한 방조제 앞쪽에서는 3개의 깊은 웅덩이가 존재하는데 중앙에 있는 웅덩이에서 가장 깊은 수심을 나타내며 북동쪽에 위치하는 웅덩이가 크게 형성되어 있다(그림 3-5-7). 인위적으로 형성된 지형으로는 방조제 지역에 2개의 파이프가 존재하며 좌측의 파이프는 높이 대략 2.9 m, 길이 약 82 m를 나타내며 동쪽 파이프는 높이가 약 2.2 m, 110 m의 길이를 나타내고 있다(그림 3-5-8 (a)). 또한 방조제 앞쪽에 서쪽과 중앙에 타원형의 웅덩이가 존재하는데 중앙의 웅덩이 길이는 170 m 정도이고 폭은 150 m를 나타낸다. 서쪽 웅덩이의 길이와 폭은 각각 대략 140 m와 120 m를 나타내고 있다. 중앙 웅덩이는 13°의 급경사를 보이며 깊어지고 바닥은 -18~-19 m의 평편한 형태를 보이고 있으며 서쪽 웅덩이의 바닥 수심은 대략 -15~-16 m의 범위를 나타내며 웅덩이 경계는 급한 경사를 보이고 있다(그림 3-5-8 (b), (c)). 조사지역 남쪽의 4개의 철탑이 존재하는데 이 4개의 철탑의 기둥이 나타나고 있다(그림 3-5-8 (d), (e)). 조사지역의 남동지역 중앙에 형성되어 있는 수로에 깊은 웅덩이가 존재하며 이것은 수로 사이에 존재하는 제방과 탄도 수로와 연결되어 얇은 지역을 형성하지만 물의 흐름에 의한 침식지형이 중앙 웅덩이까지 발달되어 있다(그림 3-5-9 (a)). 또한 서쪽 방향으로 뚜렷한 경계를 나타내면서 흐름에 의해 침식된 형태를 보이고 있는데 이것은 시화호 표층에 부드럽고 약한 뺄 퇴적물이 갑문 개방에 따라서 발생하는 흐름에 의해서 침식된 형태로 보인다(그림 3-5-9 (b)). 그리고 이 형태와 유사하게 조사지역 북쪽에 크게 발달된 웅덩이 경계면에서는 앞에서 언급한 흐름에 의해 형성된 선형의 침식지형을 보이다가 크게 침식된 지형을 보이고 있다(그림 3-5-9 (c)). 또한 조사지역에서는 dune이 발달되어 있는데 주로 과거 탄도 수로가 막히기 전에 형성된 수로 내의 수심 cm의 높이와 최대 15 m의 파장을 가진 dune이 나타나고 있다(그림 3-5-9 (d)). 또한 조사지역의 중앙의 얇은 수로와 동쪽에 낮은 높이의 구릉을 보이고 있으며 그 사이에 파장 6 m 이하, 높이 30 cm 이하의 small과 medium dune(Ashley, 1990)이 존재하고 있다(그림 3-5-9 (e)).

1995년 시화방조제 완공 이후 시화호 내측의 해저지형은 지속적으로 변화가 있을 것으로 예상된다. 1996년과 2005년 시화방조제를 중심으로 한 내측의 해저지형을 비교하면 9년 동안 지속적으로 수심의 감소가 이루어진 것으로 나타났다(그림 3-5.10). 전체적으로 1996년에 비해 2005



(a)



(b)

그림 3-5-7. 조사지역의 등수심도(a) 및 3차원 지형도(b)



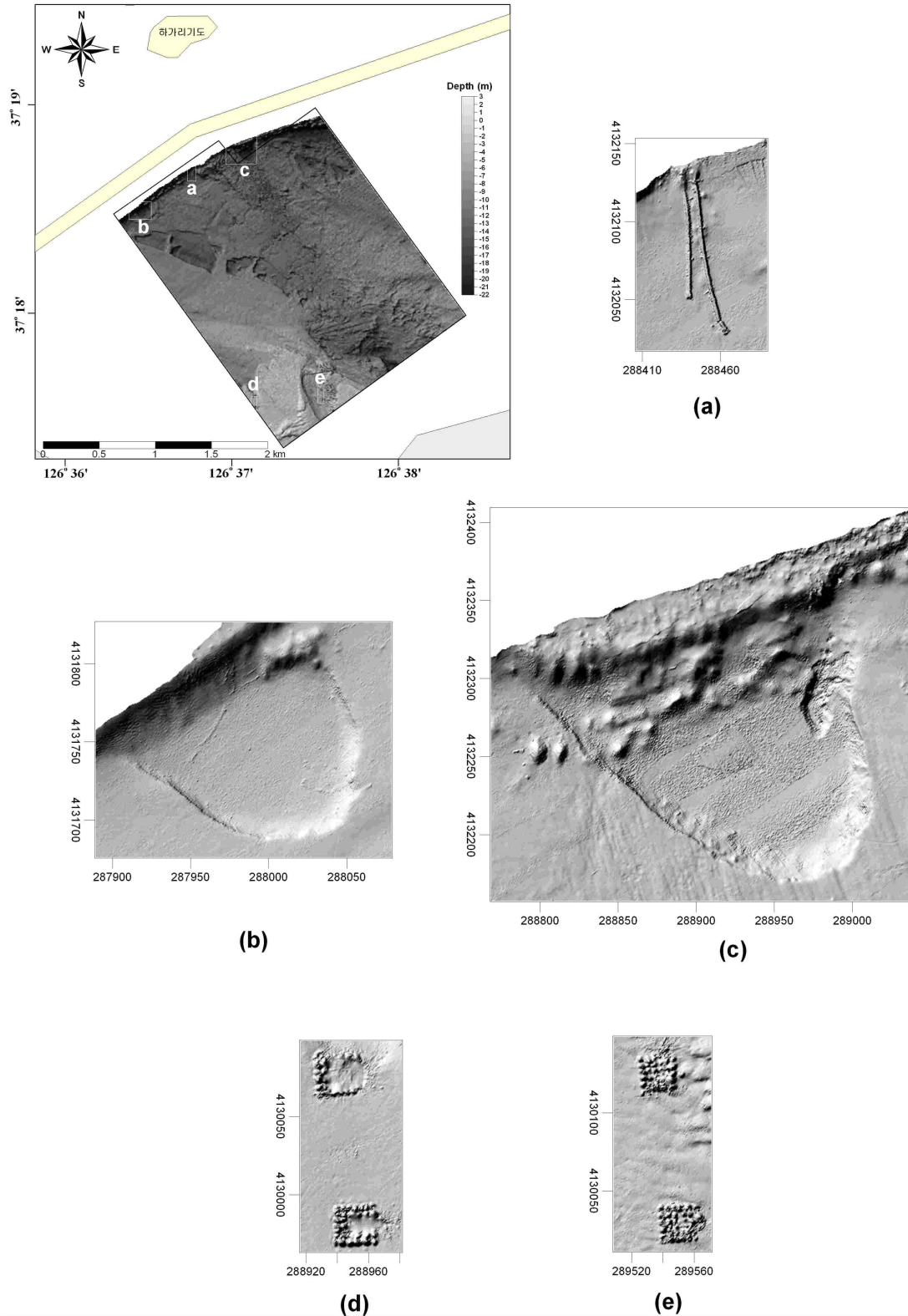
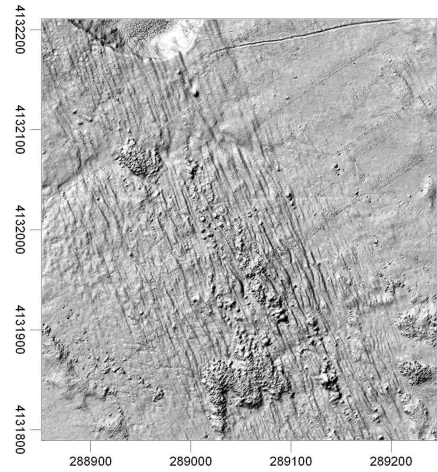
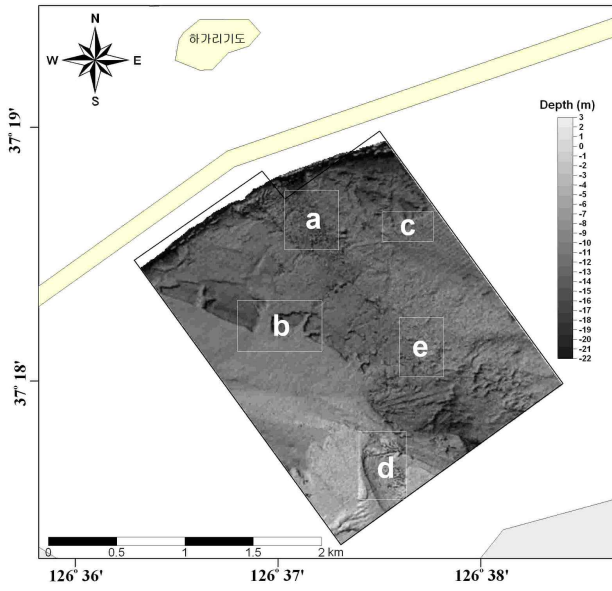
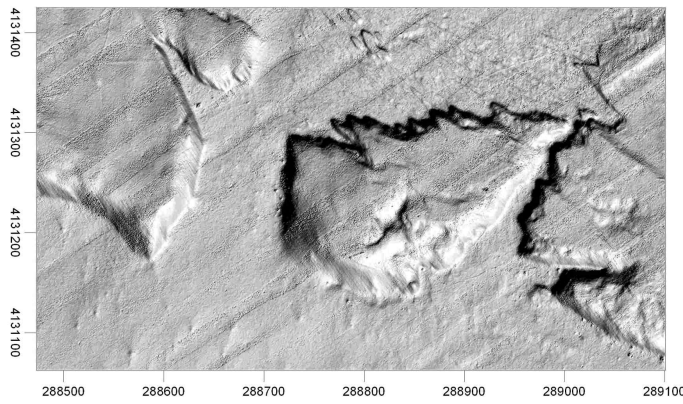


그림 3-5-8. 조사 지역 내 인위적으로 형성된 지형들. (a): 파이프, (b), (c) : 웅덩이, (d), (e) : 철탑기둥

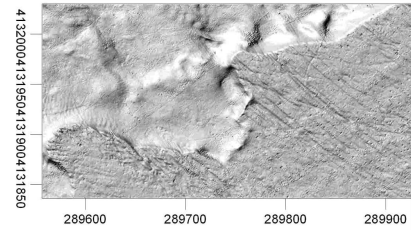




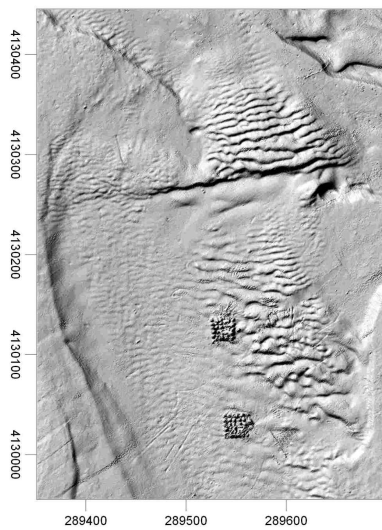
(a)



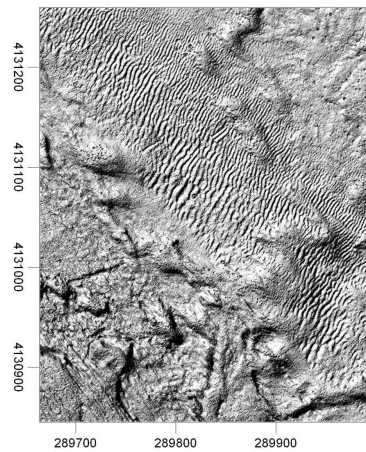
(b)



(c)

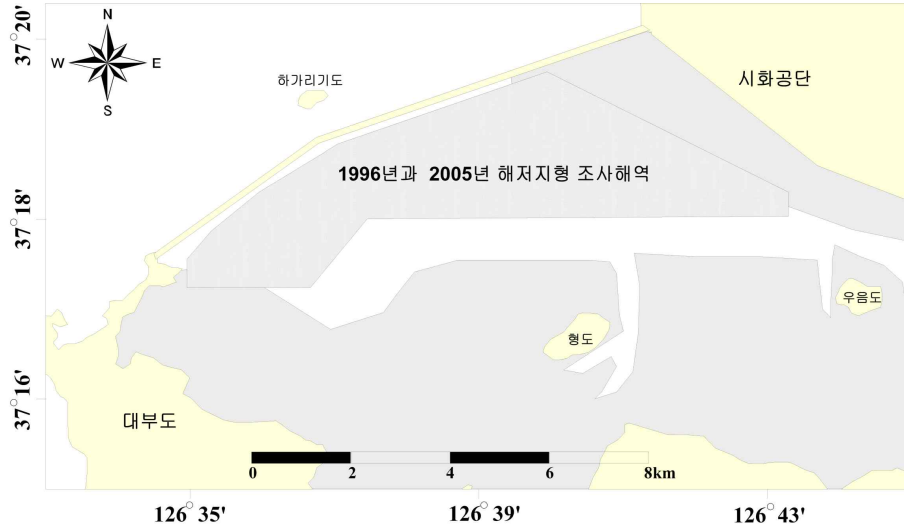


(d)

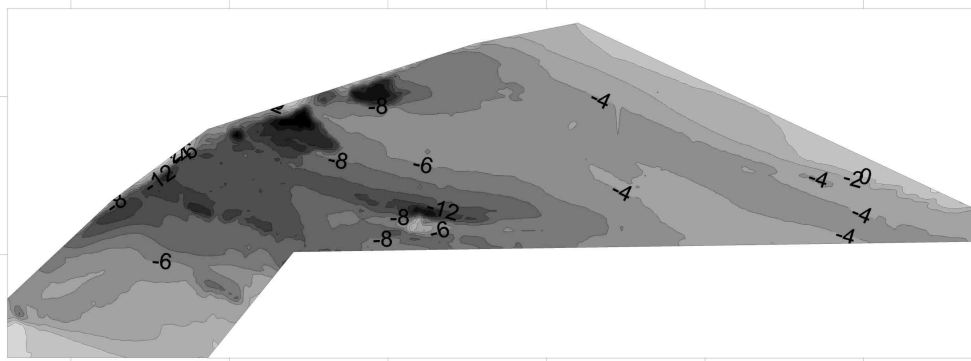


(e)

그림 3-5-9. 조사지역내 발달되어 있는 침식지형(a, b, c) 및 dune(d, e)



1996년



2005년

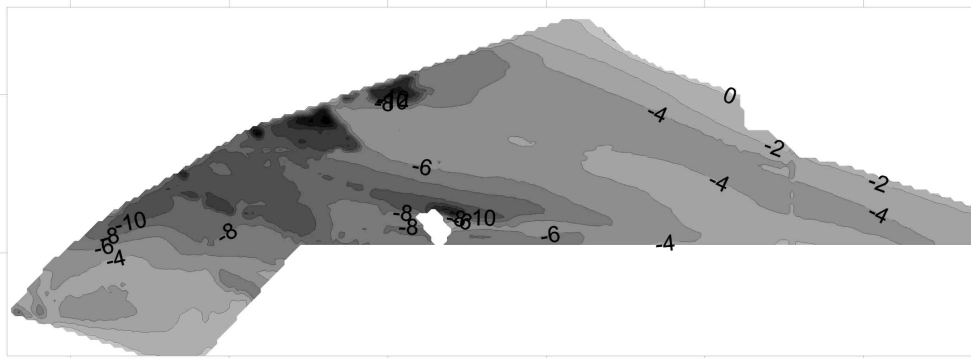


그림 3-5-10. 시화호 내측 방조제 주변의 1996년과 2005년 해저지형

년이 수심이 감소한 지역이 우세하게 나타나고 있으며, 이 기간 동안 시화방조제 내측의 연간 퇴적률은 3.8 cm로 추정되었다(한국해양연구원, 2006). 비록 이들 결과가 단빔음향측심기에 의한 해저지형조사 결과로 인하여 정확한 퇴적률로 단정할 수는 없으나 시화방조제 완공이후 시화호 내측의 해저지형은 점차 낮아지고 있을 것으로 판단된다. 그리고 본 사업에서 수행된 멀티빔수심측정기에 의한 해저지형조사는 시화호에서 획득된 최초의 정밀해저지형자료로 본 조사의 목적이 시화조력발전소 가동에 의한 해저지형변화량을 산정하는 것이므로 조력발전소가 완공·가동된 후의 정밀해저지형 조사결과와 비교하면 발전소 가동에 따른 지형변화량의 산정과 조력발전소 주변지역의 침식과 퇴적현상에 대한 정확한 규명이 가능할 것이다.

## 3.2. 퇴적학적 특징

### 3.2.1. 표층퇴적물

2009년 7월에 채취된 표층퇴적물의 입도분석결과는 표 3-5-5와 그림 3-5-11, 12에 나타내었다. 조력발전소 건설 현장 시화 내측의 표층퇴적물은 빨(M), 모래질 빨(sM) 그리고 약자갈모래질 빨((g)sM)의 3가지 퇴적상을 나타내고 있다. 대부분 빨 퇴적상을 보이고 조사지역 남동쪽의 북서-남동방향으로 경계 지어 나타나는 얇은 지역에서 모래질 빨을 보이고 있다. 그리고 약자갈모래질 빨은 탄도수로 지역과 조사지역 북쪽의 제방 근처지역에서 나타나고 있다(그림 3-5-11). 조성을 보면, 자갈함량은 0.28~3.68%로 09SH-05, 21, 22, 30에서만 나타나고 있다. 표층퇴적물의 모래와 빨함량은 각각 0.00~44.45%와 57.47~100.00%의 범위로 분포하고 있는데 조사지역 남쪽 지역과 북쪽지역에서 상대적으로 많은 모래함량을 보이는 반면 빨함량은 반대 양상을 보이고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 각각 2.55~9.34  $\phi$ 와 2.41~3.93  $\phi$ 의 범위로 분포하고 있다. 평균입도는 탄도수로 지역인 조사지역 남쪽과 북쪽 방조제에서 주양으로 가면서 세립해지고 있으며 분급도는 중앙에서 남쪽과 북쪽으로 갈수록 상대적으로 불량한 분급을 보이고 있다. 표층퇴적물의 함수율과 전밀도는 45.61~178.48%와 1.26~1.75 g/cm<sup>3</sup>의 범위로 각각 분포하고 있다. 함수율은 복잡한 분포양상을 보이지만 조사지역 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 함수율은 감소하는 반면, 전밀도는 증가하는 분포양상을 보이고 있다(그림 3-5-12).

### 3.2.2. 진동시추퇴적물

2009년 11월에 총 5개 정점에서 최대 230 cm의 시추퇴적물이 획득하였다(표 3-5-3, 그림 3-5-2). 채취된 시추퇴적물은 실험실에 가져와서 실험, 분석하였으며 그 결과는 표 3-5-6과 그림 3-5-13, 14에 나타내었다.

#### (1) A-03-VC 시추퇴적물

조사지역 방조제 근처에 형성되어 있는 중앙 웅덩이에서 채취한 것으로서 총길이는 143 cm을 나타내고 있다. 표층에서 5 cm까지는 black을 나타내며 그 이후부터 light olive brown에서 점진적으로 yellowish brown을 보이고 130 cm 이후부터는 dark yellowish brown의 색깔을 나타내고 있다. 여기서 yellow은 방조제 또는 도로건설을 위해 유입된 육상기원의 퇴적물에 의한 것으로 보인다(그림 3-5-13). 30 cm 까지는 매우 부드러운 빨로 구성되어 있으며 그 이후부터 122

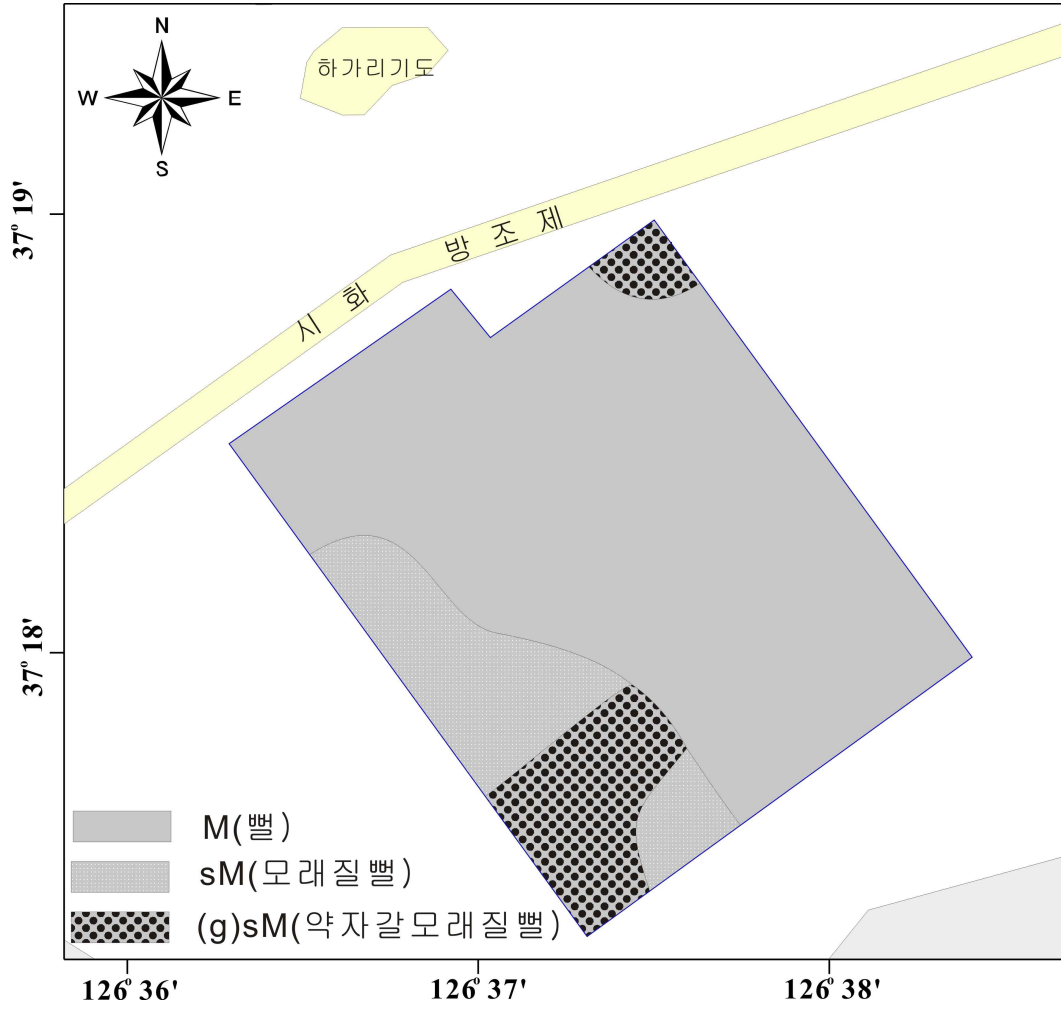


그림 3-5-11. 표층퇴적물의 퇴적상 분포도

표 3-5-5. 표층퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 분석결과

정점	조성 (%)				퇴적상	조직변수				함수율 (%)	전밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
	자갈	모래	실트	점토		평균입도 (Φ)	분급도(Φ)	왜도	첨도		
09SH-01	0.00	3.80	50.43	45.76	M	8.10	2.78	0.19	1.66	74.19	1.36
09SH-02	0.00	3.56	50.22	46.22	M	8.13	2.77	0.18	1.66	112.99	1.37
09SH-03	0.00	1.14	41.33	57.53	M	8.84	2.61	-0.11	1.65	153.40	1.34
09SH-04	0.00	0.00	36.29	63.71	M	9.22	2.41	-0.18	1.69	178.48	1.30
09SH-05	1.83	23.63	27.47	47.07	(g)sM	7.32	3.86	-0.35	2.01	129.43	1.39
09SH-06	0.00	0.00	34.25	65.75	M	9.34	2.43	-0.26	1.66	143.55	1.30
09SH-07	0.00	0.59	41.62	57.79	M	8.89	2.61	-0.09	1.58	109.28	1.39
09SH-08	0.00	2.54	48.19	49.26	M	8.35	2.77	0.09	1.60	120.76	1.55
09SH-09	0.00	6.24	52.57	41.20	M	7.79	2.86	0.30	1.70	111.61	1.45
09SH-10	0.00	10.76	53.55	35.70	sM	7.34	2.89	0.46	1.86	72.13	1.51
09SH-11	0.00	14.92	51.07	34.01	sM	7.14	2.94	0.49	1.92	78.65	1.51
09SH-12	0.00	8.94	54.05	37.01	M	7.47	2.93	0.44	1.79	99.09	1.49
09SH-13	0.00	3.70	49.35	46.95	M	8.22	2.81	0.14	1.62	81.59	1.38
09SH-14	0.00	2.13	45.69	52.18	M	8.51	2.69	0.03	1.65	84.67	1.43
09SH-15	0.00	0.51	41.13	58.35	M	8.89	2.49	-0.05	1.65	145.29	1.33
09SH-16	0.00	0.50	41.04	58.46	M	8.96	2.62	-0.13	1.57	75.05	1.33
09SH-17	0.00	2.14	46.20	51.67	M	8.48	2.73	0.04	1.61	141.50	1.35
09SH-18	0.00	6.15	48.89	44.95	M	8.01	2.91	0.18	1.61	45.61	1.41
09SH-19	0.00	10.72	55.64	33.64	sM	7.23	2.91	0.54	1.91	79.41	1.51
09SH-20	0.00	15.83	52.86	31.31	sM	7.04	3.02	0.63	1.95	76.93	1.52
09SH-21	0.37	44.45	35.36	19.82	(g)sM	5.55	3.06	1.02	3.00	45.61	1.75
09SH-22	0.28	32.55	38.70	28.47	(g)sM	6.32	3.31	0.58	2.14	55.59	1.31
09SH-23	0.00	3.96	45.05	50.99	M	8.49	2.88	0.00	1.54	143.64	1.52
09SH-24	0.00	3.11	43.59	53.31	M	8.59	2.83	-0.06	1.58	137.80	1.34
09SH-25	0.00	1.94	40.54	57.52	M	8.85	2.73	-0.17	1.63	83.49	1.31
09SH-26	0.00	4.24	42.07	53.69	M	8.56	2.91	-0.22	1.94	103.23	1.31
09SH-27	0.00	1.10	37.18	61.71	M	9.12	2.63	-0.27	1.67	126.50	1.26
09SH-28	0.00	5.21	45.16	49.63	M	8.36	2.94	0.01	1.55	50.99	1.39
09SH-29	0.00	10.84	52.29	36.87	sM	7.44	3.03	0.39	1.79	83.02	1.54
09SH-30	3.68	41.58	27.58	27.16	(g)sM	5.57	3.93	0.33	2.15	74.57	1.59
09SH-31	0.00	2.69	42.59	54.71	M	8.76	2.83	-0.11	1.55	120.24	1.29
09SH-32	0.00	1.62	37.32	61.06	M	9.13	2.66	-0.25	1.65	67.13	1.27
09SH-33	0.00	2.92	39.17	57.91	M	8.89	2.76	-0.21	1.71	89.25	1.27

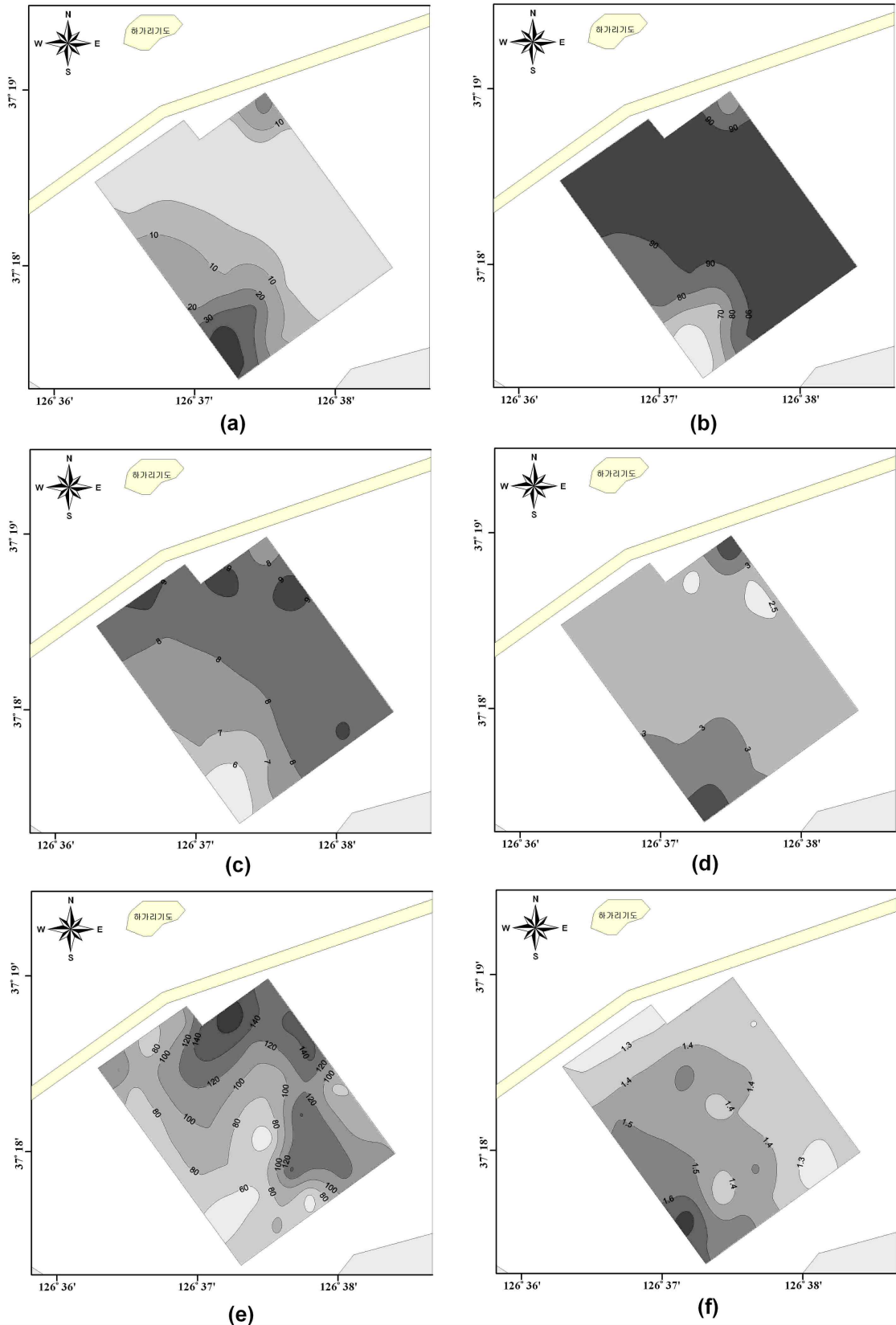


그림 3-5-12. 표층퇴적물의 모래함량(a)과 찰흙함량(b), 평균입도(c), 분급도(d), 함수율(e) 그리고 전밀도(f) 분포



cm까지 모래층과 교호되어 나타나고 있다. 나뭇가지가 120 ~125 cm에서 나타나고 있다. 표층에서 30 cm까지는 빨 퇴적상을 보이고 그 이후부터 모래층의 교호로 모래질 빨(sM) 또는 약자갈 모래질 빨((g)sM)의 퇴적상을 보이고 있다. 조성은 자갈함량이 최대 1.37%를 보이고 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 1.44~34.75%, 35.29~53.49% 그리고 29.40~58.88%의 범위로 분포하고 있다. 모래와 실트는 100 cm까지 증가하다가 다시 감소하는 반면, 점토는 그 반대의 수직적 분포 양상을 보이고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 각각 6.20~8.70  $\phi$ 와 2.43~3.35  $\phi$ 의 범위로 수직 분포하고 있으며 100 cm까지는 상대적으로 조립해지다가 다시 세립해지고 분급도는 분급이 불량해졌다가 다시 양호해지고 있다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각 40.89~222.71%, 1.25~1.83 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.4~4.2 kPa의 범위로 분포하고 있으며 함수율은 하부로 갈수록 감소하는 반면 전밀도와 전단강도는 증가하는 양상을 보이고 있다(그림 3-5-14)

### (2) B-02-VC 시추퇴적물

이 정점은 조사지역 서쪽에 위치하며 흐름에 의한 침식된 지형에 위치하고 있다(그림 3-5-2). 시추퇴적물의 총길이는 71 cm로 표층에서 46 cm까지 very dark gray와 dark gray의 색깔을 띠고 46~53 cm 사이에서는 gray색을 나타낸다. 53 cm 이후부터는 olive gray의 색깔을 나타내고 있다(그림 3-5-13). 54 cm을 경계로 상부의 빨층과 하부의 모래층이 뚜렷하게 나뉘지고 있으며 빨층과 모래층은 무구조(massive structure)를 보이고 모래층은 단단하게 미고화된 상태를 보이고 있다. 퇴적상 또한 빨(M)과 실트질 모래(zS)와 약자갈빨질 모래((g)mS)를 나타내고 있다. 조성을 보면, 자갈은 최하부에서만 1.54%를 나타내고 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 4.28~73.55%, 18.77~51.61% 그리고 6.82~48.89%의 범위로 분포하고 있다. 54 cm 경계로 모래함량은 급격하게 증가하고 실트와 점토함량은 급격하게 감소하여 뚜렷한 조성 변화를 보이고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 각각 3.53~8.27  $\phi$ 와 2.39~2.89  $\phi$ 의 범위로 분포하고 있으며 54 cm 이후 뚜렷한 조립화와 상대적으로 양호한 분급을 보이고 있다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각 27.24~127.83%, 1.34~2.05 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.4~24 kPa의 범위로 분포하고 있다. 함수율은 하부로 갈수록 감소하고 특히 54 cm 이후에는 큰 감소를 보이는 반면, 전밀도와 전단강도는 증가하고 54 cm 이후 큰 증가를 보이고 있다(그림 3-5-14).

### (3) C-03-VC 시추퇴적물

이 시추퇴적물은 양쪽 수로 사이에 존재하는 구릉과 중앙 수로와 방조제 근처 웅덩이까지 이어지는 흐름에 의해서 형성된 침식지형 사이에 위치하고 있으며 77 cm의 총길이를 가지고 있다. 35 cm을 경계로 B-02-VC 시추퇴적물과 같이 나뉘지만 하부층이 모래층이 아니고 단단한 빨층을 나타내고 있다. 상부 빨층은 very dark gray에서 gray 색으로 점진적으로 바뀌며 상당히 부드러운 빨로 구성되어 있고 35 cm 이후는 light gray의 색깔을 띤 단단한 빨층으로 이루어져 있다(그림 3-5-13). 상부는 무구조로 변형이 많이 이루어져 있으며 하부는 연속적인 층리가 발달되어 렌즈형 층리(lenticular bedding)를 보이고 있다. 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 1.67~5.87%, 34.20~60.91% 그리고 36.77~63.26%의 범위로 수직분포하고 있다. 실트와 점토가 주요 성분으로 20 cm 까지 실트함량이 감소하는 반면 점토함량은 증가하였고 그 이후부터는 다시 실트함량은 증가하였고 점토함량은 감소하고 있다. 이것은 평균입도가 20 cm까지 상대적으로 세립해지다가 그 이후 다시 조립해지고 있는 것과 일치하고 있다. 평균입도와 분급도는 각각 7.70~9.28  $\phi$ 와 2.69~2.87  $\phi$ 의 범위로 분포하고 있다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각

표 3-5-6. 진동시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성 분석결과

정점	깊이 (cm)	조성 (%)				퇴적상	조직변수				함수율 (%)	전밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	전단강도 (kPa)
		자갈	모래	실트	점토		평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	왜도	첨도			
A-03- VC	0	0.00	4.67	36.45	58.88	M	8.70	2.64		2.03	222.71	1.25	
	5	0.00	1.44	46.79	51.77	M	8.60	2.43	0.15	1.82	154.92	1.40	0.4
	10	0.00	4.88	53.49	41.64	M	7.84	2.46	0.26	2.17	93.65	1.49	0.5
	15	0.00	4.31	50.79	44.90	M	8.00	2.52	0.16	2.15	73.47	1.57	0.6
	20												0.7
	25	0.00	4.75	51.75	43.49	M	7.99	2.61	0.24	1.96	66.38	1.63	1.0
	50	0.00	14.03	45.70	40.27	sM	7.45	2.85	0.01	2.20	59.50	1.73	2.2
	75	1.37	22.96	41.38	34.30	(g)sM	6.76	3.29		2.52	52.96	1.69	2.2
	100	0.56	34.75	35.29	29.40	(g)sM	6.20	3.35	0.29	2.06	44.75	1.78	4.2
	110	0.00	12.38	43.32	44.31	sM	7.71	2.90		2.30	53.38	1.73	
	125	0.70	26.31	39.45	33.54	(g)sM	6.65	3.32	0.05	2.20	46.05	1.82	4.2
143	0.15	21.08	41.91	36.86	(g)sM	7.05	3.18	0.06	2.12	40.89	1.83		
B-02- VC	0	0.00	4.47	51.61	43.92	M	7.96	2.83	0.20	1.73	127.83	1.38	
	5	0.00	5.31	48.74	45.95	M	8.09	2.88	0.10	1.71	144.70	1.34	0.4
	10	0.00	6.15	48.19	45.66	M	8.02	2.86	0.13	1.70	115.48	1.41	0.5
	15	0.00	4.28	46.83	48.89	M	8.27	2.82	0.07	1.68	113.91	1.40	0.3
	20												0.5
	25	0.00	9.21	53.97	36.82	M	7.41	2.86	0.38	1.89	86.23	1.54	0.6
	50	0.00	6.80	45.43	47.76	M	8.16	2.89	0.03	1.73	131.87	1.40	0.7
	55	0.00	73.55	18.77	7.67	zS	3.82	2.39	2.26	7.55	28.19	1.97	
	65												24.0
	71	1.54	72.81	18.82	6.82	(g)mS	3.53	2.51	1.38	6.17	27.24	2.05	
C-03- VC	0	0.00	5.87	51.63	42.50	M	7.93	2.82	0.26	1.80	157.82	1.32	
	10	0.00	3.43	42.54	54.03	M	8.70	2.87		1.53	132.91	1.34	0.1
	15												0.1
	20	0.00	2.53	34.20	63.26	M	9.28	2.69		1.76	148.34	1.36	0.2
	25												0.4
	33	0.00	2.45	45.92	51.63	M	8.58	2.83	0.00	1.50	119.06	1.38	
	36	0.00	1.67	53.41	44.92	M	8.20	2.81	0.25	1.52	81.04	1.53	
	50												39.0
	75												21.0
77	0.00	2.31	60.91	36.77	M	7.70	2.75	0.52	1.84	31.53	1.94		



표 3-5-6. 계속

정점	깊이 (cm)	조성 (%)				퇴적상	조직변수				함수율 (%)	전밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	전단강도 (kPa)
		자갈	모래	실트	점토		평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	왜도	첨도			
E-01- VC	0	0.00	73.18	18.80	8.02	zS	3.75	2.54	2.11	6.89	25.09	1.97	
	5	0.00	68.56	19.85	11.59	mS	4.08	2.93	1.72	4.88	29.66	1.97	14.0
	10	0.00	55.86	26.05	18.10	mS	4.98	3.26	1.20	3.08	35.51	1.85	4.4
	15	0.00	83.07	10.50	6.43	mS	3.25	2.37	2.58	9.24	24.03	2.03	27.0
	20												49.0
	25	1.10	82.04	10.79	6.08	(g)mS	3.30	2.36	2.45	9.40	26.92	1.99	49.0
	40	0.20	84.88	9.08	5.84	(g)mS	3.16	2.29	2.74	10.38	25.97	1.98	
	50	0.28	65.57	20.14	14.01	(g)mS	4.51	3.01	1.48	4.21	31.83	1.73	24.0
	75	2.48	59.10	20.97	17.46	(g)mS	4.51	3.46	1.00	3.10	32.56	1.91	
	85												39.0
	100	0.00	58.34	25.28	16.37	mS	4.58	3.31	1.23	3.25	31.37	1.96	32.0
	125	0.00	38.16	41.33	20.51	sZ	5.59	3.14	0.91	2.72	37.24	1.87	21.0
	150	0.00	17.34	52.34	30.32	sM	6.86	3.10	0.54	2.04	35.97	1.82	24.0
	175	0.00	50.79	27.41	21.80	mS	5.39	3.41	0.98	2.52	35.83	1.87	21.0
	200	0.42	40.18	38.89	20.51	(g)sM	5.58	3.24	0.87	2.71	33.00	1.85	27.0
225												18.0	
230	0.00	25.33	47.12	27.55	sM	6.41	3.21	0.67	2.12	31.71	1.91		
CH-0 5-VC	0	0.00	5.36	43.93	50.71	M	8.40	2.82	0.01	1.65	166.35	1.28	
	5	0.00	8.05	38.93	53.02	M	8.43	3.00		1.58	134.18	1.31	0.3
	10	0.00	20.00	55.11	24.89	sZ	6.35	2.97	0.77	2.47	45.67	1.71	
	15	0.00	41.78	41.72	16.49	sZ	5.26	2.90	1.22	3.52	32.65	1.92	27.0
	20												3.4
	25	0.00	40.70	41.31	17.99	sZ	5.38	2.94	1.15	3.20	34.34	1.88	5.1
	50	0.00	35.52	45.68	18.80	sZ	5.60	2.99	1.12	3.07	35.27	1.93	18.0
	75	0.00	42.86	40.88	16.26	sZ	5.22	2.89	1.23	3.50	33.31	1.97	12.0
	100	0.00	29.47	44.28	26.25	sM	6.20	3.20	0.71	2.19	42.44	1.84	10.0
	125	0.00	29.24	46.22	24.54	sM	6.07	3.17	0.77	2.37	41.39	1.91	4.4
	130	0.00	43.15	39.24	17.61	sZ	5.25	3.08	1.06	3.10	29.95	1.88	
	139	0.00	27.53	47.58	24.89	sM	6.11	3.17	0.72	2.37	36.62	1.88	

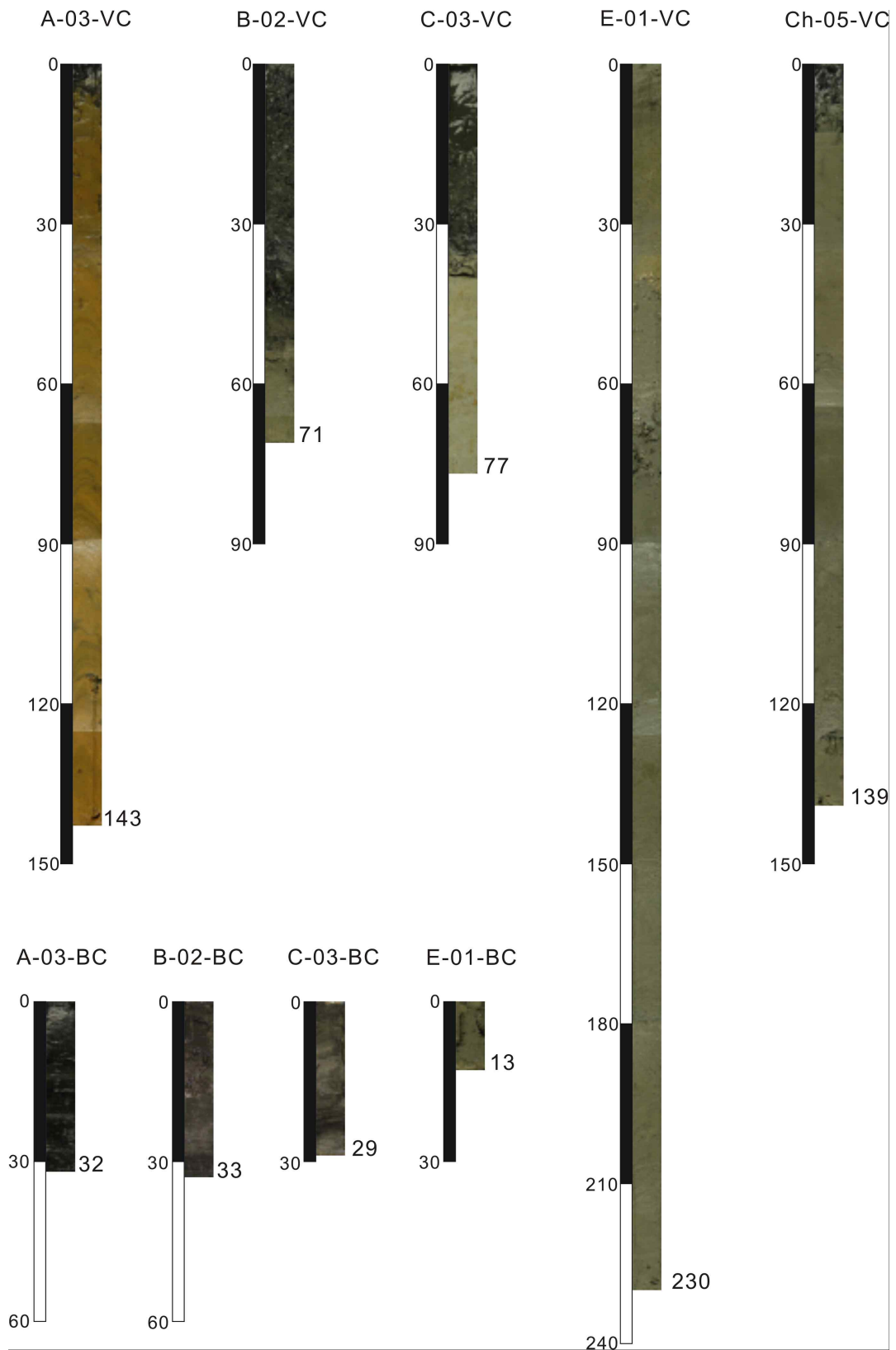


그림 3-5-13. 진동시추퇴적물 및 박스시추퇴적물의 사진. 단위는 cm

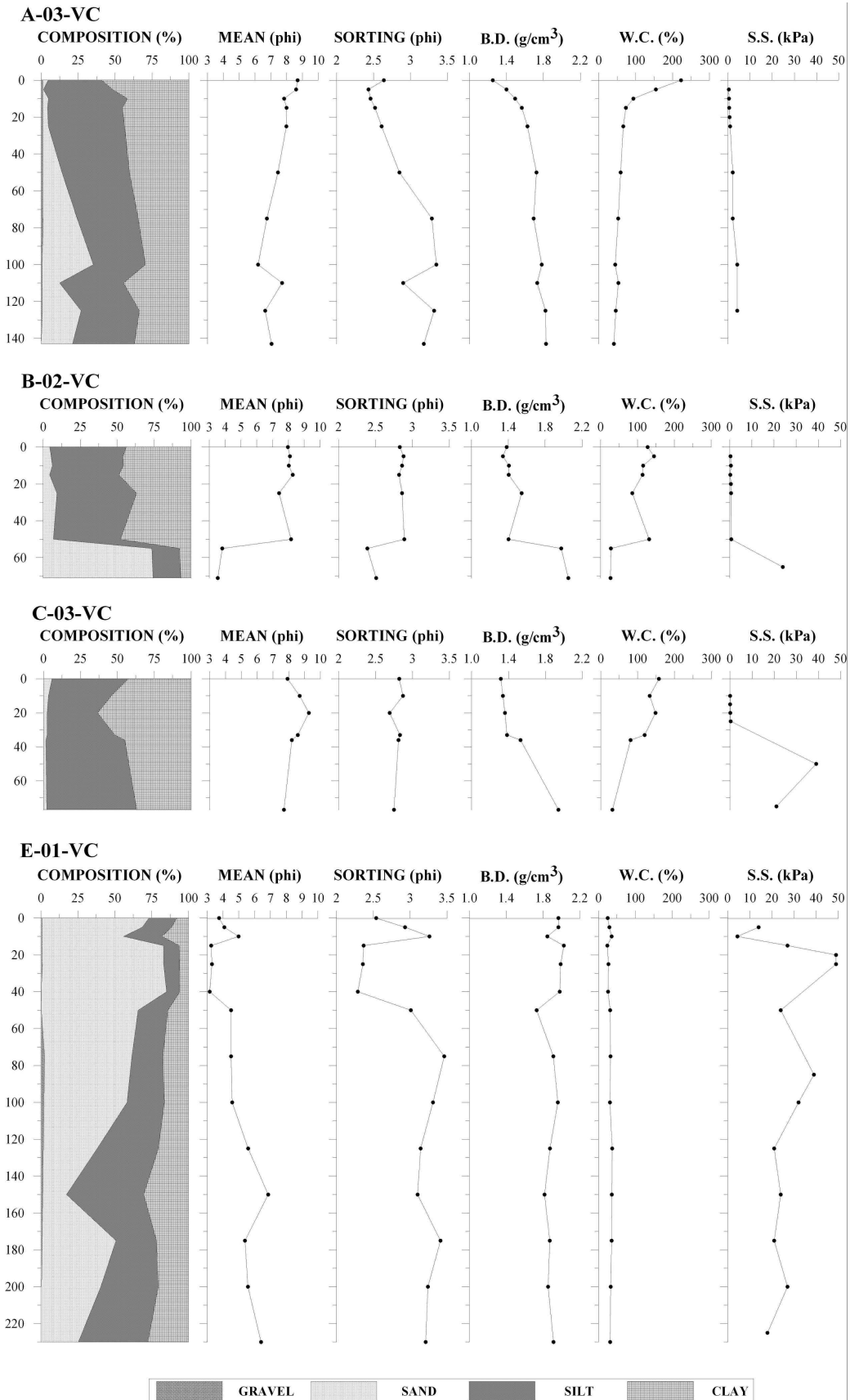


그림 3-5-14. 진동시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 수직적 분포

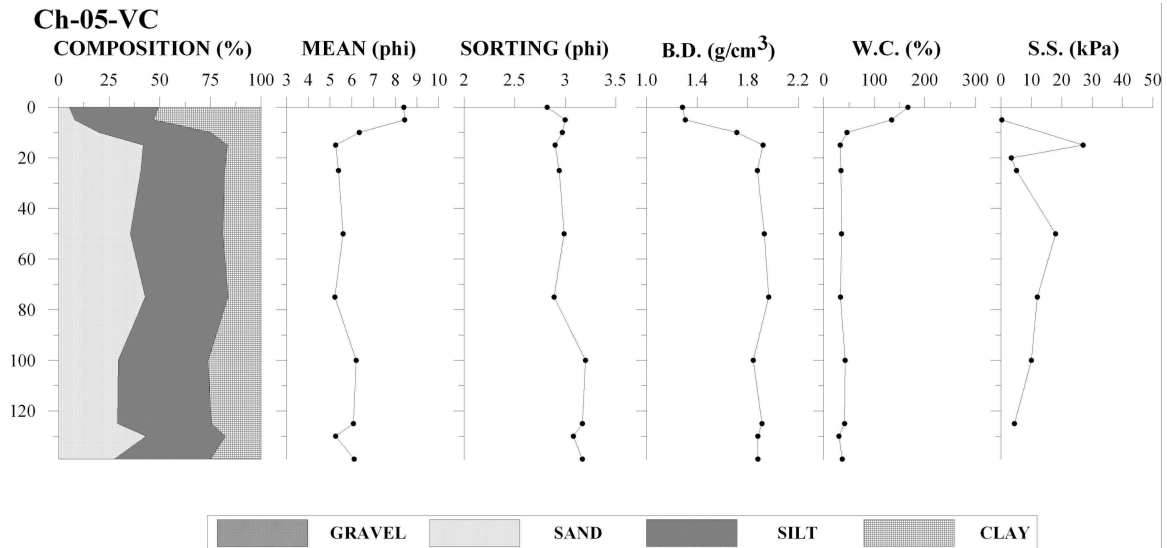


그림 3-5-14. 계속

31.53~157.82%, 1.32~1.94 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.1~39.0 kPa의 범위로 수직분포하고 있다. 함수율은 하부로 갈수록 감소하는 반면, 전밀도와 전단강도는 증가하고 있다(그림 3-5-14).

#### (4) E-01-VC 시추퇴적물

이 시추퇴적물은 과거 탄도수로 제방에서 채취한 것으로 수심이 가장 얇은 지역에 위치하며(그림 3-5-2) 채취한 시추퇴적물 중 가장 긴 230 cm을 보이고 있다. 0~42 cm은 olive gray 색깔을 띄우며 그 이후부터는 gray 색을 나타내고 있다(그림 3-5-13). 42 cm의 뚜렷한 경계면을 가지며 상부에서는 작은 패각이 산재되어 나타나고 이구(mud ball)가 존재하는 모래층으로 구성되어 있으며 42 cm에서는 패각과 조립한 퇴적물이 존재하고 있다. 그 이후부터는 불연속인 층이 발달되어 있으며 패각이 산재되어 나타나다가 66~79 cm 사이에 패각이 증가하고 있으며 130 cm 이후에는 패각이 나타나지 않는다. 90 cm 이후부터는 빨층과 모래층이 연속적으로 교호되어 나타난다. 42 cm 경계면 상부에서는 실트질 모래(zS), 빨질 모래(mS) 그리고 약자갈빨질 모래((g)mS)가 나타나고 그 이후에서는 약자갈빨질 모래, 빨질 모래, 모래질 실트(sZ), 모래질 빨(sM) 그리고 약자갈모래질 빨((g)sM)의 퇴적상을 보이고 있다. 조성은 자갈함량이 0.00~2.48%의 범위 보이고 있으며 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 17.34~84.88%, 9.08~52.34% 그리고 6.08~30.32%의 범위를 보이고 있으며 하부로 갈수록 모래함량은 감소하는 경향성을 보이고 실트와 점토함량은 증가하고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 3.25~6.86 φ와 2.29~3.46 φ의 범위로 수직분포하고 있으며 상부에선 변화가 크게 나타나지만 하부로 갈수록 상대적으로 조립해지고 있으며 분급도는 뚜렷한 경향성을 보이고 있지 않다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각 24.03~37.24%, 1.73~2.03 g/cm<sup>3</sup> 그리고 4.4~49.0 kPa의 범위로 각각 수직분포하고 있다. 함수율은 하부로 갈수록 약간 증가하는 경향성을 보이지만 전밀도는 뚜렷한 경향성을 보이지 않는다. 전단강도는 20 cm 이후부터 하부로 갈수록 감소하는 분포양상을 보이고 있다(그림 3-5-14).

### (5) CH-05-VC 시추퇴적물

이 시추퇴적물은 시화호 안쪽 우음도 근처에서 채취하였다(그림 3-5-2). 총길이는 139 cm을 보이고 있다. 0~8 cm 은 black의 색깔을 띠고 부드러운 빨층을 보이고 있으며 그 이후부터 gray의 색을 나타내며 단단하고 빨층과 모래층이 교호되어 나타나고 있는 렌즈형 층리를 보이고 있다(그림 3-5-13). 패각은 8~16 cm 사이에 나타나다가 그 이후 잘 나타나지 않지만 하부로 갈수록 조금씩 나타난다. 55~63 cm 사이에서는 나뭇조각과 모래층이 우세하게 나타나고 있다. 127~135 cm 사이는 모래층과 패각이 나타나고 있으며 그 이후는 다시 빨층이 교호되고 있다. 0~8 cm에서는 빨 퇴적상을 나타내고 그 이후에는 실트질모래와 빨질모래의 퇴적상을 보이고 있다. 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 5.36~43.15%, 38.93~55.11% 그리고 16.26~53.02%의 범위를 보이고 있다. 상부 10 cm에서 급격한 조성 변화를 보이고 그 이후부터 뚜렷한 변화를 보이지 않는다. 평균입도와 분급도의 수직적인 분포범위는 각각 5.22~8.43  $\phi$ 와 2.82~3.20  $\phi$ 이다. 상부 10 cm에서 상대적으로 급격하게 조립해지고 있으며 분급도에서는 뚜렷한 변화 양상을 보이고 있지 않다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각 29.95~166.35%, 1.28~1.97 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.3~27.0 kPa의 범위로 수직분포하고 있으며 10 cm 이후 함수율은 급격하게 감소한 반면, 전밀도는 증가하였다. 전단강도는 뚜렷한 수직분포양상을 보이고 있지 않다(그림 3-5-14).

### 3.2.3. 박스시추퇴적물

조사지역에서 총 4개 정점에서 박스시추기를 이용해서 표층의 교란되지 않는 부시료를 채취하였다(표 3-5-4, 그림 3-5-2). 분석결과는 표 3-5-7과 그림 3-5-15에 나타내었다.

#### (1) A-03-BC 시추퇴적물

중앙 웅덩이에서 채취되었으며 총길이는 32 cm를 나타낸다. 전체적으로 색깔은 black을 나타내며 부분적으로 gray의 색을 나타내고 있으며 육안상 무구조를 보이고 있다(그림 3-5-13). 10 cm에서만 점토(C)를 나타내고 나머지는 빨(M) 퇴적상을 보이고 있다. 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량 분포는 각각 1.84~5.59%, 29.93~41.89% 그리고 54.57~64.68%의 범위를 보이고 하부로 갈수록 모래함량과 실트함량은 감소하는 양상을 보이고 점토함량은 증가하고 있다. 평균입도와 분급도는 각각 8.63~9.17  $\phi$ , 2.39~2.79  $\phi$ 의 범위로 분포하는데 하부로 갈수록 상대적으로 세립해지고 있으며 표층에서 하부로 갈수록 조립해졌다가 세립해졌다가를 반복하고 있다. 이는 수문 개폐에 따른 영향을 보이는 것으로 보인다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 172.59~298.70%, 1.19~1.41 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.4~0.9 kPa의 범위를 보이고 있다. 전밀도와 전단강도는 하부로 갈수록 증가하는 분포양상을 보이고 함수율은 15 cm 이후부터 하부로 갈수록 증가하는 양상을 보이고 있다(그림 3-5-15).

#### (2) B-02-BC 시추퇴적물

B-02-VC와 같이 침식지형 내에서 채취되었으며 총길이는 33 cm을 보이고 있다. 색은 black과 gray 색을 띠고 있으며 육안으로 볼 때 뚜렷한 구조를 보이지 않는다(그림 3-5-13). 전체적으로 빨 퇴적상을 보이며 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량의 범위는 각각 2.26~8.55%, 46.17~51.75% 그리고 42.95~49.72%로 분포하고 있으며 평균입도와 분급도는 7.86~8.39  $\phi$ 와 2.67~2.96  $\phi$ 의 범위로 수직분포하고 있다. 평균입도는 표층에서 하부로 갈수록 지그재그 형태를

표 3-5-7. 박스시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성 분석 결과

정점	깊이 (cm)	조성 (%)				퇴적상	조직변수				함수율 (%)	전밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	전단강도 (kPa)
		자갈	모래	실트	점토		평균입도 (Φ)	분급도 (Φ)	왜도	침도			
A-03-BC	0	0.00	4.57	34.91	60.52	M	8.95	2.61	-0.24	1.95	267.72	1.19	
	5	0.00	3.67	41.86	54.47	M	8.63	2.68	-0.10	1.84	201.57	1.26	0.4
	10	0.00	5.59	29.93	64.48	C	9.04	2.70	-0.48	2.13	298.70	1.19	0.5
	15	0.00	2.14	38.91	58.95	M	8.93	2.61	-0.19	1.78	172.59	1.27	0.6
	20	0.00	3.72	39.83	56.45	M	8.71	2.79	-0.18	1.75	186.94	1.30	0.9
	25	0.00	2.25	39.01	58.74	M	8.96	2.39	-0.09	1.91	182.44	1.30	0.6
	32	0.00	1.84	35.60	62.56	M	9.17	2.45	-0.23	1.90	196.83	1.41	
B-02-BC	0	0.00	8.55	47.08	44.37	M	7.89	2.96	0.17	1.63	138.79	1.37	
	5	0.00	3.41	46.88	49.72	M	8.37	2.81	0.09	1.58	152.10	1.33	0.7
	10	0.00	5.29	51.75	42.95	M	7.95	2.88	0.23	1.63	117.18	1.42	0.6
	15	0.00	4.26	49.36	46.38	M	8.10	2.75	0.15	1.73	126.93	1.43	0.7
	20	0.00	2.26	48.80	48.95	M	8.39	2.75	0.13	1.58	123.67	1.38	0.6
	25	0.00	6.43	46.17	47.40	M	8.16	2.88	0.09	1.64	106.48	1.47	1.9
	30	0.00	4.63	50.63	44.75	M	8.03	2.82	0.19	1.67	125.77	1.45	
	33	0.00	2.68	48.84	48.48	M	8.28	2.67	0.15	1.72	143.66	1.44	
C-03-BC	0	0.00	2.25	51.61	46.14	M	8.07	2.62	0.22	1.77	132.76	1.37	
	5	0.00	2.56	48.25	49.19	M	8.38	2.81	0.10	1.57	138.24	1.38	0.5
	10	0.00	2.46	51.84	45.70	M	8.09	2.68	0.22	1.68	99.74	1.42	0.8
	15	0.00	1.98	51.16	46.86	M	8.21	2.71	0.19	1.64	120.44	1.42	0.7
	20	0.00	2.57	43.91	53.52	M	8.57	2.74	-0.03	1.60	220.34	1.23	1.0
	25												1.0
	29	0.00	2.30	41.29	56.41	M	8.75	2.75	-0.14	1.63	146.42	1.36	
E-01-BC	0	0.00	57.30	27.72	14.98	mS	4.87	2.86	1.41	3.92	36.50	1.78	
	5	0.00	36.81	36.15	27.04	sM	6.10	3.29	0.74	2.16	44.94	1.75	5.9
	10	0.00	57.67	27.30	15.04	mS	4.81	2.83	1.35	3.79	32.41	1.94	21.0
	13	0.00	70.87	18.14	10.99	mS	4.23	2.64	1.82	5.39	32.91	1.93	

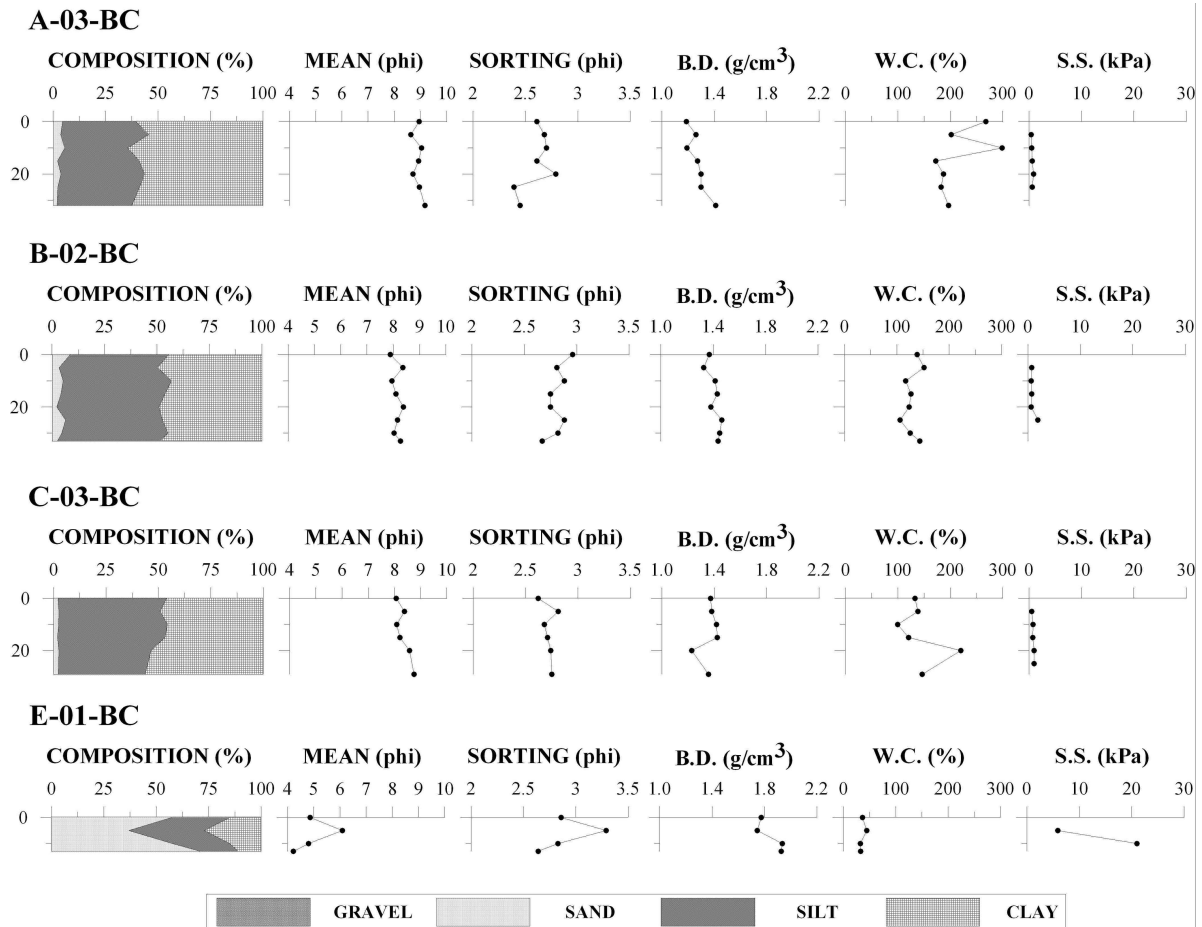


그림 3-5-15. 박스시추퇴적물의 조성, 조직변수 그리고 물리적 특성의 수직적 분포

보이며 분급도 또한 지그재그 분포형태를 보이지만 하부로 갈수록 상대적으로 양호한 수직적 분포양상을 보이고 있다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 각각 106.48~152.10%, 1.33~1.47 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.6~1.9 kPa의 범위로 분포하고 있다. 평균입도가 상대적으로 세립해지는 깊이에서는 상대적으로 양호한 분급을 보이고 전밀도는 감소, 함수율은 증가하는 양상을 보이고 있다 (그림 3-5-15).

### (3) C-03-BC 시추퇴적물

총길이는 29 cm을 나타내며 black, gray 그리고 olive gray 색이 불연속적으로 나타나고 있으며 전체적으로 뺄 퇴적상을 나타내고 있다(그림 3-5-13). 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 1.98~2.57%, 41.29~51.61% 그리고 46.86~56.41%의 범위로 분포하고 있다. 하부로 갈수록 실트함량은 감소하고 점토함량은 증가하는 경향성을 보이고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 8.07~8.75  $\phi$ 와 2.62~2.81  $\phi$ 의 범위로 분포하고 있으며 하부로 갈수록 상대적으로 세립해지고 있으며 분급도 역시 상대적으로 불량한 분급을 나타내고 있다. 함수율, 전밀도 그리고 전단강도는 99.74~220.34%, 1.23~1.42 g/cm<sup>3</sup> 그리고 0.5~1.0 kPa의 범위로 수직분포하고 있다(그림 3-5-15).

#### (4) E-01-BC 시추퇴적물

탄도수로 제방에서 박스시추기를 통해서 얻었으며 총길이는 13 cm을 나타낸다. 0~12 cm에서는 dark olive gray을 나타내고 12~13 cm은 olive 색을 띠고 있다. 전체적으로 무구조를 보이며 패각이 산재되어 나타나고 있다. 퇴적상은 전체적으로 빨질모래(mS)를 나타내고 5 cm에서만 모래질 빨(sM)을 나타낸다. 조성인 모래, 실트 그리고 점토함량은 각각 36.81~70.87%, 18.14~36.15% 그리고 10.99~27.04%의 범위로 수직분포하고 있으며 5 cm에서 상대적으로 모래함량이 감소하고 표층과 하부에서는 다시 증가하고 있으며 실트와 점토함량은 모래함량과 반대양상을 보이고 있다. 조직변수인 평균입도와 분급도는 4.23~6.10  $\phi$ 와 2.64~3.29  $\phi$ 로 5 cm에서 가장 세립하고 표층과 하부로 갈수록 상대적으로 조립해지고 있으며 분급도 역시 5 cm에서 상대적으로 불량한 분급을 보이며 표층과 하부로 갈수록 양호한 분급을 나타내고 있다. 함수율, 전밀도는 각각 32.41~36.50%와 1.75~1.93 g/cm<sup>3</sup>의 범위로 분포하고 전단강도는 5, 10 cm에서 5.9 kPa과 21.0 kPa을 나타내고 있어 다른 박스시추퇴적물보다 상대적으로 조립하고 함수율이 낮으며 전밀도가 높고 전단강도가 크다(그림 3-5-15).

### 3.3. 해저퇴적층의 전단강도 특성

해저퇴적층의 단단한 정도를 알기 위한 조사방법으로 시추퇴적물 채취 후 실험실 분석에 의해 구하는 방법도 있으나, 이러한 방법은 시추퇴적물 채취 시 자연 상태의 해저퇴적층이 파괴가 이루어지므로 본 조사에서는 보다 정확한 해저퇴적층의 전단강도를 얻기 위하여 선상에서 직접 해저면에 퇴적층의 전단강도를 측정할 수 있는 장비를 투하하여 그 값을 측정하였다. 측정된 값 중 퇴적층의 단단함을 유추할 수 있는 값은 측정 장비의 투과 깊이이다. 투과깊이는 해수 중에서 일정한 속도로 투하되는 측정 장비는 해저면을 만나 해저층으로 박히면서 퇴적물의 저항에 의하여 그 속도를 유지하지 못하고 일정깊이에서 멈추게 되며, 이때 측정된 장비의 투과깊이는 해저면의 단단함을 특징적으로 나타낸다. 즉 해저퇴적물이 단단할수록 측정 장비의 투과깊이는 낮게 나타나며 해수를 많이 포함한 부드러운 빨 퇴적물의 경우 투과깊이가 높게 나타나게 된다.

조사정점은 총 28개로 발전소 예정지 주변해역에서 23개 정점 그리고 시화호 북쪽의 수로를 따라서 5개 지점에서 퇴적층의 전단 강도를 측정하였다(그림 3-5-2). 해저퇴적층의 단단한 정도를 가장 특징적으로 나타내는 투과깊이는 0.19~1.57 m의 범위로 나타났다(표 3-5-8). 지역적인 특징으로는 인위적인 공사로 인하여 웅덩이 형태를 보이는 A-1, A-3 및 B-2 정점(그림 3-5-2)에서 투과깊이가 1 m 이상으로 나타났으며(그림 3-5-16a) 가장 낮은 지역은 사구형태의 정상부에 위치한 D-3, D-4 및 E-1정점에서 0.2 m로 가장 낮게 나타났다. 발전소 예정지 주변해역의 전체적인 퇴적층의 투과깊이는 방조제에 인접할수록 그리고 침식형태의 지형보다 해저면이 평탄한 퇴적형태의 지역(그림 3-5-7 참조)인 남서지역에서 투과깊이가 높게 나타났으며 침식형태를 보이는 조사해역 북동지역과 사구의 정상부 지역에서는 투과깊이가 낮게 나타났다(그림 3-5-16b).

Sting MK II 퇴적층전단강도측정기에서 측정되는 값은 해저퇴적층의 깊이별 전단강도이며 각 정점에서 측정된 결과는 다음과 같다. 정점 A-03은 방조제에 인접한 인위적인 해저웅덩이 형태의 지역에 위치하고 있으며 깊이별 전단 강도 특성은 표층에서 6 kPa로 가장 낮게 나타나나 깊이가 증가하며 점차적으로 증가하여 깊이 1.5 m에서 전단강도는 약 30 kPa로 증가한다(그림 3-5-17a). A-03정점에서 채취한 시추퇴적물에서 측정된 전단강도 역시 깊이가 증가함에 따라 0.4 kPa에서 4.2 kPa로 약간의 증가형태를 보이고 있으며(표 3-5-6) 이러한 경향은 정점 A-03지역은



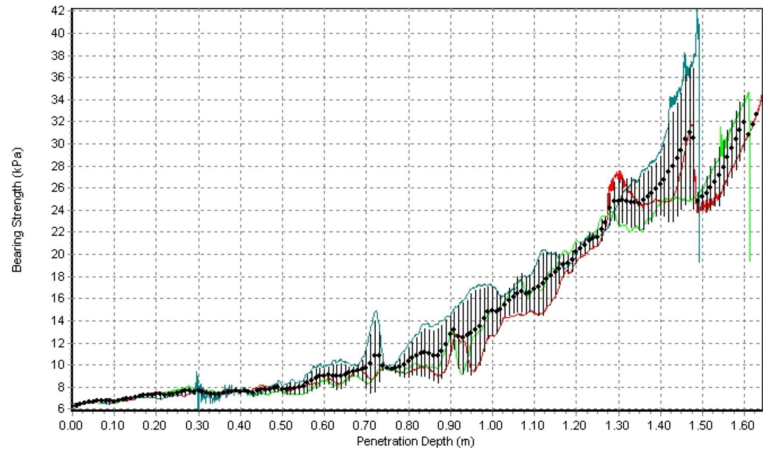
표 3-5-8. 퇴적층 전단강도 측정 장비인 Sting MK II 장비의 퇴적층 투과깊이

정점	투과깊이 (m)	정점	투과깊이 (m)
A-1	1.510	D-1	0.416
A-2	1.061	D-2	0.623
A-3	1.572	D-3	0.190
A-4	0.539	D-4	0.202
A-5	0.520	E-1	0.180
B-1	0.958	E-2	0.294
B-2	1.423	E-3	0.751
B-3	0.543	E-4	0.601
B-4	0.394	E-5	0.485
B-5	0.469	CH-1	0.421
C-1	0.795	CH-2	0.354
C-2	0.772	CH-3	0.448
C-3	0.627	CH-4	0.761
C-4	0.472	CH-5	0.869

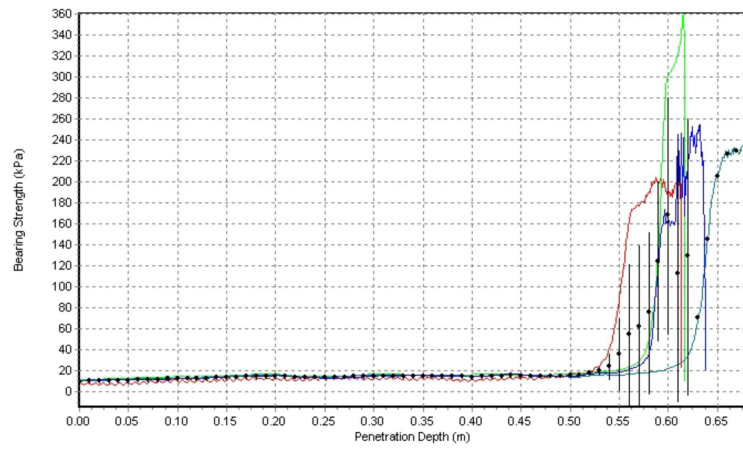
해저웅덩이의 중앙에 위치함으로써 깊이 1.5m의 해저퇴적층의 침식현상과 같은 급격한 퇴적환경의 변화가 없이 지속적으로 퇴적물이 공급되어 쌓인 것을 의미한다. 정점 C-03은 조사지역의 중앙에 위치하는 곳으로 깊이별 전단강도 특성은 표층에서 깊이 약 50 cm 까지 약 6-20 kPa의 범위로 큰 변화는 없으나 깊이 50 cm 이후에 전단강도는 급격히 증가하여 최대 200 kPa의 값을 보인다(그림 3-5-17b). 이러한 경향은 시추퇴적물에서에서 측정된 전단강도 역시 깊이 50 cm에서 급격한 증가가 나타나고 있으며 시추퇴적층의 분석결과 하부 50 cm 의 깊이에서는 단단한 빨층으로 구성되어 있어 나타난 결과로 확인되었다. 정점 E-01은 사구의 정상부에 위치하고 있으며 조사해역 중 가장 모래함량이 높은 조립질퇴적물로 구성되어 있다. 깊이별 전단강도 특성은 표층에서는 약 5 kPa로 낮으나 깊이가 증가하며 전단강도 값은 급격히 증가하기 시작하여 깊이 약 20 cm에서 약 200 kPa의 값을 보인다(그림 3-5-17c). 이러한 경향은 E-03지역의 퇴적층이 모래함량이 높은 조립질퇴적물로 구성되어 있어 깊이 증가에 따른 퇴적물의 전단강도 증가 현상이 빨 퇴적물보다 뚜렷하게 나타났음을 의미한다.

시화호의 북쪽에 수로에 위치한 정점에서의 퇴적층 투과깊이는 서측에 위치한 정점 CH-01, CH-02 및 CH-03에서는 약 0.4 m로 일정한 값을 보이나 점차 동쪽의 내륙하천지역에 위치한 정점 CH-04 및 CH-05로 가며 투과깊이가 증가한다(표 3-5-8). 이러한 현상은 동쪽에 정점 CH-04 및 CH-05 지역은 하천의 유입으로 인하여 퇴적물의 유입이 활발하며 퇴적층 역시 부드러운 빨 퇴적층으로 구성되어 있어 나타난 결과로 보인다. 수로에 위치한 정점에서의 깊이별 전단강도

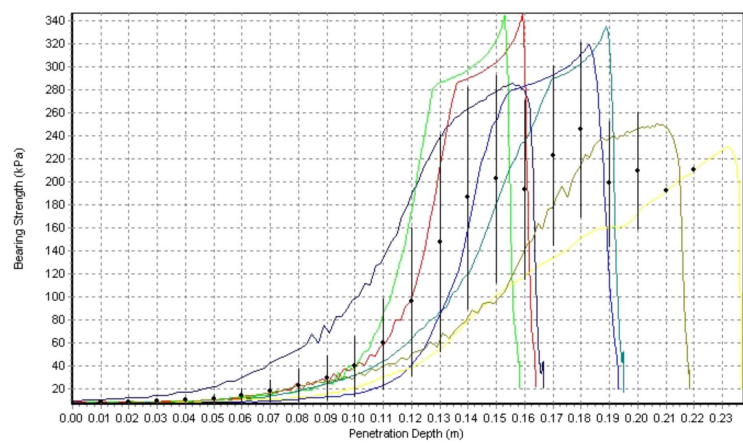




(a)



(b)



(c)

그림 3-5-17. 정점 A-03(a), C-01(b) 및 E-01(c)의 해저퇴적층의 깊이별 전단강도 분포(정점번호는 그림 3-5-2 참조)

분포는 하천에 인접한 정점 CH-04와 CH-05 지역에서는 약 70 cm 그리고 서측 CH-01, CH-02 및 CH-03 지역에서는 깊이 약 40 cm에서 전단강도의 증가가 나타나는 것으로 보아 상부퇴적층 약 40-70 cm의 해저퇴적층은 부드러운 빨 퇴적층으로 구성되어 있으나 그 하부퇴적물은 단단한 빨층 또는 빨과 모래의 혼합층으로 구성되어 있어 전단강도의 증가현상이 나타난 것으로 사료 된다(그림 3-5-18).

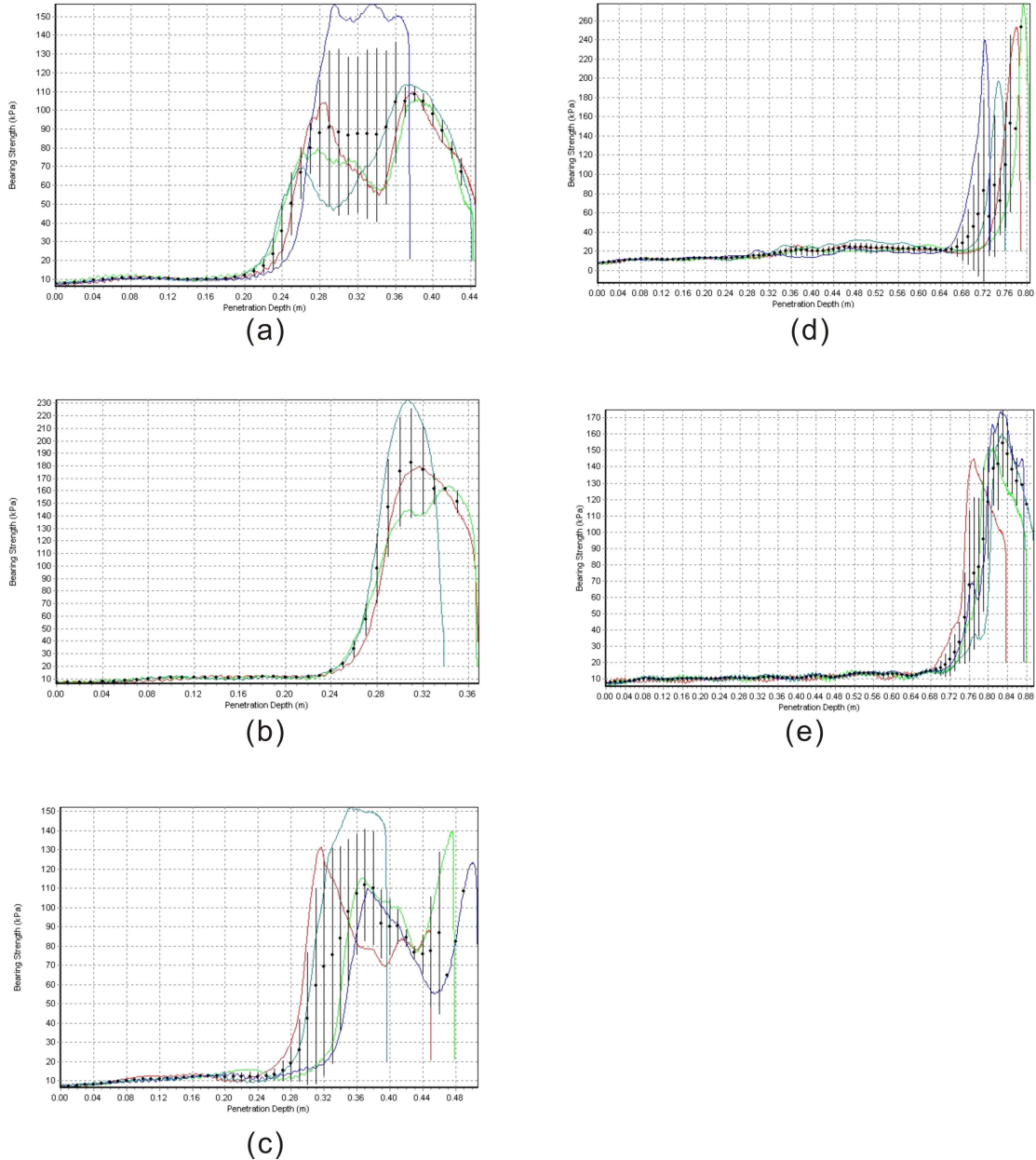


그림 3-5-18. 시화호 북쪽 수로에 위치한 5개 정점(a: CH-01, b: CH-02, c: CH-03, d: CH-04, e: CH-05)에서의 해저퇴적층의 깊이별 전단강도 분포(정점번호는 그림 3-5-2 참조)

## 4. 결론 및 요약

2009년 조력발전소 건설지역 시화호 내측 조사지역을 다중빔음향측심기를 이용하여 조사한 결과, 수심은 2.43~21.45 m범위를 보이고 준설에 의해 인위적으로 형성된 2 개의 웅덩이, 흐름에 의해 형성된 침식지형 및 small과 medium subaqueous dune 그리고 인공구조물인 방조제 근처의 파이프와 철타이 존재하고 있다.

조사지역의 표층퇴적물은 대부분 빨 퇴적물이 존재하며 조사지역 방조제 근처와 남쪽의 탄도수로에서 약자갈빨질 모래가 분포하고 탄도수로 제방과 북서쪽으로 이어지는 지역에서 빨질모래가 분포하고 있다. 또한 시추퇴적물 및 박스 시추퇴적물의 결과를 보면, E-01정점(탄도수로제방)을 제외하고 다른 정점(A-03, B-02, C-03)에서 표층부터 0.5~1.0 m 깊이의 퇴적물은 매우 부드러운 빨층으로 구성되어 있으며 그 하부는 단단한 모래층 또는 빨층으로 구분되어지고 있다. 이것은 시화방조제가 건설되기 전에 조간대 퇴적물 위에 방조제가 건설된 후 안정화된 환경에서 퇴적된 빨층으로 보인다.

연구결과 시화방조제 건설이후 시화호 내측은 퇴적현상이 우세하게 진행되고 있으며 기존자료 분석결과 1996년부터 2005년까지의 순수 퇴적률은 약 3.8 cm/yr로 나타났으나 이들 자료는 단빔음향측심기에 의한 분석결과로 오차범위가 클 것으로 판단되나 시화호에서 현재까지 조사된 퇴적률에 대한 결과로는 가장 과학적인 조사 자료로 나타났다. 퇴적물 분포 역시 시화방조제 건설로 인한 해수운동에너지의 감소로 인하여 대부분 지역에서 세립화가 진행된 것으로 나타났으며 해저퇴적층의 전단강도측정결과 대부분 지역에서 깊이 0.5~1.0 m의 퇴적층은 부드러운 빨로 구성되어 있으며 이들 퇴적층은 시화방조제 건설 이후에 쌓인 퇴적층으로 보이며 인공적인 공사로 인하여 형성된 방조제 인접한 해역의 해저웅덩이에서는 그 두께가 1.5 m로 깊어진다. 또한 유동성 저질토의 분포 및 특성을 조사하기 위하여 2009년 11월에 이중주파수 수심측정기에 의한 측선조사, 현장에서의 퇴적층의 전단강도 측정 및 해저면 수중촬영을 실시하였으나 유동성 저질토는 조사기간 동안 형성되지 않은 것으로 나타났다. 또한 본 연구 사업에서 확보된 격자간격 50 cm 이하의 정밀도를 가지는 조사결과는 2010년 조력발전소 가동에 의한 침·퇴적량 변화산정의 측정자료 이용될 것이며 퇴적물이동모델의 입력 및 검증자료로 활용될 것이다.

# 제 6 절 시화호 수산물 보건 위해성 평가

## 1. 연구개요

최근 우리나라는 연안역 주변해역에서 급속한 산업화와 도시화가 진행되면서 연안역의 부영양화 및 상습적조 발생 등 다양한 환경악화를 경험하고 있을 뿐만 아니라 유용한 생물자원의 서식지 및 산란장 등이 파괴되어 연안역의 생물자원이 급속히 감소하고 있는 실정이다. 또한, 하구역에서 댐을 건설하여 형성된 담수호의 오염과 해류의 변화 등으로 인한 해양환경에 미치는 악영향이 사회적인 문제로 대두되어 왔다.

이중 시화호의 경우 국토확장사업으로서 수도권인 인구분산 및 공업용지의 확보에 기여하고 농지 및 담수호를 조성하여 수자원을 확보함으로써 도서지역을 균형개발 하는 목적으로 완성되었다 (한국수자원공사·농어촌진흥공사, 1995). 그러나 외부에서 유입되어지는 담수의 유입량은 매우 작은 반면에 시화호와 인접한 안산시의 생활하수 및 반월공단 등으로부터 유입되어지는 다량의 산업폐수 등은 시화호가 폐쇄적인 만으로 되어 순환이 원활하지 못함으로 인하여 대부분의 오염물질들은 시화호 내측의 생지화학적 여러 가지 과정에 의해서 쉽게 저층으로 침강 퇴적되면서 저층이 급속히 환원환경으로 변화하여 빈산소수괴를 형성 수자원으로서 가치를 상실하게 됨에 따라 담수화계획을 포기하고 해수 유통을 하기에 이르렀다.

이와 같이 해역으로 유입되어진 각종 유해물질들은 시화호에 서식하는 생물체내 직 간접적으로 축적되어 이들 생물을 섭취할 경우 다양한 국민 보건에 문제를 야기할 수 있을 것이다. 이러한 문제점들을 미리 파악하고 현재 어로행위가 금지되어 있는 시화호 수산물중 유용 수산물의 체내 세균류와 중금속 물질의 축적정도를 파악하여 수산물의 유통가능성과 어획허용을 위한 정책자료로 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사 및 분석방법

#### 2.1.1. 시료채취 및 보존방법

##### (1) 정착성 부착생물

정착성 부착생물조사를 위하여 2009년 7월에 시화호 내해에서 5개 정점과 외해역 3개 정점을 선정하여 잠수에 의해 홍합과 굴을 채취하였다. 시료 채취 후 즉시 현장해수로서 이들 생물에 부착되어진 해조류, 부유물질, 따개비 및 퇴적물 등의 이물질 들을 제거하고 미리 여과된 현장해수에 해감을 실시하였다. 조사 종료 후 해감 진행 상태로 시료를 연구실로 옮겨 각 장 및 각고, 무게 등을 측정하기 위한 시료, 중금속 및 병원성 생물 시료 분석을 위한 시료로 구분하였으며, 병원성 생물시료의 경우 바로 실험에 사용하였다. 중금속 분석을 위한 시료는 현장 여과해수로 12~18시간 정도 해감을 실시하였다.





■ 어류 및 갑각류 조사 정점 ● 정착성 패류 조사정점

그림 3-6-1. 시화호 주변해역 정착성 패류 및 어류 조사 정점

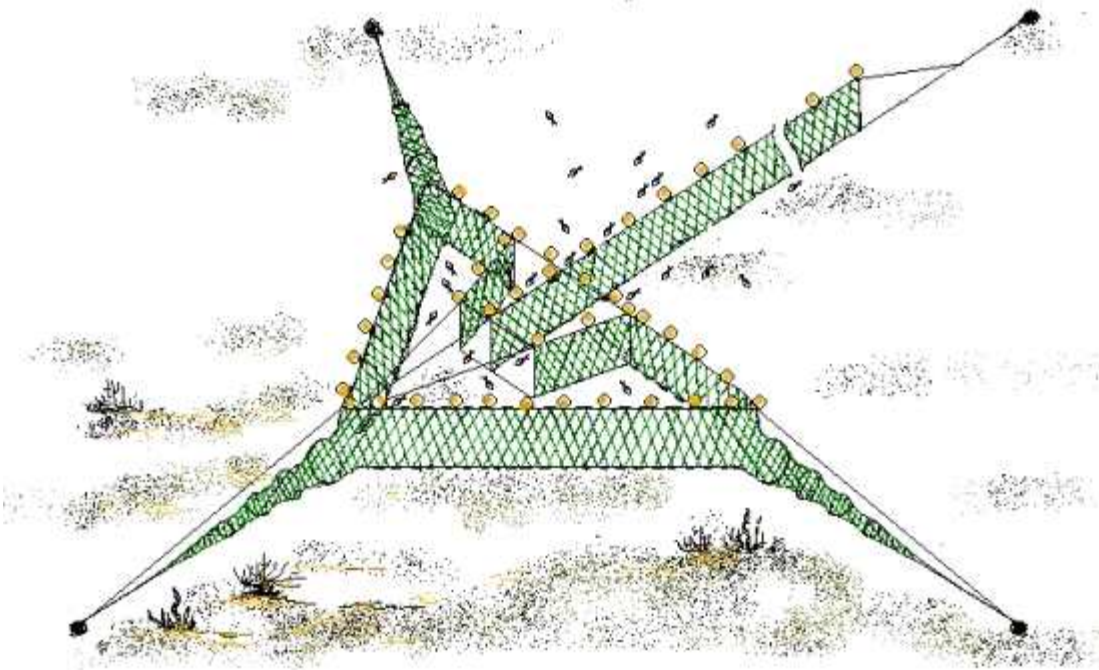


그림 3-6-2. 어류 어획을 위한 삼각망 모식도



그림 3-6-3 삼각망을 통한 어류 어획장면

## (2) 어류

어류의 체내 병원성 생물과 중금속 분석을 위하여 2009년 7월에 시화호 내측 3개 정점과 외측 1개 정점에서 삼각망 설치하고(그림 3-6-2 및 3-6-3) 설치 후 2일이 경과한 후에 어획된 수산물을 채취하여 선상에서 어종별로 분류한 다음, 어체의 체장 및 무게 등의 물리적 조사 시료, 병원성 세균 및 중금속 분석을 위한 시료로 구분하였으며, 병원성 세균 분석을 위한 시료는 즉시 실험에 사용하였고, 중금속 분석을 위한 시료는 미리 세척된 지퍼백에 담아 실험 직전까지 동결 보관하였다.

### 2.1.2. 분석방법

#### (1) 일반세균수

일반세균수는 식품공전에 기재되어 있는 건조필름법을 사용하여 실험하였다. 식품공전에 기재되어 있는 1) 일반사항 (1) 검체의 채취 및 취급 ②의 시험용액 1 mL와 각 단계 희석액 1 mL를 세균수 건조필름배지(배지 53)에 접종한 후 잘 흡수 시키고  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 24~48시간 배양한 후 생성된 붉은 집락수를 계산하고 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 일반세균수로 한다.

#### (2) 대장균군

대장균군이라 함은 Gram음성, 무아포성 간균으로서 유당을 분해하여 가스를 발생하는 모든 호기성 또는 통성 혐기성세균을 말한다. 대장균군 시험에는 대장균군의 유무를 검사하는 정성시험과 대장균군의 수를 산출하는 정량시험이 있다. 본 실험의 대장균군은 정량시험법을



사용하였으며, 식품공전상에 기재되어 있는 건조필름법을 사용하여 실험하였다. 실험방법은 시험용액 1 mL와 각 단계 희석액 1 mL를 대장균균 건조필름배지(배지 54)에 접종한 후 잘 흡수 시키고, 35±1℃에서 24±2 시간 배양한 후 생성된 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고, 그 평균집락수에 희석배수를 곱하여 대장균균 수를 산출한다.

### (3) 대장균

식품의 종류에 따라 대장균의 검출이 대장균균보다 정확한 오염지표가 되는 경우가 있다. 대장균의 시험법에는 최확수법에 의한 정량시험과 일정한 한도까지 균수를 정성으로 측정하는 한도시험법이 있다. 본 실험에서는 대장균에 대한 정량시험을 하였으며, 최확수법이 아닌 식품공전상 기재되어있는 건조필름법을 사용하여 실험하였다. 시험용액 1 mL와 각 단계 희석액 1 mL를 대장균 건조필름배지(배지 55)에 접종한 후 잘 흡수시키고, 35±1℃에서 24~48시간 배양한 후 생성된 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성하고 있는 집락수를 계산하고 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 대장균수를 산출한다.

### (4) 분변계 대장균

식품공전상에 기재되어 있는 최확수법으로 실험하였다. 시험용액 10 mL, 1 mL 및 0.1 mL를 각각 5개 또는 3개의 EC 배지(배지 10) 발효관에 접종한 다음 44.5±0.2℃항온수조에서 24±2시간 배양한다. 다만 시험용액 10 mL를 첨가할 경우 배농도의 배지 10 mL를 이용한다. 그때에 가스발생을 인정한 발효관을 분변계대장균(E. coli) 양성이라고 판정한다. 이 양성관으로부터 최확수표에 따라 검체 100 g(또는 100 mL)중의 분변계대장균수를 산출한다.

### (5) 중금속

이들 습시료 약 5~30g 정도를 정확하게 무게를 측정하여 microwave-oven open vessel에 담아 ultra급 진한질산 5ml, 과염소산 1ml 및 과산화수소 1ml를 넣어 하룻밤 동안 class 100의 laminar clean booth에서 방치한 후 microwave digestion system (Milestone Ltd. Model Ethos Plus)으로서 200watt 10분, 400watt 20분간 분해시킨 후 1N HNO<sub>3</sub>용액을 사용하여 100ml로 정용하였다. 또한, 각 각의 시료는 3반복 이상 준비 하였다.

시료중 중금속을 분석하기 위하여 구리, 납, 카드뮴, 크롬, 아연은 유도결합플라즈마(ICP-MS, PerkinElmer Co., Model Elan 6900)로 분석하였으며, 수은은 금 아말감수은분석기(Milestone ltd., Model DMA 80)로 분석하였으며, 분석의 정밀도, 정확도 등을 파악하기 위하여 어류 분석시 표준물질 DORM-3(NRC), 진주담치 및 굴 분석시는 SRM-2976(NIST)를 시료와 동일한 과정을 거쳐 분석하였으며, 표준물질분석결과를 표 3-6-1과 표 3-6-2에 나타냈다.

표 3-6-1. Dogfish 근육(muscle)과 간(liver)의 표준물질인 DORM-3(NRC)를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과 (단위 : mg/kg.dry)

원소	검증된 값 (Certified Value)	분석된 농도 (Mean±SD)	회수율 (%)	분석된 수 (N)
비소(As)	6.88±0.30	7.01±0.50	101.9± 7.1	21
카드뮴(Cd)	0.290±0.020	0.270±0.025	93.1± 9.3	21
구리(Cu)	15.5±0.63	15.1±0.71	97.4± 4.7	21
철(Fe)	347±20	356±32	102.6± 9.0	21
납(Pb)	0.395±0.050	0.346±0.065	87.6±18.8	21
셀레늄(Se)	3.3	3.8±0.5	115.2±13.2	21
아연(Zn)	51.3±3.1	49.6±4.1	96.7± 8.3	21
크롬(Cr)	0.04~0.07	0.04~0.09		21
니켈(Ni)	1.28±0.24	1.39±0.28	108.6±20.1	21
망간(Mn)	4.6	5.1±	110.9±11.0	21

표 3-6-2. Mussel의 표준물질인 SRM-2976(NIST)를 이용한 중금속 분석 정확도 검증결과 (단위 : mg/kg.dry)

원소	검증된 값 (Certified Value)	분석된 농도 (Mean±SD)	회수율 (%)	분석된 수 (N)
비소(As)	13.3±1.8	12.8±2.1	96.2±16.4	15
카드뮴(Cd)	0.82±0.16	0.78±0.19	95.1±24.4	15
구리(Cu)	4.02±0.33	4.14±0.42	103.0±10.1	15
철(Fe)	171.0±4.9	183.1±6.2	107.1± 3.4	15
납(Pb)	1.19±0.18	0.98±0.21	82.4±21.4	15
셀레늄(Se)	1.80±0.15	1.70±0.25	94.4±14.7	15
아연(Zn)	137±13	143±17	104.4± 1.2	15
크롬(Cr)	0.50±0.16	0.45±0.18	90.0±40.0	15
니켈(Ni)	0.93±0.12	1.13±0.22	121.5±19.5	15
망간(Mn)	33±2	35±4	106.1±11.4	15

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 진주담치(*Mytilus edulis*)의 물리적 특성

위생세균 및 미량금속의 농도를 파악하기 위해 시화호 및 시화호 외해역에서 채취된 진주담치의 물리적 특성을 표 3-6-3에 나타내었으며, 시료로 사용된 진주담치의 각 정점에서 평균 각장, 각고, 각폭 및 무게 범위는 각각 58.5~85.6mm, 30.4~44.3mm, 22.8~33.6mm 및 19.6~58.8g로써 각장, 각고, 각폭 및 중량의 경우 시화호 정점 3에서 최대, 시화호 외해역 2에서 최소를 보였다(그림 3-6-4 및 3-6-5).

표 3-6-3. 시화호 내·외측해역에서 채취된 진주담치의 각장, 각고, 각폭 및 무게의 범위 및 평균 값

해역	조사정점	구분	각장(mm)	각고(mm)	각폭(mm)	무게(g)	시료수(n)
시화호	1	평균	59.5	33.0	24.6	20.9	50
		편차	5.5	3.0	3.2	6.0	
		최소	49.0	26.6	18.1	9.6	
		최대	70.3	40.4	34.6	36.7	
	2	평균	70.3	38.2	27.7	34.3	50
		편차	9.6	3.9	4.5	12.0	
		최소	48.0	28.6	16.5	9.5	
		최대	88.3	47.5	35.8	58.9	
	3	평균	85.6	44.3	33.6	58.8	50
		편차	12.9	5.1	5.3	22.3	
		최소	60.6	35.2	24.5	23.6	
		최대	111.4	56.0	45.1	114.3	
	4	평균	77.7	40.7	30.7	44.0	50
		편차	9.8	4.5	4.8	17.2	
		최소	61.5	32.2	21.3	20.8	
최대		103.9	52.1	41.6	109.8		
5	평균	71.0	42.1	27.7	38.0	50	
	편차	9.0	4.6	3.9	11.8		
	최소	47.2	31.3	17.0	12.0		
	최대	85.8	51.8	35.6	60.9		
시화호 외해역	1	평균	61.2	34.1	24.6	24.8	50
		편차	8.9	4.4	4.2	12.9	
		최소	49.4	25.9	19.1	13.2	
		최대	98.2	50.2	39.0	86.0	
	2	평균	58.5	30.4	22.8	19.6	50
		편차	8.0	3.2	3.9	8.6	
		최소	41.1	23.4	16.1	7.4	
		최대	86.6	40.5	34.1	45.7	
	3	평균	63.0	33.5	24.6	23.0	50
		편차	8.2	4.2	3.2	11.3	
		최소	48.5	26.0	19.6	7.7	
		최대	89.6	47.8	34.3	70.9	

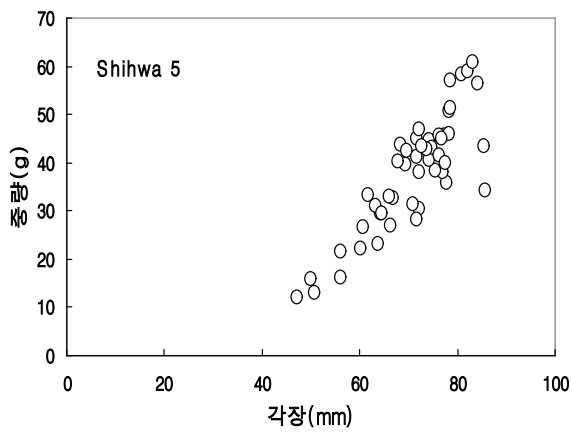
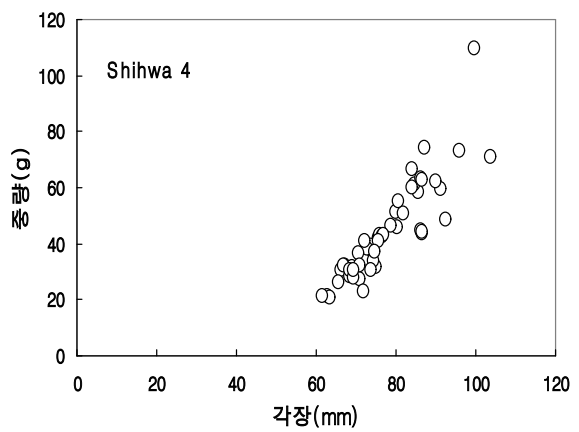
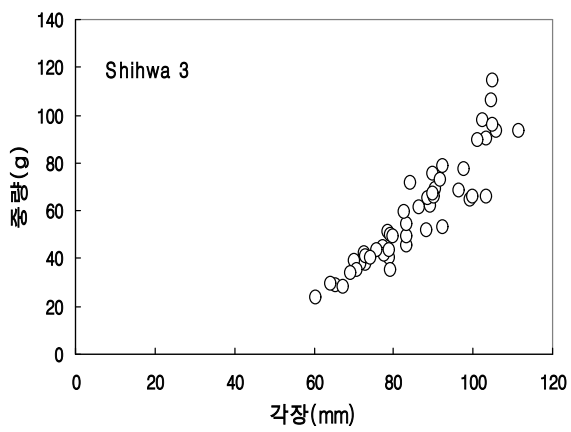
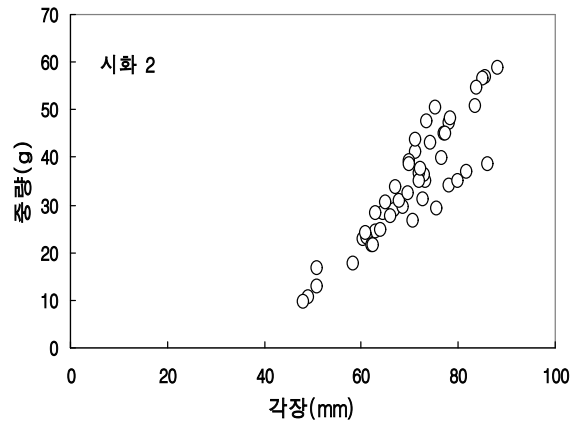
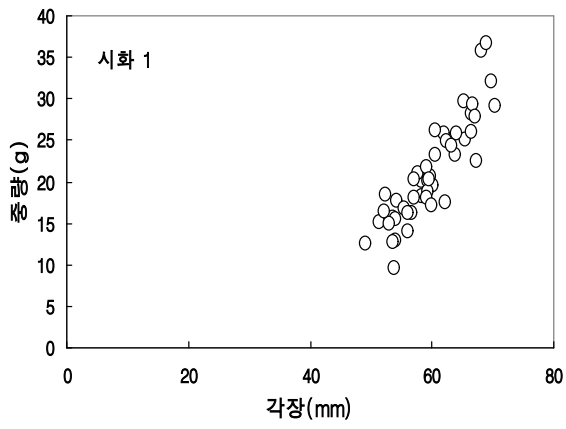


그림 3-6-4. 시화호에서 채취된 진주담치의 각장과 무게

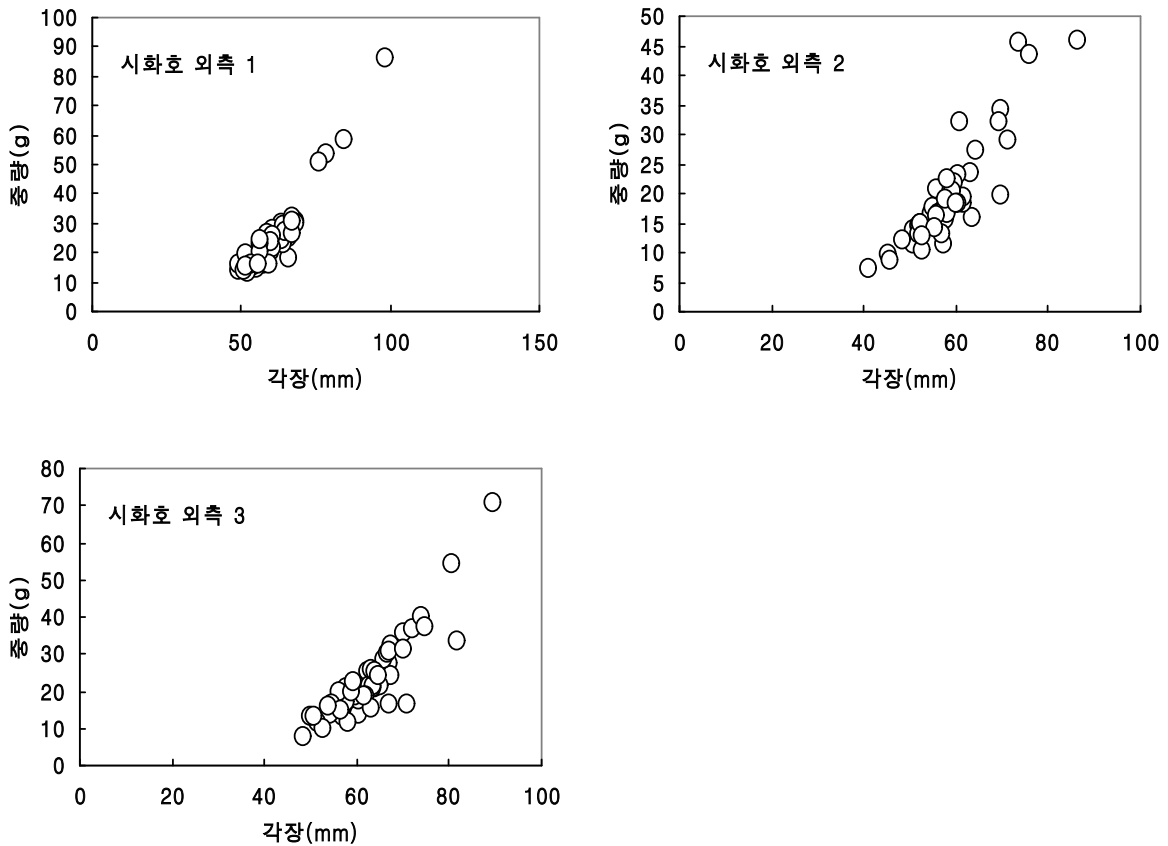


그림 3-6-5. 시화호 외측해역에서 채취된 진주담치의 각장 및 무게

## 3.2. 위생세균조사

### 3.2.1. 패류

#### (1) 위생지표세균

시화호 및 시화호 외측 연안역에서 서식하는 진주담치, 굴 및 소라 체내에 위생지표 세균의 조사결과를 표 3-6-4, 3-6-5 및 3-6-6에 나타내었다. 진주담치내 일반세균수의 경우 시화호 내 측에서 정점 4에서 190,000/g으로 최대를 보였고, 시화호 외측 3에서 12,000/g으로 최소를 보였다. 대장균군, 대장균 및 분변계대장균의 경우 <180MPN/100g이하였다. 굴체내 일반세균수의 경우 시화호 정점 3에서 14,000,000/g으로 최대를 보였고, 시화호 외측 정점 2에서 32,000/g으로 최소를 보였다. 대장균군, 대장균 및 분변계대장균의 경우 <180MPN/100g이하였다. 피빨고둥 체내 일반세균수의 경우 시화호 정점 4 및 5에서 각각 100,000/g 및 40,000g을 보였다.

표 3-6-4. 진주담치 체내 위생세균조사 결과

조사해역	조사정점	일반세균수 (/g)	대장균군 (MPN/100g)	대장균 (MPN/100g)	분변계대장균 (MPN/100g)
시화호	1	160,000	0	0	<180
시화호	2	110,000	0	0	<180
시화호	3	32,000	0	0	<180
시화호	4	190,000	0	0	<180
시화호	5	110,000	0	0	<180
시화호 외측	1	40,000	0	0	<180
시화호 외측	2	30,000	20	20	1,100
시화호 외측	3	12,000	30	0	<180

표 3-6-5. 굴 체내 위생세균 조사결과

조사해역	조사정점	일반세균수 (/g)	대장균군 (MPN/100g)	대장균 (MPN/100g)	분변계대장균 (MPN/100g)
시화호	1	130,000	0	0	<180
시화호	2	1,100,000	0	0	<180
시화호	3	14,000,000	0	0	<180
시화호	4	290,000	0	0	<180
시화호	5	86,000	0	0	<180
시화호 외측	2	32,000	0	0	<180

표 3-6-6. 피빨고등 체내 위생세균조사 결과

조사해역	조사정점	일반세균수 (/g)	대장균군 (MPN/100g)	대장균 (MPN/100g)	분변계대장균 (MPN/100g)
시화호	4	100,000	0	0	<180
시화호	5	40,000	0	0	<180

전체 16개 시료 중에서 우리나라 수산물 생식용 잔류허용기준 100,000/g을 8개 정점에서 상회하였으며, 그 외 대장균, 대장균군 및 분변계대장균의 잔류허용 기준 230 MPN/100g을 초과하는 시료는 없었다.

이와 같은 값은 자란만에서 서식하는 양식굴 체내의 대장균군 및 생균수의 경우 각각 범위 <18~16,000 MPN/100g 및 140~7,500 MPN/100g에 비해 다소 높은 함량을 보인다(최 등,

1998). Okuzumi et al. (1979)은 시판 굴에서 17,000~240,000으로 보고 하였고, Sugita et al. (1980)는 연안 이매패의 세균상 조사에서 세균은 서식해역 해수의 영향을 많이 받는다고 보고 하였다. 따라서 추후 이들 이매패류의 위생세균 조사시 반드시 서식해역의 해수내 세균조사도 실시되어야만 할 것으로 보여 진다.

표 3-6-7. 어류 근육 내 위생세균 조사결과

조사해역	어종	부위	일반세균수 /g	대장균군 /g	대장균 /g	분변계 대장균군 MPN/100g
시화호	망둥어 송어 조피볼락 농어 전어	근육	4,953	0	0	<18
			920	0	0	<18
			1,700	0	0	<18
			2,400	0	0	<18
			2,500	0	0	<18
	망둥어 송어 조피볼락 농어 전어	내장	31,367	5	0	<18
			2,500	33	0	<18
			2,700	0	0	<18
			7,900	0	0	<18
			2,700	0	0	<18
시화호 외해역	광어 우럭 꼼치 농어 송어 전어	근육	3,200	0	0	<18
			29,000	0	0	<18
			14,000	0	0	<18
			18,000	0	0	<18
			2,200	0	0	<18
	광어 우럭 꼼치 농어 송어 전어	내장	2,700	0	0	<18
			7,400	0	0	<18
			85,000	0	0	<18
			37,000	0	0	<18
			34,000	0	0	<18
			4,600	0	0	<18
			1,700	0	0	<18

### 3.1.2. 어류

시화호 내·외측에서 어획된 어류 근육 내 위생세균의 조사결과를 표 3-6-7에 나타내었다. 시화호 내·외측 어류 및 갑각류의 위생세균 중 대장균, 대장균군 및 분변계 대장균은 검출되지 않았으며, 일반세균수는 920~85,000/g으로 한국, 미국, Eu, 일본, 캐나다 및 호주의 수산물 중 대장균, 분변계대장균, 대장균군의 잔류허용기준(<230MPN/100g) 이하의 양호한 농도를 보였으며, 이들 나라의 생균수 잔류허용기준(<100,000/g) 이하의 양호한 농도 함량을 보였다.

대장균은 식품뿐만 아니라 수산물 생산해역의 분변오염의 지표로 활용되고 있다(US FDA/CFSAN & ISSC, 2003; 손 등, 2005) 그런데 Hanes and Fragala (1967)는 대장균군이 해수에서 0.8일 생존하는데 비해서 장구균이 대장균보다 위생지표 세균으로 더욱 적절하다고 제안하였다. 또한, 대장균과는 큰 상관관계를 나타내지 않으나 장구균과는 밀접한 상관관계를 나타내어 미국 EPA(Environmental protection agency)에서는 해양수질 조사를 위한 지표로써

유일하게 장구균을 추천하였다(US EPA, 1986). 패류에서 언급한 바와 같이 시화호 내에서 서식하는 수산물 안정성 평가를 위해서는 해수뿐만 아니라 수산생물 체내의 장구균의 조사도 수행되어야만 할 것으로 생각되어진다.

### 3.3. 중금속

#### 3.3.1. 진주담치(*Mytilus edulis*)

시화호 및 시화호 외측에 서식하는 패류 중 진주담치 내 미량금속 함량을 그림 3-6-6에 나타내었으며, 각 성분의 진주담치 체내 비소는 시화호에서 평균  $1.24 \pm 0.29$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서  $1.37 \pm 0.17$  mg/kg.wet로써 전 조사정점중 시화호의 정점 4에서 최대 농도를 보였다. 카드뮴은 시화호에서 평균  $0.14 \pm 0.04$  mg/kg.wet, 외해역에서  $0.24 \pm 0.02$  mg/kg.wet로써 전 조사정점 중 시화호 외해역 정점 2에서 최대농도를 보였으며, 시화호에 비해 외해역에서 평균농도가 더 높았다. 크롬은 시화호에서 평균  $0.217 \pm 0.085$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $0.203 \pm 0.024$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 4에서 최대 농도를 보였다. 구리는 시화호에서 평균  $1.00 \pm 0.41$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $1.23 \pm 0.10$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 4에서 최대 농도를 보였다. 철은 시화호에서 평균  $27.7 \pm 14.4$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $89.6 \pm 26.8$  mg/kg.wet로써 시화호 외해역 정점 1에서 최대 농도를 보였다. 수은은 시화호에서 평균  $3.21 \pm 0.83$   $\mu$ g/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $6.27 \pm 1.48$  mg/kg.wet로써 시화호 외해역 정점 1에서 최대 농도를 보였다. 망간은 시화호에서 평균  $29.4 \pm 20.3$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $29.8 \pm 12.7$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 1에서 최대 농도를 보였다. 니켈은 시화호에서 평균  $0.425 \pm 0.266$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $0.469 \pm 0.154$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 1에서 최대 농도를 보였다. 납은 시화호에서 평균  $0.133 \pm 0.055$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $0.205 \pm 0.015$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 1에서 최대 농도를 보였다. 셀렌은 시화호에서 평균  $0.413 \pm 0.093$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $0.674 \pm 0.063$  mg/kg.wet로써 시화호 외해역 정점 2에서 최대 농도를 보였다. 아연은 시화호에서 평균  $13.5 \pm 4.9$  mg/kg.wet, 시화호 외해역에서 평균  $18.7 \pm 3.0$  mg/kg.wet로써 시화호 정점 1과 외해역 정점 2에서 최대 농도를 보였다. 시화호 내·외측 평균농도는 카드뮴, 철, 납, 셀렌 및 아연의 경우 시화호에 비해 외해역에서 더 높은 농도를 보였고, 구리의 경우 외해역에 비해 시화호에서 높은 농도를 보였다. 그 외 성분들은 시화호 내외측에서 뚜렷한 평균 농도 차이를 보이지 않았다. 특히 크롬과 수은의 경우 2007년부터 2009년까지 평균농도가 점차 감소하였고, 망간의 경우 점차 증가하는 경향을 보였다. 그 외 성분들은 조사 연도에 따른 뚜렷한 농도차를 보이지 않았다.

우리나라 굴과 홍합 내 중금속의 잔류허용기준은 수은 0.5mg/kg.wet, 납과 카드뮴은 2mg/kg.wet으로 설정하고 있고, 미국의 FDA(Food and Drug Administration)에서 패류에 대하여 카드뮴 4mg/kg.wet, 납 1.7mg/kg.wet, 크롬 13mg/kg.wet을 각각 권고치로 설정하고 있는 값에 비하여 매우 낮은 농도였다. 또한, 조사 성분 중 비소의 경우 0.90~1.65 mg/kg.wet 농도범위로 시화호 정점 3을 제외하고 전 조사 정점에서 호주의 패류중 수산물 안전기준 1 mg/kg.wet를 상회하는 농도를 보이고 있다. 그러나 우리나라 및 EU의 경우 비소에 대한 수산물 안전기준은 없으며 미국의 패류중 수산물 안전기준 86 mg/kg.wet에 비해 매우 양호한 농도를 보였으며, 그 외 전 조사 성분이 우리나라, 일본, 미국, 호주 및 EU의 수산



물 안전기준을 초과하는 성분은 없었다(표 3-6-9).

Choi et al., (1992)은 1985년~1989년 사이에 5개년 동안 에 전국 주요연안에 서식하는 진주담치 내에서 조사한 결과를 보면 구리의 평균농도 범위는 0.6~2.0mg/kg.wet , 카드뮴 평균 범위 0.18~0.53mg/kg.wet 납의 평균농도 범위 0.29~0.93mg/kg.wet 아연 평균농도 범위 9.41~23.98mg/kg.wet, 및 수은의 평균농도 범위 0.005~0.021mg/kg.wet와 비교하면 본 조사 결과는 납, 카드뮴 및 수은의 경우 낮은 농도범위에 속하며, 아연과 구리의 경우 다소 높은 농도범위에 속하였다(표 3-6-8). 손 등(1995)은 남해안 10개 연안에서 조사한 결과를 보면 크롬 0.123~0.275(평균 0.174)(평균 0.214)mg/kg.wet, 카드뮴 0.132~0.580(평균 0.284)mg/kg.wet, 납 0.579~3.745(평균 1.724)mg/kg.wet, 구리 0.936~1.403(평균 1.163)mg/kg.wet, 망간 1.997~9.019(평균 4.197)mg/kg.wet로써 본 조사에 비해 납의 농도가 평균 8배 이상 상회하는 농도를 보였고 망간의 경우 본 조사에 비해 3배 정도 낮은 농도분포를 보였으며 그 외 성분들은 본 조사와 유사한 농도를 보였다(표 3-6-8). 김 등(2003)이 우리나라 남해 연안의 12개 해역에서 조사한 결과를 보면 수은의 농도범위(평균) 0.02~0.020(평균 0.008)mg/kg.wet, 카드뮴 0.097~0.617(평균 0.257)mg/kg.wet, 납 trace~0.984(평균 0.214)mg/kg.wet 및 크롬 trace~0.625(평균 0.178)mg/kg.wet,로 본 조사 결과 평균과 매우 유사한 농도를 보였다(표 3-6-6).

### 3.3.2. 굴

시화호 내에 서식하는 패류 중 굴(oyster) 내 미량금속 함량을 그림 3-6-7나타내었다. 시화호에서 채취된 굴 체내 비소의 평균농도는 0.884±0.222 mg/kg.wet, 카드뮴 평균농도는 0.286±0.159 mg/kg.wet, 크롬 평균농도는 0.192±0.055 mg/kg.wet, 구리 평균농도는 20.7±9.2 mg/kg.wet, 철 평균농도는 24.4±9.2 mg/kg.wet, 수은 평균농도는 3.6±1.4 µg/kg.wet, 망간 평균농도는 14.1±5.4 mg/kg.wet, 니켈 평균농도는 0.198±0.120 mg/kg.wet, 셀렌 평균농도는 0.290±0.077 mg/kg.wet, 납 평균농도는 0.095±0.018 mg/kg.wet 및 아연 평균농도는 287±168 mg/kg.wet였다. 시화호 내외측의 전 조사 정점에서 시화방조제와 가장 근접한 정점 5에서 카드뮴, 크롬, 니켈 및 아연의 농도가 최대를 보였으며, 비소, 구리, 철, 수은, 망간 및 셀렌 등은 시화호 외해역 정점 2에서 최대 농도를 보였다. 이와 같은 농도분포는 도로에서 가장 가까운 정점 5에서 대체적으로 미량금속의 농도가 높은 것은 타이어의 마모에 의한 분진 유입으로 인해 굴의 체내 미량금속 축적과 밀접한 관련이 있는 것으로 보여지며, 시화호 외해역 정점 2에서 최대 농도를 보이는 것은 안산시흥 하수종말 처리수 배출구와 근접한 정점으로써 이의 영향을 직간적으로 받기 때문으로 생각된다.

진주담치에서 언급한 바와 같이 우리나라 굴과 홍합의 체내 미량금속의 잔류허용 기준은 수은 0.5mg/kg.wet, 납과 카드뮴은 2mg/kg.wet으로 설정하고 있고, 미국의 FDA(Food and Drug Administration)에서 패류에 대하여 메틸수은 1.0mg/kg.wet, 카드뮴 4mg/kg.wet, 납 1.7mg/kg.wet, 크롬 13mg/kg.wet, 니켈 80mg/kg.wet,, 비소 86mg/kg.wet,을 각각 권고치로 설정하고 있는 값에 비하여 본 조사 기간동안의 농도는 매우 낮은 농도였다. 전 조사 성분이 우리나라, 일본, 미국, 호주 및 EU의 수산물 안전기준을 초과하는 성분은 없었다(표 3-6-9).

Choi et al. (1992) 등은 1985년~1989년 사이에 5개년 동안 에 전국 주요연안에 서식하는 진주담치 내에서 조사한 결과를 보면 서해 연안에서 구리, 카드뮴, 납, 아연 및 수은의 평균농도는 각각 Cd 0.86 mg/kg.wet, Cu 25.9 mg/kg.wet, Pb 0.90 mg/kg.wet, Zn 139 mg/kg.wet 및 Hg 0.034 mg/kg.wet에 비해 본 조사 결과는 아연의 평균농도가 2배 정도 높은 농도를 보

였다(표 3-6-8). 그 외 성분들은 이들의 조사 결과와 유사하거나 다소 낮은 높은 농도를 보였다. 김 등(1996)이 진해만에서 조사한 결과를 보면 카드뮴, 구리, 납, 아연 및 수은의 평균농도는 각각 Cd 1.09 mg/kg.wet, Cu 24.6 mg/kg.wet, Pb 0.14 mg/kg.wet, Zn 139 mg/kg.wet 및 Hg 0.009 mg/kg.wet로써 이들 조사결과에 비해 아연의 평균 농도가 2배 이상 높은 경향을 보였으나 그외 성분들은 본 조사보다 다소 농도가 높거나 유사하였다(표 3-6-8). 김 등(2003)이 우리나라 남해 연안의 11연안 해역에서 조사한 결과를 보면 수은의 농도범위(평균) 0.004~0.015(평균 0.008)mg/kg.wet, 카드뮴 0.030~1.198(평균 0.519)mg/kg.wet, 납 trace~0.864(평균 0.220)mg/kg.wet 및 크롬 trace~0.849(평균 0.153)mg/kg.wet로 본 조사 결과 평균 농도와 매우 유사한 농도를 보였다(표 3-6-8).

일반적으로 해양생태계 내에서 철, 구리, 아연, 코발트, 망간, 크롬 몰리브덴 바나듐, 셀렌, 니켈 및 주석 등은 표 에 나타낸 바와 같이 생물체 구성 성분과 대사과정 중 꼭 필수적인 원소로 작용한다(표 3-6-10). 굴은 체내 각 조직으로 산소를 운반하는 효소는 헤모시안인으로써 구리가 주성분을 이루며, 아연의 경우는 굴의 생식과 밀접한 관련을 가지고 있으므로 체내 축적 정도가 다른 원소에 비해 높은 것으로 이미 많은 연구보고가 있다.

표 3-6-8. 우리나라 연안해역에 서식하는 진주담치 및 굴 체내 중금속 함량

생물종	해역	Concentration(mg/kg) wet basis								참고문헌
		Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Zn	As	
굴	한국남해	0.004-0.015	0.030-1.198	trace-0.864	trace-0.849					김 등. 2003
	11개 연안	(0.008)	(0.519)	(0.220)	(0.153)					
	한국 동해 연안	0.049	0.72	0.68		23.35		86.1		Choi <i>et al.</i> , 1992
	한국 남해 연안	0.021	0.48	0.51		7.77		70.9		
	한국 서해 연안	0.034	0.86	0.90		25.90		139.4		
	진해만	0.008-0.009	1.07-1.11	ND-0.14		11.97-37.23		131.2-147.7		김 등. 1996
		(0.009)	(1.09)			(24.60)		(139.4)		
	통영연안	0.03-0.46	0.17-0.72		0.01-0.34	0.41-2.40		4.10-32.0	0.16-0.56	정 등. 2004
해역	(0.08)	(0.52)		(0.13)	(1.22)		(8.11)	(0.28)		
시화호	0.002-0.005	0.122-0.533	0.077-0.125	0.144-0.279	8.8-31.8	5.9-19.0	124-559	0.68-1.22	본 연구	
	(0.005)	(0.286)	(0.095)	(0.192)	(20.7)	(14.1)	(287)	(0.88)		
진주담치	남해 12개 연안	0.002-0.020	0.097-0.617	trace-0.984	trace-0.625					김 등. 2003
		(0.008)	(0.257)	(0.214)	(0.178)					
	남해연안		0.132-0.580	0.579-3.745	0.123-0.275	0.936-1.403	1.997-9.019			손 등. 1995
			(0.284)	(1.724)	(0.174)	(1.163)	(4.197)			
	진해만	0.007-0.009	0.35-1.35	0.17-0.96		0.78-3.33		6.58-36.40		김 등. 1996
		(0.008)	(0.56)	(0.63)		(2.07)		(17.6)		
시화호	0.003-0.005	0.116-0.207	0.066-0.209	0.133-0.357	0.500-1.537	11.5-57.2	8.1-20.9	0.90-1.65	본 연구	
	(0.003)	(0.139)	(0.133)	(0.217)	(1.003)	(29.4)	(13.5)	(1.24)		
시화호 외해역	0.005-0.008	0.215-0.261	0.189-0.217	0.179-0.227	1.031-1.232	20.2-44.3	15.8-21.9	1.23-1.56	본 연구	
	(0.006)	(0.240)	(0.205)	(0.203)	(1.125)	(29.8)	(18.8)	(1.37)		

### 3.3.3. 피빨고둥

피빨소라(Muricidae)과에 속하는 피빨고둥(*Rapana venosa*)의 형태적 특징은 대형 종으로 주먹모양의 패각을 가지며 껍질은 두껍고 단단하다. 나층은 6층, 나탑은 각고의 1/4 정도로서 낮고 체층은 커서 각고의 8/10정도를 차지하고 있다. 각층의 전부는 각이 저 있어 각 나층은 계단상을 이루고 있으며, 체층은 견각을 따라 가시모양의 결절이 12개 정도 나 있다. 체층의 견각 아래에는 3줄의 굵은 나특이 있고 패각 표면에는 가는 나특이 밀생해 있으며, 그 위에는 흑갈색 반점이 줄지어져 있다. 각구는 난형이고 크며, 내면은 주황색을 띠고 있다. 봉대는 넓고 비늘모양의 성장맥이 겹쳐 있으며, 제공은 깊게 열려 있고, 수관구는 짧게 열려 있다. 체층의 견각을 따라 가시모양의 결절이 12개 정도 나 있다. 생태적 특징으로는 한국, 일본(홋카이도 남부, 혼슈우, 시코쿠, 큐우슈우), 타이완, 중국 북부 등에서 서식하며, 수심 10m 내외의 모래나 펄이 섞여 있는 암반에서 서식하고, 몸길이는 각고 113.1mm, 각폭 84.1mm 정도이다(국립수산진흥원, 2000).

시화호 및 시화호 외해에서 서식하는 피빨고둥(*Rapana venosa*)의 근육 및 내장내의 미량금속 함량을 그림 3-6-8에 나타내었으며, 근육 내 각 성분의 농도범위(평균±편차)는 비소(As) 3.70~9.07(6.59±2.15)mg/kg.wet, 카드뮴(Cd) 0.10~0.79(0.28±0.226)mg/kg.wet, 크롬(Cr) 0.21~0.40(0.35±0.07)mg/kg.wet, 구리(Cu) 6.1~27.8(19.3±7.7)mg/kg.wet, 망간(Mn) 1.30~8.89(6.08±2.96)mg/kg.wet, 니켈(Ni) 0.08~0.25(0.18±0.07)mg/kg.wet, 납(Pb) 0.03~0.19(0.08±0.06)mg/kg.wet, 아연(Zn) 2.7~271(70±99)mg/kg.wet, 셀렌(Se) 0.197~0.560(0.405±0.130)mg/kg.wet, 철(Fe) 8.7~21.8(15.5±4.8)mg/kg.wet 및 수은(Hg) 0.008~0.027(0.016±0.007)mg/kg.wet의 함량을 보였다. 내장 내에서 미량금속의 함량은 각각 비소(As) 5.11~8.23(6.85±1.22)mg/kg.wet, 카드뮴(Cd) 0.95~2.95(2.15±0.78)mg/kg.wet, 크롬(Cr) 0.34~0.52(0.42±0.08)mg/kg.wet, 구리(Cu) 17~136(50±48)mg/kg.wet, 망간(Mn) 3.71~7.64(6.14±1.43)mg/kg.wet, 니켈(Ni) 0.28~0.52(0.43±0.10)mg/kg.wet, 납(Pb) 0.29~0.43(0.34±0.06)mg/kg.wet, 아연(Zn) 34~425(144±145)mg/kg.wet, 셀렌(Se) 0.735~1.681(1.310±0.340)mg/kg.wet, 철(Fe) 15~36(30±8)mg/kg.wet 및 수은(Hg) 0.011~0.039(0.024±0.010)mg/kg.wet로써 전 조사 성분이 근육에 비해 내장내에서 높은 농도경향을 보였다. 특히 시화호 조사정점 4와 5 및 시화호 외해역 정점 3에서 어획된 피빨고둥의 내장 내에서 카드뮴의 농도가 2.0이상으로써 유럽연합(EU)의 수산물 잔류허용기준(1.0mg/kg.wet이하)을 상회하는 농도이며 우리나라 수산물 잔류허용기준(2.0mg/kg.wet이하)을 역시 상회하는 매우 높은 농도를 보였다(표 3-6-9). 이러한 결과는 조간대 및 조하대의 저층에 서식하는 육식성 빨고둥류 및 사갓조개류에서 카드뮴을 잘 축적하여 카드뮴오염의 지표종(indicator species)으로 널리 이용되고 있는 피빨고둥의 생리적 특성의 결과로 보인다.

표 3-6-9. 주요 국가별 수산물 미량금속 잔류허용기준

국가 항목	한국	일본	미국	EU	캐나다	호주
총수은	-해산어패류(연체류포함),냉동대구머리가공품,냉동창란(심해산어류 및 참치류제외),담수어(생물기준): 0.5ppm	-총수은: 0.4ppm -메틸수은:0.3ppm (심해산어패류,담수산어패류,다랑어류제외)	-메틸수은: 1.0ppm 이하	-일반수산물:0.5ppm -상어,참치,뱀장어등18종: 1.0ppm	-0.5ppm (상어,다랑어,새치류제외)	-갑각류,어류,연체류,패류: 0.5ppm -상어,다랑어,가오리류: 1ppm
납	-해산어패류(연체류포함),냉동대구머리가공품·냉동창란(생물로기준할 때),담수어(생물기준): 2.0ppm		-갑각류: 1.5ppm -굴,홍합,대합,조개: 1.7ppm	-일반어류: 0.2ppm -뱀장어,농어 등 11종: 0.4ppm -갑각류(게갈색근제외): 0.5ppm -이매패류: 1.5ppm -두족류(내장제외): 1.0ppm	-Fish Protein Concentrate(FPC): 0.5ppm	-어류: 0.5ppm -연체류, 패류: 2ppm
카드뮴	-패류(생물기준): 2.0ppm		-갑각류: 3ppm -굴,홍합,대합,조개: 4ppm	-일반어류: 0.05ppm -뱀장어,농어 등 9종: 0.1ppm -갑각류(게갈색근제외): 0.5ppm -이매패류: 1.0ppm -두족류(내장제외): 1.0ppm		-연체류, 패류: 2ppm
니켈			-갑각류: 70ppm -굴,홍합,대합,조개: 80ppm			
비소			-갑각류: 76ppm -굴,홍합,대합,조개: 86ppm		-Fish Protein Concentrate(FPC): 3.5ppm	-갑각류, 어류: 2ppm -연체류, 패류,해조류: 1ppm
크롬			-갑각류: 12ppm -굴,홍합,대합,조개: 13ppm			

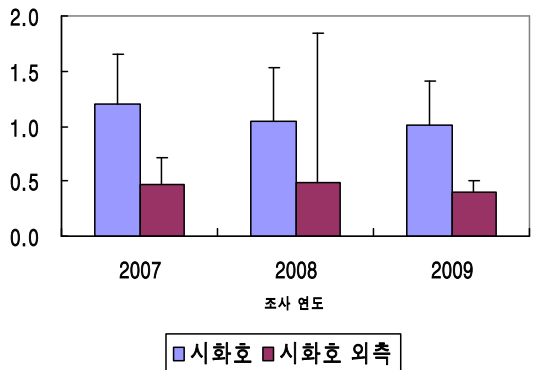
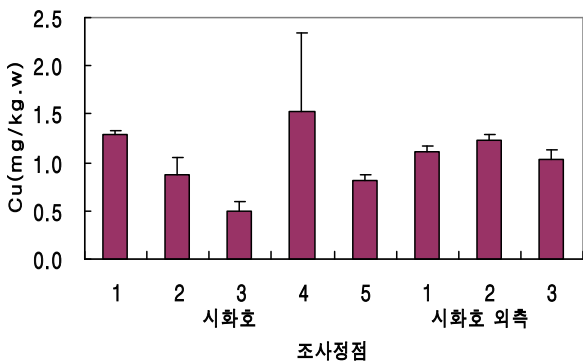
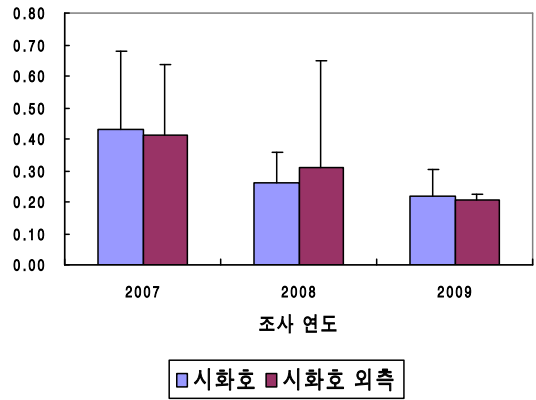
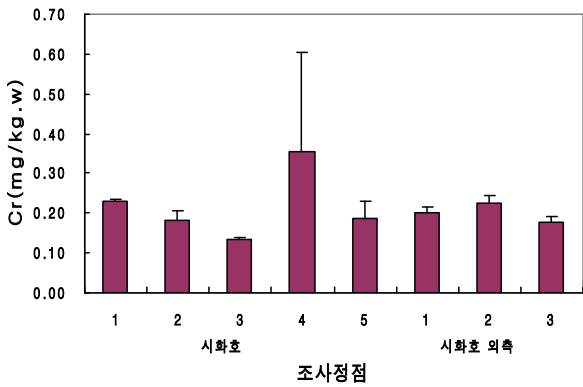
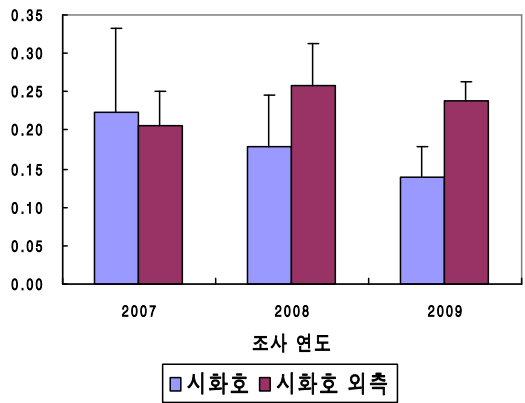
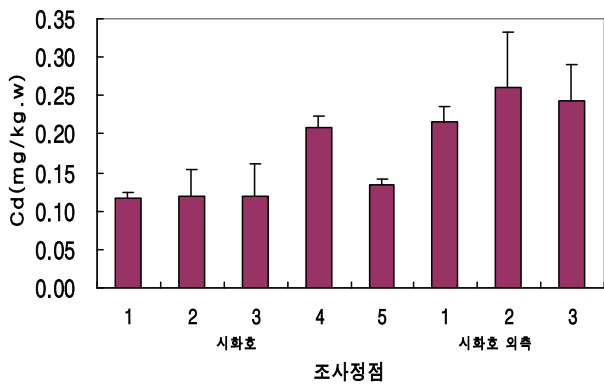
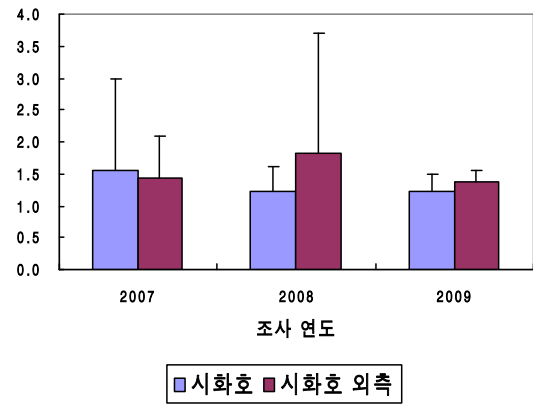
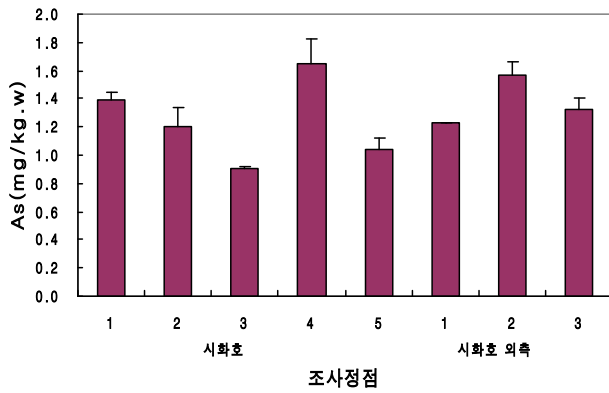


그림 3-6-6. 시화호 주변해역에 서식하는 진주담치 체내 미량금속 함량

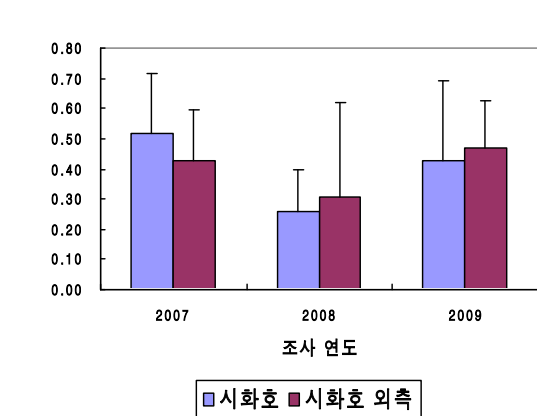
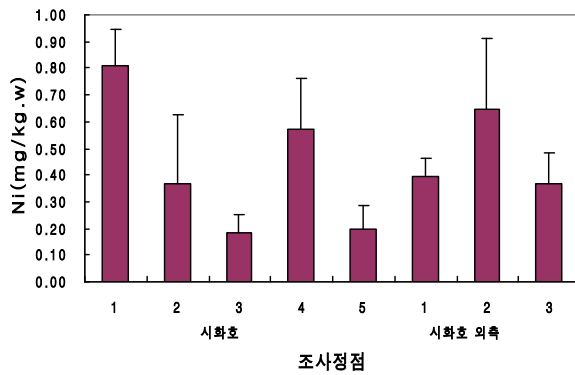
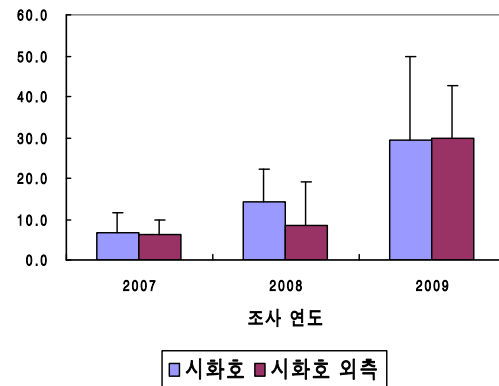
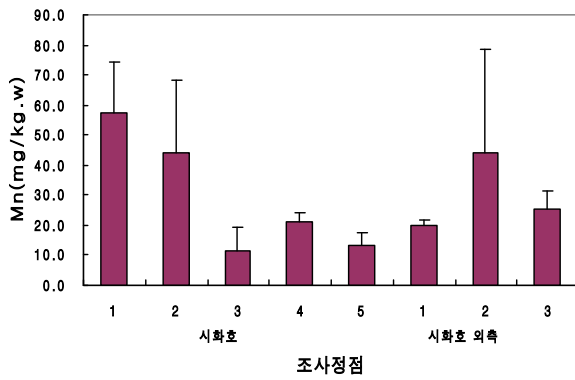
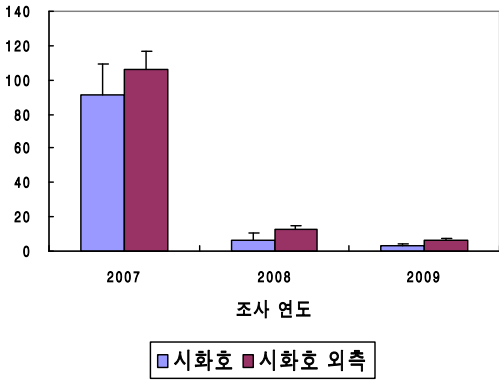
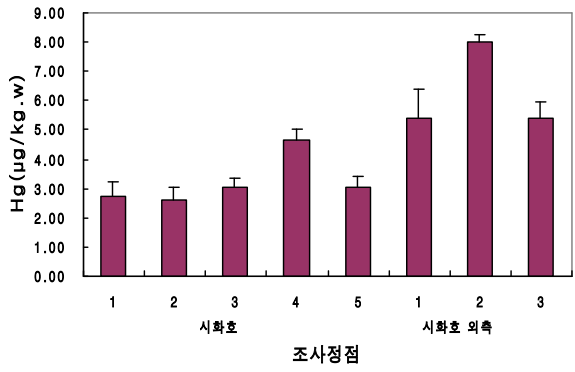
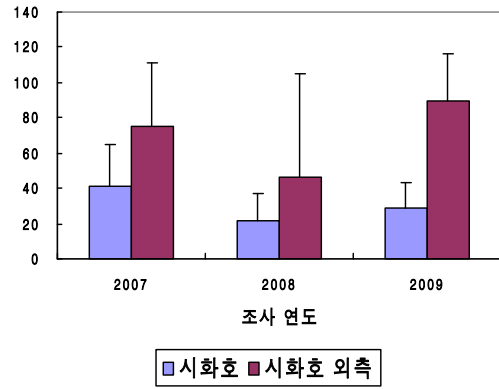
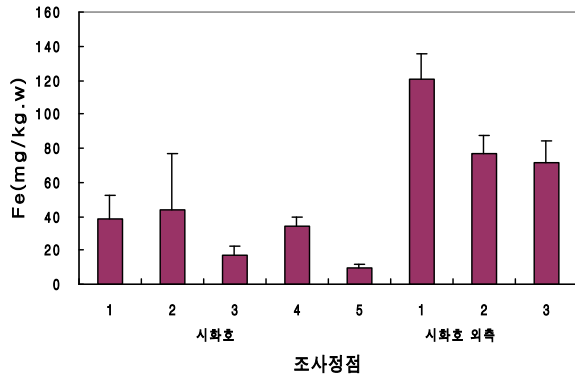


그림 3-6-6. 계속

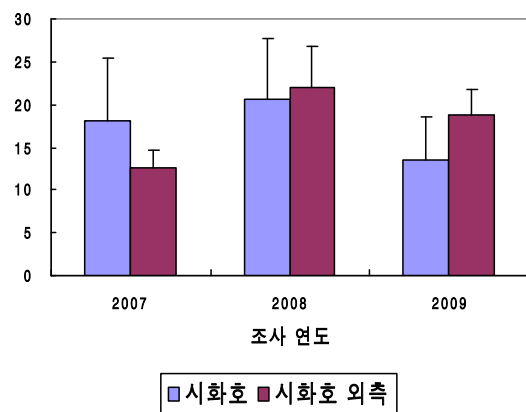
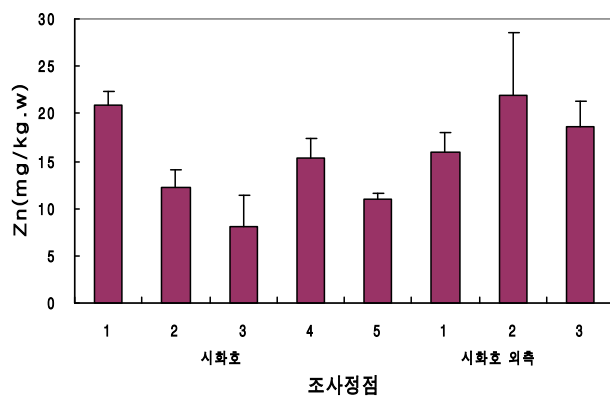
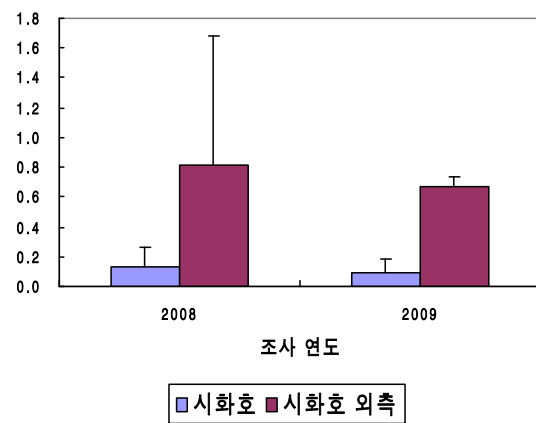
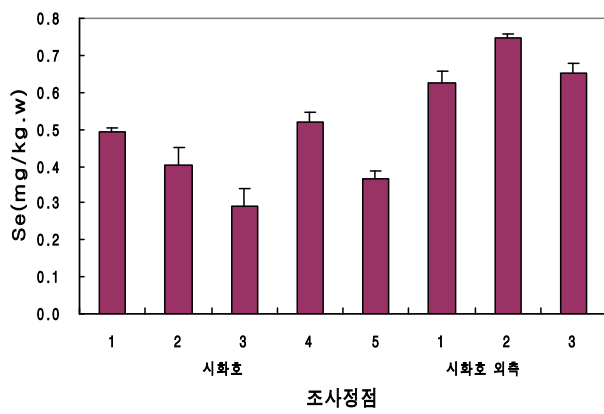
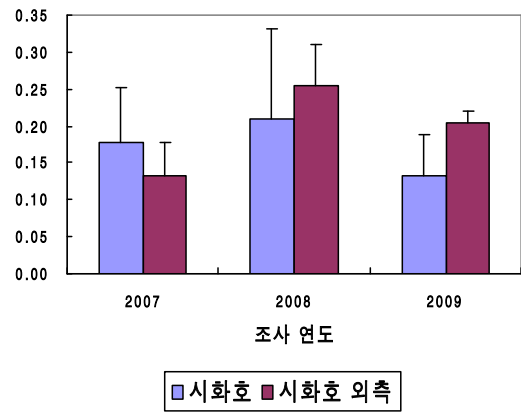
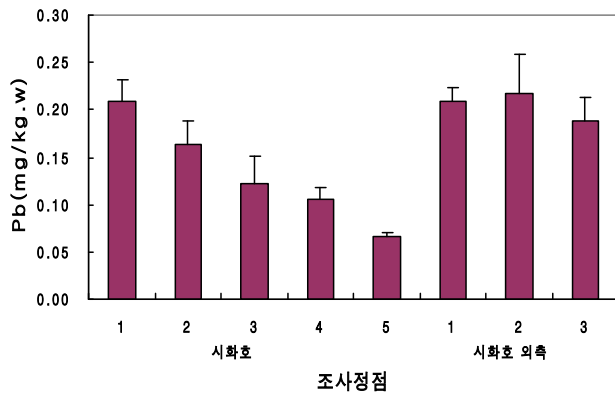


그림 3-6-6. 계속



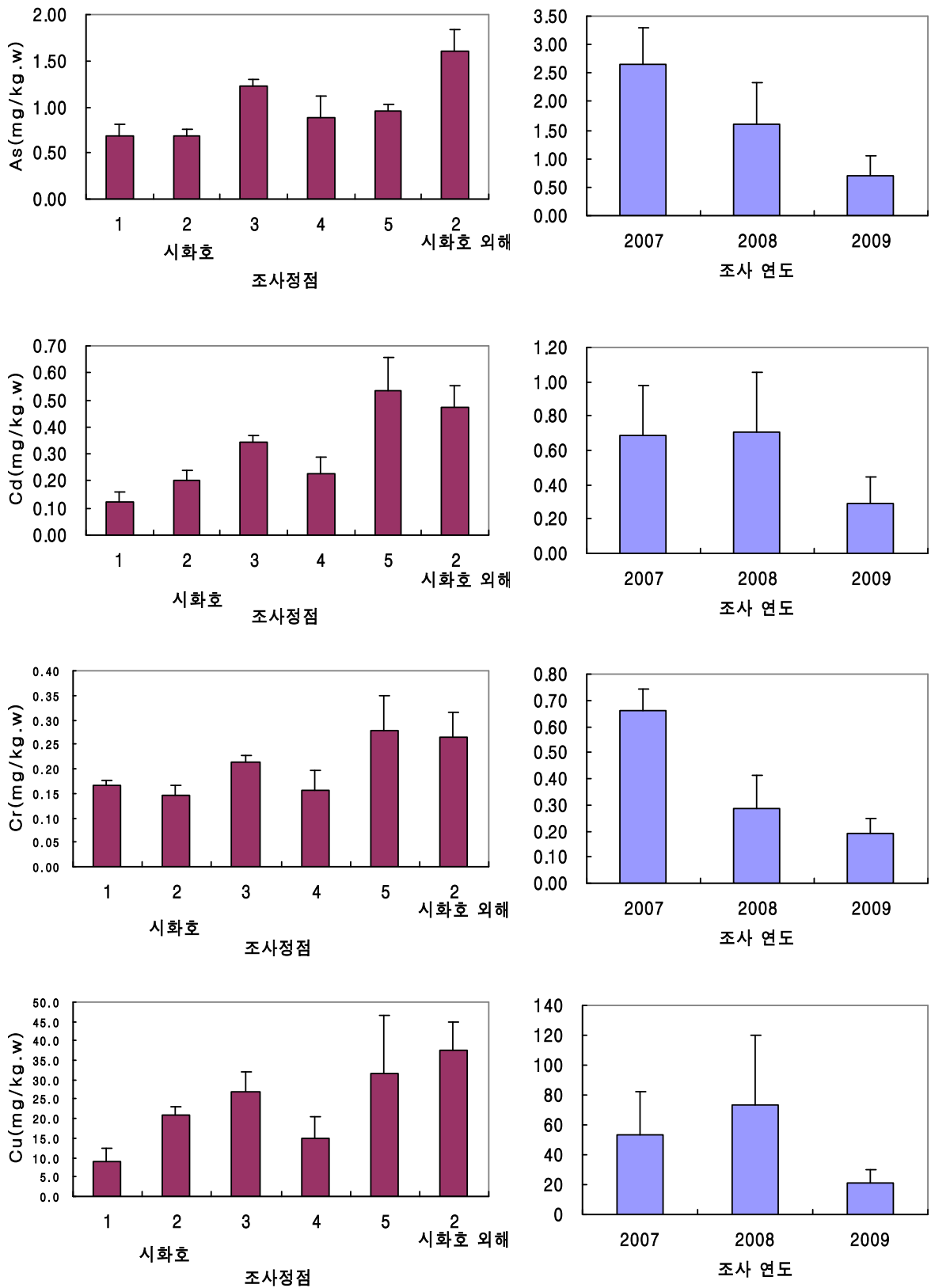


그림 3-6-7. 시화호 주변해역에 서식하는 굴 체내 미량금속 함량

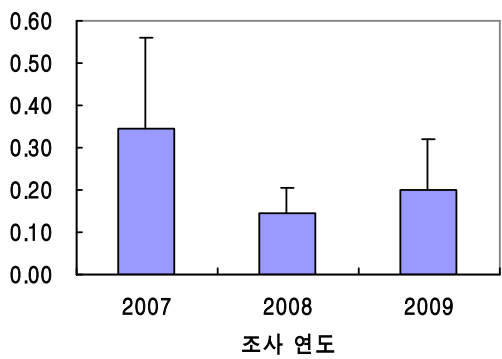
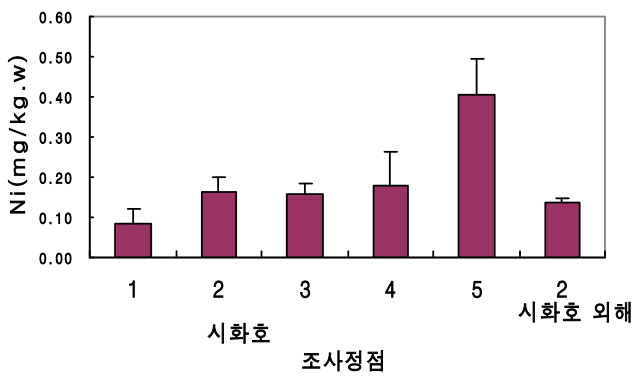
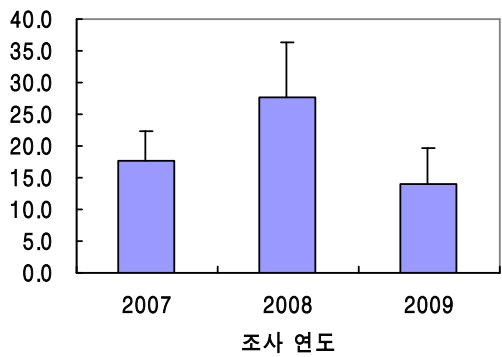
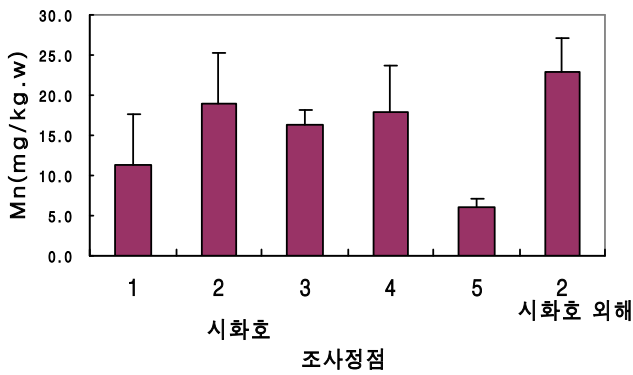
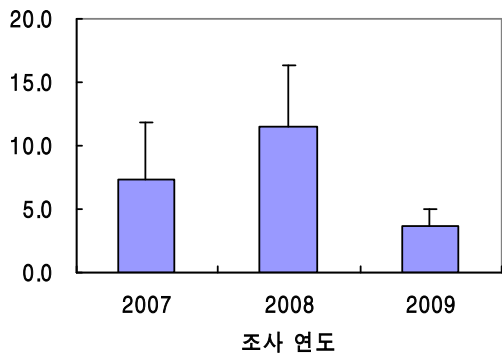
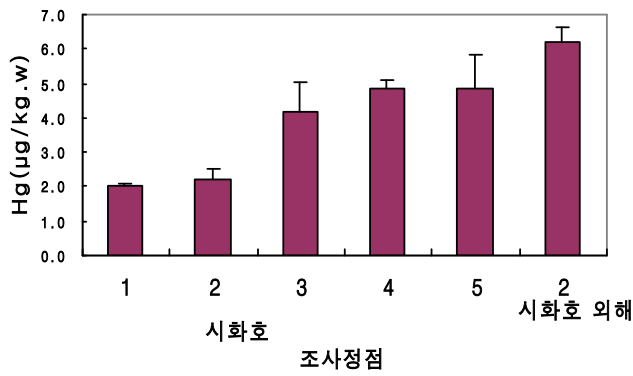
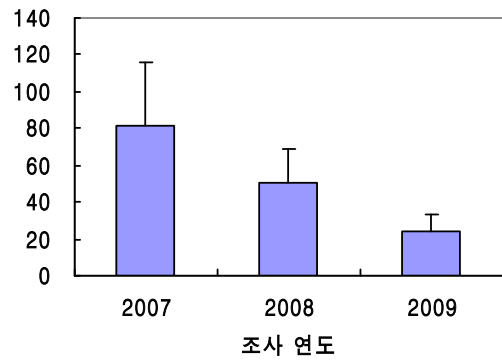
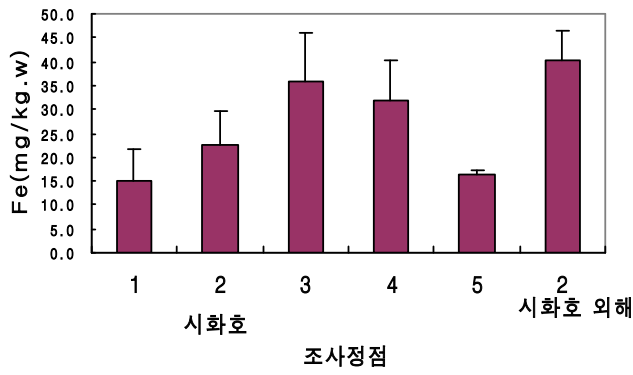


그림 3-6-7. 계속

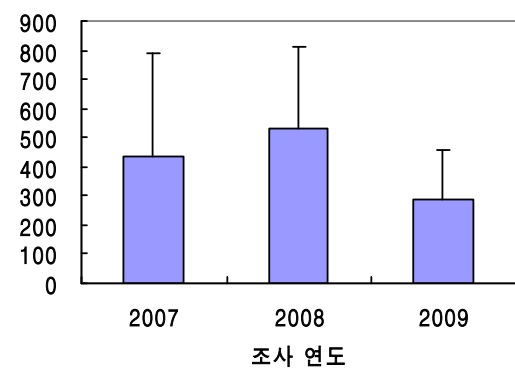
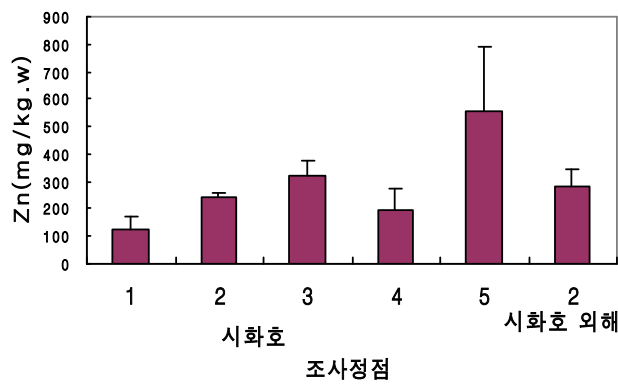
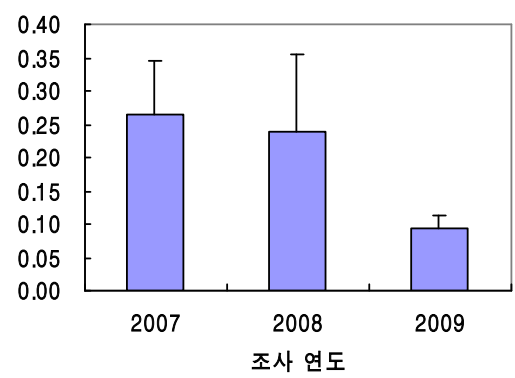
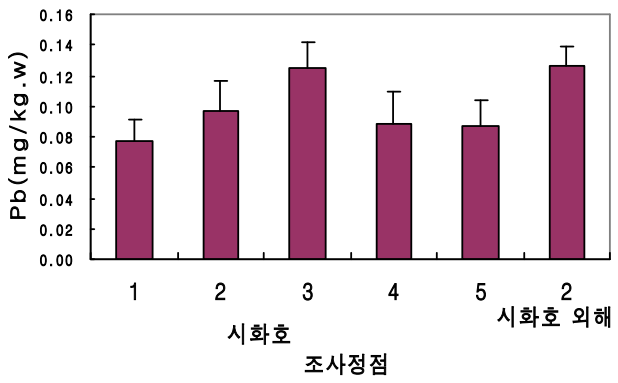
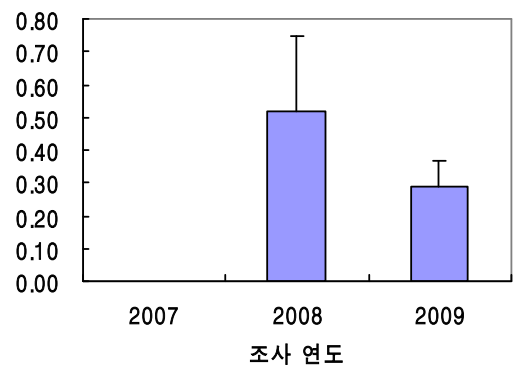
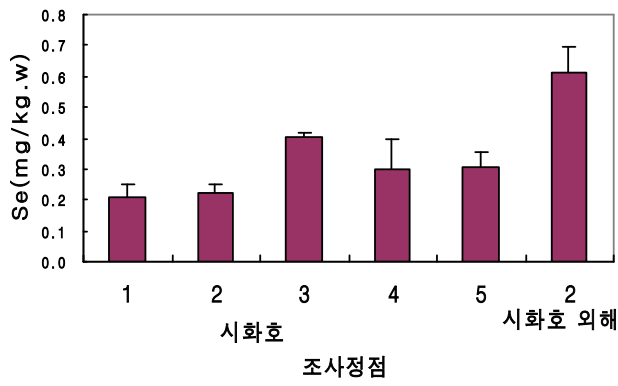


그림 3-6-7. 계속

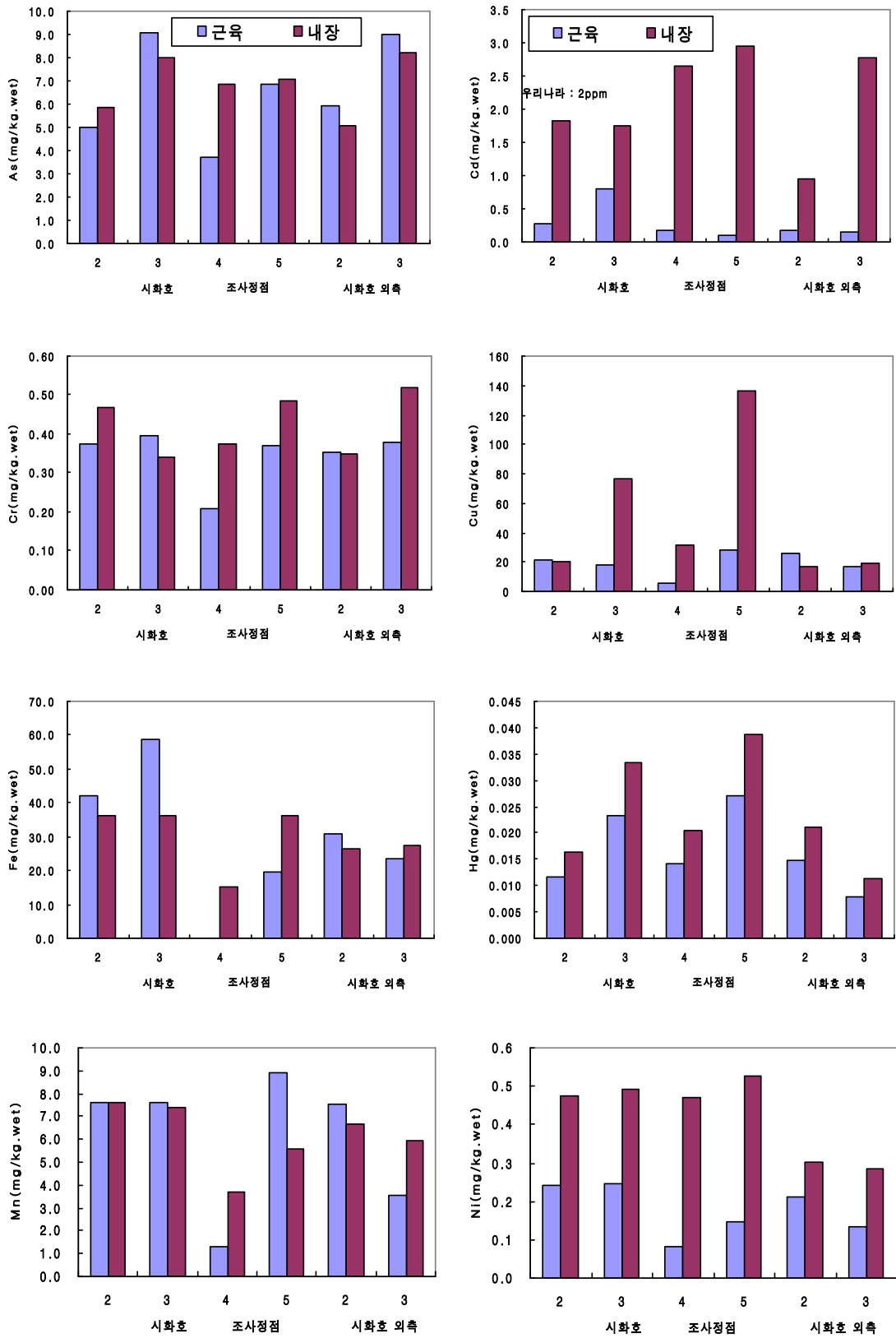


그림 3-6-8. 시화호 주변해역에 서식하는 피빨고등 근육 체내 미량금속 함량



표 3-6-10. 해양 생물체내 대사 작용에 관여하는 화합물과 관련된 중금속

화합물	중금속
Haemoglobin	철
Heamocyanin	구리
Carbonic anhydrase	아연
Carboxypeptidase A 및 B	아연
Pyruvate carboxylase	망간
Vitamin B <sub>12</sub>	코발트
Xanthine oxidasxe	철과 산화물
Cytochrome oxida	철과 구리

### 3.3.4. 어류

시화호 주변해역에서 어획된 어류 체내 미량금속을 파악하기 위해서 10월에 삼각망을 시화호 내측에 3개 정점, 외측에 1개 정점을 설치하였으나 각 정점마다 각기 다른 종이 어획되었다. 어획된 어류는 시화호의 경우 풀망둑어(*synechogobius hasta*), 조피볼락, 농어, 송어, 전어 등 5종이 어획되었으며, 시화호 외측해역에서는 송어, 광어, 농어, 조피볼락, 꼼치 및 전어 등 6종의 어류들이 각각 어획되었다. 시화호 및 시화호 외측에서 어획된 어류 근육 내 미량금속 평균 함량을 그림 3-6-9에 나타내었다.

청어과에 속하는 전어(*Konosirus punctatus*)는 몸이 긴 타원형으로 납작하며 등은 청색, 황록색, 배는 은백색이다. 아가미 뚜껑 뒤에 큰 검은 반점이 있으며 등 쪽 비늘에는 검은 점이 있어 가는 세로줄 무늬처럼 보이며 배 가장자리에 날카로운 모비늘이 발달해 있다. 위는 모래 주머니 모양이며 젓갈(전어 밤젓)로 유명하다. '봄 송어 가을 전어'란 말이 있듯이 가을이면 고소한 맛을 가진 횡감으로 유명한 종이다. 전 연안에 서식하며 25cm 정도 자란다(명 등, 2002).

농어과(*Moronidae*)에 속하는 점농어(*Lateolabrax culatus*)의 형태적 특징은 비교적 둥글고 긴 몸통을 가져 날씬한 모습을 하고 있으며, 등지느러미와 뒷지느러미의 가시가 강하여 짜임새 있는 몸매를 유지한다. 채색은 등쪽이 푸른 빛을 조금 띤 회색이며 배쪽은 회고, 체측은 등쪽에 치우쳐 작은 흑점이 산재하고 있는데 일반적으로 이 흑점은 어릴 때에는 뚜렷하다가 대형급으로 성장하면서 차츰 소실된다. 식성은 한마디로 육식성이라 할 수 있지만, 먹이가 되는 종류는 서식 장소의 생물 조성 특성에 따라 다양하다. 또 성장 단계에 따라 서식 장소가 바뀌므로 먹이 생물의 구성은 더욱 다양해진다. 체장이 2~3cm의 소형 곤쟁이류, 단각류, 새우류 등을 포식하고, 체장이 14~20cm로 자라면 새우류를 중심으로 작은 어류와 곤쟁이 등을 섞어 포식하게 된다. 체장이 20cm 이상 성어가 되면 물고기(특히 멸치)를 잘 먹는데, 멸치가 연안으로 몰려오는 봄여름이면 멸치 때를 쫓아 연안을 회유한다.

송어과에 속하는 송어(*Mugil cephalus*)의 몸은 원통형이며 머리는 아래위로 납작하다. 등은 청색, 옆구리와 배는 은백색이다. 눈에 기름눈까풀이 발달하는 점이 가송어와의 차이점이다. 비늘에는 검은 색 점이 있어 체측의 세로줄 무늬로 보인다. 전 연안에 살며 어린 새끼 송어는

하천으로 거슬러 올라간다. 횡감으로도 유명하며 위는 '밤'이라 불리어 그 쫄깃한 맛이 일품이다(명 등, 2002).

시화호 내 외해역에서 어획된 어류의 비소의 평균농도는 근육에서  $0.438 \pm 0.296$  mg/kg.wet, 간에서  $0.984 \pm 0.906$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.546 \pm 0.229$  mg/kg.wet였으며, 시화호 외해역에서 어획된 꼼치의 내장 내에서 가장 높은 농도를 보였다. 카드뮴의 평균농도는 근육에서  $0.001 \pm 0.001$  mg/kg.wet, 간에서  $0.029 \pm 0.035$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.027 \pm 0.057$  mg/kg.wet였으며, 시화호 외해역에서 어획된 꼼치의 내장 내에서 최대 농도를 보였다. 크롬의 평균농도는 근육에서  $0.176 \pm 0.062$  mg/kg.wet, 간에서  $0.310 \pm 0.115$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.239 \pm 0.137$  mg/kg.wet였으며, 시화호 외해역에서 어획된 농어의 내장 내에서 최대 농도를 보였다. 구리의 평균농도는 근육에서  $0.128 \pm 0.212$  mg/kg.wet, 간에서  $3.060 \pm 3.173$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.420 \pm 0.285$  mg/kg.wet였으며, 시화호 외해역에서 어획된 승어의 간에서 최대 농도를 보였다. 망간의 평균농도는 근육에서  $0.429 \pm 0.840$  mg/kg.wet, 간에서  $0.365 \pm 0.099$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.617 \pm 0.478$  mg/kg.wet였으며 시화호 외해역에서 어획된 전어의 근육내에서 최대 농도를 보였다. 철의 평균농도는 근육에서  $2.4 \pm 4.5$  mg/kg.wet, 간에서  $67.9 \pm 100$  mg/kg.wet, 내장에서  $11.2 \pm 12.0$  mg/kg.wet였으며 시화호 내외측에서 어획된 승어의 간에서 모두 다른 어종에 비해 5배에서 10정도 높은 농도를 보이는 것이 특징적이였다. 수은의 평균농도는 근육에서  $0.030 \pm 0.019$  mg/kg.wet, 간에서  $0.041 \pm 0.020$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.037 \pm 0.042$  mg/kg.wet였으며 시화호 외해역에서 어획된 승어의 내장에서 최대농도를 보였다. 납의 평균농도는 근육에서  $0.010 \pm 0.0131$  mg/kg.wet, 간에서  $0.067 \pm 0.102$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.022 \pm 0.014$  mg/kg.wet였으며 시화호 외해역에서 어획된 승어의 간에서 최대 농도를 보였다. 셀렌의 평균농도는 근육에서  $0.085 \pm 0.086$  mg/kg.wet, 간에서  $0.584 \pm 0.552$  mg/kg.wet, 내장에서  $0.180 \pm 0.072$  mg/kg.wet였으며 시화호 외해역에서 어획된 승어의 간에서 최대 농도를 보였다. 아연의 평균농도는 근육에서  $2.28 \pm 3.84$  mg/kg.wet, 간에서  $8.59 \pm 6.15$  mg/kg.wet, 내장에서  $4.25 \pm 1.96$  mg/kg.wet였으며 시화호 외해역에서 어획된 승어의 간에서 최대농도를 보였다.

시화호 내 외해역에서 어획된 어류의 근육내 구리, 카드뮴, 납 및 아연의 경우 우리나라 연안해역 및 세계의 여러해역에서 어획된 여러 어종의 근육내 농도와 유사하거나 다소 낮은 농도였다(표 3-6-11 및 표 3-6-12). 본 연구결과는 근육, 간 및 내장 내에서 어종별, 농도차는 뚜렷하지 않았으며, 대체로 기관(organ)에 따른 차이는 간>내장>근육의 농도 순이였다. 또한 전 조사성분이 우리나라 및 외국 여러나라의 수산물 안전 기준이내의 양호한 농도였다(3-6-9).

표 3-6-11. 우리나라 주요 연안에서 어획된 어류 근육 내 미량금속 함량 (단위: mg/kg.wet)

조사시기	종류	Cu	Cd	Pb	Zn	조사지역	참고문헌
1994	붕장어	3.28	0.21	0.40	15.23	여 수	김 등(1994)
	갯장어	1.95	0.13	0.89	16.97	여 수	
	연어	0.61	0.04	0.12	5.81	양 양	
	참조기	0.64	0.04	0.39	6.47	인 천	
	명태	1.85	0.02	0.07	4.32	주문진	
	갈치	0.32	0.01	0.01	8.30	여 수	
	방어	1.00	0.07	0.82	18.11	부 산	
1995	붕장어	1.40	0.10	0.24	14.51	여 수	김 등(1995)
	갯장어	2.17	0.12	0.87	19.85	여 수	
	참조기	0.59	0.07	0.32	7.09	인 천	
	명태	1.80	0.14	0.43	10.06	주문진	
	갈치	0.39	0.06	0.24	4.73	여 수	
	방어	0.92	0.04	0.54	19.33	부 산	



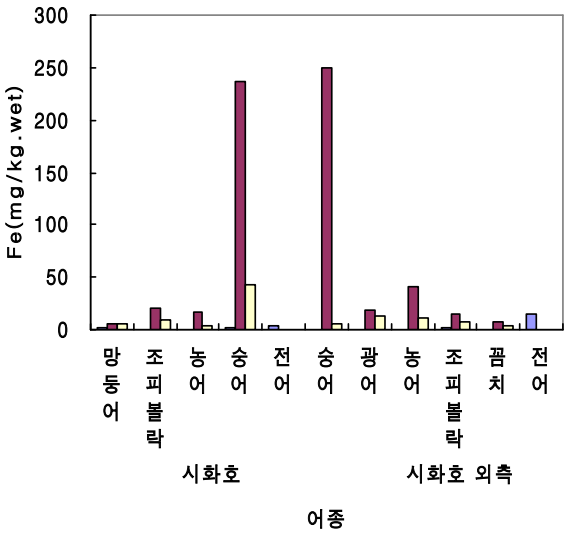
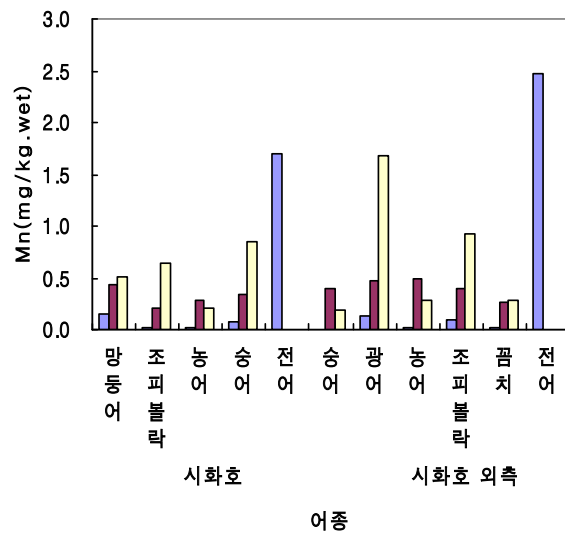
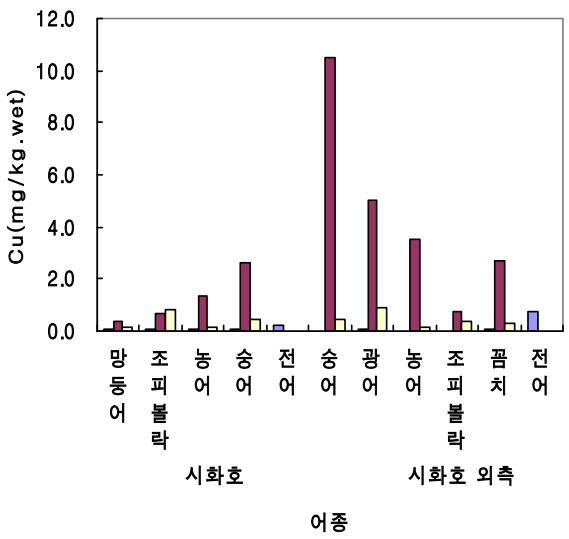
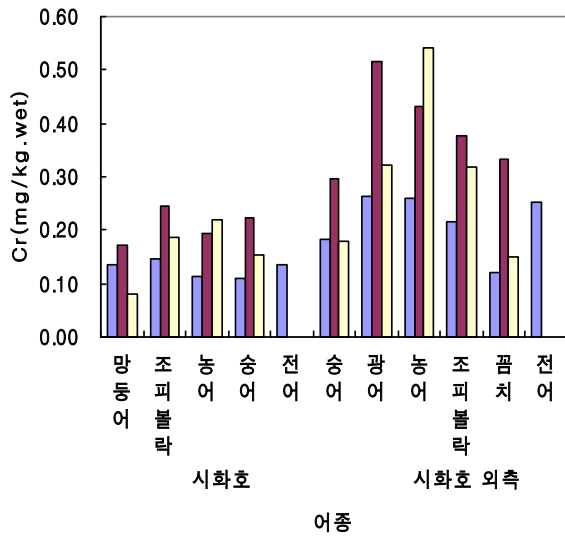
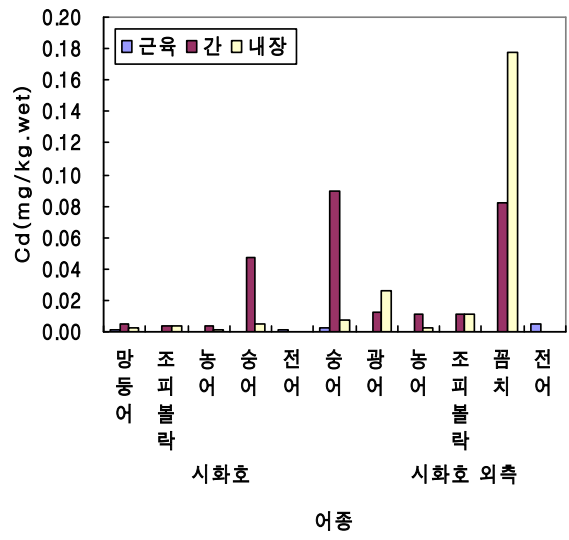
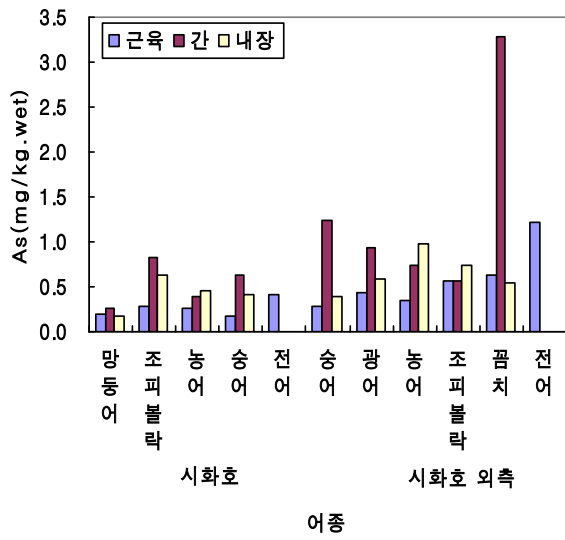


그림 3-6-9. 시화호 주변해역에서 어획된 어류 기관 내 중금속 함량

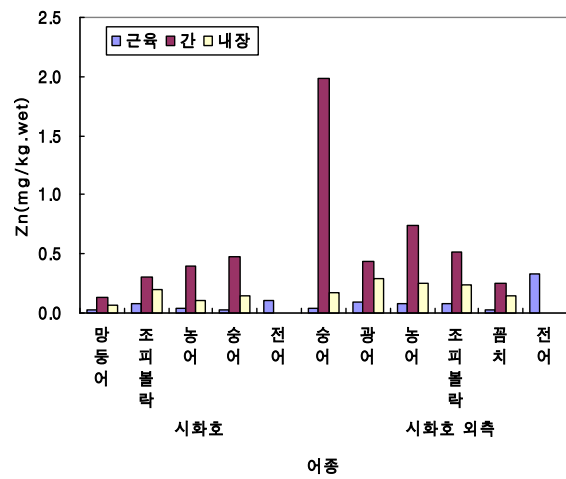
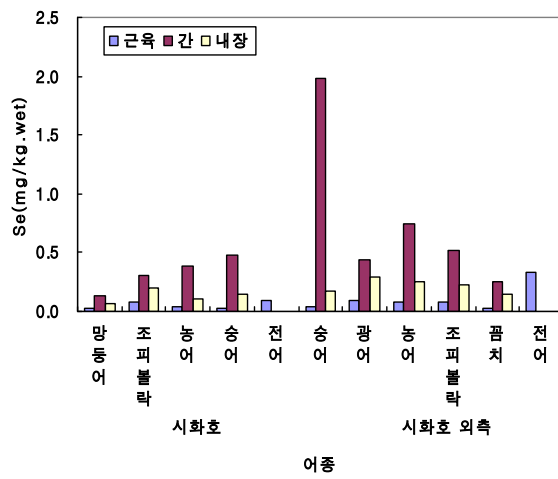
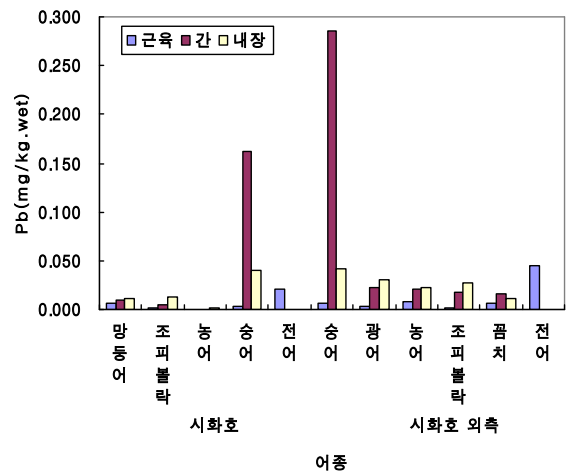
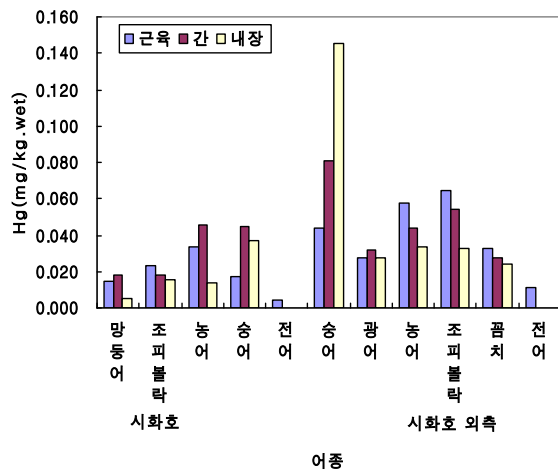


그림 3-6-9. 계속

표 3-6-12. 세계 해양에서 주요 생물의 중금속 축적 농도 분포

(단위 ppm dry weight)

중금속	종명	측정부위	농도	지역	참고문헌
카드뮴	arctic char	muscle	2.3	Arctic lake	Bohn and Fallis, 1978
	shorthorn sculpins	muscle	1.4	Arctic estuary	Bohn and Fallis, 1978
		liver	4.1	Arctic estuary	Bohn and Fallis, 1978
	whiting	muscle	2.5	Severn Estuary (UK)	Badsha and Sainsbury, 1977
	cod	average	1.3	NE coastal waters (UK)	Wright, 1976
	flatfish	average	1.4		
	littoral gastropods	average	9-550	Severn Estuary (UK)	Butterworth et al., 1972
크롬	Dog whelks ( <i>Nacella lapillus</i> )		500-1200	Bristol Channel (UK)	Stenner and Nickless, 1974
	polychaetes ( <i>Hermodice carunculata</i> )	whole body	5.6	Mediterranean (Lebanon)	Shiber, 1981
	polychaetes ( <i>Nereis diversicolor</i> )	whole body	0.1-2.4	Cornwall (UK)	Bryan and Hummerstine, 1977
	Molluscs ( <i>Mytilus edulis</i> )	soft part	19.9 (4-49)	Trondheims fjorden (Norway) metal mines	Lande, 1977
	brown shrimp	whole body	2.1 (0.4-3.8)	Gulf of Mexico (USA)	Horowitz and Presley, 1977
	rock shrimp	whole body	2.8 (1.8-4.2)		
	Bivalve ( <i>Scrobicularia plana</i> )	digestive gland	3.6	SW England	Bryan and Hummerstine, 1977
mantle and siphons		2.1			
foot and gonad		1.9			
구리	marine gastropod ( <i>Thais lapillus</i> )	digestive gland/gonad	554	coast of Wales (UK)	Irelan and Wooton, 1977
		body	61		
납	Flounder	muscle	0.34	Medway estuary (UK)	Van Den Broek, 1979
		liver	0.77		
		gut wall	0.72		
	Plaice	muscle	0.94	Medway estuary (UK)	
		liver	1.30		
		gut wall	1.32		
수은	<i>Mytilus edulis</i>	muscle	0.3 (0.2-0.7)	Fjords (Norway)	Stenner and Nickless, 1974
	fish	muscle	0.3	Mediterranean	Moore and Ramamoorthy, 1983
		liver	0.41		
		kidney	0.76		
아연	<i>Mytilus edulis</i>	digestive gland	3-240	California	Young et al., 1978
		gonad	4-360		
		muscle	3-210		
	Fish	average	0.5-33	Mediterranean coast (Israel)	Roth and Hornung, 1977

#### 4. 결론 및 요약

2009년 7월에 시화호 주변 해역에 서식하는 유용수산물의 식품위생 안전성을 파악하고자 어패류 중의 위생세균 및 중금속 조사결과를 요약하면 다음과 같다.

시화호 주변 해역 어패류중 위생세균 조사결과는 패류중 대장균군 및 대장균은 전 조사 정점에서 검출되지 않았으며, 분변계 대장균의 경우 진주담치내 시화호 외측 정점 2를 제외하고 <math><180\text{MPN}/100\text{g}</math>이하였다. 일반세균수의 경우 시화호 내측정점에서  $32,000\sim 14,000,000/\text{g}$ 으로 수산물 잔류허용기준  $100,000/\text{g}$ 을 대부분 상회하였다. 어류의 경우 내장 및 근육 내에서 일반세균수, 대장균군, 대장균 및 분변계 대장균군은 수산물 잔류허용기준 이내의 양호한 범위였다.

진주담치 체내 미량금속 농도범위(평균±편차)는 카드뮴 (Cd) 시화호에서  $0.12\text{-}0.21$  ( $0.14\pm 0.04$ ) $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 외해역에서  $0.22\text{-}0.26$  ( $0.24\pm 0.02$ ) $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 납 (Pb) 시화호  $0.066\text{-}0.209$  ( $0.133\pm 0.023$ ) $\mu\text{g}/\text{kg.wet}$ , 외해역  $0.189\text{-}0.217$  ( $0.205\pm 0.015$ ) $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 수은 (Hg) 시화호  $2.6\text{-}4.7$  ( $3.2\pm 0.8$ )  $\mu\text{g}/\text{kg.wet}$ , 외해역  $5.4\text{-}7.9$  ( $6.3\pm 1.9$ )  $\mu\text{g}/\text{kg.wet}$  및 아연 (Zn) 시화호  $8\text{-}21$  ( $14\pm 5$ )  $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 외해역  $16\text{-}21$  ( $19\pm 3$ ) $\text{mg}/\text{kg.wet}$  였다.

시화호에서 채취된 굴 체내 미량금속 농도범위(평균±편차)는 카드뮴(Cd)  $0.12\text{-}0.53$  ( $0.28\pm 0.16$ )  $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 납(Pb)  $0.077\text{-}0.125$  ( $0.095\pm 0.018$ ) $\text{mg}/\text{kg.wet}$ , 수은(Hg)  $2.0\text{-}4.9$  ( $3.6\pm 1.4$ )  $\mu\text{g}/\text{kg.wet}$  및 아연(Zn)  $124\text{-}599$  ( $287\pm 168$ )  $\text{mg}/\text{kg.wet}$  였다.

진주담치 체내 미량금속 함량은 전 성분이 우리나라 수산물 잔류허용기준 이내의 양호한 함량을 보였으며, 전 조사성분이 대체로 외해역에서 높은 농도분포를 보이며, 수은의 경우 2007년 이후 시화호 및 외해역 모두 급격한 평균 농도감소를 보이며, 카드뮴의 경우 시화호에서 매년 평균농도가 감소하는 경향을 보였다.

시화호의 진주담치내 납 농도의 경우 시화호의 가장 내측 정점에서 가장 높고 배수 갑문 쪽으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 보였다.

굴 체내 카드뮴, 납 및 수은의 경우 우리나라 수산물잔류허용기준 이하의 농도를 보이나 아연의 농도범위가  $124\text{-}599\text{ppm}$ 으로 우리나라 양식 굴의 함량에 비해 월등히 높은 농도였다. 시화호 내의 굴체내 카드뮴, 수은 및 아연의 경우 배수갑문에 가까운 정점에서 높고, 내측으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 연평균농도의 경우 전 조사성분이 2007과 2008년에 비해 2009년에 다소 감소하는 경향을 보였다.

어패류중 근육 내 미량금속의 함량은 우리나라 수산물 잔류허용기준(카드뮴 및 납 2ppm이하, 수은 0.5ppm이하) 이하의 양호한 농도를 보이나, 시화호 일부정점에서 채취된 피빨고둥 내장 내 카드뮴의 농도는 2.0ppm 이상으로 우리나라 수산물 안전기준 값과 유사한 농도를 보였다. 패류중의 미량금속의 농도는 굴>피빨고둥>진주담치의 농도 순서를 보였으며, 이는 굴과 피빨고둥의 생리적 필수성분의 농축기작으로 보여 진다.

## 제 4 장 비점오염원 관리



# 제 4 장 비점오염원 관리

## 제 1 절 유입하천 비점오염부하 모니터링

비점오염관리 시범 소유역으로 지정된 안산천과 화정천 하류에서 강우시 비점오염 부하량을 연속 관측하였다. 강우량이 3mm 이상시 자동채수장치가 작동하도록 하여 조정하였으며, 최초 2시간 동안은 30분 간격, 그 이후에는 1시간 간격으로 채수하였다. 안산천에서는 6회, 화정천에서는 7회 조사를 실시하였다. 반월공단토구 조사는 전체 토구는 8월에 1회, 3번과 7번 토구는 7월에 2회 조사하였다.

### 1. 유입하천

#### 1.1. 안산천

2월 13-14일 조사에서 COD는 11.7~25.2mg/L(평균 17.3mg/L) 이었으며, 강우시작 1시간 30분후에 25.2mg/L로 가장 높게 나타났으며 그 이후에는 점차적으로 낮아졌다. 강우 7시간 후부터는 강우 초기농도인 17.3mg/L와 유사한 수준이었다. 총질소는 7.198~9.643mg/L(평균 8.148 mg/L) 이었으며, 강우시작 1시간 후부터 급속히 증가하였고, 그 이후로는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 총인은 0.322~1.667mg/L(평균 0.628mg/L)이었으며, 총질소와 유사한 경향을 나타냈으며, 부유물질, 입자성 유기탄소 및 용존성 유기탄소도 유사한 변화양상을 보였다.

6월 조사에서는 뚜렷한 양상은 보이지 않았으며, 7월 2일 조사에서 COD 12.3~20.6mg/L(평균 15.9mg/L)로서 강우초기부터 약간 높은 농도를 보였으나, 서서히 감소하는 양상을 보였다. 총질소는 4.352~5.385mg/L(평균 4.857mg/L), 총인은 0.497~1.531mg/L(평균 0.898mg/L)로서 COD와 유사한 변화를 나타냈다. 한편, 7월 9일 조사에서 COD는 8.8~15.4mg/L(평균 10.8 mg/L)로서 강우초기 높아지는 양상을 보이지 않았으며, 비교적 균일한 농도양상을 나타냈다. 총질소는 1.659~5.622mg/L(평균 3.319mg/L)로서 강우초기부터 서서히 증가하는 양상을 나타냈으며, 총인은 0.357~1.466mg/L(평균 0.850mg/L)로서 시간에 따른 농도의 변화가 크게 나타났으며, 지속적으로 높아지는 변화를 보였다. 부유물질은 총인의 변화와 매우 유사하였다.

8월 11~12일 조사에서 COD는 6.6~23.5mg/L(평균 9.6mg/L)로 강우초기에 23.5mg/L로 높은 농도를 보였으며, 강우 2시간 후에 16mg/L로 약간 높아졌다가 그 이후로는 7~8mg/L 수준을 나타냈다. 총질소는 1.437~3.321mg/L(평균 2.615mg/L)로서 전체적으로 2~3mg/L의 수준으로 특별한 변화는 보이지 않았다. 한편, 총인은 0.273~0.795mg/L(평균 0.376mg/L)의 변화를 보였는데, COD와 부유물질과 매우 유사한 분포를 나타냈다.

한편, 형태별 인 및 질소의 분포를 보면(그림 4-1-2), 인의 경우에는 전체적으로 대부분이 인산염 이외의 형태로 나타났으며, 6~8월에는 점차적으로 인산염 형태의 인이 높게 나타났다. 특히, 8월에는 인산염 비율이 강우초기부터 비교적 높게 나타났다. 질소는 2월에 용존성 질소화합물과 그 이외의 질소화합물의 비가 유사하였으며, 7월 2일 조사에서는 대부분이 용존성 질소화합물로 나타났다.

표 4-1-1(a). 강우시 안산천의 수질분포(2009. 2. 13-14)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
2/13	13:18	0.006	0.192	1.732	2.403	0.745	4.328	0.417	7.198	29.3	17.3	9.26	31.6	8.84
	13:48	0.008	0.222	1.814	2.764	0.755	4.800	0.426	7.471	66.0	21.3	15.4	23.4	13.9
	14:18	0.006	0.347	1.644	1.835	0.831	3.827	1.129	8.007	235	23.2	33.8	14.4	12.7
	14:48	0.014	0.232	1.202	3.166	0.695	4.600	1.482	9.082	245	25.2	41.3	16.9	10.4
	15:18	0.022	0.235	1.123	3.308	0.455	4.666	1.667	9.643	261	25.0	46.7	17.9	9.11
	16:18	0.033	0.282	1.226	3.298	0.457	4.805	1.496	8.960	226	24.5	44.8	19.8	8.73
	17:18	0.056	0.261	1.672	2.770	0.528	4.703	0.758	8.703	110	21.4	18.9	17.1	9.47
	18:18	0.067	0.185	1.824	2.966	0.438	4.975	0.661	8.323	106	19.4	16.7	15.8	9.42
	19:18	0.080	0.209	1.847	2.556	0.873	4.613	0.586	8.502	94.1	18.8	14.0	14.9	8.80
	20:18	0.092	0.212	1.858	2.543	0.997	4.613	0.523	8.399	79.9	17.2	11.4	14.3	8.80
	21:18	0.102	0.218	1.852	2.484	0.780	4.554	0.482	8.562	68.8	16.9	9.63	14.0	9.32
	22:18	0.082	0.223	1.856	2.468	0.954	4.548	0.458	8.340	69.5	15.8	9.79	14.1	9.15
23:18	0.110	0.229	1.858	2.457	1.396	4.544	0.424	8.321	51.1	15.4	7.40	14.5	8.48	
2/14	00:18	0.115	0.225	1.859	2.367	2.017	4.451	0.410	8.124	46.8	14.7	7.02	15.0	8.46
	01:18	0.112	0.221	1.861	2.334	1.564	4.416	0.400	7.936	34.4	14.3	5.27	15.3	8.20
	02:18	0.107	0.213	1.865	2.264	1.477	4.342	0.382	7.959	35.1	14.2	5.55	15.8	8.38
	03:18	0.104	0.227	1.857	2.307	0.845	4.391	0.358	7.775	31.3	13.8	5.25	16.8	8.20
	04:18	0.103	0.226	1.857	2.167	0.753	4.250	0.341	7.580	28.3	13.0	4.84	17.1	7.87
	05:18	0.102	0.228	1.850	1.991	0.954	4.069	0.355	7.530	30.3	12.8	4.82	15.9	7.70
	06:18	0.100	0.227	1.850	2.162	1.499	4.239	0.326	7.542	23.3	12.8	4.43	19.0	7.45
	07:18	0.124	0.215	1.867	2.827	1.638	4.910	0.408	7.765	22.5	12.8	4.95	22.0	7.70
	08:18	0.080	0.210	1.872	2.354	1.438	4.436	0.322	7.543	21.0	11.7	4.65	22.2	8.36
<b>최소</b>		<b>0.006</b>	<b>0.185</b>	<b>1.123</b>	<b>1.835</b>	<b>0.438</b>	<b>3.827</b>	<b>0.322</b>	<b>7.198</b>	<b>21.0</b>	<b>11.7</b>	<b>4.43</b>	<b>14.0</b>	<b>7.45</b>
<b>최대</b>		<b>0.124</b>	<b>0.347</b>	<b>1.872</b>	<b>3.308</b>	<b>2.017</b>	<b>4.975</b>	<b>1.667</b>	<b>9.643</b>	<b>261</b>	<b>25.2</b>	<b>46.7</b>	<b>31.6</b>	<b>13.9</b>
<b>평균</b>		<b>0.074</b>	<b>0.229</b>	<b>1.739</b>	<b>2.536</b>	<b>1.004</b>	<b>4.504</b>	<b>0.628</b>	<b>8.148</b>	<b>87.0</b>	<b>17.3</b>	<b>14.8</b>	<b>17.6</b>	<b>9.06</b>



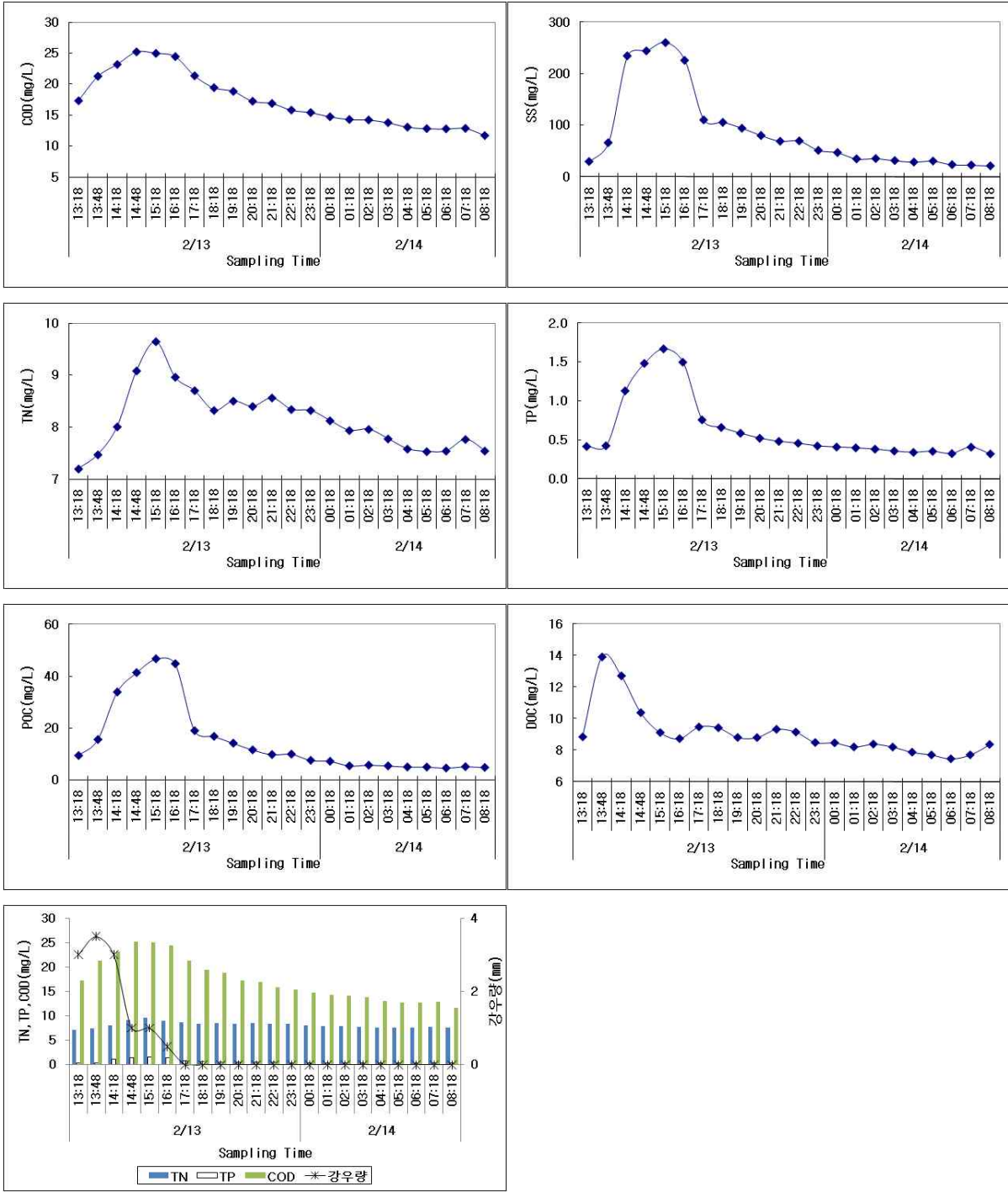


그림 4-1-1(a). 강우시 안산천의 수질변화(2009. 2. 13~14)

표 4-1-1(b). 계속(2009. 6. 9~10)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
6/9	21:00	0.044	0.136	1.477	0.083	3.882	1.695	0.356	2.400	30.8	13.0	5.95	19.3	5.67
	21:30	0.056	0.204	1.503	0.146	3.750	1.854	0.264	2.340	10.0	7.0	2.44	24.4	4.06
	22:00	0.061	0.207	1.449	0.417	3.902	2.074	0.261	2.291	9.1	7.0	2.20	24.2	4.27
	22:30	0.018	0.187	1.825	1.023	2.409	3.035	0.334	3.722	62.4	15.9	10.1	16.2	9.49
	23:00	0.020	0.170	1.513	0.453	1.720	2.137	0.811	3.054	189	19.0	21.1	11.2	7.27
	23:30	0.033	0.149	1.326	0.424	1.985	1.900	1.009	2.914	252	19.6	26.7	10.6	4.75
6/10	00:00	0.031	0.166	1.231	0.931	2.066	2.328	1.327	4.045	235	20.9	32.2	13.7	5.06
최소		0.018	0.136	1.231	0.083	1.720	1.695	0.261	2.291	9.1	7.0	2.20	10.6	4.06
최대		0.061	0.207	1.825	1.023	3.902	3.035	1.327	4.045	252	20.9	32.2	24.4	9.49
평균		0.037	0.174	1.475	0.497	2.816	2.146	0.623	2.967	113	14.6	14.4	17.1	5.79

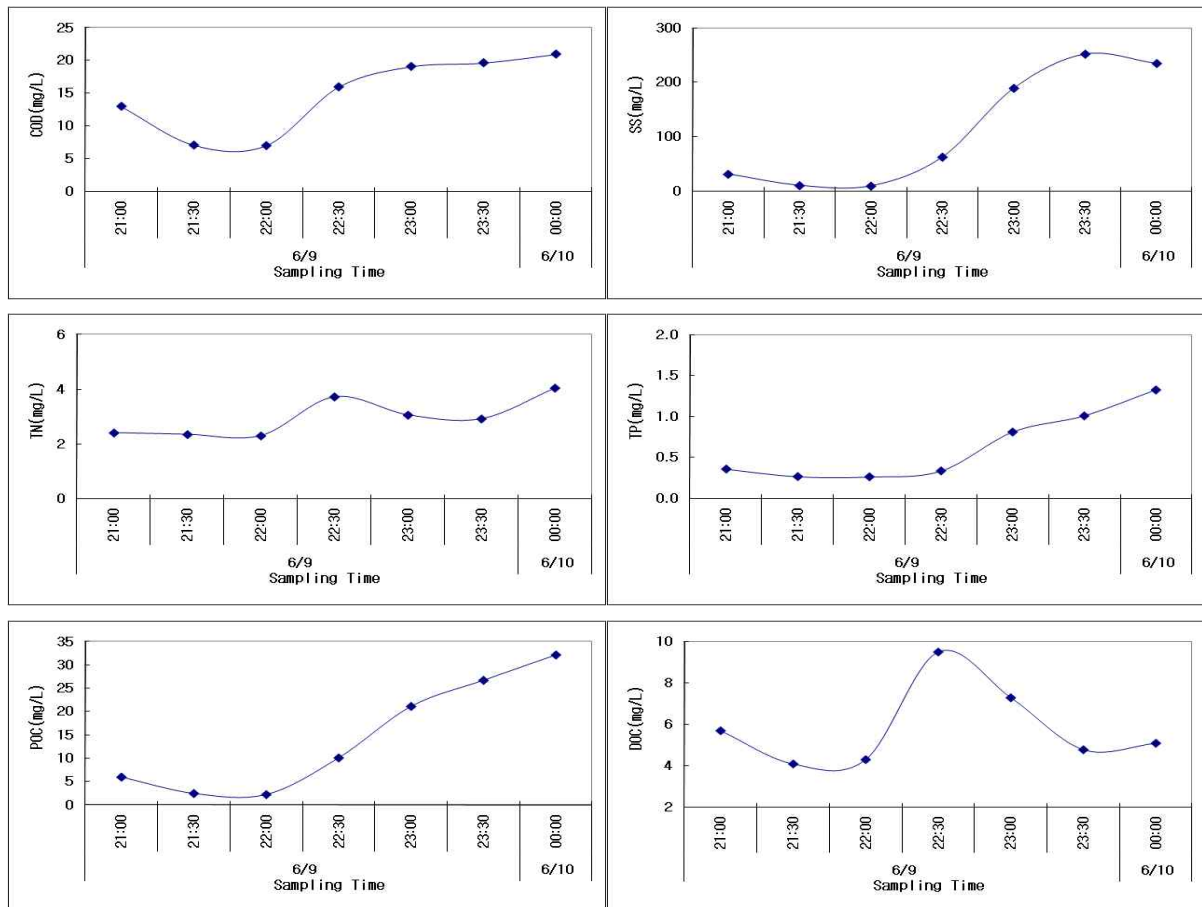


그림 4-1-1(b). 계속(2009. 6. 9~10)

표 4-1-1(c). 계속(2009. 6. 29)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
6/29	02:22	0.013	0.070	1.282	0.023	1.940	1.375	0.439	2.492	74.9	16.3	9.66	12.9	8.21
	02:52	0.009	0.112	2.684	0.811	1.604	3.606	0.382	4.936	128	19.4	12.9	10.1	10.8
	03:22	0.009	0.787	1.422	1.054	1.499	3.263	0.410	4.874	65.4	18.8	7.98	12.2	12.4
	03:52	0.014	0.469	1.992	1.146	1.713	3.606	0.398	5.191	51.4	16.6	7.92	15.4	10.5
	04:22	0.008	0.136	2.553	1.284	1.328	3.973	0.456	5.226	110	18.8	13.9	12.6	10.3
	05:22	0.031	0.125	1.882	1.276	1.991	3.284	1.108	4.663	277	19.6	28.6	10.3	7.15
	06:22	0.094	0.170	2.410	1.767	2.070	4.347	0.701	5.737	116	16.8	13.0	11.2	7.36
	07:22	0.120	0.178	2.501	1.740	2.074	4.419	0.605	5.549	59.0	15.1	7.49	12.7	8.12
	08:22	0.126	0.192	2.588	1.580	2.334	4.360	0.492	5.408	31.7	13.4	4.62	14.6	7.58
	09:22	0.133	0.194	2.561	1.440	2.291	4.195	0.500	5.317	26.7	12.7	3.92	14.7	7.50
	10:22	0.142	0.196	2.539	1.300	2.445	4.035	0.492	4.966	22.5	12.6	3.44	15.3	7.55
	11:22	0.134	0.197	2.579	1.144	2.729	3.920	0.479	4.829	26.8	12.8	3.80	14.2	8.92
	12:22	0.131	0.193	2.619	1.051	2.837	3.863	0.457	4.834	19.6	12.5	3.40	17.4	7.85
13:22	0.127	0.190	2.655	1.003	3.057	3.848	0.460	4.876	21.1	12.8	3.44	16.3	8.02	
<b>최소</b>		<b>0.008</b>	<b>0.070</b>	<b>1.282</b>	<b>0.023</b>	<b>1.328</b>	<b>1.375</b>	<b>0.382</b>	<b>2.492</b>	<b>19.6</b>	<b>12.5</b>	<b>3.40</b>	<b>10.1</b>	<b>7.15</b>
<b>최대</b>		<b>0.142</b>	<b>0.787</b>	<b>2.684</b>	<b>1.767</b>	<b>3.057</b>	<b>4.419</b>	<b>1.108</b>	<b>5.737</b>	<b>277</b>	<b>19.6</b>	<b>28.6</b>	<b>17.4</b>	<b>12.4</b>
<b>평균</b>		<b>0.078</b>	<b>0.229</b>	<b>2.305</b>	<b>1.187</b>	<b>2.137</b>	<b>3.721</b>	<b>0.527</b>	<b>4.921</b>	<b>73.6</b>	<b>15.6</b>	<b>8.86</b>	<b>13.6</b>	<b>8.73</b>

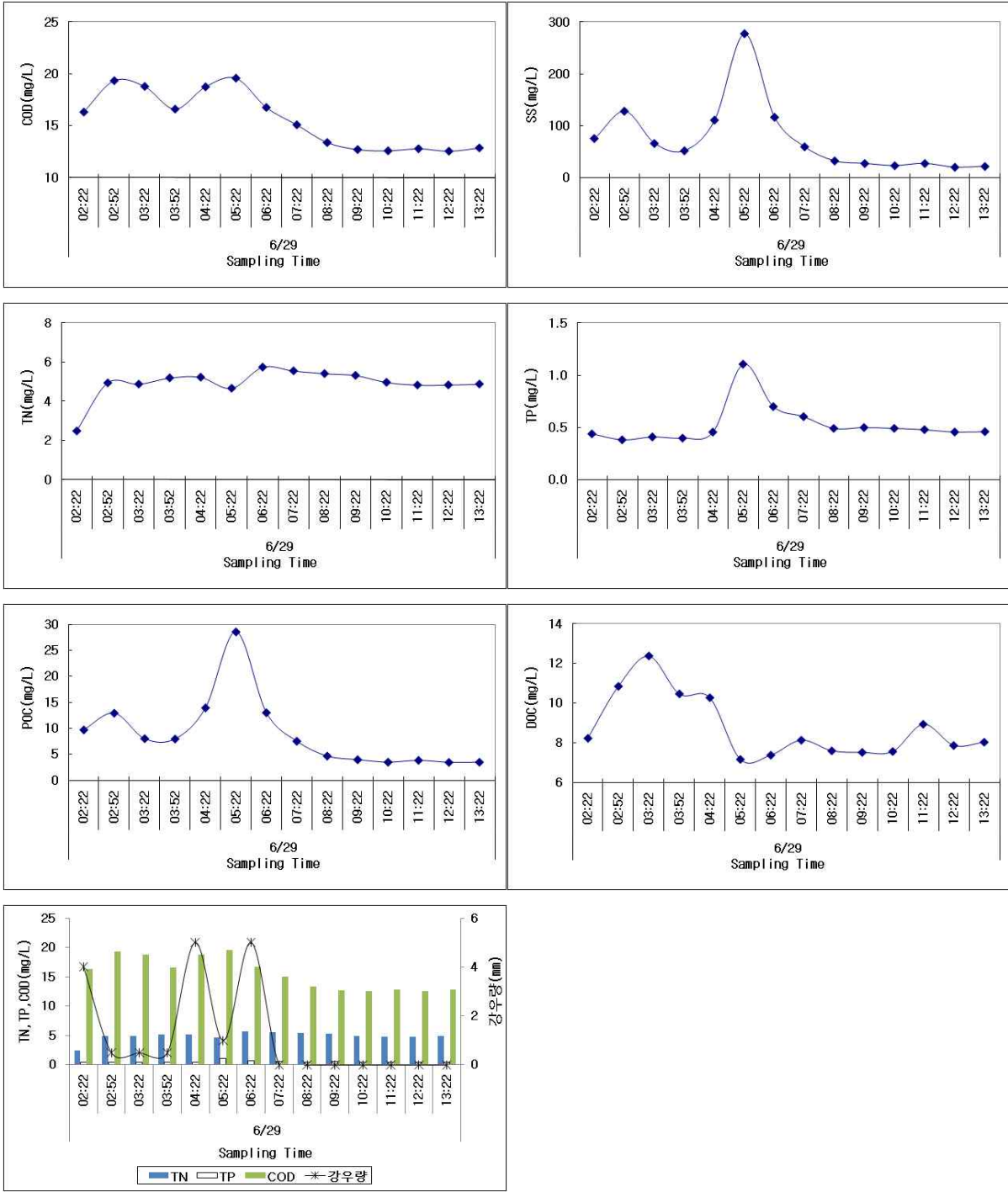


그림 4-1-1(c). 계속(2009. 6. 29)

표 4-1-1(d). 계속(2009. 7. 2)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
7/2	14:29	0.111	0.158	1.893	0.760	4.128	2.811	0.497	4.352	31.8	16.6	5.49	17.3	11.5
	14:59	0.046	0.073	1.664	1.357	1.320	3.094	1.101	4.453	377	20.2	31.0	8.22	5.83
	15:29	0.075	0.068	1.772	1.908	1.322	3.748	1.531	5.385	423	20.6	34.0	8.04	5.47
	15:59	0.080	0.067	1.544	1.777	1.103	3.388	1.221	5.067	294	19.0	25.2	8.59	5.16
	16:29	0.101	0.066	1.470	1.707	1.045	3.242	0.830	4.747	209	16.5	18.2	8.74	2.65
	16:59	0.143	0.073	1.511	1.644	1.165	3.228	0.895	4.765	187	15.3	13.1	7.01	3.49
	17:59	0.210	0.094	1.793	1.602	1.447	3.489	0.897	4.834	181	13.7	10.6	5.86	6.16
	18:59	0.196	0.109	1.941	1.449	1.626	3.499	0.790	4.990	152	13.5	7.65	5.02	4.98
	19:59	0.190	0.128	2.168	1.226	1.986	3.523	0.774	5.075	156	13.4	6.94	4.45	6.11
	20:59	0.186	0.140	2.308	1.090	2.330	3.538	0.706	4.917	139	13.2	6.43	4.61	6.28
21:59	0.186	0.150	2.410	1.045	2.648	3.605	0.639	4.843	95.9	12.3	5.18	5.40	6.06	
<b>최소</b>		<b>0.046</b>	<b>0.066</b>	<b>1.470</b>	<b>0.760</b>	<b>1.045</b>	<b>2.811</b>	<b>0.497</b>	<b>4.352</b>	<b>31.8</b>	<b>12.3</b>	<b>5.18</b>	<b>4.45</b>	<b>2.65</b>
<b>최대</b>		<b>0.210</b>	<b>0.158</b>	<b>2.410</b>	<b>1.908</b>	<b>4.128</b>	<b>3.748</b>	<b>1.531</b>	<b>5.385</b>	<b>423</b>	<b>20.6</b>	<b>34.0</b>	<b>17.3</b>	<b>11.5</b>
<b>평균</b>		<b>0.138</b>	<b>0.102</b>	<b>1.861</b>	<b>1.415</b>	<b>1.829</b>	<b>3.379</b>	<b>0.898</b>	<b>4.857</b>	<b>204</b>	<b>15.9</b>	<b>14.9</b>	<b>7.57</b>	<b>5.79</b>

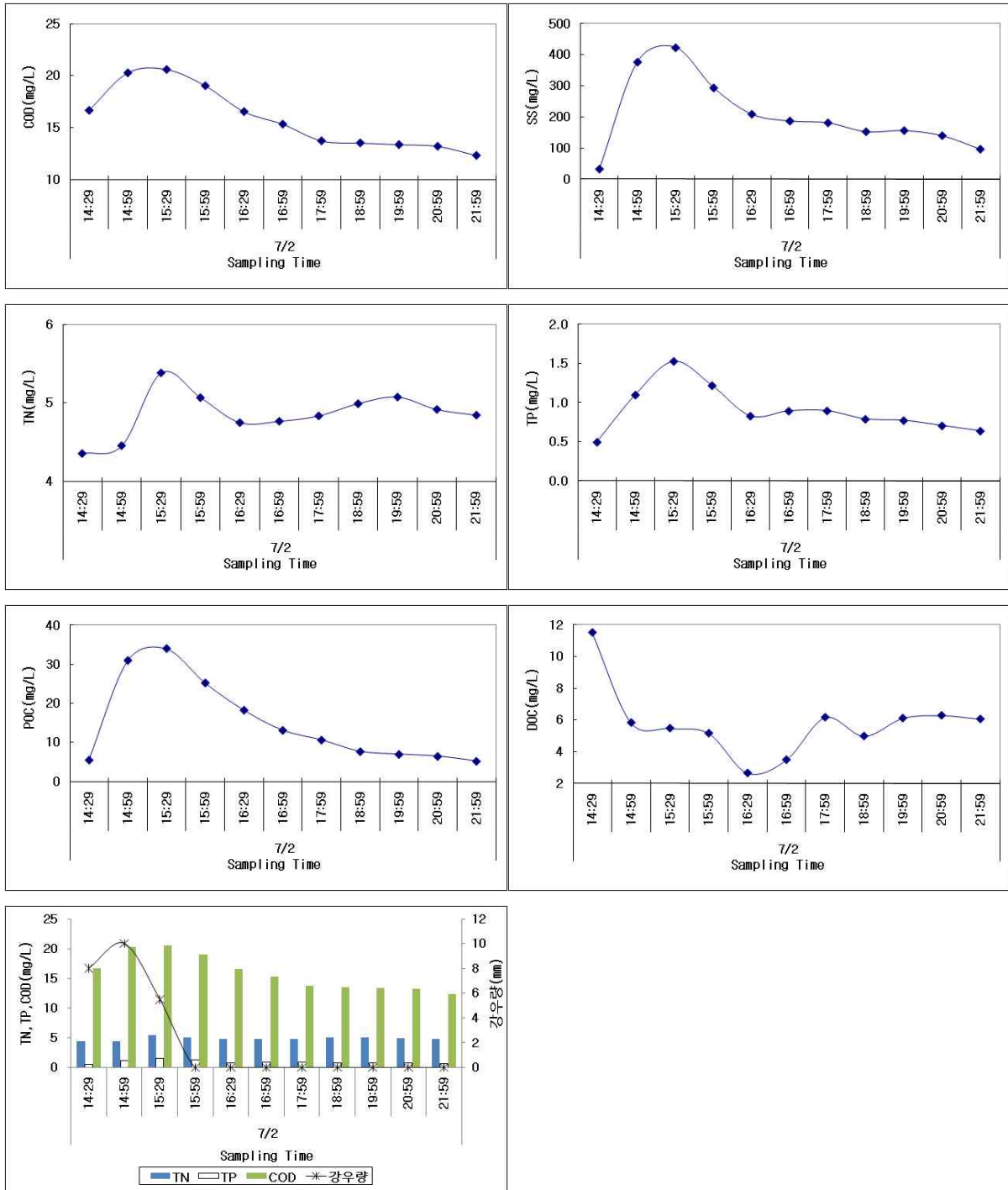


그림 4-1-1(d). 계속(2009. 7. 2)

표 4-1-1(e). 계속(2009. 7. 9)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
7/9	05:31	0.065	0.136	1.441	0.053	4.148	1.629	0.357	2.398	22.4	8.8	5.42	24.2	5.49
	06:01	0.037	0.126	1.413	0.315	2.143	1.854	0.504	2.720	94.2	9.8	8.71	9.25	4.28
	06:31	0.064	0.058	0.674	0.471	1.272	1.203	0.818	2.090	298	15.4	22.2	7.43	3.23
	07:01	0.065	0.043	0.528	0.469	0.961	1.041	0.473	1.699	290	8.8	88.2	30.4	2.34
	07:31	0.082	0.041	0.434	0.503	0.797	0.977	0.434	1.659	250	8.8	14.9	5.95	2.69
	08:31	0.149	0.066	0.725	0.663	1.121	1.454	1.192	2.436	469	12.6	20.4	4.34	2.91
	09:31	0.221	0.091	1.360	0.769	1.564	2.219	1.051	3.260	288	10.9	10.8	3.76	2.94
	10:31	0.215	0.072	1.387	0.754	1.461	2.213	0.733	3.255	147	9.2	8.75	5.94	3.78
	11:31	0.224	0.079	1.610	0.645	1.509	2.334	0.705	3.056	140	9.9	6.47	4.63	3.76
	12:31	0.274	0.092	2.192	0.579	1.915	2.863	0.972	3.602	193	10.9	6.88	3.57	4.28
	13:31	0.271	0.094	2.347	0.732	2.246	3.174	0.871	4.067	118	10.0	5.54	4.70	4.44
	14:31	0.220	0.091	2.415	0.793	2.032	3.300	0.744	4.122	116	10.0	5.73	4.96	4.44
	15:31	0.209	0.081	2.055	0.657	1.883	2.793	0.919	3.651	227	12.0	9.04	3.99	3.62
	16:31	0.225	0.074	2.242	0.454	1.877	2.770	1.466	3.687	557	12.0	17.4	3.12	3.71
	17:31	0.288	0.072	2.838	0.420	2.281	3.331	1.374	4.223	343	12.9	11.6	3.40	4.12
	18:31	0.312	0.075	3.425	0.474	2.842	3.974	0.997	4.878	174	10.8	7.08	4.06	4.53
19:31	0.290	0.084	4.028	0.476	3.187	4.588	0.842	5.622	83.1	10.2	4.28	5.15	4.79	
<b>최소</b>		<b>0.037</b>	<b>0.041</b>	<b>0.434</b>	<b>0.053</b>	<b>0.797</b>	<b>0.977</b>	<b>0.357</b>	<b>1.659</b>	<b>22.4</b>	<b>8.8</b>	<b>4.28</b>	<b>3.12</b>	<b>2.34</b>
<b>최대</b>		<b>0.312</b>	<b>0.136</b>	<b>4.028</b>	<b>0.793</b>	<b>4.148</b>	<b>4.588</b>	<b>1.466</b>	<b>5.622</b>	<b>557</b>	<b>15.4</b>	<b>88.2</b>	<b>30.4</b>	<b>5.49</b>
<b>평균</b>		<b>0.189</b>	<b>0.081</b>	<b>1.830</b>	<b>0.543</b>	<b>1.955</b>	<b>2.454</b>	<b>0.850</b>	<b>3.319</b>	<b>224</b>	<b>10.8</b>	<b>14.90</b>	<b>7.58</b>	<b>3.84</b>

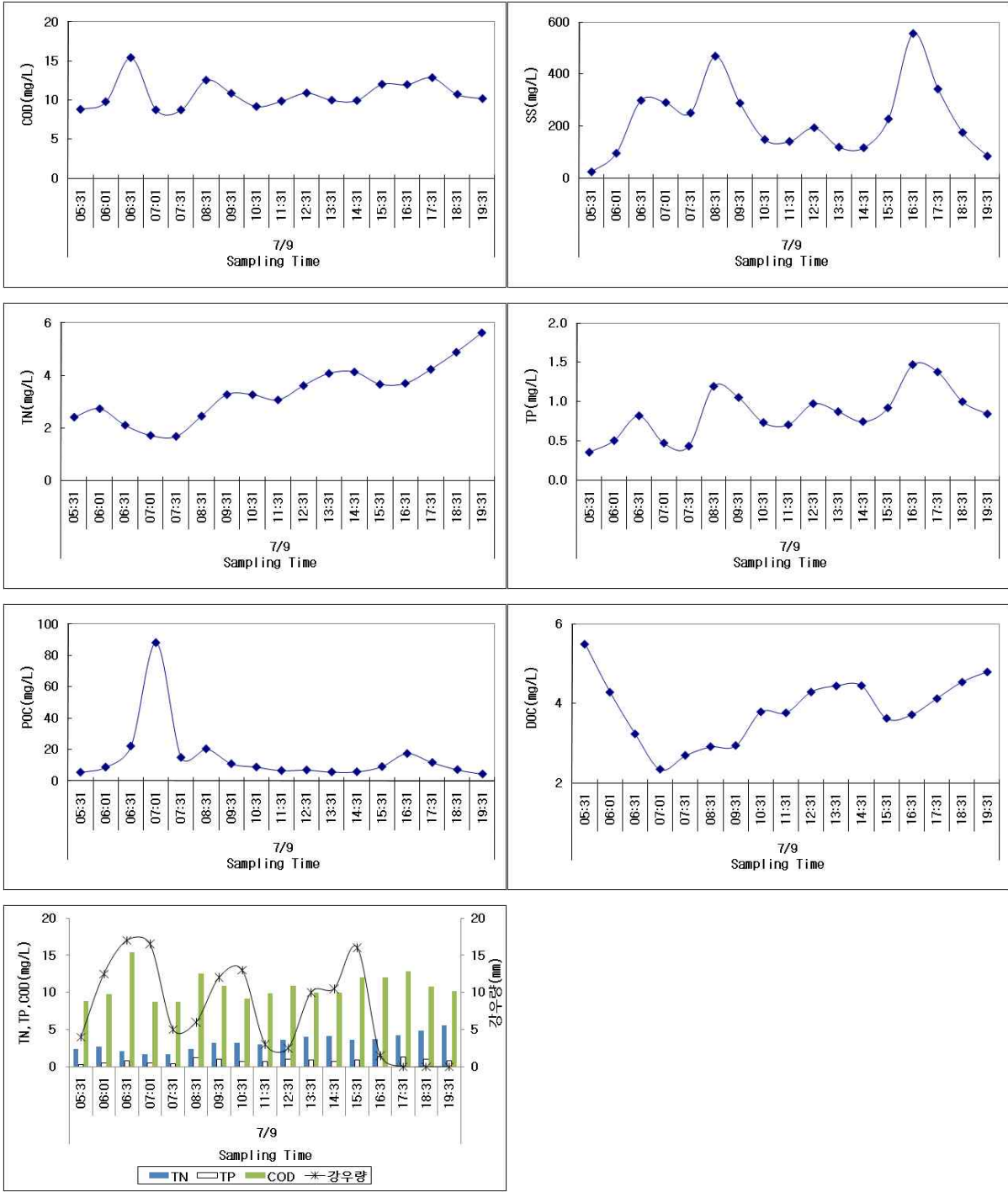


그림 4-1-1(e). 계속(2009. 7. 9)



표 4-1-1(f). 계속(2009. 8. 11~12)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
8/11	10:23	0.296	0.007	0.020	0.197	2.194	0.224	0.795	2.186	330	23.5	17.7	5.36	-
	10:53	0.094	0.115	1.388	0.218	3.799	1.721	0.321	2.979	57.6	10.6	4.01	6.96	7.75
	11:23	0.080	0.129	1.139	0.307	2.670	1.574	0.273	2.585	101	10.7	6.97	6.91	5.86
	11:53	0.088	0.155	1.193	0.423	3.059	1.770	0.284	2.791	97.2	9.0	5.86	6.03	5.47
	12:23	0.129	0.109	0.714	0.975	2.807	1.798	0.708	3.079	200	16.3	11.2	5.63	3.88
	12:53	0.185	0.092	0.402	1.030	2.416	1.524	0.674	3.004	219	16.2	15.9	7.26	5.02
	13:23	0.106	0.073	0.297	0.888	1.572	1.258	0.332	2.276	134	10.1	10.9	8.09	3.44
	13:53	0.126	0.169	0.713	0.771	1.304	1.653	0.310	2.497	99.1	7.8	11.4	11.5	4.14
	15:53	0.148	0.150	0.793	0.641	1.181	1.585	0.274	2.524	90.2	7.1	5.57	6.17	3.30
	16:53	0.171	0.167	0.842	0.485	1.433	1.494	0.308	2.131	46.6	7.6	3.19	6.85	5.33
	17:53	0.225	0.176	1.011	0.433	1.505	1.621	0.340	2.629	106	7.3	4.86	4.58	4.09
	18:53	0.230	0.175	0.986	0.584	1.509	1.745	0.344	2.613	65.8	7.7	3.80	5.77	3.65
	19:53	0.187	0.179	1.174	0.527	1.498	1.879	0.378	3.080	75.7	7.9	4.47	5.90	3.48
	20:53	0.196	0.176	1.285	0.497	2.211	1.959	0.409	3.082	75.8	8.4	4.22	5.57	3.61
	21:53	0.194	0.164	1.249	0.651	2.607	2.064	0.364	2.965	62.5	8.8	3.96	6.34	3.96
22:53	0.196	0.163	1.340	0.739	2.942	2.242	0.358	3.321	56.5	8.8	4.26	7.55	4.14	
23:53	0.125	0.149	1.167	0.781	2.976	2.097	0.348	3.045	82.9	8.8	6.75	8.14	3.72	
8/12	00:53	0.102	0.146	1.178	0.665	2.494	1.989	0.313	2.764	82.6	8.4	6.33	7.66	3.29
	01:53	0.129	0.105	0.977	0.591	2.056	1.673	0.296	2.669	100	7.9	5.27	5.25	3.11
	02:53	0.164	0.095	1.141	0.403	2.613	1.639	0.313	2.873	96.0	7.2	4.49	4.68	3.74
	03:53	0.184	0.093	1.235	0.347	2.814	1.674	0.343	2.184	85.9	7.6	3.36	3.91	3.76
	04:53	0.173	0.092	1.266	0.338	2.778	1.696	0.298	2.434	58.4	6.6	2.99	5.12	3.71
	05:53	0.114	0.063	0.926	0.252	1.905	1.241	0.276	1.624	68.7	6.8	3.94	5.74	3.81
	06:53	0.159	0.085	0.986	0.188	1.962	1.259	0.368	1.437	129	8.3	5.73	4.46	2.73
<b>최소</b>		<b>0.080</b>	<b>0.007</b>	<b>0.020</b>	<b>0.188</b>	<b>1.181</b>	<b>0.224</b>	<b>0.273</b>	<b>1.437</b>	<b>46.6</b>	<b>6.6</b>	<b>2.99</b>	<b>3.91</b>	<b>2.73</b>
<b>최대</b>		<b>0.296</b>	<b>0.179</b>	<b>1.388</b>	<b>1.030</b>	<b>3.799</b>	<b>2.242</b>	<b>0.795</b>	<b>3.321</b>	<b>330</b>	<b>23.5</b>	<b>17.7</b>	<b>11.5</b>	<b>7.75</b>
<b>평균</b>		<b>0.158</b>	<b>0.126</b>	<b>0.976</b>	<b>0.539</b>	<b>2.263</b>	<b>1.641</b>	<b>0.376</b>	<b>2.615</b>	<b>105</b>	<b>9.6</b>	<b>6.55</b>	<b>6.31</b>	<b>4.13</b>

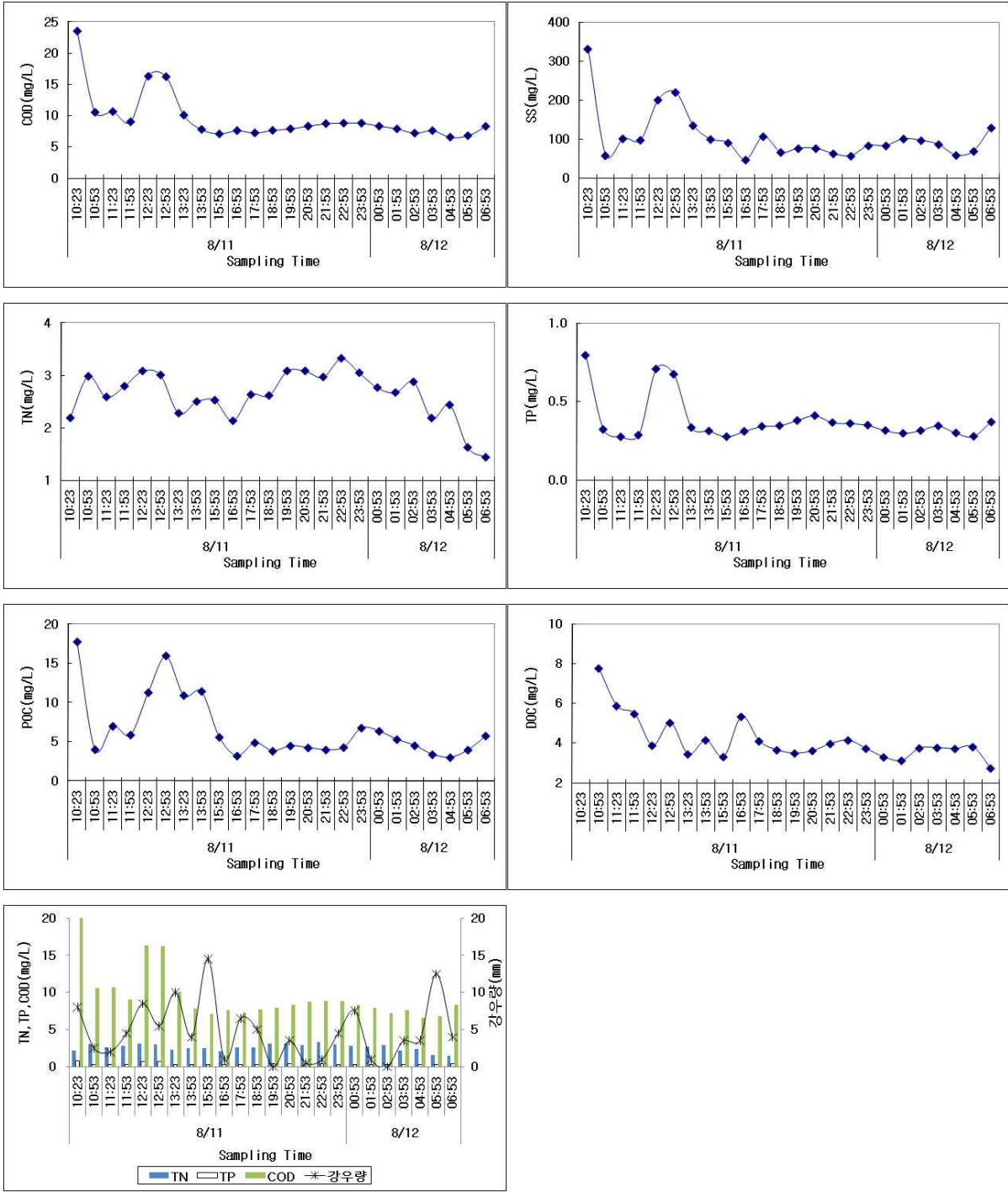


그림 4-1-1(f). 계속(2009. 8. 11~12)

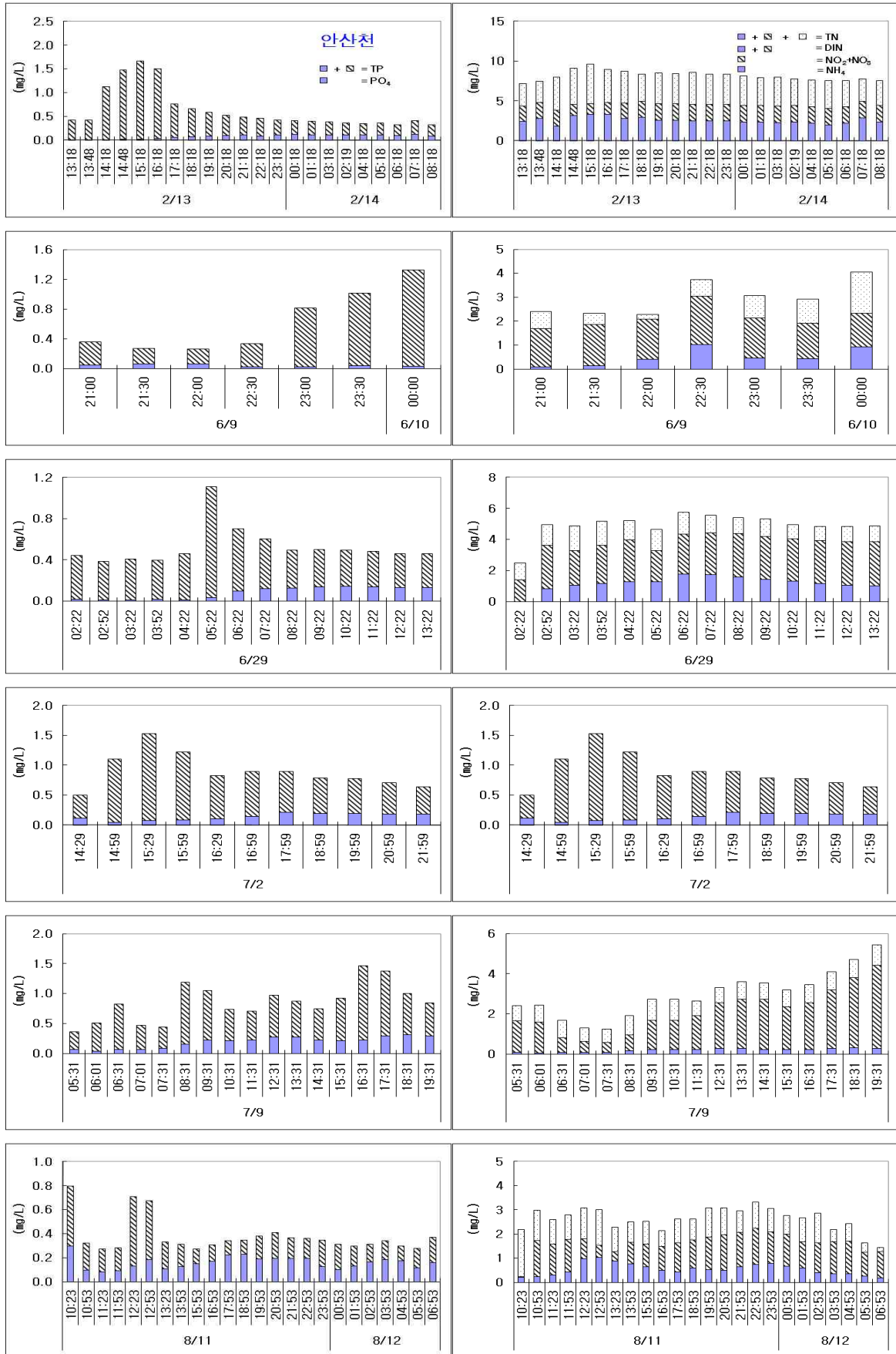


그림 4-1-2. 강우시 안산천의 질소 및 인의 성분별 분포

## 1.2. 화정천

2월 13~14일 조사에서 COD는 11.0~24.7mg/L(평균 16.1mg/L) 이었으며, 강우시작부터 증가하여 2시간 30분후에 24.7mg/L로 가장 높게 나타났으며 그 이후에는 점차적으로 낮아졌다. 총질소는 6.059~10.154mg/L(평균 8.772mg/L) 이었으며, 일정한 양상을 보이지 않았고, 강우중간에 급속히 낮아지는 경우가 있었다. 총인은 0.279~1.932mg/L(평균 0.641mg/L)이었으며, 총질소와는 매우 다른 나타냈으며, COD, 부유물질, 입자성 유기탄소와 유사한 변화양상을 보였다.

4월 조사에서는 COD 7.3~24.6mg/L(평균 15.4mg/L)로서 강우초기에는 강우량이 많지 않아 농도변화가 거의 없었으며, 강우시작 9시간부터 강우량이 많아지면서 농도가 급격히 20mg/L을 상회하였다. 그 이외의 항목도 초기에는 낮았으나, 강우량이 많아지면서 급격한 농도 증가를 보였다.

6월 9~10일 조사에서 COD는 10.0~24.5mg/L(평균 16.3mg/L)로 강우초기에 높으며, 농도변화가 크게 나타났으나, 전체적으로는 강우가 진행됨에 따라 낮아지는 양상을 보였다. 총질소는 3.555~6.614mg/L(평균 4.689mg/L)로 전체적으로 강우초부터 농도변화는 크지 않았으며, 총인은 0.260~2.428mg/L(평균 0.720mg/L)로 강우초기에 2mg/L를 초과하는 높은 농도를 보였으나, 급격히 감소하여 강우초기에 비해서 크게 낮은 농도를 유지하였다.

7월 2일 조사에서 COD 8.7~21.2mg/L(평균 14.7mg/L)로서 강우초기부터 약간 높은 농도를 보였으나, 서서히 감소하는 양상을 보였다. 총질소는 2.071~7.275mg/L(평균 5.467mg/L)로 강우시작 시작 시간에는 2mg/L로 낮았으나, 그 이후로는 5mg/L 이상으로 높은 농도를 나타냈다. 총인은 0.325~2.353mg/L(평균 0.749mg/L)로서 강우시작 1시간 30분 후에 2mg/L를 초과하였으나, 그 이후로는 강우초기와 유사하였으며, 부유물질과 비슷한 변화를 나타냈다. 한편, 7월 9일 조사에서 COD는 7.2~14.2mg/L(평균 9.8 mg/L)로서 강우초기부터 농도변화는 거의 나타내지 않고 균일한 양상을 보였다. 총질소는 1.748~4.775mg/L(평균 3.111mg/L)로서 강우초기부터 서서히 증가하는 양상을 나타냈으며, 총인은 0.252~1.207mg/L(평균 0.582mg/L)로서 시간에 따른 농도의 변화가 크게 나타났으며, 지속적으로 높아지는 변화를 보였다. 부유물질은 총인의 변화와 매우 유사하였다.

8월 11~12일 조사에서 COD는 4.1~24.1mg/L(평균 8.1mg/L)로 강우초기에 24.2mg/L로 높은 농도를 보였으며, 강우 20분 후 3시간 동안에 11~14mg/L의 농도를 유지했다. 그 이후로는 4~6mg/L의 비교적 균일한 분포를 보였으며, 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 총질소는 1.365~3.065mg/L(평균 2.211mg/L)로서 강우초기부터 전체적으로 균일한 변화를 보였다. 한편, 총인은 0.103~0.608mg/L(평균 0.254mg/L)의 변화를 보였는데, 강우 시작 후부터 점차적으로 낮아졌으며, COD와 매우 유사한 분포를 나타냈다.

한편, 형태별 인 및 질소의 분포를 보면(그림 4-1-4), 인의 경우에는 대부분이 인산염의 형태로 나타났으며, 8월에는 인산염 비율이 강우초기에는 낮았으나, 강우중에는 비교적 높게 나타났다. 질소는 2~4월에 용존성 질소화합물과 그 이외의 질소화합물의 비가 유사하였으며, 그 이외의 시기에는 대부분이 용존성 질소화합물로 나타났다.

표 4-1-2(a). 강우시 화정천의 수질분포(2009. 2. 13-14)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
2/13	13:32	0.025	0.318	1.769	3.109	0.911	5.196	0.508	10.154	51.4	20.8	14.6	28.4	11.9
	14:02	0.019	0.338	1.695	2.487	0.691	4.521	0.704	8.252	176	22.9	31.7	18.0	11.2
	14:32	0.023	0.247	1.373	2.956	0.959	4.576	1.307	8.317	245	23.8	48.8	19.9	9.17
	15:02	0.037	0.162	0.827	3.980	0.860	4.969	1.932	8.424	268	24.4	53.4	19.9	8.66
	15:32	0.039	0.325	1.387	4.483	0.714	6.194	1.807	9.967	277	24.7	53.8	19.4	9.87
	16:32	0.058	0.166	1.850	3.534	0.676	5.549	0.852	9.280	119	19.0	21.2	17.8	9.12
	17:32	0.071	0.164	1.878	2.939	0.791	4.981	0.616	6.059	102	17.7	16.2	15.9	8.37
	18:32	0.081	0.162	1.921	2.729	0.823	4.812	0.531	8.156	80.5	16.4	13.0	16.1	8.25
	19:32	0.092	0.220	1.870	2.717	1.262	4.807	0.447	7.822	64.5	14.8	11.2	17.4	6.96
	20:32	0.101	0.245	1.845	2.219	1.248	4.309	0.409	8.935	43.5	14.2	7.48	17.2	7.98
	21:32	0.103	0.262	1.832	2.958	0.646	5.052	0.396	8.016	36.2	13.9	6.91	19.1	7.88
	22:32	0.095	0.279	1.816	2.940	0.735	5.034	0.392	9.848	30.5	13.3	6.06	19.9	7.69
	23:32	0.090	0.262	1.834	3.150	0.740	5.245	0.411	9.990	25.5	13.2	6.10	23.9	7.61
2/14	00:32	0.100	0.252	1.835	3.564	0.887	5.651	0.423	9.957	23.1	13.0	6.04	26.1	7.48
	01:32	0.100	0.284	1.811	3.518	1.053	5.612	0.397	9.679	19.6	12.0	5.43	27.7	7.73
	02:32	0.073	0.210	1.867	3.145	0.956	5.223	0.375	9.188	17.9	11.8	4.99	27.8	7.44
	03:32	0.075	0.239	1.850	3.002	0.751	5.091	0.362	8.891	16.6	11.4	4.86	29.3	7.36
	04:32	0.079	0.243	1.835	2.538	0.800	4.616	0.356	8.603	13.1	12.1	4.47	34.1	7.31
	05:32	0.076	0.274	1.806	3.040	0.998	5.121	0.309	8.223	12.3	11.4	3.87	31.6	7.03
	06:32	0.071	0.247	1.783	2.738	0.981	4.768	0.279	7.672	8.7	11.0	3.42	39.5	7.34
<b>최소</b>		<b>0.019</b>	<b>0.162</b>	<b>0.827</b>	<b>2.219</b>	<b>0.646</b>	<b>4.309</b>	<b>0.279</b>	<b>6.059</b>	<b>8.7</b>	<b>11.0</b>	<b>3.42</b>	<b>15.9</b>	<b>6.96</b>
<b>최대</b>		<b>0.103</b>	<b>0.338</b>	<b>1.921</b>	<b>4.483</b>	<b>1.262</b>	<b>6.194</b>	<b>1.932</b>	<b>10.154</b>	<b>277</b>	<b>24.7</b>	<b>53.8</b>	<b>39.5</b>	<b>11.9</b>
<b>평균</b>		<b>0.070</b>	<b>0.245</b>	<b>1.734</b>	<b>3.087</b>	<b>0.874</b>	<b>5.066</b>	<b>0.641</b>	<b>8.772</b>	<b>81.6</b>	<b>16.1</b>	<b>16.2</b>	<b>23.5</b>	<b>8.31</b>

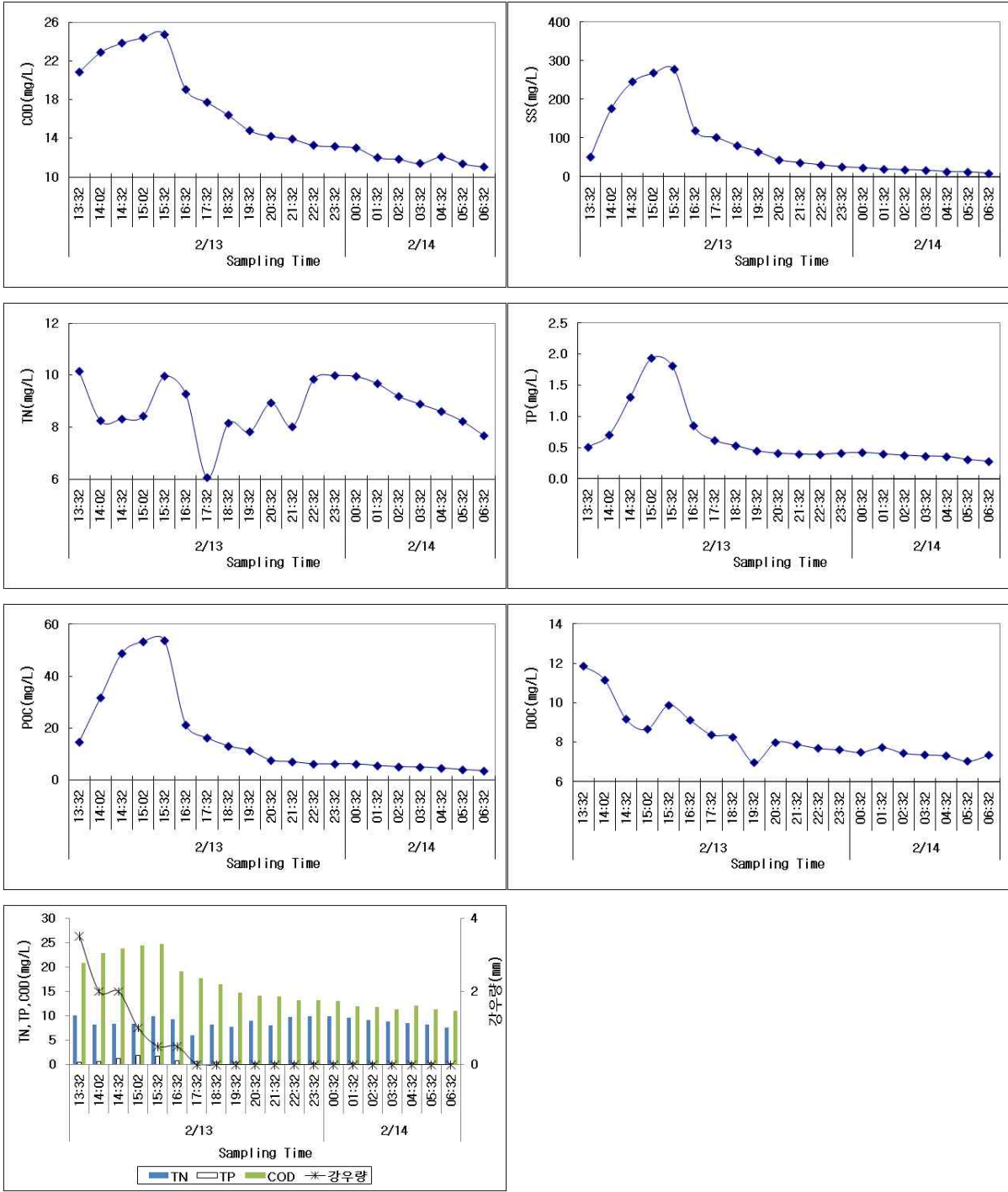


그림 4-1-3(a). 강우시 화정천의 수질변화(2009. 2. 13~14)

표 4-1-2(b). 계속(2009. 4. 20~21)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
4/20	13:07	0.132	0.094	1.139	2.134	1.665	3.367	0.590	4.721	25.2	13.1	5.98	23.7	5.95
	13:37	0.108	0.100	1.165	1.331	1.829	2.597	0.495	4.290	21.6	12.8	5.39	25.0	5.30
	14:07	0.098	0.109	1.261	1.274	1.977	2.644	0.432	4.035	18.3	11.6	4.54	24.8	5.35
	14:37	0.090	0.109	1.321	0.853	2.285	2.283	0.397	4.012	13.7	10.9	3.73	27.2	5.13
	15:07	0.084	0.109	1.388	0.844	2.444	2.341	0.374	3.827	11.7	9.8	3.73	31.9	6.27
	15:37	0.077	0.106	1.355	0.817	2.686	2.278	0.351	3.667	9.0	9.4	3.11	34.5	6.91
	16:37	0.074	0.107	1.348	0.593	2.832	2.048	0.328	3.550	7.4	9.0	2.78	37.9	7.08
	17:37	0.069	0.084	1.042	0.691	2.955	1.817	0.319	3.437	7.2	8.7	2.80	39.1	5.85
	18:37	0.060	0.106	1.281	0.682	3.169	2.069	0.330	3.576	7.9	8.6	3.36	42.3	4.91
	19:37	0.057	0.106	1.244	0.735	3.214	2.085	0.325	3.293	8.0	8.2	2.87	36.1	4.65
	20:37	0.051	0.107	1.237	0.618	3.406	1.963	0.368	3.250	11.2	8.5	3.62	32.5	4.15
	21:37	0.047	0.106	1.247	0.766	3.520	2.119	0.272	3.135	5.6	7.3	2.43	43.9	4.49
	22:37	0.227	0.084	0.663	5.221	2.017	5.969	1.441	10.774	46.9	23.3	13.9	29.7	13.2
23:37	0.418	0.102	0.540	6.789	2.303	7.431	2.156	14.981	81.1	24.6	25.4	31.3	16.8	
4/21	01:37	0.414	0.109	0.575	7.189	2.316	7.873	2.042	14.593	56.0	24.6	19.5	34.9	16.5
	02:37	0.343	0.093	0.584	3.696	2.393	4.373	1.774	12.568	58.4	24.2	19.5	33.3	14.2
	03:37	0.234	0.086	0.626	4.457	2.598	5.170	1.351	10.094	49.1	21.6	16.5	33.7	11.2
	04:37	0.158	0.094	0.706	3.958	2.694	4.758	1.120	9.112	49.7	22.5	15.5	31.3	12.5
	05:37	0.142	0.085	0.715	3.298	2.072	4.098	1.123	7.100	76.3	21.9	18.5	24.2	10.9
	06:37	0.158	0.067	0.626	2.819	1.527	3.513	1.248	7.152	89.1	21.7	21.5	24.1	9.69
	07:37	0.126	0.079	1.017	1.853	1.588	2.949	1.162	6.057	86.0	21.5	19.8	23.0	7.92
	08:37	0.117	0.081	1.068	1.558	1.605	2.707	0.875	5.039	69.5	17.7	15.7	22.6	8.51
	09:37	0.113	0.081	1.059	1.680	1.551	2.821	0.652	4.269	49.1	15.0	10.3	21.0	11.7
	10:37	0.108	0.082	1.013	1.593	1.484	2.688	0.523	4.070	34.9	13.0	7.79	22.3	6.54
<b>최소</b>		<b>0.047</b>	<b>0.067</b>	<b>0.540</b>	<b>0.593</b>	<b>1.484</b>	<b>1.817</b>	<b>0.272</b>	<b>3.135</b>	<b>5.6</b>	<b>7.3</b>	<b>2.43</b>	<b>21.0</b>	<b>4.15</b>
<b>최대</b>		<b>0.418</b>	<b>0.109</b>	<b>1.388</b>	<b>7.189</b>	<b>3.520</b>	<b>7.873</b>	<b>2.156</b>	<b>14.981</b>	<b>89.1</b>	<b>24.6</b>	<b>25.4</b>	<b>43.9</b>	<b>16.8</b>
<b>평균</b>		<b>0.146</b>	<b>0.095</b>	<b>1.009</b>	<b>2.310</b>	<b>2.339</b>	<b>3.415</b>	<b>0.835</b>	<b>6.275</b>	<b>37.2</b>	<b>15.4</b>	<b>10.3</b>	<b>30.4</b>	<b>8.57</b>

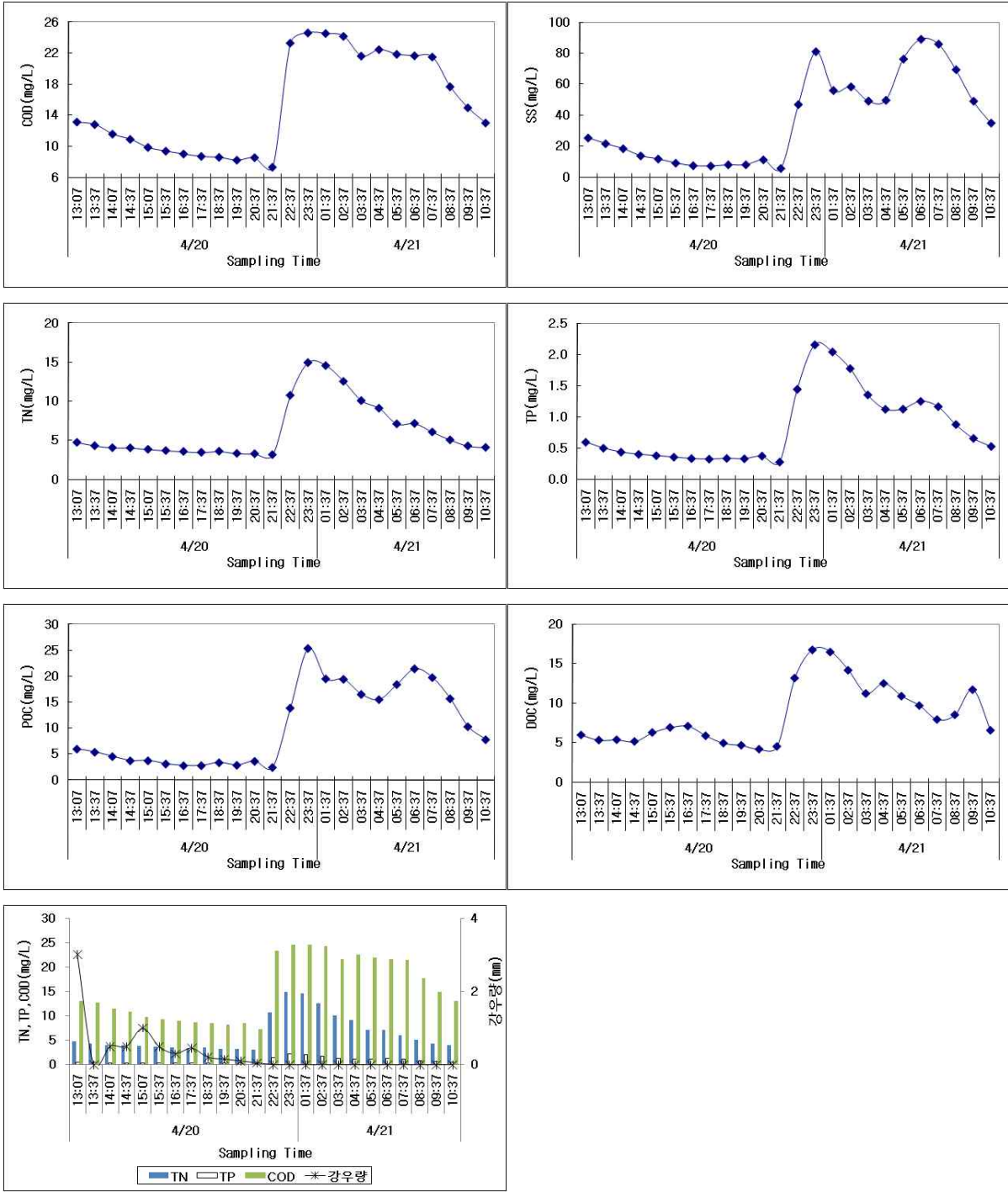


그림 4-1-3(b). 계속(2009. 4. 20~21)



표 4-1-2(c). 계속(2009. 6. 9~10)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
6/9	21:00	0.751	0.075	1.277	1.103	2.003	2.455	2.428	5.753	103	24.5	27.8	26.9	29.5
	21:30	0.062	0.147	2.107	1.743	1.727	3.998	0.310	5.124	12.8	17.0	3.98	31.3	13.0
	22:00	0.037	0.167	1.560	1.521	1.088	3.247	0.260	4.388	6.8	14.6	2.80	40.9	10.7
	22:30	0.031	0.200	2.428	2.814	1.644	5.442	0.377	6.614	29.2	21.8	7.53	25.8	15.1
	23:00	0.035	0.097	1.530	1.408	0.870	3.035	0.459	3.912	108	18.4	12.5	11.6	7.04
	23:30	0.057	0.080	0.910	2.043	0.713	3.032	1.266	4.865	166	22.2	32.2	19.4	5.21
6/10	00:00	0.090	0.059	1.011	1.667	0.756	2.737	0.573	3.729	59.7	14.4	11.0	18.4	3.65
	00:30	0.096	0.089	1.371	1.912	0.970	3.372	0.814	4.730	77.0	17.2	15.2	19.7	4.91
	01:00	0.117	0.108	1.565	1.924	1.150	3.596	0.831	5.173	65.3	17.1	13.0	19.9	5.00
	01:30	0.133	0.114	1.494	2.072	1.206	3.680	0.706	4.912	44.7	14.4	8.51	19.1	5.22
	02:00	0.126	0.119	1.470	1.947	1.247	3.536	0.597	4.662	40.8	13.0	7.49	18.4	5.13
	02:30	0.122	0.119	1.370	1.639	1.168	3.128	0.537	4.248	32.0	12.1	5.91	18.5	4.93
	03:00	0.124	0.114	1.283	1.490	1.259	2.887	0.483	3.984	26.4	11.1	4.54	17.2	4.70
	03:30	0.126	0.106	1.175	1.332	1.253	2.614	0.436	3.555	19.5	10.0	3.68	18.9	4.65
<b>최소</b>		<b>0.031</b>	<b>0.059</b>	<b>0.910</b>	<b>1.103</b>	<b>0.713</b>	<b>2.455</b>	<b>0.260</b>	<b>3.555</b>	<b>6.8</b>	<b>10.0</b>	<b>2.80</b>	<b>11.6</b>	<b>3.65</b>
<b>최대</b>		<b>0.751</b>	<b>0.200</b>	<b>2.428</b>	<b>2.814</b>	<b>2.003</b>	<b>5.442</b>	<b>2.428</b>	<b>6.614</b>	<b>166</b>	<b>24.5</b>	<b>32.2</b>	<b>40.9</b>	<b>29.5</b>
<b>평균</b>		<b>0.136</b>	<b>0.114</b>	<b>1.468</b>	<b>1.758</b>	<b>1.218</b>	<b>3.340</b>	<b>0.720</b>	<b>4.689</b>	<b>56.5</b>	<b>16.3</b>	<b>11.2</b>	<b>21.9</b>	<b>8.48</b>

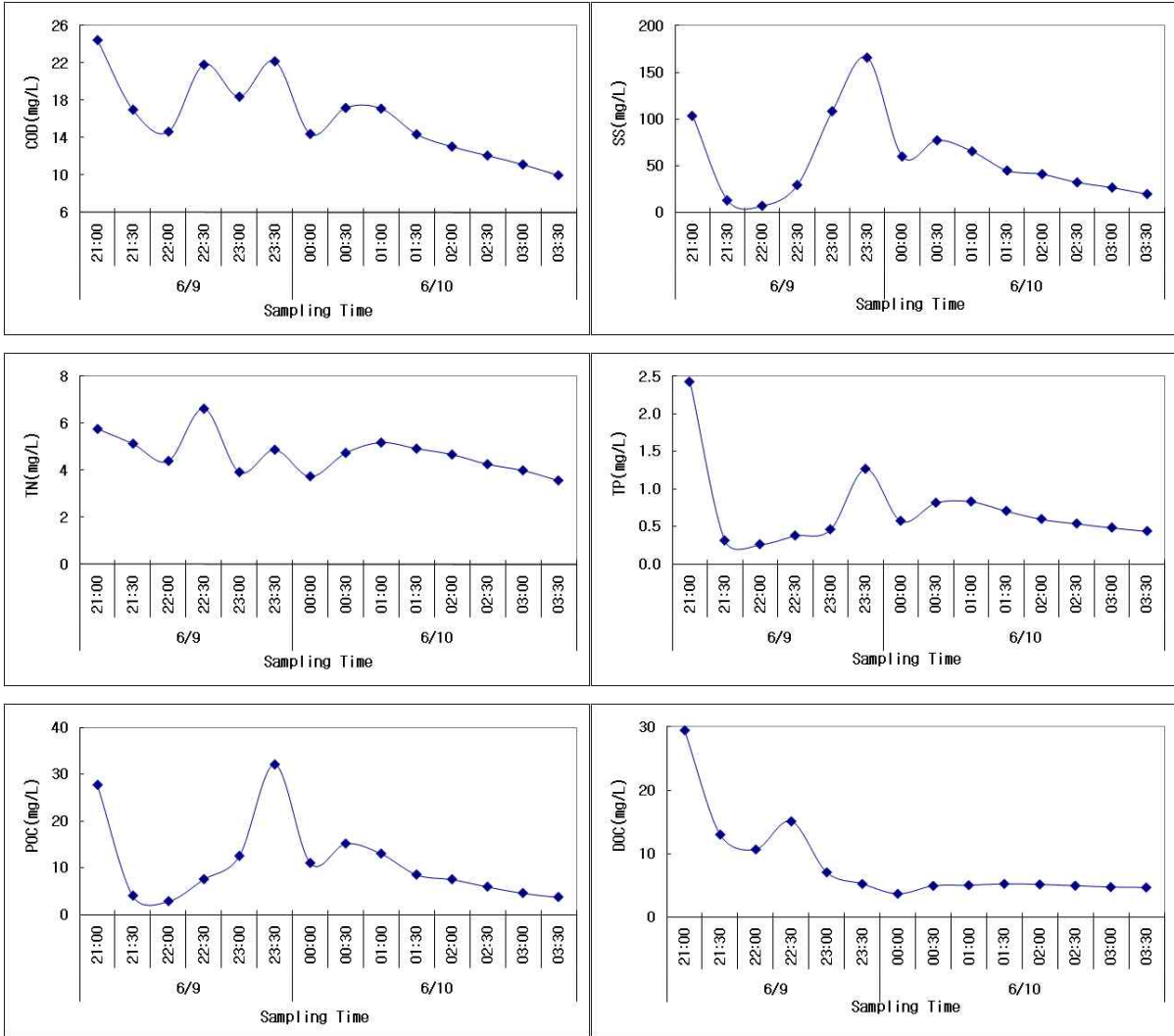


그림 4-1-3(c). 계속(2009. 6. 9~10)

표 4-1-2(d). 계속(2009. 6. 29)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
6/29	03:54	0.049	0.118	1.864	1.056	1.593	3.038	0.214	4.200	5.0	20.4	1.82	36.1	19.9
	04:24	0.056	0.066	1.644	1.297	0.797	3.008	0.358	3.846	99.4	15.5	6.65	6.69	8.98
	04:54	0.069	0.096	1.920	1.313	0.862	3.328	0.447	4.499	73.7	16.3	3.92	5.32	12.3
	05:24	0.084	0.103	1.850	1.227	1.072	3.180	0.483	4.426	26.4	14.0	2.53	9.62	10.2
	05:54	0.099	0.121	1.768	2.703	1.705	4.592	0.715	6.360	32.8	17.1	5.04	15.4	12.3
	06:54	0.064	0.264	2.627	2.714	1.831	5.606	0.608	7.490	41.2	15.8	5.27	12.8	9.52
	07:54	0.060	0.320	2.835	2.734	2.002	5.888	0.524	7.638	26.7	16.5	5.12	19.2	9.79
	08:54	0.068	0.356	2.956	2.583	2.104	5.895	0.433	7.324	18.6	14.7	4.11	22.1	10.1
	09:54	0.060	0.372	2.904	2.323	2.305	5.598	0.375	6.832	12.7	13.5	3.07	24.2	9.56
	10:54	0.100	0.360	2.489	3.414	2.482	6.263	0.470	8.071	10.4	14.0	3.38	32.5	9.95
	11:54	0.106	0.337	2.368	3.470	2.373	6.174	0.464	8.006	7.9	14.1	3.08	39.2	10.2
	12:54	0.101	0.325	2.505	2.905	2.242	5.735	0.396	6.789	7.3	13.6	2.49	34.3	10.0
13:54	0.098	0.323	2.611	1.721	1.921	4.655	0.352	6.079	6.3	13.3	2.32	37.1	10.7	
<b>최소</b>		<b>0.049</b>	<b>0.066</b>	<b>1.644</b>	<b>1.056</b>	<b>0.797</b>	<b>3.008</b>	<b>0.214</b>	<b>3.846</b>	<b>5.0</b>	<b>13.3</b>	<b>1.82</b>	<b>5.32</b>	<b>8.98</b>
<b>최대</b>		<b>0.106</b>	<b>0.372</b>	<b>2.956</b>	<b>3.470</b>	<b>2.482</b>	<b>6.263</b>	<b>0.715</b>	<b>8.071</b>	<b>99.4</b>	<b>20.4</b>	<b>6.65</b>	<b>39.2</b>	<b>19.9</b>
<b>평균</b>		<b>0.078</b>	<b>0.243</b>	<b>2.334</b>	<b>2.266</b>	<b>1.791</b>	<b>4.843</b>	<b>0.449</b>	<b>6.274</b>	<b>28.3</b>	<b>15.3</b>	<b>3.75</b>	<b>22.7</b>	<b>11.0</b>

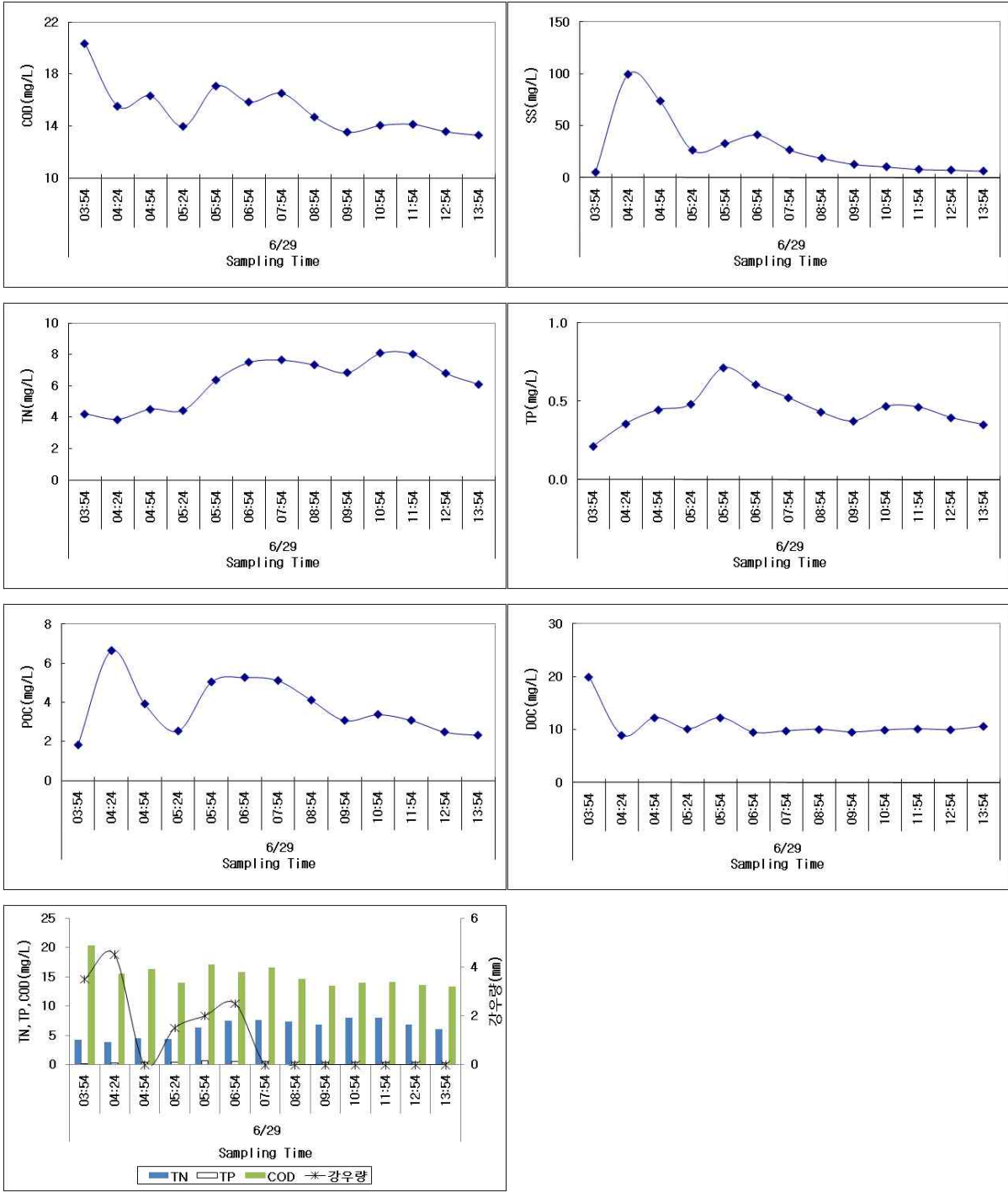


그림 4-1-3(d). 계속(2009. 6. 29)

표 4-1-2(e). 계속(2009. 7. 2)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
7/2	14:25	0.010	0.049	0.255	0.075	0.179	0.378	0.372	2.071	23.0	21.2	7.29	31.7	15.1
	14:55	0.046	0.025	1.835	2.036	0.388	3.895	0.566	5.387	312	15.8	16.0	5.13	5.30
	15:25	0.093	0.044	2.226	2.264	0.777	4.534	0.674	6.104	123	15.3	13.3	10.8	5.66
	15:55	0.041	0.088	2.074	2.680	1.173	4.842	2.353	7.275	738	20.8	49.5	6.70	5.58
	16:25	0.041	0.092	1.855	2.670	1.176	4.617	1.400	6.261	431	19.8	31.4	7.28	6.35
	16:55	0.048	0.091	1.819	2.542	1.108	4.452	0.846	5.894	190	16.2	13.9	7.34	5.98
	17:55	0.070	0.114	1.811	2.375	1.204	4.300	0.506	5.560	74.3	12.1	5.60	7.54	7.04
	18:55	0.084	0.142	1.777	2.237	1.379	4.156	0.421	5.453	42.4	11.0	3.55	8.37	6.41
	19:55	0.106	0.169	1.858	2.203	1.856	4.230	0.416	5.611	32.4	10.7	3.53	10.9	6.27
	20:55	0.100	0.179	2.078	1.868	2.274	4.124	0.360	5.335	22.6	10.0	2.74	12.1	5.61
	21:55	0.094	0.179	2.245	1.616	2.664	4.040	0.325	5.185	17.8	8.7	2.50	14.0	4.54
<b>최소</b>		<b>0.010</b>	<b>0.025</b>	<b>0.255</b>	<b>0.075</b>	<b>0.179</b>	<b>0.378</b>	<b>0.325</b>	<b>2.071</b>	<b>17.8</b>	<b>8.7</b>	<b>2.50</b>	<b>5.13</b>	<b>4.54</b>
<b>최대</b>		<b>0.106</b>	<b>0.179</b>	<b>2.245</b>	<b>2.680</b>	<b>2.664</b>	<b>4.842</b>	<b>2.353</b>	<b>7.275</b>	<b>738</b>	<b>21.2</b>	<b>49.5</b>	<b>31.7</b>	<b>15.1</b>
<b>평균</b>		<b>0.067</b>	<b>0.106</b>	<b>1.803</b>	<b>2.051</b>	<b>1.289</b>	<b>3.961</b>	<b>0.749</b>	<b>5.467</b>	<b>182</b>	<b>14.7</b>	<b>13.6</b>	<b>11.1</b>	<b>6.72</b>

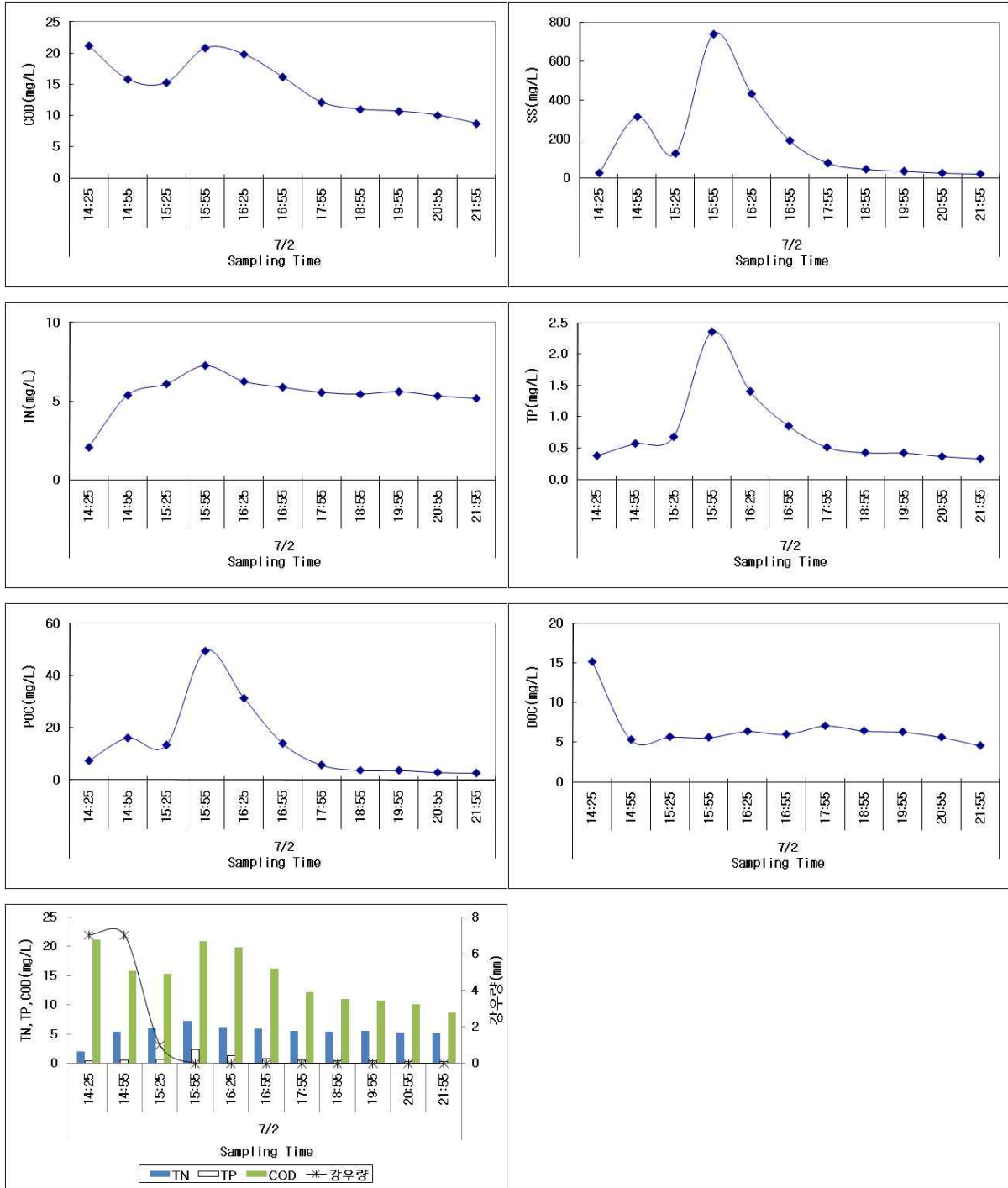


그림 4-1-3(e). 계속(2009. 7. 2)

표 4-1-2(f). 계속(2009. 7. 9)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
7/9	05:29	0.070	0.318	0.746	0.720	2.077	1.784	0.252	2.782	9.6	14.0	1.72	18.0	11.5
	05:59	0.041	0.098	1.121	0.556	1.101	1.775	0.259	2.449	59.1	9.8	4.17	7.05	5.36
	06:29	0.039	0.043	0.607	0.490	0.610	1.140	0.295	1.748	65.1	9.2	4.60	7.06	4.13
	06:59	0.052	0.042	0.680	0.524	0.749	1.246	0.743	1.895	174	11.1	9.77	5.60	3.18
	07:29	0.051	0.046	0.671	0.811	0.737	1.529	1.207	2.376	343	14.2	19.6	5.72	3.08
	08:29	0.072	0.036	0.638	0.757	0.747	1.430	0.802	2.243	218	9.6	10.9	5.00	2.94
	09:29	0.108	0.046	0.917	1.036	0.955	2.000	0.669	2.953	160	9.4	6.79	4.25	4.43
	10:29	0.111	0.052	1.137	1.124	1.155	2.313	0.551	3.384	123	9.2	5.87	4.79	3.85
	11:29	0.093	0.050	1.166	1.089	1.150	2.305	0.531	3.321	102	9.8	5.58	5.48	3.98
	12:29	0.104	0.058	1.339	1.031	1.319	2.428	0.492	3.408	85.8	8.9	3.99	4.65	3.99
	13:29	0.096	0.066	1.592	1.016	1.685	2.673	0.455	3.615	102	8.8	4.45	4.35	4.08
	14:29	0.064	0.057	1.457	1.263	1.464	2.777	0.424	3.706	93.1	9.8	5.10	5.48	4.36
	15:29	0.072	0.046	1.352	1.011	1.242	2.409	0.787	3.277	249	10.6	10.5	4.23	3.46
	16:29	0.086	0.039	1.434	0.640	1.349	2.112	0.767	2.854	254	8.5	8.91	3.50	3.13
	17:29	0.110	0.049	2.017	0.717	1.829	2.783	0.756	3.569	254	8.9	8.05	3.17	3.55
	18:29	0.107	0.067	2.739	0.795	2.480	3.601	0.560	4.539	193	8.2	7.18	3.71	3.97
19:29	0.075	0.093	3.052	0.693	2.929	3.838	0.341	4.775	55.1	7.2	2.89	5.25	3.97	
<b>최소</b>		<b>0.039</b>	<b>0.036</b>	<b>0.607</b>	<b>0.490</b>	<b>0.610</b>	<b>1.140</b>	<b>0.252</b>	<b>1.748</b>	<b>9.6</b>	<b>7.2</b>	<b>1.72</b>	<b>3.17</b>	<b>2.94</b>
<b>최대</b>		<b>0.111</b>	<b>0.318</b>	<b>3.052</b>	<b>1.263</b>	<b>2.929</b>	<b>3.838</b>	<b>1.207</b>	<b>4.775</b>	<b>343</b>	<b>14.2</b>	<b>19.6</b>	<b>18.0</b>	<b>11.5</b>
<b>평균</b>		<b>0.079</b>	<b>0.071</b>	<b>1.333</b>	<b>0.840</b>	<b>1.387</b>	<b>2.244</b>	<b>0.582</b>	<b>3.111</b>	<b>149</b>	<b>9.8</b>	<b>7.06</b>	<b>5.72</b>	<b>4.29</b>

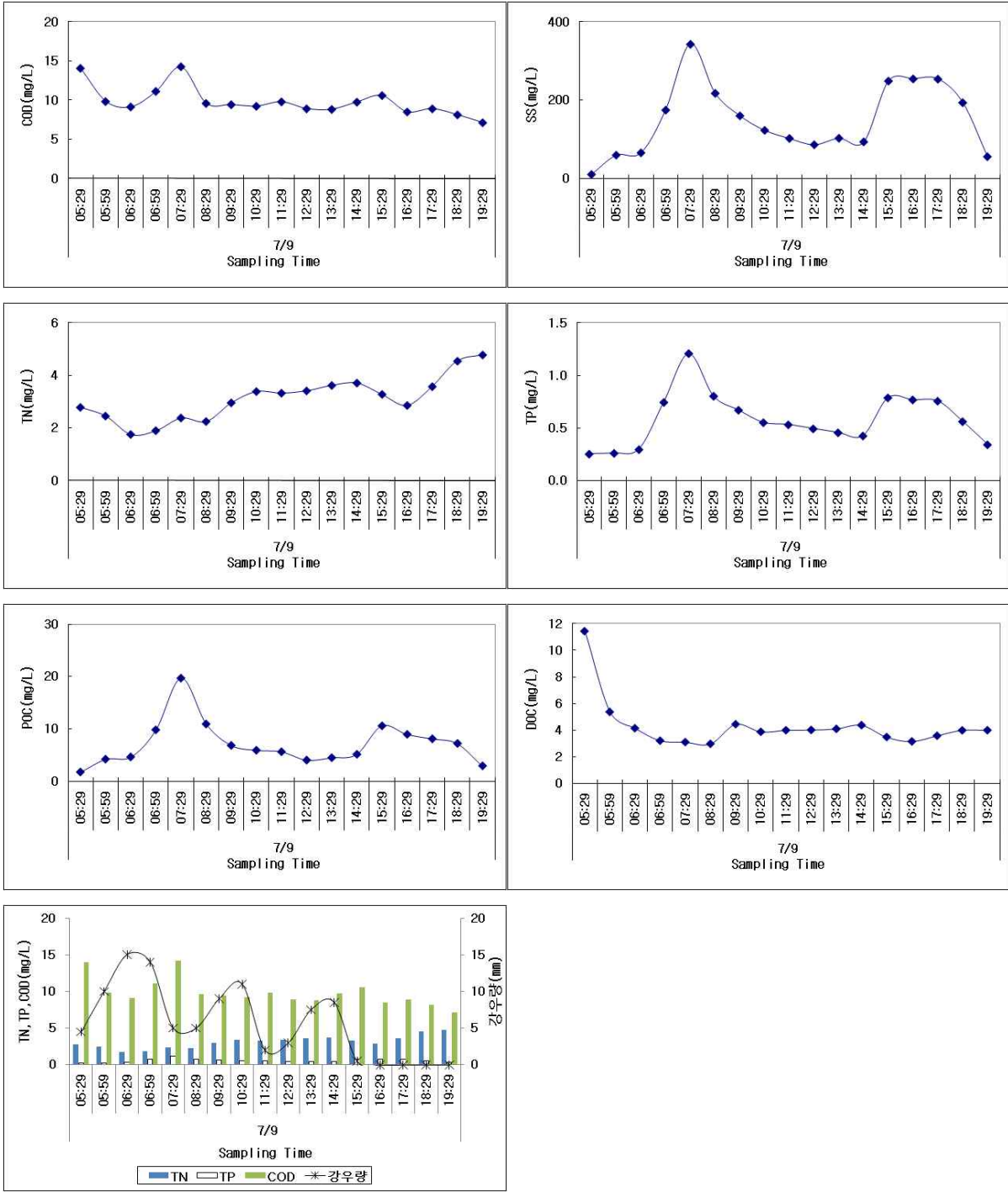


그림 4-1-3(f). 계속(2009. 7. 9)



표 4-1-2(g). 계속(2009. 8/11~12)

조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> - P	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	NH <sub>4</sub> - N	SiO <sub>2</sub> - Si	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	DOC
		(mg/L)											(%)	(mg/L)
8/11	10:35	0.044	0.002	0.032	0.014	2.913	0.048	0.608	2.790	118	24.2	13.0	11.0	-
	11:05	0.073	0.116	0.641	0.262	1.924	1.019	0.418	2.247	93.5	12.0	7.58	8.11	6.83
	11:35	0.080	0.127	0.735	0.456	2.191	1.318	0.402	2.259	107	12.4	8.09	7.60	5.63
	12:05	0.132	0.057	0.229	1.160	1.519	1.446	0.457	2.318	113	14.2	13.1	11.6	4.49
	12:35	0.075	0.067	0.311	0.664	1.057	1.043	0.373	1.658	139	11.4	10.9	7.86	3.47
	13:05	0.090	0.076	0.280	1.772	1.225	2.128	0.525	3.065	142	13.7	14.1	10.0	4.10
	14:05	0.073	0.091	0.180	1.224	0.796	1.495	0.327	2.232	149	10.9	13.5	9.04	4.72
	15:05	0.072	0.084	0.368	1.012	0.814	1.464	0.284	2.026	104	7.7	7.38	7.07	2.24
	16:05	0.079	0.093	0.569	0.832	0.760	1.494	0.225	2.035	82.6	6.6	4.70	5.69	2.50
	17:05	0.075	0.093	0.551	0.846	0.693	1.490	0.208	1.952	43.7	6.7	2.83	6.49	2.48
	18:05	0.087	0.108	0.725	0.660	1.066	1.494	0.208	2.029	77.6	6.0	3.07	3.96	2.45
	19:05	0.083	0.115	0.803	0.659	1.290	1.577	0.160	2.072	3.2	5.6	-	-	3.72
	20:05	0.086	0.126	0.769	0.720	1.359	1.614	0.147	2.428	18.0	5.2	1.74	9.65	2.64
	21:05	0.087	0.112	0.831	0.670	1.577	1.613	0.131	2.277	25.3	5.4	1.86	7.36	2.45
22:05	0.088	0.115	0.924	0.794	2.010	1.833	0.155	2.605	15.9	5.3	1.64	10.3	2.85	
23:05	0.068	0.109	0.906	0.958	1.970	1.973	0.133	2.484	13.5	5.6	1.89	14.0	2.78	
8/12	00:05	0.062	0.082	0.724	0.883	1.497	1.689	0.151	2.529	21.4	5.4	2.24	10.5	2.75
	01:05	0.055	0.072	0.642	0.781	1.233	1.495	0.207	2.195	66.2	5.9	6.10	9.22	5.07
	02:05	0.073	0.069	0.721	0.731	1.406	1.521	0.223	2.076	87.5	5.4	3.25	3.72	2.50
	03:05	0.083	0.079	0.879	0.837	1.882	1.796	0.232	2.273	63.0	5.8	2.71	4.30	2.55
	04:05	0.067	0.073	0.922	0.535	2.085	1.530	0.146	2.439	27.4	4.9	1.40	5.11	2.81
	05:05	0.056	0.067	0.909	0.417	2.593	1.393	0.107	1.914	24.0	4.6	1.66	6.91	2.90
	06:05	0.039	0.050	0.703	0.370	1.971	1.123	0.103	1.800	35.5	4.1	2.23	6.29	2.62
	07:05	0.055	0.046	0.609	0.385	1.556	1.041	0.160	1.365	56.9	4.7	3.02	5.31	2.07
<b>최소</b>		<b>0.039</b>	<b>0.002</b>	<b>0.032</b>	<b>0.014</b>	<b>0.693</b>	<b>0.048</b>	<b>0.103</b>	<b>1.365</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>1.40</b>	<b>3.72</b>	<b>2.07</b>
<b>최대</b>		<b>0.132</b>	<b>0.127</b>	<b>0.924</b>	<b>1.772</b>	<b>2.913</b>	<b>2.128</b>	<b>0.608</b>	<b>3.065</b>	<b>149</b>	<b>24.2</b>	<b>14.1</b>	<b>14.0</b>	<b>6.83</b>
<b>평균</b>		<b>0.074</b>	<b>0.085</b>	<b>0.623</b>	<b>0.735</b>	<b>1.558</b>	<b>1.443</b>	<b>0.254</b>	<b>2.211</b>	<b>67.8</b>	<b>8.1</b>	<b>5.57</b>	<b>7.87</b>	<b>3.33</b>

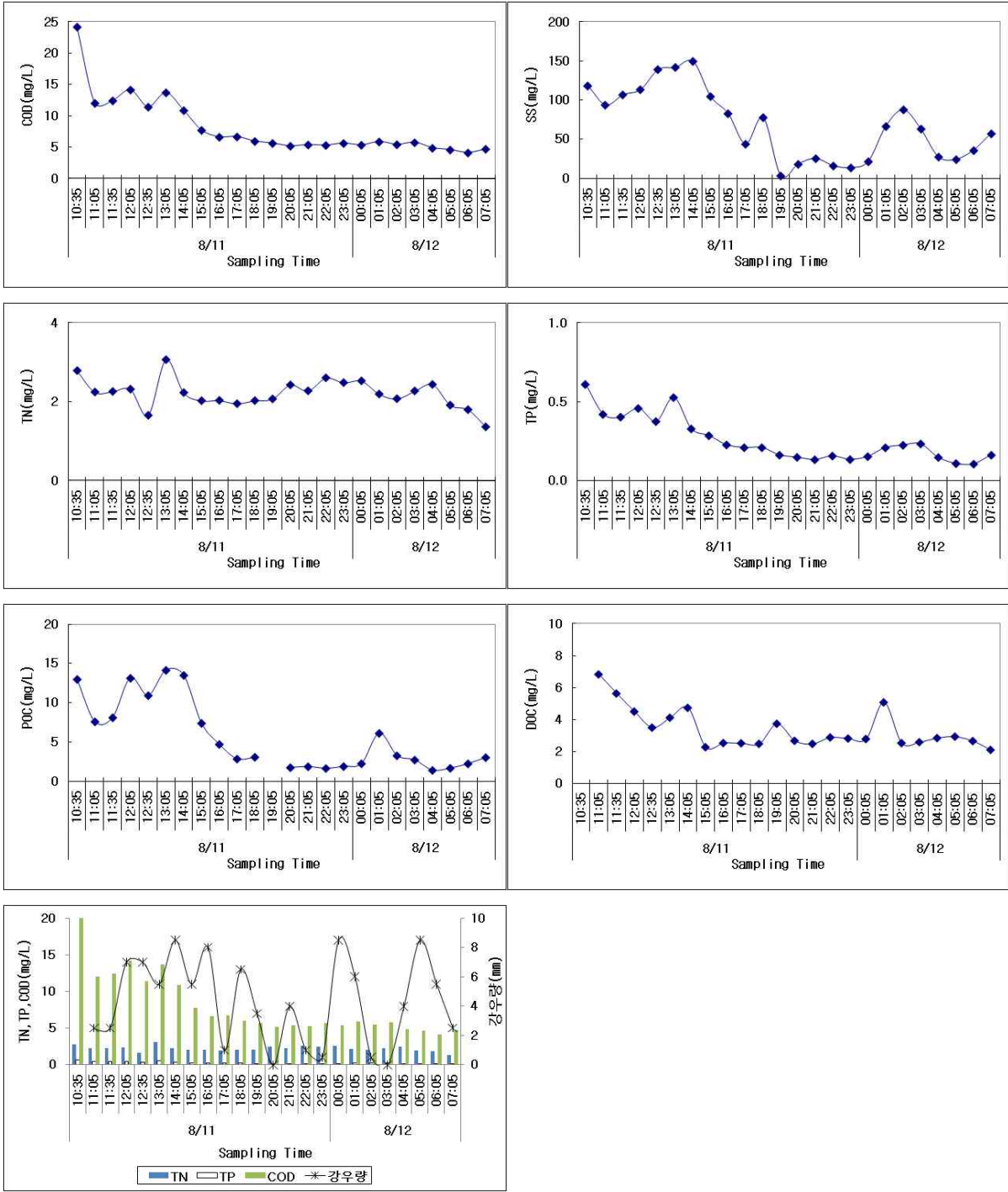


그림 4-1-3(가). 계속(2009. 8. 11~12)

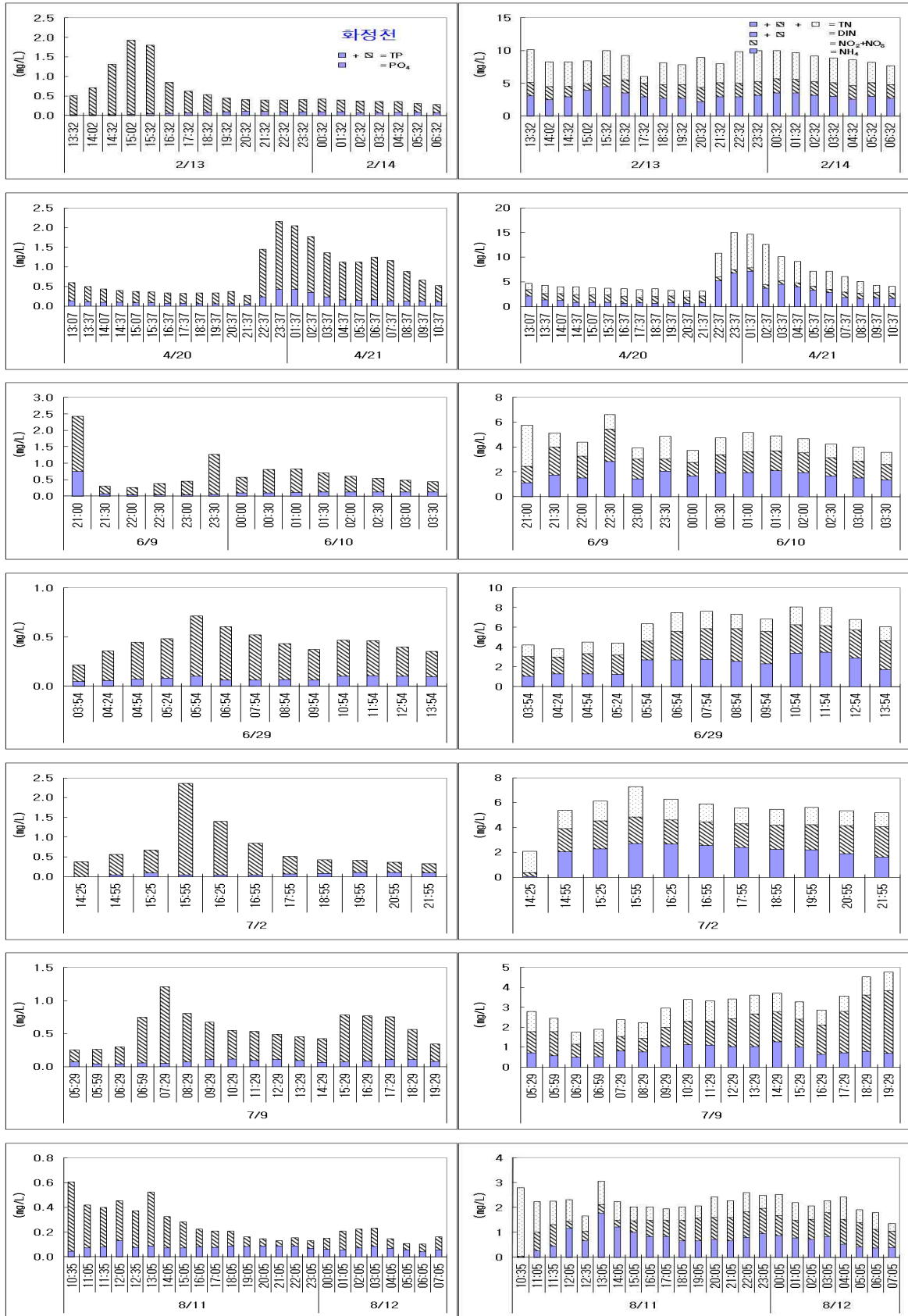


그림 4-1-4. 강우시 화정천의 질소 및 인의 성분별 분포

### 1.3. 2004-2009년 강우시 자료 비교

2004년부터 2009년까지 강우시 안산천 및 화정천에서 관측된 총인, 총질소, 부유물질 및 COD의 최소값, 최대값, 평균값을 비교하였다(표 4-1-3 및 4-1-4, 그림 4-1-5 및 4-1-6).

안산천의 총인은 2004년부터 2008년 까지 농도변화가 크지 않았으며, 범위도 비교적 균일하였으나, 2009년에는 변화폭도 크고 평균농도도 0.650mg/L로 2008년의 0.354mg/L 보다 2배 가량 높아졌다. 총질소는 전체적으로 평균농도는 변화가 크지 않으나 2009년에는 과거에 비하여 변화범위가 작으며, 평균농도도 낮아졌다. 2004-2008년간의 부유물질은 2008년 5월과 6월에 200mg/L를 초과하였고, 다른 시기에는 과거에 비하여 낮은 농도를 나타냈으나, 2009년에는 변화폭이 커지고 평균농도도 134mg/L로 2008년의 87.4mg/L 보다 크게 높았다. COD는 2006년 7월 10월과 2007년 6월에 농도 변화폭이 크게 나타났고, 2008년과 2009년에는 농도 변화폭이 작아졌으며 농도는 2004년 관측 이래 유사하였다.

화정천의 총인은 2009년에 0.604mg/L로 2008년의 0.363mg/L에 비하여 높게 나타났고, 안산천 보다는 약간 낮은 농도를 보였다. 총질소는 2004~2008년에는 전체적으로 변화범위가 크게 나타났으나, 2009년에는 농도변화폭이 작아졌으며, 2008년에 비하여 약간 낮은 농도를 보였다. 부유물질은 안산천과 마찬가지로 2009년에 2008년과 비교하여 높은 농도를 나타냈다(2008년 51.6mg/L, 2009년 86.2mg/L). COD는 2009년에 과거에 비하여 농도변화는 작았으나, 평균농도는 13.7mg/L로 2007년과 2008년에 비하여 약간 높게 나타났다.

표 4-1-3. 강우시 안산천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 분포

년도	월.일	TP			TN			SS			COD		
		최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
2004	11.1	0.830	0.190	0.460	6.120	3.420	4.360	-	-	-	17.2	4.8	11.9
2005	4.6-7	1.020	0.190	0.570	7.590	3.650	5.730		-	-	22.2	6.1	14.1
2006	5.5-6	0.840	0.170	0.390	7.710	1.940	4.480	251	50.1	96.4	23.8	7.3	13.0
	8.16-17	0.200	0.100	0.130	4.720	1.870	3.210	55.6	25.4	37.7	21.5	3.2	10.7
	10.22-23	0.590	0.230	0.310	6.100	3.590	4.830	90.3	18.2	49.3	41.9	10.5	21.3
	11.26-27	0.670	0.050	0.190	5.700	2.330	3.570	65.5	18.7	31.3	22.4	3.1	10.8
<b>평균</b>		<b>0.575</b>	<b>0.138</b>	<b>0.255</b>	<b>6.058</b>	<b>2.433</b>	<b>4.023</b>	<b>116</b>	<b>28.1</b>	<b>53.6</b>	<b>27.4</b>	<b>6.0</b>	<b>14.0</b>
2007	5.16-17	0.740	0.140	0.230	12.280	1.860	6.390	125	13.6	48.5	22.5	5.7	9.7
	6.21	0.670	0.310	0.420	11.910	1.710	5.770	389	28.8	99.1	42.2	12.6	22.4
	6.28	0.680	0.120	0.390	12.040	4.640	6.480	176	30.8	94.4	37.2	7.4	19.3
	8.28	0.230	0.160	0.180	3.470	3.100	3.250	49.6	31.2	39.7	5.3	3.7	4.3
	9.14-15	0.360	0.060	0.190	3.710	0.680	2.360	84.0	6.0	26.6	11.6	3.0	6.9
	11.23	0.720	0.080	0.210	13.610	4.500	5.790	291	19.3	61.8	19.6	7.0	12.0
<b>평균</b>		<b>0.567</b>	<b>0.145</b>	<b>0.270</b>	<b>9.503</b>	<b>2.748</b>	<b>5.007</b>	<b>186</b>	<b>21.6</b>	<b>61.7</b>	<b>23.1</b>	<b>6.6</b>	<b>12.4</b>
2008	4.22-23	0.584	0.191	0.306	4.961	3.040	3.827	102	13.9	35.6	20.4	10.2	14.3
	4.25-26	0.190	0.098	0.129	7.996	3.671	5.455	120	8.0	24.4	14.2	5.9	8.2
	5.18	1.346	0.447	0.876	5.620	3.561	4.747	495	108	300	25.2	15.4	23.3
	6.2	0.742	0.151	0.351	5.508	3.194	4.667	860	25.9	192	19.5	12.9	16.4
	6.18	0.358	0.103	0.218	5.333	2.888	3.730	72.9	10.3	31.7	15.1	8.4	10.6
	6.28-29	0.250	0.126	0.198	4.787	2.924	3.967	84.2	18.8	38.7	24.4	8.6	11.6
	8.2	0.295	0.139	0.240	5.778	4.631	5.402	46.9	17.8	38.1	14.7	9.1	10.5
	11.27	0.835	0.273	0.511	7.032	4.023	5.785	67.8	19.6	38.3	20.6	11.6	15.7
<b>평균</b>		<b>0.575</b>	<b>0.191</b>	<b>0.354</b>	<b>5.877</b>	<b>3.492</b>	<b>4.697</b>	<b>231</b>	<b>27.8</b>	<b>87.4</b>	<b>19.3</b>	<b>10.3</b>	<b>13.8</b>
2009	2.13-14	1.667	0.322	0.628	9.643	7.198	8.148	261	21.0	87.0	25.2	11.7	17.3
	6.9-10	1.327	0.261	0.623	4.045	2.291	2.967	252	9.1	113	20.9	7.0	14.6
	6.29	1.108	0.382	0.527	5.737	2.492	4.921	277	19.6	73.6	19.6	12.5	15.6
	7.2	1.531	0.497	0.898	5.385	4.352	4.857	423	31.8	204	20.6	12.3	15.9
	7.9	1.466	0.357	0.850	5.622	1.659	3.319	557	22.4	224	15.4	8.8	10.8
	8.11-12	0.795	0.273	0.376	3.321	1.437	2.615	330	46.6	105	23.5	6.6	9.6
<b>평균</b>		<b>1.316</b>	<b>0.349</b>	<b>0.650</b>	<b>5.625</b>	<b>3.238</b>	<b>4.471</b>	<b>350</b>	<b>25.1</b>	<b>134</b>	<b>20.9</b>	<b>9.8</b>	<b>14.0</b>
<b>전체평균</b>		<b>0.814</b>	<b>0.200</b>	<b>0.427</b>	<b>6.795</b>	<b>3.163</b>	<b>4.715</b>	<b>221</b>	<b>25.6</b>	<b>84.3</b>	<b>21.7</b>	<b>7.3</b>	<b>13.4</b>

표 4-1-4. 강우시 화정천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 분포

년도	월.일	TP			TN			SS			COD		
		최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
2004	11.10	1.290	0.070	0.670	6.680	2.300	4.700	-	-	-	20.4	4.1	13.8
2005	4.6-7	0.890	0.290	0.580	9.790	0.210	5.420	-	-	-	25.6	9.0	18.3
2006	5.5-6	0.430	0.060	0.210	5.430	1.420	3.160	557	4.18	127	17.0	3.5	7.4
	8.16-17	0.230	0.050	0.120	5.910	1.040	2.900	79.9	18.2	43.0	22.1	3.0	9.5
	10.22-23	1.540	0.230	0.740	11.540	3.780	7.200	430	2.25	185	44.5	14.7	32.9
	11.26-27	2.010	0.090	0.880	16.420	1.990	10.520	206	15.7	59.9	42.6	5.3	25.9
<b>평균</b>		<b>1.053</b>	<b>0.108</b>	<b>0.488</b>	<b>9.825</b>	<b>2.058</b>	<b>5.945</b>	<b>318</b>	<b>10.1</b>	<b>104</b>	<b>31.6</b>	<b>6.6</b>	<b>18.9</b>
2007	5.16-17	0.530	0.080	0.180	12.210	3.360	6.97	146	10.8	46.0	29.1	7.2	14.1
	6.21	1.430	0.080	0.520	13.660	2.930	8.24	166	20.0	92.2	37.5	10.4	26.1
	6.28	1.070	0.300	0.490	10.300	1.560	5.65	353	47.2	135	26.2	8.4	14.6
	8.28	0.390	0.180	0.260	5.580	2.080	3.38	37.6	11.6	29.9	6.4	5.0	5.6
	9.14-15	0.300	0.050	0.150	3.230	0.220	2.02	41.6	4.6	18.4	13.9	2.0	7.3
	11.23	1.510	0.070	0.280	9.770	3.310	5.26	245	24.7	82.8	20.9	6.3	11.0
<b>평균</b>		<b>0.872</b>	<b>0.127</b>	<b>0.313</b>	<b>9.125</b>	<b>2.243</b>	<b>5.253</b>	<b>165</b>	<b>19.8</b>	<b>67.4</b>	<b>22.3</b>	<b>6.6</b>	<b>13.1</b>
2008	4.22-23	1.946	0.153	0.545	12.572	3.297	5.545	331	3.5	70.2	24.6	11.8	18.5
	4.25-26	0.741	0.075	0.190	15.569	5.105	6.983	135	4.6	19.6	24.3	5.5	10.0
	6.2-3	0.866	0.150	0.333	6.388	3.999	5.101	325	19.5	133	21.5	9.2	14.9
	6.18	0.360	0.133	0.198	5.500	3.525	4.005	60.4	8.4	24.8	14.8	6.7	8.9
	6.28-29	0.775	0.042	0.289	11.501	2.800	5.673	43.4	3.7	17.7	20.3	8.2	12.4
	8.2	0.471	0.131	0.208	7.532	4.684	5.436	110	7.1	33.0	17.2	5.2	8.5
	11	1.913	0.349	0.779	8.865	2.050	7.019	304	0.6	62.5	25.4	6.6	16.3
<b>평균</b>		<b>1.010</b>	<b>0.148</b>	<b>0.363</b>	<b>9.704</b>	<b>3.637</b>	<b>5.680</b>	<b>187</b>	<b>6.8</b>	<b>51.6</b>	<b>21.2</b>	<b>7.6</b>	<b>12.8</b>
2009	2.13-14	1.932	0.279	0.641	10.154	6.059	8.772	277	8.7	81.6	24.7	11.0	16.1
	4.20-21	2.156	0.272	0.835	14.981	3.135	6.275	89.1	5.6	37.2	24.6	7.3	15.4
	6.9-10	2.428	0.260	0.720	6.614	3.555	4.689	166	6.8	56.5	24.5	10.0	16.3
	6.29	0.715	0.214	0.449	8.071	3.846	6.274	99.4	5.0	28.3	20.4	13.3	15.3
	7.2	2.353	0.325	0.749	7.275	2.071	5.467	738	17.8	182	21.2	8.7	14.7
	7.9	1.207	0.252	0.582	4.775	1.748	3.111	343	9.6	149	14.2	7.2	9.8
	8.11-12	0.608	0.103	0.254	3.065	1.365	2.211	149	3.2	67.8	24.2	4.1	8.1
<b>평균</b>		<b>1.628</b>	<b>0.244</b>	<b>0.604</b>	<b>7.848</b>	<b>3.111</b>	<b>5.257</b>	<b>266</b>	<b>8.1</b>	<b>86.2</b>	<b>22.0</b>	<b>8.8</b>	<b>13.7</b>
<b>전체평균</b>		<b>1.124</b>	<b>0.164</b>	<b>0.503</b>	<b>8.829</b>	<b>2.260</b>	<b>5.376</b>	<b>234</b>	<b>11.2</b>	<b>77.2</b>	<b>23.8</b>	<b>7.1</b>	<b>15.1</b>

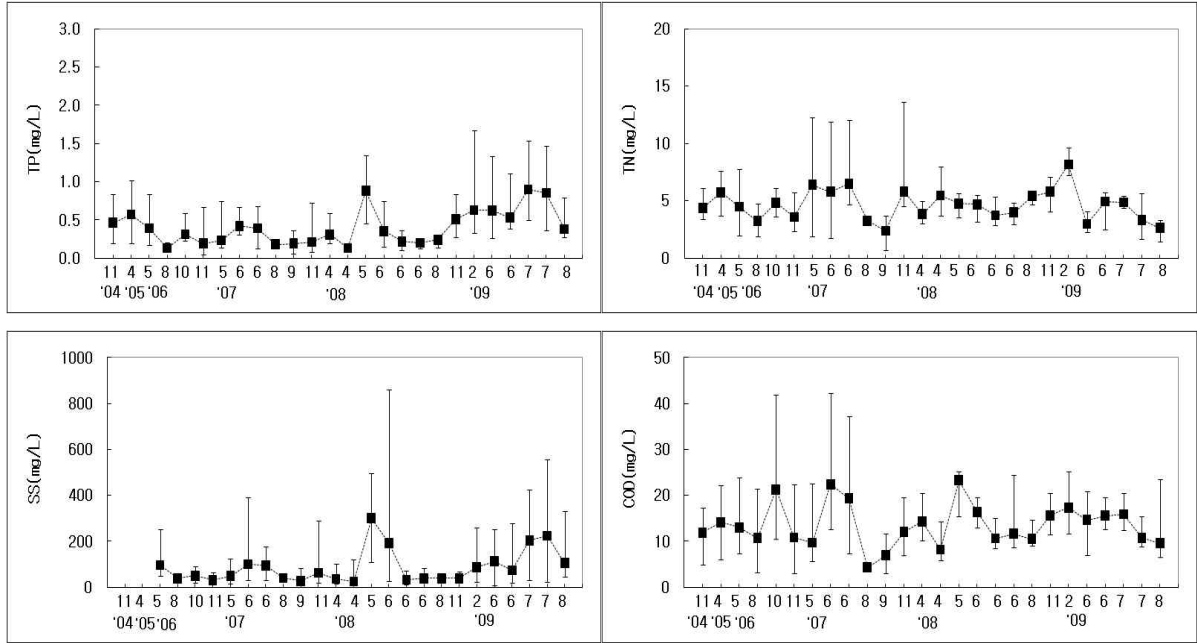


그림 4-1-5. 강우시 안산천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 변화

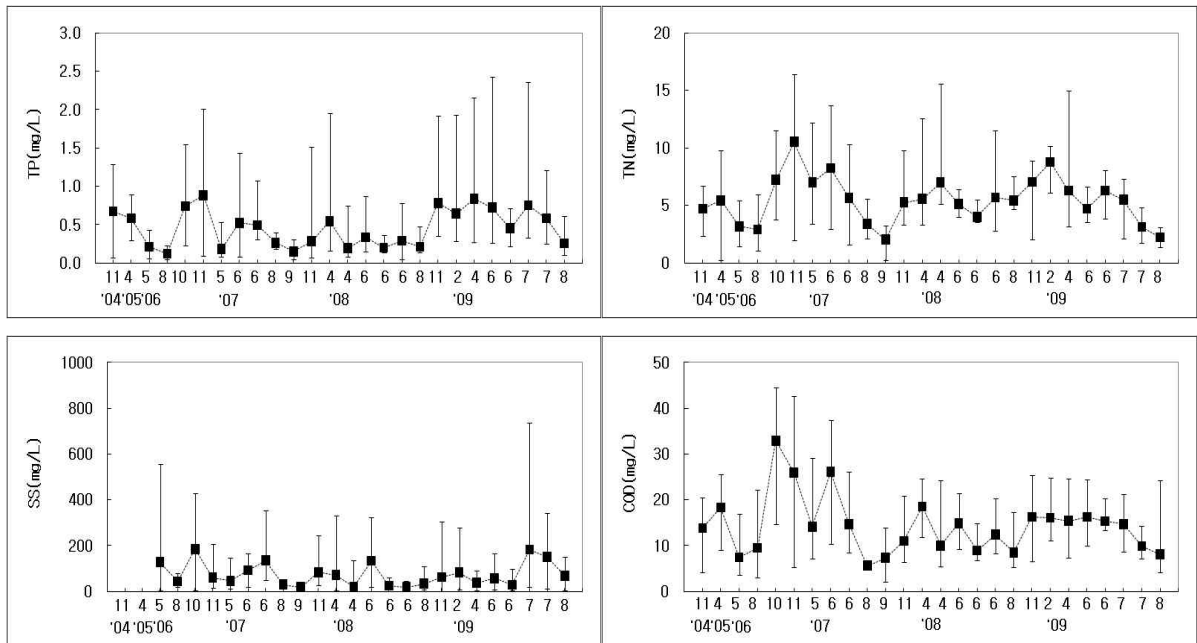


그림 4-1-6. 강우시 화정천의 총인, 총질소, 부유물질 및 COD 변화

## 2. 반월공단 토구

7월 7일 조사는 강우시간이 짧아 전체적인 변화양상을 보기에는 자료가 부족하였다. 3토구에서 COD는 20.4~24.0mg/L(평균 22.9mg/L)로 작은 농도변화를 보였으며, 총질소는 14.088~34.030mg/L(평균 27.383mg/L), 총인은 2.142~3.251mg/L(평균 2.585mg/L)로 총질소의 변화폭이 크게 나타났다. 7토구에서 COD는 13.6~63.1mg/L(평균 40.9mg/L)로 3토구에 비하여 농도변화가 크게 나타났고, 강우시작 후 2~4시간 사이에서 높은 농도를 보였다. 총질소는 14.176~93.238mg/L(평균 54.752mg/L), 총인은 1.257~5.708mg/L(평균 2.353mg/L)로 총질소의 농도 변화범위가 크게 나타났다. 총질소는 COD와 같이 강우시작 후 2~4시간 사이에서 높은 농도를 보였다. 부유물질은 13.7~515mg/L(평균 193mg/L)를 강우시작 후 2~4시간 사이에서 높은 농도로 유출되는 것을 알 수 있었다.

7월 9일 조사에서 3토구의 COD는 8.8~40.5mg/L(평균 17.8mg/L), 총질소는 2.219~31.599mg/L(평균 9.236mg/L), 총인은 0.385~6.933mg/L(평균 1.639mg/L)로 강우시작 후 1시간 30분 이내에 농도가 크게 높았으며, 부유물질은 1~3시간 사이에서 높았다. 7토구에서 COD는 11.9~70.2mg/L(평균 23.2mg/L), 총질소는 2.808~32.399mg/L(평균 9.743mg/L), 총인은 0.349~13.685mg/L(평균 1.756mg/L)로 강우시작 1시간 이내에 높은 농도를 보였다. 부유물질은 강우시작 시간 후에 2,601mg/L로 크게 높았다.

표 4-1-5(a). 강우시 반월토구의 수질 분포(2009. 7. 7)

정점	조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC
			P	N	N	N	Si							
			(mg/L)											
3토구	7/7	06:00	0.702	0.080	0.147	5.823	0.373	6.050	2.142	14.088	3.6	20.4	-	-
		07:00	0.525	0.087	0.090	11.159	0.343	11.336	2.284	21.785	12.4	22.7	3.97	32.0
		08:00	0.288	0.123	0.073	11.607	0.398	11.804	2.184	32.618	21.1	23.8	5.22	24.8
		09:00	0.388	0.037	0.046	13.934	0.588	14.018	2.568	34.030	25.7	24.0	9.42	36.7
		10:00	0.382	0.155	0.208	12.990	0.642	13.353	3.079	33.592	22.0	23.4	6.93	31.5
		11:00	0.432	0.122	0.244	11.821	1.488	12.187	3.251	28.187	23.9	23.2	7.32	30.6
<b>최소</b>			<b>0.288</b>	<b>0.037</b>	<b>0.046</b>	<b>5.823</b>	<b>0.343</b>	<b>6.050</b>	<b>2.142</b>	<b>14.088</b>	<b>3.6</b>	<b>20.4</b>	<b>3.97</b>	<b>24.8</b>
<b>최대</b>			<b>0.702</b>	<b>0.155</b>	<b>0.244</b>	<b>13.934</b>	<b>1.488</b>	<b>14.018</b>	<b>3.251</b>	<b>34.030</b>	<b>25.7</b>	<b>24.0</b>	<b>9.42</b>	<b>36.7</b>
<b>평균</b>			<b>0.453</b>	<b>0.101</b>	<b>0.135</b>	<b>11.223</b>	<b>0.638</b>	<b>11.458</b>	<b>2.585</b>	<b>27.383</b>	<b>18.1</b>	<b>22.9</b>	<b>6.57</b>	<b>31.1</b>
7토구	7/7	06:00	0.291	0.110	1.041	17.586	1.969	18.737	1.312	26.425	13.7	13.6	3.27	23.9
		07:00	0.110	0.006	0.105	6.628	2.399	6.738	1.257	14.176	43.5	24.0	16.5	37.8
		08:00	0.189	0.028	0.971	10.096	1.980	11.095	5.708	82.085	376	63.1	74.0	19.7
		09:00	0.296	0.042	0.680	16.955	1.975	17.677	2.707	93.238	515	63.0	96.3	18.7
		10:00	0.270	0.132	0.804	21.855	2.568	22.791	1.584	71.795	169	56.7	28.3	16.7
		11:00	0.353	0.475	0.503	20.421	2.341	21.400	1.552	40.790	43.0	25.0	11.2	26.1
<b>최소</b>			<b>0.110</b>	<b>0.006</b>	<b>0.105</b>	<b>6.628</b>	<b>1.969</b>	<b>6.738</b>	<b>1.257</b>	<b>14.176</b>	<b>13.7</b>	<b>13.6</b>	<b>3.27</b>	<b>16.7</b>
<b>최대</b>			<b>0.353</b>	<b>0.475</b>	<b>1.041</b>	<b>21.855</b>	<b>2.568</b>	<b>22.791</b>	<b>5.708</b>	<b>93.238</b>	<b>515</b>	<b>63.1</b>	<b>96.3</b>	<b>37.8</b>
<b>평균</b>			<b>0.251</b>	<b>0.132</b>	<b>0.684</b>	<b>15.590</b>	<b>2.205</b>	<b>16.407</b>	<b>2.353</b>	<b>54.752</b>	<b>193</b>	<b>40.9</b>	<b>38.2</b>	<b>23.8</b>



8월 11일 조사에서 1토구의 COD는 3.5~8.8mg/L(평균 5.7mg/L)로 강우 1시간 30분 이내에서 비교적 높은 농도를 보였으며, 그 이후에는 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 0.823~2.823mg/L(평균 1.279mg/L)로 COD와 같이 강우초기에 약간 높으며, 총인은 0.079~0.368 mg/L(평균 0.151mg/L)로 강우 직후에 2mg/L를 초과하였다. 부유물질은 강우시작 후 1시간 30분에 36.0mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였다.

2토구의 COD는 5.5~24.2mg/L(평균 12.9mg/L)로 강우 1시간 이내에서 비교적 높은 농도를 보였으며, 그 이후에는 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 1.088~15.729mg/L(평균 3.981 mg/L)로 강우초기에 약간 높았으나, 15시 30분 관측시의 15.729mg/L 이외에는 낮은 분포를 보였다. 총인은 0.085~0.520 mg/L(평균 0.171mg/L)로 강우 직후에 약간 높은 농도를 나타냈다. 부유물질은 강우 1시간 후에 76.0mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였다.

3토구의 COD는 6.9~23.7mg/L(평균 13.3mg/L)로 강우 2시간 이내에서 비교적 높은 농도를 보였으며, 그 이후에는 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 1.938~16.688mg/L(평균 5.410 mg/L)로 COD와 같이 강우초기에 높으며, 총인은 0.196~1.969mg/L(평균 0.596mg/L)로 강우 직후에 약 2mg/L를 나타냈다. 부유물질은 강우시작 2시간 후에 225mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였다.

5토구에서 COD는 13.0~50.2mg/L(평균 21.3mg/L)로 강우 1시간 30분 후에 비교적 높은 농도를 보였으며, 그 이후에는 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 2.523~10.435mg/L(평균 5.504 mg/L)로 COD와 같이 강우초기에 높으며, 총인은 0.100~2.238mg/L(평균 0.586mg/L)로 강우 직후에 약 2mg/L를 초과하였으며, 부유물질은 강우시작 1시간 30분 후에 483mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였다.

6토구에서 COD는 4.4~29.7mg/L(평균 9.3mg/L)로 강우초기에 29.7mg/L로 가장 높았으며, 그 이후에는 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 1.257~10.103mg/L(평균 3.149mg/L)로 COD와 같이 강우초기에 10.103mg/L로 높았으며, 16시 이후에 점차적으로 높은 농도를 나타냈다. 총인은 0.034~0.996mg/L(평균 0.155mg/L)로 강우 직후에 약 1mg/L를 나타냈으며, 그 이후에는 낮으며 균일한 농도를 보였다. 부유물질은 강우시작 시간에 376mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였고 낮은 농도를 나타냈다.

7토구에서 COD는 4.5~42.3mg/L(평균 11.5mg/L)로 강우시작 시간에 42.3mg/L로 매우 높은 농도를 보였으며, 그 이후에는 낮으며 비교적 균일하게 나타났다. 총질소는 1.514~14.542mg/L(평균 3.843mg/L)로 COD와 같이 강우초기에 높으며, 총인은 0.055~1.799mg/L(평균 0.294mg/L)로 강우 직후에 약 1.8mg/L를 초과하였으나 그 이후에는 급격히 감소하였다. 부유물질은 강우시작 시간에 283mg/L로 가장 높았으며 그 이후에는 점차적으로 감소하였다.

한편, 8월 강우시 반월공단토구 유출수의 COD, TN, TP 및 부유물질 부하량은 수위에 따라 변화는 것으로 나타났다(그림 4-1-15~18). COD는 강우초기에 부하량은 크게 나타나는데, 강우 초기에 집중적으로 유출되는 것을 알 수 있다. TN은 강우초기에 부하량이 크지만, 시간에 따라 감소하는 경향을 보이지 않았다. 질소화합물의 공급원은 다양하여 지속적으로 유출되는 것으로 판단된다. TP 및 부유물질은 강우초기에 부하량이 크며 강우 후반기에 급속하게 감소하는 것으로 나타났다.

표 4-1-5(b). 계속(2009. 7. 9)

정점	조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	수위
			P	N	N	N	Si								
3토구 7/9		05:04	0.459	0.014	0.065	10.606	0.500	10.685	3.485	23.237	148	25.0	32.6	22.0	-
		05:15	0.334	0.007	0.003	20.003	1.564	20.013	1.846	31.599	42.8	22.9	10.1	23.5	100
		05:30	0.172	0.024	0.122	14.961	1.317	15.106	1.742	30.061	68.3	23.9	22.1	32.4	200
		05:45	0.169	0.022	0.055	11.646	1.769	11.723	1.572	27.938	83.1	22.9	29.4	35.4	200
		06:00	0.210	0.030	0.257	10.800	1.389	11.087	4.375	20.746	150	40.5	40.1	26.7	300
		06:15	0.038	0.153	1.688	2.737	0.460	4.577	3.389	7.766	265	39.0	46.1	17.4	350
		06:30	0.030	0.102	1.038	1.609	0.286	2.749	6.933	4.707	450	28.2	62.6	13.9	500
		06:45	0.035	0.027	0.803	1.445	0.267	2.275	1.127	4.011	381	25.8	41.1	10.8	550
		07:00	0.027	0.041	0.645	0.774	0.171	1.461	0.806	2.607	318	13.1	29.3	9.22	600
		07:15	0.022	0.023	0.595	0.767	0.149	1.385	0.576	2.468	252	12.2	21.5	8.52	650
		07:45	0.029	0.028	0.569	0.622	0.081	1.219	1.022	2.219	282	12.6	19.3	6.83	600
		08:15	0.037	0.045	0.852	0.843	0.117	1.740	0.663	2.695	183	10.9	13.2	7.23	500
		08:45	0.069	0.040	1.073	0.868	0.126	1.981	0.474	3.036	81.2	8.8	7.68	9.46	450
		09:15	0.081	0.049	1.300	1.054	0.140	2.403	0.489	3.909	56.4	10.8	6.03	10.7	400
		09:45	0.082	0.050	1.195	1.386	0.130	2.631	0.419	4.744	49.4	11.8	5.93	12.0	350
		10:15	0.048	0.023	1.580	1.505	0.161	3.109	0.385	4.771	59.7	12.4	8.29	13.9	500
		10:45	0.039	0.050	1.480	1.165	0.282	2.694	0.403	4.219	73.8	12.9	8.26	11.2	500
		11:15	0.035	0.040	0.799	1.161	0.094	2.000	0.472	4.241	111	13.9	11.2	10.1	500
	11:45	0.020	0.063	1.450	0.834	0.248	2.347	0.537	4.451	92.3	12.7	9.12	9.89	400	
	12:15	0.025	0.068	1.665	1.018	0.356	2.751	0.536	5.260	52.5	12.8	6.92	13.2	380	
	13:15	0.031	0.073	1.562	1.307	0.267	2.941	0.626	6.068	45.9	13.1	7.38	16.1	350	
	14:15	0.402	0.080	3.322	1.718	0.674	5.120	1.708	8.046	55.0	15.2	8.58	15.6	470	
	15:15	0.720	0.067	2.602	2.223	0.443	4.893	4.848	8.624	64.5	15.6	8.13	12.6	450	
	16:15	0.174	0.053	1.402	1.040	0.266	2.495	0.905	4.253	77.6	9.8	7.23	9.3	550	
<b>최소</b>			<b>0.020</b>	<b>0.007</b>	<b>0.003</b>	<b>0.622</b>	<b>0.081</b>	<b>1.219</b>	<b>0.385</b>	<b>2.219</b>	<b>42.8</b>	<b>8.8</b>	<b>5.93</b>	<b>6.83</b>	<b>100</b>
<b>최대</b>			<b>0.720</b>	<b>0.153</b>	<b>3.322</b>	<b>20.003</b>	<b>1.769</b>	<b>20.013</b>	<b>6.933</b>	<b>31.599</b>	<b>450</b>	<b>40.5</b>	<b>62.6</b>	<b>35.4</b>	<b>650</b>
<b>평균</b>			<b>0.137</b>	<b>0.049</b>	<b>1.088</b>	<b>3.837</b>	<b>0.469</b>	<b>4.974</b>	<b>1.639</b>	<b>9.236</b>	<b>143</b>	<b>17.8</b>	<b>19.3</b>	<b>14.9</b>	<b>428</b>
7토구 7/9		05:04	0.284	0.103	0.487	18.285	2.403	18.875	1.072	32.399	40.9	22.9	7.89	19.3	-
		05:15	0.038	0.210	1.753	6.244	1.292	8.207	0.481	14.749	25.7	16.3	4.61	17.9	50
		05:30	0.056	0.262	4.935	5.952	1.476	11.149	1.549	17.015	200	34.9	29.8	14.9	50
		05:45	1.710	0.395	10.118	7.300	1.690	17.814	13.685	22.444	221	43.2	48.6	22.0	200
		06:00	0.414	0.566	3.268	7.106	1.803	10.941	7.874	24.368	2601	70.2	51.5	19.8	350
		06:15	0.043	0.159	1.968	3.587	0.607	5.715	2.925	12.331	482	53.3	82.3	17.1	550
		06:30	0.023	0.123	1.137	1.645	0.409	2.904	1.162	5.900	305	19.9	48.9	16.0	900
		06:45	0.084	0.060	0.779	1.192	0.201	2.031	0.648	4.440	168	19.4	25.5	15.2	1000
		07:00	0.061	0.032	0.591	0.987	0.200	1.610	1.613	3.451	215	17.3	29.0	13.5	1100
		07:15	0.035	0.029	0.459	1.007	0.106	1.495	1.826	2.808	236	16.9	34.5	14.6	1150
		07:45	0.176	0.042	0.413	0.739	0.089	1.195	1.469	3.082	135	15.1	24.2	17.9	1050
		08:15	0.575	0.047	0.663	1.114	0.211	1.824	2.416	4.476	95.8	17.8	20.9	21.8	600
		08:45	0.116	0.064	0.687	1.320	0.182	2.071	0.634	4.325	56.5	15.4	13.9	24.6	580
		09:15	0.203	0.042	1.192	1.601	0.520	2.835	0.717	8.265	48.3	22.3	14.4	29.8	400
		09:45	0.036	0.230	1.638	2.283	0.414	4.151	0.447	7.654	64.1	20.1	18.7	29.2	400
		10:15	0.025	0.093	1.802	1.581	0.220	3.477	0.349	5.270	63.1	13.4	16.4	26.0	620
		10:45	0.041	0.061	1.352	1.264	0.189	2.677	0.382	4.195	80.6	14.8	16.4	20.4	760
		11:15	0.019	0.069	1.093	1.787	0.242	2.949	0.350	4.922	59.6	12.3	14.4	24.2	630
	11:45	0.074	0.076	1.190	2.399	0.290	3.664	0.542	6.381	47.7	23.0	11.8	24.8	400	
	12:15	0.020	0.123	1.826	4.105	0.975	6.053	0.349	10.236	44.6	20.0	13.7	30.7	350	
	13:15	0.025	0.124	2.196	5.317	1.799	7.637	0.552	19.099	100	25.0	37.3	37.2	350	
	14:15	0.026	0.077	1.560	1.997	0.469	3.634	0.383	5.953	49.5	15.6	12.9	26.1	650	
	15:15	0.023	0.097	1.703	1.764	0.489	3.564	0.369	6.661	56.9	16.2	16.6	29.2	600	
	16:15	0.030	0.036	0.680	0.859	0.230	1.575	0.351	3.410	67.8	11.9	15.4	22.8	550	
<b>최소</b>			<b>0.019</b>	<b>0.029</b>	<b>0.413</b>	<b>0.739</b>	<b>0.089</b>	<b>1.195</b>	<b>0.349</b>	<b>2.808</b>	<b>25.7</b>	<b>11.9</b>	<b>4.61</b>	<b>13.5</b>	<b>50</b>
<b>최대</b>			<b>1.710</b>	<b>0.566</b>	<b>10.118</b>	<b>18.285</b>	<b>2.403</b>	<b>18.875</b>	<b>13.685</b>	<b>32.399</b>	<b>2601</b>	<b>70.2</b>	<b>51.5</b>	<b>37.2</b>	<b>1150</b>
<b>평균</b>			<b>0.172</b>	<b>0.130</b>	<b>1.812</b>	<b>3.393</b>	<b>0.688</b>	<b>5.335</b>	<b>1.756</b>	<b>9.743</b>	<b>228</b>	<b>23.2</b>	<b>44.7</b>	<b>22.3</b>	<b>578</b>

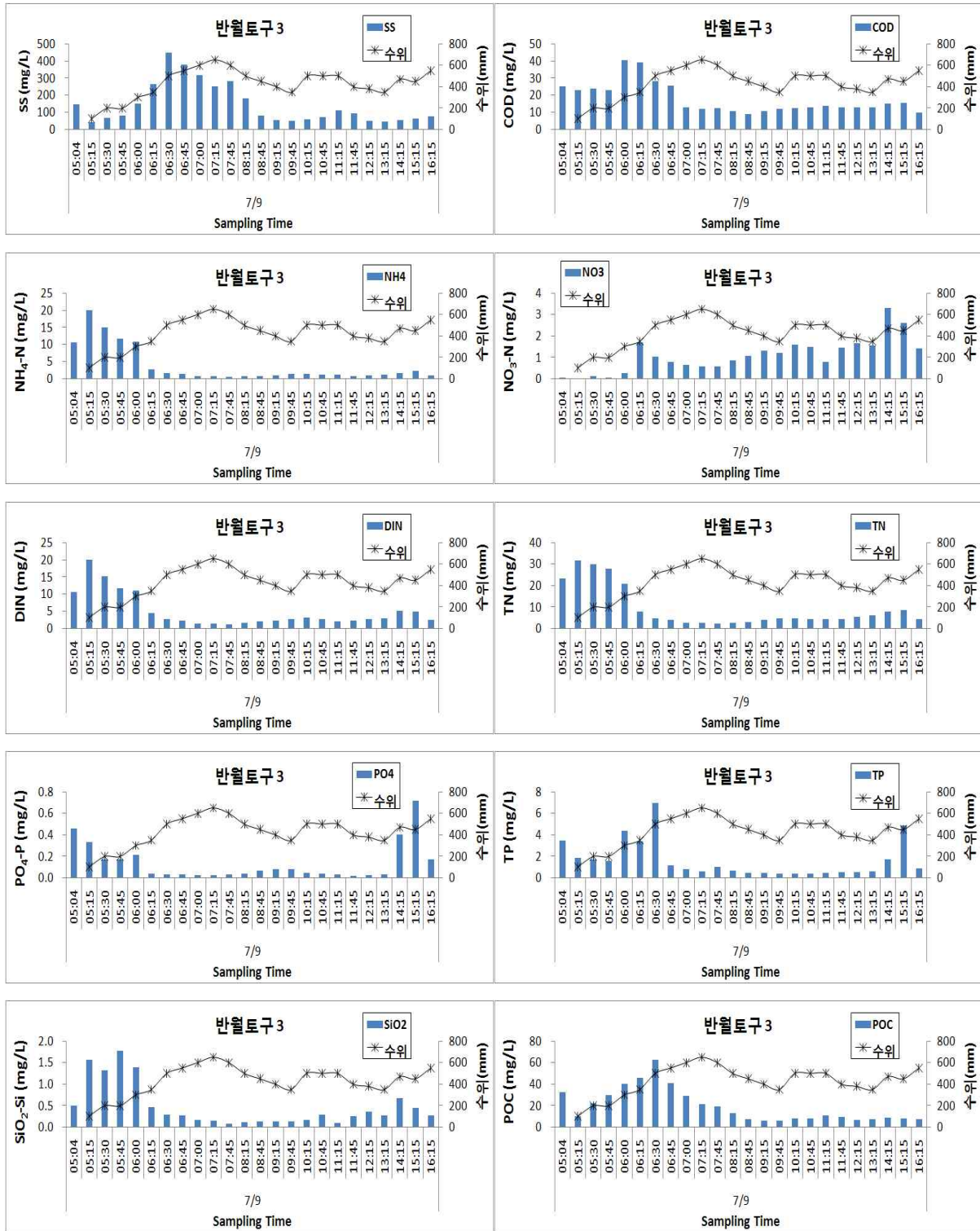


그림 4-1-7. 강우시 반월토구 3의 수질 변화(2009. 7. 9)

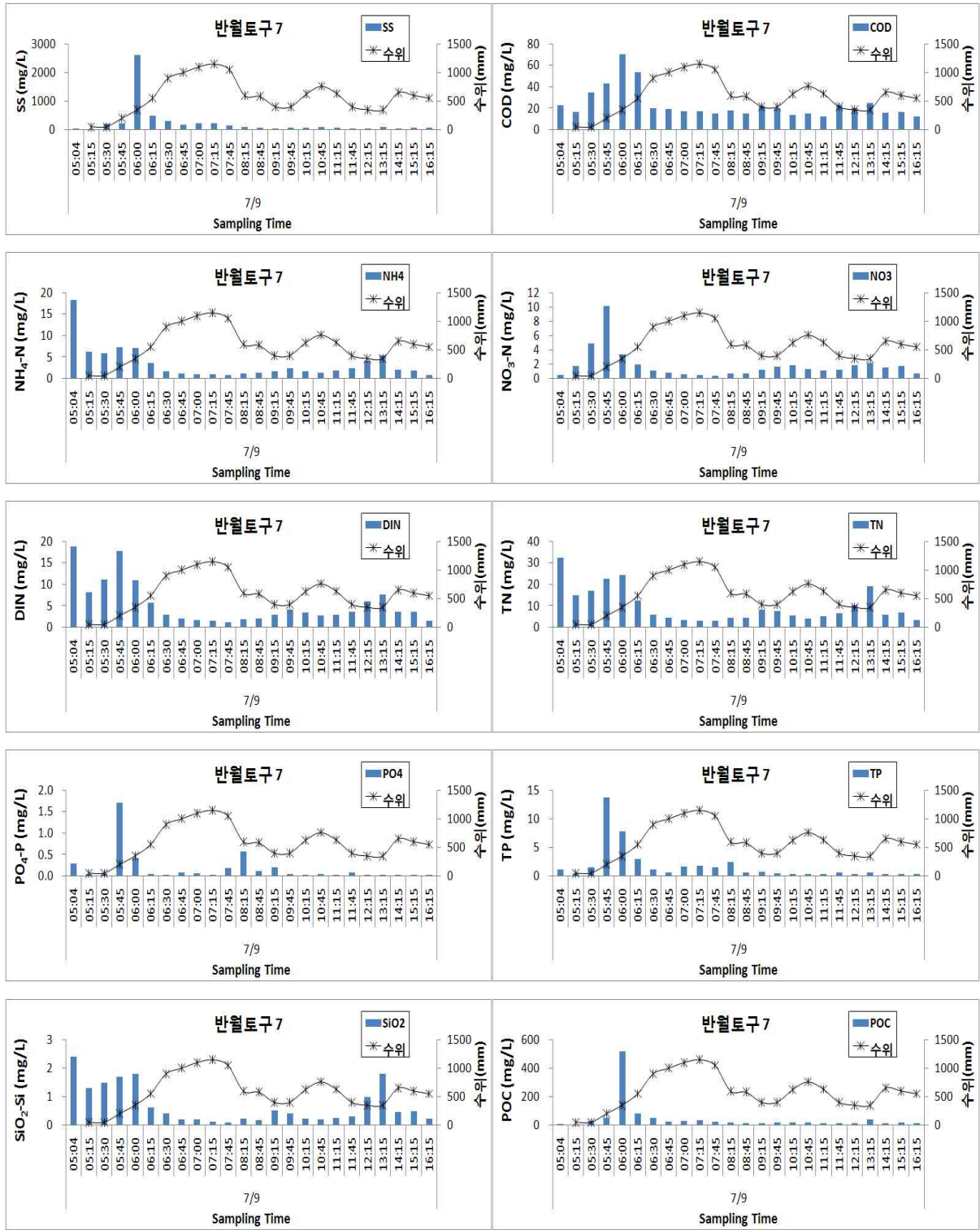


그림 4-1-8. 강우시 반월토구 7의 수질 변화(2009. 7. 9)

표 4-1-5(c). 계속(2009. 8. 11)

정점	조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	수위
			P	N	N	N	Si	(mg/L)	(%)	(mm)					
1토구	8/11	10:30	0.257	0.202	1.125	1.295	1.252	2.622	0.368	2.823	15.6	8.7	3.77	24.2	100
		12:00	0.188	0.046	0.610	0.741	0.084	1.397	0.265	2.274	21.2	8.9	4.20	19.8	850
		12:30	0.063	0.021	0.407	0.712	0.021	1.139	0.168	1.600	36.0	8.4	5.36	14.9	1000
		13:00	0.087	0.015	0.295	0.354	0.007	0.665	0.138	1.100	12.9	5.5	2.64	20.5	1000
		13:30	0.067	0.012	0.242	0.319	0.006	0.573	0.108	0.851	13.1	4.2	1.90	14.5	1000
		14:00	0.040	0.011	0.325	0.351	0.008	0.687	0.150	0.971	23.3	6.3	3.47	14.9	900
		14:30	0.048	0.014	0.337	0.260	0.009	0.612	0.115	0.914	17.3	5.5	2.82	16.3	800
		15:00	0.069	0.015	0.388	0.258	0.017	0.661	0.104	1.027	13.7	5.0	2.44	17.8	700
		15:30	0.045	0.013	0.278	0.224	0.012	0.515	0.079	1.228	12.2	4.7	1.87	15.3	1000
		16:00	0.050	0.025	0.253	0.226	0.009	0.504	0.080	0.907	12.3	3.5	1.81	14.7	800
		16:30	0.058	0.020	0.334	0.162	0.018	0.517	0.101	0.823	8.4	3.7	1.21	14.4	700
		17:00	0.069	0.028	0.506	0.271	0.033	0.805	0.149	1.093	8.5	5.0	1.51	17.8	650
		17:30	0.068	0.023	0.592	0.334	0.055	0.950	0.165	1.280	9.0	5.4	1.71	19.0	650
		18:00	0.060	0.023	0.433	0.214	0.035	0.671	0.135	1.458	8.6	5.4	1.65	19.3	800
		20:00	0.077	0.010	0.433	0.266	0.116	0.708	0.121	0.988	9.0	5.8	1.38	15.3	750
22:00	0.084	0.011	0.434	0.268	0.147	0.713	0.166	1.122	10.0	5.9	1.48	14.8	650		
최소			<b>0.040</b>	<b>0.010</b>	<b>0.242</b>	<b>0.162</b>	<b>0.006</b>	<b>0.504</b>	<b>0.079</b>	<b>0.823</b>	<b>8.4</b>	<b>3.5</b>	<b>1.21</b>	<b>14.4</b>	<b>100</b>
최대			<b>0.257</b>	<b>0.202</b>	<b>1.125</b>	<b>1.295</b>	<b>1.252</b>	<b>2.622</b>	<b>0.368</b>	<b>2.823</b>	<b>36.0</b>	<b>8.9</b>	<b>5.36</b>	<b>24.2</b>	<b>1000</b>
평균			<b>0.083</b>	<b>0.031</b>	<b>0.437</b>	<b>0.391</b>	<b>0.114</b>	<b>0.859</b>	<b>0.151</b>	<b>1.279</b>	<b>14.4</b>	<b>5.7</b>	<b>2.45</b>	<b>17.1</b>	<b>772</b>
2토구	8/11	10:30	0.038	0.036	0.463	0.306	0.016	0.805	0.133	2.460	31.8	24.2	10.1	31.7	100
		11:30	0.151	1.405	1.913	1.377	0.373	4.694	0.278	7.814	28.4	17.7	6.05	21.3	100
		11:45	0.169	0.276	0.401	0.687	0.186	1.364	0.520	2.484	760	19.2	127	16.7	200
		12:30	0.063	0.117	0.511	0.625	0.022	1.252	0.170	2.220	30.0	9.6	5.41	18.0	300
		13:00	0.049	0.108	0.439	0.484	0.014	1.030	0.097	1.804	18.1	7.5	3.04	16.8	350
		13:30	0.052	0.048	0.186	0.269	0.008	0.504	0.085	1.088	60.2	8.7	8.37	13.9	330
		14:00	0.069	0.107	0.462	0.402	0.018	0.971	0.090	2.045	57.7	9.0	6.35	11.0	250
		14:30	0.081	0.119	0.519	0.464	0.038	1.101	0.108	2.456	21.3	12.0	3.23	15.2	230
		15:00	0.084	0.126	0.544	0.569	0.030	1.239	0.140	2.732	15.2	11.2	2.56	16.8	200
		15:30	0.094	4.842	8.099	0.442	0.047	13.384	0.162	15.729	17.5	5.5	2.94	16.8	350
		16:00	0.060	0.342	0.780	0.407	0.029	1.528	0.092	2.324	16.0	10.9	2.72	17.0	250
		16:30	0.104	0.221	0.736	0.361	0.097	1.318	0.157	3.341	20.3	15.9	3.37	16.6	150
		17:00	0.107	0.188	0.878	0.499	0.059	1.565	0.157	4.029	17.3	15.5	3.21	18.6	100
		17:30	0.136	0.170	1.060	0.442	0.200	1.672	0.203	4.751	20.4	17.8	4.38	21.5	100
		18:00	0.165	0.268	1.161	0.499	0.310	1.928	0.224	4.182	15.7	15.2	3.18	20.2	150
20:00	0.129	0.007	0.894	0.434	0.649	1.335	0.163	4.919	11.6	11.0	1.99	17.1	100		
22:00	0.107	0.153	0.961	0.401	0.617	1.516	0.125	3.296	11.4	9.2	1.94	17.1	150		
최소			<b>0.038</b>	<b>0.007</b>	<b>0.186</b>	<b>0.269</b>	<b>0.008</b>	<b>0.504</b>	<b>0.085</b>	<b>1.088</b>	<b>11.4</b>	<b>5.5</b>	<b>1.94</b>	<b>11.0</b>	<b>100</b>
최대			<b>0.169</b>	<b>4.842</b>	<b>8.099</b>	<b>1.377</b>	<b>0.649</b>	<b>13.384</b>	<b>0.520</b>	<b>15.729</b>	<b>760</b>	<b>24.2</b>	<b>127</b>	<b>31.7</b>	<b>350</b>
평균			<b>0.098</b>	<b>0.502</b>	<b>1.177</b>	<b>0.510</b>	<b>0.160</b>	<b>2.189</b>	<b>0.171</b>	<b>3.981</b>	<b>67.8</b>	<b>12.9</b>	<b>11.5</b>	<b>18.0</b>	<b>201</b>

표 4-1-5(c). 계속(2009. 8. 11)

정점	조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	수위
			P	N	N	N	Si								
3토구	8/11	10:30	0.224	0.219	0.546	7.676	1.208	8.441	1.969	16.688	153	23.7	26.1	17.1	100
		12:00	0.089	0.183	1.337	4.610	0.295	6.130	1.582	11.122	86.2	23.6	15.0	17.4	350
		12:30	0.080	0.108	1.041	2.218	0.058	3.366	1.130	5.894	37.8	20.6	6.73	17.8	450
		13:00	0.053	0.068	0.870	1.371	0.059	2.309	0.483	3.722	225	15.0	29.9	13.3	480
		13:30	0.037	0.050	0.808	1.220	0.034	2.077	0.459	3.213	96.3	11.2	9.21	9.56	500
		14:00	0.020	0.044	0.737	1.233	0.033	2.014	0.412	3.124	53.3	12.0	4.38	8.23	450
		14:30	0.055	0.039	0.874	1.157	0.027	2.069	0.339	3.425	28.0	11.4	2.80	10.0	430
		15:00	0.096	0.041	1.014	1.411	0.030	2.466	1.025	4.483	33.8	12.6	3.52	10.4	400
		15:30	0.039	0.010	0.487	0.822	0.008	1.319	0.204	1.938	22.4	6.9	2.86	12.8	470
		16:00	0.038	0.040	0.695	0.975	0.014	1.710	0.207	2.480	20.4	7.5	1.95	9.57	470
		16:30	0.060	0.046	0.841	1.478	0.019	2.365	0.196	3.247	22.8	8.3	1.90	8.33	380
		17:00	0.082	0.046	0.885	1.688	0.023	2.619	0.295	3.785	18.3	9.8	2.30	12.6	350
		17:30	0.072	0.049	1.136	1.733	0.050	2.918	0.270	4.307	17.2	10.2	2.29	13.3	330
		18:00	0.047	0.075	1.600	2.480	0.145	4.154	0.438	6.644	34.4	14.5	4.44	12.9	350
20:00	0.104	0.068	0.763	3.355	0.161	4.185	0.269	7.005	27.1	13.4	3.68	13.6	300		
22:00	0.068	0.044	0.884	2.206	0.286	3.134	0.261	5.487	26.6	11.4	3.01	11.3	380		
<b>최소</b>			<b>0.020</b>	<b>0.010</b>	<b>0.487</b>	<b>0.822</b>	<b>0.008</b>	<b>1.319</b>	<b>0.196</b>	<b>1.938</b>	<b>17.2</b>	<b>6.9</b>	<b>1.90</b>	<b>8.23</b>	<b>100</b>
<b>최대</b>			<b>0.224</b>	<b>0.219</b>	<b>1.600</b>	<b>7.676</b>	<b>1.208</b>	<b>8.441</b>	<b>1.969</b>	<b>16.688</b>	<b>225</b>	<b>23.7</b>	<b>29.9</b>	<b>17.8</b>	<b>500</b>
<b>평균</b>			<b>0.073</b>	<b>0.071</b>	<b>0.907</b>	<b>2.227</b>	<b>0.153</b>	<b>3.205</b>	<b>0.596</b>	<b>5.410</b>	<b>56.4</b>	<b>13.3</b>	<b>7.50</b>	<b>12.4</b>	<b>387</b>
5토구	8/11	10:30	0.240	0.010	0.024	4.743	0.615	4.777	1.796	10.435	75.5	26.2	21.4	28.4	100
		12:00	0.673	0.137	0.752	2.303	0.357	3.192	2.238	8.611	483	50.2	85.5	17.7	550
		12:30	0.123	0.091	0.536	1.075	0.121	1.703	0.799	3.317	71.0	22.4	12.7	17.9	650
		13:00	0.201	0.089	0.528	0.817	0.033	1.435	0.355	2.523	38.8	13.0	6.29	16.2	680
		13:30	0.205	0.002	0.813	0.993	0.036	1.808	1.140	3.089	63.2	17.0	10.8	17.0	660
		14:00	0.043	0.002	1.429	1.115	0.020	2.546	0.443	3.853	43.5	17.4	8.27	19.0	650
		14:30	0.091	0.075	0.683	1.207	0.040	1.965	0.307	3.762	44.0	20.2	9.11	20.7	500
		15:00	0.067	0.120	0.824	2.042	0.118	2.986	0.263	5.459	36.2	20.7	7.49	20.7	350
		15:30	0.103	0.054	0.414	1.309	0.027	1.776	0.415	3.196	45.0	20.6	8.05	17.9	750
		16:00	0.020	0.084	0.594	1.358	0.063	2.036	0.100	3.515	17.2	15.2	2.44	14.2	540
		16:30	0.103	0.105	0.762	2.082	0.069	2.948	0.351	5.455	45.6	21.5	8.67	19.0	400
		17:00	0.098	0.123	0.942	2.197	0.112	3.261	0.201	5.154	20.8	20.4	3.69	17.7	350
		17:30	0.130	0.092	1.003	2.616	0.234	3.711	0.237	6.544	24.6	21.2	4.76	19.3	300
		18:00	0.080	0.066	0.937	1.570	0.160	2.574	0.324	4.684	29.3	19.5	6.09	20.8	450
20:00	0.105	0.081	0.837	3.431	0.285	4.348	0.299	7.192	26.8	20.3	4.94	18.4	300		
22:00	0.063	0.052	0.480	1.793	0.177	2.325	0.113	4.076	14.9	15.3	2.41	16.2	350		
<b>최소</b>			<b>0.020</b>	<b>0.002</b>	<b>0.024</b>	<b>0.817</b>	<b>0.020</b>	<b>1.435</b>	<b>0.100</b>	<b>2.523</b>	<b>14.9</b>	<b>13.0</b>	<b>2.41</b>	<b>14.2</b>	<b>100</b>
<b>최대</b>			<b>0.673</b>	<b>0.137</b>	<b>1.429</b>	<b>4.743</b>	<b>0.615</b>	<b>4.777</b>	<b>2.238</b>	<b>10.435</b>	<b>483</b>	<b>50.2</b>	<b>85.5</b>	<b>28.4</b>	<b>750</b>
<b>평균</b>			<b>0.147</b>	<b>0.074</b>	<b>0.722</b>	<b>1.916</b>	<b>0.154</b>	<b>2.712</b>	<b>0.586</b>	<b>5.054</b>	<b>67.5</b>	<b>21.3</b>	<b>12.7</b>	<b>18.8</b>	<b>474</b>

표 4-1-5(c). 계속(2009. 8. 11)

정점	조사 날짜	조사 시간	PO <sub>4</sub> -	NO <sub>2</sub> -	NO <sub>3</sub> -	NH <sub>4</sub> -	SiO <sub>2</sub> -	DIN	TP	TN	SS	COD	POC	POC	수위
			P	N	N	N	Si								
6토구	8/11	10:30	0.018	0.221	3.742	3.431	0.264	7.394	0.996	10.103	376	29.7	9.22	2.45	100
		12:00	0.029	0.040	0.511	0.340	0.031	0.891	0.111	1.257	24.8	6.2	1.14	4.59	550
		12:30	0.041	0.034	0.491	0.330	0.014	0.854	0.100	1.461	14.5	5.7	1.58	10.9	450
		13:00	0.014	0.031	0.339	0.307	0.009	0.677	0.035	1.269	16.4	4.9	1.21	7.37	600
		13:30	0.031	0.017	0.566	0.350	0.022	0.932	0.092	1.733	11.9	9.0	2.10	17.7	450
		14:00	0.043	0.021	0.419	0.257	0.014	0.697	0.068	1.616	6.0	6.2	1.23	20.5	550
		14:30	0.073	0.025	0.887	0.510	0.048	1.423	0.164	2.845	12.2	11.2	2.47	20.2	450
		15:00	0.089	0.031	1.202	0.585	0.205	1.819	0.161	3.333	10.7	11.6	2.56	23.9	300
		15:30	0.036	0.027	0.511	0.470	0.039	1.008	0.050	1.508	7.0	7.2	1.57	22.5	450
		16:00	0.042	0.024	0.621	0.579	0.070	1.223	0.104	1.985	11.4	10.2	2.83	24.9	350
		16:30	0.087	0.044	1.214	0.894	0.359	2.152	0.161	3.183	9.6	11.6	2.03	21.1	350
		17:00	0.076	0.052	1.603	0.969	0.160	2.624	0.186	3.797	11.6	9.5	2.54	21.9	250
		17:30	0.062	0.053	1.903	1.063	0.174	3.019	0.128	4.200	8.0	8.6	1.78	22.2	250
		18:00	0.008	0.042	0.846	1.674	0.098	2.561	0.034	3.224	3.9	6.4	0.68	17.3	350
20:00	0.010	0.056	3.008	1.703	0.466	4.768	0.051	6.171	6.8	6.8	1.16	17.0	200		
22:00	0.040	0.039	1.182	0.640	0.202	1.861	0.041	2.692	5.8	4.4	1.00	17.1	400		
<b>최소</b>			<b>0.008</b>	<b>0.017</b>	<b>0.339</b>	<b>0.257</b>	<b>0.009</b>	<b>0.677</b>	<b>0.034</b>	<b>1.257</b>	<b>3.9</b>	<b>4.4</b>	<b>0.68</b>	<b>2.45</b>	<b>100</b>
<b>최대</b>			<b>0.089</b>	<b>0.221</b>	<b>3.742</b>	<b>3.431</b>	<b>0.466</b>	<b>7.394</b>	<b>0.996</b>	<b>10.103</b>	<b>376</b>	<b>29.7</b>	<b>9.22</b>	<b>24.9</b>	<b>600</b>
<b>평균</b>			<b>0.044</b>	<b>0.047</b>	<b>1.190</b>	<b>0.881</b>	<b>0.136</b>	<b>2.119</b>	<b>0.155</b>	<b>3.149</b>	<b>33.6</b>	<b>9.3</b>	<b>2.19</b>	<b>17.0</b>	<b>378</b>
7토구	8/11	10:30	0.021	0.103	1.532	6.491	1.167	8.126	1.799	14.542	283	42.3	47.8	16.9	100
		12:00	0.017	0.050	0.594	2.197	0.078	2.841	0.463	3.804	70.0	17.2	9.94	14.2	400
		12:30	0.012	0.042	0.452	2.030	0.041	2.524	0.451	3.112	60.6	12.0	7.88	13.0	500
		13:00	0.020	0.028	0.362	1.097	0.020	1.488	0.237	2.240	33.0	8.8	4.45	13.5	500
		13:30	0.020	0.031	0.350	0.863	0.017	1.244	0.130	2.053	18.6	7.2	2.64	14.2	500
		14:00	0.023	0.032	0.392	0.962	0.048	1.385	0.202	2.234	26.5	9.2	3.53	13.3	500
		14:30	0.037	0.027	0.400	1.085	0.058	1.512	0.151	2.513	25.4	8.9	3.22	12.7	450
		15:00	0.063	0.061	0.623	1.745	0.227	2.429	0.233	3.495	33.9	10.2	6.04	17.8	400
		15:30	0.030	0.026	0.361	0.713	0.029	1.101	0.055	1.514	15.4	4.5	2.91	18.9	550
		16:00	0.032	0.032	0.354	0.813	0.023	1.199	0.106	1.768	19.5	6.2	2.79	14.3	450
		16:30	0.048	0.042	0.562	1.117	0.079	1.721	0.120	2.570	17.3	8.1	2.42	14.0	400
		17:00	0.048	0.050	0.665	1.408	0.084	2.123	0.133	3.458	18.3	8.3	2.82	15.4	370
		17:30	0.038	0.039	0.729	2.128	0.203	2.896	0.146	5.023	22.0	11.0	3.55	16.1	350
		18:00	0.055	0.050	0.798	1.965	0.324	2.813	0.187	4.500	20.6	13.9	4.00	19.4	400
20:00	0.069	0.072	0.757	3.008	0.396	3.838	0.206	6.192	17.8	9.0	2.61	14.7	330		
22:00	0.083	0.044	0.522	0.945	0.037	1.510	0.084	2.468	15.0	6.6	2.21	14.7	400		
<b>최소</b>			<b>0.012</b>	<b>0.026</b>	<b>0.350</b>	<b>0.713</b>	<b>0.017</b>	<b>1.101</b>	<b>0.055</b>	<b>1.514</b>	<b>15.0</b>	<b>4.5</b>	<b>2.21</b>	<b>12.7</b>	<b>100</b>
<b>최대</b>			<b>0.083</b>	<b>0.103</b>	<b>1.532</b>	<b>6.491</b>	<b>1.167</b>	<b>8.126</b>	<b>1.799</b>	<b>14.542</b>	<b>283</b>	<b>42.3</b>	<b>47.8</b>	<b>19.4</b>	<b>550</b>
<b>평균</b>			<b>0.039</b>	<b>0.046</b>	<b>0.591</b>	<b>1.785</b>	<b>0.177</b>	<b>2.422</b>	<b>0.294</b>	<b>3.843</b>	<b>43.5</b>	<b>11.5</b>	<b>6.80</b>	<b>15.2</b>	<b>413</b>



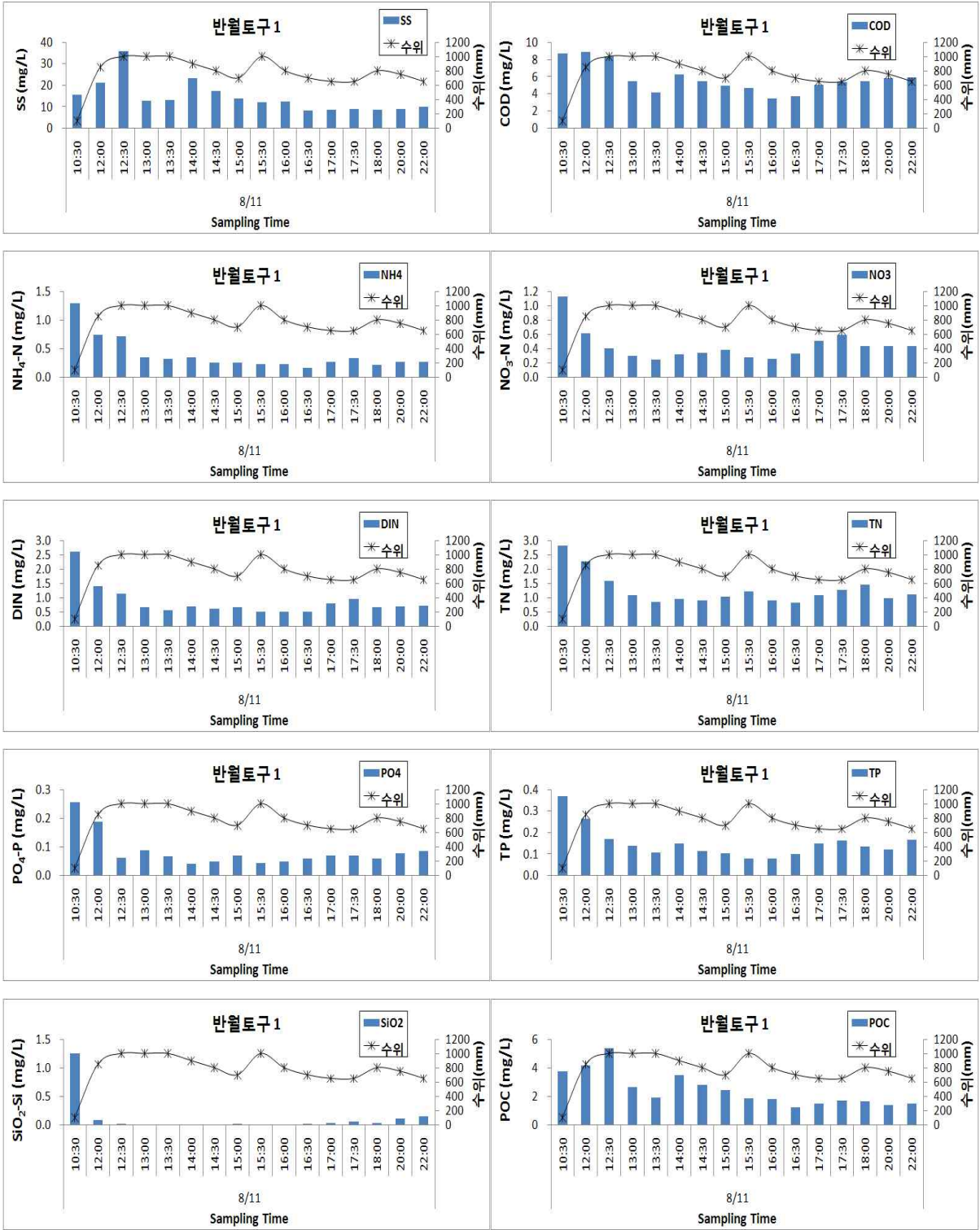


그림 4-1-9. 강우시 반월토구 1의 수질 변화(2009. 8. 11)



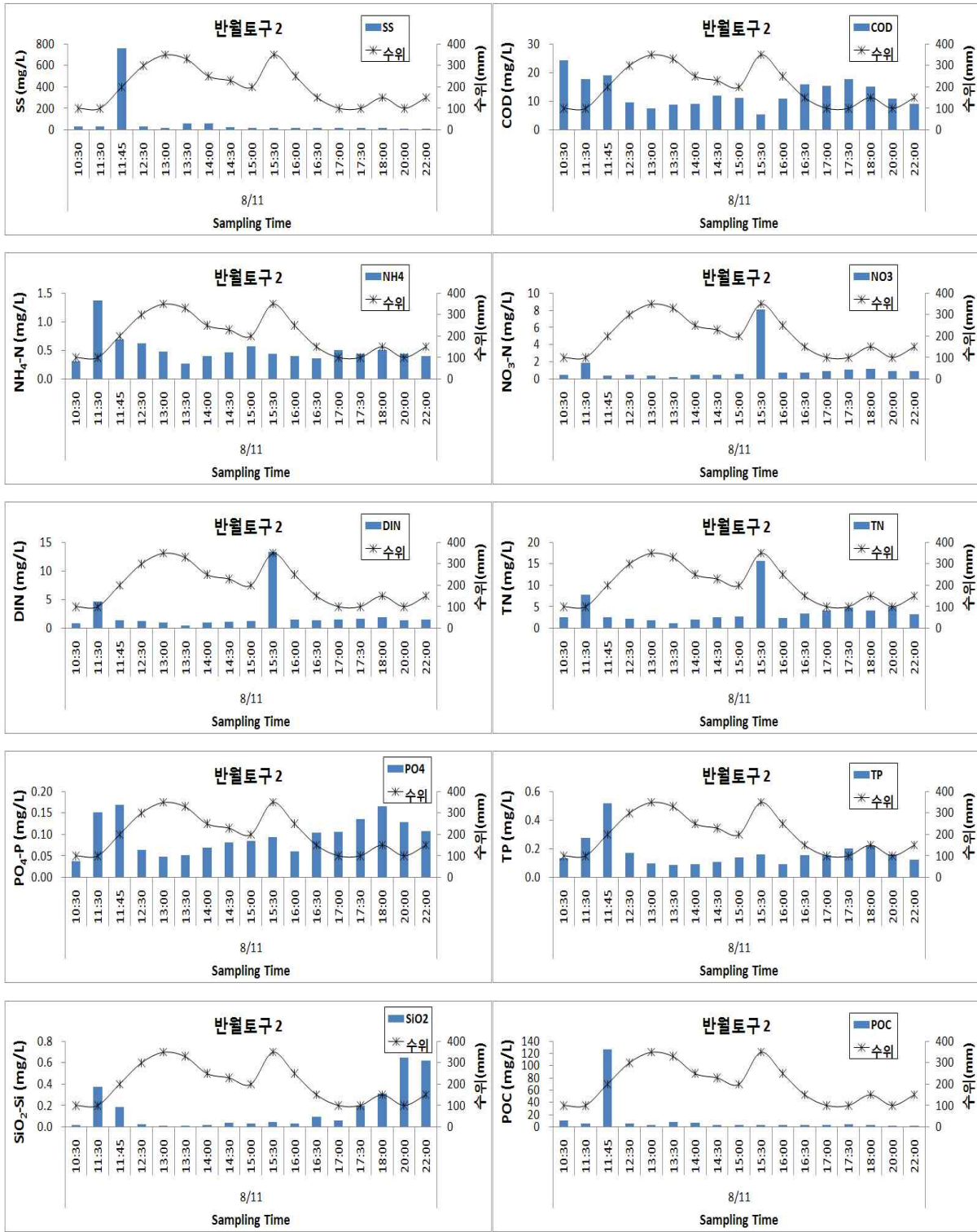


그림 4-1-10. 강우시 반월토구 2의 수질 변화(2009. 8. 11)

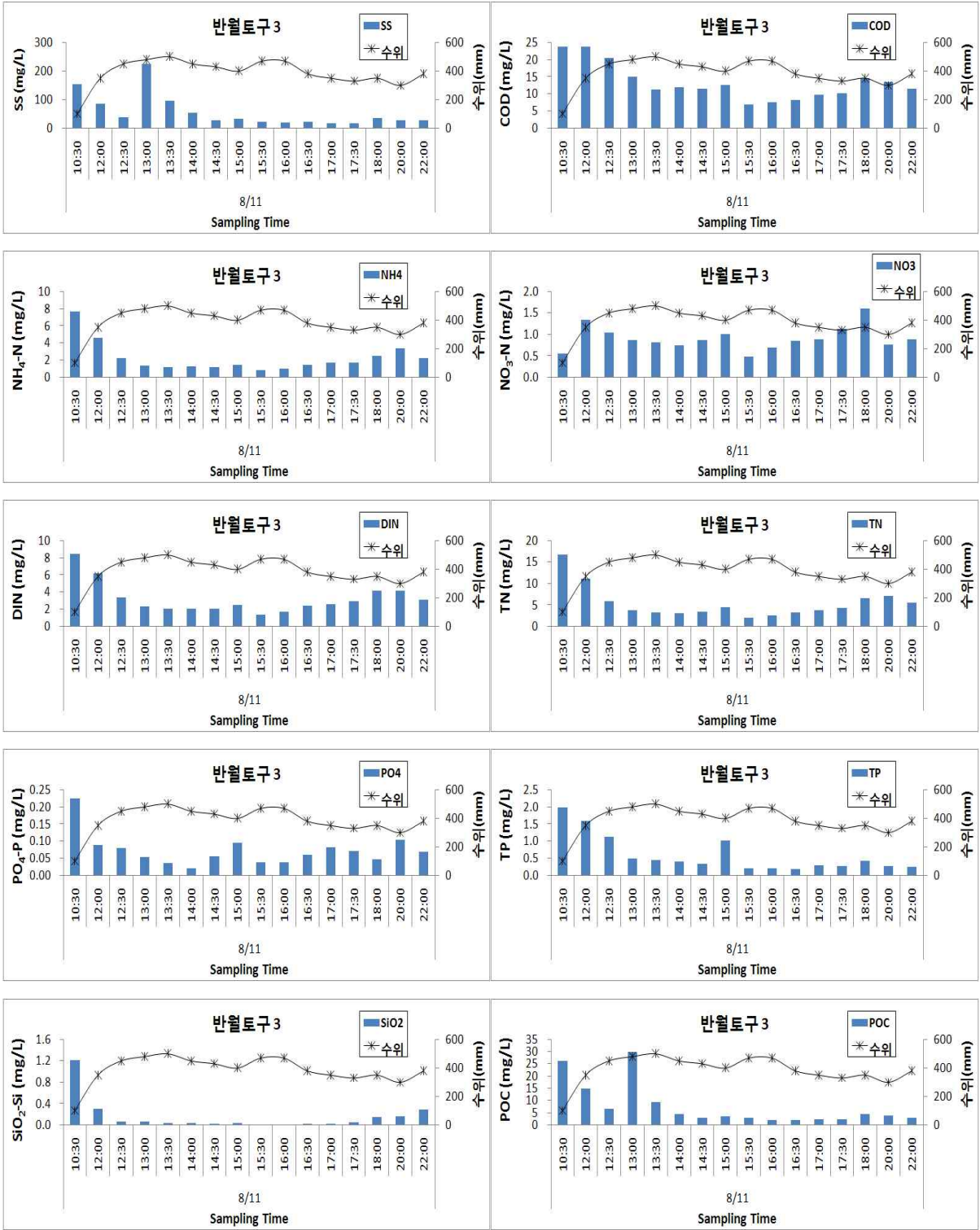


그림 4-1-11. 강우시 반월토구 3의 수질 변화(2009. 8. 11)

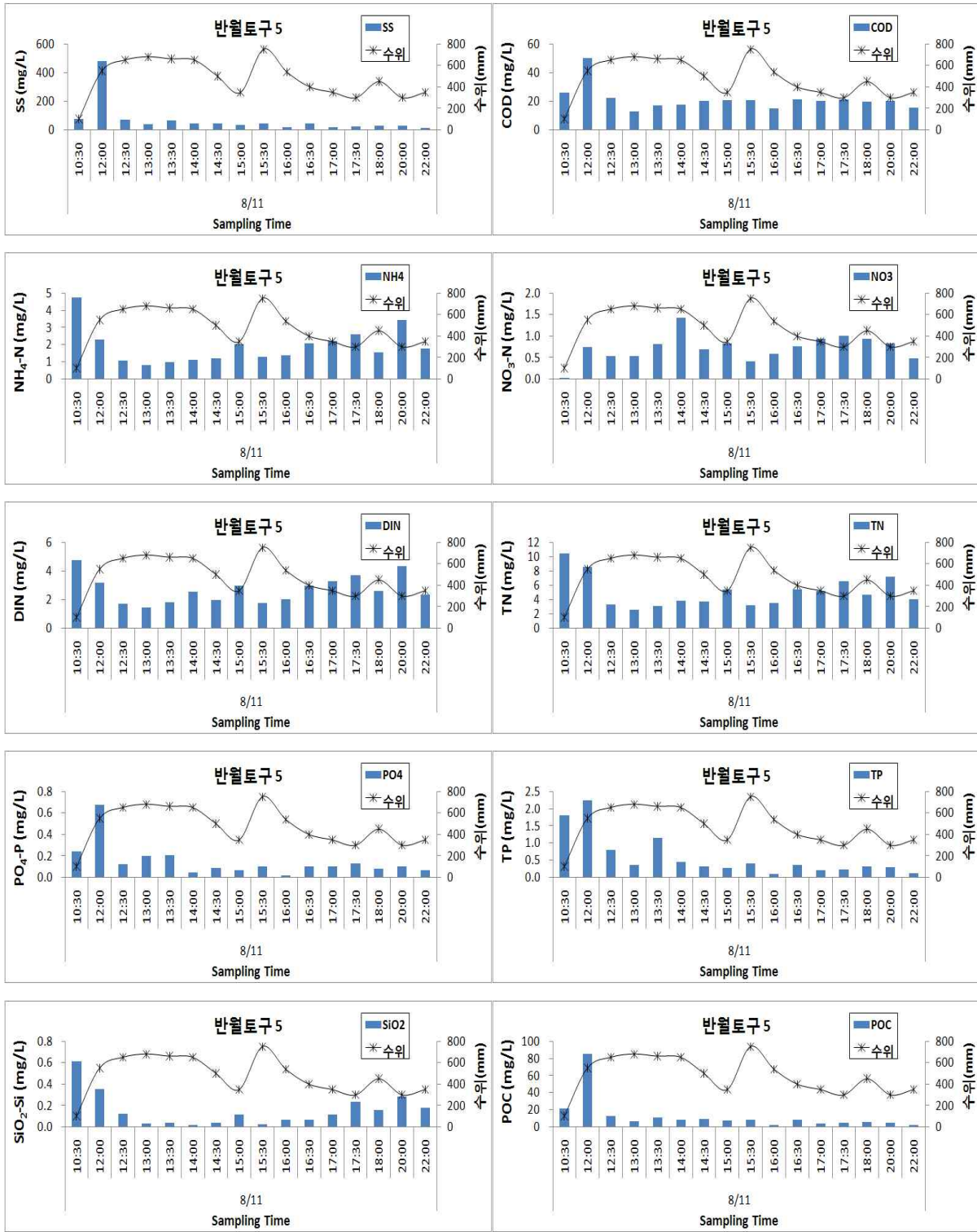


그림 4-1-12. 강우시 반월토구 5의 수질 변화(2009. 8. 11)



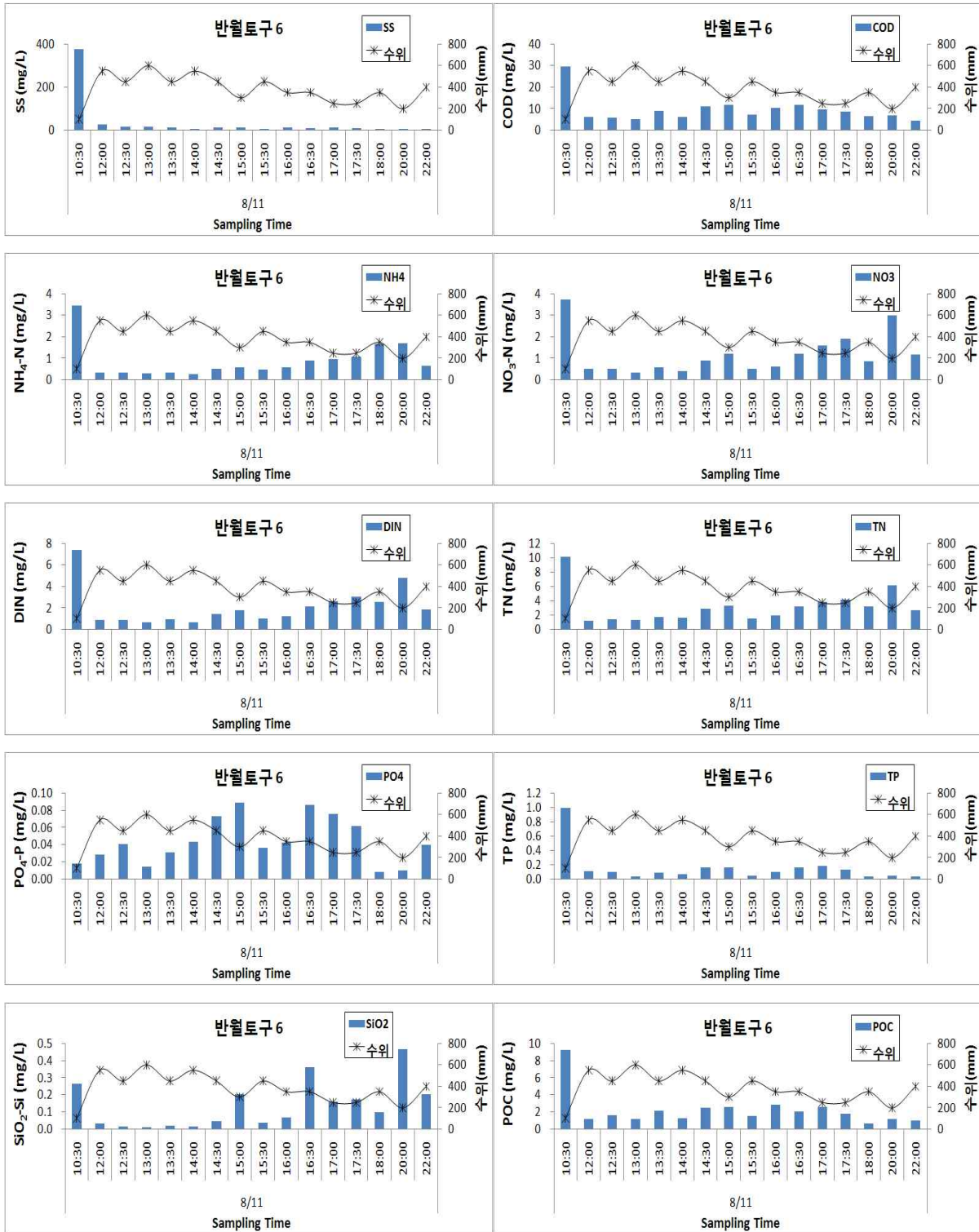


그림 4-1-13. 강우시 반월토구 6의 수질 변화(2009. 8. 11)

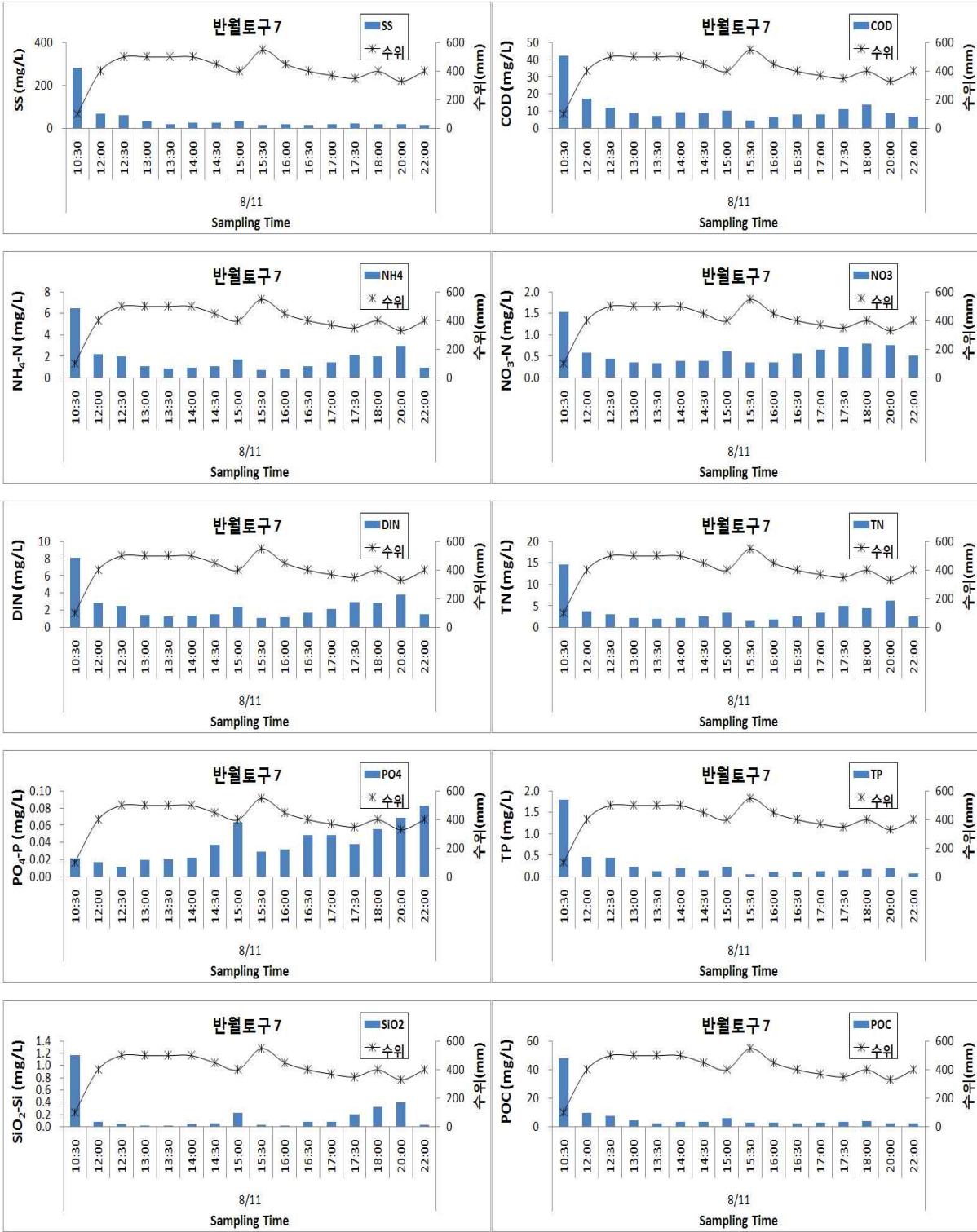


그림 4-1-14. 강우시 반월토구 7의 수질 변화(2009. 8. 11)

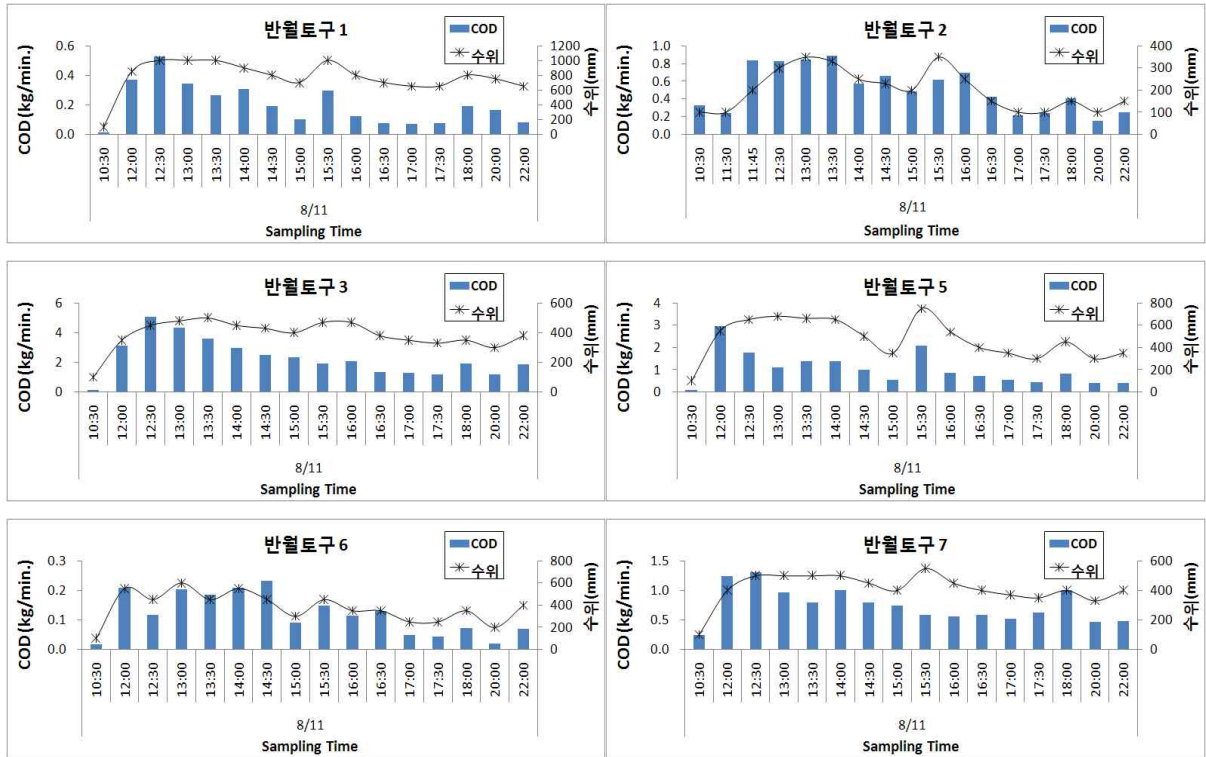


그림 4-1-15. 강우시 반월토구의 COD 유출 부하량 변화(2009. 8. 11)

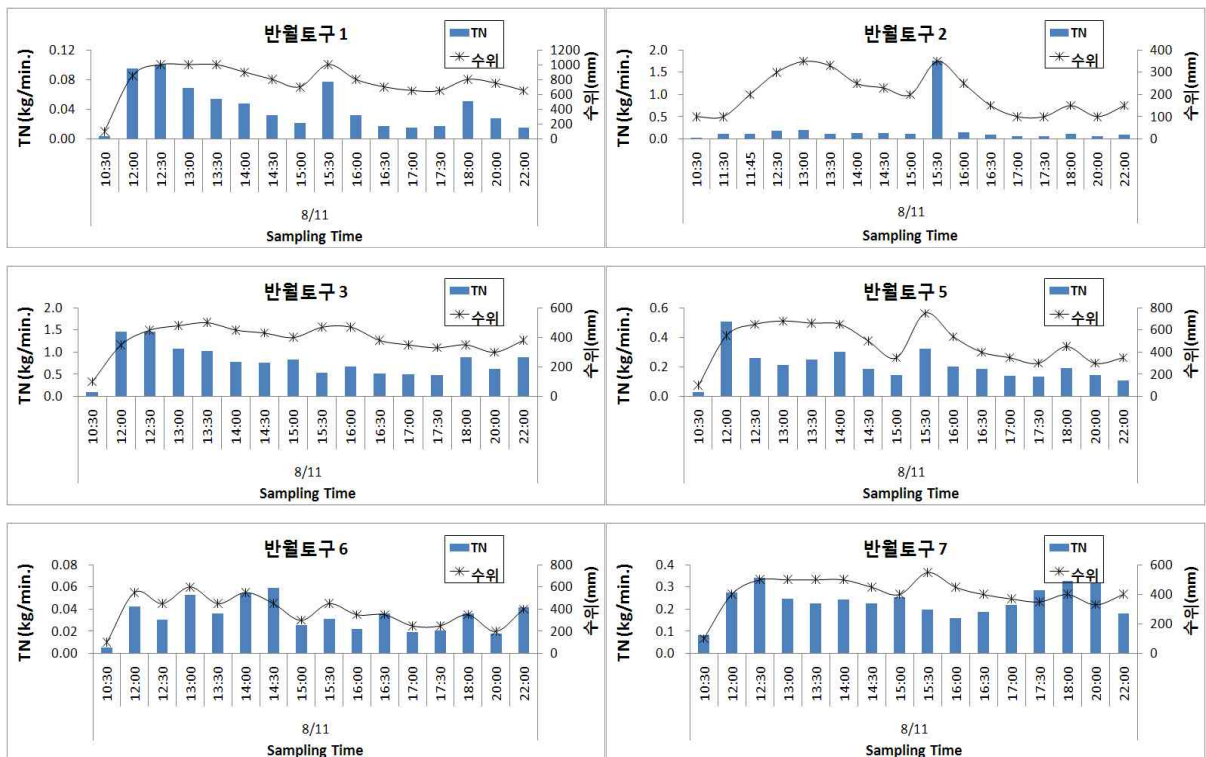


그림 4-1-16. 강우시 반월토구의 총질소 유출 부하량 변화(2009. 8. 11)



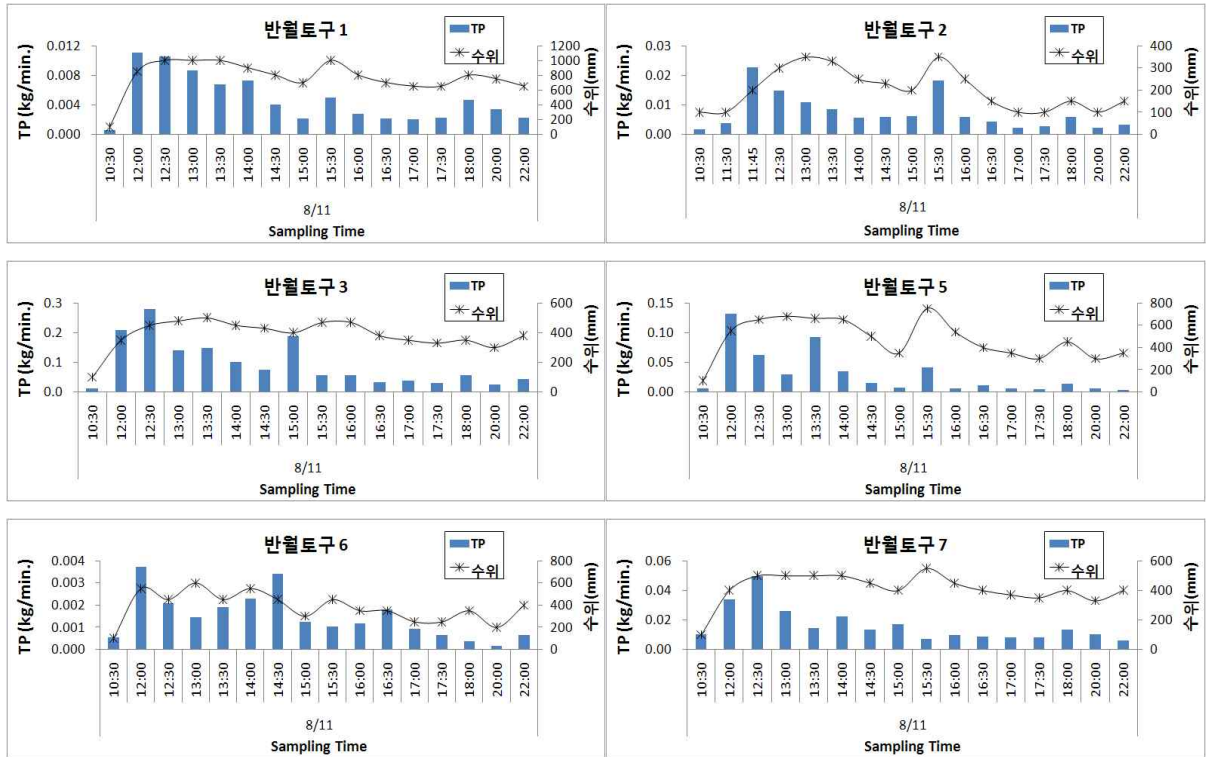


그림 4-1-17. 강우시 반월토구의 총인 유출 부하량 변화(2009. 8. 11)

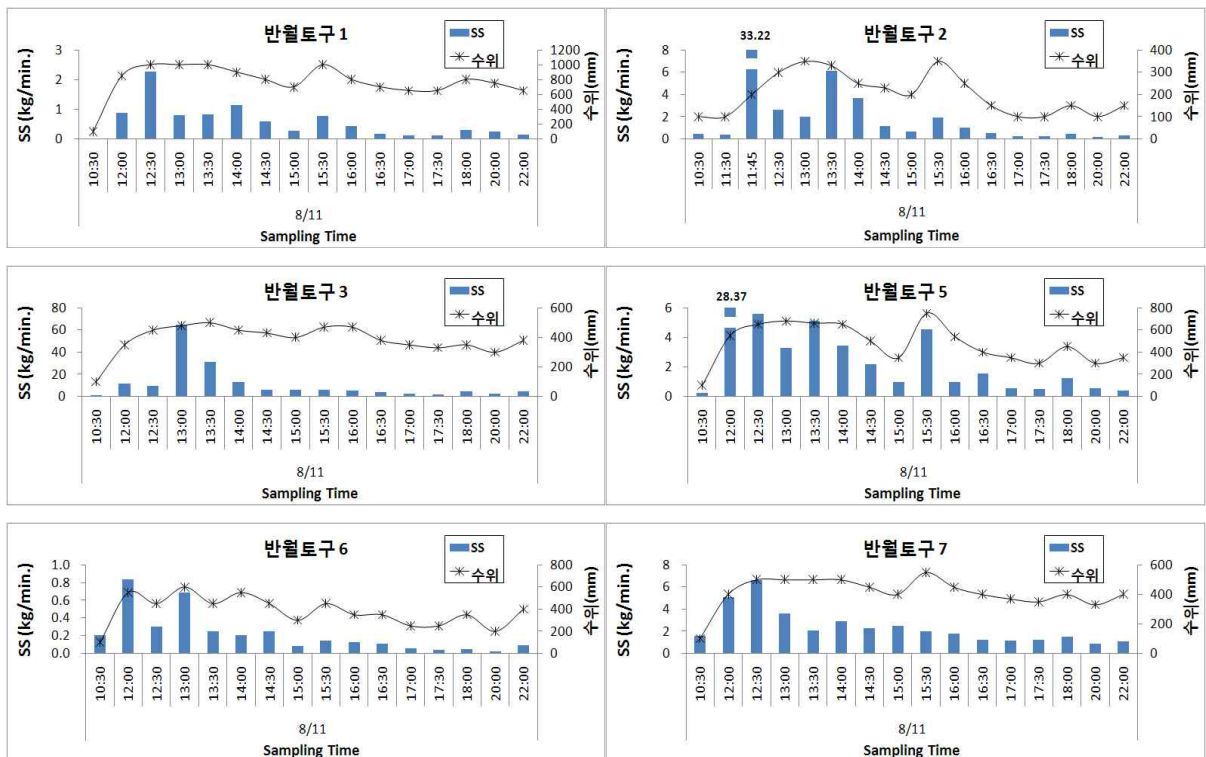


그림 4-1-18. 강우시 반월토구의 부유물질 유출 부하량 변화(2009. 8. 11)

### 3. 수위-유량 관계식

유량을 직접적이고 연속적으로 측정한다는 것은 어려우나 하천수위의 연속적 기록을 얻는 것은 상대적으로 용이하므로 대부분의 하천유량관측소에서 획득되는 자료인 하천의 수위를 이용하여 수위-유량관계에 의해 유량으로 환산하여 사용하여 왔다. 여기서, 유량관측의 순서는 다음과 같다.

관측장소 선정과 계측기 설치 => 연속적인 수위측정 => 정기적인 유량측정 => 수위-유량 곡선 작성 => 수위-유량곡선을 이용한 수위의 유량환산

단면의 변화가 없는 지형의 유량을 측정하는 가장 직접적인 방법은 유속-면적법으로 수위와 유속을 측정하여 유량을 구하는 방법인데, 금번 조사대상인 토구는 콘크리트로 타설된 개수로 구간이고, 안산천 및 화정천의 경우 조사지점이 콘크리트로 타설되어 하상의 변화가 없는 구간에서 조사를 실시하였다. 조사 대상의 제원을 관측한 후 강우시 토구에 기 설치되어 있는 수위표의 수위를 읽고 이때 토구에 흐르는 수면에 부자를 투하하여 소정 시간에 유하한 거리를 측정하여 해당 구간의 평균유속을 결정하였다.

조사 대상인 토구와 안산천 화정천의 특성상 평시에는 거의 흐름이 없거나 저수위이고 강우시 급격한 수위의 상승이 이루어지게 되는데, 이때를 맞추어 강우 시작부터 강우가 끝날 때까지 수위관측과 부자를 이용하여 유속관측을 반복 수행하였다. 관측은 우천시 토구의 경우 2~3회, 안산천 및 화정천은 2회씩 실시하였다.

유량관측이 행해진 지점에 대하여 수위-유량의 관계는 가로축에 유량값을 그리고 세로축에 수위값을 도시함으로서 얻어지게 되는데(수위-유량 곡선, Stage-Discharge Rating Curve 또는 Rating Curve), 수위는 관측한 수위 값을 이용하며, 유량은 관측전 측정한 관측대상지점의 제원(하천 폭, 토구폭, 안산천은 안산 13교 인근에서 단면측량을 실시)에 수위를 곱하여 면적을 구한 후 유속관측을 통하여 얻은 유속을 삽입하여 구하게 된다.

$$Q=AV$$

여기서,

Q : 유량(m<sup>3</sup>/s)

A : 단면적

V : 유속

통계 프로그램을 이용해 회기분석으로 관계식을 구하고, 채수시 관측한 수위를 이용하여 토구 및 하천의 유량을 산출하였는데, 화정천의 유량은 안산천 유역면적과 화정천 유역면적의 비로 산출하였다.

산출된 관계식은 다음과 같다.

안산천 수위가 0.15m 미만일 경우 유량 = 4.132 x (수위)

수위가 0.15m 이상일 경우 유량 = 39.2 x (수위)<sup>4.211</sup>

화정천 안산천 유량 x (14.8/35.25) (시화호해양환경개선사업, 2008. 국토해양부"에서 발췌한 유역면적)

반월공단 1 토구 저수위(0.6m 이하) 유량 = 0.0978 x (수위)

고수위(0.6m 이상) 유량 = 0.9164 x (수위)<sup>-0.505</sup>



2 토구	유량 = 4.419 x (수위) <sup>1.686</sup>
3 토구	유량 = 3.061 x (수위) <sup>2.494</sup>
5 토구	유량 = 1.110 x (수위) <sup>1.743</sup>
6 토구	유량 = 0.953 x (수위) <sup>2.419</sup>
7 토구	유량 = 1.273 x (수위) <sup>1.845</sup>

#### 4. 결론

안산천의 총인은 2009년에 농도 변화폭도 크고 평균농도도 0.650mg/L로 2008년의 0.354 mg/L 보다 2배 가량 높아졌다. 총질소는 전체적으로 평균농도는 변화가 크지 않았으며, 2009년에는 과거에 비하여 변화범위가 작으며, 평균농도도 낮아졌다. 2004~2008년간에 부유물질은 2008년 5월과 6월에 200mg/L를 초과하였고, 2009년에는 농도 변화폭이 커지고 평균농도도 134mg/L로 2008년의 87.4mg/L 보다 크게 높았다. COD는 2006년 7월 10월과 2007년 6월에 변화폭이 크게 나타났고, 2008년과 2009년에는 변화폭이 작아졌으며 농도는 2004년 이래 유사하였다. 화정천의 총인은 2009년에 0.604mg/L로 2008년의 0.363mg/L에 비하여 높게 나타났고, 안산천 보다는 약간 낮은 농도를 보였다. 총질소는 2009년에 농도변화폭이 작아졌으며, 2008년에 비하여 약간 낮은 농도를 보였다. 부유물질은 안산천과 마찬가지로 2009년에 2008년에 비하여 높은 농도를 나타냈다. COD는 2009년에는 과거에 비하여 농도변화는 작았으나, 평균농도는 13.7mg/L로 2007년과 2008년에 비하여 약간 높게 나타났다.

반월공단토구 유출수의 COD, 총인, 총질소 및 부유물질은 강우 2시간 이내에 높은 농도로 나타났다. 한편, 8월 반월공단토구 유출수의 COD, TN, TP 및 부유물질 부하량은 수위에 따라 변화하는 것으로 나타났다. COD는 강우초기에 유출량이 작았지만, 부하량은 크게 나타나므로 강우초기에 집중적으로 유출되는 것을 알 수 있다. TN은 강우초기에 부하량이 크지만, 시간에 따라 감소하는 경향을 보이지 않았는데, 질소화합물의 공급원이 다양하여 지속적으로 유출되는 것으로 판단된다. TP 및 부유물질은 강우초기에 부하량이 크며 강우 후반기에 급속하게 감소하는 것으로 나타났다.

# 제 2 절 시화호 유역 비점오염 모델링(II) 및 비점오염 저감 계획 수립

## 1. 시화호 유역 비점오염 모델링(II)

### 1.1. 연구목표

비점오염원은 대상 유역에 걸쳐 광범위하게 분포함과 동시에 그 배출 양상이 유역특성과 강우특성에 따라 공간적, 시간적으로 매우 다양하게 변동되는 모습을 보여준다. 특히, 비점오염원 관리를 위해서는 비점오염원 배출이 공간적으로 균일하지 않은 것에 주목할 필요가 있다. 이것은 동일한 물리적 특성을 갖는 토지라 하더라도 유역 내에서의 위치에 따라 지하수위, 토양함수량, 강우유출량 등이 달라지기 때문에 비점오염 배출 양상이 크게 다를 수 있기 때문이다. 일반적으로, 유역의 특정 지역은 유역에서 차지하는 면적비율이 매우 작음에도 불구하고 유역 오염부하의 대부분을 배출한다. 이러한 지역을 주요오염원지역(Critical Source Areas)으로 규정할 수 있는데, 유역 내 비점오염을 효과적으로 저감하기 위해서는 주요오염원지역의 공간적 분포와 각 주요오염원지역에서 오염물질의 발생 및 이동 기작을 파악하는 것이 필수적이다(해양수산부, 2007).

주요오염원지역의 분포를 파악하기 위한 가장 유력한 방법 중의 하나는 유역모델을 이용하여 유역의 수문 과정 및 오염물질의 거동을 모의하는 방법인데, 이 때 유역모델의 구조가 주요오염원지역의 파악에 적합해야 한다. 이와 같은 맥락에서 시화호 해양환경 개선사업에서는 비점오염부하의 시공간적 분포를 평가하고자 국내 환경에 적합한 유역모델 CAMEL 2.0을 개발하여 시화호 유역의 비점오염 분석에 적용하였다. 2007년 연구에서는 안산·화정천 시범 소유역에 적용하였으며, 2008년에는 시화호로 유입하는 4개 소유역(신길천, 반월천, 동화천, 삼화천)에 대하여 CAMEL 2.0 모델을 적용하여 비점오염부하를 평가하였다.

본 연구는 이에 대한 후속 연구로 마도수로와 반월공단, 시화공단을 대상으로 시화호로 유입하는 육상기인 비점오염부하의 시공간적 특성을 분석, 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 통하여 비점오염 관리에 필요한 비점오염 부하량 기초자료를 생성하고, 비점오염물질 발생에 크게 기여하는 주요오염원지역을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1.2. 연구범위

#### 1.2.1. 지리적 범위

본 연구는 시화공단 4개 간선수로, 반월공단 7개 토구, 마도수로(문산천)를 대상 유역으로 한다. 시화호 유역 내에서 대상 유역의 공간적 위치는 그림 4-2-1과 같다.

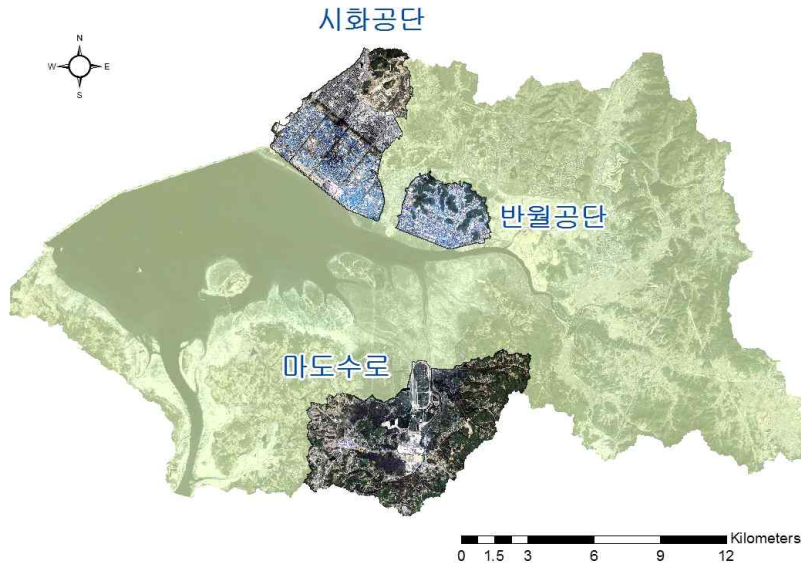


그림 4-2-1. 연구 대상구역의 공간적 위치

### 1.2.2. 내용적 범위

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같이 크게 3부분으로 구성된다. 각 부분의 구체적 내용은 3. 과업의 세부내용 부분에서 설명하도록 한다.

- (1) 대상구역 기초 환경자료 및 유량·수질자료 수집 및 분석
- (2) 대상구역에 대한 분포형 비점오염모델 CAMEL 2.6 구축
- (3) 대상구역에서 시화호로 유입되는 비점오염부하 평가

## 1.3. 과업의 세부내용

### 1.3.1. 대상 소유역 기초 환경자료 및 하천 유량·수질자료 수집 및 분석

본 과업은 대상 소유역의 현황 파악과 CAMEL 2.6 모형의 입력자료 수집을 목적으로 한다. 이를 위하여 세부적으로 ① 대상 소유역의 공간적 범위 설정 ② 소유역별 기상·지형·토지이용·토양·지질 등의 기초 환경자료 수집 및 분석 ③ 소유역별 유량·수질자료 수집 및 분석 등의 연구를 수행한다.

### 1.3.2. 대상 소유역에 대한 분포형 비점오염모델 CAMEL 2.6 구축

본 과업은 앞에서 수집된 기초 환경자료를 이용하여 CAMEL 2.6 모형을 구축하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 세부적으로 대상 소유역에 대한 CAMEL 2.6 모형의 입력자료 생성, CAMEL 2.6 모형의 보정 및 검증 등의 연구를 수행한다.

### 1.3.3. 대상 소유역에서 시화호로 유입되는 비점오염부하의 평가

본 과업은 CAMEL 2.6 모델 구축 후 각 대상 소유역에 모델을 적용하고, 그 결과를 분석하여 각 소유역의 비점오염부하를 평가하는 것을 목적으로 한다. 세부적인 연구 내용은 ① 대상 소유역에 대한 CAMEL 2.6 모델 모의 및 결과 분석 ② 대상 소유역 비점오염부하의 시공간적 변동 특성 분석으로 구성된다.

## 1.4. 연구 결과

### 1.4.1. 대상 소유역 기초 환경자료 및 유량·수질자료 수집 및 분석

#### (1) 대상 유역의 공간적 범위 설정

대상유역의 공간적 범위를 정의하기 위하여 시화공단 4개 간선수로, 반월공단 7개 토구, 마도수로의 각 출구에 대한 집수구역을 설정하였다. 시화공단과 반월공단은 우수관망을 통해 강우유출이 인위적으로 발생하게 됨에 따라 이를 반영하여 세부 집수구역을 선정하였다. 구체적인 작업은 1:5,000의 수치지형도에서 등고선, 표고점 등의 고도자료를 추출하여 2 m × 2 m 크기의 DEM을 생성한 후, 이 DEM에 하천과 우수관망의 정보를 반영하여 흐름 방향도(flow-direction)와 흐름 누적도(flow-accumulation)를 형성하여 수행하였다.

도출된 각 소유역의 모습은 그림 4-2-2, 3, 4와 같다. 시화공단 유역의 총면적은 28.24 km<sup>2</sup>이며, 시화호로 유입되는 수로 말단을 기준으로 4개 소유역으로 구분하였다. 시화공단 유역의 경우 각 간선수를 유역의 중심으로 하여 폭이 좁고 긴 모습을 보여준다(그림 4-2-2), 반월공단 유역의 총면적은 10.28 km<sup>2</sup>이며, 시화호로 유입되는 토구 말단을 기준으로 7개 소유역으로 구분하였다. 반월공단 각 집수구역 역시 배수토구가 중심에 위치한 모습을 보여준다(그림 4-2-3). 마도수로 유역 면적은 43.67 km<sup>2</sup>인 것으로 분석되었으며, 유역 형상은 중심 하천에 비하여 폭이 넓은 모습을 보여준다(그림 4-2-4).

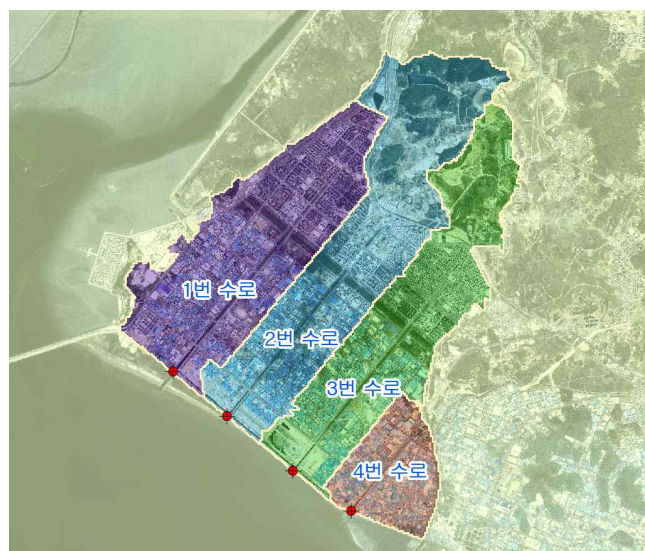


그림 4-2-2. 시화공단 유역의 공간적 모습

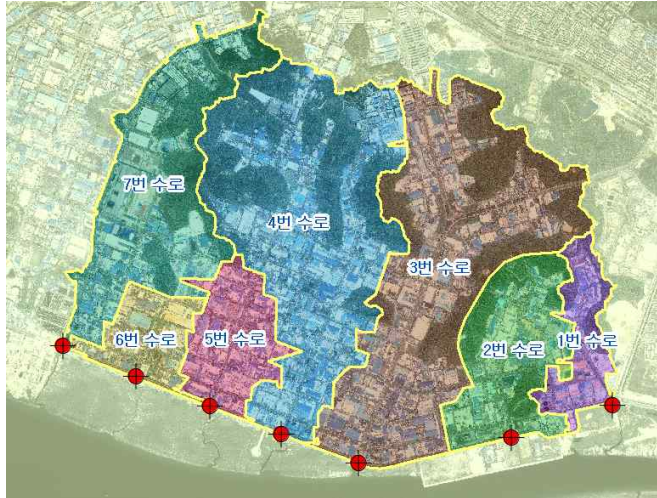


그림 4-2-3. 반월공단 유역의 공간적 모습



그림 4-2-4. 마도수로(문산천) 유역의 공간적 모습

**(2) 소유역별 기초 환경자료 수집 및 분석**

연구 대상 유역에 대하여 지형·토지이용·토양·지질 등의 기초 환경자료를 확보하고, 분석을 실시하였다. 분석 내용은 다음과 같다.

① 지형자료

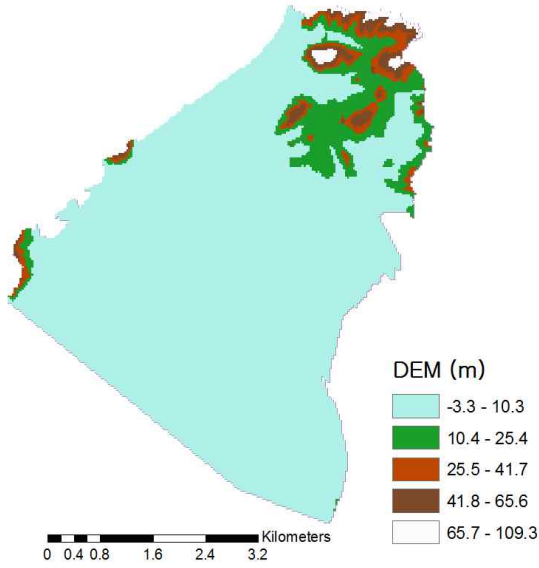
환경부에서 제공하는 30 m 해상도의 수치고도모형(DEM) 자료를 이용하여 대상 소유역의 고도, 경사 자료를 구축하였다. 분석결과는 표 4-2-1.과 그림 4-2-5와 같다.

- 시화공단유역 : 최대 고도는 109 m 이며, 최대 경사는 36.9 도인 것으로 분석되었다. 그러나 대부분의 유역이 고도 10 m 이하이며, 경사도 또한 2 도 이하인 것으로 분석되어 대부분 평평한 지형으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그림 4-2-5 (a)를 보면 북쪽 일부 지역에 낮은 산지가 분포하고 있음을 알 수 있다.
- 반월공단유역 : 최대 고도는 88 m 이며, 최대 경사는 26 도인 것으로 분석되었다. 시화공단과 비교하여 비교적 높은 지형이 유역 내에 존재하나, 대부분의 고도가 20 m 이내의 낮은 모습을 보여준다. 그림 4-2-5 (b)를 보면 반월공단 유역 내부에 일부 산지가 남아 있음을 알 수 있다.
- 마도수로유역 : 최대 고도는 141 m 며, 최대 경사는 33 도인 것으로 분석되었다. 마도수로 유역의 경우 남쪽 지역에서 높은 고도를 보여주며, 시화호와 인접한 유역출구로 접근할 것으로 고도가 급격히 감소하는 것으로 분석되었다.

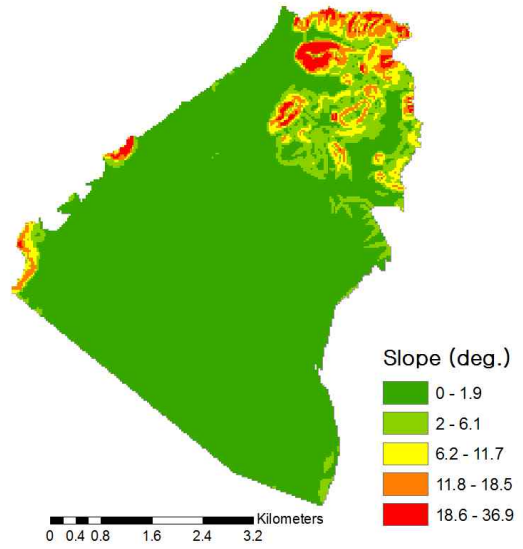
표 4-2-1. 연구 대상 유역의 고도 및 경사

유역		고도 (m)			경사도 (도)		
		MIN	MAX	MEAN	MIN	MAX	MEAN
시화공단	1	-3.1	88.94	3.44	0.00	36.93	0.88
	2	-3.35	109.31	10.6	0.00	30.08	2.98
	3	-0.33	100.48	6.12	0.00	27.71	1.33
	4	1.24	11.87	3.52	0.00	5.89	0.37
반월공단	1	5.25	53.27	16.2	0.05	23.18	5.21
	2	5.32	71.78	15.34	0.00	24.54	4.89
	3	2.54	75.81	20.66	0.00	26.57	5.12
	4	3.93	88.05	24.26	0.00	26.14	5.81
	5	3.75	46.66	10.39	0.00	17.21	1.15
	6	3.9	13.36	6.69	0.01	7.74	0.92
	7	5.94	85.98	22.27	0.00	26.13	6.03
마도수로		0.12	141.25	20.17	0.00	33.12	5.23

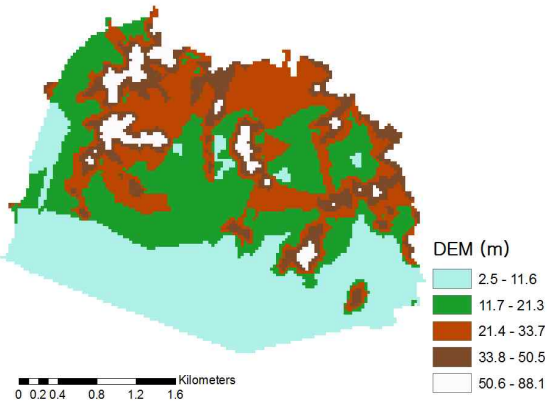




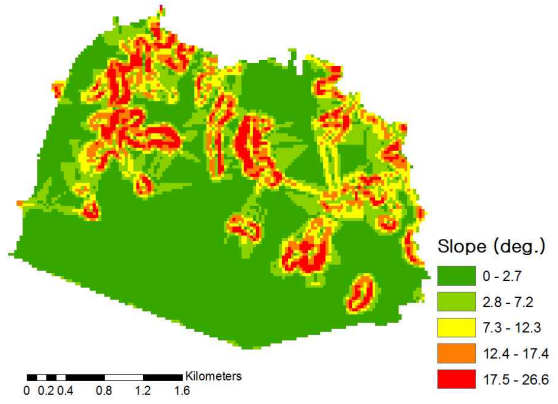
(a) 시화공단유역의 고도



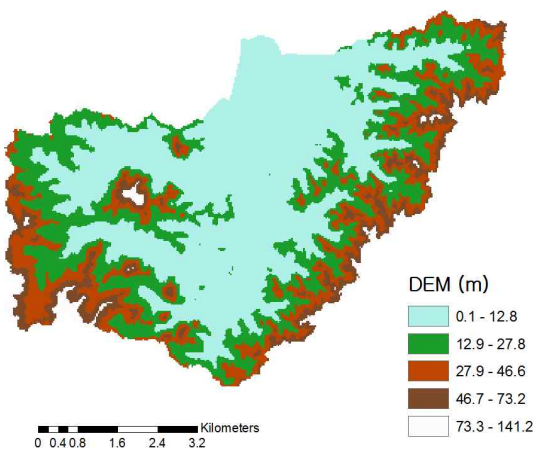
(b) 시화공단유역의 경사도



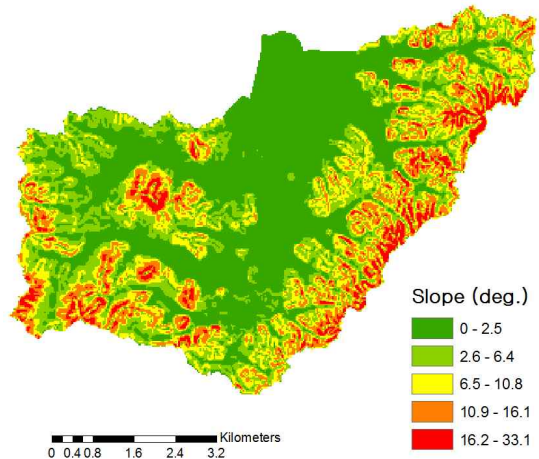
(c) 반월공단유역의 고도



(d) 반월공단유역의 경사도



(e) 마도수로유역의 고도



(f) 마도수로유역의 경사도

그림 4-2-5. 시화공단, 반월공단, 마도수로 유역의 지형자료

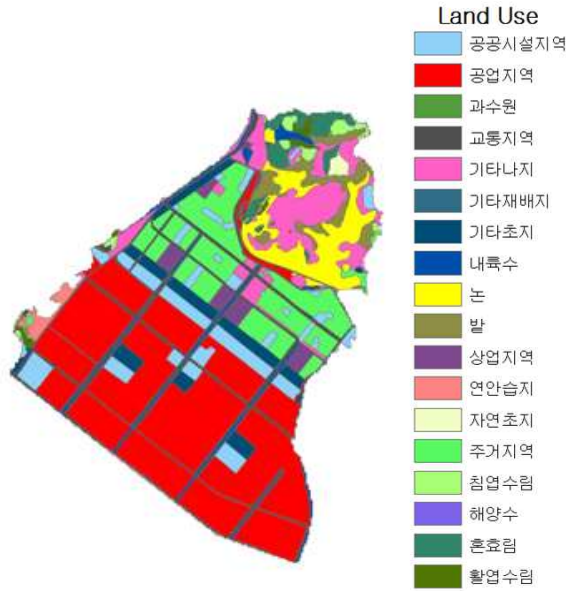
## ② 토지이용

토지이용 자료는 환경부 토지이용도(2001년 제작, 중분류 기준, 해상도 30 m)를 기본으로 생성하였으며, 마도수로 유역과 반월공단, 시화공단 유역의 시간에 따른 토지이용 변경 사항을 반영하기 위하여 ASTER 위성영상과 항공사진, 공단 안내지도 등을 이용하여 변경된 토지이용을 분석하였다. 마도수로 유역의 경우 ASTER 위성영상(2006년 9월 21일 촬영, 해상도 15 m)을 이용하여 갱신하였으며, 반월공단 유역과 시화공단 유역의 경우 항공사진과 공단 안내지도를 참고하여 변경된 토지이용을 반영하였다.

ASTER 위성영상을 이용한 토지이용 갱신은 환경부 토지이용도와 ASTER 위성영상 토지이용도를 비교하여 가역적인 토지이용변화 형태로 토지이용을 결정하였다. 예를 들어 산림지역은 주거지역으로 변할 수 있지만, 주거지역은 산림지역으로 변하지 않으므로 환경부 토지이용도가 주거지역이고 ASTER 위성영상 토지이용도가 산림지역인 경우 환경부 토지이용도의 주거지역으로 선정하였고, 환경부 토지이용도 산림지역이고 ASTER 위성영상 토지이용도가 주거지역인 경우 ASTER 위성영상 토지이용도의 주거지역으로 선정하였다. ASTER 위성영상에 대한 토지이용 분류는 감독분류 중 최대우도법(maximum likely-hood) 방법을 이용하였다. 토지이용 분석 결과는 다음과 같다.

- 시화공단유역 : 시화공단유역은 공업지역이 40.1%로 가장 많고, 다음으로 주거지역이 12.2%로 많은 지역으로 공업시설이 밀집된 도시형 유역이다(그림 4-2-6, 표 4-2-2).
- 반월공단유역 : 반월공단유역은 공업지역이 65.1%로 가장 많고, 다음으로 활엽수림이 26.5%로 많은 지역으로 공업시설이 주로 분포하는 도시형 유역이다(그림 4-2-7, 표 4-2-3).
- 마도수도유역 : 마도수도유역은 유역의 중·하류에 농경지(논 34.6%, 밭 11.9%)가 높은 비율을 차지하고 있으며, 산림(활엽수림 3.2%, 침엽수림 6.2%, 혼효림 15.6%)이 유역 경계를 따라 형성되어 있다. 그리고 연안습지가 8%의 비율로 분포하고 있다. 마도수로 유역의 환경부 토지이용도와 ASTER 위성영상으로 갱신한 토지이용도 비교를 비교(표 4-2-4)할 경우, 전체적으로 보면 기타나지(3.3%)와 논(2.5%)이 증가하였으며, 연안습지(-4.9%)가 감소한 것으로 분석되었다. 연안습지의 34.1%가 논으로 분류되었으며, 이는 마도수로유역 하류에서 물막이 간척사업으로 연안습지(갯벌)가 농경지로 개간되었기 때문인 것으로 판단된다. 공업지역의 30.0%, 공공시설지역의 32.6%가 기타나지로 분류되었으며, 이는 공업지역과 공공시설지역의 비포장지역이 반사특성상 나지의 특성을 띄기 때문인 것으로 판단된다. 내륙수의 37.5%, 해양수의 42.9%가 연안습지로 분류되었으며, 이는 해수면 하락으로 인한 현상으로 판단된다(그림 4-2-8, 표 4-2-4).





토지이용	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
주거지역	3.45	12.2
공업지역	11.31	40.1
상업지역	0.55	2.0
교통지역	2.16	7.7
공공시설지역	2.12	7.5
논	1.70	6.0
밭	0.94	3.3
기타재배지	0.01	0.0
활엽수림	0.20	0.7
침엽수림	0.30	1.1
혼효림	0.64	2.3
자연초지	0.10	0.4
기타초지	1.30	4.6
연안습지	0.28	1.0
기타나지	2.36	8.3
내륙수	0.80	2.8
합계	28.23	100.0

그림 4-2-6. 시화공단유역의 토지이용 분포

표 4-2-2. 시화공단 소유역별 토지이용 현황

토지이용	시화공단 1		시화공단 2		시화공단 3		시화공단 4	
	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
공공지역	0.87	10.5	0.52	5.5	0.44	5.6	1.99	75.1
공업지역	3.06	36.8	2.21	23.5	2.32	29.4	-	-
교통지역	1.23	14.8	0.86	9.2	0.53	6.7	0.19	7.2
기타나지	0.76	9.1	2.16	23	1.78	22.5	0.30	11.3
기타초지	0.06	0.7	-	-	0.01	0.1	-	-
내륙수	0.19	2.3	0.32	3.4	0.16	2.0	0.17	6.4
논	-	-	0.81	8.6	0.93	11.8	-	-
밭	0.04	0.5	0.54	5.8	0.41	5.2	-	-
기타재배지	-	-	0.01	0.1	-	-	-	-
상업지역	0.15	1.8	0.26	2.8	0.12	1.5	-	-
연안습지	0.20	2.4	0.01	0.1	0.01	0.1	-	-
자연초지	-	-	0.07	0.7	0.03	0.4	-	-
주거지역	1.61	19.4	0.62	6.6	1.14	14.4	-	-
침엽수	0.04	0.5	0.24	2.6	0.02	0.3	-	-
해양수	0.04	0.5	0.62	6.6	-	-	-	-
활엽수	0.06	0.7	0.14	1.5	-	-	-	-

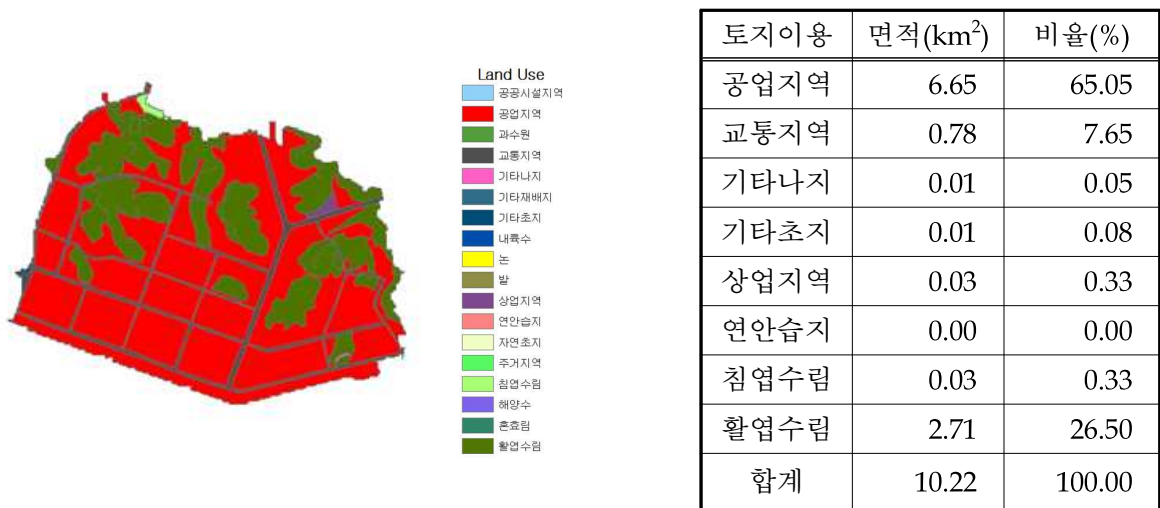


그림 4-2-7. 반월공단유역의 토지이용분포

표 4-2-3. 반월공단 유역의 집수구역별 토지이용현황

집수 구역	토지이용	공업 지역	상업 지역	교통 지역	활엽 수림	침엽 수림	기타 나지	합계
1	면적(km <sup>2</sup> )	0.296	-	0.044	0.119	-	0.001	0.460
	비율(%)	64.4	-	9.5	26.0	-	0.2	100.0
2	면적(km <sup>2</sup> )	0.698	-	0.071	0.270	-	0.004	1.044
	비율(%)	66.9	-	6.8	25.9	-	0.4	100.0
3	면적(km <sup>2</sup> )	1.840	0.034	0.259	0.804	-	-	2.936
	비율(%)	62.7	1.2	8.8	27.4	-	-	100.0
4	면적(km <sup>2</sup> )	1.767	-	0.149	1.012	0.002	-	2.929
	비율(%)	60.3	-	5.1	34.5	0.1	-	100.0
5	면적(km <sup>2</sup> )	0.607	-	0.055	0.005	-	-	0.666
	비율(%)	91.1	-	8.2	0.7	-	-	100.0
6	면적(km <sup>2</sup> )	0.413	-	0.044	0.000	-	-	0.457
	비율(%)	90.3	-	9.7	0.0	-	-	100.0
7	면적(km <sup>2</sup> )	1.030	-	0.164	0.500	0.032	0.008	1.734
	비율(%)	59.4	-	9.5	28.8	1.9	0.4	100.0

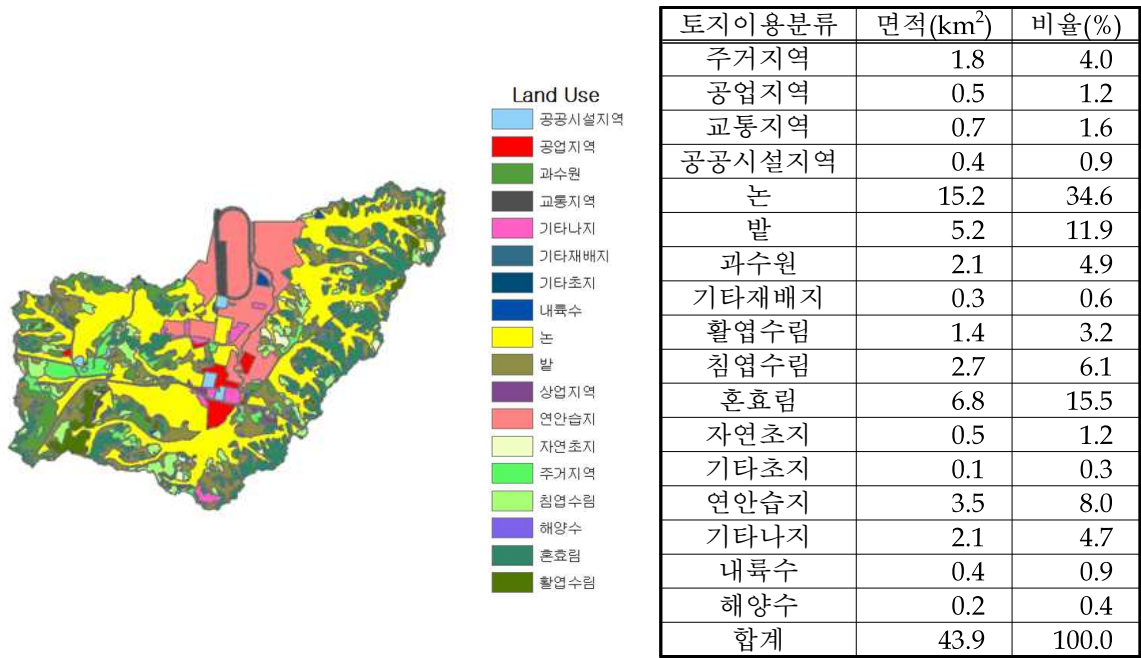


그림 4-2-8. 마도수로유역의 토지이용분포

표 4-2-4. 환경부 토지이용도(2001)와 ASTER 위성영상(2006)으로 갱신한 토지이용도 비교

코드	토지이용분류	환경부토지이용도(2001)		환경부토지이용도(2001) +ASTER영상(2006)		변화율
		면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)	
110	주거지역	1.814	4.1	1.758	4.0	-0.1
120	공업지역	0.745	1.7	0.510	1.2	-0.5
130	상업지역	0.178	0.4	0.000	0.0	-0.4
140	위락시설지역	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0
150	교통지역	0.980	2.2	0.705	1.6	-0.6
160	공공시설지역	0.373	0.8	0.413	0.9	0.1
210	논	14.118	32.2	15.196	34.6	2.5
220	밭	4.949	11.3	5.241	11.9	0.7
230	하우스재배지	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0
240	과수원	2.236	5.1	2.130	4.9	-0.2
250	기타재배지	0.122	0.3	0.275	0.6	0.4
310	활엽수림	1.426	3.3	1.401	3.2	-0.1
320	침엽수림	2.543	5.8	2.697	6.1	0.4
330	혼효림	7.266	16.6	6.788	15.5	-1.1
410	자연초지	0.559	1.3	0.535	1.2	-0.1
420	골프장	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0
430	기타초지	0.089	0.2	0.113	0.3	0.1
510	내륙습지	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0
520	연안습지	5.646	12.9	3.491	8.0	-4.9
610	채광지역	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0
620	기타나지	0.624	1.4	2.057	4.7	3.3
710	내륙수	0.138	0.3	0.389	0.9	0.6
720	해양수	0.057	0.1	0.162	0.4	0.2
합계		43.862	100.0	43.862	100.0	

③ 토양도

한국농업과학기술연구원에서 제공하는 1:25,000 척도의 정밀토양도를 이용하여 토양자료를 구축하였다. 유역별 분석 결과는 다음과 같다.

- 시화공단유역 : 토성은 미사질양토(Silt Loam) 81.7%, 양토(Loam) 13.6%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-9. 표 4-2-5).
- 반월공단유역 : 반월공단유역의 토성은 양토(Loam) 51.4%, 미사질양토(Silt Loam) 35.9%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-10. 표 4-2-6).
- 마도수로유역 : 마도수로유역의 토성은 양토(Loam) 54.6%, 미사질양토(Silt Loam) 28.3%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-11).

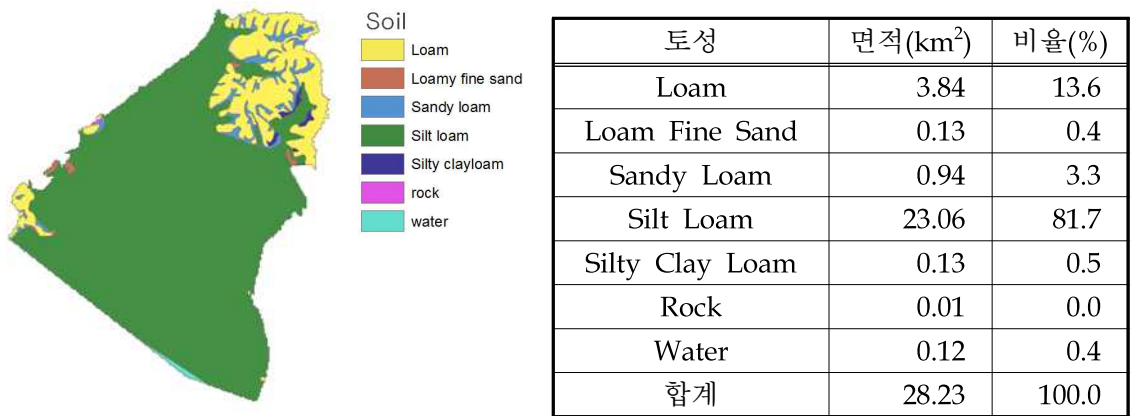
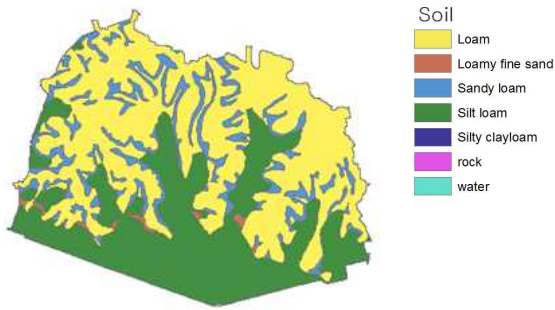


그림 4-2-9. 시화공단유역의 토양분포

표 4-2-5. 시화공단 유역 집수구역별 토양분포

집수 구역	면적/비율	토성						
		Loam	Loamy fine sand	sandy loam	silt loam	silty clay loam	rock	water
1	면적(km <sup>2</sup> )	0.38	0.08	0.12	7.69	-	0.01	0.03
	비율(%)	4.60	1.00	1.40	92.50	-	0.10	0.40
2	면적(km <sup>2</sup> )	2.20	0.01	0.68	6.50	-	-	-
	비율(%)	23.40	0.10	7.20	69.20	-	-	-
3	면적(km <sup>2</sup> )	1.21	0.04	0.22	6.22	0.15	-	0.06
	비율(%)	15.30	0.50	2.80	78.70	1.90	-	0.80
4	면적(km <sup>2</sup> )	0.01	-	-	2.59	-	-	0.04
	비율(%)	0.40	-	-	98.10	-	-	1.50

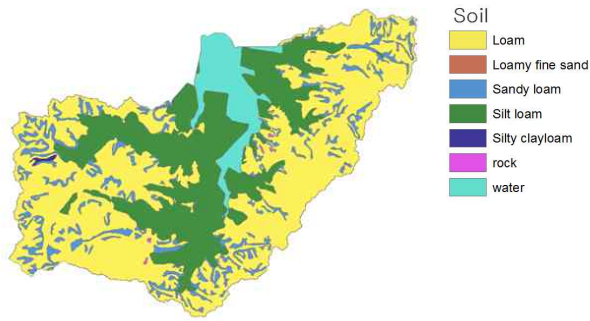


토성	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
Loam	5.28	51.4
Sandy Loam	0.07	0.7
Silt Loam	1.23	12.0
Loamy fine Sand	3.68	35.9
Water	0.01	0.1
합계	10.27	100.0

그림 4-2-10. 반월공단유역의 토양분포

표 4-2-6. 시화공단 유역 집수구역별 토양분포

집수 구역	면적/비율	토성					합계
		Loam	Loamy fine sand	Sandy loam	Silt loam	water	
1	면적(km <sup>2</sup> )	0.230	-	0.050	0.182	0.001	0.463
	비율(%)	49.7	-	10.7	39.3	0.3	100.0
2	면적(km <sup>2</sup> )	0.487	-	0.114	0.446	-	1.047
	비율(%)	46.5	-	10.9	42.6	-	100.0
3	면적(km <sup>2</sup> )	1.580	0.019	0.212	1.129	0.004	2.944
	비율(%)	53.7	0.6	7.2	38.3	0.1	100.0
4	면적(km <sup>2</sup> )	1.559	0.007	0.477	0.892	-	2.934
	비율(%)	53.1	0.2	16.2	30.4	-	100.0
5	면적(km <sup>2</sup> )	0.150	0.022	0.042	0.453	-	0.668
	비율(%)	22.5	3.3	6.3	67.9	-	100.0
6	면적(km <sup>2</sup> )	0.143	0.008	0.042	0.273	-	0.465
	비율(%)	30.7	1.7	9.0	58.7	-	100.0
7	면적(km <sup>2</sup> )	1.119	0.014	0.310	0.309	-	1.752
	비율(%)	63.9	0.8	17.7	17.6	-	100.0



토성	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)
Loam	23.86	54.6
Sandy Loam	4.28	9.8
Silt Loam	12.35	28.3
Silty Clay Loam	0.06	0.1
Rock	0.04	0.1
Water	3.07	7.0
합계	43.68	100.0

그림 4-2-11. 마도수로유역의 토양분포

#### ④ 지질도

한국지질자원연구원의 1:50,000 수치지질도를 이용하여 대상 유역의 지질 특성을 분석하였다. 유역별 분석 결과는 다음과 같다.

- 시화공단유역 : 시화공단유역의 지질은 매립지 54.9%, 충적층 해저퇴적물 18.5%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-12, 표 4-2-7).
- 반월공단유역 : 반월공단유역의 지질은 충적층 해저퇴적물 45.2%, 화강암질편마암 44.7%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-13, 표 4-2-8).
- 마도수로유역 : 마도수로유역의 지질은 충적층 해저퇴적물 44.2%, 화강암질편마암 28.7%가 대부분을 차지하고 있다(그림 4-2-14).



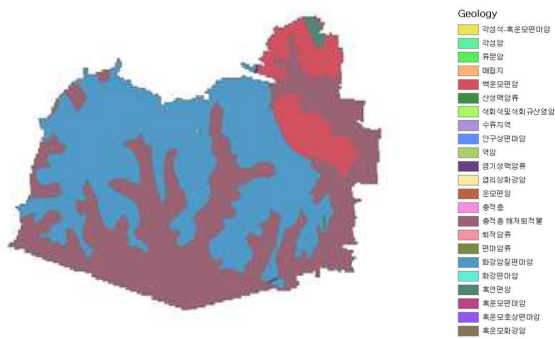
- Geology
- 각섬석-흑운모편마암
  - 각섬암
  - 류문암
  - 매립지
  - 백운모편암
  - 산성맥암류
  - 석회석및석회규산염암
  - 수류지역
  - 안구상편마암
  - 역암
  - 염기성맥암류
  - 엽리상화강암
  - 운모편암
  - 충적층
  - 충적층 해저퇴적물
  - 퇴적암류
  - 편마암류
  - 화강암질편마암
  - 화강편마암
  - 흑연편암
  - 흑운모편마암
  - 흑운모호상편마암
  - 흑운모화강암

지질	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)
충적층 해저퇴적물	0.02	0.1
충적층	2.28	8.1
흑운모호상편마암	2.41	8.5
백운모편암	0.30	1.1
석회석및석회규산염암	0.04	0.1
흑운모화강암	0.36	1.3
흑운모편마암	0.02	0.1
류문암	0.18	0.6
운모편암	0.77	2.7
안구상편마암	0.95	3.4
매립지	20.78	73.6
수류지역	0.08	0.3
각섬석-흑운모편마암	0.03	0.1
합계	28.23	100.0

그림 4-2-12. 시화공단유역의 지질분포

표 4-2-7. 시화공단 유역 배수구역별 지질분포 현황

지질	배수구역							
	1		2		3		4	
	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)
매립지	7.67	94.74	5.81	60.66	4.53	44.33	2.34	47.46
백운모편마암	-	-	0.28	2.87	0.02	0.17	-	-
석회석및석회규산염암	-	-	0.04	0.41	-	-	-	-
수류지역	0.04	0.49	0.04	0.37	0.01	0.09	0.01	0.12
안구상편마암	-	-	0.93	9.72	0.02	0.15	-	-
엽리상화강암	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-
운모편암	-	-	0.76	7.95	-	-	-	-
충적층	-	-	0.56	5.82	1.74	17.01	-	-
충적층 해저퇴적물	-	-	0.15	1.52	2.50	24.48	2.58	52.43
흑운모편마암	0.03	0.31	-	-	-	-	-	-
흑운모호상편마암	-	-	1.02	10.68	1.41	13.78	-	-
흑운모화강암	0.36	4.45	-	-	-	-	-	-



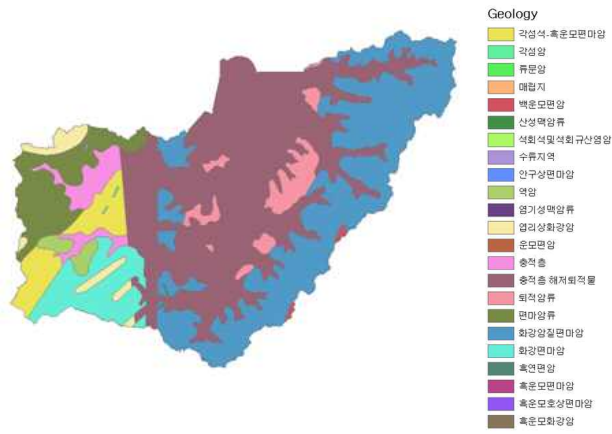
지질	면적(km <sup>2</sup> )	비율(%)
화강암질편마암	5.67	55.22
층적층 해저퇴적물	4.57	44.55
염기성맥암류	0.01	0.05
백운모편암	0.02	0.17
합계	10.27	100.00

그림 4-2-13. 반월공단유역의 지질분포

표 4-2-8. 반월공단 유역 배수구역별 지질분포 현황

집수 구역	면적/비율	지질			
		화강암질편마암	층적층 해저퇴적물	염기성맥암류	백운모편암
1	면적(km <sup>2</sup> )	0.26	0.21	0.00	-
	비율(%)	55.63	44.27	0.09	-
2	면적(km <sup>2</sup> )	0.53	0.51	0.01	-
	비율(%)	50.60	48.91	0.49	-
3	면적(km <sup>2</sup> )	1.51	1.42	-	0.02
	비율(%)	51.29	48.10	-	0.61
4	면적(km <sup>2</sup> )	1.81	1.13	-	-
	비율(%)	61.63	38.37	-	-
5	면적(km <sup>2</sup> )	0.17	0.49	-	-
	비율(%)	26.04	73.96	-	-
6	면적(km <sup>2</sup> )	0.15	0.32	-	-
	비율(%)	31.56	68.44	-	-
7	면적(km <sup>2</sup> )	1.25	0.51	-	-
	비율(%)	71.16	28.84	-	-





지질	면적 (km <sup>2</sup> )	비율 (%)
충적층 해저퇴적물	17.11	39.2
화강암질편암	12.58	28.8
퇴적암류	1.81	4.2
산성맥암류	0.02	0.0
염기성맥암류	0.00	0.0
백운모편암	0.10	0.2
각섬석-흑운모편암	2.65	6.1
염리상화강암	0.94	2.1
편암암류	3.15	7.2
화강편암	2.73	6.3
역암	0.52	1.2
충적층	2.02	4.6
수류지역	0.02	0.0
각섬암	0.02	0.0
합계	43.68	100.0

그림 4-2-14. 마도수로유역의 지질분포

### (3) 소유역별 기상자료 수집 및 분석

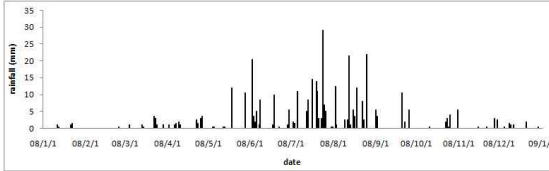
#### ① 강우 자료

기상청에서 운영 중인 안산, 시흥, 화성의 무인자동기상관측장비(AWS, Automatic Weather Station) 3곳과 수원기상대 1곳에서 2008년 1년간 1시간 단위로 측정된 강우량 자료를 기상청을 통해 수집하였다. 각 관측소의 2008년 강우특성은 다음과 같다(그림 4-2-15).

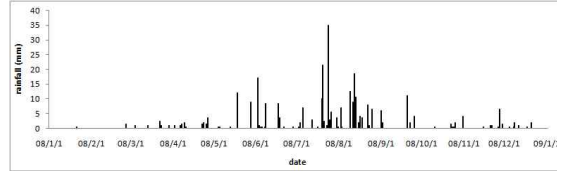
- 안산 : 안산 AWS는 경기도 안산시 사동에 위치하고 있으며, 해발고도 5 m의 높이에 있다. 2008년 시간당 연간 총 강우 횟수는 451회이며, 연간 총 강우량은 1099.5 mm이다. 시간당 최대강우량은 29 mm이며, 시간당 평균강우량은 0.126 mm이며, 강우강도는 2.440 mm이다.
- 시흥 : 시흥 AWS는 경기도 시흥시 군자동에 위치하고 있으며, 해발고도 22 m의 높이에 있다. 2008년 시간당 연간 총 강우 횟수는 351회이며, 연간 총 강우량은 822 mm이다. 시간당 최대강우량은 35 mm이며, 시간당 평균강우량은 0.094 mm이며, 강우강도는 2.342 mm이다.
- 화성 : 화성 AWS는 경기도 화성시 남양동에 위치하고 있으며, 해발고도 52 m의 높이에 있다. 2008년 시간당 연간 총 강우 횟수는 419회이며, 연간 총 강우량은 1082.5 mm이다. 시간당 최대강우량은 25.5 mm이며, 시간당 평균강우량은 0.123 mm이며, 강우강도는 2.584 mm이다.

- 수원 : 수원기상대는 경기도 수원시 권선구 서둔동에 위치하고 있으며, 해발고도 35 m의 높이에 있다. 2008년 시간당 연간 총 강우 횟수는 494회이며, 연간 총 강우량은 1342.9 mm이다. 시간당 최대강우량은 46 mm이며, 시간당 평균강우량은 0.153 mm이며, 강우강도는 2.718 mm이다.

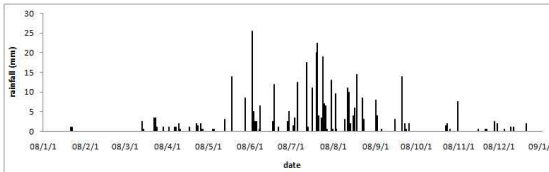
(a) 안산



(b) 시흥



(c) 화성



(d) 수원

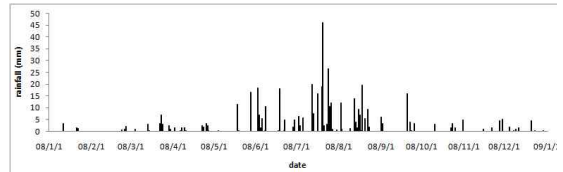


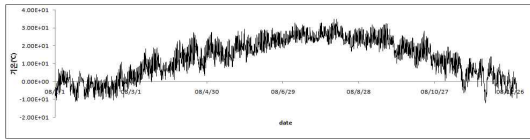
그림 4-2-15. 안산, 시흥, 화성, 수원 지역의 2008년 연간 강우량 그래프

## ② 기상 자료

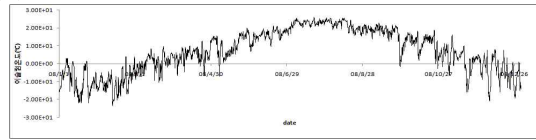
수원기상대에서 2008년 1년간 1시간 단위로 측정된 기온, 이슬점온도, 현지기압, 풍속, 일사량 등 5개의 기상자료 항목을 기상청을 통해 수집하였다. 분석결과는 다음과 같다(그림 4-2-16).

- 기온 : 평균기온은 12.88℃로, 최대기온은 8월 8일 15시, 8월 10일 15시, 16시에 35.1℃이며, 최저기온은 12월 6일 06시에 -11.9℃이다.
- 이슬점온도 : 평균이슬점온도는 6.79℃로, 최대이슬점온도는 7월 20일 12시에서 15시까지 26℃이며, 최저이슬점온도는 2월 12일 06시에 -23.6℃이다.
- 현지기압 : 평균현지기압은 101.223 kPa로, 최대현지기압은 1월 17일 09시에 103.390 kPa이며, 최저현지기압은 8월 22일에 99.170 kPa이다.
- 풍속 : 평균풍속은 1.682 m/s로, 최대풍속은 4월 25일 13시에 7.8 m/s이다.
- 일사량 : 평균일사량은  $1.540 \times 10^4$  MJ/m<sup>2</sup>/s로, 최대일사량은 6월 16일 14시에  $9.528 \times 10^4$  MJ/m<sup>2</sup>/s이다.

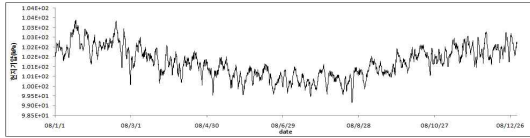
(a) 기온



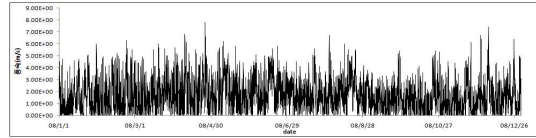
(b) 이슬점온도



(c) 현지기압



(d) 풍속



(e) 일사량

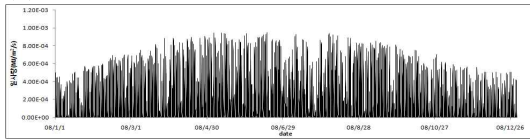


그림 4-2-16. 수원기상대에서 측정된 2008년 기상자료 그래프

#### (4) 유역별 유량, 수질자료 수집 및 분석

##### ① 유량 자료

시화공단 제1간선수로, 반월공단 제4토구, 마도수로 유역출구지점에서 한국수자원공사가 2008년 1년간 10분 단위로 자동 측정된 수위 자료를 수집하여 분석하였다. 수위 자료를 수위-유량곡선식을 이용하여 10분 단위 유량자료를 계산한 후, 1시간 평균을 내어 1시간 단위의 유량자료로 정리하였다.

- 시화공단 제1간선수로 : 2008년에 대해 시화공단 제1간선수로의 평균유량은  $1.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최대유량은  $25.920 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최저유량은  $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며, 연간 총유량은  $8950.229 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 겨울철(2008년 1월 1일~3월 9일, 11월 16일~12월 31일)에 비가 오지 않았음에도 불구하고 급격하게 유량이 증가하는 것은 측정상 오류로 판단하여 실측치 자료에서 제외하였다.
- 반월공단 제4토구 : 반월공단 제4토구의 평균유량은  $0.146 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최대유량은  $23.801 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최저유량은  $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며, 연간 총유량은  $1185.229 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 여름철(6월~9월)에는 유량 침투값이 15회 정도 나타나나 그 값이 비교적 적은 양이다.
- 마도수로 유역출구지점 : 마도수로 유역출구지점의 평균유량은  $0.737 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최대유량은  $33.396 \text{ m}^3/\text{s}$ , 최저유량은  $0.000 \text{ m}^3/\text{s}$ 이며, 연간 총유량은  $6,300.993 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다. 유량 침투값은 9회 정도 나타나고, 6월에서 8월 사이에 집중적으로 나타나는 경향을 보인다. 3월 4일에 비가 오지 않았음에도 불구하고 일시적으로 유량이 증가한 것은 기계 오작동으로 인한 측정상의 오류로 판단하여 실측치 자료에서 제외하였다.

## ② 수질 자료

시화공단 제1~제4간선수로, 반월공단 제1~제7토구 및 마도수로 유역출구지점에서 한국수자원공사 시화환경관리센터가 2008년 1년간 측정된 하천 수질 자료를 수집, 분석하였다. 수질은 비강우 시 2~4주 간격으로 총 12개의 지점에서, 강우 시 1시간 간격으로 시화공단 제1간선수로, 반월공단 제4토구, 마도수로 유역출구지점에서 측정된 결과를 분석하였다. 수질측정 항목은 강우 시 기본항목(온도, pH, 염도, TDS, 탁도)과 탄소(COD), 유사(SS), 인(TP, DIP), 질소(TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N) 등 총 12개, 비강우 시에는 기본항목(온도, pH, DO, 염도, TDS, 탁도)과 탄소(COD, BOD), 유사(SS), 인(TP, DIP), 질소(TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N), 기타(클로로필-a) 등 총 15개 항목을 측정하였다. 측정결과는 표 4-2-9와 같다.

- 시화공단유역 : 시화공단유역의 수질은 비교적 양호한 수준을 유지하고 있다.
- 반월공단유역 : 반월공단유역의 수질은 제7토구를 제외한 나머지 지역에서는 수질이 악화된 모습을 보여준다.
- 마도수로 유역출구지점 : 마도수로유역의 수질은 비교적 양호하나 유사(SS)의 농도가 높게 검출되었다.

표 4-2-9. 각 측정지점별 오염물질의 연평균 농도

측정지점		COD (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
시화 공단	1간선수로	23.28	29.77	4.73	0.36
	2간선수로	12.09	22.45	5.81	0.88
	3간선수로	15.06	12.90	4.95	0.35
	4간선수로	13.49	14.19	7.40	2.74
반월 공단	제1토구	46.92	22.55	6.13	1.37
	제2토구	85.45	30.21	9.84	0.67
	제3토구	68.96	56.51	34.98	2.49
	제4토구	51.95	107.27	11.88	2.18
	제5토구	57.97	44.41	26.83	1.93
	제6토구	48.67	21.34	16.50	4.00
	제7토구	16.52	31.33	17.53	1.23
마도수로		14.89	79.46	2.80	0.27

### 1.4.2. CAMEL 2.6 모델 기능 개선

#### (1) 배수문에 의한 유출

마도수로 유역은 농촌유역으로 농업용수 확보를 위해 수로 내에 다수의 배수문이 존재한다. 이에 본 연구에서는 마도수로 유역의 배수문 조작을 모델에 반영하기 위해 CAMEL 내에 Underflow Gate 모듈을 개발하였다. 그림 4-2-17은 배수문 조작 과정을 보여준다. 일반적으로

농업용수를 확보하기 위하여 수문을 닫아 일정 수위를 유지하며, 강우 시 하천수위에 따라 홍수를 방지하기 위해 적절히 수문을 개방한다.

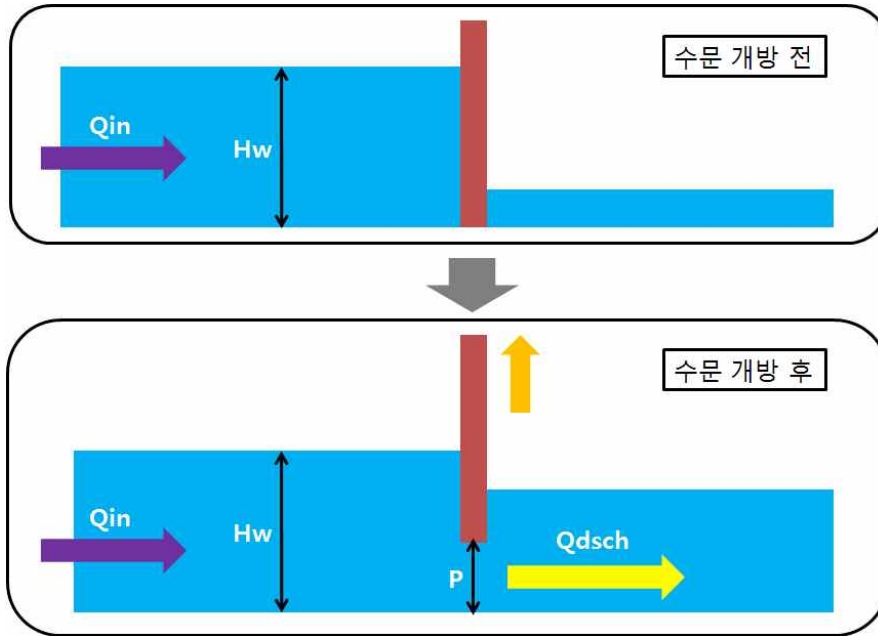


그림 4-2-17. Underflow Gate 모듈 개요

수문을 개방할 경우 개방된 수문을 통한 유출량은 이론적으로 유속과 개방된 단면적을 곱하여 산정된다. 유속은 수위  $H_w$ 의 함수로  $\sqrt{2 \cdot g \cdot H_w}$ 로 계산되며, 배수문의 개방 단면적은 개방 높이  $P$ 와 수로폭의 곱으로 정의된다. 그러나 실제 유량은 그림 4-2-18에 설명된 접근수로의 수심  $H_w$ 와 개방높이  $P$ 에 따라 차이를 보여주는데, 수리학에서는 이를 식 1과 같이 유량계수  $C_d$ 로 나타낸다. 유량계수  $C_d$ 를 고려할 경우 수문 개방 후  $t$  시간동안 수문을 통해 배수된 총유출량은 식2와 같이 계산될 수 있다. 여기서,  $C_d$  = 유량계수(discharge coefficient),  $C_c$  = 수축계수(contraction coefficient),  $P$  = 수문개방 높이(m),  $H_w$  = 수위(m),  $Q_{dsch}$  = 유량( $m^3$ ),  $W_{ch}$  = 하천의 너비(m),  $t$  = 시간 간격(sec)이다.

$$C_d = \frac{C_c}{(1 + C_c \cdot P/H_w)^{0.5}} \quad (\text{식 1})$$

$$\begin{aligned} Q_{dsch} &= C_d \cdot V \cdot A \cdot \Delta t \\ &= C_d \cdot (\sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot h_w}) \cdot (P \cdot W_{ch}) \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

CAMEL 2.6에서는 이러한 배수문에 의한 유출을 모의하기 위하여 사용자가 2가지 방식에 의해 배수문을 조작할 수 있도록 하였다. 첫 번째 방법은 배수문의 개폐에 대한 조건을 사용자가 정의하는 것으로, 배수문이 개방되는 수위  $H_w$ 와 강우량을 부여하여 배수문을 조작하도

록 하였다. 두 번째 방법은 배수문 개폐에 대한 운영자료가 있을 경우 배수문이 개방되는 날짜와 이 시기의 배수문을 조작하는 방법이다. 연구대상지인 마도수로유역에는 유역의 배수문 운영에 대한 2008년도 운영자료가 존재하지 않아 수위  $H_w$ 와 강우량을 이용하여 배수문을 조작하는 방법을 사용하였다.

## (2) 도시 모듈

시화공단과 반월공단과 같은 도시유역은 하천이 존재하지 않더라도 우수관망을 따라 수문흐름이 형성된다. 도시지역에서 우수관망을 통한 강우유출과 도시표면에서 발생하는 오

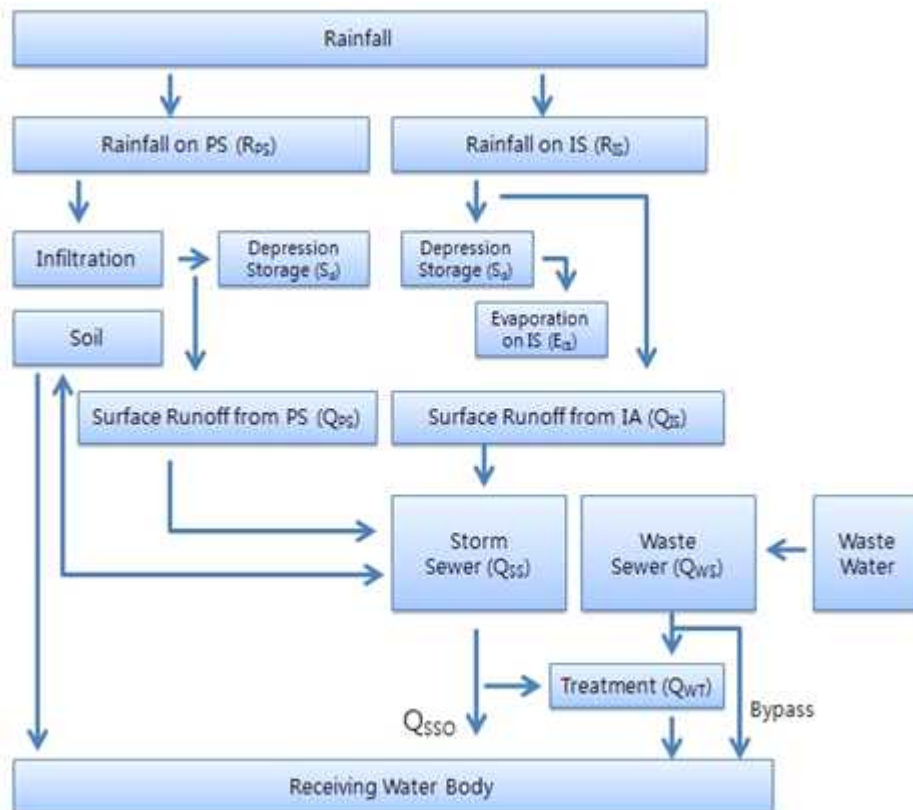


그림 4-2-18. 도시 모듈의 개요

염물질의 발생 및 이동을 모의하기 위해 도시 모듈을 개발하였다(그림 4-2-18). 도시의 관망은 합류식 관거와 분류식 관거로 구분할 수 있으며, 분류식 관거는 오수관거와 우수관거로 나누어진다. 합류식 관거에는 우수와 점오염원이 모두 유입되고, 분류식 관거에는 우수는 우수관으로, 점오염원은 오수관으로 유입되는 것으로 가정하였다. 도시의 지표면 일부는 불투수 지표면으로 이루어져 있기 때문에, 사용자가 토지이용별로 불투수 지표면의 비율을 입력할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 증발산량, 침투량 등 불투수 지표면이 수문 현상에 미치는 영향을 고려할 수 있도록 하였다. 일반적으로 도시 관망 말단에는 차집관거가 있어 관망을 통해 유출되는 유량의 일부를 차집하여 하수처리장으로 보내 처리하도록 하는데 이를 모의할 수 있도록 모듈을 구성하였다. 이를 통해 초기우수 발생 시 우수 차집으로 인해 감소하는 유량을 반영할 수 있다.

그리고 도시 지역의 지표면에서 발생하는 비점오염물질의 발생과 이동을 모의하기 위해 도시 오염물질의 축적(Build-up)과 세정(Wash-off) 과정을 반영하였다. 비강우 시에는 도시 표면에 오염물질이 축적되고, 강우 시 축적된 오염물질이 우수와 함께 우수관으로 이동하는 것으로 가정하였다. 축적 과정은 Michaelis-Menten식을 이용하여 모의할 수 있도록 하였으며(그림 4-2-3), 축적량은 무강우일수와 최대 축적가능량에 도달하는 시간에 따라 달라진다. 세정 과정은 강우에 따라 오염물질이 유출되는 과정을 물리식으로 구현한 것으로 입자 크기에 따른 유출 특성을 반영하였다.

$$TS = \frac{TS_{mx} \cdot td}{t_{half} + td} \quad (\text{식 3})$$

여기서, TS = 축적량(kg/curb km), td = 무강우 일수(days), TS<sub>mx</sub> = 최대 축적 가능량(kg/curb km), t<sub>half</sub> = TS<sub>mx</sub>의 1/2 도달 시간(days)이다.

그리고 우수관을 흐르는 유량이 관저의 통수능을 초과할 경우 월류되지 않고 차집되는 것으로 가정하였다(그림 4-2-19).

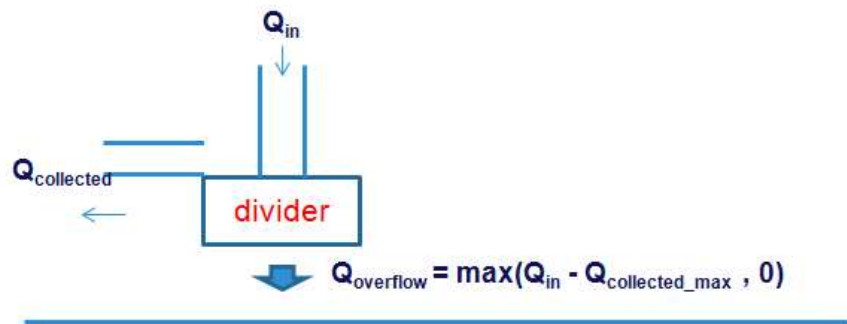


그림 4-2-19. 우수관 차집 모의 개요

### (3) 증발산

마도수로 유역은 대표적인 농촌유역이다. 따라서 논, 밭, 산림 등이 유역 토지이용의 대부분을 차지하고 있다. 이 경우 증발산이 수문과정에서 중요하게 고려되어야 하는데, 이를 반영하기 위하여 CAMEL 2.6에서는 다음의 3 가지 측면에서 증발산 모듈을 개선하였다.

- 지표수가 존재하는 논외 증발산 추정 방법 개선
- 격자 내에 식생이 존재하는 면적의 비율 고려
- 공기 중의 수분이 응결되는 경우를 고려

지표수가 존재하지 않는 경우, 토양 증발은 식 3로부터 추정된다. 식 4에서 식생이 없는 지점에서의 토양 증발은 잠재 증발로부터 추정한다. 식생이 존재하는 경우 토양 증발의 증발산에 대한 비율은 식생의 canopy에 따라서 지수적으로 감소한다. 따라서 식 7으로부터 식생이 존재하는 지점에서의 토양 증발을 추정하며, 증발산에서 이 양을 빼 값을 증산량으로 추정한다.

$$E_{soil} = E_{soil-bare} + E_{soil-vege} \quad \text{식 4}$$

$$E_{soil-bare} = PE \cdot \theta_e^{k_e} (1 - V_d) \quad \text{식 5}$$

$$E_{soil-vege} = ET \cdot \exp(-k_v LAI) \theta_e^{k_e} V_d \quad \text{식 6}$$

$$T = ET \cdot V_d - E_{soil-vege} \quad \text{식 7}$$

여기에서,  $E_{soil}$ 은 토양 증발( $\text{mm s}^{-1}$ ),  $E_{soil-bare}$ 과  $E_{soil-vege}$ 는 각각 나지와 식생이 덮인 지점의 토양 증발( $\text{mm s}^{-1}$ ),  $PE$ 는 잠재 증발( $\text{mm s}^{-1}$ ),  $\theta_e$ 는 유효 토양 포화도( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $k_e$ 는 토양 증발 계수,  $V_d$ 는 격자 내의 식생 밀도(0부터 1사이의 값),  $ET$ 는 증발산( $\text{mm s}^{-1}$ ),  $k_v$ 는 식생의 증산에 의한 토양 수분 사용에 따른 토양 증발 감소 계수,  $LAI$ 는 엽면적 지수( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ )이다. 지표수가 존재하는 경우에는 토양으로부터의 증발은 없으며, 수표면에서 증발이 이루어지며, 그 양은 잠재 증발량으로부터 추정한다(식 8~식 11).

$$E_{water} = E_{water-bare} + E_{water-vege} \quad \text{식 8}$$

$$E_{water-bare} = PE(1 - V_d) \quad \text{식 9}$$

$$E_{water-vege} = PE \cdot V_d \quad \text{식 10}$$

$$T = ET \cdot V_d - E_{soil-vege} \quad \text{식 11}$$

여기에서,  $E_{water}$ 는 수표면에서의 증발( $\text{mm s}^{-1}$ ),  $E_{water-bare}$ 와  $E_{water-vege}$ 는 각각 식생이 덮이지 않은 지점과 덮인 지점에서의 수표면 증발( $\text{mm s}^{-1}$ )이다.

기온 감소에 따라 공기 중의 수분이 응결될 경우에는 식 11에서 식 14의 식을 사용하여 토양 표면에 응결되는 수분의 양을 결정하며, 식생으로부터의 증산은 없는 것으로 가정한다( $T=0$ ). 식생으로 덮인 지점의 경우, 전체 응결되는 양을 토양과 식생에 대해서 나누어 준다. 즉, 식생의 엽면적과 토양의 전체 응결 면적이  $LAI+1$ 이며, 토양 표면에 응결되는 수분의 양은  $1/(LAI+1)$ 을 곱하며(식 13), 식생 표면에 응결되어 저장되는 수분의 양은  $LAI/(LAI+1)$ 을 곱하여 계산한다(식 14).

$$E_{soil} = E_{soil-bare} + E_{soil-vege} \quad \text{식 11}$$

$$E_{soil-bare} = PE(1 - V_d) \quad \text{식 12}$$

$$E_{soil-vege} = PE \cdot V_d \cdot \frac{1}{LAI+1} \quad \text{식 13}$$

$$WS_{canopy} = PE \cdot V_d \cdot \frac{LAI}{LAI+1} \quad \text{식 14}$$

여기에서,  $E$ 는 응결되는 수분의 양( $\text{mm s}^{-1}$ )이며, 지표수가 존재하는 경우에는 동일한 방정식으로 수표면에 응결되는 양을 계산한다.



### 1.4.3. 대상 소유역에 대한 분포형 비점오염모델 CAMEL 구축

#### (1) 대상 소유역에 대한 CAMEL 2.0 모델의 입력자료 생성

앞에서 제시한 대상 소유역별 지형, 토양, 토지이용, 지질 등의 GIS 자료와 강우, 기상자료를 이용하여 CAMEL 2.6 모형의 입력자료를 생성하였다. CAMEL 2.6은 텍스트 문서 형식의 입력자료를 요구한다. 이에 따라 GIS 자료와 강우 및 기상 자료를 CAMEL 2.6에서 요구하는 형식의 텍스트 문서로 변환하여 입력자료를 구축하였다. 모의는 2008년 1년 기간 동안 수행하여 대상 유역에서의 비점오염부하를 평가하도록 하며, 모의시간간격은 1시간 단위로 수행할 수 있도록 입력 자료를 구축하였다.

#### (2) CAMEL 2.6 모델의 보정 및 검정

모형의 입력자료가 구축된 후에는 모형이 실제 유역의 특성을 반영할 수 있도록 모형에 포함된 매개변수의 값을 측정값을 이용하여 보정과 검정하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 마도수로 유역과 반월공단, 시화공단 유역에 대해 2008년에 측정된 유량, 수질자료를 이용하여 보정과 검정을 실시하였다. 이때 2008년 측정자료를 다음과 같이 구분하여 보·검정에 적용하도록 한다.

- 보정 : 2008년 1월 1일 01시 00분 ~ 2008년 8월 1일 00시 00분
- 검정 : 2008년 8월 1일 01시 00분 ~ 2009년 1월 1일 00시 00분

보·검정 시 목적함수로는 Nash-Sutcliffe, 최소자승법 등을 사용하며, 유량에 대한 매개변수 보·검정 후 수질에 대한 보·검정을 수행하였다.

### 1.4.4. 결과 및 고찰

#### (1) 마도수로 유역

##### 1) 물 순환

마도수로 유역을 대상으로 한 모형의 전체 모의 기간은 2008년 1월 1일부터 2009년 1월 1일까지이다. 2008년 1년 동안 유역 출구에서 연속적으로 관측된 유량 자료를 사용하여 모형을 정량적으로 평가하였으며, 전반기(2008.01.01 ~ 07.31)와 후반기(2008.08.01 ~ 2009.01.01)의 유량 자료를 각각 모형의 보정과 검정에 사용하였다.

마도수로 유역에는 모두 10개의 수문이 설치/운영되고 있는 바, 유량 예측을 위한 중요한 요소로서 수문 조작(개폐 시기 및 개방 높이)에 대한 정보가 필요하다. 그러나 이에 대한 정보가 가용하지 않아, 모형에서는 수위 조건에 따라서 수문 조작 조건이 결정되었다. 모형의 모의 결과를 관측 유량과 비교한 결과, 전반적으로 강우 사상에 따른 첨두유량(Peak flow)과 기저유량(base flow)을 잘 재현하였으며(그림 4-2-20), 이는 모형에서의 수문 조작이 비교적 잘 이루어진 것을 반영한다. 보·검정 기간을 구분하여 모형의 예측 정확도를 평가한 결과, 보정 기간에 대해서는 아주 양호한 예측 결과를 나타내었으며(NS = 0.807, R2 = 0.831), 검정 기간에 대해서도 모형이 관측 유량의 시계열적 변화를 잘 재현하였다(NS = 0.356, R2 = 0.612)(그림 4-2-21).

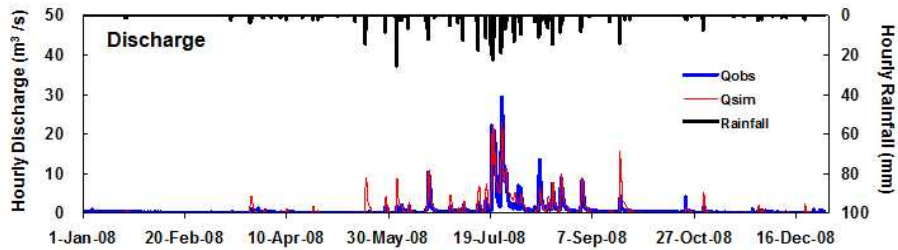


그림 4-2-20. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 유량 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

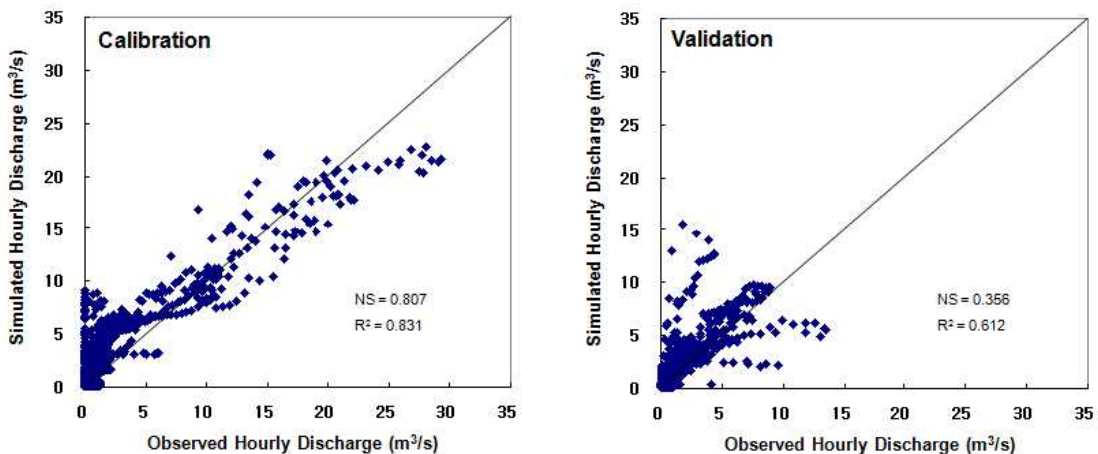


그림 4-2-21. 마도수로 유역 출구의 유량에 대한 모형의 보정 및 검정 결과

2008년 동안 마도수로 유역에 대한 물 수지의 모의 결과를 표 4-2-10에 나타내었다. 1년 총 강우량 1,082 mm 중에서 약 17%(183 mm)가 식생에 의해서 차단되었으며, 전체 강우량의

3.6%(409 mm)가 수관 증발로 손실되었다. 유역 외부로의 물 손실 대부분은 하천 유출(652 mm, 60.2%)의 형태로 이루어졌으며, 증발산에 의한 물 손실은 약 37.8%(409 mm)를 차지하였다. 토양에서 하천으로 유입되는 물은 대부분 지표 유출수(640mm, 59.2%)이며, 우선류 유출이 28.3%(307 mm)를 구성하였다.

표 4-2-10. 마도수로 유역의 2008년 물 수지 분석 결과

구분	단위	
	mm	%
강우량	1,082	100.0
증발산량	409	37.8
수관 증발량	38	3.6
토양 증발량	105	9.7
수면 증발량	99	9.1
식생 증산량	166	15.4
하천 유출량	652	60.2
지표면 유출량	640	59.2
우선류 유출량	307	28.3
지하수 유출량	0	0

마도수로 유역의 2008년 1년간의 누적 물 순환과정 중, 지표면 유출과 지하수의 하천유입에 대한 공간적인 분포를 그림 4-2-22와 그림 4-2-23에 각각 나타내었다. 지표면 유출의 대부분은 연안습지와 경사도가 큰 상류 지점에서 나타났으며, 경사가 완만한 곳에 주로 위치한 논·경작지 등 경작 기간 중 물을 가두어 둠에 따라 누적 지표면 유출량이 상대적으로 적게 나타났다(그림 4-2-22). 지하수의 하천유입은 지하수위가 높은 연안습지와 논에서 주로 발생하였으며, 수문이 설치된 하천 분류에서는 평수기에 하천 수위가 상대적으로 높게 유지됨에 따라 지하수 충전이 이루어지는 것으로 나타났다.

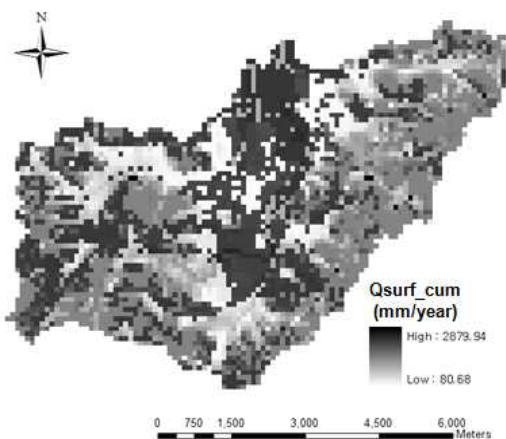


그림 4-2-22. 마도수로 유역의 2008년 누적 지표 유출량

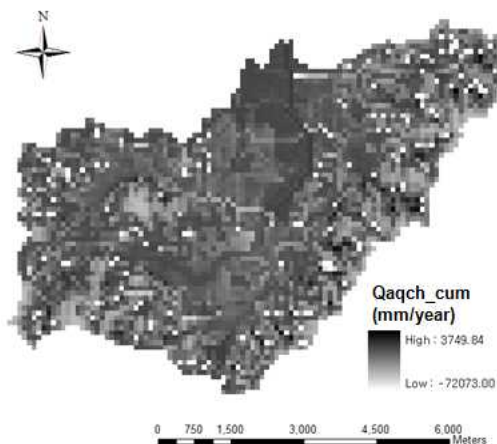


그림 4-2-23. 마도수로 유역의 2008년 누적 지하수 하천유입량

2) 유사 운반

마도수로 유역 출구에서 2008년 동안의 부유사 농도 변화에 대한 모의 결과를 관측 자료와 함께 그림 4-2-24에 나타내었다. 수문 조작의 오차에 의해서 일부 기간 동안 부유사 농도가 과대 추정되었지만, 전반적으로 모형은 강우 사상에 따른 부유사 농도의 변화를 비교적 잘 재현하였다.

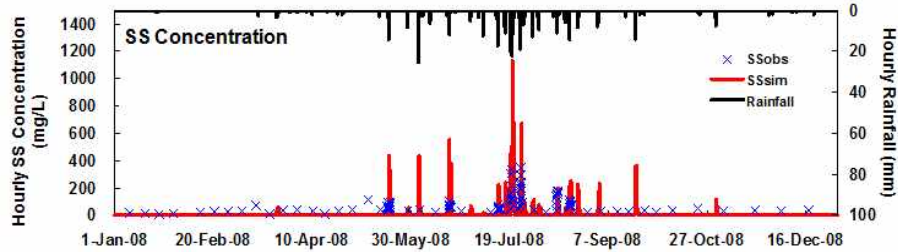


그림 4-2-24. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 부유사 농도 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

마도수로 유역의 2008년 유사 운반량에 대한 모의 결과를, 유사 운반 과정에 따른 입도별 분포로 표 4-2-11에 정리하였다. 지표에서 면상 침식되는 대부분은 점토(3,169 kg/ha/year, 99%)이며, 많은 양의 점토가 부유사(SS)의 형태로 하천에 유입되었다. 린 운반 과정에서 세립사와 조립사는 주로 소류사(BL)의 형태로 하천에 유입되었으나, 하천 운반에 의해 유출되는 양은 0.2%에 불과하였는데, 이는 평수기에 수문 조작으로 물을 하천에 가두어 둠에 따라 대부분의 큰 입자들이 하천 바닥에 퇴적되는 것이 원인으로 분석된다. 따라서 대부분의 유사는 부유사(99.8%)의 형태로 시화호로 유입되었으며, 이 중에서 약 72%를 점토가 구성하는 것으로 나타났다. 2008년 동안 마도수로 유역에서 하천에 의해 운반된 부유사와 소류사의 모의된 시간적 변화를 입도별로 그림 4-2-25 ~ 그림 4-2-31에 나타내었다. 조립사의 경우 부유사 형태의 운반이 없는 것으로 나타나 그래프로 제시하지 않았다.

표 4-2-11. 마도수로 유역의 2008년 유사 운반 분석 결과

(단위: kg/ha/year)

운반과정/입도		점토	실트	세립사	조립사	계
면상 침식		3,169	21	0	0	3,191
린 운반	부유사	3,225	416	1,187	0	4,827
	소류사	8	9	1,929	3,588	5,534
하천 운반	부유사	430	90	78	0	598
	소류사	0	0	1	0	1

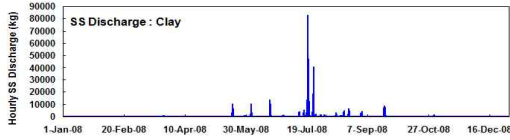


그림 4-2-25. 마도수로 유역의 평균 부유사(점토) 부하량의 2008년 시간별 추이

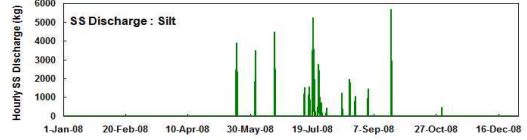


그림 4-2-26. 마도수로 유역의 평균 부유사(실트) 부하량의 2008년 시간별 추이

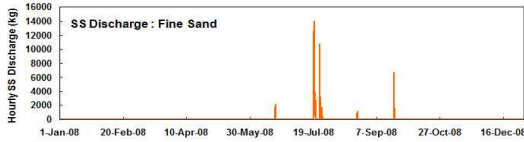


그림 4-2-27. 마도수로 유역의 평균 부유사(세립사) 부하량의 2008년 시간별 추이

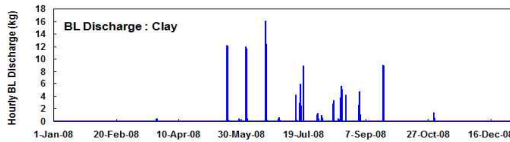


그림 4-2-28. 마도수로 유역의 평균 소류사(점토) 부하량의 2008년 시간별 추이

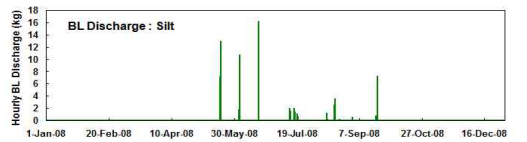


그림 4-2-29. 마도수로 유역의 평균 소류사(실트) 부하량의 2008년 시간별 추이

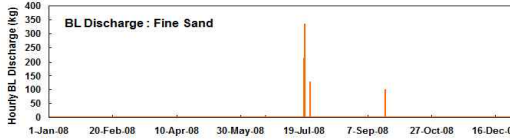


그림 4-2-30. 마도수로 유역의 평균 소류사(세립사) 부하량의 2008년 시간별 추이

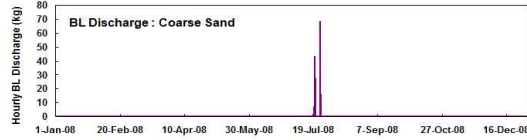


그림 4-2-31. 마도수로 유역의 평균 소류사(조립사) 부하량의 2008년 시간별 추이

마도수로 유역에서 2008년 1년간의 유사 운반 누적량의 공간적인 분포를 그림 4-2-32와 그림 4-2-33에 나타내었다. 유사는 주로 경사도가 큰 상류에서 많이 발생하였다. 물의 이동과 함께 상대적으로 쉽게 운반되는 부유사의 경우, 유역의 중류 부근에서는 수문에 의한 영향으로 그 흐름이 줄어들었지만, 강우 시 수문 개방으로 많은 양이 유출됨에 따라(그림 4-2-25 ~ 그림 4-2-27) 유역 출구에서 다소 높은 수치를 보이고 있다. 반면, 소류사는 상류에서 많이 발생하였으나, 표 4-2-11에서 확인한 바와 같이 유역 출구를 통해서 시화호로 유출되는 양이 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 유역의 중하류 부근의 완만한 경사도와 수문의 영향으로 유속이 작아짐에 따라 대부분의 소류사가 하천 바닥에 퇴적된 것으로 판단된다.

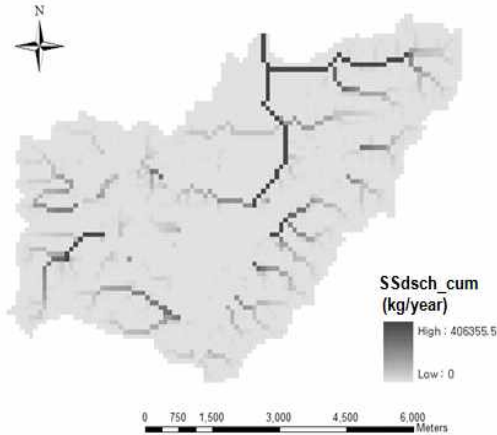


그림 4-2-32. 마도수로 유역의 2008년 누적 부유사 하천 운반량

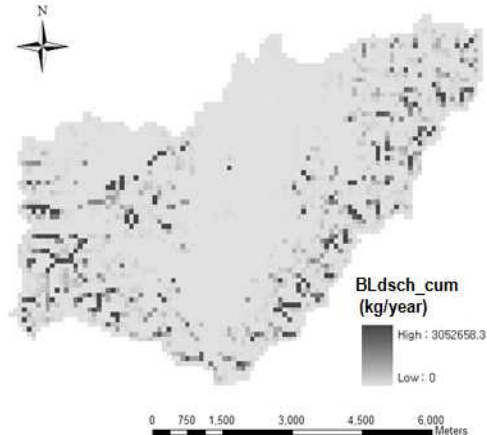


그림 4-2-33. 마도수로 유역의 2008년 누적 소류사 하천 운반량

### 3) 탄소의 변환 및 이동

모형은 탄소의 이동을 입자성 유기탄소(POC)와 용존성 유기탄소(DOC)의 형태로 모의한다. 물과 함께 이동하여 하천 또는 대수층으로 운반되는 DOC를 COD 농도 값으로 변환하여 유역 출구에서 관측된 COD 농도 자료와 비교한 결과, COD의 최고 농도가 나타나는 5월 8일을 제외한 나머지 기간에 대해서는 COD 농도의 시간적인 변화가 비교적 잘 재현되었다(그림 4-2-34).

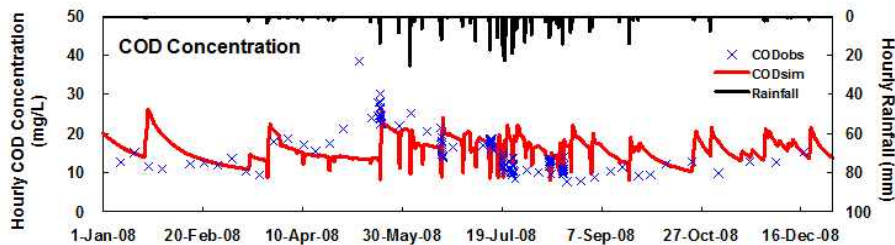


그림 4-2-34. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 COD 농도 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

표 4-2-12에 제시한 2008년 마도수로 유역의 탄소 수지를 보면, 토양 내에 존재하거나 외부에서 토양으로 유입된 탄소원이 주로 미생물 분해에 의해서 DOC로 변환되었으며, 이 중 일부(757.6 kg/ha/year)는 토양 입자에 흡착되어 POC 형태로 존재하거나 분해되어 무기화되었다(2220.0 kg/ha/year). 이러한 변환 과정을 통해서 최종적으로 생성된 DOC는 물과 함께 하천(321.3 kg/ha/year)과 지하수(1.5 kg/ha/year)로 이동하였고, POC는 유사의 이동에 따라 3.5 kg/ha/year가 하천으로 유입되었다. 토양으로부터 하천으로 유입되는 DOC 중에서 일부 하천 바닥에 흡착되는 양을 제외하면, 약 89%(285.5 kg/ha/year)가 유역 출구를 통해서 유출되는 것으로 나타났다.

토양, 하천, 대수층에서 이루어지는 탄소 변환 과정의 시간적인 변화 추이를 그림 4-2-35 ~



그림 4-2-41에 나타내었다. 대부분의 변환 과정이 미생물의 활성에 의해서 영향을 받기 때문에 온도가 높은 여름 기간 동안 활발하게 진행되었으며, 겨울철에는 다시 감소하는 형태로 나타났다.

표 4-2-12. 마도수로 유역의 2008년 탄소 수지 분석 결과

매질	변환 과정	kg/ha/year
토양	식물 잔재물의 유입	342.5
	가축 배설	0.0
	퇴비의 유입	0.0
	도시지역 비점오염부하 유입	38.9
	식물 잔재물의 분해	349.3
	퇴비의 분해	0.0
	부식질의 분해	1875.1
	미생물의 분해	2894.1
	부식화	933.0
	미생물 생합성	2665.2
	DOC 생성	2985.5
	DOC 흡착	757.6
	DOC 분해	2220.0
	CO2발생	2300.4
	하천으로의 POC 이동	3.5
	하천으로의 DOC 이동	321.3
	지하수로의 DOC 이동	1.5
대수층	DOC 분해	28.3
	DOC 흡착	-1.1
	하천으로의 DOC 이동	-23.9
	유역 밖으로의 DOC 유출	0.0
하천	DOC 흡착	4.3
	유역 밖으로의 POC 유출	3.5
	유역 밖으로의 DOC 유출	285.5

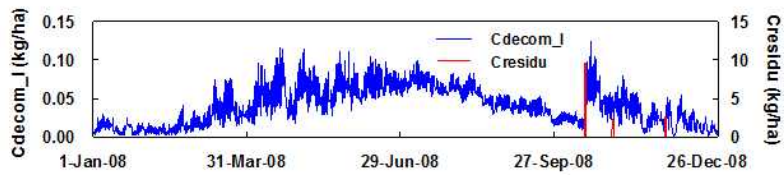


그림 4-2-35. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입(Cresidu) 및 분해(Cdecom\_I)

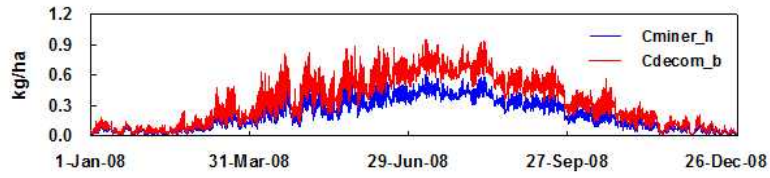


그림 4-2-36. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 부식질(Cminer\_h)과 미생물(decom\_b)의 분해

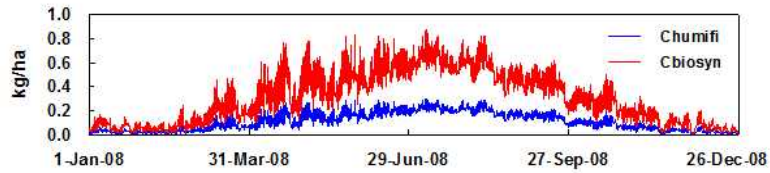


그림 4-2-37. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: 부식화(Chumifi) 및 미생물 합성(Cbiosyn)

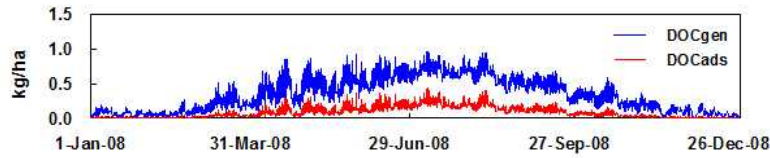


그림 4-2-38. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 생성(DOCgen) 및 흡착(DOCads)

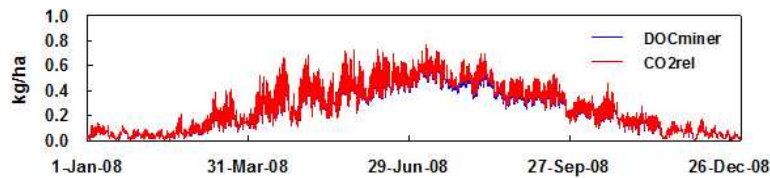


그림 4-2-39. 마도수로 유역 토양에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 분해(DOCminer) 및 이산화탄소 발생(CO2rel)

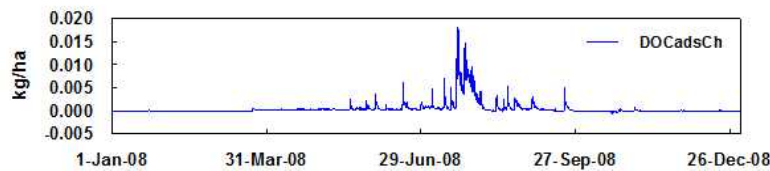


그림 4-2-40. 마도수로 유역 하천에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 흡착



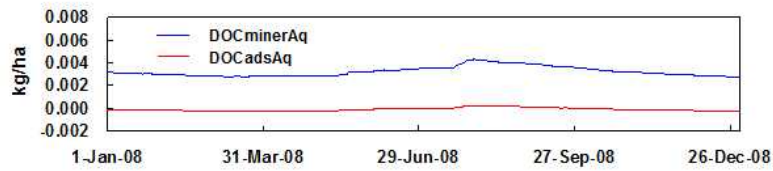


그림 4-2-41. 마도수로 유역 대수층에서의 탄소 변환과정 모의 결과: DOC 분해(DOCminerAq) 및 흡착(DOCadsAq)

마도수로 유역에서 2008년 1년간의 탄소 이동에 대한 공간적인 분포를 그림 4-2-42와 그림 4-2-43에 나타내었다. DOC의 경우에는 주요 발생원이 경작지, 특히 논으로 분석되었으며, 발생한 DOC의 상당량이 유역출구를 통해서 시화호로 유출되었다. POC의 경우에는 유사의 이동과 관련이 있기 때문에 부유사의 공간적인 분포와 아주 유사한 공간적 분포를 나타내었다.

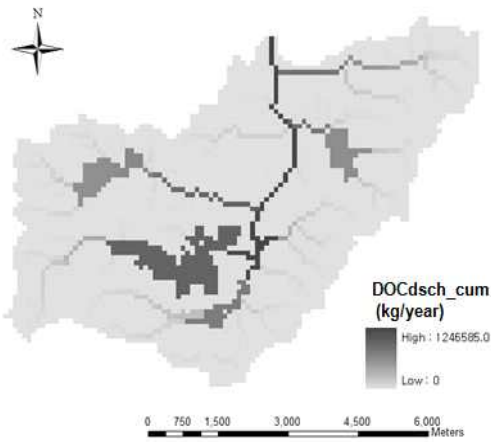


그림 4-2-42. 마도수로 유역의 2008년 누적 DOC 하천 운반량

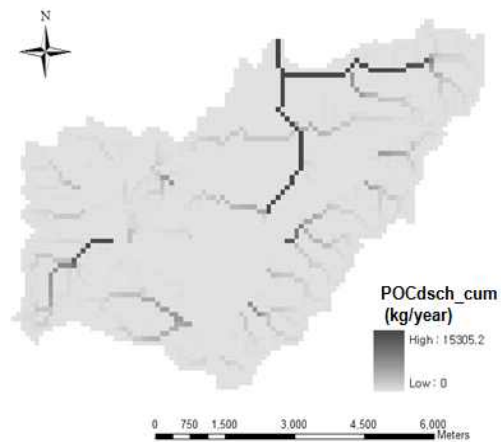


그림 4-2-43. 마도수로 유역의 2008년 누적 POC 하천 운반량

#### 4) 질소의 변환 및 이동

마도수로 유역 출구에서의 질산성 질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )와 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) 농도에 대한 모형의 결과는 관측된 농도와 비교적 근사한 수준을 보여주고 있다(그림 4-2-44와 그림 4-2-45). 초기값의 오차에 따른 모의 초반의 예측 오차를 제외하면, 나머지 기간 동안은 평수기 및 강우 시기의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도 변화를 비교적 잘 재현하고 있다.

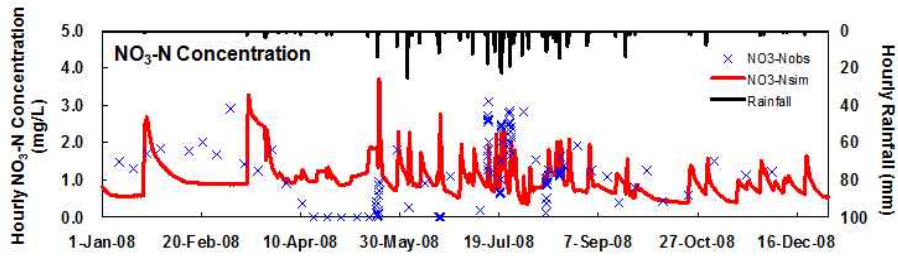


그림 4-2-44. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 NO<sub>3</sub>-N 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

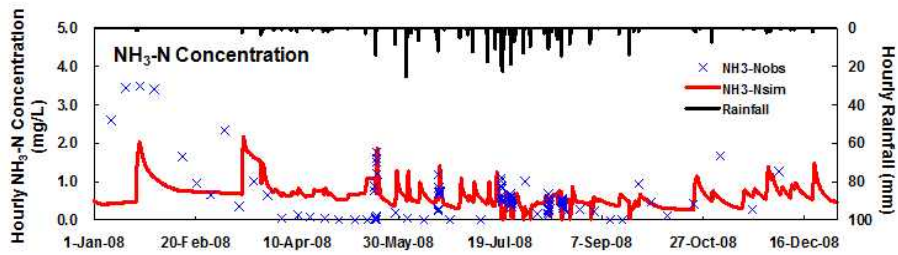


그림 4-2-45. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 NH<sub>3</sub>-N 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

표 4-2-13에 제시한 2008년 마도수로 유역의 질소 수지를 보면, 식물 잔재물, 화학 비료, 그리고 대기 및 빗물에 의해서 유입된 질소 중에서 약 180.9 kg/ha/year가 식물에 의해서 흡수되었고, 나머지는 분해되거나 미생물에 의해서 생합성 되었다. 생성된 암모니아 중에서 약 39.1 kg/ha/year가 대기 중으로 휘산되었고, 약 195.3 kg/ha/year가 질산화 과정에 의해서 NO<sub>3</sub>-N으로 변환되었다. 생성된 NO<sub>3</sub>-N 중에서 다소 많은 양이 탈질되어 대기 중으로 휘산하는 것으로 나타났는데, 이는 마도수로 유역에 넓게 분포하고 있는 논과 연안습지의 토양이 오랜 기간 동안 지표수의 영향으로 혐기성 조건이 유지됨에 따라 나타나는 현상으로 보인다. 대수층은 주로 혐기성 조건으로서 유입된 NO<sub>3</sub>-N 중 많은 양이 탈질되었으며, 토양으로부터 하천으로 유입된 NO<sub>3</sub>-N과 NH<sub>3</sub>-N 중에서 각각 약 3.4 kg/ha/year, 8.6 kg/ha/year이 유역 출구를 통해서 유출된 것으로 나타났다. 토양, 하천, 대수층에서 이루어지는 질소 변환 과정의 시간적인 변화 추이를 그림 4-2-46 ~ 그림 4-2-52에 나타내었다. 질소 변환 과정 또한 미생물의 영향을 받는 과정으로서 탄소와 유사한 계절적 변화를 보였다.

표 4-2-13. 마도수로 유역의 2008년 질소 수지 분석 결과

매질	변환 과정	kg/ha/year	
토양	식물 잔재물의 유입	11.6	
	퇴비의 유입	0.0	
	화학비료 유입	42.0	
	대기로부터의 유입	21.4	
	빗물로부터의 유입	19.5	
	식물 뿌리에 의한 흡수	180.9	
	식물 잔재물의 분해	10.2	
	퇴비의 분해	0.0	
	부식질의 분해	32.3	
	미생물의 분해	249.9	
	부식화	16.1	
	미생물 생합성	249.9	
	질산화	195.3	
	암모니아 휘산	39.1	
	탈질화	159.5	
	하천으로의 NH <sub>4</sub> 이동	9.5	
	하천으로의 NO <sub>3</sub> 이동	13.4	
	지하수로의 NO <sub>3</sub> 이동	0.0	
	대수층	탈질화	11.7
		하천으로의 NO <sub>3</sub> 이동	-7.0
유역 밖으로의 NO <sub>3</sub> 유출		0.0	
하천	질산화	0.9	
	암모니아 휘산	0.2	
	탈질화	1.6	
	유역 밖으로의 NH <sub>4</sub> 유출	3.4	
	유역 밖으로의 NO <sub>3</sub> 유출	8.6	

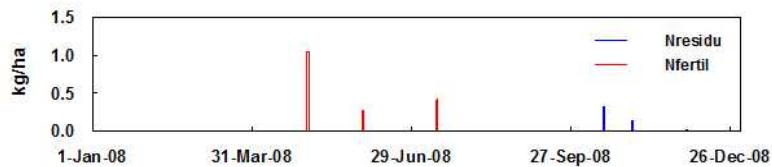


그림 4-2-46. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입(Nresidu) 및 비료 투입(Nfertil)

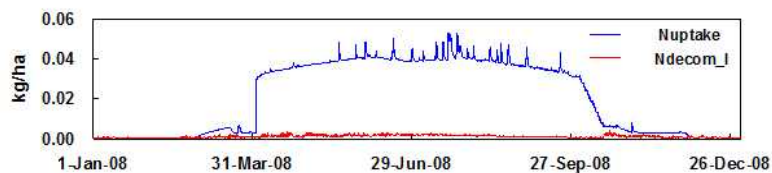


그림 4-2-47. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 식물 뿌리 흡수(Nuptake) 및 식물 잔재물 분해(Ndecom\_l)

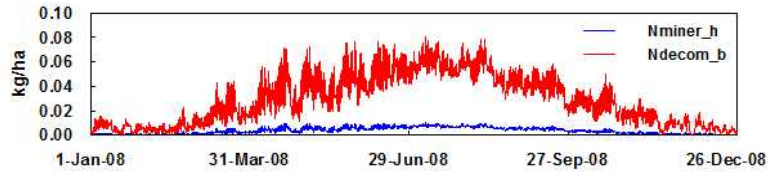


그림 4-2-48. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 부식질(Nminer\_h)과 미생물(Ndecom\_b)의 분해

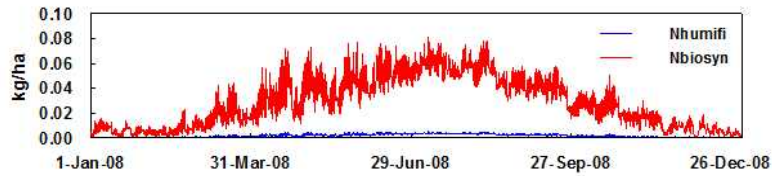


그림 4-2-49. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 부식화(Nhumifi) 및 미생물 생합성(Nbiosyn)

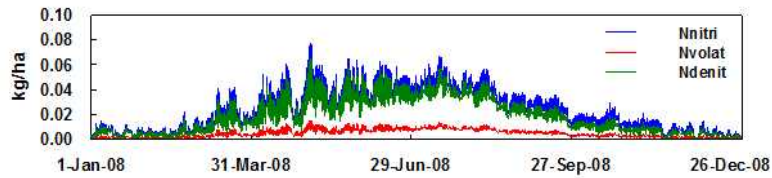


그림 4-2-50. 마도수로 유역 토양에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(Nnitri), 암모니아 휘산(Nvolat) 및 탈질화(Ndenit)

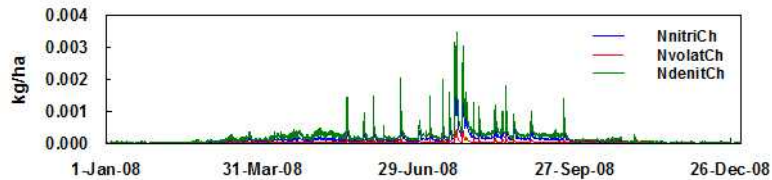


그림 4-2-51. 마도수로 유역 하천에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(NnitriCh), 암모니아 휘산(NvolatCh) 및 탈질화(NdenitCh)

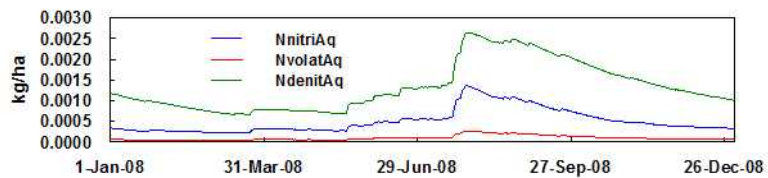


그림 4-2-52. 마도수로 유역 대수층에서의 질소 변환과정 모의 결과: 질산화(NnitriAq), 암모니아 휘산(NvolatAq) 및 탈질화(NdenitAq)

마도수로 유역에서 2008년 1년간의 질소 이동에 대한 공간적인 분포를 그림 4-2-53와 그림 4-2-54에 나타내었다.  $\text{NO}_3\text{-N}$ 과  $\text{NH}_3\text{-N}$  모두 DOC와 마찬가지로 주요 발생원이 논으로 분석되었다. 흡착성이 큰  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 경우 공간적인 분포 형태는  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 경우와 거의 일치하였지만, 유역 출구를 통해서 시화호로 유입되는 양은 상대적으로 작게 나타났다.

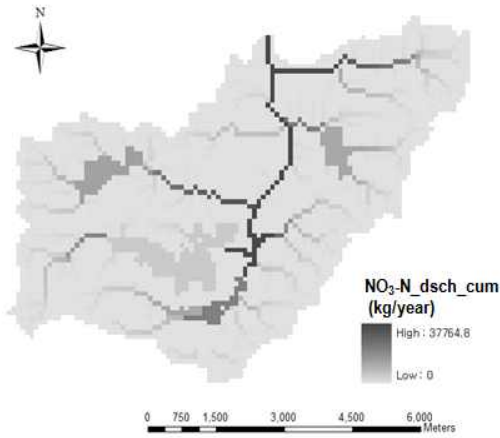


그림 4-2-53. 마도수로 유역의 2008년 누적  $\text{NO}_3\text{-N}$  하천 운반량

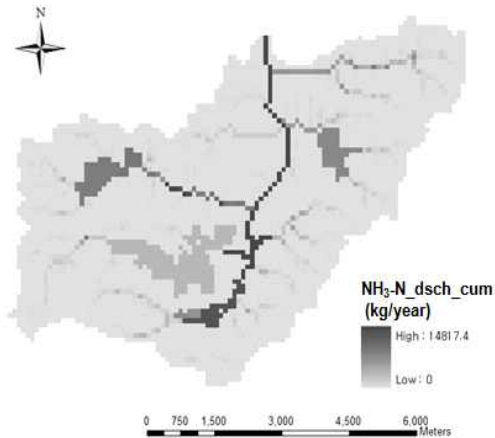


그림 4-2-54. 마도수로 유역의 2008년 누적  $\text{NH}_3\text{-N}$  하천 운반량

### 5) 인의 변환 및 이동

마도수로 유역 출구에서의 총인(TP) 농도의 시간적인 변화에 대한 모의 결과를 그림 4-2-55에 제시하였다. 모의 전체 기간에 대해서 모형의 예측 결과는 TP 농도의 시간적인 변화를 잘 묘사하였다. 7월 13일 경에 TP 농도가 과소 추정되었는데, 이는 이 시기에 수문 개방에 의한 하천수 유출량이 과대 추정된 것이 원인으로 분석된다.

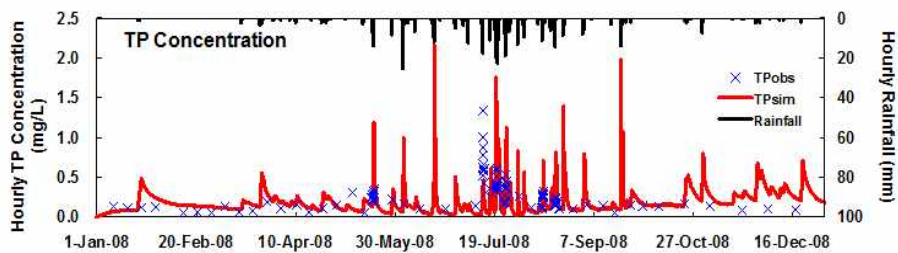


그림 4-2-55. 마도수로 유역 출구에서의 2008년 TP 농도의 모의 결과와 관측 자료 및 시간별 강우량

2008년 1년 동안의 마도수로 유역의 인 수지를 표 4-2-14에 제시하였다. 인은 흡착성이 큰 영양물로서, 유역 내에 유입되거나 분해에 의해서 생성된 인 중에서 식물 뿌리 의해서 흡수된 약 35.7 kg/ha/year를 제외하면, 대부분이 급속 및 완속 흡착에 의해서(각각 약 73.8 kg/ha/year, 60.1 kg/ha/year) 토양 입자에 흡착되었다. 따라서 토양으로부터 하천으로의 인 유출은 유사와 함께 이동되는 입자성 인이 약 48.6 kg/ha/year으로 대부분을 차지하였으며, 용존성 인은 약 5 kg/ha/year으로 상대적으로 적게 나타났다. 하천에서 유역 출구를 통해 시화호로 유출되는 양은 입자성 인이 약 5.8 kg/ha/year, 용존성 인이 약 1.4 kg/ha/year으로

모의되었다. 토양, 하천, 대수층에서 이루어지는 인 변환 과정의 시간적인 변화 추이를 그림 4-2-56 ~ 그림 4-2-62에 나타내었다.

표 4-2-14. 마도수로 유역의 2008년 인 수치 분석 결과

매질	변환 과정	kg/ha/year
토양	식물 잔재물의 유입	2.3
	퇴비의 유입	0.0
	화학비료 유입	78.4
	식물 뿌리에 의한 흡수	35.7
	식물 잔재물의 분해	14.3
	퇴비의 분해	0.0
	부식질의 분해	14.7
	미생물의 분해	22.7
	부식화	8.9
	미생물 생합성	19.2
	급속 흡착	73.8
	완속 흡착	60.1
	하천으로의 입자성 인 이동	48.6
	하천으로의 용존성 인 이동	5.0
지하수로의 용존성 인 이동	0.0	
대수층	급속 흡착	2.1
	완속 흡착	1.7
	하천으로의 용존성 인 이동	-2.1
	유역 밖으로의 용존성 인 유출	0.0
하천	급속 흡착	1.3
	완속 흡착	0.2
	유역 밖으로의 입자성 인 유출	5.8
	유역 밖으로의 용존성 인 유출	1.4

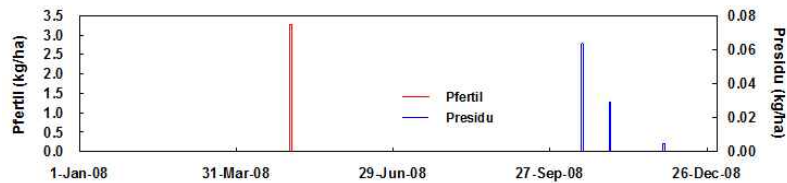


그림 4-2-56. 마도수로 유역 토양에서의 인변환과정 모의 결과: 식물 잔재물의 유입(Presidu) 및 비료 투입(Pfertil)

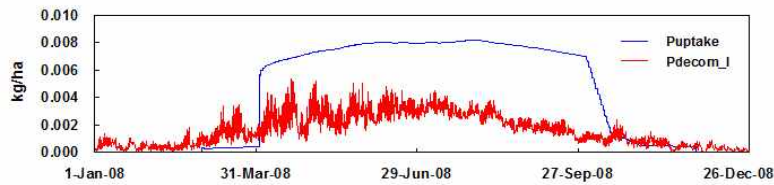


그림 4-2-57. 마도수로 유역 토양에서의 인변환과정 모의 결과: 식물 뿌리 흡수(Puptake) 및 식물 잔재물 분해(Pdecom\_l)



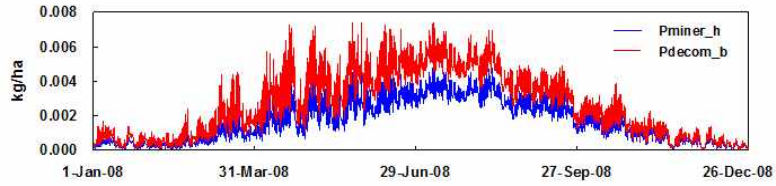


그림 4-2-58. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 부식질(Pminer\_h)과 미생물(Pdecom\_b)의 분해

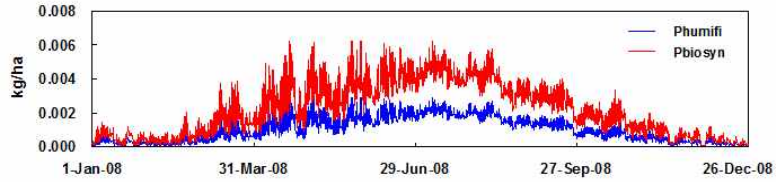


그림 4-2-59. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 부식화(Phumifi) 및 미생물 생합성(Pbiosyn)

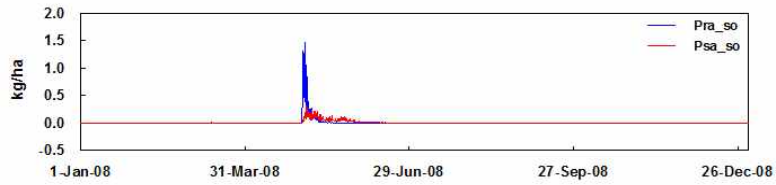


그림 4-2-60. 마도수로 유역 토양에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra\_so) 및 완속 흡착(Psa\_so)

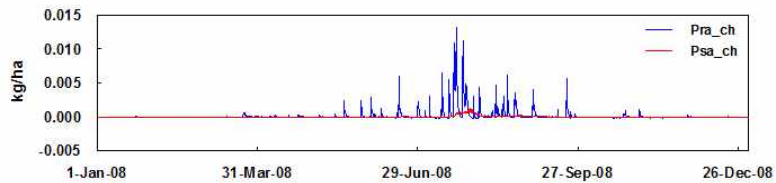


그림 4-2-61. 마도수로 유역 하천에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra\_ch) 및 완속 흡착(Psa\_ch)

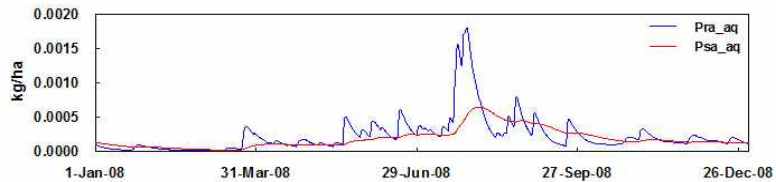


그림 4-2-62. 마도수로 유역 대수층에서의 인 변환과정 모의 결과: 급속 흡착(Pra\_aq) 및 완속 흡착(Psa\_aq)

마도수로 유역에서 2008년 1년간의 인 이동에 대한 공간적인 분포를 그림 4-2-63과 그림 4-2-64에 나타내었다. 용존성 인(Psol)의 경우 DOC, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>3</sub>-N과 마차가지로 논이 주요 발생원으로 나타났으나 그 양은 상대적으로 작았으며, 입자성 인(Psed)은 부유사의 공간적인

분포와 거의 같은 형태를 나타내었다. 이는 인의 큰 흡착성에 의해서 발생된 인의 대부분이 토양 입자에 흡착되어 유사와 함께 이동하고 있음을 보여준다.

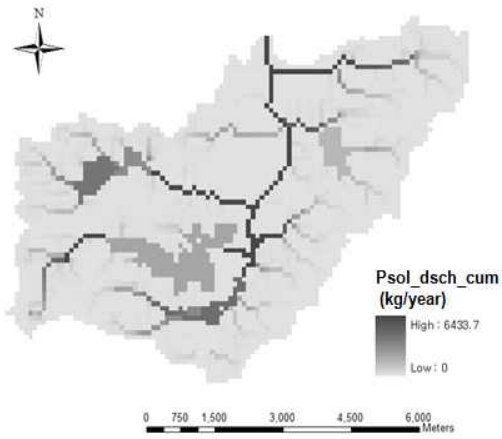


그림 4-2-63. 마도수로 유역의 2008년 누적 용존성 인 하천 운반량

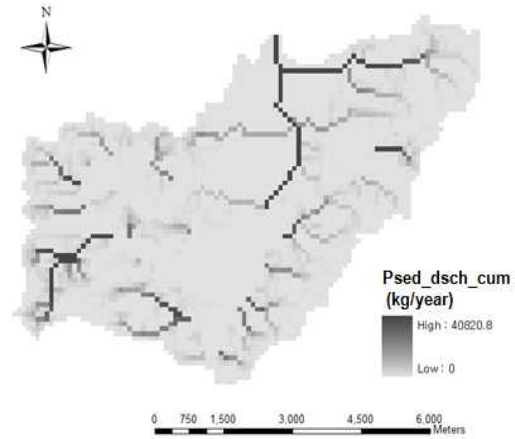


그림 4-2-64. 마도수로 유역의 2008년 누적 입자성 인 하천 운반량

2008년 전체 모의기간 동안 마도수로 유역에서 시화호로 유입되는 총량을 각각 표 4-2-15에 제시하였다.

표 4-2-15. 마도수로 유역으로부터 시화호로 유입되는 각 물질별 2008년 총량  
(단위: kg/year)

구분	부유사	소류사	DOC	POC	NO3-N	NH3-N	TP
유출량	2,610,516	4,514	1,246,585	15,305	37,765	14,817	31,520



## (2) 반월공단 유역

### 1) 물순환

반월공단 4토구 유역의 2008년 1시간 단위 유량측정 자료를 이용하여 보검정을 실시하였다. 보정은 2008년 1월 1일 ~ 2008년 6월 30일의 기간 자료를 사용하였으며, 검정은 2008년 7월 1일 ~ 2008년 12월 31일 사이의 값을 이용하였다. 그림 4-2-65 ~ 그림 4-2-67은 유량 보검정 결과를 보여준다. 그림을 살펴볼 때, 모의에 의한 유량 결과가 실측값과 유량의 시기와 크기가 전체적으로 유사한 모습을 보여주고 있음을 알 수 있다.

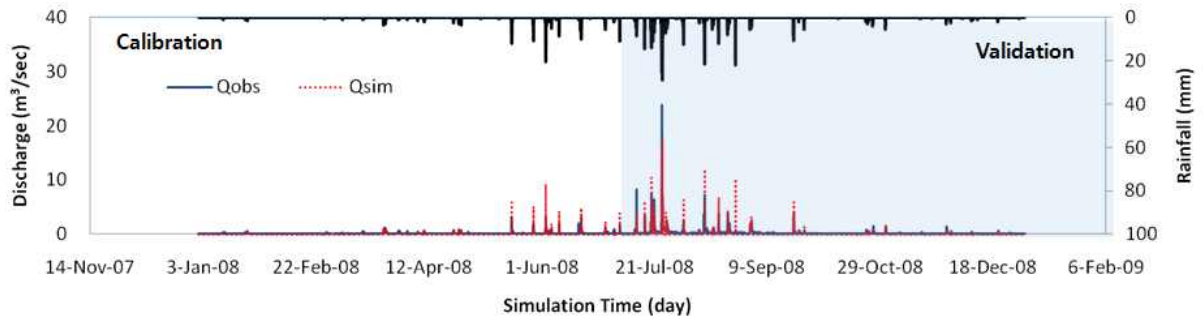


그림 4-2-65. 반월공단 4토구 소유역 유량 모의 결과

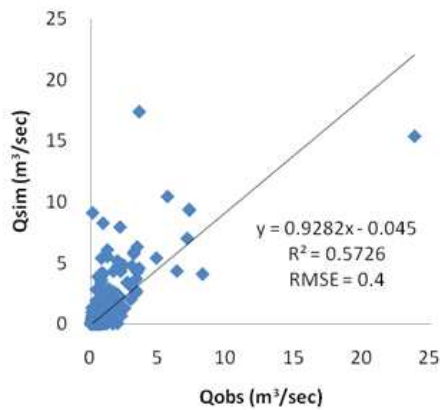


그림 4-2-66. 반월공단 4토구 유량보정

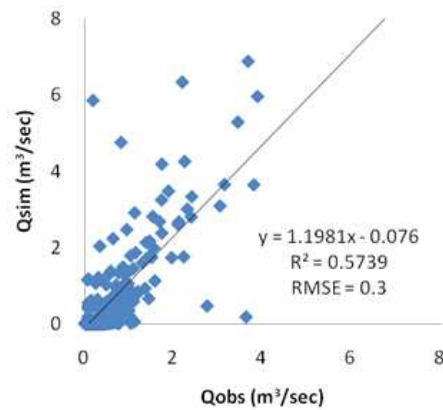


그림 4-2-67. 반월공단 4토구 유량검정

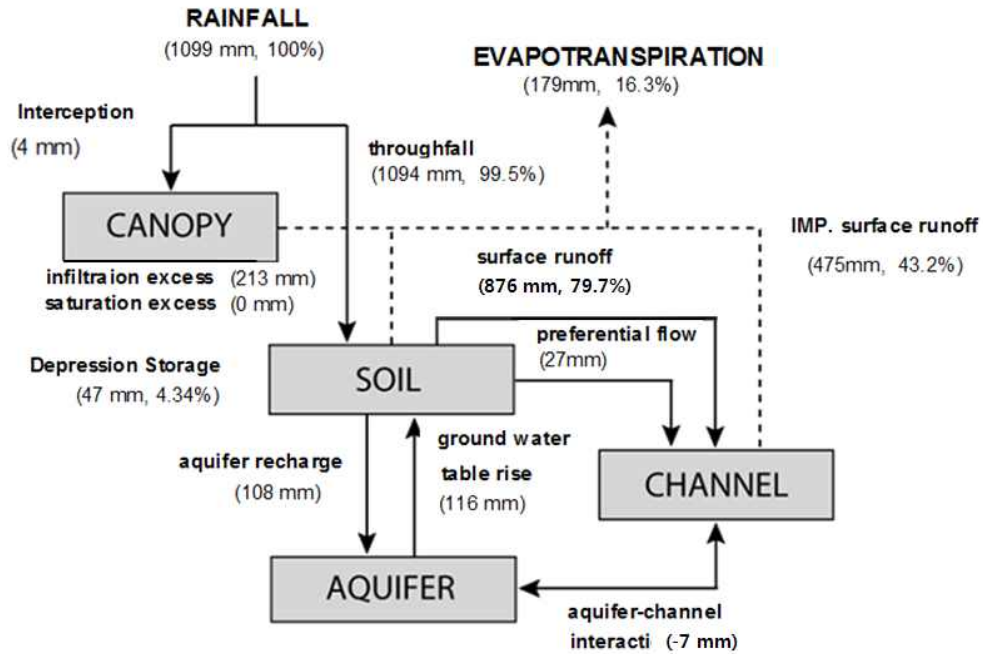


그림 4-2-68. 반월공단 4토구 집수구역 물수지 분석 결과

반월공단 4토구 유역에 대한 물수지 분석결과는 그림 4-368과 같다. 물수지 분석결과 강수량 1,099 mm의 16%만이 증발산되고, 82%가 하천으로 유출되는 것으로 분석되었다. 전체 유출량 중 지표유출은 689 mm로 강수량의 63%인 것으로 분석되었다. 또한 지표유출 중 불투수지표면으로부터의 유출은 475 mm로 전체 지표유출의 69%를 구성하는 것으로 분석되었다.

반월공단 4토구 유역에 대해 모델 보검정을 실시하여 선정된 매개변수 값을 이용하여 반월공단 내 다른 유역에 대해 모델을 적용하였다. 표 4-2-16에 나타낸 물수지 분석 결과를 살펴보면, 반월공단지역의 각 소유역에서 하천 유출량은 2008년 총강우량 1100 mm 중 80% ~ 89%인 것으로 분석되어, 강우의 대부분이 하천을 통해 유출되는 것으로 분석되었다.

지표유출을 투수지역과 불투수지역으로부터의 유출로 구분해보면 대부분의 지표유출이 불투수지표면으로부터 발생하고 있음을 알 수 있다(그림 4-2-69). 특히 반월공단 5, 6 토구의 경우 지표유출의 84%와 90%가 불투수지표면으로부터 발생하고 있는 것으로 분석되었다.

우수관망에 의한 강우유출수의 이동을 분석하면 표 4-2-17 와 그림4-2-70과 같다. 소유역별 강우유출의 차집율은 24% ~ 70% 사이로서, 소유역 면적이 넓어서 강우유출 절대량이 큰 소유역에서는 월류비율이 높고 차집율이 낮게 나타났다. 특히 반월공단 3, 4, 7 토구 소유역의 경우 차집율이 각각 23.5%, 37.2%, 33.8%을 보여주어 다른 소유역에 비해 강우유출의 차집효과가 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 반월공단 유역 전체 대해 살펴볼 경우에는 2008년 지표면유출량 중 580 mm인 61.1% 월류되고 370 mm인 38.9%가 차집되는 것으로 분석되었다.

표 4-2-16. 반월공단 소유역별 2008년 물수지 분석 결과

물수지 구분	반월1		반월2		반월3		반월4		반월5		반월6		반월7	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
강우량	1100	100	1100	100	1100	100	1100	100	1100	100	1100	100	1100	100
증발산량	11	1	23	2	9	1	180	16	1	0	0	0	7	1
하천 유출량	956	87	963	88	981	89	876	80	978	89	951	86	973	89
지표면 유출량	978	89	969	88	986	90	689	63	980	89	952	87	977	89
침투초과 강우량	354	32	375	34	397	36	213	19	156	14	88	8	400	36
포화초과 강우량	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
불투수지표면	623	57	595	54	588	54	476	43	824	75	864	79	577	53
우선류 유출량	7	1	8	1	5	0	27	2	0	0	0	0	1	0
지하수 유출량	-29	-3	-14	-1	-9	-1	-7	-1	-2	0	-1	0	-4	0
총저류량변화	132	12	113	10	109	10	44	4	120	11	148	14	119	11

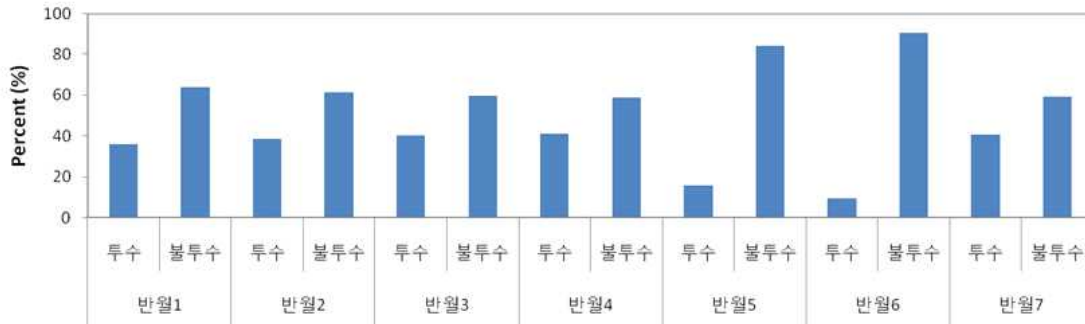


그림 4-2-69. 반월공단 소유역별 투수지역과 불투수지역에서의 지표면유출 구성비율

표 4-2-17. 반월공단 소유역별 우수관망에 의한 강우유출의 월류와 차집

구분		월류	차집	총합
반월1	mm	302.2	656.1	958.3
	%	31.5	68.5	100.0
반월2	mm	529.2	435.2	964.4
	%	54.9	45.1	100.0
반월3	mm	752.0	231.1	983.1
	%	76.5	23.5	100.0
반월4	mm	550.5	326.4	876.9
	%	62.8	37.2	100.0
반월5	mm	417.8	562.1	979.8
	%	42.6	57.4	100.0
반월6	mm	288.8	663.2	952.1
	%	30.3	69.7	100.0
반월7	mm	645.5	329.5	974.9
	%	66.2	33.8	100.0
전체 유역	mm	580.4	370.0	950.4
	%	61.1	38.9	100.0

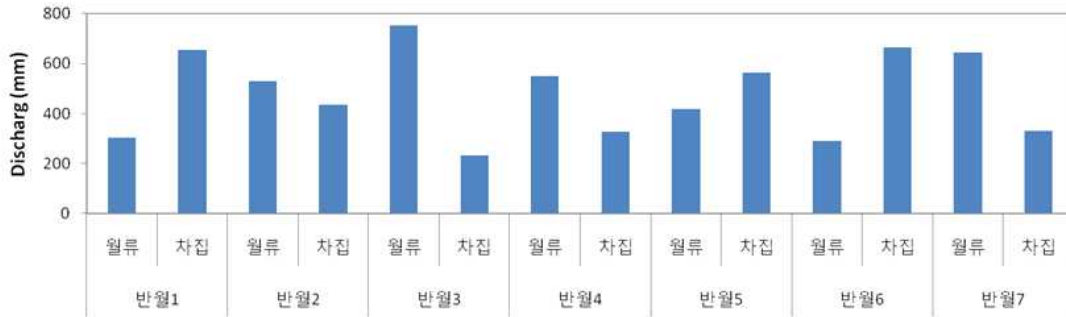


그림 4-2-70. 반월공단 소유역별 강우유출 우수관거 차집량과 월류량

## 2) 입자성 물질(particulate matters)의 운반

반월공단 4토구 유역 말단에서 측정된 2008년 5월 ~ 6월 SS 실측값을 이용하여 입자성물질에 대한 보검정을 실시하였다. 2008년 5월 자료를 이용하여 보정을 실시하였으며, 6월 자료를 이용하여 보정한 파라미터에 대한 검정을 실시하였다. SS에 대한 모형 보검정 결과는 그림 과 같다. SS 보검정 결과 전체적으로 모의값이 실측값에 비하여 과소 평가된 것으로 분석되었으나, 전체적으로 유사한 경향을 보여주는 것으로 분석되었다(그림 4-2-71 ~ 그림 4-2-73).

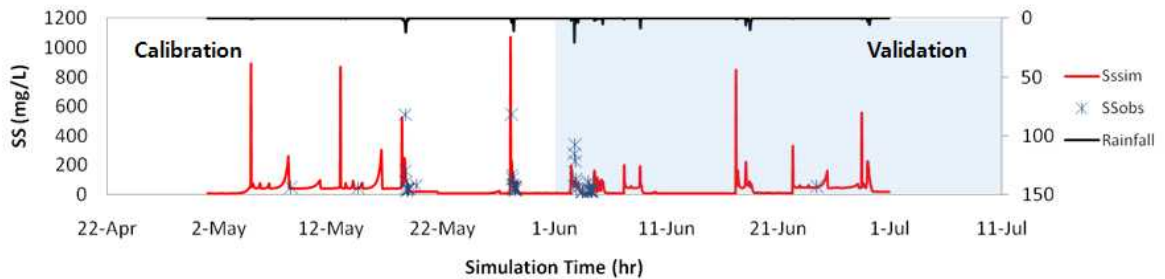


그림 4-2-71. 반월공단 4토구 소유역 SS 보검정 결과

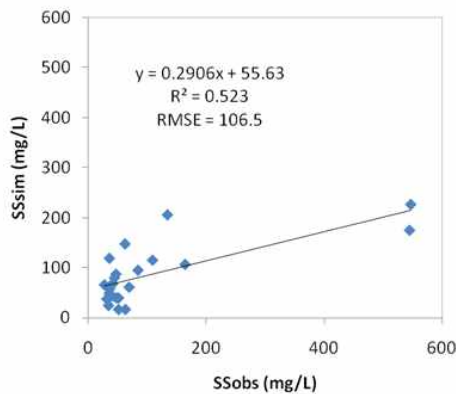


그림 4-2-72. 반월공단 4토구 소유역 SS 보검정 결과

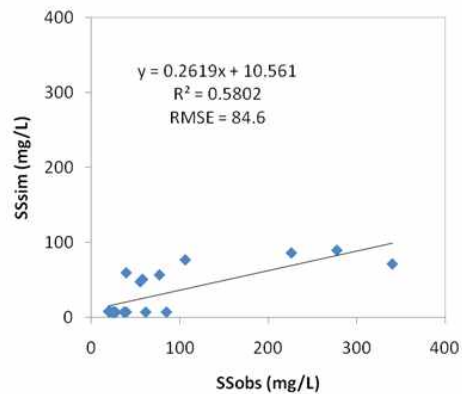


그림 4-2-73. 반월공단 4토구 소유역 SS 검정 결과

보검정한 파라미터를 이용하여 반월공단 4토구에 대한 입자성물질의 운반과정을 살펴보면 그림 4-2-74 ~ 4-2-76과 같다. 그림 4-2-74는 지표면에서 입도 크기에 따른 입자성물질의 축적과 세정량을 보여준다. 그림 4-2-74를 살펴보면 비강우 기간동안 입자성물질이 지표면에 축적되다가 강우시에 세정되면 관망으로 이송됨을 알 수 있다. 특히 입자성물질의 축적이 강우가 적은 시기에 크게 일어나는 모습을 보여준다. 따라서 선행 무강우일수가 긴 강우사상의 경우에 오염물질이 상대적으로 강우가 서로 가깝게 위치한 경우에 비해 오염물질의 하천유입이 크게 나타날 수 있으며, 비점오염관리시 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

그림 4-2-75는 우수관망에서 입자성물질의 축적량 변화를 나타낸다. 강우가 상대적으로 적은 가을부터 봄철까지는 우수관망에 입자성물질이 축적되는 것으로 나타났으며, 강우가 잦은 여름철에서 우수관망 내 입자성물질 축적량이 줄어드는 것으로 분석되었다. 따라서 시화호로 유입되는 오염물질 저감을 위해 여름철 강우가 집중되기 이전에 우수관망의 맨홀 등에 대한 청소를 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

그림 4-2-76은 우수관망으로부터 시화호로 월류되는 입자성물질의 양을 나타낸다. 그림은 우수관망에서의 입자성 물질 축적량과 반대되는 모습을 보여, 여름철 강우가 집중되는 시기에 많은 입자성 물질이 시화호로 유입되고 있음을 알 수 있다.

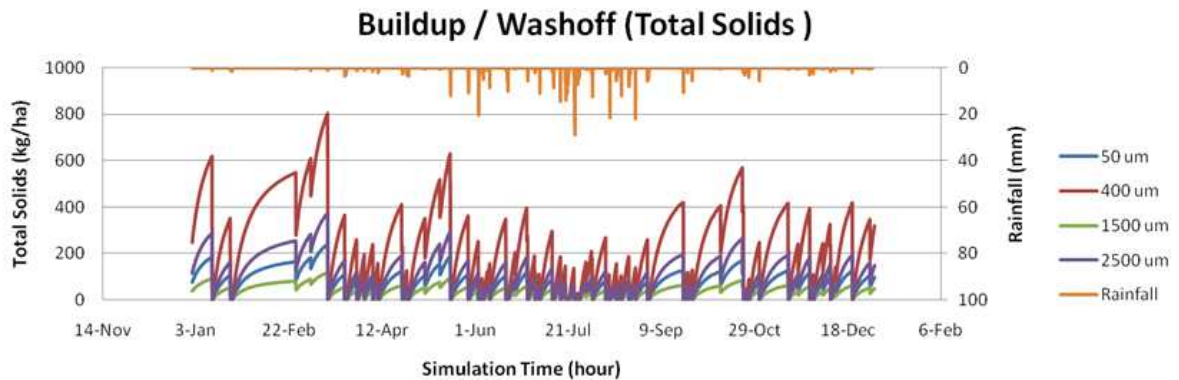


그림 4-2-74. 반월공단 4토구 소유역에서의 입자성물질의 축적 및 세정

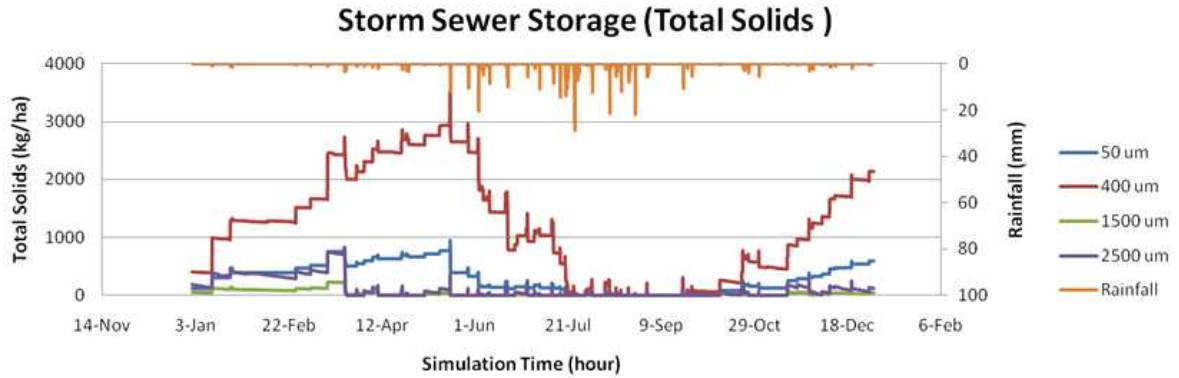


그림 4-2-75. 반월공단 4토구 소유역에서의 입자성물질의 우수관망 축적

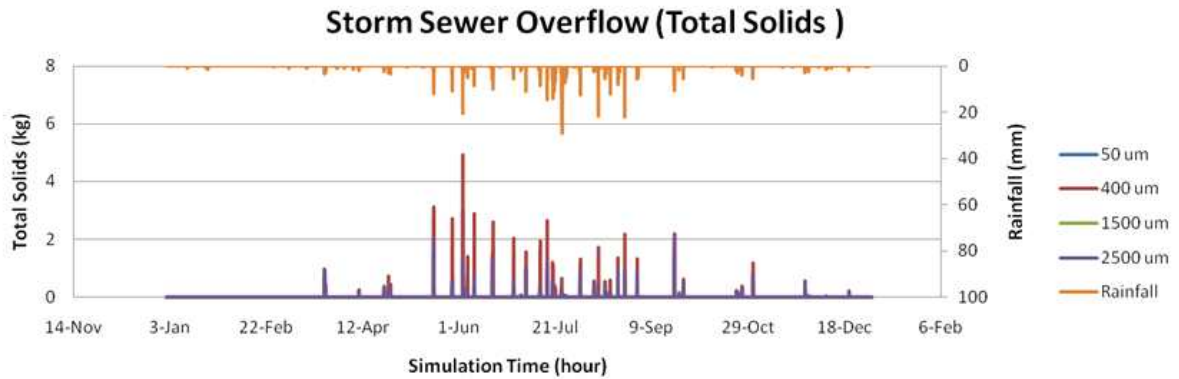


그림 4-2-76. 반월공단 4토구로부터 입자성물질의 월류

반월공단 소유역별 입자성 물질에 대한 모의 결과를 보면, 지표면에 축적되는 입자성 물질은 연간 1,463,053 kg/yr로서 강우유출과 함께 세정되어 관망으로 유입되는 것으로 분석되었다 (표 4-2-18 그림 4-2-77). 강우유출 월류량이 크면 그에 따라 우수관망에 의해 운반되는 입자성 물질의 월류량도 크데, 세립성 입자의 월류비율이 조립성 입자의 그것에 비해서 월등히 높은 것을 알 수 있다. 이것은 세립질 입자는 주로 부유사의 형태로 운반되므로 차집비율이 낮는데 반해 조립질 입자는 주로 소류사의 형태로 운반되므로 차집관을 통해 차집되는 비율이 높기 때문이다. 반월공단 유역에서 시화호로 유출되는 입자성 물질의 총량은 연간 544,004 kg/year, 차집량은 764,965 kg/year에 이르는 것으로 나타났다.

표 4-2-18. 반월공단 소유역별 우수관거에 의한 입자성 물질의 연간 운반량 (kg/year)

소유역	과정		Size ( $\mu\text{m}$ )				
			50	400	1500	2500	total
반월1	지표면	축적	20,156	67,736	9,821	31,541	129,274
		세정	20,275	68,112	9,880	31,720	129,987
	우수관거	축적	4,178	9,583	59	198	14,018
		차집	12,296	45,421	8,831	28,829	95,377
		월류	3,802	13,127	990	2,693	20,612
반월2	지표면	축적	21,773	73,181	10,606	34,063	139,644
		세정	21,859	73,418	10,649	34,193	140,119
	우수관거	축적	3,586	7,711	454	216	11,966
		차집	9,569	44,194	7,992	26,762	88,538
		월류	8,683	21,492	2,203	7,214	39,614
반월3	지표면	축적	72,938	244,941	35,549	114,080	467,434
		세정	73,306	246,192	35,696	114,669	469,862
	우수관거	축적	12,438	42,246	2,061	7,360	64,032
		차집	16,413	91,926	17,002	57,555	182,896
		월류	44,454	112,093	16,707	49,680	222,934
반월4	지표면	축적	41,184	138,355	20,045	64,397	263,981
		세정	40,954	137,664	19,987	64,109	262,656
	우수관거	축적	5,414	17,914	58	461	22,810
		차집	12,499	47,002	12,326	39,974	111,802
		월류	23,040	72,749	7,718	24,595	128,102
반월5	지표면	축적	22,663	76,104	11,038	35,431	145,236
		세정	22,764	76,440	11,088	35,599	145,891
	우수관거	축적	4,066	10,870	269	638	15,826
		차집	10,601	45,461	9,240	30,089	95,374
		월류	8,098	20,126	1,596	4,872	34,692
반월6	지표면	축적	17,017	57,148	8,294	26,611	109,070
		세정	16,679	56,030	8,125	26,091	106,925
	우수관거	축적	3,042	7,384	104	52	10,465
		차집	9,308	38,753	7,293	23,517	78,871
		월류	4,329	9,880	728	2,626	17,576
반월7	지표면	축적	32,524	109,201	15,835	50,855	208,415
		세정	32,558	109,372	15,869	50,924	208,757
	우수관거	축적	4,172	11,115	137	718	16,142
		차집	12,346	54,925	10,499	34,337	112,108
		월류	16,040	43,366	5,233	15,869	80,473
합계	지표면	축적	228,255	766,665	111,186	356,979	1,463,053
		세정	228,395	767,228	111,294	357,304	1,464,198
	우수관거	축적	36,896	106,823	3,026	8,618	155,259
		차집	83,032	367,682	73,183	241,063	764,965
		월류	108,446	292,833	35,175	107,549	544,004





그림 4-2-77. 반월공단 소유역별 지표면에서의 입자성 물질의 축적 및 세정량 (kg/ha/year)

### 3) 탄소/질소/인의 운반

반월공단 4토구 유역 말단에서 측정된 2008년 5월 ~ 6월 COD, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> 실측값을 이용하여 탄소, 질소, 인에 대한 보검정을 실시하였다. 2008년 5월 자료를 이용하여 보정을 실시하였으며, 6월 자료를 이용하여 보정한 파라미터에 대한 검정을 실시하였다. 탄소, 질소, 인에 대한 모형 보검정 결과는 그림 4-2-78 ~ 그림 4-2-81과 같다. 탄소, 질소, 인보검정 결과 전체적으로 모의값이 실측값에 비하여 과소 평가된 것으로 분석되었으나, 전체적으로 유사한 경향을 보여주는 것으로 보여주었다.

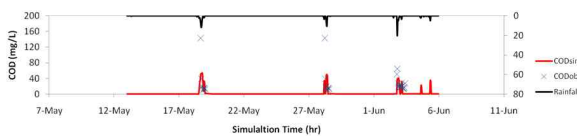


그림 4-2-78. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과

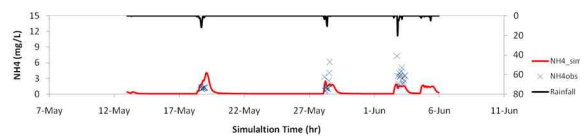


그림 4-2-79. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과

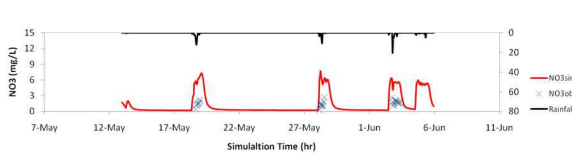


그림 4-2-80. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과

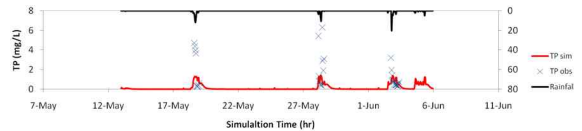


그림 4-2-81. 반월공단 4토구 소유역에 대한 COD 보검정 결과

반월공단 4토구 소유역을 대상으로 보검정을 실시한 탄소, 질소, 인 변환 및 이동 관련 파라미터를 이용하여 전체 반월공단 소유역에 대해 탄소, 질소, 인에 대한 모의를 실시한 모의를 실시하였다.



탄소, 질소, 인에 대한 모의 결과는 표 4-2-19 및 그림 4-2-82와 같다. 반월공단 구역에서 7개의 우수토구를 통해 시화호로 월류되는 연간 유출량은 COD 910,005 kg/year, NH4 7,542 kg/year, NO3 14,966 kg/year, TP 18,193 kg/year이며, 차집량은 COD 997,915 kg/year, NH4 7,807 kg/year, NO3 17,010 kg/year, TP 20,523 kg/year으로서 전체 우수토구를 통한 오염물질 총유출량의 50.9% ~ 53.2%는 차집되고 나머지가 시화호로 유출되는 것으로 나타났다.

표 4-2-19. 반월공단 소유역별 탄소, 질소, 인의 연간 시화호 유출량

(단위: kg/year)

구분		COD	NH4	NO3	TP
반월공단1	차집	23,341	140	330	402
	시화호 유출	54,700	368	813	993
	총합	78,041	509	1,143	1,395
반월공단2	차집	102,800	633	1,496	1,773
	시화호 유출	88,021	597	1,350	1,602
	총합	190,821	1,230	2,846	3,375
반월공단3	차집	384,188	2,878	6,801	7,773
	시화호 유출	121,530	964	2,193	2,507
	총합	505,718	3,842	8,993	10,279
반월공단4	차집	190,960	1,730	3,233	4,358
	시화호 유출	377,696	3,041	6,456	7,124
	총합	568,656	4,770	9,689	11,482
반월공단5	차집	65,451	415	979	1,176
	시화호 유출	93,469	648	1,447	1,738
	총합	158,920	1,063	2,427	2,913
반월공단6	차집	29,539	468	301	910
	시화호 유출	71,002	1,095	737	2,102
	총합	100,542	1,563	1,038	3,012
반월공단7	차집	201,636	1,543	3,870	4,131
	시화호 유출	103,587	829	1,970	2,127
	총합	305,223	2,372	5,841	6,258
합계	차집	997,915	7,807	17,010	20,523
	시화호 유출	910,005	7,542	14,966	18,193
	총합	1,907,921	15,349	31,977	38,714

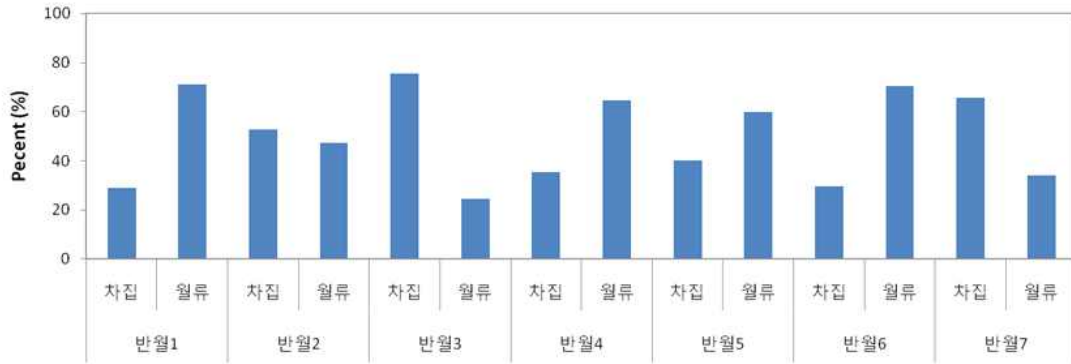


그림 4-2-82. 반월공단 소유역별 오염물질(C, N, P)의 평균 차집률과 월류율 (%)

### (3) 시화공단 유역

#### 1) 물순환

시화공단 1간선수로 유역의 2008년 1시간 단위 유량측정 자료를 이용하여 보검정을 실시하였다. 보정은 2008년 1월 1일 ~ 2008년 6월 30일의 기간 자료를 사용하였으며, 검정은 2008년 7월 1일 ~ 2008년 12월 31일 사이의 값을 이용하였다. 그림 4-2-83 ~ 그림 4-2-85는 유량 보검정 결과를 보여준다. 그림을 살펴볼 때, 모의에 의한 유량 결과가 실측값에 비하여 기저 유출은 작고 강우사상에 대한 유출은 큰 것으로 나타났으나 전체적으로 시화공단 1간선수로에서의 유출 경향을 부여주고 있는 것으로 분석된다.

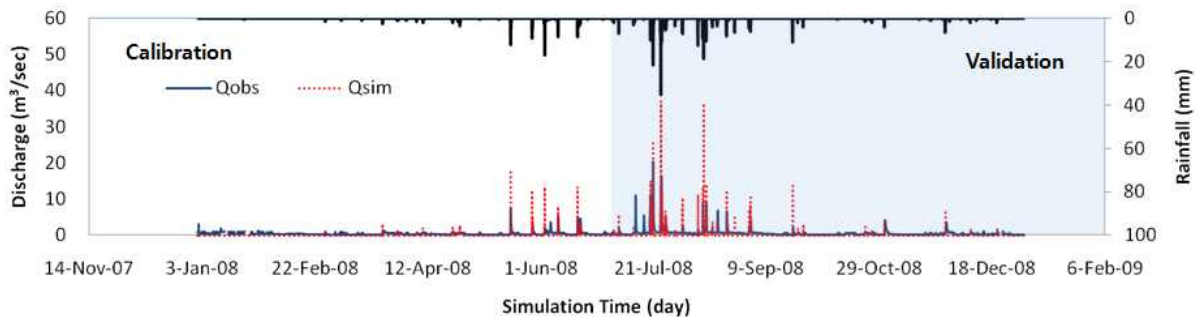


그림 4-2-83. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 모의 결과

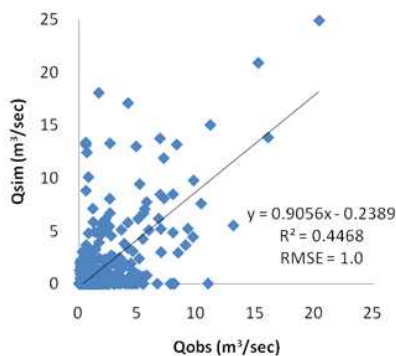


그림 4-2-84. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 검정 결과

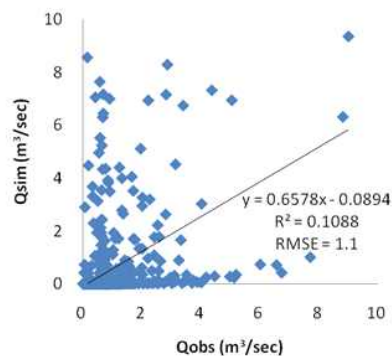


그림 4-2-85. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 유량 보검정 결과

시화공단 1간선수로 유역에 대한 물수지 분석결과는 그림 4-3-86과 같다. 물수지 분석결과 강수량의 65.1%인 535 mm가 하천으로 유출되는 것으로 분석되었으며, 이 중 지표면유출에 의한 유출이 532 mm로 전체 강우의 64.8%인 것으로 나타났다. 또한 지표면 유출의 구성을 살펴보면 투수지역에서 34 mm로 지표면 유출의 4.1%를 차지하며, 불투수지표면지역으로부터의 유출은 499 mm로 전체 지표면 유출의 60.6%를 구성하는 것으로 분석되어 대부분의 강우 유출인 불투수지표면으로부터 발생하는 것으로 분석되었다.

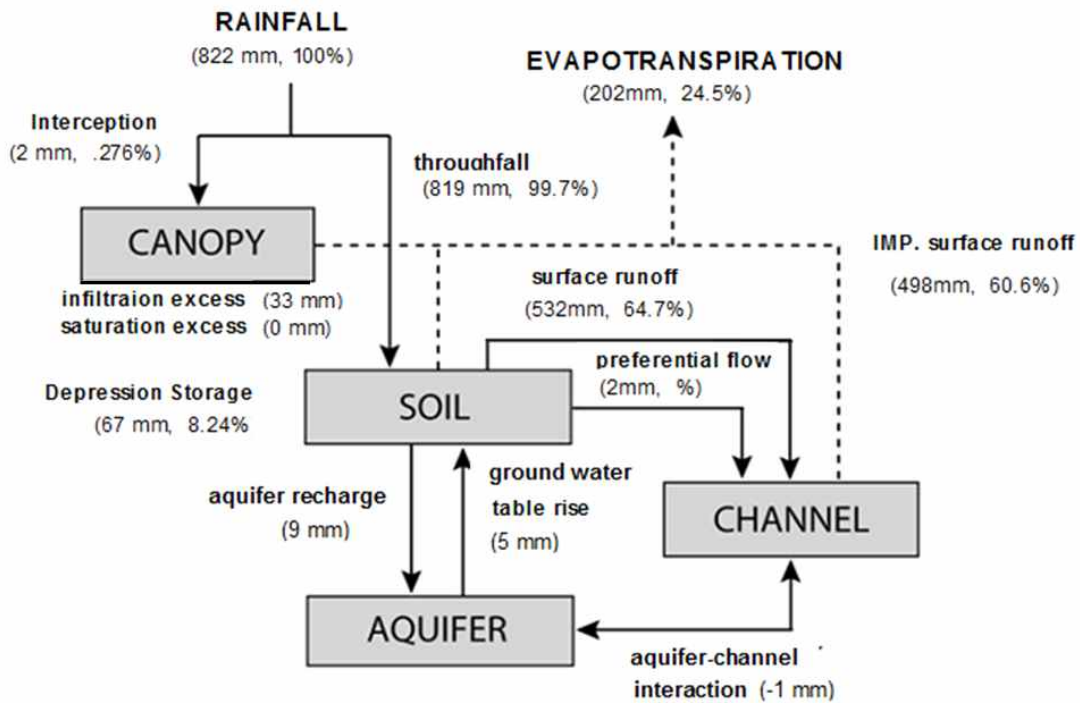


그림 4-2-86. 반월공단 4토구 집수구역 물수지 분석 결과

시화공단 유역의 4개 간선수로 소유역 각각에 대한 2008년 물수지 분석결과는 표 4-2-20에 나타낸 바와 같다. 시화공단 1간선수로 소유역은 우수관이 차집관과 연결되어 평상시 우수관 망에 의한 유출과 강우시 일부분의 유출이 하수처리장으로 이송되는 특성을 갖는다. 시화1간 선수로의 경우, 강수량 822 mm의 65.1%인 535 mm가 하천으로 유출되는데 이 중 차집관을 통해 차집되는 유량은 81.3 mm(15.2%)에 불과하고, 시화호로의 월류량은 453.1 mm(84.8%)에 이르는 것으로 분석되었다. 나머지 시화2~4간선수로에서는 차집이 이루어지지 않아 하천 유출량 전량이 시화호로 유출된다.

표 4-2-20. 시화공단 소유역별 2008년 물수지 분석결과

물수지 구분	시화1		반월2		반월3		반월4	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
강수량	822	100.0	822	100.0	822	100.0	822	100.0
증발산량	202	24.6	21	2.5	10	1.2	3	0.4
하천 유출량	535	65.1	705	85.8	725	88.2	730	88.8
지표면 유출량	533	64.8	711	86.5	725	88.2	730	88.8
침투초과 강수량	34	4.1	415	50.5	370	45.1	239	29.1
포화초과 강수량	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
불투수지표면	499	60.7	296	36.0	355	43.1	491	59.7
우선류 유출량	3	0.4	1	0.1	0	0.1	0	0.0
지하수 유출량	0	0.0	-7	-0.8	-1	-0.1	0	0.0
총저류량변화	85	10.3	96	11.7	87	10.6	89	10.8

2) 입자성물질(particulate matters)의 운반

시화공단 1간선수로 소유역 말단에서 측정된 2008년 3월 5일 ~ 3월 29일 SS 실측값을 이용하여 입자성물질에 대한 보검정을 실시하였다. 보검정은 2008년 3월 5일 ~ 3월 23일 자료를 사용하였으며, 검정은 3월 26일 ~ 3월 29일 자료를 이용하였다. 입자성물질에 대한 모형 보검정 결과는 그림 과 같다. 입자성물질 보검정 결과 전체적으로 모의값이 실측값에 비하여 과소 평가된 것으로 분석되었으나, 전체적인 경향은 실측값과 유사한 것으로 나타났다(그림 4-2-87 ~ 그림 4-2-89).

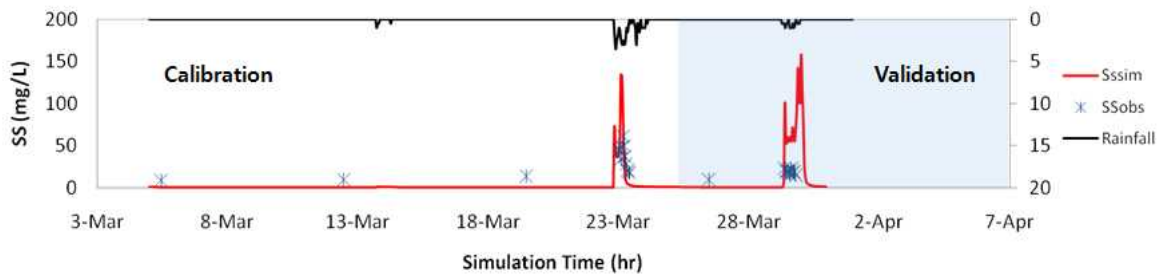


그림 4-2-87. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 보검정 결과

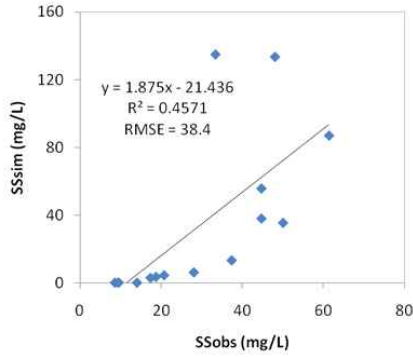


그림 4-2-88. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 보정 결과

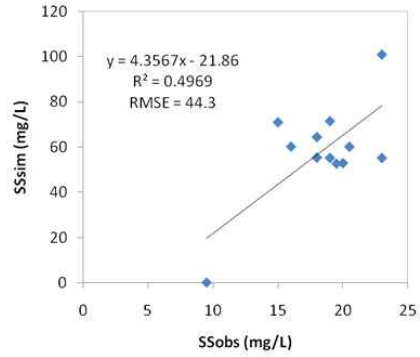


그림 4-2-89. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 SS 검정 결과

보검정한 파라미터를 이용하여 시화공단 1간선수로에 대한 입자성물질의 운반과정을 살펴 보면 그림 4-2-90 ~ 그림 4-2-92와 같다. 그림 4-2-90은 지표면에서 입자성물질의 입도 크기에 따른 축적과 세정을 나타낸다. 그림을 살펴보면 비강우 기간동안 입자성물질이 지표면에 축적되다가 강우시에 세정되면 관망으로 이송됨을 보여준다. 이는 반월공단 4토구에 대한 분석과 동일한 결과를 나타낸다.

그림 은 우수관망에서 입자성물질의 축적량 변화를 나타낸다. 시화 1간선수로의 경우 반월공단 4토구(그림 4-2-91)와 달리 입자크기 40  $\mu\text{m}$ 와 2500  $\mu\text{m}$ 에서 우수관망에 축적되는 것으로 분석되었다. 그림은 우수관망으로부터 시화호로 월류되는 입자성물질의 양을 나타낸다. 그림 4-2-92는 우수관망에서의 입자성 물질 축적량과 반대되는 모습을 보여, 여름철 강우가 집중되는 초기에 많은 입자성 물질이 시화호로 유입되고 있음을 보여준다.

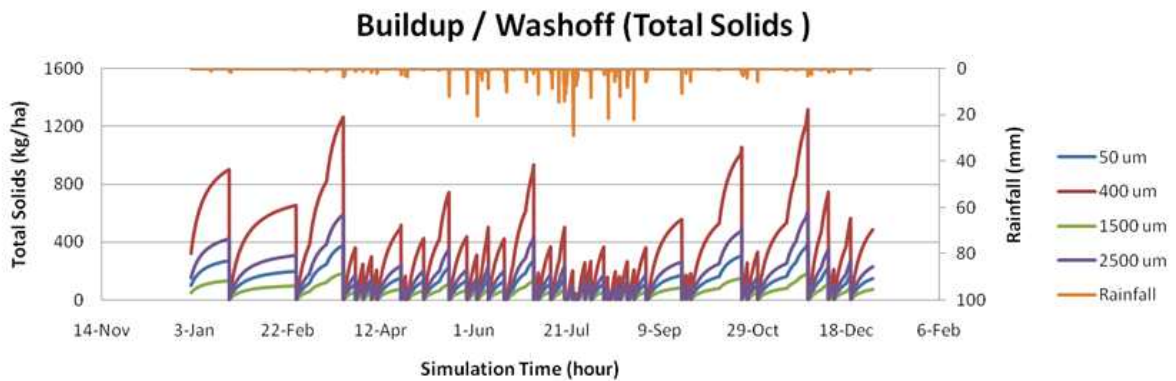


그림 4-2-90. 시화공단 1간선수로 소유역에서의 입자성 물질의 지표면 축적 및 세정

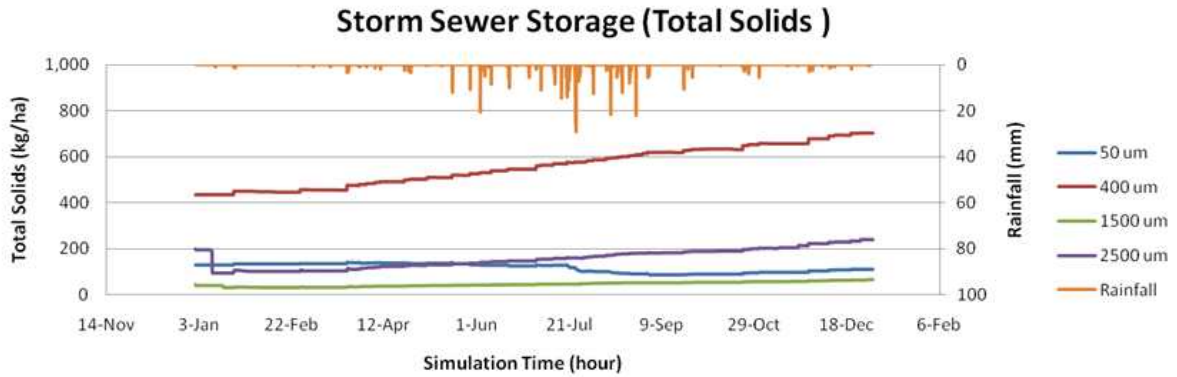


그림 4-2-91. 시화공단 1간선수로 소유역에서의 입자성 물질의 우수관망 축적

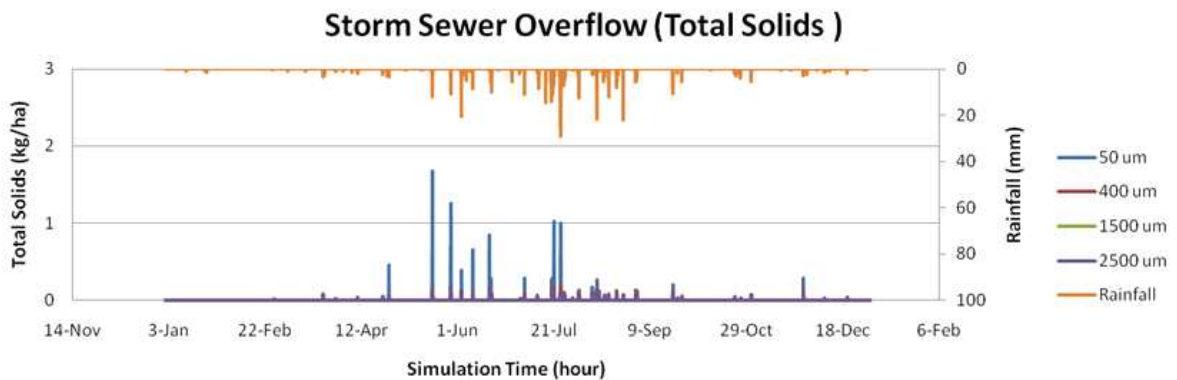


그림 4-2-92. 시화공단 1간선수로부터 입자성 물질의 월류

시화공단 소유역별 입자성 물질에 대한 모의 결과를 보면, 지표면에 축적되는 입자성 물질은 연간 2,139,854 kg/yr로서 강우유출과 함께 세정되어 관망으로 유입되는 것으로 분석되었다(표 4-2-21, 그림 4-2-93 및 그림 4-2-94). 강우유출수의 차집은 시화1간선수로에서만 이루어지고 있는데, 연간 차집되는 입자성 물질은 568,575 kg/year로서 해당 소유역에서 축적되는 입자성 물질의 약 93.2%에 해당하는 것이다. 시화공단 유역에서 시화호로 유출되는 입자성 물질의 총량은 연간 1,796,789 kg/year 이며, 시화1간선수로에서만 차집이 이루어지기 때문에 전체적으로는 조립질 입자가 세립질 입자보다 더 많이 유출되고 있다.

표 4-2-21. 시화공단 소유역별 입자성 물질의 연간 운반량

(단위: kg/year)

소유역	과정		Size ( $\mu\text{m}$ )				
			50	400	1500	2500	total
시화1	지표면	축적	205,875	688,950	99,900	320,850	1,315,800
		세정	204,075	682,875	99,000	317,925	1,303,875
	우수관거	축적	-35,100	630,000	-7,425	22,500	609,750
		차집	182,700	25,425	91,125	269,325	568,575
		유흥	56,475	27,450	15,300	26,100	125,550
시화2	지표면	축적	217,672	730,756	106,132	340,366	1,394,926
		세정	216,658	727,376	105,456	338,676	1,388,504
	우수관거	축적	216,658	591,162	9,802	16,900	834,522
		유흥	-	136,214	95,654	322,114	553,982
시화3	지표면	축적	225,060	755,330	109,481	351,674	1,441,546
		세정	223,898	751,555	108,900	349,932	1,434,576
	우수관거	축적	223,608	443,150	8,131	10,454	685,344
		유흥	290	308,405	101,059	339,478	749,232
시화4	지표면	축적	59,588	200,183	29,033	93,240	382,043
		세정	59,010	198,240	28,770	92,295	378,263
	우수관거	축적	6,458	2,993	263	473	10,238
		유흥	52,553	195,195	28,455	91,823	368,025
합계	지표면	축적	708,195	2,375,219	344,545	1,106,130	4,534,314
		세정	703,641	2,360,046	342,126	1,098,828	4,505,218
	우수관거	축적	411,624	1,667,305	10,771	50,327	2,139,854
		차집	182,700	25,425	91,125	269,325	568,575
		유흥	109,318	667,264	240,468	779,514	1,796,789

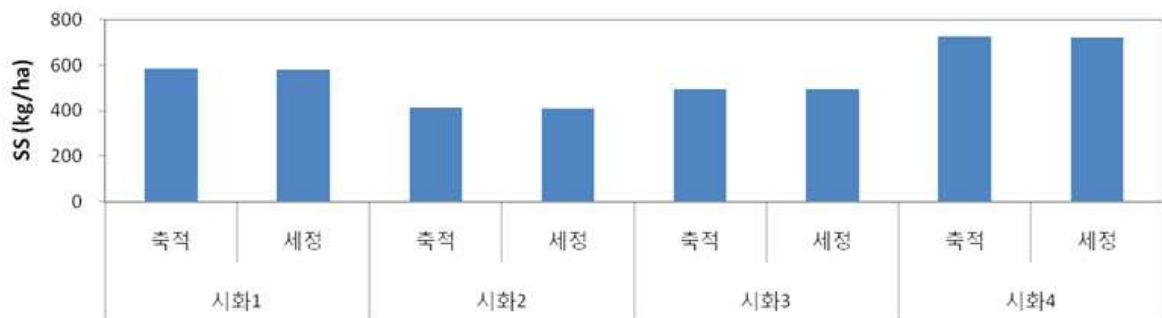


그림 4-2-93. 시화공단 소유역별 지표면에서의 입자성 물질의 축적 및 세정량 (kg/ha)



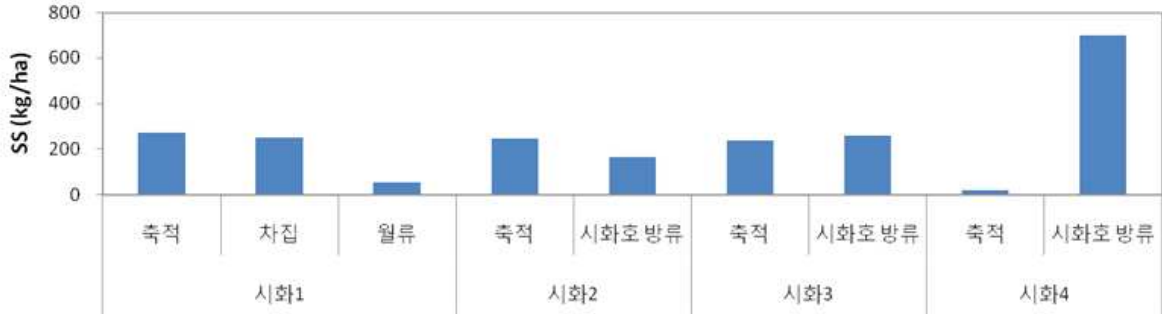


그림 4-2-94. 시화공단 소유역별 우수관거에 의한 입자성 물질의 이동 (kg/ha)

### 3) 탄소/질소/인의 운반

시화공단 1간선수로 유역 말단에서 측정된 2008년 5월 15일~ 6월 5일 사이의 3개 강우사상에 대한 COD, NH4, NO3, TP 실측값을 이용하여 탄소, 질소, 인에 대한 보검정을 실시하였다. 2008년 5월에 측정된 2개 강우사상에 대한 자료를 이용하여 보검정을 실시하였으며, 6월 자료를 이용하여 검정을 실시하였다. COD, NH4, NO3, TP에 대한 모형 보검정 결과는 그림 4-2-95 ~ 4-2-98과 같다. COD, NH4, NO3, TP에 대한 보검정 결과 전체적으로 모의값이 실측값에 비하여 과소 평가된 것으로 분석되었으나, 전체적으로 유사한 경향을 보여주는 것으로 보여주었다.

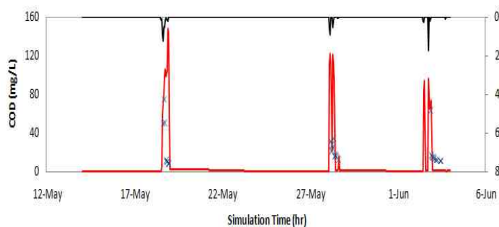


그림 4-2-95. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 COD 보검정 결과

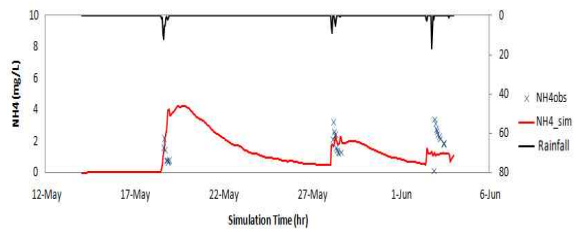


그림 4-2-96. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 NH4 보검정 결과

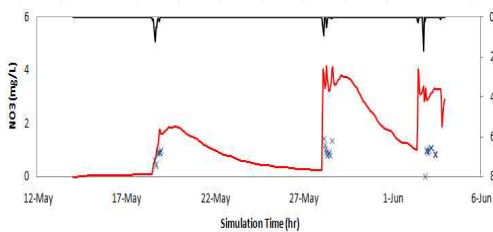


그림 4-2-97. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 NO3 보검정 결과

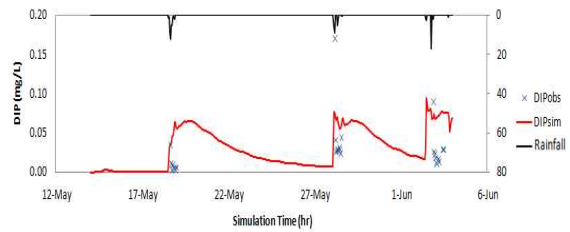


그림 4-2-98. 시화공단 1간선수로 소유역에 대한 TP 보검정 결과



시화공단 소유역별 탄소, 질소, 인에 대한 모의 결과는 표 4-2-22와 같다. 시화공단 유역에서 시화호로 월류 및 유출되는 연간 오염물질량은 COD 733,021 kg/year, NH4 15,480 kg/year, NO3 26,436 kg/year, TP 17,383 kg/year이며, 차집량은 COD 277,806 kg/year, NH4 5,798 kg/year, NO3 3,553 kg/year, TP 4,149 kg/year으로서 오염물질 총유출량의 11.8% ~ 27.5% 만이 차집되고 나머지는 시화호로 유출되는 것으로 나타났다.

표 4-2-22. 시화공단 소유역별 탄소, 질소, 인의 연간 시화호 유출량 (kg/year)

소유역		COD	NH4	NO3	TP
시화공단1	차집	277,806	5,798	3,553	4,149
	시화호 유출	84,786	1,568	1,018	1,277
시화공단2	시화호 유출	322,263	7,932	13,623	8,699
시화공단3	시화호 유출	290,432	5,780	11,237	7,291
시화공단4	시화호 유출	35,540	200	558	116
합계	시화호 유출	733,021	15,480	26,436	17,383

한편, 그림 4-2-99는 시화공단 소유역별 시화호 유출기여율을 각 오염물질에 대하여 나타낸 것으로서, 차집이 이루어지는 시화1간선수로의 유출기여율이 다른 소유역의 그것에 비해 현저히 낮은 것을 보여준다.

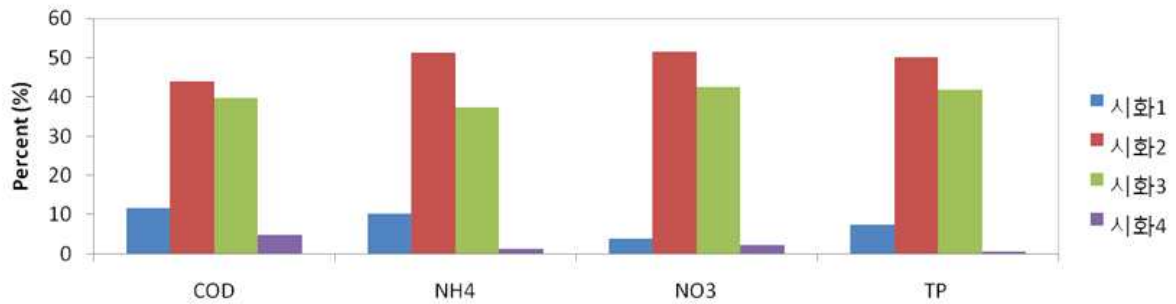


그림 4-2-99. 시화공단 소유역별 오염물질 시화호 유출 기여율 (%)

## 2. 반월공단유역 비점오염 저감계획 수립

### 2.1. 연구목표

유역에서 발생하는 비점오염은 점오염과 달리 유역의 곳곳에 산재되어 있어 오염물질 처리를 위해서는 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 특히, 산업단지유역은 도시지역과 같은 수준으로 관리되어야 하며, 산업지역의 특성을 반영하여 업종별 관리사항을 추가적으로 제시해야 한다(환경부, 2007). 공업지역에서 발생하는 비점오염의 발생 특성 상 공정에서 발생하여 관거를 통해 수집되는 공장폐수는 점오염원으로 폐수처리시설 등 수질오염방지시설로 유입·처리되는 반면, 사업장 부지에 방치된 원료, 폐기물 등 빗물에 노출된 장소에서 발생하는 비점오염물질은 인체에 유해한 독극물질이 포함되어 있으나 처리 과정 없이 공공수역으로 방류되어 수질오염의 원인이 된다(환경부, 2006). 반월공단은 국가산업단지로서 강우 시 다량의 비점오염부하를 배출하여 시화호 수질에 악영향을 미치고 있기 때문에 비점오염 저감계획의 수립과 시행이 시급히 요구되는 지역이다. 본 연구에서는 반월공단유역을 대상으로 비점오염을 효과적으로 저감할 수 있는 비점오염 저감계획을 수립하였다.

### 2.2. 연구범위

#### 2.2.1. 지리적 범위:

시화호 내 반월공단 유역은 7개의 집수구역으로 구성되어 있으며, 각 집수구역의 공간적 위치는 그림 4-2-100과 같다.

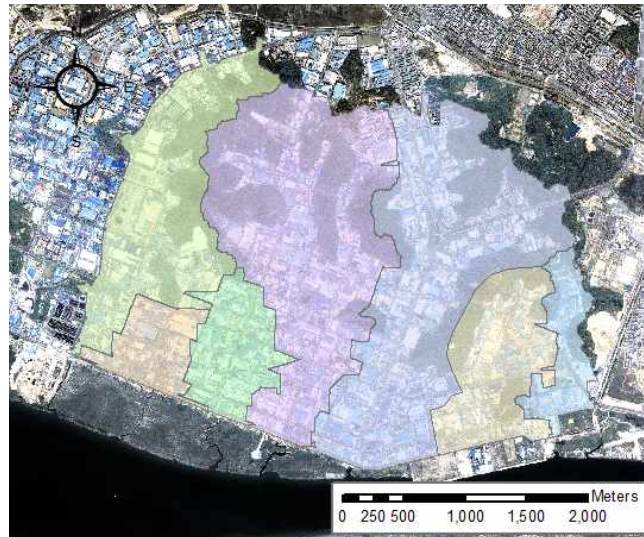


그림 4-2-100. 연구대상유역의 공간적 위치

## 2.2.2. 내용적 범위:

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다.

- (1) 비점오염 저감계획 수립 절차 검토
- (2) 반월공단 유역 환경현황 분석
- (3) 비점오염 저감대상물질 및 저감목표 4-2-설정
- (4) 현장조사를 통한 비점오염 저감시설 후보지 평가
- (5) 구조적 또는 비구조적 최적관리방안 선정

## 2.3. 과업의 세부내용

### 2.3.1. 비점오염 저감계획 수립 절차 검토

반월공단유역의 비점오염 저감계획을 수립하기 위한 절차를 검토한다.

### 2.3.2. 반월공단 유역 환경현황 분석

반월공단유역의 유역현황을 파악하기 위해 집수구역 구분, 토지이용 현황 분석, 오염원 현황 분석, 하천 및 관망 분석, 유량 및 수질 자료 분석을 실시한다.

### 2.3.3. 비점오염 저감목표 설정

비점오염 저감목표를 수립하기 위해 비점오염 대상물질을 선정하고, 각 대상물질별 저감목표를 설정한다.

### 2.3.4. 비점오염 저감시설 후보지 평가

현장조사를 통하여 반월공단의 유역 환경 분석 및 비점오염 저감시설 후보지 평가를 실시한다.

### 2.3.5. 구조적 최적관리방안 선정

비점오염을 저감하기 위한 실제적인 계획단계로 구조적 최적관리방안을 적용할 수 있는 대상지역을 선정하고, 적용가능한 구조적 최적관리방안을 선정한다. 세부단계로 우선순위지표 4-2-기법을 이용하여 집수구역 우선순위를 선정하고, GIS자료와 현장조사자료를 바탕으로 우선사업지구를 선정한다. 그리고 해당지역에 적용할 수 있는 최적관리방안에 대해 일반적 평가와 지역적합성 평가를 실시하여 적절한 최적관리방안을 선정한다.

### 2.3.6. 비구조적 최적관리방안 선정

비점오염을 저감하기 위한 비구조적 최적관리방안을 선정한다. 비구조적 최적관리방안 중 현재 유역에서 가장 쉽게 실시 가능한 도로청소기법을 선정하였으며, 현재의 도로청소현황을 평가하고, 효과적인 도로청소기법을 제안한다.

## 2.4. 연구 결과

### 2.4.1. 비점오염 저감계획 수립 절차 검토

반월공단유역 비점오염 저감계획 수립 절차를 크게 4단계로 구분하였다(그림 4-2-101). 1단계는 유역 현황 분석 및 저감목표 4-2-설정 단계로 반월공단유역을 대상으로 GIS 자료, 유역 모니터링 자료, 현장 조사 자료를 분석하여 유역현황을 파악하고, 유역 현황 분석 결과를 바탕으로 비점오염 대상물질 및 저감목표를 수립한다. 2단계는 최적관리방안(BMPs) 선정 단계로 비점오염을 저감하기 위한 구조적 최적관리방안과 비구조적 최적관리방안을 선정한다. 구조적 최적관리방안을 적용하기 위해 집수구역 우선순위를 세우고, 현장조사 결과를 바탕으로 우선사업지구를 선정한 후 최적관리방안의 일반적 평가와 지역적합성 평가를 통해 반월공단유역에 적절한 구조적 최적관리방안을 선정한다. 그리고 비구조적 최적관리방안의 종류를 분류 및 평가하여, 유역 현황에 적합한 비구조적 최적관리방안을 선정한다. 3단계는 최적관리방안 설계 및 평가 단계로 2단계에서 선정된 최적관리방안을 시행계획 수준으로 설계하고, 유역 모델링 기법을 이용하여 설계된 최적관리방안의 효과를 평가한다. 4단계는 모니터링 및 유지관리 단계로 비점오염 저감계획 수립 후 수질변화를 모니터링하고, 비점오염 저감시설을 유지 및 관리하는 방안을 제시한다.

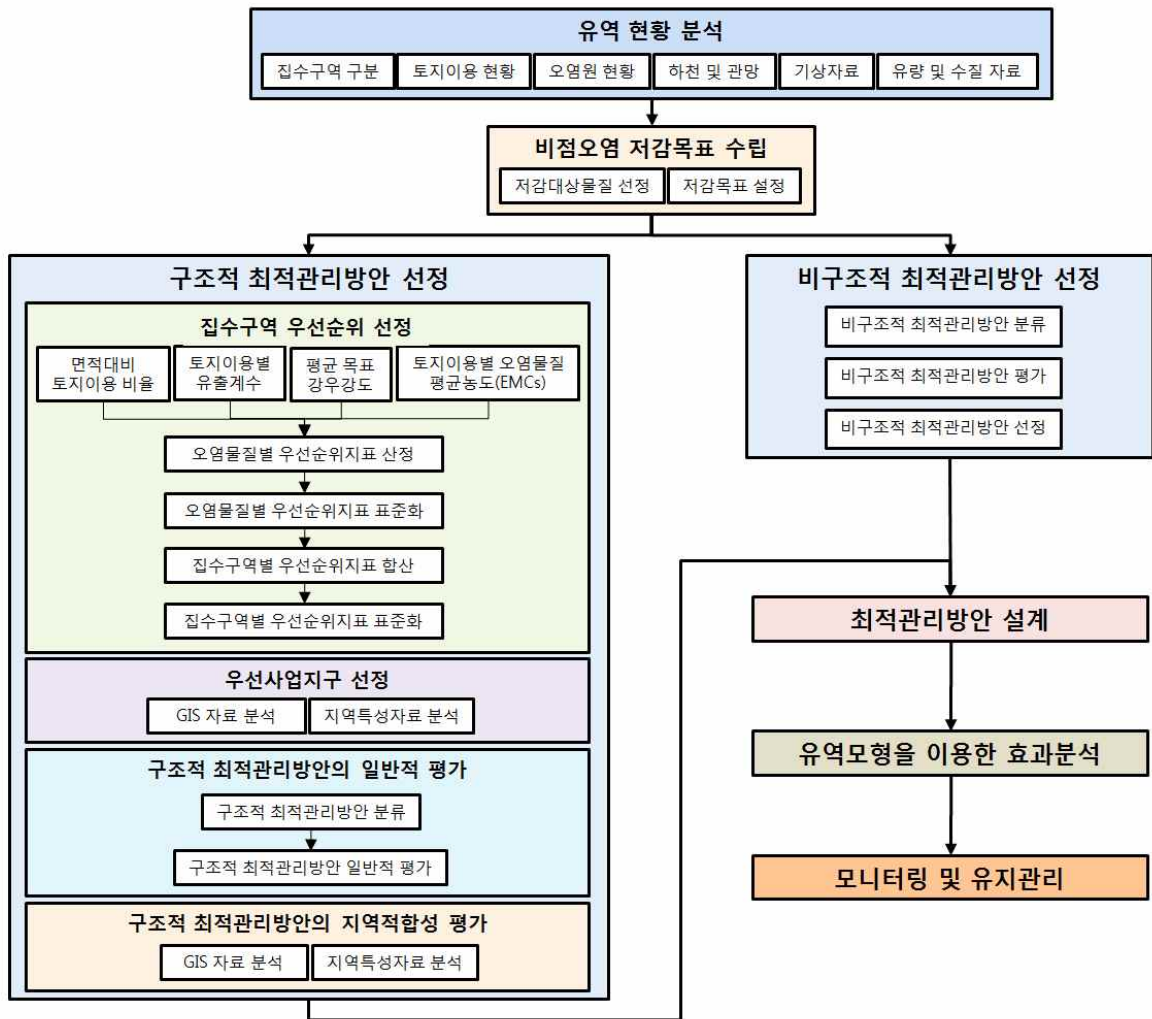


그림 4-2-101. 반월공단 비점오염 저감계획 수립절차

## 2.4.2. 반월공단 유역환경현황 분석

### (1) GIS 자료

- 집수구역 구분

반월공단유역은 서울 남서쪽 30 km 지점의 경기도 안산시 원시동, 성곡동, 신길동, 목내동, 초지동 일원에 위치하고 있으며 배수관망도에 따라 총 7개의 집수구역으로 구분된다(그림 4-2-102). 유역의 총면적은 10.227 km<sup>2</sup>이며, 집수구역별 면적 및 비율은 표 4-2-23과 같다.

표 4-2-23. 집수구역별 면적 및 비율

집수구역	1	2	3	4	5	6	7	합계
면적 (km <sup>2</sup> )	0.460	1.044	2.936	2.929	0.666	0.457	1.734	10.227
비율 (%)	4.5	10.2	28.7	28.6	6.5	4.5	17	100

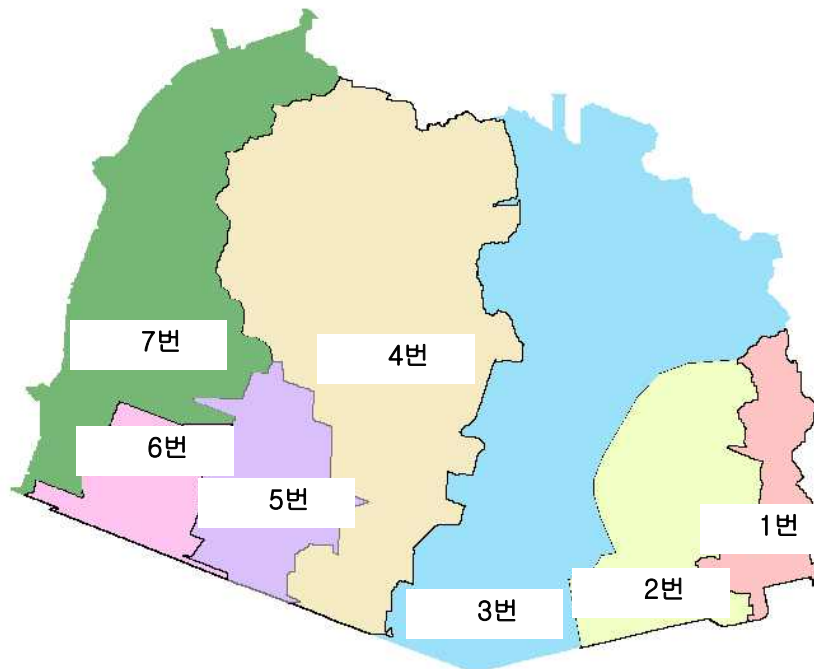


그림 4-2-102. 반월공단유역 집수구역 구분

- 토지이용 현황

반월공단유역의 토지이용은 공업지역, 상업지역, 교통지역, 활엽수림, 침엽수림, 기타나지로 구분한다(표 4-2-3). 토지이용 중 공업지역이 65.0%로 산업단지유역의 특징을 반영한다.

- 하천 및 관망 자료

반월공단유역의 강우유출수는 유역 내 우수관거를 이동하여 7개의 토구를 통해 시화호로 유출된다. 우수토구별로 7개의 집수구역이 형성된다(그림 4-2-103).

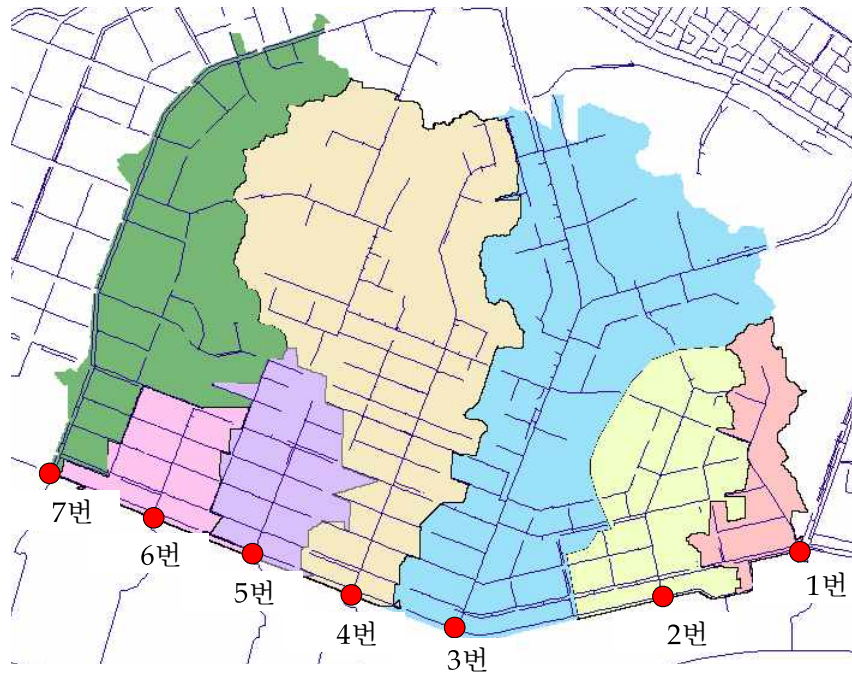


그림 4-2-103. 반월공단 유역 우수관망

(2) 유역 모니터링 자료

- 기상자료

최근 10년간 연평균강수량은 1337.4 mm이며, 1999년과 2003년에 평년보다 강수량이 많다 (표 4-2-24). 최근 10년간 강수분석결과 7~8월 장마철에 강수가 집중되고, 6~9월의 집중 강우 시 초기우수에 의한 비점오염 부하가 클 것으로 예상된다.



표 4-2-24. 반월공단 유역의 최근 10년간 월별 강수량

(단위: mm)

월	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	평균
1월	7.3	57.7	42.2	31.8	10.4	17.8	5.7	38.6	9.3	13.6	23.4
2월	1.8	1.4	47.4	3.2	46.2	42.6	15.0	19.5	15.1	8.7	20.1
3월	54.0	3.1	15.1	35.7	28.3	14.4	25.5	6.9	135.3	55.9	37.4
4월	73.6	20.4	12.9	152.4	182.0	63.8	85.6	59.9	24.2	42.2	71.7
5월	121.3	43.7	13.8	77.0	85.5	125.2	89.6	133.2	146.7	92.7	92.9
6월	76.7	118.2	222.3	52.0	159.0	135.7	160.8	156.7	74.2	198.4	135.4
7월	345.0	375.8	469.7	257.8	341.9	382.0	251.7	754.7	269.7	540.8	398.9
8월	338.4	448.8	144.7	487.3	293.7	157.4	357.5	66.4	295.0	217.2	280.6
9월	402.2	182.2	12.1	31.3	271.5	183.4	315.2	21.9	268.8	101.9	179.1
10월	92.3	21.6	58.1	73.8	30.6	2.0	70.2	18.0	18.3	35.6	42.1
11월	25.3	27.5	14.2	12.2	51.6	67.5	38.8	61.6	57.1	18.5	37.4
12월	18.2	28.4	14.7	17.2	14.1	25.2	12.0	25.3	11.3	17.4	18.4
합계	1556.1	1328.8	1067.2	1231.7	1514.8	1217.0	1427.6	1362.7	1325.0	1342.9	1337.4

• 유량 자료

한국수자원공사에서 측정한 2008년 반월공단 유량자료를 이용하여 제4토구 측정결과를 분석한 결과 강우 발생 후 2시간 이내에 급격히 유량이 증가하는 것으로 나타났다(그림 4-2-104). 이는 불투수율이 높아 침투량과 증발량이 적고, 지표면 거칠기가 낮아 강우유출수가 빠르게 이동하여 발생한 것으로 판단된다.

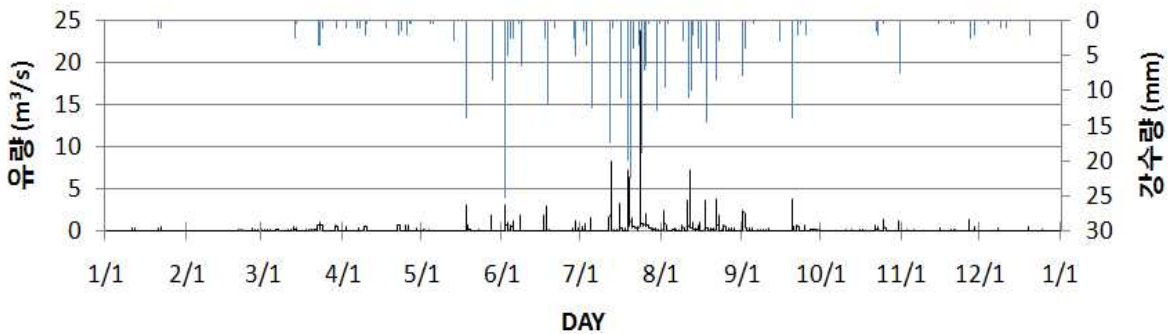


그림 4-2-104. 반월공단 제4토구의 강우-유량 곡선

• 수질 자료

한국수자원공사에서 측정한 2008년 반월공단 수질자료를 분석한 결과 모든 집수구역 말단에서 수질환경기준 초과한 것으로 나타났으며, 오염물질별로 보면 COD는 4, 6번 집수구역, SS는 1, 4, 5번 집수구역, TN은 5번 집수구역, TP는 2, 3, 4번 집수구역에서 높게 측정되었다(표 4-2-25). 4번 집수구역에서 강우 시 오염물질의 농도를 측정하였는데, SS가 약 12배 높게 나와 강우의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다(표 4-2-26).



표 2-2-25. 집수구역별 오염물질(COD, SS, TN, TP)의 농도

집수구역		1	2	3	4		5	6	7	평균
		비강 우시	비강 우시	비강 우시	강우시	비강 우시	비강 우시	비강 우시	비강 우시	
COD (mg/L)	Max	26.7	161.0	123.6	575.2	175.6	148.6	134.3	102.1	180.9
	Mean	16.5	48.7	58.0	52.0	68.1	69.0	85.5	46.9	55.6
	Min	9.7	4.3	21.5	8.9	27.7	29.1	50.3	19.7	21.4
SS (mg/L)	Max	163.0	60.0	88.6	1497.5	126.7	150.0	52.0	36.8	271.8
	Mean	31.3	21.3	44.4	107.3	52.8	56.5	30.2	22.5	45.8
	Min	7.5	7.6	18.5	6.0	18.5	15.5	12.5	10.5	12.1
TN (mg/L)	Max	35.1	46.1	63.0	44.5	33.0	73.1	16.2	16.2	40.9
	Mean	17.5	16.5	26.8	11.9	14.6	35.0	9.8	6.1	17.3
	Min	4.7	2.6	11.6	2.1	2.1	12.8	2.2	1.2	4.9
TP (mg/L)	Max	4.3	15.7	5.2	30.8	30.8	6.1	1.0	5.6	12.5
	Mean	1.2	4.0	1.9	2.2	3.4	2.5	0.7	1.4	2.2
	Min	0.2	0.4	1.1	0.1	0.4	0.5	0.2	0.2	0.4

표 4-2-26. 비강우 시, 강우 시 반월공단 4토구에서 측정된 오염물질의 농도

오염물질		COD	SS	TN	TP
비강우 시	mg/L	68(30-159)	53(20-126)	14(3-29)	4.1(0.6-25.8)
	ton/yr (%)	137.6 (62%)	168.3(39%)	32.1(63%)	7.1(76%)
강우 시	mg/L	54(9-958)	158(6-2120)	11(3-45)	1.7(0.1-8.3)
	ton/yr (%)	83.9(38%)	259.4(61%)	18.5(37%)	2.3(24%)

### (3) 현장조사 자료

#### • 오염물질 발생특성

- 산업 유형 및 분포 특성: 반월공단유역의 오염원은 주로 개별공장과 도로 등 산업기반시설 등에서 발생한다. 공단 내 입주업체는 4,011 개이며, 이 중 3,701 개의 업체가 가동 중이다(가동률 72%, 2009. 04 기준). 주요업종은 기계 1,563개(39.0%), 전기전자 1,010개(25.2%), 석유화학 415개(10.3%), 섬유 의복 258개(6.4%), 철강 167개(4.2%), 운송장비 157개(3.9%), 기타 441개(11.0%) 업체로 구성되어 있으며(그림 4-2-106), 총 고용인원은 94,416명(남 75,043명, 여 19,373명, 2009. 04 기준)이다. 용도별 면적은 총면적 15.374 km<sup>2</sup>, 산업시설구역 7.931 km<sup>2</sup> (51.6%), 지원시설구역 0.383 km<sup>2</sup> (2.5%), 공공시설구역 2.086 km<sup>2</sup> (13.6%), 녹지구역 4.974 km<sup>2</sup> (32.4%)이다(그림 4-2-105).

- 공단 유출수의 처리 : 반월공단의 취수원은 팔당댐이며, 공업용수 223,000 톤/일과 생활용수 152,000 톤/일을 공급받고 있다. 오폐수처리는 안산시하수처리장(1처리장: 생활하수 179,000 톤/일, 공장폐수 206,000 톤/일, 2처리장: 생활하수 149,000 톤/일)에서 하고 있으며, 우수처리는 각 집수구역의 말단에 위치한 우수토구를 통해 시화호로 방류하거나 3Q 이하는 개별펌프장에서 차집하여 안산하수처리장에서 처리한다.



그림 4-2-105. 반월국가산업단지 용도별 구획 배치도

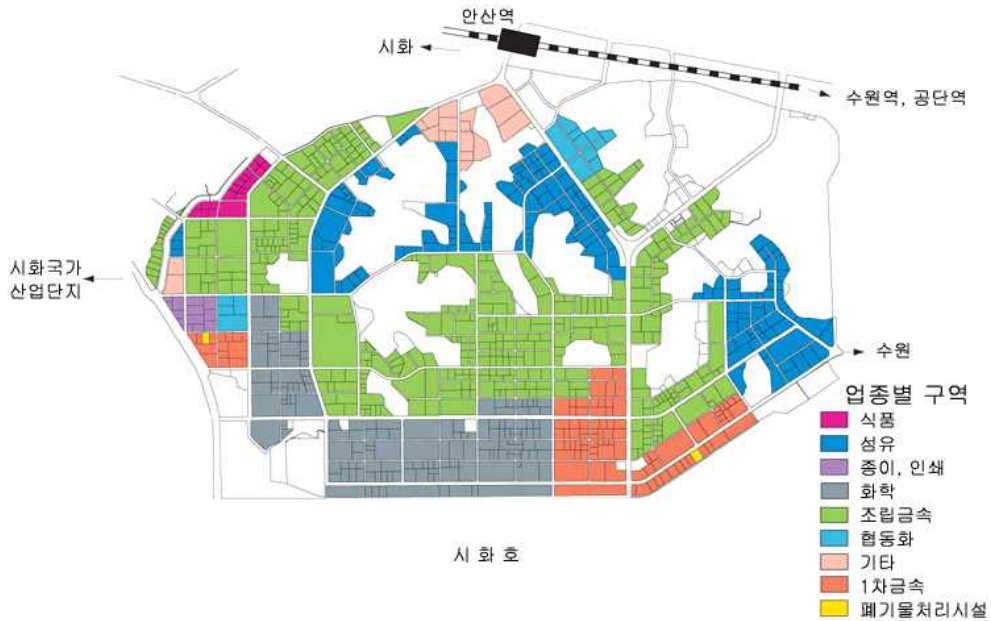


그림 4-2-106. 반월국가산업단지 업종별 배치 계획도

• 오염원 현황

- 도로 비점오염원 : 반월공단유역의 도로는 대부분 불투수층으로 강우 시 오염물질과 함께 빠르게 우수관거로 이동한다(그림 4-2-107). 교통량이 많고, 도로 주변에 공장들이 인접해 있어 비점오염물질의 발생 가능성이 높다. 도로의 양 옆 4~6 m, 인도의 일부분이 노상주차구역으로 이용되고 있다.



(가) 태양금속공업 앞



(나) 공단로(공단삼거리)



(다) 공단로



(라) 신대양제지 앞



(마) 오스람코리아 앞



(바) 반월염색사업협동조합 앞

그림 4-2-107. 도로 비점오염 발생 사례

- 토사유출 : 반월공단유역에는 원시공원, 전망대공원, 별망공원, 무들공원 등 크고 작은 공원들과 비포장 나대지가 있어 토사유출이 발생할 가능성이 높다. 토사에는 유기물질, 질소, 인 등의 오염물질들이 흡착되어 있어, 강우 시 이 지역의 토사들이 우수관으로 흘러들어 비점오염의 주요 원인이 된다(그림 4-2-108).





(가) 별망공원 앞



(나) 별망공원 앞



(다) 보은물산 앞



(라) 보은물산 앞



(마) 대한ST 앞



(바) 삼화왕관 앞

그림 4-2-108. 토사유출에 의한 비점오염 발생 사례

- 불특정 비점오염원 : 반월공단유역에는 도로변 간이적재물, 공사현장, 공장 안의 적재물, 청소용수, 간이주차장 등의 오염원들이 곳곳에 분포하여 비점오염의 원인이 된다(그림 4-2-109).



(가) 대덕지디에스 앞 사거리



(나) 신대양 제지 앞



(다) STX에너지 앞



(라) 별망공원 앞

그림 4-2-109. 불특정 비점오염 발생 사례

- 하수관거 월류수 : 강우 유출수가 우수토구를 통해 유출될 때 설계유량의 3배를 초과하는 유량은 차집되지 않고 월류되어 시화호 수질오염의 주요 원인이 된다(그림 4-2-110).



(가) 제5토구 출구



(나) 제4토구 출구

그림 4-2-110. 토구 출구의 비점오염 발생 사례



### 2.4.3. 비점오염 저감목표 4-2-설정

반월공단은 분류식 관거로 공장폐수 등 점오염원은 오수관을 통해 안산하수처리장으로 이동하며, 처리 후 외해로 방류되기 때문에 오수관 누수, 오수관과 우수관의 오접, 인위적인 방류 등을 제외하고, 반월공단 유역 말단의 수질에 영향을 주지 않는다. 유역 특성상 불투수 지표면의 비율이 높기 때문에 비강우 시에 축적된 오염물질이 강우 시에 일시적으로 유출되어 이동한다. 그러므로 각 집수구역 말단의 토구에서 측정된 수질은 유역 전반에서 발생하는 비점오염물질이 주요오염원이며, 집수구역 말단보다는 유역 전반에 걸친 비점오염 저감계획을 세우는 것이 필요하다. 특히, 강우 시 수질오염물질 중 SS가 급격하게 증가하는 것으로 나타나 이에 대한 대응이 필요하다.

#### (1) 비점오염 저감대상물질

비점오염 저감대상물질로 COD(화학적 산소요구량)과 SS(부유물질)을 선정하였다. COD는 수질 중 유기물질의 양을 나타내는 지표로, 산업단지지역 특성상 BOD(생화학적 산소요구량)보다 더 적합할 것으로 판단된다. 일반적으로 SS는 강우 시 다른 오염물질에 비해 급격히 증가하는 경향을 보이며, 탄화수소, 중금속 등의 오염물질이 흡착되어 이동한다. 그리고 저감시설의 부지면적이 제한되는 도시유역의 특성을 감안할 때 SS는 적은 부지면적의 저감시설로도 높은 처리효과를 기대할 수 있는 오염물질이다.

#### (2) 비점오염 저감목표

시화호유역의 수질개선목표는 해역수질Ⅱ등급(표 4-2-27)이다. 하수처리장 방류수 수질기준(COD 40 mg/L 이하, SS 10 mg/L 이하)과 비강우 시 제4토구에서 관측된 수질 평균치(COD 68 mg/L, SS 53 mg/L)을 감안하여, 반월공단의 비점오염 저감목표를 “토구로부터의 월류수 중 COD 40 mg/L 이하, SS 50 mg/L 이하”로 정하였다.

표 4-2-27. 해역수질환경기준

등급	수 질 기 준								
	수소 이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	용 존 산소량 (DO) (mg/L)	부 유 물질량 (SS) (mg/L)	대장균 군수 (MPN/ 100mL)	노말핵산 추출물질 (유분) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	총 인 (T-P) (mg/L)	무기물질 등 (mg/L)
I	7.8 ~ 8.3	1이하	포화율 95이상	10이하	200 이하	검출 되어서는 안됨	0.05 이하	0.007 이하	6가크롬(Cr+6) : 0.05이하 비소(As) : 0.05이하 카드뮴(Cd) : 0.01이하 납(Pb) : 0.1이하
II	6.5 ~ 8.5	2이하	포화율 95이상	25이하	1,000 이하	검출 되어서는 안됨	0.1 이하	0.015 이하	아연(Zn) : 0.1이하 구리(Cu) : 0.02이하 시안(CN), 유기인, 수은(HG), 폴리크로리네이티드비 페닐(PCB) : 검출되어서는 안됨
III	6.5 ~ 8.5	4이하	포화율 80이상	-	-	-	0.2 이하	0.03 이하	

비고 :

1. DO : 농도로 표시하는 경우, 등급 I 은 6 mg/L, 등급 II와 등급 III은 5 mg/L이상이어야 한다.
2. 등급 I 은 수산생물의 서식, 양식 및 산란에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급 II는 해수욕 등 해양에서의 관광 및 여가선용과 등급 I 외의 수산생물에 적합한 수질을 말한다.
4. 등급 III는 공업용수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

#### 2.4.4. 구조적 최적관리방안 선정

##### (1) 개요

현실적으로 유역의 전지역에 대하여 비점오염 저감시설을 설치할 수 없기 때문에 다양한 환경조건을 고려하여 저감효율이 높은 지역을 대상으로 우선사업지구를 선정한다. 이를 위해서는 대상유역에 분포하는 비점오염원에 대한 정확한 정보를 구축하고, 각 비점오염원이 수질에 미치는 기여도를 파악하여 각 유역 내에서 가장 기여도가 높은 지역을 지정하는 절차가 필요하다. 일반적으로, 비점오염 저감시설 우선사업지구 선정에 있어서 정확성을 높이기 위해서는 분포형 유역모델링 기법을 이용하는 것이 매우 유력한 방법이나, 반월공단 유역의 비점오염 배출특성이 매우 균질한 탓에 유역모델링 기법의 적용이 그다지 효과적이지 않을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 우선순위지표(CPI, Catchment Prioritization Index) 기법(환경부, 2007)을 이용하여 우선사업지구를 선정하였다.

##### (2) 우선사업지구 선정을 위한 집수구역별 우선순위지표 4-2-산정방법

###### ① 오염부하지표 4-2-평가

- 면적-가중 토지이용 비율 계산 : GIS 시스템을 이용하여 단위면적당 토지이용별 면적 계산하였다.
- 토지이용별 유출계수 계산 또는 획득 : 토지이용별 유출계수를 GIS database에 적용하고 지역 특성을 반영할 필요가 있을 경우 보정된 토지이용별 유출계수를 적용하였다(표 4-2-28).

표 4-2-28. 토지이용별 유출계수

토지이용	유출계수	
	미국a)	한국b)
농업지역	0.10	0.01~0.10
상업/교육	0.61	0.60~0.70
공업/교통	0.64	0.60~0.80
나대지	0.06	-
주거지역	0.39	0.30~0.70

a) Ackerman and Schiff(2003) Optimized model runoff coefficients by land use for Southern California Bight

b) KEI, 2004

- 관리대상 강우 설정 : 각 집수구역에 대한 평균 강우강도를 설정하였다.
- 오염물질별 토지이용에 따른 평균 EMCs 계산 또는 획득 : 기존 문헌자료들을 토대로 오염물질별 토지이용에 따른 평균 EMCs 자료를 수집하였다(표 4-2-29). 이 자료는 집수구역 우선순위 지표를 산정하는데 가장 중요한 영향을 미친다.

표 4-2-29. 토지이용별 오염물질에 따른 평균 EMCs

구분		COD	SS	T-N	T-P	Cu	Zn	Cd	Pb
고밀도 아파트지역	SMC	15.9	59.6	3.26	0.31	0.038	0.013	0.054	0.037
	COV	0.58	0.81	0.81	0.35	0.86	0.88	0.70	0.18
단독주택지역	SMC	38.5	32.5	5.00	0.24	0.032	0.022	0.066	0.071
	COV	0.54	0.75	0.49	0.27	1.08	1.34	1.03	0.33
상업지역	SMC	57.8	52.5	9.62	0.39	0.046	0.025	0.067	0.031
	COV	0.85	0.71	0.57	0.83	0.66	1.55	1.15	1.09
공업지역	SMC	61.3	67.6	7.35	0.40	0.080	0.009	0.078	0.054
	COV	0.28	0.57	0.52	0.25	0.78	0.90	0.26	0.32
자동차도로	SMC	67.7	126.6	7.56	0.48	0.141	0.031	0.111	0.097
	COV	0.42	0.40	0.54	0.83	1.30	1.02	0.69	0.36
주차장	SMC	48.0	22.7	3.39	0.09	0.043	0.045	0.093	0.030
	COV	0.77	0.72	0.75	0.38	1.09	1.17	0.92	0.73

주: COV(coefficient of variance) = 표준편차/평균

참고문헌: 최지용(2002), 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안



② 부하량 기준 집수구역별 우선순위지표(LPCPI) 산정

$$LPCPI_x = \frac{\sum_y (EMC_{x,y} \times RC_y \times A_y \times P)}{\sum_y A_y}$$

여기서,  $LPCPI_x$  = 집수구역의 오염원 유형에 대한 부하량 기준 오염 CPI,  $EMC_{x,y}$  = 토지 이용 유형별 오염원  $x$ 의 평균 농도,  $RC_y$  = 토지이용  $y$ 에 대한 유출계수,  $A_y$  = 집수구역의 토지이용  $y$ 의 총 면적,  $P$  = 집수구역의 강우 지표값이다.

표 4-2-30. 오염물질별 토지이용에 따른 평균 EMCs (mg/L)

Landuse	SS	COD	T-N	T-P
공업지역	67.6	61.3	7.350	0.400
상업지역	52.5	57.8	9.620	0.390
교통지역	126.6	67.7	7.560	0.480
활엽수림	22.7	48.0	3.390	0.090
침엽수림	6.8	7.7	1.252	0.016
기타나지	4.6	3.5	1.252	0.065

참고문헌 : 최지용(2002), 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안

③ PCPI를 표준화하여 가중치를 구함

PCPI를 집수구역끼리 비교하기 위해 최대 집수구역 오염점수를 이용하여 CPI 점수를 표준화한다. 사용자가 PCPI 점수를 오염원 유형별로 가중치를 주도록 한다. 오염원 가중치는 상대적인 오염원 중요성에 대한 이해관계자들의 협의에 근거해야 한다.

$$PCPI'_x = Roundup\left(\frac{PCPI_x}{\max PCPI_x} \cdot WF\right)$$

여기서,  $PCPI'_x$  = 집수구역에 대해 오염원 유형별 표준화된 오염 CPI (LPCPI 또는 CPCPI),  $PCPI_x$  = 집수구역에 대해 오염원 "x"의 오염원 CPI,  $\max PCPI_x$  = 오염원 "x"에 대한 전 유역에서 최대  $PCPI_x$  값,  $WF$  = 오염원의 가중치이다.

표 4-2-31. CPI 계산을 위한 권장 가중치의 예

후보 집수구역 요소들	최대점수
1. 단위 면적당 오염부하량으로 집수구역을 분류함	50
- BOD	10
- 영양염류(질산염)	10
- 박테리아(분원성 대장균군)	10
- 총금속(구리, 납, 아연)	15
- 침전물(TSS)	5
2. 만약 하류가 오염(수질환경기준 초과)되었다면 오염원 점수에 2를 곱하고, 하류가 총량관리대상이라면 3을 곱함	X2 또는 X3
3. 각각 다른 오염(생물농축, 독성, 잔류농약, 생태적 영향)에 대해 5점을 더함	20
유역 오염 부하량 최대 점수	170

④ 집수구역별 우선순위지표 4-2-합산

- 집수구역별 우선순위지표 4-2-합산식은 다음과 같다.

$$CPI = \sum_x PCPI_x^w + (IP \cdot N)$$

여기서,  $CPI$  = 집수구역의 비표준화 CPI,  $PCPI_x^w$  = 집수구역의 오염원 유형에 대한 조정된 오염 CPI,  $IP$  = 오염점수 = 5,  $N$  = 집수구역의 기타 오염요소(생물농축, 독성, 잔류농약, 생태적 영향)의 수(1, 2, 3, 4)

⑤ 집수구역별 누적 우선순위지표 4-2-표준화

집수구역별 누적 우선순위지표 4-2-표준화식은 다음과 같다.

$$CPI' = Roundup\left(\frac{CPI}{\max CPI} \cdot 5\right)$$

여기서,  $CPI'$  = 집수구역에서 표준화된 CPI,  $CPI$  = 집수구역에서 비표준화된 CPI,  $\max CPI$  = 관리지역 내 집수구역 중 최대 CPI 점수

⑥ 집수구역 우선순위 산정

위의 식에 따른 결과로 집수구역 우선순위를 산정한 결과는 다음과 같다(표 4-2-32). 집수구역 우선순위 산정 결과 5번, 6번 집수구역의 점수가 높게 나왔다. 이는 다른 지역에 비해 공장밀집도가 높고, 도로의 비율이 높아 오염물질의 유출이 많기 때문인 것으로 판단된다.

표 4-2-32. 집수구역 우선순위 산정 결과

집수구역	1	2	3	4	5	6	7
우선순위점수	3.9	3.9	3.9	3.5	5	5	3.7

반월공단 유역의 7개 토구별 집수구역은 대부분의 지역이 공업지역으로서 매우 유사한 비점오염 배출특성을 갖기 때문에 이와 같은 집수구역 우선순위 산정결과는 신중히 해석되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 집수구역 우선순위와 함께 현장조사를 통해 우선사업지구 후보지를 선정하고 타당성을 검토하는 것이 바람직할 것으로 사료됨.

### (3) 우선사업지구 선정

우선사업지구 선정조건은 다음과 같다.

- 1) 구조적 BMPs를 설치할 여유 공간이 있는 지역(AS, Available Space)
- 2) 사유지보다 국유지 또는 공유지인 지역(OS, Ownership)
- 3) 경사가 완만한 지역(SL, Slopes)
- 4) 오염물질 발생률이 높아 저비용으로 높은 효과를 낼 수 있는 지역 (ESA, Environmentally Sensitive Areas)
- 5) 사회기반시설을 활용할 수 있는 지역(IS, Infrastructure)
- 6) 하천 또는 관망과 연결성이 높은 지역(NW, Network)

위와 같은 조건을 고려하여 현장조사를 통해 우선사업지구 후보지를 선정한 결과는 표 4-2-33에 나타난 바와 같다. 반월공단의 공장지역은 대부분 사유지로 분류되기 때문에 후보지에서 제외하였고, 녹지 및 공원, 공공시설지역, 도로 지역 중에서 후보지를 선정하였다. 각 후보지에 대한 현장조사 결과를 바탕으로 구조적 최적관리방안 시설 설치 타당성을 검토한다.

표 4-2-33. 우선사업지구 후보지

No.	분류	이름	집수 구역	특징
1	녹지 및 공원	연안습지	1번	집수구역 말단, 공간이 넓다
2	녹지 및 공원	별망공원 주차장	1번	주차장, 유역말단
3	녹지 및 공원	별망공원 서쪽	2번	우수관 옆 녹지대, 토사유출방지시설
4	지원시설구역	안산세관창고	3번	집수구역 말단, 주차장, 좁은 면적
5	공공시설구역	제5주구운동장 (원시운동장)	3번	넓은 도로(공단로) 옆, 주차장 등
6	녹지 및 공원	공단삼거리	3번	경사가 급함
7	녹지 및 공원	명광산업 옆 녹지대	4번	우수관 옆 녹지대
8	공공시설구역	제4주구운동장 (능안운동장)	4번	토사유출방지시설
9	공공시설구역	제3주구운동장 (안산시야구장)	5번	토사유출방지시설
10	녹지 및 공원	안산하수처리장 북쪽 녹지대	7번	집수구역말단, 공간이 넓음
11	녹지 및 공원	성곡동 무릉공원	7번	우수관 옆 녹지대, 토사유출방지시설
12	도로	공단고개길	3번	경사가 급함, 6차선 도로, 노상주차구역
13	도로	공단길	3번	6차선 도로, 노상주차구역
14	도로	별망로	1,2,3,4, 5,6,7번	6차선 도로, 노상주차구역
15	도로	해안로	1,2,3,4, 5,6,7번	6차선 도로, 노상주차구역
16	도로	해봉길	7번	6차선 도로, 노상주차구역

우선사업지구 선정기준에 따라 16곳의 후보지를 대상으로 현장 조사 및 정성적 분석기법으로 평가하였다.



그림 4-2-111. 반월공단 비점오염 저감시설 우선사업지구 후보지 조사지점

현장조사 결과는 다음과 같다.

① 연안습지(제1집수구역)

제1집수구역의 말단부분에 위치한 연안습지 지역으로, 부지가 넓어 비점오염 저감시설을 설치하기에 유리할 것으로 판단된다(그림 4-2-112).



그림 4-2-112. 연안습지

② 별망공원 주차장(제1집수구역)

제1집수구역 말단에 위치한 별망공원 주차장은 비교적 부지가 넓은 지역으로, 인근 공원부지의 토사유출이 우려되어 비점오염 저감시설을 설치할 경우 저감효과가 높을 것으로 판단된다(그림 4-2-113).



그림 4-2-113. 별망공원 주차장

③ 별망공원 서쪽(제2집수구역)

제2집수구역의 말단에 위치한 곳으로 공원부지와 인접하고, 일부 지역이 주차장으로 활용되고 있는 지역이다. 부지 면적이 적어 비점오염 저감시설을 설치하기에 부적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-114).



그림 4-2-114. 별망공원 서쪽

④ 안산세관창고(제3집수구역)

제3집수구역 말단에 위치한 지역으로, 비교적 부지가 넓고, 우수관망이 인접하여 넓은 집수구역을 제어할 수 있을 것으로 판단된다(그림 4-2-115).





그림 4-2-115. 안산세관창고

⑤ 제5주구 운동장(제3집수구역)

제3집수구역의 중간부에 위치한 지역으로, 비교적 부지가 넓고, 우수관망과 인접하여 넓은 집수구역을 제어할 수 있을 것으로 판단된다(그림 4-2-116).



그림 4-2-116. 제5주구 운동장(원시운동장)

⑥ 공단삼거리 옆 녹지대(제3집수구역)

제3집수구역의 상단에 위치한 지역으로 공단삼거리를 둘러싸고 있는 녹지대이다. 경사가 높은 지역의 아래에 위치하여 저류 및 침투기능을 할 수 있는 저감시설이 적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-117).



그림 4-2-117. 공단삼거리 옆 녹지대

⑦ 명광산업 옆 녹지대(제4집수구역)

제4집수구역의 중간부에 위치한 지역으로, 도로변 인근에 녹지대가 형성되어 있다. 녹지대의 경사도가 높아 비점오염 저감시설을 설치하기에 부적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-118).



그림 4-2-118. 명광산업 옆 녹지대

⑧ 제4주구 운동장(제4집수구역)

제4집수구역의 상단에 위치한 곳으로, 부지 면적이 비교적 넓은 지역이나, 포함할 수 있는 집수구역의 면적이 좁아 비점오염 저감시설을 설치하기에 부적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-119).



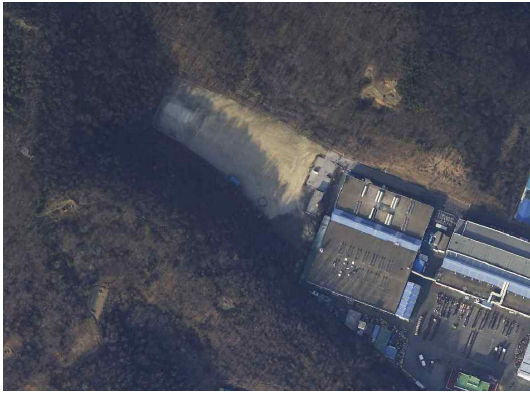


그림 4-2-119. 제4주구 운동장(능안운동장)

⑨ 제3주구 운동장(제5집수구역)

제5집수구역의 상단에 위치한 지역으로, 부지가 넓은 지역이나 노출된 토양으로 강우시 토사유출이 우려된다. 토사유출을 방지하기 위한 비점오염 저감시설이 적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-120).



그림 4-2-120. 제3주구 운동장(안산시 야구장)

⑩ 안산하수처리장 북쪽 녹지대(제7집수구역)

제7집수구역의 말단에 위치한 지역으로 넓은 녹지대를 형성하고 있으나, 경사도가 높아 비점오염 저감시설을 설치하기에는 부적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-121).



그림 4-2-121. 안산하수처리장 북쪽 녹지대

⑪ 성곡동 무릉공원(제7집수구역)

제7집수구역의 중간부에 위치한 지역으로, 비교적 넓은 부지에 녹지대를 형성하고 있고, 인근에 우수관망이 있어 비점오염 저감시설을 설치하기에 적합할 것으로 판단된다(그림 4-2-122).



그림 4-2-122. 성곡동 무릉공원

⑫ 왕복 6차선 이상의 도로(공단길, 공단고개길, 별망로, 해안로, 해봉길)

반월공단 유역에는 5개의 왕복 6차선 도로가 있다. 이 도로의 양 옆에는 노상주차구역이 있어 낮 시간 동안에는 주차장으로 활용된다. 유역 전체를 연결하는 이 도로를 중심으로 침투형 또는 저류형 비점오염 저감시설을 설치할 경우 비점오염 저감에 높은 효과를 보일 것으로 판단된다(그림 4-2-123).



그림 4-2-123. 반월공단 내 6차선 이상의 도로

평가 결과 16곳 중 12곳(연안습지, 별망공원 주차장, 안산세관창고, 제5주구 운동장, 공단삼거리 옆 녹지대, 제4주구 운동장, 제3주구 운동장, 성곡동 무릉공원, 공단길, 별망로, 해안로, 해봉길)을 우선사업지구로 선정하였다(표 4-2-34).



표 4-2-34. 우선사업지구 후보지 평가 결과

우선사업지구 후보지		평가 기준						
		AS	OS	SL	ESA	IS	NW	종합
1	연안습지	상	상	상	상	하	상	Y
2	별망공원 주차장	중	상	상	중	하	중	Y
3	별망공원 서쪽 공터	하	상	상	중	하	중	N
4	안산세관창고	중	상	상	중	하	상	Y
5	제5주구운동장	상	상	상	중	하	상	Y
6	공단삼거리 옆 녹지대	상	상	중	하	하	상	Y
7	명광산업 옆 녹지대	하	상	하	하	하	하	N
8	제4주구운동장	상	상	중	하	하	하	Y
9	제3주구운동장	상	상	중	하	하	하	Y
10	안산하수처리장 북쪽 녹지대	하	상	하	중	하	상	N
11	성곡동 무릉공원	중	상	중	하	하	상	Y
12	공단고개길	중	상	하	하	하	상	N
13	공단길	중	상	상	중	하	상	Y
14	별망로	중	상	상	상	하	상	Y
15	해안로	중	상	상	상	하	상	Y
16	해봉길	중	상	상	중	하	상	Y

(4) 우선사업지구별 구조적 BMPs 선정

구조적 BMPs는 크게 자연형(저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형시설)과 장치형(여과형시설, 와류형시설, 스크린형시설, 응집·침전처리형시설, 생물학적처리형시설)으로 구분할 수 있다(환경부, 비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼, 2008). 구조적 BMPs는 장치형 BMPs보다 자연형 BMPs에 높은 우선순위를 두고, 비교적 면적을 적게 차지하는 시설 중 토양의 투수성과 지하수위를 고려하여 선정하였다. 구조적 BMPs 선정 결과는 표 4-2-35와 같다.

표 4-2-35. 우선사업지구별 구조적 BMPs 선정

우선사업지구	구조적 BMPs	선정 이유	
1	연안습지	인공습지(소규모습지)	기존 습지 활용, 지하수위가 높아 유량확보 유리
2	별망공원 주차장	저류시설(지하저류조)	지하수위가 높음
3	안산세관창고	저류시설(지하저류조)	지하수위가 높음
4	제5주구운동장	저류시설(지하저류조)	지하수위가 높음
5	공단삼거리 옆 녹지대	침투시설(침투저류지)	오픈스페이스가 있음
6	제4주구운동장	침투시설(침투집수정)	지하수위가 낮음
7	제3주구운동장	침투시설(침투집수정)	지하수위가 낮음
8	성곡동 무릉공원	침투시설(침투집수정)	지하수위가 낮음
9	공단길	침투시설(다공성포장)	노상주차구역 활용
10	별망로	침투시설(다공성포장)	노상주차구역 활용
11	해안로	침투시설(다공성포장)	노상주차구역 활용
12	해봉길	침투시설(다공성포장)	노상주차구역 활용

#### 2.4.5. 비구조적 최적관리방안 선정

##### (1) 비구조적 최적관리방안의 유형

비구조적 최적관리방안은 기술적, 공학적, 생태적 기법이 아닌 제도적, 정책적 방법을 통해 비점오염을 제어하는 방법으로, 오염물질이 유역 내 유입되기 전에 처리하여 오염물질의 부하량을 줄이는 방법이다. 미국환경청(USEPA)에서 발간한 문서(Taylor and Wong, 2002, Non-structural stormwater quality BMPs)를 참고하여 비구조적 최적관리방안은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 도시계획관리(Town planning controls) : 개발제한구역 지정, 사전환경영향평가 등 도시 계획 전반에 걸쳐 비점오염을 저감할 수 있는 정책을 제시하는 것
- 전략적 기획과 제도적 관리(Strategic planning and institutional controls) : 비점오염 특별관리지역을 지정하여 안정적이고 장기적인 재원을 지원하고, 관련 전문가들을 투입하여 해당지역에 최적의 계획 및 프로그램을 수립하는 것

- 오염 방지 절차(Pollution prevention procedures) : 도로청소, 낙엽수거, 재활용 프로그램 수립, 자원순환 시스템 구축, 공공시설물 관리, 배수관망 관리 등 오염물질의 발생을 줄이기 위한 구체적인 계획을 수립하는 것
- 교육 및 참여프로그램(Education and participation program) : 비점오염의 중요성을 알리기 위해 미디어를 활용한 홍보를 하거나 특정 대중을 대상으로 교육을 실시하고, 비점오염을 저감하기 위해 시민이 참여할 수 있는 프로그램을 계획하는 것
- 법적 규제(Regulatory controls) : 오염물질 배출에 대한 단속을 강화하고, 각 오염물질별 규제내용을 세분화하는 것

반월공단 유역은 산업단지 특성 상 도시계획 및 제도의 변경을 통한 오염물질 저감보다 오염방지절차 중 도로청소를 중심으로 비구조적 최적관리방안을 선정하여 저감계획을 수립하였다.

## (2) 효과적인 도로청소 방안

### ① 도로청소의 필요성

포장도로의 입자상 물질은 타이어와 도로표면의 마모, 차량 배기가스 배출, 강하분진, 쓰레기, 진흙과 먼지의 유입, 인근지역에서 토사유입, 차량 적재물 누출, 식물과편 유입, 제설제 등을 통하여 침적(deposition)되며 차량에 의해 재비산, 풍식, 도로 외부로 확산, 강우유출수에 의해 이동, 도로청소 등에 의해 제거된다. 도시지역의 도로청소는 도로변에 쌓여 있는 쓰레기, 낙엽, 오염물질 등을 제거하여 도시의 도로를 깨끗하게 유지 및 관리하는 것으로 도시 미관과 공중위생을 개선하기 위한 기본적인 기능을 가진다. 또한 차량운행 등으로 인해 발생하는 도로의 재비산 먼지 저감하기 위한 목적으로 도로에 유입되어 있는 토사, 부스러기, 먼지 등을 제거하거나 유수관리 차원에서 도로에서 유입될 수 있는 오염물(부유물질, 입자상 물질에 포함된 중금속, PAHs 등)을 사전에 제거하기 위해 시행한다. 도시 또는 공단유역의 경우 도로가 거의 불투수층으로 되어 있기 때문에 강우 시 대부분의 노면 퇴적물이 하수도를 통해 하수처리장으로 유입된다. 강우에 의한 유입량이 하수처리장 처리용량을 초과하는 경우 노면 퇴적물은 처리과정 없이 일시에 공공수역으로 유입됨으로서 비점오염원으로 작용한다. 도로에서 발생하는 오염물질은 단위면적당 오염부하가 크며, BOD, COD, SS, TN, TP 등 일반적인 오염물질 뿐만 아니라 각종 유독성 물질을 함유하고 있어 수질에 미치는 영향이 크다. 미국교통부(U.S. Department of transportation)의 자료에 따르면(표 4-2-36), 진공식 도로청소의 총 부유물질 제거효율이 93%를 비롯해 기계식 또는 진공식 도로청소의 비점오염물질의 제거효율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 따라서 도로 퇴적물은 도로청소방법을 통해 오염물 자체를 폐기물 처리 경로로 이동시키거나 평상시 하수도로 유출을 유도하여 단기간에 하천으로 유입되는 것을 최소화할 필요가 있다.

표 4-2-36. 기계식 도로청소와 진공식 도로청소의 처리효율

오염물질	기계식 도로청소 (%)	진공식 도로청소 (%)
Total Solids	55	93
Total Phosphorus	40	74
Total Nitrogen	42	77
COD	31	63
BOD	43	77
Lead	35	76
Zinc	47	85

출처 : <http://www.fhwa.dot.gov/environment/ultraurb/3fs16.htm>

② 현재 반월공단의 도로청소 현황

현재 반월공단 일대의 도로청소는 (주)명승환경에서 담당하고 있다. 청소대상구역은 반월공단 내 4차선 이상의 도로이며, 그 이하의 도로는 지역 주민의 요청 시에만 실시한다. 청소방법은 주로 노면흡입차를 이용한 진공청소방식과 인도 등 미세지역 청소를 위한 인력을 통한 수거방식을 병행하고 있으며, 청소구간당 주 1회(주 6일, 1일 6시간) 청소를 실시한다. 청소차량은 총 3대(8.5톤 흡입차, 8톤 흡입차, 5톤 집게차)이며, 운전원 5명, 수거원 13명 등 총 18명의 청소인력으로 도로청소가 이루어지고 있다. 반월공단 내 주요 도로는 노상주차구역으로 이용되기 때문에 낮 시간대에는 도로 청소가 어려움을 겪고 있으며, 주로 새벽 또는 밤 시간대에 이루어진다. 청소인력과 장비 보유현황은 각각 표 4-2-37, 표 4-2-38과 같다.

표 4-2-37. 인력보유현황

구분	계	정규직	일용직
운전원	5	5	-
수거원	13	11	2

표 4-2-38. 청소장비 현황

구분	용도	대수
8.5톤 흡입차	도로변 폐토사 수집운반	2
5톤 흡입차	노면청소	1
5톤 집게차	무단투기 대형폐기물 등 수집운반	1
1톤 트럭	순찰 및 폐기물 수집운반	1
엔진브러워	낙엽청소장비	8
3륜차	선도차량	2
손수레	인도 및 골목길 가로 청소	13

현재 반월공단 도로청소는 다음과 같은 문제점이 있다.

1. 반월공단의 도로 전 구간에 대한 1일 1회 이상의 청소가 이루어지지 않고 있으며, 청소 주기에 대한 명확한 정보조차 관리가 되지 않고 있다.
2. 물청소 없이 진공청소와 인력 수거만으로 이루어지고 있어, 미세먼지 등 입자성 오염물질의 제거에 어려움을 겪고 있다.
3. 청소장비와 청소인력이 부족하여 효과적인 청소가 이루어지지 않고 있다.
4. 지역별 비점오염 발생 특성을 반영하지 못하고, 비점오염 주요 발생지점에 대한 집중관리가 이루어지지 않고 있다.

### ③ 도로청소 방안

첫째, 반월공단 내 주요도로별로 도로청소를 위한 우선순위를 선정하여 우선순위에 따라 청소방법과 청소주기를 선별적으로 적용한다. 유역 내 지역별 비점오염 발생특성을 반영하여, 비점오염의 발생강도가 높다고 판단되는 지역에 대하여 청소횟수를 늘리거나 청소장비를 확충하는 등 집중관리를 실시한다. 청소구간 우선순위는 GIS자료를 이용하여 도로의 폭, 교통량, 인접지역의 토지이용, 우수관망과의 연결성 등을 고려하여 선정한다.

둘째, 도로청소 시 인력청소와 진공청소와 물청소를 적절히 조합하여 실시한다. 인력을 통한 도로청소는 도로변 중·대형폐기물, 큰 입자의 오염물질, 가로수의 낙엽, 인도변 오염물질, 미세구역의 오염물질 등을 제거한다. 진공청소차를 이용한 도로청소는 도로변 퇴적물과 먼지 또는 토사를 제거하며, 물청소차량을 이용한 도로청소는 주로 도로의 미세먼지를 제거한다. 진공청소와 물청소는 1일 2회 실시하며, 전면청소는 차량통행이 없는 야간에 실시하고, 주간에는 보완청소를 실시한다. 도로청소차량의 종류에는 크게 진공청소차량과 물청소차량으로 나눌 수 있으며, 물청소차량에는 일반살수차량과 살수회수차량이 있으며, 청소차량의 종류와 특성을 고려하여 도로 상황에 맞게 적절하게 배치하여 청소의 효율성을 높일 수 있다(표 4-2-39). 효과적인 청소차량의 주행속도는 진공청소차량의 경우 10 km/h, 물청소차량의 경우 12.5 km/h이며, 물 운반 중인 물청소차량은 50 km/h 이다. 진공청소와 물청소를 병행할 때에는 진공청소차량이 선행하고 물청소차량이 뒤를 따르는 대형을 유지하며 각 장비의 성능이 충분하게 발휘되도록 한다. 쓰레기와 토사는 측구와 중앙선 측의 화단경계에 퇴적되고, 먼지는 도로 전면에 누적되는 특성을 반영하여 진공청소장비와 물청소장비의 담당노면을 결정한



다. 미세먼지를 제거하기 위해 충분한 양의 물을 살수한다. 단순살수차량의 경우에는 적어도 노면 1 km<sup>2</sup> 당 480 m<sup>3</sup> 이상의 물을 살수하거나 물 1 m<sup>3</sup>으로 600 m 이내의 차선(폭 3.5 m)을 청소한다. 살수회수차량의 경우에는 이 보다 적은 양의 살수도 가능하다. 많은 비가 내린 다음날, 살수장치가 결빙될 수 있는 영상 5°C 미만의 기온, 노면 결빙이나 제설 시, 일요일 및 법정 휴식일 등에는 물청소를 중지 또는 청소시간 제한이나 변경과 같은 청소방법 변경도 가능하다.

표 4-2-39. 도로청소장비의 종류와 특징

장비	역할	비고
진공청소차량	<ul style="list-style-type: none"> <li>쓰레기에서 먼지까지 다양한 이물질 제거</li> <li>모든 도로에 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>수거물을 폐기물 처리 경로에서 처리</li> <li>폭이 제한되고 속도 느림(10 km/h 이하)</li> <li>주차 도로 청소 불가</li> </ul>
일반살수차량	<ul style="list-style-type: none"> <li>직경 60 μm 이하 주로 제거</li> <li>구배형성 도로에 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세입자를 하수처리장으로 분산 유입</li> <li>상대적으로 많은 물 사용</li> <li>시간당 15 km 이하의 작업 속도</li> <li>주차 도로 부분 청소 가능</li> <li>1 km 청소에 0.564 리터 경유 소비</li> </ul>
살수회수차량	<ul style="list-style-type: none"> <li>직경 60 μm 이상의 입자도 제거 가능</li> <li>광로, 구배불량 도로에 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>용수 절약 가능</li> <li>회수 용수의 적절한 처리 문제 상존</li> <li>시간당 15 km 이하의 작업 속도</li> <li>주차 도로 부분 청소 가능</li> <li>1 km 청소에 0.753 리터 경유 소비</li> </ul>
고정식 살수장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>직경 60 μm 이하 입자 주로 제거</li> <li>교통혼잡도로, 구배형성 도로에 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세입자를 하수처리장으로 분산 유입</li> <li>교통 방해 최소화</li> <li>시설 파손 등에 대한 철저한 대책 필요</li> <li>주차 무관</li> </ul>
브러시 장착	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 찌든 때 제거</li> <li>강우 시에 효과적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>살수차량 등에 부착 가능</li> </ul>

셋째, 효율적인 도로청소를 위해 적절한 청소차량의 대수를 확보한다. 반월공단의 4차선 이상의 총 도로길이는 138.1 km이며, 청소주기에 따른 청소차량의 소요대수는 표 4-2-40과 같다. 현재 반월공단의 경우 중형진공청소차량 1대를 이용하여 7일 1회 청소를 실시하고 있다. 청소주기를 줄이고 물청소를 실시하기 위해서는 진공청소차량과 물청소차량의 추가 배정이 필요하다.

표 4-2-40. 청소주기에 따른 청소차량종류별 필요한 대수

청소차량종류	대형진공청소차량	중형진공청소차량	물청소차량
1일 작업시간 (실제)	6시간 (50분 작업, 10분 휴식)	6시간 (50분 작업, 10분 휴식)	3시간 (1시간 물보충 포함)
작업속도	10 km/hr	5 km/hr	15 km/hr
1일 작업거리	50 km	25 km	30 km
1일 1회 청소	2.8	5.5	4.6
3일 1회 청소	0.9	1.8	1.5
7일 1회 청소	0.4	0.8	0.7

참고문헌 : 김덕준(2006) 용인시 가로청소 효율화 방안, 용인발전연구센터

넷째, 물청소에 필요한 물을 근접한 거리에서 어떻게 확보하느냐가 물청소의 효율에 영향을 미친다. 가까운 곳에 급수원을 확보할수록 7.5톤 차량과 같이 모든 도로에서 원활하게 청소작업을 할 수 있는 규모의 차량으로도 16톤 차량과 유사한 양의 청소를 할 수 있다. 청소차량의 수는 운전원의 수를 의미하므로 청소차량이 줄면 인건비도 동시에 줄어들게 되고, 차량의 유지관리비 및 에너지 소비가 줄어드는 장점이 있다. 청소용수로 이용할 수 있는 급수원에는 지하철 용출수, 하수처리장 고도처리수, 개발지하수, 소방용수 등이 있다. 지하철 용출수는 펌프와 에너지만 부담하면 되는 저렴한 용수원이지만 지역인접성의 한계가 있고, 지하철 선로 및 역사 물청소의 필요성이 높아지면서 자체수요가 늘고 취수가 불편하여 앞으로 도로청소용으로서 추가 확보가 어려울 전망이다. 하수처리장 고도처리수는 처리장 시설 내 청소를 위해 하수처리수의 일부를 별도로 생산하여 활용하고 있는데, 수질이 양호하고, 가격이 저렴한 장점이 있으며, 반월공단의 경우 인근에 안산하수처리장이 있어 이를 이용하면 유리한 측면이 있다. 개발지하수는 초기개발비만 부담하면 다음부터는 전기료와 펌프교체 등의 비교적 저렴한 비용으로 확보할 수 있는 급수원이지만, 과정을 개발하지 못하는 곳이 많고 장기간 활용하면 수량이 고갈되며 수질이 나빠지는 지역이 많으며, 특히, 반월공단 특성상 매립지 성상의 토질에서 지하수를 개발하기가 쉽지 않을 전망이다. 소방용수는 도의적, 비용적인 문제가 있으나 어떤 현장에서도 인근에 위치하고 이를 활용할 경우 장비수를 줄이고 관련비용도 줄이는 장점이 있으며, 외국에서는 수도관 내 수질악화를 막기 위해 퇴수를 도로청소에 활용하는 사례가 있으며, 국내에서도 수질악화현상이 보고되고 있다.

다섯째, 청소구간의 차량주차정책을 통해 청소효율을 높일 수 있다. 도로청소의 가장 큰 방해요인은 도로변에 주차된 차량들이다. 특히, 반월공단의 경우 주요도로의 일부를 노상주차구역으로 활용하고 있어 청소효율을 저감시키는 원인이 되고 있다. 이를 해결하기 위해 도로청소의 효율성과 주차공간의 확보를 조화할 수 있는 주차정책이 필요하다. 먼저, 도로청소기간 동안 주청소대상구역에 대해 주차제한을 실시해야 한다. 다음으로, 주청소대상구역에 청소대상구역임을 알리는 표지판을 설치하고, 청소구간과 시간대를 알릴 수 있도록 한다.

## 2.4.6. 유역모델링을 이용한 최적관리방안 평가

### (1) 도로청소 효과분석을 위한 시나리오 계획

청소 주기와 청소 방법에 따른 도로청소효과를 분석하기 위해 표 4-2-41과 같은 시나리오 계획을 수립하였다. 현재 반월공단에는 7일 1회 진공청소만 실시하고 있다. 청소주기를 3일 1회, 1일 1회로 줄이고, 진공청소와 물청소를 병행 실시할 때 청소효과를 분석하였다. 물청소는 진공청소가 선행 수행되고 난 후 실시하는 것으로 분석하였다.

표 4-2-41. 반월공단 도로청소 시나리오 계획

시나리오	청소주기	청소방법	
		진공청소	물청소
현재조건	7일 1회	○	X
1	3일 1회	○	X
2	1일 1회	○	X
3	3일 1회	○	○
4	1일 1회	○	○

### (2) 시나리오 결과 분석

반월공단 제4토구의 집수구역을 대상으로 각 시나리오별 오염물질 저감효과를 모의하였다. 도시유역의 불투수 지표면에 퇴적되는 오염물질의 종류를 총 부유물질, 입자성 탄소, 입자성 질소, 입자성 인으로 정의하였으며, 각각의 입자크기는 50 um, 400 um, 1500 um, 2500 um 등 총 4가지로 구분하였다.

청소방법과 청소주기에 따른 오염물질별 저감효과는 비점오염유출모형인 CAMEL 2.6을 이용하여 분석하였다. 분석 결과는 표 4-2-42 ~ 4-2-45, 그림 4-2-124 ~ 4-2-127과 같다. 먼저, 도로청소를 실시하는 않는 경우를 기준으로 각 시나리오별 총 부유물질 월류량을 평가한 결과를 살펴보면 표 4-2-42, 그림 4-2-124와 같다. 진공청소를 7일, 3일, 1일 간격으로 실시할 경우 각각의 부유물질의 월류량이 청소를 실시하는 않을 경우를 기준으로 40.5%, 60.4%, 82.5% 감소하는 것으로 분석되어, 청소 간격이 줄어들수록 부유물질 저감효과 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 진공청소와 함께 물청소를 실시할 경우에는 3일 간격으로 진공청소만 실시할 경우 60.4% 저감률이 물청소를 함께 실시할 경우 60.0%로, 1일 간격의 경우 진공청소만 실시할 경우 82.5%에서 79.6%로 부유물질에 대한 월류량의 저감효과가 거의 없거나 오히려 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 물청소를 실시할 경우 노면에 쌓인 입자성 물질이 우수관망으로 유입되어 노면은 깨끗해지나, 물청소로 관망에 유입된 입자성 물질이 관망에 축적되고 이후 강우에 의해 하천으로 월류되어 물청소를 실시하여도 효과를 나타내지 못한 것으로 분석된다.

표 4-2-43와 그림 4-2-125은 청소방법에 따른 입자성 탄소의 월류량 저감효과를 보여준다. 입자성 탄소의 경우에는 진공청소와 물청소를 병행할 경우 3일 간격의 청소를 실시할 경우 약 6%, 1일 간격으로 실시할 경우에는 3% 정도의 저감효과가 증가하는 것으로 분석되었다. 표 4-2-44와 그림 4-2-126은 청소방법에 따른 입자성 질소의 월류량 저감효과를 보여준다. 입자성 질소의 경우에는 진공청소와 물청소를 병행할 경우 3일 간격의 청소를 실시할 경우 약

10%, 1일 간격으로 실시할 경우에는 6% 정도의 저감효과가 증가하는 것으로 분석되었다. 표 4-2-45와 그림 4-2-127은 청소방법에 따른 입자성 인의 월류량 저감효과를 보여준다. 입자성 인의 경우에는 진공청소와 물청소를 병행할 경우 3일 간격의 청소를 실시할 경우 약 12%, 1일 간격으로 실시할 경우에는 6% 정도의 저감효과가 증가하는 것으로 분석되었다.

이상의 분석결과를 종합하면, 총부유물질의 경우 진공청소와 함께 물청소를 병행하여 실시하는 것이 월류량에 큰 저감효과를 보여주지 않는 것으로 나타났으나 입자성 탄소, 질소, 인의 경우에는 진공청소와 물청소를 병행하여 실시할 경우 월류량 저감효과가 증가하는 것으로 분석되었다. 특히 3일 간격으로 진공청소와 물청소를 병행할 경우 3일 간격으로 진공청소만을 실시하는 경우에 비해 저감효과 증가율이 큰 것으로 분석되었다.

표 4-2-42. 청소주기와 청소방법에 따른 총 부유물질의 월류량 저감효과(%)

입자크기	진공청소			진공청소 + 물청소	
	7일 간격	3일 간격	1일 간격	3일 간격	1일 간격
50 $\mu\text{m}$	29.0	47.9	72.4	46.7	64.5
400 $\mu\text{m}$	40.0	60.3	82.9	57.7	78.8
1500 $\mu\text{m}$	48.1	68.4	88.2	73.6	92.3
2500 $\mu\text{m}$	50.2	69.9	88.8	74.1	92.3
total	40.5	60.4	82.5	59.8	79.6



그림 4-2-124. 청소주기와 청소방법에 따른 총 부유물질의 월류량 비교

표 4-2-43. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 탄소의 월류량 저감효과(%)

입자크기	진공청소			진공청소 + 물청소	
	7일 간격	3일 간격	1일 간격	3일 간격	1일 간격
50 $\mu\text{m}$	31.5	52.0	76.1	56.9	77.8
400 $\mu\text{m}$	47.5	66.5	85.7	75.9	91.0
1500 $\mu\text{m}$	51.4	68.5	88.1	73.4	91.6
2500 $\mu\text{m}$	45.2	62.2	84.1	67.7	88.9
total	39.5	58.9	80.9	65.1	84.0

Particulate C 월류량의 변화

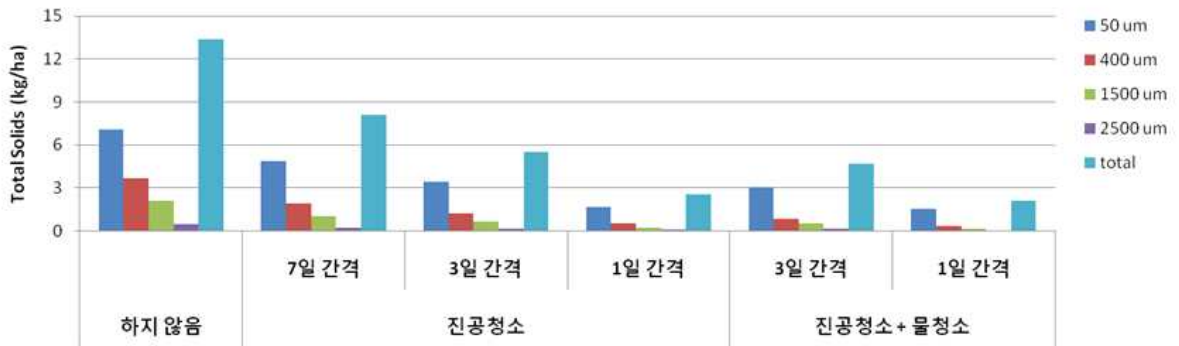


그림 4-2-125. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 탄소의 월류량 비교

표 4-2-44. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 질소의 월류량 저감효과(%)

입자크기	진공청소			진공청소 + 물청소	
	7일 간격	3일 간격	1일 간격	3일 간격	1일 간격
50 $\mu\text{m}$	33.0	51.0	73.0	64.4	78.9
400 $\mu\text{m}$	40.5	58.1	80.1	65.5	87.1
1500 $\mu\text{m}$	40.9	58.8	83.0	65.0	87.5
2500 $\mu\text{m}$	40.4	57.7	81.7	63.8	87.1
total	36.9	54.7	77.0	64.8	83.2

### Particulate N 월류량의 변화

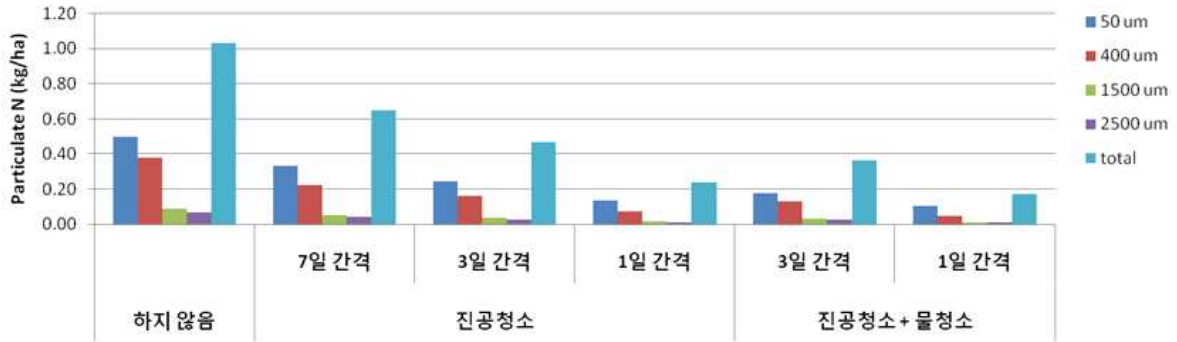


그림 4-2-126. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 질소의 월류량 비교

표 4-2-45. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 인의 월류량 저감효과(%)

입자크기	진공청소			진공청소 + 물청소	
	7일 간격	3일 간격	1일 간격	3일 간격	1일 간격
50 $\mu\text{m}$	34.7	53.9	75.2	66.1	80.8
400 $\mu\text{m}$	36.1	53.7	77.6	61.6	85.8
1500 $\mu\text{m}$	38.3	56.3	81.6	62.6	86.3
2500 $\mu\text{m}$	-	-	-	-	-
total	34.8	53.9	75.4	65.8	81.2

### Particulate P 월류량의 변화

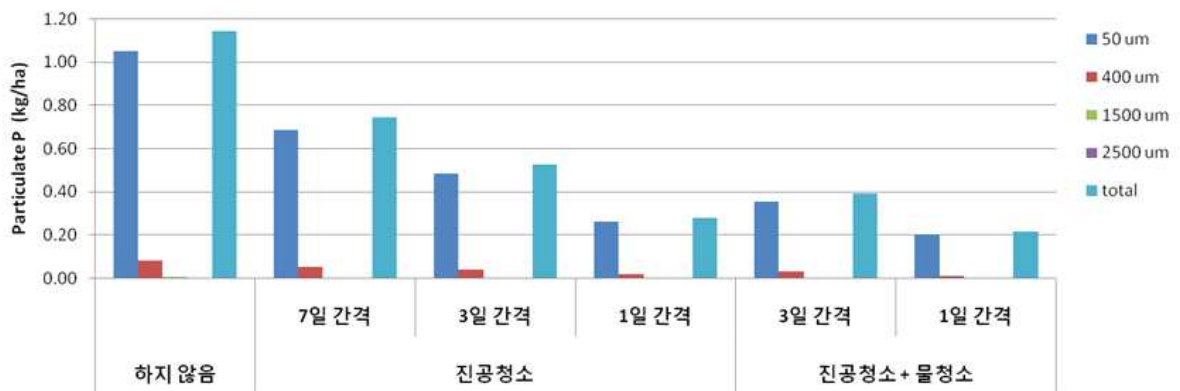


그림 4-2-127. 청소주기와 청소방법에 따른 입자성 인의 월류량 비교

# 제 3 절 비점오염 저감을 위한 최적관리기법(BMPs) 시범 적용 및 평가

## 1. 연구 배경 및 목적

시화호 종합관리계획에 의한 수질개선사업은 생활하수와 산업단지의 공장폐수에 대한 처리 등 점오염원 중심으로 이루어 왔으며, 강우시 하천을 통해 유입되는 비점오염원의 발생저감대책이 미진했던 것이 사실이다. 2단계 시화호 종합관리계획은 수질 개선 목표 달성을 위하여 조력발전소 건설을 통한 해수유통의 확대와 함께 유역으로부터 강우시에 유입되는 비점오염 부하의 저감에 주안점을 두고 추진되고 있다. 시화호의 평균 수질은 '97년 대비 크게 개선되었으나, 시화 조력발전소의 준공이 지연되고, 비점오염원에 대한 관리가 미흡한 상태이기 때문에 여전히 시화호의 수질은 목표에 미달한 상태이며, 시화호 상류의 수질은 연중 부영양화가 심각한 상태이다. COD의 경우 상류지역에서는 여전히 10~20 mg/L으로 높게 나타나고 있으며, 시화호 상하류간의 뚜렷한 농도 경사가 나타나고 있다. 이는 시화호 상류 지역이 안산시와 화성시로부터 유입되는 하천수의 영향을 직접적으로 받고 있으며, 하천으로부터 유입되는 비점오염물질들이 시화호 배수갑문에서의 외해수와의 혼합에 의해 충분히 희석되지 못하기 때문이다(해양수산부, 2006).

2011년부터 시화호 조력발전소가 가동되기 시작하면 해수유통량이 크게 확대되고, 평균적인 수질은 목표를 달성할 것으로 예상되나, MTV와 남측간석지 등 유역의 개발이 계속되고 있으므로 근본적으로 유역관리를 통해 비점오염 부하를 줄이는 것이 필요하다. 수변으로부터 가까운 시화호 간석지가 개발되면, 비점오염의 영향은 가중될 수밖에 없다. 또한, 안산천, 화정천, 시화공단 간선수로 등 시화호 유역 하천들을 자연형 하천으로 바꾸려는 계획이 추진되고 있으므로, 비점오염의 유입을 차단하지 않을 경우 자연형 하천 복원 사업의 성공을 기대하기 어렵다.

그동안 본 연구에서는 시화호로 유입되는 비점오염물질의 처리를 위한 기반 기술을 확보하는데 주력해 왔다. 본 연구에서는 시화호 유역인 안산천, 화정천, 신길천에서 최적관리기법(best management practices, BMPs) 적용을 위한 연구와 시범사업을 수행해 왔다. 특히, 반월공단지역은 비점오염관리지역으로 지정될 가능성이 높은 지역으로서 향후 국내의 연안 비점오염 관리를 위해서는 체계적이고 과학적인 접근이 필요한 실정이다. 비점오염 관리지역 지정 이후 실지로 비점오염부하를 저감하기 위해서는 유역의 비점오염원 조사, 비점오염 부하량의 추정, 중요 오염원 지역(critical source area)의 파악, 비점오염 모델의 구축 등을 통해 합리적인 비점오염 저감시설 설계가 이루어져야 하기 때문이다.

비점오염은 대상 유역에 걸쳐 광범위하게 분포함과 동시에 그 배출 양상이 유역특성 및 강우특성에 따라 공간적, 시간적으로 변동하기 때문에 비점오염 처리를 위한 대상지역을 선정하고, 처리기법을 선택하여 설계하는 과정에서 과학적이고 합리적인 방법론이 필요하다(해양수산부, 2006). 국내에서는 아직 저영향개발(Low Impact Development, LID)의 개념이 신도시 개발시 설계에 반영된 적이 없을 뿐만 아니라, 체계적인 최적관리기법의 설계에 따라 비점오염 저감시설이 설치되지 못하고 있다.

본 연구에서는 안산천 유역의 송호중학교를 국토해양부의 시화호 해양환경교육 시범학교로 지정하여 학교 부지내에 비점오염 저감시설을 설치하였으며, 이를 통해 최적관리기법과 저영향개발을 통한 물 순환생태도시 조성을 위한 홍보와 교육 거점으로 활용중에 있다. 송호중학교에는 우수침투시설과 우수 차집 저장시설, 침투여과시설, 식생여과시설, 생태연못, 관수시설, 옥상녹화시설 등이 설치되었다. 본 연구에서는 송호중학교에 설치된 교육시설을 운영하면서 비점오염관리에 대한 본격적인 홍보와 교육을 통해 과학적인 최적관리기법의 시행을 위한 인식 개선을 유도해 왔다.

본 연구에서는 그동안 운영해 오던 신길천 하천 정화시설이 신길천 하천 정비사업에 의해 보가 철거됨에 따라 구조를 변경하여 도로에서 유입되는 비점오염물질을 정화하는 내부순환형 인공습지를 조성함으로써 도로 비점오염을 저감하는 새로운 기술을 현장에서 시험하고자 하였다. 내부 순환형 인공습지는 합류식 하수관거 지역의 우수나 고농도의 초기우수를 시설내에 저류했다가 식생 여과층을 통해 반복 여과하는 최신 공법의 수직흐름형 인공습지(vertical flow constructed wetland)로서 그동안 문제시되어 온 인공습지의 수질 정화효과 저하의 문제를 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 신길천 식생정화습지 구조변경

### 2.1. 신길천 식생정화습지 조성 추진배경

하천으로 유입된 오염물질을 판형 접촉 여재를 이용해 직접 처리하는 방식인 신길천 하천 정화시설은 상류지역의 미처리 하수와 비점오염물질 처리를 목적으로 '04년부터 운영되어 왔으나, 상류 시흥시 거모동 지역의 하수 차집 관거공사가 시행됨에 따라 하천수 직접 정화의 최소 수질 수준인 BOD<sub>5</sub> 20~30ppm 이하로 하천 수질이 개선되었다. 또한, 하천정비사업의 일환으로 하천정화시설과 인접한 농업용 취수보를 철거하게 됨에 따라 본 시설로 하천수가 유입되지 않게 됨으로써 취수구의 상류 이설 등 운영계획 변경이 불가피한 실정이었다.

평상시 하천수의 BOD 감소로 하천수의 직접정화보다 오염된 초기우수가 하천으로 유입되지 않도록 하는 비점오염 방지시설의 필요성이 증가함에 따라 국토해양부와 안산시는 본 시설물을 인공습지와 침투형 저류시설을 활용한 비점오염저감시설로 내부 구조를 변경하여 유역으로부터의 비점오염 부하발생량을 감소시키는 비점오염 저감기능을 강화한 처리시설로 활용하기로 하였다. 인공습지와 침투형 저류시설은 비점오염 저감시설로 선진국에서 널리 사용되어 오고 있으며, 국내에서는 아직 도입단계에 있어 최적관리기법(BMPs)으로서 시범 적용할 경우 시화호 유역의 소하천에 적용되어 확대 전파가 용이할 것으로 전망된다.

그동안 수질정화 목적으로 하천에 설치된 지표흐름형 인공습지(surface flow constructed wetland)는 설치후 시간이 지남에 따라 수질 정화기능이 저하되고 계절에 따라서는 유입수보다 유출수의 농도가 높은 역전현상이 나타나는 등 문제가 발생해 왔다. 외국에서는 인공습지의 수질정화기능을 개선하기 위해서는 지하흐름형(subsurface flow) 인공습지가 시도되어 왔으며, 최근에는 지하흐름형 인공습지공법중에서도 수평 흐름형보다는 처리효율이 높은 수직 흐름형 공법이 많이 연구되고 있다.



본 연구에서는 신길천 하천정화시설을 수직흐름형 식생정화습지로 개조하여 비점오염 처리에 활용하기 위하여 기존 시설을 최대한 이용하면서 새로운 공법을 시험할 수 있도록 설계하였다. 수직흐름 방식의 내부순환형 식생정화습지 조성을 위한 공사 내역은 표 4-3-1과 같다.

표 4-3-1. 신길천 식생정화습지 조성 공사 내역

구분	사양 및 규격	용량(m³)	내용
① 유입관	PE 이중벽관	-	▶ 인근지역의 우수관망을 이용하여 중간맨홀에서 본 시설로 유입관 설치
	Ø300mm x 10m(L)		
② 기계실	CON'C 구조물	19.2	▶ 기계, 배관, 제어반을 설치하며 기기류 운영관리
	3.2m(W)x3.0m(L)x2.0m(H)		
③ 펌핑조	CON'C 구조물	18.9	▶ 최초 유입조로 스크린 및 침사조로 구성되며 펌핑조 펌프에 의해 분배조로 이송
	4.2m(W)x3.0m(L)x1.5m(H)		
④ 분배조	CON'C 구조물	3.6	▶ 2차 스크린조로 펌핑조에서 이송된 초기우수를 우수저류조로 이송
	1.0m(W)x2.0m(L)x1.8m(H)		
⑤ 우수저류조	CON'C 구조물	86.4	▶ 초기우수를 일정기간 저장
	2.0m(W)x24.0m(L)x1.8m(H)		
⑥ 식생여과층	차갈층, 모래여과층, 식생매트	39.0	▶ 우수저류조에 저장된 초기우수에 에어리프트(에어펌프)로 식생여과를 통해 유기물처리
	4.2m(W)x12.2m(L)x0.8m(H)		
⑦ 방류조	CON'C 구조물	6.0	▶ 정화된 초기우수를 방류펌프에 의해 하천으로 방류
	2.0m(W)x1.0m(L)x3.0m(H)		
⑧ 비상급수조	CON'C 구조물	9.2	▶ 갈수기 대비 대책으로 수중펌프를 이용해 식생여과층으로 급수
	1.0m(W)x4.0m(L)x2.3m(H)		

## 2.2. 기본 설계 및 실시설계

안산시 지리정보시스템(GIS) 자료, 신길천 하천정화시설 인근 지역의 우수관망도를 토대로 초기우수를 저류하고자 계획구역 내 설치된 우수관과 우수맨홀 깊이를 측량하였으며, 시화호 유역으로 비점오염 부하발생량을 최소화하기 위해 기초조사, 현장조사 등 실시계획을 수립하였다. 우수관망도는 그림 4-3-1과 같으며 이를 토대로 한 계획평면도는 그림 4-3-2과 같다.

초기우수를 저류하고자 하는 구역의 우수관거 길이는 500m이며, 하천으로 유입되는 불투수층의 도로 폭은 8.0m로서 면적은 0.4ha 정도이다. 그림 4-3-3에서 보는 바와 같이 계획구역의 우수맨홀은 총 9개소로 우수관의 재질은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE, High Density Polyethylene)으로 되어 있으며 관경은 구역별로 Ø400mm~Ø800mm로 설치되어 있다.

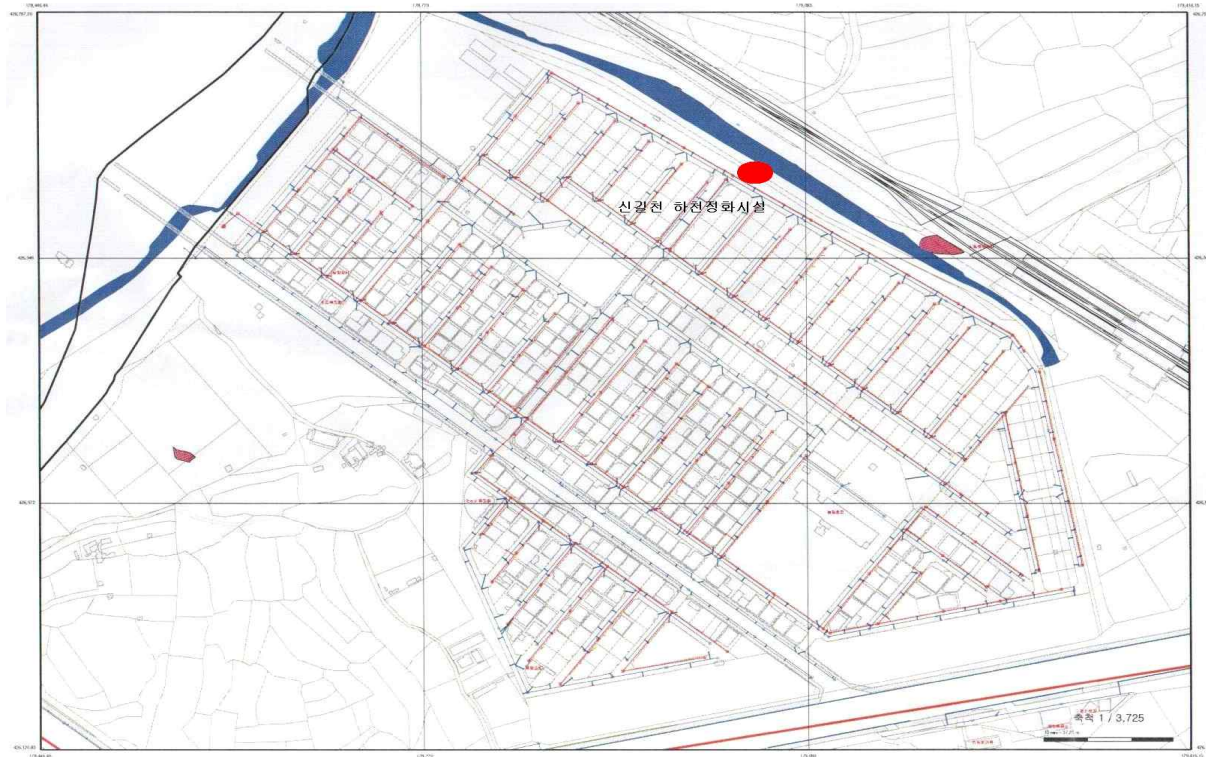
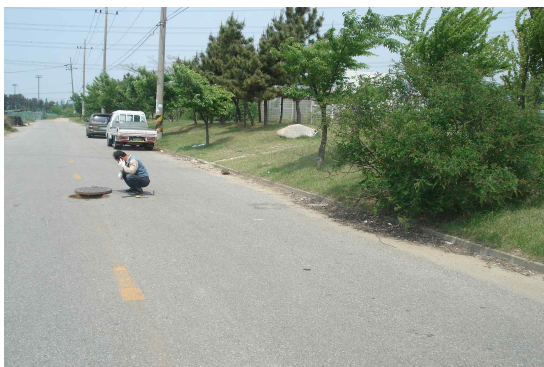


그림 4-3-1. 신길천 인근 우수관망도



(a) 지표면 경사도 조사



(b) 우수맨홀 조사

그림 4-3-2. 우수관망 확인 및 우수맨홀 내부모습

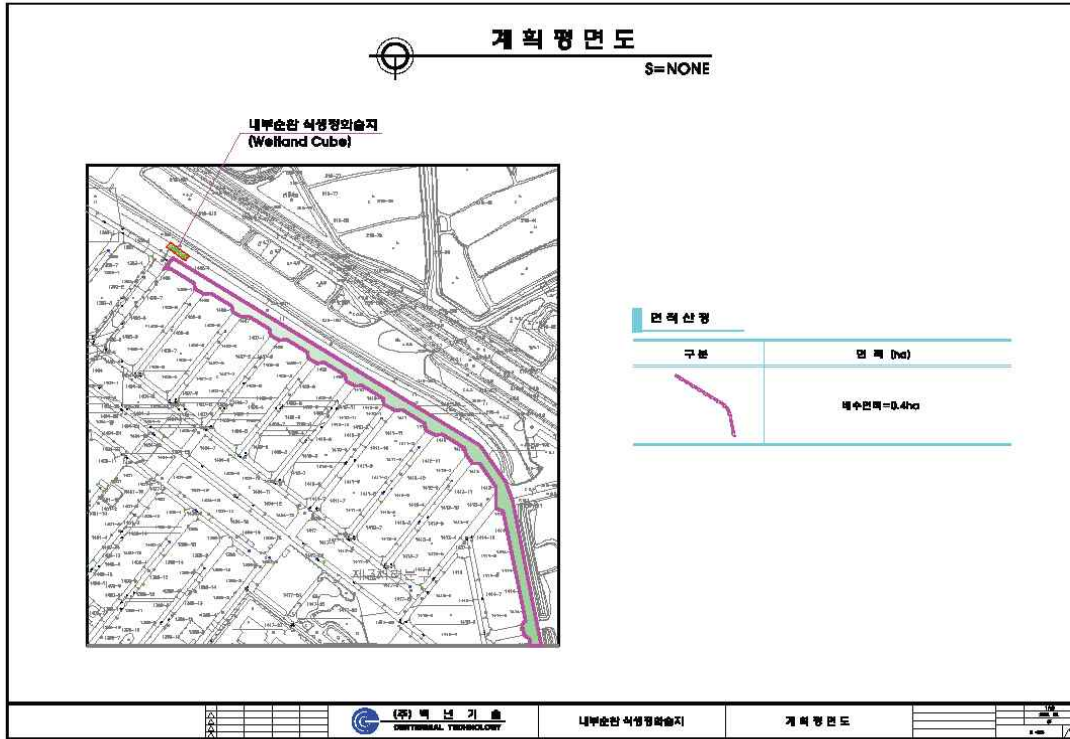


그림 4-3-3. 계획평면도

## 2.3. 용량계산서

### 2.3.1. 자연형 비점오염저감시설 수처리용량

표 4-3-2. 수처리 용량계산서

구분	용량계산
1. 설계조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 수처리용량(WQV) : 34.4m<sup>3</sup>/hr</li> <li>▶ 누적유출고 환산 설계 강우량(P1, mm)</li> <li>▶ 85%확률강우량(P,mm) : 10mm</li> <li>▶ 유출계수(Rv)=0.05+0.009(I)</li> <li>여기서, I=배수구역 불투수층(90%)</li> <li>▶ 배수 면적(A, ha) : 0.4</li> </ul>
2. 용량계산 - 설계 수질 처리 용량(WQV)	$WQV = (P1) \times (A) \times 10 = (P) \times (Rv) \times (A) \times 10$ $= 10 \times 0.86 \times 0.4 \times 10$ $= 34.4 \text{ m}^3 \text{ 이상}$
3. 설계검토	-수처리용량 산정(여유량 고려) $Ve > Vm = 40 \text{ m}^3 > 34.4 \text{ m}^3, \text{ OK}$

### 2.3.2. 전처리시설(펌핑조)

전처리시설로 스크린조, 침사조(펌핑조)를 계획하였으며 펌핑조 내 상등수를 분배조로 이송하고 침전된 토사나 실트 등은 BY-PASS를 할 수 있는 கே이트 밸브를 설치하여 제거할 수 있도록 설계하였다.

표 4-3-3. 펌핑조 용량계산서

구 분	용 량 계 산
1.설계조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 설계유량(Q)                    40 m<sup>3</sup>/hr</li> <li>▶ 체류시간(T)                    0.5hr 이상</li> </ul>
2.용량계산	
-설계유량(Q)	Q = 40 m <sup>3</sup> /hr
-필요용량(Vm)	Vm = Q x T = 20 m <sup>3</sup> 이상
3.시설규격	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 형 식                    : 장방향 콘크리트조</li> <li>▶ 폭 (W)                    : 4.2m</li> <li>▶ 길 이(L)                    : 3.0m</li> <li>▶ 높 이(H)                    : 3.1m</li> <li>▶ 유효수심(He)                : 2.0m</li> <li>▶ 유효용량(Ve)                : 21.42 m<sup>3</sup> (하부여유고0.3m 제외)</li> </ul>
4.설계검토	
-유효용량 검토	Ve > Vm = 21.42 m <sup>3</sup> > 20 m <sup>3</sup> , OK
-실체류시간검토 (HRT)	HRT = Ve ÷ Q = 0.54hr

### 2.3.3. 내부순환형 식생정화습지

식생정화습지의 설계조건은 표면적부하 0.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·day, 식생토양여과층 0.8m, BOD 제거율 80%, BOD 제거반응속도상수 1.35으로 가정하여 표 4-3-5와 같이 설계용량을 계산하였다.

표 4-3-4. 식생정화습지 설계기준

항 목	설 계 기 준	비 고
표면적 부하(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·day)	0.2	
식생 토양 여과층 (m)	0.8	
BOD 제거율 (%)	80	
BOD 제거 반응속도 상수 20℃ 기준 (day-1)	1.35	최대 10% 입자크기, 조립모래 2mm



표 4-3-5. 식생정화습지 용량계산서<계속>

구 분	용 량 계 산
3.시설규격	<p>-상부 인공습지</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 형 식 : 장방향 식생여과대</li> <li>▶ 폭 (W) : 4.2m</li> <li>▶ 길 이(L) : 11.8m</li> <li>▶ 높 이(H) : 0.3m</li> <li>▶ 유효수심(He) : 0.2m</li> <li>▶ 식생면적(Am) : 49.6㎡</li> <li>▶ 유효용량(Ve) : 9.9㎥</li> </ul> </div> <p>-하부 빗물저류조</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 형 식 : 장방향 콘크리트조</li> <li>▶ 폭 (W) : 4.2m</li> <li>▶ 길 이(L) : 11.8m</li> <li>▶ 높 이(H) : 2.0m</li> <li>▶ 유효수심(He) : 1.8m</li> <li>▶ 유효용량(Ve) : 59.5㎥ (하부여유고0.6m 제외)</li> </ul> </div>
4.설계검토	<p>-상부 인공습지 면적검토</p> <p style="padding-left: 40px;">Am &gt; As      49.6㎡ &gt; 49.13㎡ , Ok (적정 설계)</p> <p>-하부 빗물저류조 용량검토</p> <p style="padding-left: 40px;">Ve &gt; Q      59.5㎥ &gt; 40㎥ , Ok (적정 설계)</p>

### 2.3.4. 방류조 및 비상급수 저류조

표 4-3-6. 방류조 및 비상급수 저류조 시설규격

구 분	용 량 계 산
1. 시설규격	<p>-방류조</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 형 식 : 장방향 콘크리트조</li> <li>▶ 폭 (W) : 2.0m</li> <li>▶ 길 이(L) : 1.0m</li> <li>▶ 높 이(H) : 3.0m</li> <li>▶ 유효수심(He) : 1.8m</li> <li>▶ 유효용량(Ve) : 3.6<sup>m</sup></li> </ul> </div> <p>-비상급수저류조</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 형 식 : 장방향 콘크리트조</li> <li>▶ 폭 (W) : 1.0m</li> <li>▶ 길 이(L) : 4.0m</li> <li>▶ 높 이(H) : 3.0m</li> <li>▶ 유효수심(He) : 2.3m</li> <li>▶ 유효용량(Ve) : 9.2<sup>m</sup></li> </ul> </div>



## 2.4. 계측제어설비

내부순환형 식생정화습지는 시스템 자체가 소규모로 현장제어 설비를 PLC SYSTEM을 통한 무인 자동운전이 가능하도록 구성하였으며, 향후 원격감시가 가능하도록 통신관련 설비를 추가 설치하였다. PLC를 이용한 감시제어 시스템은 H/W와 S/W 구성되어 있고 장점으로 제품의 노화 또는 고장 시 국내에서 용이하게 구입하여 교체할 수 있으며 성능이 향상된 신개발품을 사용함으로써 일부 부품의 교체만으로 점차적인 Upgrade가 가능하여 신뢰성 및 기능 향상을 기대할 수 있다. 또한 사용자 의도대로 시중의 제품을 선정하여 시스템을 구성할 수도 있다. 본 사업의 제어반 설계도면은 그림 4-3-4와 같다.

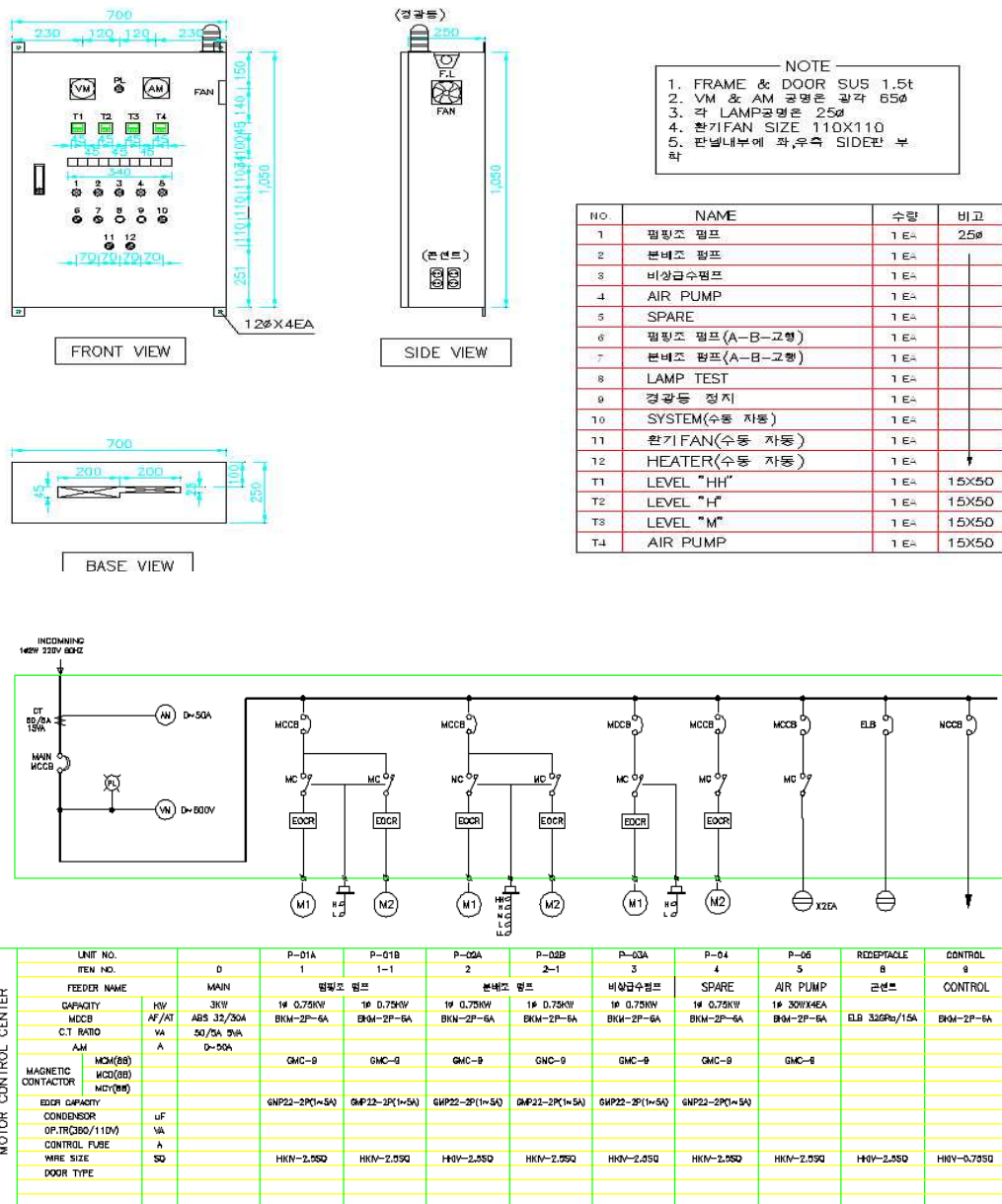


그림 4-3-4. 자동제어반 외형도 및 내부 회로도



## 2.5. 내부순환형 식생정화습지 조성

인공습지와 침투여과형 저류시설은 선진국에서 비점오염 저감에 널리 적용되는 최적관리기법(BMPs)중의 하나로서 본 연구에서는 기존 시설물을 개조하여 인공습지와 침투여과를 접목시킨 내부순환형 식생정화습지를 조성하였다. 이 공법은 인근지역의 불투수면으로부터 우수관으로 유입된 비점오염물질을 저류조로 유도하여 일정시간 저류·침전시킨 후, 에어 리프트 펌프를 이용해 저류된 우수를 상부로 반복 순환시켜 식생여과층과 식생블록층을 통해 오염물질을 처리하는 방식으로 그림 4-3-4와 같다.

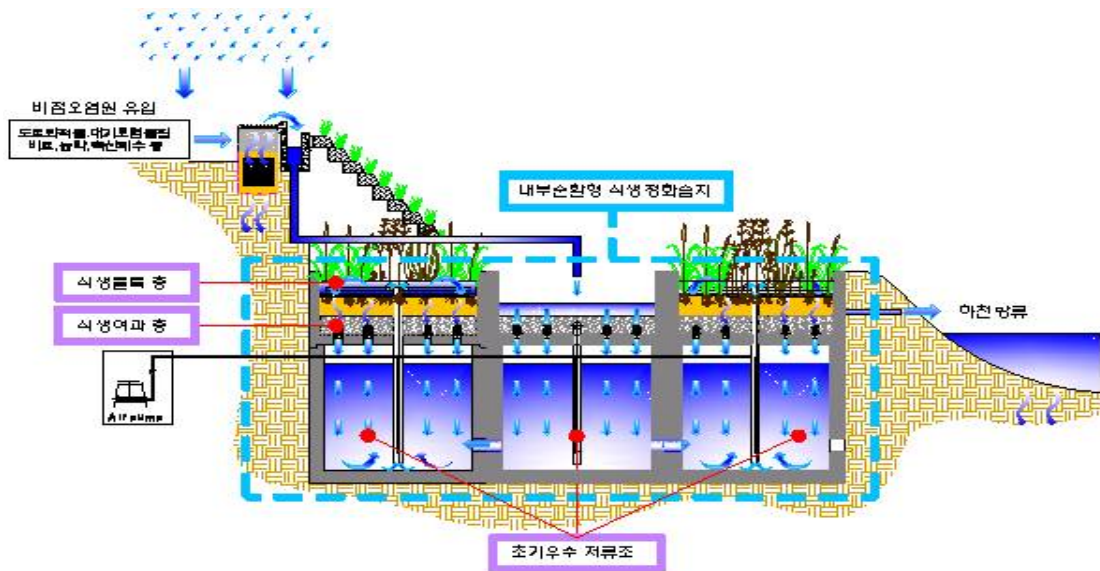


그림 4-3-5. 내부순환형 식생정화습지 개념도

### 2.5.1. 처리공정도

처리공정은 우수맨홀 → 스크린조(자연유하) → 펌핑조(수중펌프 압송) → 분배조 → 우수저장조(에어리프트) → 식생정화습지(자연낙하) → 우수저류조(수중펌프 압송) → 비상급수저류조(자연유하) → 최종방류조(자연유하) → 하천방류이며 기본 모식도는 그림 4-3-6과 같다.

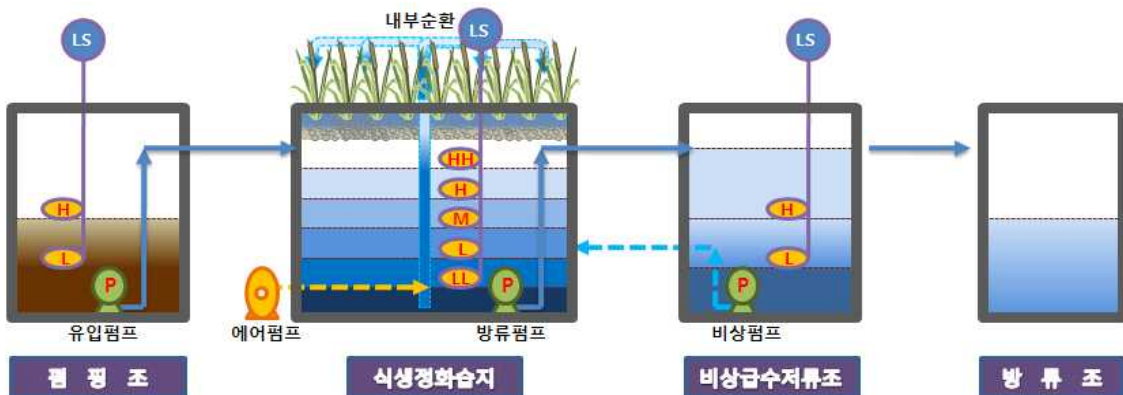


그림 4-3-6. 처리공정도

### 2.5.2. 내부순환형 식생정화습지 구조변경 내역

기존 하천정화시설을 구조변경하거나 추가설치, 신설 등의 내역은 다음 표4-3-7과 같다.

표 4-3-7. 내부순환형 식생정화습지 구조변경 내역

구분	변경내용	비고
<b>◎ 외부설비</b>		
유입구	○ 기존 시설물 철거 ○ 우수맨홀과 유입구 신설	
방류구	○ 기존 시설물 이설	
스크린조	○ 기존 시설물 철거 ○ 펌핑조 유입구에 스크린조 신설	
분배조	○ 유입조로 변경	
펌핑조	○ 펌핑조 활용	
접촉산화조, 침전조	○ 식생여과조로 구조변경 ○ 초기우수저류조로 구조변경	
슬러지저류조	○ 비상용급수저류조로 활용	
<b>◎ 내부설비</b>		
에어펌프	○ 내부순환펌프(에어리프트) 설치	5대(예비1)
수중펌프	○ 펌핑조(2), 방류조(2), 비상급수저류조(1) 펌프	5대
컨트롤판넬	○ PLC프로그램으로 변경제작 설치	
내부배관	○ 내부순환, 에어리프트관 등 설치	

### 2.5.3. 각조 명칭 및 기능

#### (1) 펌핑조

유입수는 도로 등의 불투수면에서 발생한 초기우수를 펌핑조로 유입시켜 스크린조를 통해 협잡물을 제거한 후 토사 등의 무거운 고형물은 하부로 침전·제거한다. 조의 크기는 4.2m(W)x3.0m(L)x1.5m(H)로 유효용량은 18.9m<sup>3</sup>이다. 기계시설은 수위계(Low, High)로 연동 운전하는 펌핑조 펌프(A/B)로 구성된다(그림 4-3-7).



그림 4-3-7. 펌핑조

## (2) 분배조

상부 자갈층으로 구성된 분배조는 2차 스크린조로서 펌핑조의 초기우수는 펌프에 의해 이송되어 우수저류조로 수직 하강하여 일정 시간동안 저류된다. 크기는 1.0m(W)x1.4m(L)x1.8m(H)로 용량은 3.6m<sup>3</sup>이고 유입배관은 고강도 PVC Ø50mm이다(그림 4-3-8).



그림 4-3-8. 분배조

## (3) 우수저류조

분배조에서 이송된 초기우수를 일정 기간 저장한다. 상부는 스테인레스망을 이용한 Ø150mm 배수관으로 구성되어 있으며 내부는 에어배관(고강도 PVC Ø20mm)과 물 배관(고강도 PVC Ø50mm) 에어리프트로 되어 있다. 방류펌프(A/B)와 오뚜기식 수위계가 있어 PLC프로그램에 의해 처리된 우수를 방류조로 이송시킨다. 또한 호퍼가 있어 슬러지의 침전 효율을 극대화시켰다(그림 4-3-9).



그림 4-3-9. 우수저류조 내부

## (4) 식생여과층

식생여과층은 식생매트, 모래(세척강 모래) 여과층, 자갈층(#25~40)으로 구성되며 에어리프트 펌프를 이용하여 십자형 분배관(PVC Ø20mm 유공관)을 통해 식생여과층의 상부로 이송시켜 식생정화, 모래여과 등을 거쳐 유기물, 영양염류, 미세 부유물질을 제거한다.(그림 4-3-10)



그림 4-3-10. 식생여과층

**(5) 방류조 및 비상급수 저류조**

처리가 완료된 우수는 방류펌프에 의해 비상급수 저류조를 통해 최종방류조로 이송되어 하천으로 배출된다. 비상급수 저류조는 평상시 만수위를 유지하여 갈수기 시 식생여과층의 유지용수로 활용한다. 또한 갈수기 대비책으로 하천수를 공급할 수 있도록 비상용 급수배관을 설치하였다.(그림 4-3-11)



그림 4-3-11. 방류조 및 비상급수저류조

**2.5.4. 제어 및 기계설비**

**(1) 제어반 구성**

현장제어설비는 PLC를 이용한 무인자동운전과 현장에서 수동 운전이 가능하도록 구성되었으며 별도의 타이머를 두어 유입수 성상에 맞게 시간 설정과 추후 원격감시 모니터링을 할 수 있도록 통신 관련 설비를 추가로 설치하였다(그림 4-3-12)



그림 4-3-12. 제어설비

**(2) 각 단계별 운전모드**

표 4-3-8. 운전모드 조건

단 계	작동기기	기 능															
유입	<ul style="list-style-type: none"> <li>유입펌프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기우수의 유입을 감지하여 우수를 식생정화습지로 이송</li> <li>펌핑조 레벨이 High가 되면 유입펌프 작동</li> <li>LOW 상태까지는 유입펌프 OFF</li> </ul>															
내부순환 및 방류	<ul style="list-style-type: none"> <li>에어펌프</li> <li>방류펌프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기우수량에 따른 배출기간 설정</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>레벨</th> <th>반 응</th> <th>방 류</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H.H</td> <td>5일 처리</td> <td>5일 후</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>4일 처리</td> <td>4일 후</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>3일 처리</td> <td>3일 후</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>무 방 류</td> <td>무방류</td> </tr> </tbody> </table>	레벨	반 응	방 류	H.H	5일 처리	5일 후	H	4일 처리	4일 후	M	3일 처리	3일 후	L	무 방 류	무방류
레벨	반 응	방 류															
H.H	5일 처리	5일 후															
H	4일 처리	4일 후															
M	3일 처리	3일 후															
L	무 방 류	무방류															
비상 급수	<ul style="list-style-type: none"> <li>비상펌프</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>식생정화습지의 식생을 위한 처리수 확보</li> <li>갈수기 및 가뭄에 대비하여 유지용수 활용</li> <li>식생정화습지의 레벨이 LL가 떨어질 경우 비상펌프 가동하여 식생정화습지의 “L” 까지 비상용수를 채움.</li> </ul>															
방류	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>비상급수 저류조로 1차 배출된 후 율류된 상등수는 방류조로 이송되어 하천으로 최종배출.</li> </ul>															



(3) 운전주기 및 반응시간

표 4-3-9. 운전주기 및 반응시간

유입량(모식도)	레벨	반응	방류	에어펌프 가동시간	순환율
	H.H (High/ High)	5일 처리	5일 후 방류	5일가동 10min - ON 110min - OFF	200%
	H (High)	4일 처리	4일 후 방류	4일가동 10min - ON 110min - OFF	200%
	M (Middle)	3일 처리	3일 후 방류	3일가동 10min - ON 110min - OFF	200%
	L (Low)	연속 반응	무방류	연속가동 10min - ON 110min - OFF	-
	L.L (Low/ Low)	비 상 펌 프 가동 “L“까지 유지 용수 보충	무방류	OFF	-

(4) 주요기기 설비

(가) 펌핑조 펌프

① 설치목적 : 도로 및 불투수층으로부터 펌핑조로 유입된 초기우수를 우수저장조 유입유량의 변동에 따라 우수저장조로 이송하기 위해 설치한다.

② 펌프사양

표 4-3-10. 펌핑조펌프 사양

구분	사양	비고
ITEM NO.	M-101A/B	
형식	자동탈착식 수중펌프	
용량	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 6mH	
운전방법	자동운전 또는 수동조작 운전	
수량	2(1)대	( )예비
동력	0.75kW	

(나) 에어리프트 펌프

① 설치목적 : 우수저장조에 일정기간 저장된 비점오염원을 에어리프트의 원리를 이용하여 식생여과층으로 이송시키기 위해 기계실 내부에 에어펌프를 설치한다.

② 펌프사양

표 4-3-11. 에어리프트 펌프 사양

구분	사양	비고
ITEM NO.	M-201A/B/C/D/E	
형식	다이하프램 펌프	
용량	200L/min	
운전방법	자동운전 또는 수동조작 운전	
수량	5(1)대	( )예비
동력	0.25kW	

**(다) 방류펌프**

- ① 설치목적 : 방류펌프는 우수저장조 내부에 설치되며 내부순환을 통해 비점오염원(유기물, 영양염, 미세 부유물질 등)이 처리된 초기우수를 비상급수저류조로 이송시키기 위해 설치한다.
- ② 펌프사양

표 4-3-12. 방류펌프 사양

구 분	사 양	비 고
ITEM NO.	M-208A/B	
형 식	자동탈착식 수중펌프	
용 량	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 6mH	
운전방법	자동운전 또는 수동조작 운전	
수 량	2(1)대	( )예비
동 력	0.75kW	

**(라) 비상급수저류조 펌프**

- ① 설치목적 : 비상급수저류조 펌프는 갈수기 대비를 위해 식생정화습지에 유지용수를 공급 하도록 하기 위해 설치한다.
- ② 펌프사양

표 4-3-13. 방류펌프 사양

구 분	사 양	비 고
ITEM NO.	M-301A/B	
형 식	자동탈착식 수중펌프	
용 량	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 4mH	
운전방법	자동운전 또는 수동조작 운전	
수 량	1대	
동 력	0.40kW	

(5) 주요기기 LIST

내부순환형 식생정화습지를 구성하고 있는 주요기기 장비LIST는 표 4-3-14에서 보는 바와 같다.

표 4-3-14. 기기장비LIST

ITEM NO.	기기명	규격 및 사양	수량	전력량 (kW)	비 고
<b>1. 펌핑장 설비</b>					
M-101A/B	펌핑조펌프	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 6mH NON-CLOG 수중펌프	2(1)	0.75	자동탈착식 ( )예비
LS-101	LEVEL SWITCH	LOW, HIGH FLOAT	2	-	
<b>2. 식생정화습지 설비</b>					
M-201	에어펌프	200L/min 다이아프램	1	0.25	
M-202	에어펌프	200L/min 다이아프램	1	0.25	
M-203	에어펌프	200L/min 다이아프램	1	0.25	
M-204	에어펌프	200L/min 다이아프램	1	0.25	
M-205	에어펌프	200L/min 다이아프램	1	0.25	예비
M-206	우수분배장치	50A WATER x 20A AIR AIRLIFT	12	-	
M-207	침전호퍼	1.8m(L)x2.0m(W)x0.6m(H) F.R.P 각형	12	-	
M-208	제어반	0.5m(W)x0.8m(H)x0.25m(D) 벽걸이 부착형	1	-	
M-209	방류펌프	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 6mH NON-CLOG 수중펌프	2(1)	0.75	자동탈착식 ( )예비
LS-201	LEVEL SWITCH	LL, L, M, H, HH FLOAT	5	-	
<b>3. 비상급수저류조 설비</b>					
M-101A/B	펌핑조펌프	50A x 0.1m <sup>3</sup> /min x 4mH NON-CLOG 수중펌프	2(1)	0.75	자동탈착식 ( )예비
LS-101	LEVEL SWITCH	LOW, HIGH FLOAT	2	-	



### 2.5.5. 식생정화식물

식생 정화습지는 건식습지로 조성되었으며 이런 환경조건에 맞는 습지식물로는 주로 하천의 수변이나 제방에 군생하며 다년생 식물로 수질정화에 기여하는 식물을 식재하였다.

표 4-3-15. 식생정화식물

<p style="text-align: center;"><b>부들(Typha orientalis PRESL.)</b></p> 	<p><b>부들과, 다년생, 정수식물</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형태는 근경이 옆으로 뻗으며 백색이고 수염뿌리가 있다. 원줄기는 원주형이고 높이가 1~1.5m로 털이 없고 밋밋하며 잎의 단면은 공기를 많이 포함 할 수 있는 구조이다.</li> <li>- 종자와 지하경으로 월동하고 번식하며 종자는 바람에 의해 빠르게 분산된다.</li> <li>- 각지의 연못근처와 하천의 수변, 원야의 습지에 군생하며 진흙속의 얇은 수중에서 직립하며 햇빛이 잘 드는 곳에 생육한다.</li> </ul>
<p><b>특이사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 어류등의 산란과 피난장소로 이용</li> <li>- 영양염류 제거 등 수질정화식물</li> </ul>	
<p style="text-align: center;"><b>물억새(Miscanthus sacchariflorus BENTH.)</b></p> 	<p><b>벼과, 다년생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형태는 줄기는 단단하고 두꺼우며 마디가 있고 근경은 길고 옆으로 뻗는다. 잎은 선형이고 길이는 40~80cm, 폭 1~3cm로 줄기에서 바로 나온다.</li> <li>- 마디에서 발아하여 생육하거나 근경이 자라서 줄기를 내어 번식한다.</li> <li>- 가는 모래나 모래진흙, 토양의 수변 따뜻한 곳 또는 강가언덕, 지하수위 10~30cm부근에서 생육한다.</li> </ul>
<p><b>특이사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 조류의 산란지나 보금자리로 이용</li> <li>- 물억새가 우점하면 순군락을 이루기 쉽다.</li> </ul>	

표 4-3-15. 식생정화식물<<계속>>

<p><b>갈대(Phragmites communis TrL.)</b></p> 	<p><b>벼과, 다년생, 정수식물</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 약 지하 1m깊이에서 옆으로 뻗으며, 마디에서 가지와 수염뿌리가 나온다. 가운데가 빈 기둥형으로 표면에 털이 있거나 없다. 길이 20~50cm, 폭 2~4cm이다.</li> <li>- 냇가, 강하구의 점토질의 땅, 습지, 수중에 살며 수심 1m이하의 장소, 저지대의 습지에 많다.</li> </ul>
<p><b>특이사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 생명력과 경쟁에 강하다.</li> <li>- 수질정화식물</li> </ul>	
<p><b>털부처꽃(Lythrum salicaria L.)</b></p> 	<p><b>부처꽃과, 다년생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형태는 높이 50~150cm의 네모진 줄기가 곧게 서며 잔털이 있다. 잎은 마주나거나 3개가 둘러나고, 길이 4~6cm, 폭 8~15mm이며 끝이 뾰족하다.</li> <li>- 각지의 냇가나 산기슭의 습한 곳, 수심이 0~15cm에서 생육 가능하며, 고수부지의 습기가 많고 햇볕이 잘드는 곳에서 군락을 이룬다.</li> </ul>
<p><b>금불초</b></p> 	<p><b>국화과, 다년생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 형태는 높이 20~60cm이며 옆으로 뻗는 뿌리로 번식한다. 잎은 어긋나고 뿌리에서 나는 잎은 작으며 꽃이 필 때 없어진다. 길이 5~10cm로 밑부분이 갑자기 좁아져서 원줄기를 감싸고 양면에 굵은 털이 있으며 가장자리가 밋밋하다. 꽃은 황색으로 설상화는 길이 1.6~1.9cm이다. 수과는 작고 능선과 더불어 털이 있으며, 갓털은 길이 0.5cm 정도이다.</li> <li>- 고수부지의 습기가 많고 햇볕이 잘드는 곳에서 군락을 이룬다.</li> </ul>



2.5.6. 공사사진

			
공종명	현장조사	공종명	내부철거
			
공종명	폐기물 철거	공종명	구조물 철거
			
공종명	내부 청소	공종명	내부 방수

그림 4-3-13. 공사사진







			
공종명	1차 합판거푸집 설치	공종명	배수관 설치
			
공종명	철근배근	공종명	콘크리트 타설 및 양생
			
공종명	합판거푸집 해체	공종명	합판거푸집 해체

그림 4-3-13. 공사사진<<계속>>



			
공종명	모래포설	공종명	분배관 설치
			
공종명	식생매트 설치	공종명	기계배관 및 수중펌프 안착
			
공종명	전기배선 공사	공종명	제어반 설치

그림 4-3-13. 공사사진<<계속>>

			
공종명	유입관 연결	공종명	에어펌프 설치
			
공종명	분배조 입수관 연결	공종명	에어리프트 배관
			
공종명	웬스 및 데크 설치(부대공)	공종명	부하테스트(시운전)

그림 4-3-13. 공사사진<<계속>>



### 2.5.7. 구조변경 전·후 사진

'09년 11월 중순 경 안산시에서는 신길천 하천정화시설과 인접한 농업용 취수보의 철거작업을 시행하였다.

			
공종명	공사 전(하천정화시설)	공종명	공사 후(식생정화습지)
			
공종명	공사 전(기계실)	공종명	공사 후(기계실)
			
공종명	공사 전(취수보)	공종명	공사 후(취수보)

그림 4-3-14. 공사 전·후 사진

## 2.5.8. 부대시설

부대공사로 신길천 내부순환형 식생정화습지 내 안전휀스 및 관람 데크, 기계실 환풍시설, 도색작업 등을 실시하였으며 안내판(신길천 1개소, 송호중학교 1개소)도 함께 설치하였다.(그림 4-3-15)



그림 4-3-15. 부대시설



### 3. 시화호 해양환경교육 시범학교 홍보 및 운영관리

송호중학교 선생님, 학생, 학부모를 대상으로 비점오염관리의 중요성과 교내 설치된 비점오염저감시설을 홍보 및 교육 등을 실시하였으며, 빗물정원을 비롯하여 옥상녹화, 식생여과대 등의 식물을 보식하였다. 또한 관리자가 주1회 방문하여 주변정리 및 급수시스템, 동절기 동파에 대비하여 배관 내 배수상태 등을 점검하였다.(그림 4-3-16)

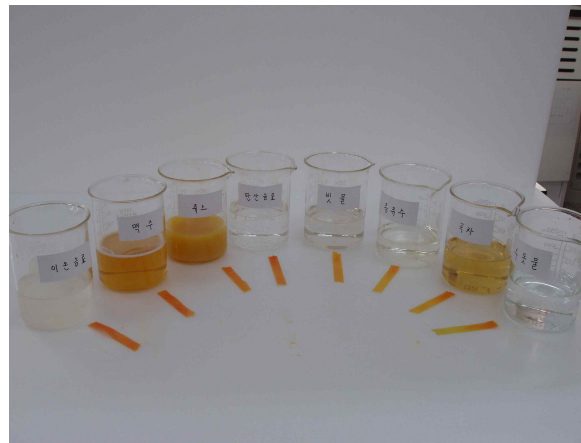


그림 4-3-16. 교육 홍보 사진

공무원, 선생님, 환경관련 업체 등 '09년도 시화호 해양환경교육 시범학교를 방문해 주신 분들은 표 4-3-16, 그림4-3-17과 같다.

표 4-3-16. 송호중학교 방문자 명단

소 속	방 문 자	소 속	방 문 자
경북 안동시	공무원 3명	부영건설	직원 3명
리텍건설	직원 4명	에코아르케	직원 2명
성지건설	직원 3명	제주 한림중학교	교장선생님 외 2명
그린기술산업	직원 3명	안산시	공무원 3명
팩슨	직원 4명	현대정보통신	직원 3명
팬지아21(주)	직원 2명	코오롱건설 연구소	직원 2명
(주)엔포텍	직원 3명	매크로드(주)	직원 3명
레인우드	직원 3명	그린프라	직원 3명
한서환경기술	직원 1명	(주)일송환경복원	직원 2명
지구코퍼레이션	직원 1명	케이씨리버텍	직원 5명
어진이엔지	직원 2명	경기도 교육청	직원 외 다수



그림 4-3-17. 송호중학교 방문사진



#### 4. 시범 설치된 오염 저감시설의 운영

7월에 패키지형 오수처리시설의 SBM막을 세정하였으며, 내부순환펌프와 수위감지센서 등을 교체하였고, 관리자가 주 1회 방문하여 시설 운영상태를 점검 및 주기적으로 유지관리를 실시하였다.

표 4-3-17. 시범 설치 운영중인 오염 저감시설

시 설 명	시설 위치	시설 모습
우음도 소규모 오수 처리시설	경기도 화성시 시화호 내 우음도	
패키지형 오수 처리시설	경기도 안산시 한국해양연구원내	

#### 5. 향후 계획

국토해양부의 시화호 해양환경교육 시범학교로 지정된 송호중학교내에는 비점오염 저감 및 물 순환 생태도시 조성을 위한 견학코스로 조성되었으며, 이를 활용한 다양한 환경교육활동이 병행되어 교육 및 홍보에 사용되었다. 교내에 시범 설치된 비점오염 저감시설은 다양한 최적관리기법(BMPs)을 보여 줌으로써 비점오염 관리와 관련된 업체들에게 자연형 시설의 설계에 많은 도움을 줄 수 있었다. 송호중학교 전시교육관은 예산의 한계로 물 재이용 관련 시설과 다른 종류의 최적관리기법의 설치가 지연되었으나, 향후 시설을 더욱 확충하여 전시물을 보완할 경우, 국내에서 가장 개념이 앞선 물 순환 교육장으로 조성될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 실내교육관 1개소와 중수도 시설, 도로 비점오염 저감시설, 벽면 녹화시설 등이 추가로 설치될 필요가 있다. 증설되는 실내 교육관에는 물 순환과 관련된 시청각 자료와 교육 전시물이 추가될 필요가 있다.

신길천 하천정화시설을 개조하여 조성한 식생정화습지는 식재한 식생이 봄철에 성장하여야만 수질 정화기능이 정상 작동할 수 있다. 내부순환형 식생정화습지는 새로운 개념의 첨단 공법으로서 CSO와 도시비점오염물질 처리에 널리 활용될 수 있으며, 4대강 사업 등에서 수질 정화습지로 사용될 수 있다. 지난 10년간 비점오염 저감, 오수처리, 하천정화 목적 등으로 설치된 지표흐름형 인공습지는 설치후 시간이 지남에 따라 수질 정화기능이 저하되고 계절에 따라서는 유입수보다 유출수의 농도가 높아지는 등 수질 정화기능의 저하가 나타나고 유지관리에 많은 어려움이 있었던 것이 사실이다. 최근, 외국에서는 인공습지의 수질정화기능을 개선하기 위해서는 수평 또는 수직 지하흐름형 인공습지가 연구되고 있다. 본 연구에서는 신길천 시범시설을 이용하여 국내 최초로 시도되는 수직흐름형 인공습지의 성능과 수질 정화기작을 규명할 필요가 있으며, 운영상 문제점이나 수질정화효과의 변화 등을 모니터링 할 필요가 있다.

## **제 5 장 지역역량강화 및 연안관리 시민참여 강화**



# 제 5 장 지역역량강화 및 연안관리 시민참여 강화

## 제 1 절 홍보

### 1. 시화호 홈페이지 운영 및 활용방안

#### 1.1. 개요

1990년 시화호방조제가 완공되고 수질이 급격하게 악화되면서 시화호 수질 개선과 주민대책을 위한 수 많은 연구와 정책이 시행되었다. 시화호는 비교적 이러한 연구와 정책의 과정이 공개적으로 이루어져 왔으나, 공개된 연구결과나 정책내용이 당시의 공유로만 그치고 지속적으로 축적되지 않아서 새로운 계획을 수립하게 되거나 관련자가 변경될 때 필요한 자료를 제공하는 것에 어려움이 있었다. 또한 자료 관리가 자료생산자의 개인적 보관에 의존하고 있어서 지속적인 자료의 소통과 공유에 어려움이 있어왔다. 이에 2007년에 시화호 유역의 주민 및 이해당사자들에게 시화호 종합관리계획과 시화호 관리위원회에 관한 정보를 제공하고, 다양한 이해당사자들과의 커뮤니케이션 창구를 마련하기 위하여 시화호 관리위원회 홈페이지가 개설되었다. 시화호 홈페이지를 통해 국민들에게 시화호의 현황과 환경개선을 위한 시화호 관리위원회의 노력과 정책을 홍보하고, 시화호 유역의 주민을 비롯한 일반 시민들에게 시화호의 역사 및 개발 현황, 시화호와 그 유역에 대한 환경모니터링 자료와 시화호의 환경상태 및 변화에 관한 정보에 손쉽게 접근할 수 있도록 하여 해양환경에 대한 시민의식 제고에 기여하고, 또한 정부나 지자체의 관련 공무원, 전문가 등 다양한 이해당사자들에게 유역통합관리에 대한 자료를 지속적이고 안정적으로 제공하는데 목적이 있다.

#### 1.2. 추진방법

2007년 홈페이지를 개설후 2년간의 운영결과를 반영하고 새로운 요구에 부응하기위해 2009년 시화호홈페이지의 개선을 위한 사업을 시행하게 되었다. 2008년까지의 시화호 홈페이지는 월평균 1,000여명의 방문자가 찾는 홈페이지로서 일반인들에게는 시화호에 대한 궁금증을 해소할 수 있는 자료를 제공하고, 직접관련 당사자들에게는 시화호 연구의 결과와 정책의 과정을 투명하게 공개하는 구심점이 되었다. 그러나 방대한 보고서, 연구자료, 정책자료, 사진 등을 중심으로 제공하는 사이트의 성격 상 초기구축 이후에 일정기간 지나면 새로운 자료의 업데이트 횟수가 제한적일 수밖에 없다는 문제점과 초기화면이 단순하여 일반시민들의 흥미를 끌어내기에는 부족함이 있었고, 그 외에도 몇 가지 기능적인 불편함이 있었다.

표 5-1-1. 2007~2008년 홈페이지 구성

시화호 소개	시화호 종합관리계획	환경모니터링	시화호 에세이
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호 위치</li> <li>- 시화호 연표</li> <li>- 시화호 유역현황</li> <li>- 시화호 생태문화 코스</li> <li>- 시화호 해안선변화</li> <li>- 시화호 파노라마</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시화호 종합관리계획</li> <li>- 추진경과</li> <li>- 주요내용</li> <li>○ 시화호 관리위원회                             <ul style="list-style-type: none"> <li>● 개요</li> <li>● 구성</li> </ul> </li> <li>- 관리위원회</li> <li>- 실무협의회</li> <li>- 전문위원회</li> <li>● 규정전문</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시화호 환경모니터링 현황</li> <li>- 수질 및 퇴적물</li> <li>- 부유 생태계</li> <li>- 저서 생태계</li> <li>- 동·식물</li> <li>- 대기</li> <li>○ 시화호유역 통합환경 모니터링 체계구축</li> <li>- 제1차 워크숍</li> <li>- 기관별 모니터링 자료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호 에세이</li> </ul>
온라인 교육	자료실	게시판	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유역관리의 원리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생태자료                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 저서생물</li> <li>- 식물</li> <li>- 조류</li> <li>- 곤충</li> </ul> </li> <li>○ 시화호 관리위원회 자료</li> <li>○ 보고서 목록</li> <li>○ 홍보 자료</li> <li>○ 교육 자료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 공지사항</li> <li>○ 뉴스레터</li> <li>○ 인터넷 사진전                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2007년 제1회</li> <li>- 2008년 제2회</li> </ul> </li> <li>○ 보도 자료</li> <li>○ 관련 사이트</li> <li>○ SITE MAP</li> </ul>	

이에 초기화면에 플래쉬 기능 등을 도입하여 디자인을 보다 역동적인 방향으로 개선하여 일반시민들의 흥미를 유도할 수 있도록 하고, 각 콘텐츠에 대한 펼침 페이지, 책갈피 기능을 추가하며, 자주 사용되는 메뉴에 Quick menu를 도입 하여 사용자의 편리성을 제고하는 방향으로 홈페이지를 개선하였다. 한편 그간 필요성이 대두된 여러 가지 콘텐츠를 신설하여 홈페이지의 내용을 한 층 다양하게 하였다. 특히 그 간의 연구결과, 보고서 자료 등재에 이어 1996년부터 2005년간의 시화호관련 정부 공문을 등재함으로써 시화호관리위원회가 보유하고 있는 모든 자료를 공개하게 되었다.



### 1.3. 추진결과

#### 1.3.1. 시화호 홈페이지 초기화면 디자인 개선

마련된 개선방향에 따라 중요하거나 일반인들의 흥미를 유도할 수 있는 콘텐츠들은 초기화면에서 플래쉬와 **Quick menu**로 제공하여 바로 진입 할 수 있도록 하였다. 초기화면에서 바로 진입이 가능한 콘텐츠는 생태교육자료, 시화호에세이, 종합관리계획, 환경모니터링, 공지사항, 보도기사, 국토해양부를 비롯한 관련부처 링크 등 이다.

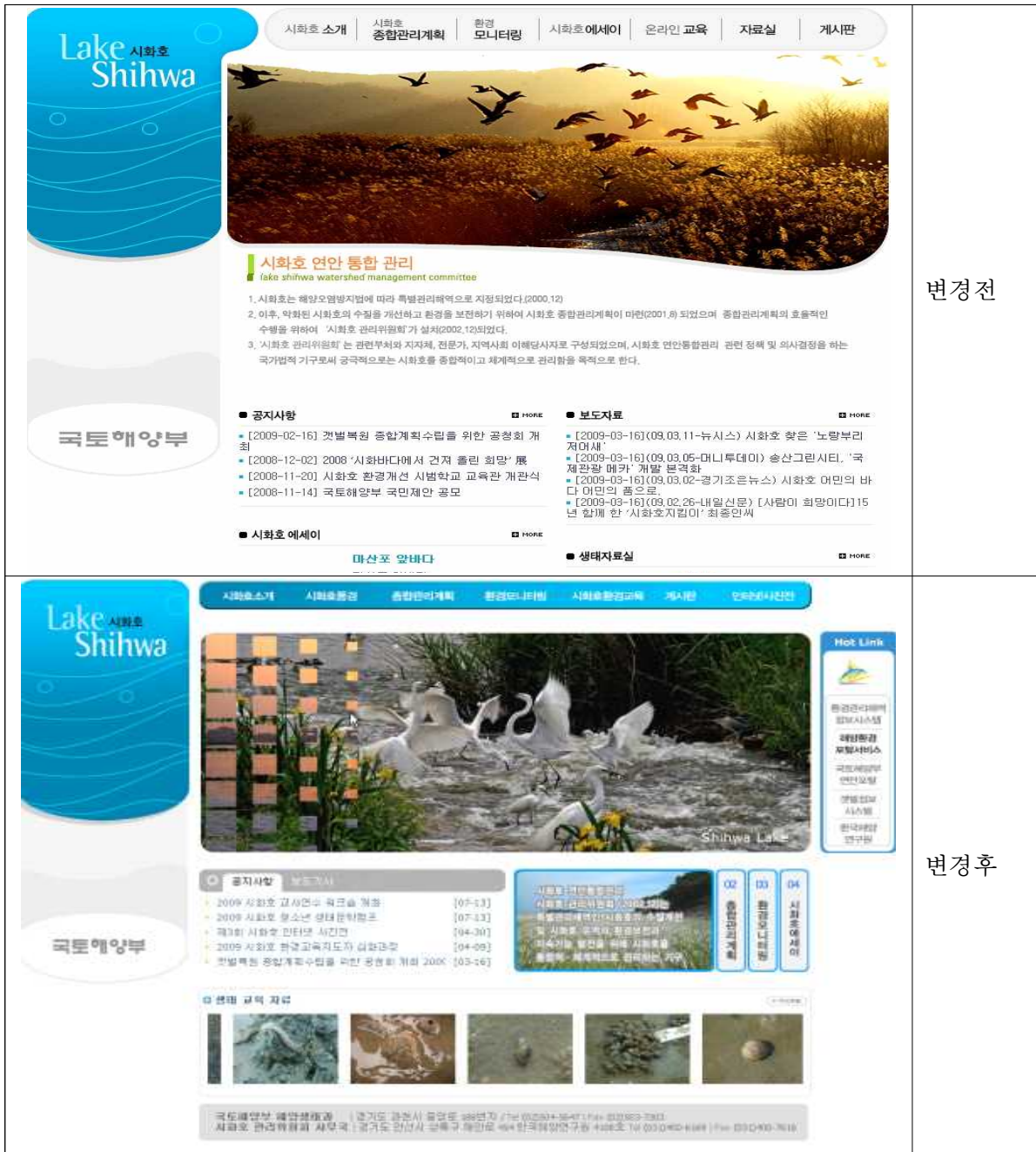


그림 5-1-1. 홈페이지 초기화면 디자인 개선내용

### 1.3.2. 시화호 홈페이지 기능보완

홈페이지의 모든 콘텐츠에 펼침기능을 추가하여 일목요연하게 자료를 파악할 수 있도록 하였고 책갈피 기능을 추가하여 콘텐츠 안에서 하위자료의 내용 파악이 용이하게 하였고 자료간 이동을 편리하게 하였다.

### 1.3.3. 새로운 콘텐츠 추가

홈페이지의 디자인과 기능을 개선하는 한편 새로운 내용의 콘텐츠를 추가하였다. 그간의 운영 경과를 검토하여 내용간의 관계성에 따라 체계를 재조정하였으며 「시화호 풍경」과 「시화호 환경교육」, 「인터넷 사진전」 콘텐츠를 신설하였다. 「시화호 풍경」은 시화호와 관련된 자료들 중 '시화호 파노라마', '시화호 에세이' 등, 사진중심의 자료들을 한 군데로 모았고 지속적인 사진 등재가 가능한 시화호갤러리 꼭지를 마련하였다. 「시화호 환경교육」은 주로 환경교육을 하는 주체들이 필요한 자료인 '교육프로그램', '생태자료', '온라인'교육'등의 자료를 모아 구성하였으며 추후 시화호환경교육 심화과정을 통해 배출 될 활동가들의 목록을 등재할 '시화호 안내자' 꼭지도 마련하였다. 「인터넷 사진전」은 그동안 공지사항 하위에 있던 게시판을 독립적인 게시판으로 하였다. 이는 매년 개최되는 사진전의 결과를 지속적으로 축적하고, 자료에 일반인들이 쉽게 접근하게하기 위함이다.

「시화호 종합관리계획」은 기존의 보고서 목록을 관리위원회가 생산하는 자료와 타기관에서 생산하는 자료로 구분하였다. 이는 관련전문가 및 공무원들이 원문전체를 요구하는 자료가 관리위원회 자료여서 이에 대한 접근성을 높이기 위한 것이다. 또한 시화호지역과 관련된 법령들을 등재하는 '법령자료'꼭지와 시화호관련 정부 공문을 등재하는 '공문자료' 꼭지를 마련하여 1996년부터 2005년간의 자료 130건을 pdf 자료로 올렸다. 이로서 시화호관리위원회가 보유하고 있는 모든 자료를 공개하게 되었다. 이는 국민의 알권리 보장과 정보의 투명한 공개라는 정보관리의 원칙을 실행한 중요한 시도라고 할 수 있다.

표 5-1-2. 시화호 관계법령 목록

법률명	관련사항	비고(소관부처)
국토의 계획 및 이용에 관한 법률	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시기본계획, 관리계획에 관한 사항</li> <li>- 용도지역·용도지구·용도구역 지정·관리</li> <li>- 용도지역·용도지구 및 용도구역에서의 행위제한</li> <li>- 개발행위의 허가 등에 관한 사항</li> <li>- 기타 국토이용 전반에 관한 사항</li> </ul>	국토해양부 도시정책과
공유수면관리법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공유수면에서의 제한 및 금지사항</li> <li>- 공수수면 이용 장애나 수질오염가능의 경우 관련 물질의 수거 및 처리에 관한 규정</li> </ul>	국토해양부 연안계획과

표 5-1-2-계속. 시화호 관계법령 목록

법 률 명	관련사항	비고(소관부처)
공유수면매립법	- 공유수면매립기본계획의 수립·변경 등에 관한 사항 - 공유수면매립 면허에 관한 사항 - 매립지의 사용·소유권취득 등에 관한 사항	국토해양부 연안계획과
관광진흥법	- 관광지 및 관광단지의 개발에 관한 사항 - 관광특구에 관한 사항	문화체육관광부
독도 등 도서지역의 생태계보전에 관한 특별법	- 도서보전을 위한 제한 및 금지사항 - 도서지역 자연생태계복원사업에 관한 규정 - 특정도서 지정 및 관리에 관한 사항	환경부 자연정책과
문화재보호법	- 문화재 및 보호구역 지정 및 관리에 관한 사항	문화체육관광부 문화재청
발전소주변지역 지원에 관한 법률	- 원자력·수력발전사업자의 지역지원사업 등에 관한 사항	지식경제부 원자력산업과
방조제관리법	- 방조제 관리 주체의 결정·관리 등에 관한 사항	농림수산식품부 농촌정책국
산업입지 및 개발에 관한 법률	- 산업입지개발지침에 관한 사항 - 산업단지의 지정·개발 등에 관한 사항	국토해양부 산업입지정책과
수산업법	- 수산자원 및 수질보호를 위한 제한 및 금지사항 - 보호수면, 육성수면, 보호구역 지정 및 관리에 관한 사항 - 자원보호에 관한 명령	농림수산식품부 어업자원관 어업정책과
수질 및 수생태계 보전에 관한 법률	- 수질오염물질의 총량관리에 관한 사항 - 공공수역의 수질 및 수생태계 보전을 위한 수질·수생태계 조사, 목표기준 결정 및 평가 - 수변생태구역의 매수·조성에 관한 사항 - 수질환경보전 관련 제한 및 금지사항 - 수질오염방지를 위하여 관련 시설의 설치·정비 등에 관한 규정	환경부 수질정책과
자연환경보전법	- 생태계보전지역 등에서의 행위제한 - 자연환경보전 및 이용시설의 설치에 관한 사항	환경부 자연정책과
습지보전법	- 습지보호지역 등(주변관리지역, 개선 지역 등)의 지정 및 관리에 관한 사항 - 습지보전 및 오염방지를 위한 시설설치 규정 - 인공습지의 조성·관리 권장	환경부 자연정책과

표 5-1-2-계속. 시화호 관계법령 목록

법 률 명	관련사항	비고(소관부처)
어장관리법	- 어장관리해역 및 어장관리특별관리해역지정 및 관리에 관한 사항	농림수산식품부 양식산업과
어촌·어항법	- 어항구역내 제한 및 금지사항 - 환경오염방지를 위한 어항정화시설에 관한 규정	농림수산식품부 어항과
연안관리법	- 연안통합관리계획 수립규정 - 기타 연안관리 관련 전반에 관한 규정	국토해양부 연안계획과
자연공원법	- 공원구역의 지정 및 용도지역지구지역 지정 및 관리에 관한 사항 - 공원보호구역 지정에 관한 사항 - 공원지역, 공원보호구역 등에서의 행위제한 사항	환경부 자연자원과
항만법	- 항만구역내 제한 및 금지사항	국토해양부 항만정책과
해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률	- 해양생태계보전·관리기본계획의 수립 및 조사에 관한 사항 - 해양생물 보호에 관한 사항 - 해양생태계보호구역 등의 지정 및 관리에 관한 사항 - 기타 해양생태계 보호 관련 사항	국토해양부 해양생태과
해양환경관리법	- 해양환경기준 및 자료관리에 관한 사항 - 해역이용협약에 관한 사항 - 환경관리해역의 행위제한 - 오염물질 유입방지시설에 관한 사항 - 해양폐기물 수거 및 처리에 관한 사항	국토해양부 해양환경정책과
환경영향평가법	- 환경영향평가 대상사업의 환경영향평가 전반에 관한 사항	환경부 환경평가과
환경정책기본법	- 사전환경성검토 등에 관한 사항 - 환경보전을 위한 환경정책 전반에 관한 사항	환경부 정책총괄과, 국토환경정책과

표 5-1-3. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
96.05.23	시화 담수호 수질 개선을 위한 업무협조	농어촌진흥공사/농어촌연구원	수공/특수지역사업본부장	시화호 배수갑문 시험방류 조사결과 1부
96.07.04	시화 담수호 방류 시 사전통보 협조	수산청	건교부, 환경부, 농진공	
96.07.26	시화담수호 주변 어장환경조사 실시	수산청	국립수산진흥원장	
96.09.25	업무협조 요청	한국수자원공사/특수지역사업본부	해양연구소, 서울대해양연구소, 인하대해양과학기술연구소, 시민환경연구소, 군산대수산과학연구소	시화호 외해 연안환경영향조사 연구용역추진계획서 1부
96.10.11	시화호 외해연안 환경영향조사 계획에 대한 의견회신 요청	한국수자원공사/특수지역사업본부	해양연구소, 서울대해양연구소, 인하대해양과학기술연구소, 시민환경연구소, 군산대수산과학연구소	
96.10.19	회의결과 및 시화호 수질개선대책 세부추진계획 통보	환경부	건설교통부, 해양수산부, 경기도, 수자원공사, 농어촌진흥공사	회의결과 1부, 시화호 수질개선대책 세부추진계획 1부
96.10.21	시화호 배수갑문 조작관리방안 마련을 위한 자문회의 개최	한국수자원공사/특수지역사업본부	국립수산진흥원, 한국해양연구소, 서울대학교, 한양대학교, 인하대학교	
96.10.22	시화호 배수관련 협조요청	해양수산부	한국수자원공사/특수지역사업본부장	
96.10.26	시화호 배수갑문 조작관리방안 마련을 위한 자문회의 결과 보고	한국수자원공사/특수지역사업본부장	해양수산부	시화호 배수갑문조작관리방안 마련을 위한 자문회의 결과 1부

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
96.11.01	시화호 시험방류에 따른 해양환경보전을 위한 관계자회의 개최 통보	해양수산부	환경부, 해양수산부 어장보전과장, 국립수산진흥원, 한국해양연구소, 수자원공사, 농업진흥공사, 한양대학교, 서울대학교	
96.11.04	시화호 외해 연안 환경영향조사 수행에 대한 협조의뢰	해양수산부	한국해양연구소, 국립수산진흥원	시화호 외해 연안 환경영향조사 수행에 대한 협조의뢰 관련공문 사본1부
96.11.11	시화호 외해 연안 환경영향조사 수행에 대한 협조조건에 대한 회신	한국수자원공사/특수지역 사업본부	해양수산부	시화호 외해연안환경영향조사용역 추진일정 계획1부
96.11.22	시화호 외해 연안 환경영향조사용역 협조	해양수산부	한국수자원공사/특수지역사업본부장	
96.12.04	수의시담일정 통보 요청	한국수자원공사	서울대학교 해양연구소 소장정종률	
96.12.09	시화호 배수갑문 시험개방에 따른 해양영향조사계획 수립	환경부 수질정책과	해양수산부, 한국수자원공사, 한국해양연구소	
96.12.19	시화호 배수갑문 개방에 대한 협조요청	해양수산부	환경부	
96.12.21	제4차 환경사범대책위원회의 결과알림	환경부	가05, 11, 21, 22, 26, 27, 32, 33, 나10, 마14, 마16	
96.12.23	시화호 배수갑문 시험개방운영에 따른 해양영향조사 협조요청	한국수자원공사/특수지역 사업본부	해양수산부/해양정책실	
96.12.30	시화호 배수갑문 시험개방운영에 따른 해양영향조사 협조요청 회신	해양수산부/해양정책실	한국수자원공사/특수지역사업본부	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
97.03.06	시화호 시험개방에 따른 해역수질조사 실시통보	환경부	해양수산부	조시계획서 1부
97.03.08	시화호 시험개방에 따른 해역수질조사 실시통보	해양수산부	국립수산진흥원	관련공문서 사본2부
97.03.10	시화호 무단방류에 대한 해양수산부에 드리는 건의문	환경운동연합	해양수산부/해양정책실	
97.03.18	시화호 문제해결을 위한 심포지엄 개최 참석 협조건(협조전)	국회의원 김종배	해양수산부/기획관리실	
97.03.13	시화호 인근연안 환경조사 결과보고	서해수산연구소	해양수산부/해양환경과	시화호 인근연안 환경조사현황1부
97.03.24	시화호 썩은 물 무단방류 철회 요청에 관한 건	환경운동연합	해양수산부/해양정책실	
97.03.24	장관면담자료에 대한 회신	해양수산부	국무총리실/수질개선기획단장	
97.05.27	임진강 유역 폐수배출업체 대책관련 고시(안) 협의	통상산업부	재정경제원, 내무부, 법무부, 농림부, 환경부, 건설교통부, 해양수산부, 경기도	고시(안)내용 1부
97.06.10	임진강 유역 폐수배출업체 대책관련 고시(안) 의견회신	해양수산부	통상산업부	
97.06.14	시화공단 현안사항 점검 회의결과 통보	국무총리 행정조정실	해양수산부	시화공단 현안사항 점검 회의결과
97.08.02	시화호 수질개선대책 추진현황 및 향후 계획 제출	국무총리수질개선기획단	해양수산부	
97.08.12	시화호 수질개선대책 추진현황 및 향후 계획 제출	해양수산부 항만건설국	해양수산부 해양정책실	
97.09.09	시화호 관리방안 토론회 개최에 따른 협조 및 토론참여 요청	한국수자원학회		

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부분서
97.10.06	시화호 살리기 시민공청회 참석 및 지정토론 요청 건	시화호 살리기 안산시흥 화성 범시민 대책회의	해양수산부	
97.10.12	관계기관 및 국회의원 합동간담회 참석요청	권오을의원실	해양수산부	
97.11.22	시화호방조제 배수갑문 조작관리규정의 수정에 따른 회의개최	해양수산부	국립수산진흥원, 한국해양연구소	
97.11.26	시화호방조제 배수갑문 조작관리규정의 수정에 따른 회의개최 변경통보	해양수산부	국립수산진흥원, 한국해양연구소	
97.12.02	반월특수지역 확대지정을 위한 협의	건설교통부	국무총리수질개선 기획단, 국방부, 농림부, 통상산업부, 환경부, 해양수산부, 경기도	반월특수지역 확대지정(안) 1부, 반월특수지역 확대지정 도면1부
97.12.03	시화2단계사업 간척농지개발을 위한 공유수면매립면허 협의	농림부	국방부, 통상산업부, 환경부, 건교부, 해수부, 경기도	
97.12.05	시화지구 공유수면매립승인신청 협의	해양수산부	갑 14,15,17,18,32, 을 8	공유수면매립승인신청서 1부
97.12.05	반월특수지역 확대지정을 위한 협의	해양수산부	갑 12,18,50	
97.12.09	반월특수지역 확대지정을 위한 협의	해양수산부 연안역관리과	해양수산부 해양환경과	
97.12.10	시화지구 공유수면매립면허신청 협의 회신	해양수산부 해양환경과	해양수산부 연안역관리과	
97.12.11	반월특수지역 확대지정에 대한 회신	해양수산부 해양환경과	해양수산부 연안역관리과	
97.12.22	시화지구개발사업 실시계획 변경승인 신청에 따른 협의	해양수산부 항만건설국	갑12,18	관련공문서 사본1부



표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부분서
97.12.22	회의결과 통보	건설교통부	농림부, 통상산업부, 환경부, 해양수산부, 경기도, 수자원공사, 농어촌진흥공사, 국토개발연구원	
97.12.24	반월특수지역 지정, 시화지구개발에 대한 검토의견 통보	환경부 수질보전국	환경부 자연보전국	시화호 및 간척지의 관리대책 및 활용방안 강구를 위한 관계기관 회의결과1부
97.12.30	반월특수지역 확대 지정을 위한 재협의	건설교통부	해양수산부 항만건설국	
97.12.30	시화지구개발사업 실시계획 변경승인신청에 따른 의견조회	해양수산부 연안역관리과	해양수산부 해양환경과	
98.01.07	반월특수지역 확대 지정을 위한 재협의	해양수산부 항만건설국	해양수산부 해양정책실	
98.02.03	시화호 수질개선을 위한 해수 유출입량 산정 검토서 제출	한국물학술단체연합회	한국수자원공사/특수지역사업본부	
98.02.09	시화방조제 해수유통량 조정시행계획 보고	한국수자원공사	건설교통부 주택도시국, 해양수산부 해양정책실	
98.02.13	반월특수지역 확대 지정을 위한 재협의 회신	해양수산부 해양환경과	해양수산부 연안역관리과	
98.02.18	반월특수지역 확대지정을 위한 재협의 회신	해양수산부 해양정책실	해양수산부 항만건설국	
98.02.27	반월특수지역 확대 지정을 위한 재협의 회신	해양수산부	건설교통부	
98.05.18	제7차 산업입지정책심의회 개최	건설교통부	산업입지정책심의회 위원	심의안전1부, 위원명단1부
98.06.30	시화호 수질개선차원 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(최종안) 제출	한국수자원공사	환경부 수질보전국	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
98.06.30	시화호 수질개선차원 시화방조제 배수갑문 조작관리규정(최종안) 제출보고	한국수자원공사	국무총리행정조정실, 건설교통부, 해양수산부	환경부로 보낸공문 사본1부
98.09.30	산업입지정책심의회 서면심의 요청	건설교통부	해양수산부 항만건설국	심의안건1부, 위원명단1부, 심의서1부
98.10.01	산업입지정책심의회 서면심의 요청에 따른 협의	해양수산부 항만건설국	해양수산부 해양정책국	
98.11.10	반월특수지역 지정 변경 통보	건설교통부	국무조정실, 재정경제부, 행정자치부, 농림부, 산업자원부, 정보통신부, 환경부, 보검복지부, 노동부, 해양수산부, 과학기술부, 중소기업청, 문화재관리국, 경기도	고시문사본1부, 토지이용계획도 및 지역지정(변경)도 각1부, 지구좌표성과표 1부
98.11.19	시화방조제 배수갑문 조작관리규정(최종안) 보완 및 시화호 수질개선대책 변경(안)제출 보고	한국수자원공사	해양수산부 해양정책국	
98.12.07	시화 배수갑문조작일시중단 알림	농어촌진흥공사	환경부 수질정책과, 건설교통부 도시관리과, 해양수산부 해양정책과	
98.12.10	시화호에 대한 의견조회	경기도	해양수산부 어업진흥국	
99.01.05	시화호 배수갑문 조작관리규정 최종(안) 검토회의 결과 통보	환경부	농림부, 건설교통부, 해양수산부, 한국해양연구소, 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 한강환경관리청	시화방조제 배수갑문 조작관리규정(최종안) 검토회의 결과1부

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
99.01.08	시화방조제 배수갑문 조작관리규정(안)에 대한 의견조회	해양수산부 해양정책국	해양수산부 항만 건설국	
99.01.14	시화방조제 배수갑문 조작관리규정(안)에 대한 의견회신	해양수산부 항만건설국	해양수산부 해양 정책국	
99.01.15	환경사범대책위원회 심의의결서 송부	해양수산부	환경부	환경사범대책위원회, 시화호 환경관리와 관련한 의견1부
99.01.21	시화방조제 배수갑문 조작관리규정 최종확정 통보	환경부	농림부, 건설교통부, 해양수산부, 한국해양연구소, 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 한강환경관리청, 국립환경연구원	시화방조제 배수갑문 조작관리규정 1부, 관계기관 검토의견 1부
99.02.03	시화호 관련사업 추진상황 종합점검 계획 통보	국무총리수질 개선기획단	환경부, 건교부, 안산시, 시흥시, 화성군, 한강환경관리청, 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 한국해양연구소, 해양수산부	시화호 관련사업 추진상황 종합점검계획 1부
99.03.24	시화호 수질개선대책 추진관련 관계기관 회의개최	국무총리수질 개선기획단	환경부, 건교부, 해수부, 한강환경관리청, 경기도, 안산시, 시흥시, 한국수자원공사	시화호 관련사업 점검결과 1부
99.04.03	시화호 수질개선대책 추진관련 관계기관 회의결과 통보	국무총리수질 개선기획단	환경부, 건교부, 해수부, 한강환경관리청, 경기도, 안산시, 시흥시, 한국수자원공사, 화성군	
99.04.26	시화호 내외 해양환경영향조사 관련 회의개최	해양수산부	환경부, 한국수자원공사, 한국해양연구소	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
99.08.12	용역계약기간 연장 알림	해양수산부	해양수산부 항만 국	
99.08.28	시화지구개발계획변 경(안) 재협의 보완	환경부	건설교통부	시화국가산업단지 개 발계획변경(안) 보완요 청1부
99.10.22	시화호 외해의 환 경영향조사 시행 촉 구	해양수산부	한국수자원공사	
99.11.02	"시화호 수질개선 대책" 관련회의 개 최	환경부	수질개선기획단, 농림부, 해양수산 부, 경인지방환경관 리청, 수공, 농진공, 안산시, 시흥시, 화 성군	
99.11.06	시화호 외해연안 환경영향조사 시행 계획 보고	한국수자원공 사	해양수산부	
99.11.12	"시화호 수질개선 대책" 관련회의결과 알림	환경부	건교부, 농림부, 해수부, 경기도, 경 인지방환경관리청, 수자원공사, 농어촌 진흥공사, 안산시, 시흥시, 화성군, 상 하수도국	회의결과 1부
99.11.25	시화호 외해연안 환경영향조사 용역 관련 회의 개최	해양수산부	한국수자원공사, 한국해양연구소	
99.12.14	시화호수질개선대책 관련 추진현황 알림	해양수산부	환경부	시화호 외해 연안환 경영향조사 추진현황 1부
00.02.01	시화호 외해연안환 경영향조사 용역관 련 회의개최	해양수산부	한국수자원공사, 한국해양연구소, 한 국해양수산개발원	
01.08.06	시화호 특별관리해 역 종합관리계획(안) 의견협의	해양수산부	기획예산처	시화호 특별관리해역 종합관리계획(안) 1부

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
01.08.18	전국 항만기본계획(안)에 대한 협의의견 회신	해양수산부 해양정책국	해양수산부 항만국	
01.08.24	시화호 특별관리해역 종합관리대책 관련 회의개최	해양수산부	국무조정실, 기획예산처, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 문화재청, 경기도, 안산시, 화성시, 시흥시, 한국수자원공사	시화호 특별관리해역 종합관리계획(안) 1부
01.08.24	시화호 특별관리해역 종합관리계획(안) 검토회신	기획예산처	해양수산부 해양정책국	시화호 특별관리해역 종합관리계획(안) 검토의견 1부
01.08.28	시화호 종합관리대책 관련의견 통보	해양수산부	환경부, 경기도, 화성시, 시흥시, 한국수자원공사	
01.09.10	시화호 특별관리해역 종합관리계획 송부 및 세부추진계획 제출 요청	해양수산부	국무조정실, 기획예산처, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 문화재청, 경기도, 안산시, 화성시, 시흥시, 한국수자원공사	회의결과1부, 시화호 특별관리해역 종합관리계획 1부
01.09.20	시화지구 북측간석지 개발계획 통보	건설교통부	해양수산부	
01.09.21	시화호 특별관리해역 종합관리계획 세부추진계획 제출	환경부	해양수산부 해양환경과	환경부 소관사업 추진계획 1부
01.09.26	시화지구 간척농지 개발사업계획 송부	농림부	해양수산부 해양환경과	시화지구(대송단지) 간척농지개발사업계획 1부
01.09.26	시화호 특별관리해역 종합관리에 따른 세부추진계획 제출	화성시	해양수산부 해양환경과	시화호 환경기초시설 설치계획1부
01.09.27	345kV 영흥송전선로 사업계획 송부	산업자원부	해양수산부 해양환경과	345kV 영흥송전선로 건설사업 추진계획 사본1부

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
01.09.28	시화호 특별관리해역 종합관리에 따른 세부추진계획 제출	안산시	해양수산부 해양환경과	안산하수종말처리시설 2단계 시설공사 1부, 대부하수처리장 시설공사 1부, 하수종말처리장 시설보완사업 1부
01.09.29	시화호 특별관리해역 종합관리계획 세부추진계획 제출	한국수자원공사	해양수산부 해양환경과	시화호 특별관리해역 종합관리계획 세부추진계획(안) 1부
02.08.08	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 검토요청	해양수산부	건설교통부, 환경부, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성시, 수자원공사	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 1부
02.08.24	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안)에 대한 검토의견 송부	한국수자원공사	해양수산부	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안)
02.08.24	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안)에 대한 회신	건설교통부	해양수산부	검토의견 1부
02.08.30	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 검토회신	경기도	해양수산부	시화호 종합관리계획 세부시행계획 검토의견 1부
02.09.04	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 검토의견 제출	화성시	해양수산부	시화호 종합관리계획 세부시행계획 검토의견 1부
02.09.07	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 관련	환경부	해양수산부	2003년 사업별 예산 확보현황 1부
02.09.16	시화호 종합관리계획 세부시행계획(안) 검토회신	시흥시	해양수산부	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
02.10.04	시화호 세부시행계획(안) 관련 회의 개최	해양수산부	국무조정실, 기획예산처, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 문화재청, 경기도, 안산시, 화성시, 시흥시, 한국수자원공사, 농업기반공사	
02.11.27	시화호관리위원회 위촉직 위원 추천	해양수산부	경기도 안산시 기획경제국 기획예산과, 경기도 시흥시, 경기도 화성시 산업경제국 축수산과	시화호관리위원회의구성 및 운영에 관한 규정 사본1부
02.12.03	시화호 관리위원회 회의 개최 통보	해양수산부	국무조정실, 기획예산처, 농림부, 산업자원부, 환경부, 건설교통부, 문화재청, 경기도, 안산시, 화성시, 시흥시, 한국수자원공사, 농업기반공사, 한국산업단지공단	시화호관리위원회의구성 및 운영에 관한 규정 사본1부
03.01.06	시화호 종합관리계획 세부시행계획 통보	해양수산부	국무조정실, 기획예산처, 농림부 농촌용수과, 산업자원부 산업입지환경과, 환경부 수질정책과, 건설교통부 국토정책과, 문화재청 천연기념물과, 경기도 해양수산과, 안산시 기획경제국 기획예산과, 경기도 시흥시, 경기도 화성시 산업경제국 축수산과, 한국수자원공사	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부분서
03.01.06	전문가 자문단 구성을 위한 전문가 추천	해양수산부	한국수자원공사, 농업기반공사, 한국산업단지공단, 안산 YMCA, 오산화성환경운동연합, 시흥의제21실천협의회, 농림부 농촌개발국 농촌용수과, 산업자원부 산업정책국 산업입지환경과, 환경부 수질보전국 수질정책과, 건설교통부 국토정책국 국토정책과, 문화재청 문화재기획국 천연기념물과, 경기도 농정국 해양수산과, 안산시, 시흥시, 화성시	
03.01.07	맑고푸른시흥21 전문가 자문단 추천의견	맑고푸른시흥21실천협의회	해양수산부	
03.01.21	시화호관리위원회 자료제출	한국산업단지공단	해양수산부	반월,시화단지 일반현황 및 폐기물매립장현황 각1부, 수질분야 추천내용1부
03.01.29	시화지구(대송단지) 간척농지개발사업 추진현황 제출	농업기반공사	해양수산부	시화지구 간척농지개발사업 추진현황1부
03.01.30	시화호 종합관리계획 세부시행계획 제출	한국수자원공사	해양수산부	시화호 종합관리계획 세부시행계획 1부
03.01.30	시화호 종합관리계획 세부시행계획 사업별 추진계획 제출	시흥시	해양수산부	불법어업 감시.단속 추진계획 1부



표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
03.03.12	시화호 관련 안산시 연도별 사업계획 제출	안산시	해양수산부	시화호 종합관리계획 안산시 세부시행계획안, 시화호 종합개발계획에 대한 안산시 입장 각 1부
03.03.12	시화호 공룡알화석 산출지 관료자료 송부	문화재청	해양수산부	시화호 공룡알화석산출지 현황 1부
03.12.19	시화호 관리위원회 회의 개최 통보	해양수산부	국무조정실 수질 개선기획단 사업지원부, 기획예산처 예산실 농림해양예산과, 농림부 농촌개발국 농촌용수과, 산업자원부 산업정책국 산업입지환경과, 환경부 수질보전국 수질정책과, 건설교통부 국토정책국 국토정책과, 문화재청 문화재기획국 천연기념물과, 경기도 농정국 해양수산과, 경기도 안산시 기획경제국 기획예산과, 경기도 시흥시, 경기도 화성시 산업경제국 축수산과, 한국수자원공사, 농업기반공사, 산업단지공단, 안산YMCA, 오산화성환경운동연합, 시흥의제21실천협의회	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
03.12.20	시 화 호 관 리 위 원 회 보고안건 추가	해양수산부	한국수자원공사	
04.01.14	시 화 호 관 리 위 원 회 회의결과 통보관련 의견제시	건설교통부	해양수산부 해양 환경과	
04.02.11	03년도 시화호 중 합관리계획 세부시 행계획 점검 및 '04 년도 사업계획서 제 출	한국수자원공 사	해양수산부 해양 환경과	시화호 종합관리계획 세부시행계획 추진성 과점검표 1부, '04년도 시화호 종합관리계획 세부시행계획 1부
04.02.12	03년도 시화호 중 합관리계획 세부시 행계획 점검 및 '04 년도 관련자료 제출	안산시	해양수산부 해양 환경과	시화호 종합관리계획 세부시행계획 추진성 과점검표 1부, 세부시 행계획(관리코드) 1부
04.02.13	2004년도 시화호 불법어업 단속계획 제출	시흥시	해양수산부 해양 환경과	불법어업 감시.단속 계획 1부
04.08.20	시화호 특별관리해 역 종합관리계획 개 선계획(안) 검토요청	해양수산부	국무조정실 수질 개선기획단, 기획예 산처, 농림부, 산업 자원부, 환경부, 건 설교통부, 문화재 청, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성시	시화호종합관리계획개 선계획(안)
04.08.20	시화호 관리위원회 안전 검토요청	해양수산부	공동수, 최지용, 박용철, 김은수, 강 성현, 윤경섭, 이한 수, 송미영, 박병권, 정갑식, 이혜근, 노 성호, 양하백, 이윤 남, 최종인 위원	시화호종합관리계획개 선계획(안)

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부문서
04.09.08	시화호관리위원회 개최알림	해양수산부	국무조정실 수질 개선기획단, 기획예 산처, 농림부, 산업 자원부, 환경부, 건 설교통부, 문화재 청, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성시, 한 국수자원공사, 농 업기반공사, 산업단 지공단, 안산 YMCA, 오산화성환 경운동연합, 시흥의 제21실천협의회	시화호관리위원회명단
04.09.10	시화호 수질개선대 책 추가시행계획 제 출	한국수자원공 사	해양수산부	시화호 수질개선대책 추가시행계획 1부
04.10.22	시화호 특별관리해 역 종합관리계획 개 선계획 송부	해양수산부	국무조정실 수질 개선기획단, 기획예 산처, 농림부, 산업 자원부, 환경부, 건 설교통부, 문화재 청, 경기도, 안산시, 시흥시, 화성시, 한 국수자원공사, 농 업기반공사, 산업단 지공단	시화호종합관리계획개 선계획
05.01.04	시화호 특별관리해 역 종합관리계획 '04 년도 추진실적 및 '05년도 사업계획 제 출	해양수산부	환경부 수질정책 과, 경기도 해양수 산과, 안산시 농어 촌진흥과, 시흥시 농어업과, 화성시 축수산과, 한국수자 원공사	자료작성양식
05.01.05	시화호특별관리해역 종합관리계획 '04년 도 추진실적 및 '05 년도 사업계획 제출	경기도	해양수산부 해양 환경과	

표 5-1-3-계속. 시화호 관련공문목록(1996.5.23 ~ 2005.02.15)

시행일	제목	발신처	수신처	첨부분서
05.01.31	시화호 특별관리해역 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 사업계획 제출	한국수자원공사	해양수산부 해양환경과	시화호 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 추진계획 1부
05.02.01	시화호 특별관리해역 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 사업계획 제출	시흥시	해양수산부 해양환경과	시화호 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 추진계획 1부
05.02.01	시화호 특별관리해역 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 사업계획 제출	안산시	해양수산부 해양환경과	시화호 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 추진계획 1부
05.02.15	시화호 특별관리해역 종합관리계획 '04년도 추진실적 및 '05년도 사업계획 제출	화성시	해양수산부 해양환경과	화성시 시화호 특별관리해역 종합관리계획 하수처리장 1부

#### 1.3.4. 2009년 자료 업데이트

홈페이지의 연례적 업데이트를 위해 2009년 자료를 등재하였다. '환경모니터링 현황' 쪽지는 2008년 환경모니터링조사 연구 사업의 결과를 반영하여 자료를 재작성 하였다. '시화호연표'도 2008년 내용을 업데이트 하였으며, 제3회 시화호 인터넷 사진전의 결과도 홈페이지에 등재하였다.

그 외에도 '마산포 앞바다' '어부의 탄식' '우리가 시화호에 모인 이유' '안산바다 별망어촌을 아십니까?' 등의 시화호에세이 4건, 시화호파노라마 3건, 나문재, 꼬마봉인밤나방, 쇠길앞잡이, 흰얼굴좁잠자리, 맛조개, 가시땃해삼, 언덕좁쌀무늬고둥, 말뚝성게, 왕좁쌀무늬고둥, 큰구슬우렁이 등, 생태자료 10건을 새롭게 등재하였다.

게시판의 '보도기사'는 시화호에 관한 언론보도를 매일 모니터링하여 등재하는 것으로 모니터링 한 것 중에서 시화호 홈페이지에 등재하기에 적절한 것으로 선택하여 올린다. 2009년 1월5일부터 12월6일까지 모두 151건의 보도기사를 스크랩하여 등재하였다.

표 5-1-4. 시화호 홈페이지 2009년 자료 업데이트 내용








시화호 에세이		<p>마산포 앞바다</p> <p>글 : 홍일선 사진 : 심민택</p>
		<p>어부의 탄식</p> <p>글 : 최지혜(성안중2) 사진 : 이계숙(시화호관리위원회 사무국)</p>
		<p>우리가 시화호에 모인 이유</p> <p>글 : 최서영(안화중 1년) 사진 : 최성님(시화호생명지킴이)</p>
		<p>안산바다 별망어촌을 아십니까?</p> <p>글 : 김갑곤(연안보전네트워크 사무처장) 사진 : 별망어촌계</p>
생태자료		<p>나문재 <i>Suaeda asparagoides</i> 중심자목 명아주과 사진 : 시화호관리위원회 사무국 장소 : 시흥갯골 일시 : 2009.8.25</p>
		<p>꼬마봉인밤나방 <i>Sphragifera biplaga</i> 나비목 밤나방과 사진 : 김태우(국립생물자원관 연구사) 장소 : 대부도 일시 : 2004. 8. 27</p>
		<p>쇠길앞잡이 <i>Cicindela specularis</i> 딱정벌레목 길앞잡이과 사진 : 김태우(국립생물자원관 연구사) 장소 : 북측 간석지 일시 : 2007.07.26</p>

표 5-1-4-계속. 시화호 홈페이지 2009년 자료 업데이트 내용

생태자료		<p>흰얼굴좁잠자리  <i>Sympetrum kunckeli</i> 잠자리목 잠자리과                      사진 : 김태우(국립생물자원관 연구사)                      장소 : 북측 간석지                      일시 : 2007.07.26</p>
		<p>맛조개  <i>Solen strictus</i> 이치목 죽합과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2007. 07. 20</p>
		<p>가시닷해삼  <i>Protankyra bidentata</i> 극피동물문 닷해삼과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2006. 07. 14</p>
		<p>언덕좁쌀무늬고둥  <i>Varicinassa varicifera</i> 신복족목 좁쌀무늬고둥과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2006. 07. 14</p>
		<p>말뚝성게  <i>Hemientrotus pulcherrimus</i> 공치목 둥근성게과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2006. 7. 14</p>
		<p>왕좁쌀무늬고둥  <i>Reticunassa festiva</i> 신복족목 좁쌀무늬고둥과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2006. 7. 14</p>
		<p>큰구슬우렁이  <i>Glossaulax didyma</i> 연체동물문 구슬우렁이과                      사진 한미선                      장소 오이도                      일시 2006. 09. 17</p>

표 5-1-5. 2009년 시화호관련 보도자료 목록

	날짜	출처	보도제목
1	2009.1.5	아시아경제	김문수 지사 "시화호 갈대습지를 최고의 생태학습장으로"
2	2009.1.5	연합뉴스	겨울철새 장관 이룬 안산 본오들녘
3	2009.1.7	뉴시스	경기도, 시화MTV 산업시설용지 확대-'시민단체 반발'
4	2009.1.8	서울일보	철새들의 따뜻한 안식처 '본오 들'
5	2009.1.9	고뉴스	철탐위의 노을
6	2009.1.9	KBS뉴스	바다 숨길 끊은 '불법 매립' 갯벌 위협
7	2009.1.10	KBS뉴스	2만마리 겨울 철새떼, 도심 주변으로
8	2009.1.10	인천인터넷 뉴스	대부도, 영흥도 겨울여행
9	2009.1.12	경향신문	경인운하, 3월 착공 어렵다
10	2009.1.13	서울신문	시화호 주변에 신재생에너지단지
11	2009.1.13	주간시흥	시화MTV 관련 시민단체 고발 건 무혐의 판결
12	2009.1.14	한겨레	인간도 감동시킬 '빨논병아리 내리사랑'
13	2009.1.15	한겨레	트리케라톱스 성체 발굴, '한반도 공룡' 풀 열쇠
14	2009.1.15	연합뉴스	화성서 백악기 초식공룡 화석 발견
15	2009.1.17	KBS뉴스	시화호 매립지 준설토 방치...오히려 오염
16	2009.1.18	연합뉴스	안산 농촌공사 연구원 부지에 생태주거단지
17	2009.1.20	기호일보	안산 화정천이 세느강으로 변모된다
18	2009.1.22	뉴스와이어	신설 고속도로 수혜 미분양 단지 '짬'
19	2009.1.23	중부일보	서안산 서경기도 아니고 왜 '서서울'
20	2009.1.30	인터넷환경 일보	환경보존, 시민과 함께
21	2009.1.30	주간시흥	경기도 이제 시흥시에 관심 갖나?
22	2009.1.30	경기방송	'시화호 지킴이'최종인씨 땀이 배어 있는 책 펴내
23	2009.1.30	안산인터넷 뉴스	준설선 기름유출사고 발생 부처별 책임 떠넘기기 급급.
24	2009.2.1	뉴시스	안산 시화호 선박 침수로 폐유 유출
25	2009.2.3	뉴스와이어	NPN-TV, '세계습지의 날, 갯벌사랑 캠페인' 방영
26	2009.2.3	한겨레	정부가 시화호 땅 팔아먹고 있다
27	2009.2.4	연합뉴스	"야생동물들 먹이입니다"
28	2009.2.5	YTN	시화호 주변 개발로 지역 발전
29	2009.2.9	연합뉴스	여행과 공부 겸한 생태공원 나들이
30	2009.2.11	연합뉴스	안산시 시화호 일대 경제자유구역 지정건의
31	2009.2.11	이데일리	시화호 일대 경제자유구역 지정 추진

표 5-1-5-계속. 2009년 시화호관련 보도자료 목록

	날짜	출처	보도제목
32	2009.2.16	뉴시스	안산 시화쓰레기매립장에 골프장 조성..경기도 공유재산계획 변경
33	2009.2.16	한겨레	화성 공룡알 화석산지 방문자센터 19일 개관
34	2009.2.18	연합뉴스	水公 시화호 고라니 9마리 포획작전
35	2009.2.19	서울신문	1억년전 공룡알 어떻게 생겼을까
36	2009.2.22	시사타임	이용남 박사, 국립자연사 박물관 위치로 화성시 최적
37	2009.2.26	내일신문	[사람이 희망이다]15년 함께 한 '시화호지킴이' 최종인씨
38	2009.2.27	경기방송	세계최대 시화호조력발전소 공정을 60%
39	2009.2.27	OBS	고라니에 새 보금자리
40	2009.3.2	경기조은뉴 스	시화호 어민의 바다 어민의 품으로.
41	2009.3.5	머니투데이	송산그린시티, '국제관광 메카' 개발 본격화
42	2009.3.11	뉴시스	시화호 찾은 '노랑부리저어새'
43	2009.4.10	세계일보	감사원 "시화호 홍수위 재산정율" 지적
44	2009.4.13	뉴시스	<소식>5월1일 시화호에서 항공 그림그리기 대회 열려
45	2009.4.13	경기조은뉴 스	화성환경시민단체, '화성바다농장' 개발 반발
46	2009.4.14	서울신문	시화호에 환경박물관 건립 추진
47	2009.4.17	서울신문	[물은 미래다] (4) 물이 그리는 미래
48	2009.4.17	일요신문	나들이 경기 안산 전원마을주택전시
49	2009.4.17	안산인터넷 뉴스	일본 사가현의회, 안산시의회 방문
50	2009.4.21	헤럴드경제	<그린성장시대>환경과 개발, 공존가능한가
51	2009.4.21	헤럴드경제	[그린성장시대]先생태계 後개발... 환경 갈등 줄이는 '제3의 길'
52	2009.4.21	연합뉴스	안산.시흥.화성 '경제자유구역' 추진
53	2009.4.23	한국일보	안산시-수공 개발이익금 14년 갈등 '일단락'
54	2009.4.24	현대일보	15년 끌어온 안산신도시 개발이익금 타결
55	2009.4.24	뉴시스	죽음의 호수 시화호 되살린 안산 '세계환경박물관' 건립
56	2009.4.25	데일리안	"생태관광, 안산시에서 즐기세요"
57	2009.4.28	환경일보	화성시 청소년, 해외견학 마치고 귀국
58	2009.4.29	오마이뉴스	"돌아갈 곳도 없는데 누가 쉽게 나가겠어?"
59	2009.4.29	아시아경제	화성 공룡알 화석지에 자연사박물관 들어서나
60	2009.5.3	기호일보	시화호 상공 화려한 에어쇼 탄성 절로 짜릿한 하늘체험 매일 6만명 다녀가



표 5-1-5-계속. 2009년 시화호관련 보도자료 목록

	날짜	출처	보도제목
61	2009.5.8	중부일보	미래의 살길, 대체에너지
62	2009.5.8	MBC뉴스데스크	하늘에 '비행기 택시' 뜬다
63	2009.5.9	안산인터넷뉴스	경기만 경제구역 타당성 용역 안산·시흥·화성일원 1억7천여㎡ 필요'
64	2009.5.13	뉴시스	시화호 서식 송어 2000여 마리 폐사
65	2009.5.14	경기방송	경기관광공사, '선감도 프로젝트' 두 마리 토끼 잡는다
66	2009.5.14	안산인터넷뉴스	재현되는 죽음의 호수 시화호
67	2009.5.15	경기신문	화성시 송산그린시티 토취장 문제 해결
68	2009.5.19	한국일보	[녹색혁명 한국경제] 제3부 : <11> 경기
69	2009.5.20	서울일보	안산 시화호에 경비행기 추락, 1명 사망
70	2009.5.20	연합뉴스	수자원공사 시화호 민간수질감시단 운영
71	2009.5.24	뉴시스	도심 한복판 안산천에 황로 백로 왜가리 집단 서식
72	2009.5.24	연합뉴스	안산 도심서 황로.송어떼 '장관'
73	2009.5.25	환경일보	생태체험, 공원으로 '봄나들이' 가볼까?
74	2009.5.26	경향뉴스	인천시민 이산화탄소 배출량 전국 5위
75	2009.5.26	광남일보	대우건설 세계 최대규모 시화호 조력발전소
76	2009.5.27	경기신문	대규모 재난 신속대응 만전...안산 시화호 일대서 29일까지 시행
77	2009.5.27	CBS노컷뉴스	'서해안'에서 한국의 미래를 꿈꾼다
78	2009.5.28	경기신문	시흥 시화공단 관리인 20명...환경개선 중요성 체험학습
79	2009.5.28	안산인터넷뉴스	안일한 안산시 행정
80	2009.5.29	시사타임	경기 화성시 전곡항 마리나 완공!
81	2009.6.1	주간시흥	시흥요트클럽 코리아컵 국제요트대회 종합2위 쾌거
82	2009.6.4	경기방송	대부도지역에서 불법 주.정차 단속
83	2009.6.4	노컷뉴스	'송산그린시티 개발사업' 토취장 지정합의
84	2009.6.5	뉴시스	수산과학원 "시화호 빈산소수괴 확산될 것"
85	2009.6.8	안산인터넷뉴스	2009 시화호 오프로드 자전거대회
86	2009.6.8	데일리안	<포토>띠풀의 은빛물결 파노라마
87	2009.6.8	KBS뉴스	죽음의 호수 '시화호' 생명이 날아들다!
88	2009.6.9	경도신문	환경의 날 '시민환경 한마당'
89	2009.6.10	동아일보	따뜻해진 한반도 '철새지도' 새로 그린다
90	2009.6.13	환경일보	시흥시 찾아가는 현장 대화 지속 실시

표 5-1-5-계속. 2009년 시화호관련 보도자료 목록

	날짜	출처	보도제목
91	2009.6.13	시흥저널	요트연합회장배 시화호 매치 레이스 열려
92	2009.6.15	한국재경 신문	여름방학 주제별 캠프 - (3)과학 캠프
93	2009.6.16	안산뉴시스	대부도 시화방조제 가로등 조명 경관 개선
94	2009.6.16	기호일보	경계를 너머 세계로, 기회의 땅 서해안
95	2009.6.17	서울뉴시스	시화호조력발전·CDM사업…저탄소녹색성장, 수자원공사가 이끈다
96	2009.6.19	경향뉴스	[포구기행](8) 안산 방아머리 선착장
97	2009.6.22	일간경기	화성일대 둘러보기
98	2009.6.22	SBS뉴스	[집중] 재활용 순환 골재, 비 오면 독성물질로
99	2009.6.25	투데이 포커스	어업 피해 보상금 노린 공무원, 의사, 사회 지도층 무더기 검거
100	2009.6.29	일간경기	안산시, 시화호 일대 아시아 문화마을 조성
101	2009.6.29	기호일보	시화호 남쪽에 에어파크 160만㎡ 조성
102	2009.7.2	오마이뉴스	지구는 독수리5형제, 시화호는 내가 지킨다!
103	2009.7.6	시흥저널	해병전우회, 시화호 수중 정화활동
104	2009.7.10	주간시흥	시화MTV 인구증원 놓고 수자원·시흥시·의회 대립
105	2009.7.12	인천인터넷 뉴스	인천안산초교, 과학 꿈나무 상상력 펼친 체험마당!!
106	2009.7.16	환경일보	시화호 인공습지 생태환경 변화 대처
107	2009.7.19	데일리안	시화호 청소년 생태문학캠프 계획
108	2009.7.22	대전일보	물문화관
109	2009.7.27	중부일보	주민·상인들 대규모 궤기대회 추진
110	2009.7.27	현장24	오염덩어리 페드럼통 불법 처리
111	2009.7.29	기호일보	공룡알 화석지 '원시가죽' 찰카
112	2009.8.5	경향뉴스	[땅과 사람들](12)인천의 마지막 남은 송도 갯벌
113	2009.8.5	경기방송뉴스	안산시 추모공원 조성사업 부지 가닥 잡아
114	2009.8.5	경향뉴스	안산 광덕로 일대 테마광장 4개주제로 내년10월에 준공
115	2009.8.5	경향뉴스	시화MTV 주거용지 대폭확대 논란
116	2009.8.7	경인일보	휴가철 不法 몸살앓는 시화호
117	2009.8.17	한국일보	한국수자원공사, 시화호에 청정 에너지 '넘실'
118	2009.8.18	현대일보	안산도시개발, 시화호 청소
119	2009.8.25	아시아투데이	화성호와 탄도호의 담수화 타당성 재검토 필요
120	2009.8.25	내일신문	안산 광덕로에 '25시광장' 조성

표 5-1-5-계속. 2009년 시화호관련 보도자료 목록

	날짜	출처	보도제목
121	2009.8.27	경기방송	시화호MTV사업변경 강력 반대
122	2009.9.2	현대일보	시화호 수변 레저형공원 '인기'
123	2009.9.5	연합뉴스	한국수자원공사, 시화호 불법 어로행위 단속
124	2009.9.10	서울신문	화성·탄도호 제2시화호 되나
125	2009.9.18	파이낸셜뉴스	한전, 시화호 송전선로 공사비 수공 상대 소송
126	2009.9.18	한국일보	팔뚝만한 송어떼 "점프 실력 봤지"
127	2009.9.22	한겨레	수공, 안산시와 '부적절 거래'
128	2009.9.23	연합뉴스	시화호 갈대습지서 환경축제
129	2009.9.24	머니투데이	시화호MTV, '생태+첨단'도시 2016년 탄생
130	2009.9.24	MBC뉴스	경기도 화성, '요트의 허브'로
131	2009.9.24	KBS뉴스	갈 곳 없는 시화호 철새들
132	2009.9.28	경향뉴스	테마파크 3곳 동시 추진 '컨셉 중복' 논란
133	2009.9.30	국민일보 쿠키뉴스	'검은 대재앙' 아직도 생생한데... 기름 유출 사고 끊이지 않는다
134	2009.9.30	경향뉴스	시화호 갈대습지 환경축제 外
135	2009.9.30	경인일보	경비행기 추락사고... 올해만 6명 숨졌다
136	2009.10.6	아시아투데이	[국감과일]순환골재 토양오염 기준 초과 오염물질 검출
137	2009.10.7	뉴시스	<국감>허천, "수자원공사, 시화호 오염 방지...물고기 못살아"
138	2009.10.8	연합뉴스	경기도, '세계생물정보기구' 내년 총회 유치
139	2009.10.11	연합뉴스	시화호에 저어새 280여마리 '장관'
140	2009.10.12	연합뉴스	안산습지공원에 신재생에너지 체험학습관
141	2009.10.16	연합뉴스	바다사랑시민연합, 환경부는 시화호MTV 기반공사장 중금속오염방지대책부터 강구하라
142	2009.10.17	KBS뉴스	시화호 불법 폐그물로 '몸살'
143	2009.10.19	시흥시민 뉴스	갯벌 다 깎인다, 바다를 가만히 놔둬라!! 송도11공구 공유수면 매립사업 주민설명회 결국 무산
144	2009.10.20	연합뉴스	대부도② 바다에 대해 공부하는 생태 여행
145	2009.10.22	안산뉴시스	시화호 쇠제비갈매기
146	2009.10.23	KBS뉴스	시화호에 모인 여름·겨울철새의 '동거'
147	2009.11.2	시흥저널	시화호를 활용한 '해양수도 시흥안산' 만들자
148	2009.11.4	뉴시스	대부도에 세계최대 규모 시화호조력발전소 정치식 가져
149	2009.11.10	연합뉴스	안산 시화호에 나타난 수리부엉이 부부
150	2009.11.26	안산뉴시스	시화호 자전거도로써 '짜당' 자전거타던 동호인 '중상'
151	2009.12.6	안산인터넷 뉴스	철새도래지역 시화호 일대

## 2. 시화호 인터넷 사진전 운영

### 2.1. 개요

2009년의 사진전은 기존의 2년간의 사진전의 평가결과에 따라 ‘시화호와 사람’이라는 주제로 진행되었으며, 출사대회도 일반시민이 아니라 사진 동아리를 중심으로 진행하였다. 이는 응모사진 및 수상작의 내용을 다양하게하고 수준 높은 사진을 확보하기위한 시도였으며, 결과적으로 주제와 장소의 다양성이 확보되었으나, 수준에 있어서는 특이할 만한 결과를 얻지 못하였다.

### 2.2. 추진방법

#### 2.2.1. 사전 회의

2007년부터 운영되었던 시화호 인터넷 사진전 및 출사대회의 성과를 검토하고 2009년 개최되는 제3회 시화호 인터넷 사진전 및 제2회 출사대회 운영 방향을 설정하기위해 자문회의를 개최하였다. 자문을 위해 제2회 사진전 심사위원, 2년간 시화호사진전이나 출사대회에 참석했던 사진동아리의 운영자들, 지역을 잘 알고 있으며 2년간 사진전의 진행을 지원해 왔던 지역의 시민단체 담당자 등을 포함하여 자문위원단(표 5-1-6)을 구성하였다.

표 5-1-6. 2009년 시화호 인터넷 사진전 및 출사대회 자문위원 목록

소 속	자문위원	비 고
경인일보 사진팀	김종택	사진팀장, 제2회 시화호사진전 심사위원
니콘캐논클럽	염관식	운영자
사진을 사랑하는 사람들	김영희	회원, 대부도 갤러리 운영자
	심민택	운영자
시화호생명지킴이	박선미	사무국장, 제1,2회 시화호사진전 심사위원
시흥안산사진동우회	송원동	공동운영자
	우종태	공동운영자

2년간의 사진전 개최결과를 분석·평가해 본 결과 사진전의 응모사진이 2008년의 경우 장소별로는 화석지 및 우음도가 42%, 오이도·방조제가 27%로 집중되고, 주제별로는 경치가 54%에 이를 정도로 제한적이라는 것이 문제점으로 지적되었다. 이에 따라 2009년 시화호 사진전의 주제가 “시화호와 사람들”로 정해졌으며, 사진전 개최 일정도 5월1일~ 5월30일로 결정되었다. “시화호와 사람들”이라는 주제는 지난 2회의 응모사진들이 경관 중심의 사진들이어

서 이번 사진전은 차별성을 두고 진행하는 것이 좋겠다는 자문의견을 반영한 것이고, 응모시기는 통상적으로 사진가들이 가장 활발하게 야외 촬영을 하는 시기가 4월 중순부터 5월 중순인 점을 감안하여 많은 사진을 정하였다.

출사대회는 전년의 일반시민들을 대상으로 사무국이 직접 모집하여 수행하던 것을 2009년에는 각 사진 동아리가 참가자 모집, 현장 진행 등을 하고, 사무국이 지원하는 것으로 하였다. 3회의 출사대회는 가능한 한 각기 다른 장소로 하기위해 사전에 사무국과 논의하기로 하였으며, 출사대회의 결과를 사무국에 보고하도록 하였다.

### 2.2.2. 제2회 시화호 출사대회 진행

2009년에는 총 3회의 출사대회를 진행하였다. 4월18일에는 주로 서울 거주자인 27명의 '네이버 니콘클럽' 회원들이 화석지 및 방수제로 출사대회를 진행하였다. 5월10일에는 시흥,안산 거주자들로 이루어진 '시흥안산 사진동호회' 회원 24명이 탄도 및 대부도로 출사를 하였으며, 5월16일에는 38명의 전국 각지의 '사진을 사랑하는 사람들'의 회원들이 남측간석지 지층 및 전곡항으로 출사대회를 진행하였다. 특히 '사진을 사랑하는 사람들'의 출사지였던 시화호 남측 간석지의 지층은 도로 예정지로 편입되어 도로 건설을 위해 쪼개져서 석재로 사용되려던 지역으로 보전과 관련된 일련의 운동이 진행되고 있어서 의미가 더 크다고 할 수 있다. 이에 사전에 사진 잡지사들 섭외하여 사진출사 대회를 동행취재하고 기사화 하였다. 시화호 출사대회와 지층에 대한 기사는 전문사진잡지인 DCM 6월호 'DCM 동행취재' 란에 게재되었다.

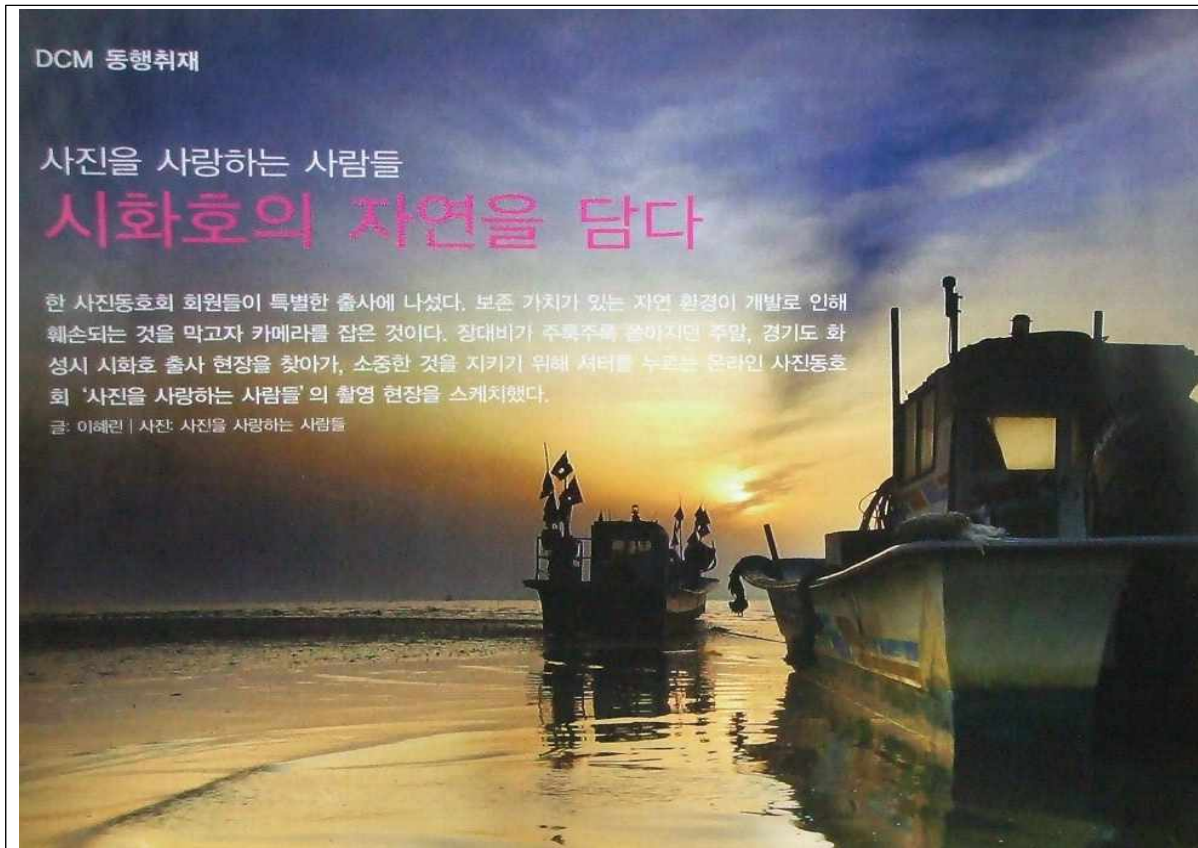


그림 5-1-2. 잡지에 소개된 시화호출사대회 내용

표 5-1-7. 2009년 제2회 출사대회 현황

사진모임 이름	일 정	장 소	비 고
네이버 니콘클럽	2009.4.18	공룡알화석지, 시화호 방수제	
시흥안산 사진동호회	2009.5.10	남측간석지, 각시당, 탄도항	
사진을 사랑하는 사람들	2009.5.16	남측간석지, 지층, 전곡항	전문 사진 잡지 'DCM'에 활동 내용 소개

2.2.3. 제3회 시화호 사진전 홍보 및 사진접수

사진전을 홍보하기 위해 4월부터 현수막과 웹홍보페이지를 제작하였다. 현수막은 시화호 방문자들의 눈에 잘 띄일 수 있도록 큰길, 시화반월공단 입구, 방조제 주변 등에 게시하였으며, 웹페이지는 시화호관리위원회 홈페이지를 비롯한 관련 단체, 기관의 홈페이지에 게시하였다.

**제3회 시화호 인터넷 사진전**

접수방법: 시화호 관리위원회 홈페이지 (www.shihwaho.kr)  
 응모기간: 2009년 5월1일~5월30일  
 문의: 031)400-6169

주관: 시화호 관리위원회 사무국 후원: 국토해양부

**제3회 시화호 인터넷 사진전**

시화호의 관련된 주제는 무엇이든 시화호의 환경생태를 보여주는 사진 / 시화호 유역에 사는 사람들의 모습 시화호의 풍경 / 시화호 유역의 어민문화를 알릴 수 있는 사진 / 시화호 개발관련 사진

접수기간 및 결과발표: 2009년 5월 1일 ~ 5월 30일 / 결과발표: 2009년 7월 16일(수), 개별면담 및 홈페이지 게시

주관 및 후원: 주관: 시화호 관리위원회 사무국 후원: 국토해양부

응모 방법: 작품규격: 2,560 X 1,920 pixel 이상(jpg, tiff, 3MB 이상)  
 작품 수: 1인당 최대 3점까지  
 접수방법: 시화호 관리위원회 홈페이지(www.shihwaho.kr)의 게시판을 통해서만 접수  
 홈페이지 접속 → 공모양식 작성 → 응모  
 기타문의: 시화호 관리위원회 사무국 / shihwaho@hanmail.net / T.031-400-6169

**시 상 내 용**

● 1등: 70만원 ● 2등: 각 30만원 ● 3등: 각 20만원 ● 인선: 20명: 각 5만원

부 상: 수상자 중 원하시는 분께는 시화호 현장투어와 기회를 드립니다.  
 자세한 내용은 수상자 발표시 제공됩니다.

유 의 사 항: - 상업목적, 저작권 등의, 초상권침해, 미풍양속에 위배되는 작품 등은 제외됨  
 - 뒤 권요한 수상작품 및 타인의 저작물을 도용한 경우는 제외되며 수상이후에 그 사실이 밝혀질 경우 수상 취소 및 상금 등을 환수함.  
 - 응모한 작품의 저작권 및 초상권 침해 등의 법적 책임은 응모자에게 있으며, 민, 형사상상 문제 발생시 응모자 본인에게 책임이 있음.  
 - 수상작의 경우 저작권료 해당수신부에 있음

※시화호관리위원회란?  
 2002년 시화호 관리위원회의 구성 및 운영에 관한 규정 제 434조에 따라 시화호에 대한 통합적이고 효율적인 방치부처원의 대책과 관리를 위해

그림 5-1-3. 시화호 사진전 현수막과 홍보 웹화면

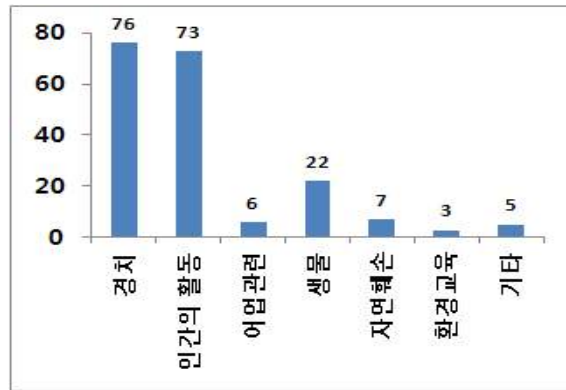


사진전 사진은 5월1일부터 30일까지 30일간 시화호관리위원회 홈페이지를 통해 접수하였으며, 한 응모자당 최대 3개까지, 3MB 이상의 용량으로 접수하였는데, 모두 총 192점의 작품이 응모하였다.

접수작품의 경향을 살펴보면 사람을 주제로 한 작품(어업포함)이 41%로 2007년 16점(총147점 중 10.9%), 2008년 34점(총167점 중 20.4%)에 비하면 2배에 이른다. 이는 사진전의 주제에 따른 것으로 주최자의 의도가 성공한 것으로 볼 수 있다. 하지만 여전히 정치사진도 2008년 (54%) 보다는 2009년(40%)이 줄었지만 여전히 많은 비중을 차지함을 알 수 있다.

표 5-1-8. 주제별 작품 수

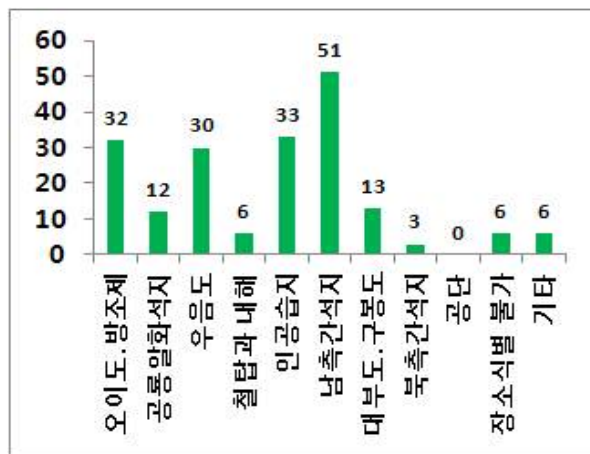
주제	09년	08년	07년
정치	76	91	66
인간활동	73	34	16
어업관련	6	13	10
생물	22	21	29
자연훼손	7	3	11
환경교육	3	4	8
기타	5	1	7
계	192	167	147



촬영장소별로는 남측간석지, 우음도, 화석지를 포함한 시화호남측의 사진이 전체의 48%로, 여전히 화석지와 우음도(19%)의 사진이 많으나 그 외의 남측간석지에 대한 사진(31%)도 많아졌음을 알 수 있다. 대부도·구봉도도 미미하게나마 증가하였다. 상대적으로 철탑과 내해의 사진은 급격히 감소하였다.

표 5-1-9. 응모작 촬영장소별

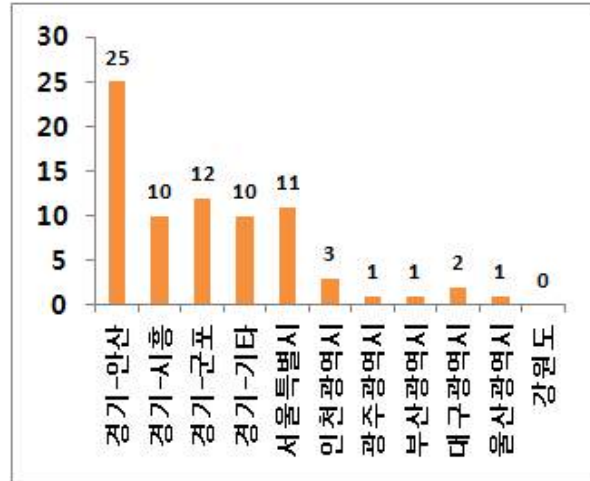
장소	09년	08년	07년
오이도.방조제	32	43	36
공룡알화석지	12	37	10
우음도	30	34	0
철탑과 내해	6	16	16
인공습지	33	8	23
남측간석지	51	12	11
대부도.구봉도	13	3	4
북측간석지	3	1	9
공단	0	0	2
식별 불가	6	11	36
기타	6	2	0
계	192	167	147



참가자 거주지별로는 여전히 안산이 33%로 제일 많고, 시흥, 군포, 서울, 경기 기타지역이 고르게 13% 정도씩 이다. 여러 가지 시도에도 불구하고 화성시 쪽의 참여가 전무한 것이 여전히 전한 문제로 남아있다. 2009년에는 화성시 쪽만 특별한 홍보를 해 보는 것도 좋겠다.

표 5-1-10. 참가자 거주지역별



지역	09년	08년	07년
경기-안산	25	19	19
경기-시흥	10	6	9
경기-군포	12		
경기-기타	10	16	18
서울특별시	11	17	9
인천광역시	3	4	1
광주광역시	1	0	1
부산광역시	1	0	1
대구광역시	2		
울산광역시	1		
강원도	0	0	1
계	76	62	59



### 2.3. 추진결과



2009년 사진전 총 192점의 응모작 중 박찬복의 '갯벌 추억만들기' 를 비롯한 2등 4작품, 3등 7작품, 입선20작품으로, 31점의 작품이 당선작으로 선정되었다. 올해는 심사위원들간의 의견이 합의되지 않아서 1등작을 내지 못하였다. 이는 누구나 동의할 수 있는 주제와의 적합성과 사진의 예술적 수준 양쪽에 대한 만족이 일치하는 단 한 작품을 가릴 수 없었기 때문이다. 대신 애초에 3명이었던 2등을 4명으로 조정하였다. 수상내용은 다음과 같다.






표 5-1-11. 2009년 시화호사진전 당선작 목록

응모사진	제목	내용	당선자
1등			
		당선작 없음	
2등			
	갯벌 추억만들기	시화호 갯벌에서 게를 잡으며 사진에 담고 있는 가족의 모습을 담았습니다.	박찬복
	공존	생과 사의 공존~~! 죽음속에 새생명! 상반되는 상황을 담아 보았습니다. 암울한 현실 속 우음도에서 이러한 상황을 목격한 것만으로도 맘이 행복해집니다.	임성묵



용모사진	제목	내용	당선자
2등-계속		표 5-1-9-계속. 2009년 시화호사진전 당선작 목록	
	모두의 쉼터	넓은 갯벌은 백로들의 쉼터, 저 먼곳은 누군가의 쉼터가 되겠지요	김재민
	밀레의 만종	대부도 동주염전에서 소금수확을 하고 계신 부부의 모습. 아직도 살아 숨쉬고 있는 바다에서 우리의 음식에서 없어서는 않될 소금이 소중한 하루였습니다.	최은아
3등			
	기다리는 사람들	온갖 고민들과 수많은 상념들을 지는 해에 담아서 벗어던지려는 사람들,,, 그리고, 또다시 내일의 태양이 뜨길 기다리는 사람들... *촬영장소: 오이도	이상진
	시화호로 날아오르다.	시화호 어섬에서 모터 패러글라이딩을 즐기는 사람들. 그들에게서 시화호의 바람직한 발전을 가늠해본다. 촬영장소 : 시화호 어섬(어도)	염관식
	진주담치와	시화호에 서식하는 진주담치와 생물 2007.6월 시화호 촬영	김평중
	자연속으로	화성시 송산면 고정리, 자연속에서 함께 숨쉬는 사람들....	류영수
	고정리 아침빛	고정리 아침빛에 빛나는 빨기꽃과 함께, 아름다운 풍경을 영원히 볼 수 있었으면 좋겠다는 희망을 가져봅니다.	송원동
	불꽃놀이	오이도의 밤. 아이들이 쏘아올린 불꽃을 담다.	김재충
	탄도항	안개가 많이 낀 날 이었습니다. 탄도항의 자욱한 안개가 아주 음산하고 신비로워 담아 본 사진입니다.	박기수
입선			
	희망	한 아이의 하늘을 바라보는 모습을 담아봤습니다. 꼭 희망을 본 듯한 표정입니다^^	강성욱
	오이도의 어부	오이도의 어부와 풍경	김기영
입선-계속		표 5-1-9-계속. 2009년 시화호사진전 당선작 목록	
	황금호수	가을 오후의 빛나던 햇빛 속에서..	신인태

용모사진	제목	내용	당선자
	갈매기와 사람들	해질녘 갈매기에게 먹이를 주며 사진을 찍고 있는 사람들과 갈매기들의 모습	김민선
	담 허물기	우리는 마음 속으로 자연과 담을 쌓고 살고 있는지도 모릅니다. 한 발자욱만 나서면 자연은 친구가 됩니다.	이상필
	우음도의 귀가	밭일을 마치고 한손에는 호미를 든채로 집으로 돌아오는 할머니의 뒷모습이 무거워보인다. 우음도의 집들에는 벽에 붉은 페인트로 표시를 해두고 있었다... 도로가 나면 없어질 집들을 표시해둔 것 이다. 매일같이 무거운 몸을 이끌고 귀가하는 할머니에게는 언제 어느 때 정든 집을 두고 쫓겨 나가야하는 현실이 두렵기만 하다...	김종웅
	시화호의 카이트 서퍼들	시화호안에서 바람이 많이 부는 날 카이트서핑을 즐기는 사람들이 있었다.	김철훈
	파래밭	환경오염의 대명사였던 시화호... 그러나 지금은 살아나 파래밭이 있다... 소중한 우리의 자연 더욱 잘 지켜야 ...	김아리
	시화호 풍경	형도에서 바라본 풍경으로 초록색으로 단장한 시화호와 구름이 잘 어울리는 풍경 촬영장소 : 형도	장정동
	만선의 꿈	만선의 꿈을 꾸고있네 . 시화호의 옛 추억을 생각 하면서.....	이호현
	잉어의 산란	안산천에 오월이 되면 산란기를 맞은 수많은 잉어들이 서로 짝짓기를 하려고 몸부림 치는것을 볼 수가 있다.	유춘형
	만선의 꿈	비록 보잘것없고 작지만... 만선의 꿈을 가득신고 나는야 두둥실~~~	김성철
	각시당에 간 사람들	바다나간 신랑을 기다리다 숨진 각시의 애절함이 있는 곳. 고립된 초소에 군인들의 애환이 있는 곳.. 개발이 되면 사라질 곳이기애 더욱 아련합니다. 가보고 싶었던 각시당을 다녀왔습니다.	우종태
	행복	행복이라는 단어가 가장 먼저 떠오르는 사진인 것 같습니다.	박규화
입선-계속		표 5-1-9-계속. 2009년 시화호사진전 당선작 목록	
	비오는 날의 탐방	시화호는 공통알 화석지로 유명한 곳이다. 빗물이 고이고 미끄러운 갯벌을 맨발로 걸어서 공통알 화석지 탐방에 나선 초등학교생들의 즐거워하는	오도연

용모사진	제목	내용	당선자
		모습	
	작업하러 가는 길	삶의 터전으로 경운기를 타고 작업하러 나가시는 사람들입니다	장원
	새벽녘의 오이도	많은 사람들이 찾는 오이도지만 새벽녘의 오이도도 아름답습니다..	김정재
	갈대습지의 가을	안산갈대습지 공원의 가을 모습입니다.	강태수
	시화호의 새벽	시화호의 새벽 아파트와 어우러져 아름다운 풍광을 연출하고 있다.	최영득
	백선	백선은 5~6월에 개화하며 한약재로 사용 한다.	김영환

### 3. 홍보사업

#### 3.1. 개요

시화호 홍보사업은 크게 홍보행사와 홍보물 제작으로 나눌 수 있다. 홍보행사로는 시화호 홍보부스 운영과 '시화바다에서 건져올린 희망전2' 개최를 지원하였고, 홍보물로는 영문판 '시화호에서 사라져가는 것들'의 재번역 및 발간, 시화호브로서 보완 및 재인쇄, PEMSEA 홍보물 제작 등이 있다.

#### 3.2. 추진방법 및 결과

##### 3.2.1. 홍보행사

2009년 시화호 홍보행사는 2회에 걸쳐 진행되었다. 6월6일 안산시가 개최하는 환경의 날 기념 '시민환경한마당' 행사에서 시화호지킴이와 협조하여 시화호 홍보부스를 운영하고 시화호 사진전, 시화호 골든벨 행사를 개최하였다.

'시화바다에서 건져 올린 희망전 2'는 사전에 시화호 예술문화 시민창작프로젝트가 진행되고 프로젝트의 결과물인 시민창작물을 전시하는 방식으로 진행되었다. 시화호 예술문화 시민창작 프로젝트는 판화, 사진, 도예 3분야의 예술가와 시민들이 시화호 현장을 방문한 후 9월20일부터 10월18일 까지 한달간 그 느낌과 희망을 담아 시민창작활동을 하였다. 이 성과물들을 모아 11월18일부터 12월 16일 사이에 '시화바다에서 건져올린 희망전2'가 개최되었다. 시화호 예술문화 시민창작프로젝트는 경기도의 지원으로 단원과 수평과 연안보전네트워크가 진행하였으

며, 시화호사업에서는 ‘시화바다에서 건져 올린 희망전2’ 행사를 지원하였다. ‘시화바다에서 건져 올린 희망전2’은 개막행사로 도예 퍼포먼스와 대금연주를 하였고, 전시기간 중 총 4회의 어린이와 일반시민들을 대상으로 한 짱둥어 만들기 행사를 진행하였다.



그림 5-1-4 . 시화바다에서 건져올린 희망전2 관련 홍보물

### 3.2.2. 홍보물 제작

2009년 홍보물 제작 사업은 주로 2006년부터 제작 된 시화호 홍보물을 보완 재제작하는 방식으로 진행되었다. ‘시화호에서 사라져 가는 것들’ 영문판은 영어 번역을 다시 하여 1,000부 재제작 하였고, 2007년 제작 된 일반시민을 위한 ‘시화호’ 국문 브로셔는 소관부처의 변경으로 인해 제인쇄하였다. 한편 2009년 개최되는 PEMSEA EAS총회를 위해 시화호와 시화호종합관리계획의 성과를 홍보하는 홍보부스를 운영하였는데, 이에 필요한 포스터를 ‘Lake Shihwa’, ‘Lake Shihwa Renovation Program’, ‘Tackling Diffuse Pollution in the Lake Shihwa Watershed’으로 3종 제작하였다.

## 제 2 절 교육 및 훈련

### 1. 일반시민을 위한 시화호투어 실시

#### 1.1. 개요

시화호 유역의 청소년 및 시민들의 역량을 강화시키기 위하여 지역의 청소년, 시민 등을 대상으로 시화호 투어를 실시하여왔다. 시화호투어는 2004년 시화호의 교육과정을 개발할 당시부터 시작하여 오늘에 이르렀으며, 2006년 시화호투어와 관련된 코스가 개발되었다. 2009년은 연 6회 실시하였으며 각 일정은 기본적인 시화호 일반현황과 참여자의 특징, 수준에 맞추어 주제별로 특화된 부분을 포함하여 진행하였다. 대상자로부터 사전, 사후설문지를 작성하여 향후 사업을 개선 발전시키는 것에 활용하였다.

#### 1.2. 추진방법

시화호투어는 시화호 교육의 새로운 기준이 된 모델 프로그램으로써 일반시민을 중점대상으로 하여 표 5-2-1, 표 5-2-2, 표 5-2-3과 같은 방법으로 1일 동안의 투어를 실시하였으며 대상자의 요구에 따라서 하나의 주제(생태 및 문화)를 강조하여 실시하기도 하였다. 2009년도 시화호투어를 주제별(표 5-2-4. 시화호 유역의 장소에 따른 설명)로 분석해보면 일반적으로 개발에 대한 일정은 6회(31.58%), 생태와 관련된 일정은 7회(36.84%)로 50%이상 이였고, 역사와 문화에 관한 일정은 2회(10.53%), 지질과 지층에 관한 일정은 2회(10.53%), 시화호유역의 하천과 수질에 관한 일정은 2회(10.53%)로 나타났다. 시화호과업에는 포함되지 않았으나 시화호생명지킴이가 2009년 실시한 시화호와 관련된 실내강좌와 시화호투어의 일정은 표 5-2-5와 같다.

표 5-2-1. 시화호투어 일정1-일반적인 투어

일시	장소	내용
9:40 - 10:30	공단전망대	시화호 전경과 위치 파악, 시화호 역사
	북측간석지의 해안도로	시화호MTV개발에 대하여 시화호유역의 갈등상황설명
10:30 - 11:00	오이도 전망대	시화호 내해와 외해비교
	시화방조제	방조제 생성 후 어촌의 모습 방조제의 모습
11:00 - 11:30	조력발전소	수질개선을 위한 노력, 공사 진척상황
11:30 - 12:10	시화호 환경문화관	시화호 유역의 과거와 현재 시화호 유역의 문화, 역사
13:00 - 13:40	탄도	농촌공사의 농지조성 탄도의 자연해안선
13:40 - 14:50	공룡알화석지	시화호유역의 지층 시화호유역의 생물상 변화



표 5-2-2. 시화호투어 일정2-역사를 중심으로

시간	장소	내용
10시 00분 - 11시	갈대습지공원	시화호개발의 역사 철새탐조
11시 00분 - 12시	갯머리성황당	성곡산성의 유래 갯머리 포구의 대 중국 해상로 설명 갯머리 성황당의 과거와 현재
2시 - 3시	공룡알화석지	공룡알화석지 동영상보기 공룡알화석지 탐사

표 5-2-3. 시화호투어 일정3-철새탐조를 중심으로

시간	장소	내용
10시 - 11시	시화호갈대습지공원	철새탐조
11시00분 - 12시	공단전망대	시화호 개발 전 시화호구역의 모습 시화호 사람들에 대하여 시화호 개발의 역사
2시 - 3시 30분	공룡알화석지	공룡알화석지 동영상보기 공룡알화석지 탐사

표 5-2-4. 시화호 구역의 장소에 따른 설명




장소	장소에 따른 설명
<p>시화호 갈대습지공원</p> 	<p>이 장소는 반월천, 동화천, 삼화천의 물이 모이는 장소이며 이곳에서 하천에서 유입된 물을 정화 처리하여 시화호로 방류하는 장소이다.</p> <p>현재 시화호투어장소로는 많이 이용하지 않지만 초등학생일 경우 이곳에서 교육하는 일이 종종 있다.</p> <p>이 장소에서는 시화호개발의 역사와 수질오염에 대한 설명을 주로하며 시화호의 생태계가 살아나고 있다는 설명도 부가한다.</p> <p>주로 시화호의 철새를 탐조하는 장소로 애용한다. 철새만을 탐조할 목적으로 이 장소를 사용한다면 약 1시간 30분에서 2시간에 걸쳐 탐사하고 시화호투어시 한 장소로만 사용한다면 약 30분에서 40분간에 걸쳐서 이용한다.</p>

표 5-2-4-계속. 시화호 유역의 장소에 따른 설명

장소	장소에 따른 설명
<p>공단 전망대</p> 	<p>시화반월공단과 안산시, 화성시를 조망할 수 있는 장소이다. 이 장소에서는 시화호개발의 역사와 더불어 과거 시화호유역에 대한 장소설명을 한다. 조망가능한 장소에 대하여 과거에 대한 설명을 하고 공단에서 일하고 있는 사람에 대한 설명과 과거 서해안의 군사요충지로서의 역할과 서해안 어업의 중심의 역할도 더불어 설명한다. 약 40분에서 1시간정도 소요.</p>
<p>갯머리성황당</p> 	<p>안산과 시흥의 성황당 설화가 전해 내려오는데 통일신라와 고려와의 접이적인 역사를 말해주는 장소이다. 성황은 성벽과 공호로 둘러싸인 도시라는 의미이며, 성황신앙이란 성곽도시의 수호신에 대한 신앙체계라고 할 수 있다.</p>
<p>오이도 전망대</p> 	<p>시화방조제를 사이에 두고 오이도 바다와 갯벌 그리고 시화호를 조망할 수 있는 장소이다. 옛 어업활동과 시화호에서 살았던 사람들과 현재 살고 있는 사람들에 대한 설명을 주로 한다. 약 15분에서 20분간 소요.</p>
<p>시화 방조제</p> 	<p>시흥의 오이도와 안산의 대부도를 잇는 방조제로 자동차로 이동하면서 설명하며 이곳 역시 오이도 바다와 갯벌 그리고 시화호를 조망할 수 있는 장소이다. 주로 방조제의 건설과 길이를 언급하고 내해와 외해를 비교해 본다.</p>
<p>조력발전소</p> 	<p>시화호의 수질개선을 목적으로 조성되고 있는 조력발전소에 대하여 발전의 원리와 규모 등에 대한 설명을 주로 한다.</p>
<p>시화호 환경문화관</p> 	<p>이곳에서는 시화호 내해를 관통하는 송전철탑을 한 눈에 볼 수 있다. 이 장소에서는 시화호개발의 역사를 살펴 볼 수 있는 장소로 과거와 현재의 시화호모습을 한눈에 볼 수 있다. 물론 개발 주체자가 보여주는 것을 다 설명하지는 않는다. 시민단체의 입장에서 보는 시화호로 설명한다.</p>

표 5-2-4-계속. 시화호 유역의 장소에 따른 설명

장소		장소에 따른 설명
탄도		이 장소는 과거 마산수로라 불리우는 곳으로 근처의 채석장에는 공룡발자국이 발견되어 경기도 문화재로 지정되어 있는 곳도 있으며 안산시가 만든 어촌전시관도 위치해 있다. 또한 서해안의 섬으로 여행할 수 있는 전곡항과 누애섬(등대박물관)도 위치해 있다. 탄도에서는 과거 마산수로의 역사적 사건을 설명한다.
안산어촌민속 전시관		시화호유역의 어촌과 갯벌의 모습을 보여주는 전시관으로 제1전시실에는 '안산시의 역사와 생태환경'을 제2전시실에는 갯벌의 종류와 특징을 알 수 있도록, 제3전시실에는 안산어촌과 민속을 재현한 공간으로 구성되어 있다.
공룡알화석지		이 장소는 안산시와 공단을 안산시의 건너편인 화성시에서 바라보며 전체적으로 조망할 수 있으며 과거 바다였던 곳에서 공룡알화석지 발견됨으로써 480만평이 천연기념물로 지정된 장소이다. 이곳에서는 주로 지질과 화석에 대한 설명과 공룡에 대한 설명을 한다. 한국지형에서는 보지 못하는 초원같은 분위기를 맞볼 수 있으며 자연적 천이현상이 이루어지는 장소로 설명될 수 있는 곳이다.
당성		계곡을 둘러싼 포곡식 산성으로 남북으로 길다란 네모에 가까운 형태를 하고 있다. 현재는 동문·남문·북문터와 우물터, 건물터가 남아있으며, 성의 내벽은 흙으로 쌓고, 외벽은 돌로 쌓았다. 이 지역은 처음에는 백제의 영역이었다가 한때 고구려의 영토로 당성군이라 하였으나 신라가 이 지역을 점령하게 되자 당항성이라 하고, 바다를 건너 중국과 통하는 길목의 역할을 하던 곳이다 당성이 소재하는 남양지역은 지금은 화성시이지만 신라 경덕왕 때는 당은군으로서, 중국과의 교통로로서 중요한 구실을 하였으며, 신라 후기에는 이곳에 당성진을 설치해서 청해진과 함께 신라 해군의 근거지로 중요시되었던 곳이다.



### 1.3. 추진결과

#### 1.3.1. 시화호투어 결과

시화호투어는 연6회에 걸쳐 시행될 계획이었다. 그러나 총19회에 걸친 실내강좌를 포함하는 일정이 있었으며(표 5-2-5). 2009년 시행된 시화호관련 강좌와 투어일정 참조) 이는 시화호유역의 시민뿐 아니라 시화호유역의 인근인 서울, 인천, 안성 지역의 주민에게도 시화호는 큰 관심거리임을 시사하고 있다고 할 수 있다. 시화호투어의 주제별 코스는 1) 개발의 역사에 대한 일정은 6회(31.58%) 진행하였고 2) 생태 및 문화를 주제로 하는 일정은 7회(36.84%)로 가장 많은 부분을 차지하였다. 3) 역사와 문화에 관한 일정은 2회(10.53%) 4) 시화호유역의 하천과 수질에 관한 일정은 2회(10.53%)로 나타났다.

표 5-2-5. 2009년 시행된 시화호관련 강좌와 투어일정

	일시	대상/강사	내용	비고
1	4월 11일(토)	환경교육연구지원센터 청소년 25명 /강사 : 박선미	공단전망대 → 시화호 환경문화관	
2	5월 16일(토)	송호중학교 청소년 90명 /강사 : 김남미, 윤정임, 박옥선, 최운경	① 시화호유역의 역사를 중심으로 : 별망성 → 잿머리성황당 → 북측간석지 전망대 → 오이도 ② 시화호유역 개발을 중심으로 : 공단전망대 → 오이도 → 시화호 환경문화관	○
3	6월 11일(목)	일반시민 /강사: 윤진수(인천교육청)	시화호의 지층과 지질 : 안산시청 → 대부도 방아머리 → 탄도 공룡발자국 화석지 → 우음도 → 화석지앞	○
4	6월 13일(토)	송호중학교 청소년 45명 /강사 : 이희경	시화호유역의 역사와 문화 송호중학교 → 공단전망대 → 잿머리성황당 → 시화호환경문화관	
5	6월 16일(화)	별망중학교 40명 /강사 : 김남미	시화호유역 개발의 역사에 대하여 (실내강좌)	
6	6월 26일(금)	안산지역 청소년 50명 /강사 : 박선미	시화호 유역의 하천과 수질에 대하여 (실내강좌)	
7	7월 4일(토)	중학생 40명(초록교육연대) /강사 : 김종수, 윤정임	시화호의 생태과 개발의 역사 갈대습지공원 → 공단전망대 → 잿머리성황당 → 환경문화관	○
8	7월 17일(금)	안성죽산중학교 (해양시범학교) 30명 /강사 : 박선미	시화호유역의 개발역사와 현황	

표 5-2-5-계속. 2009년 시행된 시화호관련 강좌와 투어일정

	일시	대상/강사	내용	비고
9	7월 26일(일)	교사 및 지역의 활동가 27명 /강사 : 박선미	시화호유역의 개발역사와 현황 공단전망대 → 시화호환경문화관 → 탄도 → 공룡알화석지	
10	8월 5일(목)	안산지역 청소년 24명 /강사 : 김미옥(안양의왕군포 환경련), 박선미	시화호유역의 하천과 시화호에 대하여 : 안산천의 상류 → 중류 → 시화호 상류 (도보트레킹)	
11	8월 13일(목)	상문고등학생 70명 /강사 : 김종수, 김남미, 임미정	시화호의 생태와 개발의 역사 갈대습지공원 → 공단전망대 → 시화호 환경문화관 → 대부도	
12	8월 14일(금)	청소년 및 가족 40명 /강사 : 이계숙	시화호유역의 개발역사와 현황 및 생태 (실내강좌)	
13	8월 16일(일)	청소년 및 가족 40명 /강사 : 박선미	시화호유역의 개발역사와 현황 및 생태 (실내강좌)	
14	8월 18일(화)	일산 중학교 학생2명, 교사1명 /강사 : 박선미	습지생물(갈대)의 정화 능력에 대한 연 구 : 갈대습지공원 → 시화호 환경문화 관 → 공룡알화석지	
15	8월 19일(수)	인천 연성중학교 40명 /강사 : 박옥선	시화호유역의 지층에 대하여 : 시화호 환경문화관 → 방아머리 → 탄도 → 공 룡알화석지	○
16	8월 21일(금)	청소년 40명 /강사 : 박선미	시화호유역 개발의 역사와 생물 그리고 사람들(실내강좌)	
17	8월 29일(토)	안성 죽산중학교 40명 /강사 : 박선미	시화호유역의 생태와 공룡알함석지의 지 질에 대하여(공룡알화석지)	
18	10월 24일(토)	일반인 및 가족 13명 /강사 : 김종수, 박선미	시화호의 생태(철새탐조)와 개발의 역사 갈대습지공원 → 공단전망대 → 대부도 → 공룡알화석지	○
19	11월 28일(토)	인천 정각 초등학교 20명 /강사 : 김종수, 박옥선	시화호의 생태와 문화 : 갈대습지공원 → 잣머리성황당 → 공룡알화석지	○



그림 5-2-1. 시화호투어 활동사진

### 1.3.2. 시화호투어 설문결과

#### (1) 설문지

##### (가) 사전설문지

사전설문지는 설문지의 기본적인 항목을 비롯하여 시화호에 몇 번이나 방문하였는지, 방문하였다면 어떤 장소를 방문하였는지, 다시 가 보고 싶은 장소가 있는지, 시화호에 대해 궁금한 사항이 어떤 것이 있는지를 묻는 설문으로 시화호투어 이후 어떠한 변화가 있는지를 알아보려는 설문이다. 사전설문 내용은 표 5-2-6과 같다.



(나) 사후설문지

사후설문지는 시화호투어에 대한 만족도를 묻는 기본질문을 비롯하여 시화호유역의 자연보전(환경보전에 대한 의식을 포함하여)과 개발에 대한 시민들의 의견을 묻는 질문, 시화호유역의 오염도를 묻는 질문, 과학과 환경과의 관계, 시화호유역 개발의 수혜자를 묻는 질문 등 총 12 문항으로 이루어져 있으며 이후 시화호투어 시 코스개발과 교육의 방향을 정하는 데 도움이 되고자 실시하는 설문이다.

표 5-2-7. 시화호투어 사후 설문지

타임머신 「시화호」(사후 설문지)

안녕하세요?

다음의 설문은 시화호생명지킴이가 주최하고 있는 시화호투어에 참석하신 시민들을 대상으로 시화호와 시화호투어에 대한 생각을 알아보기 위하여 작성한 것입니다.

질문1. 시화호투어는 만족스러우셨나요?  
 ① 아주만족 ② 대체로 만족 ③ 보통 ④ 불만족 ⑤ 아주 불만족

질문2. 시화호투어시 해보고 싶은 투어의 방법이 있었다면 말씀해 주세요.  
 ① 장소 둘러보기 ② 체험행사 ③ 기타( )

질문3. 시화호 간석지 위에 새로운 공업단지(MTV : 연구개발, 유통 등의 지원기능과 관광휴양의 여가기능이 조화된 미래지향적 첨단복합단지로 조성, 수도권 첨단산업의 계획 입지 제공으로 개별입지에 따른 난개발을 방지하고 주변 단지와 상호보완 기능으로 기업 경쟁력 제고 및 지역 경제 활성화 도모, 개발이익으로 시화지역 환경개선사업비 확보가 목적) 조성이 되고 있으나 자연상태로 둔다면 2009년 이후에 되살아 날 것입니다. 이곳의 갯벌을 매립해야 할까요?  
 ① 시화호를 매립해서 공업단지를 만드는 것이 좋다.  
 ② 시화호 갯벌을 매립하지 말고 보전하는 것이 좋다.  
 ③ 어떻게 해야 할지 좀 더 심사숙고하여 나중에 결정해야 한다.  
 ④ 어떻게 해야 할지 잘 모르겠다.

질문4. 시화호를 공업, 주거, 레저용으로 개발하려고 하는데, 시화호의 철새 서식지는 어떻게 해야 할까요?  
 ① 철새 서식지를 개발하는 것보다는 보존하는 것이 좋다.  
 ② 철새보다는 경제 개발이 중요하므로 철새 서식지가 없어지는 것은 어쩔 수 없다.  
 ③ 어떻게 해야 할지 잘 모르겠다.

질문5. 과학기술이 발달하면 오늘날 우리가 당면한 모든 환경문제를 해결할 수 있을까요?

- ① 과학기술이 더 발달되면 모든 환경문제를 해결해 줄 수 있을 것이다.
- ② 과학기술이 아무리 발달해도 생각이 변하지 않으면 오염문제 해결은 불가능하다
- ③ 어떤 방법으로 환경문제를 해결해야 할지 잘 모르겠다.

질문6. 여러분들이 살아갈 미래의 시화호는 어떤 모습이어야 할까요?

- ① 기술의 개발로 모든 환경문제를 해결할 수 있을 것이므로 공업단지와 신도시를 개발하는 것이 좋다
- ② 기술개발로는 환경문제를 완전하게 해결할 수 없을 것이므로 자연을 잘 보전하는 것이 좋다.
- ③ 잘 모르겠다.

질문7. 여러분은 경제발전과 환경보전 중에서 어떤 것이 더 중요하다고 생각합니까?

- ① 경제발전이 무엇보다도 중요하므로 환경문제를 감수하더라도 공업단지와 신도시를 건설하는 것이 좋다
- ② 환경문제가 우선이므로 경제발전보다 자연을 보전하는 것이 필요하다.
- ③ 잘 모르겠다.

질문8. 시화MTV는 자연환경과 첨단산업이 함께하는 21세기형 첨단 복합산업단지로 첨단, 벤처업종 등 지식기반산업을 중심으로 연구개발, 유통 등의 지원기능과 관광휴양의 여가기능이 조화된 미래지향적 첨단복합단지로 조성, 수도권 첨단산업의 계획입지 제공으로 개별입지에 따른 난개발을 방지하고 주변 단지와 상호보완 기능으로 기업 경쟁력 제고 및 지역 경제 활성화 도모, 개발이익으로 시화지역 환경개선사업비 확보로 시화지역 환경(대기 및 수질) 획기적인 개선을 하는 것이 목적이라고 합니다. 이러한 시화호유역의 개발에 따른 이익이 있다면 최우선 수위의 수혜자는 누구라고 생각하십니까?

- ① 사업을 시행하는 개발당사자      ② 자연생태계      ③ 시화호유역에 살던 주민
- ④ 정부부처      ⑤ 수자원공사      ⑥ 반월시화공단의 사장      ⑦ MTV지역에 입주하는 업체

질문9. 시화호 개발 중 주요 생물보호종이 발견된다면 어떻게 하는 것이 옳다고 생각하십니까?

- ① 개발을 중지하고 보호종을 살린다.
- ② 보호종을 제2지역으로 옮긴 후 개발한다.
- ③ 어차피 생물은 적응능력이 있으므로 관계없이 개발한다.

질문10. 현재 여러분이 생각하는 시화호의 오염은 어느 정도라고 생각하십니까?

- ① 시화호 건설이전과 동일한 상태다.
- ② 시화호 건설이전 상태로 돌아갈 수는 없으나 지금은 어느 정도 회복된 상태이다.
- ③ 건설이전보다 오염이 심각하다.
- ④ 전혀 회복되지 않았다.

표 5-2-7-계속. 시화호투어 사후 설문지

질문11. 시화호 건설로 인한 전 세계 멸종 및 보호종 철새의 개체수가 줄어든 것에 대해 국제적 지탄을 받는다면 어떤 입장이십니까?

- ① 철새문제는 전 지구적 문제이므로 책임감을 동감한다.
- ② 시화호 건설은 내가 한 것이 아니므로 내 알바 아니다.
- ③ 나는 아니지만 건설주체는 마땅히 비난받아야 한다.
- ④ 철새문제를 해결하기 위한 조그마한 실천이라도 하겠다.

질문12. 시화호 안에서 어업이 허가 된다면 그 수산물을 드시겠습니까?

- ① 마음 놓고 먹겠다.
- ② 어쩔 수 없는 경우에만 먹겠다.
- ③ 절대로 먹지 않겠다.

질문에 답해주셔서 감사합니다.

2009년 월 일

주최 : 시화호생명지킴이

후원 : 한국해양연구원, 국토해양부

www.shihwalake.org

(2) 설문결과(2008년과 비교)

(가) 사전설문

사전설문에 응답한 시화호투어참가자는 총 127명(2008년 72명)이다.

- ① 질문1-1. 당신은 남자 59명(46%), 여자 64명(51%), 무응답 4명

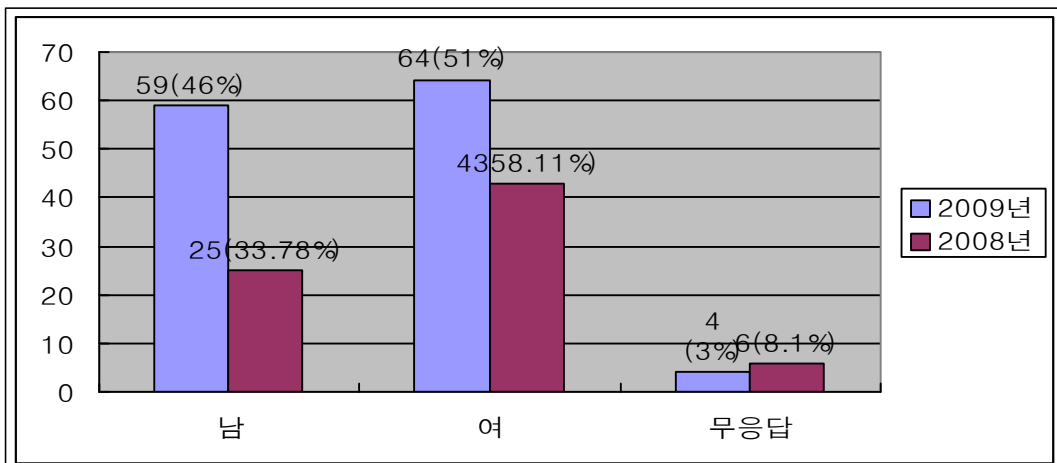


그림 5-2-2. 응답자의 성별

② 질문1-2. 당신은 10대 121명(95%), 20대 0명, 30대 3명(2.4%), 40대 3명(2.4%), 50대- 60대 이상 0명

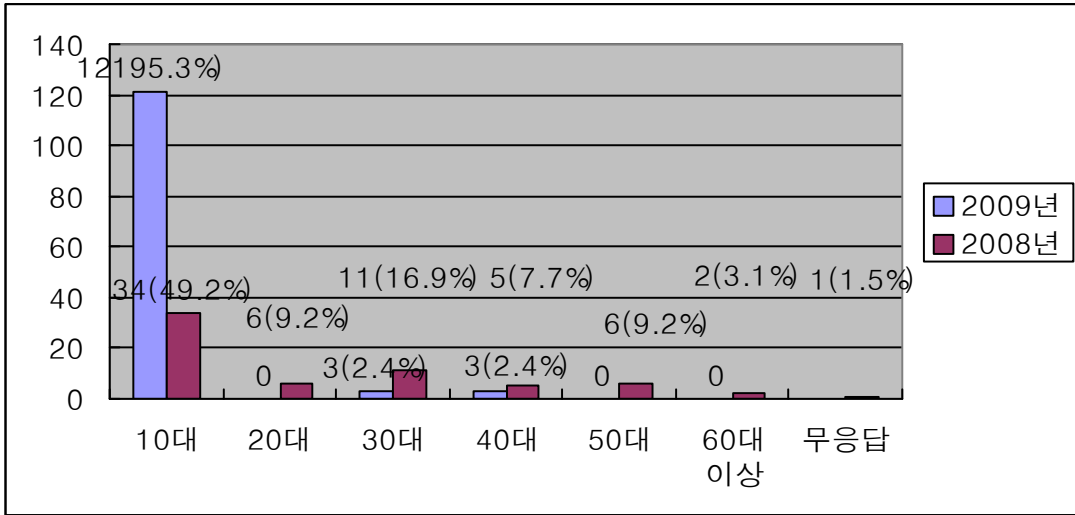


그림 5-2-3. 응답자의 나이

③ 질문1-3. 당신은 학생121명(95%), 안산시민, 시흥시민, 화성시민, 기타 6명(4.7%)

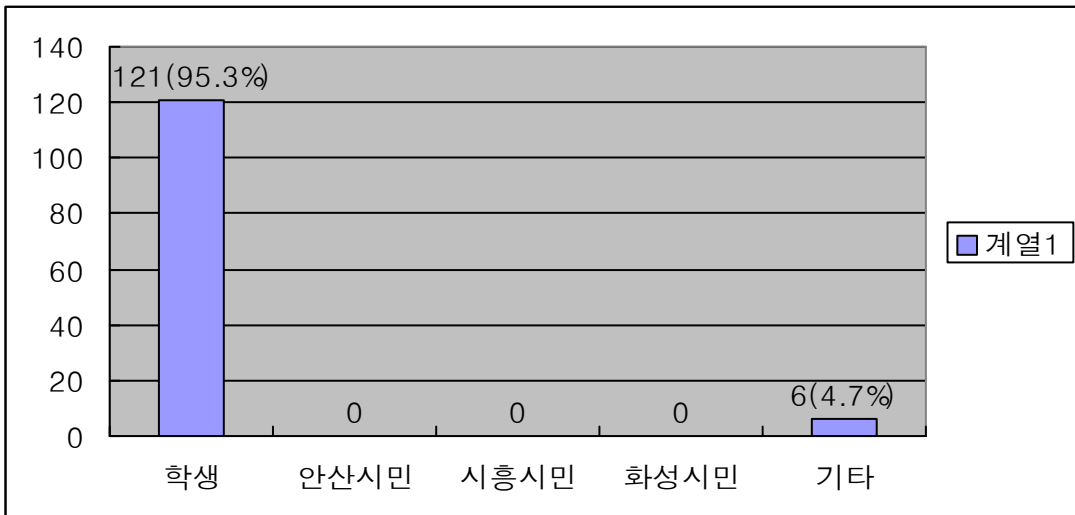


그림 5-2-4. 응답자의 사는 곳



④ 질문2. 시화호에 가보신 적이 있나요?

있다는 질문에 47명 37%가 답하였고 기본적으로 없는데 52명, 72%가 답하였다. 2009년 설문과 비교하면 있다고 답한 사람이 26%줄었고 없다고 대답한 사람은 32% 늘었다.

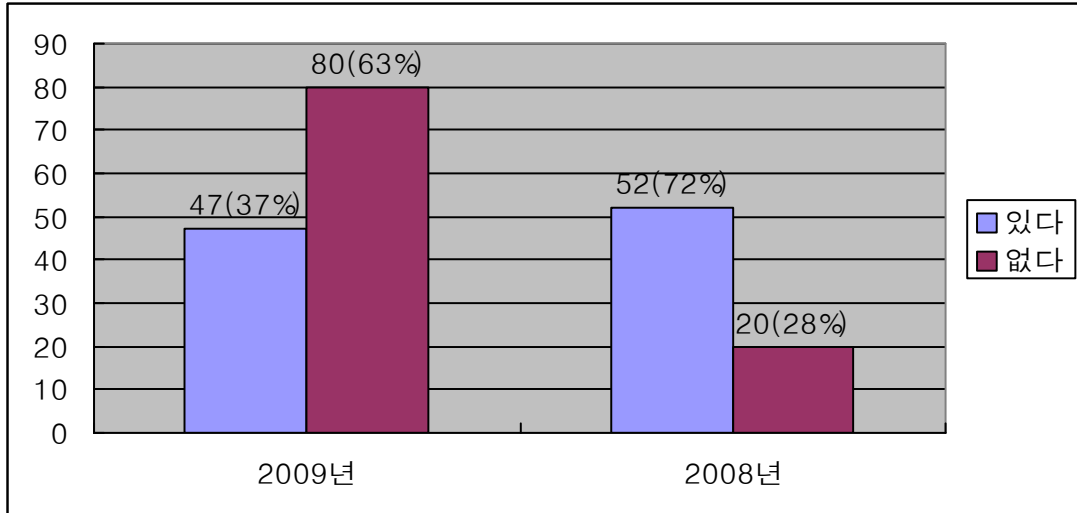


그림 5-2-5. 시화호에 가본 적이 있나

⑤ 질문3. 가 보셨다면 몇 번이나 방문하셨나요?

1회 방문은 14명(11%), 2회 방문은 12명(9.4%), 3회 방문은 6명(4.7%), 4회 방문은 2명(1.6%), 5회 이상 방문은 12명(9.4%), 무응답도 1명(0.8%)이 있다.

3회 이상 방문한 대상자는 20명(15.7%)이며 2008년과 비교해보면 28명 54%로 38.3%나 줄어든 것으로 나타났다.

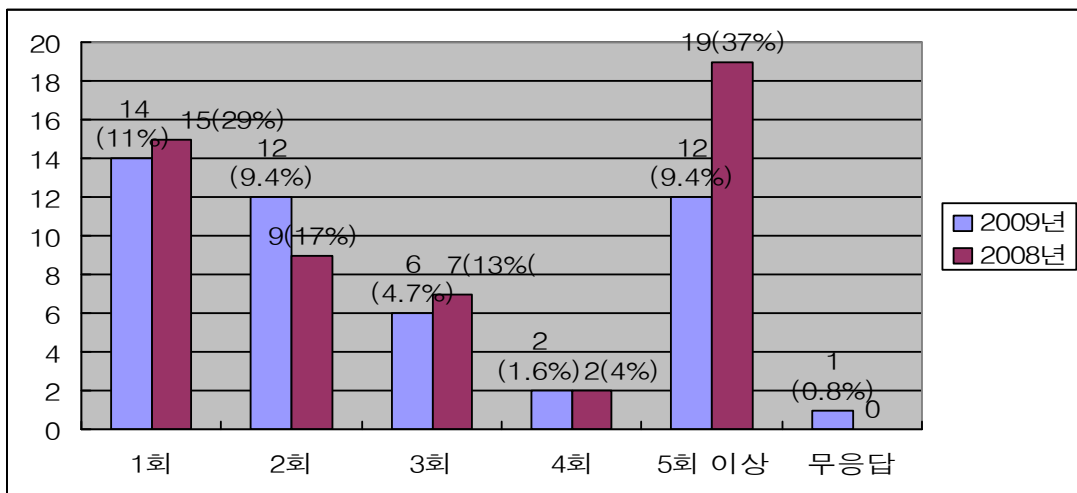


그림 5-2-6. 시화호 방문횟수

⑥ 질문4. 시화호의 어느 곳에 가보셨나요?

시화방조제에 가보았다는 대답이 12명 9.4%, 오이도나 대부도의 갯벌을 방문하였다는 대답이 43명(33.9%)로 가장 많았다. 공룡알화석지는 5명 3.9%, 탄도의 어촌민숙관은 2명 1.6%로 나타났다. 기타의견을 낸 사람은 3명이다.

시화호는 2008년 설문을 비교하여 보아도 대부도나 오이도의 갯벌을 많이 찾는 것으로 나타났다.

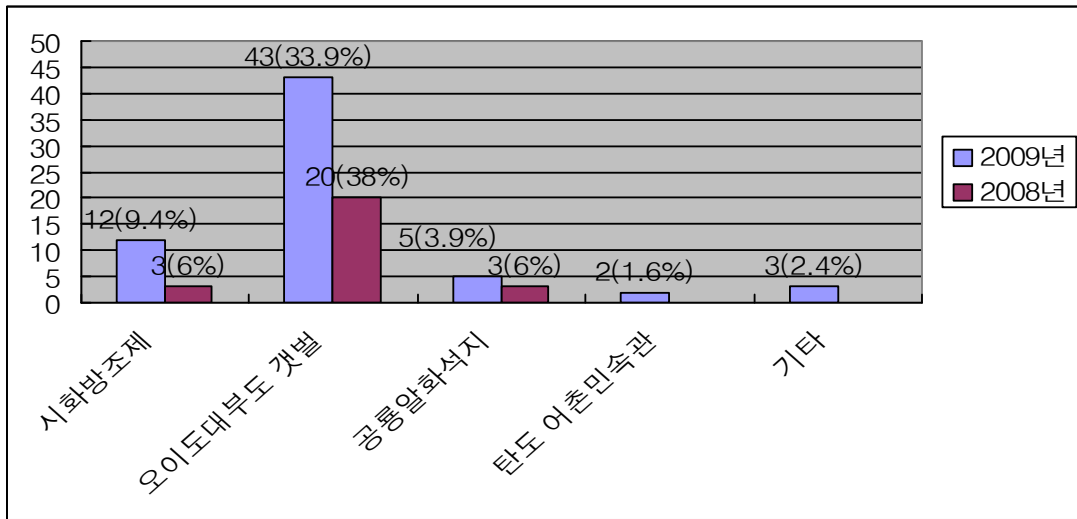


그림 5-2-7. 시화호 방문장소

⑦ 질문5. 방문의 성격은 어떤 것이었나요?

관광의 성격이었다고 대답한 사람이 29명 61.7%로 가장 많은 대답이었고, 레저는 3명(6.4%), 체험학습이 목적이었다고 대답한 사람은 16명(34%)이었다. 기타의견을 낸 사람은 7명(14.9%)이다.

2008년 설문에서는 관광과 체험이 모두 25%로 나타났던 것과 비교하여 2009년 설문에서는 관광의 성격이 두드러졌다.

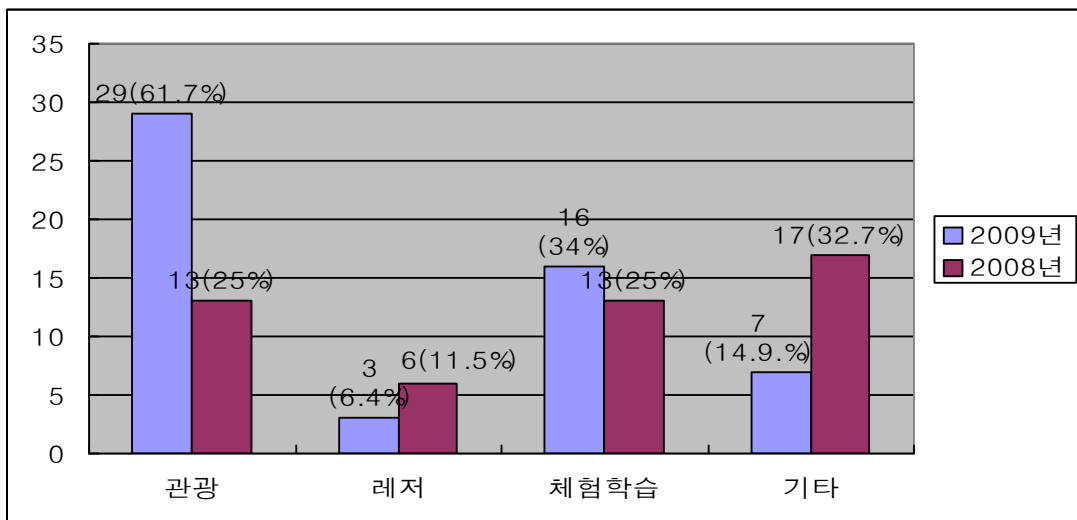


그림 5-2-8. 시화호 방문성격

⑧ 질문6. 또 다시 방문해보고 싶은 곳이 있었나요? 그 장소는 어디 인가요?

오이도, 대부도 갯벌을 방문하겠다는 대답이 14명(77.8%), 공룡알화석지는 1명(5.6%), 뽕섬은 1명(5.6%)으로 대답했으며 없다, 모르겠다 는 대답을 한 사람도 3명(16.7%)이었다. 2009년 설문 내용은 2008년 설문에서 누에섬, 어도 등 다양한 대답도 많은 부분을 차지하였던 것과 비교된다.

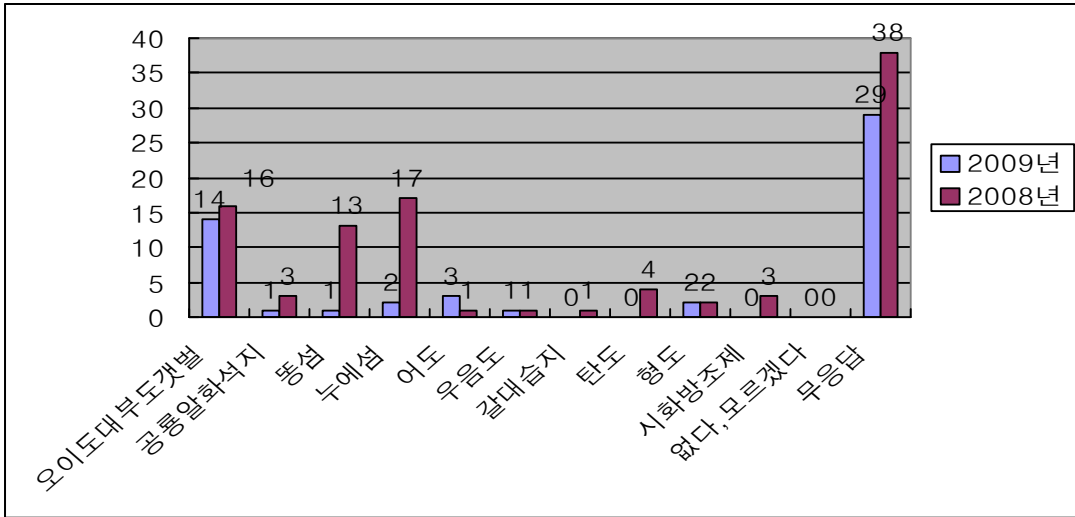


그림 5-2-9. 다시 방문하고 싶은 시화호장소

⑨ 질문7. 다른 분에게 시화호를 소개하고 싶은 장소가 있었나요? 있었다면 그 장소는 어디 인가요?

갯벌이 4명(36.3%), 빨간 등대(오이도) 라는 대답이 1명(9.1%), 제부도 1명(9.1%), 방조제 2명(18.2%)으로 나타났다. 없다 고 대답한 사람도 3명(27.3%)이다. 2008년 설문에서 공룡알화석지 나 제부도, 갈대습지, 탄도, 형도 등 다양한 답과는 2009년 설문과 비교하여 차이가 난다. 2008년 시화호에 가 본 적이 있다는 대답이 63%로 높게 나타났기 때문인 것으로 생각된다.

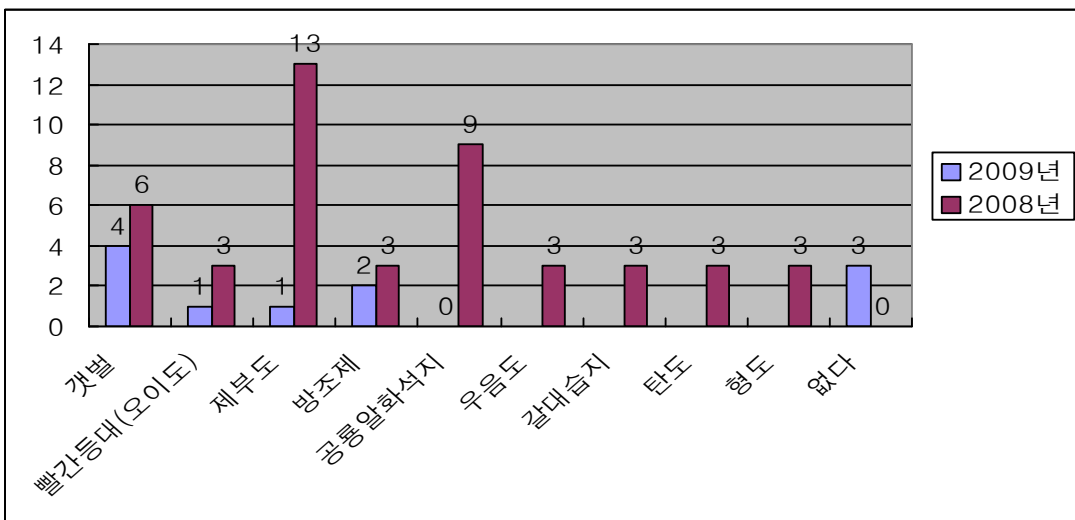


그림 5-2-10. 소개하고 싶은 시화호

⑩ 질문8. 시화호에 대해 알고 계신 항목은 어떤 것인가요?

시화호의 생태에 대하여 알고 있다. 는 대답이 38명(30%), 시화호의 개발계획에 대하여 알고 있다. 는 대답이 10명(7.9%), 시화호가 어디에 있는지만 알고 있다. 는 대답이 24명 18.9%, 시화호에 대해서는 아는 바가 없다. 는 대답이 58명 45.7%로 높게 나타났다. 이는 2008년도 설문 31%과 비교된다.

이 설문에는 생태와 개발계획에 대해 알고 있다고 중복으로 답한 사람이 3명, 생태와 어디에 있는지만 알고 있다고 답한 사람이 2명이였다. 어디에 있는지만 알고 있다고 답한 사람은 '시화호'라는 개념을 하나의 호수라고 인식하고 있는 듯 하다.

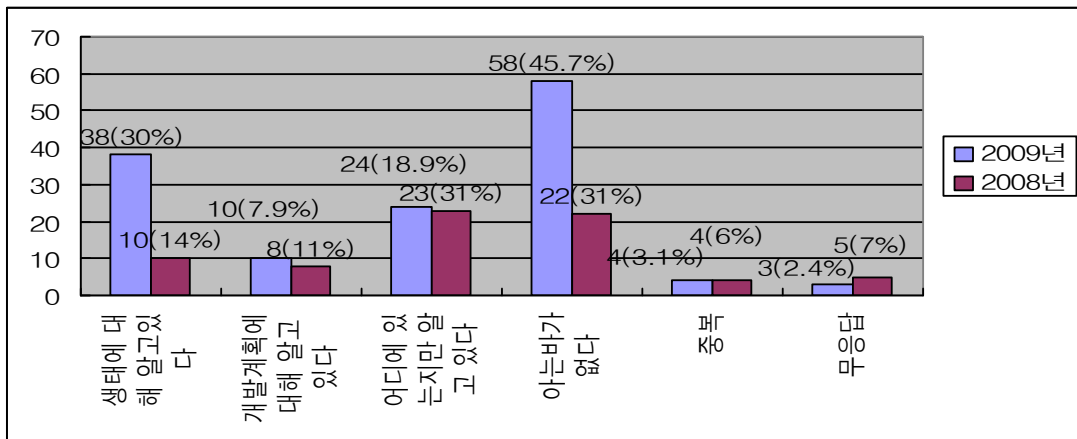


그림 5-2-11.시화호에 대해 알고 있는 항목

⑪ 질문9. 시화호투어 시 궁금한 점은 무엇인가요?

자연현황 41명(32.3%), 시화호의 오염정도 63명(49.6%), 시화호의 개발계획 28명(22%), 기타 2명(1.6%)(없다, 모두), 무응답 5명(3.9%)

시화호의 오염정도에 대하여 알고 있는 사람이 49%이상이며 이는 2008년 설문(21%)보다 많이 향상된 답이다. 시화호의 자연현황과 시화호의 개발계획도 2008년 보다는 향상된 것으로 나타났다.

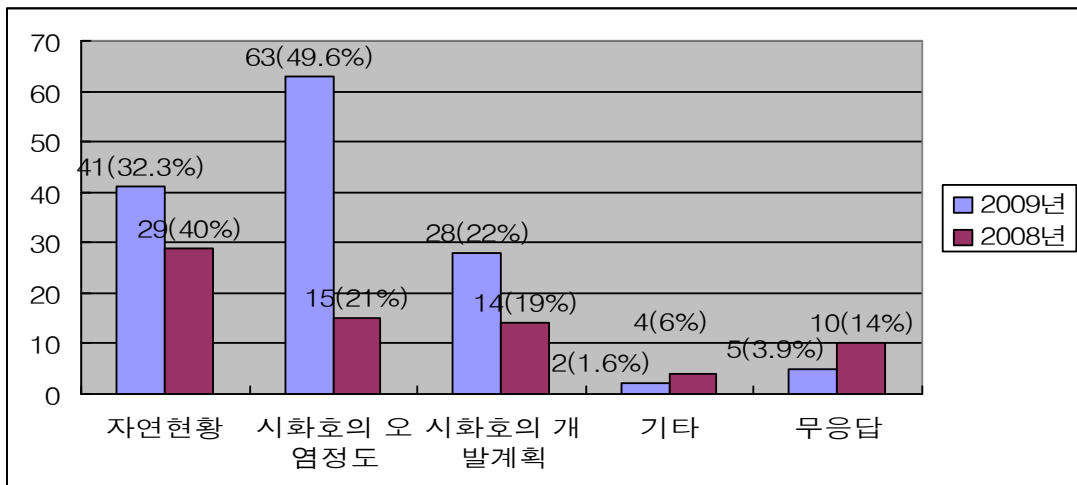


그림 5-2-12. 시화호에 관한 궁금점

⑫ 사전설문 결과

총 설문에 응하여주신 응답자127명중 20명 15.7%명이 3번 이상 시화호에 방문한 것으로 확인 되었으며 방문하였다고 대답한 사람 중 43명이 오이도나 대부도의 갯벌을 관광 목적으로 다녀간 것으로 나타났다. 다시 방문하고 싶은 곳도, 다른 사람에게 소개하고 싶은 장소 또한 오이도나 대부도의 갯벌인 것으로 나타났다.

설문에 응답한 사람 중 시화호에 대하여 아는 바가 없다고 답한 사람이 58명 45.7%로 가장 높게 나타났고 이는 2008년과 비교하여 현저하게 증가한 부분이다.(2008년 31%)

응답자중 30%가 시화호의 생태에 알고 있다고 답하였고 시화호에 대하여 궁금한 사항은 시화호의 오염정도가 가장 높았고, 자연현황과 개발계획에 대해서도 궁금한 것으로 확인되었다. 이는 2008년과 비교해보면 자연환경, 오염, 개발계획에 관하여 궁금증을 나타낸 것은 비슷하나 오염에 대한 궁금증이 증대된 것으로 나타났다.(2008년 21%, 2009년 49.6%)

(나) 사후설문

사후설문 응답자 총 183명(2008년 총84명)

① 질문1. 시화호투어는 만족스러우셨나요?

아주만족 28, 대체로 만족 63명, 보통 64명, 불만족 16명, 아주 불만족 12명

만족하다는 응답이 49.7%로 나타났으며 불만족하다는 대답도 28명 15.3%나 나타났다. 아쉽게도 이 설문을 통해서만 왜 만족하지 못했는지를 알 수 없다. 다음 설문 설계시에 논의해야 할 사항이다.

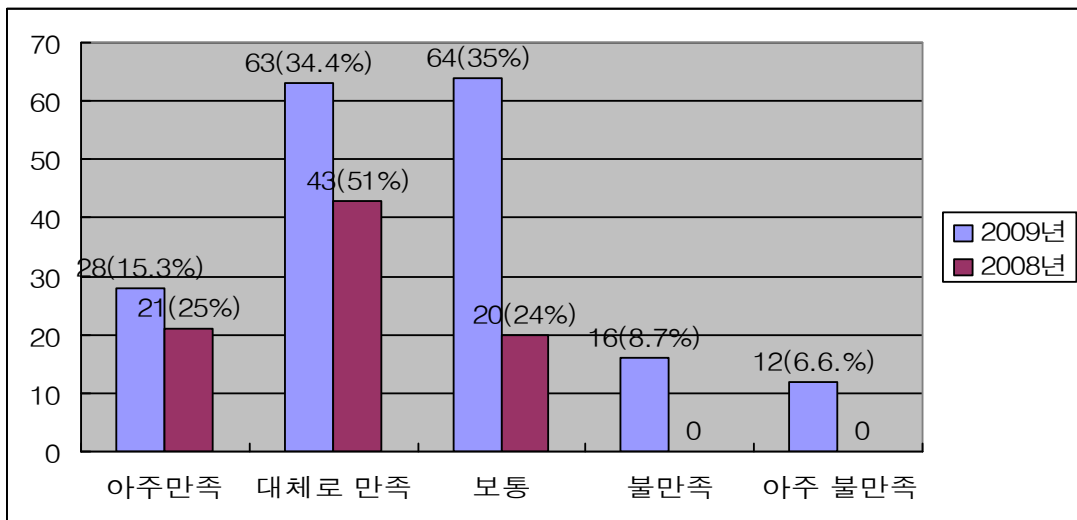


그림 5-2-13. 시화호투어 만족도

② 질문2. 시화호투어 시 해보고 싶은 투어의 방법이 있었다면 말씀해 주세요.

장소 둘러보기 36명, 체험행사 130명, 기타16(낚시, 자유시간, 갯벌체험, 새탐조, 수영, 바다 체험, 음식먹기, 경비행기 타기.)로, 현재와 같은 투어의 방법보다는 체험을 통한 시화호를 느꼈으면 좋겠다는 대답이 130명으로 71%나 차지하였다.

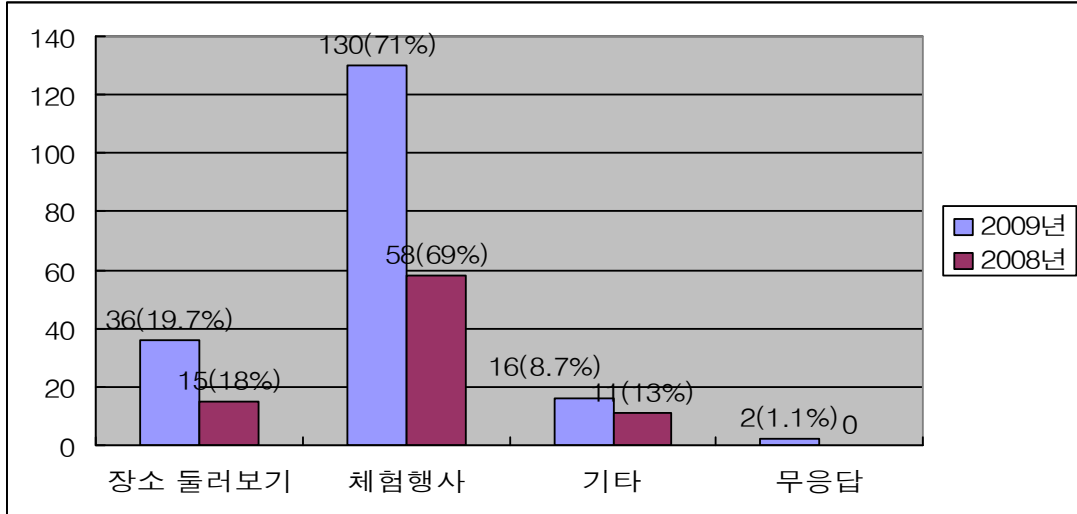


그림 5-2-14. 시화호투어 방법

③ 질문3. 시화호 간척지 위에 새로운 공업단지(MTV : 연구개발, 유통 등의 지원기능과 관광 휴양의 여가기능이 조화된 미래지향적 첨단복합단지로 조성, 수도권 첨단산업의 계획입지 제공으로 개별입지에 따른 난개발을 방지하고 주변 단지와 상호보완 기능으로 기업 경쟁력 제고 및 지역 경제 활성화 도모, 개발이익으로 시화지역 환경개선사업비 확보가 목적) 조성이 되고 있으나 자연생태로 둔다면 2009년 이후에 되살아 날 것입니다. 이곳의 갯벌을 매립해야 할까요?

시화호를 매립해서 공업단지를 만드는 것이 좋다. 11명(6%), 시화호 갯벌을 매립하지 말고 보전하는 것이 좋다. 117명(64%), 어떻게 해야 할지 좀 더 심사숙고하여 나중에 결정해야 한다. 41명(22.4%), 어떻게 해야 할지 잘 모르겠다 14명(7.7%)으로, 시화호 갯벌을 매립하지 말고 보전하는 것이 좋다는 응답이 64%로 높게 나타났으며 어떻게 해야할지 좀더 심사숙고하여 나중에 결정해야 한다는 응답도 22%이상 나타났다. 이는 시화호를 매립해서 공업단지로 만드는 것이 좋다는 응답자 11명 6%와는 현저한 차이를 보이고 있다.

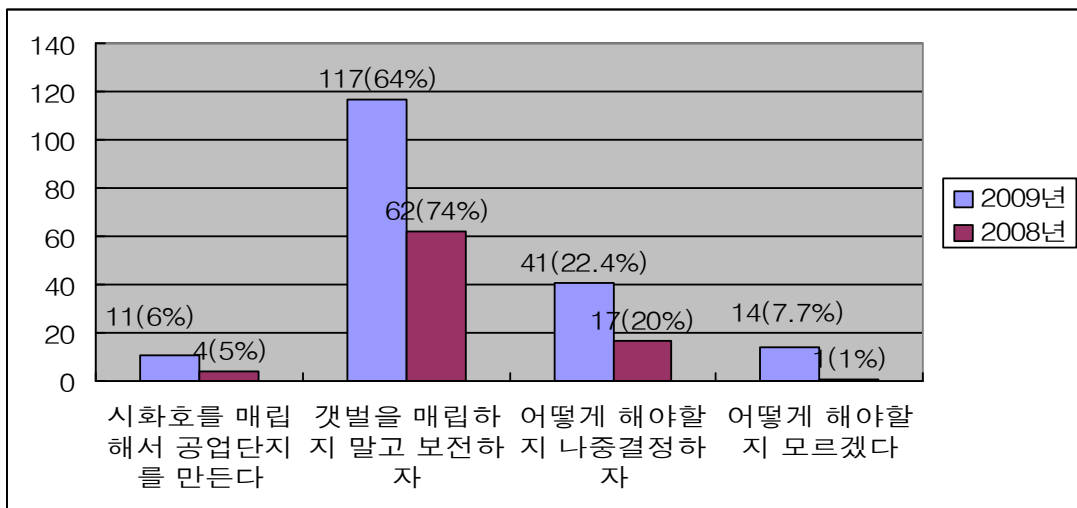


그림 5-2-15. 갯벌매립여부

④ 질문4. 시화호를 공업, 주거, 레저용으로 개발하려고 하는데, 시화호의 철새 서식지는 어떻게 해야 할까요?

철새 서식지를 개발하는 것보다는 보존하는 것이 좋다. 156명(85%), 철새보다는 경제 개발이 중요하므로 철새 서식지가 없어지는 것은 어쩔 수 없다. 9명(4.9%), 어떻게 해야 할지 잘 모르겠다. 18명(9.8%)으로, 시화호를 찾는 방문의 목적이 관광이나 레저에 치우쳐 있으나 철새서식지 보호에는 156명, 85%가 찬성한다고 대답하였다.

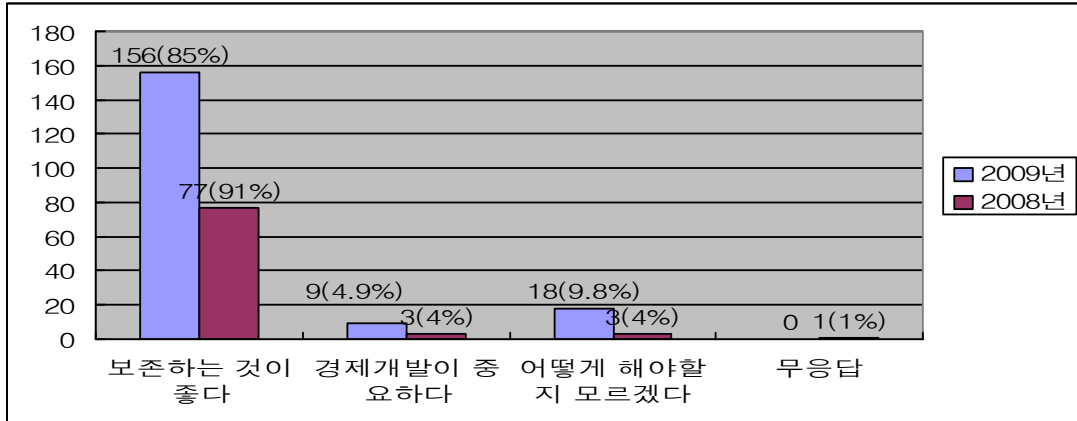


그림 5-2-16. 시화호의 철새서식지 이용에 대하여

⑤ 질문5. 과학기술이 발달하면 오늘날 우리가 당면한 모든 환경문제를 해결할 수 있을까요?

과학기술이 더 발달되면 모든 환경문제를 해결해 줄 수 있을 것이다 43명(23.5%), 과학기술이 아무리 발달해도 생각이 변하지 않으면 오염문제 해결은 불가능하다 123명(67.2%), 어떤 방법으로 환경문제를 해결해야 할지 잘 모르겠다 17명(9.3%)으로, 과학기술이 아무리 발달해도 생각이 변하지 않으면 오염문제 해결은 불가능하다는 답이 전체의 67.2%를 차지하였으나 과학기술이 더 발달되면 모든 환경문제를 해결해 줄 수 있다고 답한 사람도 23.5%에 해당, 이는 2008년과 비교하여 20%나 상승하였다. 과학기술의 발달이 오염문제해결을 할 수 없다고 전반적으로 생각하고 있으나 과학기술의 발달이 환경문제를 해결해 줄 수 있다는 생각을 갖고 있는 사람도 증가하였다. 2년의 결과로 결론을 낼 수는 없으므로 2010년에도 꾸준한 설문을 준비할 필요가 있으며 이를 토대로 강좌의 내용도 조절해야 할 것으로 생각된다.

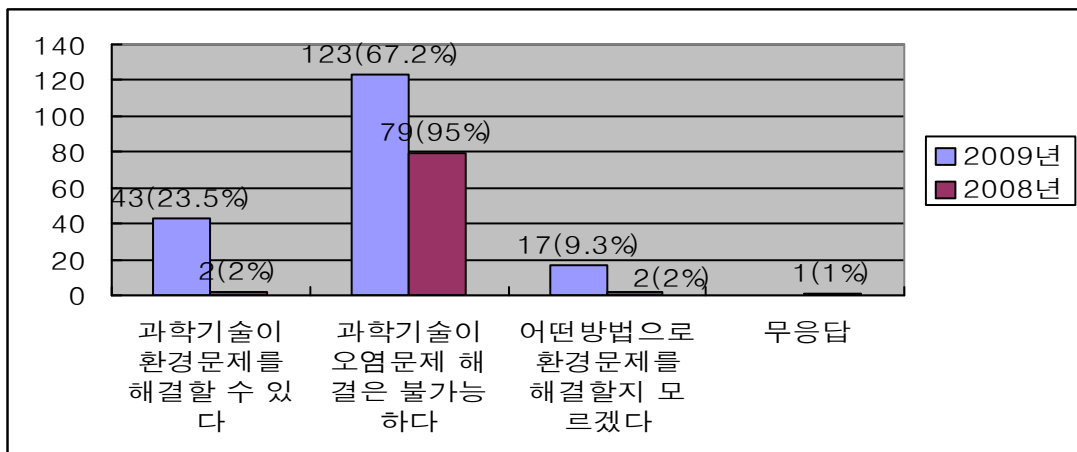


그림 5-2-17. 과학기술의 발달이 환경문제를 해결하는가?

⑥ 질문6. 여러분들이 살아갈 미래의 시화호는 어떤 모습이어야 할까요?

기술의 개발로 모든 환경문제를 해결할 수 있을 것이므로 공업단지와 신도시를 개발하는 것이 좋다 23명(12.6%), 기술개발로는 환경문제를 완전하게 해결할 수 없을 것이므로 자연을 잘 보전하는 것이 좋다 143명(78%), 잘 모르겠다 17명(9.3%)으로, 시화호의 미래를 묻는 질문에 143명 78%나 기술개발로는 환경문제를 완전하게 해결할 수 없을 것이므로 자연을 잘 보전하는 것이 좋다는 응답을 하였고, 기술의 개발로 모든 환경문제를 해결할 수 있을 것이므로 공업단지와 신도시를 개발하는 것이 좋다는 응답이 23명 12.6%로 나타났다.

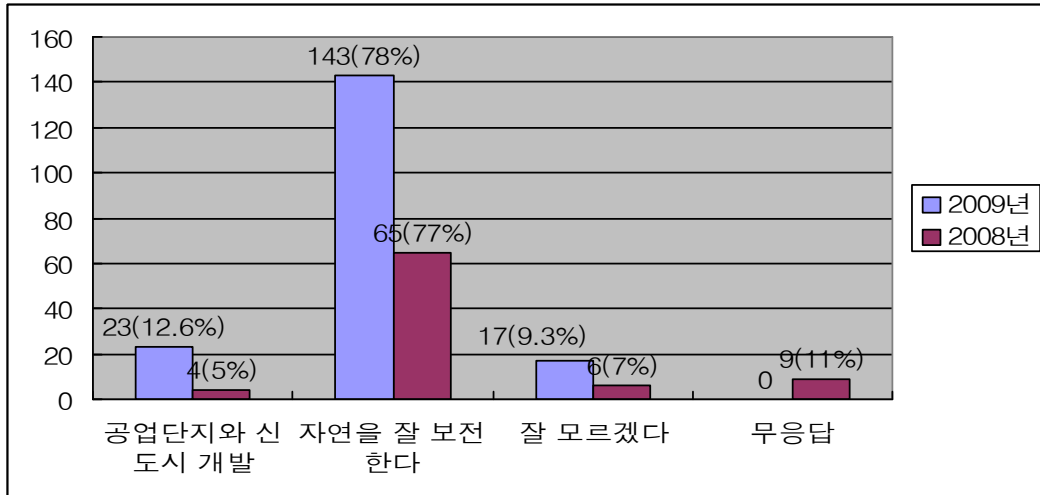


그림 5-2-18. 미래의 시화호의 모습은

⑦ 질문7. 여러분은 경제발전과 환경보전 중에서 어떤 것이 더 중요하다고 생각하십니까?

경제발전이 무엇보다도 중요하므로 환경문제를 감수하더라도 공업단지와 신도시를 건설하는 것이 좋다 17명(9.3%), 환경문제가 우선이므로 경제발전보다 자연을 보전하는 것이 필요하다 149명(81%), 잘 모르겠다 16명(8.7%), 무응답 1명으로, 경제발전과 환경보전 중 어떤 것이 더 중요하냐를 묻는 질문에는 환경문제가 우선이므로 경제발전보다 자연을 보전하는 것이 필요하다는 응답이 149명(81%)으로 나타났고 경제발전이 무엇보다도 중요하므로 환경문제를 감수하더라도 공업단지와 신도시를 건설하는 것이 좋다는 응답은 17명(9.3%)으로 나타났다. 이는 시민들이 경제발전보다는 환경보전을 더 중요하고 있다고 생각한다.

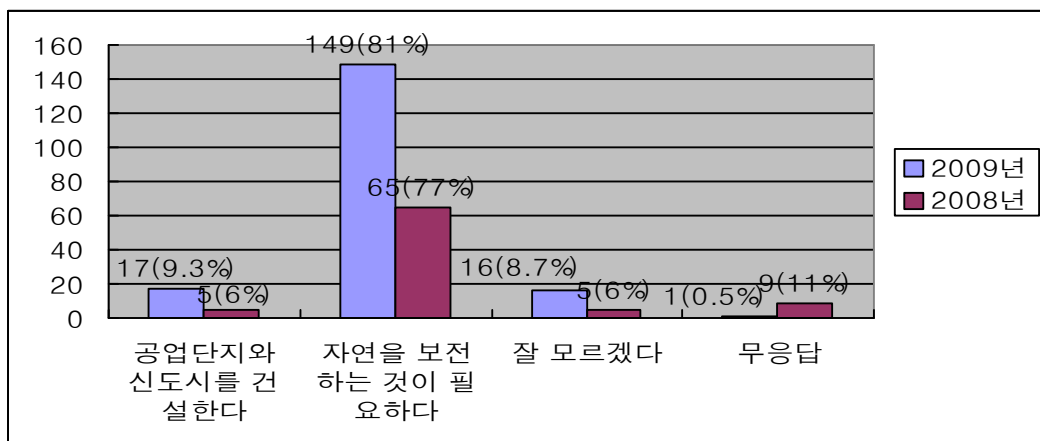


그림 5-2-19. 경제발전과 환경보전 중 어느 것이 중요한가?



⑧ 질문8. 시화MTV는 자연환경과 첨단산업이 함께하는 21세기형 첨단 복합산업단지로서 첨단, 벤처업종 등 지식기반산업을 중심으로 연구개발, 유통 등의 지원기능과 관광휴양의 여가 기능이 조화된 미래지향적 첨단복합단지로서 조성, 수도권 첨단산업의 계획입지 제공으로 개별입지에 따른 난개발을 방지하고 주변 단지와 상호보완 기능으로 기업 경쟁력 제고 및 지역 경제 활성화 도모, 개발이익으로 시화지역 환경개선사업비 확보로 시화지역 환경(대기 및 수질) 획기적인 개선을 하는 것이 목적이라고 합니다.(시화지역지속가능발전협의회 자료 참조) 이러한 시화호유역의 개발에 따른 이익이 있다면 최우선 수위의 수혜자는 누구라고 생각하십니까?

사업을 시행하는 개발당사자 28명(15.3%), 자연생태계 69명(37.7%), 시화호유역에 살던 주민 32명(17.5%), 정부부처 11명(6%), 수자원 공사 5명(2.7%), 반월시화공단의 사장 5명(2.7%), MTV지역에 입주하는 업체 25명(13.7%), 무응답 5명, 무효 3명으로, 시화호유역의 개발에 따른 이익의 최우선 수혜자를 묻는 응답에는 자연생태계가 37.7%로 나타났고 그 다음으로 시화호유역에 살던 주민이라고 응답한 사람이 32명 17.5%이다. 그 다음으로는 사업을 시행하는 개발당사자 15.3%로 나타났다.

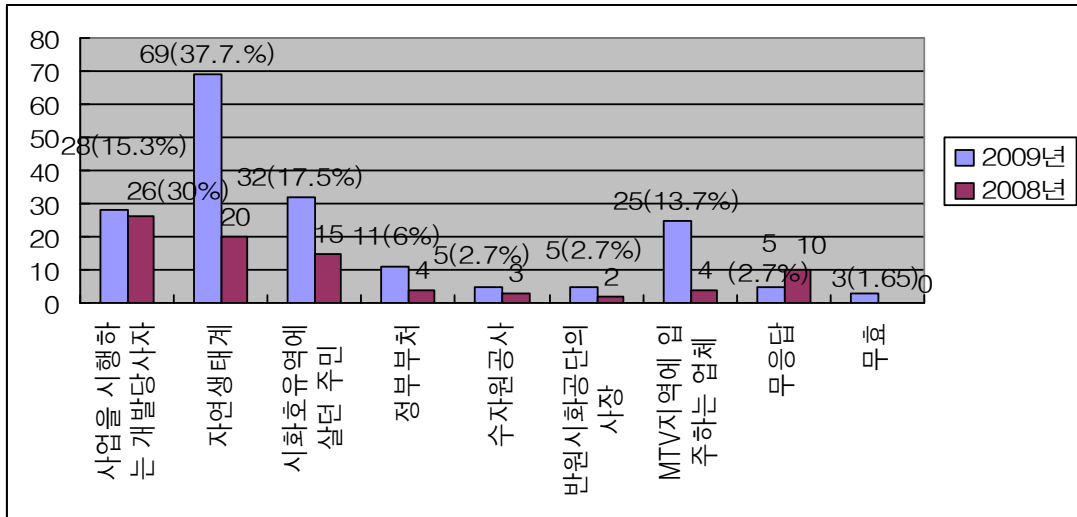


그림 5-2-20. 시화호유역 개발에 따른 수혜자

⑨ 질문9. 시화호 개발 중 주요 생물보호종이 발견된다면 어떻게 하는 것이 옳다고 생각하십니까?

개발을 중지하고 보호종을 살린다. 124명(67.8%), 보호종을 제2지역으로 옮긴 후 개발 한다 51명(27.9%), 어차피 생물은 적응능력이 있으므로 관계없이 개발 한다 7명(3.8%), 무응답 1명으로, 시화호 개발 중 주요 생물보호종이 발견된다면 어떻게 하겠느냐는 질문에 124명 67.8%가 개발을 중지하고 보호종을 살린다. 51명 27.9%가 보호종을 옮긴 후 개발한다고 대답하였다. 그리고 관계없이 개발한다는 의견은 0%로 나타났다.

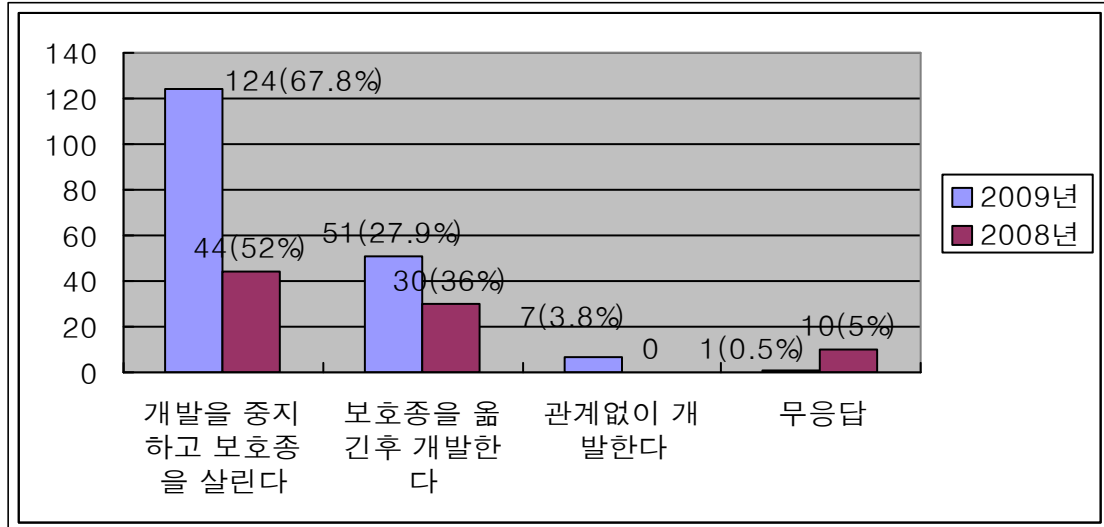


그림 5-2-21. 시화호 개발 중 보호종이 발견된다면?

⑩ 질문10. 현재 여러분이 생각하는 시화호의 오염은 어느 정도라고 생각하십니까?

시화호 건설이전과 동일한 상태다 11명(6%), 시화호 건설이전 상태로 돌아갈 수는 없으나 지금은 어느 정도 회복된 상태이다 117명(64%), 건설이전보다 오염이 심각하다 36명(19.7%) 전혀 회복되지 않았다 16명(8.7%), 무응답 3명으로, 시화호의 오염이 어느정도인지를 묻는 질문에는 117명 64%가 시화호 건설이전 상태로 돌아갈 수는 없으나 지금은 어느 정도 회복된 상태이다 라고 대답하고 건설이전보다 오염이 심각하다고 답한 사람도 36명 19.7%로 나타났다. 오염상태가 어느정도 회복된 상태라고 응답한 사람이 60%를 넘으나 건설이전과 동일하거나 더 심각하다고 답한 사람도 34.4.%나 차지한다.

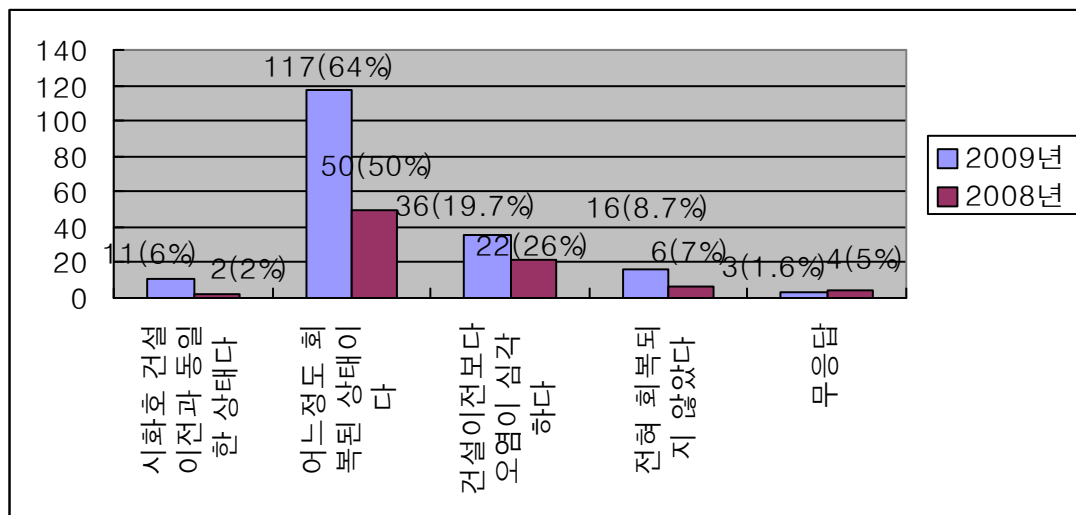


그림 5-2-22. 시화호의 오염정도

⑪ 질문11. 시화호 건설로 인한 전 세계 멸종 및 보호종 철새의 개체수가 줄어든 것에 대해 국제적 지탄을 받는다면 어떤 입장이십니까?

철새문제는 전 지구적 문제이므로 책임감을 동감한다 74명(40%), 시화호 건설은 내가 한 것이 아니므로 내 알바 아니다 13명(7.1%), 나는 아니지만 건설주체는 마땅히 비난받아야 한다 24명(13%), 철새문제를 해결하기 위한 조그마한 실천이라도 하겠다 69명(37.7%), 무응답 4명으로, 시화호 건설로 인한 전 세계 멸종 및 보호종 철새의 개체수가 줄어든 것에 대해 국제적 지탄을 받는다면 어떤 입장이냐는 질문에 철새문제가 전 지구적인 문제이고 조그만 실천을 통하여 해결하여야 한다는 의견이 77.7%로 높게 나타났다. 또한 건설주체가 아니지만 비난받아야 한다는 의견을 가진 응답자도 13%나되어 환경에 대한 의식은 매우 높은 것으로 나타났다.

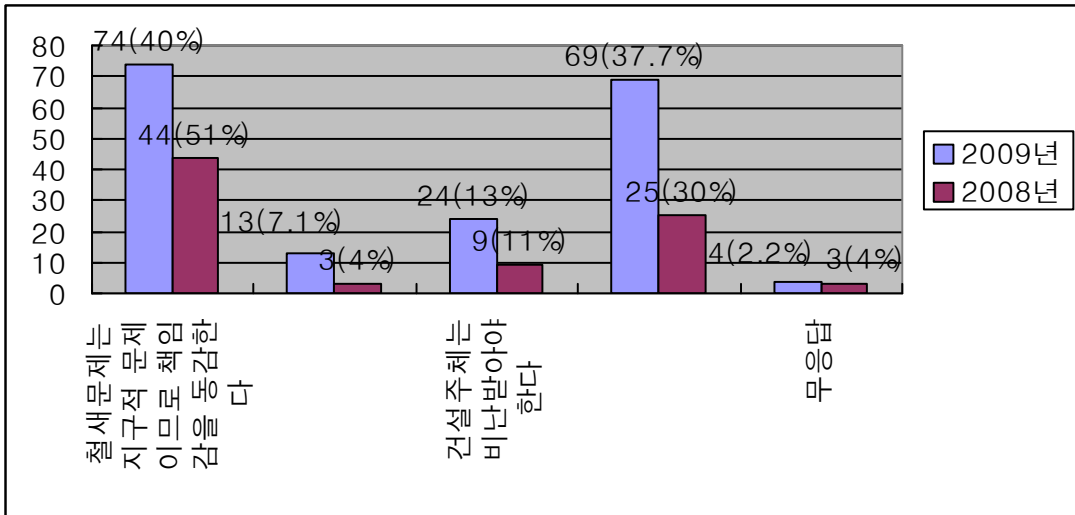


그림 5-2-23. 시화호 건설로 인한 멸종위기종 감소에 대한 국제적 지탄을 받는다면?

⑫ 질문12. 시화호 안에서 어업이 허가 된다면 그 수산물을 드시겠습니까?

마음 놓고 먹겠다 40명(21.9%), 어쩔 수 없는 경우에만 먹겠다 75명(41%), 절대로 먹지 않겠다 64명(35%), 무응답 3명(1.6%), 무효 1명으로, 시화호 내해에서 잡은 수산물을 먹을 수 있는지를 묻는 질문에는 절대로 먹지 않는다는 사람 35%와 어쩔 수 없는 경우에만 먹겠다는 의견이 41%를 차지하고 있다. 이는 아직 수산물에 대해서는 믿지 못하는 사람들이 많은 것으로 나타났다.

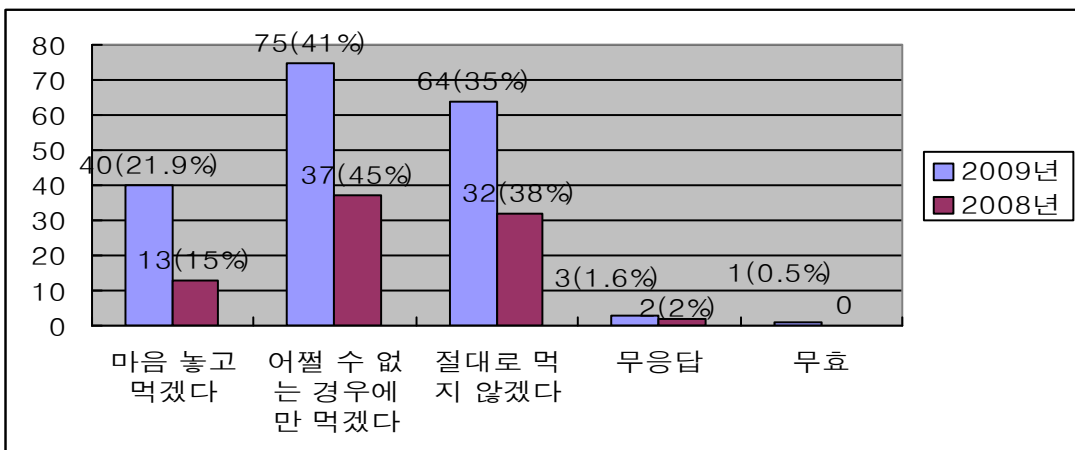


그림 5-2-24. 시화호내 수산물에 대한 신뢰도

### ⑬ 사후설문 결론

만족하다는 응답이 49.7%로 나타났으며 불만족하다는 대답도 28명 15.3%나 나타났다. 아쉽게도 이 설문을 통해서도 왜 만족하지 못했는지를 알 수 없다. 다음 설문 설계 시에 논의해야 할 사항이다. 해보고 싶은 투어의 방법으로는 체험행사가 체험을 통한 시화호를 느꼈으면 좋겠다는 대답이 130명으로 71%나 차지하였다. 기타의견으로 철새탐조, 사진촬영이나 낚시, 경비행기, 수영 등도 나타나고 있다.

‘시화호 깃벌을 매립하지 말고 보전하는 것이 좋다’. 는 의견이 117명(64%)를 차지하였고 철새 서식지를 개발하는 것보다는 보전하는 것이 좋다. 는 의견이 156명으로 85%를 나타냈다.

개발보다는 철새서식지를 보전하는 것이 매립하고 공장을 짓는 것보다는 보전하는 것이 더 좋다는 의견으로 보여진다.

과학기술이 아무리 발달해도 생각이 변하지 않으면 오염문제 해결은 불가능하다는 답이 전체의 67.2%를 차지하였으나 과학기술이 더 발달되면 모든 환경문제를 해결해 줄 수 있다고 답한 사람도 23.5%로 2008년보다는 높은 비중을 나타내고 있다.

시화호유역의 개발로 최우선 수혜자는 1위는 37.7%를 차지한 자연생태계로 현재 시화호유역의 생태계가 살아나고 있다는 언론의 홍보 덕으로 생각되어진다. 2위는 시화호유역에 살던 주민이라고 답한 응답자가 32명(17.5%), 3위는 사업을 시행하는 개발당사자 28명(15.3%), 그 다음으로는 MTV지역에 입주하는 업체로 25명(13.7%)이 응답하였다. 이는 2008년 30%를 차지한 사업을 시행하는 개발당사자와는 대별되는 차이를 보이고 있다.(2008년 당시 2위는 자연생태계, 3위는 시화호유역에 살던 주민) 이 결과에서 보면 자연생태계와 더불어 시민들도 개발의 수혜자로 보고 있다.

생물보호종에 대한 질문에는 개발을 중지하고 보호종을 살린다는 응답이 124명으로 67.8% 차지하였다.

시화호의 오염정도를 묻는 질문에는 64%가 건설이전의 상태로 돌아갈 수 없으나 지금은 어느 정도 회복되었다고 생각하고 있으며, 25.7%는 여전히 오염이 심각하다고 생각하고 있다. 시화호개발로 인한 철새의 개체수가 줄어드는 것에 대한 의견을 묻는 질문에는 77.7%가 책임을 동감하며 문제해결을 위하여 조그만 실천이라도 하겠다는 의견이 지배적이어서 환경에 대한 의식은 매우 높은 것으로 나타났다.

시화호 내 어류에 대한 질문에는 절대로 먹지 않겠다고 35%, 어쩔 수 없는 경우에만 먹겠다고 41%로 시화호 내 수질이 개선되었다고 생각하는 시민이 64%나 되지만 그 속에서 생산된 수산물에 대한 신뢰는 하지 않는 것으로 나타났다.

## 1.4. 결론 및 향후계획

설문에 의하면 시화호유역을 찾는 사람들의 목적은 레저가 가장 많은 것으로 나타나 있으며 오이도나 대부도의 깃벌을 찾는 것을 희망하는 것으로 나타났다. 시민이나 청소년의 요구에도 그렇듯 생태를 중심으로 하는 시화호투어 개발과 투어의 내용을 초등학교들도 이해하기 쉽게 투어내용의 조절이 필요하다. 따라서 투어의 내용과 주제를 개발할 수 있도록 지도자들 간의 모임(가칭 시화호 연구모임)을 운영하는 것이 필요하다. 시화호 연구모임을 통하여 시화호 실내강좌, 역사문화코스, 생태코스, 일반적인 코스로 세분화 하고 그에 따른 새로운 투어내용을 개발한다.

## 2. 학교환경교육 교재 개발

### 2.1. 개요

시화호 시범학교를 운영하여 시화호와 관련한 학교환경교육의 기반을 구축하고 장기적으로는 그 성과를 지역에 확산시키는 것을 목적으로 시화호교사연구모임이 결성되었으며, 교사연구모임을 통한 시화호 환경교육 학교교육과정을 개발하고 청소년을 통한 다양한 시화호 홍보활동을 전개하였다. 또한 이를 통하여 청소년 시화호환경교육 현장에서 사용할 수 있는 '시화호환경교육을 위한 교사용 지도서'를 발간하였다.

### 2.2. 추진방법

#### 2.2.1. 기획회의

송호중학교 교사 6명(허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영, 김휘)의 교사와 더불어 총 5회에 걸친 기획회의를 통하여 시화호환경교육을 위한 교사용지도서 개발의 일정을 논의하고 2005년 당시 개발된 교안을 토대로 추가분과 수정분을 논의하였다. 또한 청소년에게 직접 프로그램을 접목시킴으로써 프로그램에 대한 질을 높였다

교사가 청소년을 대상으로 직접 교육을 통하여 프로그램을 수정보완하였으므로 시화호유역의 교사들이 시화호에 대한 기본강좌와 시범수업을 통하여 교육이 된다면 시화호의 개발과 환경보전에 대한 지역의 역량을 강화하는데 그 확산이 빠를 것으로 예상된다.

시화호환경교육을 위한 교사용 지도서의 구성은 7년간의 미스터리(시화호의 현황 사전활동), 저절로 섞이는 물(시화호의 물은 깨끗해질까요? 사전활동), 수질을 살리는 7가지 불가사의한 물건들(시화호의 물은 깨끗해질까요? 사후활동), 조운선의 항로 그리기(군자만에서 시화호로 사전활동), 지명으로 항구 찾기(군자만에서 시화호로 사후활동), 시화호의 먹이사슬(시화호의 생태계 활동), 아기새를 가족들에게로 보내주세요(시화호의 생태계 활동), 시화호의 미래(시화호의 미래는 어떨까요? 사전활동), 시화호의 미래에 대한 마인드맵과 글쓰기 활동(시화호의 미래는 어떨까요? 사후활동)으로 구성되어 있다.

각 강좌마다의 구성은 들어가기 I, 들어가기 II, 활동하기, 생각하기로 나누어 있고 강좌마다 예시활동이 기재되어 있어 교안을 활용하는데 도움을 주고 있다,

#### (1) 1차 기획회의

- 일정 : 2008년 3월 25일(수) 오후 3시 30분
- 장소 : 송호중학교 도서실
- 참석 : 허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영(송호중학교)  
박선미(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 1) 시화호 교재개발에 대한 일정논의  
2) '타임머신 시화호' 수정

**(2) 2차 기획회의**

- 일정 : 2008년 3월 30일(월) 오후 3시 30분
- 장소 : 송호중학교 도서실
- 참석 : 허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영, 김휘(송호중학교)  
박선미(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 1) 시화호 교재개발에 대한 일정논의와 추가 프로그램 논의  
2) 시화호 교사연수 기획회의

**(3) 3차 기획회의**

- 일정 : 2008년 5월 14일(월) 오후 3시 30분
- 장소 : 송호중학교 도서실
- 참석 : 허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영(송호중학교)  
박선미(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 1) 시화호 교사연수에 대한 기획회의  
2) 시화호 교재개발에 대한 일정논의  
3) 도전! 시화호 그린벨 퀴즈대회

**(4) 4차 기획회의**

- 일정 : 2008년 6월 25일(목) 오후 3시 30분
- 장소 : 송호중학교 도서실
- 참석 : 허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영(송호중학교)  
박선미(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 1) 시화호 교사연수 기획회의  
2) 시화호 교재개발 일정에 따른 교안확인

**(5) 5차 기획회의**

- 일정 : 2008년 7월 15일(수) 오후 3시 30분
- 장소 : 송호중학교 도서실
- 참석 : 허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영(송호중학교)  
박선미(시화호생명지킴이)
- 내용 : (1) 시화호 교사연수 최종 확인  
(2) 시화호 교사연수 준비물 확인

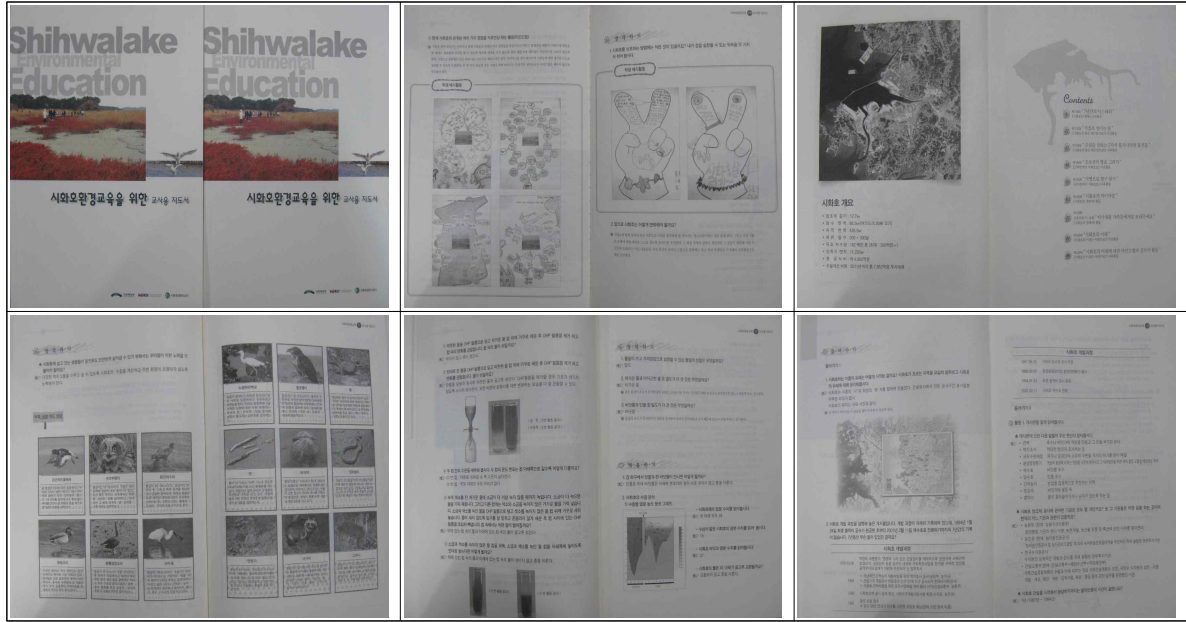


그림 5-2-25. 시화호 환경교육을 위한 교사용 지도서

### 2.2.2. 시화호 교사연수

시화호 교사연수는 시화호 교사모임을 통하여 개발되고 수정된 교사안을 지역의 교사와 활동가를 대상으로 시화호와 관련된 기본강의를 진행하고 그에 따른 프로그램을 시범수업의 형식을 통하여 확산시키고자 하는 목적을 갖고 진행되었다.

7월 24일(금)부터 26일(일)까지 한국해양연구원에서 지역의 교사 및 지역의 활동가 27명을 대상으로 시화호 개발의 역사 및 현황을 비롯한 실내강좌 4강좌와 조운선 항로 그리기를 비롯한 시범수업 6강을 진행하였고 마지막 26일에는 시화호투어를 진행하였다.

표 5-2-8. 시화호 교사연수 일정

일 정	7월 24일(금)	25일(토)	26일(일)
9:00 - 09:30	등록 및 오리엔테이션	강좌3	<b>시화호 현장투어</b> - 갈대습지공원 - 공단전망대 - 오이도 - 시화호 방조제 - 시화호환경문화관 - 안산어촌박물관 - 공룡알화석지
9:30 - 10:00	개 회 식	시화호의 수질 및 저질	
10:00- 11:00	강좌1	강좌4	
11:00- 12:00	시화호 개발역사 및 현황	시화호의 물새	
12:00-오후1:00	점 심 식 사		
오후1:00-2:00	시범수업1 조운선 항로 그리기	시범수업3 7년간의 미스터리	
2:00-3:00	강좌2	시범수업4 저질로 섞이는 물	
3:00-4:00	군자만에서 시화호	시범수업5 시화호의 먹이사슬	
4:00-5:00	시범수업2 신문 만들기	시범수업6 타임머신 시화호	





그림 5-2-26. 시화호 교사연구모임 활동사진

### 2.2.3. 해양의식함양 시범학교 운영보고회

송호중학교는 시화호 시범학교 운영보고회를 10월 28일 송호중학교 교내에서 실시하였으며 이때 시화호 교사연구모임에서 개발한 시화호 환경교육을 위한 교사용지도서도 같이 전시하였다.

### 2.3. 추진결과

시화호 교사연구모임(송호중학교 교사 6명)을 통하여 시화호와 관련한 학교환경교육의 기반을 구축하고 장기적으로는 그 성과를 지역에 확산시킬 목적을 가지고 시화호 환경교육 학교 교육과정을 개발하고 청소년을 통한 다양한 시화호 홍보활동을 전개할 수 있도록 하였다. 청소년을 대상으로 한 시화호환경교육이 일반교사가 현장에서 사용할 수 있도록 '시화호환경교육을 위한 교사용 지도서' 발간하였다.

송호중학교 교사 6명(허윤미, 이현정, 양희석, 이정환, 윤은영, 김휘)는 송호중학교의 청소년을 대상으로 2005년 개발된 시화호교안을 적용하였고 이를 수정 보완하는 작업을 진행하였다. 이를 통하여 '시화호환경교육을 위한 교사용 지도서'가 발간되었다. 교사가 청소년을 대상으로 직접 교육하였고 이를 통하여 프로그램을 수정, 보완하였으므로 시화호유역의 교사들이 시화호에 대한 기본강좌와 시범수업을 통하여 교육이 된다면 시화호의 개발과 환경보전에 대한 지역의 역량을 강화하는데 그 확산이 빠를 것으로 예상된다.



### 3. 시화호 환경교육지도자 심화과정 운영

#### 3.1. 개요

시화호 민간 환경지도자를 양성하여 시화호 환경교육을 활성화하기 위해 시행되는 시화호 환경교육 지도자 과정은 2004년 처음 과정이 개발되고 2007년, 2008년에 기초과정이 운영되었다. 이어 2009년에는 그간 배출된 지도자들을 위한 심화과정을 운영하였다. 심화과정은 9강좌의 심화강좌와 현장실습, 보고회 및 시화호 지역역량강화를 위한 워크숍으로 진행되었다.

#### 3.2. 추진과정 및 결과

시화호환경교육 심화과정은 기초과정에서 배출된 지도자들의 현장 교육활동 역량을 제고하기 위한 것이므로 그 대상을 2007년, 2008년 시화호 환경교육 지도자 양성과정 수료자, 시화호 유역에서 3년 이상 비영리단체를 통해 환경교육 활동에 참여한 자로 한정하여 모집하였으며, 처음부터 실습을 고려하여 팀을 결성하여 운영하였다. 팀원은 팀 내부에서 적절한 역할 분담이 이루어지는 동시에 모든 사람이 참여할 수 있는 정도의 크기인 5인 내외로 하였고, 추후 실제적인 지역 활동의 네트워크 구성을 위해 지역별로 조직하였다.

##### 3.2.1. 심화강좌

심화강좌는 오리엔테이션과 시화호 관련 이론 심화강좌인 시화호 개발역사 및 개발계획, 시화호의 수질과 저질 현황, 유역의 역사적 전통과 해안문화, 시화호와 어업 등 4강좌, 시화호 현장을 익히기 위한 답사는 시화호 상류지역 방문, 오이도 및 시화 방조제 답사, 시화호와 지층 답사 등 3강좌, 타지역 환경교육사례 1강좌, 교육생들의 팀별 시범수업 실시 1강좌 등으로 진행되었다.

표 5-2-9. 시화호 환경교육지도자 심화과정 내용

강좌	내 용	장 소	비 고
오리엔테이션	지도자 양성과정 운영 안내	한국해양연구원	이계숙(한국해양연구원)
1강좌	시화호 개발역사 및 개발계획	한국해양연구원	이계숙(한국해양연구원)
2강좌	시화호의 수질과 저질 현황	한국해양연구원	김은수(한국해양연구원)
3강좌	시화호 상류지역 방문	갈대습지공원, 공단전망대	박선미 (시화호생명지킴이)
4강좌	유역의 역사적 전통과 해안문화	한국해양연구원	정진각 (경기도사 편찬위원회)
5강좌	오이도 및 시화 방조제 방문	오이도어촌계	이희근(오이도 어촌계)
6강좌	시화호와 어업	안산어촌민속박물관	심수정(학예사)
7강좌	시화호와 지층	화성 공룡알화석지	윤진수(인천교육청)
8강좌	타지역 환경교육사례	한국해양연구원	박성배 (낙동강하구에코센터)
9강좌	시범수업 실시	한국해양연구원	팀별 발표

### 3.2.2. 현장실습

현장실습은 3팀으로 나누어 팀별로 1회 이상 실시하도록 하였으며, 지역별로 실시하되 팀원 간 역할분담을 통해 하도록 하였다. 또한 조별로 현장실습 후에는 일정양식의 보고서, 수업자료, 개인별 실습소감문을 제출하도록 하였다. 보고서 양식으로는 조명, 구성원, 프로그램명, 일시, 프로그램 목적, 대상인원 및 연령, 프로그램 내용 요약, 구성원 역할분담 내용, 활동결과 평가 요약 등을 포함하였다. 총 6회의 현장실습이 이루어졌다.

표 5-2-10. 2009 시화호 환경교육지도자 양성과정 현장실습 보고서

조 이름	1조
조 구성원	곽재임. 박대진. 최정희. 정은순
현장실습 일시	2009년 7월 11일
프로그램명	시화호로 놀러와!
프로그램의 목적	시화호의 과거 현재 미래의 이해
대상인원 및 연령	청소년미래희망 23명(가족단위)
프로그램 내용 요약	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 갯벌 동영상으로 갯벌에 대한 이해 돕기</li> <li>- 시화호가 생기게 된 배경, 문제점(갯벌. 어민의 생계. 수질)</li> <li>- 간석지(공룡알화석지) 주변의 식물, 곤충과 동물흔적 살펴보기</li> <li>- 갈대잎 배 만들어보기</li> <li>- 공룡알과 화석과 공룡알 화석지 방문자 센터소개</li> <li>- 시화호이전의 역사와 어업의 형태</li> <li>- 시화호 유역 어민의 생활상 소개</li> <li>- 참가후기 작성 (할 수 있는 것 찾아보기)</li> </ul>
구성원 역할분담 내용	<p>곽재임: 진행보조 및 박물관 해설</p> <p>박대진: 공룡알화석지 해설 및 염생식물 해설</p> <p>최정희: 계획수립. 자료수집 및 진행, 염생식물과 천이과정 해설</p> <p>정은순: 진행보조. 박물관해설. 시화호소개</p>
활동결과 평가 요약	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 교수안과 프로그램은 비교적 잘 짜여졌다</li> <li>- 버스안에서의 동영상 상영은 호응이 좋았다.</li> <li>- 많은 프로그램을 계획함으로 인해 다 전하지 못하는 아쉬움이 있었고, 이는 교수안 작성 중 고려해야 할 문제로 생각한다.</li> <li>- 대상을 아이와 어른, 두 팀으로 나누어서 진행을 하였으나 차후에는 아이들에게 눈높이를 맞추는 것도 좋겠다는 생각이다.</li> <li>- 버스안에서 삼행시로 소감문으로 상품을 받는 아이 어른 모두 좋아 해 추후에도 프로그램화시킬 예정이다.</li> </ul>
첨부문서	사진, 명단, 프로그램안, 소감문, 활동평가서

표 5-2-10-계속. 2009 시화호 환경교육지도자 양성과정 현장실습 보고서

조이름	2조
조 구성원	윤정임, 박명숙, 김남미, 이희경
현장실습 일시	1차-5월 13일, 2차-6월 13일, 3차-6월 16일
프로그램명	시화호의 역사 및 시화호 유역권의 역사·문화 유적 탐사
프로그램의 목적	- 시화호의 탄생과정과 현재 모습을 알 수 있다. - 개발을 통한 자연환경의 변화와 사람들의 삶의 모습을 알 수 있다. - 시화호 유역의 역사, 문화를 알고 전승해 나갈 수 있다.
대상인원 및 연령	중·고등학생 40명 내외
프로그램 내용 요약	1. 시화호의 역사 : 시화호의 탄생배경과 경과, 문제점이 무엇인지를 알아보고, 시화호의 현재모습은 어떠한지 앞으로 어떤 변화를 가져올지에 대해 지속적으로 관심을 가지고 지켜보도록 유도한다. 2. 시화호 유역의 자연환경과 삶의 모습 : 시화호로 인해 변화된 자연 환경은 어떠한지 알아보고 그 속에서 살아가는 사람들의 삶의 모습을 통하여 더불어 살아가는 지혜를 배운다. 3. 시화호 유역의 역사 문화 체험 : 경기만에 속해 있던 시화호 유역은 선사시대부터 사람들이 살아가는 좋은 터전이었다. 선사시대의 패총, 신석기 집터, 삼국시대 성의 모습, 고려시대 서희의 고사가 살아있는 잣머리성황당, 군사유적인 별망성지, 염전의 모습, 다양한 지질과 공룡알 화석지까지 이 지역 곳곳에 숨어있는 역사와 문화를 체험해 보고 다음 세대로 전승할 수 있도록 돕는다.
구성원 역할분담 내용	- 1차 투어: 윤정임-진행, 김남미-해설, 박명숙-기록(사진),이희경-답사 도움 - 2차 투어: 이희경- 진행 및 해설 윤정임, 김남미- 답사 도움 - 3차 실내수업: 김남미 , 윤정임 이희경- 수업자료 도움
활동결과 평가 요약	- 사전답사를 통해 길 익히기와 시간체크 등을 하였으나 악천후로 인해 진행이 매끄럽지를 않았다. 비가 올 때를 대비해 차안에서의 프로그램 개발을 좀 더 준비했어야 했다.(예-퀴즈놀이 다양화하기, 각 코스마다의 전체적인 사진들 준비, 실내 수업용으로 예비계획안 준비) - 마이크가 준비되지 않아 학생 모두를 집중시키는데 어려움이 있었다. - 심화학습과정을 통해 습득한 지식으로 많은 도움을 받았으나 경험을 많이 갖는 것과 대상의 수준에 맞게 눈높이 조정이 절실히 요구된다. - 수업을 받는 학생들과 교감을 나눌 수 있는 다양한 노력이 필요하며, 일방적인 지식의 전달이 아닌 공감할 수 있는 프로그램의 개발(학생들의 수업 참여 기회를 높일 수 있는 다양한 프로그램 개발)이 요구된다.
첨부문서	투어 계획안 2부, 상세한 수업 일정과 내용 및 평가서 2부, 실내 수업계획안과 평가서 1부, PPT 자료 1부, 수업 준비물 3매, 활동지 1매

표 5-2-10-계속. 2009 시화호 환경교육지도자 양성과정 현장실습 보고서

조 이름	3조
조 구성원	김윤정, 김종수, 박옥선, 신순영, 최운경
현장실습 일시	2009년 5월16일, 2009년 8월17일
프로그램명	중딩들의 시화호 탐험, 고딩들의 시화호 탐험
프로그램의 목적	시화호 어제와 오늘을 제대로 알자
대상인원 및 연령	중학생 35명, 고등학생 30명
프로그램 내용	<p>- 1차 : 5월16일 투어                      일정: 공단전망대 → 시화호환경전망대                      (과거의 시화호 모습과 개발역사 및 현재 상황                      미래개발에 관한 설명)</p> <p>- 2차 : 8월 17일투어                      일정 : 갈대습지공원 → 공단전망대 → 대부도방아머리선착장                      (시화호유역 설명과 정화작용(갈대)을 통한 수질개선 설명)</p>
구성원 역할분담	<p>- 1차 : 5월 - 박옥선(주강사), 최운경(주강사), 김윤정(보조강사)                      주강사 : 시화호의 과거,현재,미래 설명                      보조강사 : 학생지도 및 안내, 안전지도, 시간설정</p> <p>- 2차 : 8월 - 김종수(주강사), 신순영(보조강사)                      주강사: 시화호유역과 갈대의 정화작용 및 수질개선설명                      지리적 위치설명                      보조강사 : 학생지도 및 안내, 안전지도, 시간설정</p>
활동결과 평가	<p>설문지작성 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호에 대해 새로운 시각을 가질 수 있는 기회가 되었다</li> <li>- 개발의 경제성도 중요하지만 자연환경도 중요하므로 성인이 되어 정책 결정권을 가지게 된다면 좀 더 신중하겠다.</li> <li>- 시화호투어 후 친환경에 대해 관심 갖게 되었다.</li> </ul>
첨부문서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개별적 활동평가서 및 프로그램 세부사항</li> <li>- 활동사진</li> <li>- 시화호의 해안선 변화와 코스설명</li> </ul>

### 3.2.3. 보고대회 및 시화호 지역역량강화를 위한 워크숍

심화강좌를 수료하고 현장실습을 실행한 후 보고서를 제출한 사람들을 대상으로 현장실습 결과보고회 및 타 지역의 우수 해양환경교육기관 견학 프로그램을 실시하였다. 9월18일부터 19일에 걸쳐 22명의 참가자들을 대상으로 낙동강하구에코센터, 국립수산과학원, 낙동강하구, 우포늪생태관을 방문하여 프로그램에 대한 소개를 받고, 각 현장에서 활동하고 있는 환경교육 지도자들과도 교류를 하였다. 또한 현장실습 결과보고회를 진행하여 그간의 성과를 공유하고 향후 활동방향에 대해 논의하였다.

표 5-2-11. 보고대회 및 시화호 지역역량강화를 위한 워크숍 일정

	9월 18일(금)	19일(토)
오전8:00- 9:00		아침식사
9:00 - 10:00	이동(안산→부산)	국립 수산과학원- 하구언전망대(아미산)
10:00 - 11:00		
11:00 - 12:00		
오후12:00 - 1:00	점심식사	
1:00 - 2:00	이동(안산→부산)	이동(부산→우포)
2:00 - 3:00		우포늪 탐방
3:00 - 4:00	낙동강에코센터 견학	이동(우포→안산)
4:00 - 5:00	환경교육 워크숍 및 교류회	
5:00 - 6:00		
6:00 - 7:00		
7:00 - 8:00	저녁식사	
8:00 - 9:00	숙소도착 및 방배정	
9:00 - 10:00	결과보고회	
10:00 -	취침시간	

## 제 3 절 시민참여 강화

### 1. 자료목록화를 위한 시민조사단 운영

#### 1.1. 개요

시화호 관련 자료를 수집, 통합적으로 관리하는 자료 목록화 사업을 운영한다. 당해 연도는 2차적으로 보상관련 민원 및 이주대책 주민자료 등을 수집하고 주민생업 내용과 생태문화 자료 조사 등을 기록하는 사업을 진행하도록 한다.

이를 위해 이주대책 관련 자료 등을 수집하고 주민생업 관련한 워크샵 등을 개최하여 이를 정책 제안해 나가고 시화호 생태시민교육 활동과 연계해 시화호유역의 다양한 콘텐츠를 개발하고 지역역량 강화의 기회로 활용 한다. 당해 연도 사업에선 '시화호 어업과 연안문화' 기록 자료집을 제작 발행하고, 시화호 유역 사무국 홈페이지 등에 게시하며 대국민 홍보활동 등을 전개한다.

#### 1.2. 추진방법

##### 1.2.1. 보상대책 자료수집 및 주민생업 대안 의견

정부보상과 관련 부산수산대학연안 해양연구실에서 작성한 「시화지구방조제 공사에 따른 어업보상조사보고서」(1989.3, 추가분) 자료를 토대로 현지 주민들의 면담 등이 이루어졌으나 워낙 광대한 자료이므로 별망지역 주민협의회에서 작성한 주민자료를 중심으로 보상민원자료가 수집되었다. 주민이주 대책과 관련해서는 한국토지보상법연구회에서 작성한 「송산그린시티 조성사업 주민정착방안에 관한 연구」 자료를 수집하여 주민들의 입장을 정리하였다. 조사단 활동은 크게 보상, 민원 및 주민대책 자료수집과 주민 면담 및 현장방문 등을 통해 5월부터~11월까지 전개되었고, 간담회 등을 통해 생활 여건 및 생업대책 등 의견수렴을 위주로 하였으며 대상은 시화호 지역 내 주민영농법인, 주요 어촌계장과 단체 관계자, 시민들이었다.

표 5-3-1. 시민조사단 및 주민면접활동 일지

일 시	장 소	내 용
5월10일	안산	시민조사단 자료수집 및 면담일정(총3명)
5월14일	안산	시화지구 농어민 영농교육및 면담(총21명)
10월15일	안산	대부도 주민(총7명)
10월29일	안산	화산영농조합 임원 주민면담 (총8명)
10월24일	화성	송산어도 주민면담(총 4명)
10월27일	화성	송산 고포리 주민 등(총3명)
11월21일	화성	송산 고정리(총5명)

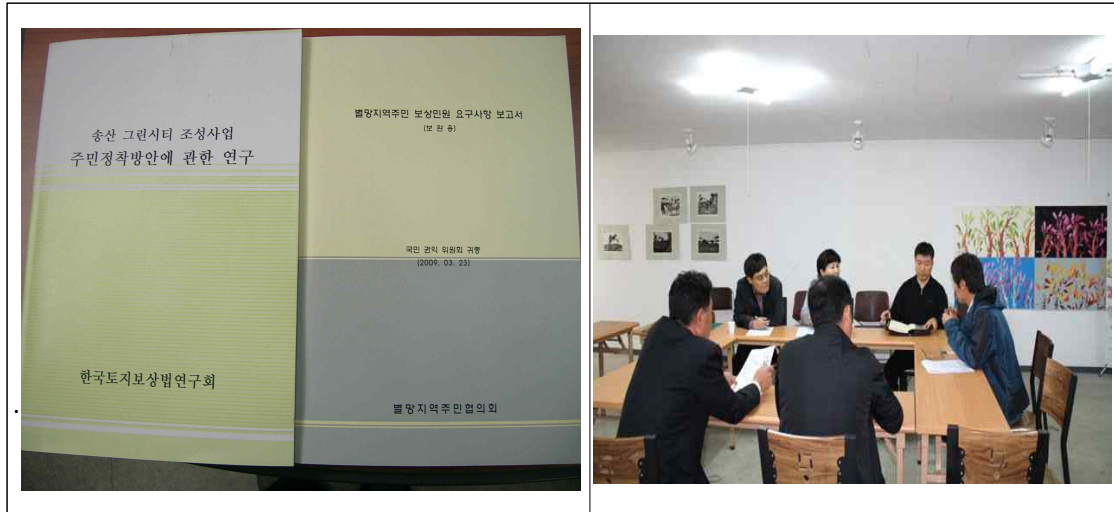


그림 5-3-1. 시민감시단 및 현장조사활동

### 1.2.2. 시화지구 연안생태문화 자료 초안작성

시화호 주요어촌지역 주민 자료수집과 함께 송산 남양지역의 생태문화 자료 수집과 초안 작성을 진행하였다. 송산 남양지역의 생태문화자료는 현지 향토전문가에게 집필을 의뢰하였고 권역별 민속 문화 초안 작성을 통해 향후 시화호 유역의 민속문화 지표화 하여 시화지구 개발에 즈음한 문화정책 자료로 활용하고자 한다.

표 5-3-2. 송산남양 민속문화 리스트

집필자	주요목록	내 용
박대진(화성문화지 킴이,화성예총사무 국장)	남양역사와문화	연혁, 산물, 지명, 유래등
	어도관련대동제	신외리당굿, 빈정포구, 유포리,각시당, 우음도본당,고정리배머리당제, 형도당산등 마산이서낭당,지화리할매바위,제부리어살
	민속유형	
	관방유역	남경두성, 당성, 남양장성, 성고리성지, 별망성 등
경관및 연안생활사	발안천유역문화,시욱지,남양굴,제부도,해망 산,은수포,천등산,화령산, 청명산, 망둥이	

### 1.2.3. 시화호 어업과 연안문화 자료집 제작

시화호 어업활동 초안보고서를 토대로 '시화호 어업과 연안문화' 자료집을 제작하였다. 어업활동 초안보고서는 시화호 어장 어획현황, 어업문화와 주민생활 등을 주요 어민들의 구술과 기록에 의존하여 제작되었고 여기에 주민활동대책과 송산남양의 민속 문화 초안자료를 첨부하여 단행본을 제작 배포하고자한다 어촌문화초안보고서를 보고서로 제작되며 여기서는 본문에 제시될 주요항목과 시화호 어업현황과 주민활동 등을 요약하고자 한다. 시화호 어업및

연안문화자료는 화호 지역기록 사업의 일환으로 시화호 생태문화 주민 기록활동의 근간이 될 것이며, 향후 시화호 지역정책의 중요한 자료가 될 것이다.

표 5-3-3. 시화호 기록 자료집 제작표

구분	분야	내용
자료집	시화호 어업과 연안문화	총 100페이지 분량 500여권제작 배포
주요 집 필 자	김갑곤	총괄, 활동분석 및 최종집필
	황문식	어촌계, 어선, 어민대책현황
	조기진	주민어업, 생산기록
	박대진	어업문화 및 주민생활

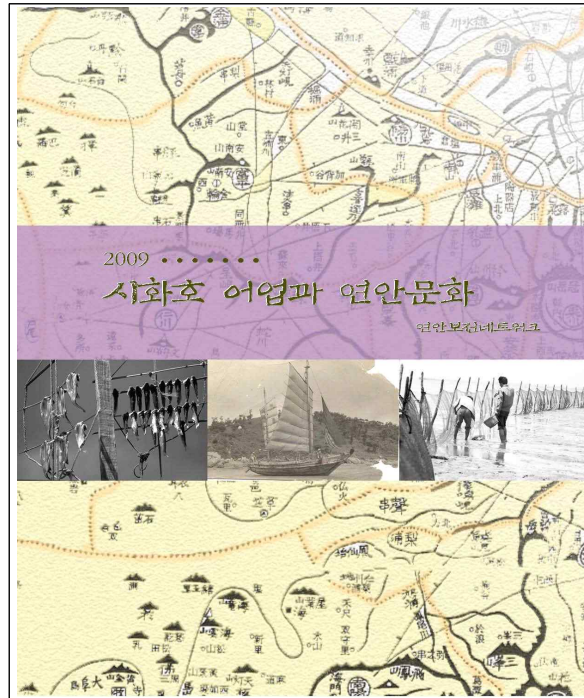


그림 5-3-2. 시화호 기록 자료집

### 1.3. 결과 및 고찰

#### 1.3.1. 주요민원 및 주민 생업대안 의견

##### (1) 방조제를 트는 것이 관건

선진국에서 간척사업을 포기하고 바다로 환원한다고 한다. 시화호 막히기 전에는 어도에는 걸어갈 수 있을 정도로 꽃게가 깔려있었다. 지금은 금어기인데 꽃게가 산란할 때 얕은 물로 올라가야 산란한다. 깊은 물에서는 수압에 의해 허물을 벗을 수 없다. 시화호가 막히지 않았



으면 시화호 안에는 어마어마한 어족자원이 생길 것이다. 밤에는 횃불을 들고 고기를 잡는다. 물이 빠지기 때문에 주어 담을 정도다. 서해안에 어업자원이 고갈되었는데 그것은 시화호를 막았기 때문이다. 지금까지 보상을 다시 다 주었더라도 국가 전체적으로 방조제를 트는 것이 이익이다.

## (2) 주민을 위한 개발정책이 없다.

시화호를 막았던 기관들의 정책이 문제다. 필요에 의해 개발을 했다면 그로 인해 피해주민과 환경영향을 분명히 정책으로 대처해야 하는데 대부분 주민들이나 지역에서 이에 대응하지 못했다. 오로지 개발 일변도로 모든 것이 정리된다. 개발한다면 자연환경 관리뿐만 아니라 인간에 대한 배려도 동시에 해야만 한다.

## (3) 주민들이 시화호에 먼저 살아야 한다.

개발현장에 대한 주민활동이나 구술과 자료를 제대로 정리해야 한다. 국가에서 정당한 보상과 민원해결이 바로 이루어져야 한다. 주민들의 생존이 국가정책의 주요대상이 되어야 한다. 이런 보상과 주민들의 자구활동이 불가능하지만은 않다. 시화호 수질이다 환경이니 하는 쪽으로만 쓸 것이 아니라 조금씩이라도 주민들이 시화호에 떠나지 않고 살아나갈 수 있도록 방향이 잡아야 한다. 이것이 대 시민사회의 역할이다.

## (4) 개발된 시화호에서 어업과 주민생업이 유지되어야

비록 바다가 막혀 과거와 같은 반농 반어업을 할 수는 없지만 해수호로 바뀐 시화호에서 이용 가능한 어업활동과 생업이 유지되길 주민들은 한결 같이 원하고 있다. 외해 바닷물이 소통되고 내해 시화호 환경이 살아나면서 형도와 어도, 마산수로 지역을 중심으로 어업에 대한 주민들의 관심과 요구는 계속되고 있다. 사실 개발당국으로서도 여의도의 30~40배에 이르는 시화호 수면을 다 관리하고 개발하기는 현실적 어려움이 있다. 시화호 수면 등을 활용한 주민들의 생업적 기반을 확보하는 것은 시화호 수질관리 뿐만 아니라 지속가능한 개발 측면에서도 합리적인 지역정책이 될 수 있다. 최근 관계기관을 통해 형도 갯벌주변을 대상으로 바지락 등 패류 생존율 조사 등을 실시하고 있으며 향후 다각적인 연구 등을 통해 갯벌생태복원과 함께 어업활동과 관련한 정책 대안 등이 마련하여야 한다.

시화호 개발당국에서 실시하는 기존 주민정착 방안에 대한 연구는 시화호에서 어업과 생업을 유지해온 주민들의 소개를 전제로 진행되었던바 사실상 시화호 내부개발에 주민들을 소외시키고 있다. 주민들은 변화된 환경 속에서도 과거의 생산전통과 문화가 새로운 형태로 유지되길 희망하고 있으며 어업을 포함한 1차 생업들이 그들의 손에 의해 진행되길 원하고 있다. 어업과 관련해서도 특히 바다로 연결되는 시화호 남쪽 수로지역을 중심으로 해수호 내수면 어업과 양식어장, 주민들이 시화호로 나갈 어항의 역할과 기능 등이 기본적으로 복원될 수 있기를 강력히 희망하고 있다.

## (5) 주민이 주체된 새로운 영농과 지역적 발전

도시개발계획 지역을 제외한 시화호 남측 농지지역을 중심으로 대단위 주민 영농활동 등이 준비되고 있다. 시화호 농지조성에 따른 주민영농이 가능할 것인가가 인근주민들의 초미의 관심사가 되고 있다. 도시는 외지 사람들이 들어오지만, 대대로 이곳에서 살았던 주민들은 그

생업적 기반을 대개 농사 등을 통한 생산양식에 두고 있다. 따라서 이들이 실지로 영농이 가능할 수 있도록 정책적 배려를 해야 할 것이며 아울러 주민영농조합에 대한 관심과 지원을 아끼지 말아야 할 것이다. 농업단지계획은 농고 관계기관 등은 복합관광 영농을 얘기하지만 지가와 주변조건을 놓고 볼 때 그것이 대부분 관광레저에 집중한 채 정상적인 영농이 이루어질 수 있을지를 주민들은 의심하고 있다. 과학적 대단위 영농활동이 유지되기 위해서는 관광이나 체험과 같은 부과적 개념보다는 영농생산 단지가 적지에 선정되어야 하고 영농산업을 위주로 개발계획을 추진되어야 한다. 아울러 주민을 중심으로 한 영농단체 활성화 등을 꾀하여야 한다. 시화호 남측간척지 개발이 기존 북측의 안산이나 시흥의 도시적 방식보다는 농업적 지역적 방식을 채택할 필요가 있다. 그것은 농지와 산지, 습지를 제대로 살리고 도시를 만들어가는 과정이어야 한다. 그것이 도농을 조화시키고 전원도시로서의 시화호 개발의 새로운 정체성을 찾는 방안이다.

### (6) 시화호 유역과 지역을 살리는 시화호 경관농업

오랜 개발과 자연 환경파괴에 따른 시화호 주변지역의 사회문화적 조건은 갈수록 악화되고 있다. 급격한 개발로 인한 공동체 파괴와 각종 계획에 따른 가파른 지가상승 그리고 주민들 생업이탈 등은 기존 사회 경제기반 등을 무너뜨리고 있다. 모두가 도시적 생활방식으로만 살 수 없다면 전통적인 경제기반을 토대로 지역적 산업적 비전을 주민 스스로가 만들어 나가야만 한다. 시화호 환경과 어울리는 '경관농업'과 주민들에 의한 '생태 풍류농촌 만들기' 활동은 시화호 생산 공동체인 마을을 살리고 농민이 주도하는 지역 발전방안이 될 수 있다.

생태문화, 예술, 풍류, 산물 등 지역 아젠다(agenda)를 직접 내놓고 그러한 생태 예술농업, 풍류농촌, 예술, 농민의 공간을 농민과 지역주민이 직접 만들어 나간다. 이제는 각종 개발 폐해로 땅과 집을 버리고 떠나는 곳이 아니라 다시 되돌아오고 누구든지 머물고 정착할 수 있는 마을과 시화호지역으로 거듭날 수 있도록 한다.

시화호 개발이 대규모 단지화 신도시 건설에 있는 것뿐만 아니라 무엇보다도 이제는 그 인근의 마을과 도시를 새롭게 개조하고 살기 좋은 고장으로 만들어 나가는 것이 주민복지 증진과 시화호 지역발전 대안이다.

### 1.3.2. 시화지구 연안생태문화 자료 초안 작성

송산 남양지역의 생태문화 자료 수집과 초안 작업은 시화호 권역별 민속 문화 초안 작성을 통해 향후 시화호 유역의 민속문화 지표화하여 시화지구 개발에 즈음한 문화정책 자료로 활용하고자 하였다.

#### (1) 화성 송산(남양) 환경과 문화

시화호 남양의 지리적 환경조건으로 우리나라의 수직적 측면에서는 중간 허리부분의 중추적 역할을 수평적 측면에서 서해에 면해있어 완만한 지형의 넓은 평야지대로서 임해지역의 다양한 농어물산의 윤택한 환경 특성에 적응하고 있다. 기후 환경조건으로 적당한 강수와 사람이 살기 좋은 조건을 갖추었으며 다양한 작물의 재배가 가능하다. 문화적 환경조건으로 예부터 수도와 인접하여 소외되지 않는 다양한 문화수용 형태를 보이고 있다. 역사적 환경조건으로 삼국시대부터 치열한 각축의 현장으로 중국과의 문물 교역의 창구 역할을 하였다. 백제, 고구려, 신라가 화성지역을 차지함으로써 국가적 융성을 이룰 수 있었다. 따라서 다양한 중앙문화와 향토문화가 어우러진 지역으로 사람이 살기 좋은 환경을 두루 갖추고 있다.

**(가) 화성 남양지역의 연혁**

- 삼한시대 - 마한(54부족 중 3개 부족)
  - 모수국(태안, 봉담, 매송, 향남, 양감, 정남, 동탄)
  - 상외국(장안, 우정)
  - 원양국(비봉, 남양, 마도, 송산, 서신, 팔탄)
- 고 구 려 - 매홀군(모수, 상외국)
  - 당성군(원양국)
- 신 라 - 0757년(경덕왕 16) - 수성군(매홀군), 당은군(당성군)
  - 0822년(현덕왕 14) - 수성군(통합)
- 고 려 - 0995년(성종 14) - 수주(수성군), 당성군
  - 1018년(현종 9) - 수주
- 조 선 - 1413년(태종 13) - 남양도호부, 수원도호부
  - 1895년(고종 32) - 남양군, 수원군
  - 1914년(3. 1.) - 수원군
- 대한민국 - 1949년(8. 15.) - 화성군(수원시 승격 분리)
  - 1970년(6. 10.) - 화성군청사 이전(수원→오산)
  - 1989년(1. 1.) - 오산읍 시승격 분리
  - 2001년(3. 23.) - 화성시 승격

**(나) 어로 관련 대동제의**

시화호 연안 각 포구마을마다 어로와 관련하는 공동제의 또한 바다가 막힘과 동시 누대를 걸쳐오며 전승되던 민간신앙의 맥이 일시에 끊겼다. 각 포구며 어업활동을 하는 바닷가 마을마다 바다가 주는 수혜의 고마움과 바다 일로부터의 무사태평을 기원하는 제의가 전승되어졌다. 그러나 주민들의 가치관이 변하고 생업의 바다를 빼앗기게 되면서 이러한 민간 신앙적 대동제의 민속이 사라지고 일부 약화된 의례로 명맥을 유지하고 있는 실정이다.

우음도는 3년마다 음력 2월 보름전에 당제를 치른다. 안산 성곡리 안산당(안씨, 홍씨 부인)을 형이라고 한다.(일부 우음도의 당이 형이라고 하는 사람들도 있다) 우음도 본당은 섬 정상에 있다. 비봉은 마을 공동 추렴한다. 신격체는 임장군(도당할아버지), 각시(소당할머니), 대감(소당할아버지) 소당애기씨, 말구종의 화상이 모셔져있다. 소당이라서 술을 쓰지 않고 청수를 올린다. 동네 단골을 모셔다가 3일 동안 밤낮으로 한다. 군웅당은 선착장 가의 당목과 바위가 쌓여진 곳이다. 조라술과 막걸리를 올린다. 각시당은 고정에서 우음도를 건너갈 때 좌측으로 바다 가운데 암초섬으로 밀물에는 고립된다. 화장품과 빗 반지 등을 올린다. 군인들의 초소(병커)가 있다.

비봉 유포리(버들무지)마을 입구 당산에 당집이 있다. 신격 12당이 있었으나 현재는 도당 두 분이다. 매년 음력 11월 2일 24시부터 올린다. 황우를 잡아 분육하였다. 조기잡이를 주로 했던 포구여서 임(임경업)장군을 중히 모신다. 음력 7월 7일 마을 우물고사를 지낸다.

남양 신외리는 남양읍내와 제일 가까운 포구로 작은 인천이라 불렀다. 음력 10월 5일경 지내는데 서낭당 밑에 사는 당할아버지를 제관으로 지정하여 당제를 치렀다. 농주를 올린다. 마을 집집마다 소지를 올려준다. 음력 3월 출어직전 봉선태산(鳳仙台山) 바닷가 느티나무를 신격으로 뱃고사를 지냈다.

송산 형도는 섬의 정상 봉화대 자리에서 계명산을 주산으로 음력 정월 보름에 지낸다. 인천에

사는 무당을 청하여 황해도굿 식으로 하루 종일 굿을 한다.

시흥 포동에는 소래염전에 이어진 산등성에 당집과 은행나무, 느티나무, 소나무 등이 있다. 도당할아버지, 도당할머니를 신격으로 당집에 무신도와 무복이 있다. 유교식 제의로 진행되며 조라술을 사용했다. 새우개마을에서 음력 정월과 7월 두 차례 당제를 치렀다. 정월 도당굿에는 20여 명의 화랭이들을 청해왔다.

오이도는 안씨 부인을 모신다. 군자봉의 당에서 모시는 안씨 부인과의 연관 있다. 뱀이 땅 속에서 나오기이전 음력 2월 중 길일을 택하여 제주가 선정되면 금기를 행하고 당제에만 사용되는 마을의 먼우물에서 물을 길어 목욕을 하고 당제에 소용되는 물도 먼우물 물만 쓴다. 예전에는 짚으로 배를 만들어 띄워 풍어를 기원하는 배치기노래를 하였다 한다.

### (다) 민속유형

**신외리 도당굿과 연자방아** 남양 신외리는 농사를 주업으로 삼고 농한기 어업을 하는 마을로 남양으로 집결하는 물산이 집결하는 곳으로 배가 내왕하는 작은 인천으로 불리기도 하였다. 바다가 포구에 큰 느티나무를 신목으로 2m 남짓의 터주가리를 지어 봄가을 풍년의 감사의식으로 도당굿을 하였다. 마을 안쪽 잘 보존된 연자방아간이 고스란히 남아 있다.

**빈정포구** 매송면 야목4리 수인선 빈정포역이 있기도 하였다. 어촌마을 특유의 좁은 지역에 밀집된 가옥의 배치 구성을 볼 수 있다. 일제강점기 이후 간척에 의해 수로 안쪽으로 포구가 70년대 이후까지 운영되었으나 이후 기능을 상실하였다. 마을 도당굿이 성대하였으나 지금은 굿을 하지 않으며 음력 7월 7일에 마을 우물을 청소하고 마을사람들이 화목을 다지는 약식행사를 치른다. 풍양조씨, 여주이씨, 풍양조씨, 김해김씨들이 많이 산다. 신체는 당산(브록크집) 10월 1일. 쇠고기(分肉). 줄다리기가 현존한다.

**비봉 유포리** (당곡, 남전2리)해안 어촌마을로 밀집된 가옥 구조를 갖고 있다. 신체는 터주가리와 우물이 있다. 당제는 현재 지켜지지 않는다. 제물로 숫돼지를 쓴다. 인근 대장골 한산이씨 종택의 정려문(효자)은 집으로 드나드는 작은 대문이 있다.

**시화호 내 각시당** 송산면 고정리에서 우음도를 건너 갈 때 우측의 공룡알화석지가 있고, 좌측 바다벌 가운데 돌섬이 있다. 바다에 있는 작은 바위섬 자체가 신체이다.

**우음도 본당** 소가 누운 형국이라 하여 우음도라 하며 마을뒷산에 군웅당(큰당) 당집이 있다. 작은당은 안산 바닷가에 있다.

**고정 배머리 당제** 교하노씨, 남양홍씨, 안동장씨 궁산(弓山), 궁당(弓堂) 소나무, 당신, 10월 5일 6~7시, 돼지머리. 풍물

**형도 당산** 6·25이후 마을이 집중 형성되었으며 바위굴과 봉화대가 있었으나 골재와 석재 개발로 섬 전체가 와해되었으며 시화호 이후 마을이 폐쇄되어가고 있다.

**송산 고포리** 징거바위(고포리에서 어도로 진입하는 바다가 작은 바위섬) 위에 터주가리를 만

들고 투구와 병거지 신발을 모셨다. 어도에 소를 몰고 갈 때 징거바위에 술을 부어놓지 않으면 큰일이 났었다.

**지화리 할미바위** 옛날 이곳 마을에 금슬 좋은 노인 부부가 알콩달콩 살았다. 어느 날 할아버지가 바다로 고기를 잡으러 나갔는데 돌아오지 않자 할머니는 바닷가로 할아버지를 마중 나가서 몇 날이고 시름에 젖어 기다리다가 그만 바위로 굳어졌다. 할아버지는 풍량을 만나 모진 고난 속에서도 할머니만을 그리워하는 일념으로 어찌어찌 살아 돌아와 보니 할머니는 바닷가에 바위로 굳어 있는 모습에 망연하였다. 할아버지는 상심하여 여러 날을 울며 지세다 할머니가 굳어진 바위를 보듬어 끌어않으니 할아버지마저 돌로 굳어 졌더라. 그리하여 이곳 바닷가에 두 개의 바위가 솟았는데... 할아버지와 할머니의 사랑하는 애뜻한 눈물이 모아진 샘이 솟아올랐다. 물맛이 좋고 시원하였다.

이후 인근 마을 사람들은 이곳을 지나쳐 갯길을 하러 갈 때마다 물을 떠 마시며 할미바위에 얽힌 노부부의 아름다운 사랑이야기가 회자되었다.

**제부도 어살(석방렴)** 현재는 확인 할 수 없다. 1970년대 이전까지 사용되었다 한다. 제부도 북쪽(현재 산책로 설치) 바다에 돌로 삼태기 모양의 독을 쌓아 고기를 잡았다 한다.

**형도 봉수대의 마고할미 이야기** 옛날 마고할미와 마고할아버지가 시화호 주변에 살았다. 사이가 좋은 두 부부는 어느 날 할아버지는 대부도에 황금산을 쌓고 할머니는 형도에 탑을 쌓는 내기를 하였다. 부지런히 쌓다가 형도를 바라본 할아버지는 형도의 탑이 아름다운 모습에 자주 한눈을 팔다가 자신이 쌓는 산이 형도의 탑을 따라 잡을 수 없음을 심술이 난 할아버지가 형도의 탑을 그만 밭길질을 해 탑의 한쪽이 무너져 내렸다 한다.(형도는 큰 덩어리의 돌산이었는데 석재를 파내어 형체가 사라졌다)

#### (라) 관방유적

사람들은 보다 먼 곳을 보기위해 발돋움을 해왔다. 보다 지름길을 찾기 위해 목숨을 담보로 하는 험난한 뱃길을 마다하지 않고 배를 내어 노를 저었고 이국의 문물을 수용하려 하였다.

우리나라 유사 이래 가장 오래된 뱃길을 열었던 곳이 시화호를 품고 있는 남양반도이다. 남양반도 지역은 사람들이 배를 지어 바다에 나가던 고대 때부터 중국과의 교역을 하던 뱃길의 시작점이었다. 이 지역은 고대로부터 군사적 요충지였다. 한강 이남의 넓고 비옥한 들녘과 각종 물산이 집결하는가 하면 당나라와의 교두보로 중요했다. 남양 땅에서 배를 띄워 해류와 바람을 타고 서쪽으로 나아가면 중국 땅 남경에 닿는다하였다. 시화호와 접해있는 문화유적을 살펴보고자 한다.

**지화리 남경두성(화랑진성)** 삼국시대 이전부터 중국과의 뱃길로 이용되던 곳으로 나당 연합군이 이곳을 통해 상륙하였다고 한다. 당항진이라 하여 당과의 항쟁을 하던 곳으로 산성이 있다. 조선시대 수군 첨절제사영(水軍僉節制使營)을 두기도 한 군사 요충지였다. 중국남경으로 가기위해 건너는 작은 개울을 남경천이라고도 한다.

**당성(당항성)** 사적 제217호. 남경두성과 바다를 건너 마주보고 있으며 서해 일대가 조망되는 군사적 요충지로 인접한 봉화산과 한줄기로 이어진 서신면과 송산면의 접경 구봉산에 약1.2km의

산성이다. 매년 지표조사를 통하여 석축 복원하고 있으며 백제가 축성한 이후 고구려와 신라가 개축하였으며 신라 때 당항성이라 했고 남양 홍씨의 발상지이기도 하다.

**남양장성** 통일신라(흥덕왕4년, 829) 당성진을 설치 할 때 축조된 것으로 추정된다. 15km 길이의 성으로 서신면 광평리에서 시작되어 송산면 육일리→마도면 해문리 →남양에 이른다. 현재 구봉산 당성에서 해문리까지의 6km 구간의 성곽 흔적만이 보인다.

**별망성** 안산 원시동 구릉에 별망성곽이 있다. 바닷가 두 곳 봉우리를 연결하는데 바다에서 내륙을 바라보고 싸우도록 되어있다. 해안과 연결하여 배의 출입이 가능하다. 인근의 목내리산성, 군사산성 등과 연계할 수 있는 군사 요새이다. 고려 때 삼별초의 항쟁이 있었다.

**성곡리성지** 안산 성곡동 해봉산 해발 80m 정상부의 토성으로 성황당이 있고 남양반도의 송산면 당성 일대가 조망된다.

**봉수** 제부도 봉수, 상안리 봉수, 해운산 봉수, 형도 봉수가 있었으나 일부 유실되었으며 형도의 봉수는 석산개발로 전혀 흔적이 남아 있지 않다.

바다는 무진장한 자원의 보고였다. 사람들의 젖줄이었다. 5~60년 전만 하여도 서해바다에는 연어가 서식하고 있어 원리 앞뜰을 거슬러 오르는 것을 맨손으로 잡았다 한다. 형도 앞바다에서 한나절 낚시로 민어를 100수 이상 낚아다는 이야기며, 그물에 올라오는 꽃게를 처리할 수 없어 귀하던 장화가 뚫어질까보아 발끝으로 살살 바다로 밀어 넣었다는 이야기를 들을 수 있었다.

송어가 하도 많아 각시당 암초섬을 그물로 포위하듯 잡았다는 이야기는 먼 옛날의 이야기가 아니다. 바다에서 맨손으로 조개와 굴은 채취하는 작업은 말 그대로 바다에 널린 돈을 줍는다고 표현되었다. 바다가 살아 있어 많은 염전에서 질 좋은 소금을 생산하고 한나절 바다를 굽어오면 돈이 되었고 지역 경제의 원동력이었다. 바다 별이로 젊으나 늙으나 한목을 해 남부럽지 않게 자식들 공부시키고 먹고사는 걱정이 없었다. 그러나 희망의 바다는 시화호라는 이름을 달고 애물단지로 바뀌었다.

이제 시화호에 접한 34(시흥시 1, 안산시 15, 화성시 18)개의 어촌계와 10개의 포구는 무너졌다. 약간의 보상을 준 사람들은 더 이상 할일이 없어 대처로 떠나고 바닷가 마을은 빈집들로 변했다. 오갈 데 없는 노인들이 빈 바다를 지키고 있을 뿐이다. 이후 IMF 여파로 보상금을 탕진한 사람들이 한 돌씩 상처를 안고 다시 돌아오기는 하였지만 여전히 바다는 죽어 있고 할일이 없다.

바다가 막히고 이제 20년 남짓 사람들이 빠져나간 지역의 경제는 축대밭이 되었다. 바다를 막으면 큰 횡재를 한다던 말들은 허황된 집단들의 사탕발림으로 끝나가고 있다. 이 땅을 터전으로 누대를 살아오던 주인들의 한 띄기 땅마저 외지 사람들의 이름으로 바뀌어 지고 있다. 그들은 빈바다를 보면서 한숨만을 내쉬고 들이쉬고 호기롭던 옛날의 이야기로 허세를 떨고 있을 뿐이다. 얼마나 많은 것을 더 잃어야 사람들은 자연의 소중함을 참되게 알게 될 것인가?

## (2) 주요 지역과 민속문화

### (가) 각시당과 주변 문화

각시당은 화성시 송산면 고정리에서 우음도를 정면으로 바라볼 때 10~11시 방향 3km 지점에 위치한다. 2008년 후반 주변 광활한 개펄이 초원지대로 무성하여 인근 주민들이 목초 대용으로 풀을 베느라 임시도로가 만들어져 통행이 개선되고 있으나 여전히 불편하기는 하다.

지도상에 명시되지 않은 지름 100m 내외의 작고 큰 흰색바위가 널려진 형태로 간조 시에는 개별 속에 드러나며 만조 시에는 대부분은 지상부가 바닷물에 잠기던 바다 한가운데 작은 섬이었다. 섬에는 지름 20cm의 자귀나무 한그루가 주인처럼 각시 부부의 애뜻한 사랑을 지키며 홀로 서 있다. 수년간 사람들의 발길이 끊기던 결과 여러 종의 육지성 식물들이 자란다. 자귀나무, 구지뽕나무, 해당화 몇 그루 목본류가 있으며 시화호 물막이 이후 주변 개펄지대에 번성하는 위성류, 버드나무가 새롭게 자리를 잡아가고 있다. 억새, 띠풀과 갈대, 염생식물 해홍나물, 통통마디(함초), 나문재, 갯질경이, 대나물 등이 군집 서식한다. 주변 펄 지역에 달래, 오랑캐꽃, 붓꽃 등이 제 계절을 찾아 피어나고 있다.

1970년대 군자만 해역이 간척선 출몰 이후 군사적 목적의 병커(초소)가 1980년 초에 지어졌다. 격한 풍랑과 해일에 견딜 수 있도록 두터운 시멘트 구조물의 견고함과 잠수함이나 선박의 여압식 출입구조로 바닷물의 침수를 막을 수 있도록 지어졌다. 아래층의 약 15평 정도의 주거 공간과 2층 망루 형식을 갖추고 있다. 병커 내부에는 서양화 벽화가 누군가로부터 멋지게 그려져 있어 눈길을 끈다. 먼 거리에서 바라보면 중세의 성(城)이나 영화 속의 요새처럼 보이기도 한다. 주변의 초원화 된 염생식물과 소금기가 배어나온 하얀 갯벌이 어우러진 경관으로 매우 아름답기 그지없다.

바다 한 가운데서 다수의 군인들이 독립된 생활을 하면서 해안경계를 하던 곳이었으나 몇 명의 군인들이 사고로 죽었다. 이후 1980년대 후반 군인들이 철수하면서 방치되어 지금에 이른다. 해안지대의 기상은 순간순간 변화하는 특성으로 짙은 안개가 끼면 천지사방을 분간 할 수 없게 되는데 이를 오리무중(五里霧中)이라 한다. 이때 바닷물이 밀려들거나 갯고랑을 만나면 목숨을 부지하기 어렵다. 짙은 안개는 주위의 소리를 차단하는 효과가 있으며 밀물시의 파도소리는 구조를 요청하는 소리를 잠식시키는 것이다. 또한 사막에서의 신기루 현상과 같이 청명하지 않은 날 바닷가에서 실종 사고가 잦아지는데 안개에 흘린다고 한다.

각시당 주변은 고기가 많이 잡히는 곳으로 인근의 어민들이 각시당 주변을 선점하려고 각시당에서 밤을 새워 물때를 기다려 그물질을 했다. 각시당 섬을 그물로 에워싸 고기를 잡곤 했는데 주로 송어를 잡았다.

### (나) 각시당의 유래

옛날 금슬 좋은 부부가 근처 바닷가 마을에 살았는데 남편은 바다에 나가 고기나 갯것을 잡아다 생활을 하였다. 남편이 바다에 나갔다가 돌아올 시간이면 아내는 바다 한가운데 바위 섬으로 마중을 나가곤 했다. 그러던 어느 날 평소처럼 남편 마중을 나섰는데 갑자기 폭풍이 몰아쳐왔다. 일기가 불순하여 남편이 이웃의 배를 얻어 타고 마을로 돌아 간 것을 모르고 이제나 저제나 애를 태우며 기다리던 아내는 그만 밀려드는 바닷물에 갇혀 죽고 말았다.

이후 주변 사람들은 금슬 좋고 인물 좋던 부인의 죽음을 애도하여 이 섬을 각시당이라 부르게 되었다. 매년 정월과 바다 일을 시작하는 철이 오면 각시의 원혼을 달래며 어획의 풍요

와 뱃질의 안전을 기원하기 위해 각시당을 찾아 모시게 되었다. 또한 지아비를 섬기려다 죽은 각시의 애뜻한 죽음을 기림으로서 미풍양속의 지향과 지아비의 안전을 기원하던 각시의 염원(풍어와 안전)이 지속되기를 바라는 결과인 것이다. 각시당의 제물로는 당의 신체인 여서낭을 위해 바느질거리라든가 화장품, 빗 등의 여성 치장도구를 올리는 당제를 지내왔다.

화성의 유일한 여성 신체를 섬기는 각시당 역시 우리나라 해안마을의 여서낭의 공통적 특징을 보인다. 충남 서천 도둔리 각시서낭 또한 여서낭으로 화려한 물색(옷감, 바느질 도구, 화장품 등)을 제물로 올린다. 강원도 삼척 어촌마을의 해랑당 역시 여서낭으로 바다에 빠져 죽은 처녀 해랑의 원혼을 위로하기 위해 해마다 나무로 남근을 깎아 물색으로 올린다. 서해안 일대 어업을 위주로 하는 곳에서는 서낭 신체로 대부분 임경업 장군을 모신다. 우음도 당의 주 신체 역시 임장군이지만 이하 여러 부속신체를 아울러 섬기어 왔다. 이는 다양한 신체를 모심으로서 폭 넓은 의미의 액귀(厄鬼)를 방어하는 것이며 각시당의 여성성은 다산(多産)과 풍요의 상징적 대상인 것이다.

#### (다) 할미바위 전설

송산면 지화리 바닷가에 가면 바다 건너 선감도를 건너다보는 곳에 화성의 어떤 향토자료에도 기록되어 있지 않은 할미바위가 있고 이곳에 얽힌 이야기가 있다.

꽃이 좋은 봄날이 오면 마을 어른들은 맛난 음식 푸짐하게 준비하여 바닷가로 나가 즐거운 봄의 여유로움을 만끽하던 습터였다. 인근 마을 교회에서는 꽃예배를 본다고 교인들이 음식과 마실 것을 장만하여 야회를 나서던 곳으로 할미바위는 정겹게 사람들을 맞아주던 덤덤한 모습의 흰색 바위는 주변의 바위들과 다른 인상을 주고 있다. 할미바위아래 6m쯤 옆으로 자갈 섞인 모래땅에서 샘물이 용출하는 곳이 있었다. 바다 물이 밀려나면 할미바위 밑동이 들어 난다. 샘물이 솟는 곳을 손으로 조금 파 웅덩이를 만들면 물맛 좋은 맹물이 고여 목을 축이고 세수를 하거나 몸을 씻는데 불편함이 없는 샘물이 있었다. 이곳 동네의 주민들이 바다에 나가 조개를 캐거나 굴을 따서 이고 지고 오다가 할미바위 아래에 이르면 퍼질러 앉아 잠시 쉬며 담배를 피워 물거나 모래밭을 파서 맑은 물이 괴면 갈증을 달래거나 조개에 묻은 빨흙을 대충 씻거나 빨 감탕의 옷을 물에 문질러 씻던 곳이었다. 사철 물이 고여 나는 량이 일정하다. 물맛은 투명 하달까? 단맛이랄까? 차고 시원함이 그지 없었다 한다.

#### (라) 나라님께 진상하던 남양굴

굴밥, 굴회, 굴젓, 굴 넣은 김장김치, 굴짜두기, 굴무생채, 보쌈김치, 굴김치국, 굴 고명 잔치국수, 굴적... 입맛을 다시게 한다. 화성의 명 특산물로 한때 유명했던 굴 이야기를 풀어보고 싶다. 연체동물의 일종인 굴의 종류는 우리가 알고 있는 것보다 다양하다.

굴은 두 장의 거친 물결모양의 조개껍데기로 싸여져 한쪽은 큰 뚜껑처럼 생겼고 반대쪽은 배 밑바닥 모양으로 오목하게 생겼다. 6~7월경에 산란하는데 껍데기의 성장은 1년에 길이 약 7cm, 무게 약 60g, 2년에 10cm, 140g 정도로 이후의 성장은 느리다. 염도가 낮은 해안 바다의 바위에 붙어 입수관(入水管)으로 바닷물을 들이마시고 아가미로 플랑크톤 등의 유기물질을 걸러 먹는다. 우리가 즐겨먹는 참굴은 비타민과 미네랄의 보고로 불리는 굴에는 비타민 A1, B1, B2, B12, E, 철분, 칼슘 등 각종 영양소가 균형 있게 풍부하다. 운동으로 소모된 혈액 속의 당분을 보충해 주는 글리코겐의 상승작용으로 성인병인 당뇨병, 고혈압에도 효과가 있다. 소화가 빠르기 때문에 환자나 노인, 유아, 임산부의 빈혈과 간장병 환자의 체력회복에도 아주



좋다. 특히 칼슘은 약으로 보충하려해도 쉽게 흡수되지 않으나 굴은 칼슘 흡수가 가장 빠른 식품으로 알칼리성 체질을 만들어 혈액을 맑게 한다. 칼로리가 적어 비만 체질을 막고 멜라닌을 분해하므로 얼굴빛을 희게 한다. 타우린과 아연성분은 유아의 두뇌 발달에 효과가 높다. 굴 100g에 100칼로리의 열량으로 단백질은 우유의 2배 여성들의 미용식 중 최고로 손꼽힌다. 민물과 바닷물이 만나는 곳에 크고 껍데기가 두꺼운 굴이 있는데 이를 각굴이라 했고 개별 속에 맺히는 둥그스럼 손바닥 절반만한 굴이 있기도 했다.

깊은 곳의 묵은 굴은 크기가 어른 신발짝만큼 한 것과 화석이나 혹은 땅속에 묻혀 있던 고생대의 굴 껍데기가 쌀가마니 크기만 한 것으로 보아 종자의 다양함을 진작 할 수 있다. 화성(남양) 굴로 대변되던 마산포 석굴은 넓은 갯벌에 산재한 돌에 붙어 자란다. 조수 간만의 차이로 바닷물에 잠길 때 바닷물 속의 유기질을 섭취하고 썰물에는 입을 꼭 다문 채 공기 중에 노출된다. 이러한 조수간만의 차이에 의해서 인지 서해의 남양굴은 수하식(남해안 일대의 바다물속의 양식굴) 굴에 비해 크기가 잘잘하고 달콤한 맛과 굴 특유의 향이 강하며 내용물이 알차다. 알굴의 색깔 또한 수하식 양식굴은 다소 검은 편인데 남양굴은 유백색의 맑기가 담백하여 시각적 감미로움을 더한다.

서양에서는 알파벳 R자가 들어 있는 달만 먹는다고 했던가. 매년 찬바람 나는 계절 추석 때부터 먹기는 하나 김장철 10월부터 본격적으로 따기 시작하여 4월까지 굴을 채취하였다. 혹은 5월 굴을 따서는 굴젓을 담구기도 했으며 날이 따뜻해져 알이 들기 시작하면 아린 맛이 나는데 이때의 알배기굴은 고추장에 달달 볶아먹기도 했다. 이곳에서는 5월이 되면 외지에 내다 팔지 않지만 알배기굴을 따서 바닷물이나 소금물에 씻어 소쿠리에 받쳐 물기를 뺀 다음 소금에 적당히 버무려 독에 담근다. 3개월쯤 지나 발효된 굴젓에 갖은 양념을 하여 먹기도 하였다. 때로는 7~8월 싱싱한 소라를 껍질을 깨어 내장을 발라낸 다음 바닷물이나 소금물에 뽀뽀뽀하게 씻어 건져 소금에 버무린다. 물기가 마르면 잘 삭은 굴젓에 담가 둔다. 소라살에 간이 배이면 꺼내어 양념을 하여 소라젓을 먹었다. 또는 이 굴젓에 4~5월 간재미(가오리)를 말려 적당한 크기로 갈라 굴젓에 담귀 두었다가 적당히 간이 배인 간재미를 꺼내어 적당하게 찢어 양념에 무쳐 먹었다. 화성지역에서는 완전히 곱삭은 굴젓을 먹기도 했지만 이보다는 명절 때나 잔칫상에는 생굴을 간장에 찍어먹는가 하면 소금 간하여 사나흘 숙성시킨 굴젓을 주로 해먹었다. 조리 방법은 싱싱한 알굴을 바닷물이나 소금간물에 씻어 물을 받쳐낸다. 무와 배를 나박나박 조그맣게 썰어 고춧가루 물을 들인다. 파, 마늘, 각종 양념과 버무린 뒤 적당한 소금을 섞어 둔 굴과 버무려 3~4일 숙성시켜 먹는데 굴의 향기가 살아있어 상큼 시원한 맛이 일품이다. 6월경 알을 풀고 나면 굴은 살이 빠지고 굴의 특유한 상큼함이나 맛이 없어진다.

바닷가 인근 마을에서는 어촌계를 조직하여 물의 돌을 저 나르거나 배에 실어다 갯벌에 일정한 간격으로 촘촘히 널어놓아 굴 양식장을 만들었다. 어촌계 구성원 가구마다 일정 비율의 사람들은 썰물 때 양식장에 나가 돌에 붙은 굴을 껍데기째 탄 굴봉을 종태기에 담아 머리에 이거나 지게에 지어 돌아왔다. 굴봉이 얼지 않게 거적테기나 가마니 등을 씌어 놓거나 보관 장소의 온도가 높으면 굴의 수분이 빠져 신선도가 낮아지는 것을 방지하기 위해 보관에 여간 신경을 써야했다. 양지 바른 곳에 옹기종기 둘러앉은 할머니와 아주머니 주로 여성들이 췌(꾸세)를 쪼아대며 굴 까는 모습은 겨울 바닷가의 진풍경이었다. 낮 시간 썰물 때에 바다에서 굴 따기 작업을 하고 밤새 호롱불을 밝혀 집안 식구들이 둘러 앉아 굴을 까면 굴까는 방안의 골골한 냄새며, 코를 풀면 까맣게 호롱불 끄으름이 맺히곤 하였다. 어린 시절 바닷가에 살던 친

척집에 가면 진풍경을 이루었다. 마을 어귀 하얗게 산더미를 이루는 조개무덤(굴 껍데기)의 막연한 인상이며 굴을 까면서 간식으로 고구마를 찌내어오면 전혀 도움이 안 되는 나는 그 맛에 흠뻑 빠져 염치불구 마구 먹어 대었던 기억이 있다. 그러나 어린 생각에 생굴을 막상 먹어 보려면 코와 같아 징그러움으로 도저히 먹지 못했으나 우연히 바닷가에 갔다가 배가 고팠는데 맛을 것이라곤 지천으로 눈에 띄는 굴 뿐이었다. 배고픔에 장사 없다고 결국은 굴을 까서 눈을 질금 감고서 먹었는데 뒤 맛이 여간 좋은 것이 아니었다. 이후 어른처럼 손으로 골라서 맛을 음미라도 하듯 천연덕스럽게 먹곤 하였다. 김장철이면 화성사람들은 김장김치에 당연히 생굴을 넣어야하는 양 김장김치 속을 버무릴 때 넉넉하게 생굴을 넣어야 겨울 내내 마음 편하였다. 김장철이건 설 명절 무렵이면 강굴(바로 깬 굴로 물 타지 않은 것) 한판(4kg)을 포장하여 친척이건 존경의 대상에게 선물하는 것이 또한 이 지역의 후덕한 인사 방식이기도 했다. 환갑잔치건 결혼식이건 잔치를 맞으면 생굴을 부족하지 않게 미리 넉넉하게 맞추어 두어야 했으며 잔치음식 가운데 굴이 부족하면 곧 축하 손님에 대한 예가 아니었으며 인색함의 편찬을 듣게 되는바 잔치음식 최고의 정성스런 맛을 준비하는 일이기도 했다. 어린시절 이웃 잔치집에 가면 국수 대접을 잘 받았는데 어린아이라고 부족함이 없이 마련해주는 다양한 음식과 함께 굴 곁을 듬뿍 얹은 국수를 두어 그릇 비워내던 그 맛을 잊지 못해 지금도 늘 아쉽다. 바닷가 사람들은 집에서 담가 먹던 농주가 시어지면 굴 껍데기를 한줌 모아 씻어서 물기를 말려 절구에 빻아 천주머니에 담아 술독에 넣는다. 그러면 술의 신맛이 가셔져 한참을 먹을 수 있었다. 여름철 바닷가에 나가 망둥이를 잡다가 심심해 질 양이면 굴을 앓히기 위해 줄 맞춰 펼쳐 놓은 돌을 뒤집어 그 속을 살피면 박하지(박게/ 주로 간장게장을 담근다), 소라며 바지락조개, 운 좋으면 낙지를 잡을 수 있었다. 그것들을 잡고는 필히 돌을 원상태로 올게 돌려놓아야 하는데 그렇지 못할 경우 굴이 붙지 못하고 붙어 있던 굴도 숨을 쉬지 못해 죽을 수밖에 없었다. 그러하니 바닷가 마을사람들은 외지사람들이 몰려와 돌을 들추면 걱정스러워 돌을 원상태로 놓아 줄 것을 신신당부하곤 했다. 겨우내 굴 작업을 하는데 신선도를 유지하기 위해 잠을 자지 않고 까기도 하고 잠 안 오는 약을 사다 먹어가며 억척을 떨었다.

굴봉이 날카로워 손을 베일 수도 있고 차가운 굴봉을 만지는 일이라 장갑을 필히 끼어야 했다. 그러나 고무장갑도 없던 시절이고 목장갑도 귀했으니 목장갑이 혈면 형겼을 기워대고 또 기웠으니 나중에는 장갑의 본바닥은 사라지고 누덕누덕 기워진 장갑이 만들어지곤 했다. 이렇게 억척스럽게 만들어진 돈으로 자식 키우고 대처나간 자식들의 거처를 마련하기위해 서울, 인천 등 도회지에 집 한 채씩이나 마련해 두는 여유를 갖추었다.

이제 바다를 잊어버린 송산면, 서신면, 우정면 바닷가 인접마을 사람들은 장터나 포구에 나가 외지에서 실려 온 굴봉 가마니로 사서 굴을 깬다. 이제 바다가 사라지며 지역의 특산물 굴을 까는 모습도 머지않아 볼 수 없을 것이다, 사강장터는 예부터 어물이 성시를 이루던 곳이었기에 요즘도 그 명맥을 유지하는 비닐굴막이 들어서 겨울의 진풍경을 이룬다.

굴막에 서너 명의 중늙은 할머니와 할아버지들이 굽은 허리로 췌(꾸세)를 들고 굴봉과 씨름을 한다. 푸념처럼 매양 먹고사는 일이라 죽는 날까지 손을 놀리지 않으려는 일이다. 이제는 굴과의 겨울일이 몸에 배여서 이골이 난듯하다. 이승의 업이려니 한다는 어느 노인의 잔주름 얼굴에서 굴껍데기 얼룩진 듯 세월의 연민을 보기도 한다. 하루 서너 포대를 까면 용돈도 하고 자식들 때때로 보태주고 맛난 것도 사먹고 그러지 뭐 하면서 소리 없는 얼굴웃음으로 수줍어한다. 한 철 바다에 나가 고생하여 일 년을 먹고 산다는 말이 있듯이 화성의 굴은 곧 바다를 파 먹고사는 사람들의 생명ियो. 지역 특산으로 자존심과 같을 진데... 그러나 1990년대

중동 건설경기가 마감되며 건설경기 부양 대책으로 다른 쪽의 인간들을 복되게 먹여 살린다는 미명하에 몇 년 앞을 헤아리지 도 않은 채 인류 생존의 위협을 무릅쓰고 시화호를 막았다. 그리고 그 기름진 바다를 퍼내어다 버림으로 인류 생존환경의 파괴라는 엄청난 재앙을 부러온 결과 바닷가 마을은 폐허가 되어 사람들은 떠났고 영화롭던 "나라님께 진상하던 남양굴" 화성의 명 특산물은 이제 옛이야기로 만 쓸쓸하다.

비록 바다는 떠났을지언정 떠나지 못한 사람들... 그 명성 얼마 동안이라도 붙들고 싶은 것일까? 사강장터에 겨울이 오면 어시장 골목마다 한 평 두 평 바람 피할 비닐움집을 짓는다. 바닷바람에 골 깊이 그을린 주름살의 사람들이 물려나와 자그락 자그락 바다의 이야기를 하며 굴봉을 추슬러 한올 한올의 토실한 알굴을 까낸다.

옛날 남양 고을 원님은 부임하여 오자마자 나라님께 진상하는 남양굴을 점점 한다는 명목으로 원 없이 잡숫는다하여 "남양 원님 굴회 마시듯 한다."는 말을 유희시켰다.

"남양 사는 사돈 앞에 굴 자랑 말라"는 말이 있어 남양굴의 명성을 알 수 있다. 남양굴이 최고인데 여타의 굴을 자랑 할 수 있겠느냐는 풍자일 것이다. 혹은 남양굴이 유명한 만큼 귀하여 여염의 사람들이 쉽게 먹을 수 없는 것인데 자랑하면 남양사돈께서 마음 상하지 않겠느냐는 뜻을 갖지는 않았을까? 조상들도 이미 오래 전부터 굴의 효능을 알았기에 [한방의학대전]에 남긴 기록을 보면, 땀을 흘리지 않게 하며 신경쇠약에 효과가 있고, 뇌일혈과 불면증에 좋다고 한다. 다량의 굴을 물로 끓여 10분쯤 졸인 후 그대로 벌에 말리면 보존하기 쉽고 1년 내내 1주일내 한 번씩 먹으면 정력과 영양을 돕고 갈증에 좋다고 적혀 있다.

굴탕은 갑상선이 부어서 목에 응어리가 생겼을 때나 식은땀 나는데 먹으면 효과가 있다고 한다. 굴 껍질은 고혈압, 신경쇠약에 효과가 있는 것으로 밝히고 있다. 또한 간장과 장 질환, 두통에 가루를 내어 달여 먹으면 특효가 있다고 한다. 하여간 정력이 약한 사람은 생굴을 먹어라했듯 전래 고유의 인정받는 보신의 음식이다. 어떤 음식과도 궁합이 잘 맞으니 탈이 없고 또한 남녀노소 병약자 누구에게라도 건강회복 식으로 각광받는 하늘이 내린 바다의 우유라고 했다. 먹어서 나쁠 것 없고 못 먹어 아쉬운 생굴이나 한 사발 동치미 국물에 말아 시원하게 마시고 남양 원님 부럽지 않았으면 좋겠다.

### (마) 해망산(海望山)

바다가 잘 보인다라고 해망산(海望山)이라 했다. 비봉면 유포리에 넓게 앉은 해발 125.8m의 산으로 태행산의 자락이 유포리 군자만으로 잠겨 들기 전 슬며시 솟아있다.

고려시대 인천부 이포면 지역으로 바다가 넓게 펼쳐지고 버드나무가 무성하여 "버들개", "버들무지"라 했는데 1895년(고종 32) 때 남양군의 <미지곶면>으로 편입 되었다가 1914년 일제강점기에 "유지동"과 "대장골"을 한데 묶어 유포리(柳浦里)란 이름으로 수원군 비봉면에 속하여 오늘날 화성시 비봉면 유포리라는 행정명을 갖게 되었다. 유포1리 '유지' 마을과 '대장골'을 포함하여 50~60호의 한산이씨들이 많고 유포2리 '버들무지' 각성의 45호 정도가 살고 있으며, 일제시기부터 한국전쟁 이후까지 주민이 가장 많았을 때는 120가구 거주하던 큰 마을이기도 하였다.

해망산 산자락이 비봉면을 넘어 남양의 장전동, 시동, 비봉의 남전리 일대로 뻗어 내린다.

시화호물막이공사 이전에는 어업과 논농사를 주업으로 하던 일대 마을들은 매우 활기찬 생산 활동을 하였으나 물막이공사가 완공되면서 바다가 사라짐으로 일부 개별은 논으로 일구어졌지만 많은 사람들이 떠났다.

해망산 기슭에 사람들이 모여 살기는 청동기시대였을 것으로 추정한다. 이후 임진왜란의 격동으로 문화와 인식의 개혁 전환을 맞아 인구의 이동이 크게 나타난다. 해망산이 이루고 있는 풍수를 살펴보면 동남향으로 "대장곡(大將谷), 대장골"은 버들무지 남쪽에 있는 마을로 장군대좌형(將軍大坐形)의 명당으로 손꼽는다. 또한, "유지동(柳枝洞)은 대장골 남쪽에 있는 마을로 앵소유지형(鶯巢柳枝形)이라 하여 버들가지에 피꼬리가 집을 짓는 형극으로 유지동(柳枝洞)이라 한다. 대장골 마을에 한산이씨 종가가 있다. 집주인 이성원씨는 한산 이씨 해상공파 13대 손으로 6대 조부 때 나라에서 효자문이 내려져 대문에 설치되어 있다. 이성원의 증조부가 진사를 지냈기 때문에 진사댁이라 부르기도 한다.

대장골은 대장이 날 수도 있다. 혹은 대장이 나왔다는 의미를 동시에 지닌다고 한다. 해망산의 어느 바위에 커다란 발자국이 있는데 진인(혹은, 대장)의 발자국이라 한다. 좀 더 연관지어 옛날 해망산 기슭마을에 날개달린 아기장수가 태어났으나 이웃의 밭고로 죽임을 당하고 어느 날 하늘을 날아다니며 울던 말이 사라졌다는 전설이 전한다. 또한, 시화호 남측 일대에는 발자국 설화가 많이 나타난다. 송산면 지화리의 할미바위의 "소정방이" 발자국 이야기하며 천등리와 삼존리 문산강의 발자국, 마도 송정리(하일마을)에 있다던 발자국 이야기가 더불어 남아 있다. 불과 몇십년 아니, 몇 년 전만해도 더러는 볼 수 있었다던 그 발자국들은 근래의 개발사업으로 이미 모두가 보존 작업 없이 해체 파괴되었다. 하여 덧붙여 말하기 그 발자국의 주인은 더 이상 이곳에서 살수가 없어 떠났다고 한다. 진정 우리들의 삶의 터전을 지켜주던 진인이 있었고 지금은 떠났다면 얼마나 허전한 일인가? 이런 말이 있다. "신화가 있어 사람들은 모여 살고 신화가 깨진다면 사람들은 흩어질 수밖에 없다"

해망산의 식생은 해안가의 식생 그대로였다. 해안가의 잡풀 덩불이 무성했고 산에는 사람들이 나무를 뜯어 때어 척박하나마 정감이 넘치는... 70년 이전 땀감을 산에서 구하던 시절의 흔적이 아직도 남아 있다. 남벌된 산을 구제 녹화하기 위해 심어진 리기다소나무는 너무 밀식되어 30~40년이 넘었건만 녹화는 이루었지만 재목으로는 구실을 못한다. 낮은 지대는 농경지로 개간되었던 흔적들이 산 입구 군데군데 보인다. 해망산의 특이점은 다른 산에 비해 활엽잡목이 비교적 덜 발달되었다는 점과 조선소나무가 많지 않다는 점이다. 아마도 예전에 땀감으로 채취로 황폐화 되어 1970년대 조림이 시작하였으며 1980년대 후반 많은 사람들이 떠남으로 또한, 인근 지역 대부분 그린벨트 지역으로 묶이면서 숲이 온전하게 보전되었을 것이다.

이제 해망산을 바라보던 바다가 사라지면서 그 자리에 초원이 조성되고 다양한 동식물이 살기 좋은 환경으로 거듭났다. 그러나 인근 일대가 또 커다란 격변을 맞게 될 것이다. <유니버설 스튜디오> 유치 지역으로 화두 되면서 땅값이며 인심 또한 심하게 흔들리기 시작했다.

인류의 삶의 터전 바다를 버린 인간들의 환락유희를 위한 자연의 황폐화는 여전히 마수처럼 도사리고 있다. 해망산 산정에 오르면 너설바위가 뿔구는 공터가 있어 사위가 조망된다. 옛날 사람들은 이 산에 올라 마을의 안녕을 기원하는 당제를 모시고 산에 의지하며 살았으리라. 짐짓 등산로를 오르며 생각에 잠긴다. 연평바다로 조기잡이 나간 정인이 무사귀환하기를 치성 드리기 위해 올랐을 그 간절함을... 떠나간 진인은 언제쯤이나 마음 놓고 돌아 올수는 있을까?

## (바) 은수포(銀樹浦)

당성이라는 지명은 "당에서 재사(才士) 8명을 보내 와 고려 사람을 가르쳤는데 홍(洪)이 그 중 한 사람이며, ① 백지묵서 묘법연화경 : 백지에 먹으로 쓴 후진(後秦)의 구마라집이 한역한 7권으로 구성된 법화경인데, 그 중 둘째권이 전래된 것이다. 이 사경은 후반부가 탈락되어 있고 사성기가 없어 확실한 제작연대는 알 수 없으나, 감지에 금은으로 묘사된 표지의 장식과 본문의 글씨로 보아 고려 말기에서 조선 초기 사이에 제작된 것으로 추정된다, ② 백지묵서 범망경 : 양질의 두꺼운 백지에 먹으로 쓴 후진의 구마라집이 한역한 『범망경 노사나불설 보살심지계품(梵網經 盧舍那佛說 菩薩心地戒品)』 권 10중 하나다. 권말에 사성기는 없고 다만 '화주혜상묘원최신성시주 경화택주이씨(化主惠尙妙圓崔信誠施主 慶和宅主李氏)' 등 사경에 참여한 화주와 시주자의 이름이 기록되어 있다. 그러나 이들의 생존시기가 현재로서는 미상이므로 확실한 연대를 알 수 없다. 다만 남아있는 뒷표지의 장식과 본문글씨로 미루어보아 조선 초기의 것으로 추정할 수 있다. ③ 과주묘법연화경합부(科注妙法蓮華經合部) : 명나라 초기에 간행된 과주(科注 : 전체내용을 과로 나누어 각주한 것)가 붙은 『법화경』 목판본이다. 이 판본은 후진의 구마라집이 한역한 『법화경』 7권을 본문 위에 그 내용을 알기 쉽게 과주한 것을 붙이고, 양질의 중국 종이인 모변지(毛邊紙)를 사용하여 앞뒤로 인쇄하여 한 책으로 간행한 것이어서 휴대하기에 편리하게 하였다. ④ 소자(小字) 금강반야바라밀경 : 1228년(고종15) 목판으로 찍은 낱장본의 『금강경』이다. 마지막장에 무의자(無衣子)의 발문이 붙어 있다. 무의자는 고려시대 수선사(修禪社) 제2세 국사인 혜심(慧諶)이다. 이 판본을 가지고 다니면서 독송하기 위한 수진본이지만 제책하지 않고 낱장으로 불록에 넣었던 것으로 보인다. 현재 둘째장이 결실되어 4장이 남아 있다. ⑤ 소자 범총지집 일부(小字梵摠持集一部) : 범어로 된 총지집으로 목판에서 찍은 낱장이다. 낱장 한 장에 내용은 두 장씩 찍어내어 배열하였는데, 현재 제3·4장이 결실되어 있고 낱장 5장(내용 10장)이 남아 있다. 간행기록은 없으나 전체적인 인쇄조건으로 보아 무의자의 발문이 있는 소자 『금강경』 낱장과 동일한 시기에 간행된 것으로 추정된다. ⑥ 소자 불정심관세음보살 대다라니경 : 목판에서 찍어낸 낱장(현재 4장, 둘째장은 결실)이다. 권말에 발문이 있는데, 먹색이 제대로 보이지 않아 간행연대가 확실하지 않다. 그러나 '성수만세 청하상국복수무강(聖壽萬歲 清河相國福壽無疆)'이라는 기록이 있고 청하상국은 고려고종 때의 권신인 최우(崔瑀)의 관직이므로 이 판본은 최우의 수복을 빌기 위하여 간행된 것으로 보인다. 위의 낱장본들과 인쇄조건이 비슷하므로 고려 고종 때 간행된 것으로 생각 된다.

"자손이 대대로 귀히 사는 곳을 당성이라 하였다"는 유래가 전해온다. 이 홍은 남양 홍씨의 시조로 알려진 홍천하(洪天河)로, 은수포(銀樹浦, 현재의 서신면 전곡리 당곳)를 통해 들어 왔다고 하며 당시 은수포는 중국 산둥반도에서 가장 가깝게 오갈 수 있는 무역항이자 군사요지였다 한다. 또한 송산면의 마산포(馬山浦) 역시 삼국시대 김춘추가 이곳을 거쳐 당으로 건너갔다고 한다.

남양이 본관인 홍성민은 자신의 조상들이 처음 도착하였다고 하는 은수포(銀樹浦)의 유래에 대하여 상세하게 소개하고 있다.

銀樹浦 今之釜浦 其浦外狹內闊 水入浦 唯一港 而其內之枝港甚衆 潮水半漲之時 登高以望 則港內水漲之形 如樹之一本萬條 而其色如玉鑱故名之

"은수포는 지금의 부포이다. 그 포구의 모습이 밖은 좁고 안은 넓은데 포구의 입구는 하나

뿐이지만 안의 갈래는 많다. 그래서 물이 반쯤 들어왔을 때 높은 곳에 올라가 보면 나무 기둥에 여러 가지가 달려있는 모양과 또 그 색깔이 옥랍과 같은 것이 은하수와 흡사하다. 그래서 이름을 그렇게 붙였다."

홍성민은 은수포의 유래를 소개하면서 '선조들이 처음 해안에 도착한 후 어느 쪽으로 몇 걸음이나 가서 집터를 잡았는지 또 세전(世傳)에 이르기를 처음에 왔을 때 은수포에서 잤다고 하는데 그 곳이 포구의 왼편인지 오른편인지 모르겠다'고 하면서 조상의 행적에 대해서 매우 궁금해 하고 있음을 드러내고 있다. 홍성민은 남양에 직접 와 보니 '해대산금(海帶山襟)하고 지세가 관진(寬津)한 것이 목은(牧隱)이 영이한 땅이라 한 이유를 알겠다'고 하였다. 그리고 '선조가 옛 마을을 버리고 험한 파도를 넘어 새 땅인 남양으로 온 것은 단지 풍력(風力)에만 의지한 것이 아니라 하늘의 뜻에 대한 강한 믿음에 의한 것'이며 홍씨 집안이 대대로 관직에 오르며 번성한 것이 모두 조상들의 덕분이라고 하면서 가문에 대한 자긍심을 나타내고 있다.

홍양묵(洪養默)이 1803년 휴가를 얻어 남양에 성묘하러 와서 쓴 「남양문견기(南陽聞見記)」에는 당시 남양의 생활상이 담겨 있다.

夕步村外花梁鎮 隔浦相對人話若可聞 多魚鹽生利最饒 宗丈曰 舊多海松 今焉童濯浦之利日縮 主家奴 乘夕潮得巨鱗而來細膾設小酌 詣唐串省拜)

"저녁에 동구 밖에 나가 화랑진을 돌아보았고 건너편 포구의 사람들과 이야기를 나누었다. 그들은 어염을 생산하는 일에 종사하였는데 매우 부유하였다. 문중 어른이 말하기를 옛날에는 이 지역에 해송이 많았는데 지금은 탁포지리 때문에 아이들이 베어내 많이 없어졌다. 집에 돌아오니 주인집 노복이 간조 때 큰 물고기를 잡아 회를 떠서 술과 함께 내왔다. 남양부 당곳성에 있는 선산에 성묘하였다."

#### 1.4. 결론 및 향후계획

본격적인 시화호 개발에 즈음한 지속적인 생태문화자료 발굴과 주민정착활동 연구를 전개할 필요가 있다. 지역과 문화가 공존하는 공동사회를 건설하기 위해서 지역특성에 적합한 환경 문화적 디자인과 주민들의 실질적인 정착방안 등이 나와야 한다. 시화호 어업과 주민활동에 대한 자료조사와 연구는 시화호 개발에 따른 기본 정책 자료로 활용될 수 있다. 향후 시화호 권역별 생태문화자료 발굴과 함께 시화지구 내 주민정착방안 연구 등 실질적인 지역적 대안을 내는 활동으로 나아가야 된다.

## 2. 유역의제 시범사업 : 청소년 생태문화캠프

### 2.1. 개요

여름방학을 이용 청소년을 대상으로 2박3일의 생태문화캠프를 개최하였다. 이번 캠프는 안산, 시흥, 화성 각 의제가 참여하여 각각의 지역 청소년이 함께 모이는 것을 더 가능하게 하였다. 각 지역별로 캠프 활동 사전에 시화호와 관련된 자체 프로그램을 진행한 후 캠프에 와서 다른 지역의 청소년들과 그 내용을 공유한 것이 이번 캠프의 특징이라고 할 수 있겠다. 캠프는 시화호 실 내강좌를 통하여 시화호에 대한 청소년의 이해도를 높이는 것으로 시작하여 지역민과의 대화, 시화호유역 지도 그리기, 그리고 시화호 문화 백일장을 개최하고 그 결과로 당선작을 중심으로 한 '시화호 문집'을 발간하였다.

### 2.2. 추진경과

#### 2.2.1. 기획회의

안산, 화성, 시흥 각 의제와 더불어 총 4회의 기획회의를 진행하여 시화호청소년 생태문화 캠프의 프로그램 선정 및 캠프장소, 캠프의 규모 등을 정하였다.

##### (1) 1차 기획회의

- 일시 : 2009년 5월 19일(화) 오후 3시
- 장소 : 한국해양연구원
- 참석 : 최오진(화성의제), 신남균(안산의제), 조형욱(시흥의제), 박선미(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 시화호 청소년 생태문화 캠프 기획회의
  - o 장소선정
  - o 캠프 프로그램 선정 등

##### (2) 2차 기획회의

- 일시 : 2009년 6월 10일(수) 오전 10시
- 장소 : 어도
- 참석 : 최오진(화성의제), 신남균(안산의제), 조형욱(시흥의제), 박선미(시화호생명지킴이), 한미영(시화호생명지킴이), 김갑곤(연안보전네트워크), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 시화호 청소년 생태문화 캠프 기획회의
  - o 장소선정
  - o 지역별 프로그램 선정 및 강사선정
  - o 캠프 프로그램 선정 등

##### (3) 3차 기획회의

- 일시 : 2009년 7월 21일(화) 오후 3시

- 장소 : 안산의제21실천협의회
- 참석 : 최오진(화성의제), 신남균(안산의제), 조형욱(시흥의제), 박선미(시화호생명지킴이)
- 내용 : 시화호 청소년 생태문화 캠프 기획회의
  - o 지역별 프로그램 선정 및 강사선정
  - o 심사위원 선정
  - o 캠프 프로그램 선정 등

#### (4) 4차 기획회의

- 일시 : 2009년 8월 4일(화) 오전 10시
- 장소 : 안산의제21실천협의회
- 참석 : 최오진(화성의제), 신남균(안산의제), 조형욱(시흥의제), 박선미, 한미영(시화호생명지킴이), 이계숙(시화호관리위원회)
- 내용 : 시화호 청소년 생태문화 캠프 최종 기획회의

### 2.3. 추진결과

#### 2.3.1. 시화호 청소년 생태문학캠프

시화호 청소년 생태문학캠프는 8월 5일부터 7일까지 2박 3일 동안 화성의 어도펜션에서 진행되었으며 안산, 시흥, 화성의 청소년 총 52명과 함께 하였다.

안산은 사전 프로그램으로 시화호의 상류인 수암봉 탐사와 안산천 탐사를 마치고 어도로 돌아왔으며, 시흥은 시흥 갯골에서 소금과 갯벌생물에 대한 강의를 듣고 자전거를 통하여 어도로, 또한 화성은 공룡알화석지에서 공룡과 시화호의 지층에 대한 강의를 듣고 역시 자전거를 통하여 어도로 모였다.

시화호 청소년 생태문학캠프는 시화호에 대하여 알아보는 실내강좌를 시작으로 각 지역마다 사전프로그램으로 진행하였던 내용을 정리 발표하는 시간, 지역 주민과의 만남의 시간, 지역별로 시화호유역의 생태지도 그리기, 시화호를 주제로 글쓰기, 흙피리 만들기, 도전! 시화호 골든벨, 시화호의 미래에 대한 조별 발표, 시화호 지킴이 서약식 등의 프로그램이 진행되었다.

- (1) 일시 : 2009년 8월 5일(수) - 7일(금)
- (2) 장소 : 안산 수암봉, 시흥 갯골, 화성 공룡알화석지, 어도 별빛사랑채
- (3) 대상 : 안산(22명), 화성(21명), 시흥(9명) 청소년 52명
- (4) 일정 :



표 5-3-4. 시화호 청소년생태문학 캠프 일정

	8월 5일(수)	6일(목)	7일(금)
오전8:00-9:00		아침식사	
9:00 - 10:00	<b>주제가 있는 지역 순례</b> · 안산 : 수암봉에서부터 안산천 따라 걷기 · 시흥 : 갯골탐방과 자전거 투어 · 화성 : 공룡알화석지 탐방과 자전거 투어	지역 주민과의 만남	시화호를 소개합니다.
10:00 - 11:00		지역별 생태지도 만들기	시화호 서약식
11:00 - 12:00			집으로!
오후12:00-1:00		점심식사	
1:00 -2:00		시화호 백일장	
2:00 -3:00			
3:00 -4:00	캠프장 도착 및 숙소배정	휴피리 만들기	
4:00 -5:00	시화호 알아보기(실내강좌)		
5:00 -6:00	저녁식사	저녁식사	
6:00 -7:00	조별 친교시간	도전! 시화호 골든벨	
7:00 -8:00	미션정리! - 조별 활동		
8:00- 9:00	- 지역을 파악하라 - 지역 깃대종 선정 - 골든벨 문제내기	시화호의 미래 : 조별발표	
9:00 - 10:00	미션 정리결과 발표	백일장 시상 및 작품 발표	

### 2.3.2. 시화호 백일장

시화호 백일장은 2007년부터 시작된 프로그램으로 시화호와 관련된 생물이나 생태, 사람에 관련된 이야기를 글로 표현하는 프로그램이다.

- (1) 대 상 : 시화호 청소년 생태문학캠프에 참석한 시화호 유역 청소년
- (2) 내 용 : 시화호를 주제로 한 글쓰기
- (3) 시상 및 작품명 장원 : 화성 안화중학교 1학년 최서영(우리가 시화호에 모인 이유)  
 차상(산문) : 안산 부곡중학교 3학년 김가현(시화호의 소중한 임무)  
 차상(운문) : 시흥 정왕고등학교 2학년 이명희(푸른빛)  
 차하(산문) : 안산 성포고등학교 3학년 한소연(책임감으로부터의 시작)  
 차하(산문) : 화성 병점중학교 2학년 나현민(시화호의 눈물)  
 차하(운문) : 화성 진안중학교 2학년 최인영(푸른 물이 출렁이고파)  
 입선 : 안산 경수중학교 3학년 오석진의 10명

### 2.3.3. 시화호 골든벨

도전! 시화호 골든벨은 퀴즈를 통하여 시화호를 쉽게 접할 수 있도록 기획된 프로그램으로 문제의 선정은 회의를 통하여 미리 선택하였고 일부는 캠프에 오기 전 사전 프로그램을 통하여 획득된 정보로 각 지역별로 캠프 참가 청소년들이 직접 10문제씩 선출하였다.

그러나 골든벨을 울리지 못하고 최후의 1인으로 부곡중학교 김가현 학생이 선정되었다.

- (1) 대 상 : 시화호 청소년 생태문학캠프에 참석한 시화호 유역 청소년
- (2) 내 용 : 시화호에 관련된 퀴즈대회
- (3) 문 제 : 퀴즈문제는 캠프에 오기 전 각 지역에서 사전활동을 통하여 얻은 지식을 문제로 각 10문제씩 제출하여 그중에서 선별하였으며 일부는 미리 사전에 회의를 통하여 선정되었다.
- (4) 시 상 : 최후의 1인 김가현(부곡중학교 3학년)

표 5-3-5. 시화호 퀴즈문제

<p>〈○× 퀴즈〉 10문제</p> <p>갯벌은 그 상태로 두는 것보다 농지로 개발하는 것이 더 생산성이 높다.  시화호의 수질오염이 가장 심각했던 해는 1997년이다.  시화호의 수질은 좋아졌다.  시화호의 수질은 여름에 가장 나쁘다.  대기오염과 수질은 관계가 없다.  우리나라 서해안 갯벌은 세계 5대 갯벌중 하나이다.</p> <p>〈주관식〉 11문제</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 점차 사라져 가는 습지와 습지에 서식하고 있는 많은 생물들을 보전하기 위해 1971년 2월 2일 이란의 이곳에서 채택한 국제환경협약의 이름은 무엇입니까?</li> <li>- 습지의 가치와 기능으로 8가지정도를 들 수 있습니다. 그중 4가지를 써 보세요.</li> <li>- '시화호'라는 명칭은 어디에서 유래한 것일까요?</li> <li>- 시화호와 관련되었던 정부부처 이름을 3곳만 말씀해 보세요.</li> <li>- 시화호 방조제의 길이는?</li> <li>- COD는 시화호의 무엇을 측정하기위한 단위입니다. 무엇일까요?</li> <li>- 시화호유역에서 발견할 수 있는 가장 오래된 유적지는 어느 시대일까요?</li> <li>- 시화호내해에 있는 우음도앞에는 궁에 어산물을 진상하던 곳이 있었다고 합니다. 이곳을 무엇이라 할까요?</li> <li>- 갯벌은 그 상태로 두는 것보다 농지로 개발하는 것이 더 생산성이 높다.</li> <li>- 갯벌에서 볼 수 있는 저서생물 2가지만 말씀해보세요.</li> <li>- 경기만의 3대 포구를 쓰세요.(소래, 마산, 사리포구)</li> </ul> <p>〈여분의 문제〉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> (펜풀이 문제) 시화호 이름의 유래</li> <li><input type="checkbox"/> (눈치풀이 문제) 이 시화호 청소년 생태문학캠프를 주최하고 있으며 안산에서 아주아주 우수한 환경교육을 진행하고 있는 시민단체의 이름은 무엇일까요?2</li> <li><input type="checkbox"/> (보너스문제) 시화호유역의 섬 이름 5개를 쓰시오.(우음도, 형도, 어도, 오이도, 대부분도)</li> <li><input type="checkbox"/> 현재 시화호가 있었던 장소는 원래 어떤 곳이었을까요? (갯벌, 바다)</li> <li><input type="checkbox"/> 부리를 휘저으며 먹이를 섭취하고 철새이며 시화호지역에는 탄도수로와 음도쪽에 서식하고 있는 새는? (노랑부리저어새, 저어새)</li> </ul>
---

표 5-3-5-계속. 시화호 퀴즈문제

- 조선시대 조운선이 통과하던 수로이기도 하고 남양만에서 시화호 안쪽으로 흘렀던 수로이기도 한 지금은 방조제로 막혀있는 곳은 어디일까요? (마산수로)
- (갯대중) 기존 수생생물보다 100배이상의 수질정화능력을 갖고 있으며 하천주변에 살고 있습니다. 이것은 무엇일까요? (줄)
- (갯대중) 갈대와 비슷하며 산림청회귀종으로 지정되어 있습니다. (모세달)
- (갯대중) 포유류로 시화호 유역에 많이 살고 있으며 중국일본한국에만 있는 고유종입니다. (고라니)
- 조선시대 한양으로 세금(쌀)을 운반하던 배로 서해안의 해안선을 따라서 운영되었지요? (조운선)
- 시화호내해의 수질목표는 COD 기준 몇 ppm인가요? (2ppm)
- 과거에는 이것을 만들기 위하여 솔에 물을 끓여서 만들었으나 지금은 널따란 갯벌에서 바람과 태양으로 이것을 만들지요. 이것을 만드는 곳을 무엇이라고 하나요? (염전)
- 시화호는 1994년 최종 물막이 공사가 완공된 담수호였습니다. 그리고 그 땅으로(이를 간척지라 하지요.) 무엇인가를 만들려고 했지요. 시화호를 만든 원래의 목적은 무엇이었을까요? (농업용지, 산업단지)
- 갯벌에 사는 물고기로 아까 조기진 어도이장님이 설명하신 내용 중에 그물위에 이 등을 올려놓았다고 하지요? 이 물고기이름은? (숭어)패자부활전
- 갯벌에서 생산되는 조개이름 3가지 써 보세요. (가무락, 맛, 바지락)
- 전통적인 어업방법으로 밀물과 썰물을 이용하는 것으로 돌을 쌓아서 고기잡이를 하는 방식을 무엇이라고 하는가? (독살)
- 시화호내의 개발과 관련된 정부부처 이름을 2개 이상 쓰세요.(국토해양부, 농림수산식품부)
- 시화호 오염의 원인은? (산업폐수, 생활폐수, 축산폐수)
- 전 세계적인 희귀종으로 겨울철새이며 텃새로 천연기념물 326호로 지정되어 있다. 시화호 전역에 서식하며 길고 붉은 부리와 검고 흰색의 몸을 갖고 있다. (검은머리물떼새)
- 햇불을 들고 나가서 밤에 고기를 잡는 방법입니다. 저녁시간 물이 빠졌을 때 그물 주변이나 고랑의 고기를 주워오거나 작살을 이용하여 잡는 방법입니다. (괘두질)
- 동죽, 가무락, 갯지렁이 등 잡을 때 쓰는 어구로 일자를 구부러진 모양이다. 이것을 무엇이라고 하는가? (갈고리)
- (화성) 시화호유역은 처음 호수와 땅 이였다(백악기시대) 다시 바다로 지금은 다시 땅으로 태어난 곳이다. 1억3천만년 전 이곳에서 생활하던 생물이 1999년 이 땅에서 발견되어 현재 천연기념물로 지정되어있다. 몇 호일까요? (414호)
- (시흥) 염색식물을 2가지 이상(3가지?) 쓰세요. (나문재, 해홍나물, 통통마디, 칠면초)
- (안산) 시화호 북측간석지에 추가로 개발하고 있는 공단의 이름은?
- (○× 퀴즈) 시화호는 바닷물이다.(○)
- (○× 퀴즈) 조력발전소는 원래 목표는 수질개선이 아니라 친환경적인 에너지를 만들기 위하여 계획된 것이다. (×)
- (○× 퀴즈) 시화방조제는 세계최장의 방조제길이를 자랑하고 있다. (×)

### 2.3.4. 시화호 문집발간

시화호 청소년 생태문학캠프의 프로그램 중 시화호 백일장에서 수상한 작품을 모아 문집의 형태로 만들었다. 화성 안화중학교에서 참석한 최서영 학생이 '우리가 시화호에 모인 이유'라는 제목으로 장원의 영광을 안았다. 최서영 학생을 비롯한 차상을 받은 김가현(부곡중학교 3학년) 등16명의 작품이 선정되었다.

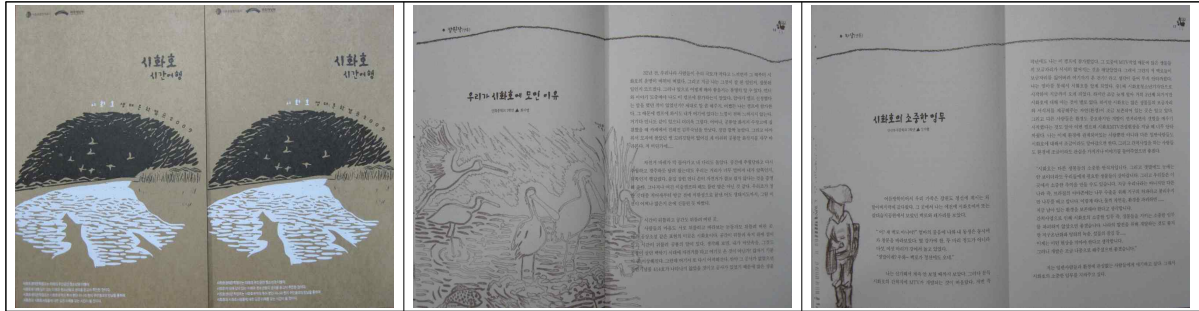


그림 5-3-3. 문집 시화호 시간여행



그림 5-3-4. 시화호 청소년 생태문학캠프 활동사진

## 2.4. 결론 및 향후계획

시화호유역의 청소년을 대상으로 방학을 이용 2박 3일 시화호유역의 적절한 장소를 이용하여 '시화호 생태문학캠프'를 실시한다. 안산, 시흥, 화성의제와 더불어 캠프에 대해 논의하고 지역 내 대학교 봉사활동 동아리의 도움을 받아 캠프를 실행할 수 있도록 한다. 주민과의 대화, 시화호유역 개발에 대한 강좌, 역사와 문화에 대한 접근, 시화호를 주제로 하는 백일장 등을 통하여 시화호에 대한 이해를 돕고, 시화호 백일장을 통하여 얻어진 글을 문집으로 엮어 시화호유역의 중고등학교에 배포한다.

### 3. 시화호 유역의제 의제작성

#### 3.1. 개요

시화호 유역의제는 지역시민의 눈으로 시화호 현재와 미래를 설계하는 작업으로 시화호에 대한 비전, 의제와 행동강령, 주요 실천사업들을 도출해 내는 민간단위 연구 사업이다. 2008년부터 시화호유역의 민간부분의 네트워크와 역량강화를 위한 활동을 모색하기위해 진행하였던 시화호 유역의제 준비모임의 제안으로 시작되었다. 시화호 유역의제작성의 장기적인 목표는 시화호 연안통합관리를 위한 민간분야의 장기적인 비전과 의제 설정을 통한 시화호 통합관리를 위한 민간 실천 활동의 우선순위 식별과 시화호유역 민간네트워크 구축에 있다. 2009년에는 초안을 마련하고, 향후 2010년에는 지역의 의견을 수렴하여 최종적인 시화호유역 의제안을 작성하는 것을 목표로 하고 있다.

#### 3.2. 추진방법

##### 3.2.1. 시화호 유역의제(안) 작성경과

진정한 의미의 통합관리는 지역과 지역주민의 올바른 인식과 실천, 정책에 대한 견제 속에서 이루어질 수 있다. 시화호 유역의 환경에 대한 시민의식은 그간의 시화호 개발과정과 환경악화, 개선사업 등을 통해 타 지역에 비해 독보적인 역량을 가지고 있다고 할 수 있다. 하지만 한편으로는 오랫동안의 여러 가지 환경과 개발에 의한 따른 여러 이슈에 대한 갈등으로 최근 지역의 시민 네트워크가 약화된 것도 사실이다.

2단계 시화호종합관리의 주요한 목표인 시화호 통합관리를 위해서도 민주적인 정보소통과 논의구조를 구축하는 것은 필수적인 일이다. 그럼에도 불구하고 이러한 기반은 단시간에 이루어지기는 어려워서 지속적인 시도와 노력이 필요하고, 초기에 많은 시간적·인적 투자가 필요하지만 쉽게 단시간에 성과를 보이기 힘든 일이므로 누가 쉽게 시도할 수 있는 일은 아니었다. 시화호관리위원회 사무국에서는 시화호 유역의 관련 의제인 경기도, 시흥, 안산, 화성의제들을 중심으로 가칭 ‘시화호 유역의제 설립을 위한 준비위원회’ 운영을 시도하여, 2008년 동안 4차 회의와 경상남도 창원에서 개최된 ‘제10차 람사르 총회’에서의 ‘습지와 어민’ 토론회 주최라는 한 번의 시범활동을 하였다. 시범활동 후 2008년 12월 9일 개최되었던 4차 회의에서는 2009년 시화호유역의제 운영방안이 논의되어 시화호유역의제(안) 작성 및 공동 환경실천사업이 제안되었다.

시화호유역의제(안)을 작성하는 것은 다양한 이해당사자가 함께 참여하여 지역이 합의할 수 있는 장기적인 시화호의 비전, 의제, 행동강령 등을 도출해 내는 과정을 필수적으로 포함하는 과제로, 이 과정들을 통해서 지역의 민주적인 소통구조를 재구축할 수 있을 것이다. 한편 도출된 의제는 장기적으로 지역의 공동의 합의된 목표가 되어 지역의 역량을 결집하여 효과적으로 발휘할 수 있도록 하는 역할을 하여 궁극적으로는 ‘시화호 유역의 환경개선 및 보전’, ‘해양환경용량 범위내에서 지속가능한 발전과 연안자원 이용’ 이라는 2단계 시화호종합관리계획의 목표를 실현 시키는 지역 기반이 되어 줄 것이다. 이에 2009년 시화호유역의제(안)을 작성하기위한 사업을 사무국이 본격적으로 착수하게 되었다. 실제적인 회의 기획과 운영을 사무

국이 담당하고, 시화호유역의제(안)의 내용을 생산하기위해서는 지역의 다양한 시민그룹, 의제, 주민, 전문가 등을 포함하여 소위원회를 구성하여 진행하였다. 2009년 6회의 정례회의와 4회의 실무회의, 2회의 자문의견 수렴 절차를 걸쳐 초안을 마련하였다. 실무회의는 대표집필자인 연안보전네트워크의 김갑곤 처장과 시화호관리위 사무국에서는 이계숙, 이해경 연구원이 참여하였다.

표 5-3-6. 2009년 시화호 유역의제(안) 작성과정

일시	회의	논의내용	비고
2008. 12.9	4차 회의	- 2009년 시화호유역의제 운영방안 논의 - 시화호유역의제(안) 작성 및 공동환경실천사업 제안	유역의제 준비위원회
2009.1.22	5차 회의	- 유역의제 작성을 위한 소위원회 구성 - 1999년 경기도의제 “시화호와 해양생태계보전 분야 행동계획작성 초안보고서” 검토 - 공동환경실천사업으로 공동 청소년캠프를 개최하기로 결정	유역의제 작성을 위한 소위원회
2009.5.19	6차 회의	- 공동환경실천사업(청소년캠프) 세부일정 및 프로그램 논의	소위원회
2009.6.4.	실무회의	- 시화호유역의제 작성을 위한 자료 검토 및 기본 제안서 방향 논의	실무팀
2009.6.9 ~10.	7차회의	- 시화호유역의 문제점도출, 해결방안모색을 통한 의제 및 비전 도출 시도	소위원회 조기진(어도이장)
2009.6.23.	실무회의	- 시화호유역의제 초안 작성 기본체계 논의	실무팀
2009.6.30.	8차회의	- 시화호유역의제 비전 및 의제 검토 및 수정	소위원회
2009.7.17.	실무회의	- 시화호유역의제 초안 작성 기본체계 논의	실무팀
2009.7.21.	9차회의	- 시화호유역의제 행동강령 및 실천사업 도출	소위원회
2009. 8월 ~9월		- 초안검토를 위한 내부 의견 취합, 정리	소위원회
2009.10.20	10차회의	- 시화호유역의제 및 행동강령 조정	소위원회
2009.11.9	실무회의	- 2010년 유역의제안 작성 일정(안) 마련	실무팀
2009.12.8.	11차회의	- 2010년 유역의제안 작성 일정(안) 검토	소위원회

### 3.2.2. 유역의제(안) 작성을 위한 소위원회 구성

시화호유역 의제안이 지역시민의 눈으로 시화호 현재와 미래를 설계하는 작업이니만큼 다양한 이해당사자들의 의견을 모아 작성하는 것이 바람직할 것이다. 이를 위해 지역의 대표적인 민관협력 거버넌스 기구인 시흥, 안산, 화성의 지역의제와 이 3개 지역 의제를 포함하는 경기의제를 주요 논의그룹으로 설정하였다. 거기에 더하여 각 지역별로 관련 주민들을 추천받았으며, 1999년 경기의제 설립 당시 '시화호와 해양생태계보전분야 행동계획작성'을 주도하였던 시민단체와 전문가를 포함하여 시화호 유역의제작성을 위한 소위원회를 구성하였다.

표 5-3-7. 유역의제작성을 위한 소위원회 명단

이 름	소 속	직 위	비 고
김갑곤	연안보전네트워크	사무국장	1999년 '시화호와 해양생태계 보전분야 행동계획 작성' 참여
박대진	화성예총	사무국장	
박선미	시화호생명지킴이	사무국장	
신남균	안산의제	사무국장	
신대광	원일중학교	역사교사	
신윤관	경기의제	사무국장	
이계숙	시화호관리위원회 사무국	연구원	
이용성	환경교육지원센터	사무국장	
이혜경	시화호관리위원회 사무국	연구원	
제종길	한국해양연구원	자문위원	1999년 '시화호와 해양생태계 보전분야 행동계획 작성' 참여
조형욱	시흥의제	사무국장	
최오진	화성의제	사무국장	

### 3.2.3. 시화호유역의 문제점 식별과 해결방안 검토를 통한 의제(안) 발굴

시화호 유역의제안을 발굴하기위한 첫 번째 회의가 2009년6월9일부터 10일까지 1박2일간 워크숍으로 화성시 어도에서 개최되었다. 이 회의에는 유역의제 작성을 위한 소위원회와 어도의 조기진이장이 함께하였다. 먼저 유역의제안 발굴을 위한 논의 방법에 대해 의논하였는데, 1999년 '시화호와 해양생태계보전분야 행동계획 작성'에 참여하였고 한국해양연구원의 자문위원인 제종길박사의 제안에 따라, 우선적으로 시화호의 현재의 문제들을 파악하고 이 문제들을 해결할 수 있는 대안을 고민해 보는 과정으로 의제안을 상정하기로 하였다. 이에 따라 활발한 토론을 거쳐 1차적으로 다양한 문제점들이 도출되었으며, 2차로는 도출된 문제점들을 하나씩 검토해보며 문제점들간의 가중치를 주는 작업을 하였다. 가중치는 5점 만점으로 상대적으로 더 심각하거나 중요하다고 생각되어지는 것에 높은 점수를 주었다. 이 결과 가장 높은 5점의 가중치를 얻은 항목은 '마을생태계 훼손 및 공동체 파괴', '물소통의 문제'이고 4.5점의 가중치는 '지역의 공동인식 부재', '정책결정자의 책임의식 미약 및 평가의 부재', '효과적이고 체계적인 통합연안관리의 부족과 통합적 비전의 부재'가 꼽혔다. 3차로는 각 문제점들을 비슷한 유형들끼리 모아 분류하는 작업을 하였는데 대략 '주민공동인식부재', '마을생태계 훼손 및 공동체 파괴', '물소통의 문제', '정책결정자의 책임의식 미약 및 평가의 부재', '효과적이고 체계

적인 통합연안관리의 부족과 통합적 비전의 부재', '산업단지와 지역간의 조화를 위한 노력부족'의 5개분야로 분류되었다. 네 번째 절차로는 각 분류별로 의제 도출을 논의하였는데, 그 각 문제점 및 가중치, 도출된 의제의 내용은 표 5-3-8과 같다.

표 5-3-8. 시화호유역의 문제점과 의제(안)

문제점(가중치)	의제
<p>주민 공통인식 부재(4.5) - 정보소통 부재(4), 주민 정책결정과정 소외(4)</p> <p>주민 자긍심 자존감 상실(4) - 상대적 상실감/박탈감(3), 지역의 무기력감/무관심(3)</p> <p>시화호 개발에 따른 갈등(4) - 민민 갈등(4) - 지역정부간 협력부재(3) - 시민단체간 갈등(3), 수공-NGO관계 문제(4)</p>	1. 시화호 유역 시민인식 증진과 지역 정체성을 확립한다.
<p>마을생태계 훼손 및 공동체 파괴(5) - 지역문화 소실(3) - 지역의 역사, 전통 파괴(3)</p>	2. 시화호 유역 문화전승과 지역 공동체 문화를 복원한다.
<p>정책결정자의 책임의식 미약-평가의 부재(4.5) - 기록과 평가의 부재(4)</p> <p>효과적이고 체계적인 통합연안관리의 부족/ 통합적 비전의 부재(4.5) - 난개발(4) - 어업관리정책부재(4), 말뿐인 연안이용(3) - 중앙부처간 협력부재(3)</p> <p>통제되지 않는 개발권력 행사(4) - 공권력 남용: 지역정서 무시, 생존권 박탈, 적절한 어민대책부재(4)</p>	3. 시화호 유역 합리적 연안계획 수립과 시민 실천으로 쾌적한 해안도시를 만든다. (통합적인 연안계획수립과 관리정책, 주민참여, 책임소재 확실히)
<p>물소통의 문제(5) - 수질오염(3), 하천오염문제(3), 조력발전소(3),저질토(3)</p> <p>대기오염(3)</p> <p>어류보존위해성(3)</p>	4. 시화호의 건강한 생태계 복원과 오염문제를 적극 해결한다.
<p>산업단지와 지역간의 조화를 위한 노력부족(4) 지역경제기반및 자본부족(2)</p>	5. 시화호의 현명한 이용으로 주민생활과 지역경제를 활성화한다.



도출된 다섯 개의 의제는 ‘시화호 유역 시민인식 증진과 지역 정체성을 확립한다.’, ‘시화호 유역 문화전승과 지역 공동체 문화를 복원한다.’, ‘시화호 유역 합리적 연안계획 수립과 시민 실천으로 쾌적한 해안도시를 만든다.(통합적인 연안계획수립과 관리정책, 주민참여, 책임소재 확실히)’, ‘시화호의 건강한 생태계 복원과 오염문제를 적극 해결한다.’, ‘시화호의 현명한 이용으로 주민생활과 지역경제를 활성화 한다.’이며, 마지막으로 이렇게 도출된 의제를 포괄하고 대표할 수 있는 비전을 어떻게 결정할 것인가에 대한 논의가 이루어졌다.

### 3.3. 결과

#### 3.3.1. 시화호유역의제(안) 기본체계

본격적으로 유역의제안을 작성하기위해서 의제안 작성의 기본체계를 정하였다. 일단 비전은 비전설정의 배경과 의의를 설명하는 취지글을 작성하여 함께 제시하고, 의제별로는 해당 의제의 현황 및 시사점에 대한 설명글, 이에 따른 과제도출과 개선목표를 제시하는 것으로 하였다. 의제에 따라 구체적인 행동강령을 설정하는데, 각 행동강령별로도 강령의 개선목표, 주요 행동계획, 시범사업계획, 이해당사자 그룹별 역할 제안 등의 내용을 제시한다. 행동강령별 실천프로그램은 크기는 공동 및 시범사업과 권고사업으로 나누어서 제안하는데 각 실천프로그램별로 프로그램 목표, 활동내용, 활용계획, 이해당사자의 역할에 대한 제안 등을 포함하여 제시하도록 하였다.



그림 5-3-5. 시화호 유역의제(안) 기본체계와 포함내용

#### 3.3.2. 시화호유역의제(안) 내용

##### (1) 시화호유역의제 비전

“건강한 바다호수 아름다운 해안도시 함께하는 지역”

**(2) 시화호유역의제 의제**

- 의제1) 시화호 유역 시민인식 증진과 지역정체성을 확립한다.
- 의제2) 시화호 문화 전승과 지역 공동체문화를 복원한다.
- 의제3) 합리적 연안계획 수립과 실천으로 쾌적한 해안도시를 만든다.
- 의제4) 시화호의 건강한 생태계 복원과 오염문제를 적극 해결한다.
- 의제5) 시화호의 현명한 이용으로 주민생활과 지역경제를 활성화 한다.

**(3) 시화호유역의제 의제에 따른 행동강령 및 실천사업**

의제에 따라 행동강령을 도출하기위해 실현 가능한 실천사업들을 무작위로 도출하여 나열하였다. 제시된 행동강령과 실천 사업은 단 2회의 회의를 통해 제안으로 정리된 것으로 아직 구체적인 검토를 거치기 전이어서 상호 중복되는 것도 있고, 층위가 일치하지 않는 것도 있다. 향후 2010년 사업을 통해 내·외부 검토와 자문, 지역의 의견청취를 거쳐 대폭 수정·보완해야 할 것이다.

표 5-3-9. 시화호 유역의제(안) 행동강령 및 실천사업 1차안

의제	행동강령	실천사업
1. 시화호 유역 시민인식 증진과 지역 정체성을 확립한다.	1. 시민을 대상으로 한 시화호 환경교육과 생태투어 등을 활발히 전개한다.	시화호 대상별 환경교육> - 시화호생태 안내 및 해설사 교육 - 시화호 교사, 직장, 공단, 공무원, 주민 교육 - 찾아가는 시화호 교육과 교육영상물 제작 - 청소년 대상 시화호 프로그램 개발-공교육 연계 - 시화호 시민기자 및 청소년 기자 운영 정기적인 시화호 투어> - 셀프 가이드북 해설판과 탐사매뉴얼 작성 등 - 시화호 도보순례, 자전거, 차량, 선박 등 - 주요 환경투어 거점 및 활동코스 개발
	2. 시화호 유역 가치 발현을 위한 각종 홍보와 시화호 시민연대 활동을 전개한다.	시화호 다양한 홍보행사> - 시화호 시민대회, 백일장, 사진전 개최 등 - 시화호 문화예술 생태 자료집 제작 - 시화호 물막이 공사(1월4일)기념, 각종 시화호대회 등 - 시화호 생물다양성(보장)회의, 야생동생물대표자회의 지역 정체성 찾기와 시화호 브랜드 만들기> - 갯골 이름 찾기, 이름표 달기 - 시화호 매향제 등 특색 있는 시화호 축제행사 - 시화호 환경도서관, 교육 특구 및 교육센터 유치 - 시화호 깃대종(생물, 인물포함)찾기

표 5-3-9-계속. 시화호 유역의제(안) 행동강령 및 실천사업 1차안

<p>1. 시화호 유역 시민인식 증진과 지역 정체성을 확립한다.</p>	<p>3. 시화호 유역의제 실천을 위한 상설기구를 둔다</p>	<p>시화호 유역 사업실천 및 공동논의 구조&gt;                  - 시화호 포럼 및 정책토론                  - 시화호 시민위원회 운영 및 연대 사업협의                  - 시화호 유역의제 재작성                  - 시화호 지역현안 협의 및 대책위원회 가동                  - 시화호 지역자료실 운영 등                  - 각종 시화호 유역의제 시민 실천안 마련 등</p>
<p>2. 시화호 유역 문화전승과 지역 공동체 문화를 복원한다.</p>	<p>1. 시화호 유역 문화 자료수집과 문화콘텐츠를 발굴한다.</p>	<p>자료수집 및 기록, 자료발간&gt;                  - 옛 문헌의 시화호 기록발취                  - 시화호 유역 마을지, 인물사, 테마별 조사                  - 시화호 어보                  - 민속유물 수집, 전시활동                  - 시화호 다큐제작                  시화호 회귀 식생탐사 및 기록&gt;                  어촌박물관 연계활동 전개 등&gt;</p>
	<p>2. 시민 참여형 지역문화 활동을 적극 수행한다.</p>	<p>해안역사와 전통 연안문화 찾기&gt;                  - 전통어로방식 재현                  - 민속 놀이문화 재현                  - 시화호 민속박물관, 향토자료실, 생태전시실 운영                  - 폐염전지 보존 및 염전활동                  - 전통 어업/민속관련 축제 복원(해안굿, 풍어굿등)                  - 시화호 물길열기                  - 호박 등 만들기, 독살 체험(독살쌓기 등)                  - 시화호 작은 섬, 바위 보존                  갯벌 및 시화호간척지, 공통알화석지 등 주민체험활동&gt;</p>
<p>3. 시화호 유역 합리적 연안 계획 수립과 시민 실천으로 쾌적한 해안도시를 만든다.</p>	<p>1. 시화호유역 연안관리 정책을 모니터링하고 평가한다.</p>	<p>시화호 유역 통합형 관리계획 실행을 평가&gt;                  - 시민감사제도 운영                  - 연안정책 체크리스트 작성                  - 시화호 개발 사업 평가 및                  - 시화호 개발사업 과정 및 사후 영향 모니터링 기록                  - 시화호 전담기구 등 정책통합기구 수립을 위한 사회적분위기 조성                  - 이해당사자 분쟁해결을 위한 협의 및 지원                  - 시화호 유역 행정협의체 구성 및 시민참여</p>

표 5-3-9-계속. 시화호 유역의제(안) 행동강령 및 실천사업 1차안

<p>3. 시화호 유역 합리적 연안 계획 수립과 시민 실천으로 쾌적한 해안도시를 만든다.</p>	<p>2. 시민 참여형 지역 연안통합관리 방안을 수립한다.</p>	<p>시민 참여형 지역연안관리계획 수립&gt;                      - 시화호 연안보전 시민구상안 수립                      - 연안시민 현장초안 작성                      - 지속가능한 생업 및 주민대책 수립                      - 시화호 환경개선안 마련                      - 유역 항 포구 보전활동                      - 시화호 유역 공익재단 유치</p>
	<p>3. 시화호 유역 연안통합관리 시민실천 활동을 전개한다.</p>	<p>시화호 혐오시설 개선 및 제거&gt;                      - 해안철조망, 송전철탑 철거                      - 낚시문제, 주차문제 해결                      시화호 유역환경감시 및 정화활동&gt;                      - 시화호 클린업 데이, 해안 쓰레기 모니터링                      - 시화호 유역 정화활동                      시화호 환경개선 및 습지 보전활동&gt;                      - 시화호 주변 습지개발 자제, 갯벌 복원                      - 방조제 녹화(나무심기)                      - 자연해안선 보전 활동                      공단 오염저감과 에코산업단지 조성&gt;                      - 폐수 및 공해감시                      - 공단지역 녹화, 수림대 설치</p>
<p>4. 시화호강한 생태계 복원과 오염 문제를 적극 해결한다.</p>	<p>1. 시화호 생물 모니터링 및 보전 사이트를 지정한다.</p>	<p>생태계 복원 및 생태계 모니터링                      - 물새 서식지                      - 동물 이동통로및 생태네트워크 구축                      - 시화호 지표어종, 패류, 저서생물 선정                      - 생물보전 사이트 지정                      시화호 해양환경 개선정책에 따른 시민안 수립</p>
	<p>2. 공해 및 시화호 오염 저감을 위한 시민 대책 활동을 적극 전개해 나간다.</p>	<p>수질개선 및 정화활동&gt;                      - 유입 하천 및 지천 살리기                      - EM수질정화                      - 축산폐수처리                      - 자연저류지 및 자연형 하천확대                      - 간선수로 폐지                      - 탄도수로 개방등 내해 물 소통 확대                      - 시화호 저질토 준설</p>

표 5-3-9-계속. 시화호 유역의제(안) 행동강령 및 실천사업 1차안

<p>4. 시화호강한 생태계 복원과 오염문제를 적극 해결한다.</p>	<p>2. 공해 및 시화호 오염 저감을 위한 시민대책 활동을 적극 전개해 나간다.</p>	<p>비점 오염원 대책활동 &gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수관거 오점문제 해결, 중수도, 물 절약, 빗물이용</li> <li>- 도시 피복률 개선</li> </ul> <p>대기오염 저감&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대기오염 시민모니터링</li> <li>- 녹지 수림대조성</li> <li>- 자전거 및 대중교통이용 확대</li> <li>- 공단오염 처리공정 고도화</li> </ul> <p>보건 의료 및 안전대책 수립&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 어류보건관리</li> <li>- 공해역학조사 확대, 산업보건안전 관리</li> </ul>
<p>5. 시화호의 현명한 이용으로 주민생활과 지역경제를 활성화한다.</p>	<p>1. 해수호를 활용한 생산과 지역경제 활동모델을 개발한다.</p>	<p>해양 관광사업 활성화&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 어촌 생태관광, 수로 교통수단</li> <li>- 주민어업 활동유지 방안 수립</li> <li>- 지역 어시장 확보, 지역 먹거리 시장, 장날 활성화</li> </ul> <p>시화호 내, 외해 관광지 개발&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호를 이용하는 건강 레저스포츠</li> <li>- 시화호 매핑</li> <li>- 공룡알 화석지, 조력발전소등 생태관광코스 개발</li> </ul> <p>해수호를 활용한 지역경제 활성화&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요 항,포구 개발</li> <li>- 자연해안선 이용 및 해양자원 관리 확대등</li> </ul>
	<p>2. 시화호 유역 시민복지증진과 주민 재정착을 위한 제반활동을 전개한다.</p>	<p>시화호 유역 시민복지 활동증진</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시화호 자연사 박물관 등 시민권익시설 유치</li> <li>- 습지와 연안문화 등을 활용한 지역생산기반 확대</li> <li>- 시민복지증진 기금 확보</li> <li>- 시화호 문화프로그램 확충</li> </ul> <p>주민 재정착 방안 마련&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주민재정착 교육, 마을재생 프로그램</li> <li>- 어로 등 어촌계활동 수립</li> </ul>
	<p>3. 지역과 함께 자연과 공존하는 산업공단을 조성하도록 노력한다.</p>	<p>시화호와 공존하는 지역 에코산업단지 재조성&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공해오염저감 환경기초시설 확충</li> <li>- 공단환경개선 시민 모니터링 시행</li> <li>- 첨단 환경 지역공단으로서 이미지 개선</li> <li>- 공단운영 지역 민관협력 체계 마련</li> <li>- 자원재생 및 환경리사이클</li> <li>- 클린업종, 신재생에너지 업종 적극 유치</li> <li>- 공단환경개선을 위한 기금확보</li> <li>- 공단고도화와 주변녹화활동</li> </ul>

## 제 4 절 대외협력

### 1. 시화호 방문단 지원

#### 1.1. 개요

시화호는 그 동안 국제적 환경재앙의 대명사로서, PEMSEA의 시범해역으로서 여러 외국 시찰단의 방문이 이어지고 있다. 이에 시화호 사업에서는 이에 적절하게 대처할 수 있도록 방문코스를 마련하고, 방문 시 배포할 자료를 마련하는 등의 노력을 기울여 왔다. 2009년에는 모두 4건의 외국연수단의 방문이 있었다.

#### 1.2. 추진결과

##### 1.2.1. 일본 사가현 자유민주당 청년당원 방문

일본 사가현의 현의원 5명, 시의원 5명을 포함한 자유민주당 청년당원 27명이 2009년 1월23일 시화호를 방문하였다. 일본 사가현은 이사야만 방조제가 있는 지역으로 2008년 이 방조제를 해수유통 시키기로 결정하였다. 이에 이미 방조제 건설 후 해수유통을 하고 있는 시화호에 대한 관심이 많아지고 있다. 이 방문은 주후쿠오카 한국 총영사관을 통해 협조요청을 보내온 경우이다. 주요 관심사는 수문개방과정의 판단 주체, 수문개방 전후의 환경영향조사 실시 상황, 1999년 폐수처리시설 설치의 경위, 수문개방 후 수질 및 어패류 포획량 변화상 등이었다. 이는 사가현 공무원 방문단과 같은 문제의식을 가진 연수였으나, 이 연수단은 지역 주민의 입장을 청취하기를 위하여 지역에서 오랫동안 시화호와 관련하여 어촌계장으로 활동했던 박영홍 전 오이도 어촌계장과의 면담을 주선하였다. 한편 시화호종합관리계획 및 수질개선과 관련된 전문적 내용에 대한 발표는 시화호 사업의 총괄 책임자인 김은수 박사가 담당하였다. 주요 견학내용은 다음과 같다.

- 시화호 유역 현황 소개
  - 시화호 종합관리계획 추진현황 및 수질개선 노력 등
  - 시화호유역 어민간담회
- 시화호 유역 해양환경 기초시설, 관련기술 개발현황 등 견학
  - 갈대습지, 환경문화원, 조력발전 건설현장(수자원공사 협조)

##### 1.2.2. 랍사르사무국 아시아-오세아니아 지역 담당관 방문

세계 습지의 날 행사에 초청된 습지보전 전문가, 국제 랍사르사무국의 아시아-오세아니아 지역 담당관인 Lew Young 박사를 시화호에 초청하여 2월4일, 지역단체들과의 간담회를 진행하였다. Lew Young 박사는 랍사르사무국의 아시아-오세아니아 지역 담당관일뿐 아니라 17년간 홍콩 마이포 습지센터의 운영책임자로서의 경험을 살려 마이포 센터설립 과정과 주요 원칙과 실행방법, 지역주민과의 협력 방법 등에 대해서 자문하였다. 이 간담회에는 한국해양연

구원에서 제종길, 최영래 연구원이, 지역의 3개 시민단체, 안산시, 경기의제, 안산의제 등이 참석하였다. 감담회 외에 Lew Young 박사는 2일 일정으로 시화호를 방문하였다. 주요 관심사는 시화호의 개발현황 및 생태계 보전방안에 대한 것으로 구체적 정책이나 개발진행 상황, 지역의 대응에 대해서 깊은 관심을 보였다. 주요 방문지는 다음과 같다.

- 시화호 유역 현황 소개
  - 시화호 종합관리계획 추진현황 및 수질개선 노력 등
  - 시화호유역 생태계보전방안
- 시화호 유역 습지 방문
  - 갈대습지공원, 시화방조제 및 시화호생태문화관
  - 대부도 구봉리 자연해안
  - 남측간석지 및 형도앞 대체습지 조성 예정지
  - 화성호 및 화성방조제

### 1.2.3. 일본 사가현 현의원단 방문

2008년의 일본 사가현 공무원 방문단, 2009년 1월의 자유민주당 청년당원에 이어 사가현지역 현의원단이 방문하였다. 현의원단회장 시노주카 히로키, 산업상임위원회 위원 요시다 킨야, 산업상임위원회 이사 도이 토시유키, 정부조사회필두 부회장 미네 타츠우로, 문교후생상임위원회위원 사시야마 키요노리, 문교후생상임위원회위원 사카구치 유우키 등 6명의 현의원이 방문하였으며 시화호방문 외에도 사무국의 주선으로 안산시 의회 의장단과의 간담회를 하였다. 안산시의회에서는 심정구 시의장, 김기완 부의장, 이민근 의회운영위원장, 강기태 기획행정위원장, 정승현 경제사회위원장, 신성청 도시건설위원장 등 6명이 참여하였다. 시화호 주요 방문지는 다음과 같다.

- 시화호 유역 현황 소개
  - 시화호 종합관리계획 추진현황 및 수질개선 노력 등
- 시화호 유역 해양환경 기초시설, 관련기술 개발현황 등 견학
  - 갈대습지공원, 시화호 공단전망대, 시화호 조력발전소

### 1.2.4. 워싱턴대 해양정책학과 교수단 방문

University of Washington 해양정책학과 Thomas Leschine, Dave Fluharty, Vlad Kaczynski 교수 및 Jongseong Ryu 박사, Ian Brosnan 등 5명이 10월29일 시화호를 방문하였다. 이 일행은 한국해양연구원에서 연안관리에 대한 세미나를 한 후 시화호를 방문하였는데 환경개선시설에 대한 관심이 많았다. 주요 방문지는 다음과 같다.

- 시화호 유역 해양환경 기초시설, 관련기술 개발현황 등 견학
  - 갈대습지공원
  - 시화호 공단전망대
  - 시화호방조제, 시화호 조력발전소

## 2. PEMSEA 협력사업

### 2.1. 개요

PEMSEA는 동아시아지역 12개 국가가 참여하는 지역협력 프로그램으로서 정부간, 이용자간, 분야간 협력체제를 구축하고, 중앙정부와 지방정부의 해양환경관리역량을 강화하기 위한 협력기구이다. 2009년은 3년마다 개최되는 PEMSEA의 EAS 총회가 개최되는 해로 PEMSEA의 시범해역(ICM Parallel Site)인 시화호는 PEMSEA의 EAS에 참석하고 총회장에서 홍보부스를 운영하였다. 또한 각 나라 지방정부의 연안통합관리(ICM) 프로그램 네트워크인 PNLG(PEMSEA Network of Local Governments for Sustainable Coastal Development) 회의에 경기도가 참여하여 시화호의 연안통합관리 성과를 홍보할 수 있도록 지원하였다.

### 2.2. 추진결과

#### 2.2.1. PNLG 포럼

PNLG(PEMSEA Network of Local Governments for Sustainable Coastal Development)는 동아시아해역환경관리기구(PEMSEA)의 시범해역 지방정부간 협력네트워크로서 해양오염 관리 정책·기술·경험 등의 공유를 통해 궁극적으로 PEMSEA 연안통합관리정책의 목적달성을 지원하고자 하는 목적으로 운영되는 동아시아의 첫 번째의 지역모임으로 2001년 출범하였다. 참가국은 베트남, 한국, 중국, 인도네시아, 캄보디아, 말레이시아, 필리핀, 태국, 싱가포르 등의 9개국 32여개 지역이 참여하고 있다. 한국은 시화호가 속한 경기도가 2006년 지방정부로 등록하였다.

표 5-4-1. PNLG 회원현황

정회원		옵저버
1. 시아누크빌(캄보디아)	14. 수카부미(인도네시아)	1. 남포(북한) 2. 레팅(중국) 3. 랴녕강(중국) 4. 판진(중국) 5. 칭따오(중국) 6. 윈창(중국) 7. 양지양(중국)
2. 동잉(중국)	15. 타바난(인도네시아)	
3. 광첵강(중국)	16. 시화(대한민국)	
4. 하이코(중국)	17. 클랑(말련)	
5. 창쫘우(중국)	18. 바탄(필리핀)	
6. 샬먼(중국)	19. 바탕가스(필리핀)	
7. 발리(인도네시아)	20. 카비테(필리핀)	
8. 바둥(인도네시아)	21. 촌부리(태국)	
9. 부레령(인도네시아)	22. 다낭(베트남)	
10. 텐파사(인도네시아)	23. 황남(베트남)	
11. 지안야(인도네시아)	24. 퀴마라스(필리핀)	
12. 가랑가셈(인도네시아)	25. 투아티엔훤(베트남)	
13. 크렁쿵(인도네시아)		



2009년 포럼의 주제는 'Joining Hands for a Better Coast(더 나은 연안을 위한 협력)'으로 11월20일부터 23일에 필리핀 바탄주 발랑가시에서 개최되었다. 경기도와 시화호관리위원회 사무국이 정식 참가자로 참여하여 PNLG 회원간의 지식, 기술 등 정보교환과 총회 참석, 의장 선출등의 활동을 하였다. 한편 마산시와 여수시가 참관자격으로 참여하였다. 그 외에 바탄주의 생태관광지구인 'Anvaya Cove Ecotourism Area', CITES에서 멸종위기종인 바다거북보호 활동을 하고 있는 'Pawikan Conservation Center', 바탄주의 주요 생태지역인 'Bird Sanctuary and Mangrove Area', 인공적인 시설물 설치로 어류의 산란·서식장을 제공하여 어류의 종보전 및 관리를 하는 시설인 'Fish Sanctuary Zone'를 방문하였다.



그림 5-4-1. PNLG 포럼 사진

### 2.2.2. 2009 PEMSEA EAS총회

PEMSEA(동아시아해역환경관리협력기구)는 동아시아의 지속가능한 연안지역 발전과 해양자원의 보호를 위하여 설립된 국제협력기구로서 우리나라를 비롯하여 일본, 중국, 캄보디아, 베트남, 필리핀 등 10개국의 국가와 16개 기관의 파트너가 있다. 장관포럼, 고위급회의, 국제컨

퍼런스, 전시회 등 역내 지속가능발전전략의 이행 협력방안을 결의하는 역내 최대 규모의 해양회의로 2003년부터 3년 주기로 EAS총회(East Asian Seas Congress)를 개최하고 있다. 한국은 1994년 6월 PEMSEA 회원국으로 가입하였으며 2000년 9월 PEMSEA와 협력양해각서 체결하고 2000년 11월 시화호를 연안통합관리 비교해역(ICM Parallel Site)으로 지정하였다. 2009년은 11월22일부터 27일에 필리핀 마닐라에서 EAS총회가 개최되었다. 주제는 “이행과정에서의 파트너십, 지역적 이행과 모범사례(Partnership at Work : Local Implementation and Good Practices)로 14개국 정부와 국제기구, 연구소, 학계, 업계 등 1천여명이 참가하였다. 시화호관리위원회 사무국에서는 EAS총회 참가를 위해 국토해양부가 주관하는 2회의 사전 준비모임에 참가하였으며, 총회장에서 시화호 연안통합관리의 성과를 알릴 수 있는 홍보부스를 운영하였다. 홍보부스에서는 시화호 연안통합관리, 시화호 해양환경개선사업, 비점오염 모델구축 사업을 소개하는 포스터 3종을 제작하여 전시하였고, 시화호종합관리계획과 관리위원회의 활동을 알리는 영문브로셔, 사진자료집 ‘시화호에서 사라져가는 것들’ 영문판, 시화호 기념품2종을 배포하였다.



그림 5-4-2. 2009 PEMSEA EAS 시화호 포스터

## 참고문헌

- 각 시도, 2004. 금강 오염총량관리 기본계획
- 경기도 광주시, 2004. 경기도 광주시 수질오염총량관리 시행계획(안)
- 경기도, 2008. 경기도 환경보전계획
- 고성군, 2006. 경상남도 고성군 오염총량관리 시행계획
- 고영선, 윤희숙, 이주호, 2004. 공공부문의 성과관리, 한국개발연구원.
- 공동수, 2005. 우리나라의 수질총량관리 현황 및 전망
- 국립수산과학원, 2009. 제1차 시행계획 이행평가 지침 및 제2차 총량관리 기반연구
- 국립환경과학원, 2007. 제2단계 수계오염총량관리 기술지침
- 국립환경연구원, 2004. 수계오염총량관리 기술지침
- 국토해양부 외, 2009. 국토해양부-KMI 해양환경정책협의회 자료집
- 국토해양부, 2003~2008. 시화호 환경개선사업
- 국토해양부, 2008. 시화호 해양환경 개선 사업. BSPM 50700-2008-4
- 국토해양부, 2009. 시화호 해양환경개선사업 자문회의 자료집
- 국토해양부. 2008. 시화호 해양환경 개선 사업. 한국해양연구원 BSPM 44101-1932-4. 686pp.
- 김경태, 김은수, 조성록, 박준건, 박창길. 2003. 시화호 및 주변 하천 표층퇴적물의 중금속 분포변화. *Ocean and Polar Research* 25, 447-457.
- 김경태, 조성록, 이수형, 강성현, 이건영, 1998. 금 포집 장치와 냉증기 원자흡수분광법을 이용한 수은 측정 전처리 시스템의 자동화. *해양연구* 20, 251-260.
- 김남춘, 2007. 반월·시화 산업단지 깨끗하고 쾌적한 환경조성 방안 연구
- 김수암, 장창익. 1994. 어류 생태학. 서울프레스, 서울, 273 pp.
- 김영섭, 한경호, 강충배, 김종빈. 1994. 한국 연근해 유용어류도감. 국립수산과학원. 58 pp.
- 김종길, 2006. 영산강 수질개선을 위한 비점오염원 관리에 관한 연구
- 김종만, 유재명, 명정구, 임주열. 1986. 한국 연근해 어란 치자어 도감. 해양연구소, BSPE00060-98-3, 369 pp.
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠. 2003. 우리나라 남해안 패류의 중금속 함량. *한국식품위생안전성학회지*. 18(3), 125-132.
- 김학균, 이필용, 최희구, 박종수, 강창근, 김차겸, 김평중, 박영철, 이삼근, 안경호, 심정민. 1994. 어정 환경오염조사. 수진사업보고서(해양환경분야), 85-100.
- 김학균, 최희구, 김차겸, 김평중, 박영철, 이원찬. 1995. 어정환경오염조사. 수진사업보고서(해양환경분야), 62-73.
- 나공태, 2000. 시화호 퇴적물 중 수은분포에 관한 연구. 한양대학교 석사학위논문. 68pp.
- 류종성, 최진우, 강성길, 고철환, 허성희. 1997, 시화 방조제 건설 이후 시화호 다모류의 종 조성 및 서식밀도 변화. *한국해양학회지* '바다' 2, 101-109.
- 명정인, 김병일, 이선명, 전길봉. 2002. 우리나라 어류도감. 다락원, 288pp.
- 문현주, 황석준. 2005. 총량관리체제 하에서의 지역 환경관리
- 박경수, 1990. 한강 하류 및 하구의 어류 군집에 관한 연구. 이학석사 학위논문, 인하대학교.

- 박병훈, 2003. 자연형하천정화를 위한 인공습지 조성방안, 환경관리공단.
- 박석순, 나유미, 나은혜. 2001. 과학적인 수질관리를 위한 오염총량관리제도의 추진방안
- 박용철, 박준건, 한명우, 손승규, 김문구, 허성희. 1997. 시화호 산화-환원 환경하의 용존 유기 화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지'바다' 2, 53-58.
- 박원규, 김성준. 1996. 연안역에서의 오염물질유입저감을 위한 총량규제방안에 관한 연구
- 박판수, 김남숙, 임운혁, 심원준, 김기범. 2009. 고현만 조선소 주변해역 퇴적물 내 다환방향족 탄화수소의 시공간적 분포특성. 한국해양환경공학회지 12, 68-74.
- 백경훈, 홍석진. 부산연안 오염총량관리제 시행을 위한 기초연구
- 서동일, 2005. 우리나라 오염총량관리제의 발전방향
- 서해수산연구소, 1997~1999. 환경을 고려한 바지락의 적정 양식밀도.
- 손광태, 오은경, 이태식, 이희정, 김풍호, 김지희. 2005. 남해안 어류양식장 해수 및 양식어류의 위생 지표세균 및 병원성 세균조사. 한수지, 38(6), 359-364.
- 손명덕, 2007. 와류조, 유수분리조로 구성된 비점오염저감장치 개발 및 평가
- 손성원, 최인학, 한성용. 1995. 남해안 일대 진주담치(*Mytilus edulis*)의 중금속 함량에 관한 연구, 경남대학교 환경문제연구소 17, 19~29.
- 손주원, 2001. 연안환경에서 유기화합물에 대한 특성 연구, 인하대학교 이학석사학위논문. 81pp.
- 송미영, 2008. 미국 뉴저지주의 비점오염원 관리 정책에 관한 연구
- 시화호 관리위원회, 2007. 2단계 시화호 종합관리계획
- 시화호 관리위원회, 2008. 2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획
- 시흥시, 2009. 시흥시 공공하수 및 분뇨처리시설 기술진단보고서.
- 식약청, 2000. 식품공전. 43p.
- 신현출, 1992. 동죽(*Macrta veneriformis*: Bivalvia)의 성장과 개체군 동태. 서울대학교 박사학위 청구논문. 135pp
- 신현출, 신상호. 1999. 광양만산 바지락(*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia)의 개체군 생물학. I. 성장과 서식환경. 한국패류학회지. 15(1). 21-30.
- 심재형, 1994. 한국동식물도감 -제 34권 해양식물플랑크톤편-. 문교부. 487p.
- 안산시, 2005. 안산시 하수도정비 기본계획 변경 보고서.
- 안산시, 2008, 2020. 안산도시기본계획
- 안산시, 화성시, 시흥시, 통계연보
- 유광일, 1995. 한국 동식물도감 제 35권 동물편(해양동물플랑크톤). 국정교과서 주식회사, 교육부, 415pp.
- 유성규, 1978. 천해양식. 새로출판사. 605pp.
- 유재명, 김성, 이은경. 1993. 여자만에서 장마에 의한 담수유입이 어란 및 자치어의 출현량에 미치는 영향. 해양연구, 15: 41.
- 이기영, 2007. 캐나다의 비점오염물질 처리대책 사례 연구
- 이동수, 김경태, 홍기훈, 이수형. 1989. 한강 본류와 지류의 중금속 농도분포. 한국수질보전학회지, 5(1), 47-56.
- 이병국, 2005. 미국 TMDL(Total Maximum Daily Loads)소개

- 이수형, 이광우. 1984. 한국연안 진주담치의 중금속함량, 한국해양학회 19(2), 111~117.
- 이승주, 김병균, 김병학, 박기열, 민광식, 한석중. 2005. 바지락, *Ruditapes philippinarum* 치패의 염분 및 공기중 노출에 따른 생존율과 잠사능력. 2005년도 한국양식학회 춘계학술발표대회 논문집. 87p.
- 이용길, 2007. 수질오염총량관리 지역 내 비점오염원 저감시설 최적 선정에 관한 연구
- 이은경, 유재명, 김 성, 이영철. 1996. 대한해협 멸치 치자어의 수직분포. 한국수산학회지, 8: 47-56.
- 이종호, 2003. 수계오염총량관리제와 환경영향평가제도의 통합운영방안
- 이창근, 2009. 인천 갯벌의 가치평가와 저서생물에 의한 정화기능의 가치. 인하대학교 박사학위 청구논문, 123pp.
- 이창근. 2009. 인천 갯벌의 가치평가와 저서생물에 의한 정화기능의 가치. 인하대학교 박사학위 청구논문, 123pp.
- 이채성, 최용석, 조영록. 1999. 바지락 서식밀도 및 서식환경. 국립수산과학원 연구보고. 56. 177-186.
- 이택열, 김용억, 진평, 강용주. 1981. 한국 연근해 어란 자치어 도감. 부산수산대학 해양연구소, 109 pp.
- 임동현, 1994. 한국 근해에 있어 Oithonidae(Copepoda, Cyclopoida)과의 분류적 기재와 지리 분포. 한양대학교 석사논문, 112pp.
- 임정빈, 2003. 경기만과 아산만 부유성 난·자치어의 분포와 계절 변동. 이학석사 학위논문, 인하대학교. 76p.
- 전라남도 순천시, 2005. 전라남도 순천시 섬본 E 오염총량관리 시행계획(안)
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, 727pp.
- 정의영, 신윤경, 허성범. 1999. 바지락의 산소소비 비율 및 여수율의 생리적 리듬. Korean J. Malacol., 15(2): 127-131.
- 정인권, 하광수, 최종덕. 2004. 통영연근해역 어류 및 패류 중의 중금속함량, 해양산업연구소논문집 17, 39~46.
- 정창수, 1989. 서해 중부 해역의 모악류 분포에 관한 연구. 인하대학교 석사논문, 87pp.
- 차성식, 박광재. 1994. 광양만 부유성 난 자치어의 분포. 한국어류학회지, 6: 6-70.
- 최광순 외, 2007. "수질정화용 인공습지 개방수역에서 유입수질에 따른 식물플랑크톤의 광합성특성 및 유기물생산력", 한국하천호수학회지, 40(1): 61-71.
- 최돈혁 외, 2008. "시화호 인공습지에서 시공간적 수질분포 및 오염물질 제거효율 평가", 대한환경공학회지, 30(10): 1013-1020.
- 최만식, 천종화, 우한준, 이희일. 1999. 시화호 표층퇴적물의 중금속 및 퇴적상 변화. 한국환경과학회지 8, 593-600.
- 최승업, 2003. 미국의 수자원 관리체계와 지역수리권 연구
- 최종덕, 정우건, 김풍호. 1998. 자란만 해수 및 굴의 세균학적 연구. 한수지, 31(3), 429-436.
- 최지용, 2004. 수질오염총량관리제도 추진실태 및 발전방향
- 최지용, 반양진. 2007. 저수지 비점오염원 저감을 위한 인공습지의 설치효과 및 개선방안, 한



- 국환경정책평가연구원.
- 한국농촌공사 농어촌연구원, 2006. 농업용수 수질개선 실용화연구(최종).
- 한국수자원공사, 1997. 시화지구개발 반월천, 동화천 습지조성 조경공사 기본 및 실시서계보고서.
- 한국수자원공사, 2002. 시화호 인공습지 운영관리 방안 연구.
- 한국수자원공사, 2003. 시화호 조력발전 건설공사.
- 한국수자원공사, 2006. 시화호 수질개선대책에 따른 수질회복 추이에 관한 연구(10차년도).
- 한국수자원공사, 2006. 시화호 인공습지 수질정화기능 향상 연구.
- 한국수자원공사, 2007. 2007년 시화호 인공습지 수질조사보고서.
- 한국수자원공사, 2008. 시화호 유역 수질오염원 전수조사.
- 한국전자거래진흥원 편, 2007. 전략적 성과관리, 한국전자거래진흥원.
- 한국해양연구소, 1999. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한연구 (3차년도). 과학기술처.
- 한국해양연구소, 2000. 시화호의 해수화에 따른 환경변화 및 수질관리에 관한 연구(1차년도).
- 한국해양연구소, 2001. 시화호의 해수화에 따른 환경변화 및 수질관리에 관한 연구(2차년도).
- 한국해양연구원, 2006. 시화호 해양환경개선사업.
- 한국환경정책·평가연구원, 2005. 3대강수계 오염총량관리시행계획 수립 매뉴얼 작성 연구
- 한명우, 박용철, 허성희. 1997. 시화호에서 암모니아와 납의 저층용출. 한국해양학회지'바다' 2, 69-77.
- 한창훈, 2000. 인천 연근해 난·자치어의 분포. 이학석사 학위논문, 인하대학교. 55p.
- 해양수산부, 1998. 해양환경공정시험방법
- 해양수산부, 2001. 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구: 시범해역 해양환경관리방안
- 해양수산부, 2001. 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구: 시화호 특별관리해역 현황
- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법. 해양수산부. 330pp.
- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법.173-174.
- 해양수산부, 2002a. 전국 연안의 지속성 유기오염물질 실태 조사 연구. BSPM 125-00-1442-4.
- 해양수산부, 2002b. 내분비장애물질 시험법 확립 및 정도관리 상호검정 프로그램 개발.
- 해양수산부, 2004. 가로림만 연안관리지역계획
- 해양수산부, 2004. 시화호 해양환경 개선사업. 한국해양연구원 BSPM 283-00-1674-4.
- 해양수산부, 2005. 광양만 연안관리지역계획
- 해양수산부, 2005. 연안오염총량관리 기본계획수립 기초연구: 마산만 특별관리해역을 대상으로
- 해양수산부, 2005. 특별관리해역 내 오염총량관리제 시행방안 연구
- 해양수산부, 2006. 마산만 특별관리해역 연안오염총량관리 기술지침
- 해양수산부, 2006. 시화호 해양환경 개선사업. 한국해양연구원 BSPM 38800-1825-4.
- 해양수산부, 2006. 해양환경보전 종합계획: 2006-2010
- 해양수산부, 2007. 시화호 해양환경 개선사업. 한국해양연구원 BSPM 44101-1932-4.
- 해양수산부, 2007. 연안관리 제도개선 연구
- 해양수산부, 경상남도. 2007. 마산만 연안오염총량관리 기본계획(안)
- 해양수산부, 2005. 시화호 해양환경 개선사업. 한국해양연구원 BSPM 32900-1749-4.
- 허성범, 유재명. 1984. 한국 서해안의 어류 난·치어 분포. 한국수산학회지, 17: 536-542.

- 환경부, 2003. 3대강 수계 오염총량관리제도 기본방침
- 환경부, 2004. 수질오염총량관리 업무편람
- 환경부, 2009. 비점오염저감시설 모니터링 결과
- Abboud-Abi Saab, M. 1989. Distribution and ecology of tintinnids in the plankton of Labanese coastal waters(eastern Mediterranean). J. Plank. Res., 2, 203-222.
- Aoyama, H. and T. Suzuki. 1997. In situ measurement of particulate organic matter on tidal flat, using a simple numerical model. Aichi Fisheries Research Institute Report, 6: 5-12.
- Ashley, G.M., 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. J. Sediment. Petrol. 60(1): 160-172.
- Badsha, K.S., and M. Sainsbury. 1977. Uptake of zinc, lead and cadmium by young whiting in the Severn estuary. Marine Pollution Bulletin 8:164-166.
- Bailey, K.M. and R.S. Batty, 1983. A laboratory study of predation by *Aurelia aurita* on larval herring(*Clupea harengus*). Experimental observations compared with model predations. Mar. Biol., 72, 295-301.
- Barranguet C, Kromkamp J. 2000. Estimating primary production rates from photosynthetic electron transport in estuarine microphytobenthos. Mar Ecol Prog Ser 204:39-52
- Bohn, A., and B.W. Fails. 1978. Metal concentrations(As, Cd, Cu, Pb, and Zn) in shorthorn sculpins. *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus) and Arctic char, *Salvelinus alpinus* (Linnaeus), from the vicinity of Strathcona Sound, Northwest Territories. Water Research. 12:659-663.
- Boyle, E.A., S.S. Husted and S.P. Jones. 1981. On the distribution of copper, nickel, and cadmium in the surface waters of the North Atlantic and North Pacific Ocean. J. Geophy. Res., 86, 8048-8066.
- Butterworth, J., P. Lester, and G. Nickess. 1972. Distribution of heavy metals in the Seven estuary. Marine Pollution Bulletin. 3:72-74.
- Byrd, J.T., K.W. Lee, D.S. Lee, R.G. Smith and H.L. Windom. 1990. The behavior of trace metals in the Geum Estuary, Korea. Estuaries, 13(1), 8-13.
- Calbet, A., S. Garrido, E. Saiz, M. Alcaraz and C.M. Duarte, 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the small size fractions. J. Plankton Res., 23, 319-331.
- Calvert, S.E., 1976. Mineralogy and geochemistry of nearshore sediments. In: Chemical Oceanography, Vol. 6 2nd ed., eds. by J.P. Riley and Chester R. Academic Press, London. pp187-280.
- Chio H-G., J-S. Park., P-Y. Lee. 1992, Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean coastal waters. Bull. Korean Fish. Soc. 25(6), 485-494.
- Domingues, R. B., H. Galvao, 2007. Phytoplankton and environmental variability in a dam regulated temperate estuary. hydrobiologia 586:117-134

- Elliot, J.K. and W.C. Leggett, 1997. Influence of temperature on size-dependent predation by fish (*Gasterosteus aculeatus*) and a jellyfish (*Aurelia aurita*) on larval capelin (*Mallotus villosus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54, 2759-2766.
- Ferrara, F., Fabietti, F., Delise, M., Bosca, A.P., and Funari, E., 2001. Alkylphenolic compounds in edible molluscs of the Adriatic Sea (Italy). *Environmental Science Technology* 35, 3109-3112.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of the sedimentary Rocks*. Hemphill, New York, 170 pp.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed. Petrology*, 27 : 3-27.
- Gallienne, C.P. and D.B. Robins, 2001. Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans?. *J. Plankton Res.*, 23, 1421-1432.
- Gallucci, V.F. and T.J. Quinn, 1979. Reparameterizing, fitting and testing a simple growth model. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 108 : 14-25.
- Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, 115: 515-585.
- Hanson, P.D., Evans, D., Colby, D., and Zdanowics, V., 1993. Assessment of elemental contamination in estuarine and coastal environments based on geochemical and statistical modeling of sediments. *Marine Environmental Research* 36, 237-266.
- Hawrelak, M., Bennett, E., Metcalfe, C., 1999. The environmental fate of the primary degradation products of alkylphenol ethoxylate surfactants in recycled paper sludge. *Chemosphere* 39, 745-752.
- Horowitz, A., and B.J. Presley. 1977. Trace metal concentrations and partitioning in zooplankton, neuston, and benthos from the south Texas outer continental shelf. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 5:241-225.
- Horowitz, A.J., 1991. *A primer on Sediment-Trace element chemistry*. Lewis pub., USA, 136pp.
- Ireland, M.P., and R.J. Wootton. 1977. Distribution of lead, zinc, copper and manganese in the marine gastropods *Thais lapillus* and *Littorina littorea* around the coast of Wales. *Environmental Pollution*. 12:27-41.
- Irigoiien, X. and J. Castel, 1995. Feeding rates and productivity of the copepod *Acartia bifilosa* in a highly turbid estuary; the Gironde (SW France). *Hydrobiologia*, 311, 115-125.
- Ishii, H. and M. Bamstedt, 1998. Food regulation of growth and maturation in a natural population of *Aurelia aurita*. *J. Plankton Res.*, 20, 805-816.
- Justic, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner and W.J. Wiseman, Jr., 1993. Seasonal Coupling Between Riverborne Nutrients, Net Productivity and Hypoxia. *Mar. Pollution Bull.*, 26, 184-189.



- Kamiyama, T. 1994. The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, 119, 77-88.
- Kang Y.S., J.K. Choi, K.H. Chung and Y.C. Park, 1992. Primary productivity and assimilation number in the Kyonggi Bay and the mid-eastern coast of Yellow Sea. *J. Oceano.Soc. Kor.*, 27(3): 237-246.
- Kenth, T.L., Snyder, S.A., Naylor, C.G., Staples, C.A., Summer, C., Kannan, K., Giesy, J.P., 2001. Identification and quantification of nonylphenol ethoxylates and nonylphenol in fish tissues from Michigan. *Environmental Science Technology* 35, 10-13.
- Kim, D.Y., 1985. Taxonomical study in calanoid copepod(Crustacea:Copepoda) in Korean waters. Ph.D. Thesis. Hanyang Univ., 164pp.
- Kofoed, C.A. and A.S. Campbell. 1929. A conspectus of the marine and freshwater ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical pacific 1904-1905. *Univ. Calif. Publ. Zool.*, 34, 403 p.
- Kramp, P.L., 1961. Synopsis of the medusae of the world. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 40, 1-469.
- Kremling, K., J. J. S. Tokos, L. Brüggemann and H. P. Hansen. 1997. Variability of dissolved and particulate trace metals in the Kiel and Mecklenburg Bights of the Baltic Sea, 1990-1992. *Mar. Pollut. Bull.*, 34(2), 112-122.
- Kromkamp J, Barranguet C, Peene J. 1998. Determination of microphytobenthos PSII quantum efficiency and photosynthetic activity by means of variable chlorophyll fluorescence. *Mar Ecol Prog Ser* 162:45-55
- Lake, J.L., Norwood, C., Dimock, C., and Bowen, R., 1979. Origins of polycyclic aromatic hydrocarbons in estuarine sediments. *Geochimica Cosmochimica et Acta* 43, 1847-1854.
- Lande, D. 1977. Heavy metal pollution in Trondheimsfjorden, Norway, and the recorded effects on the fauna and flora. *Environmental Pollution*. 12:187-197.
- Li, C., R. Wang and S. Sun, 2003. Grazing impact of copepods in phytoplankton in the Bohai Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science.*, 58, 487-498.
- Li, D., Park, J., Oh, J.-R., 2001. Silyl derivatization of alkylphenols, chlorophenols, and bisphenol A for simultaneous GC/MS determination *Analytical Chemistry* 73, 3089-3095.
- Long, E.R., MacDounald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediment. *Environment Management* 19, 81-97.
- Madiqou, T., Le Goff, P., Salbert, G., Cravedi, J.P., Segner, H., Pakdel, F., Valotaire, Y., 2001. Effects of nonylphenol on estrogen receptor conformation, transcriptional

- activity and sexual reversion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 53, 173-186.
- Malone, T.C., 1991. River flow, phytoplankton production and oxygen depletion in Chesapeake Bay. In: Tyson, R.V. and Pearson, T.H., Editors, 1991. *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Society Special Publication No. 58, The Geological Society, London, 83-93pp.
- Marques S. C., U. M. Azeiteiro, J. C. Marques and J. M. Neto, 2006. Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. *J. Plankton Res.* 28: 297-312.
- Martin, J.M., and Whitfield, M., 1983. The significance of the river input of chemical elements to the ocean. IN *Trace metals in Seawater*, ed. by C.S. Wong, E. Boyle, K.W. Bruland, J.D., Burton and E.D., Goldberg, Plenum, New York, pp. 265-296.
- Merrill, E.G., and Wade, T.L., 1985. Caronized coal products as a source of aromatic hydrocarbons to sediments from a highly industrialized estuary. *Environmental Science Technology* 19, 597-603.
- Millero, F.J. 1979. The physical chemistry of estuaries. In *Marine chemistry in the coastal environment*. ed. by T.M. Church. ACS Symposium Series 18, Washington D.C. p25-55.
- Miller-Way, T., and Twilley, R.R., 1996. Theory and operation of continuous flow systems for the study of benthic-pelagic coupling. *Marine Ecology Progress Series* 140, 257-269.
- Mitsuo, C. and M. Massaki. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan. Tokai University Press. 126 ~ 146.
- Moller, H., 1980. Population dynamics of *Aurelia aurita* medusae in Kiel Bight, Germany(FRG). *Mar. Biol.*, 60, 123-128.
- Moore. J.W. and Ramamoorthy S. 1983. *Heavy Metals in Natural Waters*. New York Berlin Heidelberg Tokyo.
- Mori, T., 1964. Pelagic copepoda from the neighboring waters of Japan. The Soyo Company Inc., Japan, 150pp.
- Officer, C.B., R.B. Biggs, J.L. Taft, L.E. Cronin, M.A. Tyler, and W.R. Boyton, 1984. Chesapeake Bay anoxia. Origin, development and significance. *Science*, 223, 22-27
- Okiyama, M. 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press 1154 pp.
- Parsons, T.R. et al., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. 101 ~ 104.
- Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol., Ann. Rev.* 16 : 229-311.

- Pearson, T.H. and Rosenberg, R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol, Ann. Rev.* 16 : 229-311.
- Penna, N., Capellacci, S., Ricci, F., 2004. the influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *marine Pollution Bulletin* 48: 321-326.
- Percell, J.E., 1985. Predation on fish eggs and larvae by pelagic Cnidarians and Ctenophores. *Bull. Mar. Sci.*, 37, 739-755.
- Platt, T., C.L. Gallegos and W.B. Harrison, 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.* 38: 687-701.
- Redfield, A.C., Ketchum, B.H., and Richards, F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. In: *The Sea*, ed. by Hill, M.N., Wiley, New York. 26-77pp.
- Rocha, C., H. Galvao & A. Barbosa, 2002. Role of transient silicon limitation in the development of cyanobacteria blooms in the Guadiana estuary, southwestern Iberia. *Mar Ecol Prog Ser* 228: 35-45
- Roth, I, and H. Hornung. 1977. Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean coastal area, Israel. *Environmental Science and Technology* 11:265-269.
- Ruttenberg, K.C., 1992. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorous in marine sediments. *Limnology and Oceanography* 37, 1460-1482.
- Saito, H. and H. Hattori, 1997. Diel vertical migration and feeding rhythm of copepods in a shallow, food-abundant embayment. *Plankton Biol. Ecol.*, 44, 13-29.
- Sautour, B. and J. Castel, 1999. Grazing activity of mesoplanktonic copepods in a shallow bay during an algal spring bloom (Marennes-Ole ron Bay, France). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 79, 73-84.
- Schoelhammer, D.H., 2002. Variability of suspended sediment concentration at tidal to annual timescales in San Francisco Bay, USA. *Continental Shelf Research* 22, 1857-1866.
- Schropp, S.J., Lewis, F.G., Windom, H.L. Ryan, J.D., Calder F.D., Burney, L.C., 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries* 13, 227-235.
- Schubel, J.R. and V.C. Kennedy. 1984. The estuary as a filter: An introduction. In *The estuary as a filter*, eds. by V.C. Kennedy. Academic Press, Orland. p1-11.
- Schubert, C.J., and Calvert, S.E., 2001. Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments: implication for nutrients utilization and organic matter composition. *Deep-Sea Research I* 48, 789-810.

- Seo, J.H and J.K. Choi, 2008. In situ grazing pressure of *Acartia hongii* female (Copepoda: Calanoida) on phytoplankton in Gyeonggi Bay, Korea. *The Yellow Sea*, 9, 32-39.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, 177pp.
- Sharp, J.H., J.R. Pennock, T.M. Church, J.M. Tramontano and L.A. Cifuentes. The estuarine interaction of nutrients, organics, and metals: A case study in the Delaware estuary. In *The estuary as a filter*, eds. by V.C. Kennedy. Academic Press, Orland. p241-258.
- Shiber, J.G. 1981. Metal concentrations in certain coastal organism from Beirut. *Hydrobiologia* 83:181-195.
- Sinclair, M. and J. J. Tremblay, 1984. Time of spawning of Atlantic herrings (*Clupea harengus harengus*) population and the match-mismatch theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 1055-1065.
- Smith, D.L., 1977. *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*. Kendall/Hunt publishing company, 161pp.
- Sporstol, S., Gjos, N., Nichtenthaler, R.G., Gustavsen, K.O., Urdal, K., Orelid, F., and Skel, J., 1983. Source identification of aromatic hydrocarbons in sediments using GC/MS. *Environmental Science Technology* 17, 282-286.
- Statham, P.J., 1985. The determination of dissolved manganese and cadmium in sea water at low nmol l<sup>-1</sup> concentrations by chelation and extraction followed by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytical Chimica et Acta* 169, 149-159.
- Stenner, R.D., and G. Nickless. 1974. Absorption of cadmium, copper and zinc by dog whelks in the Bristol Channel. *Nature* 247:198-199
- Sugimura, Y., and Suzuki, Y., 1988. A high-temperature catalytic oxidation method of the determination of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of a liquid sample. *Marine Chemistry* 24, 105-131.
- Sullivan, B.K., J.R. Garcia and G. Klein-Macphee, 1994. Prey selection by the Scyphomedusan predator *Aurelia aurita*. *Mar. Biol.*, 121, 335-341.
- Tomas, C.R. 1996. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press, Inc. 428 ~ 441.
- Toshihiro, U., Nagao, S., Yamamoto, M., Suzuki, K., Kudo, I., Montanini, S., Noda, A., and Minagawa, M., 2006. Distribution and source of organic matter in surficial sediments on the shelf and slope off Tokachi, western North Pacific, inferred from C and N stable isotope and C/N ratios. *Marine Chemistry* 98, 241-259.
- Turner, J.T., 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zoological Studies*, 43, 255-266.
- UNESCO, 1979. *Zooplankton fixation and preservation*. UNESCO press, Paris:1-350.
- Uye, S. and K. Sano, 1998. Seasonal variation in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet.

- Mar. Eco. Prog. Ser., 163, 37-44.
- Uye, S.I., N. Nagano, and H. Tamaki. 1996. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, 52, 689-703.
- Valderrama, J.C. 1981. The simultaneous analysis of total N and P in natural waters. *Marine Chemistry* 10, 1009-1022.
- Van den Broek, W.L.F. 1979. Seasonal levels of chlorinated hydrocarbons and heavy metals in fish and brown shrimps from the Medway Estuary, Kent. *Environmental Pollution*. 19:21-38.
- Verity, P.G. 1985. Grazing, respiration, excretion and growth rates of tintinnids. *Limnol. Oceanogr.*, 30, 1268-1282.
- Vollenweider RA, Giovanardi F, Montanari G, Rinaldi A. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 9:329-357
- Von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth(Inquiries on growth laws. II). *Human Biol.*, 10: 181-213.
- Widdows, J., M.D.Brinsley, N. Bowley, C. Barrett. 1998. A benthic annular flume for in situ measurement of suspension feeding/Biodeposition rates and erosion potential of intertidal cohesive sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 34: 557-577.
- Windom, H.L. and R.G. Smith Jr. 1991. Suspended particulate sampling and analysis for trace elements. eds by American Geophysical Union In *Marine Particles: Analysis and Characterization*. Geophy. Mono. No. 63, p317-320.
- Windom, H.L., Schropp, S.J., Calder, F.D., Ryan, J.D., Smith, R.G., Burney, L.C., Lewis, F.G., Rawlinson, C.H., 1989. Natural trace metal concentrations in estuarine and coastal marine sediment of the southeastern United States. *Environmental Science Technology* 23, 314-320.
- Windom, H.L., Smith Jr. R.G., 1991. Suspended particulate sampling and analysis for trace elements. eds by American Geophysical Union In *marine Particles: Analysis and Characterization*. Geophy. Mono 63, 317-320.
- Wolff, W.J. 1983. Estuarine benthos. In: Ketchum, B.H. (ed) *Ecosystems of the world.*, Vol. 26. Estuaries and enclosed seas. Elsevier, Amsterdam, pp. 152-182.
- Yamaji I., 1980. Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ., 45, 160-188.
- Yamaji, I. 1980. Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ., 45, 160-188.
- Yoo J.S., J.H. Lee, Y.H. Kim, and I.K. Lee. 1992. Fluctuation of phytoplankton biomass and primary productivity in closed marine ecosystem, Inchon Dock. *Korean J. Bot.* 35(4): 323-332
- Yoo, K.I. and Y.O. Kim. 1990. Taxonomical studies on tintinnids(protozoa: Ciliata) in

- Korean coastal waters. 2. Yongil Bay. Korean J. Syst. Zool., 4, 67-90.
- Yoo, K.I., D.Y. Kim, and Y.O. Kim. 1988. Taxonomical studies on tintinnids(protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters. 1. Chinhae Bay. Korean J. Syst. Zool., 4, 67-90.
- Young, D.R., T.K. Jan, and T.C. Heesen. 1978. Cycling of trace metal chlorinated hydrocarbon wastes in the southern California Bight. In; M.L. Wiley (ed), Estuarine interactions. Academic Press, New York, pp 481-496.
- Öztürk, M. 1995. Trends of trace metal (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb) distribution at the oxic-anoxic interface and in sulfidic water of the Drammensfjord. *Mar. Chem.*, 48, 329-342.