

제 2 차년도
연차보고서

BSPE 97610-00-1035-4

시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(2차년도)

A Study on Environmental Changes
in Shihwa Lake

1998. 2

연구기관
한국해양연구소

해양수산부

제 출 문

해양수산부장관 귀하

본 보고서를 “시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(2차년도)”의 보고서로 제출합니다.

1998년 2월

한국해양연구소

총괄연구책임자 : 김은수

분야책임자

해양생태계분야 : 이재학

지 질 분 야 : 이회일

요 약 문

I. 제 목

시화호의 환경변화조사 및 보전대책수립에 관한 연구

II. 연구개발의 필요성 및 목적

1. 수질분야

시화호 방조제 축조 계획당시에는 주변도시가 개발되기 이전이었기에 시화호가 깨끗한 담수호로 조성되리라고 예상하였지만, 주변유역에 공단 및 주거단지가 형성됨에 따라 많은 양의 오염물질이 유입되어 환경개선이라는 큰 과제가 대두되었다. 더구나 안산하수처리장의 용량부족으로 상당기간 동안 생활하수 및 공장폐수가 그대로 유입되었을 뿐만 아니라, 반월공단의 폐수관의 상당수가 우수토구와 연결되어 있어 오염을 더욱 가중시켜 왔다. 이러한 문제가 발생함에 따라 시화호 관련기관에서는 시화호로 유입되는 배수구 및 하천을 정비를 계속적으로 수행하고 있으며, 산화지, 환배수로 설치 및 방조제 밖의 외해수를 시화호로 유입하는 등 환경개선에 노력을 해왔다. 이러한 결과 시화호로 유입되는 오염물질의 양이 변화하고, 외해수의 유입으로 시화호내에서 화학물질의 반응이 달라지므로 해서 시화호의 수질환경은 크게 변화하고 있다.

지금까지의 시화호 및 주변조사결과를 보면, 시화호방조제내의 저서생물생태 및 환경오염수준의 조사결과에서 오염도의 수준이 심화되고 있는 것으로 나타났으며, 94~95년 2년간의 농진공 연구소의 연구결과에서도 하천을 통한 농축산 배설물, 공장폐수 및 생활하수의 유입이 매우 많아 유기물과 중금속에 크게 오염되어 있는 것으로 나타났다. 최근에는 인하대에서 시화호에 대한 연구결과가 발표되었다. 그러나 지금까지의 조사로는 시화호의 환경을 파악하기에 부족한 부분이 많으며, 지속적으로 연구하지 않으면 시화호의 환경을 정확히 알 수 없는 실정이다. 더구나 앞에서 언급한 바와 같이 시화호의 환경은 시간에 따라 변화하므로 이러한 변화에 맞추어 조사를 하지 않으면 시화호 보전을 위한 대책을 마련할 없으므로 계속적인 조사가 필요하다고 본다.

한국해양연구소에서는 96년부터 시화호 내부 및 주변환경을 종합적으로 조사하여 오염실태 및 수질변화를 감시분석하고, 시화호의 환경을 복원하기 위한 기본자료를 제공하는 것을 목적으로 본 연구를 수행하고 있다.

2. 해양생태계 변화

시화 방조제의 건설로 인하여 인위적으로 조성된 시화호의 저서생태계에 대한 연구는 시화호의 오염도와 생태학적 환경의 영향평가를 위해 시작된 과제로서, 이지역과 같이 연안개발로 인한 환경오염지역이 날로 증가하는 국내의 실정으로 볼때 이 지역에 대한 종합적이고 세밀한 생태학적 감시가 절실히 필요하다.

시화 방조제내의 저서생물의 변화는 이지역의 환경과 오염수준을 말해주고 환경변화에 따른 생물군의 변화를 나타낸다. 그러나 실제로 환경요인에 따른 생물상의 변화요인은 아직 많은 부분이 밝혀지지 않은 실정이고, 그 생태학적 환경변화에 대한 연구가 미흡한 상황이다. 따라서 이번 연구의 목적은 시화호의 환경변화에 따른 생태학적 변화에 대한 연구로서 시화호의 생태환경을 종합적으로 파악하기 위한 것이다.

3. 지화학적 환경변화

시화호는 방조제 건설에 의해서 조건대환경에서 폐쇄된 호수환경으로 인위적인 퇴적환경 변화가 일어났다. 모든 자연환경은 스스로가 평형상태를 유지하려는 생명력을 가지고 있다. 인위적으로 형성된 시화호 퇴적환경도 평형상태를 향하여 활발한 퇴적물 이동 및 집적 작용이 일어날 것이다. 시화호의 표층퇴적물과 수층의 부유퇴적물은 현재의 퇴적기작 해석이 가능할 것이고 시추퇴적물은 과거의 퇴적환경을 유추할 수 있을 것이다. 이에 의해서 시화호의 미래에 대한 예측도 가능할 것이다.

III. 연구개발의 내용

1. 수질분야

0 연속수질 모니터링 관측소의 운영

- 수온, 염분, pH, 용존산소의 연속관측
- COD 자동측정장치의 설치

0 수질 및 퇴적변화 연구

- 시추퇴적물의 유기오염물질 및 중금속 농도
- 시화호 유입수 및 수질변화 조사

- 시화호 어류의 중금속 농도 분석

2. 생태학적 환경변화 연구

- 저서생물군집의 종조성변화 연구

- 부유군집생물의 분포

- 퇴적도 및 수층의 미생물 분포 및 세균활성

3. 지화학적 환경변화 연구

- 표층퇴적물의 특성과 공간분포 해석에 의한 현생 퇴적환경 해석

- 시추퇴적물의 퇴적상연구에 의한 퇴적환경 변화 유추

- 시화호 수층의 부유퇴적물 특성 분석에 의한 현생 퇴적기작 해석

VI. 연구개발의 결과

1. 수질분야

가. 96년 조사에 의하면, 여름철에는 수심 6~8m 부근에서 성층이 형성되어 저층은 환원성 환경을 유지하며, 상층은 시화호 전역이 담수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 97년 7월 이후에는 외해수의 정기적인 유입으로 큰 변화를 가져왔다. 시화호의 물은 정체되어 있으므로 표층에서는 강한 일사량으로 플랑크톤 증식이 왕성하여 COD 및 클로로필의 양을 증가시키고 있으며, 외해수의 유입으로 해수와 담수의 경계층이 96년도 보다 얇은 3~3.5m층에서 형성되었다. 이 경계면 이하의 수심에는 표층에서 생성된 유기물이 침강하면서 산소를 소비하여 분해되므로 무산소층으로 되어 있다.

나. 표층에서의 COD분포는 97년에는 11.0~30.9mg/l로 96년의 5.1~13.6mg/l 보다 높게 나타났다. 전체적인 분포양상은 하천수가 유입되는 반월공단앞 지역에서 높은 경향을 보이고, 호내로 들어오면서 낮은 값을 보이고 있다. 그러나, 9월 30일과 12월 29일 조사에서는 오히려 호의 중앙지역에서 높게 나타나고 있는데, 이것은 육상에서 들어오는 부하량보다 호내에서 플랑크톤에 의해 생성되는 것이 많다는 것을 의미한다. 총COD와 여과한 시료의 COD를 비교해 보면, 여과한 시료의 COD가 총COD의 상당부분을 차지하는 것으로 나타났다. 조사기간중 총COD의 평균은 18.5mg/l(변화범위는 11.0~30.9mg/l)이고, 여과한 시료의 평균은

10.4mg/l(변화범위는 5.2~18.4mg/l)이다.

다. 97년에 2회 조사한 표층 POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 6월에 -19.3~-21.7‰, 8월에 -16.8~-24.3‰로 8월에 변화가 크게 나타났다. 6월에는 호내의 물을 방류만을 계속했기 때문에 전체적으로 균일한 값을 보이고, 8월에는 강우로 하천수의 유입이 많고, 방류 및 유입으로 외해수가 유입되는 지역과 하천수가 유입되는 지역간에 변화가 있는 것으로 나타났다.

라. 시화호 중앙지역의 표에서 12.9ml/l, 포화도 176%로 매우 높았으며, 2m층에서도 10.2ml/l(포화도 137%)로 높게 나타났다. 그러나, 4m층이하에서는 <0.1ml/l 이하로 무산소층을 이루고 있었다. 96년 조사에서는 수심 8m까지 포화되어 있었으나, 97년에는 위에서 기술한 바와같이 외해수의 유입으로 담수와 해수의 경계층이 3~3.5m에서 형성됨으로서 그 이하에서는 무산소층을 이루는 것이다. 9월 이후 조사에서도 성층아래 수심에는 무산소층을 이루고 있었으며, 무산소층은 12월 조사에서는 발견되지 않았다.

마. H_2S 는 중간수층에서 높게 나타나고 있는데, 대부분의 H_2S 가 저층 퇴적물에서 용출하는 것이 아니라, 외해수중에 함유되어 있는 황산염의 일부가 시화호의 수층에서 H_2S 로 전환되는 것으로 판단된다. 생성된 황화수소가 상층으로 확산되어 표층에서 산화되는데, 생성된 황의 입자에 의해 해수면의 색깔이 옅은 청색으로 변하는 청조현상이 발견되었다.

바. 96년 조사에 의하면, 시화호는 계절에 따라 저층이 환원상태로 유지되고 있는 곳이 많은데, 이러한 곳에서는 산화형 물질은 환원되어 거의 존재하지 않고, 환원형 물질이 높게 나타나고 있다. 담수층과 해수층의 경계면 이하의 무산소층에서는 질산염이 거의 없는 것으로 나타났으며, 저층에서 용출된 영양염이 상층으로 확산되는 것으로 나타났다.

나. 표층수중의 용존성 중금속은 대체로 공단토구에 가까운 정점들에서 높게 나타났다. 표층의 입자성 중금속은 공단토구를 통해 유입되는 폐수의 영향으로 토구주변의 정점들에서 자연상태보다 매우 높은 함량을 보이고 있었으며, 전년도 보고서에 언급되었듯이 용존성 중금속도 토구주변에서 높게 나타났다. 관로 오점 및 파손에 의해 산업 폐수가 토구를 통해 유입되고, 이들 폐수에 포함된 중금속

이 호수내의 중금속 농도를 상승시킨 주요 원인이며, 호수내에서 제반과정을 거쳐 퇴적물에 축적되는 것이다.

사. 수층별 중금속은 97년 4월에 가장 높았다. 이것은 하천 및 공단토구를 통한 지속적인 유입에 의한 것으로 판단되며, 97년 8월과 10월에는 오염된 시화호 물의 지속적인 방류와 상대적으로 깨끗한 외해수의 유입과 함께 공단토구를 통해 유입되던 폐수를 차집관로의 완공으로 인한 중금속 오염부하가 감소되었기 때문에 호수내 중금속 농도가 급격히 감소하였으며, 이에 따라 수직적인 용존성 및 입자성 중금속 농도도 4월에 비해 97년 8월과 10월에는 매우 낮게 나타났다.

아. 시화호로 유입하는 하천과 공단토구의 총 중금속 농도는 비록 낮은 농도를 보이는 것도 있으나 해양에 비해 수배이상이며, 높은 것은 수백~수천배의 이상으로 나타났다. 공단토구 배출수의 차집관로 공사가 완공되어 공단토구를 통한 중금속 유입은 차단되었으나, 신길천과 기타 하천들은 아직 시화호로 유입되고 있다.

자. 시화호내 방아머리와 어도에서 채취된 농어 등 어류와 새우등의 중금속 함량은 시판중인 어류중의 중금속과 비슷하거나 낮은 수준이다. 조사된 생물의 납과 수은 함량은 기준치보다 매우 낮은 수준이며, 다른 중금속의 함량에 대해서 보면 호주의 규제 기준에 포함되어 있는 구리, 카드뮴, 아연 경우도 시화호 어류는 기준치보다 매우 낮다.

2. 해양생태계 변화

가. 생물상 조사에서는 일부 종을 제외하고는 8월 이후에 급격히 증가하는 양상을 보여주고 있으며 각 정점의 저층 용존산소량의 변화와 생물의 개체수, 종수의 변화가 매우 유사한 분포유형을 보여주고 있었다. 즉, 시화호의 저서군집이 저서환경이 호전됨에 따라 급격히 변화하고 있어 특히 용존산소량에 의하여 분포 범위가 큰 영향을 받았음을 시사하고 있다. 이러한 사실은 정점 11에서의 용존산소량 분포와 생물 분포유형을 통하여 더 확연해진다. 즉, 겨울철에 빈산소 수괴를 형성한 지역은 생물의 가입도 나타나고 있지 않다. 또한 공간적 분포에서 고려되어야 할 지역으로 정점 9의 환경특성을 들 수 있다. 이 정점은 다른 정점과 달리 표층과 저층의 수괴가 전 조사기간에 걸쳐 거의 유사한 환경변수값을 나타냈다.

이것은 정점 9가 수심이 낮고 시화호내 주수로에서 벗어나 직접적인 해수 유입과 방류로부터 보호받을수 있는 지점에 위치하고 있기 때문으로 여겨진다. 이러한 잇점 때문인지 정점 9는 모든 정점 중 가장 높은 개체수와 종수를 기록하였으며, 시간적으로 생물이 가장 먼저 분포하기 시작한 사실을 볼 수 있다.

나. 생물상 조사에서 겨울철에 호전된 양상을 보이는 가운데 저서군집을 구성하는 생물들 대부분이 기회종으로 구성되어 있어 군집형성 초기단계를 나타내고 있다. 그러나 여름철마다 반복되는 빈산소 수괴의 형성이 안정화되는 과정을 방해하고 있으며, 1997년부터 실시되고 있는 시화호 수질개선을 위한 해수 유입이 저서 생태계 내에서도 생물 유생의 공급을 유도하기 때문에 또 다른 저서 생태계가 형성 될 수 있을 것으로 생각된다.

다. 총세균수, 종속영양세균수, 분변성대장균군 및 기질전환율의 관점에서 볼 때 시화호의 세균활성은 대단히 높은 것으로 나타나 상시적인 유기물 오염이 있는 것으로 평가된다. 특히 정점 3을 비롯한 시화호 상부지역의 오염도는 심각한 수준인 것으로 사료된다. 정점 3의 경우 지속적으로 높은 분변성오염이 검출되는 것으로 보아 지천을 통해 유입되는 하수가 충분히 정화되지 않은 채로 들어오는 것으로 보이며 이에 대한 대응책이 요구된다. 퇴적토의 경우에도 종속영양세균수와 황산염환원세균수가 많고 황산염환원력도 일반적인 자연환경에 비해 매우 높은 것으로 나타났으며 황산염환원력과 환원세균수가 증가하는 경향을 보여 점차적으로 혐기성세균 이외의 생물이 서식하기에는 부적합한 환경이 조성되고 있는 것으로 판단된다. 퇴적환경의 경우 외부로부터의 유기물유입 차단과 함께 폭기 등의 방법을 통한 인위적인 산소의 공급도 필요할 것으로 생각된다.

3. 지화학적 환경변화

가. 시화호의 표층퇴적물은 지리적 위치 및 해저지형에 의해서 구분되며, 수심 10 m 이상의 호수주로는 암색의 뿔퇴적물들이 우세하며, 수심 5 m 미만의 호수주변부에서는 조개파편이 포함된 모래질 뿔퇴적물과 균질한 뿔퇴적물이 분포한다. 암색의 뿔퇴적물은 수층에서 공급되는 많은 양의 유기물과 폐쇄적인 물리환경에 의한 무산소 또는 저산소 환경의 형성에 의해서 퇴적된 것으로 추론된다. 그리고 조개파편이 포함된 모래질 뿔퇴적물과 균질한 뿔퇴적물들은 조간대 퇴적층의 재동 또는 잔류퇴적물로 해석된다. 대부분의 표층퇴적물에는 저서생물

의 교란에 의한 수직방향의 생흔구조가 흔히 관찰되는데, 이것은 현재 다양한 생물종이 시화호에 서식하고 있는 증거이다.

나. 시화호에서 채취된 시추퇴적물들은 지리적인 위치에 의해서 아주 큰 차이를 보인다. 시화방조제 배수갑문 주변은 조개파편들을 포함하는 모래질 빨퇴적상들은 방조제형성 이후에 재동되어 공급되었거나 또는 그 정점들이 방조제 형성 이후에 무퇴적 또는 침식환경이 형성되었음을 시사한다. 균질한 빨퇴적상은 호수 주변부에 우세한 퇴적상의 하나이며, 호수주변부는 쇄설성 퇴적물과 유기물의 공급이 미약하였음을 지시한다. 시화호내에 위치하는 음도를 기준으로 시화호 내측은 층리가 발달하는 빨 또는 모래질 빨퇴적물이 아주 두껍게 퇴적되어 있다. 이 퇴적상은 반월궁단 및 안산천에서의 세립질 퇴적물의 유입 또는 조간대의 세립질 퇴적물의 재동등에 의해서 퇴적된 것으로 해석된다.

다. 시화호의 현생 퇴적기작을 해석하기 위해서 1997년 3월과 6월에 수층의 부유퇴적물 함량을 실측하였다. 1997년 3월의 부유퇴적물의 함량은 2.8~35.0 mg/l 범위로 호수수로에 위치하는 97S26 정점에서 35.0 mg/l로 가장 높게 나타났다. 이 정점을 중심으로 배수갑문 또는 음도를 향하여 점진적인 감소를 보인다. 전체적으로 5.0~10.0 mg/l의 함량이 가장 우세하다. 동시기에 실시한 표층퇴적물의 분석에서 호수수로부근에 암색의 표층퇴적물이 관찰되었다. 호수수로부근에서 높은 함량을 갖는 부유퇴적물들은 대부분이 유기물로 구성되며, 이들은 대부분이 제자리에 퇴적되어 해저면을 환원상태로 야기시키는 것으로 추론된다. 1997년 6월의 부유퇴적물 함량은 2.67~31.33 mg/l로 동년 3월에 비해 최대 함량값은 다소 감소하였지만 전체적으로 10.0~20.0 mg/l의 함량이 우세하므로 시화호 표층수의 부유퇴적물 함량은 동년 3월보다 증가한 것이다.

V. 활용에 대한 건의

1. 수질분야

가. 시화호의 심각한 환경문제에 비하여 조사연구는 빈약한 실정이며, 자료 또한 충분치 못하다. 따라서 본 조사결과는 시화호의 수질을 정확히 판단하는데 도움을 줄 것으로 예상된다.

나. 시화호의 수질개선을 위해서는 유입되는 오염물질의 차단, 하수처리장의

설치 및 시화호내의 오염물질의 제거 등 종합적인 계획이 필요하다. 본 연구가 끝나는 98년도에는 이러한 계획을 수립하는데 필요한 자료를 제공해 줄 것으로 예상된다.

다. 국내에는 시화호외에도 많은 인공호가 조성되어 있어, 시화호를 꾸준히 연구함으로써 인공호의 진화 및 오염역사를 연구하는데 도움을 줄 것이다. 또한, 앞으로 인공호의 조성을 위한 기초자료를 활용될 것이다.

2. 해양생태계 변화

가. 방조제 건설에 따른 호수내의 생태계변화에 관한 결과는 매우 적으므로 향후 이와 유사한 지역에 대한 생태계의 변화를 예측할 수 있는 자료로서 활용할 수 있다.

나. 부영양화가 반복되고 있는 호수내의 생물분포상황은 생태계 각 분야의 현장 실험 장소로서의 역할을 할 수 있다.

다. 시화호는 수질개선의 많은 안들이 실제로 활용될 수 있는 모델 현장으로서 그 개선효과를 증명할 수 있는 실험장의 역할을 할 것으로 추측되어 지속적인 모니터링이 요구된다.

3. 해양지질분야

시화호의 퇴적환경변화에 의한 퇴적물의 이동 및 집적양상은 밝혀졌으나, 정량적인 퇴적을 측정을 위한 ^{210}Pb 방법이 요구된다. 방조제 건설이후 환경변화와 함께 심각하게 일어나고 있는 오염정도를 파악하기 위해 퇴적물의 오염정도를 분석하고 있다. 특히 퇴적물을 구성하고 있는 미고생물들의 변형 또는 변종의 연구는 필수적이다. 그리고 해저지형자료 및 퇴적환경의 연구는 생물학적, 지화학적으로 해석에 유용한 자료로 활용 될 수 있다.

SUMMARY

The water columns in Shihwa Lake were depleted in nitrate and nitrite, while the underlying anoxic waters contained high levels of hydrogen sulfide, ammonia, phosphate and silica. Input of the outer seawater may play an important role in the rapid recycling of these species from bottom waters. Sulfide levels in water columns reached maximum concentration of 0.6mM. Chemical oxygen demand(COD) of the surface waters were higher than those of 1996' results. In the anoxic zone, dissolved heavy metals show complexed patterns by ligand with sulfides produced in bottom waters. On the other hand, the biota collected from Shihwa Lake were depleted in metals relative to general marine fishes. A high degree of anoxia seemed to us to be a ideal environment for study of geochemical processes in an anoxic water environment.

Spatial patterns and temporal succession in soft-bottom macroinvertebrate assemblages and its environmental conditions, such as water temperature, salinity, dissolved oxygen, were described for an area of the Shihwa Lake for 1996. The eight benthic stations were sampled using Van veen grab(0.1m²) per month from February to December.

A total of 26 species, 1,041 ind/m² were sampled, and dominant species were composed to opportunistic species. Total number of species was declined but increased in abundance comparing to 1994, 1995. So, we supposed that the benthic environment in Shihwa lake have unstable conditions and the dissolved oxygen in the bottom layer affect to macroinvertebrate assemblages, especially.

Phytoplankton cell concentrations were high more than 10³ cells ml⁻¹ through the whole survey period. In some cases it reaches very high level over 10⁵ cells ml⁻¹ like a culture condition in a lab. In the case of each survey the phytoplankton assemblage comprises one or two dominant species. In July and October, *Cylindrotheca closterium* (a diatom species) predominated over the whole assemblage, and a euglenoid and *Prorocentrum minimum* (a dinoflagellate species) in December.

Distribution of the total bacterial number, heterotrophic bacteria and

fecal coliforms in water columns of Shihwa Lake was excessively higher than natural environments. Especially in site 3, fecal coliforms were constantly detected. Heterotrophic activities measured by the turn-over rate of ^{14}C -leucine was ranged 4 to 92%/hr during investigation period. In half of cases turn-over rate was higher than 50%/hr. It means the continuous input of organic matters into water column. Number of sulfate reducing bacteria and sulfate reducing rates in sediment samples were slightly increased during investigation period.

Sediment transport and accumulation of the Shihwa Lake are affected by a lacustrine channel and geographical position. In the lacustrine channel is covered by a dark-color mud, which was formed in an anoxic condition, i.e., by input of high organic matters and/or restricted water circulations. It would be derived from *in-situ* settling of organic matter above the water column. Whereas, surface bottom sediments, obtained from the shallow marginal lake, consist of a relict sediment of paleo-tidal flat or few light-color mud was deposited. Now, suspended sediment concentrations above the lacustrine channel is higher than that of marginal lake. It can be used for evidence that the distribution of dark-color mud only was concentrated in the lacustrine channel.

Characteristics of core sediments in the Shihwa Lake show that the lacustrine channel is in a process of deposition which is mostly a result of reworked sediments. Whereas marginal lake is in a process of non-deposition or erosion. Recent sediment accumulation is higher in the inner Shihwa Lake than that of around the Shihwa seawall.

CONTENTS

List of Tables	17
List of Figures	19
Chapter I. Environment of Shihwa Lake	23
Chapter II. Studies on water quality	29
Section 1. Introduction	31
Section 2. Methods of survey and analysis	33
1. Methods of sampling and sample preservation	33
2. Methods of analysis	34
Section 3. Results and discussion	39
1. General water parameters in the surface waters	39
2. General water parameters in the water columns	45
3. Heavy metals in the surface waters	53
4. Heavy metals in the water columns	54
5. Heavy metals of stream and storm waters	55
6. Heavy metals in the sediment core	57
7. Heavy metals in the biota	58
References	60
Appendix II-1~4	93
Chapter III. Studies on marine ecology	111
Section 1. Introduction	113
Section 2. Methods of survey and analysis	115
1. Methods of sampling and sample preservation	115
2. Methods of analysis	116
Section 3. Results and discussion	119
1. Phytoplankton	119
2. Benthic environment	120
3. Benthic ecological environment	122
4. Microorganisms and activities of microorganisms	127
References	131

Appendix III-B	159
Chapter IV. Studies on geological character	163
Section 1. Introduction	165
Section 2. Methods of survey and analysis	166
1. Sediment characteristics	166
2. Geochemical characteristics of sediment	166
Section 3. Results and Discussion	169
1. Surface sediments	169
2. Core sediments	171
3. Suspended sediments	173
References	175
Chapter V. Water quality monitoring system	213
Section 1. Introduction	215
Section 2. Methods of study	217
Section 3. Results and Discussion	228
References	230

목 차

표목차	17
그림목차	19
제 I 장 시화호의 환경	23
제 II 장 수질분야	29
제1절 서설	31
제2절 조사 및 분석방법	33
1. 시료채취 및 보존방법	33
2. 분석방법	34
제3절 결과 및 고찰	39
1. 표층수에서의 일반수질 변화	39
2. 수층별 조사에서의 일반수질 변화	45
3. 표층수에서의 중금속	53
4. 수층별조사에서의 중금속	54
5. 공단토구 및 하천수중의 중금속	55
6. 주상퇴적물의 중금속	57
7. 생물중의 중금속	58
참고문헌	60
부록 II-1~4	93
제 III 장 해양생태계분야	111
제 1 절 서설	113
제 2 절 조사 및 분석방법	115
1. 시료채취 및 보존방법	115
2. 분석방법	116
제 3 절 결과 및 고찰	119
1. 식물플랑크톤	119
2. 저서환경	120
3. 저서생태환경	122
4. 미생물분포 및 활성	127
참고문헌	131
부록 III-B	159

제 IV 장 지질분야	163
제 1 절 서설	165
제 2 절 조사 및 분석방법	166
1. 시료채취	166
2. 실내분석	166
제 3 절 결과 및 고찰	169
1. 표층퇴적물	169
2. 시추퇴적물	171
3. 부유퇴적물	173
참고문헌	175
제 V 장 수질모니터링 시스템	213
제1절 서설	215
제2절 연구방법	217
제3절 결과 및 고찰	228
참고문헌	230

List of Tables

Table II-1. Sampling stations of the rainwater sewers around Shihwa Lake.	92
Table II-2. Regulation of heavy metals in the marine biota of each countries and data in Korea.	92
Table III-B-1. Faunal composition between major taxonomic groups.	155
Table III-B-2. Comparison of faunal composition and field data for 3-year.	155
Table III-B-3. Comparison of abundance and biomass between dominant species.(Cr.: Crustacea, Po.: Polychaeta)	155
Table III-B-4. Environmental and biological characteristics of each functional groups by cluster analysis.	156
Table III-C-1. The composition of AMR media and Medium B.	157
Table III-C-2. Seasonal distribution of Sulfate Reducing bacteria(cells/ml) at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.	158
Table III-C-3. Seasonal distribution of Sulfate reduction rates(μ M/ml/day) at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.	158
Table IV-1. Location of grab sample and suspended sediment sites in the Shihwa Lake.	202
Table IV-2. Textural composition, sediment type and mean grain size of grab samples.	203
Table IV-3. Location of gravity core sites and water depth in the Shihwa Lake.	204
Table IV-4. Textural composition, sediment type, water content, and shear strength of gravity cores.	205
Table IV-5. Concentration of total suspended sediments in water column, during March, 1997.	209
Table IV-6. Location of suspended sediment sites in the Shihwa Lake.	210
Table IV-7. Concentration of total suspended sediments in the water column, during June, 1997.	211
Table V-1. Data collected from the water quality system of Shihwa Lake.	226

Introduction

The purpose of this document is to provide a comprehensive overview of the project's objectives, scope, and methodology. The project aims to develop a robust system that addresses the challenges faced by the organization in the current market environment. The scope of the project includes the design, development, and deployment of a new software solution that will streamline operations and improve efficiency. The methodology adopted for this project is a structured approach that involves the following steps:

- Requirement Gathering: This phase involves identifying the needs and expectations of the stakeholders. It includes conducting interviews, workshops, and surveys to gather detailed information about the project's goals and constraints.
- Analysis: In this stage, the gathered requirements are analyzed to determine the feasibility of the project and to identify any potential risks or challenges. This involves creating a detailed project plan and a risk management strategy.
- Design: The design phase focuses on creating a detailed architectural blueprint for the system. This includes defining the system's components, data flow, and user interface. The design is reviewed and approved by the project sponsor and stakeholders.
- Development: The development phase involves the actual coding and implementation of the system. This is done in a structured manner, following the design specifications and using agile development practices to ensure flexibility and responsiveness to changes.
- Testing: The testing phase is crucial for ensuring the quality and reliability of the system. It involves conducting various types of tests, including unit tests, integration tests, and user acceptance tests, to identify and resolve any defects or issues.
- Deployment: The final phase of the project is the deployment of the system into the production environment. This involves careful planning and coordination to ensure a smooth transition and minimal disruption to the organization's operations.

The project is expected to deliver significant benefits to the organization, including improved operational efficiency, reduced costs, and enhanced customer satisfaction. The success of the project will depend on the effective collaboration and communication between all project team members and stakeholders. The project manager will provide regular updates and reports to the project sponsor and stakeholders to ensure transparency and accountability throughout the project lifecycle.

List of Figures

Fig. II-1. Location of sampling stations.	62
Fig. II-2. Water changes in summer and autumn of Shihwa Lake.	63
Fig. II-3. Distributions of salinity(‰) in the surface waters of Shihwa Lake.	64
Fig. II-4. Distributions of pH in the surface waters of Shihwa Lake.	65
Fig. II-5. Distributions of Chlorophyll- <i>a</i> ($\mu\text{g/l}$) in the surface waters of Shihwa Lake.	66
Fig. II-6. Distributions of COD(mg/l) in the surface waters of Shihwa Lake.	67
Fig. II-7. COD variations of non-filtered vs. filtered samples in the surface waters of Shihwa Lake.	68
Fig. II-8. Correlations of (top) COD of non-filtered vs. filtered samples and (bottom) COD vs. Chlorophyll- <i>a</i>	69
Fig. II-9. Distributions of $\delta^{13}\text{C}$ ratios of particulate organic matters in the surface waters of Shihwa Lake.	70
Fig. II-10. Vertical profiles of temperature, salinity and pH at St. 13 of Shihwa Lake.	71
Fig. II-11. Vertical profiles of DO and H ₂ S at St. 13 of Shihwa Lake.	72
Fig. II-12. Vertical profiles of COD, Chlorophyll- <i>a</i> , SS and POC at St. 13 of Shihwa Lake.	73
Fig. II-13. Vertical profiles of nutrients at St. 13 of Shihwa Lake.	74
Fig. II-14. N/P and Si/P ratios at St. 13 of Shihwa Lake.	75
Fig. II-15. Correlations of NH ₄ vs. PO ₄ , H ₂ S vs. PO ₄ , and A _T vs. H ₂ S below the chemocline at St. 13 of Shihwa Lake.	76
Fig. II-16. Distribution of heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake.	77
Fig. II-17. Vertical profiles of heavy metals in Shihwa Lake(96. 10. 21).	79

Fig. II-18. Seasonal variations of dissolved heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake.	83
Fig. II-19. Vertical profiles of heavy metal contents in the sediment core of St. 5 in Shihwa lake.	84
Fig. II-20. Heavy metal contents in fishes and shrimps collected from Shihwa Lake.	85
Fig. III-A-1. Phytoplankton cell concentration in Shihwa Lake.	134
Fig. III-A-2. Species composition of phytoplankton assemblage in Shihwa Lake (NC: <i>Cylindrotheca closterium</i> , NA: <i>Navicula</i> sp., PM: <i>Prorocentrum minimum</i> , EG: euglenoid).	135
Fig. III-B-1. A map showing the sampling site.	136
Fig. III-B-2. Monthly variation of water temperature(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).	137
Fig. III-B-3. Monthly variation of salinity(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).	138
Fig. III-B-4. Monthly variation of dissolved oxygen(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).	139
Fig. III-B-5. Faunal composition of benthic community in terms of total number of species, abundance and biomass.	140
Fig. III-B-6. Monthly variation of faunal composition of benthic community in Shihwa lake.	141
Fig. III-B-7. Faunal composition of benthic community at each station.	142
Fig. III-B-8. Monthly variation of abundance of characteristic species in Shihwa lake.	143
Fig. III-B-9. Monthly variation of biomass of characteristic species in Shihwa lake.	143
Fig. III-B-10. Spatio-temporal variation of 5 dominant species in Shihwa lake.	144
Fig. III-B-11. Dendrogram showing clusters of each station for sampling period.	146
Fig. III-B-12. Vertical distribution of water temperature and salinity at each station.(deep purple color: December, 1996, green color: March, 1996, red color: June, 1996, violet color: September, 1996)	147

Fig. III-B-13. Monthly variation of dissolved oxygen at each station. (a solid line: surface, a broken line: bottom)	148
Fig. III-B-14. Monthly variation of number of species and abundance at each station(a solid line: number of species, a broken line: abundance).	149
Fig. III-C-1. Seasonal distribution of total bacterial number at each site of Shihwa Lake in 1997.	150
Fig. III-C-2. Seasonal distribution of heterotrophic bacteria at each site of Shihwa Lake in 1997.	151
Fig. III-C-3. Seasonal distribution of fecal coliform at each site of Shihwa Lake in 1997.	152
Fig. III-C-4. Seasonal distribution of turn-over rate of ^{14}C -leucine at each site of Shihwa Lake in 1997.	153
Fig. III-C-5. Seasonal distribution of turn-over rate of ^{14}C -acetate and ^3H -glucose at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.	154
Fig. IV-1. Map of grab sampling sites of the Shihwa Lake.	176
Fig. IV-2. Schematic descriptions of grab sediment from 97S1 to 97S8 stations.	177
Fig. IV-3. Schematic descriptions of grab sediment from 97S9 to 97S16 stations.	178
Fig. IV-4. Schematic descriptions of grab sediment from 97S17 to 97S24 stations.	179
Fig. IV-5. Schematic descriptions of grab sediment from 97S25 to 97S27 stations.	180
Fig. IV-6. Map of track survey for precision depth recorder in the Shihwa Lake.	181
Fig. IV-7. Map of detailed bathymetries in line survey.	182
Fig. IV-8. Bathymetry map of in Shihwa Lake based on precision depth recorder.	183
Fig. IV-9. Map of gravity core sites of the Shihwa Lake.	184
Fig. IV-10. X-radiographs of 97S4 and 97S5 core sediments in the Shihwa Lake.	185

Fig. IV-11. Textural parameters of 97S4 and 97S5 core sediments.	186
Fig. IV-12. X-radiographs of 97S13 and 97S27-1 core sediments in the Shihwa Lake.	187
Fig. IV-13. Textural parameters of 97S8 and 97S13 core sediments.	188
Fig. IV-14. Textural parameters of 97S21 and 97S22 core sediments.	189
Fig. IV-15. X-radiographs of 97S23 and 97S35 core sediments in the Shihwa Lake.	190
Fig. IV-16. Textural parameters of 97S23 and 97S24 core sediments.	191
Fig. IV-17. Textural parameters of 97S25 and 97S26 core sediments.	192
Fig. IV-18. X-radiographs of 97S28 and 97S31 core sediments in the Shihwa Lake.	193
Fig. IV-19. Textural parameters of 97S27 and 97S28 core sediments.	194
Fig. IV-20. Textural parameters of 97S29 and 97S31 core sediments.	195
Fig. IV-21. Textural parameters of 97S32 and 97S33 core sediments.	196
Fig. IV-22. Textural parameters of 97S34 and 97S35 core sediments.	197
Fig. IV-23. Textural parameters of 97S36 core sediment.	198
Fig. IV-24. Distribution map of total suspended sediments in the surface water in March, 1997.	199
Fig. IV-25. Vertical variation of total suspended sediments 97S23, 97S24, 97S25, 97S26, and 97S27 stations in the Shihwa Lake.	200
Fig. IV-26. Distribution map of total suspended sediments in the surface water in June, 1997.	201
Fig. V-1. Fluorometer for measuring chlorophyll- <i>a</i>	219
Fig. V-2. Water quality monitoring system established by the side of watergate in Shihwa Lake.	220
Fig. V-3. Water jacket and CTD(SBE 21).	222
Fig. V-4. Systematic diagram of receiving control apparatus.	224
Fig. V-5. Systematic diagram of transmitting control apparatus.	225

제 I 장

시화호의 환경

(ENVIRONMENT OF SHIHWA LAKE)

제 1 절 서 설

시화호내에서 1997에 조사한 수질, 생태계 및 퇴적물의 환경을 요약하면 다음과 같다.

1. 수질변화

표층의 용존산소포화도는 많은 지역에서 130%를 상회하며, 10월 4일 조사에서는 200% 이상을 나타냈다. 여름철에 저층수는 수심이 얇은 곳을 제외하고는 거의 무산소화 되어 있었고, 방조제에 있는 제염암거에 가까운 수심이 깊은 곳은 연중 무산소상태를 유지하고 있다. 이에따라 저층은 환원상태를 유지하고 있어, 암모니아 같은 환원성 물질이 높은 농도를 보였다. 배수갑문 부근은 방류시 저층 퇴적물이 방류수와 같이 외부로 방출되므로, 지난 여름철의 방류후에는 저층수에 상당량의 용존산소가 있는 것으로 나타났다.

표층에서의 화학적산소요구량 및 영양염 농도는 방조제 외해 및 우리나라의 다른 내만에 비하여 매우 높게 나타났으며, 특히 질소화합물의 농도가 높았다. 또한 표층에서는 식물플랑크톤의 증식이 활발하여 클로로필 양이 매우 높게 나타났으며, 이에 따라 부유물질의 양도 매우 높다.

시화호내의 용존성 중금속의 농도는 방조제 축조 이전에 비하여 약 1.5배에서 최고 13배 가량 높은 것으로 나타났다. 이같이 높은 농도의 중금속은 공단구 및 하천을 통하여 많은 양의 중금속이 유입되기 때문이다. 산가용성 및 용존성 중금속중에서 공단토구 및 하천수로부터 유입되는 중금속은 용존성 보다는 입자성 형태로 존재하는 것이 많은 것으로 판단된다.

2. 생태계 변화

시화호의 저서동물은 8개 정점에서 총 25종 평균 637개체/m², 생물량은 2.3g/m²로 나타났다. 이는 출현종수면에서 1994년 3월부터 1995년 3월동안에 같은지역에서 조사되었던 결과 (89종)에 비해 현저한 감소를 보였으며, 생물량도 24.3g/m²에서 10% 수준으로 격감된 것이다. 그러나 개체수면에서는 비슷한 수준 (628 개체/m²)을 나타내었다.

동물군별 종수는 다모류를 포함한 환형동물군이 15종으로 가장 많이 출현하였고, 연체동물군이 6종 절지동물군이 4종이었으나, 개체수면에서는 절지류가 535 개체/m²로 가장 높은 밀도를 보였고, 절지동물이 101 개체/m² 연체동물이 1 개체

/m²로 가장낮은 밀도를 나타내었다.

월별로 본 저서생물군의 종조성을 보면, 95년 6월과 7월에 환형동물이 주종을 이루었고, 95년 8월과 9월에 절지동물만이 출현하였으나 그 개체수가 미미하였다. 그러나 절지동물의 수는 95년 10월에 급격히 증가하여, 11월에 3538 개체/m²에 이르렀고 96년 2월에 104 개체/m²로 감소하였다. 96년 3월과 4월에 다시 모든 생물군의 개체수가 감소 하였다가, 96년 5월에는 환형동물만이 626 개체/m²로 유일한 동물군으로 출현하였다.

월별 주요 우점종을 보면, 거의 대부분이 오염지시종들로서 개체수의 급격한 증감을 보이고 있으며, 지극히 단순한 생물상을 보임을 알 수 있다. 95년 6월과 7월에는 다모류중 오염지시종으로 널리 알려진 *Polydora ligni*, *Capitella capitata*가 주종을 이루었으며, 8월과 9월중에는 극히 드문 생물상으로 한종밖에 나타나지 않았다. 그러나 9월부터 절지동물군에 속하는 *Corophium sinense*의 개체수가 급격히 증가하여, 96년 3월까지 우점종으로 나타났다. 4월에도 또한 같은 종이 발견되었으나, 극히 적은 개체수였고, 5월에는 다시 다모류인 *Polydora ligni*, *Capitella capitata*가 우점하였다.

본 조사에서의 월별조사는 시화호와 같이 외부환경에 민감한 조건에서 생태학적 변이과정을 보다 자세하고 구체적으로 보여 주었다. 즉, 여름철에 수온이 높을수록 용존산소의 함량이 감소하여 생물의 수가 격감되었으며 해수의 방류 및 유입에 따른 시화호 내부의 염분농도의 차이는 생물상의 변화를 주었다.

3. 지화학적 환경변화

시화호 형성 이후에 표층퇴적물들은 급격한 변화를 보이며, 이것은 시화호 방류 또는 집중 강우에 의한 것으로 해석된다. 1995년 8월과 1996년 4월에 급격한 표층퇴적물의 평균입도 변화를 보이는데 대부분의 정점들에서 급격한 세립화 양상을 보이며, 간혹 조립화 양상을 보이는 경우도 있다.

표층퇴적물내에 포함된 Cu, Zn, Cr은 반월공단 배수구 부근에서 아주 높게 나타나며, 다른 정점들에서는 인공방조제 형성 이전과 유사한 함량을 보였다. 본 연구에서 나타난 자료와 1991년에 반월조간대에서 측정된 중금속을 비교하면, Cu는 이미 1991년에 연안의 퇴적물에 비하여 2배 이상 높은 것으로 나타났고, Zn의 경우는 Cu와 유사한 경향을 보이는데, 1991년 보다 반월공단 앞쪽에서 3배 정도 높게 나타났다. Cr 함량은 모든 정점들에서 방조제 형성되기 이전보다 4배 내지 5배 높게 나타났다. 반월공단 앞쪽에서는 퇴적물의 입도와 상관없이 높은 중금속 함량을 보였는데, 이 지역은 퇴적학적 조건보다는 지화학적 조건에 의하여 중금

속의 양이 좌우되는 것으로 판단된다.

시화호 표층퇴적물은 갑작스러운 사건에 의하여 변화되고 있는 것으로 나타났다. 세립질화 또는 조립질화되는 지역의 구분은 퇴적과 침식에 의한 영향에 의한 것으로 추정된다.

1997년에는 시화호의 수질개선을 위하여 장기간 동안 방류하고 외해수를 유입함으로서 수질의 변화는 물론 생태계 및 퇴적물에 상당한 변화를 가져왔다. 6월 10일부터 7월 21일까지 매일 100만에서 250만톤을 방류하였으며, 7월22일부터 10월17일까지는 매일 500만톤을 방류하고 같은 양의 외해수를 유입하였다. 11월 1일부터는 방류와 유입량에 변화를 주면서 11월 1일부터 현재까지 계속 실시되고 있다. 따라서 1997년 연구에서는 이러한 변화에 따른 시화호의 환경변화를 추적하는데 초점을 맞추었다.

제 II 장

수질분야

(STUDIES ON WATER QUALITY)

연구책임자 : 김은수

연구원 : 이수형

양동범

오재룡

조성록

강성현

김경태

김종근

이기복

심무준

장현숙

최현우(해양자료기기센터)

김성대(")

제 1 절 서 설

시화호의 수리특성을 보면, 수심은 작은 가리섬의 동쪽 부근의 평균수심이 18m로 가장 깊고 호의 중간부인 오이도와 형도사이의 최고수심은 12m이며, 사리포구앞 수심은 4~5m이다. 그러나 이 수심은 상류에서의 하천수의 유입량이나 배수갑문의 조작에 따른 유량의 변화에 따라 변화하고 있다. 여름철에는 홍수에 대비하여 많은 양의 물을 방류함으로써 호내의 수위를 낮추고 있으며, 시화호 수질개선을 위하여 정기적으로 방류 및 유입을 반복함으로써 수위는 변동하고 있다. 호내의 유동이 작으므로 유동에 의한 힘으로 퇴적물의 부유나 소류가 일어나지 않으며, 호내의 모든 물질이 침전되거나 퇴적될 가능성이 크다. 그러나, 97년 6월부터 정기적으로 호내의 물을 방류했으며, 7월말부터 외해수를 유입함으로써 외해수가 도달하는 지역에서는 상하층간의 순환이 일어나고 있다. 그러나, 상류에서 들어오는 오염물질의 대부분은 해수와 혼합되어 침강하는 것으로 나타나 호내에 축적된다고 볼 수 있다.

시화호로 유입되는 오염부하량은 방조제 공사전인 1897년에 비하여 공사가 완료된 1994년에는 유역내 인구의 급격한 증가와 가축수의 증가로 화학적 산소요구량, 총인, 총질소 등이 크게 증가한 것으로 나타났다. 오염부하량을 가중시키는 주요 오염원은 반월공단 폐수, 생활하수, 축산폐수이며, 그외 논, 밭, 임야 등의 비오염원이 있다.

가장 오염부하량이 큰 반월공단 폐수는 배출량의 절반정도가 처리되지 않고 7개의 우수토관을 통하여 유입되고 있으며, 안산하수처리장의 미비로 1995년 하반기까지 1단계 처리만 하고 수중방류구를 통하여 배출되었다. 현재는 안산하수처리장의 공장폐수와 우수토구로 방류되는 공장폐수를 시흥시 하수처리장으로 차집처리 후 방조제 밖으로 배출하는 계획이 진행되고 있어 시화호의 수질개선은 어느정도 기대할 수 있으나, 방조제 밖의 해역이 오염될 가능성이 크다.

안산시 인구의 90%, 시화호 유역인구의 75%를 차지하고 있는 안산천, 화정천은 우수, 오수관로의 오염으로 인하여 아파트, 상가, 기타 거주지의 생활하수가 하천을 따라 시화호로 유입되고 있다. 현재 하천을 정비하고 있으나, 앞으로 상당기간 처리되지 않은 생활하수가 유입될 것으로 예상된다.

유역내 농촌지역의 대부분의 축산농가는 가구당 20두 이하를 키우는 소규모 영세축산농가가 대부분이며, 산재되어 있어 분뇨의 취합처리가 어려운 실정이다. 정화조를 설치하거나 톱밥발효시설을 설치한 농가도 일부있으나, 정화조 사용은 극히 미미하며, 사료나 배설물을 야적 후 방치한 상태로 관리하고 있으므로 상당

량이 강우에 의해 유출되고 있다. 실제로 축산농가가 산재해 있는 안산천상류, 화정천상류, 동화천 및 반월천에서 총인 및 총질소의 함량이 높게 나타나고 있어 시화호의 부영양화에 크게 기여하고 있다.

이와 같이 많은 양의 오·폐수가 시화호로 유입되고 있으며, 하수관로 및 하천 정비, 하수처리장의 증설, 습지조성 등 시화호로 유입되는 오염물을 줄이기 위한 작업이 수행되고 있으나, 효과적으로 오염물을 줄이는 데는 많은 시간과 투자가 요구되므로 시화호 환경개선은 당분간 기대하기 어려운 실정이다. 그럼에도 불구하고 시화호 환경개선을 위한 조사는 적극적으로 이루어지고 있지 않다.

또한, 시화호의 환경은 시간적으로 매우 빨리 변화하며, 수질개선을 위하여 공단토구에서 들어오는 오염물질을 환배수로를 통하여 외양으로 방출하거나, 산화지설치, 시화호내로 외해수를 유입함으로써 호내의 수질은 매우 크게 변화하였다. 그러나, 이러한 환경변화에 따른 환경개선 및 수질대책을 수립하기 위해서는 현재의 상황을 정확히 파악할 수 있는 정확한 자료가 필요하나 그러치 못한 형편이다. 유역의 수질과 호내를 장기간 지속적으로 모니터링하여 많은 자료를 확보하는 것이 효과적인 수질관리대책을 수립하는데 가장 우선적으로 해야 할 일이다.

본 연구의 1차년도인 1996년에는 공단우수토구 및 하천수의 중금속 농도, 호내 수질의 정기적조사를 통하여 정확한 수질현황을 파악하였고, 1997년 2차년도 조사에서는 호내 수질현황파악과 시추 퇴적물내의 중금속 및 유기오염물질 분포를 파악하고 외해수 유입에 따른 호내 환경변화를 추적하였다. 이러한 자료는 시화호 수질개선을 위한 기초자료로 이용될 뿐만 아니라, 시화호를 지속적으로 조사함으로써 인공호의 진화에 따른 환경변화를 밝히는데 크게 기여할 것이다.

제 2 절 조사 및 분석방법

1. 시료채취 및 보존방법

1). 호내 수질조사

호내 수질조사는 96년에 조사한 8개 정점외에 8개를 추가하여 16개 정점에서 표층조사를 하였고, 3개 정점에서 수심 1~2m 간격으로 수층별 조사를 별도로 하였다(Fig. II-1). 표층조사는 6월19일, 8월28일, 9월5일, 9월30일, 12월29일에, 3개정점(정점 1, 13, 15)에서의 수층별조사는 4월21일, 8월28일, 9월5일 9월12일, 10월7일에 실시하였다. 표층조사의 측정항목은 수온, 염분, pH, 용존산소량(DO), 화학적산소요구량(COD), 입자성 부유물질의 $\delta^{13}\text{C}$, 클로로필-*a*이며, 수층별 조사에서는 영양염, 황화수소, 중금속, 입자성 유기탄소(POC)를 추가하였다. 표층시료는 선상에서 버켓을 이용하였으며, 층별시료는 Niskin 채수기 또는 펌프를 사용하여 채취하였다. 주상퇴적물은 정점 5에서 corer를 이용하여 채취하였다.

용존산소량은 선상에서 DO meter 또는 Winkler법에 의하여 실험실에서 측정하였다. pH 및 염분시료는 염분시료는 유리병에 담아 실험실로 옮겼다. 황화수소는 Winkler법에 의하여 고정하였다. COD를 측정할 시료는 PE병에 담아, 드라이아이스로 냉동하여 보관하였다. 입자성 부유물질의 organic carbon 및 $\delta^{13}\text{C}$ 는 SS를 측정 후 산으로 전처리하여 측정하였다.

영양염 측정을 위한 시료는 실험실에서 진공펌프를 사용하여 유리섬유필터(Whatman GF/F, 직경 47mm)를 통하여 여과한 후 여액을 측정하였으며, 암모니아 시료는 현장에서 알콜-페놀 시약을 넣어 보관하였다. 클로로필-*a*는 해수를 영양염 시료를 얻기 위하여 여과한 막여과지를 알루미늄 호일로 싸서 냉동 보관한 후 측정하였다.

중금속은 표층 및 수층별로 용존성 및 입자성으로 구분하여 조사를 실시하였다. 표층조사는 8개정점에 대하여 96년 8월29일, 10월4일, 수층별 조사는 3개정점에 대하여 96년 10월21, 97년 4월 21일, 8월 28일, 10월 9일에 실시하였다(1차년도 보고서 및 Fig. II-1 참조).

중금속 측정을 위한 표층 시료는 미리 산으로 세척한 11들이 폴리에틸렌 병을 Tygon tubing을 사용하여 PVC 막대에 매달아 채수하였으며(Boyle *et al.*, 1981), 수층별 시료는 Niskin 채수기의 Latex closure band를 Silicone으로 교체하고, 채수기 내부를 산세척하여 나일론 로프에 매달아 채취한 다음 산세척된 11들이 폴리에틸렌병에 담았다. 시료는 실험실로 옮겨서 미리 산으로 세척한 pore

size 0.4 μ m(직경 47mm)인 Nuclepore 막여과지로 여과하여 용액과 부유물질을 분리하였다. 여과액에는 Teflon distilled HCl을 가하여 pH 2이하로 처리하였으며, 여과지는 건조하여 부유물질량을 측정 한 후 분석 때까지 Petridish에 보관하였다.

2) 호내 주상 퇴적물 조사

주상 퇴적물은 PVC pipe로 채취하여 폴리카보네이트 칼로 층별로 분리하여 동결건조한 후 퇴적물에 섞여있는 폐각들을 제거하고 200 mesh 나일론체를 통과하도록 Agate mortar로 분쇄하였다.

3) 생물 조사

시화호 생물중의 중금속 조사를 위하여 어도와 방아머리에서 96년 10월에 그물로 어류 및 새우를 채취하였다. 채취된 생물은 종별로 분리한 다음 폴리에틸렌 필름으로 포장하여 -20 $^{\circ}$ C로 냉동 보관하였다. 분석을 위하여 시료를 해동 후 폴리카보네이트 칼로 근육부분을 분리하여 PE 병에 담아 동결건조하였으며, 건조한 다음 Agate mortar로 분쇄하였다.

4) 공단토구 및 하천수 조사

공단토구 및 하천수중의 용존성 및 입자성 중금속조사는 97년 4월 23일, 8월 18일에 실시하였다. 조사지점수는 하천 4개, 공단토구 7개이며, 시료채취 및 여과는 위에서 기술한 호수 수질조사와 같으며, 지점별 위치는 Table II-1과 같다.

2. 분석방법

1). 수온 및 염분

수온은 현장에서 DO meter를 사용하여 측정하였다. 염분은 CTD 또는 실험실에서 Salinometer로 전도도를 측정 한 후 다시 염분으로 환산하였다.

2). 용존산소량

평량병에 시료를 담은 후 곧바로 Winkler 법에 의하여 황산망간(II) 용액과 알칼리성 요오드화 칼륨용액을 넣고, 잘 흔들어서 용존산소를 고정시킨 후 조사선내 실험실로 옮겼다. 시료에 황산을 가하여 산성으로 하여, 유리되어 나오는 요오드를 자동적정기를 사용하여 0.025N-치오황산소다(sodium thiosulfate)로 역적정한 후 용존산소량을 계산하였다.

3). pH

시료를 자석젓개로 시료를 저어주면서 온도보정이 가능한 pH meter(Orion 902)를 사용하여 측정하였다.

4). 화학적산소요구량

시료 50ml를 비커에 넣고 알카리성하에서 일정과량의 과망간산칼륨용액을 넣고 수욕상에서 60분간 가열한 후 냉각시켰다. 그 다음 시료용액에 요오드칼륨을 넣고 황산을 가하여 산성으로 했을때 유리된 요오드를 치오황산소다로 역적정하였다.

5). 부유물질

해수를 건조기 속에서 건조시켜 무게를 측정한 GF/F 여지로 여과한 다음 여지를 105℃ 오븐속에서 2시간 동안 말리고, 실온으로 식힌 다음 무게를 측정하여 여과하기 전의 여과지 무게를 뺀값으로 계산하였다.

6). 용존성 영양염

용존성 영양염(dissolved or filtered nutrients)은 Parsons *et al.* (1984)에 의하여 발색시켜 발색된 강도를 Flow Injection Analyzer를 사용하여 측정하였는데, 분석방법은 다음과 같다.

가). 아질산염

시료에 Sulfanilamide 용액과 N-(1-naphtyl)-ethylenediamine 용액을 가하여 아조색소를 생성시켜 측정하였다. 아질산염이 산성용액중에서 방향족 제1아민과 반응하여 생기는 디아민 화합물에 방향족아민을 가하여 커플링시켜 생기는 디아조화합물의 적색을 측정한다.

나). 질산염

시료를 Cd-column 에 통과시켜 아질산염으로 환원시킨 후 아질산염 분석때와 같은 방법으로 발색시켰다. 해수중의 질산염이 금속 구리를 입힌 카드뮴을 채운 칼럼을 통과시키면 정량적으로 아질산염으로 환원되는 것을 이용하는 것이다. 최초 시료에 함유되어 있는 아질산염은 보정한다. Cd-column은 입상의 카드뮴을 아세트, 염산으로 깨끗히 씻은 다음 황산구리용액에 넣어 구리를 입힌 후, 공기와 접촉하지 않도록 해서 유리칼럼에 채운다.

다). 인산염

Ammonium molybdate, potassium antimonyl tartrate와 황산의 혼합시약을 시료에 가하고 ascorbic acid로 환원하여 발색시켰다. 인산염은 산성용액중에서 몰리브덴산과 반응하여 황색의 몰리브덴산착염을 생성한다. 이것을 ascorbic산으로 환원하면 진한 청색으로 발색되는데, 안티몬 이온이 공존하면 발색이 진하게 된다.

라). 규산염

시료에 산성 ammonium molybdate를 가하여 노란색의 silicomolybdate complex를 만든 후 oxalic acid와 ascorbic acid의 환원시약을 가하여 청색으로 발색시켰다. 규산염은 pH 1.2-1.5의 범위에서 몰리브덴산과 반응하여 황색의 몰리브덴산착염체를 형성한다. 이 착염체의 황색의 강도는 규산염의 농도에 비례하고, 적당한 환원제를 가하면 청색으로 발색되는데 이것을 측정하면 감도를 높일 수 있다.

마). 암모니아

시료를 GF/F 여지로 여과하여 염산으로 세척한 유리병에 넣은 후 페놀, sodium nitroprusside와 산화제를 첨가하여 사온, 냉암소에서 24시간 발색시킨 후 분광광도계로 흡광도를 측정하여 정량하였다.

7). 클로로필-a

해수를 진공펌프를 이용하여 유리섬유필터(Whatman GF/F)로 여과하여 여과지에 채취된 시료를 90% 아세톤을 가하고, 20시간 동안 냉암소에 보관하여 플라크톤 색소를 추출한 후 UV-VIS Spectrophotometer로 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 480, 510, 630, 647, 664와 750nm에서 1cm cell을 사용하여 측정하였다.

8). 중금속

용존성 중금속(Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn)은 무진환경(clean bench, class 100 level)에서 시료를 DDTC-APDC-Freon 용매추출법으로 추출한 후, 비블꽃 원자 흡광분광기(Perkin Elmer 1100B with HGA700 & ASD70)를 이용하여 분석하였다(Danielsson *et al.*, 1978). 97년 4월과 8월의 하천 및 공단토구의 용존성 Cr과 As는 시수를 직접 ICP-MS(VG Elements PQ II+)에 주입하여 측정하였다.

입자성 중금속 분석은 부유물질이 포함된 여과지를 60ml Teflon bomb에 넣고 Teflon distilled HNO₃ 2.5ml와 Ultrapure(Merck) HF 0.2ml를 가하여 뚜껑을 닫고, Hot plate위에서 100℃로 가열분해하였다. 분해 후 산을 증발시킨 다음 1% HNO₃ 6ml를 가해 잔류물을 녹여서 ICP-MS로 측정하였다.

생물중의 중금속 분석은 분쇄된 시료 0.2g을 Microwave digestion용 Teflon용기에 취하여 Teflon distilled HNO₃ 5ml를 가하고 Microwave digestion system(MDS-2100, CEM Corp.)으로 분해한 다음 순수를 가해 전체 부피를 20ml로 만든 후 ICP-MS로 측정하였으며, 수은은 실험실에서 제작한 자동 수은 증기발생 및 농축 장치를 이용하여 CVAAS법으로 측정하였다.

퇴적물중의 중금속은 분쇄된 시료 0.2g을 100ml PFA 테프론 비커에 넣고 Teflon distilled HF 6ml, Teflon distilled HNO₃ 3ml를 각각 가하여 2시간이상 실온에 둔 다음 Suprapur(Merck) HClO₄ 2ml를 가한 후 테프론 뚜껑을 덮고 가열판에서 160℃로 가열하여 완전히 증발건고시켰다. 이때 시료는 흰색 또는 옅은 노란색을 나타내게 되며, 그렇지 않은 시료에 대해서는 위 과정을 한번 더 반복하여 시료를 완전히 용해시켰다. 여기에 1% HNO₃를 가해 비커내의 잔사를 녹여 10ml로 맞춘 후 적절한 배수로 희석하여 ICP-MS로 측정하였다.

한편 각 시료의 중금속 분석자료 정확도를 검증하기 위하여 SRMs도 함께 분석하였는데, 용존성 중금속은 NRCC의 CASS-3, 입자 및 퇴적물 중의 중금속은 NRCC의 MESS-2, 생물의 경우는 NRCC의 DORM-2를 SRM으로 사용하였다. 각 표준물질과 원소에 따라 차이가 있으나 전체적으로 본 분석 정확도는 85%~110%였다.

9). 입자성 부유물질의 탄소동위원소비

입자성 부유물질의 탄소동위원소비는 기초과학지원연구소에 의뢰하여 VG Isotech PRISM SERIES II 질량분석기를 이용하여 측정하였고, 표준물질은 Pee Dee Belemnite(PDB)를 사용하였다. $\delta^{13}\text{C}$ 값은 다음과 같은 식에 의하여 천분율(‰)로 나타냈다.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{sample}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}} \times 1,000$$

10). PAHs 및 용존유기물

PAHs 및 용존유기물은 시료 4l를 유리병에 채취하여 GF/F(Whatman, 0.7

μm)로 여과한 후, dichloromethane으로 $200\mu\text{g}/1$ 로 농축하여 Reversed-phase HPLC와 UV검출기(25nm)로 분석하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

시화호의 수질 특징은 하천수 및 공단 배수구를 통한 오염물질의 유입과 저층에 퇴적된 퇴적물로 부터 용출되는 것에 의해 변화한다. 96년 조사에 의하면 (한국해양연구소, 1997) 여름철에는 수심 6~8m 부근에서 성층이 형성되어 저층은 환원성 환경을 유지하며, 상층은 시화호 전역이 담수의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나, 97년 6월 이후 호내의 물을 방류하고, 7월22일부터 외해수의 정기적인 유입으로 큰 변화를 가져 왔다.

Fig. II-2에서 보는 바와 같이 시화호의 물은 정체되어 있으므로, 표층에서는 강한 일사량으로 플랑크톤 증식이 왕성하여 COD 및 클로로필의 양을 증가시키고 있으며, 외해수의 유입으로 해수와 담수의 경계층이 96년도 보다 얇은 층에서 형성되었다. 이 경계면 이하의 수심에는 표층에서 생성된 유기물이 침강하면서 산소를 소비하여 분해되므로 무산소층으로 되어 있다. 외해수를 유입함으로써 유기물은 유입되는 외해수중에 있는 산소를 소모시키고, 질산염을 환원하여 암모니아를 생성시키며, 질산염이 고갈되면 황산염의 일부를 환원하여 많은 양의 황화수소를 발생시킨다. 또한, 외해수가 저층으로 유입되어 상층으로 이동하면서 혼합되므로 저층 퇴적물에서 용출된 영양염을 상층으로 운반하게 된다. 해수와 담수는 수심 3~3.5m 수층에서 경계면을 이루고 있으며, 이 성층은 12월 조사에서 없어진 것으로 나타났다. 이와같이 시화호 수질은 외해수 유입으로 인하여 계절적 요인 이외에 외해수의 혼합 정도, 조사시간, 조사위치 등에 따라 크게 변화하고 있다.

1. 표층수에서의 일반수질 변화

1). 수온 및 염분

표층의 수온분포는 6월19일 15.8~27.0℃, 8월28일 27.0~29.2℃, 9월5일 26.6~28.3℃, 12월29일 3.0~5.8℃로 나타났다. 표층수온은 하루중 측정시간에 따라 변화하므로 정점간의 수온차를 논의하기에는 무리가 있으나, 대체적으로 하천수가 유입되는 곳에 가까운 공단앞 지역에서 높다.

표층의 염분변화는 8월28일 3.2~10.5‰, 9월5일 1.5~11.2‰, 9월30일 9.0~19.8‰, 12월29일 8.9~24.8‰로 여름철보다 가을철 및 겨울철로 가면서 염분이 높

게 나타났다(Fig. II-3). 8월28일 및 9월5일 조사에서 나타난 낮은 염분은 강우에 의한 것이고, 하천수가 유입되는 상류에는 외해수의 영향이 약하므로 낮게 나타났으나, 시화호내의 물을 방류하고 외해수를 유입함으로써 점차 호내의 염분이 높아졌다. 그러나, 7월22일 이후 외해수의 유입에도 불구하고 8월28일과 9월5일에 나타난 배수갑문 부근의 조사결과는 4월21일 조사의 배수갑문 부근 표층에서의 14.2% 보다 낮다. 앞에서 기술한 바와같이 유입된 외해수가 표층으로 혼합되더라도 빠른 시간내에 성층이 형성되어 상류에서 들어오는 담수가 표층을 덮고 있는 것으로 보인다.

97년 결과는 96년 조사결과인 12.2~16.3%보다 염분변화가 큰 것으로 나타났는데, 96년에는 방류 및 유입을 많이 하지 않았으므로 표층수가 균일한 상태로 유지되었으나, 97년에는 호내의 수위를 낮추어 놓고 방류와 유입을 되풀이 함으로서 상류지역은 낮은 염분을 나타내고, 외해수가 혼합되는 지역은 높게 되어 염분차가 크게 된 것이다.

Fig. II-3에서 염분분포를 보면, 외해수를 계속적으로 유입함으로써 배수갑문에서 시화호 중앙지역까지는 거의 일정한 염분을 나타내고 있다. 12월 조사에서는 배수갑문에서 시화공단 앞까지 24.03~24.80%로 균일하였으며, 상류지역에서도 계절적으로 하천수의 유입이 줄어들어 따라 표층 염분은 높아졌다.

2). pH

9월5일 조사에서 pH는 7.45~9.65로 하천수가 유입되는 맨 윗쪽의 정점을 제외하고는 9이상의 높은 값을 보였다. pH 분포는 Fig. II-4와 같이 외해수가 유입되어 혼합되는 배수갑문에서 시화호 중앙지역까지 9.2~9.4 정도로 균일하고, 해수 및 담수가 섞이는 지역에서 9.6 이상으로 높게 나타났다.

9월30일 조사에서는 8.29~9.43으로 나타났는데, 이때에는 하천수 유입구에 위치한 2개 정점에서는 수심이 얇아 측정하지 못했기 때문에 9월5일 조사때와 같은 낮은 값은 없었다. 표층에서의 분포는 9월5일 조사와 비슷하다. 12월29일 조사에는 7.94~8.94로 전에 비해 낮아졌으며, 외해수가 유입되어 직접 혼합되는 지역에서는 더욱 균일한 값을 보이고 있다.

일반적으로 연안 및 내만의 표층해수에서의 pH는 하천수의 유입정도, 플랑크톤의 번식여부에 따라 크게 변화하는데, 즉, 플랑크톤 번식이 왕성하여 광합성에 의하여 CO₂ 소비가 많아져서 CO₂ 농도가 낮아지면 pH는 높아지게 된다. 식물생산량이 높은 시화호에서는 표층 pH가 매우 높게 나타나며, 하천수가 유입되는 공

단앞 지역에서는 하천수의 영향으로 낮게 나타난다. 그러나, 시화호의 pH는 식물 생산량에 따라 반드시 비례하지는 않는다. 나중에 기술하는 클로로필-*a*양과 비교해 보면, 9월30일 조사에서는 클로로필이 높은 지역에서 pH가 높게 나타나나, 9월5일과 12월30일 조사에서는 그렇지 않다. 외해수의 유입으로 CO₂가 시화호내로 공급되므로 외해수와 혼합정도에 따라 pH가 변화하게 되는 것이다.

3). 클로로필-*a*

클로로필-*a*는 6월19일 조사에서 35~91 μ g/l, 8월28일에 6~59 μ g/l, 9월5일에 12~106 μ g/l, 9월30일에 42~199 μ g/l, 12월29일에 7~169 μ g/l로 일반 해역보다 매우 높게 나타났다(Fig. II-5).

클로로필-*a*의 분포는 Fig. II-5와 같이 6월에는 공단앞 지역에서 높으며, 8월에는 강우의 영향으로 전 지역에서 크게 낮은 농도를 보였다. 9월 이후 클로로필-*a*는 크게 증가하였으며, 12월에도 높게 나타난 것으로 보아 시화호의 식물생산은 연중 왕성한 것으로 보인다.

4). 화학적산소요구량(COD)

COD의 분포는 Fig. II-6과 같이 97년에는 11.0~30.9mg/l로 96년의 5.1~13.6mg/l 보다 높게 나타났다. 전체적인 분포양상은 하천수가 유입되는 반월공단앞 지역에서 높은 경향을 보이고, 호내로 들어오면서 낮은 값을 보이고 있다. 그러나, 9월30일과 12월29일 조사에서는 공단앞 지역보다 오히려 호의 중앙지역에서 높게 나타나고 있다. 공단앞 지역에서 낮은 것은 계절적으로 하천수를 통하여 유입되는 오염부하량은 줄었음을 의미하는 것으로 보이며, 수질개선을 위해 배수갑문을 통하여 외해수를 유입함으로써 배수갑문 주변과 외해수가 혼합되는 지역에서는 8월 이후 COD가 낮아졌으나, 유입된 외해수가 하천수와 혼합되는 경계면 부근에서는 높은 것이다. COD가 높은 지역에서 클로로필-*a*가 높은 것으로 보아 호내에서의 식물생산은 계속되어 이때 생성된 유기물 때문에 COD가 높아진 것을 의미하는 것이다.

일반적으로 해수중의 COD 기원은 해수고유의 자연부하, 인간활동에 유래하는 육상부하 및 식물플랑크톤이 광합성과정에서 무기물에서 유기물을 합성하여 공급하는 것으로 구분된다. 따라서 식물생산이 활발한 연안이나 폐수가 유입되어 부영양화가 발생하는 내만에서는 플랑크톤의 COD에 대한 기여도가 크게 된다.

특히 시화호같이 폐쇄되고, 부영양화된 수권에서는 플랑크톤의 이상번식으로 COD가 크게 높아질 수 있다. 플랑크톤에 의한 COD의 기여정도를 알기 위하여 해수시료를 GFF여지로 여과하여 부유물질을 제거한 여액의 COD를 측정하였다. 총COD와 여과한 시료의 COD를 비교해 보면, Fig. II-7과 같이 여과한 시료의 COD가 총COD의 상당부분을 차지하는 것으로 나타났다. 조사기간중 총COD의 평균은 18.5mg/l이고, 여과한 시료의 평균은 10.4mg/l(변화범위는 5.2~18.4mg/l)이다. 즉, 총COD의 50% 정도를 플랑크톤이 차지한다고 볼 수 있으며, 플랑크톤이 분해되어 생성되는 용존 유기물을 고려한다면 이보다 높을 수도 있다. 물론 부유물질중에는 육상에서 유입되는 부유물질이 함유되어 있어 100%가 플랑크톤은 아니지만, 육상에서 유입된 것은 해수와 혼합되면서 대부분이 침강하며, POC의 분석결과, 높은 탄소량(19~57%)을 나타내는 것으로 보아 대부분이 플랑크톤이라고 간주할 수 있다.

여과한 시료의 COD를 총COD와 비교해 보면 Fig. II-8과 같이 총COD가 증가함에 따라 일정한 비율로 증가하는 것으로 나타났다. 위에서 기술한 바와같이 입자성 유기물이 분해되어 상당량이 용존성 유기물로 존재하는 것으로 보인다. 총COD와 클로로필-*a*와의 관계를 보면 Fig. II-8과 같이 좋은 상관관계를 보이지는 않지만, 클로로필-*a*가 증가함에 따라 총COD가 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 미발표된 수자원공사의 97년 10월부터 12월까지 시화호내의 5~7개 정점의 수심 1m에서 측정한 COD값은 본 조사 결과에 비하여 평균 4~5mg/l 정도 낮게 나타났는데, 조사일자, 시료채취 정점, 채수수심 등이 다르므로 직접 비교할 수는 없으나, 수자원공사의 결과에서도 클로로필-*a*의 값이 매우 높은 것으로 보아 플랑크톤에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다. 현재, 시화호의 수질 개선을 위하여 외해수를 유입하고 있으나, COD가 크게 낮아지지 않았던 것은 시화호의 COD는 단순히 외부 오염부하량만에 의해 결정되지 않기 때문이며, 위에서 언급한 각종 COD의 기원에 대한 보다 자세한 연구가 필요한 것으로 판단되며, 그 결과를 토대로 수질개선 방법을 강구해야 할 것이다. 또한, COD는 계절의 영향을 크게 받는 항목이므로 이에 대한 검토도 필요하다.

5). 표층 부유물질의 탄소동위원소비

해양에서 입자성 유기탄소를 구성하는 것은 식물플랑크톤, 박테리아 및 다른 물질이며, POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 비는 대개 식물플랑크톤의 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 나타낸다. 연안에서의 POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 육상기원 유기물의 혼합정도, 식물플랑크톤의 생산

량, 계절변화, 시료의 채취범위 등에 따라 변화하므로 POC의 변동범위를 정확히 정하는 것은 어려우나, 일반적으로 $-18\sim-24\%$ 의 범위를 해양 POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 값으로 생각하고 있다. 연안에서 POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 하천수 유입지역에서 낮고, 외양으로 갈수록 높게 나타난다. 따라서 해역에 따라 균일한 값을 나타내는 지역이 있는 반면, 델라웨어 연안, 아마존 유역, 동경만 및 마산만에서는 큰 변화 폭을 보인다.

97년에 2회 조사한 POC의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 6월에 $-19.3\sim-21.7\%$, 8월에 $-16.8\sim-24.3\%$ 로 8월에 변화가 크게 나타났다(Fig. II-9). 6월에는 호내의 물을 방류만을 계속했기 때문에 전체적으로 균일한 값을 보이고, 8월에는 강우로 하천수의 유입이 많고, 방류 및 유입으로 하천수가 유입되는 지역과 외해수가 혼합되는 지역간에 변화가 있는 것으로 나타났다. 한편, 육상기원 유기물은 해양기원 유기물에 비하여 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는데, 8월 자료에서 보듯이 하천수가 유입되는 상류에서 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보이고 있다. 8월에는 강우량이 많으므로 하천수를 통하여 육상 유기물이 많이 유입되고 있는 것을 보여 주는 것이다.

한편, 8월의 조사에서 호 중앙지역에서 -18% 보다 높은 값을 보이고 있다. 물론 이 값은 해양의 입자성 부유물질이 갖는 값의 범위에 들어가는 것이지만 주위보다 높다는 것이다. 조류(algae)에 의한 실험실에서의 실험결과에 의하면 조류의 개체수가 적고 CO_2 의 농도가 클 경우 동위원소 분별이 크게 일어나, 기질보다 가벼운 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 가지며, 개체수가 많고 CO_2 의 농도가 결핍되는 경우에는 전자와 반대되는 결과를 보였다(Sackett, 1965; Calder *et al.* 1973; Wada, 1990). 그러므로, 시화호 같이 플랑크톤의 번식이 왕성한 지역에서는 일반 해양 식물보다 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 유기물이 생산될 수 있다는 것이다. 클로로필-*a*의 분포를 보아도 Fig. II-5와 같이 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높은 호내 중앙지역의 클로로필-*a*는 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 낮은 지역인 배수갑문 지역보다 높게 나타나고 있다. 96년 10월과 11월에 조사한 시화호내 8개 정점의 표층에서 채취한 입자성 부유물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 각각 $-11.8\sim-24.3\%$, $-22.6\sim-27.3\%$ 로 10월에 높은 값을 보였으며, 호 중앙지역에서 공단앞 주변지역보다 높은 값을 나타냈다. 또한, 클로로필-*a*는 10월에는 11월에 비하여 높았고, 그 중에서도 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 지역에서 매우 높은 클로로필-*a*를 나타냈다.

96년 퇴적물에서 나타난 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보면, 배수갑문 쪽으로 갈수록 높은 값을 보이고 있었다(한국해양연구소, 1997). 이것은 방조제 건설에 따라 방조제 밖으로의 배출이 어렵게 되고 내부에서의 순환도 원활치 못하므로, 육상에서 유입된 유기물이 호내 전역으로 혼합되지 못하고 유입구 가까운 곳에만 영향을 미치

는 것에 기인하는 것으로 해석했다. 즉, 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 갖는 육상유기물이 하천 수 유입구 가까운 곳에만 영향을 주는 것이다. 그 당시에는 입자성 부유물질을 채취하였으나 $\delta^{13}\text{C}$ 을 분석하지 않아서 알 수 없었는데, 97년에 분석한 결과를 보면 퇴적물의 결과와 마찬가지로 상류인 공단앞 지역보다 호중앙 및 배수갑문 부근에서 입자성 부유물질의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높게 나타났다.

6). 하천수 및 공단토구의 PAHs 및 용존유기물

PAHs(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, 다환족방향족탄화수소)는 대기부유 입자나, 하천, 호수, 만의 퇴적물에서 검출된다. PAHs의 대부분은 화석연료의 연소에 의하여 생성되는 것으로 알려져 있으며, 특히 인간활동이 활발한 지역의 퇴적물에는 도시에서 멀리 떨어진 곳에서도 높은 농도로 검출되고 있다. 몇가지 종류의 PAHs는 발암성을 가지고 있는데, 대기에 의하여 운반되기 때문에 도시 주변만이 아니라 인간활동이 적은 지역에서도 인체에 영향을 주는 것에 대하여 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 시화호로 유입되는 4개 지천(해안교 밑, 야목교 밑, 반월천하류, 신길천하류) 및 하수처리장으로 연결되는 7개 펌프장에서 12월 23일 채수하여 COD, PAHs 및 용존유기물의 분포를 측정하였다(7개 펌프장의 위치는 Table II-1 참조).

시화내만으로 바로 유입되는 지천의 COD 농도는 9.4~30.0mg/l (평균 22.4mg/l)로, 내만의 COD 평균농도인 18.5mg/l 보다 높게 나타났다. 시화공단과 반월공단에서 배출되는 7개 펌프장에서의 하수의 COD 농도는 10.5~39.7mg/l (평균 28.9mg/l)로 이들 하수는 갈수기에는 하수 처리장으로 바로 이동되어 시화내만에 영향을 미치지 않는다.

지천에서의 유기물 분포는 COD 농도가 가장 높은 해안교 밑에서 molecular weight(MW) 178(phenanthrene, anthracene), 228(chrycene), 252(benzofluoranthenes, benzo(a)pyrene)의 종에서 Σ PAH가 35ng/l을 보이고, 다른 지점(야목교, 반월천, 신길천)에서는 molecular weight(MW) 128(naphthalene)보다 친수성 유기물(hydrophylic organic material-low molecular weight)만이 우점하여 나타난다.

펌프장 하수에서의 유기물 분포는 각 펌프장 별로 다른 특성을 보인다. A번 펌프장은 molecular weight(MW) 252(benzofluoranthenes, benzo(a)pyrene)의 종에서 Σ PAH는 5 ng/l을 보인다. C번 펌프장은 molecular weight(MW) 128(naphthalene) 152(Acenaphthylene)의 종에서 Σ PAH는 358ng/l을 보인다. COD

양이 상대적으로 적은 F번 펌프장(10.5mg/l)은 molecular weight(MW) 128(naphthalene)이하의 친수성 유기물만이 보이는 반면, COD가 높은 D번 펌프장(36.7mg/l)은 친수성 유기물이 줄어들고 molecular weight (MW) 276 (benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-c,d]pyrene) 이상의 소수성 유기물(hydrophobic organic material)이 우점하여 나타난다. PAHs는 molecular weight(MW) 178 (phenanthrene, anthracene), 252(benzofluoranthenes, benzo(a)pyrene)의 종에서 Σ PAH는 12ng/l을 보인다. E, F, H번 펌프장은 6번 펌프장과 유사한 유기물 분포 양상으로 molecular weight(MW) 128(naphthalene)이하의 친수성 유기물만이 보인다.

2. 수층별 조사에서의 일반수질 변화

수층별 조사는 정점 1, 13, 15의 3군데서 실시하였으나, 정점 1에서는 수심이 1~2m로 낮아졌고, 정점 15는 유입 및 방류를 계속적으로 실시함으로써 여름철을 제외하고는 수층간의 변화를 나타내지 않았으므로, 본 보고서에서는 주로 정점 13에서의 결과를 논의하고자 한다. 정점 13은 배수갑문에 가까운 곳으로 유입된 외해수가 저층에서부터 상층으로 상승하면서 수층에 영향을 주는 지점이다. 수층에 주는 영향은 유입된 양에 따라 변화할 것으로 예상된다.

1). 수온 및 염분

정점 13에서의 수온 연직분포는 Fig. II-10과 같다. 4월에는 표층에서부터 수심에 따라 완만하게 낮아지며, 8월에는 4m층에서 온도변화가 약간 나타났으며, 14m층에서 크게 낮아졌다. 10월7일 조사에서는 3~4m층 사이에서 약간 높아졌으나, 그 이하의 수심에서는 수층간에 온도변화는 나타나지 않았다.

염분변화는 아직 완전한 성층이 형성되지 않았던 4월에는 표층에서부터 8m까지는 거의 변화가 없었으며, 10m 이하 부터 약간씩 증가했다. 그 이후 외해수를 유입함에 따라 표층 및 수층에서의 염분이 차츰 증가했으며, 성층이 형성된 8월에는 2~4m 사이에서 크게 변화했다. 지속적인 외해수의 유입으로 염분은 높아졌으며, 3m 부근에서 성층이 뚜렷이 나타나고 있다. 12월 자료는 나타나지 않았으나, 성층은 없어졌고 수층간의 염분차이도 보이지 않았다. 이와같이 시화호의 성층은 온도에 의한 것이 아니고, 염분에 의해 형성되고 있음을 알 수 있다.

7일의 경우 유입시간이 오전 7~8시인데 11시경의 정점 13의 표층수의 용존산소 포화도가 80%로 나타났다. 오후 5시경에는 황화수소 냄새가 많이 나고 표층의 빛깔이 옅은 푸른색으로 변했으며, 비록 범위는 작아졌지만 이러한 현상은 그 다음날 오전까지 지속되었다. 즉, 황화수소가 확산되어 표층에서 산소에 의해 산화되어 입자성 황으로 변하여 푸른빛깔을 띄게 되는, 청조현상이 나타나는 것이다. 시화호 수중에서 황화수소가 대량으로 생성됨에 따라 방류시에 무산소층의 물도 일부분 같이 나가게 되므로, 방류시 외해에서 황화수소의 냄새가 많이 나고 있다. 유입을 계속적으로 할 경우, 특히 여름철에는 황화수소가 계속 생성되므로 이러한 현상은 더욱 뚜렷하게 나타날 것이다.

배수갑문 부근의 정점 15에서는 8월 조사에서 4m 이하 수심에서는 무산소층이 존재하는 것으로 나타났다. 매일 외해수를 유입함에도 불구하고 수심이 얇은 정점 15의 저층이 무산소층으로 존재하는 것은 저층 퇴적물이 매우 심한 환원환경을 유지하고 있는 것으로 생각된다. 표층과 저층의 염분차이도 10‰ 이상으로 나타난 것으로 보아 담수와의 성층이 상당히 빨리 형성되는 것으로 보인다. 이와 같은 저층의 무산소층은 9월5일과 10월7일 조사에서도 나타났다. 특히 10월7일 조사에서는 4m부터 산소의 양이 급격히 감소하여 5m 층에서는 완전한 무산소층으로 되어 있었으며, 6m에서는 용존산소 포화도가 45%로 나타났다. 위에서 언급한 바와 같이 10월7일에는 외해수를 유입한지 얼마 되지 않아 조사를 했기 때문에, 완전한 혼합이 이루어지지 않아 불안정한 수괴가 존재하는 것으로 보인다.

4). 화학적산소요구량(COD)

정점 13에서의 COD의 연직분포는 Fig. II-12와 같다. 4월에는 표층에서 저층까지 8.5~7.2mg/l로 비슷하였다. 위에서 기술한 바와 같이 아직 표층에서의 광합성이 활발하지 않으며, 성층이 형성되지 않았으므로 수층간의 차이가 없는 것으로 보인다. 8월에는 표층에서 15.7mg/l로 높아졌으며, 수심에 따라 약간씩 감소하다가 12m에서 크게 높아졌고, 14m에서는 46.3mg/l로 높다. 박 등(1997)이 언급한 바와 같이 표층에서 침강한 유기물이 저산소 환경에서 분해속도가 늦어져, 이들 유기물이 저층에 축적되는 것으로 생각된다. 9월12일 조사에서도 표층에서 5m 사이에서 9.8~12.5mg/l, 6~13m에서 6.3~9.1mg/l이었으나, 14m 층에서 30.9mg/l로 높게 나타났다. 그 이후의 조사에서는 이같은 저층에서의 높은 COD는 나타나지 않았다. 계절적으로 표층에서의 유기물 생성량이 감소하고, 계속된 외해수의 유입으로 수층에서의 유기물 산화가 활발해진 것으로 판단된다.

5). 클로로필-*a*

4월조사에서는 표층에서 $19.6\mu\text{g}/\text{l}$ 이었으며, 4m에서 $21.7\mu\text{g}/\text{l}$ 로 최고치를 나타냈고 그 이하 수심에서는 서서히 감소하고 있다(Fig, II-12). 8월과 10월에는 성층이 형성된 3m 위의 수심에서는 비교적 높으나, 성층아래 수심에서는 급격히 감소했다.

6). 부유물질(SS) 및 입자성 유기탄소(POC)

4, 8, 10월의 SS는 표층에서 10m까지는 거의 변화가 없으며, 그 이하에서 증가하고 있다(Fig, II-12). 특히 10월7일 조사에서는 11m 이하에서 매우 높게 나타났는데, 현장조사를 위해수가 유입된 후 얼마되지 않아서 실시했기 때문에 저층 퇴적물에서 부유된 부유사가 아직 수중에 남아있기 때문으로 판단된다.

4월조사에서 표층에서의 POC는 36%로 매우 높으며, 클로로필-*a*가 가장 높았던 4m 수심에서 39%로 가장 높았고, 수심에 따라 클로로필-*a*와 같이 감소했다. 8월과 10월의 결과도 성층위의 수심에서 높으며, 수심에 따라 감소했으며, 클로로필-*a*의 분포와 비슷하게 나타났다.

7). 영양염

일반적으로 해양 표층수에서의 영양염은 광합성에 의하여 소비되기 때문에 낮은 값을 보이고, 수심이 깊어짐에 따라 높아진다. 그러나, 96년 조사에 의하면, 시화호는 계절에 따라 저층이 환원상태로 유지되어 있는 곳이 많은데, 이러한 곳에서는 산화형 물질은 환원되어 거의 존재하지 않고, 환원형 물질이 높게 나타나고 있다. 97년의 경우 7월말부터 외해수를 유입함으로써 담수층과 해수층의 경계면 이하의 무산소층에서는 질산염이 거의 없는 것으로 나타났으며, 저층에서 용출된 영양염이 상층으로 확산되는 것으로 나타났다.

수층별 조사에서 정점 13의 질산염 분포를 보면 Fig. II-13에서와 같이 4월조사에서는 표층에서 약간 낮으며, 그 이하 수심에서 8m까지 거의 일정하고, 10m에서부터 조금씩 감소하고 있다. 다른 계절에 비하여 저층을 제외하고는 높은 농도로 존재하고 있다. 특히, 표층에서 8m까지는 $50\mu\text{M}$ 이상으로 높다. 이때에는 성층이 형성되어 있지 않았으므로 표층에서 10m까지 산소가 존재하므로 질소화합물이 산화물 상태로 존재하는 것이다. 그러나, 8월 이후에는 거의 검출되지 않

있는데, 표층에서는 광합성이 활발하게 일어나므로 하천수를 통하여 질산염이 공급되더라도 질산염의 소비가 증가하여 고갈되는 것이다. 저층에서는 성층의 형성으로 무산소층으로 전환되기 때문에 질산염이 암모니아로 환원되어 질산염이 존재하지 않는 것이다. 시화호 물을 방류하기 전에는 외해수층의 산화형 질소화합물이 $15\sim 30\mu M$ 정도이었으나, 6월 이후 계속적인 방류로 외해의 산화형 질소화합물은 $13\mu M$ 로 낮아졌다. 4월과 같은 질산염의 농도가 높은 물이 방류되면, 외해의 질산염의 농도가 높아지지만, 그 이후의 질산염이 고갈된 물이 방류됨으로써 외해의 산화형 질소화합물의 농도가 낮아진 것이다. 시화호의 무산소층이 저층에서 수심 3m까지 형성되어 있으므로 산화형 질소화합물의 농도가 $13\mu M$ 인 외해수가 매일 500만톤씩 시화호로 공급되더라도, 무산소층내에서 유기물에 의해 산화되어 수층 전체에서 질산염이 존재하지 않는 것이다.

암모니아 농도는 조사기간중 성층이 형성된 수층의 위층에서는 낮다. 4월에는 표층에서 8m 까지 비슷하다가 10m 이하에서 서서히 증가했다. 8월 이후에는 중간 수층에서 높아지고 수심에 따라 낮아지다가 저층에서 다시 높아지고 있다 (Fig. II-13). 수층에서의 농도는 4월 이후 크게 증가했다. 4월에는 표층에서 8m까지는 $63\sim 73\mu M$ 로 일정하게 나타났고, 10m층에서 $92\mu M$, 12m에서 $134\mu M$, 14m층에서 $160\mu M$ 로 저층 퇴적물에서 많은 양의 암모니아가 용출되는 것으로 보인다. 한편, 질산염은 표층에서 8m까지 $54\sim 68\mu M$, 10m층에서 $44\mu M$, 12m에서 $17\mu M$, 14m층에서는 거의 $0\mu M$ 로 암모니아와는 반대 양상을 보이고 있다. 표층에서는 4월 이후 낮아졌는데, 표층에서의 광합성이 활발하므로 암모니아의 소비가 커지기 때문이다.

유입된 외해수의 질소화합물이 호내에서 전부 환원되어 암모니아로 전환되더라도 총질소가 $28\mu M$ (외해의 9개 정점의 표층에서 7월과 9월 사이에 6회 조사한 평균값임, 이하 인산염과 규산염도 동일)인 것을 감안하면, 외해수의 유입으로 호내의 암모니아 농도는 4월보다 낮아져야 한다. 그러나, 8월이후에 표층에서는 결핍되어 있으나, 성층이 형성된 수심 이하에서는 매우 높다. 특히, 8월에는 4m 이하에서 $100\mu M$ 이상으로 높으며, 14m에서는 $629\mu M$ 로 매우 높아, 저층에서의 생성량이 많다는 것을 보이고 있다. 무기질소화합물의 농도가 낮은 외해수가 유입됨으로서 시화호 수층에서의 농도가 낮아지는가 하면, 수층에서의 유기물 분해 속도가 빨라지고, 저층 퇴적물에서 용출된 암모니아가 빠른 속도로 상층으로 운반되므로 전 수층에서 높게 나타난다고 볼 수 있다. 이와 같은 시화호내의 높은 암모니아 농도는 식물플랑크톤에 이용되어 이상증식을 발생시키는 좋은 조건을 제공하고 있는 것이다.

9월12일 조사 결과를 보면, 저층에서의 농도가 8월에 비해 낮아졌지만, 수층에서의 농도는 비슷하다. 10월7의 조사에서 표층에서는 9월보다 높아졌고, 성층이 형성된 수심 아래에서는 낮아졌다. 표층에서는 계절적으로 식물생산이 저하되므로 높아졌으며, 성층아래에서는 유기물 분해속도가 느려지고 저층 퇴적물에서 용출량이 작아졌기 때문에 낮아진 것이다.

인산염의 분포도 암모니아의 분포와 비슷하다(Fig. II-13). 4월에는 표층에서 10m까지 $2.0\sim 3.3\mu M$ 로 거의 일정하나 12m층에서 $9.0\mu M$, 14m에서 $13.3\mu M$ 로 암모니아와 같이 저층 퇴적물에서 많은 양이 용출되는 것으로 나타났다. 외해수의 평균 인산염이 $0.6\mu M$ 이므로, 외해수 유입 이후에는 호내의 인산염이 4월보다 낮아져야 할 것이다. 그러나, 수층에서의 농도는 4월에 비하여 8월 이후 증가했다. 특히 8월에는 암모니아와 마찬가지로 저층에서 매우 높으며, 9월, 10월로 가면서 낮아졌다. 앞에서 기술한 바와 같이 외해수의 유입으로 희석되는 것보다 저층에서 용출되어 상층으로 운반되는 인산염의 양이 매우 많아 수층에서 높은 농도를 유지하고 있는 것이며, 여름철보다 가을철에 저층에서의 생성량이 작아지고 있는 것이다.

N:P비는 4월에 표층에서 10m까지 39.7~65로 Redfield비인 16보다 매우 높으며, 그 이하 수심에서는 낮아졌으며, 14m에서는 12로 표층에 비하여 매우 작아졌다(Fig. II-14). 위에서 언급한 바와 같이 4월에는 방류 및 유입을 하지 않았고, 성층 위의 층에서 일정하게 나타나는 것으로 보인다. 즉, 주로 하천수에 의해 공급되는 영양염에 의해 지배되므로, 표층에서 하천수의 영양염 비와 비슷한 유기물이 생산되고, 이들이 침강하면서 분해되는 것이다. 따라서, 담수와 해수의 혼합비가 표층과 비슷한 중간 수층에서도 표층과 비슷한 비를 나타내는 반면, 저층에서는 인산염의 침강 및 용출 특성을 잘 나타내고 있는 것이다(박 등, 1997). 8월과 9월5일 조사에서는 표층에서 질소화합물이 결핍되어 있어 N:P비는 3이하로 나타났고, 성층 이하의 수심에서는 Redfield비에 가까운 값으로 균일한 분포를 보였다. 외해수의 유입으로 해수의 특성을 나타내는 것이다. 한편, 8월의 14m층에서도 4월과 마찬가지로 12.5로 매우 작다.

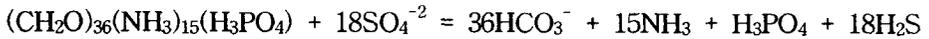
규산염은 4월에 전 수층에서 $36\sim 62\mu M$ 로 다른 시기에 비하여 낮으며 수층간의 변화가 작았다. 외해수의 규산염의 농도가 $7.8\mu M$ 이므로 외해수 유입으로 호내의 규산염이 매우 낮아질 것으로 예상됐으나, 8월에는 표층에서 $96\mu M$ 로 다른 조사시기에 비하여 높으며, 4m 이하의 수심에서는 매우 높게 나타났다. 표층에서 질소화합물의 농도가 낮은 것으로 보아 생산량은 매우 큰 것으로 추측할 수 있으므로, 표층에서의 규산염 농도가 높은 것은 소비가 작아진 것보다는 저층에

서의 공급량이 많아진 것으로 보인다. 유입된 외해수가 저층에서 생산된 규산염을 상층으로 운반하는 것이다. 한편, 시화호의 플랑크톤은 계절별 또는 담수의 유입 및 외해수의 유입으로 우점종이 크게 변화하는 것으로 나타나(최 등, 1997), 이 시기에 규조류의 번식이 없었다는 것도 추측할 수도 있다. 하여튼, 외해수의 희석효과보다 저층에서 운반되는 것과 표층에서 생산된 생물체중 규산염의 분해속도가 느리므로 침강하면서 서서히 분해하여 생산되는 것에 의해 수층에서도 균일하게 농도가 높은 것으로 보인다. 9월과 10월조사에는 8월보다 크게 낮아졌고, 4월의 결과와 비슷하며, 수층에서의 농도변화는 크지 않았다. 저층에서의 생산량이 작아졌고, 저층에서 확산되는 규산염이 전 수층으로 균일하게 운반되기 때문이다. 저층에서의 농도변화는 암모니아와 인산염에 비하여 작은 것으로 보아, 퇴적물에서의 용출속도가 다른 영양염에 비하여 작은 것을 알 수 있다.

박 등(1997)에 의하면 연안해역에서의 규산염은 주로 육상 암석의 풍화작용에 의해 공급되므로, 방조제 축조 이후에는 방조제 외해에서의 규산염이 낮아진다고 하였다. 그렇다면, 역으로 시화호내로 유입된 규산염은 외해로 나가지 못하므로 호내의 규산염은 높아질 것으로 예상된다. 96년과 97년의 자료를 비교해 보면, 97년에 높게 나타나고 있다. 그러나, 계속적으로 외해수를 유입하였고, 유입량의 정도에 따라 저층에서 생산된 규산염이 상층으로 운반되는 정도도 다르기 때문에 표층에서의 규산염의 농도변화를 판단하기가 어렵다.

4월 조사에서 나타난 Si:P비는 표층에서 11이었으며, 수심이 깊어짐에 따라 조금씩 증가하여 8m에서는 23으로 나타났다(Fig. II-14). 10m 이하에서는 급격히 작아졌으며, 12m에서 7, 14m에서 3 정도이다. 수심에 따라 Si:P비가 증가하는 것은 규산염의 분해속도가 느리므로 침강하면서 분해하기 때문이며, 저층에서 낮은 것은 위에서 언급한 환원환경하에서의 인산염의 침강 및 용출의 특성에 의한 것이다. 8월과 9월에는 성층 위의 수층에서는 30 이상으로 높았으며, 그 아래 수심에서는 10 이하로 나타났다. 성층 아래의 수심에서는 저층에서 용출되는 영양염의 영향을 많이 받는 것으로 생각된다. 10월 조사에서는 표층에서부터 저층까지 비교적 균일한 비를 나타냈다. 염분 분포에서 나타났듯이 여름철보다 성층이 강력하지 못하여 저층에서 운반되는 영양염의 영향을 많이 받는 것으로 보인다.

성층아래 수심에서의 암모니아 및 황화수소는 질산염과 양의 상관관계를 보이고 있다(Fig. II-15). 특히, 암모니아와 규산염은 매우 좋은 관계를 보인다. N:P비는 15정도로 일반해양과 비슷하다. Fig. II-15에서 보듯이 S:P 생성비는 18이고, C:S의 redox비가 2:1이므로 C:P는 36으로 계산된다. 따라서 시화호 환원환경 수층에서의 유기물 산화반응은 다음과 같다.



유기물이 황산염에 의하여 산화될 때 총알카리도에 대한 황화수소의 비는 2.26이다(Dyrssen, 1986). Fig. II-15는 10월7일에 정점 13에서 측정된 총알카리도와 황화수소의 관계를 나타낸 그림으로, 기울기는 4.62로 2.26 보다 크다. 이같이 크게 되는 경우는 황화수소가 산소와 반응하여 산화됨으로서 알카리도를 변화시키지 못하고 제거되기 때문으로 설명되고 있다. 시화호내의 수층에서는 외해수의 유입으로 산소 및 질산염 등 산화물이 공급되어 생성되었던 황화수소와 반응하므로 이같이 기울기가 큰 것으로 보인다.

3. 표층수에서의 중금속

시화호의 용존성 및 입자성 중금속 분석 결과는 Appendix II-1과 Fig. II-16에 나타내었다.

한편 표층수중의 용존성 중금속에 대해서는 이미 전년도 보고서에서 언급하였는데, 전체적인 분포는 대체로 공단토구에 가까운 정점들에서 높게 나타났다(한국해양연구소, 1997). 그리고 입자성 중금속은 두가지 형태로 농도를 표시하였다. 일정 부피 시수중의 입자성 중금속량을 나타내는 $\mu\text{g/l}$ 와 여과된 부유물질내에 포함된 중금속 함량을 의미하는 $\mu\text{g/g}$ 으로 표시하였다. $\mu\text{g/l}$ 단위는 일정 부피 시수중의 입자성과 용존성의 비율을 파악할 수 있으며, $\mu\text{g/g}$ 단위는 부유물질내에 중금속 함량이 어느 정도인지, 즉 enrichment를 알 수 있다. 96월 8월의 입자성 Cr은 공단토구에 가까운 정점 4, 5, 8에서 높았고, 10월에도 정점 4와 5에서 높았는데, 이들 정점에서는 $60\mu\text{g/g}$ 이상으로 나타났다. 입자성 Co도 Cr과 비슷한 분포를 나타내었으며, 공단토구에서 먼 정점에서는 대부분 $10\mu\text{g/g}$ 이하 이었으나 공단토구 주변에서는 $20\mu\text{g/g}$ 이상으로 높게 나타났다. 용존성 Co/총 Co 비율은 정점에 따라 변동이 크게 나타났는데 공단토구에 가까운 정점에서 비교적 낮았다. 8월과 10월의 입자성 Ni은 $12\sim 199\mu\text{g/g}$ 의 범위로 공단토구 주변의 정점에서 높고 배수갑문쪽으로 가면서 낮아지는 분포를 보였으며, 총 Ni중에서 용존성 비율이 75% 이상으로 높게 나타났다. 입자성 Zn은 다른 중금속과 마찬가지로 공단토구 주변에서 높았는데 10월에 정점 5에서 최대 $1935\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았으며, 나머지 정점들에서는 $200\mu\text{g/g}$ 이하로 나타났다. 8월에는 용존성의 비율이 높았으나, 10월에는 입자성의 비율이 우세하게 나타났다. 입자성 Cu은 $29\sim 520\mu\text{g/g}$ 의 범위로 8월에 정점 8에서 가장 높게 나타났으며, 공단토구 주변에서 높고 호수 중앙부와 배

수갑문으로 가면서 낮게 나타났다. 용존성 Cu은 공단토구 주변의 정점에서 50~60% 수준이었으나, 나머지 정점에서는 80%내외였다. 8월의 입자성 Cd은 10월보다 비교적 낮고, 토구 주변에서 다소 높은 분포였으나, 10월에는 전체적으로 높은 농도를 보였다. 입자성 Pb는 4.2~63 $\mu\text{g/g}$ 로 변화가 컸으며, 8월에 정점 8에서 가장 높게 나타났고, 공단토구 주변에서 먼 정점에서는 10 $\mu\text{g/g}$ 이하였으며, 용존성보다 입자성 비율이 매우 우세하게 나타났다.

표층의 입자성 중금속은 공단토구를 통해 유입되는 폐수의 영향으로 토구주변의 정점들에서 자연상태보다 매우 높은 함량을 보이고 있었으며, 전년도 보고서에 언급되었듯이 용존성 중금속도 토구주변에서 높게 나타났다. 관로 오점 및 파손에 의해 산업 폐수가 토구를 통해 유입되고, 이들 폐수에 포함된 중금속이 호수내의 중금속 농도를 상승시킨 주요 원인이며, 호수내에서 제반과정을 거쳐 퇴적물에 축적되는 것이다.

4. 수층별 조사에서의 중금속

수층별 조사의 용존성 및 입자성 중금속 농도의 자료는 Appendix II-2에 나타내었다. 용존성 중금속의 농도범위는 Co 0.003~0.53 $\mu\text{g/l}$, Ni 0.45~19.5 $\mu\text{g/l}$, Zn 0.11~19.5 $\mu\text{g/l}$, Cu 0.09~10.9 $\mu\text{g/l}$, Cd 0.003~0.128 $\mu\text{g/l}$ 그리고 Pb 0.003~0.135 $\mu\text{g/l}$ 였으며, 입자성 중금속은 Cr 0.3~155 $\mu\text{g/g}$, Co 1.3~98 $\mu\text{g/g}$, Ni 0.3~155 $\mu\text{g/g}$, Zn 62~1150 $\mu\text{g/g}$, Cu 3.0~650 $\mu\text{g/g}$, Cd 0.23~7.01 $\mu\text{g/g}$, Pb 0~86 $\mu\text{g/g}$ 로 변동이 매우 크게 나타났다.

각 시기별로 중금속의 농도와 수직분포는 매우 다르게 나타났는데, 조사 정점에서 가장 깊은 수심인 정점 13의 수직 분포를 Fig. II-17에 나타내었다. 96년 10월의 경우 원소별, 형태별로 수직 분포는 복잡하게 나타났는데, 용존성 Co와 Zn는 중층에서 높은 농도를 보이지만, 저층에서도 표층보다 높게 나타났으며, 그 외의 원소는 중층에서 상승 peak가 있으나 10m이하에서 매우 낮게 나타났다. 입자성 Cr, Co, Ni은 표층보다 저층에서 높았으나, 나머지 원소는 저층에 비해 표층 또는 중층에서 다소 높게 나타났다. 특히 97년 4월의 수직분포는 수심 10~12m층을 경계로 용존산소의 급격한 변화에 따른 산화-환원 환경하의 전형적인 중금속 분포를 보여주고 있다. 용존성 Pb을 제외한 용존성 중금속은 표층에서 10m까지는 거의 균일한 분포를 나타내었으나, 환원상태인 12m이하에서는 급격히 감소하였다. 반면 입자성 중금속 농도는 10m까지는 약간의 변동폭을 가지고 비

교적 균일하지만, 그 이하층에서는 급격히 상승하여 매우 enrich되어 있었다. 이와 같은 저층에서 입자성 중금속의 높은 농도는 호수내의 활발한 생물학적인 작용에 의한 유기화나 여러형태의 유기 ligand와 용존성 중금속의 결합에 의해 입자화된 다음 저층으로 침강되었다기 보다는 저층의 용존산소 고갈로 인하여 생성된 sulfide 등과 같은 무기 ligand와 용존성 중금속이 결합하여 침전물을 형성하였기 때문으로 보인다. 환원환경하에서 중금속의 동태는 많은 연구자들에 의해 이루어져 왔다(Brewer, 1975; Kremling, 1983; Haraldsson and Westerlund, 1988; Landing and Westerlund, 1988). Kremling(1983)이 발틱해에 대해 연구한 결과에 의하면 용존성 Zn, Ni, Cu, Cd 농도는 저층의 환원환경에 존재하는 sulfide와의 결합으로 그 농도가 감소하였으나, Co는 환원환경에서 Co^{2+} 으로 주종을 이루고 sulfide complexation은 크게 작용하지 않는다고 하였다.

8월에 정점 13의 경우 4m이하에서 용존산소는 고갈된 상태인데 용존성 Co, Ni, Zn, Pb의 농도는 수심에 따라 다소 증감이 있으나 10m이하에서는 상당히 증가하였으며, 용존성 Cu와 Cd는 다소 감소하는 경향을 보였다. 입자성 중금속은 수층에 따라 불규칙적인 변화를 나타내었는데, 입자성 Co는 저층으로 갈수록 서서히 증가하여 10m층에서 가장 높게 나타났으나, 입자성 Ni은 저층으로 가면서 감소하였다. 그 외의 중금속은 중층에서 최대값을 보였으나 저층에서는 다소 낮게 나타났다

97년 10월 용존성 Co, Ni, Cu는 중층에서 다소 상승하였으나, 저층에서는 낮은 농도를 나타내었으며, 용존성 Cd은 8m층부터 약간 높아졌다. 입자성 중금속의 경우는 층별로 다소 변화가 있으나 저층으로 갈수록 높은 경향을 보였다.

Fig. II-18에는 시화호의 3개 정점의 수층별 조사자료중에서 각 시기별 표층 수중 용존성 중금속의 평균 농도의 변화를 나타내었는데, 전체 조사중에서 대부분의 중금속이 97년 4월에 가장 높았다. 이것은 하천 및 공단토구를 통한 지속적인 유입에 의한 것으로 판단되며, 97년 8월과 10월에는 오염된 시화호 물의 지속적인 방류와 상대적으로 깨끗한 외해수의 유입과 함께 공단토구를 통해 유입되던 폐수를 차집관로의 완공으로 인한 중금속 오염부하가 감소되었기 때문에 호수내 중금속 농도가 급격히 감소하였으며, 이에 따라 수직적인 용존성 및 입자성 중금속 농도도 4월에 비해 97년 8월과 10월에는 매우 낮게 나타났다.

5. 공단토구 및 하천수중의 중금속

4월 23일과 8월 18일에 실시된 공단토구 및 하천수에 대한 조사의 용존성과 입자성 중금속 농도는 Appendix II-3에 나타내었다. 2회 조사에서 나타난 용존성 중금속의 농도는 Cr 0.1~70.2 $\mu\text{g}/\text{l}$, Co 0.4~12.6 $\mu\text{g}/\text{l}$, Ni 1.6~629 $\mu\text{g}/\text{l}$, Zn 1.6~10610 $\mu\text{g}/\text{l}$, Cu 0.5~1169 $\mu\text{g}/\text{l}$, Cd 0.002~0.289 $\mu\text{g}/\text{l}$, 그리고 Pb 0.006~1.58 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였으며, 입자성 중금속의 경우는 Cr 4~4746 $\mu\text{g}/\text{g}$, Co 1.5~37 $\mu\text{g}/\text{g}$, Ni 3.5~2243 $\mu\text{g}/\text{g}$, Zn 178~253618 $\mu\text{g}/\text{g}$, Cu 41~26054 $\mu\text{g}/\text{g}$, Cd 0.4~18 $\mu\text{g}/\text{g}$, 그리고 Pb 5.3~2768 $\mu\text{g}/\text{g}$ 의 범위로 전체적으로 보면 조사시기 및 지점별로 농도의 변화가 매우 크게 나타났다.

하천수의 용존성 중금속 농도는 8월에 비해 4월에 높았으며, 하천별로는 신길천에서 용존성 뿐만 아니라 입자성 중금속의 농도가 다른 하천에 비해 상당히 높게 나타났으며, 특히 입자성 Ni, Zn, Cu, Pb는 부유물질에 매우 높은 수준으로 enrich되어 있었고, Cr, Zn, Cu, Cd, Pb은 총 중금속중에서 입자성 중금속이 차지하는 비율이 우세하였으며, Co, Ni은 용존성이 대부분을 차지하였다. 산가용성 형태로 조사된 전년도의 조사(한국해양연구소, 1997)에서도 신길천에서 높은 농도를 보인 바 있으며, 이것은 신길천 주변의 공장으로부터 배출되는 폐수에 의한 영향으로 추정하였다. 한편 신길천을 제외한 다른 하천의 용존성 중금속 농도는 비교적 낮았고, 입자성 Zn 농도는 변동이 크게 있지만 2회 조사 모두 높은 편이며, 입자성이 차지하는 비율이 높았다. 입자성 Cu도 4월에 해안교와 동화천에서 각각 102 $\mu\text{g}/\text{g}$ 와 267 $\mu\text{g}/\text{g}$ 로 높게 나타났으며, 4월에 비해 8월 조사에서는 다소 낮았지만, 두 하천 모두 입자성 비율이 높았고, 입자성 Pb은 8월에 동화천에서 138 $\mu\text{g}/\text{g}$ 으로 enrich되어 있었다.

공단토구의 각 중금속 농도는 시기별, 지점별로 변화가 크게 나타났다. 지점 A에서 다른 지점보다 비교적 낮은 값을 보였으나, 지점 A를 제외한 지점에서는 용존성 중금속의 농도, 특히 Zn과 Cu는 용존상태로서 높은 농도를 보였다. 시료 중에 부유물질은 대부분 20~60mg/l의 범위인지만 이들 부유물질에는 Cr, Zn, Cu, Pb도 많이 포함되어 있다. 이로 인해 총 Zn과 Cu은 ppm 수준을 보였으며, 이러한 농도 값은 96년 8월의 산 가용성 중금속 농도에서도 높게 나타났었다. Co의 경우 용존성은 4월에 지점 H, 8월에는 지점 G에서 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 를 초과하였으며, 입자성은 8월에 지점 H에서 29 $\mu\text{g}/\text{g}$ 으로 가장 높게 나타났다. 시화호로 유입하는 하천과 공단토구의 총 중금속 농도는 비록 낮은 농도를 보이는 것도 있으나 이것들조차도 해양에 비해 수배이상이며, 높은 것은 수백~수천배의 이상으로 나타났다. 다행히 97년 중반에 공단토구 배출수의 차집관로 공사가 완공되어 공단토구를 통한 중금속 유입은 차단되었다. 그러나 문제점은 여전히 남아있다. 높은 농도의 중

금속을 함유한 신길천과 기타 하천들은 아직 시화호로 유입하고 있으며, 차집관로 완공 이전까지 시화호로 유입되었던 중금속은 여러 경로를 거쳐서 퇴적물에 높은 농도로 축적되어 있다는 것과 차집관로를 통해서 시화호수종말처리장으로 운반된 폐수는 처리 후 시화 방조제 앞에 위치한 수중 방류구를 통해서 방류되고 있으나, 방류수중의 중금속이 매우 높으므로 외해에 영향을 미치고 있는 실정이다.

6. 주상퇴적물의 중금속

시화호 정점 5에서 채취된 주상퇴적물의 중금속 함량은 Appendix II-4에 나타내었으며, 중금속 함량 범위는 Cr 25.7~203ppm, Mn 236~650ppm, Co 4.7~17.8ppm, Ni 9.2~63.3ppm, Cu 6.6~375ppm, Zn 35.6~383ppm, As 2.9~14.1ppm, Cd 0.04~0.92ppm, 그리고 Pb는 13.8~61.7ppm이었다.

한편 중금속 분석을 위한 주상퇴적물에 대한 육안 관찰에서는 0~10.5cm와 18.5~20.5cm층에서 퇴적물의 색이 흑갈색으로 혐기성환경에서 발생하는 유화수소 냄새가 났으며, 10.5~18.5cm층에서는 불규칙적으로 황색 퇴적물이 섞여 있었으며, 37.5cm 이하에서는 약간의 sand가 섞여 있었다.

주상 퇴적물의 중금속 수직분포는 Fig. II-19에서 보는 바와 같으며, 표층부에서 높게 나타났고, 하층으로 가면서 3~4cm층에서 일차적인 최저치를 보였다. 원소별로 차이가 있지만 5.5~8.5cm까지는 증가하였으며, 하부퇴적층으로 가면서 다시 급격히 감소하여 12.5~13.5cm층에서 대부분의 중금속이 최저치를 나타내었다. 본 주상퇴적물에 대한 입도 분석이 이루어지지 않아서 직접적인 비교는 할 수 없지만, 같은 정점에서 퇴적환경 조사를 위하여 복수로 채취된 주상퇴적물중의 입도 분석 결과를 보면 15cm층에서 평균입도가 5.67 ϕ 로 그 상층이나 하층보다 다소 조립한 것으로 볼 때 퇴적물의 입도차이에 의한 영향이라 보인다. 13.5cm이하부터 29cm층까지는 다시 상승하다가 29cm이하에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 주상퇴적물에 대한 연대측정이 이루어지지 않아 퇴적상의 연대별 추정은 어렵지만, 주변환경의 변화에 따른 뚜렷한 퇴적상 변화를 알 수 있다. 특히 표층부의 높은 중금속 함량은 중금속 농도가 높은 공단토구 배출수 및 하천수의 유입과 같은 외부적인 요인, 시화 방조제의 완공에 따른 물의 정체 및 성층화등 물리적 요인, 저층의 환원 환경에 따른 sulfide의 발생, 활발한 생물학적 작용에 의한 빠른 입자화 등의 생지화학적 작용이 중금속의 축적을 촉진하는 것으로 보인다.

시화 방조제가 건설되기 전에도 반월 조간대 퇴적물중의 Cu 축적이 보고된 바 있으며, 그 원인은 혐기성 환경에서 발생된 sulfide와 이온상태의 Cu의 결합에 의한 침전물 형성 때문이라고 하였다(Jun *et al.*, 1996). 시화호의 주상퇴적물중에서 최근의 퇴적상이라 할 수 있는 표층(0~1cm)의 구리와 아연 함량을 Kang and Lee(1996)가 광양만, 마산만, 울산만에서 조사한 주상퇴적물의 표층(0~2cm) 자료와 비교하면, 시화호 표층 퇴적물중의 구리 함량은 광양만에 비해 약 10배, 마산만에 비해 3배 이상 높고, 아연은 광양만에 비해 약 3배, 울산만보다 2배정도 높은 수준이다.

7. 생물중의 중금속

시화호내 방아머리와 어도에서 채취된 농어 등 어류와 새우중의 중금속 함량 범위는 Appendix II-5와 Fig. II-20에 나타내었다. 생물중의 중금속 함량은 Cr 0.84~2.15mg/kg dry wt., Cu 0.81~40.5mg/kg dry wt., Zn 12.8~131mg/kg dry wt., As 2.28~9.39mg/kg dry wt., Cd 0.005~0.14mg/kg dry wt., Pb <0.002~0.38mg/kg dry wt. 그리고 Hg은 0.014~0.19mg/kg dry wt.범위로 나타났다.

Cr은 방아머리의 전어에서 2.15mg/kg dry wt.으로 가장 높았으나 그 외는 어종과 지역에 따른 큰 차이가 없이 고른 함량을 보였다. Cu는 방아머리의 대하와 어도의 새우에서 30mg/kg dry wt.이상으로 매우 높았는데, 이것은 Cu가 이들종의 혈액을 구성하는 필수성분으로 다량 포함되어 있기 때문이다. Zn은 방아머리의 학꽂치(대)가 131mg/kg dry wt.으로 가장 높았으며, 붕어 치어중의 함량은 붕어 성어보다 약 2배이상 높은 함량을 보였지만, 두 지역의 동일한 종간에는 전어를 제외하면 서로 비슷하였다. As는 새우에서 다소 높았으나 그 외에는 비교적 고른 함량을 보였다. Cd은 다른 어류보다 새우와 붕어치어에서 높게 나타났으나 그외는 0.02mg/kg dry wt.이하였으며, Pb은 종간에 변화가 크게 나타났으며, 붕어치어에서 0.38mg/kg dry wt.로 가장 높았다. Hg은 치어나 작은 고기보다는 성어에서 높은 함량을 보였다.

한편 어느 지역의 오염도를 평가하는데 생물을 수단으로 한 조사 및 연구가 이루어지고 있으나, 정착성 생물을 대상으로 하는 것이 대부분이다(이, 1994). 본 연구해역에서 채취된 생물과 동일한 종에 대한 다른 연구해역의 근래 자료의 부족으로 오염도를 평가 비교하기는 어렵다. 참고로 원(1973)의 조사에 의하면 거제도에서 채취된 농어와 학꽂치 근육중에 Cu는 각각 0.51mg/kg wet base와

0.36mg/kg wet base, Cd은 모두 <0.02mg/kg wet base, Pb은 각각 2.16mg/kg wet base와 3.05mg/kg wet base, Hg은 각각 0.18mg/kg wet base와 0.32mg/kg wet base였다. 본 연구 자료가 건중량임을 고려하면 Cu의 경우는 거의 비슷한 수준이지만 그 외 중금속은 본 연구자료가 훨씬 낮았다. 한편 시판중인 붕장어, 갯장어, 참조기, 명태, 갈치, 방어등의 중금속 조사(국립수산진흥원, 1996)에서 Cu는 0.39~2.17mg/kg wet base, Zn은 4.73~19.85mg/kg wet base, Cd은 0.04~0.14mg/kg wet base, 그리고 Pb은 0.24~0.87mg/kg wet base의 범위였는데, 시화호 생물중의 중금속 함량은 구리를 많이 함유한 새우를 제외하고, 본 자료가 건중량임을 고려하면 위 자료와 비슷하거나 낮은 수준이다.

한편, 환경중에서 지속성을 가진 오염물질의 인체에 대한 위해성 때문에 각국은 각종 물질에 대한 유해물질 허용 기준을 정해 놓고 있는데, 우리나라의 경우 수산물중의 중금속 규제 기준은 납과 수은에 대해서 정해져 있다(Table II-2). 그 기준은 납 2.0ppm, 수은 0.7ppm(습중량 기준)으로 본 조사 대상 생물의 수분 함량이 80% 내외임을 고려하면 조사된 생물의 납과 수은 함량은 기준치보다 매우 낮은 수준이다. 다른 중금속의 함량에 대해서 보면 호주의 규제 기준에 포함되어 있는 구리, 카드뮴, 아연 경우도 시화호 어류는 기준치보다 매우 낮다.

참 고 문 헌

- 국립수산진흥원. 1996. 1995년도 국립수산진흥원사업보고서(해양환경분야).
- 박용철, 박준건, 한면우, 손승규, 김문구, 허성희. 시화호 산화-환원 환경하의 은존 유, 무기 화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지“바다”. 2 : 53-68.
- 이수형. 1994. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염 연구. 한국패류학회지. 10(2) : 24-40.
- 최중기, 이은희, 노재훈, 허성희. 1997. 시화호와 시화호 주변 해역 식물플랑크톤의 대증식과 일차 생산력에 관한 연구. 한국해양학회지“바다”. 2 : 78-86.
- 원종훈. 1973. 한국산 어패류중의 수은, 카드뮴, 납, 구리의 함량. 한수지. 6(1, 2) : 1-12.
- 한국해양연구소. 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도). 한국해양연구소 보고서. BSPN 96325-985-4.
- 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. Geophys. Res.*, 86 : 8048-8066.
- Brewer, P. 1975. Minor Elements in the Sea water. P.416-495. In J. P. Riley and G. Skirrow eds., *Chemical Oceanography*, Vol. 1, 2nd ed., Academic Press, London, UK.
- Calder, J. A. and Parker, P. L. 1973. Geochemical implications of induced changes in C¹³ fractionation by blue-green algae. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37 : 133-140.
- Danielsson, L., B. Magnusson, and S. Westerlund. 1978. An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in seawater by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. *Anal. Chim. Acta.*, 98 : 47-57.
- Dyrssen, D. 1986. Stagnant sulfidic basin waters. *Sci. Total Environ.*, 58 : 161-173.
- Haraldsson, C. and S. Westerlund. 1988. Trace metals in the water columns of the Black Sea and Framvaren Fjord. *Mar. Chem.*, 23 : 417-424.
- Jung, H. S., C. B. Lee, Y. G. Cho and J. K. Kang. 1996. A mechanism for the enrichment of Cu and depletion of Mn in anoxic marine sediments,

- Banweol Intertidal Flat, Korea. Mar. Pollut. Bull., 32(11) : 782-787.
- Kang, H. S. and K. W. Lee. 1996. Trace metal concentrations and sedimentation rates of Kwangyang, Masan and Ulsan Bay sediments. J. Korea Soc. Water Qual., 12(4) : 455-461.
- Kremling, K. 1983. The behavior of Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, and Mn in anoxic Baltic waters. Mar. Chem., 13 : 87-108.
- Landing, W. M. and S. Westerlund. 1988. The solution chemistry of iron(II) in Framvaren Fjord. Mar. Chem., 23 : 329-343.
- Sackett, W. M., Eckelmann, W. R., Bender, M. L. and Be, A. W. H. 1965. Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton and sediments. Science 148 : 235-237.
- Wada, E. Kabaya, Y., Tsuru, K. and Ishiwatari, R. 1990. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ abundance of sedimentary organic matter in estuarine areas of Tokyo Bay, Japan. Mass Spectroscopy 38 : 307-318.

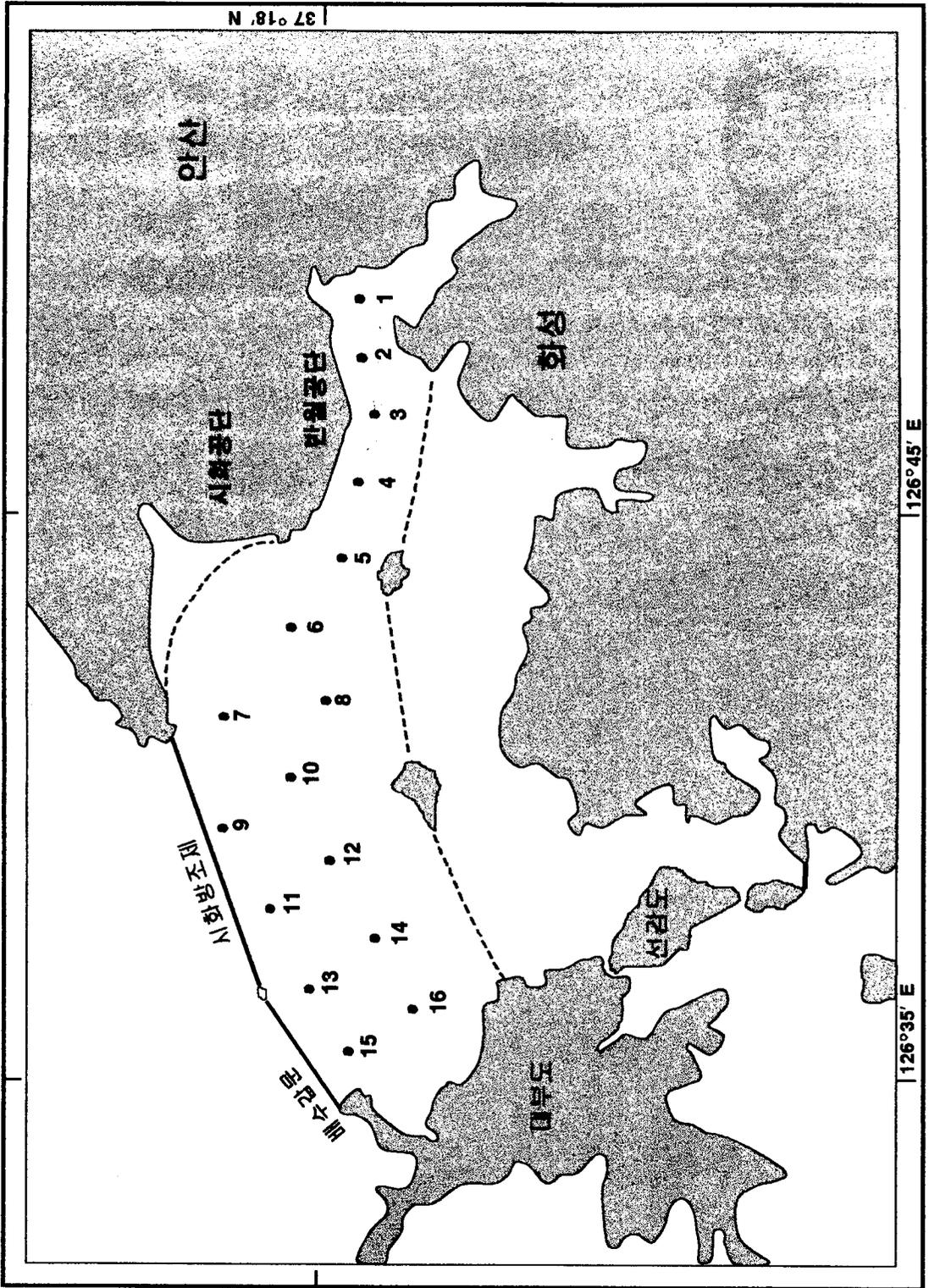


Fig. II-1. Location of sampling stations.

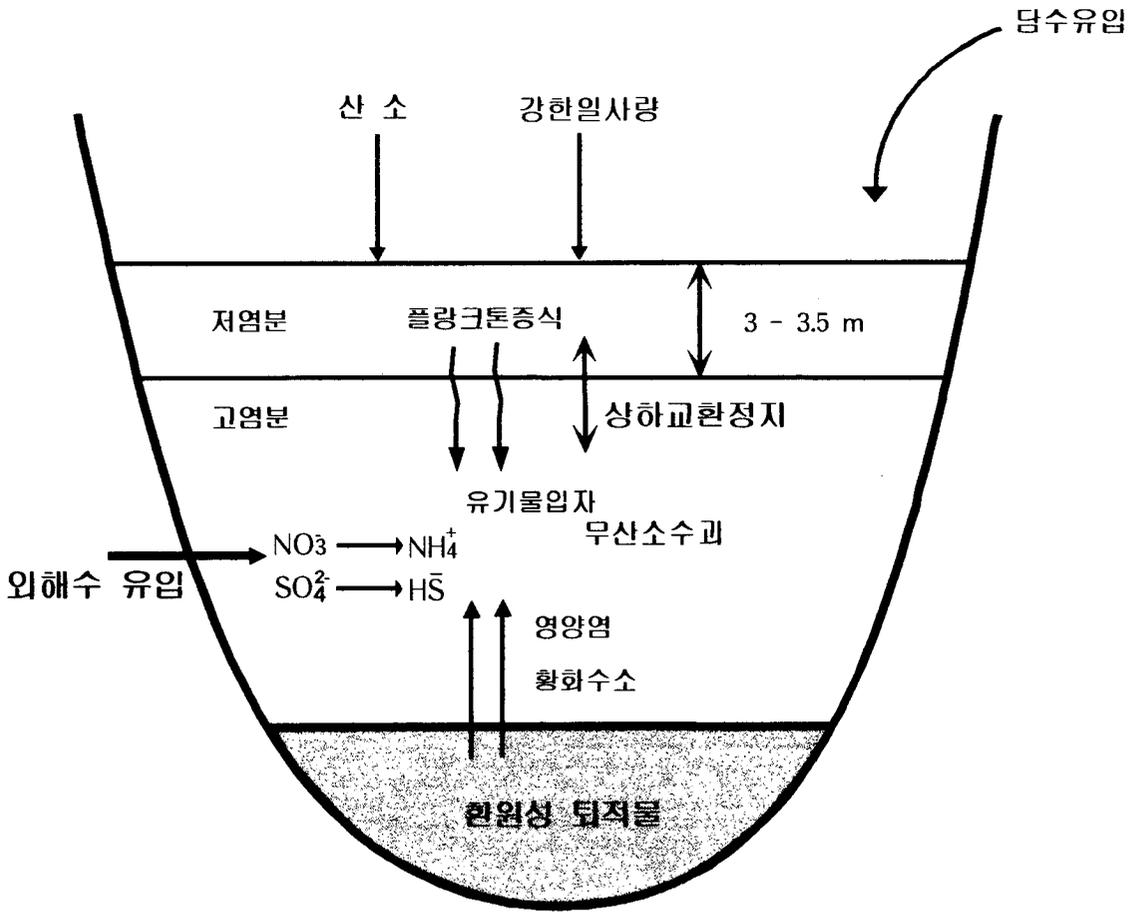


Fig. II-2. Water changes in summer and autumn of Shihwa Lake.

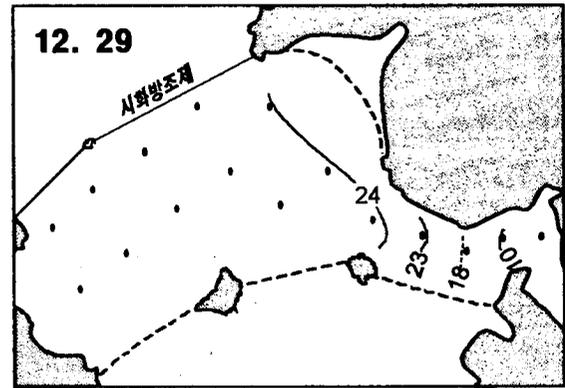
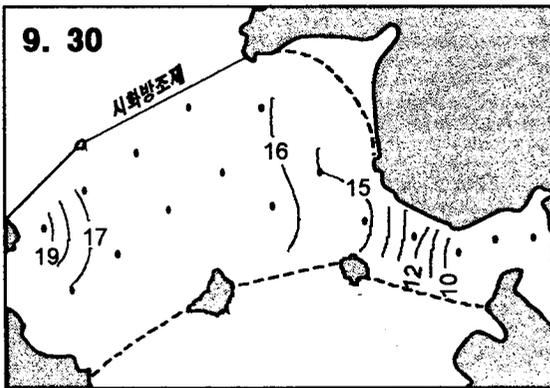
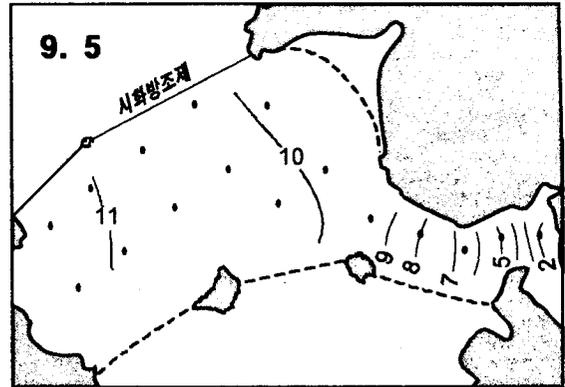
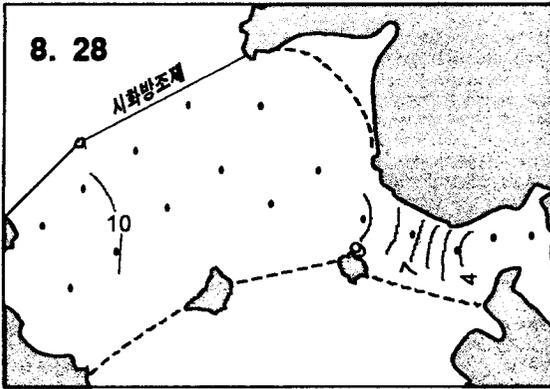


Fig. II-3. Distributions of salinity(‰) in the surface waters of Shihwa Lake.

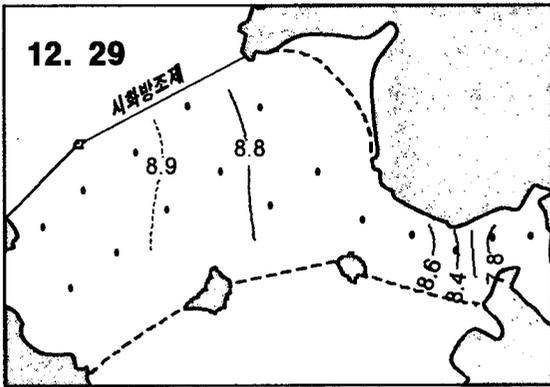
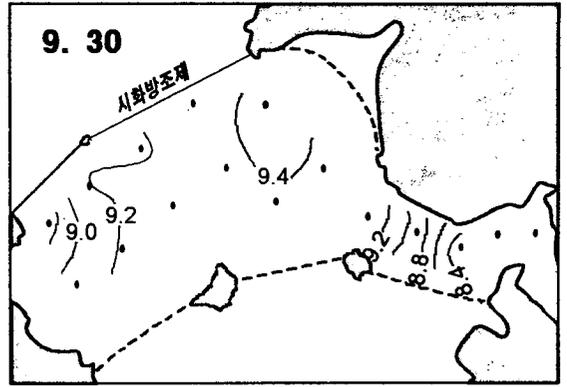
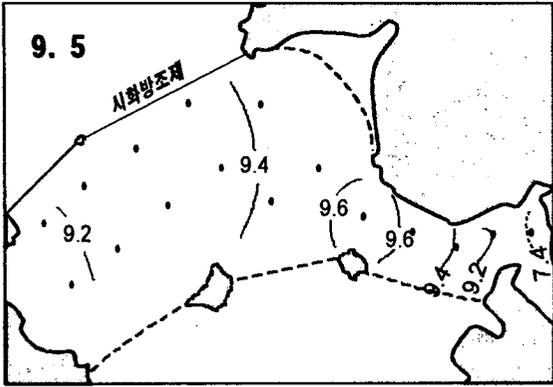


Fig. II-4. Distributions of pH in the surface waters of Shihwa Lake.

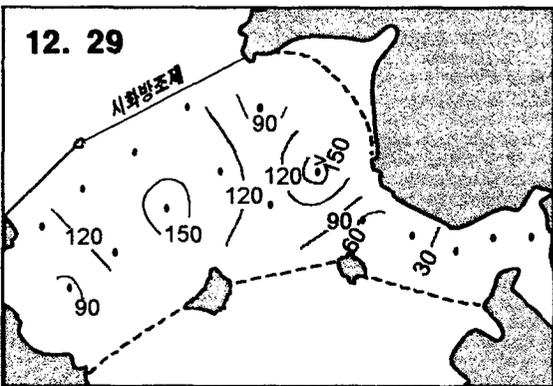
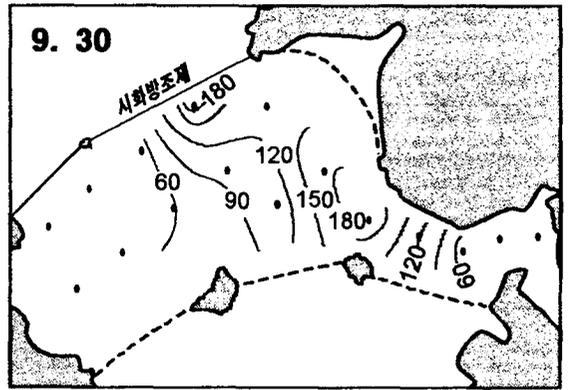
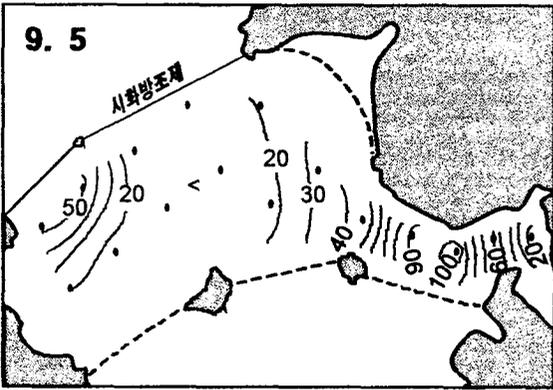
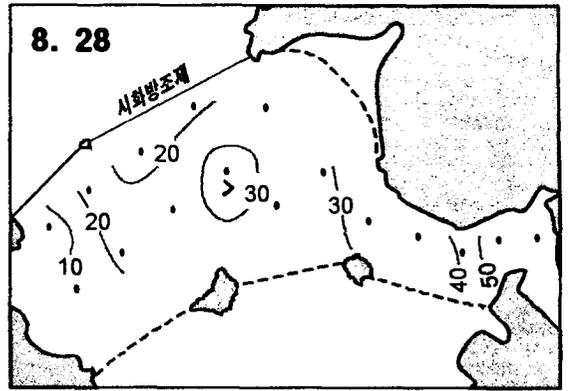
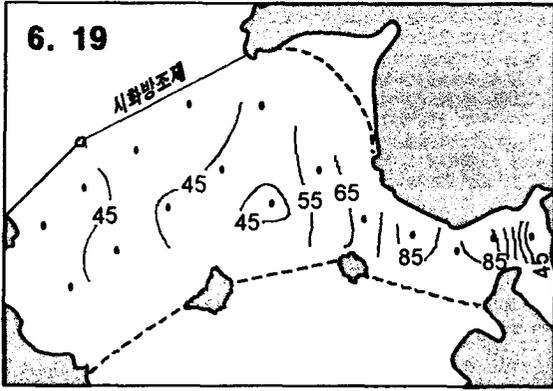


Fig. II-5. Distributions of Chlorophyll-a($\mu\text{g/l}$) in the surface waters of Shihwa Lake

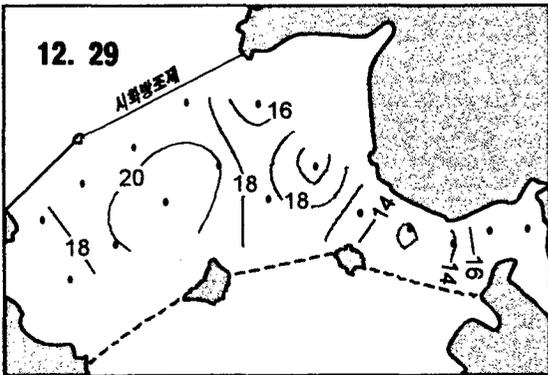
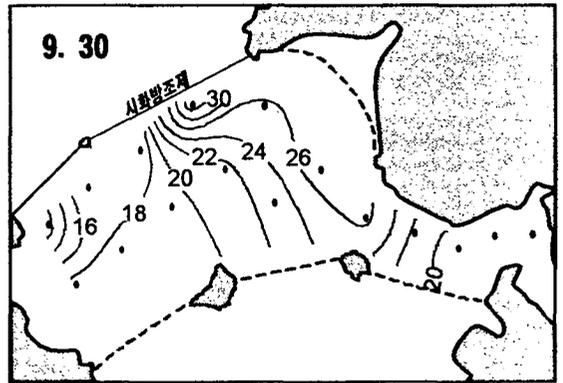
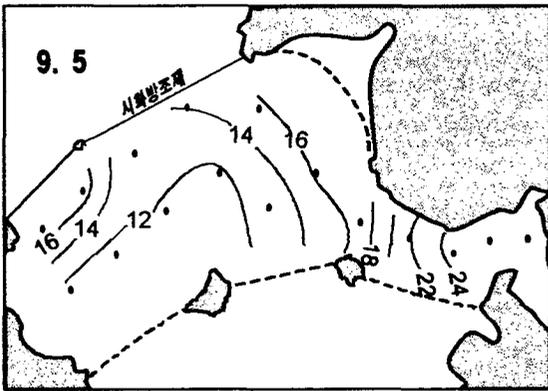
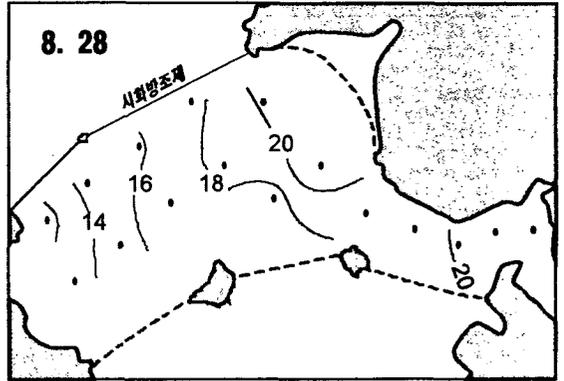
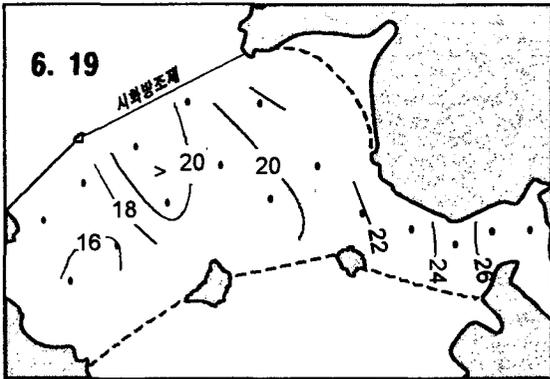


Fig. II-6. Distributions of COD(mg/l) in the surface waters of Shihwa Lake.

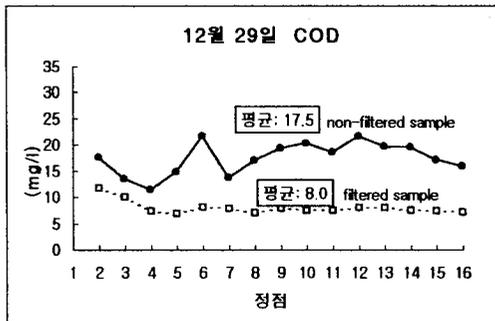
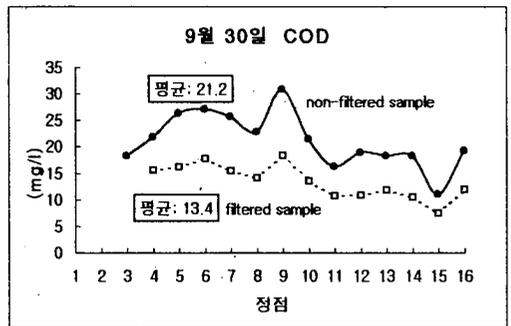
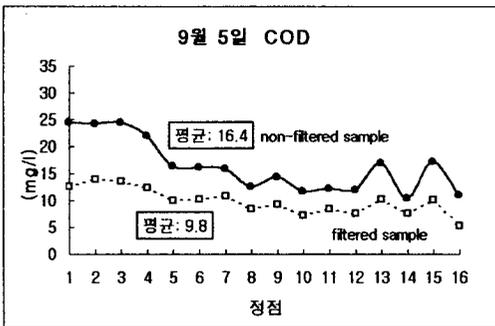
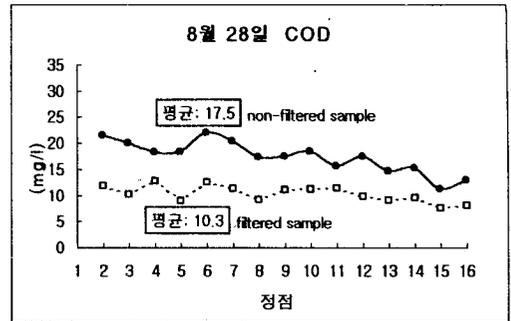
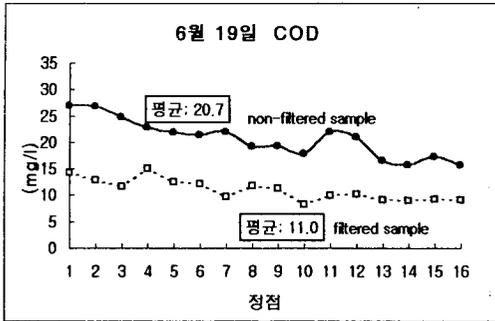


Fig. II-7. COD variations of non-filtered vs. filtered samples in surface waters of Shihwa Lake.

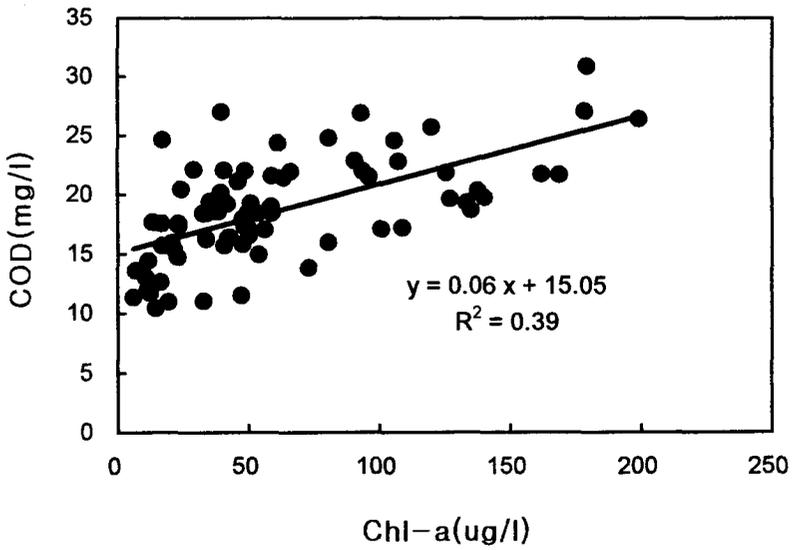
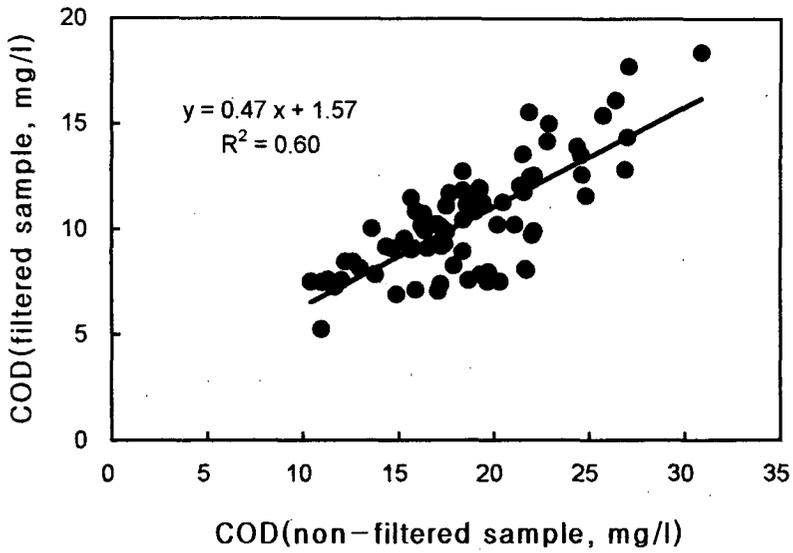


Fig. II-8. Correlations of (top) COD of non-filtered vs. filtered samples and (bottom) COD vs. Chlorophyll-*a*.

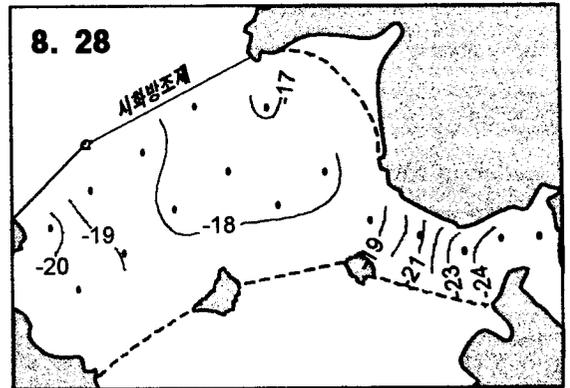
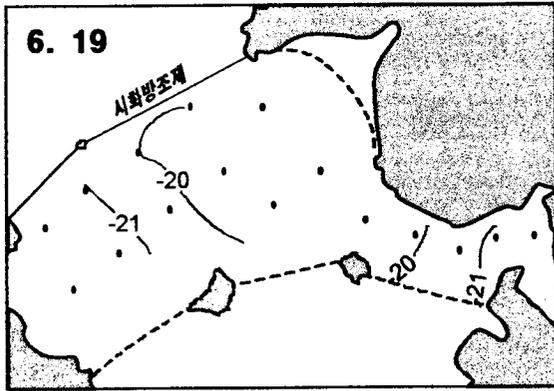


Fig. II-9. Distributions of $\delta^{13}\text{C}$ ratios of particulate organic matters in the surface waters of Shihwa Lake.

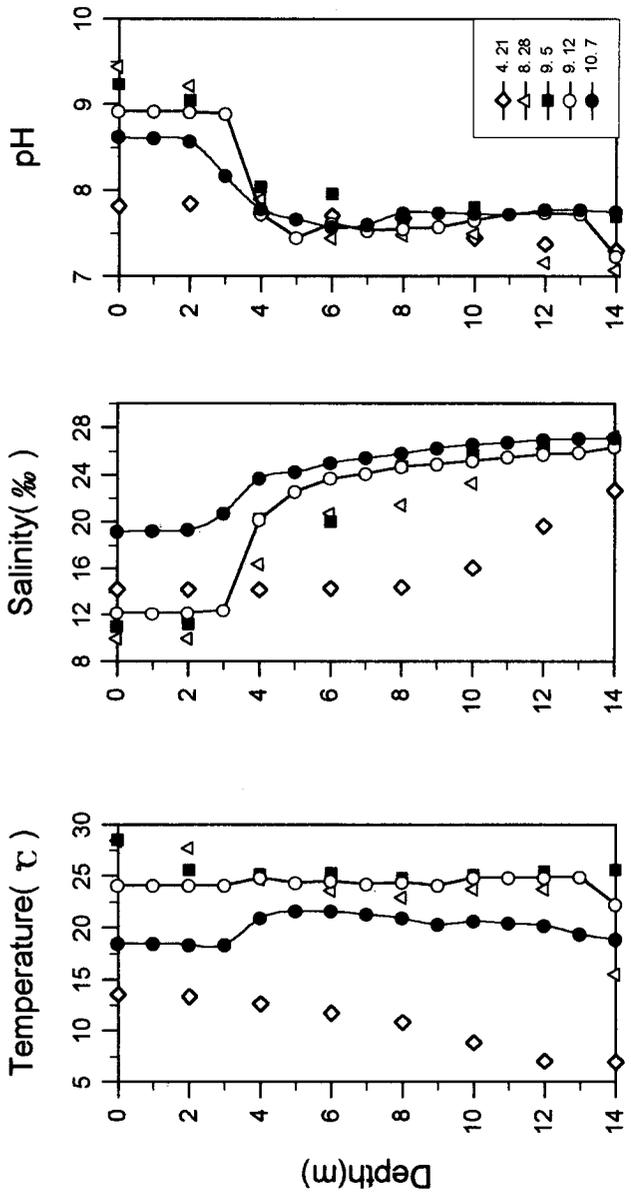


Fig. II-10. Vertical profiles of temperature, salinity and pH at St. 13 of Shihwa Lake.

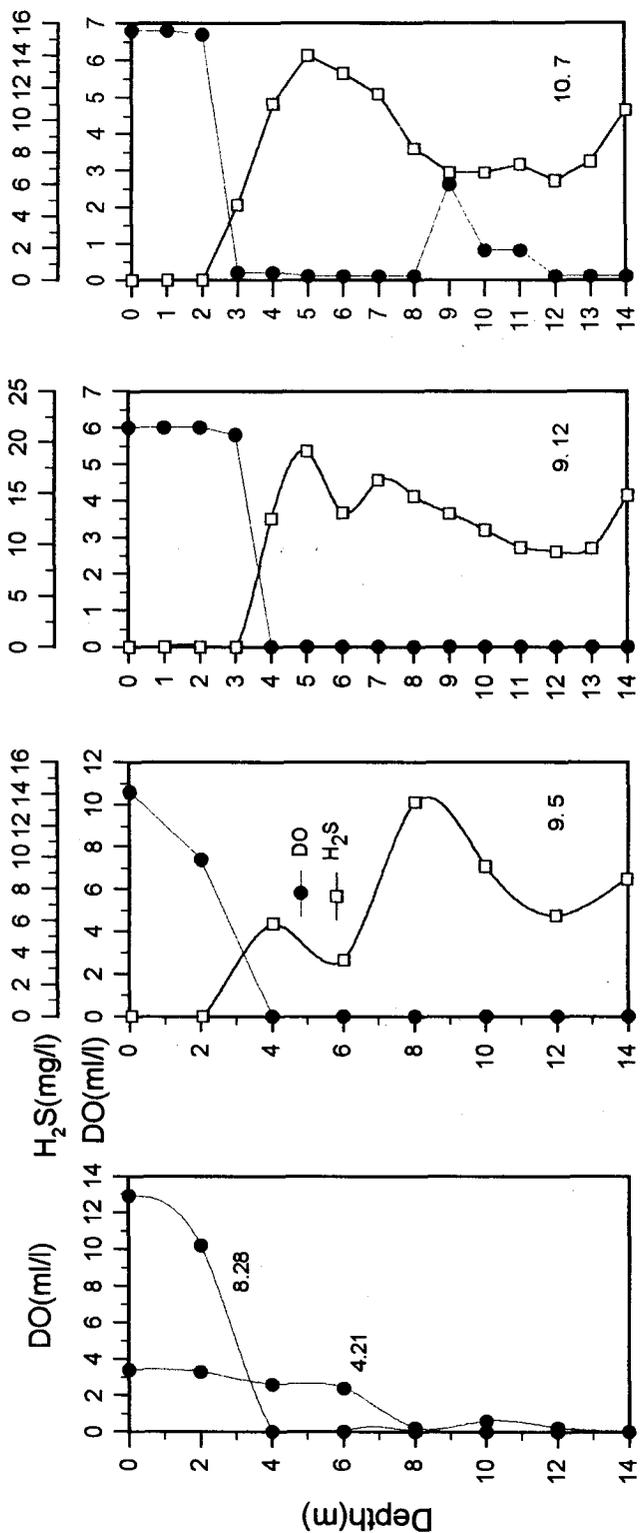


Fig. II-11. Vertical profiles of DO and H₂S at St. 13 of Shihwa Lake.

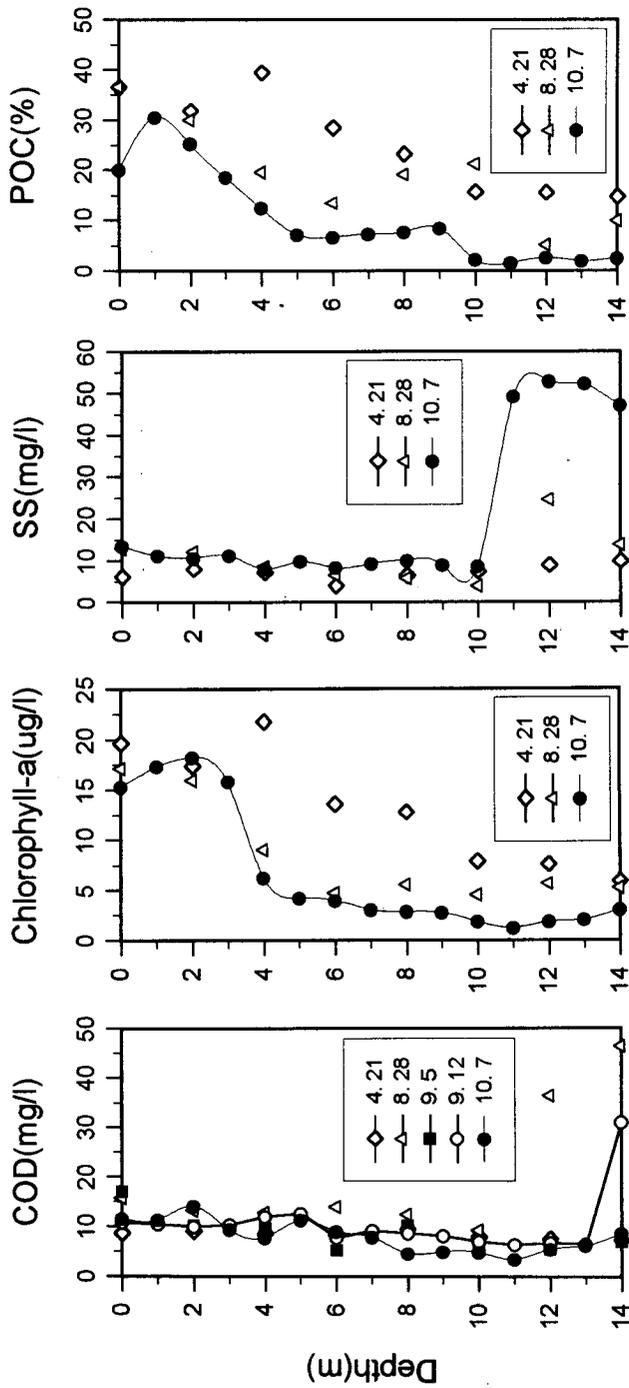


Fig. II-12. Vertical profiles of COD, Chlorophyll-a, SS and POC at St. 13 of Shihwa Lake.

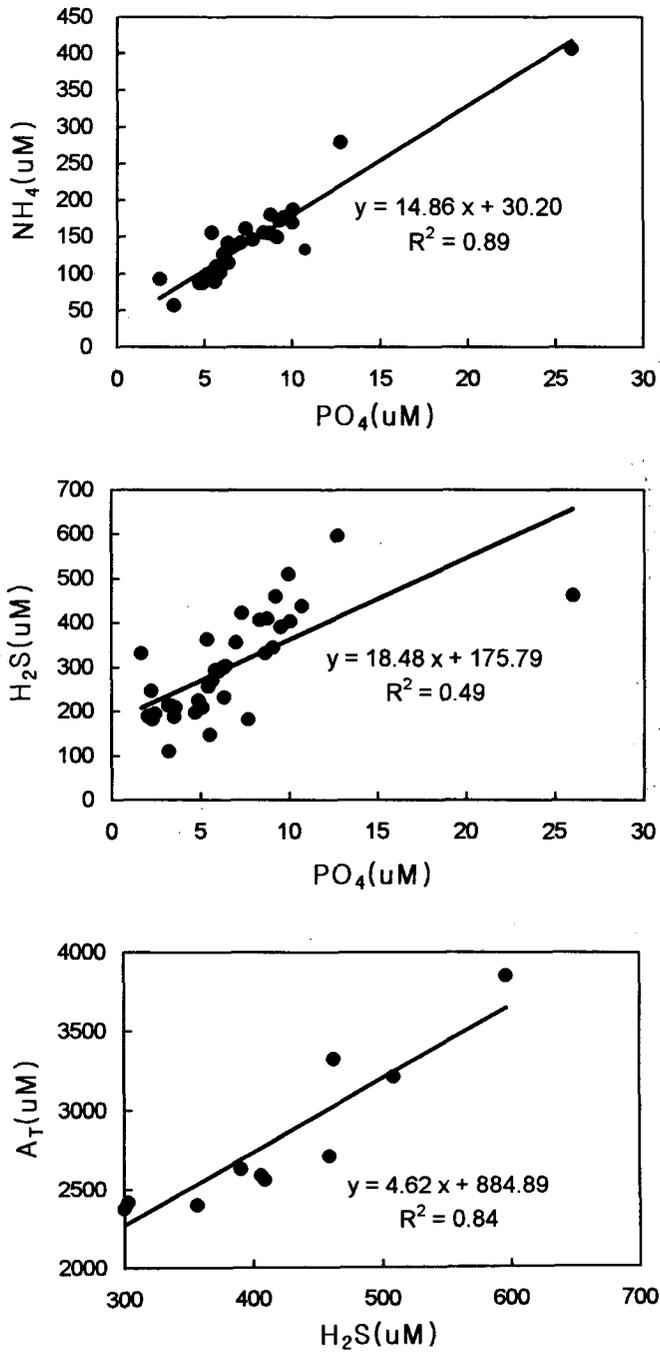


Fig. II-15. Correlations of NH_4 vs. PO_4 , H_2S vs. PO_4 , and Ar vs. H_2S below the chemocline at St. 13 of Shihwa Lake.

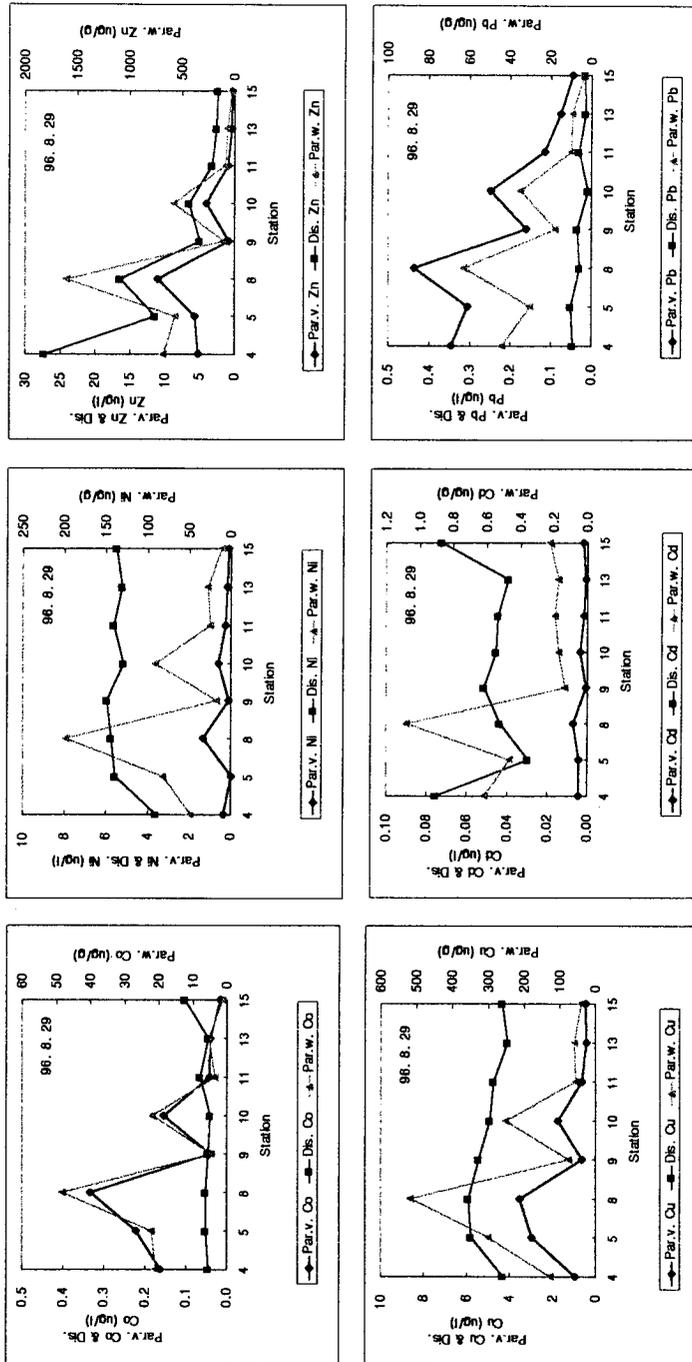


Fig. II-16. Distribution of heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake.

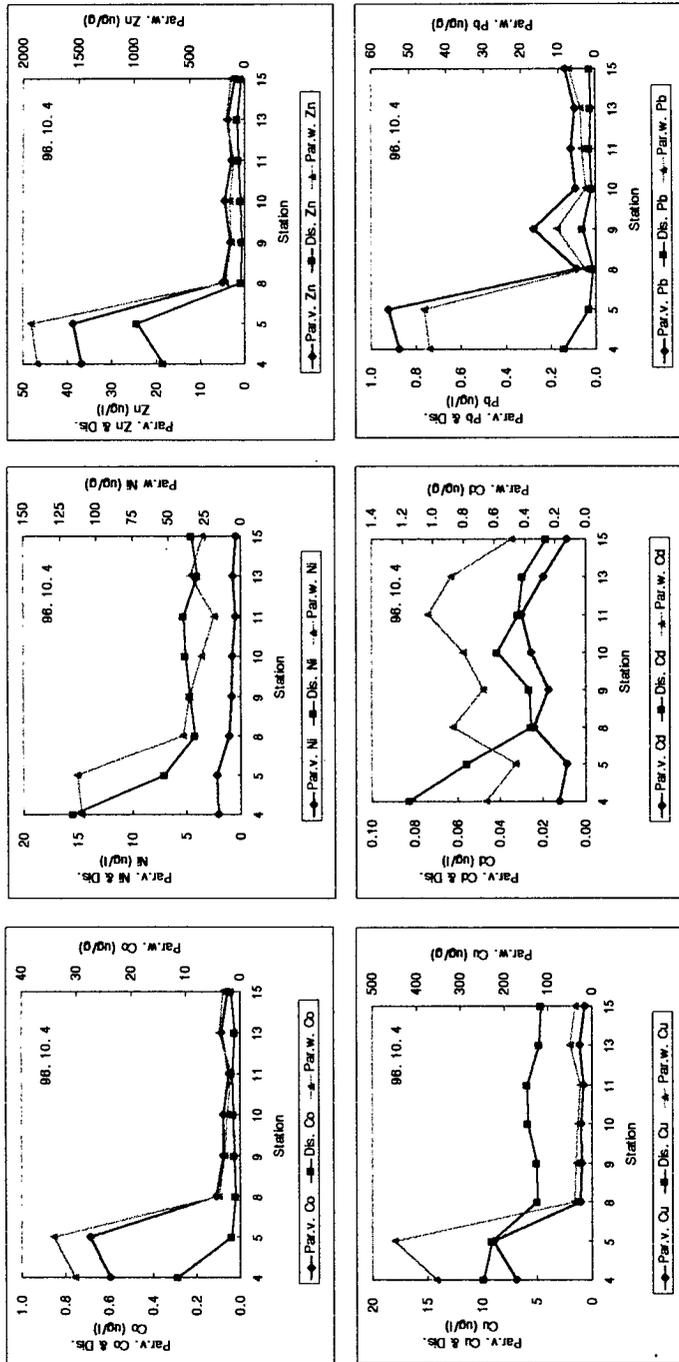


Fig. II-16. Continued.

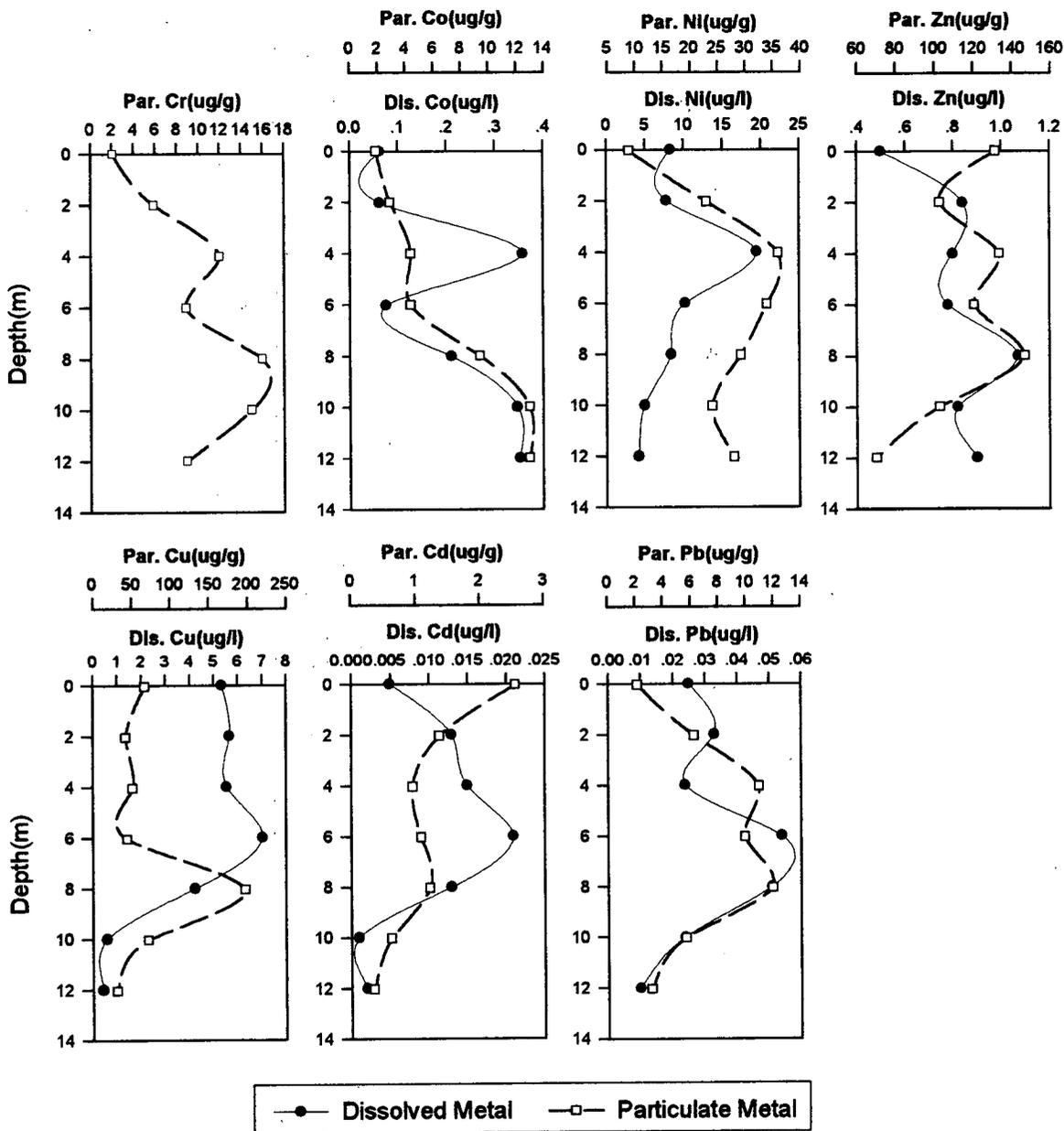


Fig. II-17. Vertical profiles of heavy metals in Shihwa Lake(96. 10. 21).

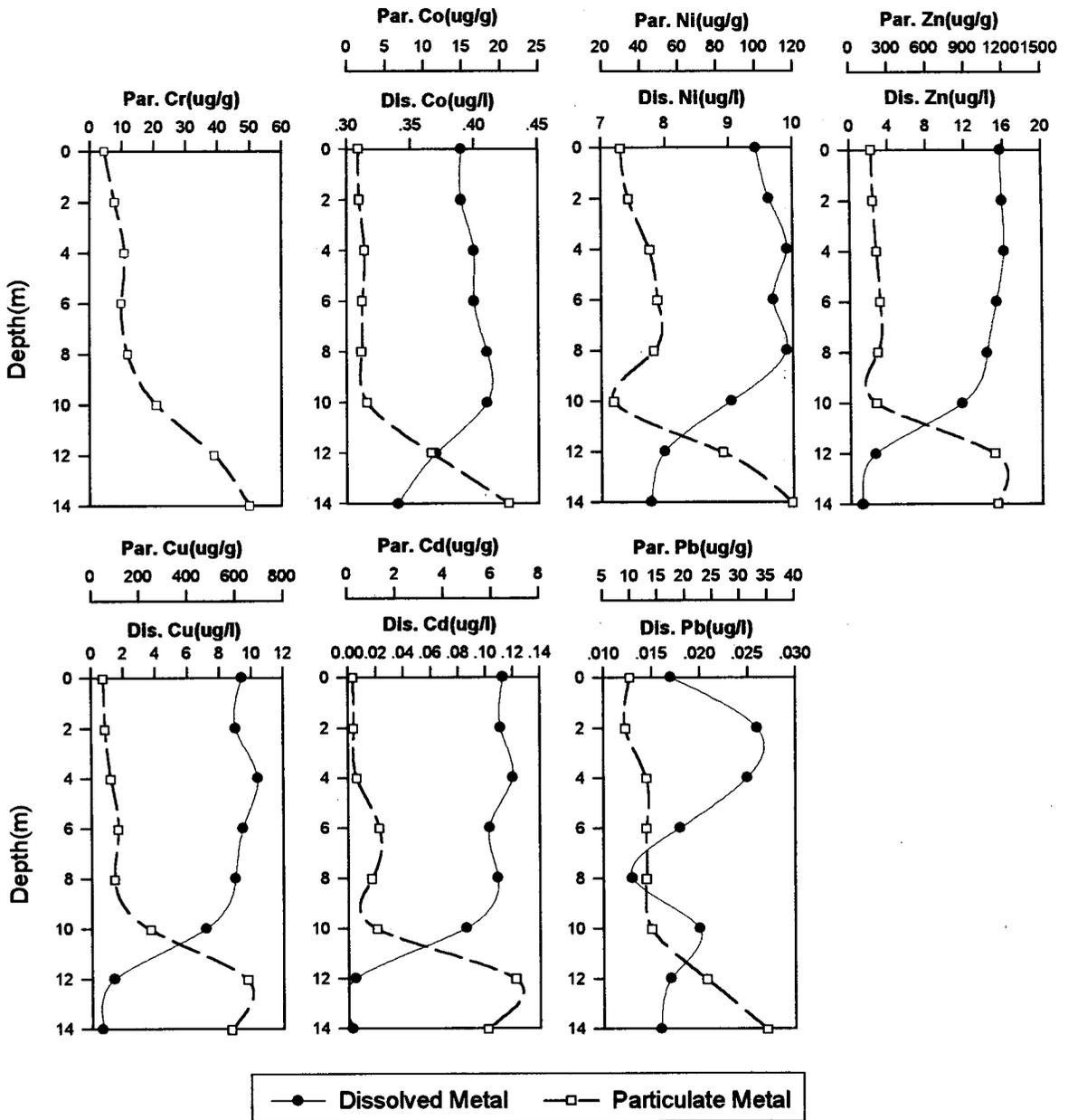


Fig. II-17. Continued(97. 4. 21).

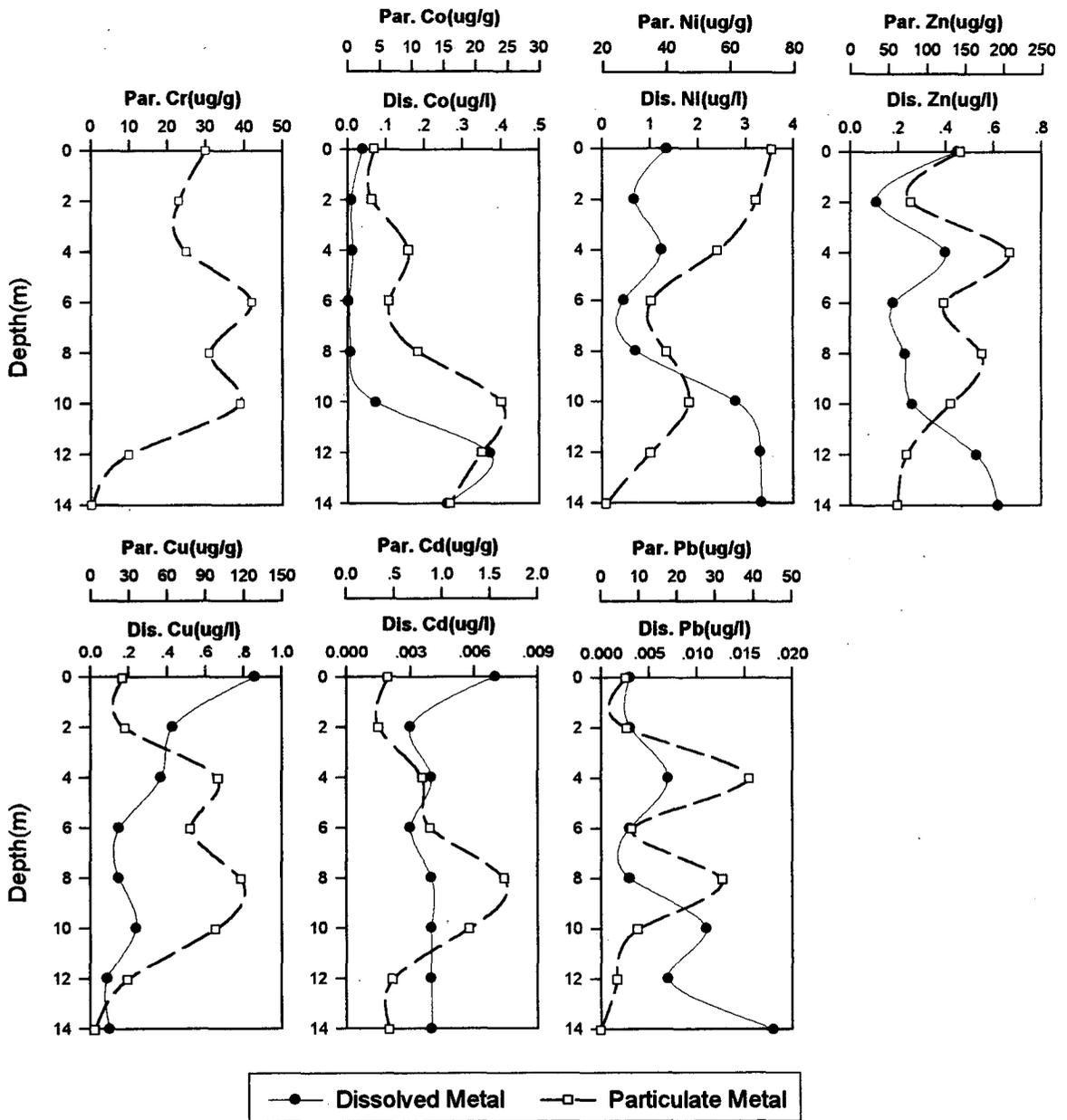


Fig. II-17. Continued(97. 8. 28).

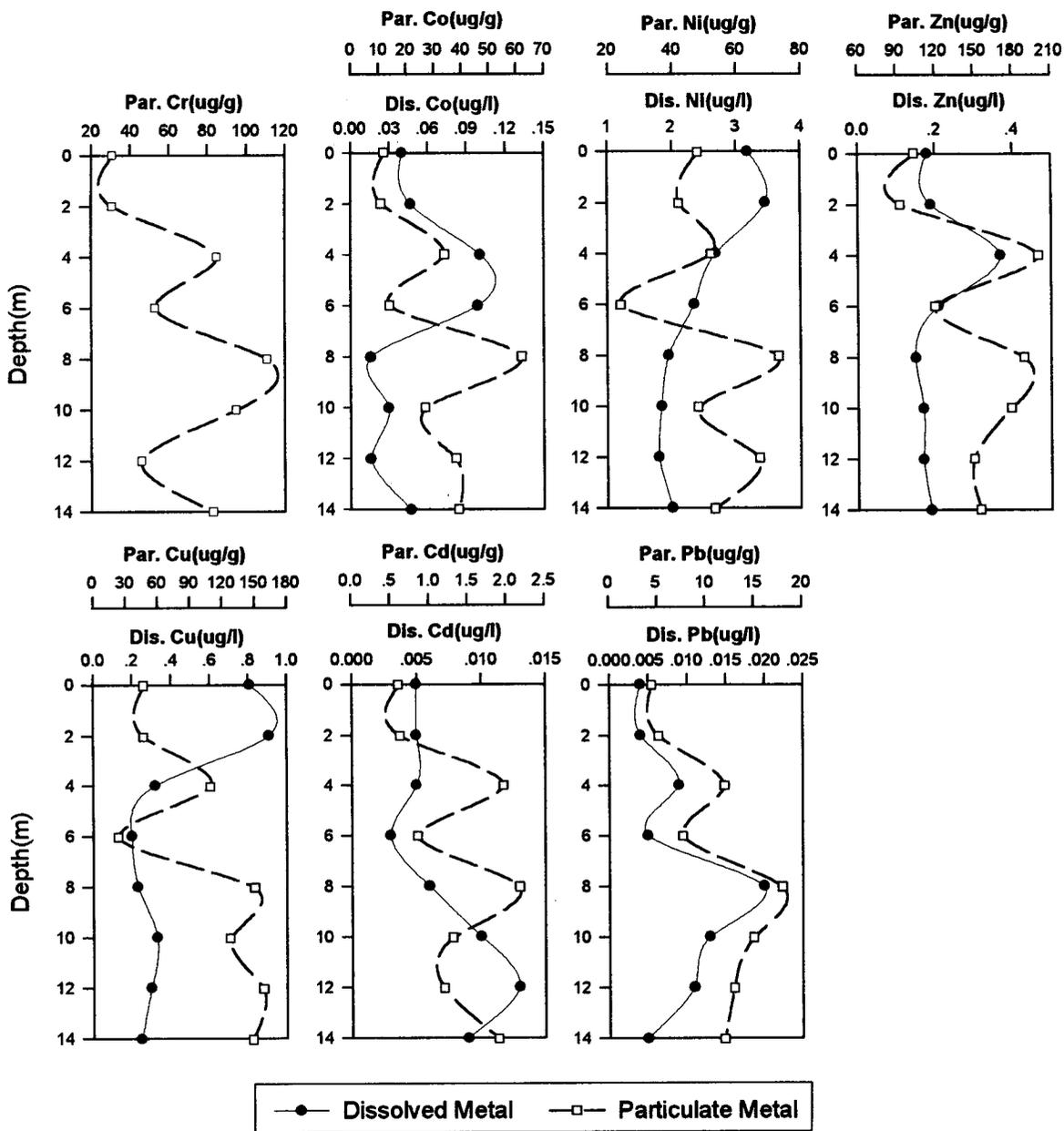


Fig. II-17. Continued(97. 10.7).

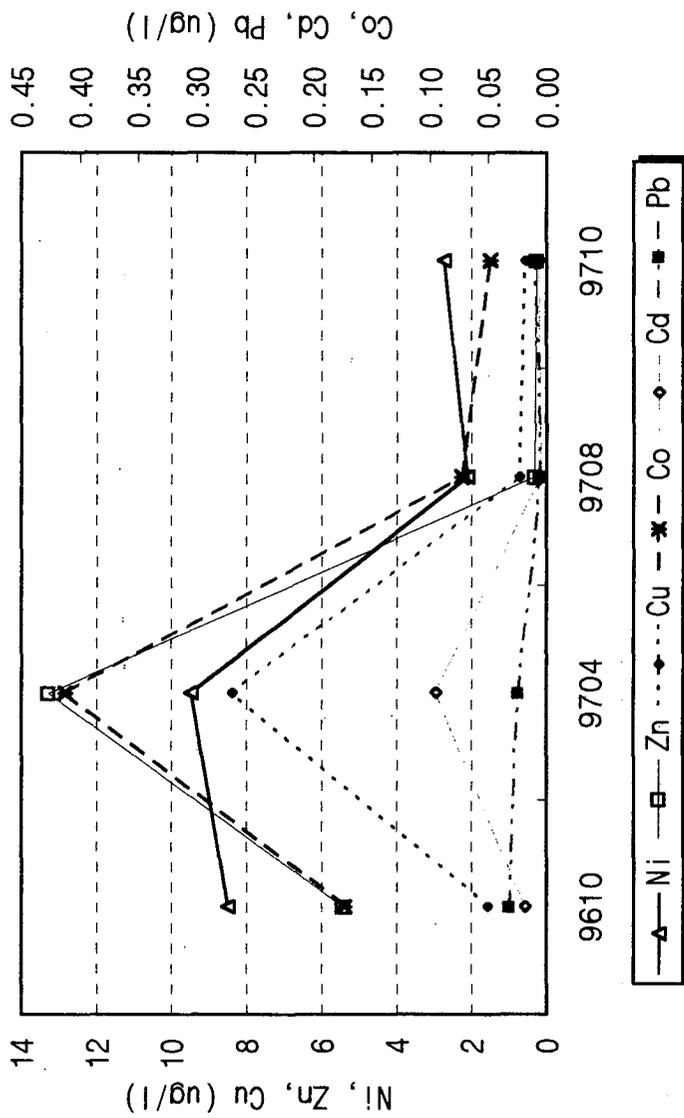


Fig. II-18. Seasonal variations of dissolved heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake.

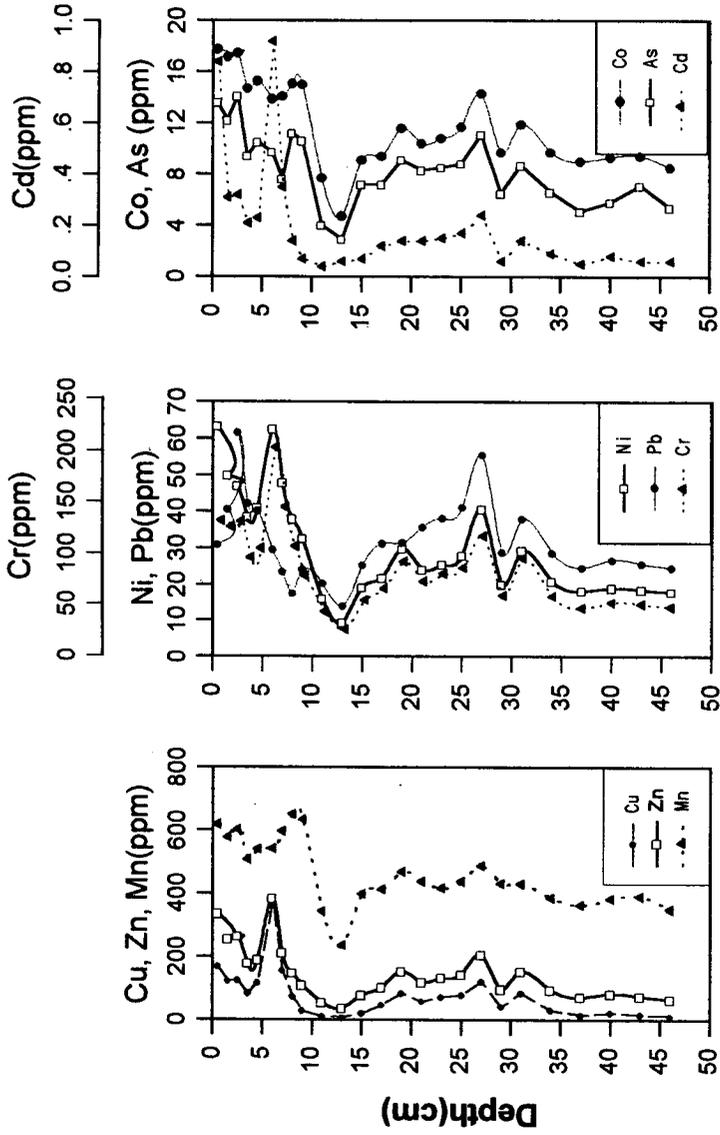


Fig. II-19. Vertical profiles of heavy metal contents in the sediment core of St. 5 in Shihwa lake.

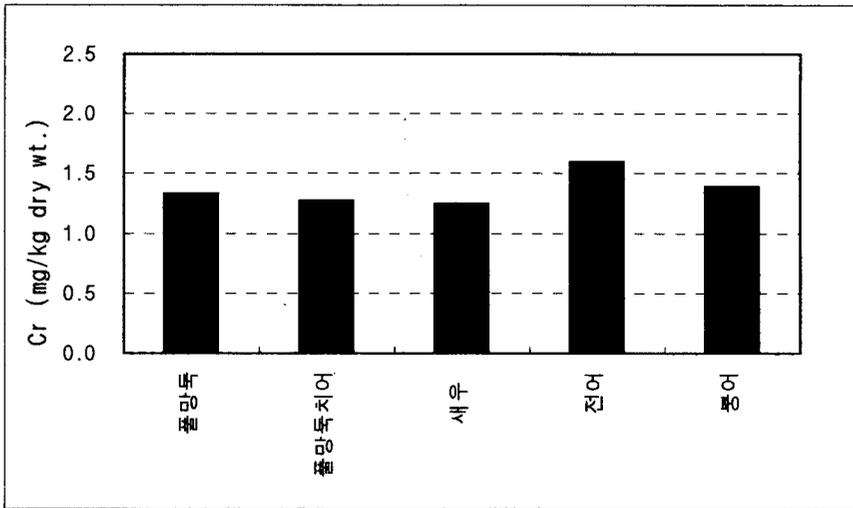
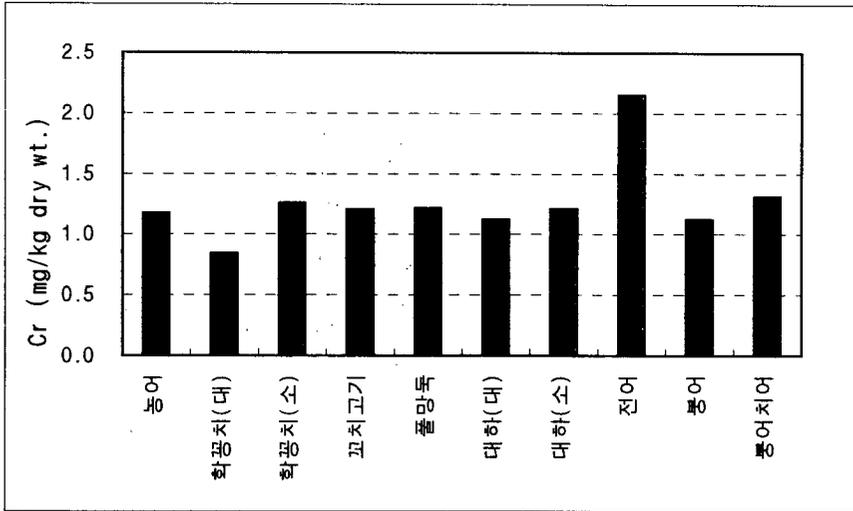


Fig. II-20. Heavy metal contents in fishes and shrimps collected from Shihwa Lake.

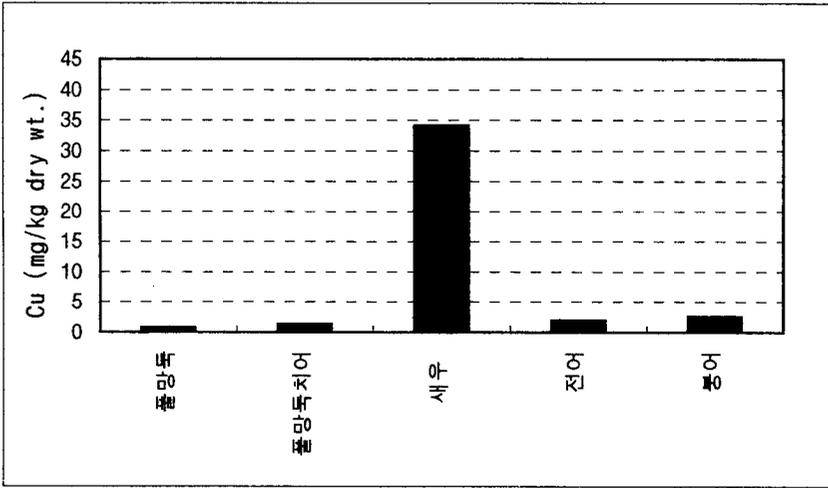
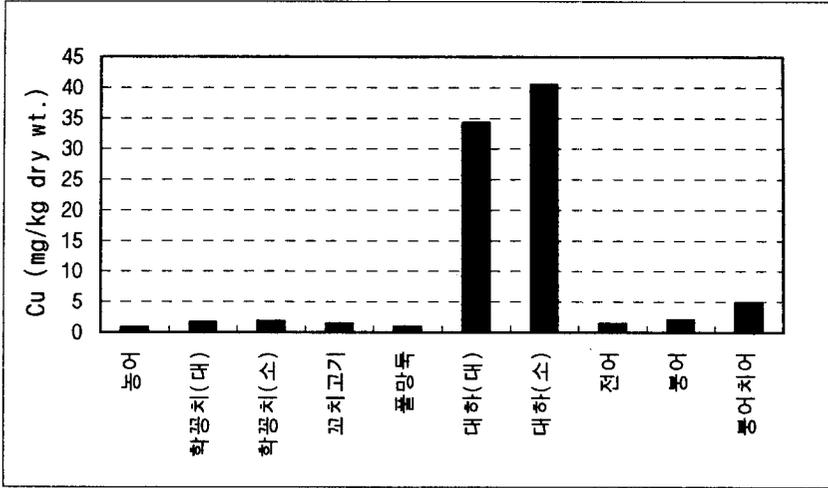


Fig. II-20. Continued.

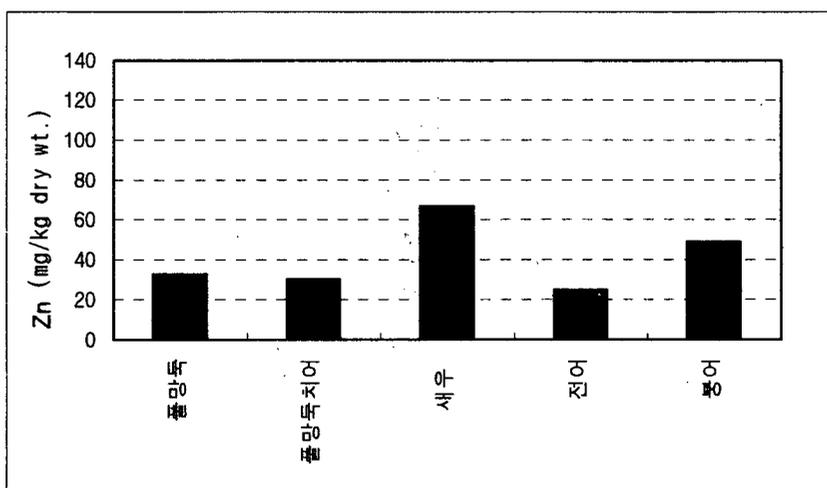
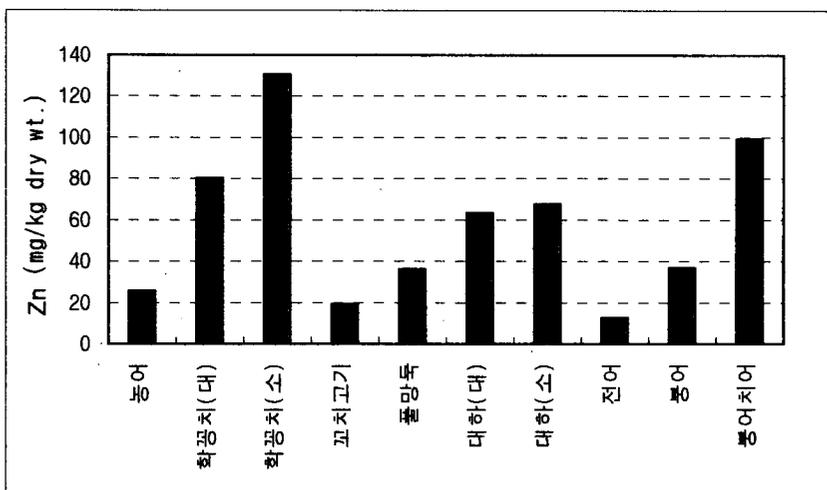


Fig. II-20. Continued.

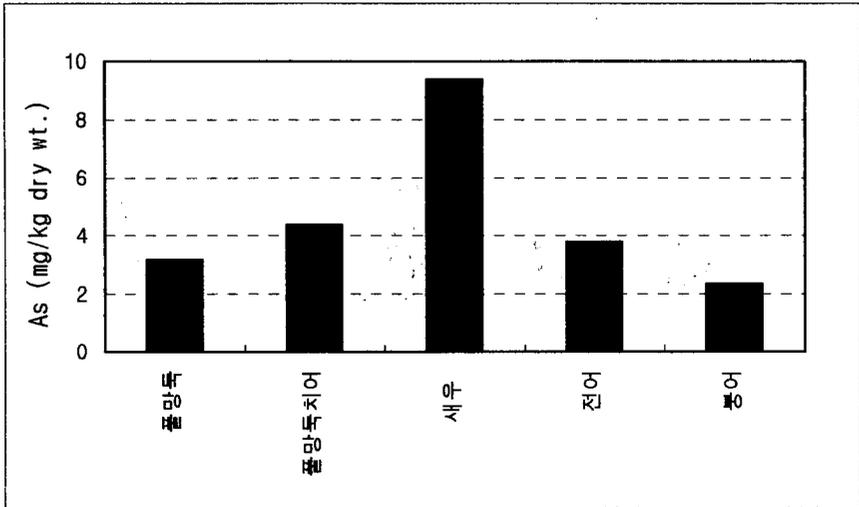
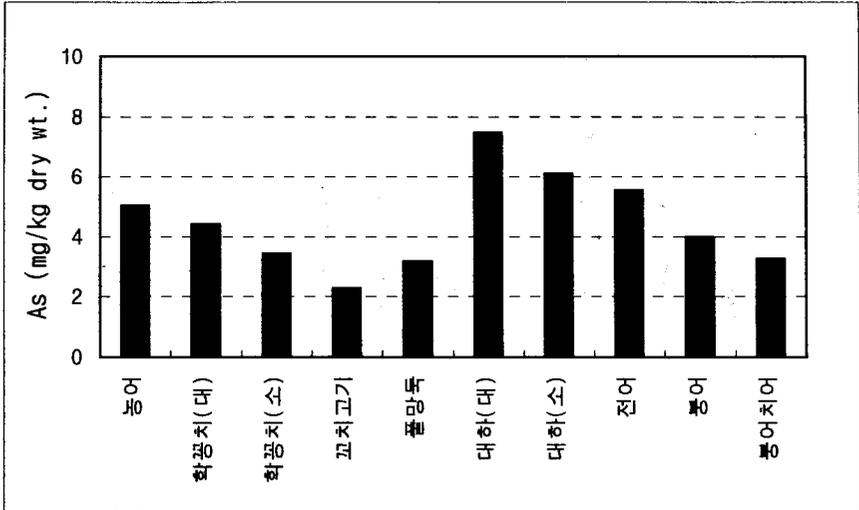


Fig. II-20. Continued.

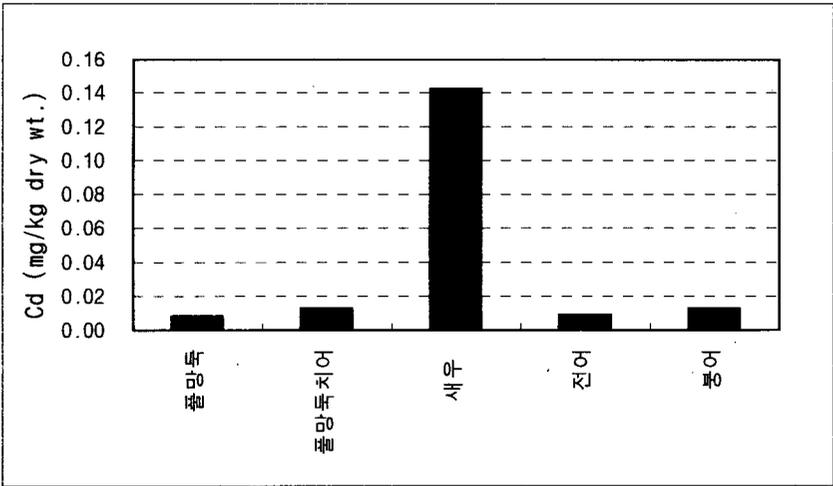
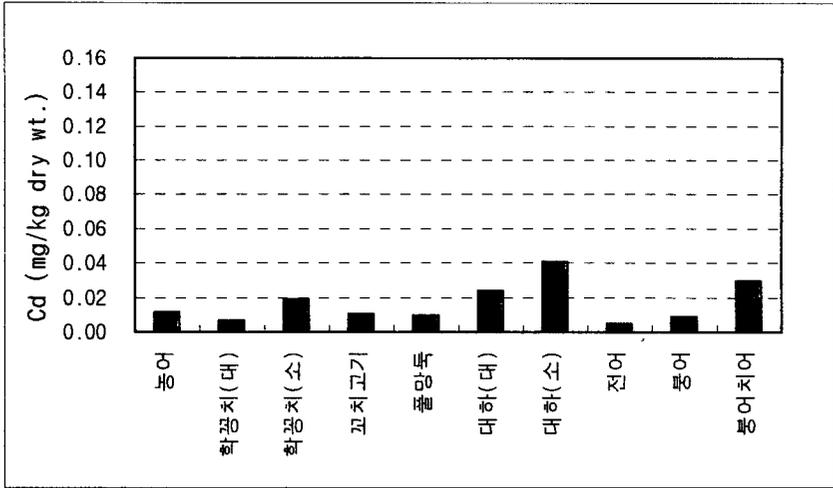


Fig. II-20. Continued.

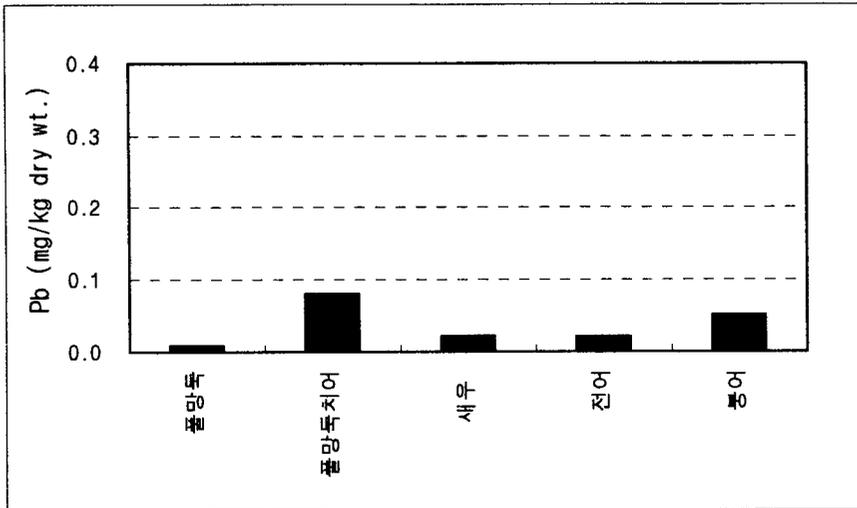
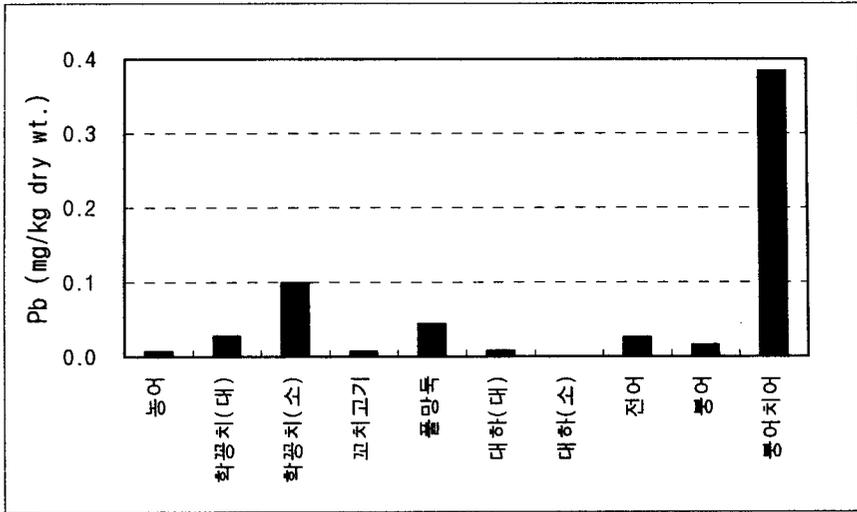


Fig. II-20. Continued.

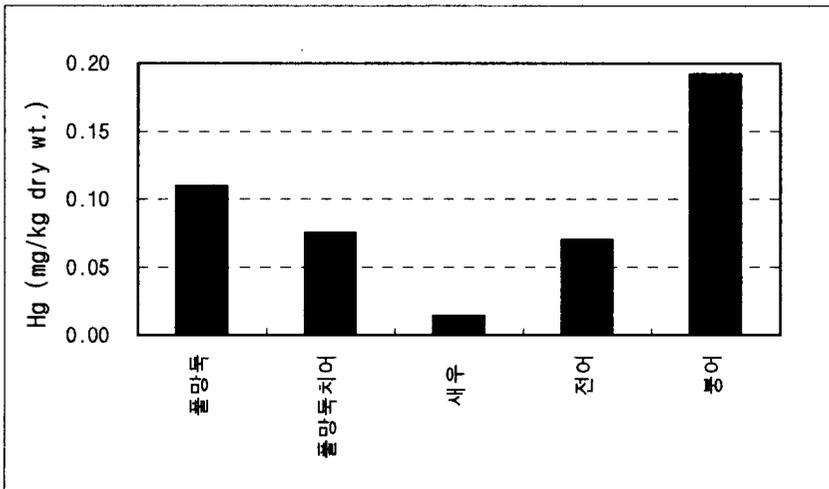
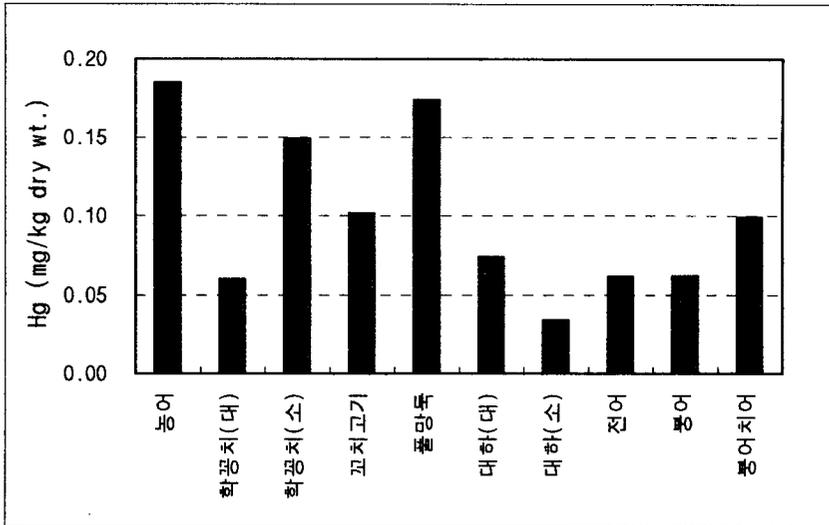


Fig. II-20. Continued.

Table II-1. Sampling stations of the storm sewers around Shihwa Lake.

지점번호	채수지점
A	성도섬유 앞
C	삼목강업 앞
D	대아블트 앞
E	대진동관 앞
F	현대합섬 앞
G	천지화학 앞
H	안산보세장치장 앞

Table II-2. Regulation of heavy metals in marine biota of each countries and data in Korea.

(unit : ppm)

		Cu	Cd	Pb	Zn	Hg	비고
기준	한국			2.0		0.7	
	호주	10~70	0.2~5.5	1.5~5.5	40~1,000	1.0	
	미국					1.0	
시화호 생물		0.81~40.5 (4.88)	0.005~0.14	<0.002~0.38	12.8~131	0.014~0.19	건중량
한국연안어류		0.39~2.17	0.04~0.14	0.24~0.87	4.73~19.85		수진원 (1996)

Appendix II-1

Heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake

Appendix II-2

Heavy metals in the water column of Shihwa Lake

Appendix II-3

Heavy metals in the stream waters and storm sewers
around Shihwa Lake

Appendix II-4

Heavy metal contents in the sediment core of St. 5 in
Shihwa Lake

1. *Pharmaceuticals*: The industry is highly competitive, with major players like Pfizer, Novartis, and Amgen. The market is characterized by high R&D costs and significant regulatory hurdles. The industry is also facing challenges from generic drug competition and patent expiration.

2. *Biotechnology*: This sector is rapidly growing, driven by advances in gene editing (CRISPR) and personalized medicine. Key players include Genentech, Moderna, and Vertex Pharmaceuticals. The industry is heavily reliant on venture capital funding and is expected to continue its rapid expansion.

3. *Medical Devices*: This sector includes companies that design and manufacture equipment used in diagnosis and treatment. Major players include Medtronic, Johnson & Johnson, and Abbott. The industry is characterized by high barriers to entry and a focus on innovation.

4. *Healthcare Services*: This sector includes companies that provide various healthcare services, such as hospitals, clinics, and home care services. Major players include UnitedHealthcare, Humana, and Aetna. The industry is facing challenges from government regulations and the rise of managed care.

5. *Pharmaceutical Distribution*: This sector involves the distribution of pharmaceuticals from manufacturers to healthcare providers. Major players include Cardinal Health, Amgen, and McKesson. The industry is highly competitive and faces challenges from consolidation and regulatory changes.

6. *Pharmaceutical Marketing*: This sector focuses on the promotion and sales of pharmaceutical products. Major players include Amgen, Novartis, and Pfizer. The industry is characterized by high advertising costs and a focus on building strong relationships with healthcare providers.

7. *Pharmaceutical Research and Development*: This sector is responsible for the discovery and development of new drugs. Major players include Amgen, Novartis, and Pfizer. The industry is highly competitive and faces challenges from high R&D costs and regulatory hurdles.

8. *Pharmaceutical Manufacturing*: This sector involves the production of pharmaceutical products. Major players include Amgen, Novartis, and Pfizer. The industry is characterized by high capital costs and a focus on quality control.

9. *Pharmaceutical Sales and Distribution*: This sector involves the sale and distribution of pharmaceutical products. Major players include Amgen, Novartis, and Pfizer. The industry is highly competitive and faces challenges from consolidation and regulatory changes.

10. *Pharmaceutical Regulatory Affairs*: This sector focuses on the regulatory aspects of pharmaceutical development and distribution. Major players include Amgen, Novartis, and Pfizer. The industry is highly regulated and faces challenges from government agencies.

Appendix II-1. Heavy metals in the surface waters of Shihwa Lake.

St.	Particulate Cr ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cr ($\mu\text{g/g}$)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	0.62	1.63	80	83
5	0.60	1.83	60	91
8	0.64	0.17	93	6.0
9	0.13	0.17	14	6.4
10	0.34	0.18	48	5.6
11	0.15	0.12	13	3.9
13	0.08	0.31	11	14
15	0.05	0.15	4.4	7.7

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Co ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Co ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Co ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Co/Total Co (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	0.048	0.289	0.165	0.601	21	30	22.5	32.5
5	0.054	0.043	0.224	0.693	22	34	19.4	5.8
8	0.054	0.026	0.337	0.116	49	4.1	13.8	18.4
9	0.048	0.032	0.043	0.081	4.9	3.1	52.5	28.2
10	0.043	0.036	0.158	0.082	22	2.6	21.4	30.4
11	0.068	0.04	0.045	0.055	3.9	1.9	60.0	42.1
13	0.048	0.03	0.044	0.092	5.7	4.0	52.3	24.6
15	0.106	0.046	0.018	0.061	1.6	3.3	85.1	42.8

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Ni ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Ni ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Ni ($\mu\text{g}/\text{g}$)		Dis. Ni/Total Ni (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	3.64	15.6	0.39	2.19	50	111	90.4	87.7
5	5.60	7.14	0.02	2.29	83	114	87.1	75.7
8	5.80	4.28	1.38	1.16	199	41	80.8	78.6
9	6.01	4.8	0.16	0.96	18	36	97.4	83.3
10	5.20	5.18	0.65	0.89	92	28	88.8	85.3
11	5.68	5.38	0.30	0.57	26	19	95.0	90.5
13	5.28	4.1	0.23	0.81	29	35	95.9	83.5
15	5.56	4.58	0.14	0.51	12	27	97.6	90.0

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Zn ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Zn ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Zn ($\mu\text{g}/\text{g}$)		Dis. Zn/Total Zn (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	27.4	18.6	5.4	37	692	1882	83.5	33.4
5	11.5	24.6	5.8	39	582	1935	66.4	38.7
8	16.6	0.94	11	5.2	1617	182	59.7	15.3
9	5.12	0.83	1.0	3.5	116	133	83.2	19.0
10	6.72	1.09	4.2	4.7	591	147	61.6	18.8
11	3.4	1.64	1.1	3.2	97	110	75.2	33.6
13	2.76	1.84	0.59	4.0	77	176	82.4	31.4
15	2.6	1.06	0.43	2.5	37	131	85.9	30.1

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Cu ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cu ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cu ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Cu/Total Cu (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	4.36	10.0	1.02	7.02	130	357	81.1	58.7
5	5.84	9.20	3.02	9.11	302	452	65.9	50.3
8	5.97	5.09	3.60	1.19	520	42	62.4	81.0
9	5.48	5.11	0.70	1.05	78	39	88.7	83.0
10	4.98	5.94	1.81	1.10	255	34	73.3	84.4
11	4.82	5.98	0.68	0.85	59	29	87.7	87.5
13	4.14	4.87	0.48	1.20	63	52	89.6	80.3
15	4.39	4.75	0.49	0.78	43	41	89.9	86.0

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Cd ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cd ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cd ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Cd/Total Cd (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	0.076	0.083	0.005	0.013	0.62	0.66	94.0	86.5
5	0.030	0.056	0.005	0.009	0.47	0.46	86.4	85.7
8	0.044	0.026	0.008	0.025	1.09	0.88	85.4	51.1
9	0.052	0.027	0.001	0.018	0.14	0.68	97.6	59.9
10	0.046	0.042	0.004	0.026	0.18	0.81	91.8	61.8
11	0.045	0.032	0.002	0.031	0.20	1.04	95.1	51.1
13	0.040	0.03	0.001	0.020	0.18	0.89	96.7	59.7
15	0.073	0.019	0.003	0.009	0.23	0.49	96.5	67.4

Appendix II-1. Continued.

St.	Dissolved Pb ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Pb ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Pb ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Pb/Total Pb (%)	
	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10	96. 8	96. 10
4	0.048	0.144	0.35	0.88	44	45	12.1	14.0
5	0.054	0.035	0.31	0.93	31	46	15.0	3.6
8	0.031	0.017	0.44	0.09	63	3.2	6.59	15.7
9	0.037	0.062	0.16	0.28	18	11	18.5	18.0
10	0.011	0.023	0.25	0.10	35	3.0	4.2	19.4
11	0.033	0.032	0.12	0.11	10	3.9	21.9	21.9
13	0.018	0.026	0.08	0.10	10	4.3	18.8	21.0
15	0.019	0.029	0.05	0.14	4.2	7.4	28.1	17.2

Appendix II-2. Heavy metals in the water column of Shihwa Lake.

St.	Depth (m)	Particulate Cr ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Cr ($\mu\text{g/g}$)			
		96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10
4	0	0.66	0.29	0.35	0.64	45	14	18	21
	2	0.72	0.28	0.77	-	42	15	43	-
	4	0.53	0.29	-	-	58	19	-	-
13	0	0.11	0.06	0.66	0.22	2.1	4.6	30	31
	2	0.12	0.11	0.41	0.21	5.9	7.9	23	31
	4	0.13	0.10	0.36	0.24	12	11	25	85
	6	0.10	0.09	0.42	0.19	8.9	10	42	53
	8	0.11	0.12	0.19	0.24	16	12	31	111
	10	0.22	0.17	0.28	0.11	15	21	39	95
	12	0.12	0.41	0.15	0.14	9.0	39	10	46
14	-	0.44	0.01	0.30	-	50	0.3	83	
15	0	0.39	0.10	0.26	0.21	3.9	10	20	52
	2	0.29	0.10	0.28	0.15	7.6	10	28	35
	4	0.27	0.09	0.36	0.26	12	9.0	74	76
	6	0.41	0.08	0.39	0.30	19	7.5	155	58

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Co ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Co ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Co ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Co/Total Co (%)			
		96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10
4	0	0.146	0.53	0.008	0.108	0.085	0.062	0.055	0.098	5.8	3.1	2.8	3.2	63.1	89.6	12.7	52.4
	2	0.122	0.52	0.006	-	0.097	0.051	0.118	-	5.6	2.7	6.5	-	55.7	91.1	4.8	-
	4	0.122	0.50	-	-	0.088	0.051	-	-	9.7	3.3	-	-	58.2	90.7	-	-
13	0	0.063	0.39	0.040	0.040	0.101	0.018	0.090	0.087	1.9	1.5	4.1	12	38.3	95.6	30.7	31.4
	2	0.062	0.39	0.010	0.047	0.057	0.022	0.065	0.074	2.9	1.6	3.7	11	52.1	94.8	13.4	39.0
	4	0.359	0.40	0.014	0.101	0.046	0.021	0.133	0.097	4.4	2.3	9.5	34	88.6	95.0	9.5	51.1
	6	0.076	0.40	0.003	0.099	0.049	0.019	0.064	0.052	4.4	2.0	6.4	14	61.0	95.5	4.5	65.7
	8	0.211	0.41	0.009	0.016	0.065	0.019	0.069	0.136	9.4	1.9	11	62	76.3	95.6	11.5	10.5
	10	0.347	0.41	0.074	0.030	0.196	0.021	0.172	0.033	13	2.6	24	27	63.9	95.2	30.1	47.8
	12	0.352	0.37	0.372	0.016	0.172	0.120	0.324	0.117	13	11	21	38	67.2	75.6	53.5	12.0
14	-	0.34	0.261	0.047	-	0.188	0.333	0.143	-	21	16	39	-	64.4	43.9	24.7	
15	0	0.326	0.38	0.079	0.031	0.133	0.019	0.050	0.084	1.3	1.9	3.8	21	71.0	95.2	61.2	27.0
	2	0.08	0.37	0.071	0.036	0.090	0.020	0.059	0.106	2.4	1.9	5.9	26	47.1	94.9	54.6	25.4
	4	0.086	0.39	0.069	0.033	0.079	0.019	0.149	0.182	3.5	1.8	31	53	52.2	95.3	31.7	15.4
	6	0.076	0.40	0.016	0.034	0.108	0.018	0.245	0.118	5.0	1.7	98	23	41.3	95.6	6.1	22.3

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Ni ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Ni ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Ni ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Ni/Total Ni (%)			
		96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10
4	0	8.62	9.86	0.83	5.79	0.75	0.74	1.23	0.92	51	37	64	30	92.0	93.0	40.2	86.3
	2	8.78	10.4	0.51	-	0.75	0.73	1.30	-	43	40	72	-	92.1	93.5	28.2	-
	4	9.86	9.69	-	-	0.60	0.68	-	-	66	44	-	-	94.3	93.4	-	-
13	0	8.32	9.43	1.35	3.19	0.46	0.37	1.61	0.35	9	30	73	48	94.7	96.3	45.6	90.2
	2	7.78	9.63	0.67	3.46	0.45	0.46	1.22	0.28	23	34	68	42	94.5	95.5	35.5	92.4
	4	19.5	9.91	1.24	2.69	0.37	0.42	0.79	0.15	36	45	56	52	98.1	95.9	61.1	94.8
	6	10.2	9.69	0.45	2.35	0.37	0.46	0.35	0.09	34	49	35	24	96.5	95.5	56.1	96.4
	8	8.40	9.90	0.71	1.95	0.20	0.47	0.24	0.16	29	47	40	73	97.6	95.5	74.4	92.4
	10	4.90	9.03	2.79	1.84	0.35	0.21	0.34	0.06	24	26	47	48	93.3	97.7	89.1	96.9
	12	4.18	7.99	3.31	1.80	0.38	0.86	0.54	0.20	28	83	35	67	91.7	90.2	85.9	89.8
14	-	7.77	3.34	2.01	-	1.06	0.45	0.19	-	119	21	53	-	88.0	88.1	91.2	
15	0	7.14	10.1	4.08	2.93	0.78	0.38	0.60	0.26	7.7	38	45	65	90.1	96.3	87.2	91.7
	2	6.86	9.48	4.24	2.89	0.40	0.47	0.51	0.23	10	46	51	56	94.5	95.3	89.3	92.6
	4	8.42	9.51	4.07	2.55	0.43	0.46	0.62	0.33	19	44	128	97	95.1	95.4	86.7	88.5
	6	6.54	10.4	2.33	2.48	0.53	0.40	0.65	0.29	25	38	258	57	92.5	96.3	78.3	89.4

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Zn ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Zn ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Zn ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Zn/Total Zn (%)			
		96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10
4	0	4.6	10.5	0.11	1.09	10	7.3	1.3	5.3	650	362	66	172	32.5	59.0	7.9	17.1
	2	3.77	12.1	0.11	-	9.3	6.2	3.1	-	536	340	169	-	28.8	65.9	3.5	-
	4	2.43	9.87	-	-	3.4	5.8	-	-	381	376	-	-	41.3	62.9	-	-
13	0	0.5	15.8	0.45	0.18	7.1	2.1	3.2	0.75	132	170	144	104	6.6	88.4	12.4	19.4
	2	0.84	15.9	0.11	0.19	2.0	2.4	1.4	0.63	103	182	79	93	29.5	86.8	7.2	23.1
	4	0.80	16.1	0.40	0.37	1.4	1.9	2.9	0.57	134	208	209	200	36.4	89.2	12.0	39.4
	6	0.78	15.3	0.18	0.21	1.3	2.2	1.2	0.44	121	234	122	120	36.9	87.6	12.9	32.5
	8	1.07	14.3	0.23	0.15	1.0	2.1	1.1	0.42	147	216	173	189	51.1	87.0	17.9	26.5
	10	0.82	11.7	0.26	0.17	1.5	1.7	0.9	0.22	103	206	131	179	35.0	87.6	21.7	43.9
	12	0.90	2.63	0.53	0.17	0.93	12	1.2	1.2	0.46	70	1129	74	150	49.2	18.3	31.2
14	-	1.27	0.62	0.19	-	-	10	1.3	0.57	-	1150	62	155	-	11.1	32.0	25.1
15	0	3.94	18.3	0.38	0.21	12	2.0	1.0	0.80	119	202	77	197	24.7	90.0	27.4	20.8
	2	0.68	19.5	0.38	0.20	5.0	2.4	1.0	0.63	131	236	104	151	12.0	88.9	26.9	24.2
	4	0.65	18.0	0.49	0.17	2.7	2.2	1.3	0.73	121	213	269	215	19.4	89.1	27.3	18.8
	6	0.59	18.2	0.18	0.24	2.6	1.9	2.0	1.0	121	175	793	187	18.5	90.7	8.3	20.0

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Cu ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Cu ($\mu\text{g/l}$) [*]				Particulate Cu ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Cu/Total Cu (%)			
		96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10	96.10	97.4	97.8	97.10
4	0	9.63	9.87	0.47	1.98	2.3	1.2	0.46	0.84	154	57	24	28	80.9	89.5	50.4	70.1
	2	8.91	10.9	0.38	-	1.9	1.3	1.0	-	112	73	56	-	82.1	89.0	27.2	-
	4	7.11	9.83	-	-	0.97	1.2	-	-	107	76	-	-	88.0	89.3	-	-
13	0	5.35	9.42	0.86	0.81	3.6	0.59	0.54	0.34	67	49	25	47	59.7	94.1	61.2	70.4
	2	5.67	9.03	0.43	0.91	0.82	0.75	0.49	0.32	42	57	27	47	87.4	92.3	46.8	74.2
	4	5.55	10.4	0.37	0.32	0.54	0.73	1.4	0.31	51	79	100	109	91.2	93.4	20.9	50.8
	6	7.03	9.47	0.15	0.20	0.49	1.0	0.78	0.08	44	109	78	23	93.5	90.3	16.2	70.6
	8	4.23	8.99	0.15	0.23	1.4	0.94	0.72	0.33	197	95	118	150	75.5	90.5	17.3	41.0
	10	0.59	7.15	0.24	0.33	1.1	2.0	0.70	0.15	71	245	98	127	35.9	78.3	25.5	68.2
15	12	0.43	1.41	0.09	0.30	0.42	6.8	0.45	0.48	31	650	29	158	50.8	17.2	16.5	38.2
	14	-	0.67	0.10	0.25	-	5.1	0.06	0.54	-	581	3.0	148	-	11.5	61.1	31.6
	0	5.65	9.76	2.23	0.73	7.1	0.71	0.35	0.28	70	71	27	69	44.2	93.2	86.3	72.3
	2	4.81	10.2	2.39	0.69	2.0	0.82	0.32	0.35	52	80	32	85	71.0	92.6	88.3	66.3
15	4	5.87	9.63	1.74	0.35	1.1	0.99	0.63	0.56	50	96	129	165	84.0	90.7	73.5	38.4
	6	5.25	9.38	0.96	0.61	1.1	0.84	1.1	0.32	49	79	433	62	83.3	91.8	47.0	65.8

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Cd ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Cd ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Cd ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Cd/ Total Cd (%)			
		96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10
4	0	0.027	0.095	0.004	0.006	0.004	0.014	ND	0.008	0.67	0.72	ND	0.25	86.2	86.8	100.0	43.4
	2	0.025	0.100	0.004	-	0.006	0.013	0.008	-	0.36	0.68	0.44	-	80.1	88.9	33.2	-
	4	0.017	0.091	-	-	0.005	0.009	-	-	0.52	0.59	-	-	78.3	90.9	-	-
13	0	0.005	0.113	0.007	0.005	0.138	0.003	0.010	0.004	2.56	0.23	0.44	0.61	3.5	97.6	41.8	53.4
	2	0.013	0.111	0.003	0.005	0.027	0.003	0.006	0.004	1.38	0.26	0.34	0.63	32.6	97.0	33.3	53.7
	4	0.015	0.120	0.004	0.005	0.010	0.004	0.011	0.006	0.96	0.38	0.80	1.97	59.9	97.1	26.2	47.2
	6	0.021	0.103	0.003	0.003	0.012	0.012	0.009	0.003	1.09	1.32	0.88	0.86	63.7	89.3	25.4	49.0
	8	0.013	0.109	0.004	0.006	0.009	0.010	0.010	0.010	1.23	1.01	1.66	2.18	60.3	91.6	28.4	55.5
	10	0.001	0.086	0.004	0.010	0.009	0.010	0.009	0.002	0.63	1.22	1.29	1.31	9.6	89.8	30.1	86.3
15	12	0.002	0.005	0.004	0.013	0.005	0.073	0.008	0.004	0.36	7.01	0.49	1.20	29.6	6.4	34.3	77.9
	14	-	0.003	0.004	0.009	-	0.052	0.009	0.007	-	5.84	0.45	1.90	-	5.5	29.7	56.4
	0	0.077	0.121	0.008	0.007	0.286	0.006	0.005	0.004	2.83	0.55	0.41	0.92	21.2	95.6	60.0	65.2
	2	0.015	0.120	0.007	0.005	0.086	0.007	0.004	0.003	2.26	0.70	0.45	0.81	14.8	94.4	61.1	59.7
15	4	0.016	0.127	0.008	0.007	0.034	0.013	0.007	0.004	1.54	1.30	1.34	1.20	31.8	90.4	55.1	63.1
	6	0.016	0.128	0.011	0.009	0.027	0.010	0.007	0.005	1.28	0.93	2.84	0.93	36.8	92.8	60.7	65.5

Appendix II-2. Continued.

St.	Depth (m)	Dissolved Pb ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Pb ($\mu\text{g/l}$)				Particulate Pb ($\mu\text{g/g}$)				Dis. Pb/Total Pb (%)			
		96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10	96. 10	97. 4	97. 8	97. 10
4	0	0.053	0.013	0.004	0.040	0.29	0.31	0.06	0.20	20	15	3.2	7.2	15.4	4.0	6.0	16.5
	2	0.052	0.015	0.003	-	0.32	0.26	0.23	-	18	14	13	-	14.1	5.5	1.3	-
	4	0.045	0.014	-	-	0.20	0.28	-	-	22	18	-	-	18.6	4.8	-	-
13	0	0.025	0.017	0.003	0.004	0.12	0.12	0.15	0.03	2.2	10	6.7	4.5	17.5	12.6	2.0	11.1
	2	0.033	0.026	0.003	0.004	0.12	0.12	0.12	0.04	6.3	9.2	6.9	5.2	21.1	17.5	2.4	10.1
	4	0.024	0.025	0.007	0.009	0.12	0.12	0.12	0.03	11	13	39	12	17.2	17.6	1.3	20.9
	6	0.054	0.018	0.003	0.005	0.11	0.12	0.08	0.03	10	13	8.2	2.7	33.6	13.3	3.5	15.0
	8	0.051	0.013	0.003	0.020	0.08	0.13	0.20	0.04	12	13	32	18	38.0	9.3	1.5	33.1
	10	0.024	0.020	0.011	0.013	0.08	0.11	0.07	0.02	5.7	14	9.8	15	22.1	14.8	13.5	42.0
15	12	0.01	0.017	0.007	0.011	0.04	0.25	0.07	0.04	3.2	24	4.5	13	19.1	6.5	9.0	21.4
	14	-	0.016	0.018	0.005	-	0.31	0.00	0.04	-	35	0.0	12	-	5.0	99.5	10.5
	0	0.056	0.017	0.013	0.011	0.18	0.12	0.08	0.08	1.7	12	5.7	20	24.1	12.8	14.7	11.8
	2	0.013	0.016	0.012	0.004	0.19	0.12	0.11	0.05	4.9	12	11	13	6.5	11.9	10.0	6.8
4	4	0.012	0.013	0.008	0.005	0.17	0.12	0.14	0.05	7.7	12	29	16	6.6	9.8	5.4	8.4
	6	0.009	0.135	0.008	0.010	0.24	0.13	0.22	0.09	11	12	86	17	3.6	50.6	3.6	10.5

Appendix II-3. Heavy metals in the strea waters and storm sewers around Shihwa Lake.

St.	Dissolved Cr ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cr ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cr ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Cr/Total Cr (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	1.2	0.1	8.9	2.2	220	102	11.5	6.4
해안교	0.9	0.5	0.5	0.8	12	34	64.4	39.4
반월천	0.7	0.1	1.5	0.3	49	21	33.1	28.5
동화천	1.5	0.5	1.2	3.4	42	110	55.5	13.0
A	0.8	0.1	0.3	0.7	4	19	69.8	9.7
C	8.7	26.0	25	93	632	4746	26.1	21.8
D	12.5	7.6	14	147	367	3810	46.9	4.9
E	3.2	70.2	37	89	531	1386	8.0	44.2
F	18.9	18.6	27	11	533	199	41.2	61.9
G	6.0	0.6	148	27	2199	1017	3.9	2.1
H	3.7	4.1	115	58	3787	2748	3.1	6.7

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Co ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Co ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Co ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Co/Total Co (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	5.4	2.8	0.59	0.72	14	34	90.1	79.7
해안교	0.7	1.2	0.16	0.83	4.0	37	81.4	59.7
반월천	1.7	0.41	0.38	0.06	12	5.5	82.8	86.3
동화천	1.3	0.83	0.15	0.44	5.2	14	89.3	65.5
A	0.8	0.95	0.12	0.44	1.5	12	86.7	68.0
C	2.5	3.6	0.27	0.28	6.9	14	90.5	92.7
D	4.2	4.1	0.47	0.52	12	13	89.9	88.8
E	3.1	3.7	0.63	0.51	9.2	8.0	82.9	87.7
F	2.0	2.0	0.31	0.14	6.2	2.4	86.5	93.4
G	6.5	12.4	0.31	0.22	4.6	8.4	95.4	98.2
H	12.6	8.1	0.16	0.61	5.3	29	98.7	92.9

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Ni ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Ni ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Ni ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Ni/Total Ni (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	356	18.3	42.1	1.81	1038	86	89.4	91.0
해안교	7.6	6.0	0.77	0.71	19	32	90.8	89.4
반월천	7.4	1.6	0.46	0.12	15	10	94.2	92.9
동화천	6.9	2.7	0.25	1.22	8.6	39	96.5	66.8
A	3.1	3.3	0.30	0.24	3.5	6.3	91.3	93.1
C	61.8	87.9	13.2	19.8	341	1010	82.4	81.6
D	266	629	27.0	86.8	701	2243	89.8	87.9
E	267	375	106	43.7	1536	684	69.1	89.6
F	20.1	11.7	1.02	0.53	20	9.1	95.2	95.7
G	51.5	31.3	4.18	0.38	62	14	92.5	98.8
H	50.7	18.2	0.24	3.57	8.0	170	99.5	83.6

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Zn ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Zn ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Zn ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Zn/Total Zn (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	126	19.6	120	38	2955	1807	51.2	33.9
해안교	3.4	1.6	9.1	9.2	227	412	26.9	14.6
반월천	8.1	2.6	33	3.6	1067	310	19.8	41.6
동화천	5.7	16.3	14	48	486	1538	28.8	25.5
A	5.2	2.5	15	14	178	368	26.0	15.1
C	39.3	1310	93	221	2395	11248	29.7	85.6
D	141	298	219	425	5689	10982	39.2	41.2
E	545	10610	1403	2487	20313	38918	28.0	81.0
F	25.6	41.6	92	59	1821	1025	21.8	41.3
G	2551	1989	625	472	9315	17652	80.3	80.8
H	5177	3181	79	5338	14431	253618	98.5	37.3

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Cu ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cu ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cu ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Cu/Total Cu (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	149	8.8	76	17	1880	786	66.2	34.7
해안교	2.4	0.47	4.1	2.1	102	95	36.6	18.0
반월천	2.4	0.77	8.2	1.0	267	84	22.3	43.9
동화천	2.1	0.86	1.2	1.5	41	48	63.8	36.7
A	1.1	0.80	4.2	2.2	50	59	20.8	26.5
C	27.4	30.8	155	512	3998	26054	15.0	5.7
D	11.8	1169	83	977	2143	25261	12.5	54.5
E	80.5	196	382	519	5532	8129	17.4	27.3
F	2.0	30.8	43	60	845	1034	4.6	34.0
G	1.8	24.5	39	346	576	12959	4.5	6.6
H	50.7	16.4	21	83	694	3958	70.9	16.4

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Cd ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cd ($\mu\text{g/l}$)		Particulate Cd ($\mu\text{g/g}$)		Dis. Cd/Total Cd (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	0.289	0.064	0.54	0.13	13	6.1	34.8	33.1
해안교	0.011	0.035	0.03	0.03	0.8	1.3	24.6	54.4
반월천	0.003	0.003	0.06	0.01	1.9	0.89	4.8	22.3
동화천	0.004	0.010	0.03	0.05	1.1	1.5	11.5	18.1
A	0.002	0.006	0.04	0.05	0.5	1.2	4.9	11.8
C	0.002	0.010	0.15	0.18	3.7	9.2	1.4	5.3
D	0.018	0.034	0.31	0.12	8.1	3.1	5.4	21.8
E	0.03	0.045	0.52	0.35	7.6	5.4	5.4	11.5
F	0.033	0.007	0.06	0.07	1.3	1.2	34.2	9.1
G	0.009	0.018	0.05	0.03	0.8	1.2	15.1	35.6
H	0.006	0.004	0.01	0.39	0.4	18	33.3	1.0

Appendix II-3. Continued.

St.	Dissolved Pb ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Pb ($\mu\text{g}/\text{l}$)		Particulate Pb ($\mu\text{g}/\text{g}$)		Dis. Pb/Total Pb (%)	
	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8	97. 4	97. 8
신길천	0.05	0.016	7.8	2.6	193	123	0.6	0.6
해안교	0.021	0.037	0.2	0.47	5.3	21	9.0	7.2
반월천	0.026	0.063	2.5	0.31	80	26	1.0	17.0
동화천	0.079	0.035	1.3	4.3	45	138	5.7	0.8
A	0.105	0.063	1.8	0.65	22	17	5.5	8.8
C	0.046	0.108	12	16	309	827	0.4	0.7
D	1.58	0.460	33	23	863	586	4.5	2.0
E	0.514	0.292	74	70	1070	1098	0.7	0.4
F	0.294	0.112	7.9	4.4	157	76	3.6	2.5
G	0.153	0.015	186	6.3	2768	234	0.1	0.2
H	0.007	0.006	1.1	2.0	36	97	0.6	0.3

Appendix 4. Heavy metal contents in the sediment core of St. 5 in Shihwa lake.

Depth (cm)	Cr ppm	Mn ppm	Co ppm	Ni ppm	Zn ppm	Cu ppm	As ppm	Cd ppm	Pb ppm
0-1.0	132	618	17.8	63.3	335	170	13.6	0.84	31.0
1.0-2.0	126	577	17.2	49.9	256	1123	12.2	0.31	40.6
2.0-3.0	131	602	17.5	47.0	265	124	14.1	0.32	61.7
3.0-4.0	96.0	507	14.7	38.5	178	84	9.4	0.21	42.2
4.0-5.5	105	540	15.3	41.0	189	117	10.5	0.23	40.2
5.5-6.5	203	542	13.9	62.5	383	375	9.7	0.92	29.5
6.5-7.5	145	596	14.1	47.9	212	156	7.6	0.35	23.5
7.5-8.5	107	650	15.1	37.9	148	74.7	11.2	0.14	17.6
8.5-9.5	78.7	633	15.0	32.5	109	28.2	10.6	0.07	24.0
10.5-11.5	42.6	342	7.7	15.9	54.2	10.0	4.0	0.04	20.3
12.5-13.5	25.7	236	4.7	9.2	35.6	6.6	2.9	0.06	13.8
14.5-15.5	54.1	397	9.1	19.2	78.0	19.8	7.2	0.07	25.2
16.5-17.5	65.8	411	9.4	21.8	102	46.6	7.2	0.12	31.2
18.5-19.5	92.2	468	11.6	29.9	153	84.7	9.1	0.14	31.4
20.5-21.5	73.0	437	10.4	24.1	119	57.9	8.3	0.14	35.7
22.5-23.5	80.5	416	10.8	25.4	132	71.9	8.5	0.15	38.2
24.5-25.5	85.9	437	11.7	27.9	143	78.8	8.8	0.17	41.1
26.5-27.5	117	486	14.3	40.6	205	120	11.1	0.24	55.5
28.5-29.5	58.9	430	9.7	20.0	97.4	41.1	6.5	0.06	28.8
30.5-31.5	95.5	429	11.9	29.3	153	83.9	8.7	0.14	38.0
33.5-34.5	57.9	384	9.7	20.9	93.9	29.9	6.6	0.09	28.7
36.5-37.5	46.0	361	9.0	18.2	71.6	14.3	5.1	0.05	24.6
39.5-40.5	51.4	381	9.3	19.0	82.8	21.5	5.8	0.08	26.7
42.5-43.5	49.8	388	9.4	18.5	74.2	15.3	7.1	0.06	25.6
45.5-46.5	47.0	348	8.5	17.9	64.6	10.4	5.4	0.06	24.6

Appendix 5. Heavy metal contents in fish and shrimp collected from Shihwa Lake.
(unit : mg/kg dry wt.)

지역	생물명	Cr	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg
방아머리	농어	1.17	0.81	25.7	5.04	0.011	0.007	0.19
	학꽂치(대)	1.26	1.93	131	3.43	0.019	0.099	0.15
	학꽂치(소)	0.84	1.70	80.3	4.42	0.007	0.028	0.06
	꼬치고기	1.21	1.46	19.4	2.28	0.010	0.006	0.102
	풀망둑	1.24	0.91	36.2	3.18	0.010	0.045	0.17
	대하(대)	1.12	34.3	63.3	7.47	0.024	0.007	0.074
	대하(소)	1.21	40.5	67.6	6.12	0.041	<0.002	0.034
	전어	2.15	1.42	12.8	5.55	0.005	0.026	0.062
	붕어	1.12	2.06	37.0	3.99	0.009	0.015	0.062
	붕어치어	1.31	4.88	99.2	3.27	0.030	0.38	0.099
어도	풀망둑	1.33	0.83	32.8	3.18	0.007	0.010	0.11
	풀망둑치어	1.27	1.35	30.2	4.38	0.013	0.080	0.075
	새우	1.25	34.2	66.8	9.39	0.14	0.022	0.014
	전어	1.60	2.01	24.9	3.79	0.009	0.022	0.07
	붕어	1.39	2.66	48.9	2.34	0.013	0.051	0.19

제 III 장

해양생태계분야 (Studies on Marine Ecology)

분야 책임자 : 이 재 학

연구원 : 제 중 길, 최 진 우

차 재 훈, 박 홍 식

김 창 수, 이 형 곤

김 상 진, 이 홍 금

이 정 현, 권 개 경

손 재 학, 조 한 윤

이 현 우, 정 성 영

윤 광 미, 배 세 진

제 1 절 서 설

본 조사 지역은 1994년 2월에 시화 방조제 물막이 공사가 완료되어 외해와 차단된 지역이다. 원래 담수호를 만들어 주변지역의 농업용수로 공급할 목적으로 건설되었지만 방조제 완공후 안산시를 중심으로한 도시 인구의 급격한 증가와 반월공단, 시화공단의 형성 및 농촌지역의 가축사육 등의 증가로 유역으로 부터 유입된 오염물질이 담수호내에 축적되어 1996년부터는 농업용수의 허용기준을 초과하였으며 점점 악화되고 있는 추세이다(한국물학술단체연합회, 1996). 처음엔 원래의 목적에 따라 담수호로 만들기 위해 약 2년여 동안 배수갑문을 통하여 해수를 배출시켰으나 1996년에 들어와서 시화호의 오염이 전반적으로 심화되자 일시적인 자구책으로 1996년 2월부터 한달여간 시화호내에 해수를 유입하였다. 그 결과, 시화호 전반에 걸쳐 막대한 환경변화가 발생했으며, 방조제 완공 이후 계속된 담수 유입 과정에서 해양생물 군집도 큰 변화를 겪게 되었다(허 등, 1997). 특히 시화호내로 유입되는 담수 자체의 오염도 증가로 인해 급격한 생물량 감소가 나타나고 있는 실정이다.

현재까지 시화호에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으며 현재에도 여러 분야의 연구가 진행중에 있다. 이 중, 저서생물에 대한 연구 역시 활발히 수행되었는데, Lee and Cha(1997)는 1994년 3월부터 1995년 3월까지의 조사를 통하여 퇴적물내 유기물 농도가 몇 몇 중금속 원소인 카드뮴, 구리, 니켈등과 함께 증가하였고, 온도가 높은 하절기 동안 수층이 성층화됨에 따라 빈산소 수괴의 형성이 생물의 감소를 초래했으며, 방조제 축제로 인한 퇴적물의 세립화는 중수를 감소 시키는 결과를 초래했다고 밝힌 바 있다. 또한, 류 등(1997)은 1994년 3월부터 1996년 8월까지 총 8회에 걸친 조사에서 용존산소량에 관계된 것으로 보이는 무생물대가 시화호 안쪽으로부터 방조제 부근의 지역으로 확산되는 경향이 있으며, 이는 출현 중수의 감소, 오염 지시종의 대량 번식과 소멸등의 양상과 더불어 시화호의 저서 환경이 심하게 오염되었음을 밝혔다. 이밖에도, SNU(1997)의 자료에 의하면 저서동물의 분포가 특히 용존산소, 염분, pH등에 의하여 영향을 받으며 이는 수심에 의하여 설명될 수 있다고 밝혔으며, 홍 등(1997)에 의하여 시화호 형성 전과 후를 시·공간적으로 비교, 분석한 논문이 발표되었는데, 이 논문에서도 역시 유기물 유입의 증가에 따른 저층수의 무산소 및 빈산소 환경의 형성으로 인해 발생한 무생물대를 중오염역으로 구분하였으며, 방조제 근처의 낮은 수심지역에는 기회종으로 구성된 오염역이 존재하며, 저서동물 군집의 오염역으로의 천이는 방조제의 배수갑문을 통한 빈번한 해수 유입으로 인하여 저층수의 염분도와 용존 산소량의

변화에 크게 영향 받음을 지적하였다. 이와같이 기존 조사에 의하면 시간의 흐름에 따라 종수는 물론 다양도, 균등도, 풍도등의 생태지수는 감소한 반면 우점도는 증가하는 결과를 나타냈다는 점이다. 물론 채집면적이나 방법상에 다소간의 차이는 있겠지만 본 조사에서도 이들과 유사한 결과를 나타냈다.

조사기간 중, 2월말에 있는 해수의 대량 유입은 시화호의 염분도를 급격하게 상승시켰으며 시간의 흐름에 따라 수심이 깊은 일부 정점을 제외하고는 점차 담수호화 되어가는 현상을 나타냈다. 따라서 본 조사는 8개 정점에서 매월 조사를 실시하여 인위적 환경변화속에 저서 생물군집의 변화양상을 파악하고 군집구조에 영향을 미치는 요인들을 알아보려고 하였다.

본 생태계 연구분야에서는 식물 플랑크톤, 미생물 그리고 저서생물의 3분야로 나누어 조사를 실시하였다. 식물 플랑크톤과 미생물의 경우 1997년의 조사를 토대로 분석한 결과를 나타냈으며, 저서생물의 경우는, 이 분야의 특성상 1996년의 조사자료를 토대로 하여 분석하였다.

제 2 절 조사 및 분석방법

1. 시료채취 및 보존방법

1). 식물플랑크톤

식물플랑크톤 조사는 1997년 7월 16일, 10월 2일, 그리고 12월 29일의 3회에 걸쳐 이루어졌다. 각 조사마다 시화호 안쪽에서 갑문쪽으로 가면서 4개의 정점을 (정점 A(4), B(7), C(11), D(15); 괄호안의 숫자는 저서생물 조사의 정점번호임) 두었다(Fig. III-B-1 참조). 시료의 채취는 표층수 500 ml을 취하여 산성 Lugol 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 이들 시료를 광학현미경을 이용하여 동정 및 계수하였다.

2). 저서생물

저서생물 조사는 시화호 안쪽에서 방조제를 따라 배수갑문에 이르는 지역을 대상으로 1996년 1월부터 12월까지 총 8개 지점에서 매월 수행하였다. 시료채집은 van Veen 채니기(채취면적 $0.1m^2$)를 사용하여, 각 정점에서 3회씩 반복 채집을 하였다. 채집된 퇴적물은 선상에서 직경 1mm인 체에 걸러서 남은 잔존물을 10% 중성 포르말린에 고정하여 실험실로 운반하였으며, 실험실에서는 해부현미경하에서 분류군별로 선별하고 종 단위로 동정, 계수하였다. 동정된 시료는 전자저울을 이용하여 습중량(wet weight)을 측정하였다.

종조성의 유사성 정도에 기초하여 조사지역을 구분하기 위하여 집괴 분석(cluster analysis)을 실시하였는데, 출현한 생물자료를 대수변화 시킨후 percent similarity를 이용하였으며, 각 정점간 결합은 Lance and Williams(1967)의 linear combinational equation을 기본으로 한 가중중위결합법(Weighted centroid method)를 사용하였다.

저서 생물의 서식지 환경에 대한 자료를 얻기 위해서 저층의 수온, 염분, 용존산소를 각 정점별로 저층수괴에서 측정하였다. 수온과 염분은 CTD 측정기(SBE 19)를 사용하였고, 용존산소는 DO meter(YSI, model 65)를 사용하였다.

3). 미생물분포 및 활성 조사

조사정점은 주로 생활하수의 영향을 받는 곳으로 시화호 상단의 1개 정점(정점 3)과 공단폐수의 영향을 받을 것으로 예상되는 우음도 부근(정점 10), 수심이

가장 깊은 곳으로 방조제 중간(정점 11 혹은 13), 해수유출입의 통로가 되는 곳으로 배수갑문앞(정점 15)과 탄도방향 수로와의 중간지점(정점 16)의 5개 정점을 선정하였다(Fig. II-1 참조).

시화호 내의 조사시기는 계절별 조사를 원칙으로 하여 1997년 3월 26~27일, 6월 27일, 10월 1일, 12월 29일의 4회에 걸쳐 조사를 실시하였다. 10월 1일과 12월 29일 조사시에는 갑문을 통하여 외부의 해수를 유입하는 것과 맞물려 갑문 부근의 일부 정점의 수층시료는 유입된 외부 해수가 채취된 것으로 추정된다.

시료는 수층시료와 퇴적토시료를 채취하였는데 수층시료는 수심에 따라 수심이 5 m가 넘는 곳에서는 표층수와 저층수(퇴적층 위 1 m 수심)를, 5 m 미만인 경우에는 표층수만을 van-Dorn 채수기를 이용하여 채취하였다. 퇴적토는 van-Veen Grab Sampler로 채취된 시료에서 표층부분을 25 ml 용량의 시료컵에 옮겨담았다. 채취된 시료는 당일에 냉장상태로 실험실로 운반하였으며 아래와 같은 실험을 실시하였다.

2. 분석방법

1). 총세균수

총세균수 측정을 위한 시료 고정을 위해 해수시료는 멸균된 25 ml 용량의 유리 바이알에 옮겨담은 후 최종농도 1%가 되도록 Lugol's Iodine용액을 첨가하여 주었으며 퇴적토시료는 끝을 자른 3 ml 용량의 주사기로 2 ml를 취하여 20 ml의 여과멸균된 5% formalin용액에 넣은 후 잘 섞어주었다. 해수시료는 시료 1 ml를 0.2 μm pore size의 polycarbonate filter(Nuclepore)에 여과한 뒤 5 mg/l의 DAPI용액 1ml로 염색하였다(Fry, 1990). 염색이 끝난 후 형광현미경(Epifluorescence microscope, Carl Zeiss)하에서 개체수와 크기를 측정하였는데 12 화면, 300 개체 이상을 계수하여 얻은 세균수에 배율에 따른 전환상수를 곱하여 총세균수를 구하였다. 세균생체량은 Zimmermann(1977)의 방법에 따라 총체적을 구한 후 구해진 총체적에 conversion factor로 0.20 g-C/cm³(Kogure & Koike, 1987)을 적용하여 계산하였다.

2). 종속영양세균수

유기오염의 지표가 되는 종속영양세균수 측정을 위하여 시료를 적당한 농도로 희석한 후 일반세균용 Petrifilm배지(3M, 하상도, 1996)에 1 ml씩 농도별로 3장씩 접종하였다. 퇴적토시료의 경우에는 1 ml의 시료를 100 ml의 멸균된 해수

에 첨가하여 잘 섞어준 후 적정농도로 희석하여 접종하였다. 20 °C에서 2주일간 배양하여 형성된 집락의 수를 계수하였으며 희석배수를 곱하여 종속영양세균수를 구하였다.

3). 분변성대장균군

분변성대장균군 조사를 위해 시료 채취 즉시 막여과지(pore size 0.45 μm , d=47 mm)에 정점에 따라 5, 10, 50 또는 100 ml의 시료를 농축시킨 후 대장균균용 Petrifilm™배지(3M)에 여과지를 올려서 배양하였다. 배양온도는 35°C였으며 1일간 배양한 후 판정표에 따라 분변성대장균군을 계수하였다. 지나치게 높은 수의 대장균군이 검출될 경우를 대비하여 실험실에서 1 ml과 0.1 ml의 시료를 별도로 배지에 접종한 후 배양하였다.

4). 기질전환율

세균의 종속영양활성을 알아보기 위하여 leucine 전환율을 측정하였다. 멸균된 25 ml 용량의 vial 4개에 시료 10 ml 씩을 준비한 후 기질로 ^{14}C -leucine을 trace level(1 nCi/ml)로 첨가하였다. 1시간 후 formalin 100 μl 를 첨가하여 배양을 중단시켰다. 배양에 앞서 1개의 vial에는 formalin 100 μl 를 첨가하여 control로 삼았다. 배양이 끝난 시료는 0.2 μm 의 막여과지로 여과한 후 Liquid Scintillation Counter(Lackbeta II, Wallac)로 방사선량을 측정하여 기질전환율을 계산하였다. 퇴적토시료의 경우에는 먼저 1 ml의 시료를 100 ml의 멸균된 해수에 첨가하여 잘 섞어준 후 10ml를 취하여 실험에 이용하였으며 ^3H -glucose와 ^{14}C -acetate를 이용하여 glucose와 acetate에 대한 전환율 측정을 추가하였다.

5). 황산염환원세균

혐기적 유기물분해자의 지표로서 황산염환원세균의 분포를 MPN 조사방법을 이용하여 조사하였다(Pimenov *et al.*, 1993). 표층퇴적토시료를 AMR media (Abd-El-Malek and Rizk, 1958, Table III-C-1)가 들어있는 cap tube(16×100mm)에 희석 배수별로 각각 3개씩 접종하였다. 배양중 낮은 전위차를 유지시켜주기 위하여 벤젠, 아세톤, 프로판올 및 증류수의 순서로 표면을 세척한 못을 넣어 주었으며 접종이 끝난 후 시험관에 배지를 더 첨가하여 시험관을 꽉 채우고 뚜껑을 꼭 잠근 뒤 25°C에서 4주간 배양하였다. 4주 후에 못 표면이 검게 변화했으면 양성으로, 못 표면이 변화하지 않으면 음성으로 판독하였으며 MPN 표 (Collins and Lyne, 1984)와 비교하여 황산염환원세균수로 계산하였다.

6). 황산염환원력

퇴적도에서의 황산염환원력은 시료를 배양하면서 발생하는 HS^- 의 양으로부터 측정하였다. 혐기상에서 Medium B(Postgate, 1984, Table III-C-1) 100 ml이 든 3개의 160 ml용량 serum bottle에 시료 각 1ml씩을 접종하고 마개를 닫은 후 25°C에서 배양하였다. 배양기간중 발생하는 HS^- 의 양을 Merck사의 14779 kit로 발색시킨 후 SQ118 Spectrophotometer(Merck)의 method 100으로 측정하였으며 1개월간의 배양 후 발생한 황화수소의 양으로부터 황산염환원력을 구하였다.

1997년 10월과 12월에는 좀 더 현장상황에 근접한 값을 얻기 위하여 다음의 방법으로 변경하였다. 질소흐름하에서 10개의 160 ml 용량 serum bottle에 시료 각 1 ml씩을 접종하고 포집용액으로 15 % Zn-acetate용액 2 ml을 test tube에 넣어 serum bottle에 넣은 후 마개를 닫았다. 5개의 bottle에는 곧장 2M Cr(II)-HCl 용액 4 ml과 12N HCl용액 4 ml을 첨가하여 초기의 황화수소농도를 측정하였으며 나머지 5개의 bottle은 1일간 배양한 후 2M Cr(II)-HCl용액 4 ml과 12N HCl용액 4 ml을 첨가하여 배양을 중단시켰다(Ulrich *et al.*, 1997). 3시간 동안 진탕시켜준 다음 trap을 빼내어 잘 섞어 준 후 0.4% N,N-dimethyl-p-phenylene diamine dihydrochloride(DPDD) 100 μl 와 1.6% Ferric chloride solution 100 μl 를 첨가한 후 660 nm에서 흡광도를 측정하여 methylene blue assay를 하였다(Fonselius, 1983).

제 3 절 결과 및 고찰

1. 식물플랑크톤

1). 세포수 농도

각 조사시기별 식물플랑크톤의 세포수 농도를 Fig. III-A-1에 나타냈다. 전반적으로 볼 때 전 조사시기에 걸쳐 모든 정점에서 10^3 cells ml⁻¹ 이상의 농도를 보였다. 이와 같은 값은 소위 이야기되는 식물플랑크톤의 bloom을 판단하는 수치가 된다. 특히 경우에 따라서는 10^5 cells ml⁻¹ 이상의 높은 값을 보여 거의 실험실에서 배양한 수준을 유지하고 있었다. 이상에서 볼 때 시화호 내의 식물플랑크톤 세포수 농도는 거의 연중 매우 높은 수준을 보이는 것을 알 수 있다.

각 조사시기별로 볼 때 정점 A를 제외한 나머지 세 정점에서는 7월에 매우 높은 값을 보였다가 10월에 약간 감소하여 12월에 다시 증가하는 경향을 보였다. 그러나 정점 A에서는 7월에 낮은 값을 보여 그 뒤 계속해서 증가하는 경향을 보인다. 이는 7월에 우점종으로 출현하는 *Cylindrotheca closterium*이 다른 정점에 비해 적게 출현하는 데 기인한다 (뒤의 우점종 부분 참조).

2). 식물플랑크톤의 종조성

조사기간중 식물플랑크톤의 종조성을 Fig. III-A-2에 나타냈다. 전반적으로 볼 때 7월과 10월 조사에서는 규조류가 전체 식물플랑크톤 집단의 90% 이상을 차지해 압도적인 구성원으로 나타났다. 이들 규조류는 7월의 정점 A만을 제외하면 대부분 *Cylindrotheca closterium* 한 종에 의해 지배되고 있었다. 따라서 7월과 10월 조사는 두 계절 모두 이 한 종의 우점종이 전체 식물플랑크톤 집단을 대표하고 있었다. 한편 비교적 세포수 농도가 낮았던 7월의 정점 A에서는 *Navicula* sp.가 상당 부분을 차지했다. 한편 12월 조사에서는 유글레나조류가 가장 우세하게 나타났으며 정점 C와 D에서는 와편모조류인 *Prorocentrum minimum*이 20% 정도의 비율을 차지했다.

전반적으로 볼 때 7월과 10월 조사에서는 규조류가 우점했으며, 이는 12월 조사에서 유글레나조류와 와편모조류로 천이되는 양상을 보였다. 또한 각 조사시기마다 1내지 2종의 우점종이 전체 식물플랑크톤 집단을 대표했다.

2. 저서환경

1). 수온 변화

경기만 일대 해역의 경우 저층과 표층의 월별 수온차가 1 °C미만으로 매우 작는데 비해(KORDI, 1995), 시화호에서는 특히 봄철에 5 °C 정도의 수온차를 나타냈다. 시화호의 월별 평균수온값을 살펴보면, 표층의 경우 8월에 24.3 ± 0.6 °C로 가장 높았고, 12월에 1.8 ± 0.2 °C로 가장 낮았다. 저층의 수온 역시 8월에 20.9 ± 5.3 °C로 가장 높았고, 12월에 3.0 ± 3.1 °C로 가장 낮게 나타났다. 연평균 수온의 변동폭은 저층이 표층에서보다 적게 나타났다(Fig. III-B-2A). 한편 지역별 수온차는 표층의 경우 모든 지역에서 유사하게 나타남에 비해 저층에서는 지역에 따라 큰 변동 폭을 보였다.

시화호의 안쪽에 위치한 정점 4와 시화호 방조제 부근인 정점 11을 대상으로 표층과 저층의 월별 수온 변화를 살펴보면, 정점 4에서는 표층과 저층에서 모두 유사한 분포양상을 보여주며 시간의 흐름에 따라 그 변화의 폭이 크게 나타났음에 반하여 11번 정점에서는 표층의 경우 시간의 흐름에 따라 그 변동폭이 크게 나타나지만 저층은 거의 변화를 보이지 않다가 10월과 11월사이에 표층과 저층의 수온값이 역전되는 현상을 보여주었다(Fig. III-B-2B). 이는 정점 4의 경우 수심이 낮아 표층과 저층사이에 순환이 이루어져서 수온 차이가 없으나, 정점 11의 경우는 수심이 약 16m 이므로 박 등(1997)의 결과에서와 같이 끝막이 공사후 갖혀있던 잔존 저층해수로 인하여 수직적으로 발생한 강력한 염분 의존형 밀도 성층에 의한 2층 구조 때문에 물의 순환이 이루어지지 않아 일어난 결과로 보인다. 홍 등에 의한 조사에서도 정점 11 부근은 깊은 수심에 의해 저층에 염분 농도에 따른 밀도성층이 형성되어 있는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 원인으로 인해 물의 교환이 차단되고 있는 것으로 해석된다.

2). 염분도 변화

월별 염분도를 측정한 결과, 2월에는 표층과 저층 모두에서 7 % 정도의 낮은 값을 나타냄으로서 시화호가 전반적으로 담수화된 양상을 나타냈지만 2월말에 있는 대규모의 해수유입으로 인하여 3월에는 표층과 저층에서 각각 15.7 ± 1.4 %, 26.8 ± 1.5 %의 값을 나타냈다(Fig. III-B-3A). 한가지 특이할만한 사항은 3월에 나타난 염분도의 급등이 표층에서 보다 저층에서 약 10 %정도 높은 값을 나타냈으며 시간이 흐름에 따라 표·저층간 염분농도의 폭이 줄어들었다는 것이다. 이는 시화호의 수괴 특성이 하구역에서와 마찬가지로 해수가 유입될 시 염분의 밀

도차에 의하여 썩기형태의 수층구조가 생성됨을 의미하는 사실이다. 표층의 경우 4월에 최고치인 $19.2 \pm 0.1 \%$ 을 기록한 후 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며 저층의 경우도 3월에 최고치인 $26.8 \pm 1.5 \%$ 을 기록한 후 시간이 지남에 따라 점차적으로 감소하는 양상을 보였다. 이것은 2월말에 실시하였던 해수의 대량 유입 이후 시화호내 저수량 조절을 위해 여러차례에 걸친 방류가 실시되었으나 해수의 유입은 없고, 강우 및 하천수 유입으로 인해 염분도가 점차로 낮아졌음을 보여준다. 그러나 시화호 내 지형적인 영향으로 염분도의 감소는 지역적으로 다르게 나타나며, 표층보다 특히 저층에서 큰 차이를 보였다.

시화호 안쪽 지점인 정점 4의 경우 3월에 급속한 염분도의 증가로 인해 표층과 저층이 일시적으로 큰 차이를 보였지만 4월 이후로는 거의 유사한 값을 나타냈으며, 방조제 부근에 위치한 정점 11에서도 3월에 표층과 저층이 각각 15.4% 와 28.2% 로 큰 농도차를 보였지만 정점 4와는 달리 시간이 흐름에 따라 표층과 저층의 염분농도차가 일정한 수준에서 꾸준히 유지됨으로서 표층과 저층이 성층화된 양상을 나타냈다(Fig. III-B-3B).

3). 용존산소

표층의 평균 용존산소량은 2월에 $17.3 \pm 2.1 \text{ mg/l}$ 로 조사기간 중 가장 높은 값을 나타냈고, 5월에 $5.8 \pm 2.7 \text{ mg/l}$ 로 가장 낮은 값을 나타냈다. 저층의 경우, 2월에 $17.7 \pm 1.8 \text{ mg/l}$, 7월에 $1.2 \pm 1.5 \text{ mg/l}$ 로 각각 최고와 최저값을 나타냈다. 표층의 경우 2월이후 급격히 낮아지면서 큰 변동폭을 보이지 않다가 10월부터 다시 증가하는 양상을 나타냈으며, 저층의 경우에는 3월 이후 전 정점에 걸쳐 급속히 감소하여 8월까지 평균 5.0 mg/l 이하로 생물이 살기 어려운 환경을 유지하다가 9월부터 점진적으로 증가하는 양상을 보였다(Fig. III-B-4A).

조사 정점중 가장 안쪽에 위치한 정점 4의 경우 2월에 표·저층 모두 17.0 mg/l 로 매우 높은 값을 나타냈지만, 특히 저층의 경우 3월부터 0 mg/l 에 가까운 빈산소수괴가 형성되어 7월까지 큰 변화를 보이지 않다가 8월부터 점차 상승하기 시작하여 12월에는 14.1 mg/l 의 값을 나타냈다. 즉, 겨울에는 비교적 높은 용존산소값을 보이다가 봄부터 여름에 이르러 급격히 감소하는 양상을 보였다. 또한 방조제 부근에 위치한 정점 11의 경우 표층에서는 3월에서 8월까지 낮은 값을 나타내다가 9월이후 회복되는 양상을 보였다. 그러나 저층의 경우 2월 이후 급격히 감소하여 3월에 0 mg/l 에 가까운 용존산소값을 나타냈지만 4월에 다소 증가하는 양상을 보이다가 5월 이후로 다시 계속적으로 0 mg/l 에 가까운 값을 보이며 빈산소 수괴가 형성되었다(Fig. III-B-4B). 이러한 양상은 다른 지역과 매우 차별화

된 것인데 가을철 이후에도 용존산소량의 증가는 관찰되지 않았다. 이는 위부분에서 이미 언급되었던 밀도차에 의하여 생성된 성층에 의하여 표층수와의 교환이 완전히 단절되었음을 의미한다.

3. 저서생태환경

1). 종조성

1996년 2월부터 12월까지 11개월동안 시화호의 8개 정점에서 출현한 저서동물은 모두 26종, 1,041 개체/m², 생체량은 9.4 gWwt/m²으로 나타났다(Table III-B-1). 이는 정점수와 조사빈도의 차이는 있지만 유사한 정점에서 시화방조제가 건설되기 훨씬 이전인 1981년의 자료와 비교하였을 때 종 수와 개체수 모두 약 24.5%, 6.6%로 각각 감소하였다(KORDI, 1981). 또한 시화방조제 건설 직후인 1994년 3월에서 1995년 3월까지 5계절에 걸쳐 조사된 1차 조사자료와 1995년 6월에서 1996년 5월까지 조사된 2차 조사자료등과 비교했을 때, 1981년도 조사자료와 마찬가지로 조사 정점수와 조사빈도는 상호 다르지만 종수의 경우 각각 89종과 25종으로 크게 감소하였다가 본 조사에서는 26종으로 2차 조사때와 유사한 양상을 보였다. 서식밀도의 경우 1차와 2차 조사에서는 상호 유사한 개체수(628, 637 개체/m²)를 나타냈지만 본 조사에서는 이 보다 약 40%가 증가한 1,041 개체/m²가 채집되었다. 또한 생물량은 1차 조사때 24.3 gWwt/m²에서 2차 조사때에는 크게 감소하여 2.3 gWwt/m²를 나타냈다가 본 조사에서는 다소 증가하여 9.4 gWwt/m²을 나타냈다(Table III-B-2).

동물군별 종수는 다모류가 11종(42.3%)으로 가장 많은 종이 출현하였고, 그 다음으로 갑각류(9종, 34.6%)와 연체동물(3종, 11.5%) 순으로 나타났다. 개체수 역시 다모류가 550 개체/m²(52.9%)로 가장 많이 출현하였고, 다음으로 갑각류가 490 개체/m²(47.1%) 출현하였으며 연체동물은 0.1%미만으로 거의 출현하지 않았다. 특히 다모류와 갑각류는 다른 지역에 비하여 월등하게 높은 개체수를 나타냈다. 생체량 또한 다모류가 7.8 gWwt/m²(82.8%)로 가장 높았고, 갑각류가 1.6 gWwt/m²(17.0%)였으며 연체동물은 0.1%미만으로 나타났다(Fig. III-B-5).

조사기간중 가장 많은 종이 출현한 시기는 11월(12종)로 이 중 다모류와 갑각류가 각각 5종(41.6%)으로 가장 많은 종수를 보였으며 연체동물이 1종(8.3%)으로 나타났다(Fig. III-B-6). 반면 가장 빈약한 종수를 보인 시기는 2월과 4월로 각각 2종이 출현하였는데 2월에는 다모류인 *Neanthes succinea*와 *Sigambra* sp. 만 출현하였고, 4월에는 갑각류인 *Corophium sinense*와 Mysidacea unid. 만 출현

하였다.

출현 개체수에서도 11월에 4,388 개체/m²로 가장 높게 나타났는데 이중 갑각류가 2,294 개체/m²(52.3%)로 가장 높은 비율을 차지했으며, 그 다음으로 다모류가 2,092 개체/m²(47.7%), 연체동물이 0.1%미만으로 나타났다. 한편 가장 적은 개체수를 보인 시기는 2월로 나타났다. 생체량의 경우에는 12월에 55.5 gWwt/ m²로 가장 높은 값을 나타냈는데 이중 다모류가 50.3 gWwt/ m²(90.6%)로 가장 높은 비율을 차지하였고, 갑각류가 5.2 gWwt/ m²(9.4%)으로 나타났다. 또한 4월에 가장 낮은 생물량을 나타냈다(Fig. III-B-5). 다모류와 갑각류의 출현개체수가 유사함에도 불구하고 생체량면에서 다모류가 약 10배정도의 큰 값을 보이는 것은 개체수는 적지만 생체량이 큰 *Neanthes japonica*의 출현에 의한 결과이다.

정점별 저서동물의 분포에서 출현 종수는 정점 9에서 16종으로 가장 높게 나타났다. 이 정점에서는 다모류가 10종(62.5%)으로 가장 높은 비율을 차지하였고, 갑각류가 4종(25.0%) 출현했으며 연체동물이 1종(6.2%)으로 나타났다. 또한 가장 낮은 종수를 보인 정점 11에서는 갑각류가 2종(66.7%), 다모류가 1종(33.3%) 등 총 3종만이 출현하였다. 개체수는 정점 9에서 2,746 개체/m²로 가장 높은 값을 나타냈다. 이 중 다모류가 2,611 개체/m²(95.1%)로 대부분을 차지하였으며, 갑각류가 134 개체/m²(4.9%), 연체동물이 1 개체/m²(0.1%미만)으로 나타났다. 개체수가 가장 적게 출현한 정점은 정점 11로 갑각류가 21 개체/m²로 98.6%를 차지하였고, 다모류가 1.4%의 비율을 나타냈다. 생체량은 개체수와는 달리 정점 7(29.7 gWwt/ m²)에서 가장 높았으며 가장 낮은 정점은 개체수에서와 마찬가지로 정점 11(0.1 gWwt/ m²)이었다. 7번 정점에서는 다모류가 27.9 gWwt/ m²(93.8%) 그리고 갑각류가 1.8 gWwt/ m²(6.2%)로 나타났으며 11번 정점에서는 갑각류가 0.1 gWwt/ m²(89.6%) 였으며 다모류는 10.4%의 비율을 차지하였다(Fig. III-B-7).

전반적인 분포양상을 살펴보았을 때 시화호 안쪽 정점에서 방조제 부근으로 갈수록 개체수, 생물량이 대체로 증가하는 것을 보여주었다. 그러나 11번 정점의 경우 방조제 부근에 위치함에도 불구하고 개체수와 생체량이 상당히 낮게 나타났는데, 이는 시화호에서 수심이 가장 깊기때문에 방조제의 끝막이 공사후 저층에 간혀있던 잔존해수와 밀도차에 의한 밀도성층의 형성으로 저층과 표층간의 혼합이 이루어지지 않은 상태에서 막대한 양의 유기물 유입으로 인한 저층의 무산소화에 의한 결과로 보여진다(박 등, 1997).

2). 우점종

조사기간중 단각류(Amphipoda)인 *Corophium sinense*가 471 개체/m²(45.3%)

출현하여 가장 높은 밀도를 나타냈다. 그 다음으로는 다모류인 *Pseudopolydora kemp*i, *Polydora ligni*, *Capitella capitata*가 각각 303(29.1%), 208(20%), 28 개체/m²(2.7%)으로 나타났으며 갑각류의 Mysidacea unid.가 18 개체/m²(1.7%) 출현하였다(Table III-B-3).

*Corophium sinense*의 경우 2월에는 전혀 채집되지 않았다가 3월부터 일부 정점에서 소수 출현하였으며(6 개체/m²), 4월에는 2 개체/m²로 다시 감소하였다. 그러나 6월부터 다시 출현하기 시작하여 9월부터는 급격히 증가하는 양상을 보였다. 가장 많이 채집된 시기는 11월로 2,260 개체/m²가 출현하였다(Fig. III-B-8). 생체량에서도 서식밀도와 유사한 양상을 보이면서 9월이후 점진적인 증가 양상을 나타냈다(Fig. III-B-9).

또한 공간적인 분포는 초기에 정점 7, 8, 9, 12 등에서 소수 출현하다가 5월에는 소멸하였고, 6월 부터 정점 9를 중심으로 출현하기 시작하여 9월에는 정점 12에서만 급격히 증가하는 양상을 보였다. 하지만 10월 이후로는 전 정점으로 확산되어 출현하는 양상을 보였다. 특히 가장 많은 개체수를 나타낸 정점 8에는 조사기간중 총 1,678 개체/m²가 채집되었으며 정점 11에서는 전 계절동안 전혀 채집되지 않았다(Fig. III-B-10).

*Pseudopolydora kemp*i는 4월 부터 소수 출현하면서 5월과 7월에 각각 증가하는 양상을 보이다가 10월에는 그 분포 범위가 크게 확산되었다. 11월에 이들의 월별 최대개체수인 1,711 개체/m²를 나타내며 정점 11을 제외한 전 정점에 걸쳐 출현하였다(Fig. III-B-8). 또한 생체량의 경우도 10월 이후 점진적으로 증가하는 양상을 나타냈다(Fig. III-B-9).

공간적인 분포를 보면 초기에는 정점 9를 중심으로 출현하다가 10월 이후 시화호 내부역으로 출현범위가 증가하였다. 그러나 전 조사정점 중 정점 9에서 978 개체/m²로 가장 많은 개체수를 나타냈으며 정점 9에서의 우점군들 중 *Polydora ligni* 다음의 우점군(36.1%)으로 나타났다(Fig. III-B-10).

*Polydora ligni*는 3월에 정점 12에서만 10 개체/m² 나타났다가 4월에 다시 채집되지 않았고 5월부터 급격히 증가하기 시작하였으며 6월에 653 개체/m²로 가장 많이 출현한후 점점 감소하는 경향을 보였다(Fig. III-B-8). 생체량의 경우도 5월과 6월에 증가하는 양상을 보이다가 여름철에 감소하였다. 그러나 10월 이후 시화호내에서 전반적인 분포양상을 보이면서 생체량도 증가하였다(Fig. III-B-9). 이 종의 공간적인 분포를 살펴보면 1,372 개체/m²로 정점 9에서 그 최대치를 나타내고 있으며, 8월부터는 분포영역이 증가하였고 10월에는 정점 11을 제외한 전 지역에서 고루 분포하는 양상을 보였다. 그러나 겨울철 들어 그 서식밀도가 감소

하는 양상을 보였다(Fig. III-B-10).

*Capitella capitata*는 5월과 8월에 높은 출현양상을 나타낸 이후, 9월부터 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. III-B-8). 또한 시·공간적인 분포에서는 정점 9에서만 출현하는 특성을 보였으며, 다른 지역에서는 거의 출현하지 않았다(Fig. III-B-9).

옆새우류인 Mysidacea unid.는 8월까지 일부 정점에서 소수만이 채집되다가, 9월부터 높은 출현 양상을 보였다(Fig. III-B-8). 공간분포의 경우 다른 종에 비해 출현밀도는 작지만, 9월 이후 전 정점에서 출현하는 양상을 보였다. 특히 주의해야 할 사항은 10월이후 정점 11에서도 출현한 점이다. 이 종은 유영능력이 있는 종으로 해수중에서도 채집이 되고 있다. 따라서 퇴적물내에서 채집이 되었는지에 대해서는 고찰해 볼 필요가 있다(Fig. III-B-10).

조사기간중 생체량 부분에서 우점하여 분포한 종들을 살펴보면 *Neanthes japonica*, *Corophium sinense*, *Pseudopolydora kemp*i, *Neanthes succinea*, *Polydora ligni*의 순으로 나타났으며, 9월까지의 특정종에 의한 우점이 나타나지 않다가 10월부터 점차 전반적으로 생체량이 증가하기 시작하였으며, 11월이후 급격히 증가된 양상을 보였다. 특히 *Neanthes japonica*의 우점이 두드러졌는데, 이 종은 서식밀도가 매우 낮지만, 그 생체량이 매우 커 12월에 42.6 gWwt/m^2 (14 ind./m^2) 으로 최고값을 나타내었으며 공간적으로는 정점 7에서 22.8 gWwt/m^2 (5 ind./m^2)으로 최대값을 보였다(Fig. III-B-9).

3). 군집구조

전 조사시점과 조사 정점을 통틀어 집괴분석을 한 결과, 약 10 % 유사성 범위에서 5개의 그룹으로 나뉘어졌다(Fig. III-B-11).

Group I은 여름철 정점 10과 12를 주축으로 구성되었다. 주로 *Neanthes japonica*와 *Neanthes succinea*의 출현에 의하여 특징지어지는 그룹으로서 다른 생물은 9종이(Table III-B-4) 소수 출현하여, 총 11종으로 나타났다. 생물의 서식밀도는 12 개체/m^2 로 비교적 낮게 나타났으며, 저층 환경의 경우 상대적으로 높은 염분도와 낮은 용존산소값을 나타냈다.

Group II는 8월 정점 12와 11월 정점 6만으로 구성되었다. *Corophium sinense*가 대량(1종, 614 ind./m^2)으로 출현한 특성을 나타냈다. 저층 염분도는 13.8 ‰로 비교적 낮았으며, 용존산소량은 $8.8 \pm 6.1 \text{ mg/l}$ 로 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

Group III은 공간적으로는 정점 9가 많이 포함되었으며 시기적으로는 겨울철

의 조사정점이 많이 포함되었다. 이 그룹의 특징으로는 대부분의 종들이 고르게 대량으로 분포하는 것을 들 수 있다. 총 18종이 출현하였고 3,597 ind./m²의 개체수를 나타냄으로서 가장 높은 종수와 개체수를 보였다. 14.0±0.8 %의 비교적 낮은 염분도와 모든 그룹 중 가장 높은 용존산소량(10.3±3.5 mg/l)을 나타냈다.

Group IV는 공간적으로 보았을 때 정점 11이 많이 포함되었다. 총 3종, 35 개체/m²의 생물분포를 나타냈는데 다른 생물은 거의 없고 Mysisidacea unid.가 가장 우점하는 특성을 보였다. 저층 염분도는 비교적 높았으며 용존산소량은 낮았다.

Group V는 주로 시화호 남부에 위치한 정점들로 구성되었다. 저층 염분도가 높고 용존산소량이 낮은 봄철 조사정점들이 많이 포함되는 특징을 나타냈다. Group II와 마찬가지로 *Corophium sinense* 한종만이 출현하였는데, 개체수는 훨씬 적은 6 ind./m²을 나타냈다.

결론적으로, 생물상 조사에서는 일부 종을 제외하고는 8월 이후에 급격히 증가하는 양상을 보여주고 있으며(Fig. III-B-6), 각 정점의 저층 용존산소량의 변화와 생물의 개체수, 종 수의 변화가 매우 유사한 분포유형을 보여주고 있었다(Fig. III-B-13, Fig. III-B-14). 즉, 시화호의 저서군집이 저서환경이 호전됨에 따라 급격히 변화하고 있어 특히 용존산소량에 의하여 분포범위가 큰 영향을 받았음을 시사하고 있다. 이러한 사실은 정점 11에서의 용존산소량 분포와 생물 분포유형을 통하여 더 확연해진다. 즉, 겨울철에 빈산소 수괴를 형성한 지역은 생물의 가입도 나타나고 있지 않다(Fig. III-B-13, Fig. III-B-7). 또한 공간적 분포에서 고려되어야 할 지역으로 정점 9의 환경특성을 들 수 있다. 이 정점은 다른 정점과 달리 표층과 저층의 수괴가 전 조사기간에 걸쳐 거의 유사한 환경변수값을 나타냈다. 이것은 정점 9가 수심이 낮고 시화호내 주수로에서 벗어나 직접적인 해수 유입과 방류로부터 보호받을수 있는 지점에 위치하고 있기 때문으로 여겨진다. 이러한 잇점 때문인지 정점 9는 모든 정점 중 가장 높은 개체수와 종수를 기록하였으며(Fig. III-B-7), 시간적으로 생물이 가장 먼저 분포하기 시작한 사실을 볼 수 있다(Fig. III-B-10).

생물상 조사에서 겨울철에 호전된 양상을 보이는 가운데 저서군집을 구성하는 생물들 대부분이 기회종으로 구성되어 있어 군집형성 초기단계를 나타내고 있다. 그러나 여름철마다 반복되는 빈산소 수괴의 형성이 안정화되는 과정을 방해하고 있으며, 1997년부터 실시되고 있는 시화호 수질개선을 위한 해수 유입이 저서 생태계 내에서도 생물 유생의 공급을 유도하기 때문에 또 다른 저서 생태계가 형성될 수 있을 것으로 생각된다.

4. 미생물분포 및 활성

자연생태계 내에서 종속영양세균은 영양염류의 순환, 유기물의 전환 및 광물화와 에너지 흐름의 중심에 위치하여 축적되는 유기물을 분해함으로써 생태계의 자정작용을 담당한다. 특히 퇴적토의 경우 수 cm만 들어가도 혐기적 환경이 조성되는 관계로 유기물의 분해는 호기적과정 보다는 혐기적 과정에 의해 주로 진행되는 것으로 밝혀져 있으며 이 과정에서 황화수소, 메탄 등의 가스가 발생하여 수층으로 까지 확산된다. 특히 시화호와 같이 정체된 환경에서는 부영양화의 진행에 따라 급속한 산소의 고갈과 함께 유독가스가 발생해 역겨운 냄새를 낼 뿐만 아니라 수층 및 퇴적토의 생물들을 죽음에 이르게 하는 원인으로 작용한다.

시화호는 유역에 공단과 도시를 지니고 있어 이로부터 다량의 폐수와 생활하수가 유입되며 축산폐수의 유입도 많은 곳이다. 그러나 호수로 유입되는 특별한 수원이 없어 정체기간이 길며 유입된 오염물질이 장기간 호수내에 머무르게 된다. 이에 따라 호수내의 유무기오염이 급격히 증가하고 있으며 공단으로 부터 유입된 각종 난분해성물질도 저층에 축적되어 있을 것으로 추정된다. 따라서 시화호의 정화를 비롯한 계획을 세우기 위해서는 현재의 오염정도와 자체 정화능력, 진행중인 생지화화학적 과정 등을 조사하여야 한다. 본 연구에서는 시화호 내부의 미생물학적 과정을 측정하기 위하여 수층과 퇴적토에서 세균의 생체량과 종속영양세균수, 대장균군수 및 황산염환원세균수의 계절에 따른 변화를 측정하였으며 종속영양세균에 의한 유기물 전환율 및 퇴적토의 황산염환원력을 조사하였다.

1). 총세균수

시화호 수층에서의 계절에 따른 총세균수의 변화는 Fig. III-C-1과 같다. 1997년 3월 27일의 총세균수는 $0.55 \sim 1.07 \times 10^7$ cells/ml의 범위를 보였으며 6월 27일에는 $0.83 \sim 2.78 \times 10^7$ cells/ml, 10월 1일에 $0.62 \sim 3.06 \times 10^7$ cells/ml, 12월 29일에 $0.70 \sim 2.45 \times 10^7$ cells/ml의 범위를 보였다. 봄철에 대부분의 정점에서 10^7 cells/ml 이하였던 총세균수는 여름에 거의 모든 정점에서 10^7 cells/ml 이상의 높은 분포를 보였으며 겨울에도 반 이상의 정점에서 10^7 cells/ml 이상의 분포를 보여 봄철 이후 지속적으로 높은 분포를 보이는 것으로 나타났다. 표층과 저층을 비교해 보면 대부분의 경우에 표층에서 더 높은 총세균수의 분포를 보였다. 시화호의 총세균수는 오염이 심한 경기만 연안해수(강 등, 1990), 소양호의 적조 수역(조 등, 1993)에 비해서도 높은 것으로 나타났으며 특히 시화호 상단에 위치

하는 정점 3에서는 여름 이후 2×10^7 cells/ml 이상의 높은 값을 보여 이 부근에서는 상시적으로 유기물 오염이 있는 것으로 사료된다.

탄소량으로 표시된 세균생체량은 3월에 $109.9 \sim 226.2 \mu\text{g-C/ml}$, 6월에 $123.0 \sim 448.3 \mu\text{g-C/ml}$, 10월에 $109.6 \sim 489.4 \mu\text{g-C/ml}$, 12월에 $108.6 \sim 519.1 \mu\text{g-C/ml}$ 의 범위를 보여 총세균수에 비해 계절간, 정점간의 편차가 큰 것으로 나타났다. 세균의 평균체적은 3월에 0.094, 6월에 0.077, 10월에 0.082, 12월에 $0.080 \mu\text{m}^3$ 로 세균의 활성이 높은 여름철에 작은 것으로 나타났다.

2). 종속영양세균수

수층에서의 종속영양세균수는 3월에 $1.5 \sim 10.8 \times 10^4$ CFU/ml, 6월에 $0.5 \sim 32.0 \times 10^4$ CFU/ml, 10월에 $0.2 \times 10^3 \sim 3.35 \times 10^5$ CFU/ml, 12월에 $1.15 \times 10^3 \sim 7.7 \times 10^5$ CFU/ml의 분포를 보여 봄철에 가장 높은 분포를 보였으며 가을과 겨울에 비교적 낮은 분포를 보였다(Fig. III-C-2). 정점별로는 배수갑문 부근에서 상대적으로 분포가 낮았으나 시화호 상부에서는 계절의 진행에 따라 종속영양세균수가 늘어나는 경향을 보였으며 10월과 12월에는 총세균수에 대한 비율도 1%가 넘는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 오염이 심화된 담수환경에서 드물게 발견되는 것으로(Rheinheimer, 1978) 시화호 상단부가 심각하게 오염되어 있음을 반영한다.

퇴적토에서는 3월에 $1.15 \sim 7.7 \times 10^6$ CFU/g, 6월에 $8.2 \times 10^5 \sim 1.35 \times 10^7$ CFU/g, 10월에 $8.35 \times 10^5 \sim 1.72 \times 10^6$ CFU/g, 12월에 $1.03 \sim 2.04 \times 10^6$ CFU/ml의 분포를 보여 퇴적토에서도 봄철의 종속영양세균수 분포가 가장 높고 여름의 정점 15를 제외하면 여름이후 조금씩 감소하는 것으로 나타났다(Fig. III-C-2). 시화호 퇴적토의 종속영양세균수를 국내의 연안퇴적토에서의 종속영양세균수 분포와 비교해 보면 $2.2 \times 10^4 \sim 6.4 \times 10^6$ CFU/g-dry sed.의 분포를 보인 서천연안의 퇴적토(최와 이, 1996), $6.7 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^5$ CFU/g-dry sed.의 분포를 보인 금강하구(이, 1986)보다는 다소 높았으며 $1.7 \times 10^7 \sim 1.7 \times 10^9$ CFU/g-dry sed.의 분포를 보인 낙동강 하구(김 등, 1985)에 비해서는 낮은 것으로 나타났다. 또한 남해퇴적토에서 측정된 $3.0 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^7$ CFU/g-dry sed. (김과 이, 1992)에 비해서는 다소 높은 것으로 나타나 시화호의 경우 오염이 심한 담수환경의 퇴적토에 비해서는 낮은 종속영양세균수를 보였지만 연안퇴적토에 비해서는 다소 높은 값을 보이는 것으로 나타났다.

3). 분변성대장균군(Fecal coliform)

분변성대장균군은 1997년 3월에 0~200cells/100ml 의 분포를 보였으며 1997년 6월에는 15~4,900cells/100ml로 매우 높은 분포를 보였다. 97년 10월에는 방조제 앞에서 30cells/100ml로 가장 낮은 수를 보였으나 호수의 상부(정점 3)에서 10,000cell이상의 매우 높은 값을 보여 여름, 가을의 분변성오염이 대단히 심각한 것으로 나타났다. 12월에는 0~300cells/100ml의 분포를 보였는데 300cells/100ml의 값을 보인 정점 3을 제외한 다른 정점들에서는 10cells/100ml 이하로 나타나 수온의 감소와 함께 크게 감소한 것으로 나타났다(Fig. III-C-3). 분변성대장균군은 특히 시화호의 상부에서 높은 분포를 보이는 반면 탄도로부터의 해수유입통로쪽(정점 16)에서는 비교적 낮은 분포를 보이는 것으로 나타나 시화호 상부의 경우 지천을 통해 유입되는 생활하수 및 축산하수로 인한 오염이 심각한 것으로 사료된다.

4). 기질전환율

수층에서의 ^{14}C -leucine 전환율은 3월에 시간당 13.9~74.5%였으며 6월에는 45~71.8%, 10월에 13.9~91.5%, 12월에도 4.0~88.7%의 범위를 보여 계절에 관계없이 대단히 높은 전환율을 보였다(Fig. III-C-4). 이것을 기질전환시간으로 환산해 보면 외부해수로 추정되는 일부시료를 제외하면 8시간 이내의 기질전환시간을 보이며 반 이상의 경우에 2시간 이내의 짧은 기질전환시간을 보이는 것으로 나타나 지속적으로 많은 양의 유기물이 공급되고 있는 것으로 사료된다.

퇴적층의 경우에는 계절에 따라 0.01(3월의 정점 11)~12.9(6월의 정점 16)%의 전환율을 보여 수층에 비해 낮은 전환율을 보였으며(Fig. III-C-4) ^{14}C -Acetate와 ^3H -glucose의 경우에도 시간당 각각 0(6월의 정점 3 및 10월의 정점 3, 10, 15)~1.29(3월의 정점 16)%, 0(10월의 정점 3, 10, 15)~12.06(3월의 정점 16)%의 낮은 전환율을 보였다(Fig. III-C-5). 특이한 점은 비교적 오염이 적은 것으로 추정되는 정점 16의 퇴적토에서 가장 높은 기질전환율을 보이는 것이다. 기질전환율 측정을 위해 시료를 호기적 조건으로 준비하고 배양하였는데 이 과정에서 상당수의 혐기성세균이 사멸하였을 것으로 생각되며 결과적으로 혐기도가 높은 시료일수록 처리과정중에 활성을 잃는 세균군집이 많아지기 때문인 것으로 사료된다.

5). 황산염환원세균

MPN방법으로 측정된 황산염환원세균수는 97년 3월에 354~1,846 cells/ml

-sediment의 분포를 보였으며 97년 6월과 10월에는 전 정점에서 8,460 cells/ml-sediment 이상의 값을 보였다. 97년 12월에도 전 정점에서 11,000 cells/ml-sediment 이상의 값을 보여 황산염환원세균수가 점차 증가하는 경향을 보이는 것으로 사료된다. 특히 정점 3에서는 1,100,000 cells/ml-sediment 이상의 수치를 보여 종속영양세균수와 비슷한 정도로 높은 분포를 보이는 것으로 나타났다 (Table III-C-2).

6). 황산염환원력

퇴적토에서의 황산염환원력은 3월에 3.12~14.99 $\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$, 6월에 6.21~11.05 $\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$, 10월에 0.55~4.88 $\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$, 12월에 0.64~14.62 $\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$ 의 값을 보였다(Table III-C-3). 3월과 6월에 정점간에 비교적 고른 분포를 보인 반면 10월과 12월에는 정점간의 차이가 크고 환원력도 상대적으로 낮았다. 그러나 3월, 6월과 10월, 12월 사이에는 방법상의 차이가 있으며 농후배양의 방식을 통해 황산염환원력을 측정 한 3월과 6월의 결과는 실측값이기보다는 potential에 가까운 것으로 해석된다. 또한 배양을 준비하는 과정에서 서식환경이 심각하게 파괴될 수 있으므로 다시 정상적인 상태를 되찾는 데는 상당한 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 따라서 짧은 배양기간을 적용하는 경우에는 실제보다 황산염환원력이 낮게 측정될 수 있다. 실제로 6월에 14일간의 배양결과로 측정 한 황산염환원력은 0.032~0.122 $\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$ 로 30일간 배양한 결과에 비해 대단히 낮은 값을 보였으며 10월과 12월에 비해서도 낮은 것으로 나타났다. 10월과 12월에 측정된 시화호 표층퇴적토에서의 황산염환원력을 다른 지역에서의 값과 비교해 보면 0.26 $\mu\text{M}/\text{ml}$ -sed./day를 보인 Kingoodie Bay(Wellsbury *et al.*, 1996), 0.4 $\mu\text{M}/\text{ml}$ -sed./day 이하를 보인 북해연안 퇴적토(Jørgensen *et al.*, 1990; Thode-Anderseñ & Jørgensen, 1989)에 비해 대단히 높았다. 12월의 결과로 보면 정점 16이외의 모든 곳에서 높은 황산염환원력을 보이는 것으로 나타났으며 특히 정점 3과 8에서의 황산염환원력이 높은 것으로 나타나 이들 정점의 경우 혐기성세균 이외의 생물이 살기 어려운 여건이 조성된 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강찬수, 이기승, 김명운, 권개경, 김용학, 박성주, 이건형, 김상중. 1990. 경기만의
중속영양세균군집의 분포 및 활성. 한국미생물학회지. 28:324-330.
- 김상중, 홍순우, 이윤. 1985. 낙동강 하구 간석지에 존재하는 세균의 분포 및 생리
적 활성도. 미생물학회지. 23:215-220.
- 김상진, 이건형. 1992. 남해 퇴적토에서 중속영양세균의 분포 및 세포의 효소활성.
미생물학회지. 30:383-390.
- 류종성, 최진우, 강성길, 고철환, 허성희, 1997. 시화 방조제 건설 이후 시화호
다모류의 종 조성 및 서식밀도 변화. 한국해양학회지 「바다」, 2(2): 10
1~109.
- 박용철, 박준건, 한명우, 손승규, 김문구, 허성희, 1997. 시화호 산화-환원 환경하
에서의 용존 유·무기 화합물의 생지화학적 연구. 한국해양학회지 「바
다」, 2(2): 53~68.
- 이건형. 1987. 금강하구 퇴적토에서의 중속영양세균의 분포에 미치는 환경요인과
계절적 우점속에 관하여. 미생물학회지. 25:137-143.
- 서울대학교 1997. 해양환경감시 평가기술 - 연안 저서환경 건강평가 기술. 환경
부, 과학기술처, 584pp.
- 조영철, 강찬수, 김상중. 1993. 소양호 적조 수역에서의 인과 미생물군집의 변
화. 미생물학회지. 31:458-464.
- 최강국, 이건형. 1996. 서천 연안 퇴적토에서 중속영양세균의 분포와 세포의 효소
활성과의 관계. 미생물과 산업. 22:119-126.
- 하상도. 1996. 식품내의 미생물분리를 위한 Dryfilm 방법의 평가연구. 산업미생
물학회지 24(2):178-184.
- 한국물학술단체연합회 1996. 시화호를 어떻게 할 것인가? -시화호 수질대책 대토
론회. 한국물학술단체연합회, 165pp.
- 한국수자원공사, 농어촌 진흥공사 1995. 시화지구 담수호 수질보전대책 수립 조
사보고서. 한국수자원공사, 474pp.
- 한국해양연구소 1995. 해양 저서생물상에 의한 환경평가 - 해양환경관리기술,
선도기술개발사업 보고서. 환경부, 과학기술처, 339pp.
- 한국해양연구소 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구 (1
차년도), 과학기술처, 169pp.
- 허성희, 오임상, 1997. 인공호수 시화호와 주변해역의 생태계 연구: 서문. 한국해

- 양학회지 「바다」, 2(2): 49~52.
- 홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건택, 최병미, 유재원, 1997. 시화방조제의 건설은 저서동물군집의 시·공간 분포에 어떠한 영향을 미쳤는가? 한국수산학회지, 30(5): 882~895.
- Abd-El-Malek, Y. and S.G. Rizk. 1958. Counting of sulphate-reducing bacteria in mixed bacterial populations. *Nature*. 182 : 538.
- Collins, C.H. and P.M. Lyne. 1984. Counting micro-organisms. *In* Microbiological methods(5th ed.). Butler & Tanner Ltd. London, England. p. 128-141.
- Fonselius, S.H. 1983. 5. Determination of hydrogen sulfide. pp. 73-80 *In* (Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling eds.) *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, Germany.
- Fry, J.C. 1988. Determination of biomass. pp. 27~72. *In* B. Austin (ed.). *Methods in aquatic bacteriology*. John Willey & Sons, Chichester.
- Grassle J. F. and J. P. Grassle, 1974. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.* 32(2): 253~284.
- Kogure, K., R. Koike. 1987. Particle count determination of bacterial biomass in seawater. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:274-277.
- KORDI 1981. Water quality monitoring in coastal areas of Banweol, Ulsan, Changwon and Yeochon. P. 302. *In* K.W. Lee ed. *Wastewater treatment and disposal for five industrial cities*. BSPI: 00023-46-4.
- Jørgensen, B.B., M. Bang, and T.H. Blackburn. 1990. Anaerobic mineralization in marine sediments from the Baltic Sea-North Sea transition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59:39-54.
- Lee, J.-H and J.-H. CHA, 1997. A study of ecological succession of macrobenthic community in an artificial lake of Shi-Hwa on the west coast of Korea: An assessment of ecological impact by embankment. *Ocean Res.*, 19(1), 1~12
- Pimenov, N., I. Davidova, S. Belyaev, A. Lein and M. Ivanov. 1993. Microbiological processes in marine sediments in the Zaire river delta and Benguela upwelling region. *Geomicrobiol. J.* 11:157-174.
- Postgate, J.R. 1984. *The sulphate-reducing bacteria*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. p.32.

- Rheinheimer, G. 1977. Regional and seasonal distribution of saprophytic and coliform bacteria. pp.121-137 *In* Rheinheimer, G.(ed.) Microbial ecology of a brackish water environment. Springer-Verlag, Berlin, heidelberg, New York.
- Rosenberg, R. 1973. Succession in benthic macrofauna in a Swedish fjord subsequent to the closure of a sulphate pulp mill. *Oikos* 24: 1~16.
- Thode-Andersen, S and B.B. Jørgensen. 1989. Sulfate reduction and the formation of ^{35}S -labeled FeS , FeS_2 , and S^0 in coastal marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 34:793-806.
- Ulrich, G.A., L.R. Krumholz and J.M. Suflita. 1997. A rapid and simple method for estimating sulfate reduction activity and quantifying inorganic sulfides. *Appl. Environ. Microbiol.* 63 : 1627-1630.
- Wellsbury, P., R.A. Herbert and R.J. Parkes. 1996. Bacterial activity and production in near-surface estuarine and freshwater sediments. *FEMS Microbiol. Ecol.* 19 : 203-214.
- Zimmermann, R.. 1977. Estimation of bacterial number and biomass by epifluorescence microscopy and scanning electron microscopy pp. 103~120. *In* G. Rheinheimer(ed.) Microbial ecology of a brackish water environment. Springer-Verlag, Berlin.

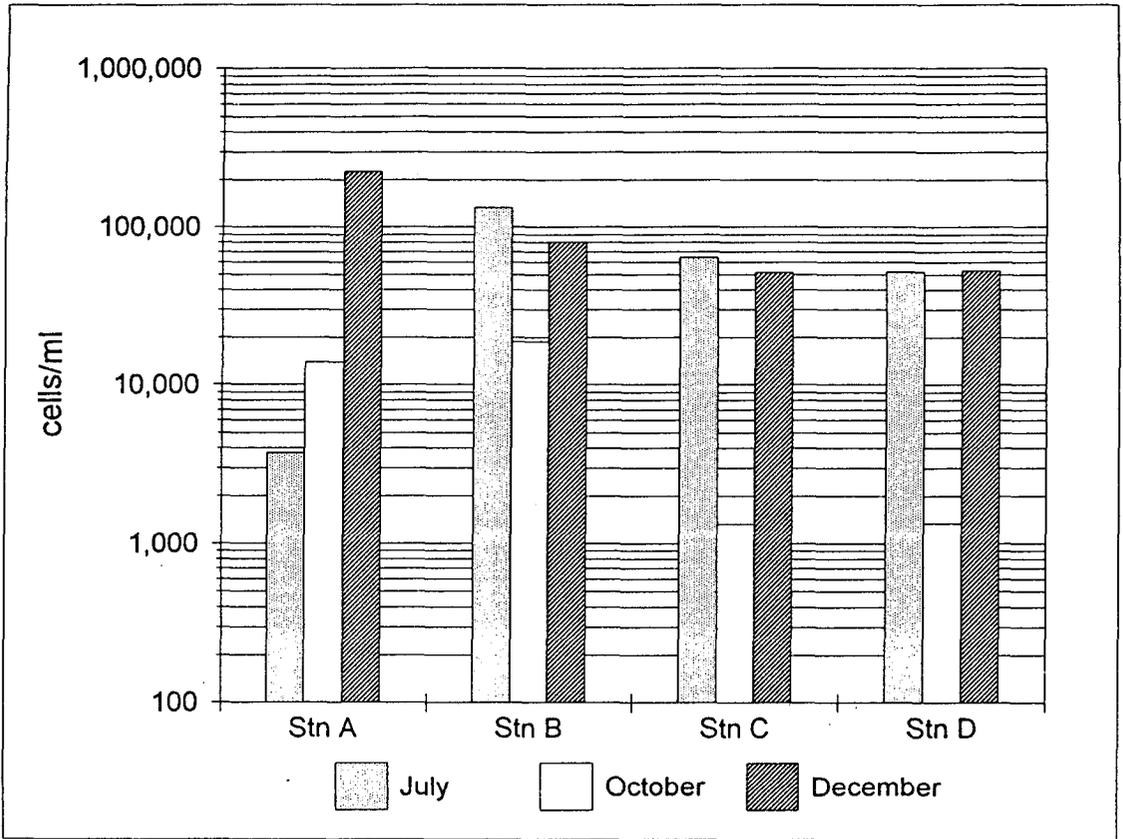


Fig. III-A-1. Phytoplankton cell concentration in Shihwa Lake.

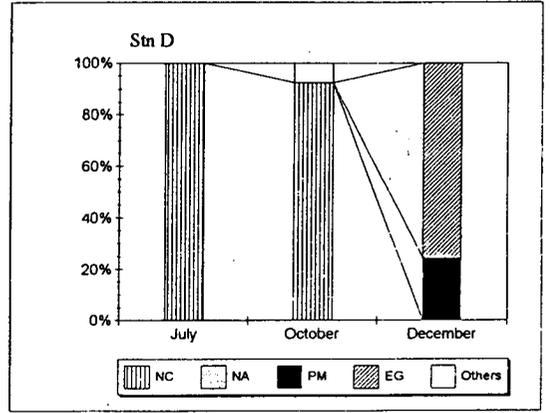
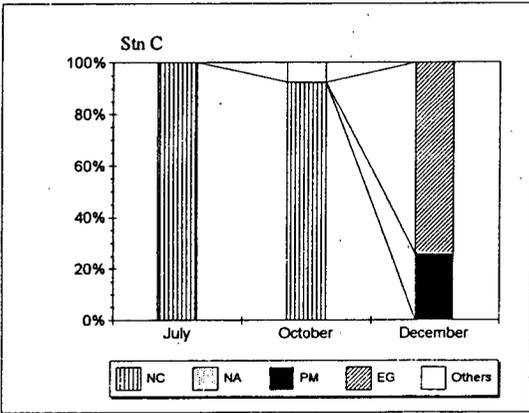
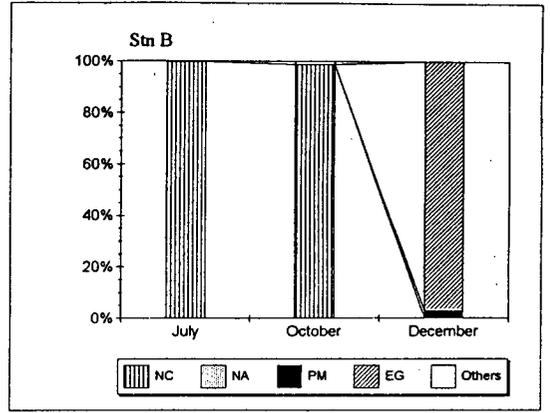
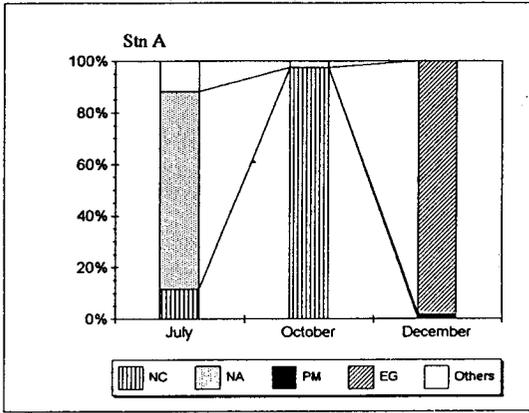


Fig. III-A-2. Species composition of phytoplankton assemblage in Shihwa Lake (NC: *Cylindrotheca closterium*, NA: *Navicula* sp., PM: *Prorocentrum minimum*, EG: euglenoid).

37 20'N

37 15'N

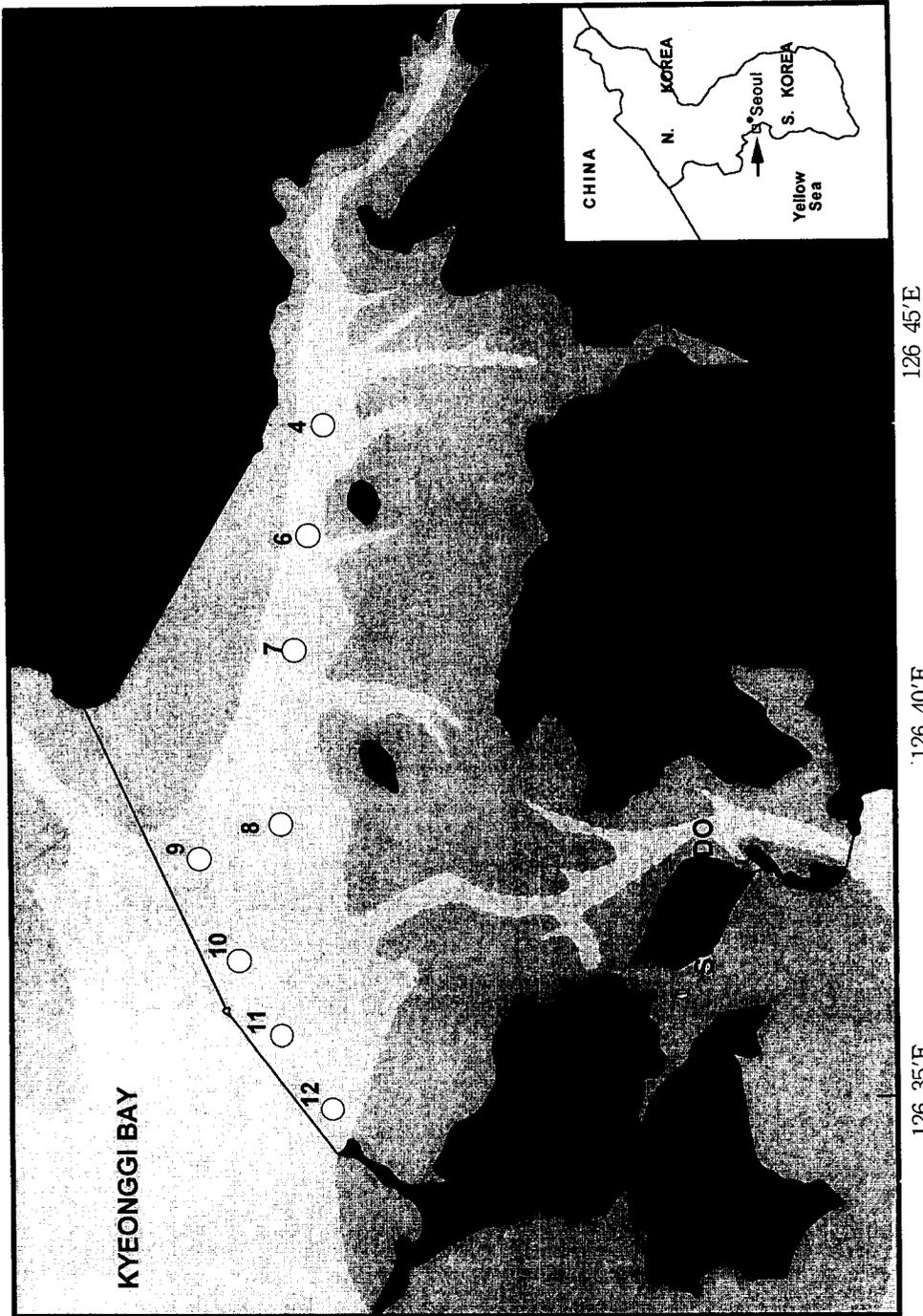


Fig. III-B-1. A map showing the sampling site.

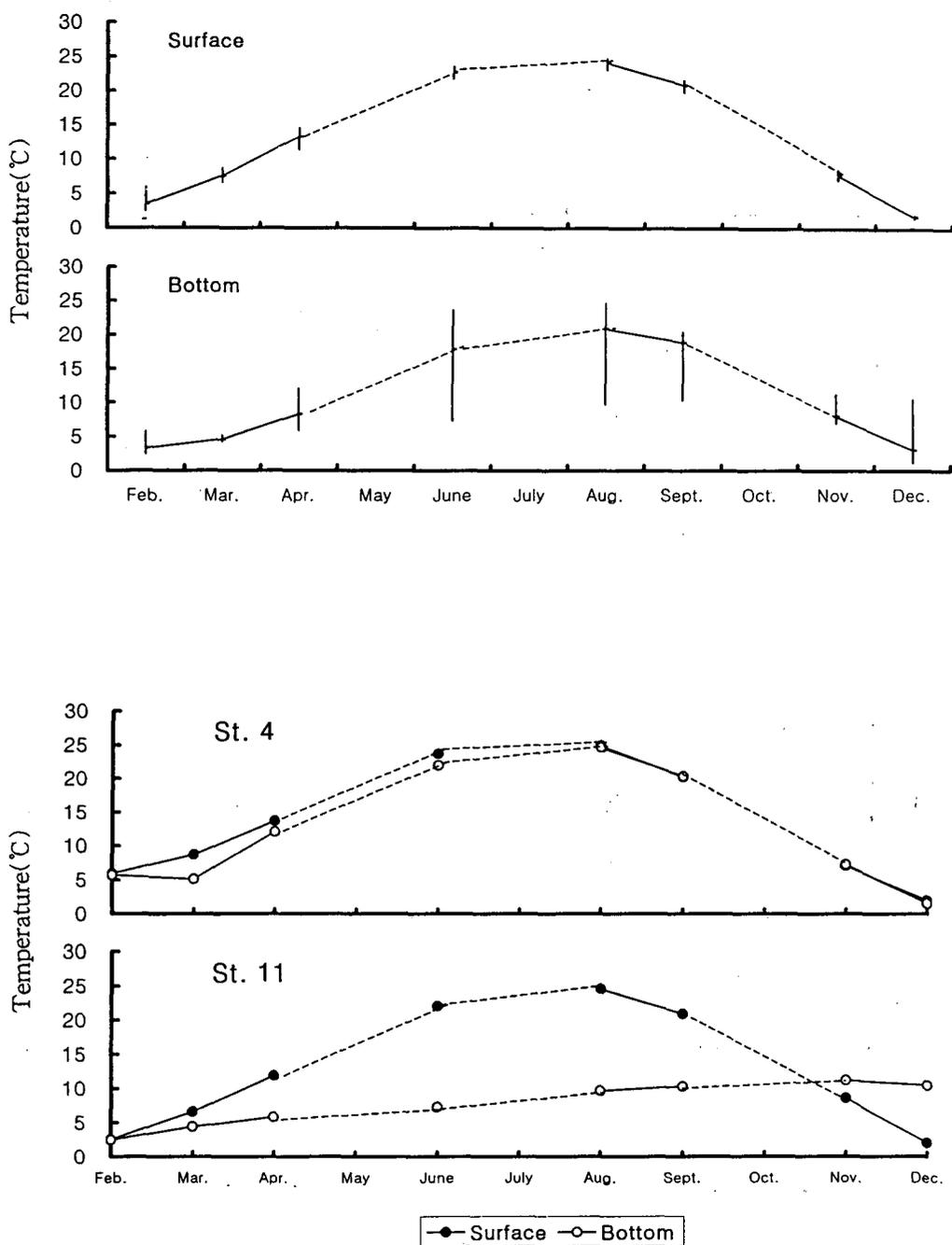


Fig. III-B-2. Monthly variation of water temperature(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).

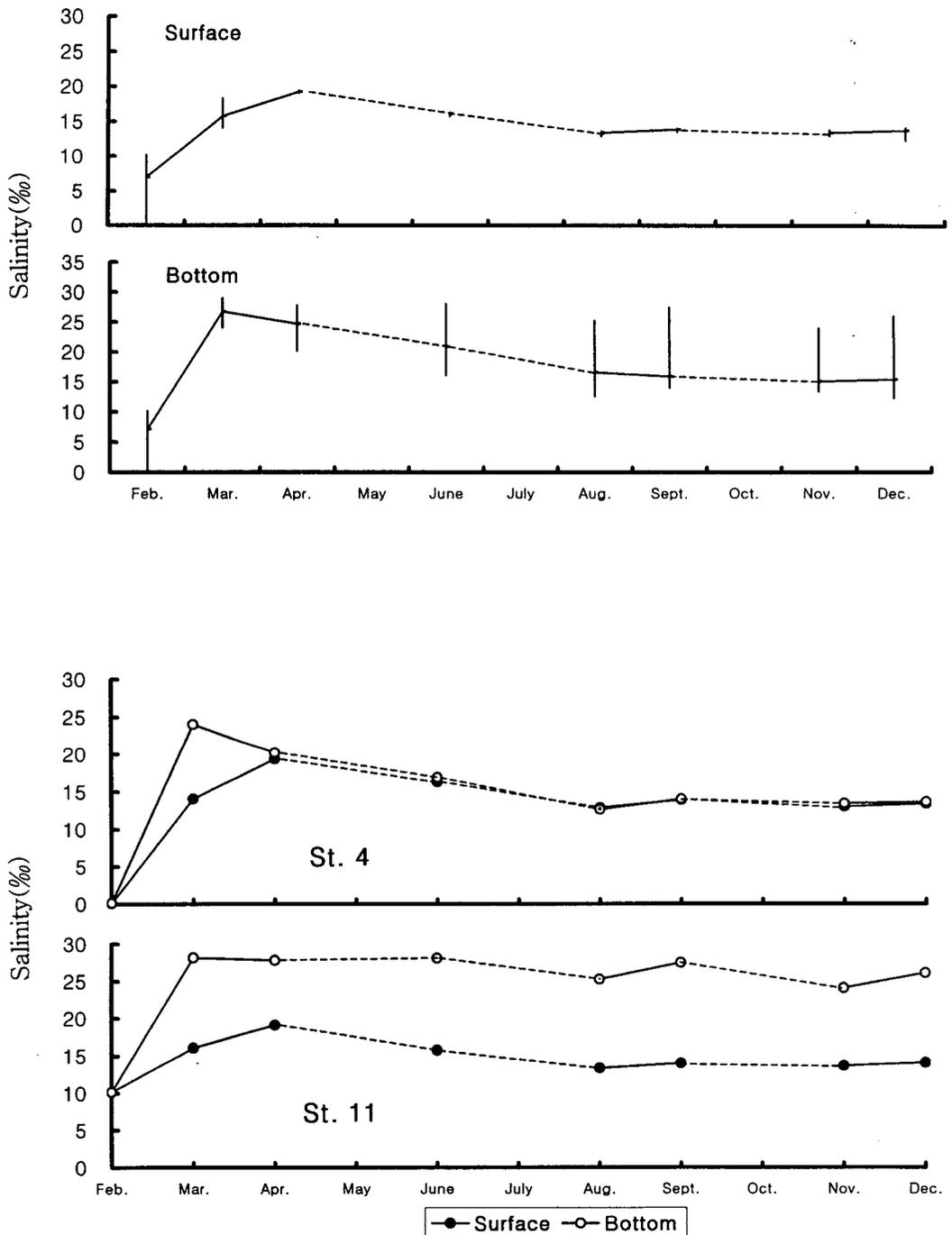


Fig. III-B-3. Monthly variation of salinity(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).

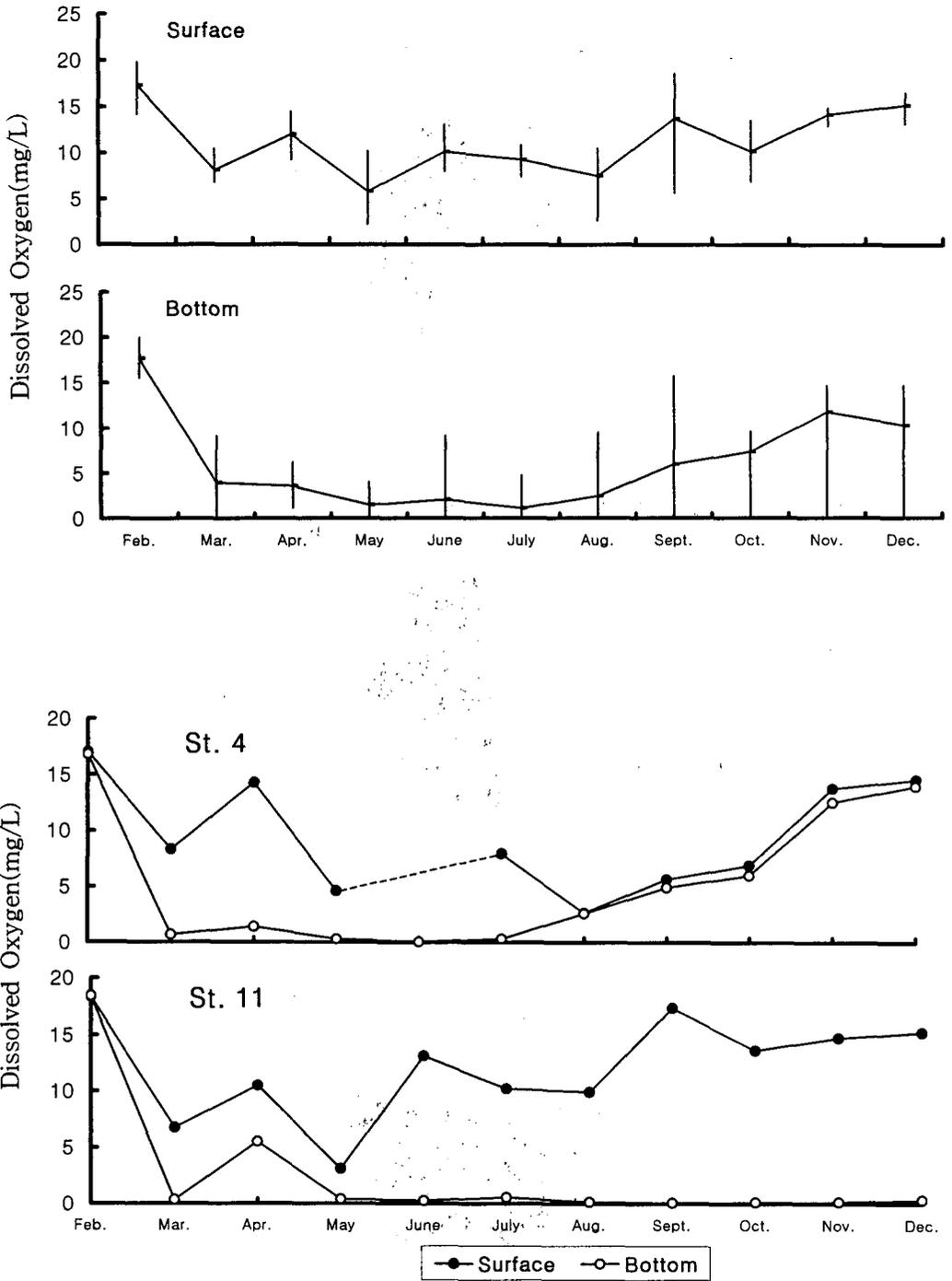
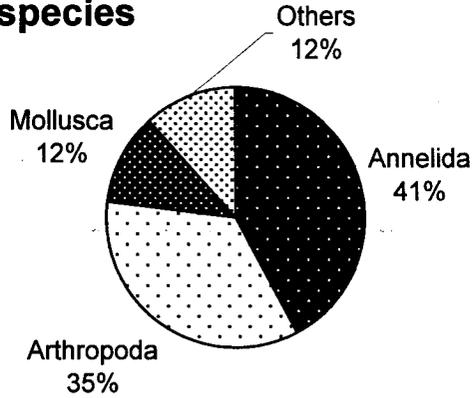
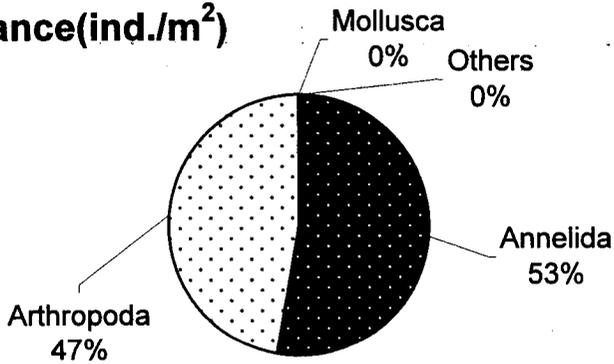


Fig. III-B-4. Monthly variation of dissolved oxygen(A) and comparison between surface and bottom in st. 4, 11(B).

Number of species



Abundance(ind./m²)



Biomass(gWwt/m²)

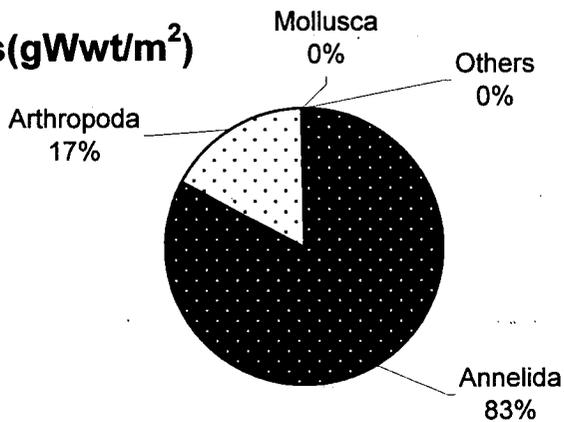


Fig. III-B-5. Faunal composition of benthic community in terms of total number of species, abundance and biomass.

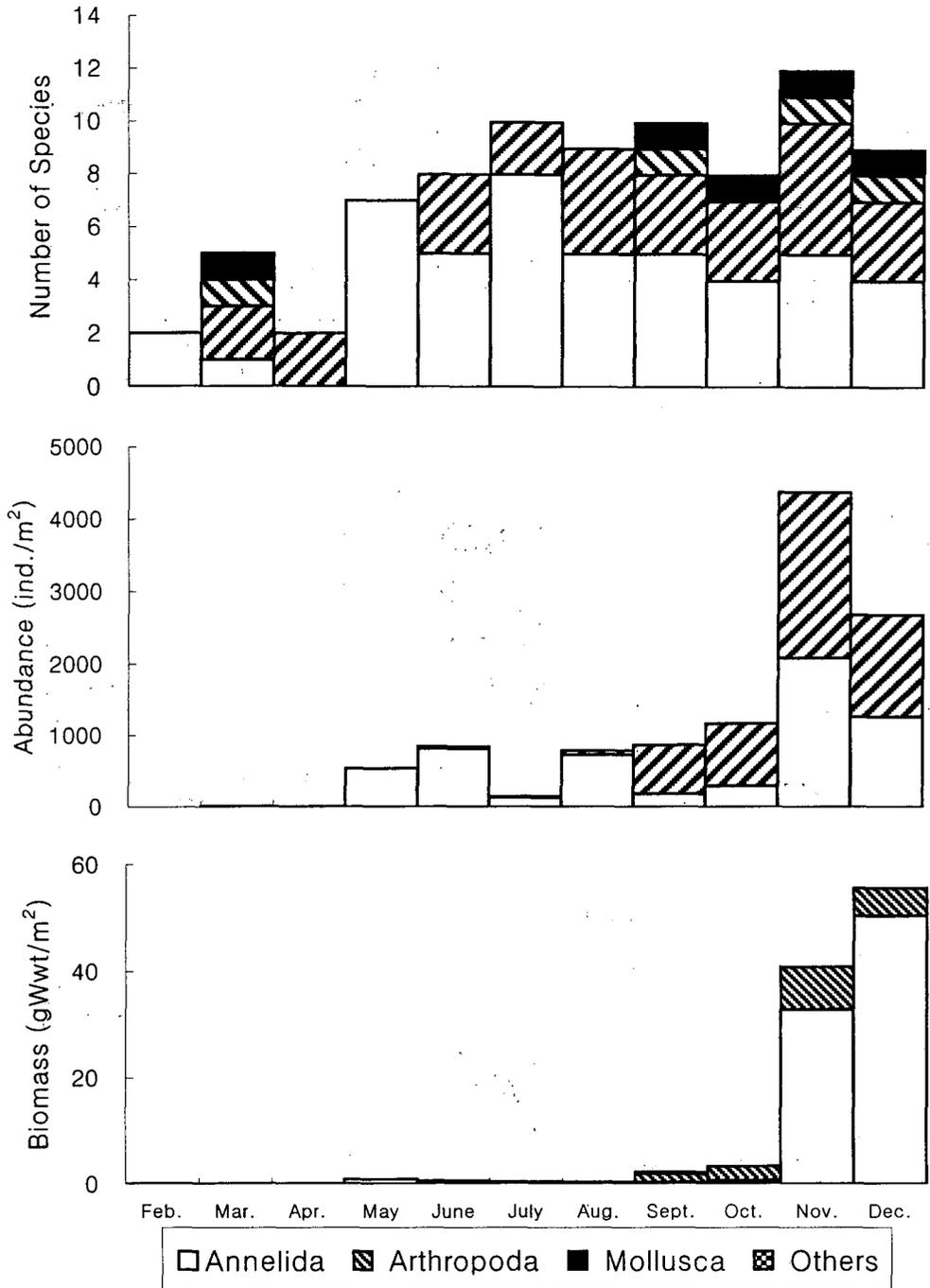


Fig. III-B-6. Monthly variation of faunal composition of benthic community in Shihwa lake.

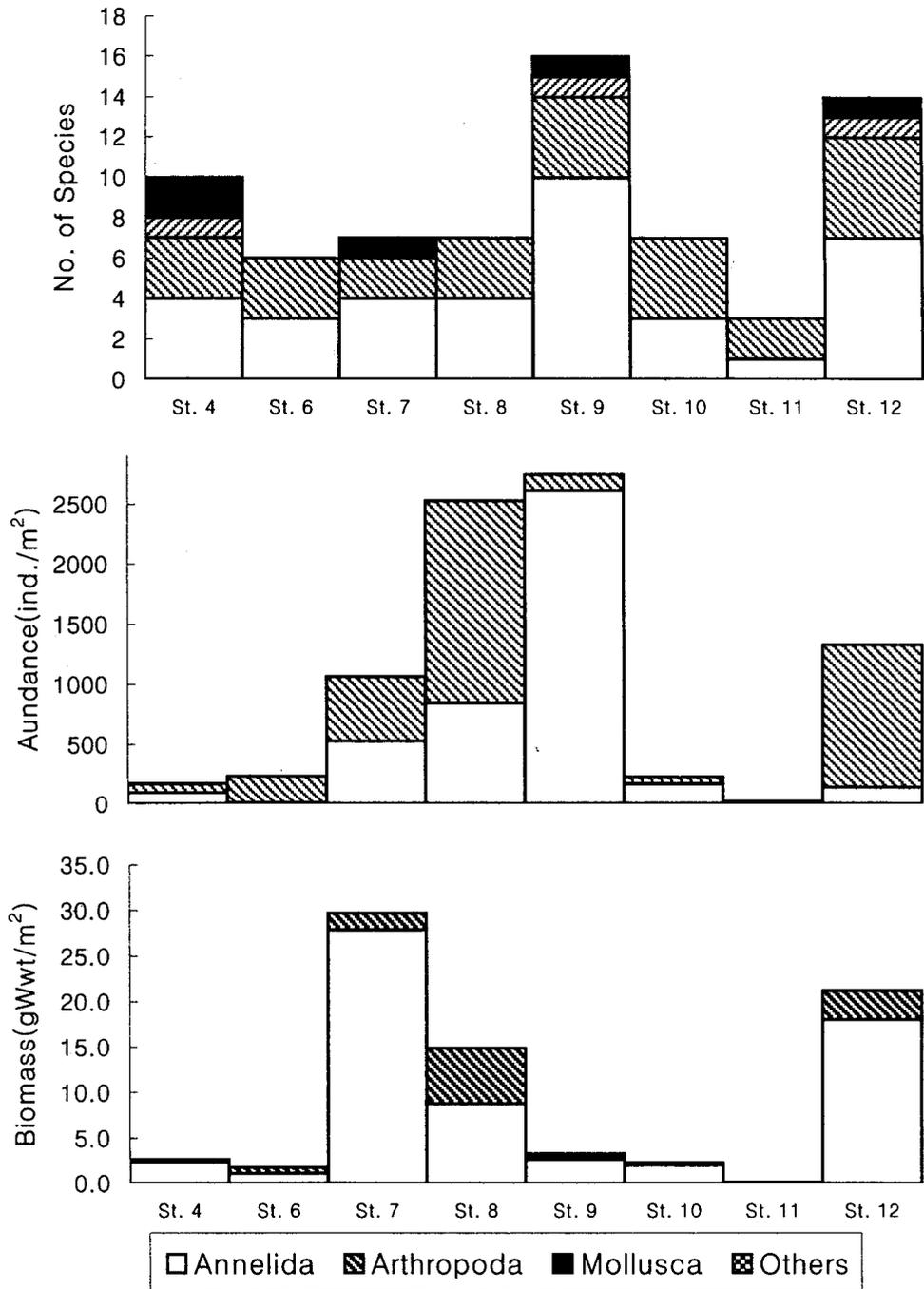


Fig. III-B-7. Faunal composition of benthic community at each station.

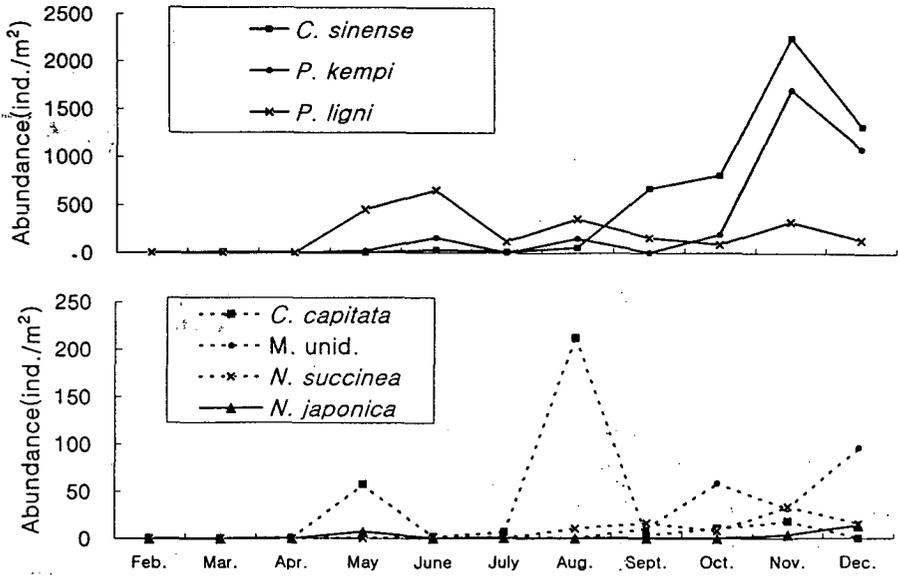


Fig. III-B-8. Monthly variation of abundance of characteristic species in Shihwa lake.

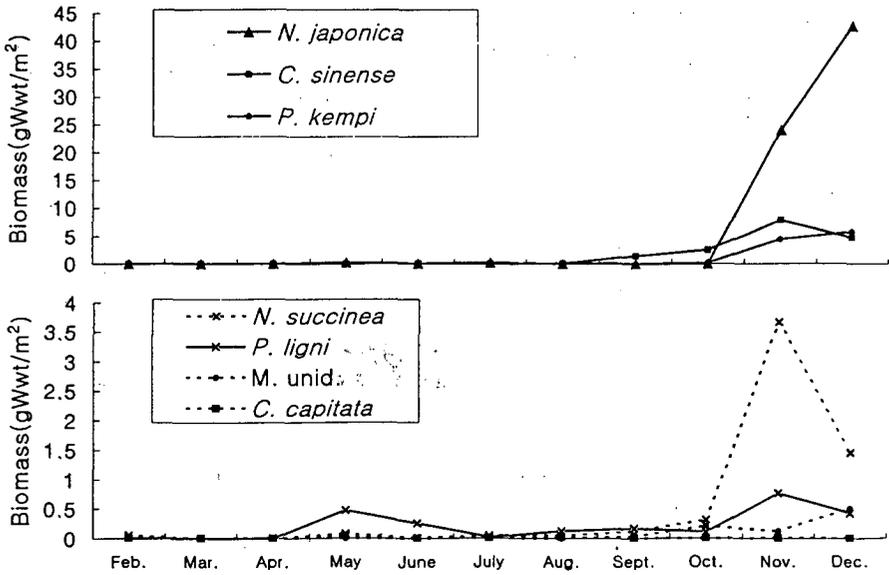
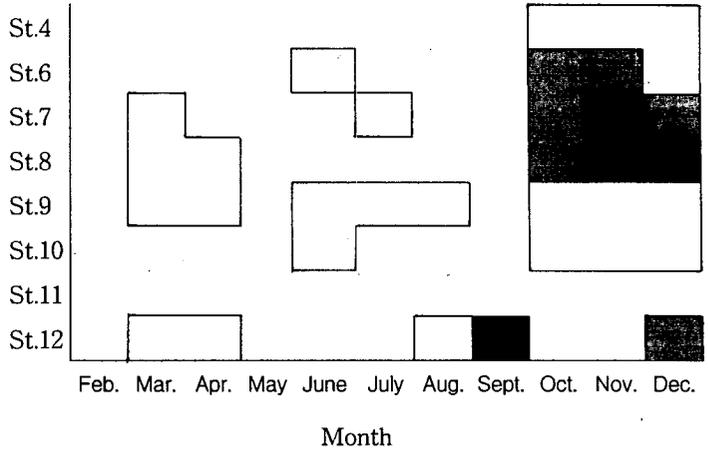
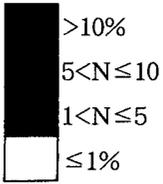
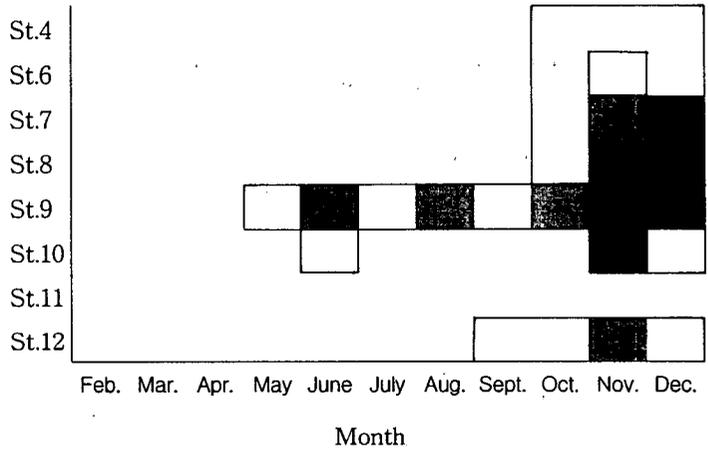
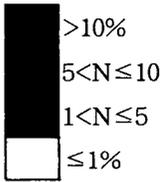


Fig. III-B-9. Monthly variation of biomass of characteristic species in Shihwa lake.

Corophium sinense
(N=12,563)



Pseudopolydora kempfi
(N=8,072)



Polydora ligni
(N=5,555)

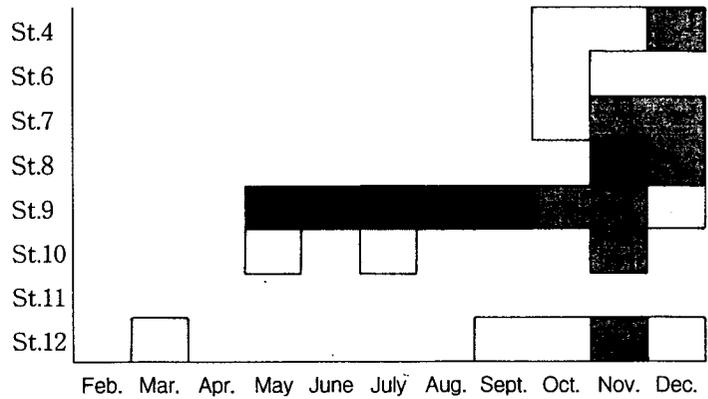
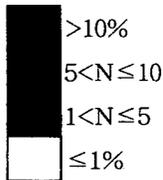
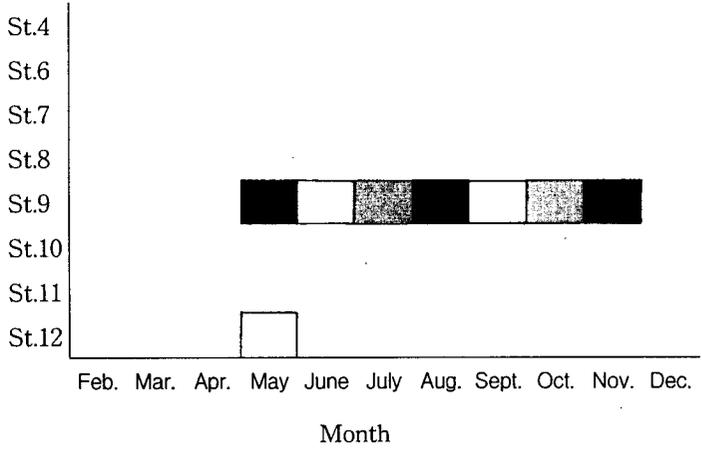
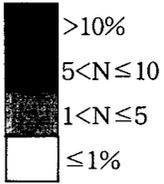


Fig. III-B-10. Spatio-temporal variation of 5 dominant species in Shihwa lake.

Capitella capitata
(N=745)



Mysidacea unid.
(N=484)

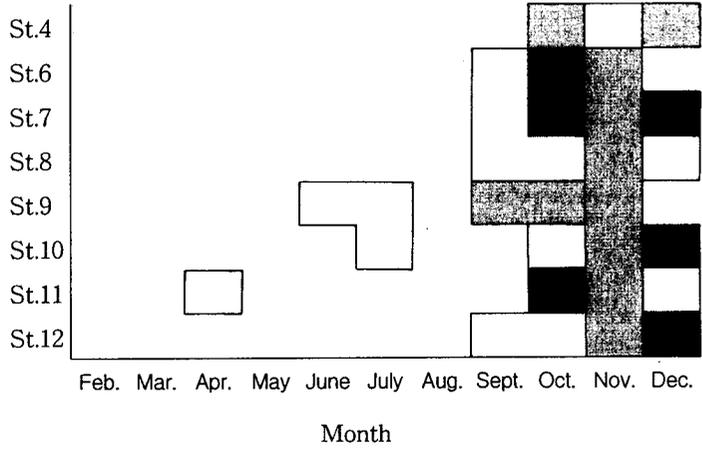
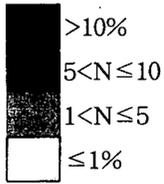


Fig. III-B-10. -continued.

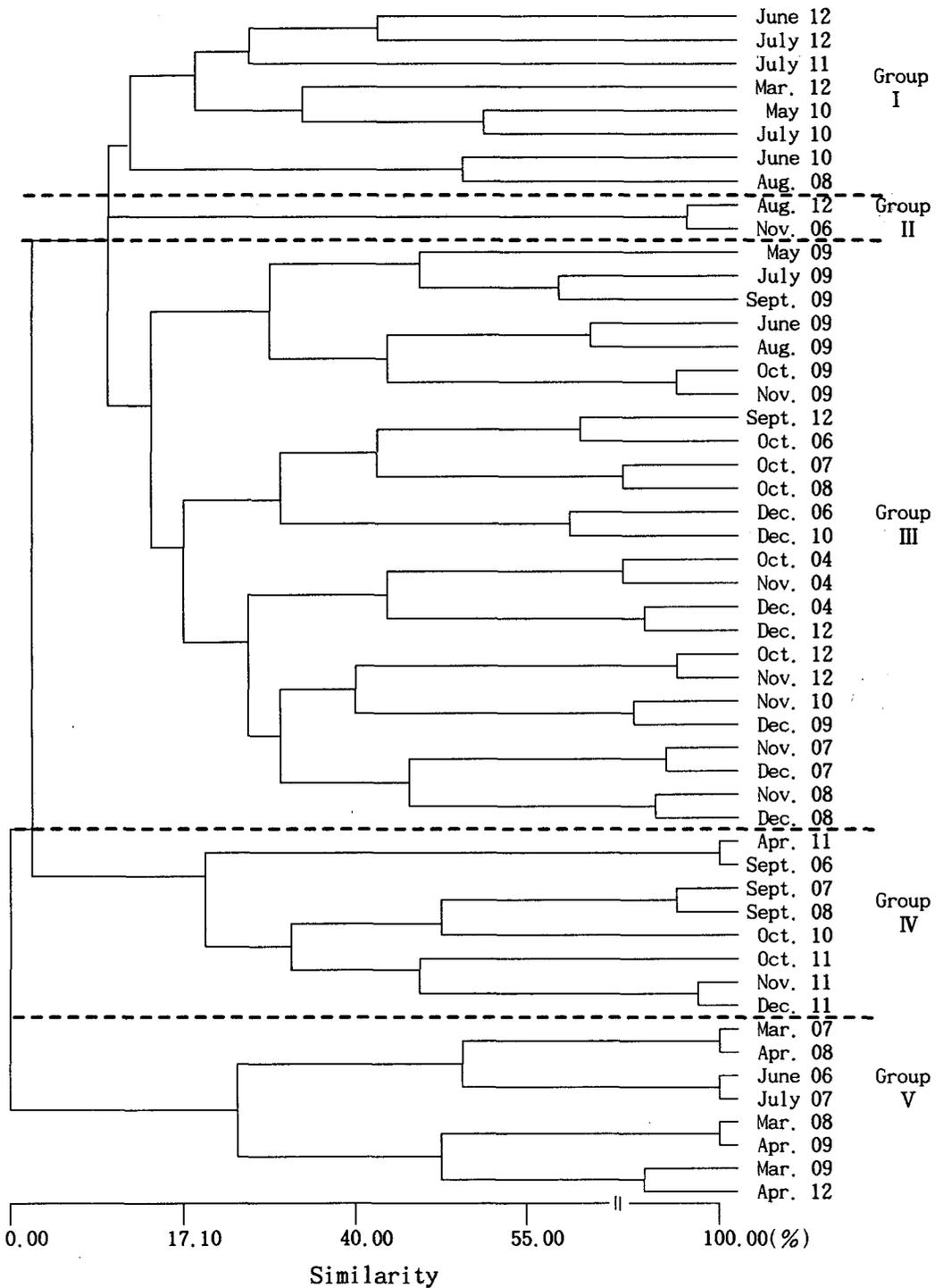


Fig. III-B-11. Dendrogram showing clusters of each station

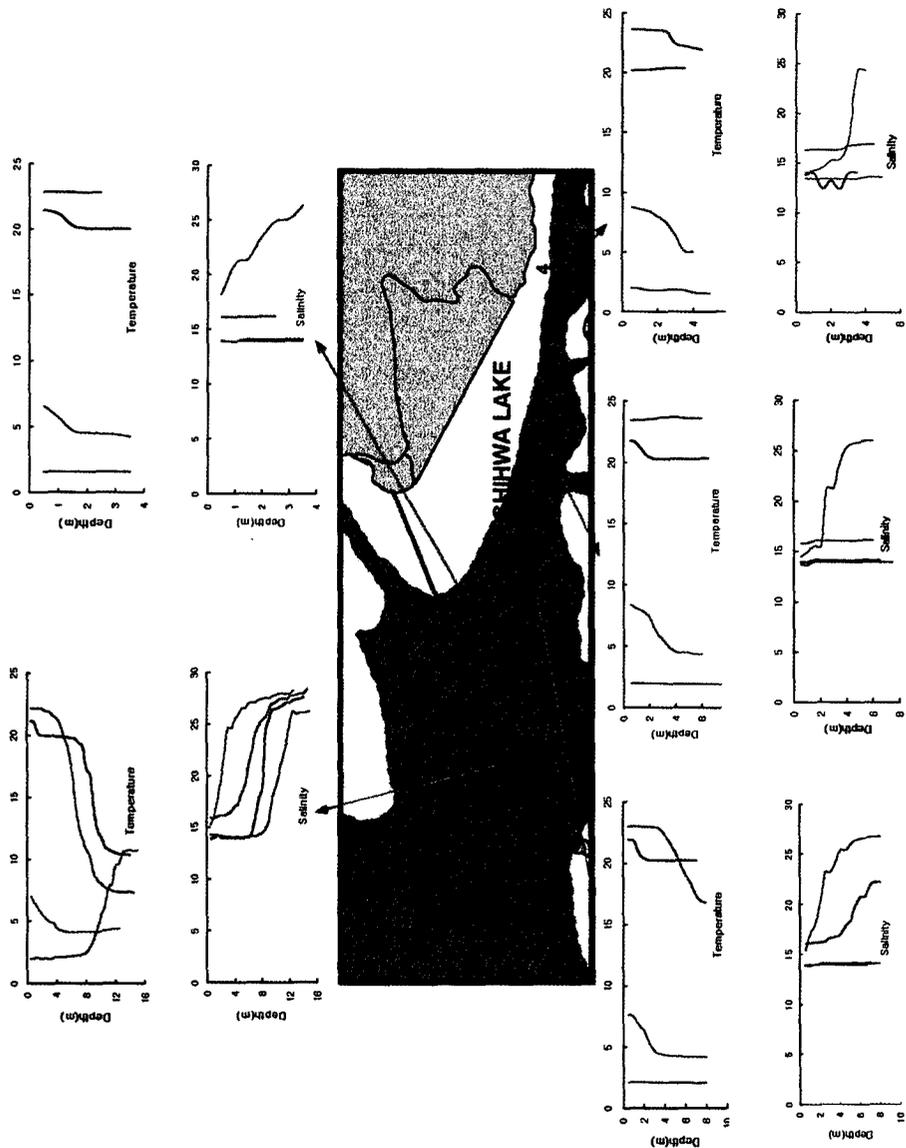


Fig. III-B-12. Vertical distribution of water temperature and salinity at each station.
 (deep purple color: December, 1996, green color: March, 1996,
 red color: June, 1996, violet color: September, 1996)

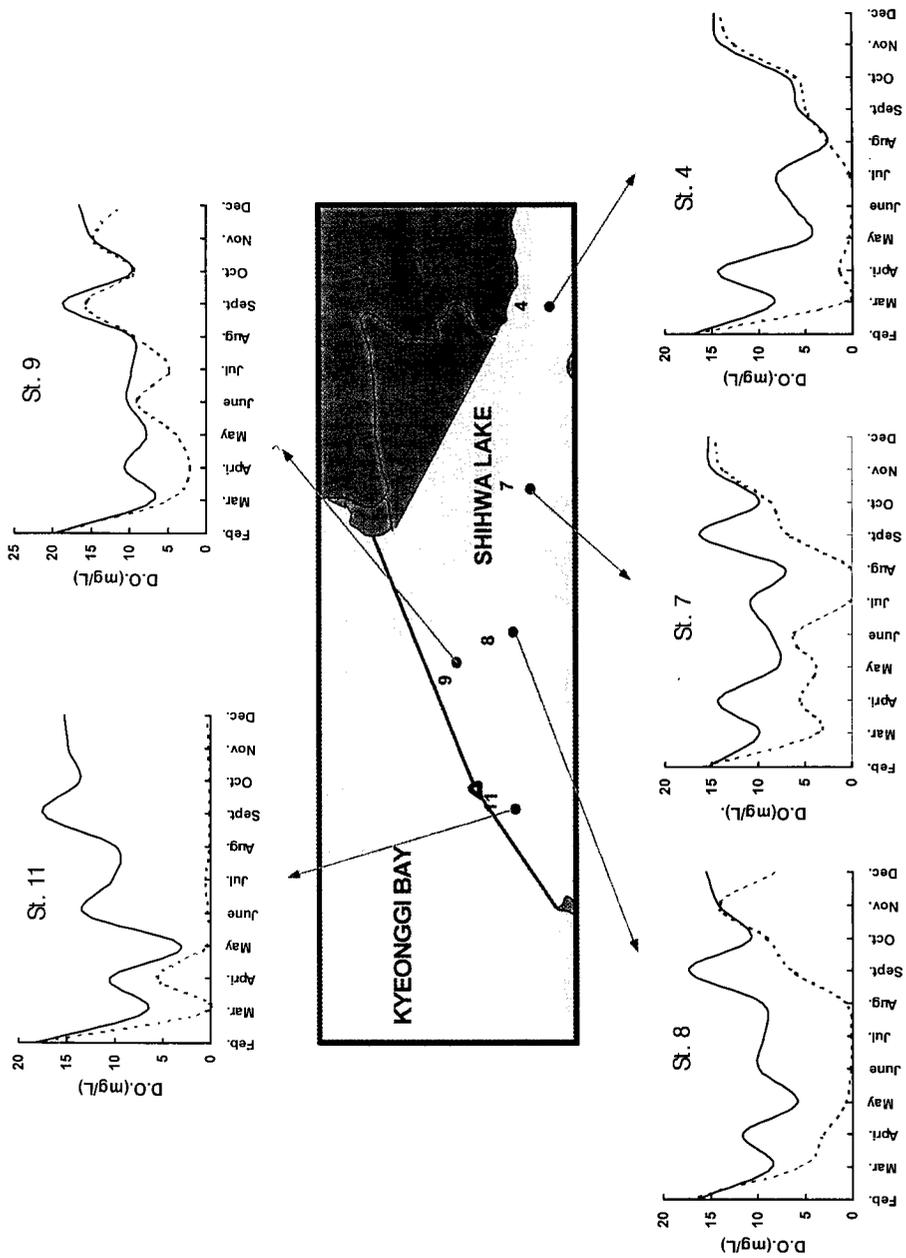


Fig. III-B-13. Monthly variation of dissolved oxygen at each station.
(a solid line: surface, a broken line: bottom)

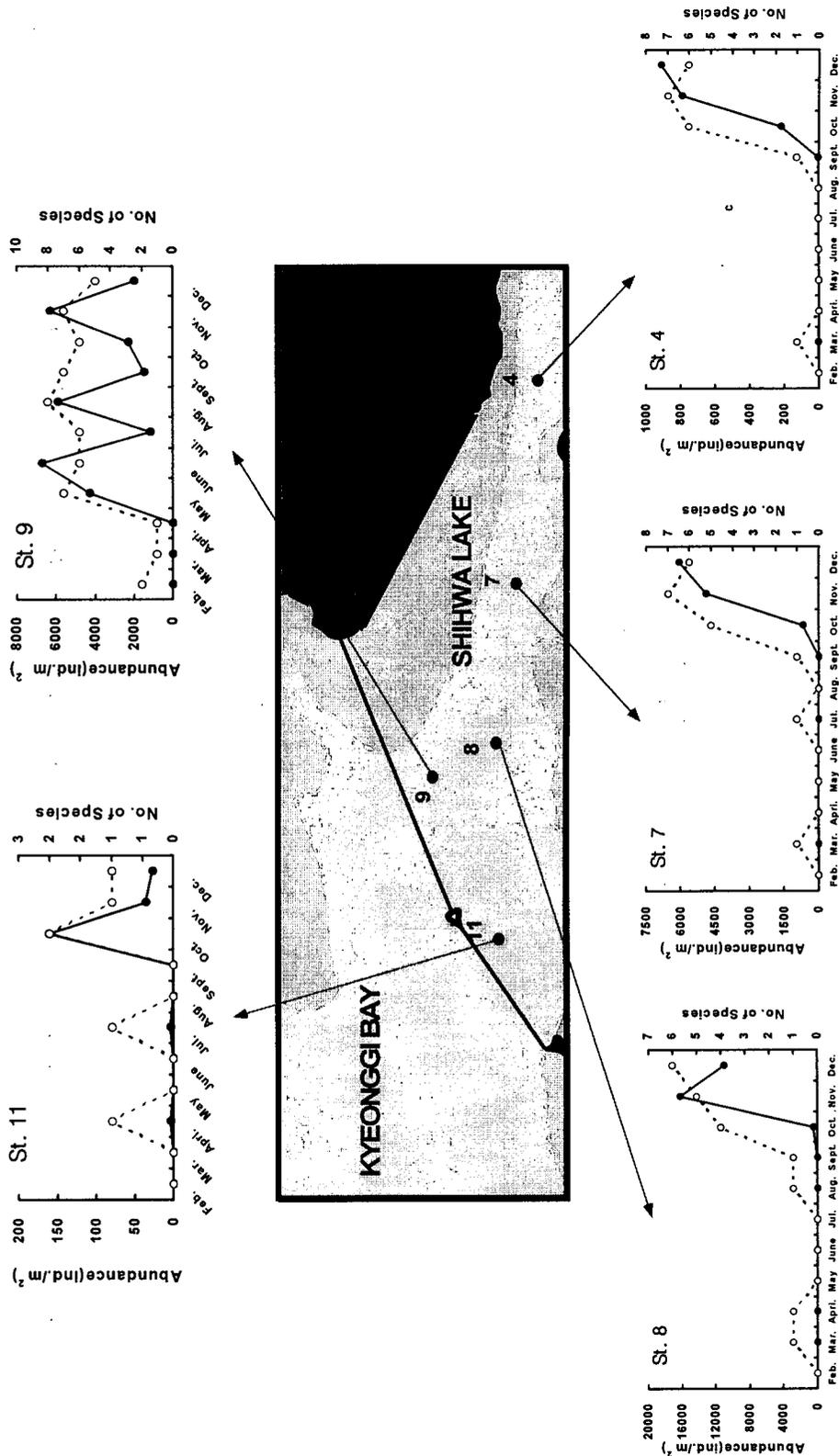


Fig. III-B-14. Monthly variation of number of species and abundance at each station.
 (a solid line: number of species, a broken line: abundance)

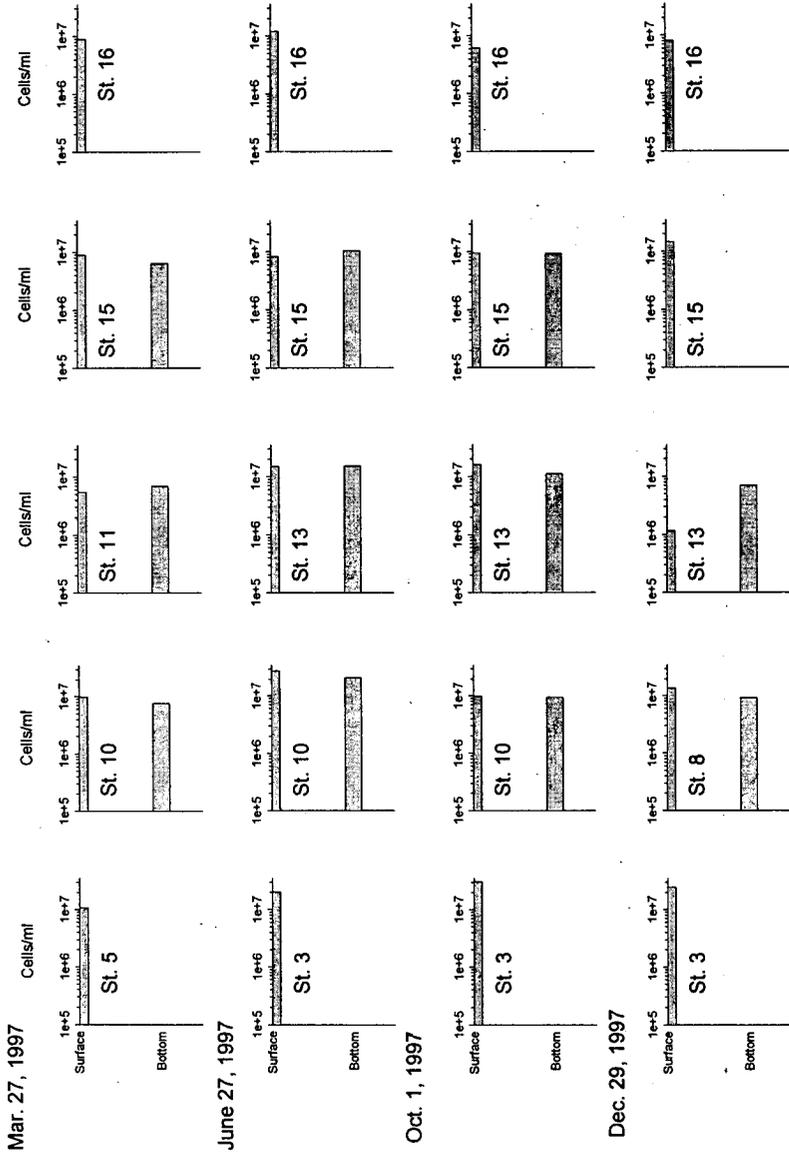


Figure III-C-1. Seasonal distribution of total bacterial number at each site of Shihwa Lake in 1997.

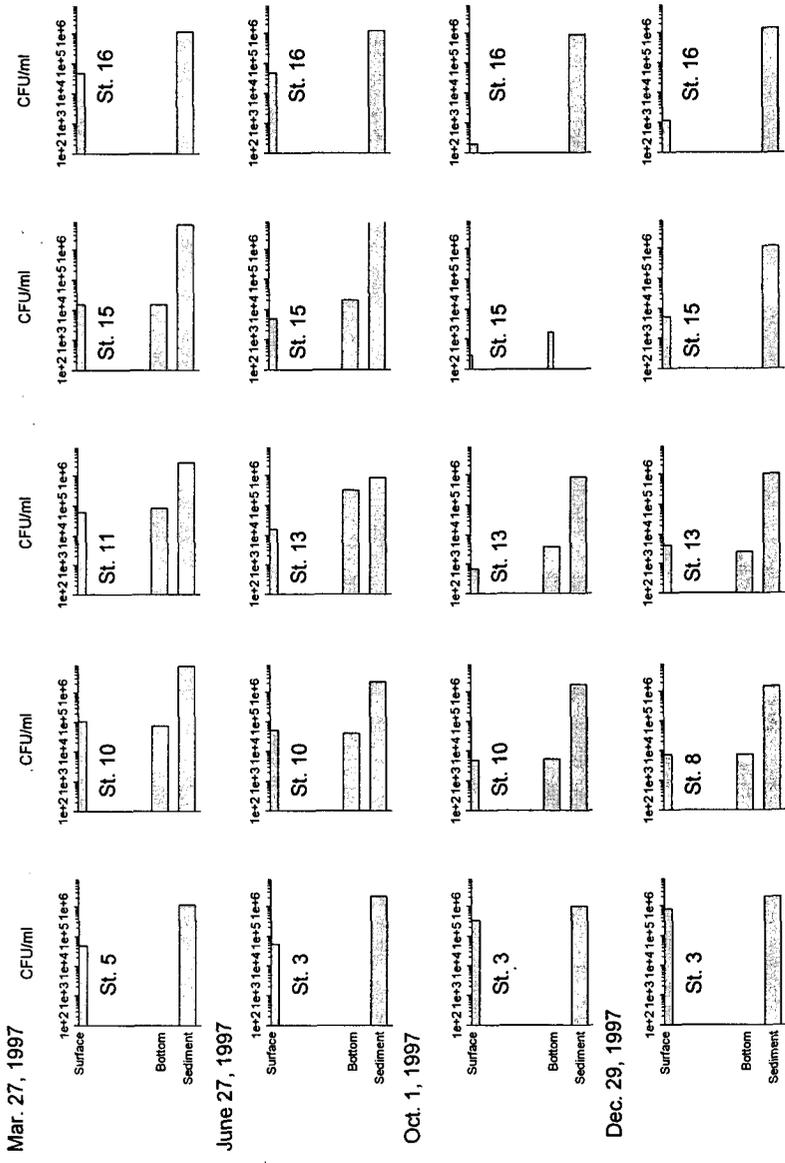


Fig. III-C-2. Seasonal distribution of heterotrophic bacteria at each site of Shihwa Lake in 1997.

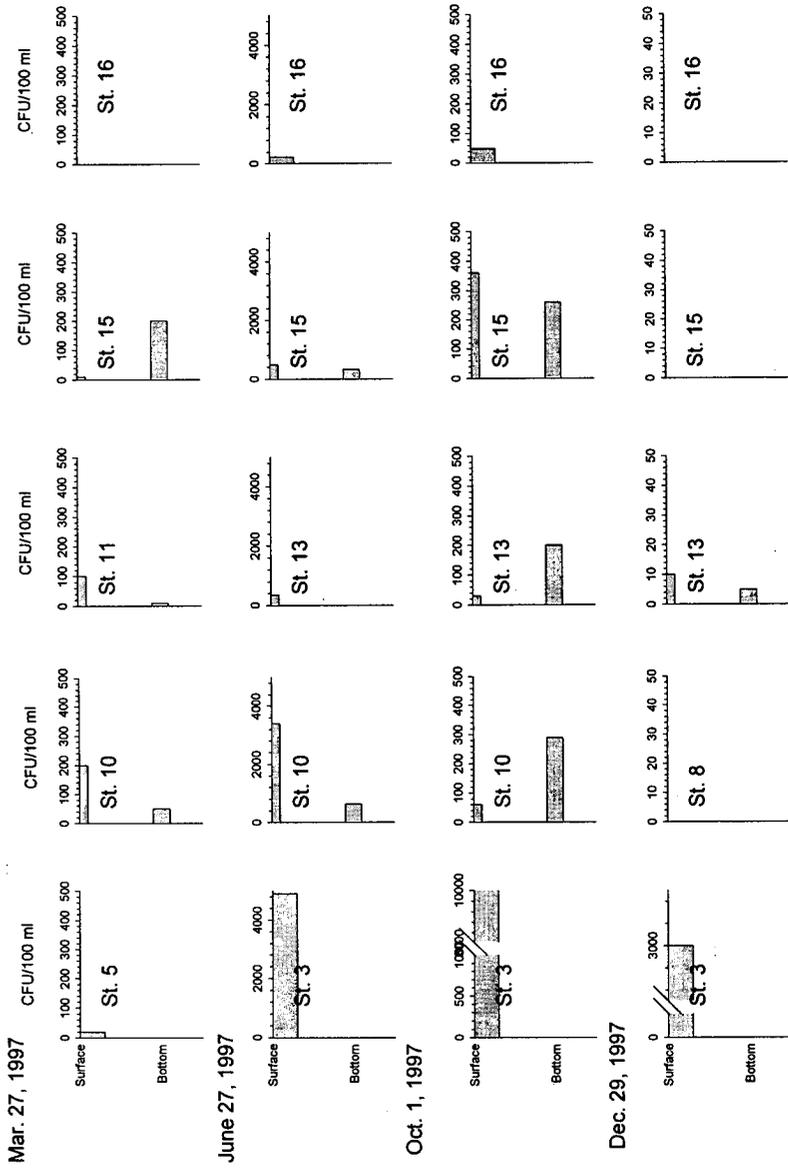


Fig. III-C-3. Seasonal distribution of fecal coliform at each site of Shihwa Lake in 1997.

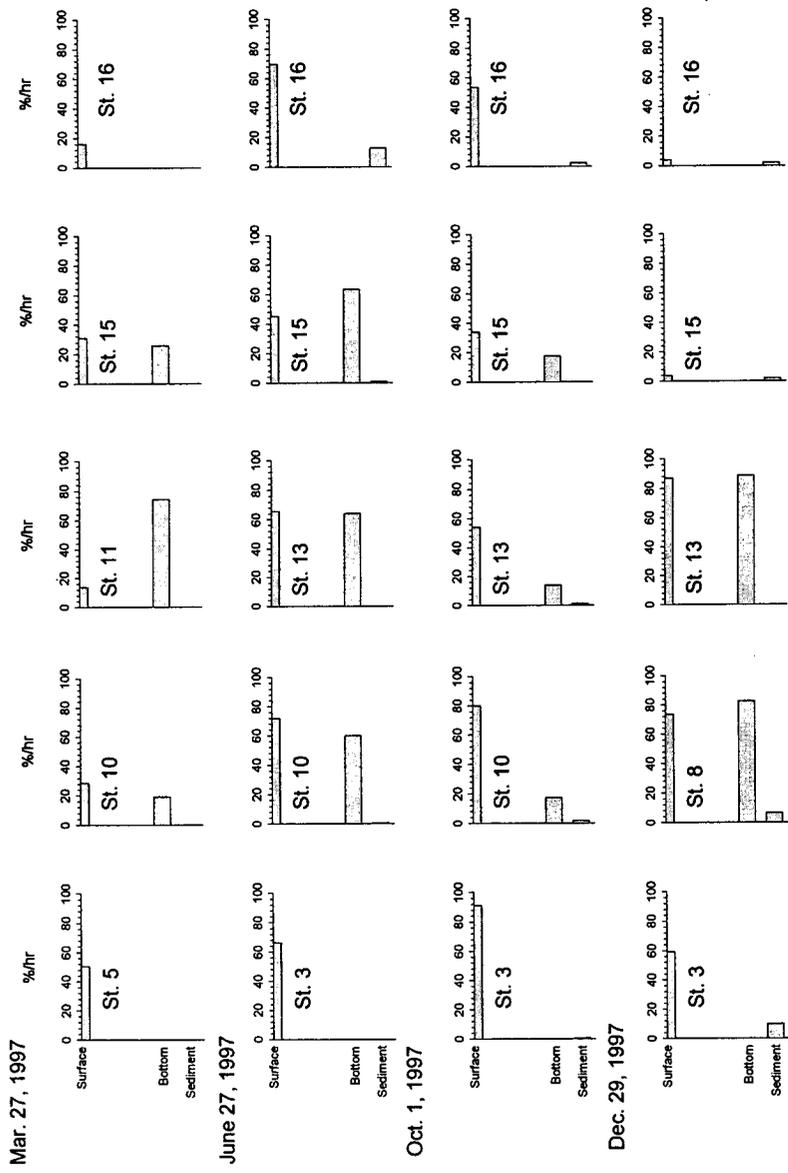


Fig. III-C-4. Seasonal distribution of turn-over rate of ¹⁴C-leucine at each site of Shihwa Lake in 1997.

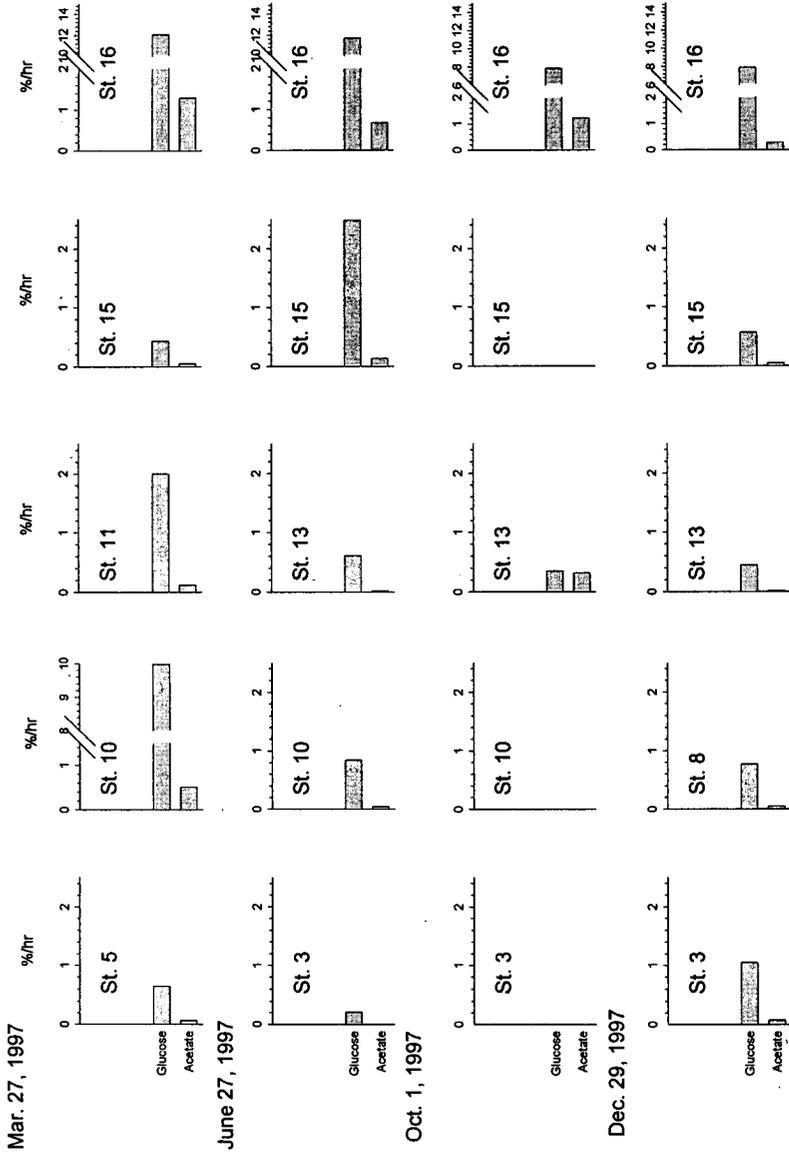


Fig. III-C-5. Seasonal distribution of turn-over rate of ^{14}C -acetate and ^3H -glucose at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.

Table III-B-1. Faunal composition between major taxonomic groups.

Taxon	No. of species		Abundance		Biomass	
	No.	%	ind./m ²	%	gWwt/m ²	%
Annelida	11	42.3	550	52.9	7.8	82.8
Arthropoda	9	34.6	490	47.1	1.6	17.0
Mollusca	3	11.5	<0	<0.1	<0.1	<0.1
Others	3	11.5	<0	<0.1	<0.1	0.4
Sum	26	100	1,048	100	9.4	100

Table III-B-2. Comparison of faunal composition and field data for 3-year.

Sampling period	Sampling No.	No. of station	No. of species	Abundance (ind./m ²)	Biomass (gWwt/m ²)
The First Survey 1994. 3~1995. 3	5	10	89	628	24.3
The Second Survey 1995. 6~1996. 5	10	8	25	637	2.3
Present Survey 1996. 2~1996.12	11	8	26	1,041	9.4

Table III-B-3. Comparison of abundance and biomass between dominant species.

(Cr. : Crustacea, Po. : Polychaeta)

Species name	Phylum	Abundance		Frequency	Biomass (gWwt/m ²)
		ind./m ²	%		
<i>Corophium sinense</i>	Cr.	471	45.3	36	1.5
<i>Pseudopolydora kempfi</i>	Po.	303	29.1	26	1.0
<i>Polydora ligni</i>	Po.	208	20.0	25	0.2
<i>Capitella capitata</i>	Po.	28	2.7	8	<0.1
Mysidacea unid.	Cr.	18	1.7	32	0.1

Table III-B-4. Environmental and biological characteristics of each functional groups by cluster analysis.

	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V
Temperature(°C)	12.2±6.4	14.5±10.3	8.5±7.8	14.7±6.4	7.4±5.3
Salinity(‰)	25.1±4.0	13.8±0.0	14.0±0.8	20.1±6.6	25.9±2.1
Dissolved Oxygen(mg/L)	1.8±3.0	8.8±6.1	10.3±3.5	4.0±3.5	2.8±1.9
Abundance(ind./m ²)	12	614	3,597	35	6
No. of species	11	1	18	3	1
Characteristic species	<i>Neanthes japonica</i> <i>Neanthes succinea</i>	<i>Corophium sinense</i>	<i>Corophium sinense</i> <i>Capitella capitata</i> <i>Polydora ligni</i> <i>Pseudopolydora kemp</i> Mysidacea unid.	Mysidacea unid.	<i>Corophium sinense</i>

Table III-C-1. The composition of AMR media and Medium B.

AMR media(pH 7.2)		Medium B(pH 7.5)	
Component	Weight	Component	Weight
Na-lactate(60%)	1.75 g	K ₂ HPO ₄	0.50 g
NH ₄ Cl	1.00 g	NH ₄ CL	1.00 g
K ₂ HPO ₄	0.50 g	CaSO ₄	1.00 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2.00 g	MgSO ₄ ·7H ₂ O	2.00 g
Na ₂ SO ₄	0.50 g	NaCl	2.50 g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.10 g	Yeast extract	1.00 g
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	0.10 g	FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.50 g
Distilled Water	1000 ml	1 M H ₂ SO ₄	1 ml
		Ascorbic acid	0.10 g
		Thioglycollic acid	0.10 g
		Distilled Water	1000 ml

Table III-C-2. Seasonal distribution of Sulfate Reducing bacteria(cells/ml) at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.

Date \ Site	Mar. 27, 1997	June 27, 1997	Oct. 1, 1997	Dec. 29, 1997
Site 3	846* ¹	8,460<	8,460<	1,100,000<
Site 10	1,846	8,460<	8,460<	75,000* ³
Site 13	354* ²	8,460<	8,460<	460,000
Site 15	1,846	8,460<		75,000
Site 16	1,154	8,460<	8,460	11,000<

*1 Measured at site 5

*2 Measured at site 11

*3 Measured at site 8

Table III-C-3. Seasonal distribution of Sulfate reduction rates($\mu\text{M}/\text{ml}/\text{day}$) at the sediment samples of Shihwa Lake in 1997.

Date \ Site	Mar. 27, 1997	June 27, 1997	Oct. 27, 1997	Dec. 27, 1997
Site 3	9.065* ¹	6.68(0.03)	4.88	14.62
Site 10	12.27	6.21(0.05)	0.55	11.46* ³
Site 13	3.12* ²	7.00(0.12)	0.81	3.19
Site 15	14.99	11.06(0.06)		5.06
Site 16	9.66	7.70(0.03)	0.86	0.64

*1 Measured at site 5

*2 Measured at site 11

*3 Measured at site 8

Appendix III-B

Fauna list collected in Shihwa Lake

Date	Species / Station	4	6	7	8	9	10	11	12
96' Feb.	Polychaeta								
	<i>Neanthes succinea</i>					1			
	<i>Sigambra</i> sp.					1			
	Abundance	0	0	0	0	2	0	0	0
	No. of Species	0	0	0	0	2	0	0	0
96' Mar.	Polychaeta								
	<i>Polydora ligni</i>								3
	<i>Corophium sinense</i>			1	2	4			7
	Cumacea unid.								1
	Mollusca								
	<i>Tapes pilippinarum</i>								1
	Nemertina								
<i>Lineus</i> sp.	1								
	Abundance	1	0	1	2	4	0	0	12
	No. of Species	1	0	1	1	1	0	0	4
96' Apr.	Arthropoda								
	<i>Corophium sinense</i>				1	2			2
	Mysidacea unid.							1	
	Abundance	0	0	0	1	2	0	1	2
	No. of Species	0	0	0	1	1	0	1	1
96' May	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					137			2
	<i>Heteromastus</i> sp.					4			
	<i>Neanthes japonica</i>					17			
	<i>Neanthes succinea</i>					1			
	<i>Polydora ligni</i>					1092	3		
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>					50			
	<i>Sigambra</i> sp.					1			
	Abundance	0	0	0	0	1302	3	0	2
	No. of Species	0	0	0	0	7	1	0	1
96' June	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					4			
	<i>Neanthes japonica</i>								1
	<i>Neanthes succinea</i>					4			
	<i>Polydora ligni</i>					1582			
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>					379	1		
	Arthropoda								
	<i>Corophium sinense</i>		1			70	1		
	Mysidacea unid.					1			
	Zoea(juvenile)						1		
	Abundance	0	1	0	0	2040	3	0	1
	No. of Species	0	1	0	0	6	3	0	1
96' July	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					16			
	<i>Goniada japonica</i>								1
	<i>Heteromastus</i> sp.					2			
	<i>Neanthes japonica</i>								2
	<i>Neanthes succinea</i>							1	1
	<i>Polydora ligni</i>					287	1		
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>					6			
	<i>Sigambra</i> sp.								3
	Arthropoda								
	<i>Corophium sinense</i>			1		34			
	Mysidacea unid.					3	1		
		Abundance	0	0	1	0	348	2	1
	No. of Species	0	0	1	0	6	2	1	4
96' Aug.	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					514			
	<i>Neanthes succinea</i>					25			
	<i>Polydora ligni</i>					861			
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>					361			
	Other					13			
	Arthropoda								
	<i>Balanus</i> sp.					1			
	<i>Corophium sinense</i>					19			116
	Pycnogonida unid.					1			
Zoea(juvenile)				1					
	Abundance	0	0	0	1	1795	0	0	116
	No. of Species	0	0	0	1	8	0	0	1

Date	Species / Station	4	6	7	8	9	10	11	12
96' Sept.	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					7			
	<i>Heteromastus</i> sp.					1			
	<i>Neanthes succinea</i>					39			
	<i>Polydora ligni</i>					375			11
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>					8			2
	Arthropoda								
	<i>Balanus</i> sp.								1
	<i>Corophium sinense</i>								1639
	Mysidacea unid.			1	3	5	14		2
	Mollusca								
	Chitonida unid.	1							
	Fish								
<i>Tridentiger trignocephalus</i>						1			
Abundance		1	1	3	5	445	0	0	1655
No. of Species		1	1	1	1	7	0	0	5
96' Oct.	Polychaeta								
	<i>Capitella capitata</i>					26			
	<i>Neanthes succinea</i>	1		3	1	9			5
	<i>Polydora ligni</i>	27	1	4		129			52
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>	19	1	11	4	397			35
	Arthropoda								
	<i>Corophium sinense</i>	10	382	170	140	124	2		1139
	Gammaridae unid.							2	2
	Mysidacea unid.	5	41	25	5	11	4	47	4
	Insects	5							
	Abundance	67	425	213	150	696	6	49	1237
	No. of Species	6	4	5	4	6	2	2	6
	96' Nov.	Polychaeta							
<i>Capitella capitata</i>						44			
<i>Neanthes japonica</i>				9					
<i>Neanthes succinea</i>		2		54	20	4			2
<i>Polydora ligni</i>		46		61	333	197	83		69
<i>Pseudopolydora kempfi</i>		59		200	1645	1562	480		202
Arthropoda									
<i>Corophium sinense</i>		128	256	1141	2918	90	103		843
Gammaridae unid.									1
<i>Jassa falcata</i>		1							
Mysidacea unid.		3		17	11	17	9	11	9
<i>Podocerus</i> sp.							4		
Mollusca									
Mytilidae unid.					1				
Insects	1		1						
Abundance	240	256	1483	4927	1915	679	11	1126	
No. of Species	7	1	7	5	7	5	1	6	
96' Dec.	Polychaeta								
	<i>Neanthes japonica</i>	1	1	6	3		1		21
	<i>Neanthes succinea</i>	2		33	1				2
	<i>Polydora ligni</i>	83		99	87	51			18
	<i>Pseudopolydora kempfi</i>	87	26	1275	709	497	1		55
	Arthropoda								
	<i>Corophium sinense</i>	82	59	383	2532	19	6		136
	Gammaridae unid.		1						
	Mysidacea unid.	21	14	47	8	35	62	8	39
	Mollusca								
	Mytilidae unid.					1			
	Insects								2
	Abundance	276	101	1843	3340	603	70	8	273
No. of Species	6	5	6	6	5	4	1	7	

제 IV 장

지질분야

(STUDIES ON GEOLOGICAL CHARACTERISTICS)

분야책임자 : 이 회 일

연구원 : 한 상 준

신 동 혁

천 중 화

김 광 산

장 석

최 현 주

제 1 절 서 설

한반도 서해 연안에 위치하는 시화호는 인공제방(artificial seawall)의 축조에 의해서 형성된 호수이다. 인공제방 형성 전에는 대규모의 조간대(tidal flat)인 반월조간대가 발달한 지역이었다.

해양지질분야의 2차년도 조사목적은 인공제방 형성에 의한 퇴적환경변화를 밝히는 것이다. 시화호의 표층퇴적물 특성과 시추퇴적물 분석에 의해서 현재와 과거의 퇴적기작을 해석하고자 한다. 정밀한 해저지형 조사에 의해서 지형 변화 및 영향에 대한 평가를 실시할 것이다. 그리고 시화호의 부유퇴적물 함량 분석에 의해서 현재 유입되는 퇴적물의 함량 및 공간적인 분포를 해석하고자 한다.

방조제 형성 이전에는 조류(tidal current)에 의해서 주로 영향을 받는 조간대 환경으로, 간헐적인 태풍이나 폭풍에 의해서 퇴적물들이 운반·퇴적이 일어난다고 보고되었다(한국해양연구소, 1994). 반월조간대는 뿔퇴적물로 구성된 평탄한 중부조간대(intertidal flat)와 뿔질 모래퇴적물로 구성된 조간대 하도(tidal channel)가 발달되어 있었다. 방조제 형성 이후에 조간대환경에서 담수형 호수환경으로 바뀌는 과정에서 육상으로부터 유입되는 퇴적물 및 오염물들과 시화호내에서 재동원 퇴적물의 집적이 일어났을 것이다. 그러나 시화호의 인위적 방류는 퇴적환경 특성에 커다란 변수로 작용할 것으로 추정된다. 방류시에 일어나는 고에너지의 수력학적 조건(hydraulic condition)은 시화호 내부 해저퇴적물의 이동과 집적에 커다란 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 방조제 형성 전후에 시화호 퇴적물에 대한 지화학적 연구가 활발히 진행되었으나(김범수, 이창복, 1993; 정희수, 최강원, 1996; 조영길, 1994; 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 1995), 퇴적환경 변화에 대한 연구는 미흡하다.

본 연구는 시화호내 퇴적물의 퇴적기작과 퇴적환경변화를 밝힘으로써 인공방조제 전의 조간대환경과 인공방조제의 형성 이후 형성된 환경을 이해할 수 있을 것이다. 현재에도 부정기적인 시화호의 인위적 방류 및 해수의 유입 등 현재의 퇴적기작에 대한 정보를 밝힐 수 있을 것이다.

제 2 절 조사 및 분석방법

1. 시료채취

시화호내의 퇴적환경을 밝히기 위해서 표층퇴적물, 시추퇴적물과 호수중의 부유퇴적물을 조사하였다. 1997년 3월 19일부터 3월 21일 동안에 호수수로(lacustrine channel)와 호수주변부(marginal lake)에서 총 27정점의 그랩 샘플러(grab sampler)를 이용한 표층퇴적물을 채취하였다. 1997년 6월 23일부터 6월 25일 동안에 시화호 전역에서 총 20 정점의 중력시추기(gravity corer)를 이용한 시추퇴적물을 채취하였다. 중력시추기의 바렐 길이는 1 m이며 채취된 시추퇴적물의 길이는 78 cm이다. 시화호 수괴(water mass)에 포함된 부유퇴적물 함량 조사는 1997년 3월 19일~3월 21일과 1997년 6월 23일~6월 25일 두차례에 걸쳐서 각각 27정점에서 실시되었다. 그리고 1997년 3월에는 97S23, 97S24, 97S25, 97S26, 그리고 97S27 정점에서 수직적인 부유퇴적물 함량 변화를 조사하였다. 시화호의 해저지형을 파악하기 위한 측심조사는 PDR-101을 사용하여 약 50 km의 측선을 조사하였다.

2. 실내분석

1). 시추퇴적물

시화호내의 퇴적물 분석을 위하여 20개 정점의 중력시추 코아와 27개 정점의 그랩시추 코아를 이용하여 퇴적물을 채취되었다 (Table V-1; Table V-2). 표층퇴적물은 조사선내에서 퇴적물의 색상 및 구조를 관찰하여 기재하였다. 채취된 중력시추 퇴적물은 조사선상에서 완전한 방수가 되도록 테이핑을 한후에 실험실로 운반하여 분석을 위한 절개를 하였다. 양분된 시추퇴적물은 육안관찰에 의한 퇴적구조, 색깔등을 기술한후에 퇴적물 시료를 채취하였다. 퇴적구조와 생물교란구조등의 관찰을 위한 연 X-선용 퇴적물 슬랩을 제작한 후에 입도와 함수율을 측정하기 위하여 중력시추 코아는 10 cm의 등간격으로 퇴적물을 채취하였다. 이 외에 급격한 퇴적상 변화가 있는 지점에서 추가적으로 퇴적물을 채취하였다. 시료채취에 사용되지 않은 반쪽에서 전단응력을 측정한 후에 밀봉하여 보관하였다.

a. 입도 분석

그랩시추 코아와 중력시추 코아에 의해서 채취된 퇴적물 시료는 과산화수소와 염산을 순차적으로 회석시켜 퇴적물내에 포함된 유기물과 탄산염을 제거하였다. 이 과정을 거친 퇴적물 시료는 퇴적물용 오븐에서 건조시켰다. 건조된 퇴적물 시료는 무게를 측정된 후에 습식체질 (wet sieving)을 하였다. 습식체질에 의해서 분리된 4 ϕ 이하 조립질 시료는 sieve shaker로 20분간 체질하여 1 ϕ 또는 0.5 ϕ 간격으로 무게 백분율을 구하였다. 습식체질에 의해서 분리된 4 ϕ 이상 세립질 시료는 2 g을 취해 300 ml의 0.1% Calgon 용액에 회석시킨 후에 초음파진동기와 자기진동기로 균일하게 분산시켰다. 분산된 퇴적물 시료는 자동입도분석기 (Sedigraph 5100D)에 의해서 입도를 분석하였다. 전체 퇴적물 시료는 종합적으로 통계분석을 하였고 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도등을 구하였다. 퇴적물 시료의 분류방법은 Folk (1968)의 분류에 의해서 구분하였다.

b. 퇴적구조

중력시추 코어와 그랩시추 코어에서 제작된 슬랩은 Softex M-1005형: 연 X-선 촬영기를 이용하여 내부 퇴적구조를 관찰하였다. 슬랩은 높이 1 cm, 폭 5 cm, 길이 30 cm의 규격으로 제작하였으며, 퇴적물의 인위적인 변형을 방지하기 위하여 퇴적물용 칼을 이용하였다. 연 X-선 촬영은 고밀도 과학용 Softex 필름 (FR-Ix)을 사용하여 퇴적물의 특징 (입도 및 함수율)에 따라 노출시간을 결정한 후 촬영하여 인화하였다. 현상된 필름과 사진은 입도와 퇴적구조에 의한 퇴적상 분석에 사용하였다.

c. 함수율

중력시추 코어에서 채취된 퇴적물 시료 30g을 퇴적용 오븐에서 110° C로 하루 동안 건조시켰다. 건조된 시료는 실온으로 냉각 건조시켜 무게를 측정된 후, 다음과 같은 식에 의해 함수율 (W)을 구하였다.

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c}$$

여기서, W_1 은 원래의 시료와 용기의 전체무게, W_2 는 말린 시료와 용기의 전체 무게, W_c 는 용기의 무게이다.

d. 전단응력

중력시추 코아에서 채취된 퇴적물을 길이 방향으로 양분한 후 한쪽면에서 일정간격 (10 cm 또는 20 cm)으로 Hand vane을 이용하여 전단응력을 측정하였다. Hand vane을 이용한 전단응력을 측정시에는 Hand vane의 회전속도에 따라서 상당히 다른 측정치를 낼 수 있기 때문에 회전속도를 $60^\circ/\text{min}$ 로 하였다. 측정치는 torque의 단위를 갖고 있기 때문에 압력단위로 변환하기 위해서는 hand vane의 제원을 고려하여 다음 식에 의해 전단응력을 구한다.

$$S = \frac{T}{\pi D^2 (H/2 + D/6)}$$

여기서, S는 전단응력, T는 최대 torque, H는 vane의 높이 그리고 D는 vane의 지름이다.

2). 부유퇴적물

시화호내 수층에 포함된 부유퇴적물 (suspended sediments) 함량은 97년 3월과 6월에 각각 27개 정점에서 분석하였다. 표층에서 채수용 폴리에틸렌 용기를 이용하여 2 l 를 채수하였다. 2 l의 폴리에틸렌 용기에 채수된 시료들은 Millipore Filtering set 여과장치를 사용하여 Millipore membrane filter paper (pore size: $0.45 \mu\text{m}$)에 해수를 여과시켰다. 해수의 여과방법은 흡입여과법을 이용하였으며, 채취된 시료의 염분을 없애기 위해 여과시에 반복적으로 증류수를 희석시켰다. 여과종이는 실험용 오븐에서 건조한 후에 무게를 측정하였으며, 시료를 여과한 종이를 다시 실험용 오븐에서 건조시킨후에 그 손실량을 측정하여 mg/l 로 환산하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 표층퇴적물

1). 퇴적상 분포양상

시화호내의 표층퇴적물은 배수갑문에서부터 공단입구까지의 지역에서 총 27정점에서 채취하였다(Fig. IV-1; Table IV-1). 채취정점은 호수수로와 호수주변부 환경으로 선행된 해저지형조사결과에 의해서 결정하였다. 표층퇴적물의 입도, 색상과 퇴적구조에 의해서 갈색의 유기물들이 많이 포함된 빨 또는 모래질 빨퇴적물(brownish organic-rich mud or sandy mud), 암색의 빨 또는 모래질 빨퇴적물(dark-colored mud or sandy mud), 조개파편이 포함된 모래퇴적물(shelly sand), 균질한 빨 또는 모래질 빨퇴적물(homogeneous mud)로 구분된다(Figs. IV-2~IV-5). 표층퇴적물 특성은 지리적 위치 및 해저지형에 의한 영향으로 지배받는 것으로 추론된다.

암색의 빨 또는 모래질 빨퇴적물은 97S2, 97S3, 97S4, 97S5, 97S8, 97S10, 97S11, 97S13, 97S17, 97S18, 97S21, 97S22, 97S23, 97S25, 97S12, 그리고 97S27 정점에서 나타난다(Figs. IV-1~IV-4). 시화호내에서 암색의 빨 또는 모래질 빨퇴적물은 배수갑문 주변의 호수수로지역과 공단주변에서는 호수수로와 호수주변부지역에서 나타난다. 전자는 수심 8~12 m의 호수수로 기저(lake channel bottom)에 위치하며, 층후가 수 cm 정도이고 간혹 수직방향의 생흔구조가 관찰된다(Figs. IV-2~IV-5). 그리고 배수갑문 근처의 호수수로에서는 평균입도가 4.24~7.06 ϕ 의 모래질 빨퇴적물로 구성되는 반면 시화호 중심의 호수수로에서는 8.33~8.79 ϕ 의 빨퇴적물이다(Table IV-2). 후자는 수심 1~8 m의 호수수로와 호수주변부에 위치하며, 간혹 수직방향의 생흔구조가 관찰된다. 암색의 빨 또는 모래질 빨퇴적물은 층후가 약 10 cm 정도이며, 평균입도가 5.8~9.31 ϕ 이다(Table IV-2). 이 퇴적물들은 수층에서 공급되는 많은 양의 유기물과 폐쇄적인 물리환경의 형성으로 무산소(anoxic) 또는 저산소(hypoxic) 환경에서 퇴적된 것으로 추론된다(Codispoti et al., 1991). 많은 양의 유기물들의 분해작용에 의한 수층의 산소 고갈과 제한적인 수층의 순환에 의한 고산소 수괴의 유입 제한등에 의해서 무산소 또는 저산소 환경이 야기되었으며, 암색의 빨 또는 모래질 빨퇴적물이 형성되었을 것이다.

갈색의 유기물들이 많이 포함된 빨 또는 모래질 빨퇴적물은 97S1, 97S6, 97S9, 그리고 97S20 정점에서 나타난다(Figs. IV-2~IV-4). 이 퇴적물은 호수주변부 지역에서만 협재하며, 이 정점들의 수심은 2~4 m이다. 층후는 1 cm 정도이며, 평균입도는 3.34~4.48 ϕ 이다. 이 퇴적물은 암색의 퇴적물과 비하여 수층의 산소

공급이 원활하거나 유기물 공급이 제한적이 지역에서 나타나는 것으로 사료된다.

조개파편이 포함된 모래퇴적물은 97S6, 97S7, 그리고 97S9 정점에서 분포한다(Figs. IV-2~IV-3). 이 퇴적물들은 배수갑문주변과 호수주변부지역에서만 특징적으로 나타난다(Fig. IV-1). 조개파편이 포함된 모래퇴적물이 채취된 정점의 수심은 4~7 m이며, 퇴적물의 평균입도는 2.82~4.15 ϕ 이다. 이 퇴적물들은 고조간대층의 재동된 퇴적물 또는 잔류퇴적물들로 추론된다.

균질한 뿔 또는 모래질 뿔퇴적물은 97S12, 97S15, 그리고 97S19 정점에서 분포한다(Figs. IV-3~IV-4). 이 퇴적물들은 시화호의 남쪽 또는 북쪽 호수주변부에서만 관찰되었다. 균질한 뿔퇴적물이 채취된 정점의 수심은 2~6 m이며, 퇴적물의 평균입도는 4.89~6.33 ϕ 이다(Table IV-2). 이 퇴적물들은 수층의 용존산소 농도가 상대적으로 높은 지역 또는 유기물의 공급이 아주 제한적인 지역에서 형성되는 것으로 사료되며, 시화호의 호수주변부는 대부분 이 퇴적물들로 구성되는 것으로 추론된다.

2). 시화호의 해저지형

시화호의 정밀한 해저지형을 조사하기 위해서 약 700 m 간격으로 대략 50 km 거리의 축선을 정밀수심측정기를 이용하여 조사하였다(Fig. IV-6). 시화호의 해저지형은 배수갑문부터 음섬까지와 음섬이후부터 시화호내측이 큰 차이를 보인다. 시화호는 인위적으로 수위가 조절되기 때문에 측정시기에 따라서 수심이 차이를 보일 수 있다(한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 1995).

1997년 3월에 측심된 배수갑문에서 음섬까지의 최대 수심 20여 m이며, 폭 약 3 km의 호수수로가 발달한다(Fig. IV-7). 호수수로는 방조제 형성 이전에 형성된 고조간대수로이다. 이 수로는 급격한 경사면을 가지며, 주수로(main channel) 내부는 분류들(distributary channel)이 발달한다. 분류들 사이의 해저지형이 평탄하게 발달하며 남쪽의 대부도를 향하여, 소규모의 수로가 형성되어 있다. 호수주변부는 수심 5 m의 아주 평탄한 지형을 가진다(Fig. IV-7).

음섬에서부터 시화호내측의 해저지형은 최대 수심 8 m의 평탄한 기저면이 발달하는 호수수로가 발달한다(Fig. IV-7). 호수수로는 완만한 경사면을 가지며, 분류가 발달하지 않는다. 호수주변부는 수심 2 m의 아주 평탄한 지형을 갖는다(Fig. IV-7).

시화호의 해저지형은 방조제 형성 이전인 조간대 환경을 반영하고 있다. 시화 방조제의 배수갑문 주변은 수심 20여 m의 주수소가 형성되어 있으며, 주수로는 분류들이 발달한다(Fig. IV-8). 시화호 방조제와 인접한 지역에서도 수심이 20여 m

로 기존에 보고된 해저지형과 상이하다(한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 1994, 1995). 음섬에서부터는 주수로의 폭이 급격히 좁아지며, 분류가 발달하지 않는다. 방조제 이후에 일어난 해저지형 변화는 이전의 자세한 수심자료의 대비가 어려워 거론하기 어렵다. 그러나 호수수로의 급격한 경사면 또는 각 분류들 사이의 평탄면등의 발달은 현재 해저지형 변화가 일어나고 있음을 시사하고 있다.

2. 시추퇴적물

시화호내의 시추퇴적물은 총 20정점에서 채취하였다(Fig. IV-9; Table IV-3). 채취정점은 호수수로와 호수주변부 환경으로 선행된 해저지형조사결과에 의해서 결정하였다. 시추퇴적물의 입도, 퇴적구조 및 기타 퇴적학적 특성들에 의해서 층리가 발달하는 뿔 또는 모래질 뿔퇴적상(laminated mud or sandy mud facies), 균질한 뿔 또는 모래질 뿔퇴적상(homogeneous mud or sandy mud facies), 조개파편을 포함하는 모래질 뿔퇴적상(shelly sandy mud facies)으로 크게 구분된다(Figs. IV-10~IV-23). 시추퇴적물 분포양상도 표층퇴적물과 마찬가지로 수심과 지리적 위치에 의해서 대분된다.

조개파편을 포함하는 모래질 뿔퇴적상은 시화방조제 배수갑문의 호수수로에 위치하는 97S4, 97S5, 97S25, 97S26, 97S27 정점들에서 특징적으로 나타난다. 97S4와 97S5 정점에서 채취한 시추퇴적물들에는 직경 1 cm 내외의 무질서하게(random) 배열된 조개파편들이 산재되어 있다(Fig. IV-10). 97S4 정점은 이 퇴적상이 깊이 15 cm 이하에 협재되며, 상부는 변형된 층리가 발달하는 모래질 뿔퇴적물이 덮인다. 평균입도는 5.34 ϕ 범위를 가지며, 수직적인 변화가 뚜렷하지 않으나 조개파편을 포함하는 모래질 뿔퇴적상은 자갈 크기의 조성성분을 함유한다(Table IV-4). 그리고 전단응력은 최상부가 1.42 kPa임에 반해 깊이 30 cm 구간은 11.32 kPa로 아주 높게 나타난다(Fig. IV-11; Table. IV-4). 퇴적물의 분급도(sorting)도 최표층에서는 2.82 ϕ 이지만 깊이 20 cm 구간에서는 3.55 ϕ 로 불량하게 나타난다(Fig. IV-11; Table. IV-4). 97S5 정점은 최표층에 이 퇴적상이 협재되며, 하부는 균질한 뿔퇴적물이 놓인다(Fig. IV-10). 평균입도는 5.16 ϕ 이며, 분급도는 3.59 ϕ 로 불량하다. 전단응력은 최상부가 4.25 kPa임에 반해 깊이 15 cm 구간은 14.15 kPa로 아주 높게 나타난다(Fig. IV-11; Table. IV-4). 조개파편들은 조간대(paleo-tidal flat) 환경에서 고에너지 환경하에서 공급된 것으로 추정되며, 조개파편들을 포함하는 모래질 뿔퇴적물들은 방조제형성 이후에 재동되거나 혹은 그 정점들이 무퇴적 또는 침식환경에 의해서 발달하는 것으로 사료된다.

균질한 펄 또는 모래질 펄퇴적상은 호수주변부 또는 시화호 중심부분에 위치하는 97S13, 97S21, 97S24, 그리고 97S27-1 정점에서 나타난다(Fig. IV-12). 이들 정점에서는 바렐길이 1 m의 중력시추기를 이용하여도 길이 10~18 cm 시추퇴적물만을 획득하였다. 97S13 정점에서는 균질한 펄질 모래퇴적물로 구성되며, 퇴적물의 하부에 변형된 층리가 발달하는 모래퇴적물이 관찰된다. 평균입도는 3.66~4.11 ϕ 범위이며, 분급도는 1.84~2.25 ϕ 이다(Fig. IV-13; Table IV-4). 97S27-1 정점은 균질한 모래질 펄퇴적물로 구성되며, 퇴적물의 하부에 변형된 층리가 발달하는 모래퇴적물이 관찰된다. 평균입도는 5.99~6.28 ϕ 범위이며, 분급도는 3.17~3.20 ϕ 이다. 이 퇴적상은 호수주변부에 우세한 퇴적상의 하나이며, 유기물의 공급이 미미한 환경에서 형성된 것으로 해석된다. 시추퇴적물의 시추시에 깊게 투과하지 못한 것은 하부에 조립질 또는 고화도가 높은 퇴적물이 존재하기 때문으로 추론된다.

층리가 발달하는 펄 또는 모래질 펄퇴적상은 음도보다 안쪽에 위치하는 시화호에서 채취한 97S22, 97S23, 97S28, 97S29, 97S31, 97S32, 97S33, 97S34, 97S35, 그리고 97S36퇴적물에서 나타난다. 층리들은 수 mm의 엽리들이 잘 발달되어 있으며, 이것은 입도 또는 구성성분의 차이에 의한 것으로 사료된다. 그리고 층리들의 교란들은 하중 또는 시료 채취 및 이동시에 형성된 것으로 추정되며, 생물교란에 의한 층리 변형양상은 관찰되지 않는다. 97S23 정점에서는 표층에서 깊이 8 cm까지를 제외하고는 깊이 63 cm 구간까지 이 퇴적상으로 구성되어 있다(Fig. IV-15). 평균입도는 5.55~8.43 ϕ 범위로 하부를 향하여 조립화된다(Fig. IV-16; Table IV-4). 퇴적물의 함수율은 최상부에서 70.50%이고 깊이 63 cm 구간에서는 34.54%로 점진적으로 감소한다. 전단응력은 최상부에서 2.83 kPa이고 깊이 50 cm 구간까지는 4.25 kPa로 점진적으로 증가하다가 깊이 63 cm 구간에서는 11.32 kPa로 급격히 증가한다(Fig. IV-16; Table IV-4). 97S35 정점에서는 표층에서 깊이 10 cm까지는 제외하고 깊이 60 cm 구간까지는 이 퇴적상으로 구성된다(Fig. IV-15). 평균입도는 6.10~7.77 ϕ 범위로 하부를 향하여 다소 조립화된다(Fig. IV-22; Table IV-4). 퇴적물의 함수율은 표층에서 68.86%이고 깊이 60 cm 구간에서는 44.06%로 점진적으로 감소한다(Fig. IV-22; Table IV-4). 전단응력은 표층에서 1.98 kPa에서 깊이 60 cm 구간에서는 5.66 kPa로 점진적으로 증가한다. 층리가 발달하는 펄 또는 모래질 펄퇴적상들은 가끔 조립질의 모래퇴적물이 협재되기도한다. 97S28 정점에서는 깊이 20 cm 구간에 평균입도 2.70 ϕ 인 자갈이 포함된 펄질 모래퇴적물이 약 2 cm 층후로 협재한다(Fig. IV-18). 깊이 20 cm 구간 상부는 1.42 kPa의 전단응력을 갖는 펄퇴적물이 덮이고, 하부는 5.94 kPa의 전단응력을 갖는 자갈성

분이 포함된 뿔퇴적물이 놓인다(Fig. IV-19; Table IV-4). 97S31 정점에서는 깊이 54 cm 구간에 약 0.5 cm 층후로 조립질 의 모래퇴적물이 협재한다(Fig. IV-18). 깊이 54 cm 구간의 하부에는 전단응력 14.15 kPa의 자갈성분을 포함하는 뿔퇴적물이 놓인다(Fig. IV-31). 층리가 발달하는 뿔 또는 모래질 뿔퇴적물은 음도 내측에서 우세하게 나타나며, 퇴적구조와 전단응력등에 의해서 시화방조제 형성 이후에 퇴적된 것으로 사료된다. 이 퇴적상은 반월공단 및 안산천에서의 세립질 퇴적물의 유입 또는 조간대의 세립질 퇴적물의 재동등에 의해서 퇴적된 것으로 추정된다. 그리고 간혹 조립질의 모래퇴적물이 협재되는데, 이는 조립질 조간대 퇴적물의 재동에 의한 것으로 해석되며, 모래퇴적물의 유입시기에 대한 연구가 필요하다.

3. 부유퇴적물

1) 1997년 3월의 부유퇴적물 분포

시화호 수층의 총부유퇴적물의 1차조사는 1997년 3월 19일에 27정점에서 실시되었다(Table IV-1). 시화호 표층수의 부유퇴적물의 함량은 2.8~35.0 mg/l 를 갖는다(Table IV-5). 시화호 부유퇴적물의 조성성분에 대한 정량적인 분석은 실시되지 않았으나, 부유퇴적물들의 대부분은 유기물질들이다. 표층수에 포함된 부유퇴적물의 공간분포는 호수수료에 위치하는 97S26 정점에서 35.0 mg/l 로 가장 높게 나타나며, 이 정점을 중심으로 배수갑문 또는 음도를 향하여 점진적인 감소를 보인다. 부유퇴적물의 함량이 5.0~10.0 mg/l 범위가 대부분을 차지하지만 배수갑문 주변과 97S18 정점주변에서는 5.0 mg/l 미만의 낮은 부유퇴적물 함량을 보인다. 97S23, 97S24, 97S25, 97S26, 그리고 97S27 정점들에서는 표층, 수심 5 m 그리고 수심 10 m의 각 수층에서 부유퇴적물 함량이 측정되었다(Fig. IV-25). 97S23, 97S25, 97S26, 그리고 97S26 정점들의 부유퇴적물의 수직적인 함량분포는 표층에서 14.0~35.0 mg/l 이고 수심 5 m 이하에서는 9.4~11.4 mg/l 으로 급격히 감소한다(Fig. IV-25). 그러나 97S24 정점에서는 표층에서 5.6 mg/l 이고 수심 5 m에서는 33.5 mg/l로 증가하는데, 이것은 시료채취시에 해저면의 퇴적물이 재부유되어 나타난 결과로 해석된다.

1997년 3월의 시화호 부유퇴적물 함량분포는 동시기에 실시한 표층퇴적물의 분석과도 밀접한 상관관계가 있다. 즉 표층퇴적물중에서 호수수료부근에 암색의 표층퇴적물이 관찰되었는데, 이는 대부분이 유기물의 부패에 의한 것으로 해석되었다. 호수수료부근에서 높은 함량을 갖는 부유퇴적물들은 대부분이 유기물로 구성되며, 결국 이들은 대부분이 제자리에 퇴적되어 해저면을 환원상태로 야기시키

는 것으로 추론된다.

2) 1997년 6월의 부유퇴적물 분포

시화호 수층의 총부유퇴적물의 2차조사는 1997년 6월 23일에 27정점에서 실시되었다(Table IV-6). 시화호 표층수의 부유퇴적물의 함량은 2.67~31.33 mg/l 으로 동년 3월에 비해 최대 함량값은 다소 감소하였다(Table IV-7). 표층수에 포함된 부유퇴적물의 공간분포는 공단주변에 위치하는 97S22 정점에서 31.33 mg/l 로 가장 높게 나타난다. 1997년 6월의 부유퇴적물 분포는 10.0~20.0 mg/l 범위가 대부분을 차지하며, 배수갑문 주변에서는 10.0 mg/l 미만의 낮은 부유퇴적물 함량을 보인다(Fig. IV-26). 그러므로 전체적인 시화호 표층수의 부유퇴적물 함량은 동년 3월보다 증가한 것이다. 그리고 이 시기에는 해저지형과 밀접한 연관없이 전지역이 높은 부유퇴적물 함량을 갖는다.

참고문헌

- Codispoti, L.A., Friederich, G.E., Murray, J.W and Sakamoto, C.M., 1991, Chemical variability in the Black Sea: Implications of continuous vertical profiles that penetrated the oxic/anoxic interface. *Deep-Sea Res.*, 38, 691-710.
- Folk, R.L., 1968, *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill's, Austin.
- 김범수, 이창복, 1993, 황해 경기만 반월 조간대 퇴적물내의 황화물 형성과 행동에 관한 연구, *해양학회지* 28(3) : 229-240.
- 정희수, 1996, 시화방조제 축조 이전 호저 퇴적물내의 중금속 행태, *농공기술*, 52 : 103-113.
- 조영길, 1994, 한반도 주변해역 퇴적물 중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구, 서울대학교 해양학과 박사학위 논문, 262p.
- 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 1994, 시화지구 담수호 수질보전대책수립 조사보고서(I).
- 한국수자원공사, 농어촌진흥공사, 1995, 시화지구 담수호 수질보전대책수립 조사보고서(II).
- 한국해양연구소, 1994, 제4기 해수면 변화의 모델개발 및 퇴적환경변화에 대한 종합연구 (III), 과학기술처, BSPN 00223-732-5.
- 한국해양연구소, 1997, 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도), 과학기술처, BSPN 96325-985-4.

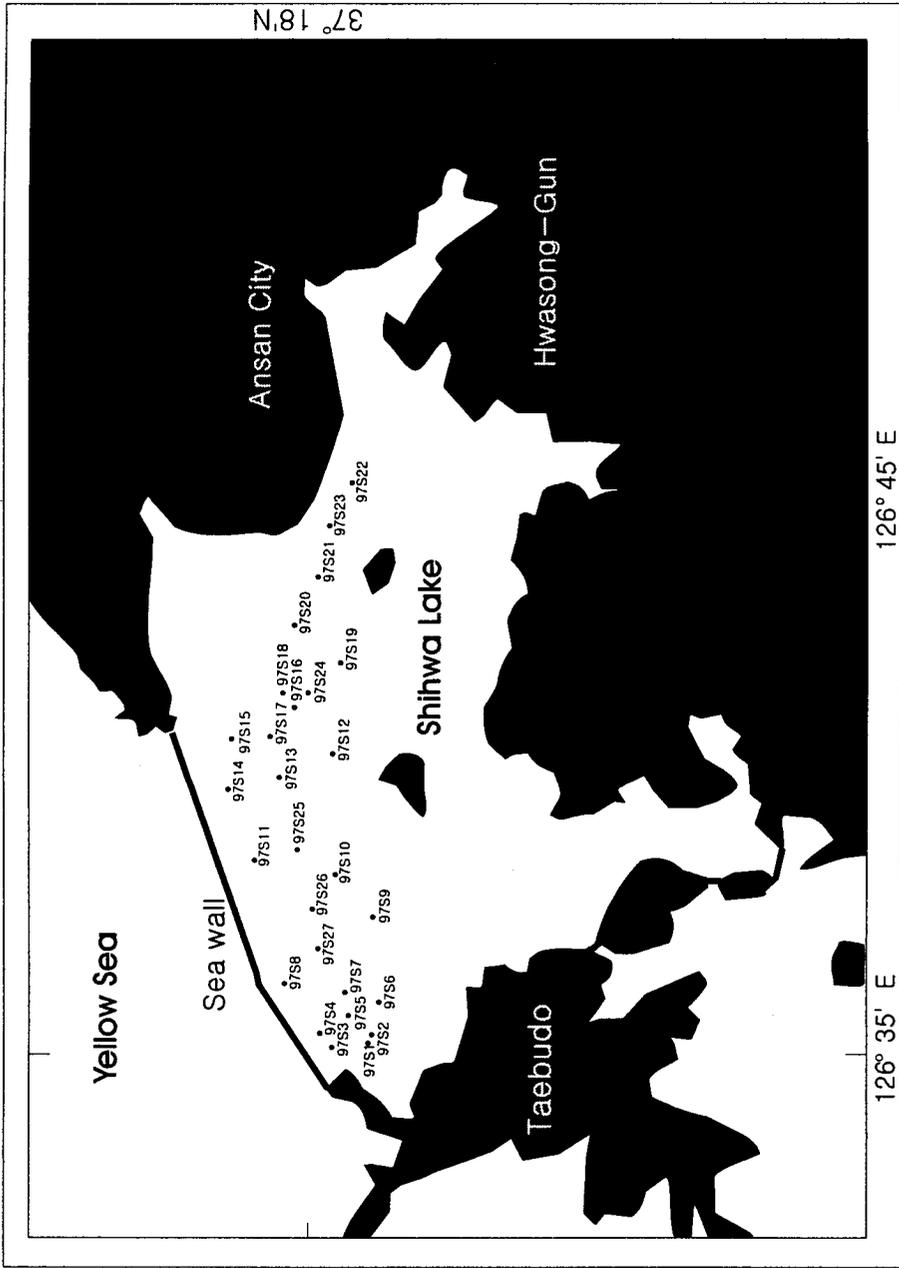


Fig. IV-1. Map of grab sampling sites of the Shihwa Lake.

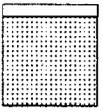
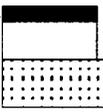
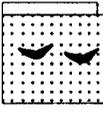
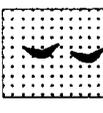
Core Number	Water Depth (m)	Schematic description	Sediment Type by Folk	Characteristics
97S1	2.5		M	organi-rich (dark brown-color)
97S2	8		sM	dark color vertical worm tube
97S3	9		sM	dark color vertical worm tube
97S4	12		sM	dark color
97S5	7		(g)sM	dark color sand sediments of lower part
97S6	4		mS	organic-rich (brown color) Shell fragments
97S7	7		gmS	Shell fragments
97S8	17		M	dark color

Fig. IV-2. Schematic descriptions of grab sediment from 97S1 to 97S8 stations.

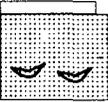
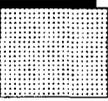
Core Number	Water Depth (m)	Schematic description	Sediment Type by Folk	Characteristics
97S9	4		(g)mS	organi-rich (dark brown-color) shell fragments
97S10	8		M	dark color vertical worm tube
97S11	10		M	dark color sand of lower part
97S12	6		M	homogeneous
97S13	8		M	dark color sand of lower part
97S14	3		M	vertical worm tube
97S15	2		sM	homogeneous
97S16	6		M	totally bioturbated

Fig. IV-3. Schematic descriptions of grab sediment from 97S9 to 97S16 stations.

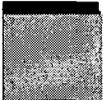
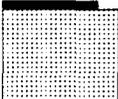
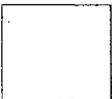
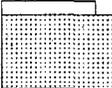
Core Number	Water Depth (m)	Schematic description	Sediment Type by Folk	Characteristics
97S17	9		M	dark color
97S18	4		M	dark color sand of lower part
97S19	3		mS	homogeneous
97S20	2		sM	organi-rich mud (brwon color) fine sand of lower part
97S21	1		mS	dark color vertical worm tube
97S22	5		sM	gray color vertical worm tube
97S23	8		M	totally dark color
97S24	7		M	vertical worm tube

Fig. IV-4. Schematic descriptions of grab sediment from 97S17 to 97S24 stations.

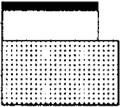
Core Number	Water Depth (m)	Schematic description	Sediment Type by Folk	Characteristics
97S25	13		M	dark color shelly sand of lower part
97S26	12		M	dark color sand of lower part
97S27	12		M	dark color vertical worm tube

Fig. IV-5. Schematic descriptions of grab sediment from 97S25 to 97S27 stations.

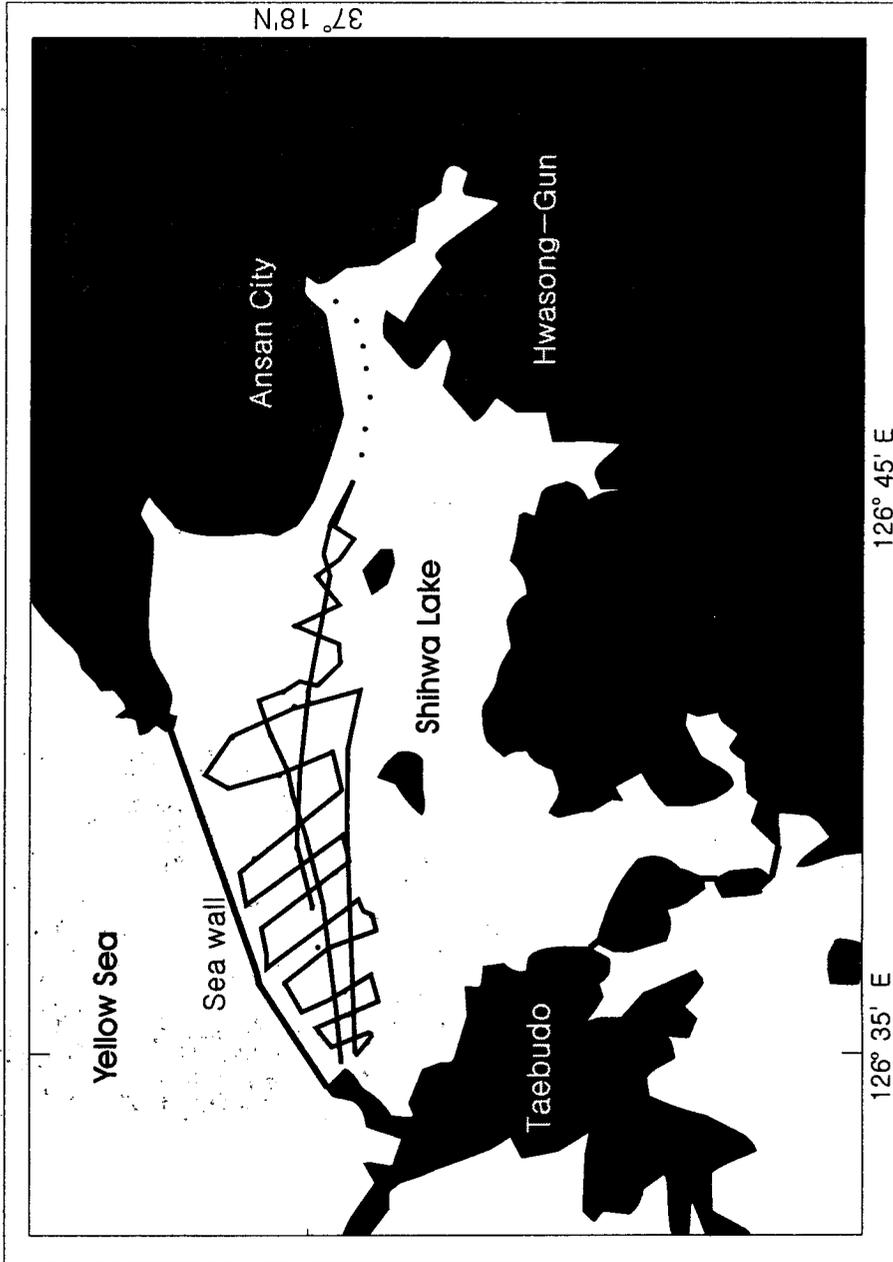


Fig. IV-6. Map of track survey for precision depth recorder in the Shihwa Lake.

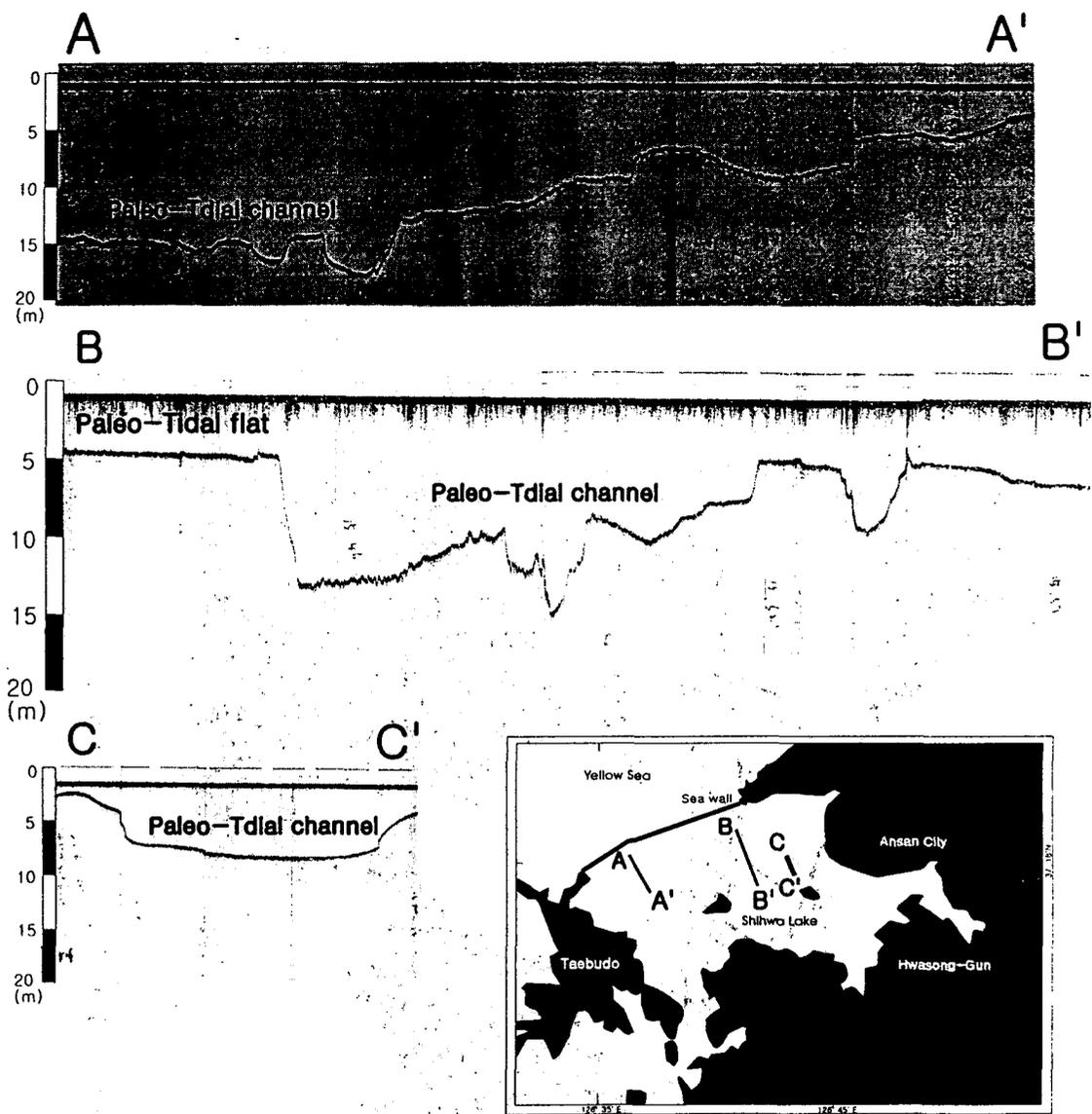


Fig. IV-7. Map of detailed bathymetries in line survey.

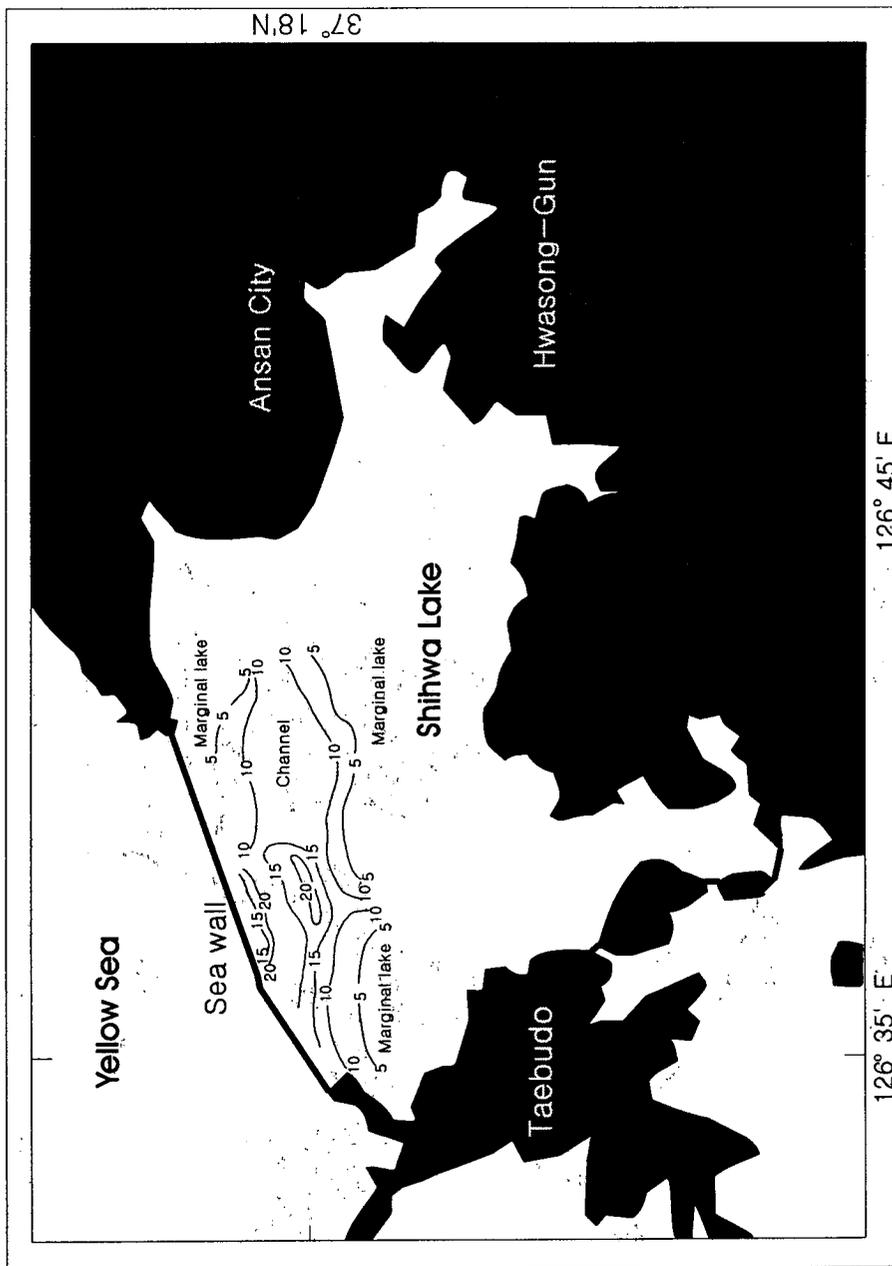


Fig. IV-8. Bathymetry map of in Shihwa Lake based on precision depth recorder.

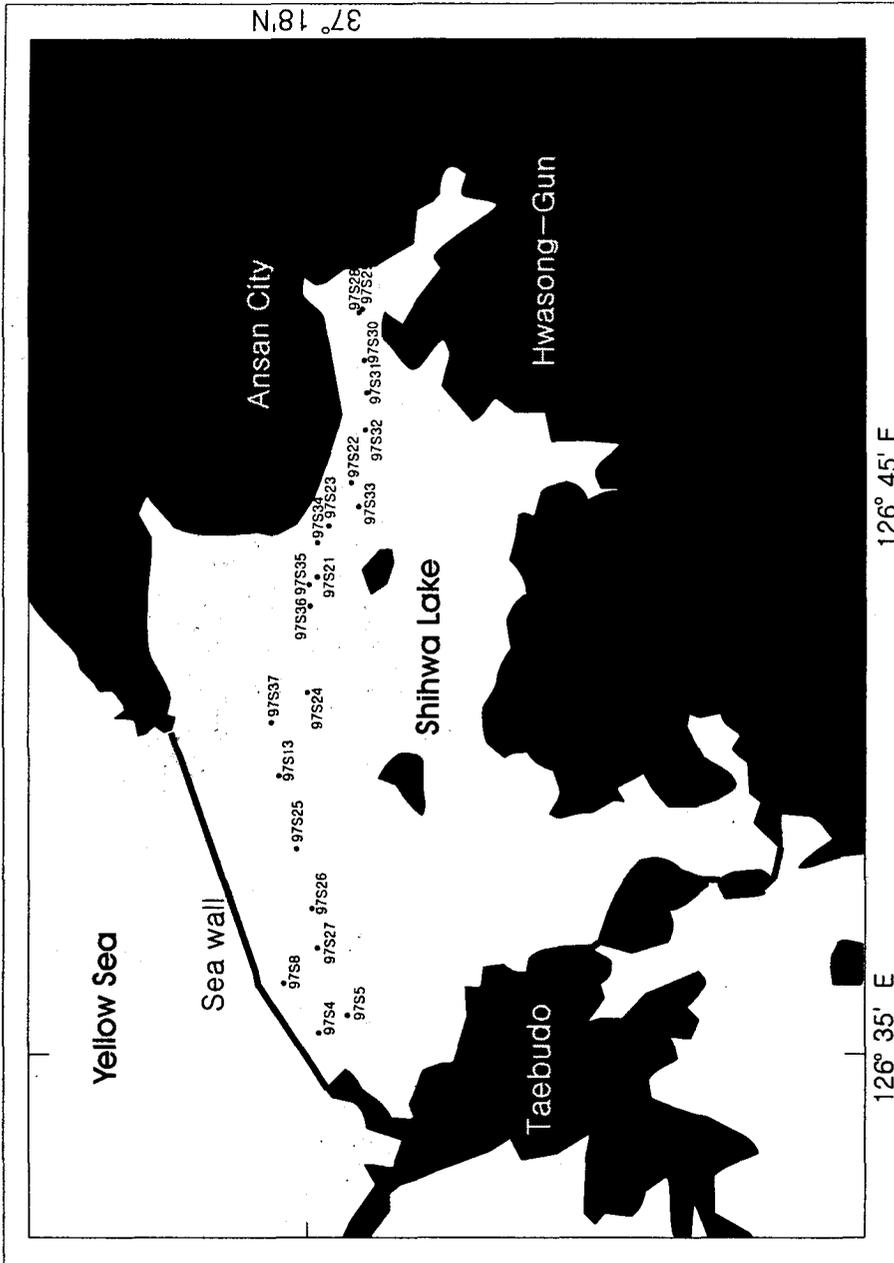


Fig. IV-9. Map of gravity core sites of the Shihwa Lake.

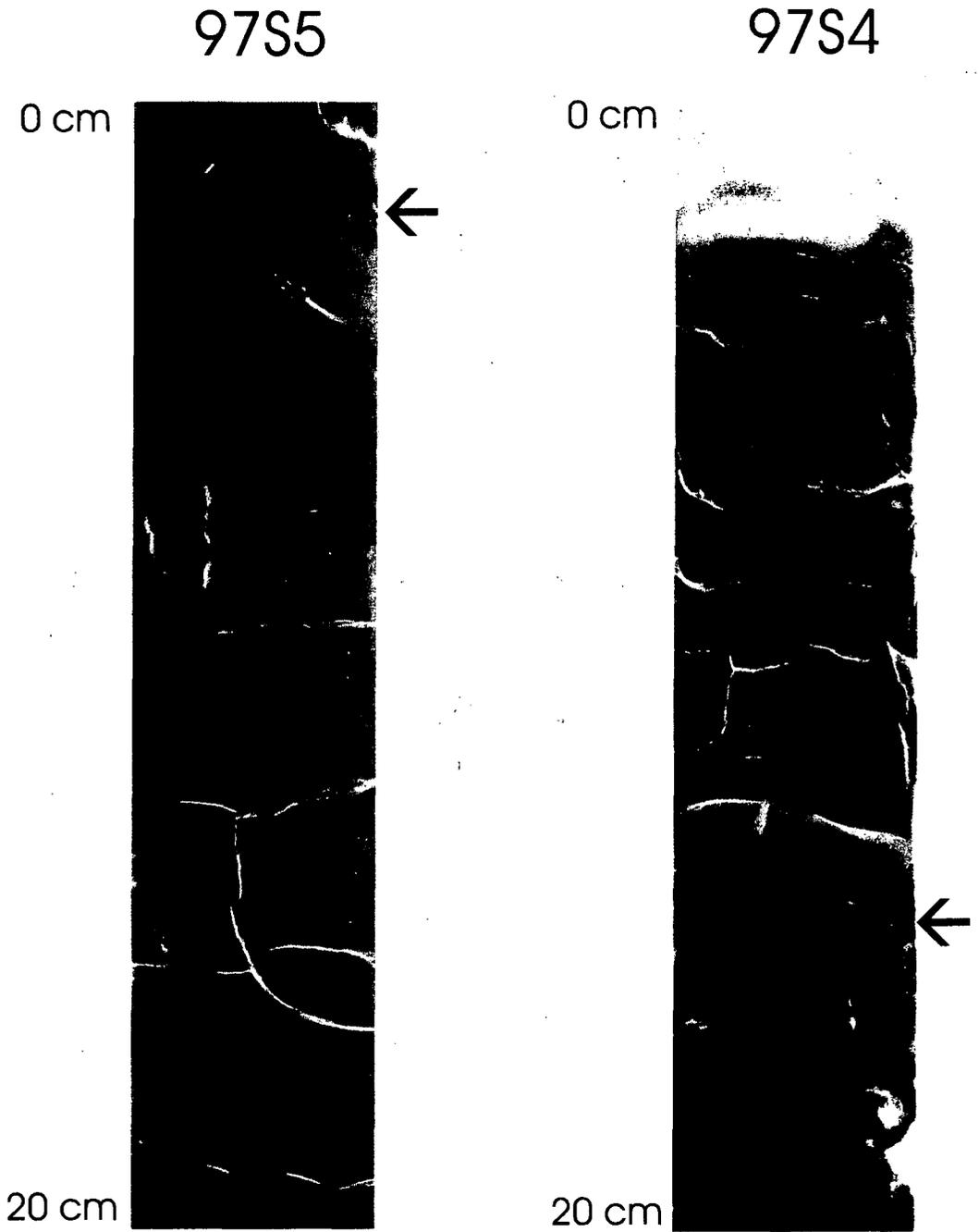
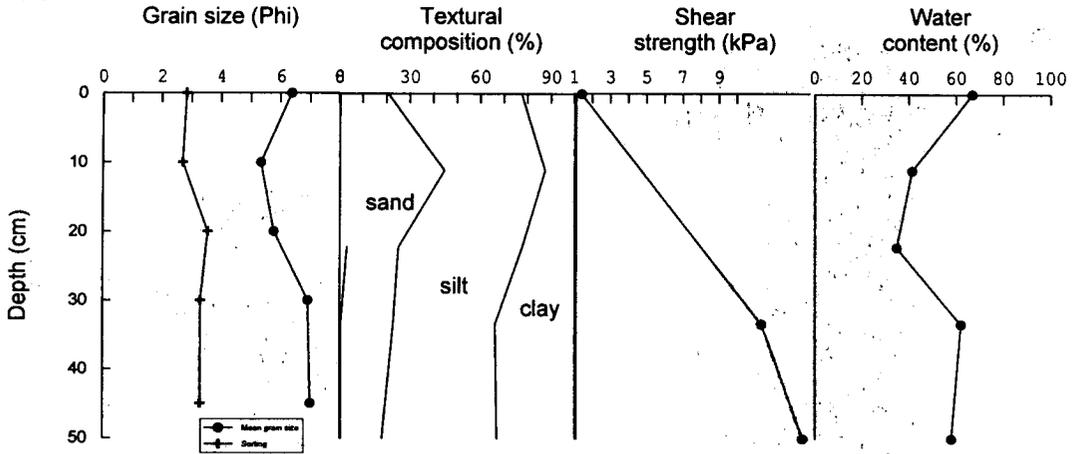


Fig. IV-10. X-radiographs of 97S4 and 97S5 core sediments in the Shihwa Lake.

(a) 97S4



(b) 97S5

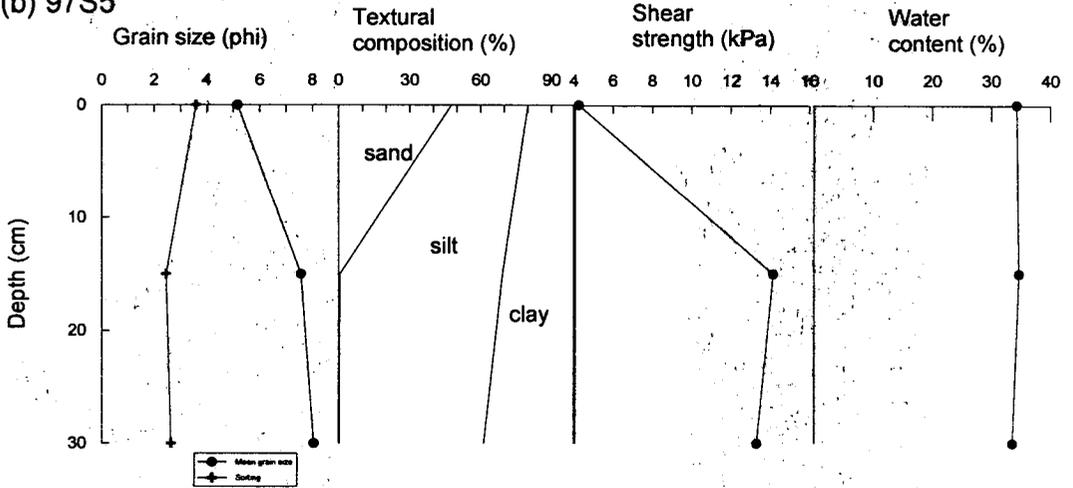
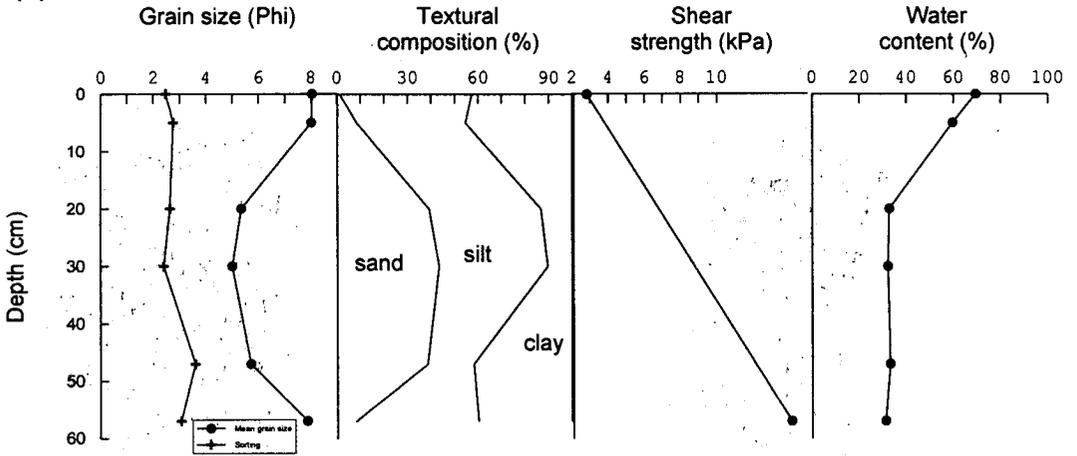


Fig. IV-11. Textural parameters of 97S4 and 97S5 core sediments.



Fig. IV-12. X-radiographs of 97S13 and 97S27-1 core sediments in the Shihwa Lake.

(a) 97S8



(b) 97S13

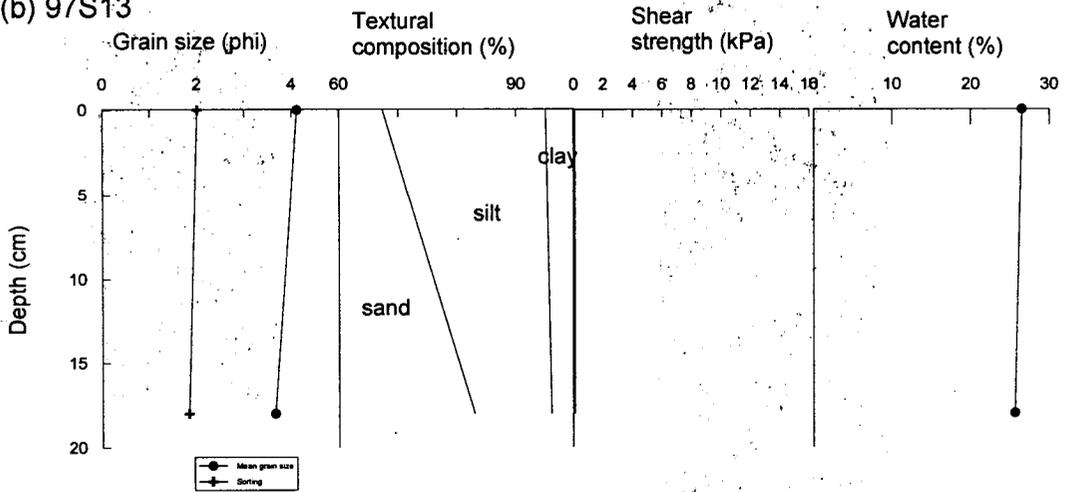
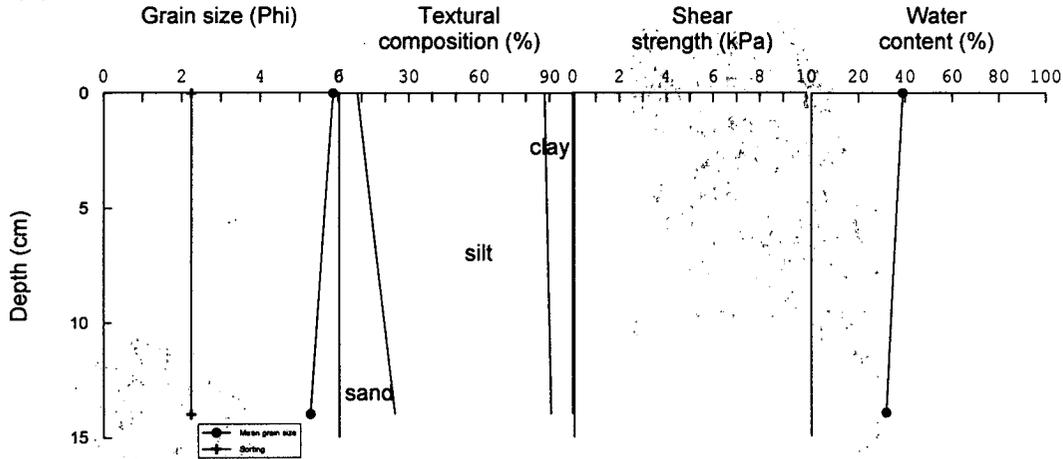


Fig. IV-13. Textural parameters of 97S8 and 97S13 core sediments.

(a) 97S21



(b) 97S22

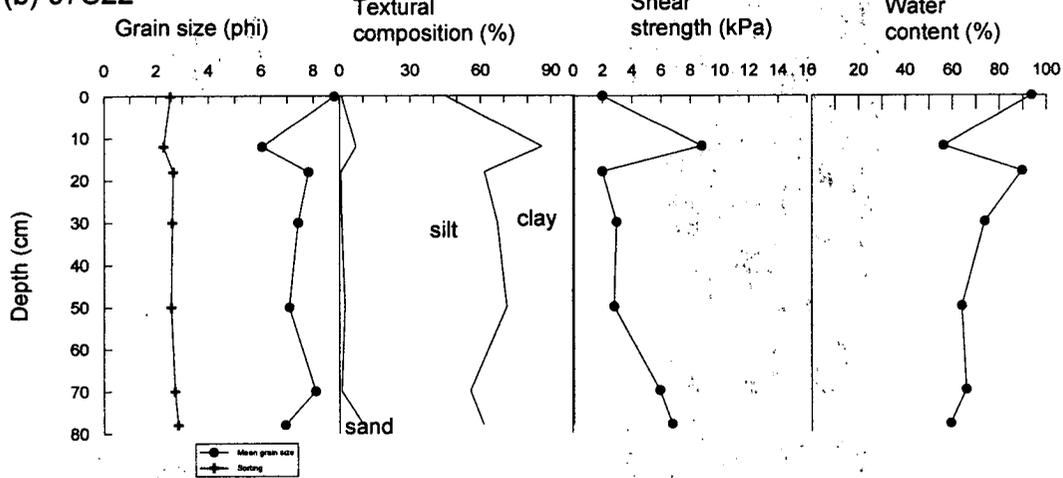


Fig. IV-14. Textural parameters of 97S21 and 97S22 core sediments.

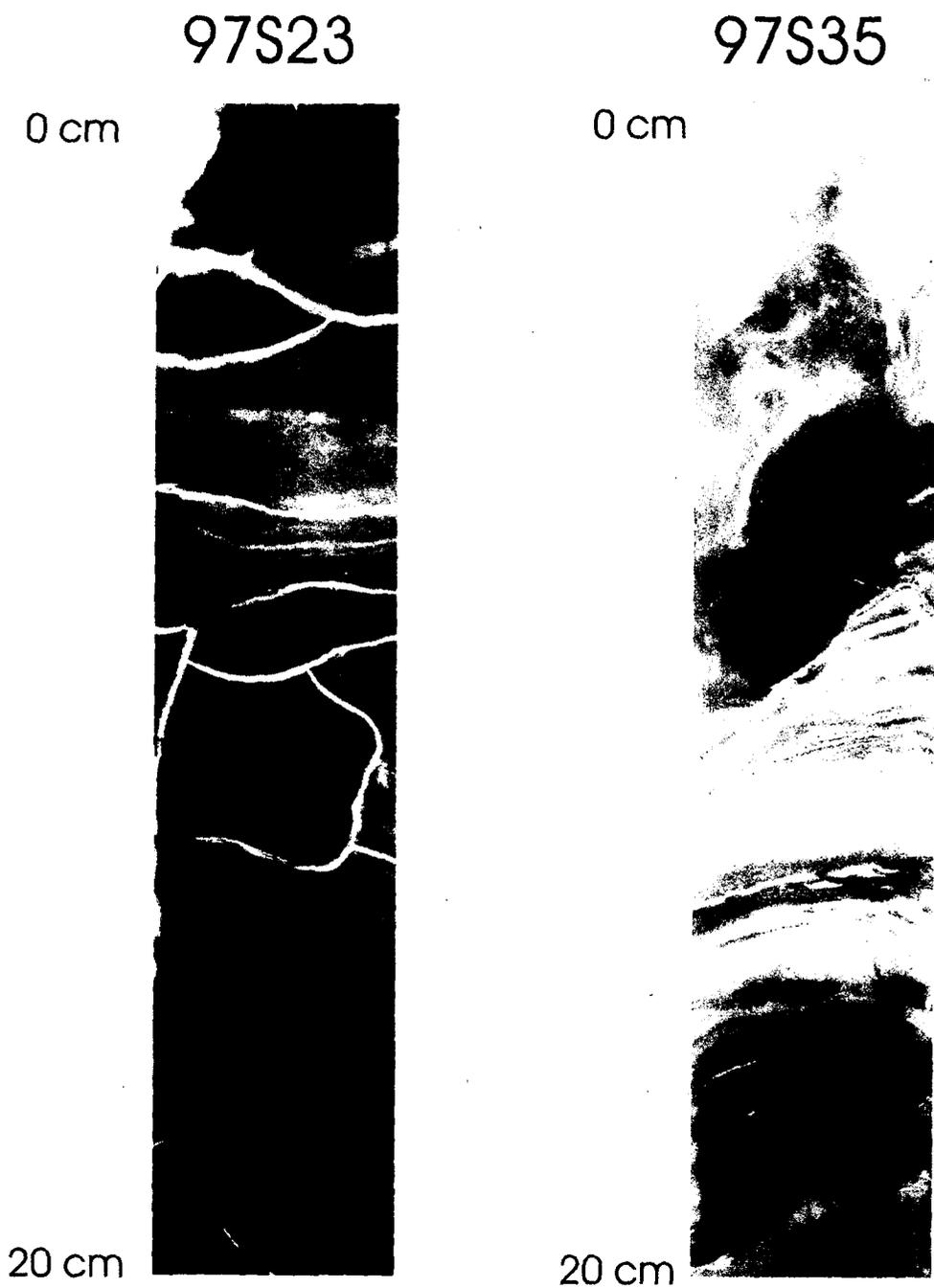
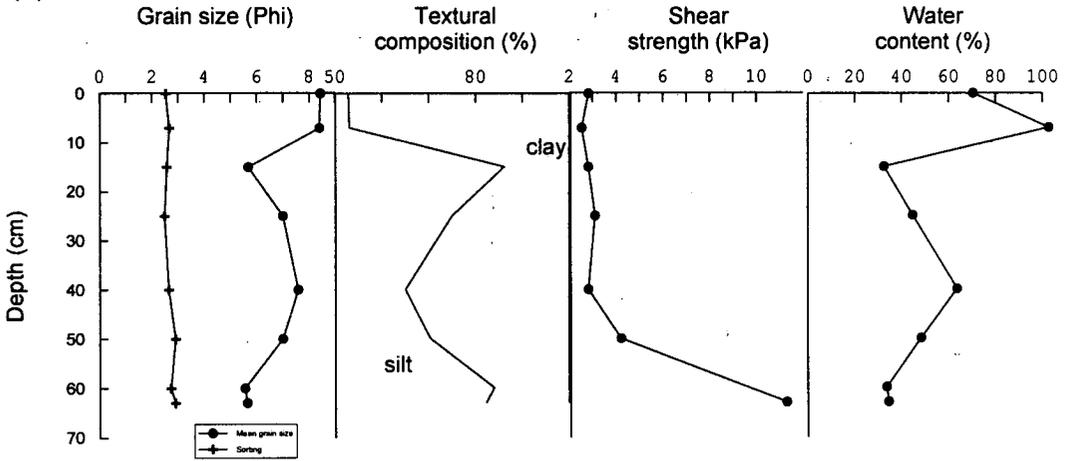


Fig. IV-15. X-radiographs of 97S23 and 97S35 core sediments in the Shihwa Lake.

(a) 97S23



(b) 97S24

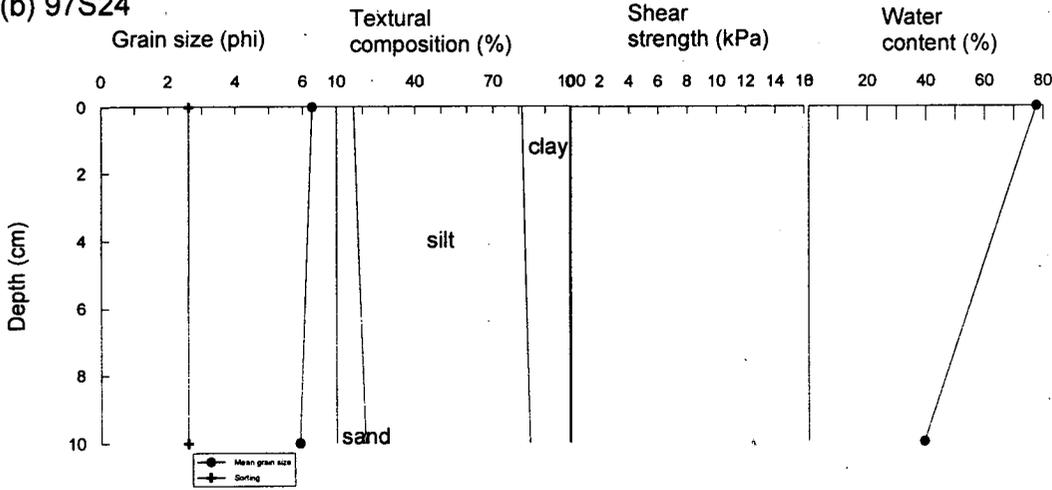
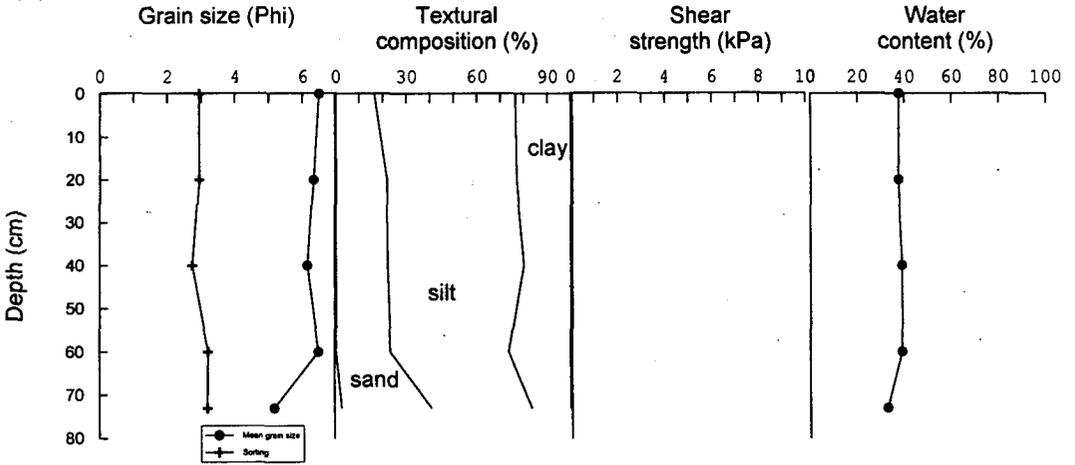


Fig. IV-16. Textural parameters of 97S23 and 97S24 core sediments.

(a) 97S25



(b) 97S26

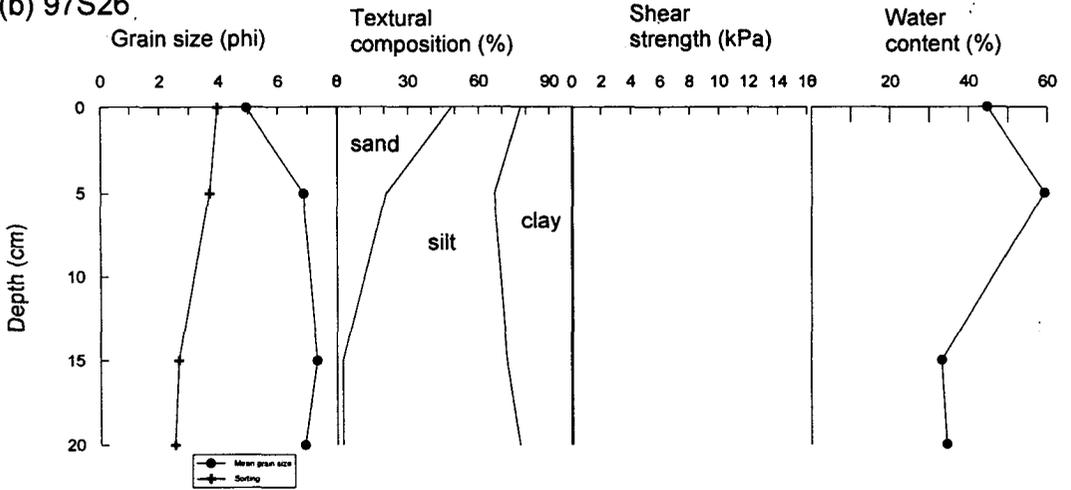


Fig. IV-17. Textural parameters of 97S25 and 97S26 core sediments.

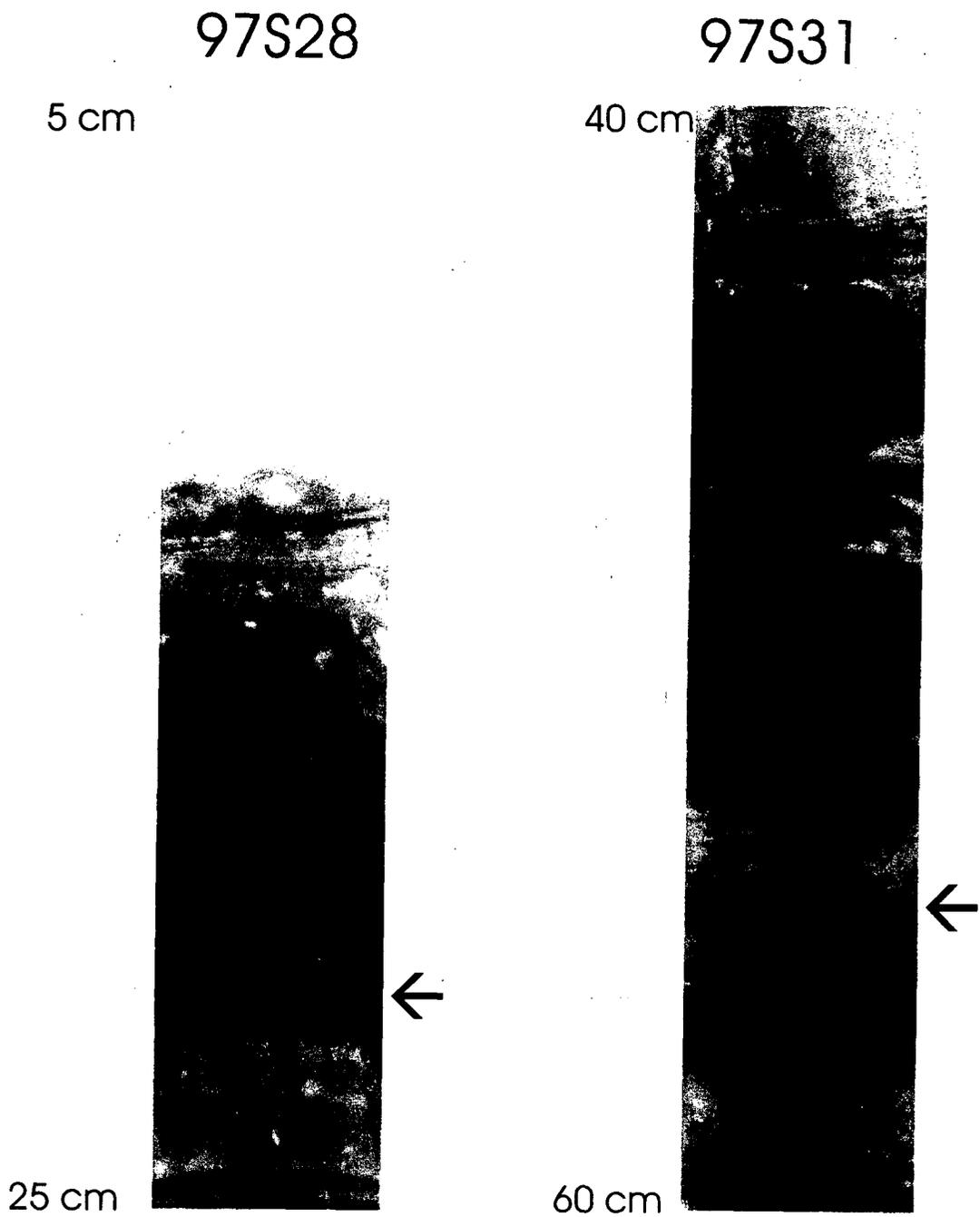
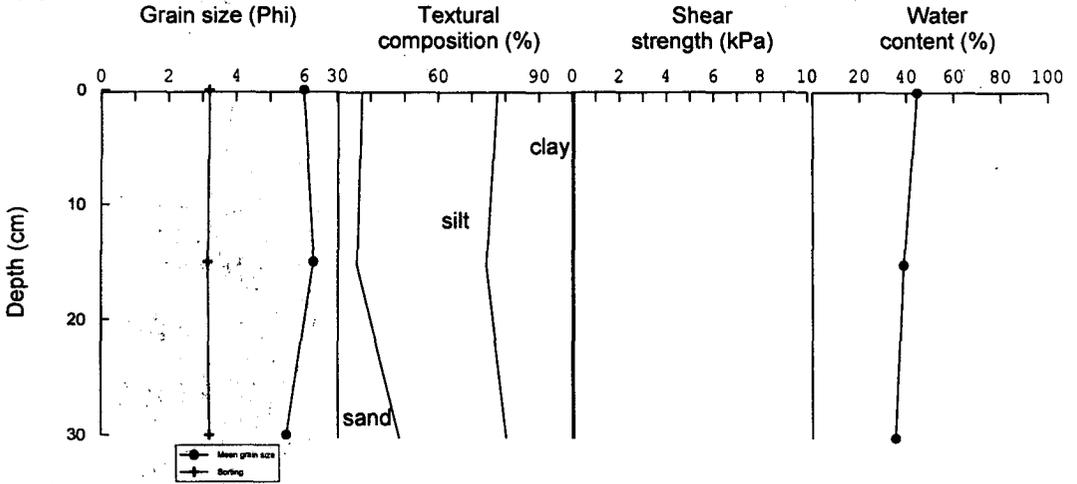


Fig. IV-18. X-radiographs of 97S28 and 97S31 core sediments in the Shihwa Lake.

(a) 97S27



(b) 97S28

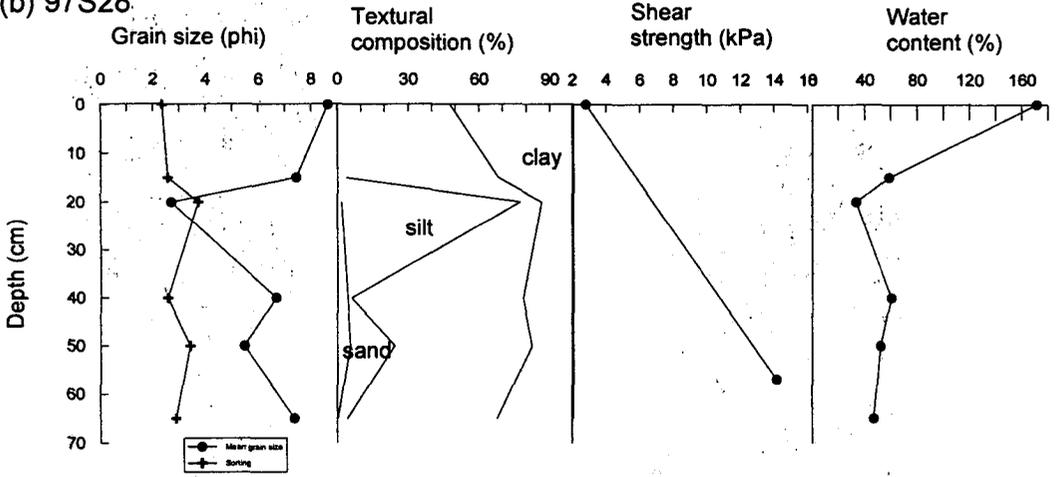
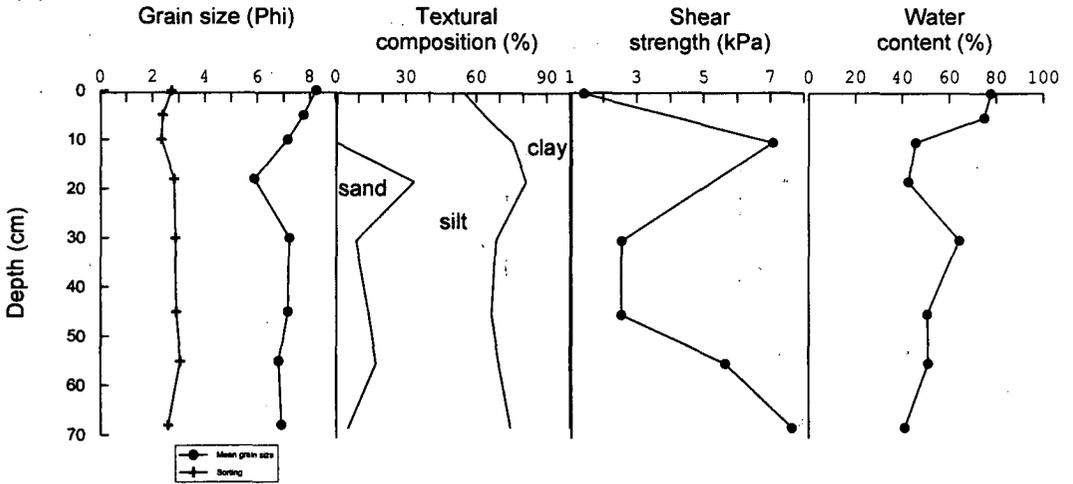


Fig. IV-19. Textural parameters of 97S27 and 97S28 core sediments.

(a) 97S29



(b) 97S31

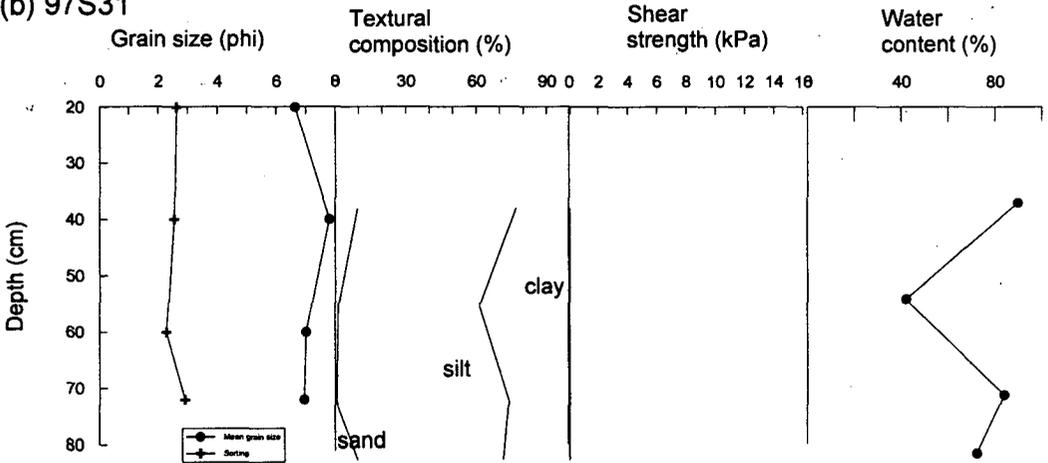
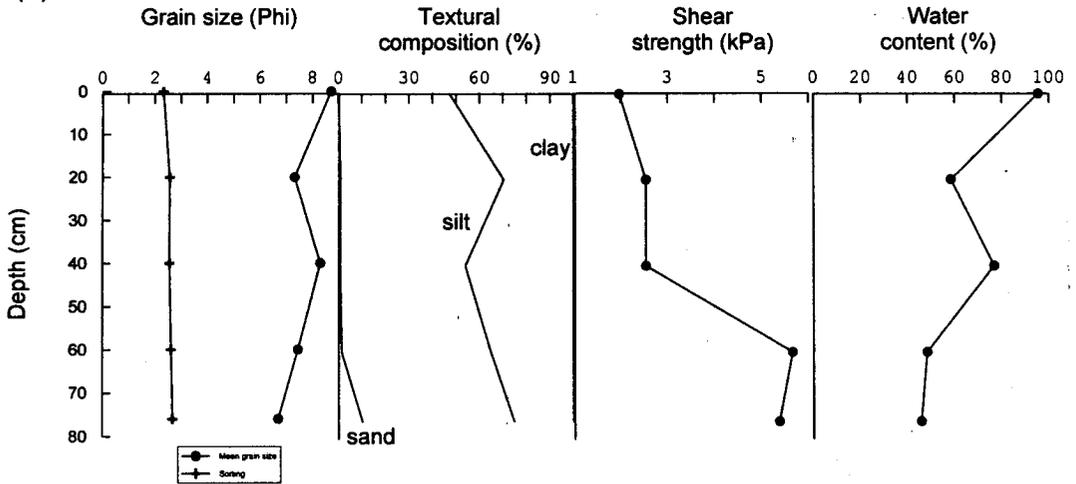


Fig. IV-20. Textural parameters of 97S29 and 97S31 core sediments.

(a) 97S32



(b) 97S33

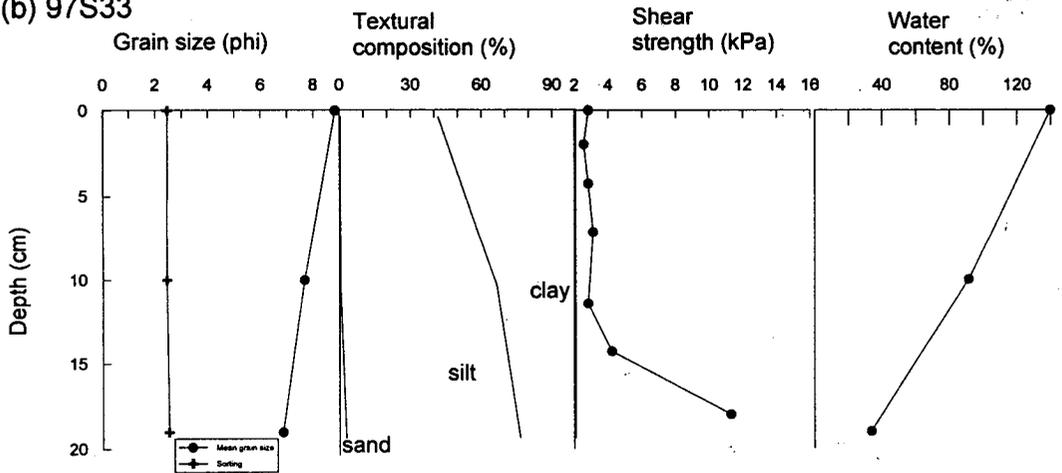
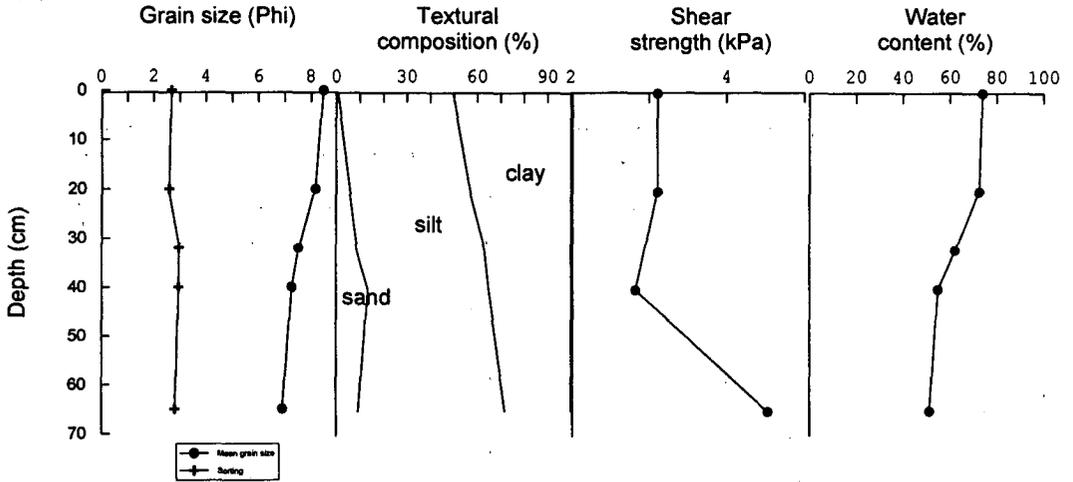


Fig. IV-21. Textural parameters of 97S32 and 97S33 core sediments.

(a) 97S34



(b) 97S35

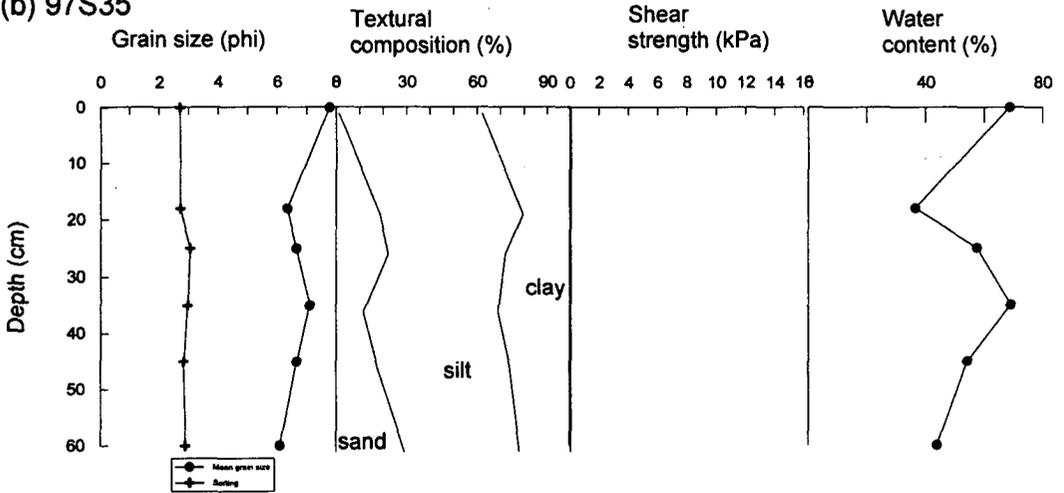


Fig. IV-22. Textural parameters of 97S34 and 97S35 core sediments.

97S36

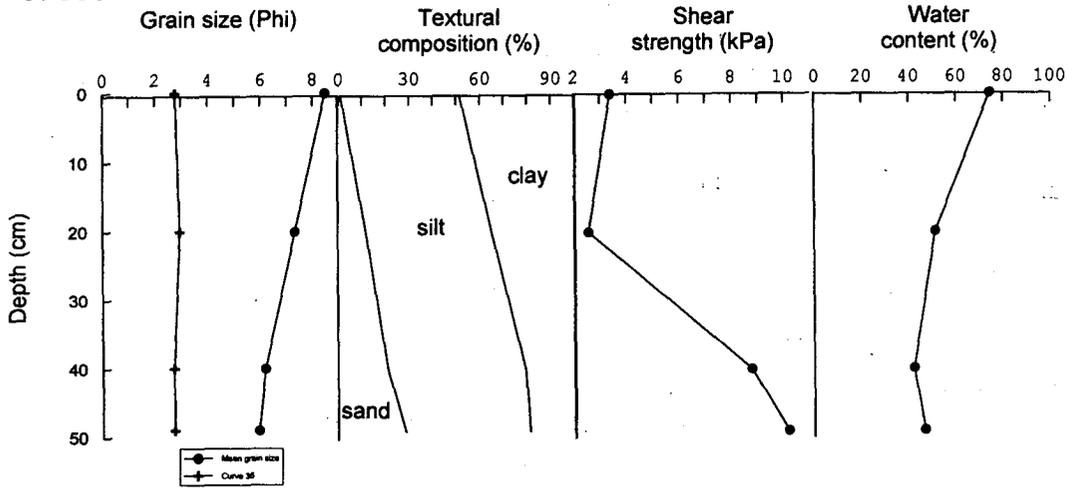


Fig. IV-23. Textural parameters of 97S36 core sediment.

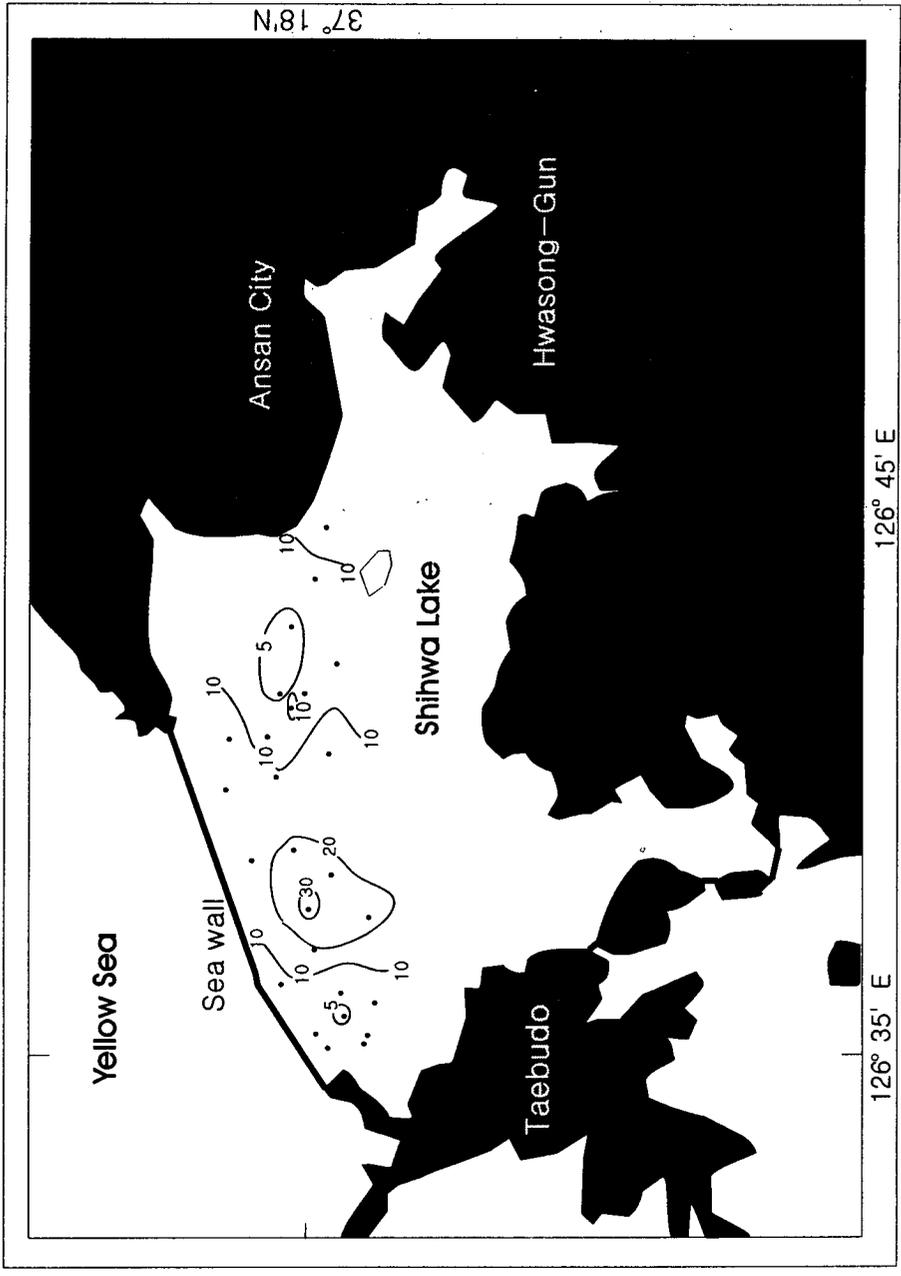


Fig. IV-24. Distribution map of total suspended sediments in the surface water in March, 1997.

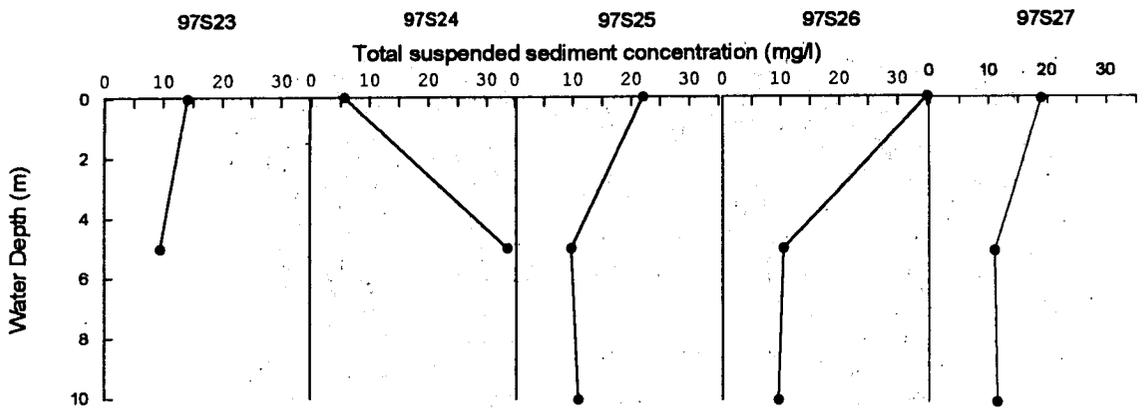


Fig. IV-25. Vertical variation of total suspended sediments 97S23, 97S24, 97S25, 97S26, and 97S27 stations in the Shihwa Lake.

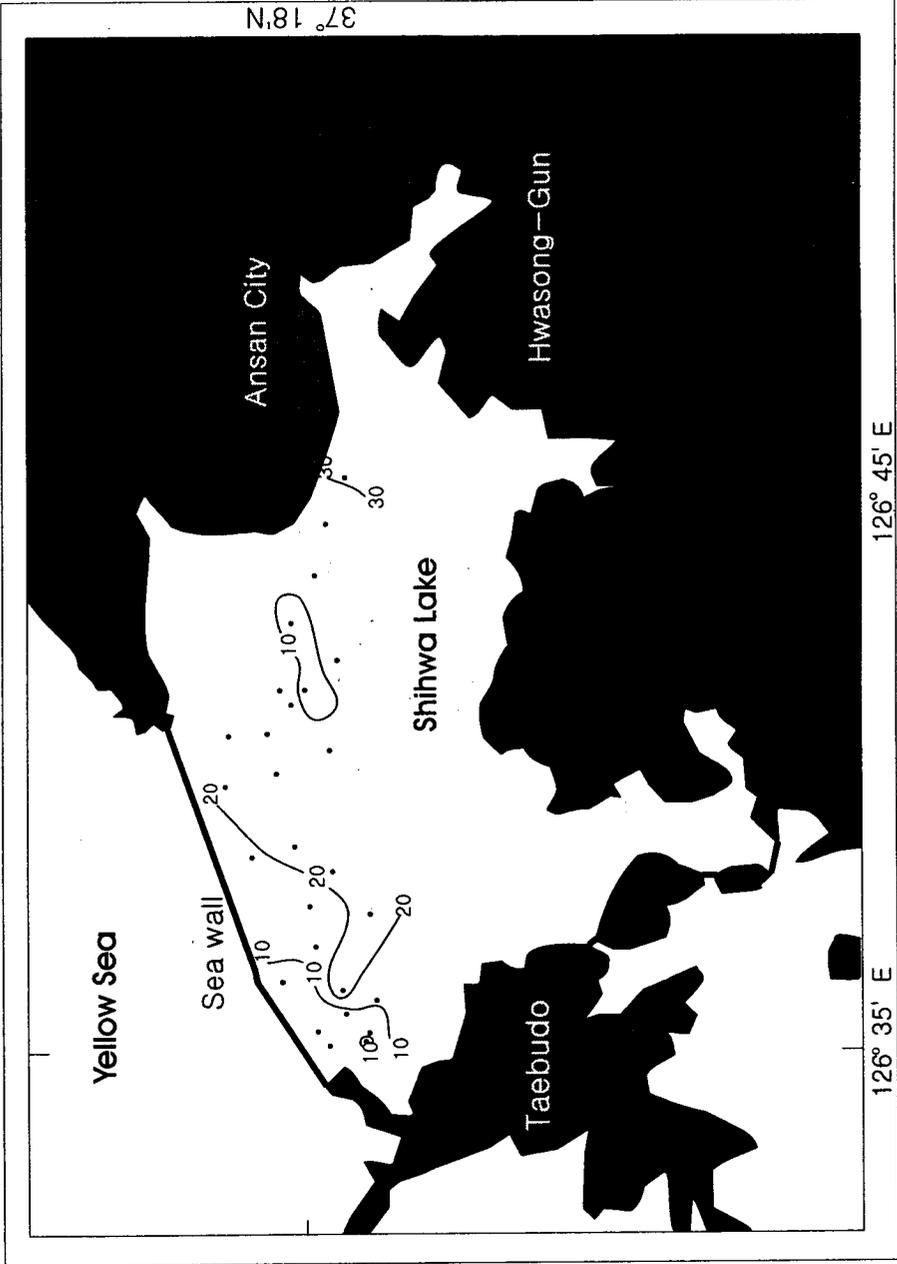


Fig. IV-26. Distribution map of total suspended sediments in the surface water in June, 1997.

Table IV-1. Location of grab sample and suspended sediment sites in the Shihwa Lake.

Station	Latitude	Longitude	Water Depth(m)
97S1	37° 17.136 N	126° 35.774 E	2.5
97S2	37° 17.281 N	126° 35.909 E	8
97S3	37° 17.636 N	126° 35.609 E	9
97S4	37° 17.774 N	126° 35.83 E	12
97S5	37° 17.572 N	126° 36.142 E	7
97S6	37° 16.944 N	126° 36.464 E	4
97S7	37° 17.423 N	126° 36.515 E	7
97S8	37° 18.349 N	126° 36.723 E	17
97S9	37° 17.187 N	126° 38.134 E	4
97S10	37° 17.621 N	126° 38.840 E	8
97S11	37° 18.476 N	126° 38.489 E	10
97S12	37° 17.608 N	126° 41.051 E	6
97S13	37° 18.461 N	126° 40.584 E	8
97S14	37° 19.480 N	126° 40.251 E	3
97S15	37° 19.236 N	126° 41.045 E	2
97S16	37° 17.959 N	126° 41.907 E	6
97S17	37° 18.526 N	126° 41.320 E	9
97S18	37° 18.471 N	126° 42.074 E	4
97S19	37° 17.574 N	126° 42.673 E	3
97S20	37° 18.155 N	126° 43.393 E	2
97S21	37° 17.994 N	126° 44.249 E	1
97S22	37° 17.347 N	126° 45.882 E	5
97S23	37° 17.674 N	126° 44.518 E	8
97S24	37° 17.956 N	126° 42.182 E	7
97S25	37° 18.196 N	126° 39.320 E	13
97S26	37° 17.974 N	126° 38.101 E	12
97S27	37° 17.531 N	126° 37.154 E	12

Table IV-2. Textural composition, sediment type and mean grain size of grab samples.

Sample No.	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters				
	Gra.	Sand	Silt		Clay	MZ(Phi)	St.De.	Skew.	Kurt.
97S1		4.29	95.5	0.21	M	4.24	0.29	5.17	
97S2		29.38	57.07	13.55	sM	5.53	2.39	1.48	4.67
97S3		18.92	53.77	27.31	sM	6.65	2.93	0.69	2.46
97S4		18.8	48.27	32.92	sM	7.06	2.96	0.57	2.11
97S5	4.92	36.72	39.04	19.32	(g)sM	5.15	3.6	0.34	2.87
97S6		77.04	18.01	4.95	mS	4.15	1.75	3.26	13.89
97S7	14.03	55.67	19.24	11.06	gmS	2.82	3.76	0.88	3.14
97S8		1.8	38.4	59.8	M	8.79	2.38	-0.04	2.01
97S9	1.58	70.4	23.45	4.57	(g)mS	3.34	2.53	0.93	5.37
97S10		1.01	50.35	48.64	M	8.33	2.63	0.22	1.72
97S11		1.2	40.54	58.26	M	8.99	2.64	-0.01	1.72
97S12		4	78.9	17.1	M	6.33	2.37	1.57	4.4
97S13		3	47.45	49.55	M	8.39	2.77	0.17	1.76
97S14		0.7	80.04	19.26	M	6.72	2.21	1.5	4.17
97S15		27.75	64.59	7.66	sM	5.16	1.99	2.28	8.41
97S16		1.1	72.27	26.63	M	7.06	2.57	1.04	2.79
97S17		1.6	46.35	52.05	M	8.53	2.72	0.14	1.67
97S18		63.69	33.08	3.23	mS	4.12	1.05	2.29	9.33
97S19		32.66	59.05	8.29	sM	4.89	1.42	0.99	3.45
97S20		53.65	42.04	4.31	mS	4.38	1.17	1.84	6.42
97S21		19.12	67.83	13.05	sM	5.8	2.35	1.71	5.25
97S22		0.5	35.33	64.17	M	9.31	2.5	-0.11	1.73
97S23		0.5	41.48	58.03	M	8.98	2.5	0.06	1.71
97S24		9.31	75.35	15.35	M	6.07	2.39	1.57	4.66
97S25			35.06	64.94	M	9.44	2.48	-0.09	1.65
97S26		0.86	60.15	39	M	7.61	2.11	0.39	2.14

Table IV-3. Location of gravity core sites and water depth in the Shihwa Lake:

Station	Latitude	Longitude	Water Depth(m)	Core length(cm)
97S4	37° 17.774 N	126° 35.83 E	12	45
97S5	37° 17.572 N	126° 36.142 E	7	30
97S8	37° 18.349 N	126° 36.723 E	17	57
97S13	37° 18.437 N	126° 40.548 E	5	18
97S21	37° 17.973 N	126° 44.242 E	1.5	14
97S22	37° 17.390 N	126° 45.888 E	4	78
97S23	37° 17.627 N	126° 44.524 E	7	63
97S24	37° 17.976 N	126° 42.223 E	7	10
97S25	37° 18.166 N	126° 39.335 E	9	73
97S26	37° 17.995 N	126° 38.067 E	12	20
97S27, 97S27-1	37° 17.531 N	126° 37.154 E	12	15,30
97S28	37° 17.485 N	126° 48.821 E	4	65
97S29	37° 17.484 N	126° 48.929 E	4	68
97S31	37° 17.314 N	126° 47.219 E	4	72
97S32	37° 17.356 N	126° 46.517 E	4	76
97S33	37° 17.489 N	126° 45.072 E	4	19
97S34	37° 17.792 N	126° 44.382 E	4	65
97S35	37° 17.977 N	126° 43.706 E	4	60
97S36	37° 17.929 N	126° 43.365 E	5	49

Table IV-4. Textural composition, sediment type, water content, and shear strength of gravity cores.

Sample No.	Depth (cm)	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters			Water Content (%)	S.S. (kPa)		
		Gra.	Sand	Silt		Clay	MZ(Phi)	St.De.			Skew.	Kurt.
97S4	0		20.78	56.6	22.61	sM	6.37	2.82	1.01	2.9	66.83	1.42
	10		44.74	42.59	12.67	sM	5.34	2.7	1.45	4.28	41.23	
	20	3.37	21.88	52.5	22.26	(g)sM	5.77	3.55	0.4	3.07	34.66	
	30	0.82	22.24	43.22	33.72	(g)sM	6.93	3.31	0.23	2.25	61.89	11.32
	45	0.8	18.18	48.01	33.01	(g)sM	7.01	3.3	0.33	2.16	57.9	13.59
97S5	0	2.75	44.77	32.52	19.96	(g)sM	5.16	3.59	0.63	2.84	34.3	4.25
	15		0.5	68.66	30.84	M	7.56	2.45	0.93	2.63	34.71	14.15
	30		0.2	61.12	38.68	M	8.05	2.64	0.56	1.8	33.66	13.31
97S8	0		1.3	56.1	42.6	M	8.04	2.48	0.45	2.13	69.51	2.83
	5		8.58	46.09	45.33	M	8.01	2.77	0.18	2.08	59.77	
	20		39.29	47.46	13.25	sM	5.35	2.65	1.76	5.05	32.74	
	30		43.51	46.13	10.35	sM	5.01	2.41	2.12	6.68	32.17	
97S13	47	0.11	38.52	19.55	41.82	(g)sM	5.72	3.62	-0.11	1.75	33.14	
	57		8.31	51.94	39.75	M	7.86	3.08	0.11	2.32	31.28	14.15
	0		67.39	27.68	4.94	mS	4.11	2.01	2.83	11.58	26.51	
97S21	18		83.03	13	3.97	mS	3.66	1.84	3.54	16.2	25.68	
	0		8.2	79.7	12.1	M	5.85	2.25	2.02	6.16	39.07	
97S22	14		24.11	66.58	9.31	sM	5.27	2.24	2.31	7.69	31.91	
	0		0.9	44.56	54.55	M	8.8	2.55	0.14	1.76	93.78	1.98
	12		6.95	79.2	13.85	M	6.04	2.3	1.76	5.36	56.23	8.78
97S23	18		0.7	61.12	38.18	M	7.82	2.66	0.58	2	89.8	1.98
	30		1.1	66.2	32.7	M	7.42	2.62	0.78	2.31	73.92	2.97
	50		2.39	68.99	28.61	M	7.1	2.59	0.91	2.61	64.01	2.83
97S23	70		1.09	54.77	44.14	M	8.1	2.74	0.37	1.77	66.02	5.94
	78		10.21	61.28	28.5	sM	6.93	2.85	0.83	2.38	59.53	6.79
	0		1.59	51.34	47.08	M	8.43	2.54	0.24	2.1	70.5	2.83
97S23	7		0.7	52.45	46.85	M	8.4	2.67	0.31	1.73	102.7	2.55
	15		28.55	57.6	13.85	sM	5.67	2.57	1.62	4.73	32.51	2.83
	25		1.5	73.47	25.03	M	6.99	2.49	1.09	2.89	44.78	3.11
97S23	40		1.98	63.07	34.95	M	7.58	2.65	0.66	2.15	63.62	2.83

Table IV-4. Continued.

Sample No.	Depth (cm)	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters				Water Content (%)	S.S. (kPa)
		Gra.	Sand	Silt		Clay	MZ(Phi)	St.De.	Skew.		
97S23	50		12.08	58.3	29.61	6.99	2.9	0.76	2.32	48.44	4.25
	60		34.97	49.03	16	5.55	2.74	1.39	3.97	33.72	
	63		36.54	45.76	17.7	5.63	2.91	1.34	3.65	34.54	11.32
97S24	0		16.62	64.48	18.91	6.28	2.61	1.23	3.59	77.72	
	10		21.08	63.11	15.81	5.92	2.6	1.49	4.15	39.45	
97S25	0	0.06	16.43	60.05	23.46	6.49	2.95	1	2.82	37.73	
	20		21.78	55.18	23.04	6.33	2.96	0.99	2.84	37.41	
	40		22.15	57.86	19.99	6.15	2.75	1.16	3.25	38.9	
	60	0.39	22.93	50.36	26.32	6.48	3.22	0.67	2.48	39.08	
97S26	73	2.79	40.82	39.79	16.6	5.17	3.2	0.77	3.6	32.86	
	0	0.2	48.13	29.52	22.14	4.95	3.96	0.67	2.22	44.85	
	5	0.07	20.66	46.08	33.19	6.86	3.69	0.11	2.07	59.29	
	15		2.56	69.49	27.95	7.33	2.66	0.81	2.75	33.29	
	20		2.55	75.03	22.42	6.92	2.53	1.11	3.36	34.51	
	0		52.39	29.97	17.64	5.29	3.1	1.32	3.49	52.78	
97S27	15		77.57	16.82	5.61	3.79	2.11	3.02	11.96	29.24	
	0		37.33	40.3	22.38	5.99	3.2	0.96	2.71	44.52	
	15		35.94	38.48	25.58	6.28	3.17	0.83	2.38	38.81	
	30		48.4	31.83	19.77	5.48	3.21	1.11	2.99	35.21	
97S28	0			47.84	52.16	8.65	2.35	0.32	1.81	171.31	1.42
	15		3.8	64.36	31.84	7.43	2.56	0.66	2.58	58.4	1.42
	20	1.99	75.57	9.15	13.28	2.7	3.73	1.46	3.96	33.74	
	40		5.98	72.6	21.42	6.66	2.56	1.12	3.35	60.58	4.53
	50	5.61	18.67	58.25	17.48	5.48	3.42	0.07	3.38	52.42	4.25
	65	0.27	4.03	63.47	32.22	7.38	2.89	0.57	2.48	47.16	5.94
97S29	0		0.99	54.01	45	8.23	2.73	0.38	1.77	77.65	1.42
	5		0.5	63.88	35.62	7.76	2.39	0.71	2.33	74.99	
	10		0.3	75.05	24.65	7.15	2.33	1.21	3.25	45.63	7.08
	18		33.52	47.68	18.8	5.88	2.83	1.24	3.41	42.73	
30		8.75	59.52	31.72		7.21	2.87	0.65	2.19	64.22	2.55

Table IV-4. Continued.

Sample No.	Depth (cm)	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters			Water Content (%)	S.S. (kPa)		
		Gra.	Sand	Silt		Clay	MZ(Phi)	St.De.			Skew.	Kurt.
97S29	45		14.19	52.11	33.7	sM	7.16	2.91	0.39	2.14	50.59	2.55
	55		17.34	52.13	30.53	sM	6.81	3.07	0.39	2.25	51.17	5.66
	68		5.47	68.97	25.56	M	6.91	2.6	0.98	2.91	41.11	7.64
97S31	0											2.55
	20		9.64	67.55	22.82	M	6.65	2.63	1.04	3.12	89.99	6.51
	40		1.4	60.16	38.44	M	7.81	2.56	0.57	2.24	42	1.98
	60		0.6	73.39	26.02	M	7.03	2.28	1.08	3.19	83.97	3.96
	72	0.09	9.49	62.01	28.41	(g)M	6.95	2.91	0.59	2.67	72.43	14.15
97S32	0		0.1	47.15	52.75	M	8.7	2.33	0.27	1.8	95.57	1.98
	20		1.1	69.26	29.64	M	7.32	2.57	0.93	2.53	58.4	2.55
	40		0.9	53.04	46.06	M	8.29	2.57	0.34	1.84	76.54	2.55
	60		1.63	63.22	35.15	M	7.45	2.64	0.62	2.05	48.2	5.66
	76		10.47	64.41	25.12	sM	6.71	2.69	0.91	2.77	45.63	5.38
97S33	0		0.4	41.39	58.21	M	8.84	2.46	0.04	1.81	139.89	
	10		0.4	66.3	33.3	M	7.67	2.45	0.85	2.41	91.65	
	19		2.97	73.59	23.44	M	6.86	2.54	1.15	3.11	33.89	
97S34	0		0.69	48.86	50.44	M	8.47	2.68	0.21	1.67	73.85	3.11
	20			56.81	43.19	M	8.16	2.59	0.45	1.74	72.6	3.11
	32		8.71	54.33	36.96	M	7.54	2.98	0.49	1.91	62.33	
	40		13.36	51.38	35.26	sM	7.27	2.95	0.37	2.09	54.88	2.83
	65		9.3	62.38	28.32	M	6.91	2.82	0.86	2.47	51.28	4.53
97S35	0		1.29	60.87	37.84	M	7.77	2.71	0.55	1.88	68.86	1.98
	18		18.8	60.75	20.45	sM	6.35	2.72	1.16	3.27	36.59	
	25		22.27	49.84	27.89	sM	6.67	3.06	0.8	2.34	57.72	3.11
	35		11.59	57.32	31.09	sM	7.11	2.97	0.7	2.18	69.08	4.25
	45		17.6	56.42	25.98	sM	6.67	2.84	0.87	2.55	54.32	3.96
	60		29.15	48.98	21.86	sM	6.1	2.91	1.1	2.98	44.06	5.66

Table IV-4. Continued.

Sample No.	Depth (cm)	Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters				Water Content (%)	S.S. (kPa)	
		Gra.	Sand	Silt		Clay	MZ(Phi)	St.De.	Skew.			Kurt.
97S36	0		1	50.5	48.5	M	8.47	2.77	0.24	1.65	74.64	3.40
	20		11.65	53.26	35.09	sM	7.3	2.94	0.52	1.94	51.22	2.55
	40		20.78	58.37	20.85	sM	6.18	2.72	1.17	3.21	42.04	8.78
	49		28.21	52.83	18.95	sM	5.93	2.73	1.24	3.43	46.73	10.19

Table IV-5. Concentration of total suspended sediments in water column, during March, 1997.

Station	SSC(mg/l)	Station	SSC(mg/l)	Station	Depth (cm)	SSC(mg/l)
97S1	9.6	97S12	14.6	97S23	0	14.0
97S2	6.2	97S13	11.2		5	9.4
97S3	7.2	97S14	12.8	97S24	0	5.6
97S4	6.6	97S15	13.4		5	33.5
97S5	2.8	97S16	16.9	97S25	0	22.0
97S6	7.0	97S17	5.6		5	9.6
97S7	6.6	97S18	3.8		10	10.8
97S8	7.8	97S19	5.0	97S26	0	35.0
97S9	24.0	97S20	4.8		5	10.4
97S10	23.0	97S21	8.4		10	9.6
97S11	14.4	97S22	15.0	97S27	0	19.0
					5	11.0
					10	11.4

Table IV-6. Location of suspended sediment sites in the Shihwa Lake.

Station	Latitude	Longitude	Water Depth(m)
97S1	37° 17.199 N	126° 35.751 E	3
97S2	37° 17.261 N	126° 38.839 E	2
97S3	37° 17.690 N	126° 35.610 E	11
97S4	37° 17.842 N	126° 35.828 E	13
97S5	37° 17.481 N	126° 36.223 E	7
97S6	37° 16.979 N	126° 36.441 E	2
97S7	37° 17.449 N	126° 36.611 E	7
97S8	37° 18.376 N	126° 36.784 E	18
97S9	37° 17.200 N	126° 38.101 E	2
97S10	37° 17.614 N	126° 38.818 E	10
97S11	37° 18.488 N	126° 38.555 E	10
97S12	37° 17.665 N	126° 41.005 E	7
97S13	37° 18.469 N	126° 40.569 E	8
97S14	37° 19.503 N	126° 40.325 E	3
97S15	37° 19.225 N	126° 41.138 E	2
97S16	37° 17.961 N	126° 41.928 E	7
97S17	37° 18.563 N	126° 41.334 E	7
97S18	37° 18.379 N	126° 42.135 E	10
97S19	37° 17.549 N	126° 42.652 E	3
97S20	37° 19.198 N	126° 43.350 E	2.5
97S21	37° 17.932 N	126° 44.244 E	3
97S22	37° 17.417 N	126° 45.869 E	5
97S23	37° 17.688 N	126° 44.379 E	8
97S24	37° 18.023 N	126° 42.195 E	7
97S25	37° 18.210 N	126° 39.336 E	13
97S26	37° 17.955 N	126° 38.183 E	12
97S27	37° 17.538 N	126° 37.081 E	12

Table IV-7. Concentration of total suspended sediments in the water column, during June, 1997.

Station	SSC(mg/l)	Station	SSC(mg/l)	Station	SSC(mg/l)
97S1	11.33	97S2	6.67	97S3	2.00
97S4	2.67	97S5	6.67	97S6	10.67
97S7	22.67	97S8	6.00	97S9	22.00
97S10	26.00	97S11	19.33	97S12	24.00
97S13	25.33	97S14	21.33	97S15	20.67
97S16	24.00	97S17	24.67	97S18	28.00
97S19	26.67	97S20	18.00	97S21	24.67
97S22	31.33	97S23	24.00	97S24	16.67
97S25	22.00	97S26	15.33	97S27	12.00

제 V 장

수질모니터링 시스템 (WATER QUALITY MONITORING SYSTEM)

연구원 : 김은수

조성록

이지왕(수권과학연)

이건영(동시스템)

제 1 절 서 설

수질 자동 모니터링 시스템은, 각개의 시료에 대한 분석을 통해 이루어져 왔던 기존 수질측정방법의 단점으로 지적되었던 시료수의 한정, 시료가 data가 되기까지의 시간적인 제약, 동시측정의 불가능 등의 단점을 극복하고 시·공간에 따른 연속적인 변화를 측정하여 현장에서 직접 컴퓨터나 단말기를 통해 data를 보거나, 유무선 통신 및 인공위성통신을 통하여 원격에서 실시간으로 data를 받아 볼 수 있는 시스템이다.

현재 운용되고 있는 이러한 수질자동측정시스템은 1) 고정 하우스식 2) 이동선박식 3) 부선식으로 대별할 수 있으며, 각 방법에는 이에 따른 장단점이 있다.

고정 하우스식은 이동이 불가능하다는 단점은 있지만, 한잔소에서 장기적인 모니터링이 필요할 때 이용될수 있으며, 더불어 다른 방법들에 비하여 설치비용이 적게 든다는 장점이 있다. 이 시스템은 강가, 배수구등에 설치되어 수질감시용으로 활용되고 있다. 이동 선박식 측정소는 선박에 측정소를 설치한 것으로 미국과 일본 등에서 이미 시행 중에 있으며, 국내에서도 한국해양연구소에서 이 시스템 설치 과제를 현재 수행 중에 있다. 이동선박식은 하나의 측정 장비시스템으로 광범위한 영역을 모니터할 수 있다는 장점이 있으나, 선박의 운용에 따른 막대한 경비가 소요되는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 정기 운항 선박에 설치하는 등의 방법으로 선박 운용비를 줄이고 있으나, 선박내의 일정부분의 점유에 따른 선박측의 적극적인 도움이 없이는 불가능하다. 마지막으로 부선식은 한 장소에서 한정적인 관측이 필요할 때 이용될 수 있으며, 원하는 장소에 직접 설치를 할 수가 있고 부선을 다른 장소에 이동하는 경우에도 동일한 해역이라면 선박을 이용하여 바로 이동할 수가 있다. 이와 같이 부선식은 일정 이용 기간 후에는 다른 장소로 옮길 수 있다는 장점이 있으나 태풍등의 일기 변화에 민감하며, 유지관리를 위해서 다른 선박 또는 보우트 등이 필요하여 이에따른 유지관리 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다.

미국, 일본, 독일, 영국, 네덜란드, 호주 등 선진 각국에서는 이러한 수질 자동 측정장치들을 현장에 투입하여 90% 이상의 가동률을 유지할 수 있는 실시간 수질 연속 관측소를 이미 실용화하여 수질 감시에 이용하고 있다. 선진국들은 70년대 초부터 각종센서와 자동분석기를 갖춘 무인 측정소들을 강과 호수에서 시범적으로 운영하기 시작했으며, 간단한 센서가 달린 수질 측정장치들을 부선에 부착하여 호수 위에 띄워 놓고 무선으로 측정자료를 수신하는 시스템을 사용하고 있다. 최근에는 표층뿐만 아니라 수심별로 수질을 측정할 수 있는 수중 측정장치

들을 부착하고 2주 이상 태양열 전지와 배터리로 움직이면서 자료를 송신하거나 시료를 채취하여 보관할 수도 있는 시스템도 개발되었다.(GKSS, 1996; Sanyo Techno, 1996).

우리 나라의 기존 수질 측정망은 1,403개소의 조사지점을 대상으로 25개 기관에서 월 1회 내지 4회의 수동측정을 하도록 되어 있다. 한편 수질 자동측정장치는 1974년 노량진과 뚝도 수원지에 최초로 설치된 이래 대부분이 취수구 앞 또는 취수장에 설치되어 정수장으로 유입되는 취수원수의 수질을 감시할 목적으로 운영되어 왔다. 한때 수질 자동 측정장치는 운영관리 및 측정자료의 신뢰성에 문제가 있어 설치를 등한시 하는 경향이 있었으나, 최근 자동측정에 대한 필요성이 새로이 인식되고 있다(류, 1996). 환경부에서는 1992년 9월부터 한강수질검사소에서 일부 항목에 대한 측정장치를 설치하여 시범 운영해 오고 있으며, 향후 주요 상수원과 공단 배수로에 수질 자동측정장치를 설치·운영할 계획으로 있다. 환경부는 '95년 예산으로 이미 대구 성서 공단과 낙동강 본류에 설치할 장비를 도입하였으며, 그 외의 장소에는 정부에서 운영하는 측정소를 연차별로 확충해 나갈 계획에 있다.

본 연구는 우리나라의 실정에 맞는 수질자동모니터링 시스템의 기술을 확립·축적함과 동시에 특히, 시화호의 환경변화요인을 무인측정시스템을 활용하여 상시 감시할수 있는 체계를 구축하는 것에 있다.

제 2 절 연구방법

1. 기기 선정

1). CTD : OTRONIX사 SBE 21

CTD 본체는 가로 480mm 세로 510mm 폭 230mm이고 두께가 3/4" 의 PVC 판으로 되어 있으며, 직경 100mm에 높이 460mm의 내장 Water Jacket, 센서하우징(수온, 전도도)과 4개의 25A PVC밸브 및 25A PVC파이프로 구성되어 있다(한국해양연구소, 1997). CTD는 4개의 PVC밸브는 각각 해수용취수구, 청수의 취수구, 배수구와 Drain Water의 배수구로 구성되어 있다. 배수구를 제외한 3개의 밸브는 하나의 라인으로 구성되어 있다. Water Jacket내에는 수온센서, 전도도 센서 및 Junction Box와 Remote센서의 cable을 연결할 수 있는 cable 커넥터가 부착되어 있다.

Junction Box는 전원 system, A/D 컨버터 및 통신 system으로 구성되어 있고, 전원은 AC 85V~220V 사용한다. Input은 센서에 샘플링한 Frequency 혹은 전압의 아날로그 신호이고, output은 A/D 컨버터를 통해서 나온 디지털 값이다. 이 디지털값은 RS-232 cable을 통해서 PC로 연결되어 OTRONIX사에 제공한 소프트웨어를 통해 계산되어 아스키값의 data가 된다. 또한 Junction Box는 외부에 GPS를 연결할 수 있는 커넥터도 준비되어 있지만 본 연구는 고정적인 위치를 가지는 고정하우스 형태이므로 사용을 하지 않는다.

SBE 21은 CTD에 부착된 수온센서와 전도도센서 뿐만 아니라, 2개의 Remote 센서를 추가로 부착시킬 수 있다. 본 연구에서는 용존산소와 수소이온농도센서를 부착하였다(수온센서와 전도도센서의 사양은 전년도 보고서를 참조).

2). 용존산소(DO) : Remote Dissolved Oxygen sensor SBE 13

DO sensor는 Beckman 방식이며, O₂ current와 O₂ temperature를 아날로그 신호(voltage)로 output된다. 센서 자체에 온도 센서가 부착되어 온도 보정을 한다.

3). 수소이온농도(pH) : Remote pH sensor SBE 18(Innovative type)

pH sensor는 Ag/AgCl 유리전극을 사용하였다. DO의 경우는 housing이 SBE 21에 기본 장착되어 있으나, pH housing은 테프론을 재질로 하여 특별제작하였다. 제작된 pH housing은 CTD의 배수구에 장착하였으며, pH housing의 도면은 전년도 보고서에 실려있다.

4). 형광계 : Turner Design사 Turner

클로로필-*a*의 측정장치로써, 연동펌프를 활용한 시료주입식으로 연속측시시스템이다. water jacket을 통하여 약 1ℓ/min의 시료가 형광계로 유입된다(Fig. V-1).

2. 수질자동모니터링 시스템 부지선정

본 시스템의 부지는 (Fig. V-2)에서 보는 것과 같이 시화호 배수관문 옆을 선정하였으며, 수질자동측정시스템은 3m×3m의 컨테이너에 장착하여, 시화호 갑문 안측 약 30m 지점에 설치하였다.

취수구는 본 시스템의 남쪽방향으로 설치하였고, 수심 약 2m에서 수중펌프를 이용하여 시료를 얻는다. 배수구는 시료 취수시 영향이 미치지 않는 동쪽방향으로 하여 설치하였다.

3. 모니터링 시스템 설계 및 제작

1). 펌프 및 배관

펌프선정은 모니터링의 시료에 해수가 함유되어 있으므로 재질로는 SUS 316, SUS304 혹은 테프론 등의 재질을 사용하여야 한다. 본 연구에는 테프론 재질로 된 독일에서 생산되는 펌프를 사용하였다. 펌프사양은 총양정이 6m이고 토출량은 분당 90ℓ이다. 배관재질에는 SUS304 파이프를 사용하였으며, 송수관의 관경은 주배관은 25A로 하고 일부 측정기기의 유입구 관경에 따라 그에 맞는 크

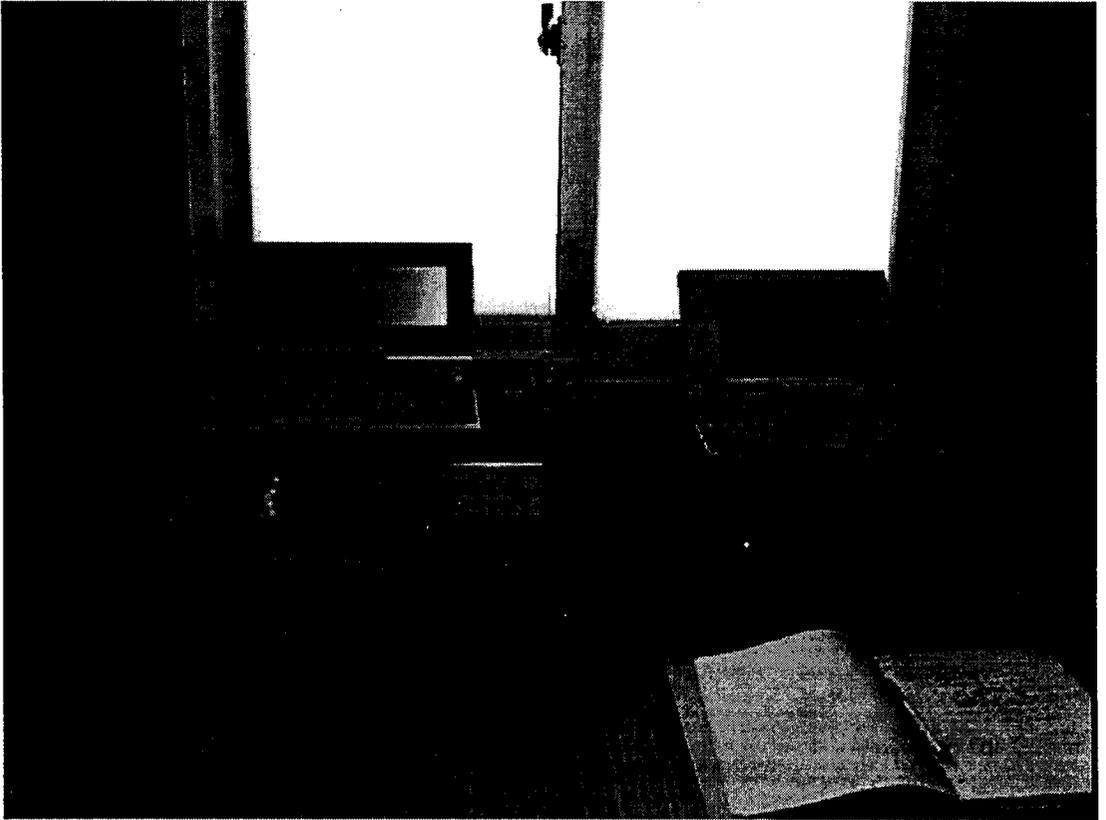


Fig. V-1. Fluorometer for measuring chlorophyll-*a*.



Fig. V-2. Water quality monitoring system established by the side of watergate in Shihwa Lake.

기를 사용하고 또한 유지보수를 고려하여 일부는 내압호수와 tigon tube를 사용하였다. 그리고 배수관은 재질을 PVC로 하고 일부 파손의 위험이 있는 부분은 SUS 304를 사용하였으며 관경은 50A와 65A를 사용하였다.

2). Water Jacket

water jacket의 용도는 SBE21에 내장 water jacket이 있지만, 펌프에서 보내진 시료를 각각의 측정기에 송수하기전 강한 수압으로 인한 측정센서의 보호를 위한 수압조절 및 공기 방울을 제거에 있다.

W.J.의 재질은 수위조절과 공기방울의 유무 및 시각적인 수질상태등을 파악하기 위하여 투명 아크릴 파이프를 사용하였고(Fig. V-3 참조), 취수구, 송수구, 배수구 등을 설치하였으며, 지름 100mm, 높이 1,000mm이다.

3). 컨테이너, 캐비닛 등 기기 배치

컨테이너는 해안가에 설치한다는 것을 고려하여 재질을 FRP하였으며 크기는 가로 3m, 세로 3m, 높이 2.2m로 하였다.

캐비닛은 측정기기들의 크기와 컨테이너 내에서의 배치 등을 고려하여 가로 0.8m, 세로 1.8m, 깊이 0.5m로 선반의 높이를 자유로이 조절할 수 있게 설계·제작하였다.

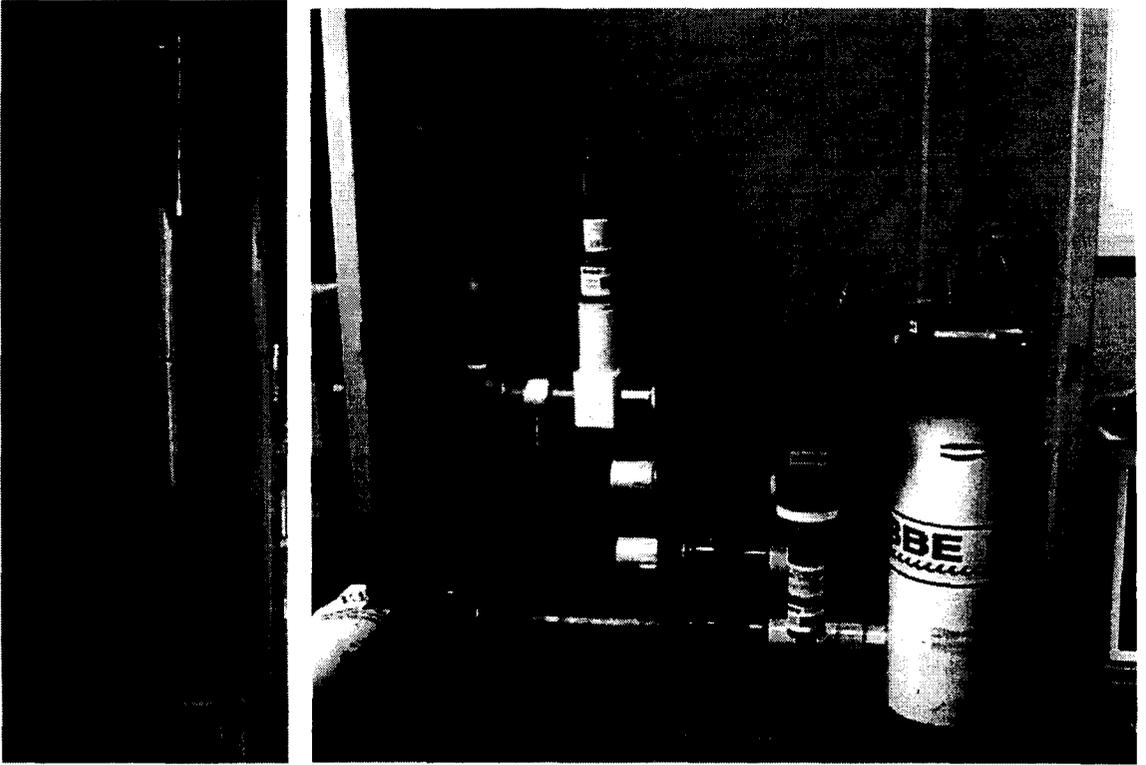
4). Control Box

Control Box는 CTD로부터의 출력되는 Low Data를 실시간으로 무선 전송하는 제어장치이다. Control Box의 제어장치구성은 아래와 같다.

● DC Power supply

AC220 Volt를 주 전원으로 사용하며 출력은 DC13.8V이며 전류용량 34A의 regulated DC Power Supply를 사용하고 있다. 이 전원은 SBE21 Junction Box용의 DC-AC Inverter와 RF Data Modem, 그리고 VHF Transceiver의 전원으로 사용하며, 동시에 Charger로서 DC12V Rechargeble Battery를 충전하는 Floating Charger로 사용하고 있다.

이 부동충전식 전원장치는 AC와 DC를 동시에 병렬로 사용하여, 정상일 때



Fig, V-3. Water jacket and CTD(SBE 21).

는 직류전원장치의 출력을 사용하고, 정전 시에 축전지로부터의 출력을 별도의 부가장치 없이 자동적으로 정전대비작동이 된다.

장시간 정전 후에도 축전지는 과잉 방전이 되지 않도록 충분한 용량을 가져야 하며, 전원회복 시에 최대충전전류를 자동적으로 제한하는 정전류 제한회로 및 충전종료전압으로 정전압제어가 되는 정전압제한회로를 가지고 있는 직류안정화 전원을 사용하고 있다.

● Rechargeble Battery

DC12 Volt 350Ah의 대용량 자동차용 축전지를 부동충전방식으로 사용하고 있다. 충전전압은 13.8Volt이며, 최대충전전류는 8시간 충전전류로 35A를 최대로 충전토록 하고 있으며, 방전 후 10시간이면 만 충전이 될 수 있도록 하고 있다.

● DC-AC Inverter

DC-AC Inverter는 SBE21 Junction Box의 전원이 DC12 Volt로 전환이 안되어, AC220 Volt로만 사용이 가능토록 되어 있어서 부득이 DC입력으로 AC출력이 나오는 DC-AC Inverter를 사용하였다. 이 장치는 자동차에서 교류전원 기기를 사용하도록 설계된 장치를 이용하고 있다. 출력용량은 100Watt로 항상 작동하고 있다.

● SBE21 Junction Box

SBE21 Junction box는 1개의 RS232C 입력과 1개의 GPS NMEA 0183 TTL 입력을 각각 입력받아 설정된 시간간격으로 1개의 RS232c를 출력하는 직렬통신 신호 연결장치이다. 현재는 매 3분마다 CTD로부터 자료를 검출하여 PC로 송신하도록 Sample Interval을 사용하고 있다.

● RF Data Modem

RF Data Modem은 PC에서 Logging된 송신자료를 무선으로 원격 전송하는 장치이며 9600bps의 RS232C 직렬신호를 입력받아 일반음성용 무선통신 기기를 이용하여 송수신할 수 있도록 직렬신호를 1200bps FSK 신호로 변조, 복조하는 장치이다. 신호변환방식은 동기식 HDLC를 무선용으로 개조한 AX25 Level 2를 사용하여 Encoding, Decodig을 한다. 신호전송오류검출은 CRC16으로 내부에서 자동적으로 검출하고 있다. 무선통신기기와의 연결은 음성신호를 사용하며, Bell 103규격을 사용하고 있다. 입출력 임피던스는 600 ohm이다. 전원은 DC12 Volt를

사용하고 있다.

- VHF Voice Transceiver

VHF Voice Transceiver는 VHF대역의 137MHz에서 172MHz까지의 통상적인 일반용 주파수대를 사용하는 단신방식의 주파수변조형 무선통신 기기이며, 출력은 50Watt이고, 전원은 DC12 Volt이다. 고주파 측의 안테나 정합저항은 50 ohm이다. 사용 주파수는 현재 한국해양연구소의 실험허가 주파수인 150MHz대를 사용하고 있다.

- VHF Beam Antenna

VHF Beam Antenna는 2 개의 Swiss Quad Antenna를 수평으로 병렬 접속한 1Stack Antenna이며 3 Meter의 Steel Pipe위에 장착하여 Pear to Pear로 송수신 방향을 서로 맞추어 설치하였다. Steel Pipe는 컨테이너의 지붕 위에 수직으로 설치하였다. 시화호 대부도 갑문에서 한국해양 연구소까지의 직선거리는 약 22Km인데 현재 신호강도 59+로 양호한 쌍방향 무선통신회로를 구성하고 있다. 수신 및 송신 전송 제어장치는 Fig. V-3과 4와 같다.

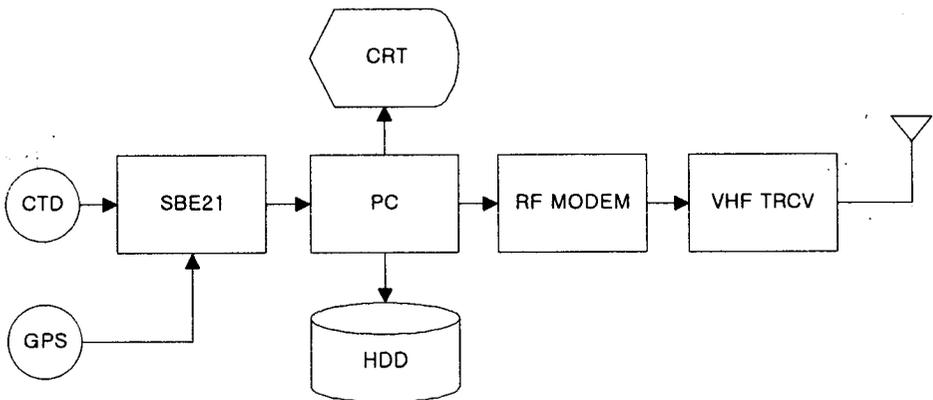


Fig. V-4. Systematic diagram of receiving control apparatus.

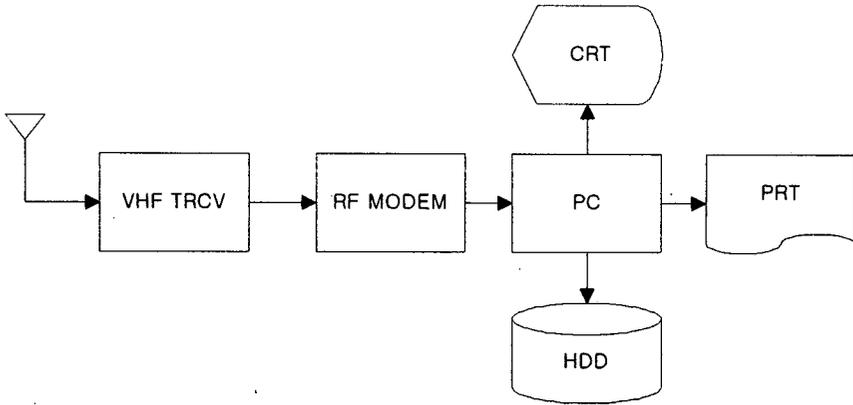


Fig. V-5. Systematic diagram of transmitting control apparatus.

5). 기타

갑작스런 정전으로 인한 시스템 손상을 방지하기 위하여 펌프의 전원을 제외한 모든 전원을 DC로 바꾸었으며 대용량 밧데리팩을 설치하였다. 또한, 동절기에 컨테이너 내부온도가 적정온도 이하로 떨어지는 것을 방지하기 위하여 전기라지에타(용량 3kw)를 설치하였다.

Table V-1. Data collected from the water quality system of Shihwa Lake
(1997년 11월 30일).

시 각	온도 ℃			염분%			용존산소 mg/l			수소이온농도			자 료 수
	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	
0	8.63	8.65	8.60	24.28	24.28	24.27	9.97	9.97	9.96	7.21	7.22	7.21	46
1	8.62	8.64	8.61	24.29	24.30	24.28	9.97	9.97	9.96	7.21	7.22	7.21	56
2	8.62	8.64	8.60	24.31	24.32	24.30	9.97	9.97	9.96	7.21	7.22	7.21	52
3	8.60	8.63	8.54	24.32	24.33	24.31	9.97	9.98	9.96	7.21	7.22	7.21	51
4	8.52	8.55	8.50	24.30	24.31	24.29	9.99	9.99	9.98	7.21	7.21	7.21	48
5	8.47	8.52	8.44	24.30	24.31	24.30	10.00	10.01	9.99	7.21	7.22	7.21	52
6	8.47	8.50	8.45	24.31	24.32	24.30	10.00	10.00	9.99	7.21	7.21	7.21	51
7	8.50	8.53	8.44	24.33	24.34	24.32	9.99	10.01	9.99	7.21	7.21	7.21	52
8	8.49	8.51	8.47	24.34	24.36	24.34	9.99	10.00	9.99	7.21	7.22	7.21	50
9	8.52	8.54	8.50	24.36	24.37	24.35	9.99	9.99	9.98	7.21	7.22	7.21	53
10	8.55	8.59	8.52	24.35	24.36	24.35	9.98	9.99	9.97	7.22	7.22	7.21	56
11	8.60	8.66	8.57	24.33	24.35	24.32	9.97	9.98	9.96	7.22	7.22	7.22	51
12	8.74	9.16	8.60	24.32	24.34	24.29	9.94	9.97	9.84	7.22	7.23	7.22	49
13	9.00	9.24	8.88	24.32	24.36	24.29	9.88	9.90	9.83	7.22	7.22	7.22	50
14	8.95	9.18	8.77	24.32	24.35	24.28	9.89	9.93	9.84	7.22	7.22	7.21	51
15	8.95	9.11	8.77	24.34	24.36	24.32	9.89	9.93	9.85	7.22	7.22	7.21	49
16	8.87	8.97	8.72	24.37	24.43	24.34	9.91	9.94	9.88	7.22	7.22	7.21	54
17	8.82	8.91	8.76	24.35	24.40	24.34	9.92	9.93	9.90	7.21	7.22	7.21	49
18	8.67	8.76	8.59	24.36	24.40	24.34	9.95	9.97	9.93	7.21	7.22	7.21	54
19	8.55	8.59	8.50	24.37	24.38	24.36	9.98	9.99	9.97	7.21	7.22	7.21	54
20	8.48	8.52	8.46	24.37	24.38	24.36	9.99	10.00	9.98	7.21	7.22	7.21	50
21	8.45	8.47	8.40	24.38	24.38	24.36	10.00	10.01	10.00	7.21	7.22	7.21	57
22	8.40	8.42	8.38	24.38	24.40	24.37	10.01	10.02	10.01	7.21	7.22	7.21	54
23	8.37	8.41	8.30	24.40	24.40	24.39	10.02	10.03	10.01	7.21	7.21	7.21	53
일	8.62	8.24	8.30	24.34	24.43	24.27	8.87	10.03	8.83	7.21	7.23	7.21	1242

Table V-1. Continued(1997년 12월 1일).

시 각	온도℃			염분%			용존산소 mg/l			수소이온농도			자 료 수
	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	
0	8.26	8.30	8.23	24.39	24.40	24.39	10.04	10.05	10.03	7.21	7.21	7.21	51
1	8.25	8.29	8.22	24.40	24.41	24.39	10.05	10.05	10.04	7.21	7.21	7.21	48
2	8.21	8.24	8.17	24.40	24.41	24.39	10.05	10.07	10.05	7.21	7.21	7.21	53
3	8.18	8.21	8.15	24.41	24.42	24.39	10.06	10.07	10.06	7.21	7.21	7.21	52
4	8.15	8.20	8.09	24.42	24.45	24.41	10.07	10.08	10.06	7.21	7.21	7.21	47
5	8.10	8.15	8.05	24.44	24.46	24.42	10.08	10.09	10.07	7.21	7.21	7.21	49
6	8.05	8.09	8.02	24.45	24.47	24.43	10.09	10.10	10.08	7.20	7.21	7.20	40
7	8.01	8.04	7.97	24.46	24.48	24.44	10.10	10.11	10.09	7.20	7.21	7.20	47
8	8.00	8.02	7.97	24.47	24.49	24.45	10.10	10.11	10.10	7.21	7.21	7.20	39
17	7.70	7.72	7.68	24.53	24.54	24.52	10.17	10.17	10.16	7.21	7.21	7.21	6
18	7.63	7.72	7.50	24.55	24.60	24.51	10.18	10.21	10.16	7.20	7.21	7.20	53
19	7.61	7.94	7.45	24.65	25.08	24.52	10.18	10.22	10.07	7.20	7.21	7.20	53
20	7.99	8.00	7.96	25.15	25.19	25.08	10.06	10.07	10.05	7.20	7.21	7.20	14
일	8.03	8.30	7.45	24.48	25.18	24.38	10.08	10.22	10.03	7.21	7.21	7.20	552

- 자료의 평균은 1분 간격으로 받은 자료의 시간별 평균자료이며, 최대 최소값은 각 시간내의 최대 및 최소값임.

제 3 절 결과 및 고찰

시화호의 경우와 같이 배수갑문을 작동하여 호내의 물을 방류하고, 외해수를 유입하는 등 주위환경변화에 따라 수질변화가 심하며, 장시간에 걸친 모니터링이 필요할 경우에는 무인자동모니터링 시스템이 사람이 직접 샘플링하여 분석하는 다른 방법들과 비교하여 매우 경제적이며, 또한 언제든지 원격에서 실시간 data를 직접 볼 수 있다는 장점이 있다. 이러한 관점에서 보면 시화호의 수질모니터링을 위해서는 무인자동모니터링 시스템의 운용이 가장 적절한 관측방법이라고 할수 있다.

현재 시화호 갑문안측에 설치하여 갑문을 통과하는 해수의 수온, 염분, 용존 산소, pH, 클로로필-a 등의 항목을 측정하는 무인모니터링시스템이 시험작동중에 있으며, 이 장비들은 시화호의 수문장으로서의 역할을 담당할 것으로 있다.

클로로필-a의 자료는 시스템의 컴퓨터에 저장되게 되어 있으며, 그 외의 자료는 무선통신을 통하여 원격지에서 관리된다.

CTD의 remote sensor인 pH는 SBE사 제품이지만 이 센서는 Junction Box와 문제가 있는 것으로 판단된다. Junction Box의 역할은 Voltage와 Frequency로 출력되는 센서의 신호를 통합하여 Main Control Computer로 보내주는 역할을 하는데 계속되는 동작에 예고없이 정지하는 일이 종종 발생한다. 이러한 문제해결을 위해서는 새로운 Junction Box의 제작이 불가결하다고 판단된다. 시스템의 시험가동중에 이러한 원인을 정확히 파악하여 시스템정지를 제거하는 것이 중요한 과제이다.

Table V-1은 그 출력자료의 일부로서 현재 1분 간격으로 출력되고 있으며, 기상 등의 장애요인에 의해 출력이 안되는 경우도 발생하고 있다. 11월부터 시스템을 가동하고 있는데, 정전, 펌프 이상, 통신불량 등에 자주 시스템의 고장으로 연속적인 자료획득에 어려움을 나타냈다. 자료중 다른 자료는 실험실에서의 분석 자료와 거의 일치하고 있으나, pH는 신빙성이 없으므로 향후 센서의 교정이나 교체 등을 고려하고 있다. 현재, 매일 자료를 연구실에서 받고 있으나, 정상적인 자료를 얻기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요할 것으로 판단된다.

자동관측자료는 무인시스템하에서 작동하는 각종센서에 의한 값이므로, 정기적으로 보정해줄 필요가 있으며, 더불어 부착성 생물들의 영향을 최소화하기 위해서는 정기적으로 점검할 필요가 있다. 특히, 점검시에는 각 센서들의 특성에 맞추어 정확한 보정을 실시하고, 운영상의 문제점들을 보완하며 향상시키는데 그 목적이 있으나, 현재는 유지관리보수인력의 부족으로 인한 정확한 유지관리 보수

에 문제점이 있다. 이와 같은 문제는 유지관리보수 전문업체에 위탁하는 것으로 해결할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

Beckman Inc., 1996. ISFET pH meter.

GKSS. 1996. MERMAID: intelligent pollution monitoring.

Hiiro, K., 1992b. Automated in situ measurement of nutrients. in: automatic measurement of water quality in lakes and rivers. Chungbook University.

Sanyo Techno Marine. 1996. ADSAS: advanced sea data aquisition system.

류재근. 1996. 수질 자동 모니터링 시스템의 현황과 전망. 한국수질보전학회지 12(1): 1-12.

한국해양연구소. 1997. 시화호의 환경변화조사 및 보전대책 수립에 관한 연구(1차년도). 한국해양연구소 보고서. BSPN 96325-985-4.