

BSPE 98701-00-1153-3

갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구
(2차년도)

Tidal Flat Studies for Conservation
and Sustainable Use

한 국 해 양 연 구 소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구”의
2차년도 보고서로 제출합니다.

1998년 12월 31일

총괄연구책임자 : 제 종 길

분 야 책 임 자 : 우한준 (퇴적환경 분야)

제종길 (생태계 분야)

참 여 연 구 원 : 정갑식, 이희준, 권수재

김광산, 김호영, 강정은

김성은, 박은순, 추용식

이연규 (이상 퇴적환경 분야)

이재학, 곽희상, 김상진

유재명, 장 만, 김종관

이홍금, 최진우, 이정현

신경순, 권개경, 김동성

이종수, 이형곤, 이시완

신상호, 구분주, 황선완

이우진, 정성영, 이현상

윤희정, 윤광미, 박수진

노재훈, 민병미, 채진호

김은희, 안혜진, 박현수

이수진, 선혜영, 김완수

(이상 생태계 분야)

요 약 문

I. 제 목

갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

갯벌은 육상과 해양생태계 사이에 위치하는 이행대로서 두 공간의 환경을 부분적으로 공유하지만 두 생태계의 특성과는 판이하게 다른 생태적 특징을 가지고 있는 연안습지이다. 한반도 서해안에는 이런 갯벌이 광활하게 발달해 있다. 갯벌은 연안개발과 오염으로 점차 사라져 가고 있는 시점에 갯벌의 중요성이 새롭게 인식되기 시작하고 있다. 중요성이란 사람들이 살아가는데 절대적으로 필요한 요소들을 갯벌이 가지고 있다는 것을 의미한다. 풍부한 수산물을 제공해 줄뿐만 아니라 오염물질을 정화하고, 자연재해를 저감시키고, 자연을 즐기고 학습할 수 있는 장소를 제공해 주는 등, 실로 다양한 기능과 가치들을 가지고 있다. 갯벌과 그 주변부에 많은 영양염은 해양생물들이 이곳을 산란장과 성육장으로 이용하게 하게 한다. 이러한 기능들은 기본적으로 갯벌의 생태계와 그 생물다양성에 기초한다. 갯벌은 수많은 생물들이 연계된 생태계를 구성하고 있으며, 이 생태계는 갯벌이 자연적인 기능을 수행할 수 있도록 뒷받침하고 있다.

갯벌의 중요성이 부각되고 보존의 필요성이 제기되고 있지만, 우리 갯벌에 대한 정보는 미약하여, 갯벌의 활용과 보전과 관련된 여러 가지 요구에 효과적으로 대처하지 못하고 있다. 이에 서해안에서 비교적 자연상태를 잘 유지하고 있는 강화도 남단 갯벌에서 생태계와 그 퇴적환경을 조사하여 개념적인 생태계 모델을 완성하고, 자연에서 갯벌이 가지고 있는 기본적인 역할을 밝히고자 한다. 갯벌에 대한 기초적인 자료들은 향후 다른 지역의 갯벌 연구와 보전에 크게 활용될 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 강화도의 개관
- 갯벌의 지형과 퇴적환경 연구
 - 조간대 표층퇴적물 입도 통계변수를 이용한 이동경로 추정
 - 반복측량에 의한 주기별 조간대 지형변화 파악
 - 조간대 집적을 측정에 따른 퇴적물 집적 및 침식작용 분석
 - 조간대 퇴적물의 지화학적 분석
- 갯벌의 생태계 연구
 - 강화도 남단 갯벌의 미생물 분포 및 유기물분해활성
 - 갯벌의 미세조류의 생물량 및 생산량
 - 동물 플랑크톤의 분포와 조수에 의한 일주이동
 - 갯벌 주변 염습지의 저서생물의 분포
 - 중형저서생물의 군집구조, 섭식 및 생산량
 - 강화도 남단 갯벌의 대형저서동물군집
 - 강화도 남단 갯벌의 어류자원
 - 강화도 여차리 갯벌에 도래하는 섭금류와 잠재적 식이물
 - 서식지 지도 작성

IV. 연구개발결과

○ 강화도의 개관

강화도는 우리 나라 5 대 도서 중의 하나로 총면적은 약 410 km²에 달하며 한강과 예성강 담수유입의 영향을 크게 받는다. 주변에는 무수한 섬들과 사초들이 발달하여 있으며 특히 남부에는 세계자연기금(WWF)과 아시아습지 보호협약(AWB)에 주요 습지로 목록화된 광활한 갯벌(약 90 km²)이 발달하여 있다.

강화도는 선캠브리아 화강암질 경기편마암체로 구성되어 있으며, 북부지역에서는 전기원생대의 흑운모 편암이 존재하기도 한다. 경기편암체는 트리아스

기에 광역변성작용을 받았으며, 유라기에 관입한 대보화강암은 강화도의 높은 산들을 형성하고 있다. 제 4기 충적층은 이들 산의 계곡이나 평야지대를 이루고 있다.

과거 8년간 평균기온은 1월에 가장 낮아 평균 영하 2.5℃, 8월에 가장 높아 평균 25.2℃가 기록되며, 연평균기온은 10.9℃이다. 최근 (1997년 7월-1998년 6월) 1년동안의 월평균기온은 과거에 비해 9월과 10월을 제외한 전 기간에 걸쳐 기온이 낮아졌으며 1998년 2월에는 거의 5℃나 낮아졌다. 최근 5년 동안 월평균수온은 기온의 변화와 거의 일치하며, 해수의 특성상 12월에서 4월까지 그리고 강수량이 많은 7월에는 기온보다 항상 낮으나 그 외의 기간에는 높다.

강수량 최근 6년간의 년 평균 강수량은 95.7 mm였고, 변화 폭이 크지만 7월에는 평균 363 mm, 8월에는 200 mm로 7월과 8월에 집중된다. 1996년 7월부터 1998년 6월까지의 연평균 강수량이 124 mm였고, 8월에는 615 mm로 집중호우가 있었다.

조석은 전형적인 일일 2주기로 연중 25회의 고조와 저조의 반복이 뚜렷하고, 월간변화는 7월을 제외하고는 전 기간에 걸쳐 조금과 사리의 부등현상이 뚜렷하다. 극최대조차는 11월의 사리 1일 후인 5일에 10 m, 최소조차는 상현후 2일 후에 약 4 m이다. 조류는 지역에 따라 다르나 장봉수도에서는 창조류가 우세하나 석모수도와 염하수로에서는 낙조류가 우세하다.

○ 갯벌의 지형과 퇴적환경 연구

강화도 남단 갯벌조간대의 표층퇴적물은 여섯 개의 퇴적상으로 구성되어 있다. 동검도 근처에는 니질(펄)퇴적물이 우세하며, 연구지역 서쪽 방향으로 사질(모래)성분이 점차 증가한다. 분급도는 일반적으로 매우 불량하나, 서쪽 방향으로 상대적으로 점차 양호해지는 경향을 보인다. 1997년의 표층퇴적물 입도 성분은 1991년의 입도 성분보다 세립하게 나타났다. 표층퇴적물의 조직변수를 이용한 순 퇴적물 이동 경로는 장화리 조간대의 퇴적물은 북서쪽으로 이동하며, 화도면 조간대 퇴적물은 북동쪽으로 이동하여 길상면 조간대에 집적되는 것으로 나타난다. 수준 측량과 표층퇴적물 집적을 변화 측정 결과 연

구지역 조간대는 여름철에서 늦가을까지 전반적으로 침식이 진행되며, 겨울철에 퇴적이 일어나는 것으로 나타난다.

코어 퇴적물내 미량원소들은 깊이 12 - 14cm를 경계로 입도와 주요원소들의 구성에 따른 차이로 수직적인 분포가 정점별 다르게 나타났다. 분포 특성에 따라 미량원소들은 두 그룹으로 나눌 수 있었다. 첫째로, 표층으로 가면서 증가하는 경향성을 갖는 Fe, Mn, V, Cr, Co, Zn들로 이들은 상대적으로 안정적인 황화물 형태 및 광물구성 그리고 철-망간 수산화물의 영향 등과 갯벌 주위에 이루어지고 있는 인위적인 개발에 따른 복합적인 결과로 해석하였다. 두 번째로, Cu과 Ni 원소들로 주로 입도의 특성에 따라 분포함이 조사되었다.

○ 갯벌의 생태계 연구

- 강화도 남단 갯벌의 미생물 분포 및 유기물분해활성

1997년도에 이어 강화도 남단에 위치하는 선두리와 여차리의 갯벌에서 총세균수, 종속영양세균수 및 황산염환원세균의 분포와 세포의 효소활성, 세균생산력 등을 측정하였다. 총세균수는 선두리갯벌과 여차리갯벌에서 각각 $1.46 \sim 2.67 \times 10^{11}$ cells/cm³, $0.12 \sim 2.38 \times 10^{11}$ cells/cm³의 분포를 보였으며 종속영양세균수, 황산염환원세균수 등과 함께 봄철에 비해 여름철에 큰 폭의 증가를 보였다. 표층에서 측정된 aminopeptidase의 가수분해력은 선두리갯벌과 여차리갯벌의 표층에서 각각 23.4~47.93 nmol/cm³/hr, 10.9~108.6 nmol/cm³/hr의 분포를 보였으며 16 cm깊이까지의 세균생산력은 선두리갯벌과 여차리갯벌에서 계절에 따라 각각 0.57~6.07 g-C/m²/day, 0.77~5.48 g-C/m²/day였다. 상대적으로 필갯벌에서 높은 세균분포를 보였으나 세균활성은 모래갯벌에서 더 높았으며 5월의 세균분포 및 활성이 가장 높게 나타났다. 강화도 남단 갯벌에서의 세균분포와 활성은 일차생산자의 분포에 영향을 받는 것으로 생각되며 열대 맹그로브지역 퇴적물(mangrove sediment)과 비슷한 수준의 높은 세균분포 및 활성을 지닌 것으로 평가된다.

- 갯벌에서의 미세조류의 생물량 및 생산량

1998년 8월 강화도 여차리의 펄 갯벌의 퇴적물에 서식하는 미세조류의 생체량과 일차생산력을 조사하였다. 창조 시에는 조간대 표층해수의 식물플랑크톤의 생체량과 일차생산력을 조사하였다. 규조류는 퇴적물내의 미세조류중 90% 이상을 차지하며 우점하였고, 다음으로는 *Lyngbya* 형태의 남조세균이 높은 현존량을 나타냈다. 미세조류는 퇴적물 0~2mm층에서 정점별로 퇴적물 1g의 건조 중량당 478,880~2,065,100의 세포수를 보였으며, *Navicula phyllepta*, *Navicula pargemina*, *Entomoneis paludosa*, *Surirella gemma* 등의 운동능력을 보이는 종들이 우점종으로 나타났다. 엽록소-a 농도는 퇴적물 0~2mm층에서 정점별로 2.3~8.3 $\mu\text{g/g}$ 의 농도를 나타냈다. 퇴적물내의 미세조류 세포수와 엽록소-a 농도의 2mm 간격의 수직분포는, 0~2mm에서 가장 높고 깊이별로 감소하는 유사한 경향을 나타냈다. Phaeopigment 농도도 퇴적물상층에서 높고 깊이에 따라 감소하는 분포를 보였다. 밀물시 표층해수에서는 주로 부유성 식물플랑크톤이 우점하였고, 13~17% 정도는 퇴적물에 서식하는 microalgal group이 나타났다. 이는 퇴적물에 서식하는 미세조류가 퇴적물과 강하게 결합되어 있음을 나타낸다.

조간대 퇴적물에서는 대기 노출시 $8.93\sim34.32 \text{ mgC m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 일차생산력을 보였다. 밀물시 해수의 유광대 내에서는 $19.2\sim37.7 \text{ mgC m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 을 보이는 것으로 계산되어, 퇴적물에서와 유사한 값을 나타냈다. 그러나 동화계수는 퇴적물에서 0.72~1.43, 해수에서 15.34~19.5를 보여 해수에서 높은 값을 보였다. 이는 퇴적물의 높은 소광계수 때문에 표층의 미세조류도 광합성을 제한 받음을 시사한다. 따라서 퇴적물의 미세조류는 해수중에 재부유하였을 때 높은 일차생산을 할 잠재적 가능성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

- 동물플랑크톤의 분포와 조수에 의한 일주이동

갯벌에서의 조수 변화가 동물플랑크톤의 분포에 주는 영향을 조사하였다. 시료는 1998년 4월, 5월, 그리고 10월에 강화도 남단의 여차리와 동검도 부근의 조간대 해역에서 플랑크톤 네트와 조수를 이용한 trap 등을 이용하여 얻었고, 특히 동검도에서는 24시간 이상 연속적으로 채집하여, 동물플랑크톤의 일

일변화를 조사하였다. 조사해역에서의 동물플랑크톤은 주로 요각류, 곤쟁이류, 난바다곤쟁이류, 그리고 십각류와 따개비류의 유생들로, 갑각류가 대부분이었다. 이들 갑각류 동물플랑크톤은 조수의 일일변화에 따라 정해진 정점에서 분포농도에서 큰 변화를 보였다. 5월의 연속채집에서, *Acartia bifilosa*를 비롯한 요각류들과 십각류의 zoea 유생은 아침과 오전에 특히 높은 개체군 밀도를 기록하였으며, 10월의 trap 시료에서 난바다곤쟁이는 해안의 방향으로 밀려오는 조수에 의하여 낮보다 밤에 유의할 만한 양으로 더 높은 개체수가 이동되었다. 이것은 조사 해역에 우점하는 동물플랑크톤이 낮 동안 저층 가까이 분포하고 밤에 위로 분산하는 일주수직이동(diel vertical migration)이 조수와 연관되어 얻어진 결과라고 생각된다.

- 갯벌 주변의 염습지 식생과 저서생물의 분포

강화도 동검도 남쪽 지역 염습지 식생대에 서식하는 대형저서생물의 분포를 파악하기 위해 한 개의 조사지선(transect)을 선정하였다. 조사지선 상의 아홉 정점에서 1997년 7월부터 1998년 6월까지 12개월 동안 월별조사를 수행하였다.

대형저서생물의 채집은 각 정점에 주상시료채취기(can corer)를 사용하여 각 정점별 2회씩 채집하였으며, 동시에 염생식물의 피도(coverage)를 방형구(50 × 50cm)를 사용하여 조사하였다. 또한 환경요인은 공극수의 염분농도와 퇴적물 온도, 유기물 함량, 수분함량, 노출시간 등을 조사하였다.

염습지 식생에 서식하는 대형저서동물은 총 44종이었으며, 평균밀도는 671 개체/0.25m²이며, 평균생물량은 45.3 gWwt/0.25m²으로 나타났다. 종수는 절지동물이 13종(29.5 %)으로 가장 많은 종 수를 보였으며, 환형동물 12종(27.3 %), 연체동물 8종(18.2 %) 순으로 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 개체수와 생체량에 있어서는 연체동물이 평균밀도 546개체/0.25m²(81.4 %), 평균생물량 33.0 gWwt/0.25m²(72.8 %)으로 가장 높게 나타났다.

저서동물의 시·공간적 분포는 종 수, 개체수, 생체량 모두 5월과 6월에 높은 증가를 보였으며, 종 수는 염생식물의 서식밀도가 낮은 하부에서, 개체수와 생체량은 염생식물의 밀도가 높은 중부에서 높게 출현하였다.

우점종은 연체동물에 속하는 갈색새알조개(*Glaucanome chinensis*)와 기수우렁이(*Assiminea lutea*)로 나타났다. 두 우점종의 서식밀도는 3월부터 6월에 증가하는 경향을 보였으며, 염생식물의 서식밀도가 높은 중부에서 높은 서식밀도를 나타내었다. 그러나 갈색새알조개는 염생식물이 출현하지 않은 지역에서 서식하였으며, 분포지역은 주로 염습지 식생이나 또는 갯벌 상부의 모래펄(사니질: sandy mud) 퇴적상에 서식하였다. 기수우렁이의 경우는 염생식물 서식지에서만 나타났다.

종 구성에 근거한 집괴분석 결과에 의해 다음과 같이 조사지역의 수직구배에 따라 세 정점 그룹으로 나뉘어졌다. 상부(Group I)는 낙동잔벌레(*Gnorimosphaeroma nakdongense*)와 천일사초(*Carex scabrifolia*), 해홍나물(*Suaeda maritima*), 갯질경(*Limonium tetragonum*)이 나타났으며, 중부(Group II)에서는 갈색새알조개(*Glaucanome chinensis*), 기수우렁이(*Assiminea lutea*), 두토막눈썩참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*)와 지채(*Triglochin maritimum*)와 갯골풀(*Juncus haenkei*)이 함께 출현하였으며, 하부(Group III)에서는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)와 칠면초(*Suaeda japonica*)가 출현하였다.

염습지의 식생은 상부지역은 수분함량, 염분, 평균입도, 유기물 함량 등이 매우 낮았으며, 중부지역은 염분은 낮게 나타났으나 평균입도와 유기물 함량이 높았다. 하부지역의 환경은 수분함량, 염분, 평균입도 등은 높았던 반면에 유기물 함량은 낮았다. 또한 노출시간은 상부(Group I)에서는 월 평균 699 h(평균 23 h/day), 중부(Group II)는 672 h(평균 22 h/day), 하부(Group III)는 633 h(평균 21 h/day)이었다.

저서생물의 분포는 일차적으로 염생식물에 의해 영향을 받고있으며, 여러 물리적·퇴적학적인 환경요인과 염생식물 그리고 저서동물의 상호작용에 의해 결정되는 것으로 보였다. 환경요인 중 염생식물과 저서동물의 분포에 가장 중요하게 작용하는 요인은 퇴적물내의 염분농도와 노출시간으로 나타났다.

- 중형저서생물의 군집구조, 섭식 및 생산량

강화도 여차리 앞 갯벌에 서식하는 중형저서생물의 군집구조, 섭식, 생산

량을 산출하기 위하여 1998년 5월과 8월 두 차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 두 시기의 각 조사지역에서 나타난 중형저서생물의 군집 조성을 보면 모두 총 16개의 분류군이 출현하였다. 중형저서생물 중 선충류가 각 시기와 지역에 있어 가장 우점 하였고, 그 외에 유공충류, 저서성요각류, 갑각류의 유생, 섬모충류가 주요 구성 분류군으로 확인되었다. 이러한 다섯 개의 분류군이 전체 중형저서생물의 약 90 % 를 상회하는 값을 보였다. 중형저서생물의 총 개체수에 있어서는 8월의 조사지역 B에서 가장 높은 $5.8 \times 10^6 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 서식밀도를 나타냈고, 5월의 조사지역 A에서는 가장 낮은 $4.0 \times 10^6 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 값을 보였다. 중형저서생물의 생물량은 5월에 조사지역 A에서 1.5 g m^{-2} , 8월에 같은 지역에서 2.3 g m^{-2} 를 나타냈다. 5월의 조사지역 A에서 가장 높은 서식밀도가 퇴적물 표층 0-1cm에서 나타났으며 퇴적물 깊이가 깊어짐에 따라 서식밀도는 감소하였다. 8월의 조사지역 B에서도 가장 높은 서식밀도는 표층 0-1cm에서 나타났지만 5월과 같은 표층부에서의 집중 서식과 같은 밀도 양상을 보이지는 않았다. 선충류/저서성요각류 값은 5월의 조사지역 B에서 가장 높게 나타나고, 8월의 조사지역 B에서 가장 낮게 나타났다. 선충류(nematodes)와 저서성요각류(benthic harpacticods) sp. 1의 ^{14}C DPM 값은 시간이 지남에 따라 유의하게 증가하는 양상을 보였다. 또, 저서성요각류 sp. 1의 ^3H DPM 값도 시간이 지남에 따라 유의하게 증가했다. 선충류의 세균 포식량은 시간당 $0.643 \mu\text{g-C/cm}^2$, 저서성요각류 sp.1은 $1.863 \mu\text{g-C/cm}^2$, 저서성요각류 sp. 2는 $0.090 \mu\text{g-C/cm}^2$ 을 포식하며 microalgae의 경우에는 각각 시간당 $1.204 \mu\text{g-C/cm}^2$, $1.399 \mu\text{g-C/cm}^2$, $0.069 \mu\text{g-C/cm}^2$ 의 양을 포식했다. 이 결과 값은 선충류의 경우 세균보다는 microalgae가 먹이로서 차지하는 비중이 더 크고, 저서성요각류의 경우에는 세균을 먹이로 더 선호하는 값이다. 중형저서생물의 생산량은 5월에는 조사지역 A에서 6 g C m^{-2} 이었고, 8월에는 같은 지역에서 7.2 g C m^{-2} 의 값을 나타냈다.

- 강화도 남단 갯벌의 대형저서동물군집

강화도 남단 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 생물상의 분포를 파악하기 위하여 조사지선 세 개를 선정하여 1998년 2월부터 11월까지 계절조

사를 수행했다. 선두리 갯벌의 조사지선 1에선 6개 정점을 선정하여, 여름철(8월) 조사만이 수행되었으며, 동막리의 조사지선 2에선 2월부터 8월까지 3차례의 계절조사가 이루어졌고, 여차리의 조사지선 3에선 5월부터 11월까지 역시 3차례의 계절조사가 수행되었다.

선두리 갯벌에서는 29종 749개체가 출현하였으며, 평균서식밀도는 624개체/㎡였다. 출현종수와 출현개체수에서 갯지렁이류가 가장 우점하는 지역이었다. 군집분석 결과 상부역과 하부역으로 크게 구분되었으며, 상부역엔 *Heteromastus filiformis* 그리고 하부역엔 광염백금갯지렁이 (*Nephtys oligobranchia*)가 우점하였으며, 등근입기수우렁이 (*Stenothyra glabra*)는 전역에서 우점종으로 출현하였다.

동막리 갯벌에서는 세벌의 조사에서 총 73종, 9,268개체가 출현하였으며, 평균 서식밀도는 2,627개체/㎡였다. 출현종수에서는 갯지렁이류가, 출현개체수에서는 연체동물이 우점하는 지역이었다. 집괴분석 결과 계절변동은 있었으나 상부, 중부 그리고 하부역으로 구분되었다. 봄철부터 중부역에는 넓은 범위로 *P. laevis*가 출현하면서 중부역엔 이 종이 극우점하였고, 상부와 하부역엔 *H. filiformis* 그리고 하부역엔 *Glycinde gurjanovae*와 *Lumbrineris cruzensis*가 우점하였다.

세 번의 계절조사에서 여차리 갯벌에서는 총 105종, 9,174개체가 출현하였으며, 대형저서동물의 평균 서식밀도는 1,475개체/㎡였다. 출현종수에서는 갯지렁이류와 갑각류가 우점하였으며, 출현개체수면에서는 연체동물이 우점하였다. 여차리 갯벌은 출현 저서생물 자료로 집괴분석한 결과 크게 세 개의 지역으로 구분되었다. 펄(니질)이 우세한 상부역과 중부역의 일부는 칠게가 우점하는 지역이었고, 중부역엔 *P. laevis*, *Heteromastus filiformis*, 민챙이 (*Bullacta exarata*), 서해비단고둥 (*Umbonium thomasi*), 펄털콩게 (*Ilyoplax pingi*) 등이 계절에 따라 우점하였으며, 모래(사질)인 하부역에서는 *Urothoe* sp.와 *Scopimera globosa*가 우점하였다.

- 강화도 남단 갯벌의 어류자원

1998년 4월부터 11월까지 월별로 강화도 남단 갯벌 조간대에서 건간망으로

어류를 채집하여 분석하였다. 출현한 어류는 총 7목, 11과, 22종의 어류가 분류되었다. 출현한 어류 가운데, 전어, 밴댕이, 풀망둑 및 승어가 개체수에서 약 94.5%, 생체량에서 97.7%를 차지하여 우점하였다. 종수와 개체수는 난수기에 높고 냉수기에 낮은 뚜렷한 계절적 변동을 보였으나, 생체량은 명확한 계절적 경향을 보이지 않았다. 군집구조의 종조성 차이는 Spearman의 순위상관을 이용한 주성분 분석을 하였다. 군집구조는 뚜렷한 계절적 경향을 보였는데, 이는 수온과 관련된 계절적 요인과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료되었다.

조사 갯벌에서 채집된 어류의 섭식 형태는 육식성 어류, 잡식성 어류, 플랑크톤 섭식자 및 저서생물 섭식자로 구분되었다.

건간망 한틀당 연간 총 어획량은 3.2톤/틀/년으로 추정되었다.

- 강화도 여차리 갯벌에 도래하는 섭금류와 잠재적 식이물

강화도 여차리 갯벌에 도래하는 수조류 중 섭금류는 봄철 4월, 5월과 가을철 9, 10월에 큰 출현 피크를 나타내었다. 섭금류 군집은 1991년~1994년 보다 1998년에 개체수가 감소하였다. 1998년 조사에서 여차리 갯벌은 도래한 철새 중, 우점종인 민물도요(*Calidris alpina*)와 개평(*Pluvialis squatarola*) 등은 잔존집단의 1% 이상이어서 람사협약등록지역의 기준에 해당되었다.

우점종인 민물도요의 잠재적 식이물은 휴식지역, 중간섭식지점 보다 주섭식지점에서 개체수, 종수 및 생물량이 높게 출현하였다. 민물도요가 섭식할 수 있는 고등류의 최장축은 5mm 이내이다. 왕좁쌀무늬고둥(*Reticunassa festiva*)에서 가용식이물의 빈도는 2.2%, 8.5%로 나타났고, 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)은 8.5%, 33.3%로 나타났다. 민물도요는 식이물이 풍부한 지역에서 섭식효율이 높게 나타났고, 섭식효율과 섭식성공도의 유의성도 높게 나타났다. 또한 민물도요의 섭식양상은 식이물인 저서동물의 분포와 밀접한 관계를 갖고 있었다. 휴식지점보다 중간섭식지점에서 분당 보행수 및 콧속 찌는(pecking) 횟수가 높았으며, 콧속 찌는 횟수는 식이물이 풍부한 주섭식지점에서 가장 높게 나왔다.

간조부터 물이 빠져나가는 시간은 중간섭식지점인 1600m가 116 ± 29.4 분,

주섭식지점인 2400m는 132 ± 13.3 분이 소요되었다. 만조 전·후에 4~6시간을 휴식한 민물도요는 간조시 물이 빠져나갈 때 수위선의 50~80m 후방에서 간헐적인 섭식행동을 하면서 이동하여 식이물이 풍부한 주섭식지에 도착한 후에는 48 ± 35.2 분 정도의 집중적인 섭식행동을 하였다.

몸무게 84.49g의 노랑발도요(*Tringa brevipes*)의 단위시간 당 대사강도는 자정부터 서서히 증가하여 오전 10시에서 11시 사이에 최대 피크를 보였다가 감소하는 경향을 보였다. 섭식량은 최저 2.82 Joule에서 최고 11.77 Joule의 값을 보였다. 32.72g인 좁도요(*Calidris ruficollis*)의 일일 산소소비율의 변화는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 좁도요의 섭식량은 2.41~4.24 Joule의 값이 나타났다.

- 서식지 지도 작성

서식지 지도 (생태지도)를 작성하기 위한 예비연구로서 강화도의 해안선 변화, 해안의 식생과 서식지 분류, 지리정보시스템 (GIS)을 이용한 서식지도 (eco-map)에 대한 조사와 연구를 하였다. 강화도의 해안은 지난 약 800년 동안 엄청난 변화가 있었으며, 남쪽 해안인 경우 적어도 90% 이상이 인공해안이였다. 강화도 남쪽 해안의 염생식물상은 빈약하였고 자연식생지도 많지 않았다. 자연식생인 경우 상부에서부터 모새달, 갈대, 천일사초, 갯잔디, 칠면초류로 이어지는 수직분포 양상을 나타내었다. 지리정보시스템을 이용한 서식지 지도 작성을 위하여 축적 1/25,000의 강화도 지도를 디지털화하여 수치지도화 하고, 이를 Arc/View 프로그램으로 저서생물의 분포와 해안의 상태를 나타내었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

강화도 남단 갯벌에서 연구된 생태계와 퇴적환경의 결과는 가장 기본적인 갯벌에 관한 기초 자료로서 일차적으로 강화도 남단 갯벌의 환경 변화를 예측하는데 유용하게 사용될 것이다. 강화도에서는 남단 갯벌을 보전하고 이를 생태적으로 지속 가능하도록 이용하기 위한 여러 가지 방안들을 찾으려는 움직임

임이 있다. 연구 결과는 이와 같은 보존활동을 뒷받침하는 필수자료가 된다. 결과물의 하나로 나오게 될 서식지 지도는 강화도 갯벌 생태지도, 자원도, 관광도로 활용할 수 있다. 수집된 다양한 환경요인 자료는 조간대 관리 모델을 개발하는데 반드시 필요하다. 연구결과와 자료를 토대로 한 갯벌의 효율적인 이용과 보존이 가능하다면 다른 지역에서도 이 연구방향을 적용할 것이다.

Summary

I. Title

Tidal flat studies for conservation and sustainable use

II. Significance and objectives of the study

The coastal wetland, tidal flat is located in between land and has specific ecological role as transition area in global ecosystems. The tidal flats are well developed along the west coast of Korea. Whilst the importance of these tidal flats and associated coastal areas has recently been recognized, the habitats of these areas has been seriously impacted by landfill, reclamation and marine pollution. It is just known that protection of the tidal flats is significant for human's life, because it has provided human being with many values such as fishery products, habitats for marine organisms, spawning and nursery grounds for marine animals, pollutant purification, places for education and recreation etc. These kinds of functions of tidal flat ecosystem are based fundamentally on biodiversity. The ecosystem that consists of diverse communities supports that the flat is playing natural roles for whole marine ecosystem.

Nevertheless the necessity of conservation for tidal flats has been strongly suggested, a protected area on coastal wetlands is not established yet in Korea. The southern tidal flat of Kanghwado is one of the biggest flats and a comparatively natural estuarine flat in Korea. The studies on the flat will develop a conservation strategy for the Kanghwado tidal flats. This strategy should be useful to conserve other tidal flats in Korea.

III. General scope of the study

- Preview of Kanghwado
- Geomorphology and sedimentary environment
 - Net sediment transport pattern based on textural parameters of surface sediments
 - Continuous measurements of sedimentation and erosion rates using plate
 - Understand of geomorphological changes based on continuous measurements of leveling
 - Geochemical analysis of sediments
- Ecosystem studies
 - Distribution of bacterial numbers and activities at the southern area of Kanghwado
 - Biomass and production of microalgae in tidal flat
 - Distribution pattern and diel movement of zooplankton in relation to tidal rhythm
 - Distribution pattern of the macrobenthos in a salt marsh
 - Community structure, Feeding and Production of Meiobenthos
 - Macrobenthic communities in the Kanghwa tidal flat
 - Resources of fishes in the Kanghwa tidal flat
 - Migratory waders and their potential preys at a tidal flat of Kanghwado
 - Habitat mapping

IV. Result of the study

o Preview of Kanghwado

Kanghwado is fifthly largest island of Korea with area of about 410 km², located in the mouths of Han and Yeoseong rivers and is surrounded with a large number of islands and tidal sand banks. A wide (about 90 km²) tidal flat lies in the southern part of Kanghwado that was registered to both WWF and AWB. Kanghwado consists generally of pre-Cambrian granitic Kyonggi gneiss complex with Proterozoic biotitic schist in the northern part that was regionally metamorphed in Triassic. Daebo Granite intruded this complex in Jurassic and forms most of mountains. Quaternary fluvial deposits are distributed in lowlands and valleys.

During the last 8 years, mean annual air temperature is 10.9°C with lowest in January (-2.5°C) and highest record in August (25.2°C). Mean monthly air temperatures of the last year (1997.7-1998.6) were lowered except for September and October, up to 5°C in February. Water temperature varies following air temperature showing lowered values in December to April, and July when rain precipitation increases. Mean annual precipitation is 95.7 mm for the last 6 years with maximum value (563 mm) in July to August. It was 124 mm in the last year with 615 mm record in August due to storm.

Tide is typically a diurnal with maximum range of 10 m, annually showing 25 distinctive cycles with asymmetric variation between neap and spring periods. Tidal currents are variable locally with velocity of 2.2 to 6.7 knt/h, for example, flood-dominant in Jangbong whereas ebb-dominant in Sukmo and Yumha channels.

o Geomorphology and sedimentary environment

The surface sediments on Kanghwa tidal flat consist of six sedimentary faces. The muddy sediments dominate near Tonggomdo. The

surface sediments gradually become coarser and well sorted from east to west. The composition of surface sediments in 1997 are finer than those in 1991. Net sediment transport patterns based on textural parameters show that the sediments transport northwestward from Changhwari tidal flat. The sediments in Hwadomyon tidal flat transport northeastward and deposit in Kilsangmyon tidal flat. The measurements of geodetic survey and short-term sedimentation rate show that erosion occurs between summer and late autumn and deposition occurs in winter.

In the sediment cores, concentrations of minor elements are distributed with large variations especially at 12-14 cm depth interval, depending on sediment grain size and composition of major elements. Minor heavy metals are statistically classified into two groups: 1) Fe, Mn, V, Cr, Co, and Zn that are upward increasing in concentration, probably coexisting in sulphide and Fe-Mn oxyhydroxide phases. However, the influence of mineral composition and artificial input is not excluded on their concentration. 2) Ni and Cu showing similar distribution patterns to sediment grain size.

o Ecosystem studies

- Distribution of bacterial numbers and activities at the southern area of Kanghwado

The distribution of total bacterial number, heterotrophic bacterial number, sulfate reducing bacteria, extracellular aminopeptidase activity and bacterial production was investigated at the tidal flat located in southern area of Kanghwado. Total bacterial numbers at tidal flat of Sunduri and Yeochari were ranged $1.46 \sim 2.67 \times 10^{11}$ cells/cm³ and $0.12 \sim 2.38 \times 10^{11}$ cells/cm³, respectively. Distribution of bacterial numbers was markedly increased in summer. Activities of aminopeptidase at surface sediments of tidal flat of Sunduri and Yeochari were ranged

23.4~47.93 nmd/cm³/hr and 10.9~108.6 nmd/cm³/hr, respectively. Bacterial productivities (integrated over 16 cm depth) at tidal flat of Sunduri and Yeochari were ranged 0.57~6.07 g-C/m²/day and 0.77~5.48 g-C/m²/day, respectively. Contrary to the distribution of bacterial numbers, bacterial activities were higher in sand flat than mud flat. The highest numbers and activities were observed in May. Distribution of bacterial numbers and activities in tidal flat of Kanghwado were affected by the distribution of primary producers, and which were comparable to mangrove sediments.

- Biomass and production of microalgae in tidal flat

The sediment inhabiting algal biomass and primary production on intertidal mudflats were studied in the Yeochari, Kanghwado, August 1998. Also phytoplankton composition and primary production of surface waters were investigated in the flood tide period. Diatoms were dominant algal group, comprising greater than 90% of living cells and cyanobacteria (*Lyngbya* type) was of second importance. The algal biomass 0~2mm layer of surface sediment were within range of 478,880~2,065,100 cells/g, dominated by *Navicula phyllepta*, *Navicula pargemina*, *Entomoneis paludosa* and *Surirella gemma* which are locomotive diatom assemblages. Chlorophyll-a concentrations were shown within range of 2.3-8.3 µg/g. The vertical distributions of microalgal cell numbers and chl-a concentrations showed similar pattern highest in the surface 0~2 mm layer and gradually decrease when the depth increased. The paeopigment concentrations showed the same pattern. The plankton composition of surface water in the flood tide is dominated by planktonic species, and about 13~17% of them were sediment inhabiting group. These result shows benthic microalgae are effectively binding with the upper sediment.

The primary production of surface sediments were 8.93~34.32 mgC m⁻²

hr⁻¹ in the ebb tide. During the flood tide primary production of water columns were 19.2~37.7 mgC m⁻² hr⁻¹, which resembles sediment capacity. However, assimilation numbers much greater in the water column. This imply high extinction coefficient of sediment inhibit the primary production of surface sediment. Therefore, this sediment inhabiting algae can potentially be increasing the primary production when resuspended by the turbulent water mixing.

- Distribution pattern and diel movement of zooplankton in relation to tidal rhythm

Effects of tidal change on distribution of intertidal zooplankton were investigated. Samples were collected using a plankton net, intertidal plankton traps and a plankton-net trap in the water off Yeochri in Kanghwado in April, May and Oct, 1998. Time-serial samples were collected to examine diel change of zooplankton abundance in relation to tidal rhythm for a day at a sampling site off Tonggomdo, a small islet near Kanghwado, in May, 1998. Crustaceans such as copepods, mysids, euphausiids, and decapod larvae of zoea were the major components of zooplankton community. Density of zooplankton in a sampling site variated diurnally according to the tidal change. Copepods and decapod zoea showed extremely high density after high tide in the time-serial collection. Euphausiids from the intertidal plankton traps and the plankton-net trap also showed higher density at high tide at night than those at high tide during the day. It is suggested that diel vertical migration of the zooplankton, daytime aggregation near bottom and night dispersion, affects the abundance of zooplankton transported by the tidal current differently at night and during the daytime.

- Distribution pattern of the macrobenthos in a salt marsh

The investigation to study distribution pattern of macrobenthos was performed monthly in nine stations on a transect line across a salt marsh in Tonggomri, Kanghwado for one year from July 1997 to June 1998. Benthic organisms was collected by can corer in each station with two replicates and halophytes was also investigated by Quadrat (50x50cm). Environmental parameters such as salinity, temperature of sediment, water contents, organic matters and exposure time were measured.

A total of 44 species of macrobenthos collected distributed with a mean density of 671 inds./0.25m² and mean biomass of 43.5 gWWt/0.25m². Arthropoda was the biggest group in term of number of species (13 species, 29.5%), but there was not clear comparing to other faunal groups. Mollusca was also the most of abundant group in terms of abundance (mean density 546 inds./0.25m², 81.4%) and mean biomass (33.0 gWWt/0.25m², 72.8%). Number of species, abundance and biomass were seasonally high in May and June 1998. In Spatial distribution, the number of species were high in the lower salt marsh where the density of halophytes was low, while the biomass was high in the middle salt marsh where the density of halophytes was high.

Two molluscs, *Glaucanome chinensis* and *Assiminea lutea* were dominant in the salt marsh. The abundance of two species was high from March to June and densely lived among the halophytes in the middle salt marsh, while *G. chinensis* lived not only in the salt marsh but in bare mudflat. *A. lutea* inhabited among the halophytes in the high salt marsh having sandy sediment, low organic matters and low salinity. Cluster analysis based on the faunal species composition showed that the study area could be divided into three vertical zonation groups: upper, middle and lower salt marsh. Upper salt marsh was predominated by *Gnorimosphaeroma naktongense* in halophyte community of *Carex scabrifolia*, *Suaeda maritima*, and *Limonium tetragonum* (Statin Group I). Middle salt marsh was characterized by *Glaucanome chinensis*, *Assiminea*

lutea, *Perinereis aibuhitensis* and halophytes of *Triglochin maritimum* and *Juncus haenkei* (Station Group II). The mud crab, *Macrophthalmus japonicus* was dominant species in lower salt marsh where *Suaeda japonica* was dominant (Station Group III). Group I was estimated by very low water content, low salinity in sediment, and coarse sediment with low organic matters, Group II by low salinity in coarse sediment with high organic content, and Group III by low organic content, high salinity and high water content in fine sediment. Exposure times of each groups were different: Group I - 699 hours (mean 23 h/day), Group II - 672 hours (mean 22 h/day), Group III - 633 hours (mean 21 h/day).

The distribution patterns of zoomacroenthos might be influenced by the distribution of halophytes which was limited by the environmental factors. Among the environmental factors, the salinity in sediment and the exposure time were most determinant factors in the salt marsh.

- Community structure, feeding and production of meiobenthos

Community structure, feeding rates and productivity of meiobenthos were studied in the tidal flats of Kanghwado in May and August 1998. Sixteen meiofaunal groups were found from all sites in the tidal flats. Nematodes were the most dominant group among the groups as a whole, sarcomastigophorans, harpacticoids, nauplius larvae of crustaceans and ciliophorans were also important components of the meiofaunal community. All of these five faunal groups comprised more than 90% of total meiofauna. The total density of meiobenthos was the highest at site B in August (5.8×10^6 ind. m^{-2}) and the lowest at site A in May (4.0×10^6 ind. m^{-2}). Biomass of meiobenthos was $1.5 \text{ g } m^{-2}$ at site A in May and $2.3 \text{ g } m^{-2}$ in Aug. At site A in May, the highest density was observed in the upper 1 cm and decreased drastically according to increasing depth. At site B in August, the highest density was also observed in the upper 1 cm and decreased with increasing, while the concentration of the

animals at the surface was not conspicuous as site A. The value of N/C (nematodes/benthic harpacticoids) ratio was the highest at the site B in May and the lowest at the site B in August. ^{14}C DPM value of nematodes, benthic harpacticoid sp. 1 increased significantly with time. ^3H DPM value in benthic harpacticoid sp. 1 also increased significantly with time. Grazing rate to microorganisms of nematods, harpacticoid sp. 1, and sp. 2 were $0.643\mu\text{g-C cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, $1.863\mu\text{g-C cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, and $0.090\mu\text{g-C cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$, respectively, while that of each animal group to microalgae were 1.204, 1.399, and 0.069 respectively. According to the results, food preference of nematodes was microalgae rather than bacteria, while harpacticoids preferred to bacterial originated materials. Productivity of meiobenthos was 6 g C m^{-2} at site A in May and 7.2 g C m^{-2} in Aug.

- Macrobenthic communities in the Kanghwa tidal flat

In order to investigate the community structure and spatial distribution pattern of macrobenthos, and the secondary production of macrobenthos in the southern tidal flat of Kanghwado, 3 transect line surveys were conducted seasonally from April 1998 to November 1998. The macrobenthos of Kanghwa tidal flat showed a region difference in species richness and abundance; the lower tidal flat more abundant and richer benthic community located than the higher. *Heteromastus filiformis* (41 %) was the most dominant species at the Sunduri mudflat, and *Potamocorbula laevis* (80 %) was the extremely dominant species at Dongmakri tidal flat. *P. laevis* (42 %), *H. filiformis* (8 %), *Bullacta exarata* (7 %), and *Umbonium thomasi* (6 %) were the representative species of the Yeochari tidal flat. There appeared also tri-part zonation of macrobenthos in the study area based on the cluster analysis of line surveys, and this is well coincided with those from other Korean tidal flats. The secondary productions of dominant species estimated during study period were as follows: the secondary production of *Macrophthalmus japonicus*

at mudflat was 14.1 g wet/m², and its P/B ratio was 1.28; that of *M. japonicus* at sandflat was 19.74 g wet/m², and its P/B ratio was 2.26; those of *Potamocorbula laevis* and *Bullacta exarata* were 471.7 g wet/m² and 181.8 g wet/m², and their P/B ratio were 1.94 and 1.5, respectively.

- Resources of fishes in the Kanghwa tidal flat

The community structure of fishes in the southern tidal flat in Kanghwado were analyzed using the samples collected by a fish fence from April to November in 1998. 22 species belonging 11 families of 7 orders were identified. Of samples, dominant species were *Konosirus punctatus*, *Sardinella zunasi*, *Acanthogobius hasta* and *Mugil cephalus* which accounted for approximately 94.5% in numbers and 97.7% in biomass. The number of species and individuals were showed a significant seasonal variation, which high in warm water season and low in cold water season, but biomass did not show a clear seasonal trend. Seasonal fluctuations of community structure of the fishes were analyzed by principal component analysis using the Spearman's rank correlation. The community structure show a clear seasonal trend, which seemed to be related to the seasonal effects such as temperature.

Feeding types of fish collected in this study area were divided into four groups such as carnivorous fish, omnivorous fish, plankton feeder and benthic feeder.

Annual total catches per fish fence was estimated about 3.2t net⁻¹ yr⁻¹.

- Migratory waders and their potential preys at a tidal flat of Kanghwado

In the Yeochari tidal flat of Kanghwado south, the migratory waders appeared the peaks in April and May in the Spring and in September and

October in the Autumn, 1998. The individuals number of waders might be dwindling in 1990s.

The wet biomass and individuals number of benthic animals that were potential preys of *Calidris alpina*, were shown more abundance at main feeding site than resting and middle feeding sites of the species. The gastropod shell length of potential preys for *C. alpina* was less than 5mm. The frequency of prey in the benthic communities showed the 2.2% and 8.5% respectively in *Reticunassa festiva* and 8.5% and 33.3% in *Umbonium thomasi* in September and October, 1998. The foraging rate of *C. alpina* was high value at the main feeding site. The determination coefficient R^2 value between foraging success frequency and foraging rate was 0.55 . The pecking frequency per minute of *C. alpina* was increased at the main feeding site than other sites. *C. alpina* had been rested for 4~6 hours at high tide. The ebb tide times were the 116 ± 29.4 minute until 1600m of the middle feeding site and the 132 ± 13.3 minute until 2400m of the main feeding site. In the ebb tide, *C. alpina* started feeding on prey at 600m site from coastline and than was moving with ebbing seawater. The bird had stayed in main feeding site for 48 ± 35.2 minutes, but hfor a short times in the other sites.

The metabolic intensity of *Tringa brevipes* (: 84.49g) increased from 24 hour and shown the largest peaks at 10~11 o'clock AM. The feeding amounts were shown the minimum 2.82 Joule and maximum 11.77 Joule. The metabolic intensity of *Calidris ruficollis* (32.72g) was not shown the clear trend during daytime. The feeding amounts were shown the value between 2.41 Joule and 4.24 Joule.

- Habitat mapping

The coastline changes, coastal vegetation and coastal habitat classification of the southern coast of Kanghwado were investigated and habitat mapping using GIS (Geographical Information System) was studied

as a preliminary study on habitat map (eco-map) for the southern tidal flat of this island. The coast line of Kanghwado have been dramatically changed by landfills and reclamations during last 800 years, so that at least more than 90% of the southern coast of the island is artificial. The coast vegetation of halophytes was very simple and a few of natural vegetation was found. The typical vegetations of the island were composed by some of five halophyte species of *Phacelurus latifolius*, *Phragmites communis*, *Carex scabrifolia*, *Zoysia sinica* and *Suaeda* spp. *Phacelurus latifolius* inhabited at the highest area in relatively dry soil of the coastal vegetation, while the *Suaeda* spp. distributed at the lowest area in wet muddy sediment. In order to make the habitat map, the map of 1/25,000 scale was digitized and then coastal area and distribution of benthic animals imaged by Arc/View program.

V. Conclusion and suggestions

The data of ecosystem and sediment characteristics might be used to predict the changes of tidal flat's environments in Kanghwado. There are many activities to protect and use wisely the southern tidal flat of the island. As a result of this studies, the habitat map (eco-map) will be produced. The map should be useful for ecotourism, resources management and protecting ecosystem in this tidal flat as well as different coastal wetlands in Korea. Also the data of various environmental parameters including tide, wave, sediment physical and biological properties, biological community structure etc. will be required for development of ecosystem management model in tidal flats.

목 차

요 약 문	1
Summary	13
List of Figures	37
List of Tables	49
List of Appendix	55
제 1 장 서 론	57
제 2 장 국내외 기술개발 현황	63
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	67
제1절 강화도의 개관	69
1.1. 주변지형개관	69
1.2. 지질	71
1.3. 기온 및 수온	71
1.4. 강수량	72
1.5. 조석	72
제2절 갯벌의 지형과 퇴적환경 연구	77
2.1. 서론	77
2.2. 분석방법	78
2.2.1. 수준측량	78
2.2.2. 표층퇴적물 채취	79
2.2.3. 퇴적물 입도분석	79
2.2.4. 잔류경향벡터 계산과정	79
2.2.5. 퇴적물 집적률 변화 측정	83
2.2.6. 지화학 분석	83
2.3. 연구 결과	84
2.3.1. 표층퇴적물의 입도 특성 및 퇴적상	84
2.3.2. 퇴적물 이동 경향	89

2.3.3. 조간대 지형 및 집적을 변화	92
2.3.4. 측선에서의 퇴적물 특성 변화	98
2.3.5. 퇴적물의 지화학적 특성	119
2.3.6. 결론 및 향후 연구 방향	147
제3절 강화도 남단 갯벌의 미생물 분포 및 유기물분해활성	149
3.1. 서론	149
3.2. 재료 및 방법	149
3.2.1. 연구지역 및 조사시기	150
3.2.2. 조사 방법	150
3.3. 결과	154
3.3.1. 정기조사	154
3.3.2. 공통정점 조사	167
3.3.3. 시간경과에 따른 변화	179
3.4. 고찰	186
3.4.1. 정기조사	186
3.4.2. 공통정점 조사	189
3.4.3. 시간경과에 따른 변화	191
제4절 갯벌에서의 미세조류의 생물량 및 생산량	193
4.1. 서론	193
4.2. 재료 및 방법	194
4.2.1. 미세조류의 분포 및 현존량	194
4.2.2. 엽록소-a 및 phaeopigment 측정	196
4.2.3. 일차생산력	197
4.3. 결과 및 고찰	199
4.3.1. 미세조류의 종 조성 및 현존량	199
4.3.2. 엽록소-a 및 phaeopigment	207
4.3.3. 일차생산력	212
4.4. 결론	215
제5절 동물플랑크톤의 분포와 조수에 의한 일주이동	220
5.1. 서론	220

5.2. 재료 및 방법	222
5.3. 결과	224
5.3.1. 여차리 주변해역에 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 개체군밀도	224
5.3.2. 조수의 변화에 따른 동물플랑크톤 분포의 일주변화	235
5.3.3. 조수에 의한 동물플랑크톤의 주야간 이동	238
5.4. 고찰	238
제6절 갯벌 주변의 염습지 식생과 저서생물의 분포	243
6.1. 서론	243
6.2. 재료 및 방법	245
6.2.1. 연구지역	245
6.2.2. 조사방법	247
6.3. 결과	249
6.3.1. 환경요인	249
6.3.2. 염생식물의 수직분포	255
6.3.3. 저서동물의 시.공간적 분포	256
6.3.4. 우점종	265
6.4. 고찰	269
6.4.1. 환경요인의 수직구배	273
6.4.2. 염생식물과 환경요인과의 관계	278
6.4.3. 저서동물과 환경요인과의 관계	279
6.4.4. 염생식물과 저서동물의 관계	282
6.4.5. 염습지 식생과 갯벌의 저서동물상 비교	286
6.4.6. 염습지의 역할	286
제7절 중형저서생물의 군집구조, 섭식 및 생산량	289
7.1. 서론	289
7.2. 재료 및 방법	295
7.2.1. 중형저서생물 군집조사	295
7.2.2. 섭식량 및 생산량	295
7.3. 결과 및 고찰	298
7.3.1. 군집분석	298
7.3.2. 오염	322

7.3.3. 섭식량과 생산량	326
제8절 강화도 남단 갯벌의 대형저서동물군집	338
8.1. 서론	338
8.2. 재료 및 방법	339
8.2.1. 대형저서동물군집	339
8.2.2. 대형저서동물의 이차생산량 추정	341
8.3. 결과 및 고찰	342
8.3.1. 대형저서동물군집	342
8.3.2. 대형저서동물의 이차생산량	369
8.3.3. 요약 및 결론	379
제9절 강화도 남단 갯벌의 어류자원	381
9.1. 서론	381
9.2. 재료 및 방법	382
9.2.1. 연구지역의 개황	382
9.2.2. 시료 채집 및 처리	382
9.2.3. 자료 처리 및 분석 방법	383
9.3. 결과	387
9.3.1. 수온	388
9.3.2. 종조성	388
9.3.3. 월별 변동	393
9.3.4. 종간 유사성	399
9.3.5. 군집구조	399
9.3.6. 주요어종의 체장 조성	407
9.3.7. 섭식 형태	415
9.3.8. 어획량	423
9.4. 고찰	423
9.4.1. 군집 조성	425
9.4.2. 섭식 형태	428
9.4.3. 어획량 추정	429
제10절 강화도 여차리 갯벌에 도래하는 섬금류와 잠재적 식이물	431

10.1. 서론	431
10.2. 재료 및 방법	433
10.2.1. 조사지역	433
10.2.2. 재료 및 방법	435
10.3. 결과	437
10.3.1. 수조류 도래현황	437
10.3.2. 민물도요의 잠재적 식이물의 분포	444
10.3.3. 민물도요의 섭식양상	453
10.3.4. 섬금류의 섭식량	458
10.4. 고찰	463
제11절 서식지 지도 작성	469
11.1. 서론	469
11.2. 조사방법	470
11.2.1. 해안선 변화	470
11.2.2. 해안 식생과 서식지 분류	471
11.2.3. 지리정보시스템을 이용한 지도 작성	471
11.3. 결과 및 고찰	471
11.2.1. 해안선 변화	471
11.2.2. 해안 식생과 서식지 분류	477
11.2.3. 지리정보시스템을 이용한 지도 작성	482
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	487
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	491
제 6 장 참고문헌	495
부록	533

CONTENTS

Summary (Korean)	1
Summary (English)	13
List of Figures	37
List of Tables	49
List of Appendix	55
Chapter 1. Introduction	57
Chapter 2. State of the art	63
Chapter 3. Contents and results	67
Section 1. Preview of Kangwhado	69
1.1. Geomorphology	69
1.2. Geology	71
1.3. Air and Seawater Temperatures	71
1.4. Precipitation	72
1.5. Tide	72
Section 2. Geomorphology and sedimentary environment	77
2.1. Introduction	77
2.2. Methods	78
2.2.1. Geodetic survey	78
2.2.2. Sampling of surface sediment	79
2.2.3. Grain size analysis	79
2.2.4. Analysis of residual transport pattern	79
2.2.5. Measurement of sedimentation rate	83
2.2.6. Geochemical analysis	83
2.3. Results	84
2.3.1. Distribution of surface sediments	84
2.3.2. Sediment transport pattern	89

2.3.3. Geomorphology and sedimentation rates	92
2.3.4. Sediment characters in line	98
2.3.5. Geochemical properties	119
2.3.6. Conclusions and further works	147
Section 3. Distribution of bacterial numbers and activities	
at the southern area of Kanghwado	149
3.1. Introduction	149
3.2. Materials and Methods	149
3.2.1. Study area	150
3.2.2. Methods	150
3.3. Result	154
3.3.1. Regular investigation	154
3.3.2. Investigation of common stations	167
3.3.3. Short-term investigation	179
3.4. Discussion	186
3.4.1. Regular investigation	186
3.4.2. Investigation of common stations	189
3.4.3. Short-term investigation	191
Section 4. Biomass and production of microalgae in tidal flat	
4.1. Introduction	193
4.2. Materials and Methods	194
4.2.1. Distribution of microalgae	194
4.2.2. Measurement of chlorophyll-a and phaeopigment	196
4.2.3. Primary production	197
4.3. Result and discussion	199
4.3.1. Species composition and standing crop of microalgae	199
4.3.2. Chlorophyll-a and phaeopigment	207
4.3.3. Primary production	212
Section 5. Distributional pattern and diel movement of zooplankton	
in relation to tidal rhythm	220

5.1. Introduction	220
5.2. Materials and Methods	222
5.3. Results	224
5.3.1. Zooplankton composition and abundance	224
5.3.2. Diel change of water-level and zooplankton density	235
5.3.3. Day and night transport of zooplankton by tidal current	238
5.4. Discussion	238
Section 6. Distribution pattern of the macrobenthos in	
the salt marsh	243
6.1. Introduction	243
6.2. Materials and Methods	245
6.2.1. Study area	245
6.2.2. Methods	247
6.3. Result	249
6.3.1. Environmental factors	249
6.3.2. Vertical distribution of halophytes	255
6.3.3. Temporal and spatial of macrobenthos	256
6.3.4. Dominant species	265
6.4. Discussion	269
6.4.1. Vertical change of environmental factors	273
6.4.2. Relationship between halophytes and environmental factors	278
6.4.3. Relationship between macrobenthos and environmental factors	279
6.4.4. Relationship between halophytes and macrobenthos	282
6.4.5. Comparative of macrobenthos between salt marshes and bare mudflat area	286
6.4.6. Functions of salt marshes	286
Section 7. Community structure, feeding and production	
of meiobenthos	289
7.1. Introduction	289

7.2. Materials and Methods	295
7.2.1. Community of meiobenthos	295
7.2.2. Feeding and Production	295
7.3. Results and Discussion	298
7.3.1. Community analysis	298
7.3.2. Pollution	322
7.3.3. Feeding and Production	326
 Section 8. Macrobenthic communities in the Kanghwa tidal flat	 338
8.1. Introduction	338
8.2. Materials and Methods	339
8.2.1. The macrobenthic community in the Kanghwa tidal flat	339
8.2.2. The secondary production of macrobenthos in the Kanghwa tidal flat	 341
8.3. Results and Discussion	342
8.3.1. The macrobenthic community in the Kanghwa tidal flat	342
8.3.2. The secondary production of macrobenthos in the Kanghwa tidal flat	 369
8.3.3. Summary and results	379
 Section 9. Resources of fishes in Kanghwa tidal flat	 381
9.1. Introduction	381
9.2. Materials and methods	382
9.2.1. Study area	382
9.2.2. Sampling and treatment	382
9.2.3. Data processing and analysis method	383
9.3. Results	387
9.3.1. Water temperature	388
9.3.2. Species composition	388
9.3.3. Monthly variations of fishes	393
9.3.4. Similarity of species	399
9.3.5. Community structure of fishes	399
9.3.6. Length composition of dominant species	407

9.3.7. Feeding type of fishes	415
9.3.8. Catches of fish	423
9.4. Discussion	423
9.4.1. Community structure	425
9.4.2. Feeding type	428
9.4.3. Catches	429
 Section 10. Migratory waders and their potential preys at a tidal flat of Kanghwado	 431
10.1. Introduction	431
10.2. Materials and Methods	433
10.2.1. Study area	433
10.2.2. Materials and Methods	435
10.3. Result	437
10.3.1. Aspect of Migratory Waterbirds	437
10.3.2. Distribution of Potential Preys of <i>Calidris alpina</i>	444
10.3.3. Feeding Behavior of <i>Calidris alpina</i>	453
10.3.4. Basal Demanding Abundance to Preys of Waders	458
10.4. Discussion	463
 Section 11. Habitat mapping	 469
11.1. Introduction	469
11.2. Methods	470
11.2.1. Changes of coastal line	470
11.2.2. Coastal vegetation and habitat classification	471
11.2.3. Mapping using Geographical Information System (GIS)	471
11.3. Result and Discussion	471
11.2.1. Changes of coastal line	471
11.2.2. Coastal vegetation and habitat classification	477
11.2.3. Mapping using Geographical Information System (GIS)	482
 Chapter 4. Object achievement and contribution	 487

Chapter 5. Application of the results	491
Chapter 6. References	495
Appendix	533

List of Figures

Fig. 1-1. Map showing coastal line and tidal flat of Kanghwado in early 1900s. This map first was made in 1910 and then modified in 1934.	61
Fig. 1-2. Management system for stable coastal wetland ecosystem.	62
Fig. 3-1-1. Map showing Kanghdo and of Han river estuary system. Shaded areas are intertidal flats.	70
Fig. 3-1-2. Comparison between monthly mean air temperature (°C) (A) and water temperature (°C) during 6 years (1991 to 1996) and 1 year (July to June, 1997 to 1998) (B). After Lee (1999).	73
Fig. 3-1-3. Comparison between monthly mean precipitation (mm) during 6 years (1991 to 1996) (A) and 1 year (July to June, 1997 to 1998) (B). After Lee (1999).	73
Fig. 3-1-4. One-year (1998) predicted variation in tidal range at Oepori tide observatory (Office of Hydrographic Affairs, 1998).	74
Fig. 3-2-1. Location map of Kanghwa tidal flat showing transect lines and 83 sampling stations of surface sediments.	80
Fig. 3-2-2. Six sedimentary facies of surface sediments in Kanghwa tidal flat.	88
Fig. 3-2-3. Sorting values of surface sediments.	90
Fig. 3-2-4. Net sediment transport pattern calculated by textural parameters of surface sediments.	93
Fig. 3-2-5. Geographic changes in line 3 and 4.	95
Fig. 3-2-6. Geographic changes in line 5 and Y.	96
Fig. 3-2-7. Seasonal variation of mud content(%) along line 3.	106
Fig. 3-2-8. Seasonal variation of mud content(%) along line 4.	111

Fig. 3-2-9. Seasonal variation of mud content(%) along line 5.	114
Fig. 3-2-10. Seasonal variation of mud content(%) along line Y.	118
Fig. 3-2-11. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-200.	121
Fig. 3-2-12. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-600.	126
Fig. 3-2-13. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-1200.	132
Fig. 3-2-14. Vertical distribution of major elements/Li ratios in (A) YC-200, (B) YC-600, (C) YC-1200 cores.	137
Fig. 3-2-15. Vertical distribution of Rb(ppm)/K(%) ratios in YC-200, YC-600 and YC-1200 cores.	141
Fig. 3-2-16. Vertical distribution of minor elements/Li in (A) YC-200, (B) YC-600, (C) YC-1200 cores.	142
Fig. 3-2-17. Vertical distribution of Fe(%) / Mn(ppm) ratios in YC-200, YC-600 and YC-1200 cores.	145
Fig. 3-2-18. Vertical distribution of relative Zn/Li ratios of YC-200 and YC-600 cores to those of YC-1200 core in each depth.	146
Fig. 3-3-1. Map of the investigation area. Common stations are represented as small boxes.	151
Fig. 3-3-2. Vertical and horizontal distribution of inorganic nutrients in March and August.	157
Fig. 3-3-3. Vertical and horizontal distribution of chlorophyll a and phaeopigment a in March and August.	159
Fig. 3-3-4. Vertical and horizontal distribution of total bacterial number in March and August.	160
Fig. 3-3-5. Vertical and horizontal distribution of heterotrophic bacterial number in March and August.	162
Fig. 3-3-6. Vertical and horizontal distribution of aminopeptidase	

activities in March and August.	164
Fig. 3-3-7. Vertical and horizontal distribution of bacterial productivities in March and August.	166
Fig. 3-3-8. Vertical distribution of sulfate reducing bacteria during in March and August.	168
Fig. 3-3-9. Vertical distribution of inorganic nutrients in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.	171
Fig. 3-3-10. Vertical distribution of chlorophyll a and phaeopigment a in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.	173
Fig. 3-3-11. Vertical distribution of total and heterotrophic bacterial number in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.	174
Fig. 3-3-12. Vertical distribution of aminopeptidase(a and b) in May(gray square) and in August(black circle) and N-acetyl- β -D- glucosidase(c) activities in May at common stations. N-acetyl - β -D-glucosidase activities at the distance of 400 to 600 m are represented as gray triangle and at the distance of 1000 to 1200 m are represented as black triangle.	176
Fig. 3-3-13. Vertical distribution of bacterial productivities in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.	178
Fig. 3-3-14. Vertical distribution of inorganic nutrients during short-term investigation.	181
Fig. 3-3-15. Vertical distribution of microalgal biomass and bacterial number during short-term investigation.	183
Fig. 3-3-16. Vertical distribution of microbial activities during short-term investigation.	185

Fig. 3-4-1. Station map in study area.	195
Fig. 3-4-2. Vertical distribution of microalgae abundance in sediment (st. L1, L4, L6).	201
Fig. 3-4-3. Abundance of microalgae at surface water(st. M1, M2, M3).	202
Fig. 3-4-4. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopig ment at st. L1 and L2.	203
Fig. 3-4-5. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopig ment at st. L3 and L4.	204
Fig. 3-4-6. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopig ment at st. L5 and L6.	205
Fig. 3-4-7. Horizontal distribution of chlorophyll-a and phaeopig ment in study area.	209
Fig. 3-4-8. Ratio of phaeopigment and chlorophyll-a at surface of sediment.	210
Fig. 3-4-9. Concentration of chlorophyll-a at surface water.	210
Fig. 3-4-10. P-I properties and assimilation number of microalgae in sediment (st. L1, L4).	214
Fig. 3-4-11. P-I properties at surface water of st. M1, M2 and M3.	216
Fig. 3-5-1. Map showing the study area and sampling stations for zooplankton. Net-tow samples were collected at St. 1, 2 and 3 on April, 29 May and 4 Oct. in 1998. Times-seriel samples and tidal plankton-trap samples were collected on 29-30 May and 2-4 Oct. in 1998, respectively.	223
Fig. 3-5-2. Diel change in depth and water temperature during time-seriel collection on 29-30 May in 1998.	235
Fig. 3-5-3. Diel variation of abundance in dominant zooplankton collected during time-series sampling on 29-30 May in 1998. ...	236
Fig. 3-6-1. A map showing the study area and sampling site in a salt marsh, Tonggom, Kanghwa Island, Korea.	246

Fig. 3-6-2. Monthly variation of mean air temperature (A), mean water temperature (B) and vertical sediment temperature (C).	250
Fig. 3-6-3. Vertical variation of mean sediment temperature at each station.	252
Fig. 3-6-4. Mean grain size, salinity, water content and organic content of surface sediment in each station.	253
Fig. 3-6-5. Spatial distribution and coverage of halophytes by elevation (A) and biomass of halophyta stem at each station (B) in study area.	257
Fig. 3-6-6. Monthly variation in number of species, abundance and biomass in the salt marshes, Tonggom, Kanghwa-do, Korea.	260
Fig. 3-6-7. Spatial distribution of number of species, abundance, biomass, diversity and evenness of macrobenthos at each station.	262
Fig. 3-6-8. Monthly variation of number of species, abundance, biomass, diversity and evenness of macrobenthos in three station(1, 9, 166) during the sampling period.	264
Fig. 3-6-9. Spatio-temporal distribution of dominant species in terms of individual numbers (ind./0.25m ²) in the salt marsh.	268
Fig. 3-6-10. The size-frequency distribution of <i>G. chinensis</i> based on shell length from July, 1997 to June, 1998.	271
Fig. 3-6-11. The size-frequency distribution of <i>A. lutea</i> based on shell length from July, 1997 to June, 1998.	272
Fig. 3-6-12. Vertical distribution of surface sediment composition (A), Halophyta (B) and dominant species (C).	276
Fig. 3-6-13. Relationship between distribution of halophyta and macrobenthos and two dominant species during the sampling period in salt marsh area.	284

Fig. 3-6-14. Relationship between halophyta and standing crops of two dominant species during the sampling period.	285
Fig. 3-7-1. A map showing the study area and sampling stations for meiobenthos in Kanghwa tidal flat.	296
Fig. 3-7-2. Subsampling for density and distribution of meiobenthos.	297
Fig. 3-7-3. Feeding experiments of meiobenthos using Radio Isotope.	299
Fig. 3-7-4. The process of experiments to calculate the DPM value of meiobenthos by Liquid scintillation counter for feeding rates of meiobenthos.	300
Fig. 3-7-5. The percentage of main meiofaunal groups at each stations in Kanghwa tidal flat.	304
Fig. 3-7-6. The vertical distribution of meiobenthos at each stations in Kanghwa tidal flat.	317
Fig. 3-7-7. (A) The number of individuals of meiobenthos at each stations. (B) The cumulative percentage composition of the number of individuals at each stations.	321
Fig. 3-7-8. The relationship between DPM and time for nematodes and benthic harpacticoids.	333
Fig. 3-8-1. Map showing study area and sampling sites for macrobenthic community survey and secondary production of dominant macrobenthic fauna.	340
Fig. 3-8-2. The species composition of major faunal taxa of macrobenthos occurred at the transect lines in the Kanghwa tidal flat during the study period.	343
Fig. 3-8-3. The abundance of macrobenthos at each transect line during the study period.	347
Fig. 3-8-4. The species richness, abundance and biomass of macrobenthos occurred along the transect line at the	

Sunduri tidal flat during Aug., 1998.	348
Fig. 3-8-5. The spatial distribution of dominant species along the transect line 1 at the Sunduri tidal flat during Aug., 1998.	350
Fig. 3-8-6. The species richness and abundance of macrobenthos occurred along the transect line at the Tongmakri tidal flat during the study period.	351
Fig. 3-8-7. The spatial distribution of dominant species along the transect line 2 at the Tongmakri tidal flat during the study period.	352
Fig. 3-8-8. The species richness and abundance of macrobenthos occurred along the transect line 3 at the Yeochari tidal flat during the study period.	353
Fig. 3-8-9. The spatial distribution of dominant species along the transect line 3 at the Yeochari tidal flat during the study period.	355
Fig. 3-8-10. Dendrogram showing station groups at the transect line 1 in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998.	358
Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (a) during Feb., 1988.	359
Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (b) during April, 1988. ...	360
Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (c) during Aug., 1988.	361
Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (a) during April, 1988.	363
Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (b) during Aug., 1988.	364
Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (c) during Nov., 1988.	365

Fig. 3-8-13. The size frequency histograms of <i>Macrophthalmus japonicus</i> at sandflat and mudflat sites.	371
Fig. 3-8-14. The size frequency histograms of <i>Bullacta exarata</i> and <i>Potamocorbula laevis</i> at Yochari tidal flat.	375
Fig. 3-9-1. Map showing the sampling area (shaded).	384
Fig. 3-9-2. Schematic diagram showing the sampling gear (fish fence) used for this study.	385
Fig. 3-9-3. Monthly variations of surface water temperature in the coastal water off Kanghwado.	389
Fig. 3-9-4. Monthly fluctuations of number of species, fish number and biomass of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado.	398
Fig. 3-9-5. Monthly variations of diversity index and evenness index of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado.	400
Fig. 3-9-6. Dendrogram illustrating the species association of tidal flat fishes collected at Kanghwado, based on Jaccard's index of similarity.	401
Fig. 3-9-7. Scattered diagram showing the sampling months on the I-II principal component axes determined by principal component analysis of species composition.	404
Fig. 3-9-8. Loadings of variables on the first principal component.	405
Fig. 3-9-9. Scattered diagram of the first principal component score versus water temperature. The regression was determined by least square fit.	406
Fig. 3-9-10. Monthly variations of size frequency of <i>Acanthogobius hasta</i>	408
Fig. 3-9-11. Monthly variations of size frequency of <i>Konosirus punctatus</i>	410
Fig. 3-9-12. Monthly variations of size frequency of <i>Sardinella</i>	

<i>zunasi</i>	412
Fig. 3-9-13. Monthly variations of size frequency of <i>Mugil</i>	
<i>cephalus</i>	414
Fig. 3-9-14. Total length distributions of fishes collected by a	
fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from	
April to November in 1998.	416
Fig. 3-9-15. Biomass distributions of fishes collected by a fish	
fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to	
November in 1998.	417
Fig. 3-9-16. Monthly variations of number of species by feeding	
type at the southern tidal flat in Kanghwado.	420
Fig. 3-9-17. Monthly variations of fish numbers by feeding type at	
the southern tidal flat in Kanghwado.	421
Fig. 3-9-18. Monthly variations of biomass by feeding type at the	
southern tidal flat in Kanghwado.	422
Fig. 3-9-19. Daily and monthly variations of catches caught by a	
fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado.	424
Fig. 3-10-1. Map showing the study sites for waterbird counting	
and potential prey of waterbirds at Yeochari tidal flat in	
Kanghwado, Sep. and Oct., 1998.	434
Fig. 3-10-2. Change of individuals number and species number of	
the waders and waterbirds migrated on Yeochari tidal flat	
in Kanghwado, 1991-1998.	438
Fig. 3-10-3. Change of the temperature from 26 Feb. 1998 to 2	
Feb., 1999 on Yeochari tidal flat in Kanghwado.	442
Fig. 3-10-4. Comparison between species diversities and evenness	
of waterbirds on Yeochari tidal flat in Kanghwa Island from	
26 Feb., 1998 to 2 Feb., 1999.	443
Fig. 3-10-5. Monthly fluctuation of dominant waterbirds 6 species	
observed on Yeochari tidal flat in Kanghwado from 26 Feb.,	

1998 to 2 Feb., 1999.	445
Fig. 3-10-6. Distribution of individuals number, species number and wet weight(g) of potential preys per 0.1m ² on each sites of Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998. ...	447
Fig. 3-10-7. Distribution of individuals number, species number and wet weight(g) of potential preys per 0.1m ² on each sites of Yeochari tidal flat in Kanghwado, October, 1998.	448
Fig. 3-10-8. Size range of gut contents of <i>Calidris alpina</i> captured at Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1997.	450
Fig. 3-10-9. Distribution of main preys of <i>C. alpina</i> at each feeding sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998.	451
Fig. 3-10-10. Distribution of main preys of <i>C. alpina</i> at each feeding sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado, October, 1998.	452
Fig. 3-10-11. Shell length's frequency of potential preys under 0.5 mm of <i>C. alpina</i> on Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998.	454
Fig. 3-10-12. Shell length's frequency of potential preys under 0.5mm of <i>C. alpina</i> on Yeochari tidal flat in Kanghwa Island, October, 1998.	455
Fig. 3-10-13. Resting time of <i>C. alpina</i> at various high tide heights on Yeochari tidal flat in Kanghwado. (■: Before high tide, □: After high tide)	456
Fig. 3-10-14. Velocity of tidal current from resting site to main feeding site at the ebb tidal on Yeochari tidal flat in Kanghwado.	457
Fig. 3-10-15. Difference of foraging success frequency, foraging rate and steps of <i>C. alpina</i> at each feeding and resting	

sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado.	459
Fig. 3-10-16. Relationships of foraging success frequency and foraging rate(Pecks/min.), steps and foraging rate of <i>C.</i> <i>alpina</i> observed on Yeochari tidal flat in Kanghwado.	460
Fig. 3-10-17. Peaks and rates of oxygen consumption by <i>Tringa</i> <i>brevipes</i> under experimental condition.	461
Fig. 3-10-18. Peaks and rates of oxygen consumption by <i>Calidris</i> <i>ruficollis</i> under experimental condition.	464
Fig. 3-11-1. Digitized map showing the southern tidal flat and coastal area of Kanghwado.	473
Fig. 3-11-2. Change of Kanghwado coastal line by landfill and reclamation (after 崔, 1998).	475
Fig. 3-11-3. Map showing coastal line and tidal flat of Kanghwado in early 1900s. This map first was made in 1910 and then modified in 1934.	476
Fig. 3-11-4. Map showing natural vegetation(●) and changing vegetation (×) of intertidal zone in the southwest of Kanghwado.	478
Fig. 3-11-5. Typical vegetation of salt marsh in Kanghwado. (A: <i>Phacelurus latifolius</i> , B: <i>Phragmites communis</i> , C: <i>Carex scabrifolia</i> , D: <i>Zoysia sinica</i> , E: <i>Suaeda</i> spp.)	480
Fig. 3-11-6. Eco-map showing a southern part of Kanghwado and its tidal flat.	483
Fig. 3-11-7. Eco-map showing the biomass of macrobenthos collected at 83 sampling station in the Kanghwa tidal flat during August 1997.	484
Fig. 3-11-8. Eco-map showing the abundance of <i>Macrophthalmus</i> <i>japonica</i> collected at 83 sampling station in the Kanghwa tidal flat during August 1997.	485

List of Tables

Table 3-2-1. Results of replicate analysis of the standard sediment, BCSS-1	85
Table 3-2-2. Textural parameters of the surface sediments on Kanghwa tidal flat	86
Table 3-2-3. Comparison of surface sediment composition(%) on Kanghwa tidal flat in 1991 to 1997	91
Table 3-2-4. Depth(cm) from surface to datum on line 2,3,4 and 5	97
Table 3-2-5. Depth(cm) from surface to datum on line Y	99
Table 3-2-6. Textural parameters of the surface sediments on line 1	100
Table 3-2-7. Textural parameters of the surface sediments on line 2	101
Table 3-2-8. Textural parameters of the surface sediments on line 3	103
Table 3-2-9. Textural parameters of the surface sediments on line 4	107
Table 3-2-10. Textural parameters of the surface sediments on line 5 ..	112
Table 3-2-11. Textural parameters of the surface sediments on line Y ..	115
Table 3-2-12. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-200	120
Table 3-2-13. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-200	124
Table 3-2-14. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-600	125
Table 3-2-15. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-600	129
Table 3-2-16. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-1200	131
Table 3-2-17. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-1200	135
Table 3-3-1. The dry weight and water contents in each sample during regular investigation	155

Table 3-3-2. The dry weight and water contents in each sample at common stations	169
Table 3-3-3. The dry weight and water contents in each sample during the investigation	180
Table 3-4-1. Primary productivity and assimilation number of microalgae in intertidal sediment and surface water	213
Table 3-5-1. Data on the time-seriel collections in May, 1998	225
Table 3-5-2. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 29 April, 1998	227
Table 3-5-3. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 29 May, 1998	228
Table 3-5-4. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 4 Oct., 1998	229
Table 3-5-5. Percentage of abundance in No. of Indiv. m^{-3} of dominant zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari in 29 April, 29 May and 4 Oct., 1998	230
Table 3-5-6. Percentage of abundance in No. of Indiv. m^{-3} of dominant copepods to total copepods occurred in adjacent water to Yeochari in 29 April, 29 May and 4 Oct., 1998	231
Table 3-5-7. Diel variation in abundance of zooplankton collected by time-seriel tow in adjacent water to Tongmakri on 29-30 May, 1998	233
Table 3-5-8. Abundance of euphausiids collected with a intertidal plankton trap on 2-4 Oct., 1998	239
Table 3-5-9. Abundance of euphausiids collected with a plankton-net trap on 2-4 Oct., 1998	239
Table 3-6-1. Faunal composition of major taxonomic groups during the sampling period	258
Table 3-6-2. Dominant species ranking in abundance by Le Bris index(1988) from July, 1997 to June, 1998 in the salt	

marsh.(Bi:Bivalvia, Ga:Gastropoda, Cr: Crustacea, Po: Ploychaeta)	266
Table 3-6-3. Dominant species ranking in biomass by Le Bris index(1988) from July, 1997 to June, 1998 in the salt marsh.(Bi: Bivalvia, Ga: Gastropoda, Po: Ploychaeta, Br: Brachyura)	270
Table 3-6-4. Comparison of ecological conditions between salt marsh and tidal flats in Kanghwa-do, November, 1997	287
Table 3-7-1. Standard ash free dry weight(ug) per individual for four meiobenthic animal groups (after Shirayama, 1983)	301
Table 3-7-2. The number and percentage of meiobentos at each stations in Kanghwa tidal flat	303
Table 3-7-3. The number of individuals of meiobenthos at each study sites in Kanghwa tidal flat	307
Table 3-7-4. The number of meiobenthos on each mesh size at each stations in Kanghwa tidal flat	311
Table 3-7-5. The value of nematodes/harpacticoids ratio with sediment depth at each stations	323
Table 3-7-6. The biomass of meiobenthos at each study sites in Kanghwa tidal flat	327
Table 3-7-7. The DPM value of meionthos by Liquid scintillation counter	330
Table 3-7-8. The DPM value of individuals of meiobenthos by Liquid scintillation counter	331
Table 3-7-9. The grazing rates of each meiobenthic groups	334
Table 3-8-1. Dominant species of macrobenthos at each transect line of the Kanghwa tidal flat during the study period	345
Table 3-8-2. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 1 in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998	358

Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (a) during Feb., 1998	359
Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (b) during April, 1998	360
Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (c) during Aug., 1998	361
Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (a) during April, 1998	366
Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (b) during Aug., 1998	367
Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (c) during Nov., 1998	368
Table 3-8-5. Growth and secondary production of <i>Macrophthalmus japonicus</i> at mudflat site of Yochari tidal flat	372
Table 3-8-6. Growth and secondary production of <i>Macrophthalmus japonicus</i> at sandflat site of Yochari tidal flat	373
Table 3-8-7. Growth and secondary production of <i>Bullacta exarata</i> and <i>Potamocorbula laevis</i> at Yochari tidal flat	376
Table 3-8-8. The secondary production of macrobenthos on the tidal flats in Korea	377
Table 3-9-1. Species list of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998	390
Table 3-9-2. Species composition of fishes collected at the	

southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998	392
Table 3-9-3. Monthly variations in number and biomass of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998	394
Table 3-9-4. Monthly comparison of dominant fishes at the southern tidal flat in Kanghwado	396
Table 3-9-5. Eigen value, variance and cumulative variance of the components determined by principal component analysis of species composition of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998	403
Table 3-9-6. Feeding type composition of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1988	418
Table 3-10-1. Abundance of waterbirds observed at Yeochari tidal flat in Kanghwado, 26 Feb., 1998 ~ 3 Feb., 1999	440
Table 3-10-2. Oxygen consumption rate and energy(4.185Joule=1cal) for basal demand amount by <i>Tringa brevipes</i> and <i>Calidris ruficolis</i> under experimental condition	462

List of Appendix

Appendix 3-4-1. Vertical distribution of microalge abundance in st. L1	533
Appendix 3-4-2. Vertical distribution of microalge abundance in st. L4	534
Appendix 3-4-3. Vertical distribution of microalge abundance in st. L6	535
Appendix 3-4-4. Distribution of phytoplankton abundance at surface water in st. M1, M2, M3	536
Appendix 3-8-1. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998	537
Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (a) during Feb., 1998	538
Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (b) during April, 1998	539
Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (c) during Aug., 1998	540
Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (a) during April, 1998	541
Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (b) during Aug., 1998	545
Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (c) during Nov., 1998	549
Appendix 3-9-1. Daily catches caught with a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado in 1998	553

Appendix 3-10-1. Abundance of potential prey collected at the resting site, middle feeding site and main feeding site of <i>Calidris alpina</i> on Yeochari tidal flat, Kanghwado in Sep. and Oct., 1998	554
Appendix 3-10-2. Biomass of potential prey collected at the resting site, middle feeding site and main feeding site of <i>Calidris alpina</i> on Yeochari tidal flat, Kanghwado in Sep. and Oct., 1998	557

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

한반도의 서해안은 수심이 얇고 넓은 대륙붕이 발달한 해역과 연계되어 있고, 높은 조차와 완만한 해안경사를 가진 해안에는 넓은 조간대 갯벌(tidal flat)이 존재한다. 갯벌은 다양한 생물들의 서식지가 될 뿐만 아니라 인근해역에 영양을 공급하며, 오염물질을 정화시키는 등 양 생태계에서 중요한 역할을 담당한다. 갯벌이 발달한 지역에서는 어패류 등의 수산물 채취와 김양식 등의 연안 수산활동의 근거지가 되어 인간생활과 밀접한 관계를 가지고 있다. 국토확장을 목적으로 1960년대부터 본격적으로 서해안의 갯벌과 그 주변부를 개발하였고, 대규모 간척과 매립사업을 통하여 농업과 공업 용지 및 택지 조성, 신도시 건설, 연안구조물 설치 등의 갯벌의 이용 범위를 넓혀 왔다. 그러나 개발에 따른 갯벌을 비롯한 해안습지의 훼손은 육지로부터의 오염물질의 유입에 따른 연안오염 증가, 해안선 변화에 따른 해류, 조류의 변화 등을 야기하여 많은 부작용이 낳았다. 역설적으로 이런 부작용은 해안습지의 중요성을 깨닫게 하고 습지의 보전운동을 촉진하는 계기가 되었다.

갯벌의 중요한 기능 가운데 하나는 바다로 유입되는 오염물질들을 정화하는 작용으로써 물리적, 화학적, 생물학적인 복합 요인들의 상호작용에 의해 물질들이 여과, 분해, 섭식되어 자연 환경과 생태계를 유지하는데 유용하게 쓰이는 것이다. 오염물질들은 확산, 혼합, 흡착, 침전 등의 물리적 작용을 통해 유입되며, 수층과 퇴적층에서 호기성 미생물에 의한 분해를 통한 산화 및 환원 등 생화학적과정을 걸쳐 제거되며 유기물 조각의 형태로 남는 것은 생물들의 영양단계를 통하여 흡수된다. 궁극적으로 오염정도는 수리역학적인 조건에 의한 퇴적물 운반에 따른 이동경로와 집적지의 환경과 생물다양성의 크기에 따라 달라진다(Williamson, et al., 1996). 그밖에 갯벌의 기능도 궁극적으로는 안정된 생태계의 유지를 근간으로 하는 것이어서 이 연구는 생태계 유지에 필요한 기본 자료를 확보하는데 일차 목적이 있다. 획득된 자료는 여러 분석 과정을 거쳐 가장 현실적이면서 효율적인 갯벌 보전 모델을 완성하는데 쓰일 것이다.

이 연구는 강화도 남단 갯벌을 대상으로 하였다. 강화도 남단 갯벌은 대형

하구갯벌로서 또는 철새도래지로서 국내외적으로 주요 갯벌로 주목을 받는 곳이며(AWB, 1990; 국립공원관리공단, 1998), 수도권과 가까워 훼손이 될 가능성이 매우 높은 곳이기도 하다(한국해양연구소, 1998a). 더 나아가 강화도는 접경지역과 인접해 있어 주변 하구환경이 국내에서는 가장 뛰어난 자연성을 가지고 있어 보전 가치가 높다. 이에 환경부는 자연생태계보전지역으로 지정하려 하였으나 현지 주민들의 강한 반대로 지정에는 실패하였다(환경청, 1991; 제, 1998). 그러나 강화도는 갯벌의 보전 가치가 높은 지역임에도 불구하고 역사적으로는 간척 사업이 가장 먼저 시행되었던 곳으로 해안선을 고려시대와 비교하면 엄청난 변화가 있음을 알 수 있다(최 등, 1998). 불과 80~90년 전만 하여도 강화도 남쪽 해안선은 대단히 복잡하였지만 현재에는 상대적으로 아주 단순해졌음을 알 수 있다(Fig. 1-1). 따라서 강화도 남단 해안에는 상당한 인공해안이 존재하고 있다. 따라서 지난 약 1,000년 동안 갯벌의 성상에는 많은 변화가 있었을 것이고, 현재에도 주변 도시의 개발에 따른 변화가 강화도 갯벌에 영향을 미치고 있는 증거가 나타나고 있다(한국해양연구소, 1998b). 이러한 변화도 이 연구를 통해서 감지할 수 있다.

일차년도(1997년)의 연구가 강화도 남단 갯벌의 현상을 파악하기 위한 것이었다면 이차년도(1998년)의 연구는 보다 생태계의 특성을 구체적인 접근하기 위한 연구와 자원과 생산성에 관한 연구 그리고 퇴적환경의 변화 지화학적 연구에 초점을 맞추었다. 이들 연구의 결과들은 최종년도(1999년)에는 생태계 개념모델과 퇴적환경 변화 모델의 완성으로 나타나고 강화도 남단 갯벌의 보전에 필요한 서식지 지도 작성과 보전전략 수립으로 드러나게 될 것이다. 이것은 압정된 생태계를 유지하는데 반드시 필요한 것일 뿐만 아니라 환경교육 자료로 활용되어 지역주민들의 인식을 보전에 긍정적으로 변화시키고 생태관광과 같이 지속 가능한 이용으로 유도하는 데에도 긴요하게 쓰일 것이다(Fig. 1-2).

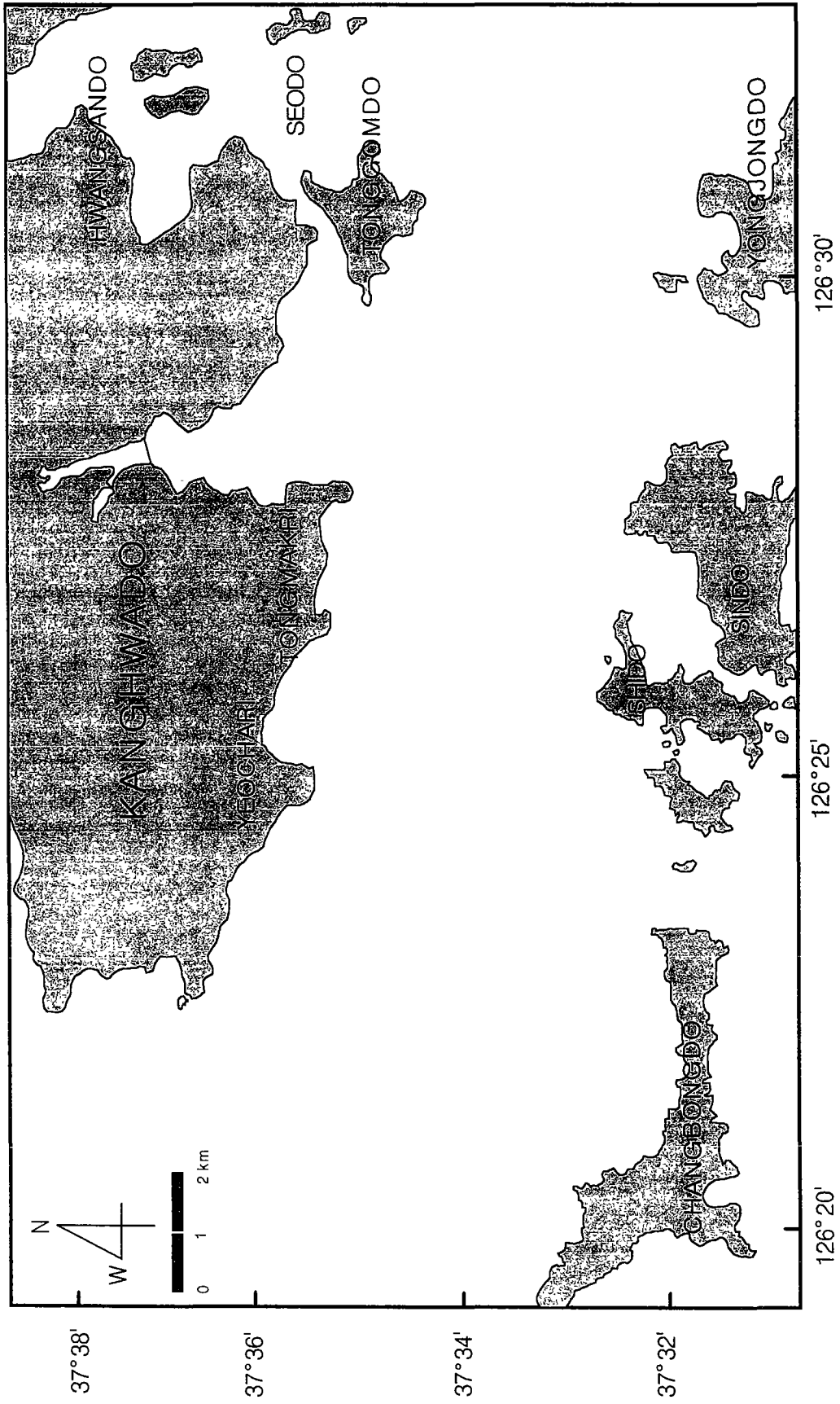


Fig. 1-1. Map showing coastal line and tidal flat of Kanghwado in early 1900s. This map first was made in 1910 and then modified in 1934.

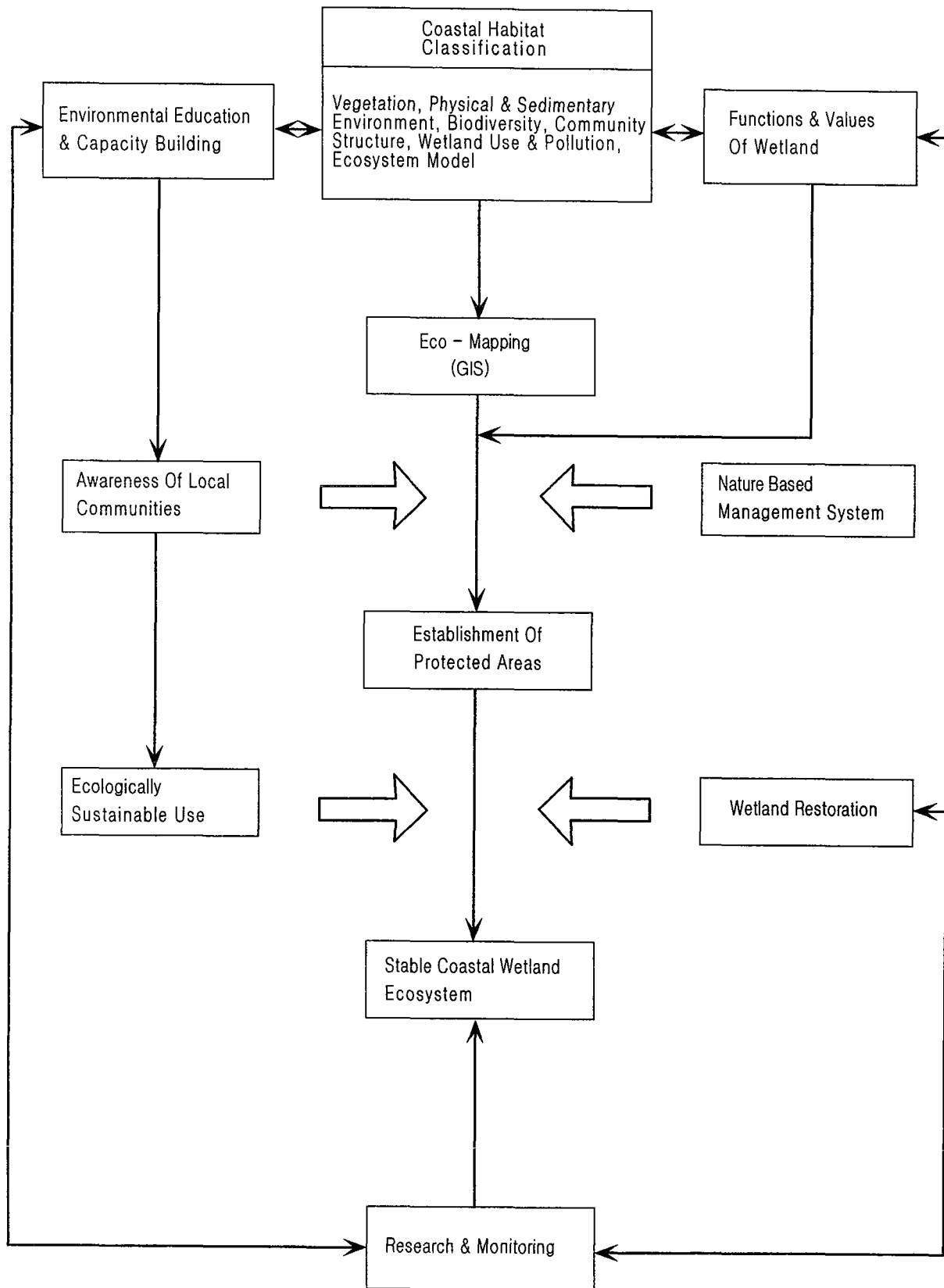


Fig. 1-2. Management system for stable coastal wetland ecosystem.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내에서 갯벌을 비롯한 연안습지에 관한 관심은 가히 폭발적이라고 할 정도로 높아져 가고 있다. 습지에 대한 인식도가 급증하자 많은 연구들이 새롭게 시작되고 여러 문헌들이 출판되고 있기는 하나(홍, 1998; 제 등, 1998), 아직까지는 국내 갯벌의 개관을 정확하게 파악할 정도의 괄목할만한 성과를 이루지는 못하고 있다. 그러나 정부에서는 갯벌의 중요성을 홍보하고 있으며(해양수산부, 1998), 1998년말에 제정된 습지보전법에 지시된 사업에 대한 지원 준비를 하고 있다. 습지보전법에서는 매 5년마다 습지의 생태계현황 및 오염현황과 습지주변영향지역의 토지이용실태 등 습지의 사회·경제적 현황에 관한 기초조사를 실시하도록 명시되어있다. 아울러 습지의 보전·개선이나 물새서식처로서 국제적으로 중요한 습지에 관한 협약(람사협약 등)의 이행을 위하여 필요하다고 인정하는 경우 별도의 정밀조사를 하게 하고 있다. 또한 ① 자연상태가 원시성을 유지하고 있거나 생물다양성이 풍부한 지역, ② 희귀하거나 멸종위기에 처한 야생동·식물이 서식·도래하는 지역, ③ 특이한 경관적·지형적 또는 지질적인 가치를 지닌 지역을 습지보호지역이나 습지주변관리지역으로 지정하여 관리하게 하고있다.

국내의 자연환경에 대한 인식이 개발에서 보전으로 전환되면서 육상생태계에서는 서식지 복원에 대한 연구를 추진해 왔으며, 기술적으로는 조경이나 생태계를 재현하는 수준에서 상당한 성과를 거두고 있다. 해안에서도 곧 서식지나 생태계 복원에 대한 연구와 기술 개발의 필요성이 제기되어, 정부에서는 1999년부터 훼손된 해안생태계(염습지와 갯벌 포함)의 기능을 복원하는 기술의 개발에 지원할 계획을 가지고 있다. 뿐만 아니라 갯벌의 기능과 가치에 대해 농어촌연구원 등 여러 연구기관에서 연구와 실험을 진행하고 있다.

북미와 유럽의 국가들은 조간대 갯벌의 종합연구의 중요성을 일찍부터 인식하고 많은 연구비와 인력을 투입하여 장기간에 걸친 광범위한 현장조사를 통해 자료를 확보하고 특정 연안해역에 적절한 환경보전 기술을 개발해왔다. 북서 유럽 조간대 갯벌의 특성을 파악하기 위하여 영국 Plymouth 대학의 Dyer 교수를 주축으로 프랑스, 독일, 네덜란드 등의 5개 대학이 팀을 만들어 INTRMUD 연구를 수행하고 있다. 이 연구사업은 조간대의 지형을 변화시키는 조석, 파랑, 퇴적물의 물리적, 생물학적 요소등 종합적인 환경요소를 조사하

여 이러한 환경요소가 변화할 때 발생하는 조건대 변화 정도를 파악 할 수 있는 모델을 만들려고 시도하고 있다. 이러한 연구는 갯벌의 보존과 환경변화에 따른 갯벌의 효율적인 관리에 유용하게 이용될 것이다.

일본은 1990년대 초에 이미 갯벌의 60% 이상을 상실하였지만 습지의 중요성을 인식하고 습지의 재생과 새로운 갯벌을 창조하기 복원기술의 개발을 시도하고 있다 (李, 1998; 김 등 1998). 1960년대부터 시작된 해안습지의 보존운동은 현재 시화호와 비슷한 여건에 놓인 이사하야만 (長崎灣)을 중심으로 활발하게 전개되고 있다. 미국은 전 해안의 습지의 50% 이상이 이미 심각 훼손되었으며, 하구의 습지에서 대단위 복원 사업이 1970년대부터 이루어지고 있도 상용화하는 단계에까지 이르렀다. 개발에 따른 해안습지의 훼손은 반드시 유사한 기능을 가진 대체습지를 조성하도록 법제화하고 있다. 염습지 생태계의 에너지흐름을 파악하여 복원에 적용하는 생태공학 (eco-engineering) 분야도 등장하였다. 캐나다도 미국과 상황이 유사하여 캐나다 서해안에서는 연어의 산란장과 성육장이 되는 염습지와 갯벌지대의 훼손으로 연어생산량이 급감하자 해안의 개발시 반드시 배후습지나 대체습지로 조성하도록 법으로 강제하고 있다. 이렇게 습지의 복원의 단계에까지 이르렀다는 것은 갯벌을 비롯한 해안습지의 기능과 가치에 대한 연구가 충분하고 습지의 보전에 대한 인식도가 높다는 것을 의미한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 강화도의 개관

1.1. 주변지형개관

강화도는 우리나라 5대도서의 하나로 서해연안 중심부의 경기만 북부에 위치하며, 그 크기는 동서 15.7 km, 남북으로 25.7 km의 장방형으로 총면적은 약 410 km²이다 (Fig. 3-1-1). 이중 경지면적은 172.4 km², 임야는 185.2 km²로 임야가 45%를 차지한다(녹색연합 강화도 시민연대, 1998). 강화도는 한강과 예성강의 담수 영향을 받는 연안하구역에 위치한 곳으로 동쪽으로는 김포반도와와의 사이에 300-1,500 m 너비의 염하수로가, 서쪽으로는 교동과 석모도를 사이에 1,200-3,800 m 너비의 석모수로가 발달하여 담수와 해수의 이동통로가 된다. 강화도 서부에는 석모도, 교동도 이외에도 영종도, 불음도, 장봉도, 세어도 등 수많은 유무인도가 산재하고 있다. 한강과 강화도의 염하수도 입구입구인 유도 북서부에는 장방형의 사초가, 예성강과 석모수로가 만나는 지점에는 역 델타형의 삼각주인 청주사초가 발달하고 있다.

갯벌의 면적은 북부 청주사초를 포함하여 약최저저조면시 약 105 km²에 달하며, 여차리-동막리-동검리를 잇는 남부지역, 즉 강화만의 갯벌 육지로부터 최대 거리 약 6 km, 면적은 약 90 km²로 강화도 갯벌 면적의 약 86%를 차지한다(수로국, 1981). 강화도 남부 갯벌은 세계자연기금(World Wide Fund for Nature)와 아시아습지 보호협약(Asian Wetland Bureau, AWB)에 보호해야할 아시아의 주요습지로 목록화된 습지의 하나로 경기도 갯벌 면적의 20%를 차지한다. 강화도 갯벌은 영종도 갯벌들과 함께 1) 독특한 지형 또는 그러한 형태의 서식처 보유, 2) 멸종위기에 처한 동식물의 서식지, 3) 생물의 산란지, 4) 평균 20,000 마리아상의 철새 도래지 등의 기능을 보유하고 있는 것으로 평가된다 (AWB, 1990). 1910년과 1997년도 지형도를 비교해보면, 일제이후 계속된 간척사업으로 강화도 남부지역의 염생습지는 거의 사라지고, 간척사업과 한강 담수의 유입에 따른 퇴적과 침식현상으로 석모수로쪽의 해안선은 바다쪽으로 염하수쪽에서는 오히려 강화도쪽으로 상당히 이동하였다(녹색연합 강화도 시민연대, 1998).

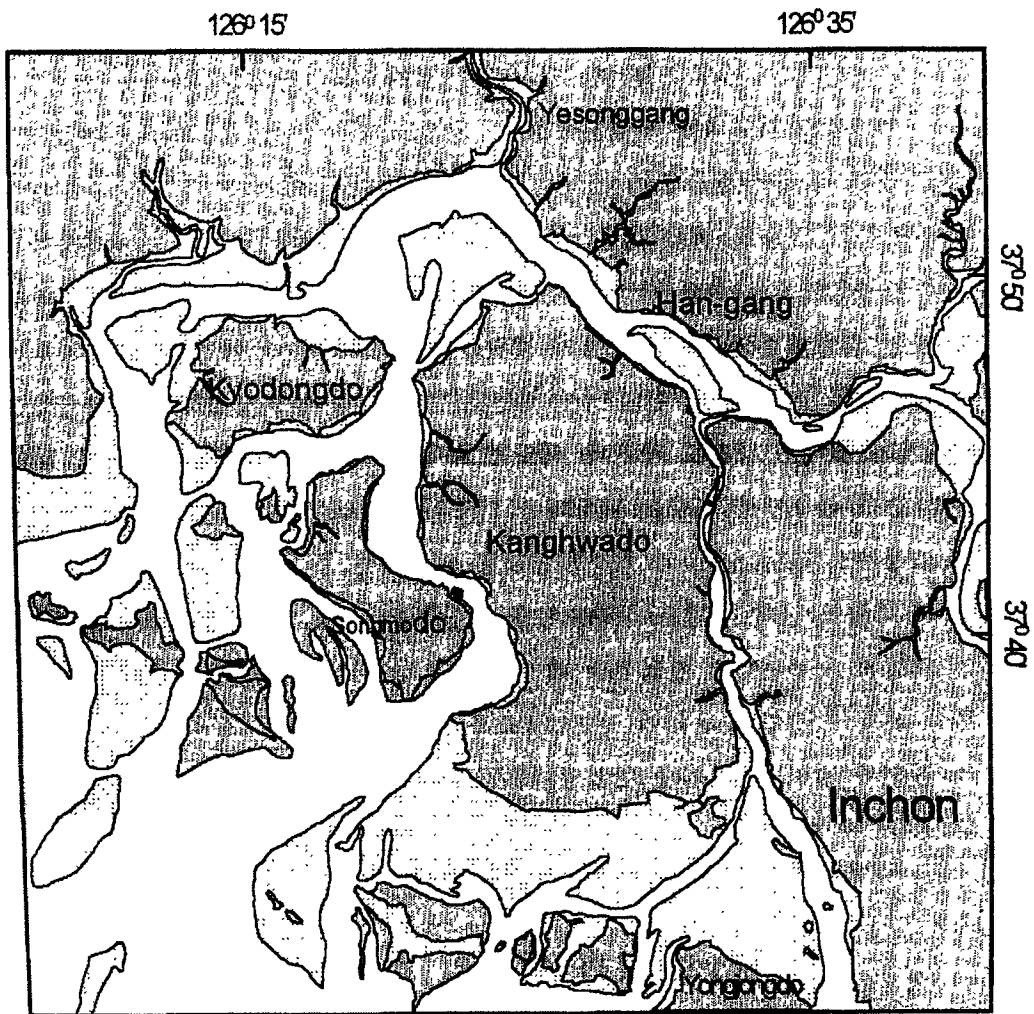


Fig. 3-1-1. Map showing Kanghwado and Han river estuary system. Shaded areas are intertidal flats.

1.2. 지질

강화도의 지질은 1973년에 개괄적으로 조사되어 되었으며(국립지질광물연구소, 1973), 상세지질조사는 현재 진행중이며 강화도 동부지역만 조사가 완료된 상태이다(한국자원연구소, 1995; 1997). 1973년 발행 서울도폭에 의하면, 강화도는 전반적으로 우리나라의 가장 오랜 지층의 하나인 선캠브리아기(5억 7천만년 이전)의 화강암질의 경기 편마암 복합체로 이루어져 있으며, 남부 양도면과 길상면은 쥘라기(1억 4천 5백만-2억 천만년)에 관입한 대보화강암이 분포한다. 이 두 면 사이의 선두리와 백야사이, 그리고 장화리에는 변성 퇴적암층인 편암의 서산군층이 분포하며, 하전면 망월리 일대에는 제 4기(백 8십만전-현재)의 하천에 의해 운반퇴적된 충적층이 분포한다. 강화대교 부근에서는 쥘라기의 여러 종류의 퇴적암으로 이루어진 남포층군이 국부적으로 분포한다. 대보화강암 및 변성 편암은 고려산, 혈구산, 마니산등 해발 400 m 이상의 산들을 형성하고 있다.

동부지역의 상세한 지질을 보면, 강화도 북동부에는 선 캠브리아기의 경기 편마암은 흑운모를 다량으로 포함하는 전기원생대(16억-25억전)의 흑운모편마암이며, 불은면 두곡리, 길상면 길상초등학교 주변에는 선 캠브리아기의 석영 편암이 분포한다. 길상면 장흥리 주변은 동 시기의 운모편암이 동검도 북동부까지 분포하는 데, 이들 암석중 흑운모의 K-Ar 연대측정에 의하면, 2억 8백만-2억 천 8백만년 사이, 즉 트라이아스기에 광역적인 변성작용이 있었다. 쥘라기동안에 대보화강암의 흑운모 화강암이 동북부지역에는 소규모로 관입하였으나, 중부 고릉리와 남부 선두리 그리고 동검도 대부분의 지역에는 대규모의 관입이 있었다. 또한 이시기에 섬장암이 불암면 대모산 일대에 관입하였다. 고농리 주변 일부지역과 초지분대, 황산도 및 소황산도는 고생대의 안산암 또는 화산성 쇄설퇴적암이 분포하여 이시기에 화산활동이 있었던 것을 나타낸다. 이들 지층은 대부분이 산이나 구릉을 이루고 그 사이의 계곡이나 평야지대는 제 4기 충적층으로 대부분이 전담으로 활용되고 있다.

1.3. 기온 및 수온

강화도 기상관측소의 과거 8년간(1991-1998.6)의 기온자료를 보면(기상청, 1991- 1998), 평균기온은 1월에 가장 낮아 평균 영하 2.5℃, 8월에 가장 높아 평균 25.2℃가 기록되며, 연평균기온은 10.9℃이다 (이, 1999; Fig. 3-1-2A). 1997년 7월부터 1998년 6월까지 1년동안의 월평균기온과 1991년부터 1996년까지 6년간 각 월별 평균기온과 비교해보면, 과거와 비교해 월별기온이 상당히 변화했음을 보여준다. 즉, 9월과 10월을 제외한 전 기간에 걸쳐 기온이 낮아졌으며 1998년 2월에는 과거 6년간의 평균보다 거의 5℃나 낮아졌다.

1991년부터 1995년까지 5년동안 인천연안에서 측정한 월평균수온은 기온의 변화와 거의 일치하여 변하며 연평균 수온은 13.5℃로 기온보다 평균 2.6℃가 높다(Fig. 3-1-2B). 수온은 해수의 특성상 12월에서 4월까지 그리고 강수량이 많은 7월에는 기온보다 항상 낮으나 그외의 기간에는 높다.

1.4. 강수량

1991년부터 1996년까지 6년간, 그리고 최근 1996년 7월부터 1998년 6월까지의 강수량 변화를 비교하여 보면, 지난 6년간의 년 평균 강수량은 95.7 mm였고, 변화폭이 크지만 7월에는 평균 363 mm, 8월에는 200 mm로 7월과 8월에 집중적인 강수현상을 보여 준다(기상청, 1991-1998). 1996년 7월부터 1998년 6월까지의 1년동안에는 년평균 강수량이 과거에 비해 훨씬 많은 124 mm였고, 8월에는 615 mm로 집중호우가 있었고, 1997년 7, 9, 10월 그리고 1998년 3월에는 적은 양으로 나타났다(Fig. 3-1-3).

1.5. 조석

강화도 주변해역 조석특징은 외포리 검조소의 1998년도 1년간 예보자료를 취합하였다(국립해양조사원, 1998). 조고의 기준면은 평균해면하 4.57 m로 약 최저저조면에 해당한다(Fig. 3-1-4). 조석은 전형적인 일일 2주기로 년중 25회의 고고조와 저고조의 반복이 뚜렷하고, 월간변화는 7월을 제외하고는 전 기간에 걸쳐 조금과 사리의 부등현상이 뚜렷하다. 즉 사리기간은 조금기간보다 2일 정도 길며 조차도 조금기간에 비해 약 2 m 정도가 낮다. 최대조차는

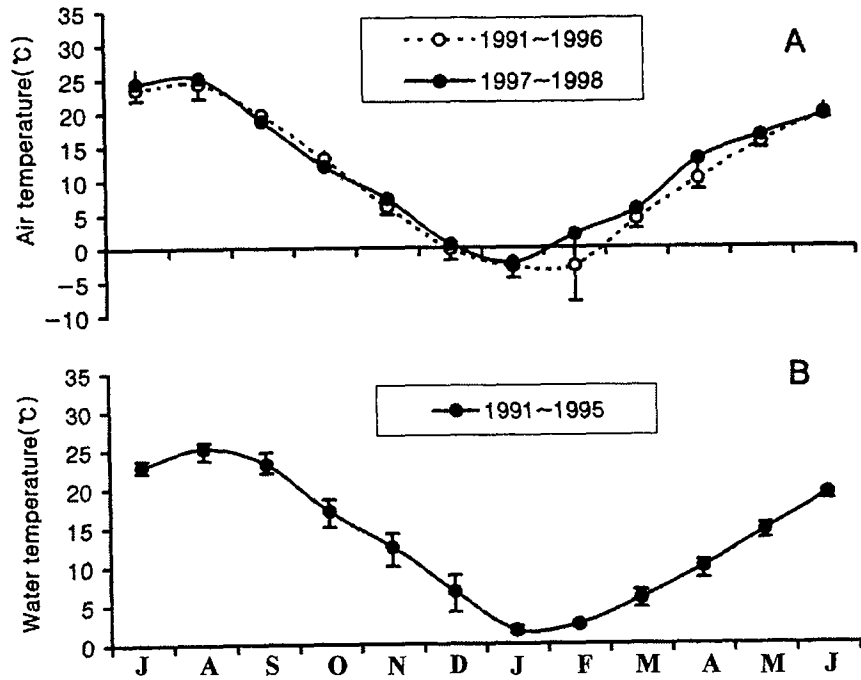


Fig. 3-1-2. Comparison between monthly mean air temperature (°C) (A) and water temperature (°C) during 6 years (1991 to 1996) and 1 year (July to June, 1997 to 1998) (B). After Lee (1999).

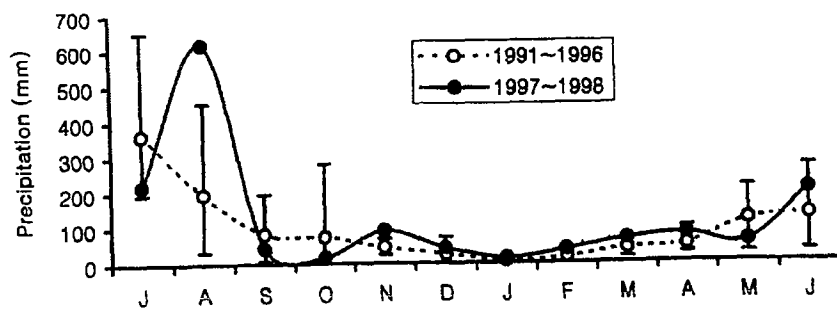


Fig. 3-1-3. Comparison between monthly mean precipitation (mm) during 6 years (1991 to 1996) (A) and 1 year (July to June, 1997 to 1998) (B). After Lee (1999).

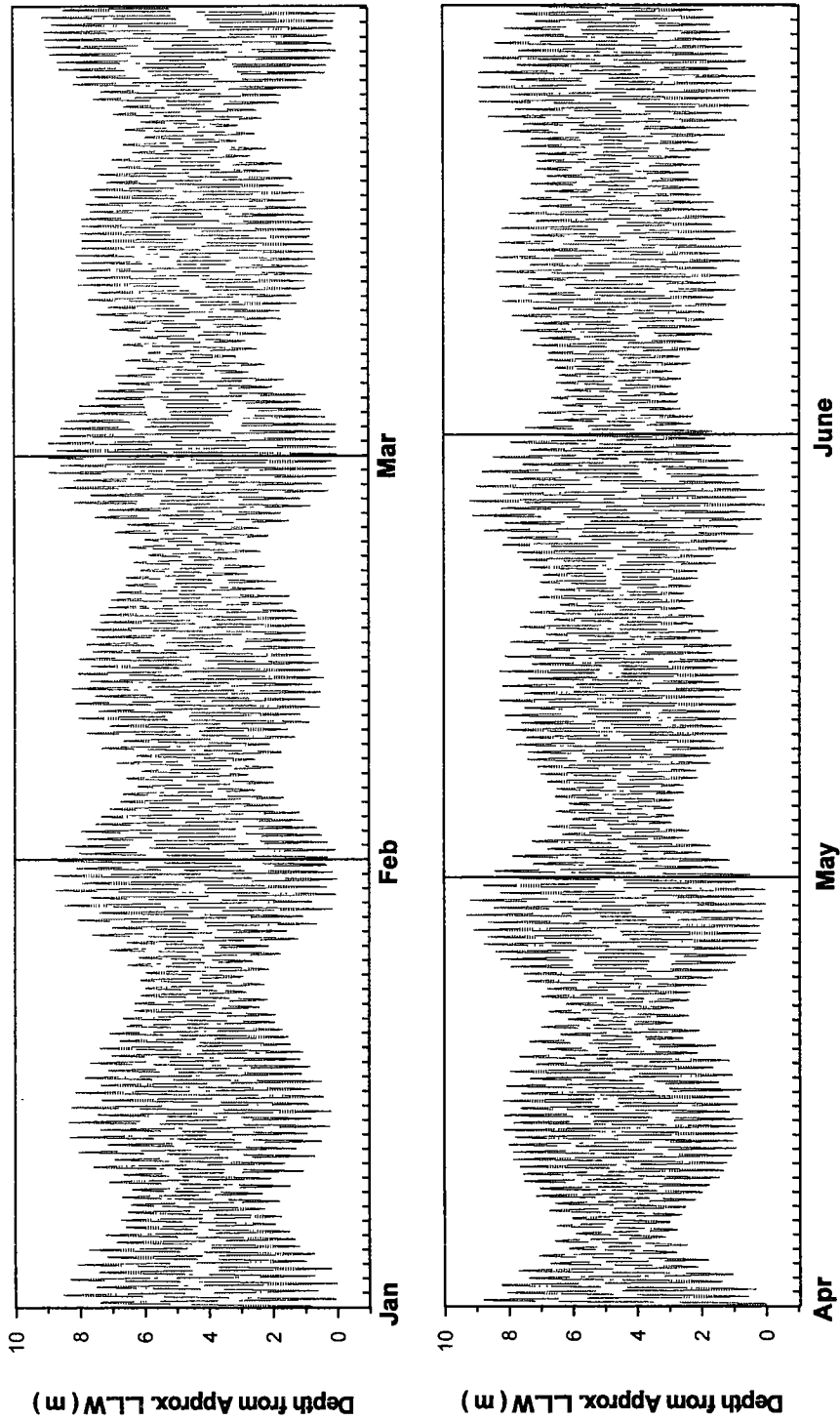


Fig. 3-1-4. One-year (1998) predicted variation in tidal range at Oepori tide observatory (Office of Hydrographic Affairs, 1998).

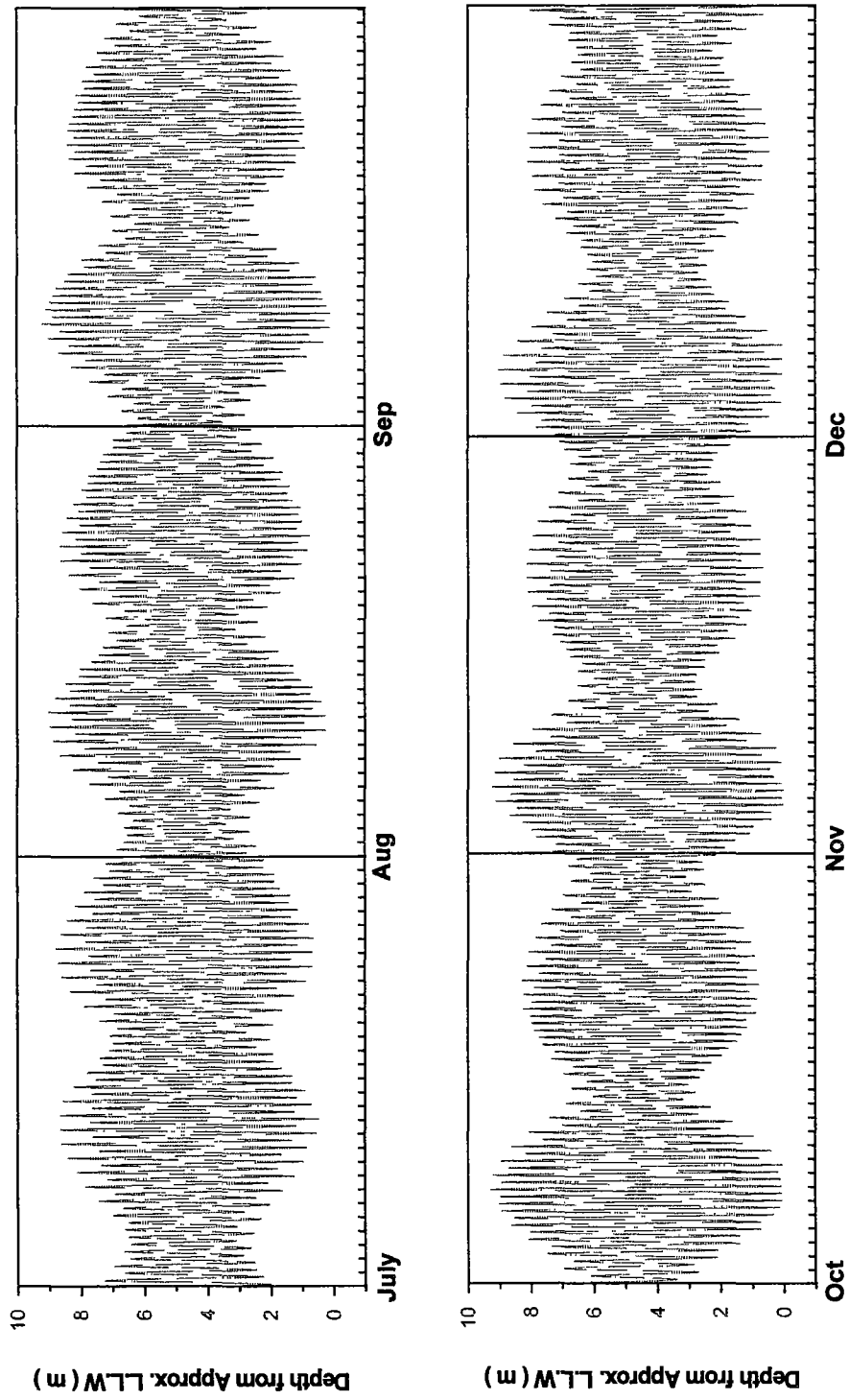


Fig. 3-1-4. Continued.

대부분이 8 m 정도이나 극최대조차는 11월의 사리 1일후인 5일에 10 m, 최소 조차는 상현후 2일후에 약 4 m이다. 조류는 장봉수도동 남부에서는 창조시 2.7-4.7 knt/h, 낙조시 2.4-3.3 knt/h로 창조류가 우세하나 석모수도에서는 창조시 2.2-5.1 knt/h, 낙조시 2.7-6.7 knt/h로 낙조류가 우세하다(수로국, 1981). 한강수 유입의 영향을 받는 북부와 염하수로에서는 5월과 8월중 낙조류는 3.5-3.7 knt/h, 창조류는 2.2-3.5 knt/h로 전반적으로 낙조류가 우세하다 (장과 오, 1991).

제2절 갯벌의 지형과 퇴적환경 연구

2.1. 서론

한반도 서해안은 수심이 얕고 넓은 대륙붕이 발달한 해역으로서 높은 조차에 의하여 연안에는 넓은 조간대(tidal flat)가 분포한다. 조간대는 다양한 생물들의 서식지가 될 뿐만 아니라 인근해역에 영양을 공급하며, 오염물질을 정화시키는 등 생태계에 중요한 역할을 담당한다. 조간대가 발달한 인근지역에는 패류 등의 수산물 채취와 김양식 등의 연안 수산활동의 본거지가 됨으로서 인간생활과 밀접한 관계를 가지고 있다. 국토확장을 목적으로 1960년대부터 서해안의 조간대 지역들은 대규모 간척사업을 통하여 농업, 공업 용지, 신도시 건설, 연안구조물 설치 등으로 활용범위를 넓혀 왔다. 그러나, 간척사업에 의한 가용면적의 확대는 육지로 부터의 오염물질의 유입에 따른 연안오염 증가, 해안선 변화에 따른 해류, 조류의 변화 등으로 연안퇴적물의 침식/퇴적 등으로 인하여 부작용이 날이 갈수록 심해지고 있다.

갯벌의 중요한 역할중 하나는 유입된 오염물질들에 대한 정화작용으로써 물리적, 화학적, 생물학적인 복합적인 요인들의 상호작용에 의해 자연의 원상태로의 환경을 유지하는 것이다. 오염물질들은 확산, 혼합, 흡착, 침전 등의 물리적 작용을 통해 유입되며, 수층과 퇴적층중에서 호기성 미생물에 의한 분해를 통한 산화 및 환원 등 생화학적인 과정을 걸쳐 제거된다. 궁극적으로 오염 정도는 수리역학적인 조건에 의한 퇴적물 운반에 따른 이동경로와 집적지의 환경에 따라 달라진다(Williamson, *et al.*, 1996).

여러 오염물질중 중금속은 육지풍화에 의한 자연현상과 인위적 산업활동에 의해 갯벌과 해양에 공급되며, 장기간의 물리적 및 퇴적학적 환경변화에 따른 지화학적 과정에 의해 공급과 제거의 결과가 퇴적물중에 잘 반영된다(Sinex and Wright, 1988). 특히, 미량금속들은 생지화학적인 환경변화에 민감한 원소들로써 주로 세립질 점토, 철-망간 산화물, 유기물 등에 흡착되어 퇴적물중에 존재한다 (Ergin *et al.*, 1996). 그러나, 갯벌 퇴적물내 중금속들은 주기적인 조류의 영향과 대기중의 노출로 인한 산화/환원환경, pH, 유기물 분해, 황화물들의 형성의 일일 및 계절에 따른 복잡한 주기적 변화를 통해 퇴적물

로의 침착과 해수로 재동된다(Kerner and Wallmann, 1992). 결과적으로 갯벌은 자체에서 생산되거나 유입된 유기물과 중금속들을 재용출시킴으로써 인근 연안환경에 영향을 주는 2차적인 오염 근원지가 될 수 있다. 특히, 조간대에서는 오염정도의 파악은 퇴적물의 이동, 운반, 퇴적과 밀접한 관련이 있어서 조류에 의한 퇴적물의 유입과 유출량을 계산해야만 정화량을 계산할 수 있다(Williamson et al., 1996).

본 사업의 주요 목적은 조간대의 효율적인 이용과 보전을 위하여 조간대의 생태계 구조와 생태계에 영향을 미치는 퇴적학적 작용을 세밀히 조사하고 파악하여, 해안개발과 사후 환경보존 관리 계획을 수립하는데 필요한 자료를 제공하는데 있다. 제 2차년도에는 강화 남부 조간대에 대해 생태학적, 퇴적환경 및 지형변화에 관한 연구가 수행되었다. 퇴적학적 연구에는 연구지역 전면의 표층퇴적물 입도특성을 이용하여 표층퇴적물의 이동경로를 파악하고, 측선에서의 지형변화, 지화학적 특성 및 집적을 변화를 파악하였다. 이러한 자료들은 강화남부 조간대의 생태계와 관련된 퇴적환경과 퇴적환경 변화 양상을 파악하는 자료로서 활용될 것이다.

2.2. 분석방법

2.2.1. 수준측량

강화도 조간대 퇴적작용에 영향을 주는 요인 중의 하나이며 퇴적작용의 결과를 나타내는 지형변화를 알기위해 측선 4, 5, Y를 선정하여 광파거리 측정기(Wild T2 Universal Theodolite and Geodimeter 220)와 수준의 (Pentax Pal 2S Level)를 이용하여 조간대가 노출되는 시간에 정밀한 수준측량을 실시하였다. 수준측량에 앞서 출발기준점은 연속해서 재측량이 가능하도록 영구보존을 위한 표석을 세웠다. 출발 기준점의 위치는 주변의 삼각점을 이용한 육분의 (Sextant)와 삼각분도기로 결정하였고, 측선은 조간대를 가장 크게 가로지르는 바다쪽으로 방향설정을 하였다.

육상에서 조간대를 가로질러 해안쪽으로 약 1km가량 측선을 설정하여 100m 간격으로 말뚝을 설치하고 수준측량을 하였다. 표고는 표척(Staff)을 측량지

점에 세우고 고도를 알고있는 육상지점에서 Pentax Pal 2S Level을 사용하여 측량하였다. 측선 4, 5, Y는 약 2개월마다 연속적인 측량을 실시하여 조간대의 계절적, 연도별 퇴적물 축적 변화에 따른 지형변화를 추적하고 있다.

2.2.2. 표층퇴적물 채취

연구지역 전면의 표층퇴적물 분포특성을 파악하기 위하여 강화도 남부 조간대 지역을 1997년 8월 만조시 선박을 이용하여 Grab sampler로 83개 정점에서 표층퇴적물을 채취하였다(Fig. 3-2-1). 또한 조간대 지형변화에 따른 퇴적물 특성을 파악하기 위하여 측선 5개를 선정하여 약 2개월 마다 100m 간격으로 표층퇴적물을 채취하였다.

2.2.3. 퇴적물 입도분석

현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 약 5g을 1,000ml비이커에 담아 유기물을 제거하기 위하여 10% 과산화수소수 (H_2O_2)로 24시간 이상 반응시킨다. 조개껍질 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거한다.

입도분석이 준비된 시료는 4 ϕ 체를 이용하여 습식체질(wet seiving)에 의해 조립질과 세립질 퇴적물로 분리하였다. 4 ϕ 이하의 사질 시료는 0.5 ϕ 간격으로 Ro-tap sieve shaker로 약 15분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였다. 4 ϕ 이하의 니질시료는 전체를 대표할 수 있는 시료 2g을 취해 300ml의 0.1% calgon용액을 넣고 초음파 분쇄기와 자기진동기로 시료를 균일하게 분산시킨 후, X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5000D로 분석하여 입도무게 백분율을 구하였다. 입도별 무게 백분율은 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 통계적인 변수들을 구하였다.

2.2.4. 잔류경향벡터 계산과정

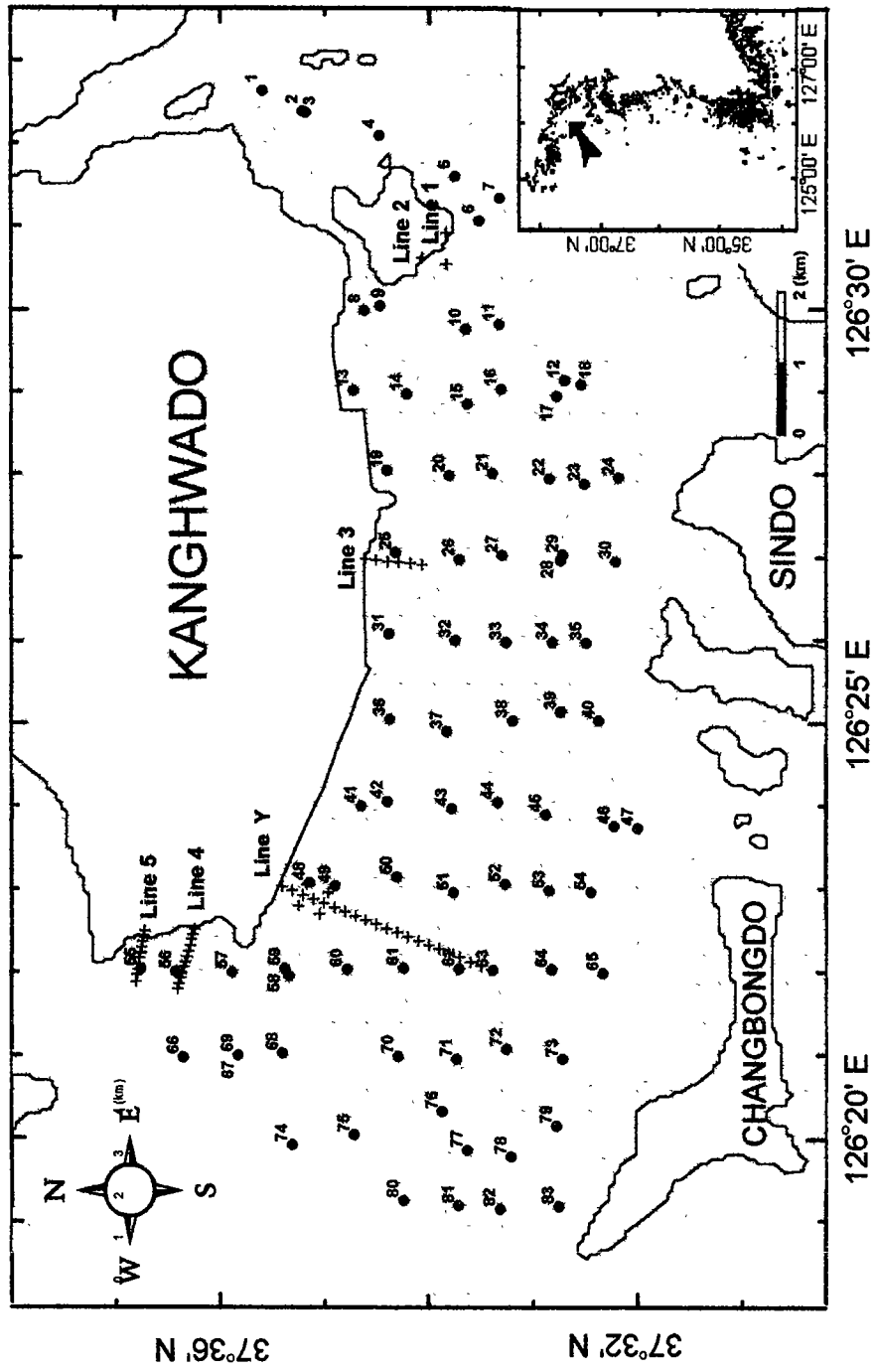


Fig. 3-2-1. Location map of Kanghwa tidal flat showing transect lines and 83 sampling stations of surface sediments

강화도 주변 조간대 표층퇴적물의 순 이동경로를 알아보기 위하여 Fig. 3-2-1에서와 같이 1997년 8월에 샘플링을 실시하여 각각에 대하여 평균입도, 분급도, 왜도의 통계학적 변수를 구하였다. 이렇게 구해진 통계학적 자료는 inverse distance 방법에 의거하여 0.3분 간격의 격자망에 대하여 각각의 자료를 구한 후, 이를 기본적으로 Gao and Collins (1992)의 방법을 응용하여 순퇴적물 이동경로를 추정하였다.

가. 계산에 사용된 퇴적물의 입도경향

퇴적물이 A지점에서 B지점으로 이동되면서 나타날 수 있는 입도의 통계변수 특징은 여러 가지 존재할 수 있다. 하지만, 1960년대 이후 이에 대한 여러 연구자들의 결론에 의거하여 McLaren and Bowels (1985)는 다음과 같이 두가지 경우의 수로 정리하였다.

$$\text{Case 1 : } \sigma_B^2 < \sigma_A^2, \mu_B > \mu_A \text{ and } Sk_B < Sk_A$$

$$\text{Case 2 : } \sigma_B^2 < \sigma_A^2, \mu_B < \mu_A \text{ and } Sk_B > Sk_A$$

여기서, 아래첨자 A와 B는 샘플링 지역을 나타낸다. 따라서 본 조사에서 역시 오염물질 및 퇴적물의 순이동방향을 추정하기 위해 인접하는 두지역의 통계변수가 위 두가지 경우에 해당될 때 A에서 B지점으로 이동된 것으로 추정하였다.

나. 계산과정

위에 요약된 두가지 경우 (Case 1, 2)가 퇴적물의 순이동 방향을 나타내지만, 이 경우들이 퇴적물의 이동경로를 절대적으로 가리키는 것은 아니다. 따라서 이러한 잡음 (noise)을 없애기 위하여 반정량적 필터링 기법 (semi-quantitative technique)을 이용하여 실질적인 값들만을 추출해 내었다.

첫번째 단계는 샘플링 격자점에 대해서 각각의 ‘이웃지점 (neighbouring)’ 들과 입도 통계변수들 (평균값, 분급도, 왜도)의 비교를 통해서 ‘경향벡터 (trend vector)’를 정의하였다. 여기서 언급된 이웃지점을 정의하기 위하여 샘플링된 두 지점간의 최대거리를 고려하여 특정거리 “ D_{cr} (characteristic distance)”을 정한다. 그래서 만약 샘플링된 두지점간의 거리가 D_{cr} 보다 가까우면 이들은 이웃지점으로 간주되어 상호간의 입도 통계변수값을 비교한다. 이 결과가 위에서 기술한 Case 1 또는 Case 2에 속하면 분급도가 불량한 쪽에서 양호한 쪽으로 퇴적물의 순이동을 나타내는 경향벡터가 형성된다. 이때 입도의 평균값, 분급도, 왜도 모두가 조합 비교되어 결정적으로 이러한 경향을 나타내기 때문에 어느 한 변수값에 의존하지 않고는 변수 자체들만에 기본해서 벡터의 크기를 결정하기는 어렵다. 따라서 편의상 경향벡터의 크기는 단위값 (unity)으로 정하였다.

각 비교격자점에서 D_{cr} 의 크기에 따라 상호간의 통계변수값을 비교하는 이웃지점들의 수가 변할수 있으므로 결정되는 단위벡터 역시 하나 이상이 존재할 수 있다. 따라서 각 단위벡터의 합을 실시하여 하나의 대표 벡터를 만든다.

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y) \quad (\text{식 1})$$

여기서, n 은 일정 격자점에서 결정된 경향벡터의 수이며, $\vec{r}(x, y)$ 는 각각의 경향벡터이고 $\vec{R}(x, y)$ 는 경향벡터의 합이다. 이 합에는 실제 이동경향과 앞서 기술한 잡음성분이 합쳐져 있는 상황이다.

각 격자점에서의 벡터의 합에 포함되어 있는 잡음성분을 제거하기 위하여 D_{cr} 내에 있는 대표벡터들에 대해 평균을 실시한다. 다양한 잡음성분들은 빈도수영역 (domain frequency)에서 살펴볼 때 이들은 상당히 높은 빈도수의 파동 형태로 존재한다. 따라서 이 성분들은 어느 특정격자점에서의 대표벡터와 D_{cr} 내에 있는 이웃격자점에서의 대표벡터들과 평균을 통해서 제거될 수 있다. 잡음성분을 제거하는 평균방법은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\vec{R}_{av}(x, y) = \frac{1}{k+1} [\vec{R}(x, y) + \sum_{j=1}^k \vec{R}_j] \quad (\text{식 2})$$

여기서, \vec{R}_j 는 (식 1)에 의해 이웃 격자점들에서 계산된 경향벡터의 합이며, k 는 이러한 이웃 격자점들의 전체갯수이다.

(식 2)에 의해 계산된 $\vec{R}_{av}(x, y)$ 가 실제 “이동벡터 (transport vector)”라 정의되며, 이는 잡음성분의 영향을 거의 받지 않는 잔류경향을 나타낸다. 이렇게 계산된 이동벡터의 정렬성은 신뢰도 검정 (significance test)을 통해 재확인하였다.

2.2.5. 퇴적물 집적을 변화 측정

조간대 퇴적물 이동에 따른 퇴적물의 집적을 변화를 정량적으로 파악하기 위하여 기준면으로서 조간대의 일정 깊이에 30cm×30cm 크기의 스테인레스 판을 설치하였다. 기준면이 설치된 곳은 부근이 주위환경과 평형상태에 도달할 때까지 약 1~2개월 기다린다. 조간대 표층에서 기준면(스테인레스 판)까지의 깊이 변화는 버니어캘리퍼스를 이용하여 약 2개월 간격으로 측정하여 퇴적물 집적을 변화를 계산하였다.

2.2.6. 지화학 분석

코어퇴적물은 1998년 8월 강화도 남단 여차리 조간대 축선 Y라인을 따라 해안으로부터 200m(YC-200), 600m(YC-600), 1200m(YC-1200)인 세 지점에서 길이 30cm이상되는 투명 아크릴 파이프를 이용하여 채취하였다(Fig. 3-2-1). 각 코어퇴적물은 실험실로 운반되는 과정에서 산화에 의한 화학원소들의 화학적 특성 변화를 방지하기 위해 현장에서 N₂ 가스만이 충전된 Glove Box내에서 2cm 간격으로 절단하였다. 각 깊이별 시료들은 비닐 봉지에 담은 다음 ice bag에 넣어 실험실로 운반하였다.

실험실에서 퇴적물시료들을 균질하게 혼합한 후 주요원소(Mg, Al, K, Fe, Ca, Ti)와 미량원소(Mn, Sr, Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Zr)을 분석하기

위해 70℃의 건조기에서 3일 이상 충분히 건조시켰다. 그런 다음 agate mortar 를 이용해 분말로 만들고, 0.2g 분말시료를 teflon bomb에 넣은 후 hot plate 상에서 가열시키면서 HNO₃(3ml), HClO₄ (1ml), HF(1ml) 순으로 산을 첨가하여 용해시켰다. 원소들 중 Al, Fe, Mn들은 HNO₃(1M)을 이용해 1,000배, 나머지 원소들은 100배 희석하여 ICP-AES(inductively-coupled plasma-atomic emission spectrometer, Perkin Elmer, Model Optima 3300DV)를 사용하여 측정하였다. 본 실험의 정확도와 정밀도를 알아보기 위해 표준시료 BCSS-1를 시료와 동일하게 전처리하여 동시에 측정하였다(Table 3-2-1). 원 시료의 일부는 입도분석에 사용하였다(분석방법 참조).

2.3. 연구 결과

2.3.1. 표층퇴적물의 입도 특성 및 퇴적상

강화도 남부해안은 넓은 조간대가 형성되어 있으며 강화도 동부에서 수로가 신도와 장봉도를 거쳐 강화도 서부로 연결된다. 조간대의 표층퇴적물의 특성을 밝히기 위하여 1997년 8월 만조시 선박을 이용하여 83정점에서 표층퇴적물을 채취하여 분석하였다(Fig. 3-2-1). 연구지역의 표층퇴적물의 특성은 Table 3-2-2에 나타내었고, 퇴적상의 분포도는 Fig. 3-2-2에 나타내었다.

표층퇴적물의 퇴적상은 6개의 퇴적상(Mud, Sandy mud, Sand, Muddy sand, Slightly gravelly mud or Slightly gravelly sandy mud, Slightly gravelly muddy sand or Gravelly muddy sand)으로 구성되어 있다. 일반적으로 표층퇴적물은 해안선에서 바다쪽으로 조립해지는 경향을 보이고 있다. 연구지역의 동쪽은 동검도를 중심으로 분급이 매우 불량한 니질 퇴적상이 우세하며, 약 6~7φ의 평균입도를 가지고 있다. 자갈(gravel)이 포함된 사질이나 니질 퇴적물은 강화도 남부 연안과 장봉도와 신도 부근에서 분포하고 있다. 사질니(Sandy mud)퇴적상은 연구지역 남부에서 북서방향으로 넓게 분포하고 있다. 사질(Sand)퇴적상은 장봉도 북쪽수로에 분포하고 있다. 일반적으로 강화도와 장봉도 사이에는 사질 퇴적물이 상대적으로 많이 분포하며, 동검도 방향으로 는 니질(mud)퇴적물이 상대적으로 많이 분포한다.

Table 3-2-1. Results of replicate analysis of the standard sediment, BCSS-1

Element	Accuracy (%)	RSD (%)*
MgO	103	6.20
Al ₂ O ₃	109	2.78
K ₂ O	113	2.94
Fe ₂ O ₃	113	3.02
CaO	145	2.36
TiO ₂	106	3.38
Mn	138	5.49
Sr	119	3.92
Li	—	8.65
V	98	7.40
Cr	76	8.49
Co	118	8.21
Ni	76	7.13
Cu	68	6.95
Zn	70	7.57
Rb	—	13.42
Zr	—	2.87

*: Precision determined as relative standard deviation.

Table 3-2-2. Textural parameters of the surface sediments on Kanghai tidal flat

Sample No.	Location (WGS-84)		Composition (%)			Sediment Type by Folk	Statistical Parameters				
	Latitude	Longitude	Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz(ϕ)	St. De.(ϕ)	Skew.	Kurt.
1	37.60995	126.5433		5.51	71.88	22.61	M	6.56	2.53	1.17	3.22
2	37.60350	126.5392		11.88	76.83	11.29	sM	5.56	2.13	1.96	6.21
3	37.60300	126.5390		8.79	72.23	18.98	M	6.24	2.48	1.34	3.67
4	37.59127	126.5343		22.07	67.32	10.61	sM	5.3	2.16	2.15	6.85
5	37.57913	126.5261		9.56	76.41	14.03	M	5.83	2.2	1.73	5.14
6	37.57535	126.5172		7.61	79.32	13.06	M	5.81	2.1	1.77	5.34
7	37.57212	126.5217		7.83	72.92	19.24	M	6.34	2.31	1.23	3.54
8	37.59362	126.4991		1.84	69.78	28.37	M	7.16	2.44	0.92	2.63
9	37.59117	126.5001		1.64	63.88	34.48	M	7.57	2.68	0.72	2.16
10	37.57748	126.4954		6.45	71.28	22.27	M	6.61	2.45	1.15	3.2
11	37.57218	126.4964		9.62	68.81	21.57	M	6.44	2.55	1.21	3.31
12	37.56177	126.4851		8.27	70.2	21.53	M	6.51	2.52	1.22	3.42
13	37.59547	126.4831		1.4	67.12	31.47	M	7.39	2.62	0.84	2.38
14	37.58690	126.4823		5.35	66.79	27.86	M	7.01	2.62	0.9	2.61
15	37.57725	126.4803		1.91	70.13	27.96	M	7.13	2.54	0.95	2.6
16	37.57187	126.4833		8.2	72.54	19.27	M	6.32	2.43	1.33	3.67
17	37.56298	126.4819		43.95	42.29	13.77	sM	5.26	2.39	1.59	4.61
18	37.55907	126.4842		24.02	61.34	14.64	sM	5.7	2.28	1.51	4.42
19	37.59005	126.4669		7.47	79.14	13.4	M	5.85	2.08	1.76	5.34
20	37.58012	126.4660		9.55	69.2	21.25	M	6.4	2.45	1.16	3.29
21	37.57320	126.4664		2.58	76.13	21.29	M	6.54	2.32	1.25	3.42
22	37.56412	126.4653		6.257	70.79	22.64	M	6.48	2.5	1.1	2.95
23	37.55848	126.4643		6.05	62.81	31.14	M	7.02	2.7	0.73	2.26
24	37.55303	126.4655		17.56	66.76	15.68	sM	5.77	2.26	1.5	4.31
25	37.58870	126.4504	0.09	7.76	77.45	14.7	(g)M	5.9	2.22	1.57	4.95
26	37.57852	126.4491		20.51	66.49	13	sM	5.53	2.27	1.75	5.13
27	37.57167	126.4499		23.64	59.97	16.39	sM	5.83	2.45	1.46	4.13
28	37.56232	126.4488		16.37	69.5	14.13	sM	5.75	2.27	1.62	4.85
29	37.56195	126.4500		19.31	66.02	14.67	sM	5.74	2.32	1.57	4.66
30	37.55355	126.4487		9.34	71.54	19.12	M	6.27	2.46	1.35	3.8
31	37.58978	126.4341	0.18	6.87	80.5	12.44	(g)M	5.83	2.13	1.59	5.8
32	37.57920	126.4328		17.69	72.82	9.49	sM	5.27	1.98	2.08	7.05
33	37.57107	126.4324		38.62	50.83	10.55	sM	5.06	2.21	2.03	6.42
34	37.56367	126.4324		16.58	68.15	15.26	sM	5.79	2.34	1.62	4.65
35	37.55828	126.4323		10.52	63.01	26.48	sM	6.69	2.62	0.89	2.61
36	37.58965	126.4170		7.01	78.8	14.2	M	5.9	2.39	1.78	5.23
37	37.58052	126.4145		22.47	67.42	10.11	sM	5.29	2.06	2.11	6.88
38	37.57001	126.4167	0.06	53.24	39.57	7.12	(g)mS	4.64	1.92	2.44	9.24
39	37.56227	126.4184	0.14	34.48	56.42	8.96	(g)sM	4.89	2.19	1.6	6.33
40	37.55625	126.4166	2.31	22.14	50.15	25.4	(g)sM	5.99	3.39	0.13	2.72
41	37.59422	126.3995		10.49	79.48	10.03	sM	5.45	1.98	2.15	7.12

Table 3-2-2. Continued

Sample No.	Location (WGS-84)		Composition (%)				Sediment Type by Folk	Statistical Parameters			
	Latitude	Longitude	Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz	St. De.	Skew.	Kurt.
42	37.59003	126.4004		9.85	78.28	11.87	M	5.67	2.11	1.82	5.86
43	37.57973	126.3990		20.5	69.77	9.73	sM	5.25	1.97	2.16	7.11
44	37.57243	126.4003		19.13	68.25	12.62	sM	5.55	2.24	1.72	5.41
45	37.56477	126.3978		15.92	70.15	13.92	sM	5.75	2.33	1.69	5.16
46	37.55382	126.3955		12.68	83.24	4.09	sM	6.52	1.66	-0.05	4.29
47	37.55000	126.3951		25.99	54.29	19.72	sM	5.96	2.65	1.14	3.4
48	37.60243	126.3841		12.47	79.39	8.14	sM	5.39	1.82	2.05	7.52
49	37.59835	126.3835		10.4	81.08	8.52	sM	5.39	1.79	2.27	7.94
50	37.58853	126.3853		19.58	73.07	7.35	sM	5.02	1.85	2.72	10.16
51	37.57945	126.3821		35.45	56.77	7.78	sM	4.91	1.92	2.6	9.33
52	37.57117	126.3838	0.03	14.62	81.09	4.27	(g)sM	6.16	1.61	1.59	6.48
53	37.56417	126.3825	29.68	48.9	15.41	6.01	gmS	1.96	3.6	1.79	3.43
54	37.55752	126.3822	17.68	67.66	9.55	5.11	gmS	2.34	3.12	0.66	4.39
55	37.62937	126.3668		16.95	80.16	2.88	sM	5.93	1.52	0.56	5.29
56	37.62385	126.3663		21.33	71.93	6.74	sM	5.03	1.77	2.69	10.27
57	37.61480	126.3662		18.37	69.65	11.98	sM	5.59	2.14	1.85	5.78
58	37.60572	126.3654		12.15	79.62	8.23	sM	5.26	1.89	2.51	8.95
59	37.60638	126.3669	0.17	0.48	89.74	9.61	(g)M	5.89	1.84	1.97	7.73
60	37.59647	126.3667		31.43	56.64	11.93	sM	5.27	2.29	2.02	5.98
61	37.58747	126.3670		35.63	52.46	11.92	sM	5.28	2.37	2	5.93
62	37.57855	126.3668		99.39	0.61		S	3.17	0.33	-0.74	5.34
63	37.57318	126.3666		99.66	0.34		S	2.87	0.6	-0.02	3.9
64	37.56373	126.3667	1.55	80.58	11.51	6.36	(g)mS	3.62	2.35	1.71	7.79
65	37.55560	126.3660		99.52	0.48		S	3.43	0.54	-1.51	4.41
66	37.62267	126.3491		36.53	37.11	26.35	sM	6.11	3.19	0.65	2.22
67	37.61392	126.3495		47.18	40.53	12.29	sM	5.22	2.42	1.93	5.67
68	37.60680	126.3499		49.19	40.6	10.21	sM	5.01	2.32	2.31	7.31
69	37.61392	126.3495		29.35	62.97	7.68	sM	4.85	1.86	2.66	9.71
70	37.58837	126.3493		69.05	27.44	3.51	mS	4.24	1.45	4.44	23.27
71	37.57898	126.3487		62.01	32	5.99	mS	4.38	1.88	2.96	11.78
72	37.57096	126.3508		76.07	17.52	6.41	mS	4.17	1.99	2.85	11.05
73	37.56207	126.3487		68.23	22.52	9.25	mS	4.33	2.33	2.06	6.6
74	37.60525	126.3315		77.87	17.96	4.17	mS	4.14	1.58	3.81	18.11
75	37.59533	126.3335		99.32	0.68		S	3.03	0.32	0.76	3.7
76	37.58127	126.3382		33.37	56.87	9.76	sM	5.09	2.14	2.33	7.65
77	37.57725	126.3304		99.15	0.85		S	3.31	0.26	-0.28	8.85
78	37.57025	126.3292		41.82	47.61	10.57	sM	5.1	2.21	2.03	6.48
79	37.56295	126.3353		29.08	52.74	18.18	sM	5.77	2.57	1.32	3.62
80	37.58747	126.3204		94.61	5.39		S	3.39	0.37	-0.43	6.35
81	37.57865	126.3194		99.7	0.3		S	2.4	0.75	0.92	2.38
82	37.57203	126.3187		99.88	0.12		S	2.34	0.56	0.59	2.23
83	37.56270	126.3192		57.36	32.53	10.1	mS	4.84	2.16	2.23	7.16

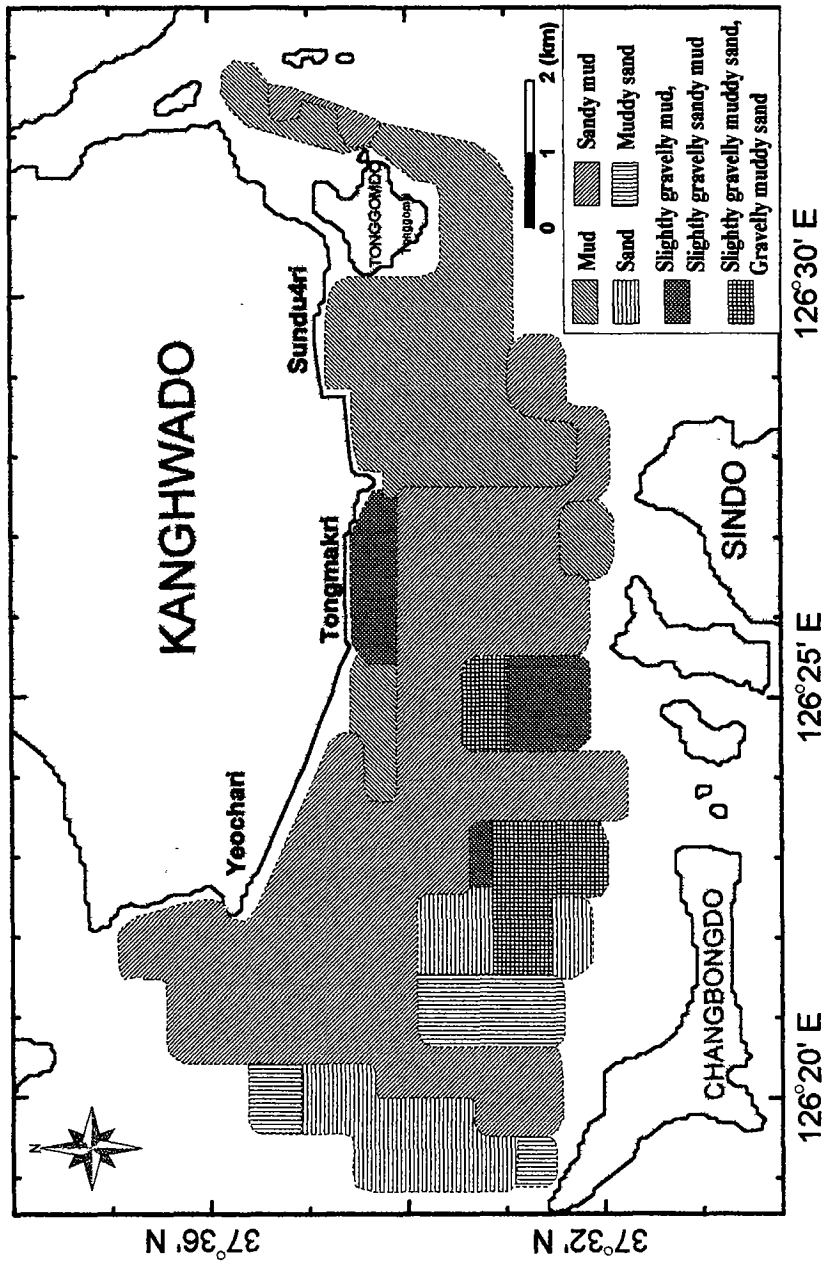


Fig. 3-2-2. Six sedimentary facies of surface sediments in Kanghwa tidal flat.

표층퇴적물의 평균입도는 $1.96\phi \sim 7.57\phi$ 의 범위로 넓게 분포하고 있다. 분급도는 일반적으로 동검도 쪽에서는 매우 불량(very poorly sorted)하며, 장봉도쪽으로 분급도가 상대적으로 점차 양호해지는 경향을 보인다(Fig. 3-2-3).

강화도 남부 조간대의 표층퇴적물 구성 성분을 1991년도와 비교하면 전반적으로 니질성분이 증가되어 세립화 되었음을 알 수 있다(Table 3-2-3). 1991년 환경처의 강화남단 자연생태계 지역조사에 의하면 표층퇴적물 성분은 선두리 연안은 모래 38-43%와 니질 57-62%, 동막 연안은 모래 33-45%와 니질 55-67%, 그리고 홍왕리 연안은 모래 33-48%와 니질 52-67%로 구성되어 있다. 1997년의 이곳들과 유사한 지점의 표층퇴적물 성분은 선두리 연안은 모래 2%와 니질 98%, 동막 연안은 모래 8-20%와 니질 80-92%, 그리고 홍왕리 연안은 모래 7-22%와 니질 78-93%로 구성되어 있다. 이 자료에 따르면 강하남단 연안의 표층퇴적물은 니질퇴적물 유입의 증가 또는 해수순환의 변화에 따라 니질퇴적물의 퇴적 증가 등에 따라 세립화 되고 있음을 보여준다.

2.3.2. 퇴적물 이동 경향

신뢰성 검정결과, 83개의 샘플수에서 특성벡터의 길이가 90% 이상의 신뢰도 수준을 넘는 80개의 샘플들에 대하여 입도경향분석을 실시하였다. 이러한 방법으로 선택된 샘플 지점들은 수로를 포함하여 강화도 조간대 조사해역 전반에 걸쳐 분포하고 있기 때문에 전체적인 퇴적물 이동경향을 살펴보기에는 적합한 것으로 사료된다. 이 경우에 특정거리 D_{cr} 을 0.03° , 0.04° , 0.05° 3가지 경우로 변경시켜가며 이동경향벡터 분석을 실시하였다. 입력된 특정거리의 변화에 따라 특성벡터의 평균길이가 0.33, 0.41, 0.45로 달라졌다. 특정거리가 0.03° 인 경우가 잡음성분을 없애고 정렬된 이동양상들을 나타내기에는 충분한 거리이며, 또한 미세한 경향들을 보기에 가장 합리적인 이동양상을 보였다. 이는 특정거리내에 이웃지점으로 입도통계변수들을 비교할 수 있는 점이 최소 5개가 존재함으로써 이동벡터를 계산하기에 아주 적합한 경우로 판정되었다.

결과적으로 특정거리를 0.03° 로 입력하여 계산된 이동벡터결과가 가장 합

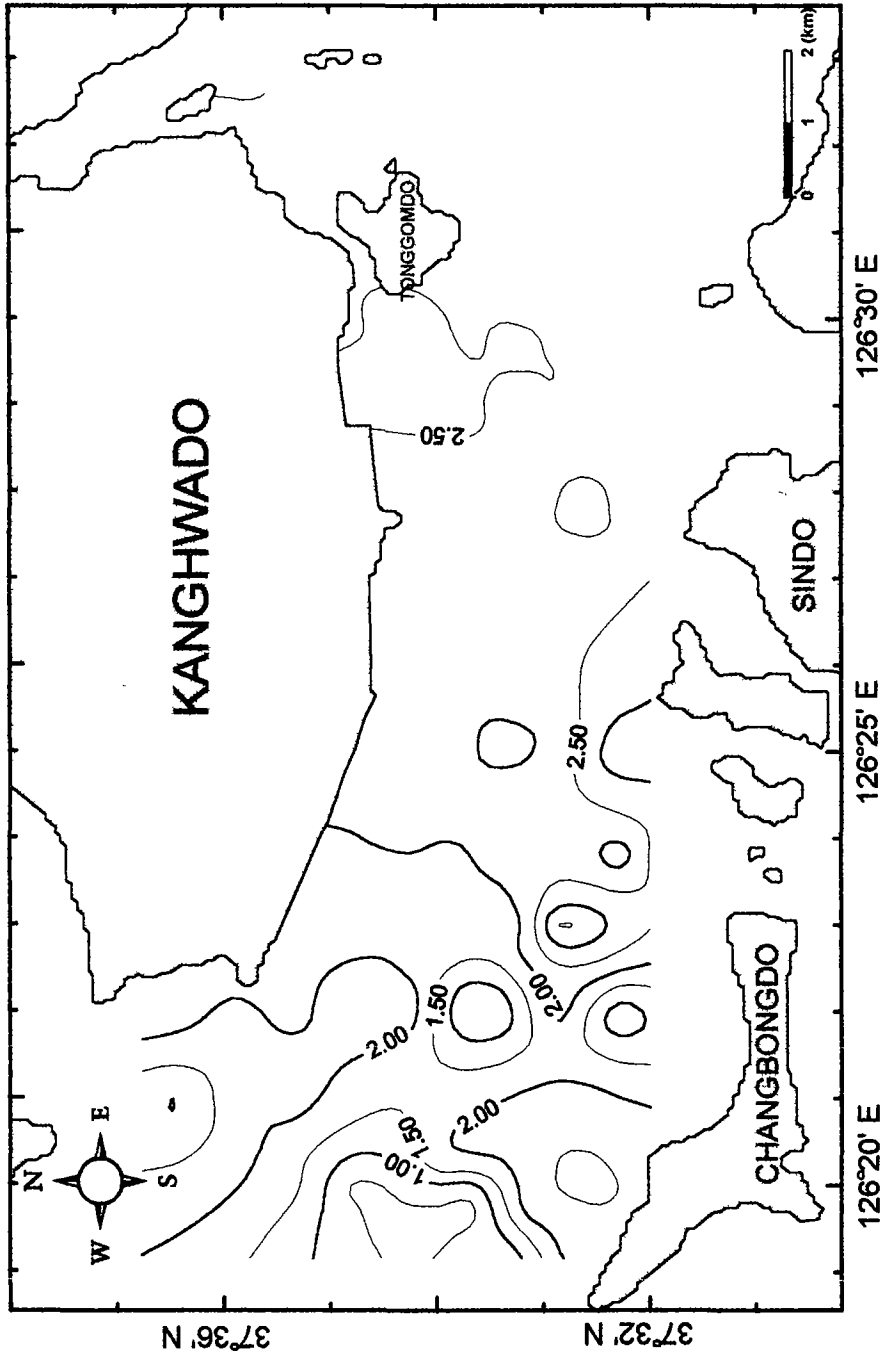


Fig. 3-2-3. Sorting values of surface sediments.

Table 3-2-3. Comparison of surface sediment composition(%) on Kanghwa tidal flat in 1991 to 1997

Locality	Sediment composition(%) in 1991 (Ministry of Environments, 1991)		Sediment composition(%) in 1997 (KORDI, 1998)	
	Sand	Mud	Sand	Mud
Dongmacri	33 - 45	55 - 67	8 - 20	80 - 92
Sunduri	38 - 43	57 - 62	2	98
Heungwangri	33 - 48	52 - 67	7 - 22	78 - 93

리적이며, 이로서 계산된 결과를 살펴보면, 강화도 남부 조간대에서 가장 두드러진 퇴적물의 이동양상은 화도면 전면의 수로로부터 조간대로 올라오는 성분들이다 (Fig. 3-2-4). 이렇게 조간대로 이동되는 퇴적물들은 서부 (장화리), 중부 (화도면) 그리고 동부 (길상면) 조간대에서 각각 다른 양상을 보인다. 여차리를 경계로 서부 장화리 전면 조간대에서는 점차적으로 북서쪽으로 이동되어 서쪽으로 점차적으로 빠져나가는 양상이 보이고 있으며, 중앙의 화도면 전면 조간대에서는 조간대로 퇴적물이 이동되는 양상이 가장 두드러지게 나타나며, 점차적으로 북동쪽 또는 동쪽으로 이동하여 동검도 남서부쪽 길상면 전면 조간대에서 집적되는 양상을 보이고 있다 (Fig. 3-2-4). 또한 이곳에서는 한강의 주수로로부터 이동되어 오는 성분도 이곳에 집적되는 것으로 나타난다.

이러한 퇴적물의 순이동경로 양상으로부터 조간대의 퇴적을 변화를 추정하여 보면 퇴적이 가장 활발하게 일어날 수 있는 지역은 화도면 전면 조간대와 동검도 남서부, 즉 길상면 전면 조간대에서 퇴적물의 퇴적이 가장 활발하게 일어나며 여차리 전면 조간대에서도 상대적으로 보다 느린 속도의 퇴적이 진행될 것으로 사료된다. 반면, 장화리 전면의 조간대의 퇴적물은 외해쪽으로 빠져 나가는 경향을 보임에 따라 침식이 진행될 것으로 사료된다. 하지만, 이러한 경향은 97년 8월에 표품된 퇴적물의 조직변수 결과로부터 계산된 것이므로 97년 여름철에 강화도 조간대에서 나타나는 퇴적물의 이동양상일 뿐이며, 우리나라 서해에서의 퇴적작용이 몬순기후에 의한 계절변화가 심한 것을 감안하면 계절별 표품을 실시하여 자연적인 계절변화와 그리고 인위적인 영향을 고려한 퇴적물의 이동양상이 계산되어야 할 것으로 사료된다.

2.3.3. 조간대 지형 및 집적을 변화

연구지역 조간대의 지형 및 퇴적물의 변화를 밝히기 위하여 측선 5개를 선정하였다(Fig. 3-2-1). 설정된 모든 측선들은 상부 조간대에 속하며, 측선 2, 4는 1997년 5월에, 측선 3, 5는 1997년 8월에 그리고 측선 Y는 1998년 4월에 설정되어, 약 2개월 간격으로 퇴적물의 변화(100m 또는 200m 간격)를 측정하고 있다. 측선 3, 4, 5 그리고 Y에서는 지형변화를 밝히기 위하여 광파거리

측정기(Wild T2 Universal Theodolite and Geodimeter 220)와 수준의(Pentax Pal 2S Level)를 이용하여 조간대가 노출되는 시간에 정밀한 수준측량을 실시하였다.

측선 3은 1997년 8월부터 1998년 11월까지 전반적으로 약간의 퇴적(0.1cm-1.8cm)이 일어났으나, 계절적으로 큰 변화가 없다. 측선 4의 지형변화는 1997년 6월부터 1998년 11월까지 해안에서 600m까지는 큰 변화를 보이지 않지만 전반적으로 작은 수로(tidal channel)가 존재하는 600m~1,100m에서는 8월부터 12월(여름, 늦가을철)까지 침식이 일어났으며, 12월부터 4월(겨울철)까지 퇴적이 일어났다(Fig. 3-2-5). 측선 5의 지형변화는 1997년 8월부터 1998년 11월까지 해안선에서 400m까지는 큰 변화가 없었으나 500m에서 900m까지는 전반적으로 측선4와 비슷한 지형변화를 보였다. 여차리 측선인 Y는 해안선에서부터 2km에서 4km까지는 수로의 위치나 모래둔덕이 이동 함으로서 다양한 변화를 보이고, 해안선에서 2km까지는 4월부터 7월까지 침식, 7월부터 8월까지 퇴적, 8월부터 11월까지 침식이 일어난다(Fig. 3-2-6).

단기간동안(약1년) 표층퇴적물의 집적을 변화를 파악하기 위하여 조간대 일정 깊이에 스테인레스 판을 기준면으로 설치하였다. 측선 2와 4는 1997년 5월에, 그리고 측선 3과 5는 1997년 8월에 설치하였다. 각 측선의 집적을 변화는 Table 3-2-4에 나타내었다. 측선 2가 위치한 동검도 지역에서는 1997년 6월부터 1998년 11월까지 약 1년 5개월동안 퇴적물은 전반적으로 퇴적되고 있는 것을 볼 수 있다. 해안선에서부터 300m 지점인 3번 정점은 97년 8월 기준면에서부터 23.84cm의 퇴적물 높이가 98년 8월에 48.5cm가 됨으로써 약 25cm 정도가 퇴적된 것을 확인할 수 있다. 측선 3이 위치한 동막에서도 측선 전체 정점에서 97년 8월 보다 98년 8월에 기준면에서 부터의 퇴적물 높이가 높아진 것을 확인할 수 있다. 이지점에서는 약 1-2cm 정도가 1년동안 퇴적된 것으로 보인다. 반면 장화리 측선인 4,5에서는 전반적으로 침식되는 부분들이 나타난다. 해안선에서 400m까지는 계절에 따라 약간의 퇴적과 침식이 반복되지만 400m부터 1km까지는 상대적으로 큰 폭으로 지형이 변화되는 것을 보인다. 특히 이지점에서는 수로의 위치가 변화하거나 모래둔덕이 이동됨으로써 퇴적물 높이가 크게 변하는 것으로 보인다. 일반적으로 표층퇴적물은 침식되는 것으로 보여진다. 여차리 측선인 Y는 1998년 7월에 해안선으로부터 200m 간격으로

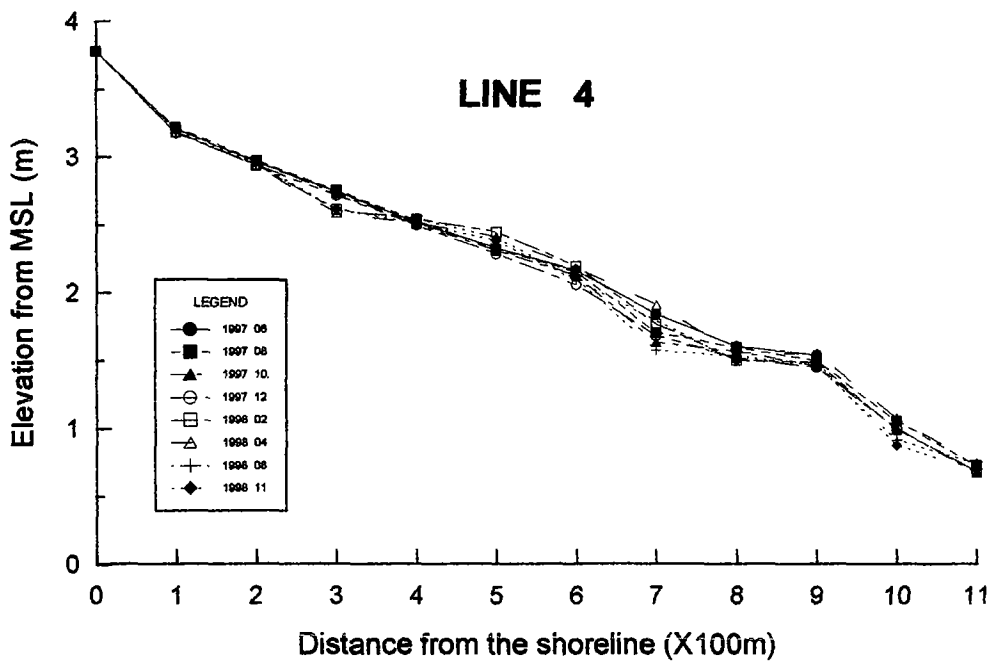
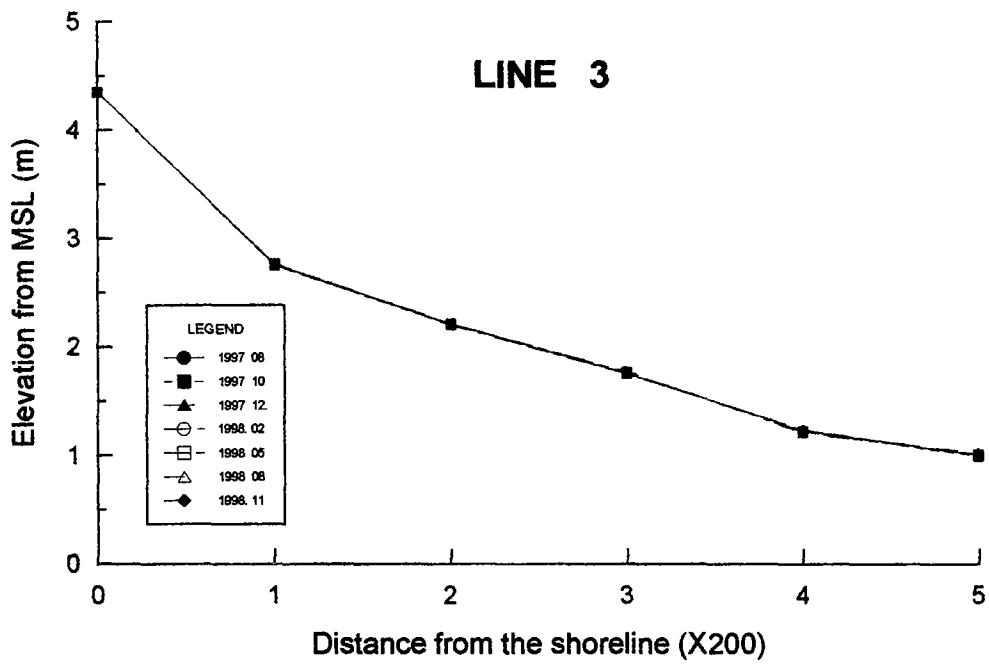


Fig. 3-2-5. Geographic changes in line 3 and 4.

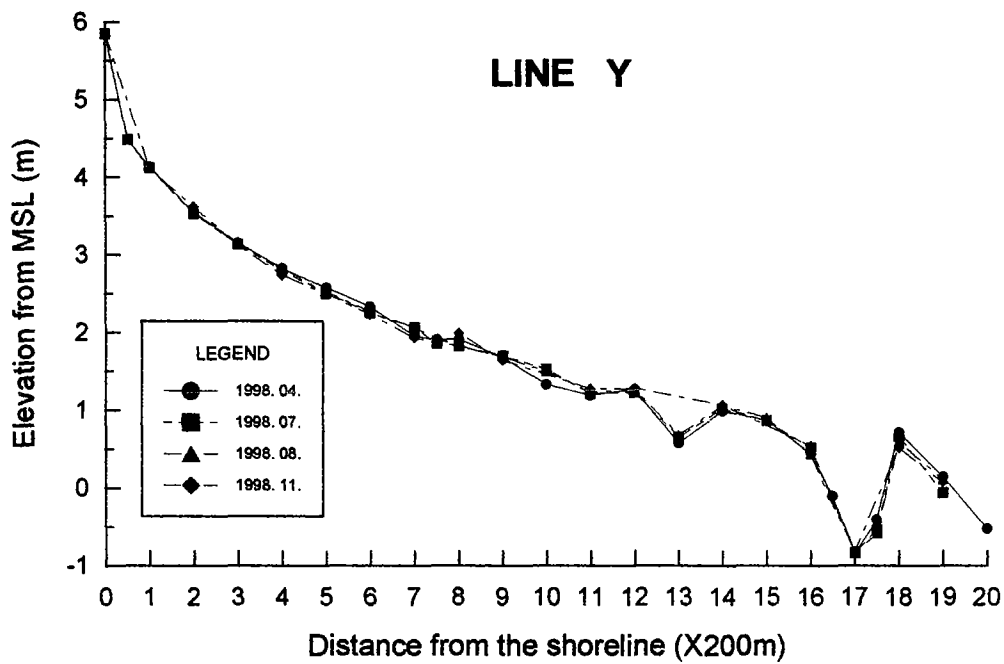
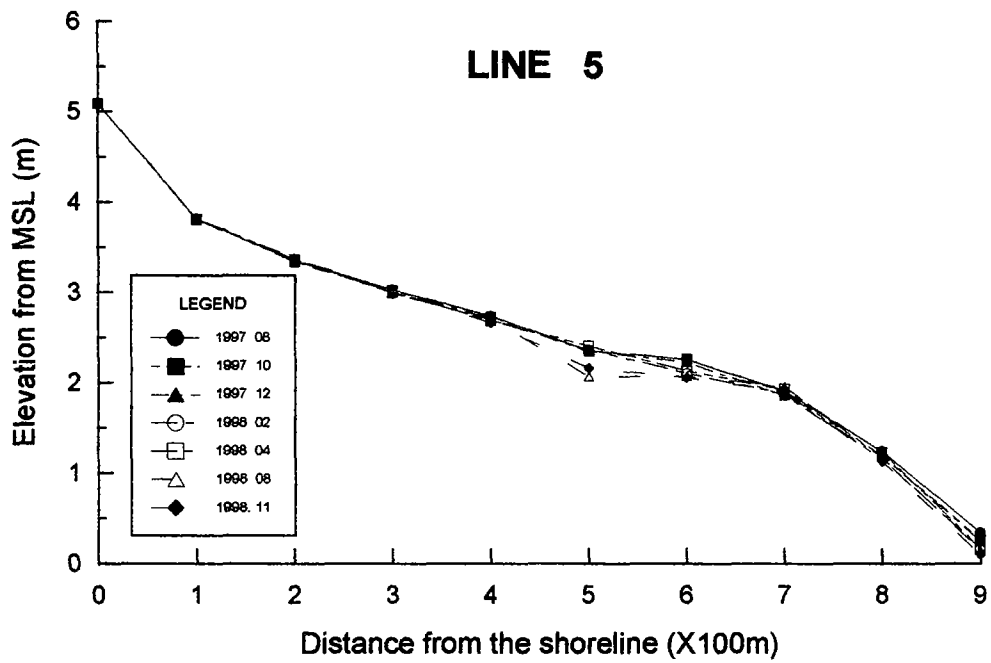


Fig. 3-2-6. Geographic changes in line 5 and Y.

Table 3-2-4. Depth(cm) from surface to datum on line 2,3,4 and 5

St. No.	'97 June	'97 August	'97 October	'97 December	'98 February	'98 April	'98 August	'98 November
L2-1	27.05	29.80	30.1	30.0	30.4	30.9	31.9	32.1
L2-2	29.60	30.95	31.0	30.3	31.0	31.8	34.0	32.9
L2-3		23.84	22.5	37.7	37.8	46.5	48.5	47.7
L3-1		23.6	23.3	22.6	23.2	24.1	24.1	24.8
L3-2		24.9	24.4	23.7	24.6	25.3	24.7	25.6
L3-3		23.0	23.5	21.5	23.7	23.6	25.5	25.9
L3-4		21.5	22.2	24.2	24.8	21.6	22.3	22.3
L3-5		23.5	24.1	23.6	25.4	25.7	25.7	25.1
L4-2	21.6	22.9	21.3	19.9	19.8	16.8	20.4	19.2
L4-4	27.0	27.2	24.3	24.2	24.5	22.8	25.7	22.3
L4-6	26.1	26.6	21.4	15.7	18.0	22.4	13.9	11.2
L4-8	20.2	19.9	13.6	10.5	9.4	14.3	11.4	6.3
L4-10	27.7	20.1	16.0	13.5	14.3	21.7	8.5	8.3
L4-11		19.1	15.4	15.0	15.2	20.5	20.9	13.5
L5-2		22.4	22.3	21.3	20.4	21.6	21.9	21.3
L5-4		21.2	22.2	19.7	19.4	20.3	21.6	19.1
L5-6		20.0	20.7	20.7	14.6	19.5	11.2	9.1
L5-8		22.0	17.5	16.1	15.0	23.0	17.8	12.6
L5-9		19.2	9.8	8.0	2.1	3.4		

스테인레스 판을 설치하여 8월과 11월에 집적을 변화를 관측하였다(Table 3-2-5). 4개월 동안의 관측 결과 해안선에서 1200m까지는 전반적으로 퇴적, 1200m에서 2400m까지는 침식, 2400m에서 3000m까지는 퇴적, 3000m에서 3600m까지는 침식된 것으로 나타난다. 이 축선은 해안선으로부터 2000m 이상은 수로와 모래둔덕의 이동이 진행되는 지역으로 퇴적물변화 보다는 지형변화에 따라 퇴적과 침식이 좌우되는 지역이다. 따라서 축선 Y, 4, 5의 외곽지역은 퇴적양상을 파악하기 위하여 부유물질이동, 수리조건, 지형관찰등의 종합적인 조사가 필요한 곳으로 사료된다.

2.3.4. 축선에서의 퇴적물 특성 변화

퇴적물 특성 변화를 관찰하기 위하여 조간대 지형 및 퇴적을 변화를 측정하는 축선 5개에서 100m 간격으로 약 2개월 주기로 퇴적물을 채취하여 분석하였다. 축선 1은 세립한 니질퇴적물이 퇴적되어 있는 지역으로 접근이 매우 힘든 지역이다. 이 지역은 1997년 5월과 6월에 퇴적물을 채취하여 분석하였으나 평균입도 약 8 ϕ 의 세립한 니질퇴적물로 구성되어 있으며 큰 변화가 없다 (Table 3-2-6).

축선 2에서는 1997년 5월부터 1998년 11월까지 약 2개월 간격으로 퇴적물을 분석하였다. 연안에서 100m 사이에는 사질 퇴적물이 상대적으로 우세한 퇴적상을 보이나, 100m에서 300m까지는 평균입도 7 ϕ 이상의 니질 퇴적물로 구성되어 있다(Table 3-2-7). 연안근처(L2-0)에서는 겨울에서 봄철 사이에 니질 퇴적물이 유입되며, 여름에서 겨울철 사이에 니질퇴적물이 바다쪽으로 이동하여 사질퇴적물이 우세한 것으로 나타난다. 연안에서 100m부터 300m 사이에는 니질퇴적물이 우세하며 큰 변화는 없으나 1998년 퇴적물 구성 성분은 1997년과 비교하여 더욱더 세립화 된 것으로 나타난다. 탄산염은 1% 미만으로 큰 변화가 없으나, 유기물은 1998년에 겨울과 봄철이 여름철 함량보다 높게 나타난다.

축선 3은 1997년 8월부터 1998년 11월까지 퇴적물을 채취하여 분석하였으며 전반적으로 모래가 10% 미만의 니질퇴적물로 구성되어 있다(Table 3-2-8). 연안(L3-0) 지점은 이 축선에서 상대적으로 사질퇴적물이 많이 분포하며 여름

Table 3-2-5. Depth(cm) from surface to datum on line Y

St. No.	'98 July	'98 August	'98 November
LY-1	19.5	19.9	19.5
LY-2	18.6	20.4	20.3
LY-3	19.0	20.8	19.4
LY-4	17.0	17.4	15.0
LY-5	20.0	19.5	22.8
LY-6	15.5	14.0	17.1
LY-7	16.3	19.2	10.6
LY-8	15.4	9.7	9.0
LY-9	29.7	26.0	24.3
LY-10	24.5	18.0	13.3
LY-11	14.6	12.5	21.5
LY-12	25.1	26.2	22.1
LY-13	24.3	32.2	46.1
LY-14	24.1	26.8	26.5
LY-15	28.5	27.8	30.4
LY-16	29.7	30.7	28.3
LY-17	19.6	14.6	12.6
LY-18	10.2	5.6	

Table 3-2-6. Textural parameters of the surface sediments on line 1

Sample No.	Month	Composition(%)				Sediment Type by Folk	Statistical Parameters			
		Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	St. De. (ϕ)	Skew.	Kurt.
L1-0	'97 June	9.76	46.24	44.00		M	7.82	3.09	-0.24	2.67
L1-1	'97 May	1.23	72.34	26.43		M	7.11	2.50	1.03	2.79
	June	0.59	53.24	46.18		M	8.39	2.62	0.38	1.71
L1-2	'97 May	0.13	93.88	6.00		M	7.68	1.14	1.24	10.65
	June	0.13	46.16	53.71		M	8.73	2.58	0.09	1.62

Table 3-2-7. Textural parameters of the surface sediments on line 2

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)		
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.			Kurt.	
L2-0	'97 May	52.47	26.11	21.41	mS	5.19	3.47	0.79	2.41				
	June	3.71	58.53	16.06	21.71	(g)mS	4.17	4.11	0.72	2.24			
	August	0.17	27.49	30.00	42.34	(g)sM	7.25	3.53	-0.12	2.00			
	October	0.39	93.78	3.49	2.34	(g)S	2.73	1.30	2.04	10.95			
	December		94.51	3.02	2.47	S	1.85	1.74	3.94	20.48			
	'98 February		12.47	35.71	51.82	sM	8.28	3.21	-0.38	2.09	7.56	0.46	
	April		12.73	40.01	47.25	sM	8.04	3.23	-0.24	2.05	7.15	0.56	
	August		3.66	90.65	2.95	2.75	(g)S	0.79	2.17	3.54	17.09	0.80	0
	November		1.77	64.68	19.88	13.67	(g)mS	3.51	3.78	1.07	3.12	2.65	0.13
	L2-1	'97 May	3.19	78.11	18.70	M	6.52	2.40	1.48	4.11			
		June	2.25	59.13	38.62	M	7.89	2.78	0.43	2.19			
		August	0.18	8.60	68.68	22.55	(g)M	6.37	2.65	0.86	3.12		
October		2.97	70.57	26.46	M	7.07	2.54	0.82	2.99				
December		3.96	63.94	32.10	M	7.34	2.64	0.58	2.16				
'98 February		1.45	52.32	46.23	M	8.35	2.65	0.25	1.60	6.31	0.12		
April		1.68	58.73	39.59	M	7.91	2.71	0.46	1.72	5.70	0.39		
August		2.39	63.04	34.58	M	7.67	2.74	0.62	1.84	2.91	0		
November		1.89	58.82	39.29	M	7.97	2.85	0.44	1.58	4.98	0.04		

Table 3-2-7. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.		
L2-2	'97 May	0.82	70.41	28.77	M	7.25	2.68	0.98	2.53		
	June	0.73	73.48	25.79	M	7.18	2.51	1.12	2.93		
	August	1.24	73.49	25.27	M	7.15	2.37	1.08	3.15		
	October	0.91	72.55	26.53	M	7.11	2.37	1.02	3.04		
	December	2.46	65.09	32.45	z	7.39	2.58	0.66	2.10		
	'98 February	1.36	57.93	40.71	M	7.87	2.65	0.35	1.52	5.10	0
	April	0.79	58.34	40.87	M	7.94	2.57	0.46	1.81	6.92	0.43
	August	1.27	71.92	26.81	Z	7.22	2.64	1.00	2.40	3.21	0.17
	November	1.18	57.94	40.88	M	8.04	2.81	0.39	1.54	4.95	0.13
	L2-3	'97 May	1.77	70.38	27.85	M	7.23	2.67	1.00	2.61	
June											
August		0.93	70.25	28.82	M	7.39	2.42	0.99	2.75		
October		2.02	72.88	25.10	M	6.97	2.32	1.04	3.02		
December		1.00	65.42	33.58	M	7.49	2.60	0.65	1.94		
'98 February		0.82	78.45	20.74	z	6.72	1.43	0.40	2.34	5.72	0.12
April		1.15	54.84	44.01	M	8.21	2.72	0.31	1.56	6.11	0.35
August		1.12	53.55	45.32	M	8.33	2.92	0.20	1.37	4.49	0
November		2.57	60.85	36.59	M	7.74	2.83	0.53	1.71	4.60	0.04

Table 3-2-8. Textural parameters of the surface sediments on line 3

Sample No.	Month	Composition(%)				Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.		
L3-0	'97 August	1.95	40.08	27.01	30.96	(g)sM	6.04	3.92	0.15	2.07		
	October	0.94	75.48	17.36	6.221	(g)mS	4.14	2.19	1.43	7.80		
	December	8.18	70.03	14.70	7.09	gmS	2.37	3.34	1.16	4.07		
	'98 February	6.31	50.51	31.04	12.13	gmS	4.08	3.62	0.45	2.92	2.58	0
	April		2.58	42.92	54.50	M	8.81	2.60	-0.04	1.65	6.70	0.35
	August	9.41	82.67	4.38	3.54	gS	1.12	2.58	2.30	9.44	1.30	0
	November	10.39	86.12	3.49		gS	0.80	1.60	0.15	2.57	0.94	0
L3-1	'97 August	0.40	5.96	75.40	18.24	(g)M	6.39	2.47	0.87	4.38		
	October	0.14	5.85	79.25	14.77	(g)M	6.12	2.28	1.29	5.01		
	December	2.45	12.21	70.67	14.67	(g)sM	5.72	2.72	0.57	4.28		
	'98 February		9.70	69.06	21.24	z	6.37	2.71	0.78	3.14	2.98	0
	April		5.51	70.37	24.12	z	6.72	2.68	0.80	2.99	2.90	0
	August		8.01	69.49	22.50	z	6.58	2.91	0.65	3.02	2.53	0.04
	November		6.63	64.13	29.23	z	7.04	2.89	0.62	2.24	2.91	0.04
L3-2	'97 August	0.57	6.99	71.51	20.94	(g)M	6.43	2.68	0.74	3.90		
	October	0.36	6.89	79.54	13.21	(g)M	5.91	2.23	1.27	5.54		
	December		11.65	73.02	15.33	sZ	5.89	2.51	1.16	4.05		
	'98 February		2.28	60.52	37.20	M	7.68	3.03	0.44	1.65	4.08	0.03
	April		5.70	73.75	20.54	z	6.49	2.45	1.27	3.40	2.36	0.61
	August		4.43	74.27	21.30	z	6.56	2.78	0.85	3.21	2.32	0.39
	November		5.63	67.76	26.61	z	6.86	2.98	0.64	2.56	3.07	0.09

Table 3-2-8. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)	
		Gra. Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.			
L3-3	'97 August	0.31	7.77	75.49	16.44	(g)M	6.22	2.42	1.19	4.57		
	October	0.19	5.60	77.80	16.41	(g)M	6.19	2.26	1.31	4.43		
	December		4.18	80.38	15.44	z	6.11	2.29	1.64	4.58		
	'98 February		3.16	66.86	29.97	z	7.20	2.78	0.82	2.13	4.30	0.12
	April		10.34	69.92	19.74	sZ	6.26	2.65	1.06	3.47	2.56	1.21
	August		4.53	78.50	16.97	z	6.29	2.44	1.40	4.09	1.98	0.26
	November		8.65	70.55	20.80	z	6.41	2.76	1.03	3.15	2.43	0.35
L3-4	'97 August	0.06	7.10	75.70	17.14	(g)M	6.21	2.36	1.40	4.18		
	October		6.34	80.56	13.10	M	5.88	2.09	1.72	5.45		
	December		6.66	78.71	14.62	z	5.96	2.21	1.66	4.79		
	'98 February		6.73	69.38	23.90	z	6.57	2.83	0.95	2.78	3.16	0.12
	April		8.46	75.04	16.50	z	6.03	2.46	1.33	4.26	2.71	1.08
	August		4.95	64.67	30.37	z	7.08	3.04	0.64	2.09	2.73	0.39
	November		9.89	70.93	19.18	z	6.21	2.74	1.22	3.37	2.81	0
L3-5	'97 August	0.07	8.01	77.86	14.06	(g)M	5.99	2.22	1.61	5.21		
	October		6.61	79.32	14.06	M	5.98	2.15	1.65	5.05		
	December		12.99	76.02	10.99	sZ	5.51	2.12	2.05	6.44		
	'98 February		8.54	74.42	17.04	z	6.08	2.42	1.41	3.95	2.41	0
	April		10.28	75.48	14.24	sZ	5.87	2.31	1.67	4.92	2.32	1.30
	August		6.93	61.66	31.41	M	7.00	3.12	0.60	1.88	2.05	0.35
	November		12.17	69.69	18.15	sZ	6.08	2.73	1.23	3.62	2.18	0

부터 겨울철 사이에 사질의 양이 상대적으로 많이 나타난다. L3-1에서 L3-4까지는 1997년에 자갈이 약간 함유된 니질퇴적물로 큰 변화는 보이지 않았으나, 1998년에는 자갈이 없어지고 더욱더 세립화된 실트질의 퇴적물로 거의 변화가 없었다. 유기물의 함량은 겨울철이 상대적으로 높은 경향을 나타내며, 탄산염은 1% 내외로 크게 변화가 없다. L3-5에서는 퇴적상으로는 큰 변화가 없으나, 여름철은 1997년에 비해 1998년이 더욱더 세립화 되었다. 축선 3은 일반적으로 여름과 겨울철에 니질 함량이 봄, 가을철에 비하여 높은 경향을 보인다 (Fig. 3-2-7).

축선 4는 1997년 5월부터 1998년 11월까지 퇴적물을 채취하여 분석하였으며 전반적으로 사질니(sandy mud) 퇴적상을 보이나, 1998년은 전반적으로 사질실트(sandy silt) 퇴적상을 보임으로서 조금더 세립화 되었다(Table 3-2-9). 니질의 함량은 봄, 겨울철이 여름, 가을철 보다 상대적으로 많은 경향을 보인다(Fig. 3-2-8). 유기물의 함량은 겨울, 봄철에 상대적으로 높게 나타나며, 탄산염은 1% 내외로 크게 변화가 없다.

축선 5는 1997년 8월부터 1998년 11월까지 퇴적물을 채취하여 분석하였으며 전반적으로 연안에서 300m까지는 약간의 자갈이 함유된 사질니 퇴적상으로 이기간동안 큰 변화가 없었다. 400m에서 900m까지는 사질니 또는 사질실트 퇴적상을 나타내며, 1997년에 비하여 1998년에 조금더 세립화 되어가는 경향을 보인다(Table 3-2-10). 니질의 함량은 일반적으로 겨울철이 가장 높고, 가을철에 가장 낮게 나타난다(Fig. 3-2-9). 유기물의 함량은 해안선에서 400m까지는 봄철에, 400m이후에는 여름철에 높게 나타나며 탄산염은 1% 이내로 크게 변화가 없다.

축선 Y는 1998년 4월부터 11월까지 퇴적물을 채취하여 분석하였으며 전반적으로 해안에서 2600m까지는 사질실트, 2800-3400m까지는 실트사질(silty sand) 그리고 3600-4000m까지는 사질(sand) 퇴적상을 보인다(Table 3-2-11). 이 기간동안 퇴적상은 크게 변화하지 않았으며, 니질 및 유기물 함량은 일반적으로 연안에서 1400m까지는 봄철, 1600-3000m까지는 여름철, 3200-4000m까지는 봄철에 가장 높게 나타나며(Fig. 3-2-10), 탄산염은 1% 내외로 큰 변화가 없다.

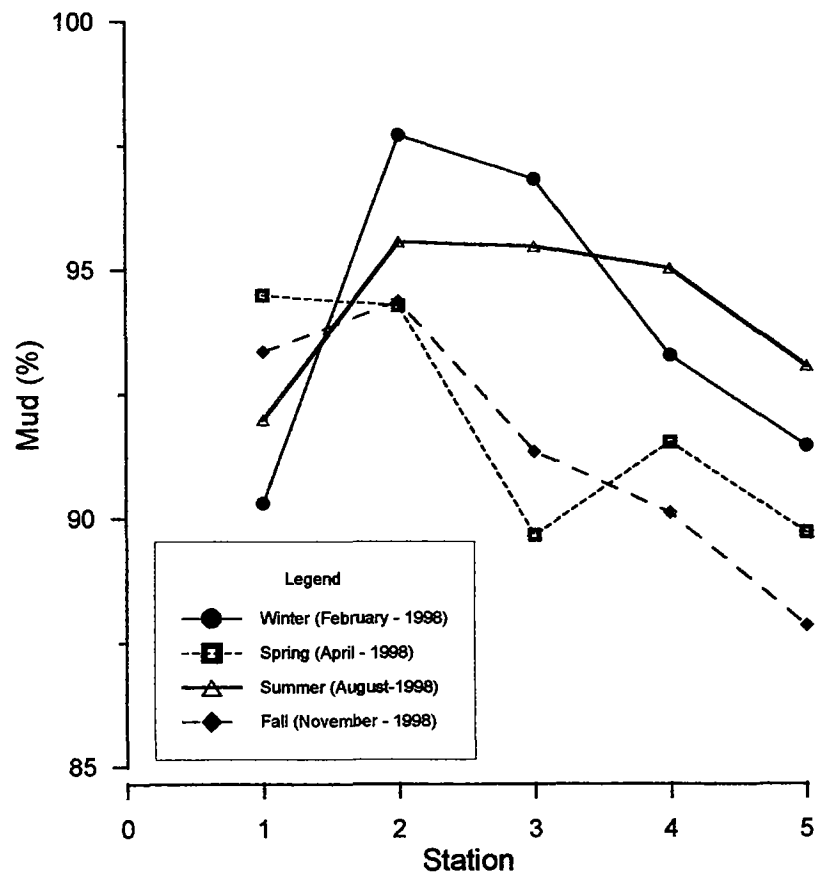


Fig. 3-2-7. Seasonal variation of mud content(%) along line 3

Table 3-2-9. Textural parameters of the surface sediments on line 4

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)	
		Gra. Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.			
L4-0	'97 May	87.67	7.31	5.02	mS	2.97	2.19	2.94	11.49			
	June	69.88	14.92	15.20	mS	3.99	3.44	1.46	3.76			
	August	2.97	63.06	33.96	M	7.71	2.48	0.71	2.38			
	October	0.06	95.60	2.48	1.86	(g)S	3.03	1.12	2.18	10.76		
	December	91.93	5.73	2.35	S	2.97	1.22	2.40	10.52			
	'98 February	49.57	29.56	20.88	sM	5.46	3.20	0.83	2.44	3.72	0	
	April	19.45	45.95	34.60	sM	7.07	3.26	0.16	1.94	5.05	0	
	August	0.29	84.98	8.18	6.55	(g)mS	3.01	2.49	2.49	8.80	1.19	0
	November	94.85	5.15		S	2.39	0.68	0.75	5.23	1.22	0	
	L4-1	'97 May	0.13	10.63	81.29	7.95	(g)sM	5.40	1.48	-0.07	5.32	
June		11.59	69.09	19.32	sM	6.32	2.71	0.76	3.53			
August		0.34	8.35	81.06	10.25	(g)M	5.86	1.99	1.38	6.74		
October		0.20	11.21	84.13	4.46	(g)sM	4.91	1.18	0.11	7.64		
December		0.72	23.89	67.51	7.88	(g)sM	5.05	2.29	0.98	6.12		
'98 February		2.26	3.67	63.03	31.04	(g)M	7.13	3.01	-0.28	4.03	4.72	0.29
April		9.68	72.27	18.04		z	6.24	2.54	1.02	3.73	2.70	0.22
August		7.78	64.17	28.05		z	6.89	3.14	0.66	2.19	1.97	0
November		5.60	45.94	48.47		M	7.09	2.51	0.16	2.48	1.38	0.43
L4-2		'97 May	12.67	71.47	15.86		sM	5.96	2.54	1.10	4.13	
	June	10.42	75.20	14.39		sM	6.03	2.41	1.10	4.72		
	August	0.06	9.93	79.52	10.49	(g)M	5.73	1.97	1.62	6.21		
	October	14.49	85.51			sM	4.77	0.88	-0.35	6.22		
	December	27.37	69.52	3.11		sZ	4.55	1.10	0.89	5.89		
	'98 February	7.41	60.62	31.97		M	7.14	2.80	0.52	2.09	4.23	0
	April	8.91	68.47	22.61		z	6.52	2.68	1.02	2.94	2.96	0.22
	August	6.37	69.62	24.01		z	6.60	2.91	0.94	2.65	2.13	0.22
	November	12.01	64.36	23.63		sZ	6.40	2.94	0.84	2.57	2.16	0

Table 3-2-9. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)	
		Gra. Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.			
L4-3	'97 May	6.28	79.79	13.93	M	6.04	2.27	1.64	5.29			
	June	8.53	73.78	17.69	M	6.28	2.43	1.18	4.11			
	August	0.21	7.13	83.44	9.22	(g)M	5.63	1.85	1.79	7.20		
	October	13.37	86.63		sM	4.80	0.87	-0.27	6.09			
	December	20.11	73.20	6.69	sZ	4.79	1.25	1.10	5.35			
	'98 February	0.28	5.76	39.75	54.21	(g)M	7.94	2.85	-0.39	1.92	3.03	0.16
	April	5.74	71.59	22.67	z	6.56	2.62	1.11	2.95	2.20	0.22	
	August	8.23	70.13	21.65	z	6.33	2.84	1.14	3.01	1.86	0.22	
	November	12.82	67.48	19.70	sZ	6.12	2.86	1.04	3.20	2.05	0	
	L4-4	'97 May	8.61	74.67	16.72	M	6.16	2.49	1.37	4.26		
June		15.38	78.65	5.97	sM	6.47	2.12	-0.07	2.77			
August		8.97	80.27	10.76	M	5.76	1.98	1.85	6.28			
October		0.20	13.60	86.20	(g)sM	4.61	0.76	-0.46	11.98			
December		19.97	73.10	6.93	sZ	5.07	1.89	2.64	9.78			
'98 February		10.54	73.70	15.76	sZ	6.00	2.38	1.50	4.24	2.46	0.21	
April		5.65	67.80	26.54	z	6.85	2.68	0.94	2.53	3.59	0.43	
August		12.23	68.31	19.46	sZ	6.11	2.83	1.24	3.28	1.86	0.13	
November		24.62	63.19	12.18	sZ	5.27	2.56	1.71	5.35	6.78	0.26	
L4-5		'97 May	2.80	71.30	25.90	M	6.93	2.58	1.05	2.84		
	June	10.96	77.75	11.29	sM	5.75	2.13	1.79	6.03			
	August	11.39	77.79	10.82	sM	5.64	2.06	1.96	6.42			
	October	17.02	75.28	7.71	sM	5.22	1.88	2.40	8.75			
	December	20.65	69.44	9.91	sZ	5.32	2.14	2.16	7.00			
	'98 February	17.10	72.53	10.37	sZ	5.47	2.12	2.02	6.50	2.09	0.12	
	April	6.10	63.58	30.33	z	7.10	2.79	0.75	2.13	4.33	0.22	
	August	18.00	63.93	18.07	sZ	5.85	2.81	1.40	3.62	3.76	0	
	November	27.40	59.55	13.05	sZ	5.39	2.56	1.68	5.02	1.97	0	

Table 3-2-9. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.		
L4-6	'97 May	5.16	72.01	22.83	M	6.64	2.57	1.13	3.21		
	June	15.84	64.84	19.32	sM	6.18	2.67	1.17	3.52		
	August	18.72	72.46	8.82	sM	5.32	1.94	2.10	7.26		
	October	18.09	73.83	8.08	sM	5.26	1.85	2.27	8.06		
	December	20.02	72.25	7.73	sZ	5.10	1.92	2.53	9.09		
	'98 February	12.04	73.08	14.88	sZ	5.90	2.33	1.56	4.38	2.65	0.03
	April	5.66	58.57	35.77	M	7.40	2.89	0.45	1.57	3.87	0.43
	August	16.18	66.88	16.94	sZ	5.80	2.73	1.46	3.90	1.66	0.09
	November	30.27	57.37	12.36	sZ	5.26	2.55	1.77	5.32	1.83	1.08
	L4-7	'97 May	3.55	63.04	33.42	M	7.40	2.83	0.71	2.12	
June		14.64	67.53	17.82	sM	6.12	2.53	1.36	3.92		
August		11.91	69.18	18.91	sM	6.23	2.49	1.34	3.76		
October		13.18	79.36	7.45	sM	5.25	1.79	2.47	9.00		
December		27.73	64.15	8.12	sZ	5.01	1.98	2.49	8.63		
'98 February		5.61	59.27	35.12	M	7.35	2.82	0.52	1.78	4.02	0.12
April		12.75	61.45	25.80	sZ	6.63	2.91	0.95	2.39	3.28	0
August		10.66	63.42	25.93	sZ	6.63	2.96	0.86	2.47	3.20	0
November		19.67	70.24	10.08	sZ	5.39	2.22	2.10	6.71	1.80	0
L4-8		'97 May	5.53	66.86	27.61	M	7.00	2.69	0.92	2.61	
	June	12.33	71.96	15.71	sM	5.99	2.45	1.64	4.68		
	August	24.16	65.17	10.68	sM	5.40	2.17	2.02	6.53		
	October	24.41	66.83	8.76	sM	5.17	2.00	2.26	7.79		
	December	22.55	71.06	6.39	sZ	4.98	1.79	2.70	10.43		
	'98 February	10.07	73.00	16.92	sZ	6.13	2.45	1.46	3.99	2.80	0
	April	9.94	61.50	28.56	z	6.89	2.96	0.83	2.13	3.15	0.17
	August	23.68	59.28	17.04	sZ	5.77	2.77	1.48	3.81	1.84	0.04
	November	15.66	65.75	18.59	sZ	6.00	2.73	1.28	3.37	1.90	0

Table 3-2-9. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.		
L4-9	'97 May	5.42	68.86	25.72	M	6.85	2.63	1.02	2.82		
	June	26.07	58.60	15.34	sM	5.72	2.53	1.51	4.30		
	August	33.18	59.26	7.57	sM	5.00	1.90	2.42	8.76		
	October	40.66	53.27	6.07	sM	4.75	1.81	3.02	12.06		
	December	43.61	50.92	5.47	sZ	4.64	1.77	2.93	11.90		
	'98 February	16.06	66.99	16.96	sZ	5.97	2.51	1.43	3.91	2.91	0.03
	April	11.36	56.74	31.90	sM	7.10	3.06	0.66	1.85	2.90	0
	August	34.44	54.00	11.56	sZ	5.22	2.42	1.99	5.92	1.93	0.04
	November	49.68	41.70	8.62	sZ	4.77	2.17	2.42	7.99	1.50	0
L4-10	'97 May	12.21	64.77	23.02	sM	6.53	2.69	1.09	3.04		
	June	29.32	58.40	12.27	sM	5.51	2.40	1.84	5.58		
	August	32.92	59.18	7.91	sM	5.05	1.93	2.22	7.90		
	October	25.74	33.67	40.59	sM	7.13	3.45	0.30	1.22		
	December	35.13	57.60	7.27	sZ	4.62	1.26	1.75	5.56		
	'98 February	8.29	67.71	24.00	z	6.62	2.64	1.02	2.74	3.53	0
	April	18.38	56.61	25.01	sZ	6.46	3.02	0.98	2.41	2.35	0.30
	August	20.13	59.21	20.66	sZ	6.18	2.78	1.21	3.07	2.56	0.04
	November	31.37	56.12	12.52	sZ	4.91	1.50	1.19	3.55	1.71	0
L4-11	'97 May	45.90	47.70	6.40	sM	4.79	1.81	2.69	10.27		
	June	57.12	40.30	2.57	mS	4.25	1.28	4.60	26.84		
	August	47.33	46.73	5.94	sZ	4.58	1.84	2.82	10.97		
	October	56.05	35.29	8.66	zS	4.65	2.15	2.34	7.67		
	December	21.47	56.06	22.47	sZ	6.22	2.94	1.13	2.75		
	'98 February	29.38	49.67	20.94	sZ	6.04	2.91	1.13	2.91	1.68	0
	April	72.58	22.03	5.40	zS	3.93	1.23	2.26	9.11	3.01	0.48

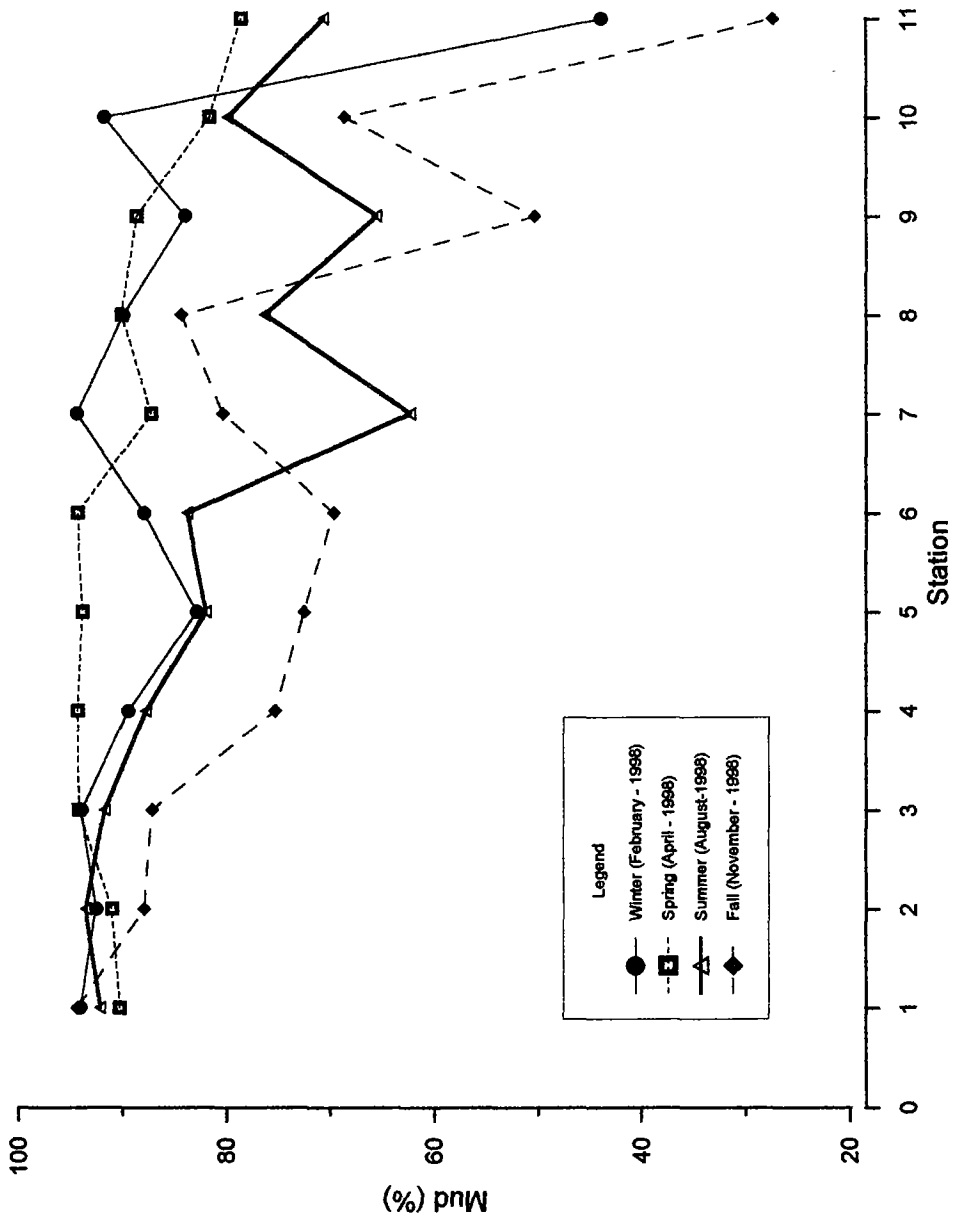


Fig. 3-2-8. Seasonal variation of mud content(%) along line 4.

Table 3-2-10. Textural parameters of the surface sediments on line 5

Sample No.	Month	Composition(%)				Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.		
L5-0	'97 August	0.52	88.14	9.77	1.57	(g)mS	2.66	1.78	1.68	9.57		
	October	8.68	85.34	5.98		gS	1.21	1.66	-0.20	2.67		
	December	1.36	96.31	2.34		(g)S	1.39	1.03	0.18	3.91		
	'98 February		68.04	24.09	7.87	zS	3.37	2.84	1.61	4.86	0.35	0
	April	8.38	90.49	1.13		gS	1.57	1.37	-1.50	5.25	2.60	0.30
	August	1.57	93.44	2.83	2.16	(g)S	2.24	1.44	1.42	9.21	1.10	0
	November	0.72	95.89	3.39		(g)S	2.10	0.99	-0.52	3.98	1.22	0
L5-1	'97 August	10.20	32.27	44.85	12.67	gM	4.34	3.73	0.02	2.83		
	October	3.80	32.04	53.57	10.60	(g)sM	4.77	2.96	0.27	3.90		
	December	6.43	52.73	34.62	6.23	gmS	3.59	2.90	0.54	4.04		
	'98 February	3.66	48.45	38.73	9.16	(g)mS	4.09	3.07	0.55	3.47	1.78	0.12
	April	2.96	31.28	43.42	22.33	(g)sM	5.46	3.81	0.29	2.30	2.84	0.09
	August	1.79	40.05	41.11	17.04	(g)sM	5.04	3.47	0.61	2.86	1.79	0
	November	0.89	39.02	43.60	16.50	(g)sM	5.03	3.42	0.73	2.89	2.35	0
L5-2	'97 August	3.26	17.49	69.83	9.41	(g)sM	5.16	2.66	0.02	5.11		
	October	0.49	10.49	80.98	8.04	(g)sM	5.34	2.03	1.37	7.54		
	December	1.92	48.14	44.63	5.31	(g)sM	3.86	2.43	0.80	5.58		
	'98 February		9.16	70.63	20.21	z	6.31	2.61	0.97	3.17	2.69	0.12
	April	0.71	13.95	59.89	25.45	(g)sM	6.48	3.24	0.45	2.59	2.88	0.26
	August	0.59	10.19	76.78	12.44	(g)sM	5.71	2.56	1.06	4.94	1.32	0
	November	0.14	12.74	72.09	15.02	(g)sM	5.67	2.67	1.21	4.21	1.88	0
L5-3	'97 August	0.09	12.48	76.41	11.02	(g)sM	5.69	2.10	1.57	5.97		
	October		10.56	82.42	7.02	sM	5.17	1.80	2.58	10.10		
	December		21.71	75.05	3.25	sZ	4.65	1.14	0.64	5.86		
	'98 February		17.27	66.76	15.97	sZ	5.95	2.46	1.19	3.76	2.64	0.12
	April		6.15	64.05	29.80	z	7.10	2.90	0.75	2.08	3.18	0.09
	August		11.56	74.02	14.42	sZ	5.84	2.57	1.43	4.51	1.32	0
	November		14.62	72.94	12.45	sZ	5.51	2.44	1.88	5.54	1.60	0
L5-4	'97 August		12.46	75.88	11.66	sM	5.67	2.23	1.73	6.10		
	October		18.52	74.79	6.69	sM	5.06	1.80	2.49	9.83		
	December		14.87	73.79	11.34	sZ	5.49	2.29	1.86	5.78		
	'98 February		6.30	69.85	23.85	z	6.65	2.61	1.01	2.68	2.70	0
	April		10.01	62.13	27.86	sZ	6.83	2.96	0.78	2.22	2.62	0.26
	August		10.16	69.74	20.10	sZ	6.37	2.73	1.11	3.15	2.32	0
	November		14.46	67.30	18.24	sZ	5.99	2.74	1.39	3.59	1.83	0

Table 3-2-10. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.		
L5-5	'97 August	10.16	80.03	9.80	sM	5.55	2.00	2.19	7.37		
	October	11.76	77.80	10.44	sM	5.47	2.14	2.18	7.01		
	December	8.72	79.24	12.04	z	5.69	2.17	1.97	5.97		
	'98 February	5.18	70.69	24.13	z	6.69	2.59	1.02	2.66	2.55	0
	April	11.44	65.25	23.31	sZ	6.46	2.85	1.10	2.70	2.15	0.04
	August	8.48	68.32	23.20	z	6.59	2.78	1.05	2.74	2.57	0.22
	November	8.21	71.35	20.43	z	6.36	2.73	1.24	3.15	2.63	0
L5-6	'97 August	26.22	68.56	5.22	sM	4.92	1.63	2.71	10.97		
	October	16.93	68.94	14.13	sM	5.64	2.41	1.77	5.07		
	December	14.75	75.33	9.92	sZ	5.38	2.07	2.11	6.73		
	'98 February	6.11	73.83	20.06	z	6.39	2.45	1.25	3.30	2.79	0
	April	12.65	59.53	27.82	sZ	6.74	2.92	0.85	2.22	3.61	0.43
	August	16.79	54.84	28.37	sM	6.72	3.05	0.75	2.14	3.39	0
	November	32.51	57.85	9.64	sZ	5.04	2.28	2.35	7.40	1.71	0
L5-7	'97 August	20.51	64.68	14.81	sM	5.70	2.40	1.61	4.68		
	October	20.95	67.70	11.34	sM	5.42	2.23	2.03	6.26		
	December	27.98	63.98	8.04	sZ	5.06	2.01	2.43	8.44		
	'98 February	8.93	70.36	20.71	z	6.35	2.53	1.22	3.16	2.71	0.12
	April	14.40	55.70	29.90	sM	6.95	3.05	0.74	1.98	3.31	0.48
	August	6.09	58.28	35.63	M	7.49	2.97	0.53	1.72	4.22	0.22
	November	41.59	43.05	15.36	sZ	5.40	2.76	1.62	4.23	1.98	0
L5-8	'97 August	33.03	55.29	11.67	sM	5.33	2.31	1.97	6.05		
	October	36.56	53.01	10.43	sM	5.09	2.27	2.19	6.95		
	December	34.31	59.20	6.48	sZ	4.77	1.84	2.76	10.37		
	'98 February	8.32	73.19	18.49	z	6.25	2.44	1.37	3.70	3.60	0
	April	18.62	57.55	23.83	sZ	6.39	2.92	1.04	2.59	3.16	0.39
	August	9.38	63.08	27.55	z	6.85	2.86	0.85	2.27	3.28	0.39
	November	29.39	51.30	19.31	sZ	5.86	2.90	1.29	3.24	2.36	0
L5-9	'97 August	21.33	59.79	18.88	sM	6.01	2.62	1.31	3.62		
	October	17.51	24.15	58.34	sM	8.19	3.13	-0.41	1.33		
	December	42.68	48.86	8.46	sZ	4.90	2.07	2.27	7.71		
	'98 February	21.33	63.88	14.99	sZ	5.66	2.41	1.58	4.35	2.23	0.03
	April	18.56	61.03	20.41	sZ	6.14	2.74	1.22	3.13	3.29	0.04
	August	4.65	58.39	36.96	M	7.58	2.93	0.50	1.69	3.89	0.26
	November	31.59	48.38	20.03	sZ	5.88	2.92	1.25	3.10	2.26	0

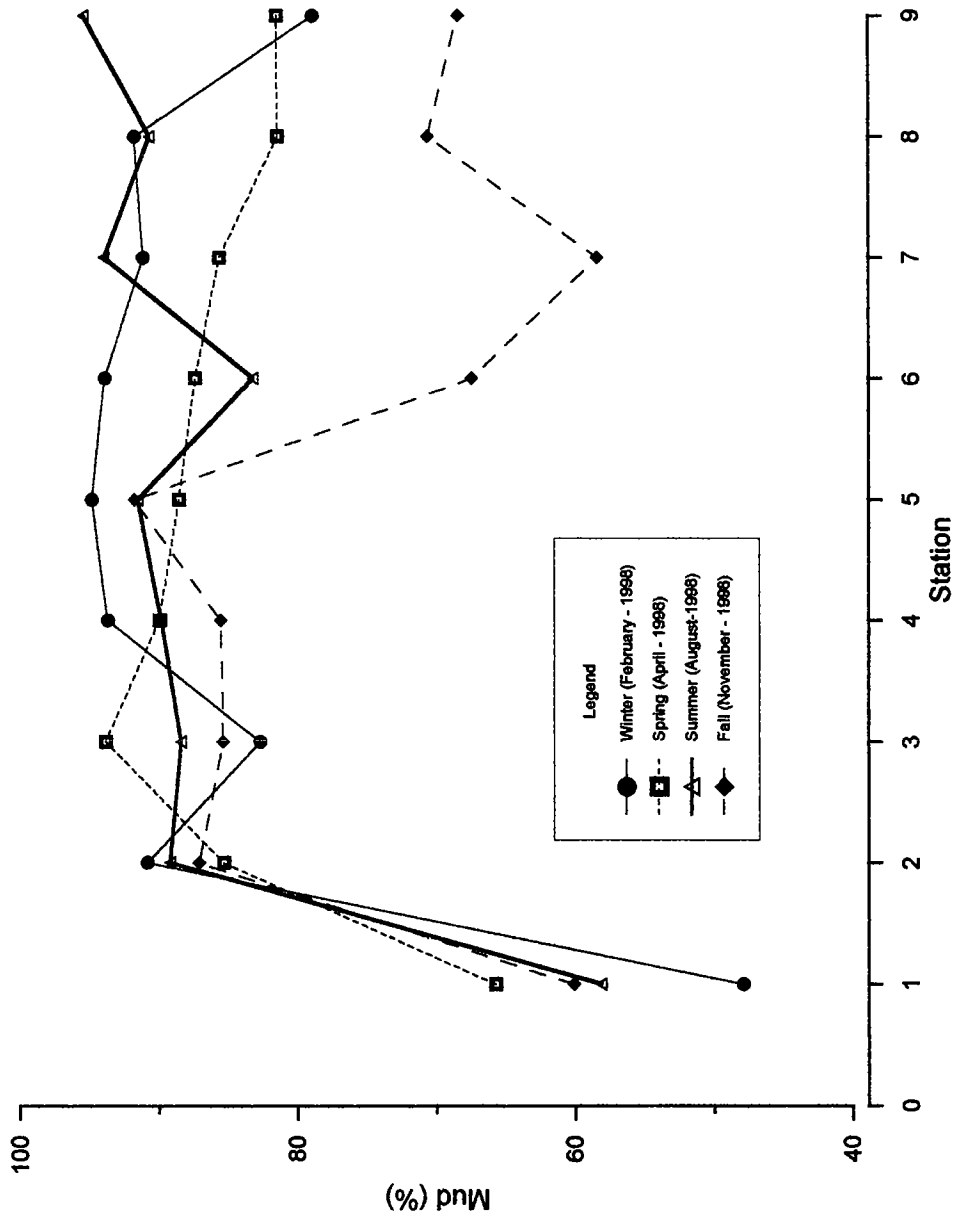


Fig. 3-2-9. Seasonal variation of mud content(%) along line 5.

Table 3-2-11. Textural parameters of the surface sediments on line Y

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)	
		Gra.	Sand	Silt		Clay	Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.			Kurt.
LY-0	'98 April	0.88	25.43	35.37	38.33	(g)sM	7.02	3.67	-0.05	1.93	5.20	0.04
	July		36.64	32.17	33.20	sM	6.42	3.89	0.20	1.74	4.67	0
	August		15.38	13.79	70.83	sC	8.63	3.04	-1.14	2.89	3.94	0.48
	November	0.50	27.30	31.49	40.71	(g)sM	7.11	3.83	-0.10	1.78	5.07	0
LY-1	'98 April		7.06	65.61	27.33	z	6.97	2.70	0.75	2.45	3.77	0.13
	July		3.98	71.24	24.78	z	6.94	2.69	0.96	2.63	2.72	0
	August		10.13	60.15	29.73	sZ	7.04	3.04	0.61	2.10	2.59	0
	November	0.25	6.79	54.48	38.48	(g)M	7.68	3.02	0.23	1.95	4.95	0
LY-2	'98 April		7.29	78.32	14.40	z	6.03	2.26	1.61	4.78	1.96	0.09
	July		6.38	78.65	14.97	z	6.14	2.41	1.62	4.51	1.78	0.04
	August		7.41	67.13	25.46	z	6.80	2.88	0.92	2.43	2.20	0.04
	November	0.14	9.11	71.37	19.38	(g)M	6.25	2.73	1.18	3.41	2.32	0.17
LY-3	'98 April		6.84	80.82	12.34	z	5.81	2.14	1.88	5.76	3.02	0.22
	July		7.95	80.86	11.19	z	5.71	2.22	2.05	6.29	1.35	0
	August		6.69	71.35	21.95	z	6.46	2.82	1.16	2.90	2.08	0.09
	November		17.91	69.31	12.79	sZ	5.48	2.43	1.76	5.17	1.91	0.22
LY-4	'98 April		7.62	80.99	11.39	z	5.69	2.13	2.04	6.33	2.13	0.22
	July		12.01	76.87	11.13	sZ	5.51	2.30	2.08	6.28	1.41	0.04
	August		9.43	69.24	21.33	z	6.24	2.91	1.22	2.94	1.75	0
	November		12.90	75.10	11.99	sZ	5.55	2.38	1.98	5.74	1.57	0.09
LY-5	'98 April		6.33	80.56	13.11	z	5.73	2.35	1.92	5.39	2.56	0.22
	July		16.16	73.53	10.32	sZ	5.34	2.20	2.15	6.71	1.51	0
	August		17.64	76.83	5.53	sZ	4.94	1.52	2.50	10.59	1.72	0.13
	November		14.85	74.00	11.15	sZ	5.36	2.21	2.04	6.09	1.76	0.04
LY-6	'98 April		7.21	81.02	11.76	z	5.71	2.17	2.04	6.16	2.47	0.17
	July		23.44	69.17	7.39	sZ	5.00	1.94	2.64	9.53	1.40	0
	August		17.76	66.96	15.28	sZ	5.70	2.56	1.59	4.21	1.56	0.26
	November		13.55	77.57	8.88	sZ	5.35	2.09	2.30	7.78	1.61	0.09

Table 3-2-11. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra. Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.		
LY-7	'98 April	17.56	73.14	9.30	sZ	5.30	2.08	2.27	7.48	1.95	0.39
	July	37.42	55.92	6.66	sZ	4.52	1.18	2.01	7.09	1.51	0
	August	18.86	64.40	16.74	sZ	5.81	2.70	1.55	3.96	1.53	0
	November	32.96	59.02	8.02	sZ	4.88	2.11	2.57	8.92	1.55	0.13
LY-8	'98 April	21.63	68.68	9.69	sZ	5.24	2.08	2.25	7.29	1.56	0.82
	July	45.18	47.65	7.17	sZ	4.46	1.23	2.04	6.95	1.37	0
	August	11.79	33.37	54.84	sM	7.61	2.84	-0.23	1.37	1.58	0.04
	November	33.42	57.95	8.63	sZ	4.93	2.11	2.50	8.32	1.66	0.22
LY-9	'98 April	23.97	68.36	7.67	sZ	4.95	1.92	2.68	9.65	1.87	0.39
	July	52.13	41.61	6.26	zS	4.43	1.24	1.85	6.42	1.36	0
	August	49.90	41.61	8.49	sZ	4.75	2.21	2.46	8.27	1.57	0.09
	November	39.78	52.56	7.66	sZ	4.75	2.03	2.69	9.50	1.62	0
LY-10	'98 April	32.33	60.22	7.44	sZ	4.91	1.91	2.58	9.42	2.05	0.30
	July	60.79	32.07	7.14	zS	4.25	1.25	2.33	7.96	1.14	0
	August	7.33	84.71	7.96	z	6.81	2.01	0.40	3.26	1.88	0.04
	November	33.46	58.05	8.49	sZ	4.92	2.15	2.49	8.50	1.88	0
LY-11	'98 April	29.55	60.63	9.82	sZ	5.07	2.21	2.31	7.34	2.28	0.09
	July	48.59	42.03	9.38	sZ	4.48	1.37	1.90	5.77	1.31	0
	August	9.50	41.21	49.28	M	7.01	2.42	0.24	2.04	2.12	0
	November	29.11	61.54	9.35	sZ	5.01	2.25	2.41	7.78	1.64	0.04
LY-12	'98 April	32.60	57.93	9.48	sZ	5.04	2.17	2.32	7.51	2.30	0.17
	July	31.34	47.39	21.27	sZ	5.80	2.95	1.24	2.84	1.89	0
	August	14.19	63.60	22.22	sZ	6.37	2.80	1.13	2.86	2.65	0
	November	30.22	60.42	9.36	sZ	4.99	2.19	2.33	7.59	1.78	0.09
LY-13	'98 April	41.22	50.32	8.47	sZ	4.83	2.13	2.51	8.51	2.01	0.30
	July	36.65	43.58	19.78	sZ	5.73	2.97	1.34	3.22	2.23	0
	August	27.87	54.21	17.93	sZ	5.72	2.81	1.46	3.67	1.56	0.69
	November	58.67	32.17	9.16	zS	4.59	2.19	2.49	8.05	1.47	1.22

Table 3-2-11. Continued

Sample No.	Month	Composition(%)			Sediment Type	Statistical Parameters				OM (%)	CaCO ₃ (%)
		Gra. Sand	Silt	Clay		Mz (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	Kurt.		
LY-14	'98 April	79.33	16.90	3.18	zS	3.73	1.06	2.81	12.05	1.57	0.04
	July	51.27	34.10	14.63	zS	5.17	2.77	1.72	4.53	1.74	0.30
	August	79.02	17.20	3.78	zS	3.77	1.08	2.88	12.34	1.05	0.09
	November	84.42	11.77	3.81	zS	3.46	1.16	2.79	11.81	1.53	0.22
LY-15	'98 April	80.85	15.87	3.28	zS	3.61	1.09	2.82	12.13	1.76	0.09
	July	65.74	23.91	10.35	zS	4.52	2.54	2.18	6.60	1.52	0
	August	41.18	38.79	20.03	sM	5.68	3.00	1.26	3.12	2.17	0.26
	November	92.09	5.26	2.65	S	3.00	0.18	3.31	16.13	1.28	0.43
LY-16	'98 April	86.90	10.03	3.08	zS	3.36	1.10	3.11	13.47	1.29	0.22
	July	58.26	27.11	14.64	mS	4.90	2.91	1.64	4.33	1.74	0.78
	August	94.05	3.72	2.23	S	2.91	1.00	3.76	19.88	1.20	0.39
	November	89.17	7.84	2.99	zS	3.10	1.14	2.95	13.30	1.52	0.43
LY-17	'98 April	79.21	16.43	4.36	zS	3.35	1.50	2.54	9.35	1.57	0.30
	July	78.93	15.14	5.93	zS	3.67	2.12	2.84	10.73	1.31	0.09
	August	89.26	6.64	4.10	mS	3.07	1.33	2.70	10.77	1.26	0.26
	November	83.55	12.94	3.51	zS	3.23	1.26	2.45	9.92	1.16	0.26
LY-18	'98 April	96.82	3.18		S	2.84	0.39	1.79	7.40	1.39	0.43
	July	97.70	2.30		S	2.69	0.44	0.98	5.90	1.25	0
	August	97.42	2.58		S	2.70	0.47	0.95	5.23	1.20	0.17
	November	96.10	3.90		S	2.68	0.52	0.92	5.34	1.29	0.30
LY-19	'98 April	94.25	3.64	2.11	S	2.75	1.02	4.03	20.90	1.24	0.78
	July	97.70	2.30		S	2.41	0.50	1.24	6.69	1.10	0.69
	August	99.23	0.77		S	2.27	0.38	1.04	9.09	0.79	0.43
	November	98.10	1.90		S	2.34	0.50	0.95	7.68	1.24	0.22
LY-20	'98 April	99.09	0.91		S	2.65	0.49	0.46	3.85	1.17	0.22
	July	98.15	1.85		S	2.32	0.48	1.46	7.38	0.76	0
	August	99.49	0.51		S	2.21	0.41	0.79	6.45	0.44	0.61
	November	88.92	8.95	2.12	zS	2.69	1.21	2.34	11.09	1.26	0.87

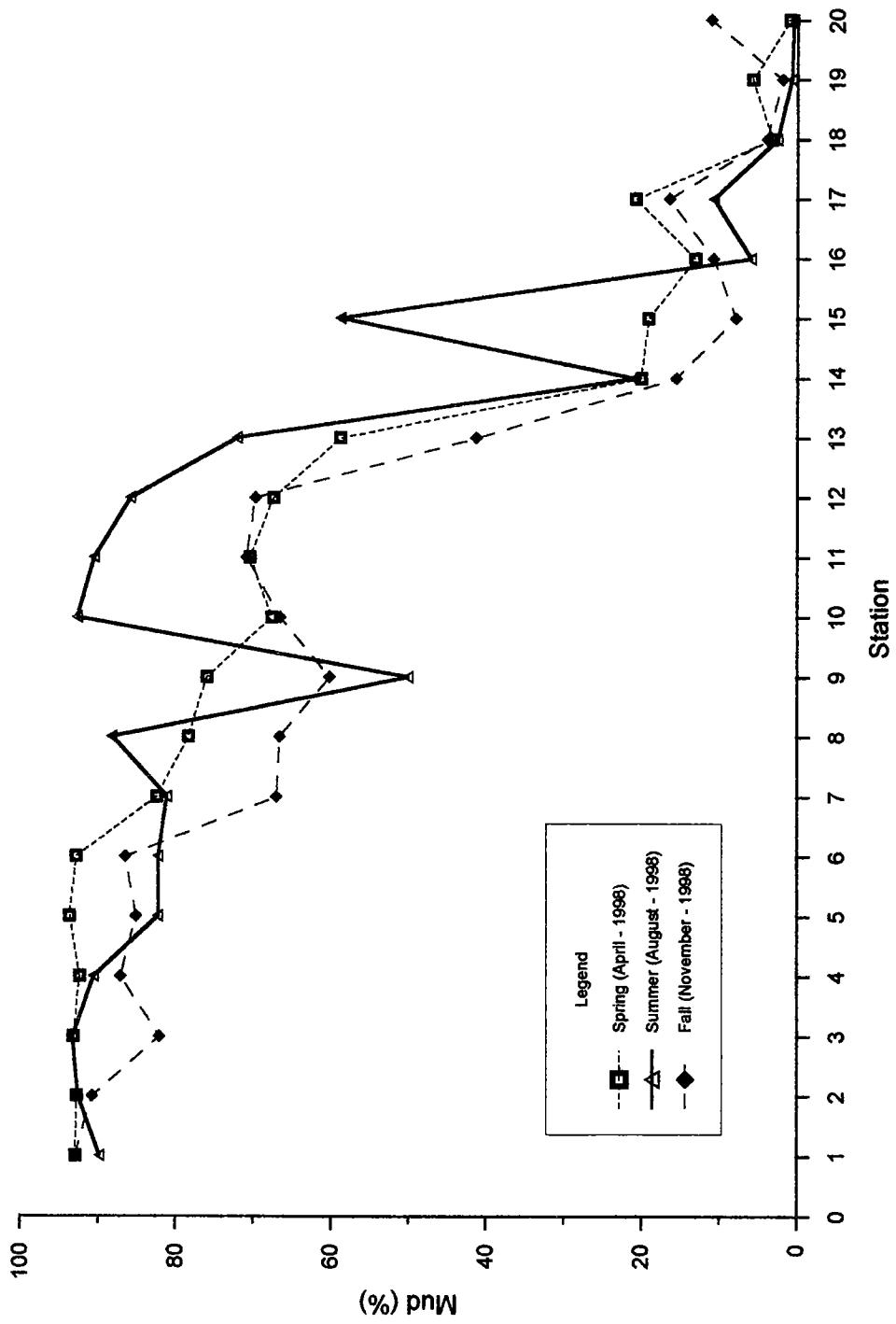


Fig. 3-2-10. Seasonal variation of mud content(%) along line Y.

2.3.5. 퇴적물의 지화학적 특성

가. 코어 퇴적물내 화학원소함량의 수직분포

YC-200 코어 : Table 3-2-12와 Fig. 3-2-11에 각 깊이별 퇴적물의 평균입도와 분석된 원소들의 함량과 수직분포를 나타냈다. 평균입도 범위는 깊이 4-6cm에서 최소값 6.92 ϕ 를 나타내고 깊이 24-26cm에서 최대값 9.04 ϕ 를 보이나, 전체적으로 보아 깊이에 따라 변화가 작지만 표층으로 갈수록 조립화하는 경향이 있다.

주요원소들의 수직 함량분포는 깊이에 따라 변화가 크지만 퇴적물의 평균입도와 비교를 통해 두 그룹으로 나눌 수 있다. 첫 번째 그룹에 속하는 원소들은 깊이에 따라 증가하는 경향성을 갖는 원소들로 Mg, Al, K, Fe은 공통적으로 표층에서 최소값, 코어의 깊이는 약간의 차이를 보이지만 하부에서 최대값을 보인다. Mg은 표층에서 최소값 0.78%, 22-24cm 깊이에서 최대값 1.18%를 보인다. Al, 5.80%, 8.27%; K, 2.17%, 2.89%; Fe, 2.64%, 3.84%의 최소 및 최대함량을 보인다. 두 번째 그룹에 속하는 원소들은 깊이에 따라 거의 일정한 함량을 보이는 Ca와 Ti로써, Ca의 최소값은 깊이 16-18cm에서 0.85%, 최대값은 12-14cm 깊이에서 1.11%으로 나타났다. Ti의 최소값은 깊이 8-10cm에서 0.47%이고 최대값은 깊이 22-24cm에서 0.55%로 측정되었다.

Zr을 제외한 미량원소들의 수직적인 함량분포들도 주요원소와 마찬가지로 두 그룹으로 나눌 수 있다. 첫 번째 그룹은 Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn으로, 최소값이 측정되는 코어깊이는 다르지만 공통적으로 22-24cm 깊이에서 최대값을 갖는다. Li은 표층에서 최소값 82.67ppm, 최대값은 129.92ppm이다. V의 함최소 및 최대함량은 각각 62.15ppm, 81.64ppm; Cr, 53.12ppm, 66.11ppm이며, Co, Ni, Cu, Zn들의 최소값은 동일하게 4-6cm 깊이에서 각각 13.25ppm, 13.86ppm, 7.54ppm, 50.22ppm, 최대값은 각각 15.80ppm, 20.01ppm, 13.13ppm, 66.57ppm이다. 두 번째 그룹에 포함되는 원소들은 Mn, Sr, Rb들로써, Mn의 최소값은 16 - 18cm 깊이에서 538.25ppm, 최대값은 22 -24cm 깊이에서 677.35ppm을 나타낸다. Sr의 최소값은 16-18cm 깊이에서 206.70ppm, 최대값은 12-14cm 깊이에서 206.70ppm이다. Rb의 함량분포는 12-14cm 깊이에서 최

Table 3-2-12. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-200

Station	Depth (cm)	Mz (phi)	Major Elements (%)										Minor Elements (ppm)									
			Mg	Al	K	Fe	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr			
YC-200	0-2	-	0.78	5.80	2.17	2.64	0.93	0.49	556.44	171.41	82.67	66.73	57.45	14.42	14.14	9.04	53.03	100.69	127.64			
	2-4	7.23	0.92	6.74	2.42	3.18	0.99	0.52	617.98	177.31	96.84	69.34	55.73	14.44	16.26	10.60	57.96	156.90	114.04			
	4-6	6.92	0.87	6.76	2.52	3.00	1.07	0.49	558.04	200.58	83.49	62.15	53.24	13.25	13.86	7.54	50.22	170.74	106.14			
	6-8	7.64	0.82	6.51	2.38	2.85	1.01	0.50	538.56	186.08	86.58	64.08	53.12	13.74	14.14	8.38	51.94	152.15	119.45			
	8-10	7.61	0.93	6.34	2.48	3.10	0.91	0.47	575.88	172.51	98.88	67.58	57.22	14.05	16.33	10.88	58.20	127.40	82.97			
	10-12	7.62	0.87	6.96	2.61	3.24	1.02	0.49	634.37	185.06	99.80	67.35	55.83	13.79	15.97	10.46	57.00	143.90	87.22			
	12-14	7.69	1.04	8.10	2.72	3.47	1.11	0.52	635.18	206.70	99.64	69.79	55.25	14.25	16.40	10.92	57.86	99.59	88.77			
	14-16	7.67	1.04	7.07	2.58	3.25	0.95	0.49	576.69	181.98	106.04	70.21	57.83	14.17	16.74	11.17	58.59	162.65	84.55			
	16-18	7.98	1.00	6.30	2.50	3.07	0.85	0.49	538.25	162.90	106.23	69.73	57.28	14.16	16.64	10.34	56.93	160.73	81.60			
	18-20	8.05	1.05	7.31	2.69	3.37	0.94	0.52	591.79	178.76	115.42	75.84	61.86	15.30	18.30	11.86	61.93	165.47	88.07			
	20-22	7.85	1.09	8.13	2.82	3.58	1.04	0.52	629.00	193.98	119.11	74.85	58.84	14.74	18.11	11.43	61.08	230.26	80.22			
	22-24	8.11	1.18	7.94	2.89	3.84	1.01	0.55	677.35	192.40	129.92	81.64	66.11	15.80	20.01	13.13	66.57	233.10	80.18			
	24-26	9.04	1.13	8.27	2.78	3.83	0.98	0.52	648.69	184.94	124.84	78.06	61.70	15.27	19.54	12.96	66.18	240.79	70.11			
	26-28	7.79	1.15	8.13	2.76	3.62	0.99	0.51	633.75	185.40	121.02	74.65	58.15	14.87	18.45	11.97	61.49	236.41	73.06			
Range		6.92 - 9.04	0.78 - 1.18	5.80 - 8.27	2.17 - 3.89	2.64 - 3.84	0.85 - 1.11	0.47 - 0.55	538.25 - 677.35	162.90 - 206.70	82.67 - 129.92	62.15 - 81.64	53.12 - 66.11	13.25 - 15.80	13.86 - 20.01	7.54 - 13.13	50.22 - 66.57	99.59 - 240.79	70.11 - 127.64			

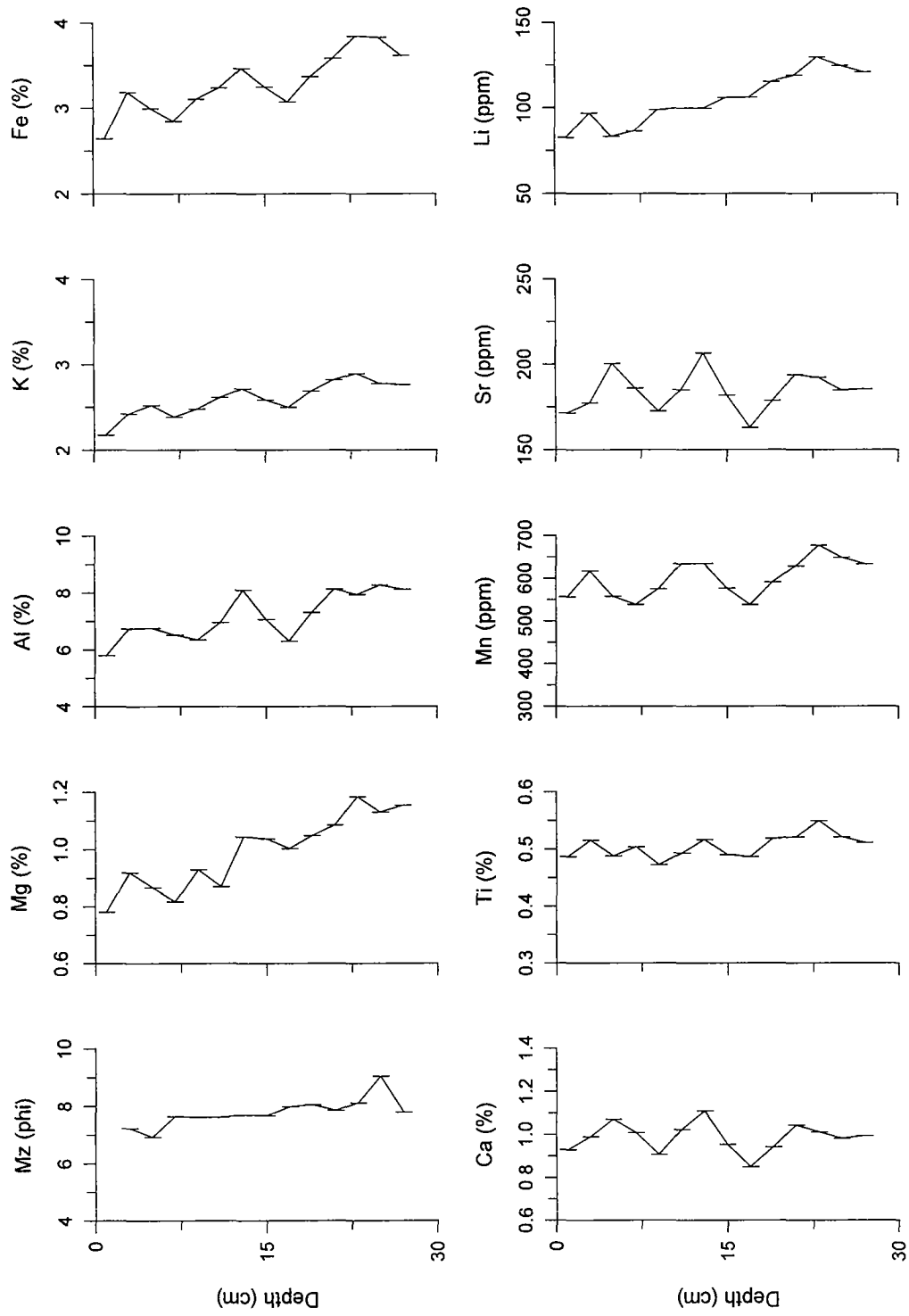


Fig. 3-2-11. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-200.

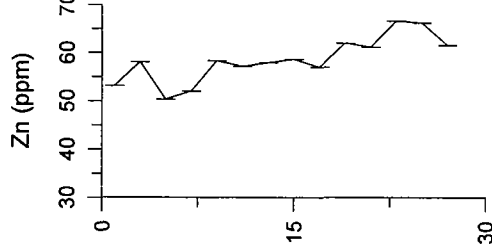
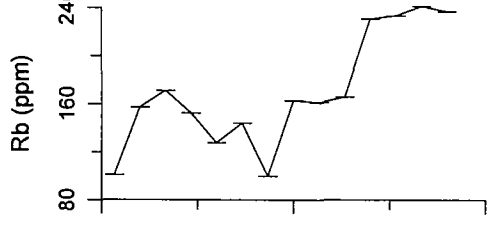
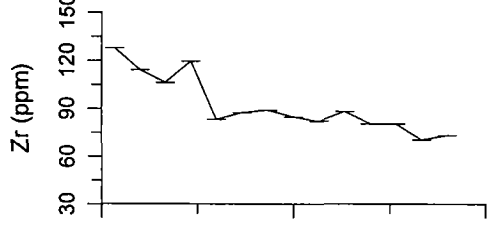
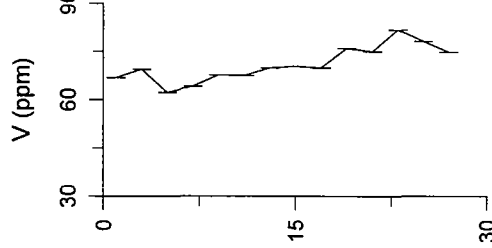
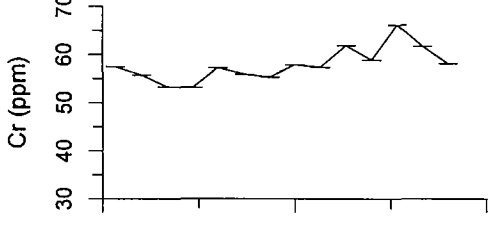
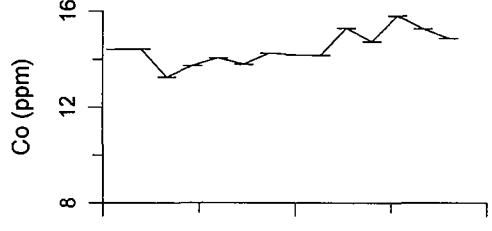
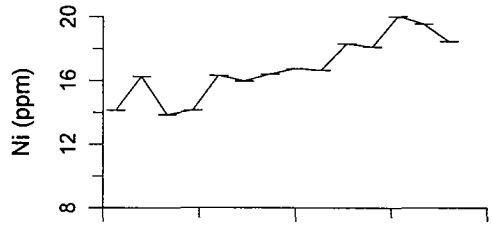
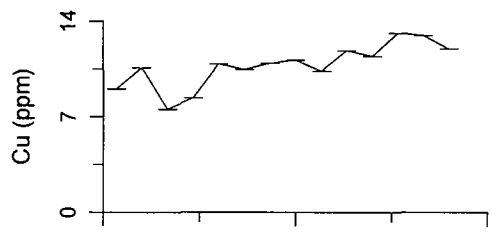


Fig. 3-2-11. Continued.

소값 99.59ppm, 24-26cm깊이에서 최대값 240.79ppm을 갖는다. 미량원소들중 특징적인 분포를 보이는 Zr은 반대로 표층에서 최대값 127.64ppm, 최소값은 70.11ppm으로 깊이 24-26cm에서 측정되었다.

Mg, Al, K, Fe과 퇴적물의 평균입도와의 상관계수는 0.532~0.677이며 이들 원소들 상호간에도 0.844~0.950의 아주 양호한 관계를 보였다. 반대로 Ca와 Ti은 퇴적물 평균입도 그리고 두 원소간의 상관계수는 각각 -0.274~-0.439, 0.425로 이 두 원소들의 유입원과 존재 양태가 서로 다름을 시사한다. 첫 번째와 두 번째 원소들사이에서 Ca의 경우는 Al과는 다소 낮은 0.543의 상관계수를 보여주지만 Ti는 0.670~0.758의 양호한 관계를 보인다(Table 3-2-13). 퇴적물의 평균입도와 첫 번째 그룹의 원소들간의 상관계수는 0.694~0.778이며 원소들 상호간에도 0.835~0.988의 매우 강한 상관성을 나타냈다. 또한, Mg, Al, K, Fe들과도 0.587~0.943의 강한 관계성을 보여 주요원소들의 함량이 미량원소들의 함량과 분포에 영향을 미침을 알 수 있다. 두 번째 그룹에 속하는 미량원소들과 퇴적물의 평균입도와는 -0.174~-0.515으로 거의 반대의 관계를 나타냈으며 원소들 상호간에서도 0.181~0.528의 약한 상관성을 보였다. 그러나 이 원소들과 Ti과 Ca은 각각 Mn과 0.754, Sr과는 0.959의 매우 강한 상관성을 보인다. 또한 Ti은 Rb과도 어느정도(상관계수 r, 0.598) 관계가 있다(Table 3-2-13).

YC-600: 이 정점의 코어 퇴적물의 각 깊이별 퇴적물 평균입도 및 분석된 원소들의 함량과 수직분포는 각각 Table 3-2-14과 Fig. 3-2-12에 나타냈다.

퇴적물의 평균입도는 정점 YC-200에 비하여 조립해졌으며, 표층에서 최소값 5.64 ϕ , 깊이 6-8cm에서 최대값 7.52 ϕ 로, 12-14cm 깊이를 경계로 상부로 가면서 점차 조립해지지만 그 하부에서는 일정하다. 주요원소들의 깊이에 따른 함량분포는 YC-200지점에서와 비슷하게 공통적으로 깊이 24-26cm에서 최대값을 보이지만 평균입도와의 분포 경향성은 일치하지 않는다. 특징적으로 Mg, K, Fe, Ti원소들의 함량은 YC-200 지점의 분포와는 다르게 표층에서 증가한다. Mg의 최소값은 깊이 2-4cm에서 0.76%이며 최대값은 1.04%를 보여준다. K은 코어 중간깊이 12-14cm에서 최소값 2.46%를 보이고 최대값은 3.09%이다.

Table 3-2-13. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-200

	Mz	Mg	Al	K	Fe	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr	
Mz	1.000																		
Mg	0.648	1.000																	
Al	0.532	0.844	1.000																
K	0.567	0.894	0.922	1.000															
Fe	0.677	0.927	0.929	0.950	1.000														
Ca	-0.274	0.081	0.543	0.386	0.302	1.000													
Ti	0.439	0.670	0.749	0.699	0.758	0.425	1.000												
Mn	0.408	0.685	0.815	0.780	0.870	0.469	0.754	1.000											
Sr	-0.174	0.245	0.632	0.520	0.408	0.959	0.456	0.466	1.000										
Li	0.758	0.943	0.778	0.868	0.919	-0.044	0.685	0.715	0.083	1.000									
V	0.743	0.889	0.725	0.777	0.870	-0.046	0.784	0.738	0.066	0.954	1.000								
Cr	0.694	0.730	0.480	0.607	0.692	-0.220	0.644	0.587	-0.087	0.835	0.926	1.000							
Co	0.708	0.760	0.587	0.599	0.729	-0.119	0.778	0.651	-0.035	0.840	0.958	0.930	1.000						
Ni	0.765	0.932	0.764	0.841	0.923	-0.055	0.703	0.750	0.064	0.988	0.971	0.865	0.880	1.000					
Cu	0.743	0.874	0.705	0.757	0.873	-0.101	0.627	0.766	-0.004	0.932	0.936	0.838	0.863	0.967	1.000				
Zn	0.778	0.883	0.732	0.789	0.904	-0.062	0.695	0.780	0.039	0.955	0.966	0.877	0.895	0.987	0.986	1.000			
Rb	0.515	0.730	0.673	0.717	0.749	0.096	0.598	0.528	0.181	0.793	0.703	0.575	0.584	0.734	0.577	0.669	1.000		
Zr	-0.671	-0.838	-0.687	-0.828	-0.807	0.055	-0.279	-0.547	-0.106	-0.833	-0.668	-0.543	-0.462	-0.805	-0.775	-0.758	-0.594	1.000	

Table 3-2-14. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-600

Station	Depth (cm)	Mz (phi)	Major Elements (%)							Minor Elements (ppm)										
			Mg	Al	K	Fe	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr	
YC-600	0-2	5.64	0.84	6.09	2.82	2.76	1.03	0.54	588.86	213.04	76.35	60.71	50.93	13.37	12.04	5.54	46.91	133.64	119.01	
	2-4	6.08	0.76	6.13	2.53	2.60	1.08	0.51	538.68	206.90	67.81	54.60	46.15	11.99	10.60	4.48	42.11	135.18	107.51	
	4-6	6.10	0.78	6.71	2.63	2.60	1.24	0.48	490.02	221.22	66.36	51.57	45.45	10.89	9.86	3.58	38.65	169.30	102.02	
	6-8	7.52	0.76	6.54	2.56	2.58	1.22	0.49	514.05	218.23	67.83	53.63	47.08	11.57	10.18	4.19	40.04	147.33	124.54	
	8-10	6.11	0.87	6.70	2.59	2.67	1.17	0.49	518.54	214.71	72.11	55.04	46.82	11.71	11.24	4.75	41.35	144.10	113.54	
	10-12	6.46	0.92	7.01	2.63	2.87	1.11	0.47	500.24	213.47	81.14	57.63	49.13	11.63	12.25	5.68	44.06	155.89	88.44	
	12-14	6.77	0.80	5.21	2.46	2.75	0.96	0.47	549.31	182.15	87.13	59.28	50.62	12.45	13.54	6.72	46.66	102.30	84.94	
	14-16	6.70	0.92	6.99	2.55	2.84	1.06	0.46	525.44	198.59	84.61	58.89	50.17	11.81	12.65	6.29	45.49	160.63	87.01	
	16-18	6.56	1.01	7.35	2.77	3.03	1.12	0.49	536.08	216.36	75.20	52.78	43.41	10.01	11.31	6.04	38.76	176.69	86.56	
	18-20	6.64	0.99	7.12	2.59	2.95	1.11	0.47	557.58	201.00	76.37	53.51	41.25	10.18	11.79	6.80	40.28	170.10	86.22	
	20-22	6.59	0.96	7.74	2.83	3.15	1.14	0.49	542.08	219.32	84.43	58.52	45.14	11.18	12.87	7.00	42.70	200.73	85.00	
	22-24	6.62	0.91	6.97	2.71	3.00	1.15	0.48	554.72	215.90	82.43	56.53	44.83	11.06	12.48	6.85	42.18	184.68	92.30	
	24-26	6.73	1.04	8.12	3.09	3.39	1.25	0.54	596.25	237.61	90.90	63.70	52.45	12.42	14.07	8.49	46.67	169.05	91.35	
	26-28	6.74	0.98	7.43	2.88	3.01	1.15	0.51	529.48	221.51	79.84	57.69	45.24	11.17	12.15	6.52	41.36	184.41	101.45	
Range		5.64 - 7.52	0.76 - 1.04	5.21 - 8.12	2.46 - 3.09	2.56 - 3.39	0.96 - 1.25	0.46 - 0.54	490.02 - 596.25	182.15 - 237.61	66.36 - 90.90	51.57 - 63.70	41.25 - 52.45	10.01 - 13.37	9.86 - 14.07	3.58 - 8.49	38.65 - 46.91	102.30 - 200.73	84.94 - 124.54	

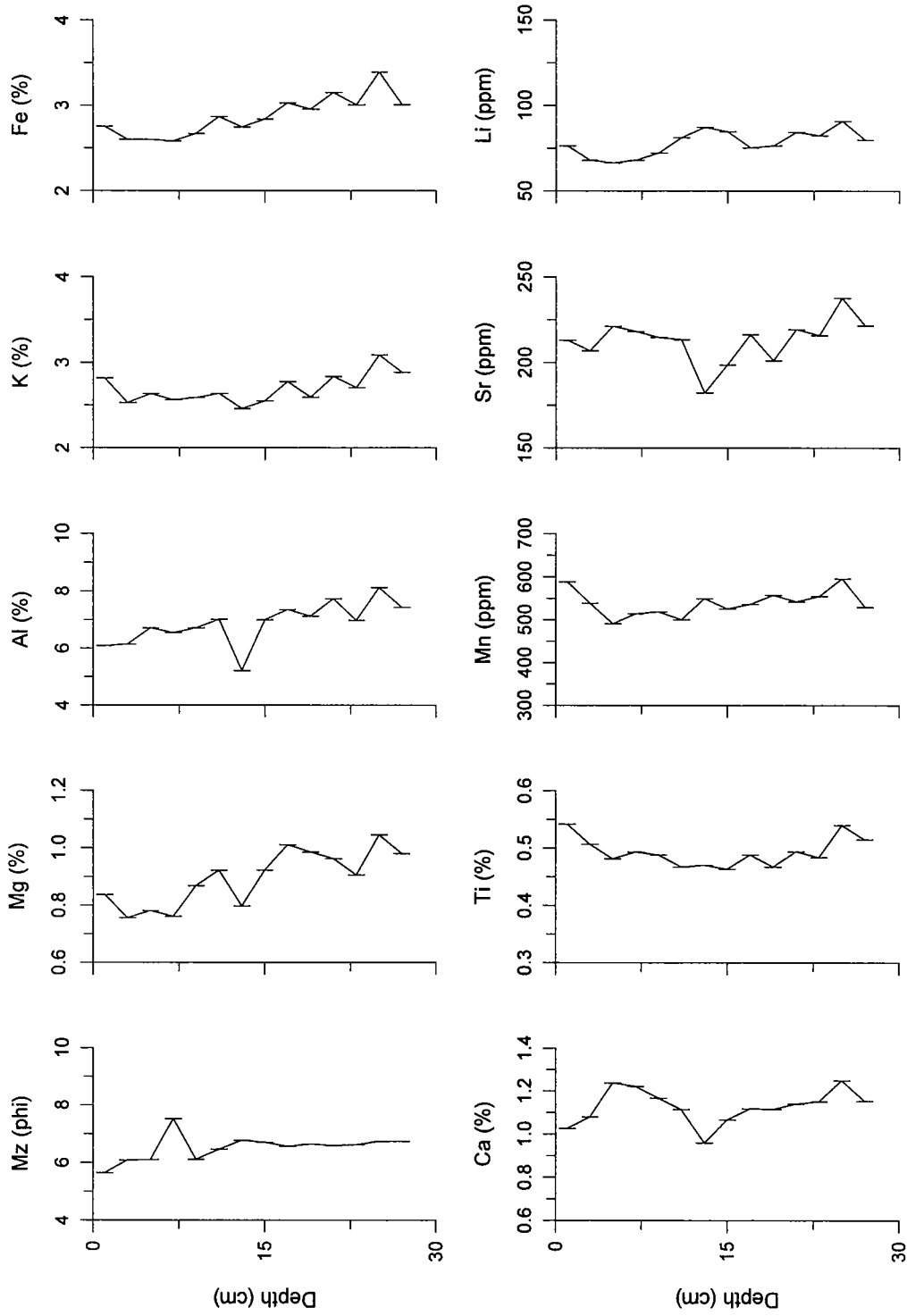


Fig. 3-2-12. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-600.

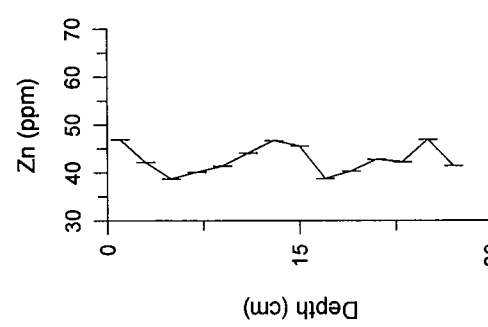
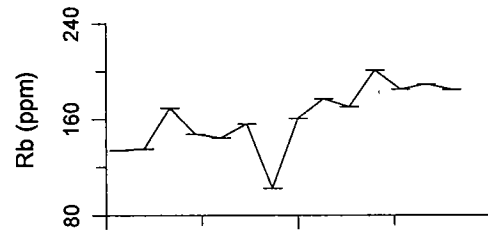
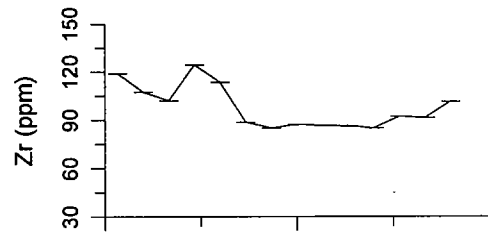
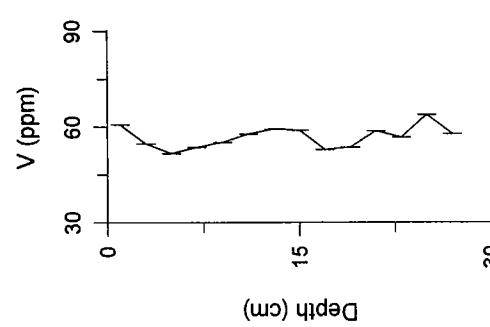
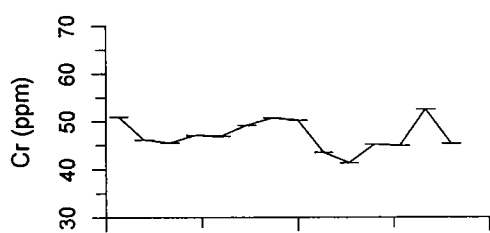
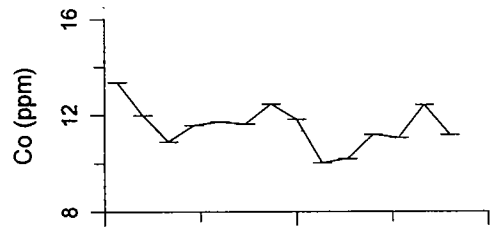
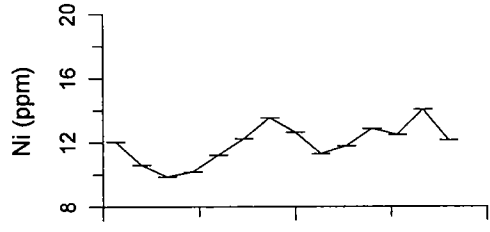
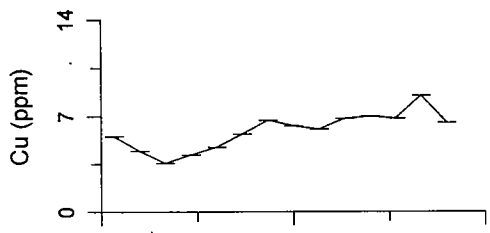


Fig. 3-2-12. Continued.

Fe의 최소값은 K에 비해 상부 6-8cm 깊이에서 최소값 2.58%을 보이며 최대값은 3.39%를 갖는다. Ti는 다른 원소들과 다르게 14-16cm 깊이에서 최소값 0.46%를 나타내며 최대값은 0.54%이다. Al은 특징적으로 깊이에 따라 일직선상의 증가함을 보여주지만 최소값은 다른 원소들과 마찬가지로 코어 중간 깊이 12-14cm에서 5.21%으로 나타났고 최대값은 8.12%를 보여준다. Ca은 Al과 마찬가지로 12-14cm 깊이에서 최소값(0.96%), 2-4cm깊이에서 최대값(1.25%)을 보인다.

미량금속들의 수직분포가 주요원소들과 비교해 유사한 그룹으로 나누어 보면, 첫 번째 그룹에는 Mg, K, Fe, Ti, Mn, Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr이 포함된다. 이들중 Mn, Li, V, Ni, Cu들은 공통적으로 4-6cm 깊이에서 각각 490.02ppm, 66.36ppm, 51.57ppm, 9.86ppm, 3.58ppm의 최소값을, 24-26cm 깊이에서 각각 596.25ppm, 90.90ppm, 63.70ppm, 14.07ppm, 8.49ppm의 최대값을 보였다. 그러나 Cr은 코어 하부 18-20cm 깊이에서 최소값 41.25ppm, 24-26cm 깊이에서 최대값 52.45ppm을 보인다. 위의 원소들과는 달리, Co와 Zn는 표층에서 각각 최대값 13.37ppm, 46.91ppm을 나타내고, 최소값은 각각 16-18cm (10.01ppm), 4-6cm (38.65ppm)에서 측정되었다. Zr의 최대값은 6-8cm 깊이에서 124.54ppm, 최소값은 12-14cm에서 84.94ppm이다. 두 번째 그룹에 속하는 Rb은 Al과 유사한 수직분포를 하여 12-14cm 깊이에서 최소값 102.30ppm, 20-22cm 깊이에서 최대값 200.73ppm을 나타냈다. 세 번째 그룹은 Sr으로 Ca과 비슷하게 깊이 12-14cm에서 최소값 182.25 ppm, 24-26cm깊이에서 최대값 237.61ppm을 나타냈다.

첫 번째 그룹의 주요 및 미량원소들과의 관계성은 YC-200지점에서 나타난 것과는 다르게 상관성이 낮을 뿐만아니라 몇몇 원소들간에만 상관성이 극한되어 있다. Mg, K, Fe들의 상관계수는 0.677~0.796로 양호한 편이지만, Ti는 단지 K와 0.729의 관계를 보였다. Al은 Ca과 어느정도 관계(r , 0.653)가 있을 뿐만아니라 Mg, K, Fe과 0.728~0.819의 높은 상관성을 갖지만, Ca는 다른 주요원소와 관계가 미약하다(Table 3-2-15). 주요원소와의 관계에 따라 미량원소들은 Mg-Li-Ni-Cu(r , 0.566~0.778), K-Mn-V-Cu(r , 0.523~0.565), Fe-Mn-Li-V-Ni-Cu(r , 0.548~0.899), Ti-Mn-Co(r , 0.519~0.624), Al-Rb(r , 0.933)으로 분류된다. 미량원소들간에는 Mn-Li-V-Ni-Cu-Zn(r , 0.513~0.984), V-Cr-Co-Zn

Table 3-2-15. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-600

	Mz	Mg	Al	K	Fe	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr	
Mz	1.000																		
Mg	0.158	1.000																	
Al	0.219	0.819	1.000																
K	-0.056	0.677	0.728	1.000															
Fe	0.207	0.903	0.775	0.796	1.000														
Ca	0.265	0.200	0.653	0.430	0.220	1.000													
Ti	-0.281	0.105	0.191	0.729	0.286	0.205	1.000												
Mn	-0.136	0.365	0.104	0.534	0.553	-0.222	0.624	1.000											
Sr	-0.002	0.369	0.732	0.786	0.444	0.837	0.599	0.090	1.000										
Li	0.229	0.608	0.306	0.421	0.755	-0.244	0.049	0.516	-0.059	1.000									
V	-0.031	0.339	0.146	0.523	0.548	-0.234	0.487	0.656	0.101	0.817	1.000								
Cr	-0.074	-0.140	-0.219	0.156	0.039	-0.213	0.356	0.303	-0.010	0.460	0.775	1.000							
Co	-0.291	-0.365	-0.434	0.073	-0.159	-0.349	0.519	0.418	-0.090	0.246	0.708	0.878	1.000						
Ni	0.141	0.566	0.231	0.425	0.728	-0.307	0.140	0.616	-0.086	0.984	0.863	0.497	0.344	1.000					
Cu	0.255	0.778	0.476	0.565	0.899	-0.116	0.169	0.681	0.072	0.912	0.694	0.190	0.036	0.913	1.000				
Zn	-0.142	0.069	-0.190	0.193	0.260	-0.486	0.313	0.585	-0.209	0.708	0.920	0.859	0.830	0.771	0.513	1.000			
Rb	0.188	0.714	0.933	0.672	0.711	0.638	0.123	0.050	0.690	0.228	0.010	-0.399	-0.551	0.137	0.408	-0.324	1.000		
Zr	-0.165	-0.600	-0.330	-0.088	-0.602	0.225	0.467	-0.090	0.248	-0.666	-0.189	0.121	0.390	-0.597	-0.658	-0.148	-0.348	1.000	

($r, 0.775 \sim 0.920$), Sr-Ca($r, 0.837$)의 관계를 보인다. 특히 Sr은 YC-200지점에서와 같이 다른 미량원소들과는 관계가 없지만, Al, K, Ti과는 관계가 양호($r, 0.599 \sim 0.786$)하다 (Table 3-2-15).

YC-1200 : 코어 퇴적물 깊이별 퇴적물 평균입도와 중금속 함량 그리고 수직적인 분포를 Table 3-2-16와 Fig. 3-2-13에 각각 나타냈다.

세 지점 가운데 조립질 퇴적물의 양이 가장 많으며 평균입도는 4.75~6.22 ϕ 로 4-6cm 깊이에서부터 표층으로 가면서 세립해지지만 그외의 깊이에서는 약간의 변화를 보이거나 대체로 일정한 수직분포를 한다. 전반적으로 주요원소들의 함량은 두 지점에서와는 다르게 코어퇴적물의 상부에서 최대값, 하부에서 최소값이 측정된다. Mg은 다른 원소들과 달리 퇴적물 코어의 중간에서 상대적으로 높은 함량(0.79~0.84%)을 보이고, 18-20cm깊이에서 0.66%의 최소값, 8-12cm 깊이에서 0.84%의 최대값을 보인다. Al과 Ca은 거의 비슷하게 수직분포를 하여 같은 깊이 20-22cm에서 각각 최소값 5.01%, 0.73%; 깊이 2-4cm에서 최대값 7.06%, 1.25%가 측정된다. 이와는 달리 K, Fe, Ti은 표층으로 가면서 점진적으로 증가하는 경향을 보인다. 즉, K은 18-20cm 깊이에서 최소값 2.47%, 2-4cm 깊이에서 2.83%의 최대값을 보인다. Fe도 18-20cm 깊이에서 최소값(2.20%)을 보이거나, 최대값(2.65%)은 Ca와 마찬가지로 코어 중간깊이 12-14cm에서 측정된다. 특이하게 Ti은 20-22cm깊이에서 최소값(0.36%), 4-6cm 깊이에서 최대값(0.47%)을 보였다.

미량원소들의 수직분포특성은 평균입도 및 주요원소와 비교하여 크게 세 그룹으로 나눌수 있다. 첫 번째 그룹은 평균입도와 유사한 경향을 보이는 Li, Ni, Cu로, 이들의 함량범위는 각각 56.63-76.46ppm, 8.28-11.34ppm, 1.26-3.95 ppm이다. 두 번째 그룹은 Ca와 유사한 분포를 하는 Sr으로 20-22cm 깊이에서 최소값(174.67ppm), 2-4cm 깊이에서 최대값(248.49ppm)을 나타낸다. 세 번째 그룹은 Ca이외의 다른 주요원소들과 유사한 분포를 보이는 Mn, V, Cr, Co 등으로 이들의 함량범위는 각각 363.22-566.94ppm, 45.10-53.70ppm, 36.14-45.36ppm, 8.79-11.12 ppm로 최소함량은 26-28cm, 최대함량은 표층에서 각각 측정된다. 이들과는 달리 Zn는 24-26cm 깊이에서 최소값 33.37ppm을 나타내고 최대값은 Ni과 동일한 깊이에서 44.53ppm을 보였다. Rb은 18-20cm 깊

Table 3-2-16. Mean grain size and chemical elements contents in core YC-1200

Station	Depth (cm)	Mz (phi)	Major Elements (%)							Minor Elements (ppm)										
			Mg	Al	K	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr		
YC-1200	0-2	5.35	0.76	6.51	2.75	2.62	1.13	0.47	566.94	227.50	68.74	53.70	45.36	11.12	10.47	3.32	39.79	186.89	94.82	
	2-4	4.93	0.72	7.06	2.83	2.56	1.25	0.45	484.72	248.49	61.29	48.86	40.03	9.92	8.99	1.60	35.57	194.61	86.30	
	4-6	4.75	0.69	5.68	2.69	2.36	0.99	0.47	437.39	216.68	56.63	48.60	40.26	10.26	8.28	1.26	33.93	170.71	89.90	
	6-8	5.44	0.77	6.82	2.68	2.51	1.13	0.43	436.61	227.17	63.93	48.61	41.00	10.41	8.96	2.34	36.36	185.97	82.68	
	8-10	5.84	0.84	7.00	2.70	2.55	1.16	0.40	437.17	228.14	66.05	48.39	40.50	9.53	9.51	2.74	37.87	166.21	66.34	
	10-12	5.8	0.84	6.89	2.66	2.46	1.19	0.40	424.08	227.72	62.49	46.62	39.94	9.44	9.04	2.37	36.40	143.89	75.13	
	12-14	5.61	0.80	5.21	2.68	2.65	0.87	0.40	440.97	185.27	72.81	49.64	42.58	10.67	11.34	3.38	44.53	110.23	61.34	
	14-16	5.47	0.79	6.26	2.63	2.50	1.06	0.39	434.95	210.99	65.12	48.12	39.44	10.02	9.88	3.13	39.87	112.46	68.19	
	16-18	5.75	0.83	6.06	2.74	2.55	1.24	0.43	442.66	229.32	64.21	48.91	41.64	10.02	9.71	2.98	38.88	119.19	75.98	
	18-20	5.27	0.66	5.27	2.47	2.20	1.11	0.36	387.91	201.36	61.20	45.10	36.14	8.79	8.79	2.29	35.08	101.66	49.21	
	20-22	6.07	0.76	5.01	2.69	2.40	0.73	0.36	420.13	174.67	76.46	50.18	40.82	10.03	11.26	3.82	42.68	118.74	39.13	
	22-24	5.76	0.67	5.76	2.50	2.30	0.98	0.37	400.80	199.50	62.36	46.88	38.69	9.14	9.50	2.65	36.56	103.88	50.41	
	24-26	5.3	0.67	6.01	2.72	2.28	1.03	0.39	363.22	216.37	59.26	45.86	37.55	9.06	8.72	1.54	33.37	107.28	56.87	
	26-28	6.22	0.74	5.51	2.61	2.36	0.83	0.38	408.32	182.50	70.78	50.33	40.77	9.72	10.62	3.95	39.78	125.34	50.96	
	Range	4.75 - 6.22	0.66-0.84	5.01 - 7.06	2.47-2.83	2.20 - 2.65	0.73-1.25	0.36-0.47	363.22 - 566.94	174.67-248.49	56.63-76.46	45.10 - 53.70	36.14 - 45.36	8.79 - 11.12	8.28 - 11.34	1.26 - 3.85	33.37 - 44.53	101.66-194.61	38.13 - 94.82	

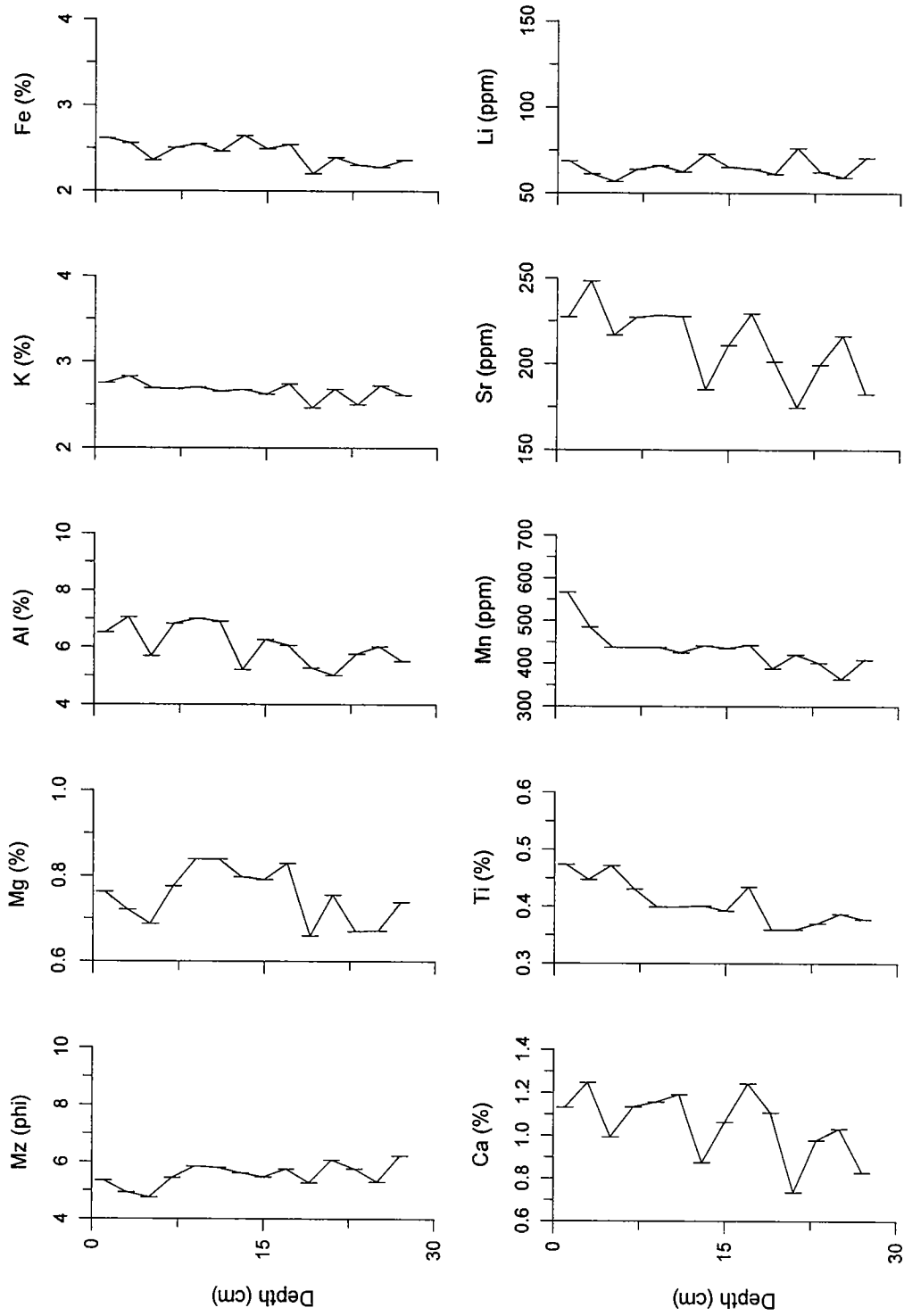


Fig. 3-2-13. Vertical distribution of mean grain size and chemical elements in core YC-1200.

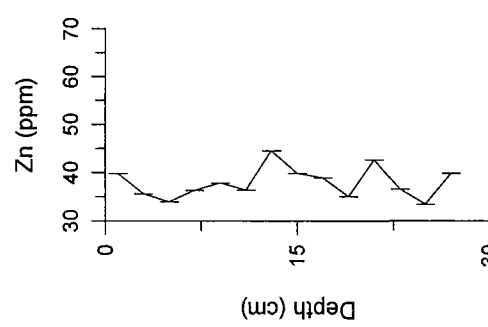
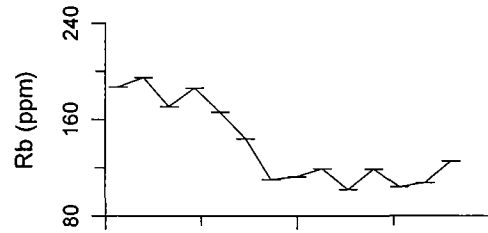
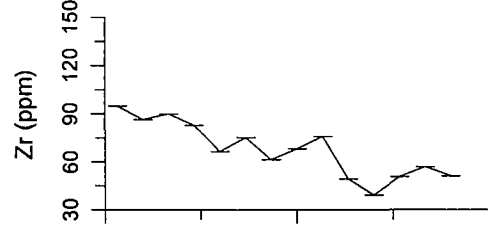
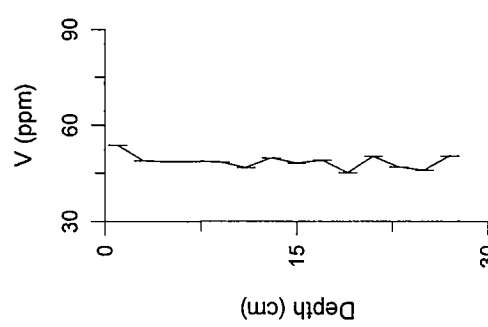
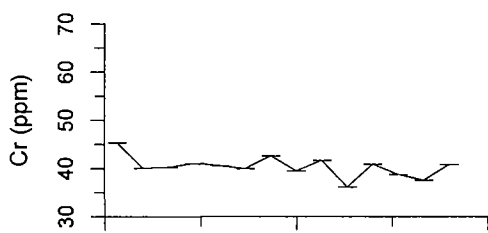
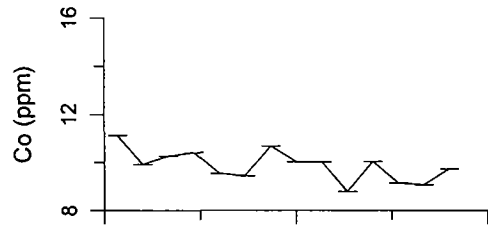
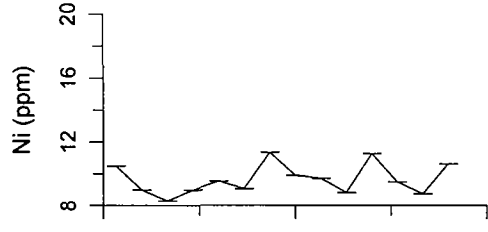
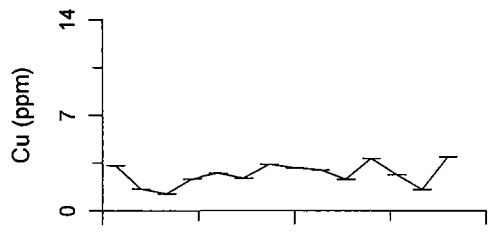


Fig. 3-2-13. Continued.

이에서 최소값(101.66ppm)과 2-4cm 깊이에서 최대값(194.61 ppm)을 나타낸다. Zr은 20-22cm깊이에서 최소값(36.13ppm), 표층에서 최대값(94.82ppm)이 측정된다.

주요원소들은 Mg-Fe($r, 0.748$), Al-Ca($r, 0.790$), K-Fe-Ti($r, 0.665 \sim 0.673$)들간의 독립된 관계를 보이며(Table 3-2-17), 미량원소들의 첫 번째 그룹은 Mg, Fe, 퇴적물의 평균입도($r, 0.637 \sim 0.805$)와 그리고 그들 상호간에도 매우 강한 관계($r, 0.906 \sim 0.962$)를 보인다. 그러나 다른 주요원소들과는 관련이 없다. 두 번째 그룹의 Sr은 미량원소들중 Rb과 Zr($r, 0.675 \sim 0.793$), 주요원소들중 Al, K, Ca, Ti과의 관계가 양호하다($r, 0.549 \sim 0.930$). 나머지 미량원소들도 상관관계에 따라 Mn-V-Cr-Co($r, 0.787 \sim 0.923$), Mn-Rb-Zr($r, 0.692 \sim 0.805$), V-Cr-Co-Zn ($r, 0.537 \sim 0.923$), Co-Rb-Zr ($r, 0.516 \sim 0.805$)로 분류되며, Zn는 퇴적물의 평균입도 및 첫 번째 그룹 원소들과 관계가 있다. 이들 원소들에 나타난 주요원소들과의 관계는 Mg-Cr-Zn($r, 0.510 \sim 0.530$), Al-Rb-Zr($r, 0.664 \sim 0.700$), K-Mn-Cr-Co-Rb-Zr($r, 0.552 \sim 0.627$), Fe-Mn -V-Cr-Co-Zn-Zr($r, 0.542 \sim 0.809$), Ca-Zr($r, 0.652$), Ti-Mn-V-Cr-Co-Rb-Zr ($r, 0.503 \sim 0.953$)으로 앞의 두 조사지점과는 다르게 Zr이 다른 원소들과 고르게 관계를 보이는 것이 특징이다(Table 3-2-17).

나. 퇴적층내 화학원소들의 지화학적 특성

연안 퇴적환경은 화학적으로 산화환경에서 환원환경까지 넓은 범위에 걸쳐 다양한 변화를 나타내며, 퇴적물은 조립질과 세립질 퇴적물의 상대적인 비율과 육원성, 자생, 생물, 및 인위적 기원 성분들이 혼합되어 복잡한 화학적 특성을 보인다. 각 기원의 성분들은 퇴적물 구성 광물성분과 그외의 철-산화물, 유기물, 또는 독자적인 관계를 보인다(Chester, 1990; Pattan et al., 1995). 특징적으로 정점 YC-200 코어 퇴적물내 주요원소들의 함량은 퇴적물의 평균입도 그리고 대부분의 미량원소와 밀접한 관계를 보인다(Table 3-2-13). 주요원소 Mg, Al, Ti, K 등은 육원성으로 점토광물과 석영, 장석 등을 통해 해양에 운반되기 때문에 풍화산물인 세립질 퇴적물의 함량과 밀접한 관련이 있다. 또한 세립질 퇴적물들은 흡착면적이 매우 크고 음전하로 하전되어 금속원소들을

Table 3-2-17. Correlation coefficient matrix for the mean grain size and chemical elements in core YC-1200

	Mz	Mg	Al	K	Fe	Ca	Ti	Mn	Sr	Li	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Zr	
Mz	1.000																		
Mg	0.444	1.000																	
Al	-0.219	0.424	1.000																
K	-0.258	0.383	0.494	1.000															
Fe	0.024	0.748	0.458	0.665	1.000														
Ca	-0.422	0.258	0.790	0.306	0.285	1.000													
Ti	-0.610	0.156	0.478	0.673	0.548	0.485	1.000												
Mn	-0.241	0.330	0.410	0.552	0.738	0.325	0.744	1.000											
Sr	-0.533	0.220	0.882	0.549	0.363	0.930	0.666	0.431	1.000										
Li	0.694	0.405	-0.373	0.051	0.383	-0.604	-0.312	0.211	-0.615	1.000									
V	0.150	0.324	0.027	0.497	0.641	-0.205	0.503	0.803	-0.053	0.609	1.000								
Cr	0.142	0.538	0.172	0.559	0.809	-0.026	0.600	0.821	0.097	0.528	0.923	1.000							
Co	-0.132	0.399	0.097	0.556	0.770	-0.068	0.678	0.787	0.086	0.421	0.858	0.907	1.000						
Ni	0.637	0.360	-0.433	0.047	0.419	-0.607	-0.256	0.254	-0.627	0.962	0.637	0.570	0.463	1.000					
Cu	0.805	0.425	-0.363	-0.167	0.281	-0.507	-0.363	0.168	-0.608	0.906	0.551	0.470	0.311	0.907	1.000				
Zn	0.575	0.510	-0.371	0.066	0.542	-0.506	-0.186	0.285	-0.550	0.926	0.599	0.594	0.537	0.962	0.872	1.000			
Rb	-0.423	0.200	0.700	0.627	0.498	0.455	0.779	0.692	0.675	-0.177	0.460	0.485	0.516	-0.267	-0.315	-0.231	1.000		
Zr	-0.609	0.257	0.664	0.609	0.565	0.652	0.953	0.718	0.793	-0.404	0.365	0.508	0.586	-0.369	-0.418	-0.266	0.805	1.000	

쉽게 포획 침착하여 이들의 중요한 운반자가 된다.

그러나 정점 YC-600 및 YC-1200 코어 퇴적물에서는 몇가지 원소들을 제외하고서 퇴적물의 평균입도, 주요원소, 그리고 미량원소들간에 상관성이 매우 낮다(Tables 3-2-15, 3-2-17). 이는 퇴적물의 입도별 분급현상과 점토광물들의 변질 등 자연적인 영향을 지시할 수도 있으나, 인위적 환경변화에 의한 것임을 간접적으로 시사한다(Klaver and van Weering, 1993; Loring, et al., 1995). 특징적으로 이 두 정점에서 미량원소들의 함량은 Al과는 전혀 관계가 없지만, Fe, Mn, Li과 높은 상관성을 보여(Table 3-2-15, 3-2-17), 세립질 퇴적물 입자 표면에 흡착된 철-망간 산화물들이 미량원소들의 중요한 운반 및 배태역할을 하고 있음을 나타낸다(Pandarínath and Narayana, 1992; Pattan et al., 1995; Daskalakis and O'connor, 1995). 세 정점에서 미량원소들중 Sr은 Ca과 이온반경이 비슷하여 서로 이온교환을 통해 패각 등 탄산염 광물중에서 아주 좋은 관계를 보인다(Sholkovitz and Price, 1980; Chester, 1990; Bremner and Willis, 1993; 조, 1994). 또한, Rb과 Al, K의 관계성은 운모 및 K-장석과 연관지을 수 있다. Rb은 K와 유사한 이온반경을 갖기 때문에 점토광물내 K와 치환되어 세립질 퇴적물내에 상대적으로 많은 양이 존재한다(Francois, 1988; Rae, 1997). 그러나 Zr은 다른 미량원소들과 다르게 독립적인 분포특성을 보여준다. 이원소는 주로 풍화산물인 저어콘에 함유되어 있으며, 점토질보다 모래와 Silt성분에 많은 양이 존재한다(Klaver and van Weering, 1993).

미량원소들의 함량은 주로 퇴적물의 입도와 구성광물들의 상대함량에 영향을 많이 받기때문에 비교를 위해서는 보편적인 특성을 갖는 원소를 이용해 이러한 영향을 최소화하는 과정(Normalising)이 필요하며 적합한 원소로 Al, Fe, Li, Rb, Cs원소들이 이용된다(Daskalakis and O'connor, 1995; Loring, et al., 1995; Rae, 1997). 조사된 코어퇴적물내에서, 환원상태와 다른 미량원소들과의 관계성을 고려하여 Li를 이용하여 각 원소함량을 적정화였다. Al은 점토광물의 주성분이며 화학적으로 안정된 원소이기 때문에 적정화 원소로 사용되기도 하지만(Sholkovitz and Price, 1980), 낮은 pH에서 용존상으로 존재하고(Carignan and Nriagu, 1985), 미량원소들과 상관성이 적어 제외했다(Table 3-2-15, 3-2-17). Fig. 3-2-14(A), (B), (C)에 Li 함량을 이용해 적정

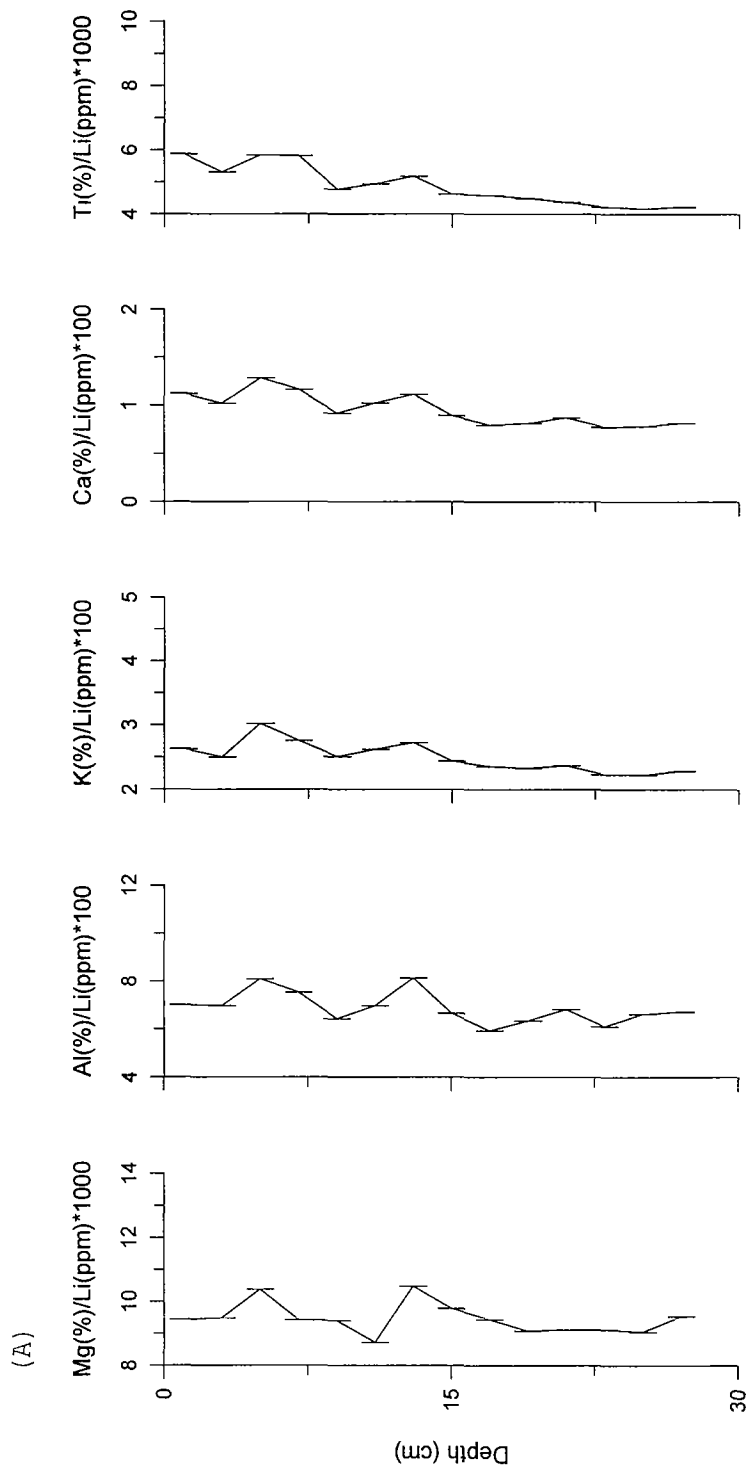


Fig. 3-2-14. Vertical distribution of major elements/Li ratios in (A) YC-200, (B) YC-600, (C) YC-1200 cores

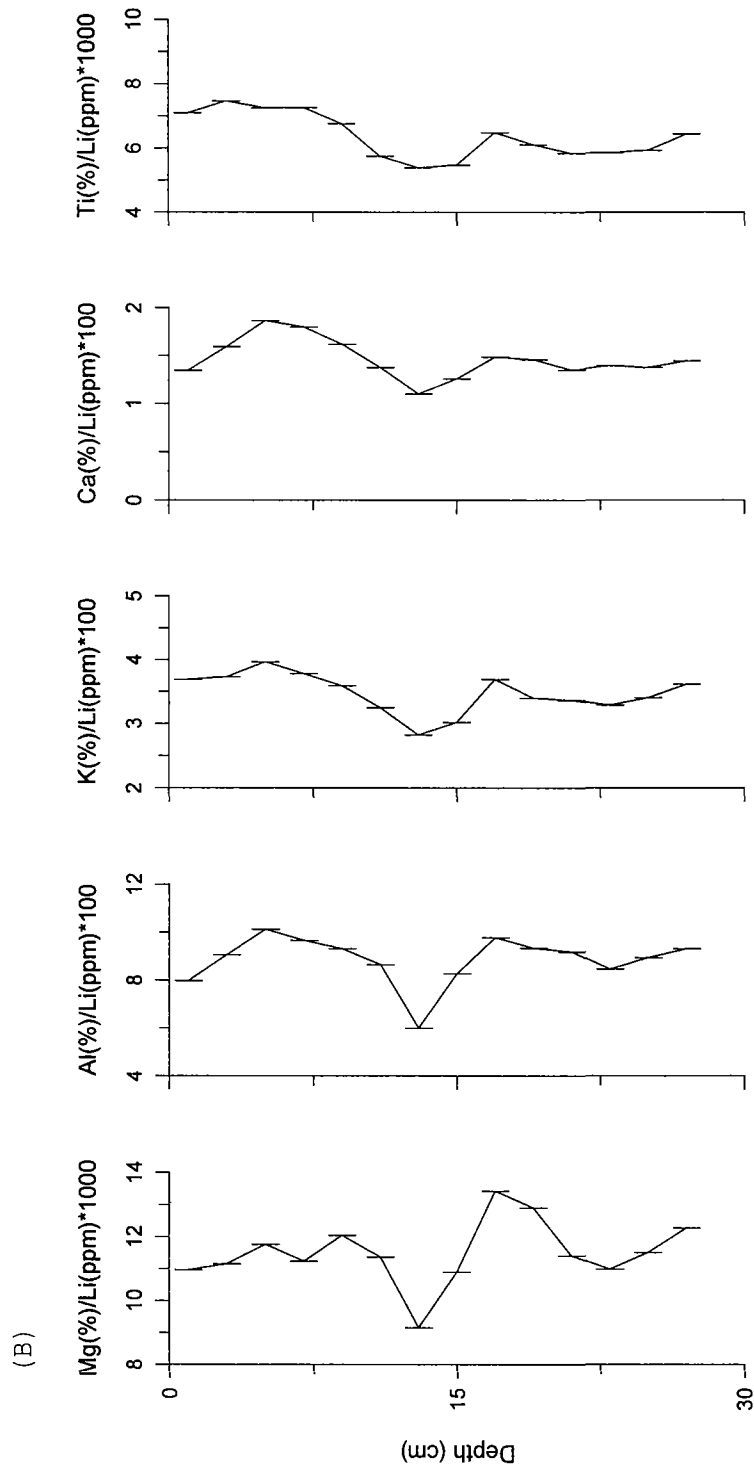


Fig. 3-2-14. Continued.

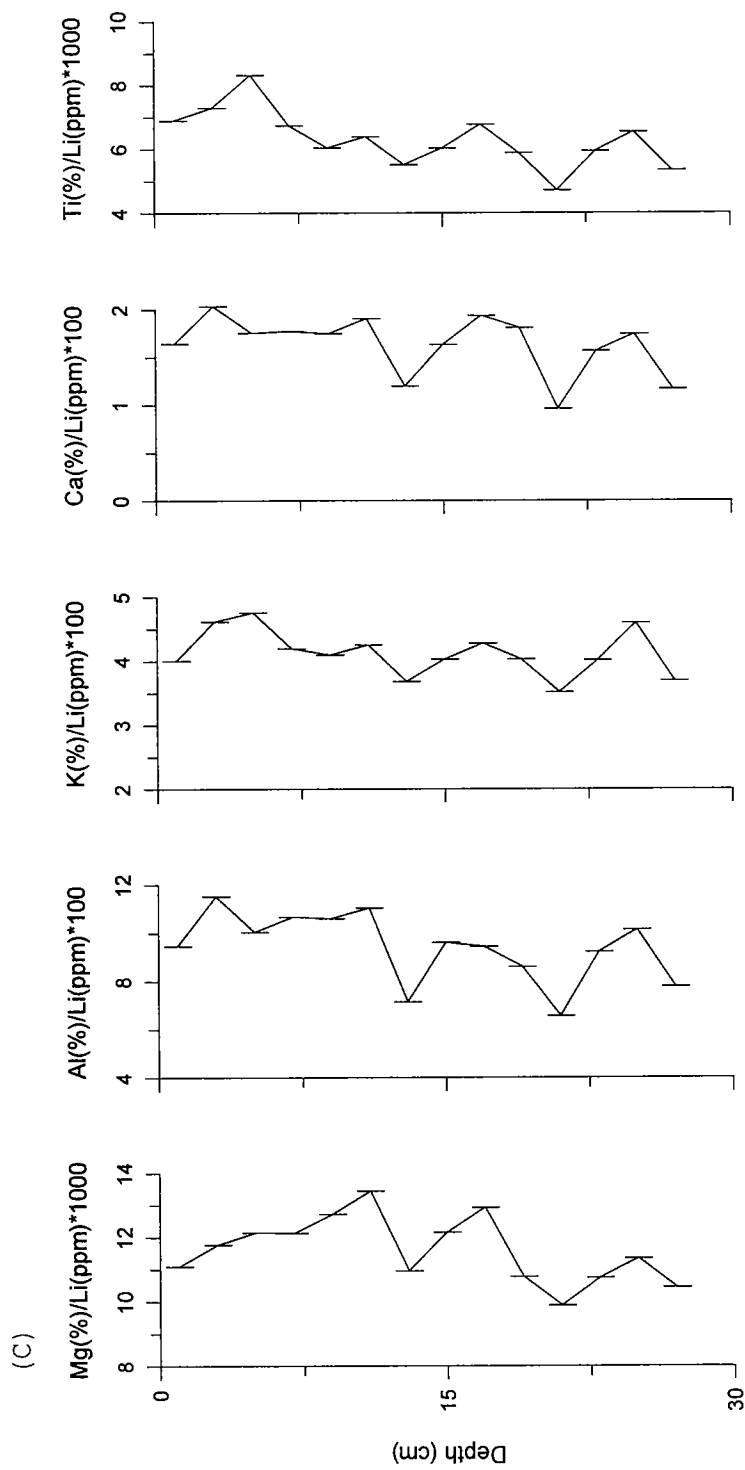


Fig. 3-2-14. Continued.

화한 주요원소들의 수직분포를 나타냈다. 각 정점에서 주요원소들의 수직분포는 동일한 경향성을 보여 퇴적물을 구성하는 광물성분이 일정함을 알 수 있다. 그러나 각 원소들의 적정화값은 바다쪽으로 갈수록 증가하여 퇴적물의 근원이 일반 조간대에서와 같이 육상에서 강이나 하천을 통해 유입된 퇴적물들이 조류에 의해 바다쪽으로 부터 운반 퇴적되고 있음을 지시한다. 특징적으로 Rb/K비는 세 코어 퇴적물 깊이 12-14cm에서 확연한 상부와 하부 퇴적물의 경계를 이루어 상하부의 퇴적작용이 변화하였음을 나타낸다(Fig. 3-2-15). 이 깊이에서 퇴적물 평균입도의 차이는 없으나 단단한 정도, 색깔 그리고 월간 퇴적율변화와 비교해 보면 이 깊이까지 전년도 겨울에 침식된 후 다시 퇴적된 퇴적층으로 보인다.

미량원소들은 생지화화학적 과정에 참여하는 원소들이기 때문에 서로간에 다른 함량분포 및 통계적 특성을 보여준다(Fig. 3-2-16(A), (B), (C)). Fe과 Mn은 산화물 형태로 다른 미량원소들의 함량에 영향을 주는 중요한 원소들로, Li에 대한 두 원소 비의 분포특성이 근본적으로는 퇴적물의 광물조성의 차이와 인위적인 공급에 따라 달라지진다 (Francois, 1988). 그러나, 분석된 세 코어 퇴적물의 상부에서 Fe/Mn가 표층으로 갈수록 감소하는 것은 퇴적물의 산화-환원상태에 대한 두 원소의 반응을 잘 나타내는 것으로 볼 수 있다(Fig. 3-2-17). 즉, 퇴적물 하부의 환원상태에서 Mn은 Fe에 비해 쉽게 환원되어 산소가 존재하는 표층으로 재동되고, 반면에 Fe은 퇴적물하부에서 황화물 형태의 자생광물을 형성하여 퇴적물로 남는 경향이 Mn보다 강하다(Lu and Chen, 1977; Giblin et al., 1986). 따라서, Mn의 지화학적 행태의 영향을 받는 미량원소들의 비는 Mn/Li비와 비슷하게 분포한다(Fig. 3-2-4). 그러나, Ni/Li과 Cu/Li의 수직분포는 세 지점에서 일정한 수직분포구배를 보여 Ni과 Cu의 함량이 Mn의 지화학적 행태보다는 주로 퇴적물의 입도의 영향을 크게 받고 있음을 지시한다(Lu and Chen, 1977; Francois, 1988). 정점 YC-200과 YC-600의 코어 퇴적물내에서 Zn/Li의 수직분포는 Mn/Li와 다른 원소들과 달리 표층으로 가면서 일정하게 증가한다(Fig. 3-2-16(A), (B)). 또한이 YC-1200지점에서 Zn/Li의 분포(Fig. 3-2-16(C))는 수직변화가 없고 각 깊이별 퇴적물은 비슷하다는 가정하에 이 지점 Zn/Li의 값을 기본으로 하여 후 YC-200 및 YC-600지점 코어 퇴적물의 각 깊이별 값들과 상대비의 수직분포를 구하였다(Fig.3-2-18). 그 결

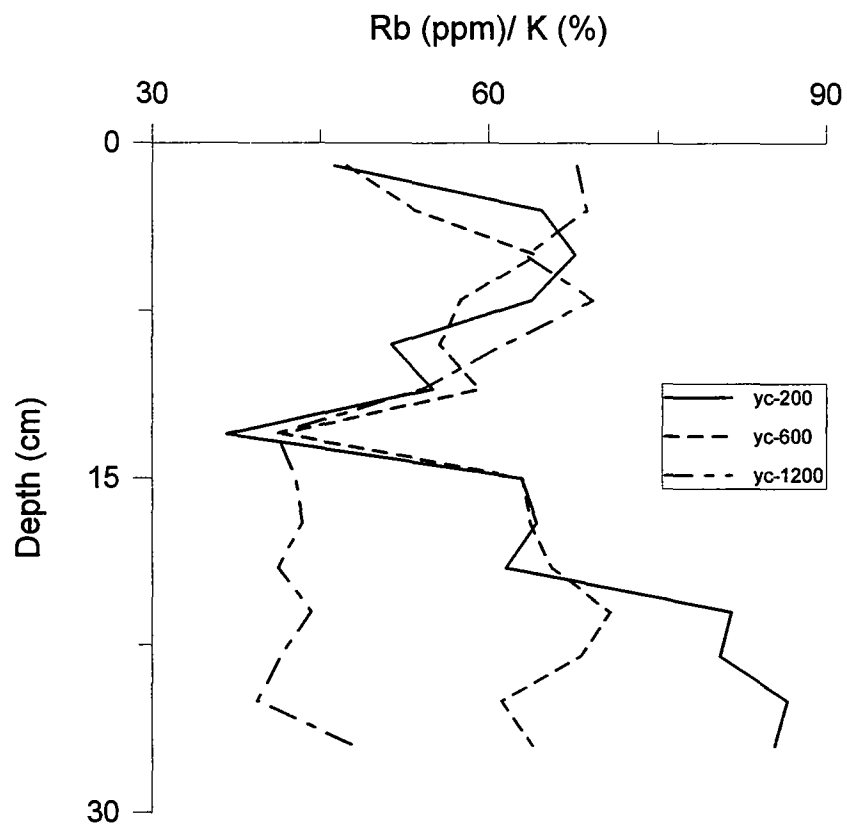


Fig. 3-2-15. Vertical distribution of Rb(ppm)/K(%) ratios in YC-200 YC-600 and YC-1200 cores.

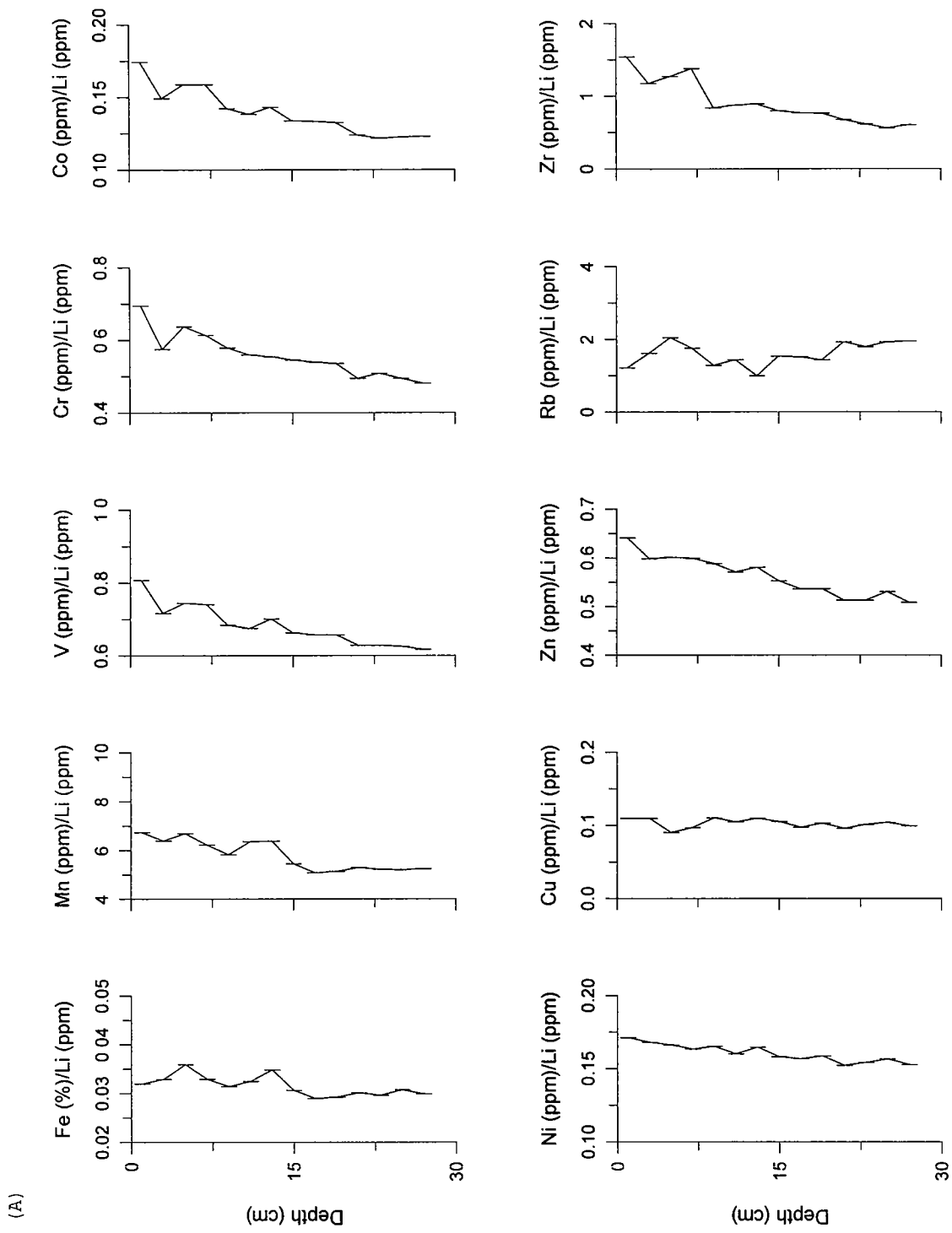


Fig. 3-2-16. Vertical distribution of minor elements/Li in (A) YC-200, (B) YC-600, (C) YC-1200 cores

(B)

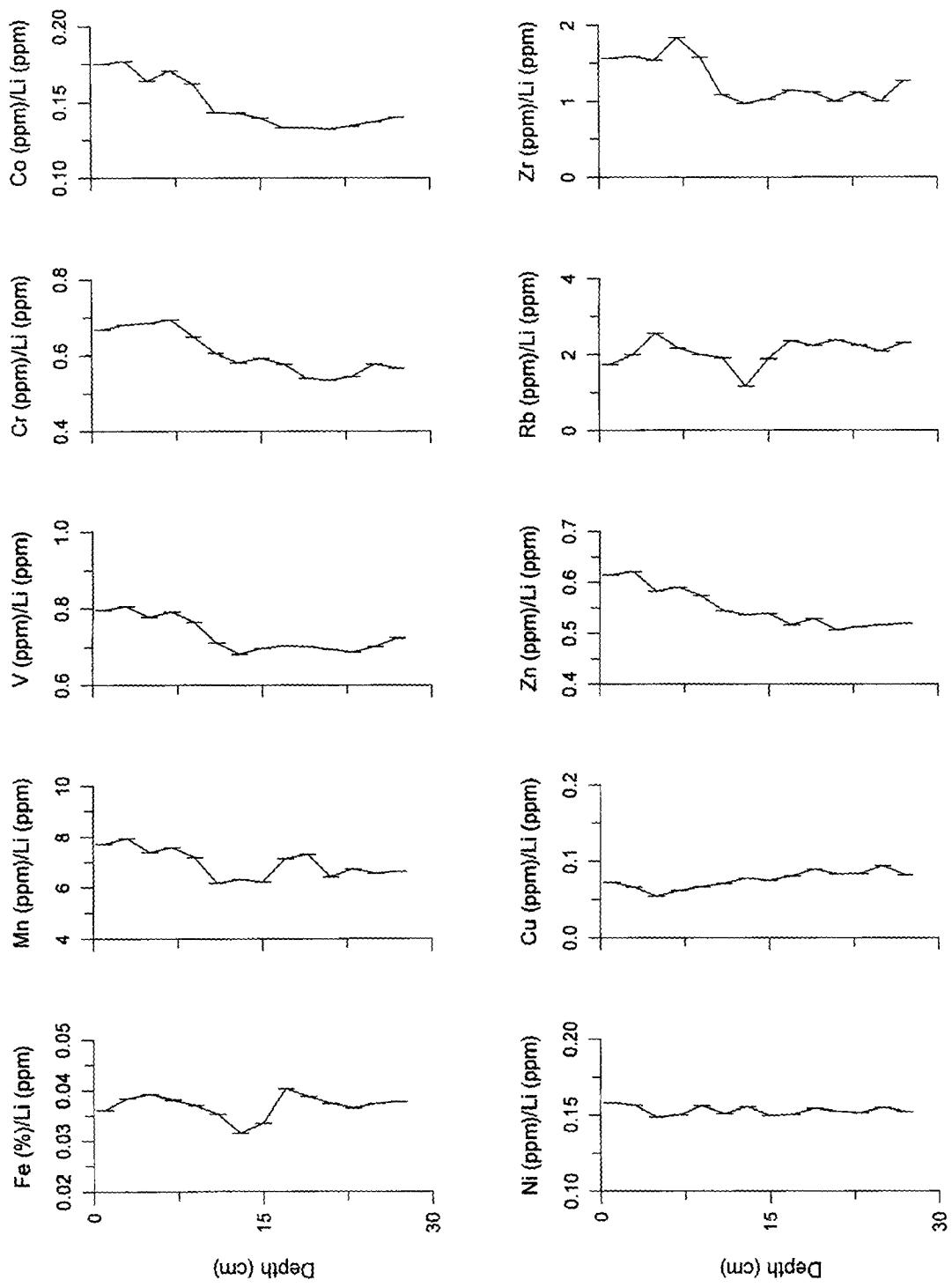


Fig. 3-2-16. Continued.

(C)

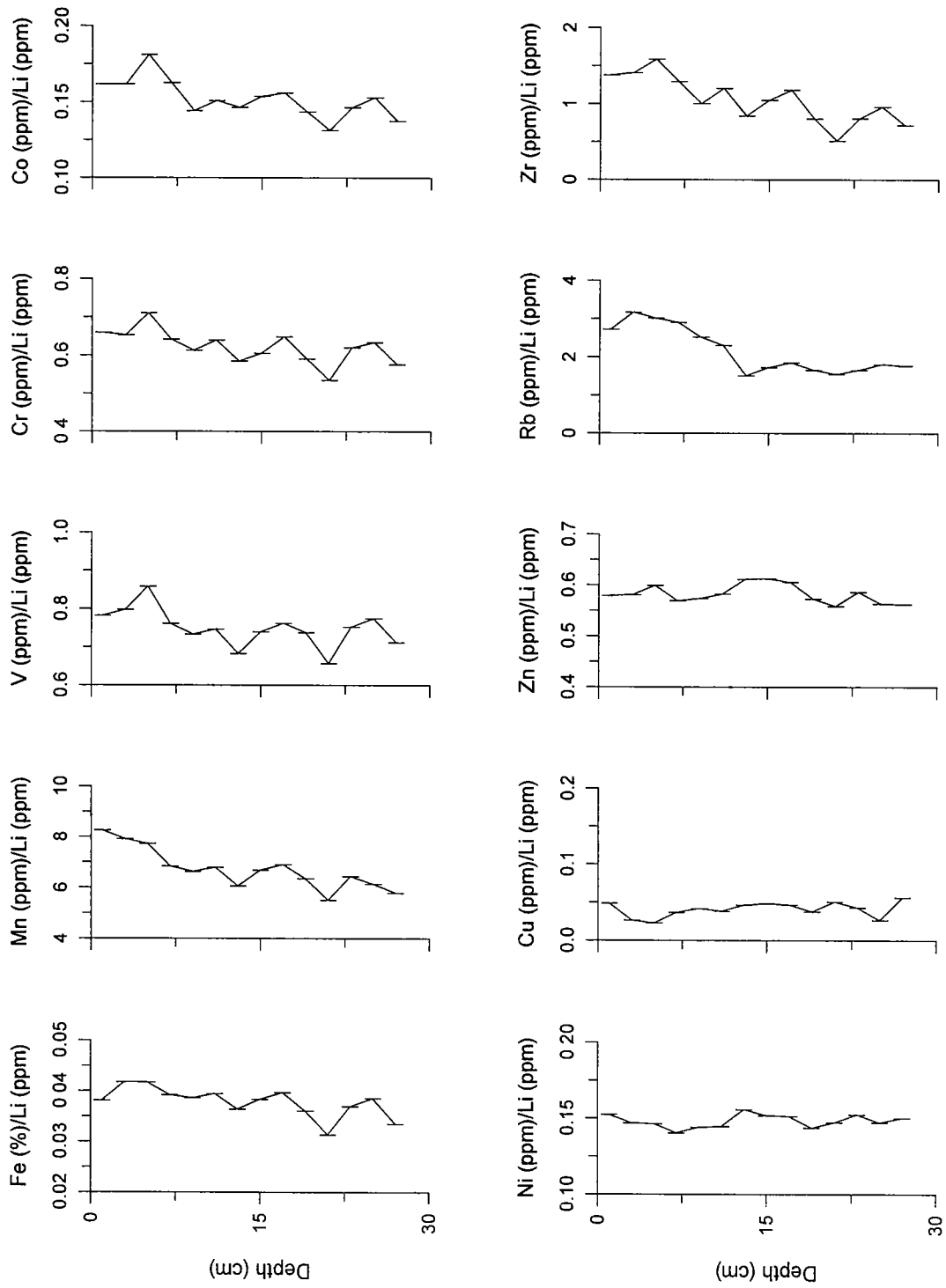


Fig. 3-2-16. Continued.

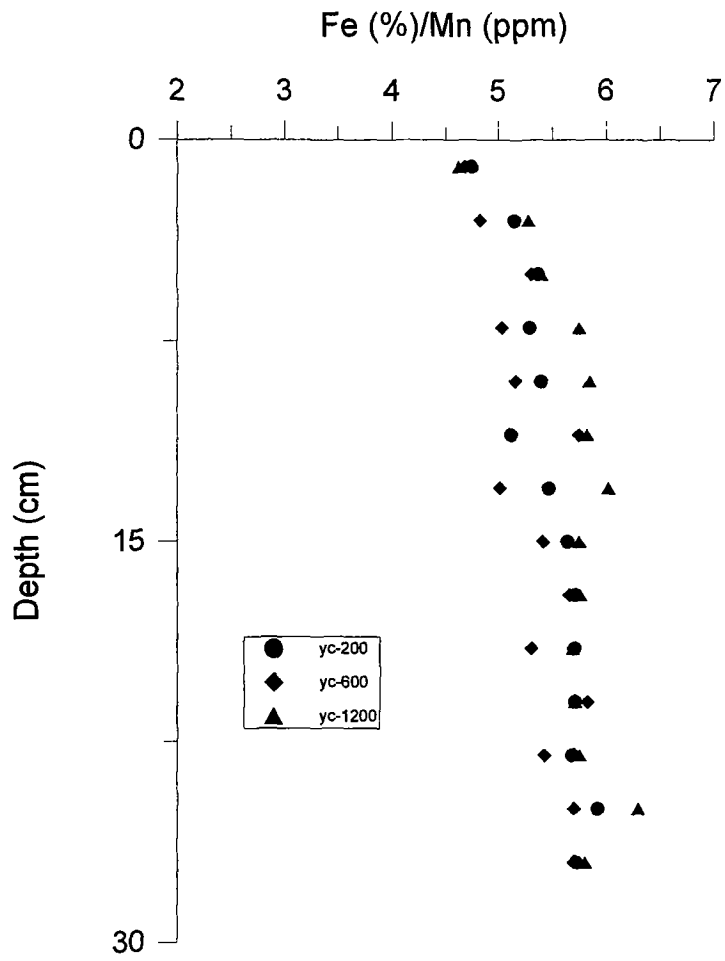


Fig. 3-2-17. Vertical distribution of Fe(%) / Mn(ppm) ratios in YC-200 YC-600 and YC-1200 cores.

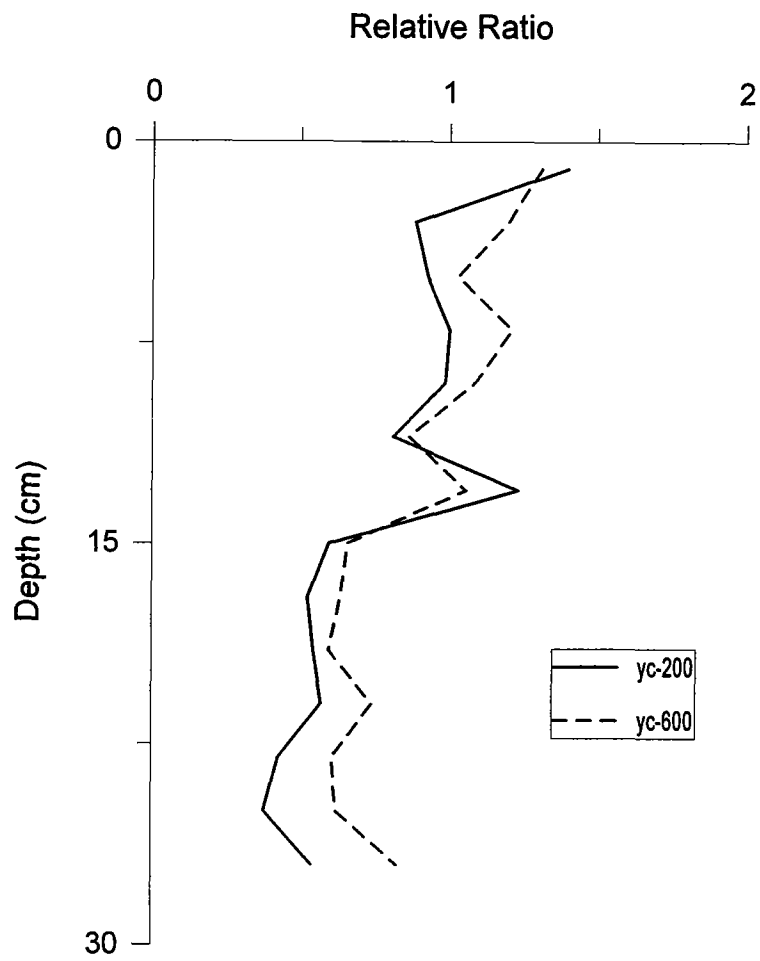


Fig. 3-2-18. Vertical distribution of relative Zn/Li ratios of YC-200 and YC-600 cores to those of YC-1200 core in each depth.

과 두 지점에서의 Zn/Li 상대비의 수직분포는 비슷하였으며 표층으로 갈수록 증가하였으며, 일부 깊이를 제외하고 YC-600 지점에서 높은 값을 보여 퇴적물이나 일부 금속원소들이 바다쪽으로부터 유입되고 있음을 나타내준다.

2.3.6. 결론 및 향후 연구 방향

연구지역의 표층퇴적물은 6개의 퇴적상으로 구성되어 있다. 동검도를 중심으로 약 6~7 ϕ 의 평균입도를 가진 니질퇴적물이 우세하며, 강화도와 장봉도 사이에는 사질퇴적물이 상대적으로 많이 분포하고 있다. 분급도는 일반적으로 매우 불량하나, 서쪽방향으로 상대적으로 점차 양호해지는 경향을 보인다. 강화 남부 조간대 연안은 1991년 표층퇴적물 입도 성분과 비교한 결과 니질퇴적물의 유입 증가 또는 해류변화에 따른 니질퇴적물의 퇴적을 증가에 따라 세립화 되고 있음을 보여준다. 표층퇴적물 입도 통계변수를 이용한 순 이동경로 양상은 여차리를 경계로 장화리 전면 조간대에서 북서쪽으로 이동하여 서쪽으로 빠져 나가며, 중앙의 화도면 조간대에서는 북동쪽 또는 동쪽으로 이동하여 동검도 남서부쪽 길상면 전면 조간대에서 집적되는 양상을 보인다.

수준측량과 표층퇴적물 집적을 변화 결과를 종합하면, 강화도 서부 조간대는 여름에서 늦가을까지 전반적으로 침식이 진행되며, 겨울철에 퇴적이 일어나는 것으로 보인다. 특히 여름철부터의 침식양상은 기존 연구된 대호조간대나 곰소만 조간대에서 여름철에 퇴적이 이루어지는 것과는 상이한 결과를 나타낸다. 측선에서 단기간의 퇴적물 특성 변화를 파악한 결과, 강화 남단 조간대는 1997년에 비해 1998년에 더욱더 세립화 된 것을 알 수 있다. 강화조간대의 퇴적환경 특성을 파악하기 위하여 지속적인 집적을 및 지형변화에 대한 관측뿐만 아니라, 추가적으로 수리에너지 모니터링 시스템 계류를 통한 계절에 따른 조류, 파랑, 유속 등의 관측과 이에 따른 부유물질 이동의 연속적인 관측이 필요하리라 사료된다.

각 정점의 코어퇴적물중 미량원소들은 퇴적물의 입도조성과 주요원소에 따라 수직분포가 크게 변하며 특히 12-14cm 깊이에서 대부분의 원소들의 함량의 변화가 뚜렷하다. 즉, 바다쪽으로 갈수록 퇴적물이 조립해짐에 따라 Ca과 Sr를 제외한 주요 및 미량원소들의 함량이 감소한다.

분석된 미량원소들은 통계적 방법과 적정화과정을 통해 서로 특성이 비슷한 두 그룹으로 나뉘어진다. 첫째로, 표층으로 가면서 증가하는 Fe, Mn, V, Cr, Co, Zn들로 조성광물의 영향과 환원-산화환경에 대한 반응을 통해 황화물, 철-망간 수산화물형태로 퇴적물에 집적되거나 일부 인위적인 유입도 배제할 수 없다. 둘째로, 퇴적물의 평균입도와 유사하게 수직분포하는 Ni, Cu들로 퇴적물의 입자크기에 그 함량이 좌우된다.

갯벌은 주기적인 조석과 계절적 환경변화에 매우 민감하게 반응하는 환경으로 정확한 화학적 환경변화를 파악하기 위해서는 퇴적물-공극수-해수 및 부유물간 수직적 flux와 조석에 의한 수평적인 flux의 변화를 조사해야 한다.

제3절 강화도 남단 갯벌의 미생물 분포 및 유기물분해활성

3.1. 서론

갯벌은 육지와 바다의 경계선상에 위치하는 이행대의 생태계로 두 생태계 사이의 완충작용을 담당하는 곳이다. 갯벌에서는 육지로부터 유입되는 각종 오염물질이 축적, 분해되는 것으로 즉 정화작용을 담당하고 있는 것으로 생각되고 있다. 서해안은 간만의 차가 크고 경사가 완만하여 캐나다 서부해안, 프랑스, 북해연안, 미국동부해안 등과 비견되는 세계에서 보기 드문 천혜의 갯벌을 지니고 있다. 국내에서는 근래까지도 갯벌을 육지의 연장으로 생각하여 대규모 간척사업을 통해 농지나 공업용지로 개발해 왔으며 지속적인 간척, 개간 및 매립 등의 인위적인 개발의 결과 고유한 갯벌이 현저하게 줄어들고 있는 실정이다. 이에 따라 육상으로부터 유입되는 유기물질이 집적·분해되는 공간의 상실로 인하여 다량의 오염물질이 직접 해양생태계로 유입되는 것으로 생각되고 있다. 국내에서의 갯벌환경에 관한 연구는 1970년대 이래로 산업발달과 간척사업 등 연안역 개발과 맞물려 조간대의 생물상을 대상으로 한 연구가 꾸준히 이루어져 왔으나 미생물에 관한 연구는 드문 편으로 80년대 이후 금강하구 일대의 퇴적토 및 낙동강 하구 등에서 부분적으로 이루어진 정도이다(김 등, 1985; 이건형, 1987). 특히 갯벌의 기능과 관련하여 물질순환의 관점에서 진행된 연구는 극히 드문 형편이다(권 등, 1998; 최와이, 1996).

본 연구에서는 전년도에 이어 강화도 남단의 갯벌을 대상으로 하여 세균의 분포와 유기물 분해과정 및 먹이망에서 세균이 차지하는 위치에 대한 연구를 수행하였다.

3.2. 재료 및 방법

3.2.1. 연구지역 및 조사시기

전년도에 이어 강화도 남단의 모래갯벌인 여차리와 펄갯벌인 선두리에서 정기조사를 실시하였다(Fig. 3-3-1). 봄철조사는 1998년 3월 27~30일 사이에 실시되었다. 조사시기 인천지역의 최간조 시각과 이때의 조고는 3월 27일 10시 38분 14 cm, 3월 28일 11시 24분 -33 cm, 3월 29일 12시 07분 -54 cm, 3월 30일 12시 49분 -48 cm였다. 선두리갯벌에서는 방조제로부터 10, 100, 200, 400 m 거리에서 시료를 채취하였으며 여차리갯벌에서는 방조제로부터 10, 100, 500, 1000, 1500 m 지점에서 시료를 채취하였다. 선두리 갯벌의 100 m 지점과 여차리갯벌의 500 m 지점에서는 core시료를 취하여 깊이에 따른 분포를 함께 조사하였다. 여차리갯벌에서는 물이 빠진 후 노출시간에 따른 차이를 알아보기 위하여 100 m 지점에서 3월 29일 08시 50분부터 시간별로 4회 동안 총세균수와 종속영양세균수, 엽록소 a 및 효소활성과 세균생산의 변화를 측정하였다. 측정 시각은 08시 50분, 10시 40분, 14시, 15시 30분이었으며 0~1, 1~2, 2~3, 3~5 cm깊이의 시료에 대해 조사가 이루어졌다.

5월에는 공통정점에 대한 조사가 있었다. 공통정점으로는 여차리갯벌의 방조제가 끝난 지점부터 남쪽으로 400~600 m, 1000~1200 m 지점을 선정하여 지질조사와 생물조사가 동시에 실시하였다. 미생물과 관련해서는 0~1, 1~2, 2~3 cm 깊이에서 시료를 취하여 총세균수, 세포의 효소활성 및 세균생산력을 조사하였다.

8월에는 정기조사와 공통정점에 대한 조사를 동시에 실시하였다. 여차리갯벌의 경우 정기조사시의 500 m 지점을 공통정점의 600 m로 대체하였으며 1500 m 대신 2500 m 지점에서 시료를 취하였다. 다른 사항은 3월 및 5월의 조사시와 같다. 단 시간에 따른 조사는 실시하지 않았다.

3.2.2. 조사 방법

가. 건조질량 및 수분함량

퇴적토시료의 건조질량 및 수분함량은 20 ml 용량의 유리 vial에 끝을 자

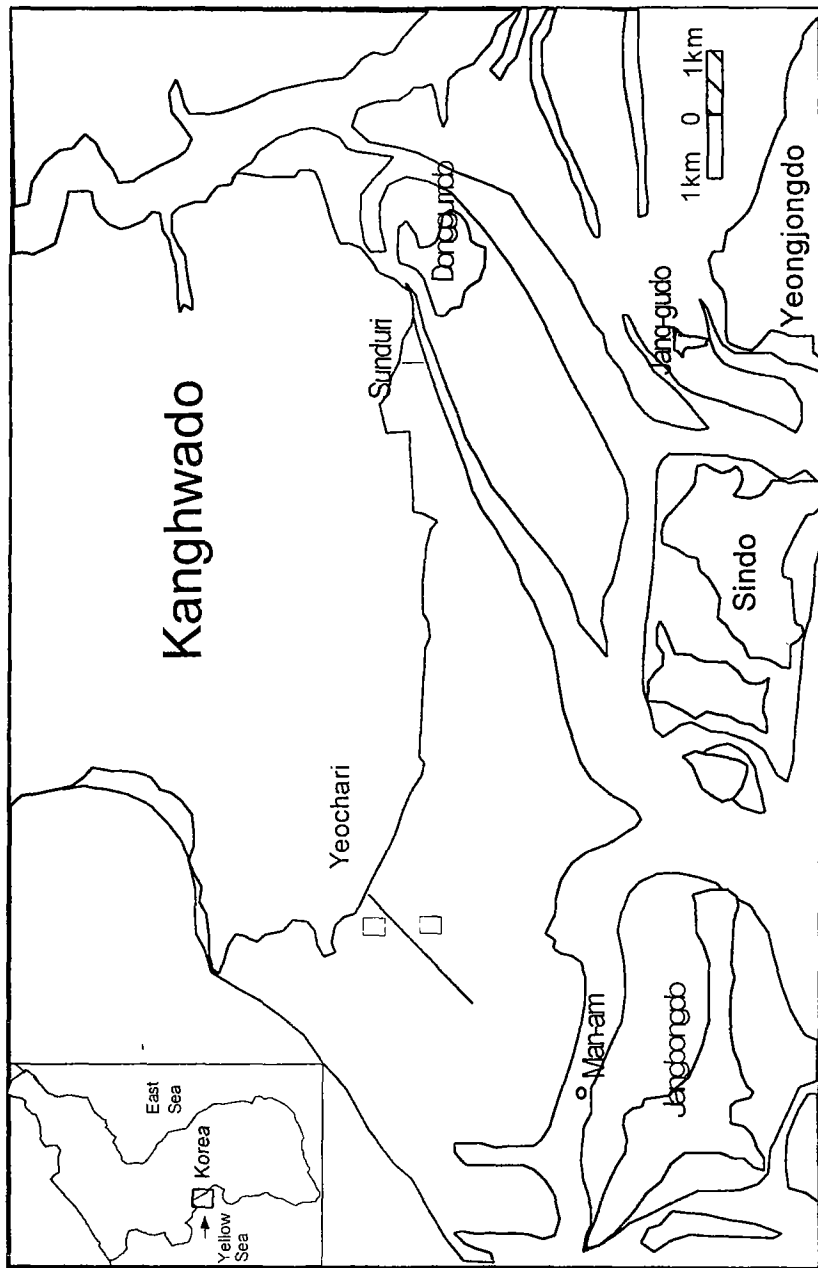


Fig. 3-3-1. Map of the investigation area. Common stations are represented as small boxes

른 3 ml 용량의 주사기로 시료 1 ml 씩을 취하여 넣은 후 80 °C에서 하룻밤 동안 건조시킨 전후의 무게차이로부터 측정하였다(APHA).

나. 영양염

시료 1 ml에 10 ml의 3차 증류수를 첨가한 후 5분간 vortexing 하였다. 부유물을 가라앉히기 위하여 3000 × g에서 5분간 원심분리 시킨 후 상등액을 취하여 질산염, 인산염 및 황산염의 농도를 측정하였다. 질산염 및 인산염 분석은 Koroleff(1983) 및 Grasshoff(1983)에 따랐으며 황산염 농도는 Merck사의 14791 kit와 SQ 118 Spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

다. 엽록소 a 농도

20 ml 용량의 유리 vial에 끝을 자른 3 ml 용량의 주사기로 시료 1 ml 씩을 취하여 넣은 후 5 ml의 90% acetone으로 엽록소를 추출하였다. 3000 g로 5분간 원심분리시켜 부유물을 가라앉힌 후 664, 647, 630 nm에서 흡광도를 측정하여 엽록소 a의 농도를 계산하였다(APHA). Phaeopigment의 농도는 엽록소 a를 측정 후 0.1N HCl 0.1 ml를 첨가한 후 665 nm에서 흡광도를 측정 후 엽록소 a의 농도와 비교하여 계산하였다.

라. 종속영양세균수

유기오염의 지표가 되는 종속영양세균수 측정을 위하여 시료를 적당한 농도로 희석한 후 일반세균용 Petrifilm배지(3M)에 1 ml씩 농도별로 3장씩 접종하였다. 20 °C에서 2주일간 배양한 후 형성된 집락의 수를 계수하였으며 희석 배수를 곱하여 종속영양세균수를 구하였다.

마. 세포외 효소(aminopeptidase)활성

세균에 의한 고분자유기물 분해능의 측정을 위하여 peptide bond가 끊어지

면 형광을 띄는 leu-MCA를 이용하여 단백질 분해에 관여하는 세포의 효소인 aminopeptidase의 활성을 측정하였다(Hoppe, 1993).

시료 2 ml을 끝을 자른 1 ml 주사기를 이용하여 18 ml의 멸균된 해수에 잘 섞어준 후 8개의 1.5 ml 용량의 microtube에 1 ml씩을 넣었다. 8개의 tube 중 3개의 tube에는 최종농도가 2 μ M, 3개에는 100 μ M이 되도록 모형기질로 leu-MCA를 50 μ l씩 첨가하여 잘 섞어준 후 1시간 이내로 배양한 전후의 형광도 차이로부터 가수분해율(Hr)과 가수분해력(V_{MAX})를 계산하였다. 남은 2개의 tube에는 100 nM의 MCA를 첨가한 후 함께 배양하여 퇴적토로부터의 MCA회복을 구하였다(권 등, 1998).

시료의 형광을 측정하기 위하여 10,000 \times g에서 1분간 원심분리하여 퇴적토를 가라앉힌 후 0.1 ml의 상등액을 취하였다. 채취된 상등액을 black microplate에 옮긴 후 200 μ l의 glycine-ammonia 용액(pH 10.5)을 첨가하여 pH를 높여준 다음 형광을 측정하였다. 형광측정에는 Fluoroscanner ascent(Lab systems, Norway)를 사용하였으며 이때 excitation 및 emission 파장은 각각 355 nm, 460 nm 였다. 측정된 형광도를 기질의 농도로 전환하기 위하여 시료의 형광측정시 MCA를 이용하여 표준곡선을 함께 잡아주었다.

바. 세균생산력 및 14 C-leucine 전환율로 측정한 종속영양활성

14 C-leucine을 기질로 하여 세균생산력과 종속영양활성을 측정하였다. 세균의 세포효소활성력 측정을 위해 준비한 시료 희석액 1 ml를 8개의 8 ml 용량의 vial에 준비한 후 4개에는 기질로 14 C-leucine을 trace level(1 nCi/ml)로, 4개에는 1000 nM 농도로 첨가하였다. 1시간 후 formalin 100 μ l를 첨가하여 배양을 중단시켰다. 배양에 앞서 각 1개의 vial에는 formalin 100 μ l를 첨가하여 control로 삼았다. 배양이 끝난 시료는 0.2 μ m의 막여과지로 여과 한 후 Liquid Scintillation Counter(Lackbeta II, Wallac)로 방사선량을 측정하여 기질전환율과 생산력을 계산하였다. 생산력 계산에 이용한 식은 다음과 같다(Kirchman, 1993).

$$P = \text{Leucine} \times 131.2 \times 0.86 / 0.073$$

Leucine = Amount of leucine uptaked($\mu\text{M}/\text{mL}$ -sediment)

131.2 = Formula weight of leucine

0.86 = C/protein ratio

0.073 = Fraction of leucine in protein

사. 황산염환원세균

혐기적 유기물분해자의 지표로서 황산염환원세균의 분포를 MPN 조사방법을 이용하여 조사하였다(Pimenov *et al.*, 1993). 표층퇴적토시료를 AMR media (Abd-El-Malek and Rizk, 1958, 변화폭 1)가 들어있는 cap tube(16×100mm)에 희석 배수별로 각각 5개씩 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 20℃에서 4주간 배양하였다. 4주 후에 못 표면이 검게 변화했으면 양성으로, 못 표면이 변화하지 않으면 음성으로 판독하였으며 MPN 표(Collins & Lyne, 1984)와 비교하여 황산염환원세균수로 계산하였다.

3.3. 결과

3.3.1. 정기조사

가. 건조질량 및 수분함량

채취된 시료의 건조질량 및 수분함량은 Table 3-3-1과 같다. 펼갯별인 선두리갯벌에서 건조질량이 적고 수분함량이 높은 전형적인 형태를 보였다.

나. 영양염

1998년 3월과 8월 정기조사시의 선두리갯벌과 여차리갯벌의 인산염, 질산

Table 3-3-1. The dry weight and water contents in each sample during regular investigation

		Dry weight(g/cm ³)				Water content(g/cm ³)			
		Sunduri		Yeochari		Sunduri		Yeochari	
		March	August	March	August	March	August	March	August
Horizontal distribution	10 m	0.603	0.580	1.221	0.721	0.693	0.781	0.541	0.742
		0.991	0.971	1.123	1.041	0.632	0.619	0.5893	0.598
	200 m	1.140	0.718			0.568	0.786		
		0.796	0.716		0.944	0.731	0.605		0.634
	500 m			1.012				0.6782	
				1.137	1.184			0.535	0.613
	1000 m			1.148				0.515	
									1.276
Vertical distribution	0~1 cm	0.991	0.971	1.012	0.944	1.012	0.619	0.678	0.634
		1.099	0.963	1.175	1.070	1.175	0.568	0.479	0.442
	2~3 cm	1.080	0.894	1.380	1.395	1.380	0.532	0.566	0.472
		1.109	0.988	1.183	1.323	1.183	0.547	0.486	0.793
	3~5 cm	1.047	1.032	1.313	1.219	1.313	0.560	0.430	0.489
		1.126	1.250	1.310	1.369	1.310	0.537	0.477	0.46
	10~12 cm	0.993	1.093	1.260	1.329	1.260	0.541	0.465	0.473

염 및 아질산염의 분포는 Fig. 3-3-2와 같다. 먼저 인산염의 수직분포를 보면 선두리갯벌의 경우 3월에 1.23~9.17 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 1.98~9.23 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 여차리갯벌에서는 깊이에 따라 3월에 0.63~3.85 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 1.21~3.76 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보여 두 정점 모두 깊이가 깊어질수록 인산염의 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 특히 선두리갯벌의 6~12 cm 사이에서 높은 인산염의 농도를 보였으며 계절에 따른 차이는 나타나지 않았다. 방조제로부터의 거리에 따른 분포는 선두리갯벌에서 3월에 1.35~7.15 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 0.76~1.98 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 여차리갯벌에서는 3월에 0.63~2.33 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 0.61~1.31 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 평균적으로는 선두리갯벌 표층에서의 인산염이 여차리갯벌 표층에 비해 조금 높은 농도를 보였다.

선두리갯벌에서의 질산염 농도는 3월에 깊이에 따라 16.8~45.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 8월에는 12.2~73.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 방조제로부터의 거리에 따라서는 3월에 0.4~39.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 9.2~13.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보여 10 cm보다 깊은 곳을 제외하면 3월의 질산염 농도가 8월에 비해 높았다. 또한 표층 부근보다는 깊이가 깊은 곳에서 높은 농도를 보였으며 8월에도 깊어질수록 질산염의 농도가 증가하였다. 여차리갯벌의 경우에는 깊이에 따라 3월에 11.0~54.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 4.2~26.8 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 수평분포는 3월에 11.0~47.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 12.0~35.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였다. 여차리갯벌의 경우 선두리갯벌의 경우와는 달리 중간깊이에서의 질산염 농도가 상대적으로 높게 나타났으며 깊은 곳에서는 표층과 비슷하거나 낮은 농도를 보이기도 하였다. 표층에서는 3월에는 거리의 증가에 따라 질산염의 농도가 감소하는 경향을 보였으나 8월에는 육상에서 멀어질수록 질산염 농도가 증가하였다. 여차리갯벌의 깊이에 따른 질산염 농도는 선두리갯벌에 비해 낮은 편이었으나 표층에서의 분포는 상대적으로 높게 나타났다.

아질산염의 농도는 3월에 선두리갯벌에서 깊이에 따라 12.0~90.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 6.8~19.8 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 8월에는 선두리갯벌에서 3.6~11.8 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 1.6~4.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였다. 표층에서의 분포는 선두리갯벌에서 3월에 15.8~58.2 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 2.2~3.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였으며 여차리갯벌에서는 3월에 6.0~14.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 1.2~3.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였다. 8월에 비해 3월의 아질산염 농도가 훨씬 높게 나

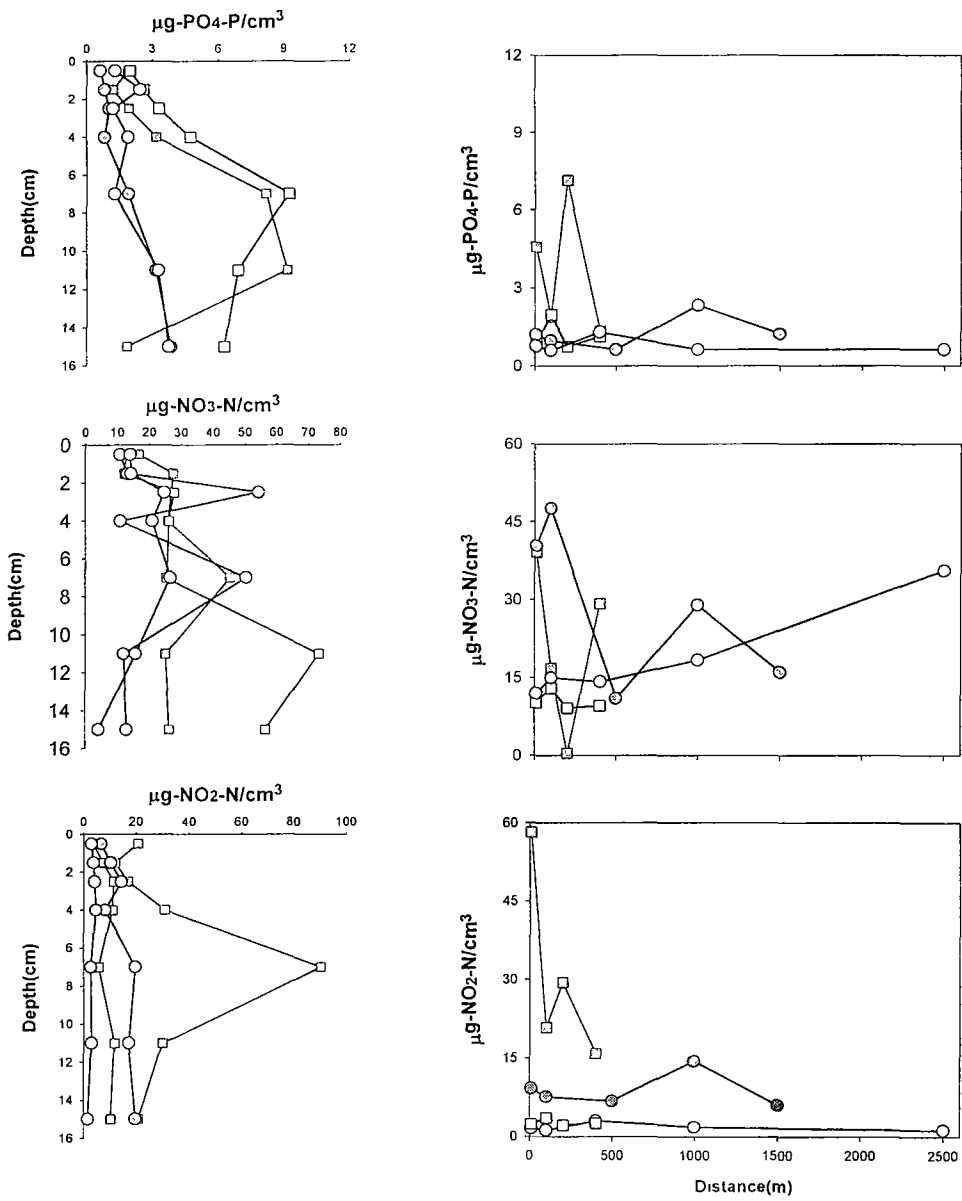


Fig. 3-3-2. Vertical and horizontal distribution of inorganic nutrients in March and August.

: May, Sunduri. : August, Sunduri
 : May, Yeochari. : August, Yeochari

타났으며 상대적으로 선두리갯벌에서 높은 농도를 보였다.

다. 엽록소 a 농도

1998년 3월과 8월 정기조사시의 엽록소 a의 수평분포는 Fig. 3-3-3(c)와 같다. 선두리갯벌의 경우 3월에 $1.9\sim 18.7 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에는 $3.0\sim 13.4 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 여차리갯벌에서는 3월에 $1.9\sim 10.0 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 $2.0\sim 24.1 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. Phaeopigment의 농도는 3월에 선두리갯벌에서 $1.1\sim 8.3 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 $0.7\sim 2.8 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 8월에는 선두리갯벌에서 $3.4\sim 6.7 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 $2.2\sim 13.2 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다.

선두리갯벌 100 m 지점 및 여차리갯벌 400 또는 500 m 지점에서의 깊이에 따른 엽록소 a의 분포는 Fig. 3-3-3의 (a) 및 (b)와 같다. 3월의 선두리갯벌에서는 깊이에 따라 $1.5\sim 13.7 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서는 $2.3\sim 6.9 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였으며 8월에는 선두리갯벌에서 $1.5\sim 3.0 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 $0.7\sim 2.0 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. Phaeopigment의 농도는 3월에 선두리갯벌에서 깊이에 따라 $0.7\sim 6.5 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 $1.2\sim 3.4 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 8월에 선두리갯벌에서 $1.8\sim 4.3 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌에서 $0.7\sim 2.2 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다.

라. 총세균수

1998년 3월과 8월 정기조사시의 총세균수의 방조제로부터의 거리에 따른 분포 및 선두리 100m 지점과 여차리 400(8월) 또는 500m(3월) 지점에서의 수직분포는 Fig. 3-3-4와 같다. 먼저 거리에 따른 분포를 살펴보면 3월의 총세균수는 선두리에서 $1.46\sim 1.78\times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$, 여차리에서 $1.24\sim 5.51\times 10^{10} \text{ cells}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 봄철의 총세균수는 필갯벌인 선두리갯벌에서 모래갯벌인 여차리갯벌에 비해 평균적으로 약 6.4배 정도 높은 분포를 보였다. 그러나 8월의 경우 선두리갯벌의 총세균수는 $1.88\sim 2.67\times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$, 여차리갯벌의 총세균수는 $0.47\sim 2.38\times 10^{10} \text{ cells}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보여 선두리갯벌에

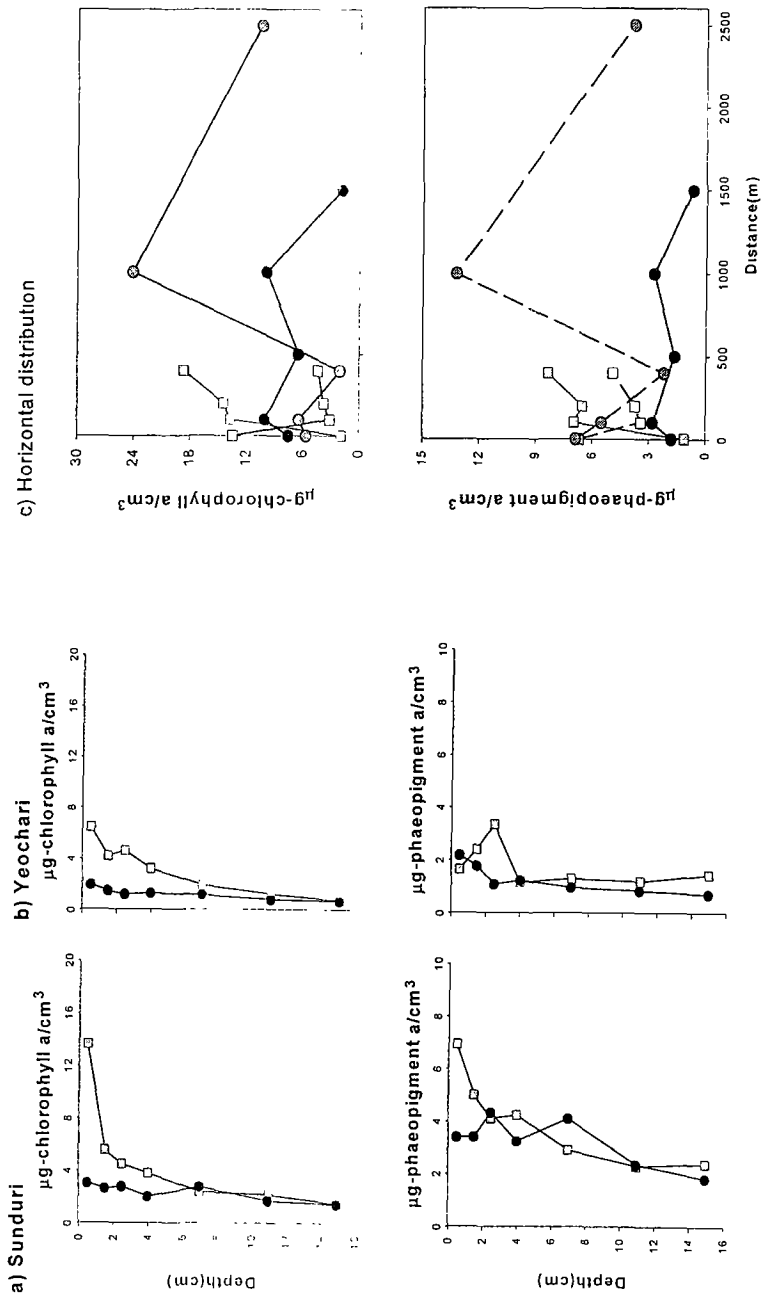


Fig. 3-3-3. Vertical and horizontal distribution of chlorophyll a and phaeopigment a in March and August. Gray square(March) and black circle(August) were used for vertical distribution and gray square(March, Sunduri), hollow square(August, Sunduri), black circle(March, Yeochari) and gray circle(August, Yeochari) were used for horizontal distribution.

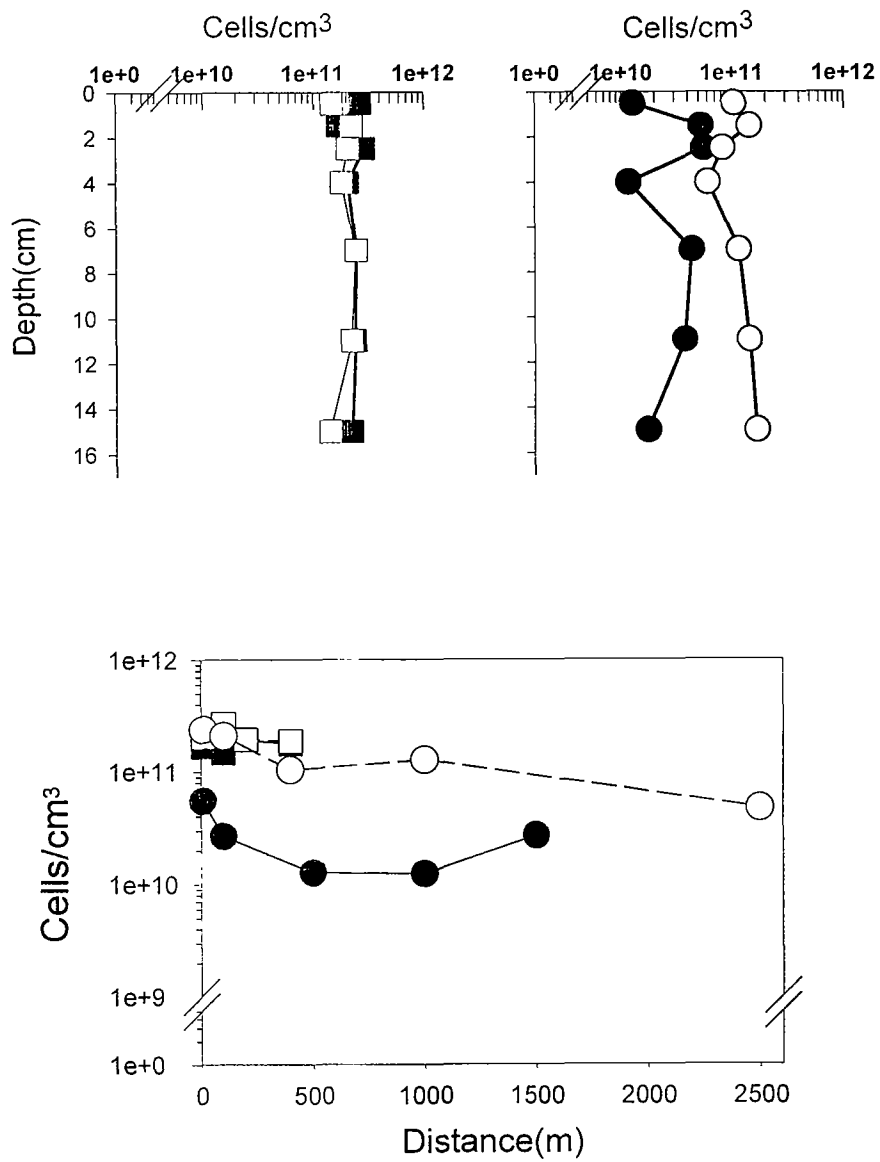


Fig. 3-3-4. Vertical and horizontal distribution of total bacterial number in March and August.

■ : May, Sunduri, □ : August, Sunduri
 ● : May, Yeochari, ○ : August, Yeochari

서는 소폭의 증가를 보인 반면 여차리갯벌에서는 약 5.4배 정도의 증가를 보여 3월과는 달리 여차리갯벌의 총세균수가 선두리갯벌과 유사한 수준으로 증가하였다.

총세균수의 수직분포를 보면 선두리갯벌의 경우 3월에 깊이에 따라 $1.42 \sim 2.41 \times 10^{11}$ cells/cm³의 분포를 보인 반면 여차리갯벌에서는 $1.17 \sim 5.51 \times 10^{10}$ cells/cm³의 분포를 보여 정선관측에서와 마찬가지로 펄갯벌에서의 분포가 더 높게 나타났다. 8월에는 선두리갯벌에서 $1.66 \sim 2.89 \times 10^{11}$ cells/cm³로 3월과 유사한 수준의 분포를 보인 반면 여차리갯벌에서는 $0.60 \sim 1.67 \times 10^{11}$ cells/cm³로 여차리갯벌에서의 총세균수 증가가 두드러졌으며 이에 따라 선두리갯벌과 여차리갯벌간의 총세균수 분포의 차이가 크게 줄어들었다.

다. 종속영양세균수

1998년 3월과 8월 정기조사시의 종속영양세균수의 방조제로부터의 거리에 따른 분포 및 선두리 갯벌의 100 m 지점과 여차리 갯벌의 400 또는 500 m 지점에서의 깊이에 따른 종속영양세균의 분포는 Fig. 3-3-5와 같다. 선두리 갯벌의 종속영양세균수는 3월에 방조제로부터의 거리에 따라 $1.66 \sim 6.02 \times 10^6$ CFU/cm³, 8월에 $2.18 \sim 13.20 \times 10^6$ CFU/cm³로 두 시기 모두 10 m 지점에서 가장 높은 분포를 보였다. 3월의 경우에는 200 m 지점까지 큰 차이를 보이지 않았으나 400 m 지점에서 상대적으로 낮은 분포를 보였으나 8월에는 10 m 지점에서 높은 분포를 보인 반면 100~400 m 사이에는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

여차리 갯벌의 종속영양세균수는 3월에 $0.22 \sim 1.28 \times 10^6$ CFU/cm³, 8월에 $0.84 \sim 8.70 \times 10^6$ CFU/cm³의 분포를 보여 3월에 비해 8월에 평균적으로 5배 이상의 높은 분포를 보였다. 3월의 경우에는 방조제로부터의 거리에 따라 점차 줄어드는 경향을 보였으나 8월에는 400 m 지점에서 가장 낮은 분포를 보이고 10 m 지점과 2500 m 지점에서 유사한 분포를 보이는 등 거리에 따른 뚜렷한 경향성을 보이지는 않았다.

종속영양세균수의 수직분포를 보면 선두리 갯벌 100 m 지점의 경우 깊이에 따라 3월에 $1.02 \sim 4.73 \times 10^6$ CFU/cm³, 8월에 $0.90 \sim 3.46 \times 10^6$ CFU/cm³의 분포를

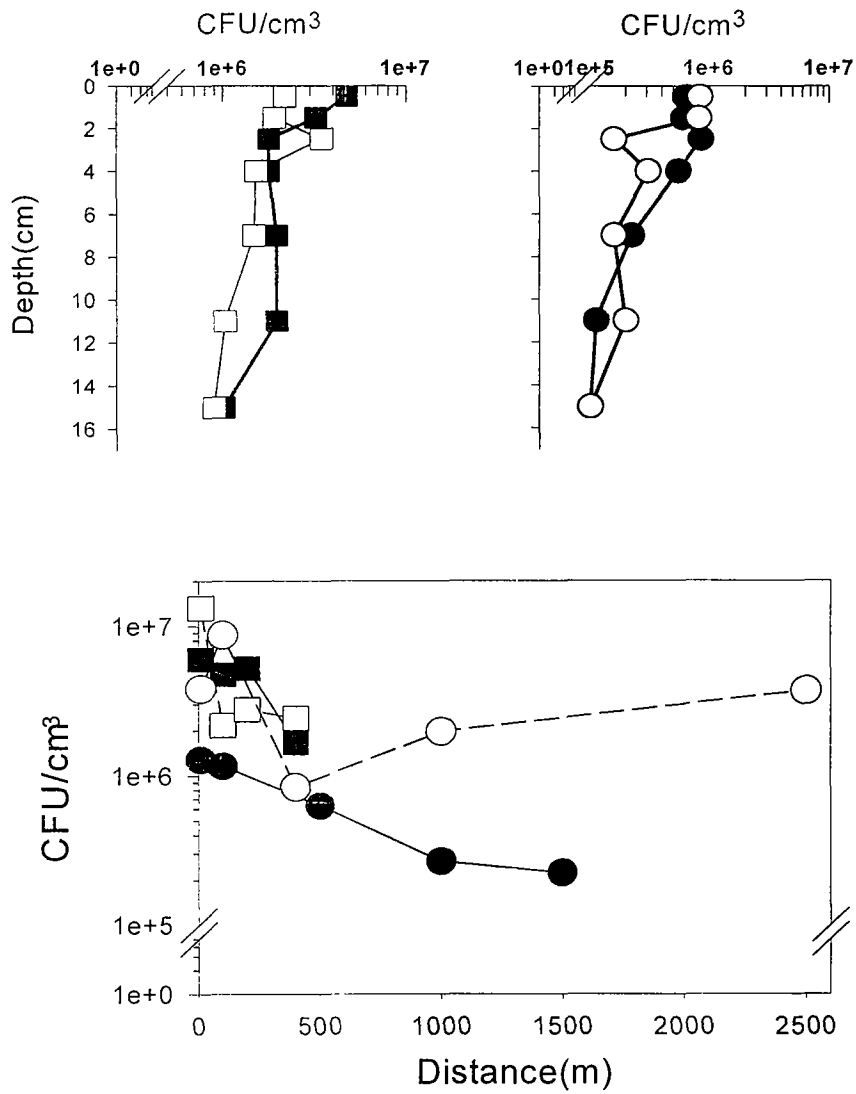


Fig. 3-3-5. Vertical and horizontal distribution of heterotrophic bacterial number in March and August.

■ : May, Sunduri. □ : August, Sunduri
 ● : May, Yeochari. ○ : August, Yeochari

보였다. 3월의 경우 2 cm 이내의 분포가 높게 나타났으며 8월의 경우에는 2~3 cm에서 가장 높은 분포를 보였다. 3월과 8월을 비교해 보면 8월의 경우 3월에 비해 낮은 분포를 보였다.

여차리 갯벌에서는 3월에 $0.10 \sim 0.86 \times 10^6$ CFU/cm³, 8월에 $0.10 \sim 0.84 \times 10^6$ CFU/cm³의 분포를 보여 3월과 8월의 분포가 유사한 수준을 보였다. 다만 3월의 경우에는 2~3 cm에서 가장 높은 분포를 보이고 이후 급격히 줄어드는 반면 8월의 경우에는 2 cm이내에서 높은 분포를 보이다가 이후의 분포가 비교적 일정하게 낮은 것으로 나타나 차이를 보였다. 평균적으로는 선두리 갯벌과 마찬가지로 8월에 비해 3월의 분포가 더 높은 것으로 나타났다.

바. 세포의 효소활성

1998년 3월과 8월 각 정점에서의 세포의 효소활성의 수평 및 깊이에 따른 분포는 Fig. 3-3-6과 같다.

세포의 효소활성의 분포는 선두리갯벌의 표층에서 3월에 $31.30 \sim 100.3$ nmd/cm³/hr로 100~200m 사이에서 낮고 10m와 400m 위치에서 높은 가수분해력을 보였으며 8월에는 $23.36 \sim 177.73$ nmd/cm³/hr로 10m 지점에서 대단히 높은 가수분해력을 보였다. 8월에도 100m 지점에서 가장 낮은 가수분해력을 보였다. 여차리갯벌에서는 3월에 $10.95 \sim 49.00$ nmd/cm³/hr로 500m 지점에서 가장 높은 가수분해력을 보였으며 8월에는 $14.11 \sim 108.62$ nmd/cm³/hr의 분포를 보여 10m, 1000m 지점에서는 3월에 비해 큰 폭으로 증가하였다. 가수분해율의 경우 3월에 선두리에서 $6.4 \sim 23.2\%/hr$ 의 분포를, 여차리에서 $4.8 \sim 10.9\%/hr$ 의 분포를 보였으며 8월에는 선두리갯벌에서 시간당 $15.4 \sim 36.0\%$ 의 가수분해율을, 여차리갯벌에서 $4.5 \sim 35.5\%$ 의 가수분해율을 보였다. 선두리갯벌과 여차리갯벌 모두 3월에 비해 8월의 가수분해력과 가수분해율이 더 높았으며 선두리갯벌에서의 가수분해력과 가수분해율이 여차리갯벌에 비해 높은 것으로 나타났다.

깊이에 따른 분포를 보면 선두리갯벌에서 3월에 $0.48 \sim 31.30$ nmd/cm³/hr로 7 cm 깊이까지 점차적으로 가수분해력이 감소하는 경향을 보였다. 8월에는 깊이에 따라 $20.55 \sim 51.71$ nmd/cm³/hr로 3 cm 부근에서 최대값을 보였으며 다른 깊이에서는 표층에서와 유사한 수준의 가수분해력을 보여 선두리갯벌의 경우

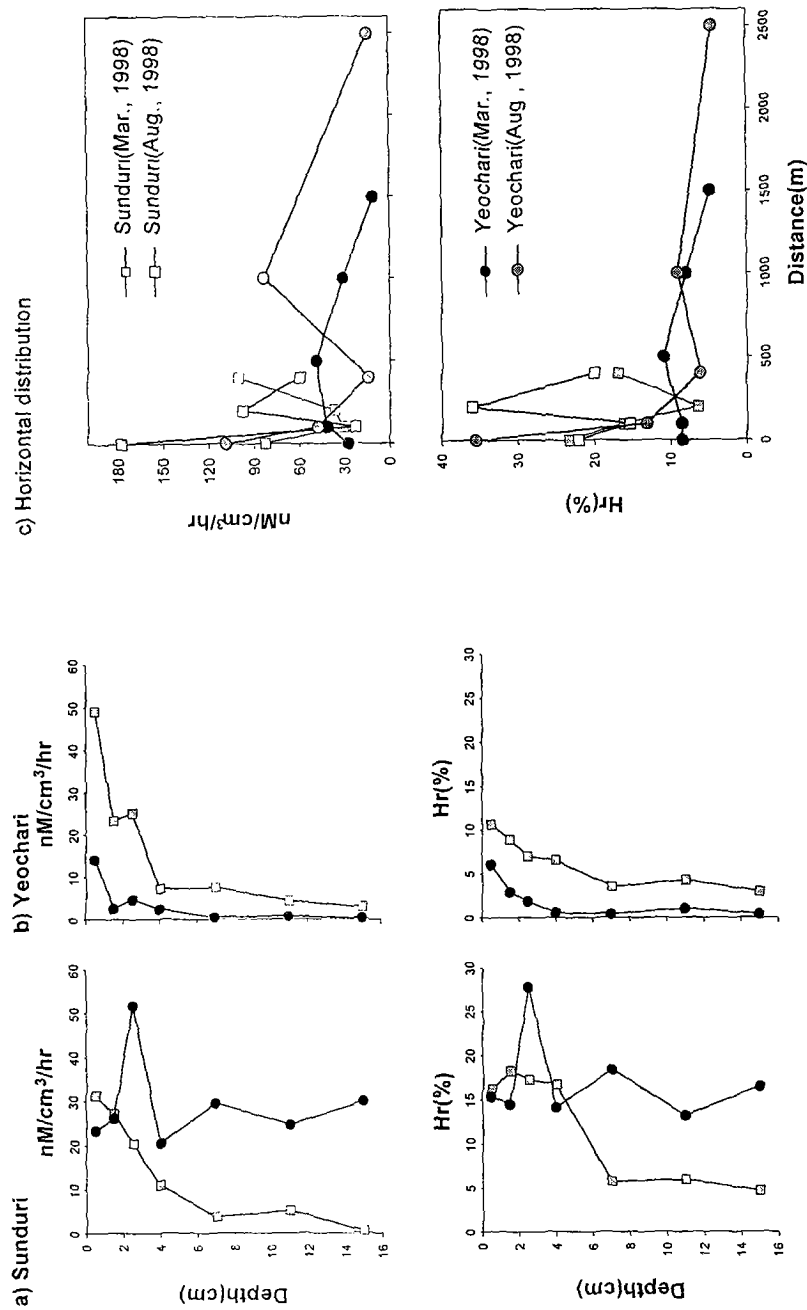


Fig. 3-3-6. Vertical and horizontal distribution of aminopeptidase activities in March and August, Gray square(March) and black circle(August) used for vertical distribution.

여름철에 깊이가 깊은 곳에서 효소활성이 크게 증가한 것으로 나타났다. 여차리의 경우에는 3월에 2.77~49.00 nmd/cm³/hr, 8월에 0.21~14.11 nmd/cm³/hr로 여름철에 낮은 가수분해력을 보였다. 여차리갯벌의 경우에는 두 계절 모두 표층~5 cm 사이에서 가수분해력이 급격히 감소하였다. 이에 따라 3월에는 여차리갯벌에서의 가수분해력이 선두리갯벌과 비교해 볼 때 비슷하거나 높은 수준이었으나 8월에는 선두리갯벌의 가수분해력이 월등히 높게 나타났다. 가수분해율의 경우 선두리갯벌에서 3월에 깊이에 따라 시간당 4.7~18.3%로 5 cm 부근에서 가수분해율이 급격히 감소하였다. 8월에는 시간당 13.2~27.8%의 분해율을 보였으며 그 경향은 가수분해력과 유사하였다. 여차리갯벌에서는 3월에 깊이에 따라 시간당 3.0~10.7%, 8월에 0.4~6.1%의 가수분해율을 보였으며 가수분해력에 비해 표층부근에서의 가수분해율이 상대적으로 낮았다.

사. 세균 생산력 및 종속영양활성

3월의 세균생산력은 선두리갯벌에서 153.7~618.4 ng-C/cm³/hr, 여차리갯벌에서 111.0~859.5 ng-C/cm³/hr의 분포를 보여 여차리갯벌에서 더 높은 생산력을 보였다(Fig. 3-3-7). 8월에는 선두리갯벌에서 1,356.2~10,400.4 ng-C/cm³/hr, 여차리갯벌에서 1,094.6~13,325.0 ng-C/cm³/hr의 세균생산력을 보여 3월에 비해 대단히 높은 생산력을 보였다. 깊이별 분포를 보면 선두리갯벌 100 m 지점에서 3월에 63.2~477.6 ng-C/cm³/hr, 8월에 1,288.9~2,163.2 ng-C/cm³/hr의 분포를 보였으며 여차리갯벌에서는 3월에 54.8~659.2 ng-C/cm³/hr, 8월에 943.4~2,205.4 ng-C/cm³/hr의 세균생산력을 보여 3월에는 선두리갯벌에 비해 여차리갯벌에서 더 높은 세균생산력을 보였으나 8월에는 유사한 수준의 생산력을 보였다.

아미노산의 전환율은 3월에 선두리갯벌에서 시간당 0.56~3.41%의 분포를 보였으며 여차리갯벌에서는 시간당 0.49~3.77%의 전환율을 보였다. 8월에는 선두리갯벌에서 시간당 1.54~4.26%, 여차리갯벌에서 시간당 2.79~9.76%의 분포범위를 보여 3월의 경우 선두리갯벌과 여차리갯벌의 기질전환율이 비슷한 수준을 보였으나 8월에는 여차리갯벌에서의 기질전환율이 선두리갯벌에 비해 2배 이상 높았다. 또한 8월의 기질전환율이 3월에 비해 높은 것으로 나타났

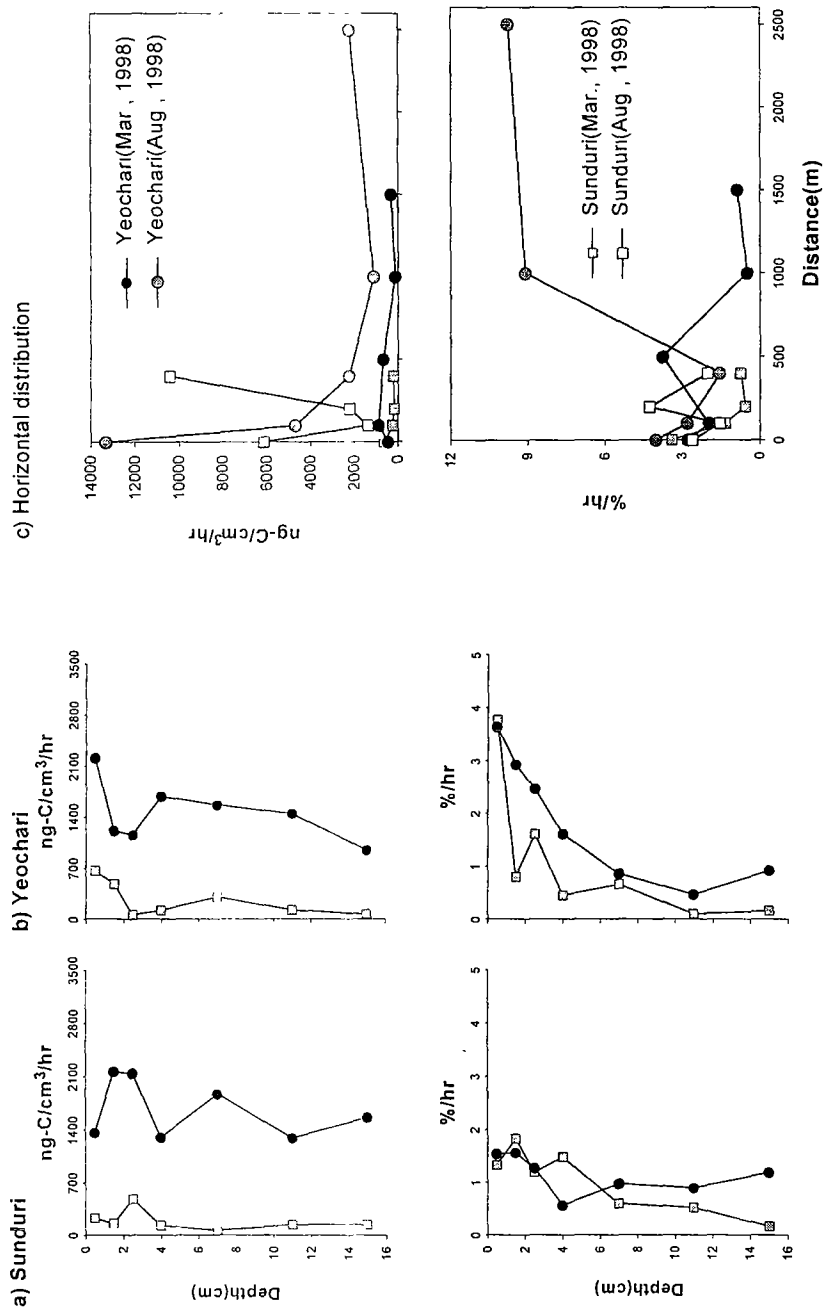


Fig. 3-3-7. Vertical and horizontal distribution of bacterial productivities in March and August. Gray square(March) and black circle(August) used for vertical distribution.

다. 깊이에 따른 기질전환율도 3월에 선두리갯벌 100 m 지점에서 깊이에 따라 시간당 0.52~1.83%, 여차리갯벌 500 m 지점에서 시간당 0.10~3.77%의 범위를 보였으며 8월에는 선두리갯벌에서 0.56~1.56%, 여차리갯벌에서 시간당 0.47~3.64%의 범위를 보여 3월에 비해 8월이, 선두리갯벌에 비해 여차리갯벌의 기질전환율이 더 높았다.

아. 황산염환원세균

선두리 100 m 지점의 황산염환원세균수 수직분포는 3월에 3,500~17,000 cells/cm³, 8월에 3,500~90,000 cells/cm³의 범위를 보였으며 여차리 갯벌 500 m지점에서는 3월에 500~2,500 cells/cm³, 8월에 2,500~90,000 cells/cm³의 범위를 보였다(Fig. 3-3-8). 봄철의 경우에는 펄갯벌인 선두리의 황산염환원세균수가 훨씬 높은 분포를 보였으나 여름철에는 펄갯벌과 모래갯벌 간에 차이가 없는 것으로 나타나 생산력이 높은 여름철의 경우에는 모래갯벌인 여차리에서도 황산염환원세균을 비롯한 혐기성세균의 역할이 증가하는 것으로 생각된다.

3.3.2. 공통정점 조사

가. 건조질량 및 수분함량

5월과 8월 여차리 공통정점에서의 시료의 건조질량 및 수분함량은 Table 3-3-2와 같다. 5월의 0~1 cm를 제외한 모든 경우에 400~600 m 사이에서의 건조질량이 1000~1200 m 사이에 비해 적게 나왔으며 깊이가 증가할수록 건조질량이 증가하고 수분함량이 감소하였다. 그러나 상대적으로 펄성분이 많은 400~600 m 사이의 시료도 선두리갯벌에 비해서는 건조질량이 많이 나가고 수분함량도 적은 편이었다(Table 3-3-1).

나. 무기영양염

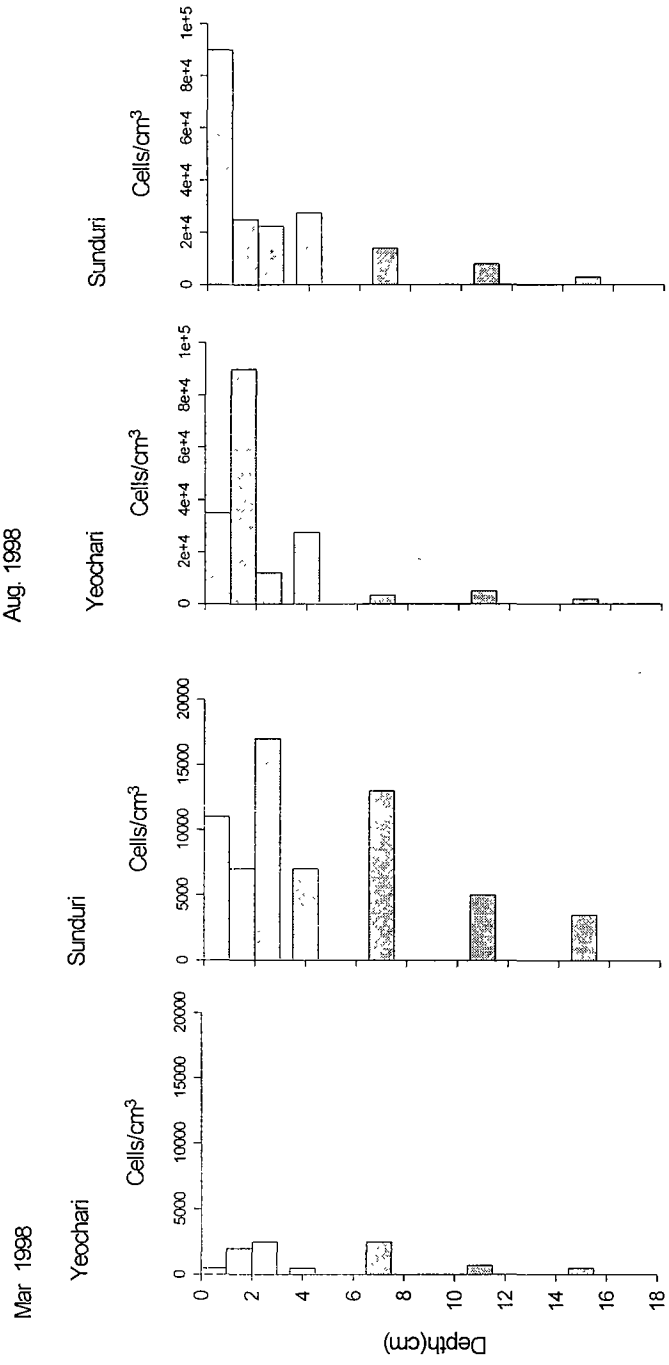


Fig. 3-3-8. Vertical distribution of sulfate reducing bacteria during in March and August.

Table 3-3-2. The dry weight and water contents in each sample at common stations

	Dry weight(g/cm ³)			Water content(g/cm ³)		
	May			August		
	0~1 cm	1~2 cm	2~3 cm	0~1 cm	1~2 cm	2~3 cm
400 m	1.082 0.571	1.298 0.508	1.283 0.472	0.922 0.639	1.249 0.540	1.225 0.499
500 m	0.941 0.678	1.215 0.523	1.386 0.522	0.712 0.759	1.251 0.525	1.092 0.500
600 m	1.106 0.601	1.381 0.539	1.291 0.500	0.944 0.634	1.070 0.442	1.395 0.472
1000 m	0.854 0.707	1.291 0.503	1.401 0.445	0.949 0.721	1.436 0.495	1.322 0.429
1100 m	0.861 0.698	1.360 0.502	1.467 0.511	1.092 0.587	1.402 0.456	1.357 0.443
1200 m	1.157 0.708	1.328 0.487	1.354 0.419	1.074 0.660	1.441 0.503	1.260 0.440

5월과 8월 여차리 공통정점에서의 무기영양염의 농도는 Fig. 3-3-9와 같다. 먼저 인산염 인의 농도를 보면 5월의 경우 400~600 m 사이에서는 깊이에 따라 $0.67 \pm 0.16 \sim 1.45 \pm 0.41 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $0.70 \pm 0.20 \sim 1.30 \pm 0.26 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 $1.54 \pm 0.52 \sim 2.71 \pm 0.22 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 사이에서는 $0.66 \pm 0.17 \sim 1.81 \pm 1.13 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 두 지점 모두 5월에 비해 8월에 상대적으로 높은 인산염 인의 농도를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에 비해 400~600 m 사이에서 더 높은 인산염 인의 농도를 보였다. 깊이별로는 5월에는 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으며 8월에는 1~2 cm 사이에서 최고값을 보였다.

질산염 질소의 농도는 5월의 경우 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $41.93 \pm 14.15 \sim 43.73 \pm 2.72 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $42.80 \pm 5.30 \sim 50.00 \pm 2.50 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 $15.20 \pm 3.99 \sim 21.73 \pm 3.45 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 사이에서는 $7.80 \pm 4.58 \sim 17.47 \pm 13.73 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 질산염의 농도는 400~600 m 사이에서는 깊이가 깊어질수록 증가하는 경향을 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 1~2 cm 사이에서 5월에 최소, 8월에 최대값을 보였다. 두 지점 모두 인산염과는 반대로 8월에 비해 5월에 더 높은 질산염의 농도를 보였다.

아질산염 질소의 농도는 5월의 경우 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $17.93 \pm 15.14 \sim 19.33 \pm 13.54 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 농도를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $11.07 \pm 11.44 \sim 13.40 \pm 1.11 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 $3.93 \pm 1.01 \sim 5.73 \pm 1.50 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 사이에서는 $1.13 \pm 0.12 \sim 2.53 \pm 0.35 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다. 아질산염의 경우에도 5월의 분포가 8월에 비해 높았으며 400~600 m 사이에서의 농도가 1,000~1,200 m 사이에 비해 더 높은 것으로 나타났다. 아질산염은 퇴적토의 깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며 질산염에 비해 2~7배정도 낮은 농도를 보였다.

다. 엽록소 a 농도

5월과 8월 여차리 공통정점에서의 엽록소 a 및 phaeopigment의 분포는

a) 400 to 600 m

b) 1,000 to 1,200 m

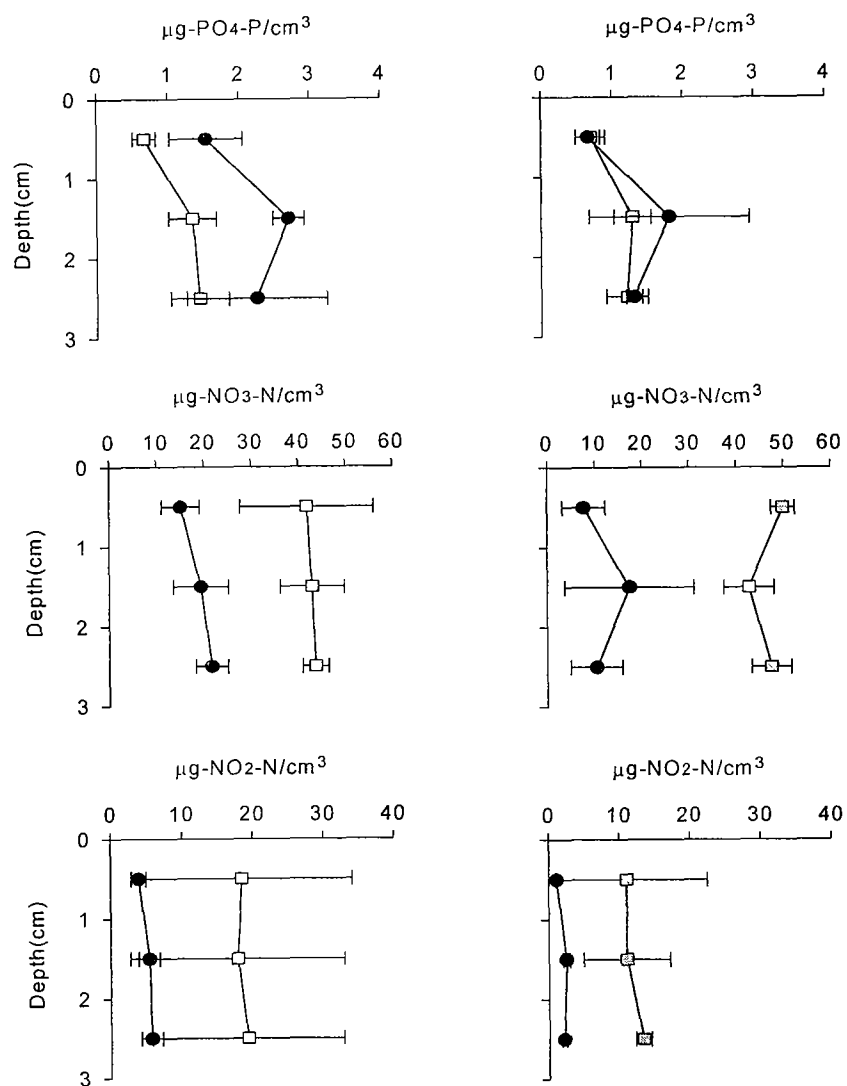


Fig. 3-3-9. Vertical distribution of inorganic nutrients in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.

Fig. 3-3-10과 같다. 5월의 경우 400~600 m 사이에서는 깊이에 따라 $1.68 \pm 0.12 \sim 2.50 \pm 0.23 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 사이에서는 $2.54 \pm 0.67 \sim 3.40 \pm 0.28 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 엽록소 a 농도를 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 $1.57 \pm 0.27 \sim 1.89 \pm 0.08 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 지점에서 $1.39 \pm 0.31 \sim 6.47 \pm 2.67 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다.

Phaeopigment의 농도는 5월에 400~600 m 지점에서 깊이에 따라 $1.40 \pm 0.59 \sim 1.93 \pm 0.50 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 지점에서 $2.35 \pm 0.53 \sim 3.92 \pm 0.90 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를, 8월에 400~600 m 지점에서 깊이에 따라 $1.79 \pm 0.52 \sim 2.36 \pm 0.57 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200 m 지점에서 $0.94 \pm 0.41 \sim 5.31 \pm 4.10 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 의 분포를 보였다.

5월의 경우 1 cm 이내에서의 엽록소 a는 두 지점에서 비슷한 농도를 보였으나 1~3cm 사이에서는 1,000~1,200 m 사이의 엽록소 a 농도가 훨씬 높았다. 특히 1,000~1,200 m 사이에서는 깊이가 깊어질수록 엽록소 a와 phaeopigment의 농도가 증가하였다. 8월에는 1,000~1,200 m 사이의 1 cm 이내에서 엽록소 a의 농도가 400~600 m 사이에 비해 평균적으로 3배 이상의 높은 농도를 보였다. 특히 1,000 m 지점의 경우 엽록소 a가 $10 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ 가 넘는 높은 농도를 보였다. 반면 400~600 m 지점의 경우 1 cm 이내에서는 5월에 비해 낮은 엽록소 a의 농도를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서도 1~3 cm 사이에서는 5월에 비해 엽록소 a의 농도가 감소하였다.

라. 총세균수

공통정점에서의 총세균수 분포는 Fig. 3-3-11과 같다. 5월의 400~600m 사이의 총세균수는 깊이에 따라 $1.74 \pm 0.29 \sim 1.90 \pm 0.06 \times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$ 로 0~3cm사이에서는 깊이에 따른 차이가 거의 없었다. 1,000~1,200m 사이에서는 $1.27 \pm 0.05 \sim 1.93 \pm 0.62 \times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$ 로 400~600m 사이에 비해 조금 낮은 분포를 보였다. 8월에는 400~600m 사이의 총세균수는 깊이에 따라 $0.99 \pm 0.06 \sim 1.31 \pm 0.16 \times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$, 1,000~1,200m 사이에서는 $0.88 \pm 0.02 \sim 1.13 \pm 0.23 \times 10^{11} \text{ cells}/\text{cm}^3$ 로 두 지점 모두 5월에 비해 낮은 분포를 보였으며 1,000~1,200m 지점에서의 총세균수 분포가 400~600m에 비해 낮은 것으로 나

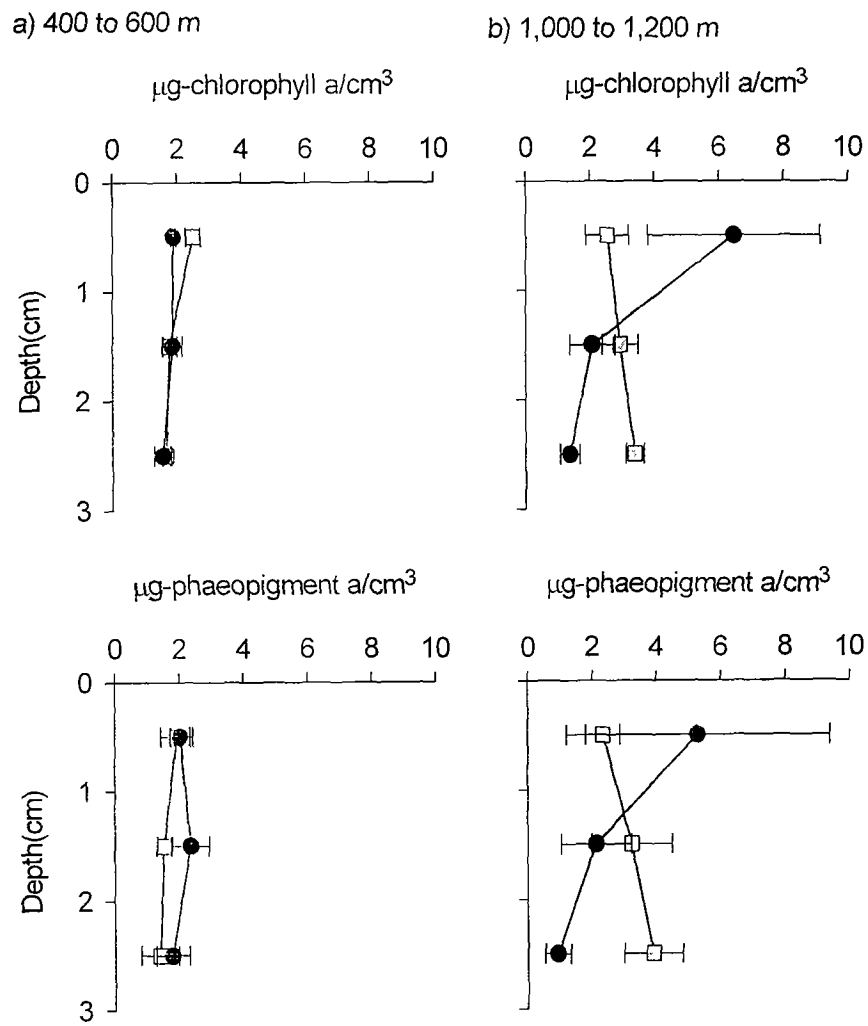


Fig. 3-3-10. Vertical distribution of chlorophyll a and phaeopigment a in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.

a) 400 to 600 m

b) 1,000 to 1,200 m

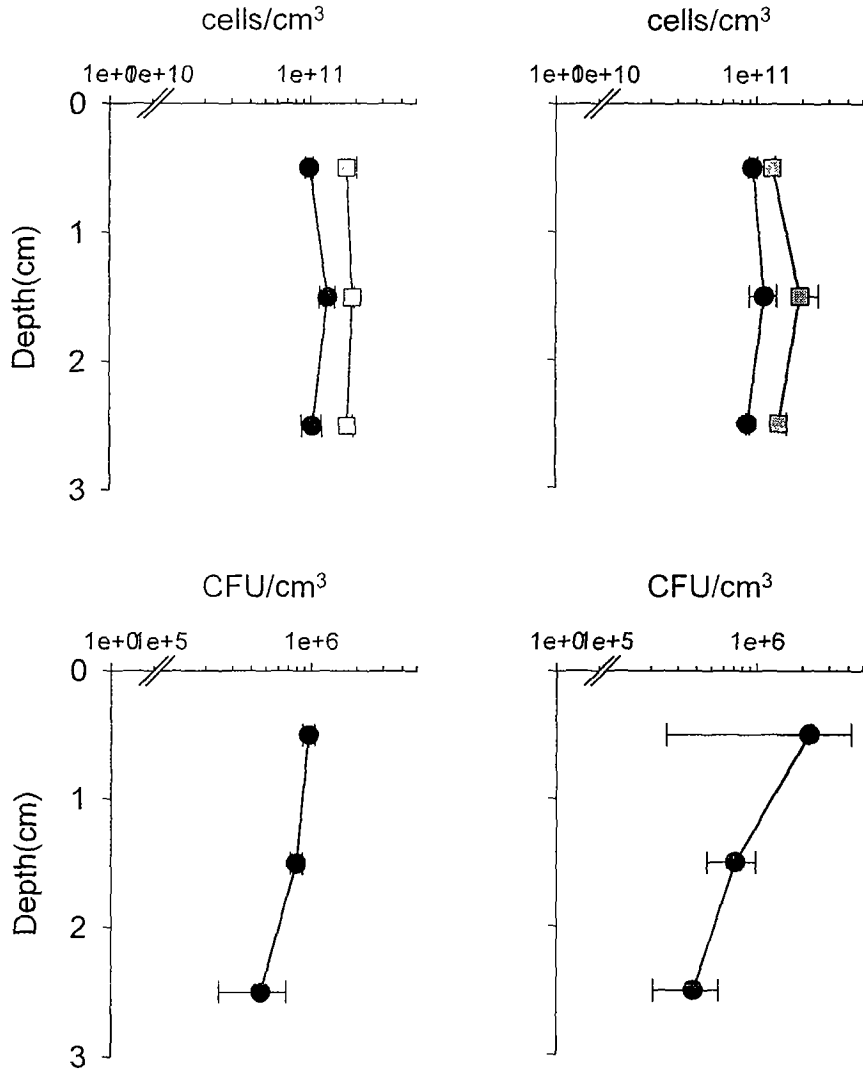


Fig. 3-3-11. Vertical distribution of total and heterotrophic bacterial number in May(gray square) and in August(black circle) at common stations.

타났다.

마. 종속영양세균수

공통정점에서의 종속영양세균수 분포는 8월에 한해 조사하였으며 그 결과는 Fig. 3-3-11과 같다. 400~600m 사이의 종속영양세균수는 깊이에 따라 $4.63 \pm 2.19 \sim 9.63 \pm 0.90 \times 10^5$ CFU/cm³의 분포를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $3.83 \pm 1.76 \sim 22.20 \pm 19.69 \times 10^5$ CFU/cm³의 분포를 보였다. 두 지점 모두 표층 1 cm 이내에서의 분포가 높았으며 2~3 cm 사이에서는 1~2 cm 사이에 비해 약 절반가까이로 감소하였다. 표층 1 cm 이내에서는 1,000~1,200 m 사이에서의 종속영양세균수가 더 높은 분포를 보였으나 1~3 cm 사이에서는 400~600 m 사이에서의 분포가 더 높게 나타났다. 표층 1 cm 이내의 경우에도 50.0×10^5 CFU/cm³의 종속영양세균수를 보인 1,200 m 지점을 제외하면 400~600 m 사이에서 상대적으로 높은 종속영양세균수를 보였다.

바. 세포외 효소활성

공통정점에서의 세포외 아미노펩티다제 활성은 Fig. 3-3-12의 (a), (b)와 같다. 5월의 효소활성은 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $95.8 \pm 13.7 \sim 206.0 \pm 47.4$ nmol/cm³/hr의 가수분해력을 보였으며 1,000~1,200 m 지점에서는 $126.1 \pm 64.4 \sim 266.5 \pm 114.3$ nmol/cm³/hr의 가수분해력을 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $7.8 \pm 3.1 \sim 17.8 \pm 3.8$ nmol/cm³/hr, 1,000~1,200 m 지점에서 $4.5 \pm 3.0 \sim 25.1 \pm 9.1$ nmol/cm³/hr의 가수분해력을 보여 5월에 비해 현저하게 낮은 가수분해력을 보였다. 5월의 경우 상대적으로 1,000~1,200 m 지점에서의 가수분해력이 400~600 m 사이에 비해 높았으나 8월에는 1~3 cm 사이에서는 400~600 m 사이에서 더 높은 가수분해력을 보였다.

아미노펩타이드의 가수분해율은 5월에 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $13.6 \pm 1.2 \sim 40.0 \pm 11.2$ %/hr, 1,000~1,200 m 지점에서는 $21.5 \pm 5.4 \sim 35.4 \pm 7.2$ %/hr의 가수분해율을 보였으며 8월에는 400~600 m 사이에서 $2.1 \pm 0.3 \sim 6.7 \pm 1.7$ %/hr, 1,000~1,200 m 사이에서는 $3.0 \pm 1.5 \sim 8.6 \pm 5.5$ %/hr로 가수

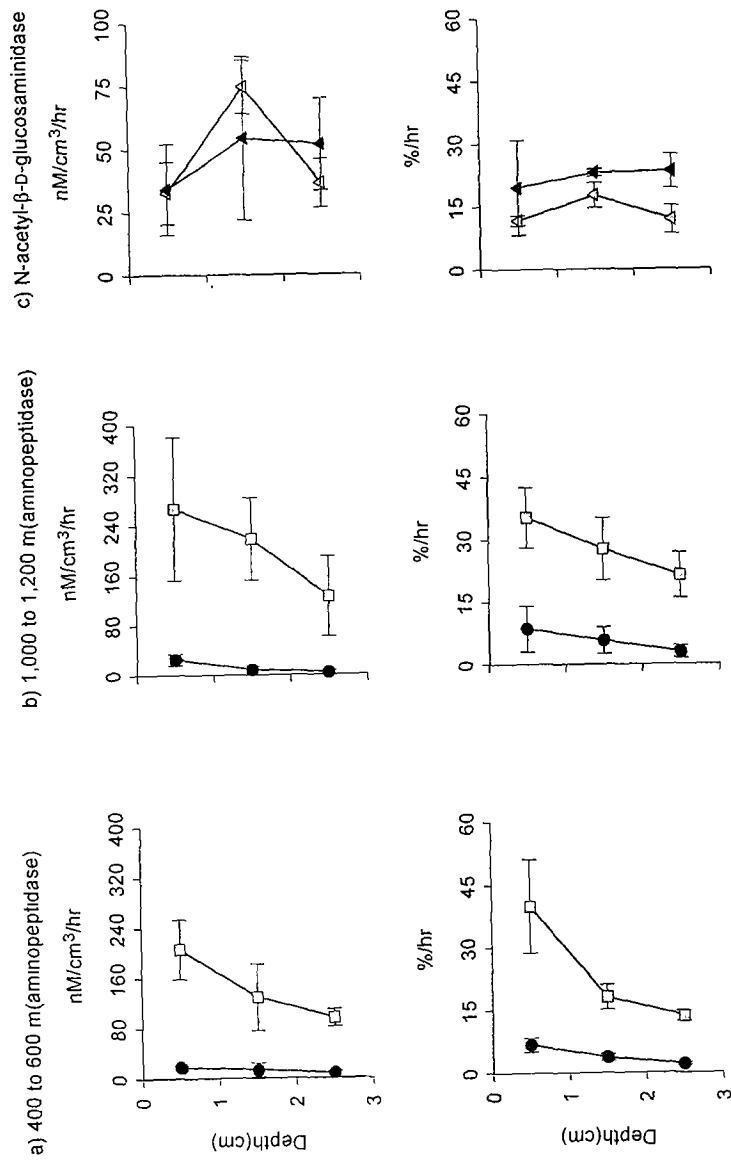


Fig. 3-3-12. Vertical distribution of aminopeptidase(a and b) in May(gray square) and in August(black circle) and N-acetyl-β-D-glucosidase(c) activities in May at common stations. N-acetyl-β-D-glucosidase activities at the distance of 400 to 600 m are represented as gray triangle and at the distance of 1000 to 1200 m are represented as black triangle.

분해력의 경우와 마찬가지로 8월의 가수분해율이 5월에 비해 현저히 낮았다. 두 계절 모두 상대적으로 1,000~1,200 m 사이에서의 가수분해율이 높은 것으로 나타났다.

5월달 조사시에는 fungal group에 대한 indicator로 N-acetyl- β -D-glucosidase(NAGase)활성도 함께 조사하였으며 그 결과는 Fig. 3-3-12의 (c)와 같다. 400~600 m 사이에서는 $32.8 \pm 12.5 \sim 74.7 \pm 10.6$ nmol/cm³/hr, 1,000~1,200 m 사이에서는 $34.2 \pm 18.0 \sim 54.4 \pm 32.4$ nmol/cm³/hr의 가수분해력을 보여 1~2 cm 사이에서 최고값을 보였으며 평균적으로는 두 지점에서 비슷한 수준을 보였다. 가수분해율의 경우에는 400~600 m 사이에서 $11.7 \pm 1.2 \sim 17.7 \pm 3.0$ %/hr, 1,000~1,200 m 지점에서 $19.6 \pm 11.3 \sim 23.4 \pm 4.1$ %/hr의 가수분해율을 보여 상대적으로 1,000~1,200 m 사이에서 높은 가수분해율을 보였다.

사. 세균 생산력 및 종속영양활성

공통정점에서의 세균생산력 분포는 Fig. 3-3-13과 같다. 5월의 세균생산력은 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $2.70 \pm 1.11 \sim 3.06 \pm 1.73$ μ g-C/cm³/hr였으며 1,000~1,200 m 지점에서는 $2.13 \pm 1.14 \sim 6.22 \pm 1.39$ μ g-C/cm³/hr의 생산력을 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 깊이에 따라 $2.10 \pm 0.68 \sim 2.78 \pm 0.68$ μ g-C/cm³/hr, 1,000~1,200 m 지점에서 $1.20 \pm 0.27 \sim 3.51 \pm 1.72$ μ g-C/cm³/hr의 생산력을 보여 5월에 비해 세균생산력이 감소한 것으로 나타났다. 5월과 8월 모두 1,000~1,200 m 지점에서의 생산력이 400~600 m 사이에 비해 높았으며 5월에는 특히 1 cm이내에서 대단히 높은 세균생산력을 보였다. 아미노산의 전환율로 측정한 종속영양활성의 경우 5월에 400~600 m 사이에서 $1.29 \pm 0.35 \sim 2.57 \pm 0.74$ %/hr의 전환율을 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $2.26 \pm 0.98 \sim 6.51 \pm 0.78$ %/hr의 전환율을 보였다. 8월에는 400~600 m 사이에서 $2.64 \pm 0.12 \sim 3.04 \pm 0.47$ %/hr의 범위를 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 $1.48 \pm 0.40 \sim 2.02 \pm 1.03$ %/hr의 전환율을 보여 5월의 경우 생산력과 유사한 경향을 보였으나 8월에는 400~600 m 사이에서의 종속영양활성이 더 높았다.

a) 400 to 600 m

b) 1,000 to 1,200 m

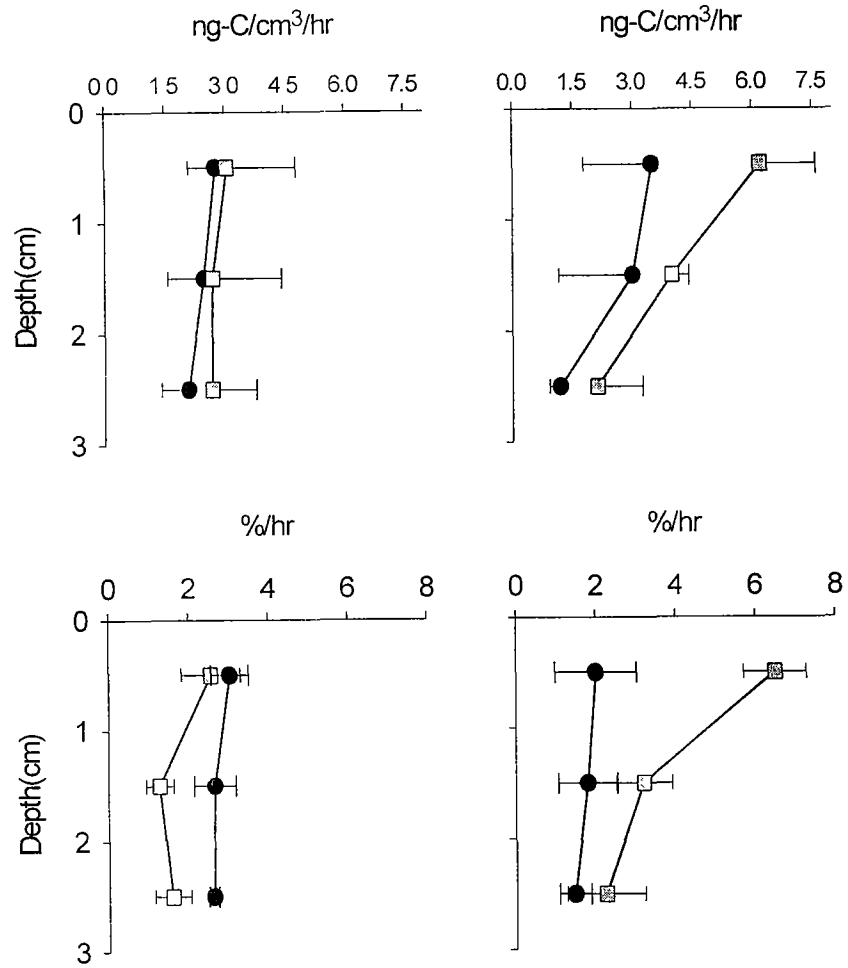


Fig. 3-3-13. Vertical distribution of bacterial productivities in May (gray square) and in August (black circle) at common stations

3.3.3. 시간경과에 따른 변화

1998년 3월 여차리갯벌 100m 지점에서 간조가 시작된 이후 4회에 걸쳐 시간변화에 따른 미생물분포 및 활성의 변화를 조사하였다. 시간경과에 따라 1차, 2차, 3차, 4차로 표기한다.

가. 건조질량 및 수분함량

시간변화에 따른 100 m 지점 시료의 건조질량 및 수분함량의 변화는 Table 3-3-3과 같다. 0~1 cm 사이의 시료를 제외한 거의 모든 시료의 건조질량이 1.25g/cm³을 넘었으며 수분함량은 0.44~0.51 g/cm³ 사이였다. 표층에 고여있는 물을 포함하여 시료를 취하였기 때문에 0~1 cm 시료층의 수분함량이 대단히 높게 나타났으며 이에 따라 시간경과에 따른 환경요인 및 미생물활성의 변화는 건조질량에 따른 값으로 표현하였다.

나. 무기영양염

조사시간 중 인산염 인의 농도는 0~1 cm 사이에서 0.74~2.24 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 1~2 cm 사이에서 1.10~1.21 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 2~3 cm 사이에서 1.07~1.68 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 3~5 cm 사이에서 1.59~2.19 $\mu\text{g/g-dry wt.}$ 의 분포를 보여 3~5 cm 사이에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(Fig. 3-3-14(a)). 특히 0~1 cm 사이에서는 시간경과에 따라 농도가 크게 감소하였으며 이에 따라 column 전체에서도 시간경과에 따라 인산염 인의 농도가 감소하였다.

질산염 질소의 농도는 0~1 cm 사이에서 12.50~219.20 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 1~2 cm 사이에서 13.68~26.07 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 2~3 cm 사이에서 6.39~38.32 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 3~5 cm 사이에서 9.02~37.87 $\mu\text{g/g-dry wt.}$ 의 분포를 보였으며 2차조사시 0~1 cm 사이에서 대단히 높은 농도를 보였다(Fig. 3-3-14(b)).

아질산염 질소의 농도는 0~1 cm 사이에서 7.77~41.92 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 1~2 cm 사이에서 8.03~11.52 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 2~3 cm 사이에서 9.05~15.01 μ

Table 3-3-3. The dry weight and water contents in each sample during the investigation

Sampling time	Dry weight(g/cm ³)			
	Water content(g/cm ³)			
	0~1 cm	1~2 cm	2~3 cm	3~5 cm
08:50(1st.)	0.355	1.286	1.346	1.304
	0.945	0.484	0.511	0.492
10:40(2nd.)	0.229	1.320	1.293	1.299
	0.827	0.469	0.465	0.461
14:00(3rd.)	0.896	1.265	1.331	1.329
	0.620	0.491	0.498	0.497
15:30(4th.)	1.209	1.295	1.349	1.241
	0.489	0.487	0.503	0.439

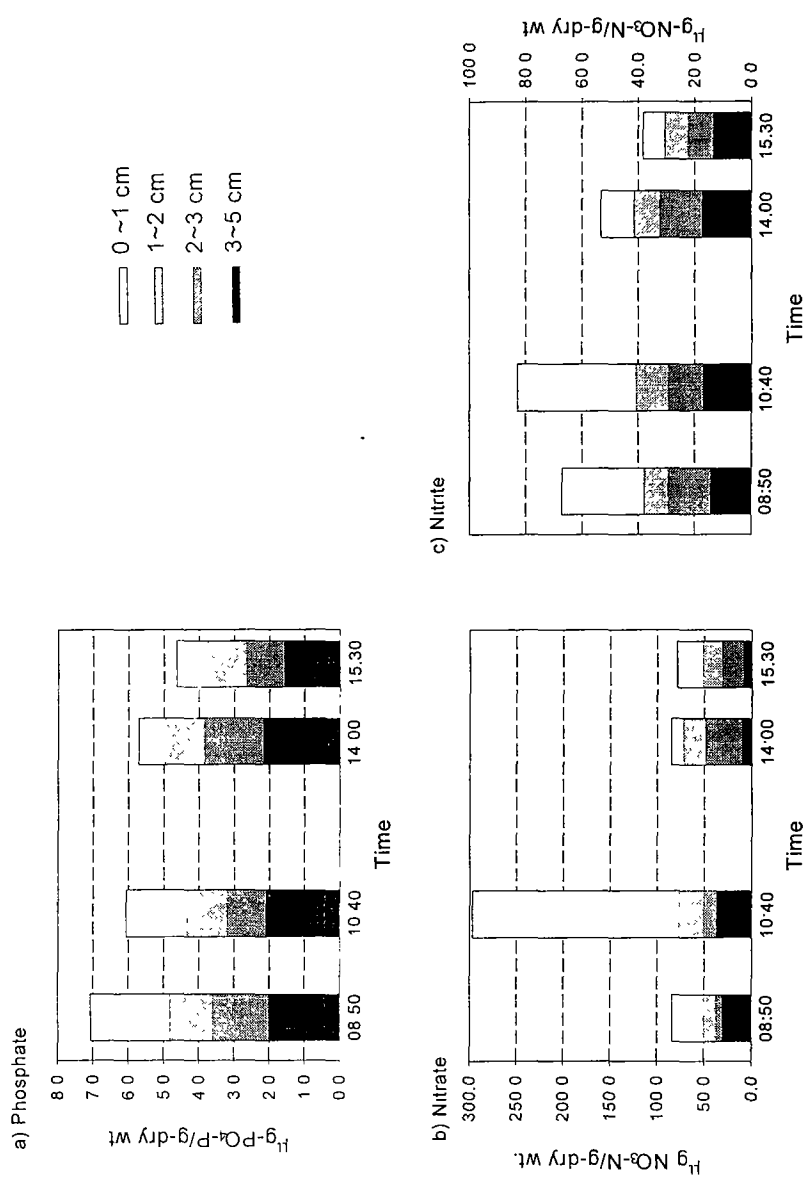


Fig. 3-3-14. Vertical distribution of inorganic nutrients during short-term investigation

g/g-dry wt., 3~5 cm 사이에서 13.53~17.46 $\mu\text{g/g-dry wt.}$ 의 분포를 보였으며 질산염과 마찬가지로 2차조사시 가장 높은 농도를 보였다(Fig. 3-3-14(c)).

다. 엽록소 a 및 phaeopigment a

조사시간에 따른 엽록소 a의 농도는 0~1 cm 사이에서 2.63~6.20 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 1~2 cm 사이에서 1.65~2.50 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 2~3 cm 사이에서 1.25~2.44 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 3~5 cm 사이에서 1.21~1.36 $\mu\text{g/g-dry wt.}$ 의 분포를 보였다(Fig. 3-3-15(a)). 2차조사시에 0~1 cm 사이에서 가장 높은 농도를 보였으나 1~5 cm 사이에서는 다른 시기에 비해 상대적으로 낮은 농도를 보였다. 반면 1차조사시에는 전 층에서 높은 농도를 보여 column 전체로는 가장 높은 농도를 보였다. column 전체의 엽록소 a 농도는 시간경과에 따라 점차 감소하였으며 3~5 cm 사이에서는 시간경과에 따른 농도변화가 크지 않았다.

Phaeopigment a 농도는 0~1 cm 사이에서 1.76~4.76 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 1~2 cm 사이에서 1.58~1.90 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 2~3 cm 사이에서 0.86~2.44 $\mu\text{g/g-dry wt.}$, 3~5 cm 사이에서 1.16~1.56 $\mu\text{g/g-dry wt.}$ 로 엽록소 a에 비해 약간 낮은 분포를 보였으며 그 분포경향은 엽록소 a와 유사하였다(Fig. 3-3-15(b)). 또한 대부분의 경우 엽록소 a의 농도가 phaeopigment a에 비해 높은 것으로 나타나 조사시의 일차생산자들은 높은 활성을 지닌 것으로 생각된다.

라. 총세균수

총세균수는 시간경과에 따라 0~1 cm 사이에서 $1.87\sim 15.00\times 10^{10}$ cells/g-dry wt., 1~2 cm 사이에서 $2.88\sim 4.50\times 10^{10}$ cells/g-dry wt., 2~3 cm 사이에서 $3.39\sim 5.16\times 10^{10}$ cells/g-dry wt., 3~5 cm 사이에서 $2.31\sim 5.33\times 10^{10}$ cells/g-dry wt.의 분포를 보였다(Fig. 3-3-15(d)). 2차조사시의 0~1 cm 사이에서 가장 높은 분포를 보였으며 3차조사시의 0~1 cm 사이에서 가장 낮은

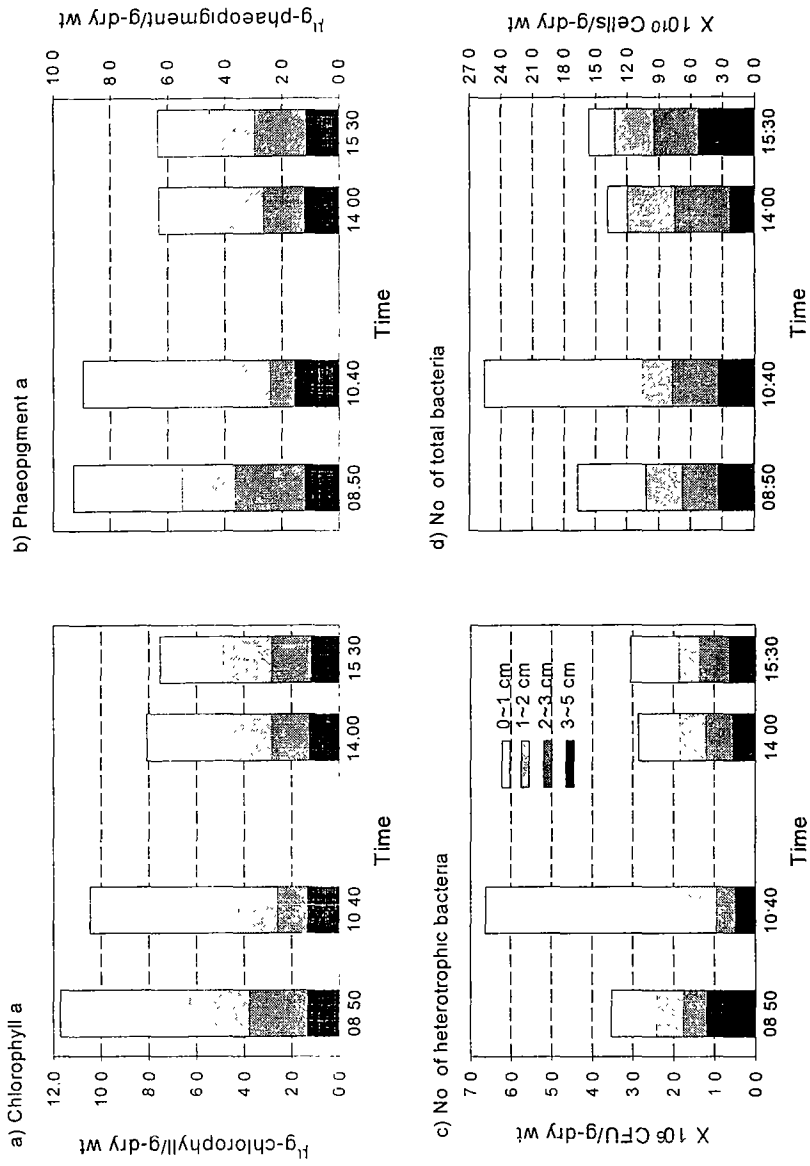


Fig. 3-3-15. Vertical distribution of microalgal biomass and bacterial number during short-term investigation

분포를 보였다. 1~5 cm 사이에서는 시간경과에 따라 총세균수가 증가하는 경향을 보였으나 column 전체로는 2차조사시에 가장 높은 총세균수를 보였다.

마. 종속영양세균수

조사시간에 따른 종속영양세균수는 0~1 cm 사이에서 $10.12 \sim 49.78 \times 10^5$ CFU/g-dry wt., 1~2 cm 사이에서 $4.97 \sim 6.86 \times 10^5$ CFU/g-dry wt., 2~3 cm 사이에서 $4.59 \sim 7.32 \times 10^5$ CFU/g-dry wt., 3~5 cm 사이에서 $5.03 \sim 12.04 \times 10^5$ CFU/g-dry wt.로 총세균수와 마찬가지로 2차조사시의 0~1 cm 사이에서 가장 높은 분포를 보였다(Fig. 3-3-15(c)). 상대적으로 0~1 cm 사이에서 종속영양세균수가 많았으며 1~5 cm 사이에서는 1차조사시에 3~5 cm 사이에서 비교적 높은 종속영양세균수를 보인 것을 제외하면 숫자의 변화도 적고 깊이에 따른 차이도 크지 않았다.

바. 세포외 효소활성

아미노펩타이드의 가수분해력은 시간에 따라 0~1 cm 사이에서 11.83~59.94 nmd/g-dry wt./hr, 1~2 cm 사이에서 2.43~19.87 nmd/g-dry wt./hr, 2~3 cm 사이에서 3.93~6.24 nmd/g-dry wt./hr, 3~5 cm 사이에서는 1.29~7.61 nmd/g-dry wt./hr의 범위를 보였다(Fig. 3-3-16(a)). 0~1 cm 사이에서는 2차조사시에 가장 높은 가수분해력을, 3차조사시에 가장 낮은 가수분해력을 보였다. 1~2 cm 사이에서는 1차조사시에 가장 낮은 가수분해력을 보였으며 3차조사시에 가장 높은 가수분해력을 보였다. 3~5 cm 사이에서는 시간에 따른 경향을 보이지 않았다. 전체 column에서는 2차조사시에 가장 높은 가수분해력을 보였으며 4차조사시에 가장 낮은 가수분해력을 보였다.

시간경과에 따른 가수분해율은 0~1 cm 사이에서 5.59~8.92 %/hr, 1~2 cm 사이에서 6.60~9.53 %/hr, 2~3 cm 사이에서 5.37~10.83 %/hr, 3~5 cm 사이에서 5.29~8.12 %/hr의 범위를 보였다(Fig. 3-3-16(b)). 가수분해율의 경우 시간경과에 따른 경향은 찾아볼 수 없었으나 상대적으로 1 cm보다 깊은 곳에서 높은 가수분해율을 보였다.

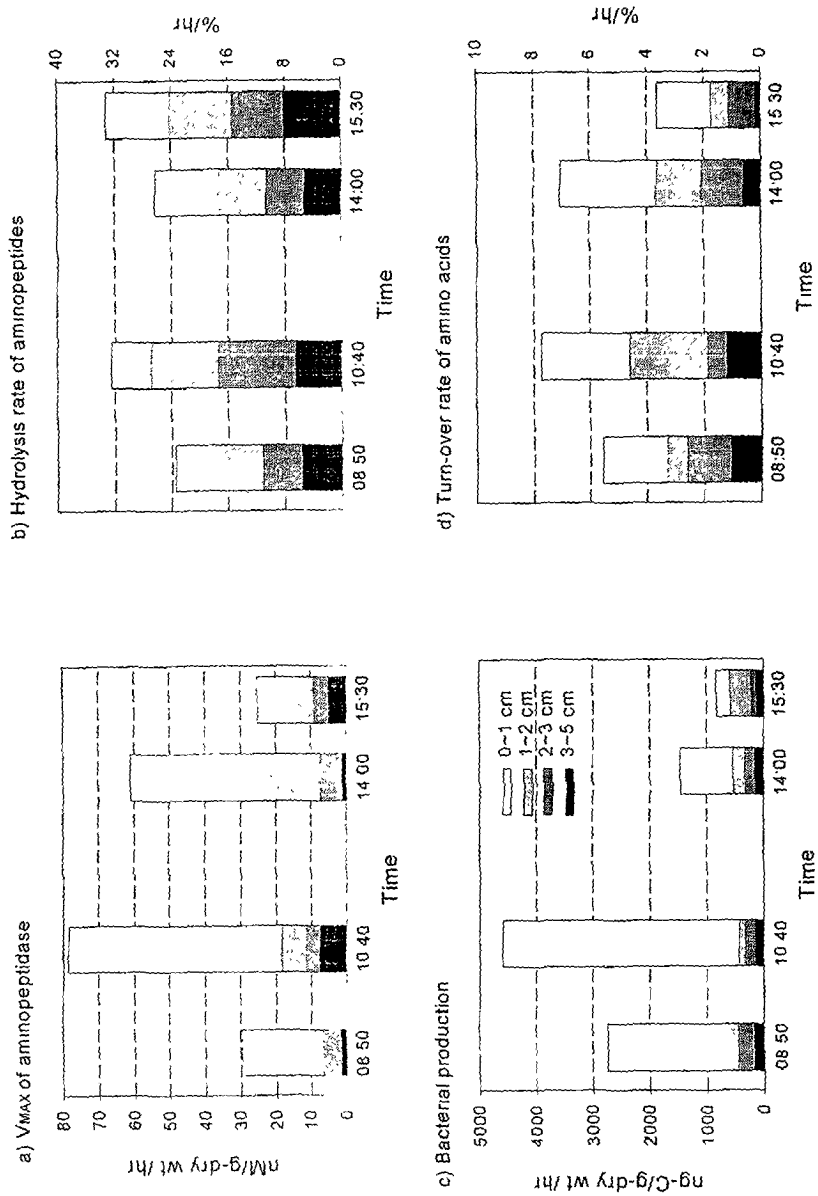


Fig. 3-3-16. Vertical distribution of microbial activities during short-term investigation

사. 세균생산력 및 종속영양활성

세균생산력은 0~1 cm 사이에서 0.24~4.14 $\mu\text{g-C/g-dry wt./hr}$, 1~2 cm 사이에서 0.11~0.37 $\mu\text{g-C/g-dry wt./hr}$, 2~3 cm 사이에서 0.09~0.28 $\mu\text{g-C/g-dry wt./hr}$, 3~5 cm 사이에서 0.13~0.17 $\mu\text{g-C/g-dry wt./hr}$ 의 값을 보였으며 2차조사시에 0~1 cm 사이에서 가장 높은 생산력을 보였다(Fig. 3-3-16(c)). 1차와 2차조사시에는 0~1 cm 사이에서의 생산력이 column 전체 생산력의 대부분을 차지하였다. 3차와 4차 조사시에는 0~1 cm 사이에서의 생산력이 크게 감소하였으나 1 cm 이하에서의 생산력은 초기와 큰 차이를 보이지 않아 column 전체의 생산력은 크게 줄어들었다.

아미노산 전환율로 측정한 종속영양활성은 0~1 cm 사이에서 1.89~3.38 %/hr, 1~2 cm 사이에서 0.62~2.74 %/hr, 2~3 cm 사이에서 0.70~1.52 %/hr, 3~5 cm 사이에서 0.17~1.19 %/hr의 범위를 보였다(Fig. 3-3-16(d)). 세균생산력에 비해 0~1 cm 사이에서의 전환율이 낮은 편이었으며 3~5 cm 사이에서는 다른 층에 비해 전환율도 낮고 시간경과에 따라 크게 감소하였다.

3.4. 고찰

3.4.1. 정기조사

영양염의 농도를 전년도(한국해양연구소, 1998)의 결과와 비교해 볼 때 인산염의 경우 비슷하거나 높은 수준이었으며 질산염의 경우는 1997년에 비해 십배 이상 높은 농도를 보였다. 특히 전년도에 조사하지 않았던 아질산염의 농도를 포함할 경우 질소계 영양염의 농도는 전년도에 비해 수십배 정도 증가하여 전년도에 비해 질소계 영양염의 공급이 풍부해 졌다. 한편 질산염과 아질산염의 비율(NO_3/NO_2)을 보면 3월의 경우 선두리갯벌에서 평균적으로 약 0.8, 여차리갯벌에서 약 2.5 정도였으며 8월에는 선두리갯벌에서 약 4.1, 여차리갯벌에서 약 7.7 정도로 여차리갯벌에서 상대적으로 질산염의 비율이 높았다. 3월의 경우 선두리갯벌에서 상대적으로 높은 아질산염의 농도는 질산염

을 이용한 무산소호흡이 중요성을 지닐 가능성을 시사한다.

엽록소 a의 경우에도 전년도에 비해 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다. 엽록소 a의 깊이별 분포를 보면 3월의 경우 표층부근에서 특히 높은 농도를 보이는 것을 볼 수 있지만 phaeopigment의 농도는 상대적으로 3 cm 부근에서의 농도가 더 높은 경우를 볼 수 있다. 현실적으로 표층보다 조금 깊은 곳에 일차생산자들이 조석작용에 의해 묻혔을 것으로 생각되며 이들이 세균활성에 영향을 미치는 주된 요인인 것으로 생각된다. 선두리에서의 엽록소 a의 수평 분포를 보면 3월에는 10 m 지점에서 가장 낮은 분포를 보이지만 8월에는 10 m 지점에서 가장 높은 농도를 보여 계절에 따라 상반되는 결과를 보였다. 선두리갯벌 초입부는 칠면초군락이 자라고 있으며 이에 따라 미소조류의 성장이 영향을 받을 것으로 생각된다. 위와 같은 결과는 칠면초군락의 영향이 큰 것으로 생각된다.

총세균수의 경우에는 3월엔 1997년 11월과 비교해 볼 때 유사한 수준이었으나 8월에는 더 높은 숫자를 보였다(권 등, in preparation). 특히 여차리갯벌의 경우 8월에 총세균수가 크게 증가하였는데 이것이 펄성분의 증가에 의한 것인지 다른 환경요인의 변화에 의한 것인지는 확실하지 않다. Camen(1991)이 Sheepscoot강 하구의 모래갯벌과 펄갯벌에서 조사한 결과에 따르면 계절에 따라 모래갯벌의 경우 $4.5 \sim 12 \times 10^8$ cells/cm², 펄갯벌에서 $1.2 \sim 3.7 \times 10^9$ cells/cm²의 세균이 분포하는 것으로 나타나 펄갯벌에서 모래갯벌에 비해 약 3 배정도 높은 총세균수의 분포를 보였으나 본 조사지역의 경우 3월에는 유사한 결과를 보였으나 8월에는 펄갯벌과 모래갯벌의 차이가 거의 나타나지 않았다. 1998년 강화도 갯벌의 총세균수를 다른 지역과 비교해 보면 펄갯벌인 Fundy Bay의 $2 \sim 5 \times 10^9$ Cells/cm²(Camen & Walker, 1986), 평균적으로 $0.77 \sim 2.30 \times 10^9$ Cells/cm²의 범위를 보인 San Antonio Bay(Montagna & Yoon, 1991), $0.5 \sim 3.5 \times 10^8$ cells/cm²의 범위를 보인 서부 Dutch Wadden Sea의 모래갯벌(van Duyl and Kop, 1990) 등에 비해 매우 높은 수준이었으며 최대 3.8×10^{10} Cells/g DW를 보인 Chunda Bay(Alongi, 1988b)에 비해서도 높은 것으로 나타났다. 또한 호주의 mangrove sediments에서 측정된 $0.02 \sim 3.6$ (평균 1.1) $\times 10^{11}$ cells/g dry wt.(Alongi, 1988a)와 비교해 볼 때에도 8월에는 유사한 수준을 보였다.

총세균수와 함께 황산염환원세균의 경우에도 여차리갯벌에서 여름철에 큰 폭으로 증가하였으며 종속영양세균수는 선두리갯벌과 여차리갯벌 모두 3월에 비해 8월에 크게 증가하였다. 강화도갯벌의 종속영양세균수를 국내 연안의 퇴적토와 비교해 볼 때 $1.3 \times 10^5 \sim 1.1 \times 10^7$ CFU/g-dry wt. 수준을 보인 1996년 8월의 대부도갯벌(권 등, 1998), 1.2×10^6 CFU/g-dry wt. 수준을 보인 서천연안퇴적토(최와 이, 1996), 남해퇴적토에서 측정된 $3.0 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^7$ CFU/g-dry wt. (김과 이, 1992) 등과 비교해 볼 때 선두리갯벌의 경우 유사한 범주에 들어갔으나 여차리갯벌에서는 낮은 편이었다. 여차리갯벌의 경우 $6.7 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^5$ CFU/g-dry wt.의 분포를 보인 금강하구(이, 1986)와 유사하거나 높은 수준이었다.

세균수의 증가와 함께 세포의 효소활성도 3월보다는 8월에 더 높았으며 세균생산력의 경우에도 3월에 비해 8월에 매우 높은 값을 보여 일차생산자의 경우와는 반대되는 결과를 보였다. 이것은 여름철의 세균군집이 일차생산자 이외의 유기물공급에 의존하고 있음을 시사한다.

세포의 aminopeptidase의 가수분해력은 Maine만에서 측정된 1.2~12 nmd/g-dry wt./h(Mayer, 1989), 심해퇴적토에서 측정된 8~24 nmd/cm²/h(Poremba, 1995)에 비해 높았으며 0.7~33.1 nmd/g-dry wt./hr의 범위를 보인 대부도(권 등, 1998)에 비해서도 높은 것으로 나타나 본 조사지역의 유기물분해력은 일반적인 해양퇴적토에 비해 높은 수준인 것으로 평가된다.

수직분포를 조사한 지점에서의 세균생산력을 누적해서 계산해 보면 3월의 경우 선두리갯벌에서 10 cm까지 0.37 g-C/m²/day, 16 cm까지는 0.57 g-C/m²/day가 되며 여차리갯벌에서는 깊이에 따라 각각 0.63 g-C/m²/day, 0.77 g-C/m²/day가 된다. 8월에는 선두리갯벌에서 10 cm까지 4.02 g-C/m²/day, 16 cm까지는 6.07 g-C/m²/day이며 여차리갯벌에서 깊이에 따라 각각 3.76 g-C/m²/day, 5.48 g-C/m²/day가 된다. 이 값을 다른 지역에서 측정된 생산력과 비교해 보면 0.4~5.7 g-C/m²/day의 생산력을 보인 호주 대보초 부근 퇴적토(Alongi, 1992)에 비해 비슷하거나 낮은 수준이며 0.04~0.09 g-C/m²/day의 범위를 보인 영국 Kingoodie Bay(Wellsbury *et al.*, 1996)와 비교할 때에는 대단히 높은 수준이었다.

이상의 결과로부터 강화도갯벌의 세균분포 및 생산력은 mangrove

sediments에 버금가는 높은 수준임을 알 수 있다.

3.4.2. 공통정점 조사

3 cm 깊이까지 측정된 공통정점에서의 세균생산력을 하루중의 값으로 전환해 보면 400~600 m 사이에서는 5월에 2.03 ± 0.75 g-C/m²/day, 8월에 1.77 ± 0.50 g-C/m²/day의 생산력을 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 5월에 2.97 ± 0.69 g-C/m²/day, 8월에 1.86 ± 0.79 g-C/m²/day의 생산력을 보였다. 8월의 경우 공통정점에서의 세균생산력은 선두리갯벌 3 cm 깊이까지의 생산력 1.36 g-C/m²/day보다 높은 값을 보였다. 위의 결과를 종합해 볼 때 시료채취 지점에 따라 다소의 차이는 있지만 상대적으로 펄성분이 적어질수록 세균생산력이 높은 것으로 판단된다. 참고로 cell당 생산력을 계산해 보면 400~600 m 사이에서는 5월에 0.0157 fg-C/cell/hr, 8월에 0.0225 fg-C/cell/hr의 생산력을 보였으며 1,000~1,200 m 사이에서는 5월에 0.0282 fg-C/cell/hr, 8월에 0.0259 fg-C/cell/hr을 보여 1,000~1,200 m 사이에서의 세균활성이 더 높은 것으로 나타났다. 펄갯벌인 선두리갯벌의 경우 3 cm 깊이까지의 cell당 생산력은 0.0065 fg-C/cell/hr로 세균활성이 공통정점에서의 1/3~1/4 수준에 불과했다.

cell당 탄소의 양을 17fg (Alongi, 1988a)으로 볼 경우 일일간의 세균생산력은 400~600 m 사이에서는 5월에 현존량의 2.22%, 8월에 3.18%에 해당하며 1,000~1,200 m 사이에서는 5월에 3.98%, 8월에 3.66%에 해당하며 현존량이 유지된다고 볼 경우의 포식압도 이와 유사할 것으로 생각된다.

갯벌에는 게, 새우 등 키틴의 원천이 되는 생물의 주요 서식공간이며 이들의 사체로부터 다량의 키틴이 공급된다. 키틴의 분해와 이용을 위해서는 복잡한 효소체계가 필요한데 N-acetyl- β -D-glucosidase(NAGase)가 키틴분해효소의 indicator가 된다. Miller 등(1998)은 배양실험을 통하여 대부분의 세균은 NAGase를 분비하지 않는 반면 진균류의 경우에는 85% 이상이 이 효소를 분비하는 것으로 보고하였다. 또한 이 효소는 진균류의 생체량과도 상관관계를 보이는 것으로 보고하였다. 5월 조사시에는 NAGase활성을 aminopeptidase 활성과 함께 조사하였다. 가수분해력은 6~36 nml/cm³/hr사이의 값을 보인 옥상

토양(Miller *et al.*, 1998)에 비해 높은 편에 속했으며 400~600 m 사이에서는 aminopeptidase활성의 33.5%, 1,000~1,200 m 사이에서는 23.3%에 달할 정도로 높은 값을 보였다. NAGase활성은 표층부근에서보다는 1~2 cm사이에서 높게 나타났다(Fig. 3-3-12(c)). 이와 같은 결과는 강화도갯벌의 경우 높은 키틴분해활성을 지니고 있으며 특히 1 cm보다 깊은 곳에서 진균류의 활성이 중요하게 작용하는 것을 의미한다. 진균류의 분포와 활성에 대한 연구는 앞으로 보완되어야 할 것으로 생각된다.

공통정점에서의 조사결과를 보면 5월에는 효소활성이 높은 곳에서 상대적으로 세균생산력도 높았으며 아미노산 전환율로 본 종속영양활성도 높은 것으로 나타났다. 그러나 엽록소의 양은 chitinase의 활성 즉, 진균류의 활성에는 영향을 미치지만 세균활성에는 별 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 또한 Spearman's ρ 를 계산해 보면 아미노펩타이드의 cell당 가수분해력은 cell당 생산력과 비례관계($\rho=0.943$, $p=0.005$)를 보이는 것으로 나타나 5월의 경우 세균은 일차생산자로부터 유기물을 공급받기보다는 세포외 효소를 이용해 주변의 고분자유기물을 가수분해하여 이용하는 것으로 생각된다.

8월에는 총세균수의 분포에 인산염이 제한요인으로 작용하는 것으로 생각되며 엽록소의 경우 종속영양세균수의 분포($\rho=0.829$, $p=0.042$), 아미노펩타이드의 가수분해율($\rho=0.886$, $p=0.019$) 등과 상관관계를 보여 5월과는 달리 일차생산자가 세균활성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그러나 세균생산력은 아미노펩타이드의 가수분해율과는 상관관계($\rho=0.886$, $p=0.019$)를 보이지만 aminopeptidase와는 상관관계를 보이지 않아 세포외 효소활성이 직접적으로 세균생산으로 연결되지 않는 것으로 생각된다.

400~600 m와 1000~1200 m를 나눠서 볼 경우 400~600 m사이에서는 질소원의 이용가능성이 총세균수의 분포에 영향을 미치지만 인산염의 농도는 세균생산력과 음의 상관관계를 보였다. 1000~1200 m사이에서는 종속영양세균수와 cell당 가수분해력 및 cell당 생산력 등이 상관관계를 보이는 것으로 나타나 1000~1200 m사이에서 미생물활성의 주로 활성이 높은 종속영양세균에 의한 것으로 생각된다. 또한 1000~1200 m사이에서는 수분함량이 종속영양세균수, 세균생산력, 가수분해율 등과 양의 상관관계를 보여 세균활성이 수분을 통해 공급되는 유기물의 영향을 받는 것으로 생각된다. N/P비가 높은 곳에서 미생

물의 활성이 높은 것으로 나타나 400~600 m 사이에서와 마찬가지로 질소원의 이용가능성이 미생물활성에 영향을 주는 것으로 보인다.

공통정점 전체로 볼 때에도 총세균수 아미노펩타이드의 가수분해력 등은 질소계 영양염의 양과 상관관계를 보였으며 아미노펩티다제 활성이 높은 곳에서 세균생산력이 높은 것으로 나타났으나 인산염의 양과는 음의 상관관계를 보여 질소원의 이용가능성이 미생물활성에 중요하게 작용하는 반면 인산염은 저해요인으로 작용하는 것으로 생각된다. 한편 총세균수와 cell당 가수분해력이 양의 상관관계를 보여 공통정점 조사시에는 세균수와 활성이 비례하는 관계를 보였으며 일차생산자의 분포도 세균활성에 기여하는 것으로 생각된다.

3.4.3. 시간경과에 따른 변화

시간경과에 따른 세균수, 생산력 및 일차생산자와 포식자간의 변화를 퇴적토에서 조사한 예는 Alongi(1988b)에 의한 보고 외에는 찾아보기 어렵다. Alongi(1988b)는 총세균수와 benthic algae의 경우 tidal cycle에 무관하여 하루중의 변화는 거의 없는 것으로 보고하였으며 세균생산력의 경우에는 조석주기보다는 온도변화에 따라 증감하는 것으로 보고하였다.

1998년 3월 여차리갯벌 100 m 지점에서 시간경과에 따른 환경요인과 미생물활성의 관계를 살펴보기 위하여 Spearman's ρ 를 계산해 본 결과 총세균수의 경우에는 특별한 상관관계를 보이는 요인이 없었다. 온도와는 상관관계는 계산되지 않아 Alongi(1988b)의 결과와 비교할 수는 없지만 질산염의 농도가 높던 2차조사시 표층에서 총세균수, 종속영양세균수, 세포의 aminopeptidase 활성 및 세균생산력 등이 높게 나와 본 조사지점의 경우 질소원이 영향을 미칠 가능성을 시사한다. 또한 종속영양세균수의 경우에는 수분($\rho=0.532$, $p=0.034$), 엽록소 a($\rho=.520$, $p=0.039$) 등과 상관관계를 보였으며 종속영양활성과도 양의 상관관계($\rho=0.606$, $p=0.013$)를 보였다. 세포의 효소활성은 엽록소 a($\rho 0.635$, $p=0.008$), phaeopigment a($\rho=0.564$, $p=0.023$), 세균생산력($\rho=0.503$, $p=0.047$), 종속영양활성($\rho=0.818$, $p=0.000$) 등과 상관관계를 보여 일차생산자로부터 생산된 유기물이 세포의 효소에 의한 분해과정을 거쳐서 생산에 이용되는 것으로 생각된다. 특히 엽록소 a의 농도가 세포의 아미노펩티

다제 활성 및 세균생산($\rho=0.732$, $p=0.001$)과 강한 상관관계를 보여 일차생산자를 통한 유기물 공급이 세균활성의 주 요인이 되는 것으로 생각된다.

본 조사에서는 조석주기(tidal cycle)를 고려하지 않고 간조가 시작된 이후 만조가 되기 전 까지만 세균수와 활성의 변화를 추적해 본 것으로 갯벌환경의 본격적인 이해를 위해서는 간조→만조의 경우만이 아니라 만조→간조의 경우에도 단기간의 세균분포와 활성의 변화에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

제4절 갯벌에서의 미세조류의 생물량 및 생산량

4.1. 서론

갯벌은 육지와 바다의 중간에 위치하여 연안생태계의 완충역할을 하는 공간으로 조석에 의해 주기적으로 노출과 침수가 반복된다. 주기적인 조석현상에 의해서 물리-화학적 요인의 변화가 커지므로 생물에게 불리한 조건을 제공한다. 따라서 갯벌에 서식하는 생물은 환경에 대한 내성이 커야한다. 한편, 영양염과 유기물은 육상으로부터 풍부하게 공급되고, 퇴적물에 축적되어 다양한 종류의 생물들이 높은 밀도로 서식하고 있다.

갯벌의 퇴적물에는 규조류, 남조류, 녹조류 등 다양한 저서 미세조류들이 서식하나 운동성이 있는 저서 규조류가 주로 우점하여 나타난다(Admiraal *et al.*, 1982). 이들 저서 미세조류는 저서 생태계의 일차생산자로서 퇴적물 내에서 먹이망의 주요한 탄소공급원(Sullivan and Moncreiff, 1988), 퇴적물의 안정화, 퇴적물과 수층사이의 영양염순환 조절(Rizzo, 1990) 등 다양한 기능적 역할을 담당한다. 특히 저서 규조류의 이동능력은 이들의 생태적 기능에 있어 중심적 역할을 나타내기도 한다.

갯벌 퇴적물에 서식하는 미세조류의 생체량과 일차생산력은 Pomeroy(1959)가 산소측정을 이용해 Georgia 염습지에서 처음 시도하였고, Grontved(1960)가 방사선 동위원소 (^{14}C)이용해 조하대 저서 미세조류의 생산력을 측정 한 이후 40년 가까운 기간 갯벌, 조하대, 염습지 등 다양한 환경에서 이루어 졌다. 갯벌 미세조류의 생체량은 지역에 따라 다양하지만 매우 높고, 이로 인해 일차생산력도 높은 경향을 보인다(노 와 최, 1998). 조간대는 작은 면적에도 불구하고 식물 및 동물의 생산성이 매우 높아(Warwick and Price, 1975) 많은 학자들로부터 관심의 대상이 되어왔다. 그러나 국내에서 조간대 생물상 조사는 주로 분포 및 환경에 대한 구조적인 측면을 규명하는 데 집중하였고, 조간대 생물의 생산량에 관련된 조사는 매우 미미한 실정이다.

본 연구는 갯벌에 서식하는 미세조류의 분포, 생체량, 일차생산력을 조사하여 갯벌 생태계에서 가장 기본적인 구성원인 일차생산자의 구조와 기능, 유기물의 공급 등의 측면을 알아보고 더 나아가 저서 생태계의 물질 및 에너지

흐름을 이해하는 데 기초적인 자료로 활용될 것이다.

4.2. 재료 및 방법

본 조사는 강화도 남단의 여차리 갯벌에서 8월 20~24일 사이에 실시하였다. 조사위치는 여차리 방조제 앞에서부터 장봉도 방향을 선정하였고, 시료는 방조제로부터 400(정점 L1), 500(정점 L2), 600(정점 L3), 1000(정점 L4), 1100(정점 L5), 1200m(정점 L6)지점에서 퇴적물 시료를 채취하였다. 채집기는 주사기의 앞부분을 잘라 만든 주사기를 사용하였다. 또한 갯벌이 침수 될 때 배를 이용하여 표층 해수에 대한 조사를 실시하였다. 조사는 장봉도 앞의 수로(정점 M1), 방조제로부터 1000m 지점(정점 M2, 갯벌 정점 L4와 같은 위치), 400m 지점(정점 M3)에서 실시하였다(Fig. 3-4-1).

4.2.1. 미세조류의 분포 및 현존량

가. 퇴적물의 식물플랑크톤

퇴적물내의 미세조류의 종조성 및 현존량은 조간대 하부 400m지점(정점 L1), 조간대하부 1000m 지점(정점 L4), 조간대 하부 1200m 지점(정점 L6)의 3개 정점에서 조사하였다. 시료는 50ml의 주사기를 이용 코아를 채취 2mm 간격으로 절단한후, 1/2 정도의 시료는 wet weight를 잔후 50ml centrifuge tube에 넣고 글루타알데히드로 고정한후 냉동보관 하였다. 나머지 1/2 정도의 시료는 wet weight를 측정후 냉동보관하였다. 글루타알데히드로 고정된 시료는 시험실로 옮겨와 해수(0.2 μ m pore size 의 filter paper로 여과한후 멸균시킴)로 1/10, 1/100, 1/1000등으로 희석시킨 subsample을 만든후, 광학현미경하에서 식물플랑크톤의 개체수를 개수하였으며 소형의 식물플랑크톤은 primulin으로 염색한후 형광현미경으로 개수하여 개체수를 보정 하였다. 실험결과 1/10로 희석한 subsample은 퇴적물 입자들에 의해 식물플랑크톤을 개수하기 어려워 주로 1/100로 희석한 시료를 이용 검경하였다.

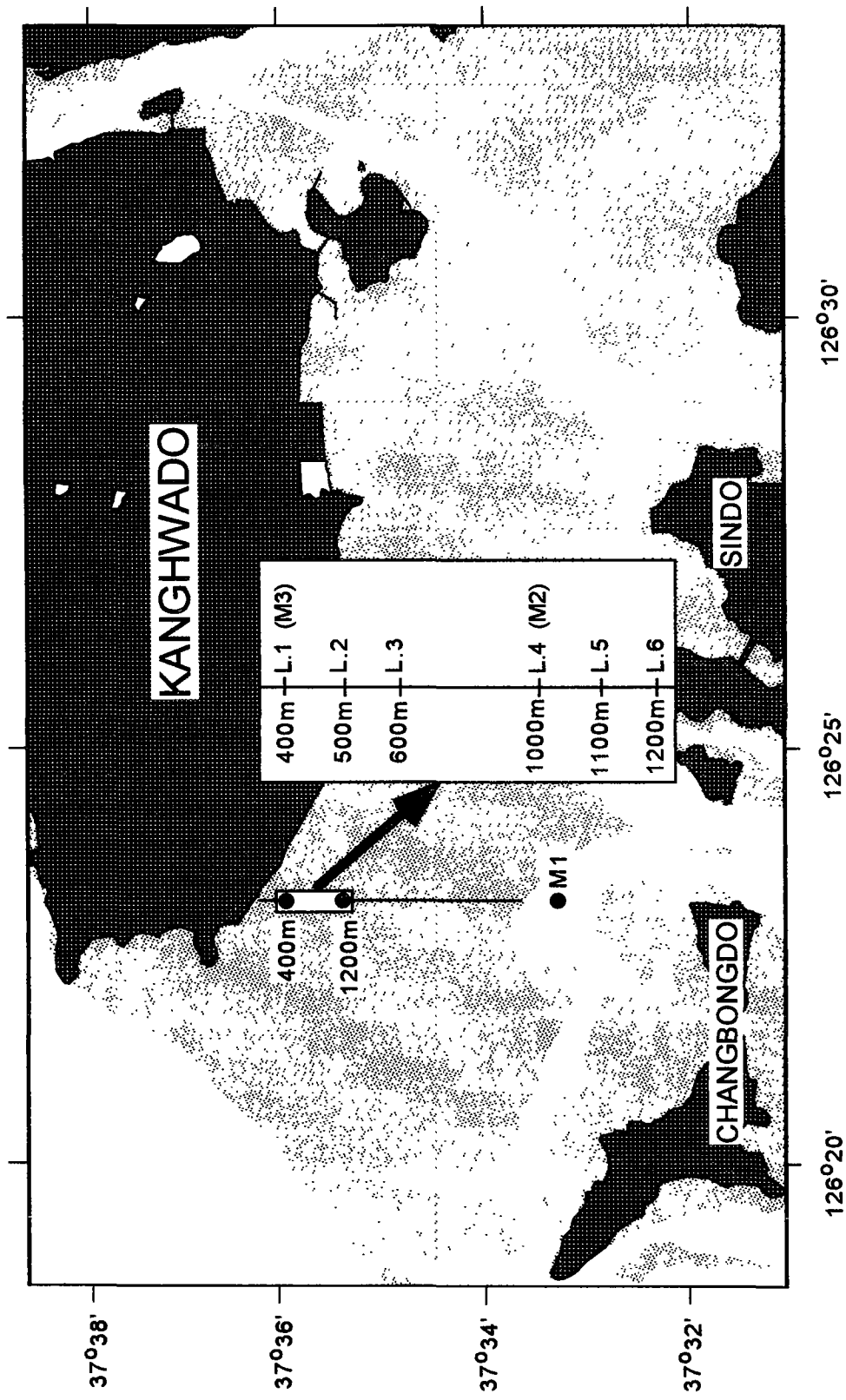


Fig. 3-4-1. Station map in study area

나. 해수중의 식물플랑크톤

해수중의 식물플랑크톤 현존량은 수로(정점 M1), 조간대하부 1000m 지점(정점 M2), 조간대 하부 400m지점(정점 M3)에서 조사하였다. 표층해수를 채수한 후 루골용액으로 최종농도 1%되게 고정한 후 실험실로 옮겨와 식물플랑크톤을 광학현미경하에서 계수 하였다.

4.2.2. 엽록소-a 및 phaeopigment 측정

미세조류의 생체량은 엽록소-a 함량으로 사용하였다. 해수가 빠진 갯벌에서의 시료채취는 내경 21mm인 주사기를 사용하였다. 퇴적물은 깊이 40mm 까지 채취하여 표면에서 20mm까지는 2mm씩 절단하고, 20mm에서 40mm까지는 5mm씩 절단하여 중량을 잰 다음 50ml 원심분리 튜브에 넣었다. 이러한 시료채취는 한 정점에서 두 번씩 실시하였다. 시료는 냉동 보관하여 실험실로 옮긴 후 색소추출을 위해 90% 아세톤 30ml을 각 튜브에 넣고 마개를 막고, 냉·암소에서 하루동안 보관하였다. 색소추출을 원활히 하기 위하여 수 회에 걸쳐 시료가 담긴 튜브를 흔들어 주었다. 색소추출이 이루어진 시료는 원심분리기로 약 4000 rpm에서 20분간 4℃로 유지하면서 원심분리 시켰다. 원심분리과정에서 발생하는 열에 의한 색소의 변형을 가능한 줄이기 위하여 저온에서 원심분리하였다. 원심분리된 시료의 상등액의 형광을 엽록소 표준용액(Sigma Co.)으로 보정된 Turner Design 700 fluorometer로 측정하여 Strickland and Parsons(1972)의 방법에 따라 엽록소 농도로 바꾸었다. 또한 엽록소의 분해산물로 알려진 phaeopigment는 엽록소를 측정했던 시료에 5% HCl 두 방울을 넣은 후 다시 형광을 측정하여 Strickland and Parsons(1972)의 방법에 따라 계산하였다. 색소량의 단위는 퇴적물의 건조중량에 포함된 질량($\mu\text{g/g}$)으로 환산하였고, 또한 표층시료에 대해서는 단위면적 당 질량(mg/m^2)으로도 환산하였다.

표층해수의 엽록소 농도는 채수된 시료 500ml을 유리섬유여과지(GF/F, Whatman Co.)로 거른 다음 냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서 여과지를 90% 아세톤 용액에 담구어 하루동안 냉·암소에 보관하였다. 용출된

용액은 다른 부유물과 분리하기 위하여 원심분리기로 약 4000 rpm에서 20분간 4°C로 유지하면서 원심분리 시킨 후 상등액을 1cm 분광광도계(HP-UV-Spectrophotometer) cell에 넣고 흡광도를 측정하여 엽록소 농도를 계산하였다(Parsons *et al.*, 1984).

4.2.3. 일차생산력

가. 퇴적물의 일차생산력

퇴적물이 대기노출시의 일차생산력은 조간대 하부 400m지점(정점 L1), 조간대하부 1000m 지점(정점 L4)에서 조사하였다. 30ml의 주사기를 이용 코아를 채취 상부 2mm 를 절단한후 무게를 측정하였다. 습중량이 측정된 표품은 밀폐 가능한 25mm직경의 petridish에 옮긴후 0.2 μ m pore size 의 filter paper로 여과한 주변해수를 1ml주입한후 NaH¹⁴CO₃ 5 μ Ci를 첨가 현장에서 배양하였으며, 암배양도 동일한 방법을 사용하였다. 배양은 1.5~2 시간을 하였다. 배양이 끝난 표품은 여과한 해수 50ml를 첨가한후 잘섞어 10ml씩 GF/F filter paper로 여과 한후 acid fuming을 하고 건중량을 측정한후 LSC cocktail을 15 ml을 첨가 섬광을 측정하였다.

나. 퇴적물의 P-I 특성

퇴적물이 침수되어 재부유된 상태에서의 잠재적 일차생산력과 P-I특성을 알아보하고자 정점 L1 과 정점 L4에서 채취된 퇴적물 상부 2mm의 표품을 0.2 μ m pore size 의 filter paper로 여과한 주변해수 850 ml에 넣은후 NaH¹⁴CO₃ 20 μ Ci 를 첨가 screen 으로 광구배가 조절된 65ml polycarbonate bottle 11개에 넣어 현장에서 배양하였다. 배양이 끝난 표품은 GF/F filter paper로 여과 한 후 acid fuming을 하고 건중량을 측정한후 LSC cocktail을 15 ml을 첨가 섬광을 측정하였다.

다. 해수의 일차생산력.

수로 및 조간대 침수시의 일차생산력은 수로(정점 M1), 조간대하부 1000m 지점(정점 M2), 조간대 하부 400m지점(정점 M3)에서 조사하였다. P-I 특성을 재기 위하여 Babin *et al.*(1994)의 radial photosynthetron 방법을 채용하였다. 시료 850ml 채수하여 1 리터 짜리 multi-dispenser에 넣은 다음 ^{14}C 을 첨가하여 잘 섞은 후 13개의 플라스크에 60ml 씩 주입하였다 밀폐된 상자에 60ml Falcon culture flask를 일렬로 배열하고 한쪽에서 diffused light를 비추어 플라스크 내에 광량의 구배가 생기게 하였다. 광원으로는 Osram의 HQI/T 400W 램프를 사용하였다. 배양은 2 시간을 유지하였으며 각 플라스크의 광량은 QSL 100 scalar quantum meter(Biospherical Co)를 써서 측정하였다. 수온의 조절을 위하여 순환 항온조의 물을 배양상자 내로 순환시켜 현장의 수온을 유지하였다. 배양이 끝나면 즉시 12개의 filter funnel이 달린 manifold를 써서 GF/F filter로 여과한 뒤 여과지를 냉동 보관한 후 실험실로 옮긴후 염산으로 fuming하였다. Fuming이 끝나면 즉시 scintillation cocktail 15ml를 첨가하여 냉암소에 보관한 뒤 실험실에서 Scintillation Counter로 dpm을 측정하였다. Total CO_2 를 추정하기 위하여 Parsons *et al.*(1984)의 방법을 따라 시료 100ml에 0.01N HCl 25ml를 첨가하여 전 후의 pH를 측정하였다.

라. P-I 특성

P-I 실험에서 얻어진 결과는 Platt *et al.*(1980)의 모형에 적합화하여 매개변수화 하였다. 광저해 현상이 있을 경우 3 개의 매개변수를 가지고 있는 Platt *et al.*(1980)의 모델을 사용하였다.

$$P = B P_s^B (1 - \exp [-\alpha^B I / P_s^B]) \exp [-\beta^B I / P_s^B]$$

광저해 현상이 없는 경우는 2개의 매개변수를 갖는 Cullen(1990)의 모델을 사용하였다.

$$P = B P_m^B (1 - \exp [-\alpha^B I / P_m^B])$$

4.3. 결과 및 고찰

4.3.1. 미세조류의 종 조성 및 현존량

가. 펄갯벌의 미세조류

본 조사지역에서 퇴적물의 깊이별 미세조류의 종 조성 및 개체수의 분포는 Appendix 3-4-1, 3-4-2, 3-4-3과 같다. 미세조류중 규조류는 29종 정도가 색소를 갖은 상태에서 주요종으로 나타나며 남조류가 1종 출현하였다. 이외에 많은 종의 규조류가 나타나나 색소가 분해되었거나, 포함하지 않은 상태로 나타나 계수에서 제외하였다. 이들 색소를 갖지 않은 종들은 대부분 담수나 염하구에서 서식하는 종으로 해수의 유동에 의해 운반되어 퇴적된 종들로 나타난다. 색소를 갖는 29종의 규조류중 운동성이 있는 종은 18종이 나타났다. 이들 운동성이 있는 규조류는 펄조간대에서 서식하는 주요 종들로 본 조사에서는 *Amphora coffeaeformis*, *Cylindrotheca signata*, *Diploneis weissflogi*, *Entomoneis paludosa*, *Gyrosigma fasciola*, *Navicula phyllepta*, *Navicula pargemina*, *Pleurosigma angulatum*, *Surirella gemma*, *Trachyneis aspera* 등의 종들이 나타났다. 이들 우상형 규조류(pennate diatom)들의 운동능력은, 환경변화가 역동적으로 나타나는 갯벌에서 적당한 서식처의 선택을 가능케 함으로써 효과적인 적응능력을 갖게 한다(Heckman 1985; Hudon and Legendre 1987; Degaldo *et al.* 1991). 우상형 규조류는 이와같은 생태특성으로 갯벌 퇴적물에서 높은 생체량과 일차생산력을 보이는데(Admiraal *et al.* 1982; Pinckney and Zingmark 1991), 본 조사시에도 출현종수와 개체수에서 중심형 규조류보다 우세하게 나타났다. 운동성을 보이지 않는 11 종중 *Cymatosira belgica*와 *Delphineis surirella*는 사질 부착성(Episammon)인 생태를 나타내기도 하는 종으로 펄 조간대에 서식하는 주요종으로 구분될 수 있다. 이들 종들을 제외한 *Coscinodiscus radiatus*, *Cyclotella stylonum*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira eccentrica* 등의 중심형 규조류(Centric diatom)들은 운동성이 없으며, 갯벌에 서식하지 않고 해수 유동에 의해 운반 퇴적되어 나타난 종들이다.

규조류이외의 미세조류로는 *Lyngbya* 형태를 띠며 폭 $2.5\mu\text{m}$ 길이 $50\mu\text{m}$ 정도로 이형세포(nonheterocystous)를 갖지 않는 남조류가 우점종으로 나타났다. 이와 같은 펄갯벌에서의 운동성이 있는 우상형 규조류의 분포는 송도 조간대 조사(한국 과학재단, 1991) 결과에서도 나타났다. 이들 우상형 규조류는 갯벌의 일차생산과, 포식자의 주요한 탄소공급원(Sullivan and Moncreiff, 1988), 퇴적물의 안정화, 퇴적물과 수층사이의 영양염순환 조절(Rizzo, 1990) 등 다양한 기능적 역할을 담당하는 것으로 밝혀지고 있다.

나. 펄갯벌에서 미세조류의 수직분포

정점 L1, L4, L6 에서 조사된 미세조류 개체수의 수직분포는 Fig. 3-4-2에 나타났다. 조사된 모든 정점에서 개체수의 수직분포는 퇴적물 표층 0~2mm 사이에서 가장 많은 개체수를 나타내며, 이심에서는 급격한 개체수의 감소가 나타나고 있다. 정점 L1의 0~2mm층에서는 575,000 cells/g, 정점 L4의 0~2mm층에서는 2,065,100 cells/g, 정점 L6의 0~2mm층에서는 920,570 cells/g의 미세조류 개체수가 나타났다. 이와 같은 결과는 0~2mm층의 chl-a의 농도 분포와 같은 경향으로 정점 L4에서 가장 많은 개체수가 나타나고 있다. 미세조류들은 퇴적물의 깊이에 따라 감소하며, 정점 L1과 정점 L6에서는 8mm층 이하에서 100,000cells/g이하로 나타나고, 정점 L4에서는 14mm 층에서 100,000cells/g 이하의 개체수가 나타났다. 미세조류의 퇴적물내 개체수 분포는 chl-a농도의 수직분포와 유사한 경향을 나타내고 있다(Fig. 3-4-4, 3-4-5, 3-4-6). 그러나 2mm 층을 경계로 chl-a농도가 미세조의 개체 수보다 급격한 변화를 보이고 있고, 이심에서는 미세조류의 개체수가 chl-a의 농도보다 급격한 변화를 나타낸다. 이와 같은 불일치는 3가지의 원인에서 기인하는 것으로 사료된다. 첫째는 0~2mm 층에서 나타난 *Lyngbya* 형태의 남조세균은 비교적 대형으로 이들의 세포당 chl-a농도가 높을 경우, 미세조류의 개체수변화보다 chl-a농도 변화가 2mm 깊이를 경계로 급격히 나타날 수 있다. 다른 한가지는 미세조류의 개체수를 계수한 코아와 chl-a농도를 측정된 코아가 다르기 때문에 나타날 수 있는 결과로, 갯벌에서는 좁은 지역 내에서 서로 다른 미세조류의 분포를 나타낼 수 있기 때문에 나타나는 불일치로 사료된다. 셋째는 본 조사에서 자가

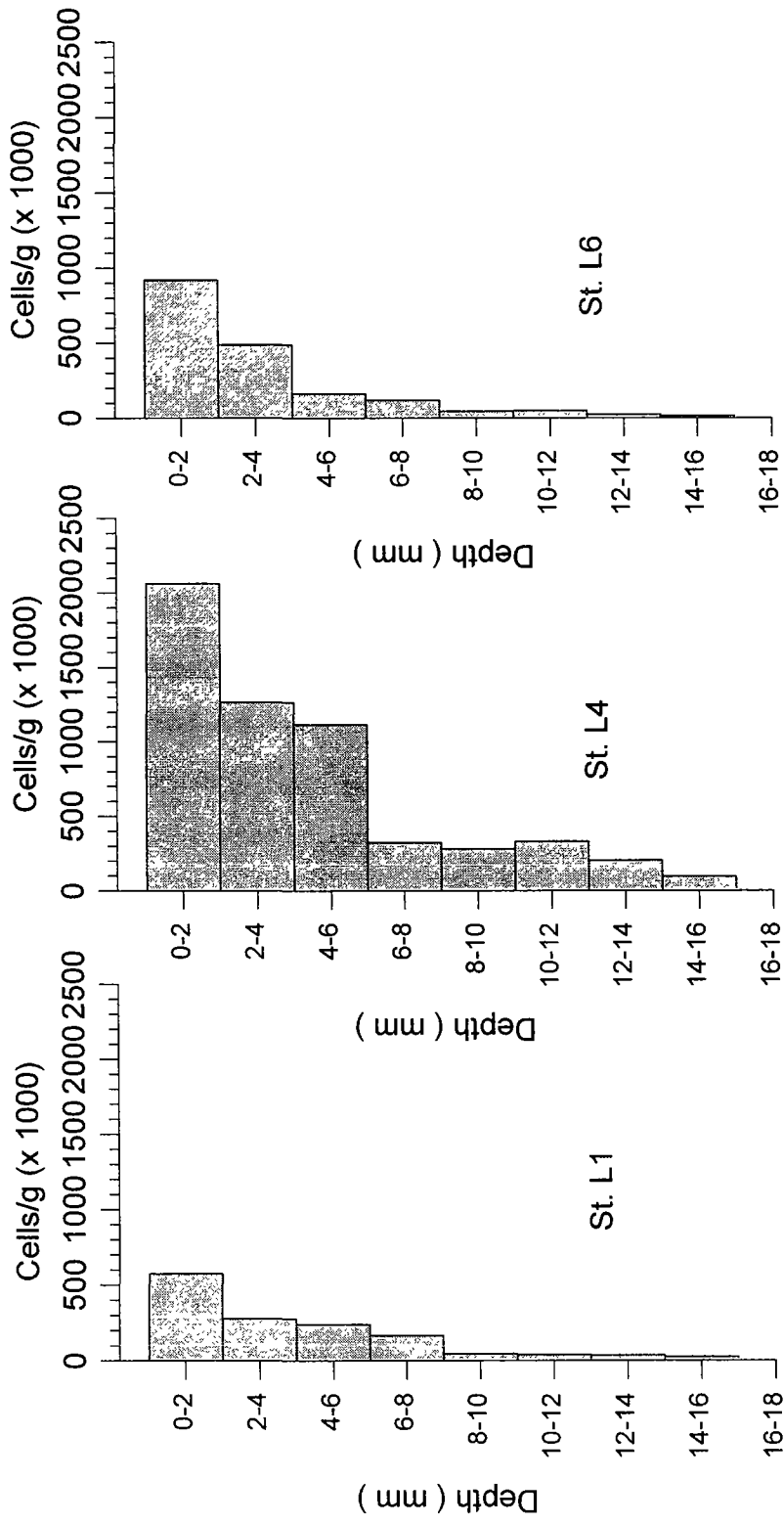


Fig. 3-4-2. Vertical distribution of microalgae abundance in sediment (st. L1, L4, L6).

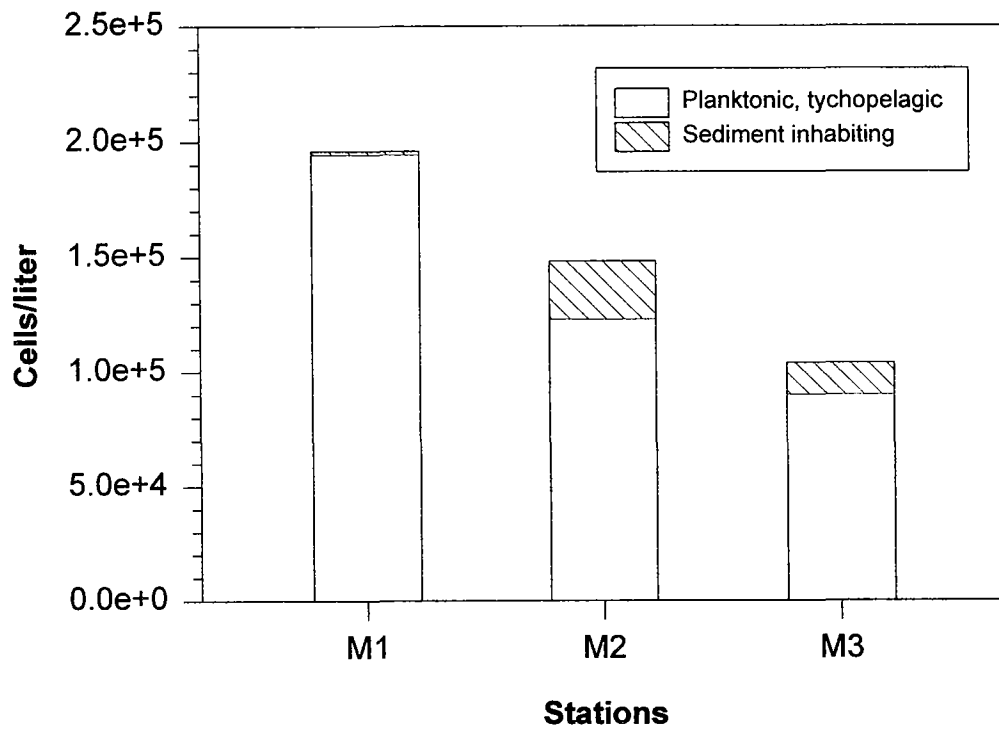


Fig. 3-4-3. Abundance of microalgae at surface water(st. M1, M2, M3)

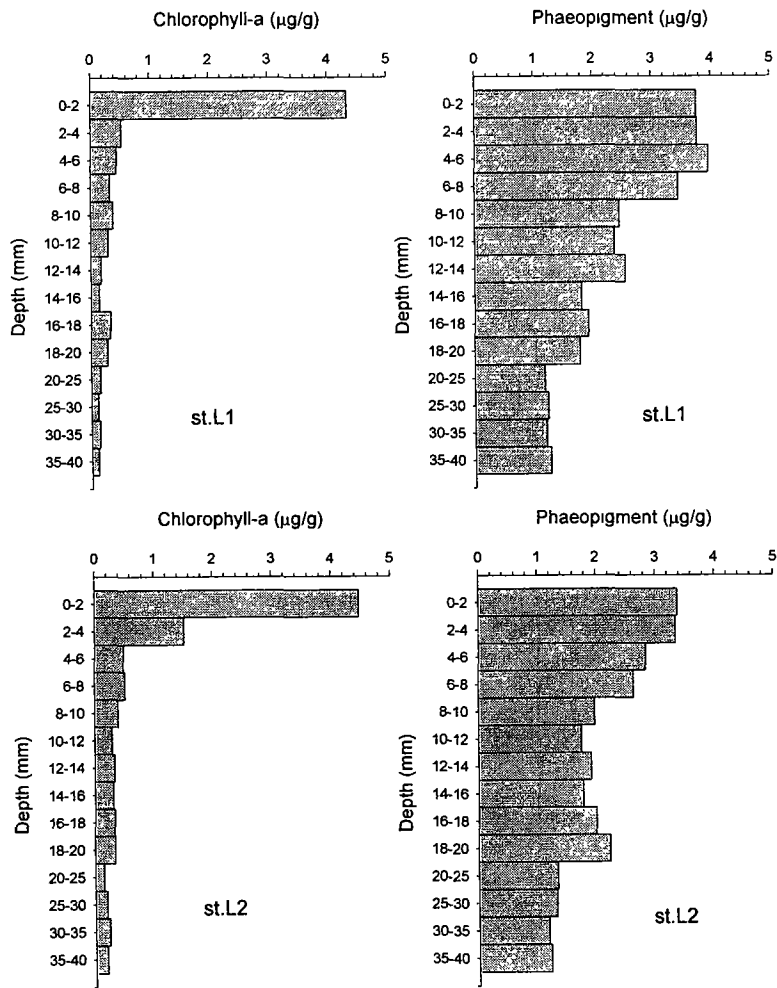


Fig. 3-4-4. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopigment at st. L1 and L2.

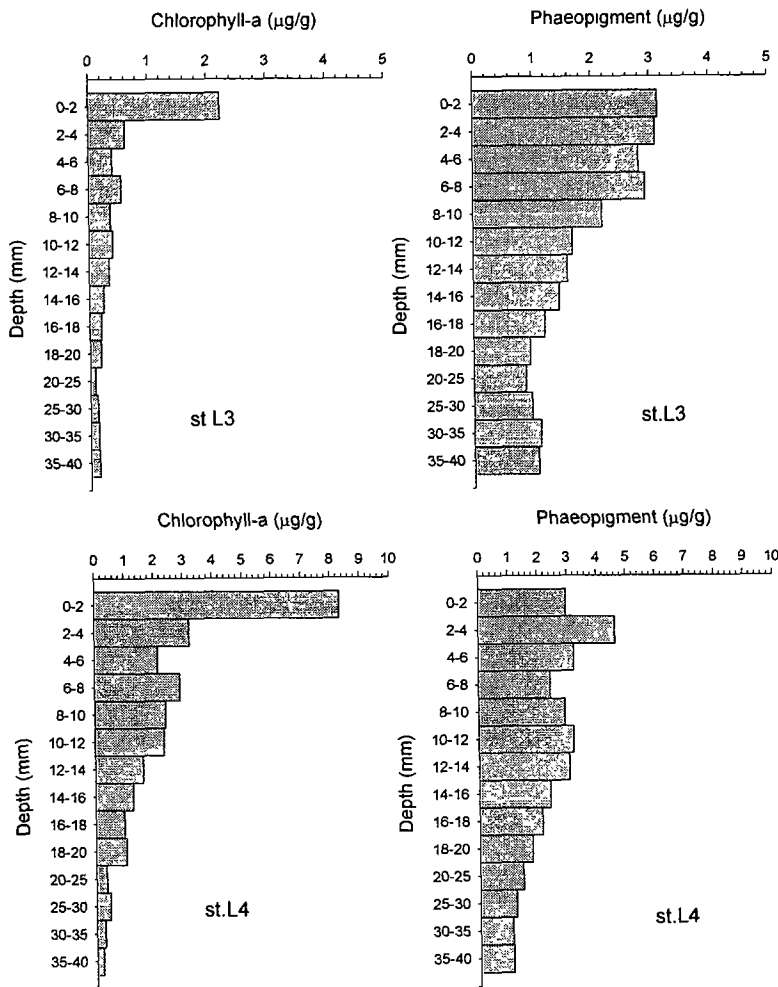


Fig. 3-4-5. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopigment at st. L3 and L4.

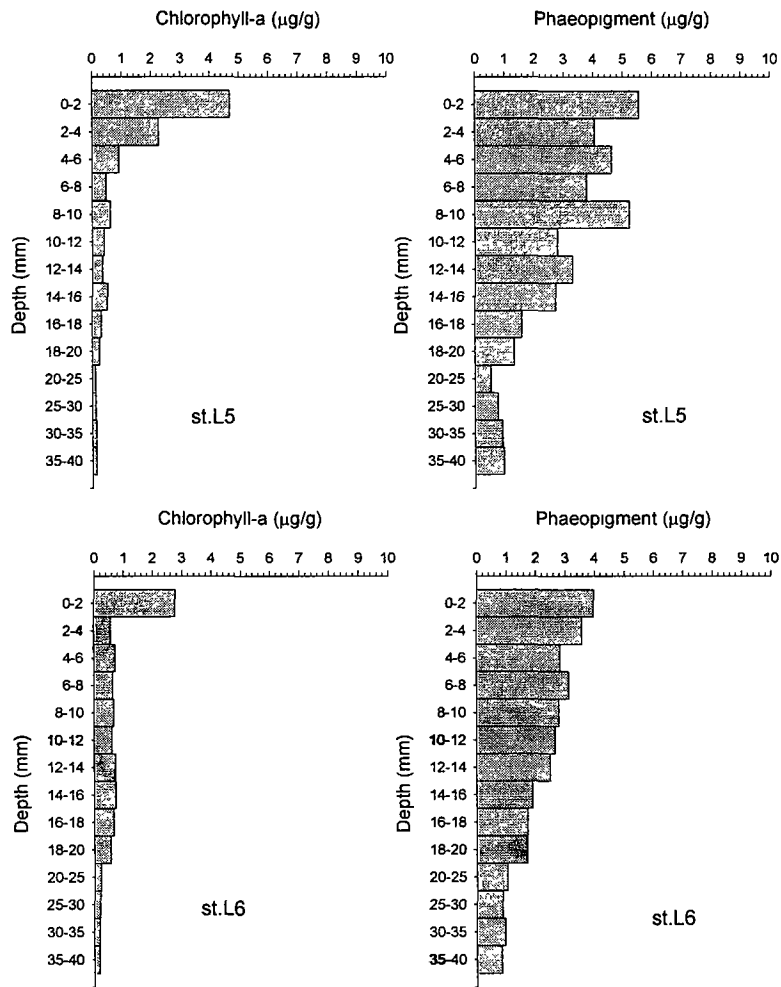


Fig. 3-4-6. Vertical distribution of chlorophyll-a and phaeopigment at st. L5 and L6.

영양편모류를 조사하지 않았기 때문에 나타나는 결과로 2mm층 이심에서 미세조류의 개체수변화보다 chl-a 농도 변화가 적은 결과를 보이는 원인이 될 수 있다. 그러나 본 조사시에 나타난 미세조류와 chl-a농도의 수직분포의 경향은, 펄갯벌에서 이전에 조사된 결과(Admiraal *et al.*, 1982)와 잘 일치하고 있다.

본 조사시 나타난 미세조류의 수직분포는 우점종인 우상형규조류의 생태특성에 의해 결정된 것으로 사료된다. 규조류는 운동능력에 의해 수직이동을 하며 갯벌에서 적당한 서식처를 선택한다. 현재까지 조사된 저서 규조류의 수직이동 깊이는 2~15mm 범위이나, 퇴적물의 유형 및 규조류의 종에 따라 변화를 보인다(Aleem, 1950; Hopkins, 1963; Joint *et al.*, 1982; Wasmund, 1984; Hay *et al.*, 1993). 펄 조간대의 경우는 규조류의 수직이동은 퇴적물 상부의 2~3 mm 내에서 주로 이루어지며, 조석과 광의 일변화등과 밀접하게 관련되어 주기성을 보이는 것으로 밝혀졌다(Admirall *et al.*, 1982; Pinckeny and Zingmark, 1991; Pinckeny *et al.*, 1994). 본 조사시의 퇴적물 표면에 운동성이 있는 *Navicula pargemina*, *Navicula phyllepta*, *Surirella gmma* 등의 높은 현존량은 보인 것은, 이들의 생태특성을 펄조간대 환경에 잘 적응되어 있음을 나타내고 있다. 퇴적물 표층에서 높은 현존량을 보인 *Lyngbya* 형태의 남조세균은 운동성을 보이지 않으나, 보조색소인 카로티노이드성분들은 조간대가 대기노출시에 강한 광 하에서 효과적으로 세포를 보호하는 것으로 알려져 있다(Oren *et al.*, 1995). 조사시 나타난 미세조류의 우점종들은 펄갯벌과 같은 환경변화가 크게 나타나는 환경 하에서 효과적으로 성장할 수 있는 독특한 생태·생리적 특징을 보이고 있다.

다. 표층해수의 미세조류

표층해수의 미세조류 현존량은 해수유입시기에 배를 이용하여 장봉도 앞수로에서 방조제로 들어가면서 조사하였다. 미세조류 현존량은 수로인 정점 M1에서 196,000 cells/ℓ 가장 많은 세포수가 나타났고 1000m 지점(정점 M2)에서 148,230 cells/ℓ, 400m 지점(정점 M3)에서 100,280 cells/ℓ의 미세조류 세포수가 나타났다(Appendix 3-4-4).

우점종으로는 *Chatoceros debilis*, *Eucampia zodiacus*, *Paralia sulcata*, *Asterionella japonica* 등이 나타나, 퇴적물의 미세조류와는 조성이 다를 것을 보이고 있다. *Entomoneis paludosa*, *Navicula pargemina*, *Navicula phyllepta*, *Surirella gemma* 등의 퇴적물에 서식하는 규조류들이 정점 M2 와 정점M3에서 재부유되어 일부 나타나나, 부유성미세조류의 개체수에 비해 낮은 수준을 보이고 있다. 퇴적물에 서식하는 *Lyngbya* 형태의 남조세균도 정점 M2 와 정점 M3에서 일부세포가 부유되서 나타나고 있다. 표층해수에서 나타난 퇴적물에 서식하는 미세조류는 정점 M2에서 전체미세조류 개체수의 17%, 정점 M3 에서 13%정도, 정점 M1에서 1%미만을 나타냈다(Fig. 3-4-3). 수로에 위치한 정점 M1에서의 갯벌에 서식하는 미세조류가 적게 나타나는 것은 창조 시에 시료를 채취하였기 때문이며, 낙조 시에는 다른결과를 보일 것으로 예상된다. 본 조사시는 퇴적물표층의 개체수에 비해 재부유되는 갯벌 미세조류의 개체수는 상대적으로 매우적게 나타났는데 이는 이들 갯벌의 미세조류들이 침수 시에는 퇴적물속으로 이동하는 능력이 있기 때문인 것으로 사료된다.

4.3.2. 엽록소-a 및 phaeopigment

본 조사지역에서 퇴적물의 깊이별로 측정된 엽록소-a와 phaeopigment의 농도는 Fig. 3-4-4, 3-4-5, 3-4-6과 같다. 모든 조사정점에서 엽록소-a 수직분포의 큰 특징은 0~2mm 사이의 퇴적층에서 가장 높은 값을 보인 후 급격히 감소하고, 2mm 혹은 4mm 이하 퇴적층에서의 농도변화는 정점 L4를 제외한 나머지 정점들에서 크지 않았다. 조사기간동안 가장 높은 값(최대 8.3 $\mu\text{g/g}$)을 보인 정점 L4의 엽록소-a 수직단면은 나머지 정점들과 다소 차이를 보였다. 정점 L4에서 엽록소-a는 다른 정점들과 비교해서 4~20mm 사이의 퇴적층에서도 약 1~3 $\mu\text{g/g}$ 범위의 비교적 높은 농도를 보인 반면 나머지 정점들은 약 1 $\mu\text{g/g}$ 이하의 농도를 보였다. Phaeopigment 농도는 전반적으로 퇴적물의 하층보다 상층에서 높고, 퇴적물의 깊이가 깊어질 수록 서서히 감소하는 경향을 보였다. 채집한 시료의 퇴적물 깊이내에서 phaeopigment 농도의 상층(0~2mm)과 저층(35~40mm)의 차이는 정점 L5에서 약 10배(0.54~5.5 $\mu\text{g/g}$), 정점 L5를 제외한 나머지 정점들에서 약 6배(0.8~4.6 $\mu\text{g/g}$)로 엽록소-a와 비교해서 작았

다. 퇴적물내의 엽록소-a 농도와 식물플랑크톤 현존량의 수직분포 경향은 비교적 일치함을 보였다.

퇴적물 표면에서 엽록소-a 농도의 수평적 분포는 방조제로부터 400m 지점인 정점 L1에서 L3까지 서서히 감소하다가 정점 L4(1000m 지점)에서 최대 값을 보인 후 다시 감소함을 보였다(Fig. 3-4-7). 엽록소-a 농도는 $7.8(\pm 3.0) \sim 24.6(\pm 2.0) \text{ mg/m}^2$ 의 범위로 400~600m 사이의 조사지점 보다 1000~1200m 사이의 조사지점에서 높게 나타났다. Phaeopigment의 농도는 $8.1(\pm 5.7) \sim 15.5(\pm 8.5) \text{ mg/m}^2$ 의 범위를 보여 엽록소-a에 비해 상대적으로 낮은 농도를 보였다(Fig. 3-4-7). 특히 엽록소-a의 농도가 가장 높았던 1000m 지점에서 phaeopigment 농도는 엽록소-a 값의 1/3 정도로 나타났다. Phaeopigment 대 엽록소-a의 비율(p/chl-a ratio)은 0.4~1.4로 다양하였다(Fig. 3-4-8). 여차리 갯벌에서 엽록소-a의 수평분포는 97년 11월의 조사결과와 매우 비슷하게 방조제 앞보다 다소 떨어진 곳에서 높은 농도를 보였다.

표층해수의 엽록소-a 농도는 갯벌위로 해수유입시기에 배를 이용하여 장봉도 앞 수로에서 방조제로 들어가면서 조사하였으며, 한 정점에서 4회 반복 측정하였다. 엽록소-a 농도는 수로인 정점 M1에서 $1.14(\pm 0.06) \text{ mg/m}^3$ 으로 가장 낮고, 1000m 지점(정점 M2)에서 $1.81(\pm 0.15) \text{ mg/m}^3$ 으로 가장 높았고, 400m 지점(정점 M3)에서 $1.53(\pm 0.06) \text{ mg/m}^3$ 으로 감소하였다(Fig. 3-4-9). 수로에서 400m 지점까지 들어가면서 조사를 한 후, 정점 M1에서 다시 조사했을 때 엽록소-a 농도는 $1.73(\pm 0.18) \text{ mg/m}^3$ 으로 첫 번째 값보다 약 0.6 mg/m^3 정도 증가했음을 보였다. 표층해수에서 엽록소-a 농도의 수평적 변화는 표층 퇴적물의 변화 보다 크지 않았다. 본 조사동안 퇴적물과 해수에서 엽록소-a의 최대값은 모두 1000m지점에서 나타났다. 그러나 정점 M1과 같이 엽록소-a 농도는 시간에 따라 변한다. 따라서 퇴적물의 노출시간과 해수유입 시간에 따른 엽록소 농도의 변화를 조사해야 하며, 이러한 결과는 갯벌의 식물플랑크톤 생체량을 정확히 산출하는 데 이용되며, 또한 일 일차생산량 추정에 매우 중요한 자료이다.

미세조류의 생체량은 세포수, 엽록소-a 농도 혹은 입자상의 유기탄소 함량으로 나타낼 수 있으나, 저서 미세조류의 경우에는 엽록소-a 농도를 널리 사용하고 있다(Cadée and Hegeman, 1974; Fielding *et al.*, 1988). 조간대에서

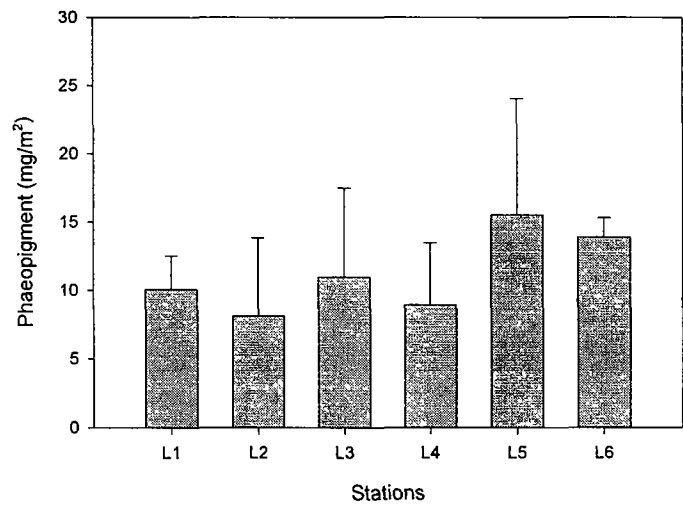
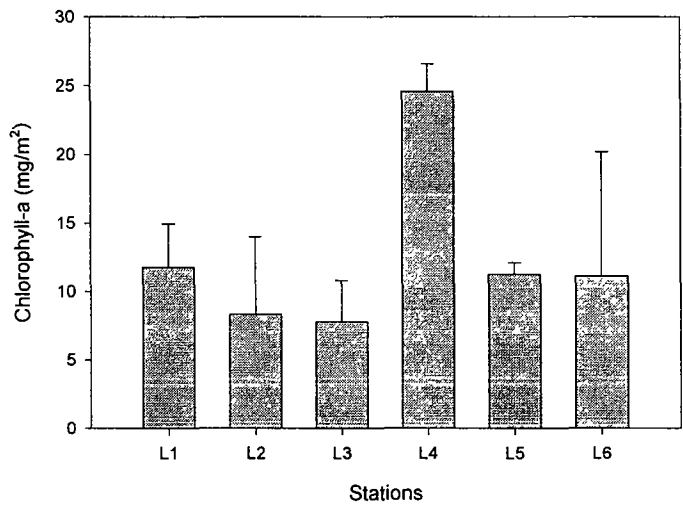


Fig. 3-4-7. Horizontal distribution of chlorophyll-a and phaeopigment in study area.

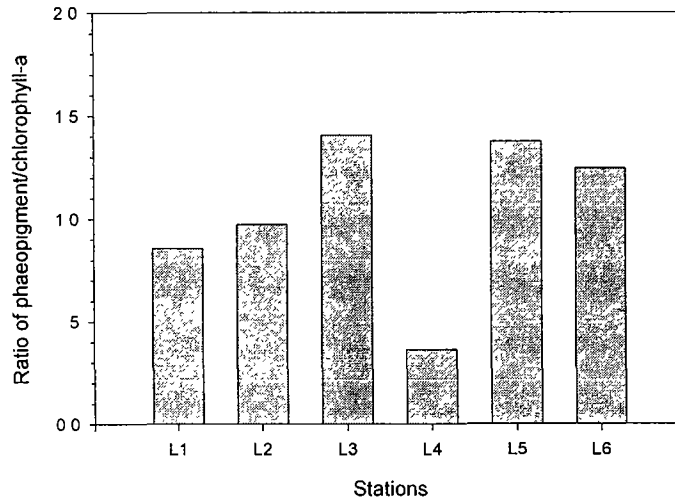


Fig. 3-4-8. Ratio of phaeopigment and chlorophyll-a at surface of sediment.

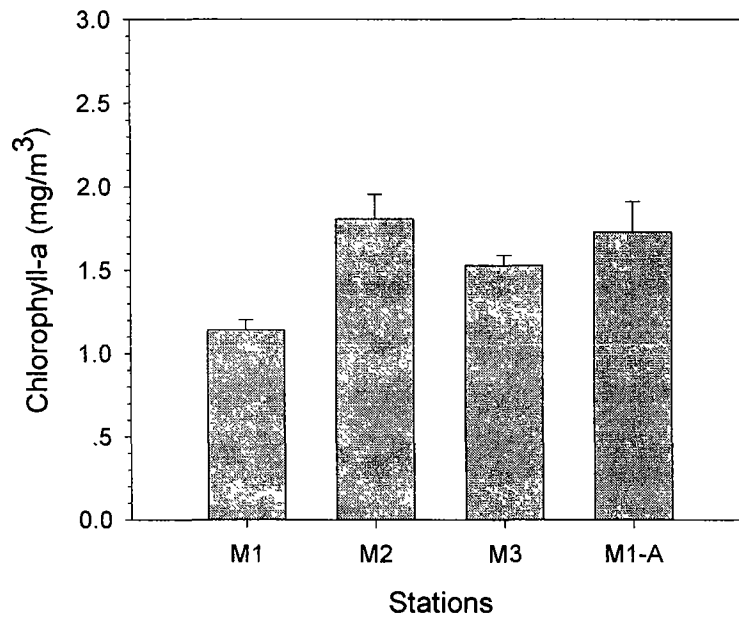


Fig. 3-4-9. Concentration of chlorophyll-a at surface water.

엽록소-a의 함량은 수평적으로 크고 작은 덩어리를 가지며 밀집된 분포를 보여 좁은 지역 내에서도 농도의 변화가 심하며, 계절적인 주기성이 일정하지 않다(Leach, 1970; Cadée and Hegeman, 1974). 또한 퇴적층내에서 엽록소-a의 수직적인 분포는 표층 수 mm에 밀집되어 있고 그 이하 퇴적층에서는 급격한 감소를 보인 반면, phaeopigment는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 본 연구에서 8월 여차리 갯벌의 표층 퇴적물 엽록소-a 농도는 7.8~24.6 mg/m²로 나타났다. 국내 조간대에서 조사된 엽록소-a 농도는 송도 조간대에서 4.8~90.1 mg/m²(한국과학재단, 1991), 반월 조간대에서 31.3~402.1 mg/m²(Koh and Shin, 1988), 백석 조간대에서 7~244 mg/m²(Cho and Kim, 1988)으로 다양하였다.

Phaeopigment는 엽록소-a의 분해산물로 결국 엽록소-a로부터 유래되었다. 따라서 퇴적물내의 phaeopigment의 함량이 높다는 것은 과거의 엽록소-a 함량이 높았음을 의미하며, 또한 엽록소-a가 phaeopigment로 전환될 수 있는 상황 예를 들면, 포식에 의한 엽록소-a의 붕괴, 세포의 노화 및 파손 등과 같은 과정이 매우 활발했을 것으로 사료된다. 본 조사에서 p(p_{phaeopigment})/chl-a 비율은 0.4~1.4의 범위를 보였다. 이 값은 Cadée and Hegeman(1977)의 0.12~0.9, Steele and Baird(1968)의 1.4~1.9와 유사한 값을 보였으며, Nienhuis and de Bree(1984)의 0.03~0.39보다 높았다. 한편 송도 조간대에서는 계절에 따라 0.13~5.75의 범위로 상대적으로 높은 phaeopigment의 함량을 보였고(고, 1991), 소(1989)의 결과 (1.15~8.20) 또한 높은 phaeopigment의 함량을 보였다. 상대적으로 phaeopigment의 함량보다 엽록소-a 함량이 높다는 것 (낮은 p/chl-a 비율)은 미세조류의 성장과 광합성 활동이 매우 활발한 지역으로 생각할 수 있다.

퇴적물내에서 살아있는 규조류는 이들의 수직이동 때문에 18cm의 깊이에서도 발견되는데(McLusky, 1989), 이러한 깊이까지는 빛이 도달할 수 없으므로 이 곳의 엽록소-a는 광합성을 수행할 수 없다. 그러나 대부분의 미세조류는 1cm 이내의 갯벌에 분포하고 있고(McLusky, 1989), 엽록소-a의 함량은 일차생산량을 결정하는 가장 중요한 요인이다(Shaffer and Onuf, 1983). 따라서 조석에 의해 주기적으로 노출가 침수가 반복되는 갯벌에서 미세조류의 엽록소-a 농도의 시간별 변화 측정은 일 일차생산력 추정을 위해 필요하다.

4.3.3. 일차생산력

가. 퇴적물 표층에서의 일차생산력

퇴적물의 일차생산력은 정점 L1에서 $8.93 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$, 정점 L4에서 $34.32 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 을 보여 정점 L4에서 높은 일차생산력을 보이고 있다(Table 3-4-1). 본조사결과는 고(1991)의 송도조간대 퇴적물에서 조사된 $4.3\sim 36.4 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 과 유사한 범위 값을 보이고 있다. 또한 Macintyle(1996)등에 의해 정리된 퇴적물의 일차생산은 $<1\sim 115 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 와 비교할 때 낮은 수준에 포함되고 있다. 이는 조사시 퇴적물의 생체량이 비교적 낮은 농도로 나타났기 때문에 기인하는 결과로 생각된다. 정점 L1과 L4에서 고정된 탄소량을 단위 생체량(단위 평방m당의 0~2mm 층에서 보이는 chl-a농도)으로 나누면 정점L1에서 $0.72 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 이며 정점L4에서 $1.43 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 의 동화계수를 나타낸다.

나. 퇴적물 표층에서의 P-I 특성

퇴적물 표층(0~2mm)에 서식하는 미세조류의 P-I 특성은 Fig. 3-4-10과 같이 광저해 현상이 나타나지 않아 높은 광에 적응된 조간대 식물플랑크톤의 생리적 특성을 잘나 타내고 있다. 퇴적물에서 일차생산을 조사한 동일한 광조건에서 퇴적물을 0.2 μm 공극의 여과지로 여과한 주변해수에 분산시켜 배양하면 동화계수는 정점L1에서 $3.83 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 정점 L4에서 $7.72 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$ 로 증가되어 나타난다. 이는 퇴적물에서의 소광계수는 퇴적물 조성에 따라 다르나 퇴적물 1mm 깊이당 1.0~20.3 으로 나타나며 유광대 깊이는 0.2~4.6mm 정도로 낮게 나타난다. 이는 퇴적물의 표층에 분포하는 식물플랑크톤을 제외하면 2mm두께의 퇴적물내의 많은 미세조류들이 광에 의해 탄소고정을 제한 받을수 있음을 나타낸다. 이와같은 퇴적물의 일차생산의 특징은 재부유시 퇴적물내의 식물플랑크톤들이 호전된 광조건 하에서 높은 일차생산을 보일 수 있는 잠재적 가능성을 보이고 있다.

Table 3-4-1. Primary productivity and assimilation number of microalgae
in intertidal sediment and surface water

Contend	Sediment(0~2mm)		Water column		
	St.L1	St.L4	St.M1	St.M2	St.M3
P.P.	8.93	34.32	37.7	19.47	19.20
A.N.	0.72	1.43	19.50	15.34	15.78
Chl-a	12.42	23.98	1.73	1.81	1.53
Irradiance(sur.)	1,293	646	970	970	970
Kd (0.1m ⁻¹)			1.67	2.11	1.95

단위 및 참고 내용

- * P.P.(primary production: 일차생산력); mgC m⁻²hr⁻¹ → 퇴적물의 단위면적당(m²) 일차생산은 0-2mm 두께의 퇴적물 표층에서만 계산되었으며, 해수에서는 유광대 깊이까지 계산하였음.
- * A.N.(assimilatiom number: 동화계수); mgC chl-a-1h-1
- * chl-a; mg chl-a m⁻³ → 퇴적물에서는 단위면적(m²)의 0-2mm 층의 chl-a 농도를 사용하였음.
- * Irradiance (sur.); μMol m⁻²s⁻¹ → 표층에서의 광량으로 퇴적물 조사 정점에서는 현장 배양시 평균 광량을 사용하였고, 해수 조사정점들에서는 퇴적물 조사시의 평균광량을 동일하게 적용하였다.
- *Kd (extinction coefficient: 소광계수)

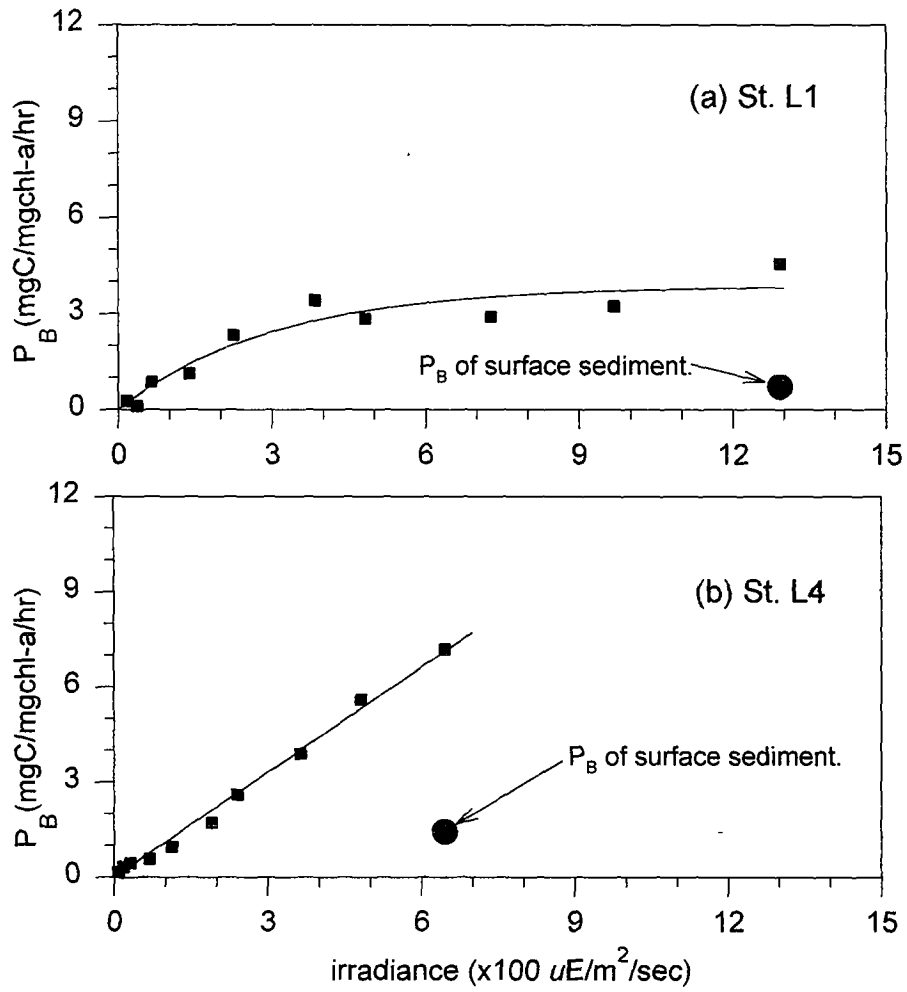


Fig. 3-4-10. P-I properties and assimilation number of microalgae in sediment (st. L1, L4).

다. 수층의 일차생산력.

수로 및 조간대가 침수시 수층의 P-I특성은 Fig. 3-4-11과 같이 나타난다. $P_{\text{max}}^{\text{b}}$ 는 정점M1에서 $19.50 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$, M2에서 $15.34 \text{ mgC chl-a}^{-1}\text{hr}^{-1}$, M3에서 15.78 로 나타나 높은 동화계수를 보였다. 정점 M1에서의 일일 일차생산은 $429.72 \text{ mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 로 나타나 높은 동화계수에 비해, 낮은 일일 일차생산을 보였다. 이는 수주내의 소광계수가 0.1m당 1.67로서 높게 나타나므로 수주내에서의 유광대 깊이가 상대적으로 낮아져서 일차생산을 제한하고 있다. 조간대에 위치한 정점 M2와 정점M3의 일일 일차생산은 조석주기에 따른 침수시간과 조고에 따라 수주내의 일일 일차생산이 결정되므로 차후 모형화가 정리된 후에 결정되어야 하는 것으로 나타났다. 퇴적물의 일차생산 배양시간동안의 평균 광량을($970 \mu\text{Mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 적용시키고, 현장에서 구한 정점별 소광계수와 P-I특성을 적합화하여 수층 유광대내의 일차생산은 정점 M1에서 $37.7 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$, 정점 M2에서 $19.47 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$, 정점 M3에서 $19.2 \text{ mgC m}^{-2}\text{hr}^{-1}$ 으로 나타났다(Table 3-4-1). 이는 퇴적물표층에서 측정된 일차생산과 크게 차이가 나지 않음을 보이고 있다.

4.4. 결론

1998년 8월 강화도 여차리의 펠조간대의 퇴적물에 서식하는 미세조류 조사에서 29종 정도의 규조류가 동정되었다. 이중 운동성을 나타내는 *Amphora coffeaeformis*, *Cylindrotheca signata*, *Diploneis weissflogi*, *Entomoneis paludosa*, *Gyrosigma fasciola*, *Navicula phyllepta*, *Navicula pargemina*, *Pleurosigma angulatum*, *Surirella gemma*, *Trachyneis aspera* 등의 종들이 현존량에서 높은 개체수를 보였다. 규조류이외의 미세조류로는 *Lyngbya* 형태의 이형세포(nonheterocystous)를 갖지 않는 남조류가 우점종으로 나타났다. 이들 우상형 규조류(pennate diatom)들의 운동능력은, 환경변화가 역동적으로 나타나는 갯벌에서 적당한 서식처의 선택을 가능케 함으로써 효과적인 적응능력을 보일 것으로 생각되며, 이와 같은 생태특성으로 갯벌 퇴적물에서

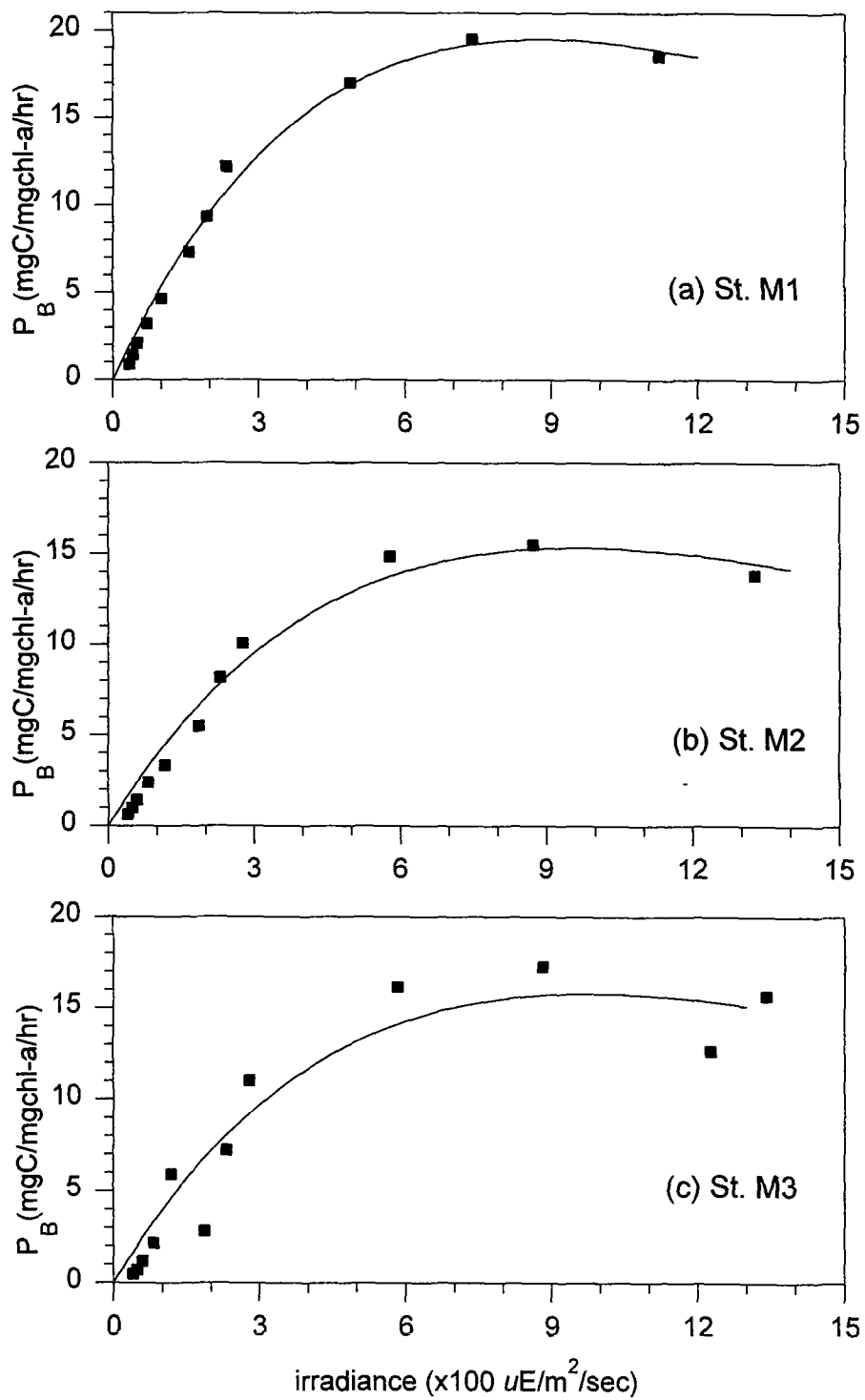


Fig. 3-4-11. P-I properties at surface water of st. M1, M2 and M3

높은 생체량과 일차생산력을 보이는데, 본 조사시에도 출현종수와 개체수에서 중심형 규조류보다 우세하게 나타났다.

퇴적물에서의 미세조류 현존량은 0~2mm 층에서 높은 개체수를 나타내 정점별로 퇴적물 1g의 건조중량당 575,000 ~2,065,100의 개체수가 나타났다. 이심에서는 미세조류의 개체수가 급격히 감소하는 현상을 보이는데, 이는 운동성이 있는 우상형 규조류들이 퇴적물표층에 주로 서식하며 나타난 현상으로 사료된다. 또한 이들은 퇴적물내에서 광과 조석주기에 따른 수직이동을 하는 생태특성을 보이는데 이러한 운동성으로 인해 조간대 퇴적물의 2~3mm 정도의 유광대층 내에서는 현존량의 주기적인 수직 변화를 보이게된다. 본 조사는 조간대가 대기 노출시에 퇴적물에서 표층을 채집하였기 때문에 표층에서 좀더 증가된 개체수를 보였을 수 있다. 조간대 침수시 조사된 해수표층의 식물플랑크톤의 개체수중 13~17%는 퇴적물에 서식하는 미세조류들이 나타났다. 본 조사시는 퇴적물표층의 개체수에 비해 재부유되는 갯벌 미세조류의 개체수는 상대적으로 적게 나타났는데 이는 이들 갯벌의 미세조류들이 침수 시에는 퇴적물속으로 이동하는 능력이 있기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 퇴적물에는 단위 면적당 높은 현존량의 미세조류가 서식하므로 해수의 혼합정도에 따라 해수내의 현존량이 증가할수 있으며, 일차생산력 변화의 주된 요인이 될 수 있다.

본 연구에서 갯벌의 표층 퇴적물 엽록소-a 농도는 7.8~24.6 mg/m²로 나타났다. 퇴적물의 깊이별로 측정된 엽록소-a와 phaeopigment의 농도는, 모든 조사정점에서 0~2mm 사이의 퇴적층에서 가장 높은 값을 보인 후 급격히 감소하고, 2mm 혹은 4mm 이하 퇴적층에서의 농도변화는 정점 L4를 제외한 나머지 정점들에서 크지 않았다. 조사기간동안 가장 높은 값 (최대 8.3μg/g)을 보인 정점 L4의 엽록소-a 수직단면은 나머지 정점들과 다소 차이를 보였다. 정점 L4에서 엽록소-a는 다른 정점들과 비교해서 4~20mm 사이의 퇴적층에서도 약 1~3μg/g범위의 비교적 높은 농도를 보인 반면 나머지 정점들은 약 1μg/g 이하의 농도를 보였다. Phaeopigment 농도는 전반적으로 퇴적물의 하층보다 상층에서 높고, 퇴적물의 깊이가 깊어질 수록 서서히 감소하는 경향을 보였다. 퇴적물내의 엽록소-a 농도와 식물플랑크톤 현존량의 수직분포 경향은 비교적

일치함을 보였다. 또한 퇴적층내에서 엽록소-a의 수직적인 분포는 표층 수 mm에 밀집되어 있고 그 이하 퇴적층에서는 급격한 감소를 보인 반면, phaeopigment는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 이러한 엽록소-a의 표층에서의 높은 엽록소 농도는 미세조류의 운동능력 및 생태와 관련있는 것으로 사료되며, 일차생산력의 증가와 퇴적물의 안정화등 다양한 생태적 기능에 기여할 것으로 사료된다.

조간대 퇴적물에서는 대기노출시 $8.93 \sim 34.32 \text{ mgC m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 일차생산력을 보였다. 밀물시 해수의 유광대 내에서는 $19.2 \sim 37.7 \text{ mgC m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 을 보이는 것으로 계산되어, 퇴적물에서와 유사한 값을 나타냈다. 그러나 동화계수는 퇴적물에서 $0.72 \sim 1.43$, 해수에서 $15.34 \sim 19.5$ 를 보여 해수에서 높은 값을 보였다. 이는 퇴적물의 높은 소광계수 때문에 표층의 미세조류도 광합성을 제한 받음을 시사한다. 따라서 퇴적물의 미세조류는 해수중에 재부유 되었을때 높은 일차생산의 잠재적 가능성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

조간대의 일차생산은 퇴적물과 미세조류가 혼합되어 있는 상태에서 조사되므로 실험과정이 매우 복잡하며, 퇴적물의 표층에서는 엽록소-a 농도, 온도, 광, 염분 등 일차생산에 영향을 주는 요인들이 급격한 변화를 나타내기 때문이다. 조간대 퇴적물에서의 미세조류에 의한 일차생산은 생물학적 또는 비생물학적인 다양한 환경요인과 이들 환경인자들의 급격한 변화에 의해 지배를 받으나(Shaffer, 1988; Sullivan and Moncreiff, 1988; Gould and Gallagher, 1990), 일차생산력을 결정하는 가장 중요한 요인은 미세조류의 광에 대한 생리적 반응과 퇴적물 내에서의 수직이동으로 나타난다. 많은 저서성 돌말류에서 나타나는 조석 및 빛에 따른 주기적 수직이동은 퇴적물 표층에서 주기적인 깊이별 생체량의 변화로 나타난다(Joint *et al.*, 1982; Paterson, 1986; Pinckney *et al.*, 1994). 이러한 생체량의 변화로 인해 조간대 퇴적물의 2~3mm 정도의 유광대층 내에서는 생산력의 주기적인 수직 변화를 보이게 된다(Pinckney and Zingmark, 1991, 1993). 따라서 조간대에서 보이는 역동적인 환경변화와 일차생산자의 생태학적 특성을 고려할 때, 퇴적물 표층에 나타나는 다양한 환경요인들의 미세한 시·공간적 변화에 대한 조사가 필요하며, 일차생산 측정시 이러한 환경특성들이 인위적으로 크게 변형되지 않는 세

밀합이 요구된다. 또한 조석주기에 따른 침수시간과 조고에 따라 수주내의 일
일 일차생산이 결정되므로 차후 모형화가 정리된 후에 결정되어야 하는 것으
로 나타났다.

제5절 동물플랑크톤의 분포와 조수에 의한 일주이동

5.1. 서론

해양생태계의 동물플랑크톤에는 다른 생물을 먹는 원생생물(heterotrophic protists, protozoans)과 여러 가지 무척추동물들(invertebrates), 그리고 치, 자어나 어란 등 척추동물이 포함된다. 일반적으로는, 원생생물과 어류를 제외하고, 플랑크톤 생활을 하는 무척추동물들을, 고전적인 개념에서 동물플랑크톤이라고 하는데, 여기에 속하는 분류군은 매우 넓은 범위를 갖는다. 이 가운데 높은 생물량을 보이며, 따라서 생태학적으로 중요하다고 인식되어온 동물플랑크톤은, 젤라틴 동물플랑크톤(gelatinous zooplankton)과 작은 갑각류의 동물군으로 크게 나눌 수 있다. 해파리류를 포함한 Hydrozoa, Scyphozoa가 속하는 자포동물문(Phylum Cnidaria), 빗해파리류의 Ctenophora문, 화살벌레의 Chaetognatha문, 살파류(salps)나 미충류(appendicularians; lавarceans)의 Urochordata아문, heteropods와 pteropods를 포함하는 연체동물문(Phylum Mollusca)들이 보통 젤라틴 동물플랑크톤에 속하는 것들이다(Newell and Newell, 1963). 동물플랑크톤에 속하는 갑각류는 보통 micro-, mesoplankton의 체장영역에 속하는 크기의 것들로, 지각류(cladocerans), 요각류(copepods), 곤쟁이(mysids), 난바다곤쟁이(euphausiids), 패충류(ostracods), 단각류(amphipods) 등이 해양에서 가장 많이 분포하는 종류들이다. 대형저서동물에 속하는 갑각류를 비롯한 많은 무척추동물들의 유생들도 플랑크톤 생활을 거치며, 중요한 생태학적 역할과 의미를 갖는다.

해양생태계에서 생물활동을 통한 물질의 순환과 그에 따르는 에너지의 흐름은 cyanobacteria, diatom과 dinoflagellate 등의 식물플랑크톤의 광합성이거나, 미생물 먹이망(microbial loop)에 관여하는 DOM과 bacteria, 그리고 nano-, microplankton 크기의 원생동물(protozoa)들에 의해 시작된다. 고전적인 개념의 먹이망(classical food web)이든지, 미생물 먹이망이든지 이렇게 1차 생산자에 의해 합성된 유기화합물은 이들을 섭식해서 에너지를 얻는 동물플랑크톤에 의해 다음 단계의 소비자로 전달된다(Fenchel, 1987). 소형갑각류와 젤라틴플랑크톤을 비롯한 이들 동물플랑크톤의 생물량은 보통 매우 큰 것

이어서 어떤 해역의 1차 생산력과, 어류나 무척추동물 등의 생물자원과의 관계에서 이들 동물플랑크톤을 매개로 조절되는 정도는 매우 크다 (Longhurst & Harrison, 1989). 이렇게 일차생산자와 고차소비자를 연결하는 동물플랑크톤의 생태학적인 기능은, 물리적인 환경에 대한, 그리고 포식-피식 관계(predator relationships)에 대한 적응방식으로의 분포와 이동패턴 등을 통해 변화한다. 그리고, 이 결과는 동물플랑크톤의 각 개체군의 변동과 생산력에 매우 중요한 영향을 미친다.

동물플랑크톤의 수직, 수평분포(depth distributional pattern 또는 horizontal distribution)와 수직이동(vertical migration) 등의 분포에 대한 현상과 패턴은 오래 전부터 많은 연구가 되어왔다. *Acartia*나 *Pseudodiaptomus* 등과 같이 연안에서 우점하는 요각류들의 계절적 천이와 수평적 분포 패턴은 물리적인 환경뿐만 아니라 먹이행동과 경쟁에도 관계가 있다(Greenwood, 1981; Ueda, 1987). 동물플랑크톤의 유영행동에 따른 포식자의 선택성과 포식압의 정도가 수평적인 분포패턴에 결정적인 영향을 주기도 한다(Paffenhofer, 1991). 동물플랑크톤은 보통 개체군의 서식처나 짝짓기 기회의 유지, 먹이분포와 포식압 등의 적응을 위해 불균등분포(patchiness)를 보이거나 swam을 형성하고 있으며(Hardy, 1936; Ueda, 1987; Ambler *et al.*, 1991), 종류나 생활사에 따라 다양한 깊이의 영역에서 분포한다(Longhurst, 1991). 동물플랑크톤은 일일 주기성을 갖는 수직이동을 보이는데(Zaret & Suffern, 1976), 효율적인 대사(energy bonus theory, McLaren, 1963; Enright, 1977), 수괴의 흐름이 수직적으로 다른 것을 이용해 먹이농도가 높은 곳으로의 효과적인 이동(Krebs & McCleery, 1984), zooxanthella와의 공생관계 유지(Hammer *et al.*, 1982), 개체군의 서식처 공간 유지(Bosch & Taylor, 1973), 포식압을 피하기 위한 수단(Hairstone, 1980; Ohman *et al.*, 1983; Gliwicz, 1986; Ohman, 1990), 동종이성의 확산을 막고 효과적으로 인식하기 위한 수단(Hayward 1981; Chae & Nishida 1995) 등이 그 생태학적인 의미로 해석되고 있다. Longhurst & Harrison(1989)의 'biological pump'의 개념은, 분포심도, 이동거리와 범위, 그리고 시기, 일주리듬에서 종 특이적인 동물플랑크톤의 분포패턴과 이동이 포식-피식 관계와 서로 연관되어 얼마나 커다란 생물량과 유기화합물을 이동시킬 수 있는가를 설명해주고 있다.

주변의 빛 환경의 변화에 의한 것이든(Forward & Stearns, 1984a; Forward, 1985; Chae & Nishida, 1995), 내인성 리듬(endogenous rhythm, Hiroki, 1988)에 의한 것이든, 동물플랑크톤이 갖는 고유한 수직이동과 그에 따른 확산이나 결집(aggregation) 등의 일일리듬(diurnal rhythm)이, 조수의 간만에 따라 주기적으로 변하는 물리적 환경요인에 노출되는 조간대에서, 동물의 분포를 어떻게 결정하는가에 대하여는 잘 알려져 있지 않다. 그리고, 이런 물리적 환경과 동물플랑크톤의 행동이 조간대에 어느 정도 생물량의 이동과 변화를 일으킬 수 있는가를 조사하는 것은 흥미로운 연구과제이며, 조간대에서 동물플랑크톤이 갖는 역할을 이해하는데, 먼저 풀어야 할 연구 과제이다. 이 연구에서는 강화도 남단의 조간대에 분포하는 동물플랑크톤의 군집의 계절적 변화에 대한 정보를 얻고, 조수의 리듬과 동물플랑크톤의 분포가 어떤 관계를 갖는가, 그리고 조류의 이동을 따라 어느 정도의 동물플랑크톤이 이동하는가를 이해하기 위해, 선상에서 예인용 플랑크톤네트(plankton net-tow), 조수를 이용한 조간대 채집기(intertidal trap)를 이용하는 방법으로 동물플랑크톤을 채집하였으며, 아울러 시간별 채집(time-serial collection)을 통해 분포의 깊이에 따른 차이와 일주기성 등을 조사하였다.

5.2. 재료 및 방법

1998년 4월 29일, 5월 29일, 그리고 10월 4일, 강화도 여차리 부근의 조간대에서 해안으로부터 1Km(정점 1), 1.5Km(정점 2), 2Km(정점 3)의 거리에 위치한 세 정점에서 동물플랑크톤의 종 구성과 개체군 밀도를 조사하였다 (Fig. 3-5-1). 시료의 채집은 원추형의 플랑크톤 네트(plankton net, conical type, mouth diameter: 0.42 m, mesh aperture: 330 μ m)를 이용하여, 약 1m sec⁻¹의 속도를 유지하며 경사방향으로 바닥부터 수면까지 예망(towing)하였다. 채집은, 불균등분포 등에 의한 오차를 줄이기 위해, 한 정점에서 3-5회 반복하였다. 시료는 채집한 즉시, 최종혼합 농도가 5%가 되도록 중성포르말린 (5% neutralized formaldehyde/ seawater)으로 고정하였다. 균등하게 섞은 전체 시료 가운데 일정량(1/50-1/25)을 Bogorove 계수판에 넣고 해부현미경(SZ40, Olympus, SV11, Zeiss)에서 계수하고 이를 반복하여, 단위 체적 안의 개체수

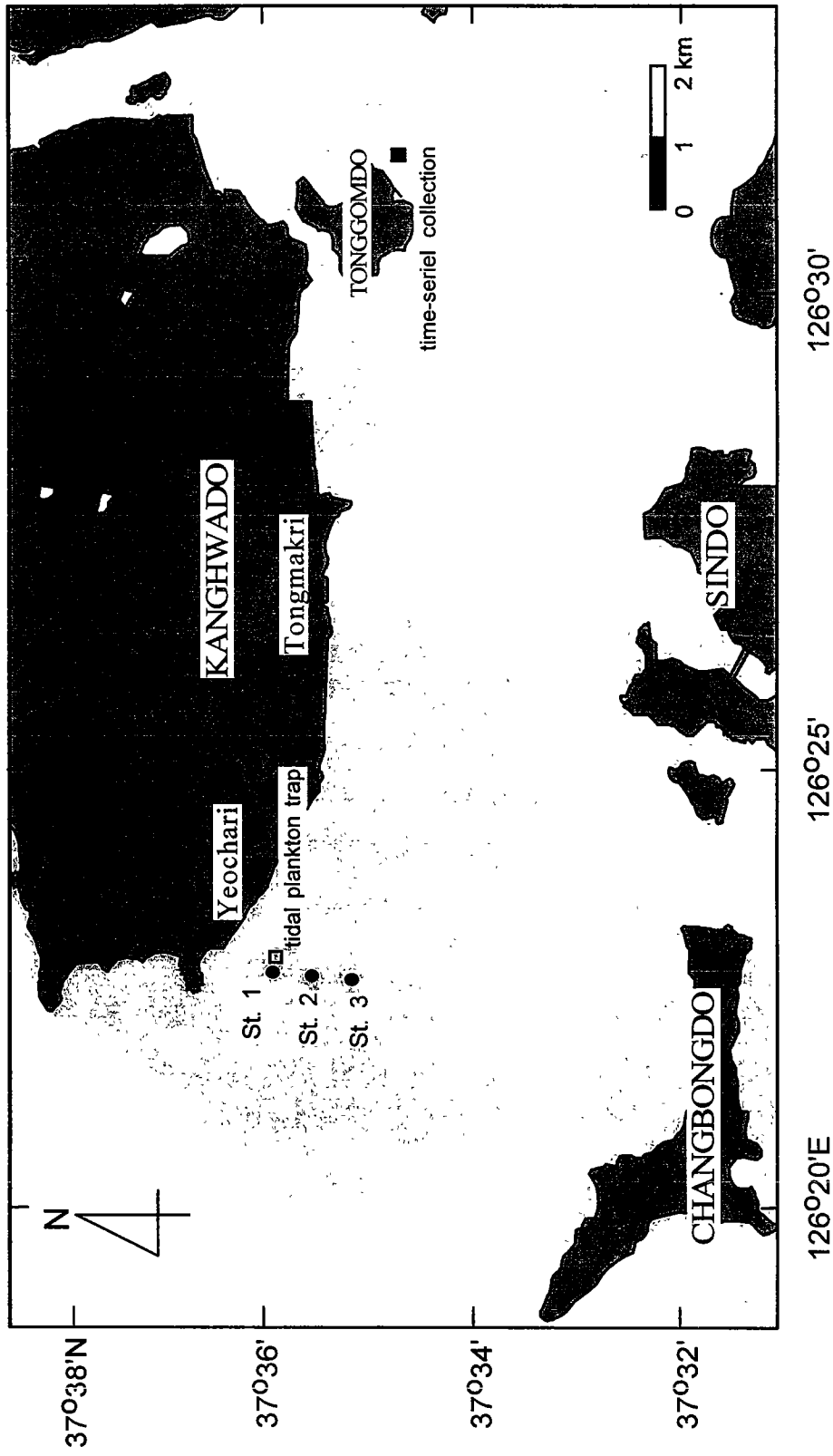


Fig. 3-5-1. Map showing the study area and sampling stations for zooplankton. Net-tow samples were collected at St. 1, 2 and 3 on April, 29 May and 4 Oct. in 1998. Times-series samples and tidal plankton-trap samples were collected on 29-30 May and 2-4 Oct. in 1998, respectively.

를 구하였다. 요각류의 분류를 위해서는 필요한 경우, lactic acid, glycerin 등을 이용해 시료를 닦아내고 부드럽게 해서 해부하거나, 뚜렷하게 부속지의 형태를 볼 수 있도록 하여, 광학현미경(Axioscop, Zeiss)으로 관찰하였다. 필요하다면, methylene blue나 Chlorazol Black E 등으로 염색하였다.

조수의 변화에 따른 동물플랑크톤의 일주 변화를 조사하기 위해 1998년 5월 29일 18:00 h부터 5월 30일 18:30 h까지 동검도 근처의 해안에서 약 700m 떨어진 곳의 한 정점에서(Fig. 3-5-1), 9회의 time series 채집을 하였다(Table 3-5-1). 채집은 원추형의 플랑크톤 네트(plankton net, conical type, mouth diameter: 0.42 m, mesh aperture: 330 μ m)를 이용하였으며, 조류를 이용하거나, 조류가 약할 때는 선상에서 걸어서 수평으로 예망 하였다. 네트에 여과된 해수는 네트의 입구에 설치한 유량계(flow meter)를 읽어 계산하였다. 조수의 변화에 의한 깊이를 고려하여, 약 2.5 m 이상일 때는 5월 30일 18:30 h을 제외하고, 약 1m \geq 의 표층과, 바닥에서 약 0.5 - 1m 정도 깊이의 저층으로 나누어 채집하였다. 시료의 처리는 위와 같이 하였으며, 각 분류군의 밀도는 단위 체적 안의 개체수로 나타내었다.

1998년 10월 2일부터 10월 4일까지 조수에 의한 동물플랑크톤의 이동을 조사하기 위해, 각각 3개씩의 emergence trap(modified from Aldredge & King, 1980)과 intertidal plankton trap(modified from Setran, 1992)을 이용하여, 낮의 밀물 때와 밤의 밀물 때를 구분하여 채집하였다. 그리고, 플랑크톤 네트 앞부분으로부터의 줄을 짧게 고정하고, 망구(net mouth)가 조류의 반대 방향으로 고정되도록 조정한 후, cod-end가 바닥에 닿지 않도록 설치한 plankton net trap도 동시에 이용하여, intertidal plankton trap의 자료와 비교하여, 채집장비로서의 가능성을 시험했다. 시료는 각각 간조 때의 이른 아침과 오후 늦게 회수하였으며, 시료의 처리는 위와 같이 하였다.

5.3. 결과

5.3.1. 여차리 주변해역에 출현한 동물플랑크톤의 종조성과 개체군밀도

여차리 부근 해역에서 만조 때 출현한 동물플랑크톤의 분류군과 개체군 밀

Table 3-5-1. Data on the time-seriel collections in May, 1998

Date	Time	Sampling Depth
29 May	18:00	1.0
		4.5
	22:00	1.0
		4.0
30 May	0:00	0.5
	6:00	1.0
		5.0
		1.0
	9:00	3.5
		1.0
	11:30	1.0
		2.0
13:30	0.5	
16:30	1.0	
18:30	1.0	

도는 Table 3-5-2, 3-5-3, 3-5-4와 같다. 1998년 4월에는 조성과 밀도는 정점 사이에 거의 차이를 보이지 않고 있다. 모악류 *Sagitta crassa*와 다모류, 치자어를 제외하고는, Calanus목에 속하는 종이 모두 9종 출현한 요각류, 따개비와 십각목의 유생을 비롯한 갑각류에 속하는 동물들이 주로 출현하여 전체의 98%를 차지하였다. 갑각류 가운데에서도 가장 다양하고 높은 밀도를 보이는 종류는 요각류로서 전체 동물플랑크톤에 대해서 89.5%를 점유하는 최우점군이였다. 그리고 따개비의 nauplius와 cyprid기의 유생이 6.7%, 십각목 갑각류의 zoea기 유생이 2.6%를 각각 차지하였다(Table 3-5-5). 전 정점에서 가장 우점한 종은 요각류 가운데 *Acartia bifilosa*인데 세 정점의 평균 밀도가 4112 개체 m^{-3} 으로 매우 높았으며, 같은 속의 *A. hudsonica*도 높은 밀도(평균 303 개체 m^{-3})를 보였다(Table 3-5-6). *Eurytemora pacifica* 역시 세 정점에서 차이가 거의 없는 높은 개체수밀도를 보여(평균 756 개체 m^{-3}) 전체 요각류 가운데 13.7%를 점유하였다. *Paracalanus crassirostris*와 *Calanus sinicus*는 바깥 정점에서 비교적 높은 밀도로 출현하였고, *Centrophages abdominalis*와 *Labidocera euchaeta*가 정점사이의 차이를 거의 보이지 않고 비교적 높은 밀도로 나타났다.

5월 29일에 채집된 동물플랑크톤은 4월과 크게 다르지 않은 종 조성을 보이고 있으나, 4월에는 채집되지 않았던 lavaceans(*Oikopleura dioica*), hydrozoans, ostracods 등이 새롭게 보이고 있으며, 대신 곤쟁이(mysids)나 난바다곤쟁이(euphausiids), 그리고 따개비의 유생 등이 출현하지 않았다(Table 3-5-3). 가장 다양한 Calanus목 요각류에서는 *Acartia hudsonica*, *Labidocera euchaeta* 등이 출현하지 않았다. 대신 Poecilostomatoida목의 *Corycaeus affinis*가 적은 양으로 정점 1과 3에서 출현하였다. 5월말의 요각류는 전체적으로 밀도가 4월에 비해 줄었으나, 아직 높은 수치를 기록하고 있으며(세 정점 평균 2749 개체 m^{-3}), 전체 동물플랑크톤 가운데 72.4%를 점유하였다(Table 3-5-5). zoea 유생이 4월에 비해 매우 높게 출현해서 전 정점에서의 평균이 759개체 m^{-3} 으로, 20.0%를 차지하였다. 요각류 가운데는 5월에도 *Acartia bifilosa*가 가장 우점했으며(70.7%), *Paracalanus crassirostris*와 *P. indicus*가 각각 전체 요각류에 대해 9.7%, 8.8%를 점유하며 출현하였다(Table 3-5-6).

Table 3-5-2. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 29 April, 1998

		(Unit: No. of Indiv. m ⁻³)		
category (taxon and species)		St. 1	St. 2	St. 3
chaetognaths				
	<i>Sagitta crassa</i>	11		12
amphipods		22	10	12
copepods				
	<i>Acartia bifilosa</i>	4133	4334	3869
	<i>A. hudsonica</i>	267	354	288
	<i>Calanus sinicus</i>	44	68	124
	<i>Centropages abdominalis</i>	67	55	42
	<i>Eurytemora pacifica</i>	711	812	745
	<i>Labidocera euchaeta</i>	56	87	65
	<i>Paracalanus crassirostris</i>	67	45	123
	<i>P. indicus</i>	22	33	55
	<i>Tortanus spinicaudatus</i>	33	18	22
	harpacticoid copepods	33	7	12
euphausiids		11	23	7
mysids		22	36	13
banacle larvae, nauplius		311	298	270
banacle larvae, cyprid		133	98	126
decapod larvae, zoea		156	206	124
other decapod larvae		22	10	
polychaetes, larvae or pelagic form		11		
larval fish		6		
total		6139	6494	5909

Table 3-5-3. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 29 May, 1998

(Unit: No. of Indiv. m ⁻³)			
category (taxon and species)	St. 1	St. 2	St. 3
appendicularians			
<i>Oikopleura dioica</i>	21	123	54
chaetognaths			
<i>Sagitta crassa</i>	52	67	10
amphipods	29	12	48
copepods			
<i>Acartia bifilosa</i>	1531	2754	1549
<i>Calanus sinicus</i>	43	98	96
<i>Centropages abdominalis</i>	181	40	160
<i>Corycaeus affinis</i>	14		52
<i>Eurytemora pacifica</i>	14	27	120
<i>Paracalanus crassirostris</i>	202	421	177
<i>P. indicus</i>	282	147	297
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	14	20	8
ostracods	36		8
decapod larvae, zoea	985	842	451
other decapod larvae	15	54	78
polychaetes, larvae or pelagic form			8
hydrozoans (medusa form)	7	56	24
larval fish	7	24	28
fish eggs	42	54	10
total	3475	4739	3178

Table 3-5-4. Abundance of zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari on 4 Oct., 1998

(Unit: No. of Indiv. m ⁻³)		
category (taxon and species)	St. 2	St. 3
cladoerans		
<i>Evadne tergestina</i>	32	56
copepods		
<i>Acartia bifilosa</i>	25	12
<i>A. pacifica</i>	12	15
<i>Calanopia thompsoni</i>	56	120
<i>Calanus sinicus</i>	2	*
<i>Corycaeus affinis</i>	32	45
<i>Paracalanus crassirostris</i>	223	245
<i>P. indicus</i>	129	111
<i>Tortanus forcipatus</i>	25	20
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	10	*
ostracods	10	*
banacle larvae, nauplius	873	1142
banacle larvae, cyprid	89	45
decapod larvae, zoea	54	35
other decapod larvae	5	
larval fish	4	
total	1549	1790

* indicates the abundance (number of indiv. m⁻³) which is lower than 1 after calculation

Table 3-5-5. Percentage of abundance in No. of Indiv. m^{-3} of dominant zooplankton occurred in adjacent water to Yeochari in 29 April, 29 May and 4 Oct., 1998

29-Apr

taxon	abundance	percentage
copepods	5530	89.5%
banacle larvae	412	6.7%
decapod zoea	162	2.6%
others	76	1.2%

29-May

taxon	abundance	percentage
copepods	2749	72.4%
decapod larvae, zoea	759	20.0%
lavaceans	66	1.7%
chaetognaths	43	1.1%
other crustaceans	94	2.5%
others	87	2.3%

04-Oct

taxon	abundance	percentage
banacle larvae	1075	62.7%
copepods	541	31.6%
decapod larvae, zoea	45	2.6%
cladoerans	44	2.6%
others	10	0.6%

Table 3-5-6. Percentage of abundance in No. of Indiv. m⁻³ of dominant copepods to total copepods occurred in adjacent water to Yeochari in 29 April, 29 May and 4 Oct., 1998

29-Apr		
species	abundance	percentage
<i>Acartia bifilosa</i>	4112	74.4%
<i>A. hudsonica</i>	303	5.5%
<i>Eurytemora pacifica</i>	756	13.7%
others	359	6.5%

29-May		
species	abundance	percentage
<i>Acartia bifilosa</i>	1945	70.7%
<i>Calanus sinicus</i>	79	2.9%
<i>Centropages abdominalis</i>	127	4.6%
<i>Corycaeus affinis</i>	22	0.8%
<i>Eurytemora pacifica</i>	54	2.0%
<i>Paracalanus crassirostris</i>	267	9.7%
<i>P. indicus</i>	242	8.8%
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	14	0.5%

04-Oct		
species	abundance	percentage
<i>Paracalanus crassirostris</i>	234	43.3%
<i>P. indicus</i>	120	22.2%
<i>Calanopia thompsoni</i>	88	16.3%
<i>Corycaeus affinis</i>	39	7.1%
others	62	11.5%

10월은 전체적으로 동물플랑크톤의 군집 밀도가 4, 5월에 비해 낮았고(각 정점에서 1549개체 m^{-3} , 1790개체 m^{-3}), 종 조성의 변화도 다소 보였다(Table 3-5-4). 지각류인 *Evadne tergestina*가 새롭게 출현하였으며, 요각류 가운데 *Acartia pacifica*, *Calanopia thompsoni*, *Tortanus forcipatus*가 새롭게 출현하였다. 출현량의 비율은 크게 달라져서 가장 우점한 종류는 따개비의 유생(nauplius와 cyprid기를 모두 포함)으로 전체의 62.7%를 점유하였고, 요각류가 31.6%를 차지하였다(Table 3-5-5). Calanus 요각류 가운데 우점하는 종류도 달라져서, *Paracalanus crassirostris*, *P. indicus*, *Calanopia thompsoni* 등이 가장 우점하였다. 10월의 동물플랑크톤 군집이 4, 5월과 크게 차이를 보인 것은 전반적으로 *A. bifilosa*의 출현밀도가 매우 낮아진데서 비롯하였다.

5.3.2. 조수의 변화에 따른 동물플랑크톤 분포의 일주변화

5월의 연속채집(time-serial collection)에서 출현한 분류군과 종들의 조성은 곤쟁이와 따개비 유생이 더 높게 출현한 것을 제외하고는 같은 시기에 여차리의 주변 해역에서 채집한 것과 거의 유사한 양상을 보였다(Table 3-5-7). 결과적으로는 이 지역의 동물플랑크톤의 현존량이 매우 높으면서, 조수간만이 동물플랑크톤 분포의 일주 변화(diel change)에 큰 영향을 주고 있다는 결과를 보였다(Fig. 3-5-2). 가장 우점한 종들에서 예를 들면, 야간의 간조기 가운데 정점에서 10월 29일 24시 (30일 0시) 이후 약 2시간을 제외하고 조사 정점에서 해수가 존재할 때, 23일 오전 6시경부터 11시 30분까지의 사이에 가장 높은 출현밀도를 보였다(Fig. 3-5-3). 요각류 가운데는 *Acartia bifilosa*와 *Calanus sinicus*가 대단히 높은 밀도로 각각 오전 11시 30분과 6시에 출현하였고, *Labidocera euchaeta*와 *Paracalanus crassirostris*도 같은 경향을 보였다. 십각목 갑각류(decapod)의 zoea 유생은 매우 극적인 변화를 보여주고 있는데, 오전 9시와 11시 30분의 시료에서 대단히 높은 개체군 밀도를 보였다. 특히, 오전 9시의 시료에서는 45,463 개체 m^{-3} 의 극히 높은 밀도를 보이고 있다. 이들 우점종들의 출현밀도 깊이에 따라서도 차이를 보이는 경우가 많았다. *Sagitta crassa*, *A. bifilosa*, *C. sinicus*, *L. euchaeta*, *P.*

Table 3-5-7. Diel variation in abundance of zooplankton collected by time-seriel tow in adjacent water to Tongmakri on 29-30 May, 1998

category (taxon and species)	(No. of Indiv. m ⁻³)						
	18:00		22:00		0:00	6:00	
	surface	bottom	surface	bottom		surface	bottom
appendicularians							
<i>Oikopleura dioica</i>	152	65	312	339		*	151
chaetognaths							
<i>Sagitta crassa</i>	32	12	874	420		81	698
amphipods			26		110		
copepods							
<i>Acartia bifilosa</i>	311	321	730	854	304	42	1688
<i>Calanus sinicus</i>	32	*	487	278	83	18	2820
<i>Centropages abdominalis</i>	32	*			28		60
<i>Eurytemora pacifica</i>	32						
<i>Labidocera euchaeta</i>		12	271	126	36		1206
<i>Paracalanus crassirostris</i>	64	54	152			24	548
<i>P. indicus</i>	87	32	215	395		20	721
<i>Sinocalanus tenellus</i>	12						
<i>Tortanus spinicaudatus</i>						4	
mysids	1320	1220	183	94	1214	264	335
banacle larvae, nauplius				29		*	64
banacle larvae, cyprid	32			98	28	*	214
decapod larvae, zoea	245	453	450	345		24	395
decapod larvae, megalopa	10						
other decapod larvae	31						
hydrozoans (medusa form)				17			
larval fish	21						93
fish eggs			12			20	
total	2413	2169	3712	2995	1803	497	8993

* indicates the abundance (number of indiv. m⁻³) which is lower than 1 after calculation.

Table 3-5-7. Continued

category (taxon and species)	(No. of Indiv. m ⁻³)							
	9:00		11:30		13:30	16:30	18:30	
	surface	bottom	surface	bottom				
appendicularians								
<i>Oikopleura dioica</i>	15	13	12	10		*		
chaetognaths								
<i>Sagitta crassa</i>	597	1247	602	532	23	*	*	*
amphipods								
copepods								
<i>Acartia bifilosa</i>	990	2159	5120	5354	102	289	295	
<i>Calanus sinicus</i>	154	274	1446	356	54	*	*	
<i>Centropages abdominalis</i>	15	13						30
<i>Eurytemora pacifica</i>								
<i>Labidocera euchaeta</i>	102	291	25	63				
<i>Paracalanus crassirostris</i>	58	423	239	214	*	*	*	
<i>P. indicus</i>	146	1031	624	422	*	72	*	
<i>Sinocalanus tenellus</i>								
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	15							
mysids	44	423	191	12	*	*	240	
banacle larvae, nauplius	29							
banacle larvae, cyprid		793	121	181	*		90	
decapod larvae, zoea	117	45463	16562	21856	*	210	150	
decapod larvae, megalopa		13	12					
other decapod larvae		79	124	72				
hydrozoans (medusa form)	15	13	12					
larval fish		159						30
fish eggs		53						
total	2297	52447	25090	29072	179	571	835	

* indicates the abundance (number of indiv. m⁻³) which is lower than 1 after calculation.

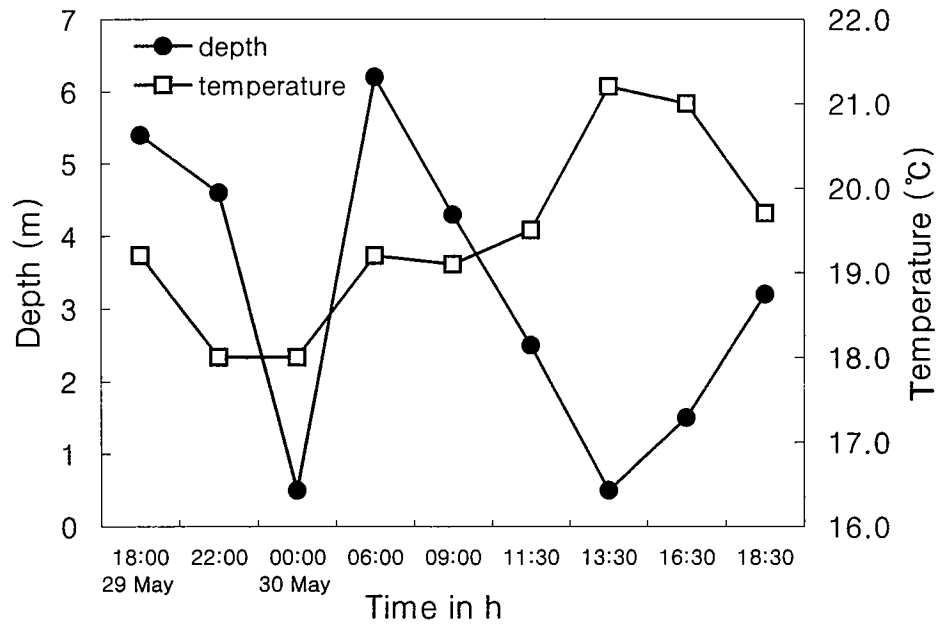


Fig. 3-5-2. Diel change in depth and water temperature during time serial collection on 29-30 May in 1998.

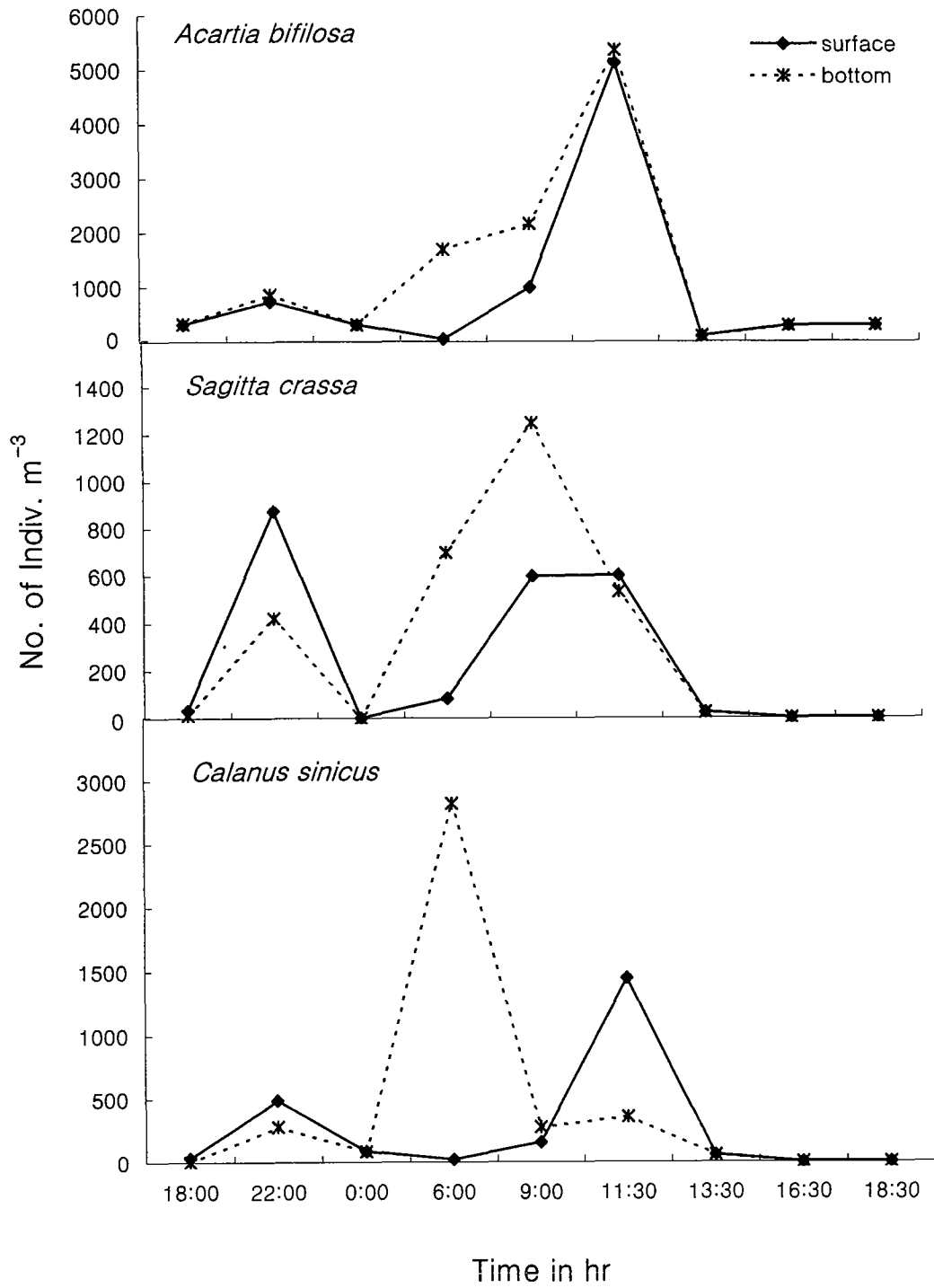


Fig. 3-5-3. Diel variation of abundance in dominant zooplankton collected during time-series sampling on 29-30 May in 1998.

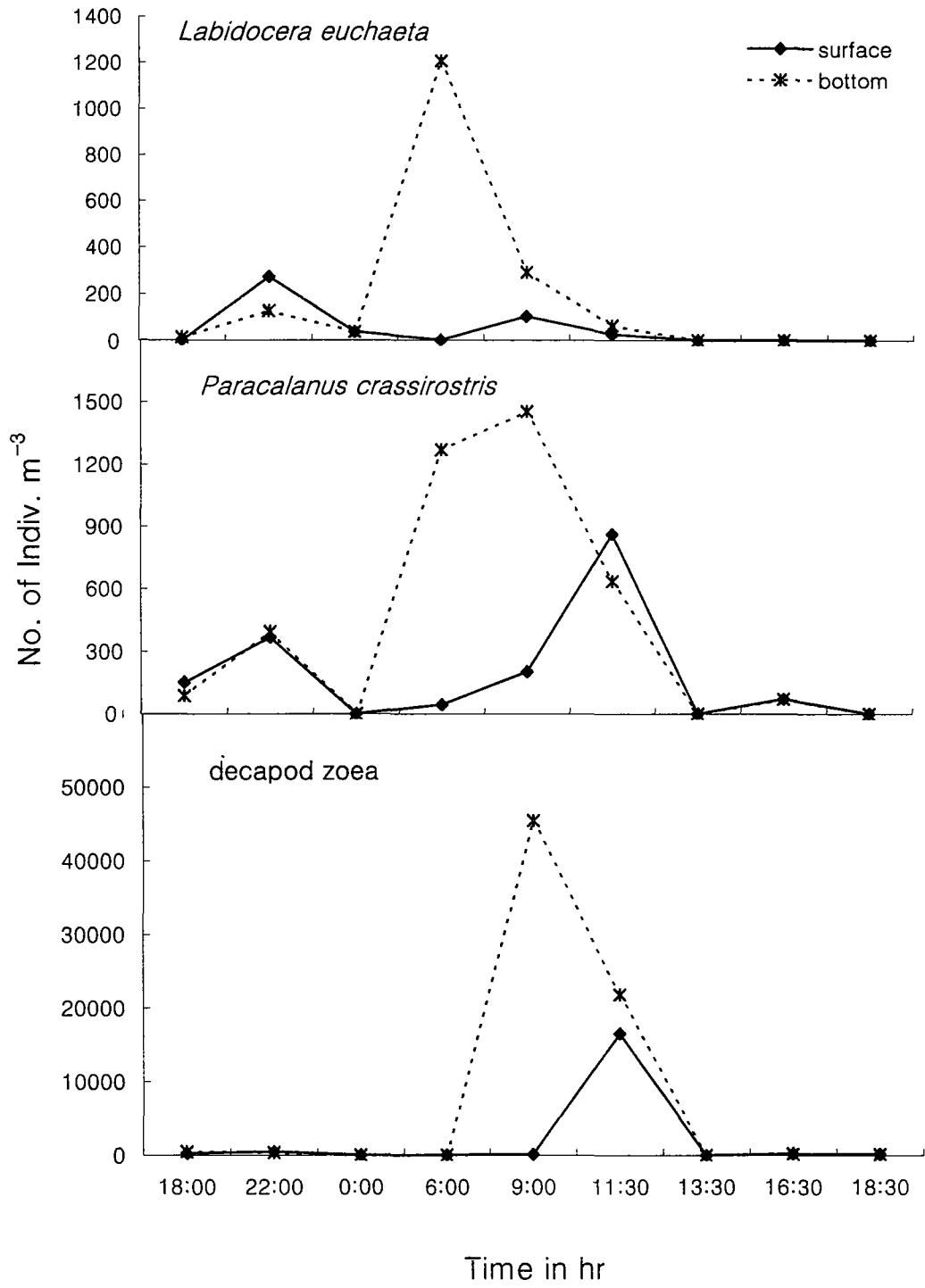


Fig. 3-5-3. Continued

crassirostris, 그리고 decapod larvae들은 공통적으로 수심이 깊을 때인 오전 6시에서 9시 사이에 저층에서 더 많이 출현하였다. 반면에 29일 밤에는 표층과 저층이 거의 같거나, 표층이 다소 높은 성향을 보이고 있다.

5.3.3. 조수에 의한 동물플랑크톤의 주야간 이동

10월, emergence trap에 의한 채집은 조수가 매우 세찬 이 지역에서는 부적절한 것으로 보인다. 채집이 끝난 후, trap을 설치한 바로 밑의 갯벌이 파이는 등, 조류가 trap의 높이 변화에 큰 영향을 준 듯하다. Intertidal plankton trap에 의하여 10월에 채집된 동물플랑크톤 가운데, 우점한 종류는 난바다곤쟁이류(euphausiids), 그리고 요각류 가운데 *Paracalanus crassirostris* 와 *P. indicus*, *Calanopia thompsoni*, 지각류인 *Evadne tergestina*, 따개비의 nauplius기 유생 등이었으며, 곤쟁이(mysids), 단각류(amphipods)와 패충류(ostracods), 다모류(polychaetes) 등이 다소 채집되었다. trap에 채집된 동물플랑크톤은 매우 많은 양의 시료가 채집 기구 안에서 강한 압력을 받은 데다 장시간 공기 중에 노출되어 있었기 때문에 특히 작은 갑각류 시료들의 상태가 좋지 않았다. 그러나, 난바다곤쟁이류는 비교적 단단한 cuticle 때문인지 좋은 상태를 유지하고 있어, 이 분류군을 데이터화하였다. Table 3-5-8은 밤과 낮의 밀물에 의해 채집된 난바다곤쟁이류의 개체수인데, 밤의 밀물에 의한 동물의 이동개체수가 낮의 것에 의한 것보다 유의하게 많았다. plankton net trap에서의 결과도 intertidal plankton trap의 구경 비를 환산하여 얻었는데, 개체수의 변화에서는 같은 경향을 보였으나, intertidal plankton trap에서보다 많은 개체수를 얻었다(Table 3-5-9).

5.4. 고찰

조사지역에 출현한 동물플랑크톤은 대부분이 갑각류이었다. 그 가운데에서도 가장 중요한 것은 요각류, 곤쟁이와 난바다곤쟁이류, 따개비의 유생, 십각목의 zoea 기의 유생으로서, 이들 종류들이 동물플랑크톤 군집의 조성을 결정한다고 할 수 있다. 동물플랑크톤의 종조성과 그것의 시기에 따른 변화는, 특

Table 3-5-8. Abundance of euphausiids collected with a intertidal plankton trap on 2-4 Oct., 1998

Date	Day/Night	Abundance (Indiv./sample)
Oct. 2 - 3	night	1245 ± 270
Oct. 3	day	325 ± 218
Oct. 3 - 4	night	980 ± 124

Table 3-5-9. Abundance of euphausiids collected with a plankton-net trap on 2-4 Oct., 1998

Date	Day/Night	Abundance (Indiv./sample)
Oct. 2 - 3	night	1768
Oct. 3	day	657
Oct. 3 - 4	night	1450

히 요각류에 있어 경기만 일대와 황해해안에서 앞서 수행된 연구와 매우 일치한다. *Acartia bifilosa*는 영광, 안산, 인천항 등의 황해에서 가장 우점하는 종이며, 대부분 봄철에 가장 많은 출현개체수를 기록하였다(Kim, 1985; Kim, 1987; 임, 1994). *A. hudsonica*는 한국근해에서 일년 내내 출현하는 종으로 다른 *Acartia* 속의 종에 비해 높지 않은 개체군 밀도를 일반적으로 보인다. 마산만에서의 출현량은 봄에 가장 높았으며, 여름, 가을, 겨울은 매우 낮은 밀도를 보이는 개체군 동태의 패턴을 보인다(Lim, 1994). *Calanus sinicus*는 내만에서도 많이 출현하지만, 외양역의 영향을 어느 정도 받는 냉수성 종으로 보고되어왔다(서와 서, 1993; 홍 외, 1994; 한 외, 1995). *Eurytemora pacifica*는 황해 연안에서 봄철에 많이 출현하는데, 인천항의 경우 88%의 우점률을 보이기도 하는 종이다(임, 1994). *Labidocera euchaeta*의 경우, 우리나라의 전 해역 연안에서 출현하지만, 봄철과 여름에 집중한다. 이번 조사에서도 4, 5월에는 출현하지만, 10월에는 전혀 보이지 않았으며, 대신 *Calanopia thompsoni*가 출현했다. *Paracalanus* 속의 두 종은 연안역에서 매우 흔한 종들이며, 남해나 동해에 비해, *Paracalanus complex* 가운데 *P. crassirostris*의 비중이 높다고 할 수 있다. 기수종으로 알려진 *Tortanus* 속의 요각류도 출현하였지만(Otsuka et al., 1992), 밀도는 낮았다. 요각류의 출현밀도도 앞서 연구된 황해연안의 그것에 비해 큰 차이를 보이지 않으며, 전체적으로 전형적인 황해연안의 종조성의 패턴을 잘 반영하고 있다.

5월의 time series 조사에서, 조수의 리듬이 동물플랑크톤 분포의 일일변화에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 전체적으로 *Sagitta crassa*를 제외하고는 낮 동안의 밀물보다는 밤 동안의 밀물이 동물플랑크톤의 이동에 영향을 많이 주는 것으로 여겨지는 결과를 얻었는데, 동물플랑크톤의 일주수직이동(diurnal vertical migration: DVM)이 관여하는 것으로 보인다. 요각류, 곤쟁이류 가운데 많은 개체군들은 낮 동안에 저층의 바닥에 분포하다가 밤에 수직회유를 하는 통상적인 수직회유자(normal vertical migrator)들이다(Zaret & Suffern, 1976; Brunel, 1979; Kaartvedt 1985 etc.). 보통, 연안역에 분포하는 개체군들은 얕은 수심의 바닥이 일주수직이동의 저해요인(barrier)으로 작용하기 때문에 낮 동안에 바닥에서 높은 밀도의 분포(near bottom aggregation, suprabenthic)를 이루는 경우가 많다(Forward &

Stearns, 1984; Stearns & Forward, 1984a; Forward, 1985). 예를 들면, 연안 역의 *Acartia* 요각류의 bottom aggregation은 종종 관찰되는 현상이고, 주변의 빛의 강도가 줄어드는 것이 수직이동 행동을 유발하는 것으로 알려져 있다 (Stearns & Forward, 1984b;). 계의 유생, *Acartia*속 요각류, 곤쟁이 등, 이번 조사에서 우점한 종류들과 유사한 분류군들은 정상적인 일주수직이동을 보이는 동물들이다(Brunel, 1979; Kaartvedt 1985; Forward & Stearns, 1984; Stearns & Forward, 1984a; Stearns & Forward, 1984b; Forward, 1985). 이번 조사의 결과는 아침의 썰물에서 높은 개체군이 발견되는 것은 밤 동안 수괴로 분산되었던 개체군들이 조류의 영향으로 내만까지 깊게 분포하고, 따라서 아침과 오전에 높은 밀도로 출현한데 비해, 낮의 만조때는 bottom aggregation 등에 의해 조류에 의한 이동량이 많지 않아 낮과 저녁에 낮은 출현량을 보인 것으로 해석할 수 있다. 동물플랑크톤의 일주수직이동에 의한 밤의 분산에 의해, 밤의 조류가 더 많은 개체수의 동물플랑크톤을 운반할 가능성은 10월의 tidal plankton trap을 이용한 조사에서도 보여지고 있다. 그러나, 종에 따라 형태나 크기, 그리고 시간적인 패턴이 다를 수 있는 동물플랑크톤의 불균등한 분포(patch distribution)와 이에 따라서 time series 채집이 다른 수괴의 다른 개체군이나, patch를 채집하게 되거나, 반대로 patch를 채집하지 못하는 경우에 의한 오차를 배제할 수는 없다. 그리고, 조사 지역에서 분포하는 동물플랑크톤 우점종 자체에 대한 정확한 수직분포와 이동에 대한 정보도 현재는 매우 미흡하다. 따라서, trap을 이용하거나, 수직분포에 대한 time series 채집을 해안에서부터 여러 거리를 두고, 실시해야 할 필요가 있다.

5월의 zoea 유생의 극히 높은 출현은 매우 흥미 있는 결과이지만, 생태학적인 의미를 파악하기에는 많은 자료가 더욱 필요하다. 우선, 유생의 동정이 현재로서는 어려운 상태이고, 이 지역에 우점하는 대형 저서 갑각류의 분포, 조성은 현재 활발히 진행되고 있지만, 생활사 가운데, 발생과 유생기의 성장, 착지 등 유생시기에 대한 정보는 없는 편이다. 만일, 유생시기에 대한 형태학 및 분류학적인 연구를 함께 수행한다면, 조수가 갑각류 유생의 확산에 어떤 역할을 하는가를 이해할 수 있을 것으로 예상된다.

10월의 두 가지 trap을 이용한 조사에서, 우선 plankton net나 또는 그것

을 변형한 trap의 사용가능성이 제시되었다. tidal plankton trap에 비해 net에 물이 여과되는 면적이 훨씬 넓기 때문에 채집 기구 안에서 펄이나 모래에 의해 주어지는 압력을 줄일 수 있을 것이다. 그리고, 10월의 결과에서 뚜렷한 분포 특징을 보인 euphausiid의 경우, 유생의 후기발생에 대한 형태학적인 연구와 섭식 습관에 대한 연구가 잘 진행되어있다(Suh *et al.* 1991; Suh *et al.* 1993). 조사 지역에서 이 종의 역할에 대해 이해하기 위해, 이 종류의 분포에 대한 보다 세밀한 관찰과 섭식에 대한 정량적인 연구가 기대된다.

생태계 내에서의 동물플랑크톤의 역할을 이해하는데는 섭식에 대한 정성적이고 정량적인 연구가 필요하다. 따라서, 동물플랑크톤의 섭식습관을 조사하는 데는 오랜 기간 동안 많은 방법들이 발달되어왔다(Paffenhofer *et al.*, 1982; Grisley & Boyle, 1985; Head & Harris, 1994). 그러나, 동물플랑크톤은 단순히 일차 생산자의 소비자로서의 역할을 하는 것 뿐만은 아니다(Lampitt, 1978; Gophen & Harris, 1981; Ohtsuka & Kubo, 1991) 그리고 시간, 계절이나 생활사의 변화, 먹이원의 분포나 영양상태 등에 따라 다양한 먹이 선택성과 행동을 가질 수 있다(Mauchline 1982; Turner, 1984; Simard, 1985; Cowles, 1988; Web *et al.*, 1988; Demott, 1989; Head *et al.*, 1994; Huntley, 1981). 조간대에서 분포하는 동물플랑크톤은 조수의 리듬에 따른 분포의 리듬과 일주수직이동, 불균등분포의 특성들이 서로 연관을 갖고 시공간적인 분포패턴을 결정한다(Trinast, 1975). 더욱이 조사해역에 출현한 동물플랑크톤들은 조간대의 동물플랑크톤의 생태학적인 역할을 이해하기 위해서는, 동물플랑크톤의 먹이원에 대한 선택성과 섭식률, 섭식리듬과 함께, 분포의 시공간적인 변화를 함께 연관해서 연구할 필요가 있다.

제6절 갯벌 주변의 염습지 식생과 저서생물의 분포

6.1. 서론

하구역에 형성되는 광활한 갯벌의 발달은 다양한 생물이 서식할 수 있는 환경여건을 제공한다. 하구역 갯벌의 주변부에는 염생식물이 군락을 이루고 서식하는 염습지가 나타나는데, 염생식물 군락은 지형 구조상 하구의 보호된 해안에 위치하여(Lana and Guiss, 1992), 외해의 파랑 등 외부환경에 노출되지 않고 강의 흐름과 조류에 따라 유동하는 많은 부유 입자성 퇴적물이 퇴적되는 곳이다. 이러한 지대는 비교적 퇴적환경이 안정되고, 육상으로부터의 풍부한 영양염이 유입되어 염생식물 군락이 발달하기에 이상적인 환경조건을 갖는다(Vogl, 1966; Del Moral and Watson, 1978; Kim et al., 1989). 염생식물은 해수의 유입에 의한 침수시간과 빈도, 토양의 염분도와 함수량, 담수의 유입과 침투, 증발 및 퇴적상 등의 환경요인에 의해 생육에 영향을 받는다(김과 임, 1988). 따라서 염습지는 다양한 해양환경과 육상환경 변화의 영향을 동시에 받는 조간대 최상부에 위치하는 지역으로 일종의 접이지대(transition area)라 할 수 있다. 위치적으로 물리적, 생물학적 작용이 다양하게 전개되고, 쉽게 접근이 가능하며 조사가 용이한 지역이라는 이유로 많은 생태학자들의 관심의 대상이 되어 왔다.

온대해역의 염생식물 군락은 경제적 가치가 있는 종의 성육장이나 유기물의 공급원으로 주변해역의 생산력에 중요한 영향을 미치는 곳으로 잘 알려져 있을 뿐만 아니라 그 외곽에 넓게 펼쳐진 갯벌 생태계를 안정적으로 유지시키는데 기여한다(Lana and Guiss, 1992; Frey and Basan, 1985). 특히 식물의 높은 생산력은 미생물의 분해를 통하여 전 갯벌 생태계의 먹이망의 근간이 되기도 한다(Montague, 1982). 또한 염생식물 군락은 갯벌이 가지고 있는 정화 작용에도 그 일익을 담당하며, 육상으로부터 유입되는 많은 영양염류와 오염 물질을 흡수하고, 해양생물의 난(卵) 발생에 영향을 미치는 부유 퇴적물을 감소시키는 기능적인 역할을 한다. 또한, 자연재해와 기후 조절의 기능을 담당하기도 한다(홍, 1998).

우리 나라 해안에는 크고 작은 강들이 많아 강의 하구역에 이웃한 염생식

물 군락이 전 해안 여러 곳에서 나타나고 있다. 강의 하구역은 일반적인 펄 또는 모래 갯벌보다는 지반이 견고하고 육지와 보다 인접해 있기에 개발이 용이하다. 이로 인해 훼손의 정도가 일반 갯벌보다 더 심각하다. 따라서 자연상태를 그대로 유지하고 있는 염습지는 많지 않은 실정이다. 국내의 염습지 식생에 대한 연구는 1950년대부터 시작되었으며, 홍(1956, 1958)은 인천과 영종도 주변의 해안 식생에 대해 조사하였다. 이후 인천의 가좌와 주안의 해안 식생 조사(임, 1961; 박, 1963)와 인천 해안 간사지 토양의 염도구배에 따른 식생 분포 연구(김, 1971; 김, 1975), 그리고 식물의 연속구조 조사(박, 1970) 등이 수행되었다. 강화도 식생 조사는 홍 등(1970)이 활발한 간척사업으로 인해 형성된 강화도 초지리의 염생식물 군락내의 고염분 토양에서 식생을 이용한 염분 제거방법에 대한 실험을 하였다.

1980~1990년대에의 염생식물에 관한 연구는 간척지 내 식물종자의 내염성과 발아(김, 1980), 토양환경과 염생식물 군집(김과 민, 1983; 임, 1987), 염생식물의 무기염류 축적과 순환(Min and Kim, 1983; Kim *et al.*, 1989; 민, 1990), 물질 생산과 에너지 유전(김과 유, 1985), 갈대와 산조플의 개체군 동태(정과 김, 1989; 1991), 식물 생산량과 평가기법 비교(윤, 1991; Ryu and Kim, 1985) 등의 연구가 수행되었으며, 염습지 식생 내에 서식하는 저서동물에 대한 연구는 김 등(1982), 김과 오(1982), 고 등(1984)의 연구가 일부 있을 뿐이다. 염습지 식생 내의 저서동물에 대한 연구는 활발하지 못했다. 그러나 외국의 경우 염습지내 저서동물에 대한 연구는 다양하게 수행되어 있다. 저서동물의 시·공간적 분포(Kneib, 1984; Rader, 1984; Berman and Carlton, 1991; Sarda, *et al.*, 1995)와 니질 퇴적물내 동물간의 생물학적 상호작용(Johnson, 1967; Bertness, 1972; Ranwell, 1972; Penning and Callaway, 1992; Bertness and Ellison, 1987; Bell, 1980; Kneib and Stiven, 1982; Lieth and Moschenko, 1998), 기질과 환경구배에 따른 저서동물의 분포(Gray, 1974; Frey and Basan, 1985; Craft *et al.*, 1988) 및 염습지 식생과 저서동물과의 관계 (Dacey and Howes, 1984; Capehart and Hackney, 1989; Lana and Guiss, 1991; 1992) 등이 연구되었다. 그러나 국내의 염습지에 대한 조사는 주로 간척과 매립이 활발히 진행되었던 서해안을 중심으로 대부분 염생식물만을 대상으로 한 조사였으며, 저서동물과의 관계를 고려한 것은 상대적으로 미

진하였다. 염습지에 서식하는 저서동물의 종 조성은 갯벌과는 상이한 차이를 보일 것으로 예상되며, 군집구조 또한 다를 것으로 보인다. 따라서 염습지의 생태계를 파악하기 위해서는 동·식물을 동시에 조사할 필요성이 있으며, 염생식물의 고사체가 미생물에 의해 분해되는 과정과 다른 영양단계로 전이되는 과정도 함께 조사되어야 전반적인 염습지 생태계의 특성을 규명 할 수 있을 것이다.

본 연구는 염습지 생태계 연구를 위한 기초조사의 일환으로 염습지 식생에 서식하는 저서생물의 시·공간적 분포를 조사하여 분포양상을 파악하고, 분포에 영향을 미치는 환경요인에 대해 밝히고자 하였다. 따라서 이러한 연구를 통해 염생식물 군락지가 조간대의 일부분을 점유하고 있지만, 갯벌 생태계와는 다른 하나의 생태계를 구성하여 갯벌 생태계의 기능과 역할에 상당한 영향을 주며, 갯벌 생태계의 일부분을 차지하고 있는 염생식물 서식지 복원을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

6.2. 재료 및 방법

6.2.1. 연구지역

본 연구지역인 동검도는 위도 $37^{\circ} 34' 60'' \sim 35' 70''$, 경도 $126^{\circ} 30' 50'' \sim 31' 80''$ 에 위치한다(Fig. 3-6-1). 북쪽 해안은 경기만의 북부에 위치한 강화도 길상면의 남쪽 해안과 수로를 사이에 두고 연육교로 연결되어 조류의 유동이 막혀 있는 상태이다. 남동쪽 해안은 한강의 한 지류가 강화도와 김포반도 사이를 폭이 300~1,000 m인 염하수로를 통과한다. 조사지역의 하부 조간대는 동검수로와 염하수도가 교차하는 지역에 위치하고 있어 상류로부터 유입되는 부유 퇴적물이 쌓여 넓은 필갯벌이 펼쳐져 있다.

강화도의 연 평균 기온은 11.0°C 이며, 여름철에는 평균 24°C 전후이며, 겨울철은 최저 평균 -2.7°C 까지 나타나 염습지 식생이 얼음으로 덮히기도 한다.

동검도는 면적이 1.81 km^2 이고 총 해안선의 길이는 6.5 km이며, 주요 수산물은 실뱀장어, 송어, 농어, 꽃게 등을 어획하고 가무락 양식어장 1곳이 존재한다(최 등, 1997). 해안의 대부분은 석축 방조제를 쌓아 농지로 이용하고 있

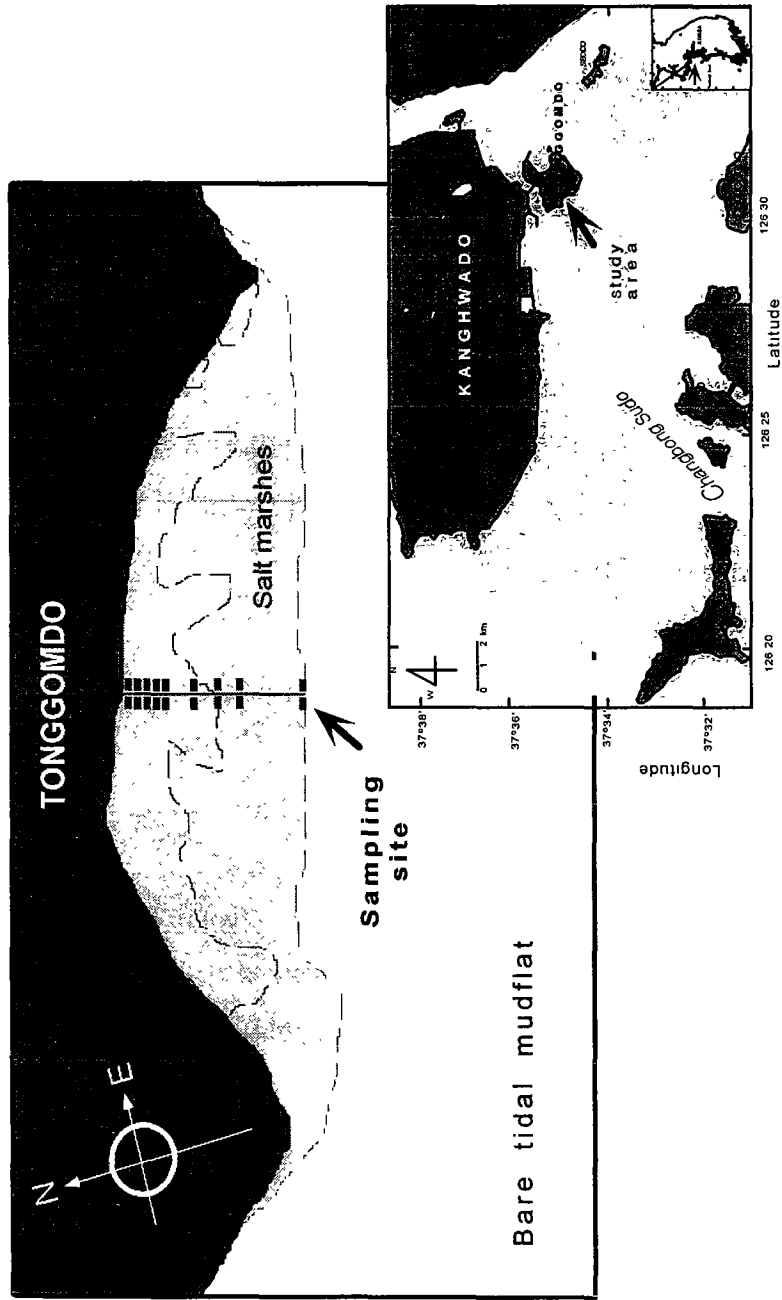


Fig. 3-6-1. A map showing the study area and sampling site in a salt marsh, Tonggom, Kanghwa Island, Korea

으며, 자연상태의 해안은 매우 적은 규모로 부분적으로 형성되어 있다. 본 조사지역도 석축방조제를 쌓아 농지로 활용하고 있으며 자연상태로 보존된 해안은 아니나, 염생식물 군락이 해안선을 따라 20~30 m의 폭을 유지하며 간조시 166 m까지는 칠면초(*Suaeda japonica*)군락이 넓게 분포하고 있다. 상부에는 주로 갈대(*Phragmites communis*)가 우점하는 군락을 형성하며 만조시 대부분의 염생식물이 해수에 잠기고, 최상부에 분포하는 천일사초(*Carex scabrifolia*)군락은 거의 연중 노출된 상태이나 조석이나 파랑의 영향으로 해수의 영향을 받고 지역이다.

6.2.2. 조사방법

본 조사는 1997년 7월부터 1998년 6월까지 12개월 동안 월별조사를 수행하였다. 염생식물 군락의 밀집도를 고려하여 수로를 향하여 직선으로 한 개의 조사지선을 선정하였다. 조사지점은 석축 방조제에서 750 cm 거리에 기준점을 정하였다. 이 기준점은 갈대가 분포하기 시작하는 지점의 1 m 앞에 위치한다. 이로부터 1, 3, 5, 7, 9, 15, 20, 34, 166 m 등 염생식물이 서식하는 분포 한선까지 9개의 조사 정점을 선정하여 조사를 수행하였다. 채집시기는 월별 조사시 30일 간격을 유지하였다.

가. 염생식물 및 저서동물의 채집

동경도 남쪽 해안 염습지에 선정된 각 지점에서 저서동물의 채집은 채집 면적이 0.026 m² (12×22×30 cm)의 상자형 주상시료채취기를 이용하여 2회씩 표층에서 15 cm 깊이까지 퇴적물을 전량 채취하였다. 채취 전에 지표면 위의 염생식물의 줄기는 절단하여 줄기와 염상체에 붙어있는 고등류들은 채집생물에 포함시켰다. 채취된 퇴적물을 즉시 실험실로 옮겨 식물의 뿌리를 분리한 후 망목 0.5 mm의 표준체로 분리하여 걸러냈다. 잔존 생물들은 10 % 중성 포르말린 해수용액으로 고정하였으며, 고정된 표본을 동물군 별로 선별하여 개체수와 습중량을 측정하고, 동물군에 따라 구분하여 동정한 후 80 % 알콜 용액이나 10 % 중성 포르말린 해수용액으로 보존하였다. 측정된 저서동물 자료

는 채집면적을 0.25m²로 환산하였다.

염생식물의 채집은 채집 면적이 0.25 m² (50×50 cm)의 방형구를 이용하여 지하부가 충분히 채취될 수 있도록 표층에서 15~30 cm 깊이까지 1회씩 전량 채집하였다. 채집 전에 종별 피도를 조사하고 사진촬영을 하였다. 방형구 안의 염생식물 줄기는 밑단을 절단하여 종을 구분하지 않고 채집하였으며 뿌리는 퇴적물과 함께 전량 채집하였다. 채집된 염생식물은 즉시 실험실로 옮겨와 줄기와 뿌리는 종을 구분하지 않은 상태로 이물질을 제거하고, 각각 습중량을 측정 후 건조기에서 80℃로 항량이 될 때까지 72시간 동안 건조시켜 건중량을 측정하였다. 중량 측정에는 0.001g 단위까지 측정이 가능한 전자저울(OHAUS, TP200)을 사용하였다.

조사지역 염습지에 우점하는 갈색새알조개(*Glauconome chinensis*)와 기수우렁이(*Assiminea lutea*)의 시·공간적 크기 분포패턴을 조사하기 위해 0.01 mm 까지 측정 가능한 디지털 버니어 캘리퍼를 이용하여 각 개체들의 각장과 각고, 각폭을 측정하였다. 크기를 측정 후 육질부와 패각을 포함하는 습중량을 각각 측정한 후, 건조기에서 80℃로 72시간 동안 건조시켜 건중량을 측정하였다.

나. 환경요인 측정

조사지역의 정점별, 월별 환경요인의 변화를 조사하기 위해 퇴적물 온도, 평균입도, 염분도, 함수량, 유기물 함량 등을 측정하였다. 입도와 유기물 분석을 위한 저질 시료는 표층 2 cm의 퇴적물을 채취하여 분석하였다.

퇴적물 온도는 현장에서 전자 온도계(HANNA, Model: 9063)를 사용하여 측정하였다. 표층퇴적물 온도는 0.5 cm 깊이를 기준으로 하여 측정하였으며, 퇴적물의 깊이별 온도 측정은 2, 5, 10, 15 cm 간격으로 최소 3회씩 반복하여 평균값을 사용하였다.

염분농도는 각 정점에서 간극수를 채수한 후 스포이드를 이용해 굴절계(Model: S/Mill-E)의 프리즘 위에 한 두 방울 떨어뜨려 눈금을 읽는 방법으로 현장에서 측정하였다. 이 측정을 3회씩 반복하여 평균값을 이용하였다.

함수량은 매월 일정량의 퇴적물을 표층과 수직으로 깊이 7 cm가 되게 정점

별로 채취하였으며, 채취한 저질시료를 건조기를 사용하여 105℃에서 24시간 동안 건조시킨 후, 건조 전 무게와 건조 후 무게의 차에 의해 수분함량을 구하고, 이를 건조 전 무게에 대한 백분율로 나타내었다.

퇴적물의 입도는 채취된 시료를 실험실로 운반하여, 이 중 5g을 비이커에 담아 10%의 H₂O₂로 유기물을 제거하고, 0.1 N-HCl로 탄산염을 제거했다. 시료를 4φ체를 이용하여 조립질과 세립질로 구분하여 4φ이하의 사질시료는 Ro-tap sieve shaker로 15분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였으며, 4φ이상의 니질시료는 2g을 0.1% calgon 용액을 넣고 교반시킨 후 X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5000D를 이용하여 입도무게 백분율을 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 변수를 구하였다.

유기물인 총 탄소량(TC), 질소, 황의 분석은 채취된 시료를 105℃로 건조시킨 후 약 5g을 취하여 200 μ m 정도의 입자 크기로 갈아서 분말 형태로 만든다. 분말 시료를 건조기에서 105℃로 24시간 건조시켜 수분을 제거한 후 대기 온도와 같도록 식힌다. 같은 시료를 약 10mg을 취하여 정확한 무게를 측정 한 후 Tin sample container로 감싼다. 전처리 과정이 완료된 시료를 Carlo Erba NA1500 CNS Analyzer를 이용하여 분석하였다. 분석된 자료는 BCSS-1(Marine sediment : N(0.205%), C(2.102%), S(0.36%))인 표준물질로 보정하여 최종 분석 값을 얻었다.

6.3. 결과

6.3.1. 환경요인

1991년 1월부터 1998년 6월까지 8년간 위도 37° 42' , 경도 126° 27' 의 위치에서 측정한 월별 기온자료(기상월보, 1991~1998. 6)와 1991년부터 1995년까지 5년 동안 인천 연안에서 측정한 수온자료(수로기술연보, 1991~1995)를 정리하였으며, 현장 자료로서는 1997년 7월부터 1998년 6월까지 조사지역에서 매월 정점별로 퇴적물의 층별(표층, 2, 5, 10, 15 cm)온도를 측정하여 나타냈다(Fig. 3-6-2).

조사지역의 월별 온도변화를 살펴보면, 태양의 방사량이 증가하는 여름철

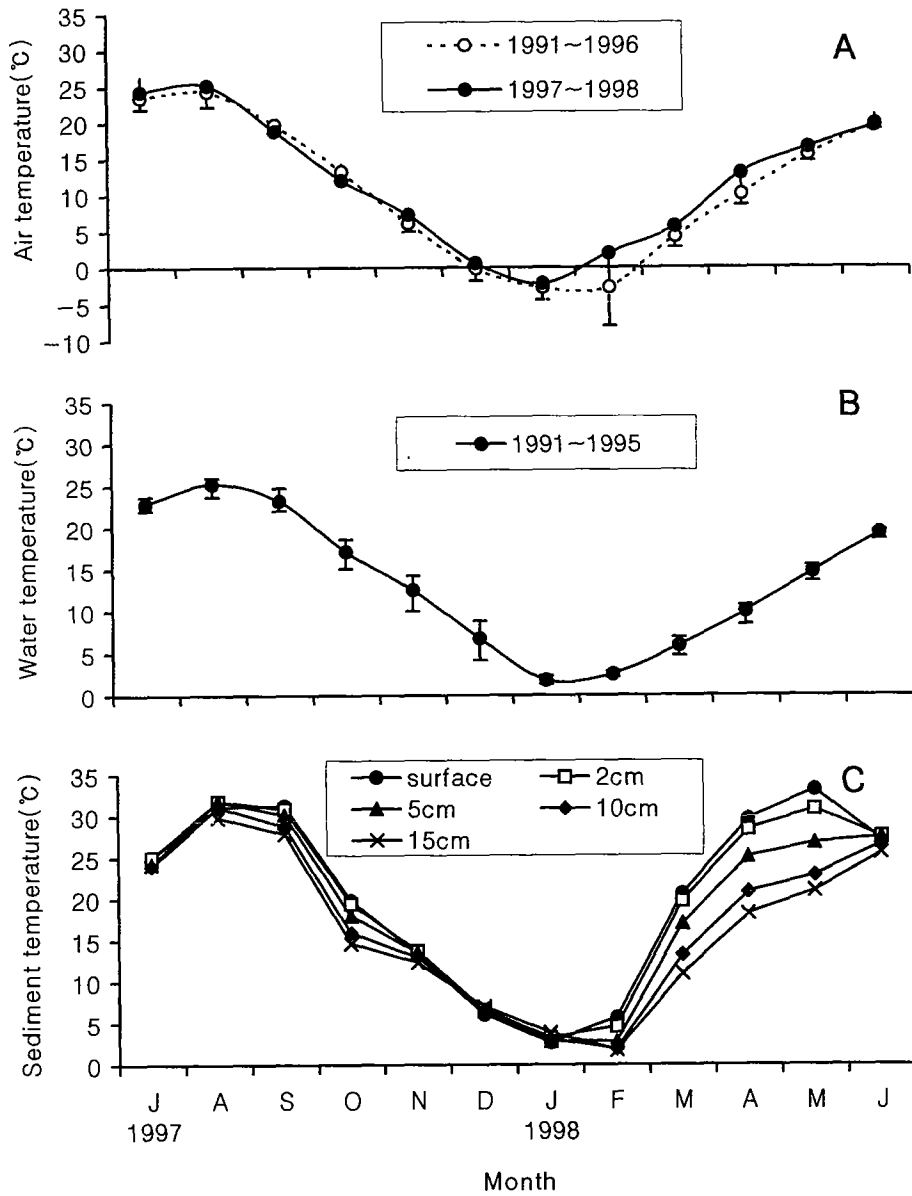


Fig. 3-6-2. Monthly variation of mean air temperature (A), mean water temperature (B) and vertical sediment temperature (C).

인 8월에 기온과 수온 및 표층 퇴적물 온도가 모두 높게 나타나고 있으며, 방사량이 적은 겨울철인 1월의 경우에는 기온과 수온 및 표층 퇴적물 온도는 모두 낮게 나타났다. 년 평균 온도는 기온의 경우 10.9℃, 수온은 13.5℃, 표층 퇴적물 온도는 20.5℃를 나타냈다. 8월의 경우 표층 퇴적물 온도가 기온보다 6.6℃ 정도 높게 나타나고 있으며, 1월의 경우에도 표층 퇴적물 온도가 기온보다 5.6℃ 정도 높게 나타났다. 그러나 9월의 경우 기온과 수온의 하강에도 불구하고 표층 퇴적물 온도는 31.1℃를 유지하고 있었으며, 2월은 기온, 수온 및 표층 퇴적물 온도가 모두 상승하나 퇴적물 깊이 5 cm와 10 cm층의 온도는 각각 2.8℃와 1.9℃를 유지하였다. 이것은 퇴적물 지열의 손실량이 서서히 이루어지기 때문이다. 층별 퇴적물 온도의 월 변화를 측정한 결과 변화 폭이 표층보다는 민감하지 못하지만 표층 온도와 거의 유사한 월별 변화를 보이고 있다. 특히 2월부터 봄철로 갈수록 층별 퇴적물 온도의 변화가 뚜렷하게 나타난다. 미세한 차이이지만 8월에는 5 cm층까지 상승하다가 10 cm부터는 낮아졌으며, 1월에는 15 cm층까지 온도가 상승하는 경향을 보였다. 표층 퇴적물 평균 온도의 수직구배는 상부 정점 1에서 21℃로 가장 높고 하부 정점 166에서 18.8℃에서 가장 낮은 분포를 보인다. 정점별 층별 퇴적물 온도의 변화는 정점 1이 깊이 15 cm부터 표층까지 평균 16℃~21℃로 가장 높게 나타났으며, 정점 3, 5, 7은 다른 정점에 비해서 다소 낮은 표층 온도와 층별 온도 변화를 나타냈다(Fig. 3-6-3).

조사기간 동안 1997년 7월과 10월 그리고 1998년 1월과 4월 등, 총 4회에 걸쳐 계절별로 각 정점에서 표층 퇴적물을 채취하여 입도 조성과 평균입도, 분급도를 분석하였다(Fig. 3-6-4). 조사대상지역의 평균입도는 실트질 함량이 가장 높고 점토질, 사질, 자갈 순으로 나타나 전반적으로 니질 퇴적상이 우세한 분포를 보였으며, 정점별 입도조성은 사질의 함량이 상부 정점 1과 3에서는 각각 61%, 66%로 가장 높게 나타났으며, 정점 5부터 하부로 갈수록 감소하는 양상으로 나타났다. 그러나 점토질과 실트질의 조성은 정점 5부터 증가하기 시작하여, 점토질은 정점 20에서 47%로 가장 높게 나타났으며, 실트질은 정점 166에서 62%로 가장 높은 조성비로 나타났다. 퇴적물 평균입도의 수직분포는 상부 정점 1과 3에서 각각 2.95φ와 3.53φ로 낮은 평균입도를 보였고, 나머지 정점의 평균입도는 6.15φ~8.03φ의 분포로 나타났다. 정점 15에서는

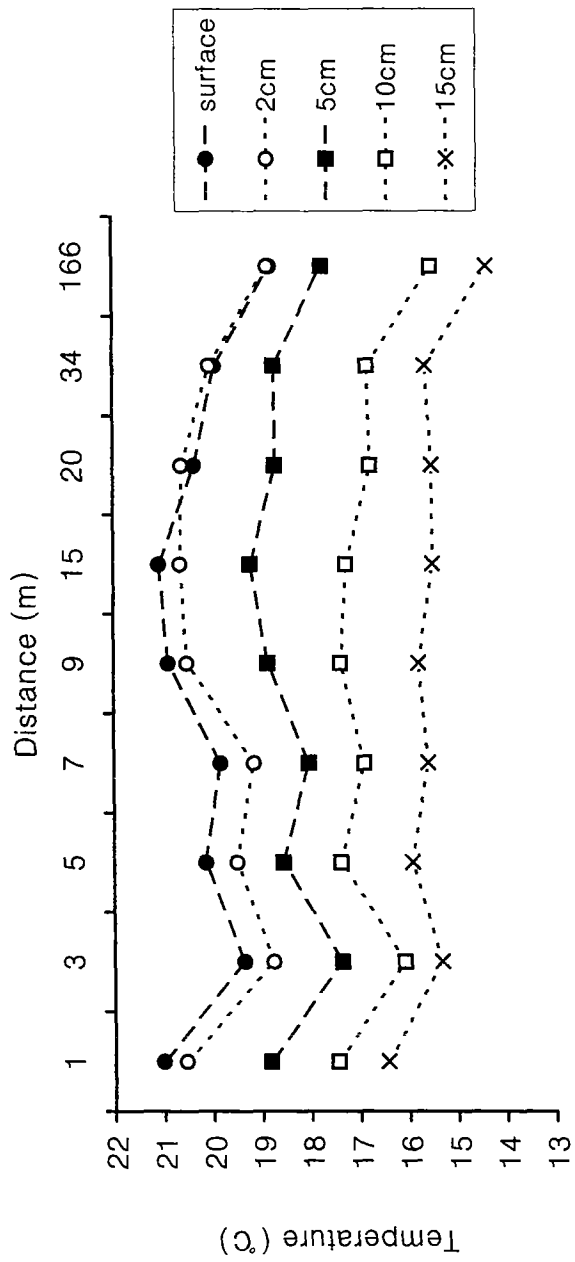


Fig. 3-6-3. Vertical variation of mean sediment temperature at each station.

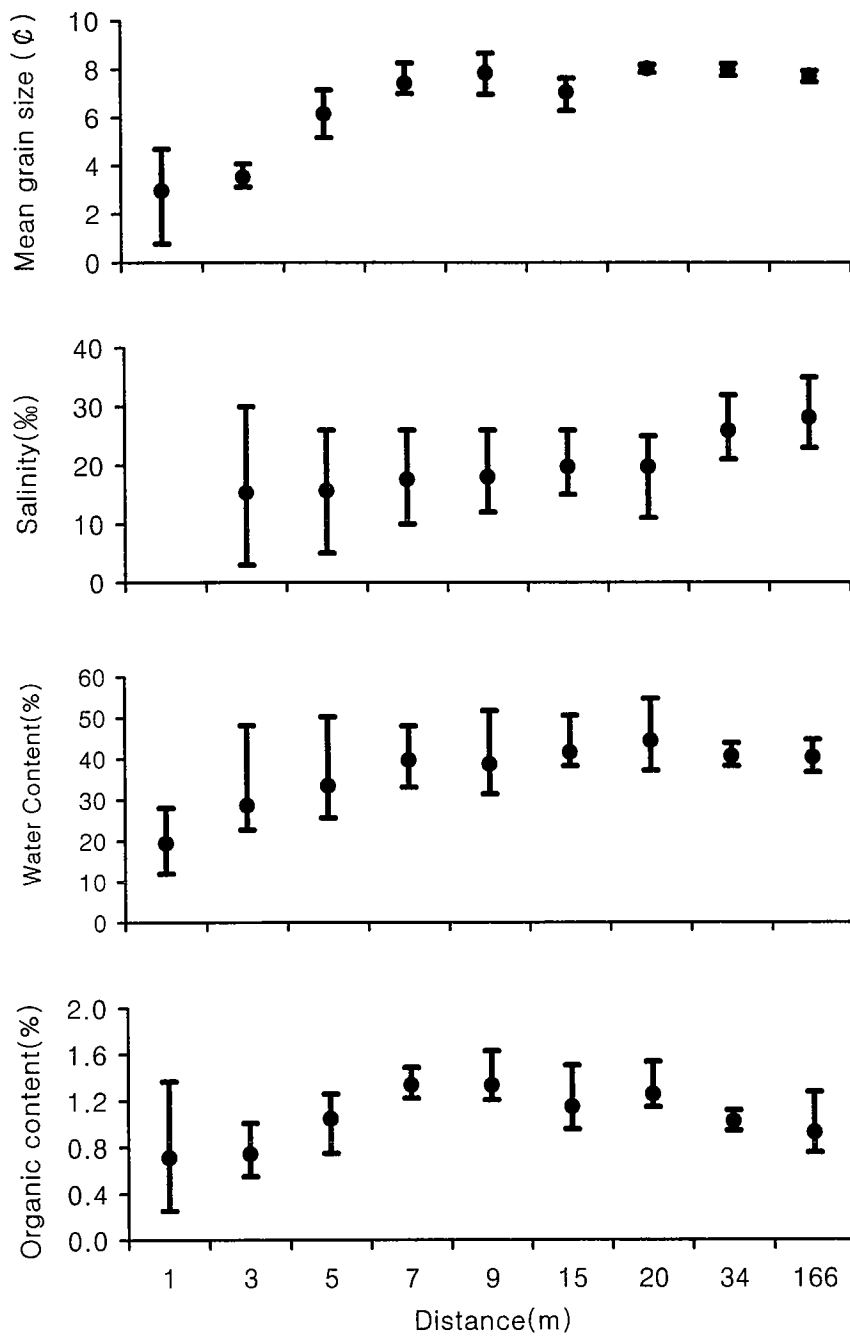


Fig. 3-6-4. Mean grain size, salinity, water content and organic content of surface sediment in each station.

사질의 증가로 7.06 ϕ 로 다소 감소하였으나, 정점 20에서 8.03 ϕ 로 가장 높은 평균입도 분포를 나타냈다. 정점 20이후의 하부 정점 34와 166는 각각 8.01 ϕ 와 7.74 ϕ 로 비교적 높은 평균입도 분포를 보여 염습지 식생 하부로 갈수록 세립질 퇴적물이 나타났다. 정점별 분급도는 니질함량이 증가하는 하부정점 34와 166에서 각각 2.8과 2.6으로 다소 낮아지는 경향을 보였다. 전반적인 분급도는 매우 불량한 상태를 나타내고 있다.

조사기간 동안 염생식물 군락 내에서 측정한 월 평균 염분농도는 14.9%~27.5%의 범위로 나타났으며, 월별 변화는 조건대와 다른 양상을 보여주고 있다. 즉 7월과 8월의 염분농도는 평균 15%전후의 낮은 값으로 나타났으며, 1월과 2월에는 평균 27%전후로 나타났다. 즉 여름철에 비해 겨울철에 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 염습지 식생 퇴적물 내의 염분농도의 수직구배는 하부 정점으로 갈수록 서서히 증가하는 양상이 뚜렷하게 나타나고 있었다 (Fig. 3-6-4). 상부지역의 정점 3에서는 평균 15.3%로 가장 낮은 염분농도가 나타났으며, 하부로 갈수록 증가하여 정점 166에서는 평균 28.2%로 가장 높게 나타났다. 정점 3은 염분농도의 연중 변동폭이 최소 3.0%에서 최대 30%까지 크게 나타났으나, 하부로 갈수록 점차 변동폭이 감소하였다. 하부지역의 정점 34와 166의 염분농도는 상부 지역보다 높은 각각 평균 25.9%와 28.2%로 나타났다.

퇴적물 내의 수분함량의 정점별 변화는 하부 정점으로 갈수록 증가하는 뚜렷한 수직구배를 보인다(Fig. 3-6-4). 따라서 가장 낮은 수분함량을 보이는 정점은 만조선 부근의 정점 1에서 19.4%이며, 가장 높은 수분함량을 보이는 정점은 주로 염생식물의 혼군락이 끝나는 정점 20에서 44.4%로 나타났으며 두 정점간에는 25%의 차이를 보이고 있었다. 또한 염습지의 하부에 위치하면서 칠면초가 순군락을 형성하는 정점 34와 166은 정점 20보다 3.7%~4%가 낮은 수분함량으로 각각 40.7%와 40.4%로 두 정점간 비슷한 수분함량을 보였다. 또한 수분함량이 낮게 나타나는 상부정점의 입도조성은 사질이 우세하게 분포하고 있었으며, 낮은 수분함량을 보이는 하부 정점에는 니질함량이 우세하게 나타나 입도조성이 사질에서 니질로 변화면서 수분함량이 증가하는 수분함량과 입도조성과의 상관관계가 있음을 나타냈다.

조사기간 동안 1997년 7월과 10월 그리고 1998년 1월과 4월 등, 총 4회에

걸쳐 계절별 각 정점에서 표층 퇴적물을 채취하여 유기물 함량을 분석하였다 (Fig. 3-6-4). 표층 퇴적물 내의 총 유기탄소 함량과, 질소함량, 황 함량은 계절별 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 정점별 변화를 살펴보면 총 유기탄소 함량이 질소와 황 함량보다 상당히 높게 나타났다. 총 유기탄소 함량은 중부 정점 7과 9에서 1.34%전후로 가장 높게 나타났으며, 상부 정점인 1에서 가장 낮은 0.71%를 보였다. 또한 정점 34에서는 0.92%로 정점 7과 9보다는 다소 낮고, 상부의 정점 1보다는 다소 높게 나타났다.

6.3.2. 염생식물의 수직분포

강화도의 동검도 남쪽 해안에 형성된 염생식물 군락을 조사한 결과, 조사 지역의 염생식물은 조위에 따라 일정한 대상분포를 보이고 있었다. 염생식물은 육상의 석축 방조제부터 저조선의 칠면초(*Suaeda japonica*) 군락의 분포 하한선인 166 m까지 분포하고 있었다. 조사 기준점은 다년생인 갈대(*Phragmites communis*)가 출현하기 시작하는 지점의 1 m앞에 선정하였다. 조사 기준점의 상부는 다년생인 천일사초(*Carex scabrifolia*) 1종만이 서식하였고, 그 아래는 식물이 출현하지 않는 모래 언덕이 형성된 지역이었다. 정점 1부터 정점 20까지는 염생식물이 혼군락을 형성하고, 정점 34와 정점 166는 1년생인 칠면초 1종만이 출현하여 순군락을 이루었으며, 결국 2개의 지역으로 식생의 분포대가 나뉘어졌다. 염생식물이 군락을 형성하는 서식지의 정점별 조위분포는 최상부 지역이 9.62 m이었고, 정점 1은 8.34 m였으며, 최하부 지역의 정점 166는 7.21 m로 나타났다. 갈대는 염생식물이 혼군락을 이루는 지역인 정점 1에서 정점 20까지 전 지역에서 고른 출현을 보였다. 갈대의 피도는 정점 1에서 40%로 높게 나타났으며, 또한 정점 15와 정점 20에서 각각 55%와 58%의 피도를 보여, 다른 정점보다 이 세 정점에서 높은 점유율을 보였다. 정점 1과 정점 3의 경우 갈대 이외에 1년생인 해홍나물(*Suaeda maritima*)과 2년생인 갯질경(*Limonium tetragonum*)이 5%의 낮은 피도로 나타났다. 정점 3부터 정점 9 이후의 11m지점까지 서식하는 종은 다년생인 갯골풀(*Juncus haenkei*)과 지채(*Triglochin maritimum*)가 갈대보다 우점하는 높은 점유율을 나타냈다. 갯골풀은 정점 3에서 3%의 낮은 피도를 보이다가 정점 5와 7, 9로 갈수록 증가하

였다. 지체는 갯골풀과 유사한 분포패턴으로 출현하면서 정점 3에서는 40 %의 피도를 보였고, 정점 5부터는 30%~38%로 갯골풀보다 높은 점유율로 출현하였다. 정점 15와 정점 20은 갈대만이 출현하였으며, 정점 20을 기준으로 갈대의 출현이 감소하고, 칠면초 군락이 출현하기 시작하였으며, 정점 34와 정점 166은 칠면초가 우점하는 지역으로 15%의 낮은 피도를 보였다(Fig. 3-6-5).

염생식물 줄기의 건조량으로 살펴본 정점별 분포는 식물의 수직분포에 따른 피도와 유사한 변화를 보였다. 전반적으로 갈대가 우점하는 지역에서 높게 나타났으며, 지체와 갯골풀이 출현하는 지역에서는 낮은 건조량을 나타냈다. 주로 갈대가 우점하여 나타난 지역에서 건조량이 높게 나타나는 것으로 보아, 전체 염생식물 건조량의 변화는 갈대 줄기의 증량에 의해 좌우됨을 알 수 있다(Fig. 3-6-5). 정점 1은 161.6 gDWt/0.25m²으로 전 정점 중 가장 높은 건조량을 보였으며, 정점 15와 정점 20에서 각각 99.5gDWt/0.25m²과 120.9gDWt/0.25m²을 보여 다음으로 높은 건조증량 분포를 나타냈다. 정점 5는 증량이 43.4gDWt/0.25m²로 나타나 가장 낮은 건조증량을 보였다. 갯골풀과 지체가 갈대보다 점유율이 16~41% 정도 높게 나타나는 정점 3, 5, 7, 9에서는 건조증량이 비교적 낮게 나타났다. 이는 이 종들의 크기가 약 30~40 cm정도이며 비교적 수분함량이 갈대보다 높기 때문이다. 이들 정점을 비교해 보면, 정점 3이 88.6gDWt/0.25m²로 비교적 높고, 가장 낮은 정점 5부터는 서서히 증가하여 정점 9에서는 52.7gDWt/0.25m²를 보였다.

6.3.3. 저서동물의 시.공간적 분포

월별 총 9개 정점에 대한 조사에서 출현한 저서동물을 정량적으로 분석한 결과 종 수, 개체수, 생체량은 각각 총 44종, 671개체/0.25m², 45.3gWWt/0.25m²로 나타났다(Table 3-6-1).

동물 분류군별 출현 종 수에 있어, 절지동물(Arthropoda)이 13종으로 가장 많은 출현 종 수를 보이며 전체의 29.5 %를 차지하였다. 두 번째로 환형동물(Annelida)의 갯지렁이류(Polychaeta)가 12종 출현하여 전체의 27.3 %, 연체동물(Mollusca)은 8종이 출현하여 전체의 18.2 %를 차지하였다. 기타 분류군은 총 11종으로 전체의 25.0 %를 차지하였으며, 이들 분류군에 속하는 동물은

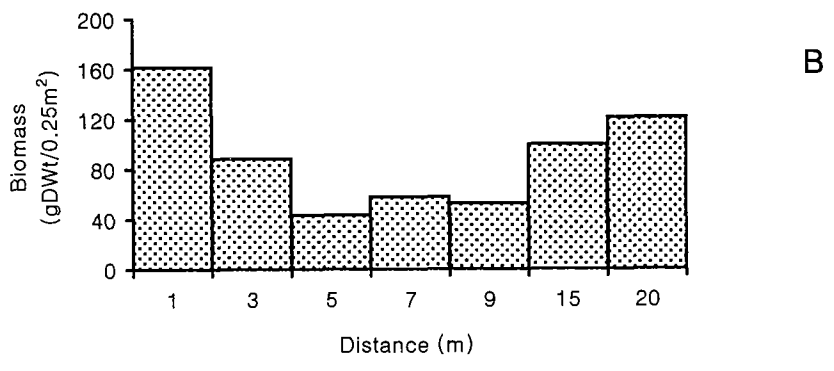
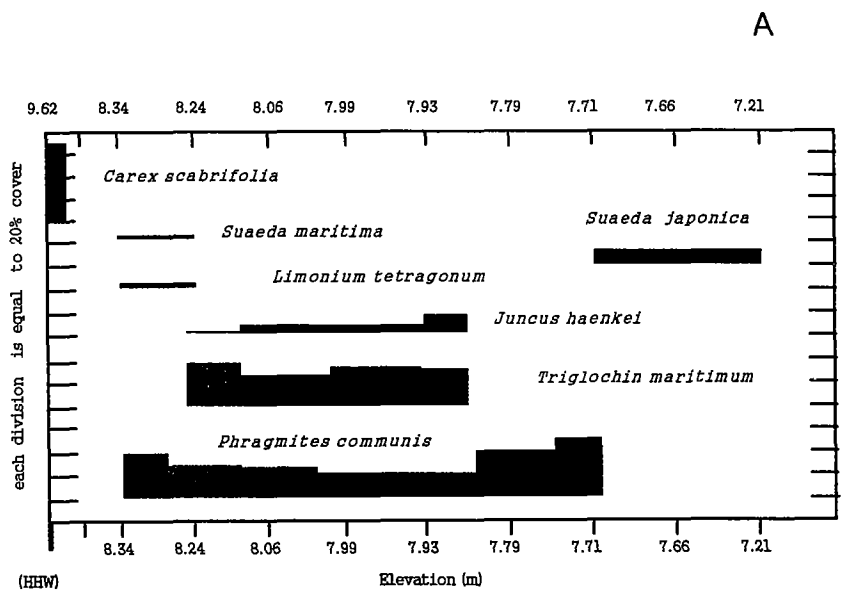


Fig. 3-6-5. Spatial distribution and coverage of halophytes by elevation (A) and biomass of halophyta stem at each station (B) in study area.

Table 3-6-1. Faunal composition of major taxonomic groups during the sampling period

Taxon	No. of Species (%)	Mean density (ind./0.25m ²)	Mean Biomass (g WWt/0.25m ²)	(%)
Mollusca	8 18.2	546	33.0	81.4 72.8
Annelida	12 27.3	40	5.9	6.0 13.1
Arthropoda	13 29.5	80	5.6	11.9 12.4
Others	11 25.0	5	0.8	0.7 1.7
Total	44 100	671	45.3	100 100

유형동물(Nemertina)이 5종, 편형동물(Platyhelminthes)이 1종, 어류가 1종 출현하였다. 그 밖에도 육상 곤충의 애벌레류가 출현하였다.

분류군별 개체수의 출현 양상은 연체동물이 가장 많은 546개체/0.25m²를 보여 전체 출현 개체수 중 81.4%를 차지하였다. 다음으로 절지동물이 80개체/0.25m² (11.9%), 환형동물이 40개체/0.25m² (6.0%) 기타 분류군이 5개체/0.25m² (0.7%) 순으로 나타났다.

생체량에 있어서도 개체수와 유사하게 연체동물이 33.0gWWt/0.25m²를 보여 전체 생체량 중 가장 많은 72.8%를 차지하였다. 다음으로 갯지렁이류 5.9gWWt/0.25m² (13.1%), 절지동물이 5.6gWWt/0.25m² (12.4%), 기타 분류군이 0.8gWWt/0.25m²의 생체량을 보였다. 전반적으로 분류군별 종 수는 뚜렷한 차이를 보이지 않으나, 개체수와 생체량에 있어 연체동물이 가장 높게 나타났다.

분류군별 종 수의 출현양상을 보면, 전 분류군이 뚜렷한 계절적 변화를 보이지 않고 있으나, 전반적으로 1월과 2월에 감소하고 3월에서 6월에 걸쳐 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3-6-6). 겨울철인 1월과 2월에 연체동물은 2~3종으로 낮은 출현 종 수를 보이고, 갯지렁이류와 절지동물의 출현 종 수도 2~3종을 나타냈다. 그러나 봄철이 되면서 연체동물은 4월과 5월에 각각 7종과 6종으로 다른 계절에 비해 상대적으로 가장 많은 출현 종 수를 보였다. 갯지렁이류는 각각 8종과 9종으로 나타났으며, 절지동물은 6월에 7종으로 겨울철에 비해서 봄철에 증가하는 경향을 보였다. 전반적으로 갯지렁이류와 절지동물이 종 수의 변화를 좌우하고 있는 것으로 나타났다.

개체수의 월별 변화를 살펴보면, 연체동물의 경우, 가을철인 9월과 10월에 가장 적은 142개체/0.25m²와 114개체/0.25m²로 출현하였으며, 6월에 가장 많은 1,614개체/0.25m²가 출현하였다. 이러한 변화는 이매패인 갈색새알조개(*G. chinensis*)와 복족류인 기수우렁이(*A. lutea*)에 의해 좌우되고 있다. 갯지렁이류는 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)의 증가로 인해 5월과 6월에 각각 가장 많은 134개체/0.25m²와 118개체/0.25m²를 나타냈다. 다른 계절의 월 변화는 15개체/0.25m²에서 30개체/0.25m²의 범위에서 변화하며, 상대적으로 적은 출현 개체수를 나타냈다. 또한 절지동물은 5월과 6월에 각각 가장 많은 368개체/0.25m²와 438개체/0.25m²로 나타났는데, 이는 등각류에 속하는 낙동잔벌레(*Gnorimosphaeroma naktongense*)의 출현에 의해 개체수의 변화가 좌우되고 있

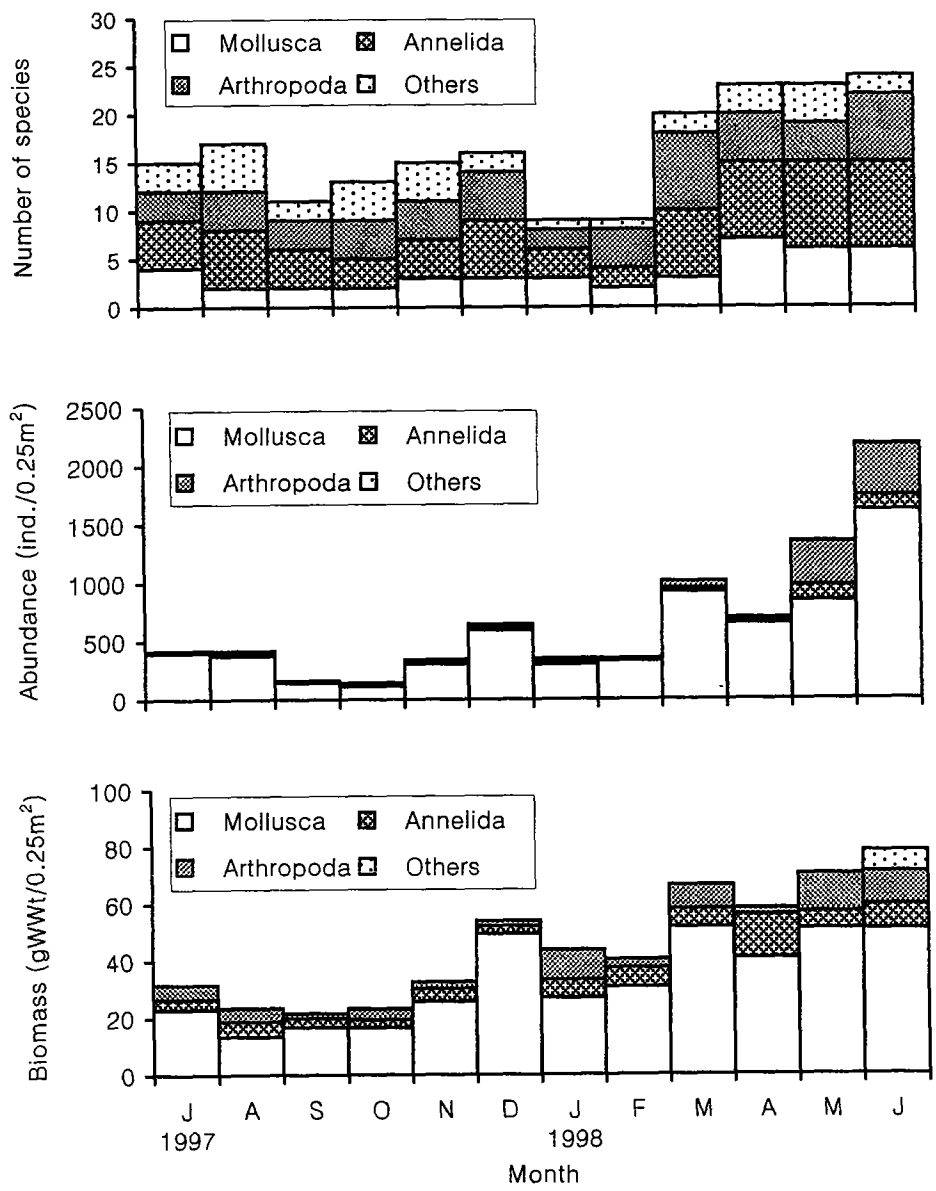


Fig. 3-6-6. Monthly variation in number of species, abundance and biomass in the salt marshes, Tonggom, Kanghwa-do, Korea.

다. 이외의 계절은 4개체/0.25 m²에서 58개체/0.25m²의 낮은 개체수 출현 양상을 보였다.

한편 조사기간 동안 생체량의 월별 변화를 보면, 연체동물의 생체량은 여름과 가을에 걸쳐 감소하고 봄철에 증가하는 경향을 보였다. 8월에는 13.4 gWWt/0.25m²로 가장 낮은 생체량을 보이다가 서서히 증가하여, 겨울철인 12월에 49.3gWWt/0.25m²을 보였다. 5월과 6월의 생체량은 각각 51.0gWWt/0.25m²와 50.9gWWt/0.25m²로 가장 높은 생체량을 보였다. 갯지렁이류의 경우 월별 일정한 변화를 보이다가 4월에 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis abuhitensis*)에 의해 생체량이 15.3gWWt/0.25m²로 증가하는 양상을 보였다. 절지동물은 5월과 6월에 13.2gWWt/0.25m²와 11.4gWWt/0.25m²로 가장 높은 생체량을 보였다.

정점별 출현 종 수와 개체수, 생체량, 다양도와 균등도 지수의 변화를 살펴보면(Fig. 3-6-7), 상부에서 하부로 갈수록 어느 정도 증가하는 종 수의 수직구배가 나타났다. 정점 1에서 가장 적은 평균 출현 종 수인 3종을 보이면서 정점 7까지 증가하는 경향을 보였다. 그러나 정점 20에서 약간의 감소를 보이다가 하부의 정점 34와 166에서 또 다시 증가하는 경향을 보였다. 전반적으로 정점별 평균 출현 종 수는 3~6종으로 나타났으며, 정점 7, 34, 166에서 평균 6종으로 가장 많은 출현 종 수를 보였다. 동일한 정점에서 종 수의 월 변화 폭은 상부지역에 위치한 정점 1과 5, 그리고 하부 정점 166에서 가장 크게 나타났다. 한편 정점 166은 13종으로 가장 많은 출현 종 수를 보였으며, 정점 15는 7종으로 비교적 적은 출현 종 수를 나타냈다.

개체수의 정점별 평균 출현밀도의 변화는 정점 5와 7에서 각각 가장 많은 1,740개체/0.25m²와 1,232개체/0.25m²를 나타냈다. 정점 34는 가장 적은 63개체/0.25m²가 출현하였다. 주로 상부 정점에서 낮은 서식밀도를 보이다가 서서히 증가하면서 정점 5에서 가장 높은 서식밀도를 보였다. 정점 5이후부터는 하부로 갈수록 감소하는 변화를 보였다. 동일 정점에서의 월 변화 폭은 정점 1, 3, 5에서 가장 높게 나타나고 있으며, 정점 7이후부터는 일정한 변화를 보였다.

생체량은 개체수와 비슷한 정점별 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 즉 개체수가 증가하는 정점 5, 7, 9에서 높은 출현량을 보였으며, 각각 77.1gWWt/0.25m², 85.7gWWt/0.25m², 90.3gWWt/0.25m²로 나타났다.

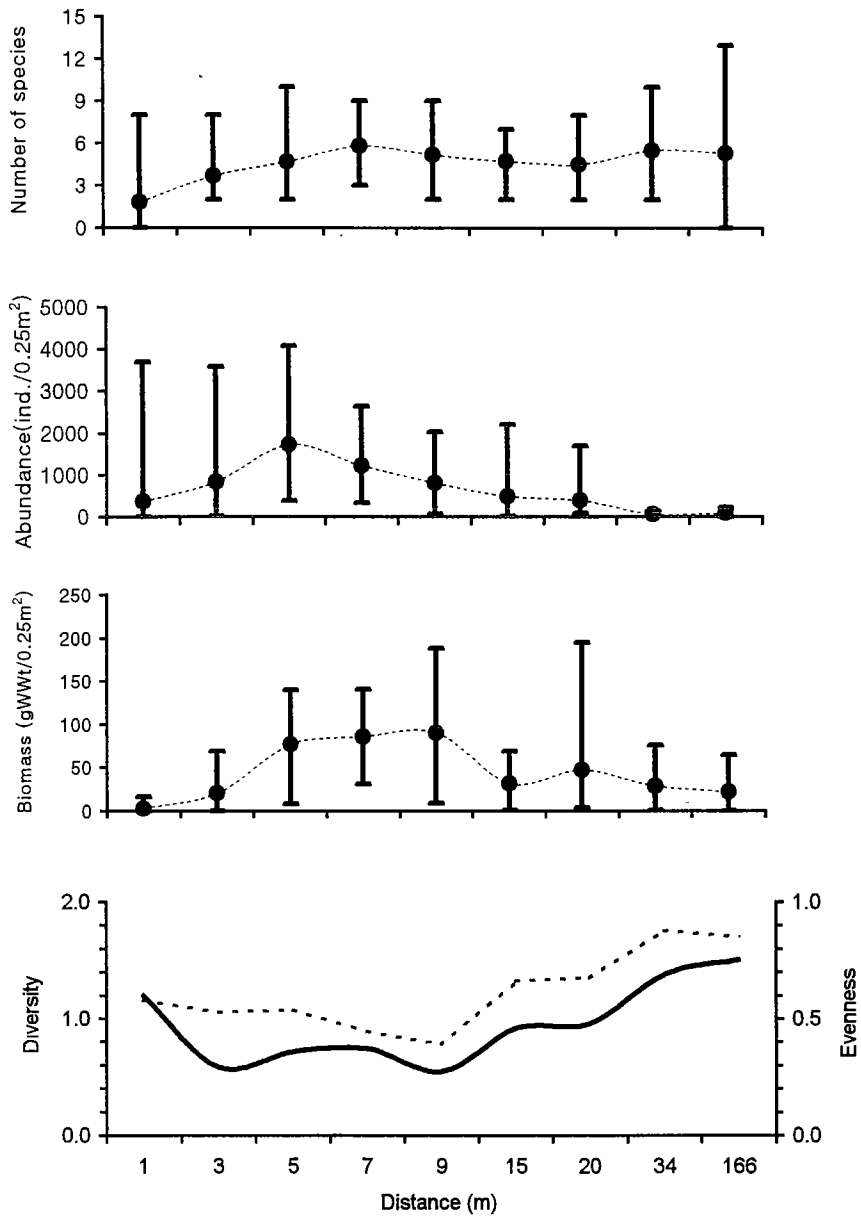


Fig. 3-6-7. Spatial distribution of number of species, abundance, biomass, diversity and evenness of macrobenthos at each station.

한편 종 수, 개체수, 생체량의 정점별 변화에 따른 다양도 지수와 균등도 지수의 변화를 살펴 본 결과, 다양도 지수는 상부 정점 1에서 높다가 정점 3에서 감소하였으며, 정점 5, 정점 7까지 일정한 값을 유지하다가 정점 9에서 감소를 보였다. 그러나 다시 하부 정점으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 하부 지역에 위치한 정점 34와 정점 166에서 각각 1.38과 1.51로 가장 높은 값을 보였다. 다양도 지수 값이 일정한 변화를 보이는 정점 3에서 정점 9까지는 종 수와 개체수의 월 변화 폭이 일정하게 나타났다. 균등도 지수는 정점별로 큰 변화를 보이지 않았으나, 다양도 지수의 변화와 비교적 유사한 경향을 보였다. 정점 1에서 정점 9까지는 0.39~0.58의 범위를 보이고, 이후의 정점 15, 정점 34, 정점 166에서는 0.66~0.85의 범위로 다소 증가하는 보였다. 그러나 정점 1의 경우, 다양도 지수의 변화와는 다르게 정점 3, 5, 7과 비슷한, 일정한 지수 (0.58)를 유지한다. 상대적으로 하부 정점 166은 0.85를 나타내, 가장 높은 균등도 지수를 보였다.

종 수와 개체수, 생체량의 수직분포에 따른 월 변화를 알아보기 위해 조사 지역을 상부, 중부, 하부로 나누어 살펴보았다(Fig. 3-6-8). 종 수에 있어서 상부에 위치한 정점 1은 한 종이 격월별로 출현했다가 출현하지 않는 양상의 반복을 보이다가 봄철인 5월과 6월에 8종으로 급격히 증가하는 경향을 보였다. 이는 갯지렁이류에 속하는 참갯지렁이(*N. japonica*), 두토막눈썸참갯지렁이(*P. aibuhitensis*), 갯지렁이 유생과 연체동물 2종(*A. lutea*, *G. chinensis*), 그리고 게 류인 사각게 (*Sesarma pictum*), 등각류에 속하는 낙동잔벌레 (*G. naktongense*)의 출현에 기인하였다. 중부지역에 위치한 정점 9는 여름과 가을인 8월과 11월에 각각 8종과 7종으로 증가를 보이고, 겨울철인 2월에 감소하였으나 다시 봄철에 9종으로 증가하였다. 하부지역에 위치한 정점 166는 중부정점 9에서 감소를 보였던 10월과 12월에 증가하고, 겨울철인 2월에는 비슷한 감소를 보여 두 정점간에 월별 증감이 교차하였다. 개체수의 변화에 있어 중부정점 9는 12월에 1,460개체/0.25m²로 가장 높게 출현한 이후 감소하였으나, 서서히 봄철로 갈수록 증가하였다. 상대적으로 적은 서식밀도를 보이는 상부정점 1과 하부정점 166은 봄철인 5월과 6월을 제외한, 월별 분포가 각각 5~35개체/0.25m²와 50~215개체/0.25m²를 보였다. 생체량에 있어 정점 1은 큰 변화를 보이지 않고 단지 봄철에 15.9gWWt/0.25m²로 다소 증가를

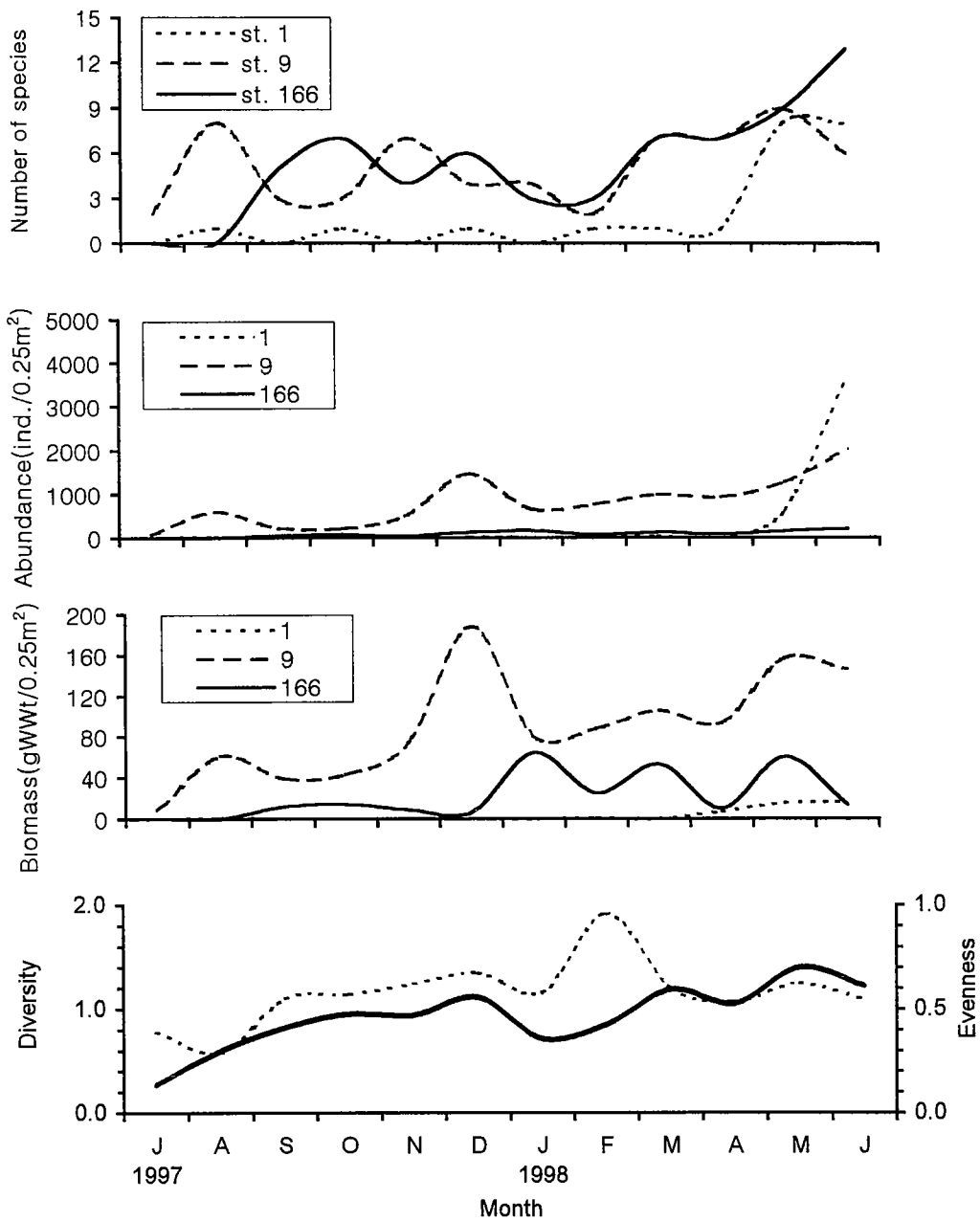


Fig. 3-6-8. Monthly variation of number of species, abundance, biomass diversity and evenness of macrobenthos in three station(1 9, 166) during the sampling period.

보였다. 중부정점 9는 겨울철인 12월에 개체수의 출현양상과 비슷한 변화를 나타냈으며, 생체량은 $187.8\text{gWWt}/0.25\text{m}^2$ 로 가장 높게 나타난 후 감소하였다. 그러나 다시 봄철이 되면서 증가하여 5월에는 $156.7\text{gWWt}/0.25\text{m}^2$ 로 나타났다. 하부정점 166은 개체수의 변화와는 다르게 겨울부터 봄 (1월~6월)까지 증감을 반복하는 변화를 보였다. 중부정점 9에서 겨울철인 12월의 개체수와 생체량의 증가는 우점하는 2종(*A. lutea*, *G. chinensis*)의 연체동물에 의해 높게 나타났다. 하부정점 166은 종 수에서 중부정점 9와 유사한 월별 변화를 보였으나, 서식밀도와 생체량에 있어 전반적으로 낮게 나타났다.

한편 상부, 중부, 하부, 세 정점의 평균 다양도 지수의 변화는 봄철로 갈수록 지수 값이 증가하는 양상을 보였다. 5월에 가장 높은 1.40으로 나타났으며, 이는 봄철에 여러 종의 출현과 개체수의 증가에 의한 결과에 의해서 나타났다. 여름철인 7월은 0.27로 가장 낮은 값을 보였다. 12월의 다양도 지수 값의 증가는 중부정점 9의 많은 개체수의 출현과 종 수의 감소에 기인한다. 균등도 지수 (J)는 0.29~0.96의 범위로 나타났다. 여름철인 7월과 8월에 각각 0.39와 0.29로 낮게 나타났으며, 겨울철인 2월에는 0.96으로 가장 높은 지수를 보였다. 겨울철인 2월은 0.96으로 가장 높은 값을 보였다. 균등도 지수는 세 정점 중에서 중부정점 9와 하부정점 166의 출현 종 수와 중부정점 9에서 출현한 개체수에 의해 좌우되었다.

6.3.4. 우점종

우점종을 개체수 순위로 나타내 보았을 때, 상위 7종에 의한 누적백분율 합계가 97%를 나타냈다. 상위 2종만의 누적백분율 합계는 전체의 81%를 차지하여 소수 종에 의한 높은 우점을 나타냈다. 상위 7종을 제외한 나머지 종들의 개체수 백분율은 2%를 넘지 못하여 극히 적은 개체수가 출현하였음을 알 수 있다(Table 3-6-2). 우점종에는 연체동물 2종, 갑각류 2종, 다모류 3종이 포함되었다. 7위까지의 출현종이 차지하는 개체수는 총 $646\text{개체}/0.25\text{m}^2$ 가 나타났다. 상위 2종(*A. lutea*, *G. chinensis*)의 연체동물이 차지하는 비율이 전체의 81%를 점유하였으며, 1위를 나타낸 갈색새알조개는 $339\text{개체}/0.25\text{m}^2$ 와 개체수 백분율 51%를 차지하는 가장 높은 출현 개체수를 보였으며, 73%의 출

Table 3-6-2. Dominant species ranking in abundance by Le Bris index(1988) from July, 1997 to June, 1998 in the salt marsh. (Bi : Bivalvia, Ga: Gastropoda, Cr: Crustacea, Po: Ploychaeta)

Rank	Species name	Taxon	Total abundance (ind./0.25m ²)	% (ind./0.25m ²)	Mean density (ind./0.25m ² ± STD)	Cumulative (%)	Frequency of occurrence	Frequency (%)	Le Bris Index(1988)
1	<i>Glauconome chinensis</i>	Bi	36,650	51	339 ± 537.0	51	79	73	289659.3
2	<i>Assiminea lutea</i>	Ga	21,650	30	200 ± 423.4	81	48	44	86079.8
3	<i>Gnorimosphaeroma naktongense</i>	Cr	7,590	10	70 ± 236.8	91	36	33	41001.9
4	<i>Perinereis aibuhitensis</i>	Po	1,480	2	14 ± 22.9	93	56	52	30672.9
5	<i>Mediomastus sp.</i>	Po	670	1	6 ± 12.4	94	45	42	9813.3
6	<i>Neanthes japonica</i>	Po	1,340	2	12 ± 51.2	96	29	27	7309.1
7	<i>Cleistostoma dilatatum</i>	Cr	395	1	4 ± 12.9	97	24	22	5487.5

현 빈도를 나타냈다. 다음으로 높은 순위를 나타낸 기수우렁이는 200개체/0.25m² (30%)를 차지하였으며, 44 %의 출현 빈도를 나타냈다. 3위로 나타난 낙동잔벌레의 경우 70개체/0.25m²(10%)로 33%의 출현 빈도를 나타냈다. 기타 개체수 백분율이 1~2%를 차지하는 종들로는 다모류인 두토막눈썹참갯지렁이 (14개체/0.25m²), *Mediomastus sp.* (6개체/0.25m²), 참갯지렁이(12개체/0.25m²)와 사각게(*C. dilatatum*(4개체/0.25m²) 순으로 나타났다.

상위 2종인 갈색새알조개와 기수우렁이의 개체수 출현에 대한 시·공간적 분포를 살펴보면, 갈색새알조개의 개체수 분포는 1998년 6월 출현한 정점 1과 정점 166을 제외한 전 정점에서 출현하였으며 봄철에 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 3-6-9). 1997년 7월부터 1998년 2월까지의 주로 정점 5, 7, 9에서 각각 882개체/0.25m², 658개체/0.25m², 615개체/0.25m²로 출현하였다. 이후 3월부터는 정점 5에서만 1,000~3,000개체/0.25m²로 증가하여 출현하였으며, 또한 4월에는 정점 7에서만 1,000~3,000개체/0.25m²로 출현하였다. 5월은 정점 5, 정점 9, 정점 15에서 1,000~3,000개체/0.25m²로 나타나 출현 정점이 증가하였다. 6월은 정점 166과 정점 1의 100~1,000개체/0.25m²의 출현을 제외한 전 정점에서 1,000~3,000개체/0.25m²의 높은 개체 출현 밀도를 나타냈다. 즉 갈색새알조개는 중부 정점에서 일정한 출현 개체수(100~1,000개체/0.25m²)를 보이다가, 봄철이 되면서 하부 정점에서까지 높게 출현하는 경향을 보였다.

기수우렁이는 월별 불규칙한 출현양상을 보였으며, 정점 1에서 정점 20까지 분포하는 수직적 분포한계를 보였다. 여름철 7월과 8월에 각 정점 3과 5에서 1,000~3,000개체/0.25m²로 출현하였으며, 겨울철인 12월에는 정점 7에서 갑자기 1,000~3,000개체/0.25m²의 범위로 증가하는 양상을 나타냈다. 봄철에는 갈색새알조개와 유사하게 개체수가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 특이한 점은 갈색새알조개는 봄에서 초여름으로 가면서 하부정점에서도 많은 개체수가 출현하나, 기수우렁이는 이와는 다르게 3월의 정점 5와 7에서 많은 개체수 출현을 보이다 4월과 6월이 되면서 상부지역의 정점으로 이동하여 정점 1과 3에서 많은 출현양상을 나타냈다. 즉 봄에서 여름으로 갈수록 상부에서 많은 개체수 출현을 보였으며, 가을과 겨울철에는 약간 하부 쪽으로 이동하여 출현하는 양상을 보였다.

생체량에 근거한 우점종 순위를 보았을 때, 개체수에 근거한 분석결과와는

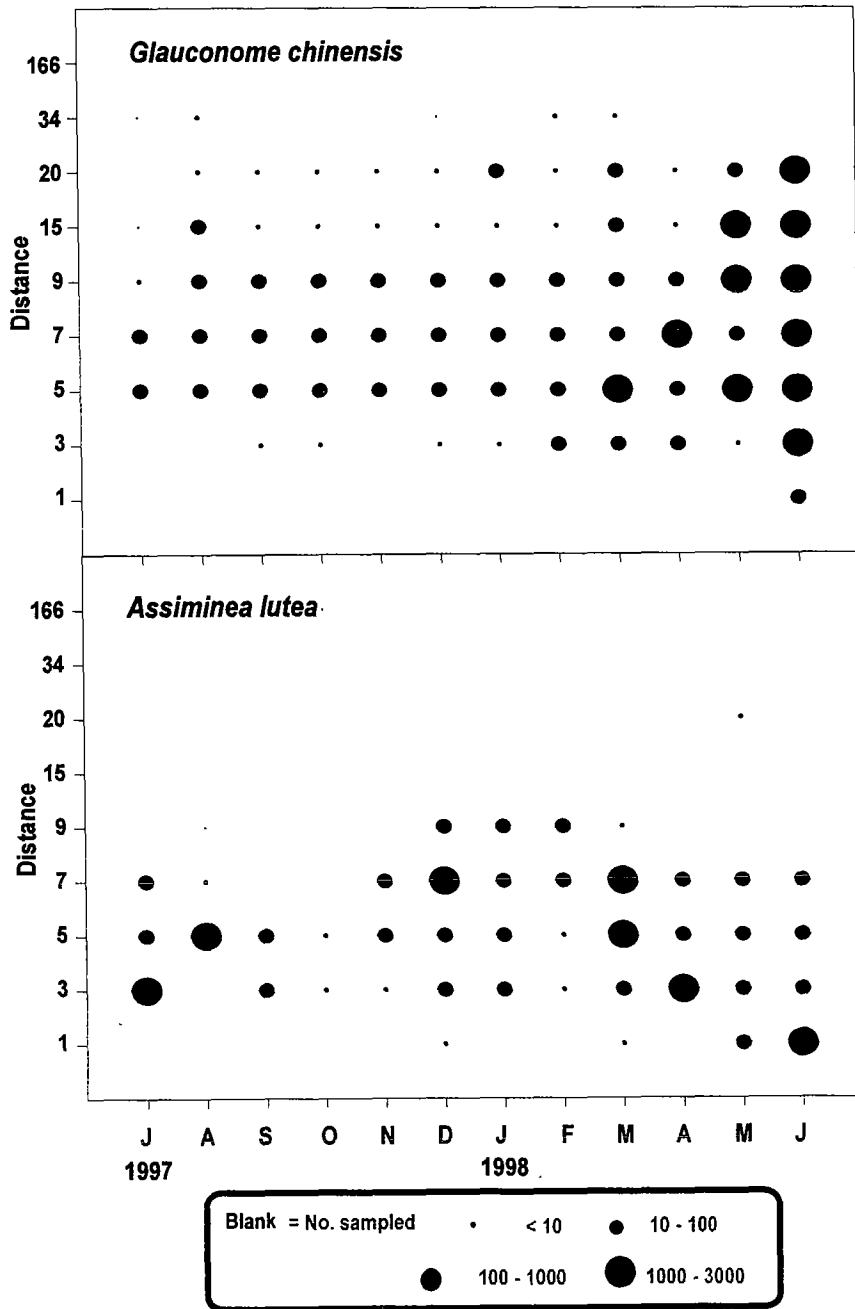


Fig. 3-6-9. Spatio-temporal distribution of dominant species in terms of individual numbers (ind./0.25m²) in the salt marsh.

다른 양상을 보였다. 갈색새알조개와 기수우렁이는 개체수 순위와 같은 결과를 보였으나 개체의 출현밀도가 높았던 낙동잔벌레의 생체량보다는 다모류를 포함한 단일 개체의 생체량이 높은 갑각류 등이 높은 순위를 차지하였다. 따라서 연체동물 2종, 다모류 2종, 갑각류 3종이 포함되었다. 상위 7종에 의한 누적백분을 합계가 96 %를 나타냈다. 상위 2종만의 누적백분을 합계는 전체의 71 %를 차지하여 역시 소수 종에 의한 높은 우점을 나타냈다. 상위 7종을 제외한 나머지 종들의 개체수 백분율은 3 %를 넘지 못하여 낮은 생체량을 보였다(Table 3-6-3). 7위까지의 출현종이 차지하는 생체량은 총 43.2gWWt/0.25m²를 보였다. 상위 2종의 연체동물이 차지하는 비율이 전체의 71%를 점유한 결과, 1위를 나타낸 갈색새알조개는 25.9gWWt/0.25m²와 생체량 백분율 57%를 차지하는 가장 높은 생체량을 나타냈다. 기수우렁이는 6.18gWWt/0.25m²(14%)를 차지하였다. 다음으로 두토막눈썹참갯지렁이는 5.28gWWt/0.25m²(12%)를 나타냈다. 칠계(*Macrophthalmus japonicus*)가 2.86gWWt/0.25m²(6%), 세스랑게(*Cleistostoma dilatatum*)가 1.1gWWt/0.25m², 참갯지렁이가 0.5gWWt/0.25m², 참방개(*Helice tridens sheni*)가 1.14gWWt/0.25m² 순으로 나타났다.

우점종 상위 두 종에 대한 월별 각장 크기-빈도분포를 살펴보았을 때, 갈색새알조개는 주로 3월에 어린 개체의 출현으로 가입이 이루어지며 6월에 가장 높은 출현을 보였다. 이러한 양상은 이 종의 산란시기가 2월부터 시작하여 5월까지로 추정되며 연중 1회 산란한다. 주성장 기간은 7월부터 10월까지 이루어지며 이 시기의 평균 각장 크기는 10~12 mm로 최대 성장하는 각장 크기는 20.27 mm로 나타났다. 개체수의 변화는 봄철(5~6월)에 2 mm의 어린 개체가 대부분을 차지하여 전체의 60%를 나타냈다(Fig. 3-6-10). 기수우렁이는 주로 초여름(6월)에 작은 개체의 출현으로 가입이 이루어지고 있으며 6월에 가장 높은 출현을 보였다. 이러한 양상은 5월부터 7월 사이에 산란이 이루어져 6월에서 8월 사이에 가입하는 것으로 보인다. 성장은 9월부터 다음 해 4월까지 이루어지며 이 시기의 평균 각장 크기는 약 5~6 mm를 보였으며 최대 성장하는 각장 크기는 9.83 mm로 나타났다. 개체수의 변화는 가입이 시작되는 6월에 2 mm이하의 어린 개체가 전체의 40%를 차지하였다(Fig. 3-6-11).

6.4. 고찰

Table 3-6-3. Dominant species ranking in biomass by Le Bris index(1988) from July, 1997 to June, 1998 in the salt marsh. (Bi: Bivalvia, Ga: Gastropoda, Po: Ploychaeta, Br: Brachyura)

Rank	Species name	Taxon	Total biomass (gWwt./0.25m ²) (%)	Mean biomass (gWwt./0.25m ² ±STD)	Cumulative (%)	Frequency of occurrence	Frequency (%)	Le Bris Index(1988)
1	<i>Glauconome chinensis</i>	Bi	2794.1	25.87 ± 36.21	57	79	73	276284.8
2	<i>Assimineea lutea</i>	Ga	667.3	6.18 ± 12.80	71	48	44	82180.0
3	<i>Perinereis aibuhitensis</i>	Po	570.4	5.28 ± 11.73	83	56	52	77141.3
4	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	Br	309.0	2.86 ± 9.49	89	15	14	15903.7
5	<i>Cleistostoma dilatatum</i>	Br	146.4	1.36 ± 6.97	92	24	22	11147.5
6	<i>Neanthes japonica</i>	Po	53.3	0.49 ± 2.80	93	28	26	3032.8
7	<i>Helice tridens sheni</i>	Br	123.5	1.14 ± 7.04	96	6	6	2443.6

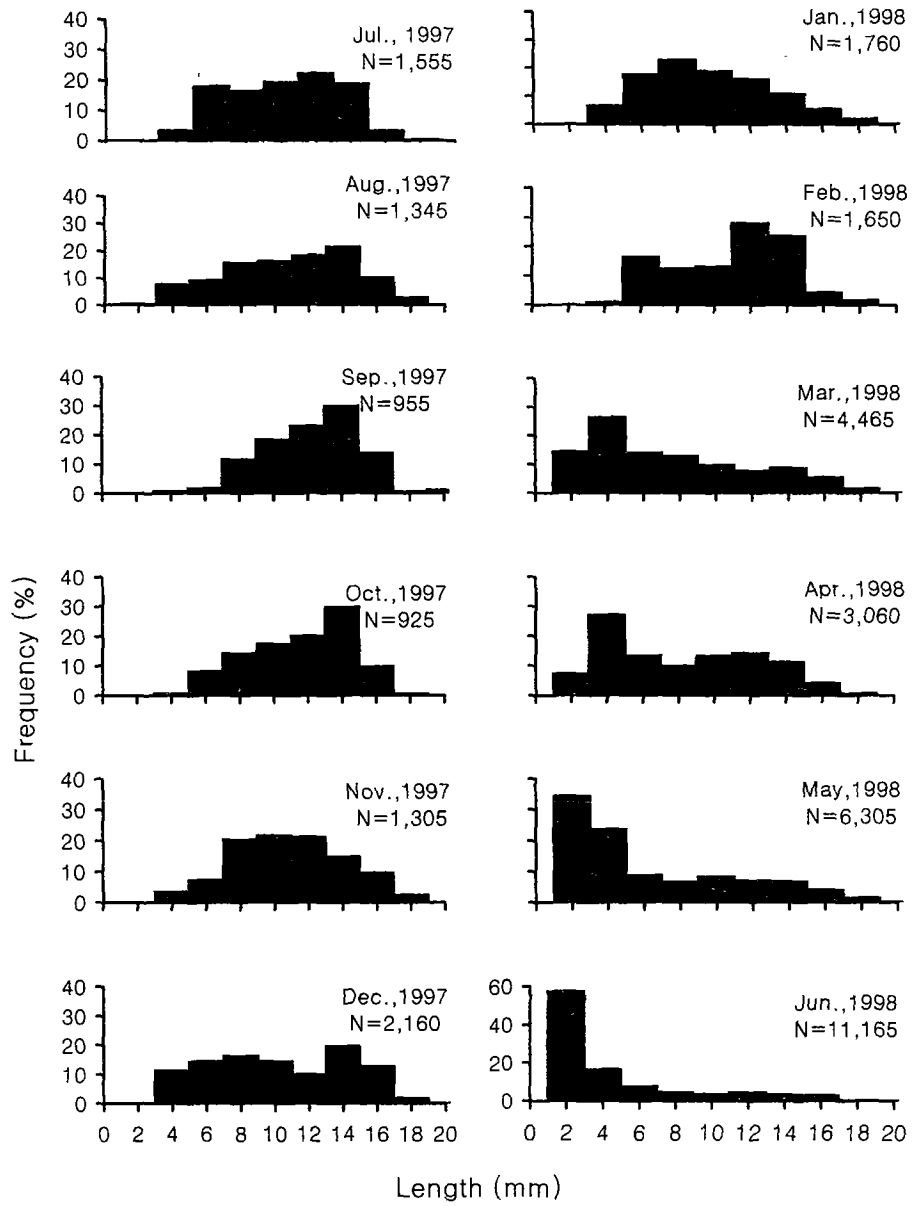


Fig. 3-6-10. The size-frequency distribution of *G. chinensis* based on shell length from July, 1997 to June, 1998.

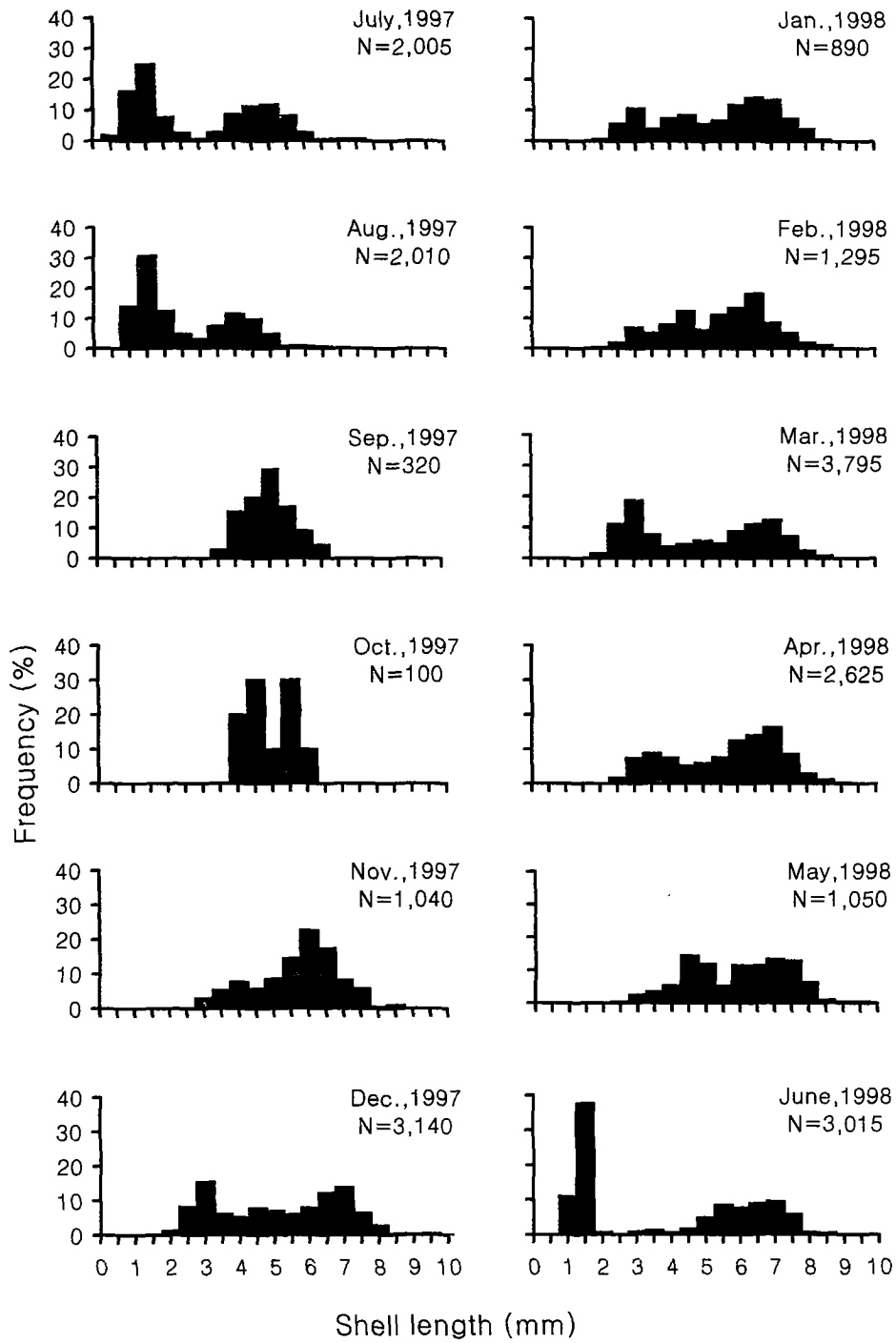


Fig. 3-6-11. The size-frequency distribution of *A. lutea* based on shell length from July, 1997 to June, 1998.

동검도 조사지역의 염습지 식생은 강화도 갯벌의 상부지역에 위치하고 있어 이어지는 펄갯벌 생태계 환경과 매우 밀접한 연관성을 가지고 있으며, 육상과 인접해 있어 강수량이나 기온 등 육상환경의 변화에도 영향을 받고 있는 것으로 보인다. 그러나 조사결과 퇴적물 온도, 수분함량, 염분도, 평균입도, 유기물 함량 등 물리·화학적 환경의 변화 외에도 염생식물이 군락을 형성하여 자체내의 저서동물의 종 조성 등은 인근 펄갯벌 또는 모래펄갯벌과 차이를 나타내고 있었다. 이러한 염습지 식생에 서식하는 생물들은 이들 복잡한 환경 변화에 적응과정에서 상이한 군집구조를 가지면서 독특한 생태계 구조를 보인다. 또한 이들 무기 및 유기적 환경변화에 의해 생물군집의 변화가 나타나고 있다.

염습지 식생의 환경변화를 파악하기 위해 표층 퇴적물 온도, 평균입도, 염분농도, 함수량, 유기물 함량 등의 환경요인을 조사한 결과 조사지역은 환경요인 간의 상호작용에 의해 조위에 따라 상부, 중부, 하부의 세 그룹으로 나뉘어지는 환경의 수직구배를 보였으며, 이에 따라 저서동물과 염생식물도 이들에 의해 일정한 대상분포를 보이고 있었다.

6.4.1. 환경요인의 수직구배

가. 온 도

온도는 염습지에서 저서동물의 계절적 변화에 영향을 미치는 중요한 환경요인 중의 하나라고 하였다(Sarda *et. al.*, 1995). 조사지역의 표층 퇴적물 온도의 변화는 연중 뚜렷한 수직구배는 보이지 않았으나, 다른 지역에 비해 상부에 위치한 세 정점에서 평균 온도가 1~1.5℃정도 낮게 나타난 것은 지체 군락의 밀식으로 태양의 복사열이 차단된 영향으로 보인다. 한편 갈대가 우점하는 정점은 노출된 공간이 비교적 넓어 태양 방사량의 영향을 어느 정도 받기 때문에 퇴적물 온도는 비교적 위의 세 정점보다 높은 온도를 보이는 것으로 판단된다. 즉 식생의 분포가 비록 큰 차이는 아니지만 퇴적물 온도 분포에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

나. 입도조성

동검도 갯벌 하부의 부유물질 농도 변화는 창조류보다는 낙조류 때 유속이 강하여 저층으로부터 많은 양의 부유물질이 재부유되어 증가하며, 8월의 부유물질 농도는 타 계절에 비해 크게 증가하지 않는 것으로 밝혔으며, 강화도 남단 갯벌의 경우 여름에서 겨울까지 침식이 진행되는 것으로 나타났다(이 등, 1990). 그러나 본 조사지역의 부유물질 농도의 변화는 6월부터 10월까지 퇴적물이 집적되고, 10월에서 12월까지 침식되는 현상을 보이고 있었다(한국해양연구소, 1998). 따라서 조사지역의 퇴적상은 갯벌의 영향에 의해 갯벌과 인접한 하부지역은 니질이 우세한 입도 조성을 보였으며, 육상과 인접한 상부지역은 육상기원의 사질이 우세한 입도조성을 나타냈다. 이러한 결과는 강우 등에 의해 육상으로부터 토양입자가 유입되어 유입된 입자는 염습지 식생의 특성에 의해 쉽게 이동되지 않기 때문인 것으로 생각된다. Ranwell(1972)은 염습지 식생 퇴적물의 입도조성에 따라 고위 염습지(high marsh), 전이 염습지(transitional marsh), 저위 염습지(low marsh)로 구분하기도 하였다. 이와 같은 구분은 본 조사지역과는 염습지 식생 군락의 면적이나 식생의 차이는 있지만 퇴적상의 변화에 있어 상부의 모래(사질)지역과 중부의 모래펄(사니질), 그리고 하부의 펄(니질)지역으로 나뉘어지는 것과 유사하다. 입도조성의 수직 분포는 갯벌지역의 입도조성과는 다른 양상을 보이는데 대부분의 갯벌의 입도 조성 분포는 상부는 세립질이며, 저조선으로 갈수록 점차 조립화 되는 양상을 보인다. 그러나 본 염습지의 입도조성은 육상 인접한 상부지역은 육상기원의 모래가 우세한 조립질이며, 저조선으로 갈수록 갯벌과 인접한 하부지역은 펄이 우세한 퇴적물로 세립질화 되는 경향을 보인다. 김과 임(1988)은 서해안의 간석지에서 토양의 입도조성에 따라 사구, 사질, 점토질 염습지로 구분하였으며, 모래 퇴적물에는 갈대, 지채, 해홍나물, 천일사초, 갯질경, 갯잔디, 쑥, 매자기 등이, 펄 퇴적물에는 칠면초, 나문재 등이 분포하는 것으로 보고하였다. 이는 조사지역에서는 사구식물은 출현하지 않았지만 모래과 펄 식생의 분포는 유사한 패턴을 보여주고 있다. 그러나 조사지역의 입도조성의 수직 구배와 식물의 분포와는 상당한 관련성을 보일 것으로 예상되었으나, 분석결과 의

하면 뚜렷한 상관성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 이는 조사지역의 염생식물 서식지 규모가 작아 전반적으로 입도조성의 변화 폭이 크지 않은 결과에 의한 것으로 보여진다. 그러나 실제 식물의 수직분포와 입도조성의 수직변화를 비교해 본 결과 어느 정도 입도조성에 따라 식물의 수직분포가 달라지는 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다(Fig. 3-6-12).

다. 염분

일반적으로 염분농도의 변화는 주변 유역의 강수량과 육상으로부터의 담수의 유입, 태양 에너지에 의한 증발, 해수에 의한 침수 등에 영향을 받는 것으로 잘 알려져 있다. Koh & Shin(1988)에 의하면 저질 염분농도의 변화는 저질의 공극수의 함량과 밀접한 상관관계를 가지고 있으며, 반비례 관계를 보인다고 하였다. 한편 Johnson(1967)은 입도 조성에 있어 사질이 우세한 지역에서는 수직구배에 따라 또는 시간에 따라 염분농도의 변화가 심하게 나타나지만, 펄 퇴적층이 우세한 지역에서는 공극수의 염분농도가 심한 변화를 보이지 않는다고 하였다. 또한 Lieth and Moschenko(1998)는 염습지 식생은 강우량이 많은 저염분 지역에서부터 완전해수의 고염분 지역에까지 폭 넓게 분포한다고 보고하였으며, 염습지 식생 내의 퇴적물의 염분농도가 몇 퍼센트(%)의 범위로 변화를 보이는 것은 일반적 현상이며, 해수면의 변화와 담수의 유입, 해수의 침수빈도 등에 의해 염습지는 염분도의 변화가 매우 심한 환경이다(Valiela *et. al.*, 1978; Teal and Howes, 1996).

Sarda *et. al.*, (1995)는 염습지 지역의 조사에서 하부의 인접한 지역에 조수로(tidal creek)가 형성되어 상부로 갈수록 퇴적상이 사질에서 니질 퇴적상으로 변화하면서 염분농도가 감소하는 결과를 보여주었으며, 본 조사지역도 역시 사질에서 니질 퇴적상으로 변하면서 염분농도의 증가를 보였다. 염분농도의 수직구배에 있어, 갈대가 우점하는 상부지역의 염분농도는 15.3%로 비교적 변화가 심한 낮은 염분변화를 보였으며 하부로 갈수록 서서히 증가하여 25.9%~28.2%을 보였다. 하부지역의 높은 염분농도는 인접한 갯벌과 비슷한 양상을 보이고 있으며, 갯벌의 염분농도의 변화는 주로 여름철에 증가하고 겨울철로 가면서 감소하는 경향을 나타냈다(박, 1991). 그러나 염습지의 경우

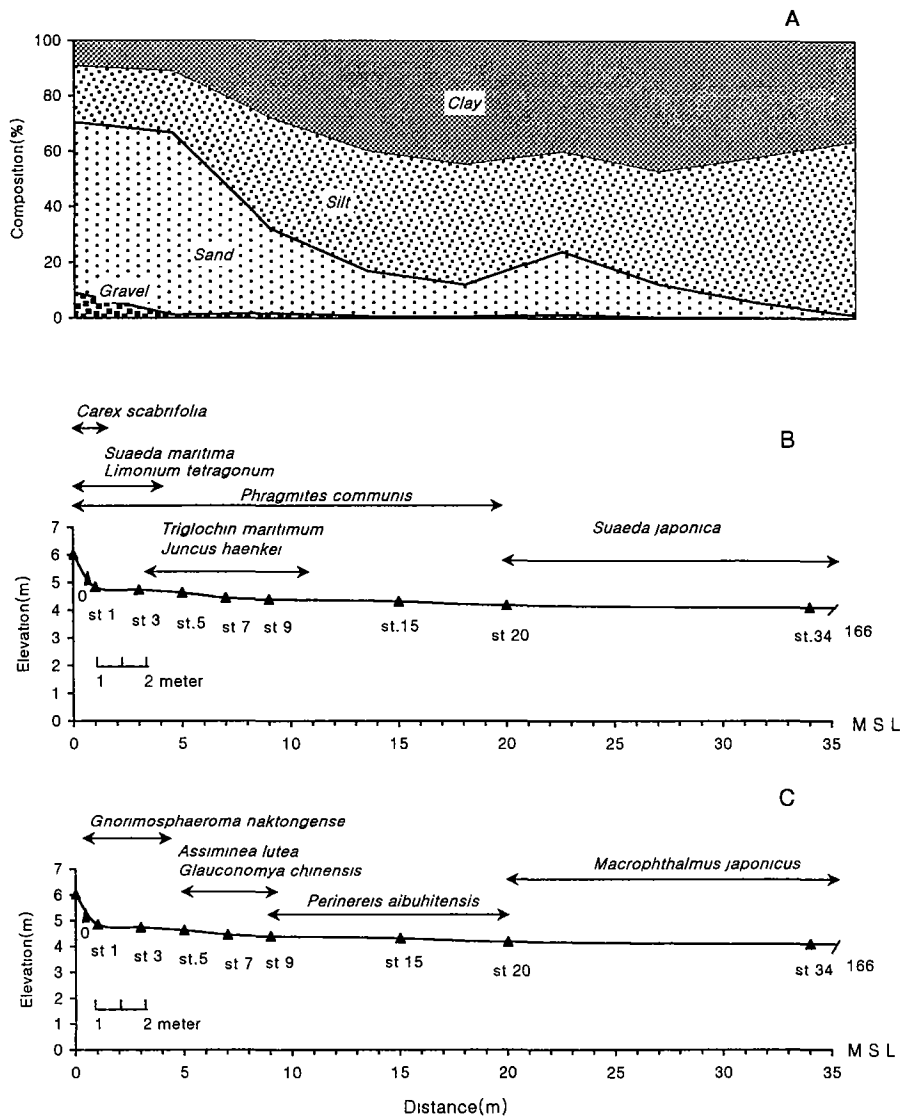


Fig. 3-6-12. Vertical distribution of surface sediment composition (A)
Halophyta (B) and dominant species (C).

여름철에 감소하고 겨울철에 증가하는 다른 경향을 보였다. 특히 갯벌의 경우 노출에 따른 태양의 일사량에 의한 건조와 증발, 대기의 영향, 해수에 의한 노출과 잠김 그리고 퇴적물의 입도조성에 있어 펄함량이 많아 담수의 침투시간보다 증발시간이 빠른 원인 등에 의해 염분농도의 상승이 이루어졌다가 이후 해수의 유입에 의해 염분농도는 감소한다. 그러나 염습지는 육상으로부터 담수의 유입으로 염분의 저하가 이루어진 후 해수의 잠김에 의해 다시 염분농도의 증가가 이루어진다(임, 1987). 따라서 갯벌의 최상부에 위치하는 조사지역의 염습지는 노출시간이 길고 상부에 모래 퇴적층이 우세한 지역이며 육상으로부터 지층수의 유입이 이루어지는 것으로 보아 염분농도의 변화가 심하고 낮은 염분농도를 보이는 것으로 판단된다.

라. 함수량

조사지역의 수분함량은 상부 지역에서 비교적 낮은 수분함량을 보이다가 서서히 증가하여 하부의 두 정점에서는 연중 유사한 수분함량을 유지하고 있었다. 수분함량이 가장 높게 나타나는 정점은 염생식물의 혼군락이 끝나고 칠면초 군락이 시작되는 지점으로 입도 조성에 있어서 세립화가 시작되는 지점이다. 즉 상부와 중부지역의 퇴적상은 모래함량이 우세하고 하부지역은 펄함량이 우세하게 나타나고 있기 때문에 퇴적상에 따른 수분함량의 변화도 유사한 패턴을 나타내고 있음을 알 수 있다. 염습지에서의 수분함량은 식생 분포의 제한요인이 되기도 한다(임, 1987; 김과 민, 1983). 그러나 수분함량의 경우 식물의 수분에 대한 분포양상이 폭넓게 작용하는 등 지형적 영향과 일부 다른 요인에 의해 크게 영향을 받기도 한다(이와 오, 1989; 김과 임, 1988). 본 조사에서는 임(1987)과 김과 민(1983)에 의한 결과와는 다른 양상을 보였으며, 지체나 갈대군락보다는 입도가 세립한 곳을 선호하는 칠면초 군락의 퇴적물에서는 높은 수분함량을 보였다.

마. 유기물 함량

염습지의 유기물 함량은 이곳에 서식하는 식물의 고사에 의해 고사된 식물

체가 퇴적물 내로 유입되면서 유기물 함량을 증가시킨다(민, 1985; 김과 임, 1988; 김 등, 1989; Sarda *et. al.*, 1995; Craft *et. al.*, 1988). 이러한 결과는 염생식물 분포와 퇴적상에 따라 염습지 내의 유기물 함량이 다르게 나타날 수 있다. 그러나 본 조사의 결과는 약간 다른 경향을 보여 주었다. 즉 조사지역 내의 염생식물이 우점하는 지역에서 총 유기탄소 함량과 질소함량이 증가하는 것은 위의 조사들의 결과와 유사한 경향을 보이고 있으나, 퇴적상에 따른 유기물의 변화는 상이한 양상을 보였다. 즉 염습지 내에서 펄 퇴적물에 높은 유기물 함량을 보인다고 하였으나 본 조사지역의 결과는 펄함량이 우세한 하부지역보다는 염생식물이 혼서하며 군락을 이루는 중부지역에서 높게 나타나는 결과로 보아 총 유기탄소함량과 질소함량은 퇴적상의 분포보다는 식생의 분포와 관련이 있는 것으로 판단된다. 그러나 황 함량의 변화는 퇴적상과 밀접한 관련성을 보여 니질함량이 우세한 하부지역에서 비교적 높게 나타났다. 따라서 퇴적물 내의 유기물 함량의 변화는 식생과 밀접한 관련성을 보이며, 식생과 토양의 상호작용에 의해 변화함을 알 수 있다(이, 1999).

7.4.2. 염생식물과 환경요인과의 관계

염습지 식생 분포와 환경요인간의 상호관련성을 분석한 결과 염생식물의 분포는 주로 염분농도와 노출시간에 의해 영향을 받고 있는 것으로 나타났다.

김과 임(1988)은 염분농도가 토양의 수분포텐셜(water potential)을 조절하여 염생식물의 분포와 수분관계에 큰 영향을 미칠 것으로 예측하였으며, 퇴적물의 염분농도는 식물의 분포에 영향을 주는 환경요인으로 염분농도의 구배에 의해 식물이 대상구조를 이루고 염생식물과 중성식물의 분포는 토양의 염분농도에 의해 좌우되었다(민, 1985; 1990). 또한 염생식물의 분포는 지형의 변화에 따른 해수의 침수정도와 전기전도도에 따라 수직분포가 결정된다고 하였다(Bertness and Ellison, 1987; Pennings and Callaway, 1992). 임(1987)은 전기전도도가 낮은 지역에서 천일사초가 높은 지역에서 칠면초가 출현함을 보고하였다. 이와 같은 결과는 본 조사지역의 염생식물의 분포와 유사한 결과를 보였으며, 조사지역의 염생식물 분포는 상부에는 갈대와 해홍나물이 서식하고, 중부에는 갯질경, 지채, 갯골풀, 갈대가 분포하며, 하부에는 칠면초가

순군락을 이루는 수직분포를 보였다. 또한 염분농도는 조위에 따라 월별 심한 변화를 보이는 결과를 보였으며 특히 상부지역은 월별 염분농도의 변화가 심하고 낮은 지역으로 평균 15.3%를 보였다. 또한 갯벌 환경의 영향을 상당히 받고 있는 것으로 보이는 하부 지역의 염분농도는 25.9~28.2%를 보이며 칠면초가 순군락을 형성하고 있었다. 하부의 칠면초 순군락은 갯벌과 인접하여 갯벌환경과 유사한 높은 염분농도의 변화를 보이고 있는 환경으로 판단된다. 염생식물의 혼군락이 끝나고 칠면초의 군락이 시작되는 경계지역은 하부로 갈수록 증가하던 염분농도가 다소 감소하는 현상을 보이는데 그 이유는 이 정점이 육상으로부터 유입되는 지층수의 영향으로 항상 수분이 고여있어, 수분함량의 증가와 상반되는 염분농도의 감소가 나타나는 것으로 보인다. 따라서 조위에 따른 염분농도 변화는 염생식물의 수직분포와 높은 상관성을 보이며 매우 중요한 환경요인으로 작용할 것으로 판단된다.

염생식물의 서식위치를 결정하는 여러 환경요인 중 염분의 영향과 밀접한 관계를 보이는 것은 해수에 잠기는 시간으로 조위의 변화에 따라 알맞은 물리적 환경요인에 의해 염생식물의 수직분포가 결정되며, 조위의 높이가 증가할수록 퇴적물의 염분농도는 감소하고 산화환원은 증가한다고 하였다(Bertness and Ellison, 1987; 김과 민, 1983; 임, 1987). 또한 Penning and Callaway (1992)는 염습지 식생의 분포패턴을 결정하는 환경요인은 해수의 유입이나 퇴적물의 염분농도, 식물의 종간 경쟁 등의 상호작용에 의해 결정되나 이들 중 비교적 중요한 영향을 미치는 요인은 조위의 변화에 의해 결정된다고 주장하였으며, Ranwell(1972)과 Bertness(1991)는 침수의 빈도에 따라 염생식물 서식처를 고위 염습지와 저위 염습지로 구분하기도 하였다. 조사지역의 염생지 식생은 갯벌의 최상부에 위치하여 노출에 대한 내성이 어느 정도 있는 것으로 추정되며 노출과 상반되는 잠김에 의해 염생식물의 생리적 활동에 영향을 받을 것으로 판단된다.

6.4.3. 저서동물과 환경요인과의 관계

염습지에 서식하는 저서동물에 대한 종 조성과 환경요인과의 관계를 분석한 결과 염분농도, 노출시간 그리고 수분함량과 퇴적물 온도 등이 저서동물의

분포에 영향을 미치는 환경요인으로 밝혀졌으며, 이중 염분농도와 노출시간이 가장 유의성 있는 상관관계를 나타냈다. 환경의 수직구배에 의해 저서동물의 분포는 조위에 따라 일정한 대상분포를 보여주고 있었다.

염습지의 생태적 환경요인의 수직구배는 서식처와 서식하는 동·식물의 대상분포를 변화시키는 원인이 되기도 하며 동·식물의 밀도와 분포를 결정한다 (Frey and Basan, 1985). Sarda *et. al.* (1995)는 염습지 내의 대형저서동물의 우점종을 결정하는 환경요인은 염분농도와 조석에 따른 조류의 흐름에 의해 결정되며 조위에 따라 종 구성이 다르다 하였다. 따라서 본 조사지역의 동물군은 환경요인의 구배에 따라 특징 종들이 수직분포를 이루면서 출현하였다. 염분농도가 낮고 노출시간이 매우 많은 상부지역은 등각류인 낙동잔벌레가 우점종으로 출현하였으며, 큰 차이는 아니지만 상부보다 노출시간이 적고 비교적 염분농도가 낮은 중부지역은 갈색새알조개와 기수우렁이가 매우 높은 서식밀도를 보였다. 또한 갯벌과 염분농도가 유사하게 나타나며, 노출시간이 위의 두 지역보다 적은 하부지역은 칠게가 출현하여 일정한 대상분포를 나타내고 있었으며 위의 연구들의 주장과 유사한 분포양상을 보여주었다. 또한 봄철부터 종 수, 개체수, 생체량은 증가하였으나 강수량이 많아 염분농도가 저하되는 여름과 건조에 의한 가을철의 경우 개체수와 생체량은 감소하는 양상을 보여주었다. 이는 동물군의 출현 종들은 일정기간 동안의 담수의 일시적 유입은 염분농도의 저하로 저서동물의 분포에 중요한 역할을 하고 서식생물의 지속적인 성장에 영향을 준다고 하였으며, 경기만의 조사에서 풍수기에 상당량의 담수의 유입은 저서생물상에 중요한 영향을 미치는 것으로 보고한 유 (1992)와 박(1998)의 견해와 같은 계절적 동물군 변동을 보여주었다. 하구 수로변 염습지에서는 유기물 함량이 낮은 하부의 모래지역은 낮은 종 풍부도와 생체량을 보이고 상부의 유기물이 풍부한 사니질 지역은 높은 종 풍부도와 생체량을 나타내었다(Gray, 1974; Sarda *et. al.*, 1995). 하지만 보호된 해안인 본 조사에서는 염분농도가 낮고 변화가 심한 상부의 모래 퇴적상에서 개체수와 생체량은 낮게 나타났으며, 중부지역의 염분농도가 낮고 유기물이 풍부한 펄로래 퇴적상에서 높은 개체수와 생체량을 보였다. 또한 하부지역의 염분농도가 높은 펄 퇴적상에서는 종 다양도는 높게 나타났으나 개체수와 생체량은 중부지역보다 낮았다. 또한 상부와 하부지역의 입도조성이 다른 차이를 보였

으나 염분은 *Sarda et. al.* (1995)가 조사한 상부지역은 16.3~18.0%로, 하부 지역은 25.7~27.2%로 변화를 보인 반면 조사지역의 염분은 상부와 중부지역은 15.3~19.8%, 하부지역은 25.9~28.2%를 보여 유사한 패턴을 보였다. 또한 출현종 수의 경우 상부가 21종, 중부가 39종 하부는 25종이 출현하였으며, 분류군별 출현종 수는 갯지렁이류인 *Neanthes succinea* 등(27종), 빈모류(6종), 연체동물(7종), 일부 갑각류(8종) 등 총 48종이 채집되어(*Sarda et. al.*, 1995), 조사지역의 44종과 큰 차이를 보이지 않았다. 조석의 변화에 따라 상부 갯벌에서의 다양한 염분농도의 변화는 서식하는 저서동물의 분포를 제한하는 주요 환경요인으로 작용하며 염분의 변화가 적은 고염분의 영향을 받는 하부 갯벌에 서식하는 내서동물은 천해의 표서동물과 표영동물보다 더 안정된 환경을 갖는다 (Johnson, 1967)는 주장은 조사지역의 염생식물 서식지보다 갯벌과 인접한 하부지역에서 동물군의 높은 종 다양성을 보이는 것으로 보아 설명되어진다. 위의 연구 결과들과 본 조사의 결과로 따라서 저서동물의 조위에 따른 수직분포에 염분농도의 변화는 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

본 염습지 식생 내의 저서동물의 종 다양도는 비교적 낮게 나타났으며, 개체수와 생체량에 있어서는 연체동물에 속하는 갈색새알조개와 기수우렁이의 우점으로 높게 나타났다. 저서동물 종 수의 수직분포는 갯벌과 인접한 하부지역에서 높게 나타나고 있으며, 지채와 갯골풀의 피도가 높게 나타나는 중부지역에서 그 다음으로 높게 나타났다. 그러나 개체수와 생체량은 중부 지역에서 가장 높은 출현을 보였다.

염습지에서 우점하는 갈색새알조개는 서해안 장항과 군산 갯벌의 상부지역에서 조사되었는데, 서식 환경은 염분이 군산의 금강 하구의 경우 15.6% (9.7~20.2%)로 낮게 나타났고 퇴적상이 모래펄인 상부에 밀생하였다. 본 조사지역의 서식환경은 갯벌의 상부에 위치하여 갈대뿐만 아니라 염생식물이 혼서군락을 이루고, 염분농도는 15.3~19.8%이며, 퇴적상은 사니질이 우세하고, 총 유기탄소함량이 하부지역보다 비교적 높게 나타나는 염생식물의 뿌리 사이에 서식하고 있었다. 또한 3월부터 6월까지 가입이 이루어지고 주성장 기간은 7월부터 10월까지로 나타난 결과로 보아 산란시기는 2~5월 사이로 추정되었다. 따라서 위의 결과를 종합하면 이 종은 연안의 염분농도가 낮은 하구

의 갯벌상부지역의 사니질 퇴적상에 서식하며, 관찰결과 서식 깊이는 개체마다 약간의 차이가 있으나 대략 2-5 cm 깊이에 서식하는 것으로 보이며 표층에 작고 둥근 구멍의 서식형태를 보이며 분포하는 것으로 보인다. 그러나 군산 갯벌의 염생식물이 서식하지 않는 지역에서도 출현하는 것으로 보아 염생식물의 존재유무는 이 종의 분포를 결정하는 요인은 아닌 것으로 보이며 주로 염분농도와 조위에 의해 영향을 받는 것으로 판단되며, 어느 정도 입도조성의 영향을 받을 것으로 생각된다.

기수우렁이는 낙동강 하구, 장항 갯벌의 상부 등에 서식하는 것으로 보고된 바 있으며, 6월에서 8월에 가장 높은 성장을 보이며, 철새의 먹이가 된다(권, 1981; 김 등, 1982; 홍과 임, 1988). 이와 유사한 *Assiminea californica* (Tryon, 1865)는 평균 조위가 643~672cm, 수온은 겨울에 0.1℃에서 여름에 12.8℃에 분포하고, 서식밀도는 여름에 증가하고 겨울에 감소하는 경향을 보이며 최대 4mm까지 성장한다(Berman and Carlton, 1991). 조사지역에서 출현하는 종은 평균 각장은 약 5~6 mm, 최대 약 10 mm이며, 서식밀도는 여름철에 높고 겨울철에 급격히 감소하는 유사한 결과를 보였으며, 조위는 834 cm~771 cm의 범위로 보여 다소 높은 곳에서 출현하였다. 이 종은 6~8월에 가입되고 성장은 9월부터 다음 해 4월까지 이루어지는 것으로 보아 5월경에 산란이 이루어지는 것으로 추정된다. 또한 갈색새알조개와 유사한 서식지 환경에서 출현하는 것으로 보아 저염분과 염생식물이 서식하는 갯벌 상부지역에 분포하는 것으로 나타났다. 또한 이종은 염생식물의 서식장소에서만 출현하는 것으로 보아 염생식물과의 상관성을 보이고 있으며 또한 관찰결과 이동성이 있어 저질의 표층이나 식물의 줄기나 잎에 붙어 이들의 표층에 존재하는 유기물을 섭식하는 것으로 보인다. Fowler(1980)에 의하면 *Assiminea californica*는 창조(spring tide)가 될 때나 강우에 의해 수분이 증가하는 동안에 더 활동적으로 이동하듯이 *A. lutea*의 경우도 염생식물의 줄기 부근의 수분이 있는 지역에서 패치(patch)를 형성하는 것으로 보아 수분함량이 이들의 분포에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

6.4.4. 염생식물과 저서동물의 관계

염생식물과 저서동물의 공간적 분포 양상은 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다. 그러나 염생식물의 존재는 식생 내에 서식하는 저서동물의 계절적 변동에 영향을 미치는 주요한 요인이며, 서식처를 제공하고 생육장과 산란장으로서 역할을 한다(Rader, 1984; Lana and Guiss, 1991; 1992). 또한 염습지 식생의 뿌리와 근경은 저서동물의 활동과 수직이동에 영향을 주며, 염생식물이 흡수하는 수분으로 건조에 따른 저서동물에 영향을 미친다(Dacey and Howes, 1984; Capehart and Hackney, 1989). 또한 염생식물 서식지는 주변의 갯벌지역보다 낮은 종 다양도와 개체수를 보이며 여름철에 감소하는 계절적 변화를 보였다(Bell, 1980; Kneib, 1984; Kneib and Stiven, 1982). 본 조사에 의하면 동물군이 봄철에 증가하고 겨울철에 감소하는 계절적 변동이 나타났으나 공간적인 분포에 있어 지체, 갯골풀, 갈대가 우점하여 뿌리의 건조중량이 높게 나타난 중부지역의 저서동물의 분포는 연체동물인 갈색새알조개와 기수우렁이가 극 우점하고, 다른 동물군은 중부지역의 하부정점과 하부지역에서 높은 출현 양상을 보였다. 염생식물이 혼서군락을 이루는 지역이 하부지역보다 낮은 종 다양성을 나타냈다. 그러나 이 지역에서 2종의 우점종이 높은 서식밀도를 나타내고 있는 것으로 보아 일부 종의 경우 식물의 서식환경에 대한 선택성을 가지는 것으로 판단된다. 특히 뿌리 속에서 서식하는 갈색새알조개는 이 지역에서 높은 개체수와 생체량을 보인 반면, 표층에 서식하는 기수우렁이는 뿌리보다는 줄기의 양과 높은 상관관계를 보일 것으로 예상하였으나 줄기의 건조중량이 낮게 나타났음에도 높은 서식밀도를 보였다(Fig. 3-6-13). 위의 분포양상으로 보아 식물의 분포에 따라 뿌리속에 서식하는 갈색새알조개는 선택적인 높은 상관관계를 나타냈으나 식물의 줄기 표면이나 퇴적물 표층에 서식하는 서식형태를 보이는 기수우렁이는 식물의 줄기의 변화 양상과 관련성을 보이지 않았다. 염생식물은 단지 두 우점종에 대한 서식처를 제공하고 하고있으며 이들의 먹이가 될 수 있는 유기물의 공급원(Craft *et. al.*, 1988)과 유기물을 집적하는 역할을 하는 것으로 판단된다. 또한 식물이 높은 밀도로 서식하는 지역은 다모류 유생이 많이 출현하는 것으로 보아, 어린 개체의 생육장과 산란장의 역할을 하는 것(Lana and Guiss, 1991; 1992)으로 생각된다. 또한 각각 관련성이 있어 보이는 식물의 뿌리와 줄기를 갈색새알조개와 기수우렁이의 현존량과 비교해 본 결과도 유사한 경향을 보였다(Fig. 3-6-14).

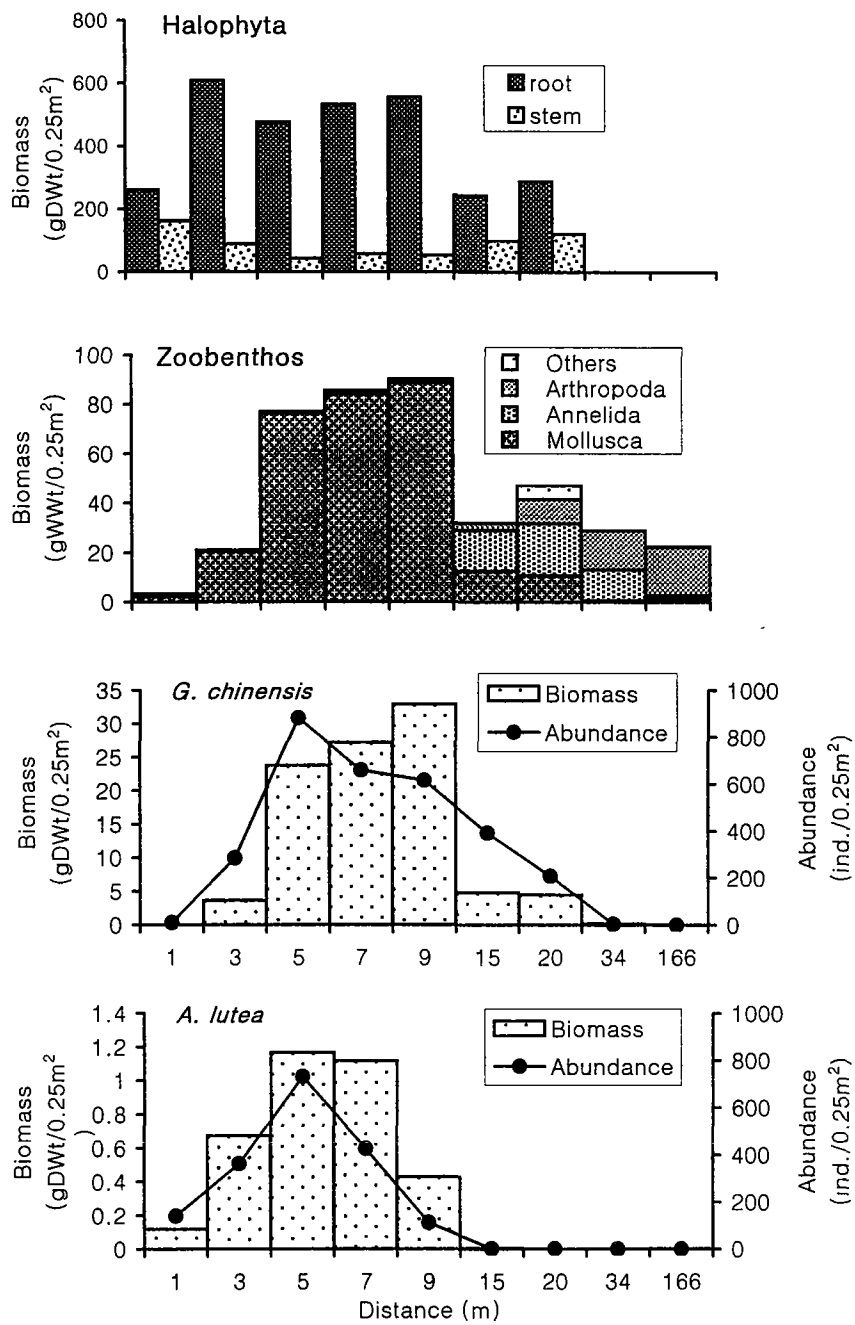


Fig. 3-6-13. Relationship between distribution of halophyta and macrobenthos and two dominant species during the sampling period in salt marsh area.

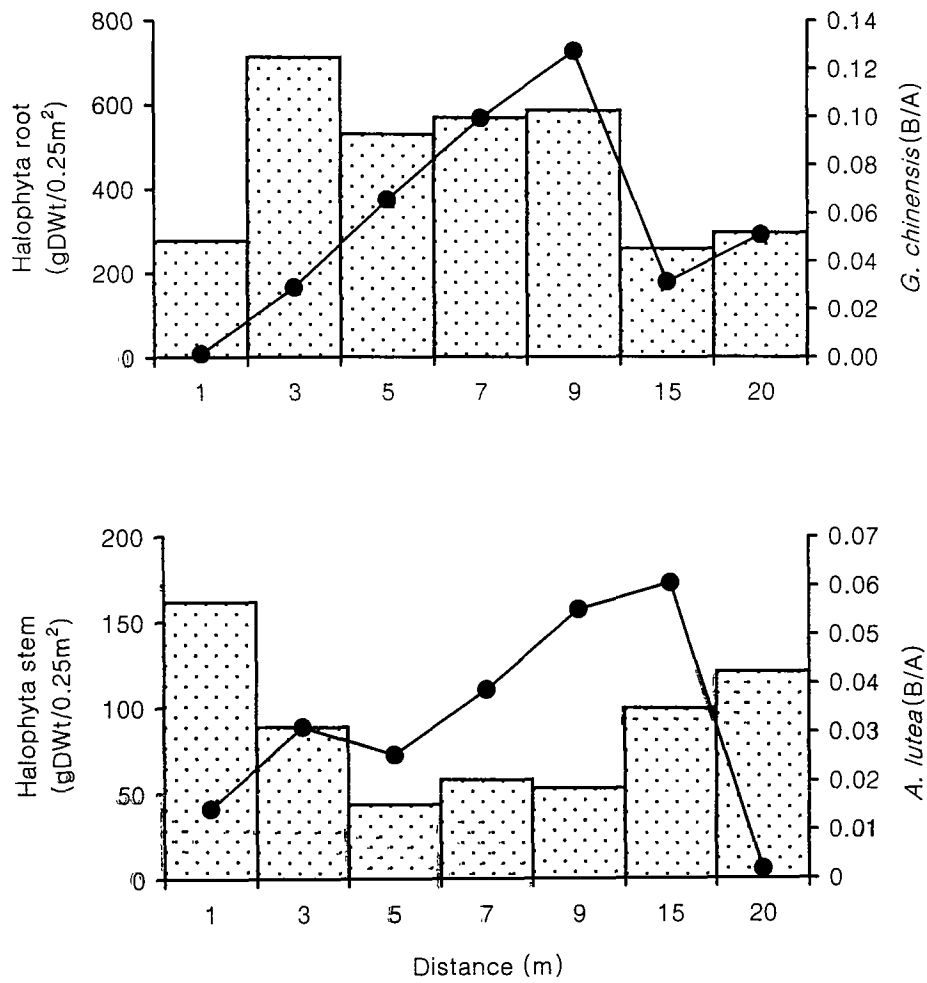


Fig. 3-6-14. Relationship between halophyta and standing crops of two dominant species during the sampling period.

6.4.5. 염습지 식생과 갯벌의 저서동물상 비교

염습지 식생이 존재하는 지역과 존재하지 않는 갯벌에 서식하는 저서생물상을 비교해 보았을 때 두 서식처 사이의 퇴적상은 조사지역과 인근의 선두리 해안에서 펄함량이 높게 나타났으며, 그 밖의 두 지역에서는 모래함량이 높게 나타나는 양상을 보였다(Table 3-6-4). 특히 염습지의 식생은 부유 퇴적물의 물리적 이동을 방해하여 염습지의 표층에 퇴적시키는 역할을 하고있었다.

고조선으로부터 10 m지점에서는 종 수의 경우 염습지가 매우 낮게 나타났으나 개체수의 경우 매우 높은 서식밀도를 보였다. 생체량에 있어서도 비교적 높게 나타났으나 여차리보다는 높지 않았다. 특징 종에 있어서는 염습지 식생은 갈색새알조개와 기수우렁이가 주요 우점종으로 출현하였으나 갯벌의 경우 갯지렁이인 *Heteromastus filiformis*, 두토막눈썸참갯지렁이가 출현하였다.

갯벌과 인접한 166 지점의 염습지 식생의 출현 동물상은 종 수와 개체수 생체량이 전부 낮게 나타났다. 특징 종으로는 염습지 식생의 경우 칠게와 세스랑게가, 갯벌의 경우 *Nephtys oligobranchia*와 *H. filiformis*가 출현하였다.

따라서 염생식물이 높은 밀도로 서식하는 염습지의 저서동물상은 종 수의 경우 갯벌보다 적은 종 수를 보이나 소수종이 극우점하여 높은 서식밀도를 보이는 것으로 나타났다. 결과적으로 염습지가 형성되면 대형저서동물의 경우 종 다양도는 급격히 감소하는 양상을 보일 것이다.

6.4.6. 염습지의 역할

조사지역인 동검도 해안습지는 한강의 지류로부터 많은 부유 물질이 유입되고 있으며, 또한 장봉도, 영종도, 신도, 시도 등에 의해 외해의 영향을 덜 받는 위치에 있다. 조사결과 염습지내의 종 다양성은 갯벌보다 낮게 나타났으나, 서식밀도는 갯벌보다 4배에 달하는 결과를 보였다. 이것은 저서생물만의 조사에 의한 것이며, 곤충과 조류 등을 포함하면 상당한 종 다양성을 보일 것으로 예상된다. 실제로 염습지 하부에는 왜가리 종류나 많은 철새들이 관찰되었으며(해양연구소, 1998), 저서생물의 난이나 계의 어린 개체가 많이 출현하

Table 3-6-4. Comparison of ecological conditions between salt marsh and tidal flats in Kanghai-do, November, 1997

Distance(m)	Conditions	This study			Kordi, 1988		
		Salt marsh	Tidal flats		Tidal flats		
		TONGGOMDO	SUNDURI	TONGMAKRI	YEOCHARI		
10		7.38	7.16	4.14	3.03		
	Mean grain size (Phi)						
	No. of species	3	19	9	9		
	Density(ind./0.25 m ²)	1215	330	137	41		
	Biomass(gWWt/0.25 m ²)	83.8	50.0	52.1	223.5		
	Characteristic species	<i>Glaucanomya chinensis</i> (M)	<i>Heteromastus filiformis</i> (P)	<i>Mactra veneriformis</i> (M)	<i>Nephtys oligobranchia</i> (P)		
		<i>Assimineea lutea</i> (M)	<i>Eteone longa</i> (P)	<i>H. filiformis</i>	<i>M. japonicus</i>		
		<i>Neanthes japonica</i> (P)	<i>P. abuhitensis</i> (P)	<i>Moerella iridescens</i> (M)	<i>H. filiformis</i>		
		<i>Perinereis abuhitensis</i> (P)	<i>Macrophthalmus japonicus</i> (C)	<i>P. abuhitensis</i>			
166		7.59	7.57	6.12	4.91		
	Mean grain size (Phi)						
	No. of species	4	8	14	12		
	Density(ind./0.25 m ²)	45	101	99	87		
	Biomass(gWWt/0.25 m ²)	9.1	44.0	9.9	117.6		
	Characteristic species	<i>M. japonicus</i>	<i>H. filiformis</i>	<i>N. oligobranchia</i> (P)	<i>Ilyoplax pingi</i> (C)		
		<i>Cleistosolma dilatatum</i> (P)	<i>P. abuhitensis</i>	<i>H. filiformis</i>	<i>Neomysis</i> sp. (C)		
		<i>Nephtys chemulpoensis</i> (P)	<i>E. longa</i>	<i>M. iridescens</i>	<i>N. oligobranchia</i>		
		<i>Mediomastus</i> sp. (P)			<i>M. iridescens</i>		

였다. 이는 염습지가 해양생물 이외에 육상동물의 산란장이나 성육장 또는 휴식처의 역할을 한다는 것을 의미한다. 염생식물의 뿌리는 육상의 토양을 물리적 영향에 의한 침식으로부터 방지하는 역할을 하며 줄기나 잎은 조류의 유속을 감소시키고, 표층에 부유물질 및 유기물을 퇴적시키는 작용을 한다. 또한 식물의 지상부인 줄기와 잎은 매년 성장과 고사를 반복하고 있으며 지체와 갈대는 다년생 식물로 매년 동일한 뿌리에서 줄기가 자라고 다시 분해되어 표층 퇴적물에 유입된다. 따라서 퇴적물의 유기물 함량을 증가시키는 생물학적 작용을 한다. 이와 같이 염습지는 갯벌과는 다른 다양한 생태적 기능을 하는 것으로 보이며, 연구에서 시도한 저서생물을 포함한 전반적인 생태계 구조와 기능을 파악한다면 더욱 효율적인 염습지의 역할을 확인할 수 있을 것이다.

제7절 중형저서생물의 군집구조, 섭식 및 생산량

7.1. 서론

중형저서생물(meiofauna)에 어떠한 동물이 있는가를 살펴보면 크게 척삭 동물에서 유공충과 같은 원생동물까지 전부 22개의 문(門)이 기록되어져 있다. 동물의 문(門)의 수는 의견의 차이가 다소 있지만, 38개에서 40개 정도이기 때문에 이중 약 반 이상에서 중형저서생물(meiofauna)을 발견할 수 있다는 이야기가 된다. 역으로 중형저서생물 외에는 보이지 않는 문(門)이 7개 있다. 이러한 이야기는 중형저서생물이 생물의 세계로 보면 대단히 크기가 적음에도 불구하고 다양성이 풍부한 그룹이라는 것을 말해준다. 중형저서생물의 개체수 밀도는 1평방미터당 $10^6 \sim 10^7$ 개체의 중형저서생물이 얻어진다(McIntyre, 1969). 개체수 밀도는 주로 유기물의 양, 저질 간극 공간량 및 간극수 중의 산소량에 의존한다. 적절한 양의 식물이 공급되어, 산화적 조건이 갖추어지고 또한 입도가 거칠어 간극공간이 많은 퇴적물에는 1평방 미터당 1억개체에 달하는 다수의 중형저서생물을 볼 수 있다. 중형저서생물은 일반적으로 선충류와 유공충류가 우점하고 양자를 합하면 전체 개체수의 약 80~90%정도를 차지하는 것이 통계이다. 일반적으로 선충류와 유공충류는 거의 같은 수로 나타난다. 선충류나 유공충류에 이어서 숫적으로 많은 동물군은 저서성의 요각류인 benthic harpacticoids류이다. 이 동물군은 개체수가 적당한 밀도로 존재하고, 다른 동물군에 비해 분류학적 연구가 진보되어 있어, 동정이 비교적 쉽다는 것 등으로부터 생태학적 연구가 중형저서생물의 다른 그룹보다 잘 진행되어진 상태이다.

중형저서생물의 수직적, 평면적인 분포를 규정하는 주된 요인은, 앞서서도 언급한 바와 같이 먹이와 퇴적물 입도 이지만, 수직 분포에 대해서는 산소 농도가 중요하다. 그 외에도 조간대에서는 바닷물의 밀, 썰물에 대응하여 수직 분포가 변화한다고 알려져 있다. 그 외에도 표층에서의 생물에 의한 해수의 미묘한 흐름변화에 따라 중형저서생물의 미세분포가 변화하는 것도 보고되어져 있다. 중형저서생물 중 빈 산소인성이 뛰어난 그룹이 몇 개 알려져 있다. 빈모류(Oligochaetes), 악구류(Gnathostomulids), 와충류(Turbellarians),

선충류(Nematodes) 등의 일부이지만, 선택 실험을 하면 빈 산소에서 유화수소가 풍부한 듯한 환경을 좋아한다. 이러한 동물을 Thiobios라고 부르지만, 특이한 생활이나 유화수소가 풍부한 환경이 조류의 광합성에 의해 대기가 산소를 풍부히 포함시키기 이전의 환경과 비슷하다는 것 등으로부터 많은 연구자의 흥미를 불러일으켰다. 이러한 동물이 서식하는 환경은 환원적 환경과 산화적 환경과의 경계 영역이다. 어떠한 것은 단순히 환원적 환경에 대한 인성이 높을 뿐이지만 그 중에는 환원적 환경에서만 증식 가능한 유황산화세균을 체표 혹은 체내에 공생 시키고 있는것도 있다. 열수 생태계(Hydrothermal vents ecosystem)나 냉용수 생태계(Cold seep ecosystem)에 서식하는 Vestimentiferans나 이매패인 Calyptogena처럼 이들 공생세균의 일차 생산물을 에너지원으로 하고 있는 것이다. 유황산화세균은 유화수소와 산소의 두 종류의 가스를 필요로 한다. 대형의 생물에서는 산화환경과 환원환경의 경계에서 서식하면, 동시에 양쪽의 환경에 몸을 접할 수 있지만, 소형의 생물인 중형저서생물은 양쪽의 환경 사이를 동물 자신이 갔다 오는 것으로, 앞의 두 기질을 공생세균에 공급하게된다.

유황산화 세균을 공생시키고 있는 생물은 유화수소와 동시에 산소를 필요로 하기 때문에 유기 오염에 의한 저층수의 넓은 범위에 걸쳐 빈 산소수괴가 원인이 된 환원환경에서는 서식할 수 없다. 이러한 환경에서는 장기간에 걸쳐 빈 산소 환경이 되어도 생존 가능한 종이 살아남게 된다. 예를 들면, 선충류의 한 종은 빈 산소 환경에 장시간 있으면 유황의 결정이 체내에 축적하는 것에 따라 무독화 되고 있다고 생각되어진다. 따라서 종 level에서 중형저서생물을 본다면, 같은 환원환경이라 하더라도 다른 성질에 기반을 두고 있다는 것을 인식하는 것도 가능하다. 이러한 특징으로부터 중형저서생물은 해양환경의 변화에 민첩하게 대응해서 분포가 변화하기에 환경의 지표생물로써 사용하는데 적합한 생물이라 할 수 있다.

최근 해양저서환경을 평가함에 있어서 중형저서생물의 유효성에 대한 관심이 높아지고 있다(Sandulli & De Nicola, 1990). 중형저서생물은 전 생활사를 저질 안에서 보내며, 서식을 위해 비교적 안정된 환경을 요구하며, 세대기간이 짧기 때문에 환경의 변화에 대형저서생물에 비해서 짧은 기간에도 군집의 변화를 보인다고 알려져 있다(Sandulli & De Nicola, 1990). 지난 수년

간 중형저서생물은 오염을 평가하는 도구로서 유용하게 사용되어져 왔다. 그들의 짧은 세대기간과 높은 종 다양성으로 인하여 생태적 모니터링에 유용하게 이용되어져 왔다.

해양에서 무엇보다도 종 다양성이 높은 동물군은 선충류라고 말하여지고 있다. N. A. Cobb(1915)은 “이 지구상에서 선충류 이외의 생물을 제외시킨다 하더라도, 지구표면에는 선충류의 필름이 있어, 어디가 바다이고 어디가 산인지 알 수 있으리라” 라는 유명한 말을 남겼다. 즉 육상에도 바다에도 많은 선충이 서식하고 있다는 말이다. 바다의 선충류는 육상 또는 기생성의 선충과 크게 다른 분류군에 속한다. 바다의 선충에 대한 연구상황을 이야기해보면 유럽에서의 연구에 의하면 해산의 선충은 어느 해역에서도 대략 500종 정도 있다. 대서양은 지구역사적으로 보면 아주 새로운 바다로써 태평양과 비교하면 생물의 종류는 어떠한 것에 있어서도 적다고 할 수 있다. 산호나 조개로 비교하면 1/20 정도이다(Shirayama and Kim, 1998). 이러한 것으로부터 한국에서는 어느 해역 예를 들면 남해의 만에서 선충류를 찾는다면 10,000종 정도가 있으리라 생각된다. 그러나 지금까지 한국에서의 기록은 전무한 상태이다. 어떤 것이라 하더라도 중형저서생물의 종 다양성은 무척 높다. 그러나 유기오염 혹은 중금속 오염 등의 환경의 악화가 일어나면, 종 다양성이 격감한다고 알려져 있다. 거기서 meiobenthos의 종다양성도 환경 오염의 지표로써 유망시 되어지고 있다. 선충류등은 거의 α 분류학이 진행되어져 있지 않기 때문에, 시료에 정식의 학명을 붙이는 것은 불가능에 가깝다. 그러나 종의 다양성 지수를 얻을 목적이 있다면, 종명은 정확한 학명일 필요는 없고, 속명+sp.1으로 충분하기 때문에, 분류학의 뒤늦음은 다양도를 환경의 지표로 사용하지 못할 이유가 되지는 않는다고 본다.

선충류와 유공충류에 이어서 수적으로 많은 동물군은 저서성요각류(Harpacticoida)이다. 이 동물군은 개체수가 적당한 밀도로 존재하고, 다른 동물군에 비해 분류학적 연구가 진보되어 있어, 동정이 쉽다는 것으로부터 생태학적 연구가 잘 진행되어져 있다(Coull, 1988). 아주 거친 입자의 모래 저질 등 특수한 서식지에 있어서는 이 종류가 선충류보다 많고 무엇보다도 우점하는 생물군이 되기도 한다(Kim and Shirayama, 1996a). 요각류는 빈산소환경에 민감하고 환경의 악화, 특히 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다. 한편

선충류는 그룹 자체로써 환경의 변동에 내성이 높은 것 뿐 아니라, 어떤 종들은 빈산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다. 이러한 두 중형 동물군 간의 서식특성을 이용하여 만든 지수 값인 N/C값(nematodes/harpacticoid copepods ratio)은 환경오염이 진행된 해역에서 높고, 자연상태에 가까운 장소에서는 낮다. 중형저서동물을 종 단위까지 동정하는 것은 아주 어려운 일이지만 선충류, 저서성요각류 등의 상위의 계급수준은 쉽게 분류가 가능하기 때문에 이 N/C 값은 유용한 환경지수로서 점차 사용되어지고 있다(Raffaelli, 1981, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Warwick, 1981). 한편, 중형저서동물의 분포를 결정하는 저질환경, 물리, 이화학적 환경 등에 대한 해석이 단순치 않고, 그에 대한 이들 생물의 반응도 다양하다. 따라서 환경지수으로써 단순화되어진 Nematoda/Harpacticoida ratio에 대한 의문점을 제시하는 연구도 있고(Coull *et al.*, 1981), 그와 다른 결과를 보여주는 연구도 있다(Vidakovic, 1983; Moore and Pearson, 1986). 그러나 Raffaelli(1987)는 연안의 모래역 이외의 저질환경에서 이루어졌기 때문이라는 문제점 등을 지적하였고, 그후의 여러 연구결과는(Amjad and Gray, 1983; Lamshad, 1984; Shiells and Anderson, 1985; Itaoka and Tamai, 1995)이 지수활용의 유효성을 입증하였다고 볼 수 있겠다.

근년의 분자 유전학의 진보는 눈부시다 할 수 있다. 특히 PCR이 발명된 이후, 소량의 생물 시료라 하더라도 유전자의 해석이 가능하게 되었다. 현재의 기술을 사용한다면, 체중 μg 정도의 중형저서동물 1 개체로부터는 충분히 DNA를 증폭시켜 염기 배열을 조사할 수 있다. 이러한 상황에 대해서 멕시코만에서는, 유전의 환경 영향을 조사하기 위해서, 중형저서동물의 유전자 level의 다양성을 지표로써 사용하는 것이 시험되어지고 있다. 같은 종의 복수 개체의 특성의 유전자의 다양성을 개체군 별로 비교하면, 유전(油田)과의 거리가 가까운 장소에 서식하는 개체군 쪽이, 유전적인 다양성이 낮다고 하는 결과가 나와 있다(Montagna 私信).

중형저서동물의 개체수는, 계절 변화가 뚜렷한 해역에서는 현저한 계절성을 나타낸다. 일반적으로 봄에서 여름에 걸쳐 개체수가 증가하고, 가을에서 겨울에 걸쳐 개체수가 감소한다. 변동폭은 아주 커서 총 개체수가 두 자리 숫자 정도 변화하는 경우도 적지 않다(Kim and Shirayama, 1996). 유기오염의

진행이 이루어진 해역에서는 여름에 저층수의 용존 산소 농도가 대단히 낮아진다. 이러한 경우 빈 산소 환경에 대한 인성의 낮은, 저서성요각류를 중심으로 개체수가 격감한다. 보다 자세하게 종 단위에서 보면, 각각의 종 특유의 생활사를 갖고 있어, 개체수의 변동도 개성이 있는 것을 알 수 있다. 특히 세대시간이 짧고, 1년에 5~20세대 정도 갖고 있는 것도 년 1세대의 것과 구별하는 것이 가능하다(Kim, 1996) 전자는 펄식성 혹은 bacteria나 detritus를 먹이로 하는 소형의 것이 많고, 후자는 주로 그러한 소형의 중형저서생물을 먹이로 하는 포식성의 것이다.

중형저서생물은 퇴적물 내에서 산소의 분포에 중대한 영향을 끼치며, 그 외에도 에너지 수지 등의 면에서도 중요한 역할을 담당하고 있다. 그리고 수심의 증가에 따라 개체수 밀도는 감소하지만, 그 비율은 보다 대형의 저서생물과 비교하면 작고(Thiel, 1979), 무엇보다도 빈 영양의 해역에 있어서도 $10^4 \sim 10^5$ 개체 m^{-2} 정도의 밀도를 유지하고 있다(Shirayama, 1984a). 천해계의 밀도를 현존량으로 환산하면 $10 \sim 100 g m^{-2}$ 에 상당하고 대형저서생물에 비하면 크기는 작지만 소형의 동물이 보다 생리활성이 높다는 것을 고려한다면 중형저서동물의 에너지소비량은 대형저서동물의 5배에 달한다(Gerlach, 1971). 한편, ATP양에서 박테리아와 중형저서동물의 대사량은 거의 같다고 되어 있어(Yingst, 1978), 이상을 고려한다면 전 에너지 소비의 46%가 중형저서동물에 의해 차지되어지고 있다는 것이 된다. 또한 섭식의 면에서 본다면, 선충류의 1종 *Paramonobystera* sp. 의 섭식량은 1개체당 $4.3 ng ch^{-1}$ 로 추정되어지고 있어(Shirayama, 1984a), 이 값에서 추정되어진 중형저서생물 군집의 섭식량은 $40g cm^{-2} y^{-1}$ 에 달한다. 또 이 섭식량은 1시간당 박테리아의 현존량의 0.1%를 섭식하는 것에 상당하고, 특정의 종을 포식하고 있다는 보고도 있기 때문에(Tietjen and Lee, 1973), 박테리아의 군집조성에도 커다란 영향을 끼친다 말할 수 있다.

중형저서생물의 생산량을 field의 data에서 측정하는 것은 무척 어렵다. 그 이유는 위에서 서술한 바와 같이 세대시간이 짧기 때문에, 개체군의 성상을 field에 있어서의 정기채집에서 추적하는 것이 불가능한 것을 최대의 이유로 들 수 있다. 거기서 생산량은 무엇인가의 실내 실험의 결과를 해서 추정하는 방법을 사용한다. 중형저서생물의 연간 세대수는 사육 실험으로부터 6내지

20정도의 값이 얻어져 있다. 모든 종이 이값에 적용 가능 할 리는 없지만, 평균적인 세대수를 10정도로 해서, 현존량의 값과의 비에서 연간 생산량을 추정하는 방법이 가장 일반적으로 이용되어지고 있는 방법이다(Heip *et al.*, 1982). 그러나 실제로 현존량도 크게 변동하기 때문에, 1개의 표본으로부터 연간 생산량을 이 방법으로 추정하는 것은 다소 문제점도 있다 할 수 있다. 보다 직접적인 방법으로써 중형저서생물군집을 구성하는 주요한 종에 대해서, 호흡, 섭식 등의 생산량의 추정에 필요한 Parameter를 측정하고, 각종의 값을 합산해서 군집 전체의 생산량을 추정하는 방법을 이용한다. 그러나 이 방법은 상당의 노력과 비용을 필요로 하기 때문에 과거에 행하여진 예는 2개(Kim, 1996; Warwick *et al.*, 1979)에 지나지 않는다. 이 방법은 다른 해역의 다른 군집조성의 중형저서생물군집에 대해서 세대시간을 가정하는 것 보다 신뢰성이 높은 생산량의 측정이 가능하다. 또한 이 방법은 온도의 영향을 충분히 고려하고 있기 때문에, 생산량의 추정이 보다 현실에 가깝다.

우리나라의 주변해역에서 이렇듯 퇴적물 생태계에서 그 중요성이 아주 높은 중형저서생물에 대한 연구는 아직까지 아주 미흡한 상태이다. 특히 세계적으로 발달한 갯벌에서의 연구는 거의 전무한 상태이고 최근의 연구가 몇 있을 뿐이다(Kim *et al.*, 1998). 중형저서생물은 퇴적물에 있어서 아주 높은 서식 밀도를 보이며, 산소의 분포 등에 있어서 중대한 영향을 미치며, 소비자 또는 2차 생산자로서 퇴적물 생태계에서의 그 역할은 아주 중요하다. 그러나 갯벌에서의 이러한 생리, 생태에 관한 연구는 세계적으로도 더욱 미흡한 상태이다. 물론 앞에서도 언급한 바와 같이 이러한 연구는 많은 노력과 시간, 경비가 필요한 것 등으로부터 여러 어려움이 있다 할 수 있겠지만, 갯벌 전체에서 중형저서생물이 차지하고 있는 비중을 생각해 볼 때 전체 생태계에서의 역할 또는 갯벌에서의 에너지 흐름 등에 있어 필수적인 요소이다. 그래서 본 연도에는 강화도 여차리 갯벌을 대상으로 하여 중형저서생물 중 무엇보다 우점하는 선충류, 저서성요각류 등을 대상으로 하여, 그들의 생리적 활성을 조사해, 퇴적물생태계 내의 에너지흐름에서의 역할을 통한 에너지 생태의 한 면을 밝히기 위하여, 일차적으로 방사성 동위원소를 사용한 섭식에 대한 실험을 하여 보았다. 또한 P/B 값으로부터 이들의 생산량을 구해 보았다. 이러한 시도는 차후 계속되어질 호흡량 등의 실험 값과 함께 갯벌에서의 에너지 전이, 생산

량의 보다 정확한 값을 산출하는데 도움이 되리라 생각한다.

7.2. 재료 및 방법

7.2.1. 중형저서생물 군집조사

강화도 조간대 갯벌에 서식하는 중형저서생물군집의 수평적 생물상, 밀도 및 수직적 변화 등을 조사하기 위하여 여차리 앞 갯벌에서 1999년 5월과 8월 두 차례에 걸쳐 조사를 실시하였다. 조사지선에 저서생물의 분포에 영향을 미치는 중요한 요소의 하나인 퇴적물 입도에 차이를 보이는 두 군데의 조사지역 Site A (400~600m), Site B (1000~1200m)를 설정하였다. Site A는 펄 갯벌이고, Site B는 모래갯벌이다. 또 조사지역 내에 각각 3개의 조사정점 St. 1, St. 2, St. 3을 100m간격으로 선정하였다(Fig. 3-7-1). 생산력을 밝히기 위해서는 중형저서동물 군집의 군집구조를 우선 밝힐 필요가 있고, 년 단위의 값을 알기 위해서는 그들의 연 변화를 조사할 필요가 있으므로, 각 정점에 대하여 5월과 8월에 각각 채집을 실시하였다. 우선 중형저서생물의 군집구조를 밝히기 위하여 직경 36mm의 아크릴 코어를 사용하여 3개씩의 시료를 채취하였다.

각 정점에서 직경 3.6cm 크기의 아크릴로 된 튜브를 코어링하여 퇴적물을 채취한 후, 표층으로부터 깊이 10cm까지를 각각 1cm씩 (0~1cm, 1~2cm, 2~3cm, 3~4cm, 4~5cm, 5~6cm, 6~7cm, 7~8cm, 8~9cm, 9~10cm) 자른 다음 로즈벵갈(rose bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정했다(Fig. 3-7-2). 현장에서 연구소로 운반되어진 생물 시료는 연구실에서 각 크기의 체(1mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m, 37 μ m)로 크기별로 걸러내어 광학현미경 하에서 분류 및 계수를 하였다. 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 밀도 및 수직분포를 알기 위하여 10cm까지 처리한 시료의 분석에서 전 생물군이 표층 5cm안에 90%이상을 차지하고 있어 이 곳에서는 5cm까지의 시료의 값으로 균일하게 표현하기로 하였다.

7.2.2. 섭식량 및 생산량

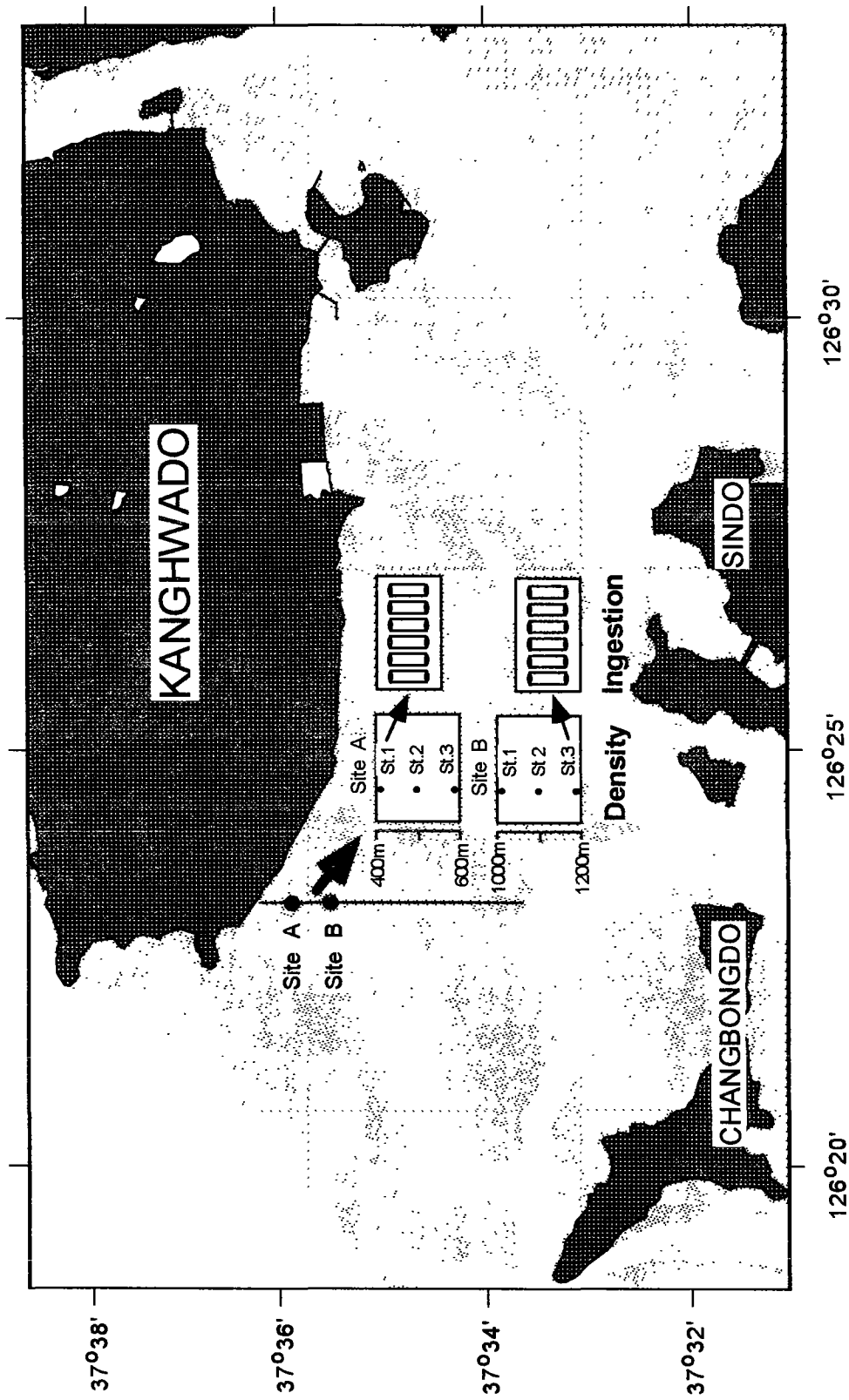


Fig. 3-7-1. A map showing the study area and sampling stations for meiobenthos in Kanghwa tidal flat.

[For density and distribution of meiobenthos]

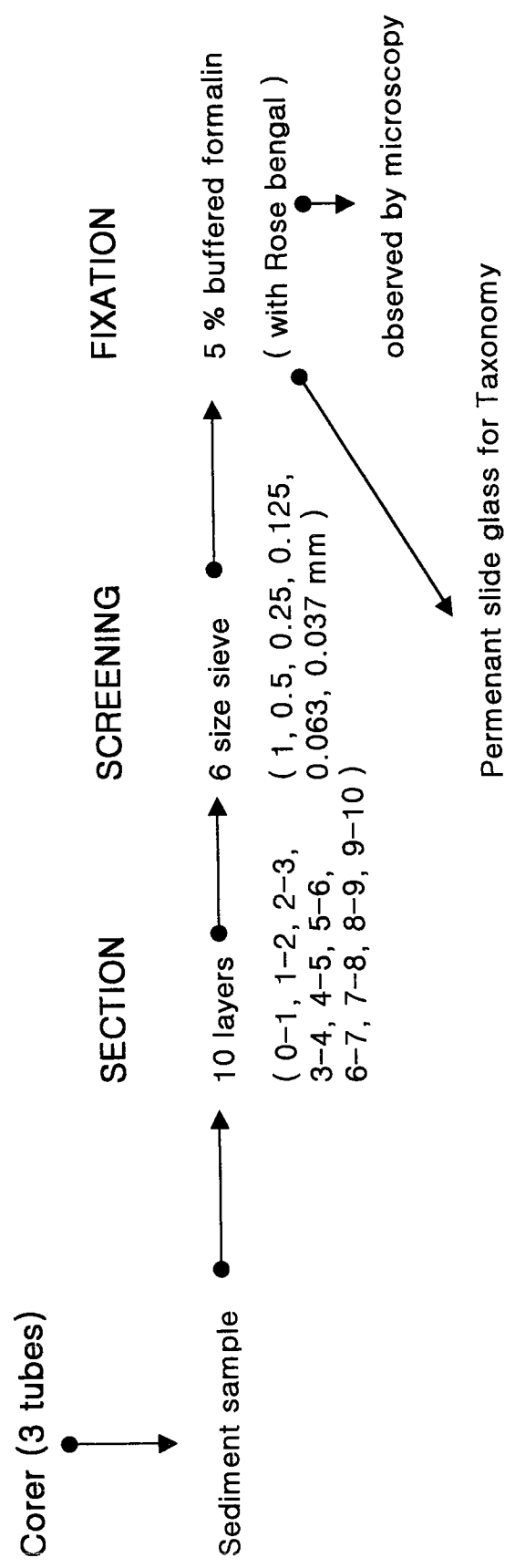


Fig. 3-7-2. Subsampling for density and distribution of meiobenthos.

에너지 수지의 한 단면을 밝히기 위하여 중형저서생물 중 우점하는 선충류, 저서성요각류의 섭식량의 실험을 수행하였다. 보다 정확한 값을 알기 위하여 현장실험을 하였으며, 이 실험에는 Radio Isotope를 이용한 방법, 즉 H^3 thimidin과 C^{14} amino acid를 tracer로써 사용하는 방법을 선택하였다(Fig. 3-7-3). Site A에서는 가장 입자가 미세하여 대표적인 펄 갯벌이라 생각되는 St. 1을, Site B에서는 모래성 입자가 가장 높은 St. 3을 선정하여 각 정점에서 직경 3.6mm의 아크릴 코어를 사용하여 시료를 채취하였다. 시료는 표층 0-1cm를 중점으로 1cm씩의 시료를 잘라내어 H^3 thimidin과 C^{14} amino acid로 각각의 퇴적물내의 박테리아와 micoralgae를 label 하였다. 이러한 각각의 시료는 control, 10분, 30분, 60분, 90분, 120분의 시간 별로 incubation한 후 5% 중성 포르말린으로 고정, 냉장 보관하였다.

냉장 보관된 각각의 시료는 연구실로 운반되어져 각각의 체크기에 따른 '체'로 구획한 후 일정량의 선충류와 일정량의 저서성요각류를 채취하였다. 이들 시료는 filter paper위에 여과시켜 농축시킨 후, 0.5 N Hcl($50\mu\text{l}$)을 사용하여 생물시료의 몸에 부착되어진 C^{14} 를 씻어내었다(Fig. 3-7-4). 그 후 0.25%SDS, 0.125 M NaOH의 tissue solubilizer를 사용하여 tissue를 녹여 내었다. Scintillation counter에서의 측정을 위하여 전 단계의 laser dye(4ml)의 cocktail용액을 첨가한 후 Liquid scintillation counter(Wallac Backbeta II) 로 측정 하였다.

생산량을 알기 위하여는 중형저서생물의 각 분류군별 각 '체' 크기에서의 전환 값이 필요한데 이는 Shirayama(1983)의 체 크기별 개체 당의 ash free dry weight(μg) 값을 사용하였다(Table 3-7-1).

7.3. 결과 및 고찰

7.3.1. 군집분석

가. 군집구성 및 주요 생물군

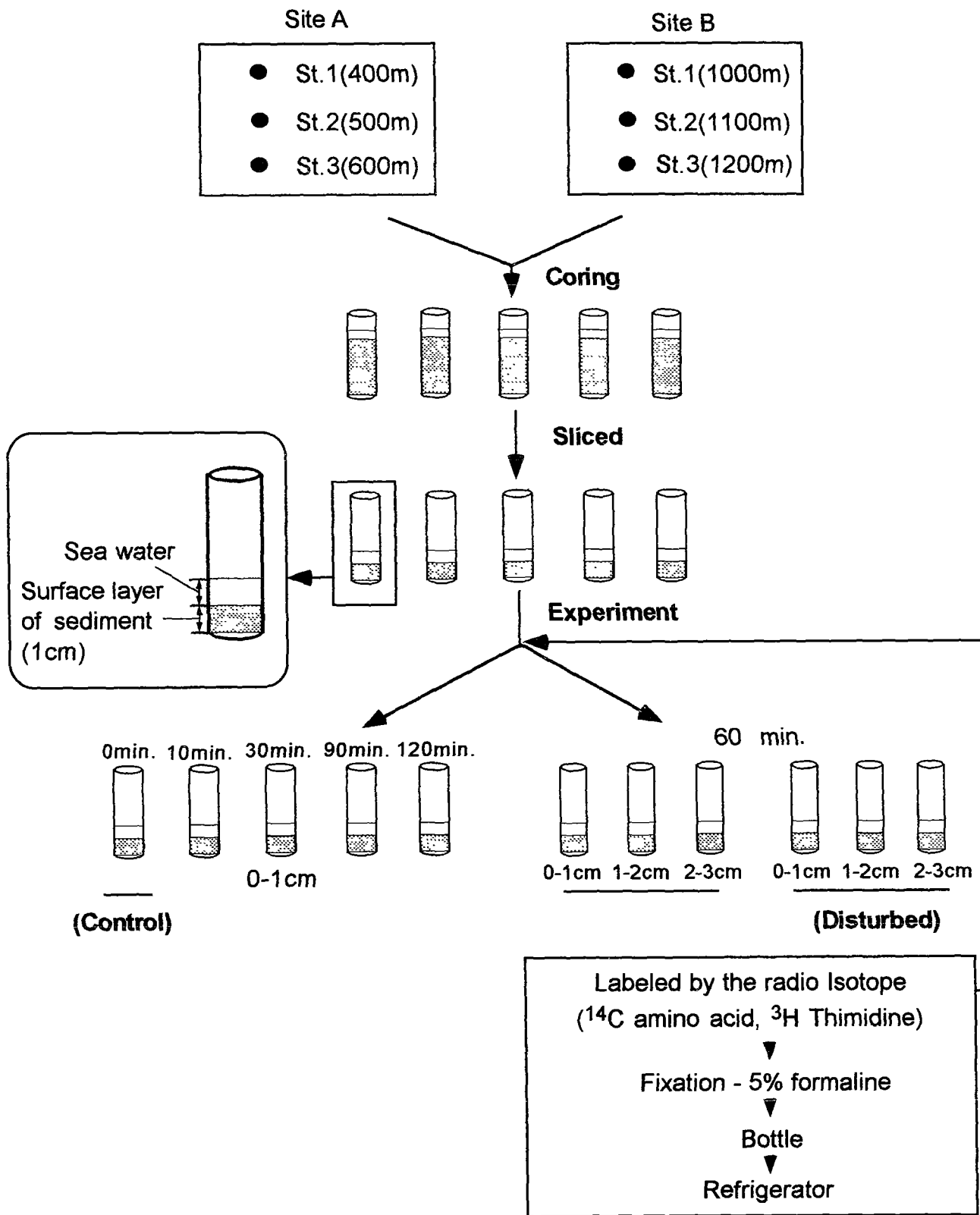


Fig. 3-7-3. Feeding experiments of meiobenthos using Radio Isotope.

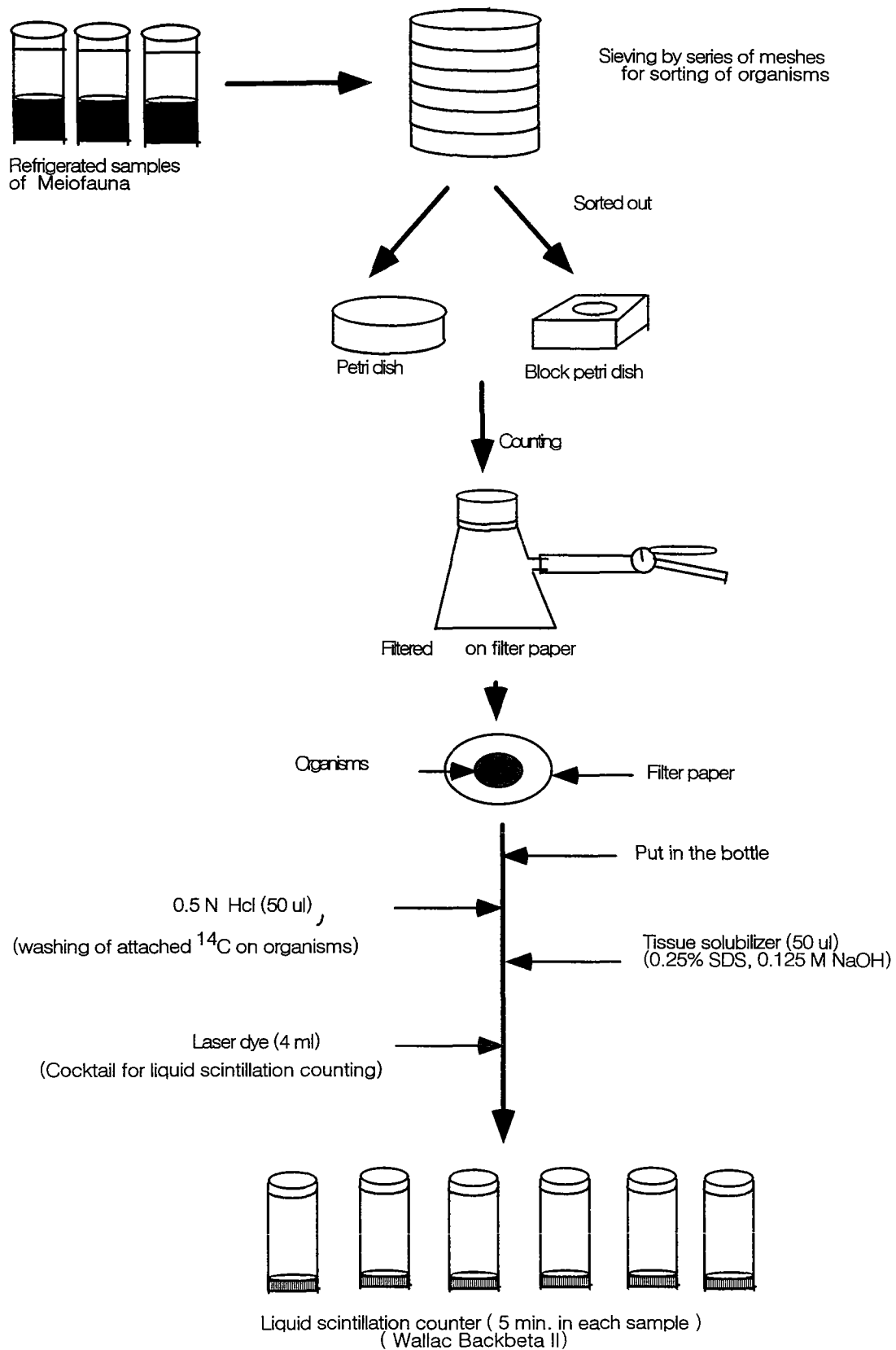


Fig. 3-7-4. The process of experiments to calculate the DPM value of meiobenthos by Liquid scintillation counter for feeding rates of meiobenthos.

Table 3-7-1. Standard ash free dry weight(ug) per individual for four meiobenthic animal groups (after Shirayama, 1983)

Size range (mm)	Rhizopods (ash free dry weight (ug) per individual)	Nematodes	Copepods	Others
1.0 - 0.5	5.5	4	83	43
0.5 - 0.25	1.5	1.1	8.2	7.2
0.25 - 0.125	0.41	0.32	0.81	1.2
0.125 - 0.063	0.11	0.09	0.08	0.2
0.063 - 0.037	0.043	0.035	0.014	0.052

두 계절에 있어서 각 조사지역의 각 조사정점에서 나타난 중형저서생물의 군집 조성을 보면 모두 총 16개의 분류군이 출현하였다(Table 3-7-2). 두 계절의 각 조사지역에 있어서 각 정점별 각 군집의 비율을 보면(Fig. 3-7-5), 5월에는 조사지역 A, B에 있어서 두 지역 모두 선충류(nematodes)가 가장 높은 비율을 차지하여 각각 54%, 40%를 보였다. 그 다음으로 높은 비율을 차지하는 분류군도 두 지역 모두 유공충류(sarcomastigophorans)로 각각 22%, 32%를 나타냈다. 즉 두 분류군이 조사지역에서 각각 76%, 72%를 차지하고 있는 값이 된다. 중형저서생물은 일반적으로 선충류와 유공충류가 우점한다. 양자를 합하면 전체 개체수의 약 80~90%정도를 차지하는 것이 일반적인 통계이다. 일반적으로 선충류와 유공충류는 거의 같은 수로 나타난다. 단지 유공충류에는 모래 저질의 것이 있어, 이들은 부서지기 쉽기 때문에, 그 개체수를 표현하는 것이 실제로 무척 어렵기에 정밀한 조사가 병행되어야 한다. 지역에 따라서는 선충류나 저서성요각류가 우점하는 곳도 있다. 이러한 일반적인 관점에서 바라볼 때 두 시기의 각 조사지역에서 이들 두 그룹의 높은 비율은 일반적인 현상을 대변해주고 있다 할 수 있다. 선충류나 유공충류에 이어서 숫적으로 많은 동물군은 저서성의 요각류인 benthic harpacticoids류이다. 이 동물군은 개체수가 적당한 밀도로 존재하고, 다른 동물군에 비해 분류학적 연구가 진보되어 있어, 동정이 비교적 쉽다는 것 등으로부터 생태학적 연구가 중형저서생물의 다른 그룹보다 잘 진행되어진 상태이다. 아주 거친 입자의 모래저질 등 특수한 서식지에 있어서는, 이 종류가 선충류 보다도 많고, 무엇보다도 우점하는 동물군이 되기도 한다.

또한 조사지역 A에서는 선충류가 유공충류에 비해 두배 이상의 높은 서식 비율을 보이고 있는 반면 조사지역 B에서는 선충류와 유공충류가 거의 차이가 나지 않는 서식비율을 보여주고 있다 할 수 있다. 높은 서식비율을 차지하는 상위 5개의 분류군이 두 지역 모두 순서가 같게 나타나, 그 다음으로 높게 나타나는 분류군은 저서성요각류로 두 지역 모두 13%의 같은 비율을 보였다. 그 다음이 갑각류의 유생으로 각각 9%, 14%의 값을 섬모충류는 두 지역 모두 1%를 밀도는 값을 보여 주었다.

8월의 경우를 보면 높은 서식비율을 차지하는 상위 5개의 분류군에 있어서는 5월의 경우와 같은 양상을 보이고 있다. 즉, 선충류가 가장 높은 비율을

Table 3-7-2. The number and percentage of meiobentos at each stations in Kanghwa tidal flat

Kanghwado Yeochari	980527				980820			
	Site A		Site B		Site A		Site B	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
Nematodes	2818	70.27	3580	71.33	3312	66.43	3217	55.03
Sarcomastigophorans	569	14.19	1146	22.83	840	16.85	1563	26.74
Harpacticoids	271	6.76	142	2.83	456	9.15	557	9.53
Nauplius	171	4.26	43	0.86	266	5.33	371	6.35
Ciliophorans	94	2.34	35	0.70	40	0.80	51	0.87
Turbellarians	37	0.92	14	0.28	20	0.40	20	0.34
Polychaetes	10	0.25	11	0.22	15	0.30	16	0.27
Bivalves	8	0.20	9	0.18	9	0.18	11	0.19
Ostracods	4	0.10	1	0.02	2	0.04		
Gnathostomulids	3	0.07	4	0.08	3	0.06	18	0.31
Amphipods	2	0.05						
Cnidarians	2	0.05	4	0.08	2	0.04		
Nemertines	2	0.05	6	0.12	6	0.12	8	0.14
Gastropods			1	0.02			2	0.03
Sipunculids			1	0.02	1	0.02	1	0.02
Cumaceans					1	0.02		
Others	19	0.47	22	0.44	13	0.26	11	0.19
Total	4010	100.00	5019	100.00	4986	100.00	5846	100.00

May-98

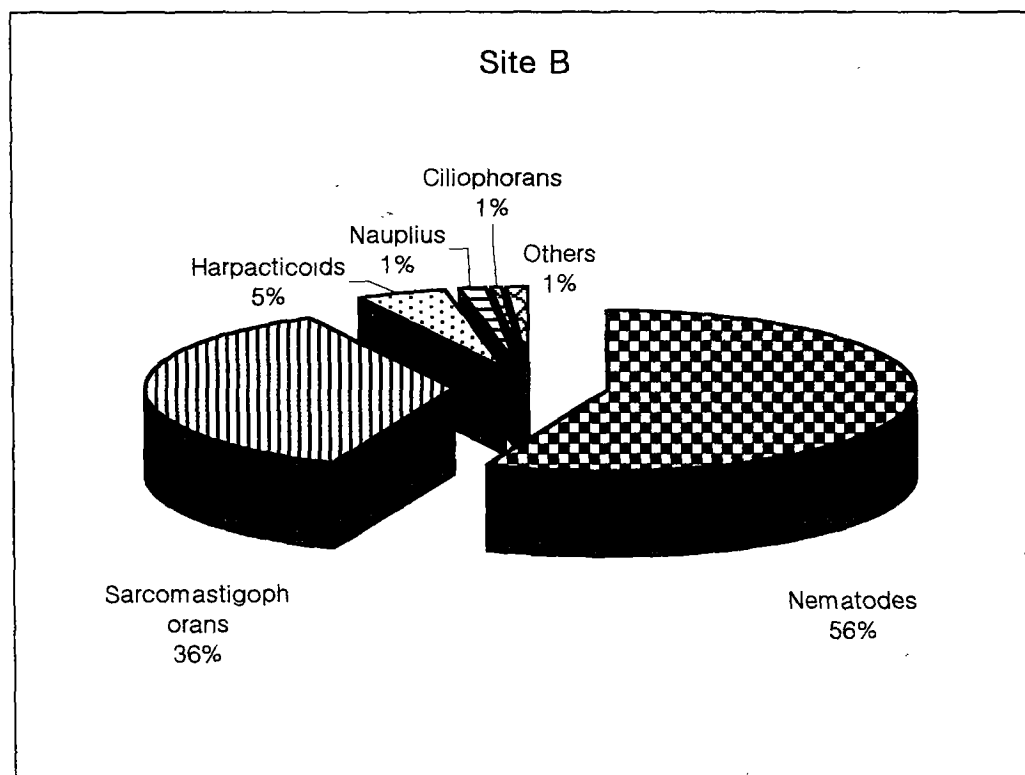
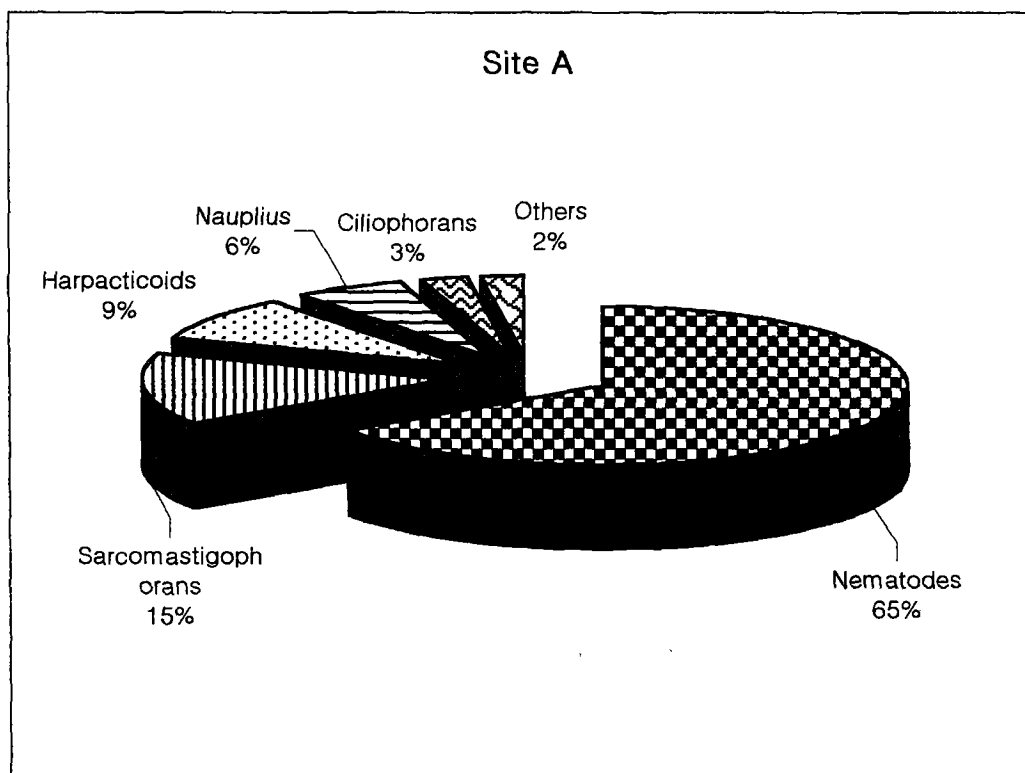


Fig. 3-7-5. The percentage of main meiofaunal groups at each stations in Kanghwa tidal flat.

Aug-98

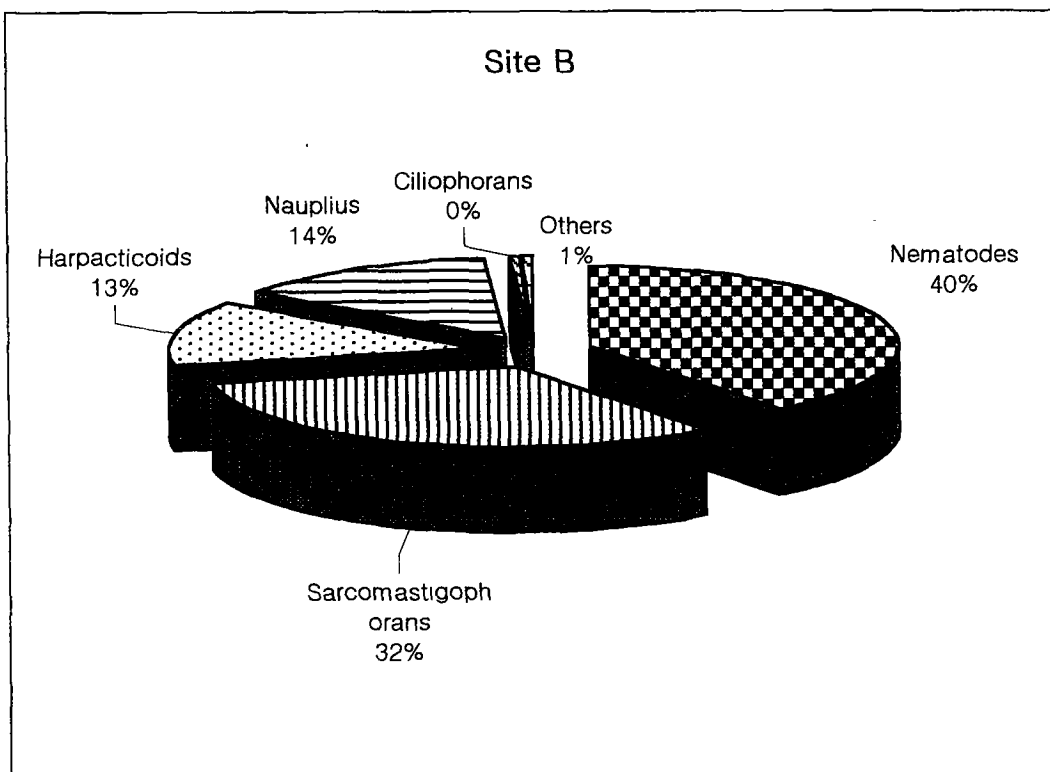
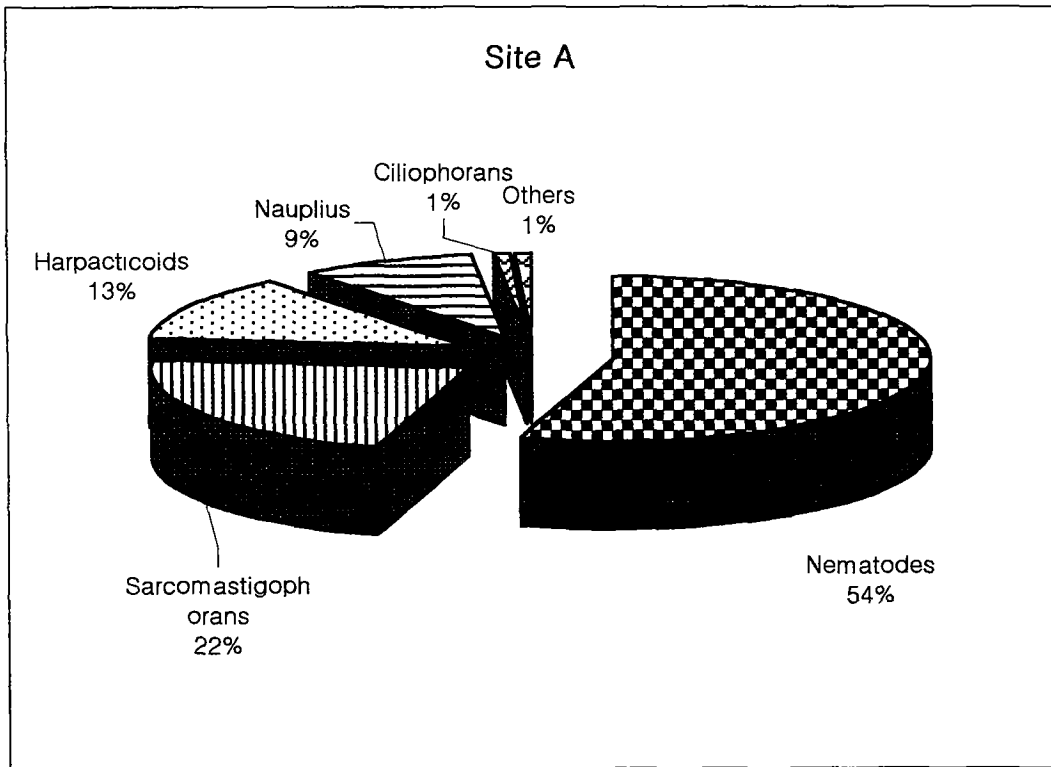


Fig. 3-7-5. Continued.

나타내 조사지역 A에서는 65%, 조사지역 B에서는 56%를 나타냈다. 그 다음으로 유공충류가 조사지역 A에서 15%, 조사지역 B에서는 36%를 차지했다. 상위 2개의 높은 비율을 보인 이들 두 분류군의 값은 조사지역에서 각각 80%, 92%로 아주 높은 비율을 보인다. 이는 5월의 76, 72%에 비해서도 높은 비율이다. 역으로 이야기하면 이 조사지역에선 이들 두 분류군 이외의 그룹은 10~20% 정도의 낮은 비율로 서식하고 있다는 이야기가 된다. 그 분류군들을 살펴보면 두 분류군 다음으로 높은 비율을 차지하는 것은 저서성요각류로 각각 9%, 5%의 값을 보였다. 두 계절 두 지역중 8월의 조사지역 B에서의 저서성요각류는 가장 낮은 값을 보이고 그와 관련된 갑각류의 유생도 단지 1%라는 아주 낮은 비율을 나타냈다.

나. 출현 개체수

두 계절의 각 조사지역의 각 조사정점에서 표층으로부터 0~5cm에서 출현한 중형저서생물의 총 개체수와 그룹별, 깊이별 개체수를 보면(Table 3-7-3), 5월의 경우 조사지선 A에서는 정점 2에서 총 4,010 개체/10cm², 조사지역 B에서는 정점 2에서 5,019 개체/10cm²의 값을 보였다. 조사지역 B가 조사지역 A보다 높은 서식밀도를 보였다. 이는 조사지역 A의 경우가 조사지역 B에 비해 퇴적물 입자가 세립질로 되어있는데, 일반적으로 세립질에서의 중형저서생물이 조립질에서의 그들보다 서식밀도가 높다는 것과 반대의 현상을 보이고 있었다. 각 조사지역에서 우점하고 있는 각 군집의 개체수를 보면 조사지역 A, 조사지역 B 모두 선충류가 우점하여 각각 2,818 개체/10cm², 3,580 개체/10cm²로 가장 많이 서식하고 있었으며, 그 다음으로는 유공충류가 우점하여 각각 569 개체/10cm², 1,146개체/10cm²를 보였다. 두 조사지역 모두 개체수에 있어 높은 밀도를 나타내는 우점 분류군의 상위 그룹의 순서가 같게 나타나, 유공충류 다음으로는 저서성요각류가 높은 개체수를 나타내, 두 조사지역 각각에서 271 개체/10cm², 142 개체/10cm²를 나타냈다. 두 지역에서 서식하는 분류군의 차이를 보인 것은 조사지역 A에서만 Amphipods가 출현하였다는 것과 조사지역 B에서만 Gastropods와 Sipunculids가 출현하였다는 것이다.

8월의 경우를 보면 5월과 마찬가지로 서식밀도가 높은 상위의 분류군의 순

Table 3-7-3. The number of individuals of meiobenthos at each study sites in Kanghwa tidal flat

Yeochari 980527	Sediments depth (cm)					Total	%
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5		
Site A St. 2							
Nematodes	1723	544	365	143	43	2818	70.3
Sarcomastigophorans	386	117	42	18	6	569	14.2
Harpacticoids	240	19	8	3	1	271	6.8
Nauplius	153	13	3	2		171	4.3
Ciliophorans	69	14	7	3	1	94	2.3
Turbellarians	34	2	1			37	0.9
Polychaetes		1	2	3	4	10	0.2
Bivalves	2	1	2	1	2	8	0.2
Ostracods	3	1				4	0.1
Gnathostomulids	3					3	0.1
Amphipods	2					2	0.0
Cnidarians	2					2	0.0
Nemertines		1			1	2	0.0
Others	10	3	3	2	1	19	0.5
Total	2627	716	433	175	59	4010	100.0
Site B St. 2							
Nematodes	1263	1670	407	193	47	3580	71.3
Sarcomastigophorans	804	198	96	36	12	1146	22.8
Harpacticoids	105	26	7	3	1	142	2.8
Nauplius	31	4	4	4		43	0.9
Ciliophorans	14	10	5	4	2	35	0.7
Turbellarians	9	5				14	0.3
Polychaetes	1	1	2	3	4	11	0.2
Bivalves	2	2	2	2	1	9	0.2
Nemertines		1	1	3	1	6	0.1
Cnidarians	2	2				4	0.1
Gnathostomulids		2	1		1	4	0.1
Gastropods	1					1	0.0
Ostracods	1					1	0.0
Sipunculids			1			1	0.0
Others	7	3	7	4	1	22	0.4
Total	2240	1924	533	252	70	5019	100.0

Table 3-7-3. Continued

Yeochari 980820	Sediments depth (cm)					Total	%
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5		
Site A St. 2							
Nematodes	1308	864	815	256	69	3312	66.4
Sarcomastigophorans	521	202	86	27	4	840	16.8
Harpacticoids	307	123	21	5		456	9.1
Nauplius	214	41	4	4	3	266	5.3
Ciliophorans	19	7	9	2	3	40	0.8
Turbellarians	9	5	4	2		20	0.4
Polychaetes	2	2	3	3	5	15	0.3
Bivalves	1	2	3	1	2	9	0.2
Nemertines	2	1	3			6	0.1
Gnathostomulids					3	3	0.1
Cnidarians		2				2	0.0
Ostracods	2					2	0.0
Cumaceans	1					1	0.0
Sipunculids		1				1	0.0
Others	3	4	2	2	2	13	0.3
Total	2389	1254	950	302	91	4986	100.0
Site B St. 2							
Nematodes	801	704	1020	526	166	3217	55.0
Sarcomastigophorans	655	435	356	91	26	1563	26.7
Harpacticoids	268	192	71	20	6	557	9.5
Nauplius	282	65	19	5		371	6.3
Ciliophorans	7	18	16	7	3	51	0.9
Turbellarians	3	9	2	4	2	20	0.3
Gnathostomulids	2	3	6	3	4	18	0.3
Polychaetes	2	1	5	4	4	16	0.3
Bivalves	2	3	1		5	11	0.2
Nemertines			3	4	1	8	0.1
Gastropods	2					2	0.0
Sipunculids	1					1	0.0
Others	2	2	2	1	4	11	0.2
Total	2027	1432	1501	665	221	5846	100.0

서가 같게 나타났다. 가장 우점하는 분류군은 조사지역 A, 조사지역 B 모두 선충류(nematodes)로 각각 3,312 개체/10cm², 3,217 개체/10cm²를 나타났다. 그 다음으로 우점하는 분류군은 유공충류(sarcomastigophorans)로 조사지선 A에서 840 개체/10cm², 조사지선 B에서 1,563 개체/10cm²를 보였다. 저서성요각류(benthic harpacticoids)는 조사지선 A에서 456 개체/10cm², 조사지선 B에서 557 개체/10cm², 갑각류의 유생은 조사지역 각각에서 266 개체/10cm², 371 개체/10cm²로 비교적 높은 서식밀도를 나타났다. 두 지역의 비교에서는 8월도 5월과 마찬가지로 조사지역 B에서의 총 개체수가 5,846 개체/10cm²로 조사지역 A의 4,986 개체/10cm²보다 높은 서식밀도를 보였다. 8월의 조사지역 B에서의 총 개체수 5,846 개체/10cm²는 두 계절의 모든 조사지역 중 가장 높은 서식밀도 값이다.

두 계절의 두 지역에서 분류군별로 총 개체수 값을 보면 가장 우점 그룹인 선충류는 5월의 조사지역 B에서 가장 높은 3,580 개체/10cm²의 서식밀도를 나타났다. 그 다음 유공충류는 두 계절 모두 모래 갯벌의 경우가 펄 갯벌보다 서식밀도가 높게 나타났다. 또한 가장 높은 서식밀도는 8월의 경우로 1,563 개체/10cm²라는 아주 높은 서식밀도를 나타났다. 저서성요각류의 경우도 8월의 조사지역 B에서 가장 높은 값인 557 개체/10cm²의 값을 보였는데, 이들 그룹이 퇴적물의 간극을 자유롭게 유영하는 특성을 갖고 있다는 점과 그들의 몸의 구조가 펄 보다는 모래갯벌에 더욱 적응 해 있다는 것으로부터 8월의 경우는 펄 갯벌인 조사지역 A보다 조사지역 B의 서식밀도가 높다는 것은 일반적인 현상과 일치하는 것이라 할 수 있겠다. 그러나 5월의 경우에 있어서는 이와는 반대로 펄 갯벌의 경우가 서식밀도가 높게 나타났다. 이의 원인으로는 표층 0-1cm 에서 요각류 서식밀도의 차이를 들 수 있다. 또한 5월에 비해 8월이 두 지역모두 저서성요각류의 서식밀도가 약 2~4배로 높았다. 이는 여름에 다가 갈수록 이들 그룹의 번식이 활발하거나 수명이 긴 종들의 서식 등의 가능성을 말해준다 하겠다. 갑각류의 유생에 있어서도 8월의 조사지역 B에서 가장 높은 서식밀도인 371 개체/10cm²의 값을 보였다. 이는 이 시기의 이지역에서의 저서성요각류의 높은 서식밀도와 관련지어 생각해 볼 수 있다. 즉 그들의 활발한 번식시기를 뒷받침하는 결과 값이라 할 수 있다.

다. 크기별 개체수

두 시기의 각 조사지역에서 각 그룹의 크기별 개체수를 보면, 전반적으로 전 분류군이 비교적 체 크기 0.063mm에 들어가는 크기의 생물들이 많이 서식하고 있음을 보여준다(Table 3-7-4). 두 시기 모두 조사지역 A에서는 수직적으로도 퇴적물 전 층에서 체 크기 0.063mm에 들어가는 크기의 생물의 밀도가 가장 높았다. 그 다음으로 체 크기 0.037mm가 높았고, 그 다음으로 체 크기 0.125mm에 들어가는 생물 순서로 나타났다. 조사지역 A에서의 이러한 공통적이고 순서적인 현상을 보였다. 두 시기 모두 이 조사지역의 전 정점에서의 0.063mm의 체 크기 구획에 들어가는 생물들이 많이 서식하고 있다는 것은 이 정점에 있어서의 저질입자의 상태가 그들 생물이 서식할 수 있는 크기의 것이 된다는 것을 말해준다. 즉 이 지역은 모래성 저질에서는 상대적으로 비교적 체 크기의 0.125에 들어가는 것들이 많이 서식하고 있음에 비교해 볼 때, 저질의 상태가 그 것보다는 입자 크기가 작은 펄 성의 저질임을 나타내고 있다고 할 수 있다. 조사지역 B에서는 5월의 경우 퇴적물 깊이 1-2cm 에서는 체 크기 0.125mm에 들어가는 생물들이 가장 많이 나타났다. 이는 이 깊이에서의 선충류(nematodes)가 비교적 몸의 크기가 큰 0.125mm 에 걸러지는 종들이 서식하고 있음에 기인한 현상이다. 표층 0-1cm보다 퇴적물의 심도가 깊어짐에 따라 몸의 크기가 큰 개체들이 서식하는 것은 그들의 먹이습성에 따른 것이라 할 수 있다. 즉 박테리아나 규조류를 먹는 종들은 비교적 퇴적물 표층에서 서식하는 것이 그들의 먹이섭취에 유리하고, 이에 반하여 육식성 종류들은 비교적 퇴적물 내에 서식하는 것이 먹이나 공간 경쟁 등에서 유리 할 수 있기 때문에 일어나는 현상이라 할 수 있겠다. 즉 이시기의 이지역에서는 퇴적물 표층보다 깊은 곳에는 육식성의 선충류들이 서식하고 있을 가능성을 말해준다. 또 0-1cm에서는 0.037mm에 들어가는 생물들의 서식밀도가 체 크기 0.125mm에 들어가는 생물들의 서식밀도보다 높았다. 이는 유공충류가 체 크기 0.037mm에 많이 나타나기 때문이다. 이렇듯 작은 크기의 유공충류가 많은 것은 이 시기의 표층에서의 이들의 활발한 생산을 이야기 해준다. 또한 조사지역 B에서는 8월에도 퇴적물 깊이 3-4cm에서 체 크기 0.125에 들어가는 생물수가 가장 많았고 체 크기가 감소할수록 생물수도 점차 감소하는 양상을 나타냈다. 이는 5

Table 3-7-4. The number of meiobenthos on each mesh size at each stations in Kanghwa tidal flat

Yeochari 980527		Sieve series (mm)					Total	%
Site A	St. 2	0.5	0.25	0.125	0.063	0.037		
(0-1 cm)								
Nematodes		1	48	375	878	421	1723	65.6
Sarcomastigophorans		2	1	48	221	114	386	14.7
Harpacticoids		1	46	175	17	1	240	9.1
Nauplius				1	121	31	153	5.8
Ciliophorans			2	32	31	4	69	2.6
Turbellarians				18	16		34	1.3
Gnathostomulids		1	1		1		3	0.1
Ostracods				2	1		3	0.1
Amphipods				2			2	0.1
Bivalves				1	1		2	0.1
Cnidarians			1	1			2	0.1
Others				4	3	3	10	0.4
Total		5	99	659	1290	574	2627	100.0
(1-2 cm)								
Nematodes			16	164	256	108	544	76.0
Sarcomastigophorans				11	78	28	117	16.3
Harpacticoids			3	12	4		19	2.7
Ciliophorans			1	3	7	3	14	2.0
Nauplius					11	2	13	1.8
Turbellarians				2			2	0.3
Bivalves				1			1	0.1
Ostracods					1		1	0.1
Nemertines				1			1	0.1
Polychaetes				1			1	0.1
Others					1	2	3	0.4
Total		0	20	195	358	143	716	100.0
(2-3 cm)								
Nematodes		1	34	126	163	41	365	84.3
Sarcomastigophorans			1	14	19	8	42	9.7
Harpacticoids			1	6	1		8	1.8
Ciliophorans			1	2	4		7	1.6
Nauplius					1	2	3	0.7
Bivalves			1	1			2	0.5
Turbellarians				1			1	0.2
Polychaetes				1	1		2	0.5
Others					2	1	3	0.7
Total		1	38	151	191	52	433	100.0
(3-4 cm)								
Nematodes			7	53	68	15	143	81.7
Sarcomastigophorans				3	9	6	18	10.3
Ciliophorans			1		2		3	1.7
Harpacticoids				2	1		3	1.7
Polychaetes				2	1		3	1.7
Nauplius				1	1		2	1.1
Bivalves				1			1	0.6
Others				1		1	2	1.1
Total		0	8	63	82	22	175	100.0
(4-5 cm)								
Nematodes		1	1	15	19	7	43	72.9
Sarcomastigophorans				2	3	1	6	10.2
Polychaetes			1	1	2		4	6.8
Bivalves		1		1			2	3.4
Ciliophorans					1		1	1.7
Harpacticoids					1		1	1.7
Nemertines				1			1	1.7
Others						1	1	1.7
Total		2	2	20	26	9	59	100.0

Table 3-7-4. Continued

Yeochari 980527		Sieve series (mm)					Total	%
Site B	St. 2	0.5	0.25	0.125	0.063	0.037		
(0-1 cm)								
Nematodes		2	33	285	571	372	1263	56.4
Sarcomastigophorans			1	56	289	458	804	35.9
Harpacticoids		2	24	62	15	2	105	4.7
Nauplius				9	18	4	31	1.4
Ciliophorans				10	3	1	14	0.6
Turbellarians			1	6	2		9	0.4
Bivalves			1		1		2	0.1
Cnidarians				2			2	0.1
Gastropods					1		1	0.0
Ostracods					1		1	0.0
Polychaetes				1			1	0.0
Others				1	2	4	7	0.3
Total		4	60	432	903	841	2240	100.0
(1-2 cm)								
Nematodes		1	159	828	547	135	1670	86.8
Sarcomastigophorans			2	31	87	78	198	10.3
Harpacticoids			2	15	8	1	26	1.4
Ciliophorans			1	6	2	1	10	0.5
Turbellarians				4	1		5	0.3
Nauplius				1	3		4	0.2
Bivalves					1	1	2	0.1
Cnidarians				1	1		2	0.1
Gnathostomulids				1	1		2	0.1
Nemertines					1		1	0.1
Polychaetes				1			1	0.1
Others					2	1	3	0.2
Total		1	164	888	654	217	1924	100.0
(2-3 cm)								
Nematodes		1	47	158	163	38	407	76.4
Sarcomastigophorans				13	72	11	96	18.0
Harpacticoids			1	3	3		7	1.3
Ciliophorans				2	2	1	5	0.9
Nauplius					2	2	4	0.8
Bivalves			1	1			2	0.4
Polychaetes				1	1		2	0.4
Gnathostomulids				1			1	0.2
Nemertines					1		1	0.2
Sipunculids				1			1	0.2
Others				1	3	3	7	1.3
Total		1	49	181	247	55	533	100.0
(3-4 cm)								
Nematodes			19	67	94	13	193	76.6
Sarcomastigophorans				6	27	3	36	14.3
Ciliophorans				1	3		4	1.6
Nauplius				1	1	2	4	1.6
Harpacticoids			1	1	1		3	1.2
Nemertines				2	1		3	1.2
Polychaetes		2		1			3	1.2
Bivalves		1		1			2	0.8
Others				1	1	2	4	1.6
Total		3	20	81	128	20	252	100.0
(4-5 cm)								
Nematodes		2	3	11	27	4	47	67.1
Sarcomastigophorans				2	7	3	12	17.1
Polychaetes			1	2	1		4	5.7
Ciliophorans				1	1		2	2.9
Bivalves				1			1	1.4
Gnathostomulids					1		1	1.4
Harpacticoids				1			1	1.4
Nemertines					1		1	1.4
Others				1			1	1.4
Total		2	4	19	38	7	70	100.0

Table 3-7-4. Continued

Yeochari 980820		Sieve series (mm)					Total	%
Site A	St. 2	0.5	0.25	0.125	0.063	0.037		
(0-1 cm)								
Nematodes			36	352	528	392	1308	54.8
Sarcomastigophorans	1		3	37	316	164	521	21.8
Harpacticoids	3		52	216	34	2	307	12.9
Nauplius				3	168	43	214	9.0
Ciliophorans			1	11	6	1	19	0.8
Turbellarians			1	4	4		9	0.4
Nemertines				1	1		2	0.1
Ostracods			1	1			2	0.1
Polychaetes			1	1			2	0.1
Bivalves				1			1	0.0
Cumaceans	1						1	0.0
Others				1	2		3	0.1
Total			5	95	628	1059	2389	100.0
(1-2 cm)								
Nematodes	2		27	264	453	118	864	68.9
Sarcomastigophorans			1	16	134	51	202	16.1
Harpacticoids	1		29	76	16	1	123	9.8
Nauplius				6	21	14	41	3.3
Ciliophorans				3	3	1	7	0.6
Turbellarians			1	2	1	1	5	0.4
Bivalves					2		2	0.2
Cnidarians				1	1		2	0.2
Polychaetes	1		1				2	0.2
Nemertines				1			1	0.1
Sipunculids					1		1	0.1
Others					2	2	4	0.3
Total			4	59	369	634	1254	100.0
(2-3 cm)								
Nematodes	4		16	311	403	81	815	85.8
Sarcomastigophorans				19	41	26	86	9.1
Harpacticoids			1	16	4		21	2.2
Ciliophorans				1	4	4	9	0.9
Nauplius				1	3		4	0.4
Turbellarians				2	2		4	0.4
Bivalves	1				2		3	0.3
Nemertines				1	2		3	0.3
Polychaetes			1	2			3	0.3
Others				1		1	2	0.2
Total			5	18	354	461	950	100.0
(3-4 cm)								
Nematodes			2	108	114	32	256	84.8
Sarcomastigophorans				3	16	8	27	8.9
Harpacticoids				3	1	1	5	1.7
Nauplius				1	1	2	4	1.3
Polychaetes	1		1	1			3	1.0
Ciliophorans				1	1		2	0.7
Turbellarians			1	1			2	0.7
Bivalves			1				1	0.3
Others					2		2	0.7
Total			1	5	118	135	302	100.0
(4-5 cm)								
Nematodes			3	17	38	11	69	75.8
Polychaetes			1	3	1		5	5.5
Sarcomastigophorans				1	3		4	4.4
Ciliophorans				1	2		3	3.3
Gnathostomulids				1	2		3	3.3
Nauplius					1	2	3	3.3
Bivalves			1	1			2	2.2
Others					1	1	2	2.2
Total			0	5	24	48	91	100.0

Table 3-7-4. Continued

Yeochari 980820	Sieve series (mm)					Total	%
	Site B St. 2 (0-1 cm)	0.5	0.25	0.125	0.063		
Nematodes	3	16	313	305	164	801	39.5
Sarcomastigophorans	1	2	42	294	316	655	32.3
Nauplius			2	216	64	282	13.9
Harpacticoids	3	49	186	19	11	268	13.2
Ciliophorans		1	2	4		7	0.3
Turbellarians			2	1		3	0.1
Bivalves			1	1		2	0.1
Gastropods		1			1	2	0.1
Gnathostomulids			1	1		2	0.1
Polychaetes		1	1			2	0.1
Sipunculids				1		1	0.0
Others			1	1		2	0.1
Total	7	70	551	843	556	2027	100.0
(1-2 cm)							
Nematodes	6	34	315	268	81	704	49.2
Sarcomastigophorans		3	27	207	198	435	30.4
Harpacticoids	2	19	152	18	1	192	13.4
Nauplius				37	28	65	4.5
Ciliophorans		1	11	4	2	18	1.3
Turbellarians		1	4	4		9	0.6
Bivalves	1	1		1		3	0.2
Gnathostomulids			2	1		3	0.2
Polychaetes		1				1	0.1
Others			1	1		2	0.1
Total	9	60	512	541	310	1432	100.0
(2-3 cm)							
Nematodes	1	21	451	442	105	1020	68.0
Sarcomastigophorans		2	17	256	81	356	23.7
Harpacticoids		5	34	26	6	71	4.7
Nauplius				11	8	19	1.3
Ciliophorans		2	7	7		16	1.1
Gnathostomulids			2	3	1	6	0.4
Polychaetes		1	2	1	1	5	0.3
Nemertines			2	1		3	0.2
Turbellarians		1	1			2	0.1
Bivalves		1				1	0.1
Others			1	1		2	0.1
Total	1	33	517	748	202	1501	100.0
(3-4 cm)							
Nematodes	3	16	275	188	44	526	79.1
Sarcomastigophorans			3	51	37	91	13.7
Harpacticoids			11	7	2	20	3.0
Ciliophorans		1	3	2	1	7	1.1
Nauplius				3	2	5	0.8
Nemertines			2	2		4	0.6
Polychaetes	1	1	2			4	0.6
Turbellarians		1	2	1		4	0.6
Gnathostomulids			1	2		3	0.5
Others				1		1	0.2
Total	4	19	299	257	86	665	100.0
(4-5 cm)							
Nematodes		2	72	76	16	166	75.1
Sarcomastigophorans		1	2	16	7	26	11.8
Harpacticoids			3	3		6	2.7
Bivalves	1	2	1	1		5	2.3
Gnathostomulids			1	2	1	4	1.8
Polychaetes		2	1	1		4	1.8
Ciliophorans			2	1		3	1.4
Turbellarians			1	1		2	0.9
Nemertines			1			1	0.5
Others				1	3	4	1.8
Total	1	7	84	102	27	221	100.0

월의 이 지역에서와 마찬가지로 선충류가 다른 분류군에 비해 많이 서식하고 있기 때문인데, 앞에서 이야기한 바와 마찬가지로 육식성 선충류의 서식분포를 생각해 볼 수 있겠다. 또한 퇴적물 깊이 0-1cm에 있어서도 체 크기 0.037mm에 들어가는 생물수가 체 크기 0.125mm에 들어가는 생물의 서식밀도보다 약간 높은 값을 보였다. 펄 갯벌인 조사지역 A에 비해 모래갯벌인 조사지역 B에서의 이러한 균일하지 않은 분포는 모래갯벌의 특성 중 하나인 펄보다는 넓은 간극으로 인해 일어나는 현상이라 볼 수 있다.

분류군별 상황을 보면 선충류의 경우 조사지역 A에서는 두 시기가 같은 양상을 보여준다. 즉 표층 0-1cm에서는 체 크기 0.063mm에 들어가는 선충류가 가장 많고 그 다음이 체 크기 0.037mm에 들어가는 선충류가 많음을 보여준다. 체 크기 0.125mm에 들어가는 선충류는 이들 값보다 낮은 서식밀도를 나타냈다. 이에 비해 이 보다 깊은 퇴적물층에서는 전 층에 걸쳐 가장 많은 것은 체 크기 0.063mm에 들어가는 것들이지만, 체 크기 0.125mm에 들어가는 선충류가 체 크기 0.037mm에 들어가는 선충류보다 많이 서식하고 있음을 보여준다. 이는 크기가 작은 선충류에 있어 퇴적물 표층이 그 보다 깊은 층보다 서식하기에 유리하다는 것을 말해준다. 즉 이들의 먹이가 되는 박테리아나 규조류의 섭식에 표층이 보다 유리함을 대변해준다. 반면에 몸의 크기가 큰 선충류는 비올적으로 육식성일 가능성이 아주 높는데 이들은 다른 작은 선충류를 포식하기도 하기 때문에 표층이 아니더라도 서식할 수 있음을 말해준다. 다른 한편으로는 작은 몸 크기의 선충류가 포식자로부터의 회피수단으로 표층을 선택했을 가능성도 생각해 볼 수 있겠다. 이와 다르게 조사지역 B에서는 여러 퇴적층에서, 특히 8월의 경우 체 크기 0.125mm에 들어가는 선충류가 가장 많은 서식밀도를 나타내고 있다. 그리고 체 크기의 감소에 따라 선충류의 서식밀도도 낮아짐을 알 수 있다. 이는 이 지역이 모래갯벌이기 때문에 기인하는 현상이라고 보아진다. 즉 모래갯벌의 퇴적물 입자 사이의 간극이 비교적 이들이 운동하거나 이동하기에 펄 갯벌보다는 수월하기 때문에 나타나는 현상이라 생각된다.

유공충의 경우는 5월의 조사지역 B 처럼 가장 작은 크기의 체 크기인 0.037mm에 들어가는 것들의 높은 서식밀도를 볼 수 있는데 이것은 이들의 생산에 필요한 태양의 영향이 비교적 높은 퇴적물 표층에서의 높은 생산력을 나

타내는 것이라 할 수 있겠다. 다른 분류군별 양상을 보면 저서성요각류의 경우 압도적으로 체 크기 0.125mm에 들어가는 크기의 것들이 많음을 알 수 있다. 즉 저서성요각류의 경우는 많은 종들이 유생시기를 거쳐 성체가 되면 몸의 두께 등이 이 크기 이상의 것들이 된다는 것을 말해준다. 또 갯지렁이류 (polychaetes)를 보면 전 조사정점에서 일반적으로 퇴적물내의 깊이가 깊어짐에 따라 체 크기 0.5mm이상의 것들이 서식하고 있음을 알 수 있다. 이는 몸의 크기가 큰 개체들의 경우 퇴적물내의 굴을 파는 능력이 작은 것들에 비해 뛰어나고, 포식자로 부터의 회피나 그들의 섭식전략에 있어 유리하다고 할 수 있는 퇴적물내의 일정 깊이에 서식하고 있음을 나타낸다. 또한 이는 몸의 크기가 큰 것들에 비해 비교적 산소 등의 환경요인에 민감하다고 할 수 있으며 운동능력이 떨어지는 작은 크기의 갯지렁이들은 이 들에 비해 상대적으로 표층이 서식하기에 유리하다는 것을 말해준다.

라. 수직분포

두 시기의 각 조사지역에서의 중형저서동물의 퇴적물 내에서의 수직적인 분포를 보면, 두 시기 전 조사지역에서, 표층 0-1cm 에서 가장 높은 서식밀도를 보여준다(Fig. 3-7-6). 5월의 경우 조사지역 A에서 표층 0-1cm에 비해 그 이하의 층인 1-2cm층에서는 개체수의 급격한 감소를 보여준다. 표층 0-1cm에 비해 그 이하의 층인 1-2cm층에서 약 70%의 감소를 보여주는 값이 된다. 같은 조사지역 A의 8월의 경우에는 표층 0-1cm 에서 퇴적물내의 깊이가 깊어진 1-2cm로 감에 따라 약 50%의 감소를 보인 후 서서히 감소하는 경향을 보인다. 이 지역에서 항상 표층 0-1cm에서 개체수가 높게 나타나는 것은 이 지역은 퇴적물이 고운 입자로 이루어진 펄 지역으로 표층 이하의 층에서는 생물들의 서식에 중요한 영향을 미치는 산소나 섭식요건 등이 충분치 못하기 때문이라도 할 수 있겠다. 저질 퇴적물이 모래로 형성된 곳에서는 때때로 표층 0-1cm 보다 그 이하의 층에서 서식밀도가 높게 나타나는 현상이 있다. 이를 뒷받침하듯 모래갯벌인 조사지역 B에서는 5월의 경우 표층 0-1cm에서 표층 1-2cm로 깊어져도 그 개체수의 값은 그리 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 현상은 같은 지역의 8월의 조사 결과 값에서도 나타난다. 8월의 조사지역 B에서는 오

May-98

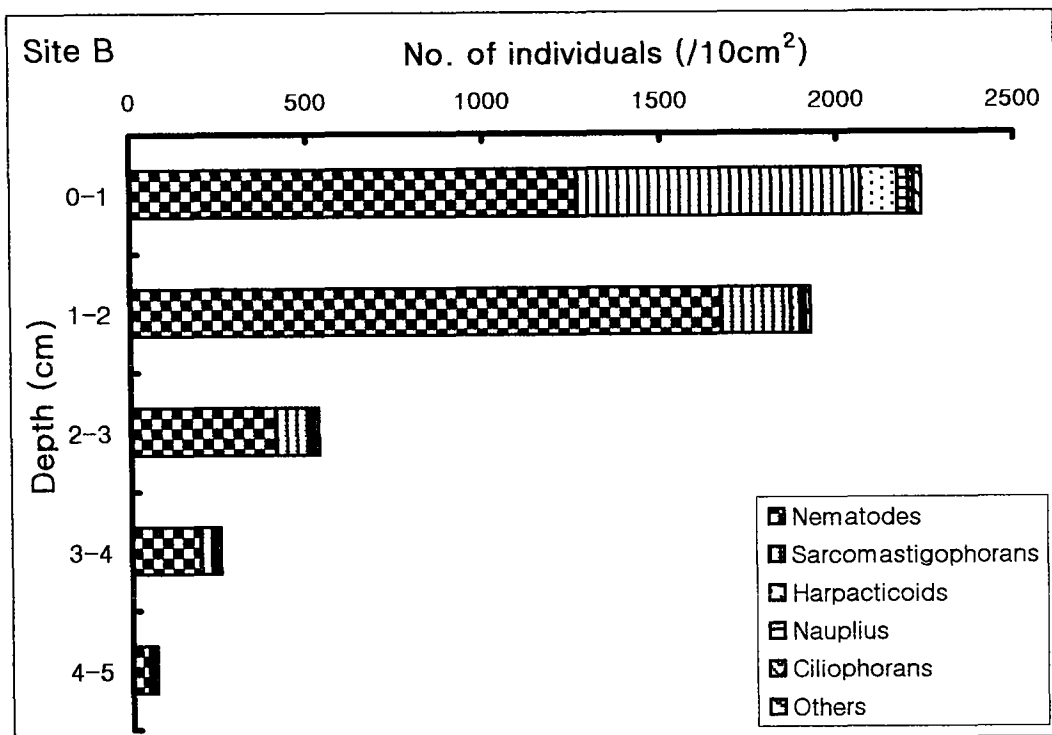
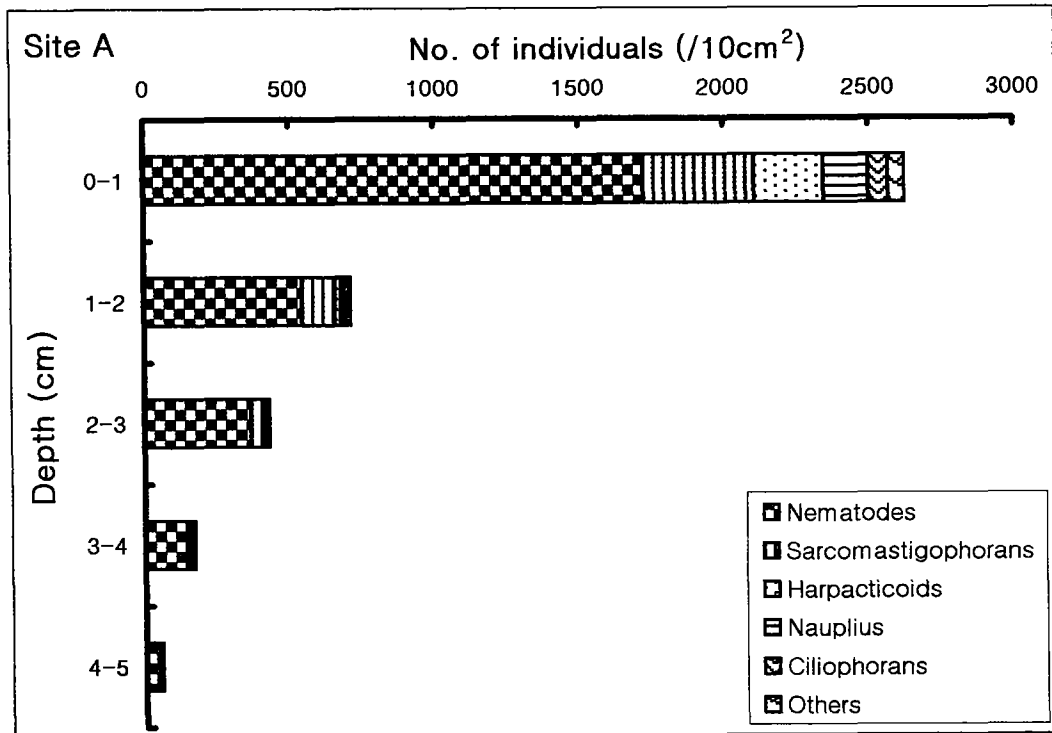


Fig. 3-7-6. The vertical distribution of meiobenthos at each stations in Kanghwa tidal flat.

Aug-98

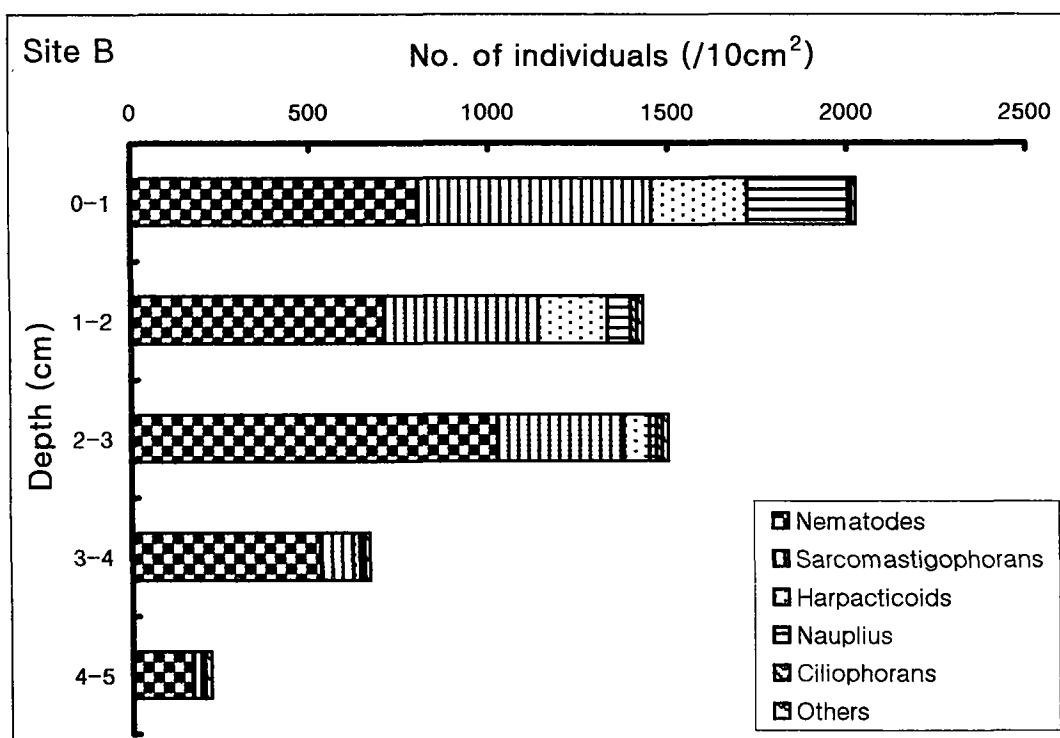
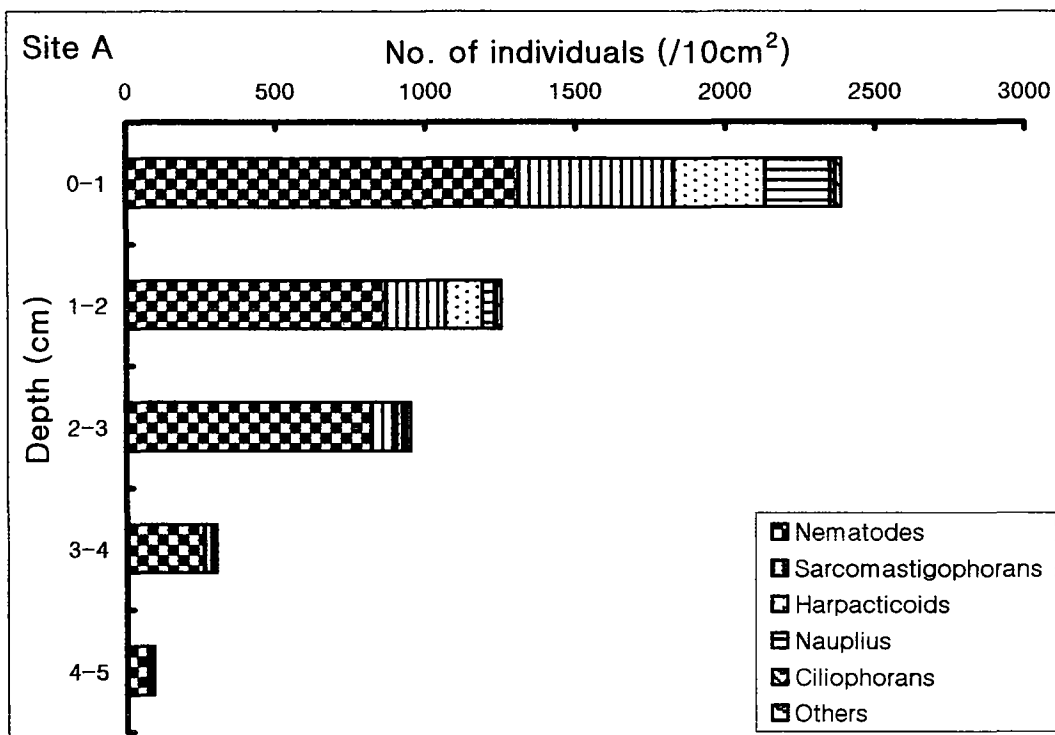


Fig. 3-7-6. Continued.

히려 퇴적물 깊이 1-2cm층의 개체수 보다 그 이하의 층인 2-3cm층의 개체수가 높아짐을 보여준다. 5월의 조사지역 A, B 나 8월의 조사지역 A의 경우에는 0-2cm 이하의 층에서 급격히 감소하여 4-5cm층에서는 거의 출현하고 있지 않음을 보여주는데 비해 8월의 조사지역 B 에서는 상대적으로 전층에 고르게 분포하고 있음을 보여준다. 이는 이 지역이 다른 지역에 비해 퇴적물의 입자가 비교적 크기 때문에 산소의 유통이나 기타 환경요인들의 흐름이 상대적으로 다른 지역에 비해 원활하게 이루어지고 있기 때문이라 생각된다.

각 분류군별 수직분포를 보면 선충류의 경우 조사지역 A 에서는 5월과 8월 모두 전반적으로 퇴적물내의 심도의 증가에 따라 개체수가 감소하는 경향을 보인다. 그러나 조사지역 B 에서는 이와 다르게 5월의 경우 1-2cm 층에서 가장 높은 개체수를 나타내 표층 0-1 cm 보다 높은 서식율을 보여주고, 8월의 경우에도 이와 유사하게 퇴적물 깊이 2-3cm층에서 가장 높은 서식밀도를 보여 주었다. 이와 같은 요인에는 여러 가지가 있을 수 있겠지만 일반적으로 표층에 이들 생물들이 환경 요인적으로 싫어하는 요소가 작용할 때, 이를 피하기 위하여 수직이동을 깊은 곳으로 하는 경우 또는 이들의 섭식 특성을 들 수 있겠다. 즉 박테리아나 저서성 구조류를 섭식하는 선충류는 이 들을 많이 섭식할 수 있는 퇴적물의 표층을 선호하여 표층이 이들이 서식하기에 보다 적합한 영역이겠고, 잡식성이나 육식성 선충류의 경우는 그 보다는 심층부가 이들이 서식하기에 유리한 지역이라 할 수 있을 것이다. 한편 저서성요각류(harpacticoids)의 5월의 경우는 두 조사지역 모두 표층 0-1cm에 압도적으로 많이 분포하고 있었으며, 그 이하의 층인 1-2cm에서 75~90% 이상의 아주 급격히 감소하는 경향을 나타냈다. 이에 비해 8월의 경우에는 두 조사지역 모두 5월의 경우와 같은 급격한 감소를 보이지 않고 표층 2cm까지 서식하고 있음을 보여 주었다. 이렇듯 표층 0-1cm 에서 아주 높은 개체수를 보이고, 2cm이하의 층에서는 거의 출현하지 않음을 보여주는 것은 이들 그룹이 환경의 변화에 아주 민감한 그룹으로써 환경이 비교적 좋은 곳에 많이 서식하는 특성을 가지고 있어, 산소의 요건이 좋은 표층부를 선호하고 있고, 또한 이들은 중형저서생물내의 그룹 중에는 유영성이 높은 생물들이라 이 들이 활동하고 움직이기에 유리한 표층부를 선호하는 것이라 생각된다.

마. 수평 분포

두 계절의 각 조사점의 분포를 살펴보면 8월의 경우가 5월에 비해 각 조사지역에서의 중형저서생물의 총 개체수가 높게 나타났다(Fig. 3-7-7). 즉 조사지역 A 에서는 5월의 경우 4,010 개체/10cm²임에 비해 8월의 경우는 4,986 개체/10cm²로 약 1,000개체 이상의 증가를 나타냈다. 조사지역 B 에서도 이와 같은 현상을 보였는데 5월의 경우 4,986 개체/10cm²이었던 것이 8월에는 5,846 개체/10cm²로 조사지선 A 와 마찬가지로 약 1,000개체의 증가를 보였다. 두 계절의 각 조사지역중 가장 높은 서식밀도를 나타낸 것은 8월의 조사지역 B 이었고 가장 낮은 서식밀도를 나타낸 것은 5월의 조사지역 A 이었다.

각 분류군별로 보면 선충류의 경우는 5월의 조사지역 B에서 가장 높은 서식밀도를 나타내 3,580 개체/10cm²이었고, 가장 낮은 서식밀도를 보인 곳은 같은 시기의 조사지역 A 의 2,818 개체/10cm² 이었다. 선충류의 경우는 두 시기의 각 조사지역에서 약 3,000 개체/10cm² 전후의 고른 분포를 보인다 할 수 있다. 이에 비하여 두 번째로 높은 서식밀도를 나타낸 유공충류의 경우는 이와는 다르게 두 시기 모두 조사지역 A 보다는 조사지역 B에서 월등히 높은 서식양상을 나타냈다. 유공충류의 서식밀도가 가장 높은 곳은 8월의 조사지역 B 의 1,563 개체/10cm²이었고, 가장 낮은 서식밀도는 5월의 조사지역 A 의 569 개체/10cm² 이었다. 이는 가장 높은 서식밀도와 낮은 서식밀도의 차가 무려 약 4배에 가까운 아주 많은 차이를 나타냈다. 저서성요각류의 경우는 두 조사지역 모두 5월의 경우 보다 8월에 높은 서식밀도를 나타냈는데, 가장 높은 서식밀도를 보인 곳은 8월의 조사지역 B 의 557 개체/10cm² 이었고, 가장 낮은 서식밀도는 5월의 조사지역 B 의 142 개체/10cm² 이었다. 갑각류의 유생의 경우는 저서성 요각류와 같은 현상을 보였다. 8월이 5월보다 두 조사지역 모두에서 서식밀도가 높게 나타났고 가장 높은 서식밀도를 나타낸 곳은 8월의 조사지역 B 로 371 개체/10cm² 이었다. 가장 낮은 서식밀도를 보인 곳은 5월의 조사지역 B로 43 개체/10cm² 이었다. 이는 가장 높은 서식밀도보다 무려 약 10배나 낮은 서식밀도의 값이다.

중형저서생물의 평면적인 분포를 규정하는 주된 요인은, 앞에서도 언급한 바와 같이 먹이와 퇴적물 입도 이지만, 수직 분포에 대해서는 산소 농도가 중

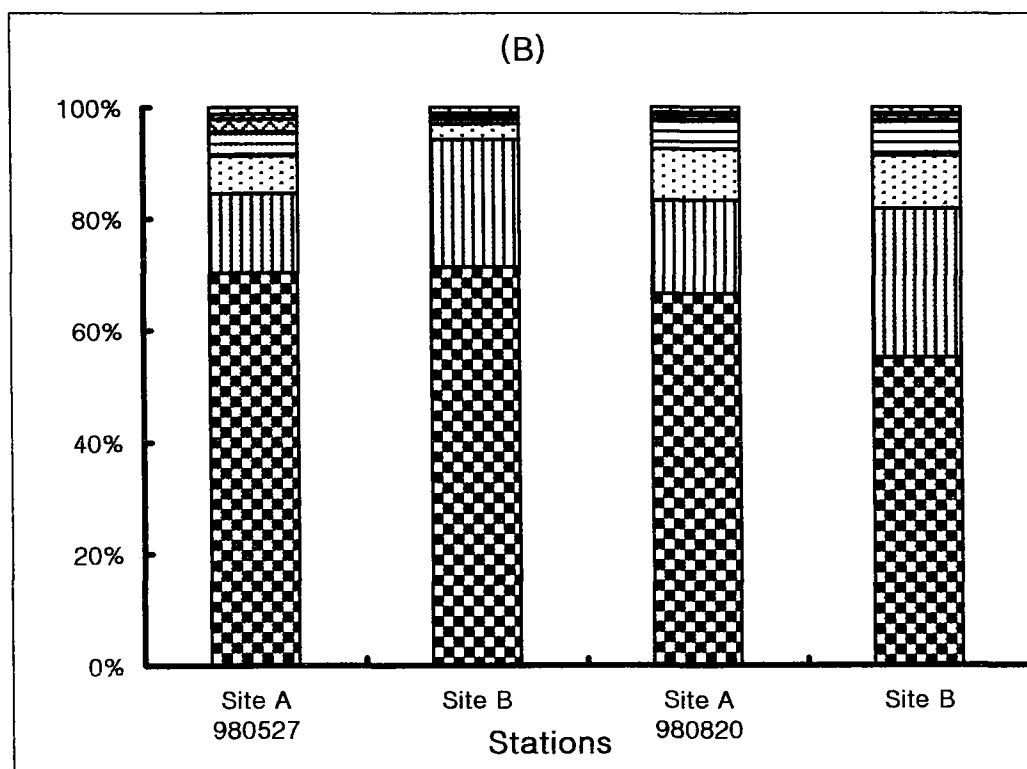
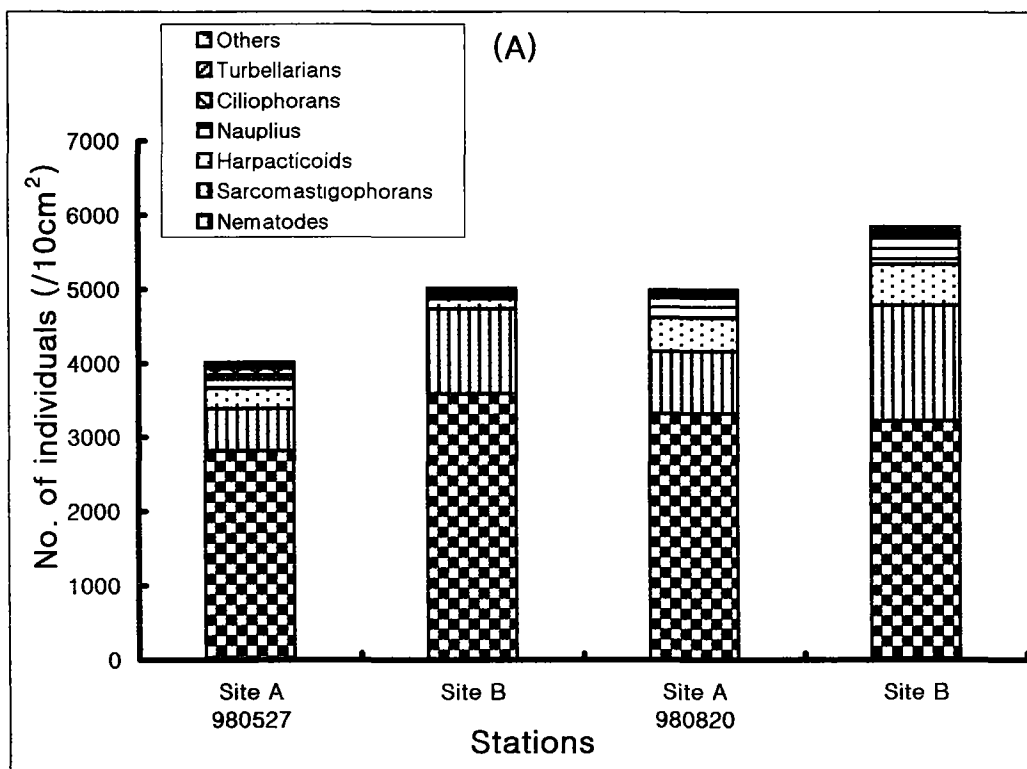


Fig. 3-7-7. (A) The number of individuals of meiobenthos at each stations. (B) The cumulative percentage composition of the number of individuals at each stations.

요하다. 그 외에도 조간대에서는 바닷물의 밀, 썰물에 대응하여 수직분포가 변화한다고 알려져 있다. 또 마이크로한 단위에서 보면, 해저에 조류로써 만들어진 모래 언덕에 대응해서, detritus가 쌓이기 쉬운 계곡 부분에 중형저서생물이 집중하고, 해저 상황 변화에 대응해서 단시간에 이동하는 것이 알려져 있다. 그 외에 다모류가 만드는 서관(tube)에 의해 해수의 흐름이 미묘하게 변화하고 그것에 따라 중형저서생물의 미세분포가 변화하는 것도 보고되어져 있다. 차후 이에 대한 연구도 병행되어야 한다고 생각한다.

8.3.2. 오염

가. 선충류(nematodes)/저서성요각류(harpacticoids) 값

두 시기의 각 조사지역에서 출현하는 대표적인 우점 분류군이며 또한 생리, 생태적 특성에 있어 다소 차이를 보이는 선충류(nematodes)와 저서성요각류(benthic harpacticoids)의 비인 N/C값을 살펴보면 두 계절 사이에서는 5월의 경우가 8월보다 두 조사지역 모두 높은 값을 나타냈다. 5월 조사지역 B의 N/C값은 가장 높아 25를 보였다. 이에 비해 8월의 경우는 낮은 값을 보여 조사지역 A에서는 7의 값을, 조사지역 B에서는 6의 값을 나타냈다(Table 3-7-5). 이는 5월에 비해 8월의 서식환경이 생물들이 서식하기에 보다 적합한 환경이라는 것을 말해준다.

저서성 요각류(benthic harpacticoids)의 그룹들은 서식지마다의 생활에 특이적으로 적응하고 있다. 보통의 요각류는 몸의 길이와 같은 정도로 긴 수염을 갖고 있는 것에 비해, 저서성의 것은 아주 짧다. 요각류는, 빈 산소 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히, 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다(Raffaelli and Mason, 1981). 그러나 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 인성이 높을 뿐 아니라, 일부의 그룹이 빈 산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다(Heip, 1980; Moore and Bett, 1989). 그렇기 때문에, 양자의 비율(선충류/harpacticoids류)은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고, (오염이 심한 장소에서는 harpacticoids 가 없어지기 때문에, 무한대로 될 수 있다.) 자연 상태에 가까운 장소에서는 낮다. 중형저서생물의 분류를 종 단위

Table 3-7-5. The value of nematodes/harpacticoids ratio with sediment depth at each stations

Yeochari		Sediments depth (cm)					Total
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	
9805	Site A						
	Nematodes	1723	544	365	143	43	2818
	Harpacticoids	240	19	8	3	1	271
	<i>N/C ratio</i>	7	29	46	48	43	10
	Site B						
	Nematodes	1263	1670	407	193	47	3580
	Harpacticoids	105	26	7	3	1	142
	<i>N/C ratio</i>	12	64	58	64	47	25
9808	Site A						
	Nematodes	1308	864	815	256	69	3312
	Harpacticoids	307	123	21	5	0	456
	<i>N/C ratio</i>	4	7	39	51		7
	Site B						
	Nematodes	801	704	1020	526	166	3217
	Harpacticoids	268	192	71	20	6	557
	<i>N/C ratio</i>	3	4	14	26	28	6

까지 낮추려고 하는 것은 아주 어려운 일이지만, 저서성요각류, 선충류 등의 고위의 분류 계급은 쉽게 동정 가능하기 때문에, 이 선충류/저서성요각류의 비는 편리한 환경 지표로써 점차 사용되어지고 있다. N/C 값은 환경 오염의 하나의 지표로서 활용되어온 연구도 늘어나고 있다(Raffaelli, 1981, 1987; Raffaelli and Mason, 1981; Coull *et al.*, 1981; Warwick, 1981; Amjad and Gray, 1983; Lambshad, 1984; Shiells and Anderson, 1985; Itaoka and Tamai, 1995). 또한, Kinorhynchs는, 요각류 보다도 더욱 환경에 악화에 민감한 동물이라고 알려져 있다. 따라서 선충류/kinorhynchs비를 선충류/저서성요각류비와 병용 한다면 더욱 양질의 결과 값을 얻을 수 있으리라 생각된다. 이에 대한 접근으로 최근 우리나라의 통영해역에서의 연구가 있다(김 등, 1998). N/C 값이 사질해안 이외의 경우 여러 변수가 있다는 것이 지적되어 왔고, 하수 처리장으로 인한 영향의 차원에서 이루어진 연구가 많은 수를 차지한다고 볼 때, 아직 이에 대한 보다 더 많은 환경에서의 조사와 자료의 축적이 있어야 이 값의 유효성에 대한 명확한 답을 기대할 수 있으리라 생각한다. 이러한 관점에서 볼 때 강화도 여차리 갯벌에서의 5월의 경우는 8월에 비해 서식하기에 적합하지 않다는 것을 알 수 있다.

퇴적물 내의 각 퇴적층에서의 N/C 값을 살펴보면 두 시기의 두 조사지역 모두에서 표층 0-1cm에서 가장 낮은 N/C 값을 나타냄을 알 수 있다. 즉 5월의 경우 조사지역 A 에서는 7, 조사지역 B 에서는 12를, 8월의 경우 조사지역 A 에서는 4, 조사지역 B 에서는 3의 값을 보였다. 총 개체수의 N/C 값에서 낮은 값을 나타낸 8월의 두 조사지역은 그 이하의 퇴적물층인 1-2cm에서도 낮은 값을 나타내 조사지역 A 에서는 7, 조사지역 B 에서는 4의 값을 나타낸 반면 총 개체수의 N/C 값에서 높은 값을 나타낸 5월의 경우는 그 이하의 층인 1-2cm에서 각각 29, 64로 아주 높은 값을 나타냈다. 전반적인 경향으로는 두 시기의 모든 조사지역에서 퇴적물의 깊이가 깊어질수록 N/C 값은 증가하는 경향을 나타냈다.

나. 중형저서생물에 의한 오염 모니터링

해양에서 무엇보다 종 다양성이 높은 동물군은 선충류라고 말하여지고 있다. 어떤것이라 하더라도 중형저서생물의 종 다양성은 무척 높다. 그러나 유기오염 혹은 중금속 오염 등의 환경의 악화가 일어나면, 종 다양성이 격감한다고 알려져 있다. 거기서 meiobenthos의 종다양성도 환경 오염의 지표로써 유망시 되어지고 있다. 선충류들은 거의 α 분류학이 진행되어져 있지 않기 때문에, 시료에 정식의 학명을 붙이는 것은 불가능에 가깝다. 그러나 종의 다양성 지수를 얻을 목적이 있다면, 종명은 정확한 학명일 필요는 없고, 속명 +sp.1으로 충분하기 때문에, 분류학의 뒤늦음은 다양도를 환경의 지표로 사용하지 못할 이유가 되지는 않는다고 본다.

그 다음 방법으로 생각할 수 있는 것은 근년의 분자 유전학의 진보이다. 특히 PCR이 발명된 이후, 소량의 생물 시료라 하더라도 유전자의 해석이 가능하게 되었다. 현재의 기술을 사용한다면, 체중 μ g 정도의 중형저서생물 1 개체로부터는 충분히 DNA를 증폭시켜 염기 배열을 조사할 수 있다. 이러한 상황에 대해서 멕시코만에서는, 유전의 환경 영향을 조사하기 위해서, 중형저서생물의 유전자 level의 다양성을 지표로써 사용하는 것이 시험되어지고 있다. 같은 종의 복수 개체의 특정의 유전자의 다양성을 개체군 별로 비교하면, 유전(油田)과의 거리가 가까운 장소에 서식하는 개체군 쪽이, 유전적인 다양성이 낮다고 하는 결과가 나와 있다(Montagna 私信).

다음 방법으로는 앞에서 약간의 언급이 있었던 중형저서생물중 우점하며 두 생물그룹간 생리, 생태적 차이를 보이는 것을 이용하는 경우이다. 저서성 요각류(benthic harpacticoids)의 그룹들은 서식지마다의 생활에 특이적으로 적응하고 있다. 보통의 요각류는 몸의 길이와 같은 정도로 긴 수염을 갖고 있는 것에 비해, 저서성의 것은 아주 짧다. 요각류는, 빈 산소 환경에 민감하고, 환경의 악화 특히, 유기오염의 진행에 따라 개체수가 감소한다. 그러나 선충류는 그룹 자체로서 환경의 변동에 인성이 높을 뿐 아니라, 일부의 그룹이 빈 산소 환경을 보다 더 좋아하는 서식 특성을 갖고 있다. 그렇기 때문에, 양자의 비율(선충류/harpacticoids류)은 환경 오염이 진행된 해역에서 높고, (오염이 심한 장소에서는 harpacticoids 가 없어지기 때문에, 무한대로 될 수 있다.) 자연 상태에 가까운 장소에서는 낮다. 중형저서생물의 분류를 종 단위 까지 낮추려고 하는 것은 아주 어려운 일이지만, 저서성요각류, 선충류 등의

고위의 분류 계급은 쉽게 동정 가능하기 때문에, 이 선충류/저서성요각류의 비는 편리한 환경 지표로써 점차 사용되어지고 있다. 또한, Kinorhynchs는, 요각류 보다도 더욱 환경에 악화에 민감한 동물이라고 알려져 있다. 따라서 선충류/kinorhynchs비를 선충류/저서성요각류비와 병용 한다면 더욱 양질의 결과 값을 얻을 수 있으리라 생각된다. 이에 대한 접근으로 최근 우리나라의 통영해역에서의 연구가 있다(김 등, 1998).

이와 같이 중형저서생물을 이용한 해양오염 모니터링의 방법이 있음을 언급하였지만 앞의 방법들은 각각에 있어 약간의 어려움과 문제점도 내포하고 있는 것 또한 사실이다. 차후의 연구를 통하여 앞에서 서술한 방법을 충분히 이용하고 이의 개선점도 찾아나가야 하리라 생각한다. 그 방법 중 하나는 개체군 내에서도 생리, 생태적 차이를 보이는 종들의 이용 등을 생각해 볼 수 있으리라 본다.

7.3.3. 섭식량과 생산량

가. 생물량

두 시기의 각 조사지역에서의 생물량을 살펴보면 5월에 있어서는 중형저서생물의 총 생물량은 $1543.96 \mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 나타냈고, 8월의 경우는 5월보다 다소 높은 $2277.30 \mu\text{g}/10\text{cm}^2$ 의 값을 보였다(Table 3-7-6). 이를 g 과 m^2 값으로 환산하면 5월에는 1.5 g m^{-2} , 8월에는 2.3 g m^{-2} 의 값이 된다. 분류군 별로 살펴보면 5월과 8월 모두에 있어서 저서성요각류(benthic harpacticoids)가 가장 높은 생물량을 나타내, 5월에는 1.3 g m^{-2} , 8월에는 0.6 g m^{-2} 의 값을 보였다. 이는 각각의 시기에 있어서 중형저서생물의 총 생물량의 약 반에 가까운 값이다. 그 다음 선충류는 5월에는 0.5 g m^{-2} 의 값을 보여 저서성요각류와 거의 차이가 없는 값을 보였지만 8월에는 0.6 g m^{-2} 의 값을 나타내 같은 시기의 저서성요각류에 비해서는 약 반정도의 값을 나타냈다. 결과적으로는 선충류는 계절에 상관없이 일정한 값을 보인 반면 저서성요각류는 5월에 비해 8월이 약 2배 이상의 높은 값을 보였다. 그 다음의 유공충류는 이들보다는 낮은 값으로 두 계절 모두 0.1 g m^{-2} 의 값을 나타냈

Table 3-7-6. The biomass of meiobenthos at each study sites in Kanghai tidal flat

Yeochari 980527		Depth (cm)	Sieve series (mm)					(Biomass; ug/10cm ²)	
Site A	St. 2		0.5	0.25	0.125	0.063	0.037	Total	Group total
Nematodes		0-1	4.00	52.80	120.00	79.02	14.74	270.56	
		1-2	0.00	17.60	52.48	23.04	3.78	96.90	
		2-3	4.00	37.40	40.32	14.67	1.44	97.83	
		3-4	0.00	7.70	16.96	6.12	0.53	31.31	
		4-5	4.00	1.10	4.80	1.71	0.25	11.86	508.44
Sarcomastigophorans		0-1	11.00	1.50	19.68	24.31	4.90	61.39	
		1-2	0.00	0.00	4.51	8.58	1.20	14.29	
		2-3	0.00	1.50	5.74	2.09	0.34	9.67	
		3-4	0.00	0.00	1.23	0.99	0.26	2.48	
		4-5	0.00	0.00	0.82	0.33	0.04	1.19	89.03
Harpacticoids		0-1	83.00	377.20	141.75	1.36	0.01	603.32	
		1-2	0.00	24.60	9.72	0.32	0.00	34.64	
		2-3	0.00	8.20	4.86	0.08	0.00	13.14	
		3-4	0.00	0.00	1.62	0.08	0.00	1.70	
		4-5	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	652.88
Others		0-1	43.00	28.80	73.20	34.80	1.98	181.78	
		1-2	0.00	7.20	9.60	4.00	0.36	21.16	
		2-3	0.00	14.40	6.00	1.60	0.16	22.16	
		3-4	0.00	7.20	6.00	0.80	0.05	14.05	
		4-5	43.00	7.20	3.60	0.60	0.05	54.45	293.60
Total			192.00	594.40	522.89	204.58	30.09	1543.96	1543.96

Table 3-7-6. Continued

(Biomass; ug/10cm²)

Yeochari 980820		Depth (cm)	Sieve series (mm)					Total	Group total
Site A	St. 2		0.5	0.25	0.125	0.063	0.037		
Nematodes		0-1	0	39.6	112.64	47.52	13.72	213.48	
		1-2	8	29.7	84.48	40.77	4.13	167.08	
		2-3	16	17.6	99.52	36.27	2.835	172.23	
		3-4	0	2.2	34.56	10.26	1.12	48.14	
		4-5	0	3.3	5.44	3.42	0.385	12.55	613.47
Sarcomastigophorans		0-1	5.5	4.5	15.17	34.76	7.052	66.98	
		1-2	0	1.5	6.56	14.74	2.193	24.99	
		2-3	0	0	7.79	4.51	1.118	13.42	
		3-4	0	0	1.23	1.76	0.344	3.33	
		4-5	0	0	0.41	0.33	0	0.74	109.47
Harpacticoids		0-1	249	426.4	174.96	2.72	0.028	853.11	
		1-2	83	237.8	61.56	1.28	0.014	383.65	
		2-3	0	8.2	12.96	0.32	0	21.48	
		3-4	0	0	2.43	0.08	0.014	2.52	
		4-5	0	0	0	0	0	0.00	1260.77
Others		0-1	43	28.8	73.2	34.8	1.976	181.78	
		1-2	0	7.2	9.6	4	0.364	21.16	
		2-3	0	14.4	6	1.6	0.156	22.16	
		3-4	0	7.2	6	0.8	0.052	14.05	
		4-5	43	7.2	3.6	0.6	0.052	54.45	293.60
Total			447.50	835.60	718.11	240.54	35.55	2277.30	2277.30

다.

중형저서생물의 개체수 밀도는 1 m^2 당 $10^6 \sim 10^7$ 개체 정도로(McIntyre, 1969), 개체수 밀도는 주로 유기물의 양, 저질 간극 공간량 및 간극수 중의 산소량에 의존한다. 적절한 양의 식물이 공급되어, 산화적 조건이 갖추어지고 또한 입도가 거칠어 간극공간이 많은 퇴적물에는 1평방 미터 당 1억 개체에 달하는 다수의 중형저서생물을 볼 수 있다. 중형저서생물의 현존량은 1개체당 $10 \mu\text{g}$ 정도이기 때문에, 정밀 천평을 이용해서 측정하는 것은 어렵다. 건조 중량을 측정하기 위해서는 천 개체 정도를 모을 필요가 있고, 또 건조되어져 버린 표본은 후에 다른 연구 목적으로 사용되는 것은 불가능하기 때문에 다른 방법이 요구되어져 왔다. 이러한 이유로부터 중형저서생물의 현존량은 몸의 체적을 측정해서 비중을 곱하는 방법, 혹은 “체”를 사용하여 중형저서생물을 촘촘한 체적 분할로 나누어 각각의 분할된 분에 대해서 미리 구해져 있는 평균 체중을 사용해서 추정하는 방법 등을 들 수 있다(Shirayama, 1983). 이 방법으로 추정되어진 중형저서생물의 일반적인 생물량은, 1 m^2 당 약 $1 \sim 10 \text{g}$ 이다. 앞에서 구한 강화도 여차리에서의 두 시기의 중형저서생물의 생물량은 5월에는 1.5 g m^{-2} , 8월에는 2.3 g m^{-2} 로 이 범위 안의 값이지만 다소 낮은 값을 보여준다 하겠다. 이 생물량 값은 후에 서술하게 될 생산량 값을 구하는데 필요한 값이 된다.

나. 섭식

중형저서생물 중 우점 그룹인 선충류(nematodes)와 저서성요각류(benthic harpacticoids)를 대상으로 방사성동위원소인 ^3H 와 ^{14}C 를 사용한 섭식 실험을 Liquid scintillation counter에서 얻은 결과 값이 Table 3-7-7 이다. 이에 대한 값을 각각의 시료, 선충류는 조사지역 A에서 time series의 한 세트와 그 외의 시기와 지역에 대한 60분 값을, 저서성요각류에 대하여는 같은 시기의 같은 지역에서 종이 다른 sp. 1과 sp. 2에 대하여 time series로 한 두 세트와 그 외의 지역과 정점에 대하여 개체수 100과 개체수 1에 대한 DPM 값을 구해 보았다(Table 3-7-8). 시간 별 incubation을 한 선충류에서 ^3H 의 DPM 값은 60분에서 급격히 증가하고 90분에서 급격히 감소한 후 120분에서 다시

Table 3-7-7. The DPM value of meionthos by Liquid scintillation counter

Sample No.	Incubation T.	Individual No.	TIME	CPM 1	DPM 1	DPM 1%	RATIO	R%	CPM 2	DPM 2	DPM 2%
Nematode-1											
	0 (Min.)	100	00300	13.6	42.4	20.6	1.221	1.0	10.6	19.1	14.0
2	10	100	00300	25.4	86.7	13.9	1.205	1.0	16.6	30.1	11.3
3	30	100	00300	25.2	78.6	14.9	1.234	1.0	19.6	35.0	10.4
4	60	100	00300	504.6	2650.0	2.8	1.123	1.0	32.6	57.8	8.9
5	90	100	00300	91.2	298.1	8.0	1.197	1.0	65.4	119.4	5.9
6	120	100	00300	159.6	611.9	5.1	1.206	1.0	75.6	136.5	5.6
7	60	100	00300	713.6	3165.5	2.6	1.2	1.0	161.0	286.9	4.2
8	60	50	00300	41.0	163.1	9.2	1.213	1.0	16.6	29.8	11.3
9	60	50	00300	214.8	767.8	4.9	1.197	1.1	126.6	230.6	4.5
Harpacticoid-1											
	0	6	00300	69.2	251.3	7.0	1.327	1.1	32.6	54.5	8.2
2	0	43	00300	17.8	53.1	17.3	1.303	1.0	15.0	25.7	11.8
3	10	12	00300	92.2	370.1	5.5	1.336	1.0	22.0	35.7	10.1
4	10	50	00300	89.2	01	19.1	1.299	1.1	289.2	500.2	3.2
5	30	15	00300	41.4	131.5	10.3	1.345	1.0	30.0	50.0	8.5
6	30	60	00300	412.6	1561.5	3.0	1.39	1.0	124.8	197.5	4.5
7	60	12	00300	590.0	2419.4	2.6	1.347	1.0	100.6	159.1	5.1
8	60	48	00300	55.8	204.4	8.4	1.24	1.1	29.2	51.7	8.6
9	90	13	00300	419.0	1503.5	3.2	1.386	1.1	182.8	293.8	3.9
10	90	66	00300	179.4	720.5	4.1	1.31	1.0	49.0	81.5	6.8
11	120	21	00300	1543.0	6465.6	2.1	1.281	1.1	340.6	572.9	3.1
12	120	57	00300	205.2	808.3	3.9	1.35	1.0	54.0	87.3	6.6
13	60	38	00300	1616.2	6133.5	2.2	1.295	1.0	665.0	1130.7	2.5
14	60	57	00300	160.0	602.8	4.9	1.255	1.0	74.0	129.4	5.6
15	60	14	00300	2200.0	8778.5	2.0	1.289	1.0	691.0	1170.6	2.5
16	60	51	00300	101.4	324.4	6.9	1.298	1.0	73.8	126.5	5.5
17	60	28	00300	839.6	3032.3	2.7	1.275	1.0	439.6	760.4	2.8
18	60	17	00300	62.8	209.4	8.4	1.289	1.0	41.4	71.2	7.3

Table 3-7-8. The DPM value of individuals of meiobenthos by Liquid scintillation counter

Radio Isotope	H ³			C ¹⁴				
	Sample No.	Incubation T.	DPM 1	100 inds.	1 ind.	DPM 2	100 inds.	1 ind.
Nematode May	St. A - 1	0 (Min.)	42.4	42.4	0.4	19.1	19.1	0.2
	2	10	86.7	86.7	0.9	30.1	30.1	0.3
	3	30	78.6	78.6	0.8	35.0	35.0	0.4
	4	60	2650.0	2650.0	26.5	57.8	57.8	0.6
	5	90	298.1	298.1	3.0	119.4	119.4	1.2
	6	120	611.9	611.9	6.1	136.5	136.5	1.4
Aug.	St. B - 1	60	3165.5	3165.5	31.7	286.9	286.9	2.9
	St. A	60	163.1	326.2	3.3	29.8	59.6	0.6
	St. B	60	767.8	1535.6	15.4	230.6	461.2	4.6
Harpacticoid May Site A, St. 1	Sp.1 - 1	0	251.3	4188.3	41.9	54.5	908.3	9.1
	2	10	370.1	3084.2	30.8	35.7	297.5	3.0
	3	30	131.5	876.7	8.8	50.0	333.3	3.3
	4	60	2419.4	20161.7	201.6	159.1	1325.8	13.3
	5	90	1503.5	11565.4	115.7	293.8	2260.0	22.6
	6	120	6465.6	30788.6	307.9	572.9	2728.1	27.3
	Sp.2 - 1	0	53.1	123.5	1.2	25.7	59.8	0.6
	2	10	!	!	!	500.2	1000.4	10.0
	3	30	1561.5	2602.5	26.0	197.5	329.2	3.3
	4	60	204.4	425.8	4.3	51.7	107.7	1.1
	5	90	720.5	1091.7	10.9	81.5	123.5	1.2
	6	120	808.3	1418.1	14.2	87.3	153.2	1.5
St. 3	Sp. 1	60	6133.5	16140.8	161.4	1130.7	2975.5	29.8
	Sp. 2	60	602.8	1057.5	10.6	129.4	227.0	2.3
Site B, St. 1	Sp. 1	60	8778.5	62703.6	627.0	1170.6	8361.4	83.6
	Sp. 2	60	324.4	636.1	6.4	126.5	248.0	2.5
St. 3	Sp. 1	60	3032.3	10829.6	108.3	760.4	2715.7	27.2
	Sp. 2	60	209.4	1231.8	12.3	71.2	418.8	4.2

증가하는 양상을 나타냈다. 60분의 DPM값이 높음은 다른 시기와 다른 지역에서도 같은 양상을 보였다. 이는 선충류의 박테리아에 대한 섭식이 60분까지는 활발하다가 그 시간을 넘어서면 output(예를 들면 excretion)에 비해 ingestion과 같은 input의 양이 적을 가능성을 시사해 준다. 이와는 다르게 microalgae의 경우는 시간에 비례해 섭식하는 양이 일정하게 증가하는($y = 1.0274x + 13.235$, $r = 0.97$, $p < 0.01$) 양상을 나타내었다(Fig. 3-7-8). 저서성요각류의 sp. 1에 있어서는 박테리아($y = 44.062x - 419.66$, $r = 0.87$, $p < 0.05$)와 microalgae($y = 4.1819x - 21.733$, $r = 0.94$, $p < 0.05$) 두 종류의 먹이에 대하여 모두 시간에 비례하여 일정하게 먹이의 양이 증가하는 값을 나타냈다. 이에 비하여 저서성요각류 sp. 2에 있어서는 박테리아의 경우는 선충류와 유사한 양상을 나타내 30분에서 가장 높은 DPM값을 보이고 60분에서 감소하여 90분, 120분으로 갈수록 조금씩 증가하는 값을 보였다. Microalgae의 경우는 10분에서 가장 높은 값을 보이고 그 이후의 시간대에서는 아주 낮은 값을 보였다.

방사성동위원소를 이용해 측정한 중형저서동물의 세균 및 microalgae에 대한 섭식율을 계산한 결과는 Table 3-7-9의 before collection 항목과 같다. Montagna & Yoon(1991)은 $^3\text{H-TdR}$ 의 경우 박테리아에 label된 양 중 30.7%, 선충류(nematodes)에 label된 양 중 3.5%, 저서성요각류(benthic harpacticoids)에 label된 양 중 57.1%, H^{14}CO_3 의 경우에는 microalgae의 8.5%, 선충류(nematodes)에 label된 양 중 27.6%, 저서성요각류(benthic harpacticoids)에 label된 양 중 20.3%가 unincorporated label인 것으로 보고하였다. 이 기준에 따라 섭식율을 재 계산한 결과가 Table 3-7-9의 after collection 항목이다. 위 결과를 탄소의 양으로 전환할 경우 선충류의 세균 포식량은 시간당 $0.917 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, Harpacticoids sp.1은 $2.958 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, Harpacticoids sp. 2는 $0.144 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$ 을 포식하며 microalgae의 경우에는 각각 시간당 $1.497 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $1.582 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $0.078 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$ 의 양을 포식한다(after collection의 경우 세균에 대해 각각 $0.643 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $1.863 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $0.090 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, microalgae에 대해 $1.204 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $1.399 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, $0.069 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$ 를 섭식한다). 이 결과 값은 선충류의 경우 세균보다는 microalgae가 먹이로서 차지하는 비중이 더 크고, benthic harpacticods의 경우에는 세균을 먹

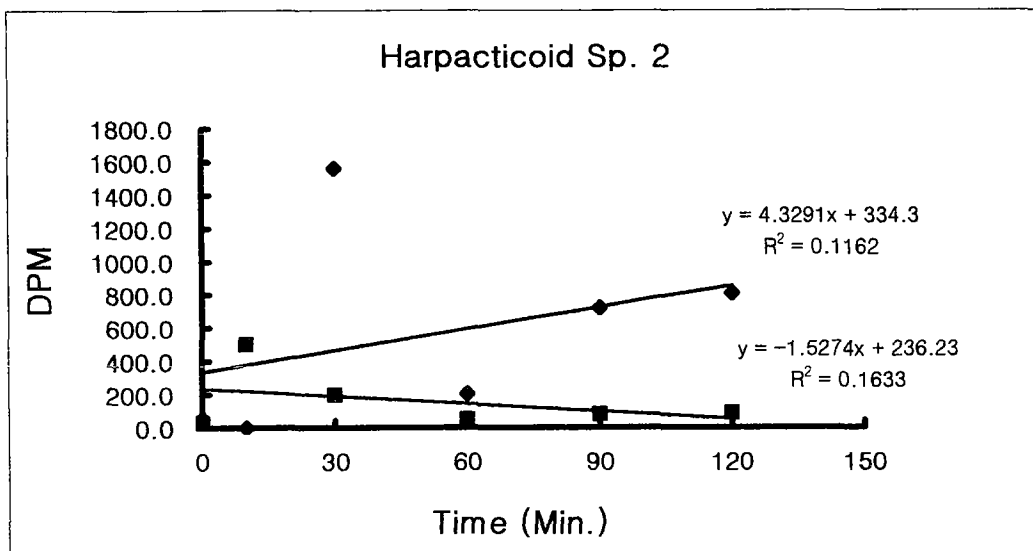
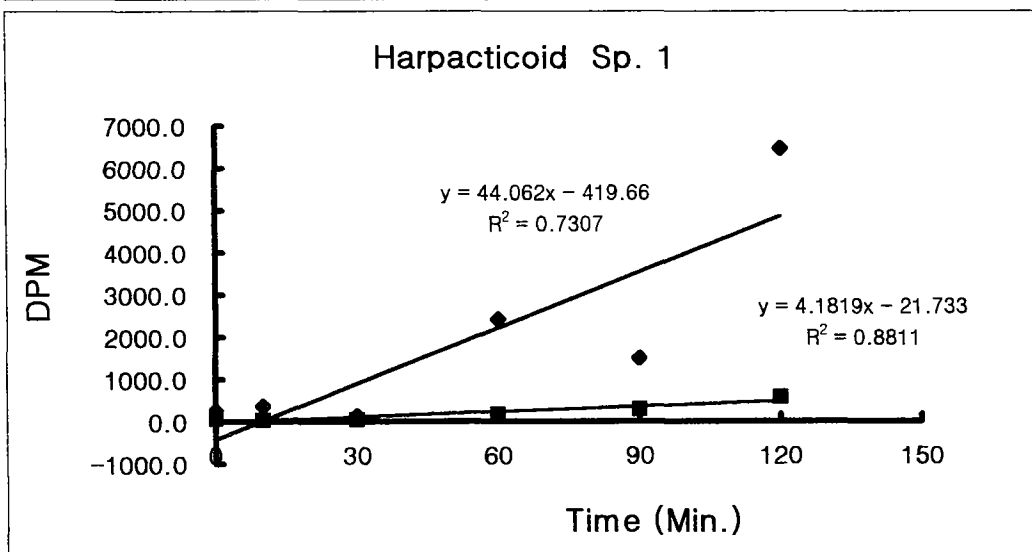
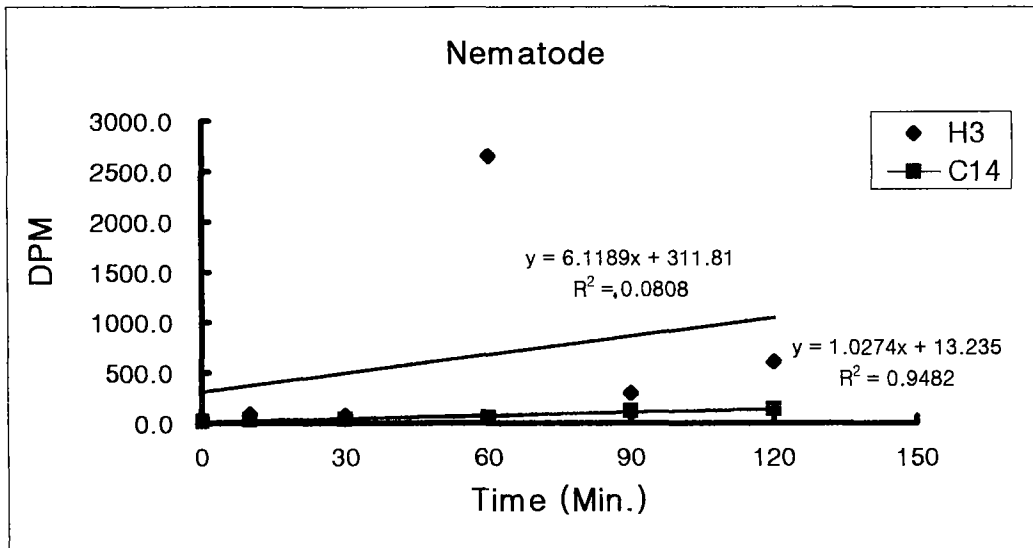


Fig. 3-7-8. The relationship between DPM and time for nematodes and benthic harpacticoids.

Table 3-7-9. The grazing rates of each meiobenthic groups

	Abundance (cells/cm ³)	(DPM/cell/2hr)		Grazing rate(%/hr) before collection		Grazing rate(%/hr) after collection	
		³ H-TdR	H ¹⁴ CO ₃	Bacteria	Microalgae	Bacteria	Microalgae
Bacteria	1.7 × 10 ¹¹	9.08 × 10 ⁸					
Microalgae ¹	2.50 μg/cm ³		7653.66/μg				
Nematodes	172.3	5.7	1.2	0.31	1.3294	0.2175	1.0686
Harpacticoides I	12	266	18.2	1.0	1.4042	0.6299	1.2421
Harpacticoides II	12	12.9	0.9	0.0486	0.0694	0.03055	0.0614

1. Microalgae = represented as the concentrations of chlorophyll a

이로 더 선호하는 것이 된다. 두 종의 포식량을 합할 경우엔 보정 전에 bacteria $4.019 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, microalgae $3.157 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$ 이지만 보정 후에는 bacteria $2.596 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$, microalgae $2.672 \mu\text{g-C}/\text{cm}^3$ 로 보정 전엔 bacteria를 훨씬 더 많이, 보정 후엔 비슷한 수준에서 microalgae를 더 많이 이용한다. 한편 세균의 생산력은 $0.092\%/h$ 이므로 포식율이 생산력보다 약 15배 가량 높다. Montagna와 Yoon(1991)의 경우에도 $^3\text{H-TdR}$ 을 이용해 측정한 생산력보다 포식율이 월등히 높게 나왔으며 이 문제의 해결을 위해 산소 소모량으로 추정된 세균 생산력($^3\text{H-TdR}$ 을 이용한 방법보다 약 15배 높다)을 대입함으로써 생산력과 포식율의 균형(생산력이 포식율의 약 2배가 됨)을 맞출 수 있었다.

이와 같은 결과는 중형저서생물이 박테리아나 규조류 등의 microalgae를 많이 이용하고 있다는 기존의 연구를 입증하는 것이 된다. 차후는 실험방법 및 결과 검증에 대한 보다 정밀한 시정과 분석이 요구되는데, 이에 병행하여 중형저서생물이 고차의 영양단계에 이용되어지는 부분의 연구도 필요하다 할 수 있다. 저서어류 등의 위 내용물을 조사하면, 중형저서생물의 군집 조성과는 다르게 저서성요각류가 주된 먹이가 되어 있는 것처럼 보이는 경우가 있다. 그 이유로써 1) 저서어류가 저서성요각류를 선택적으로 포식한다. 2) 저서어류가 random하게 섭식하고 있지만, 선충류의 소화가 빠르기 때문에 위 내용물에서는 저서성요각류가 우점한다고 하는 2가지의 생각을 해 볼 수 있다. 주의 깊은 실험과 위 내용물의 항원항체 반응을 이용한 분석으로부터 현재에는 2번째의 생각이 보다 유력하게 여겨지고 있다. 중형저서생물이 박테리아 등의 미소한 입상 유기물이나 용존 유기물 등을 유기물로 변환하고 있다는 것 뿐 아니라 이러한 고차의 영양단계 먹이로써의 군집 내에서의 기능에도 연구의 필요성을 생각한다.

다. 생산량

두 시기의 조사지역에서의 생산량을 앞에서 산출한 생물량과, $P/B = 10$ (McIntyre, 1969; Ankar & Elmgren, 1976; Heip *et al.*, 1982)이라는 중형저서생물에서 일반적인 P/B 값에 대비해 값을 구해보면 5월의 경우는 15 g m^{-2} 의 값을 나타내고, 8월의 경우는 이보다 다소 높은 23 g m^{-2} 의 값을 나타낸

다. 일반적으로 ash free dry weight의 약 40%가 C의 값이므로(McIntyre, 1969) 이를 C 값으로 환산하면 5월에는 6 g C m^{-2} , 8월에는 7.2 g C m^{-2} 이 된다. 이 값은 McIntyre(1969)의 $2.5\text{-}3.8 \text{ g C m}^{-2}$, Baltic sea 에서 Ankar & Elmgren의 2.7 g C m^{-2} 보다는 높고 연안에서의 결과 값인 Warwick *et al.*, (1979)의 13.50 g C m^{-2} 보다는 낮은 값이다.

중형저서생물의 생산량을 field의 결과로부터 측정하는 것은 무척 어렵다. 그래서 본 연도에는 그 생산량을 측정하기 위한 첫 단계로써 섭식율에 대한 실험을 하여 그 결과 값을 산출했다. 차후 호흡율을 측정한다면 동화량(assimilation)과 섭식량으로부터 field에서의 생산량을 구할 수 있으리라 생각한다. Field에서 생산량을 측정하기 어려운 이유는 중형저서생물은 세대시간이 짧기 때문에, 개체군의 성상을 field에 있어서의 정기채집에서 추적하는 것이 불가능한 것을 최대의 이유로 들 수 있다. 그래서 지금까지 생산량은 무엇인가의 실내 실험의 결과를 해서 추정하는 방법을 사용해왔다. 중형저서생물의 연간 세대수는 사육 실험으로부터 6내지 20정도의 값이 얻어져 있다. 모든 종이 이 값에 적용 가능할 리는 없지만, 평균적인 세대수를 10정도로 해서, 현존량의 값과의 비에서 연간 생산량을 추정하는 방법이 가장 일반적으로 이용되어지고 있는 방법이다(Heip *et al.*, 1982). 그러나 실제로 현존량도 크게 변동하기 때문에, 1개의 표본으로부터 연간 생산량을 이 방법으로 추정하는 것은 다소 문제점도 있다 할 수 있다. 보다 직접적인 방법으로써 중형저서생물군집을 구성하는 주요한 종에 대해서, 호흡, 섭식 등의 생산량의 추정에 필요한 Parameter를 측정하고, 각종의 값을 합산해서 군집 전체의 생산량을 추정하는 방법을 이용한다. 그러나 이 방법은 상당의 노력과 비용을 필요로 하기 때문에 과거에 행하여진 예는 2개(Kim, 1996b; Warwick *et al.*, 1979)에 지나지 않다. 이 방법은 다른 해역의 다른 군집조성의 중형저서생물군집에 대해서 세대시간을 가정하는 것 보다 신뢰성이 높은 생산량의 측정이 가능하다. 또한 이 방법은 온도의 영향을 충분히 고려하고 있기 때문에, 생산량의 추정이 보다 현실에 가깝다. 앞에서 언급한 바와 같이 차후의 연구는 이의 필요성을 실행하는 연구가 되어야 한다고 생각한다.

저서생물군집 전체의 생산량에 대한 중형저서생물의 기여에 대해 Gerlach(1971)는 bacteria의 생산량과 중형저서생물의 생산량이 거의 같고,

대형저서생물의 생산량은 중형저서생물의 약 1/5이라고 주장하고 있다. 이것이 옳다면 중형저서생물의 생산량이 benthos군집 전체의 약 42%를 차지한다. 따라서 중형저서생물의 생산량을 추정하는 것이 가능하다면 저서 생물 군집 전체의 생산량도 어느 정도의 정밀도로 추정할 수 있다. 다른 생물과 비교하면 대형저서생물처럼 대량의 퇴적물 시료가 없어도 충분히 정량적인 자료를 얻을 수 있다는 것, 박테리아처럼 살아있는 상태의 시료가 아니더라도(살아있는 균수가 필수), 현존량이 추정 가능하다는 것 등을 생각하면 중형저서생물을 생산량의 추정을 위해 연구 대상으로 하는 이점은 많다고 볼 수 있다.

이처럼 중형저서생물은 환경의 지표생물로서의 유용성과 benthos 군집에 있어서 중요한 역할을 갖고 있는 것이 넓게 인식되어지게 되었다. 금후에도 이 크기의 동물에 관한 연구를 점차로 추진해 나아가지 않으면 아니 될 것이다.

제8절 강화도 남단 갯벌의 대형저서동물군집

8.1. 서론

강화도 남부의 경기만 주변해역에서는 최근 여러가지 대형 개발 사업이 수행되고 있으며, 다양한 해양환경의 변화가 예상되는 지역이다. 즉, 영흥도의 화력 발전소, 대부도 관광단지 조성, 영종도의 인천공항, 화옹지구 간척 매립 사업 등도 현재 진행중이거나 계획되어 있어 주변 해역에 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 지금까지 경기만 북부에 위치한 강화도 남단의 갯벌에서의 저서생물상 조사는 1991년에 환경처에서 수행된 자연생태계 조사보고서이며(환경처, 1991), 갑각류에 대한 생태학적 연구는 1981년의 연구결과(Kim et al., 1981)와 강화도 동편 수로역에서의 갑각류 조성의 연변화에 대한 것(Kim and Choe, 1982)이 있었다. 그 후 1991년에서 1994년에 걸쳐 갯벌에 도래하는 섭금류의 생태연구에서 먹이생물 조사의 관점에서 여차리를 중심으로 갯벌생물에 대한 조사가 있었다(이, 1995). 이 외에도 경기만 일대의 조간대에서의 연구로는 인천 척전 조간대(Frey et al., 1987; Park, 1991; Seo, 1994)와 대부도 주변에서의 갯벌에 대한 조사가 수행되었다(Choi et al., 1998; Lee et al., 1988; Lim and Je, 1998).

갯벌 조간대에 서식하는 무척추동물은 다른 해양생물들의 먹이로서 역할을 하기 때문에 해양의 영양단계에서 중요한 역할을 수행하는 것으로 알려져 있으며, 어류의 경우 섭식장소로 이용하기도 한다(Tyler, 1971). 또한 이들은 생물교란 (bioturbation)을 통해서도 생태계의 물질 순환을 촉진하는 중요한 기능을 수행하고 있다(Brey, 1991). 아울러 무척추동물은 이동성 철새들의 먹이가 됨으로서 갯벌은 철새들의 먹이 공급장소로서의 역할을 하며, 철새들의 포식이 저서동물의 일시적인 군집구조에 영향을 미치기도 한다(Ambrose, 1986). 갯벌의 대형저서동물에 의한 이차생산량 추정은 갯벌에서 먹이를 취하는 어류와 철새의 먹이량을 가늠케 하며, 갯벌에서의 정화능력을 대형저서동물도 분담하고 있기 때문에 저서동물의 이차생산량 추정은 갯벌생태계의 기능을 파악하는데 있어서 중요한 변수의 하나이다.

일반적으로 퇴적물의 안정성은 저서동물의 분포를 결정하는데 중요한 요인

으로 작용하는데, 본 조사해역인 강화도 남부의 갯벌에는 해안선에 방조제를 설치하여 상부 갯벌에 나타나는 염생식물 군락이 거의 소멸된 상태에 있으며, 주변의 영종도에서는 대규모 매립이 진행되어 매립공사로 인해 주변 갯벌 생태계의 퇴적상 변화를 초래했을 것으로 예상된다. 아울러 해안선의 변화로 인한 조류 방향 등의 변화로 퇴적물의 침식과 퇴적이 일어나 퇴적물이 세립해지거나 더욱 조립해지게 된다면 현재 사질이 우세한 퇴적상에 서식하는 우점종도 다른 종들로 대체될 가능성이 있으며, 인근의 갯벌 생태계에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 이러한 변화 양상이 현재 오염으로 인해 문제가 되고 있는 시화호에서 방출되는 폐수나 한강으로부터 유입되는 생활오폐수에 의해 영향을 받을 경우 그 변화 정도는 더욱 급격할 것으로 생각된다. 이러한 관점에서 향후 지속적인 생태계 변화 모니터링의 필요성과 대부도 갯벌을 보호하기 위한 대책이 요구된다. 따라서 현재 경기만 내에 가장 넓은 면적을 가지고 있는 강화도 남부의 갯벌에서 저서동물군집의 분포와 구조를 파악하고 주요 우점종의 이차생산량을 추정함으로써 향후 갯벌 생태계의 보전과 변동 파악에 필요한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

8.2. 재료 및 방법

8.2.1. 대형저서동물군집

강화도 남부역의 조간대 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 종류와 서식밀도, 생물량 등에 있어서의 분포양상을 파악하기 위해 1998년 4월과 8월에 여차리와 동막리에 각각 1개 조사선을 설정하여 현장조사가 수행되었고, 1998년 8월에는 선두리에 1개 조사선을 추가하여 3개 조사선에서 저서생물의 채집이 이루어졌다(Fig. 3-8-1). 1998년 11월에는 여차리 조사선에서만 저서생물상에 대한 조사가 있었다. 각 조사선은 지형이나 퇴적상, 조간대 규모 등을 고려하여 대략 200 m 간격으로 조사정점을 선정하였다. 여차리 조사선에서는 해안선의 10 m 지점과, 200 m에서 4,000 m에 이르는 곳에서 총 21개 정점이 선정되었고, 동막리 조사선에서는 해안선의 10 m 지점과, 200 m에서 2000 m에 이르는 곳에서 총 11개의 정점이 선정되었다. 또한 니질이 우세한 선두리 앞의 갯

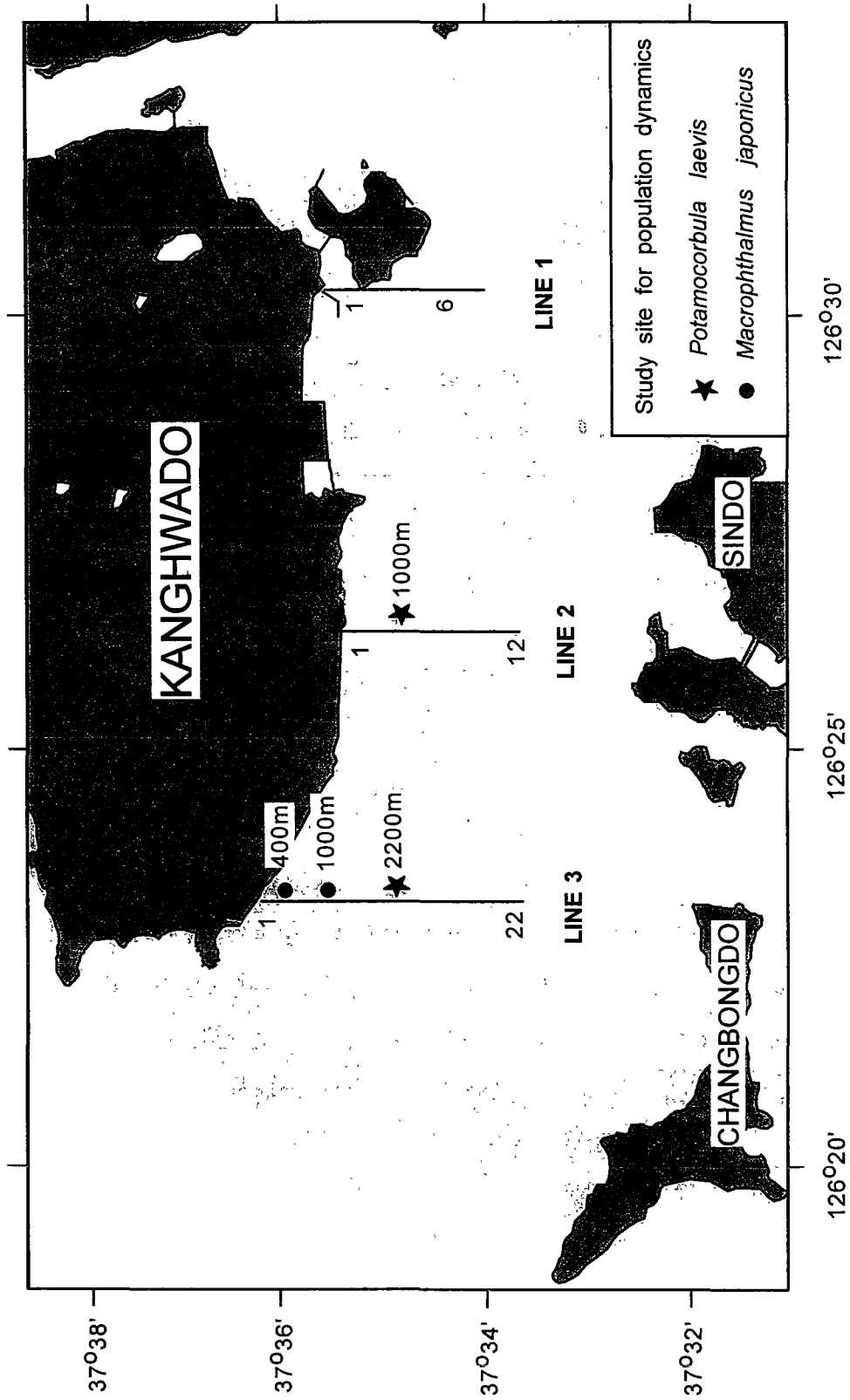


Fig. 3-8-1. Map showing study area and sampling sites for macrobenthic community survey and secondary production of dominant macrobenthic fauna.

벌에서는 해안으로부터 200m간격으로 1400m지점까지 8개 정점을 선정하였다.

각 조사선별 채집기와 채집횟수를 보면 조사선 1에서는 조간대 상부역인 정점 1과 2에서는 can corer (채집면적 0.08 m^2)를 사용하여 정점 당 4회씩 채집하였고, 선두리의 조사선 1에서는 만조시에 선박을 이용하여 소형 grab (0.05 m^2)을 사용하여 4회씩 채집하였다. 채집된 퇴적물시료는 현장에서 망목 크기 0.5 mm 인 체로 걸러 남은 것을 10 % 포르말린으로 고정하였다.

한편 서식밀도는 낮지만 개체의 크기가 커서 생태학적으로 중요한 위치에 있는 종들과 서식굴이 깊어서 can corer로 채집이 어려운 종들, 그리고 이동성이 있는 포서성 저서동물을 대상으로 대상 생물별로 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 또는 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 등 적절한 크기의 채집면적을 정하여 5 내지 10여 곳에서 서식밀도를 조사하였다. 갯벌 표면에 나타난 흔적에 대한 저서동물의 종 동정은 서식굴의 형태나 섭식흔적, 이동흔적, 서식생태 등에 대한 조사결과에 의거하여 이루어졌다 (Frey et al., 1987 b; Lee and Koh, 1994).

실험실에서는 주요 분류군별로 선별하여 습중량을 측정하였고, 가능한한 종 수준까지 동정한 후 계수하였다. 각 정점별 출현개체수 자료를 이용하여 Shannon의 종다양성지수와 균등도지수를 구하였고(Pielou, 1966), 또한 집괴 분석을 위해 정점간 출현종의 유사도로는 백분율유사도지수를, 결합법으로는 가중평균결합법을 사용하여 정점간의 수지도를 그렸다(Pielou, 1984). 군집분석에는 통계프로그램인 MVSP 2.1를 사용하였다.

9.2.2. 대형저서동물의 이차생산량 추정

강화도 갯벌생태계의 주요 기능인 생산량을 파악하기 위한 연구의 일환으로 갯벌군집의 주요 구성원인 대형저서동물의 이차생산량을 측정하고자 하였다. 이를 위하여 대형저서동물 중에서 주요 우점종으로 나타난 연체동물의 민챙이(*Bullacta exarata*), 이매패류인 *Potamocorbula laevis*, 갑각류의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)을 대상으로 그들의 주된 서식지에서 1998년 5월과 1998년 8월 및 11월에 적절한 크기의 방형구를 사용하여 서식밀도, 생물량, 그리고 이 기간 동안의 성장과 이차생산량을 추정하였다. 각 우점종의 개체군 조사를 보면 칠게에 대해서는 니질퇴적상을 보인 여차리 400m지점과 니

사질퇴적상을 보인 1000m 지점에서 조사하였고, 민챙이는 주로 1000m 부근의 용덩이 근처에서, *P. laevis*는 2000m 지점을 중심으로 한 니사질퇴적상의 갯벌에서 조사가 이루어졌다.

채집된 개체군들은 각 개체별로 몸의 길이와 폭, 중량을 측정하였고, 이들 간의 상대 성장식을 구하였다. 이매패류와 같이 윤문이 있어서 연령형질이 뚜렷한 경우에는 윤문형성과 연령과의 관계를 검정하여 연급군으로 구분하였다. 연령형질이 뚜렷하지 않은 종들은 체장 또는 체중의 size-frequency histogram으로부터 연급군 (cohort)을 구분하여 각 연급군의 개체군 parameters을 구하였다. 생산량 추정은 일정기간 중에 증가한 생물량을 합산하여 생산량을 구하는 방법인 the increment summation method(Crisp, 1984)을 사용하였다. 즉, 다음의 수식으로 이차생산량을 추정하였다.

$P_{1,2} = [(n_1 + n_2) / 2] * (w_2 - w_1)$, 여기서 $P_{1,2}$ = 두 채집기간 중의 이차생산량;
 n_1, n_2 = 두 채집기간 중의 개체수; w_1, w_2 = 각 채집시의 평균체중.

8.3. 결과 및 고찰

8.3.1. 대형저서동물군집

강화도 남부 조간대 중에서 동쪽의 동검도 앞의 조사지선과 중앙부의 동막리 앞의 조사지선에서 조간대 상부에서 하부에 이르는 지역에서 대형저서동물을 채집하여 분석한 결과를 보면 다음과 같다.

가. 종조성

가) 선두리 갯벌 (조사선 1)

1998년 8월 6개의 정점 조사에서 29종, 749개체가 출현하였다. 조사지역에서 출현한 대형저서동물의 평균 서식밀도는 624개체/ m^2 였으며, 평균 생물량은 24.9g/ m^2 였다. 주요 동물군별 출현종수는 갯지렁이류가 11종 (37%), 갑각류가 8종 (28%) 그리고 연체동물이 6종 (21%) 등으로 나타났다 (Fig. 3-8-2).

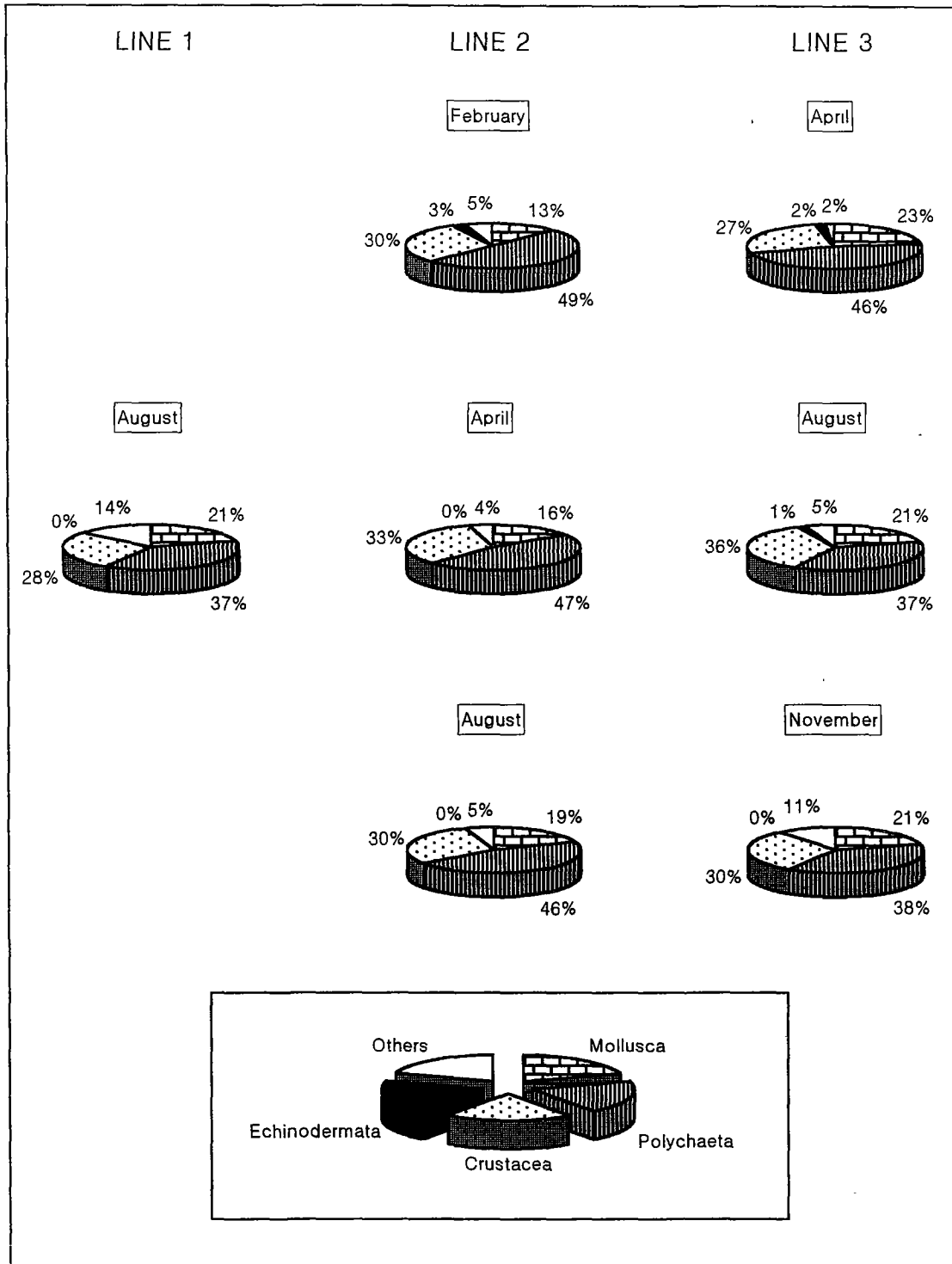


Fig. 3-8-2. The species composition of major faunal taxa of macrobenthos occurred at the transect lines in the Kanghwa tidal flat during the study period.

출현개체수에서는 갯지렁이류 (436개체/1.2m²)가 58.2% 로 가장 우점하였으며, 다음으로 32.8%를 차지한 연체동물 (246개체/1.2m²) 그리고 2.3%를 차지한 갑각류 (17개체/1.2m²) 순으로 나타났다 (Fig. 3-8-3). 생물량 조성은 갑각류 (15.1g/1.2m²)가 50.6%로 가장 우점하였으며, 연체동물 (9.3g/1.2m²)이 31.2% 그리고 갯지렁이류 (4.4g/1.2m²)가 14.6% 순으로 나타났다. 주요 우점종으로는 전체 출현 개체수의 40.9%를 차지한 갯지렁이류인 *Heteromastus filiformis* 였으며, 작은 복족류인 *Stenothyra glabra* (23.8%), 갯지렁이류인 *Nephtys oligobranchia* (10.7%) 그리고 이매패류인 *Laternula marilina* (4.3%) 등의 순으로 우점하고 있었다(Table 3-8-1).

나) 동막리 갯벌 (조사선 2)

1998년 2월부터 8월까지 3번의 계절조사에서 총 73종, 9,268개체가 출현하였다. 조사지역에서 출현한 대형저서동물의 평균 서식밀도는 2월에 350개체/m², 4월에 2250개체/m², 8월에 5281개체/m²로 여름으로 가면서 점점 증가하는 양상을 보였다. 이는 연체동물 출현개체수의 증가에 기인한 것이다. 평균 생물량은 8월에 324.8g/m² 였다. 주요 동물군별 출현종수는 갯지렁이류가 28종 (38.4%), 갑각류가 27종 (37.0%) 그리고 연체동물이 12종 (16.4%) 등으로 나타났다. 분류군별 출현종수의 비율은 계절별로 거의 일정하게 유지되었으나 (Fig. 3-8-2), 계절별 종조성은 갑각류에서 다른 분류군에 비해 변화가 심했다. 출현개체수에서는 조사선 1과는 달리 연체동물이 83.4% (7730개체/3.6m²) 로 가장 우점하였으며, 다음으로 12.4%를 차지한 갯지렁이류 (1152개체/3.6m²) 그리고 3.7%를 차지한 갑각류 (340개체/3.6m²) 순으로 나타났다. 생물량 조성은 8월에 연체동물 (350.5g/1.2m²)이 89.9%로 극 우점하였으며, 갑각류 (36.6g/1.2m²)가 9.42% 그리고 갯지렁이류 (2.4g/1.2m²)가 0.6% 순으로 나타났다(Fig. 3-8-3). 주요 우점종은 전체 출현 개체수의 80.0%를 차지한 연체동물인 *Portamocorbula laevis* 였으며, 그리고 갯지렁이류의 *H. filiformis* (3.7%), *Glycinde gurjanovae* (1.8%), *N. oligobranchia* (1.7%) 등이 우점하는 지역이었다 Table 3-8-1.

Table 3-8-1. Dominant species of macrobenthos at each transect line of the Kanhwa tidal flat during the study period

1) Line 1						
	Faunal group	Abundance Aug.			Total	Percentage
<i>Heteromastus filiformis</i>	Po	306			306	40.9
<i>Stenothyra glabra</i>	Mo	178			178	10.7
<i>Nephtys oligobranchia</i>	Po	80			80	10.7
<i>Laternula mariliana</i>	Mo	32			32	4.3
<i>Nemernina unid.2</i>	Ne	25			25	3.3
<i>Moerella iridescens</i>	Mo	19			19	2.5

2) Line 2						
	Faunal group	Abundance			Total	Percentage
		Feb.	Apr.	Aug.		
<i>Potamocorbula laevis</i>	Mo	0	1753	5747	7500	80.0
<i>Heteromastus filiformis</i>	Po	51	143	153	347	3.7
<i>Glycicnde gurjanovae</i>	Po	33	68	55	156	1.8
<i>Nephtys oligobranchia</i>	Po	43	53	60	156	1.7
<i>Magelona japonica</i>	Po	44	51	45	140	1.5
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	Po	59	37	22	118	1.3
<i>Hemileucon hinumensis</i>	Cr	88	15	0	103	1.1

3) Line 3						
	Faunal group	Abundance			Total	Percentage
		Feb.	Apr.	Aug.		
<i>Potamocorbula laevis</i>	Mo	164	2851	457	3472	42.4
<i>Heteromastus filiformis</i>	Po	134	225	271	630	7.7
<i>Bullacta exarata</i>	Mo	484	63	28	575	7.0
<i>Umbonium thomasi</i>	Mo	431	81	6	518	6.3
<i>Urothoe sp.</i>	Cr	74	77	97	248	3.0
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	Cr	25	116	57	198	2.4
<i>Ilyoplax pingi</i>	Cr	68	92	38	198	2.4
<i>Moerella iridescens</i>	Mo	69	53	67	189	2.3
<i>Magelona japonica</i>	Po	34	46	91	171	2.1

다) 여차리 갯벌 (조사선 3)

1998년 5월부터 11월까지 3번의 계절조사에서 총 105종, 9,174개체가 출현하였다. 조사지역에서 출현한 대형저서동물의 평균 서식밀도는 4월에 927개체/m², 8월에 2148개체/m², 8월에 1351개체/m²로 *P. laevis* 가 출현하는 4월에 겨울철의 2배 이상의 서식밀도 증가를 보였다. 평균 생물량은 8월에 247g/m², 11월에 150g/m² 를 각각 나타냈다. 주요 동물군별 출현종수는 갯지렁이류가 39종 (37.1%), 갑각류가 36종 (34.3%) 그리고 연체동물이 21종 (20%) 등으로 나타났다. 분류군별 출현종수의 비율은 4월에 갯지렁이류가 46%로 절반 가까운 비율을 차지하였으나, 8월에 갑각류의 비율 (36%)이 뚜렷히 증가하는 양상을 보였다(Fig. 3-8-2). 출현개체수에서는 조사선 2에서 처럼 연체동물이 66.1% (6064개체/6.3m²)로 가장 우점하였으며, 다음으로 19.6%를 차지한 갯지렁이류 (1801개체/6.3m²) 그리고 13.1%를 차지한 갑각류 (1205개체/6.3m²) 순으로 나타나 갑각류의 출현 개체수 비율이 조사선 2에 비해 크게 높았다(Fig. 3-8-3). 생물량 조성은 연체동물 (652g/4.1m²)이 80.4%로 극 우점하였으며, 갑각류 (133g/4.1m²)가 16.4% 그리고 갯지렁이류 (22.7g/4.1m²)가 2.8% 순으로 나타났다. 주요 우점종은 전체 출현 개체수의 42.4%를 차지한 연체동물인 *Portamocorbula laevis* 였으며, 갯지렁이류의 *H. filiformis* (7.7%), 연체동물인 *B. exarata* (7.0%), *Umbonium thomasi* (6.3%) 순으로 나타났다(Table 3-8-1).

나. 지역적 분포

가) 선두리

정점별 출현종수를 보면 7~16종 범위에 있었으며, 중부역인 600m 지점에서 16종으로 가장 높게 나타났으나 다른 정점에서는 10종 안팎의 균일한 분포 양상을 보였다(Fig. 3-8-4). 출현개체수에 있어서는 *H. filiformis* (189개체/0.2m²)와 작은 복족류인 *S. glabra* (102개체/0.2m²)의 서식밀도가 높은 600m에서 전체 출현개체수의 약 50%인 378개체/1.2m² 가 출현하였으며, 출현종수

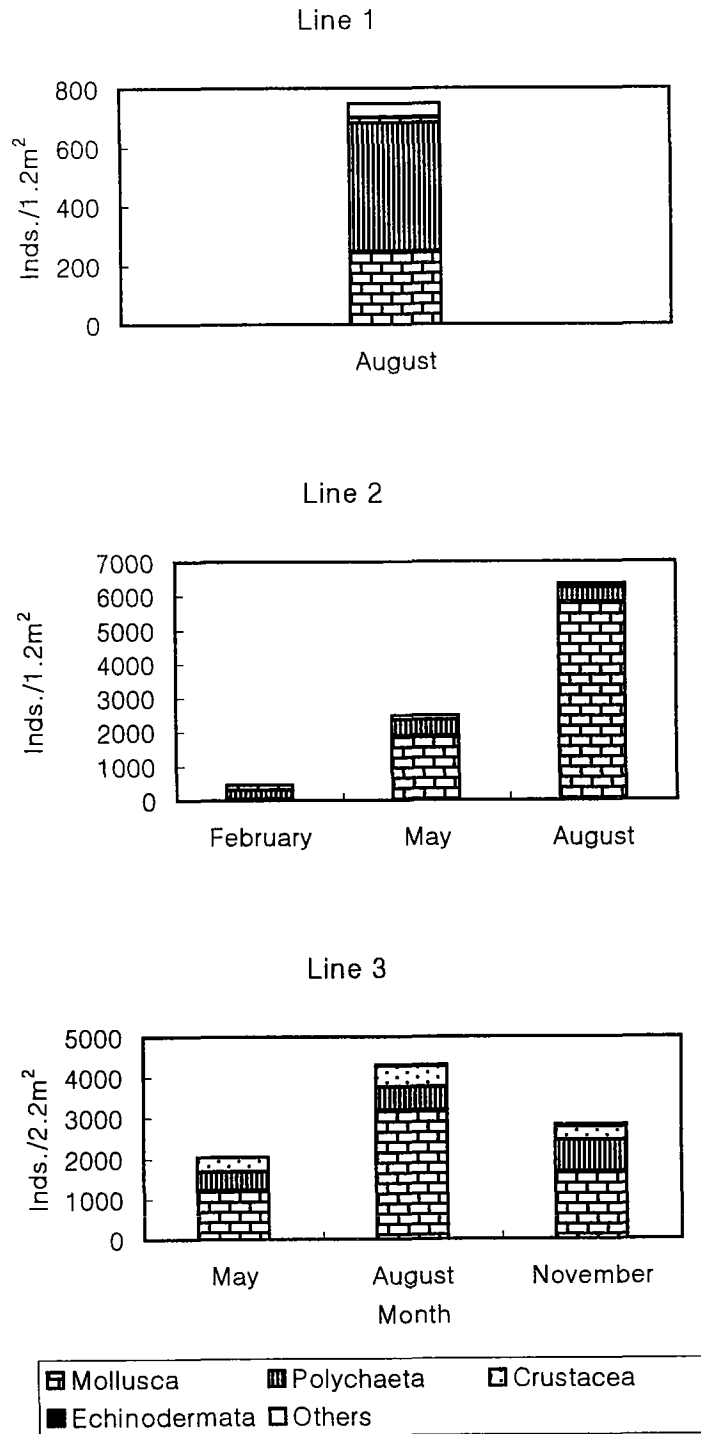
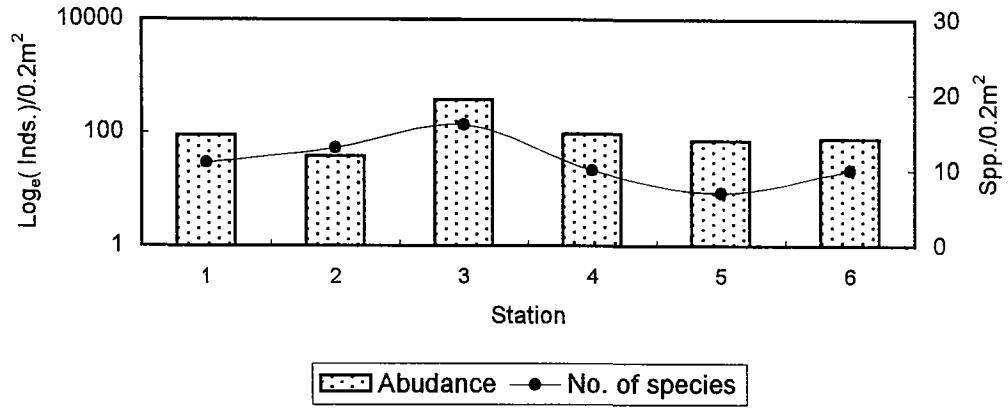


Fig. 3-8-3. The abundance of macrobenthos at each transect line during the study period.

LINE 1

A) Abundance & No. of species

August, 1998



2) Biomass

August, 1998

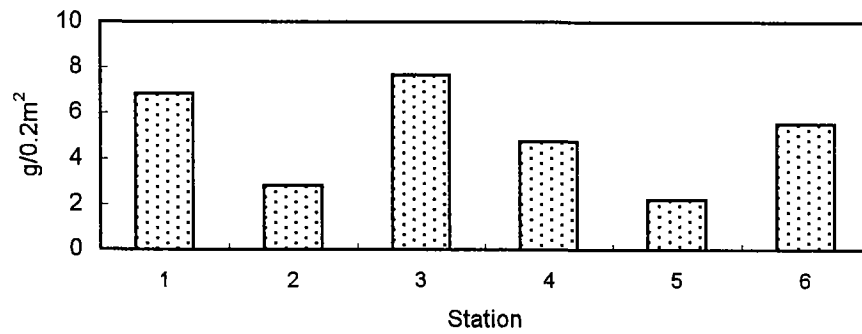


Fig. 3-8-4. The species richness, abundance and biomass of macrobenthos occurred along the transect line at the Sunduri tidal flat during Aug., 1998.

의 경우 처럼 다른 정점에서는 다소 균일한 분포양상을 보였다(Fig. 3-8-4, 3-8-5). 생물량의 분포는 정점간 다소 큰 차이를 보였다. *M. japonicus*의 주 서식지인 조간대 상부역 (200m)과 *S. glabra*의 출현밀도가 높은 중부역 (600m)에서 높게 나타났다.

나) 동막리

정점별 출현종수는 10~20종 범위에 있었으나, 겨울철 상부역에선 10종 이하의 출현종수를 보였다. 출현종수는 하부역으로 가면서 다소 증가하는 경향을 보였으나, 여름철엔 전 정점에서 균일한 분포를 보였다(Fig. 3-8-6). 출현 개체수에 있어서는 봄철과 여름철 *P. laevis*의 서식밀도가 높은 600m~1000m 그리고 1600m에서 높은 값을 보였으며, *P. laevis*이 가입하지 않은 것으로 여겨지는 겨울철에는 전 정점에서 균일한 개체수 밀도와 낮은 출현개체수를 나타냈다(Fig. 3-8-6). 생물량의 분포도 개체수 분포양상과 같이 *P. laevis* 출현지에서 높게 나타났다.

동막리 갯벌의 최 우점종인 *P. laevis*는 4월 조사에서 출현하기 시작했으며, 중상부 지역인 600m~1000m 사이에 띠를 이루며 해안선에 나란하게 서식하고 있었다. 4월의 최대서식밀도 출현지는 800m 지점으로 1128개체/0.1m²에 달했다(Fig. 3-8-7). 여름철에는 중상부역의 밀도가 줄어든 반면 하부역인 1600m 지점에서 최대서식밀도 (4671개체/0.1m²)를 보이며 하부쪽에서의 서식지 이동이 관찰됐다. *H. filiformis*는 조사기간 중에 200m 상부 지역 (평균서식밀도 30.2개체/m²)과 1800m 하부 지역 (평균서식밀도 26.4개체/m²)에서 높은 서식밀도를 보였다. 이외 *Glycinde gurjaunovae*는 중부역과 하부역에서, *N. oligobranchia*는 중부역과 상부역에서 각각 높은 밀도로 출현하였다.

다) 여차리

정점별 출현종수는 중부역에서 높게 나타났으며, 전 계절에 걸쳐 상부와 하부역에선 10종 이하의 분포를 보였다(Fig. 3-8-8). 그러나 중부역의 정점 12와 13에서는 각각 봄철과 여름철에 10종 이하의 출현종수를 보였다. 출현개

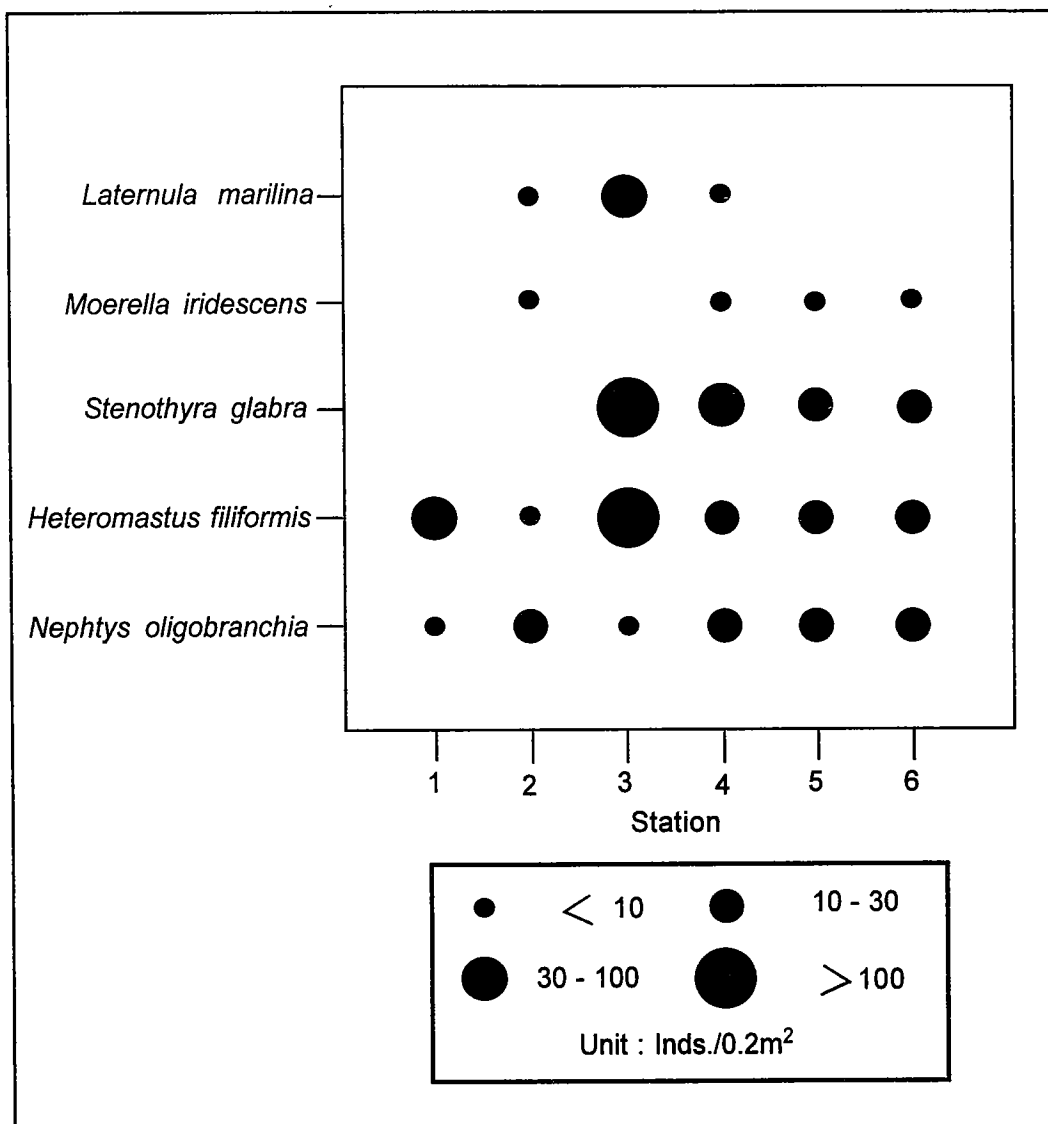


Fig. 3-8-5. The spatial distribution of dominant species along the transect line 1 at the Sonduri tidal flat during Aug., 1998.

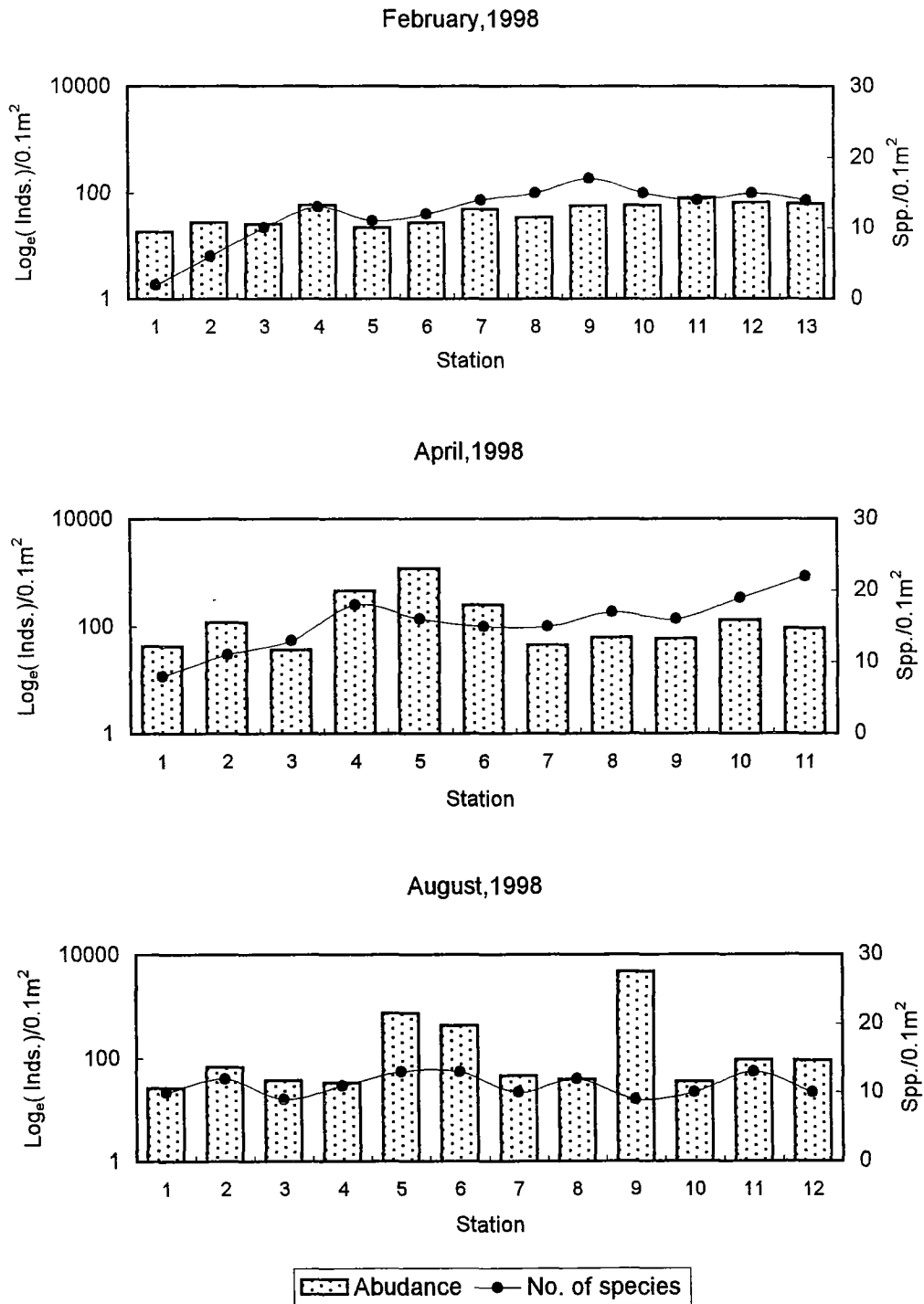


Fig. 3-8-6. The species richness and abundance of macrobenthos occurred along the transect line at the Tongmakri tidal flat during the study period.

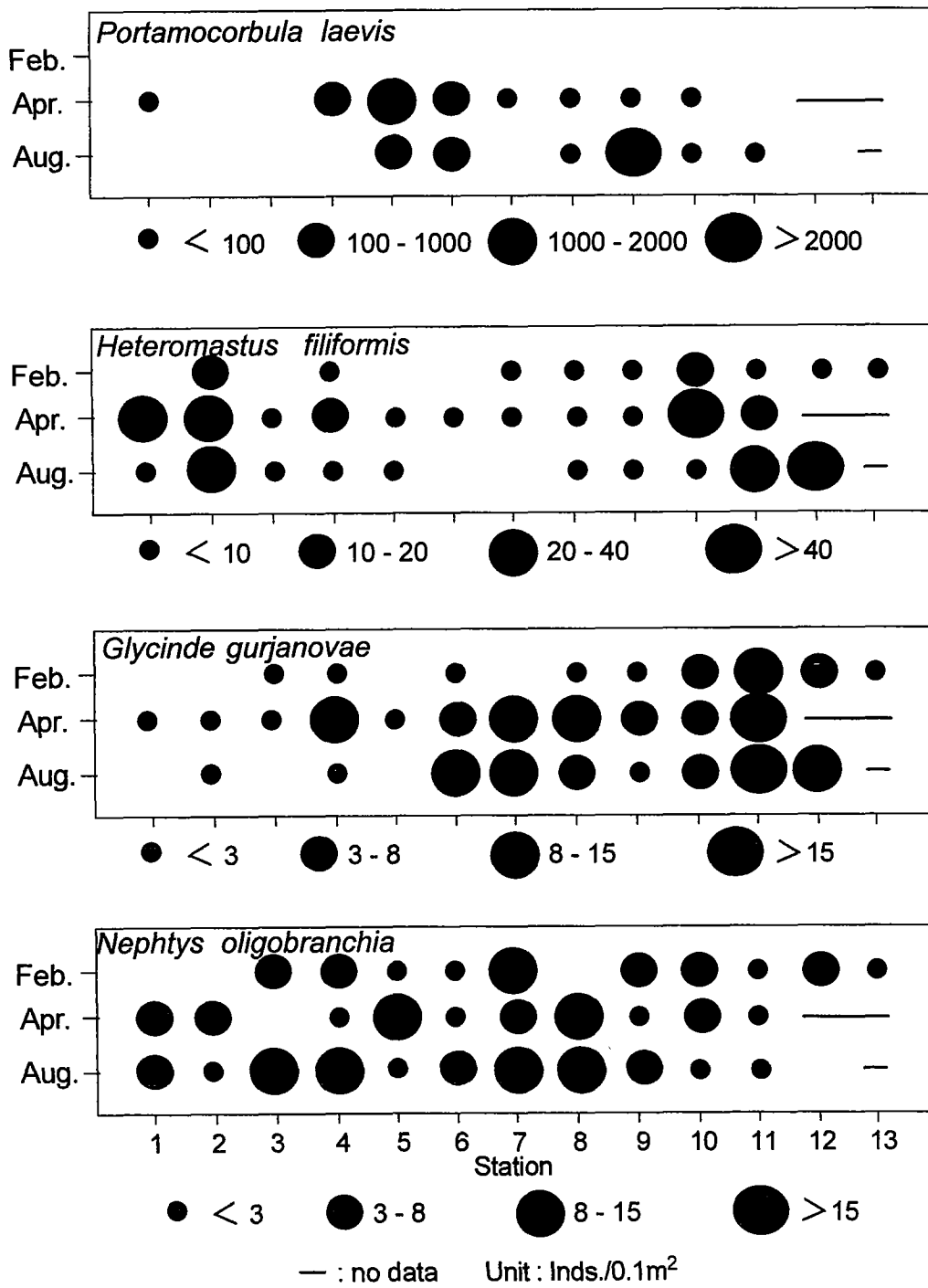


Fig. 3-8-7. The spatial distribution of dominant species along the transect line 2 at the Tongmakri tidal flat during the study period.

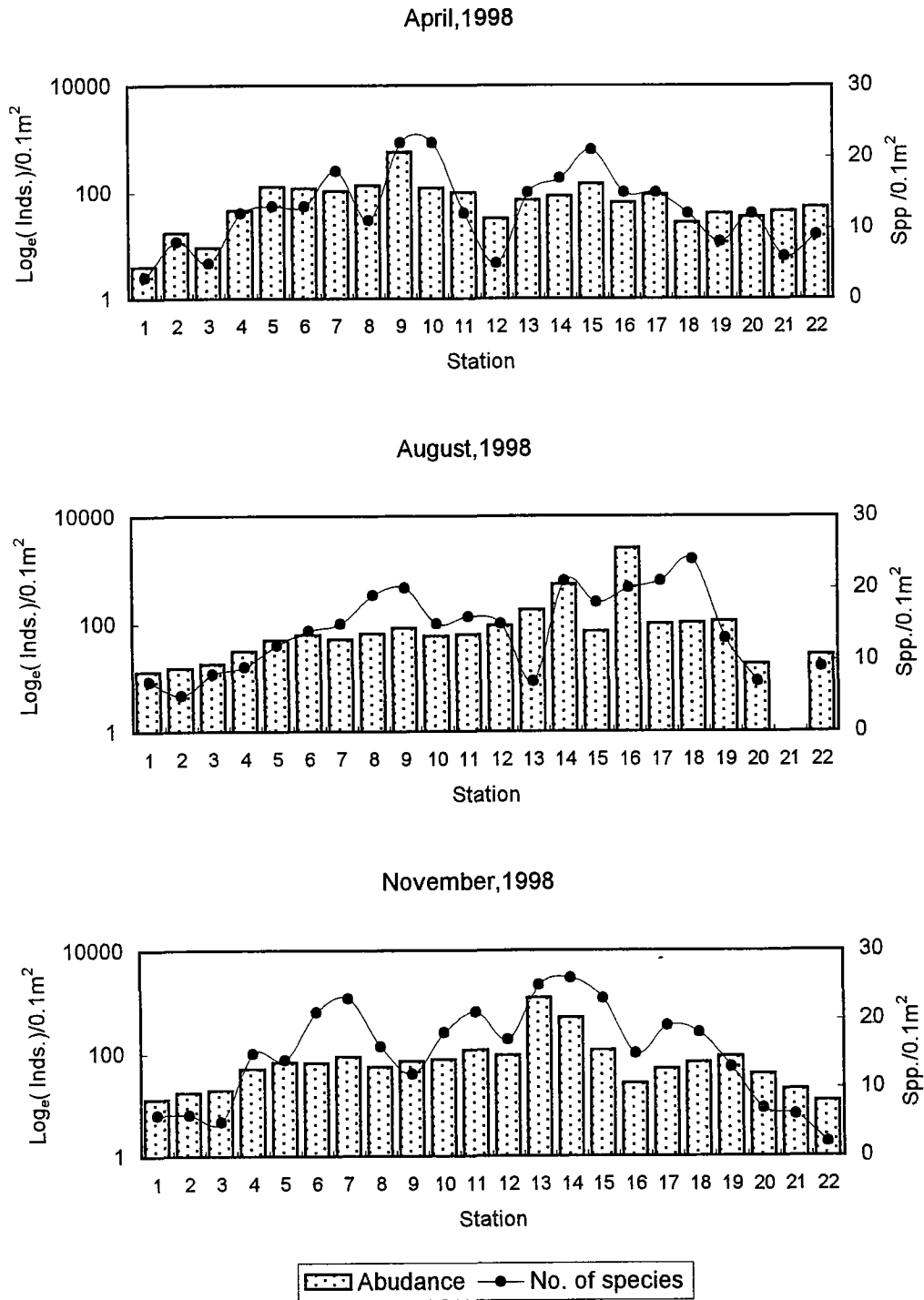


Fig. 3-8-8. The species richness and abundance of macrobenthos occurred along the transect line 3 at the Yeochari tidal flat during the study period.

체수 분포도 출현종수와 마찬가지로 상부와 하부에서 중부역보다 낮게 나타났으며, *P. laevis* 와 *U. thomasi* 가 많이 출현한 지역에서 높은 값을 보이는 경향을 보였다. 봄철 출현개체수는 *U. thomasi*의 서식밀도 (4310개체/m²)가 높은 1600m에서 가장 높게 나타났으며, *P. laevis*가 출현한 중상부역에서 다소 높게 나타났다. 그러나 *P. laevis* 의 봄철 서식밀도는 조사선 2에서처럼 높게 나타나지는 않았다. 여름철에는 *P. laevis* 의 서식밀도가 높게 나타난 2400m~3000m 사이에서 출현개체수가 높게 나타났으며, 가을철에는 2400m와 2600m에서 높게 나타났다. 생물량의 분포도 개체수 분포양상과 같이 *P. laevis* 출현지에서 높게 나타났으며 상부역의 칠계 서식지에서도 다소 높은 값을 보였다.

동막리 갯벌과 마찬가지로 여차리 갯벌의 최우점종도 *P. laevis* 였으나, 동막리에 비해 서식밀도는 낮았다. 특히, 동막리에서는 4월에 주 서식지인 800m에서 1128개체/0.1m²의 서식밀도를 보였으나 여차리 갯벌에서는 주 서식지에서 약 50개체/0.1m²정도의 밀도를 보였을 뿐이다. 8월과 11월에는 2400m와 2600m에서 100~350개체/0.1m²의 서식밀도를 보였으나, 3000m에서는 8월에만 높은 밀도 (2396개체/0.1m²)를 보였을 뿐 11월에는 이곳에서 거의 출현하지 않았다(Fig. 3-8-9). *H. filiformis* 는 동막리에서는 상부와 하부역에서 주로 출현하였으나, 여차리 갯벌에서는 중부역에서 높은 밀도로 출현하였다. *Bullacta exarata*는 4월조사에서 600m~2400m 사이에서 46개체/0.1m²의 평균 서식밀도를 보인 반면 8월과 11월에는 눈에 띄게 밀도가 감소하였다. *Umbonium thomasi*는 4월에 1600m 지점에서만 431개체/0.1m²의 밀도를 보였으나, 8월 이후에는 서식지가 확장되면서 밀도가 감소되기 시작하여 11월에는 몇 정점에서만 10개체 이하/0.1m²의 평균서식밀도를 보였다. 이외에도 저서성 단각류인 *Urothoe* sp.가 하부역에서 우점하였으며, 칠계가 600m 상부 지역과 1800~3000m 사이 니질성분 함량이 높은 정점에서 우점종으로 출현하였고, 그리고 중부역의 사질 지역에서는 펄털콩게(*Ilyoplax pingi*)가 그리고 800m를 중심으로 한 중부역엔 이매패류인 *Moerella iridescens*도 많은 출현량을 보였다(Fig. 3-8-9). 3000m 하부의 사질이 우세한 지역에선 염낭게(*Scomipera globosa*)의 출현도 눈에 띄었다.

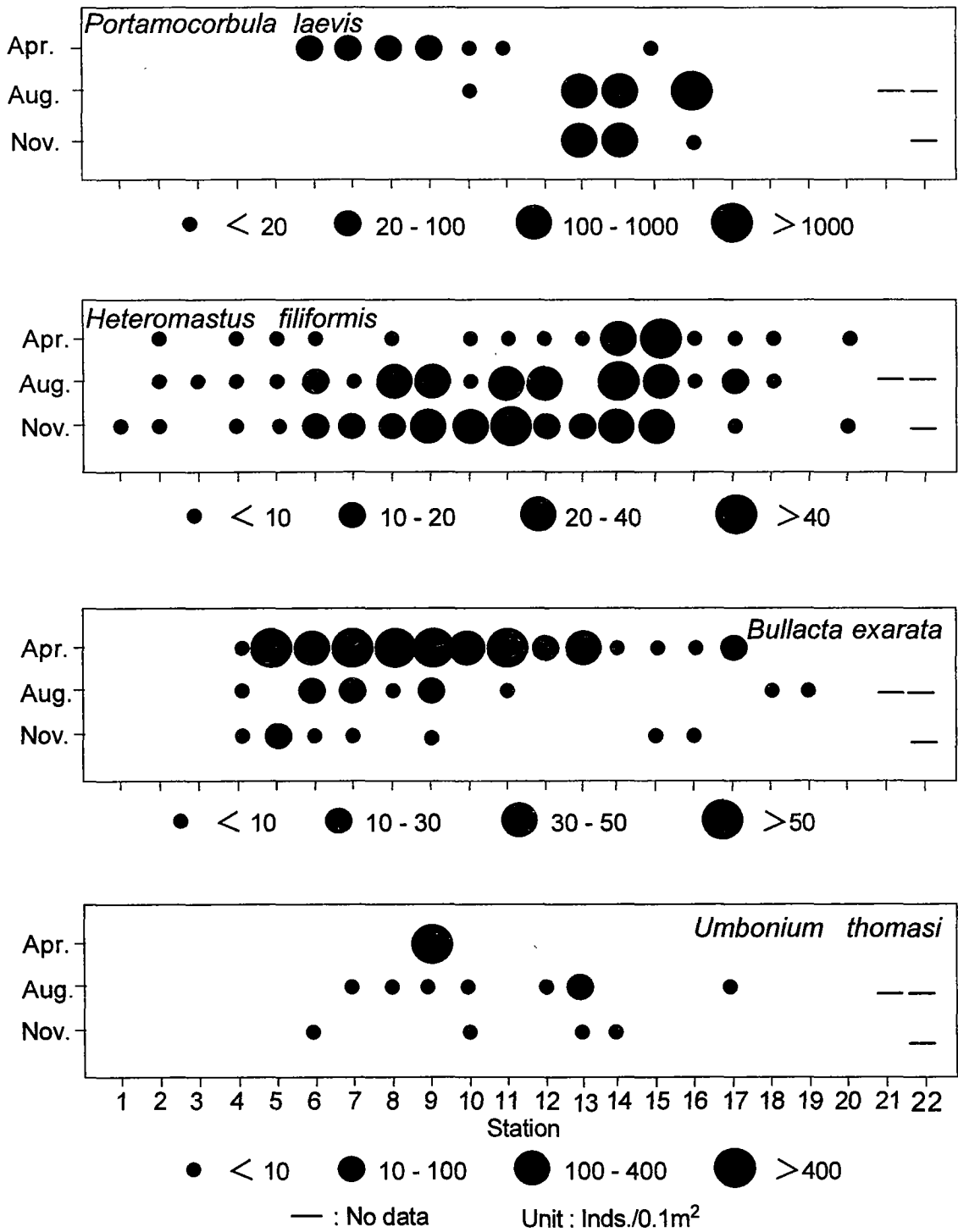


Fig. 3-8-9. The spatial distribution of dominant species along the transect line 3 at the Yeochari tidal flat during the study period.

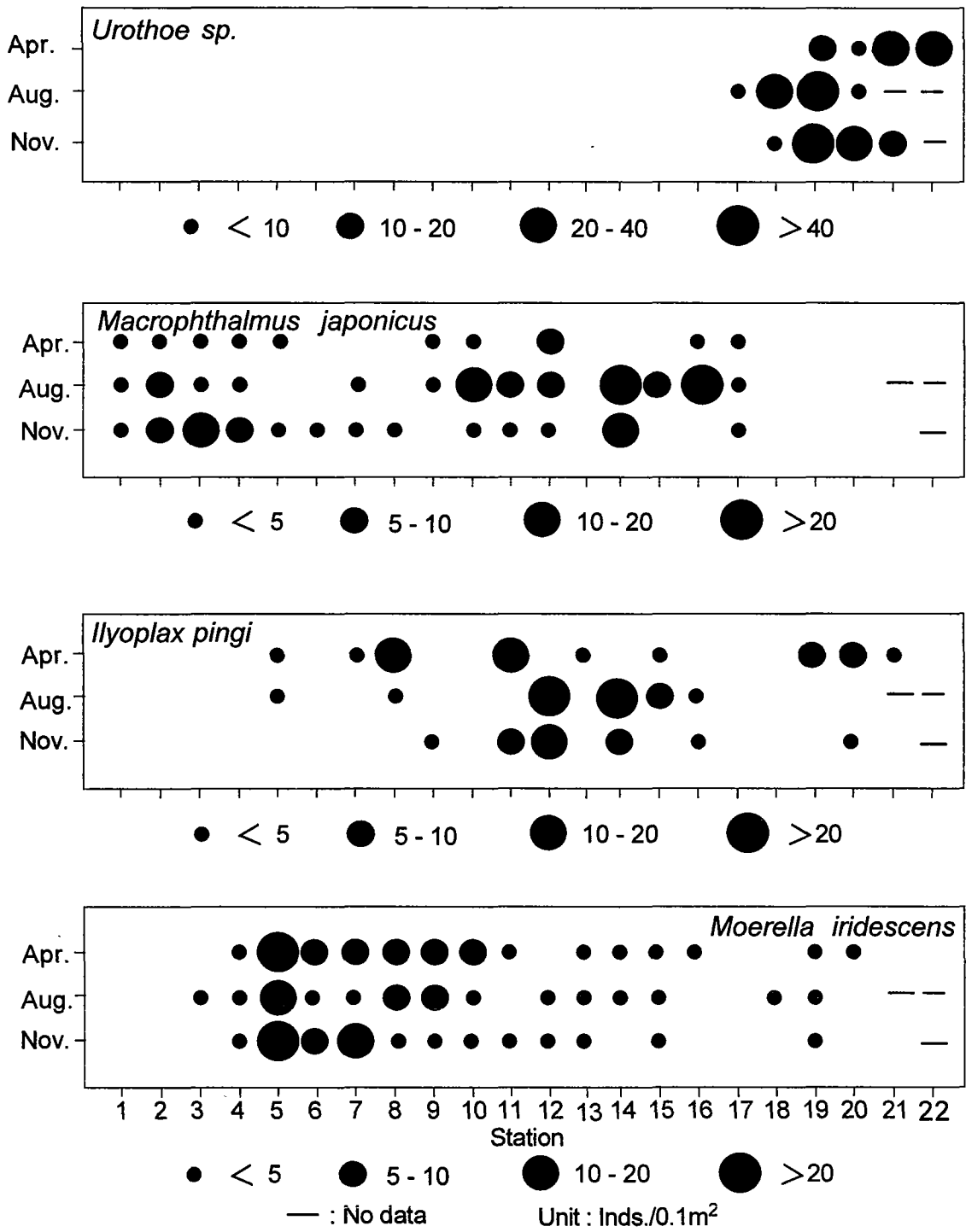


Fig. 3-8-9. Continued.

다. 군집분석

가) 선두리

집괴분석 결과 상부역과 하부역으로 크게 구분 되었으나, 400m 정점은 출현개체수 빈약으로 인해 따로 구분되어졌다(Fig. 3-8-10). 각 정점군의 생태학적인 특징을 보면 Table 3-8-2과 같다. 조사 정점군간 평균 출현종수에 있어서는 상부역의 두 정점군에서 평균 13종으로 하부역의 9종 보다 많은 종수 분포를 보였다. 평균 서식밀도에 있어서는 정점군 A에서 가장 높은 1160개체/m²였으며, 정점군 B에서 가장 낮은 밀도를 보였다. 종다양성지수는 정점군 B에서 2.14로 가장 높았고 정점군 A와 C에서는 낮은 값을 보였다.

정점군별 주요 우점종의 분포를 보면, *H. filiformis*와 *S. glabra*는 정점군 A와 C에서는 높은 밀도를 보인 반면 정점군 B에서는 거의 출현하지 않는 양상을 보였다. 전반적으로 정점군 B에서는 출현종수가 많은 반면 종별 출현개체수는 현저하게 낮게 나타났다. 하부역에는 이외 *N. oligobranchia*와 *M. iridescens*가 우점하는 지역이었다.

나) 동막리

집괴분석 결과 계절별 변동은 있었으나 상부역과 중부역 그리고 하부역의 3개 정점군으로 크게 구분 되었다(Fig. 3-8-11). 겨울철에는 200m까지의 정점군 A와 1000m까지의 정점군 B 그리고 하부역의 정점군 C로 구분되었으나, 봄철과 여름철에는 정점군 B의 범위가 1600m~1800m까지 확대되었다. 각 정점군의 생태학적인 특징을 보면 Table 3-8-3과 같다. 겨울철에는 상부역인 정점군 A에서 낮은 출현종수와 종다양성지수를 보였으나, *P. laevis*가 출현한 봄철과 여름철에는 중부역에서 종다양성지수가 낮게 나타났다. 출현종수는 하부로 가면서 증가하는 양상이었다. 겨울철 평균서식밀도는 하부역에서 높은 값을 보인 반면, 봄철과 여름철에는 중부역에서 높게 나타났다.

정점군별 주요 우점종의 분포를 보면, *P. laevis*가 출현하기 전인 겨울철에는 정점군 A에서 *H. filiformis*와 등각류인 *Gnorimosphaeroma* sp., 정점군

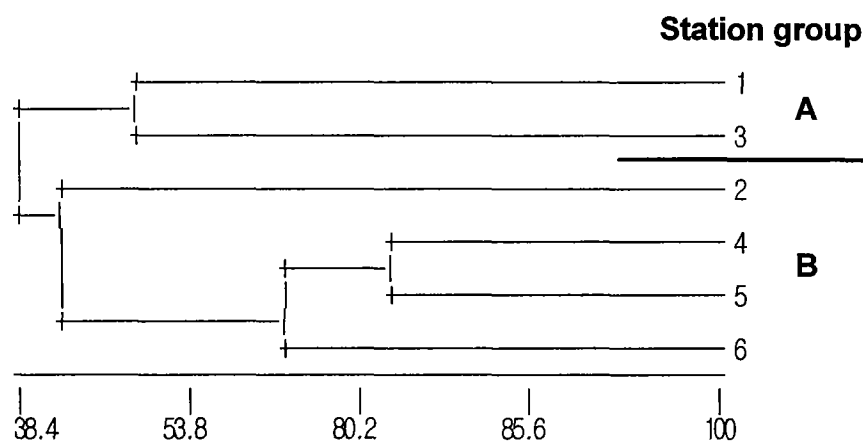


Fig. 3-8-10. Dendrogram showing station groups at the transect line 1 in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998.

Table 3-8-2. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 1 in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		2	1	3
No. of species		20	13	18
Mean species no.(spp/0.2m ²)		13.5	13.0	9.0
Mean density(Inds./m ²)		1168	185	406.7
Ecological index				
Diversity index(H')		1.54	2.14	1.62
Evenness index(J)		0.68	0.84	0.74
Dominant species(Inds./m ²)				
<i>Nemertina unid.2</i>		43 (3.6)	25 (13.5)	—
<i>Laternula mariliana</i>		75 (6.4)	—	—
<i>Stenothyra glabra</i>		255 (21.8)	—	127 (31.2)
<i>Eteone longa</i>		30 (2.6)	—	—
<i>Heteromastus filiformis</i>		600 (51.4)	40 (21.6)	97 (23.8)
<i>Nephtys oligobranchia</i>		—	50 (27.0)	105 (25.8)
<i>Perinereis aibuhitensis</i>		—	15 (8.1)	—
<i>Ilyoplax pingi</i>		—	15 (8.1)	—
<i>Moerella iridescens</i>		—	—	30 (7.4)

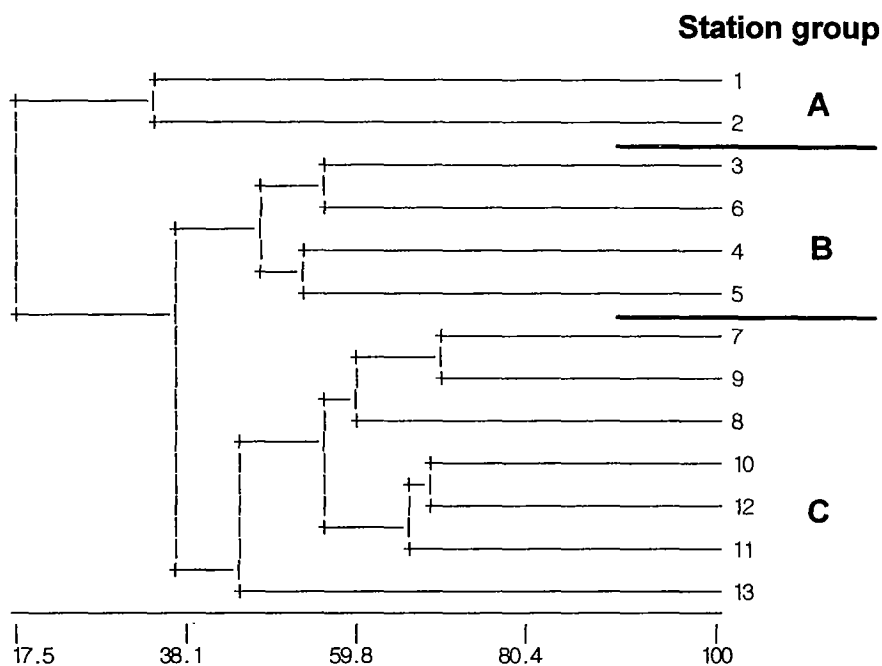


Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (a) during Feb., 1988.

Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (a) during Feb., 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		2	4	7
No. of species		7	27	29
Mean species no.(spp/0.1m ²)		4.0	11.5	14.9
Mean density(Inds./m ²)		225	330	580
Ecological index				
Diversity index(H')		0.9	2.16	2.36
Evenness index(J)		0.7	0.88	0.87
Dominant species(Inds./m ²)				
<i>Heteromastus filiformis</i>		65 (28.9)	13 (3.8)	47 (8.1)
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.		115 (51.1)	28 (8.3)	—
<i>Glycinde gurjanovae</i>		—	15 (4.6)	39 (6.7)
<i>Magelona japonica</i>		—	15 (4.6)	54 (9.4)
<i>Nephtys ciliata</i>		—	55 (16.7)	21 (3.7)
<i>Nephtys oligobranchia</i>		—	33 (9.9)	43 (7.4)
<i>Hemileucon hinumensis</i>		—	85 (25.8)	77 (13.3)
<i>Nipponmysella oblogata</i>		—	—	17 (3.0)
<i>Stenothyra glabra</i>		—	—	24 (4.2)
<i>Aricidea</i> sp.1		—	—	34 (5.9)
<i>Lubrineris cruzensis</i>		—	—	81 (14.0)
<i>Ilyoplax pingi</i>		—	—	34 (5.9)

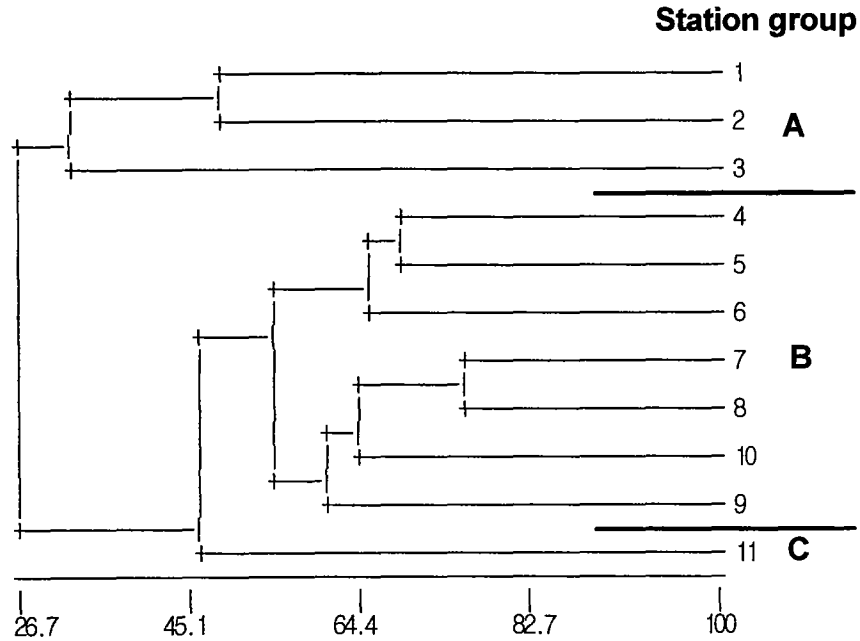


Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (b) during April, 1988.

Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (b) during April, 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		3	7	1
No. of species		19	37	22
Mean species no.(spp/0.1m ²)		10.7	16.6	22.0
Mean density(Inds./m ²)		657	3120	920
Ecological index				
Diversity index(H')		1.75	1.62	2.6
Evenness index(J)		0.74	0.58	0.84
Dominant species(Inds./m ²)				
Bivalvia unid.2		113 (17.3)	—	—
Bivalvia unid.3		93 (14.2)	—	—
<i>Moerella iridescens</i>		43 (6.6)	—	—
<i>Heteromastus filiformis</i>		197 (30.0)	105 (3.4)	100 (10.9)
<i>Nephtys oligobranchia</i>		47 (7.1)	53 (1.7)	—
<i>Portamocorbula laevis</i>		—	2501 (80.1)	—
<i>Glycinde gurjanovae</i>		—	66 (2.1)	180 (19.6)
<i>Lubrineris cruzensis</i>		—	—	180 (19.6)
<i>Magelona japonica</i>		—	64 (2.1)	—
Copepoda unid.		—	81 (2.6)	—

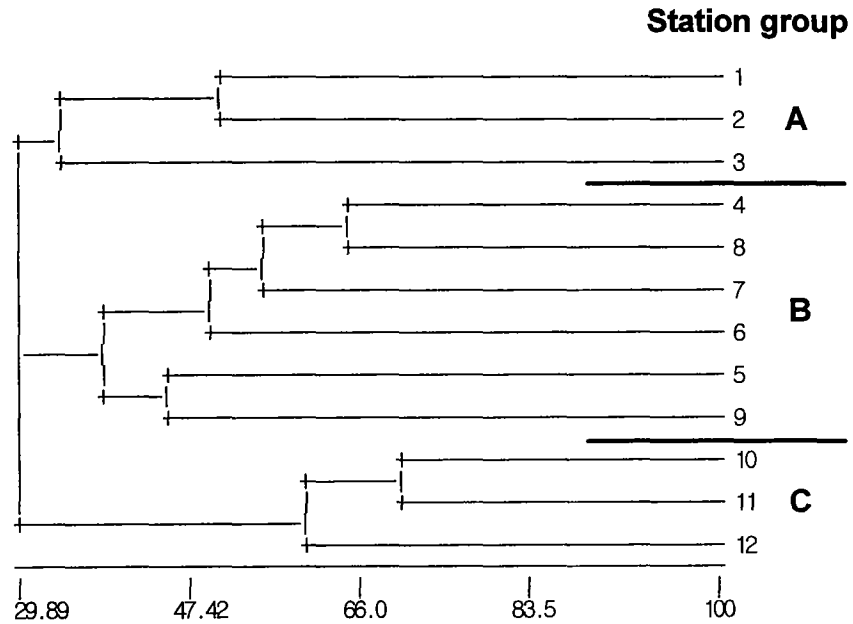


Fig. 3-8-11. Dendrogram showing station groups at the transect line 2 in the Tongmakri tidal flat. (c) during Aug., 1988.

Table 3-8-3. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 2 in the Dongmakri tidal flat (c) during Aug., 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		3	6	3
No. of species		21	29	19
Mean species no.(spp/0.1m ²)		10.3	11.3	11.0
Mean density(Inds./m ²)		400	9960	710
Ecological index				
Diversity index(H')		1.86	1.21	1.78
Evenness index(J)		0.8	0.5	0.74
Dominant species(Inds./m ²)				
<i>Moerella iridescens</i>		57 (14.2)	—	—
<i>Heteromastus filiformis</i>		143 (35.8)	—	323 (45.5)
<i>Nephtys oligobranchia</i>		53 (13.3)	—	—
<i>Macrophthalmus japonicus</i>		20 (5.0)	—	23 (3.3)
<i>Palaemon carinicauda</i>		30 (7.5)	—	—
<i>Portamocorbula laevis</i>		—	9575 (96.2)	—
<i>Aricidea</i> sp.1		—	—	27 (3.8)
<i>Glycinde gurjanovae</i>		—	—	120 (16.9)
<i>Lublineris cruzensis</i>		—	—	63 (8.9)
<i>Magelona japonica</i>		—	—	70 (9.9)

B에선 요각류인 *Hemileucon hinumensis*와 *Nephtys ciliata*, 그리고 정점군 C에선 *Lumbrineris cruzensis*, *Hemileucon hinumensis*, *Magelona japonica* 등이 우점하는 지역이었다. 그러나 봄철부터 중부역에 넓은 범위로 *P. laevis*가 출현하면서 중부역엔 *P. laevis*가 극우점하였고, 상부와 하부역엔 *H. filiformis* 그리고 하부역엔 *G. gurjanovae*와 *L. cruzensis*가 우점하였다.

다) 여차리

여차리 갯벌은 집괴분석 결과 갯벌 상부, 중부 그리고 하부로 크게 구분할 수 있었다(Fig. 3-8-12). 평균 서식밀도가 가장 낮은 상부역의 3~4개 정점으로 이루어진 정점군 A와 종다양성지수가 가장 낮은 2~4개의 정점으로 구성된 정점군 C 그리고 다른 정점군에 비해 종다양성지수와 평균 서식밀도가 훨씬 높은 중부역의 나머지 정점들로 구성된 정점군 C로 구분 되어졌다. 각 정점군의 생태학적인 특징을 Table 3-8-4에 나타내었다. 4월과 11월에는 유사도지수에 의한 각 정점의 dendrogram이 유사하였으나, 여름철에는 정점 1과 13이 따로 구분 되어져 5개의 정점군으로 분류되었다. 봄철 상부역인 정점군 A에서는 뚜렷한 우점종이 없이 칠게의 밀도가 다소 높게 나타났고, 정점군 B에선 민챙이와 서해비단고둥 그리고 *H. filiformis*가 우점하였으며 정점군 C에선 저서성 단각류인 *Urothoe sp.*와 *Eohaustorius sp.*가 우점하고 있었다. 여름철 정점군 A에는 *M. iridescens*와 *H. filiformis*가 정점군 B에선 *P. laevis*, *H. filiformis* 그리고 칠게가 우점하였으며, 정점군 C에선 *Urothoe sp.*, *S. globosa* 그리고 *Armandia lanceolata* 등이 우점하였다. 정점군 D에선 뚜렷한 우점종이 없었으며, E에선 *P. laevis*와 서해비단고둥이 우점하고 있었다. 가을철 정점군 A는 칠게가 우점하는 지역이었으며, 정점군 B에는 *P. laevis*와 *H. filiformis*가 그리고 정점군 C에선 *Urothoe sp.*와 *S. globosa*가 우점하였다.

여차리 갯벌은 집괴분석 결과 크게 3개의 지역으로 구분되었다. 니질이 우세한 상부역과 중부역의 일부는 칠게가 우점하는 지역이었고, 중부역엔 *P. laevis*, *H. filiformis*, *B. exarata*, *U. thomasi*, *I. pingi* 등이 계절에 따라 우점하는 지역이었으며, 사질의 하부역엔 *Urothoe sp.*와 *S. globosa*가 우점하는 지역 이었다.

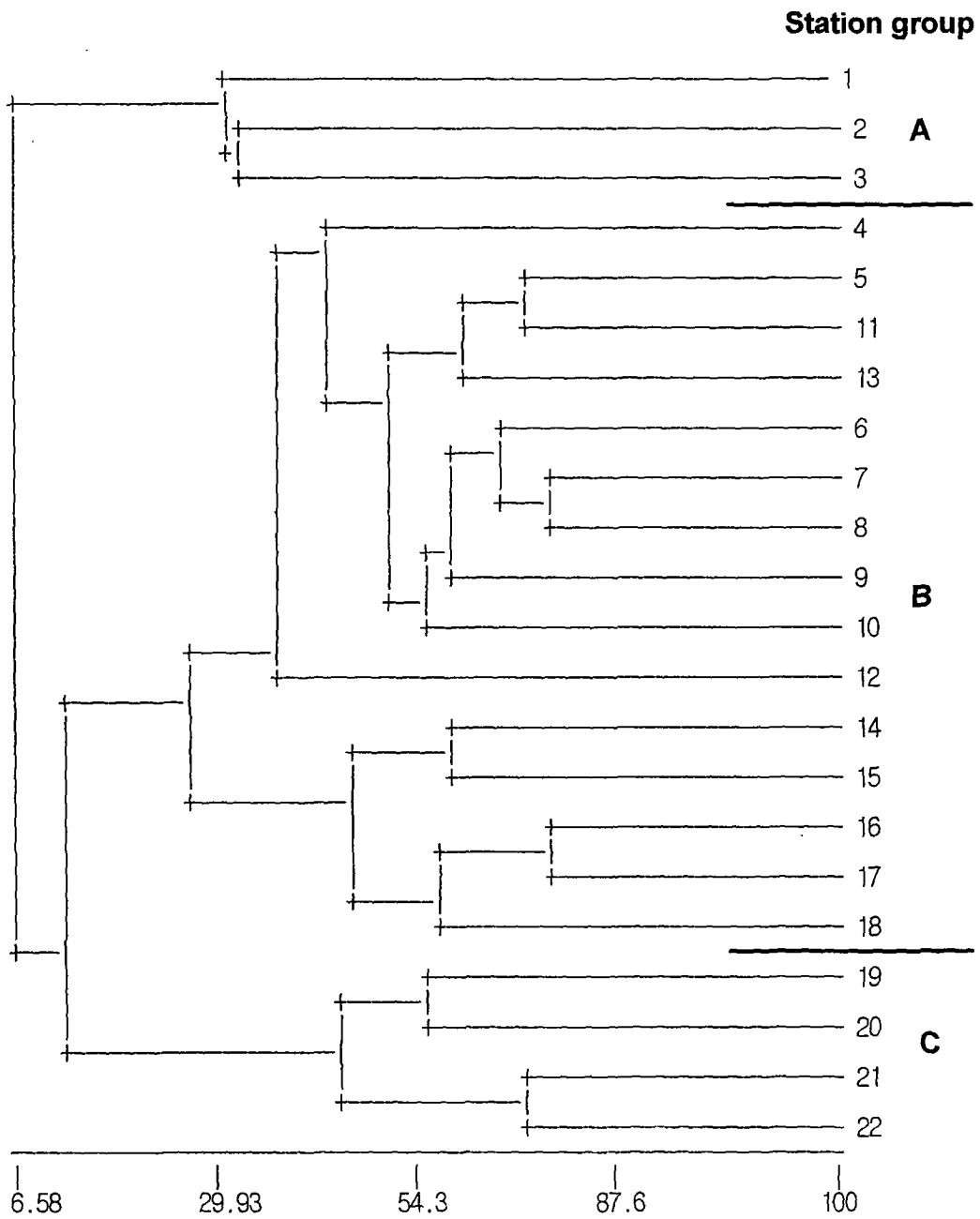


Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (a) during April, 1988.

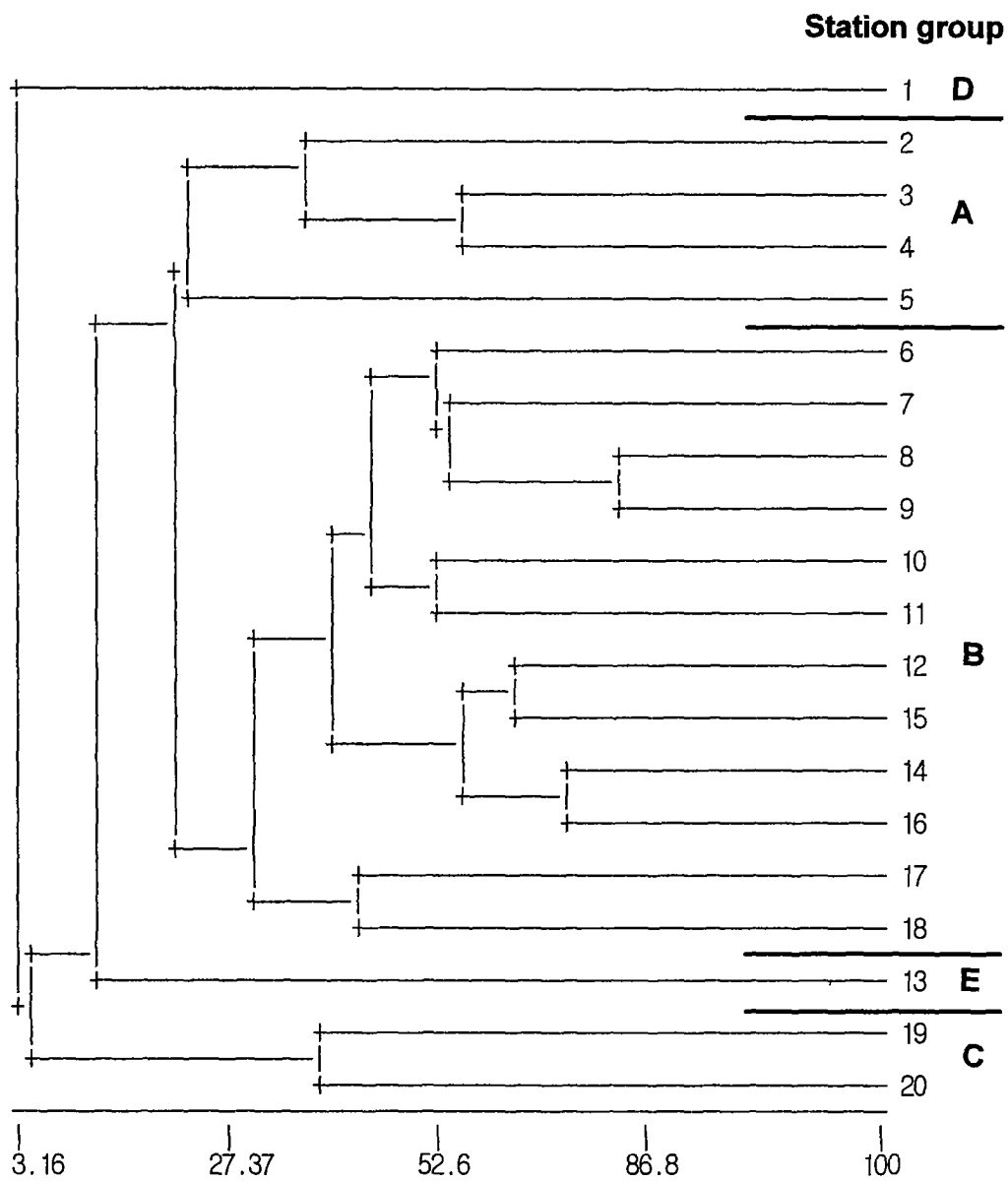


Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (b) during Aug., 1988.

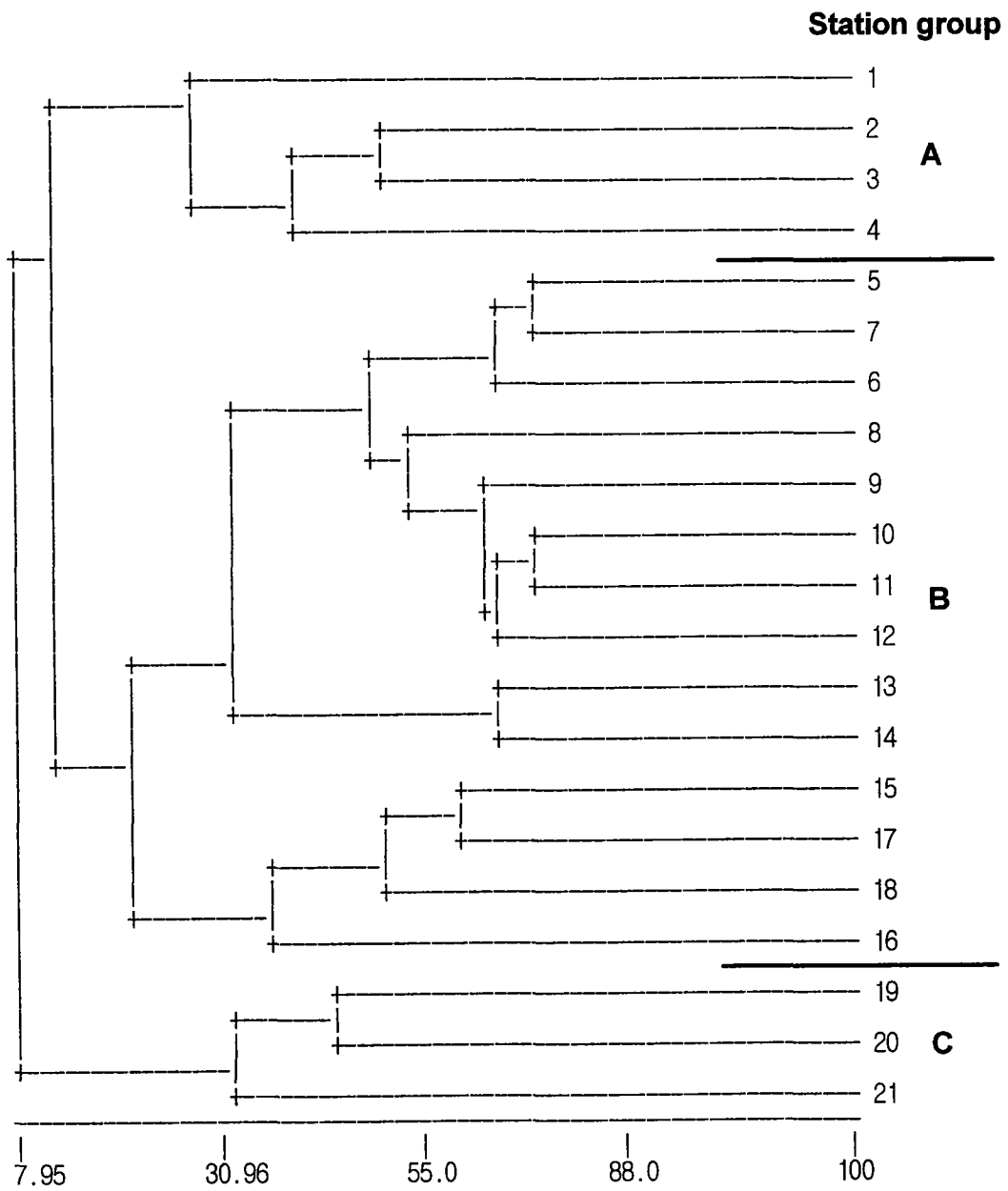


Fig. 3-8-12. Dendrogram showing station groups at the transect line 3 in the Yochari tidal flat. (c) during Nov., 1988.

Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (a) during April, 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		3	15	4
No. of species		12	48	20
Mean species no.(spp/0.1m ²)		5.3	14.9	8.8
Mean density(Inds./m ²)		100	1230	427.5
Ecological index				
Diversity index(H')		1.47	1.84	1.44
Evenness index(J)		0.93	0.7	0.66
Dominant species(Inds./m ²)				
<i>Liljeborgia japonica</i>		20 (20.0)	—	—
<i>Macrophthalmus japonicus</i>		27 (26.7)	—	—
<i>Portamocorbula laevis</i>		—	109 (8.9)	—
<i>Bullacta exarata</i>		—	322 (26.3)	—
<i>Moerella iridescens</i>		—	44 (4.0)	—
<i>Umbonium thomasi</i>		—	287 (23.4)	—
<i>Heteromastus filiformis</i>		—	88 (7.2)	—
<i>Nephtys oligobranchia</i>		—	39 (3.2)	—
<i>Ilyoplax pingi</i>		—	36 (2.9)	—
<i>Eohaustorius</i> sp.		—	—	90 (21.1)
<i>Mandibulophoxus mai</i>		—	—	58 (13.5)
<i>Scopimera globosa</i>		—	—	185 (43.3)
<i>Urothoe</i> sp.		—	—	35 (8.2)

*The number in parenthesis is percentage.

Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (b) during Aug., 1998

Parameters	Station group	A	B	C	D	E
No. of stations		4	12	2	1	1
No. of species		22	57	16	7	7
Mean species no.(spp/0.1m ²)		8.5	18.2	10.0	7	7
Mean density(Inds./m ²)		285	3190	660	130	1840
Ecological index						
Diversity index(H')		1.8	2.1	1.63	1.73	0.91
Evenness index(J)		0.87	0.74	0.74	0.89	0.47
Dominant species(Inds./m ²)						
<i>Portamocorbula laevis</i>		—	2288 (71.8)	—	—	—
<i>Umbonium thomasi</i>		—	—	—	—	—
<i>Moerella iridescens</i>		53 (18.4)	—	—	—	—
<i>Heteromastus filiformis</i>		50 (17.5)	169 (5.3)	—	—	—
<i>Nephtys oligobranchia</i>		48 (16.7)	—	—	—	—
<i>Macrophthalmus japonicus</i>		18 (6.1)	90 (2.8)	—	—	—
<i>Bullacta exarata</i>		—	50 (1.6)	—	—	—
<i>Reticunassa festiva</i>		—	59 (1.9)	—	—	—
<i>Ilyoplax pingi</i>		—	75 (2.4)	—	—	—
<i>Armandia lanceolata</i>		—	—	170 (25.8)	—	—
<i>Scopimera globosa</i>		—	—	100 (15.2)	—	—
<i>Urothoe</i> sp.		—	—	255 (38.6)	—	—

*The number in parenthesis is percentage.

Table 3-8-4. Characteristics of the macrobenthic community of each station group at the transect line 3 in the Yochari tidal flat (c) during Nov., 1998

Parameters	Station group	A	B	C
No. of stations		4	14	3
No. of species		19	63	22
Mean species no.(spp/0.1m ²)		8.0	19.1	9.3
Mean density(Inds./m ²)		240	1140	526.7
Ecological index				
Diversity index(H')		1.62	2.27	1.37
Evenness index(J)		0.8	0.78	0.63
Dominant species(Inds./m ²)				
<i>Heteromastus filiformis</i>		37.5 (15.2)	181 (1539)	—
<i>Nephtys oligobranchia</i>		25 (10.1)	—	—
<i>Macrophthalmus japonicus</i>		73 (29.3)	—	—
<i>Portamocorbula laevis</i>		—	457 (28.6)	—
<i>Reticunassa festiva</i>		—	67 (4.2)	—
<i>Aricidea</i> sp.2		—	50 (3.1)	—
<i>Armandia lanceolata</i>		—	40 (2.5)	23 (4.4)
<i>Glycinde gurjanovae</i>		—	43 (2.7)	—
<i>Magelona japonica</i>		—	90 (5.6)	—
Isopoda unid.		—	—	33 (6.3)
<i>Mandibulophoxus mai</i>		—	—	30 (5.7)
<i>Scopimera globosa</i>		—	—	43 (8.2)
<i>Urothoe</i> sp.		—	—	313 (59.5)

*The number in parenthesis is percentage.

서해의 모래 갯벌조간대에서 조사된 저서 생물상의 대상분포를 보면 인천 송도 조간대와 만경강, 동진강 조간대에서의 조사가 있다. 인천 송도 조간대에서 Frey et al. (1987)에 의해 조사된 결과 생물상이 크게 3개 지역으로 구분되었는데, 상부에 계분포지역 (Brachyuran zone), 중부역에 연체동물분포지역 (Molluscan zone), 하부역에 해삼분포지역 (Holothuroidean zone)으로 나누어졌다. 계분포지역에서의 우점종은 칠게였으며, 연체동물분포지역에서의 우점종은 동족 (*Mactra veneriformis*)과 서해비단고둥, 좁쌀무늬고둥 (*Nassarius festvus*) 등이었고, 해삼분포역의 우점종은 가시닷해삼 (*Protankyra bidentata*) 이었다. 한편 금강하구역인 만경-동진조간대에서는 5개 군집이 구분되었는데, 상부역에는 다모류군집 (Capitellidae assemblage)이, 그 아래에는 민챙이군집이 있고, 중부역에는 동족군집과 개랑조개군집 (*Mactra chinensis* assemblage)이 넓게 분포하는 것으로 나타났다(An and Koh, 1992). 따라서 지금까지의 연구결과를 보면 한국 서해 조간대에서 인위적인 간섭이 없는 경우에는 외해로 노출된 조간대 하부역에는 가시닷해삼군집이 분포하는 것이 여러 연구결과에서 보이고 있으며, 보호된 갯벌의 상부역나 일부분이 노출된 조간대의 세립질 지역에서는 칠게를 비롯한 계군집이 위치하는 것으로 생각된다.

이러한 조간대 저서동물의 분포에 있어서의 차이는 갯벌이 놓여 있는 지형의 특성에 의해 퇴적상에 차이가 나타나고 이에 따라 저서동물의 분포가 달라지는 것으로 생각된다. 한국 서해의 간석지에서 보이는 퇴적상에 따른 조간대 저서동물의 분포양상은 퇴적상에 따른 우점종 조성에서도 잘 나타난다 (Koh, 1997). 즉, 모래 갯벌조간대에서는 가시닷해삼, 개맛 (*Lingula anatina*)이 주요 우점종이고, 실트질 모래 갯벌조간대에서는 바지락 (*Ruditapes philippinarum*), 서해비단고둥, 동족 등이 우점하였다. 반면에 모래질 시트나 실트 또는 펄 갯벌조간대에서는 민챙이, 좁쌀무늬고둥 (*Hinia festiva*), 애기접시조개 (*Nititotellina minuta*), 펄털콩게, 칠게, 길게 (*M. dilatatus*), 맛조개 (*Sinonovacula constricta*) 등이 우점하는 것으로 나타났다.

8.3.2. 대형저서동물의 이차생산량

강화도 남단 갯벌에서 우점종으로 분포하고 있는 3개 종을 대상으로 1998년 5월부터 11월까지의 현장 조사자료를 분석하여 각 종의 이차생산량을 추정하였다. 본 연구에서는 대상종의 이차생산량을 추정하는데 주안점을 두었으며, 대상종의 생활사와 성장에 대한 기술에는 다소 미흡하였다.

가. 칠게

칠게는 여차리 갯벌의 가장 상부역에서 2000m 지점까지 분포하고 있으며, 동막리 갯벌에서는 거의 전 지역에서 출현하고 있다. 여차리 갯벌에서의 최대 서식밀도는 20개체/m²에 이른다.

단지 3번의 계절조사만 이루어졌기 때문에 칠게의 생활사에 대한 정확한 정보를 알 수가 없었지만 칠게의 개체군은 대략 3개의 연령군으로 구성되어 있으며, 여름에 산란하여 가을철에 어린개체인 0세군으로 가입하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 3-8-13). 각폭과 체중간의 상대성장식은 $\ln(W_t)(g) = 3.35 * \ln(L)(mm) - 9.27$ ($n = 123, R^2 = 0.92$)로 나타났다. 따라서 칠게는 봄철에 1세군의 각폭이 9 - 11 mm이나, 여름에는 14 - 15 mm로 커지고 11월에는 20 - 22 mm로 성장하는 것으로 나타났다. 체중성장은 봄철에 0.3 g에서 여름철의 0.7g을 거쳐 11월에는 2.0 g에 이른다.

1998년 5월에서 11월 동안에 니질과 사질 갯벌에서 칠게가 생산한 이차생산량은 각각 14.1 g wet/m²와 19.74 g wet/m²였다(Table 3-8-5, 3-8-6). 해안선으로부터 400 m에 위치한 니질갯벌에서의 칠게의 평균 생물량은 11.0 g wet/m²였고, 이차생산량은 14.1 g wet/m²으로 P/B ratio는 1.28이었다. 한편 1000 m 지점에 위치한 사질퇴적상의 갯벌에서는 칠게의 평균 생물량이 8.73 g wet/m²이었고, 이차생산량은 19.74 g wet/m²로서 P/B ratio는 2.26으로 나타나 니질갯벌의 개체군보다 사질갯벌에서 순환율이 높은 것으로 나타났다.

나. 민챙이

민챙이는 동막리 갯벌과 여차리 갯벌의 중부역에서 많이 분포하고 있으며, 최대 10개체/m²에 이른다.

Macrophthalmus japonicus

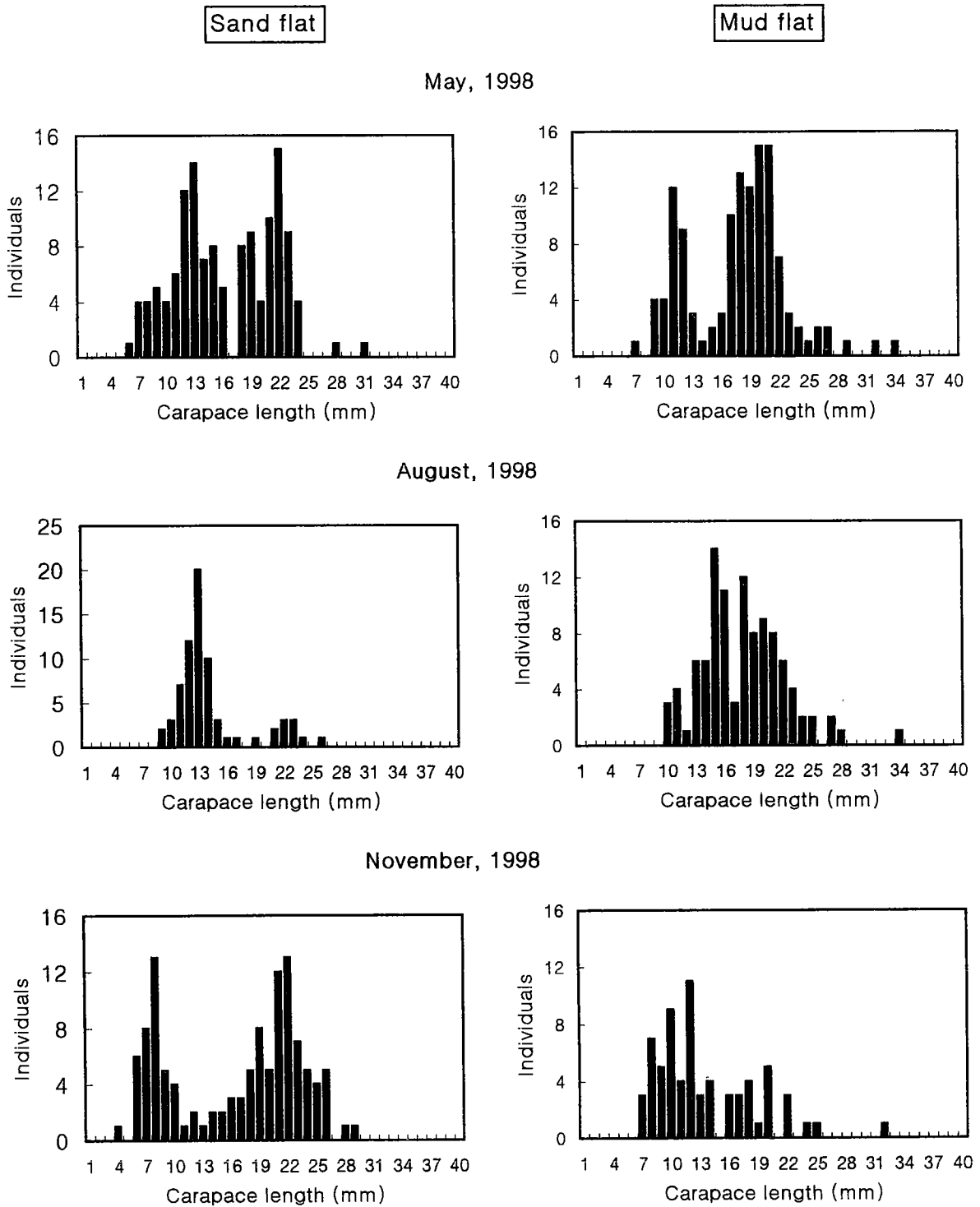


Fig. 3-8-13. The size frequency histograms of *Macrophthalmus japonicus* at sandflat and mudflat sites.

Table 3-8-5. Growth and secondary production of *Macrophthalmus japonicus* at mudflat site of Yochari tidal flat

1. Age 0

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	—	—	—	—	—
Aug.,1998	—	—	—	—	—
Nov.,1998	10.0	0.3	9.2	2.8	2.8

2. Age 1

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	11.0	0.3	1.4	0.4	—
Aug.,1998	15.0	1.0	2.8	2.8	1.5
Nov.,1998	20.0	1.9	3.8	7.2	2.9

3. Age 2

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	20.0	2.0	3.3	6.7	—
Aug.,1998	20.0	2.3	2.2	5.1	0.8
Nov.,1998	25.0	5.8	0.4	2.3	4.6

4. Age 3

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	27.0	5.4	0.4	2.0	—
Aug.,1998	26.0	5.1	0.2	1.0	-0.1
Nov.,1998	32.0	12.9	0.2	2.6	1.6

* Total production : 14.1 g/m^2

Mean biomass(\bar{B}) = 11.0 g/m^2

P/\bar{B} ratio = 1.28

\bar{L} : Mean length.

\bar{W} : Mean wet weight

Table 3-8-6. Growth and secondary production of *Macrophthalmus japonicus* at sandflat site of Yochari tidal flat

1. Age 0

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	—	—	—	—	—
Aug.,1998	—	0.0	0.0	—	—
Nov.,1998	8.0	0.1	1.9	0.2	0.1

2. Age 1

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	9.0	0.2	3.5	0.7	—
Aug.,1998	14.0	0.7	3.7	2.6	1.8
Nov.,1998	22.0	3.4	4.0	13.4	10.3

3. Age 2

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	19.0	2.0	3.0	5.9	—
Aug.,1998	23.0	4.2	0.7	2.9	4.0
Nov.,1998	34.0	13.3	0.0	0.0	3.1

4. Age 3

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	25.0	4.9	0.1	0.5	—
Aug.,1998	34.0	13.3	0.0	0.0	0.4
Nov.,1998	—	—	—	—	—

* Total production : 19.74 g/m^2

Mean biomass(\bar{B}) = 8.73 g/m^2

\bar{P}/\bar{B} ratio = 2.26

\bar{L} : Mean length.

\bar{W} : Mean wet weight

크기빈도그래프에 의하면 민챙이는 조사기간 중 단지 하나의 연령군으로 구성되어 있었다(Fig. 3-8-14). 폐각과 체중의 상대성장식은 $\ln(Wt) = 3.04 * \ln(L) - 8.14$ ($n = 151, R^2 = 0.83$)으로 추정되었다. 1997년 11월에 여차리에서 조사된 결과에 의하면 민챙이는 각장이 약 1 mm이고 체중이 1 - 2 mg의 소형개체가 가을철에 갯벌에 가입한 것으로 나타났다. 이들이 1998년의 봄철에는 각장이 8 mm이고 체중이 0.2 g인 개체로 성장하였고, 11월에는 각장이 17 mm에 체중이 2.0 g인 개체로 성장하였다.

민챙이는 갯벌의 웅덩이나 수로역에 모여드는 습성이 있어서 서식밀도 추정에 어려움이 있었다. 이러한 민챙이의 서식형태를 고려하여 여차리 갯벌의 적절한 서식지에서 민챙이가 1998년 5월에서 11월까지 생산한 이차생산량은 181.8 g wet/m²로 추정되었다(Table 3-8-7). 조사기간동안의 민챙이의 평균 생물량은 121.9 g wet/m² 였으며, P/B ratio는 1.5였다.

다. *Potamocorbula laevis*

본 종의 서식폭은 여차리에서는 2200m 부근에서 약 100m폭으로 분포하고 있지만 동막리 갯벌에서 400m에서 시작하여 1200m까지 넓게 분포하고 있었다.

이 종도 강화도 갯벌에서는 조사기간 중에는 단 하나의 연령군만 나타났다(Fig. 3-8-14). *P. laevis*의 각장과 체중의 상대성장식은 $\ln(Wt) = 2.42 * \ln(L) - 1.55$ ($n = 280, R^2 = 0.81$)이었다. 봄철에 각장이 6 mm이고 체중이 15 mg인 소형개체에서 출발하여 여름철에는 각장이 8.5 mm, 체중이 60 mg으로 커지고, 11월에는 각장이 10 mm, 체중이 100 mg으로 성장하였다.

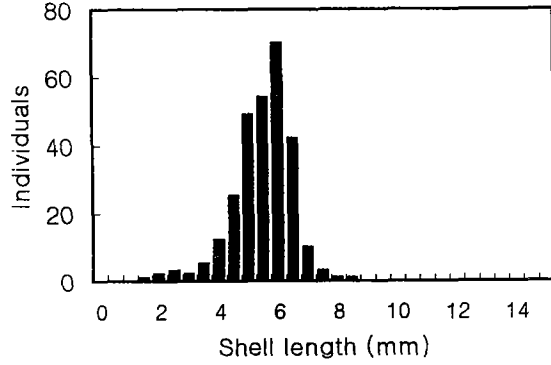
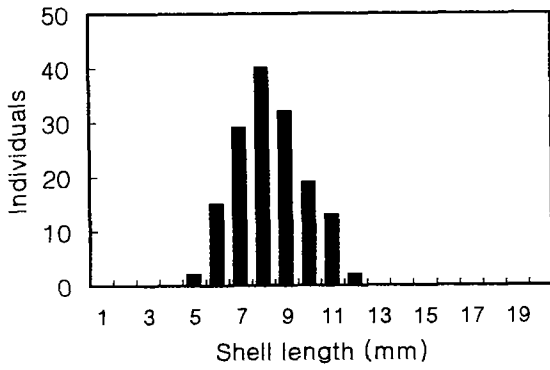
조사기간 중에 *P. laevis*에 의한 이차생산량은 471.7 g wet/m²로 추정되었다(Table 3-8-7). 조사기간 중의 평균 생물량은 242.7 g wet/m²으로 나타나 P/B ratio는 1.94로 계산되었다.

지금까지 국내의 갯벌지역에서 조사된 대형저서동물의 이차생산량에 대한 자료를 보면 대부분 연체동물에 치중되어 있으며, 갑각류에 대한 조사결과는 거의 없는 실정이다(Table 3-8-8). 갯벌에서 우점하는 갯지렁이의 경우에도 낚시 미끼로 연간 1000 M/T 정도를 일본 등지로 수출하고, 국내소비도 이와 버금갈 정도로 많이 이용되고 있는 두토막눈썹참갯지렁이에 한하여 최근에 이

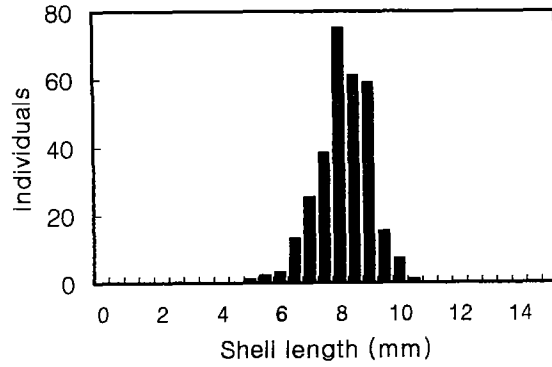
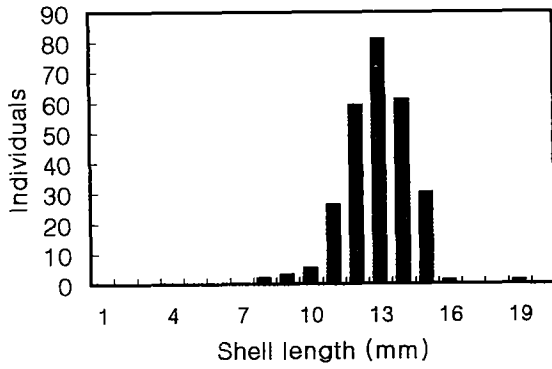
Bullacta exarata

Potamocorbula laevis

May, 1998



August, 1998



November, 1998

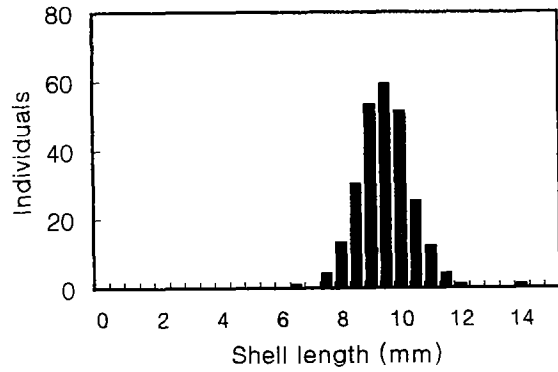
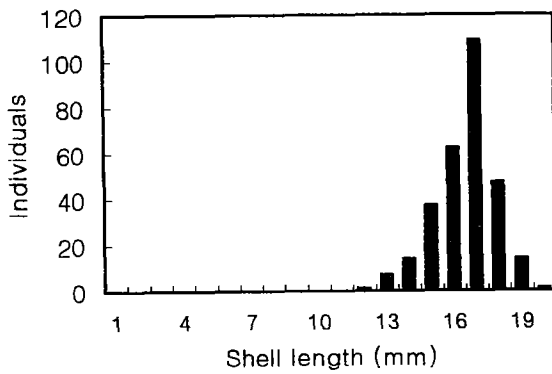


Fig. 3-8-14. The size frequency histograms of *Bullacta exarata* and *Potamocorbula laevis* at Yochari tidal flat.

Table 3-8-7. Growth and secondary production of *Bullacta exarata* and *Potamocorbula laevis* at Yochari tidal flat

Potamocorbula laevis

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	6.0	0.015	11280	169.2	
Aug.,1998	8.5	0.060	3480	208.8	332.1
Nov.,1998	10.0	0.100	3500	350	139.6

Total production(P) = 471.7 g/m^2

Mean biomass(\bar{B}) = 242.7 g/m^2

P/ \bar{B} ratio = 1.94

Bullacta exarata

	\bar{L} (mm)	\bar{W} (g)	Density (m^{-2})	Biomass(g/m^2)	Production(g/m^2)
May,1998	8.0	0.2	152	30.4	
Aug.,1998	13.0	0.8	54	43.2	61.8
Nov.,1998	17.0	2.0	146	292	120.0

Total production(P) = 181.8 g/m^2

Mean biomass(\bar{B}) = 121.9 g/m^2

P/ \bar{B} ratio = 1.5

\bar{L} : Mean length.

\bar{W} : Mean wet weight

Table 3-8-8. The secondary production of macrobenthos on the tidal flats in Korea

Tidal flat	Taxa	Species	production	P/B raio	references
Kunsan	Mollusca	<i>Mactra veneriformis</i>	5,127 g W/m ² /yr	1.046/yr	류, 1997
Inchon	"	"	880 g W/m ² /yr (67.9 g AFDW/m ² /yr)		신과 고, 1995
Sachon	"	<i>Ruditapes philippinarum</i>	278.2 g W/m ² /yr	0.85/yr	최, 1987
Kwangyang	"	"	20.16 - 141.00 g D/m ² /yr	0.63 -0.92/yr	신, 1996
Garolim Bay	"	"	50.28 g D/m ² /yr		김, 1986
"	"	"	95.1 g D/m ² /yr	1.88-1.27	Kim, 1994
Inchon	"	<i>Solen strictus</i>	33.22 g W/m ² /yr (2.83 g D/m ² /yr)	0.20/yr	홍과 박, 1994
Namyang Bay	"	<i>Sinonovacula constricta</i>	149.9 g D/m ² /yr		양, 1994
Inchon	Polychaeta	<i>Perinereis aibuhitensis</i>	267.6 g W/m ² /yr (25.4 g AFDW/m ² /yr)	3.4/yr	Choi & Lee, 1997

차생산량이 267.6 g (wet)/m² 또는 25.4 g (AFDW)/m²으로 추정되었다(Choi and Lee, 1997). 연체동물의 이차생산량은 주로 상업적으로 이용하고 있는 양식장에서의 생산량이 주로 추정되었고, 자연환경 하에서의 연체동물 생산량자료는 많지 않다. 이매패류의 P/B ratio는 대체로 0.63 - 1.87까지로 넓은 값을 가지나 평균적으로는 1.0 부근에 있었다. 따라서 강화도 갯벌의 소형 이매패류인 *P. laevis*의 P/B ratio가 1.94로서 상업적으로 이용되고 있는 대형 이매패류에 비해 순환율이 높았다. *P. laevis*의 이차생산량은 동족의 이차생산량 (육질부 습중량 기준으로 880 g wet/m²이고, 패각을 포함한 이차생산량은 5,127 g wet/m²)에 비해서는 낮은 생산량이지만 바지락의 생산량 (20.16 - 278.2 g wet/m²)에 비해서는 2배 이상 많은 생산량을 보였다.

외국의 갯벌에서 조사된 대형저서동물의 이차생산량을 보면 다음과 같다. 먼저 영국의 하구역 니질갯벌에서 조사된 *Macoma*군집의 이차생산량은 13.311 g(AFDW)/m²으로 추정되었고, 생물량은 13.240 g (AFDW)/m²으로 P/B ratio가 거의 1.0에 가까운 값을 보였다(Warwick and Price, 1975). 네덜란드의 하구역 갯벌에서 이매패류인 *Cardium edule*의 이차생산량은 10.21 - 119.82 g dry/m²로 보고되었으며, P/B ratio는 0.69 - 2.56의 범위에 있었다(Wolff and de Wolff, 1977). 또한 고둥류의 *Littorina littorea*의 이차생산량은 6.13 g dry/m²으로 P/B ratio는 0.61이었다. 강화갯벌에서 민챙이 이차생산량이 181.8 g wet/m²로서 높은 값을 보인 것은 갯벌의 웅덩이 부근의 높은 서식밀도와 그에 따른 많은 생물량에 의해 나타난 결과이므로 전체 갯벌에 적용할 시에는 주의를 요한다. 남부 브라질의 대서양쪽 모래해안에서 갯지렁이의 한 종인 *Scolelepis gaucha*의 연간생산량은 6 - 113 g AFDW/m²/yr였고, 생물량은 2 - 31 g AFDW/m²였다(Santos, 1994). 여기서는 모래해안의 형태변동이 갯지렁이의 성장과 사망을 조절하는 요인으로 나타났다.

포르투갈의 남부의 조간대 지역의 경우에는 대형저서동물의 이차생산량이 모래갯벌과 니질갯벌에서 서로 차이를 보였다(Sprung, 1994). 모래갯벌에서의 대형저서동물에 의한 이차생산량은 32.5 g AFDW/m²/yr였고, P/B ratio는 2.14였다. 한편 니질갯벌에서는 이차생산량이 54.2 AFDW/m²/yr이었고, P/B ratio는 2.44였다. 대형저서동물의 이차생산량은 주로 봄철에서 여름철에 이르는 기간에 일어나는 것으로 나타났다. 한편 호주의 빅토리아의 갯벌에서는 해초

류의 존재유무에 의해서 종조성과 종다양성이 달라지나 갯벌의 이차생산량에 있어서는 잘피류가 덮힌 곳에서는 $62 \text{ g AFDW/m}^2/\text{yr}$ 이나 노출된 곳에서는 생산량이 $54 \text{ AFDW/m}^2/\text{yr}$ 으로 두 지역간에 이차생산량의 차이가 적은 것이 보고되었다(Edgar et al., 1994). 남아프리카의 Berg River 하구역의 갯벌에 서식하는 대형저서동물군집의 연중 생물량과 이차생산량은 각각 19.36 g DW/m^2 와 $87.58 \text{ g DW/m}^2/\text{yr}$ 로서 P/B ratio는 4.52 에 달하는 높은 값을 보였다(Kalejta and Hockey, 1991).

8.3.3. 요약 및 결론

강화도 남단 조간대 갯벌에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 생물상의 분포를 파악하기 위하여 조사지선 세개를 선정하여 1998년 2월부터 11월까지 계절조사를수행했다. 선두리 갯벌의 조사지선 1에선 6개 정점을 선정하여 8월 여름철 조사만이 수행되었으며, 동막리의 조사지선 2에선 2월부터 8월까지 세 차례의 계절조사가 이루어 졌고 그리고 여차리의 조사지선 3에선 5월부터 11월까지 역시 세차례의 계절조사가 수행되었다.

선두리 갯벌에서는 29종 749개체가 출현하였으며, 평균서식밀도는 624 개체/m^2 였다. 출현종수와 출현개체수면에서 갯지렁이류가 가장 우점하는 지역이었다. 군집분석 결과 상부역과 하부역으로 크게 구분 되었으며, 상부역엔 *H. filiformis* 그리고 하부역엔 *N. oligobranchia*가 우점하였으며, *S. glabra*는 전역에서 우점종으로 출현하였다.

동막리 갯벌에서는 세번의 조사에서 총 73종, 9,268개체가 출현하였으며, 평균 서식밀도는 $2,627 \text{ 개체/m}^2$ 였다. 출현종 수에서는 갯지렁이류가, 출현개체수면에서는 연체동물이 우점하는 지역이었다. 집괴분석 결과 계절변동은 있었으나 상부, 중부 그리고 하부역으로 구분되었다. 봄철부터 중부역에 넓은 범위로 *P. laevis* 가 출현하면서 중부역엔 *P. laevis* 가 극 우점하였고, 상부와 하부역엔 *H. filiformis* 그리고 하부역엔 *G. gurjanovae* 와 *L. cruzensis* 가 우점하였다.

세번의 계절조사에서 여차리 갯벌에서는 총 105종, 9,174개체가 출현하였으며, 대형저서동물의 평균 서식밀도는 $1,475 \text{ 개체/m}^2$ 였다. 출현종수에서는 갯

지렁이류와 갑각류가 우점하였으며, 출현개체수면에서는 연체동물이 우점하였다. 여차리 갯벌은 집괴분석 결과 크게 3개의 지역으로 구분되었다. 니질이 우세한 상부역과 중부역의 일부는 칠게가 우점하는 지역이었고, 중부역엔 *P. laevis*, *H. filiformis*, *B. exarata*, *U. thomasi*, *I. pingi* 등이 계절에 따라 우점하는 지역이었으며, 사질의 하부역엔 *Urothoe* sp.와 *S. globosa*가 우점하는 지역이었다.

강화도 갯벌의 대형저서동물군집에 의한 이차생산량을 추정하기 위한 연구의 일환으로 갯벌에서 우점하는 3개 종을 선정하여 1998년 4월부터 1998년 11월까지 이차생산량을 추정한 결과를 종별로 보면 다음과 같았다. 니질갯벌의 칠게는 14.1 g wet/m^2 의 생산량을 보였고, P/B ratio는 1.28이었고, 사질갯벌의 칠게는 이차생산량이 19.74 g wet/m^2 로서 P/B ratio는 2.26이었다. 민챙이 이차생산량은 181.8 g wet/m^2 이었고, P/B ratio는 1.5였다. 소형 이매패류인 *P. laevis*는 이차생산량이 471.7 g wet/m^2 이었고, P/B ratio는 1.94였다.

이상의 우점종에 대한 이차생산량 추정에서 각 종의 산란과 가입 등 생활사에 관한 정보와 시기별 성장에 대한 정보를 얻기 위해서는 차후연도에 생활사에 변화가 많고 주성장시기인 봄철에서 가을에 이르는 6개월간의 기간 동안에는 월별로 현장자료를 구해야 할 필요가 있음이 나타났다. 또한 각 종의 생산량을 갯벌지역 전체에 확장하고, 기타 다른 대형저서생물의 이차생산량 추정을 위해 내서성 저서동물 중 대상 우점종으로 나타난 다모류의 *H. filiformis*와 *N. oligobranchia*을 이차생산량 추정을 위한 대상종에 추가함이 필요한 것으로 생각되었다.

제9절 강화도 남단 갯벌의 어류자원

9.1. 서론

육지로 둘러싸인 내만이나 연안의 천해역은 육지로부터 공급된 유기물이 세립퇴적물에 흡착되어 유기물의 함량이 높다. 유기물은 먹이사슬을 통해 상위 영양단계까지 도달될 수 있으므로 유기물 함량이 높은 천해역은 생산력이 높아진다. 천해역은 생물생산력이 높은 잇점도 있지만 수온과 염분의 변화가 외해역보다 커서, 환경 적응력이 강한 생물들만이 서식할 수 있으며, 한편으로는 만 외부의 외해에 서식하는 많은 어류들이 풍부한 먹이를 취하거나, 산란 또는 포식자를 피해 어린 시기를 보낸다(Allen, 1982; 이와 석, 1984; 김 등, 1994; Ayvazian and Hyndes, 1995).

황해는 해안선이 복잡하고 수심이 얕으며 세립퇴적물로 구성된 많은 내만이 발달하여 예로부터 수산경제적으로 유용한 어류들의 산란장 및 보육장으로 이용되어 왔다(김 등, 1970; 국립수산진흥원, 1985). 그러나, 조류가 강하고 부유물의 함량이 높아 이에 적응한 소수종들만이 서식할 수 있어 종 다양성지수는 낮은 편이다(신과 이, 1990). 특히, 수온의 계절적 변화가 커서 계절에 따른 종조성 변화가 크다.

본 연구해역이 포함된 경기만 주변 해역은 어족자원이 풍부한 해역으로 어업활동이 활발히 이루어지고 있는 해역이다. 그러나, 근래에 들어 인천국제공항 건설, 송도신도시 건설, LNG 인수기지 건설, 신공항 연육도로 건설, 시화방조제 건설 등 대규모 토목공사 이루어졌다. 그 결과 어류를 포함한 해양생물들의 서식처가 상당부분 소실되었고, 주변 해양환경 및 생태계의 변화가 발생하였으며(Lee *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 1998), 또한 이 해역을 둘러싸고 있는 주변 육지에는 인구 밀집지역이며 많은 공단들로부터 오염물질이 유입되고 있어 앞으로 지속적인 변화가 예상되는 해역이다. 이러한 인위적 환경변화는 대상해역의 어류 생태계에 커다란 영향을 미친다. 황해 중부 내만인 아산만 해역에서 trawl을 이용한 3년간의 저어류 연구에서 석문방조제 건설 이후 출현 종수, 개체수 및 생체량 모두에서 감소하는 결과가 보고되었으며(이와 황, 1995), 천수만에서 A, B지구 방조제 건설에 따른 천해어류 종 조성

변화를 조사한 결과, 방조제 건설 이후 유속의 변화로 방조제 건설 이전에는 모래질이었던 곳이 펄질로 변화되면서 모래질을 선호하는 어류는 수적으로 감소하거나 사라지고 펄질을 선호하는 어류가 새로이 출현하거나 수적 증가를 보였다(이, 1993a).

갯벌 조간대는 조석간만의 차에 의해 주기적으로 공기 중에 노출됨으로서 온도와 염분 등의 환경변화가 극심한 곳이지만 높은 유기물의 함량은 먹이 사슬을 통해 이곳에 서식하는 많은 생물들에게 전달되며, 무척추동물들은 생물 교란을 통하여 생태계의 물질 순환을 촉진하고(Bery, 1991), 소형 어류나 어린 개체들은 갯벌을 섭이장으로 이용하기도 한다(Tyler, 1971). 또한 육지로부터 유입된 오염원을 정화시키는 자정능력이 우수한 편이다. 이러한 이유로 최근 갯벌의 중요성이 새롭게 인식되고 있으며, 갯벌을 보전하고 복원하는데 많은 사람들이 관심을 갖게 되었다.

본 연구는 갯벌생태계에서 어류군집의 특성을 이해하여 갯벌의 효율적인 이용과 보전의 필요성을 위한 기초조사로서 강화도 남단 갯벌 조간대(Fig. 3-9-1)에서 건간망을 이용하여 수집한 자료를 정리하였다.

9.2. 재료 및 방법

9.2.1. 연구지역의 개황

강화도 남단 갯벌은 최대 조차가 9.5m에 이르고, 최대 너비는 약 5km에 이르며, 전체 갯벌의 면적은 약 90km²에 이른다. 이 지역은 서해로 유입되는 한강의 지류와 본류의 영향을 직접적으로 받으며, 염하수로와 석모수로에서 유입되는 담수와 조석에 따른 해수의 혼합으로 염분의 뚜렷한 구배를 보이는 기수역의 특성을 보인다. 이 갯벌에는 모래, 펄, 혼합갯벌 등 다양한 종류의 갯벌이 존재하며, 이러한 종류의 갯벌들은 서로 다른 수리적, 화학적, 퇴적학적 요인들이 서로 다르게 작용하므로 생물들에게 다양한 서식지를 제공한다(한국해양연구소, 1998).

9.2.2. 시료 채집 및 처리

재료는 1998년 4월, 6월, 7월, 8월, 9월, 10월 그리고 11월에 강화도 남단 갯벌 조간대에서 건간망(fish fence)을 이용하여 수집하였다(Fig. 3-9-1).

건간망은 조석간만의 차가 큰 해역에서 간조시 바닥이 드러나거나 수심이 아주 얕아지는 곳에 고정목을 박아 그물을 쳐 놓았다가 밀물 때 조류를 따라 들어온 어획물이 썰물 때 갇히도록 하여 잡는 것이다. 그물은 조류의 방향에 대해 가로질러 부설하며, 부설형태는 지방에 따라 다소 다르나 대부분 활모양으로 하며, 바닥에 골이 진 곳에서는 V자형에 가깝도록 부설하기도 한다. 또한 대상 어종에 따라 예로서, 유영력이 약하고 크기가 작은 새우류를 주 대상으로 할 때는 Ny 210Td 3합사 20mm목 내외의 그물감으로 단순히 울타리만 부설하나, 유영력이 강하고 크기가 비교적 큰 어류를 주 대상으로 할 때는 Ny 210Td 6합사 50mm목 내외의 그물감으로 울타리를 부설하고 한쪽 또는 양쪽 끝에 미입함정을 부설하여 썰물 때 어류가 울타리를 따라 유영하다가 함정에 갇히도록 해서 조업하는 어구이다(국립수산진흥원, 1996).

본 연구의 시료 채집에 이용된 건간망은 길이 약 2km, 높이 2m, 망목은 울타리 그물(fence net)이 18절, 자루 그물(cod end)이 20절로 구성되어 있다(Fig. 3-9-2). 어구의 부설은 타원형이 되도록 3~4m 간격마다 항목을 박아서 고정시켰고, 울타리 그물의 중간 4곳에 자루 그물을 붙여 썰물 때 어류가 울타리를 따라 유영하다가 자루 그물에 갇히도록 해서 채집하였다.

채집된 어류는 현장에서 10% 중성포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반한 후 종을 동정하고 종별 개체수를 파악하였으며, 각 어체의 체장과 체중을 측정하였다. 각 어체의 체장은 0.1mm까지, 체중은 0.1g까지 측정하였다. 종의 동정에는 정(1977), Masuda *et al.* (1984), Lindberg and Legeza (1965), Lindberg and Krasnyukova (1969, 1989) 등을 이용하였으며, 학명은 Masuda *et al.* (1984)을 따랐다.

어류 채집량은 건간망 어구 1틀당 1일 어획량을 기준으로 나타내었다.

9.2.3. 자료 처리 및 분석 방법

가. 어류군집

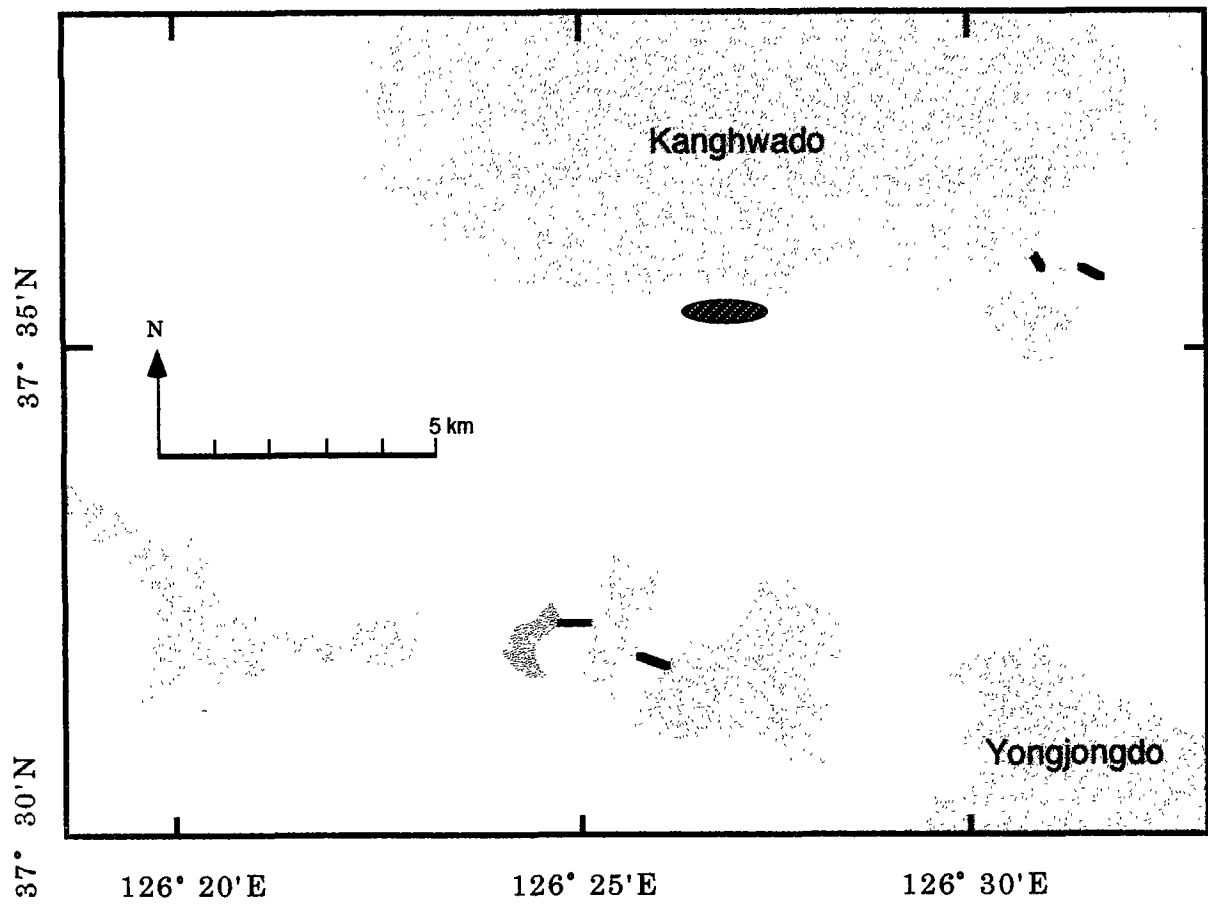


Fig. 3-9-1. Map showing the sampling area (shaded).

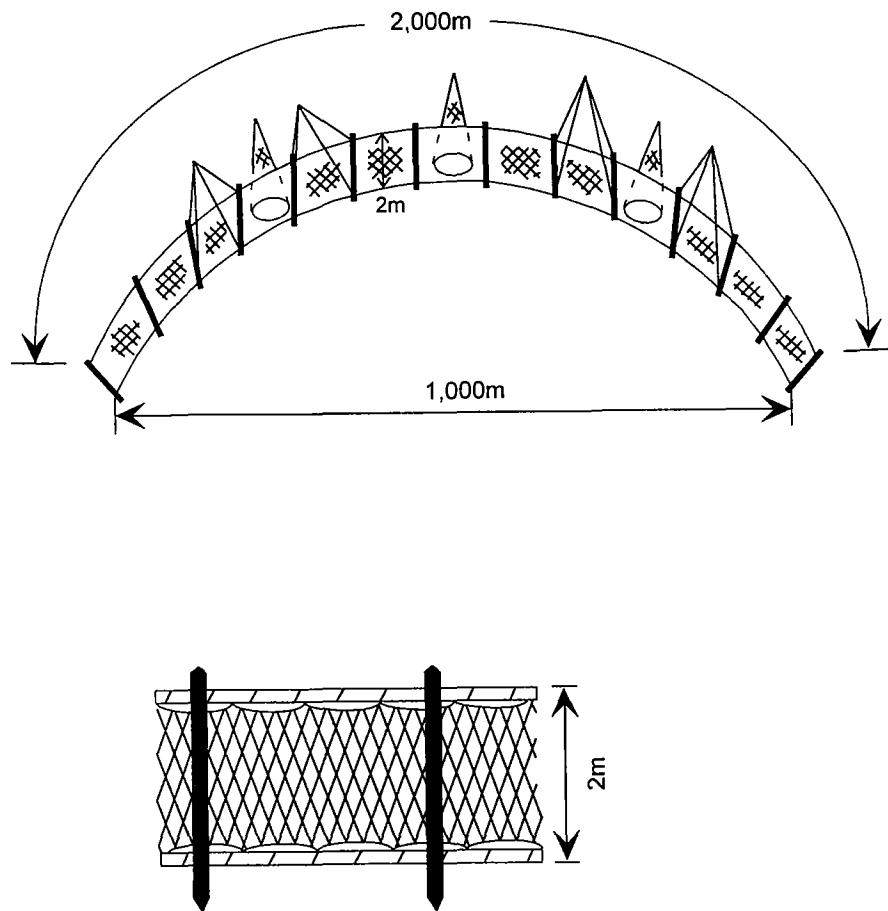


Fig. 3-9-2. Schematic diagram showing the sampling gear (fish fence) used for this study.

조사 해역에서 조사기간 동안 건간망에 어획된 어획물의 다양성의 변화를 파악하기 위하여 월별 채집된 종별 개체수를 기준으로 종 다양성 지수 (Shannon and Weaver, 1949), 균등도 지수(Pielou, 1976)를 계산하였다.

가) 다양성 지수(Shannon-Wiener Diversity Index, H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

여기서, S 는 총출현종수

P_i 는 N_i / N

N 는 총개체수 혹은 총생물량

N_i 는 i 번째 종의 개체수 혹은 생물량을 의미한다.

나) 균등도 지수(Pielou Evenness Index, J):

$$J = H' / H'_{\max} = H' / \log_2 S$$

여기서, S 는 종의 수

H' 는 종 다양성 지수를 의미한다.

출현종간의 유사성을 분석하기 위하여 2회 이상 출현한 종을 대상으로 종의 출현 유무에 따라 Jaccard의 유사도 지수(J)를 계산하였다(Ludwig and Reynolds, 1988).

$$J = \frac{a}{(a + b + c)}$$

여기서, a 는 2종이 함께 출현한 달의 수, b 는 한 종만 출현한 달의 수, c 는 다른 한 종만이 출현한 달의 수를 각각 의미한다.

월별 종 조성 차이를 분석하기 위하여 월별 종 조성 자료를 하나의 표본 단위로 주성분 분석을 하였다. 출현한 종 가운데 2회 이상 출현한 종만을 대상으로 출현개체수로 각 종의 순위를 정하고, Spearman's rank correlation을 계산한 후 Davis (1978)의 Program "PCA"를 일부 변형하여 사용하였다.

나. 섭식 형태

채집된 어류의 섭식 형태는 어종별 이빨의 구조, 입술의 돌출상태, 세파의 구조, 위 모양 등을 기준하여 육식성 어류(carnivorous fish), 플랑크톤 섭식자(plankton feeder), 잡식성 어류(omnivorous fish), 저서생물 섭식자(benthic feeder) 등으로 구분하였다.

다. 어획량

조사해역에서 건간망에 의해 어획되는 어획량은 건간망 어구 1틀당 월별 또는 일별 일일 어획량 자료를 이용하여 건간망 어구 1틀당 연간 어획량으로서 나타내었다.

이웃한 두 조사 시점간 어획량은 일정한 비율로 증감한다는 직선 모델을 이용하여 계산하였다. 직선 모델의 적용 가능성은 조사대상 건간망 어업인에 의해 작성된 1998년 8월 28일부터 1998년 11월 24일까지의 일일 어획량 자료(Appendix 3-9-1)와 본 조사의 자료 중 같은 기간(1998년 8월 28~1998년 11월 24일)의 월별 어획량 자료를 대상으로 이웃한 두 조사 시점간 일일 어획량 변화율의 상관관계로 검토하였다. 두 변량 사이 즉, 현지 어업인으로부터 받은 일일어획량 자료와 본 조사 자료로부터 추정된 일일어획량 자료 사이에는 서로 유의한 상관관계($r=0.7$, $p<0.001$)가 있고, 이웃한 두 조사시점간의 어획량 변화는 직선 형태로 변하고 있음을 확인하여 직선모델을 적용하였다.

건간망 어업은 조간대에 부설하여 밀물 때 조류를 따라 들어온 어류가 썰물시 어구에 갇히도록하여 어획하는 어구로서, 3월초부터 11월말까지 조업하고, 이후부터 이듬해 2월말까지는 표류하는 얼음 조각에 의해 어구가 손상될 수 있으므로 휴어기를 갖는다. 따라서, 연간 어획량 산출시 산출 대상기간은 휴어기를 제외한 3월 1일부터 11월 30일까지이다. 한편, 본 연구의 조사 기간이 4월 13일부터 11월 26일까지였음을 고려할 때, 이 기간 이외의 어획량은 본 조사의 자료를 기준으로 이웃한 두 조사시점간의 어획량 변화량으로부터 추정하였다.

9.3. 결 과

9.3.1. 수온

조사해역의 수온은 국립수산진흥원에서 조사한 정선관측 자료 중 강화도 외포리에서 관측된 자료가 본 조사해역과 근접하여 수온의 계절변동을 파악하는데는 무리가 없을 것으로 사료되어 이 자료를 이용하였다(Fig. 3-9-3). 이용된 월별 수온 자료는 본 조사의 자료 채집 시기와 일치하는 날의 자료이다.

Fig. 3-9-3에서 본 수온의 변화는 조사기간 중 4월에 가장 낮은 9.6℃였으며, 이 후 수온이 상승하여 7월에 25.4℃로 가장 높은 값을 보였다가 점차 감소하여 마지막 조사시기인 11월에는 11.6℃까지 감소하여 조사시기에 따른 수온의 변화는 뚜렷하였다. 이와 같이 수온은 봄에서 여름으로 가면서 상승하였다가 여름에서 가을로 가면서 다시 하강하는 전형적인 온대해역의 계절변동 양상을 보였다.

9.3.2. 종조성

조사기간 중(1998년 4월-1998년 11월) 조사해역에서 출현한 어류는 총 7목, 11과, 22종이 동정 분류되었다(Table 3-9-1).

출현한 어류 가운데 농어목(Perciformes)에 속하는 망둑어과(Gobiidae)에 9종, 민어과(Sciaenidae)와 주둥치과(Leiognathidae)에 각각 1종씩 출현하여 농어목어류가 전 출현종의 50%를 차지하여 구성비에서 가장 높았다. 다음은 청어목(Clupeiformes)에 속하는 멸치과(Engraulidae)와 청어과(Clupeidae)에 각각 3종, 2종이 출현하여 22.7%를 차지하였으며, 쏨뱅이목(Scorpaeniformes)에 양불락과(Scorpaeniformes)와 독중개과(Cotidae)에 각각 1종씩, 2종이 출현하였고, 잉어목(Cypriniformes), 동갈치목(Beloniformes), 승어목(Mugiliformes), 복어목(Tetraodontiformes)에는 1종씩 출현하였다.

채집된 어류의 총 개체수는 5,084개체, 총 생체량은 70,399.9g 이었다(Table 3-9-2). 출현한 어류 가운데 개체수에서 차지하는 비율을 보면, 전어(*Konosirus punctatus*)가 47.7%를 차지하여 가장 우점도가 높았다. 다음으로 밴댕이(*Sardinella zunasi*)(23.9%), 풀망둑(*Acanthogobius hasta*)(20.0%),

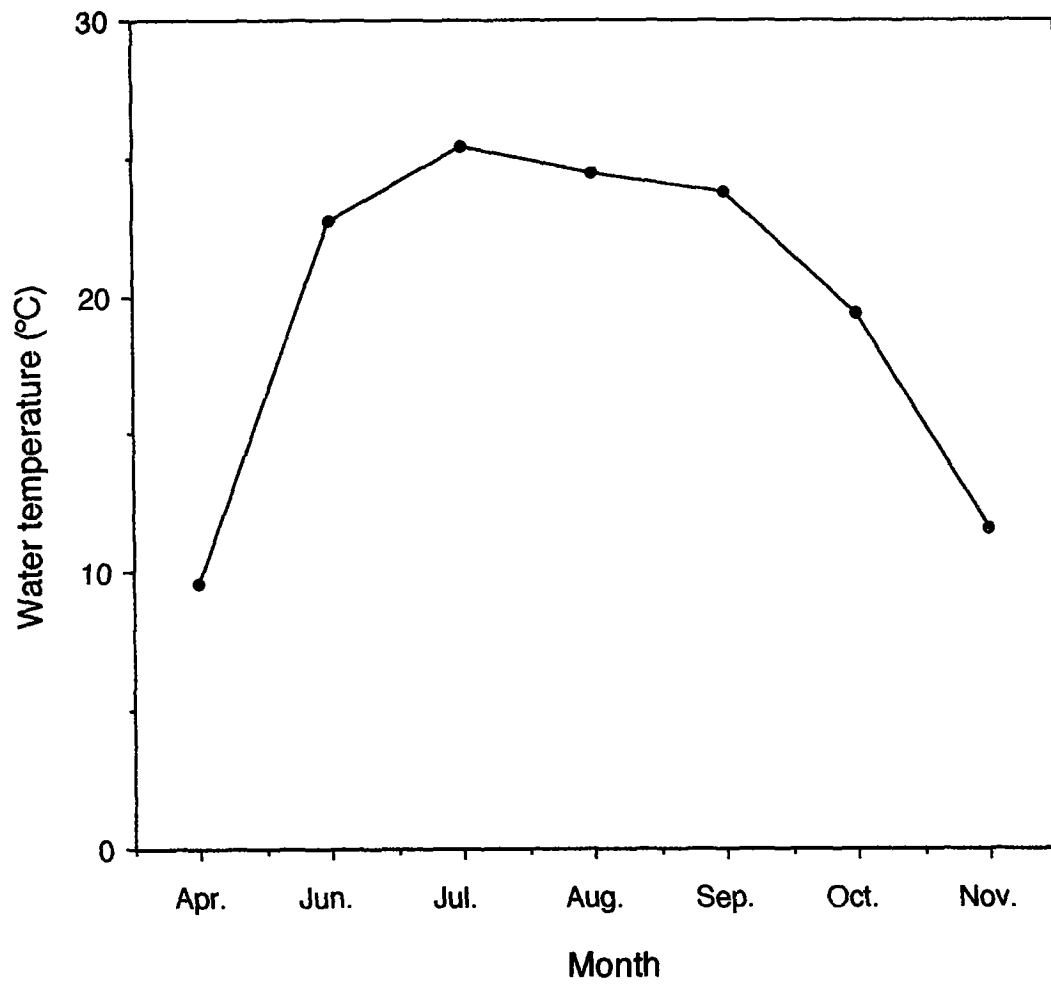


Fig. 3-9-3. Monthly variations of surface water temperature in the coastal water off Kanghwado.

Table 3-9-1. Species list of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998

Order Cypriniformes (잉어목)

Family Cyprinidae (잉어과)

Carassius auratus (붕어)

Order Clupeiformes (청어목)

Family Engraulidae (멸치과)

Coilia ansus (응어)

Thryssa kammalensis (청멸)

Thryssa adela (풀반대이)

Family Clupeidae (청어과)

Konosirus punctatus (전어)

Sardinella zunasi (밴대이)

Order Perciformes (농어목)

Family Sciaenidae (민어과)

Collichthys lucidus (황강달이)

Family Gobiidae (망둑어과)

Taenioides rubicundus (개소갱)

Favonigobius gymnauchen (날개망둑)

Acanthogobius hasta (풀망둑)

Acanthogobius flavimanus (문절망둑)

Acentrogobius pellidebilis (점줄망둑)

Acanthogobius elongata (왜풀망둑)

Chaenogobius mororanus (얼룩망둑)

Tridentiger trigonocephalus (두줄망둑)

Tridentiger barbatus (아작망둑)

Table 3-9-1. Continued

Family Leiognathidae (주둥치과)

Leiognathus nuchalis (주둥치)

Order Scorpaeniformes (쏨뱅이목)

Family Scorpaenidae (양볼락과)

Sebastes schlegeli (조피볼락)

Family Cottidae (독중개과)

Trachidermus fasciatus (깍정어)

Order Beloniformes (동갈치목)

Family Hemiramphidae (학공치과)

Hyporhamphus sajori (학공치)

Order Mugiliformes (송어목)

Family Mugilidae (송어과)

Mugil cephalus (송어)

Order Tetraodontiformes (복어목)

Family Tetraodontidae (참복과)

Takifugu obscurus (황복)

Table 3-9-2. Species composition of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998

Species	Total			
	N	%	W	%
<i>Acanthogobius elongata</i>	64	1.26	114.7	0.16
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	5	0.10	9.0	0.01
<i>Acanthogobius hasta</i>	1,019	20.04	38,618.1	54.86
<i>Acentrogobius pellidebilis</i>	2	0.04	6.1	0.01
<i>Carassius auratus</i>	1	0.02	10.0	0.01
<i>Chaenogobius mororanus</i>	54	1.06	122.1	0.17
<i>Coilia ansus</i>	4	0.08	125.7	0.18
<i>Collichthys lucidus</i>	1	0.02	4.9	0.01
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	21	0.41	34.4	0.05
<i>Hyporhamphus sajori</i>	4	0.08	37.7	0.05
<i>Konosirus punctatus</i>	2,424	47.68	5,021.2	7.13
<i>Leiognathus nuchalis</i>	9	0.18	7.2	0.01
<i>Mugil cephalus</i>	148	2.91	19,899.8	28.27
<i>Sardinella zunasi</i>	1,214	23.88	5,210.5	7.40
<i>Sebastes schlegeli</i>	6	0.12	6.1	0.01
<i>Taenioides rubicundus</i>	19	0.37	508.9	0.72
<i>Takifugu obscurus</i>	22	0.43	172.2	0.24
<i>Thryssa kammalensi</i>	33	0.65	214.3	0.30
<i>Thryssa adalae</i>	25	0.49	183.8	0.26
<i>Trachidermus fasciatus</i>	3	0.06	27.7	0.04
<i>Tridentiger barbatus</i>	5	0.10	62.5	0.09
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>	1	0.02	2.9	0.00
Total	5,084	100.00	70,399.9	100.00

N : number of individuals, W : wet weight in grams

승어(*Mugil cephalus*)(2.9%)의 순으로 이들 4종이 94.5%로 우점하였다. 한편, 생체량에서 차지하는 비율은 풀망둑이 54.9%를 차지하여 가장 우점도가 높았으며, 승어(28.3%), 밴댕이(7.4%), 전어(7.1%)의 순으로 이들 4종이 97.7%로 우점하였다. 위의 4종의 어류를 제외한 대부분의 어류들은 개체수와 생체량에서 차지하는 비율은 1%이하였다.

9.3.3. 월별 변동

채집 시기별 출현 양상에서 풀망둑, 얼룩망둑(*Chaenogobius mororanus*), 승어 등은 조사시기마다 계속 출현하였고, 개소갱(*Taenioides rubicundis*)은 조사기간 중 9월을 제외한 전 조사시기에 계속 출현하였다(Table 3-9-3). 전어, 밴댕이, 풀반댕이(*Thryssa adela*) 등의 어류는 4월과 11월에는 출현하지 않았으나 6월부터 10월 사이에는 연속 출현하였다. 황복(*Takifugu obscurus*)은 6월부터 9월 사이에 출현하였으며, 청멸(*Thryssa kammalensis*)은 6월부터 8월 사이에 출현하였다. 그 밖의 다른 어종들은 출현횟수가 1~2회로 채집시기에 따른 출현 양상은 보이지 않았다.

월별 우점종의 변화를 알아보기 위하여 각 조사시기의 표본에서 개체수와 생체량의 10%이상 차지한 종을 Table 3-9-4에 정리하였다.

Table 3-9-4에서 보면 개체수와 생체량 모두에서 풀망둑, 전어, 밴댕이 그리고 승어가 주요 우점종이었음을 알 수 있다. 먼저 개체수에서 월별 우점종의 변화를 살펴보면, 4월에 풀망둑이 79.6%로 단독 우점하였고, 6월에는 풀망둑(45.6%) 다음으로 밴댕이(32.7%)가 우점하였다. 7월과 8월에는 전어 유어가 대량으로 채집되어 각각 49.5%(7월)와 85.9%(8월)로 최우점종이었고, 4월과 6월에 최우점종이었던 풀망둑은 그 다음이었다. 9월에는 밴댕이(65.3%)와 풀망둑(11.9%)이, 10월에는 밴댕이가 86.8%로 단독 우점하였는데 이 시기에는 밴댕이 유어의 대량 출현에 기인되었다. 11월에는 풀망둑(79.0%)과 승어가 우점하였는데, 이는 7월부터 10월 사이에 우점종이었던 전어와 밴댕이가 수온이 낮아지면서 외해로 이동한 결과로 추정된다. 생체량에서는 4월과 6월에 승어가 최우점하였으며, 풀망둑과 밴댕이가 포함되었다. 7월부터 11월까지의 풀망둑이 52.8%에서 77.7%의 범위를 보이며 최우점하였고, 승어, 전어, 밴댕이 등이

Table 3-9-3. Monthly variations in number and biomass of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998

Species	April		June		July		August	
	N	W	N	W	N	W	N	W
<i>Acanthogobius elongata</i>			16	24.4	48	90.4		
<i>Acanthogobius flavimanus</i>								
<i>Acanthogobius hasta</i>	250	11,326.5	145	892.0	184	2,709.0	268	12,871.1
<i>Acentrogobius pellicebilis</i>								
<i>Carassius auratus</i>	1	0.3						
<i>Chaenogobius mororanus</i>	10	3.2	5	14.5	27	60.8	1	2.5
<i>Coilia ansus</i>							3	56.4
<i>Collichthys lucidus</i>							1	4.9
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	20	6.4						
<i>Hyporhamphus sajori</i>								
<i>Konosirus punctatus</i>			4	118.5	318	629.2	2,045	3,431.4
<i>Leiognathus nuchalis</i>					5	2.5		
<i>Mugil cephalus</i>	23	7.3	18	4,312.0	12	902.2	42	674.3
<i>Sardinella zunasi</i>			104	1,213.0	14	95.3	4	14.8
<i>Sebastes schlegeli</i>					6	6.1		
<i>Taenioides rubicundus</i>	5	1.6	1	4.1	7	237.3	2	10.8
<i>Takifugu obscurus</i>			1	38.2	8	96.2	6	14.6
<i>Thryssa adalae</i>			6	56.5	3	19.2	3	53.6
<i>Thryssa kammalensi</i>			18	123.1	9	43.1	6	48.1
<i>Trachidermus fasciatus</i>					2	6.2		
<i>Tridentiger barbatus</i>	5	1.6						
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>								
No. of species	7		10		13		11	
Total	314	23,500.2	318	6,796.3	643	4,897.3	2,381	17,182.7

N : number of individuals, W : wet weight in grams

Table 3-9-3. Continued

Species	September		October		November	
	N	W	N	W	N	W
<i>Acanthogobius elongata</i>						
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	2	7.3			3	1.7
<i>Acanthogobius hasta</i>	45	3,007.9	67	4,325.7	60	3,485.9
<i>Acentrogobius pelliabilis</i>	2	6.1				
<i>Carassius auratus</i>						
<i>Chaenogobius mororanus</i>	5	10.8	5	1.4	1	3.4
<i>Coilia ansus</i>	1	69.3				
<i>Collichthys lucidus</i>						
<i>Favonigobius gymnauchen</i>					1	1.5
<i>Hyporhamphus sajori</i>	1	16.5	3	21.2		
<i>Konosirus punctatus</i>	17	201.5	40	640.6		
<i>Leiognathus nuchalis</i>	4	4.7				
<i>Mugil cephalus</i>	37	1,012.0	6	94.5	10	969.0
<i>Sardinella zunasi</i>	246	941.8	846	2,945.6		
<i>Sebastes schlegeli</i>						
<i>Taenioides rubicundus</i>			3	128.9	1	24.1
<i>Takifugu obscurus</i>	7	23.2				
<i>Thryssa adelae</i>	10	43.6	3	10.9		
<i>Thryssa kammalensi</i>						
<i>Trachidermus fasciatus</i>			1	21.5		
<i>Tridentiger barbatus</i>						
<i>Tridentiger trigonocephalus</i>			1	2.9		
No. of species	12		10		6	
Total	377	5,344.7	975	8,193.1	76	4,485.6

N : number of individuals, W : wet weight in grams

Table 3-9-4. Monthly comparison of dominant fishes at the southern tidal flat in Kanghwado

Month	Dominant species	
	Fish number	Biomass
April	<i>A. hasta</i> (79.6%),	<i>M. cephalus</i> (50.8%), <i>A. hasta</i> (48.2%)
June	<i>A. hasta</i> (45.6%), <i>S. zunasi</i> (32.7%)	<i>M. cephalus</i> (63.4%) <i>S. zunasi</i> (17.8%) <i>A. hasta</i> (13.1%),
July	<i>K. punctatus</i> (49.5%) <i>A. hasta</i> (28.6%)	<i>A. hasta</i> (55.3%) <i>M. cephalus</i> (18.4%) <i>K. punctatus</i> (12.8%)
August	<i>K. punctatus</i> (85.9%) <i>A. hasta</i> (11.3%)	<i>A. hasta</i> (74.9%) <i>K. punctatus</i> (20.0%)
September	<i>S. zunasi</i> (65.3%) <i>A. hasta</i> (11.9%)	<i>A. hasta</i> (56.3%) <i>M. cephalus</i> (18.9%) <i>S. zunasi</i> (17.6%)
October	<i>S. zunasi</i> (86.8%)	<i>A. hasta</i> (52.8%) <i>S. zunasi</i> (36.0%)
November	<i>A. hasta</i> (79.0%) <i>M. cephalus</i> (13.2%)	<i>A. hasta</i> (77.7%) <i>M. cephalus</i> (21.6%)

시기에 따라 우점하였다. 한편, 개체수에서 7월과 8월에 최우점종이었던 전어는 같은 달 생체량에서는 우점순위가 7월과 8월에 각각 3위, 2위로 밀려났고, 9월과 10월에 우점한 밴댕이도 같은 달에 각각 3위와 2위로 밀려났다. 이는 체장 자료를 검토해 본 결과, 이 시기에 출현한 전어와 밴댕이는 대부분 어린 유어들이었기 때문이다. 이상의 결과를 종합하여 보면 우점종은 시간에 따라 변함을 알 수 있으며, 특히 각 조사시기의 최우점종의 점유율이 개체수의 경우 45.6-86.8%의 범위를, 생체량의 경우 50.8-77.7%의 범위를 보여 소수종에 의한 우점도가 높은 것을 알 수 있다.

월별 종조성의 변화를 보면(Fig. 3-9-4, Table 3-9-3), 4월에는 7종, 314마리, 23,500.2g의 어류가 채집되었다. 채집된 어류 가운데 풀망둑이 250마리로 개체수의 79.6%, 생체량의 48.2%를 차지하였으며, 승어가 23마리 채집되어 개체수에서 7.3%를 차지하였으나 생체량에서는 50.8%로 점유율이 높았다. 다음으로 얼룩망둑과 날개망둑(*Favonigobius gymnauchen*)이 수십마리씩 어획되어 위의 4종이 전체개체수의 96.5%, 전체생체량의 99.2%를 점유하였다. 6월에는 10종, 318마리, 6,796.3g이 어획되어 4월에 비해 종수와 개체수는 증가하였으나 생체량에서는 급격한 감소를 보였다. 이와 같이 생체량이 급격히 감소한 데는 풀망둑과 승어의 채집개체수의 감소와 채집된 개체 중 대형어의 비율이 감소한 결과이다. 7월에는 13종, 643마리, 4,897.3g이 어획되어 조사기간 중 가장 많은 종이 출현하였으며, 개체수면에서도 6월에 이어 증가하였다. 그러나 종수와 개체수의 수적 증가에도 불구하고 생체량에서는 6월에 이어 계속 감소경향을 보였는데, 이는 승어의 대형어 비율이 감소한 것에 기인되었다. 8월에는 11종, 2,381마리, 17,182.7g이 채집되어 종수에서는 7월에 비해 감소하였으나 개체수에서는 급격한 증가를 하여 조사기간 중 가장 많은 개체가 채집되었으며, 생체량에서도 급격한 증가를 보였다. 이는 6월부터 출현하기 시작한 전어의 급격한 수적 증가와 풀망둑의 수적 증가 및 대형개체 비율의 증가로 기인되었다. 9월에는 8월에 비해 1종이 증가한 12종이 출현하였으며, 개체수와 생체량은 각각 377마리, 5,344.7g으로 큰 폭으로 감소하였다. 10월에는 10종, 975마리, 8,193.1g이 어획되어 종수에서는 감소하였고 개체수와 생체량에서는 소폭의 증가를 보였다. 11월로 이어지면서 조사기간 중 가장 적은 6종이 출현하였고 개체수(76마리)와 생체량(4,485.6g)에서도 최저치를 보였

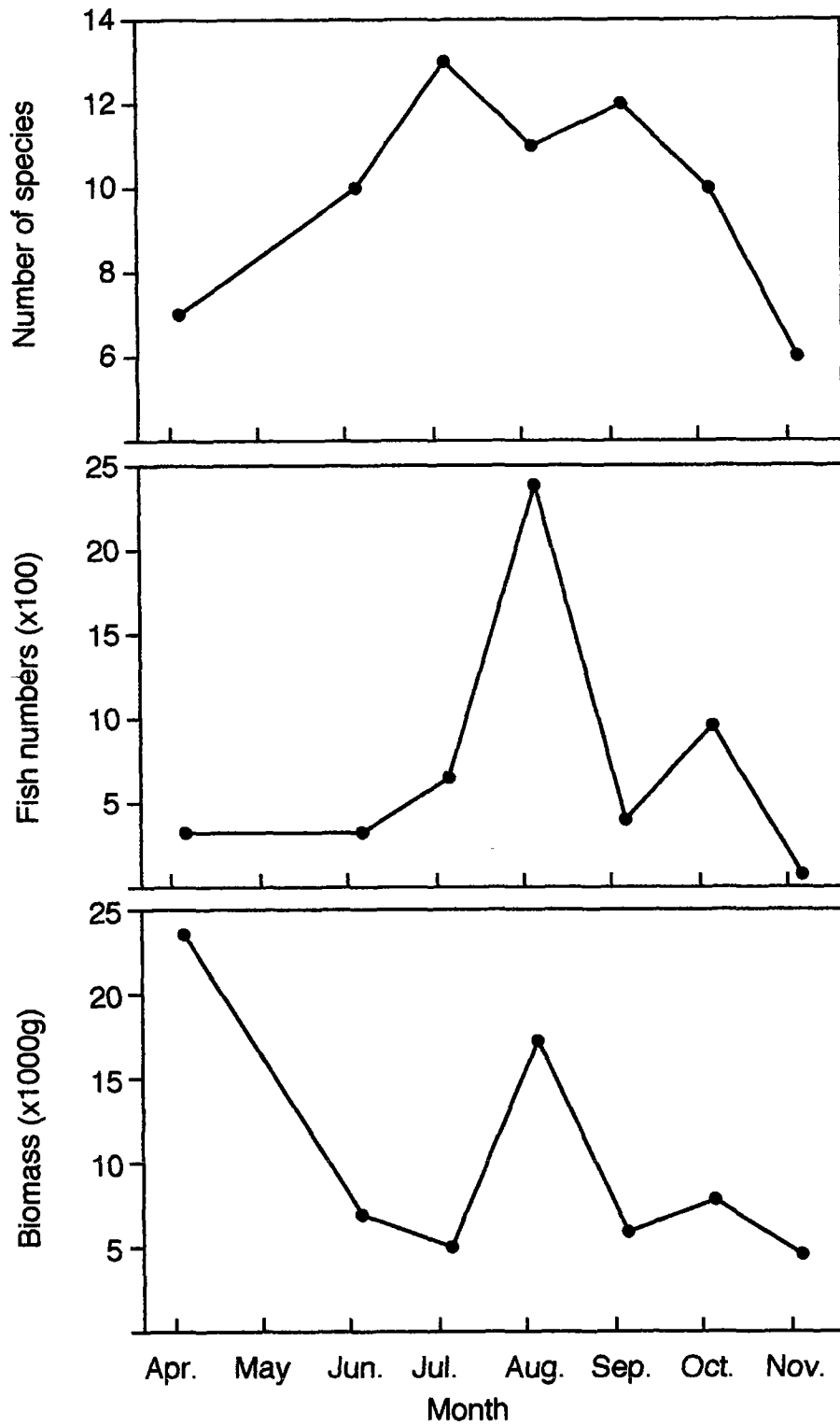


Fig. 3-9-4 Monthly fluctuations of number of species, fish number and biomass of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado.

다.

조사기간 중 생태적 지수의 변동 범위를 보면(Fig. 3-9-5), 종 다양성 지수는 0.52(8월)에서 1.48(7월)의 범위를 보였다. 균등도 지수는 0.22(8월)에서 0.62(6월)의 범위를 보여, 조사해역에서 건간망에 어획되는 어획물의 다양성은 높지 않음을 알 수 있었다.

9.3.4. 종간 유사성

출현한 22종 가운데 2회 이상 출현한 16종을 대상으로 Jaccard 유사도 지수를 계산하여 수상도를 작성한 결과, 유사도 0.5 수준에서 두 무리로 구분되었다(Fig. 3-9-6).

무리 "A"는 풀망둑, 얼룩망둑, 송어, 개소갱 등 조사기간 동안 지속적으로 출현한 종들로 구성되었다. 무리 "B"는 6월부터 10월 사이에만 출현한 밴댕이와 풀반댕이, 6월부터 9월사이에만 출현한 황복, 그리고 출현기간이 6~8월인 청멸, 6~7월인 왜풀망둑(*Acanthogobius elongata*) 등 주로 난수기인 초여름부터 가을사이에 출현한 종들로 구성되었다. 기타 6종의 어류는 출현 양상에 따른 종간 유사성을 찾을 수 없었다. 이들 가운데는 걱정이(*Trachidermus fasciatus*), 주둥치(*Leiognathus nuchalis*), 용어(*Coilia ansus*)와 학공치(*Hyporhamphus sajori*)는 일시적으로 조사 해역에 출현한 것으로 보여지며, 망둑어과에 속하는 문절망둑(*Acentrogobius pellidelailis*)과 날개망둑은 주로 연안의 천해역에서 살아가는 소형 어류로서 본 조사 해역에서도 많이 서식할 것으로 사료되나 출현 횟수도 작고 소수의 개체만이 채집된 것으로 보아 대부분의 어류는 썰물시 건간망 망목(올타리그물: 18절, 자루그물: 20절)을 빠져나간 것으로 사료되며, 채집된 개체는 미쳐 빠져나가지 못한 개체가 어획된 것으로 보여진다.

9.3.5. 군집구조

각 조사시기에 수집된 자료를 독립된 표본 단위(sampling unit)로 보고, 조사시기별 출현 종과 종별 출현 개체수로 종 조성 표를 작성하여 일시적으로

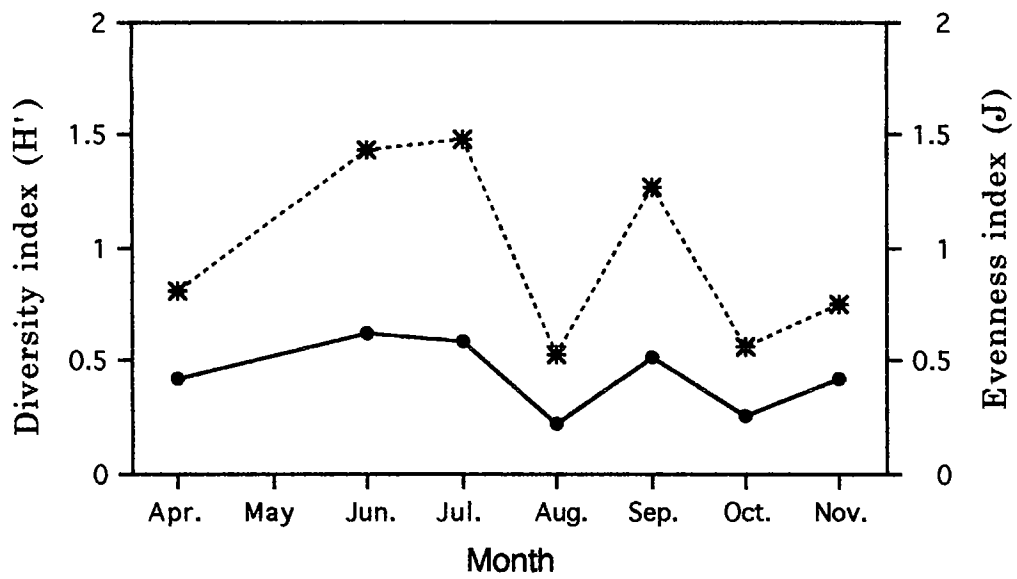


Fig. 3-9-5. Monthly variations of diversity index and evenness index of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado.

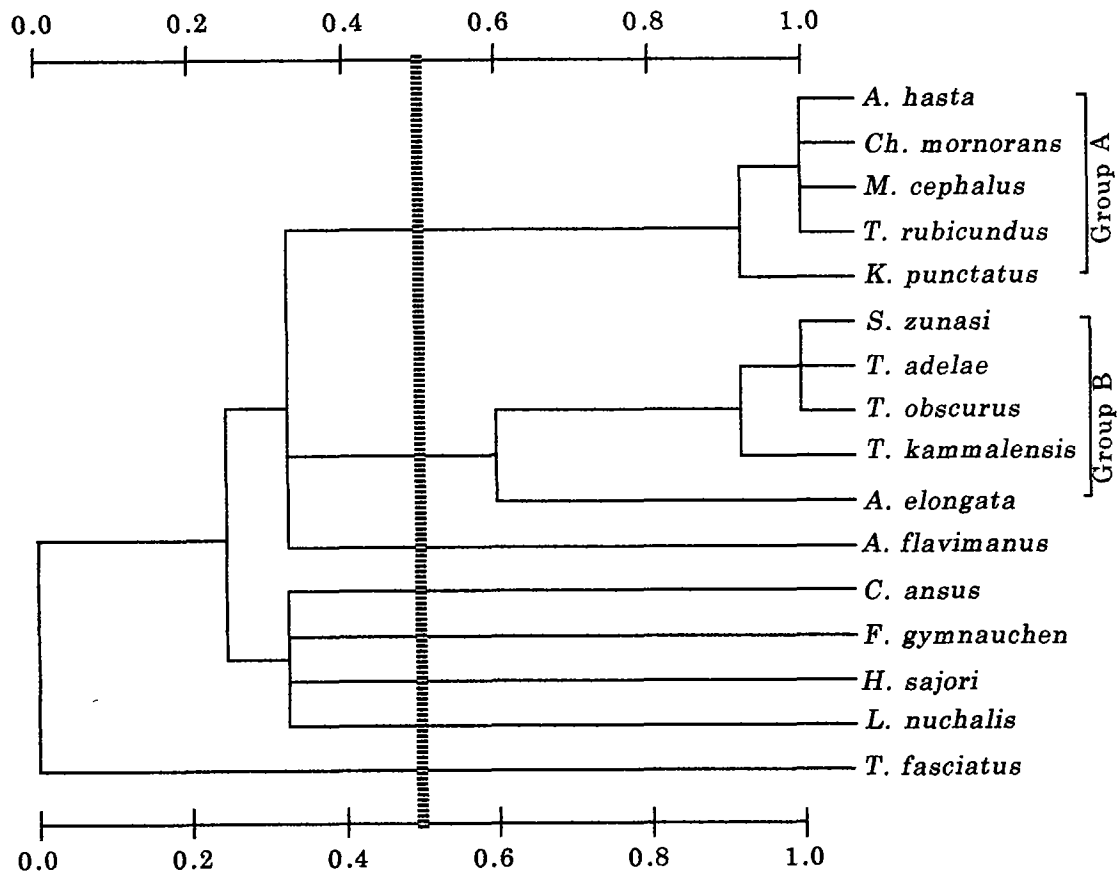


Fig. 3-9-6. Dendrogram illustrating the species association of tidal flat fishes collected at Kanghwado, based on Jaccard's index of similarity.

채집된 종의 영향을 배제하기 위하여 출현율이 14.2%이하인 종을 제외시킨 후, 각 표본단위에서 종별 출현개체수로 각 종의 순위를 정하고 Spearman's rank correlation을 계산하여 주성분 분석을 한 결과, 제 I, II 및 III 성분이 갖는 분산 값은 각각 32.2%, 22.9% 및 18.0%로 이 세 성분이 총 정보의 73.1%를 차지하였다(Table 3-9-5).

구하여진 I 축과 II 축의 PC score를 두 축의 평면상에 투영시킨 결과(Fig. 3-9-7), 제 I 성분축상에서 7월과 8월의 고수온기의 표본은 큰 음의 값을 가졌으며 비교적 수온이 따뜻한 6월과 9월의 표본도 음의 값을 보인 반면 수온이 낮아진 11월의 표본은 양의 값을 보였으며, 조사기간 중 가장 수온이 낮은 4월의 표본은 가장 큰 양의 값을 보였다.

각 조사시기별 군집구조의 변화를 살펴보면, 4월에서 6월로의 변화는 큰 폭으로 변하였고 6월부터 9월까지는 소폭으로 점진적인 변화를 보인다 9월에서 10월로, 10월에서 11월로의 변화는 큰 폭의 변화를 보였다. 이러한 조사시기에 따른 군집구조의 변화는 변화된 정도의 차이는 있으나 시간에 따른 군집구조의 뚜렷한 변화양상을 보였으며, 본 조사해역에서 어류군집구조는 I 축과 II 축의 평면상에서 시계방향으로의 점진적인 변화를 보였다.

I 축에 대하여 각 표본 단위에 가중치를 준 loadings 값은 Fig. 3-9-8과 같다. 위 그림을 Table 3-9-3과 비교하여 살펴보면, 7월과 8월의 표본에서 최우점종인 전어, 9월과 10월의 표본에서 최우점종인 밴댕이 그리고 6월부터 9월사이의 표본에서만 출현한 황복, 6월부터 8월사이의 표본에서만 출현한 청멸 등 출현시기는 6월부터 10월사이로 난수기이고 이 시기에 우점 순위가 높았던 어종이 큰 음의 값을 가졌다. 한편 날개망둑, 송어, 풀망둑 등의 어류는 큰 양의 값을 보였는데, 날개망둑은 저수온기인 4월과 11월에만 출현한 어종으로서 두 조사시기의 표본에서 차지하는 우점 순위는 비교적 높았으며, 송어와 풀망둑은 전 표본에서 계속 출현하였으나 각 표본에서 차지하는 우점 순위는 저수온기인 4월과 11월에 높은 종들이다.

이상의 주성분 분석 결과에서 제 I 성분축은 계절의 변화와 밀접한 관계를 갖는 수온 혹은 이와 관련된 요인들과 관계가 있는 것으로 사료되어 제 I 성분축에 대한 각 표본 단위의 PC score(y)를 각 조사시기에 측정된 수온(x)에 대하여 투영시킨 후 1차 회귀분석을 실시한 결과(Fig. 3-9-9), 다음과 같

Table 3-9-5. Eigen value, variance and cumulative variance of the components determined by principal component analysis of species composition of fishes collected at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998

Component	Eigen value	Variance (%)	Cumulative variance (%)
1	5.15	32.17	32.17
2	3.67	22.94	55.11
3	2.88	17.99	73.11
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
16	0.0	0.0	100.00

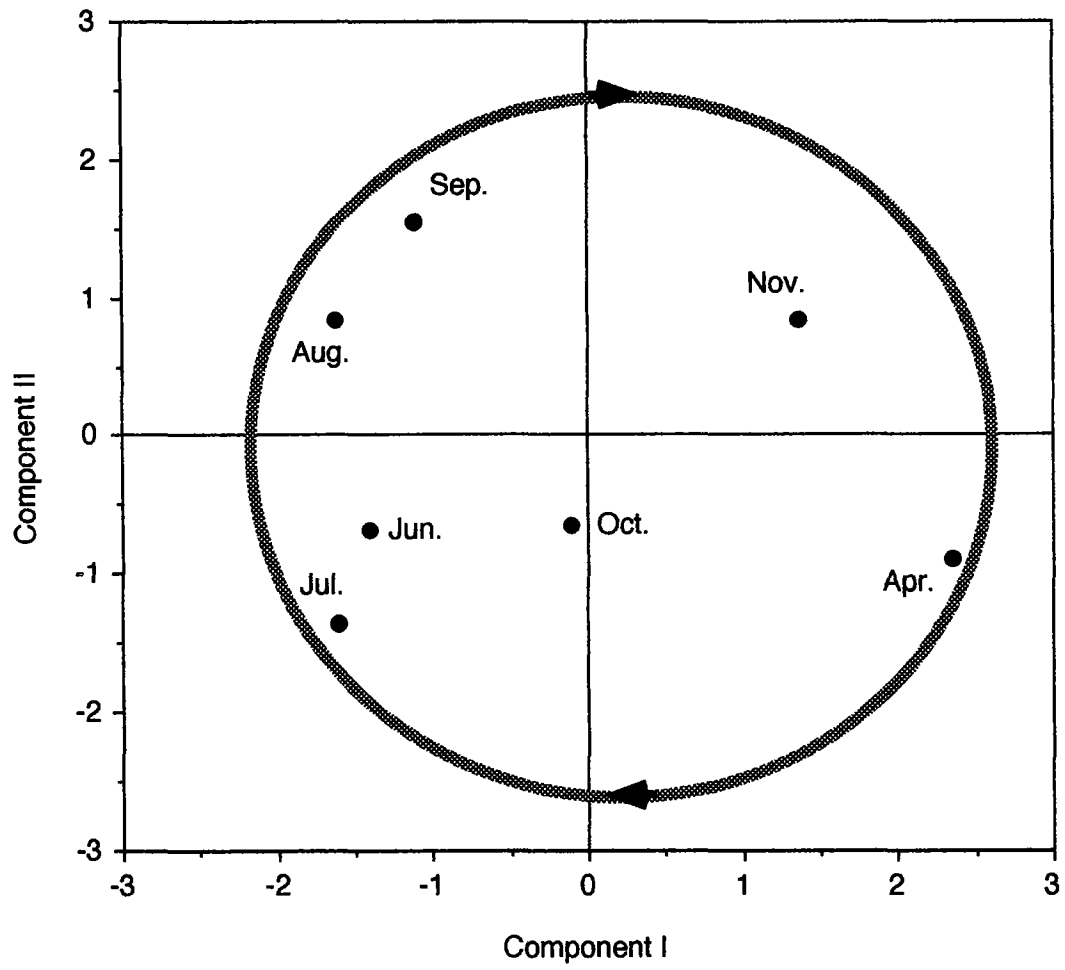


Fig. 3-9-7. Scattered diagram showing the sampling months on the I-II principal component axes determined by principal component analysis of species composition.

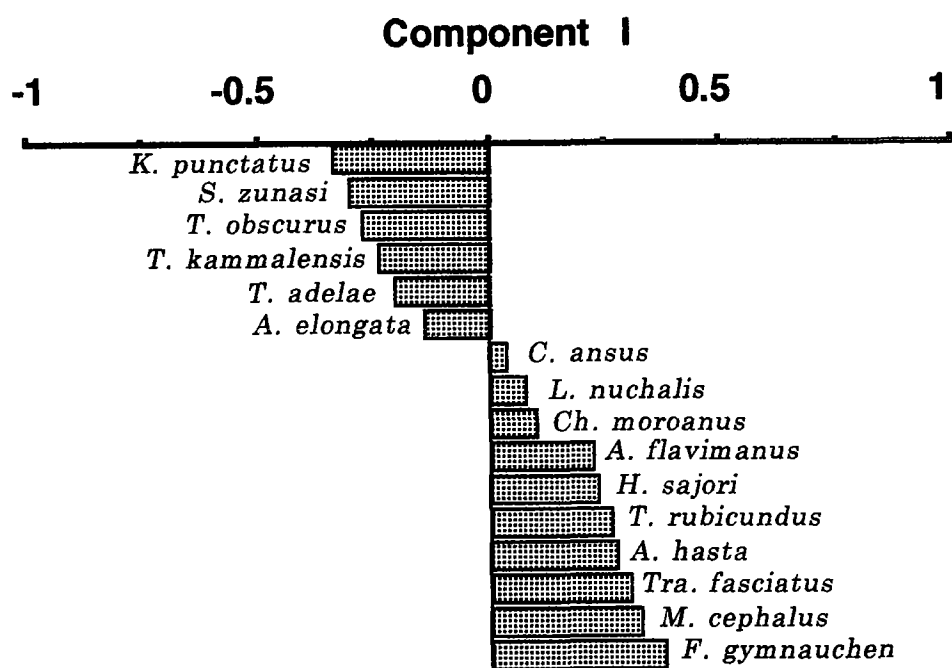


Fig. 3-9-8. Loadings of variables on the first principal component.

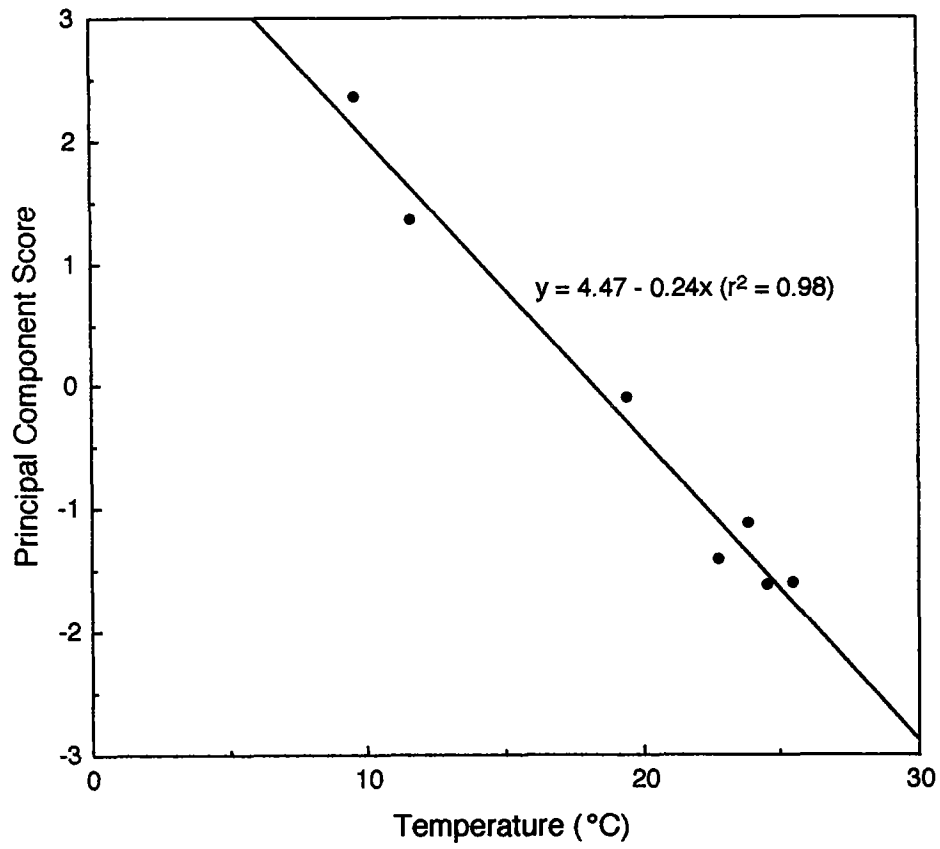


Fig. 3-9-9. Scattered diagram of the first principal component score versus water temperature. The regression was determined by least square fit.

은 관계식이 얻어졌다.

$$y = 4.47 - 0.24x \quad (r^2 = 0.98)$$

위의 결과로부터 제 I 성분축은 수온과 유의한 역의 관계를 갖음을 알 수 있다.

9.3.6. 주요어종의 체장 조성

가. 풀망둑

풀망둑은 매 조사시기마다 출현한 어류로서 조사기간 동안 채집된 전체 어류의 개체수와 생체량에서 각각 20.04%와 54.86%를 차지한 우점 어류이다 (Table 3-9-2, 3-9-3).

채집된 어체의 체장범위는 6.0~50.5cm로 나타났다(Fig. 3-9-10). 월별 체장분포를 살펴보면 4월에는 13.6cm에서 48.0cm까지 연속 체장 범위를 보였으며, 50.5cm의 크기도 1개체 출현하여 조사기간 중 가장 넓은 체장범위를 보였다. 6월에는 4월에 출현하였던 체장 14.1cm이상의 개체는 전혀 출현하지 않고, 체장범위 6.5~14.5cm의 소형 개체들이 출현하였으며 최빈값은 8.1~10.0cm에서 나타났다. 7월에는 최저 체장과 최빈값의 분포는 6월과 차이를 보이지 않았으나 6월에 비해 다소 큰 개체들이 채집되었다. 8월에는 8.2~26.4cm의 체장범위를 보였으며 최빈값은 20.1~22.0cm에서 나타나 6월의 체장 분포와는 큰 차이를 보였다. 9월에 채집된 어류는 최빈값은 8월과 같은 체장 범위(20.1~22.0cm)에서 나타났으나 체장범위 10.1~12.0cm에서 또하나의 작은 피크가 나타나는 bimodal의 분포를 보였으며, 체장범위는 77.9~29.6cm의 범위를 보여 8월의 체장범위에 비해 다소 증가하였다. 10월의 체장범위는 10.0~32.6cm의 범위로 9월에 비해 증가하였으며 최빈값은 16.1~18.0cm와 20.1~22.0cm에서 같은 크기의 값을 보여 9월과 같은 bimodal 분포를 하는 것으로 볼 수 있다. 10월에는 88.2~40.2cm의 체장범위를 나타내어 각 조사시기별 채집된 어류의 체장범위는 6월 이후 계속 증가하는 양상을 보였으며 10

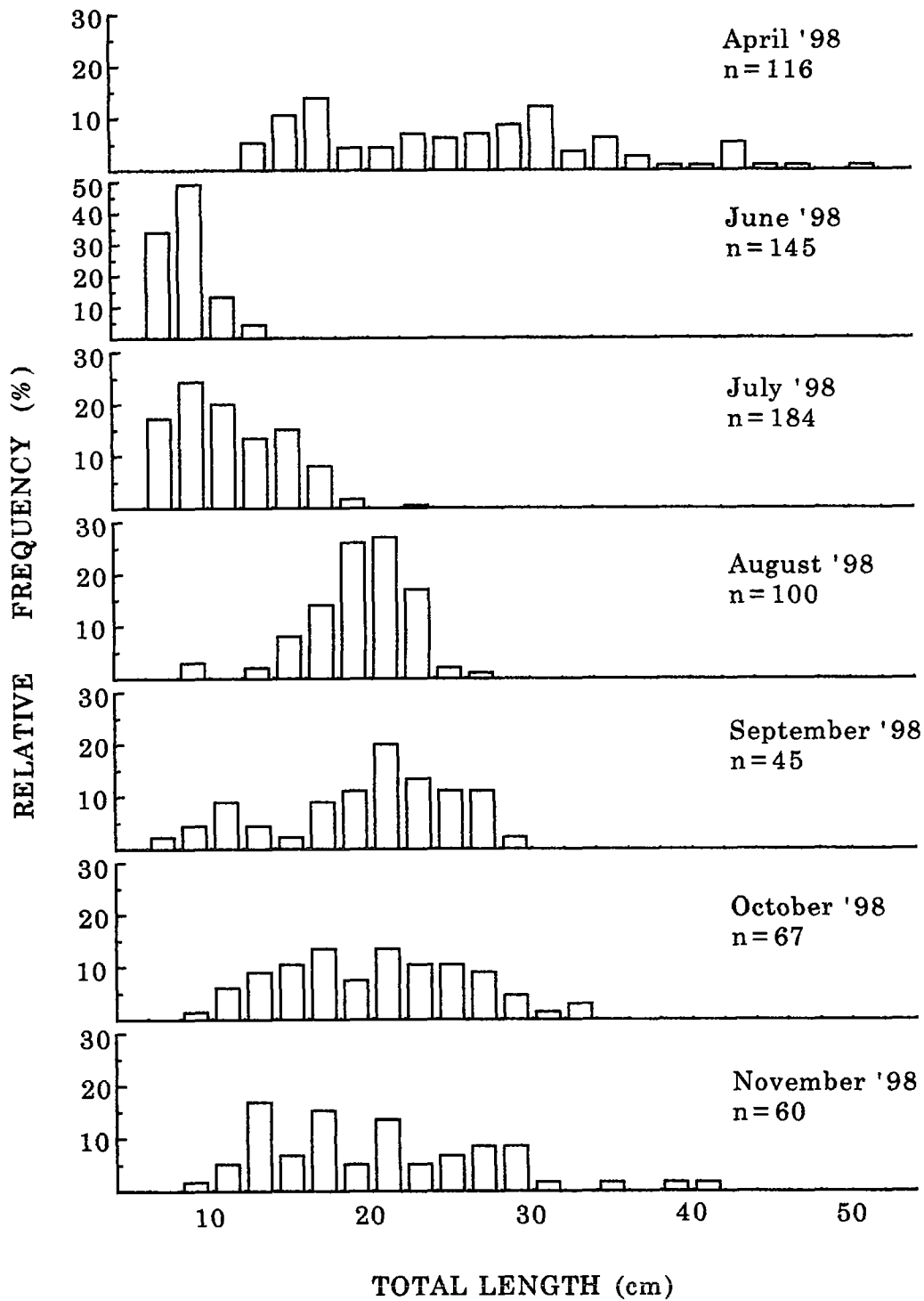


Fig. 3-9-10. Monthly variations of size frequency of *Acanthogobius hasta*.

월의 체장분포는 4월의 체장 분포에 많이 근접한 것을 볼 수 있다.

풀망둑은 내해성 어류로서 우리 나라 서남 연해의 내만과 동해 남부 연해 및 일본, 중국, 자바 등에 분포하며(정, 1977), 한반도 주변에 서식하는 망둑어과 어류 중 크기가 가장 큰 어류로(이 등, 1997a), 성어는 비교적 수심이 깊은 곳에서 서식한다. 2~4월경 성어는 수심이 낮은 연안으로 몰려와 필속에 V자형의 공도(孔道)를 만들어 양쪽에 문을 내고 그 안에 산란하며 산란을 마친 성어는 점점 야위어져 물살에 휩싸여 죽는 것으로 알려져 있다. 알에서 부화한 어린 유어들은 조간대 부근 천해역에서 출현하기 시작하여 늦가을까지 서식한다(임과 이, 1990). 이 등(1997b)이 이석(耳石)을 이용하여 시화호와 그 주변해역에서 채집된 풀망둑(1995년 11월 채집, 체장범위: 10.0~26.0cm)의 연령을 사정한 결과 10~11cm는当年생이었고, 2년생은 20cm를 넘었으며 11.1~19.9cm의 체장 범위를 보이는 개체들은 모두 1년생으로 보고한 바 있다.

이 등(1997b)의 보고와 본 조사에서 채집된 풀망둑의 체장분포를 종합하여 볼 때, 4월에 채집된 개체들은 1년생부터 4년생 혹은 그 이상의 개체가 출현한 것으로 추정되며,当年생은 8월부터 출현하는 것으로 추정된다.

나. 전어

전어는 조사기간 중 4월과 11월을 제외한 전조사시기에 출현한 종으로서, 주로 난수기에 이 해역에 출현량이 높은 종이다(Table 3-9-2, 3-9-3).

체장범위는 3.6~18.7cm 이었으며 각 채집월별 최빈값을 보면 6월이 15~16cm, 7월과 8월은 5~6cm, 9월이 10~11cm, 10월이 15~16cm의 값을 보여 6월에서 7월로 체장이 급격히 감소하였다가 이후 체장이 증가하여 10월에는 6월과 같은 체장 분포를 보였다 (Fig. 3-9-11). 이러한 시간에 따른 체장분포의 변화와 4월과 11월에는 출현이 없는 것으로 보아 11월부터 이듬해 4월까지의 월동을 위해 수심이 깊은 곳으로 이동하였다가 수온이 올라가면서 연안의 천해역으로 몰려와 산란을 하고 어린 유어들은 이곳에서 10월까지 성장하는 것으로 추정된다.

이 어종은 우리나라의 전 연근해와 일본, 중국이남해역, 발해만 및 동중국해

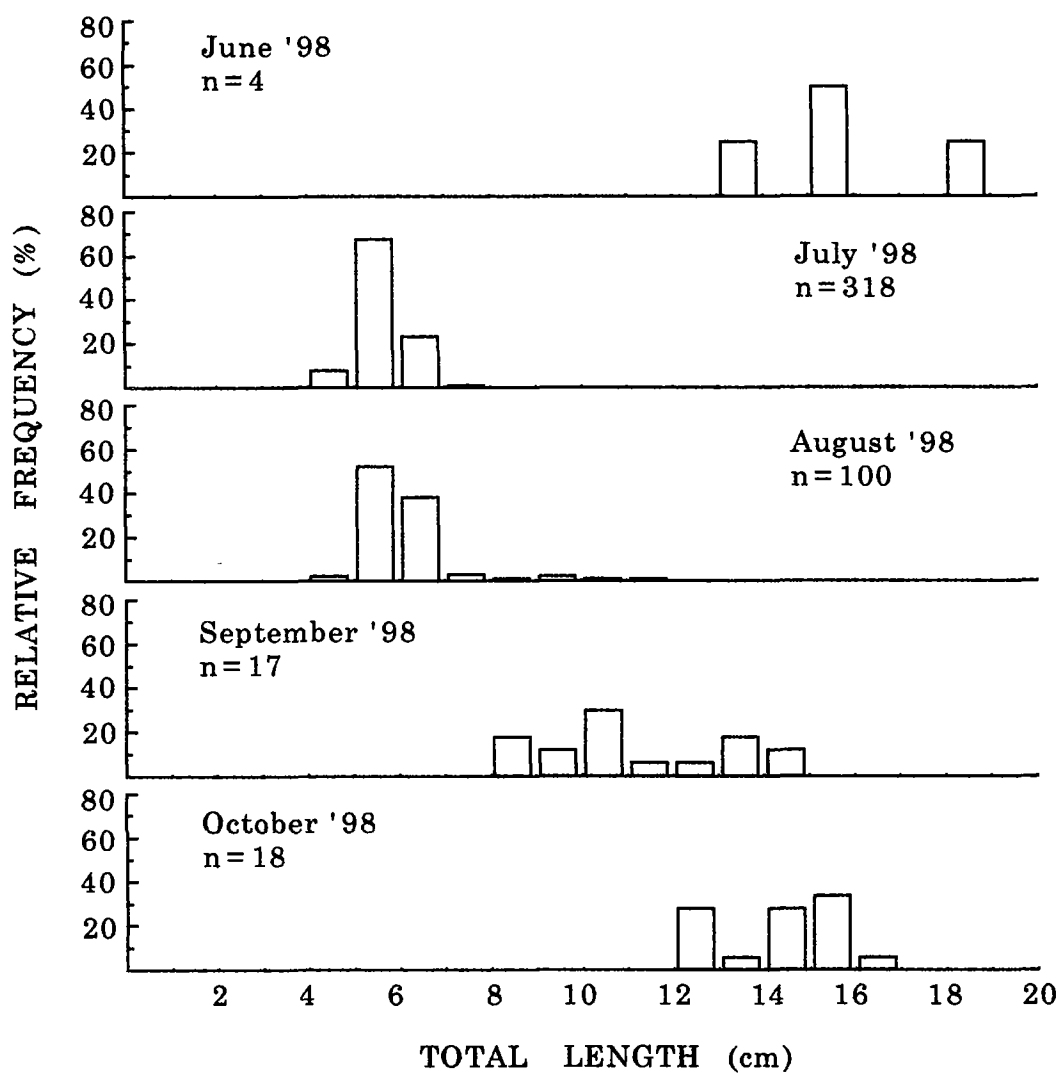


Fig. 3-9-11. Monthly variations of size frequency of *Konosirus punctatus*.

등에 분포하며, 산란기는 3~6월로서 이때가 되면 연안의 내만으로 떼를 지어 물러와 산란하고 만 1년이 되면 성숙하여 산란군에 가입한다(정, 1977). 한반도 주변 전어의 생태에 관한 자료는 내만의 어류군집 연구에서 보고된 정도로서 Lee (1983)에 의하면 천수만 전어는 외해에서 월동하고 5월부터 내만으로 물러와 산란하고 어린 유어들은 늦가을 수온이 8℃ 이하로 내려 갈 때까지 성장하는 것으로 보고하였는데, 본 조사해역에서도 이와 유사한 경향을 보였다.

다. 밴댕이

밴댕이는 조사기간 중 6월부터 10월사이에만 출현하였으며, 출현한 어류가운데 개체수와 생체량에서 각각 23.9%, 7.4%를 차지한 종이였다(Table 3-9-2, 3-9-3).

채집된 어체의 체장은 3.0~14.0cm의 범위를 보였다(Fig. 3-9-12). 월별 체장 분포의 변화를 보면, 6월의 체장범위는 8.5~14.0cm, 최빈값은 10.5~11.0cm를 보였으며 두 개의 모드가 나타났다. 7월에는 체장범위 3.0~4.0cm의 당년생과 9.5~12.5cm의 성어 구름이 같이 출현하여 체장범위가 3.0~12.5cm로 조사기간 중 가장 넓었으며 최빈값은 10.0~10.5cm에서 나타났다. 8월에는 5.5~6.0cm에 2마리, 7.0~7.5cm와 10.0~10.5cm에 각각 1마리씩 출현하여 5.5~10.5cm의 체장범위를 보였다. 9월에는 체장범위와 최빈값이 각각 6.0~11.0cm와 8.0~8.5cm의 범위로 나타났다. 10월에는 체장범위가 6.0~10.5cm로 9월과 비슷하였으나, 최빈값은 7.0~7.5cm로 감소하였다.

이 어종은 우리나라의 서남 해안과 일본 북해도 이남 그리고 동남아시아 등에 분포하며 바깥바다와 면해 있는 연안 또는 내만의 모래바닥에 주로 서식하며, 경우에 따라서는 강의 하구부근까지 올라가는 것으로 알려져 있다(정, 1977). 동물성플랑크톤을 주로 잡아먹고 사는 육식성 어종으로 4월에서 9월사이 내만에서 부유성 알을 낳는다.

1995년 11월에 시화호와 시화호 외해에서 채집된 개체의 체장범위는 8.0~13.8cm로, 9.0~11.0cm인 개체가 대부분을 차지하였고, 당년생들이었다(이동, 1977b). 천수만의 경우 밴댕이는 외해에서 월동한 후 수온이 10℃이상 되면 전어보다 약간 늦게 내만으로 들어온다(Gil and Lee, 1986). 천수만의 경

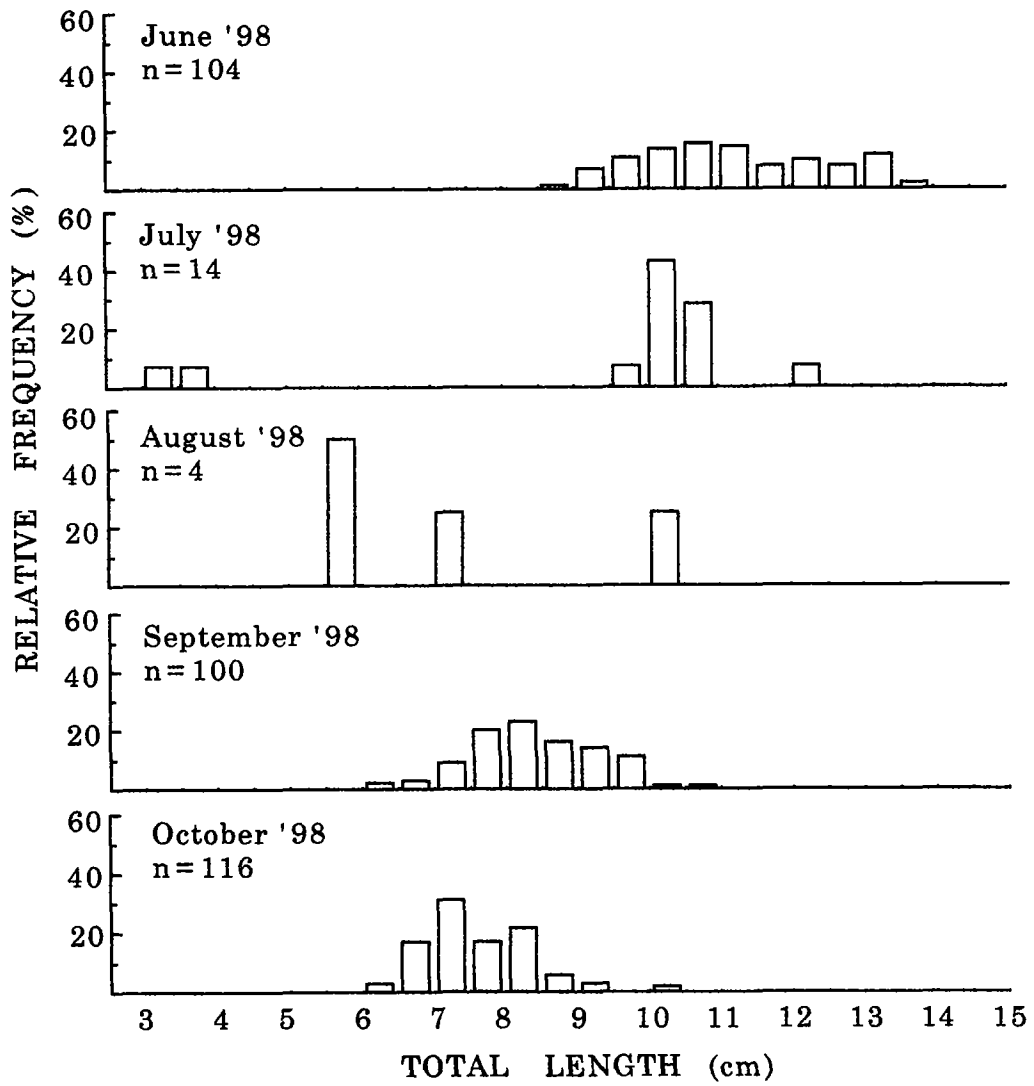


Fig. 3-9-12. Monthly variations of size frequency of *Sardinella zunasi*

우 우점 어류이며, 유어들은 가을에 월동을 위하여 외해로 이동할 때까지 내만에 머물며, 당년에 태어난 밴댕이는 11월에 미체장이 5.0~11.1cm에 이르는 것으로 알려져 있다. 본 조사에서는 11월에 채집된 개체는 없었으나 10월에 채집된 개체의 체장범위가 6.0~10.5cm로, 위의 연구 결과들과 성장률에 있어 큰 차이를 보이지 않았다.

라. 승어

전 조사기간 동안 계속 출현한 종으로서 출현한 어류 가운데 개체수에서 차지하는 비율은 2.9%로 낮았으나, 생체량에서는 28.3%를 차지하여 플랑크톤 다음으로 우점도가 큰 어류이다(Table 3-9-2, 3-9-3).

채집된 어체의 체장범위는 2.6~61.0cm로 출현한 어류 가운데 체장범위가 가장 넓으며 크기가 가장 큰 종이였다(Fig. 3-9-13). 월별 체장 분포의 변화를 보면 4월에는 6.0~61.0cm의 체장범위로 저연령어부터 고연령어까지 출현하여 조사기간 중 체장범위가 가장 넓었다. 6월에는 18.0~52.0cm의 체장범위에 최빈값은 20~22cm 범위에서 나타났으며, 소형군에 비해 대형군의 비율이 높았다. 7월에는 당년에 태어난 4cm이하의 어린 개체가 출현하였고, 6월까지 출현하였던 34cm이상의 개체는 전혀 출현하지 않아 체장범위는 2.6~34.0cm이고 최빈값은 2.0~4.0cm에서 나타났다. 8월부터 11월 사이에 채집된 개체는 대부분 당년생들로 추정되며 1년생 혹은 그 이상의 연령을 가진 개체는 소수 개체만이 출현하였다.

이 어종은 우리 나라 전 연안과 일본, 중국 등에 분포하며 주 서식지는 내만역으로서 어린 새끼는 하천의 담수역까지 이동하여 서식하다가 체장 25cm내외로 자라면 바다로 내려가는 것으로 알려져 있다(정, 1977). 산란기인 10~12월에 외양으로 나가고 봄이 되면 연안으로 이동한다. 산란장은 쿠로시오 난류의 영향을 직접 받는 외해 또는 외해에 면한 깊은 곳이다. 먹이생물로서는 작은 어류나 오징어류를 주로 섭식하고, 그 외에 새우류, 게류 등도 섭식한다. 성장은 비교적 빠른 편으로 부화 후 만 1년이면 체장 12~18cm, 2년이면 25~30cm, 3년이면 40~45cm에 이르고, 4~5년에는 50cm까지 성장하는 것으로 알려져 있다.

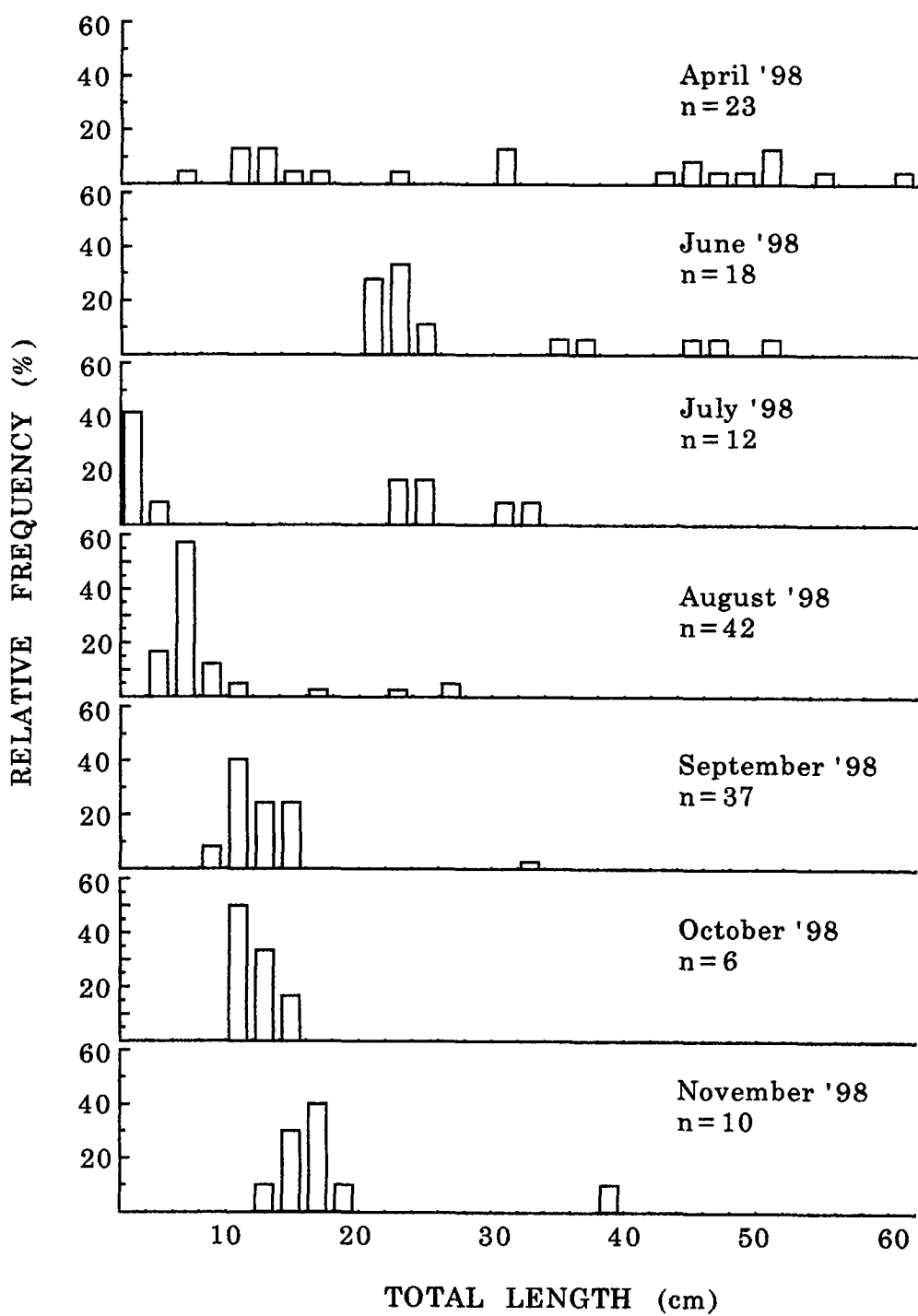


Fig. 3-9-13. Monthly variations of size frequency of *Mugil cephalus*.

이상을 종합하여 볼 때, 본 조사해역에서 4월에 채집된 개체는 5년생이 넘는 것으로 추정되며, 8월에 체장범위 16.0~18.0cm에 출현한 1마리를 제외하면 7월부터 11월 사이에 채집된 체장 20cm이하의 개체는 모두 당해연도에 태어난 것으로 추정된다.

이 밖의 어류들의 체장분포는 종별 총출현개체수가 1~64개체로 적어 출현 시기에 관계 없이 Fig. 3-9-14에 나타내었다. Fig. 3-9-14에서 풀망둑, 송어, 전어, 밴댕이 등의 어류를 제외하면, 개소갱(8~36cm), 걱정이(4~16cm), 웅어(12~32cm), 학공치(12~20cm), 풀반댕이(4~20cm) 등의 어류에서 비교적 체장이 큰 개체가 출현하였고, 나머지 어류들은 12cm이하의 소형 개체들만이 출현하였다.

한편, 채집된 어류의 체중분포를 보면(Fig. 3-9-15), 대부분 10g이하의 개체들이고 풀망둑과 송어에서 체중 100g이상의 어류가 출현하였으나 구성비에서는 적었다. 어종별 체중 범위를 보면, 송어가 1,800g까지 출현하여 체중 범위가 가장 컸고, 다음으로 풀망둑이 380g까지 출현하여 이 두 어류가 대형어로 나타났으며, 그 밖의 어종들에서는 체중 100g 이하의 개체들만이 출현하였다.

9.3.7. 섭식 형태

출현한 어류를 섭식 형태별로 구분하면(Table 3-9-6), 육식성 어류(carnivorous fish), 플랑크톤 섭식자(plankton feeder), 잡식성 어류(omnivorous fish), 저서생물 섭식자(benthic feeder) 등 4구로 구분되었다. 육식성 어류에는 왜풀망둑, 문절망둑, 풀망둑, 얼룩망둑, 날개망둑, 아작망둑, 두줄망둑, 개소갱 등 망둑어과 어류와 황강달이, 학공치, 조피볼락, 황복 등의 어류가 포함되었으며, 플랑크톤 섭식자에는 전어, 밴댕이, 풀반댕이, 청멸 등 청어목어류와 웅어, 주둥치, 걱정이 등이 포함되었고, 잡식성 어류로는 송어가 저서생물 섭식자에는 담수어인 붕어가 출현하였다.

섭식 형태별 구성비율을 보면 종수의 경우, 육식성 어류가 54.6%(12종)를 차지하였고, 플랑크톤 섭식자가 31.8%(7종)를 차지하였으며, 잡식성 어류와 저서생물 섭식자에는 1종씩 출현하여 구성비율은 각각 4.6%였다. 개체수의 경

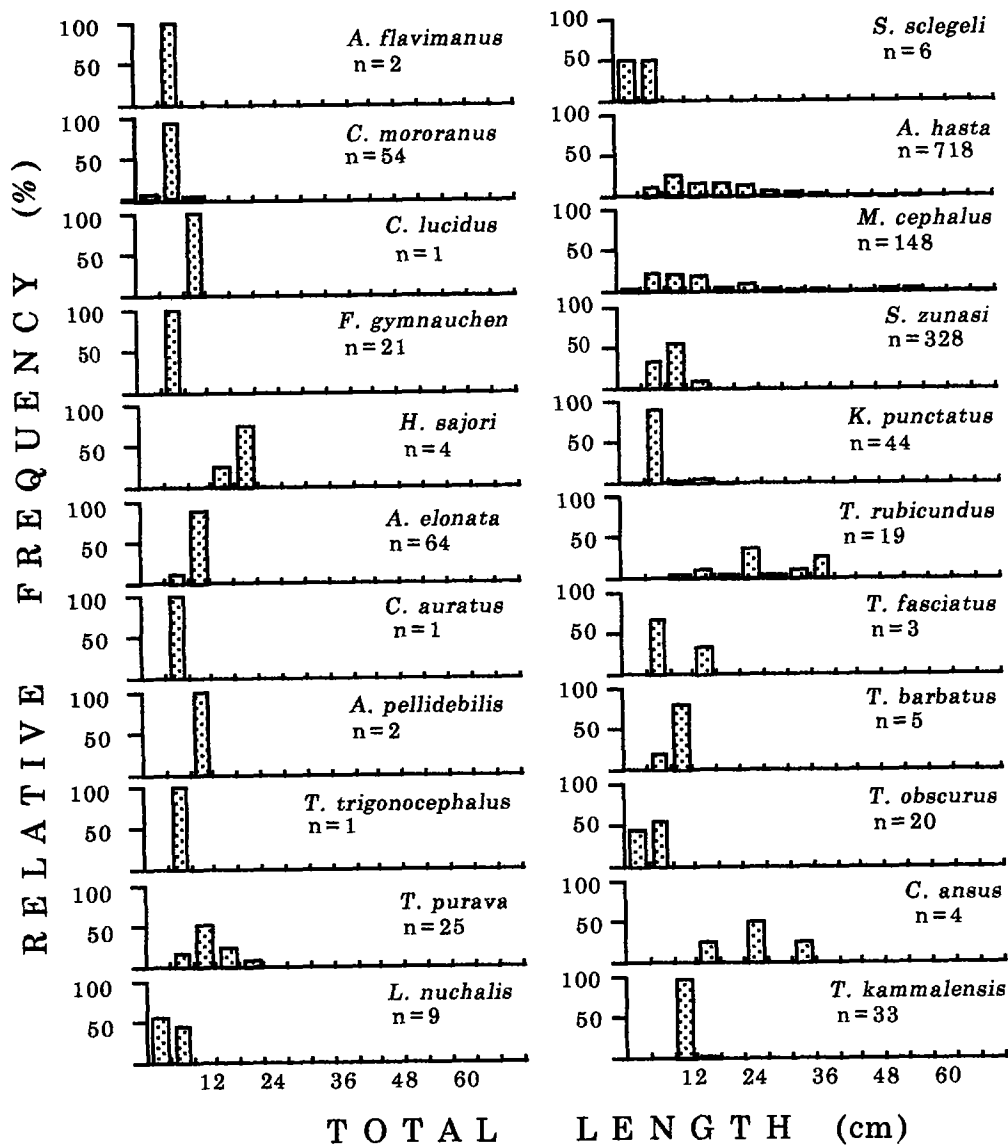


Fig. 3-9-14. Total length distributions of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998.

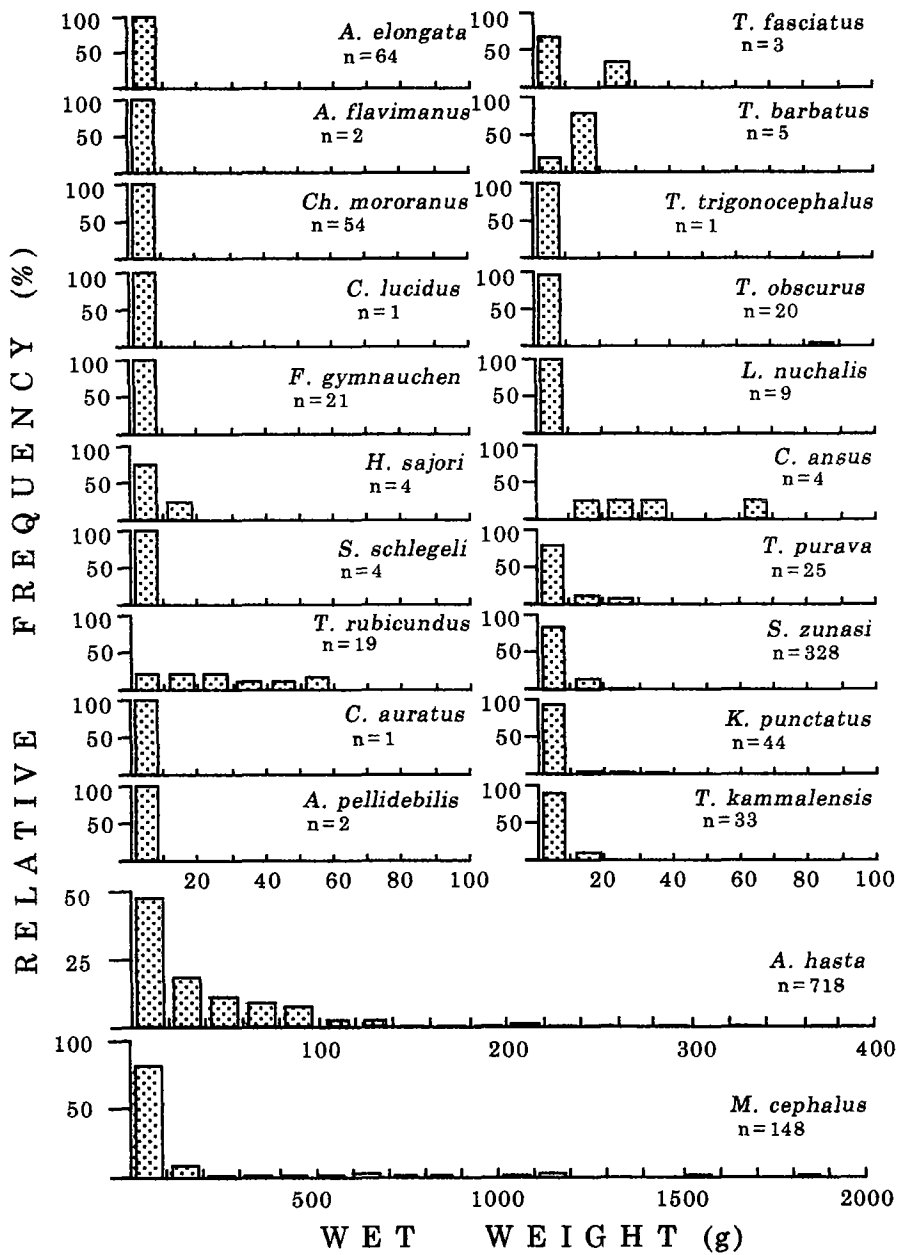


Fig. 3-9-15. Biomass distributions of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1998.

Table 3-9-6. Feeding type composition of fishes collected by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado from April to November in 1988

Feeding type	Species	No. of species	Fish number	Biomass (g)
Carnivorous fish	<i>Acanthogobius elongata</i>			
	<i>Acanthogobius flavimanus</i>			
	<i>Acanthogobius hasta</i>			
	<i>Chaenogobius moroanus</i>			
	<i>Collichthys lucidus</i>			
	<i>Favonigobius gymnauchen</i>			
	<i>Hyporhamphus sajori</i>	12	1,221	39,693.6
	<i>Sebastes schlegeli</i>			
	<i>Taenioides rubicundus</i>			
	<i>Takifugu obscurus</i>			
	<i>Tridentiger barbatus</i>			
	<i>Tridentiger trigonocephalus</i>			
Plankton feeder	<i>Coilia ansus</i>			
	<i>Konosirus punctatus</i>			
	<i>Leiognathus nuchalis</i>			
	<i>Sardinella zunasi</i>	7	3,712	10,790.3
	<i>Thrissa adelae</i>			
	<i>Thryssa kammalensis</i>			
	<i>Trachidermus fasciatus</i>			
Omnivorous fish	<i>Mugil cephalus</i>	1	148	9,899.8
Benthic feeder	<i>Carassius auratus</i>	1	1	10.0
Unidentified	<i>Acanthogobius pellidebilis</i>	1	2	6.1

우, 플랑크톤 섭식자가 73.0%(3,712개체)의 구성비를 보였으며, 육식성 어류는 24.0%(1,221개체)를, 잡식성 어류는 2.9%(148개체)를, 그리고 저서생물 섭식자는 0.02%(1개체)를 보였다. 생체량의 경우, 육식성 어류가 65.7%(39,693.6g)로 가장 높은 구성비를 보였고, 플랑크톤 섭식자가 17.9% (10,790.8g)를 점유하였고, 잡식성 어류가 16.4%(9,899.8g)의 구성비가 나타났다. 그리고 저서생물 섭식자는 0.02%(10.0g)를 보였다.

섭식 유형에 따른 출현종수의 계절변화는 Fig. 3-9-16와 같다. Fig. 3-9-16에서 육식성 어류는 조사 기간 동안 계속 출현하였으며, 7월에 6종이 출현하였고 그 밖의 조사시기에는 5종씩 출현하였다. 플랑크톤 섭식자는 6월부터 10월사이에만 출현하였으며, 6월에 4종이 출현하였고 7월에 6종으로 증가하였다가 8, 9월에 5종으로 감소하였고 10월에 4종으로 감소하여 6월과 같은 수준이었다. 잡식성 어류에는 1종이 조사기간 동안 연속 출현하였다. 저서생물 섭식자는 4월에 1종이 출현하였다.

섭식 유형에 따른 계절별 개체수의 변동을 보면(Fig. 3-9-17), 플랑크톤 섭식자는 6월(132개체)에 가장 적게 출현하였으며 7월(351개체)에 약간 증가하였고, 8월(2,061개체)에 전어 유어의 대량 유입으로 급격히 상승하여 최대치를 보였다가 9월(278개체)에 전어의 급격한 출현량 감소로 감소하였다가 10월(890개체)에 밴댕이 유어의 가입으로 다시 증가하였다. 육식성 어류는 플랑크톤의 출현 개체수가 다소 높았던 4월부터 8월사이에 168~290개체의 범위를 보여 플랑크톤의 출현 개체수가 적었던 9월부터 11월사이에 채집된 60~79개체에 비하여 높았다. 송어 1종이 출현한 잡식성 어류는 Fig. 3-9-13과 비교하여 보면, 대형어들이 출현한 4월에 23개체가 채집되었고 6월(18개체), 7월(12개체)로 감소하였다가 8월(42개체)에 가장 많이 출현하였다. 이후 9월(37개체), 10월(6개체)로 감소하였다가 11월(10개체)에 약간 증가하였다. 저서생물 섭식자는 4월에 1개체만이 출현하였다.

생체량의 경우(Fig. 3-9-18), 전 조사기간 동안 계속 출현한 육식성과 잡식성은 시기에 따라 큰 폭으로 변하였으며, 6월부터 10월 사이에 출현한 플랑크톤 섭식자도 시기에 따라 다소 변동하였다. 육식성 어류의 생체량은 4월과 8월에 각각 11,554.4g, 12,904.0g으로 높았고, 그밖의 조사시기에는 973.1~3,516g의 체중 범위로 소폭으로 변동하였다. 송어 1종만이 출현한 잡식성 어

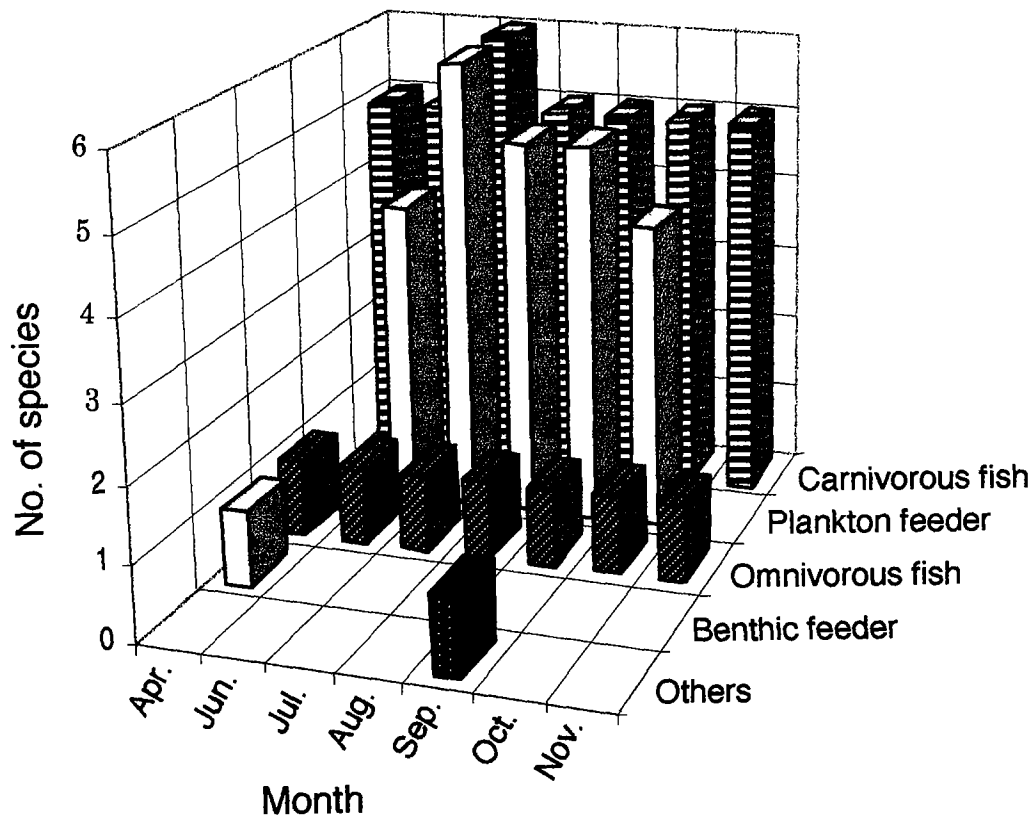


Fig. 3-9-16. Monthly variations of number of species by feeding type at the southern tidal flat in Kanghwado.

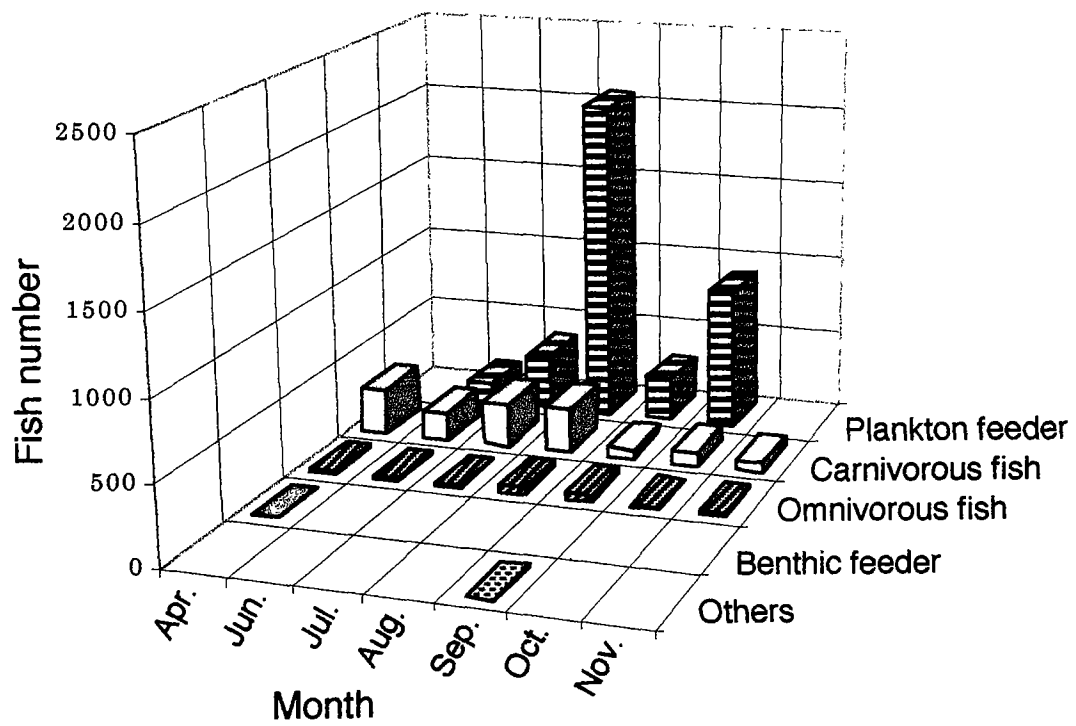


Fig. 3-9-17. Monthly variations of fish numbers by feeding type at the southern tidal flat in Kanghwado.

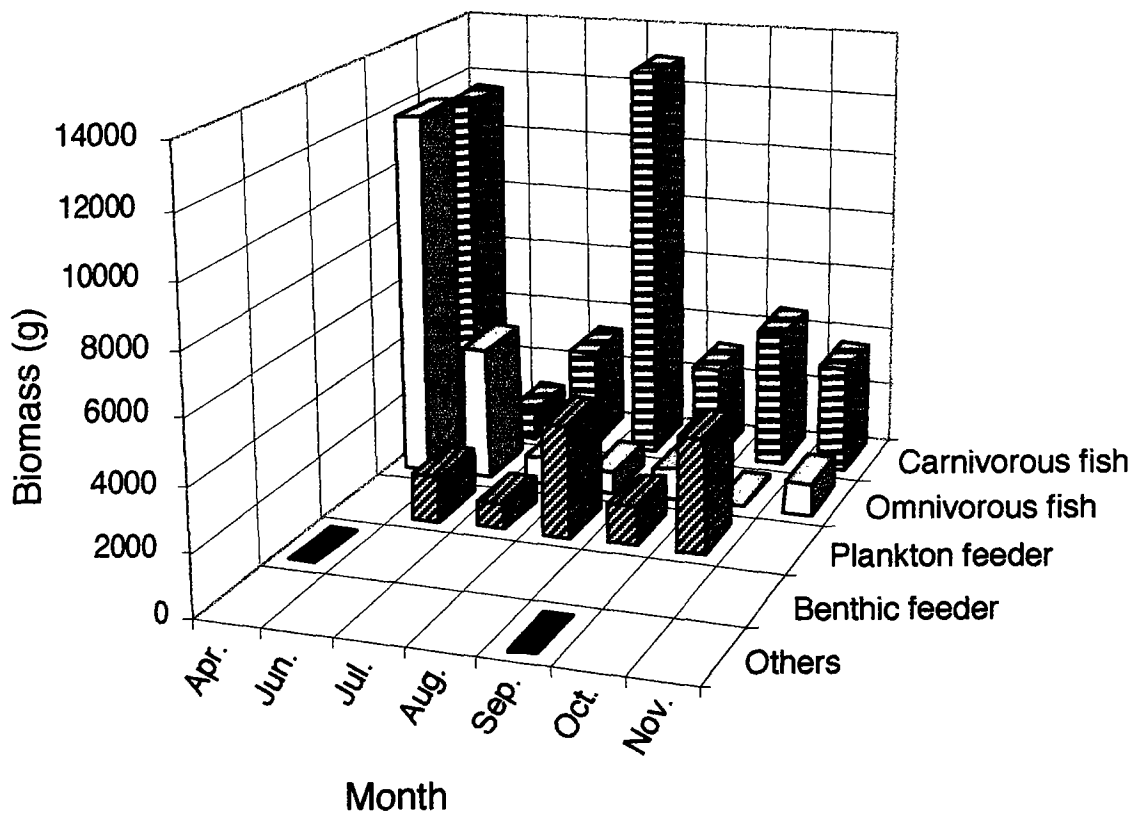


Fig. 3-9-18. Monthly variations of biomass by feeding type at the southern tidal flat in Kanghwado.

류는 대형어가 출현한 4월에 11,935.8g으로 가장 높았고, 6월, 7월, 8월로 가면서 감소하였으며, 이후 10월에 최저치(94.5g)를 보이면서 증감을 반복하였다. 난수기에만 출현한 플랑크톤 섭식자는 전어 유어가 대량으로 가입된 8월(3,604.4g)과 밴댕이 유어가 대량으로 가입된 10월(3,618.6g)에 비교적 높았다.

9.3.8. 어획량

건간망의 어기 중 본 조사 기간 이외의 기간 동안 어획량을 파악하기 위하여 본 조사의 10월 26일(어획량: 8,193.1g)과 11월 26일(어획량: 4,485.6g)사이의 일일 어획량 변화율은 일정하다고 가정하고 일일 어획량 변화량을 계산하면 -120g day^{-1} 가 된다. 이와 같이 추정된 일일 어획량 변화량은 조업 마지막 날로 본 11월 30일까지 이어지는 것으로 보면, 이날의 어획량은 $3,887.6\text{g day}^{-1}$ 이 된다. 이 수치는 이후부터 변화가 없다가 이듬해 2월 1일부터 본조사의 4월 13일까지 일정하게 증가한다는 가정하에 이 기간의 일일 어획량 변화량을 계산하면, 276.2g day^{-1} 이 된다. 이 수치를 이용하여 조업 시작일인 3월 1일의 어획량을 산출하면 $11,898.4\text{g day}^{-1}$ 이 된다. 이와 같이 추정된 어획량 자료와 본 조사의 자료를 Julian date를 x축으로, 일일 어획량을 Y축으로 하는 좌표상에 나타내고 각점을 직선으로 연결하여 이 선 아래의 면적을 계산하면 건간망 어구 1틀당 연간 총어획량이 산출된다(Fig. 3-9-19). 산출된 연간 총어획량은 약 3.2톤/틀으로 조업 기간 중 일일 평균 어획량은 약 11.6kg/일이 된다. 한편, 조사 해역의 건간망 어업 허가 건수는 총 61건으로 알려져 있으며(한국해양연구소, 1998), 건당 1틀씩 모두 조업을 할 경우 연간 총어획량은 약 195.2톤에 이를 것으로 예상된다. 이 예상어획량은 갯벌의 단위 면적으로 환산하면 약 2.2g m^{-2} 이 된다. 조사해역의 갯벌에서 영위되는 어업의 종류에는 건간망외 여러 종류가 있음을 고려하고, 어획량은 서식 자원량의 일부임을 고려할 때, 강화도 갯벌에 서식하는 어류 자원량은 2.2g m^{-2} 보다는 훨씬 많을 것으로 추정된다.

9.4. 고찰

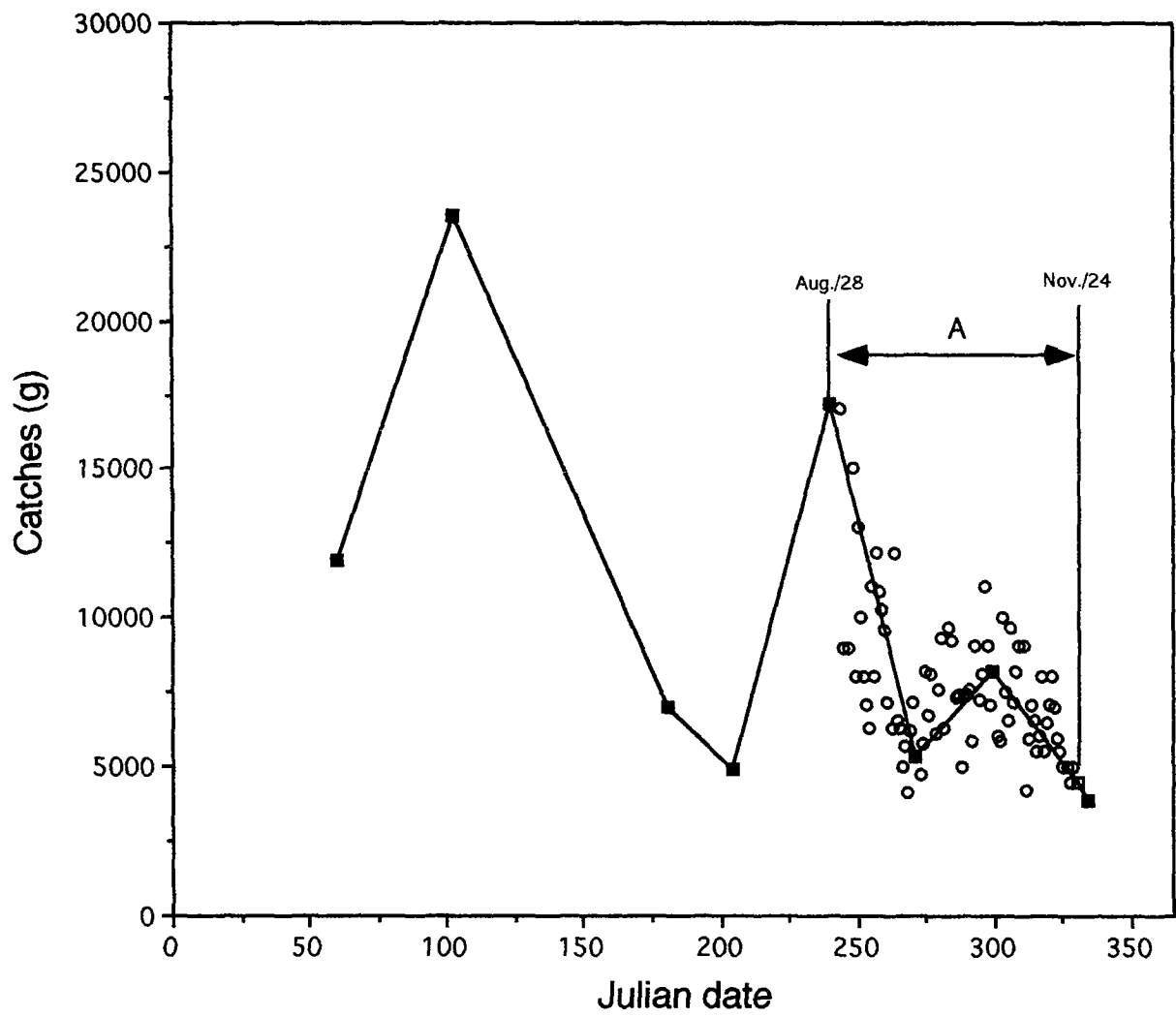


Fig. 3-9-19. Daily and monthly variations of catches caught by a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado.

9.4.1. 군집 조성

어류는 서식처에 따라 저서성 어류(demersal fish)와 부영성 어류(pelagic fish)로 대별된다. 이들 어류는 이동력이 있어 적합한 환경을 찾아 계속 이동하여 채집 기기에 대한 도피율이 크고, 자연상태에서 시간과 공간에 따른 분포가 계속 변하기 때문에, 한 해역의 어류군집을 조사하기 위해서는 적합한 채집 기기의 선정이 필요하다. 저서성 어류는 부영성 어류에 비해 이동력이 약하기 때문에 비교적 정량채집이 용이한 편으로(이, 1989), 환경영향 평가를 위한 조사나 인위적 환경변화가 어류군집에 미치는 영향을 파악하기 위한 조사에서 주 대상이 되었으며, 채집 기기로서는 정량적 채집이 가능한 저인망(otter trawl)이 사용되었다(이, 1989; 이, 1991; 이와 김, 1992; 이, 1993a; 이, 1993b; 이와 황, 1995; 이, 1996). 부영성 어류 연구는 천수만에서 이와 석(1984)이 소형 정치망을 이용하였다. 이들 채집 기기로는 채집이 불가능한 수심이 아주 얇은 천해역에서는 beam trawl(황, 1999)이, 조간대 천해역에서는 beach seine(이와 석, 1984; 신과 이, 1990; 임과 이, 1990; 문, 1997; 이 등, 1997a) 등이 주로 사용되었다.

본 연구의 시료 채집에 사용된 건간망은 조석간만의 차가 큰 해역에서 간조시 바닥이 공기중에 노출되거나 수심이 아주 얇아지는 곳에 고정목을 박아 그물은 쳐 놓았다가 밀물 때 조류를 따라 들어온 대상물이 썰물 때 갇히도록 하여 잡는 수동어구로서, 이 어구에 대한 어류의 도피율과 망목의 선택성은 잘 알려져 있지 않다. 그러나 본 연구에 사용된 건간망은 폭이 2,000m나 되는 대형 어구로서 조사해역인 강화도 남단 갯벌조간대의 어류군집의 특성을 파악하기에는 무리가 없는 것으로 판단된다.

조사기간 중 본 연구해역에서 출현한 22종의 어류는 망둑어과 어류와 같이 연안과 내만의 기수역 등에서 바닥 가까이에 머물며 생활하는 저어류와 청어목어류, 송어, 학공치 등과 같은 부어류가 주를 이루었다. 저어류와 부어류의 구분이 명확하지 않은 종도 출현하였으나 채집량은 많지 않았으며, 담수어인 붕어도 출현하였다.

망둑어과(Gobiidae) 어류는 농어목(Perciformes)에 해당하는 어류로 어류

가운데 가장 큰 분류군(Nelson, 1984)으로, 연안과 내만의 기수역 등에 흔히 서식하는 소형 저서성 어류로서, 이 지역 생태계의 영양단계에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(Takagi, 1966). 한국산 망둑어아과(subfamily gobiinae)에는 20속 33종이 알려져 있으며(Kim *et al.*, 1987), 한반도 연안역에서 trawl (이, 1989; 이, 1991; 이와 김, 1992; 이, 1993a,b; 이와 황, 1995; 이 1996)이나 beach seine (이와 석, 1984, 임과 이, 1990; 신과 이, 1990; 문, 1997; 이 등, 1997a)을 이용하여 수행된 어류군집구조 연구에서 거의 대부분 망둑어과 어류의 출현이 보고되었다. 특히, 조간대 천해역에서 수행된 연구 가운데 저질이 펄질인 천수만 남당리 갯벌조간대에서 우점어류는 얼룩망둑(84.0%)이었으며(이 등, 1995), 저질이 모래질인 대천 해빈(이 등, 1997a)과 모래와 펄로 구성된 아산만 입화도 조간대(황, 1999)에서는 날개망둑이 각각 34.4%와 55.7%를 차지하여 우점하였다. 본 연구해역에서도 11개의 분류군 중 망둑어과가 가장 큰 분류군으로서 연안역의 어류군집에 매우 중요한 분류군임을 알 수 있으며 특히, 풀망둑은 전 채집어류의 개체수와 생체량에서 각각 20.04%와 54.86%를 차지하는 종으로 이해역의 생태계에 중요한 종으로 판단된다.

청어목 어류는 외해에서 월동하고 봄에 내만으로 몰려와 산란하는 어류이며, 가을에 수온이 낮아지면 월동을 위해 외해로 회유하는 어류들이다(Lee and Seok, 1984).

본 조사해역에서 우점종은 시간에 따라 변하였으며, 소수종에 의한 우점도가 높은 것이 특징적이었다. 만과 하구와 같은 연안의 천해역은 생물생산이 높아 먹이가 풍부하고 포식자로부터 보호될 수 있는 환경임에도 불구하고 수온이나 염분을 비롯한 생태요인의 시공간적 변화가 크다. 따라서 이런 환경에 적응한 소수종이 계절에 따라 우점하는 것으로 알려져 있는데(Allen and horn, 1975; Headrich and Hall, 1976; Allen, 1982), 본 조사 결과도 이에 잘 부합되었다. 이 해역은 수온의 계절변화가 크고(Fig. 3-9-3), 조석 간만의 차가 최대 9.5m(한국해양연구소, 1998)이르는 해역으로 조류의 속도가 강한 편으로 조류에 의한 수직혼합이 활발하여 탁도도 높다. 또한 본 조사해역인 강화도 남단 갯벌 조간대는 한강수의 영향을 직접적으로 받는 곳인데, 이 한강수에 필연적으로 수반되는 오염물질은 어류에 저해요인으로 작용할 수 있고

담수는 특히, 천해어류에 있어 일시적으로나마 직접적인 충격을 줄 수 있다. 이처럼 본 조사 해역에서는 이러한 환경에 적응한 소수종의 우점도가 높은 것으로 판단된다.

계절에 따른 출현종수의 변화는 수온이 낮은 4월과 11월에 각각 7종, 6종으로 낮은 반면 난수기인 6월부터 10월사이에는 10~13종으로 높았다. 개체수의 변화에서는 4월부터 7월까지 소폭으로 증가하다가 7월에서 8월로 가면서 전어 유어의 대량 유입으로 급격히 증가하였다가 9월에는 이들의 출현량이 감소하여 7월 수준 이하로 급격한 감소를 보였고 10월에 다시 증가하였다가 11월에 조사기간 중 최저치를 보였다. 그러나 전체적인 변화 경향은 종수의 변화와 유사하였다. 생체량의 변화를 보면 위의 두 요인의 변동과는 달라 풀망둑과 송어에서 대형개체의 비율이 높았던 4월에 가장 높았으며 이후 위 두 어류의 대형어 출현이 점차 감소하면서 감소하는 경향을 보이다가 7월 이후에는 개체수의 변동과 같은 경향을 보였다. 채집기간이 4월부터 11월까지로 조사수역의 어류군집 계절변동을 논의 하기에는 충분하지 않으나, 종수와 개체수의 변동은 난수기에 높고 냉수기에 낮은 전형적인 온대해역의 계절변동을 보였고, 생체량은 조사시기에 따라 변동하여 뚜렷한 계절적 경향을 보이지 않았다. 봄이 되면 외해에서 월동한 주거종과 회유종들의 성어가 이 해역으로 몰려오고 부화된 어린 유어들은 이곳의 생태적 잇점을 이용하며 살아가기 때문에 난수기에 출현종수도 증가하고 개체수의 밀도도 높아진 것으로 판단된다.

이 해역의 시간(월별 변동)에 따른 군집구조는 주성분 분석의 제 1 성분축 상에서 난수기의 표본은 큰 음의 값쪽으로 저수온기의 표본은 큰 양의 값쪽으로 구분되어 저수온기와 고수온기 사이에는 큰 차이가 있는 것으로 나타났으며, 저수온기나 고수온기 내 인접 월사이에서도 시간에 따라 뚜렷한 차이를 보이면서 전체적인 군집구조는 시계방향으로의 변화를 보였다(Fig. 3-9-7). 제 I 성분축에 대한 각 표본단위에 가중치를 준 loadings 값에서 전어, 밴댕이, 황복, 청멸 등 출현시기가 6월부터 10월 사이로 난수기이며, 이 시기에 우점 순위가 높았던 종들이 큰 음의 값을 가졌고 전 조사시기에 계속 출현하였으나 수온이 낮은 4월과 11월에 우점 순위가 높았던 송어와 풀망둑이 큰 양의 가중치를 준 것과 제 I 성분축에 대한 각 표본 단위의 PC score와 수온 사이에는 유의한 관계($r^2 = 0.98$)를 갖는 것을 고려할 때, 본 연구해역의 어류

군집구조는 시간에 따라 점진적인 변화를 보이면서 냉수기와 난수기 사이에 큰 차이가 있는 것은 수온이나 혹은 이와 관련된 계절적 요인이 주된 요인으로 판단된다. 이와 같이 수온이 내만이나 연안의 어류군집구조 변화에 영향을 주는 요인이 된다는 것은 다른 연구결과에서도 보고된 바 있다(이, 1993; 이와 황, 1995; 황, 1999).

9.4.2. 섭식 형태

어류의 식성에 관한 조사는 어류군집생태계의 기능적인면을 이해하기 위한 기초 자료를 제공한다.

이 해역에서 출현한 어류는 육식성 어류, 잡식성 어류, 플랑크톤 식자, 저서생물 섭식자 등으로 구분되어 이 해역 어류군집의 먹이망(food web)이 매우 다양함을 시사하고 있다.

육식성 어류의 조사시기에 따른 출현양상은 종수의 경우 5~6종으로 변동이 거의 없었으나 개체수에서는 4월부터 8월 사이에 168-290개체가 출현하여 9월부터 11월 사이에 출현한 60~79개체에 비하여 출현량이 높았고, 생체량에서는 4월과 8월에 각각 11,554.4g, 12,904.2g으로 높았고 그밖의 조사시기에는 973.1~3,516g의 체중 범위로 소폭으로 변동하였다. 이 육식성 어류에는 점줄망둑을 제외한 망둑어과 어류와 황강달이, 학공치, 조피볼락, 황복 등 12종의 어류가 포함되어 출현종수의 변동이 예상됨에도 불구하고 큰 변동을 보이지 않았다. 개체수와 생체량에서는 조사시기에 따라 변동하였는데 이는 이 해역의 주거종으로 보이는 풀망둑에 의해 나타난 결과였다.

플랑크톤 섭식자의 경우 난수기인 6월부터 10월 사이에 출현하였으며, 종수, 개체수, 생체량 등에서 상당한 계절적 변동을 보였다. 종수의 변동은 6월에서 7월로 증가한 후 10월까지 감소 경향으로 같은 시기 전체 출현종수의 계절변동과 유사한 계절적 경향을 보여 출현종수의 변동에 크게 기여하는 것으로 볼 수 있다. 개체수의 경우 6월(132개체)에 가장 적게 출현하였으며 7월(351개체)에 약간 증가하였고, 8월(2,061개체)에 전어 유어의 대량 유입으로 급격히 상승하여 최대치를 보였다가 9월(278개체)에 전어의 급격한 출현량 감소로 감소하였다가 10월(890개체)에 밴댕이 유어의 가입으로 다시 증가하였

다. 생체량에 있어서는 전어 유어가 대량 가입된 8월(3,604.4g)과 밴댕이 유어가 대량 가입된 10월(3,618.6g)에 비교적 높았다. 이와 같이 플랑크톤을 섭식하는 어류는 수온이 높은 하계를 전후로 이곳을 섭이장과 보육장으로 이용하는 것으로 판단되며, 전어와 밴댕이의 대량 가입시기가 달라 먹이 경쟁을 피하면서 효율적으로 이곳의 생태적 잇점을 이용하며 살아가는 것으로 사료된다.

잡식성 어류에는 송어 1종이 조사기간 동안 연속 출현하였는데, 대형어들이 출현한 4월에 23개체가 채집되었고 6월(18개체), 7월(12개체)로 감소하였다가當年생 유어가 가입하기 시작한 8월(42개체)에 가장 많이 출현하였으며, 생체량에 있어서는 대형어가 출현한 4월에 11,935.8g으로 가장 높았고, 이후 6월, 7월, 8월로 가면서 감소 하였으며, 이후 10월에 최저치(94.5g)를 보이면서 증감을 반복하여 생활사에 따라 출현 개체수, 생체량은 변동적이었다.

어류는 해양 생태계에서 상위 소비자에 해당되고 특히, 조석간만의 차에 의해 침수와 공기 중에 노출이 반복되는 조간대 천해역에서는 조류와 육상동물의 접근이 용이하여 이들의 먹이 대상이 되기도 하여 해양으로부터 육상로의 에너지 전이가 이루어지는 주요 경로가 되고 있어 해양생태계 뿐만 아니라 육상생태계의 에너지 전이를 파악하기 위해서도 어류에 관한 연구는 필수 과제로 사료된다.

채집된 어류는 플망둑과 송어에서 상업성이 있는 대형어가 출현하였을 뿐 대부분 소형어들로 상업성으로는 가치가 없거나 적은 개체들이 주를 이루었다. 소형어류는 외양과의 먹이망을 연결하는 역할을 하거나(Allen, 1982), 상업성 어류의 피식 또는 포식자로서의 먹이사슬의 한 부분을 담당하거나 경쟁하는 등 소형어류의 생태학적 특성이 간접적으로 상업성 어류군집에 영향을 미침으로써(Horn, 1980) 해양생태계에서 중요성을 갖는다. 따라서, 본 조사 해역에는 많은 어류들이 보육장과 섭이장으로 이용함으로써 갯벌 생태계에서 중요한 위치를 차지하는 동시에 어류생태계의 안정성과 생산성에 갯벌의 기여도는 높을 것으로 사료된다.

9.4.3. 어획량 추정

건간망 1틀당 연간 총어획량은 약 3.2톤/틀/년으로 추정되었으며, 단위 면적당 연간 총어획생산량은 $2.2\text{g m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ 로 추산되었다.

한 해역의 연간 총어획량 추정에 직선모델을 적용하는데 있어, 자료 수집 간격이 좁을수록 추정치의 신뢰도는 높고 간격이 넓을수록 신뢰도는 낮아질 것이다. 또, 하나의 어구만을 사용하는 것보다 여러개의 어구를 사용하는 것이 자료의 신뢰도를 보다 높이는 방법이 될 것이다. 본 조사에서는 하나의 어구만을 사용한 점과 자료 수집 간격이 22~78일로 추정치의 신뢰성에는 어느 정도 위험성이 내포되어 있는 것으로 판단된다. 따라서, 보다 정확한 어획량을 추정하기 위해서는 어구의 수와 자료수집 횟수를 늘려야 할 것으로 사료된다.

제10절 강화도 여차리 갯벌에 도래하는 섭금류와 잠재적 식이물

10.1. 서론

서해안 습지에 서식하는 수조류는 다양하게 관찰, 조사되어지고 있다. 이들 수조류는 생활사의 일부를 습지에 의존하는 조류들로서 넓게는 오리류, 기러기류, 두루미류의 수금류와 도요류, 물떼새류 등의 섭금류이다. 이들 중 섭금류는 전세계적으로 12과 365종이 알려져 있고(Monroe & Sibley, 1993), 우리나라에 도래하는 섭금류는 7과 54종이 기록되어 있다(원, 1993). 섭금류는 이동경로상의 중간기착지로서 서해안 갯벌 조간대를 생활 장소로 이용하고 있다(Long *et al.*, 1988 ; 元, 1988). 섭금류는 봄과 가을철에 우점하는 무리로서 습지역인 갯벌을 섭식장소와 휴식장소로 이용하고 있다. 또한 갯벌 생태계 내에서 최종소비자로서 식이물로 되는 저서동물군집과 상호관계를 형성하면서 생활하고 있다(김과 원, 1993; 이, 1995; 이, 1998). 강화도 갯벌에서는 섭금류의 개체수 및 종 수, 식이물 조사 등이 별도로 진행되어 왔으나 이들간의 상관관계에 대한 구체적인 조사는 없었다(김, 1993; 이, 1995; 박, 1995; 김, 1995; 남, 1997).

섭금류는 이동성이 강한 조류로서 이동경로를 따라 번식지와 월동지 사이를 오가고 있다(Hale, 1980). 우리나라 강화도 남단 갯벌을 비롯한 서해안 갯벌은 동북아시아-오스트레일리아 이동경로로 사용된다(Davidson and Evans, 1989). 강화도 남단 갯벌에서 섭금류는 춘계와 추계에 11-13종이 도래하고 최대일 때 13,000 개체가 도래하였다(이, 1995). 우점종은 민물도요로서 1993년의 춘계에 5,000-7,000 개체와 추계에 2,000-4,000 개체가 도래하였다(김, 1993). 도래한 개체는 비번식 기간 중에 중간기착지로서 서해안 갯벌을 이용하면서 식이물인 저서동물을 조간대 갯벌에서 섭취하고 있으며, 섭취된 식이물은 번식지 또는 월동지의 이동에 필요한 에너지로 비축된다(Burger, 1984; Zawarts, 1988). 수조류 및 섭금류들의 분포는 조간대 갯벌의 저서동물의 밀도와 생물량에 의해서 결정되어 지고 있지만, 이들 조류의 분포 요인이

단지, 식물 만이라는 것에는 의론이 제기 되고 있다(Evans *et al.*, 1984). 식물 외에 환경 요소로서 낮은 기온은 섭금류에게 직접적으로 체온 유지를 위한 에너지를 보다 많이 요구하며 간접적으로는 이용할 수 있는 먹이를 감소시키기 때문에 섭금류의 분포에 영향을 준다(Evans, 1976).

중간기착지로서 섭금류가 이용하는 갯벌은 하위 그룹인 미생물부터 최상위 그룹인 수조류까지 서로 상호관계를 갖고서 갯벌의 생태계를 구성하고 있다(이 등, 1998). 갯벌 생태계에서 인위적인 환경 변화는 주변 생태계에 큰 영향을 미치고 있다(Ryu *et al.*, 1997). 또한 저서동물의 변화는 이들을 식물로 하는 섭금류에게 장·단기적으로 영향을 미치고 있고, 휴식 및 잠자리 등의 주변 환경의 적합성과 잠재적 식이물의 분포 및 변화, 선호하는 식이물의 분포 등이 섭금류의 분포양상을 결정한다고 볼 수 있다(한국해양연구소, 1998).

특히 섭금류는 8월 중순부터 시작하여 9월 하순에 최성기를 이루고 10월과 11월에 걸쳐 월동지로의 이동에 따른 종의 감소 및 개체수 감소를 가져온다. 월동지로의 이동하기 전까지 이들은 에너지원으로서의 많은 양의 지방을 몸에 축적하여야 한다(Zwarts, 1988; Colwell & Landrum, 1993). 섭금류가 중간기착지인 갯벌에서 효율적으로 먹이원을 얻는 연구로서는 붉은가슴도요(*Calidris canutus*)가 대양조개(*Macoma balthica*)와 새조개과의 *Cerastoderma edule*을 탐색하는 기작 및 기능적인 반응 모델에 대한 연구가 있었다(Piersma, 1995). 또한, 물떼새과의 개짱(*Pluvialis squatarola*)이 갯벌 환경 요소(갯벌 온도, 무리 크기, 바람 세기 등)의 변화에 따라 식이물을 섭취 할 때, 처리하는 시간 등에 대한 연구가 진행되었다(Pienkowski, 1983). 섭금류는 종류에 따라 식이물을 얻는데 있어서 다양한 방법을 이용하고 있다. 먹이 탐지기작은 부리에 의한 탐침(probing)과 콧속 찌는(pecking) 행동이 주로 이루어지고 있다(김, 1993; Piersma, 1995).

생체량과 관련된 조류의 기초에너지 요구량에 대한 연구가 산새류 18종을 대상으로 체중별로 요구되는 에너지에 대한 연구가 있었고(Kendeigh, 1970), 동박새 속의 산새를 이용하여 오전과 오후의 활성도에 대한 연구와 산소소비를 측정에 의한 기초대사에너지 요구량에 대한 연구도 진행되었다(Maddocks and Geiser, 1997).

강화도 남단 갯벌 조간대 네 지역에서 관찰된 해조류는 지역별로 종 수와

개체수에 차이를 보였다. 해조류의 지역별 분포 차이는 이들의 휴식공간, 잠재적 식이물과 선호 식이물에 영향을 받고 있었다(한국해양연구소, 1998). 특히, 집중 도래시기에 도래한 해조류 군집에서 40% 정도를 점유하는 민물도요는 최고 우점종으로서 식이물은 둥근입기수우렁이, 왕좁쌀무늬고둥, 서해비단고둥, 비틀이고둥류, 기생고둥류, 참갯지렁이류 등이었다(한국해양연구소, 1998). 이에따라 본 연구에서 연대별 비교에 의한 수조류의 변동양상을 살펴보고, 섭금류 중에서 우점종인 민물도요의 식이물의 분포와 관련된 민물도요의 분포를 파악하고자 한다. 또한 갯벌에서 먹이 단계의 최상위에 있는 해조류에서 우점종인 민물도요의 생태학적인 기능을 이해하기 위해서 이들의 분포와 섭식행동 및 섭식시간 등을 조사하려 한다. 특히, 바닷물이 빠져나가면서 시작되는 섭식활동과 조간대상부의 휴식지역에서 주섭식지역까지의 시간대별 섭식행동, 섭식 성공도를 파악하려고 한다. 잠재적 식이물의 분포와 관련된 민물도요의 섭식행동은 잘 알려져 있지 않은 흥미로운 연구과제로서 이들에 대한 기초조사를 수행하고자 한다. 이와 관련하여 수조류가 중간기착지인 갯벌에서 식이물을 어느 정도 요구하는가에 대한 기초조사를 병행하고자 한다. 이와 같은 연구는 갯벌에 도래하는 섭금류에 대한 기초에너지 요구량 및 식이물과의 관계, 이들의 섭식생태 등에 대한 조사가 미비한 상태에 있어, 이들에 대한 연구는 궁극적으로는 갯벌에서 서식하고 있는 최종소비자인 섭금류의 생태적 지위를 밝히고자 한다.

10.2. 재료 및 방법

10.2.1. 조사지역

조사지역은 행정구역상 인천광역시 강화군 화도면 여차리 갯벌로서 동경 126° 25' , 북위 37° 36' 에 위치한다(Fig. 3-10-1). 여차리 갯벌은 한강의 담수유입을 연중 받고 있으며, 노출시간은 보통 5시간 정도이고 최대로 7시간 까지도 노출된다. 퇴적물 입도는 남동쪽의 동검리, 선두리 지역이 모래가 7-8% 함유된 펄로 되어 있는 반면, 여차리 지역은 모래가 7-20% 함유된 모래가 섞인 펄로 형성되어 있다(경기도, 1985). 여차리 갯벌은 해안 경비군의 통

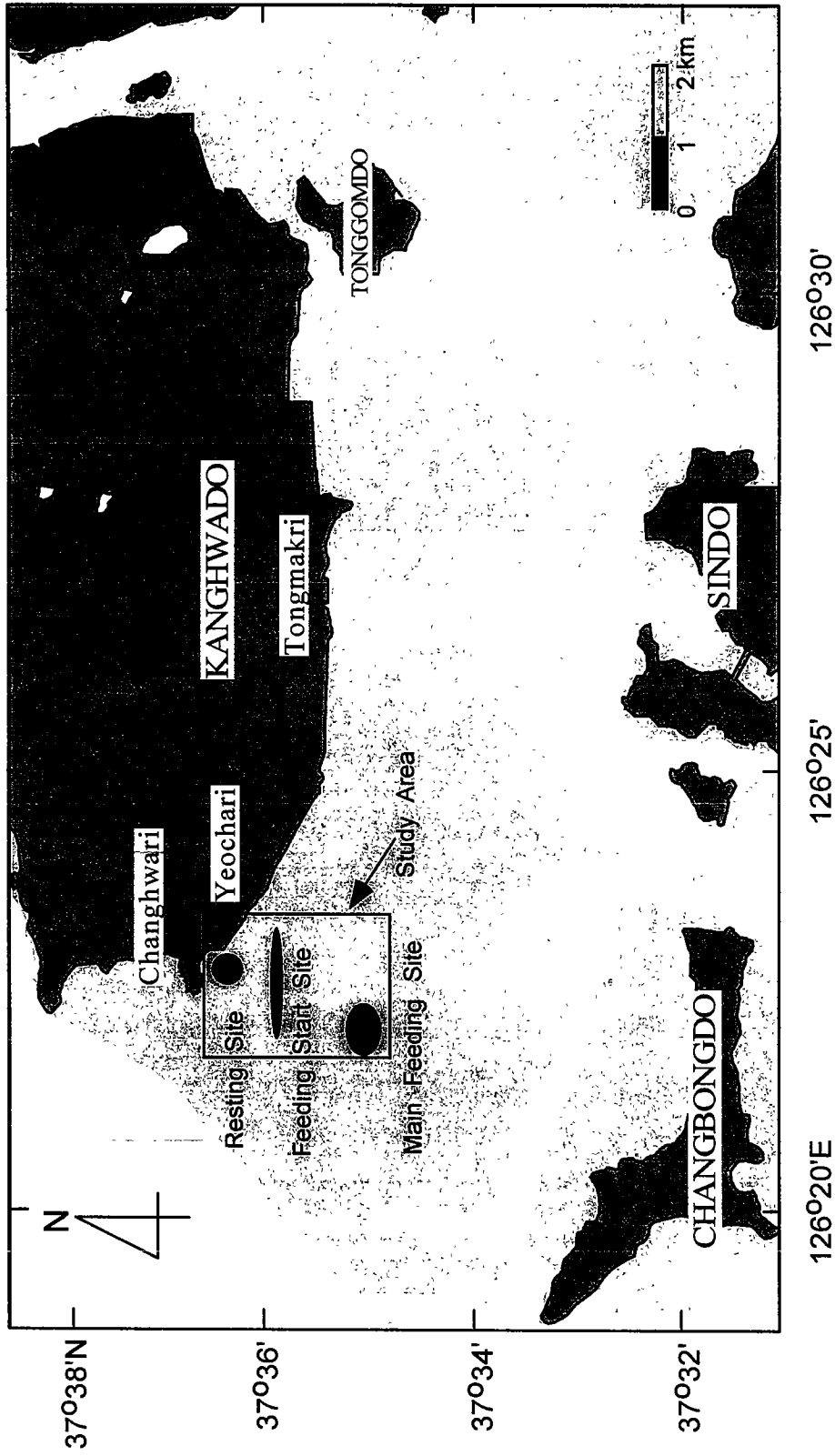


Fig. 3-10-1. Map showing the study sites for waterbird counting and potential prey of waterbirds at Yeochari tidal flat in Kanghwado, Sep. and Oct., 1998.

제를 받아 야간 출입이 금지되어 있으며, 군 경비초소가 있어 갯벌에서의 현장조사 및 해조류의 관찰 등에 제약을 받고 있는 지역이다. 갯벌 생태기행과 갯벌에 도래하는 철새 탐조를 위한 관광객과 갯벌에서 망둥어, 승어 낚시 및 주변 저수지에서 참붕어 등을 잡는 낚시관광객들이 급증하고 있는 지역으로 해안 생태계의 교란이 일어날 수 있는 지역이다.

10.2.2. 재료 및 방법

가. 수조류 도래현황

여차리 갯벌에 도래하는 수조류 조사는 두명이 한 조를 이루어 오전과 주간 만조시간에 잠자리와 휴식장소에 밀집한 수조류 군집의 모든 종과 개체수를 기록하는 방법으로 수행하였다. 조사장비는 필드스코프(25-45x)와 망원경(8x40)으로 월별로 관찰하였으며, 집중적인 도래시기에는 한달에 3번-5번 관찰하여 월별 개체수 및 종수를 파악하였고 종 다양성과 균등성지수를 산출하였다(Shannon-Weaver, 1963; Pielou, 1975). 연대별 수조류의 변동에 관한 비교는 동일방법과 동일지역에서 조사되어진 1991-1992년(김, 1993)과 1993-1994년(이, 1995)의 자료를 현재의 연구자료와 비교하여 연간 변동을 파악하였다.

나. 민물도요의 잠재적 식이물의 분포

잠재적 식이물조사는 9월과 10월에 갯벌의 조간대 상부에서부터 민물도요의 섭식행동을 관찰한 후, 섭식지점에서 잠재적 식이물을 채집하였다. 채집지역은 여차리 갯벌에서 휴식지점, 중간섭식지점 및 주섭식지점을 중심으로 조사하였다 (Fig. 3-10-1). 채집은 민물도요를 추적하면서 각각의 지점에서 면적이 0.026m^2 인 상자형 채집기(can corer)로 20cm 깊이까지 4회씩 퇴적물을 채취하였다. 퇴적물은 현장에서 망목크기 0.5mm의 체로 걸러 남은 것을 10% 중성포르말린 해수용액으로 고정하였다. 고정된 잠재적 식이물인 저서동물을 실험실로 운반하여 습중생물량과 개체수를 계수하였다. 잠재적 식이물조사는

9월과 10월에 갯벌의 조간대 상부에서부터 민물도요의 섭식행동을 관찰한 후, 섭식지점에서 잠재적 식이물을 채집하였다. 채집지역은 여차리 갯벌에서 휴식지점, 중간섭식지점 및 주섭식지점을 중심으로 조사하였다 (Fig. 3-10-1). 채집은 민물도요를 추적하면서 각각의 지점에서 면적이 0.026m^2 인 상자형 can corer로 20cm 깊이까지 4회씩 퇴적물을 채취하였다. 퇴적물은 현장에서 망목 크기 0.5mm의 체로 걸러 남은 것을 10% 중성포르말린 해수용액으로 고정하였다. 고정된 잠재적 식이물인 저서동물을 실험실로 운반하여 습중생물량과 개체수를 계수하였다.

다. 민물도요의 섭식양상

섭금류인 민물도요의 섭식양상 및 섭식성공도 조사는 최대 도래시기인 9월과 10월에 집중적으로 조사하였다. 휴식지점, 섭식시작지점 및 주섭식지점에서 부리로 찍는 횟수(pecking), 섭식 성공횟수 및 보행수 등을 파악하였다. 현장에서 만조 때 휴식하고 있는 민물도요를 관찰하다가 물이 빠져나갈 때 같이 이동하는 민물도요를 갯벌에서 추적하였다. 추적하면서 이들의 행동을 비디오 촬영과 필드스코프로 파악하였다. 행동양상은 현장에서 즉시 소형녹음기(AIWA)에 녹음하였고, 실험실에서 비디오와 녹음한 내용을 분석하였다. 섭식성공도는 콧조는 행동과 탐침하는 행동을 통합하여 처리하였으며, 고개를 까닥거릴 때와 탐침하면서 부리를 약간 위로 올리면서 목을 까닥거릴 때를 섭식한 것으로 간주하였다.

라. 섭금류의 섭식량

수조류의 산소소비율을 측정하여 단위 시간대별 최소한의 먹이 요구량을 파악하기 위하여 현장에서 도요5단용 그물(Mist-net)을 갯벌에 설치하여 살아 있는 수조류를 채집하였다. 목적 종은 민물도요로 하였으나 5월에 노랑발도요와 9월에는 흰물떼새가 채집되었다. 채집된 섭금류의 몸무게, 부리길이, 부척등을 측정한 후, 실험실에서 이들을 챔버에 넣어 Automatic Intermittent Flow Respirometer를 이용하여 산소소비율을 측정하였다. 측정된 산소소비량

을 갖고서, $1 \text{ ml O}_2 \text{ g h}^{-1}$ 을 20.33 J/ml O_2 로 하여 최소한의 먹이 요구량을 산정하였다(Bayne, 1985).

10.3. 결 과

10.3.1. 수조류 도래현황

수조류 조사는 1991년 4월부터 조사된 이후 1994년까지 큰 변동이 보이지 않았으나 1998년에 전체 개체수가 감소된 경향을 보였다. 또한, 봄철과 가을철에 종 수 및 개체수가 지속적으로 크게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3-10-2). 1991년 봄철인 5월에 26종, 13,774 개체로 최대개체수가 관찰되었으며, 가을철인 10월에 28종, 8,034개체로 최성기를 이루었다. 6월과 7월에는 상대적으로 적은 개체수가 출현하였다(Fig. 3-10-2). 1992년에는 최대도래시기인 4월과 5월에 14종, 5,964개체와 24종 8,336개체수가 관찰되었다. 가을철인 9월과 10월에 19종, 7,266개체와 16종, 5,065개체가 관찰되었으나, 11월부터 2월까지는 감소하는 경향을 보였다. 1994년 봄철인 5월에 20종, 18,353개체의 최대 무리가 관찰되었으며, 가을철인 9월에 22종, 7,088개체가 관찰되었다. 한편, 1998년의 최대 관찰수는 5월에 20종, 4,365개체이었고, 가을철에는 9월에 23종, 8,371개체가 최대 개체수 및 종수로 나타났다(Fig. 3-10-2).

1991년부터 1998년까지 이들 수조류는 봄철과 가을철에 큰 출현 피크를 나타내었으며, 그 시기는 4월, 5월과 9, 10월이었다. 가을철 최대도래시기인 10월의 개체수변동을 보면, 1991년에 8,034개체가 1993년에 5,065개체, 1994년에 3,244개체, 그리고 1998년도에 3,801개체로 감소되어 약 50% 이상의 증감의 차이를 보였다. 또한, 수조류의 종수는 봄철인 5월에 1991년에 26종, 1992년도에 16종, 1993년도에 24종, 그리고 1994년에 20종과 1998년도에는 22종이 관찰되었다. 1991년의 가을철인 9월과 10월에는 26종과 28종, 1992년에는 9월에 25종이 관찰되었고, 1993년에는 9월에 19종과 10월에 16종이 관찰되었다. 또한 1994년의 9월과 10월에는 22종과 11종이 관찰되었고, 1998년에는 9월과 10월에 각각 23종이 관찰되었다(Fig. 3-10-2).

1998년에 조사된 수조류 중의 섭금류 무리인 도요·물떼새류는 3월부터 관

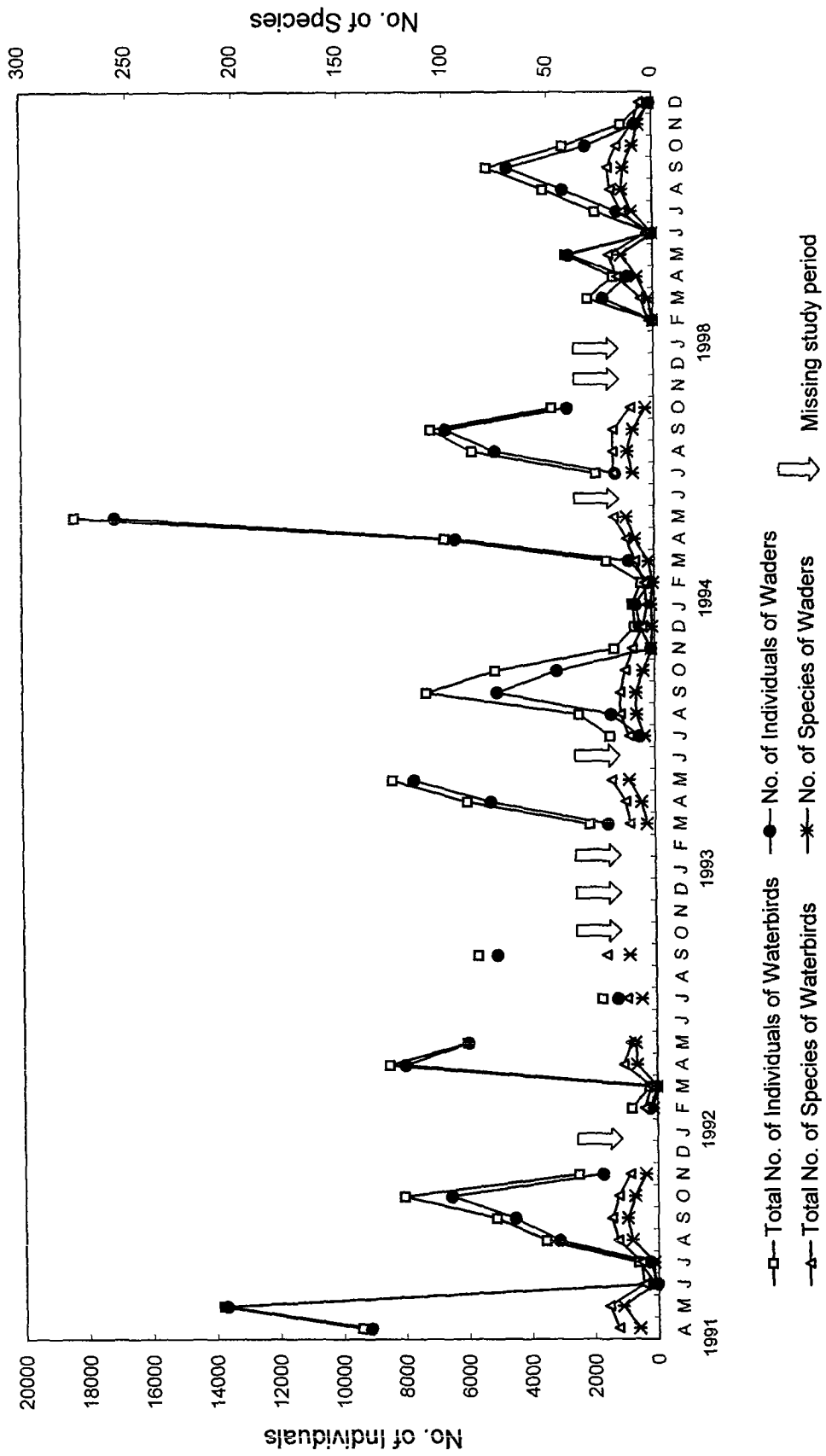


Fig. 3-10-2. Change of individuals number and species number of the waders and waterbirds migrated on Yeochari tidal flat in Kanghwado, 1991-1998.

찰되어 5월 23일까지 그리고 7월 22일부터 관찰되어 12월 29일까지 관찰되었다. 5월 28일부터 6월까지와 1월 16일부터 2월까지는 관찰되지 않았다. 또한 12월 6일에는 알락꼬리마도요(*Numenius madagascariensis*)와 마도요(*Numenius arquata*)가 관찰되었고, 12월 29일에는 마도요만 관찰되었다. 이 두종의 개체수도 11월부터 급격히 줄어들어 11월 7일에 391개체와 12월에는 33개체, 105개체만이 관찰되었다. 섭금류가 도래하지 않는 겨울철에는 오리류가 우점하였고, 수조류의 개체수가 급격히 감소된 6월에는 중대백로(*Egretta alba*)와 갯이갈매기(*Larus crassirostris*)가 소수 관찰되었다(Table 3-10-1). 또한, 안개가 자욱이 끼어 시야가 30m 이내인 환경인 4월 12일과 28일에는 섭금류 무리가 예상외로 적게 관찰되었다.

섭금류는 봄과 가을에 도래하였고, 이 시기에 섭금류가 전체 수조류에서 70% 이상을 점유하는 우점군 무리로 나타났다. 이들이 도래하는 시기의 온도는 봄철인 3월에 11℃와 5월의 28℃에 많은 개체수가 나타났으며, 7월의 26.2℃부터 이들 개체수가 다시 증가되어 11월 초의 11℃까지 관찰되었으나 그 이하로 떨어졌을 때는 개체수의 급격한 감소를 보였다. 전체 수조류의 무리도 영하로 떨어졌을 때는 개체수 및 종수가 급격히 줄어드는 양상을 보였다(Table 3-10-1, Fig. 3-10-3).

종다양도지수는 0.95인 3월 21일부터 증가하여 5월 23일에 2.0으로 나타났으나 5월 28일부터 다양도지수 값이 감소하였고, 7월부터 다시 증가하여 8월 23일에 최대값인 2.43을 나타내었다. 또한, 겨울철로 접어들어 이 지수 값은 감소하였다(Fig. 3-10-4). 다양도지수 값이 적게 나온 2월에 수조류는 2종, 24개체이었고, 5월 28일과 6월에는 2종, 12개체와 3종, 13개체이었다. 겨울철인 1월에도 다양도지수 값이 0.83으로 적게 나타났으며, 출현한 전체 수조류 610개체 중, 오리류 3종과 갈매기류 2종이 출현하였고 우점종은 468개체가 관찰된 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorthyncha*)로 나타났다. 다양도지수 값이 0으로 나온 2월 2일에는 단지, 흰뺨검둥오리 1종, 30개체만이 출현하였다(Table 3-10-1).

전체 수조류 중에서 3월에 70% 이상과 가을에 약 40% 이상을 점유한 민물도요(*Calidris alpina*)가 우점종이었고, 섭금류가 도래하지 않는 시기에는 갯이갈매기가 우점하였다. 다음으로 섭금류인 흰물떼새(*Charadrius alexandrinus*),

Table 3-10-1. Abundance of waterbirds observed at Yeochari tidal flat in Kanghwado, 26 Feb., 1998 ~ 3 Feb., 1999

Species	26 Feb.	21 Mar.	11 Apr.	12 Apr.	28 Apr.	14 May	23 May	28 May	14 Jun.	22 Jul.	23 Jul.	15 Aug.	23 Aug.	3 Sep.	5 Sep.	12 Sep.
웨이리			12	2	2	1	2	1	1			8	5		2	4
쇠백로			2								6		2		2	
종대백로				1	13	2	6	8	5	24	21	23	16	21	1	4
노랑부리백로											7		3	7	12	21
저어새														3	3	1
노랑부리저어새																
홍부리오리	6	79	380	150		5	5					7	8	17	22	7
흰뺨검둥오리			95	8												
청둥오리			6													
홍머리오리			2													
넙적부리오리			3													
고받오리			2	6												
비둘기오리			3	2												
쇠오리																
팬이갈매기	18	130	230	50	80	30	130	4	7	558	694	410	756	550	450	350
재갈매기		105	3	5	4	6	3			26	45		15	38	50	
붉은부리갈매기				3	5		1							165	130	5
쇠비갈매기																
제비갈매기			3													
까까도요						2										
안골도요			3	50	3	269	107			253		218	425	400	350	110
붉은개도요		2,500	0	50	10	1,908	348			1		52	200	4,500	2,200	1,700
붉은어깨도요																
붉은가슴도요			1	1	5	553	150		1			180	321	150	50	70
중도요						119	5				5		11	650	500	450
메추리기도요						12	10						53			5
마도요			40	2	9	36	13			36	40	26	57	170	50	13
알랑꼬리마도요			910	20	120	265	6			523	756	421	220	350	200	124
중부리도요		560	910	1	52	111	5			4	43	83	42	58	20	12
큰부리도요			4	7	250	477	203			142	326	250	325	230	170	56
흑꼬리도요					1							450	760	175	250	51
목도리도요						100				23	43	131	220	132	156	14
외부리도요					2	13				3	4	211	270	320	282	29
청다리도요											2	8				
쇠창다리도요																
확도요																
붉은발도요																30
영락도요						15	9			2	2					
노랑발도요							1									
왕눈물떼새					220	438	158				50	272	330	130	250	172
흰물떼새												12	112	285	230	284
큰왕눈물떼새														20	50	
검은머리물떼새							1									
Number of individuals of waterbirds	24	3,471	1,699	308	771	4365	1,172	12	13	1,343	2,298	2,795	4,151	8,371	5,428	3,511
Number of species of waterbirds	2	6	18	15	14	20	22	2	3	12	17	19	21	21	23	21
Number of individuals of waders	0	3,157	958	81	667	4,318	1,025	0	0	734	1,525	2,347	3,346	7,570	4,758	3,120
Number of species of waterbirds	0	3	6	6	9	14	16	0	0	8	12	15	14	14	14	15

Table 3-10-1. Continued

Species	1999															
	14 Sep	15 Sep	2 Oct.	10 Oct.	11 Oct.	16 Oct.	17 Oct.	26 Oct.	4 Nov.	7 Nov.	6 Dec.	29 Dec.	16 Jan.	23 Jan.	2 Feb.	3 Feb.
<i>Ardea cinerea</i>	4		8		45		50	12	5	1	6					
<i>Egretta garzetta</i>	4	29			2	2	2									
<i>Egretta alba modesta</i>	20	41		4	6	5	6									
<i>Egretta vulpophotes</i>	20			2		1										
<i>Platalea minor</i>			10			13	5									
<i>Platalea leucorodia</i>			1				1									
<i>Tadorna tadorna</i>								18				81			41	
<i>Anas poecilorhyncha</i>	11		7	170	5	231	398	57		21		45	1		468	30
<i>Anas platyrhynchos</i>						14	8	12				2			56	
<i>Anas penelope</i>																
<i>Anas cypeata</i>																
<i>Anas acuta</i>																
<i>Mergus serrator</i>																
<i>Anas crecca</i>																
<i>Larus crassirostris</i>	580	650	221	300	580	411	289	72		695	42	8				
<i>Larus argentatus</i>	45	70	5	1200	28	21	50	39		155	75	52			37	8
<i>Larus ridibundus</i>		15			1											
<i>Sterna albifrons</i>																
<i>Sterna hirundo</i>																
<i>Arenaria interpres</i>																
<i>Puffinus squatarola</i>	27	260	26		2	14	6									
<i>Calidris alpina</i>	1,500	1,900	1,494		800	1,388	1,771	783		341		293				
<i>Calidris ferruginea</i>																
<i>Calidris tenuirostris</i>	125	170	30		650	854	250	73		64						
<i>Calidris canutus</i>					2											
<i>Calidris ruficollis</i>	421	600	510		10											
<i>Calidris acuminata</i>																
<i>Numenius arquata</i>	23	30	43	11	5	45	89	8		7	23	105				
<i>Numenius madagascariensis</i>	202	80	32	28	38	69	181	10		14	10					
<i>Numenius phaeopus</i>	60		2													
<i>Limosa lapponica</i>	100	130	21		3	48	163	100		15	31					
<i>Limosa limosa</i>	96	150	39		35											
<i>Philomachus pugnax</i>																
<i>Xenus cinereus</i>	20	160	5					1								
<i>Tringa nebularia</i>	56	60	17	1	130	157	3	17		3	2					
<i>Tringa stagnatilis</i>																
<i>Tringa erythropus</i>																
<i>Tringa totanus</i>	21				3											
<i>Tringa glareola</i>																
<i>Tringa brevipes</i>																
<i>Charadrius mongolus</i>	210	220	396		5	10	1									
<i>Charadrius alexandrinus</i>	340	620	740		275	517	300	451		71	44					
<i>Charadrius leschenaultii</i>																
<i>Haematopus ostralegus</i>																
Number of individuals of waterbirds	3885	5115	3693	1716	2625	3801	3573	1653	689	1263	284	166	0	610	30	0
Number of species of waterbirds	21	15	23	8	20	18	18	14	8	10	8	4	0	5	1	0
Number of individuals of waders	3201	4380	3357	40	1958	3103	2764	1443	684	391	33	105	0	0	0	0
Number of species of waterbirds	14	12	14	3	13	10	9	8	7	6	2	1	0	0	0	0

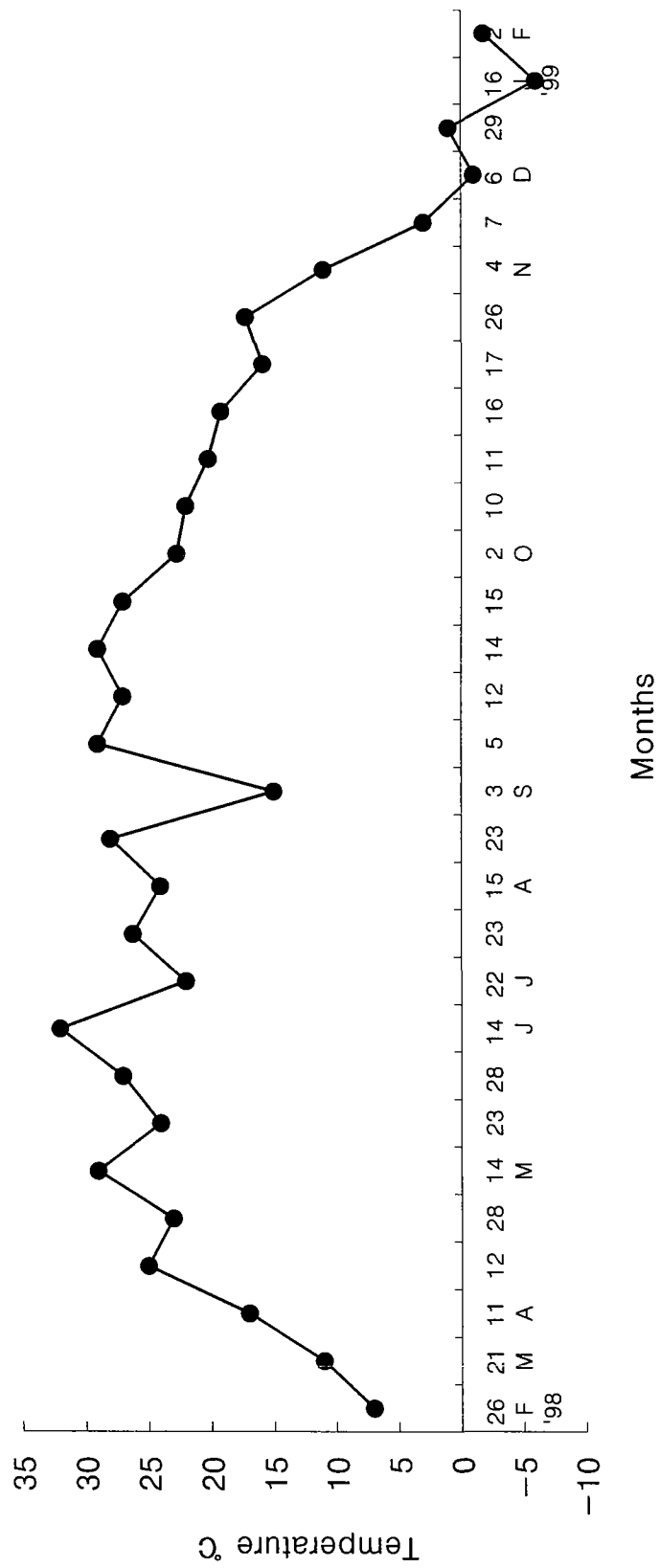


Fig. 3-10-3. Change of the temperature from 26 Feb. 1998 to 2 Feb., 1999 on Yeochari tidal flat in Kanghwado.

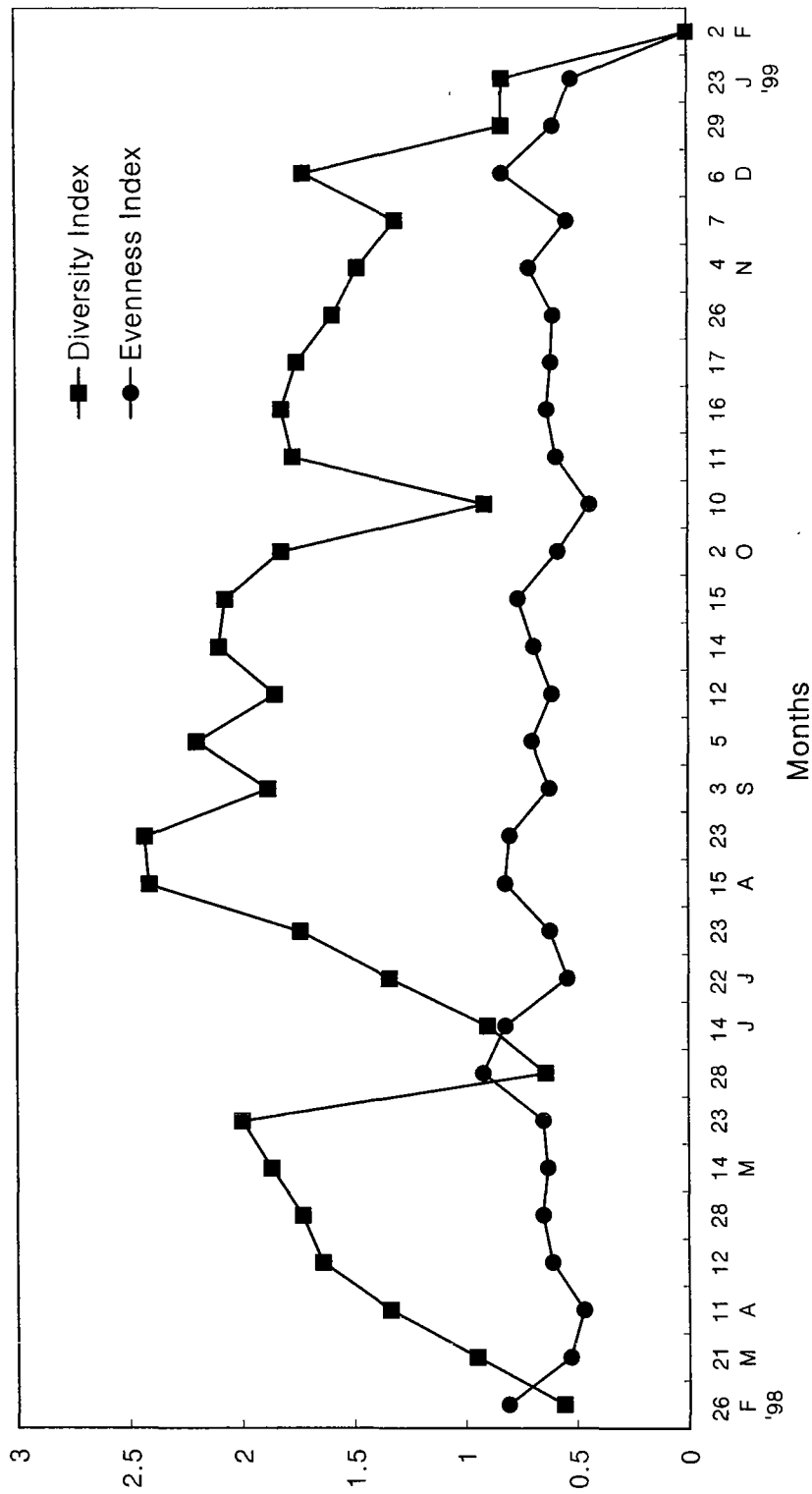


Fig. 3-10-4. Comparison between species diversities and evenness of waterbirds on Yeochari tidal flat in Kanghwado from 26 Feb., 1998 to 2 Feb., 1999.

알락꼬리마도요, 큰뒷부리도요(*Limosa lapponica*) 및 왕눈물떼새(*Charadrius mongolus*)등이 우점하였다(Fig. 3-10-5). 최고 우점종인 민물도요는 봄철인 3월 21일에 2,500개체, 가을철인 9월 3일에 4,500개체의 최대 개체수를 보였다. 가을철에는 약 1,000마리 이상의 개체가 출현하였고, 11월부터는 개체수가 감소하여 겨울철인 12월, 1월, 2월에는 출현하지 않았다. 알락꼬리마도요는 4월 11일에 910개체, 7월 23일에 756개체의 최대 개체수를 보였고, 봄철에 평균 100개체 이상과 7월부터 10월 초순까지 평균 200개체 이상이 관찰되었으나, 10월 하순부터 개체수가 감소하기 시작하였다. 큰뒷부리도요는 4월, 5월에 250개체 이상이 도래하였고, 6월에는 관찰되지 않았다가 7월부터 10월 중순까지 평균적으로 150마리 이상이 도래하였고, 10월 하순부터 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 흰물떼새는 8월부터 관찰되어 평균 250마리 이상이 10월까지 관찰되었고, 11월부터 개체수가 감소되어 겨울철에는 관찰되지 않았다. 흰물떼새의 최대 개체수는 5월 14일의 438개체이었고, 9월 15일에 620개체, 10월 2일에 740개체이었다. 왕눈물떼새는 4월, 5월에 약 200개체가 도래하였고, 8월부터 10월까지 다시 관찰되었으나 10월 중순부터 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 일년 내내 관찰되는 꿩이갈매기는 봄철에 평균적으로 약 80개체 이상이 출현하였고, 7월 하순부터 11월까지는 평균적으로 400마리 이상이 관찰되었다(Fig. 3-10-5).

10.3.2. 민물도요의 잠재적 식이물의 분포

섭금류의 최대 도래시기인 9월과 10월에 상자형 채집기(/0.026m²×4)로 채집한 민물도요가 섭취하는 잠재적 식이물은 9월에 휴식지점인 600m 이하의 조간대상부에서는 8종 중, 갯지렁이류가 6종, 15개체, 습중량 0.057g이 출현하였으며, 계류 2종, 2개체, 습중량 0.017g이 출현하였다. 섭식시작지점인 600m와 800m 지점에서는 13종, 25종이 출현하였다. 이 중 고등류와 갯지렁이류는 600m에서 2종, 5개체, 0.959g과 6종, 17개체, 0.0875g이 출현하였다. 800m에서는 고등류가 3종, 22개체, 8.362g과 갯지렁이류가 13종, 63개체, 0.271g이 출현하였다. 중간섭식지점인 1,600m에서는 고등류가 5종, 72개체, 8.676g이 출현하였고, 갯지렁이류는 5종, 62개체, 0.586g이 출현하였다. 주섭식지점인

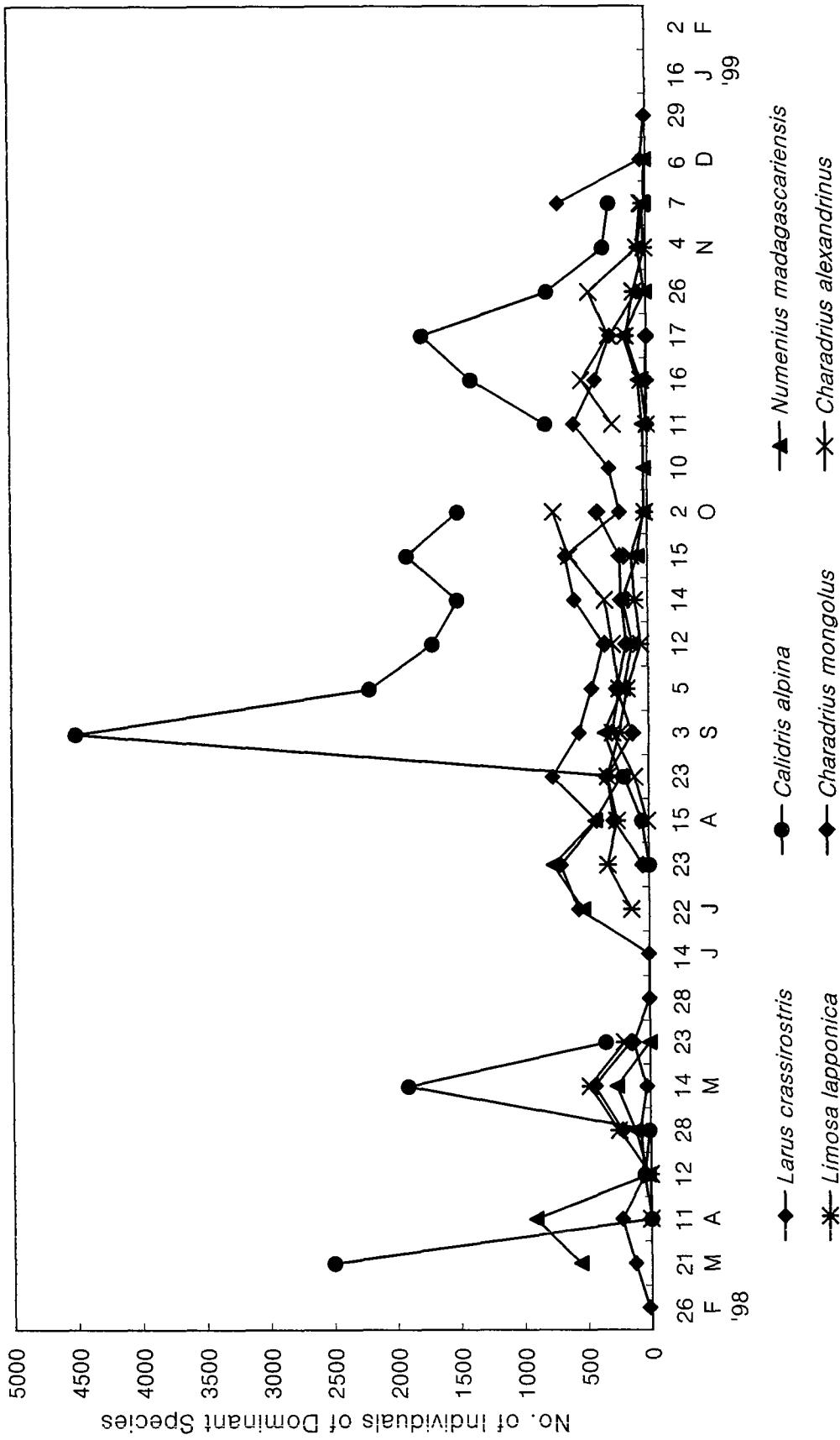
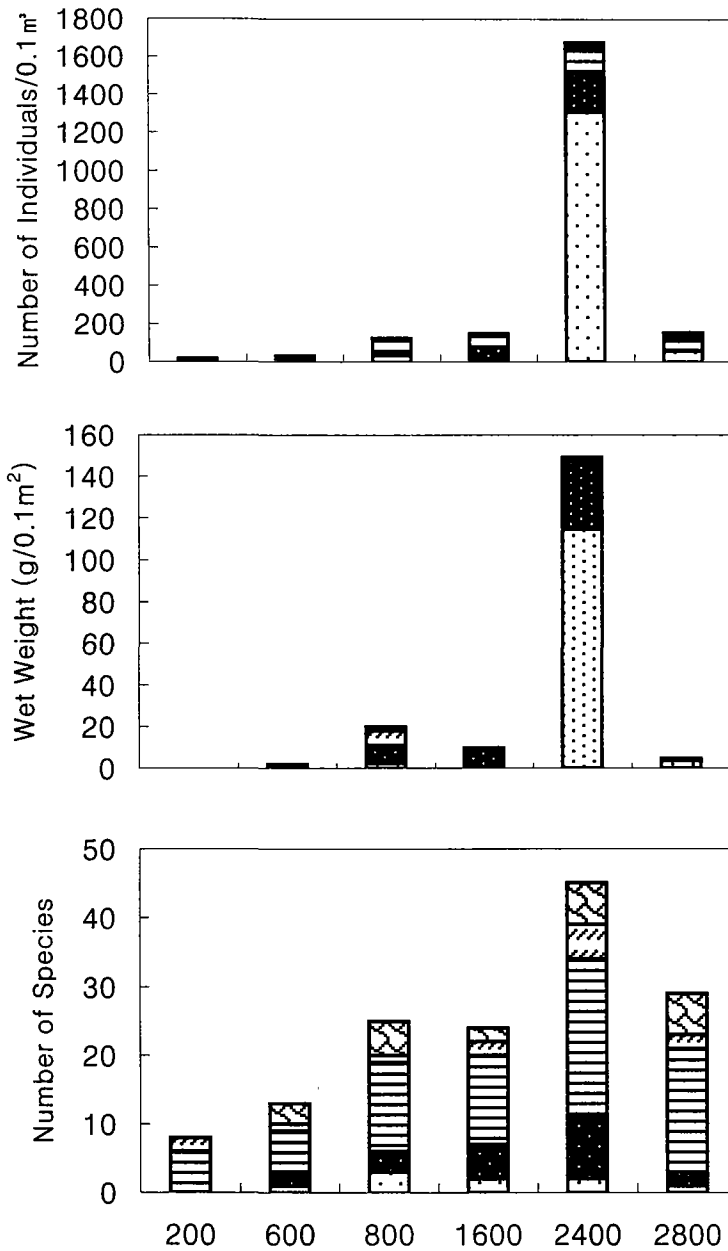


Fig. 3-10-5. Monthly fluctuation of dominant waterbirds 6 species observed on Yeochari tidal flat in Kanghwado from 26 Feb.. 1998 to 2 Feb.. 1999.

2,400m에서는 고등류가 9종, 200개체, 32.64g으로 나타났고, 갯지렁이류는 23종, 127개체, 0.337g이 출현하였다. 주섭식지점이 끝나는 2,800m에서는 고등류가 2종, 2개체, 0.01g이 출현하였고, 갯지렁이류는 18종, 70개체, 0.26g이 출현하였다. 잠재적 식이물인 저서동물의 전체 개체수는 조간대상부지역인 휴식지점에서부터 조간대하부로 갈수록 증가하였고, 주섭식지점인 2,400m에서는 45종, 1,678개체, 149.23g(/0.1m²)로 높게 나타났다(Fig. 3-10-6).

10월에 잠재적 식이물의 분포는 휴식지점인 600m 이하의 조간대상부에서 8종 중에 갯지렁이류가 6종, 28개체, 습중량 0.048g으로 나타났다. 섭식시작지점인 주변의 700m에서는 총 16종, 123개체, 12.38g이 출현하였다. 이 중 고등류와 갯지렁이류는 4종, 36개체, 3.309g과 8종, 49개체, 0.212g이 출현하였다. 중간섭식지점 주변의 1,200m에서는 고등류가 9종, 73개체, 3.102g과 갯지렁이류가 15종, 82개체, 0.291g이 출현하였다. 또한 1,600m에서는 고등류가 4종, 59개체, 4.119g으로 나타났으며, 갯지렁이류는 16종, 95개체, 0.464g이 출현하였다. 주섭식지점인 2,400m에서는 고등류가 6종, 51개체, 14.077g으로 나타났고, 갯지렁이류는 15종, 141개체, 3.088g이 출현하였다. 잠재적 식이물인 저서동물의 전체 개체수와 습중량은 2,400m에서 30종, 1,498개체, 133.59g으로 다른 지점 보다 높게 출현하였다(Fig. 3-10-7). 조간대하부로 갈수록 습중량이 높게 나온 것은 이매패류인 계화도조개과의 *Potamocobla laevis*의 개체수 증가와 고등류인 서해비단고둥(*Umbonium thomasi*)과 왕좁쌀무늬고둥(*Reticunassa festiva*)이 증가에 의한 것이었다(Appendix 3-10-1, 3-10-2).

도요5단그물을 이용하여 채집된 부리 길이가 35-39mm, 몸무게는 46-50g인 민물도요의 위내용물은 고등류인 왕좁쌀무늬고둥, 서해비단고둥, 둥근입기수우렁이(*Stenothyra glabra*)등과 참갯지렁이류인 두토막눈썹참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*)의 이빨이었다(한국해양연구소, 1998). 위 내용물 중 서해비단고둥의 각고의 범위는 0.3~2.15mm 정도였고, 각폭은 0.7~4.28mm를 보였다. 왕좁쌀무늬고둥은 2.4~4.5mm의 각고와 1.5~2.53mm의 각폭을 나타냈다. 둥근입기수우렁이는 각고1~2.7mm와 각폭 0.6~1.5mm 범위이었고, 비틀이고둥류는 각고 2.9~3.7mm와 각폭 1.2~1.5mm의 범위를 나타냈다. 참갯지렁이류의 두토막눈썹참갯지렁이의 이빨 길이는 0.6~2.1mm 범위를 나타냈다. 민물도요가 섭식한 식이물의 최대 길이와 폭은 5mm 이내의 범위를 나타내었다(Fig.



Dunlin : Resting Area Feeding Start Area Main Feeding Area

□ Bivalvia ■ Gastropoda ▨ Polychaeta ▩ Brachyura ▪ Others

Fig. 3-10-6. Distribution of individuals number, species number and wet weight(g) of potential preys per 0.1m² on each sites of Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998.

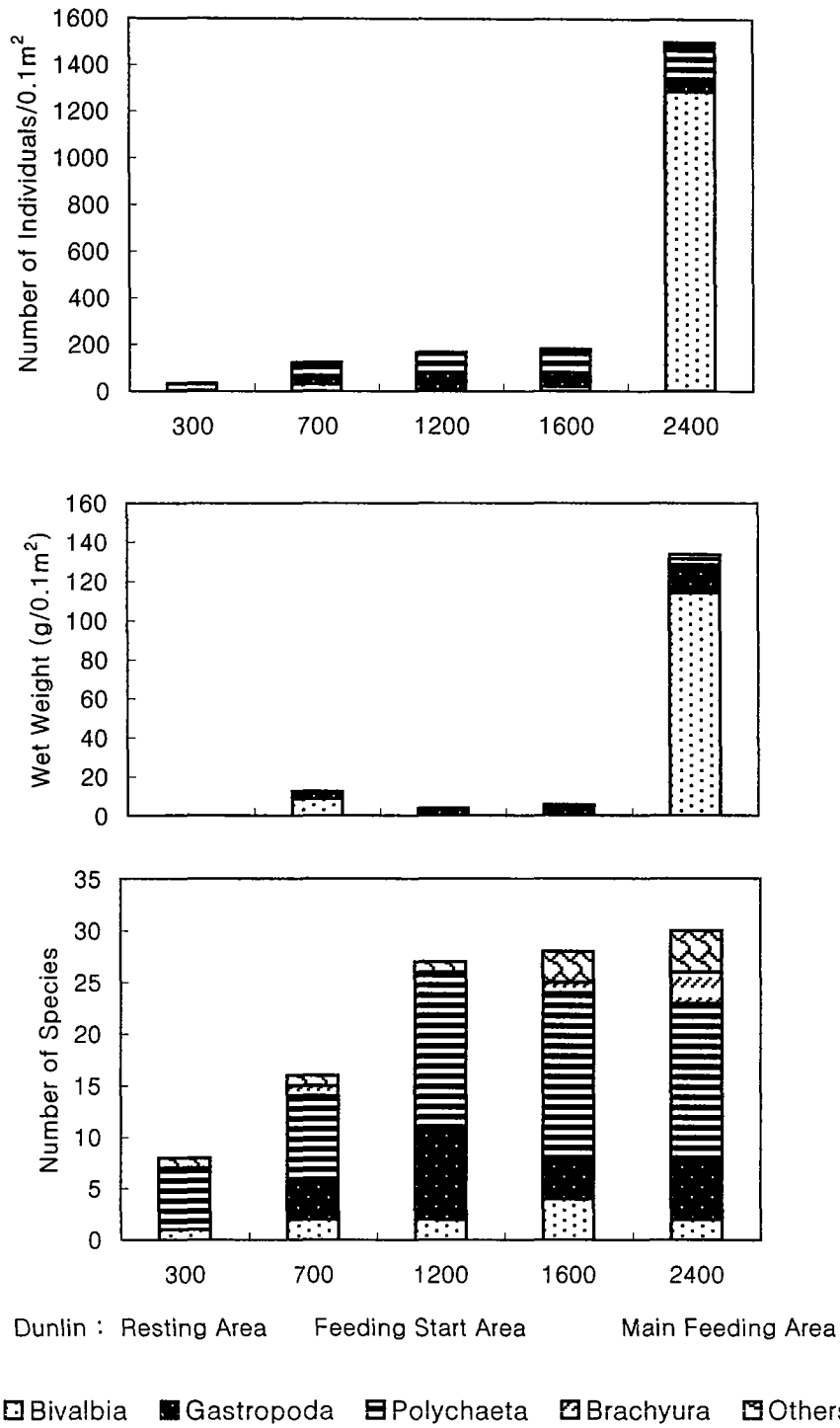


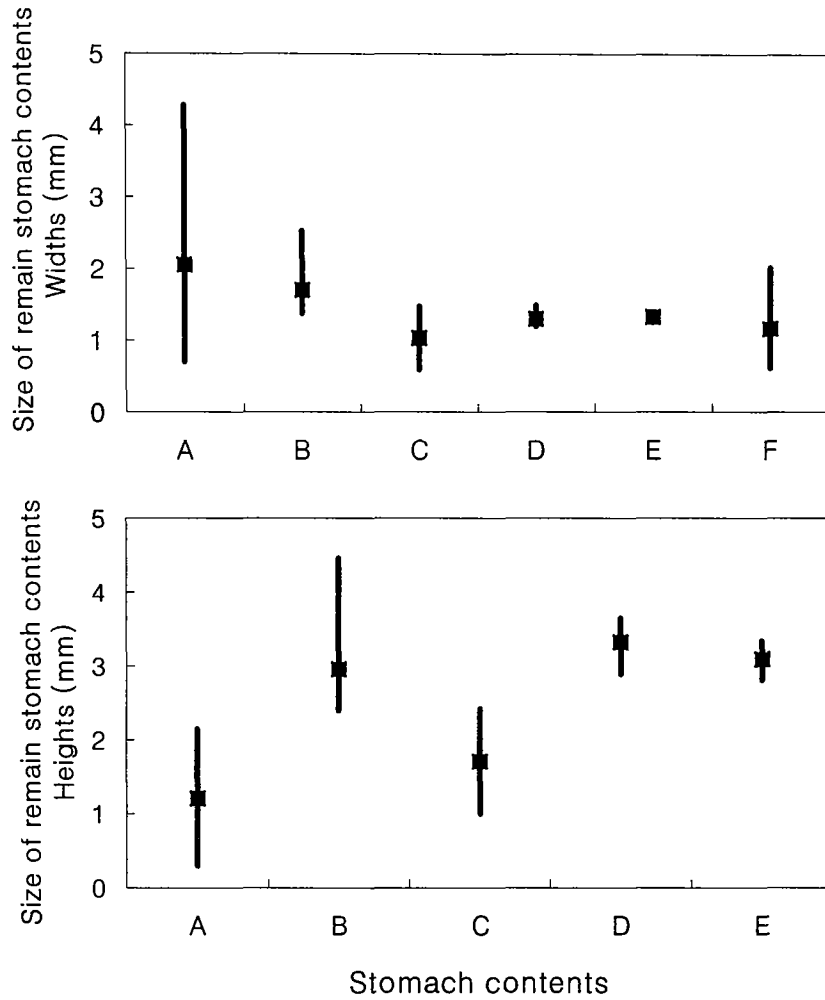
Fig. 3-10-7. Distribution of individuals number, species number and wet weight(g) of potential preys per 0.1m² on each sites of Yeochari tidal flat in Kanghwado, October, 1998.

3-10-8). 또한 관찰에 의해 민물도요가 계류를 섭식하는 것이 관찰되었고, 그 종류는 어린 칠게로 나타났다.

식이물의 분포는 9월에 왕좁쌀무늬고둥, 등근입기수우렁이, 서해비단고둥이 섭식시작지점부터 나타났고, 주섭식지점으로 가면서 증가하는 양상을 보였다. 왕좁쌀무늬고둥은 섭식시작지점 보다 주섭식지역에서 45배 이상의 개체수가 출현하였고, 서해비단고둥은 중간 및 주섭식지점에서 37개체, 42개체/0.01m²가 출현하였다. 이들의 습중생물량은 왕좁쌀무늬고둥이 주섭식지점에서 섭식시작지점 보다 약 20배, 중간섭식지점 보다는 5배 정도로 높게 나타났다. 갯지렁이류는 주섭식지점으로 갈수록 휴식지역 보다 8배, 중간섭식지역 보다는 2배 정도로 증가하였고, 습중생물량은 휴식지역 보다 약 6배 높았다. 그러나 중간섭식지점의 1600m 보다 주섭식지점에서 개체수는 많았으나, 습중생물량은 오히려 적었다. 작은 크기의 개체들이 주섭식지역에 높게 분포하였다. 또한, 칠게(*Macrophtalmus japonica*)의 분포는 주섭식지역에서 개체수가 높게 출현하였으며, 어린 개체들이었다(Fig. 3-10-9).

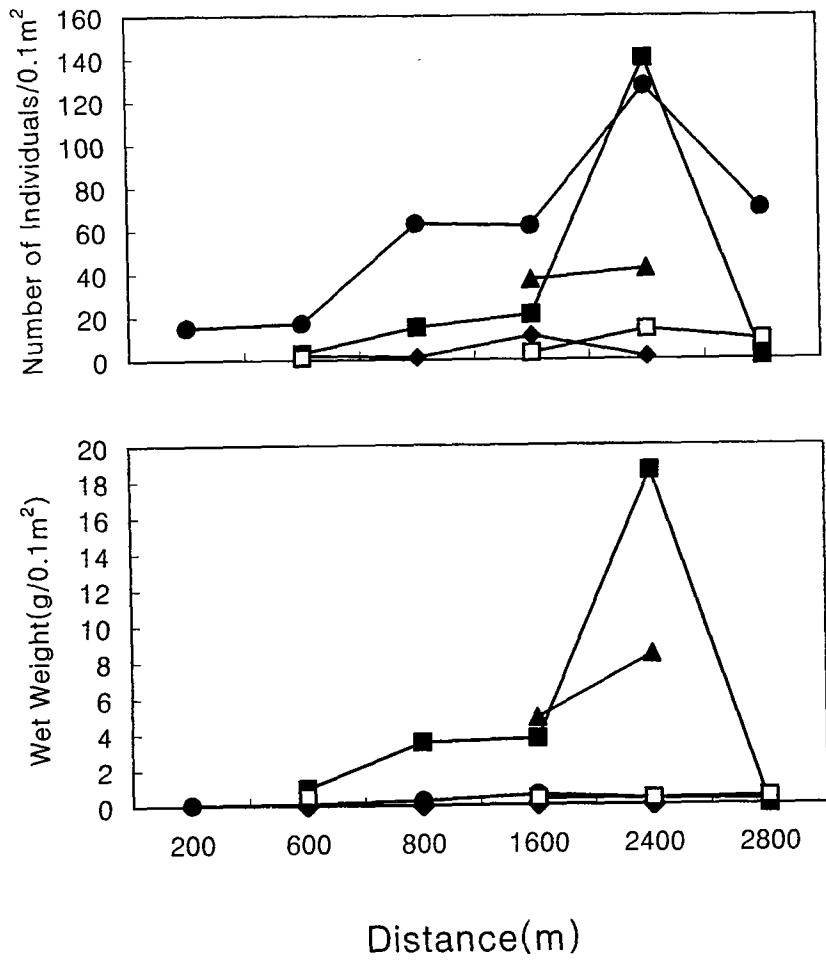
10월에는 왕좁쌀무늬고둥이 섭식시작지점 보다 주섭식지점에서 1.5배, 중간섭식지점 보다는 2배 이상의 개체수로 분포하였다. 등근입기수우렁이는 중간섭식지점에서 16개체, 14개체/0.01m²로 다른 지점 보다 높은 분포가 나타났다. 습중생물량은 왕좁쌀무늬고둥이 주섭식지점에서 섭식시작지점 보다 약 1.3배, 중간섭식지점 보다는 2배 정도로 높게 나타났다. 갯지렁이류는 주섭식지역으로 갈수록 휴식지점 보다 5배, 중간섭식지점 보다는 1.6배 정도가 높았으며, 습중생물량은 휴식지점 보다 64배 높았고, 중간섭식지점의 1600m 보다 6.7배로 높게 나타났다. 또한, 칠게는 주섭식지역에서 개체수가 다른 지역 보다 10배 정도 높게 출현하였으며, 작은 크기의 어린 개체들이었다(Fig. 3-10-10). 섭금류인 민물도요의 분포는 잠자리 및 휴식지점에서 관찰된 개체수를 100%로 볼 때 중간섭식지점에서 크게 3무리로 분산되었고, 주섭식지점에는 휴식지점의 35-40%의 개체들이 섭식하였다(Fig. 3-10-9, 3-10-10).

민물도요의 위내용물에서 출현한 주식이물인 고둥류의 최장축이 5mm 이내이었다. 9월에 민물도요가 섭식가능한 지점부터 조사된 가용식이물의 빈도분포(/0.5m²)는 등근입기수우렁이는 장축이 5mm 미만으로서 이 종을 100% 가용식이물에 해당되었다. 왕좁쌀무늬고둥은 181 개체에서 5mm 이내의 가용식이물



A : *Umbozum thomasi*, B : *Reticunassa festiva*, C : *Stenothyra glabra*,
D : *Cerithideopsilla* sp., E : Eulimidae sp., F : jaw of *Perinereis aibuhitensis*

Fig. 3-10-8. Size range of gut contents of *Calidris alpina* captured at Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1997.



Dunlin : Resting Area Feeding Start Area Main Feeding Area
 100% Dispersion of 3 Crowd 35-40%

◆ *Stenothyra glabra* ■ *Reticunassa festiva*
 ▲ *Umbonium thomasi* ● *Polychaeta*
 □ *Macrophtalmus japonica*

Fig. 3-10-9. Distribution of main preys of *C. alpina* at each feeding sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998.

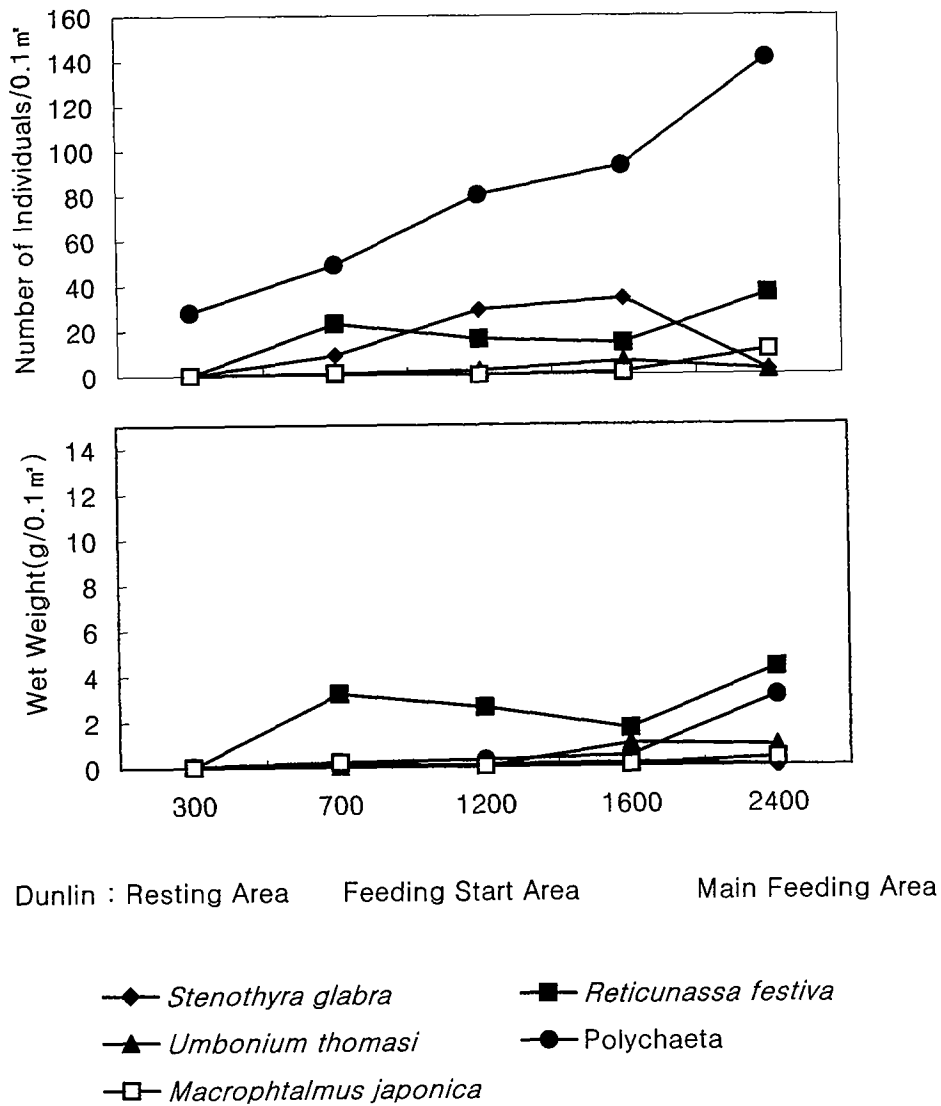


Fig. 3-10-10. Distribution of main preys of *C. alpina* at each feeding sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado, October, 1998.

개체는 4개체로 2.2%로 나타났다. 또한, 서해비단고등은 78개체 중에 10.3%인 8개체가 가용식이물에 적합하였다(Fig. 3-10-11). 10월에 민물도요의 가용식이물의 빈도분포(/0.4m²)는 등근입기수우렁이가 9월과 동일하게 100% 가용식이물에 해당되었고, 왕좁쌀무늬고등은 81개체 중에 8.5%인 7개체가 해당되었다. 또한 서해비단고등은 9개체 중에서 3개체가 해당되어 33.3%의 빈도를 나타냈다(Fig. 3-10-12).

10.3.3. 민물도요의 섭식양상

민물도요는 만조가 되기 전, 바닷물이 600m에 근접한 지점부터 만조가 된 후, 물이 600m 이내에 있을 경우는 휴식하고 있었다. 휴식시간은 만조 전에 조위가 6m~7m 일 경우 68.8±8분, 7m~8m 일 때는 159.6±7.4분, 그리고 8m~9m 일 때에 163±17.8분으로 나타났다. 만조 후에는 조위 6m~7m에서 145.6±4.6분, 7m~8m에서는 69±6.5분과 8m~9m에서 159±22.4분으로 나타났다(김, 1993). 전체휴식시간은 6m~7m에서 214.4±8.2분, 7m~8m에서는 228.6±4.4분이었고, 8m~9m에서는 322±35.3분으로 나타났다(Fig. 3-10-13).

만조부터 주섭식지점까지 물이 빠져나가는 속도는 조위별로 차이를 보였지만, 민물도요가 섭식행동을 시작할 때부터 측정된 물이 빠지는 시간은 섭식시작지점인 600m까지는 52±28분, 중간섭식시작지점인 1600m는 116±29.4분으로 나타났고 주섭식지점까지는 132±13.3분으로 나타났다. 주섭식지점에서 민물도요는 48±35.2분을 섭식하였다(Fig. 3-10-14).

민물도요는 잠재적 식이물이 출현하기 시작하는 600m 지점에서부터 갯벌이 노출되면 물이 있는 선의 후방 50~80m에서 섭식활동을 시작하였다. 이때부터 보행수 및 페킹과 프루빙이 증가하였다. 물이 빠져나가면서 이들도 이동하여 섭식하는 지점을 물선에서 후방 50~80m에서 섭식하였다. 주섭식지점에서는 물이 빠져나간 후에도 지속적인 섭식행동을 보였다. 섭식행동의 페킹하는 빈도는 휴식지점인 300m에서 분당 5.6±6.9로 나타났고, 섭식시작지점의 600m에서는 분당 36.8±20.5, 중간섭식지점의 1600m에서는 48.8±20.3으로 나타났다. 주섭식지점에서는 분당 59.2±17.8의 빈도로 나타났다. 페킹하는 횟수는 휴식지점 및 섭식시작지점에서는 낮은 빈도를 보였으나 섭식이 시작된 중간섭

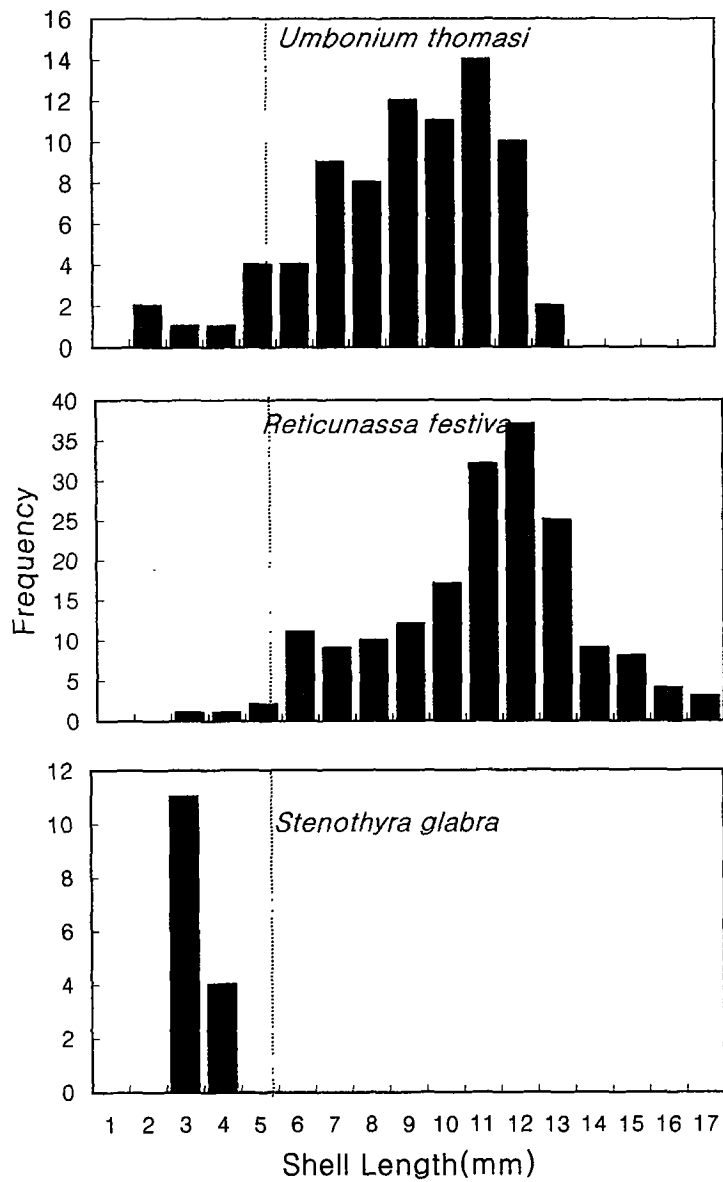


Fig. 3-10-11. Shell length's frequency of potential preys under 0.5 mm of *C. alpina* on Yeochari tidal flat in Kanghwado, September, 1998.

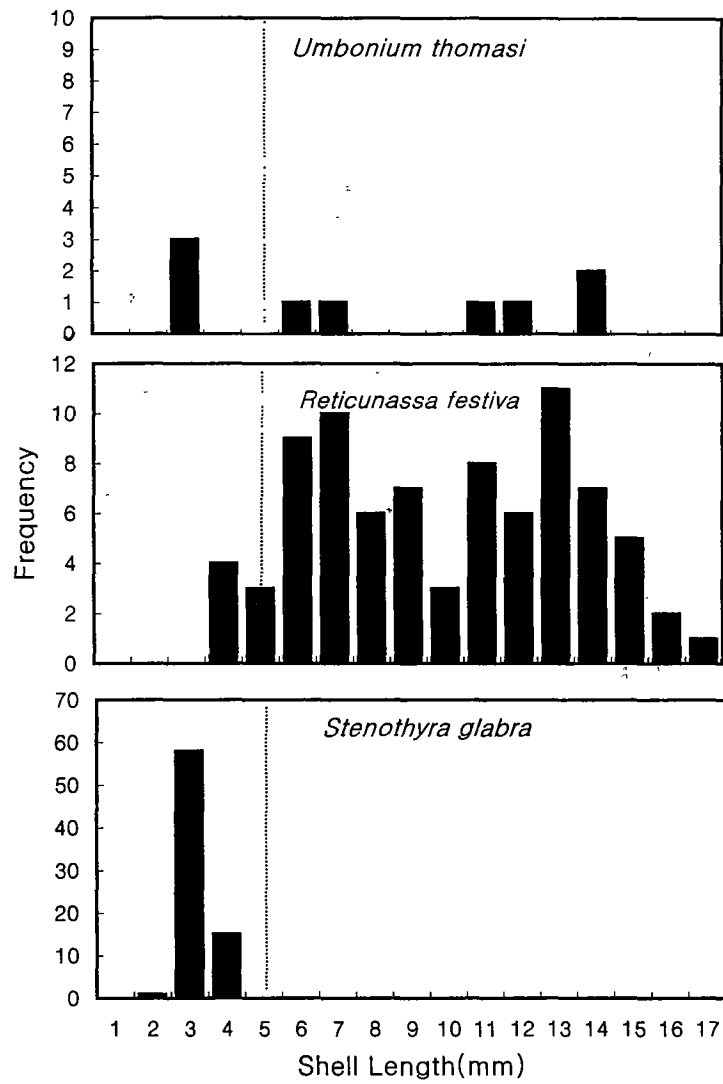


Fig. 3-10-12. Shell length's frequency of potential preys under 0.5mm of *C. alpina* on Yeochari tidal flat in Kanghwado, October, 1998.

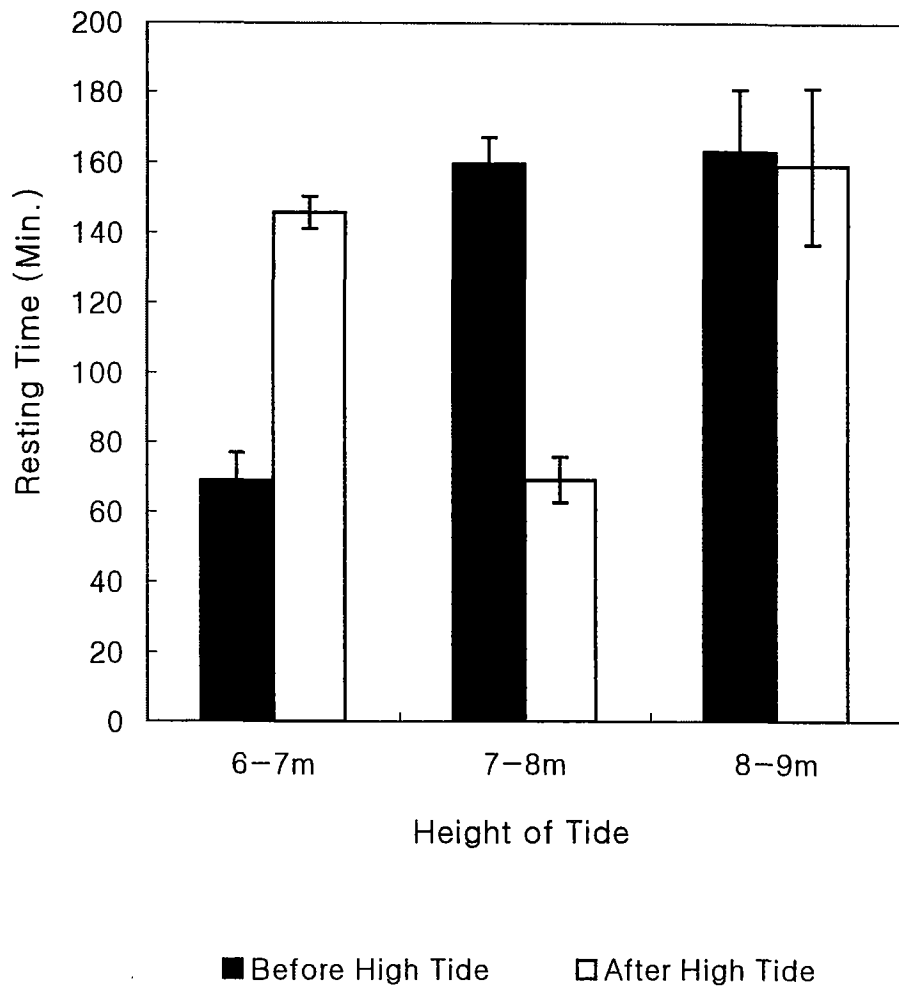


Fig. 3-10-13. Resting time of *C. alpina* at various high tide heights on Yeochari tidal flat in Kanghwado.

(■: Before high tide, □: After high tide)

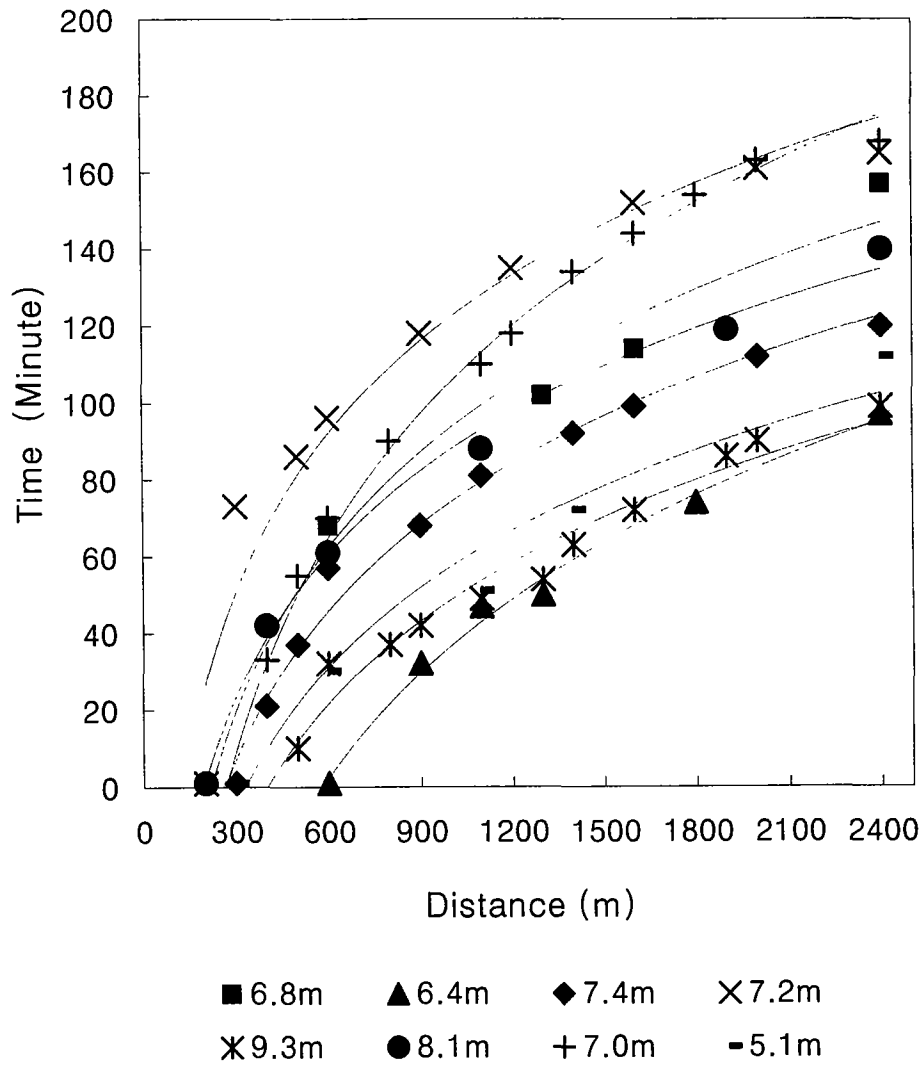


Fig. 3-10-14. Velocity of tidal current from resting site to main feeding site at the ebb tidal on Yeochari tidal flat in Kanghwado.

식지점과 주섭식지점에서는 상대적으로 높게 나타났다. 보행수는 휴식지점에서 분당 9.6 ± 8.32 로 걷는 행동이 적었으나, 섭식시작지점에서는 분당 180 ± 35.6 으로 그 빈도가 높아졌다. 중간섭식지점에서는 분당 140.2 ± 11.7 로 나타났다, 주섭식지점에서는 분당 103.2 ± 22.2 로 그 빈도가 중간섭식지점 보다 다소 줄어들었다. 섭식성공도는 휴식지점에서는 거의 없었고, 섭식시작지점에서 분당 1.8 ± 0.8 로 나타났다. 중간섭식지점인 900m와 1600m에서는 각각 분당 2.2 ± 1.5 , 분당 2.2 ± 1.8 로 나타났으며, 주섭식지역에서는 분당 3.6 ± 1.3 으로 다른 지점보다 높게 나타났다(Fig. 3-10-15).

간조주기 동안 전체적인 폐킹에 의한 섭식율과 섭식성공도는 R^2 값이 0.55의 유의성이 보였다. 부리로 콕콕 쪼는(pecking) 빈도가 높을수록 식이물 포획 가능성이 증가함을 보였다. 그러나 보행수와 섭식율의 상관관계를 보면, R^2 값 0.35로 유의성이 크지 않았다(Fig. 3-10-16).

10.3.4. 섭금류의 섭식량

산소소비율을 측정하기 위해 채집된 수조류는 몸무게가 84.49g, 전체길이가 142.95mm, 부리 길이가 42.36mm의 중형 도요류인 노랑발도요(*Tringa brevipes*)와 몸무게가 32.72g, 전체길이가 105.13mm, 부리 길이가 18.02mm인 소형 도요류의 좁도요(*Calidris ruficollis*)이었다. 22~24℃에서 측정된 노랑발도요의 산소소비율(ml h^{-1})은 24~1시에 11.7 ± 4.8 , 1~2시 사이에는 14.6 ± 6.0 이 나타났으며, 11~12시 사이의 47.81 ± 4.8 까지 증가하였다. 12~1시부터 44.58 ± 6.18 로 감소되면서 1~2시 사이에는 43.21 ± 13.2 로 감소되었다. 노랑발도요는 오전부터 산소소비율이 증가되어 정오부터 감소하는 뚜렷한 경향을 보였다(Fig. 3-10-17). 산소소비율에 의한 최저 먹이 요구량은 단위시간별로 $1 \text{ ml O}_2 \text{ g h}^{-1}$ 을 20.33 Joule($4.185\text{J}=1\text{cal}$) g O_2 로 산정한 결과(Bayne, 1985), 24~1시에는 2.82 ± 1.15 Joule, 2~3시에는 4.28 ± 1.08 Joule, 오전 8~9시에는 9.14 ± 1.23 Joule로 나타났다. 또한 10~11시, 11~12시 사이에서 11.77 ± 1.22 , 11.50 ± 1.15 Joule의 먹이 요구량을 보였고, 12~13시 사이부터 먹이 요구량 값이 10.72 ± 1.49 Joule로 감소하기 시작하였다(Table 3-10-2).

소형 도요류인 좁도요의 일일 산소소비율(ml h^{-1})을 23~25℃에서 측정한

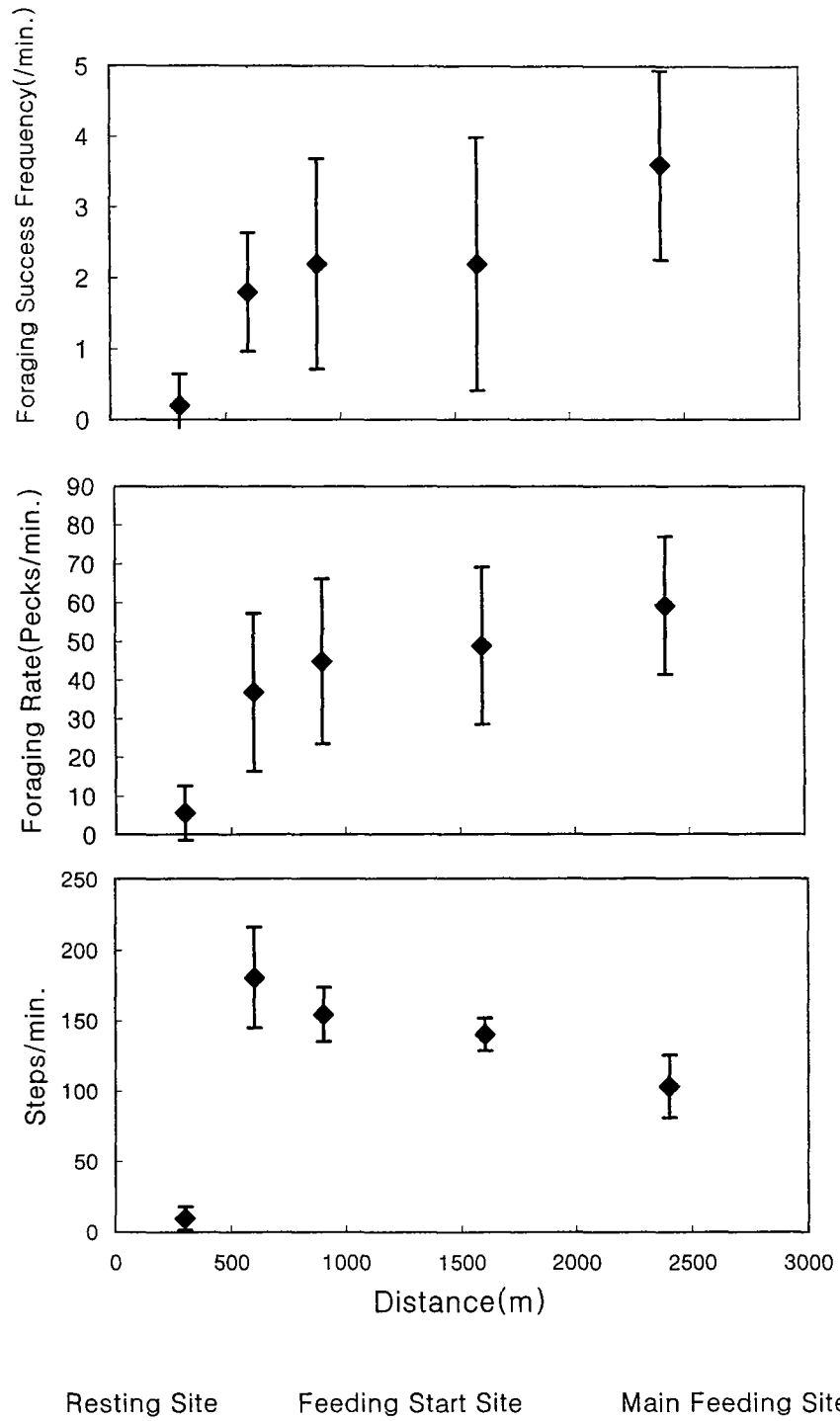


Fig. 3-10-15. Difference of foraging success frequency, foraging rate and steps of *C. alpina* at each feeding and resting sites on Yeochari tidal flat in Kanghwado.

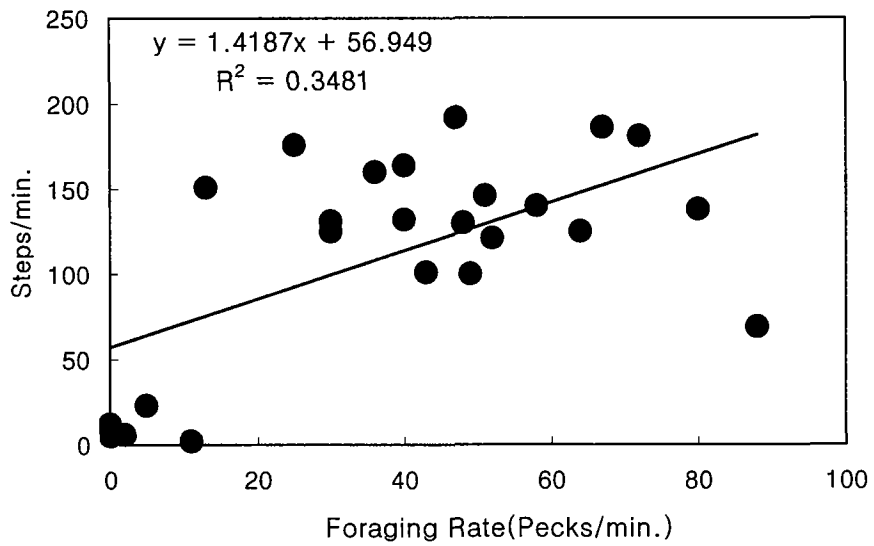
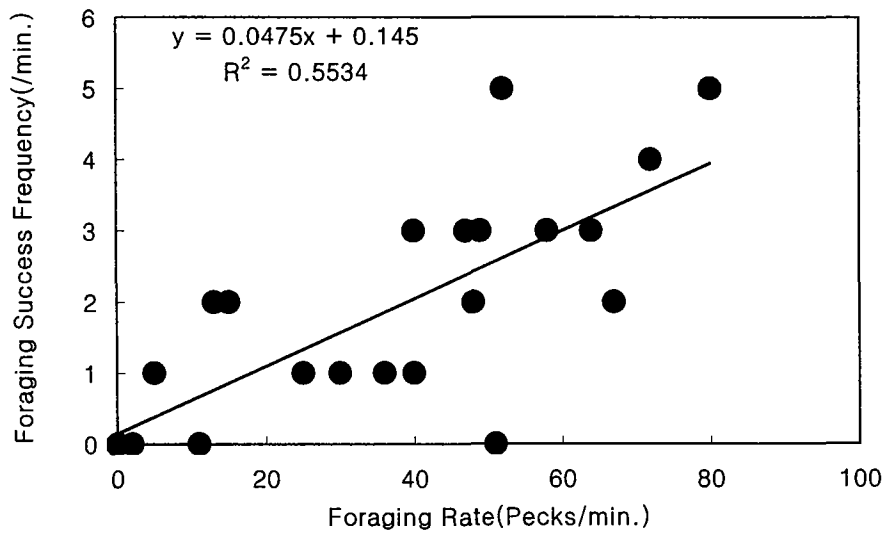


Fig. 3-10-16. Relationships of foraging success frequency and foraging rate(Pecks/min.), steps and foraging rate of *C. alpina* observed on Yeochari tidal flat in Kanghwado.

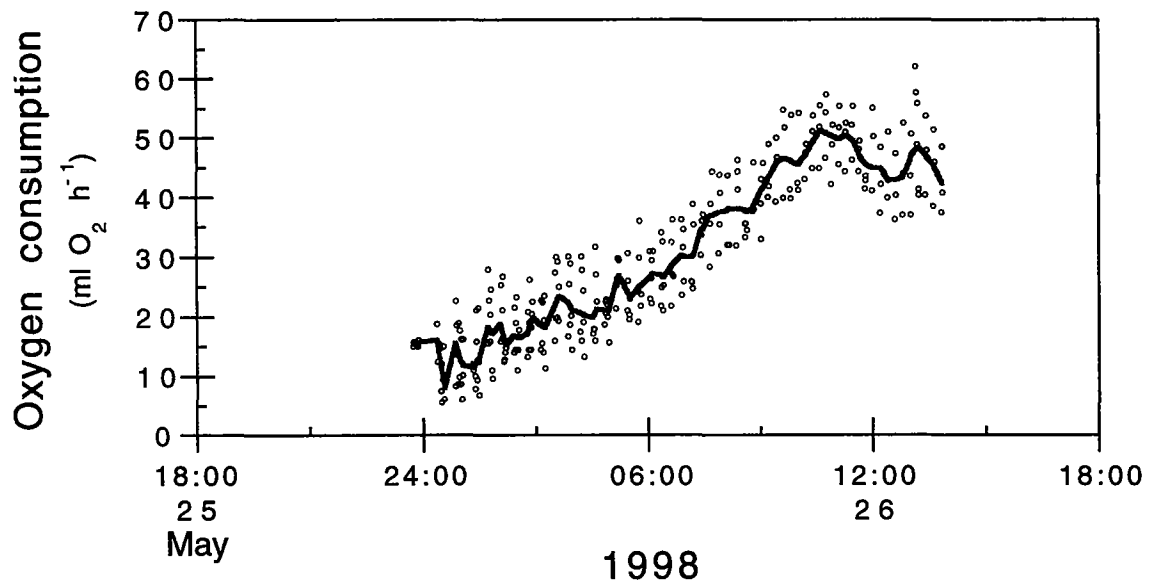


Fig. 3-10-17. Peaks and rates of oxygen consumption by *Tringa brevipes* under experimental condition.

Table 3-10-2. Oxygen consumption rate and energy(4.185Joule=1cal) for basal demand amount by *Tringa brevipes* and *Calidris ruficollis* under experimental condition

Time	<i>Tringa brevipes</i>			<i>Calidris ruficollis</i>		
	ml h ⁻¹	J g O ₂ h ⁻¹	Temperature (°C)	ml h ⁻¹	J g O ₂ h ⁻¹	Temperature (°C)
24:00~1:00	11.7±4.8	2.82±1.15	23.08	4.93±1.84	3.06±1.14	24.68
1:00~2:00	14.6±6.0	3.51±1.44	22.97	3.89±1.69	2.41±1.06	24.63
2:00~3:00	17.8±4.5	4.28±1.08	22.80	4.10±2.84	2.57±1.76	24.62
3:00~4:00	21.07±5.6	5.07±1.34	22.66	3.97±1.73	2.47±1.08	24.66
4:00~5:00	20.99±4.97	5.05±1.19	22.50	5.61±2.43	3.48±1.51	24.70
5:00~6:00	25.48±4.69	6.13±1.13	22.33	4.71±1.66	2.93±1.03	24.79
6:00~7:00	28.13±4.97	6.77±1.19	22.31	4.20±1.84	2.61±1.14	24.79
7:00~8:00	34.53±5.89	8.31±1.42	22.78	4.41±1.52	2.74±0.95	24.83
8:00~9:00	37.99±5.11	9.14±1.23	23.2	5.26±2.13	3.27±1.33	24.82
9:00~10:00	44.29±5.84	10.66±1.40	23.57	5.47±2.14	3.40±1.33	24.82
10:00~11:00	48.92±5.09	11.77±1.22	23.93	5.03±1.69	3.12±1.05	25.10
11:00~12:00	47.81±4.80	11.50±1.15	24.09	6.83±2.59	4.24±1.61	24.86
12:00~13:00	44.58±6.18	10.72±1.49	24.1	4.29±1.59	2.67±0.99	23.93
13:00~14:00	43.21±13.2	10.40±3.17	23.99	4.44±1.66	2.76±1.03	23.43
14:00~15:00				4.56±1.71	2.83±1.06	23.14
15:00~16:00				4.99±1.73	3.10±1.07	22.92
16:00~17:00				4.27±1.71	2.65±1.06	23.49
17:00~18:00				4.71±1.83	2.93±1.13	24.14
18:00~19:00				4.50±1.67	2.79±1.04	24.38
19:00~20:00				5.75±1.91	3.56±1.18	24.48
20:00~21:00				4.79±1.84	2.97±1.14	24.49
21:00~22:00				4.78±1.69	2.97±1.05	24.46
22:00~23:00				5.91±3.31	3.68±2.06	24.45
23:00~24:00				5.43±1.43	3.38±0.89	24.50

결과, 24~1시에 4.93 ± 1.84 , 1~2시 사이에는 3.89 ± 1.69 , 4~5시에는 5.61 ± 2.43 및 6~7시에는 4.20 ± 1.84 로 나타났다. 오전 7~8시에는 4.41 ± 1.52 , 11~12시 사이에서는 6.83 ± 2.59 의 값을 보였다. 오후 13~14시에는 4.44 ± 1.66 , 15~16시 사이에는 $4.99 \sim 1.73$ 의 값을 보였고, 19~20시에는 5.75 ± 1.91 로 나타났으며, 21~22시 사이에서는 4.78 ± 1.69 와 23~24시에는 5.43 ± 1.43 의 값을 보였다. 줌도요의 산소소비율은 11~12시 사이에서 최대로 나타났으나, 전체적으로 볼 때에는 노랑발도요의 산소소비율 같은 뚜렷한 경향이 없었다(Fig. 3-10-18). 단위시간별로 최소한의 먹이 요구량은 24~1시에 3.06 ± 1.14 , 1~2시 사이에서 2.41 ± 1.06 , 4~5시에서 3.48 ± 1.51 로 나타났다. 오전 7~8시에는 2.74 ± 0.95 , 11~12시 사이에서 4.24 ± 1.61 의 값을 보였다. 오후 13~14시에는 2.76 ± 1.03 , 15~16시 사이에는 $3.10 \sim 1.07$ 의 값을 보였고, 21~22시 사이에서는 2.97 ± 1.05 , 23~24시에서 3.38 ± 0.89 의 값을 보였다 (Table 3-10-2).

10.4. 고찰

수조류 중의 섭금류 변동에 대한 정확한 요인이 파악되어 있지는 않지만 장기적으로 볼 때는 이동시기의 기온 및 식이물과 상호 밀접한 관계를 갖고 있다. 낮은 기온은 체온유지를 위한 에너지 요구량을 증가시키고, 잠재적 식이물인 저서동물과 관련하여 볼 때 온도가 저하되면 저서동물이 비활동적으로 되어 갯벌의 퇴적물 안으로 깊이 들어가기 때문에 섭금류가 이용할 수 있는 먹이가 감소된다(Evans, 1976; Puttick, 1979). 이동시기에 평균기온이 10~20℃ 일 때에 10℃ 이하나 20℃ 이상 일 때 보다 많은 개체수가 관찰되고, 식이물의 감소에 따라 수조류가 감소하였다(김, 1993). 또한 주변환경의 파괴, 오염 및 인간의 간섭 등의 변화도 수조류의 도래에 영향을 미칠 것이다. 단기적으로 볼 때 지역별로 식이물의 생물량과 선호하는 식이물에 따라 분포를 달리하고 있으며, 휴식공간, 잠자리 장소에 따라 만조 시에 관찰되는 수조류가 차이를 보인다(한국해양연구소, 1998).

강화도 여차리에 도래하는 수조류 중 섭금류는 1991년부터 1998년까지 봄철과 가을철에 큰 출현 피크를 나타내었으며, 그 시기는 4월, 5월과 9, 10월

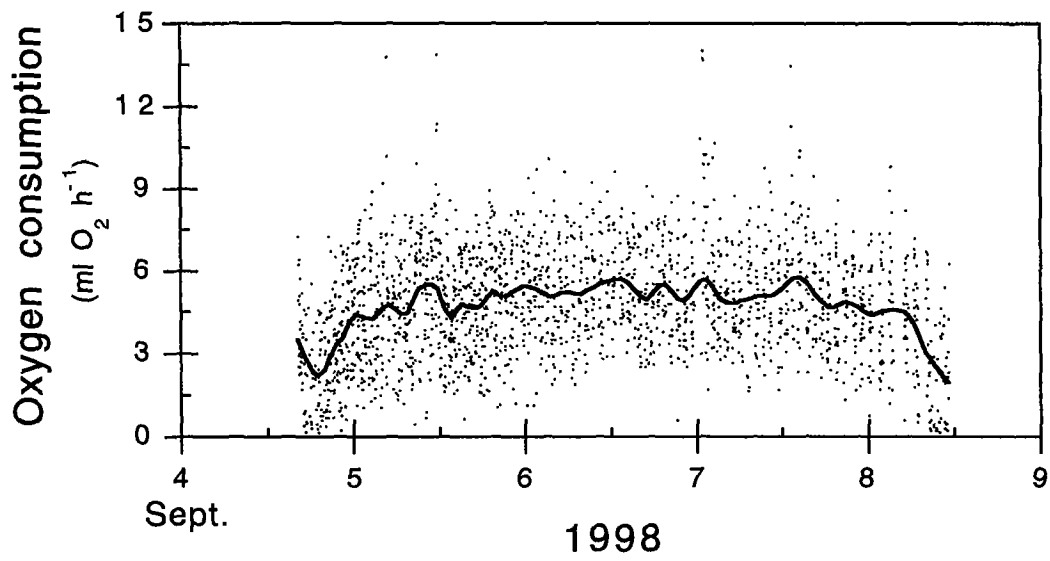


Fig. 3-10-18. Peaks and rates of oxygen consumption by *Calidris ruficollis* under experimental condition.

이었다. 이들 섭금류가 도래하지 않는 겨울철에는 오리류가 우점하였고, 수조류의 개체수가 급격히 감소된 6월에는 갯이갈매기가 우점하였다(Table 3-10-1). 여차리 지역에 도래하는 섭금류 군집을 연대별로 보면, 도래경향과 최고도래시기는 안정적으로 유지될 것으로 보이나, 섭금류의 개체수는 현재에 감소하고 있는 추세에 있다. 섭금류의 개체수 감소요인은 주변환경의 변화, 기후와 기온의 영향과 갯벌의 퇴적물 변화에 따른 잠재적 식이물의 변화에 의한 것으로 보여진다. 주변환경의 변화로서 영종도 대규모 신공항 건설공사가 1992년부터 시작되어 공사중에 토사 등의 부유모래가 해상에 확산되어 조위·조류의 세기 변화와 퇴적환경의 변화가 예측되어 진다. 유속변화에 따른 저서생물의 생산량 감소도 20~40%로 추정되었고, 공항 부지조성 후에 여차리 건너편 지역인 신도 및 장봉도에 이르는 해역은 1.0cm/년 정도의 퇴적변화와 침식이 일어나는 지역으로 조사되었다(한국해양연구소, 1992). 또한 조류(tide)는 섭금류를 포함한 해양생생물의 분포 및 풍부도에 영향을 미치고 있고 섭금류의 먹이 이용도와 이용가능한 섭식면적의 크기에 영향을 준다(Recher, 1966; Puttick, 1980). 결국, 1994년부터 섭금류는 주변환경의 영향과 퇴적환경이 변화, 섭금류의 잠재적 식이물 및 조류의 변화가 현시점에서 강화도 여차리 지역에 도래하는 섭금류의 감소를 초래하였다고 본다.

섭금류는 봄과 가을에 도래하였고, 이들이 도래하는 시기의 온도는 봄철인 3월에 11℃와 5월의 28℃에 많은 개체수가 나타났으며, 11월초의 11℃까지 관찰되었으나 그 이하로 떨어졌을 때는 개체수의 급격한 감소를 보였다. 전체 수조류의 무리도 영하로 떨어졌을 때는 개체수 및 종수가 급격히 줄어드는 양상을 보였다(Fig. 3-10-3). 이것은 20℃ 이상일 때에 10~20℃ 보다 적은 개체수가 관찰된다는 이론과는 차이가 나지만 10℃ 이하일 경우에는 적합하였다. 또한 아종의 최대 개체수가 130,000 마리 정도인 민물도요가 봄철인 3월 21일에 2,500개체, 가을철인 9월 3일에 4,500개체의 최대 개체수를 보였다(Fig. 3-10-5). 섭금류의 비도래시기인 겨울철에는 오리류가 우점하였고, 여름철에는 갯이갈매기가 우점하였다. 국제조류보호협회의 적색자료서(Red Data)에 등록되어 있는 노랑부리백로(*Egretta eulophotes*)가 7, 8, 9월에 20개체 이상이 관찰되었고, 위협받고 있는 희귀종인 노랑부리저어새(*Platalea leucorodia*)가 서식하였다. 25,000여 마리가 존재하고 있는 개평(*Pluvialis*

squatarola)이 8, 9월에 425 개체, 400 개체가 관찰된 것은 강화도 여차리 지역이 민물도요, 개펄의 두 종만으로 랍사협약등록지역 선정 기준의 하나인 어느 한 종이래도 잔존집단의 1%을 부양하고 있는 습지(Davis, 1994)에 해당되어 보호관리 하여야 할 습지로서 중요성을 갖는다.

해안 습지에 서식하는 수조류는 섭식 및 휴식장소로서 습지를 이용하고 있으며, 이 지역에는 먹이로 되는 다양한 저서동물들이 높은 밀도로 서식하고 있어 수조류와 상호 밀접한 관계를 맺고 있었다(한국해양연구소, 1998). 섭식지에서 섭금류 분포가 그 식이물의 분포와 밀접한 상관성을 갖고 있다(Zwarts, 1988; Colwell and Landrum, 1993). 섭금류인 민물도요는 휴식지점, 섭식시작지점, 중간섭식지점 및 주섭식지점에서 분포에 차이를 보였다. 휴식지점의 100%의 민물도요 무리는 중간섭식지점에서 크게 세무리로 분산하였고, 주섭식지점에서는 30-45%의 무리가 남아서 섭식하고 있었다. 또한 지역별 잠재적 식이물의 분포는 휴식지점 보다 섭식시작 및 중간섭식지점에서 개체수, 종수 및 생물량이 높았고, 주섭식지점인 2,400m에서는 고등류가 9종, 200개체, 32.64g으로 나타났고, 갯지렁이류는 23종, 127개체, 0.337g으로 개체수 및 생물량이 최대로 나타났다(Fig. 3-10-6). 이것은 식이물과 민물도요의 분포가 밀접한 상관성이 있음을 증명하고 있다.

민물도요는 다른 나라에서는 참갯지렁이류(*Nereis diversicola*), 이매패류(*Macoma balthica*)와 고등류(*Hydrobia ulvae*)등을 섭식한다고 기록이 있다(Worrall, 1984; Durell and Kelly, 1990). 국내에서는 강화도 여차리 갯벌에서 채집되었던 민물도요의 위내용물에서 왕좁쌀무늬고등, 서해비단고등, 둥근입기수우렁이, 참갯지렁이류의 이빨 등이 발견되었다(한국해양연구소, 1998). 민물도요는 최대 5mm 이내의 범위의 식이물을 섭취 할 수 있었다(Fig. 3-10-8). 왕좁쌀무늬고등은 섭식시작지점 보다 주섭식지점에서 45배 이상의 개체수가 출현하였고, 서해비단고등은 중간 및 주섭식지점에서 37개체, 42개체/0.01m²가 출현하였다. 이들의 습중생물량도 주섭식지점에서 증가하였으나, 왕좁쌀무늬고등은 주섭식지점에서 섭식시작지점 보다 약 20배, 중간섭식지점 보다는 5배 정도로 높게 나타났다. 이들 종은 크기에 있어서 주섭식지점에서 작은 크기의 개체수가 높게 분포하였다(Fig. 3-10-9). 또한 9월, 10월에 고등류의 섭식가능한 개체는 둥근입기수우렁이의 각장이 5mm 미만으로서 민물도요

가 섭식 가능한 크기에 100% 적합하였고, 왕좁쌀무늬고둥은 섭식 가능한 개체가 9월에는 2.2%, 10월에는 8.5%로 나타났으며, 서해비단고둥은 섭식 가능한 개체가 9월과 10월에 각각 10.3%, 33.3%로 나타났다. 이들 식이물은 섭금류가 섭식가능한 지점에서 다수 출현하였다(Fig. 3-10-11). 섭금류들은 식이물이 풍부한 지역에서 섭식하는 것이 섭식 효율을 높일 수 있고, 결국 섭식 효율이 높을수록 섭식성공도도 높아 진다.

섭식효율과 섭식성공도의 유의성은 높게 나타났으며, 섭금류 가운데 알락꼬리마도요 및 증부리도요(*Numenius phaeopus*)는 섭식효율을 높이기 위해 선택적인 섭식전략을 구사한다고 하였다(Zwarts and Blomert, 1990). 민물도요는 만조 전·후로하여 조위가 6m 이상에서 3시간, 7m 이상에서는 4시간 이상과 8m 이상에서 5시간 이상을 휴식하였다(Fig. 3-10-13). 물이 빠지면서 주섭식지점까지는 132분이 소요되었으며, 이 지역에서 최대 83분을 섭식하였다. 섭식행동인 페킹도 주섭식지점에서 높게 나타났다. 그러나 보행수는 중간섭식지점 보다 감소하였다(Fig. 3-10-15). 민물도요가 식이물이 풍부한 지점까지 이동하기 위해 중간지점에서는 집중적인 섭식행동을 보이지 않았고, 섭식성공도도 주섭식지점 보다 적게 나타났다. 이것은 조류(tidal current)의 반복과 속도 및 조위의 차이가 먹이 이용 시간과 섭식 가능한 면적 크기에 영향을 주었다고 생각된다. 또한 갯벌 노출 시간과 조류를 따라 가면서 섭식하거나 휴식하는 섭금류에 있어서 섭식양상에 있어 시·공간적인 행동 등의 차이가 있었다고 볼 수 있다. 그러나 더욱 정확한 결론에 도달하기 위해서는 지속적인 조사가 필요하고, 식이물의 월별 분포 및 국소적 지역에 따라 분포에 차이를 나타내기 때문에 지역적인 자료를 정량적으로 채집하여 조사할 필요가 있다.

동물의 대사과정에서 방출되는 에너지는 열로서 발산되어 단위시간당 방출되는 대사율(metabolic rate)로 측정된다. 대사율을 알면 동물의 에너지 요구량을 계산 할 수 있으며, 대사율은 소비된 산소 1ℓ 당 칼로리 값으로 측정할 수 있다. 동물에서 체중 단위 g 당 산소소비율과 체중은 반비례하고 있고, 산소 소비율을 알면 최소한도의 먹이 요구량을 산정 할 수 있다(Bayne, 1985). 84.49g의 노랑발도요의 단위시간 당 대사강도는 자정에서부터 서서히 증가하여 오전 10시에서 11시 사이에 최대 피크를 보인 후에 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 3-10-17). 먹이 요구량도 2.82 Joule(4.185J=1cal)에서 최고

11.77 Joule의 값을 보였다. 반면, 32.72g인 좀도요의 일일 산소소비율의 변화는 뚜렷한 경향이 없었다(Fig. 3-10-18). 먹이 요구량은 2.41~4.24 Joule의 값을 보였다. 두 종을 비교하여 볼 때 g 당 산소소비율은 체중에 반비례하고 있었다. 이와같이 섭금류의 산소 소비율에 의한 먹이 요구량의 파악이 가능하였지만, 본 연구에서 가장 우점종인 민물도요가 채집되지 않아서 대상종의 먹이 요구량을 구하지 못하였다. 앞으로의 연구에서 민물도요의 먹이 요구량을 파악하고, 민물도요가 섭식하는 식물들이 갖고 있는 에너지를 직접열량계법(direct calorimetry)으로 측정하여 민물도요가 단위 시간당 섭식하는 식이물량을 파악하면 이 종이 갖는 갯벌내에서의 섭식과 갯벌이 부양할 수 있는 최대 철새 수용력에 대한 연구가 가능하리라고 본다. 또한 갯벌의 간척, 개발이 퇴적물에서 서식하는 저서동물에 변화를 유발하고 더 나아가 갯벌 생태계의 최종소비자인 수조류에게 큰 영향을 주고 있는 현시점에서 수조류들의 보호, 관리를 위하여 식이물이 되는 저서동물의 변화를 예측하여 주기적으로 매년 도래하는 수조류를 보호하는 방안이 지속적으로 모색되어야 한다.

제11절 서식지 지도 작성

11.1. 서론

생물이 살고 있는 공간을 관리하려면 그곳에 살고 있는 모든 생물의 서식 특성을 아는 것이 좋다. 하지만 모든 생물의 특성을 안다는 것은 현실적으로 불가능할 뿐만 아니라 시간적으로나 경제적으로 엄청난 투자를 필요로 한다. 자연 관리의 목적이 생태계를 안정적으로 보전하고 현명하게 이용하는데 있다면 거시적인 시각에서 생태계를 바라보고 보전과 이용에 가장 현명하고 경제성 있는 방안을 찾아야 할 것이다. 그래서 단위 생물이나 개체군을 일일이 찾아내기보다는 일정한 공간적인 범위를 가지고 구획할 수만 있다면 여러 가지로 편리한 점이 많게 된다. 그러면 그 범위는 어떻게 구획할 수 있는가하는 문제에 부딪칠 수밖에 없다. 이런 문제를 해결하기 위한 한 방안으로 서식지(habitat)라는 개념을 차용하게 되었고, 서식지는 생물군집 또는 소규모 생태계를 대변할 수 있는 장점을 가지고 있었다. 따라서 생물의 특성을 잘 반영하는 적절한 기준을 정해서 분류를 시도하게 되었고 그것을 각종 생물과 환경 정보와 함께 지도에 나타낸 것이 서식지 지도 또는 생태지도라고 할 수 있다. 서식지 지도 작성은 생태계(또는 자연)를 효율적으로 관리하기 위한 방안으로 출발하였던 것이다. 이러한 시도는 국내에서도 적용되어 해안지역의 보존 계획을 수립하는데 사용되고 있다(해양수산부, 1998b). 최근에 지리정보시스템의 개념이 도입되고 응용되면서 서식지지도와 생태정보는 다양한 목적으로 폭넓게 이용되기 시작하였다.

강화도인 경우 간척사업으로 인한 해안선의 변화가 컸으므로 해안 서식지의 특성을 파악하기 위해서는 반드시 해안선 변화에 대한 정보를 확보하여야 했다. 그리고 현장방문을 통해 실제 해안상태와 식생의 관찰과 보다 정확한 자료의 수집도 필요하였다. 이러한 자료를 토대로 최종년도에는 서식지 분류 방법을 고안하여 정량적인 조사에 활용할 계획이다. 삼년동안 수집된 모든 자료는 수치지도에 입력하고 지리정보시스템을 이용하여 분석을 한 다음 도시할 것이다.

지리정보시스템 (Geographic Information System, GIS)은 “지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 조정, 분석, 출력할 수 있도록 설계된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리적 자료 그리고 인적 자원의 통합체”로 정의된다(ESRI, 1993). GIS에서는 자료가 데이터베이스 내에서 수치 형태로 처리되므로 많은 양의 자료를 빠른 시간 동안에 처리할 수 있으며, 자료들을 다양한 관점에서 통합과 중첩·모형화함으로써 새로운 정보를 생성할 수 있다. GIS는 인간의 의사결정 능력을 향상시켜주기 위한 관련 정보를 제공하기 위하여 지표면과 관련된 지리정보의 관찰과 수집에서부터 보존, 분석 및 출력에 이르기까지의 일련의 조작을 위한 정보시스템이라고 할 수 있다 (김, 1998)

GIS가 사용되기 이전에는 지리정보를 종이나 필름에 주로 기록하였고, 여러 가지 색깔, 문자 등을 사용하여 시각적으로 표현되었으며, 범례를 통해 설명되었다. 그러나 지도 자체의 협소한 공간에 나타낼 수 있는 정보의 양은 한정될 수밖에 없었으며, 원하는 정보를 중첩하여 살펴보거나 이를 이용하여 분석에 응용할 수 없었다. 그러나 GIS 기술이 발달함에 따라 구축된 자료 중 용도와 분석 목적에 따라 필요한 변수들을 중첩하여 종합적으로 분석할 수 있게 되었으며, 시뮬레이션을 통하여 최적의 해결책을 신속하고 효율적으로 도출하여 의사결정에 이용할 수 있게 되었다. GIS는 최근 시설물 관리, 환경관리 등에 널리 사용되고 있으며, 생태학과 해양학 분야에서도 많은 응용 사례들이 나오고 있다.

11.2. 조사방법

11.2.1. 해안선 변화

강화도는 해안선 변화는 문헌을 통해서 파악하려고 강화도의 자료(강화문화원, 1994; 길상면지편찬위원회, 1995; 고가향토사편찬위원회, 1997)와 강화도의 지형변화를 연구한 논문 (최 등, 1998)을 수집하였고, 국립지리원에서 일제시대에 제작된 지도 발견하여 해안선 변화를 추정하는데 사용하였다.

11.2.2. 해안 식생과 서식지 분류

강화도 남단 갯벌과 면한 해안선을 초지진부터 화도면 장화리까지의 해안을 직접 두 차례 방문하여 해안의 종류와 해안식생을 조사하였다. 지도에 나타난 해안과 실제 상태를 비교하였고, 염생식물 식생대의 존재 여부 그리고 서식 식물을 확인하였지만, 해안종류별 해안선의 구성비와 식생대의 면적은 조사하지 않았다. 서식지의 분류기준이 확정되고 난 삼차년도 연구기간 동안에 보다 구체적인 조사를 할 계획이다.

11.2.3. 지리정보시스템을 이용한 서식지 지도 (eco-map) 작성

갯벌의 가치 평가나 보전 전략 수립, 자원 평가 등에 활용할 수 있는 서식지 지도 (생태지도: eco-map이라 명명)를 지리정보시스템을 이용하여 개발하고자 시범적으로 연구지역인 강화도 남단 개별과 그 주변 육역에 대한 프로토타입을 제작하였다. 프로그램은 국내에서 가장 널리 사용되고 있는 Desktop GIS인 미국 ESRI사의 Arc/View를 사용했다. 강화도의 수치지도는 1/25,000 표준지도를 디지털화하여 만들었으며(Fig. 3-11-1) 해안선, 제방, 갯벌, 도로, 등고선, 행정구역, 유적지, 논, 밭, 하천, 관광지, 조사정점 등 기본적인 지형 요소들을 레이어로 구축하였다. 갯벌 서식지 지도에는 1997년 8월의 생물조사가 수행되었던 83개 조사정점에 대한 조사 결과를 그래픽으로 도시할 수 있는 기능과 각 생물종별로 사진과 생태 자료를 검색할 수 있게 하였다. 그러나 이 지도는 완성형이 아니고 완성된 지도를 디자인하기 위해 시험적으로 제작한 것이다.

11.3. 결과 및 고찰

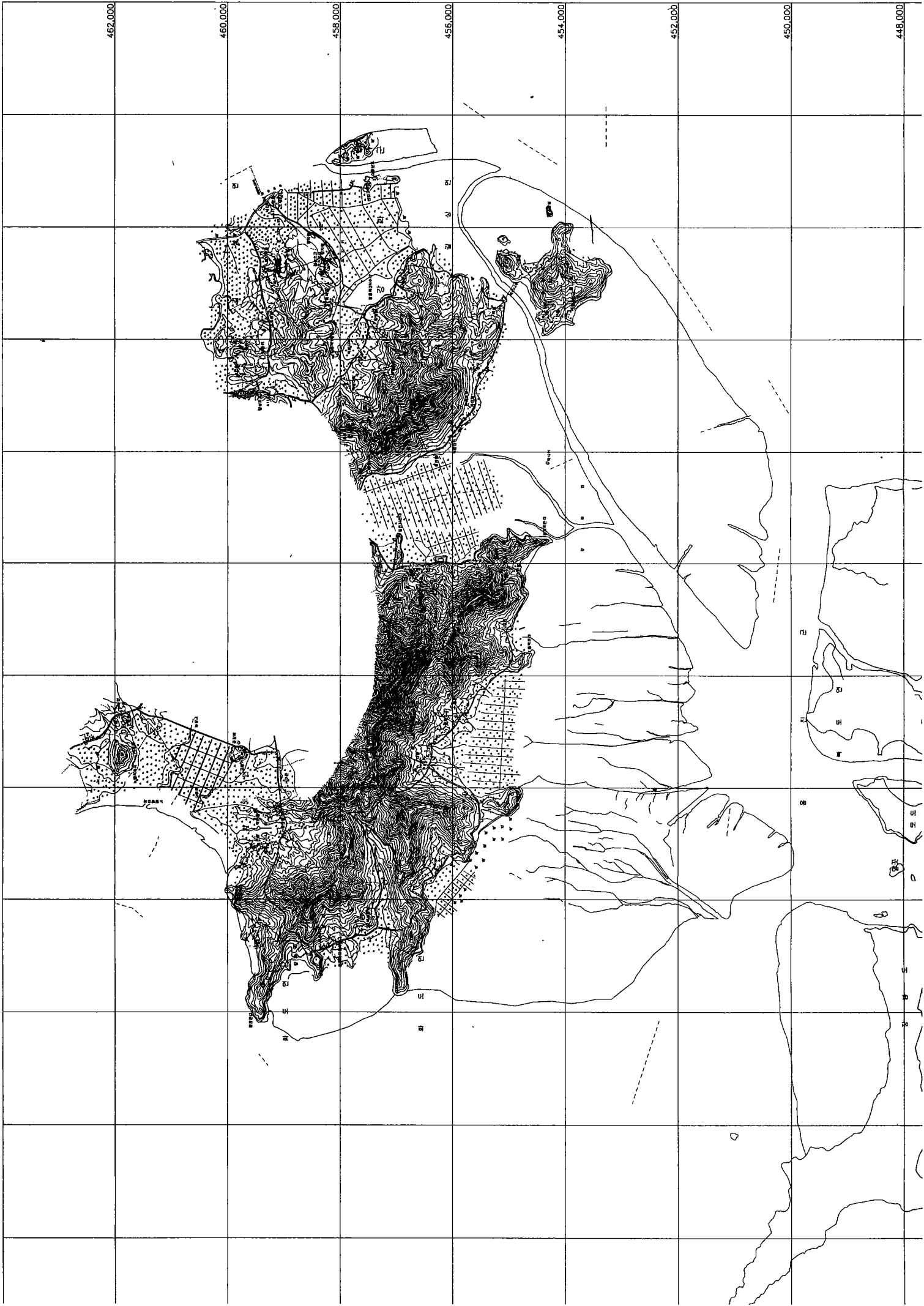
11.3.1. 해안선 변화

최 등 (1998)은 강화도의 해안선 변화는 크게 네 단계로 나누어 추정하여

도시하였다. 단계는 강화도에서 방조제를 쌓아 간척을 하기 이전과 최초로 간척사업이 시행되었던 13세기와 18세기 그리고 최근의 모습으로 단계를 나누었다(Fig. 3-11-2). 약 800여년 전의 간척사업 이전의 강화도의 모습은 지금의 모습과는 판이하게 다른 해안선이 매우 복잡하고, 강화도뿐만 아니라 교동도, 석모도도 여러 개의 작은 섬으로 나누어져 있음을 알 수 있었다. 이 당시에는 강화도는 남북으로 크게 두 섬으로 분리되었으며, 마니산이 있는 강화도의 남서쪽에 위치한 작은 섬 (현재의 화도면)을 고가도 (古加島)로 불렀다(고가향토사편찬위원회, 1997). 두 섬의 사이에는 갯벌과 좁은 수로가 있을 것으로 추정되었다. 13세기에 고려말에는 식량을 확보하는 차원에서 교동도와 강화도의 동쪽과 북쪽에서 간척이 이루어졌을 것으로 추정하고 있다(최 등, 1998). 이 시기에 교동도는 여러 개의 섬이 연결되어 현재와 비슷한 모습이 되었다.

고가향토사편찬위원회(1997)는 조선조 중기인 1665년부터 1707년까지 42년간에 걸쳐 강화도와 고가도를 연결하는 독을 축성하여 두 섬을 하나의 섬을 만들었다고 기술하고 있다. 같은 시기에 석모도도 현재와 비슷한 모습을 가지게 되었고 강화도의 초지진 부근에서 간척이 이루어져 해안선의 커다란 변화가 있었다. 1910년에 제작되어 1934년에 수정된 지도에 의하면 최 등 (1998)이 추정한 18세기의 강화도의 모습에는 약간의 오류가 있었다. 18세기의 지도에는 당시에 축성한 동쪽의 독의 위치가 실제 위치보다 훨씬 외곽에 있는 것으로 그려졌다. 당시에 만들어졌던 독의 위치는 두 섬의 가장 가까운 지점이었을 것으로 판단된다. 조선조에 제작된 지도에 의하면 현재의 화도면의 동쪽이 북쪽보다는 상대적으로 산세가 험하여 수로의 깊이가 더 깊고 조류의 흐름도 더 빨랐을 것으로 짐작된다(강화문화원, 1994). 따라서 동쪽의 수로에서는 그 때의 기술로 강화도와 고가도의 외곽의 해안선을 연결하는 방조제를 축성하기가 어려웠을 것이다. 어쨌든 1934년까지만 하더라도 내륙 쪽으로 만입된 해안선의 형태가 유지되었고, 독 안쪽에는 상당히 큰 수로가 존재하였다(Fig. 3-11-3).

길상면과 화도면 사이의 현재 해안선은 1977년부터 1981년까지 4년동안의 공사로 완공된 약 2.2 km의 방조제의 모습이다. 황산도의 서쪽에 위치한 소황산도와 강화도 본도 사이의 형성된 간척지는 1952년부터 10년 동안의 공사로 완공되었다(길상면지편찬위원회, 1995). 많은 간척사업으로 인하여



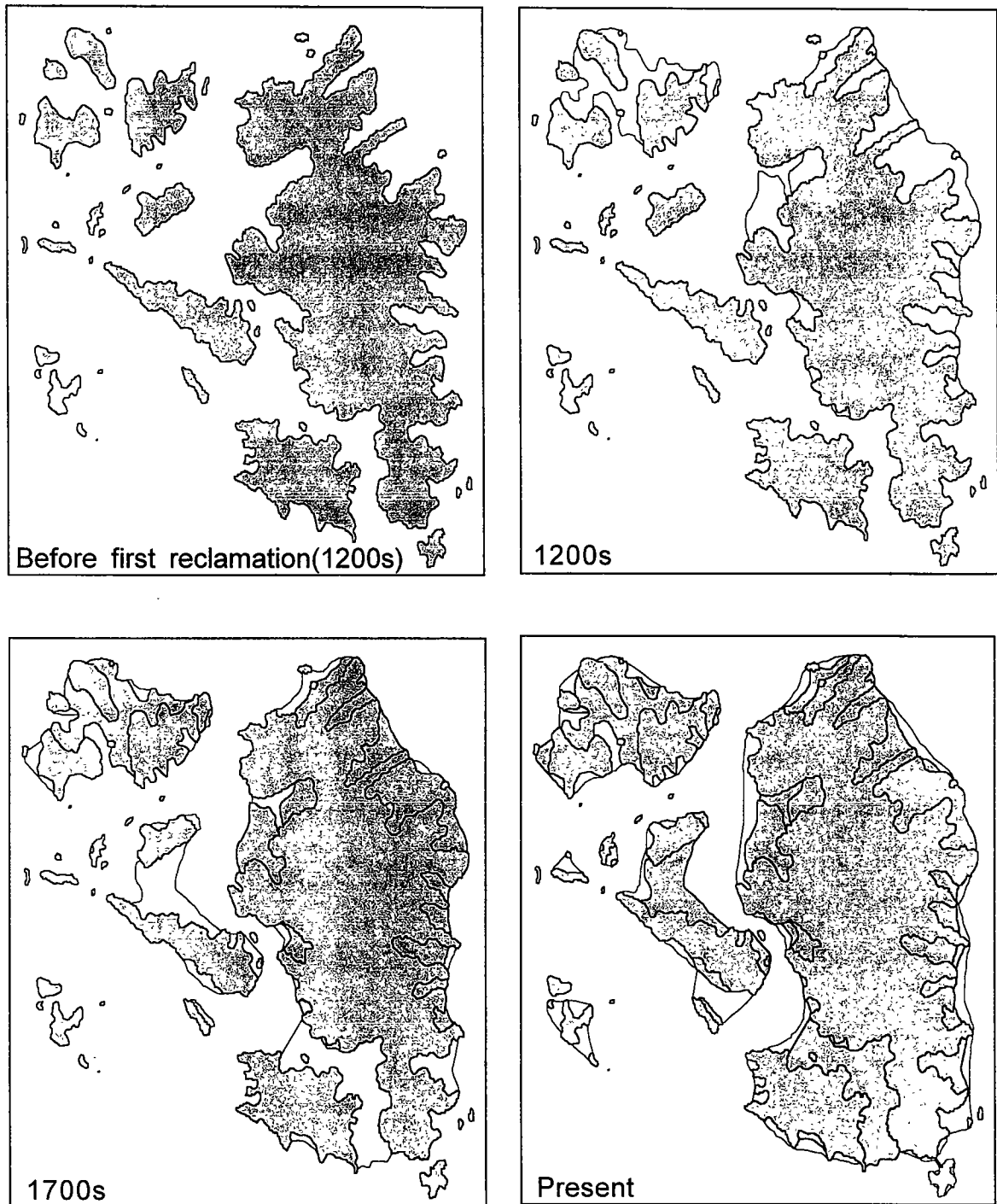


Fig. 3-11-2. Change of Kanghwado coastal line by landfill and reclamation(after 최, 1998).

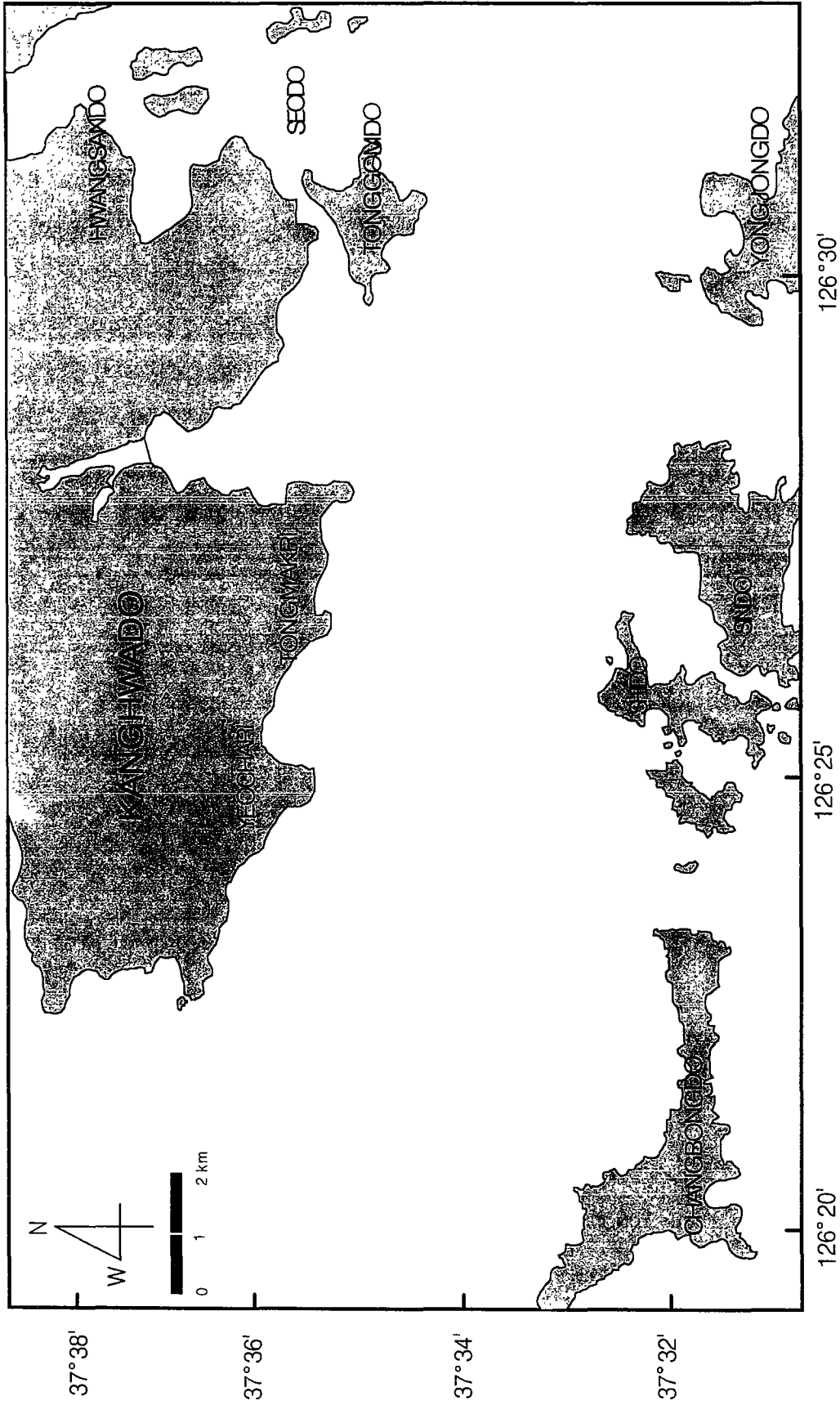


Fig. 3-11-3. Map showing coastal line and tidal flat of Kanghwa-do in early 1900s. This map first was made in 1910 and then modified in 1934.

해안선의 모습이 끊임없이 변화하다가 1980년대 후반부터 커다란 변화를 보이지 않았다. 그러나 1990년대 중반부터 강화도 남쪽 해안을 중심으로 대규모 새우양식장이 들어서면서 또 다른 해안선의 변화가 생기기 시작하였고, 이 때문에 황산도는 강화도와 연결되었다. 이밖에도 소규모의 매립과 간척이 최근까지 해안에서 진행되었다. 지난 80여년 간의 매립과 간척 사업을 통하여 강화도 우리 나라에서 다섯 번째로 큰 섬이 되었다(최 등, 1998).

강화도의 해안에서는 간척사업으로 엄청난 해안선의 변화가 있었고 결과적으로 지금의 강화도 남쪽해안의 90% 이상이 인공해안임을 알 수 있다. 해안선이 단순화 되고 담수의 유입이 차단됨으로서 염습지가 형성될 환경이 크게 제한되었다. 과거에 고가도와 강화도 사이에 있었던 수로에는 담수가 유입되었을 것이고, 그 양안에는 광활한 갈대군락이 존재하였을 것으로 추정된다. 해안선 변화에 대한 추정이 맞다고 가정하면 과거의 자연적인 해안선은 산자락을 잇는 선이었음을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 과정을 거쳐 서해안의 다른 갯벌지역에서도 과거의 자연 해안선을 어렵지 않게 추정할 수 있다.

11.3.2. 해안 식생과 서식지 분류

강화도의 남쪽 해안에서는 염습지가 형성된 면적은 매우 좁았으며 자연식생대를 거의 발견할 수 없었다. 인공으로 조성된 해안선에서는 염생식물이 군락을 이루는 염습지가 거의 형성되지 않았으나 동검도 서남쪽 해안, 선두리 어항 주변, 동파리 등에서 칠면초(*Suaeda japonica*)와 해홍나물(*Suaeda maritima*) 군락이 형성되기 시작하여 점점 더 범위를 넓혀가고 있었다. 반면에 황산도 남쪽에서는 갯잔디(*Zoysia sinica*) 군락이 상실되어 가고 있었다. 칠면초는 평탄한 내만의 갯벌을 서식지로 선호하는 것을 감안하면 이들 지역에서 퇴적환경의 변화가 있음을 짐작할 수 있었다. 한편 자연식생으로 판단되는 곳도 있었는데, 대부분 인근 야산의 암반지역과 갯벌이 이어지는 해안이면서 인위적인 교란이 적었던 곳들이었다 (Fig. 3-11-4). 황산도 남쪽 갯벌에 있는 작은 바위섬, 초지리, 장흥리, 동검도,

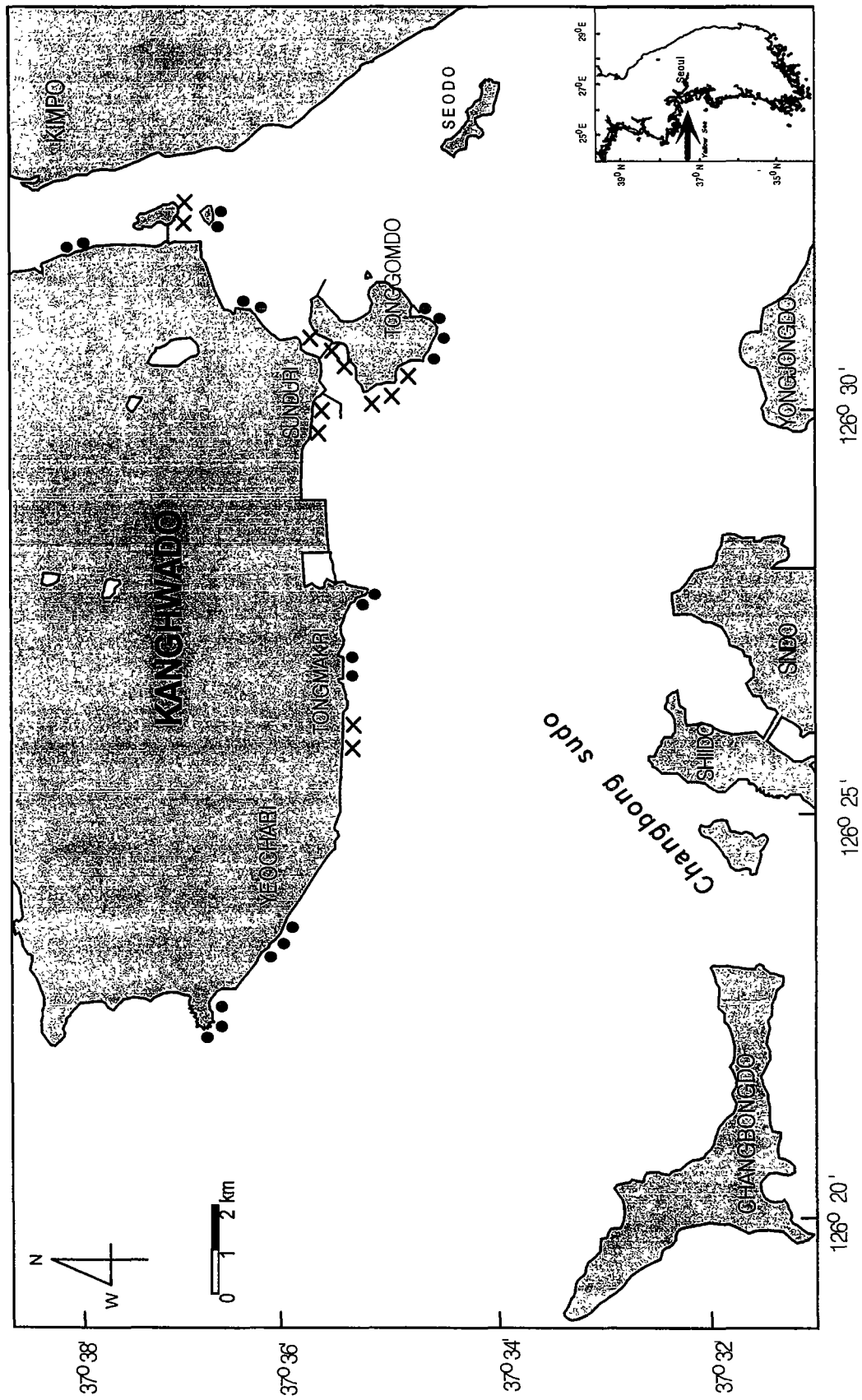


Fig. 3-11-4. Map showing natural vegetation (●) and changing vegetation (x) of intertidal zone in the southwest of Kanghwado.

여차리와 장화리의 바위지역과 인접한 해안에서 발견되었으며, 황산도 바위섬에서는 그 전형적인 유형을 발견할 수 있었다. 이 유형과 다른 지역의 식생을 고려하여 강화도 해안의 식생을 다음과 같이 가정해 보았다. 가장 상부에 경사가 가파르고 상대적으로 건조한 곳에 모새달(*Phacelurus latifolius*)이 있고 그 아래로 습하고 평탄한 곳에는 갈대(*Phragmites communis*)가 있었다. 갈대가 서식하는 곳에는 일정한 담수유입이 있는 곳이었다. 갈대보다 보다 낮은 조위에서는 천일사초(*Carex scabrifolia*)가 출현하였고, 갈대군락 보다 저조위에 모래로 된 퇴적물이 돌아 오른 곳에는 갯잔디가 서식하였다. 그리고 펄성분이 많은 염습지의 바다 쪽 외곽에는 보통 칠면초나 해홍나물이 나타났다(Fig. 3-11-5). 이들은 모두 한 곳에는 서식하는 경우는 드물지만, 대개 세, 네 종이 함께 있었으며, 혼서하는 경우에도 수직분포 순위는 대체로 일정하였다. 강화도 남쪽 해안의 자연식생대에서는 단일 식물만 서식하는 경우는 없었다. 주요 우점종에도 모새달이 군락을 이루는 곳에는 나문재(*Suaeda asparagoides*)가, 그리고 천일사초 군락 지대에는 지채(*Triglochin maritimum*)와 갯개미취(*Aster tripollum*)가 혼서하는 경우가 있었다. 강화도 해안에서 출현한 염생식물들은 대부분 펄성분이 우세한 갯벌 주변에 서식하는 종들이었다(민, 1998).

강화도와 같은 인공해안이 대부분인 해안에서는 염습지의 폭이 좁고, 염생식물상이 단순하면 해안 서식지의 종류도 단순할 수밖에 없다. 일차적으로 조간대를 인공해안과 자연해안으로 나눌 수 있지만, 자연해안의 비중은 10% 이하로 아주 낮았다. 자연해안에는 대부분 자연식생이 존재하였지만 훼손된 곳도 적지 않고 종조성의 변화를 일으키는 곳도 있었다. 식생이 잘 보전된 곳도 대단위 군락을 형성할 만큼 번무하지 않았다. 따라서 강화도 남쪽 해안의 서식지의 종류는 적었다. 그밖에 기질의 종류에 따른 분류 방법도 있으나, 해안의 기질도 단순한 편이었다. 내륙 안으로 들어와 있던 갯벌은 모두 매립이나 간척이 되었고 일부 바위해안과 면한 곳에서만 자연식생이 남아 있으니 예전의 염습지의 규모와 비교한다면 거의 사라져 버린 것과 마찬가지로 썸이다. 또한 모래해안 주변부에 있는 사구는 거의 확인할 수 없었고, 현재 사구의 흔적이 일부 남아 있는 곳으로는 동막해수욕장 해안이 유일하였다.

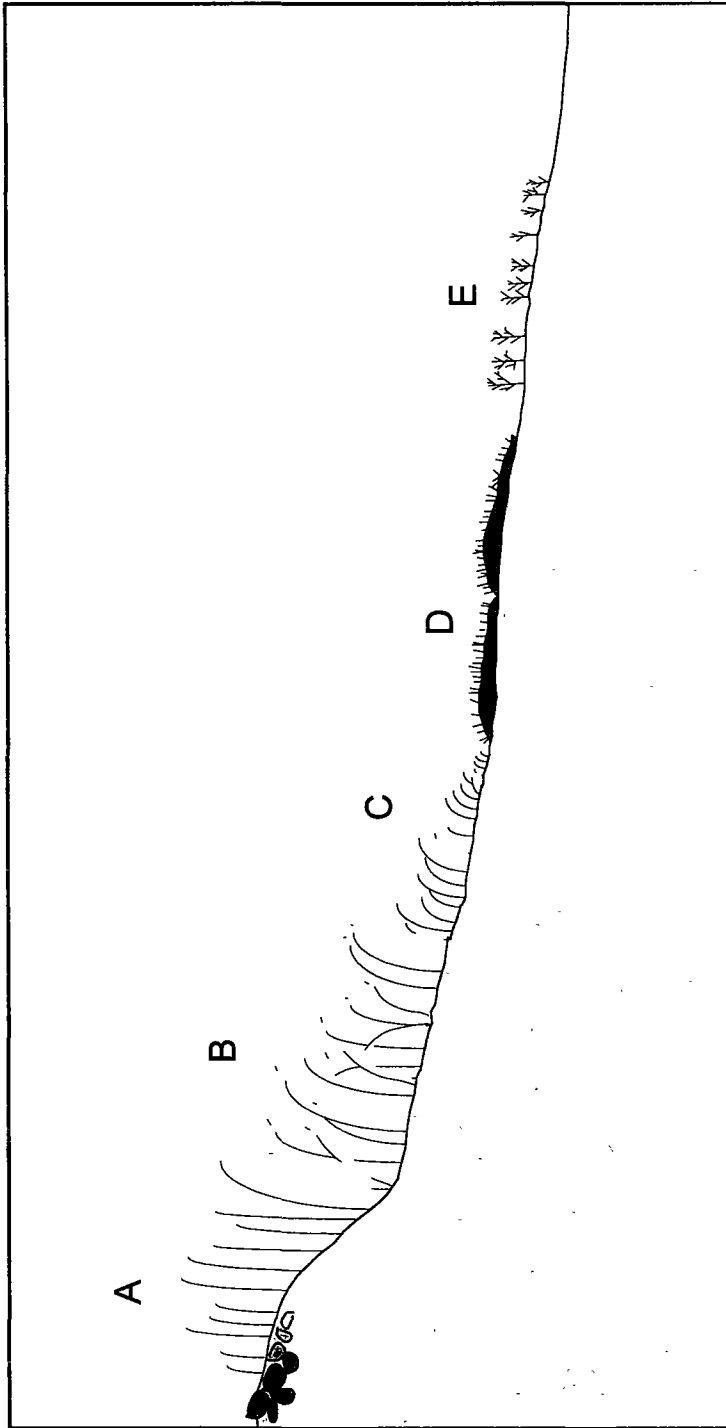


Fig. 3-11-5. Typical vegetation of salt marsh in Kanghwado. (A: *Phacelurus latifolius*, B: *Phragmites communis*
C: *Carex scabrifolia*, D: *Zoysia sinica*, E: *Suaeda* spp.)

해안의 서식지 분류는 다양한 기준을 가지고 판정하고 있으며, 기준으로는 기질, 해안의 노출정도, 생물상, 식생, 인간의 활동 등이 있다(Robinson and Levings, 1995). 그러나 소수의 단순한 분류 체계는 서식지를 정확하게 분류할 수 없다는 문제점이 지적되어 계층 체계를 가진 다음과 같은 분류기준이 제시되기도 한다(Cowardin et al., 1979).

System: Marine vs Estuarine

Subsystem: Intertidal vs subtidal

Class:

Rocky shore

Unconsolidated

Aquatic bed

Reef

Subclass:

Bedrock

Rubble

Cobble-gravel

Sand

Mud

Organic

No categories

Modifiers (salinity, depth, etc.)

Dominance types

일정한 체계를 통해서 분류하는 사례는 더 있고, 생물들의 생리와 생태와 같은 기능적인 요소를 체계화한 경우도 있으며(Simenstad et al., 1991),

물리적인 요소와 생물학적인 요소를 모델로 구성하여 분류하는 경우도 있다(Morris, 1996). 이러한 서식지의 분류는 생태계를 거시적으로 보는 시각에서는 매우 효과적인 수단이며, 해당 지역의 전 생태계를 대상을 관리할 수 있는 장점을 가진다. 뿐만 아니라 서식지는 외부의 충격에 반응하는 단위가 되므로 서식지에 관한 정보는 환경관리에도 쓰이고, 단위 생물군집의 서식처가 되기에 자원관리도 유용하게 사용될 수 있다. 그래서 서식지 지도는 지리정보시스템 (GIS)을 이용한 지도작성의 핵심요소가 된다.

이차년도 연구에서 해안의 서식지 현황을 파악하고 지도를 작성할 수 있는 기술을 확보하였으며 최종년도에서는 분류 방안의 장단점을 고려하여 강화도의 여건에 적합한 분류 모델을 정하고 실제 지도작성에 임할 예정이다.

11.3.3. 지리정보시스템을 이용한 서식지 지도 (eco-map) 작성

1/25,000 축적의 강화도 표준지도를 디지털화하여 수치지도를 만들었으며, Arc/View를 사용하여 조사정점의 표시와 해안의 상세도 그리고 생물의 분포를 나타내었다(Fig. 3-11-6, 7, 8). 이 연구에서는 향후 갯벌의 가치 평가나 보전 전략 수립, 자원 평가 등에 활용할 수 있는 생태지도를 지리정보시스템을 이용하여 개발하고자 시범적으로 연구지역인 강화도 지역에 대한 프로토타입을 제작하였다. 우리 나라에서는 이와 같은 갯벌 서식지 (생태) 지도가 처음 만들어지는 것이므로 전국적으로 광범위하게 개발하기 이전에 어떠한 정보를 담을 것이며 어떻게 정보를 수집하고 어떠한 형태로 입력할 것인지에 대한 철저한 기획이 필요하다. 특히 갯벌 생태지도에 포함되는 여러 가지 생물·생태 정보의 수집에는 오랜 시간이 필요하며, 오디오 비주얼 자료까지 구축하려면 많은 노력과 비용이 소요될 것이다. 갯벌 생태지도는 향후 일반인이나 공무원들이 환경교육이나 연안 통합관리 등에 활용할 수 있도록 편리한 사용자 인터페이스와 조건 검색(pre-set queries), 표준화된 출력 포맷과 심볼 디자인 등에 관해 철저한 사전 논의가 필요하다.

지리정보시스템 (GIS)을 이용한 서식지도 외 다른 주요 응용사례는 기름 유출사고 방제를 위한 환경민감도 지도(Environmental Sensitivity Map)를

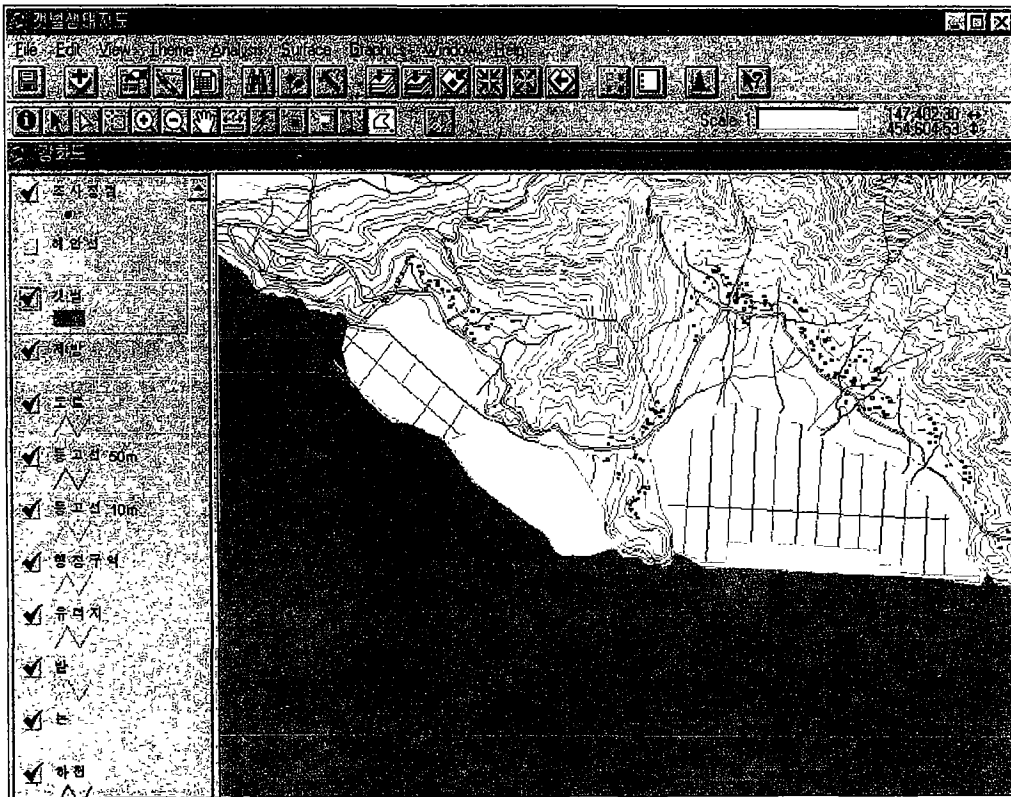


Fig. 3-11-6. Eco-map showing a southern part of Kanghwado and its tidal flat.

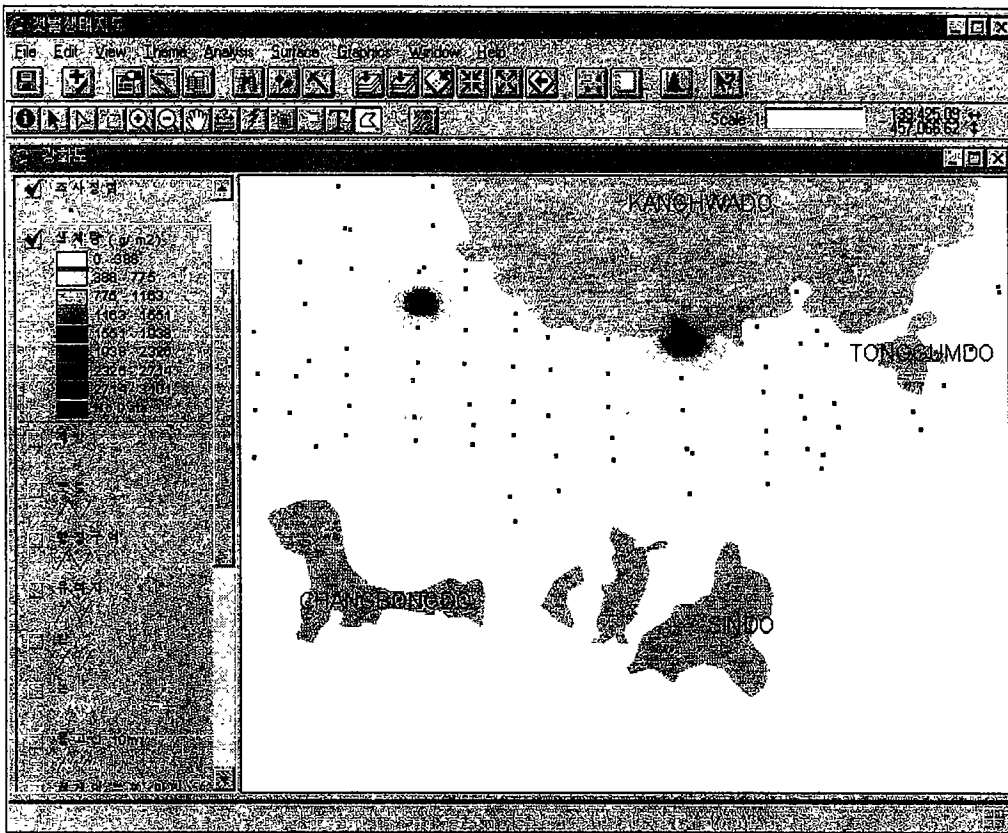


Fig. 3-11-7. Eco-map showing the biomass of macrobenthos collected at 83 sampling stations in the Kanghwa tidal flat during August 1997.

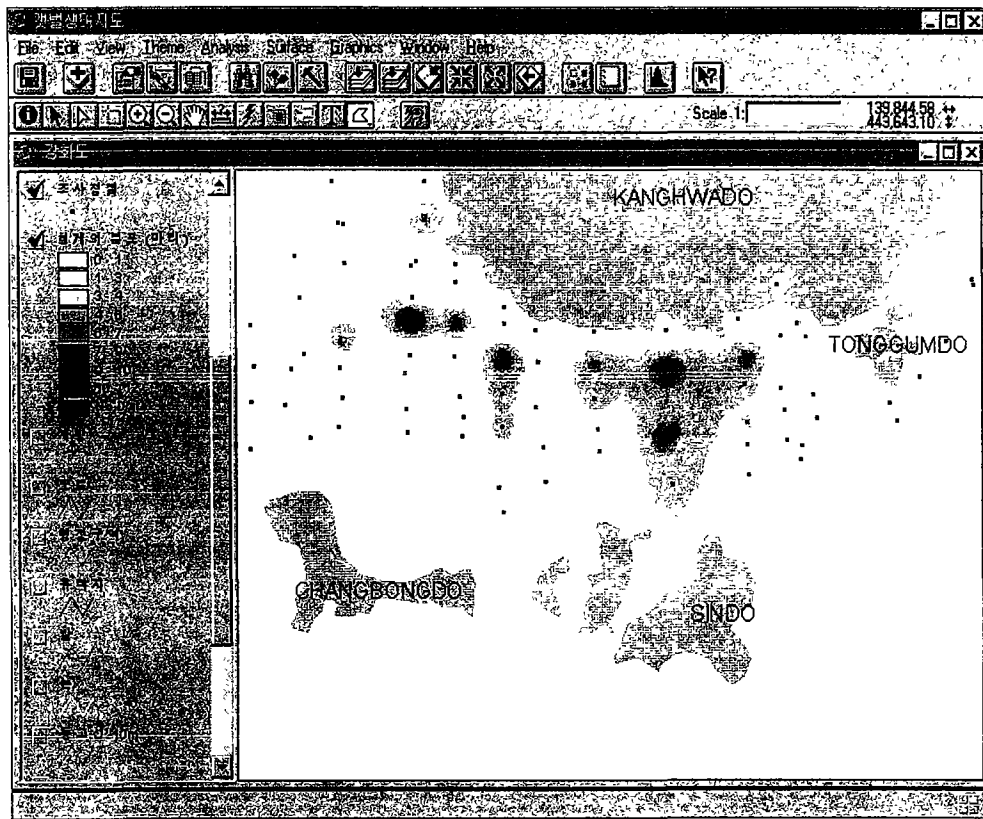


Fig. 3-11-8. Eco-map showing the abundance of *Macrophthalmus japonica* collected at 83 sampling station in the Kanghwa tidal flat during August 1997.

제작한 것이었다. 환경민감도(Environmental Sensitivity Index: ESI)는 기름오염 긴급계획의 핵심적인 요소로서 1979년 미국 멕시코만에서 발생한 Ixtoc 1 유전누출사고에 대비하기 위해 처음 만들어진 것이었다(NOAA, 1992b). 이후 환경민감도지도는 지도 형태로 미국 전연안에 대해 작성되었다. 미국 전역의 환경민감도 지도는 GIS를 이용한 전자지도 형태로 전환되고 있는 중인데, 전국의 모든 환경민감도 지도의 형태와 내용을 통일하기 위하여 사전에 표준화된 방법을 제시해 놓았다(Michael and Dahlin, 1993). 환경민감도 지도는 프랑스, 독일, 이태리, 나이지리아, 쿠웨이트, 오만, 사우디아라비아, 아랍 에미레이트, 말레이시아, 뉴질랜드 등 여러 나라에서 제작되어 왔는데(NOAA, 1992b), 최근에는 지리정보시스템에 방재관련 정보와 함께 사고시에 위협을 받는 연안 자원에 관한 모든 정보를 함께 입력하여 활용하고 있다.

한편 미국 해양대기청 (NOAA)과 텍사스주는 1992년 통합적인 자연 자원 정보시스템을 구축하기 위하여 연안해역의 관리, 계획 및 추정 시스템 (Coastal Ocean Management Planning, and Assessment System, COMPAS)을 개발한 바 있다. 이 당시에는 데스크탑 컴퓨터에서 구동되는 상용 GIS의 수준이 매우 저급하여 맥킨토시 컴퓨터를 이용하여 Hyper Card와 ORACLE을 사용했다. COMPAS에는 15개의 서브 모듈과 1개의 지도 모듈이 포함되어 있었으며, 자료를 검색할 수 있는 도구가 포함되어 있었다. COMPAS의 개발 목적은 연안 자원 관리자들이 편리하게 여러 가지 정보를 검색하고 이용할 수 있는 정보 시스템을 제공하는데 있었다(NOAA, 1992a).

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

갯벌의 효율적인 이용과 보전을 위한 최종 연구목적을 가진 이 연구과제의 이차년도 생태계 분야의 연구목표는 강화도 남단 갯벌의 생태계의 군집구조와 생산력에 대하여 파악하고자 하였다. 이 연구를 위하여 갯벌(여차리 갯벌) 두 곳에 실험 조사지역을 선정하여 미생물에서부터 최상위 영양단계에 있는 조류까지 가능하면 전 생물군을 대상으로 하였다. 한편 서식지 분류 및 서식지도 작성을 위한 기초연구를 계획하였었다.

생태계의 구조 분석과 생산량 측정에는 1차년도부터 연구를 진행해왔던 내용에 플랑크톤과 어류부분이 보강되었다. 동물군에 따라 군집 동태 파악은 계절별 조사와함께 현장실험을 수행하였다. 그리고 염습지 한 곳 (동검도)의 식생과 저서동물 분포 양상을 파악하였다. 서식지 분류와 서식지도 작성은 해안선의 변화와 해안습지의 종류를 파악하였고, 지리정보시스템 (GIS)을 이용하여 지도를 작성하기 위한 예비 시도를 하였다. 따라서 계획하였던 내용의 95% 이상을 달성하였다.

한편 퇴적환경 연구의 이차년도 연구목표는 지형과 퇴적환경 변화 연구와 퇴적물의 지화학 분석을 하는 것이었다. 1997년 8월 강화도 남단 갯벌과 주변 해역에서 채취한 83개의 표층퇴적물 입도 통계변수를 이용하여 순 이동경로를 추정함으로써, 전반적인 퇴적물 이동 양상을 파악하였다. 전반적으로 강화도 남단 갯벌의 동부는 퇴적, 서부의 장화리 지역은 침식이 일어나는 결과를 보였다. 아울러 주기별 지형변화와 퇴적물의 반복 조사를 통해서도 일치된 경향을 찾았다. 그리고 강화도의 환경개관과 여차리 갯벌의 한 지선에서 퇴적물의 지화학적 특성을 파악하기 위하여 중금속 분석을 하였다. 따라서 퇴적환경 분야에서도 연구목표를 달성하였으며, 이차년도의 연구결과는 강화도 남단 갯벌의 생태계 모델 설정 및 퇴적 양상을 파악하는 자료로서 유용하게 사용될 것이다.

이 연구는 강화도 남단 갯벌을 대상으로 하고 있어 일차년도 연구결과는 강화도 갯벌의 보전하려는 여러 단체들에게 유용하게 활용되고 있다. 특히 강화도는 지방자치 단체뿐만 아니라 중앙정부에서도 보호지역 지정을 위해 관심을 가지고 있는 지역이어서 자료의 활용가치는 더욱 높다 하겠다. 이 연구

에 참여하고 있는 연구원들을 중심으로 갯벌논문집을 발간하였다. 논문집 (해양연구, 20(2)호; “갯벌 연구” 특집호)에는 연구논문, 종설, 자료 등이 17편 실렸다. 제8차 태평양해양과학기술회의 (PACON)에서는 연구원들이 강화도 남단의 생물다양성에 대해 발표하였다. 그리고 연구원들은 갯벌관련 각종 활동 (특히 환경교육)에 적극적으로 참여하고 있다.

* 조사기간에 수행된 연구 목표의 진행 상황.

목 표	달성도 (%)	비 고
생태계 구조 분석	100	• 1차년도부터 연구를 진행해왔던 내용이며 플랑크톤과 어류부분이 보완되었음.
군집 동태 파악 (바다새 포함)	100	• 계절별 조사와 산란기 집중조사를 통해 갯벌내의 군집 동태를 파악하였음.
서식지 분류와 서식지도 작성 (I)	95	• 서식지 분류 정보를 수집하고 염습지의 종류를 파악하였음.
미소서식생 및 염생식물에 의한 1차 생산량 파악 (I)	100	• 저서조류상과 그들의 일차생산을 파악하였고, 염생식물의 생물량 분포를 조사하였음.
저서동물에 의한 2차 생산량 파악 (I)	100	• 갯벌에서 우점하는 저서동물들을 대상으로 2차생산량 파악을 위한 개체군 조사를 하였음.
대조시 동물플랑크톤과 저서어류의 현존량 파악	100	• 계절별 대조시 동물플랑크톤의 현존량과 건강망 조사를 통해 저서어류의 종조성과 현존량을 파악하였음.
미생물의 유기물 분해과정 파악 (I)	100	• 정화기능 파악을 위한 미생물의 유기물 분해과정을 파악하였음.
갯벌의 주요 물리·화학·퇴적학적인 환경 특성 파악 (I)	100	• 조사지역의 조석범위 등 생물의 외부환경 요인을 자료조사를 통해 분석하였음.
퇴적물 입도통계변수를 이용한 퇴적물 이동 추정	100	• 1997년 8월 강화도 남부에서 채취된 83개의 퇴적물 입도통계변수를 이용한 컴퓨터모델 작업 완료
퇴적물의 특성 분석	100	• 입도분석 완료
조간대 지형단면도 작성	100	• 반복측량에 의한 지형변화 파악
조간대 집적을 측정	100	• 퇴적물판에 의한 반복 측량
조간대 지화학적 특성 파악	100	• 퇴적물의 중금속 함량 측정

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

지금까지의 연구결과는 단편적으로 여러 논문이나 강화도 생태관련 여러 유인물에 자주 인용되고 있으나, 직접 결과를 활용하려는 시도를 하지 않았었다. 그러나 삼차년도 연구과정을 마치고 최종 연구결과가 도출되면 다양한 방법으로 연구결과를 활용하려는 계획을 가지고 있다. 우선 연구결과를 갯벌을 보존하고 현명하게 이용하는 방안으로 활용할 수 있도록 연구결과를 기초로 한 갯벌 보전방안을 제시할 계획이다. 이러한 방안은 다른 갯벌지역에서도 적용이 가능할 것이다. 다음으로는 연구결과물로 나오는 서식지지도 (생태지도)의 다목적 활용이다. 강화도에서 이제 막 활성화하려고 하는 생태관광에서 좋은 안내지도가 될 수 있다. 이 지도는 GIS를 이용하여 전자지도화 계획을 가지고 있으므로 활용의 폭이 넓어질 것이다. 그리고 생물이나 환경과 관련된 연구내용들은 이 지역에서 활성화되고 있는 환경교육의 교재로도 쓰일 수 있다.

생태계와 퇴적환경 분야의 소단위 과제들의 결과는 각각 해당분야의 연구 발전에 기여하게 될 것이다. 미생물과 중형저서동물의 연구는 정화작용과 생물을 이용한 해양오염모니터링 연구의 발전에 기여할 것이며, 수조류 (물새)의 섭식률에 관한 연구결과는 철새와 갯벌에 서식하는 저서생물과의 관계를 규명하는데 일조를 할 것으로 보인다. 한편 지금까지의 수준측량과 표층퇴적물의 집적률변화 결과를 종합하면, 강화도 남단 갯벌에서는 대호 갯벌이나 곰소만 갯벌과는 달리 여름철에서 늦가을까지 침식이 진행되는 것으로 여겨진다. 이러한 특이한 현상은 조사지역의 생물 자료와 함께 갯벌 주변의 환경이 변화할 때 야기되는 생태학적 및 지질학적 변화를 파악할 수 있는 모델을 만드는데 중요한 정보로 활용될 것이다. 이 연구는 국내에서 단일 갯벌에 삼년간 종합적인 연구를 집중한 유일한 경우로서 모든 연구결과들은 갯벌의 기능과 가치를 평가하는데 크게 활용될 것임에 틀림없다.

제 6 장 참고문헌

제 6 장 참고문헌

- 강화문화원, 1994. 증보 강화사. 1169pp.
- 경기도, 1985. 淺海干瀉地開發調查報告書.
- 고가향토사편찬위원회, 1997. 마리지 (摩利誌). 761pp.
- 고철환, 박용안, 이창복, 1984. 서해안 조간대지역의 해양지질학적 제반현상 및 저생생물 군집에 관한 연구. 서울대학교 자연과학종합연구소.
- 국립공원관리공단, 1998. 태안해안국립공원의 해안습지 및 비교대상지 조사 (최종보고서)
- 국립수산진흥원, 1985. 연근해 주요어종의 생태와 어장. 국립수산진흥원, 304p.
- 국립수산진흥원, 1996. 한국 연안어장 환경오염 조사 결과보고서(1989-1994), 255p.
- 국립지질광물조사소, 1973. 서울도폭, 1:250,000
- 국립해양조사원, 1998. 1998년 조석표. 서지 제510호.
- 권개경, 이홍금, 손재학, 제종길, 김상진. 강화도 남단 갯벌에서의 미생물 분포 및 유기물분해활성과 환경요인과의 관계. 투고준비중.
- 권개경, 조한운, 이홍금. 1998. 대부도 갯벌에서의 종속영양세균수, 황산염 환원세균 및 세포외효소활성의 수직분포. 해양연구 20(2S) : 73-80.
- 권기정, 1981. 한국에 있어서 고니류(*Cygnus*)의 월동행동과 채식물에 관한 연구. 경희대학교 이학박사학위 논문, p. 58.
- 권오길, 박갑만, 이준상, 1993. 原色韓國貝類圖鑑. 아카데미서적.
- 기상월보, 1991; 1998. 기상청.
- 기상청, 1991-1998. 기상연보
- 길상면지편찬위원회, 1995. 길상향토사기, 길상지. 280pp.
- 김경탁, 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 인하대학교 박사학위 논문. pp. 184.
- 김경탁, 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 인하대학교 박사학위논문. pp. 184.

- 김동엽. 1987. 한국 서해안 Calanoida목의 분류 및 분포에 관한 연구. 해양연구소, BSPE00096-148-3. p. 153.
- 김봉안, 황번일, 이건시, 1970. 동지나해 황해 저서어장도, 국립수산진흥원. 105p.
- 김상중, 홍순우, 이윤, 최성찬. 1985. 낙동강 하구 간석지에 존재하는 세균의 분포 및 생리적 활성도. 미생물학회지. 23 : 215-220.
- 김상진, 이건형. 1992. 남해 퇴적토에서의 종속영양세균의 분포 및 세포외 효소활성. 미생물학회지. 30 : 383-390.
- 김용억, 한경호, 강충배, 1994. 아산만 해역의 부유성 난과 자치어의 분포. 한국수산학회지, 27 : 620-632.
- 김은영, 1993. 西海岸의 江華島와 永宗島에 渡來하는 涉禽類의 生態. 경희대학교 석사학위논문. 47pp.
- 김은영, 원병오, 1993. 서해안의 강화도와 영종도에 도래하는 섭금류의 생태. 경희대 조류연구보고서. 4 : 25-46.
- 김준호, 김훈수, 이인규, 김종원, 문형태, 서계홍, 김원, 권도현, 유순애, 서영배, 김영상, 1982. 낙동강 하구생태계의 구조와 기능에 관한 연구. *Proc. Coll. Natur. Sci.*, SUN 7(2) : 121-163.
- 김준호, 민병미, 1983. 해변 염생식물 군집의 생태학적 연구 (III). 인천 간척지의 토지환경, 종의 다양성 및 염류순환에 대하여. 식회지, 26 : 53-71.
- 김준호, 오계철, 1982. 한국 서해안 간석지 생태계의 구조와 기능에 관한 연구. 서울대학교 자연과학종합연구소.
- 김준호, 유병태, 1985. 해안 염습지 생태계의 에너지 유전. 한국생태학회지, 8(3) : 153-161.
- 김철수, 1971. 간척지 식물군락형성에 관한 연구. 한식지, 14:163-169.
- 김철수, 1975. 갈대군락의 현존량과 환경요인에 관한 연구. 식회지, 18 : 129-134.
- 김철수, 1980. 간척지내 식물종자의 내염성과 발아에 관한 연구. 식회지, 18 : 129-134.
- 김철수, 임병선, 1988. 한국 서남해안 간석지 식생에 관한 연구. 한국생태학

- 회지, 11(4) : 175-192.
- 김한별, 1995. 西海岸의 三木島에 渡來하는 涉禽類의 生態. 경희대학교 석사학위논문. 46pp.
- 南在祐, 1997. 西海岸의 永宗島에 渡來하는 개펄의 生態. 경희대학교 석사학위 논문. 30pp.
- 노재훈, 최중기, 1998. 펼갯벌 저서규조류의 이동력이 갖는 생태학적 기능. 해양연구, 20(2) : 179-187.
- 녹색연합 강화도 시민연대, 1998. 강화도의 지속가능한 발전방향에 대한 연구. 264pp.
- 류동기, 1997. 군산연안 동쪽 개체군의 동태에 관한 연구. II. 생산력. 한국패류학회지, 13(2) : 193-202.
- 문형태, 1997. 대천해빈 어류의 종조성 변화와 우점종 돌가자미(*Kareius bicoloratus*)의 초기생활사. 충남대학교 이학석사학위 논문. 46p.
- 민병미, 1985. 한국 서해안 간척지의 토양과 식생 변화. 서울대학교 이학박사학위논문.
- 민병미, 1990. 간척지 식물의 무기영양소 축적에 대하여. 한국생태학회지, 13(1) : 9-18.
- 민병미, 1998. 한국 서해안의 해안식생에 대하여. 해양연구, 20(2):167-178.
- 박봉규, 1963. 주안의 퉁퉁마디 군락의 생태학적 연구. 한국생활과학연구원논총, 3 : 303-308.
- 朴聖根, 1995. 西海岸의 永宗島에 渡來하는 涉禽類의 生態. 경희대학교 석사학위 논문. 51pp.
- 박인근, 1970. 주안 해안의 염생식물 군락의 연속구조에 관한 연구. 서울대학교 교육대학원 논문집, 8 : 199-204.
- 박홍식, 1991. 인천연안 조간대 저서생물의 생태학적 연구. 인하대학교 이학석사학위논문.
- 박홍식, 1998. 연안 간척에 따른 천수만의 저서환경과 저서생물 군집의 변화에 대한 연구. 인하대학교 이학박사학위논문.
- 서호영, 서해립, 1993. 광양만 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지 1 : 26-34.

- 소성권, 1989. 저서미세조류 일차생산측정(C-14법)에서의 산처리 기포발생법에 대한 재평가. 이학석사학위논문, 서울대학교, 43pp.
- 수로국, 1981. 영종도에서 용매도 해도 No. 311.
- 수로기술연보, 1991-1995. 수로국.
- 신민철, 이태원, 1990. 대천해빈 쇠파대 어류군집의 계절변화. 한국해양학회지, 25 : 135-144.
- 신상호, 1996. 광양만 바지락 (*Tapes philippinarum* : Bivalvia)의 성장과 생산. 여수수산대학교 이학석사 학위논문, 118 pp.
- 신현출, 고철환, 1995. 서해 송도 갯벌에서의 동족 (*Mactra veneriformis*: Bivalvia)의 성장과 생산. 한국해양학회지, 30(5) : 403-412.
- 양미라, 1994. 가리맛조개 (*Sinonovacula constricta*: Bivalvia)의 성장과 생산. 서울대학교 이학석사 학위논문, 81 pp.
- 元炳昨, 1988. 韓國 西海岸의 春秋 涉禽類調査. 自然保存, 62 : 29-41.
- 윤해순, 1991. 낙동강하구 간석지의 수생관속식물에 관한 연구 (하구언 건설 직후의 간석지 식생의 생산성 비교). 한국생태학회지, 14(1) : 63-73.
- 이건형. 1987. 금강하구 퇴적토에서의 종속영양세균의 분포에 미치는 환경요인과 계절적 우점속에 관하여. 미생물학회지. 25 : 137-143.
- 이시완, 이형근, 신상호, 김동성, 이지왕, 제종길, 1998. 대부도 남사리 갯벌의 생물상. 해양연구 특별호, 20(2) : 105-119.
- 이영철, 오재경, 승영호, 윤태일, 최중기, 홍재상, 박용철, 1990. 한강하구 개발에 의한 하구환경 변화의 연구와 개발이전의 환경과의 비교. 인하대학교부설 해양과학기술연구소, p. 160.
- 이정연, 1995. 西海岸의 江華島에 渡來하는 涉禽類의 生態. 경희대학교 석사 학위 논문. 50pp.
- 이태원, 1989. 천수만 저서성어류군집의 계절변화. 한국수산학회지, 22: 1-8.
- 이태원, 1991. 아산만 저어류. I. 적정 채집 방법. 한국수산학회지, 24 : 248-254.
- 이태원, 1993a. 천수만 방조제 건설에 따른 어류군집구조의 변화. 한국과학재단. KOSEF 911-1506-036-2.
- 이태원, 1993b. 아산만 저어류. III. 정점간 양적변동과 종조성. 한국수산학회

- 지, 26: 438-445.
- 이태원, 1996. 천수만 어류의 종조성 변화. 1. 저어류. 한국수산학회지, 29 : 71-83.
- 이태원, 김광천, 1992. 아산만 저어류. II. 종조성의 주야 및 계절변동. 한국수산학회지, 25 : 103-114.
- 이태원, 문형태, 최신석, 1997a. 천수만 어류의 종조성 변화. 2. 대천해빈 쇠파대 어류. 한국어류학회지, 9 : 79-90.
- 이태원, 문형태, 허성희, 1997b. 시화호 수질악화에 따른 시화호와 주변 해양어류의 종조성 변화. 한국해양학회지, 2 : 110-116.
- 이태원, 석규진, 1984. 소형 정치망자료에 의한 천수만 어류의 계절에 따른 종조성 및 양적 변동. 한국해양학회지, 19 : 217-227.
- 이태원, 황선완. 1995. 아산만 저어류. IV. 종조성의 최근 3년간(1990-1993) 변화. 한국수산학회지, 28 : 67-79.
- 이태원·황선완·박승윤·조성록·정희정, 1995. 천수만 천해어류 군집구조 변화. 수산진흥원 연구보고 49 : 219-231.
- 이형곤, 1999. 강화도 동검지역 염습지 식생에 서식하는 저서생물의 생태학적 연구. 이학석사 논문, 인하대학교, 107pp.
- 임동현. 1994. 한국근해 요각류 군집의 생태학적 연구. 박사학위 논문. 한양대학교. p. 168.
- 임병선, 1987. 해안 간석지 토양환경에 따른 식물의 분포와 생장. 목포대학교 연안환경연구, 4 : 71-79.
- 임양재, 1961. 가좌 해안의 식생에 관한 군락학적 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
- 임양재·이태원, 1990. 천수만 망둑어과(Family Gobiidae) 어류의 계절에 따른 종조성 변화와 우점종의 생태. 한국어류학회지 2 : 182-202.
- 장현도, 오재경, 1991. 한강종합개발이후 한강하구 및 경기만의 퇴적환경. 한국해양학회지, v. 26 : 13-23.
- 정문기, 1977. 한국어도보. 일지사, 서울. 727p.
- 정연숙, 김준호, 1989. 간척지 갈대의 영양생장과 지상부 모듈의 개체군 동태. 한국생태학회지, 12(3) : 171-182.

- 정연숙, 김준호, 1991. 간척지 군반형성식물의 개체군 생태학적 연구, I. 산조풀의 지하경 분지구조 및 군반의 형성과 성장. 한국생태학회지, 14(3) : 327-1991.
- 제종길, 1998. 자연보전 기능으로서의 생태관광. 제 3회 자연포럼, 한국유네스코, 47-60.
- 제종길, 이재학, 고철환, 1998. 갯벌연구: 현재와 미래. 해양연구, 특별호 20(2) : 57-61.
- 조영길, 1994. 한반도 주변해역 퇴적물 중 금속원소의 분포와 기원에 관한 연구. 이학박사학위논문, 서울대학교. 262pp.
- 최강국, 이건형. 1996. 서천 연안 퇴적토에서 종속영양세균의 분포와 세포외 효소활성과의 관계. 미생물과 산업. 22 : 119-126.
- 최강원, 어대수, 문중양, 1998. 간척사업과 지형진화(I) -강화도-. Jour. Agr. Eng., 58: 3-14.
- 최영민, 1987. 삼천포 신수도 연안에 서식하는 바지락, *Tapes philippinarum* 의 이차생산에 관하여. 부경대학교 이학석사 학위논문, 45 pp.
- 최중기, 고철환, 박용철, 최병희, 박병상, 한경남, 1997. 인천 연안도서 자연경관 및 자연생태계. -기초현황 및 자연 환경 보전 방안- 인하대학교 해양과학기술연구소, p. 69.
- 한국자원연구소, 1995. 김포-인천도폭 지질조사보고서, 1:50,000, 34pp.
- 한국자원연구소, 1997. 통진 지질조사 보고서, 1:50,000, 63pp.
- 한국해양연구소, 1992. 首都圈 新國際空港 建設로 인한 漁業權 被害 影響調査 및 補償額 算定. 523pp.
- 한국해양연구소, 1998a. 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구. BSPE 97611-00-1058-3 : pp.312.
- 한국해양연구소, 1998b. 강화도 남단지선 어장 주변해역의 퇴적환경 기초조사. BSPS 98007-00-1109-3. 79pp.
- 한동훈, 홍성윤, 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지. 28(5): 517-532.
- 해양수산부, 1998. 우리나라의 갯벌. 28pp.
- 해양수산부, 1998b. 연안 통합관리체제 구축을 위한 조사연구 용역 (II) -

- 남·동해안 실태조사 및 연안 통합관리체제 연구-. 935pp.
- 홍성운, 마채우, 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 군집. 한국해양학회지, 29(2): 132-144.
- 홍순우, 하영철, 최영길, 1970. 고염도 토양에 있어서 몇가지 염식생식물의 생태에 대하여. 식물학회지, 13(1):25-32.
- 홍원식, 1956. 한국 서해안 해변식물군락의 연구 I. 생물학회지, 1:17-24.
- 홍원식, 1958. 영종도의 식물군락연구. 식회지, 1:7-15.
- 홍재상, 1989. 벤토스의 활동과 해저퇴적물. 황해연구, 2:63-89
- 홍재상, 1998. 한국의 갯벌. 대원사.
- 홍재상, 박홍식, 1994. 인천연안 간석지산 주요 저서생물의 성장과 생물생산. II. 척전지역 간석지에 서식하는 맛조개, *Solen strictus*의 생물생산. 한국수산학회지, 27(5) : 560-571.
- 홍재상, 임현식, 1988. 황해의 해양생물학적 연구. (제 7장: 한국 황해안 조간대 생물상에 관한 연구. -군산 근접해역 사니질 조간대에 대하여-. 한국과학기술원 해양연구소, BSPE 00114-181-3. 149-182p.
- 환경처, 1991. '91 자연생태계 지역조사 -서해안 간석지 (강화도 남단) 조사 -. 환경처 보고서, 195 pp.
- 황학빈, 1999. 아산만 천해역 수심에 따른 어류 종 조성의 계절 변동. 충남대학교 석사학위 논문. 42p.
- APHA, AWWA, WPCF., 1985. Standard method in water and wastewater.
- AWB, 1990. Managing your wetland, 64-95p.
- Abbott, R.T. and K.J. Boss, 1989. A classification of the living mollusca. p. 25, 137.
- Abd-El-Malek, Y. and S.G. Rizk., 1958. Counting of sulphate-reducing bacteria in mixed bacterial populations. Nature. 182 : 538.
- Admiraal, W., H. Peletier and H. Zomer, 1982. Observations and experiments on population dynamics of epipellic diatoms from an estuarine mudflat. Estuarine Coastal Shelf Sci. 14 : 471-487.
- Aleem, A., 1950. The diatom community inhabiting the mud-flat at Whitstable. New phytologist. 49 : 174-188.

- Allredge, A.L. and J.M. King, 1985. The distance demersal zooplankton migrate above the benthos: implications for predation. *Mar. Biol.* 84 : 253-260.
- Allen, L.G. and M.H. Horn, 1975. Abundance, diversity and seasonality of fishes in Colorado Lagoon, Alamitos Bay, California. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 3, 371-380.
- Allen, L.G., 1982. Seasonal abundance, composition and productivity of the littoral fish assemblage in upper Newport Bay, California. *Fish. Bull. U. S.*, 80 : 769-790.
- Alongi, D.M., 1988a. Bacterial productivity and Microbial biomass in tropical mangrove sediments. *Microb. Ecol.* 15 : 59-79.
- Alongi, D.M., 1988b. Microbial-meiofaunal interrelationships in some tropical intertidal sediments. *J. Mar. Res.* 46 : 349-365.
- Alongi, D.M., 1992. Vertical profiles of bacterial abundance, productivity and growth rates in coastal sediments of the Great Barrier Reef lagoon. *Mar. Biol.* 112 : 657-663.
- Ambler, J.W., F.D. Ferrari and J.A. Fornshell, 1991. Population structure and swam formation of the cyclopoid copepod *Dioithona oculata* near mangrove cays. *J. Plankton Res.* 13(6) : 1257-1272.
- Ambrose, W.G. Jr., 1986. Estimate of removal rate of *Nereis virens* (Polychaeta: Nereidae) from an intertidal mudflat by gulls (*Larus* spp.). *Mar. Biol.* 90 : 243-247.
- Amjad, S. and J.B.J. Wells, 1981. Nematode/copepod ratios for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 378-381.
- An S. and C.-H. Koh, 1992. Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27(1) : 78-90.
- Ankar, S. and R. Elmgren, 1976. The benthic macro- and meiofauna of the Asko-Landsort area (Northern Baltic peoper). A Stratified random sampling survey. Contributions of the Asko laboratory, University

of Stockholm. 11, 115p.

- Ayvazian, S.G. and G.A. Hyndes, 1995. Surf-zone fish assemblages in south-western Australia: do adjacent nearshore habitats and the warm Leeuwin Current influence the characteristics of the fish fauna? *Mar. Biol.*, 122 : 527-536.
- Babin, M., A. Morel and R. Gagnon, 1994. An incubator designed for extensive and sensitivity measurements of phytoplankton photosynthetic parameters. *Limnol. Oceanogr.*, 39(3) : 694-702.
- Barnes, R.S.K. and K.H. Mann, 1991. Fundamentals of aquatic ecology. Blackwell Science, Oxford. p. 270.
- Bayne, B.L., D.A. Brown, K. Burns, D.R. Dixon, A. Ivanobici, D.R. Livingstone, D.M. Lowe, M.N. Moore, A.R.D. Stebbing and J. Widdows, 1985. The effects of stress and pollution on marine animals. Praeger Press. New York. pp.3-45.
- Bell, S.S., 1980. Meiofauna-macrofauna interactions in a high salt marsh habitat. *Ecol. Monogr.*, 50 : 487-505.
- Berman, J. and J.T. Carlton, 1991. Marine invasion processes : interactions between native and introduced marsh snails. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 150 : 267-281.
- Bertness, M.D., 1991. Zonation of *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* in a New England salt marsh plant community. *Ecol.*, 72 : 138-148.
- Bertness, M.D., and A.M. Ellison, 1987. Determinants of pattern in a New England salt marsh plant community. *Ecol. Monogr.*, 57 : 129-147.
- Beukema, J.J., 1979. Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea: effects of a severe winter. *Neth. J. Sea Res.*, 13 : 203-223.
- Beukema, J.J., 1985. Zoobenthos survival during severe winters on high low tidal flats in the Dutch Wadden Sea., 351-361. In: Gray J.

- S. Christiansen ME (eds) Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. J. Wiley & Sons Ltd, London, pp 351-361.
- Bosch, H.F. and W.R. Taylor, 1970. Diurnal vertical migration of an estuarine cladoceran, *Podon polyphemoides*, in the Chesapeake Bay. Mar. Biol. 19 : 172-181.
- Bremner, J.M. and J.P. Wills, 1993. Mineralogy and geochemistry of the clay fraction of sediments from the Nambian continental margin and the adjacent hinterland. Mar. Geol. 115 : 85-116.
- Brey, T., 1991. The relative significance of biological and physical disturbance: an example from intertidal and subtidal sandy bottom communities. Estuarine, Coast. and Shelf Sci. 33 : 339-360.
- Brunel, P., 1979. Seasonal changes in daily vertical migration in a suprabenthic coldlayer shelf community over mud in the Gulf of St. Lawrence, In: Naylor, E. and R.G. Hartnoll (eds). Cyclic phenomena in marine plants and animals. Proc. 13th Europ. Mar. Biol. Symp. Pergamon Press, Oxford. p. 383-390.
- Burger, J., 1984. Abiotic factors affecting migrant shorebirds, pp. 1-72. In J. Burger and B.L. Olla(eds.). Behavior of marine animals. vol 6. Shorebirds migration and foraging behavior. Plenum Press. New York.
- Cadée, C.G., and J. Hegeman, 1974. Primary production of the benthic microflora living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 8 : 260-291.
- Cadée, C.G., and J. Hegeman, 1977. Distribution of primary production of the benthic microflora and accumulation of organic matter on a tidal flat area, Balgzand, Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., 11 : 24-41.
- Camen, L.M. and J.A. Walker., 1986. The relationship between bacteria and micro-algae in the sediment of a Bay of Fundy mudflat. Estuar.

Coast. Shelf Sci. 22 : 91-99

- Camen, L.M., 1991. Annual bacterial production in relation to benthic microalgal production and sediment oxygen uptake in an intertidal sandflat and an intertidal mudflat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71 : 13-25.
- Capehart, A.A. and C.T. Hackney, 1989. The Potential Role of Roots and Rhizomes in Structuring Salt-Marsh Benthic Communities. *Estuaries*, Vol. 12, No. 2, p. 119-122.
- Carignan, R. and J.O. Nriagu, Trace metal deposition and mobility in the sediments of two lakes near Sudbury, Ontario. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 49 : 1753 - 1764.
- Chae, J. and S. Nishida, 1995. Vertical distribution and diel migration of the iridescent copepods of the family Sapphrinidae: A unique example of reverse migration? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 119 : 111-124.
- Chester, R., 1990. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman Ltd., London, 698pp.
- Cho, K.J., and J.H. Kim, 1988. Species composition and primary production of the benthic algal assemblage along a channel in salt marsh, Kyonggi Bay, Korea. *Korean J. Ecol.*, 11 : 1-15.
- Choi, J.-W. and J.-H. Lee, 1997. Secondary production of a nereid species, *Perinereis aibuhitensis* in the intertidal mudflat of the west coast of Korea. *Bull. Mar. Sci.*, 60(2) : 517-528.
- Choi, J.-W., D. Kim, S.-H. Shin, and J.-G. Je, 1998. The spatial distribution of macrobenthos in the sandflat of Daebu-do, Kyonggi Bay, the west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20 (2) S : 97-104 (in Korean).
- Collins, C.H. and P.M., Lyne. 1984. Counting micro-organisms. pp. 128-141. *In* *Microbiological methods*(5th ed.). Butler & Tanner Ltd. London, England.
- Colwell, M.A. and S.L. Landrum, 1993. Nonrandom shorebird distribution

- and fine-scale variation in prey abundance. *Condor*, 95 : 94-103.
- Coull, B.C., 1988. Ecology of the marine meiofauna, in "Introduction to the study of meiofauna, R.P. Higgins and H. Thiel, eds., Smithsonian institute press, Washington D.C., pp. 18-38.
- Coull, B.C., G.R.F. Hicks and J.B.J. Wells, 1981. Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: A rebuttal. *Mar. Poll. Bull.*, 12, 378-381.
- Cowardin, L.W., V. Carter, F.C. Golet, and E.T. LaRoe, 1979. Classification of wetland and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-79/31.
- Cowles, T.J., R.J. Olson and S.W. Chisholm, 1988. Food selection by copepods: Discrimination on the basis of food quality. *Mar. Biol.* 100 : 41.
- Craft, C.B., S.W. Broome, E.D. Seneca and W.J. Showers, 1988. Estimating sources of soil organic matter in natural and transplanted estuarine marshes using stable isotopes of carbon and nitrogen. *Est. cstl. and shelf sci.*, Vol, 26 : 633-641.
- Crisp, D.J., 1984. Energy flow measurements. In: *Methods for the study of marine benthos*, by Holme, N.A. & A.D. McIntyre (eds.), Blackwell Scientific Publ., p. 284-372.
- Cullen, J.J., 1990. On models of growth and photosynthesis in phytoplankton. *Deep-Sea Res.* vol 37 : 667-683.
- Currin, C.A. and S.Y. Newell, H.W. Paerl, 1995. The role of standing dead *Spartina alterniflora* and benthic microalgae in salt marsh food webs: considerations based on multiple stable isotope analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 121 : 99-166.
- Dacey, J.W. and B.L. Howes, 1984. Water uptake by roots controls water table movements and sediment oxidation in short *Spartina* marsh. *Sci.*, 224 : 87-489.
- Daskalakis, K.D. and T.P. O'connor, 1995. Normalization and Elemental

- sediment contamination in the coastal United States. Environ. Sci. Technol. 29 : 470 - 477.
- Davidson, N.C. and P.R. Evance, 1989. Prebreeding accumulation of fat and muscle protein by Arctic breeding shorebirds. Proc 19th Int. Ornithol. Congr. Ottawa. pp. 342-352.
- Davis, J.C., 1978. Statistical and data analysis in Geology. Wiley, New York. 550p.
- Davis, T.J., 1994. The Ramsar Convention manual. Ramsar Convention Bureau Gland. 207p.
- Del Moral, R. and A.F. Watson, 1978. Vegetation on the Stikine analysis. *Northwest Sci.*, 33 : 43-64.
- Delgado, M., V.N. de Jonge, and H. Peletier, 1991. Experiments on resuspension of natural microphytobenthos populations. Mar. Bio. 108 : 321-328.
- Demott, W.R., 1989. Optimal foraging theory as a predictor of chemically mediated food selection by suspension-feeding copepods. Limnol. Oceanogr. 34(1) : 140-154.
- Durell, S.E. and C.P. Kelly, 1990. Diet of Dunlin *Calidris alpina* and Grey plover *Pluvialis squatarola* on the Wash as determined by dropping analysis. Bird Study. 37 : 44-47.
- Edgar, G.J., C. Shaw, G.F. Watson, and L.S. Hammond, 1994. Comparisons of species richness, size-structure and production of benthos in vegetated and unvegetated habitats in Western Port, Victoria. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 176(2) : 201-226.
- Edwards, J.M. and R.W. Frey, 1977. Substrate characteristics within a Holocene salt marsh, Sapelo Island, Georgia. *Senckenberg. Marit.*, 9 : 215-259.
- Eisma, D. and J. Kalf, 1987. Dispersal, concentration and deposition of suspended matter in the North Sea. Journal of Geological Society of London, v. 144, p. 161-167.

- Enright, J.T., 1977. Diurnal vertical migration: Adaptive significance and timing. part 1. Selective advantage: Details of timing. *Limnol. Oceanogr.* 22(5) : 856-872.
- Ergin, M., B. Kazan and V. Ediger, 1996. Source and depositional controls on heavy metal distribution in marine sediments of the Gulf of Iskenderun, Eastern Mediterranean. *Mar. Geol.* 133 : 223-239.
- ESRI, 1991. Surface modeling with TIN. Redland CA, ESRI Inc.
- Evans, P.R., 1976. Energy balance and optimal foraging strategies in shorebirds: Some implications for their distribution and movement in the non-breeding season. *Ardea.* 64 : 117-139.
- Evans, P.R., J.D. Goss-Custard and W.G. Hale, 1984. Coastal waders and wildfowl in winter. pp.331. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fenchel, T., 1987. Ecology of Protozoa. Springer-Verlag.
- Fielding, P.J., K.St.J. Damstra and G. M. Branch, 1988. Benthic diatom biomass, production and sediment chlorophyll in Langebaan Lagoon, South Africa. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 27 : 413-426.
- Fogel, M.L., E.K. Sptague, A.P. Gize and R.W. Frey, 1989. Diagenesis of Organic Matter in Georgia Salt Marshes. *Est. Coast. and Shelf Sci.*, 28 : 211-230.
- Folk, R.L. and W. Ward, 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment Petrol.*, v 27, p. 3-26.
- Forward, Jr, R.B., 1985. Behavioral responses of larvae of the crab *Phithropanopeus harrisi* (Brachyura: Xanthidae) during diel vertical migration. *Mar. Biol.* 90 : 9-18.
- Forward, Jr, R.B., T.W. Cronin & D.E. Stearns, 1984. Control of diel vertical migration: Photoresponses of a larval crustacean. *Limnol. Oceanogr.* 29(1) : 146-154.
- Fowler, B.H., 1980. Reproductive Biology of *Assiminea californica*

- (Tryon, 1865). *THE VELIGER*. Vol. 23: No. 2 , p. 163-166.
- Francois, R., 1988. A study on the regulation of the concentrations of some trace metals (Rb, Sr, Zn, Pb, Cu, V, Cr, Ni, Mn and Mo) in Saanich inlet sediments, British Columbia, Canada. *Mar. Geol.* 83 : 285 - 308.
- Frey, R.W. and P.B. Basan, 1985. Coastal Salt Marsh. In: *Coastal Sedimentary Environments*. R. A. Davis, second revised, expanded edition. p. 231.
- Frey, R.W., J.-S. Hong, J.D. Howard, B.-K. Park, and S.-J. Han, 1987. Zonation of benthos on a macrotidal flat, Inchon, Korea. *Senckenbergiana marit.*, 19(5/6) : 295-329.
- Gao, S. and M. Collins, 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sed. Geol.*, 81 : 47-60.
- Gerlach, S.A., 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6 : 176-190.
- Gibbs, R.J., 1977. Effects of combustion temperature and time, and of the oxidation agent used in organic carbon and nitrogen analysis of sediments and dissolved organic material. *J. Sediment. Petrol.*, 47 : 547-550.
- Giblin, A.E., G.W. Luther III and I. Valiela, 1986. Trace metal solubility in salt marsh sediments contaminated with sewage sludge. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 23 : 477 - 498.
- Gil, J.W. and T.W. Lee, 1986. Reproductive ecology of the scaled sardine, *Sardinella zunasi* (Family Clupeidae), in Cheonsu Bay of the Yello Sea, Korea. *Indo-Pacific Fish Biology* 2 : 818-829.
- Gliwicz, M.Z., 1986. Predation and the evolution of vertical migration in zooplankton. *Nature*. 320(24) : 746-747.
- Gophen, M. and R.P. Harris, 1981. Visual predation by a marine cyclopoid copepod, *Corycaeus anglicus*. *J. mar. biol. Ass. U. K.*

- Gould, D.M. and E.G. Gallagher, 1990. Field measurement of specific growth rate, biomass, and primary production of benthic diatoms of savin hill cove, Boston. *Limnol. Oceanogr.* 35 : 1757-1770.
- Grasshoff, K. 1983. 9.2 Determination of nitrate. pp. 143-150 *In* (Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling eds.) *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, Germany.
- Gray, J.S., 1974. Animal-sediment relationships. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 233-261.
- Greenwood, J.G., 1981. Occurrences of congeneric pairs of *Acartia* and *Pseudodiaptomus* species (Copepoda, Calanoida) in Moreton Bay, Queensland. *Estuarine, coast. Shelf Sci.* 13 : 591-596.
- Grisley, M.S. and P.R. Boyle, 1985. A new application of serological techniques to gut content analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 90 : 1-9.
- Grontved, J., 1960. On the productivity of microbenthos and phytoplankton in some Danish fjords. *Medd. Dann. Fisk. Havunders.* 3(3) : 55-92.
- Haedrich, R.L. and C.A.S. Hall, 1976. Fishes and estuaries. *Oceanus*, 19 : 55-63.
- Hairstone, N.G., Jr., 1980. The vertical distribution of diaptomid copepods in relation to body pigmentation. *Am. Soc. Limnol. Oceanogr. Spec. Symp.* 3 : 98-110.
- Hale, W.G., 1980. *Waders*. The new naturalist series. Collins. London, pp. 15-33.
- Hamner, W.M., R.W. Gilmer and P.P. Hamner, 1982. The physical, chemical, and biological characteristics of a stratified, saline, sulfide lake in Palau. *Limnol. Oceanogr.* 27(5) : 896-909.
- Hardy, A., 1936. Observation on the uneven distribution of oceanic

- plankton. Disc. Rep. 11 : 511-536.
- Hay, S.I., T.C. Maitland, and D.M. Paterson, 1993. The speed of diatom migration through natural and artificial substrata. *Diatom Research*. 8 : 371-384.
- Hayward, T.L., 1981. Mating and the depth distribution of an oceanic copepod. *Limnol. Oceanogr.* 26(2) : 374-377.
- Head, E.J.H. and L.R. Harris, 1994. Feeding selectivity by copepods grazing on natural mixtures of phytoplankton determined by HPLC analysis of pigments. *Mar. Ecol. Pro. Ser.* 110 : 75-83.
- Head, E.J.H., L.R. Harris and C. AbouDebs, 1994. Effect of daylength and food concentration on *in situ* diurnal feeding rhythms in Arctic copepods. *Mar. Ecol. Pro. Ser.* 24 : 281-288.
- Heckman, C., 1985. The development of vertical migration patterns in the sediments of estuaries as a strategy for algae to resist drift with tidal currents. *International Revue gessamten Hydrobiologie.* 70 : 150-164.
- Heip, C., 1980. Meiobenthos as a tool in the assessment of marine environmental quality. *Rapp. P. -V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer*, 179, 182-187.
- Heip, C., R.M.J. Herman and A. Coomans, 1992. The productivity of marine meiobenthos, *Academiae Analecta Klasse der Wetenschappen*, 44, 1-20.
- Higgins, R.P. and J.W. Fleeger, 1980. Seasonal changes in the population structure of *Echinoderes coulii* (Kinorhyncha). *Est. Coast. Mar. Sci.*, 10, 495-505.
- Hiroki, M., 1988. Relation between diel vertical migration and locomotor activity of a marine hyperiid amphipod, *Themisto japonica* (Bovallius). *J. Crustacean Biol.* 8 : 48-52.
- Hong, J.S. and J.W. Yoo, 1996. Salinity and Sediment Types as Sources of Variability in the Distribution of the Benthic Macrofauna in

- Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Ocean.*, Vol. 31, No. 4, pp. 217-231.
- Hopkins, J., 1963. A study of the diatoms of the Ouse estuary, Sussex. I. The movement of the mud-flat diatoms in response to some chemical and physical changes. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 43 : 653-663.
- Hoppe, H.G., 1993. Chapter 48 Use of fluorogenic model substrates for Extracellular Ezyme Ativity(EEA) measurement of bacteria. pp 423-431 *In* (Kemp P.F., B.F. Sherr, E.B. Sherr and J.J. Cole eds.) *Handbook of methods in Aquatic Microbial Ecology*. Lewis Pub. Boca Raton, Florida, USA.
- Hudon, C. and P. Legendre, 1987. The ecological implications of growth forms in ephibenthic diatoms. *J. Phycol.* 23 : 434-441.
- Huntley, M., 1981. Nonselective, nonsaturated feeding by three calanid copepod species in the Labrador Sea. *Limnol. Oceanogr.* 25(5) : 831-842.
- Ingolfsson, A., 1994. Species Assemblages in Saltmarsh Ponds in Western Iceland in Relation to Environmental Variables. *Est. Coast. and Shelf Sci.*, 38, 235-248.
- Itaoka, M. and K. Tamai, 1993. Effect of Eutrophication on the Structure of Meiobenthic Communities in Hiroshima Bay. *Benthos. Res.*, 45, 19-28 (in Japanese).
- Johnson, R.G., 1967. Salinity of interstitial water in a sandy beach. *Limnol. Oceanogr.*, 12(1) : 1-7.
- Joint, I.R., J.M. Gee, and R.M. Warwick, 1982. Determination of fine-scale vertical distribution of microbes and meiofauna in an intertidal sediment. *Mar. Biol.* 72 : 157-164.
- Kaartvedt, S., 1985. Diel chages in small-scale vertical distribution of hyperbenthic mysids. *Sarsia*. 70 : 287-295.
- Kalejta, B. and P.A.R. Hockey, 1991. Distribution, abundance and

- productivity of benthic invertebrates at the Berg River estuary, South Africa. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 33 : 175-191.
- Kendeigh, S.C., 1970. Energy Requirements for existence in relation to size of bird. *Condor*. 72 : 60-65.
- Kerner, M. and K. Wallmann, 1992. Remobilization events involving Cd and Zn from intertidal flat sediments in Elbe Estuary during the tidal cycle. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 32 : 812 - 822.
- Kim, D.S. and Y. Shirayama, 1996a. Seasonal fluctuation of meiobenthos inhabiting subtidal coarse sand in Otsuchi Bay, with special reference to free-living nematodes. *Bent. Res.*, 51(1) : 9-20.
- Kim, D.S., 1996b. Energy budget of nematode community inhabiting subtidal coarse sand in Otsuchi Bay, Northeastern honshu, Japan, Ph.D. Thesis, University of Tokyo, Japan, P.110.
- Kim, D.S., 1997. The faunal composition of meiobenthic community in the deep-sea sediment, northeastern Pacific Ocean. [The Sea] *J. Korean. Soc. Oceanogr.*, 2(1) : 42-47. (in Korean)
- Kim, D.S., J.W. Choi and J.G. Ge, 1998a. Community structure of meiobenthos for monitoring pollution in mariculture farms in Tongyung coastal area, Southern Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31(2), 217-225.
- Kim, D.S., J.W. Choi, J.G. Ge and J.H. Lee, 1998b. Community structure of meiobenthos in tidal flats at Daebudo, West coast of Korea. *Ocean Reserch.* 20(2), 81-87.
- Kim, D.Y., 1985. Taxonomical study on calanoid copepod in Korean waters. Ph.D thesis. Hanyang University. p.173.
- Kim, H.S. and B.L. Choe, 1982. An annual change of species composition and abundance of crustacean decapod community in an eastern channel of Ganghwa Island. *Bull. Korean Assoc. for Conservation of Nature, Ser.*, 4 : 313-323.
- Kim, H.S., K.S. Lee, W. Kim, and D.H. Kwon, 1981. A faunal and

- ecological study on the crustaceans in the intertidal zones near Incheon and southern part of Gankhwa Island. Bull. Korean Assoc. for Conservation of Nature, Ser. 3 : 279-309.
- Kim, I.S., Y.J. Lee and Y.U. Kim., 1987. A Taxonomic Revision of the Subfamily Gobiinae(Pisces, Gobiidae) from Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 20(6), 529-542.
- Kim, J.H., H.T. Mun, B.M. Min and K.J. Cho, 1989. Nitrogen and phosphorus dynamics in a salt marsh in the Nakdong River Estuary. *Korean J. Ecol.*, 12(1) : 1-7.
- Kim, W.-S., 1994. Population dynamics and energy budget of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) (Bivalvia: Veneridae) in Garolim Bay, Yellow Sea, Korea. Ph. D. Thesis of Kiel University, 134 pp.
- Kirchman, D.L., 1993. Chapter 58 Leucine incorporation as a measure of biomass production by heterotrophic bacteria. pp 509-512 *In* (Kemp P.F., B.F. Sherr, E.B. Sherr and J.J. Cole eds.) Handbook of methods in Aquatic Microbial Ecology. Lewis Pub. Boca Raton, Florida, USA.
- Klaver, G. and T.C.E. van Weering, 1993. Rare earth element fraction by selective sediment dispersal in surface sediments: the Skagerrak. *Mar. Geol.* 111 : 345 - 359.
- Kneib, R.T. and A.E. Stiven, 1982. Benthic invertebrates responses to size and density manipulations of the common mummichog *Fundulus heteroclitus* in an intertidal salt marsh. *Ecology*, 63 : 1518-1532.
- Kneib, R.T., 1984. Patterns of invertebrate distribution and abundance in the intertidal salt marsh: causes and questions. *Estuaries*, 7 : 392-412.
- Koh, C.-H., 1997. Korean megatidal environments and tidal power projects: Korean tidal flats - biology, ecology and land uses by

- reclamations and other feasibilities. *La Houille Blanche*, No.3 : 66-78.
- Koh, C.H. and H.C. Shin, 1988. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mudflat of the west coast of Korea(Yellow sea). *Neth. J. Sea Res.*, 22(3) : 279-290.
- Koroleff, F., 1983. 9.1 Determination of phosphorus. pp. 125-139 In (Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling eds.) *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, Germany.
- Krebs, J.R. and R.H. McCleery, 1984. Optimization in behavioral ecology. In: Krebs, J.R. and N.B. Daves (eds) *Behavioral ecology. An evolutionary approach*. pp. 91-121. Blackwell Scientific Publications, Oxford. p. 542.
- Lamshead, P.J.D., 1984. The nematode/copepod ratio: Some anomalous results from the Firth of Clyde. *Mar. Pollut. Bull.*, 15, 256-259.
- Lampitt, R.S., 1978. Carnivorous feeding by a small marine copepod. *Limnol. Oceanogr.* 23 : 1228-1231.
- Lana, Paulo da.C. and C. Guiss, 1992. Influence of *Spartina alterniflora* on structure and temporal variability of macrobenthic associations in a tidal flat of Paranagua Bay(southeastern Brazil). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 73 : 231-244
- Lana, Paulo da.C. and C. Guiss, 1992. Macrofauna-plant-biomass interactions in a euhaline salt marsh in Paranagua Bay(SE Brazil). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 80 : 57-64.
- Le Bris, H., 1988. Fonctionnement des ecosystèmes benthiques Cotiers au contact d'estuaries : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These doc., Univ. Bretagne Occidentale Brest.
- Leach, J.H., 1970. Epibenthic algal production in an intertidal mud flat. *Limnol. Oceanogr.*, 15 : 514-521.
- Lee, C.B., H.R. Yoo and K.S. Park, 1992. Distribution and properties of

- intertidal surface sediments of Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27 : 277-289.
- Lee, J.H., J.S. Yi., B.S. Kim., C.B. Lee and C.H. Koh, 1998. Characteristics of Metal Distribution in the Sediment in Kyeonggi Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 3 : 101-111.
- Lee, S.-W., H. Lee, S.-H. Shin, D. Kim, J. Lee, and J.-G. Je, 1998. Marine biota of the macro-tidal flat of Namsari, Taebudo in the west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20 (2) S : 105-119 (in Korean).
- Lee, T.W., 1983. Age composition and reproductive period of shad, *Konosirus punctatus*, in Cheonsu Bay. *J. Oceanol. Soc. Kor.* 18 : 161-168.
- Letzsch, W.S. and R.W. Frey, 1980. Erosion of Salt Marsh Tidal Creek Banks, Sapelo Island, Georgia. *Senckenbergiana marit.*, 12, (5/6), 201-212.
- Levin, K.A., 1984. Multiple patterns of development in *Streblospio benedicti* Webster (Spionidae) from three coasts of North America. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 65 : 107-119
- Lieth, H. and M. Moschenko, 1998. Sustainable use of halophytes (salinity tolerant plants), UNESCO MAB, EU CONCERTED ACTION IC 18 CT 96-0055, 2nd enlarged edition, Osnabrueck, 10pp.
- Lim, H.-S. and J.-G. Je, 1998. Macrobenthic community on the macro-tidal flat of the Taebudo, west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20 (2) S : 121-130 (in Korean).
- Lindberg, G.U. and M.I. Legeza, 1965. Fishes of the Sea of Japan and the Adjacent Areas of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea. Part II. Translated in English by Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 389p
- Lindberg, G.U. and Z.V. Krasnyukova, 1969. Fishes of the Sea of Japan and the Adjacent Areas of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea. Part III. Translated in English by Israel Program for Scientific

- Translations, Jerusalem. 498p.
- Lindberg, G.U. and Z.V. Krasnyukova, 1989. Fishes of the Sea of Japan and the Adjacent Areas of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea. Part IV. Translated in English by Balkema, Rotterdam. 620p.
- Long, A.J., C.M. Poole., M.I. Eldridge, P.O. Won and K.S. Lee, 1988. A survey of coastal wetlands shorebirds in South Korea, Spring 1988. AWB Publ., No. 39. 163pp.
- Longhurst, A.R. and W.G. Harrison, 1989. The biological pump: Profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Prog. Oceanogr.* 22 : 47-123.
- Longhurst, A.R., 1991. Role of the marine biosphere in the global carbon cycle. *Limnol. Oceanogr.* 36(8) : 1507-1526.
- Loring, D.H., 1982. Geochemical factors controlling the accumulation and dispersal of heavy metals in the bay of Fundy sediments. *Can. J. Earth Sci.* 19 : 930 - 944.
- Loring, D.H., K. Næs, S. Dahle, G. G. Matishov and G. Illin, 1995. Arsenic, trace metals, and organic micro contaminants in sediments from the Pechora, Russia. *Mar. Geol.* 128 : 153 - 167.
- Lu, J.C.S. and K.Y. Chen, 1977. Migration of trace metals in interfaces of seawater and polluted surficial sediments. *Environ. Sci. Technol.* 11 : 174 - 182.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds, 1988. *Statistical Ecology.* 337p.
- MacIntyre, H.L., R.J. Geider, and D.C. Mille, 1996. Microphytobenthos: the ecological role of the "secret garden" of unvegetated, shallow water marine habitats. I Distribution, abundance and primary production. *Estuaries.* 19 : 186-201.
- Maddocks T.A. and F. Geiser, 1997. Energetics, thermoregulation and nocturnal hypothermia in Australian Silvereyes. *Condor.* 99 : 104-112.
- Mare, M.F., 1942. A study of a marine benthic community with special

- reference to the microorganisms, *J. Mar. Biol. Assoc. United Kingdom*, 25 : 517-554.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Ueno and T. Yoshino (eds), 1984. *The Fishes of the Japanese Archipelago. Text and Plates: 437p + 370pls.*
- Mauchline, J., 1982. The predation of mysids by fish of the Rockall Trough, northeast Atlantic Ocean. *Hydrobiologia*. 93 : 85-99.
- Mayer, M.M., 1989. Extracellular proteolytic enzyme activity in sediments of an intertidal mudflat. *Limnol. Oceanogr.* 34 : 973-981.
- McIntyre, A.D., 1969. Ecology of marine meiobenthos, *Biol. Rev.*, 44 : 245-290.
- McLaren, I.A., 1963. Effects of temperature on growth of zooplankton and the adaptive value of vertical migration. *J. Fish. Res. Bd Can.* 20 : 685-727.
- McLaren, P. and D. Bowles, 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J. Sed. Petro.*, 55 : 457-470.
- McLusky, D. ,. 1989, *The estuarine ecosystem*. Blackie, Glasgow, pp215.
- Michel, J., and Dahlin, J., 1993. Guidelines for developing digital environmental sensitivity index atlases and databases. NOAA/HAZMAT, pp. 62.
- Michel, J., and Dahlin, J., 1993. Guidelines for developing digital environmental sensitivity index atlases and databases. NOAA/HAZMAT, pp. 62.
- Miller, M., A. palojarvi, A. Rangger, M. Reeslev and A. Kjølner, 1998. The use of fluorogenic substrates to measure fungal presence and activity in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 64 : 613-617.
- Min, B.M. and J.H. Kim, 1993. Distribution and cyclings of nutrients in *Phragmites communis* communities of a coastal salt marsh. *Korean J. Bot.*, 26(1) : 17-32.
- Monroe, B.L. and C.G. Sibley, 1993. *A World Checklist of Birds*. Yale

- University Press. New Haven and London. pp. 103-110.
- Montagna, P.A. and W.B. Yoon, 1991. The effect of freshwater inflow on meiofaunal consumption of sediment bacteria and microphytobenthos in San Antonio Bay, Texas, USA. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 33 : 529-547
- Montague, C.L., 1982. The influence of fiddler crab burrows in burrowing on metabolic processes in salt marsh sediments. In *Estuarine comparisons*(Kennedy, S. ed.). 709pp. New York: Academic Press.
- Moore, C.G. and B.J. Bett, 1989. The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool. J. Linn. Soc.*, 96, 263-280.
- Moore, C.G. and T.H. Pearson, 1986. Response of a marine benthic copepod assemblage to organic enrichment. *Proc. 2nd Int. Conf. Cop.*, 1984, 369-373.
- Morris, M.C. 1996. Testing a nearshore biophysical classification system. Thesis for Master Degree of The University of British Columbia. 99pp.
- NOAA, 1992a. COMPAS: NOAA's coastal ocean management planning, and assessment system.
- NOAA. 1992b. An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response. NOAA/HAZMAT.
- NORI, 1997; 1998. 국립해양조사원. 인천항 조석자료.
- Nelson, J.S., 1984. *Fishes of the world* (2nd). Wiley Interscience. 523p.
- Newell, G.E. and R.C. Newell, 1963. *Marine plankton*. Hutchinson Educational Ltd., London. p. 555.
- Nienhuis, P.H., and B.H.H. de Bree, 1984. Carbon fixation and chlorophyll in bottom sediments of brackish lake Grevelingen, the Netherlands. *Neth. J. Sea Res.*, 18 : 337-359.
- Ohman, M.D., 1990. The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. *Ecol. Monogr.* 60(3) : 257-281.
- Ohman, M.D., B.W. Frost and E.B. Cohen, 1983. Reverse diel vertical

- migration: an escape from invertebrate predators. *Science*, 220 : 1404-1407.
- Ohtsuka, S. and N. Kubo, 1991. Lavaceans and their houses as important food for some pelagic copepods. *Bull. Plankton Soc. Japan*, special vol.: 535-551.
- Ohtsuka, S., Y.H. Yoon and Y. Endo, 1992. Taxonomic studies on brackish copepods in Korean waters. I. Redescription of *Tortanus dextrilobatus* Chen and Zhang, 1965 from Korean waters. *J. Oceanogr. Soc. Korea* 27 : 112-122.
- Oren, A., M. Kuhl and U. Karsten, 1995. An endoevaporitic microbial mat within a gypsum crust: Zonation of phototrophs, photopigments, and light penetration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 128 : 151-159.
- Pace, M.L., S. Shimmel and W.M. Darley, 1979. The Effect of Grazing by a Gastropod, *Nassarius obsoletus*, on the Benthic Microbial Community of a Salt Marsh Mudflat. *Est. and Coast. Mar. Sci.*, 9 : 121-134.
- Paffenhofer, G.A., J.R. Strickler and M. Alcaraz, 1982. Suspension-feeding by herbivorous calanoid copepods: A cinematographic study. *Mar. Biol.* 67 : 193-199.
- Pandarinath, K. and A.C. Narayana, 1992. Clay minerals and trace metal association in the Gangolli estuary sediments, west coast of India. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 35 : 363 - 370.
- Park. H.S., 1991. An ecological study of the macrobenthos on a macrotidal flat, Inchon, Korea. M.S. thesis, Inha Univ. pp. 124.
- Parrondo, R.T., J.G. Gosselink and C.S. Hopkinson, 1978. Effects of salinity and drainage on the growth of three salt marsh grasses. *Bot. Gaz.* 139 : 102-107.
- Parsons, T.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. Biological oceanographic processes. Pergamon Press, Oxford. p. 330.
- Pattan, J.N., Ch.M. Rao, N.C. Higgs, S. Colley and G. Parthiban, 1995.

- Distribution of major, trace and rare-earth elements in surface sediments of the Wharton Basin, Indian Ocean. *Chem. Geol.* 121 : 201 - 215.
- Paulo da, C.L. and C. Guiss, 1992. Macrofauna-plant-biomass interactions in a euhaline salt marsh in Paranagua Bay(SE Brazil). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 80 : 57-64.
- Pennings, S.C. and R.M. Callaway, 1992. Salt marsh plant zonation: The relative importance of competition and physical factors. *Ecology*, 73(2), pp. 681-690.
- Phleger, F.B. and J.S. Bradshaw, 1966. Sedimentary environments in a marine marsh. *Science*, 154 : 1551~1553.
- Pielou, E.C., 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley-Interscience, New York.
- Pielou, E.C., 1975. Diversity indices. In Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. John Wiley & Sons, Inc., 93p.
- Pielou, E.C., 1976. *Mathematical ecology*. 2nd., John Wiley & Sons, Inc., 291-311.
- Pienkowski, M.W., 1983. Change in the foraging pattern of Plovers in relation to environmental factors. *J. Anim. Behav.* 31 : 244-264.
- Piersma, T., J.V. Gils, P.D. Goeij and J.V.D. Meer, 1995. Holling's functional response model as a tool to link the food-finding mechanism of a probing shorebird with its spatial distribution. *J. Anim. Ecol.* 64 : 493-504.
- 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.
- Pinckney, J. and R.G. Zingmark, 1991. Effects of tidal stage and sun angles in intertidal benthic microalgal productivity. *Mar. Eco. Pro. Ser.* 76 : 81-89.

- Pinckney, J. and R.G. Zingmark, 1993b. Modeling the annual production of intertidal benthic Microalgae in estuarine ecosystems. *J. Phycol.* 29 : 396-407.
- Pinckney, J., Y. Piceno, and C.R. Lovell, 1994. Short-term changes in the vertical distribution of benthic microalgal biomass in intertidal muddy sediments. *Diatom Research.* 9 : 143-153.
- Platt, T., C. Gallegos and W.G. Harrison, 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 38 : 687-701.
- Pomeroy, L.R., 1959. Algal productivity in salt marshes of Georgia. *Limnol. Oceanogr.*, 4:386-397.
- Poremba, K., 1995. Hydrolytic enzyme activity in deep-sea sediments. *FEMS Microbiol. Ecol.* 16 : 213-222.
- Postma, H., 1961. Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea, Netherlands. *Journal of Sea Research*, v. 1, p. 148-190.
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: *Estuaries*, G. A. Lauff(ed.), Washington, DC, American Association for the Advancement of Science, Special Publication 83, p. 158-179.
- Price, C.H., 1980. Water relations and physiological ecology of the salt marsh snail, *Melampus bidentatus* say. *J. exp. mar. Bio. Ecol.*, Vol. 45, pp. 51-67.
- Puttick, G.M., 1979. Foraging behaviour and activity budgets of Curlew Sandpipers. *Ardea.* 67 : 111-122.
- Puttick, G.M., 1980. Energy budgets of Curlew Sandpipers at Langebaan Lagoon, South Africa. *Estuarine Coastal. Mar. Sci.* 11 : 207-215.
- Rader, D.N., 1984. Salt-marsh benthic invertebrates: small scale patterns of distribution and abundance. *Estuaries*, 7 : 413-420.
- Rae, J.E., 1997. Trace metals in deposited intertidal sediments. In

- Jickells, T. D. and J. E. Rae (editors), Biogeochemistry of intertidal sediments, Cambridge University Press, Cambridge, 193pp.
- Raffaelli, D. 1981. Monitoring with meiofauna: A reply to Coull, Hicks and Wells(1981) and additional data. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 381-382.
- Raffaelli, D. and C.F. Mason, 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar. Pollut. Bull.*, 12, 158-163.
- Raffaelli, D., 1987. The behaviour of the nematode/copepod ratio in organic pollution studies. *Mar. Environ. Res.*, 23, 135-152.
- Ranwell, D.S., 1972. Ecology of salt marshes and sand dunes. Chapman and Hall, London, 258 pp.
- Recher, H.F., 1966. Some aspects of the ecology of migrant shorebirds. *Ecology*. 47 : 393-407.
- Rizzo, W.M. 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community. *Estuaries*. 13 : 219-226.
- Robinson, C.L.K. and C.D. Levings, 1995. An overview of habitat classification system, ecological models, and geographic information systems applied to shallow foreshore marine habitats. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2322. 65pp.
- Ryu, B.T. and J.H. Kim, 1985. Comparison of estimation methods for primary net production at herbaceous coastal marsh vegetation. *Korean J. Ecol.*, 8(3) : 133-140.
- Ryu, J.S., J.W. Choi, S.G. Kang, C.H. Koh and S.H. Huh, 1997. Temporal and spatial changes in the species composition and abundance of benthic polychaetes after the construction of Shihwa Dike(west coast of Korea). "The Sea" *J. Korean Soc. Oceanogr.* 2(2) : 101-109(in Korean).
- Sandulli, R. and M. De Nicol, 1991. Responses of meiobenthic communities

- along a gradient of sewage pollution. *Mar. Pollut. Bull.*, 22 : 463-467.
- Sandulli, R. and M. De Nicola, 1990. Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.*, 21, 144-153.
- Santos, P.J.P., 1994. Population dynamics and production of *Scolelepis gaucha* (Polychaeta: Spionidae) on the sandy beaches of southern Brazil. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 110(2/3) : 159-165.
- Sarda, R., K. Foreman and I. Valiela, 1995. Macroinfauna of a Southern New England salt marsh: seasonal dynamics and production. *Mar. Bio.*, 121 : 431-445.
- Seo, I.S., 1994. The community structure and distribution patterns of the benthic macrofauna in Chukchon tidal mudflats, Incheon. M.S.thesis, Inha Univ. pp. 103.
- Shaffer, G.P., and C.P. Onuf, 1983. An analysis of factors influencing the primary production of the benthic microflora in a southern California lagoon. *Neth. J. Sea Res.*, 17 : 126-144.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. *The Mathematical Theory of Communication* Illionis Univ. Press. 117p.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. Diversity indices. *In* Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. John wiley & Sons, pp. 89-92.
- Sheila, D. and J.M. Teal, 1965. Temperature change and gas exchange in Nova Scotia and Georgia salt-marsh muds. *Limnol. Oceanogr.*, 10(1) : 67-73.
- Shiells, G.M. and K.J. Anderson, 1985. Pollution monitoring using the nematode/copepod ratio: A practical application. *Mar. Pollut. Bull.*, 16, 62-68.
- Shirayama, Y. and Kim, D.S., 1998. Distribution and production of meiobenthos, in *Marine coastal environment*, Huji Tec., 254-263.

- Shirayama, Y., 1982. Ecology of deep-sea meiobenthos in the sediment profile. D. Sc. Thesis, University of Tokyo, Tokyo, 85pp.
- Shirayama, Y., 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in the western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 68 : 799-810.
- Shirayama, Y., 1984a. The abundance of deep-sea meiobenthos in the western Pacific in relation to environmental factors. *Oceanological Acta*, 7 : 113-121.
- Shirayama, Y., 1984b. Vertical distribution of meiobenthos in the sediment profile in bathyal, abyssal and hadal deep-sea systems of the western Pacific, *Oceanological Acta*, 7 : 123-129.
- Sholkovitz, E.R. and N.B. Price, 1980. The major-element chemistry of suspended matter in the Amazon Estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 44 : 163 - 171.
- Simard, Y., G. Lacroix and L. Legendre, 1985. In situ twilight grazing rhythm during diel vertical migrations of a scattering layer of *Calanus finmarchicus*. *Limnol. Oceanogr*, 30(3) : 598-606.
- Simenstad, C.A., C.D. Tanner, F. Weinmann and M. Ryiko, 1991. The estuarine habitat assessment protocol. Puget Sound Notes No. 25, June 1991. 12pp. Puget Sound Water Quality Authority, Olympia, Washington 98504-0900.
- Sinex, S.A. and D.A. Wright, 1988. Distribution of trace metals in the sediments and biota of Chesapeake Bay. *Mar. Pollut. Bull.* 19 : 425-431.
- Sprung, M., 1994. Macrobenthic secondary production in the intertidal zone of the Ria Formosa - a lagoon in southern Portugal. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 38(6) : 539-558.
- Stearns, D.E. and R.B. Forward, Jr., 1984a. Photosensitivity of the calanoid copepod *Acartia tonsa*. *Mar. Biol.* 82 : 85-89.
- Stearns, D.E. and R.B. Forward, Jr., 1984b. Copepod photobehavior in a

- simulated natural light environment and its relation to nocturnal migration. *Mar. Biol.* 82 : 91-100.
- Steele J.H., and I.E. Baird, 1968. Production ecology of a sandy beach. *Limnol. Oceanogr.*, 13 : 14-25.
- Strickland, J.D.H., and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish Res. Bd. Canada, 310pp.
- Sullivan, M. and C. Moncreiff, 1988. Primary production of euphotic algal communities in a Mississippi salt marsh. *J. Phycol.* 24 : 49-58.
- Takagi, K., 1966. Distributions and ecology of the gobioid fishes in the Japanese waters. *J. Tokyo Univ. Fish.* 52(2), 83-127 (In Japanese).
- Teal, J.M. and B.L. Howes, 1996. Interannual variability of a salt marsh ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 41(4), 802-809.
- Thiel, H., 1975. The size structure of the deep-sea benthos, *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, 60, 575-606.
- Thiel, H., 1979. Structure aspects of the deep-sea benthos. *Ambio Spec. Rep.*, (6), 25-31.
- Tietjen, J.H. and J.J. Lee, 1973. Life history and feeding habits of the marine nematode, *Chromadora macrolaimoides* Steiner. *Oecologia*, 12, 303-314.
- Trinast, E.M., 1975. Tidal currents and *Acartia* distribution in Newport Bay, California. *Estuarine Coast. Mar. Sci.* 3 : 165-176.
- Turner, J.T., 1984. The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. NOAA Technical Report NMFS 7. p. 28.
- Tyler, A.V., 1971. Surges of winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, into the intertidal zone. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 28 : 1727-1732.
- Tyler, A.V., 1971. Surges of winter flounder, *Pseudopleuronectes*

- americanus*, into the intertidal zone. J. Fish. Res. Bd. Canada, 28 : 1727-1732.
- Ueda, H., 1987. Temporal and spatial distribution of the two closely related *Acartia* species, *A. omorii* and *A. hudsonica* (Copepoda, Calanoida) in a small inlet water of Japan. Estuarine, coast. Shelf Sci. 24 : 691-700.
- Valentine, J.F. and K.L. Heck Jr, 1993. Mussels in seagrass meadows : their influence on macroinvertebrate abundance and secondary production in the northern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 96 : 63-74.
- Valiela, I., J. M. Teal, S. Volkmann, S. Shafer, E. J. Carpenter, 1978. Nutrient and particulate fluxes in a salt marsh ecosystem: tidal exchanges and inputs by precipitation and groundwater. *Limnol. Oceanogr.*, 23 : 798-812.
- Van Straaten, L.M.J.U. and Ph.H. Kuenen, 1957. Accumulation of fine grained sediments in the Dutch Wadden Sea. *Geologie en Mijnbouw*, v. 19, p. 329-354.
- Van Straaten, L.M.J.U., 1953. Megaripples in the Dutch Wadden Sea and in the Bay of Arcachon(France). *Geologie en Mijnbouw*, v. 15, p. 1-11.
- Van Straaten, L.M.J.U., 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. *Leidse Geologie Mededelser*, v. 19, p. 1-110.
- Vaughn, C.C. and F.M. Fisher, 1992. Dispersion of the Salt Marsh Periwinkle *Littoraria irrorata* : Effects of Water Level, Size, and Season. *Estuaries*, Vol. 15, No. 2, p. 246-250.
- Vidakovic, J., 1983. The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna. *Mar. Poll. Bull.*, 14, 84-88.
- Vogl, R.J., 1966. Salt marsh vegetation of upper New port Bay, California. *Ecol.*, 47 : 80-87.
- Warwick, R.M. and R. Price, 1975. Macrofauna production in an estuarine

- mud-flat. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 55 : 1-18.
- Warwick, R.M., 1981. The nematode/copepode ratio and its use in pollution ecology. Mar. Pollut. Bull., 12 : 329-333.
- Warwick, R.M., I.R. Joint and P.J. Radfort, 1979. Secondary production of the benthos of an estuarine environment. Pages 429-450 in R.L. Jefferies and A.J. Davy, editors, Ecological processes in coastal environments. Oxford, Blackwell scientific publishing company.
- Wasmund, N., 1984. Production and distribution of the microphytobenthos in the sediment of Lake Mikolajskie. International Revue Gesamten. Hydrobiologie. 69 : 215-229.
- Webb, P., R. Perissinotto and T.H. Wooldridge, 1988. Diet and feeding of *Gastrosaccus psammodytes* (Crustacea: Mysidacea) with special reference to the surf diatom *Anaulus birostratus*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 45 : 255-261.
- 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.
- Wiegert, R.G., L.R. Pomeroy and W.J. Wiebe, 1981. The ecology of a salt marsh. Springer-Verlag, New York, 271pp.
- Williamson, R.B., L.F. Van Dam, R.G. Bell, M.O. Green and J.P. Kim, 1996. Heavy metal and suspended sediment fluxes from a contaminated, intertidal inlet (Manukau harbour, New Zealand). Mar. Pollut. Bull. 32 : 812-822.
- Wolff, W.J. and L. de Wolff, 1977. Biomass and production of zoobenthos in the Grevelingen estuary, the Netherlands. Estuar. Coast. Mar. Sci., 5 : 1-24.
- Worrall, D.H., 1984. Diet of the Dunlin *Calidris alpina* in the Severn Estuary. Bird Study. 31 : 203-212.
- Yingst, J.Y., 1978. Patterns of micro-and meiofaunal abundance in the

marine sediments, measured with the adenosine triphosphate assay. *Mar. Biol.*, 47 : 41-54.

Zaret, T.M. and J.S. Suffern, 1976. Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnol. Oceanogr.* 21(6) : 804-813.

Zwarts L., 1988. Numbers and distribution of coastal waders in Guinea-Bissau. *Ardea*. 76 : 42-55.

Zwarts L. and A.M. Blomert, 1990. Selectivity of Whimbrels feeding on fiddler crabs explained by component specific digestibilities. *Ardea*. 78 : 193-208.

Appendix
(부 록)

Appendix 3-4-1. Vertical distribution of microalgal abundance in st. L1

SPECIES	DEPTH (mm)										
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16			
<i>Actinophythus senarius</i>	300		260								
<i>Amphora coffeaeformis</i>	5,400	4,580	5,100				2,520				
<i>Amphora</i> spp.	2,100	1,530	7,500	1,350		1,050					
<i>Berkeleya scopulorum</i>	8,100	12,210	1,530	2,250		530					1,170
<i>Cocconeis</i> sp.	5,400										
<i>Coccinodiscus radiatus</i>	300		260								
<i>Cyclotella stylorum.</i>	2,100	40,290	15,300	2,480	7,070	5,250	1,260				
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2,700	1,530	510			530					
<i>Cylindrotheca signata</i>	9,000	5,160	5,100	1,350							
<i>Cymatosira belgica</i>	14,800	1,530	6,300	2,030			2,520				
<i>Delphineis surirella</i>	29,640	54,950	37,800	20,250	7,070	2,630	1,260	1,170			
<i>Diploneis weissflogi</i>	8,700	6,100	6,300								
<i>Entomoneis paludosa</i>	1,800	510									
<i>Gyrosigma sciotens</i>	5,700	2,040									
<i>Gyrosigma fasciola</i>	8,700	3,570	1,530								
<i>Navicula phyllepta</i>	125,940	48,840	59,100	40,500	14,130	11,030	10,080	7,020			
<i>Navicula pargemina</i>	57,540	24,330	22,550	34,500	8,790	7,350	6,300	8,770			
<i>Nitzschia sigma</i>	4,800	1,170	510		810		630				
<i>Paralia sulcata</i>	51,160	9,690	18,900	13,500		1,580	630	1,170			
<i>Pleurosigma angulatum</i>	6,300	1,530	1,170				1,260				
<i>Skeletonema costatum</i>				12,600			1,890				
<i>Surirella gemma</i>	5,400	2,040	1,530								
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	600										
<i>Thalassiosira</i> sp.	19,000	1,020	3,060	6,750		2,100	630				
<i>Tribionella cocconeiformis</i>	5,400	3,060	2,550			530					
<i>Cyanobacteria</i>	98,000	3,570									
TOTAL	478,880	229,250	199,350	137,550	37,860	32,580	28,980	19,890			

Appendix 3-4-2. Vertical distribution of microalge abundance in st. L4

SPECIES	DEPTH (mm)											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16				
<i>Actinophythus senarius</i>	1,000											
<i>Amphora coffeaeformis</i>	5,000	10,400	11,400	780								
<i>Amphora</i> spp.	2,100	1,530	7,500	1,350		1,050						
<i>Berkeleya scopulorum</i>	33,300	400										
<i>Biddulphia aurita</i>	1,000											
<i>Cylindrotheca closterium</i>	77,700	32,260	1,800	780								
<i>Cylindrotheca signata</i>	5,000	6,640		340			860					
<i>Entomoneis paludosa</i>	22,000	11,200	4,200	1,020	440						260	
<i>Gyrosigma sciotens</i>		20,800	600	340								
<i>Gyrosigma fasciola</i>	7,000											
<i>Navicula phyllepta</i>	338,600	250,800	150,600	15,980	28,600	76,020	39,020				3,120	
<i>Navicula pargemina</i>	###	833,600	930,600	300,220	249,480	254,100	160,340				5,200	
<i>Nitzschia sigma</i>	11,100											
<i>Paralia sulcata</i>	22,200	33,200	1,200				1,720				1,040	
<i>Pleurosigma angulatum</i>	2,000	1,200	300									
<i>Skeletonema costatum</i>												
<i>Surirella gemma</i>	33,200	13,200	900	780	1,320	840	1,290					
<i>Trachyneis antillarum</i>		1,200										
<i>Tropidoneis</i> sp.	26,100	20,800	12,000	780			860					
<i>Cyanobacteria</i>	135,300	31,600	1,800	1,020	880							
TOTAL	2,065,100	1,268,830	1,122,900	323,390	280,720	332,010	204,090	9,620				

Appendix 3-4-3. Vertical distribution of microalgal abundance in st. L6

SPECIES	DEPTH (mm)											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16				
<i>Actinophyochus senarius</i>	130											
<i>Berkeleya scopulorum</i>	400											
<i>Cylindrotheca closterium</i>	6,830	240					220					
<i>Cylindrotheca signata</i>	10,320	6,240	5,260	2,670			110					
<i>Cymatosira belgica</i>												
<i>Delphineis surirella</i>				60								
<i>Entomoneis paludosa</i>	20,640	4,320	290									
<i>Gyrosigma sciotens</i>	3,480	80										
<i>Gyrosigma fasciola</i>	3,350	2,040										
<i>Navicula phyllepta</i>	189,340	112,080	28,910	8,000	16,240	29,670	15,680	8,450				
<i>Navicula pargemina</i>	598,980	354,000	123,370	74,590	28,400	17,310	7,840	5,460				
<i>Nitzschia sigma</i>	270	240										
<i>Paralia sulcata</i>	670	480		930	320							90
<i>Pleurosigma angulatum</i>	400											
<i>Plagiogammopsis vanheurckii</i>				29,330								
<i>Surirella fastuosa</i>				60								
<i>Surirella gemma</i>	10,050	2,400	150	60	80	90						
<i>Trachyneis antillarum</i>		240										
<i>Tropidoneis sp.</i>	10,320	4,080	2,480	5,330		2,470	450	180				
<i>Cyanobacteria</i>	65,390	3,600	2,770	190	160	190						
TOTAL	920,570	490,040	163,230	121,220	45,200	49,730	24,300	14,180				

Appendix 3-4-4. Distribution of phytoplankton abundance at surface water in st. M1, M2, M3

SPECIES	STATIONS		
	M1	M2	M3
<i>Actinocyclus octonarius</i>	1,400	810	460
<i>Asterionella japonica</i>	11,200	4,860	460
<i>Asterionella kariana</i>	4,200	3,240	
<i>Bacillaria paxillifer</i>	1,400		
<i>Cerataulina</i> sp.	700	2,430	920
<i>Chaetoceros danicus</i>	700		
<i>Chaetoceros debilis</i>	83,300	31,590	18,400
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	4,900	4,860	2,300
<i>Chaetoceros</i> sp.	4,200	3,240	2,300
<i>Cylindrotheca closterium</i>		1,620	920
<i>Cylindrotheca signata</i>		810	
<i>Cymatosira belgica</i>			1,840
<i>Detonula pumila</i>	2,100		
<i>Diploneia weissflogi</i>			460
<i>Ditylum brightwelli</i>		810	
<i>Entomoneis paludosa</i>		4,860	5,060
<i>Eucampia zodiacus</i>	53,900	49,410	34,500
<i>Guinardia flaccida</i>	2,800		
<i>Gyrosigma fasciola</i>		1,620	1,840
<i>Leptocylindrus danicus</i>	2,800	2,430	
<i>Navicula directa</i>		810	
<i>Navicula pargemina</i>		7,290	4,140
<i>Navicula phyllepta</i>	1,400	2,430	1,840
<i>Nitzschia longissima</i>	2,100	810	920
<i>Nitzschia sigma</i> v. <i>intermedia</i>	700		
<i>Pleurosigma angulatum</i>	1,400	810	920
<i>Pralia sulcata</i>	14,000	4,860	2,300
<i>Prorocentrum minimum</i>	700		
<i>Skeletonema costatum</i>		4,860	7,820
<i>Streptotheca thamensis</i>	700		
<i>Surirella gemma</i>		6,480	1,840
<i>Thalassiosira</i> sp-1.	700	810	460
<i>Thalassiosira</i> sp-2.		2,430	11,040
<i>Mesodinium rubulum</i>	700		920
<i>Cyanobacteria</i>		4,050	2,300
TOTAL	196,000	148,230	103,960

Appendix 3-8-1. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Sunduri tidal flat during Aug., 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	Freq.	Sum
Cnidaria								
Actinaria unid.2		1					1	1
Nemertina								
<i>Lineus</i> sp.1	8		3				2	11
<i>Lineus</i> sp.2	5		6	1			3	12
Nemertina unid.1								
Nemertina unid.2	9	5	8	3			4	25
Mollusca								
<i>Laternula marilina</i>		1	30	1			3	32
<i>Moerella iridescens</i>		1		9	5	4	4	19
<i>Odostomia</i> sp.			8			4	2	12
<i>Reticunassa festiva</i>						1	1	1
<i>Stenothyra glabra</i>			102	40	15	21	4	178
<i>Trochidae</i> unid.			4				1	4
Polychaeta								
<i>Capitella capitata</i>						1	1	1
<i>Eteone longa</i>	7		5				2	12
<i>Glycinde gurjanovae</i>			2				1	2
<i>Harmothoe</i> sp.	2	1	1	1			4	5
<i>Heteromastus filiformis</i>	51	8	189	22	21	15	6	306
<i>Magelona japonica</i>						2	1	2
<i>Nephtys oligobranchia</i>	1	10	6	13	28	22	6	80
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	3	3					2	6
<i>Periserrula leucophryna</i>			9	3			2	12
<i>Prionospio japonicus</i>						6	1	6
<i>Pseudopolydora</i> sp.		1	2		1		3	4
Crustacea								
<i>Alpheus bisineisus</i>			1				1	1
<i>Eohaustorius</i> sp.						1	1	1
<i>Eriopisella sechellensis</i>		1					1	1
<i>Helice tridens sheni</i>	1						1	1
<i>Ilyoplax pingi</i>		3	2		1		3	6
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	1	1		2	1		4	5
Mysidacea unid.		1					1	1
<i>Uca arcuata</i>	1						1	1
<hr/>								
No. of species	11	13	16	10	7	10	29	
No. of inds.	89	37	378	95	72	77		748

Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (a) during Feb., 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Freq	Sum
Platyhelminthes															
Turbellaria unid.			1											1	1
Mollusca															
<i>Bullacta exarata</i>				1	1									2	2
<i>Decorifer matusimanum</i>										1	4	1		3	6
<i>Moerella iridescens</i>	1					1	3	1		1	1	1		7	9
<i>Nipponomysella oblongata</i>					1		5	1	2	1		3		6	13
<i>Stenothyra glabra</i>								1			16			2	17
Polychaeta															
<i>Aricidea</i> sp.1							2			2	3	9	8	5	24
<i>Aricidea</i> sp.2					1		1	2	1	2	1			6	8
<i>Diopatra sugokai</i>			1											1	1
<i>Eteone longa</i>					1									1	1
<i>Glycera chirori</i>					1				2	1				3	4
<i>Glycinde gurjanovae</i>		1	4		1		2	1	5	13	5	1		9	33
<i>Heteromastus filiformis</i>	13		5				3	3	5	11	3	4	4	9	51
<i>Lumbrineris cruzensis</i>						2	2	5	7	3	9	11	20	8	59
<i>Lumbrineris heteropoda</i>				1			1					1	7	4	10
<i>Magelona japonica</i>			4	1	1	6	2	5	15	4	6			9	44
<i>Micropodarke</i> sp.												1		1	1
<i>Nephtys ciliata</i>	2	4	7	5	6	5	3	7						8	39
<i>Nephtys oligobranchia</i>		4	7	1	1	10		7	4	2	5	2		10	43
<i>Nereidae</i> sp.2							1	1						2	2
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	3													1	3
<i>Periserrula leucophryna</i>					1									1	1
<i>Prionospio japonicus</i>			4	1				3		3	2			5	13
<i>Scolelepis</i> sp.												1		1	1
<i>Sigambra tentaculata</i>												1	1	2	2
<i>Tylorrhynchus heterochaetus</i>			2											1	2
Crustacea															
<i>Corophium</i> sp.				2					1			1		3	4
<i>Eriopisella sechellensis</i>						2								1	2
<i>Eurystheus japonicus</i>				2										1	2
<i>Gammaropsis</i> sp.		1												1	1
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.15	8	5	2	2	2	1		1		2		2		10	40
<i>Hemileucon hinumensis</i>		5	17	7	5	7	6	7	6	18	8	2		11	88
<i>Ilyoplax pingi</i>								1		3	9	11		4	24
<i>Iphinoe tenera</i>		1			2	2	1	4	2		1	1		8	14
<i>Liljeborgia japonica</i>		1						3				1		3	5
<i>Macrophthalmus japonicus</i>					3		2	1						3	6
<i>Melita koriana</i>									1					1	1
<i>Philyra pisum</i>							1							1	1
Echinodermata															
<i>Amphiura vadicola</i>			2											1	2
Chordata															
Fish unid.		2					1							2	3
<hr/>															
No. of species	2	6	10	13	11	12	14	15	17	15	14	15	14	40	
No. of inds.	18	27	25	58	22	27	49	34	56	58	81	66	62	583	

Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (b) during April, 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Freq	Sum
Brachiopoda													
<i>Lingula anatina</i>							1					1	1
Mollusca													
<i>Bivalvia</i> unid.1	2			390	1128	221	4	6	1	1		8	1753
<i>Bivalvia</i> unid.2		17	17	2				2	1			5	39
<i>Bivalvia</i> unid. 3		28		8					9		3	4	48
<i>Bullacta exarata</i>				3							1	2	4
<i>Decorifer matusimanum</i>										1	2	2	3
<i>Moerella iridescens</i>		11	2	2		1	2	3	1	1		8	23
<i>Nipponomysella oblongata</i>	5	4	1	1	1			1				6	13
<i>Aricidea</i> sp.1									1	1		2	2
<i>Aricidea</i> sp.2			2	4	1	1	1	5	6	6	1	9	27
<i>Capitella capitata</i>		5	1	1		1						4	8
<i>Eteone longa</i>					1							1	1
<i>Glycera chirori</i>				1		1				1	2	4	5
<i>Glycinde gurjanovae</i>	1	2	1	9	2	6	8	9	6	6	18	11	68
<i>Heteromastus filiformis</i>	24	34	1	10	7	2	1	1	9	44	10	11	143
<i>Lepidonotus</i> sp.					1							1	1
<i>Lumbrineris cruzensis</i>					1	2	4	3	5	4	18	7	37
<i>Lumbrineris heteropoda</i>									3		1	2	4
<i>Magelona japonica</i>			1	2	4	4	4	4	5	22	5	9	51
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>						2						1	2
<i>Nephtys ciliata</i>			5	5	9	5	4	4	3	1		8	36
<i>Nephtys oligobranchia</i>	7	7		2	10	2	6	10	1	6	2	10	53
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	1		1							1		3	3
<i>Periserrula leucophryna</i>								1				1	1
<i>Prionospio japonicus</i>				4	3	4	2			3	5	6	21
<i>Pseudopolydora</i> sp.			1									1	1
<i>Scolelepis</i> sp.										1	1	2	2
<i>Scoloplos armiger</i>									1			1	2
<i>Sigambra tentaculata</i>											4	1	4
Crustacea													
<i>Alpheus bisineisus</i>	1											1	1
Copepoda unid.			1	8	9	1	2	4	6	27	5	9	63
<i>Corophium</i> sp.											1	1	1
Gammaridae unid.1										1		1	1
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.						1						1	1
<i>Haustorides koreanus</i>										1		1	1
<i>Hemileucon hinumensis</i>				2	3	1	1	2		2	4	7	15
<i>Idunella chilensis</i>					1							1	1
<i>Ilyoplax pingi</i>											2	1	2
Insecta unid.				1								1	1
<i>Liljeborgia japonica</i>	1	2										2	3
<i>Macrophthalmus japonicus</i>		8	2		4			3		1		5	18
Macrura juv.1									1			1	1
Mysidacea unid.											1	1	1
<i>Synchellidium</i> sp.						1					4	2	5
Chordata													
Fish unid.		1				1		2				3	4
No. of species	8	11	13	18	16	15	15	17	16	19	22	45	
No. of inds.	42	119	36	455	1185	251	44	62	59	130	92	2475	

Appendix 3-8-2. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Dongmakri tidal flat during the study period (c) during Aug., 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Freq.	Sum
Nemertina														
<i>Lineus</i> sp.2										1			1	1
Nemertina unid.2			4	1		5							3	10
Mollusca														
<i>Bullacta exarata</i>				2					1				2	3
<i>Moerella iridescens</i>	3	13	1								2		4	19
<i>Odostomia</i> sp.												1	1	1
<i>Portamocorbula laevis</i>					700	372		2	4671	1	1		6	5747
<i>Reticunassa festiva</i>		1							12				2	13
<i>Sinonovacula constricta</i>													1	1
<i>Stenothyra glabra</i>								4	15			1	3	20
Polychaeta														
<i>Aricidea</i> sp.1						1				3	3	2	4	9
<i>Aricidea</i> sp.2			4	4		5	2	6	4				6	25
<i>Capitella capitata</i>			1										1	1
<i>Chone</i> sp.		2											1	2
<i>Eteone longa</i>	1	1			1							1	4	4
<i>Glycera chirori</i>	1				1		1						3	3
<i>Glycinde gurjanovae</i>		2		1		8	13	4	1	6	16	14	9	65
<i>Harmothoe</i> sp.				1	1								2	2
<i>Heteromastus filiformis</i>	8	30	5	3	4			3	3	5	38	54	10	153
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	1		1					1		4	11	4	6	22
<i>Magelona japonica</i>				2	6	6	6	4		6	8	7	8	45
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>									3				1	3
<i>Nephtys oligobranchia</i>	3	2	11	11	2	5	9	8	6	2	1		11	60
<i>Prionospio japonicus</i>		2	2			8	5	2			2		6	21
<i>Pseudopolydora</i> sp.	2												1	2
<i>Scoloplos armiger</i>								1					1	1
<i>Sigambra tentaculata</i>					1			2		1	3		4	7
Crustacea														
<i>Alpheus bisineisus</i>		1				2						3	3	6
<i>Eohaustorius</i> sp.												1	1	1
<i>Eriopisella sechellensis</i>					1		1				1		3	3
<i>Ilyoplax pingi</i>					1						3		2	4
<i>Leptochela gracilis</i>				1									1	1
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	1	5	2	1	1	5	2		5	2			9	24
Macrura juv.2		1				1							2	2
Mysidacea unid.		2			2		1						3	5
<i>Ogyrides orientalis</i>						4							1	4
<i>Palaemon carnicauda</i>	4	5				4	2						4	15
<i>Palaemon gravieri</i>			1		1								2	2
No. of species	10	12	9	11	13	13	10	12	9	10	13	10	37	
No. of inds.	25	62	33	30	722	422	45	39	4716	34	91	88	6307	

Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (a) during April, 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mollusca												
<i>Bivalvia</i> unid.1						39	20	32	55	15	1	
<i>Bivalvia</i> unid.2	3		8	9	23	2		2	1	2		
<i>Bivalvia</i> unid. 3			3	1	1							
<i>Bivalvia</i> unid. 4				1	1	1						
<i>Bullacta exarata</i>			8	74	33	50	67	50	48	68	21	
<i>Cyclina sinensis</i>				1								
<i>Decorifer matusimanum</i>								2				
<i>Mactra veneriformis</i>												
<i>Moerella iridescens</i>				5	23	6	9	5	5	5	2	
Natinidae unid.						1						
<i>Nipponomysella oblongata</i>	1			1								
<i>Stenothyra glabra</i>						4			1			
<i>Umbonium thomasi</i>									431			
Polychaeta												
<i>Anaitides koreana</i>												
<i>Aricidea</i> sp.1										1		
<i>Aricidea</i> sp.2										2		
<i>Armandia lanceolata</i>										6	2	
<i>Diopatra sugokai</i>									1			
<i>Eteone longa</i>							2		1			
<i>Glycera capitata</i>								1				
<i>Glycera chirori</i>					1		1	1	1	1	1	
<i>Glycinde gurjanovae</i>				1	2	1	3	2	1	8	2	
<i>Heteromastus filiformis</i>	1		7	7	4			2	10	7	6	2
<i>Lumbrineris cruzensis</i>							1			1		
<i>Lumbrineris heteropoda</i>						1	2		1			
<i>Magelona japonica</i>						2	3	3	5	5		1
<i>Neanthes succinea</i>									2			
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>							1		1			
<i>Nephtys caeca</i>							1			3		
<i>Nephtys ciliata</i>			1	1			1		1			
<i>Nephtys oligobranchia</i>				5						1	1	
<i>Nereidae</i> sp.2												
<i>Periserrula leucophryna</i>	1											
<i>Prionospio japonicus</i>						2	2	2	1	3	1	
<i>Pseudopolydora</i> sp.				2								
<i>Scolelepis</i> sp.			1	1			1			1		
<i>Scoloplos armiger</i>												
<i>Sigambra tentaculata</i>												
Spionidae sp.1					1				1	2		

Appendix 3-8-3. Continued(a)

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Crustacea												
Copepoda unid.		2		1					1	4		
<i>Corophium</i> sp.									1			
<i>Eohaustorius</i> sp.												
Gammaridae unid.2										2		
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp	1	3										
<i>Hemileucon hinumensis</i>							1					
<i>Ilyoplax pingi</i>					4		4	17			13	
Insecta unid.	1											
<i>Liljeborgia japonica</i>		4	2									
<i>Macrophthalmus japoni</i>	2	2	4	3	1				1	1		7
<i>Mandibulophoxus mai</i>												
<i>Monoculodes koreanus</i>										4	1	1
Mysidacea unid.									1			
<i>Periculodes</i> sp.										1		
<i>Scopimera globosa</i>												
<i>Urothoe</i> sp.												
Echinodermata												
<i>Amphiura vadicola</i>												
Chordata												
Fish unid.		1										
No. of species	4	9	6	13	14	14	19	12	23	23	13	6
No. of inds.	5	19	12	49	131	124	112	142	583	132	111	44

Appendix 3-8-3. Continued(a)

species / station	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Freq	Sum
Mollusca												
<i>Bivalvia</i> unid.1			2								7	164
<i>Bivalvia</i> unid.2											8	50
<i>Bivalvia</i> unid. 3											3	5
<i>Bivalvia</i> unid. 4											3	3
<i>Bullacta exarata</i>	37	1	4	7	16						14	484
<i>Cyclina sinensis</i>						1					2	2
<i>Decorifer matusimanun</i> 1											2	3
<i>Mactra veneriformis</i>								1			1	1
<i>Moerella iridescens</i>	1	1	3	1			2	1			14	69
Natinidae unid.											1	1
<i>Nipponomysella oblongata</i>											2	2
<i>Stenothyra glabra</i>											2	5
<i>Umbonium thomasi</i>											1	431
Polychaeta												
<i>Anaitides koreana</i>	1										1	1
<i>Aricidea</i> sp.1		3	7	7	3	2					6	23
<i>Aricidea</i> sp.2		2	7	11	4	1					6	27
<i>Armandia lanceolata</i>					1			3			4	12
<i>Diopatra sugokai</i>							1				2	2
<i>Eteone longa</i>	1	3									4	7
<i>Glycera capitata</i>								1	1	1	4	4
<i>Glycera chirori</i>	1	6	5	3	1	1	1				13	24
<i>Glycinde gurjanovae</i>	5	4	9		1	2				1	14	42
<i>Heteromastus filiformis</i>	4	27	45	5	5	1		1			16	134
<i>Lumbrineris cruzensis</i>											2	2
<i>Lumbrineris heteropoda</i>		1	1	1	1	1					8	9
<i>Magelona japonica</i>	5	9								1	9	34
<i>Neanthes succinea</i>											1	2
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>											2	2
<i>Nephtys caeca</i>				3	1		1	1			6	10
<i>Nephtys ciliata</i>											4	4
<i>Nephtys oligobranchia</i>	3	7	10	8	20	4		1			10	60
<i>Nereidae</i> sp.2			1								1	1
<i>Periserrula leucophryna</i>											1	1
<i>Prionospio japonicus</i>	1	1	10		4					1	11	28
<i>Pseudopolydora</i> sp.											1	2
<i>Scoelepis</i> sp.											4	4
<i>Scoloplos armiger</i>			1								1	1
<i>Sigambra tentaculata</i>	1	4	3							1	4	9
Spionidae sp.1	1		5		1						6	11

Appendix 3-8-3. Continued(a)

species / station	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Freq	Sum
Crustacea												
Copepoda unid.		1	19	2		1				1	9	32
<i>Corophium</i> sp.											1	1
<i>Eohaustorius</i> sp.								7	6	23	3	36
Gammaridae unid.2			2								2	4
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.								1			3	5
<i>Hemileucon hinumensis</i>			4	2							3	7
<i>Ilyoplax pingi</i>	4	11	1								7	54
Insecta unid.											1	1
<i>Liljeborgia japonica</i>											2	6
<i>Macrophthalmus japonicus</i>				3	1						10	25
<i>Mandibulophoxus mai</i>			2	9	21	7	17	3	1	2	8	62
<i>Monoculodes koreanus</i>	6		2	2	12	5		1	1		10	35
Mysidacea unid.		1		1							3	3
<i>Periculodes</i> sp.		2									2	3
<i>Scopimera globosa</i>							6	7	1		3	14
<i>Urothoe</i> sp.							11	7	34	22	4	74
Echinodermata												
<i>Amphiura vadicola</i>						1					1	1
Chordata												
Fish unid.											1	1
<hr/>												
No. of species	16	18	22	16	16	13	9	13	7	10	57	
No. of inds.	85	98	158	81	109	45	59	54	65	75	2040	

Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (b) during Aug., 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nemertina													
<i>Lineus</i> sp.2											2		
Nemertina unid.2	2		1	8			3				4		
Brachiopoda													
<i>Lingula anatina</i>				1									
Mollusca													
<i>Bivalvia</i> unid.1				1		5		2			1		
<i>Bivalvia</i> unid.2	1												
<i>Bullacta exarata</i>				2		22	15	9	12		1		
<i>Cyclina sinensis</i>							1	1					
<i>Macra veneriformis</i>								1	2				
<i>Moerella iridescens</i>			3	4	14	3	1	5	6	4		3	2
<i>Odostomia cf. subangulata</i>													
<i>Odostomia</i> sp.									2				
<i>Portamocorbula laevis</i>	1					1				1			104
<i>Reticunassa festiva</i>					2	3		1				2	2
<i>Scapharca broughtonii</i>													
<i>Stenothyra glabra</i>					8	2	3			2			2
<i>Terebra koreena</i>													
<i>Trochidae</i> unid.							3						2
<i>Umbonium thomasi</i>							3	1	2	2		1	71
Polychaeta													
<i>Aricidea</i> sp.1								1	1		1	1	
<i>Aricidea</i> sp.2									1	4	3	2	
<i>Armandia lanceolata</i>													
<i>Diopatra sugokai</i>										2			
<i>Eteone longa</i>					1			1					
<i>Glycera chirori</i>						1	3	2	2	1	1	1	
<i>Glycinde gurjanovae</i>			1						2				2
<i>Heteromastus filiformis</i>		6	3	9	2	10	5	20	20	6	24	24	
<i>Lumbrineris cruzensis</i>									2				2
<i>Lumbrineris heteropoda</i>													
<i>Magelona japonica</i>					1	1	4	5	7	8	10	5	
<i>Magelona</i> sp.													
<i>Marphysa sanguinea</i>													
<i>Nectoneanthes latipoda</i>													
<i>Nephtys caeca</i>				1		4		1	2	1			
<i>Nephtys oligobranchia</i>			3	4	12	3	3	1					2
<i>Nerinides acuta</i>					1	2			4	2			4
Paraonidae unid.1					1								
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	2												
<i>Periserrula leucophryna</i>		1											
Phyllodocidae unid.1													

Appendix 3-8-3. Continued(b)

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Prionospio japonicus</i>								1	2		2		
<i>Pseudopolydora</i> sp.													
<i>Scoloplos armiger</i>													
Sigalionidae unid.1													
<i>Sigambra tentaculata</i>								1	1				
Spionidae sp.2			2										
Crustacea													
Brachyura unid.	1												
<i>Corophium</i> sp.													
<i>Diastylis tricincta</i>											1		
<i>Diogenes</i> sp.													
<i>Eohaustorius</i> sp.													
<i>Eriopisella sechellensis</i>		2	4										
<i>Gammaropsis</i> sp.											1		
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.													
<i>Grandifoxus</i> sp.													
<i>Idunella chilensis</i>													
<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	5												
<i>Ilyoplax pingi</i>					2			1				30	
Insect unid.													
<i>Iphinoe tenera</i>													
<i>Macrophthalmus dilatatus</i>									1				
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	1	5	1	1			1		1	13	6	9	
Macrura juv.1					3	3							
<i>Mandibulophoxus mai</i>													
<i>Monoculodes koreanus</i>						2	4	3	5	1	2		
Mysidacea unid.										1			
<i>Periculodes</i> sp.							1						
<i>Philyra pisum</i>													1
<i>Scopimera globosa</i>													
<i>Synchellidium</i> sp.											1		
<i>Urothoe</i> sp.													
Zoea unid.							1	8	8	11	3	5	
<i>Amphiura vadicola</i>													
Chordata													
Fish unid.		1			3								
No. of species	8	6	9	10	13	15	16	20	21	16	17	16	8
No. of inds.	14	17	21	35	55	68	58	73	92	69	74	105	197

Appendix 3-8-3. Continued(b)

species / station	14	15	16	17	18	19	20	22	Freq	sum
Nemertina										
<i>Lineus</i> sp.2						1			2	3
Nemertina unid.2									5	18
Brachiopoda										
<i>Lingula anatina</i>									1	1
Mollusca										
<i>Bivalvia</i> unid.1									4	9
<i>Bivalvia</i> unid.2									1	1
<i>Bullacta exarata</i>					1	1			8	63
<i>Cyclina sinensis</i>									2	2
<i>Mactra veneriformis</i>				1					3	4
<i>Moerella iridescens</i>	2	3			2	1			14	53
<i>Odostomia cf. subangulata</i>	3								1	3
<i>Odostomia</i> sp.									1	2
<i>Portamocorbula laevis</i>	348		2396						6	2851
<i>Reticunassa festiva</i>	18	3	44						8	75
<i>Scapharca broughtonii</i>						1			1	1
<i>Stenothyra glabra</i>	3	1	1						8	22
<i>Terebra koreana</i>	1								1	1
Trochidae unid.		1	2						4	8
<i>Umbonium thomasi</i>				1					7	81
Polychaeta										
<i>Aricidea</i> sp.1	1	3	5	1	5				9	19
<i>Aricidea</i> sp.2	1	9	5	5				1	9	31
<i>Armandia lanceolata</i>				11	2	34			3	47
<i>Diopatra sugokai</i>					3				2	5
<i>Eteone longa</i>									2	2
<i>Glycera chirori</i>	2	3	2	1		2			12	21
<i>Glycinde gurjanovae</i>	7	1	1	2					7	16
<i>Heteromastus filiformis</i>	52	20	7	11	4			2	17	225
<i>Lumbrineris cruzensis</i>		2	1		2				5	9
<i>Lumbrineris heteropoda</i>			1	1					2	2
<i>Magelona japonica</i>	5								9	46
<i>Magelona</i> sp.				3					1	3
<i>Marphysa sanguinea</i>					1				1	1
<i>Nectoneanthes latipoda</i>	1	1	12						3	14
<i>Nephtys caeca</i>					1	1	1		8	12
<i>Nephtys oligobranchia</i>	3	4	2	3	10			1	13	51
<i>Nerinides acuta</i>							2		6	15
Paraonidae unid.1	1						1		3	3
<i>Perinereis aibuhitensis</i>									1	2
<i>Periserrula leucophryna</i>									1	1
Phyllodocidae unid.1			1						1	1

Appendix 3-8-3. Continued(b)

species / station	14	15	16	17	18	19	20	22	Freq	sum
<i>Prionospio japonicus</i>	5	3	2	7	2			1	9	25
<i>Pseudopolydora</i> sp.						1			1	1
<i>Scoloplos armiger</i>					2				1	2
Sigalionidae unid.1							1		1	1
<i>Sigambra tentaculata</i>	1	2	2		5				6	12
Spionidae sp.2									1	2
Crustacea										
Brachyura unid.									1	1
<i>Corophium</i> sp.					2			2	2	4
<i>Diastyllis tricincta</i>				1					2	2
<i>Diogenes</i> sp.					1				1	1
<i>Eohaustorius</i> sp.						1	1		2	2
<i>Eriopisella sechellensis</i>								1	3	7
<i>Gammaropsis</i> sp.				3	2				3	6
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.					6				1	6
<i>Grandifoxus</i> sp.							3		1	3
<i>Idunella chilensis</i>								3	1	3
<i>Ilyoplax dentimerosa</i>									1	5
<i>Ilyoplax pingi</i>	51	5	3						6	92
Insect unid.									6	1
<i>Iphinoe tenera</i>								1	1	1
<i>Macrophthalmus dilatatus</i>		4		4	4				4	13
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	28	5	42	3					13	116
Macrura juv.1									2	6
<i>Mandibulophoxus mai</i>		2		25	16	9			4	52
<i>Monoculodes koreanus</i>			1	1					8	19
Mysidacea unid.									1	1
<i>Periculodes</i> sp.									1	1
<i>Philyra pisum</i>	1				1				3	3
<i>Scopimera globosa</i>				13		13	7		3	33
<i>Synchellidium</i> sp.									1	1
<i>Urothoe</i> sp.				2	24	47	4		4	77
Zoea unid.	3		7	1	6		1		11	54
<i>Amphiura vadicola</i>					1				1	1
Chordata										
Fish unid.									2	4
No. of species	22	19	21	22	25	14	8	10	73	
No. of inds.	551	87	2553	117	122	133	38	40		4287

Appendix 3-8-3. The abundance data of macrobenthos collected along the transect line in the Yochari tidal flat during the study period (c) during Nov., 1998

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cnidaria													
Actinaria unid.1		1		3									1
Platyhelminthes													
Turbellaria unid.						1							
Nemertina													
<i>Lineus</i> sp.1				3									15
<i>Lineus</i> sp.2		2	1	1									3
Nemertina unid.1												1	
Nemertina unid.2		2	1	6	2	4	3	1	8	3	4	2	1
Brachiopoda													
<i>Lingula anatina</i>								2					
Mollusca													
<i>Bivalvia</i> unid.2	4												
<i>Bullacta exarata</i>				1	10	5	5		4				
<i>Cyclina sinensis</i>						1	3						
<i>Decorifer matusimanum</i>							1						
<i>Mactra veneriformis</i>							2						
<i>Moerella iridescens</i>				2	25	5	16	4	2	3	1	4	2
<i>Odostomia cf. subangulata</i>						1						2	
<i>Odostomia</i> sp.						3	11						
<i>Portamocorbula laevis</i>													104
<i>Reticunassa festiva</i>				1	4	10	4			3			2
<i>Ringicula niinoi</i>													
<i>Stenothyra glabra</i>					3		8	1			1		1
<i>Terebra koreana</i>													6
<i>Trochidae</i> unid.						1		1				2	
<i>Umbonium thomasi</i>						1				1			3
Polychaeta													
<i>Anaitides koreana</i>													
<i>Aricidea</i> sp.1						2		1		1	2	1	
<i>Aricidea</i> sp.2				1	1			1	3	2	3	1	5
<i>Armandia lanceolata</i>													
<i>Capitella capitata</i>										1			5
<i>Diopatra sugokai</i>										1			
<i>Eteone longa</i>				5			1	3	1			3	
<i>Glycera chirori</i>					1		1	1	2	4	4	5	5
<i>Glycinde gurjanovae</i>					1	1	3		1	3	7	2	10
<i>Harmothoe</i> sp.					1								
<i>Heteromastus filiformis</i>	3	6		6	8	11	10	14	34	24	46	19	19
<i>Lumbrineris cruzensis</i>													
<i>Lumbrineris heteropoda</i>							2				1		
<i>Magelona japonica</i>					2	3	3	9	6	16	21	23	4
<i>Magelona</i> sp.													

Appendix 3-8-3. Continued(c)

species / station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Marphysa sanguinea</i>													
<i>Nectoneanthes latipoda</i>													10
<i>Nephtys caeca</i>				3	6	7	3			1	2		
<i>Nephtys oligobranchia</i>			1	9							1		3
<i>Nerinides acuta</i>					1	3	3	1	6	8	2	3	3
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	2	1											
<i>Periserrula leucophryna</i>						1					2	3	
<i>Polydora</i> sp.													
Polynoidae unid.1							1						
<i>Prionospio japonicus</i>			1				10		2	1	3		1
<i>Scolecopsis</i> sp.				1									
<i>Scoloplos armiger</i>								1		3	2		
<i>Sigambra tentaculata</i>											2		1
Crustacea													
<i>Alpheus bisineisus</i>							1						
Copepoda unid.													
<i>Corophium</i> sp.													
<i>Diastylis tricineta</i>						1							1
<i>Eohaustorius</i> sp.													
<i>Eriopisella sechellensis</i>							1						1
<i>Gammaropsis</i> sp.											1		5
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.													9
<i>Helice tridens sheni</i>	1												
<i>Ilyoplax pingi</i>									2		7	17	
Isopoda unid.													
<i>Leptocheila gracilis</i>								1					
<i>Liljeborgia japonica</i>													
<i>Macrophthalmus dilatatus</i>										1			
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	2	5	15	7	2	2	2	2		1	2	3	
<i>Mandibulophoxus mai</i>													
<i>Melita koriana</i>													
<i>Monoculodes koreanus</i>						1	2						1
Oedicerotidae unid.													
<i>Philyra pisum</i>	1			1		1	1						
<i>Scopimera globosa</i>													
<i>Urothoe</i> sp.													
Echinodermata													
Chordata													
Fish unid.											1		
No. of species	7	7	6	16	15	22	24	17	13	19	22	18	26
No. of inds.	14	19	22	54	72	71	93	62	80	87	126	104	233

Appendix 3-8-3. Continued(c)

species / station	14	15	16	17	18	19	20	21	Freq.	Sum
Cnidaria										
Actinaria unid.1									3	5
Platyhelminthes										
Turbellaria unid.									1	1
Nemertina										
<i>Lineus</i> sp.1									2	18
<i>Lineus</i> sp.2	1								5	8
Nemertina unid.1				1					2	2
Nemertina unid.2						1			13	38
Brachiopoda										
<i>Lingula anatina</i>									1	2
Mollusca										
<i>Bivalvia</i> unid.2									1	4
<i>Bullacta exarata</i>		1	2						7	28
<i>Cyclina sinensis</i>									2	4
<i>Decorifer matusimanum</i>									1	1
<i>Mactra veneriformis</i>						1			2	3
<i>Moerella iridescens</i>		2				1			12	67
<i>Odostomia cf. subangulata</i>									2	3
<i>Odostomia</i> sp.									2	14
<i>Portamocorbula laevis</i>	350		3						3	457
<i>Reticunassa festiva</i>	41	3							8	68
<i>Ringicula niinoi</i>		1			2				2	3
<i>Stenothyra glabra</i>	1								6	15
<i>Terebra koreana</i>	2								2	8
Trochidae unid.			1	1					5	6
<i>Umbonium thomasi</i>	1								4	6
Polychaeta										
<i>Anaitides koreana</i>								1	1	1
<i>Aricidea</i> sp.1		1	1	2	4				9	15
<i>Aricidea</i> sp.2	4	20	5	2	3	1			14	52
<i>Armandia lanceolata</i>		8	2	12	18	7			5	47
<i>Capitella capitata</i>	8								3	14
<i>Diopatra sugokai</i>			1		1				3	3
<i>Eteone longa</i>									5	13
<i>Glycera chirori</i>	2	8		1	4			1	13	39
<i>Glycinde gurjanovae</i>	12	1		1	1				12	43
<i>Harmothoe</i> sp.									1	1
<i>Heteromastus filliformis</i>	36	26		7			2		16	271
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	2	1		1	3				4	7
<i>Lumbrineris heteropoda</i>	1		1		1				5	6
<i>Magelona japonica</i>	2	1				1			12	91
<i>Magelona</i> sp.			1	1	2			1	4	5

Appendix 3-8-3. Continued(c)

species / station	14	15	16	17	18	19	20	21	Freq.	Sum
<i>Marphysa sanguinea</i>				1					1	1
<i>Nectoneanthes latipoda</i>	1								2	11
<i>Nephtys caeca</i>	1				1				8	24
<i>Nephtys oligobranchia</i>	2	7	1	6	11				9	41
<i>Nerinides acuta</i>	1	5			3	1			13	40
<i>Perinereis aibuhitensis</i>									2	3
<i>Periserrula leucophryna</i>									3	6
<i>Polydora</i> sp.		3							1	3
Polynoidae unid.1									1	1
<i>Prionospio japonicus</i>		2				5			8	25
<i>Scolecopsis</i> sp.									1	1
<i>Scoloplos armiger</i>		1			1				5	8
<i>Sigambra tentaculata</i>		1							3	4
Crustacea										
<i>Alpheus bisineisus</i>									1	1
Copepoda unid.								1	1	1
<i>Corophium</i> sp.		1		1					2	2
<i>Diastylis tricineta</i>									2	2
<i>Eohaustorius</i> sp.							3	1	2	4
<i>Eriopisella sechellensis</i>	2				1				4	5
<i>Gammaropsis</i> sp.	1		1	1		2			6	11
<i>Gnorimosphaeroma</i> sp.	1	1							3	11
<i>Helice tridens sheni</i>									1	1
<i>Ilyoplax pingi</i>	7		2			3			6	38
Isopoda unid.								10	1	10
<i>Leptocheila gracilis</i>									1	1
<i>Liljeborgia japonica</i>	1								1	1
<i>Macrophthalmus dilatatus</i>		6	3	4					4	14
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	13			1					13	57
<i>Mandibulophoxus mai</i>	1	12	1	3	2	7	2		7	28
<i>Melita koriana</i>								2	1	2
<i>Monoculodes koreanus</i>		3		3		1			6	11
Oedicerotidae unid.								1	1	1
<i>Philyra pisum</i>	1								5	5
<i>Scopimera globosa</i>			1	1		8	4	1	5	15
<i>Urothoe</i> sp.					3	53	27	14	4	97
Echinodermata										
Chordata										
Fish unid.									1	1
No. of species	27	24	16	20	19	14	8	9	73	
No. of inds.	509	130	42	67	84	106	60	52		1856

Appendix 3-9-1. Daily catches caught with a fish fence at the southern tidal flat in Kanghwado in 1998

(Unit: g)

Month/date	Catches	Month/date	Catches	Month/date	Catches
8/28	12044.0	10/7	9326.0	11/16	7128.0
8/29	17036.0	10/8	6283.0	11/17	8040.0
8/30	17377.0	10/9	11091.0	11/18	7000.0
8/31	2466.9	10/10	9666.0	11/19	6000.0
9/1	17054.0	10/11	9292.0	11/20	5500.0
9/2	9019.0	10/12	14586.0	11/21	5000.0
9/3	9018.0	10/13	7326.0	11/22	5000.0
9/4	-	10/14	7466.0	11/23	4500.0
9/5	15025.0	10/15	4975.0	11/24	5000.0
9/6	8029.0	10/16	7340.0		
9/7	13072.0	10/17	7400.0		
9/8	10039.0	10/18	7646.0		
9/9	8032.0	10/19	5876.0		
9/10	7056.5	10/20	9091.0		
9/11	6329.0	10/21	7233.0		
9/12	11040.0	10/22	8141.0		
9/13	8019.0	10/23	11040.0		
9/14	12183.0	10/24	9095.0		
9/15	10884.0	10/25	7080.0		
9/16	10292.0	10/26	-		
9/17	9631.0	10/27	-		
9/18	7172.0	10/28	6035.0		
9/19	6354.0	10/29	5854.0		
9/20	12184.0	10/30	10040.0		
9/21	6552.0	10/31	7500.0		
9/22	6288.0	11/1	6544.0		
9/23	5052.0	11/2	9660.0		
9/24	5714.0	11/3	7160.0		
9/25	4148.0	11/4	8184.0		
9/26	6232.0	11/5	9120.0		
9/27	7148.0	11/6	9080.0		
9/28	-	11/7	4248.0		
9/29	-	11/8	5956.0		
9/30	4738.0	11/9	7088.0		
10/1	5759.0	11/10	6588.0		
10/2	8222.0	11/11	5564.0		
10/3	6746.0	11/12	6088.0		
10/4	8169.0	11/13	8004.0		
10/5	6166.0	11/14	5564.0		
10/6	7606.0	11/15	6508.0		

Appendix 3-10-1. Abundance of potential prey collected at the resting site, middle feeding site and main feeding site of *Calidris alpina* on Yeochari tidal flat, Kanghwado in Sep. and Oct., 1998

Species	98. 9. 14.										98. 10. 2.				Unit : /0.1 m ²
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m				
Bivalbia															
<i>Moerellia iridescens</i>	6	28	4	2	2	56	2	29	5	9	2				
<i>Potamocobula laevis</i>		2	1	1308					2	6	1285				
<i>Cyclina sinensis</i>									2	3					
<i>Dosinorbis japonicus</i>								1		1					
Bivalbia sp. 1			1												
Gastropoda															
<i>Stenothyra glabra</i>		2	1	11	1			9	29	34	2				
<i>Reticunassa festiva</i>		3	15	21	140	1		23	16	14	36				
<i>Bullacta exarata</i>			6	1	1				3	5					
<i>Umbonium thomasi</i>				37	42			1	2	6	2				
<i>Zeuxis sufflatus</i>					1										
<i>Zeuxis cf. Semiplicata</i>					6										
<i>Bacteridium vittatum</i>					5										
<i>Decorifera matusimana</i>				2	3	1		3	5		3				
<i>Adamnesia cf. protracta</i>					1				14						
<i>Batillaria multiformis</i>									1						
<i>Cingulina cingulata</i>									2						
<i>Lunatia fortunei</i>									1						
Assimineidae sp.															3
Polychaeta															
<i>Anatides</i> sp.												1			
<i>Eteone longa</i>	1	1	1												1
<i>Heteromastus filiformis</i>	9	4	42	20	51	31	15	14	44	35	66				
<i>Heteromastus</i> sp.	2	1	3	1	1	1	1	9	3	1	11				
<i>Capitella capitata</i>		1	2		3										

Appendix 3-10-1. Continued

Species	98. 9. 14.					98. 10. 2.					
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m
Capitellidae unid.	1		1		5	1		2		2	7
<i>Nephtys oligobranchia</i>	1	7	5	1	8	1	4	1	1	1	2
<i>Nephtys chemulpoensis</i>		3	2								
<i>Nephtys caeca</i>			1	6			4	1		2	4
<i>Glycera chirori</i>					1			2		4	4
<i>Glycera capitata</i>											1
<i>Goniada maculata</i>			1		4	6	1	1	1	3	13
<i>Goniada</i> sp.				1							
<i>Nectoneanthes latipoda</i>					6						9
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	1										
<i>Magelona japonica</i>				10		1		4	4	12	6
<i>Magelona</i> sp.					1						
Pilargidae sp.						1					
<i>Lumbrineris heteropoda</i>			1	1		1		1			
<i>Lumbrineris</i> sp.				1	1					1	
Fiabelligeridae sp.					1						
<i>Brada vilosa</i>											
<i>Aricidea</i> sp. 1				1	2	5					
<i>Aricidea</i> sp. 2			1		12	6		3	2	2	10
Paraonidae sp. 1					2	2					
<i>Prionospio japonica</i>				15	7	2		9	14	13	5
<i>Prionospio</i> sp. 1			1		8	7				4	
Spionidae sp. 1				1		1					
Spionidae sp. 2			3						5	2	
<i>Pseudopolydora</i> sp.			2		1				2		
<i>Scoletepis</i> sp.				1	2	1			2	2	
<i>Spio</i> sp.				1	2						
<i>Scoloplos armiger</i>					1	1				3	
<i>Micropodarke</i> sp.					2						
<i>Sigambra tentaculata</i>					3			1			4

Appendix 3-10-1. Continued

Species	98. 9. 14.					98. 10. 2.					
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m
<i>Sigambra</i> sp.					3						1
<i>Diopatra sugokai</i>											1
Polychaeta unid.							2	2			
Brachyura											
<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	1			1	2	1					
<i>Portunus trituberculatus</i>					2						1
<i>Orthyia sinica</i>					2						
<i>Phyllia pisum</i>			1		1						1
<i>Macrophthalmus japonica</i>		1		3	14	9					11
Brachyura juvenile	1						1		1		
Amphipoda											
<i>Periculodes</i> sp.		1	1								
<i>Monoculodes koreans</i>				2	11	8			1		1
<i>Ampelisca</i> sp.					1	2					1
Amphipoda unid.					1						
Isopoda unid.											
Nemertina		1	3	3	3	1					1
<i>Lineus</i> sp.	1		1		3	2					3
<i>Lingula unguis</i>											
Ophiuroidea											
<i>Amphioptus</i> sp.						1					
Fishes											
<i>Acentrogobius</i> sp.											
<i>Anthogobius flavimanus</i>											1
Number of Individuals	17	32	124	148	1678	153	32	123	166	182	1498
Number of Species	8	13	25	24	45	29	8	16	27	28	30

Appendix 3-10-2. Biomass of potential prey collected at the resting site, middle feeding site and main feeding site of *Calidris alpina* on Yeochari tidal flat, Kanghwado in Sep. and Oct., 1998

Species	98. 10. 2.										
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m
Bivalvia											
<i>Moerella iridescens</i>		0.38	2.295	0.203	0.112		0.137	4.045	0.285	0.126	0.165
<i>Potamocobula laevis</i>			0.049	0.07	114.495	3.514				0.57	113.971
<i>Cyclina sinensis</i>								4.596	0.105	0.018	
<i>Dosmorbis japonicus</i>										0.004	
Bivalvia sp. 1			0.006								
Gastropoda											
<i>Stenothyra glabra</i>		0.011	0.003	0.046	0.003			0.049	0.102	0.149	0.007
<i>Reticunassa festiva</i>		0.948	3.528	3.718	18.571	0.002		3.212	2.601	1.665	4.312
<i>Bullacta exarata</i>			4.831	0.001	1.458				0.079	1.311	
<i>Umbonium thomasi</i>				4.881	8.364			0.005	0.009	0.994	0.893
<i>Zeuxis sufflatus</i>					0.45						
<i>Zeuxis cf. Semiplicata</i>					2.838						
<i>Batillaria multiformis</i>									0.024		8.205
<i>Lunatia fortunei</i>									0.041		0.017
Assimineidae sp.											0.643
<i>Bacteridium vittatum</i>					0.928						
<i>Decorifera matsumana</i>				0.03	0.021	0.008			0.062		
<i>Adamnestia cf. Protracta</i>					0.007			0.043	0.119		
<i>Cingulina cingulata</i>									0.065		
Polychaeta											
Anaitides sp.							0.001				0.001
<i>Eteone longa</i>	0.002	0.001	0.002								
<i>Heteromastus fiiformis</i>	0.01	0.0025	0.025	0.013	0.029	0.03	0.01	0.008	0.035	0.022	0.078
<i>Heteromastus</i> sp.	0.001	0.007		0.002	0.0007	0.0007	0.001	0.006	0.003	0.001	0.009
<i>Capitella capitata</i>		0.001	0.001		0.002						

Appendix 3-10-2. Continued

Species	98. 9. 14.					98. 10. 2.					
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m
Capitellidae unid.	0.0007		0.001		0.004	0.001		0.001	0.001	0.002	0.004
<i>Nephtys oligobranchia</i>	0.003	0.041	0.029	0.007	0.028	0.003	0.025	0.009	0.009	0.003	0.007
<i>Nephtys chemulpoensis</i>		0.035	0.08								
<i>Nephtys caeca</i>			0.005	0.114					0.026	0.041	
<i>Glycera chirori</i>					0.002			0.119	0.197		0.43
<i>Glycera capitata</i>											0.386
<i>Goniada maculata</i>			0.012		0.014	0.012		0.003	0.002	0.01	0.017
<i>Goniada</i> sp.				0.004							
<i>Nectoneanthes latipoda</i>					0.132						1.736
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	0.04										
<i>Magelona japonica</i>				0.017		0.001		0.004	0.041	0.022	0.018
<i>Magelona</i> sp.					0.002						
Pilargidae sp.						0.002					
<i>Lumbrineris heteropoda</i>			0.108	0.34		0.175		0.02			
<i>Lumbrineris</i> sp.				0.011						0.002	
Flabelligeridae sp.					0.001						
<i>Brada vilosa</i>						0.001					
<i>Aricidea</i> sp. 1				0.007	0.005	0.005					
<i>Aricidea</i> sp. 2			0.001		0.058	0.011		0.01	0.002	0.031	
Paraonidae sp. 1					0.002	0.0015					
<i>Prionospio japonica</i>				0.054	0.005	0.002	0.039	0.057	0.076	0.003	0.0047
<i>Prionospio</i> sp. 1			0.001		0.007	0.006					
Spionidae sp. 1			0.003	0.001		0.001					
Spionidae sp. 2			0.003			0.001	0.008	0.0007			
<i>Pseudopolydora</i> sp.					0.001						
<i>Scoletepis</i> sp.				0.005	0.011	0.002		0.003	0.009		
<i>Spio</i> sp.				0.001	0.014						
<i>Scoloplos armiger</i>					0.004	0.005				0.017	
<i>Micropodarke</i> sp.					0.001						
<i>Sigambra tentaculata</i>					0.005			0.001			0.009

Appendix 3-10-2. Continued

Species	98. 10. 2.										
	200m	600m	800m	1600m	2400m	2800m	300m	700m	1200m	1600m	2400m
<i>Sigambra</i> sp.					0.005						0.001
<i>Diopatra sugokai</i>											0.35
Polychaeta unid.				0.01	0.003			0.002		0.016	0.006
Brachyura											
<i>Ilyoplax dentimerosa</i>	0.009			0.002	0.01	0.02					
<i>Portunus trituberculatus</i>					0.083						0.081
<i>Orithya sinica</i>					0.022						
<i>Phylla pisume</i>			7.24		0.952						1.831
<i>Macrophthalmus japonica</i>		0.49		0.377	0.335	0.433		0.203		0.076	0.331
Brachyura juvenile	0.008										
Amphipoda											
<i>Periculodes</i> sp.		0.0005	0.0005	0.004	0.022	0.006				0.001	0.002
<i>Monoculodes koreans</i>					0.0007	0.001					0.001
<i>Ampelisca</i> sp.					0.001						
Amphipoda unid.											
Isopoda unid.						0.001					
Nemertina		0.002	0.003	0.003	0.004	0.011	0.008	0.012	0.015	0.008	0.002
<i>Lineus</i> sp.		0.002	0.002		0.17	0.041					0.036
<i>Lingula unguis</i>			1.7								
Ophiuroidea											
<i>Amphioplus</i> sp.						0.302					
Fishes											
<i>Acentrogobius</i> sp.			0.026		0.045						
<i>Aanthogobius flavimanus</i>											0.256
Total Wet Biomass	0.0737	1.921	19.9545	9.921	149.2284	4.5992	0.193	12.377	3.7977	5.642	133.5847

