

제2단계 1차년도  
연차 보고서

BSPN 00301-948-4

## 해양환경 감시 및 평가기술

Marine Environmental Monitoring  
and Assessment Technology

## 황해 오염감시 및 개선기술

A study on the investigation and countermeasure of  
marine pollution in The Yellow Sea

1996. 12

연구기관  
한국해양연구소

환경부  
과학기술처

# 제 출 문

환 경 부

장 관 귀하

과학기술처

본보고서를 “해양 환경감시 및 평가기술” 사업의 “황해 오염 감시 및 개선기술”과제의 제 2 단계 1차년도 연차보고서로 제출합니다.

1996. 12 20.

주관연구기관명 : 한국해양연구소

연구책임자 : 양 동 범

연구원 : 이수형 홍기훈 김은수

원중선 오재룡 김석현

강성현 정창수 김경태

조성록 강동진 신동혁

신경순 박선규 김종근

유 준 진용현 이강만

장현숙

위탁연구기관명 : 부산수산대학교

위탁연구책임자 : 박청길

## 요 약 문

### I. 제목 : 황해 오염감시 및 개선기술

### II. 연구개발의 목적 및 중요성

중국은 최근 연간 10%이상의 급속한 경제성장을 보이며 신흥공업국으로 부상하고 있다. 넓은 국토와 인구를 가진 중국의 경제잠재력으로 개발의 후유증인 오염에 대한 우려는 필연적이다. 해양의 오염은 과거에는 연안도시지역 주변의 생활하수 및 공장폐수의 수산물에 대한 피해라는 좁은 범위에서 다루어져왔다. 그리고 대형유조선의 유출사고시나 대규모 적조발생시 받게되는 큰 피해에 대해 일반의 해양오염에 대한 우려와 관심이 고조되기도 했다.

그러나 근래에 들어서는 해양오염이 전지구적인 규모에서의 우려사항으로 부각되고 있다. 이는 하나뿐인 지구를 지키기 위해 다각도로 기울여야할 노력 중에 육상기인 오염물질의 최종정착지인 해양에 대해 특별한 관심을 기울여야 한다는데에 공통된 인식을 가지기 때문이다.

이에 따라 지역해규모로도 많은 사업이 활성화 되었으며 우리나라는 UNEP의 지역해사업중 NOWPAP (북서태평양보전 실천계획), EAS (동아시아 해양보전

계획)의 참여국이고 UNESCO/IOC의 지역해 프로그램인 WESTPAC, NEAR-HOTO (동북아-해양건강)에도 참여하고 있다. 그간 정치적인 이유로 환경문제의 협력이 도외시되었던 이 지역에 경제우선의 논리가 이념을 앞서면서 지역국가간 환경협력이 활발해지고 있다.

중국의 공업벨트는 황해연안을 따라 형성되고 있기 때문에 대기, 해수를 통한 많은 오염물질의 해양유입이 우려되며 황해는 반폐쇄성 해역이기 때문에 발생한 오염물질이 곧 전체해역으로 확산될 수 있다.

1단계 사업에서 본 연구의 목적은 중국의 공업화와 오염물질의 황해유입에 대비한 황해의 기존오염실태 변화를 계속 파악하는 한편 앞으로의 국제환경분쟁시 유리한 자료를 확보하는 것이었다. 2단계 사업에서는 이에 더하여 지역해의 해양환경평가기술이라는 중요한 목적을 위해 초점을 모으고 있다. 외해역의 오염추세를 정밀히 분석하기 위한 미량오염물질분석기술을 더욱 개선하여야 하며 이에 의해 해수, 생태계, 퇴적물의 오염정도를 파악할 수 있어야 하고 오염에 의해 의한 영향을 생화학적 지표에 대한 연구 및 평가에의 적용이 중요하게 되었다. 한편 위성자료에 의한 부유물질 분포해석 과 수질연속측정등 동시에 광범위한 해역을 빈도 높게 측정할 수 있는 기술을 개발하려 한다.

이러한 종합적인 지역해의 관리기술로 해양환경을 평가하고 각종오염원의 부하를 조절하도록 하여 정책결정자가 황해의 해양환경보전을 위한 대책수립에 임할 수 있게 하여야 한다. .

한편 황해의 환경을 보전하기 위한 가장 합리적인 환경보전책을 세우는 것이다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

본 조사에서는 한국서해안으로 부터 황해로 유입되는 오염원의 유입량을 지리정보와 데이터베이스를 이용하여 추산하는 전산조직을 구축하였고 강수시료를 분석하여 황해로의 습상낙하물질에 대한 연구를 수행하였다. 황해외해역에서 일반해양학적특성 및 각종 무기, 유기오염물질의 수평, 수직분포조사를 행하였으며 퇴적물 주상시료의 연구를 통해 퇴적년대에 따른 오염변화추세를 파악하였다. 위성자료에 의한 부유물질 인식기술을 개선하였으며 물리적 유동모델 및 생태모델을 이용하고 현장조사자료 및 기존자료를 입력한 환경용량을 산정하여 유입부하량에 따른 부영양화정도 변화를 연구하였다. 그리고 오염물질에 의해 영향을 받는 어류의 효소를 측정하여 환경평가에 사용하기 위한 연구를 수행하였다.

### IV. 연구개발결과

국내연안오염유입량을 계산하기 위해 유역별로 다소 넓은 격자에서의 지형적경사에 따른 변화율을 보완하였으며 각 격자별 토양의 침식정도를 고려하였다. 수계망과 흐르는 방향을 격자별로 표시하였고 토양이 침식될 수 있는 정도를 등급에 따라 각 격자에 적용할 수 있도록 하였으며 경사를 고려하여 각

지점에의 유달량 계산을 쉽게 하였다.

강수에 의해 황해로 유입되는 영양염을 측정한 결과 암모니아, 질산염, 인산염의 년 평균 해표면 침적율은 각각  $65 \times 10^{-3}$ ,  $31 \times 10^{-3}$ ,  $819 \times 10^{-6}$  mol/m<sup>2</sup>/yr 였다. 1992 - 1995기간 동안 년 평균 대기로부터 습상으로 공급되는 무기영양소는 암모니아, 질산염, 인산염이 각각  $30 \times 10^9$ ,  $14 \times 10^9$ ,  $0.37 \times 10^9$  mol/yr로 추산된다. 이는 황해의 식물성플랑크톤의 생산을 위해 필요한 질소계영양염중 약 4.6% 정도에 해당된다.

96년 4월 군산해역의 조사에서는 육상기인 오염물질이 외해역쪽으로 가며 희석되는 현상이 뚜렷이 나타났다. 96년 5월의 황해 해수조사에서 TSS는 중국 측에 가까운 정점에서 12.6 mg/l로 높은 값을 보였고 COD는 전반적으로 2mg/l 이상이였다. 저층에서의 질산염증가는 중앙부 해역에서 뚜렷하여 5 μM 이상을 보였고 인산염은 냉수괴에서 비교적 높았으며 POC는 중국에 가까운 해역에서 1000 μg/l내외로 나타났다. 카드뮴의 농도 범위는 0.009~0.027μg/l 로 대체로 남부해역에서 다소 높았고 구리는 0.12 ~0.47μg/l로 외해역에서 다소 높게 나타났다. 96년 7월의 조사에서 POC는 표층의 경우 외해역 쪽에서 1000 μg/l 을 넘었으며 COD의 지리적 분포경향과 비슷하였다. 96년 8월 조사에서는 양자강하구에 가까운 정점에서 TSS가 표층, 5m층이 10 mg/l내외로 육수유입의 강한 영향을 나타냈고 POC의 경우에도 이 정점에서 647.7μg/l 로 높은 값을 보였다. 중금속의 경우 납은 0.017~0.122μg/l범위로 큰 폭의 변화를 보였고 아연은 0.07~0.38μg/l의 범위로 비교적 고른 지리적 분포를 보

였다.

황해중앙부에서는 퇴적물이 clayey mud 로서 많은 물질을 흡착할 수 있기 때문에 유기물, 오염물질의 퇴적이 많이 일어 날 수 있다고 보인다. 퇴적물중 각 중금속의 평균값은 Cd 0.12, Cu 13.8, Pb 23.3, Zn 59.3, Ni 23.0, Co 9.7, Cr 43.7, As 9.1 mg/kg-dry wt.였다. 황해 해저퇴적물중의 잔류농약은 중국측에 가까운 St. 43에서 Hexachlorobenzene,  $\gamma$ -BHC,  $\delta$ -BHC가 각각 0.50, 0.76, 1.57 ng/g dry wt. 로 다른 해역에 비해 높은편이었고 산동반도 부근에서도 비슷한 농도가 나타났다.

부영양화 모델링을 위하여 사용된 생태-유체역학 모델(Eco-hydrodynamic model)은 해수유동 시뮬레이션을 위한 다층 모델(Multi-level model)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model)로 구성되어있다. 생태계모델의 시뮬레이션결과 표층에서의 식물플랑크톤의 농도는 대상해역에서  $60\mu\text{g-C}/\ell$  정도로 나타났으며 연안측에서는  $80\mu\text{g-C}/\ell$  이상의 농도분포를 나타내었고 외해쪽으로 갈수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 대상 해역의 실질적인 해역관리와 나아가 황해전역의 수질관리에 적용하기 위해서는 여러 가지 생태학적 인자들을 도출에 관한 연구가 이루어져야하며 자료도출의 우선 순위나 대상해역의 적절한 수질관리를 위해 어떤 인자가 부영양화 현상의 저감에 가장 큰 영향을 미치는가를 밝혀야 한다.

도다리의 뇌와 근육에서 유기인계 농약의 영향을 받는 효소인 AChE와 BChE를 분석한 결과 서해안에서 잡힌 도다리는 포항의 대조군 보다 높은 활동도를

나타났다. 본 연구에서는 인공위성자료를 이용하여 해수표면의 부유퇴적물을 정량적으로 구하는데 필수적인 황해에 대한 대기보정 모델을 LOWTRAN 프로그램과 1996년 9월 1일 현장조사 결과를 이용하여 얻었다. 본 연구에서 얻어진 황해 대기보정 모델을 1994년 9월 12일 얻어진 위성자료에 적용하여 그 정확도를 분석한 결과 현장조사에 의해 얻어진 결과와 그 상대적인 분포는 매우 유사하게 나타나지만, 대체로 대기에 의한 영향을 과보정 하여 낮은 농도값을 얻게 되었음을 알 수 있다.

해양조사선의 항해중 1996년 8월에 실시한 연속측정결과 질산염의 분포는 고온, 저염의 해수에서 높으나 반대 경우도 있어 황해에서 미세구조의 중요성을 알 수 있다.

조사결과를 종합해볼때 황해는 해황이 시간과 공간에 따라 변화가 크며 전반적으로 보아 아직 중국의 공업화에 의한 오염을 크게 우려할 단계는 아닌듯하다. 그러나 중국연안 가까운 곳에서 부유물질, 영양염, 유기물의 농도가 높아 인구 및 토지이용구조에 따른 오염가능성도 있어 계속적인 조사를 필요로 한다.

황해외해역에서는 항목, 시기에 따라 외해역에서 일부 오염의 우려가 나타나고 있다. 그러나 이를 중국측에 의해 이루어진 해양오염의 결과로 단정짓기는 힘들다.



## V. 연구개발결과의 활용계획

황해에는 여러 수괴가 물리적으로 복잡하게 존재하며 해황변동성이 심하여 시간 공간에 따른 오염추세파악을 위해 첨단연구방법이 적용되어야 한다. 황해의 오염은 장기적인 면에서 고려되어야하는데 이는 적은 농도의 오염물질이라도 지속적으로 해양환경내에 존재하면 생태계에 영향을 주게된다는 거시적인 측면이 있기 때문이다.

본 연구결과는 지역해의 해양환경평가기술이라는 커다란 목적을 위해 활용될 것이다. 외해역에 미량으로 존재하는 오염물질의 분석방법은 다른 지역해 연구에도 활용될 것이다. 퇴적물내에 오염물질 축적, 그리고 주상시료분석에 의한 년대별 오염추세파악등은 황해에 유입되는 오염물질이 얼마나 잔류하고 또 년대에 따라 어떻게 변화하는가를 알 수 있게 하며 장래 해양환경의 질을 예측하는데 결정적인 역할을 한다. 오염물질의 영향을 파악하는데 사용되는 생화학적 지표의 개발과 적용은 화학물질로서의 오염원이 황해 생태계에 어떻게 얼마나 영향을 주는가를 평가하는 기준의 하나로 유용하게 사용될 것이다.

위성자료에 의한 부유물질 인식기술개발은 육상기인 오염물질의 많은 양이 부유사에 흡착되어 이동하기 때문에 이와 관련하여 넓은 지역해에서 일어나는 오염진행과정을 동시에 광역적으로 조사할 수 있게 될 것이다. 수질연속측정도 빠른시간에 넓은 해역을 조사할 수 있기 때문에 미세구조가 나타나고 해황

변동이 심한 지역해 관리기술의 핵심요소기술의 하나로 응용될 전망이다.

육상기인 비점오염원의 추산을 위해 구축되는 전산조직은 유역의 토지이용 특성변화, 산업구조변화시에도 신속 적용할 수 있는 오염유입량 추산모델로 급속한 경제성장을 이루고 있는 황해 연안역에 적합한 것이며 연안역 통합관리에도 활용될 것이다.

유입된 오염물질이 생태계내에 순환하며 영향을 주는 거시적인 결과를 보기 위해 환경용량의 산정기술을 개선하고 있는데 이는 환경오염의 결과를 예측하고 사전에 정책결정자에게 대책을 수립할 수 있게하는 중요한 모델로 활용될 것이다.

위와 같은 종합적인 지역해의 관리기술로 해양환경을 평가하고 각종오염원의 부하를 조절하도록 하여 황해의 해양환경보전을 위해 연구결과를 활용할 것이며 다른 지역해의 연구에도 핵심요소기술을 전수할 예정이다.

## SUMMARY

The regional efforts to assess and response to the marine pollutants are increasing in recent years because of its large potential impacts on the global environment. The purpose of this study is to develop assessment technology of regional seas environment and to evaluate the impacts of rapid industrialization of the region to the environmental condition of the Yellow Sea. Pollutant inputs from the western coast of Korea were estimated by careful application of computerized system. Seawater and sediment samples were analyzed for diverse pollutants during four surveys. Concentrations of heavy metals and organic contaminants appeared to be not so significant to the environment. However some water quality parameters should be carefully monitored for future degradation of the environment. Dispersion of suspended sediment was studied by satellite images with careful correction of atmospheric factors. Wild flounders were monitored for enzymes and other biochemical indices for bioeffects assessment in the Yellow Sea. Water column chlorophyll contents were simulated using both dynamic and ecological model with appropriate boundary conditions. Continuous measurements from steaming research vessel were made for nitrates, temperature, salinity and chlorophyll. Joint research between Korea and China is indispensable since investigation by both parties are largely required to understand the impact of of pollution to the environment of the Yellow Sea.



# Contents

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	21
<b>Chapter 2. Materials and methods</b> .....	24
2-1. Field and existing data survey .....	24
2-2. Sampling and analytical methods .....	32
<b>Chapter 3. Pollutants load to the Yellow Sea</b> .....	51
3-1. Land based pollutant sources from Korea .....	51
3-2. Marine environment of China .....	55
3-3. Atmospheric pollutants input .....	61
<b>Chapter 4. Marine pollution monitoring in the Yellow Sea</b> ...	66
4-1. April 1996 .....	66
4-2. May 1996 .....	70
4-3. July 1996 .....	133
4-4. August 1996 .....	138
<b>Chapter 5. Pollutants in the marine sediment of the     Yellow Sea</b> .....	177
5-1. Surface sediments .....	177
5-2. Sediment Core .....	199
<b>Chapter 6. Eutrophication model of the Yellow Sea</b> .....	219
6-1. Theoretical backgrounds of eutrophication model .....	220
6-2. Results of modeling .....	232

<b>Chapter 7. Enzyme activities and biochemical indicators</b>	
<b>of flounders.</b> .....	246
7-1. Enzyme systems and bioeffects .....	246
7-2. Biochemical indicators of wild flounders .....	249
<b>Chapter 8. Study of suspended solids by satellite</b>	
<b>imagery</b> .....	273
8-1. Monitoring of suspended solids by remote sensing .....	273
8-2. Interpretation of satellite imagery and field survey .....	275
8-3. Application of remotely sensed data .....	289
8-4. Conclusion of remote sensing approach for suspended solids...	303
<b>Chapter 9. Continuous measurements of T, S, nitrate</b>	
<b>and chlorophyll</b> .....	305
<b>Chapter 10. Conclusion</b> .....	315
<b>References</b> .....	323

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	21
제 2 장 조사방법 .....	24
제 1 절 기존자료조사 및 현장조사 .....	24
제 2 절 시료채취 및 분석방법 .....	32
제 3 장 황해의 오염물질 부하 .....	51
제 1 절 국내 육상기인 오염원의 황해유입 .....	51
제 2 절 중국의 해양환경 .....	55
제 3 절 대기를 통한 황해의 오염물질 유입 .....	61
제 4 장 황해의 오염추세 감시-해수 .....	66
제 1 절 1996년 4월 .....	66
제 2 절 1996년 5월 .....	70
제 3 절 1996년 7월 .....	133
제 4 절 1996년 8월 .....	138
제 5 장 황해 해저퇴적물의 오염 .....	177
제 1 절 표층퇴적물의 오염 .....	177
제 2 절 퇴적물의 오염역사 .....	199

제 6 장 황해의 환경용량(부영양화 모델링) .....	219
제 1 절 부영양화 모델링의 방법과 이론적 배경 .....	220
제 2 절 모델링 결과 .....	232
제 7 장 어류체내 효소활동도 및 기타 생화학적 지표 .....	246
제 1 절 효소시스템과 독성물질의 영향 .....	246
제 2 절 도다리의 효소활동도 및 생리특성 .....	249
제 8 장 원격탐사에 의한 연안부유물질 인식기술 .....	273
제 1 절 원격탐사에 의한 부유물질 감시기술 .....	273
제 2 절 위성자료해석 및 현장조사 .....	275
제 3 절 위성자료 응용연구 .....	289
제 4 절 위성자료 연구 결론 및 제의 .....	303
제 9 장 수질연속측정 .....	305
제10장 결론 및 제언 .....	315



## List of Figures

Fig. 2-1. Sampling stations in Kunsan area in April 1996. ....	25
Fig. 2-2. Sampling stations of the Yellow Sea in May 1996. ....	27
Fig. 2-3. Sampling stations of the Yellow Sea in July 1996. ....	28
Fig. 2-4. Sampling stations of the Yellow Sea in August 1996. ....	29
Fig. 2-5. Sampling stations of wild flounders. ....	31
Fig. 2-6. Continuous measurement track in the southern Yellow Sea in August 1996. ....	33
Fig. 3-1. Application of land slope and soil erodibility for estimating pollutants input. ....	53
Fig. 3-2. Estimation of pollutants load by variable factors. ....	54
Fig. 3-3. Monthly average concentration of nutrients in the rain water. ....	64
Fig. 3-4. Monthly average flux of nutrients to the Yellow Sea. ....	65
Fig. 4-1. Vertical distribution of temperature of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(°C). ....	74
Fig. 4-2. Vertical distribution of temperature of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(°C). ....	75
Fig. 4-3. Vertical distribution of temperature of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(°C). ....	76
Fig. 4-4. Vertical distribution of Salinity of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(‰). ....	77
Fig. 4-5. Vertical distribution of Salinity of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(‰). ....	78
Fig. 4-6. Vertical distribution of Salinity of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(‰). ....	79
Fig. 4-7. Vertical distribution of DO of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(mg/l). ....	81

Fig. 4-8. Vertical distribution of DO of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	82
Fig. 4-9. Vertical distribution of DO of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	83
Fig. 4-10. Vertical distribution of TSS of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	84
Fig. 4-11. Vertical distribution of TSS of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	85
Fig. 4-12. Vertical distribution of TSS of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	86
Fig. 4-13. Vertical distribution of VSS of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	87
Fig. 4-14. Vertical distribution of VSS of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	88
Fig. 4-15. Vertical distribution of VSS of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	89
Fig. 4-16. Vertical distribution of COD of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	94
Fig. 4-17. Vertical distribution of COD of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	95
Fig. 4-18. Vertical distribution of COD of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996(mg/1). .....	96
Fig. 4-19. Vertical distribution of nitrate of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	97
Fig. 4-20. Vertical distribution of nitrate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	98
Fig. 4-21. Vertical distribution of nitrate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	99

Fig. 4-22. Vertical distribution of nitrite of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	100
Fig. 4-23. Vertical distribution of nitrite of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	101
Fig. 4-24. Vertical distribution of nitrite of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	102
Fig. 4-25. Vertical distribution of ammonia of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	104
Fig. 4-26. Vertical distribution of ammonia of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	105
Fig. 4-27. Vertical distribution of ammonia of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	106
Fig. 4-28. Vertical distribution of phosphate of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	107
Fig. 4-29. Vertical distribution of phosphate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	108
Fig. 4-30. Vertical distribution of phosphate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	109
Fig. 4-31. Vertical distribution of silicate of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	110
Fig. 4-32. Vertical distribution of silicate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	111
Fig. 4-33. Vertical distribution of silicate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{m}$ ). .....	112
Fig. 4-34. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	117
Fig. 4-35. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	118

Fig. 4-36. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	119
Fig. 4-37. Vertical distribution of POC of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	120
Fig. 4-38. Vertical distribution of POC of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	121
Fig. 4-39. Vertical distribution of POC of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	122
Fig. 4-40. Vertical distribution of PON of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	123
Fig. 4-41. Vertical distribution of PON of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	124
Fig. 4-42. Vertical distribution of PON of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	125
Fig. 4-43. Vertical distribution of DOC of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	128
Fig. 4-44. Vertical distribution of DOC of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	129
Fig. 4-45. Vertical distribution of DOC of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	130
Fig. 4-46. Distribution of Cd and Pb in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	131
Fig. 4-47. Distribution of Cu and Zn in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ).	132
Fig. 4-48. Vertical distribution of TSS of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996( $\text{mg}/1$ ).	149
Fig. 4-49. Vertical distribution of TSS of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996( $\text{mg}/1$ ).	150

Fig. 4-50. Vertical distribution of TSS of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	151
Fig. 4-51. Vertical distribution of TSS of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	152
Fig. 4-52. Vertical distribution of COD of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	157
Fig. 4-53. Vertical distribution of COD of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	158
Fig. 4-54. Vertical distribution of COD of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	159
Fig. 4-55. Vertical distribution of COD of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996(mg/1).....	160
Fig. 4-56. Vertical distribution of POC of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	167
Fig. 4-57. Vertical distribution of POC of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	168
Fig. 4-58. Vertical distribution of POC of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	169
Fig. 4-59. Vertical distribution of POC of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	170
Fig. 4-60. Vertical distribution of DOC of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	171
Fig. 4-61. Vertical distribution of DOC of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	172
Fig. 4-62. Vertical distribution of DOC of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	173
Fig. 4-63. Vertical distribution of DOC of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	174

Fig. 4-64. Distribution of Cd and Pb in the surface waters of the Yellow Sea in August 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	175
Fig. 4-65. Distribution of Cu and Zn in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996( $\mu\text{g}/1$ ). .....	176
Fig. 5-1. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	179
Fig. 5-2. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	180
Fig. 5-3. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	181
Fig. 5-4. Distribution of Cd in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996(mg/kg-dry wt.). .....	184
Fig. 5-5. Distribution of Cu, Ni, Co and As in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	185
Fig. 5-6. Distribution of Pb, Zn and Cr in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	186
Fig. 5-7. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm 1 in the Yellow Sea in July 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	191
Fig. 5-8. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm 1 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt.). .....	193

Fig. 5-9. Distribution of Cd in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996(mg/kg-dry wt.).	196
Fig. 5-10. Distribution of Cu, Ni, Co and As in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt.).	197
Fig. 5-11. Distribution of Pb, Zn and Cr in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996(mg/kg-dry wt.).	198
Fig. 5-12. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	204
Fig. 5-13. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	206
Fig. 5-14. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996(mg/kg-dry wt.).	207
Fig. 5-15. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	208
Fig. 5-16. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	209
Fig. 5-17. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996(mg/kg-dry wt.).	210
Fig. 5-18. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	211

Fig. 5-19. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	212
Fig. 5-20. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996(mg/kg-dry wt.).	213
Fig. 5-21. Vertical distribution of Cd in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	216
Fig. 5-22. Vertical distribution of Cu and Pb in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	217
Fig. 5-23. Vertical distribution of Zn and Ni in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).	218
Fig. 6-1. The simulation flow of an eco-hydrodynamic model.	221
Fig. 6-2. Coordinate system in three dimensional model.	222
Fig. 6-3. The schematic diagram for the cycle of nutrients (N and P) in the marine ecosystem.	229
Fig. 6-4. The map of study area.	236
Fig. 6-5. Finite-difference grid of the three-dimensional model.	237
Fig. 6-6(a). Computed M2 tidal chart from the three-dimensional model:(Amplitude).	238
Fig. 6-6(b). Computed M2 tidal chart from the three-dimensional model:(Phase).	239
Fig. 6-7(a). Computed residual currents from the three-dimensional model:(Surface level).	240
Fig. 6-7(b). Computed residual currents from the three-dimensional model:(Middle level).	241



Fig. 6-7(c). Computed residual currents from the three-dimensional model:(Bottom level).....	242
Fig. 6-8(a). Distribution of simulated phytoplankton concentration ( $\mu\text{g}-\text{C}/\ell$ ):(Surface level).....	243
Fig. 6-8(b). Distribution of simulated phytoplankton concentration ( $\mu\text{g}-\text{C}/\ell$ ):(Middle level). ....	244
Fig. 7-1. Comparisons of protein content in serum, brain and muscle of wild flounders.....	251
Fig. 7-2. Effect of acetylcholinesterase activity in brain and muscle of wild flounders.....	252
Fig. 7-3. Effect of butyrylcholinesterase activity in brain and muscle of wild flounders.....	253
Fig. 7-4. Effect of malondialdehyde content in serum of wild flounders. ....	257
Fig. 7-5. Effect of lipid peroxide content in serum of wild flounders. ....	257
Fig. 7-6. Effect of hydroxyl radical formation in serum of wild flounders. ....	259
Fig. 7-7. Effect of superoxide dismutase activity in Serum of wild cultured flounders.....	261
Fig. 7-8. Effect of glutathione peroxidases in serum of wild flounders. ....	261
Fig. 7-9. Effect of triglyceride content in serum of wild flounders....	264
Fig. 7-10. Effect of total cholesterol content in serum of wild flounders. ....	264
Fig. 7-11. Effect of HDL-cholesterol content in serum of wild flounders. ....	265
Fig. 7-12. Effect of LDL-cholesterol content in serum of wild flounders. ....	265

Fig. 7-13. Effect of atherogenic index in serum of wild flounders. ...	269
Fig. 7-14. Effect of phosphorus content in serum of wild flounders. ....	269
Fig. 7-15. Effect of hemoglobin content in serum of wild flounders. ....	271
Fig. 7-16. Effect of LDH activity in serum of wild flounders. ....	271
Fig. 8-1. Sampling site on top of Landsat TM image obtained on September 1, 1996. ....	280
Fig. 8-2. Regression curve estimated from log-log relation between TM digital number and suspended sediments concentration. ....	281
Fig. 8-3. Band radiance versus surface albedo estimated through the LOWTRAN modelling for atmospheric correction of Landsat TM band 2 on September 1, 1996. ....	287
Fig. 8-4. Suspended sediment concentration versus the surface albedo of Landsat-5 TM band 2 for the Yellow Sea. ....	288
Fig. 8-5. Suspended sediment concentration estimated from TM band 2 acquired on September 1, 1996 over Dukgeok-Do area. ....	291
Fig. 8-6. Tidal conditions during twenty hours of September 1, 1996. ....	292
Fig. 8-7. Landsat TM image over Dukgeok-Do area acquired on September 1, 1996. ....	296
Fig. 8-8. Suspended sediment concentration estimated through correlation between in-situ data and TM band 2 acquired on September 12, 1994 over Dukgeok-Do area. ....	297
Fig. 8-9. Band radiance versus surface albedo estimated through the LOWTRAN modelling for atmospheric correction of Landsat TM band 2 on September 12, 1994. ....	299

Fig. 8-10. Suspended sediment concentration estimated through modelling of atmospheric correction for TM band 2 acquired on September 12, 1994 over Dukgeok-Do area. ....	301
Fig. 9-1. Continuous of temperature and salinity on Section 1. ...	307
Fig. 9-2. Continuous measurement of nitrate on Section 1. ....	308
Fig. 9-3. Continuous measurement of chlorophyll on Section 1.....	310
Fig. 9-4. Continuous of temperature and salinity on Section 2. ...	311
Fig. 9-5. Continuous measurement of nitrate on Section 2. ....	312
Fig. 9-6. Continuous measurement of chlorophyll on Section 2.....	314



## List of Tables

Table 3-1. Pollutant inputs from China. ....	57
Table 3-2. Heavy metal contents in the marine organisms in the Yellow Sea and Bohai Sea. ....	59
Table 3-3. Requirements of Marine Water Quality in China. ....	60
Table 4-1. Distribution of water quality parameters in the Kum River Estuary in April 1996. ....	67
Table 4-2. Distribution of heavy metals in the Kum River Estuary in April 1996. ....	69
Table 4-3. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in May 1996. ....	71
Table 4-4. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in May 1996. ....	91
Table 4-5. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in May 1996. ....	114
Table 4-6. Distribution of heavy metals and hydrocarbons in the Surface waters of the Yellow Sea in May 1996. ....	127
Table 4-7. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in July 1996. ....	134
Table 4-8. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in July 1996. ....	139
Table 4-9. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in July 1996. ....	142
Table 4-10. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in August 1996. ....	145
Table 4-11. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in August 1996. ....	154

Table 4-12. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in August 1996. ....	163
Table 4-13. Distribution of heavy metals in the surface waters of the Yellow Sea in August 1996. ....	166
Table 5-1. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996. ....	178
Table 5-2. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996. ....	183
Table 5-3. Distribution of pesticides in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996. ....	188
Table 5-4. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in July 1996. ....	189
Table 5-5. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in July 1996. ....	190
Table 5-6. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996. ....	192
Table 5-7. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996. ....	195
Table 5-8. Distribution of pesticides in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996. ....	200
Table 5-9. 210 Pb-derived sedimentation rates in the Yellow Sea. ....	202
Table 5-10. Distribution of organic materials in the sediment core Samples of the Yellow Sea in May 1996. ....	203
Table 5-11. Distribution of heavy metals in the sediment core Samples of the Yellow Sea in May 1996. ....	215
Table 6-1. Initial and boundary values of model compartments. ...	234
Table 6-2. Flow rates and pollutant loads of rivers flowing into model area. ....	235

Table 8-1. Summary of in-situ data conducted on May 28, 1996.....	277
Table 8-2. Summary of in-situ data conducted on June 13, 1996.....	278
Table 8-3. Summary of in-situ data conducted on September 1, 1996. ....	279
Table 8-4. Landsat TM band minimum and maximum spectral radiance. ....	284
Table 8-5. Comparison between the result through insitu measurement and that through atmospheric correction approach. ....	295





# 제 1 장 서 론

중국은 근래 년 10% 이상의 급속한 경제성장을 보이며 공업화와 도시화가 가속되고 있다. 우리는 넓은 국토와 인구를 가진 중국의 경제잠재력을 두려워하는 동시에 경제개발의 후유증인 오염에 대해서도 우려를 표명하게 되었다. 황해연안에는 요녕, 산둥, 강소성의 3개성이 있고 이들 지역은 중국에서는 다 경제적으로 중요한 성으로서 중국의 경제구도와 발전에 중요한 역할을 하고 있다. 황해연안에 자리잡고 있는 성은 중국전체 면적의 3.65%에 불과하지만 인구와 GDP는 각각 16.6%와 23.4%를 차지하고 있다. 중국은 해양자원의 개발에 많은 관심을 갖고 있으며 1990년 전국의 해양산업 생산액은 438억원이었던 것이 1993년에는 900억원을 돌파하였다. 지금 요녕성, 산둥성의 연안도시들은 야심찬 해양산업발전전략을 수립하고 있다.

해양의 오염은 과거에는 연안도시지역주변의 생활하수 및 공장폐수의 수산물에 대한 피해라는 좁은 범위에서 다루어져왔다. 그리고 대형유조선의 유출사고시나 대규모 적조발생시 받게되는 큰 피해에 대해 일반의 해양오염에 대한 우려와 관심이 고조되기도 했다. 그리고 근래에 들어서는 해양오염이 전 지구적인 규모에서의 우려사항으로 부각되고 있다. 이는 하나뿐인 지구를 지키기 위해 다각도로 기울여야할 노력중에 육상기인 오염물질의 최종정착지인 해양에 대해 특별한 관심을 기울여야 한다는데에 공통된 인식을 가지기 때문이다. 1992년 6월의 리오데자네이로 협약이후에는 해양의 오염을 감시하고 대책을 세우기 위해서 국가적, 지역적, 전지구적 공동조사노력이 필수적이라는 인식이 명확해지게 되었다. 해양오염에 대한 지역협력은 정세가 안정된 유럽국가간

에는 이미 오래전부터 여러형태로 이루어져 왔고 실질적인 효과를 얻고 있다. 후발개도국들도 국제기금의 도움으로 인접국들간의 해양오염확산에 대해 많은 조사연구를 수행하는 중이다. 그러나 동북아해역에 대해서는 이러한 노력의 중요성이 최근에야 인식되기 시작하였다. UNEP의 북서태평양보전계획(NOWPAP)은 한국, 중국, 러시아, 일본, 북한등 5개국에 의해 4차의 전문가 접촉을 거쳐 1994년 9월에는 제1차 정부간회의, 1996년 11월에는 제2차 정부간회의를 개최하기에 이르렀으며 여기서 실천방안(Action Plan)이 통과되고 세부적인 5대 중점사업의 연구계획서가 작성 통과되었다. 또한 동아시아 해양보전계획(EAS)도 한국, 중국이 1994년에가입하여 10개국이 여러가지 지역환경보전을 위한 노력을 기울이고 있는데 최근에는 해양의 환경을 육상기인 오염물질로부터 보호하기 위한 통합관리의 개념을 도입한 시범사업을 완료하였다.

이러한 추세에 맞추어 우리는 먼저 우리 주변해역의 오염원인을 다각도로 재조명하고 오염의 영향이 인류에 파급될 효과를 주시해야 할 것이다. 중국은 많은 인구와 자원으로 무한한 경제적 잠재력을 갖고 있으며 외국투자유치, 시장경제 도입에 의해 공업화가 진행될 경우 파급되는 환경파괴도 큰규모가 될것으로 우려된다. 중국의 공업벨트는 황해연안을 따라 형성되고 있기 때문에 대기, 해수를 통한 많은 오염물질의 해양유입이 우려되며 황해는 반폐쇄성 해역이기 때문에 발생한 오염물질이 곧 전체해역으로 확산될 수 있다. 중국측에서는 방대한 하천수 유입을 통해 많은 양의 유기물이 유입되어 중국주변해역의 오염이 가속되고 있다고 한다. 황해의 해상 물동량은 2001년에 1099 만톤으로 증가할것으로 예상되며 중국과의 항로가 빈번히 이용되면서 해양의 유류 및 유해액체물질오염도 심각해질 것이다. 또한 선박의 폐기물, 양국이 모두 실시중인 오염물질의 해양투기등도 문제가 되고 있다. 이러한 오염물질의 유입은 황해 전해역으로 확산될 경우 인접국의 수산자원 및 관광자원에 큰 피해를 주게될 것이 틀림없다.

황해는 반쯤 육지로 둘러싸인 얕은 바다이고 한국과 급격한 공업화를 보이고 있는 중국등 잠재적 오염원에 둘러 쌓여 있다. 발해와 황해의 총 면적은 460,000 Km<sup>2</sup> 이고, 총 용량은 18,000 Km<sup>3</sup> 이다. 길이는 1000 km, 폭은 700 km 정도이며, 평균 수심은 44 m, 최대 수심은 100 m이다(Valencia, 1988). 발해와 황해의 해류는 반시계방향회전 특징을 갖고 있다.

## 제 2 장 조사방법

### 제 1 절 기존자료조사 및 현장 조사

#### 1. 국내연안 오염부하량 및 대기로부터의 영양염 유입 :

본 연구에서는 일정한 격자를 나누고 여기서 발생하는 오염원이 토지사용 현황에 따른다는 가정을 하였다. 부하량은 우리나라 서해안의 하천유입지점별로 계산하였다. 격자의 중심에서 하천, 하구에 이르는 거리를 입력된 지도상에서 계산하였고 지형적인 경사와 토양의 침식정도를 고려하였다.

대기로부터 영양염 유입정도를 측정하기 위해 1992년 부터 현재까지 서해 중부해안에 위치한 한국해양연구소에서 (37° 17' 04" N, 126° 50' 00.8" E) 강우시료를 채취하였다. 일정기간동안 집적한 시료를 채취하는 것이 일반적인 강우채취 방법이나 본 연구에서는 강우 시간별로 시료를 채취함으로써 시료 채취시의 장기간 보관등에 따른 오염을 최소화하도록 노력하였다.

#### 2. 황해현장조사 :

황해의 오염조사를 위해 1996년 4월 22일에 금강하구역과 군산 앞 해역을 소형조사선을 사용하여 조사하였다(Fig. 2-1). 황해외해역의 해양오염조사를 위해 1996년 5월 20일부터 5월 25일 까지 해양조사선 이어도호를 사용하여

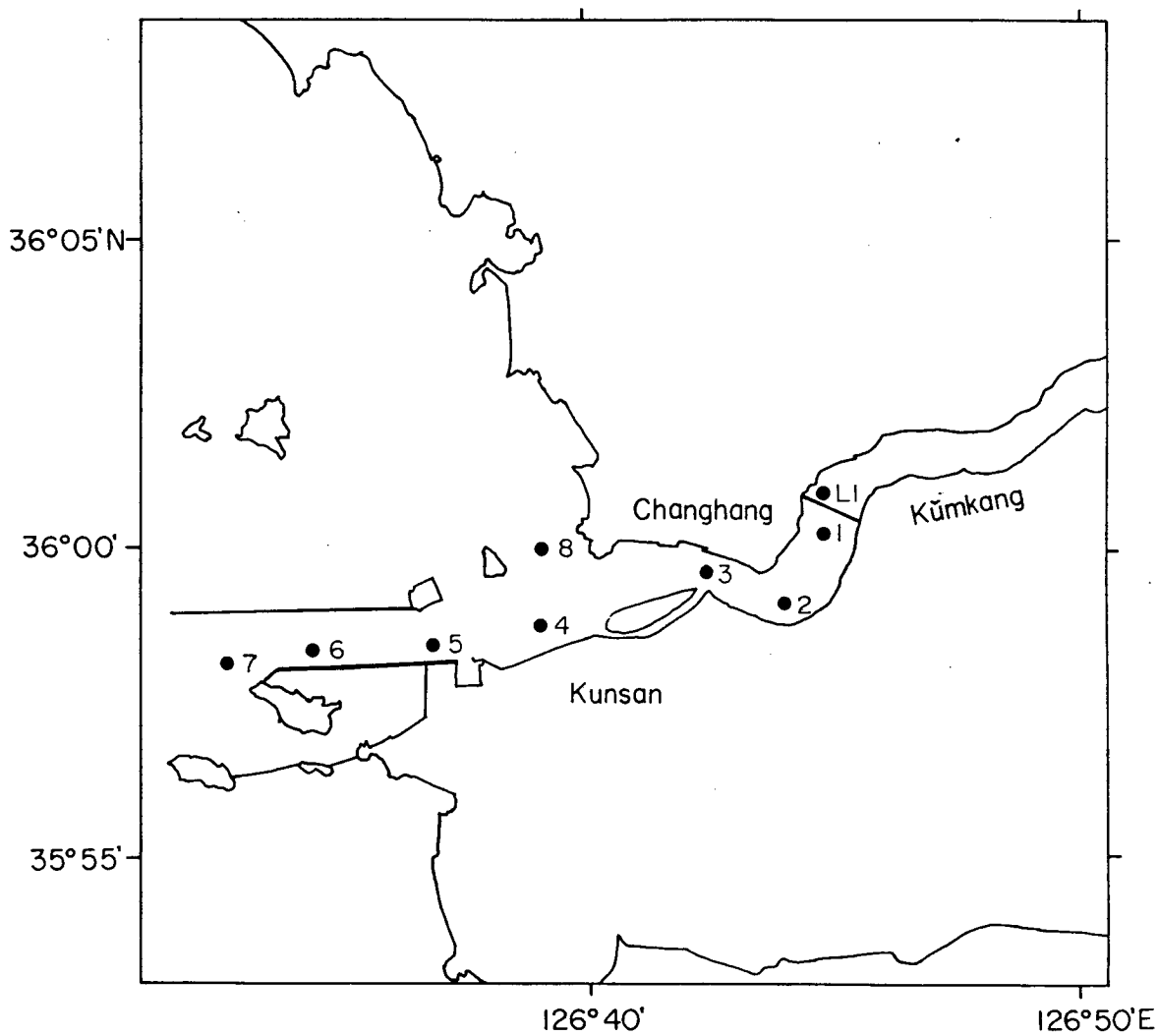


Fig. 2- 1. Sampling stations in Kunsan area in April 1996.

외해역의 13개 정점에 대해 현장조사를 실시하였다(Fig. 2-2).

1996년 7월에는 황해중남부해역을 중심으로 군산대학교 조사선 해림 1호를 사용하여 96년 7월 8일 부터 7월 14일에 걸쳐 북위 35° 00' 에서 36° 00' 동경 124° 30' 에서 126° 까지의 해역에서 14개 정점에 대한 조사를 실시하였다(Fig. 2-3). 또한 1996년 8월 23일 부터 8월 30일 까지 해양조사선 이어도호를 사용하여 13개 정점에 대한 조사를 Fig. 2-4와 같이 실시하였다.

#### 4. 퇴적물오염조사 :

96년 5월, 7월, 8월의 조사시 매정점마다 Van Veen Grab 으로 표층퇴적물을 채취하였으며 주상시료는 96년 5월 조사시 Box Corer를 이용하여 채취하고 현장에서 용도별로 subsample을 취하였다.

#### 5. 환경용량 (부영양화 모델링)

부영양화 모델링을 위하여 사용된 생태-유체역학 모델(Eco-hydrodynamic model)은 해수유동 시뮬레이션을 위한 다층 모델(Multi-level model)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model)로 구성되어있다. 수질을 예측하기 위한 시뮬레이션 순서는 우선 다층모델을 이용하여 해수 유동을 재현한 후, 계산된 잔차류를 생태계모델에 입력하여 수질예측 시뮬레이션을 행하였다. 또한 1992~1996년에 조사된 황해 및 하천의 수질 자료를 생태계모델의 입력자료로서 이용하였고 생물학적 인자는 실내실험을 통하여 얻은 값과 발표된 문헌의 값을 사용하였다.

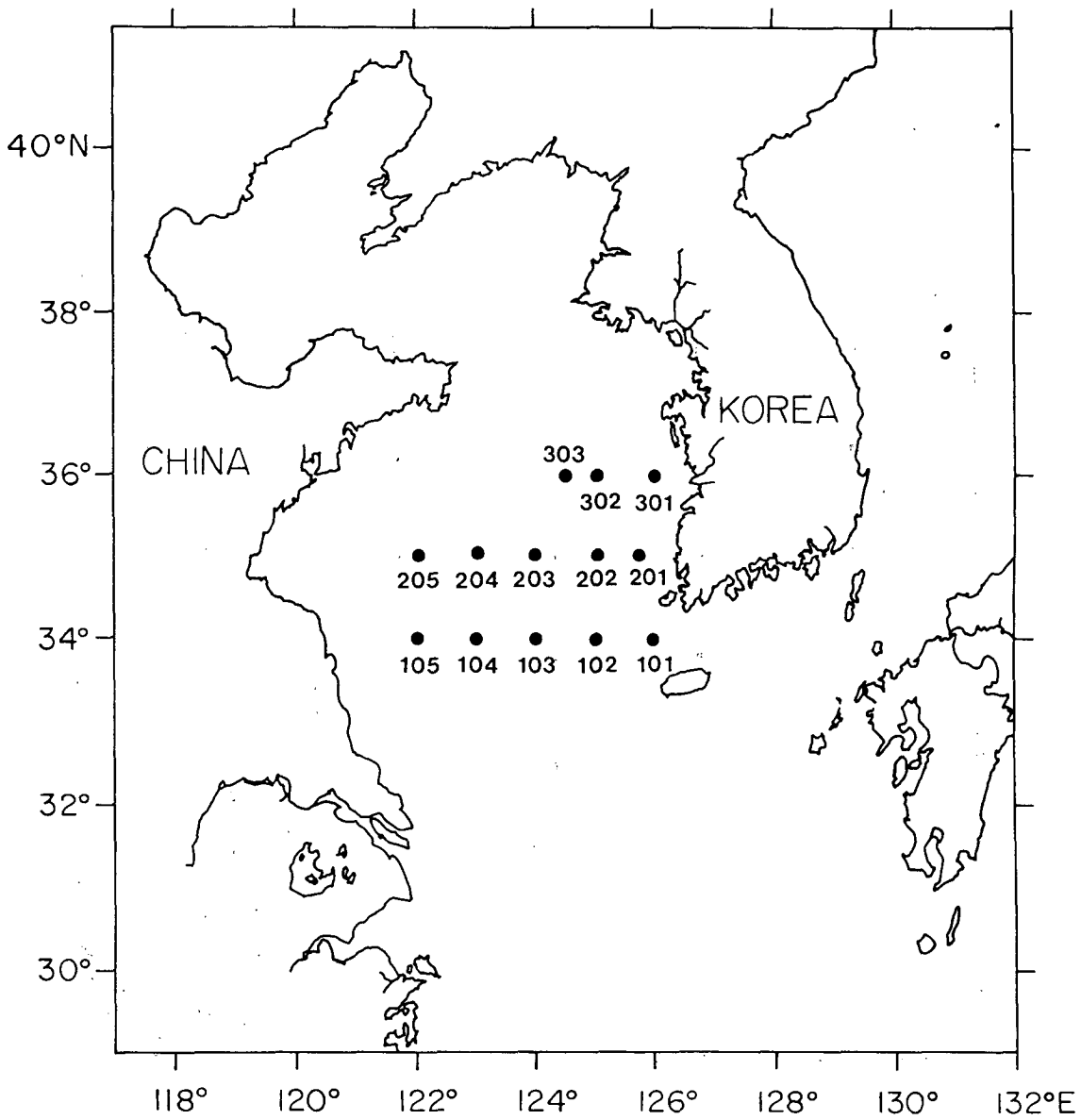


Fig. 2- 2. Sampling stations of the Yellow Sea in May 1996.

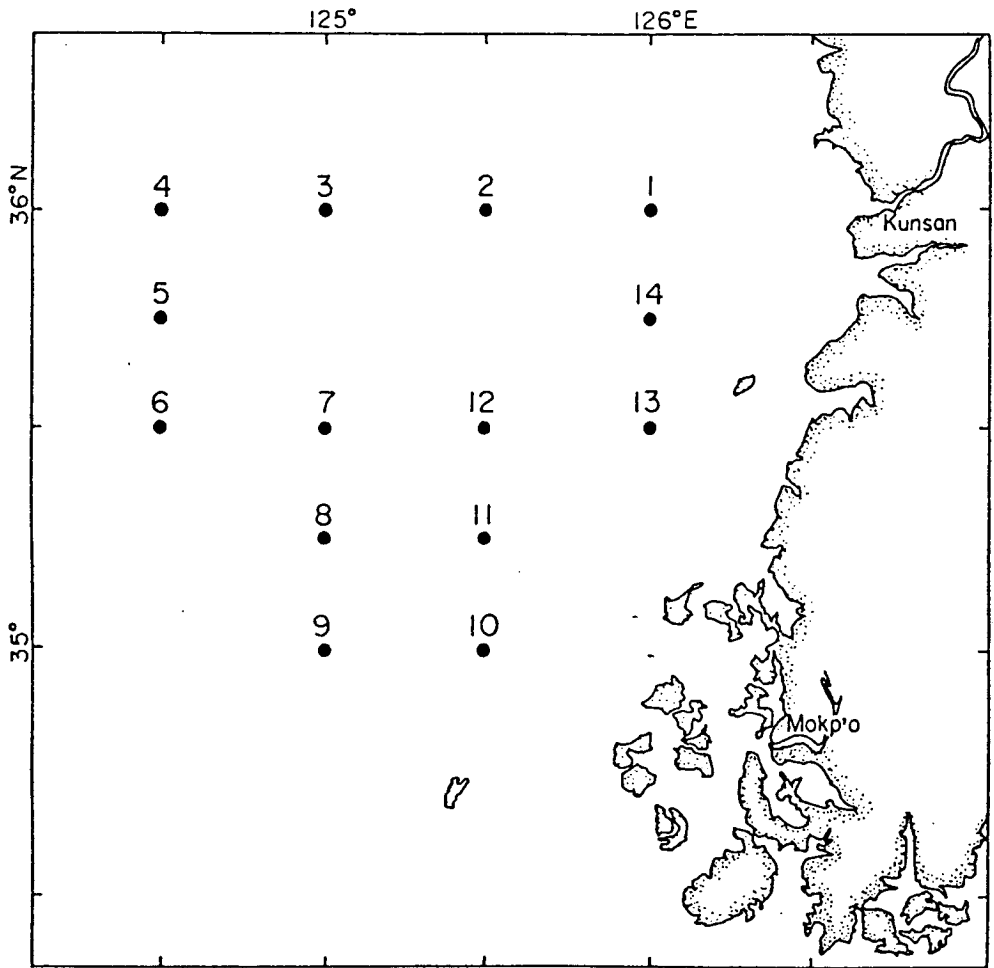


Fig. 2- 3. Sampling stations of the Yellow Sea in July 1996.



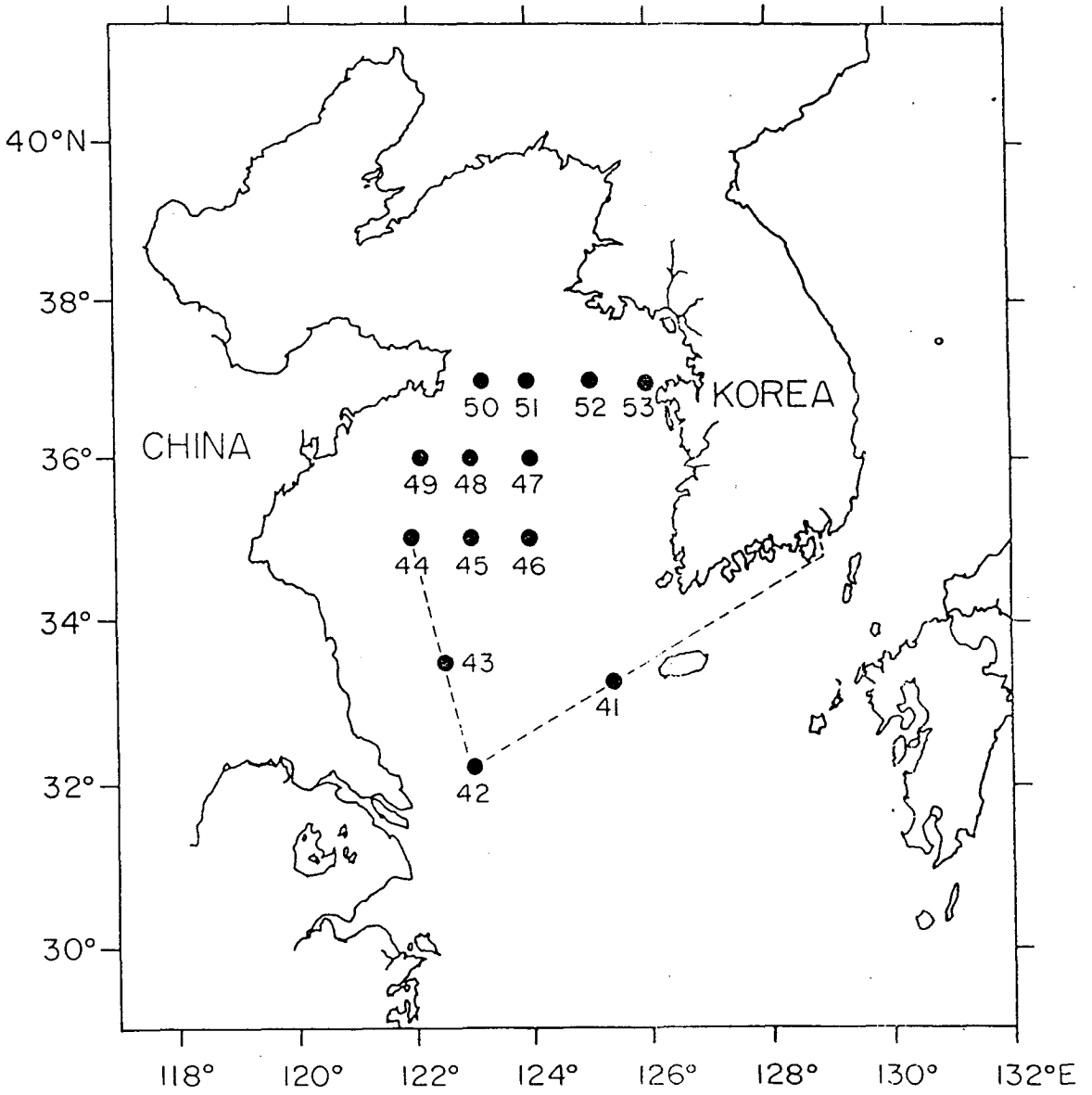


Fig. 2- 4. Sampling stations of the Yellow Sea in August 1996.

## 6. 위성자료를 이용한 부유사 인식기술

본 조사에 사용된 위성자료는 미국 상용위성인 Landsat-5에 장착되어 있는 위성센서인 TM(Thematic Mapper)를 이용하여 얻은 자료로 Landsat-5 영상좌표계인 Path/Row = 116/34 의 경기만 일대자료를 사용하였다. Landsat-5는 16일 간격으로 같은 위성 Path를 관측하며 우리나라 상공에서의 각 지역의 관측시각은 지역 및 관측일에 따라 약간의 차이는 있으나 대체로 약 오전 10시 30분 경이다. 위치보정은 일반적으로 지표면의 정확한 위치에 대한 정보를 얻을 수 있는 위치보정 기준점(Ground Control Point; GCP)과 위성영상에서 이에 대응하는 점들을 이용하여 실시하며, 본 조사에서는 지형도와 위성영상자료를 비교하여 정해진 34개의 위치보정 기준점들의 위경도값을 1:50,000 지형도(국립지리원)로부터 구하였다. 위치보정된 위성영상자료는 Bessel 타원체를 기준으로 하여 UTM(Universal Transverse Mercator) 도법에 의한 표정을 실시하였다.

## 7. 생화학적 오염지표 연구를 위한 어류시료 채취

본 실험에사용한 도다리 시료(*Pleuronichthys cornutus*)는 시험군은 서해안의 서산, 보령, 부안, 영광, 격포에서 채집한 자연산울, 그리고 대조군은 오염도가 비교적 적으리라 예상되는 포항근처에서 구입한 동해의 자연산울 구하여 사용하였다 (Fig. 2-5).

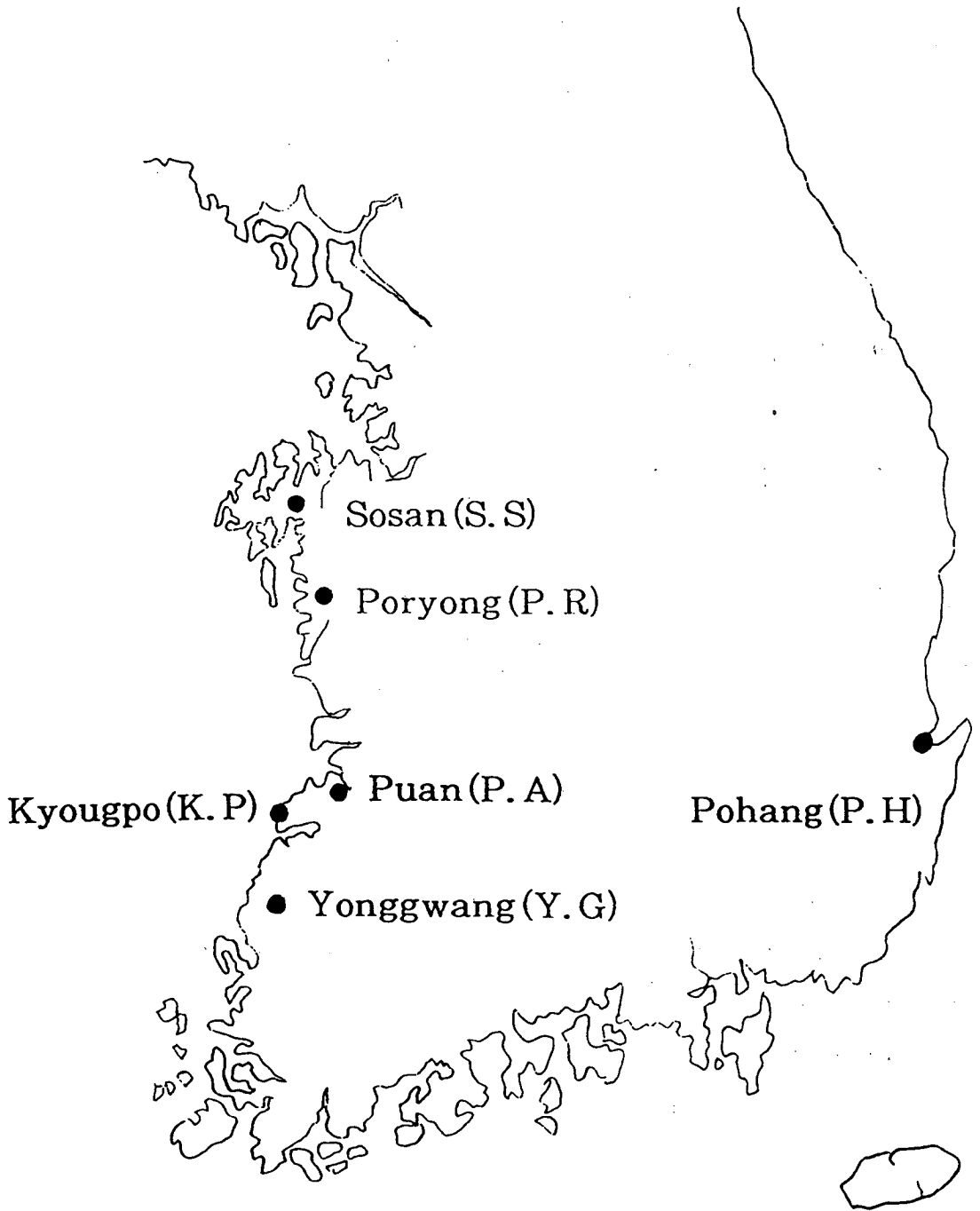


Fig. 2- 5. Sampling stations of wild flounders.

## 8. 수질연속측정

96년 8월 조사의 초기에 수질연속측정을 위해 2개의 section에서 조사선의 항해중 연속조사를 실시하였다 (Fig. 2-6).

## 제 2 절 시료처리 및 분석방법

### 1. 시료채취 및 보존방법

화학분석을 위한 해수 시료채취는 각 조사정점에서 5 l 니스킨 채수기를 이용하였다. 부유물질 측정을 위해서는 현장에서 해수 시료 500 ml를 미리 건조기 속에서 건조시켜 무게를 측정한 유리섬유 여과지(Whatman GF/F)로 여과한 다음 여과지를 냉동시켜 실험실로 옮겼다. 화학적 산소 요구량 측정을 위한 시료는 250 ml 폴리에틸렌 병에 담아 냉동보관하여 실험실로 옮겼다.

중금속 분석용 해수 시료는 미리 산으로 세척된 1l들이 고밀도 폴리에틸렌 병을 약 6m길이 PVC 막대에 플라스틱관(Tygon Tubing)을 사용하여 매달아 약 1~2노트로 항해하는 동안 병입구를 수면보다 20~30cm 깊이 넣어 채취하였다(Boyle *et al.*, 1981). 그러나 PVC 막대를 이용한 채취가 불가능한 경우에는 폴리카보네이트 Holder에 시수병을 플라스틱관으로 고정시켜 선수에서 해수의 흐름을 파악한 후 오염이 되지 않게 채취하였다. 채취된 시료는 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 포장하였으며, 시료는 Clean Bench내에서 산으로 세척된 0.4 $\mu$ m Nuclepore filter로 여과하여 여과액 500ml에 증류된 염산

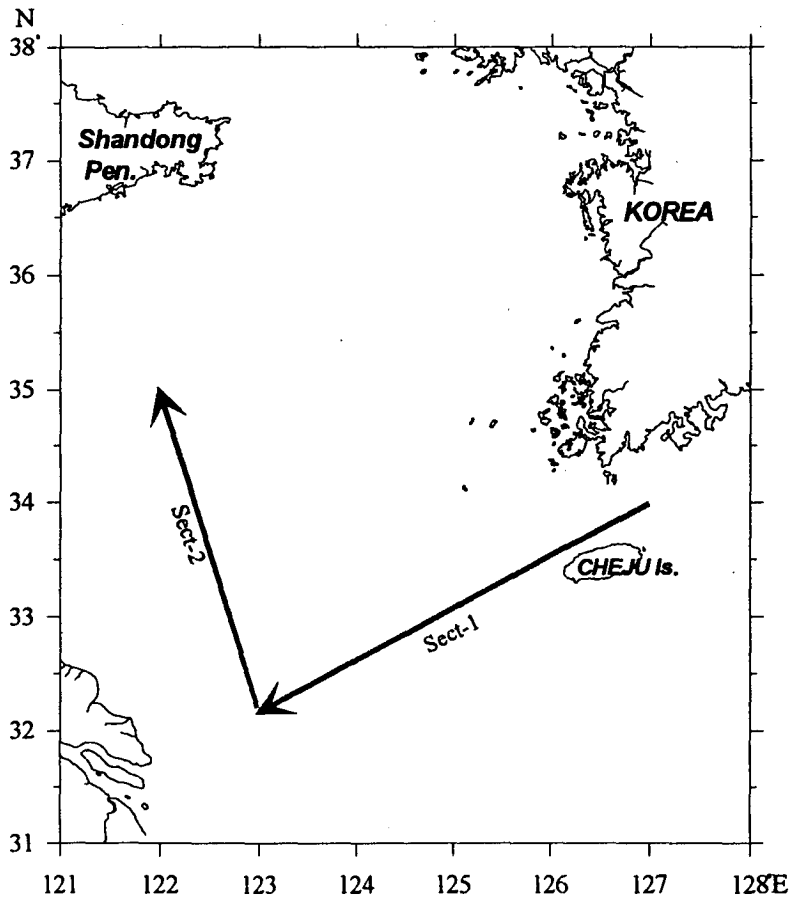


Fig. 2- 6. Continuous measurement track in the southern Yellow Sea in August 1996.

(6N) 2ml를 가한 다음 분석 때까지 상온에서 보관하였다.

중금속분석용 표층퇴적물은 Smith-McIntyre grab sampler를 이용하여 채취된 퇴적물을 grab의 금속부분과 접하지 않은 표층부 1cm정도를 Polyethylene spoon으로 취하여 산세척된 Polyethylene bottle에 담았으며, 주상퇴적물 시료는 Box corer를 이용하여 채취한 후 PVC pipe로 subsample을 채취하였다. 채취된 시료는 생물, 화학적 작용에 의한 변화를 억제하기 위하여 -20℃에서 냉동보관하였다.

암모니아는 여과한 시료를 현장에서 발색시킨 후 바로 측정하였다. 중금속 분석용 해수 시료는 미리 산으로 세척된 1/들이 고밀도 폴리에틸렌 병을 약 6m 길이 PVC 막대기에 플라스틱관(Tygon Tubing)을 사용하여 매달아 약 1~2노트로 항해하는 동안 병입구를 수면보다 20~30cm 깊이 넣어 채취하였다(Boyle et al., 1981). 채취된 시료는 먼지가 묻지 않도록 폴리에틸렌 필름으로 이중 포장하여 냉동한 후 실험실로 옮겨 녹인 다음 산으로 세척된 0.4 $\mu$ m Nuclepore filter로 여과하여 여액 500ml에 증류된 염산(6N) 2ml를 가한 다음 분석 때까지 상온에서 보관하였다.

본 실험에 사용한 도다리 시료(*Pleuronichthys cornutus*)는 Fig. 2-6에서 보는 바와 같이 시험군은 서해안의 보령(Poryong), 아산(Asan), 격포(Kyongpo), 서산(Sousan)에서 채집한(체장 32.5-36.5cm, 체중 600-800g) 자연산울, 그리고 대조군은 오염도가 비교적 적은 포항(Pohang)에서 구입한 동해의 자연산울 각각 1996년 4월-7월사이에 7-10마리씩 구입하여 현지에서 마취제 4-aminobenzoic acid ethyl ester(Benzocaine) 적당량을 에탄올에 녹여 물에 희석한 용액에 도다리를 넣어 마취한 다음, 체장과 체중을 측정하고 동시에 꼬리 부분의 등뼈에서 채혈하여 혈청을 분리하였고, 어체를 개복하여 간장, 뇌, 근육을 일정량씩 분취한 다음 동결고(-70℃)에 저장하였다.

## 2. 분석방법

### 가. 일반수질지수

- (1) 수온 - CTD(Sea Bird)를 사용하여 현장에서 측정하였다.
- (2) 염분 - CTD(Sea Bird)를 사용하여 현장에서 측정하였다.  
황해중남부해역 조사시에는 시료를 실험실로 가져와 YEO-KAL 601MK Inductive Salinometer로 전도도를 측정한 후 다시 염분으로 환산하였다.
- (3) 수소이온 농도 (pH) - Orion 920 pH meter를 사용하여 현장에서 측정하였다.
- (4) 용존산소량 - Winkler법의 아지드화나트륨변법을 사용하였다.
- (5) 부유물질 - 유리섬유 여과지법으로 총부유물질(TSS)을 측정하고 550°C에 회화한 후의 감량으로 휘발성 부유물질(VSS) 농도를 측정하였다.
- (6) 화학적 산소요구량 (COD) - 해수시료 50 ml에 알칼리성 하에서 일정 과량의 과망간산 칼륨용액을 더하고 수욕상에서 60분간 가열한 후 냉각시켰다. 그 다음 시료용액에 요오드화칼륨을 가하고 황산을 더하여 산성으로 만들어 요오드를 유리시킨 후 치오황산소다로 역적정하였다.

### 나. 영양염 (Nutrients)

용존성 아질산염, 질산염, 인산염, 규산염이온은 Stickland & Parsons(1972)에 의거하여 Flow Injection Analyzer (Lachat사)를

사용하여 측정하였다.

아질산염( $\text{NO}_2$ )은 시료에 sulfanilamide 용액과 (N-naphtyl) - ethylenediamine dihydrochloride를 더하여 발색시켰다.

질산염( $\text{NO}_3$ )은 시료를 카드뮴 컬럼에 통과시켜서 아질산염으로 환원시킨 후 아질산염 분석방법과 같은 방법으로 발색시켰다.

인산염( $\text{PO}_4$ )은 시료에 ammonium molybdate, potassium antimonyl tartrate와 황산의 혼합시약을 더하고 ascorbic acid로 환원시켜 발색시켰다.

규산염( $\text{Si}(\text{OH})_4$ )은 시료에 ammonium molybdate를 더하여 silico-molybdate complex를 만든 다음 oxalic acid와 ascorbic acid를 더하여 발색시켰다.

#### 다. 암모니아( $\text{NH}_3$ )

염산으로 세척한 유리병에 25 ml의 해수를 채취한 후 현장에서 페놀, sodium nitroprusside와 산화제를 첨가하여 상온, 암소에서 24시간 발색시킨 뒤 자외선-가시광선 분광광도계로 630 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

#### 라. 유기탄소 및 질소

- (1) 입자성 유기탄소(POC) - Grasshoff *et al.*(1983)법에 의하여 시수를 전처리한 후 CHN analyzer(Yanagimoto, MT-2)로 분석하였다.
- (2) 입자성 유기질소(PON) - POC와 같은 방법으로 분석하였다.
- (3) 저질층의 유기탄소 및 유기질소 - CHN analyzer로 분석하였다.



## 마. 클로로필 a

해수시료 500 ml를 GF/F 여과지로 여과하여 냉동한 후 실험실로 옮겼다. 90 % 아세톤을 10 ml를 가하여 24 시간 플라스크를 색소를 추출한 후 UV-spectrophotometer(Parkin Elmer 552)를 이용하여 흡광도를 측정하였다(Parsons et al., 1984).

## 바. 중금속

용존성 중금속 분석은 여과된 시료를 APDC-DDTC-Freon 용매추출법으로 50배 농축한 후 비블꽃원자흡수분광기를 이용하여 측정하였다(Danielsson et al., 1978). 각 원소의 측정 흡수파장은 Cd 228.8nm, Cu 324.8nm, Pb 283.3nm, Zn 213.9nm였다. 퇴적물중의 중금속은 퇴적물을 동결 건조시킨 후 퇴적물에 섞여있는 패각들을 제거한 다음 200 mesh 나일론체를 통과하도록 Agate mortar로 분쇄하였다. 분쇄된 시료 0.2g을 100ml PFA 테프론 비커에 넣고 Teflon distilled HF 6ml, Teflon distilled HNO<sub>3</sub> 3ml를 각각 가하여 2시간 이상 실온에 둔 다음 Suprapur HClO<sub>4</sub> 2ml를 가한 후 테프론 뚜껑을 덮고 가열판에서 160℃로 가열하여 완전히 증발건고시켰다. 이때 시료는 흰색 또는 옅은 노란색을 나타내게 되며, 그렇지 않은 시료에 대해서는 위과정을 한번 더 반복하여 시료를 완전히 용해시켰다. 여기에 1% HNO<sub>3</sub>를 가해 비커내의 잔사를 녹여 10ml로 맞추었다. 한편 퇴적물의 중금속분석 정확도를 검증하기 위하여 NRC의 Marine sediment 표준물질 MESS-2도 함께 처리 분석하였다. 이상과 같이 처리된 시료 용액은 1% HNO<sub>3</sub>를 가하여 총 희석배수 1,000으로 하여 Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb 등 8개 원소를 ICP-MS(VG Element, PQ II+)로

측정하였다.

## 사. 해저퇴적물의 년대측정

### (1) 시료채취 및 방법

퇴적물코어는 단면적이 50 x 50cm인 박스코어를 이용하여 채취한 후 내경 7.0cm인 PVC pipe를 손으로 삽입하여  $^{210}\text{Pb}$  분석용 부시료를 얻었다. 부시료는 1cm 간격으로 절개하여  $^{210}\text{Pb}$  정량은 수분함량, 염함량을 각각 보정하여 순수 퇴적물 함량을 정량하였다.  $^{210}\text{Pb}$  방사능은  $^{210}\text{Pb}$ 의 딸핵종인  $^{210}\text{Po}$  과의 의사평형 (secular equilibrium) 관계를 이용하여 퇴적물의  $^{210}\text{Po}$ 을 알파스펙트로메트리로 정량하였다. 건조한 퇴적물을  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HCl}$ 으로 연속적으로 digestion하여  $^{209}\text{Po}$ 을 추출한 후 은막 (silver disc)에 자동전기 장착 시켰다. 화학적 회수를 추적자로서  $^{210}\text{Po}$ 을 acid digestion 직전에 퇴적물시료에 첨가하였다.  $^{210}\text{Po}$  화학 처리 절차는 Carpenter *et al.*(1981)에 의하였다.

### (2) 퇴적률 계산

$^{210}\text{Pb}$  근거 퇴적물 축적율은 1차원, 2층, 정상상태 퇴적물 모델에 근거하여 퇴적물 혼합은 표층퇴적물 혼합층 (Surface Mixed Layer, SML)에서만 일어나는 것으로 한정시켜서 계산하였다.  $^{210}\text{Pb}$  퇴적물 축적율 정량의 정확성은 다음 조건을 얼마나 만족시키느냐에 달려있다. (1) 퇴적물 축적율과 초기 과량  $^{210}\text{Pb}$  0농도가 과거 150-200년간 일정하게 유지되었다. (2) 퇴적물로부터  $^{210}\text{Pb}$  손실은 방사능 붕괴에 의해서만 일어난다 (즉, 퇴적율을 계산하는 구간에서 퇴적물 혼합은 없으며  $^{210}\text{Pb}$ 은 퇴적후 화학적 이동력 (chemical mobility)이 없다). (3) 혼합은 SML에 국한되며 깊이에 따라 일정하다. (4) 분석에 사용하는 퇴적물 구

간 (sediment slice 두께)은 전체 연대 결정기간에 비하여 충분히 짧아야 한다.  
 (5)  $^{210}\text{Pb}$ 의 붕괴상수가 정확하게 알려져 있어야 한다.

이러한 5가지 조건이 만족되면 해저퇴적물의 과량  $^{210}\text{Pb}$  수직분포는 다음과 같은 식으로 기술될 수 있다.

$$A_x = A_0 \cdot \exp(-bx) + A' \quad (1)$$

여기서  $A_x$ 는 퇴적물 깊이 (해수 - 해저 경계면으로부터의 거리)  $x$ 에서의  $^{210}\text{Pb}$  함량,  $A_0$ 은 해수 - 해저 경계면에서의  $^{210}\text{Pb}$  함량,  $A'$  은 퇴적물의  $^{226}\text{Ra}$ 로부터 생성되는  $^{210}\text{Pb}$  함량이다.  $b$ 는 과량  $^{210}\text{Pb}$  방사능의 자연로그값과 퇴적물 깊이를 최소자승법으로 fit 할때의 기울기이다. SML 이하  $b = \lambda/s$  이며  $s$ 는 퇴적물축적율 (sediment accumulation rate)이다.  $\lambda$ 는  $^{210}\text{Pb}$  붕괴상수로서  $0.0311 \text{ yr}^{-1}$  이다. SML에서  $b$ 는 퇴적물 축적율과 혼합율의 미지의 혼합이다.

## 아. 퇴적물중의 미량 유기독성물질 분석

### (1) 분석준비

실험에 사용되는 모든 초자기구는 세척후 muffle furnace에서 400도에서 4시간 이상 가열하여 오염물질을 제거하였고 사용하기 직전에 methylene chloride로 세척하였다. 실험에 사용된 모든 용매는 AR 또는 HPLC급(grade) 시약으로 유리 분별증류장치에서 정제한 후 약 300배 농축하여 GC로 용매의 순도를 확인한 후에 사용하였다. 알루미늄, 실리카겔은 고온에서 건조시켜 고온에서 보관하였다.

## (2) 분석과정

추출은 Accelerated Solvent Extractor를 사용하였다. 농축된 추출액을 Alumina/Silica gel column 넣고 methylene chloride : Pentane (50 : 50) 200 mL 를 이용하여 1 mL/min 의 속도로 통과시킨 후 다시 rotary evaporator 에 서 1 mL 로 농축한다. T ube heater 에서 hexane 으로 용매를 치환하여 1 mL 로 농축한 다음 HPLC Cleanup(Krahn *et al*, 1988)을 거쳐 분액을 채취하고 GC-ECD와 GC-FID를 이용한 미량유기독성물질 분석(Dallschnitter and Zell 1980, Lauenstein and Cantillo, 1993)과정을 거쳤다. 분석에 사용된 Gas Chromatograph는 HP5890A로서 FID와 ECD를 사용하였다.

## 자. 어류체내의 효소 활동도 측정

### (1) AChE, BChE 측정원리

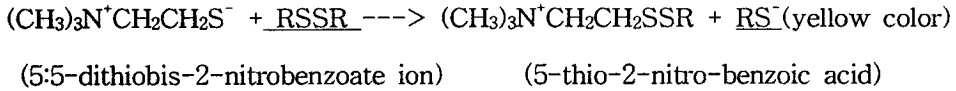
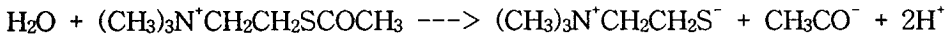
# acetylthiocholine(기질로서 이용)의 효소에 의한 가수분해율을 microplate readers를 이용해서 측정하였다.

(enzyme)

acetylthiocholine -----> thiocholine + acetate

thiocholine + dithiobisnitrobenzoate -----> yellow color

(enzyme)



위와 같은 반응을 기본원리로 하여 thiocholine의 생성으로 인한 yellow color의 증가량을 측정하였다. 이 방법은 매우 감도가 높고 조직(시료)의 양이 적은 경우나 효소의 농도가 낮은 경우도 적용가능하다.

## (2). 단백질 함량의 측정

### ○ 뇌, 근육에서 단백질 함량의 측정

뇌, 근육에서 분리한 뇌, 근육의 단백질 함량은 Lowry et al.(1951)의 방법인 BSA(표준혈청 알부민)법으로 측정하였다. 뇌, 근육 분리물 20 $\mu$ l를 취하고 여기에 1.0%SDS 용액 12 $\mu$ l를 혼합하고, 증류수로써 120 $\mu$ l가 되도록 희석(6배)한다. 이 희석액 15 및 20 $\mu$ l를 취해 증류수로써 80, 85 $\mu$ l를 넣고 희석시킨다. 여기에 반응시약(0.5% copper sulfate solution : 1.0% sodium tartrate solution: 2.0% sodium carbonate solution=0.5:0.5:49, v/v)을 1.0ml씩 첨가하여 약10초간 혼합한다. 그리고 20분간 실온에서 방치한다. 이후 발색시약으로써 1N Folin시약을 0.1ml씩 첨가하여 혼합하고 실온에서 30분간 방치한 다음, 분광광도계를 사용하여 525nm에서 흡광도를 측정하여 표준검량선에 의하여 단백질의 함량을 정량하였다.

### ○ 단백질 함량의 측정

혈청 및 조직 분획의 단백질 함량은 BSA(표준 혈청알부민)를 사용한 Lowry 등(1951)의 방법으로 측정하였다. 혈청 20 $\mu$ l를 취하고 여기에 1.0% SDS 용액 12 $\mu$ l를 혼합하고, 증류수로써 120 $\mu$ l가 되도록 희석(6배)한다. 이 희석액을 각각 15 $\mu$ l 및 20 $\mu$ l씩 취하고 여기에 증류수 85 $\mu$ l 및 85 $\mu$ l씩을 넣고 100 $\mu$ l이 되도록 희석시킨다. 여기에 반응시약(0.5% copper sulfate solution:1.0% sodium tartrate solution:2.0% sodium carbonate solution=0.5:0.5:49, v/v)을 각각 1.0ml씩 첨가하여 vortex에서 약 10초간 혼합하여 실온에서 20분간 방치한다. 이후 발색시약으로서 1N Fohlin시약을 0.1ml씩 첨가하여 혼합하고 실온에서 30분간 방치한 다음, 분광광도계를 사용하여 525nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 의하여 단백질의 함량을 정량하였다.

### (3). AChE 및 BChE의 활성 측정

#### ○ 아세틸콜린에스트라제(AChE)의 활성 측정

뇌 및 근육에 많이 분포하는 아세틸콜린에스트라제(acetylcholinesterase; AChE)의 활성 측정은 Galgani(1992)의 방법에 따라 측정하였다.

각 microplate well에 0.1M Tris buffer (Trizma HCl+Trizma base, pH 8.0)을 300 $\mu$ l, 0.01M dithionitrobenzoic acid(DTNB) 20 $\mu$ l, enzyme suspension(상징액) 10 $\mu$ l을 연속적으로 첨가한다. 그리고 흡광도 측정직전에 기질시약인 0.1M acetylthio- choline chloride 10 $\mu$ l을 첨가한다. microplate reader(ELISA reader)를 이용하여 405nm에서 흡광도 변화를 3분동안 측정하여 다음 식에 따라 아세틸콜린에스트라제 활성을 측정하였다.

$$\text{AChE activity (unit/min/mg protein)} = (\text{Final Abs} - \text{Initial Abs}) \times 2^* \times 1000^{**}$$

\*Enzyme suspension(상층액)의 희석배수

\*\*1 unit = 0.001 Abs

#### ○ 부틸릴콜린에스트라제(BChE)의 활성 측정

근육에 많이 분포하는 부틸릴콜린에스트라제(butyrylcholinesterase; BChE)의 활성 측정은 Galgani(1992)의 방법에 따라 측정하였다. 각 microplate well에 0.1M Tris buffer (Trizma HCl+Trizma base, pH 8.0)을 300 $\mu$ l, 0.01M dithionitrobenzoic acid(DTNB) 20 $\mu$ l, enzyme suspension(상층액) 10 $\mu$ l을 연속적으로 첨가한다. 그리고 흡광도 측정직전에 기질시약인 0.1M butyrylthiocholine chloride 10 $\mu$ l을 첨가한다. microplate reader(ELISA reader)를 이용하여 405nm에서 흡광도의 변화를 5분동안 측정하여 다음 식에 따라 부틸릴콜린에스트라제의 활성을 측정하였다.

$$\text{BChE activity (unit/min/mg protein)} = (\text{Final Abs} - \text{Initial Abs}) \times 2^* \times 1000^{**}$$

\*Enzyme suspension(상층액)의 희석배수

\*\*1 unit = 0.001 Abs

#### (4). 과산화지질 함량의 측정

##### ○ 분광광도계를 이용한 MDA 함량의 측정

혈청중의 과산화지질(malondialdehyde; MDA)의 함량은 TBA법으로 MDA의 함량을 측정하였다. 혈청 20 $\mu$ l에 증류수 180 $\mu$ l 혼합한 것을 각 시험관에 분취하고, 여기에 8.1% SDS(sodium dodecyl sulfate)용액 200 $\mu$ l를 가하여 약 5초간 혼합한 후 20% 초산 1.5ml를 넣어 다시 5초간 혼합하고, 1.2% TBA(thiobarbituric acid) 시약 1.0ml를 첨가하여 깨끗한 구슬로 마개한 뒤 30분간 수조에서 가열, 반응시킨다. 이 반응액을 800 $\times$ g에서 10분간 원심분리하여 상층액을 분광광도계를 사용하여 532nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 따라 과산화지질의 함량(n mole/mg protein)을 정량하였다.

○ 형광광도계를 이용한 MDA 함량의 측정

혈청중의 과산화지질의 함량은 Yagi et al.(1987)의 방법에 따라 측정하였다. 0.02ml의 혈청에 1/12N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 4.0ml, 10% phosphotungstic acid 0.5ml를 가하여 혼합하고, 5분간 방치한 후 900 $\times$ g에서 10분간 원심분리하였다.

원심분리후 상층액은 제거하고 잔사에 1/12N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2.0ml, 10% psphotungstic acid 0.3ml를 첨가하여 위의 과정을 반복한다. 다시 원심분리후의 잔사에 4.0ml의 증류수와 TBA시약(0.67% thiobarbituric acid+빙초산= 1:1, v/v, pH 3.5) 1.0ml를 첨가하여 95 $^{\circ}$ C 수조상에서 1시간 동안 반응시킨후 냉각시킨다. 이 반응액에 n-부탄올을 5.0ml를 가하고 900 $\times$ g에서 15분간 원심분리한 후 반응액의 형광성을 n-부탄올층으로 옮긴 뒤 이층의 형광강도를 형광광도계를 사용하여 515nm(excitation)와 553nm(emission)의 파장에서 측정하였다. 반응액의 형광강도로 표준검량선에 의거하여 다음 식에 따라 MDA의 함량을 계산하였다.

$$Lp = 0.5^* \times (f/F) \times 1.0/0.02^{**} \text{ (n mol/ml serum)}$$

\*Terramethoxypropane 표준용액의 농도

\*\*사용한 sample의 양(ml)



(5) 수퍼옥시드 디스무타아제(SOD)의 활성 측정

Oyanagui et al.(1984)의 방법에 따라 혈청을 인산완충용액(pH 8.2)으로 30배로 희석하여 그 0.1ml에 증류수 0.5ml, A시약 (52.125mg of hydroxylamine+102.1mg of hypoxanthine/500 250ml D.W) 0.2ml, B시약(20 $\mu$ l of xanthine oxidase+0.9939mg ethylenediaminetetraacetic acid/26.7ml phosphate buffer, pH 8.2) 0.2ml를 첨가.혼합하여 37 $^{\circ}$ C 항온 수조tkd에서 40분간 정치한 후 C시약 (300mg of sulfanilic acid + N-1-naphthylethyene diamine acid/500ml of 16.7% acetic acid) 2.0ml를 첨가.혼합하여 실온에서 20분간 정치한 후 분광광도계를 사용, 550nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 의해 수퍼옥시드 디스무타아제 (super-oxide dismutase: SOD)를 정량하였다.

(6) 글루타치온 퍼옥시다아제(GSH Px)의 활성 측정

Lawrence et al.(1978)의 방법에 의해 뇌 및 근육에서 분리한 enzyme suspension(상층액)에서 glutathione peroxidase(GSH Px)의 활성 측정은 먼저 enzyme suspension을 인산완충용액(0.3M/4.0mM EDTA)으로 10배 희석하여 사용하였다.

시험관에 인산완충용액(0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA, pH 7.2) 0.1ml, 증류수 1.295ml, 26.56mM sodium azide용액(86.33mg of NaN<sub>3</sub>/50ml D.W) 0.5ml, 294.37mM GSH용액(452.34mg of glutathione /5.0ml of 0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 60 $\mu$ l, 8.4mM NADPH(35.0mg NADPH /5.0ml of 0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 110 $\mu$ l, glutathione reductase(5mg of GSH-reductase/1.0ml of 0.3M phosphate buffer with 4.0mM EDTA) 5 $\mu$ l,

1mM hydro- peroxide 320 $\mu$ l와 희석된 enzyme suspension 30 $\mu$ l를 첨가하여 5초 간 잘 혼합한 후 즉시 분광광도계를 사용하여 340nm에서 흡광도를 15초 간격으로 2분간 측정하여 표준 검량선에 의거 glutathione peroxidase(GSH Px)의 활성을 계산하였다.

(7). 트리글리세리드(TG)함량의 측정

혈청중의 중성지질로서 트리글리세리드(triglyceride; TG)의 함량은 TG키트시약(Sigma, Co.)을 사용하였다. 먼저 혈청 10 $\mu$ l, 표준용액(300mg/dl) 10 $\mu$ l와 blank로서 탈이온수 10 $\mu$ l에 TG키트시약 1.0ml씩을 첨가하여 잘 혼합한 후 37 $^{\circ}$ C 수조상에서 5분간 반응시킨다. blank를 대조로 하여 540nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식에 따라 트리글리세리드(TG)의 함량을 정량하였다.

$$\text{TG의 함량(mg/dl)} = (\text{검체의 흡광도} / \text{표준용액의 흡광도}) \times 300^*$$

\*트리글리세리드 표준용액의 농도

(8). 총콜레스테롤 함량의 측정

혈청중의 총콜레스테롤 함량은 Rudel et al.(1973)의 방법에 따라 o-phthaldehyde법으로 측정하였다. 먼저 시료를 0.1ml씩 취한 후 33% KOH용액 0.3ml와 95% 에탄올 3.0ml를 가하고 잘 혼합한 다음, 혈청은 15분간, 60 $^{\circ}$ C의 항온 수조상에서 가열.반응시킨 후 냉각하였다. 여기에 헥산 5.0ml를 가하여 혼합하고 다시 증류수 3.0ml를 가한 다음, 1분간 잘 혼합한 후 정지하여 1.0ml의 헥산층을 분취한다. 이 헥산층을 질소기류하에서 농축·건조시키고, o-phthaldehyde시약 2.0ml를 가하여 잘 혼합하고 10분후 발색시약으로서 진한황산을 1.0ml를 가하여

혼합한다. 황산 첨가후 10분에서 90분이내에 분광광도계를 사용하여 550nm에서 흡광도를 측정하고 표준 검량선에 의하여 총콜레스테롤의 함량을 계산하였다.

(9). 리포단백-콜레스테롤 함량의 측정

혈청중의 HDL 및 LDL-콜레스테롤의 함량 측정은 HDL-콜레스테롤(HDL-555 Eiken Co.) 및 LDL-콜레스테롤(BLF Eiken Co.) 측정용 키트시약을 사용하여 측정하였다.

○ HDL-콜레스테롤 함량의 측정

혈청 0.3ml를 시험관에 넣고 여기서 침전 시약 0.3ml를 넣어 잘 혼합한 다음, 실온에서 10분간 방치한 후 700×g에서 10분간 원심분리하였다.

그 후 상층액 50 $\mu$ l, 표준용액(100mg/dl)50 $\mu$ l, blank로 증류수 50 $\mu$ l에 HDL발색 시약 3.0ml씩을 첨가하고 잘 섞은후 37 $^{\circ}$ C 항온 수조상에서 5분간 가온시킨 다음, blank를 대조로 하여 555nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식에 따라 HDL-콜레스테롤의 함량을 정량하였다.

$$\text{HDL-콜레스테롤(mg/dl serum)} = (\text{시료의 흡광도} / \text{표준용액의 흡광도}) \times 100^*$$

\*HDL-콜레스테롤 표준용액의 농도

○ LDL-콜레스테롤 함량의 측정

혈청 0.1ml, 표준혈청 0.1ml를 시험관에 넣고, 여기에 BLF키트시약 I, II, III

을 각각 4.0ml씩 넣어 5초간 잘 혼합한 다음, 실온에서 25분간 방치후 10분 이내에 증류수를 대조로 하여 650nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식에 따라 LDL-콜레스테롤의 함량을 하였다.

$$\text{LDL-콜레스테롤(mg/dl)} = \frac{\text{O.D I} - \text{O.D II}}{\text{O.D A} - \text{O.D B}^*} \times \text{표준혈청 농도(LDL + VLDL)**}$$

\*표준혈청에 BLF킷트시약 I, II을

섞은 후 흡광도를 측정후

나타난 O.D치를 표시함. I = O.D A III = O.D B

\*\* \*에서 나온 수치를 표준 검량곡선에 의해 계산

#### (10). 동맥경화지표(AI)의 계산

동맥경화지수(atherogenic index; AI)는 Haglund 등(1991)의 방법에 따라 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\text{동맥경화지수(AI)} = (\text{T.cholesterol} - \text{HDL-cholesterol}) / \text{HDL-cholesterol}$$

#### (11). 인지질 함량의 측정

인지질 함량은 Ames(1966)의 방법에 따라 무기인을 정량하여 12.5를 곱하여 인지질의 함량으로 계산하였다. 혈청 50 $\mu$ l를 취해 클로로포름/메탄올(2:1, v/v) 혼합용매 2.0ml로 잘 섞은후 1,500 $\times$ g에서 10분간 원심분리 한다. 상층액을 흡입, 제거시키고 클로로포름층을 시험관에 취하여 45 $^{\circ}$ C 수조에서 질소로 농축 건조시킨 뒤 클로로포름/메탄올(2:1, v/v) 혼합용매 50 $\mu$ l과 10% magnesium nitrate시약 30 $\mu$ l를 각각 첨가하여 잘 혼합한다. 그 후 105 $^{\circ}$ C sand bath에서 5분간 농축시키고

불꽃으로 회화시킨 다음 1N HCl 0.3ml를 가하여 무기인을 완전히 용해한다. 여기에 구슬로 마개를 하여 수조에서 15분간 끓이고, 발색시약 (10% ascorbic acid : 0.42% ammonium molybdate = 1 : 6, v/v)을 첨가하여 다시 구슬로 마개하고 45℃ 수조에서 20분간 반응시켜 분광광도계를 사용하여 820nm에서 흡광도를 측정 표준검량선에 의해 계산하였다. 그리고 인지질에 대한 콜레스테롤 함량의 비 (Ch/Ph molar ratio)는 Calderini et al.(1983)의 방법에 따라 무기인 함량에 12.5를 곱하여 계산하였다.

#### (12). 헤모글로빈 함량의 측정

혈액중의 헤모글로빈의 함량은 헤모글로빈 측정용 키트시약(Sigma, Co)을 사용하여 cyammethemoglobin법에 의해 측정하였다. 먼저 시험관에 Drabkin's용액을 각 시험관에 5ml씩 넣은 다음, 탈이온수 및 혈액 20 $\mu$ l을 각각 첨가한 후, 적어도 15분간 실온에서 방치하였다. 헤모글로빈 키트시약의 표준용액은 cyammethemoglobin standard용액을 0, 2, 4, 6ml을 각각 시험관에 넣고 Drabkin's용액을 반대로 6, 4, 2, 0ml을 첨가한 후 혈액과 같이 15분간 실온에 방치하였다. 이 때 혈액 헤모글로빈의 함량은 0, 6, 12, 18(g/dl)가 된다. 그 후 헤모글로빈 키트시약의 표준용액과 혈액을 Drabkin's용액을 대조군으로 하여 540nm에서 흡광도를 측정하여 표준 검량선에 의하여 헤모글로빈의 함량을 정량하였다.

#### (13). 젖산탈수소효소(LDH)의 활성 측정

혈청 LDH(lactate dehydrogenase) 함량의 측정은 키트시약(Sigma, No. 1340-UV)을 사용하여 측정하였다. 먼저 LDH A 효소시약 2.5ml에 혈청 100 $\mu$ l를 첨가하여 잘 혼합한 후 1분간 방치한 다음, LDH B 효소시약 0.1ml를 넣고 물을 대조로 340nm에서 흡광도를 1, 2 그리고 3분씩 측정하여 다음 식에 따라 혈청

LDH의 활성을 계산하였다.

$$\text{LDH활성(U/L)} = (\text{흡광도의 변화/분}) \times \text{전체부피(ml)} \times 1000^* / 6.22^{**} \times \text{시료부피}$$

\*1000=Unit/ml를 Unit/L로 전환

\*\*6.22=340nm에서 NADH n mole의 흡수력

#### 차. 표층수의 선박항해중 연속측정

1996년 8월 23일과 8월 25일에 걸쳐 황해남부해역에서 해양조사선 이어도호를 사용하여 표층수의 연속관측을 실시하였다. 표층수는 조사선의 해수펌프를 통하여 채수된 물을 CTD(Sea Bird)를 넣은 탱크를 통과하도록 하여 수온과 염분을 자동 기록하였다. 또한 GPS(Global Positioning System)를 사용하여 항해중 선박의 위치가 PC에 자동입력되도록 하였다.

## 제 3 장 황해로의 오염물질 부하

### 제 1 절 국내육상기인 오염원의 황해유입

본 과제 1단계 사업에서는 우리나라 서해안으로 흘러드는 각 수계망을 따른 계산조직을 구축하고 작은 격자 (1km\*1km) 에서의 토지이용 현황 및 인구, 가축수등을 고려하여 주어진 유달율에 의해 하구로 부터 해양으로 유입되는 오염물질의 량을 추정하는 방법을 개발한바 있다.

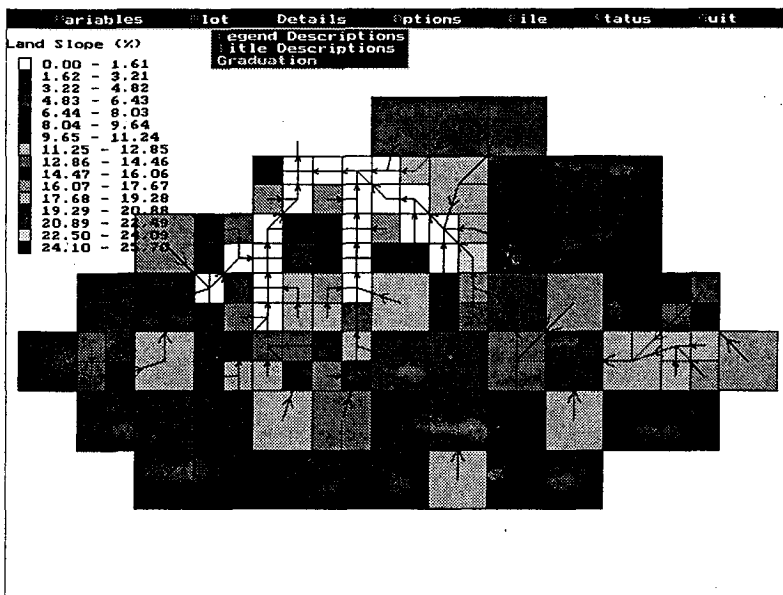
육상기인으로 해양에 유입되는 오염물질의 량을 추산하기 위해 많은 시도가 있어왔고 개발하려는 모델의 방향은 그 유역의 자연지리적 특성 및 산업구조, 그리고 기존자료의 활용가능정도등에 따라 달라진다. 본 연구에서는 1 단계에 개발된 결과를 더욱 발전시키기 위해 1차년도에 미국의 AGNPS (Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)의 개념을 많이 도입하였다. 이 모델은 미국 농무성의 Agriculture Research Service에 의해 개발된 것으로 영양염과 부유사등에 중점을 두고 비점오염원에 의한 유입을 정확하고 반복성 있게 추산하려는 시도이다. 이 모델은 비점원의 예도 폐수처리시설등의 점오염원에 의한 유입추산에도 적용할 수 있다.

1단계 연구에서 이미 격자를 나누고 오염발생량을 추산하고 각 도달지점에서의 오염유입을 계산한바 있어 본 연구에서는 유역별로 다소 넓은 격

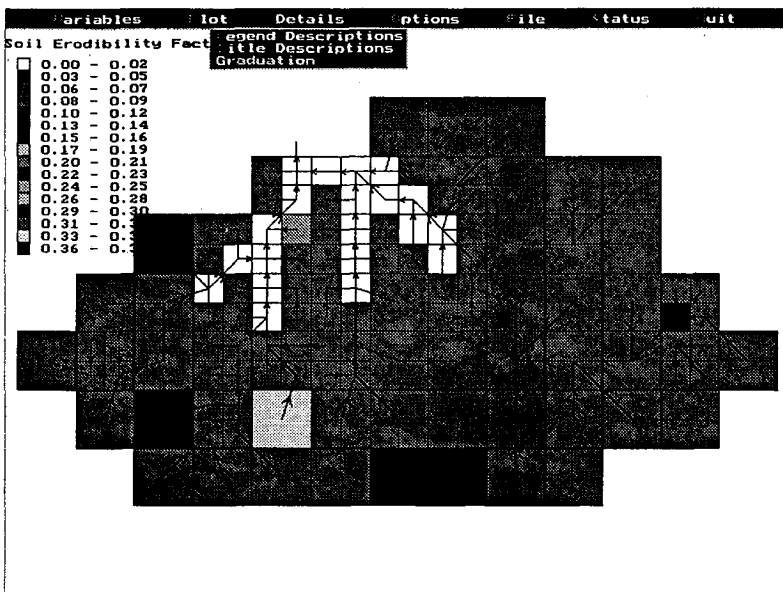
자의 경사에 따른 변화율을 보완하였으며 각 격자별 토양의 침식정도를 고려하였다. Fig. 3-1에서 볼 수 있는바와 같이 수계망과 흐르는 방향을 격자별로 표시하고 토양이 침식될 수 있는 정도를 등급에 따라 각 격자에 적용할 수 있도록 하였으며 경사를 고려하여 각 지점에서의 유달량 계산을 쉽게 하였다.

국내의 연안오염유입량 계산을 위해 1차년도에는 경우에 따라 다른 원단위 및 유달율수치를 입력할 경우 오염유입량의 총계가 얼마인지를 추산할 수 있도록 모델을 개선하였다 (Fig. 3-2). 이에 따라 수계를 걸쳐 지리적 특성에 따라 구간별로 다른 유달율을 적용할 경우의 오염유입량 추산이 가능해지게 되었다. 또한 원단위도 일괄적인 적용에서 벗어나 각 지역의 특성에 맞는 수치를 추정하거나 실측했을 경우 이에 따라 변화하는 오염유입량을 계산할 수 있도록 하였다. 또한 미국 NOAA의 NCPDI (National Coastal Pollutant Discharge Inventory) 의 국내 응용 범위를 넓히기 위해 모델의 단순화 작업을 진행하였다.





<land slope (%)>



<soil erodability factor>

Fig. 3- 1. Application of land slope and soil erodibility for estimating pollutants input.

발생원별 원단위

800	T-N	T-P	단위
원유	41.94	1.60	g/인/일
전	5.12	0.17	
발전	7.10	0.17	
임야	0.96	0.013	kg/km2/일
배재	87.59	0.55	
기타	0.96	0.027	
소	640.00	72.00	
돼지	125.00	16.80	g/두/일
닭	12.50	0.78	

유달을 0.99 /km

계산 및 저장

종료

계산 진행  
20% 계산

Fig. 3-2. Estimation of pollutants load by variable factors.

## 제 2 절 중국의 해양환경

황해는 해수순환이 활발하지 않은 반폐쇄성 해역이고 최근 급속한 공업성장을 이루는 중국과 한국에 면하고 있어 유입된 오염물질의 이동, 변화 및 자연생태계 영향등이 관심을 모으는 곳이다. 외국의 환경전문가들이 지적하는 대로 황해는 유사한 조건을 가진 다른 지역해와 마찬가지로 해양오염이 심화될 가능성을 가진 곳으로 평가되고 있다. 중국은 연간 751톤의 중금속과 21,000톤의 원유찌꺼기를 방류한다고 알려져 있으며 COD는 발해로 연간 594,855 톤, 황해로 연간 1,305,441톤이 유입된다고 한다. 석유류는 발해로 28,314톤 황해로 23,193톤이 유입되어 유정이있는 발해가 더 많다. 중국의 황해와 발해에 면한 연안해역 인구는 8000만명에 이르며 연간 생활하수 배출량은 292,340,000 톤, 주요오염유입구는 206개에 달하고 있다.

중국은 발해와 동해(양자강하구) 연안의 오염이 비교적 심한 편이고 황해외해역은 그보다 심하지 않다고 한다. 황해 북부에서 기준치를 초과하는 것은 무기질소 이고 황해남부에서는 무기질소, 무기인이 기준치를 초과한다. 강소성연안에서도 무기질소가 문제이며 교주만에서는 무기질소, 무기인, 유류가 문제이다. 생태계에의 중요한 피해는 적조의 발생, 오염에 의한 어획감소 등이었다.

중국의 오염원에 대해서는 지금까지 1 단계 사업에서 계속적으로 조사되었기에 (한국해양연구소, 1992, 1994, 1995) 최근 자료들 만을 대상으로

하였다.

황해 발해로의 주요오염유입구는 206개에 달하는데 직접해양으로 배출되는 곳은 96개소이고 다른 우수등과 혼합하여 들어오는 곳이 29개였다. 하천의 하구는 62개였고 유전이 3개였으며 해상석유탑이 3개였다. 주요오염물질은 COD로 보고 되어 94.7%에 달한다고 한다. COD는 발해로 연간 594,855 톤, 황해로 연간 1,305,441톤이 유입된다고 하며 석유류는 발해로 28314톤 황해로 23193톤이 유입되어 유정이있는 발해가 많다 (Table 3-1).

주요오염물질의 해수내 농도는 황해의 COD가 1984년부터 1 mg/l정도로 떨어져 계속 비슷한 농도를 보이다가 1988 - 1992년 약간 증가했다. 발해의 경우 COD는 1989년에 1.5 mg/l 였지만 대체로 1 mg/l 내외의 분포를 보여 우리나라보다 오히려 낮은 편이었다.

황해 발해에 대한 조사는 1972년에 시작되었으며 1976년 부터는 황해에 면한 4개 시와성이 공동으로 조사를 수행하기 시작하였다. 1982년에는 황해오염현상 종합조사를 실시하였고 1982-1983년에는 발해증식환경조사등이 있었고 이후에도 특정한목적의 오염조사를 계속하며 황해, 발해의 환경보전에 임하고 있다.

Table 3-1. Pollutant inputs from China (Wei et al., 1993)

(단위 : T/yr)

오염물질	발해	황해
COD	594855	1305441
석유류	28314	23193
무기질소	25636	19120
비소 (As)	3942.18	313.25
휘발성페놀	1842.60	693.44
아연 (Zn)	598.80	610.40
시안 (CN)	137.28	268.20
크롬 (Cr)	78.86	304.20
납 (Pb)	74	122.97
구리 (Cu)	82.375	111.73
카드뮴 (Cd)	30.49	10.71
수은 (Hg)	17.10	10.07

Wei et al (1993)년에 의하면 최근까지의 자료를 종합해 볼때 저질오염의 경우 황해 저질의 유류성분이 25~118 ppm 이었고 발해가 30~70 ppm 이었으며 내만의 오염된지점에서 100 ppm 을 초과했다. 중금속의 경우 총수은이 0.03 ~ 0.51 ppm, Cd가 0.03 ~ 0.98 ppm, Pb 가 10 ~ 31 ppm, Cu가 11 ~15 ppm, Zn이 38 ~72 ppm, As가 10 ~30 ppm 등이었다.

생물체내의 오염물질 축적 정도는 어류의 경우 황해에서 Cd가 0.26 ppm, Pb 0.71 ppm, Cu가 6.9ppm, Zn이 10.5 ppm 이며 DDT는 0.008 - 0.36 ppm이었고 갑각류에서는 이보다 높은 함량을 보였다 (Table 3-2).

오염의 생태적 영향은 생물다양성지수의 감소로 나타나기도 한다. 특히 청도의 교주만 등에서 심하게 나타난다고 한다. 적조발생은 최근 빈번해지고 있으며 Noctiluca와 Prorocentrum에 의한 것이 많다.

중국은 National marine environmental monitoring network를 통해 1984년부터 해양오염에 대한 조사 평가를 하며 4000여개의 관측소를 설치하였고 매년 중국 해양상황에 대한 평가를 하고 있다. 그 주요 활동은 모니터링 계획 작성, 관련제도 와 기술적 가이드라인, 해양오염에 대한 불리턴 발간, 해양오염상태 및 평가에 대한 연차 보고서발간등이다 (Guo, 1996). 자료의 질에 대한 통계적 검증도 철저히 이루어 지고 있으며 화학분석을 위한 표준물질도 생산, 이용 하고 있다(Ma, 1996).

중국의 해양환경평가를 위한 수질등급은 Table 3-3과 같이 설정되어 있으며 1 등급은 생물자원, 담수화, 식품가공시등에 쓰일 수 있는 안전한 등급이고 2등급은 수영 및 관광등 3급수는 공업용수로서 쓰여 우리와 차이가 없다.

Table 3-2. Heavy metal contents in the marine organisms in the Yellow Sea and Bohai Sea. (ppm)  
(Wei et al., 1993)

(ppm)

		Cd	Pb	Cu	Zn	666	. DDT
Bohai Sea	Fish	0.12~9.2	0.19~1.07	0.2~1.08	4.4~22.6	0.04~0.20	0.004~0.151
	Crustacea	0.025~5.0	0.25~4.9	0.35~16.3	2.7~51.3	0.003~0.114	0.0015~0.030
	Mollusca	1.02~20.33	7.39	0.2~11.7	4.4~96.9	0.03~0.35	0.001~0.357
Yellow Sea	Fish	0.26	0.71	6.9	10.5	0.006~0.014	0.008~0.36
	Crustacea	0.93	1.7	9.5	52	0.001~0.095	0.017~0.41
	Mollusca	1.02~7.88	1.5	11	13.1	0.001~0.21	0.002~0.40

Table 3-3. Requirements of Marine Water Quality in China.

	1st category	2nd category	3rd category
Suspended Solids (SS)	Artificially added amount Should not exceed 10mg/l	Artificially added amount should not exceed 50mg/l	Artificially added amount should not exceed 150mg/l
Colour, odour and taste	Seawater and seafood with no abnormal odour or taste		Seawater with no abnormal colour, odour or taste
Floating materials	No oil slick, foam or other miscellaneous matters on the water surface		No distinct oil slick, foam or other miscellaneous matters on the water surface
pH	7.5 - 8.4	7.3 - 8.8	6.5 - 9.0
COD	<3mg/l	<4 mg/l	<5 mg/l
Dissolved oxygen (DO)	Not less than 5mg/l at any time	Not less than 4mg/l at any time	Not less than 3mg/l at any time
Water temperature	Not higher than the local water temperature at the time by 4°C		
Coliform group	Not exceeding 10,000ind/l (not exceeding 700ind/l in the water for cultivating shellfishes eaten raw)		
Pathogen	No sewage or industrial wastewater carrying pathogens is to be discharged into the sea unless it is treated with disinfectant and sterilized until pathogens therein exterminated		
Bottom sediment	No deposits on sands and Pebbles should hinder the attachment and growth of seedlings and spats hereon		
Harmful Substances	Substances released from the sediment should guarantee that marine water quality be maintained to meet the requirements stipulated in Tables 1 and 2		
	Should be in compliance with the maximum permissible concentrations stipulated in Table 2		



### 제 3 절 대기에 의한 황해로의 오염물질 유입

해양으로 유입되는 오염물질들이 육상으로 부터 유입되는 것외에도 대기에 의한 낙하가 중요하다는 사실이 근래에 입증되기 시작 하였다 (Duce et al, 1991). 특히 중국대륙으로 부터의 대기분진이나 강수에 의한 오염물질 유입이 많은 관심을 갖게 하고있다.

국외에서 낙하분진의 지표인 알루미늄을 에어로졸에서 분석한 결과 중국해역으로는 67 Tg/yr 였으며 이는 전체 북태평양에 낙하되는 량의 14%에 달한다고 한다. 중국의 13%는 사막이며 이는 북위 35 - 50 ° 사이, 동경 75 - 125 °사이의 온화한 지역이다. 아시아의 대기분진 분포를 지배하는 것은 년도별 강우량, 기상, 편서풍의 강도등이다. 아시아의 dust flux는 기원지의 상태뿐만아니라 대규모 대기 순환 모델과도 관련 된다(Gao et al. 1992). Gao et al (1996)에 의하면 nss (non-sea-salt) sulfate 와 nitrate는 중국해근처가 먼 해역보다 높다고 하며 중국해 근처에서는 인간기원 nss sulfate가 전체의 81-97%를 차지한다고 한다.

주요한원인은 석탄산화에 있다. Gao et al (1992)에 의하면 무기금속 원소의 낙하는 황해에서 전체 유입량의 20-70 %를 차지한다고 하며 이는 세계 다른해양과 비슷하다고 한다. 오염중금속의 경우 그 수치는 유럽, 북미와 비슷한 결과였다.

대기로 부터 영양염 유입정도를 측정하기 위해 1992년 부터 현재까지 서해 중부해안에 위치한 한국해양연구소에서 (37° 17' 04" N, 126° 50' 00.8" E) 강우시료를 채취하였다.

일정기간동안 집적한 시료를 채취하는 것이 일반적인 강우채취 방법이 나 본 연구에서는 강우 시간별로 시료를 채취함으로써 시료채취시의 장기간 보관등에 따른 오염을 최소화하도록 노력하였다. 본 시료의 채취장소에는 인근에 공업단지가 밀집해 있지만 강우의 산소안정동위원소비가 해양성 강우임을 나타내주고 또한 강우중 Pb-210 방사능계절분포 또한 해양성강우임을 보여 본 자료를 황해전체로 외삽하는데에는 큰 무리가 없을 것으로 사료된다. 본 자료해석을 위한 강수량자료는 인천측후소의 자료를 인용하였다.

1992년 월별 강수량은 9.0 - 278.2 mm/month (연간 총강수량 1060 mm/yr), 1993년에는 3.8 - 451.0 mm/month (연간총강수량 1170 mm/yr), 1994년에는 4.4 - 327.2 mm/month (연간총강수량 985.5 mm/yr ) 이었고 1995년에는 3.1 - 967.9 mm/month (연간총강수량 1655.7 mm/yr )로서 1995년에 비교적 많은 강수량을 보였다.

월평균 강수중 암모니아 농도는 1992년에 5.8 - 118.1  $\mu\text{M}$  (평균 51.2  $\mu\text{M}$ ), 1993년에 21.2 - 122.1  $\mu\text{M}$  (평균 74.2  $\mu\text{M}$ ), 1994년에는 7.6 - 172.3  $\mu\text{M}$

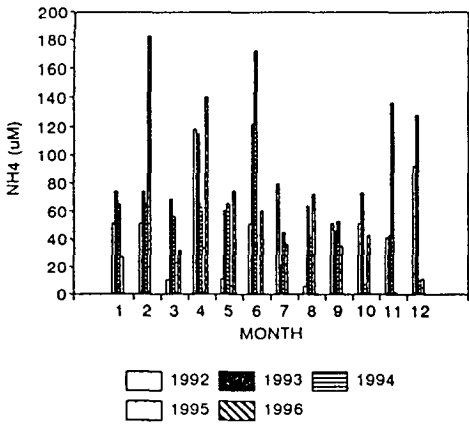
M (평균 65.5  $\mu\text{M}$ ), 1995년에는 1.3 - 182.2  $\mu\text{M}$  (평균 43.0  $\mu\text{M}$ )이었다 (Fig. 3-3).

강수중 월평균 질산염 농도는 1992년에 1.3 - 31.6  $\mu\text{M}$  (평균 8.3  $\mu\text{M}$ ), 1993년에 21.4 - 122.1  $\mu\text{M}$  (평균 61.6  $\mu\text{M}$ ), 1994년에는 5.6 - 64.7  $\mu\text{M}$  (평균 21.1  $\mu\text{M}$ ), 1995년에는 6.5 - 93.0  $\mu\text{M}$  (평균 22.0  $\mu\text{M}$ )이었다. 강수중 월평균 인산염 농도는 1992년에 <0.1 - 5.1  $\mu\text{M}$  (평균 1.1  $\mu\text{M}$ ), 1993년에 <0.1 - 4.4  $\mu\text{M}$  (평균 1.5  $\mu\text{M}$ ), 1994년에는 <0.1 - 0.6  $\mu\text{M}$  (평균 0.3  $\mu\text{M}$ ), 1995년에는 <0.1 - 0.3  $\mu\text{M}$  (평균 0.1  $\mu\text{M}$ )이었다.

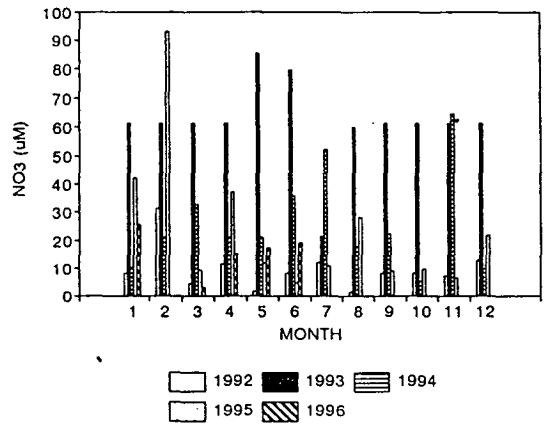
암모니아, 질산염, 인산염의 년 평균 해표면 침적율은 각각  $65 \times 10^{-3}$ ,  $31 \times 10^{-3}$ ,  $819 \times 10^{-6}$  mol/m<sup>2</sup>/yr 였다. 황해표면적이 약  $455 \times 10^3 \text{km}^2$  이므로 1992 - 1995기간 동안 년 평균 대기로부터 습상으로 공급되는 무기영양소는 암모니아, 질산염, 인산염이 각각  $30 \times 10^9$ ,  $14 \times 10^9$ ,  $0.37 \times 10^9$  mol/yr로 추산된다 (Fig. 3-4).

황해의 연 평균 식물성플랑크톤에 의한 기초생산력이  $165 \text{gC/m}^2/\text{yr}$  라고 가정한다면 식물성플랑크톤의 생산을 위해 필요한 질소계영양염중 약 4.6% 정도를 빗물에 의해 공급받는다고 생각할 수 있다.

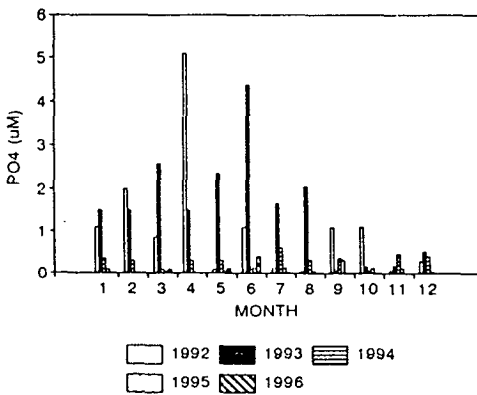
Monthly average concentration of NH4



Monthly average concentration of NO3



Monthly average concentration of PO4



Monthly average concentration of Si

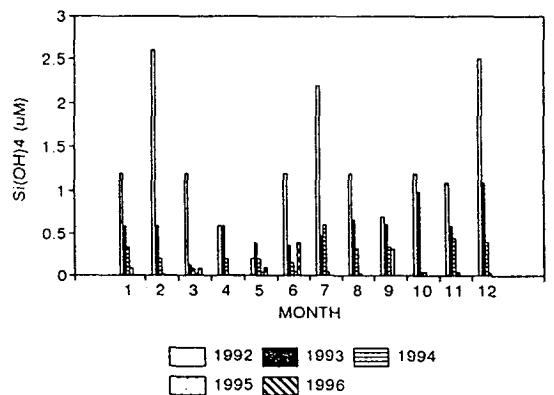
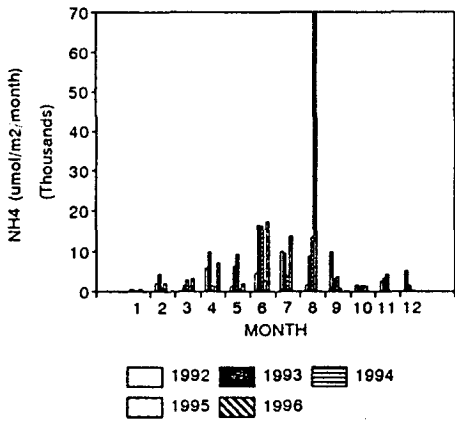
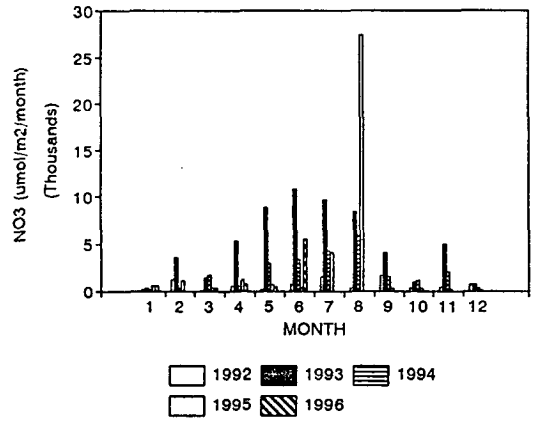


Fig. 3- 3. Monthly average concentration of nutrients in the rain water.

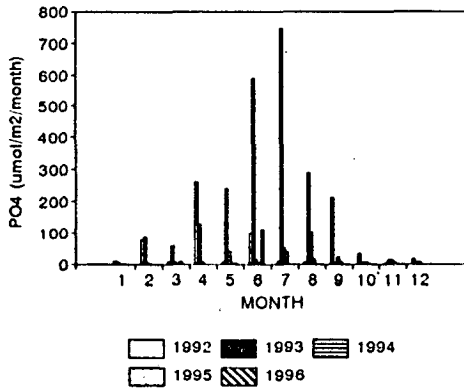
Monthly average flux of NH4



Monthly average flux of NO3



Monthly average flux of PO4



Monthly average flux of Si(OH)4

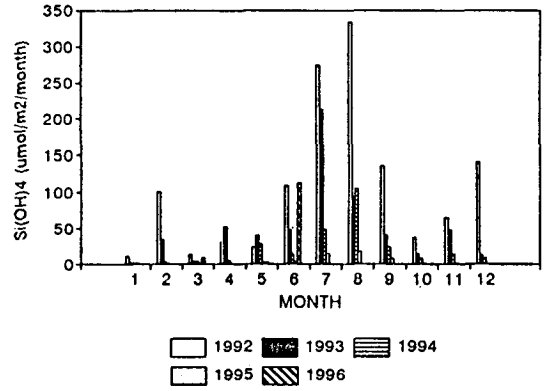


Fig. 3- 4. Monthly average flux of nutrients to the Yellow Sea.

## 제 4 장 황해의 오염추세감시 - 해수

### 제 1 절 1996년 4월 조사

1996년 4월 군산 해역의 조사에서는 우리나라측의 주요한 육수 유입원인 금강의 연안해역에 대한 영향을 살펴보았다. 염분은 내만에서 17‰ 내외였고 암모니아의 농도는 St. 2 에서 80  $\mu\text{M}$  을 넘어 육수유입원의 강한 영향을 받음을 알 수 있다(Table 4-1). 장항쪽에 가까운 St. 8에서는 염분이 22.2‰이었고 암모니아는 37  $\mu\text{M}$ 을 넘어 금강하구 및 도시로부터의 영향이 하구역의 남북에 고루 분포하였다. 질산염의 분포는 내만보다 약간 바깥쪽에서 가장 높아 St. 3에서 39.37  $\mu\text{M}$ 로 금강의 영향에 주변도시로부터의 유입도 있는듯 하며 내만에서의 조석등에 의한 미세구조분포에 따라 질소원의 농도가 심한 변화를 보인다. 염분이 30‰ 인 가장 바깥쪽 정점인 St. 7에서는 질산염이 13.96  $\mu\text{M}$  였다. 질소원의 풍부함에 비해 인산염은 매우 농도가 낮아 내만에서 0.25  $\mu\text{M}$ 에 불과하였다. 인산염이 가장 높았던 곳은 바깥쪽의 St. 6 으로 1 $\mu\text{M}$  이었다. 부유물질, COD는 내만에서 19 및 6 mg/l 내외 였고 바깥쪽에서도 3.69 mg/l로 높은 농도를 나타내 이 시기에 오염물질의 영향이 상당히 바깥쪽까지 영향을 주는 것으로 나타났다. 클로로필은 항구 내부쪽이 18.83  $\mu\text{g/l}$  이었다. 금강하구독안의 경우 암모니아가 100  $\mu\text{M}$  를 넘고

Table 4- 1. Distribution of water quality parameters in the Kum River Estuary in April 1996.

St.	Temp. °C	Trans. m	Sal. ‰	DO mg/l	COD mg/l	SS mg/l
1	12.0	0.75	17.76	10.02	5.21	10.91
2	13.2	0.55	16.72	10.36	6.28	19.77
3	12.1	0.60	18.30	10.34	5.51	13.40
4	11.9	0.90	21.76	10.43	4.96	9.28
5	10.6	1.20	28.86	10.45	3.98	9.19
6	10.5	2.00	30.13	10.52	3.65	7.94
7	10.6	2.00	29.98	10.38	3.69	4.20
9	12.0	0.75	22.20	10.54	4.09	10.19
L1	17.3	-	0.15	14.02	-	31.69

St.	chl.a µg/l	NO <sub>2</sub> µ M	SiO <sub>2</sub> µ M	NO <sub>3</sub> µ M	PO <sub>4</sub> µ M	NH <sub>4</sub> µ M
1	0.20	1.85	0.70	28.92	0.14	37.16
2	14.42	1.26	1.06	15.53	0.25	86.04
3	18.83	2.73	1.01	39.37	0.05	52.64
4	17.62	1.89	0.74	27.23	0.06	38.82
5	7.40	0.64	0.69	7.69	0.11	15.99
6	4.86	0.28	4.87	13.30	1.00	5.66
7	2.93	1.42	0.41	13.96	0.08	5.97
9	3.20	3.53	0.70	37.75	0.05	37.65
L1	22.18	0.57	0.91	7.04	0.08	100.99

총부유물질이 30 mg/l 이상으로 나타났다.

96년 4월에 조사된 군산해역과 하구언내의 용존성 중금속농도는 Table 4-2와 같다. 군산해역의 카드뮴은 0.012~0.026 $\mu\text{g/l}$ 로 하구언내의 St. L1의 0.007 $\mu\text{g/l}$ 보다 높게 나타났으며 바깥으로 나갈수록 점점 높아졌다. 일반적으로 자연상태의 담수보다 연안해수중의 카드뮴농도가 높은 것으로 알려져 있으며, 한편 조사시 하구 갑문은 폐쇄된 상태로 하구역으로 담수의 유입은 제한되어 있었기 때문에 하구언 아래 육상으로부터 카드뮴 유입에 의한 이러한 분포 가능성도 있으나 확실치 않다.

구리는 0.68~1.17 $\mu\text{g/l}$ 범위로 안쪽에서 바깥으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였고, 납은 0.019~0.072 $\mu\text{g/l}$ , 아연은 0.34~1.69 $\mu\text{g/l}$ 범위였다. 한편 St. 2에서 세 중금속이 높은 농도를 나타내었는데 이것은 정점 주변에 위치한 하수관을 통한 중금속 유입에 의한 영향으로 보인다.

본 조사치는 95년(한국해양연구소, 1995)와 비교하면 카드뮴은 비슷하지만 그 외의 중금속은 낮았으며, 93년(한국해양연구소, 1993)에 비해서는 구리는 비슷한 수준이지만 그 외는 매우 낮았다. 년 1회의 조사로 무리는 있으나 본 조사해역이 최근 수년간 급격한 수리, 수문학적 환경 변화를 겪고 있는 것으로 보인다.



Table 4-2. Distribution of heavy metals in the Kum River Estuary in April 1996.

St.	Cd $\mu\text{g/l}$	Cu $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Zn $\mu\text{g/l}$
1	0.013	0.96	0.030	0.67
2	0.012	1.17	0.072	1.31
3	0.014	0.99	0.018	0.60
4	0.019	0.90	0.031	0.62
5	0.022	0.81	0.021	1.69
6	0.026	0.71	0.015	0.34
7	0.025	0.68	0.024	0.48
8	0.017	0.93	0.019	0.83
L1	0.007	1.08	0.034	0.20

## 제 2 절 1996년 5월 조사

1996년 5월의 조사에서 수온은 남쪽 1번 정선 (Section 1, St. 101 - 105)의 경우 St. 103, 104 등의 표층에서 16 °C에 가까운 비교적 고온을 보이고 2번정선 (Section 2, St. 201-205)의 경우는 202에서 205 까지의 표층에서 15.11 - 16.66 °C을 나타냈으며 3번 정선 (Section 3, St. 301-303) 에서도 비슷한 양상을 보여 황해 외해역 표층수의 계절에 따른 수온상승을 나타냈다 (Fig. 4-1 ~ 4-3, Table 4-3). 수직적으로는 전 해역에서 10~30m 층에서 수온약층이 형성되고 있었다. 저층의 수온은 1번 정선의 경우 St. 103으로 부터 바깥쪽으로 가며 감소하여 냉수괴의 영향을 보인다. 이러한 저층수의 저온은 2번정선의 전 정점에서 확실하게 나타나 30m층 아래에서 9 °C 이하를 보이고 더 북쪽의 3번 정선에서는 7 °C 이하의 저층수가 나타난다. 황해 냉수괴의 영향을 볼 수 있다. St. 201, 301등 연안에 가까운 정점에서는 표층수가 저온이며 수층에 걸쳐 온도의 변화가 심하지 않아 조석혼합에 의한 결과라고 보여진다.

염분의 경우 1번 2번 정선에서는 저층에서 33‰ 이상의 고염수가 나타나 수온과 같이 황해저층수의 영향을 보였다(Fig. 4-4 ~ 4-6). St. 205에서는 표층에서 20m층 까지 32 ‰이하의 저염수가 나타나 이 시기에도 저염의 중국대륙연안수등의 효과가 있지 않았나 생각된다.

Table 4- 3. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in May 1996.

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
101	0	14.46	33.52	8.19	9.32	2.10	1.9	0.7
	10	14.22	33.57	8.20	9.38	1.71	3.2	0.9
	20	12.33	34.19	8.18	8.97	1.89	4.8	0.7
	30	11.96	34.31	8.16	8.66	1.89	7.1	0.7
	50	11.95	34.35	8.16	8.44	2.05	6.0	2.0
	75	12.12	34.44	8.16	8.40	1.61	8.7	0.6
102	0	14.43	33.61	8.20	9.41	2.02	2.5	1.0
	10	11.68	33.73	8.16	9.36	2.52	3.4	0.2
	20	10.91	33.81	8.15	9.31	2.67	1.9	0.1
	30	10.79	33.82	8.14	9.19	2.57	4.0	0.2
	50	10.54	33.95	8.13	8.94	2.83	3.2	0.3
	75	10.43	33.99	8.12	8.74	2.19	7.4	1.2
103	0	15.96	33.04	8.15	8.68	1.05	2.9	1.0
	10	14.01	33.31	8.16	9.75	0.50	0.9	0.2
	20	10.89	33.68	8.16	9.85	0.89	3.3	0.1
	30	9.29	33.60	8.09	10.01	1.33	2.3	0.2
	50	9.28	33.89	7.97	8.08	0.86	6.0	0.3
	70	9.32	33.91	7.97	7.98	1.16	10.1	1.2
104	0	15.90	32.37	8.11	8.79	1.08	4.8	0.9
	10	12.57	32.58	8.10	9.74	1.05	1.8	0.3
	20	11.02	33.16	8.03	9.28	2.30	3.3	0.3
	30	9.20	33.92	7.98	8.36	0.81	9.5	1.3
	50	9.22	33.92	7.98	8.34	1.20	8.7	0.9
105	0	14.46	32.25	8.01	8.70	3.86	12.6	1.4
	5	14.42	32.25	7.98	8.77	3.43	19.1	1.5
	10	14.33	32.25	8.00	8.81	3.21	21.0	1.6

Table 4- 3. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
201	0	10.77	32.59	8.07	9.31	2.19	8.9	1.9
	10	10.17	32.58	8.04	9.20	3.00	18.7	2.5
	20	9.16	32.59	8.04	9.26	3.19	21.3	2.6
202	0	15.11	32.57	8.20	9.96	2.97	4.5	1.2
	10	13.35	32.65	8.21	10.36	2.50	21.9	5.1
	20	9.97	32.79	8.22	10.82	2.32	-	-
	30	8.64	32.93	8.12	10.30	2.85	2.1	1.0
	50	7.79	33.10	8.01	8.53	2.69	2.9	0.6
	75	7.79	33.10	8.00	8.55	3.27	6.8	1.4
203	0	15.69	33.09	8.17	8.76	1.74	1.6	1.1
	10	14.63	33.10	8.17	9.81	1.78	1.8	0.9
	20	10.98	33.28	8.16	10.11	2.10	1.9	1.2
	30	9.14	33.21	8.10	9.82	1.53	4.1	1.4
	50	8.30	33.44	7.98	8.42	1.88	3.3	1.1
	75	8.47	33.55	7.99	8.49	1.91	5.3	1.1
204	0	16.43	32.90	8.16	9.09	2.08	5.5	1.8
	10	14.13	32.98	8.17	9.81	2.25	3.6	1.7
	20	10.65	33.27	8.18	10.26	1.80	-	-
	30	9.90	33.30	8.16	10.35	1.88	2.5	0.9
	50	8.74	33.74	7.96	7.60	2.55	8.3	1.1
205	0	16.66	31.61	8.11	9.72	2.44	1.7	0.9
	10	11.29	31.68	8.10	10.69	2.66	3.2	0.9
	20	7.82	31.67	8.11	10.68	2.24	8.0	1.3
	30	7.73	32.89	8.00	8.21	2.21	15.0	1.1
	45	7.82	32.92	8.00	8.44	2.33	5.3	1.2

Table 4- 3. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
301	0	11.89	31.95	8.08	9.79	2.53	2.7	1.3
	10	9.88	31.97	8.08	10.37	2.18	4.4	1.7
	20	8.91	32.04	8.07	10.40	2.71	3.5	1.3
	30	8.87	32.04	8.07	10.34	2.47	5.2	1.8
302	0	15.65	32.36	9.24	8.14	2.17	22.5	5.0
	10	14.11	32.37	10.15	8.12	2.77	2.4	1.2
	20	9.14	32.40	10.46	8.06	2.05	4.6	1.5
	30	6.24	32.55	9.52	7.96	1.96	1.9	0.9
	50	6.25	32.54	9.41	7.97	1.81	3.1	1.1
	75	6.25	32.54	9.39	7.96	2.30	3.6	1.0
303	0	16.36	32.58	8.20	9.41	2.14	2.3	1.0
	10	14.08	32.54	8.16	10.33	2.46	2.3	0.8
	20	9.36	32.54	8.13	10.16	1.99	20.2	3.9
	30	7.80	32.52	8.08	9.87	2.57	21.0	4.7
	50	6.65	32.69	7.96	8.85	2.05	22.0	5.1
	75	6.79	32.77	7.96	8.41	2.10	4.7	1.6

# 9605 Temp. 1

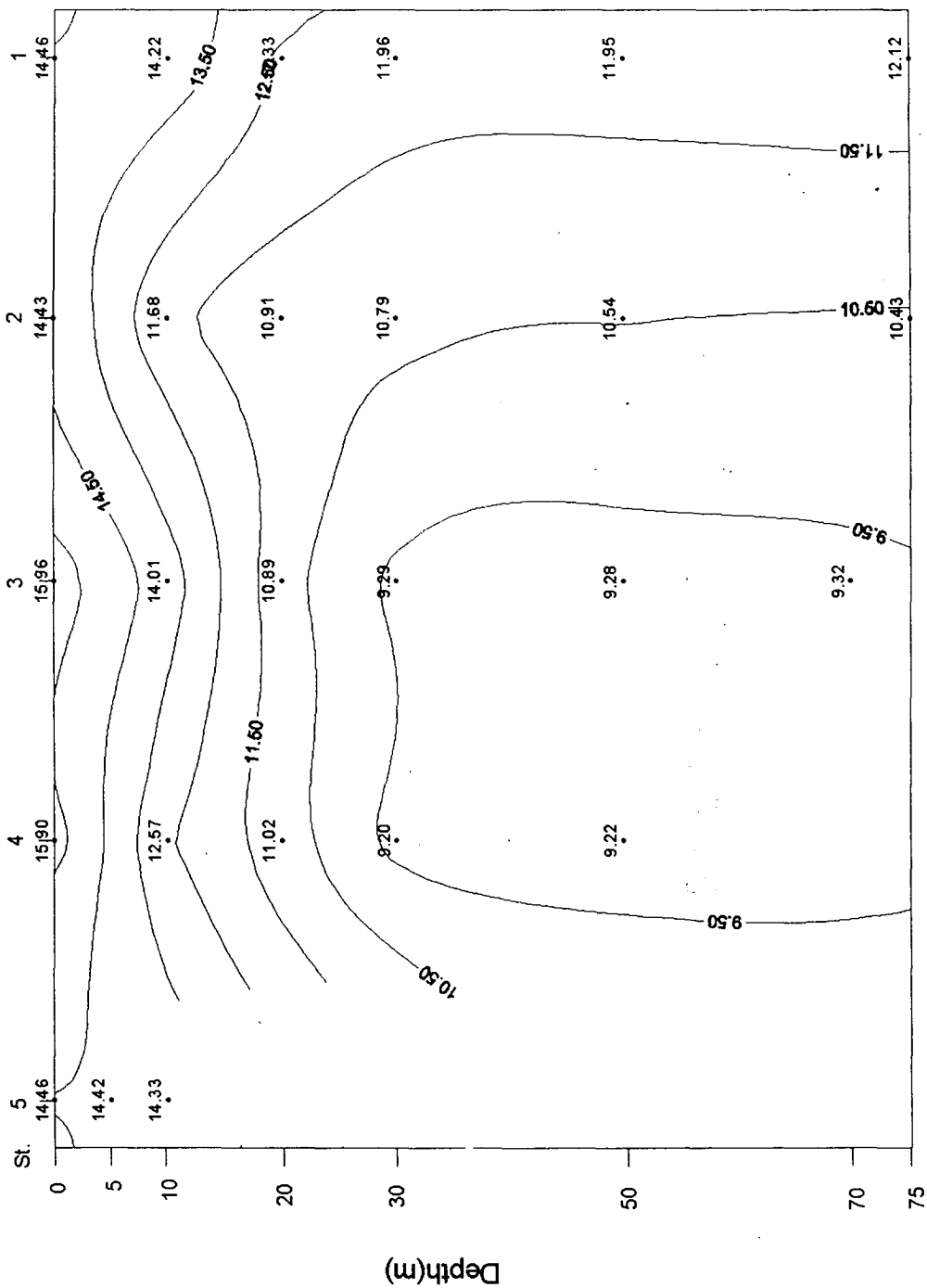


Fig. 4- 1. Vertical distribution of temperature of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (°C).

# 9605 Temp. 2

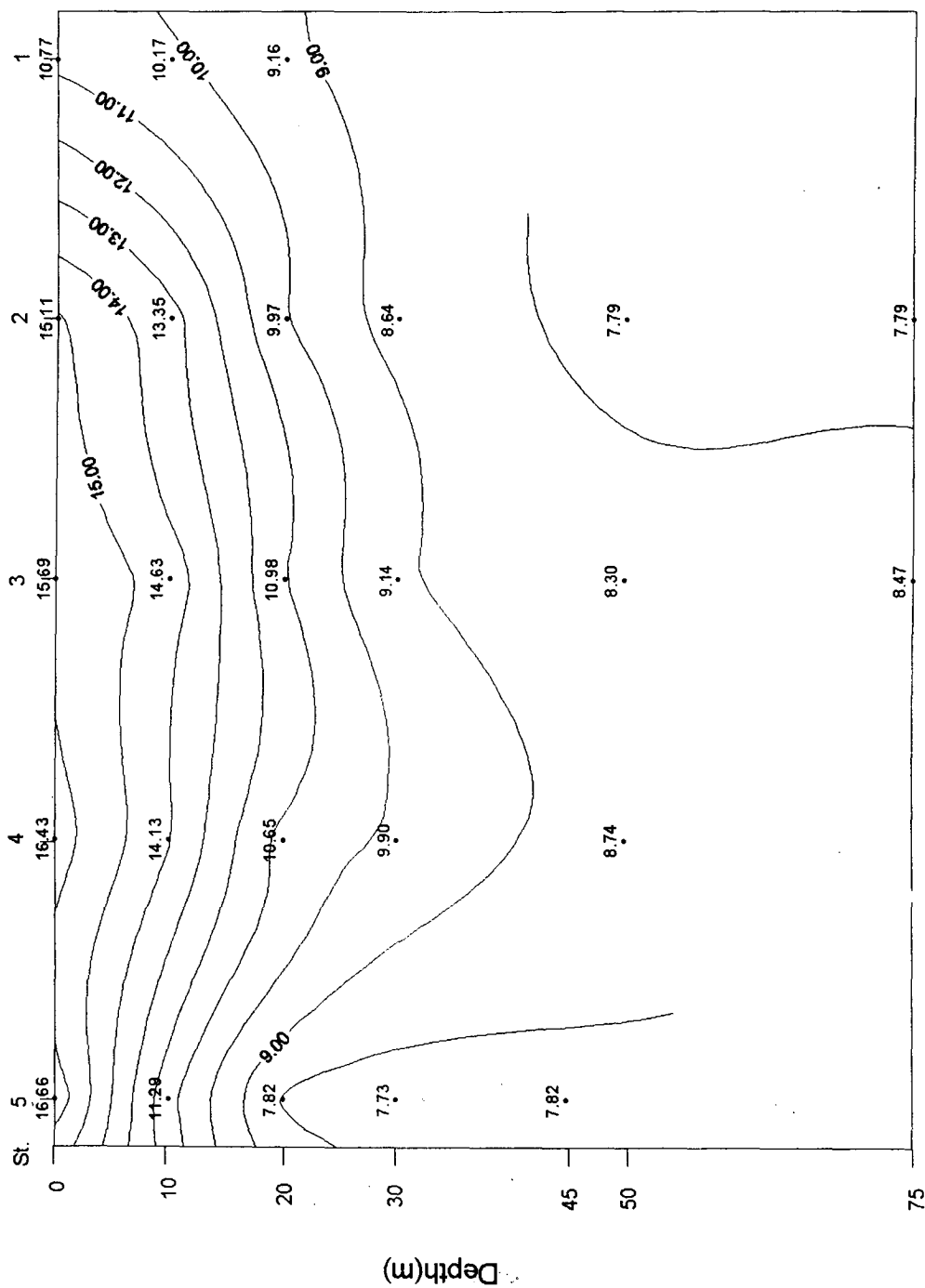


Fig. 4-2. Vertical distribution of temperature of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (°C).

# 9605 Temp. 3

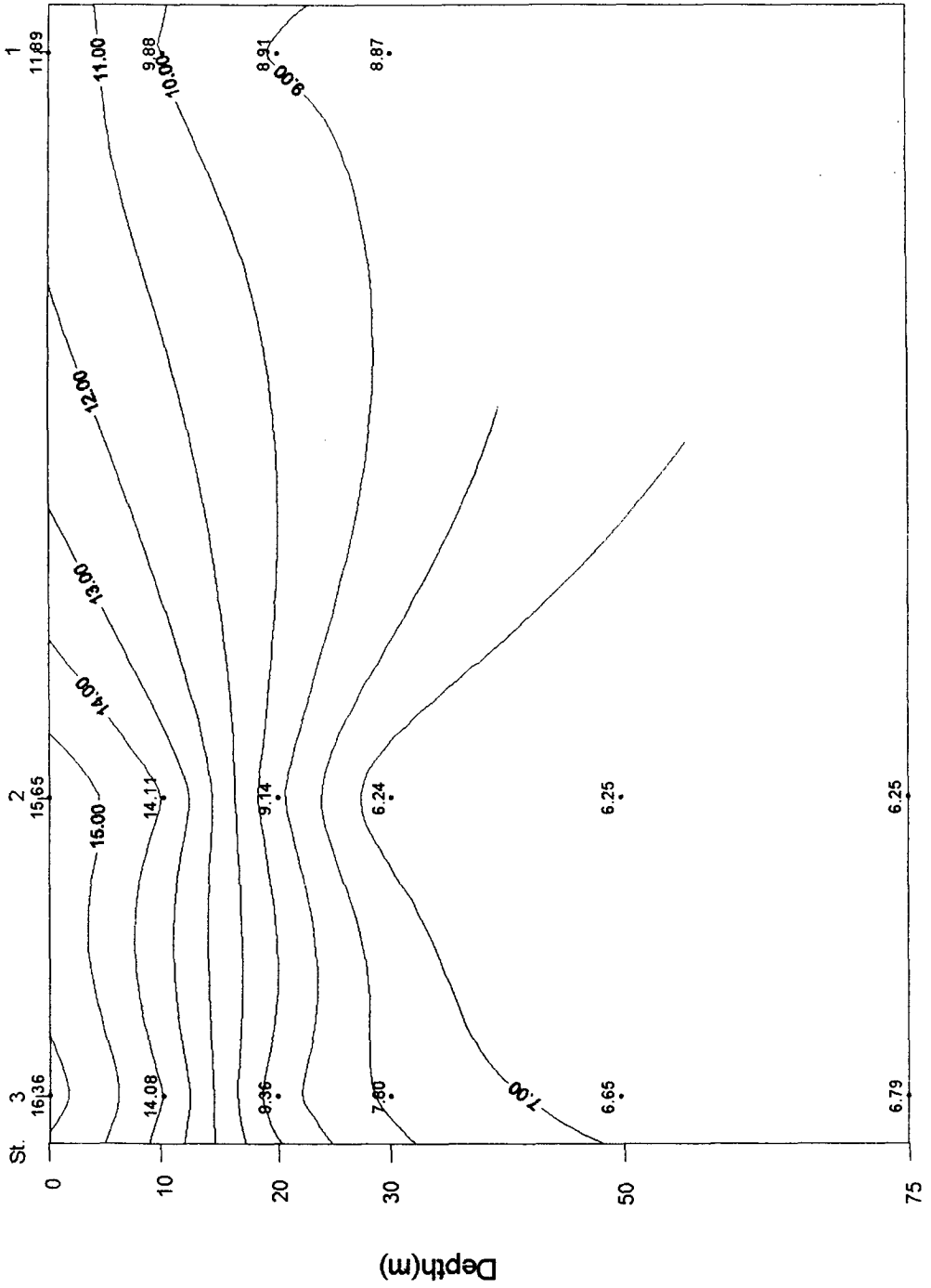


Fig. 4-3. Vertical distribution of temperature of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (°C).



9605 Sal. 1

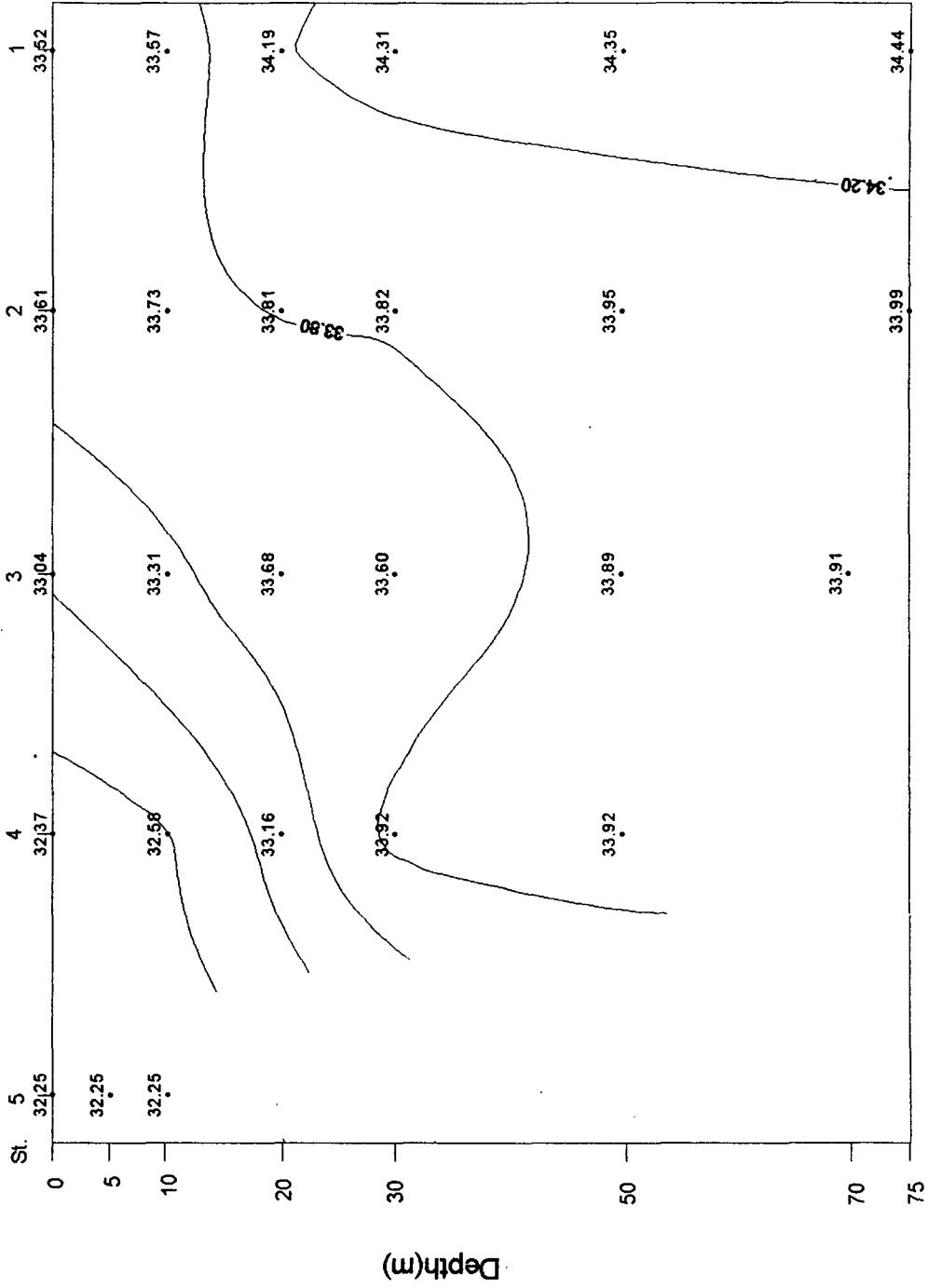


Fig. 4-4. Vertical distribution of Salinity of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (‰).

# 9605 Sal. 2

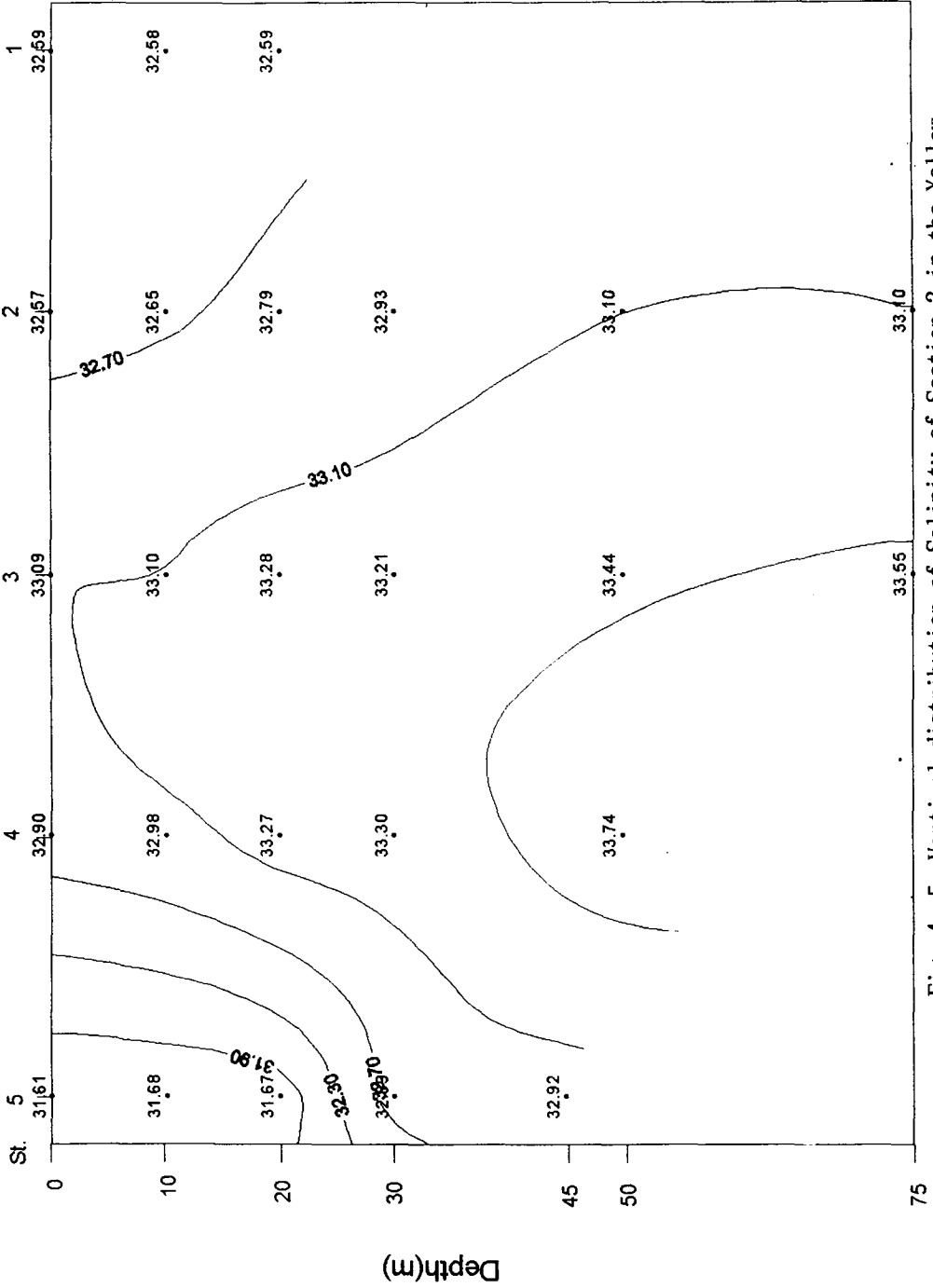


Fig. 4- 5. Vertical distribution of Salinity of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (‰).

9605 Sal. 3

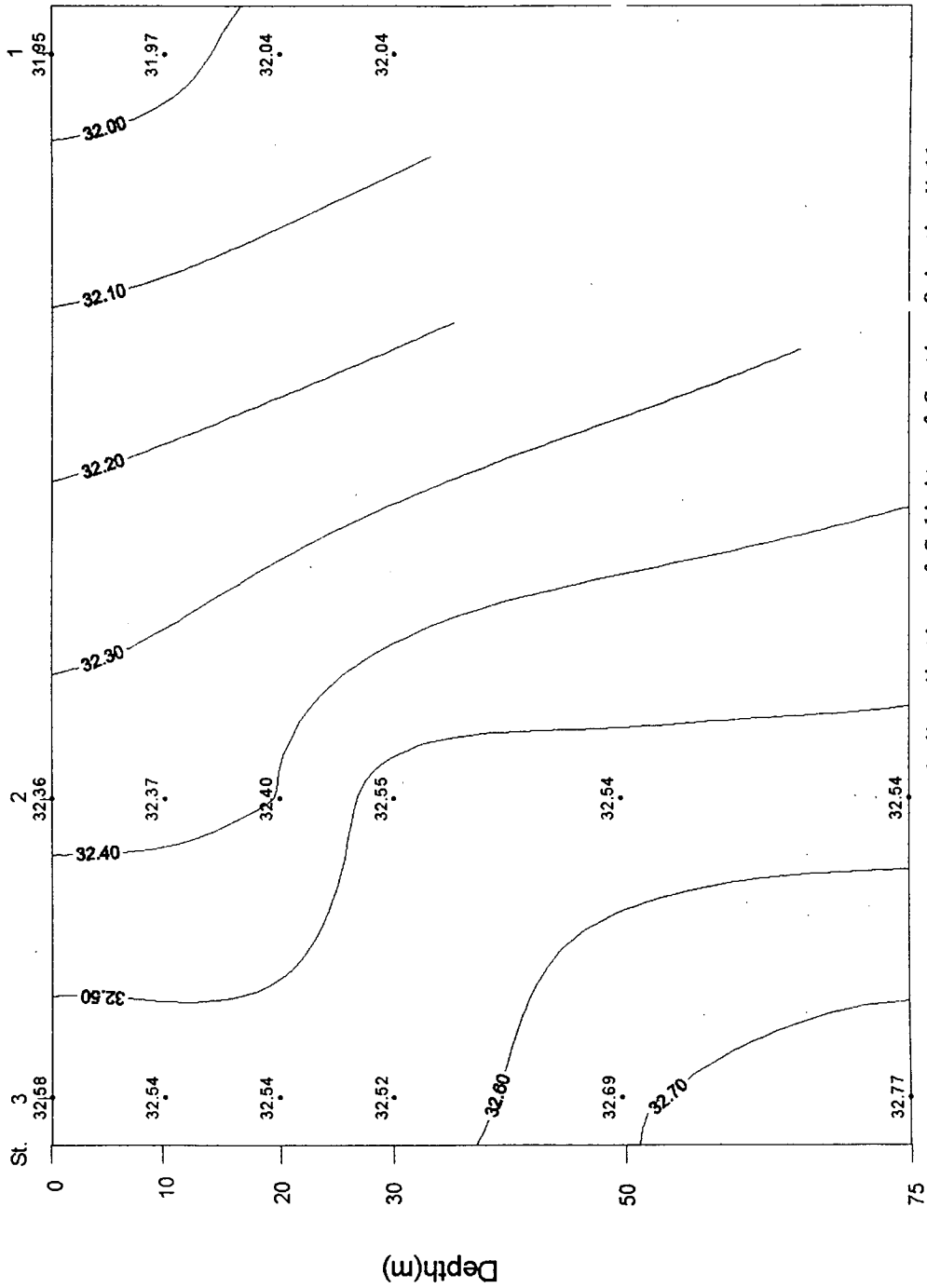


Fig. 4-6. Vertical distribution of Salinity of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (‰).

용존산소는 1번 정선에서 표층이 8.68 ~ 9.41 mg/l의 분포를 보이며  
외해쪽에서 감소한다(Fig. 4-7). 용존산소는 1번 정선의 경우 St 3의  
10 ~ 30m층에서 주변보다 높았고 2번 정선에서는 조석혼합이 있었다  
고 생각되는 St. 201을 제외하면 10 ~ 20m의 중층에서 10 mg/l이상의  
최고치가 나타났다(Fig. 4-8). 1번과 2번 정선의 저층수에서는 8mg/l이  
하의 저층수가 황해냉수괴의 영향으로 나타나지만 3번 정선의 경우에는  
뚜렷하지 않았다(Fig. 4-9).

1996년 5월의 조사에서 남쪽의 1번 정선의 경우 TSS는 우리나라  
가까운 해역에서 표층의 경우 2 mg/l 내외 였다가 St. 104 에서 4.8  
mg/l 이었고 외해역 증상으로 중국측에 보다 가까운 St. 105에서 12.6  
mg/l로 높은 값을 보였다 (Fig. 4-10). 저층에서는 점차 높은 농도를 보  
여 TSS 가 7 ~ 8 mg/l를 보였다. 2번 정선의 경우 St 201 에서 10,  
20m 층이 20 mg/l 내외로 매우 높아 조석 혼합에 의한 부유사의 영향이  
라고 보여진다 (Fig. 4-11). 2, 3번 정선에서는 외해역으로 갈 수록  
TSS가 점차 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 4-12).

VSS는 TSS의 경우와 마찬가지로 St 105 에서 1 mg/l이상으로 높았으  
며 2번 정선의 경우 조석혼합이 있는 St. 201에서 2mg/l 내외를 보였고  
St. 302, 303에서 매우 높은 값을 보였다 (Fig. 4-13 ~ 4-15).

9605 DO 1

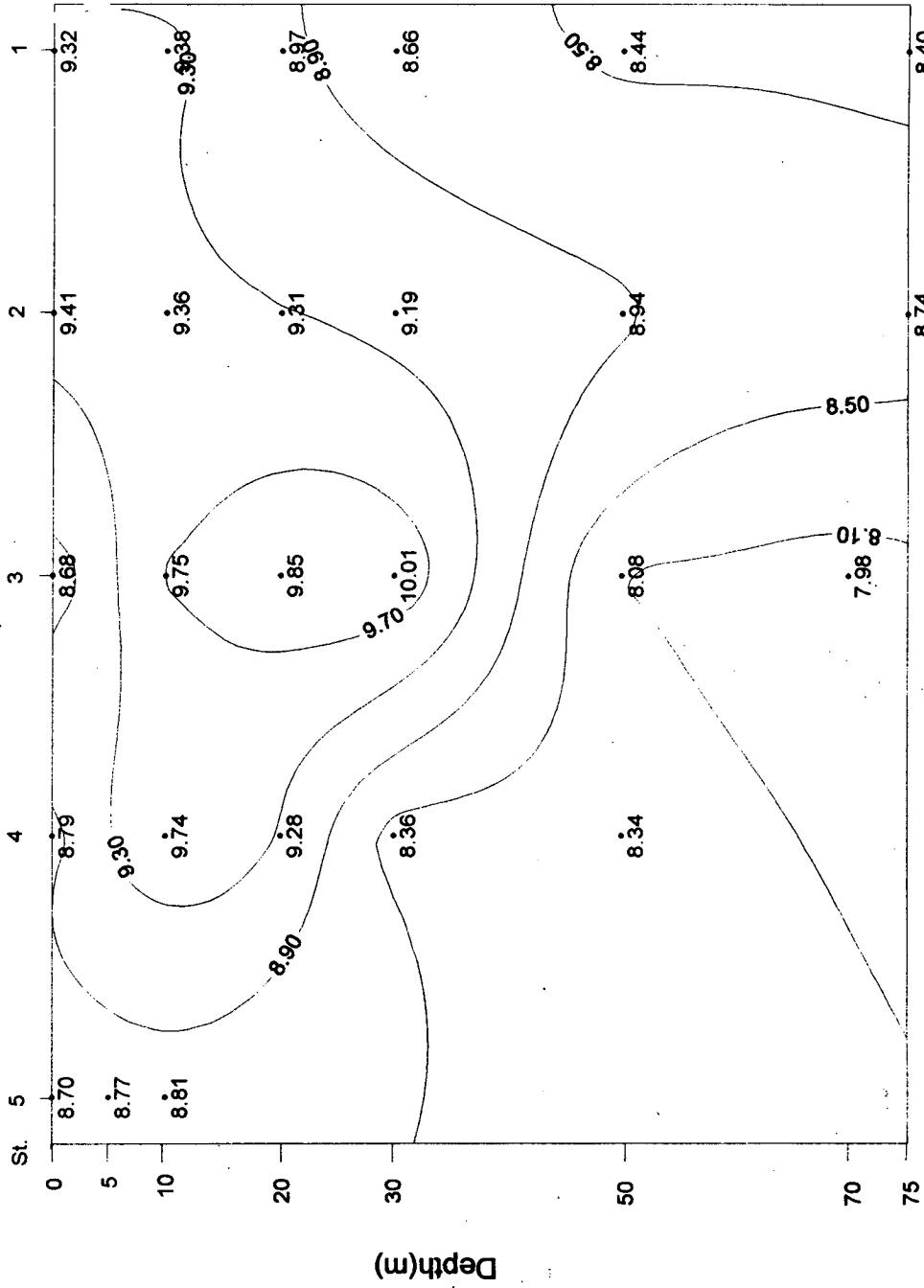


Fig. 4-7. Vertical distribution of DO of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 DO 2

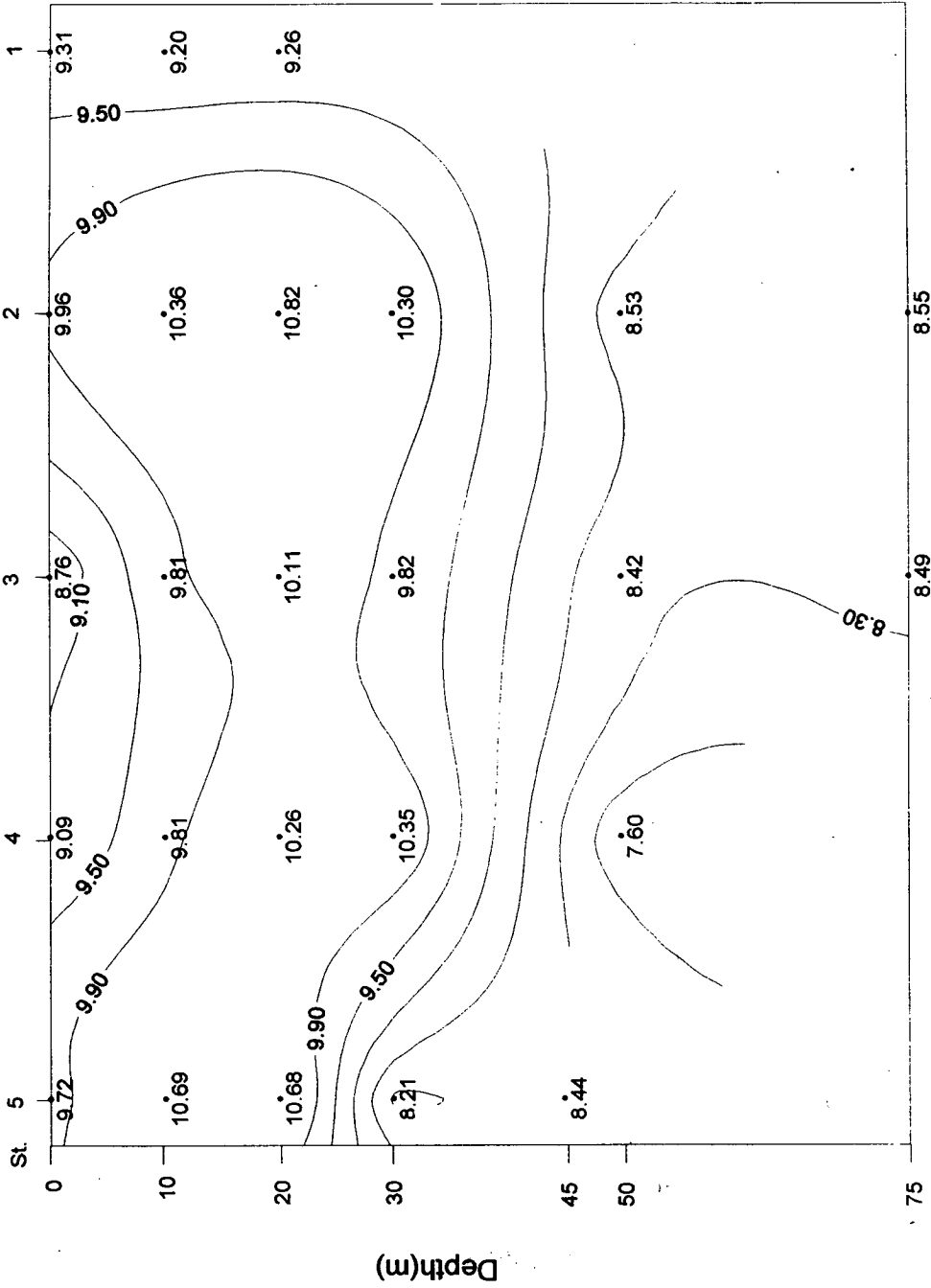


Fig. 4-8. Vertical distribution of DO of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 DO 3

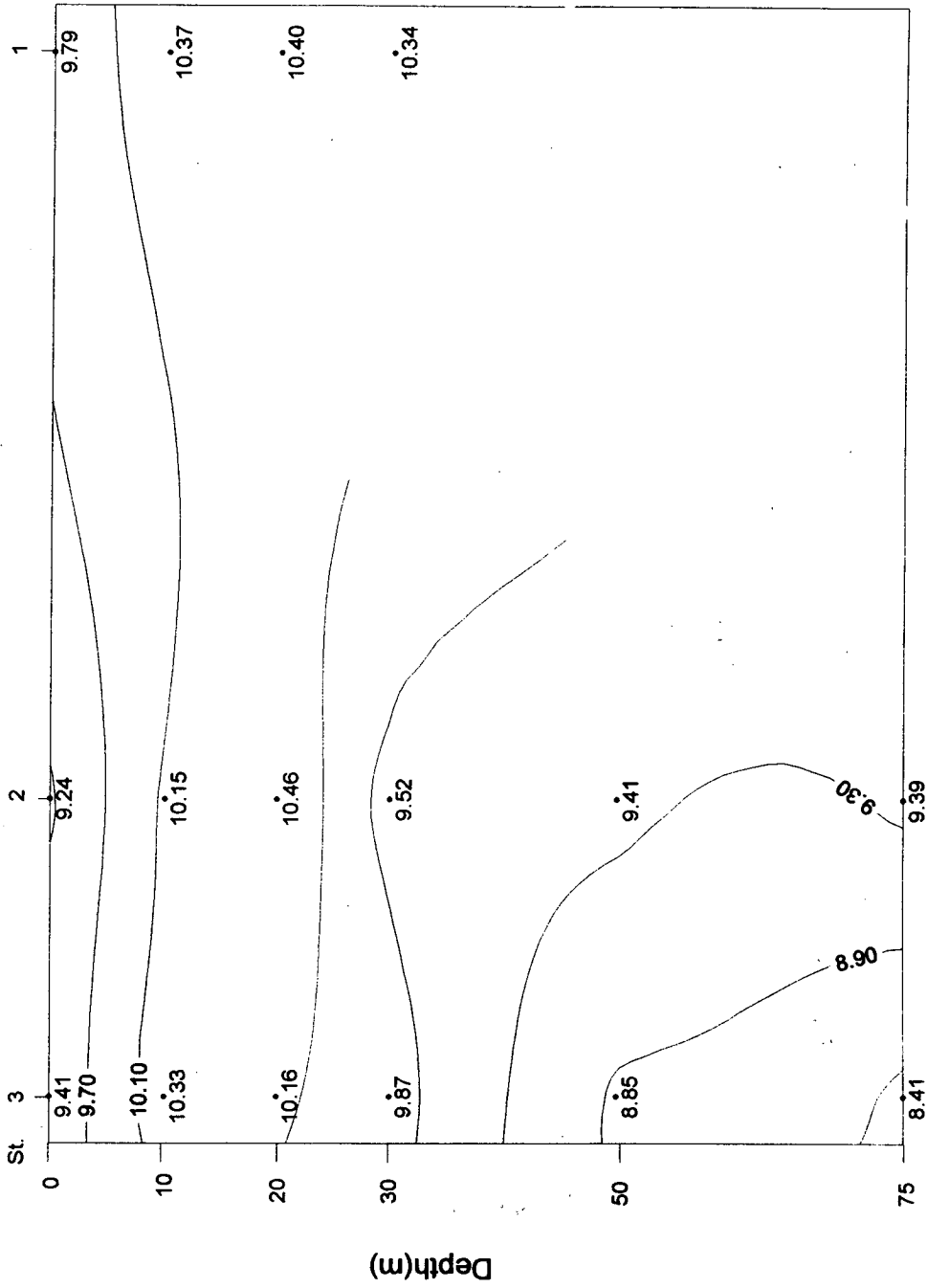


Fig. 4-9. Vertical distribution of DO of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 TSS 1

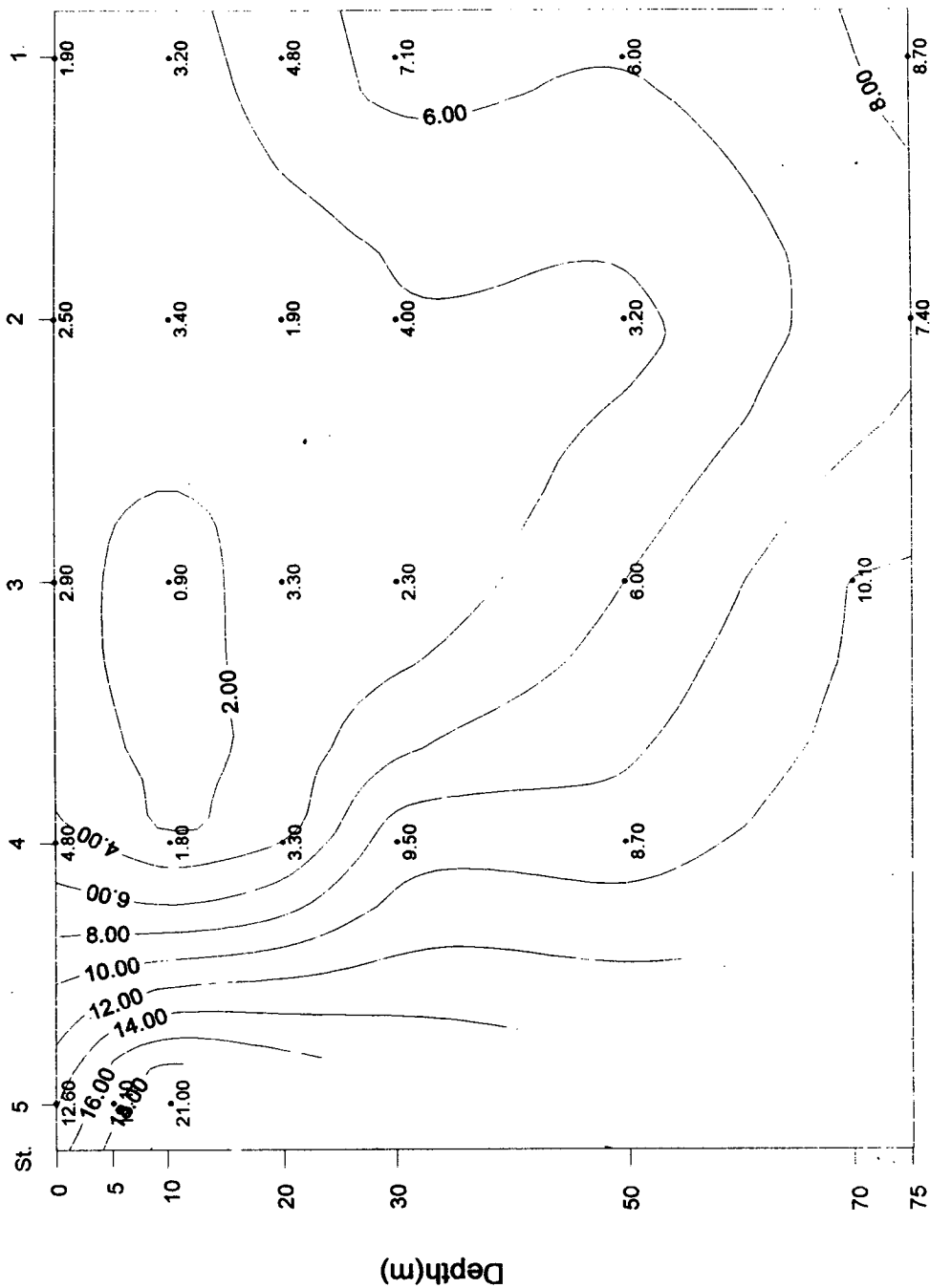


Fig. 4-10. Vertical distribution of TSS of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).



9605 TSS 2

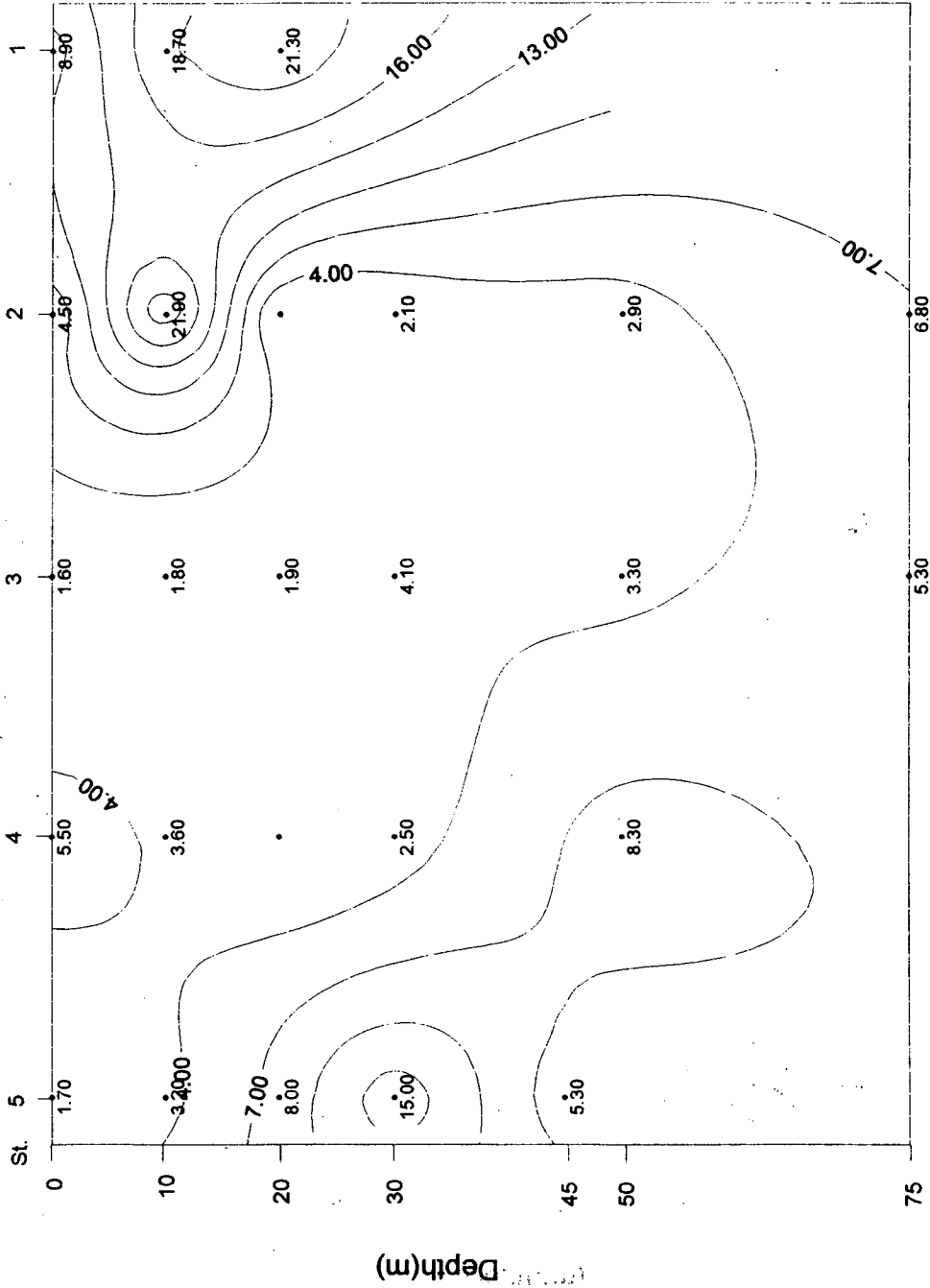


Fig. 4-11. Vertical distribution of TSS of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 TSS 3

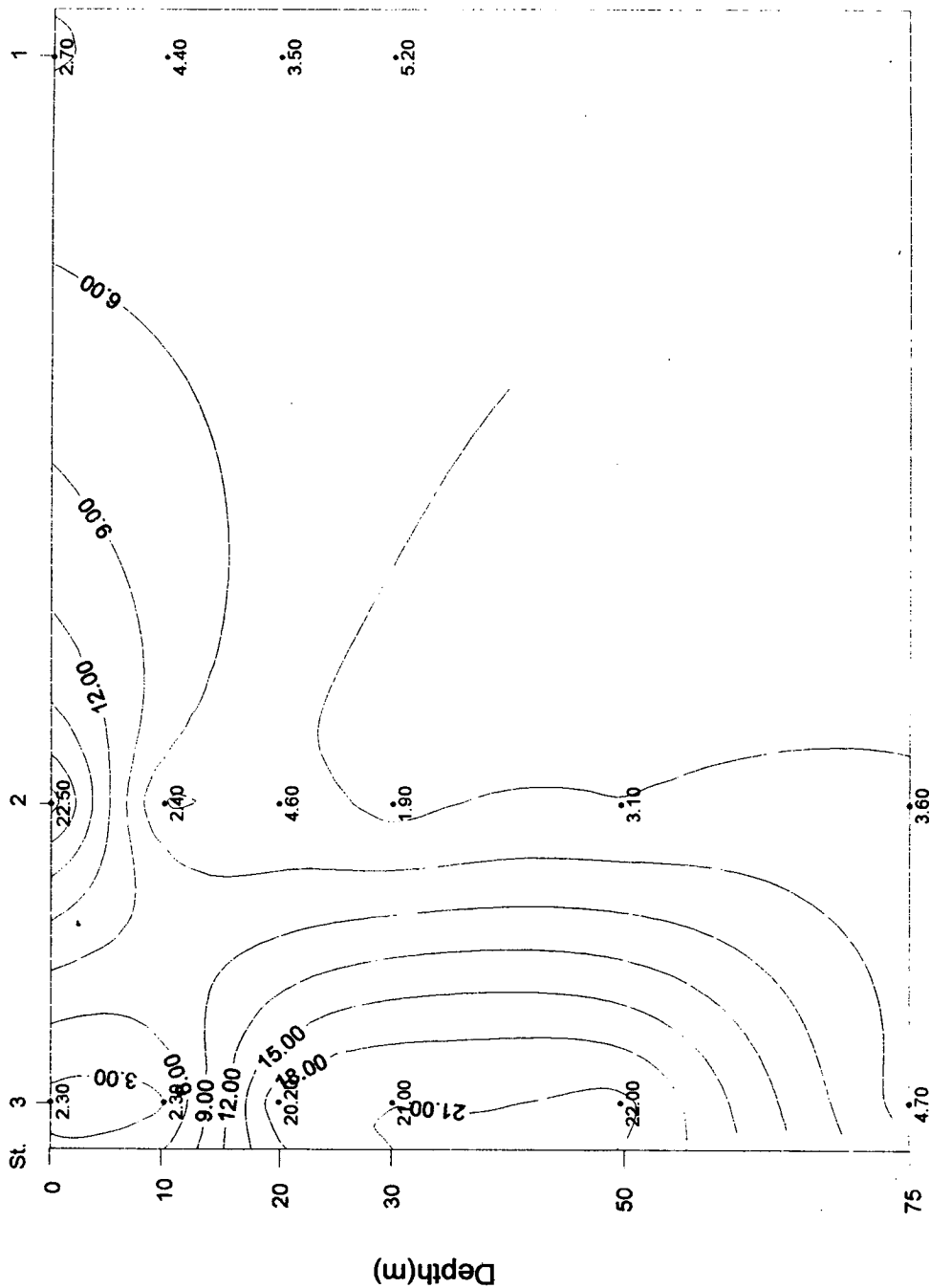


Fig. 4-12. Vertical distribution of TSS of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

9605 VSS 1

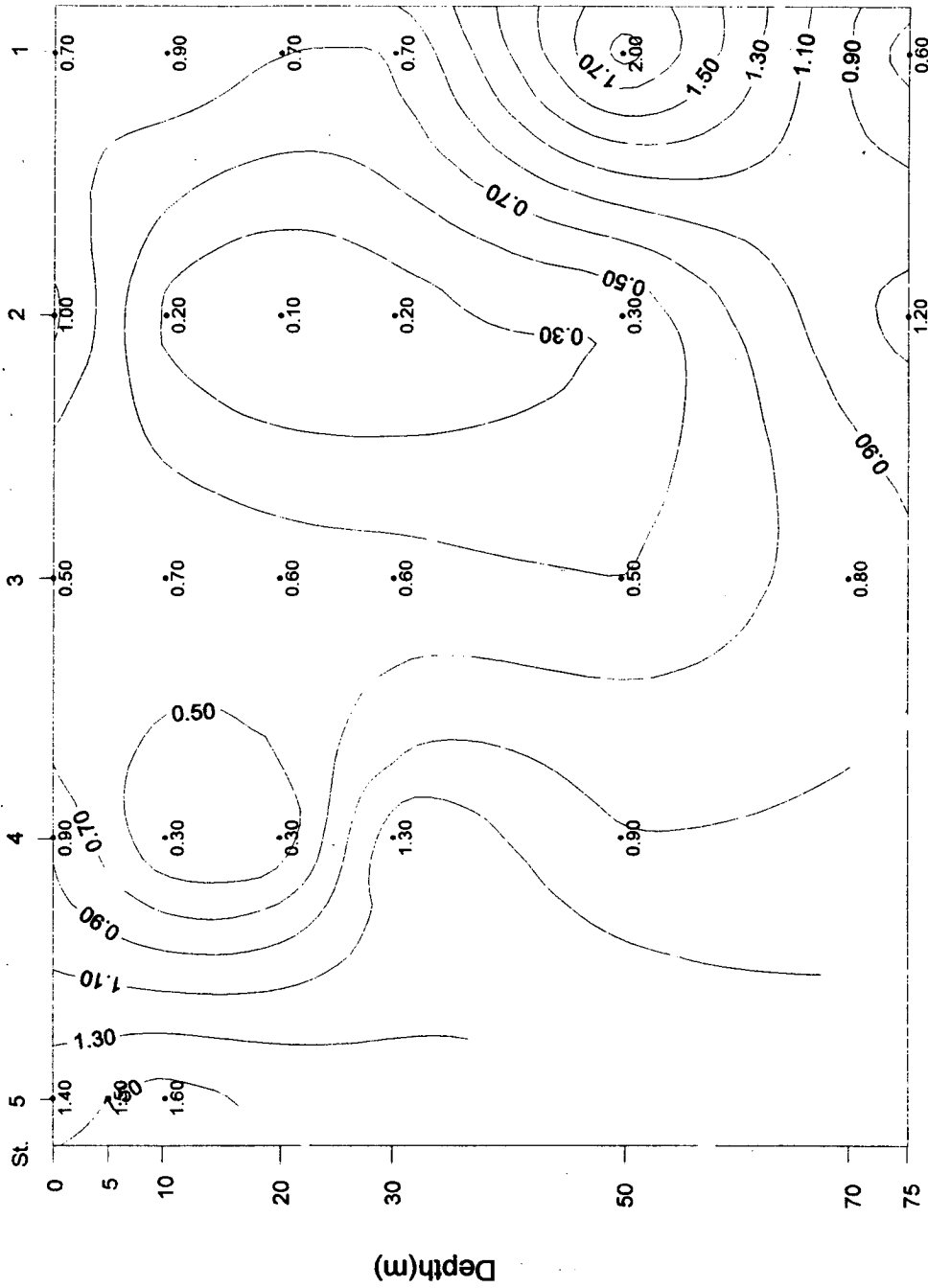


Fig. 4-13. Vertical distribution of VSS of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 VSS 2

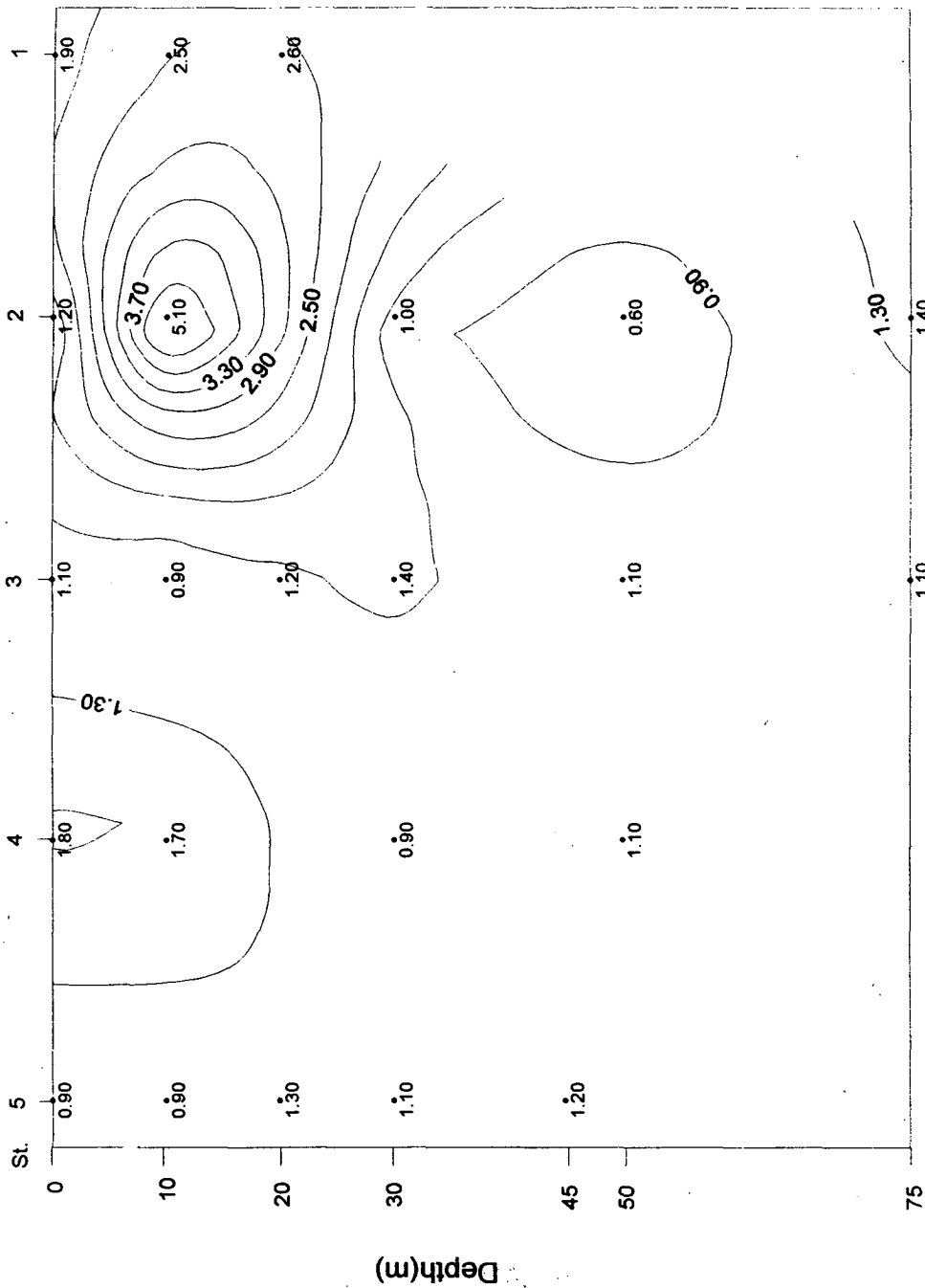


Fig. 4-14. Vertical distribution of VSS of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

9605 VSS 3

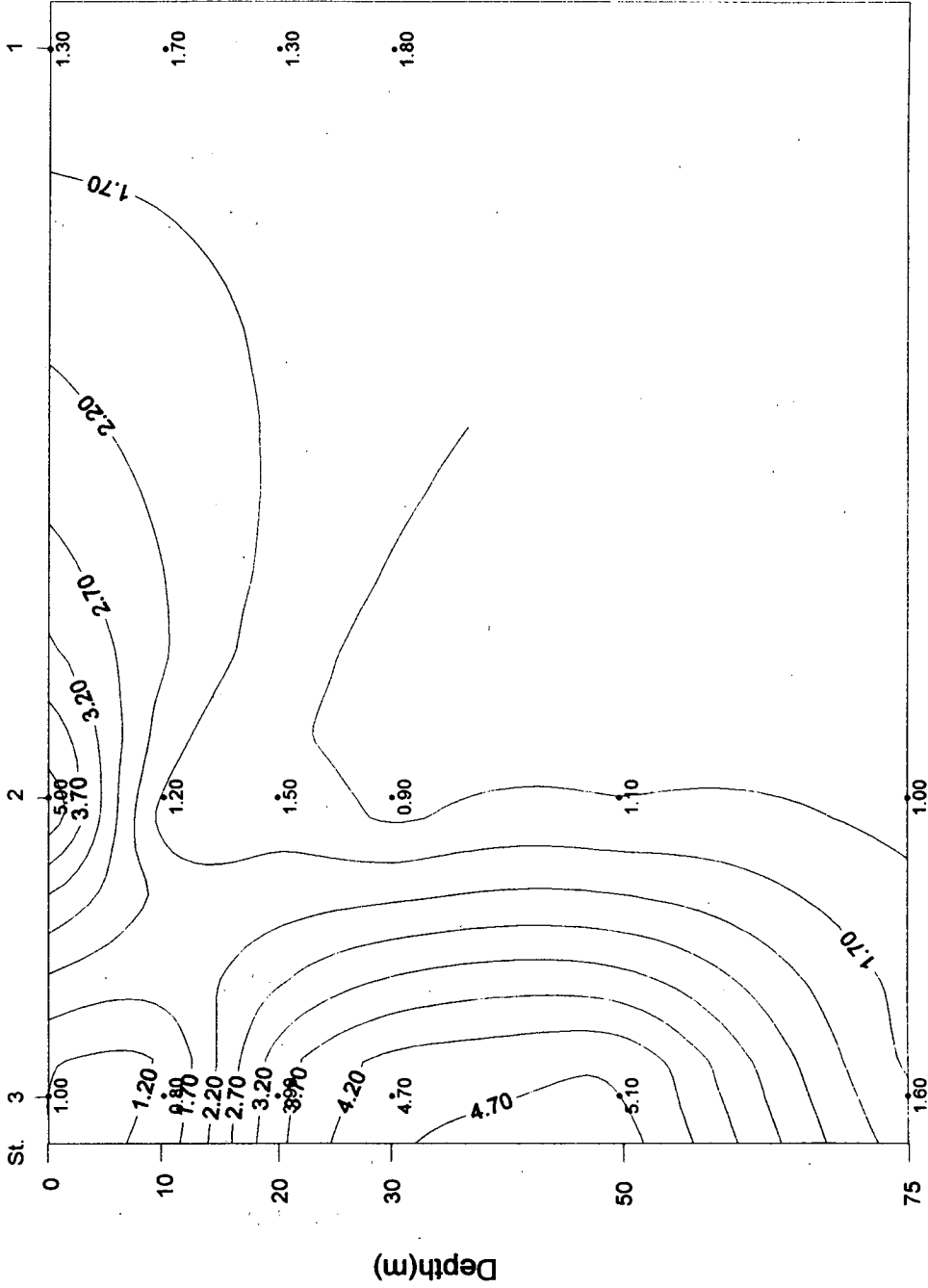


Fig. 4-15. Vertical distribution of VSS of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

COD는 1번 정선의 경우 표층에서 St. 101, 102는 2 mg/l를 약간넘고 St. 103, 104는 1mg/l 를 약간 넘으나 St. 105에서 3.86mg/l 등 수층이 전부 3 mg/l이상을 보여 염분이 낮았던 것과 관련이 있다고 생각된다 (Fig. 4-16). 2번 정선에서도 가장 외해쪽 해역에서 COD가 2.44 mg/l였고 3번 정선에서는 우리나라측 연안의 COD가 2mg/l 이상이 었다(Fig. 4-17, 18).

질산염의 경우 표층에서 1  $\mu\text{M}$ 이하를 보여 춘계의 식물성플랑크톤 성장에 따른 표층수층의 영양염 소비를 보여주며 저층으로 가며 수온약층 아래에서 증가한다 (Fig. 4-19 ~ 4-21, Table 4-4). 저층에서의 질산염증가는 중앙부 해역에서 뚜렷하여 St. 103, 104의 50m 층에서 각각 3.18, 5.84  $\mu\text{M}$ 를 보였다. St. 202, 203 에서도 50m 층이 각각 5.49, 5.15  $\mu\text{M}$ 로 높게 나타났다. 1, 2번 정선의 가장 외해역쪽인 St. 105, 205에서는 표층의 질산염이 1  $\mu\text{M}$ 이상이고 그 아래에서 2  $\mu\text{M}$ 이상을 보여 염분이 낮은 해수에 의해 공급되는 질산염이라고 보여진다.

아질산염의 경우 전 해역의 표층에서 0.08 ~ 0.32  $\mu\text{M}$ 정도의 분포를 보여였고 저층수에서 약간씩 증가한다 (Fig. 4-22 ~ 4-24). 3번 정선에서는 St. 301과 302에서 중층 최고치가 나타나기도 한다.

암모니아는 염분이 낮고 질산염 농도가 높았던 St. 105에서도 표층이 0.55  $\mu\text{M}$ 정도로 낮았으나 2번 정선의 경우 St. 204, 205의 표층에서 1  $\mu\text{M}$

Table 4- 4. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in May 1996.

St.	Depth m	Chl-a $\mu\text{g/l}$	NH <sub>4</sub> $\mu\text{M}$	NO <sub>2</sub> $\mu\text{M}$	SiO <sub>2</sub> $\mu\text{M}$	NO <sub>3</sub> $\mu\text{M}$	PO <sub>4</sub> $\mu\text{M}$
101	0	3.76	0.10	0.26	1.74	0.56	0.15
	10	0.04	0.05	0.26	1.43	0.57	0.12
	20	0.11	0.42	0.55	4.48	1.68	0.23
	30	0.14	0.36	0.71	5.67	2.47	0.32
	50	0.12	0.23	1.25	5.77	2.37	0.31
	75	0.14	0.11	0.39	5.95	2.21	0.31
102	0	0.31	0.83	0.32	3.20	0.81	0.15
	10	0.13	0.67	0.48	5.01	1.77	0.27
	20	0.21	0.03	0.57	5.05	1.93	0.29
	30	0.12	0.17	0.60	5.40	2.07	0.52
	50	0.19	0.10	0.63	6.44	2.59	0.37
	75	0.10	0.06	0.70	7.01	2.68	0.43
103	0	0.05	0.09	0.24	0.85	0.53	0.05
	10	0.02	0.60	0.30	1.11	0.49	0.07
	20	0.14	0.75	0.26	2.08	0.56	0.08
	30	0.18	ND	0.28	4.81	1.41	0.28
	50	0.13	ND	0.72	9.01	3.18	0.57
	70	0.16	ND	0.73	9.25	3.26	0.56
104	0	0.17	ND	0.27	1.40	0.50	0.01
	10	0.04	ND	0.24	1.31	0.49	0.07
	20	0.24	ND	0.28	1.05	1.05	0.08
	30	0.10	0.40	0.26	1.09	1.01	0.20
	50	0.15	0.55	0.33	1.24	5.84	1.20
105	0	0.26	0.56	0.27	1.21	1.07	0.07
	5	0.33	0.30	0.54	6.44	2.15	0.29
	10	0.27	ND	0.53	6.54	2.16	0.87

Table 4- 4. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a $\mu$ g/l	NH <sub>4</sub> $\mu$ M	NO <sub>2</sub> $\mu$ M	SiO <sub>2</sub> $\mu$ M	NO <sub>3</sub> $\mu$ M	PO <sub>4</sub> $\mu$ M
201	0	0.42	ND	0.09	0.96	0.53	0.09
	10	0.64	ND	0.25	1.03	2.02	0.10
	20	0.78	0.39	0.43	4.45	3.36	0.48
202	0	0.04	0.29	0.29	0.57	1.15	0.07
	10	0.10	ND	0.25	0.61	1.08	0.08
	20	0.09	ND	0.23	0.54	1.02	0.05
	30	0.23	ND	0.30	2.68	1.60	0.22
	50	0.18	ND	0.43	9.35	5.49	1.59
	75	0.33	0.24	0.42	9.40	5.15	0.67
203	0	0.18	0.04	0.25	0.88	1.03	0.05
	10	0.15	0.65	0.26	1.16	1.10	0.04
	20	0.14	0.57	0.28	1.66	1.28	0.12
	30	0.23	0.20	0.37	3.88	2.31	0.24
	50	N.D	0.14	0.41	10.08	5.15	0.61
	75	0.22	0.10	0.56	9.33	4.73	0.57
204	0	0.09	1.09	0.25	1.10	1.04	0.02
	10	0.15	0.57	0.27	1.27	1.18	0.08
	20	0.13	0.62	0.27	1.00	1.06	0.05
	30	0.16	1.03	0.25	1.04	1.02	0.06
	50	0.11	1.53	0.32	11.19	5.85	0.62
205	0	0.17	1.45	0.26	1.16	1.08	0.05
	10	0.29	1.84	0.36	1.06	0.63	0.07
	20	0.72	1.96	0.31	2.81	1.31	0.15
	30	0.21	0.90	0.53	6.39	2.14	0.40
	45	0.31	0.33	0.52	6.49	2.15	0.47



Table 4- 4. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a $\mu$ g/l	NH <sub>4</sub> $\mu$ M	NO <sub>2</sub> $\mu$ M	SiO <sub>2</sub> $\mu$ M	NO <sub>3</sub> $\mu$ M	PO <sub>4</sub> $\mu$ M
301	0	0.10	0.36	0.08	0.91	0.53	0.10
	10	0.14	0.52	0.24	0.98	1.01	0.11
	20	0.38	1.15	0.46	0.98	1.09	0.16
	30	0.33	1.39	0.25	0.99	1.08	0.18
302	0	0.18	0.23	0.25	1.18	1.02	0.08
	10	0.18	0.26	0.78	1.78	1.31	0.18
	20	0.43	0.53	0.33	3.76	2.41	0.37
	30	0.14	ND	0.43	6.05	4.20	0.62
	50	0.18	ND	0.47	6.17	4.33	0.64
	75	0.14	ND	0.52	6.19	4.36	0.64
303	0	0.15	ND	0.10	0.43	1.00	0.02
	10	0.16	ND	0.25	0.65	1.08	0.06
	20	0.32	ND	0.25	0.97	1.04	0.10
	30	0.29	0.98	0.32	1.41	1.34	0.61
	50	0.16	1.91	0.49	7.10	6.04	0.70
	75	0.17	2.35	0.54	8.58	4.64	0.66

# 9605 COD 1

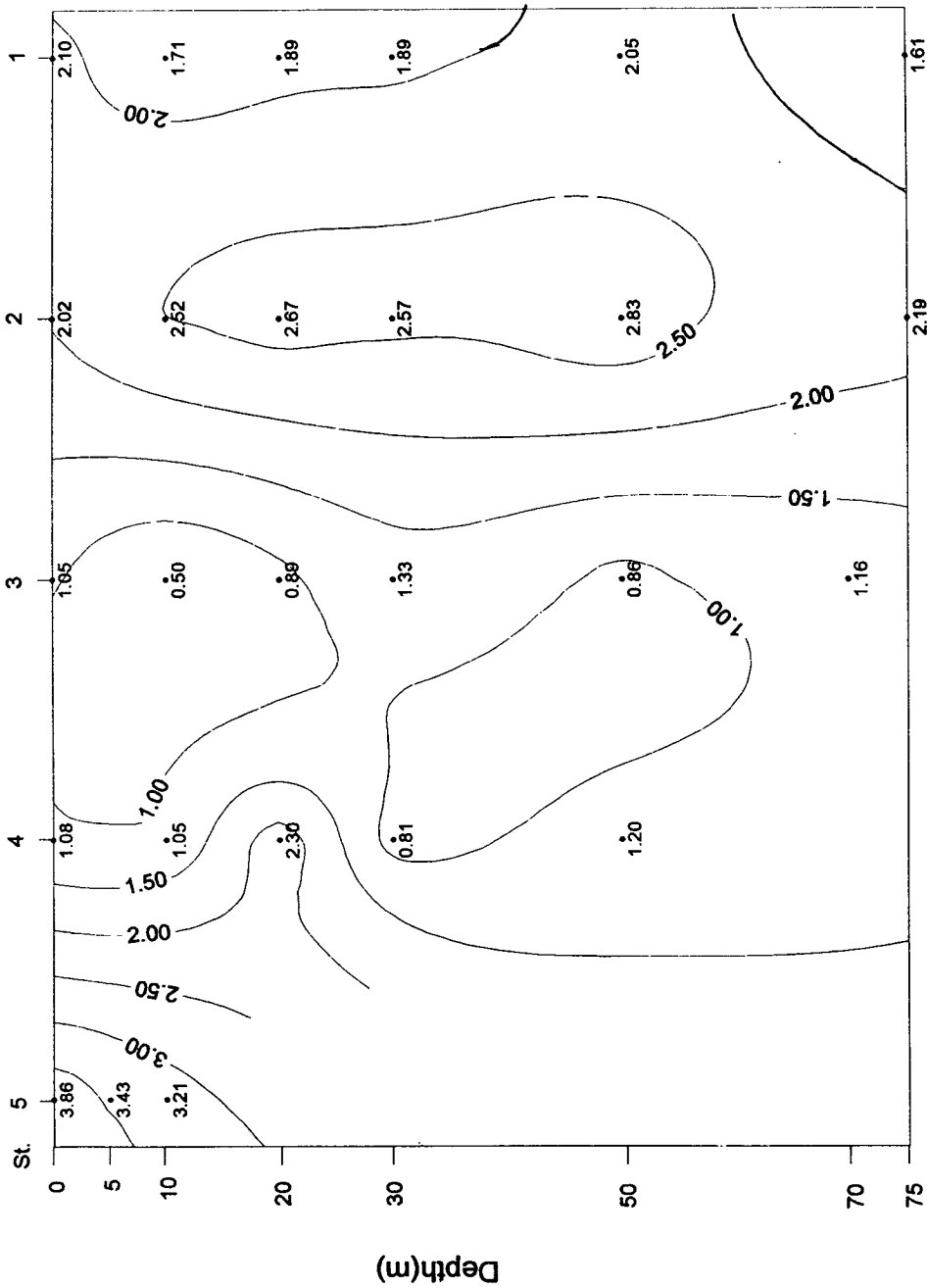


Fig. 4-16. Vertical distribution of COD of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

9605 COD 2

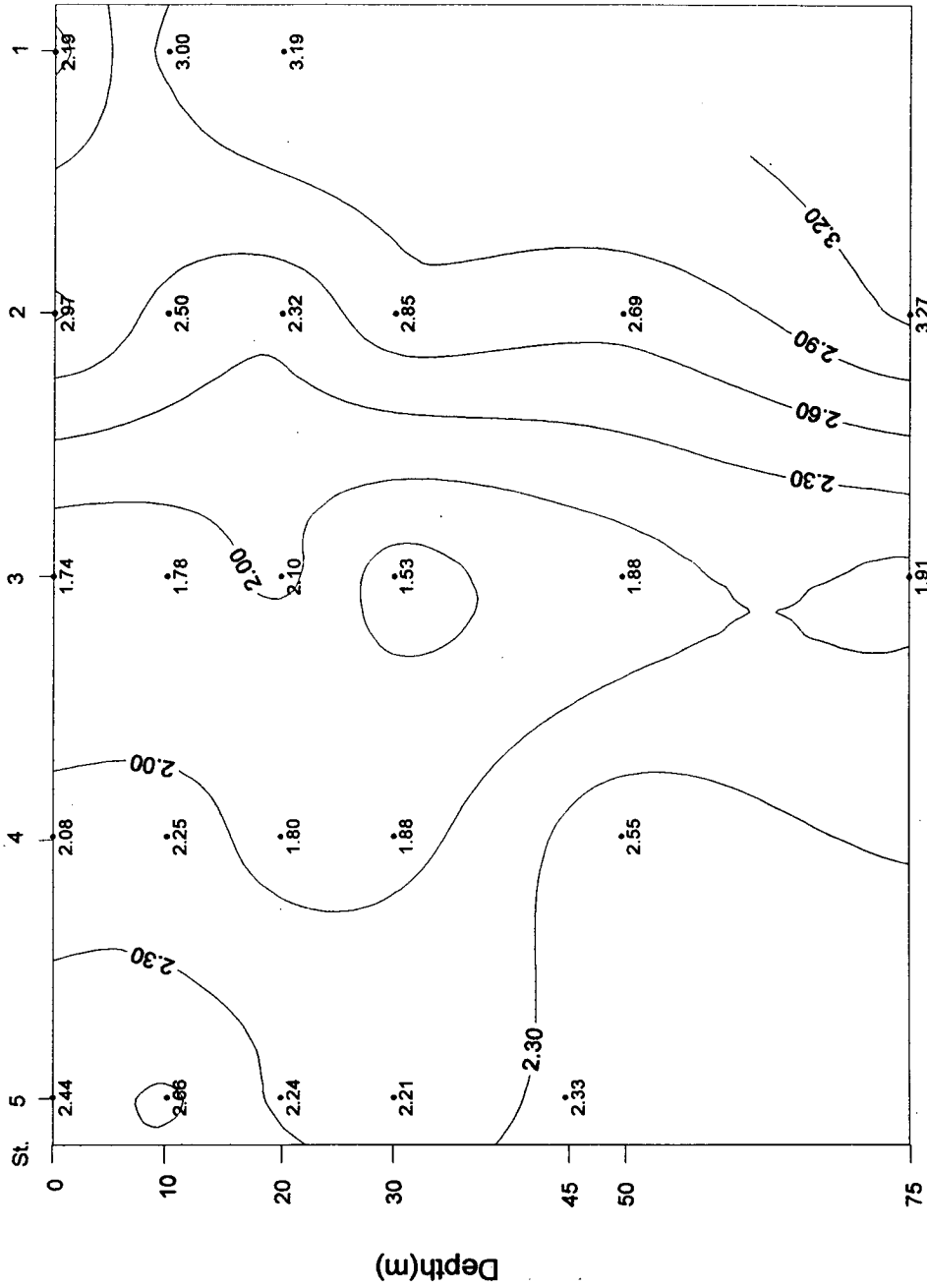


Fig. 4-17. Vertical distribution of COD of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

# 9605 COD 3

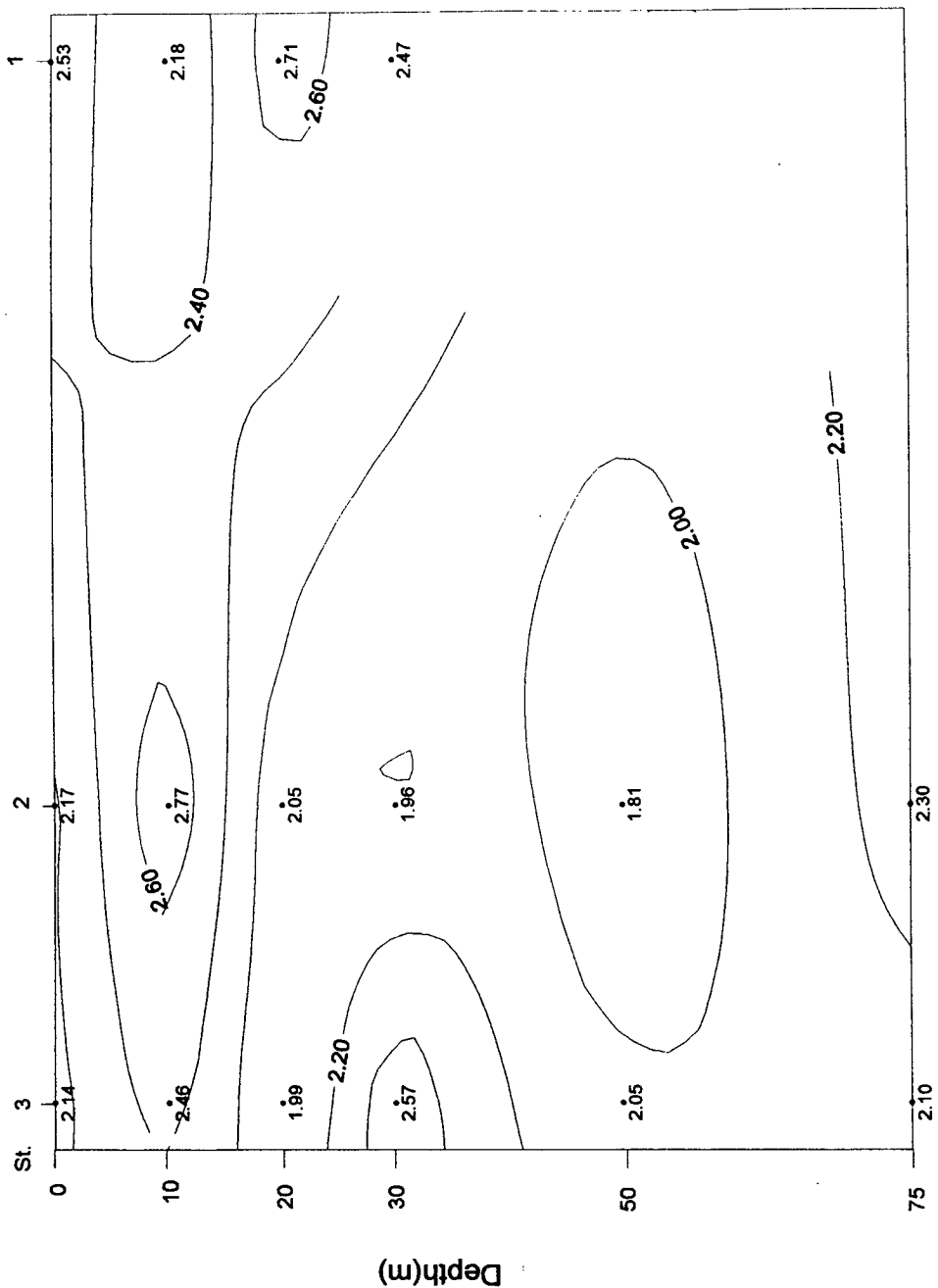


Fig. 4-18. Vertical distribution of COD of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/l).

9605 NO3 1

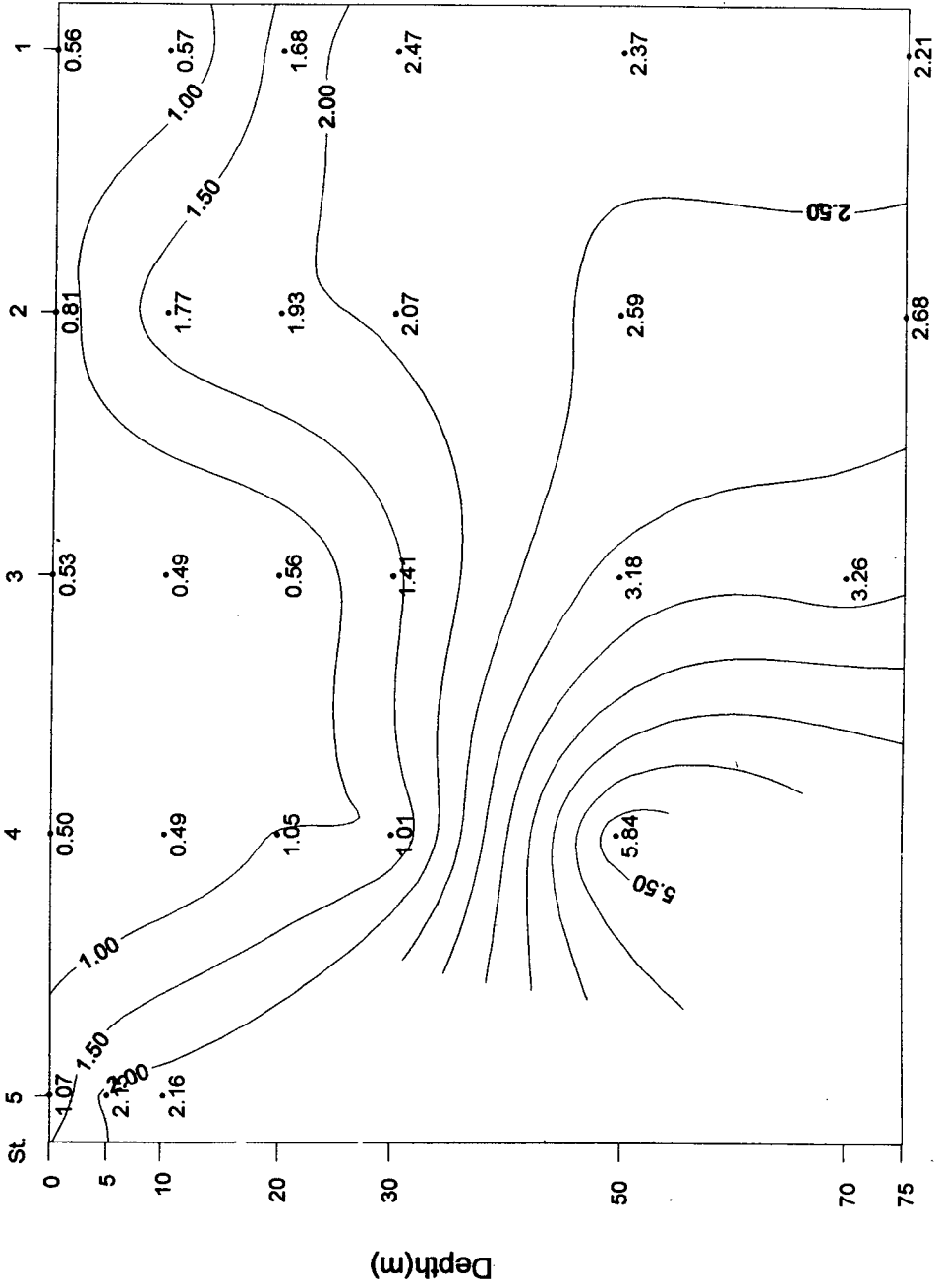


Fig. 4-19. Vertical distribution of nitrate of Section I in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 NO3 2

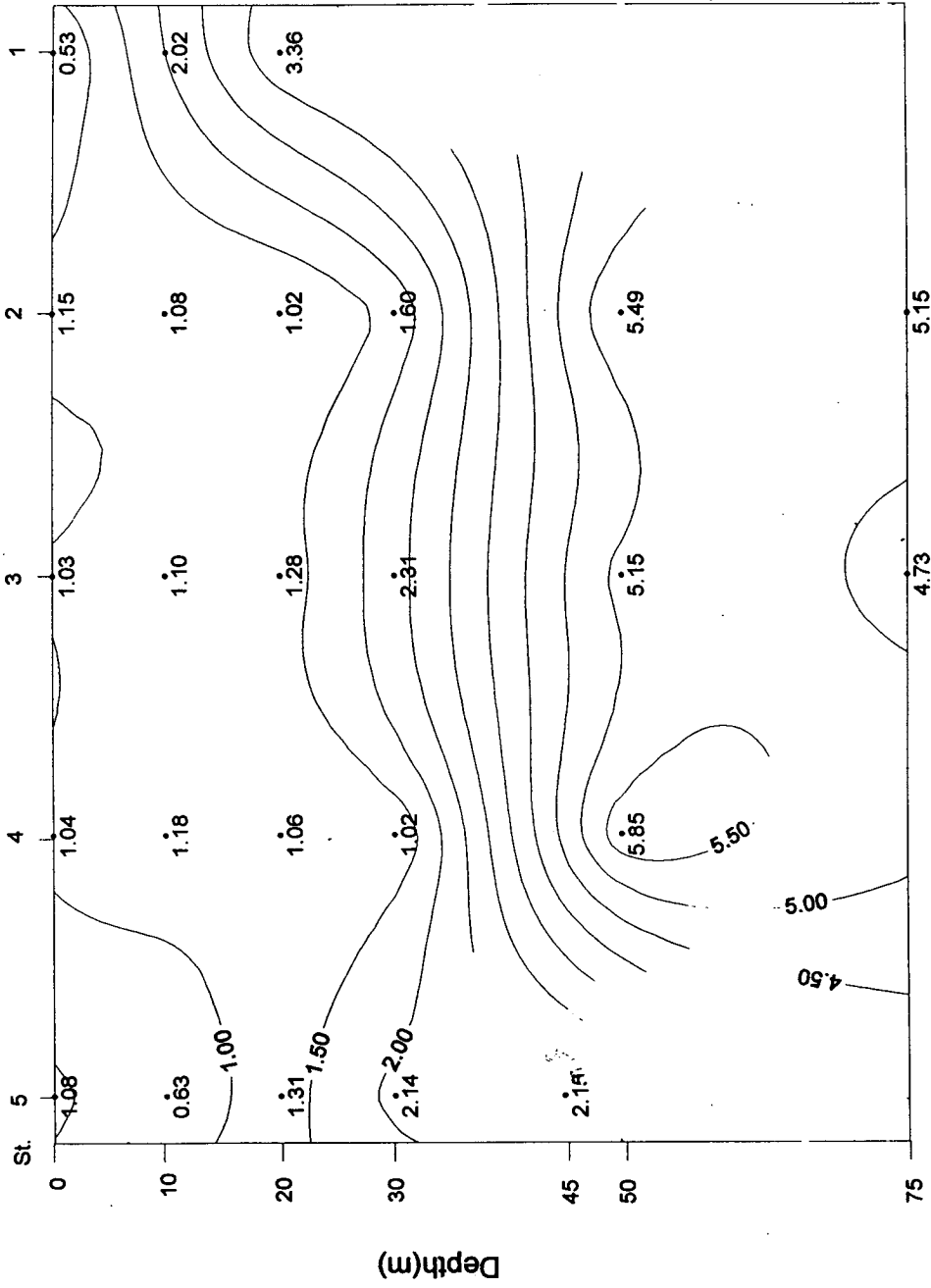


Fig. 4-20. Vertical distribution of nitrate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

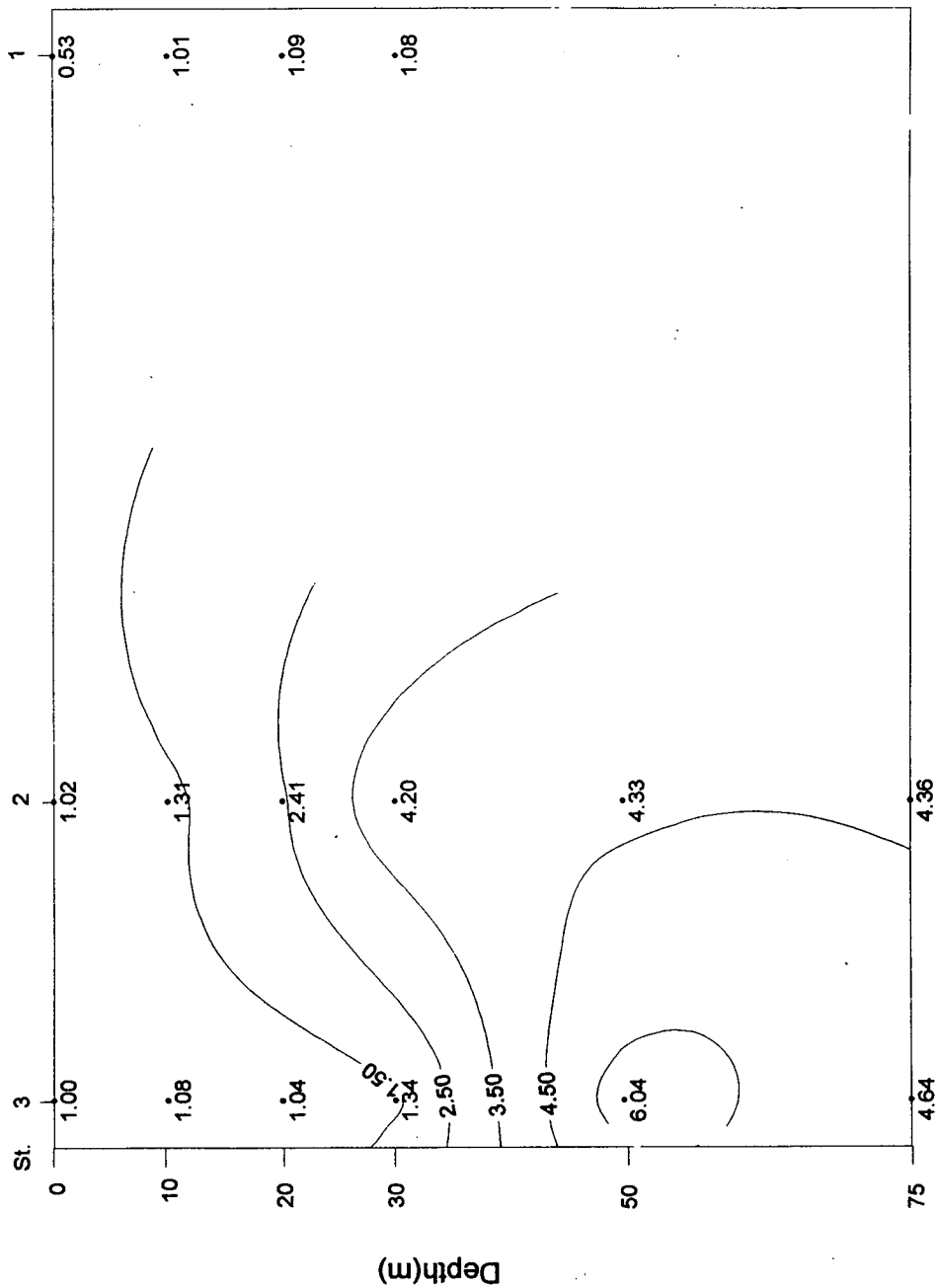


Fig. 4-21. Vertical distribution of nitrate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 NO2 1

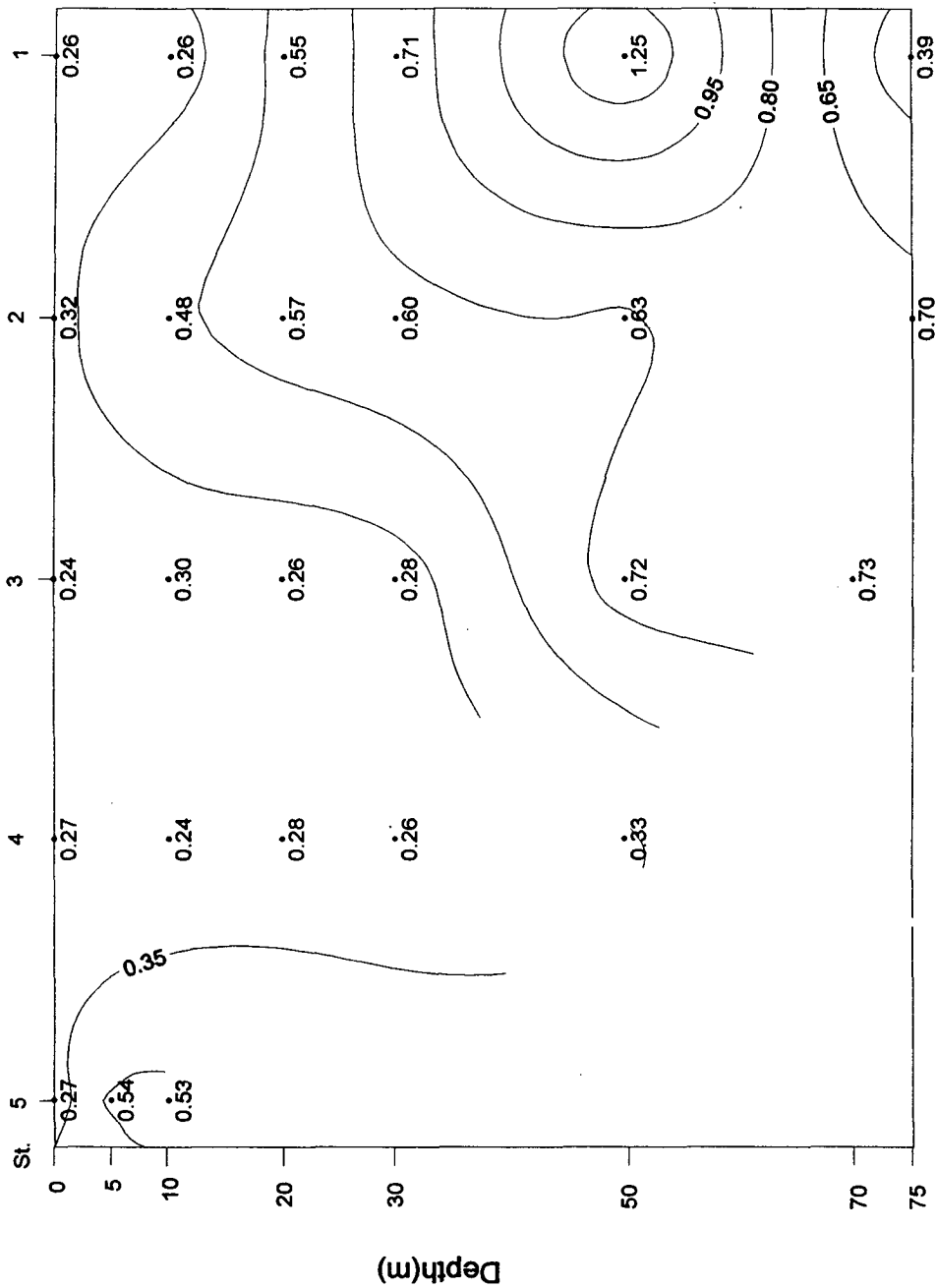


Fig. 4-22. Vertical distribution of nitrite of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).



9605 NO2 2

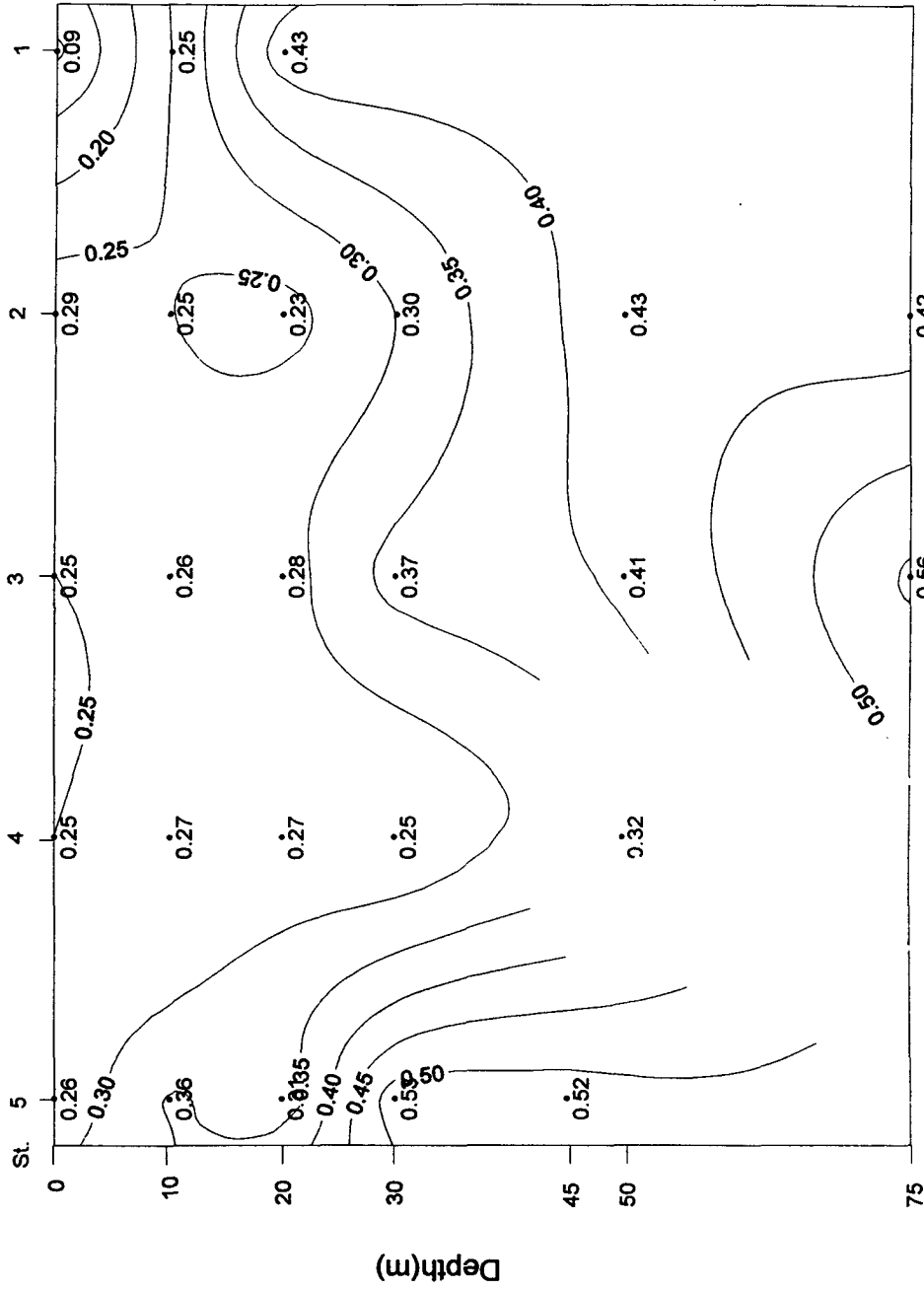


Fig. 4-23. Vertical distribution of nitrite of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 NO2 3

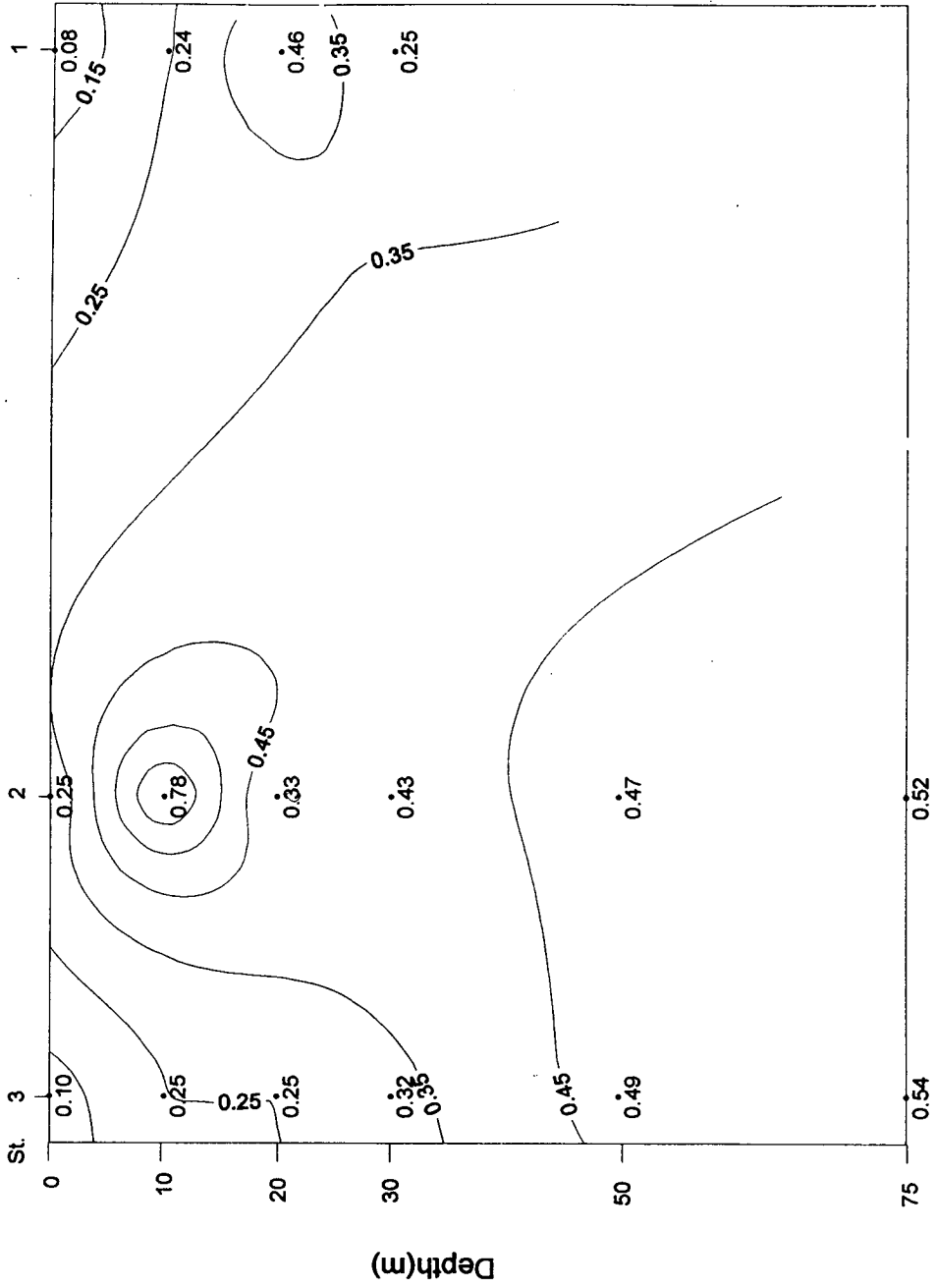


Fig. 4-24. Vertical distribution of nitrite of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

을 넘는다 (Fig 4-25 ~ 4-27). 수온약층근처에서의 암모니아농도증가는 나타나지 않으며 아질산염의 증가도 나타나지 않았다.

인산염은 냉수피인 St. 103, 104의 50m층에서 각각 0.57, 1.20  $\mu\text{M}$ 으로 나타났다 (Fig. 4-28). 2번정선의 경우에도 저층에서 0.6  $\mu\text{M}$  이상의 인산염 농도를 보였다(Fig. 4-29, 30). 조석혼합의 영향이 있는 St. 201에서는 표층의 인산염이 0.09  $\mu\text{M}$ 에 불과하였고 저층에서 약간씩 감소하는 경향을 보였다.

규산염의 분포에서 특징적으로 나타나는 것은 St. 105 에서 다른 지수들이 상당히 높은 값을 보이는 것과는 달리 별반 변화가 나타나지 않는점이다 (Fig. 4-31). 조석혼합이 있는 St. 201에서는 1  $\mu\text{M}$ 내외의 규산염 농도를 보였다 (Fig. 4-32, 33).

황해 중남부의 저층수는 영양염이 풍부하다고 알려져 있다 (한국해양연구소, 1995). 영양염은 전반적으로 제주남방 수괴에서 높으며 이러한 영양염의 혼합이 황해의 영양염 수지에 큰 영향을 미칠 수 있다고 생각된다. 물론 육상기인, 대기에 기인한 영양염에 의한 수지등은 아직 확실히 밝혀져 있지 않다. 중국측의 atlas에는 하계에 양자강 하구로 부터 높은 질산염, 인산염의 공급이 있으며 황해 중남부 해역의 저층수에서도 높은 영양염 농도가 나타난다 (Chen et al., 1989).

9605 NH4 1

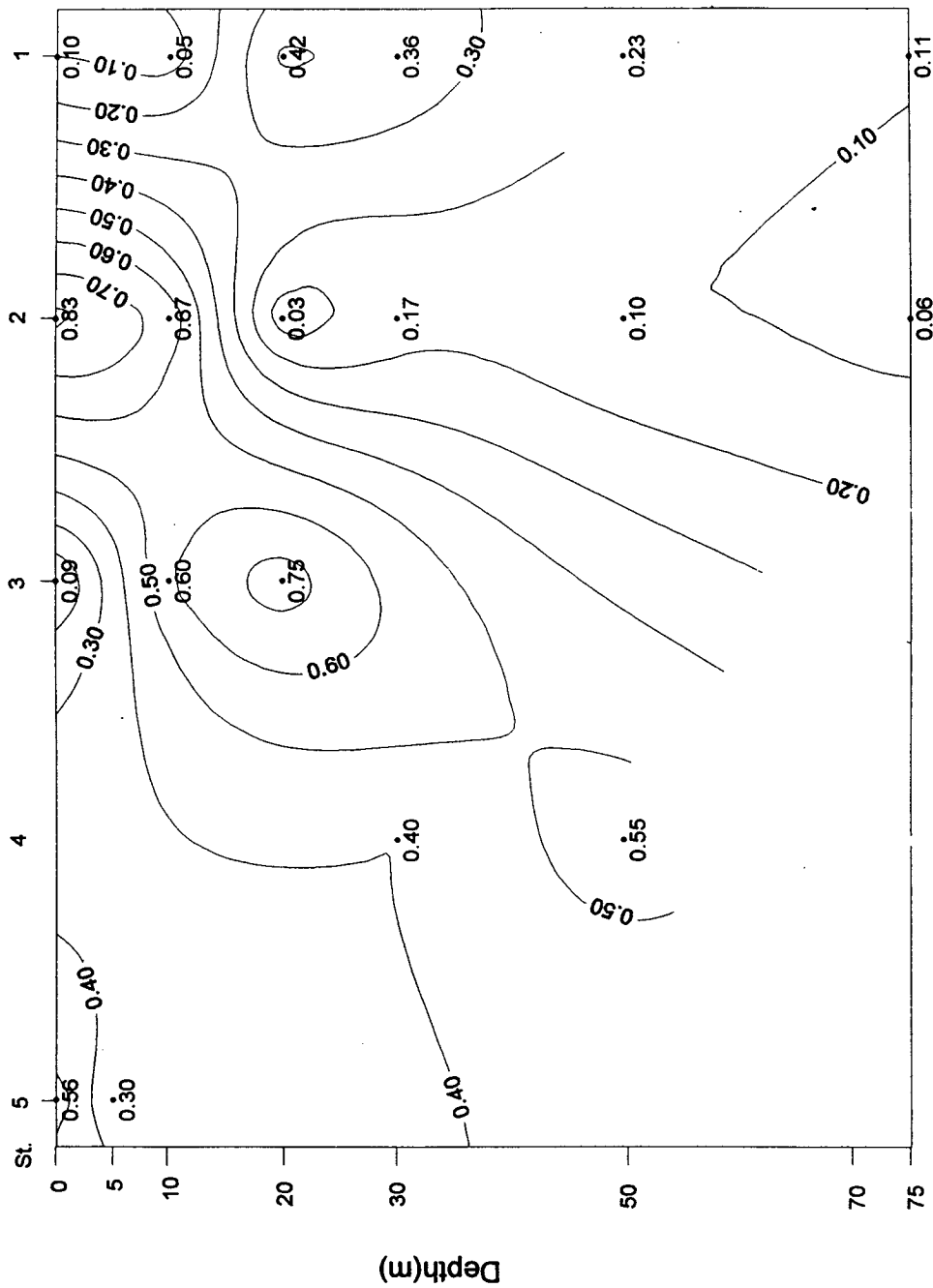


Fig. 4-25. Vertical distribution of ammonia of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 NH4 2

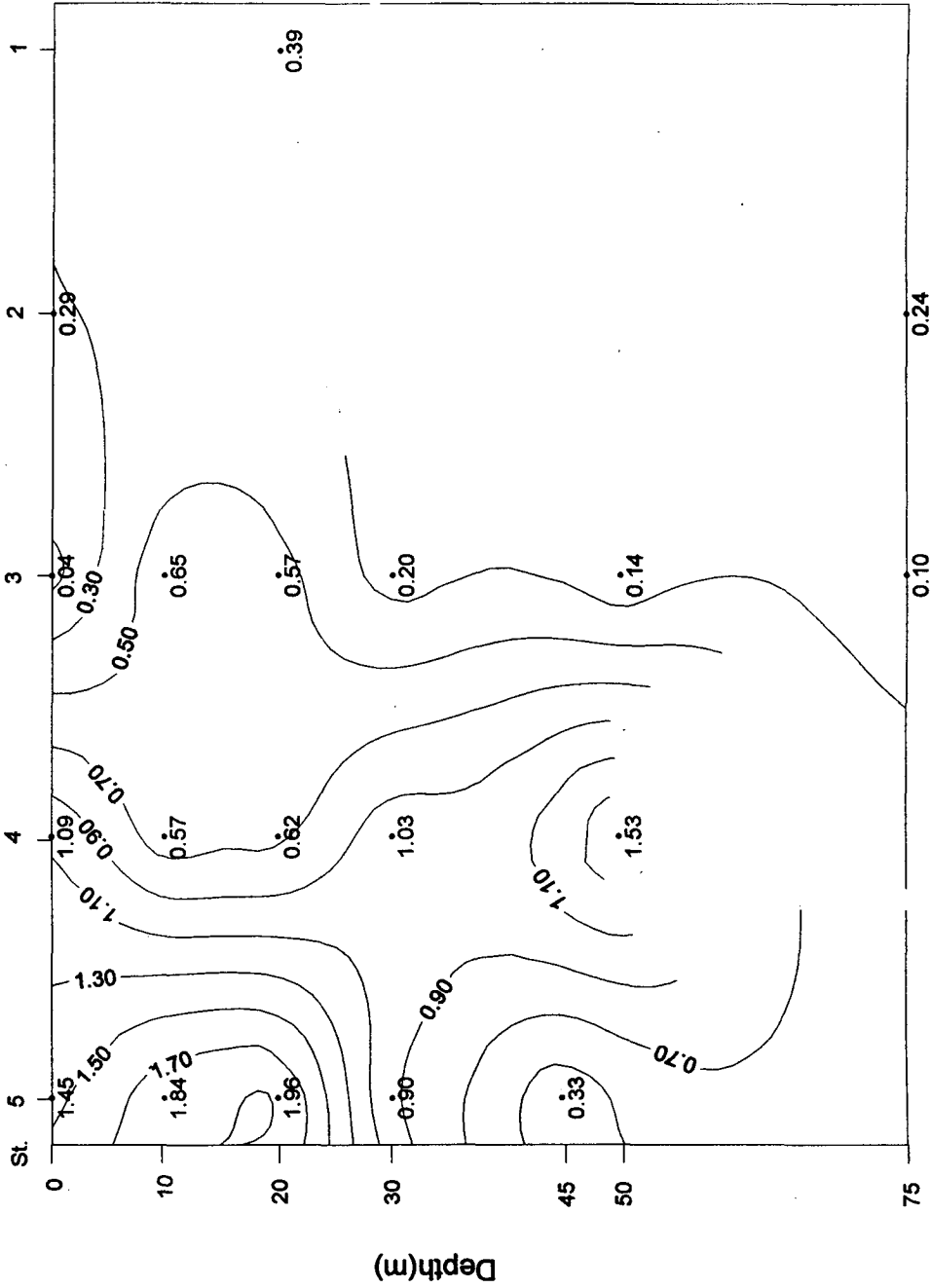


Fig. 4-26. Vertical distribution of ammonia of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 NH4 3

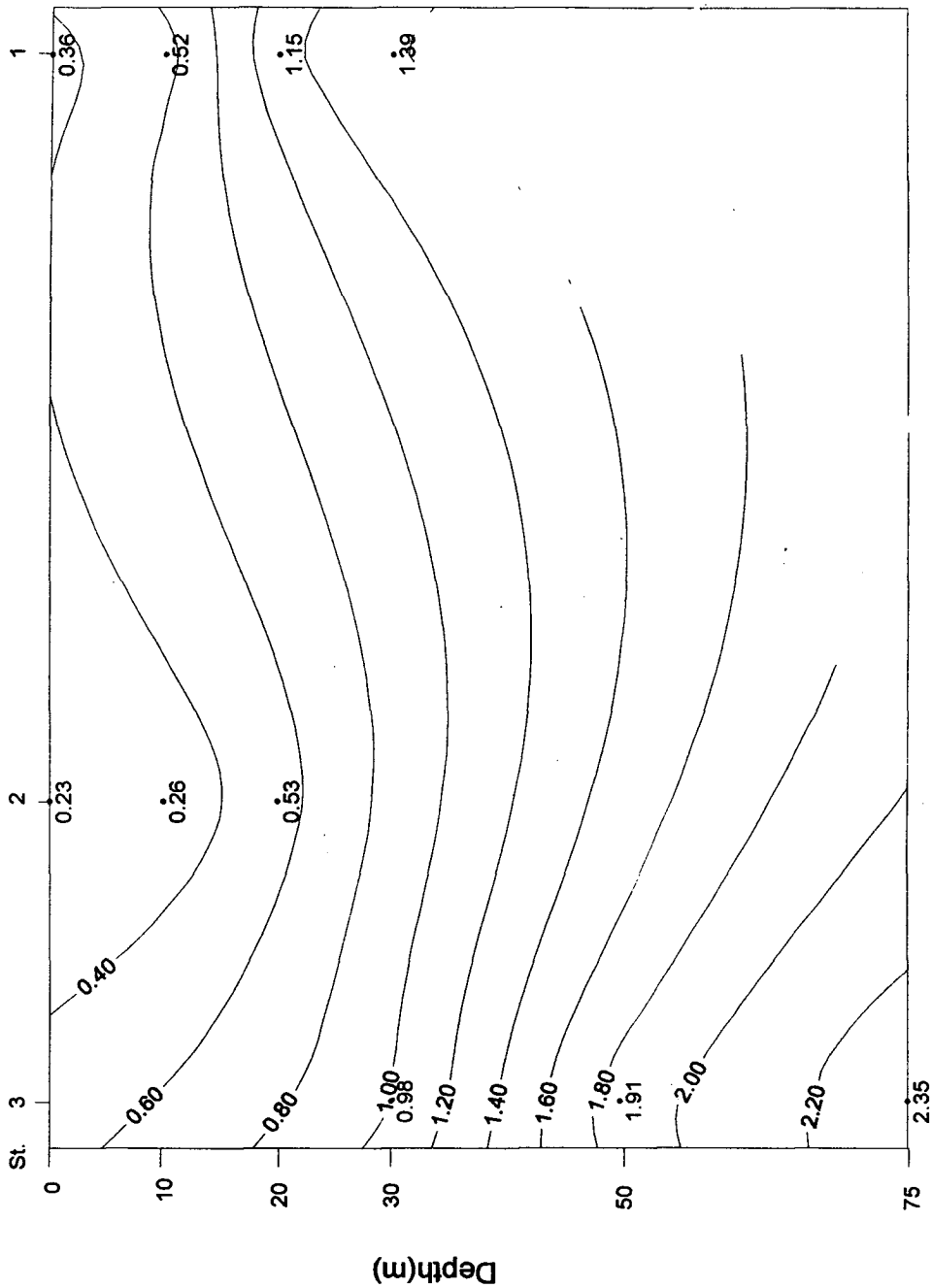


Fig. 4-27. Vertical distribution of ammonia of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 PO4 1

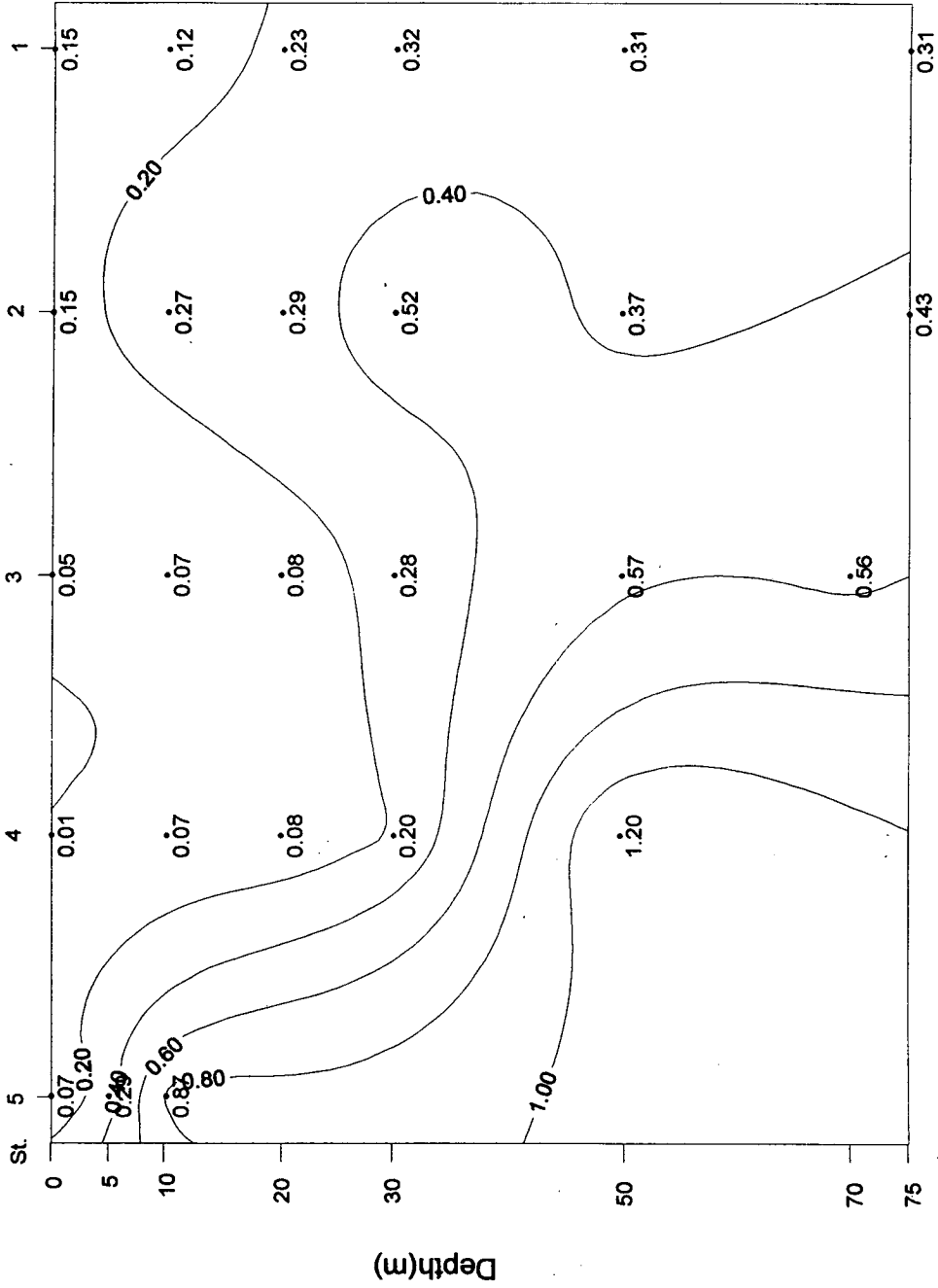


Fig. 4-28. Vertical distribution of phosphate of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

# 9605 PO4 2

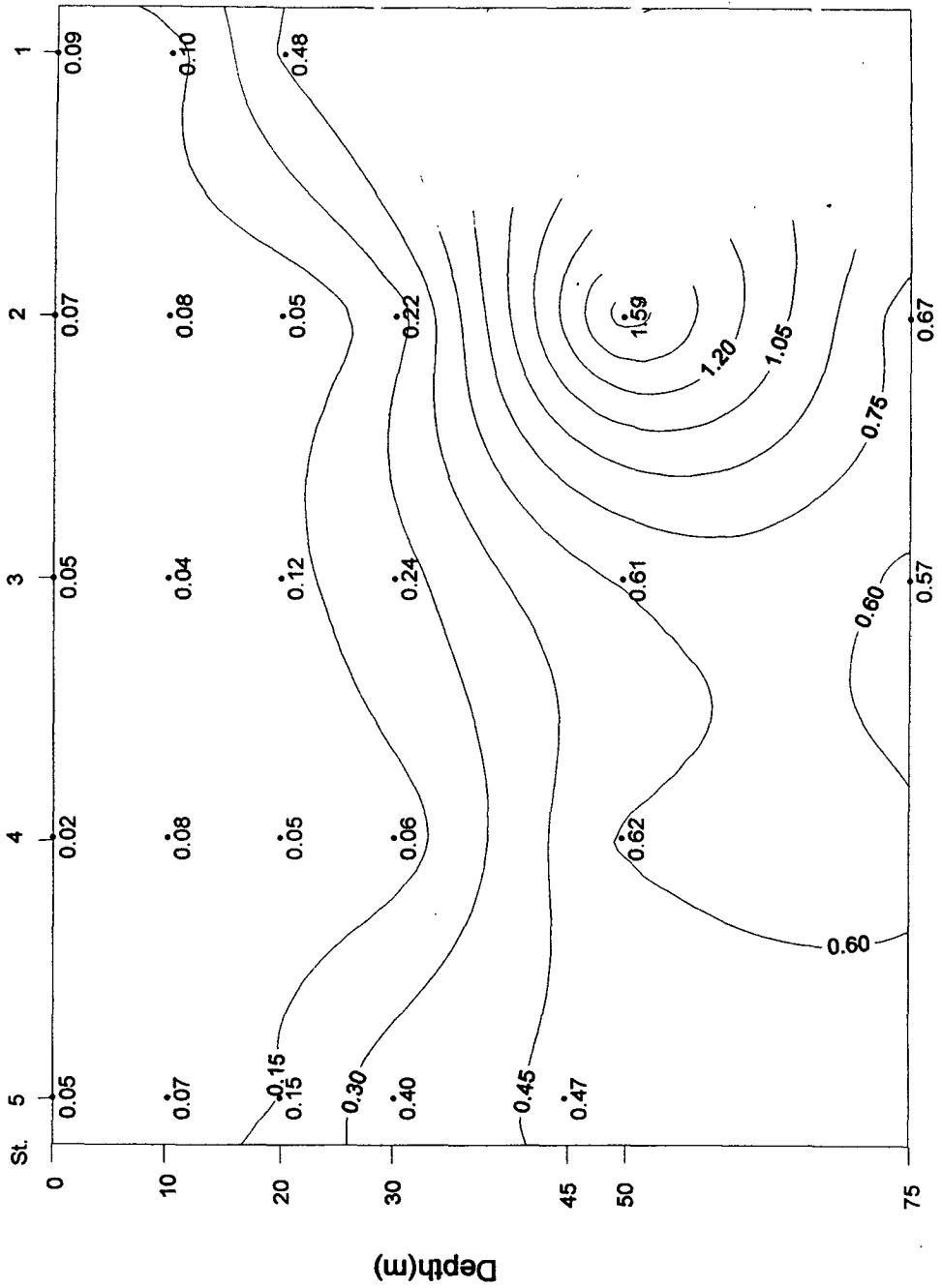


Fig. 4-29. Vertical distribution of phosphate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).



9605 PO4 3

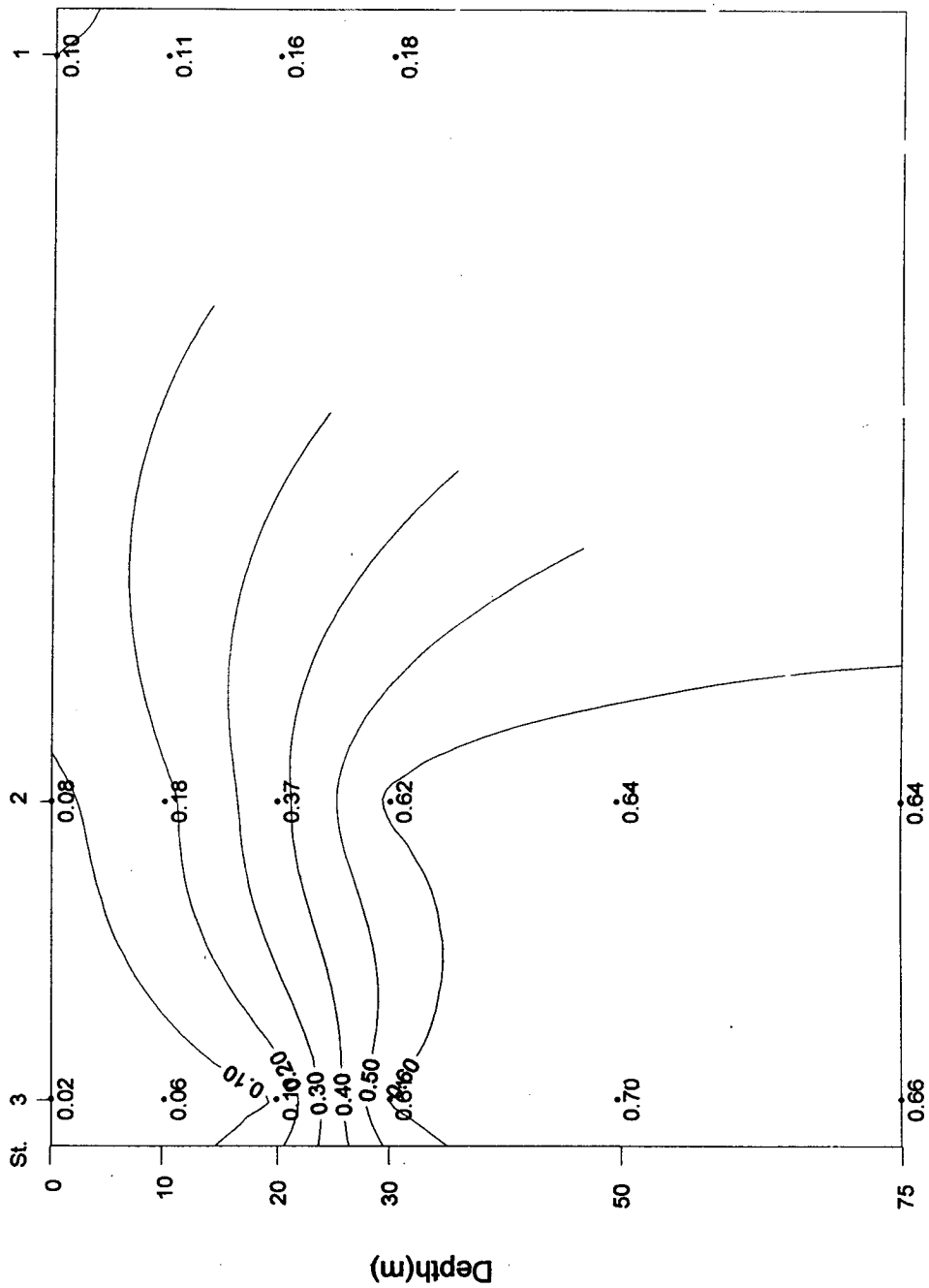


Fig. 4-30. Vertical distribution of phosphate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 SiO<sub>2</sub> 1

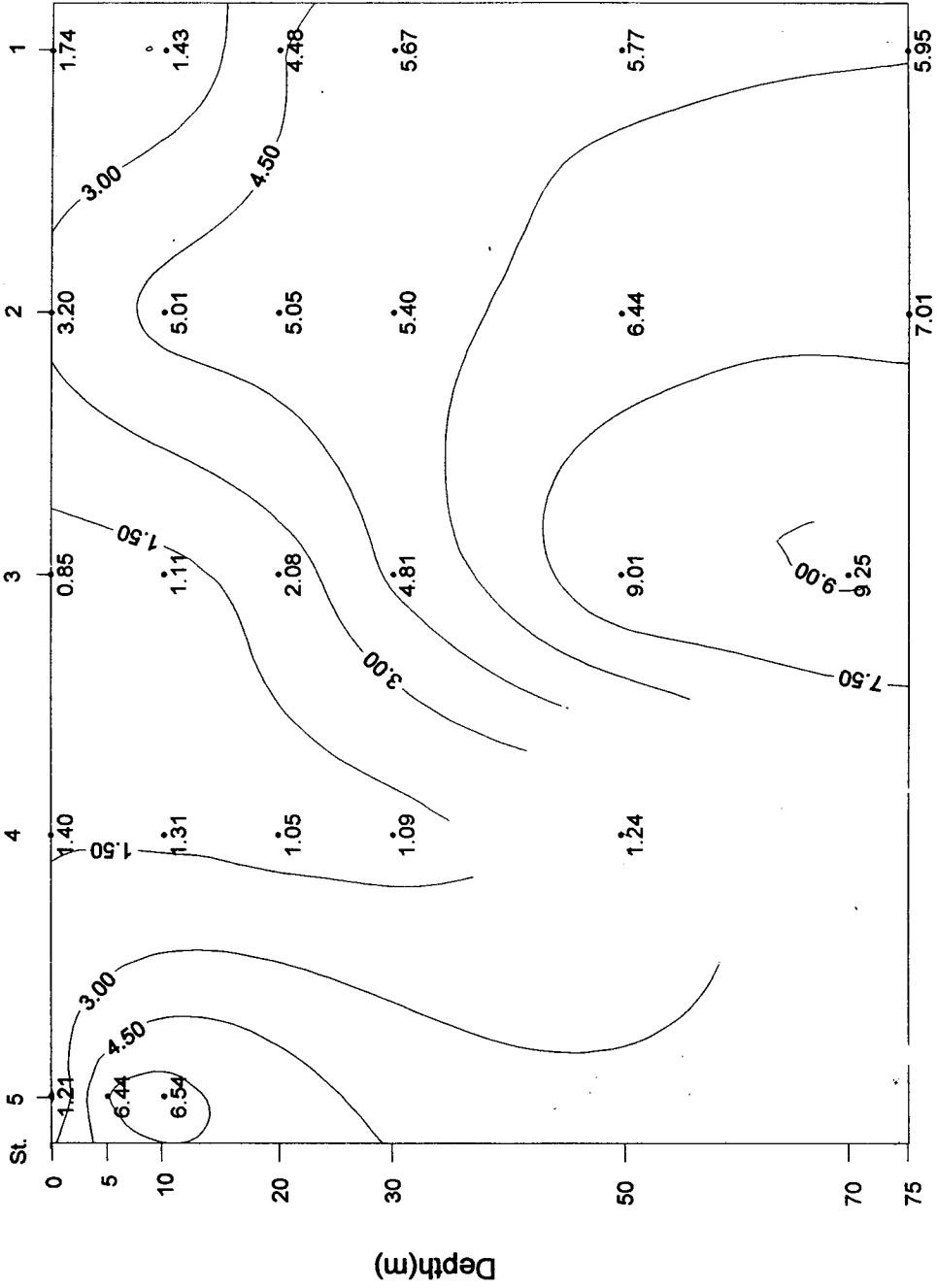


Fig. 4-31. Vertical distribution of silicate of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 SiO<sub>2</sub> 2

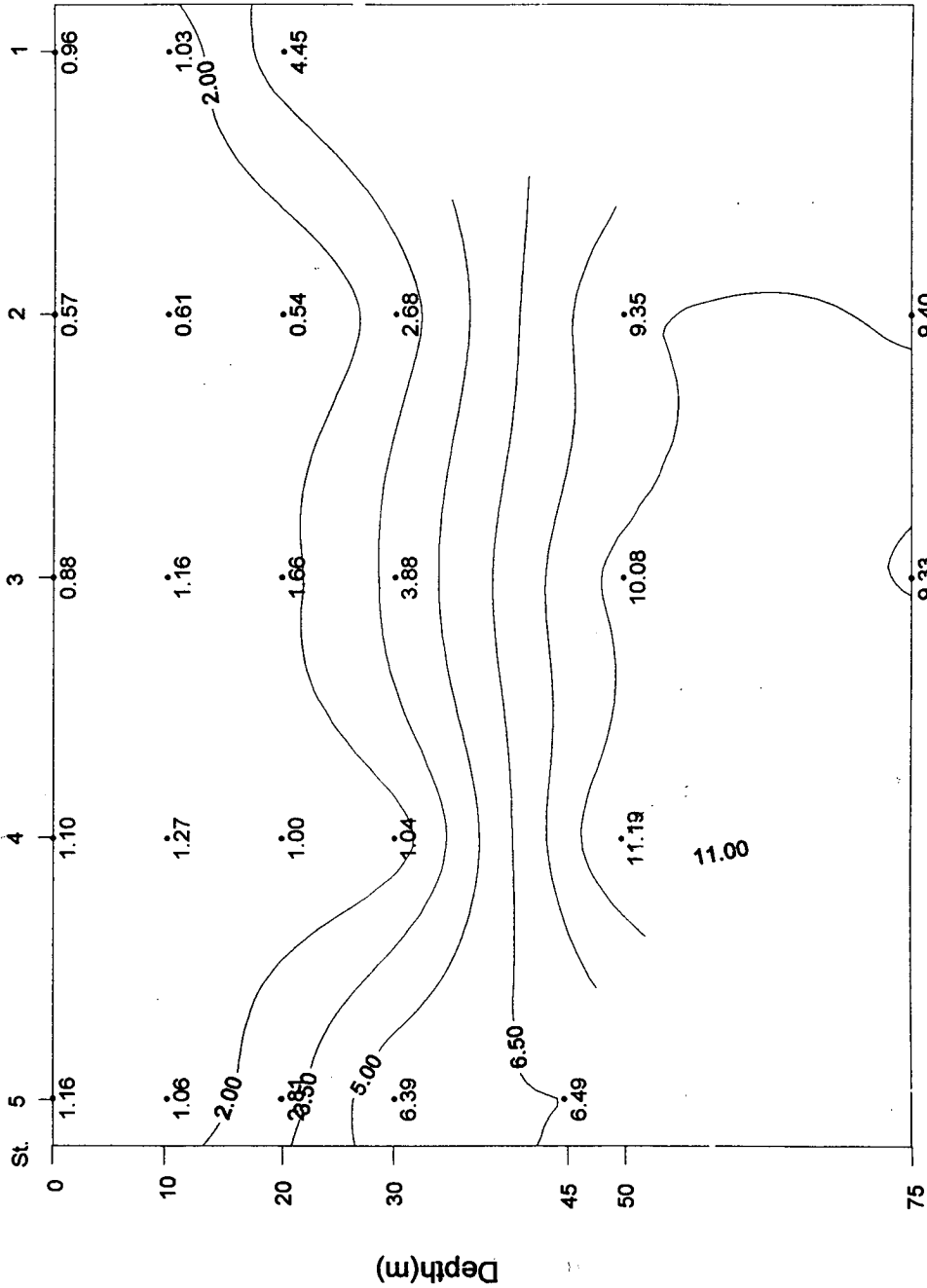


Fig. 4-32. Vertical distribution of silicate of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

9605 SiO<sub>2</sub> 3

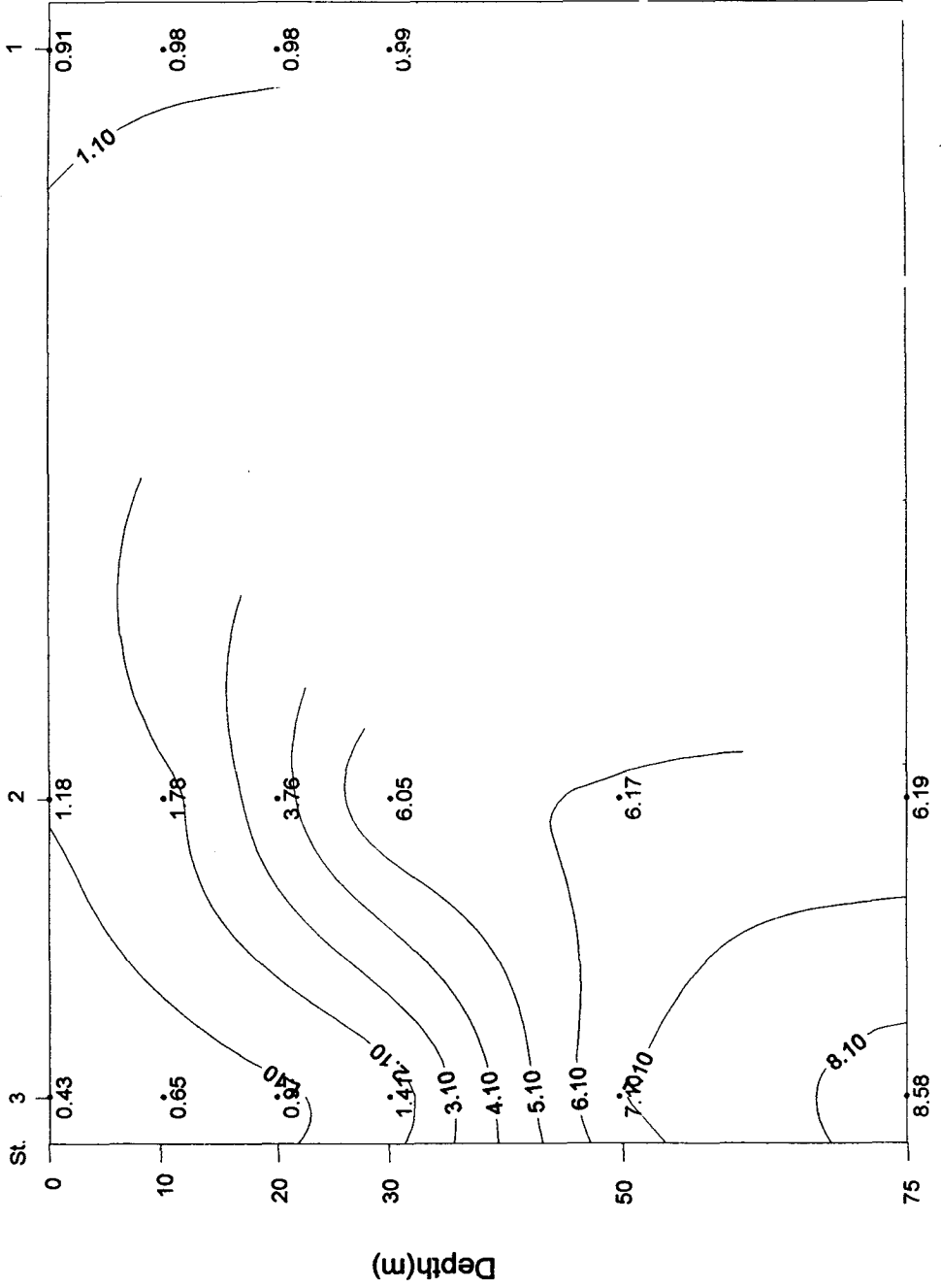


Fig. 4-33. Vertical distribution of silicate of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{M}$ ).

클로로필은 96년 5월에 매우 낮은 농도를 보였는데 St. 101에서만 표층이 3  $\mu\text{g}/\text{l}$  이상이였다 (Fig 4-34 ~ 4-36). St. 201에서도 다른 정점에서 보다 약간 높은 정도의 클로로필 농도에 그쳤고 3번 정선에서는 20m 층에서 클로로필이 가장 높은 것이 특징이였다.

해수중의 POC는 1번 정선의 경우 한국측 2개정점에서는 수층에 걸쳐 비슷한 분포를 보이며 St. 105에서는 표층이 944.1 10m층이 1347.3  $\mu\text{g}/\text{l}$ 에 이른다 (Fig. 4-37, Table 4-5). 클로로필의 농도가 St. 105 표층에서 낮은 것을 볼때 이는 육상기인의 부유물질이 많은 해수의 영향이라고 보여지며 지금 까지 중국측의 기존자료와 일치한다. 2번 정선의 경우도 St. 204에서 POC 가 379  $\mu\text{g}/\text{l}$ 였으나 St. 205에서 637.9  $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 증가하였다 (Fig. 4-38, 39). 황해중앙부 해역에서의 이같은 저염분 해수의 영향은 유기물성분이 외해역까지 확산되어지는 점에서 앞으로 지속적인 연구가 필요하다. 조석혼합이 있는 St. 201에서는 수층에 걸쳐 POC 가 1000  $\mu\text{g}/\text{l}$ 를 넘는다.

PON의 경우도 1번 정선의 St. 105에서 86  $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 높은 값을 보였고 2번 정선에서 한국측의 높은 PON 분포경향은 POC의 경우와 같으며 2번 정선의 외해역에서 다시 높은 농도를 보였다 (Fig. 4-40 ~ 4-42).

용존성유기질소 (DOC)의 농도는 1번 정선의 표층에서 1.68 ~ 2.81  $\mu\text{g}/\text{l}$  정도 였으며 St. 303에서는 4  $\mu\text{g}/\text{l}$ 를 넘지만 수층에 따른 차이가 거의

Table 4- 5. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in May 1996.

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
101	0	120.2	35.4	1.99
	10	107.7	49.6	1.78
	20	141.9	90.4	1.34
	30	69.9	40.4	1.27
	50	112.3	36.3	1.72
	75	187.6	40.3	1.81
102	0	248.0	70.1	1.68
	10	180.0	38.2	1.36
	20	134.0	32.7	2.33
	30	213.2	54.0	1.84
	50	236.3	57.2	3.40
	75	304.5	45.6	1.54
103	0	144.4	39.9	2.70
	10	198.9	20.9	1.56
	20	291.0	39.5	-
	30	309.3	25.1	-
	50	316.8	41.1	1.88
	70	408.2	35.2	1.42
104	0	273.7	41.0	2.81
	10	365.2	36.2	1.92
	20	391.7	44.4	2.38
	30	485.9	37.3	1.57
	50	546.5	39.0	1.93
105	0	944.1	86.1	1.89
	5	911.2	91.7	3.25
	10	1347.3	121.8	1.98

Table 4- 5. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
201	0	1021.7	145.8	2.06
	10	1121.4	141.9	3.06
	20	1348.4	160.5	1.74
202	0	345.6	46.7	1.62
	10	485.7	28.4	4.24
	20	636.6	21.1	1.88
	30	653.8	39.4	2.76
	50	626.6	46.1	1.85
	75	691.3	40.0	1.55
203	0	340.7	25.0	2.54
	10	278.0	24.9	2.13
	20	617.3	50.8	2.16
	30	577.1	39.8	1.93
	50	507.4	31.0	1.85
	75	626.9	40.8	1.60
204	0	379.0	20.8	1.66
	10	374.2	24.9	1.66
	20	456.8	35.7	1.62
	30	469.6	28.4	1.82
	50	444.1	36.5	1.46
205	0	637.9	59.7	1.89
	10	690.6	63.5	3.18
	20	755.6	95.4	2.23
	30	810.1	75.1	2.25
	45	557.4	67.2	2.32

Table 4- 5. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in May 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
301	0	357.0	49.3	1.93
	10	258.5	48.0	2.44
	20	370.8	50.0	2.76
	30	399.3	56.7	2.12
302	0	333.7	35.7	2.43
	10	349.0	41.5	2.24
	20	410.9	43.3	2.12
	30	469.1	50.4	1.72
	50	671.4	42.7	1.53
	75	312.8	69.7	2.00
303	0	575.5	48.0	4.03
	10	509.7	46.0	2.32
	20	715.5	79.1	2.42
	30	700.5	76.1	1.62
	50	514.8	48.8	1.51
	75	639.9	99.9	2.05



9605 chl-a. 1

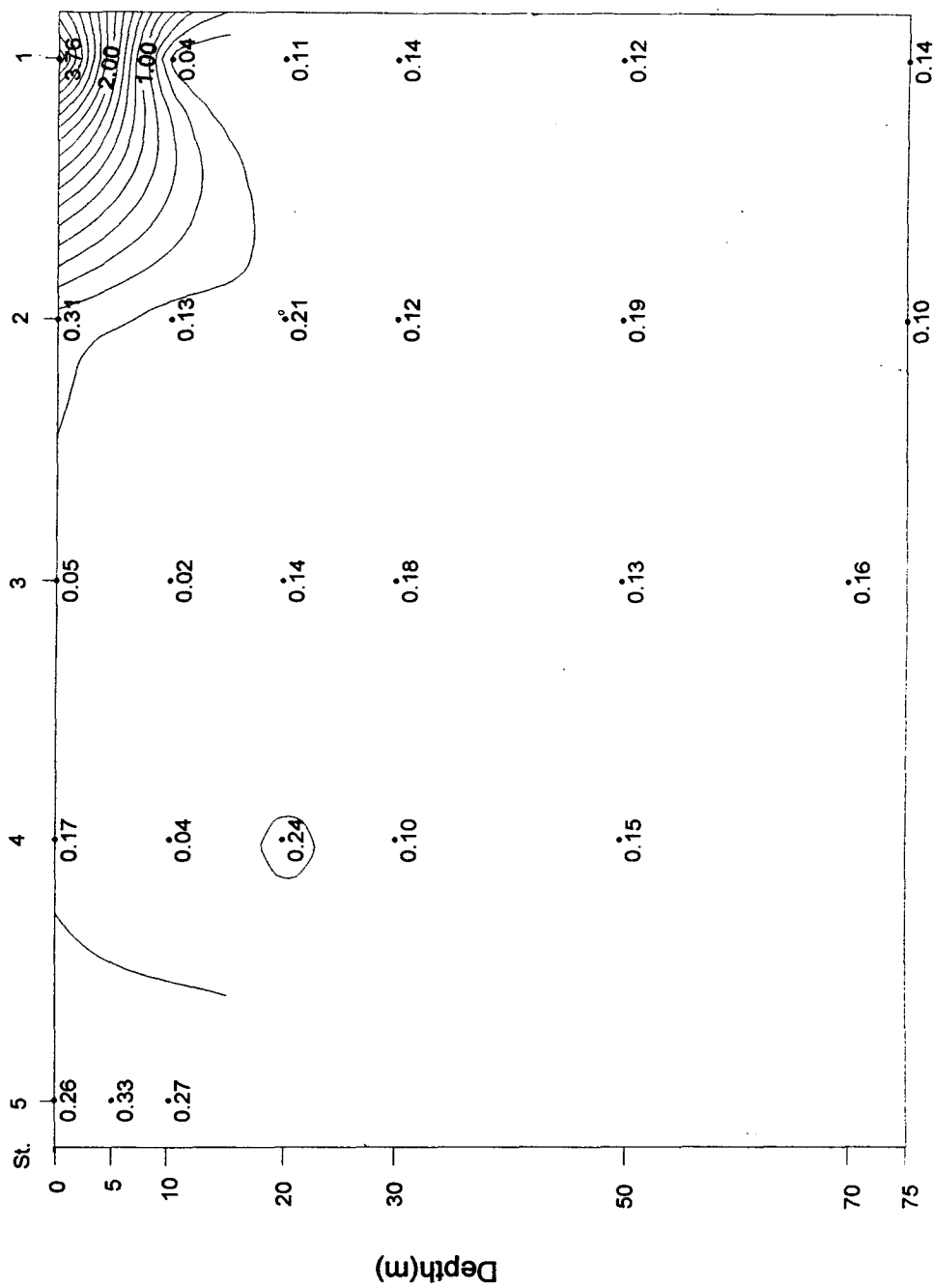


Fig. 4-34. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

9605 chl-a. 2

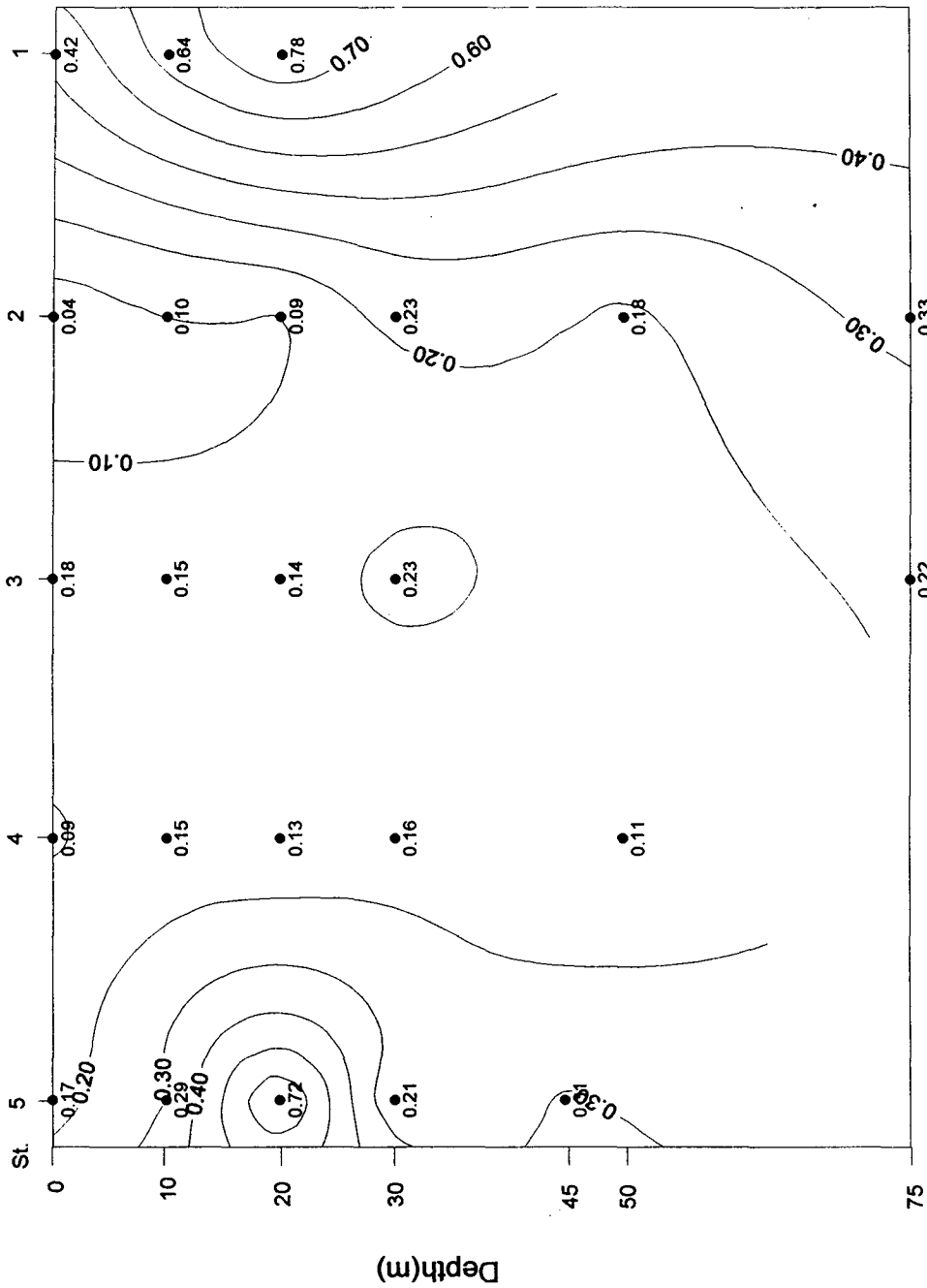


Fig. 4-35. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9605 chl-a. 3

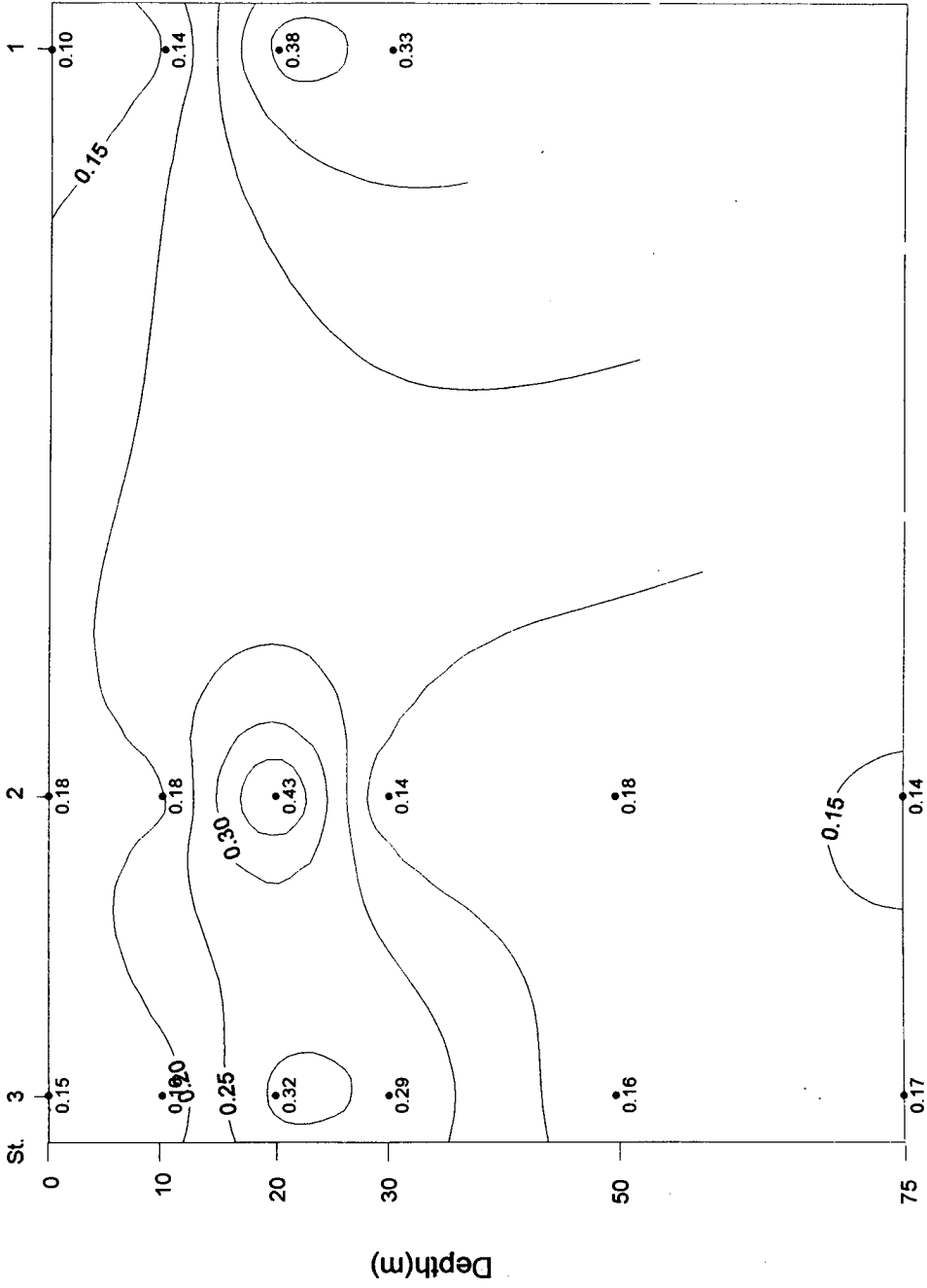


Fig. 4-36. Vertical distribution of chlorophyll a of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

# 9605 POC 1

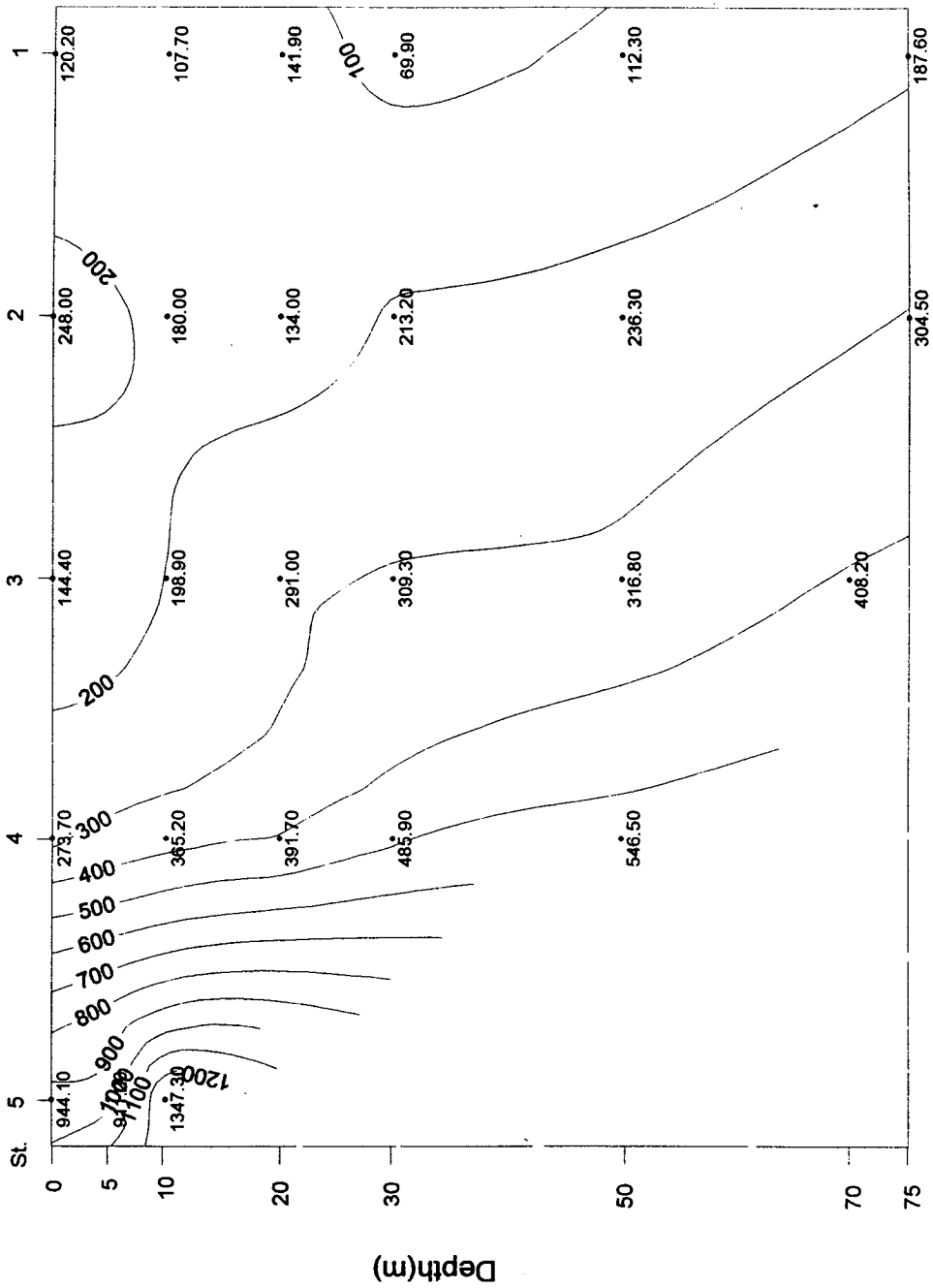


Fig. 4-37. Vertical distribution of POC of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

# 9605 POC 2

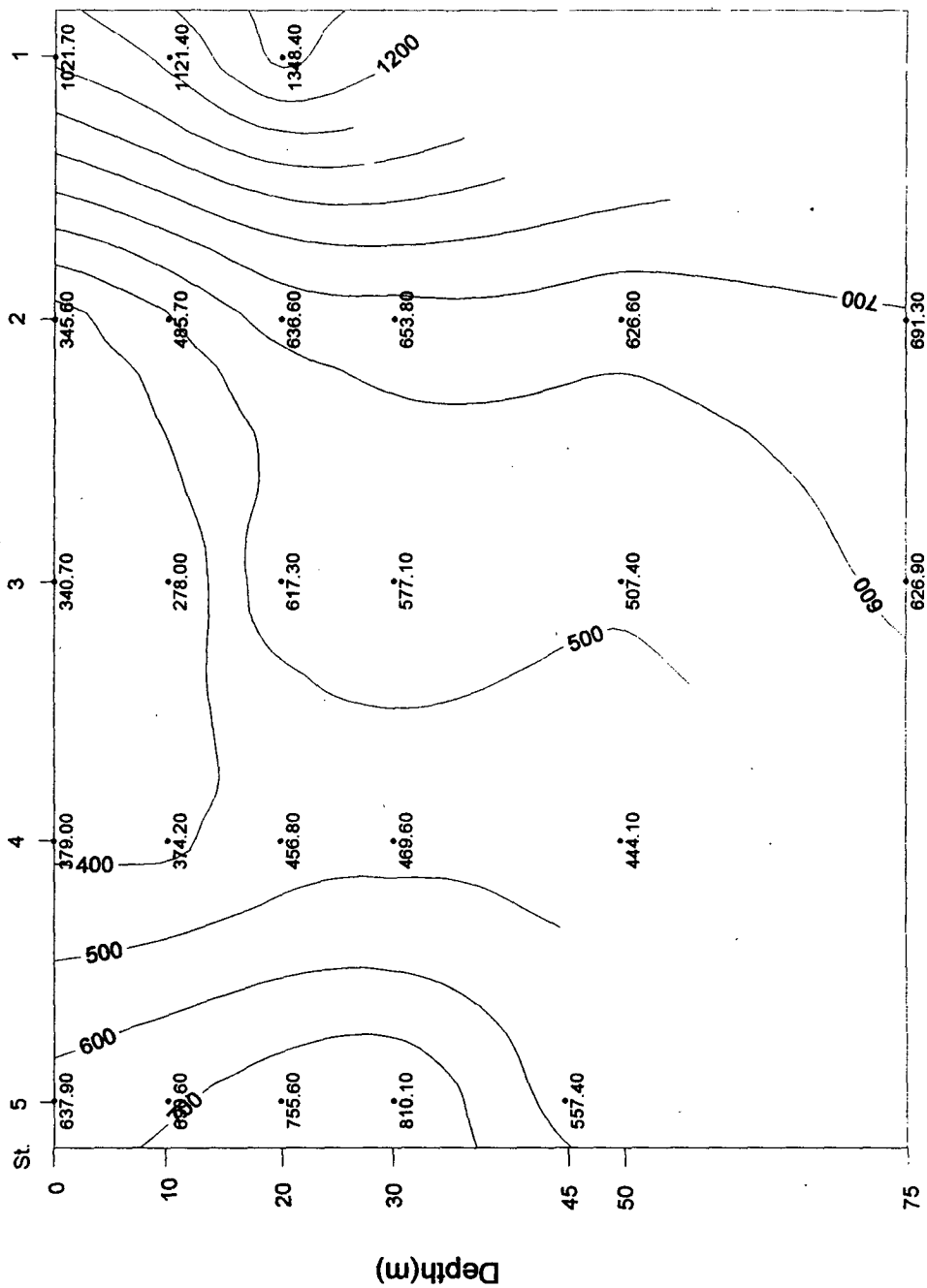


Fig. 4-38. Vertical distribution of POC of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9605 POC 3

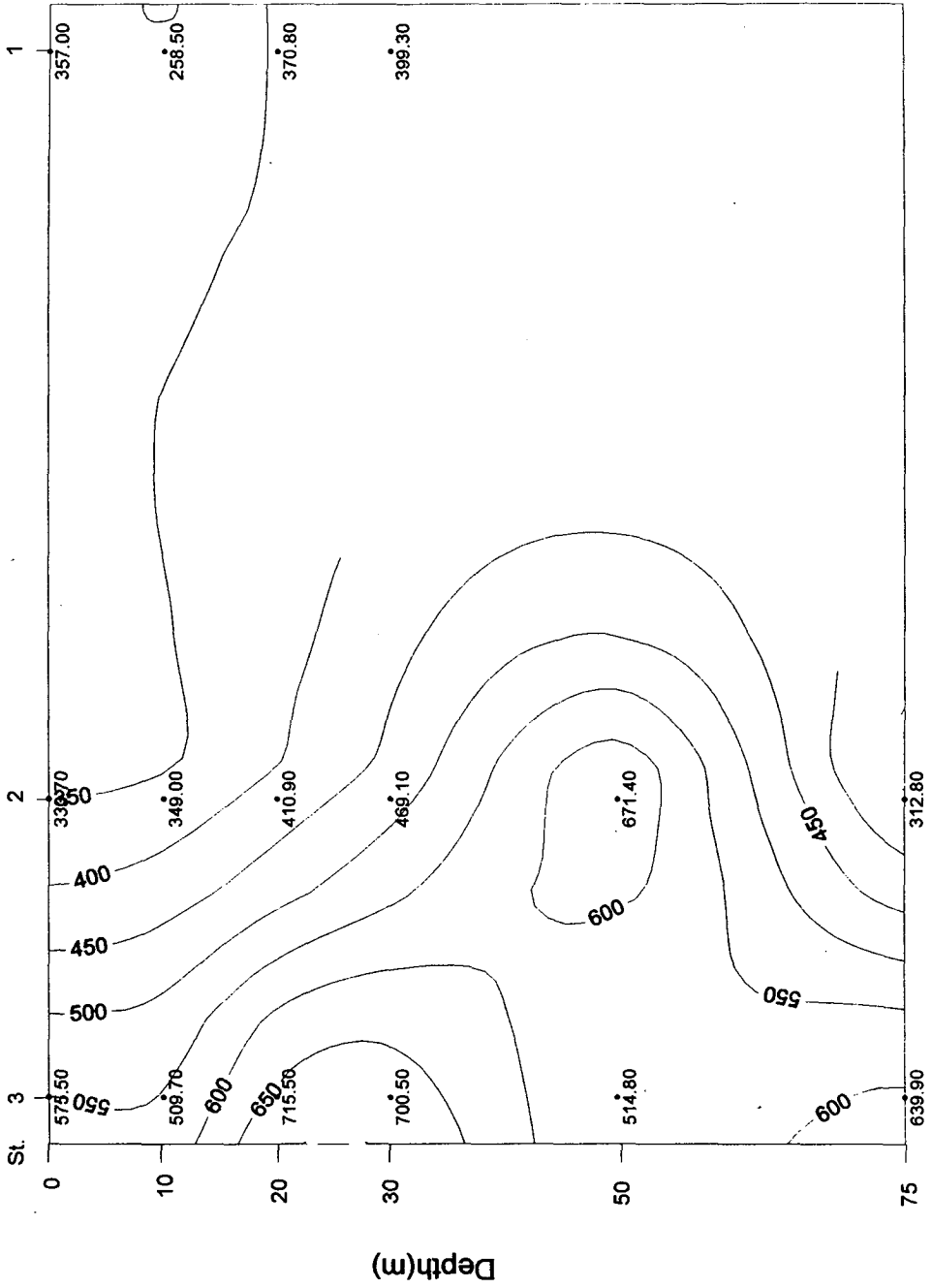


Fig. 4-39. Vertical distribution of POC of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9605 PON 1

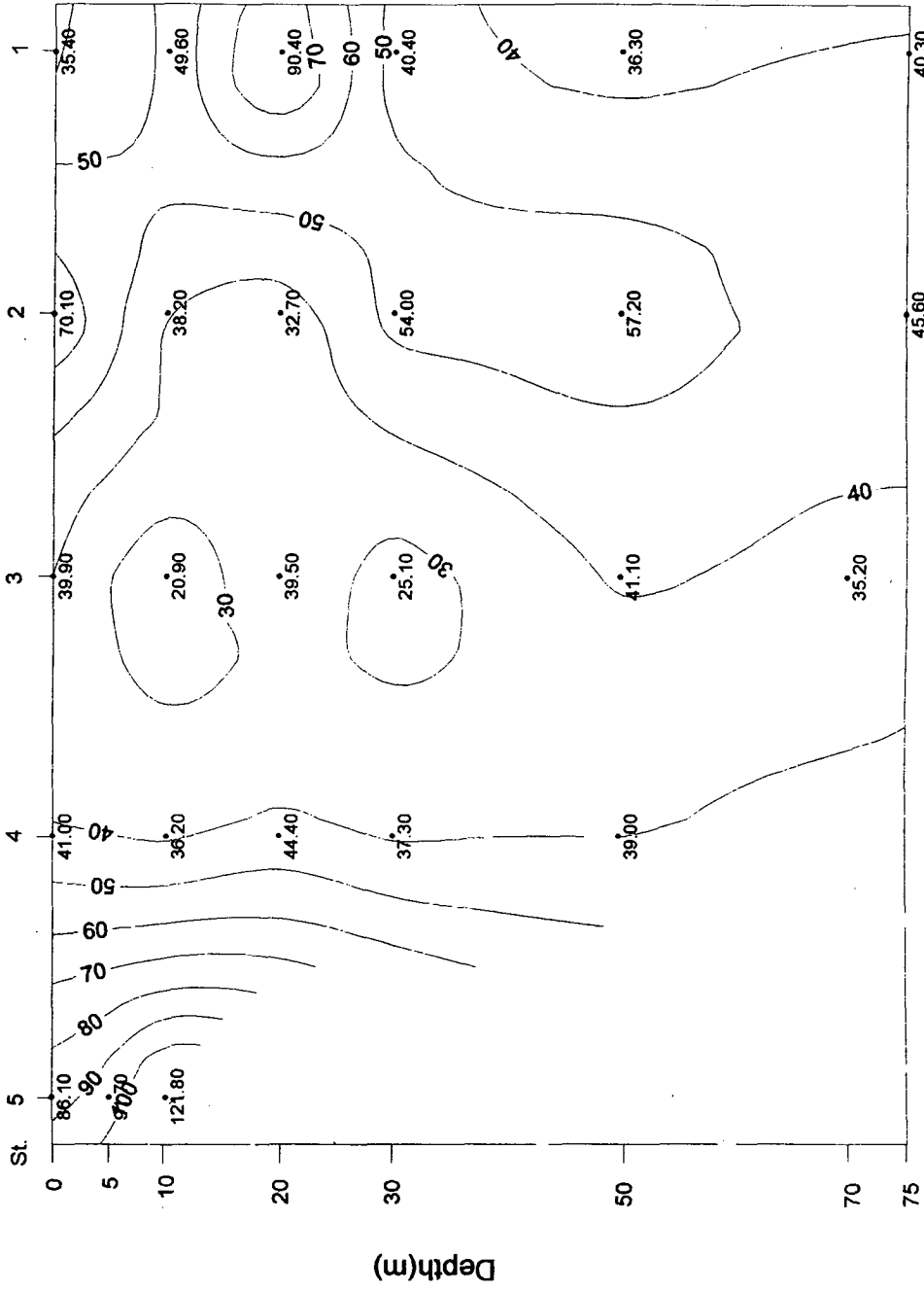


Fig. 4-40. Vertical distribution of PON of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

# 9605 PON 2

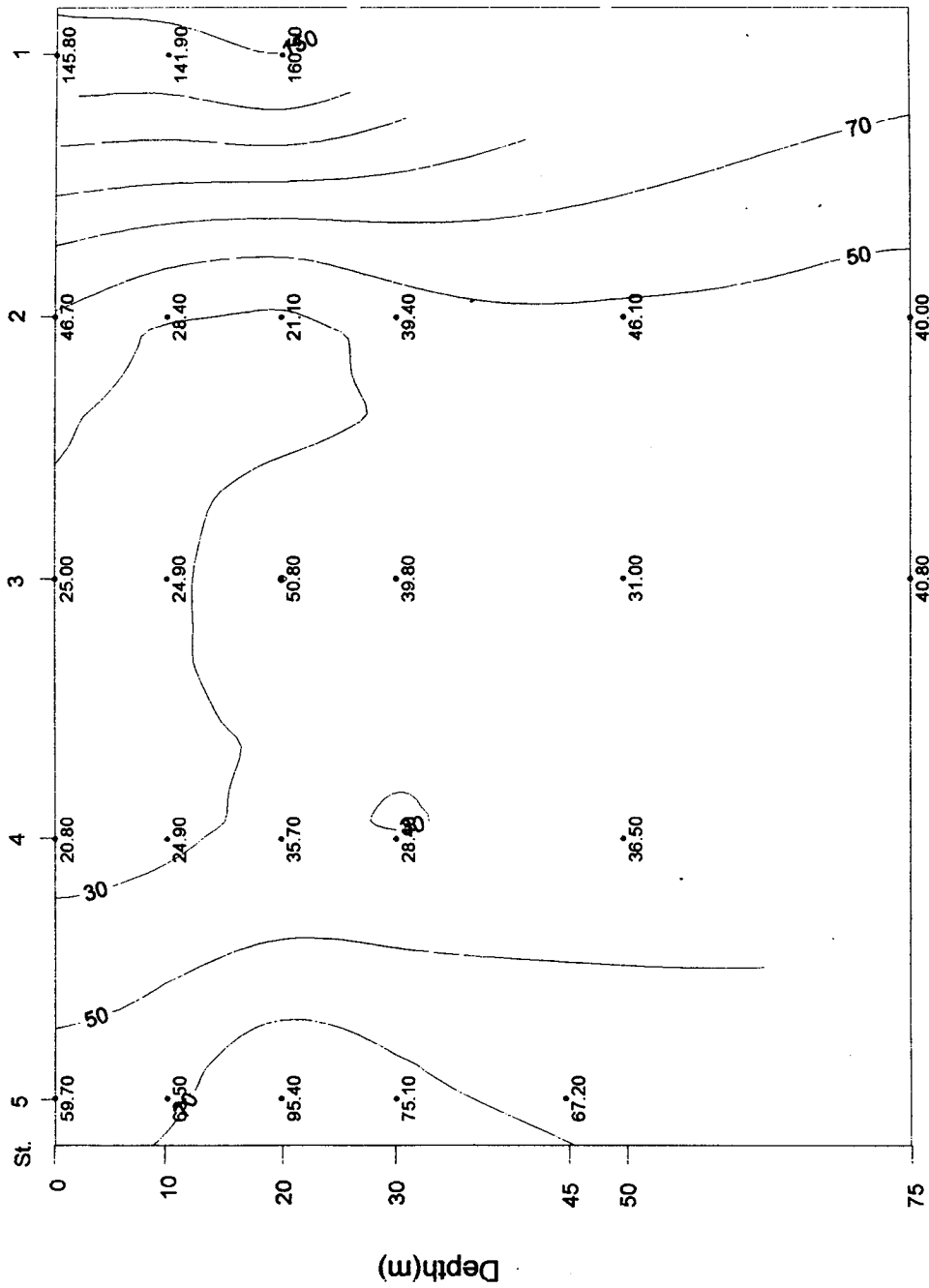


Fig. 4-41. Vertical distribution of PON of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).



9605 PON 3

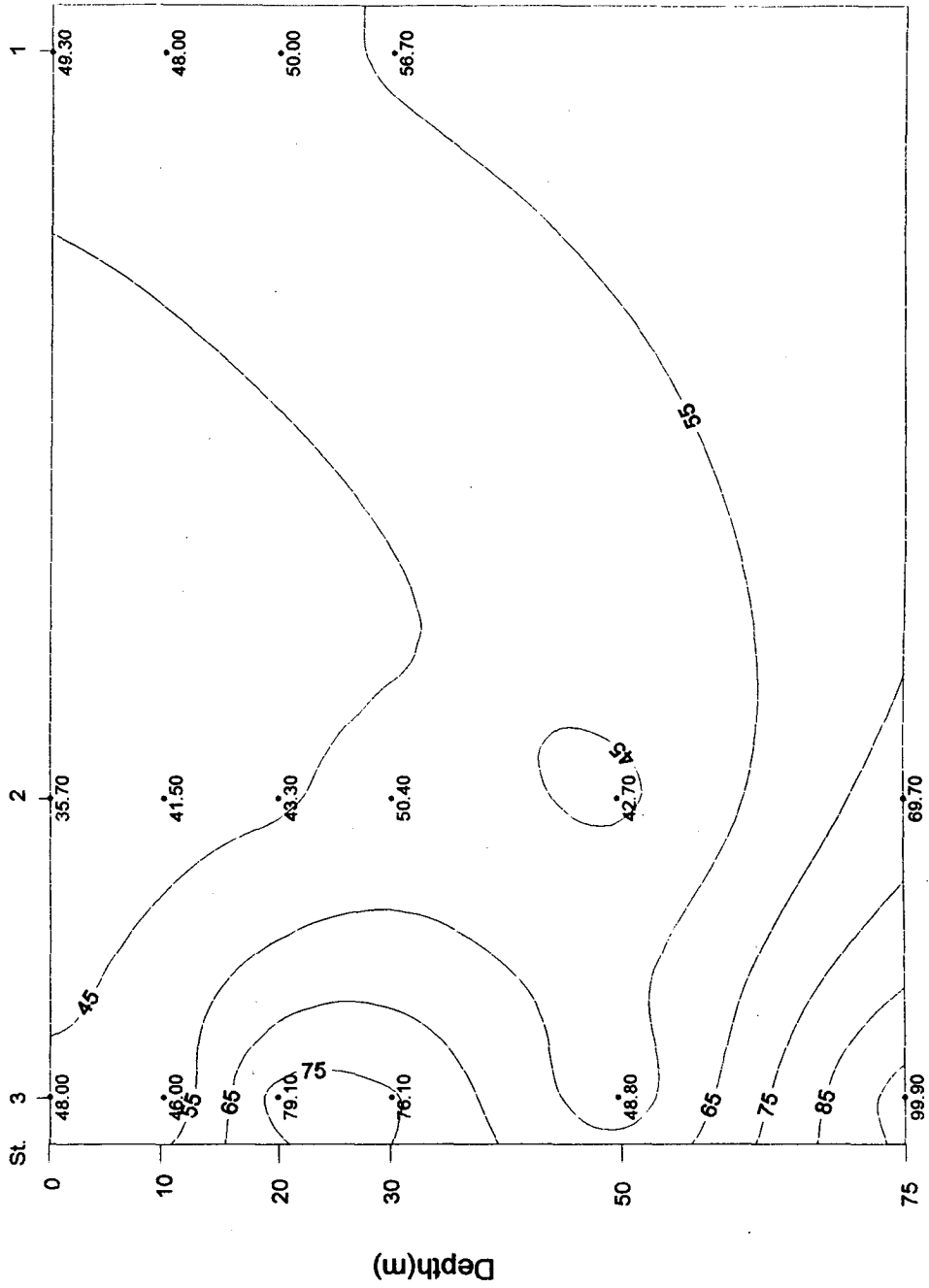


Fig. 4-42. Vertical distribution of PON of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

나타나지 않았다 (Fig. 4-43 ~ 4-45).

1996년 5월 황해외해역에서 채취된 표층해수중의 용존성 Cd, Cu, Pb, Zn의 농도 및 분포는 Table 4-6 과 Fig. 4-46, 47과 같다. 카드뮴의 범위와 평균은  $0.009\sim 0.027\mu\text{g/l}$ ,  $0.017\mu\text{g/l}$ 로 대체로 남부해역에서 다소 높고, 중앙 및 북부해역에서 낮은 분포를 나타내었으며, 구리와와의 상관계수는  $r=0.897$ 로 높았다. 1995년 3~4월의 황해 조사값  $0.007\sim 0.030\mu\text{g/l}$ , 평균  $0.017\mu\text{g/l}$ (한국해양연구소, 1994)와 비슷하였다.

구리는  $0.12\sim 0.47\mu\text{g/l}$ , 평균  $0.29\mu\text{g/l}$ 로 정점 0202, 0203의 중앙에서 낮고, 서부해역에서 다소 높게 나타났으며, 전년도 조사값  $0.10\sim 0.54\mu\text{g/l}$ ,  $0.32\mu\text{g/l}$ (한국해양연구소, 1995)와 비슷한 수준이지만 북해의  $0.24\sim 1.19\mu\text{g/l}$ (Nolting, 1986)보다는 낮았다.

납의 범위는  $0.017\sim 0.38\mu\text{g/l}$ , 평균  $0.027\mu\text{g/l}$ 로 공간적인 분포는 연안에서 가장 먼 St. 303에서 가장 높은 농도를, 그리고 St. 105, 201, 205 등 연안에 가까운 정점에서도 다소 높게 나타났다. 본 조사값은 황해의 1994년과 1995년 각 조사값 평균  $0.024\mu\text{g/l}$ 와  $0.018\mu\text{g/l}$ (한국해양연구소, 1994, 1995)보다는 다소 높으나 북해의  $0.017\sim 0.32\mu\text{g/l}$ (Fileman *et al.*, 1991)와 비슷하였다.

아연의 범위는  $0.07\sim 0.29\mu\text{g/l}$ , 평균  $0.18\mu\text{g/l}$ 과 마찬가지로 St. 203에서

Table 4-6. Distribution of heavy metals in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996.

St.	Cd $\mu\text{g/l}$	Cu $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Zn $\mu\text{g/l}$
101	0.020	-	0.017	-
102	0.020	0.27	-	0.16
103	0.014	0.21	0.021	0.27
104	0.024	0.43	-	0.23
105	0.027	0.47	0.029	0.16
201	0.020	0.41	0.036	0.18
202	0.009	0.12	0.021	0.07
203	0.012	0.19	0.025	0.13
204	0.021	0.32	0.023	0.25
205	0.012	0.29	0.037	0.11
301	0.012	0.24	0.019	0.10
302	0.012	0.24	0.030	0.23
303	0.017	0.29	0.038	0.29

9605 DOC 1

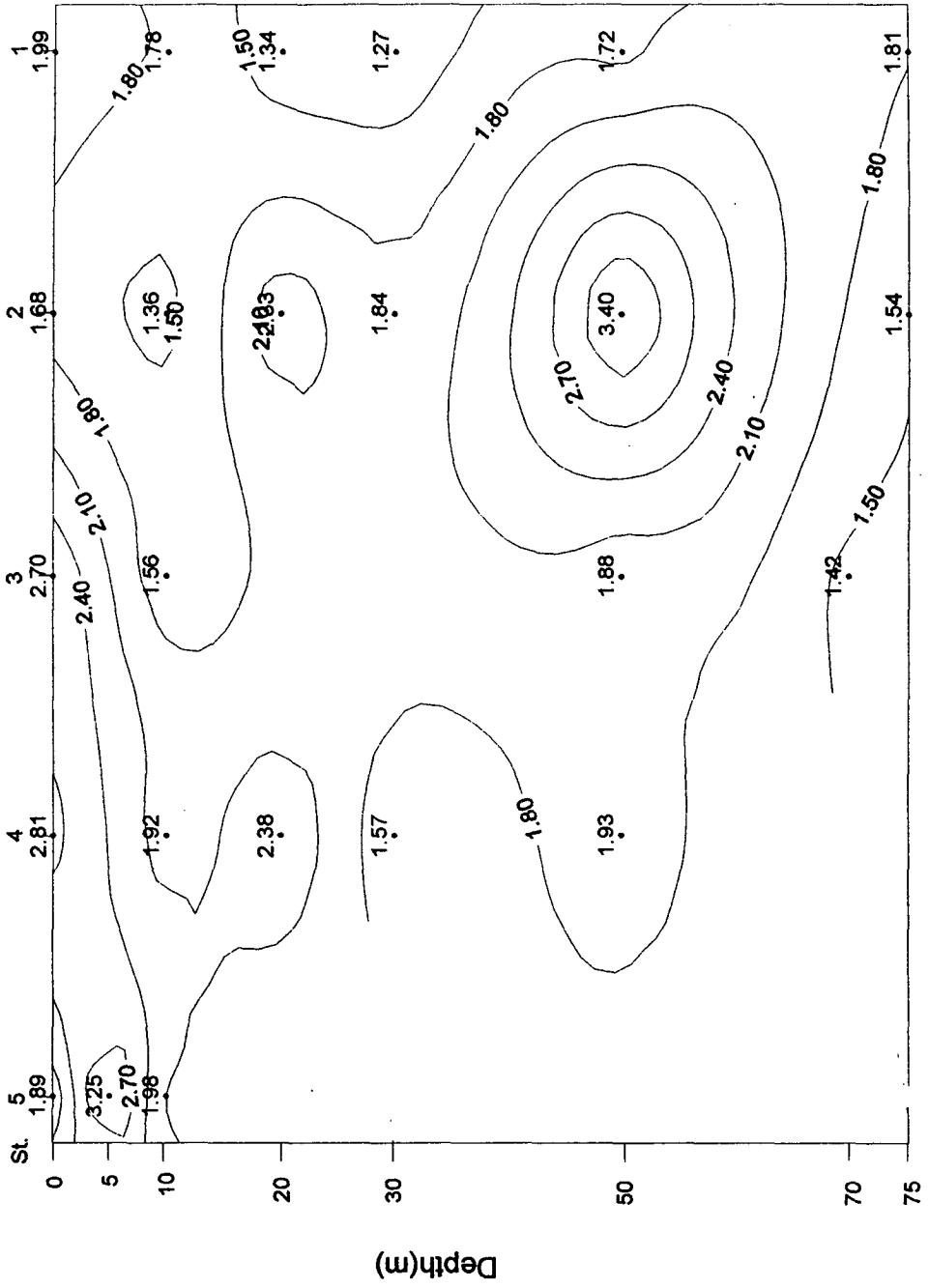


Fig. 4-43. Vertical distribution of DOC of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9605 DOC 2

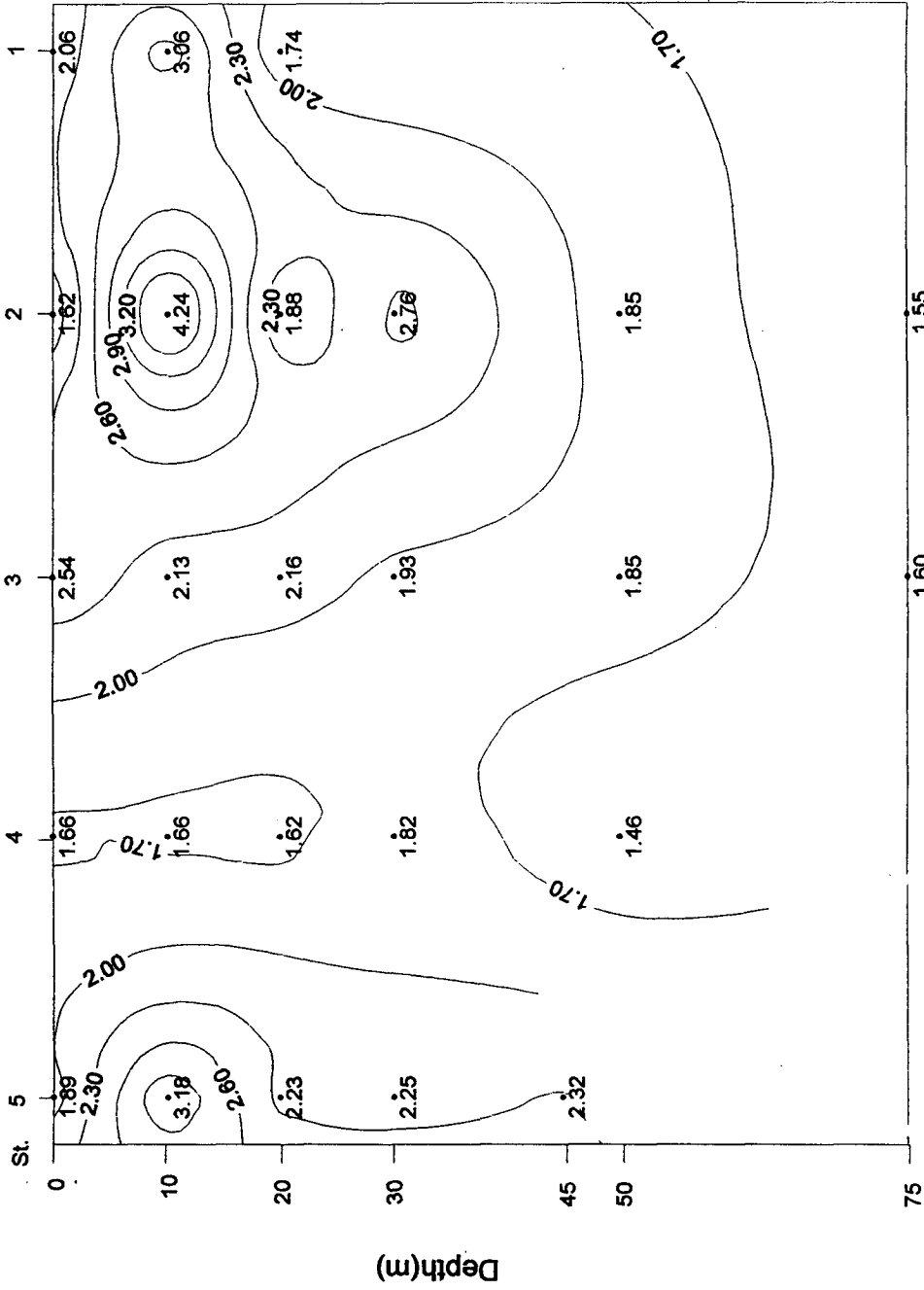


Fig. 4-44. Vertical distribution of DOC of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9605 DOC 3

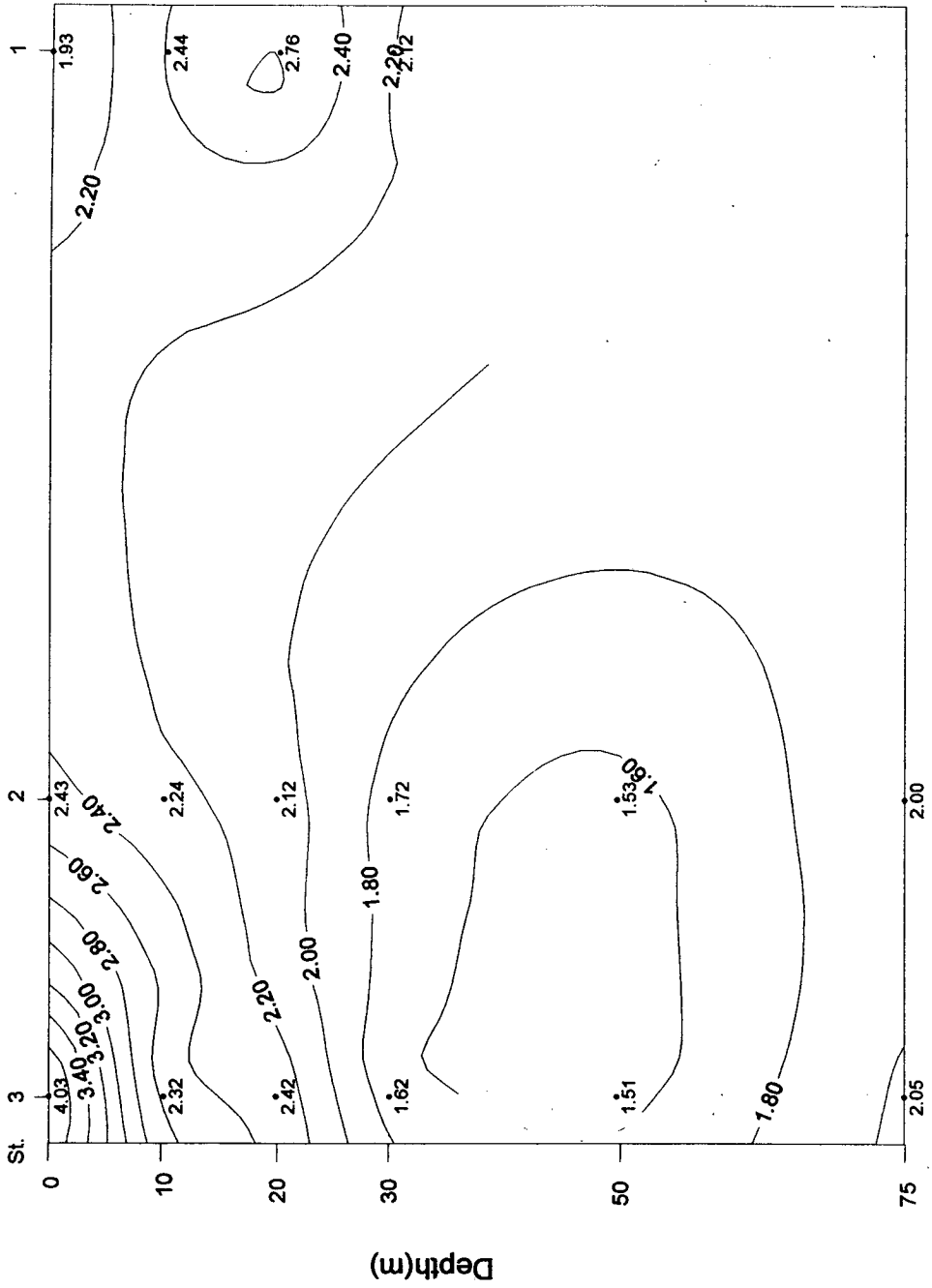


Fig. 4-45. Vertical distribution of DOC of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

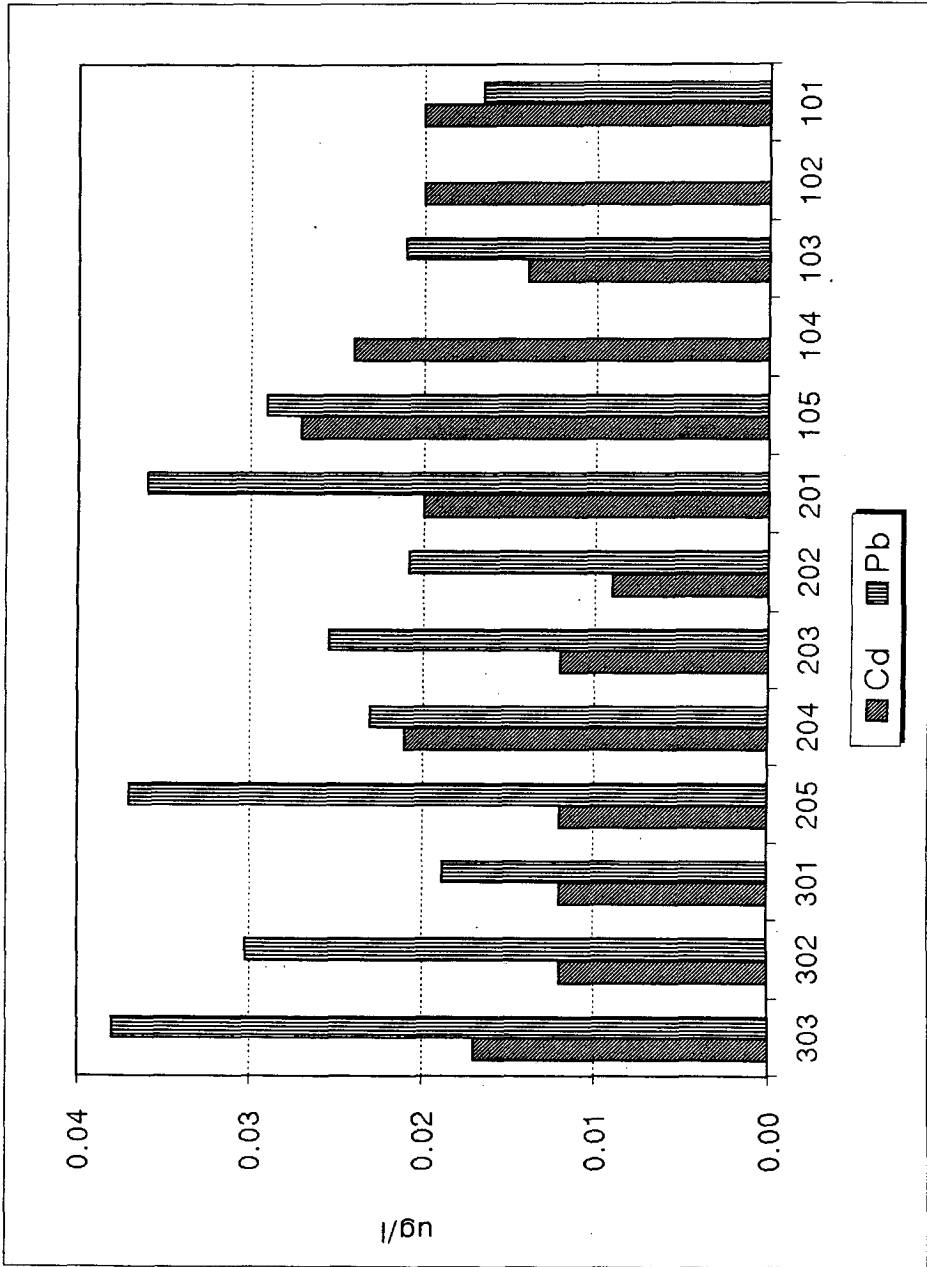


Fig. 4-46. Distribution of Cd and Pb in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

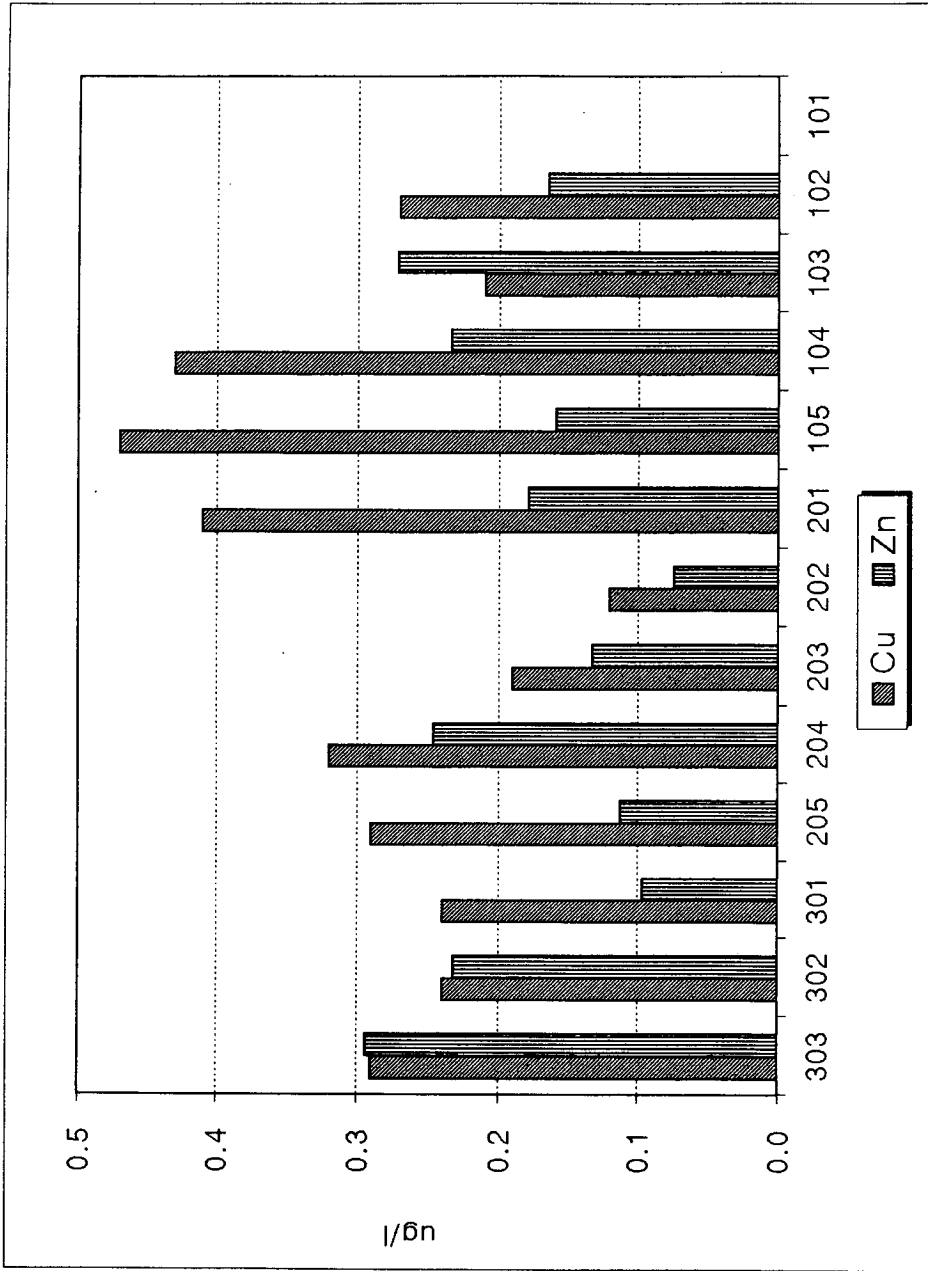


Fig. 4-47. Distribution of Cu and Zn in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).



가장 높았으며 연안의 정점에서 낮은 농도를 나타내었다. 1994년의 황해 조사값 0.06~0.33 $\mu\text{g/l}$ , 평균 0.12 $\mu\text{g/l}$ (한국해양연구소, 1994)와 비슷하였다.

### 제 3 절 1996년 7월 조사

96년 7월의 조사에서 수온은 표층에서 19.2 ~ 23.0 °C로 남쪽 정점에서 높았고 20 ~ 30m 층에서 수온약층의 형성이 뚜렷이 나타났다 (Table 4-7). 염분은 외해역의 정점에서 수심에 따라 증가하였다.

DO는 표층에서 8.00 ~ 8.70 mg/l로 북쪽의 정점들에서는 10 ~ 30m 층에서 최고치를 보였다. 용존산소의 이러한 최고치는 St. 2, 3, 4, 5등 중앙부에 위치한 정점들에서 현저하게 나타났는데 모두 20, 30m 층에서 9 mg/l이상의 중층 최고치를 보여 생물생산에 의한 영향을 시사한다.

TSS는 표층에서 1.0 ~ 2.8 mg/l의 분포를 보였으며 저층에서 대체로 증가하는 양상을 보였고 특히 외해역의 St. 3, 4, 5, 6에서 이러한 현상이 두드러진다. St. 3의 20m 층에서는 18.7 mg/l의 최고치를 보였다. VSS는 표층에서 0.2 ~ 1.1 mg/l의 분포를 보였고 St. 3의 20m 층에서 4.3 mg/l를 나타냈을 뿐 다른 지역에서는 TSS가 증가하는 저층수에서 같이 증가하지 않았다.

Table 4- 7. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in July 1996.

St.	Depth m	Temp ℃	S ‰	Trans m	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
K-1	0	19.9	31.09	9	8.04	8.63	1.89	1.5	0.2
	10	16.2	31.50	-	8.05	8.84	2.06	2.0	0.8
	20	16.3	31.40	-	8.05	8.78	2.23	6.1	1.2
	30	15.0	31.67	-	8.03	8.59	2.37	4.1	1.0
K-2	0	20.8	31.63	11	8.14	8.64	2.20	2.4	1.1
	10	18.5	31.72	-	8.16	8.64	2.23	3.0	1.0
	20	17.0	31.78	-	8.13	9.12	2.45	3.3	1.2
	30	13.0	31.75	-	8.05	9.44	2.67	1.9	1.1
	50	9.0	22.29	-	8.02	10.98	2.14	3.3	0.7
K-3	0	2.0	30.46	-	8.13	8.11	2.54	1.0	0.6
	10	17.5	31.59	-	8.16	8.12	1.80	0.8	0.4
	20	13.0	31.78	-	8.15	9.07	2.06	18.7	4.3
	30	8.0	32.62	-	7.95	8.92	2.23	2.4	0.8
	50	8.0	27.45	-	7.94	8.70	2.39	2.5	1.2
	75	7.9	22.07	-	7.94	8.80	2.47	3.5	0.9
K-4	0	19.2	24.73	-	8.17	8.30	2.98	2.7	0.8
	10	19.0	32.02	-	8.19	8.68	2.70	3.4	1.3
	20	16.5	32.15	-	8.16	9.24	2.43	2.8	1.4
	30	14.6	28.67	-	8.15	8.99	2.57	1.2	0.5
	50	9.0	32.41	-	7.95	8.10	2.62	6.5	1.6
	75	8.0	32.49	-	7.93	7.91	2.68	7.3	1.9
K-5	0	19.5	30.73	-	8.13	8.10	2.05	2.8	1.0
	10	19.7	32.02	-	8.16	8.15	1.75	2.8	1.3
	20	16.0	32.13	-	8.15	9.06	1.61	2.2	1.1
	30	11.5	32.12	-	8.10	9.65	1.86	0.9	0.3
	50	9.0	32.65	-	7.93	9.00	2.39	3.3	1.3
	75	8.5	32.28	-	7.93	8.04	1.57	2.4	0.5

Table 4- 7. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	Trans m	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
K-6	0	19.5	29.71	-	8.12	8.32	1.91	2.4	1.0
	10	18.5	23.88	-	8.16	9.43	1.33	4.0	0.9
	20	16.5	31.83	-	8.14	7.84	2.08	4.1	2.0
	30	9.5	32.09	-	8.12	9.84	2.11	1.9	0.9
	50	11.0	32.39	-	7.98	8.51	1.90	2.5	1.3
	75	14.0	32.03	-	8.11	9.56	2.06	1.4	0.8
K-7	0	20.0	26.64	15	8.09	8.01	1.63	1.6	0.9
	10	20.5	29.73	-	8.14	8.03	1.71	1.4	0.6
	20	17.5	30.95	-	8.15	8.87	1.58	1.5	0.4
	30	11.1	29.82	-	8.10	8.51	1.63	2.1	1.1
	50	12.5	32.78	-	7.99	8.30	1.99	3.1	1.1
	75	9.4	32.66	-	7.94	8.20	2.11	6.5	1.5
K-8	0	21.0	27.55	17	8.11	8.00	1.97	2.6	1.3
	10	19.5	32.12	-	8.12	8.30	2.12	2.2	0.5
	20	18.0	32.47	-	8.12	8.93	1.91	3.1	1.2
	30	15.0	33.23	-	8.10	8.92	2.23	1.8	0.3
	50	11.5	32.92	-	8.09	8.15	2.16	2.4	1.1
	75	9.5	32.68	-	8.02	8.29	2.42	2.1	0.7
K-9	0	23.0	32.07	20	8.14	8.07	2.03	1.0	0.6
	10	19.8	32.27	-	8.11	8.35	2.05	1.0	0.9
	20	18.0	32.70	-	8.12	8.70	1.83	1.5	0.5
	30	15.0	31.22	-	8.10	8.85	1.92	0.8	0.6
	50	11.0	32.57	-	7.99	8.08	2.78	2.5	1.3
	75	11.0	30.61	-	7.96	7.91	2.82	7.7	1.8
K-10	0	19.5	31.05	-	8.17	8.31	2.98	1.0	0.5
	10	17.0	32.50	-	8.15	9.10	2.95	3.2	1.2
	20	16.0	29.50	-	8.12	8.50	2.90	3.5	1.3
	30	15.1	32.55	-	8.10	8.14	3.69	1.6	0.7
	50	14.5	26.54	-	8.08	8.14	3.61	13.8	7.7

Table 4- 7. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp ℃	S ‰	Trans m	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
K-11	0	20.0	23.96	-	8.20	8.26	1.10	2.8	1.1
	10	17.1	32.65	-	8.19	9.23	1.38	1.4	0.9
	20	5.5	32.80	-	8.13	8.52	1.54	1.9	1.1
	30	15.3	32.65	-	8.10	8.27	1.71	2.7	1.3
	50	14.5	24.13	-	8.07	7.84	1.80	4.6	1.4
K-12	0	21.5	31.98	-	8.19	8.08	2.06	1.3	1.1
	10	20.5	28.86	-	8.19	8.14	1.88	1.8	1.1
	20	16.0	32.70	-	8.17	9.18	2.09	2.3	1.0
	30	12.3	32.70	-	8.04	8.32	2.31	3.7	1.0
	50	12.2	30.67	-	8.03	8.38	2.23	4.1	0.8
K-13	0	20.5	27.24	-	8.17	8.70	1.77	1.6	0.6
	10	18.0	26.23	-	8.09	8.42	1.72	3.7	1.2
	20	17.8	26.80	-	8.04	7.43	1.58	3.7	1.4
K-14	0	20.0	28.28	-	8.15	8.58	1.89	1.7	0.4
	10	19.0	28.53	-	8.15	8.84	2.00	4.1	1.6
	20	20.0	22.34	-	8.16	8.77	2.93	4.3	1.5
	30	16.0	23.71	-	8.04	7.85	1.71	4.7	1.6

표층의 COD는 1.1 ~ 2.98 mg/l 로 외해역의 St. 4와 남부의 St. 10에서 가장 높은 값을 나타냈고 수층에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다.

질산염은 외해쪽정점의 경우 표층에서 30m 층까지 1  $\mu\text{M}$  이하로 수온약층위에서 거의 소모된 양상을 보였으며 50m 층부터 6 ~ 10  $\mu\text{M}$ 로 급격한 증가를 보여 일차생산이 수온약층 근처에서 확산되는 영양염에 의존하는 시기라고 생각된다 (Table 4-8). 이 깊이에서는 광합성에 필요한 광량을 유지하며 저층수로 부터의 영양염의 공급을 서서히 받는 수온약층에서 생산성이 높으며 이 위의 층은 영양염함량이 일차생산의 제한인자이고 그아래층은 빛이 일차생산의 제한인자이다. 이러한 일차생산은 중층의 용존산소의 일주기 증가와도 관련된다. 연안에 가까운 정점들에서는 수온약층의 깊이가 낮아 20m층에서 부터 질산염의 증가가 시작된다.

암모니아는 전해역에서 1  $\mu\text{M}$  내외, 아질산염은 0.2  $\mu\text{M}$  이내로 낮았으며 수온약층 근처에서 상대적으로 높았다. 규산염은 수온약층위에서 2  $\mu\text{M}$  내외였으며 질산염의 약층보다는 위에서 부터 수직적인 분포의 증가가 나타났다. 클로로필은 중층에서 증가하는 경향이 뚜렷하였으나 그 농도는 1  $\mu\text{g/l}$  이하였고 POC는 표층의 경우 외해역쪽에 위치한 St. 4, 6에서 1000  $\mu\text{g/l}$  을 넘었으며 COD의 분포경향과 비슷하였다 (Table

4-9). 표층수중의 PON의 경우도 외해역의 St. 4 에서 140.4  $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 가장 높았고 DOC는 표층에서 1.52 ~ 2.06 mg/l 의 분포로 지리적인 변화가 거의 없었다.

## 제 4 절 1996년 8월 조사

96년 8월조사는 황해 중앙부의 조사와 중국측 가까운 정점들에 대한 조사 및 연속관측등으로 이루어 졌다. 조사정선은 진해에서 양자강 하구쪽으로 가는 연속관측 정선과 강소성 해안에 평행한 2개 정선, 그리고 산둥반도와 태안반도를 연결하는 정선으로 이루어 졌다.

본문에서는 편의상 St. 42, 43, 44를 1번정선 (Section 1)으로, St. 44, 45, 46을 2번정선 (Section 2)로, St. 47, 48, 49를 3번정선(Section 3), St. 50, 51, 52, 53을 4번 정선 (Section 4) 로 표시하였다.

수온은 하계라서 전 정점에서 강한 수온약층이 형성되어 있음을 알 수 있었다(Table 4-10). 대체적으로 10 ~ 20m 층에서 수온약층이 시작되며 St. 42, 43등에서는 깊이가 얕아 수온의 수직차이가 거의 없었다. 황해중앙부 해역인 2, 3, 4번 정선의 저층에서는 10 °C이하의 낮은 수온이 분포하여 이시기의 황해 냉수괴의 지속을 알 수 있다.

Table 4- 8. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in July 1996.

St.	Depth m	Chl-a $\mu\text{g/l}$	$\text{NH}_4$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{SiO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_3$ $\mu\text{M}$	$\text{PO}_4$ $\mu\text{M}$
K-1	0	0.58	0.35	0.16	4.39	0.58	0.14
	10	0.68	0.45	0.23	5.05	1.05	0.26
	20	1.06	0.88	0.25	5.11	1.09	0.32
	30	0.42	1.18	0.29	4.07	0.93	0.30
K-2	0	0.07	ND	0.14	2.21	0.39	0.06
	10	0.10	ND	0.01	2.54	0.30	0.06
	20	0.27	3.21	0.11	2.39	0.29	0.11
	30	0.48	8.00	0.33	3.83	2.17	0.40
	50	0.34	1.99	0.35	3.61	2.28	0.47
K-3	0	0.12	ND	0.08	1.60	0.39	0.02
	10	0.19	0.43	0.11	2.18	0.32	0.03
	20	0.28	0.91	0.13	2.48	0.35	0.05
	30	0.29	1.52	0.16	7.97	6.22	0.64
	50	0.20	1.09	0.17	7.94	6.93	0.71
	75	0.18	2.18		7.92	6.99	0.70
K-4	0	0.61	1.83	0.13	0.97	0.50	0.02
	10	0.83	1.38	0.11	0.84	0.37	0.02
	20	0.56	0.36	0.12	0.57	0.39	0.03
	30	0.47	0.49	0.12	1.05	0.36	0.04
	50	0.03	0.11	0.17	10.61	10.42	0.79
	75	0.11	0.38	0.05	11.19	9.69	0.80
K-5	0	0.15	0.08	0.10	0.84	0.42	0.03
	10	0.07	0.70	0.11	0.80	0.35	0.02
	20	0.28	0.27	0.11	1.23	0.35	0.03
	30	0.70	0.28	0.06	3.05	0.53	0.17
	50	0.07	0.28	0.10	11.58	9.80	0.83
	75	0.13	0.14	0.12	12.35	10.77	0.83

Table 4- 8. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a. $\mu\text{g/l}$	NH <sub>4</sub> $\mu\text{M}$	NO <sub>2</sub> $\mu\text{M}$	SiO <sub>2</sub> $\mu\text{M}$	NO <sub>3</sub> $\mu\text{M}$	PO <sub>4</sub> $\mu\text{M}$
K-6	0	0.08	ND	0.10	0.97	0.28	0.03
	10	0.08	ND	ND	1.21	0.46	0.03
	20	0.24	ND	0.07	2.01	0.49	0.06
	30	0.22	ND	0.13	2.64	0.48	0.10
	50	0.48	0.34	0.15	8.05	6.01	0.58
	75	0.22	0.49	0.13	2.35	0.62	0.09
K-7	0	0.08	0.49	0.13	1.80	ND	ND
	10	0.11	0.28	0.10	1.69	1.09	1.09
	20	0.20	0.42	0.08	2.10	0.02	0.02
	30	0.59	0.39	0.20	8.76	0.58	0.58
	50	0.23	0.22	0.16	9.69	0.70	0.70
	75	0.15	0.10	0.17	10.64	0.77	0.77
K-8	0	0.13	0.16	0.11	2.87	0.50	0.04
	10	0.08	0.33	0.11	2.67	0.47	0.03
	20	0.21	0.24	0.12	2.98	0.72	0.05
	30	0.70	0.70	0.13	6.23	0.64	0.13
	50	0.27	1.14	0.12	10.28	8.30	0.69
	75	0.34	0.82	0.14	6.60	3.78	0.37
K-9	0	ND	0.23	0.08	2.01	0.55	0.04
	10	0.06	0.35	0.12	1.96	0.49	0.04
	20	0.21	0.31	0.13	3.58	0.57	0.04
	30	0.86	0.31	0.15	6.33	0.87	0.15
	50	0.14	ND	0.19	10.00	7.83	0.64
	75	0.27	1.11	0.15	10.31	7.63	0.71
K-10	0	0.40	1.39	0.23	6.53	0.49	0.14
	10	0.54	1.36	0.24	5.81	0.93	0.65
	20	0.92	0.28	0.39	7.28	1.26	0.24
	30	0.07	0.43	0.39	8.01	3.77	0.41
	50	0.31	0.93	0.38	6.58	3.44	0.35



Table 4- 8. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a. $\mu$ g/l	NH <sub>4</sub> $\mu$ M	NO <sub>2</sub> $\mu$ M	SiO <sub>2</sub> $\mu$ M	NO <sub>3</sub> $\mu$ M	PO <sub>4</sub> $\mu$ M
K-11	0	0.30	0.33	0.25	4.92	0.42	0.07
	10	0.45	0.33	0.24	6.07	0.43	0.13
	20	0.60	0.44	0.51	7.11	2.04	0.29
	30	0.77	0.33	0.62	7.32	3.39	0.95
	50	0.19	0.42	0.23	8.40	4.82	1.25
K-12	0	0.25	0.46	0.15	3.88	0.54	0.15
	10	0.29	1.09	0.26	3.89	0.48	0.08
	20	0.42	0.38	0.23	5.90	0.55	0.13
	30	0.36	0.32	0.32	7.47	5.10	0.53
	50	0.30	0.31	0.37	7.40	4.92	0.55
K-13	0	0.37	0.39	0.26	0.97	0.47	0.06
	10	0.87	0.27	0.29	1.63	0.52	0.12
	20	1.49	0.47	1.27	9.15	4.89	0.52
K-14	0	0.51	0.41	0.42	2.39	0.24	0.08
	10	0.46	0.41	0.35	2.91	0.30	0.13
	20	0.40	0.50	0.28	2.32	0.21	0.08
	30	0.44	1.97	1.06	6.63	2.86	0.48

Table 4- 9. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in July 1996.

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
K-1	0	727.9	157.5	1.57
	10	1414.6	118.3	1.77
	20	1124.0	123.1	1.64
	30	1214.6	109.9	1.50
K-2	0	834.1	92.6	1.43
	10	879.2	85.3	1.35
	20	1032.2	116.6	1.59
	30	1193.0	107.0	1.58
	50	728.3	73.3	1.42
K-3	0	971.7	74.5	1.83
	10	1021.9	55.9	1.59
	20	663.9	48.5	1.79
	30	912.9	36.4	1.51
	50	686.4	73.9	1.85
	75	629.4	48.5	1.43
K-4	0	1402.6	140.4	1.90
	10	542.7	402.2	2.05
	20	1040.5	88.9	1.79
	30	966.1	71.3	1.60
	50	913.9	87.8	1.57
	75	767.7	60.1	1.42
K-5	0	992.9	46.3	1.94
	10	914.5	85.3	1.71
	20	615.8	41.5	1.37
	30	1111.6	66.0	1.48
	50	1047.3	45.6	1.48
	75	864.1	23.2	1.48

Table 4- 9. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu$ g/l	PON $\mu$ g/l	DOC mg/l
K-6	0	1026.4	92.3	1.79
	10	1089.4	49.0	1.39
	20	884.8	21.8	1.71
	30	986.5	45.0	1.49
	50	634.9	34.1	1.87
	75	710.9	26.0	1.86
K-7	0	765.6	93.5	1.68
	10	-	-	1.67
	20	820.9	30.4	1.61
	30	1378.9	78.1	1.24
	50	1222.0	43.8	1.51
	75	1270.5	54.4	1.20
K-8	0	468.3	71.4	1.88
	10	915.6	20.7	1.62
	20	912.6	18.1	1.56
	30	769.7	22.0	1.50
	50	369.5	54.3	2.04
	75	839.5	29.2	1.79
K-9	0	708.3	35.7	1.55
	10	1272.1	137.3	1.68
	20	990.6	80.8	2.03
	30	846.5	100.0	1.23
	50	800.7	75.6	1.68
	75	987.7	197.0	1.42
K-10	0	490.4	147.8	1.52
	10	1232.0	249.6	1.45
	20	962.5	114.3	1.44
	30	1295.0	265.1	1.23
	50	829.1	34.1	1.31

Table 4- 9. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in July 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
K-11	0	666.1	97.8	1.37
	10	296.9	28.6	1.18
	20	735.5	46.6	1.23
	30	1279.6	266.5	-
	50	929.1	90.0	1.71
K-12	0	870.8	31.0	1.59
	10	850.0	17.1	1.58
	20	150.4	123.2	1.12
	30	983.8	249.4	1.19
	50	1116.2	256.9	1.30
K-13	0	952.3	40.4	1.39
	10	962.1	192.4	1.47
	20	542.6	146.6	1.54
K-14	0	736.0	293.3	2.06
	10	-	-	0.69
	20	771.9	364.7	1.57
	30	516.6	516.6	1.59

Table 4-10. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in August 1996.

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
41	0	28.35	27.49	8.35	6.99	2.37	2.8	1.5
	10	28.42	28.14	8.30	7.11	2.34	2.2	1.4
	20	18.07	32.66	8.06	8.26	2.06	3.1	1.1
	30	11.43	33.59	7.92	7.08	2.25	2.8	1.2
	50	11.19	33.76	7.90	7.24	2.17	2.2	1.2
	75	10.87	33.92	7.90	7.07	1.87	2.4	1.1
42	0	27.13	30.06	8.4	7.91	2.76	9.7	1.5
	5	-	-	-	-	2.35	10.8	1.7
	10	22.32	32.93	7.95	2.64	2.29	8.4	1.3
	20	22.28	32.91	7.93	2.37	2.21	9.8	1.9
43	0	27.47	39.32	8.29	7.17	2.34	2.5	0.8
	10	25.24	30.80	8.11	7.65	2.48	4.7	1.7
	20	19.25	31.71	8.15	8.07	2.84	3.6	1.5
44	0	27.12	30.84	8.26	6.97	1.56	2.2	1.1
	10	19.87	31.45	8.12	8.62	1.95	5.7	1.3
	20	13.95	31.66	8.03	8.37	2.29	3.9	1.3
	30	9.74	32.15	8.02	8.79	2.34	1.3	0.8
	45	-	-	-	-	1.64	5.0	1.8
45	0	27.51	31.24	8.21	6.88	2.09	2.5	1.1
	10	27.50	31.24	8.21	7.04	1.99	6.1	1.2
	20	16.79	32.48	8.17	10.06	1.93	4.2	0.9
	30	10.35	33.19	8.10	9.88	1.98	1.8	1.1
	50	8.30	33.30	7.92	10.05	1.95	1.2	0.8
	60	-	-	-	-	1.82	2.3	0.9

Table 4-10. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
46	0	26.77	32.08	8.23	6.86	2.40	2.2	0.7
	10	26.57	32.10	8.20	6.95	2.58	0.8	0.5
	20	22.26	32.39	8.20	8.48	2.55	3.1	0.6
	30	12.21	33.02	8.16	10.71	2.43	6.2	1.2
	50	8.50	33.36	7.92	7.46	2.51	2.6	0.8
	70	8.52	33.37	7.91	7.42	2.29	3.0	0.6
47	0	26.23	31.67	8.27	6.85	2.43	3.6	1.1
	10	26.23	31.67	8.27	6.89	2.60	3.3	1.2
	20	22.93	32.04	8.26	8.15	2.63	0.8	0.6
	30	13.22	33.00	8.26	10.27	2.76	5.3	1.8
	50	8.13	33.18	8.13	7.65	2.53	1.4	1.3
	75	8.28	33.33	8.09	7.79	2.27	4.9	0.9
48	0	25.86	31.85	8.26	6.89	2.53	0.8	-
	10	25.87	31.85	8.26	8.08	1.90	2.5	1.4
	20	14.42	32.78	8.18	9.84	1.83	3.8	1.2
	30	7.89	32.47	8.07	8.76	1.75	5.6	1.8
	50	8.00	32.77	8.04	7.82	1.80	1.8	1.1
	60	7.94	32.91	-	-	2.35	6.5	1.7
49	0	24.61	31.40	8.29	7.66	2.45	0.9	-
	10	23.68	31.19	8.20	7.44	2.68	2.0	0.6
	20	15.96	31.39	8.02	7.20	2.79	0.7	0.3
	30	15.66	31.38	8.02	7.25	2.74	2.0	0.7
50	0	23.95	31.31	8.22	7.07	2.34	0.7	0.6
	10	23.71	31.28	8.03	6.87	2.64	0.7	0.1
	20	15.14	31.34	8.01	6.92	2.66	4.3	1.4
	30	12.65	31.69	7.98	8.73	2.20	5.5	0.7
	50	7.28	32.12	7.91	8.39	2.56	4.5	0.8
	60	7.17	32.12	7.92	8.38	2.49	2.4	0.8

Table 4-10. Distribution of general water quality parameters in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	Temp °C	S ‰	pH	DO mg/l	COD mg/l	TSS mg/l	VSS mg/l
51	0	25.50	32.10	8.22	6.98	2.69	2.8	0.8
	10	25.29	32.12	8.22	7.08	2.72	7.7	0.8
	20	19.19	32.59	8.18	9.09	2.77	2.4	0.5
	30	8.12	32.72	8.00	8.29	2.69	6.0	0.8
	50	7.78	32.70	7.98	8.18	2.61	5.2	0.8
	65	7.70	32.73	7.97	8.13	2.53	4.9	1.1
52	0	23.40	32.14	8.25	7.38	2.76	3.0	0.8
	10	23.42	32.28	8.24	7.57	2.81	4.7	0.8
	20	18.78	32.54	8.06	7.74	2.77	3.3	0.8
	30	10.78	32.39	8.01	8.03	2.84	1.9	0.8
	50	10.03	32.34	8.02	8.05	2.95	2.8	0.8
53	0	20.34	31.70	8.12	7.49	2.86	2.9	0.9
	10	20.36	31.69	8.12	7.42	2.74	10.5	1.4
	20	20.35	31.69	8.12	7.56	3.09	2.2	1.1
	30	20.35	31.69	8.12	7.52	2.99	3.3	0.8

염분은 St. 41의 표층에서 27.49‰로 가장 낮았으며 양자강유입 영향이 있는 St. 42에서 30.06‰ 이었다. 강소성해안에 평행한 1번 정선의 경우 염분은 표층에서 30‰ 내외 였으나 3번 정선의 경우 황해 중앙부에서 31‰ 정도를 보였고 북쪽의 3, 4번 정선에서는 32‰ 내외 였다. 3, 4번 정선의 중앙부에서는 저층에서 비교적 고염의 핵이 발견되나 33‰을 초과하지 않아 그 세력이 많이 약화되어 있음을 알 수 있다.

용존산소는 St. 41의 20m층에서 8.26 mg/l로 중층의 최고치를 보였다. 양자강하구와 가까운 St. 42에서는 10, 20m의 용존산소량이 3 mg/l이하로 매우 낮은 농도를 보였는데 이는 하계 표층의 육수유입이 늘어나며 밀도 약층이 형성되고 많은 유기물의 산화에 의해 용존산소가 소모되기 때문이라고 생각된다. 1번 정선의 다른 정점에서는 용존산소의 부족현상이 나타나지 않았다. 2번 정선의 경우 St. 46은 황해 중남부의 한가운데에 위치하고 있는데 30m층에서 10mg/l의 중층 최고치를 보였다. 역시 황해중앙부인 St. 47의 30m 층, St. 48의 20m 층에서도 중층의 용존산소 최고치가 나타나 이 시기의 식물성플랑크톤에 의한 일차생산이 중층에 집중될 수 있음을 말해준다. 4번 정선의 경우 용존산소의 농도는 남쪽해역보다 높고 저층수에서 약간의 농도증가가 나타났다.

pH는 전 정점에 걸쳐 저층수로 가며 감소한다. TSS는 정점에 따라 심한 차이를 보였다(Fig. 4-48 ~ 4-51, Table 4-10). 양자강하구에 가까



9608 TSS 1

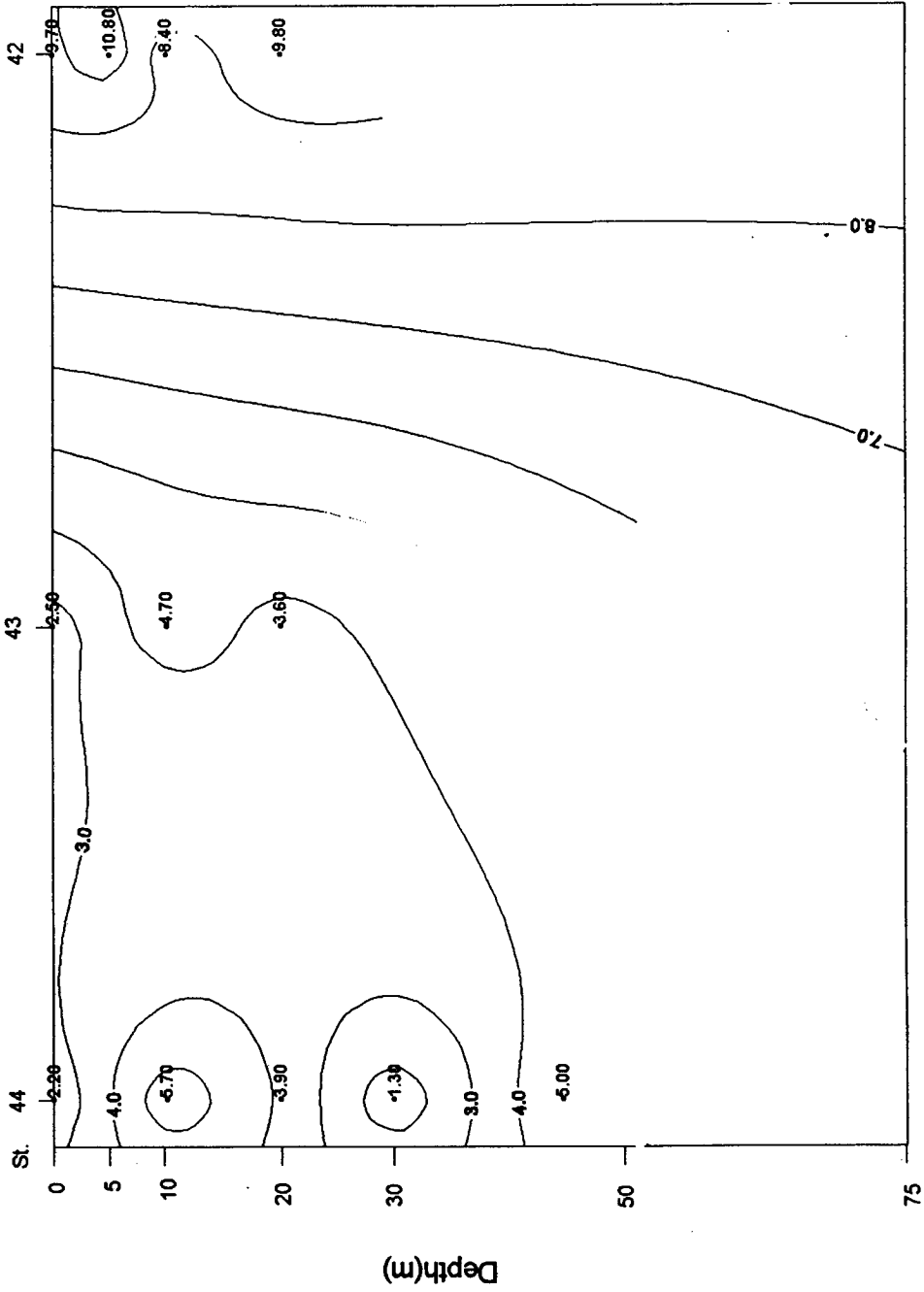


Fig. 4-48. Vertical distribution of TSS of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

# 9608 TSS 2

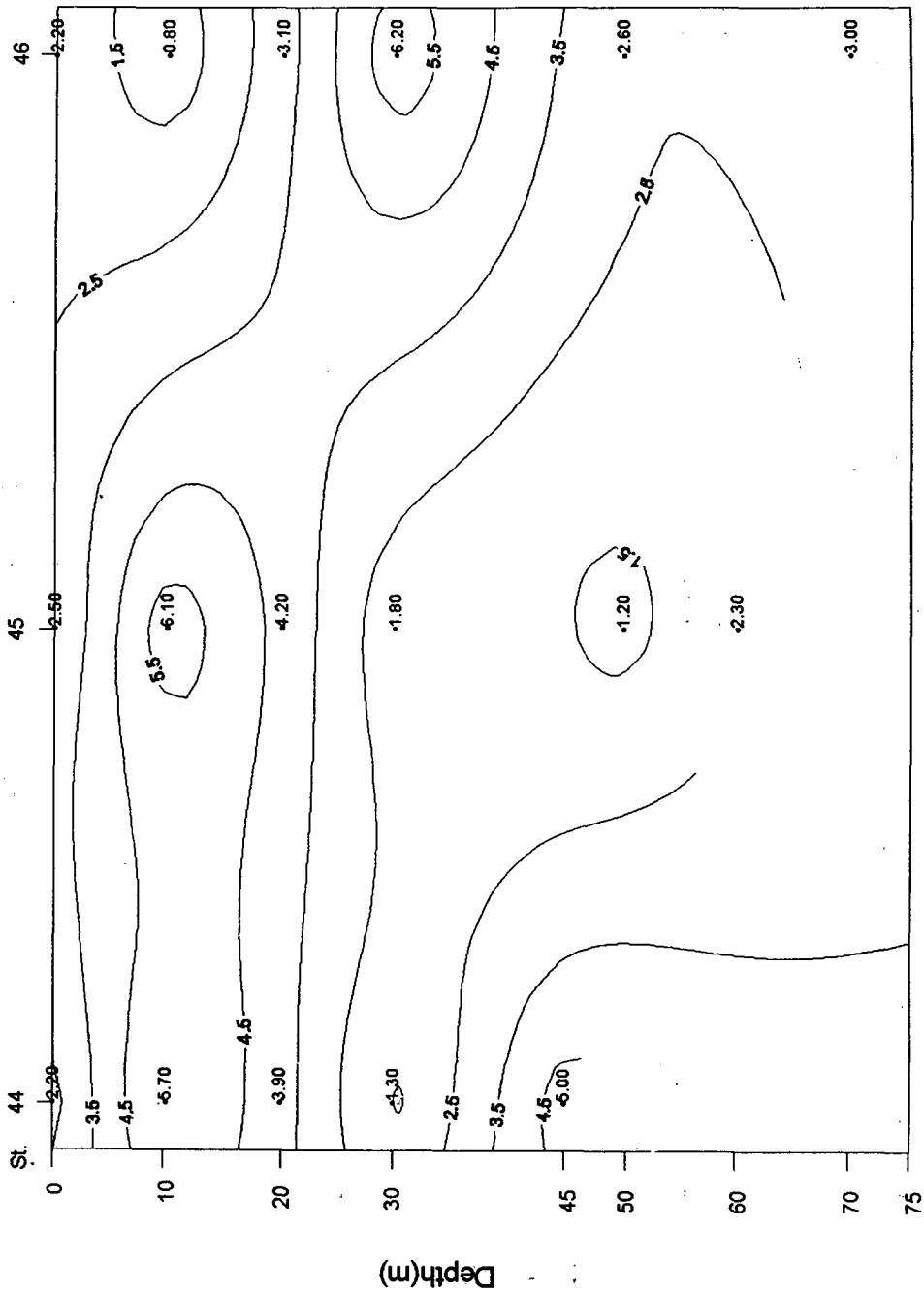


Fig. 4-49. Vertical distribution of TSS of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

9608 TSS 3

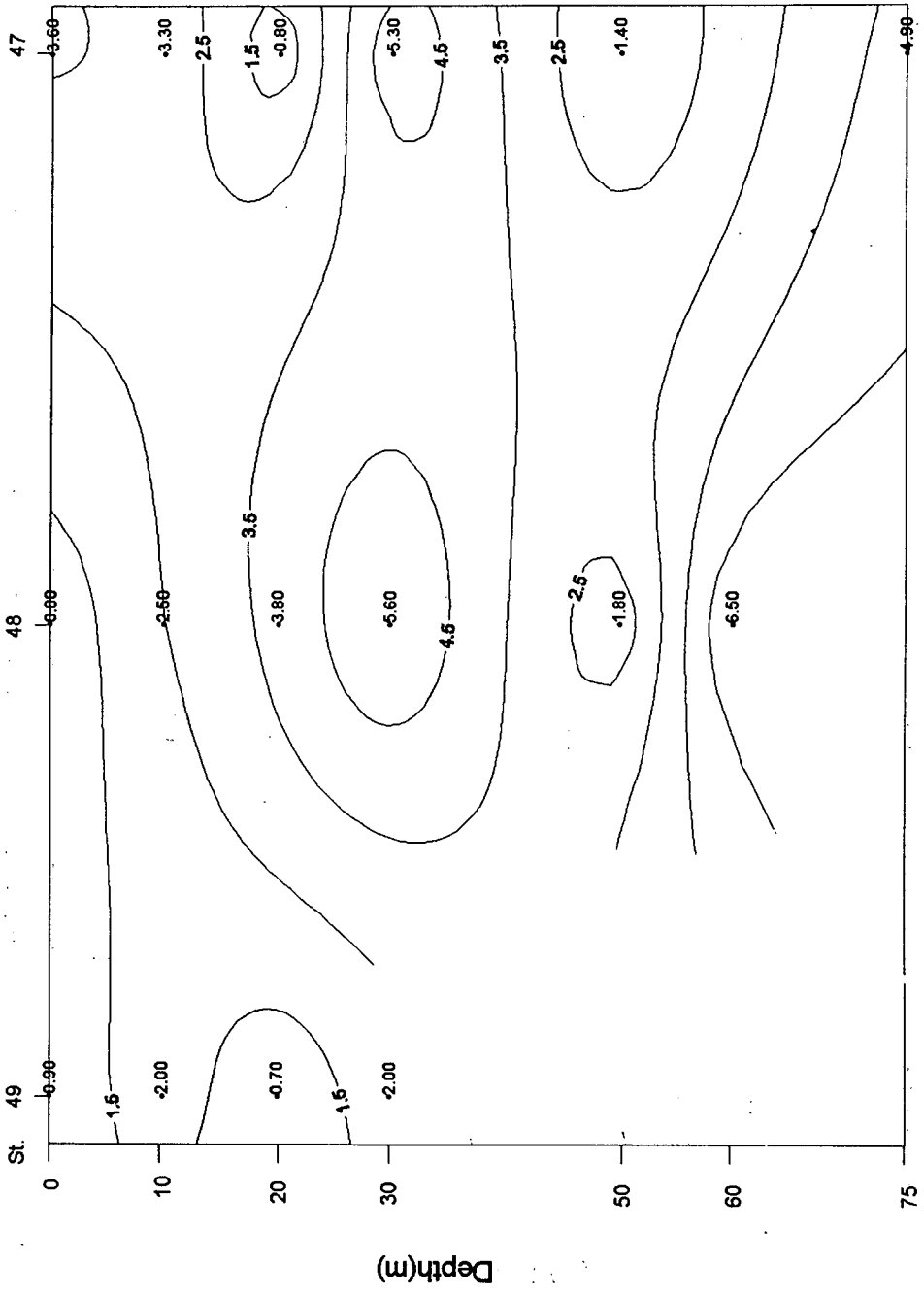


Fig. 4-50. Vertical distribution of TSS of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

# 9608 TSS 4

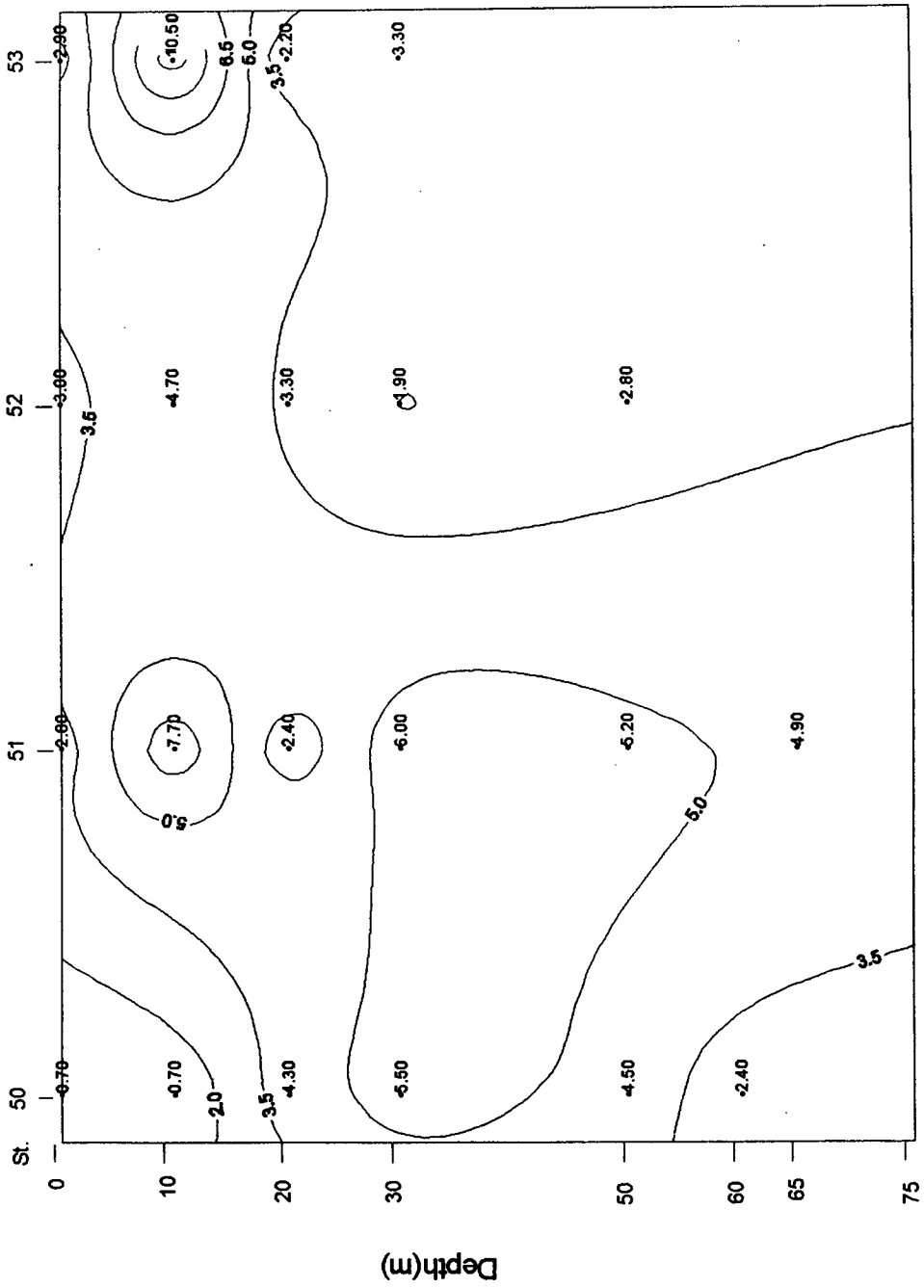


Fig. 4-51. Vertical distribution of TSS of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

운 St. 42에서는 표층 5m층이 각각 9.7, 10.8 mg/l로 육수유입의 강함  
영향을 나타냈다. 강소성해안에 평행한 2번정선의 경우 표층의 TSS는 각  
각 2.5, 2.2 mg/l 였으나 저층에서 5mg/l내외의 높은 농도가 나타났다.  
St. 46, 47, 48등 황해중앙부의 해역에서는 30m층에서 TSS가 가장 높아  
각각 6.2, 5.3, 5.6 mg/l를 나타내 용존산소가 중층 최고치를 보이는 것과  
일치한다. 산동반도와 태안반도를 연결하는 4번 정선의 경우 표층의  
TSS는 0.7 ~ 3.0 mg/l를 나타냈고 우리나라 측에서 비교적 높았다.

VSS의 경우 표층에서 0.6 ~ 1.5 mg/l의 분포를 보였고 대체로 TSS  
의 분포양상과 유사하였다. St. 46, 47, 48등 황해중앙부의 해역에서는  
30m층에서 VSS가 각각 1.2, 1.8, 1.8 mg/l 로 TSS 처럼 중층 최고치를  
보였다. COD의 경우 전해역의 표층에서 2.09 ~ 2.86 mg/l로 정점간  
의 지리적차이가 나타나지만 서부해역에서 다소 높은 편이었고 수직분포  
에서는 별 차이를 보이지 않았다(Fig. 4-52 ~ 4-55).

질산염은 황해 중남부의 St. 41의 표층에서 7.73  $\mu$ M로 가장 높았고 중  
국에 가까운 St. 43의 표층에서 2  $\mu$ M 정도를 보일뿐 다른 해역의 표층  
수에서는 거의 소모된 것을 알 수 있었다(Table 4-11). 다만 양자강하  
구에 가까운 St. 42의 10, 20m 층에서는 각각 14.13, 13.2  $\mu$ M을 보여 양  
자강유입수의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다. 황해중부해역에서는 냉  
수괴에서 높은 질산염의 농도를 보이는데 대체로 30 ~ 50m 깊이부터 나  
타나고 있다. 아질산염은 표층에서 0.17 ~ 0.73  $\mu$ M의 분포를 보였는데

Table 4-11. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in August 1996.

St.	Depth m	Chl-a $\mu\text{g/l}$	$\text{NH}_4$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{SiO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_3$ $\mu\text{M}$	$\text{PO}_4$ $\mu\text{M}$
41	0	0.41	1.01	0.39	7.88	7.73	0.01
	10	0.40	1.56	0.33	6.42	5.60	0.01
	20	0.73	0.35	0.30	7.15	2.99	0.15
	30	0.22	0.67	0.32	11.76	7.30	0.64
	50	0.16	0.04	0.24	11.58	7.26	0.64
	75	0.13	0.08	0.24	12.28	7.48	0.65
42	0	2.15	0.58	0.19	0.70	1.18	0.01
	5	-	-	-	-	-	-
	10	0.84	ND	0.72	26.81	14.13	0.52
	20	0.77	0.49	1.03	29.77	13.20	0.56
43	0	0.26	0.40	0.24	1.79	2.12	0.01
	10	0.56	0.09	0.22	0.10	0.90	0.01
	20	3.8	0.01	0.20	3.25	0.52	0.04
44	0	0.14	1.58	0.17	0.71	0.50	0.02
	10	0.40	1.06	0.32	2.98	0.48	0.04
	15	0.72	-	-	-	-	-
	20	0.49	0.65	0.19	2.94	0.50	0.14
	30	0.95	2.17	0.39	4.08	1.17	0.32
	45	-	-	-	-	-	-
45	0	0.22	0.63	0.17	0.86	0.42	0.02
	10	0.27	0.29	0.23	0.95	0.46	0.02
	20	0.52	0.25	0.21	1.33	0.49	0.01
	30	0.24	0.46	0.20	2.68	0.50	0.07
	50	0.35	0.37	0.24	14.03	6.37	0.70
	60	-	-	-	-	-	-

Table 4-11. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a $\mu\text{g/l}$	$\text{NH}_4$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{SiO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_3$ $\mu\text{M}$	$\text{PO}_4$ $\mu\text{M}$
46	0	0.06	0.28	0.20	1.28	0.46	0.02
	10	0.12	0.83	0.18	1.13	0.37	0.02
	20	0.30	0.86	0.24	0.94	0.49	0.02
	30	0.32	0.34	0.21	1.74	0.64	0.02
	50	0.21	0.48	0.68	12.24	7.93	0.75
	70	0.23	1.02	0.31	14.08	8.59	0.84
47	0	0.20	0.65	0.18	0.99	0.44	0.01
	10	0.21	0.55	0.20	0.85	0.43	0.02
	20	0.51	0.99	0.16	0.74	0.46	0.02
	30	0.26	0.69	0.18	0.77	0.40	0.02
	50	0.46	0.58	0.23	12.74	7.28	0.69
	75	0.31	0.24	0.26	9.75	5.07	0.53
48	0	0.09	0.20	0.34	0.85	0.45	0.02
	10	0.16	0.31	0.25	1.00	0.44	0.01
	20	0.46	0.12	0.24	1.74	0.44	0.15
	30	0.44	0.53	1.42	2.94	2.89	0.39
	50	1.05	0.47	0.62	4.48	2.95	0.38
	60	-	-	-	-	-	-
49	0	2.82	0.56	0.23	1.13	0.44	0.02
	10	4.12	1.41	0.17	2.33	0.35	0.02
	20	1.90	1.66	0.29	4.70	0.73	0.21
	30	0.49	0.34	0.60	4.91	1.04	0.25
50	0	2.23	0.91	0.73	1.13	0.35	0.01
	10	1.31	0.94	0.23	3.75	0.41	0.03
	20	1.25	0.56	0.42	3.69	0.46	0.04
	30	0.56	1.64	0.37	3.07	1.16	0.21
	50	0.21	3.02	0.58	4.71	2.72	0.53
	60	0.29	2.86	0.61	4.96	2.80	0.55

Table 4-11. Distribution of nutrients and chlorophyll in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	Chl-a. $\mu\text{g/l}$	$\text{NH}_4$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{SiO}_2$ $\mu\text{M}$	$\text{NO}_3$ $\mu\text{M}$	$\text{PO}_4$ $\mu\text{M}$
51	0	0.13	1.21	0.62	0.91	0.36	0.03
	10	0.13	1.15	0.18	0.85	0.36	0.02
	20	0.32	1.35	0.42	1.24	0.85	0.03
	30	0.34	0.35	0.45	5.44	4.63	0.56
	50	0.30	0.64	0.22	5.93	4.77	0.55
	65	0.32	0.29	0.25	6.33	5.34	0.55
52	0	0.19	0.84	0.18	1.00	0.36	0.02
	10	0.25	0.40	0.14	1.12	0.37	0.01
	20	ND	0.77	0.64	5.65	3.78	0.51
	30	0.61	0.58	0.43	5.49	4.43	0.53
	50	0.67	1.06	0.42	5.02	3.89	0.46
53	0	0.57	2.40	0.57	3.14	1.57	0.28
	10	0.56	2.47	0.42	3.26	1.50	0.28
	20	0.53	2.64	0.53	3.20	1.55	0.29
	30	0.58	2.05	0.52	3.11	1.49	0.28



9608 COD 1

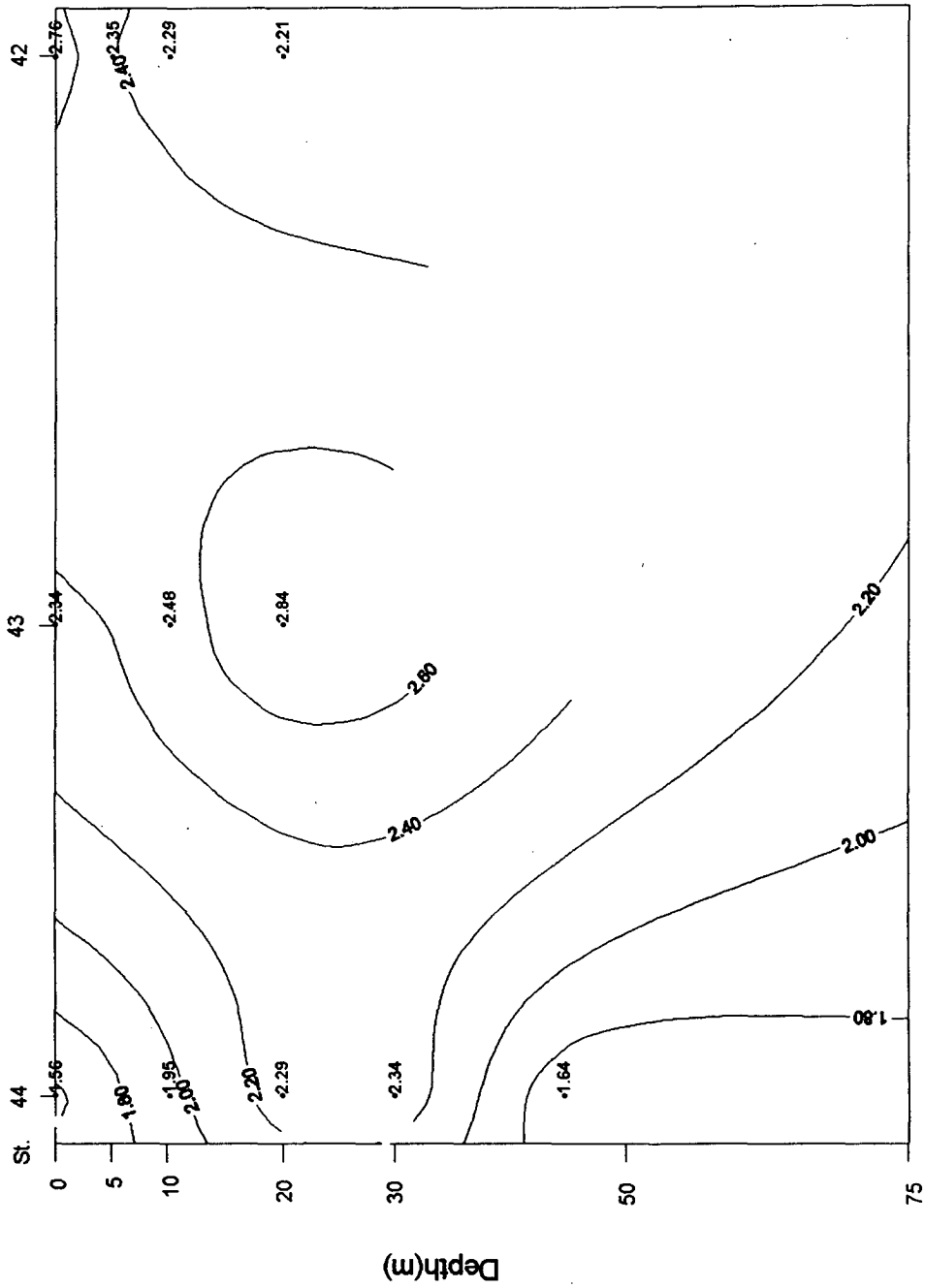


Fig. 4-52. Vertical distribution of COD of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

9608 COD 2

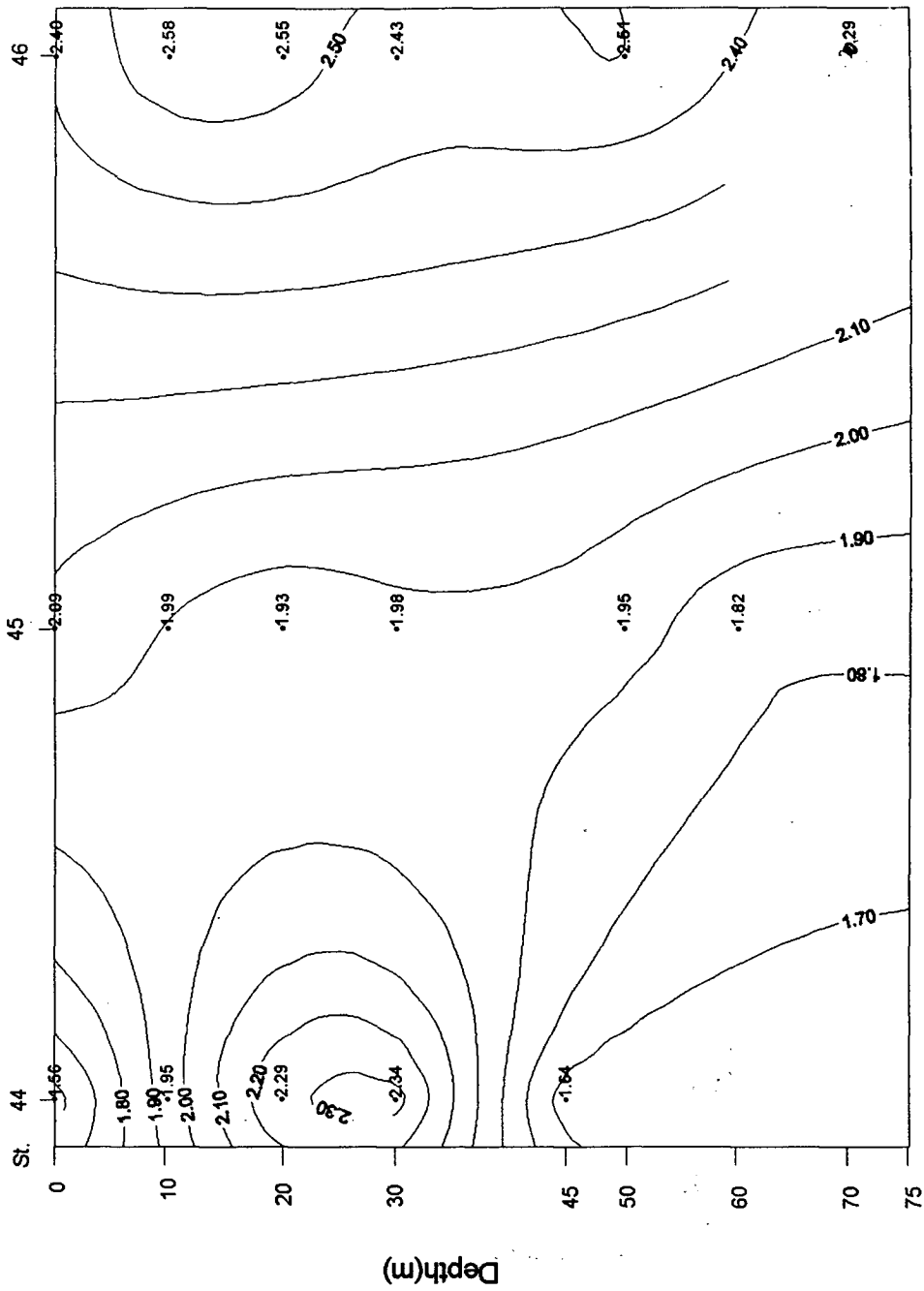


Fig. 4-53. Vertical distribution of COD of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

9608 COD 3

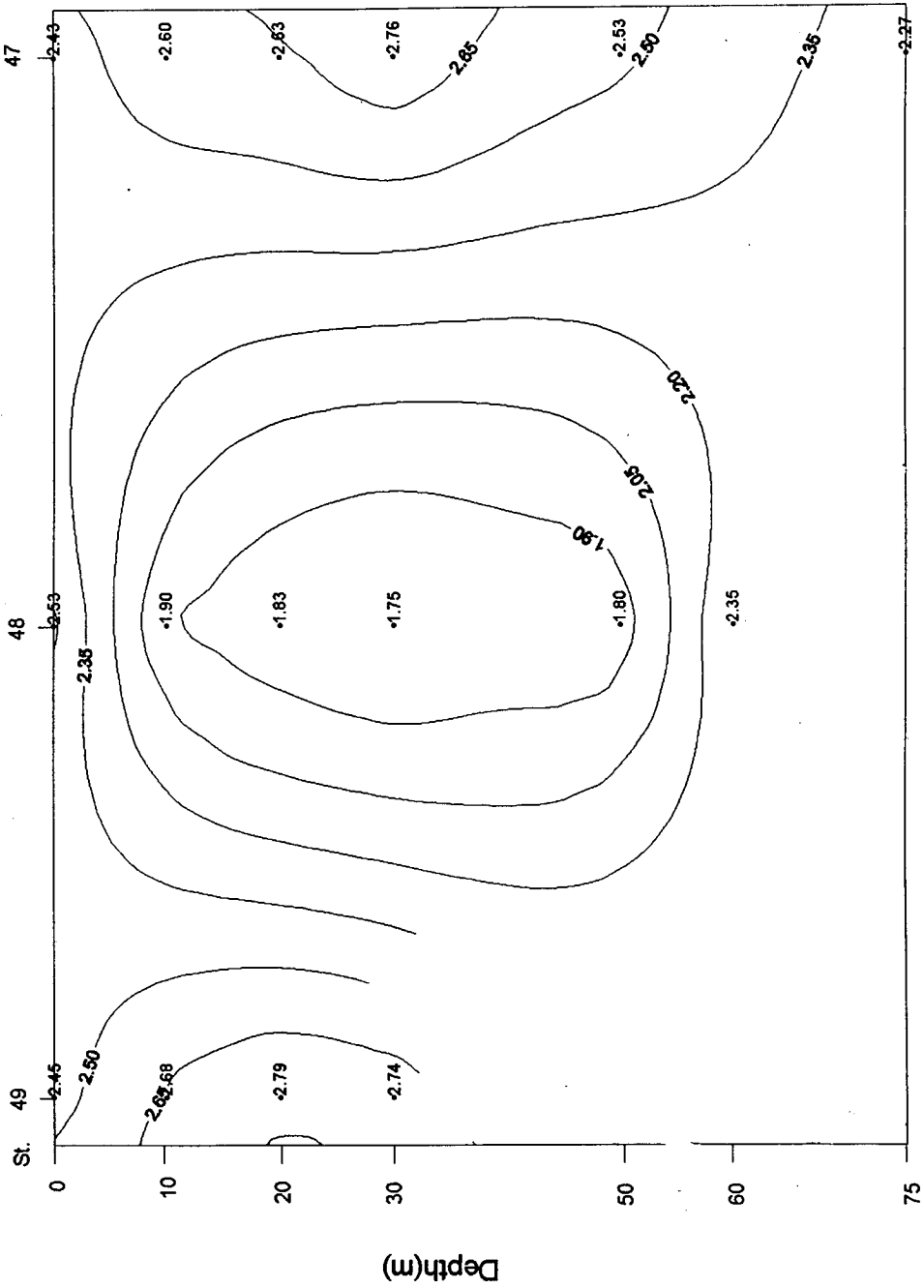


Fig. 4-54. Vertical distribution of COD of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

9608 COD 4

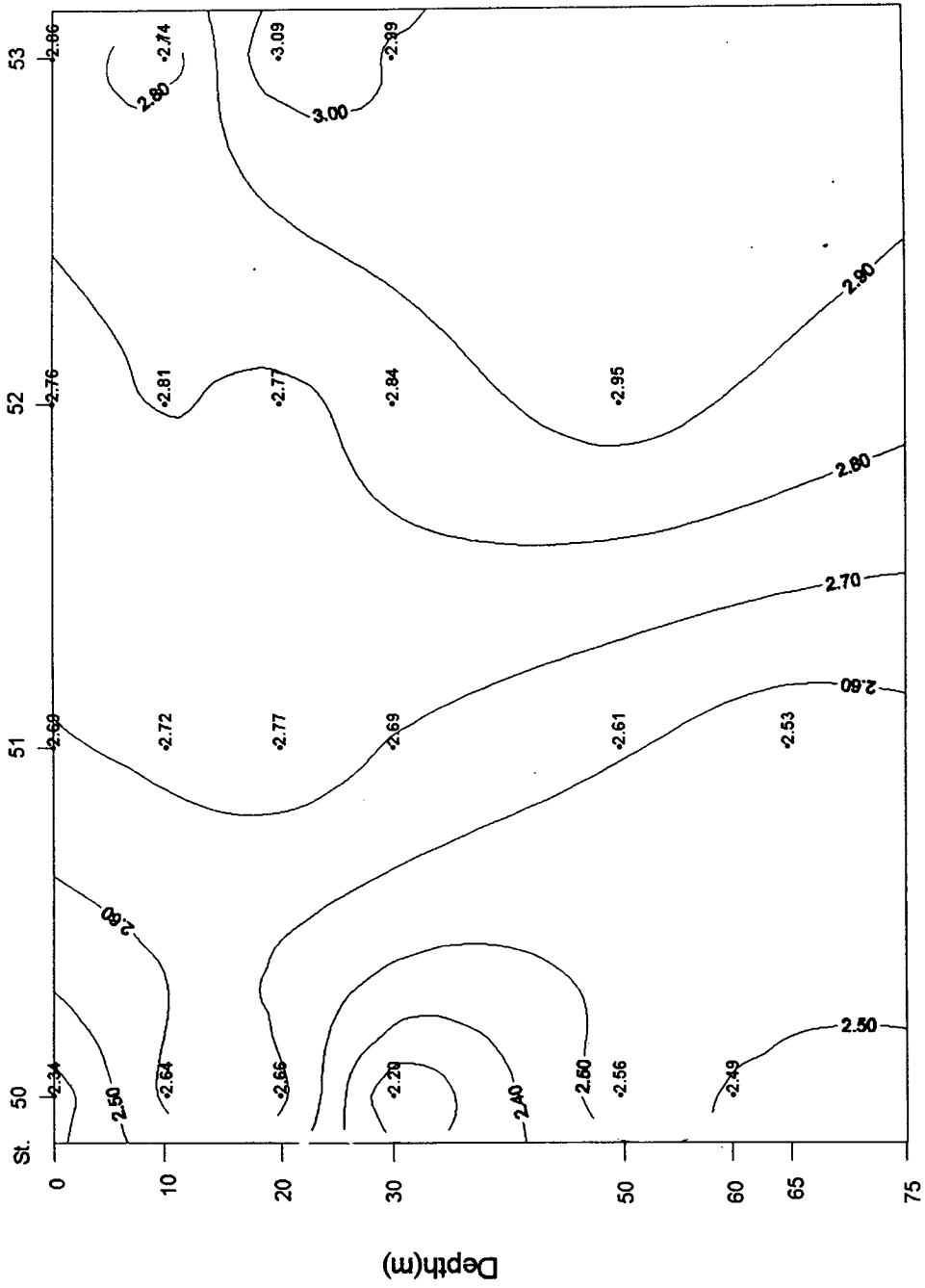


Fig. 4-55. Vertical distribution of COD of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/l).

산동반도와 태안반도를 연결하는 4번정선에서 높게 나타났다. St. 46 과 48등 황해중앙부해역에서는 중층에서 아질산염의 최고치가 나타나 이 시기에 식물성플랑크톤의 일차생산이 수온약층으로부터 확산되는 영양염에 의해 낮은 광도에서 이루어 진다는 것을 알 수 있다. 암모니아는 대체로 1  $\mu\text{M}$ 이하 였으나 St. 49, 50등 산동반도 가까운 해역에서는 그 이상의 값을 보였다. 인산염은 표층에서는 거의 소모된 상태였고 저층냉수피에서 0.5  $\mu\text{M}$ 이상을 보였다. 규산염은 양자강하구에 가까운 St. 42의 10, 20m 층에서 각각 26.81, 29.77  $\mu\text{M}$ 의 높은 값을 보였다. St. 45, 46, 47등의 저층수에서는 규산염농도가 10  $\mu\text{M}$ 이상이었다. 클로로필은 St. 42, 48의 표층에서 2  $\mu\text{g/l}$ 이상이었다.

POC의 경우 양자강유입의 영향이 큰 St. 42에서 표층과 20m 층이 각각 647.7, 494.0  $\mu\text{g/l}$ 로 높은 부유성 유기물질 유입의 영향을 나타냈다. (Fig. 4-56 ~ 4-59, Table 4-12). 4번 정선의 경우 St. 43 의 10m층에서 POC가 562.9  $\mu\text{g/l}$ 로 높은 값을 보였으나 St. 44에서는 다른 정점과 큰 차이가 없었다. 황해 중앙부 해역의 정점들에서는 중층의 POC가 다소 높은 것을 볼 수 있었다. 산동반도와 가까운 St. 49, 50의 경우 표층수에서 POC가 각각 291.1, 266.2  $\mu\text{g/l}$ 로 상대적으로 높았다. PON의 경우 그 분포경향은 POC의 경우와 유사하였다. 양자강 유입영향을 받는 St. 42에서는 표층수에서 103.5  $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높았으며 St. 43의 10m층에서도 105.2  $\mu\text{g/l}$ 를 보였다. DOC의 경우 표층에서 전해역에 걸쳐 1.39 ~ 4.46 mg/l의 분포를 보였으며 지리적인 변화의 폭이 작았다 (Fig. 4-60

~ 4-63).

96년 8월 황해외해역에서 채취된 표층해수중의 용존성 Cd, Cu, Pb, Zn의 농도 및 분포는 Table 4-13 과 Fig. 4-64, 65에 나타내었다. 카드뮴은 0.016~0.031 $\mu\text{g}/\text{l}$ 범위에 평균 0.023 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 중·북부해역에서 다소 높은 분포를 나타내었으며, 황해 남부의 정점에 대해 조사가 이루어진 96년 5월의 평균 농도 0.017 $\mu\text{g}/\text{l}$ 보다 높았다.

구리의 농도범위와 평균은 각각 0.40~0.82 $\mu\text{g}/\text{l}$ 와 0.54 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 중부해역에서 다소 높은 분포를 나타내었으며, 남은 0.017~0.122 $\mu\text{g}/\text{l}$ 범위에 평균 0.067 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 큰 폭의 변화를 보였을 뿐 아니라 96년 5월이나 이전의 조사에 비해서도 매우 높게 나타나는데 특별한 유입에 따른 변화나 시료 채취 과정의 부주의에 의한 가능성이 있으나 과거의 자료를 종합적으로 검토해보아 후자의 가능성이 높다. 아연은 0.07~0.38 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 범위로 평균은 0.14 $\mu\text{g}/\text{l}$ 였으며, St. 46을 제외하면 비교적 고른 분포를 보였고, 96년 5월과 95년의 조사값과 비슷하였다.

Table 4-12. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in August 1996.

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
41	0	155.4	41.1	3.46
	10	128.0	44.8	2.62
	20	135.3	73.2	0.80
	30	68.0	21.1	2.19
	50	93.5	14.8	1.64
	75	69.4	14.8	1.17
42	0	647.7	103.5	2.39
	5	140.1	35.2	1.59
	10	155.1	34.0	1.16
	20	494.0	98.7	1.70
43	0	139.8	38.4	2.11
	10	562.9	105.2	2.49
	20	190.8	47.6	1.87
44	0	91.6	38.9	2.04
	10	174.8	42.9	2.66
	20	134.1	39.7	2.92
	30	143.4	51.9	1.32
	45	111.1	35.7	1.75
45	0	109.3	23.4	1.68
	10	122.4	31.2	2.53
	20	134.1	42.0	1.59
	30	77.9	20.0	1.50
	50	54.6	20.5	1.10
	60	63.0	21.6	1.28

Table 4-12. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
46	0	71.5	25.3	2.50
	10	82.0	16.0	1.87
	20	108.3	36.1	1.69
	30	83.4	22.0	1.06
	50	75.7	27.0	1.81
	70	105.3	24.1	0.86
47	0	171.7	52.5	2.45
	10	83.6	21.5	2.07
	20	113.8	35.8	1.36
	30	93.1	28.1	1.28
	50	83.4	24.2	1.74
	75	92.6	21.5	1.78
48	0	78.3	23.7	2.52
	10	136.3	31.9	2.55
	20	144.7	33.0	2.04
	30	107.2	31.9	2.01
	50	59.7	18.7	1.45
	60	55.0	11.1	2.32
49	0	291.1	30.3	1.95
	10	434.5	63.8	1.25
	20	187.9	50.1	-
	30	134.7	44.0	1.94
50	0	266.2	48.3	2.14
	10	94.3	41.6	1.52
	20	168.9	26.7	1.54
	30	128.3	16.2	1.45
	50	155.8	26.8	1.58
	60	214.1	24.5	-



Table 4-12. Distribution of organic materials in the seawater in the Yellow Sea in August 1996 (continued).

St.	Depth m	POC $\mu\text{g/l}$	PON $\mu\text{g/l}$	DOC mg/l
51	0	90.6	20.9	1.60
	10	148.1	29.5	1.22
	20	103.7	26.3	1.34
	30	109.2	26.7	1.28
	50	166.9	32.5	1.25
	65	165.6	33.6	1.56
52	0	153.7	32.0	2.17
	10	176.2	34.8	2.07
	20	219.2	48.5	2.68
	30	159.3	32.5	1.65
	50	166.9	37.3	1.18
53	0	58.6	32.0	1.39
	10	303.6	45.3	1.87
	20	224.3	40.0	1.32
	30	172.7	42.1	1.35

Table 4-13. Distribution of heavy metals in the surface waters of the Yellow Sea in August 1996.

St.	Cd $\mu\text{g/l}$	Cu $\mu\text{g/l}$	Pb $\mu\text{g/l}$	Zn $\mu\text{g/l}$
41	0.016	0.60	0.056	0.12
42	0.018	0.49	0.026	0.10
43	0.022	0.52	0.037	0.07
44	0.023	0.72	0.038	0.13
45	0.031	0.55	0.106	0.13
46	0.022	0.82	0.088	0.38
47	0.026	0.44	0.082	0.09
48	0.023	0.45	0.070	0.17
49	0.029	0.47	0.076	0.11
50	0.028	0.60	0.122	0.13
51	0.023	0.50	0.107	0.13
52	0.019	0.40	0.040	0.08
53	0.024	0.45	0.017	0.23

9608 POC 1

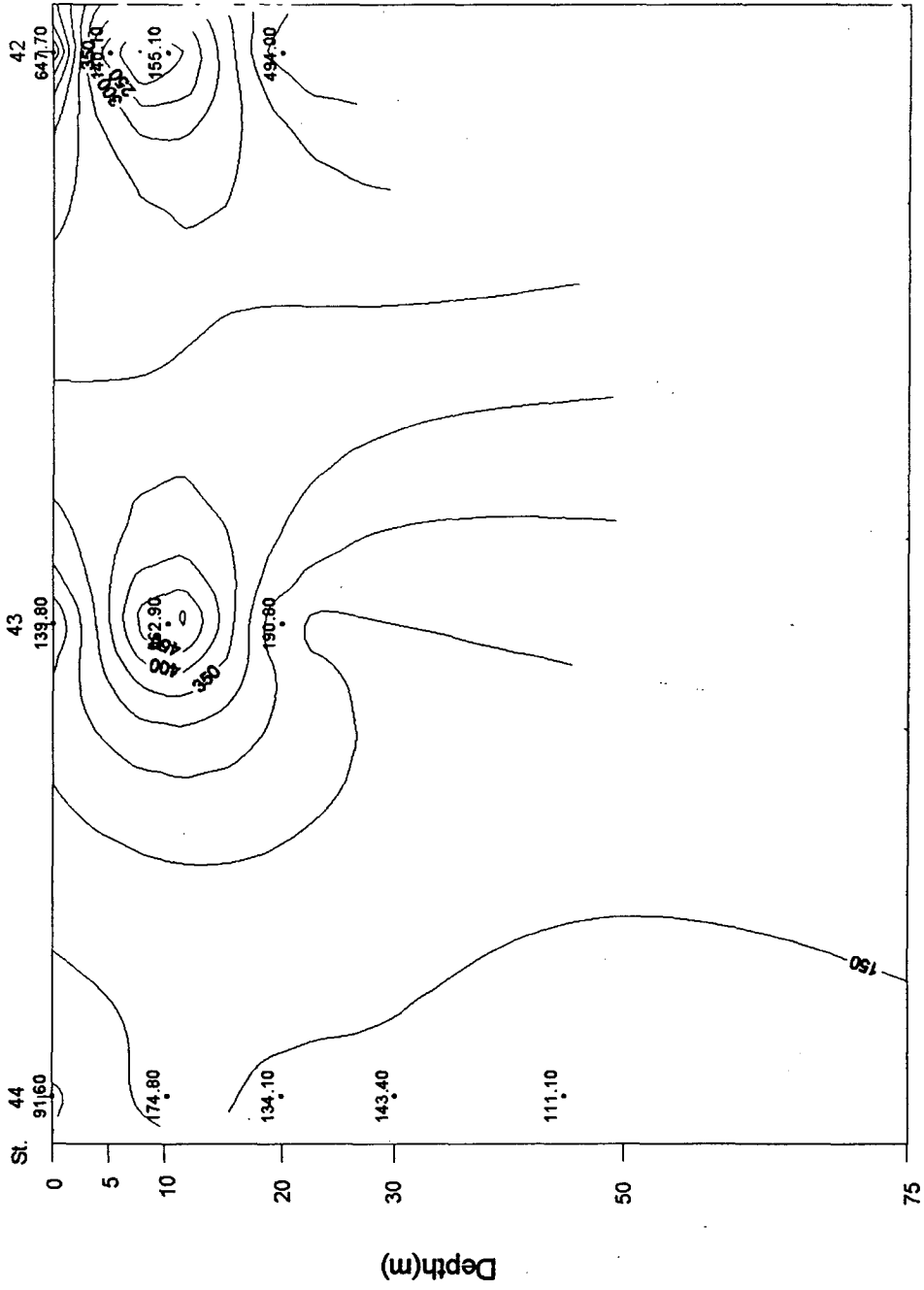


Fig. 4-56. Vertical distribution of POC of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

# 9608 POC 2

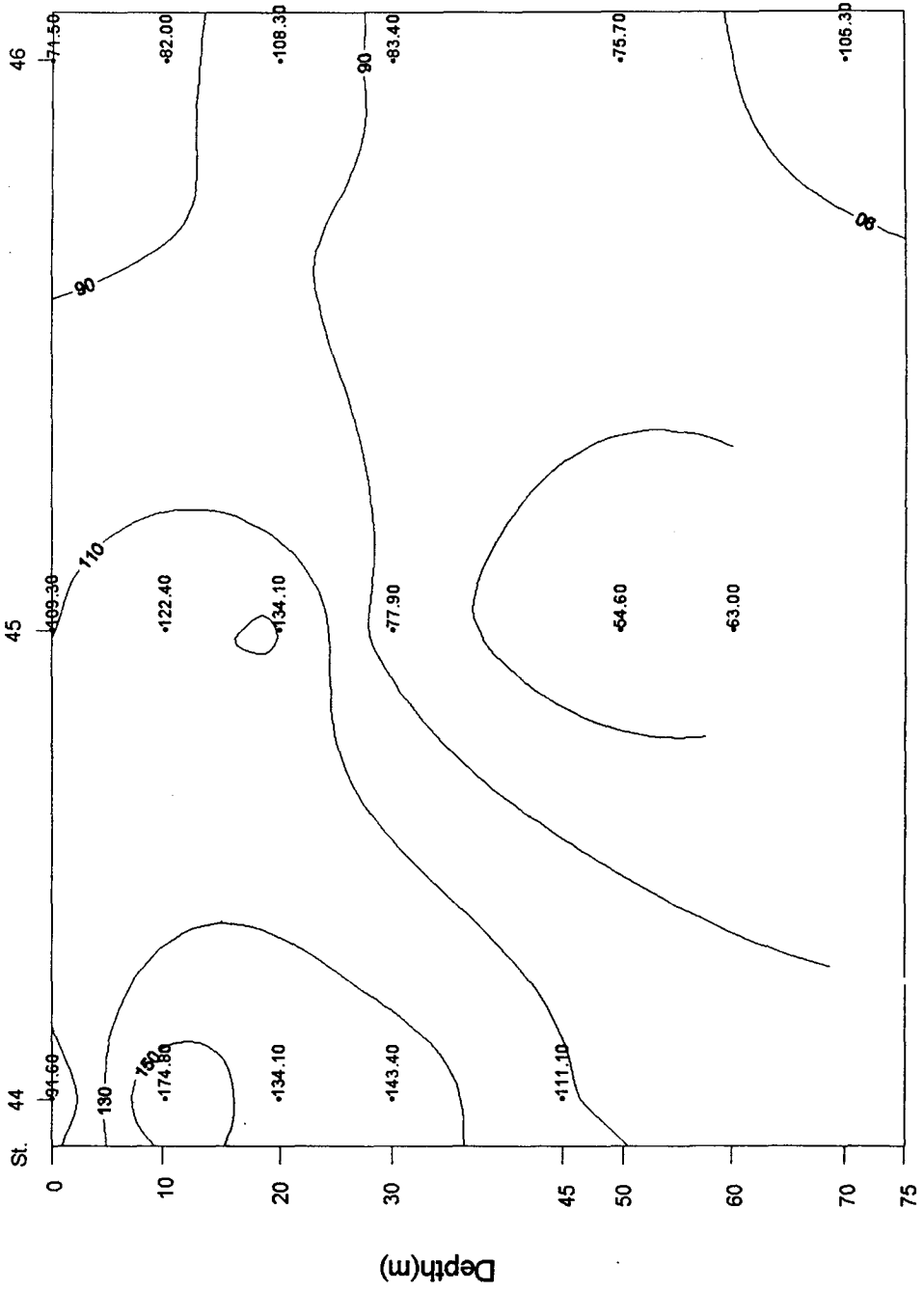


Fig. 4-57. Vertical distribution of POC of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9608 POC 3

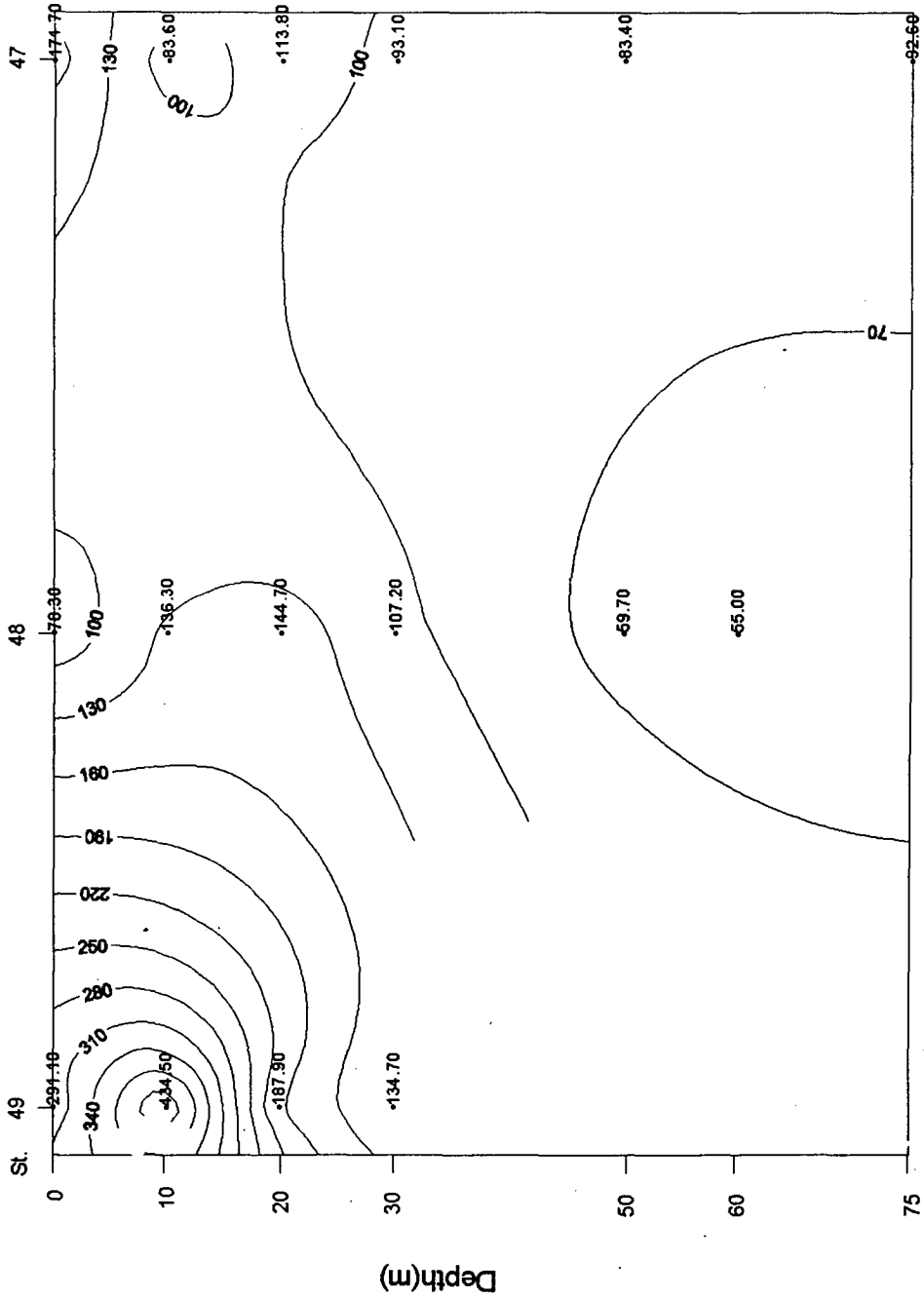


Fig. 4-58. Vertical distribution of POC of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ).

# 9608 POC 4

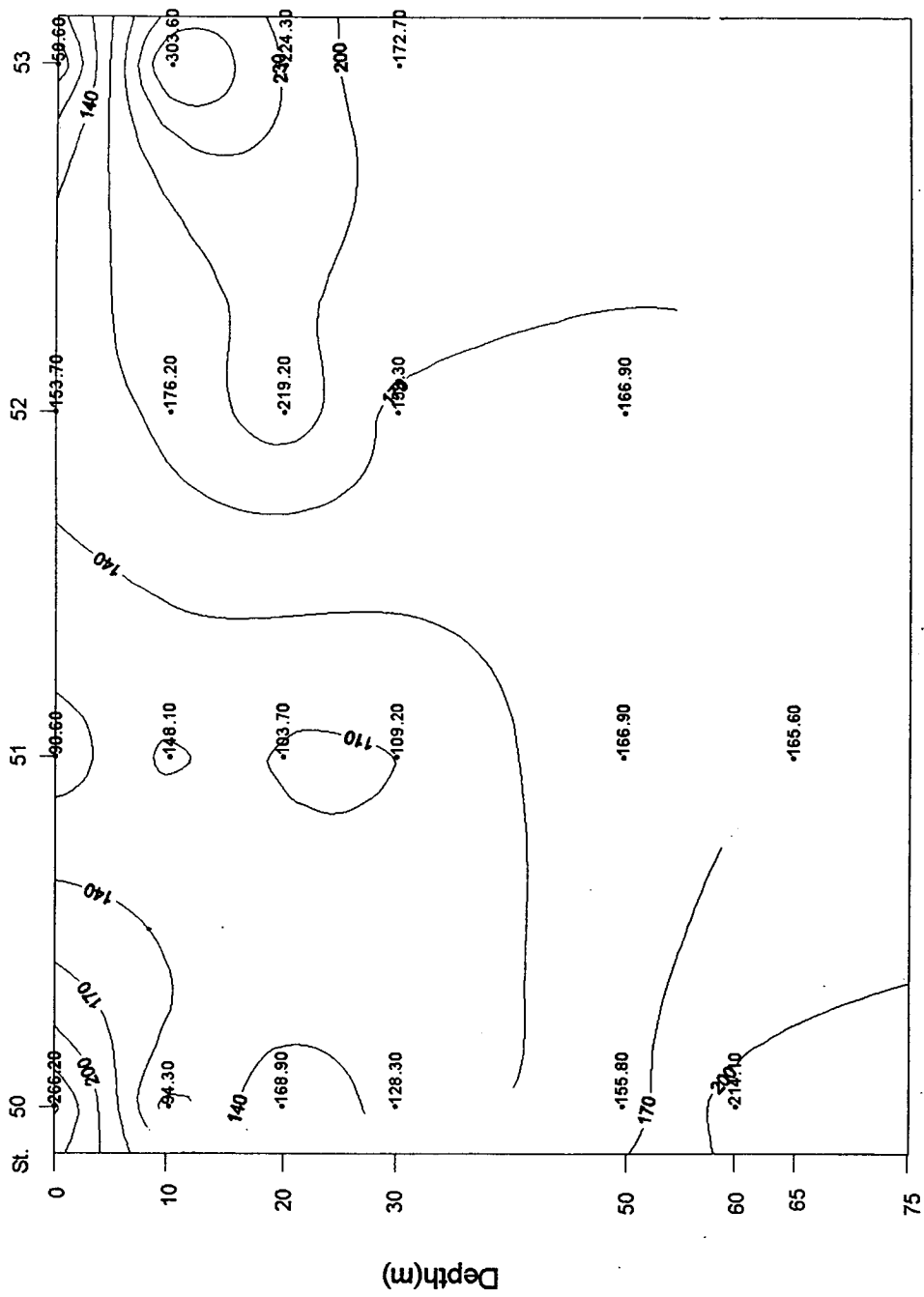


Fig. 4-59. Vertical distribution of POC of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9608 DOC 1

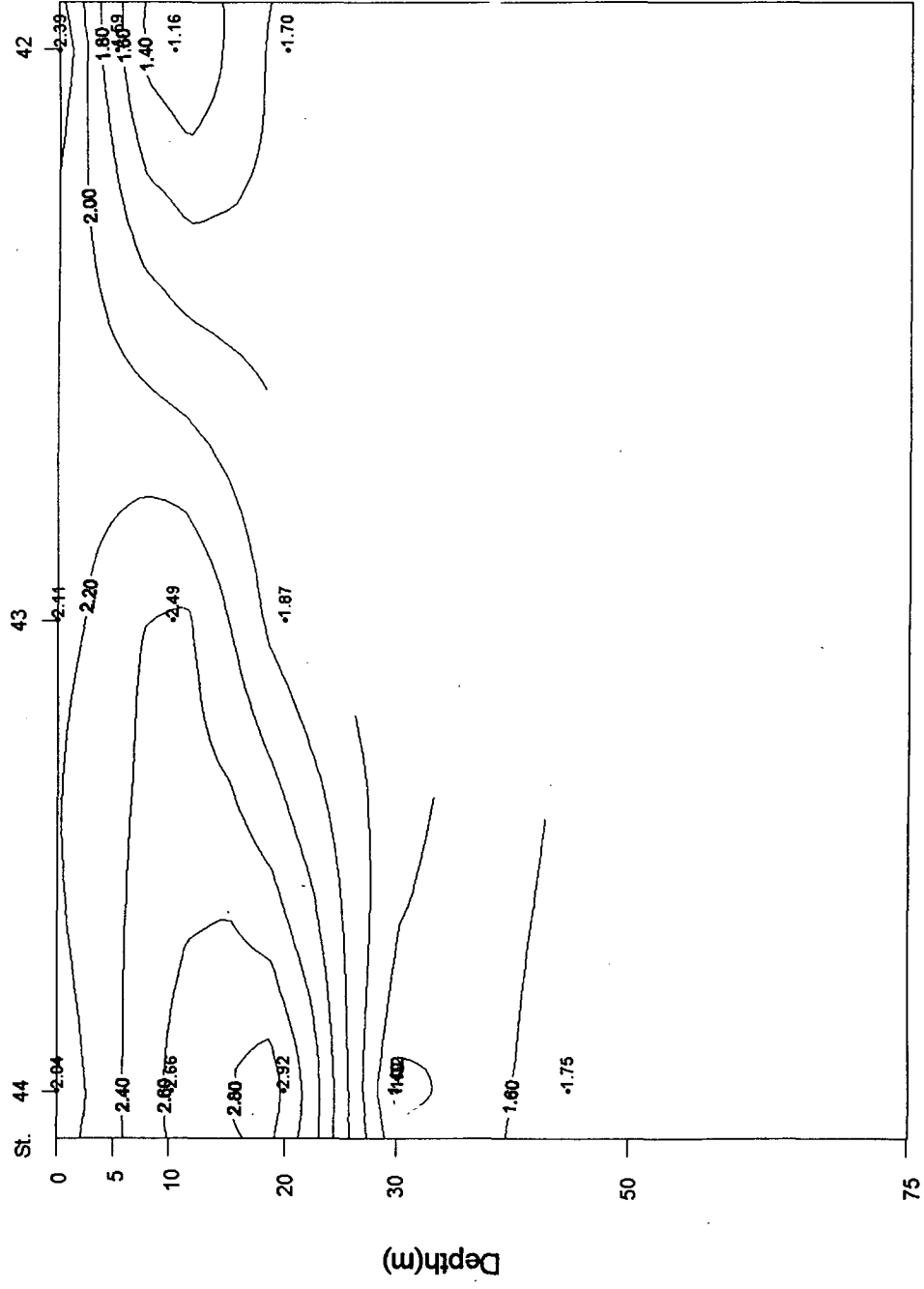


Fig. 4-60. Vertical distribution of DOC of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

# 9608 DOC 2

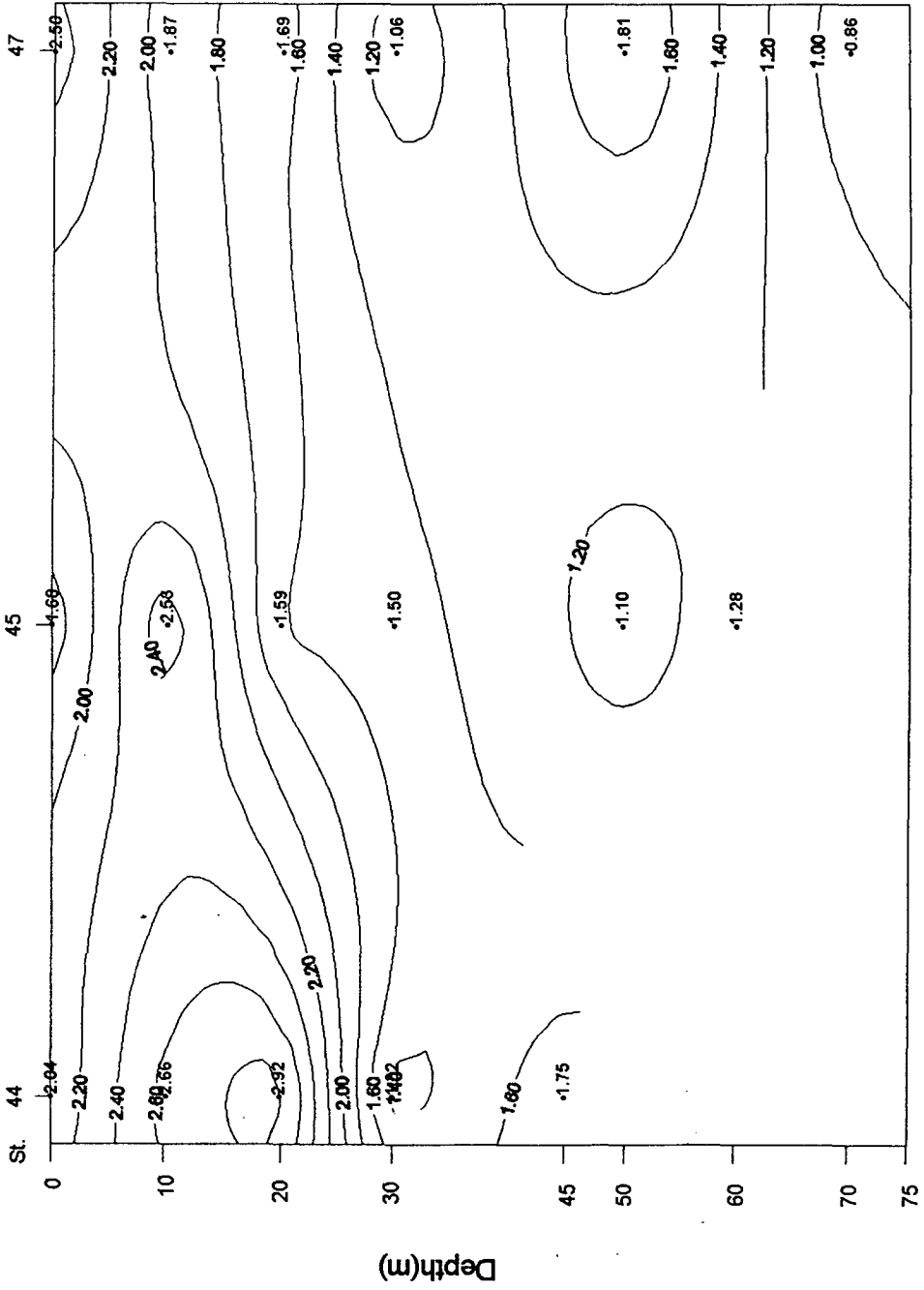


Fig. 4-61. Vertical distribution of DOC of Section 2 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).



# 9608 DOC 3

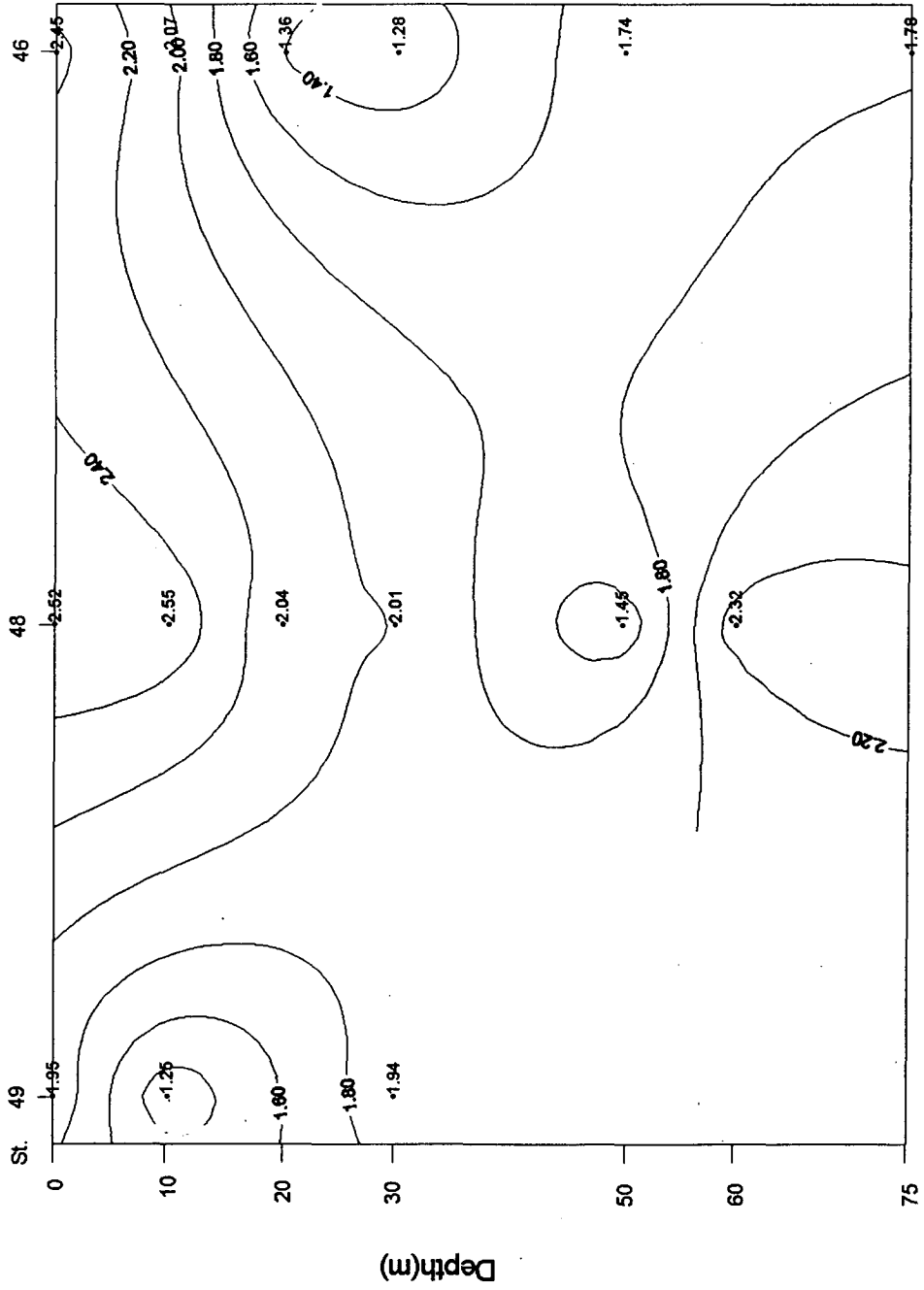


Fig. 4-62. Vertical distribution of DOC of Section 3 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

9608 DOC 4

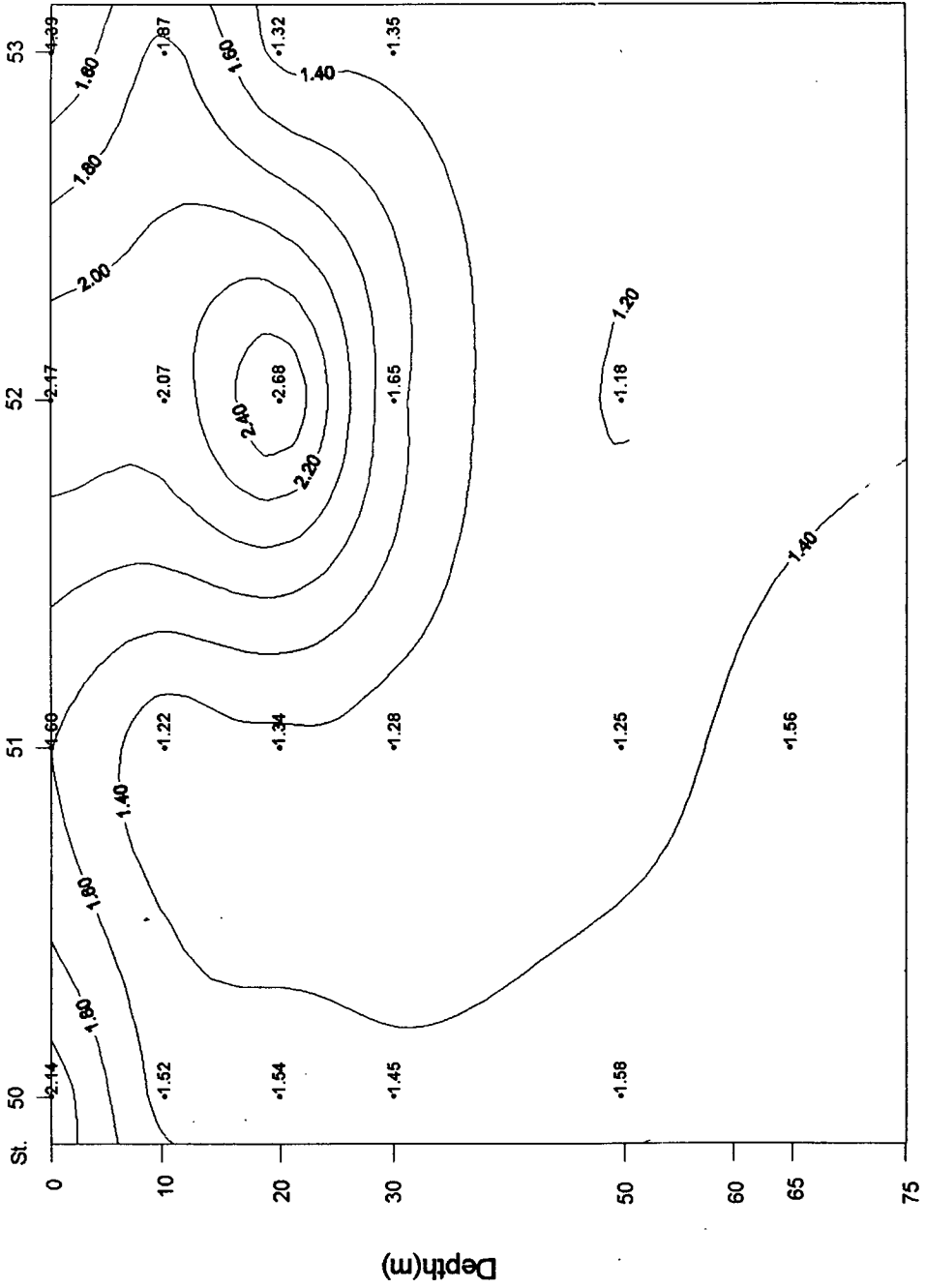


Fig. 4-63. Vertical distribution of DOC of Section 4 in the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

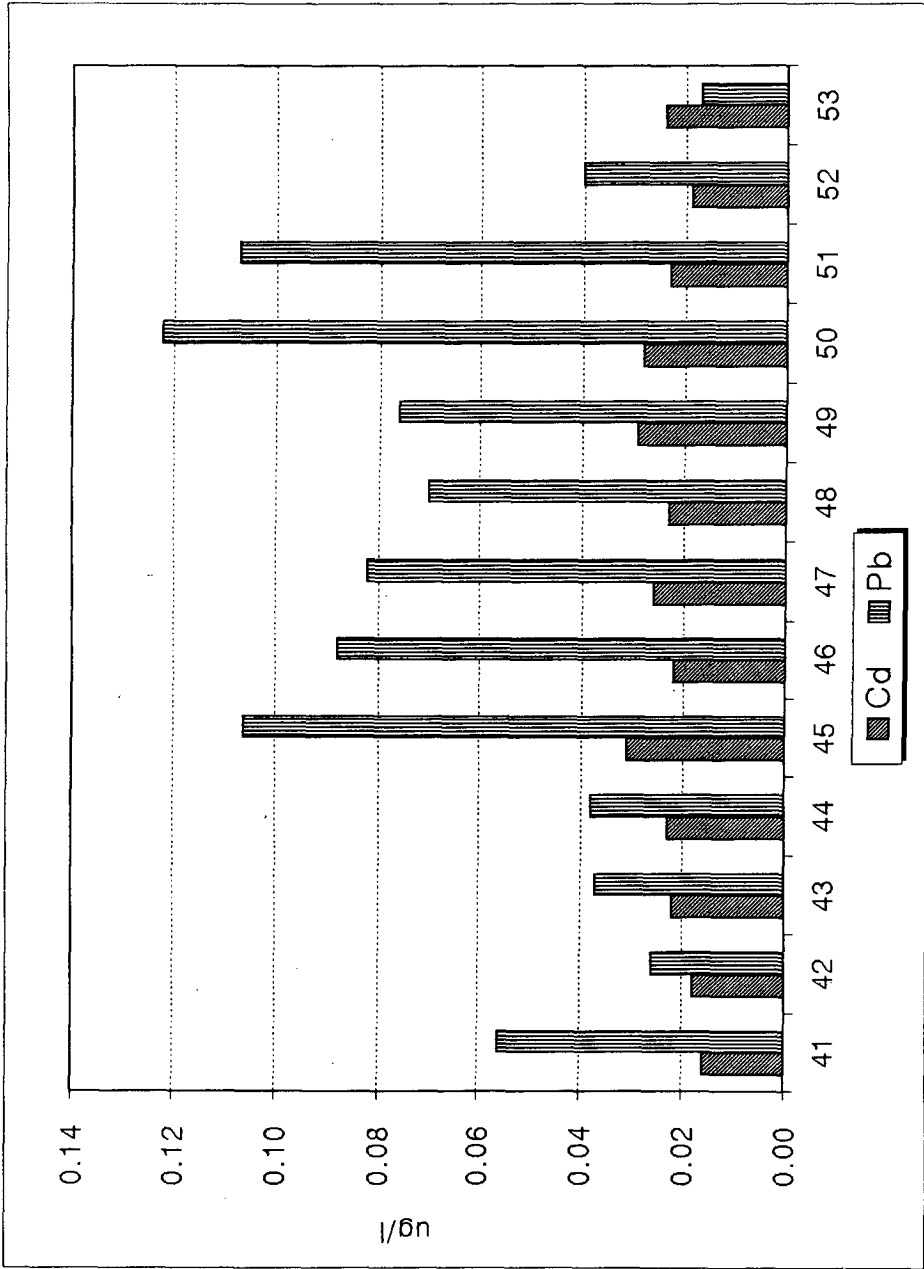


Fig. 4-64. Distribution of Cd and Pb in the surface waters of the Yellow Sea in August 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

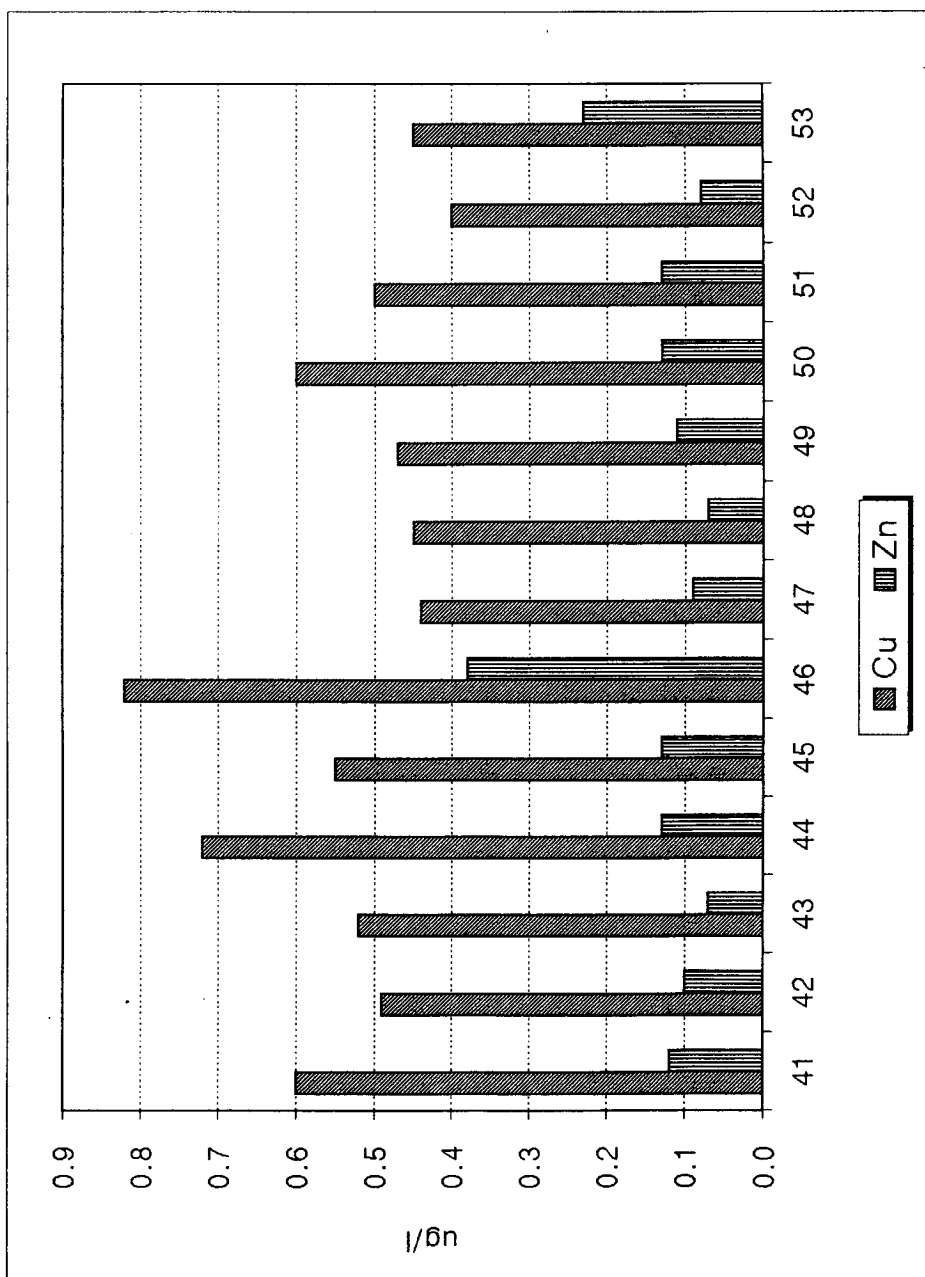


Fig. 4-65. Distribution of Cu and Zn in the surface waters of the Yellow Sea in May 1996 ( $\mu\text{g/l}$ ).

## 제 5 장 황해 해저퇴적물의 오염

### 제 1 절 표층퇴적물의 오염

#### 1. 1996년 5월

해저퇴적물중의 유기물 농도는 퇴적 조건에 따라 다를 수 있어 수층의 농도와는 차이가 크게 날 수 있다. 1996년 5월의 조사에서 강열감광 (IL) 은 1.32 ~ 8.73%의 변화폭을 보였으며 우리나라주변과 중국측에 가까운 St. 104, 204등에서 높았다(Table 5-1). 퇴적물중의 COD는 St. 204에서 10952 mg/kg dry wt. 로 높은 수치를 보였고 황해중앙부의 St. 303에서 13929로 최고치를 보였다(Fig. 5-1, Fig. 5-2 ~ 5-3) 황해남부의 중앙부는 퇴적물이 clayey mud 로서 많은 물질을 흡착할 수 있기 때문에 유기물, 오염물질의 퇴적이 많이 일어 날 수 있다. St. 204에서는 퇴적물의 POC, PON 도 각각 13161, 2378 mg/kg dry wt.로 높았고 IL도 9.01%였다. St. 104, St. 201에서도 퇴적물의 COD가 5501.89, 6196.09 mg/kg dry wt.로 높은 편이었다. 황해의 해저퇴적물은 황하입구로 부터 점차 남향하는 것으로 알려졌는데 이동속도가 비교적 빠른 편 이라고 한다.

Table 5- 1. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996.

St.	IL %	COD	POC	PON
		mg/kg-dry wt.		
101	8.73	1543.32	16475.38	973.23
102	3.05	2988.40	5814.76	688.72
103	-	-	10696.86	1518.44
104	6.65	5501.89	11204.16	1591.18
105	4.75	1386.25	8939.38	720.41
201	4.68	6196.09	6511.82	1530.52
202	2.53	1706.49	3946.52	970.46
203	5.21	4568.61	8601.85	1699.40
204	9.01	10952.95	13160.87	2378.38
205	5.36	820.50	788.76	1391.76
301	1.32	39.17	905.99	439.60
302	2.44	3002.45	2595.61	438.71
303	7.12	13929.76	11592.86	2572.09

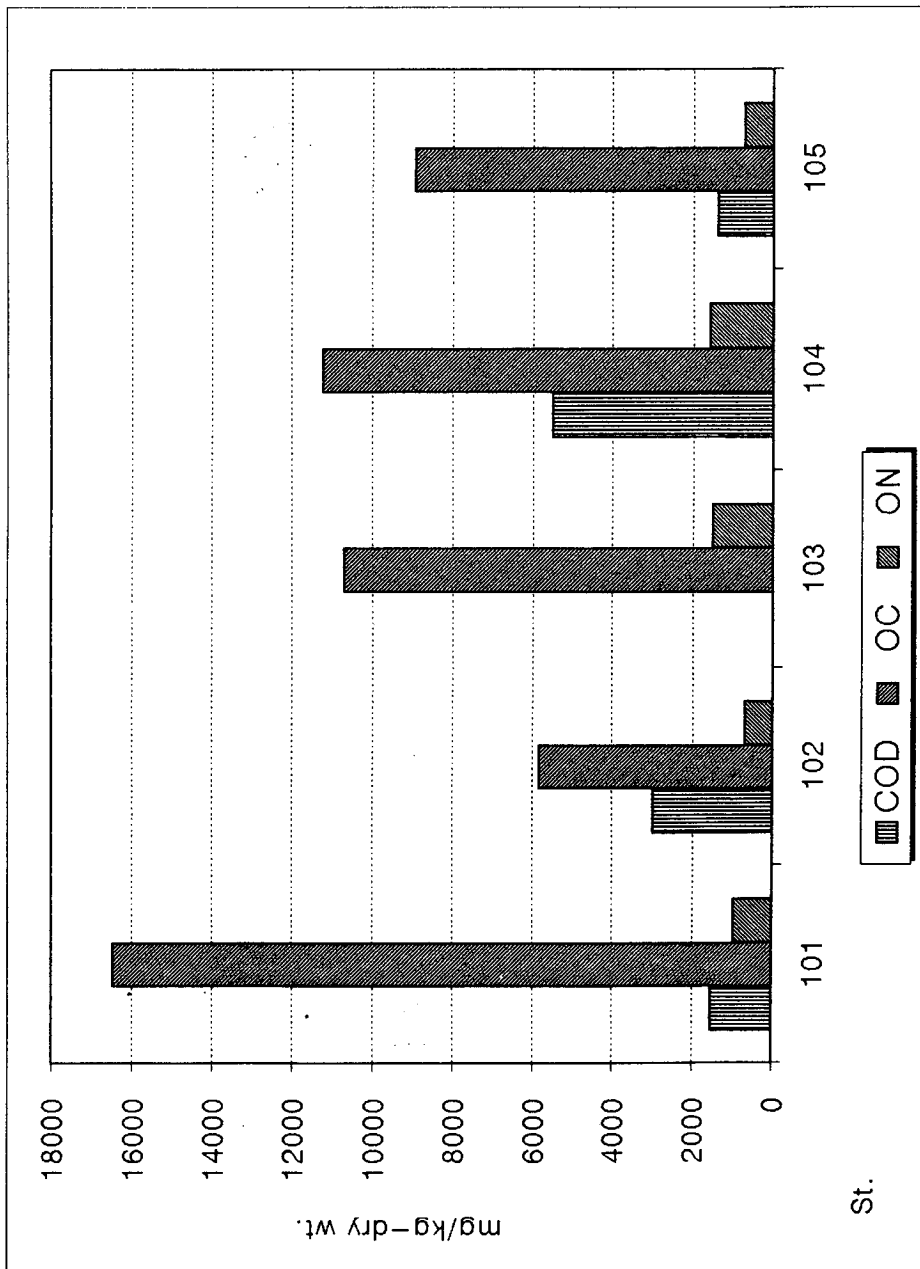


Fig. 5- 1. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Section 1 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

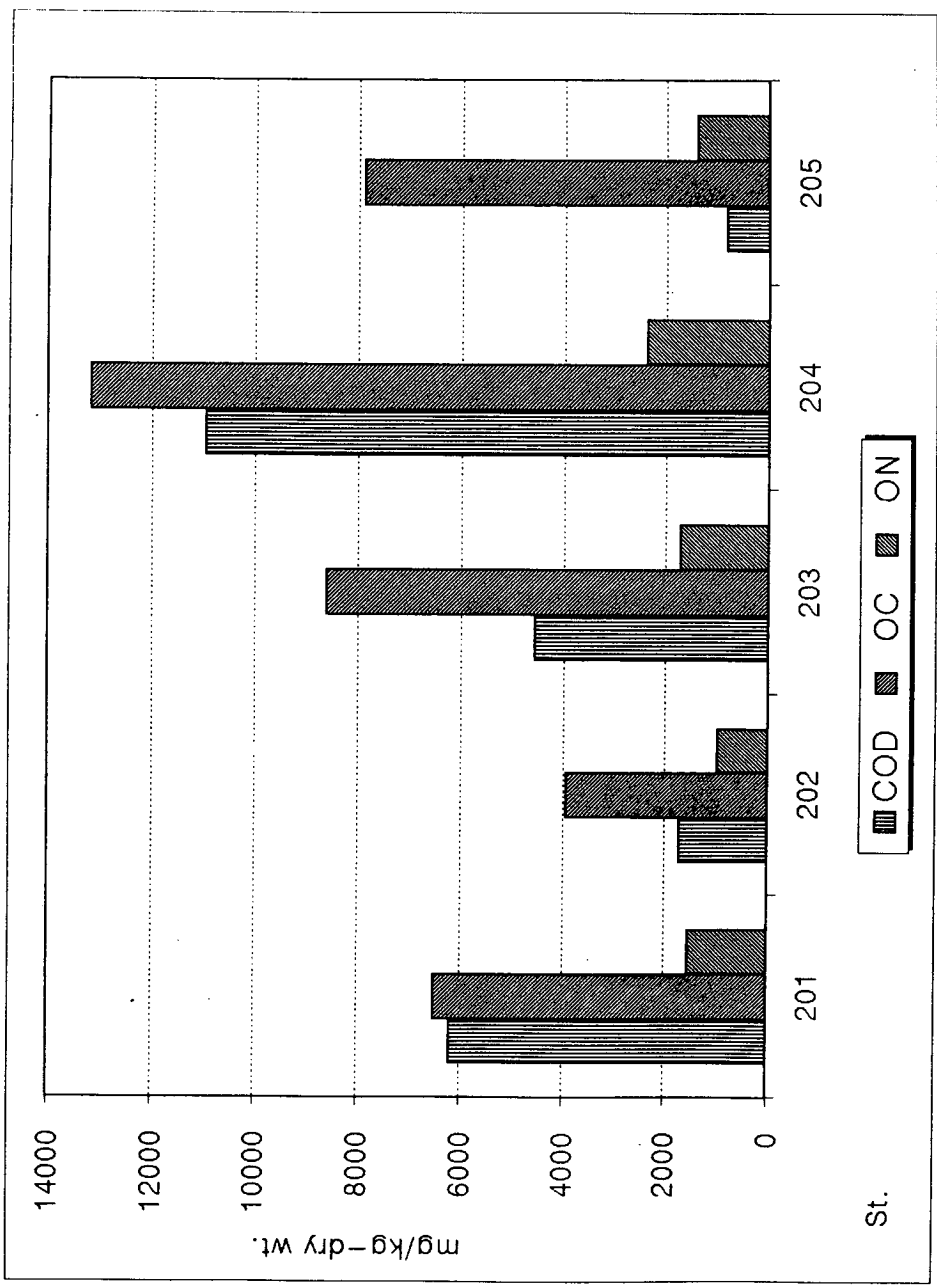


Fig. 5- 2. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Section 2 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).



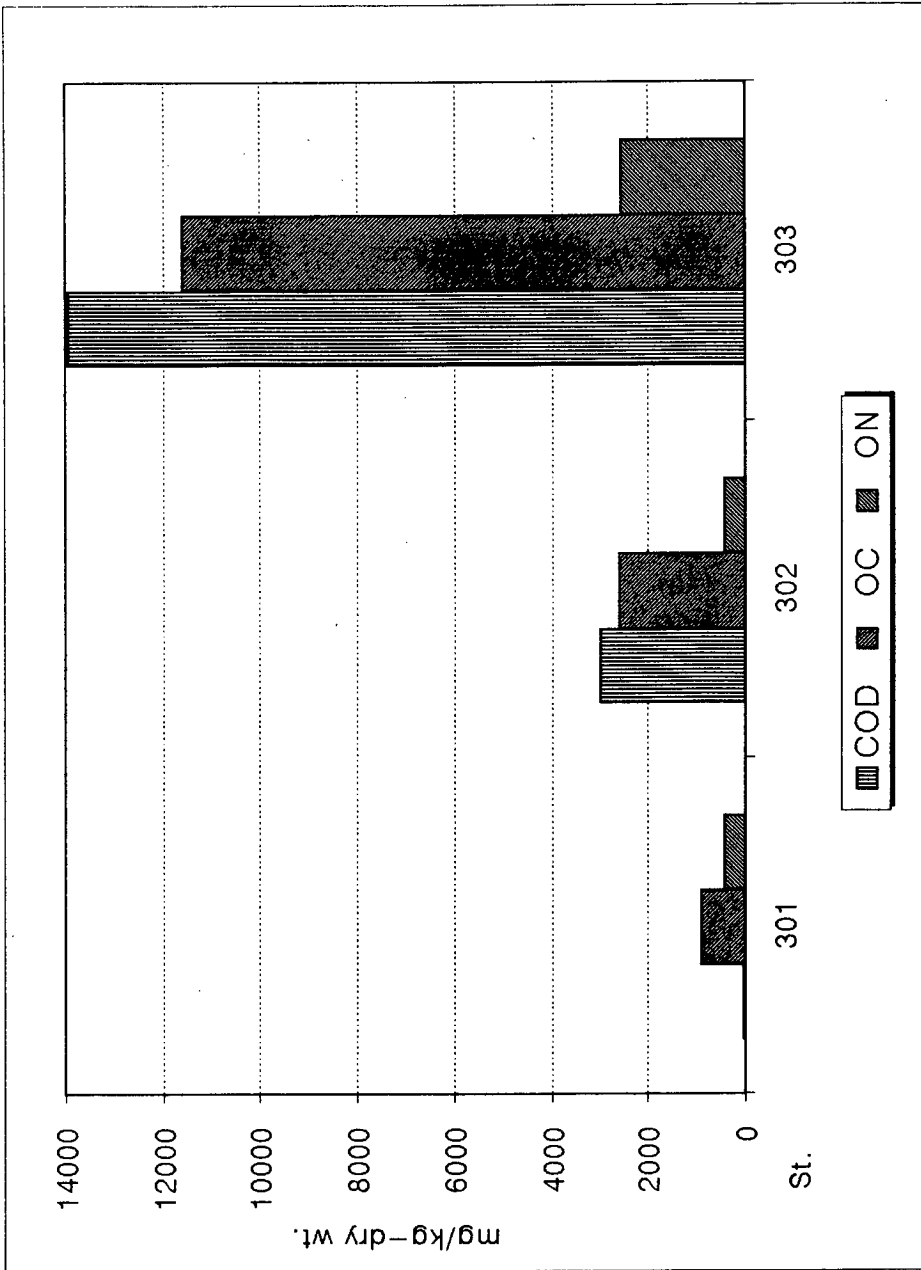


Fig. 5-3. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Section 3 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

96년 5월 황해 외해역 13개 정점에서 채취된 표층 퇴적물 중의 중금속 함량 및 분포는 Table 5-2 와 Fig. 5-4 ~ 5-6에 나타내었으며, 분석 결과는 다음과 같다.

각 중금속의 함량 범위와 평균값은 Cd 0.06~0.20(0.12), Cu 2.3~25.5(13.8), Pb 15.2~35.8(23.3), Zn 19.2~107.6(59.3), Ni 5.4~43.8(23.0), Co 4.5~16.8(9.7), Cr 15.9~69.8(43.7), As 4.9~14.9mg/kg-dry wt.(9.1mg/kg-dry wt.)였다.

중금속 함량의 전체적인 분포는 각 정선의 3과 4번 정점에서 높고 한국과 중국 연안에 가까운 정점들에서 다소 낮은 분포를 나타내었다. 이러한 분포 양상을 입도 분석 결과와 비교해 보면 조립질에서 낮고 세립화함에 따라 중금속 함량이 증가하는 경향으로 다른 연구 결과와 일치하였으며(Farstner and Salmons, 1981; Lee *et al.*, 1991), 각 금속 원소간에도 상관관계를 보였는데 이는 같은 조건의 침강 상태 때문이라 알려져 있다. 그러나 Pb의 경우 입도 5  $\phi$ 이하의 조립질과 5  $\phi$ 이상의 세립질 퇴적물간에 상이한 분포를 나타내었는데 이것은 다른 중금속과 달리 Pb의 다양한 유입경로 때문으로 보인다. 한편 퇴적물 중의 중금속과 유기물(POC, PON) 함량도 양의 상관성을 나타내고 있어 Organic phase에 의한 영향도 큰 것으로 나타났다.

Table 5-2. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996.

St.	Mean G. S.	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	As
	$\Phi$	mg/kg-dry wt.							
101	6.80	0.10	14.2	20.9	50.3	15.0	8.5	30.0	8.3
102	4.40	0.09	8.6	21.7	46.9	16.6	7.7	38.6	7.1
103	7.23	0.14	19.4	25.6	84.3	36.8	13.6	68.0	11.4
104	7.60	0.19	21.8	25.6	86.3	37.1	13.9	68.4	13.1
105	4.25	0.09	11.1	15.2	51.9	25.2	9.4	43.9	8.7
201	6.92	0.10	15.0	28.1	71.0	24.4	10.7	35.9	8.8
202	4.55	0.08	2.7	18.7	19.2	6.8	5.2	15.9	4.9
203	6.71	0.12	12.0	19.5	52.8	20.6	8.5	45.2	8.2
204	8.29	0.20	25.5	33.8	107.6	43.8	16.8	62.7	14.9
205	6.37	0.14	16.3	22.3	58.2	23.5	9.3	47.7	8.8
301	1.86	0.06	2.3	15.8	20.0	5.4	4.5	16.0	6.1
302	3.60	0.08	5.2	20.4	26.1	10.4	5.2	25.7	5.7
303	8.25	0.19	25.0	35.8	96.4	34.3	12.3	69.8	11.6

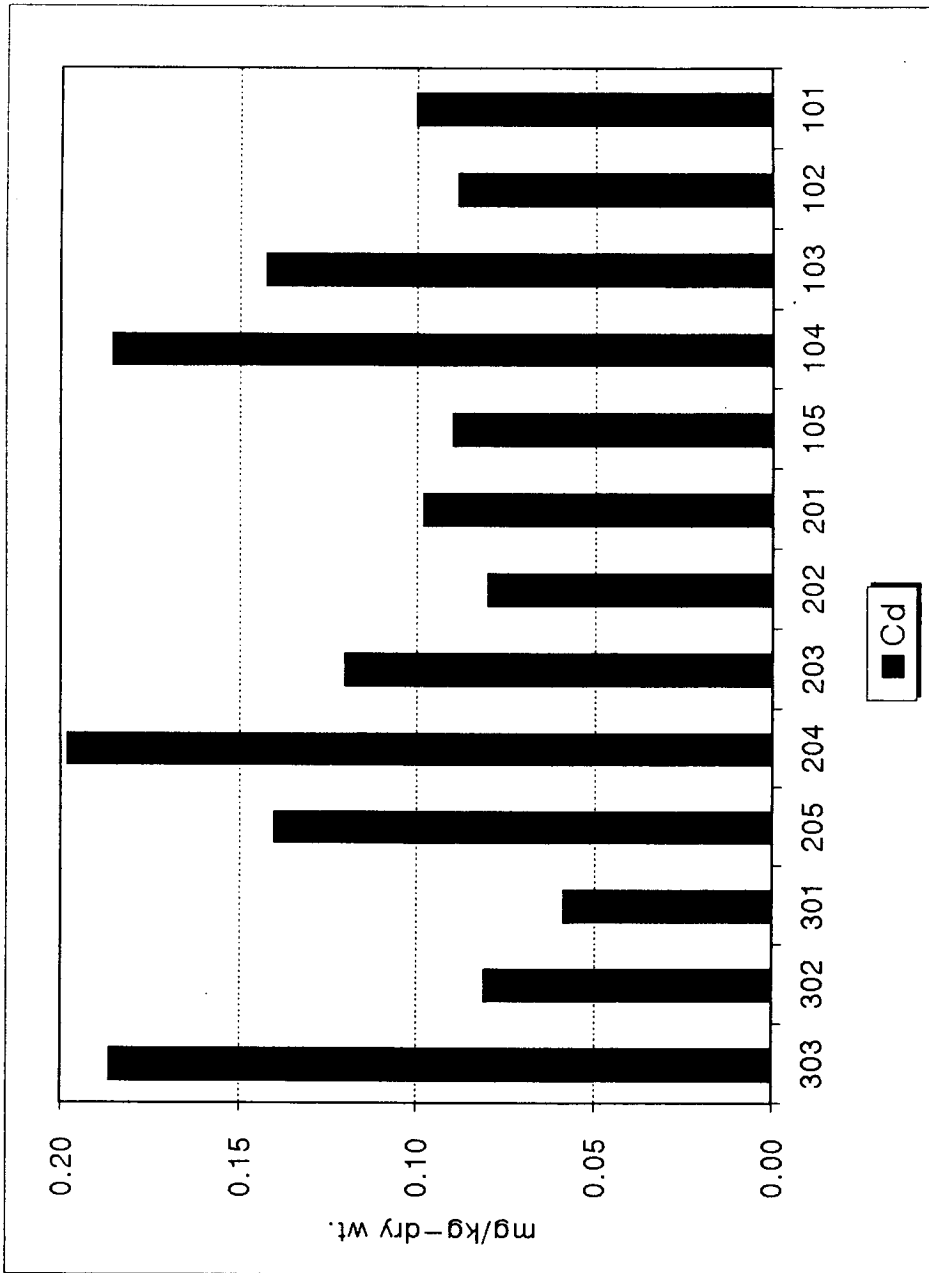


Fig. 5- 4. Distribution of Cd in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt. ).

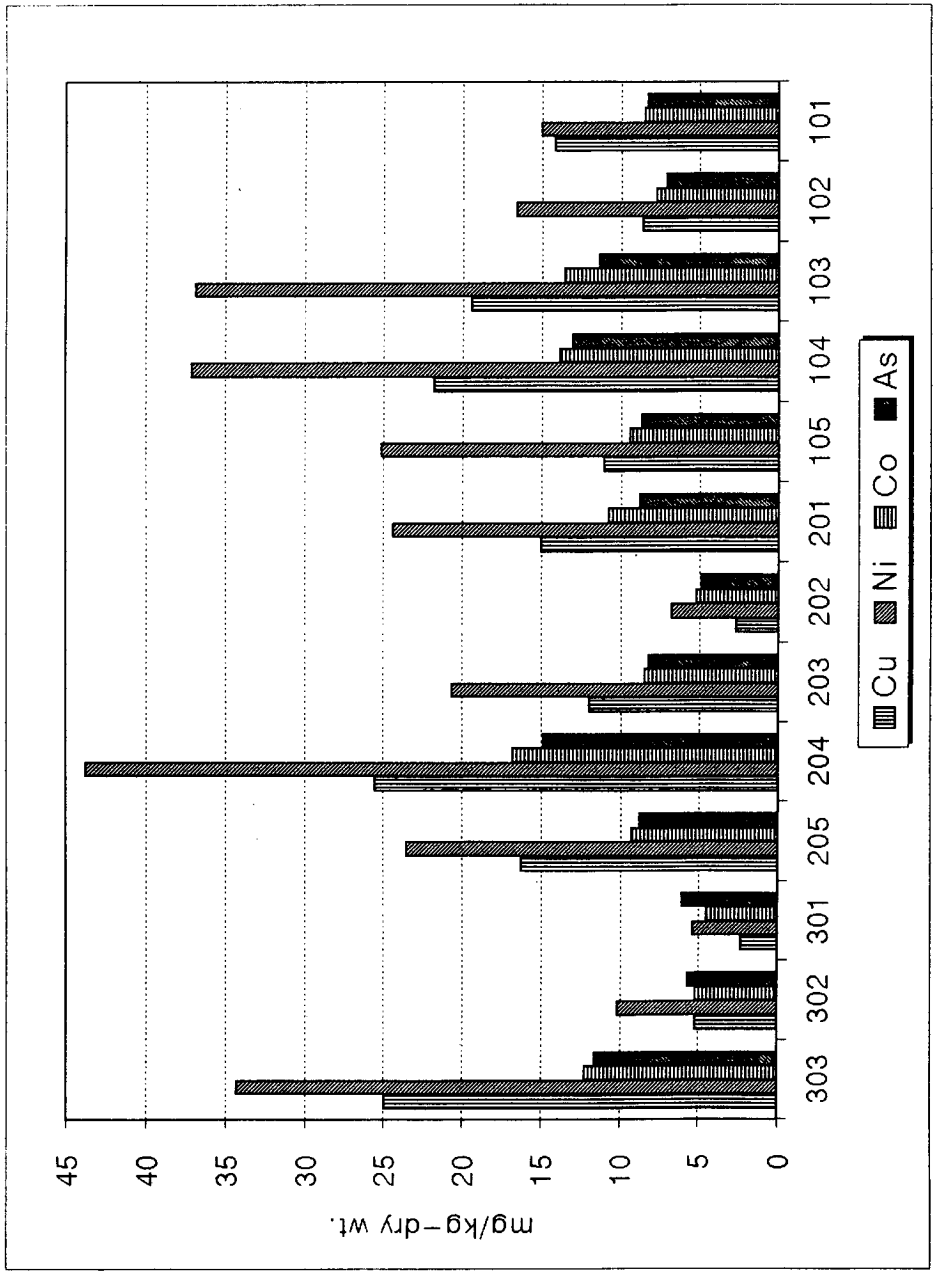


Fig. 5- 5. Distribution of Cu, Ni, Co and As in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt. ).

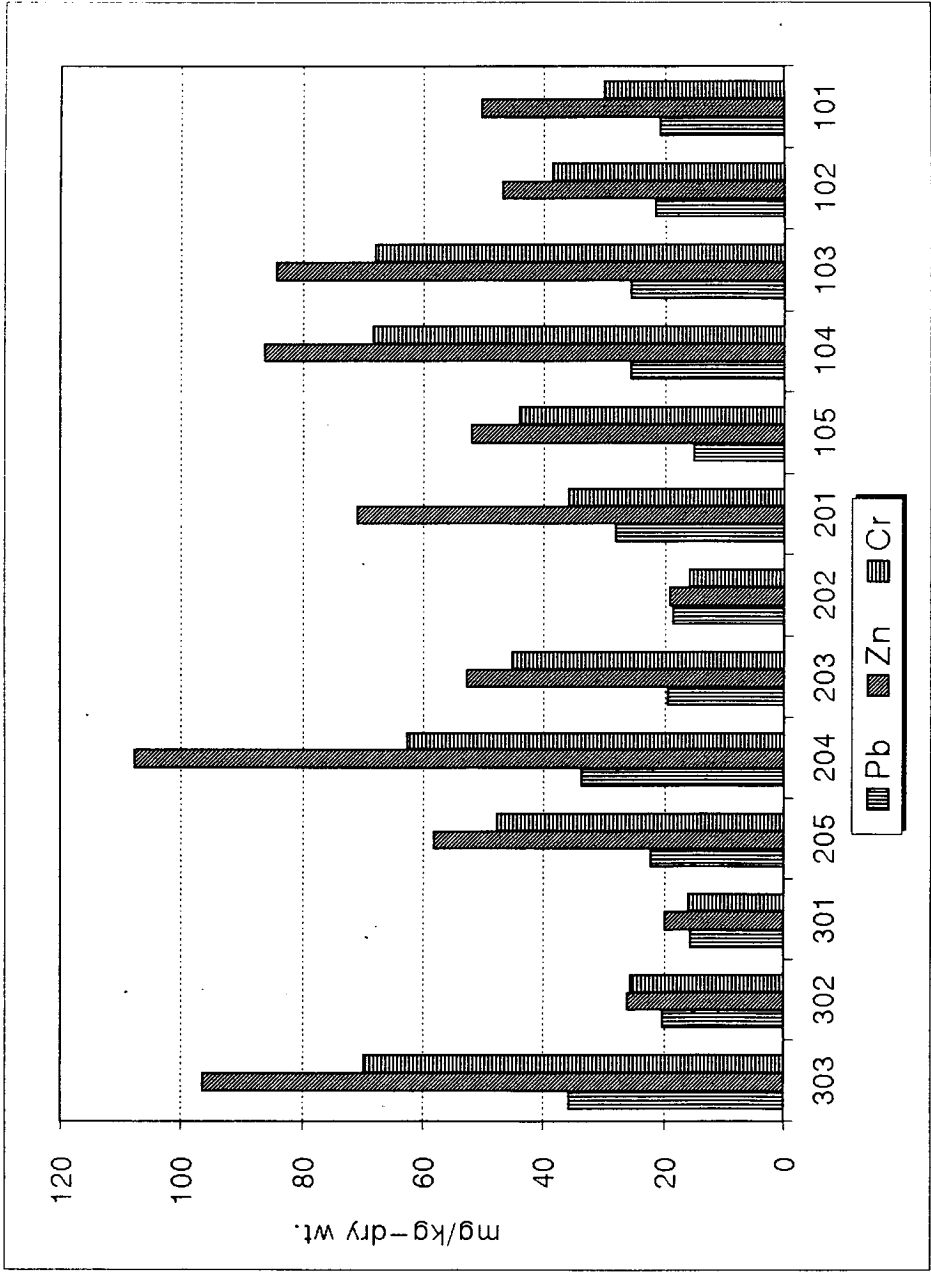


Fig. 5- 6. Distribution of Pb, Zn and Cr in the surface sediments of the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

황해의 해저퇴적물중의 잔류농약은 외해역의 St. 104에서 해역에서 Hexachlorobenzene,  $\gamma$ -BHC,  $\delta$ -BHC, heptachlor가 각각 0.22, 0.26, 1.13, 1.64 ng/g dry wt. 이 검출되었고 4,4'-DDE도 0.14 ng/g dry wt. 이었다 (Table 5-3). St. 204에서는 Hexachlorobenzene,  $\gamma$ -BHC,  $\delta$ -BHC, heptachlor가 각각 0.20, 0.27, 1.53, 0.44 ng/g dry wt. 였고 황해중양부해역의 St. 303에서는 Hexachlorobenzene,  $\delta$ -BHC, heptachlor 가 각각 0.37, 0.91, 0.63 ng/g dry wt. 로 다른정점에서 보다 높았다.

## 2. 1996년 7월

1996년 7월의 황해 중남부해역에서의 퇴적물 오염조사결과 강열감량(IL)은 St. 9, 10등 남쪽의 정점에서 3% 이상을 나타냈다(Table 5-4). 퇴적물중의 COD는 St. 9 에서 6465.89 mg/kg dry wt.로 가장 높았고 4000 mg/kg dry wt. 이상인곳은 St. 7, 10, 13 등으로 역시 남쪽에 위치한 정점들에서 높았다 (Fig 5-7). 퇴적물중의 유기탄소는 St. 10에서 4760 mg/kg dry wt., St. 9에서 4035 mg/kg dry wt.등을 나타냈다. 퇴적물중의 유기질소는 St. 8, 9, 10등에서 각각 756.91, 695.16, 597.61 등으로 높아 남쪽의 퇴적물이 유기퇴적물입자를 잘 흡착하는 것으로 보인다.

(ng/g dry wt.)

St	Hexachloro-		gamma-		delta-		heptachloro-		gamma-		cis-	
	benzene	BHC	BHC	BHC	BHC	BHC	aldrin	aldrin	chlordane	chlordane	2,4'-DDE	chlordane
101	0.00	0.52	1.08	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102	0.16	0.57	0.75	0.81	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	0.22	0.26	1.13	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
201	0.48	0.64	0.71	0.30	0.20	0.00	0.00	0.17	0.38	0.00	0.00	0.00
202	0.09	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
203	0.17	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
204	0.20	0.27	1.53	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
205	0.06	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
301	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
303	0.37	0.00	0.91	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

St	trans-		4,4'-DDE		2,4'-DDD		4,4'-DDD		2,4'-DDT		4,4'-DDT		mirex	
	nonachlor	dieldrin	4,4'-DDE	4,4'-DDE	2,4'-DDD	2,4'-DDD	4,4'-DDD	4,4'-DDD	2,4'-DDT	2,4'-DDT	4,4'-DDT	4,4'-DDT	mirex	mirex
101	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.96	0.49	
102	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.51	0.18	
103	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	
104	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
201	0.33	0.35	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	
202	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
203	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.26	
204	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	
205	0.00	0.26	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.28	
301	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
303	0.00	0.00	0.28	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	

Table 5-3  
Distribution of pesticides in the surface  
sediments of the Yellow Sea in May 1996.



Table 5-4. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in July 1996.

St.	IL	COD	Organic Carbon	Organic Nitrogen
	%	(mg/kg dry wt.)		
K-1	1.19	1096.34	812.51	202.71
K-2	1.12	892.72	873.4	293.34
K-3	2.46	3459.29	3071.57	848.6
K-7	1.91	4198.44	2497.07	473.45
K-8	2.85	3419.85	3391.21	756.91
K-9	3.01	6465.89	4035	695.16
K-10	3.07	4460.45	4760.03	597.61
K-11	2.06	3449.85	2325.37	510.87
K-12	1.61	2562.45	1481.13	440.92
K-13	3.37	4036.44	2856.42	654.75
K-14	1.36	1174.46	838.19	353.68

황해 중남부해역 표층 퇴적물중의 각 중금속 함량은 Table 5-5에 나타내었다. 각 중금속의 범위와 평균값은 Cd 0.03~0.32(0.11), Cu 2.0~9.2(5.6), Pb 20.1~29.2(24.9), Zn 16.7~51.5(34.8), Ni 3.5~17.8(9.9), Co 2.7~8.7(5.4), Cr 9.8~34.7(21.7), As 4.1~7.4mg/kg-dry wt.(6.0mg/kg-dry wt.)였으며, 외측의 3개 정점에 대한 자료는 없지만 공간적인 분포는 북보다 남쪽의 정점들에서 약간 높게 나타났고, 95년의 조사값(한국해양연구소, 1995)에 비해 전체적으로 낮게 나타났으며, 96년 5월의 조사중 본조사해역과 비슷한 위치의 정점의 함량과 비교하면 비슷하거나 약간 낮은 수준이다.

Table 5-5. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in July 1996.

St.	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	As
	mg/kg-dry wt.							
K-1	0.03	2.0	25.3	21.1	3.5	2.7	9.8	6.2
K-2	0.03	2.7	29.2	40.8	4.8	3.1	12.8	5.4
K-3	0.13	5.7	22.2	51.5	8.9	5.4	22.7	6.8
K-7	0.10	8.6	28.0	41.3	13.9	6.9	27.7	5.9
K-8	0.14	6.8	20.1	35.6	12.9	6.4	24.9	4.1
K-9	0.09	7.4	27.3	37.0	13.9	6.7	30.2	6.8
K-10	0.10	7.8	26.2	38.5	12.7	6.5	22.1	7.3
K-11	0.09	5.7	23.9	29.2	10.0	5.5	25.8	5.2
K-12	0.32	3.4	23.6	19.2	6.0	3.9	15.1	4.5
K-13	0.08	9.2	22.8	51.5	17.8	8.2	34.4	6.0
K-14	0.07	2.1	25.7	16.7	4.9	4.0	13.1	7.4

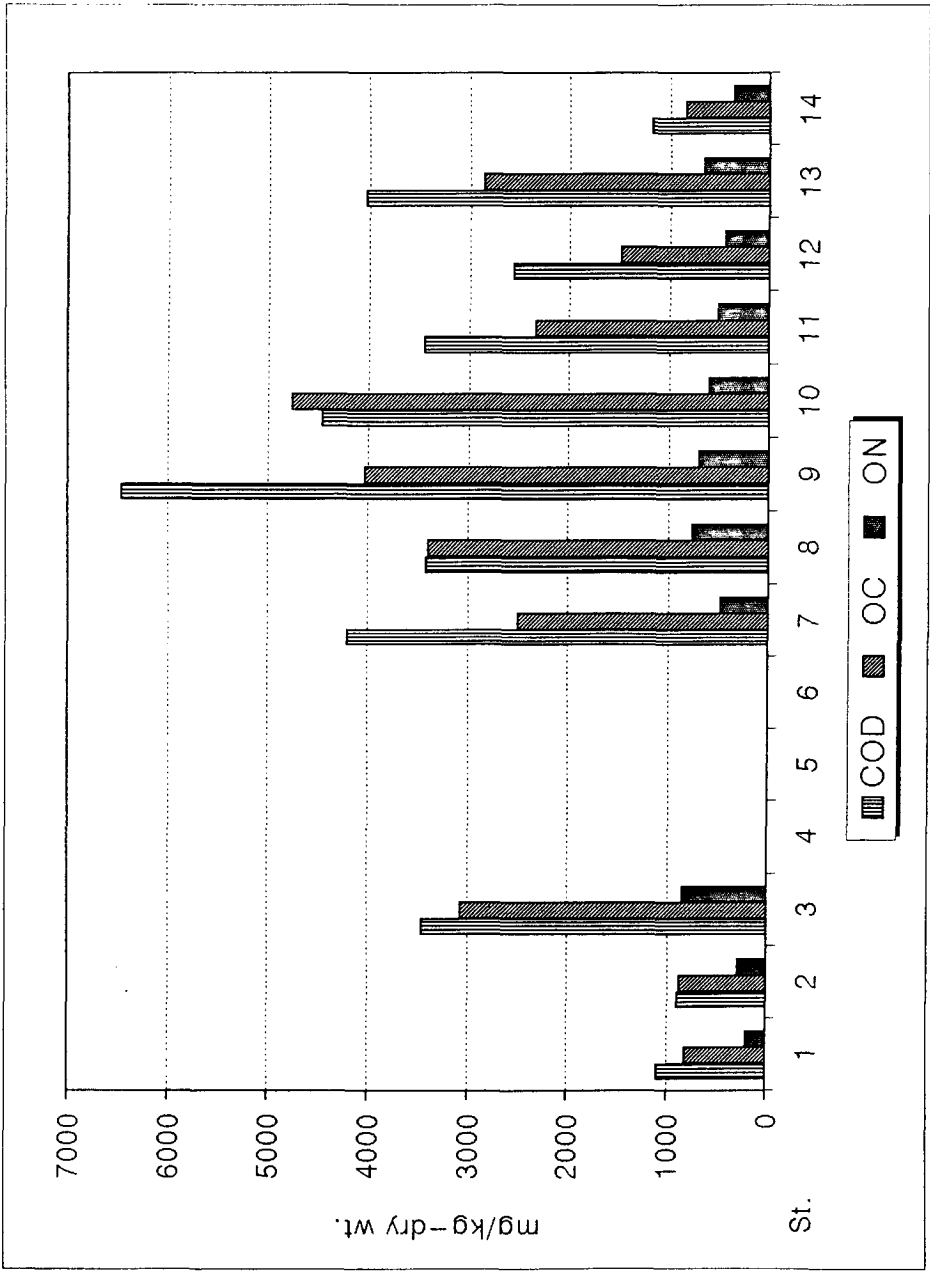


Fig. 5- 7. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Sectionm I in the Yellow Sea in July 1996 (mg/kg-dry wt.).

### 3. 1996년 8월

1996년 8월에 황해 해저퇴적물중의 강열감량 (IL) 은 2.39 - 11.90%의 분포를 보였고 양자강가까운 St. 42에서 9.78%를 나타냈다(Table 5-6 Fig 5-8) 그외에 강열감량이 높은 곳은 산동반도 동남방에 위치한 정점들이었다. COD는 St. 48에서 25567 mg/kg dry wt.로 가장 높았고 2번 정선 (St. 44, 45, 46)에서도 10000 mg/kg dry wt.이상을 보였다. 퇴적물중의 유기탄소는 황해중앙부 해역의 St. 47, 48이 12000 mg/kg dry wt.을 넘었고 St. 43, 49등 중국쪽에 가까운 해역에서도 높았다.

Table 5- 6. Distribution of organic materials in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996.

St.	IL	COD	Organic Carbon	Organic Nitrogen
	%	(mg/kg dry wt.)		
42	9.78	4007	5418	420
43	6.21	6937	11079	1050
44	6.67	12764	6726	1028
45	10.22	15884	11155	1659
46	7.74	15553	9541	1981
47	10	17366	12697	2777
48	11.9	25567	12827	1199
49	10.28	7764	11813	1777
50	7.78	10490	9961	384
51	11.04	8906	9834	1013
52	2.39	2730	1082	626
53	6.1	14855	7447	3872

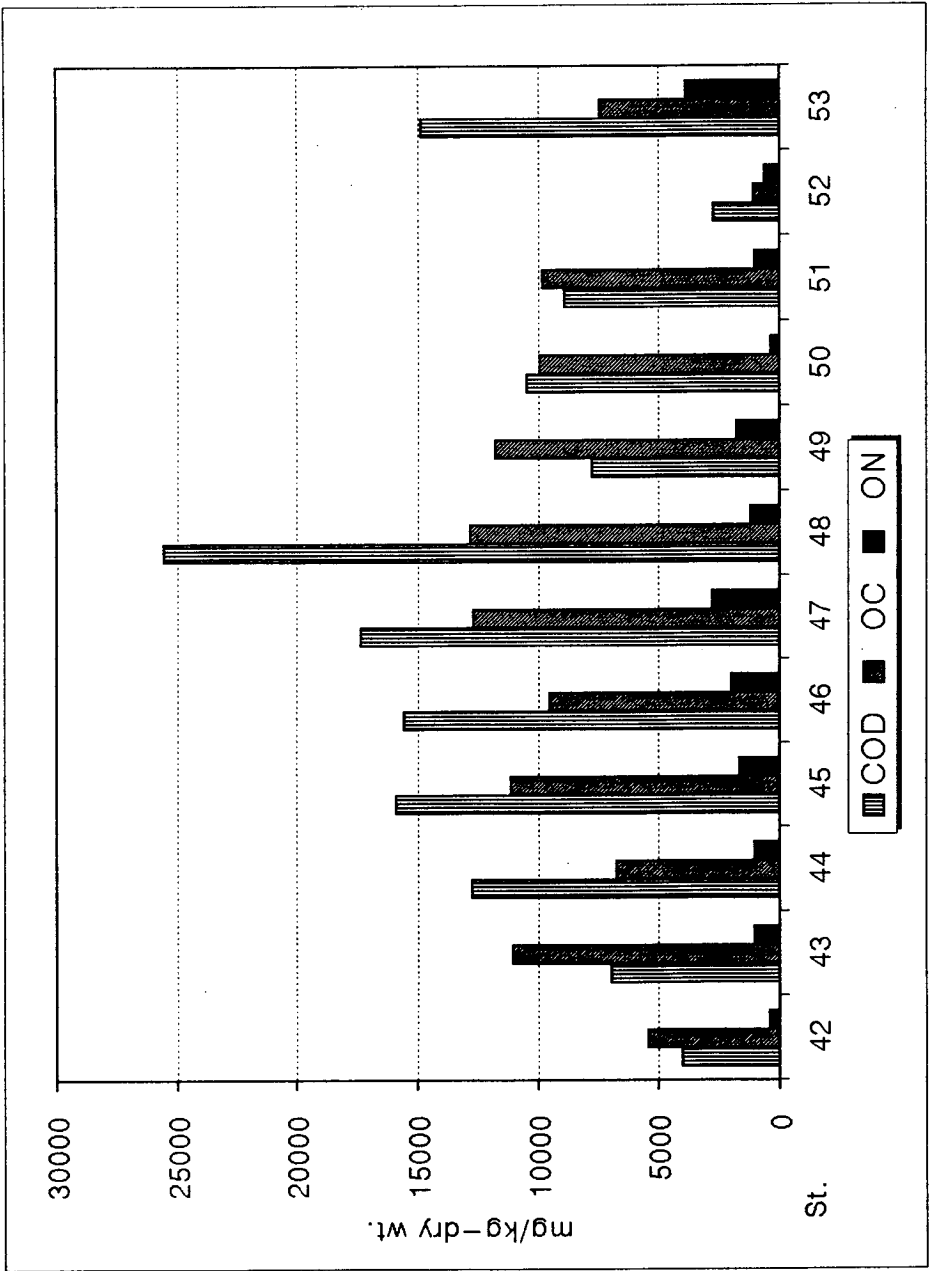


Fig. 5- 8. Distribution of COD, OC, ON in the surface sediments of Section 1 in the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt.).

퇴적물중의 유기질소는 St. 47이 St. 48보다 2배가 넘는 분포를 보여 유기물질 퇴적량의 분포양상은 비슷해도 C/N 비율은 차이를 보이는 것으로 보인다.

96년 8월 황해 외해역 13개 정점에서 채취된 표층 퇴적물 중의 중금속 함량 및 분포는 Table 5-7 과 Fig. 5-9 ~ 5-11에 나타내었다. 각 중금속의 함량 범위와 평균값은 Cd 0.08~0.26(0.17), Cu 4.1~34.8(18.7), Pb 20.0~38.5(27.8), Zn 35.1~121.1(67.9), Ni 9.3~100.5(45.3), Co 5.4~19.1(12.1), Cr 25.0~192.8(88.4), As 4.4~26.3mg/kg-dry wt.(10.0mg/kg-dry wt.)였다.

원소에 따른 분포의 차이는 있으나 중국 연안에 가까운 정점들에서 대체로 높은 함량을 나타내었으며, Zn과 Cr은 중앙에 위치한 St. 45, 48에서 가장 높았다. 본 조사값은 한국쪽에 많은 정점이 분포하고 있는 96년 5월에 비해 높을 뿐 아니라 95년 중국 연안쪽의 자료(한국해양연구소, 1995)에 비해서도 높았다. 본 시료에 대한 입도분석이 이루어지지 않아 퇴적물의 입도 분포에 의한 영향인지 오염의 징후인지 자세한 조사가 필요하며, 정점의 대표치를 얻기 위한 시료 채취 방법의 개선이 있어야 할 것으로 생각된다.

Table 5-7. Distribution of heavy metals in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996.

St.	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Cr	As
	mg/kg-dry wt.							
41	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0.11	7.6	38.5	40.7	27.8	15.6	41.9	26.3
43	0.14	17.1	20.0	62.3	68.2	11.3	179.9	8.2
44	0.17	20.7	23.6	65.9	49.6	11.4	69.9	7.0
45	0.22	25.7	30.3	103.7	42.6	15.6	90.6	9.0
46	0.17	21.6	29.0	86.3	33.3	12.9	75.5	6.1
47	-	-	-	-	-	-	-	-
48	0.25	34.3	34.7	121.1	91.6	19.1	192.8	10.3
49	0.26	34.8	29.0	97.6	45.0	16.7	89.3	10.1
50	0.21	21.6	23.4	63.4	100.5	11.3	142.3	7.8
51	0.15	11.0	21.3	41.6	18.3	7.0	37.7	9.0
52	0.08	4.1	29.8	29.0	9.3	6.9	25.0	12.2
53	0.12	7.7	26.3	35.1	12.0	5.4	27.7	4.4

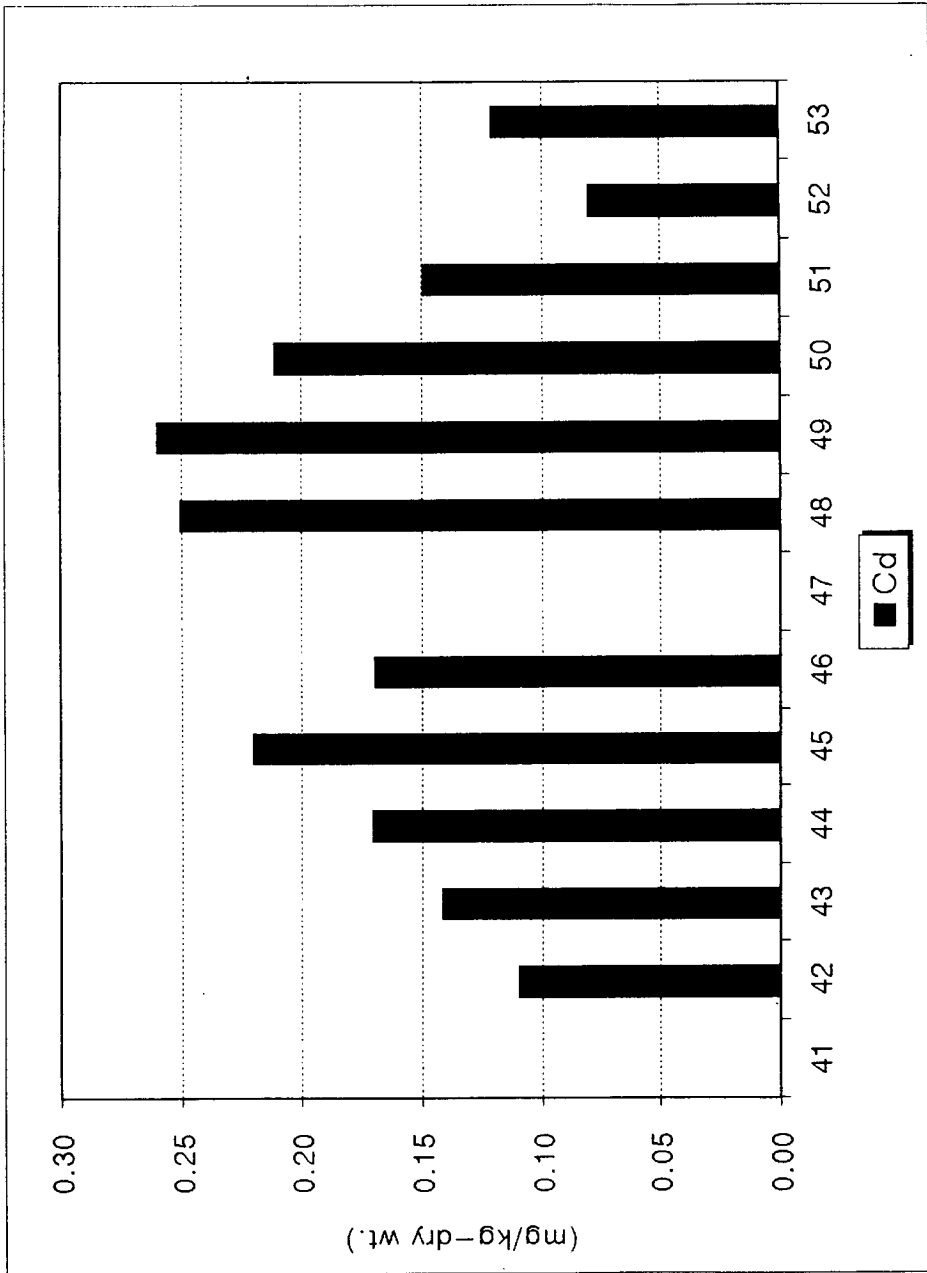


Fig. 5- 9. Distribution of Cd in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt. ).



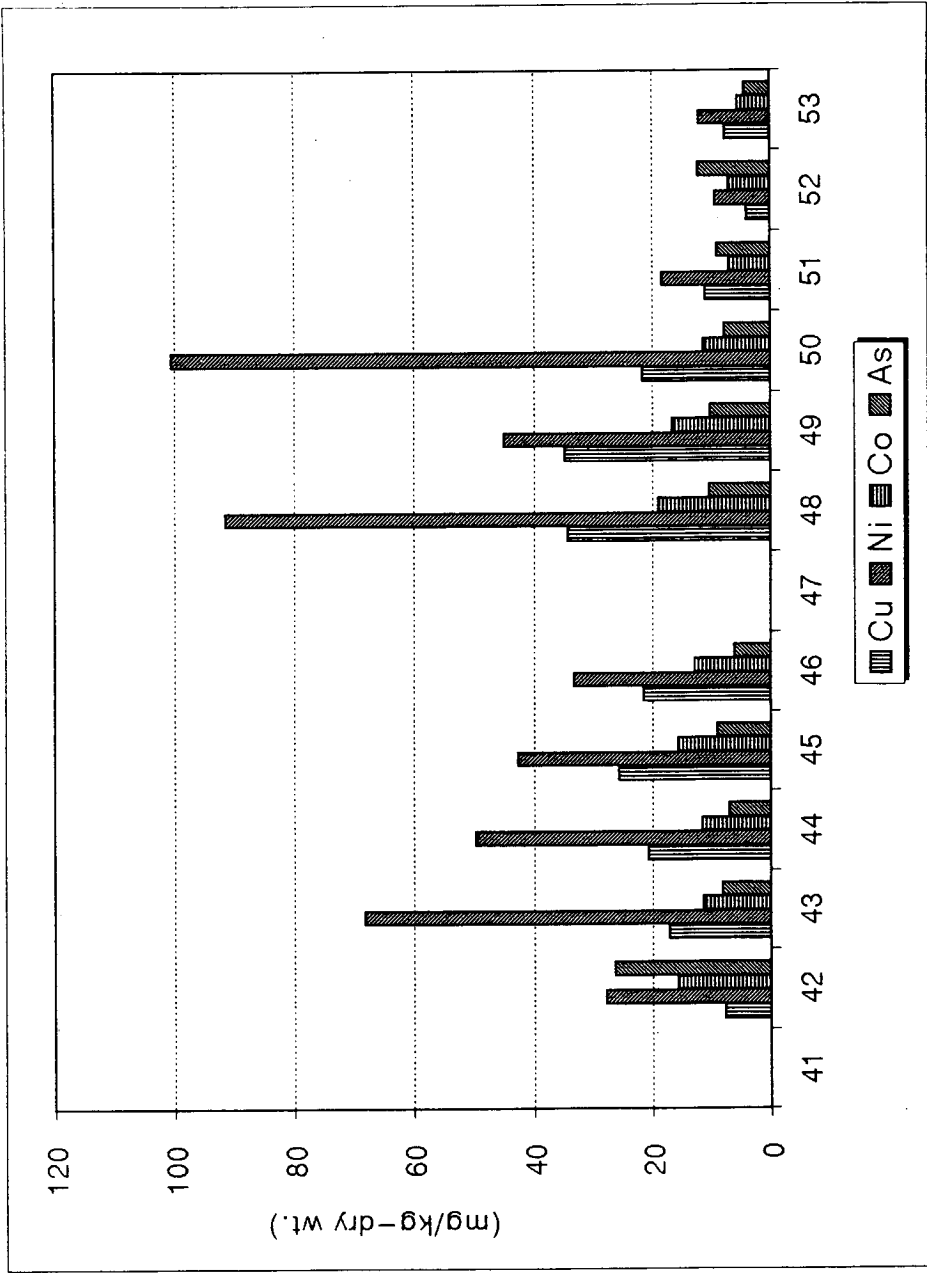


Fig. 5-10. Distribution of Cu, Ni, Co and As in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt.).

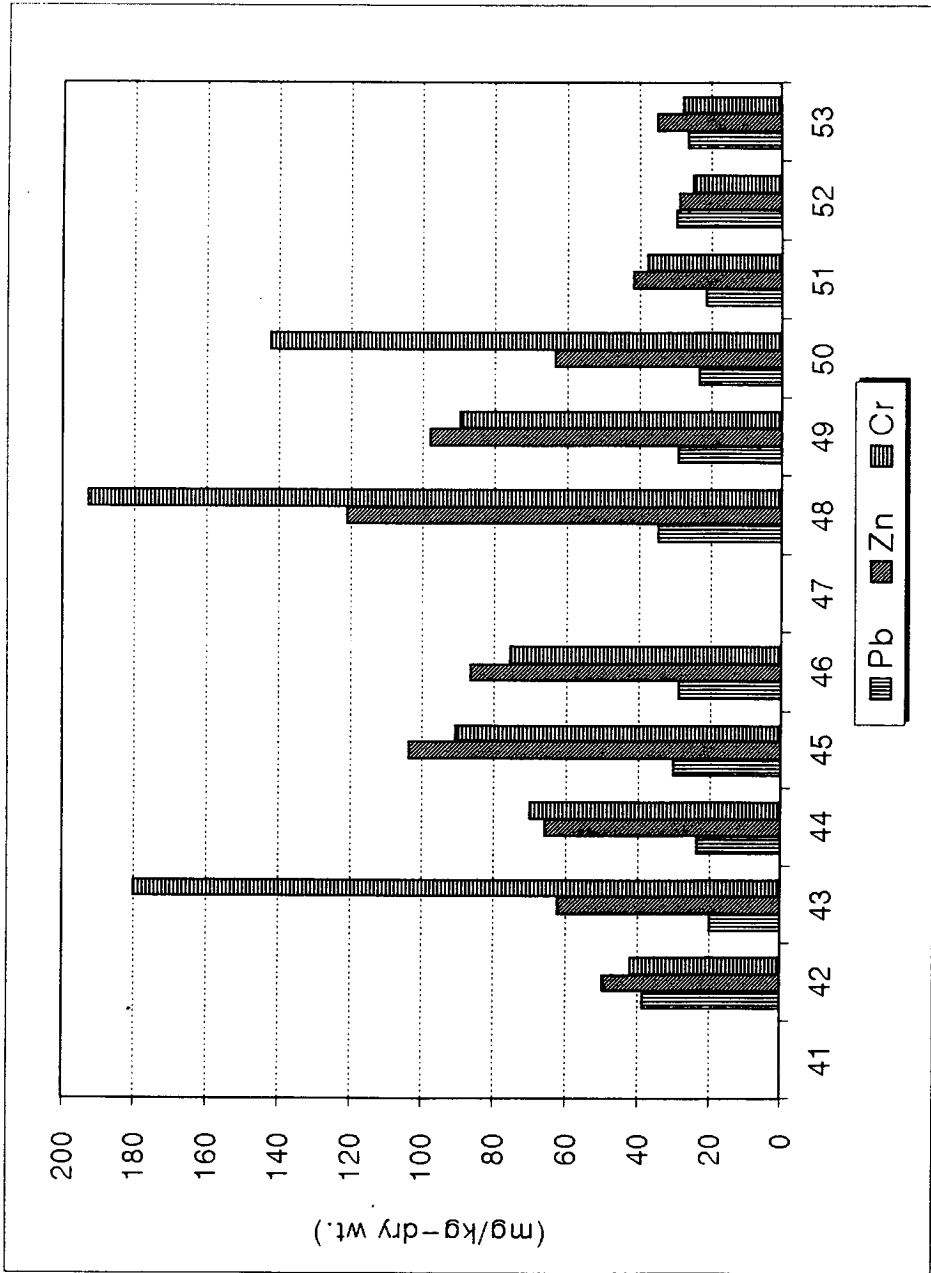


Fig. 5-11. Distribution of Pb, Zn and Cr in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996 (mg/kg-dry wt.).

96년 8월 황해 해저퇴적물중의 잔류농약은 중국측에 가까운 St. 43에서 Hexachlorobenzene,  $\gamma$ -BHC,  $\delta$ -BHC가 각각 0.50, 0.76, 1.57 ng/g dry wt. 로 다른 해역에 비해 높은편이었다 (Table 5-8). 이 정점에서는 heptachlor 와 aldrin도 각각 1.25, 0.21 ng/g dry wt. 가 검출되었다. 산동반도 끝인 St. 50에서는 Hexachlorobenzene,  $\delta$ -BHC, heptachlor, aldrin 등이 각각 0.33, 0.53, 0.33, 1.15 ng/g dry wt. 으로 높게 나타났고 dieldrin, 4,4'-DDE 도 각각 3.72, 0.93 ng/g dry wt. 로 다른 해역에 비해 현저히 높았다. 우리나라 해안측의 St. 53에서도 이보다는 낮지만 잔류농약이 일부 검출되었다. 4,4'-DDE는 황해중앙부해역에서도 검출되는데 이는 세립질의 퇴적물에서 흡착이 잘 일어나기 때문인 것으로 보인다.

## 제 2 절 퇴적물의 오염역사

오염물질들이 입자와 함께 퇴적될 경우 퇴적층에서 오염의 역사를 읽을 수 있기 때문에 지금까지 많은 연구가 이루어 졌다. 중금속, 유기오염물질등에 대한 연구에 의하면 세계적으로는 선진국의 경우 19세기 말의 퇴적물에서 증가하기 시작하여 40년대에 급속한 증가를 보이고 60 - 70 년대에 최소치를 보이는 것으로 나타났다(Valette-Silver, 1992).

80년대의 연구로는 세계적으로 무연휘발유의 사용증가에 따라 Pb는

St	(ng/g dry wt.)									
	Hexachloro- benzene	gamma- BHC	delta- BHC	heptachloro- aldrin	gamma- chlordane	2,4'-DDE	cis- chlordane			
42	0.16	0.12	0.57	0.53	0.00	0.00	0.00			
43	0.50	0.76	1.57	1.25	0.21	0.00	0.00			
44	0.22	0.15	0.53	1.08	0.00	0.00	0.00			
45	0.19	0.00	1.30	1.11	0.00	0.00	0.00			
47	0.16	0.11	0.47	0.38	0.00	0.00	0.00			
48	0.09	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00			
49	0.22	0.22	0.90	0.70	0.00	0.00	0.00			
50	0.33	0.00	0.53	0.33	1.15	0.00	0.00			
51	0.15	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00			
52	0.29	0.76	1.42	0.91	0.00	0.00	0.00			
53	0.53	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00			

St	(ng/g dry wt.)									
	trans- nonachlor	dieldrin	4,4'-DDE	2,4'-DDD	4,4'-DDD	2,4'-DDT	4,4'-DDT	mirex		
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
43	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19		
44	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00		
45	0.31	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73		
47	0.34	0.29	0.45	0.00	0.00	0.33	0.00	0.24		
48	0.14	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31		
49	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	0.60		
50	0.15	3.72	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24		
51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38		
52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
53	0.31	0.00	0.11	0.00	0.00	0.36	0.00	0.17		

Table 5-8 Distribution of pesticides in the surface sediments of the Yellow Sea in August 1996.

감소하고 있으나 Cu, P 등은 80년이후 계속적인 증가를 보였다. 미국서해안 30 km 의 2000m 깊이의 시료는 무산소환경에 의해 생물에 의한 Bioturbation이 없는 곳이다. 이해역에는 L.A. 지역으로 부터의 유입이나 대기에 의해 Pb, Zn, Cr, Cd, Cu, Ag, V, Mo 등의 증가가 1800년대초부터 나타나고 있다. 1940년대의 증가를 거쳐 1970년대에 최고치를 보인다.

Puget Sound 의 경우에는 중금속과 방향족탄화수소가 1800년대부터 퇴적되기 시작하여 1945 - 1965에서 최고치를 보이고 70년대에는 감소한다고 한다. 이해역에서 PCB, DDT 등은 1930년대에 나타나고 60년대에 최고치를 보이며 이후 감소한다고 한다.

## 1. 퇴적물 주상시료의 년대측정

퇴적물 주상시료는 96년 5월 St. 203, 205, 303에서 채취하였으며 년대 측정결과는 Table 5-9와 같다.

Table 5-9.  $^{210}\text{Pb}$ -derived sedimentation rates  
in the Yellow Sea.

St.	Depth (cm)	Year
203	0-1	14.5
	2-3	73.8
	4-5	131.5
205	0-1	1.2
	3-4	8.3
	6-7	15.3
	9-10	22.2
	12-13	29.1
	16-17	38.1
303	0-1	6.0
	2-3	31.7
	4-5	57.4
	6-7	84.6
	8-9	112.8
	12-13	178.5

## 2. 퇴적물 주상시료의 오염분포

2번 정선의 가운데인 St. 0203 에서는 주상시료의 COD분포가 0-1cm 층에서 15755 mg/kg dry wt. 였고 1-2 cm층에서 12683, 3-4 cm층에서는 10295 mg/kg dry wt.로 감소하는등 근년의 유기오염물질퇴적의 증가를 나타내고 있다(Table 5-10, Fig 5-12). 퇴적물중의 유기탄소도 이 정점에서 0-1 cm층이 11100 mg/kg dry wt.이었고 그 아래에서 감소하였으며

Table 5-10. Distribution of heavy metals in the sediment core samples of the Yellow Sea in May 1996.

St.	Depth	IL %	COD	POC	PON
			mg/kg-dry wt.		
203	0 - 1	4.42	15755	11100	1430
	1 - 2	3.23	12683	9290	1060
	2 - 3	2.69	13048	9840	960
	3 - 4	4.10	10295	9980	1010
	4 - 5	5.24	10602	9860	843
205	0 - 2	3.44	10326	7950	1610
	2 - 4	3.52	9489	7430	1380
	4 - 6	4.49	7603	7540	1170
	6 - 8	4.87	8819	7060	1040
	8 - 11	3.39	14662	7040	910
	11 - 14	3.49	9076	7370	824
	14 - 17	3.48	9105	7380	782
	17 - 20	4.88	8124	7140	708
303	0 - 1	3.49	22517	17000	2260
	1 - 2	4.14	21157	15000	1910
	2 - 3	4.73	21309	13700	1840
	3 - 5	5.60	23288	13800	1930
	5 - 7	5.88	19090	11900	1490
	7 - 9	4.56	17058	10800	1350

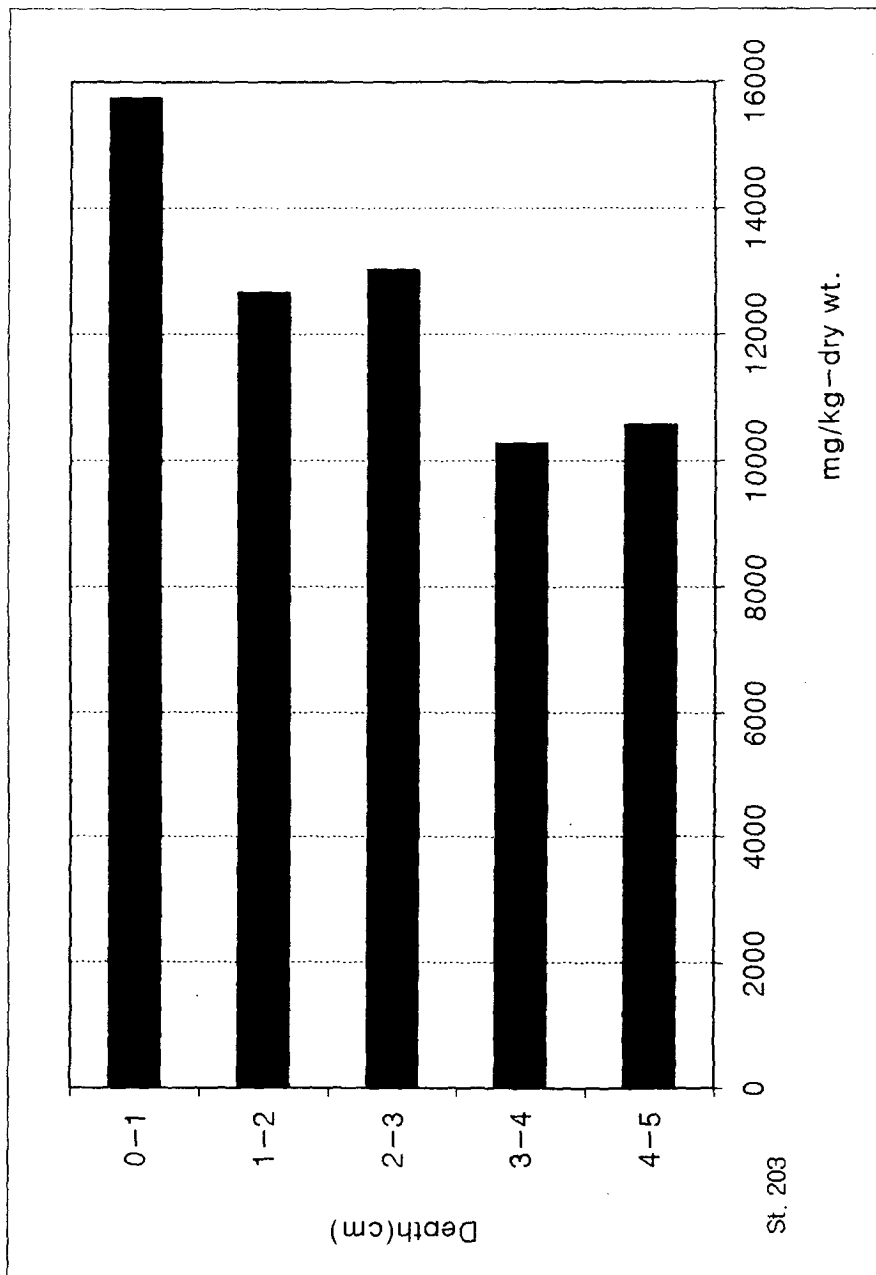


Fig. 5-12. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).



유기질소도 0-1 cm층의 1430 mg/kg dry wt. 에서 아래층으로 가며 점차 감소하였다(Fig. 5-13, 14).

2번 정선에서 가장 바깥쪽이고 중국측에 가까운 St 205 에서는 COD 가 0-2 cm 층에서 10326 mg/kg dry wt. 이었고 그아래에서 감소하였으며 유기탄소도 비슷한 경향을 나타냈다 (Table 5-8, Fig 5-15, 16) . 이러한 경향은 퇴적물중의 유기질소에서 더욱 확실히 나타나는데 0-2cm층의 1610 mg/kg dry wt.에서 17-20 cm층의 708 mg/kg drywt.에 이르기까지 층별로 계속 감소를 보였다(Fig. 5-17). 이 정점에서는 3-4 cm 층이 약 8.3년의 퇴적역사를 가지고 13 cm층은 약 30년의 퇴적역사를 가진다. 따라서 이 해역의 퇴적물은 근년에 유기물질의 퇴적을 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

3번 정선의 황해중앙부해역인 St. 303에서는 퇴적물중의 COD보다 유기탄소, 질소에서 년대별 변화현상이 뚜렷이 나타난다 (Table 5-8, Fig. 5-18 ~ 5-20). 유기탄소는 0-1 cm층의 17000 mg/kg dry wt. 에서 7-9 cm층의 10800 mg/kg dry wt.까지 점차 감소하고 유기질소는 0-1 cm층의 2260 mg/kg dry wt.에서 7-9 cm층의 1350 mg/kg dry wt.까지 점차 감소한다. 이 정점의 경우 9 cm층은 약 100년의 퇴적역사를 가지며 표층에서 30 cm층 까지는 약 30년의 퇴적역사를 가진다. 따라서 최근의 중국의 도시화에 의한 유기물질 유입의 증가라는 가정을 내릴 수도 있으나

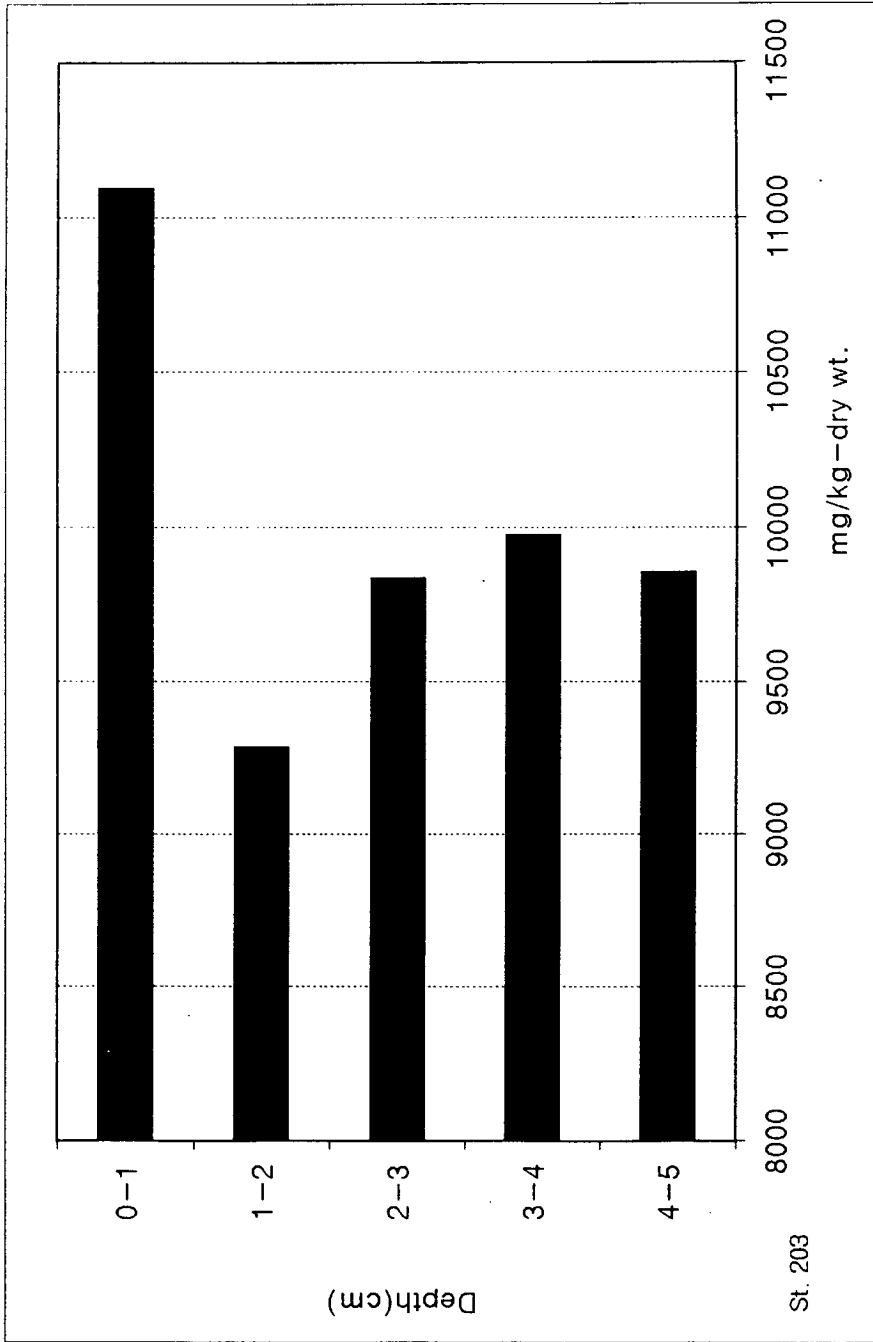


Fig. 5-13. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt. ).

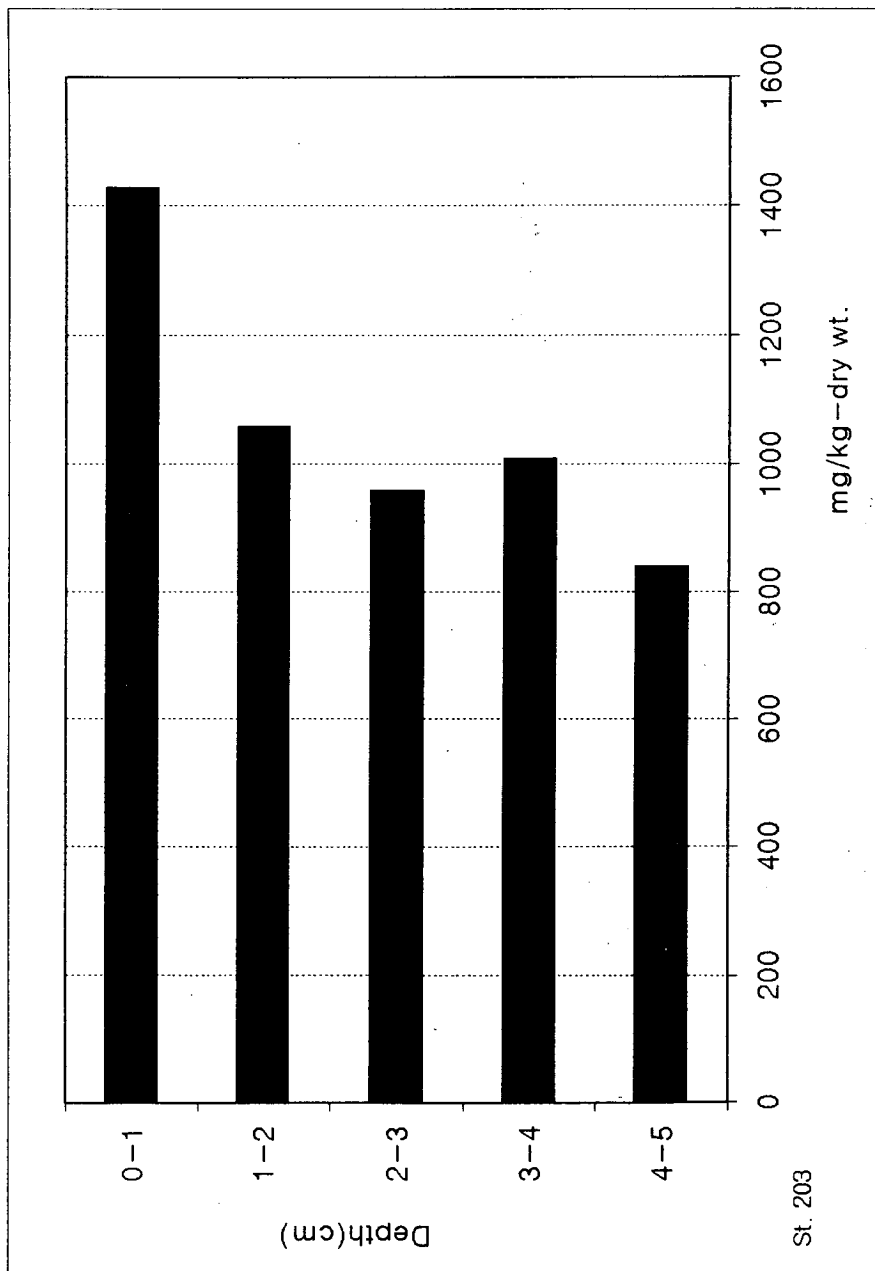


Fig. 5-14. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

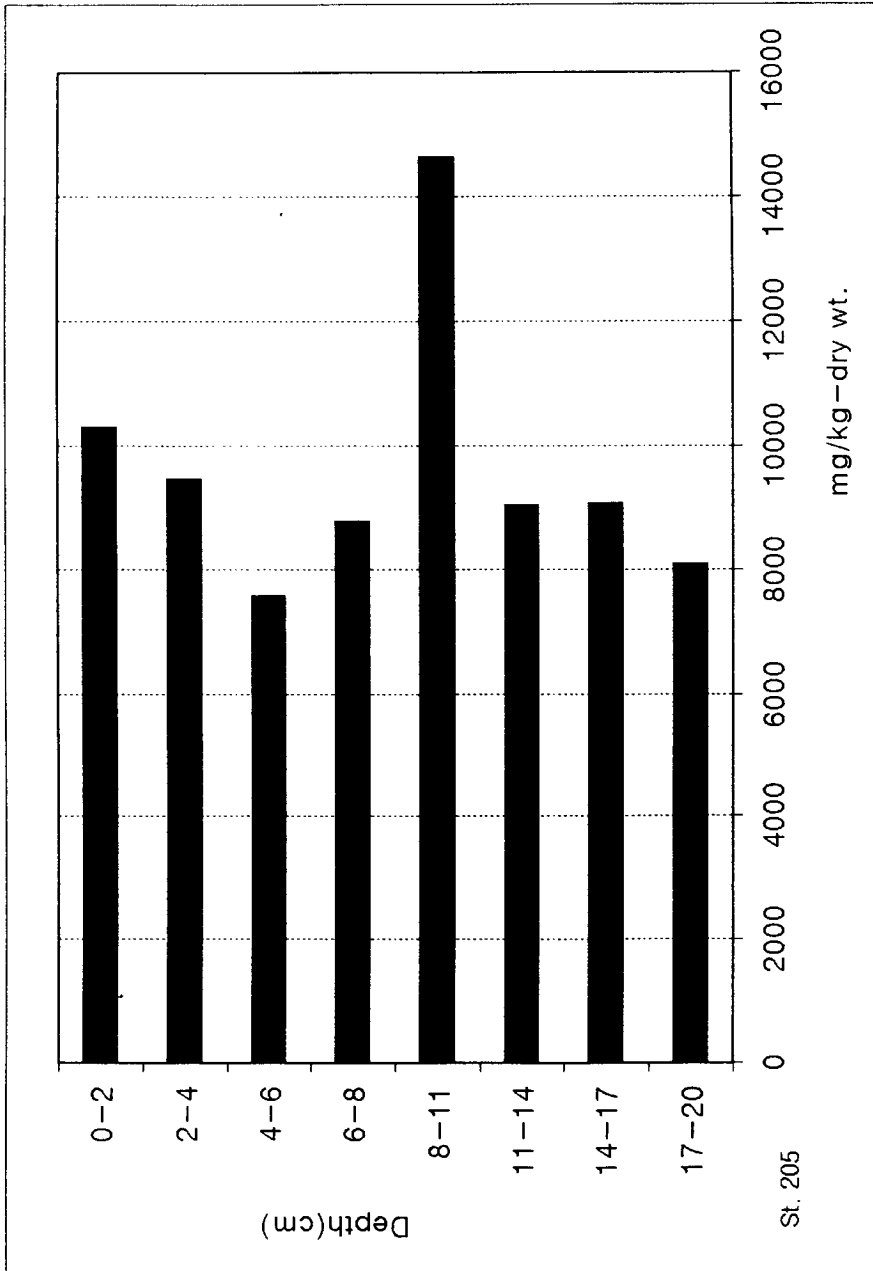


Fig. 5-15. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

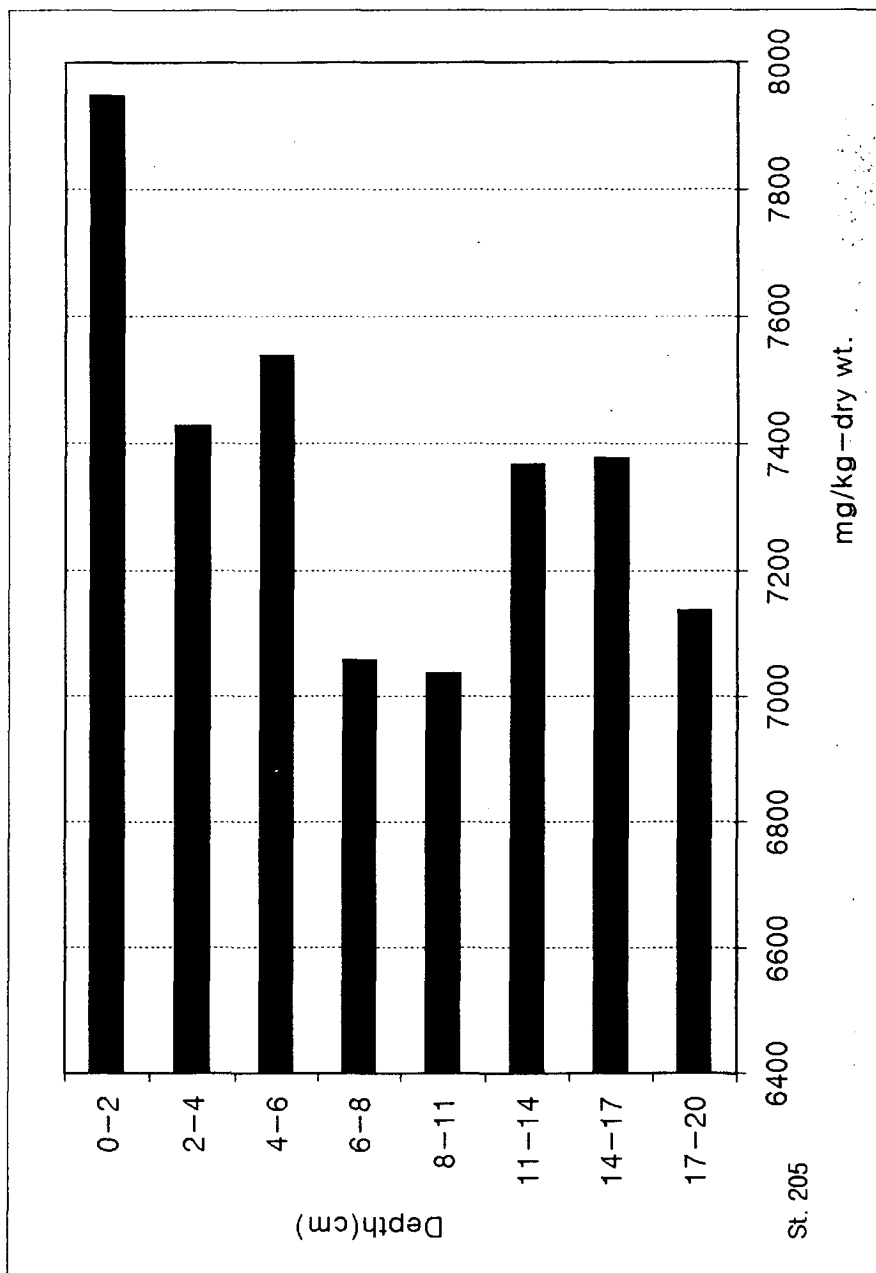


Fig. 5-16. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

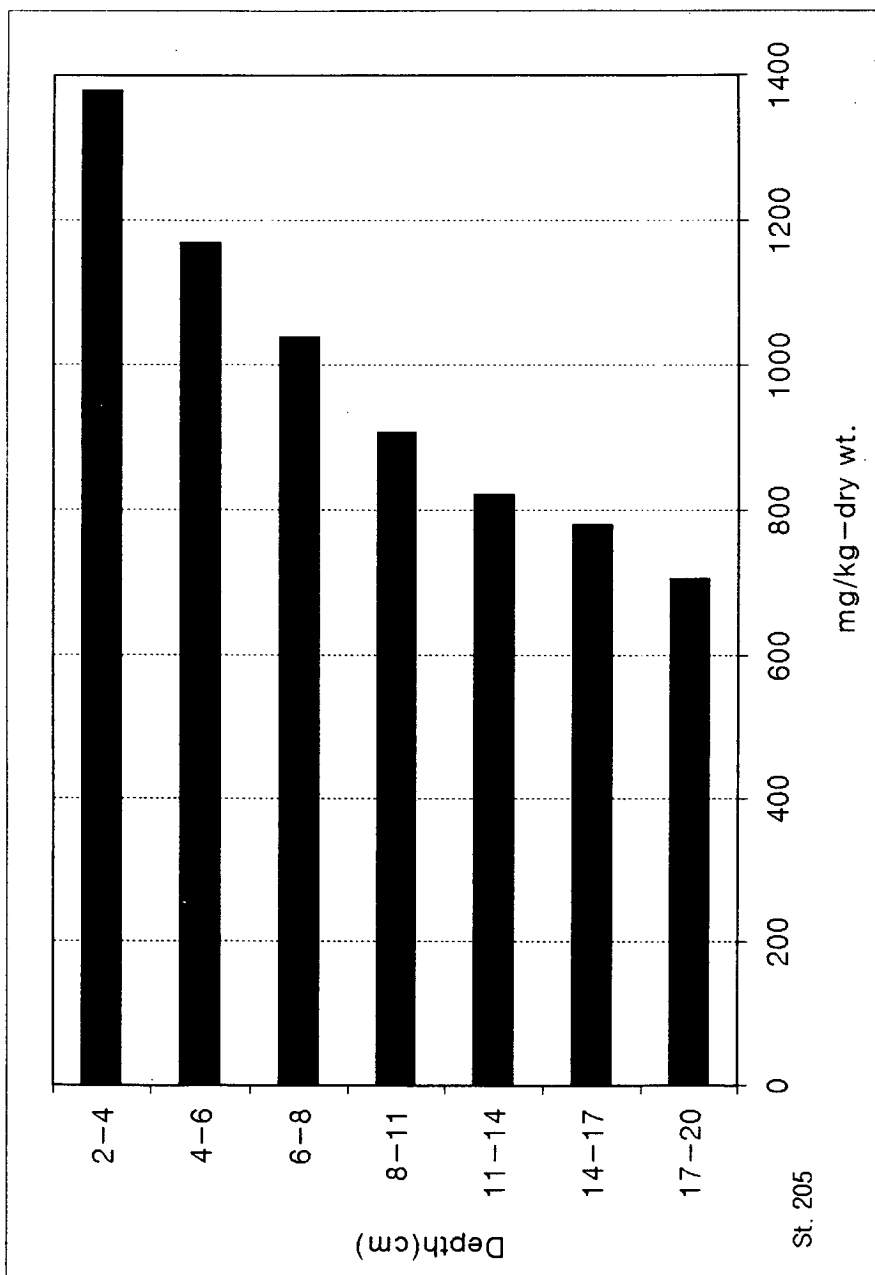


Fig. 5-17. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt. ).

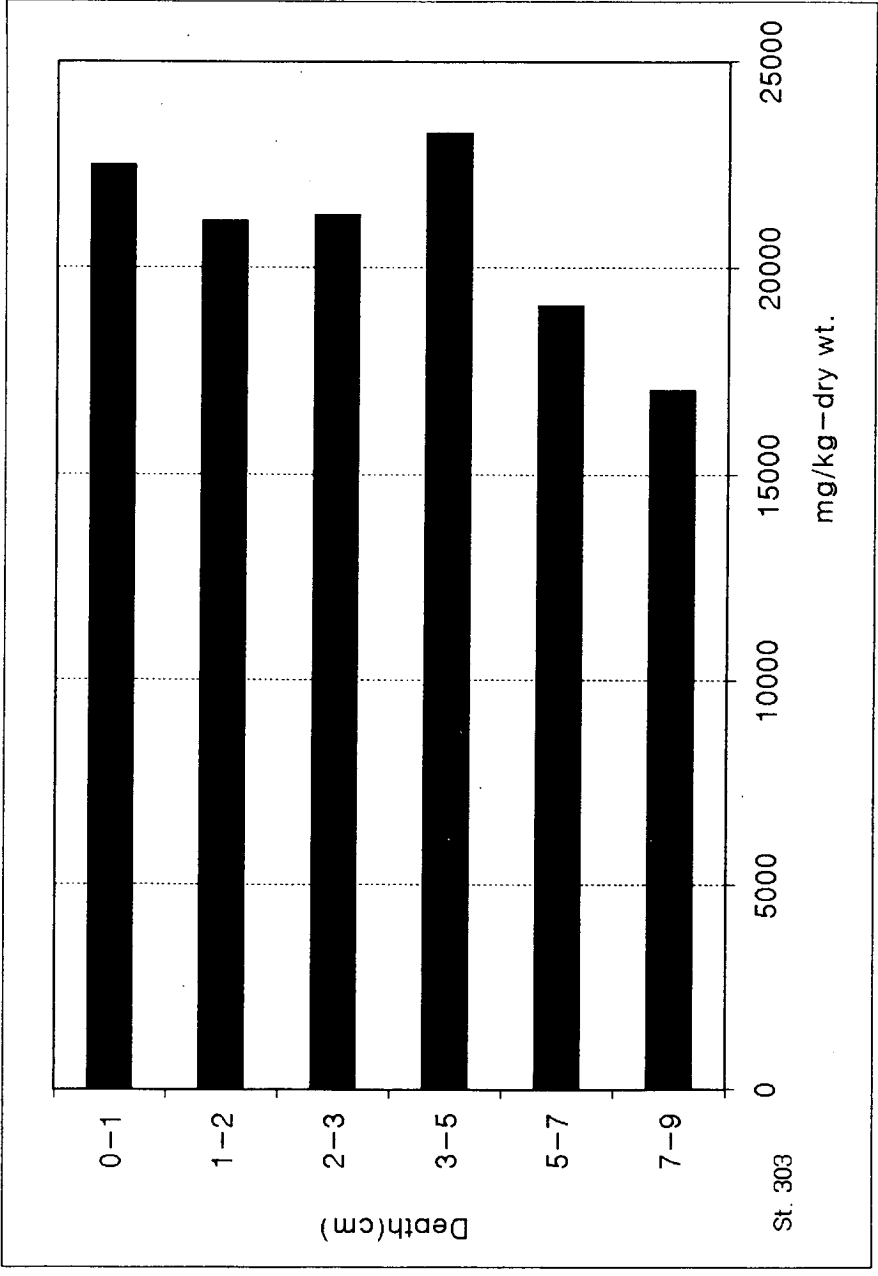


Fig. 5-18. Vertical distribution of COD in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

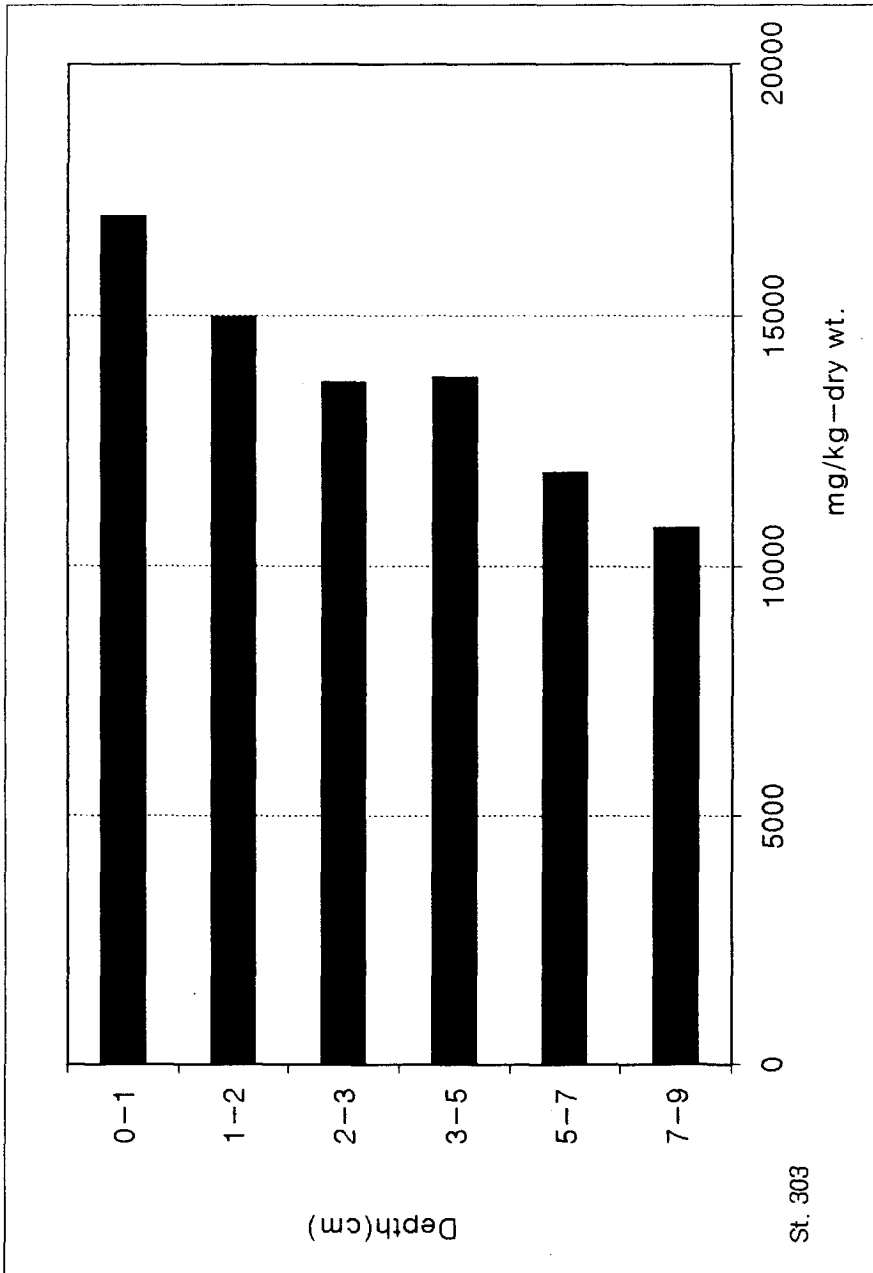


Fig. 5-19. Vertical distribution of organic carbon in the sediment core of St. 303 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).



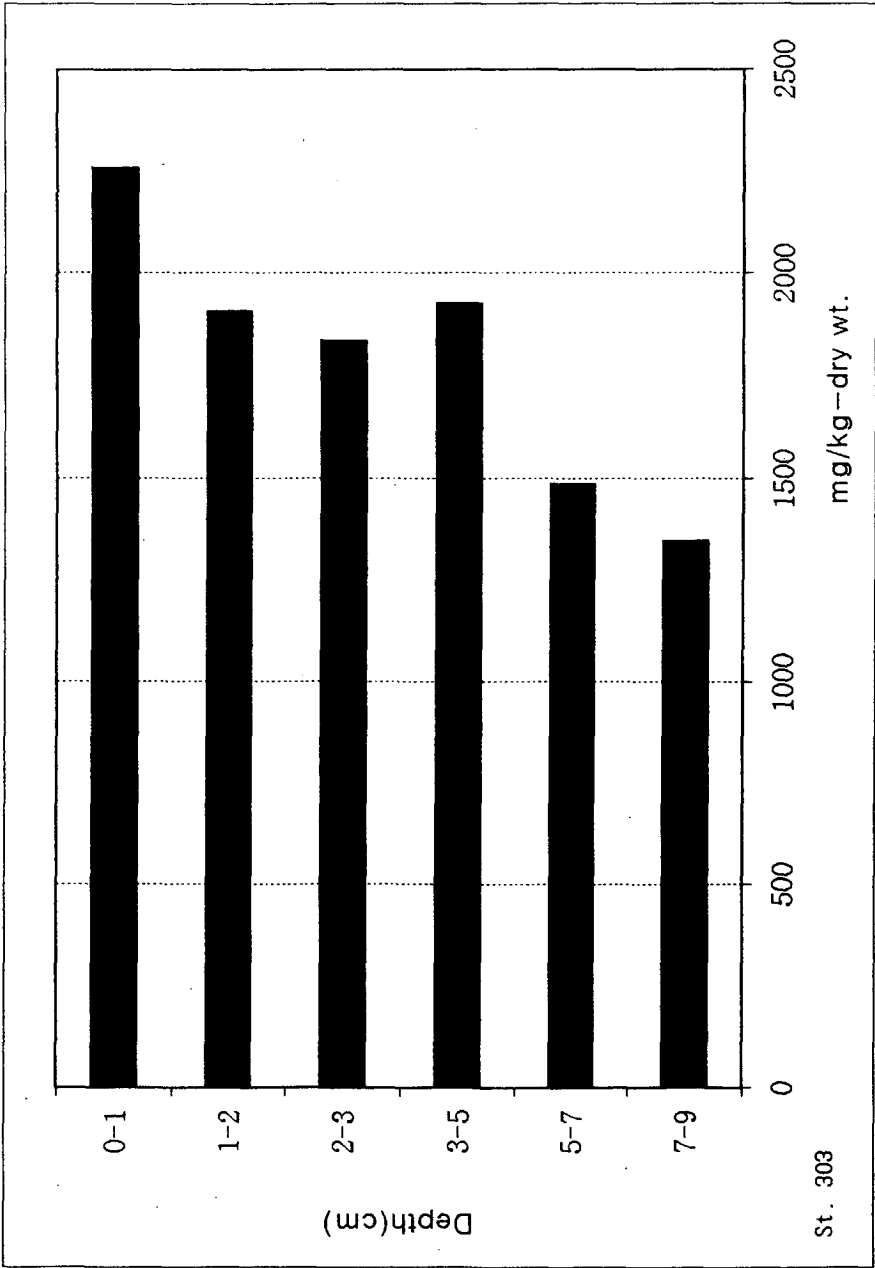


Fig. 5-20. Vertical distribution of organic nitrogen in the sediment core of St. 205 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

이러한 현상은 중국의 공업화와 도시화에 의한 유기물질 유입의 증가라고 해석을 내릴 수 있으나 bioturbation 과 파랑작용에 의해 퇴적층이 교란될 수 있으므로 이에 대한 조사확인이 없이는 속단하기 힘들다. 주상퇴적물의 중금속 분석결과는 Table 5-11과 Fig. 5-21 ~ 5-23 에 나타내었다. 세정점의 주상 퇴적물 중 근래에 퇴적된 부분의 중금속 함량과 입도와 비교적 높은 상관관계를 나타내었으며, 각 정점의 수직 분포는 As, Cr을 제외하고는 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. Cr의 경우는 St. 203과 205에서는 상층보다 하층에서 대체로 높았으며, 정점 303에서는 상층에서 다소 높은 경향을 보였다. As는 전정점의 하층에서 낮고 상층으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 이는 미국의 NS&T 의 결과와 비교할때 미국연안해역의 유기오염물질농도가 낮은 지역값과 비슷한 것이다(NOAA, 1991). 이상의 중금속 분포는 중국이 급속한 공업화를 이루고 있지만 매우 최근의 일로서 아직 퇴적물에 기록되는 오염은 뚜렷하게 나타나지 않았다.

잔류농약의 경우 St. 203 에서 Endosulfan I가 0-1 cm 층 (최근 14.5년)에서 173.63 ng/g dry wt. 이었고 1-2 cm층에서 114.51, 2-3 cm 층에서 16.86 ng/g dry wt. 를 보여 근래에 급격히 늘어난 오염물질임을 나타내었다. 이외에도 BHC 계열의 물질이 최근 10-20년간 많은 축적을 나타낸 것으로 보인다. St. 205에서도 Endosulfan의 근년 축적이 나타나며 4,4'-DDT도 주상시료의 상부층에서 높은 농도를 보였다.

Table 5-11. Distribution of heavy metals in the sediment core samples of the Yellow Sea in May 1996.

St.	Depth	IL %	COD	POC	PON
			mg/kg-dry wt.		
203	0 - 1	4.42	15755	11100	1430
	1 - 2	3.23	12683	9290	1060
	2 - 3	2.69	13048	9840	960
	3 - 4	4.10	10295	9980	1010
	4 - 5	5.24	10602	9860	843
205	0 - 2	3.44	10326	7950	1610
	2 - 4	3.52	9489	7430	1380
	4 - 6	4.49	7603	7540	1170
	6 - 8	4.87	8819	7060	1040
	8 - 11	3.39	14662	7040	910
	11 - 14	3.49	9076	7370	824
	14 - 17	3.48	9105	7380	782
	17 - 20	4.88	8124	7140	708
303	0 - 1	3.49	22517	17000	2260
	1 - 2	4.14	21157	15000	1910
	2 - 3	4.73	21309	13700	1840
	3 - 5	5.60	23288	13800	1930
	5 - 7	5.88	19090	11900	1490
	7 - 9	4.56	17058	10800	1350

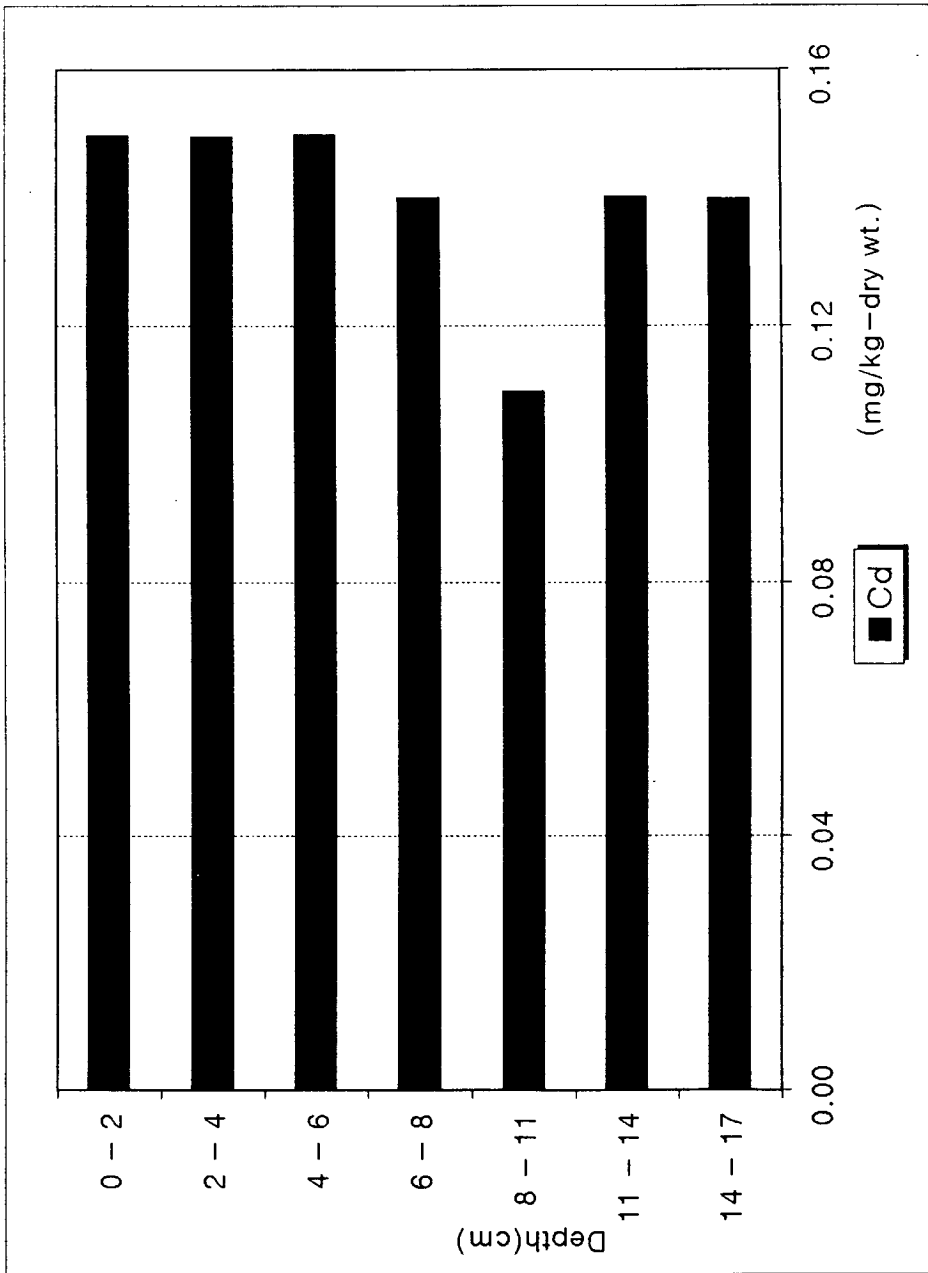


Fig. 5-21. Vertical distribution of Cd in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

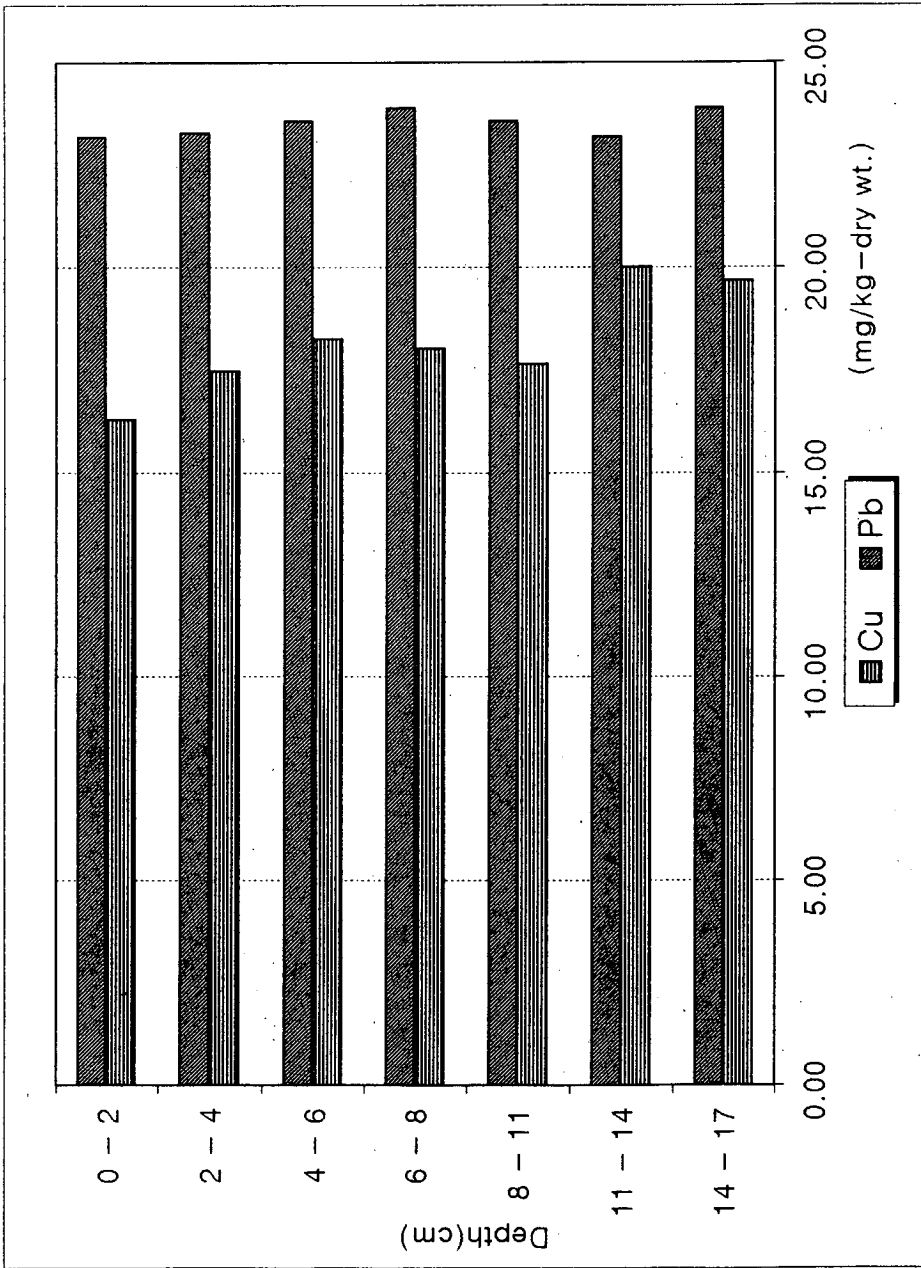


Fig. 5-22. Vertical distribution of Cu and Pb in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

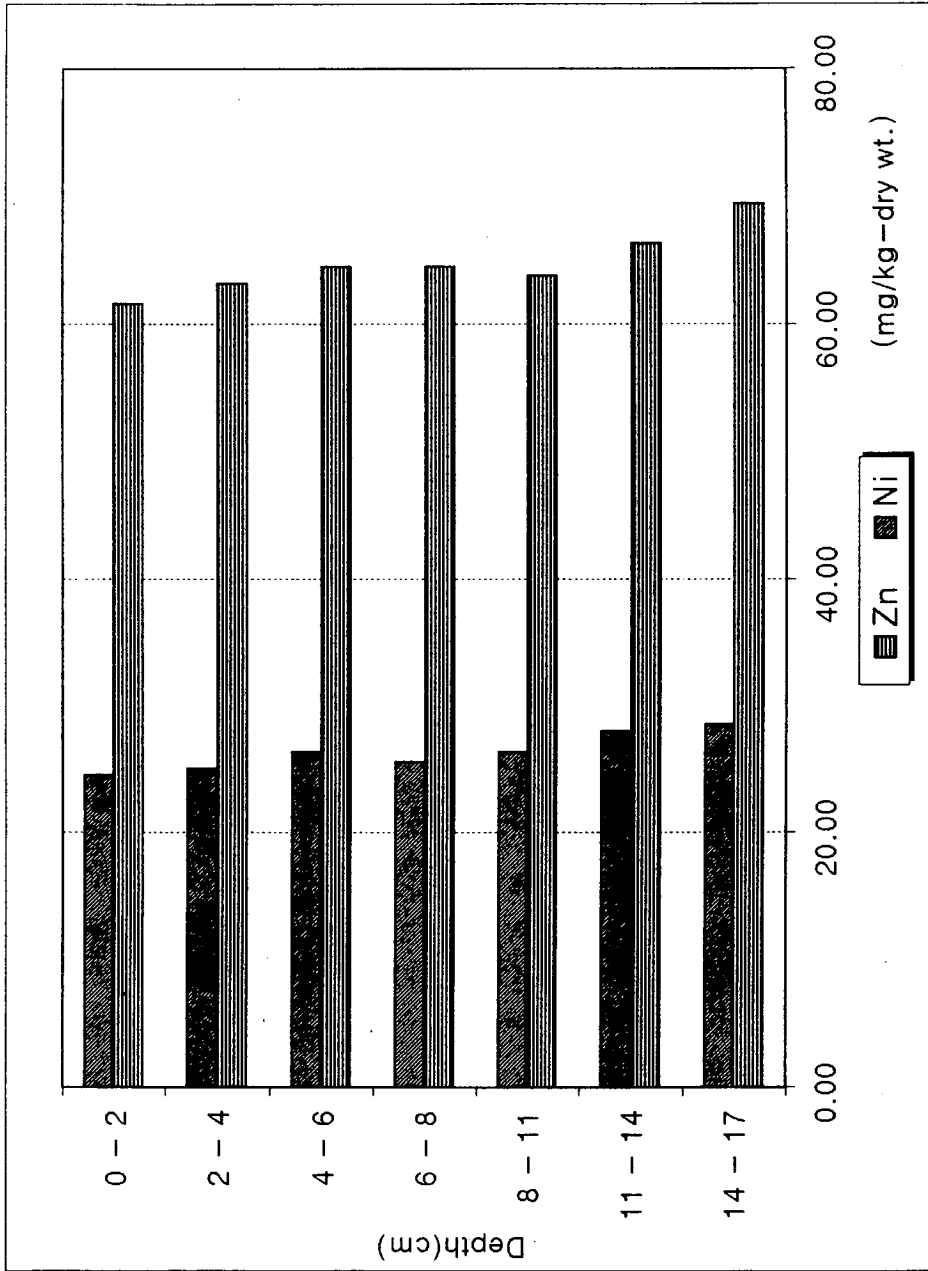


Fig. 5-23. Vertical distribution of Zn and Ni in the sediment core of St. 203 in the Yellow Sea in May 1996 (mg/kg-dry wt.).

## 제 6 장 황해의 환경용량 (부영양화 모델링)

황해는 반폐쇄성 해역으로 연안국으로부터 유입되는 오염물질의 양이 증가하면서 수역의 부영양화가 급격히 진행되고 있으며, 한반도 서해안과 중국 동해안은 부영양화 현상이 심화되어 하계에 적조의 발생이 빈번하고 저층의 용존산소가 저하되어 빈산소수괴가 형성되는 등 수질악화로 인하여 각종 수산자원에 악영향을 주고 있다. 일반적으로 적조현상은 그 발생기작은 명확하지 않으나 대개 부영양화된 해역에서 빈번하게 발생하며, 이런 현상들을 근원적으로 제어할 수 있는 가장 근본적인 대책은 해역이 부영양화되는 것을 방지하는 것이고 이미 부영양화 되어 있는 경우에는 이를 중영양이나 빈영양해역으로 만드는 저감 기술을 수립할 필요가 있다.

부영양화를 저감하는 기술을 개발하기 위해서는 부영양화를 유발하는 물질의 유입 및 이동에 대한 정밀한 조사가 있어야 하며, 영양염과 식물플랑크톤과의 관계에 관한 생태계의 체인자에 대한 연구를 통하여 이를 제어할 수 있는 대책방안을 밝혀야 한다. 이를 위해서는 생태학적 관련인자의 관계를 포함한 생태계 모델의 이용이 필수 불가결하다.

생태계모델을 적용하여 부영양화현상을 재현하기 위해서 유체역학

모델에 의한 유동 패턴을 재현하였고 해역의 식물플랑크톤의 현존량과 밀접한 관계가 있는 육상으로부터의 영양염부하량을 산정하였으며 생태계 모델의 보정을 위해서 해역의 chlorophyll-a 농도를 정밀측정 하였다. 생태계모델을 대상해역인 황해에 적용하기 위해서는 영양염섭취속도와 같은 영양염과의 관계, 식물플랑크톤의 비성장속도 및 동물플랑크톤과의 관계 등 식물플랑크톤의 현존량과 관계되는 여러 가지 생태학적 인자들을 도출하여야 한다. 황해 전체를 대상으로 생태계모델을 적용할 경우 대상해역이 광범위하고 각 수역마다 그 특성이 다르기 때문에 생태학적 관련 인자의 도출 등의 문제점으로 인하여 오차를 유발할 수 있다. 따라서, 이러한 오차를 줄이기 위해서는 대상해역을 그 특성이 유사한 해역으로 분할해서 시뮬레이션할 필요가 있다. 따라서 1년차 연구에서는 유입부하와 생태학적 제인자에 관하여 비교적 많은 연구가 수행되어진 황해의 한반도측 부분에 대한 부영양화 모델링을 수행하였다.

## 제 1절 부영양화 모델링의 방법과 이론적 배경

부영양화 모델링을 위하여 사용된 생태-유체역학 모델 (Eco-hydrodynamic model)은 해수유동 시뮬레이션을 위한 다층 모델 (Multi-level model)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model)로 구성되어있다. 수질을 예측하기 위한 시뮬레이션 순서는 Fig. 6-1, 6-2와 같이 우선 다층모델을 이용하여 해수 유동을 재현한 후, 계산



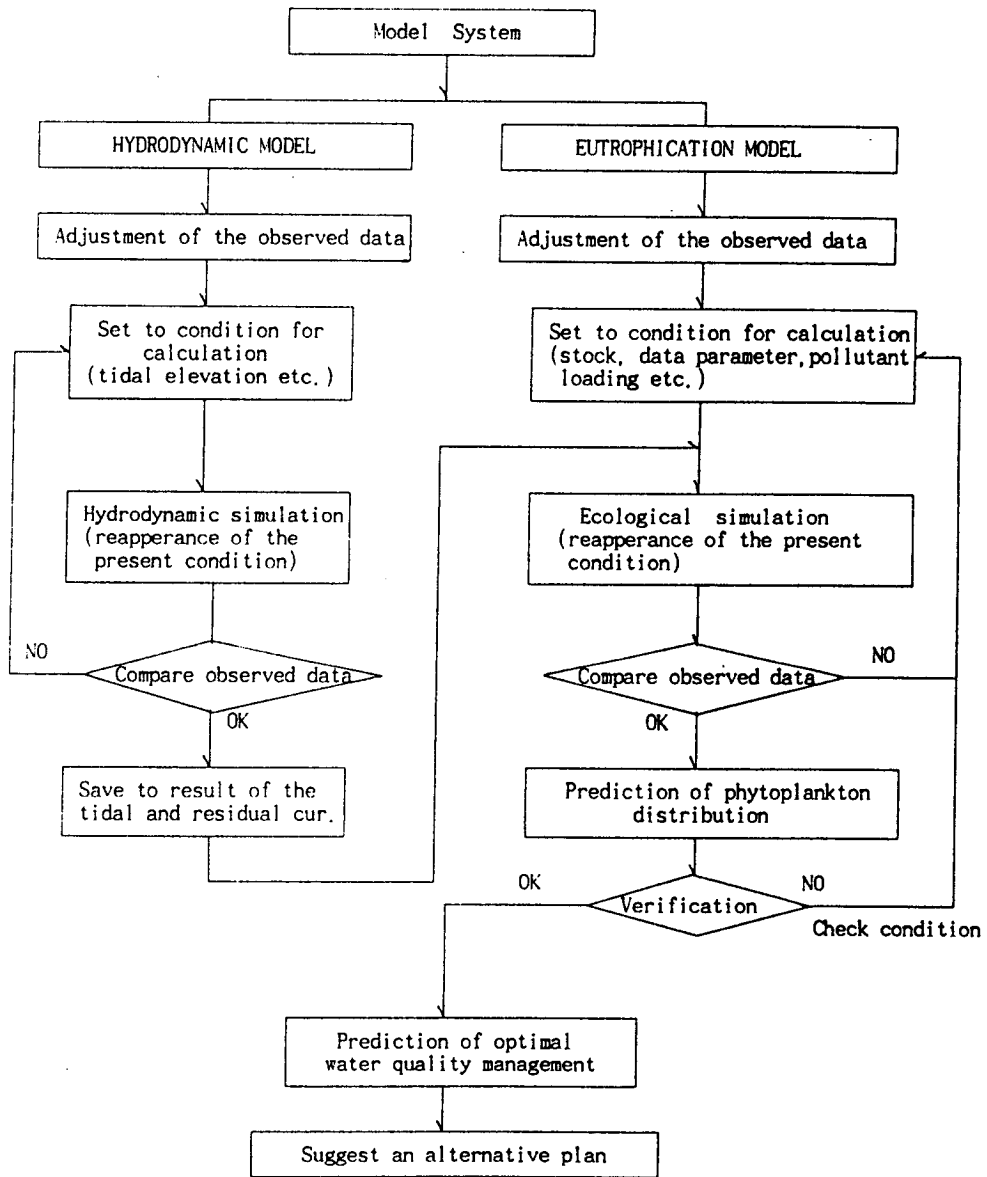


Fig. 6- 1. The simulation flow of an eco-hydrodynamic model.

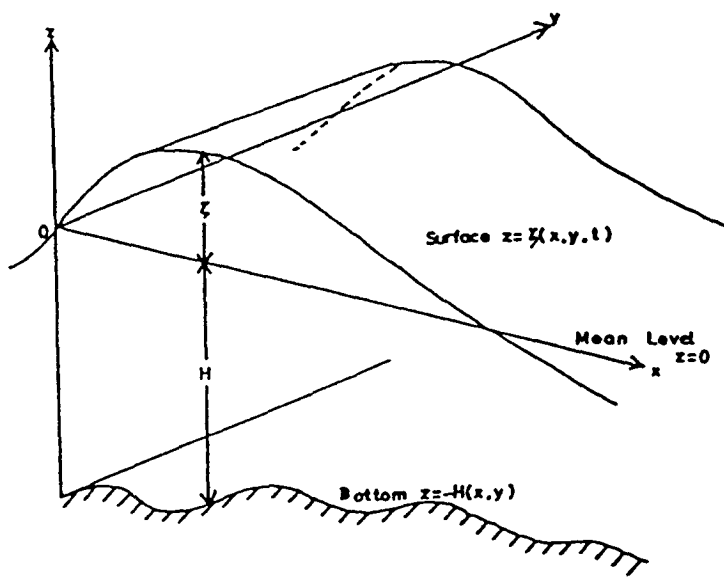


Fig. 6- 2. Coordinate system in three dimentional model.

된 잔차류를 생태계모델에 입력하여 수질예측 시뮬레이션을 행하였다. 또한 1992~1996년에 조사된 황해 및 하천의 수질 자료를 생태계모델의 입력자료로서 이용하였고 생물학적 인자는 실내실험을 통하여 얻은 값과 발표된 문헌의 값을 사용하였다.

## 1. 해수유동모델

### 가. 기본 방정식

본 연구에서는 사용된 다층 모델은 조석, 밀도경도, 하천수의 유입, 바람응력, 지구 회전효과를 나타내는 코리올리 인자를 고려하였다. 회전지구상의 점성 비압축성 유체로 취급하였고 연직방향으로 정력학 평형을 가정하여 기본 방정식은 다음과 같다. 모델의 기본식은 유한차분 근사에 의해 수치계산 되었고, 차분은 양해법 (explicit scheme)을 이용하였다.

#### (1) x-방향의 운동방정식

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u^2) - \frac{\partial}{\partial y}(uv) - \frac{\partial}{\partial z}(uw) + f_{\sigma}v$$

$$-g\frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{g}{\rho} \int_x^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz' - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} (N_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (N_y \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (N_z \frac{\partial u}{\partial z})$$

(2) y-방향의 운동방정식

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (uv) - \frac{\partial}{\partial y} (v^2) - \frac{\partial}{\partial z} (vw) - f_y u$$

$$- g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{g}{\rho} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} (N_x \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (N_y \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (N_z \frac{\partial v}{\partial z})$$

(3) 연속방정식

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(4) 자유표면(조위) 방정식

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_{-H}^{\xi} u dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_{-H}^{\xi} v dz \right)$$

(5) 열수지 방정식 (온도의 확산방정식)

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x}(uT) - \frac{\partial}{\partial y}(vT) - \frac{\partial}{\partial z}(wT) \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) \end{aligned}$$

(6) 염소량 수지방정식 (염소량 확산방정식)

$$\begin{aligned} \frac{\partial Cl}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x}(u \cdot Cl) - \frac{\partial}{\partial y}(v \cdot Cl) - \frac{\partial}{\partial z}(w \cdot Cl) \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \cdot \frac{\partial Cl}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \cdot \frac{\partial Cl}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \cdot \frac{\partial Cl}{\partial z}\right) \end{aligned}$$

(7) 상태방정식

$$\rho = \rho(Cl, T)$$

여기서는 Kundsen 식을 사용한다.

$$\sigma = \frac{\sigma_t}{1000} + 1$$

$$\sigma t = \Sigma t + (\sigma 0 + 0.1324)\{1 - At + Bt(\sigma 0 - 0.1324)\}$$

$$\sigma 0 = -0.069 + 1.4708 \cdot Cl - 0.001570 Cl^2 + 0.0000398 Cl^3$$

$$\Sigma t = \frac{(T - 3.98)^2}{503.570} \cdot \frac{T + 28.30}{T + 67.26}$$

$$A_t = T(4.7869 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3}$$

$$B_t = T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}$$

여기서  $u, v, w$  : X, Y, Z 방향의 유속성분(cm/sec)

$\zeta$  : 평균수면에서 자유표면까지의 높이(cm)

H : 평균수면에서 해저까지의 깊이(cm)

$\rho$  : 유체밀도(g/cm<sup>3</sup>)

$f_0$  : 코리올리 인자(sec<sup>-1</sup>)

g : 중력가속도(cm/sec<sup>2</sup>)

Pa : 대기압(g/cm<sup>2</sup>·sec<sup>2</sup>)

T : 수온(°C)

Cl : 염소량(‰)

$N_x, N_y, N_z$  : x, y, z 방향의 渦動粘性係數(cm<sup>2</sup>/sec)

$K_x, K_y, K_z$  : x, y, z 방향의 渦動擴散係數(cm<sup>2</sup>/sec)

$k_x, k_y, k_z$  : x, y, z 방향의 熱擴散係數(cm<sup>2</sup>/sec)

## 나. 경계조건

### (1) 해안선상의 조건 (closed boundary)

속도성분에 대해서 non-slip 조건( $V_k=0$ )을 적용하였고, 온도  $T_k$ 와 염소량  $Cl_k$ 에 대해서는 육지와 교환을 고려하지 않는다.

$$K \cdot \frac{\partial T_k}{\partial n} = K \cdot \frac{\partial Cl_k}{\partial n} = 0$$

(2) 외양의 경계조건 (open boundary)

자유표면  $\xi$ 에는 침입하는 조석파의 파동주요, 유속성분  $u_k, w_k, v_k$ 에 대해서는 외부와의 운동량 교환이 자유로 행해지고 있는 자유 유출입의 조건(free-stream condition)으로 한다. 온도  $T_k$ 와 염소량  $Cl_k$ 에 대해서는 상류측 경계의  $T_k, Cl_k$ 를 고정하고( $T_{k0}$ 와  $Cl_{k0}$ ), 하류측 경계에서는 자유출입(free-stream)을 적용한다.

$$\xi = \xi_0 + \sum_i A_i \cos(w_i t - k)$$

$$\frac{\partial M_k}{\partial n} = \frac{\partial N_k}{\partial n} = 0 \quad (k = 1, 2, \dots, k)$$

$$K \cdot \frac{\partial T_k}{\partial n} = K \cdot \frac{\partial Cl_k}{\partial n} = 0 \quad (\text{유입측 경계})$$

$$T_k = T_k^0, \quad Cl_k = Cl_k^0 \quad (\text{유출측 경계})$$

(3) 자유수면(free surface)상의 점성응력

$$\frac{1}{\rho} r_x^s = \frac{\rho_a}{\rho} \cdot r_a^2 W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\frac{1}{\rho} r_y^s = \frac{\rho_a}{\rho} \cdot r_a^2 W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

여기서  $W_x, W_y$  : 풍속벡터의 x, y방향의 성분(m/s)

$\rho_a$  : 공기밀도(g/cm<sup>3</sup>)

$\gamma a^2$  : 공기저항계수

(4) 해저(bottom)상의 점성응력

$$\frac{1}{\rho} r_x^b = r_b^2 u_k \sqrt{u_k^2 + v_k^2}$$

$$\frac{1}{\rho} r_y^b = r_b^2 v_k \sqrt{u_k^2 + v_k^2}$$

단  $u_k, v_k$  : 저층(bottom level,  $k=K$ )내의 x, y방향의 유속

$r_b^2$  : 해저마찰계수

## 2. 생태계 모델

### 가. 모델의 개요

해양생태계내의 탄소와 질소 및 인의 순환과 식물플랑크톤과의 관계를 나타내면 Fig. 6-3과 같다. 생태계 모델은 생태계내 물질의 보존을 나타내는 미분방정식으로 구성되어 있지만, 순환 경로의 하나하나가 실험이나



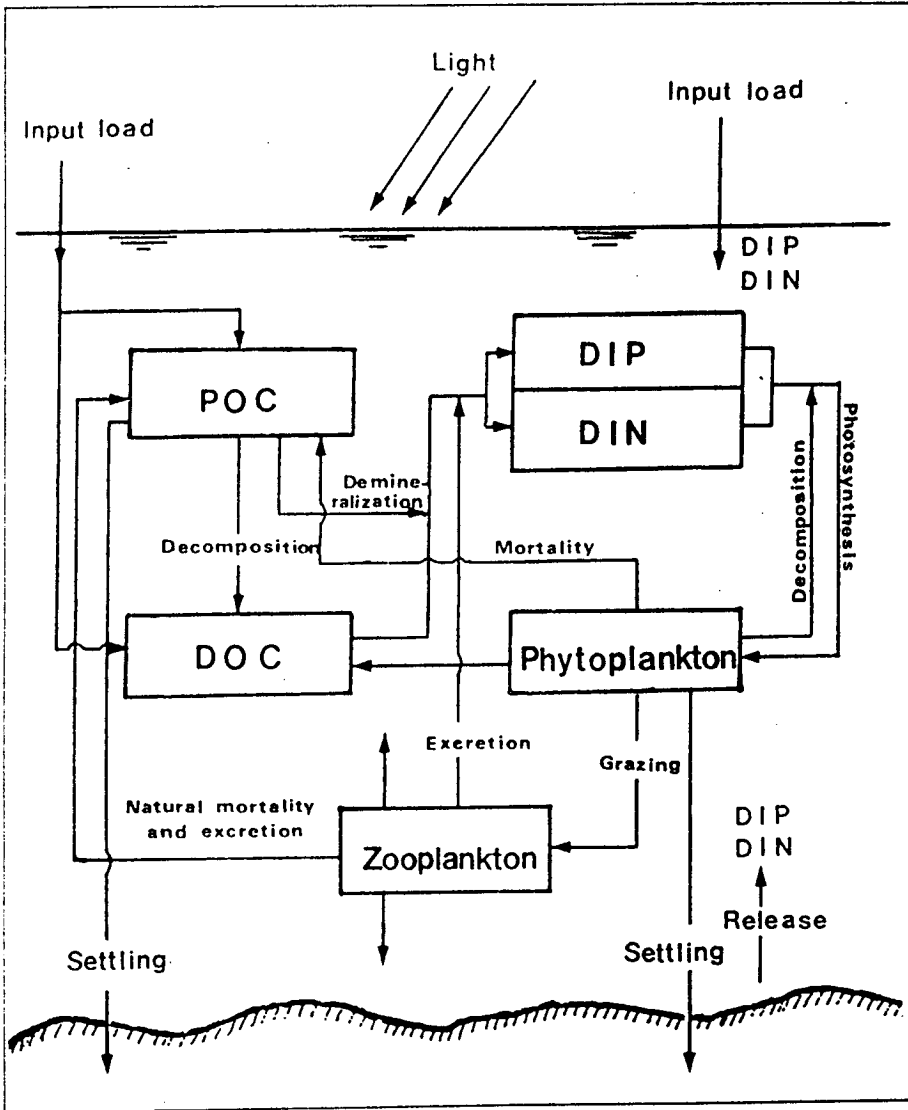


Fig. 6- 3. The schematic diagram for the cycle of nutrients(N and P) in the marine ecosystem.

관측사실로부터 유도된 경험에 따르고 있고, 메카니즘은 있어도 유체역학 모델과 같은 물리법칙에 근거한 모델과는 성격이 다르다.

생태계모델의 구성 요소로서 4개의 유기태 요소, 2개의 무기태 요소 및 2개의 수질 요소가 있는데, 유기태의 구성 요소에는 식물플랑크톤(P), 동물플랑크톤(Z), 현탁태 비생물 유기물(detritus, POM) 및 용존태 유기물(DOM)이 있고 무기태의 구성 요소에는 인산인(DIP)과 용존성 전무기질소(DIN)가 있으며 수질의 구성 요소로서 용존산소(DO)와 화학적 산소요구량(COD)이 정의되어 있다.

저생생물이나 퇴적물 등으로 이루어진 헤저계도 환경인자로서 취급하여 모델의 변수로 되어 있다. 이와 같은 과정들을 해석의 임의의 지점에 있어 구성 요소의 현존량 B의 시간에 따른 농도변화를 기술한 방정식은 다음과 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial B}{\partial t} &= \text{이류} + \text{확산} + \text{생물·화학적 변화} \\ &= -u \frac{\partial B}{\partial x} - v \frac{\partial B}{\partial y} - w \frac{\partial B}{\partial z} \\ &\quad + \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_x \frac{\partial B}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_y \frac{\partial B}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_z \frac{\partial B}{\partial z} \right] \\ &\quad + \frac{\partial B}{\partial t} \end{aligned}$$

여기서,  $B$  = 구성 요소의 현존량  
 $t$  = 시간  
 $u, v, w$  = x, y, z방향의 유속성분  
 $K_x, K_y, K_z$  = x, y, z방향의 와동확산계수  
 $\partial B / \partial t$  = 모든 생물·화학적 과정에 의한 단위  
 시간당 구성 요소의 변화량

#### 나. 생물 과정의 수식화

식물플랑크톤 구성 요소 ( $P$  ;  $\text{mgC}/\text{m}^3$ ) 로서 수역 내의 우점종에 대한 평균적인 단일종 균집을 고려한다. 식물플랑크톤 생물량,  $P(\text{mgC}/\text{m}^3)$ 의 시간에 따른 농도변화와 이러한 과정에 의한 식물플랑크톤의 수지는 다음과 같이 기술된다.

$$\frac{dP}{dt} = \text{광합성에 의한 증식} - \text{세포외분비} - \text{호흡} -$$

동물플랑크톤에 의한 섭취 - 고사 - 침강

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)^* = \{1 - \mu_3(P)\} \cdot V_1(T) \cdot \mu_1(DIP, DIN) \cdot \mu_2(I) \cdot P - V_2(T) \cdot P - V_3(T) \cdot Z - V_4(T) \cdot P - W_p \frac{\partial P}{\partial z}$$

## 제 2 절 모델링 결과

### 1. 해수유동 시뮬레이션

황해 중부해역의 동쪽에 해당하는 한반도 측의 해수유동 시뮬레이션을 행하였다. 황해중부의 모델영역은 Fig. 6-4.에 나타난 것과 같이 남북방향으로는 제주도 북측의 북위 34° 에서부터 북위 38° 까지 외해 쪽으로는 동경 124° 까지로 위도와 경도방향으로 매 5.56km의 정방 격자형으로 구성하였고 수심별 수층은 1층(0~20m), 2층(20~40m), 3층(40m~해저)의 3개 층으로 구분하였다. 각 개방경계에서의 경계치는 전년도에 수행된 연구와 Choi(1990)의 연구에서 구해진 M2분조의 조위와 위상값을 이용하였고 Table 6-2에 나타난 하천유량을 고려 하였다.

3차원 유동 시뮬레이션 결과 조화 분해하여 얻은 M2조위의 진폭과 위상의 분포를 Fig. 6-6에 나타내었고, 진폭의 경우는 Choi(1990)의 결과와

거의 일치하였으며 위상의 경우는 남북의 경계지역에서 약간의 차이를 나타내었다.

Fig. 6-7에 나타낸 잔차류의 분포를 살펴보면, 1층(0~20m) 한반도 연안을 따라 북상하는 흐름을 나타내었으며 연안측에서는 낮은 지형과 담수의 영향을 받아 다소 복잡한 형태의 흐름분포를 나타내었다. 2층(20~40m)에서도 1층과 유사한 형태의 분포를 나타내었으며, 3층(40m~해저)에서는 표층에 비해서는 속도의 크기가 미약하나 연안을 따라 북쪽에서 남쪽으로 흐르는 흐름을 나타내어 전체적으로 Yanagi and Takahashi(1993)의 결과와 거의 유사한 형태의 분포를 나타내었다.

## 2. 생태계 모델의 시뮬레이션

대상해역의 격자망은 유동모델의 경우와 동일하며 유동모델의 잔차류를 생태계모델의 시뮬레이션에 이용하였다. 생태계모델의 입력되는 초기치와 경계치 및 오염 부하량은 1992년부터 1996년까지의 현장 실측치와 계산치를 이용하여 구하였고 Table 6-1과 6-2에 나타내었다.

Table 6-1과 6-2에 나타낸 초기조건, 경계조건 및 부하량과 해수유동모델에서 구한 잔차류를 입력하여 생태계모델을 시뮬레이션하여 얻은 식물플랑크톤의 분포를 Fig. 6-8에 나타내었다.

Table 6-1. Initial and boundary values of model compartments.

Initial/ Boundary value	Phyto- plankton ( mg-C/m <sup>3</sup> )	Zoo- plankton ( mg-C/m <sup>3</sup> )	COD ( mg/ℓ )	DO	DIP ( mmol/ℓ )	DIN	POC ( mg-C/m <sup>3</sup> )	DOC
<b>Initial</b>								
level-1	33.0	17.3	1.71	6.03	0.30	1.66	135.5	2230.0
level-2	33.0	17.3	1.52	6.03	0.34	1.85	135.5	2230.0
level-3	30.2	17.3	1.44	5.43	0.37	2.03	121.9	2230.0
<b>Boundary(A)</b>								
level-1	27.9	17.3	1.71	6.38	0.27	1.12	142.8	2450.0
level-2	25.6	17.3	1.52	6.38	0.30	1.24	142.8	2450.0
level-3	23.3	17.3	1.44	5.74	0.33	1.36	128.6	2450.0
<b>Boundary(B)</b>								
level-1	17.2	17.3	1.71	6.15	0.27	1.33	102.6	2040.0
level-2	15.7	17.3	1.52	6.15	0.30	1.49	102.6	2040.0
level-3	14.3	17.3	1.44	5.53	0.33	1.63	92.3	2040.0
<b>Boundary(C)</b>								
level-1	24.7	17.3	1.71	5.91	0.33	2.14	155.7	2230.0
level-2	22.6	17.3	1.52	5.91	0.37	2.38	155.7	2230.0
level-3	20.5	17.3	1.44	5.43	0.41	2.62	140.2	2230.0

Table 6-2. Flow rates and pollutant loads of rivers flowing into model area.

River	flow rate (m <sup>3</sup> /day)	pollutant loads					
		COD (ton/day)	DO	DIP	DIN	POC	DOC
Han R.	5.2E+7 <sup>1)</sup>	(579.2)	(389.8)	(10639)	(66673)	(176810)	(228812)
H-A		222.6	150.0	3382	14084	67963	2061
H-B		5.1	3.5	108	763	1593	1374
H-C		3.7	2.3	79	558	1062	3436
H-D		8.9	5.9	189	1332	2655	5955
H-E		14.8	10.1	337	2008	4602	2061
H-F		5.3	3.5	130	633	1593	10994
H-G		27.8	18.7	505	3677	8495	6871
H-H		17.3	11.7	371	2922	5310	88181
H-I		223.1	150.2	4525	32767	68140	10765
H-J		27.4	18.3	569	4216	8318	9162
H-K		23.2	15.6	444	3713	7079	
Geum R.	1.91E+7 <sup>1)</sup>	(2725.3)	(143.1)	(4897)	(33656)	(64496)	(84383)
G-A		53.3	28.0	1012	8150	12641	16539
G-B		63.6	33.4	1121	7049	15028	19661
G-C		50.7	26.7	885	4395	11996	15695
G-D		62.9	33.0	1221	8340	14899	19493
G-E		9.5	5.0	137	1232	2257	2953
G-F		4.5	2.4	72	638	1096	1435
G-G		9.8	5.1	159	1408	2322	3038
G-H		18.0	9.5	290	2444	4257	5569
Yeongsan	7.12E+6 <sup>2)</sup>	(134.5)	(53.8)	(2048)	(17499)	(24193)	(31211)
Y-A		18.0	7.1	327	2529	3245	4186
Y-B		50.4	19.9	831	6644	9082	11716
Y-C		25.2	9.9	381	2807	4529	5842
Y-D		6.1	2.4	76	839	1090	1406
Y-E		7.2	2.8	86	955	1284	1656
Y-F		2.7	1.1	37	364	484	625
Y-G		1.4	1.3	19	186	242	312
Y-H		1.5	0.6	20	198	266	344
Y-I		10.4	4.1	127	1399	1889	2437
Y-J		8.9	3.5	108	1178	1598	2062
Y-K		2.7	1.1	36	400	484	625

<sup>1)</sup> 환경처(1992), 류(1994), 한국해양연구소(1992a)

<sup>2)</sup> 환경처(1992), 한국해양연구소(1992a)

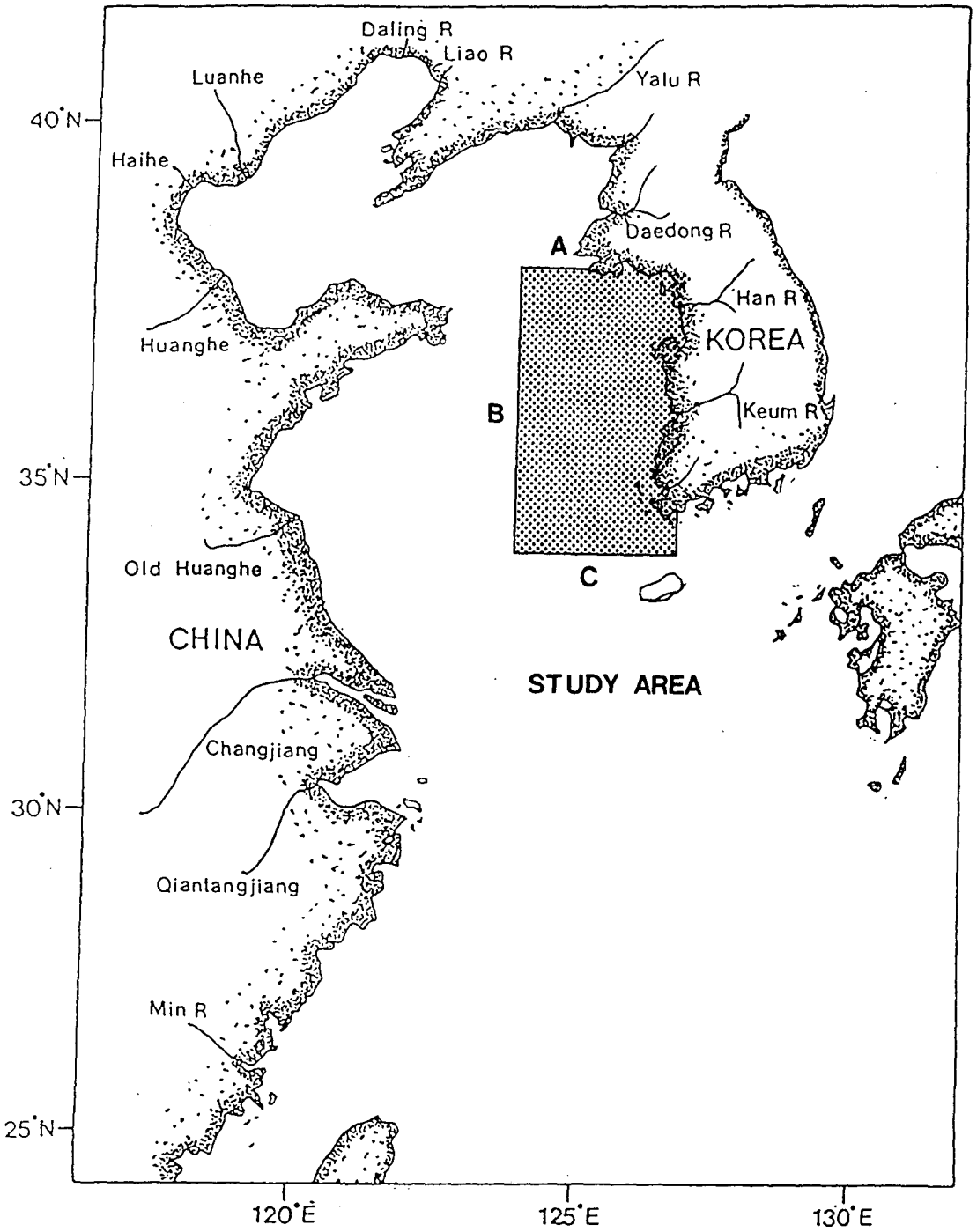


Fig. 6- 4. The map of study area.



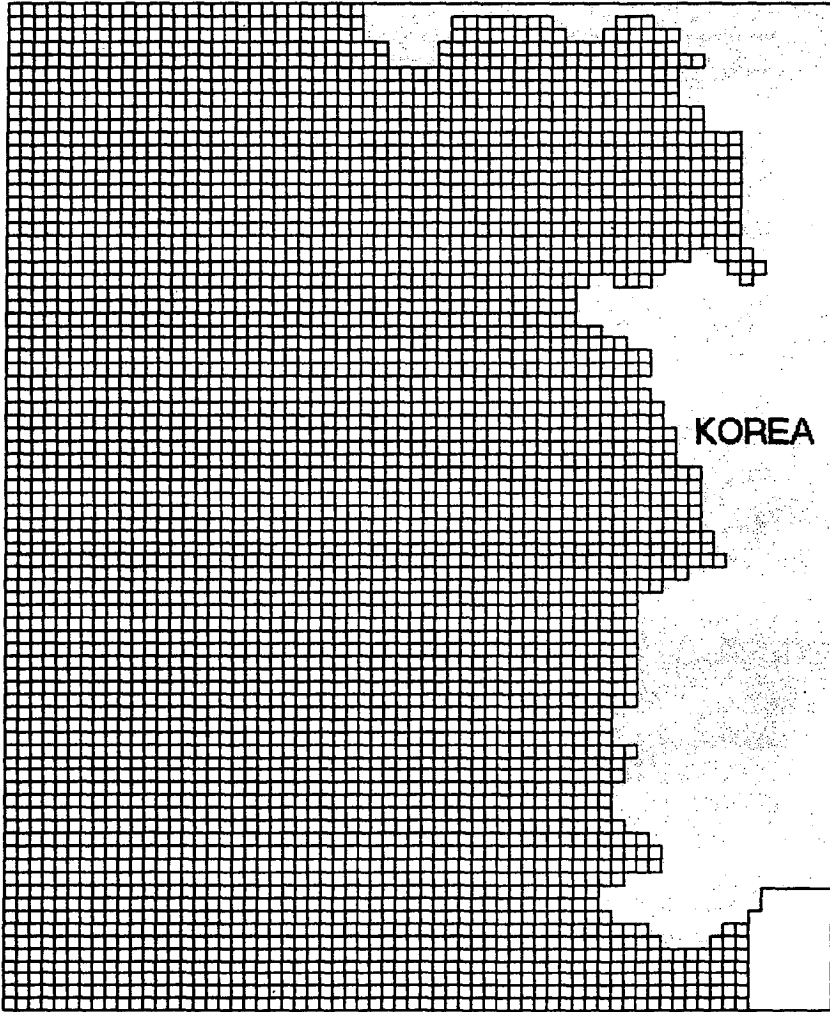


Fig. 6- 5. Finite-difference grid of the three-dimensional model.

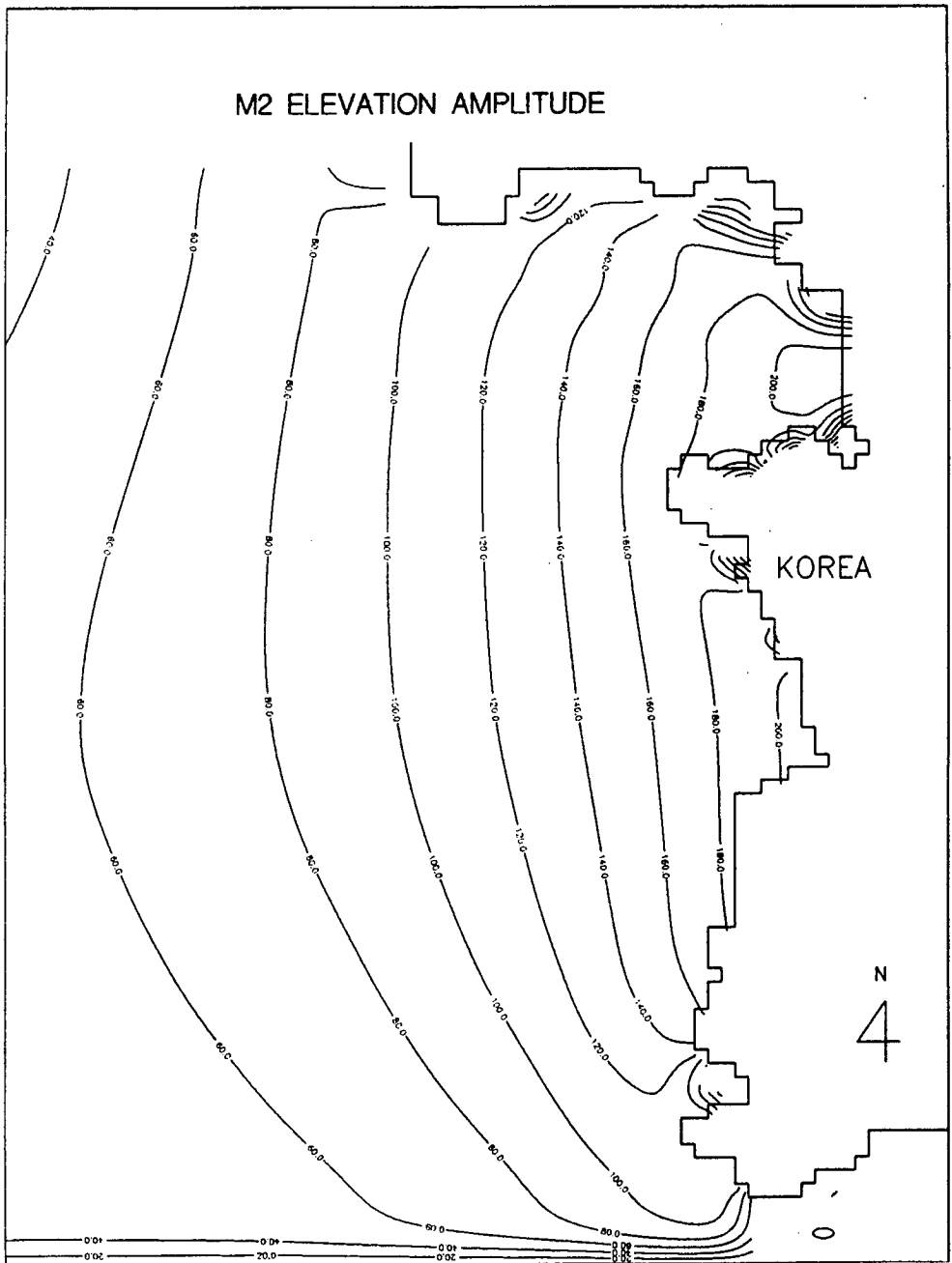


Fig. 6-6(a). Computed  $M_2$  tidal chart from the three-dimensional model : (Amplitude).

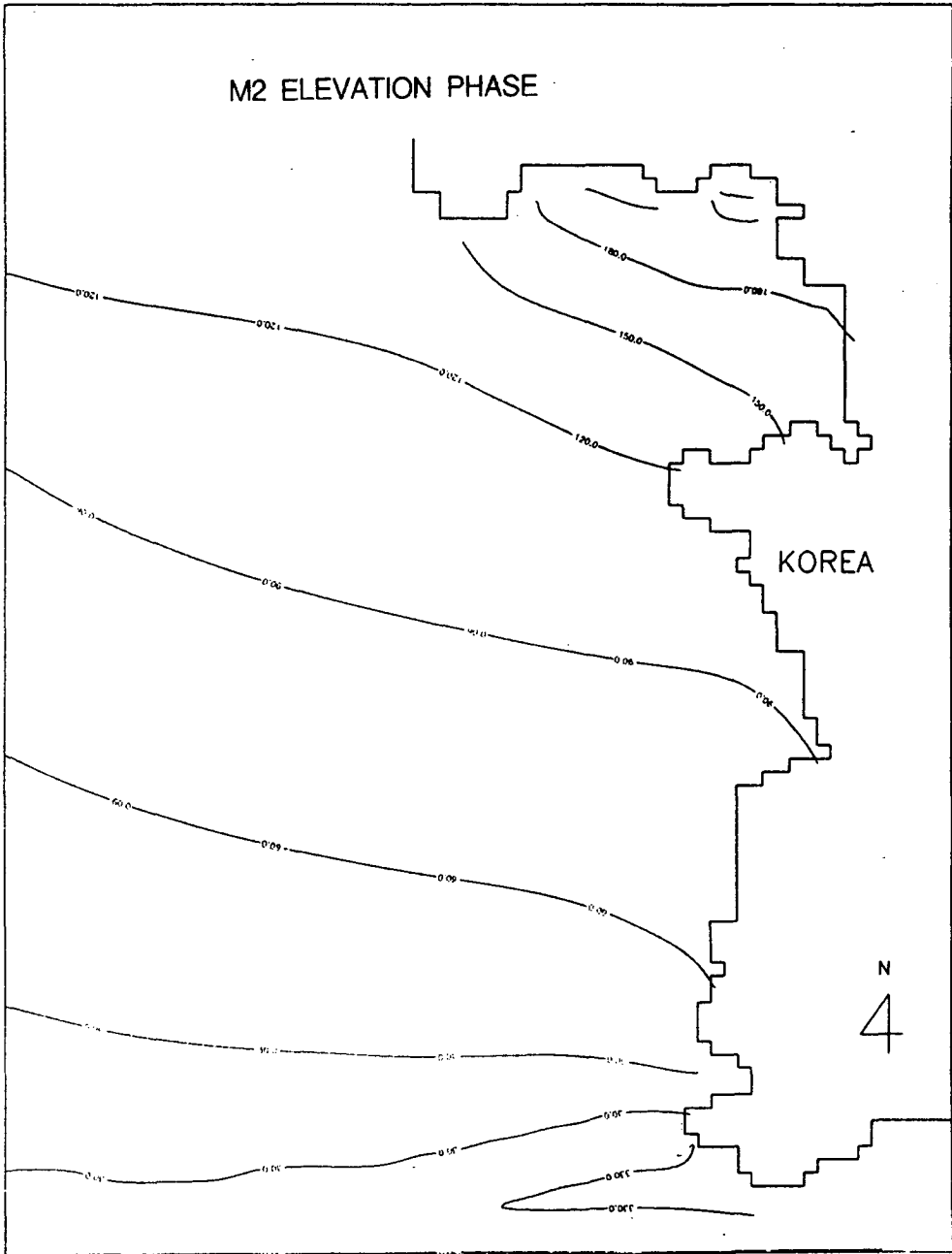


Fig. 6-6(b). Computed  $M_2$  tidal chart from the three-dimensional model : (Phase).

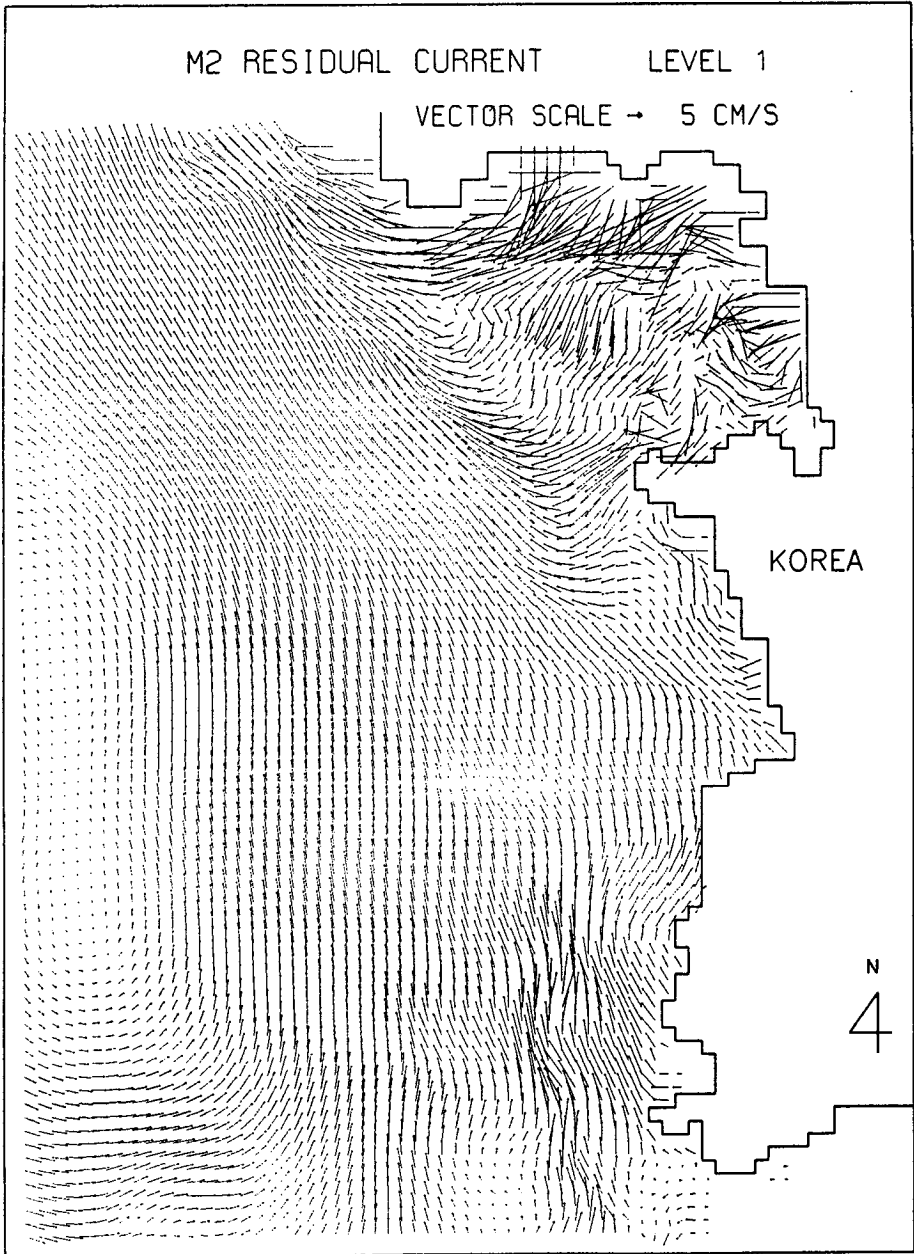


Fig. 6-7(a). Computed residual currents from the three-dimensional model : (Surface level).

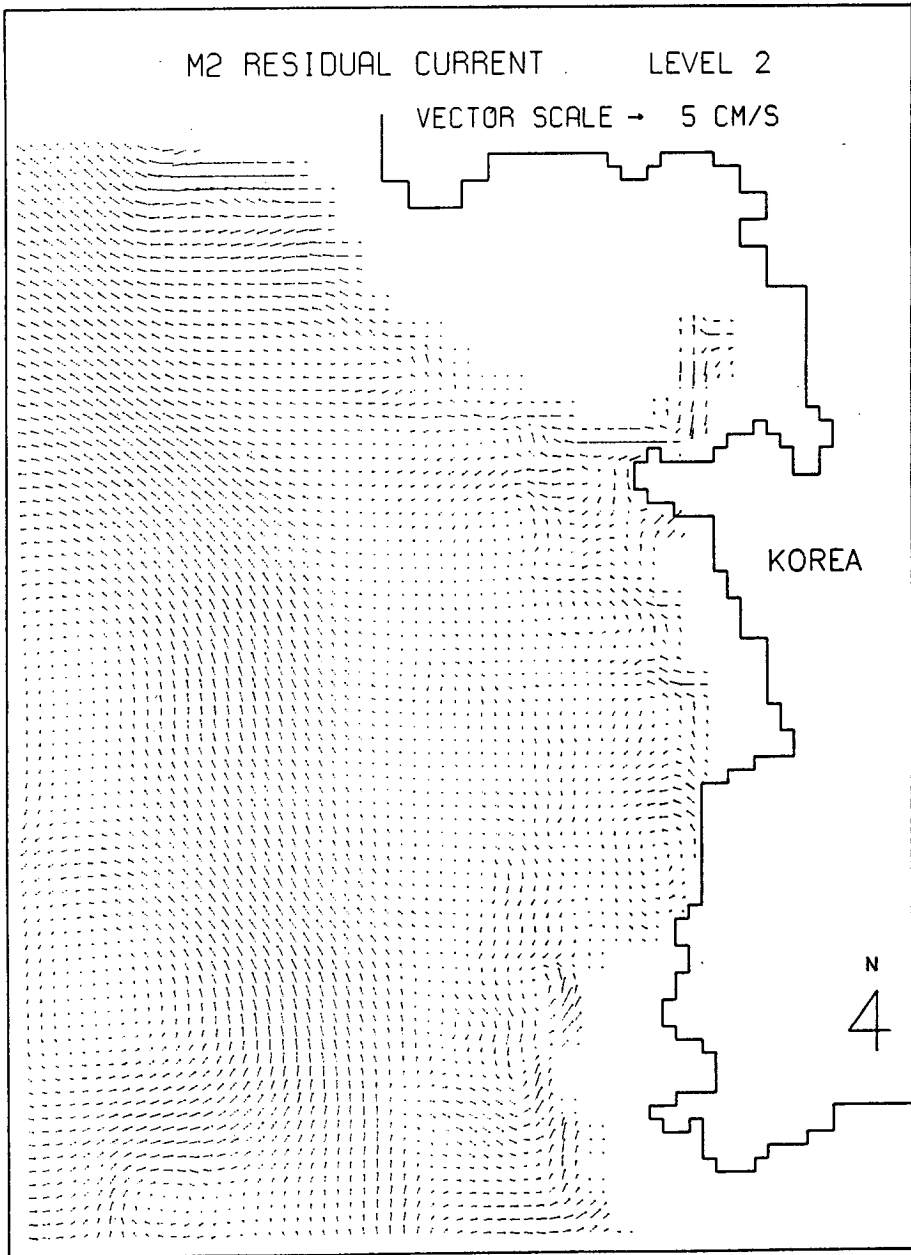


Fig. 6-7(b). Computed residual currents from the three-dimensional model : (Middle level).

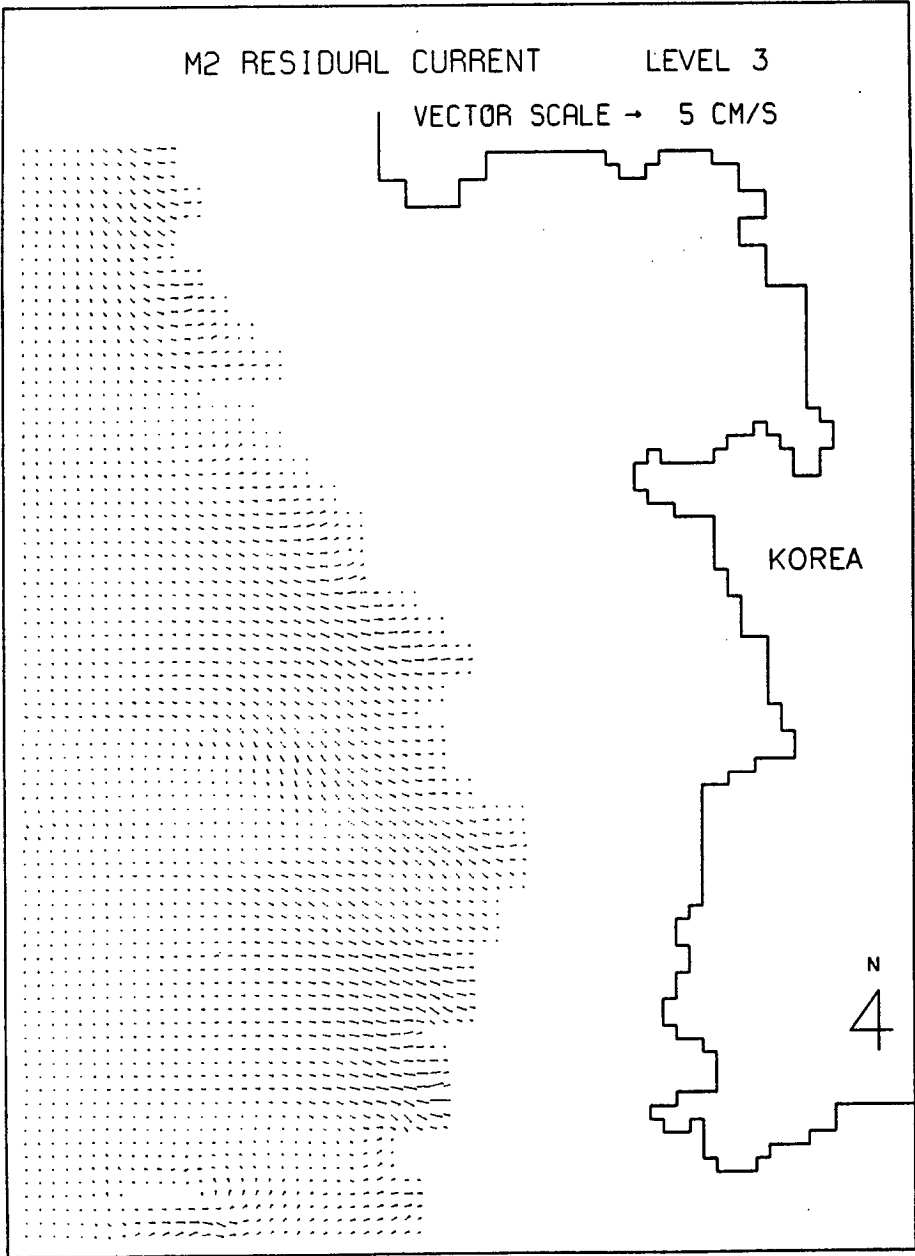


Fig. 6-7(c). Computed residual currents from the three-dimensional model : (Bottom level).

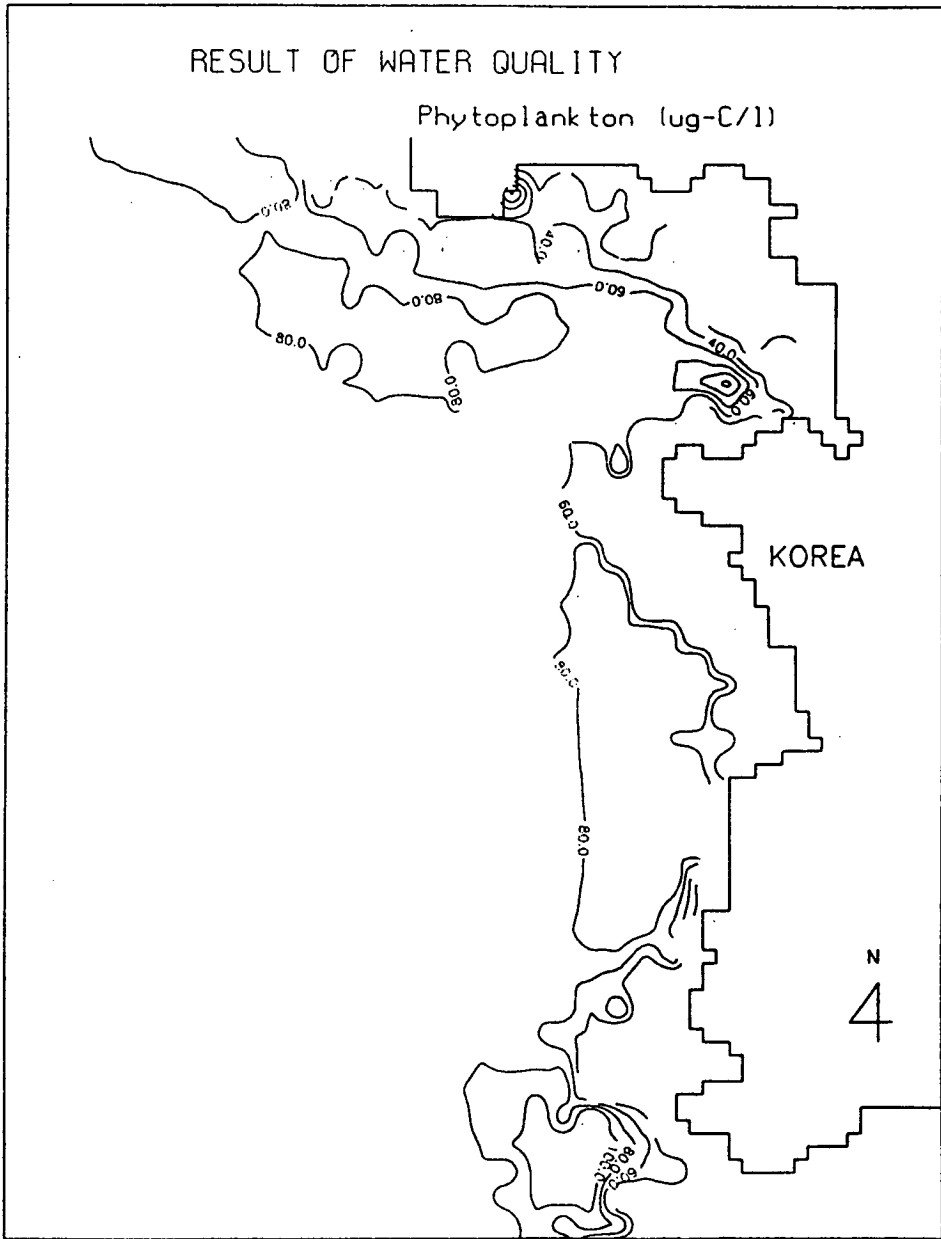


Fig. 6-8(a). Distribution of simulated phytoplankton concentration ( $\mu\text{g-C/l}$ ) : (Surface level).

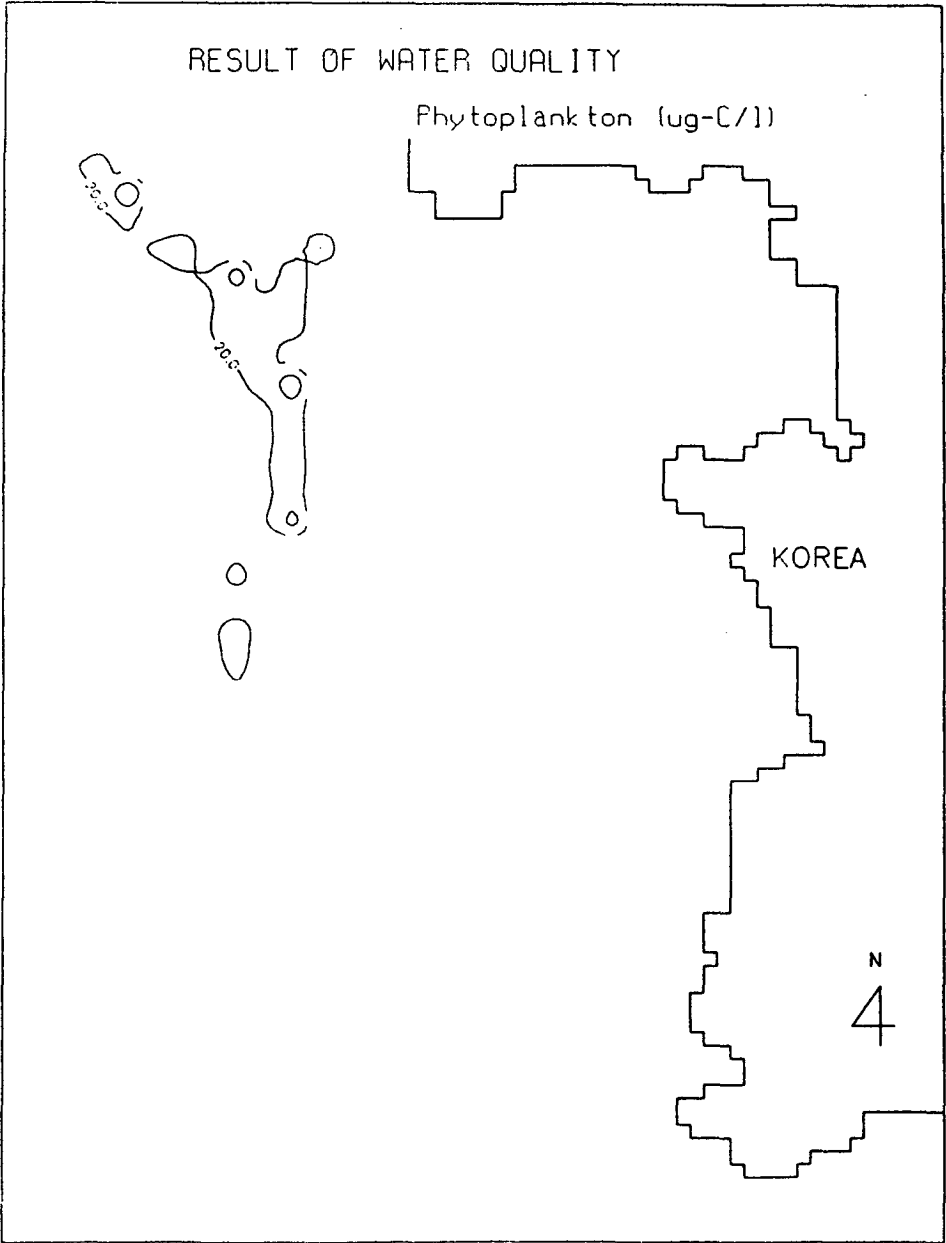


Fig. 6-8(b). Distribution of simulated phytoplankton concentration ( $\mu\text{g-C/l}$ ) : (Middle level).



표층(1층)에서의 식물플랑크톤의 농도는 대상해역에서  $60\mu\text{g-C}/\ell$  정도로 나타났으며 연안층에서는 각 하천으로부터 유입되는 오염 부하의 영향으로  $80\mu\text{g-C}/\ell$  이상의 농도분포를 나타내었으며 외해쪽으로 갈수록 농도값이 다소 낮아지는 경향을 나타내었다.

중층(2층)에서는  $10\sim 30\mu\text{g-C}/\ell$ 의 분포를 나타내었으며 표층의 경우보다는 더 외해쪽인 대상해역의 북서쪽에서 가장 높은 농도 분포를 나타내었다. 이는 표층과 중층에서의 연안을 따라 북상하는 잔차류 흐름에 영향을 받은 것으로 사료된다.

해역의 부영양화현상을 현상을 저감시키기 위해서는 생태계모델의 이용이 불가피하나 현재까지 황해전역중에서 많은 연구가 이루어진 본 대상지역에서도 생태계 모델의 적용에 필요한 여러 인자에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 현 대상 해역의 실질적인 해역관리와 나아가 황해전역의 수질관리에 적용하기 위해서는 여러 가지 생태학적 인자들을 도출에 관한 연구가 이루어져야하며 자료도출의 우선 순위나 대상해역의 적정한 수질관리를 위해 어떤 인자가 부영양화 현상의 저감에 가장 큰 영향을 미치는지를 밝혀야 한다. 이를 위해서 차후 생태계모델을 이용한 민감도 분석이 수행 되어야 할 것이며 이를 기초로 하여 황해전역에 대한 부영양화 모델링을 수행하여야 할 것이다.

## 제 7 장 어류체내 효소활동도 및 기타 생화학적 지표

### 제 1 절 효소시스템과 독성물질의영향

최근의 급속한 공업화·산업화에 따른 공업단지의 조성, 대도시의 인구 집중화, 농약의 과다사용, 가정의 오·폐수 및 양식사료의 과다사용 등으로 인해서 해양환경의 오염이 심화되어 수산물의 오염문제가 심각하게 대두되고 있다. 해수중의 오염물질로서 유류사고는 말할 필요도 없고 유해 중금속, PCB 등의 농약, 여러가지 유기용매, 산업폐기물 및 공장의 오·폐수, 방사능 물질 등이 수산생물에 의해 농축될 가능성 뿐만 아니라 수산생물의 생존 자체마저 위협을 받고 있을 정도로 심각하다. 근래 남해안에서는 적조현상으로 인한 넙치, 도다리 등의 수산생물의 떼죽음과 유류의 유출사고로 심각한 피해를 입고 있고, 서해안에서도 각종 오염원에 의해 해양의 오염상태가 극에 도달하고 있다. 이로 인해 어장이 황폐화되고 해양 생태계의 파괴는 말할 필요도 없고 수산물의 오염이 심각한 현상으로 대두되고 있다.

해양 오염에 의한 해양 생태계의 파괴에 영향을 주는 인자는 무엇이며, 해양의 오염연구에 있어서 적절한 오염지표로서 무엇을 삼을 것인가에 대

한 많은 연구들이 진행되고 있다 (Galgani et al., 1992). 이러한 오염영향에 대한 분석 평가는 오염물질의 영향, 오염범위와 시간에 따른 독성행태변화를 확실히 알 수 있도록 한다.

프랑스의 RNO에서는 1979년부터 오염물질의 영향평가를 생물에 대해서 하고 지금은 영향연구에 열중하고 있다. 또한 몇가지 지표는 정기오염관측을 실시하여 연안해역 환경평가 자료로 사용하고 있다.

Mixed function Oxidase(MFO)는 오염물질이 많을시에 증가하여 분해를 가속시키는데 어류의 간에서의 EROD의 측정은 PAH 오염연구에 중요하다. 어류의 P-450<sub>1A1</sub> isozyme은 PAH, polychlorinated dibenzodioxins(TCDD), 일부 PCB에 의해 영향을 받는다. 고래종류의 간에서 효소시스템을 연구한 결과 aldrin epoxydase (PB type)는 매우 낮으나 MC형인 7-ethoxyresorufin O-deethylase (EROD)는 높아 고래종류가 PCB를 대사해내는 능력이 적다는 증거이며 이것이 고래종류에 있어서 PCB를 농축시키기 때문인 것으로 보인다 (Watanabe et al., 1989).

지금까지의 많은 연구결과, 생체내의 아세틸콜린에스테라아제 (acetylcholinesterase; AChE)나 부틸릴콜린에스테라아제 (butyrylcholinesterase; BChE)가 해양오염의 지표로서 각광을 받기 시작하고 있다 (Bocquéné et al., 1990; Habig et al., 1988). 이 AChE은 생화학적으로 가장 중요한 신경전달물질인 아세틸콜린(acetylcholine)을 가수

분해하는 효소이다.

어류의 Cholinesterase Activity는 생화학적 특성연구 (Zinkl et al. 1987; Habig et al., 1988 ; Bocquéné et al., 1990) 또는 독성실험에 응용 (Coppeage and Matthews, 1974; Van der Wel and Welling 1989; Habig et al., 1986; Bocquéné and Galgani, 1991)되어 왔는데 이들의 활동도는 연안해역에서 많이 위축되어 오염물질의 영향인 것으로 보인다.

Galgani et al.(1992)의 경우 AChE는 북해에서 잡힌 가자미에서 가장 높은 값인 7449 units/mg protein은 뇌에서 나타나고 근육에서도 2654 units/mg protein을 보였다. 이들의 자료에서 근육의 AChE는 북해중앙부로 가며  $6392 \pm 852$  units/mg protein 에서 연안쪽으로 갈수록  $2296 \pm 743$  units/mg protein 으로 감소하여 엘베강하구등의 육상기인 오염물질의 영향을 받는듯하다.

이러한 AChE, BChE는 어류에서 뇌, 근육, 간에서 높은 활성을 보여주고 있지만, 암수나 크기에 따라서는 이 효소의 활성의 차이는 관찰되지 않고 있다. 또한 이 두 효소의 활성은 원해(遠海)보다는 근해(近海)에서 더욱 활성의 억제현상이 나타나고 있다. 따라서 근해의 오염물질로서 유기인제 또는 카아바메이트(carbamate) 등의 오염물질의 축적이 AChE 및 BChE의 활성을 억제시키는 것으로 추정되고 있다. 이러한 농약이나 공장의 오·폐수의 살충성분으로서 카아바메이트나 유기인제로서 포살론(phosalone) 등의 독성성분은 참새우, 고등어, 가자미, 홍합 등에 있어

AChE, BChE 의 활성을 현저히 억제한다는 사실이 *in vivo* 실험에 의해서 증명되고 있다 (Olson and Christensen, 1980 ; WHO, 1986 ; Galgani and Bocquéné).

## 제 2 절 도다리의 효소활동도 및 생리특성

어류중에서 도다리는 풍미나 조직감이 뛰어나서 우리나라 사람들이 즐겨 찾는 고급 횡감으로 이용됨에 따라 그 생산량도 급격히 증가되고 있다. 그러나 수요에 비해 공급의 차질로 인하여 자연산보다 양식산으로서의 기르는 어업(養殖)으로 전환되고 있다. 뿐만 아니라 요즈음은 양식기술의 발달로 수산청에서는 수출 전략품목으로 육성하여 수출을 확대시키려고 시도하고 있는 어류이다. 본 연구에서는 해양의 오염도가 어류에 어떠한 영향을 미치는가, 그리고 이들 어류의 오염지표로서 무엇이 적당항가를 구명하기 위하여 해양의 오염상태가 극히 심각한 서해안에서 어획한 자연산 도다리의 오염도를 오염이 비교적 적은 동해안의 도다리의 오염도와 분석·비교하였다.

### 1. 단백질 함량 비교

시험군으로서 서해안의 보령, 아산, 격포, 서산의 자연산 도다리와 대조군으로서 포항의 자연산 도다리의 혈청, 근육 및 뇌의 단백질의 함량을

비교하여 보면 Fig. 7-1과 같다. 이들 도다리의 혈청에서의 단백질 함량 사이에는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 Fig. 7-1 에서 보는 바와 같이 뇌 및 근육에서는 대조군인 포항의 자연산 도다리의 단백질 함량보다 서해안 자연산 도다리의 단백질 함량이 상당히 감소하고 있음을 알 수 있었다. 또한 어느 군에서도 이들 도다리의 단백질 함량은 근육이 뇌보다 훨씬 높았다.

이러한 현상은 서식환경으로서 먹이생물과 환경오염, 그리고 성장시의 운동량에 따른 어체(魚體)의 밀도에서 오는 차이로 판단되며 동해안에서 서식하는 도다리가 서해안에 비해 육질이 단단함을 의미한다고 볼 수 있다.

## 2. 해수의 환경오염 지표의 비교

지금까지 해양의 환경오염 정도를 비교하는 지표로서 알려진 아세틸콜린에스테라아제(acetylcholinesterase:AChE) 및 부틸릴콜린에스테라아제((butyrylcholinesterase:BChE) 효소의 활성의 저하에 미치는 영향을 분석·비교하였다.

이들 도다리를 시료로 하여 해양오염의 지표로 사용되고 있는 AChE 및 BChE의 활성을 뇌 및 근육에서 측정하여 비교하여 본 결과는 Fig. 7-2 및 7-3과 같다. Fig. 7-2에서 이들 도다리의 뇌(brain)에서의 아세틸

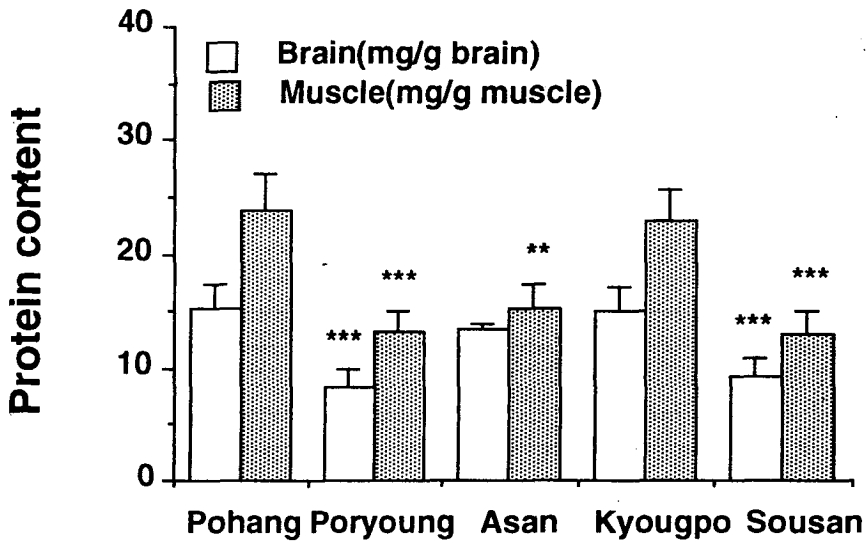
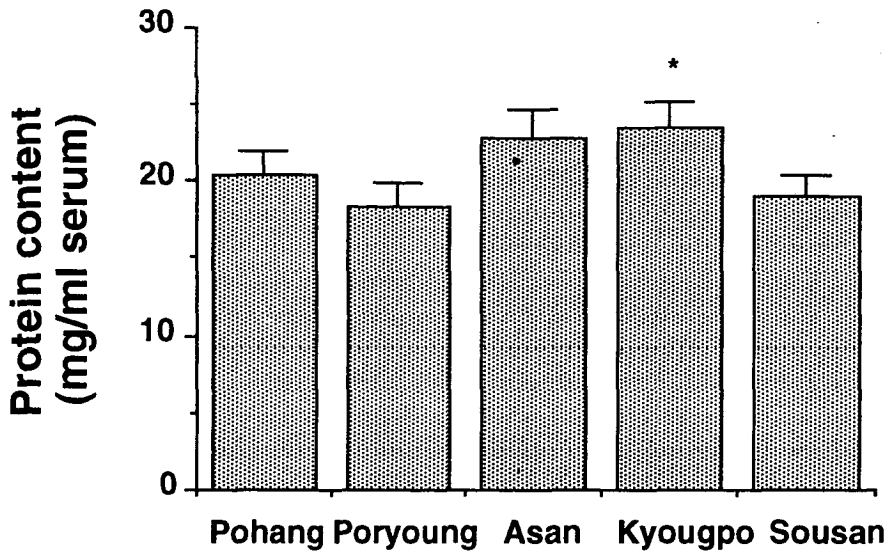


Fig. 7-1. Comparisons of protein content in serum, brain and muscle of wild flounders.

\* $p < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$  compared with wild flounder in Pohang

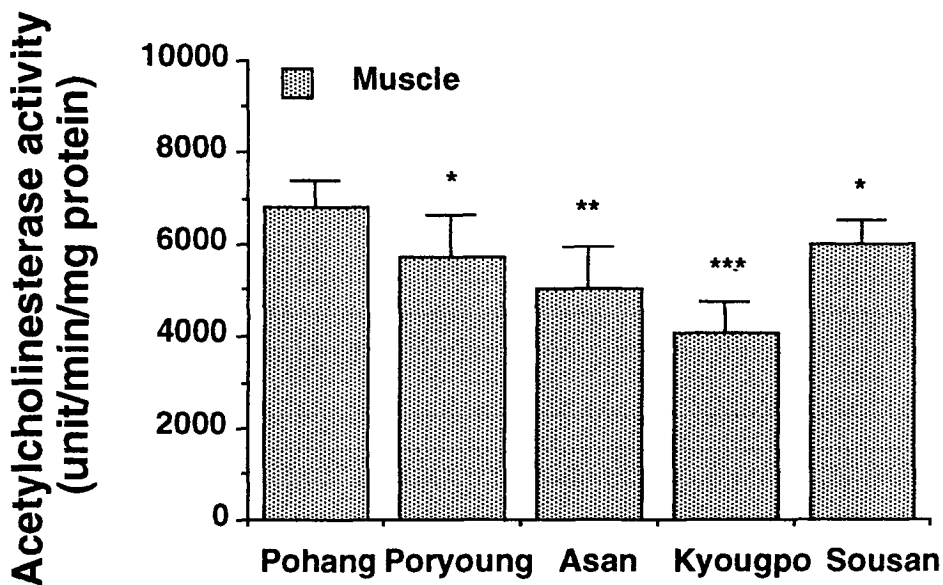
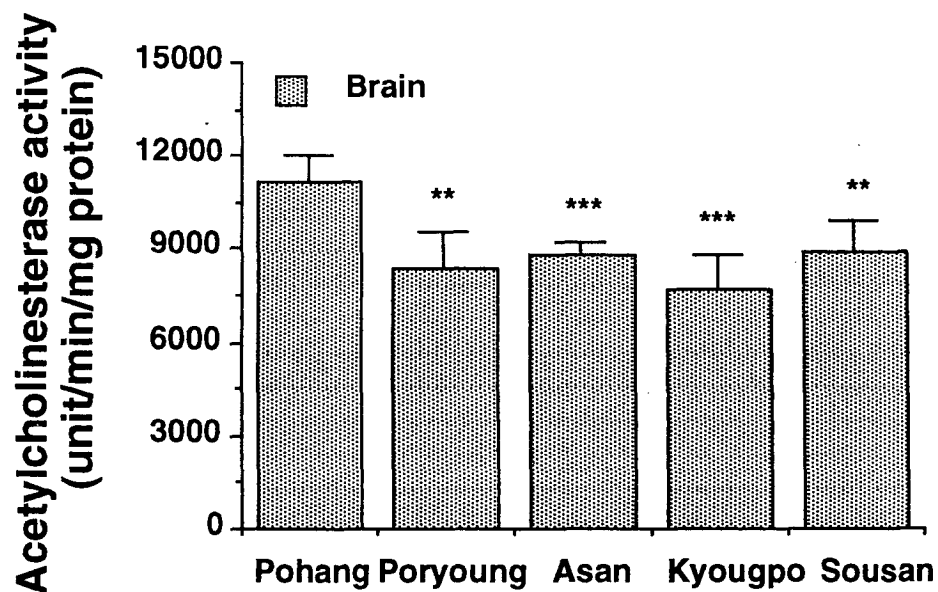


Fig. 7-2. Effect of acetylcholinesterase activity in brain and muscle of wild flounders.

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$  compared with wild flounder in Pohang



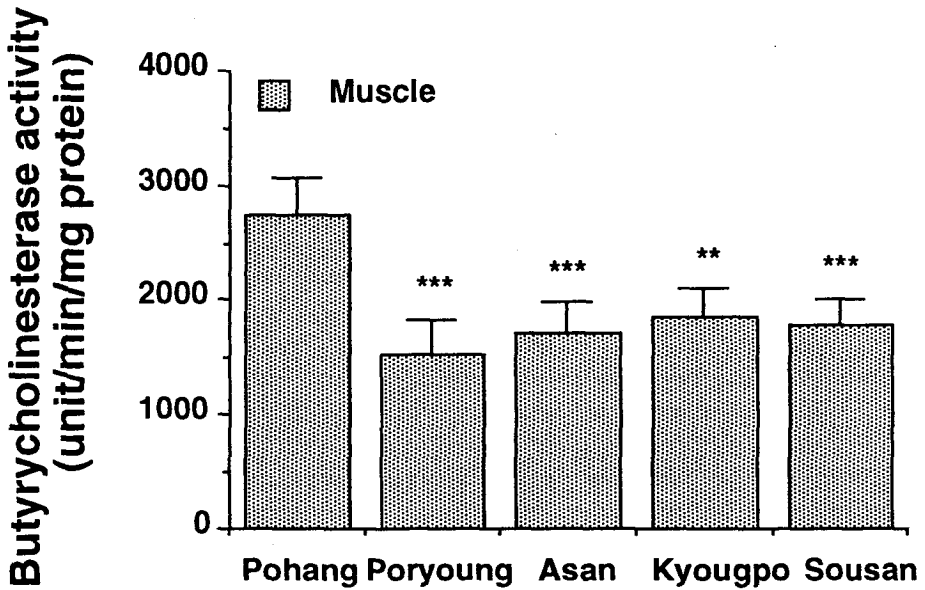
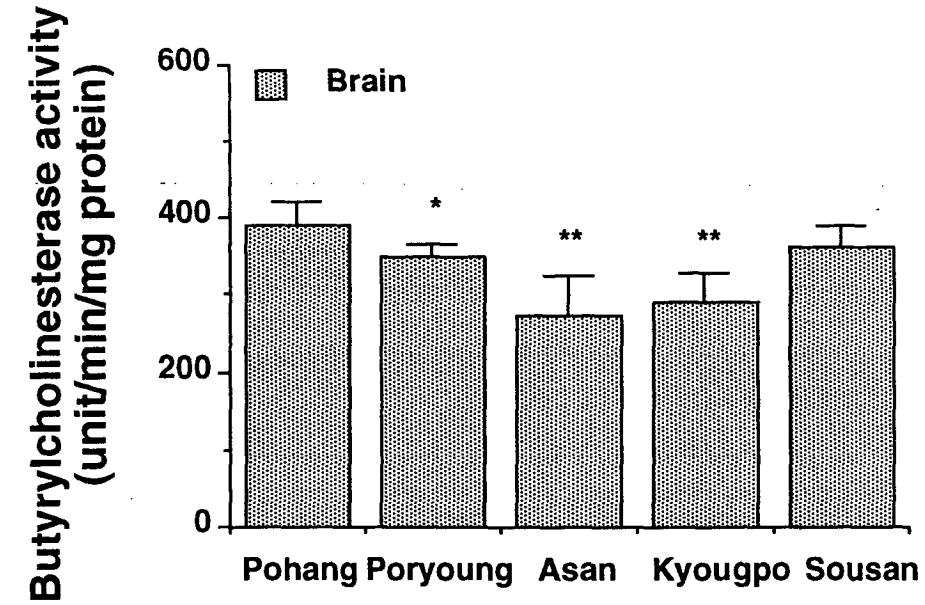


Fig. 7-3. Effect of butyrylcholinesterase activity in brain and muscle of wild flounders.

\* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$  compared with wild flounder in Pohang

콜린에스테라아제(AChE)의 활성을 비교하여 보면 오염이 비교적 적을 것으로 판단한 포항의 자연산 도다리( $11,168.91 \pm 821.99$ unit)의 AChE 활성이 현저히 높은 반면 예상대로 중금속 등에 의한 오염이 많을 것으로 예상되는 서해안의 자연산 도다리(보령  $8,376.57 \pm 1202.48$ unit, 아산  $8,743.52 \pm 447.65$ unit, 격포  $7,708.18 \pm 1049.65$ unit, 서산  $8,872.72 \pm 1015.14$ unit)는 AChE의 활성이 현저히 유의적으로 낮음을 알 수 있었다.

이들 서해안산 도다리의 AChE의 활성이 대조군으로 삼은 동해안의 포항산 도다리의 AChE 대비 70-80% 의 활성으로서 대조군 대비 20-30% 정도 낮음을 알 수 있었다( $p < 0.05$ ,  $p < 0.001$ ).

또한 Fig. 7-2에서 이들 도다리의 근육에서의 아세틸콜린에스테라아제(AChE)의 활성을 비교하여 보면 뇌에서의 AChE의 활성과 거의 같은 경향으로 오염이 비교적 적을 것으로 판단한 포항의 자연산 도다리( $6,812.34 \pm 532.97$ unit)의 AChE 활성이 가장 높고, 예상대로 중금속 등에 의한 오염이 많을 것으로 추측되는 서해안의 자연산 도다리(보령  $5,731.88 \pm 871.47$ unit, 아산  $5,031.06 \pm 925.44$ unit, 격포  $4,071.15 \pm 647.88$ unit, 서산  $6,024.54 \pm 493.74$ unit)의 AChE 활성이 대조군인 포항산 도다리에 비해 15-40% 정도로 현저히 낮음을 보여주고 있었다( $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). 특히 이들 AChE의 활성에서 본다면 같은 서해안중에서도 가장 남쪽에 가까운 격포가 가장 낮은 AChE의 활성을 보여주고 있었다.

이상의 뇌와 근육의 AChE의 활성을 측정하여 본 결과, 자연산 도다리

의 오염도가 동해안보다 서해안이 매우 심각하다는 사실을 알 수 있었다. 이러한 사실은 오염물질의 유입이 많은 연안의 바닷물을 그대로 먹는 수산생물은 크게 영향을 받기 때문이다.

한편 또다른 오염지표로 사용되는 BChE의 활성을 뇌 및 근육에서 측정·비교하여 보면 Fig. 7-3과 같다. 뇌와 근육에서 다같이 예상한대로 오염이 비교적 적을 것으로 판단되는 포항의 자연산 도다리의 뇌( $390.21 \pm 32.54$ unit) 및 근육 ( $2,732.54 \pm 320.12$ unit)의 BChE의 활성이 가장 높았다. 포항산 도다리를 대조군으로 하여 비교하여 보면 서해안의 자연산 도다리의 뇌의 경우, 서산( $362.14 \pm 27.34$ unit), 보령 ( $350.32 \pm 15.21$ unit), 격포 ( $291.22 \pm 38.37$ unit), 아산( $274.09 \pm 51.24$ unit)의 순으로 대조군 대비 10-30%나 감소되었으며, 근육의 경우도 격포( $1,854.72 \pm 250.67$ unit), 서산 ( $1,779.45 \pm 220.74$ unit), 아산( $274.09 \pm 51.24$ unit), 보령( $1,535.41 \pm 301.43$ unit)의 순으로 감소함을 알 수 있었다.

이들 도다리의 뇌와 근육의 BChE의 활성 측정결과에서 볼 때 예상한 대로 서해안에서 서식하는 자연산 도다리보다 BChE의 활성이 대조군으로 설정한 동해안의 포항의 자연산 도다리의 BChE의 활성보다 유의적으로 현저히 감소하였다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 서해안이 동해안보다 현저히 오염되어 있다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 서해안은 농약성분으로서 살충제인 카바메이트(carbamate)나 유기인제 등의 오염영향이 생태계에 영향을 줄 수 있다는 사실을 알 수 있다.

### 3. 과산화지질(MDA)의 함량 비교

생체내 대사시의 유해 독성물질로 알려진 활성산소종(reactive oxygen species; ROS)인 프리 라디칼(free radical)에 의해서 생성되는 과산화지질(malondialdehyde; MDA)은 생체내에서 성인병의 발병과 노화과정의 촉진지표로 널리 알려져 있다. 이러한 과산화지질도 해양오염에 의해서 어류의 체내 대사과정중에 생성될 것으로 추정하고, 해양오염에 의한 어류의 생체내에서의 생성여부를 평가하기 위하여 이들 도다리의 혈액을 채취하여 혈청을 분리한 다음, 과산화지질(MDA)의 함량을 측정·비교하여 본 결과는 Fig. 7-4 및 Fig. 7-5와 같다.

대조군으로서 비교적 오염이 적은 동해안의 포항에서 구입한 자연산 도다리( $5.72 \pm 0.92 \text{ nmole}$ )의 과산화지질 함량에 비해 서해안의 자연산 도다리(보령  $7.62 \pm 0.69 \text{ nmole}$ , 아산  $8.68 \pm 1.46 \text{ nmole}$ , 서산  $8.98 \pm 0.84 \text{ nmole}$ , 격포  $9.54 \pm 1.57 \text{ nmole}$ )의 과산화지질의 함량이 30-65% 정도나 유의적으로 현저히 높음을 알 수 있었다.

따라서 해양오염은 서해안이 동해안보다 아세틸콜린에스테라아제(AchE)나 부틸틸콜린에스테라아제(butrylcholinesterase)의 효소활성에 선택적으로 작용하는 살충제 성분으로서 카바메이트(carbamate) 및 유기인제 등의 농약성분이외에도 중금속이나 합성세제 등의 다른 오염물질에 의한 오염효과도 있다는 사실을 알 수 있었다.

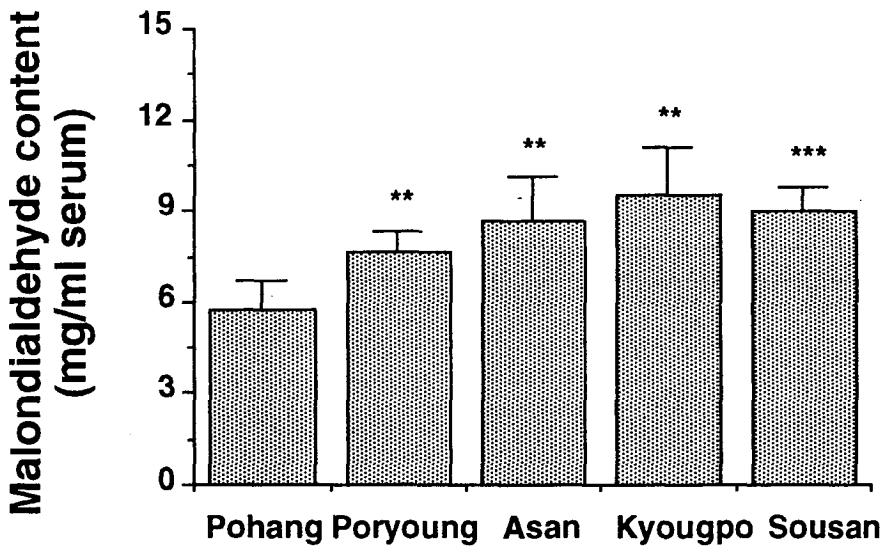


Fig. 7-4. Effect of malondialdehyde content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01;\*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

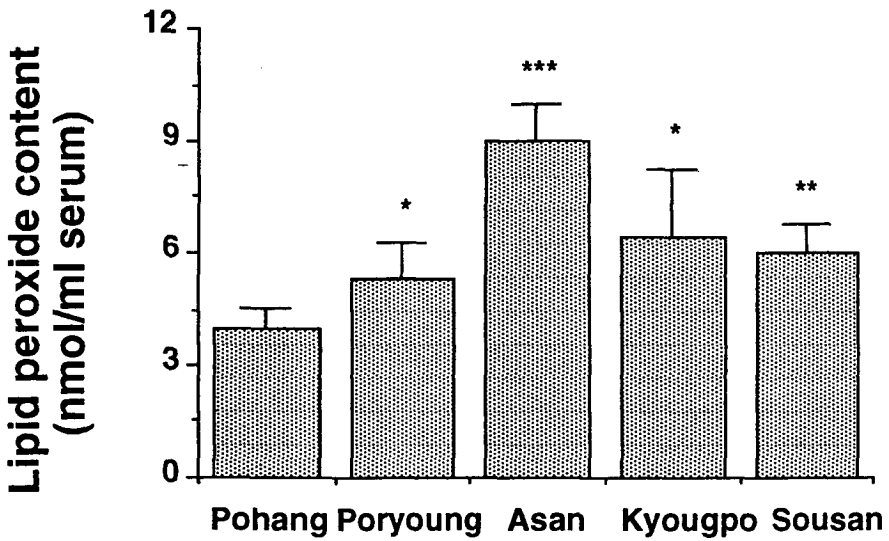


Fig. 7-5. Effect of lipid peroxide content in serum of wild flounders.

\*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

#### 4. 활성산소종(ROS)의 생성량 비교

활성산소종(reactive oxygen species; ROS)으로서 알려진 프리 라디칼(free radical)중에서 가장 강력한 활성산소인 히드록시 라디칼(hydroxyl radical)의 생성량을 동해안의 포항에서 구입한 자연산 도다리의 혈청을 대조군으로 하여 서해안에서 구입한 자연산 도다리의 혈청중의 히드록시 라디칼의 생성량을 분석·비교하여 보면 Fig. 7-6과 같다.

Fig. 7-6에서 보는 바와 같이 해양 오염도가 비교적 적은 동해안 포항의 도다리중의 히드록시 라디칼( $3.10 \pm 0.35 \text{nmole}$ )에 비해 오염이 심각한 서해안의 히드록시 라디칼의 생성량이 높을 것으로 예상했지만, 아산( $3.14 \pm 0.25 \text{nmole}$ ) 및 격포( $3.51 \pm 0.54 \text{nmole}$ )에서는 뚜렷한 차이를 인정할 수 없었고 보령( $5.91 \pm 0.72 \text{nmole}$ )과 서산( $6.00 \pm 0.55 \text{nmole}$ )에서는 현저히 높게 나타났다. 이러한 지역별 차이의 원인에 대해서는 정확하게 알 수 없다. 계속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 5. 제거효소(scavenger enzymes)의 활성 비교

생체내에는 이들 활성산소종(reactive oxygen species: ROS)으로서 수퍼옥시드 라디칼(superoxide radical), 히드록시 라디칼(hydroxyl radical) 및 과산화수소(hydrogen peroxide)와 같은 프리 라디칼(free radical)에

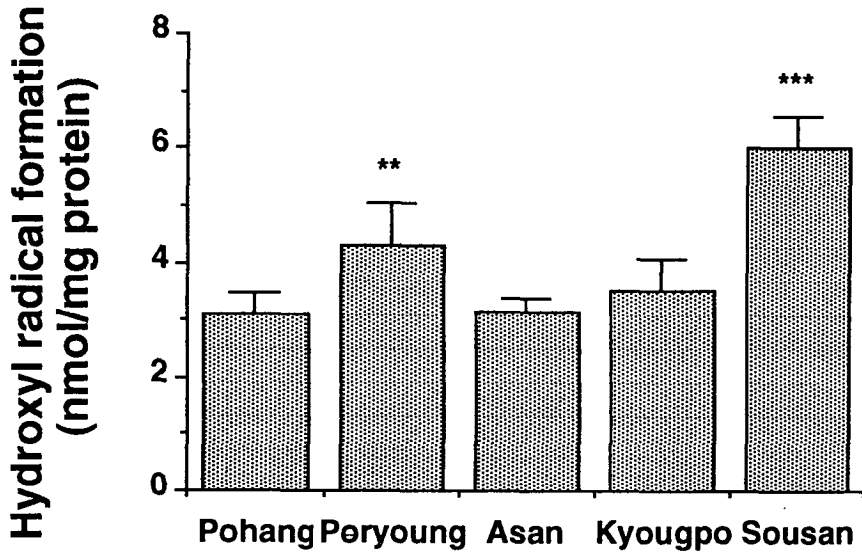


Fig. 7-6. Effect of hydroxyl radical formation in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

대한 제거효소(scavenger enzyme)로서 수퍼옥시드 디스무타아제 (superoxide dismutase: SOD), 글루타치온 퍼옥시다아제(glutathione peroxidase GSHPx) 및 카탈라아제(catalase) 등의 효소 활성중에서 가장 강력한 제거효소인 수퍼옥시드 디스무타아제(SOD)의 활성을 동해안의 포항에서 구입한 자연산 도다리의 혈청을 대조군으로 하여 서해안에서 구입한 자연산 도다리의 혈청중의 SOD의 활성을 분석·비교하여 보면 Fig. 7-8과 같다.

서해안 서산의 자연산 도다리( $4.23 \pm 0.51$ unit)를 제외하고는 서해안의 자연산 도다리(보령  $3.26 \pm 0.57$ unit, 아산  $3.28 \pm 0.46$ unit, 격포  $2.54 \pm 0.37$ unit)의 수퍼옥시드 디스무타아제(SOD)의 활성이 대조군인 동해안 포항의 자연산( $4.02 \pm 0.42$ unit)의 수퍼옥시드 디스무타아제 활성보다 유의적으로 감소하고 있음을 알 수 있었다. 서해안 서산의 자연산은 활성산소종인 히드록시 라디칼(hydroxyl radical)의 높은 생성량의 결과로 이들의 제거효소 또한 많아진 것으로 추측된다.

한편 글루타치온 퍼옥시다아제(GSHPx)의 활성을 동해안의 포항에서 구입한 자연산 도다리의 혈청을 대조군으로 하여 서해안에서 구입한 자연산 도다리의 혈청중의 GSH Px의 활성을 분석·비교하여 보면 Fig. 7-8과 같다.

대조군으로 설정한 오염이 비교적 적은 동해안의 포항의 자연산 도다리의 GSHPx의 활성( $159.25 \pm 30.23$ umole/min/mg protein) 대비 서해안 자연



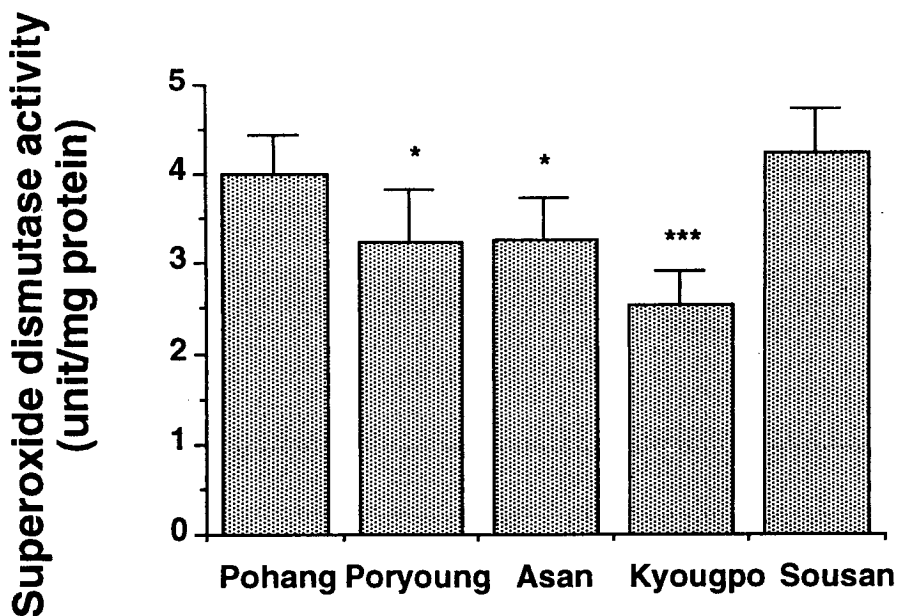


Fig. 7-7. Effect of superoxide dismutase activity in serum of wild cultured flounders.

\* $p < 0.05$ ; \*\*\* $p < 0.001$  compared with wild flounder in Pohang

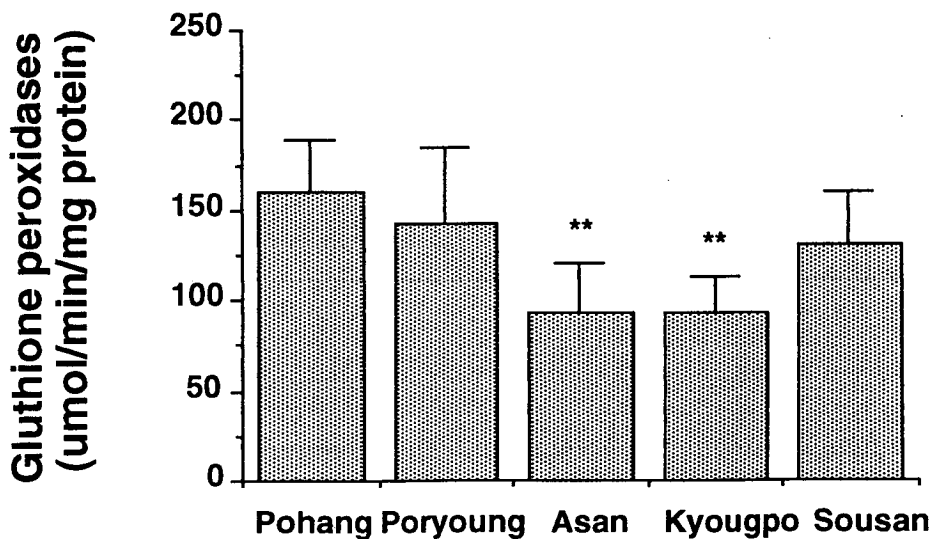


Fig. 7-8. Effect of glutathione peroxidases in serum of wild flounders.

\*\* $p < 0.01$  compared with wild flounder in Pohang

산의 GSHPx의 효소활성중의 보령( $142.17 \pm 41.75 \mu\text{mole}/\text{min}/\text{mg protein}$ )과 서산( $130.25 \pm 30.24 \mu\text{mole}/\text{min}/\text{mg protein}$ )은 약 10-20%의 감소효과가 나타났지만, 격포( $93.46 \pm 19.36 \mu\text{mole}/\text{min}/\text{mg protein}$ ) 및 아산( $92.79 \pm 27.31 \mu\text{mole}/\text{min}/\text{mg protein}$ )은 대조군 대비 거의 40%의 GSHPx의 활성 감소가 나타나서 서해안이 더 심하다는 사실을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 볼 때 서해안 자연산 도다리가 동해안의 자연산 도다리보다 해양오염에 더 많은 영향을 받을 수 있다는 사실을 알 수 있다. 이러한 사실은 위에서 조사한 오염지표 효소인 AChE 및 BChE의 활성, 그리고 과산화지질(MDA)의 함량과 일치하고 있었다.

## 6. 중성지질의 함량 비교

혈청중의 중성지질로서 트리글리세리드(triglyceride: TG)의 함량은 생체내의 대표적인 에너지대사에 관계되는 지질로서 스쿠아렌이나 콜레스테롤의 합성의 원료로서, 그리고 성인병의 하나인 고지혈증의 원인으로 작용하고 있기 때문에 혈청중의 트리글리세리드(TG)의 함량은 중요한 의미를 갖고 있다. 오염도가 비교적 적은 동해안의 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 혈청중의 트리글리세리드(TG)의 함량을 비교하여 보면 Fig. 7-9와 같다.

Fig. 7-9에서 보는 바와 같이 대조군으로 정한 동해안의 포항산 도다리 (120.97±5.92mg)에 비해 서해안의 자연산 도다리의 중성지질의 함량(보령 139.19±5.36mg, 아산 165.70±8.23mg, 격포 185.71±15.20mg, 서산 145.27±4.34mg)이 대조군 대비 15-55%나 유의적으로 높았다( $p < 0.001$ ). 이러한 사실은 해양오염에 대한 방어체계로서 중성지질의 체내 축적이 증가될 가능성도 배제할 수 없다.

또한 중성지질의 체내 축적은 여러가지 질병과 관계가 있을 것으로 추측되며, 아울러 도다리의 맛(食味)과 관계가 깊은 육질에도 상당한 문제가 있을 것으로 판단된다.

## 7. 콜레스테롤의 함량 비교

어패류는 계절에 따라 콜레스테롤의 함량에도 상당한 차이가 있을 뿐만 아니라 붉은살 생선은 흰살 생선보다 콜레스테롤의 함량이 높고, 피부가 근육보다 상당히 높은 양의 콜레스테롤을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 콜레스테롤은 계절에 따라, 그리고 조직의 부위에 따라 콜레스테롤의 필요량이 다르기 때문에 판단된다. 따라서 오염도가 비교적 적은 동해안 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 혈청중의 총콜레스테롤, HDL 및 LDL-콜레스테롤의 함량을 비교하여 보면 Fig. 7-10, 7-11, 7-12와 같다.

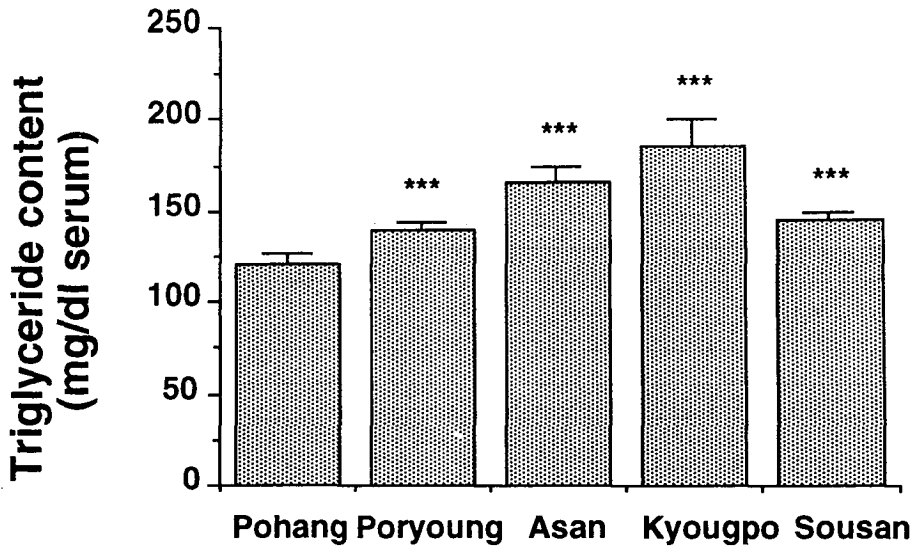


Fig. 7-9. Effect of triglyceride content in serum of wild flounders.

\*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

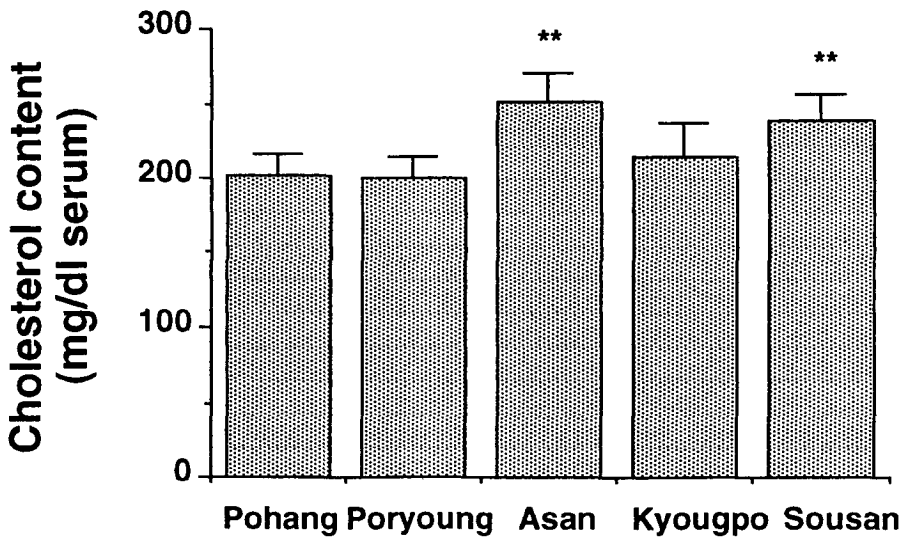


Fig. 7-10. Effect of total cholesterol content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01 compared with wild flounder in Pohang

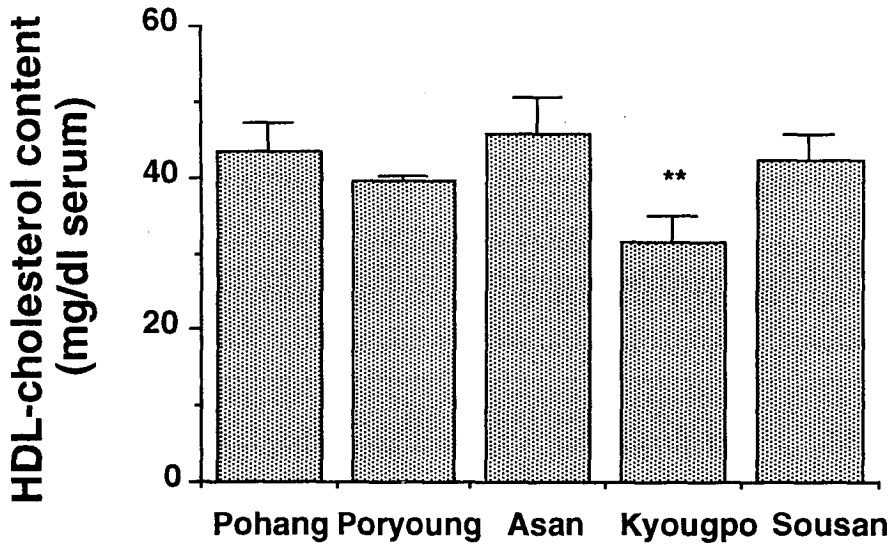


Fig. 7-11. Effect of HDL-cholesterol content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01, compared with wild flounder in Pohang

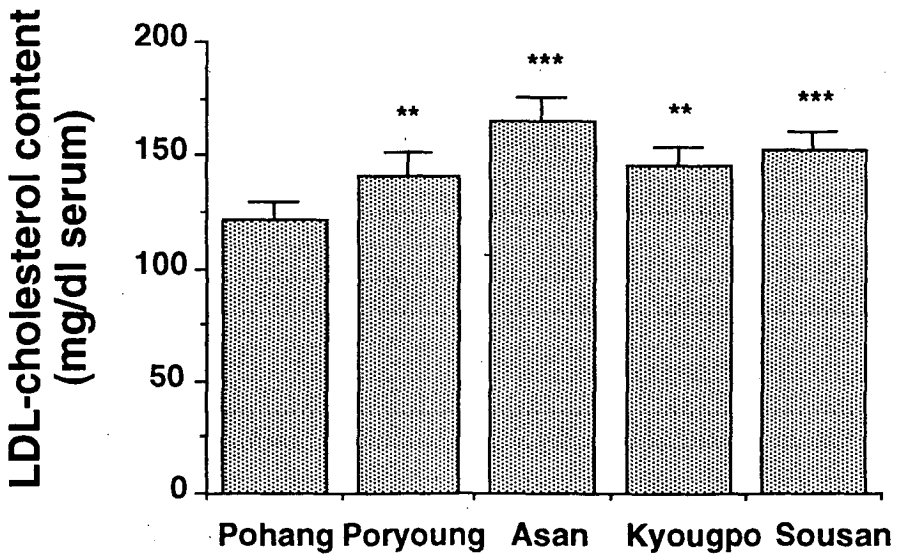


Fig. 7-12. Effect of LDL-cholesterol content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

Fig. 7-10에서 보는 바와 같이 동해안 포항의 자연산 도다리의 혈청중의 총콜레스테롤( $200.9 \pm 15.7\text{mg}$ )의 함량에 비해 서해안의 자연산 도다리(아산  $251.3 \pm 19.5\text{mg}$ , 서산  $239.2 \pm 16.1\text{mg}$ ,  $p < 0.01$ )의 혈청중의 총콜레스테롤의 함량이 대조군 대비 20-25%의 증가가 나타났다. 그러나 보령( $200.4 \pm 14.3\text{mg}$ ), 격포( $214.3 \pm 21.9\text{mg}$ )에서는 이러한 뚜렷한 차이를 발견할 수는 없었다. 이러한 결과에서 볼 때 어류중 혈청중의 총콜레스테롤의 증가가 사람을 비롯한 육상의 포유동물의 성인병의 발병과는 차이가 있을 것으로 판단되지만, 이 차이의 메카니즘 구명은 앞으로 더욱 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한 Fig. 7-11에서 인체내에서 항콜레스테롤 인자(anticholesterol factor) 또는 장수인자(longevity factor)로 알려진 고밀도리포단백(HDL)-콜레스테롤의 함량을 비교하여 보면 서해안 자연산 도다리의 HDL-콜레스테롤의 함량(보령  $39.46 \pm 0.60\text{mg}$ , 아산  $45.64 \pm 4.92\text{mg}$ , 서산  $42.29 \pm 3.54\text{mg}$ )과 동해안 자연산 도다리의 HDL-콜레스테롤의 함량( $43.21 \pm 3.97\text{mg}$ )사이에 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다.

그러나 서해안의 격포 도다리의 HDL-콜레스테롤의 함량( $31.64 \pm 3.32\text{mg}$ )이 상대적으로 떨어지는 것은 해석하기 어렵다. 원래 HDL-콜레스테롤은 운동(exercise)이나 어류 단백질(fish protein) 및 섬유질(fiber)의 섭취에 의해서 주로 증가되는 것으로 알려져 있지만, 이들이 모두 자연산 도다리가기 때문에 운동량에 차이가 있다고 보기는 어렵다. 몇 가지 사안에 대해서 앞으로 체계적인 연구가 요망된다.

한편 혈청중의 콜레스테롤중에서 사람을 포함한 포유동물의 성인병의 발병인자로 알려진 저밀도리포단백(LDL)-콜레스테롤의 함량 변화에 미치는 해양오염의 영향을 평가하기 위하여 비교적 오염도가 낮은 동해안 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 혈청중의 LDL-콜레스테롤의 함량을 분석·비교하여 본 결과는 Fig. 8-12와 같다.

Fig. 7-12에서 보는 바와 같이 서해안의 자연산 도다리의 혈청중의 LDL-콜레스테롤의 함량(보령  $141.3 \pm 10.3\text{mg}$ , 아산  $165.4 \pm 10.9\text{mg}$ , 격포  $145.2 \pm 9.1\text{mg}$ , 서산  $152.9 \pm 7.8\text{mg}$ )이 대조군인 포항의 자연산 도다리의 혈청중의 LDL-콜레스테롤의 함량( $121.9 \pm 7.3\text{mg}$ ) 대비 15-35% 정도 현저히 높았다. 따라서 서해안의 오염이 대조군인 동해안에 비해 심하다는 사실을 알 수 있을 것으로 판단된다.

## 8. 동맥경화지수(AI)에 대한 영향

사람을 포함한 포유동물의 성인병중에서 초기증상으로 나타나는 것으로 알려진 동맥경화증의 발병지표로 활용되고 있는 동맥경화지수(atherogenic index: AI)에 미치는 해양오염의 영향을 평가하기 위하여 비교적 오염도가 낮은 동해안 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 동맥경화지수(AI)를 분석·비교하여 본 결과는 Fig. 7-13과 같다.

Fig. 7-13에서 보는 바와 같이 서해안의 자연산 도다리의 동맥경화지수 (보령  $4.08 \pm 1.21$ , 아산  $4.51 \pm 1.54$ , 격포  $5.77 \pm 1.79$  ( $p < 0.05$ ), 서산  $4.66 \pm 1.02$ )가 대조군인 포항의 자연산 도다리의 동맥경화지수( $3.65 \pm 1.07$ ) 대비 15-60%나 현저히 높다는 사실을 알 수 있었다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 동해안의 포항의 자연산 도다리에 비해 서해안의 자연산 도다리의 병변의 가능성을 배제할 수 없다.

한편 세포막 성분 등 생리활성물질로서 널리 이용되고 있는 인지질의 함량을 비교하여 보면 Fig. 7-14와 같다. Fig. 7-14에서 보는 바와 같이 대조군으로 설정한 동해안 포항의 자연산 도다리의 혈청중의 인지질의 함량( $7.14 \pm 0.50$ mg/dl serum)에 비해 서해안의 자연산 도다리 혈청중의 인지질의 함량은 보령을 제외하고는 아산( $8.64 \pm 0.58$ mg/dl serum), 격포 ( $8.53 \pm 0.60$ mg/dl serum), 서산( $8.21 \pm 0.40$ mg/dl serum)이 모두 유의적으로 증가하였다. 그러나 그 이유에 대해서는 더 많은 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

## 9. 헤모글로빈 함량의 비교

생체내의 혈액은 영양소나 산소, 노폐물과 탄산가스의 운반 및 배설에 중요한 역할을 한다. 그 중에서도 혈액의 주성분인 헤모글로빈(hemoglobin)은 매우 중요하다. 따라서 혈액중의 헤모글로빈의 함량에 미



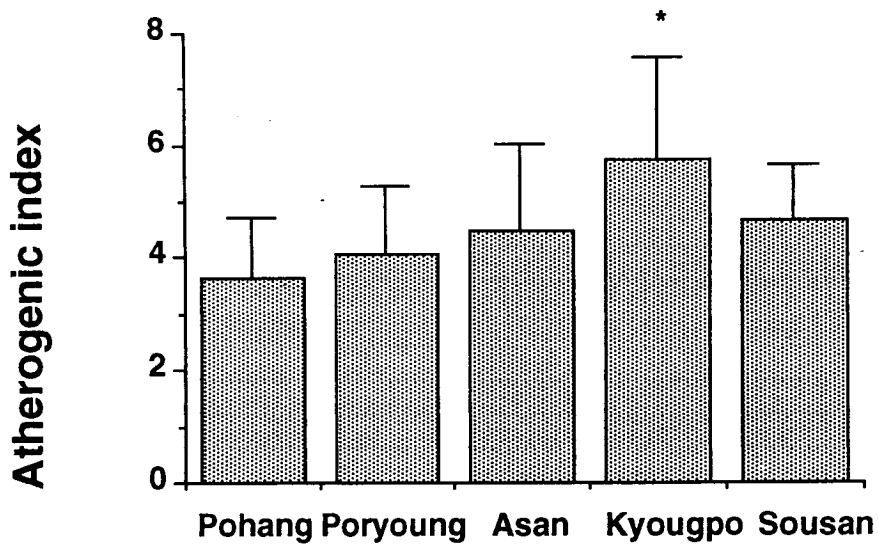


Fig. 7-13. Effect of atherogenic index in serum of wild flounders.

\*p<0.05 compared with wild flounder in Pohang

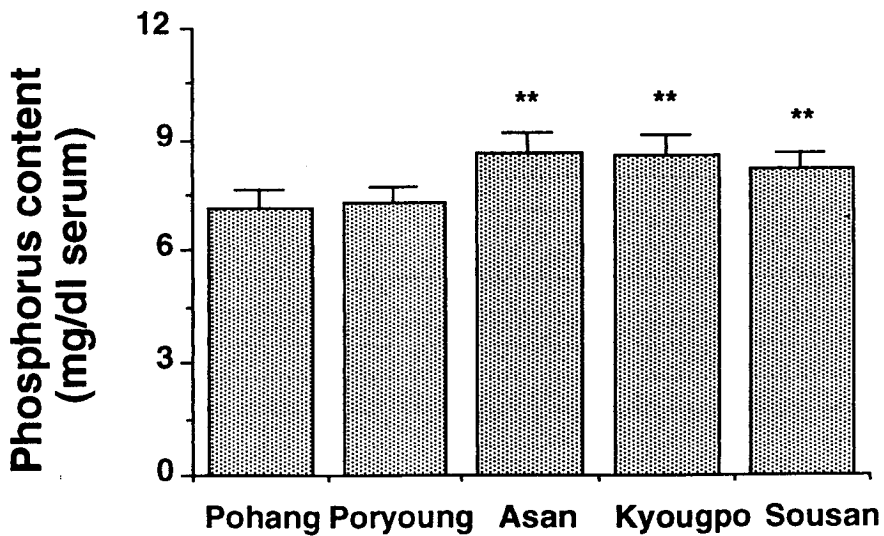


Fig. 7-14. Effect of phosphorus content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01 compared with wild flounder in Pohang

치는 해양오염의 영향을 평가하기 위하여 비교적 오염도가 낮은 동해안 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 혈액 중의 헤모글로빈의 함량을 분석·비교하여 본 결과는 Fig. 8-15와 같다.

Fig. 7-15에서 보는 바와 같이 서해안의 자연산 도다리의 헤모글로빈의 함량(보령  $2.85 \pm 0.11g$ , 아산  $2.82 \pm 0.10g$ , 격포  $2.44 \pm 0.28g$ , 서산  $2.90 \pm 0.21g$ )은 대조군인 포항의 자연산 도다리의 혈액중의 헤모글로빈의 함량 ( $3.35 \pm 0.12g$ )에 비해 유의적으로 낮았다( $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ ). 따라서 서해안의 자연산 도다리의 혈액중의 헤모글로빈의 함량이 동해안의 자연산 도다리의 혈액중의 헤모글로빈의 함량에 비해 유의적으로 현저히 낮다는 사실은 해양오염에 의한 적혈구의 파괴 때문일 것으로 추정된다.

## 10. 젖산탈수소효소(LDH)의 활성 비교

일반적으로 사람을 포함한 포유동물의 성인병중에서 심근경색이나 간장 질환 및 악성빈혈 등 비정상적인 병적상태에 있을 때 병변조직에서의 세포의 파괴 및 사멸에 따라 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase: LDH)가 혈액중에 방출되면서 LDH 효소가 이상적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 해양오염이나 양식사료가 혈액중의 LDH 활성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 비교적 오염도가 낮은 동해안 포항의 자연산 도다리를 대조군으로 하여 서해안의 자연산 도다리의 혈액중의 LDH 활성을 측정·비교하여 본 결과는 Fig. 7-16과 같다.

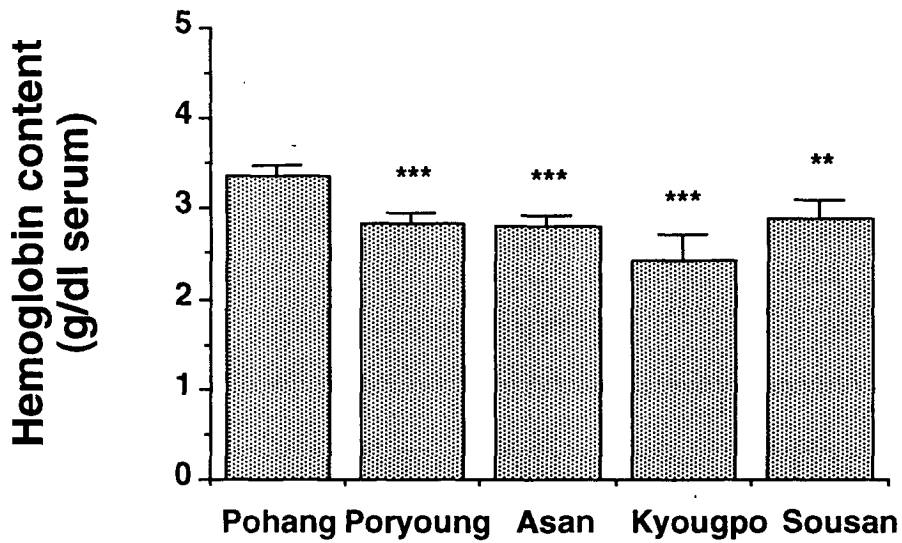


Fig. 7-15. Effect of hemoglobin content in serum of wild flounders.

\*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001 compared with wild flounder in Pohang

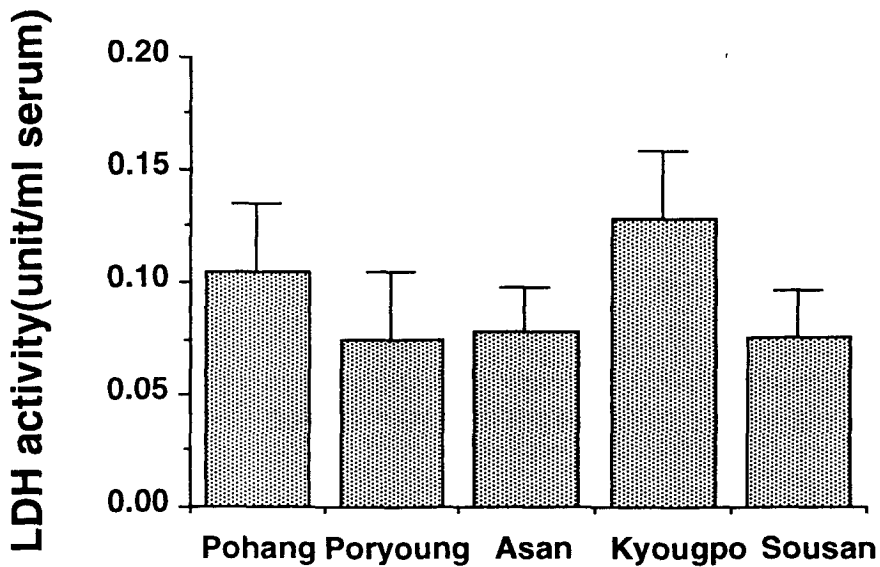


Fig. 7-16. Effect of LDH activity in serum of wild flounders.

Fig. 7-16에서 보는 바와 같이 서해안의 자연산 도다리의 혈액중의 LDH의 활성(보령  $0.075 \pm 0.03$ unit, 아산  $0.078 \pm 0.02$ unit, 격포  $0.128 \pm 0.03$ unit, 서산  $0.076 \pm 0.02$ unit)와 대조군인 포항의 자연산 도다리의 혈액중의 LDH의 활성( $0.105 \pm 0.03$ unit)사이에는 유의적인 차이를 발견할 수 없었다.

## 제 8 장 원격탐사에 의한 연안부유물질 인식기술

### 제 1 절 원격탐사에 의한 부유물질 감시기술

인공위성에서 관측된 자료를 이용한 해양오염 감시는 우선 해수의 수온분포, 해수 내에 존재하는 부유퇴적물질의 농도 및 이동경로, 노란물질(yellow substance) 등과 연관된 관측 및 식물플랑크톤의 분포 등이 있다. 본 연구에서는 이중 해수 표면의 부유퇴적물의 분포 및 이동경로의 추적을 위한 원격탐사 기술의 개발에 그 목표를 두고 연구를 실시하였다. 특히 육상에서 기인되는 오염물질이 부유퇴적물에 흡착되어 확산되는 매개체로서 역할을 담당하고 있으며, 이에 따라 부유퇴적물의 시·공간적 분포 및 이동경로의 추적은 해양오염 관리에 매우 중요하다.

그러나 현재까지는 인공위성자료를 이용한 해수표면에 분포하는 부유퇴적물의 정량적인 분석은 위성자료가 얻어지는 시각에 대상해역에서 현장조사에 의해 한정된 지역에서 얻어진 부유퇴적물의 절대량을 이용하는 방법을 사용하여 왔다. 즉 극히 한정된 지역에

서 실시된 현장조사 자료와 위성자료와의 상관관계를 구하고 이를 위성자료에 적용하여 위성자료가 얻어진 전 해역에 대한 부유퇴적물의 2차원적 분포를 구해 왔다. 그러므로 인공위성이 지나가는 시간에 매번 현장조사를 하기 번거로울뿐 아니라, 위성은 신속히 연구지역의 탐사를 마치는 반면 현장에서의 이동 및 조사에 소요되는 시간은 훨씬 길어 시간에 따라 급변하는 해양특성상 많은 오차를 가져올 수 있다. 그러므로 현장에서 관측된 자료 없이 인공위성자료만을 이용하여 위성자료가 얻어진 당시의 부유퇴적물의 정량적인 분포를 얻고자 하는 것이 궁극적인 목표이다. 이를 위해서는 연구대상 해역인 황해의 광학적 특성에 대한 모델의 수립이 필수적이다. 그 첫단계로서 본 연구에서는 위성자료에 대기의 산란과 흡수에 의해 지구표면의 반사특성에 더하여진 대기의 특성값을 위성자료에서 보정하여 줌으로서 지구표면의 정확한 값을 얻고, 이와함께 황해에서의 현장조사 자료와의 관계를 구하여 황해의 자연환경 및 대기에 맞는 탁도분포 모델을 만드는데 목적이 있다. 즉 인공위성자료가 얻어지는 조건의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 대기에 의한 흡수 및 산란효과로서 이에 대한 보정을 실시하면 모든 인공위성자료가 마치 해수면상에서 측정된 것과 같은 효과를 얻을 수 있어 정량적인 분석과 대비가 가능해 진다.

## 제 2 절 위성자료해석 및 현장조사

### 1. 일반사항

본 조사에 사용된 위성자료는 미국 상용위성인 Landsat-5에 장착되어 있는 위성센서인 TM(Thematic Mapper)를 이용하여 얻은 자료로 Landsat-5 영상좌표계인 Path/Row = 116/34 의 경기만 일대자료를 사용하였다. Landsat-5는 16일 간격으로 같은 위성 Path를 관측하며 우리나라 상공에서의 각 지역의 관측시각은 지역 및 관측일에 따라 약간의 차이는 있으나 대체로 약 오전 10시 30분 경이다.

위성자료를 이용한 분석시 위성에서 얻어진 원래의 위성의 이동방향에 따라 관측을 실시하므로 그 위치가 지표면의 위치와는 차이가 있으며 이를 보정하기 위해 지형보정을 실시한다. 위치보정은 일반적으로 지표면의 정확한 위치에 대한 정보를 얻을 수 있는 위치보정 기준점(Ground Control Point; GCP)과 위성영상에서 이에 대응하는 점들을 이용하여 실시하며, 본 조사에서는 지형도와 위성영상자료를 비교하여 정해진 34개의 위치보정 기준점들의 위경도값을 1:50,000 지형도(국립지리원)로부터 구하였다. 위치보정된 위성영상자료는 Bessel 타원체를 기준으로 하여 UTM(Universal Transverse Mercator) 도법에 의한 표정을 실시하였다. 따라서 위치보정 실시후 위성영상자료는 30m의 해상도를 갖는 UTM 좌표로 표정된 자료로 본 조사결과보고서에 수록된 모든 위성영상자료는 이와 같은 방법으로 위치보정을 실시하여 얻어진 결과이며 이에 따라 위성

영상자료의 상부방향이 진북방향을 나타낸다.

## 2. 현장조사 및 위성자료와의 상관관계

본 연구의 현장조사는 대산항 선적인 5톤급 어선을 임차하여 1996년 5월 28일, 6월 13일 및 9월 1일 3회에 걸쳐 실시되었다. 그러나 1996년 5월 28일과 6월 13일 실시된 현장조사일의 기상상태는 구름이 많은 상태로 위성자료의 사용이 불가능하였으며, 다만 9월 1일의 기상상태만이 양호하였으므로 이 자료를 대기보정 및 정량적 부유퇴적물 분석에 사용 가능하였다. Table 8-1, Table 8-2, 및 Table 8-3은 각각 해당 현장조사 날짜에 대한 현장자료 값들을 요약한 것이다.

해수의 탁도측정은 인공위성이 본 연구지역을 지나가는 시간인 오전 10시 30분경을 전후한 오전 9시 45분부터 오전 11시10분까지 19지점에서 3-4분 간격으로 해수를 채집한 후 이를 실험실에서 여과함에 의해 부유퇴적물의 양을 측정하였다. Fig. 8-1은 1996년 9월 1일의 현장조사시 시료를 채취한 지점을 당시에 얻어진 인공위성 영상에 표시한 것으로 육안으로 당시의 해수탁도와 채취된 시료로부터 얻어진 부유퇴적물의 농도와의 관계를 잘 보여준다.

Fig. 8-2.는 현장에서 채취된 해수시료로부터 측정된 부유퇴적물의 절대 농도값과 Landsat 위성에서 탁도와 관련있는 밴드 2의 관계를 나타내



Table 8-1. Summary of in-situ data conducted on May 28, 1996.

No.	Time(a.m.)	Sampling Location		Temperature ( °C )	Suspended Sediments (mg/l)
		Latitude	Longitude		
ST-1	09:56	37° 01.342	126° 25.372	11.5	0.7
ST-2	10:05	37° 01.531	126° 24.624	11.5	1.0
ST-3	10:15	37° 01.362	126° 23.447	11.3	2.5
ST-4	10:20	37° 01.127	126° 22.827	10.8	3.4
ST-5	10:25	37° 01.101	126° 22.303	10.7	5.0
ST-6	10:32	37° 00.967	126° 21.413	10.4	6.5
ST-7	10:38	37° 00.573	126° 20.900	10.5	2.6
ST-8	10:43	37° 00.290	126° 20.503	11.0	5.2
ST-9	10:50	36° 00.092	126° 19.506	10.4	2.3
ST-10	10:55	36° 59.448	126° 19.416	10.2	3.5
ST-11	11:08	36° 58.664	126° 19.744	10.0	5.3
ST-12	11:14	36° 57.930	126° 19.776	10.2	6.5
ST-13	11:23	36° 56.727	126° 19.990	10.4	5.8
ST-14	11:26	36° 56.565	126° 19.664	10.4	7.1
ST-15	11:30	36° 56.679	126° 19.210	11.6	2.3
ST-16	11:38	36° 57.446	126° 19.035	10.4	3.6
ST-17	11:48	36° 58.468	126° 18.823	10.0	5.9
ST-18	11:53	36° 58.866	126° 18.360	10.0	4.6
ST-19	12:06	37° 00.515	126° 18.733	10.1	3.8
ST-20	12:16	37° 01.533	126° 19.512	10.8	0.5
ST-21	12:19	37° 01.923	126° 21.354	11.5	0.2

Table 8-2. Summary of in-situ data conducted on June 13, 1996.

No.	Time(a.m.)	Sampling Location		Temperature (°C)	Suspended Sediments (mg/l)
		Latitude	Longitude		
D-1	10:07	37° 01.502	126° 19.506	13.7	4.5
D-2	10:15	37° 01.131	126° 19.040	14.5	1.6
D-3	10:19	37° 01.138	126° 18.846	14.0	3.3
D-4	10:23	37° 01.730	126° 18.645	13.9	0.9
D-5	10:29	37° 02.293	126° 18.169	13.6	2.6
D-6	10:34	37° 02.693	126° 17.842	13.7	2.5
D-7	10:38	37° 03.179	126° 17.678	13.7	1.7
D-8	10:42	37° 03.740	126° 17.751	14.3	2.9
D-9	10:45	37° 03.963	126° 17.942	13.7	5.8
D-10	10:50	37° 04.545	126° 18.372	13.8	1.9
D-11	10:56	37° 04.889	126° 19.213	13.5	3.1
D-12	11:03	37° 04.737	126° 19.997	13.5	5.9

Table 8-3. Summary of in-situ data conducted on September 1, 1996.

No.	Time(a.m.)	Sampling Location		Temperature ( °C )	Suspended Sediments (mg/l)
		Latitude	Longitude		
ST-1	09:45	37° 00.898	126° 25.721	21.6	13.6
ST-2	09:52	37° 01.292	126° 24.762	21.8	4.1
ST-3	09:57	37° 01.512	126° .23.903	21.8	5.8
ST-4	10:02	37° 01.568	126° 22.943	21.7	10.1
ST-5	10:07	37° 01.567	126° 22.309	21.6	5.6
ST-6	10:10	37° 01.367	126° 21.719	21.5	7.1
ST-7	10:13	37° 01.181	126° 21.252	21.2	8.1
ST-8	10:17	37° 00.959	126° 20.618	21.1	6.9
ST-9	10:20	37° 00.717	126° 20.099	21.2	6.8
ST-10	10:23	37° 00.713	126° 19.478	21.7	3.9
ST-11	10:26	37° 00.889	126° 19.078	21.7	5.2
ST-12	10:30	37° 01.283	126° 18.730	21.1	11.0
ST-13	10:34	37° 01.721	126° 18.431	21.3	19.8
ST-14	10:38	37° 02.010	126° 18.212	21.4	17.0
ST-15	10:43	37° 02.487	126° 17.948	21.3	10.2
ST-16	10:50	37° 03.227	126° 17.619	21.3	6.0
ST-17	10:57	37° 03.864	126° 17.354	21.3	24.3
ST-18	11:05	37° 04.612	126° 17.323	21.9	5.2
ST-19	11:10	37° 04.891	126° 17.052	22.3	3.6

# Sampling Sites (1996.9.1)

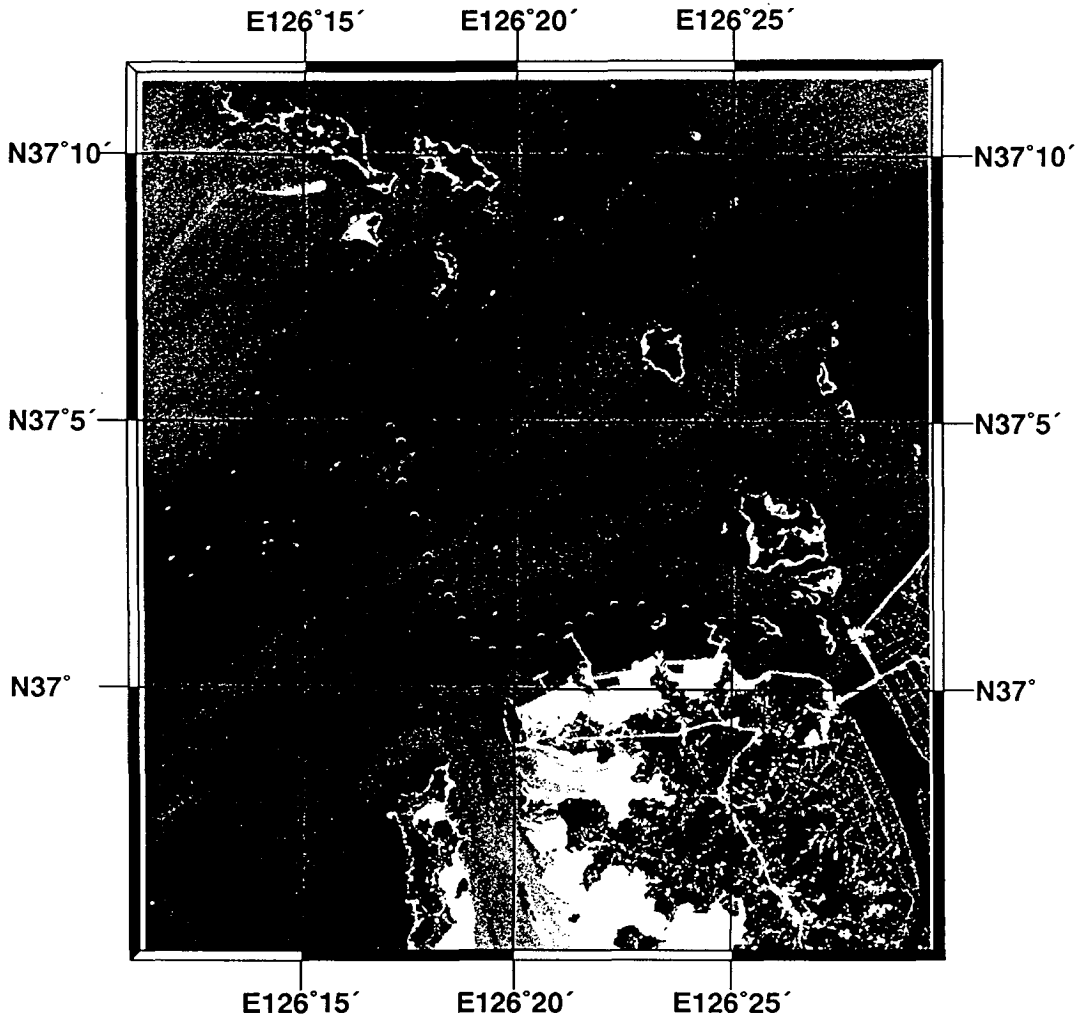


Fig. 8- 1 Sampling site on top of Landsat TM image obtained on September 1, 1996.

# SS vs TM (1996.9.1)

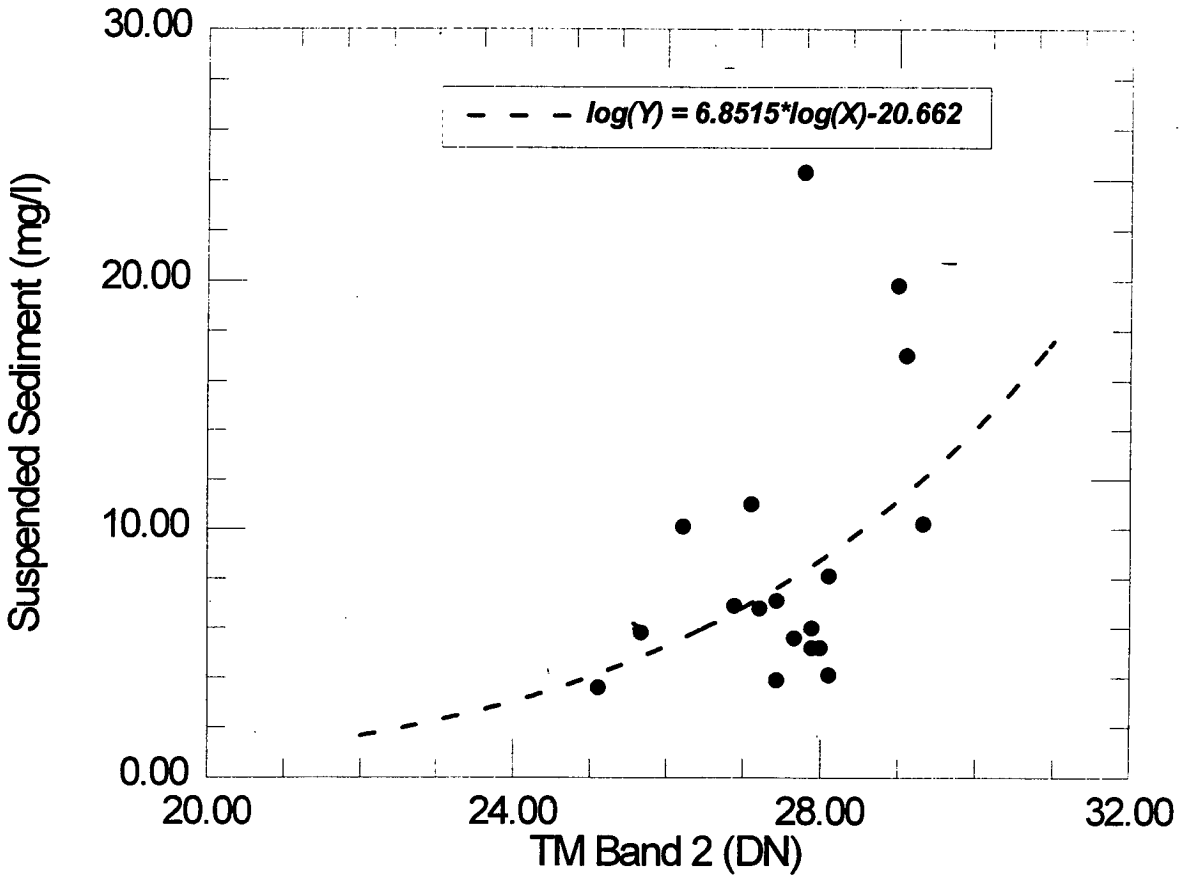


Fig. 8- 2 Regression curve estimated from log-log relation between TM digital number and suspended sediments concentration.

고 있다. 즉 위성자료의 DN 값과 시료로부터 얻어진 부유퇴적물의 절대농도의 상관관계식을 이용하여 다음과 같은 관계식을 얻었다. 즉,

$$\log(SS) = 6.8515 \times \log(DN) - 20.662 \quad (1)$$

*SS*: Suspended Sediments Concentration (*mg/l*)

*DN*: Digital Number of remotely sensed data

상기의 식(1)을 이용하여 모든 위성자료의 DN 값을 해수의 부유퇴적물 농도의 절대값으로 변환할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같이 현장조사의 결과를 이용하여 환산된 결과와 대기보정을 실시하여 얻어진 결과를 이용하여 황해의 모델을 수립하고자 하였다.

### 3. 대기보정

위성에 의한 지구관측은 탑재된 센서를 이용하여 지표 또는 대기로부터 방출되는 전자기파 형태의 에너지를 관측하는 것이다. 태양에 의한 복사에너지는 대기중에 존재하는 분자, 에어로졸 등의 입자에 의해 흡수 및 산란 되어 태양직달광 또는 산란광으로서 지표에 도달한다. 지표에 도달한 태양광은 다시 흡수, 반사, 굴절등의 작용을 받아 지표에서 센서방향으로 전달되며, 이때 대기중을 거치면서 다시 대기입자에 의해 흡수 및 산란을 거쳐 최종적으로 대기권 외의 위성센서에 의하여 감지되게 된다.

그러므로 지표의 반사특성에 더해지거나 감해진 대기의 효과를 보정함으로써 보다 정밀한 분석을 행하게 된다. 즉 대기보정이 정밀하게 이뤄지면 결국 마치 대기가 없는 상태에서 전자기파가 전달된 것과 같은 결과를 나타내며 따라서 당시의 대기상태에 관계없이 센서에 도달한 전자기파는 지표면의 특성에 의해서만 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 이러한 대기보정을 위하여 AFGL(Air Force Geophysical Laboratory)에 의해 개발된 LOWTRAN 7을 사용하였다. LOWTRAN 7은 대기복사모델 중 많이 사용되고 있으며, 지속적인 연구로 지속적인 보완이 이뤄지고 있다. 그러나 대기보정을 정확히 실시하기

위해서는 각 위성자료가 얻어지는 당시의 대기의 기압과 온도 자료뿐만 아니라 대기중에 존재하는 H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, CFC's, ClONO<sub>2</sub>, HNO<sub>4</sub>, CHCl<sub>2</sub>F, CCl<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 에어로졸에 대한 자료가 필요하다.

우리나라에서는 이 모델에서 필요로 하는 radiosonde 자료 및 고층 기상자료의 관측지점이 육지부에 한정되어 있어 해양에서의 기상자료를 얻을 수 없으며 이에 따라 LOWTRAN 7에서 제공하는 U.S. Standard Atmosphere의 자료를 이용하였다.

Table 8-4. Landsat TM band minimum and maximum spectral radiance.

TM band	Wavelength( $\mu\text{m}$ )	Lmin $_{\lambda}$ (mWcm <sup>-2</sup> str <sup>-1</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ )	Lmax $_{\lambda}$ (mWcm <sup>-2</sup> str <sup>-1</sup> $\mu\text{m}^{-1}$ )
1	0.45-0.52	-0.1500	15.21
2	0.52-0.60	-0.2800	29.68
3	0.63-0.69	-0.1200	20.43
4	0.76-0.90	-0.1500	20.62
5	1.55-1.75	-0.0370	2.719
6	10.4-12.5	0.1238	1.560
7	2.08-2.35	-0.0150	1.438



우선 해수의 탁도와 표면알베도의 관계 모델을 구하기 위하여 부유 퇴적물 연구에 사용되는 TM 밴드 2(0.52 $\mu\text{m}$  - 0.60 $\mu\text{m}$ )의 8비트의 DN 값을 EOSAT에서 제공하는 Table 8-4의  $L_{\min,\lambda}$  과  $L_{\max,\lambda}$  값과 아래의 식(2)를 이용하여 인공위성에서 실제로 관측된 방사휘도를 구하게 된다.

$$L_{\lambda} = (L_{\max,\lambda} - L_{\min,\lambda}) \times DN_{\lambda} / 255 + L_{\min,\lambda} \quad (2)$$

이와같이 구한 방사휘도 값에 밴드의 파장구간을 곱하므로 총방사휘도 ( $\text{mWcm}^{-2}\text{str}^{-1}$ )를 구한다. 다음 단계는 특정한 대기환경하에서의 표면알베도와 총방사휘도 사이의 상관관계를 구하며 이를위해 본 연구에서는 LOWTRAN 7을 사용하여 표면 알베도를 0에서 1.0까지 0.1의 간격으로 각 각의 값을 입력변수로 하는 대기복사 모델링을 11회 실시한후 총방사휘도를 구하였다. Fig. 8-3은 LOWTRAN 7을 이용한 모델링을 얻어진 알베도와 총방사휘도의 관계를 나타낸 상관도로서 그 변화는 매우 선형적인 관계를 보이고 있다. Fig. 8-3에 표시한 것과 같이 이들 사이의 관계식은 최소자승법에 의해 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$Y = 3.18146 \times X + 0.0942362 \quad (3)$$

$X$ : surface albedo

$Y$ : band radiance

이제 식(3)에 의해 인공위성영상 자료에 의한 DN값은 표면알베도로 변환이 되고 이로부터 황해에서의 부유퇴적물과 Landsat-5 TM 밴드 2의 표면알베도와의 관계모델을 Fig. 8-4와 같이 최종적으로 구하게 되었다.

$$\log(SS) = 3.42842 \times \log(SA) + 12.6981 \quad (4)$$

$SS$ : suspended sediments concentration ( $mg/l$ )

$SA$ : surface albedo of TM band 2

## Landsat-5 Band 2 Radiance

(simulated result by LOWTRAN 7)

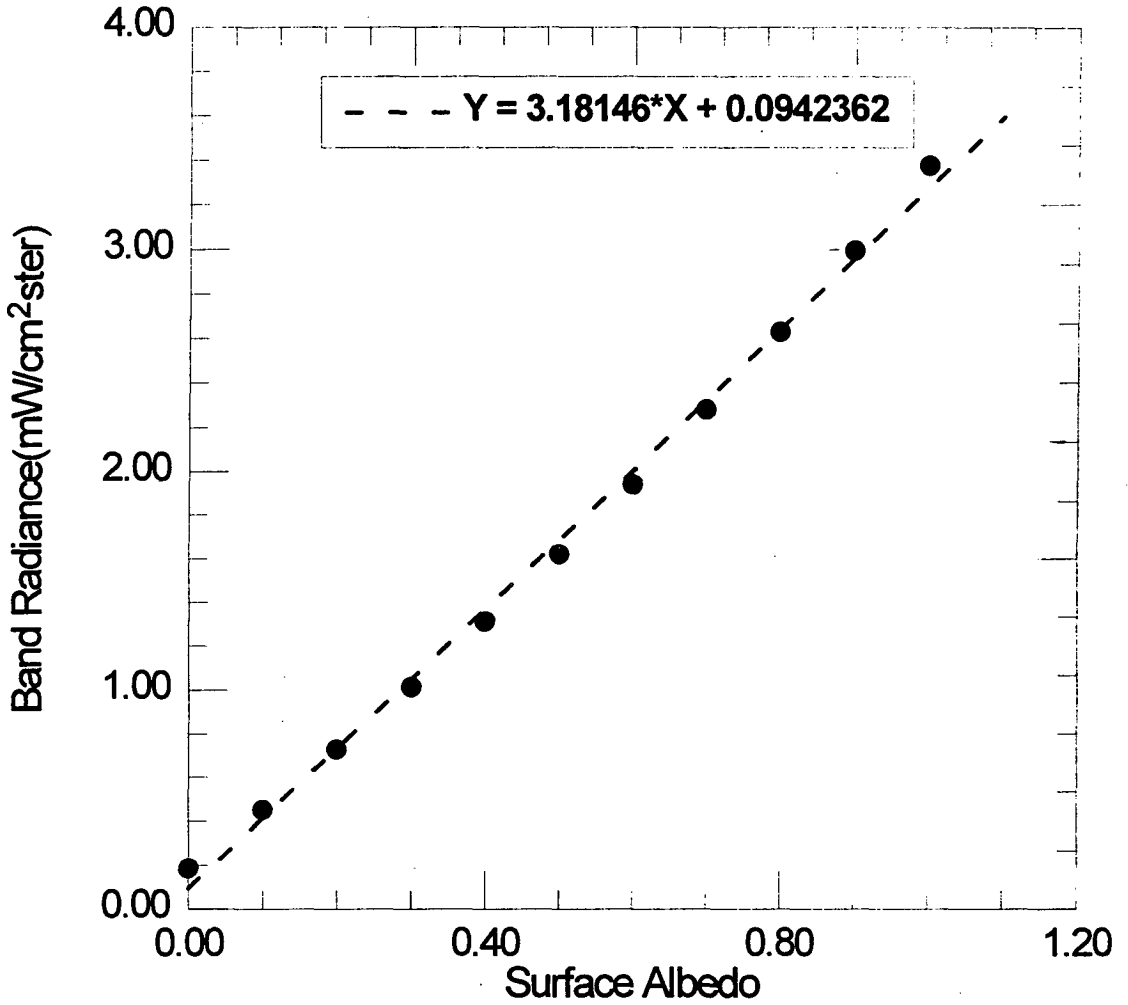


Fig. 8- 3 Band radiance versus surface albedo estimated through the LOWTRAN modelling for atmospheric correction of Landsat TM band 2 on September 1, 1996.

## SS vs Surface Albedo

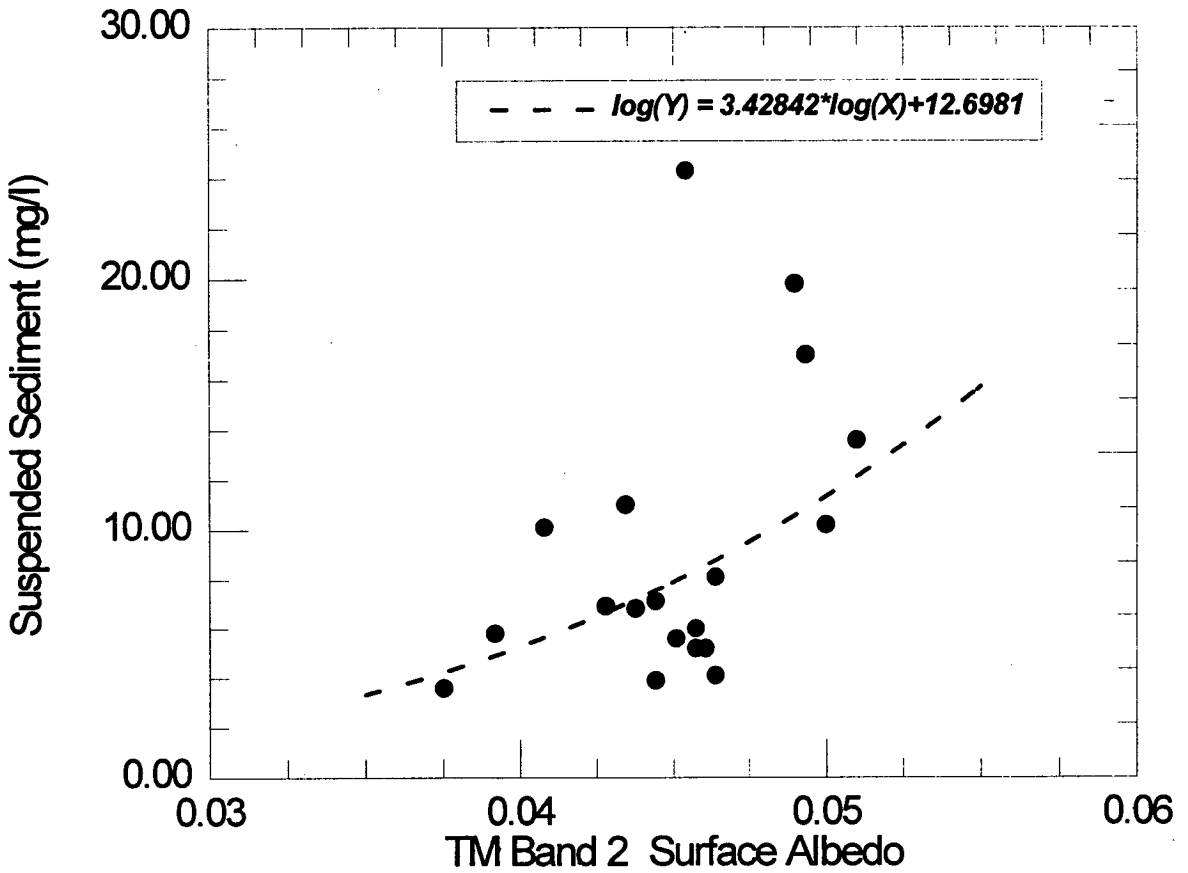


Fig. 8- 4 Suspended sediment concentration versus the surface albedo of Landsat-5 TM band 2 for the Yellow Sea.

## 제 3 절 위성자료 응용연구

### 1. 결과

1996년 9월 1일 현장에서 얻은 부유퇴적물의 양과 위성자료(Fig. 8-7)와의 상관관계를 구하였고, 이 관계식을 적용하여 2차원적 관계를 구하였으며 그 결과는 Fig. 8-5에 나타난 것과 같다. Fig. 8-5에 나타난 것과 같이 1996년 9월 1일 10시 30분 경 당시 부유퇴적물의 분포는 수  $mg/l$ 의 저농도에서  $25mg/l$  이상의 비교적 높은 농도를 갖는 매우 변화가 심한 분포를 보인다.

이와 같이 매우 변화가 심한 상태를 보이는 것은 Fig. 8-6의 당일 조석변화도에서 알 수 있듯이 위성이 연구지역을 지나가던 오전 10시 30분 경이 낙조중기로 북동부에서 남서부로 흐르는 조류가 매우 강한 시각에 해당되기 때문이다. 부유퇴적물의 전체적인 분포를 보면 굴업도 부근해역과 대부도 주변 및 가로림만 내의 조간대 부근에서 매우 높은 농도가 관측되고 있다. 이는 일반적으로 수심과 해저면 퇴적물의 종류에 따라 부유퇴적물의 농도가 크게 좌우됨을 알 수 있다.

또한 굴업도 북서부에서 부유퇴적물의 농도의 급속히 변화하는 북동-남서 방향의 불연속면이 존재하는 것이 특징적이다. 이는 이 해역에 채널이 존재에 의한 것으로 판단된다. 장안사퇴 부근의 해역과 조석의 영

향을 받지 않는 시화호에서는 탁도가  $1\text{mg/l}$  내외로 낮은 농도를 갖는 것을 알 수 있다.

Fig. 8-5에 나타난 해역 중에서 오염과 관련되어 생각할 수 있는 해역은 아산만과 대산공단 부근 해역이다. Fig. 8-5에서 볼 수 있듯이 아산만과 대호방조제 주변 해역이 비교적 높은 부유퇴적물 농도분포를 보이고 있으며, 만일 아산만이나 대산공단에서 오염물질이 유입될 경우 부유퇴적물에 흡착되어 가로림만 및 민어도 주변 해역으로 이동될 수 있다는 것을 암시한다.

## 2. 연구결과 검증

본 연구에서는 1996년 9월 1일 현장조사 자료와 LOWTRAN 7 대기 보정 모델링 결과와의 상관관계를 이용하여 얻어진 Fig. 4에 도시한 황해의 부유퇴적물 모델결과에 대한 검증을 위하여 1994년 9월 12일에 동일 지역에서 얻어진 인공위성자료를 이용하였다. 1994년 9월 12일 당시 경기만에서 인공위성 자료가 획득되는 당시 현장조사가 실시되었으며, 이로부터 구한 부유퇴적물 분포와 황해의 부유퇴적물 모델을 적용하여 구해진 결과를 비교해 보았다.

(mg/l)

25

11

8

4

1



Suspended Sediment Concentration 1996. 9. 1.

Fig. 8- 5 Suspended sediment concentration estimated from TM  
band 2 acquired on September 1, 1996 over Dukgeok-Do area.

### Tidal Condition at Dukgeok-Do

(a)

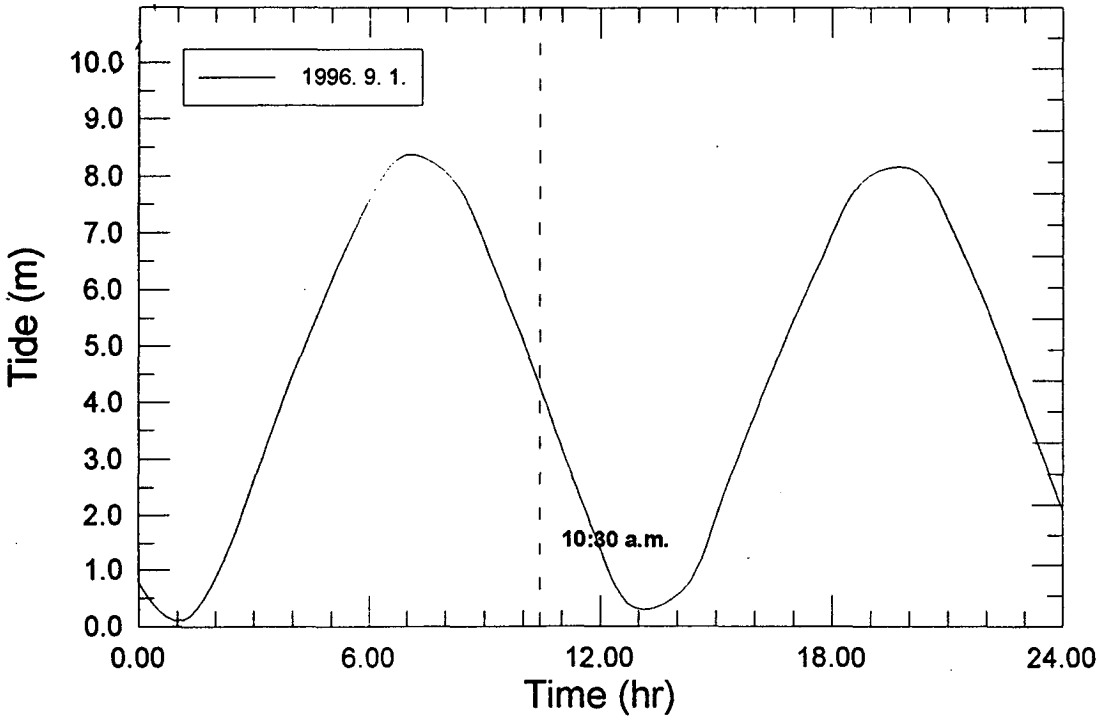


Fig. 8- 6 Tidal conditions during twenty hours of September 1, 1996.



1994년 9월 12일 10시 30분경에 얻어진 Landsat TM 자료와 경기만에 서 채취된 해수시료에서 얻어진 부유퇴적물 농도를 이용하여 Fig. 8와 같은 부유퇴적물의 2차원적 분포를 구하였다.

이 결과와 대기보정을 통하여 얻어진 결과의 비교를 위해 1994년 9월 12일 기상자료 및 태양의 고도자료등을 이용하여 LOWTRAN 대기보정 모델링결과를 얻었으며 이로부터 Fig. 8-9에 도시한 것과 같이 표면 알베도와 총분광휘도와의 관계식을 구하였다. 이로부터 얻어진 TM 밴드 2의 표면 알베도를 본 연구에서 얻어진 황해 부유퇴적물 계산을 위한 모델인 Fig. 8-4에 나타난 식(4)에 의해 본 지역에서의 부유퇴적물 농도를 구하여 Fig. 8-10의 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 8-8에 나타난 현장조사 결과를 이용하여 얻어진 결과와 Fig. 8-10에 도시한 순수한 대기보정 모델을 통하여 얻어진 결과를 비교해본 결과 현장에서 실측자료와의 상관관계 분석을 통하여 구한 부유퇴적물 분포는 Fig. 8-8에서 보는 바와 같이 3-25 $\mu\text{m}$ 의 분포를 보이고 있으나, 대기보정을 통한 황해 부유퇴적물 모델을 적용하여 얻어진 분포는 Fig. 10에 서와 같이 1-13 $\mu\text{m}$ 로 낮은 농도를 나타냈다. 즉 이와 같은 결과는 두 결과의 상대적인 분포는 유사하나 대기에 의한 영향을 과보정 하였음을 알 수 있다. 또한 두 결과간의 차이는 선형적인 증가현상을 보이고 있다.

두 결과간의 좀 더 체계적인 비교를 위해 전체해역에서 부유퇴적물의 농도분포의 변화가 심한 굴업도 북부해역(zone1)과 변화가 거의 없는 장안사퇴 부근해역(zone2)을 선정하여 두 자료사이의 통계값을 구해본 결과 Table 8-5와 같은 결과를 나타냈다.

즉 절대농도가 클수록 오차가 커지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 오차가 발생한 이유는 크게 두가지로 생각할 수 있다.

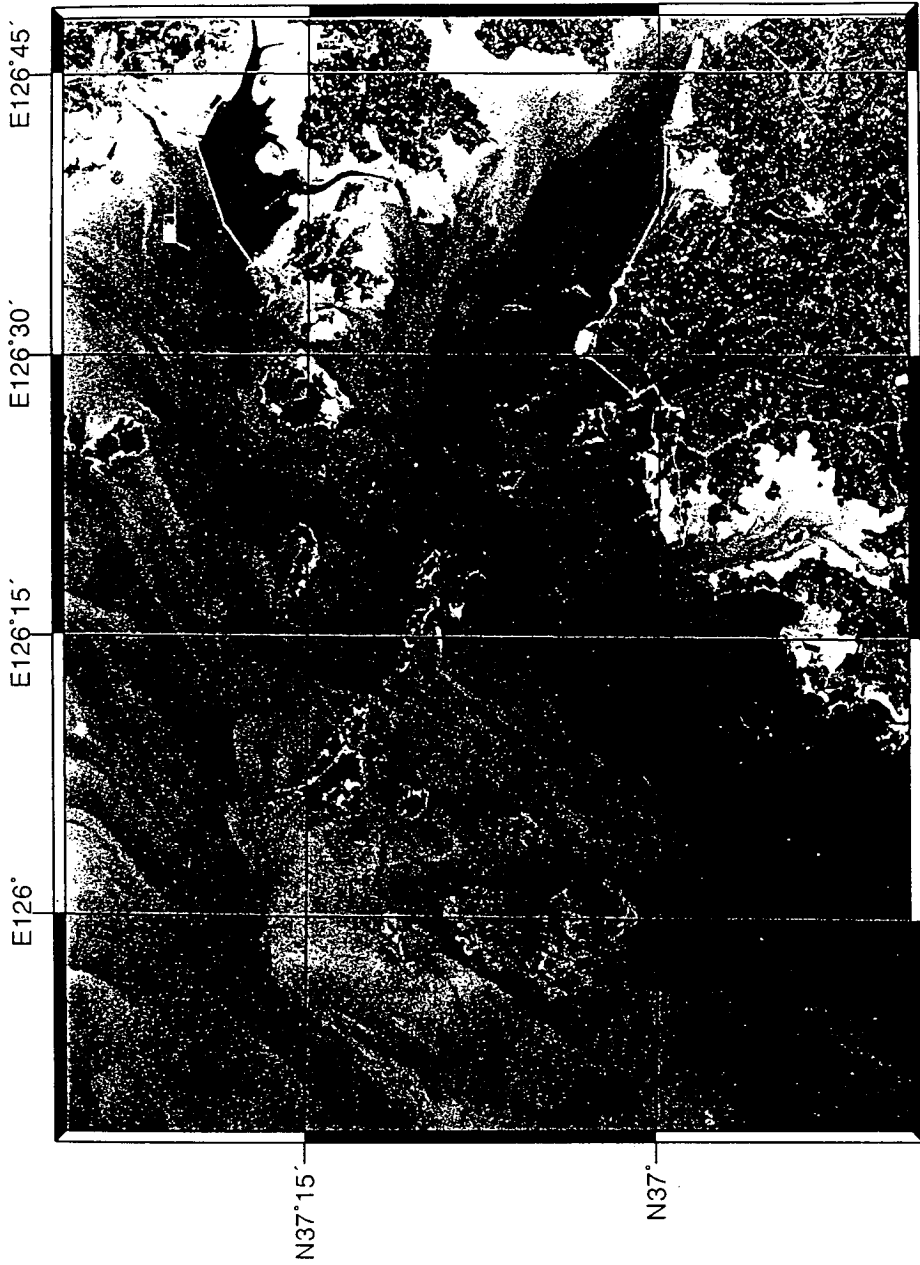
첫째 가능성은 Fig. 8-9에 나타난 총반사휘도와 표면 알베도의 관계를 구하는 LOWTRAN 모델결과가 부정확한 당시의 대기입력자료를 사용하여 과도한 대기보정이 이뤄진 경우이며, 두번째 가능성은 Fig. 8-4에 얻어진 실측자료를 이용한 상관관계식을 구하는 데 있어서 취된 해수로부터 절대 부유퇴적물의 농도를 측정하는데 발생한 오차이다.

Table 8-5. Comparison between the result through in-situ measurement and that through atmospheric correction approach.

	Zone 1		Zone 2	
Area (hectare)	10.329		22.419	
	in-situ	LOWTRAN	in-situ	LOWTRAN
mean (mg/l)	14.663	4.986	6.707	1.181
Std. dev.	3.7898	2.508	2.692	2.252
Correlation Coeff.	1.000	0.973	1.000	0.929

두번째 경우는 다시 두가지 가능성으로 분리되는 데 이는 실제의 측정오차에 의한 가능성과 비록 채취된 해수로부터 부유퇴적물의 농도 측정이 정확하게 실시되었다 하더라도 해수채취 위치에 대한 오차로 이에 대응되는 위성자료 값을 잘못 선정한 경우 혹은 위성이 얼어진 해수의 상태가 실제 배가 움직이는 시간동안에 큰 차이로 변화된 경우이다.

따라서 이에 대한 정확한 오차의 원인은 향후 좀 더 많은 실험을 통한 자료의 축적과 분석을 통하여 좀 더 정밀한 황해에 대한 모델 수립이 가능할 것으로 사료된다.



1996. 9. 1.

Fig. 8- 7 Landsat TM image over Dukgeok-Do area acquired on September 1, 1996.

(mg/l)  
25

13

9

6

3



### Suspended Sediment Concentration 1994. 9. 12.

Fig. 8- 8 Suspended sediment concentration estimated through correlation between in-situ data and TM band 2 acquired on September 12, 1994 over Dukgeok-Do area.



## Landsat-5 Band 2 Radiance

(simulated result by LOWTRAN 7) 1994.09.12

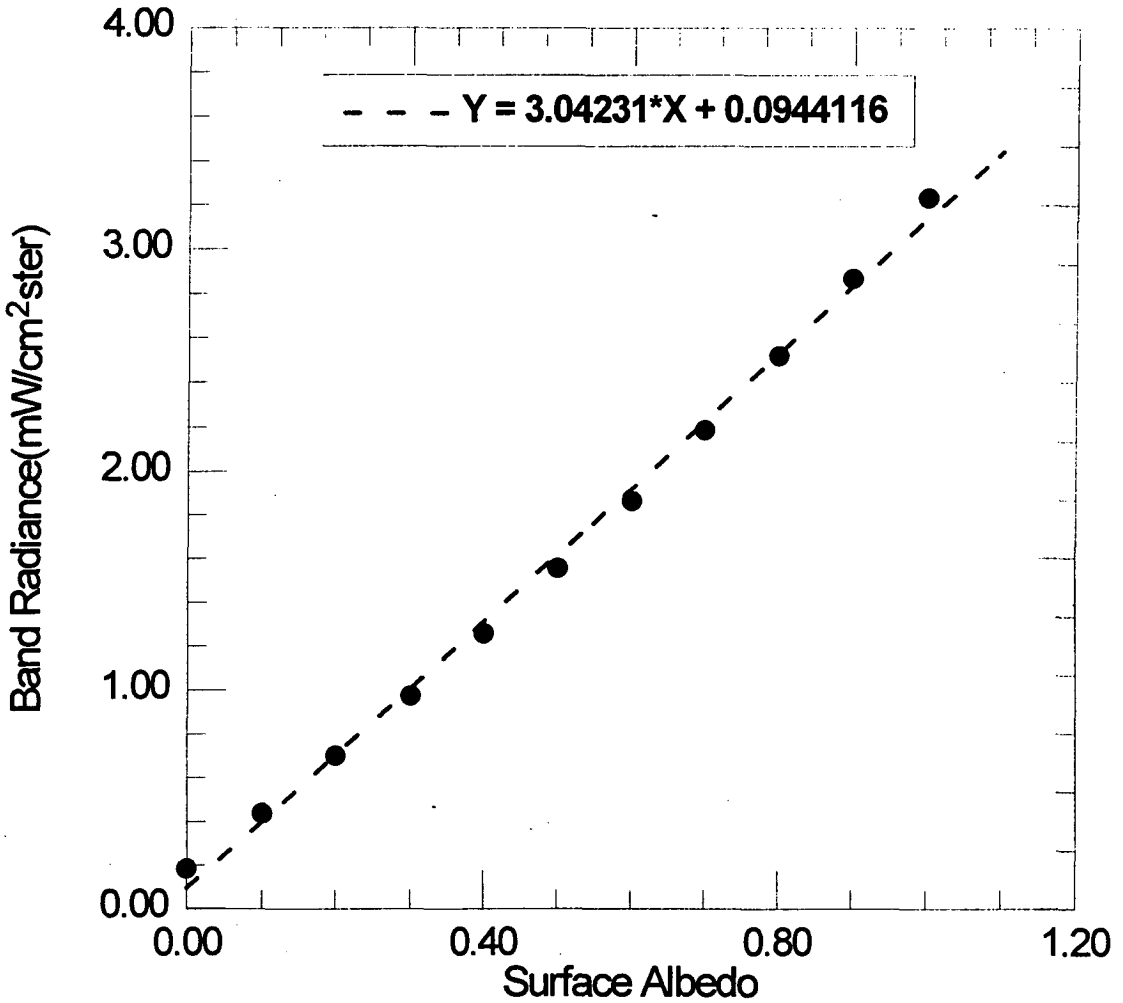


Fig. 8- 9 Band radiance versus surface albedo estimated through the LOWTRAN modelling for atmospheric correction of Landsat TM band 2 on September 12, 1994.





(mg/l)

13

5

2

1



## Suspended Sediment Concentration

1994. 9. 12.

Fig. 8-10 Suspended sediment concentration estimated through modelling of atmospheric correction for TM band 2 acquired on September 12, 1994 over Dukgeok-Do area.



## 제 4 절 위성자료 연구 결론 및 제의

본 연구에서는 인공위성자료를 이용하여 해수표면의 부유퇴적물을 정량적으로 구하는데 필수적인 황해에 대한 대기보정 모델을 LOWTRAN 프로그램과 1996년 9월 1일 현장조사 결과를 이용하여 얻었다. 이와 같은 황해에 대한 대기보정 모델의 수립은 궁극적으로 현장에서의 조사 없이 인공위성 자료만으로도 정확한 부유퇴적물의 정량적 분포 및 이동경로의 추적을 가능하게 해 준다. 따라서 본 연구에서 얻어진 결과는 비록 1회의 성공적인 결과로서 궁극적인 황해 대기보정 모델로는 불충분하나, 향후 이와 같은 실험이 좀 더 지속적으로 행하여 충분한 자료가 축적되면 정밀한 모델을 수립할 수 있는 기반을 마련한 점에서 그 의의가 크다고 하겠다.

본 연구에서 얻어진 황해 대기보정 모델을 1994년 9월 12일 얻어진 위성자료에 적용하여 그 정확도를 분석한 결과 현장조사에 의해 얻어진 결과와 그 상대적인 분포는 매우 유사하게 나타나지만, 대체로 대기에 의한 영향을 과보정 하여 낮은 농도값을 얻게 되었음을 알 수 있다. 이와 같은 과보정에 대한 가능한 원인은 몇가지로 구분할 수 있으며 각각의 가능성은 다음의 토의 내용과 같다.

1) 즉 넓은 연구 지역에 비해 배의 속도가 느리기 때문에 탁도 변화가 그리 심하지 않은 좁은 근해에서만 행한 현장 자료를 이용하여 전지역의

탁도변화를 구함으로서 오차가 생길 수 있고 또한 위성이 지나가는 시간은 수분에 지나지 않지만 이에 비해 이동속도가 훨씬 느린 배로 현장조사를 하므로 시간적 한계성을 극복할 수 없다.

2) 또한가지의 가능성은 해양에서의 정확한 대기자료를 구할 수 없었던 관계로 부정확한 LOWTRAN 입력자료의 사용에 의해 대기모델의 정밀성이 떨어질 수 있다는 점이다.

3) 1996년 9월 1일 자료에 의해 만들어진 황해 탁도 모델에 적용한 1994년 9월 12일 LOWTRAN에 의한 자료의 부유퇴적물 양이 실측자료에 의한 값보다 낮은 이유로는 1994년 9월 12일 현장 조사 지역이 인천만 지역의 탁도가 매우 높은 지역에 한정되었던 관계로 탁도의 절대값이 전체적으로 높게 나타날 수 있고, 1996년 9월 1일과 1994년 9월 12일의 기상상태는 모두 맑았으나 전날 비가 온 다음날의 기상상태는 에어로졸등의 감소로 대기의 산란과 흡수가 적게 일어날 수 있다.

4) 해양에서의 알베도는 보통 0.03 - 0.05까지의 작은 값을 갖는다. 그러나 방사휘도와 표면 알베도는 0에서 1.0까지의 큰 범위를 다루므로 실제로 사용하는 해양표면 알베도를 산출할 때 오차가 발생할 수 있다.

## 제 9 장 수질 연속 측정

전통적인 해양조사에서는 화학분야의 경우 시료채취가 필요하다고 생각되는 지점에 일정간격으로 조사정점을 설정하여 채수기에 의해 취해진 시료를 분석한다. 그러나 해황은 시간과 공간에 따른 변화성이 심하여 이러한 정점을 적절히 설정해 내는데는 어려움이 많다. 해양에서는 수괴의 분포, 다른 외부요인이 작용하는곳을 감안하여 정점을 설정하나 이경우 해양에서 나타나는 많은 화학적 불연속성때문에 시료의 대표성이 문제가 되는 경우가 많다. 해양조사 선박이 항해하며 채수되어 올라오는 해수를 연속적으로 측정하는 것은 여러 의미를 갖는다.

해양에서 나타나는 미세구조를 조사하기 위한 연구(McDowell and Ryther, 1991; McDowell, 1989; Battelle, 1991)는 편서풍에 의해 대규모 용승현상이 일어나는 해역과 오염물질의 유입이 있는 하구역에서 이루어졌다. 이를 통해 해양에서의 유기물질과 관련된 지수들의 분포는 물리적현상에 다소 늦게 반응하는 것이 알려지게 되었으며 해양과정 연구에 연속측정이 중요한 요소로서 인식되게 되었다. 또한 해양학적 지수들과의 상관성을 밝혀내는데에는 충분한 자료들을 확보하기 위해 연속측정이 시도되는등 여러가지 목적에서 이러한 연구가 수행되고 있다.

해양물리분야에서는 이러한 조사가 일반화되어 있으나 화학적인 조사에서는 특정화학물질만에 고유한 센서의 개발정도가 아주 미진하여 조사에

어려움이 많다. 신빙성 있는 자료를 확보하기 위해서는 선상에서 항해중 연속으로 채취되어오는 해수를 복잡한 화학적분석장치를 사용하여 계속 측정을 해나가야 한다. 이처럼 연속측정은 넓은 지역해를 빠른 시간내에 조사하기 위해 아주 적절한 방법이지만 그 운용을 위해서는 아직도 해결해야할 점이 많다.

황해에서는 심한 파도가 있은후의 해황은 3-4일전과 비교해 판이하게 다르며 황해난류수의 움직임, 양자강회석수의 확산범위등도 많은 변화성을 가진다고 알려져 있다. 따라서 조사기간과 조사정점을 아무리 잘 계획하였어도 중요한 해양현상을 놓치기 쉽다. 본 조사에서도 황해의 시간 공간에 따른 변화성을 감안하여 항해중 연속측정에 의해 해양학적 지수의 분포변화를 파악하기 위한 시도를 계속하였다.

Section 1의 조사에서는 우리나라쪽의 동경 127 ° 에서 서남쪽으로 양자강 입구에 근접한 곳으로 항해하였는데 수온과 염분의 특징은 Fig 9-1 과 같다. 수온은 서남쪽으로 가며 점차 증가하나 동경 126 ° 근처에서 미세분포로 저온수가 나타나며 동경 124 ° 30' ~ 123 ° 50' 사이에서 역시 저온수가 나타났다. 염분은 수온의 수평분포변화와 반대현상을 보이는데 126 ° 근처의 저온수에서 완만한 증가를 보였다.

질산염의 연속측정은 분석회로의 세척을 위해 10분 간격의 자료를 취하였으며 moving average 통계방법을 통해 곡선화 하였다. 질산염의 분포는 거의 0 에서 16  $\mu\text{M}$ 까지 심한 변화폭을 보였는데 (Fig 9-2) 수온의

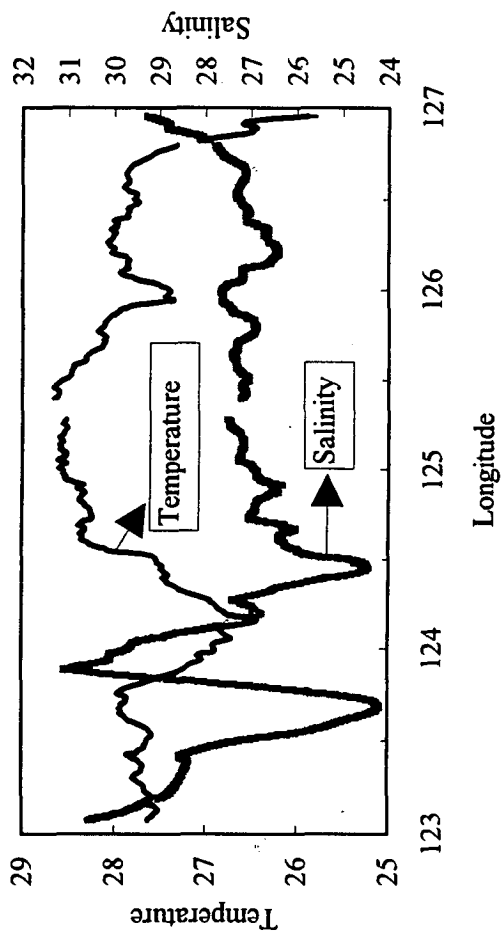


Fig. 9-1. Continuous of temperature and salinity on Section 1.

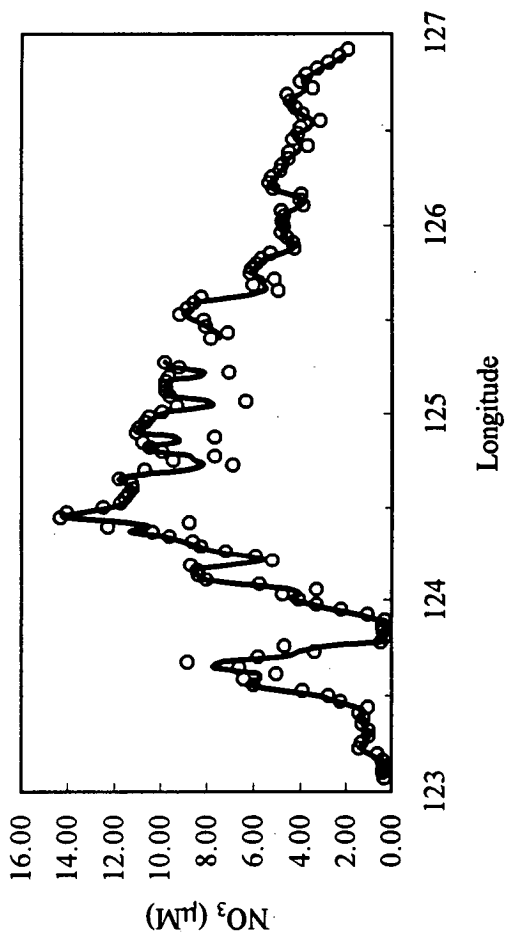


Fig. 9- 2. Continuous measurement of nitrate on Section 1.



증가와 같이 증가하였다. 특히 동경 124 ° 30' - 123 ° 50' 사이의 저온 수괴에서는 급격한 감소를 보여 그 중앙부에서는 0에 가까운 값을 보였다. 이처럼 질산염이 고온의 수괴와 연관되어 있는 것은 중국대륙연안수와 북상하는 난류수의 혼합이 있었기 때문으로 생각된다. 그리고 동경 123 ° 40' 근처에서는 염분의 갑작스런 감소가 나타나는데 이는 중국대륙연안수중의 일부가 영향을 미쳤을 것이라 생각된다.

형광측정의 절대치는 클로로필의 분포에 대한 추정치인데 동경 126 ° 근처의 약간 저온수에서 크게 증가한것을 제외하면 이렇다할 수괴와의 관련특성이 없었다 (Fig 9-3).

Section-2는 중국대륙연안에 평행하게 북상하였기 때문에 Y축 좌표를 위도로 표시하였다. 여기서 질산염은 0 에서 14  $\mu\text{M}$ 까지의 역시 큰 분포 변화폭을 보여 연속측정의 중요성을 부각시켜 준다 (Fig 9-4). 이 정선의 가장 큰 특징은 북위 32 ° 30' 부터 33 ° 10' 근처 정도 까지 고온, 저염의 해수가 분포한다는 점이다 (Fig 9-5). 이 수괴에서는 질산염이 10  $\mu\text{M}$  이상으로 높은 값을 보였다. 이 수괴는 육상기인 질산염의 영향을 받은 연안해수일 것으로 생각된다. 질산염의 분포에서 특징적인 것은 이러한 저염수가 끝나는 곳보다 조금 북쪽까지 질산염의 고농도가 분포한다는 점이다. 그리고 33 ° 20' 근처에서 질산염의 농도가 6  $\mu\text{M}$ 이상으로 높아지는데 이는 주변해역보다 저온 고염의 해수여서 역시 황해의 수괴 분포가 복잡함을 말해준다.

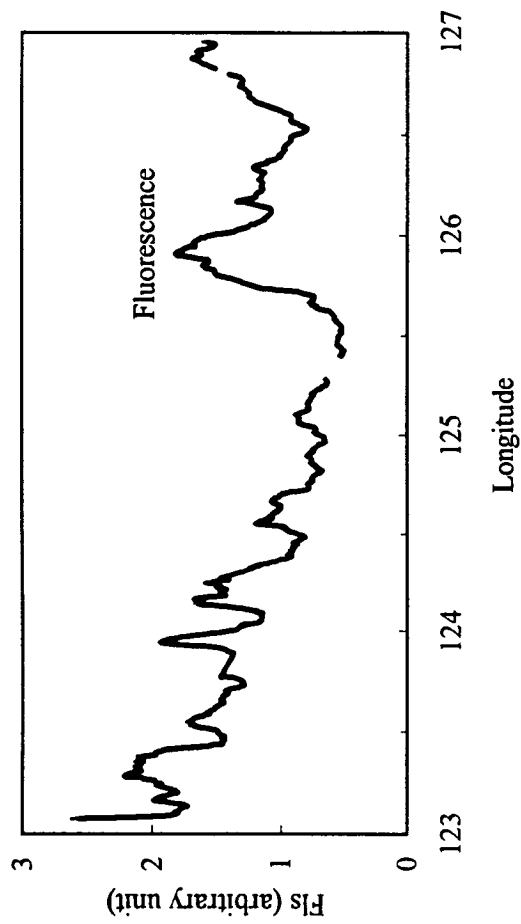


Fig. 9-3. Continuous measurement of chlorophyll on Section 1.

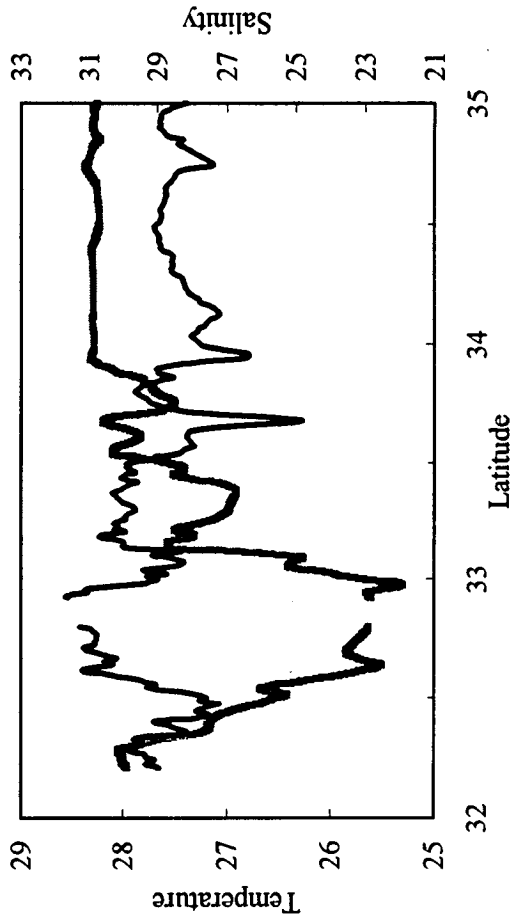


Fig. 9- 4. Continuous of temperature and salinity on Section 2.

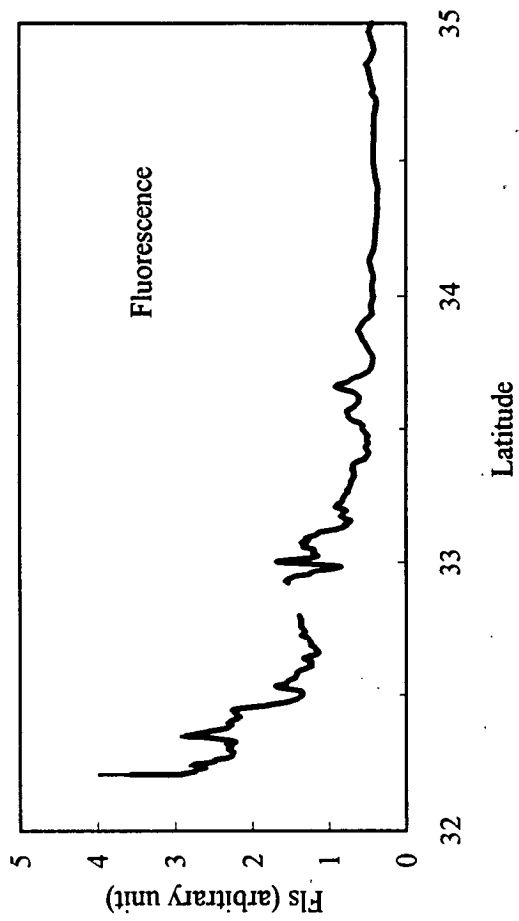


Fig. 9- 5. Continuous measurement of nitrate on Section 2.

질산염의 분포에서 유추해 볼때 저온 고염의 해수가 에디근처에서의 용승 현상이라면 저염 고온의 해수는 육상기인해수 즉 양자강 회석수의 영향일 것이라고 생각된다. 형광측정에서는 Section-2의 경우 큰 변화는 보이지 않았다 (Fig 9-6).

1995년의 조사에서는 Section 1의 중간정도 까지 조사를 하였는데 두 곳에서 특이한 현상이 발견되었다. 125.8 ° E 근처에서 상대적으로 저온 고염의 해수가 패취형태로 나타나고 여기서 클로로필이 증가하였다. 127.4° E 근처에서도 역시 상대적으로 고염, 저온인 해수에서 클로로필의 최고치가 명확히 나타난다. 이러한 패취의 원인은 확실하지 않으나 전선역에서 나타날 수 있는 복잡한 해수유동특성에 의한 것으로 보여진다.

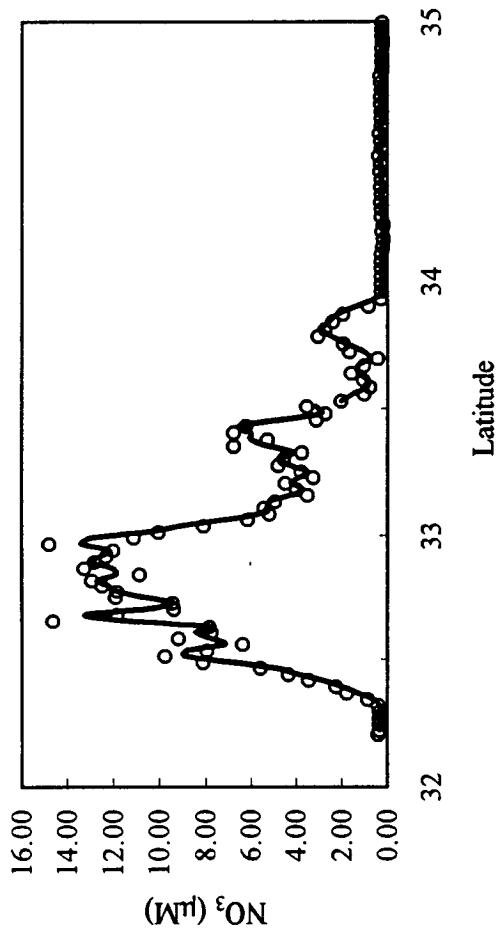


Fig. 9- 6. Continuous measurement of chlorophyll 11 on Section 2.

## 제 10 장 결론 및 제언

국내연안오염유입량을 계산하기 위해 유역별로 다소 넓은 격자에서의 지형적경사에 따른 유입량 변화율을 보완하였으며 각 격자별 토양의 침식정도를 고려하였다. 수계망과 흐르는 방향을 격자별로 표시하였고 토양이 침식될 수 있는 정도를 등급에 따라 각 격자에 적용할 수 있도록 하였으며 경사를 고려하여 각 지점에서의 유달량 계산을 쉽게 하였다. 또한 경우에 따라 다른 원단위 및 유달율수치를 입력할 경우 오염유입량의 총계가 얼마인지를 추산할 수 있도록 모델을 개선하였다. 중국의 경우 주요오염물질은 COD로 보고 되어 전체의 94.7%에 달하며 발해로 연간 594,855 톤, 황해로 연간 1,305,441톤이 유입된다고 하며 석유류는 발해로 28314톤 황해로 23193톤이 유입된다고 한다.

강수에 의해 황해로 유입되는 영양염을 측정한 결과 암모니아, 질산염, 인산염의 년 평균 해표면 침적율은 각각  $65 \times 10^{-3}$ ,  $31 \times 10^{-3}$ ,  $819 \times 10^{-6}$  mol/m<sup>2</sup>/yr 였다. 황해표면적이 약  $455 \times 10^3$  km<sup>3</sup> 이므로 1992 - 1995기간 동안 년 평균 대기로부터 습상으로 공급되는 무기영양소는 암모니아, 질산염, 인산염이 각각  $30 \times 10^9$ ,  $14 \times 10^9$ ,  $0.37 \times 10^9$  mol/yr로 추산된다. 황해의 연 평균 식물성플랑크톤에 의한 기초생산력이 165gC/m<sup>2</sup>/yr 라고 가정한다면 식물성플랑크톤의 생산을 위해 필요한 질소계영양염중 약 4.6% 정도를 빗물에 의해 공급받는다고 생각할 수 있다.

96년 4월 군산해역의 조사에서는 육상기인 오염물질이 외해역쪽으로 가며 희석되는 현상이 뚜렷이 나타났다. 96년 5월의 황해 해수조사에서 저층에서는 냉수괴의 영향을 보이며 TSS는 중국측에 가까운 St. 105에서 12.6 mg/l로 높은 값을 보였다. COD는 전반적으로 2mg/l 이상이었고 저층에서의 질산염증가는 중앙부 해역에서 뚜렷하여 5  $\mu$ M이상을 보였다. 인산염은 냉수괴에서 비교적 높았고 POC는 중국에 가까운 해역에서 1000  $\mu$ g/l내외로 나타났다. 카드뮴의 농도 범위는 0.009~0.027 $\mu$ g/l로 대체로 남부해역에서 다소 높고, 중앙 및 북부해역에서 낮은 분포를 나타내었으며 구리는 0.12 ~0.47 $\mu$ g/l로 외해역에서 다소 높게 나타났다.

96년 7월의 조사에서 TSS는 표층에서 1.0 ~ 2.8 mg/l의 분포를 보였으며 외해역에서는 저층수에서의 증가가 뚜렷하였다. POC는 표층의 경우 외해역쪽에서 1000  $\mu$ g/l 을 넘었으며 COD의 지리적 분포경향과 비슷하였다. 96년 8월 조사에서는 양자강하구에 가까운 정점에서 TSS가 표층, 5m층이 10 mg/l내외로 육수유입의 강한 영향을 나타냈고 POC의 경우에도 같은 정점에서 647.7 $\mu$ g/l 로 높은 값을 보였다. 중금속의 경우 납은 0.017~0.122 $\mu$ g/l범위로 큰 폭의 변화를 보였을 뿐 아니라 96년 5월이나 이전의 조사에 비해서도 매우 높게 나타났다. 아연은 0.07~0.38 $\mu$ g/l의 범위로 비교적 고른 지리적 분포를 보였다.

96년 5월 퇴적물중의 COD는 황해중앙부에서 13929 mg/kg dry wt.로 최고치를보였다. 황해남부의 중앙부는 퇴적물이 clayey mud 로서 많은



물질을 흡착할 수 있기 때문에 유기물, 오염물질의 퇴적이 많이 일어날 수 있다고 보인다. 퇴적물중 각 중금속의 평균값은 Cd 0.12, Cu 13.8, Pb 23.3, Zn 59.3, Ni 23.0, Co 9.7, Cr 43.7, As 9.1mg/kg-dry wt. 였다. 중금속 함량의 전체적인 분포양상을 입도 분석 결과와 비교해 보면 조립질에서 낮고 세립화함에 따라 중금속 함량이 증가하는 경향으로 다른 연구 결과와 일치하였다. 그러나 Pb의 경우 입도 5  $\phi$ 이하의 조립질과 5  $\phi$ 이상의 세립질 퇴적물간에 상이한 분포를 나타내었는데 이것은 Pb의 다양한 유입경로 때문으로 보인다. 황해 해저퇴적물중의 잔류농약은 중국측에 가까운 St. 43에서 Hexachlorobenzene,  $\gamma$ -BHC,  $\delta$ -BHC 가 각 0.50, 0.76, 1.57 ng/g dry wt. 로 다른 해역에 비해 높은편이었다.

96년 7월의 조사에서 황해 중앙부의 퇴적물에서 높은 유기물 함량을 보였고 중금속의 평균값은 Cd 0.11, Cu 5.6, Pb 24.9, Zn 34.8 mg/kg-dry wt. 등이었다. 96년 8월의 퇴적물 오염조사결과 양자강 하구 가까운 곳과 강소성에 평행한 정점들에서 높은 유기물 함량이 나타났고 중금속의 경우도 원소에 따른 분포의 차이는 있으나 중국 연안에 가까운 정점들에서 대체로 높은 농도를 나타냈다. 96년 5월 퇴적물의 주상시료를 취하여 퇴적년대측정을 통해 퇴적물의 오염 역사를 조사한 결과 황해의 퇴적물은 근년에 유기물질의 퇴적을 많이 받고 있는 듯하고 중금속, 유기오염물질의 경우는 년대에 따라 큰 차이가 없었다.

부영양화 모델링을 위하여 사용된 생태-유체역학 모델

(Eco-hydrodynamic model)은 해수유동 시뮬레이션을 위한 다층 모델 (Multi-level model)과 수질 시뮬레이션을 위한 생태계모델(Ecosystem model)로 구성되어있다. 수질을 예측하기 위한 시뮬레이션은 우선 다층 모델을 이용하여 해수 유동을 재현한 후, 계산된 잔차류를 생태계모델에 입력하여 수질예측 시뮬레이션을 행하였다. 또한 1992~1996년에 조사된 황해 및 하천의 수질 자료를 생태계모델의 입력자료로서 이용하였고 생물학적 인자는 실내실험을 통하여 얻은 값과 발표된 문헌의 값을 사용하였다. 3차원 유동 시뮬레이션 결과 조화 분해하여 얻은 M2조위의 진폭의 경우는 타 연구자의 결과와 거의 일치하였으며 위상의 경우는 남북의 경계지역에서 약간의 차이를 나타내었다. 생태계모델의 시뮬레이션결과 표층(1층)에서의 식물플랑크톤의 농도는 대상해역에서  $60\mu\text{g-C}/\ell$  정도로 나타났으며 연안측에서는  $80\mu\text{g-C}/\ell$  이상의 농도분포를 나타내었고 외해 쪽으로 갈수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 중층(2층)에서는  $10\sim 30\mu\text{g-C}/\ell$ 의 분포를 나타내었으며 대상해역의 북서쪽에서 가장 높은 농도 분포를 나타내었다.

해역의 부영양화현상을 현상을 저감시키기 위해서는 생태계모델의 이용이 불가피하나 현재까지 황해전역중에서 많은 연구가 이루어진 본 대상지역에서도 생태계 모델의 적용에 필요한 여러 인자에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 현 대상 해역의 실질적인 해역관리와 나아가 황해전역의 수질관리에 적용하기 위해서는 여러 가지 생태학적 인자들을 도출에 관한 연구가 이루어져야하며 자료도출의 우선 순위나 대상해역의 적정한 수질관리를 위해 어떤 인자가 부영양화 현상의 저감에 가장 큰 영향을 미치는

지를 밝혀야 한다. 이를 위해서 차후 생태계모델을 이용한 민감도 분석이 수행 되어야 할 것이며 이를 기초로 하여 황해전역에 대한 부영양화 모델링을 수행어야 할 것이다.

오염물질중 유기인 및 카바메이트 성분의 생물영향을 생화학적 지표를 통해 평가하기 위하여 도다리의 뇌와 근육에서 효소인 AChE와 BChE를 분석한 결과 서해안에서 잡힌 도다리는 포항의 대조군 보다 높은 활동도를 나타냈다. 또한 이들 도다리의 혈액성분을 분석하여 평가하여 본 결과도 서해안의 도다리가 대조군에 비해 오염증거를 많이 나타내고 있다.

본 연구에서는 인공위성자료를 이용하여 해수표면의 부유퇴적물을 정량적으로 구하는데 필수적인 황해에 대한 대기보정 모델을 LOWTRAN 프로그램과 1996년 9월 1일 현장조사 결과를 이용하여 얻었다. 이와 같은 황해에 대한 대기보정 모델의 수립은 궁극적으로 현장에서의 조사 없이 인공위성 자료만으로도 정확한 부유퇴적물의 정량적 분포 및 이동경로의 추적을 가능하게 해 준다. 본 연구에서 얻어진 황해 대기보정 모델을 1994년 9월 12일 얻어진 위성자료에 적용하여 그 정확도를 분석한 결과 현장조사에 의해 얻어진 결과와 그 상대적인 분포는 매우 유사하게 나타나지만, 대체로 대기에 의한 영향을 과보정 하여 낮은 농도값을 얻게 되었음을 알 수 있다.

해양조사선의 항해중 1996년 8월에 실시한 연속측정결과 Section 1에서는 질산염의 분포는 거의 0 에서 16  $\mu\text{M}$ 까지 심한 변화폭을 보였는데 저

온수피에서는 질산염이 급격한 감소를 보였다. Section 2에서는 고온, 저염의 해수에서 역시 10  $\mu\text{M}$  이상으로 높은 값을 보였고 북쪽에서는 저온 고염수에서 질산염 농도가 높아 황해에서 미세구조의 중요성을 알 수 있다.

조사결과를 종합해볼때 황해는 해황이 시간과 공간에 따라 변화가 크며 전반적으로 보아 아직 중국의 공업화에 의한 오염을 크게 우려할 단계는 아닌듯하다. 그러나 중국연안 가까운 곳에서 부유물질, 영양염, 유기물의 농도가 높아 인구 및 토지이용구조에 따른 오염가능성도 있어 지속적인 조사를 필요로 한다. 황해외해역에서는 항목, 시기에 따라 외해역에서 일부 오염의 우려가 나타나고 있다. 그러나 이를 중국측에 의해 이루어진 해양오염의 결과로 단정짓기는 힘들다.

황해는 넓은 해역으로 향후 중국은 물론 북한의 공동조사도 필요한 곳이다. 황해에는 여러 수피가 물리적으로 복잡하게 존재하며 해황변동성이 심하여 시간 공간에 따른 오염추세파악을 위해 첨단연구방법이 적용되어야 한다. 황해의 오염은 장기적인 면에서 고려되어야하는데 이는 적은 농도의 오염물질이라도 지속적으로 해양환경내에 존재하면 생태계에 영향을 주게된다는 거시적이고 지구환경적인 측면이 있기 때문이다.

앞으로 황해의 환경보전연구는 더욱 고도의 전략을 필요로 한다. 외해역의 오염추세를 정밀히 분석하기 위한 미량오염물질분석기술을 더욱 개선하여야 하며 이에 의해 해수, 생태계, 퇴적물의 오염정도를 파악할

수 있어야 한다. 또한 이러한 오염에 의해 의한 영향을 생화학적 지표로 평가 적용하는 연구가 실시되어야 한다. 한편 위성자료에 의한 부유물질 분포해석 오염물질의 이동연구등 동시에 광범위한 해역을 빈도 높게 측정할 수 있는 기술이 개발되어야 지역해의 오염을 보다 정확히 파악할 수 있다. 또한 항해중인 해양조사선으로 부터의 각종센서 및 연속 측정분석회로를 이용한 수질연속측정기술은 해양의 미세구조와 오염물질 분포역학을 연구할 수 있게 하여 지역해 연구의 요소기술로 필수적이다..

이러한 연구결과는 지역해의 해양환경평가기술이라는 한가지 목적을 위해 촛점이 모아져야 한다. 그리고 유입된 오염물질이 생태계내에 순환하며 영향을 주는 거시적인 결과를 보기위해 환경용량의 산정기술을 더욱 개선하여야 한다. 이러한 종합적인 지역해의 관리기술로 해양환경을 평가하고 각종오염원의 부하를 조절하도록 하여 정책결정자가 황해의 해양환경보전을 위한 대책수립에 임할 수 있게 하여야 한다. .



## 참 고 문 헌

국립수산진흥원. 1990. 해양조사연보, 제39권.

국립수산진흥원 1995. 북서태평양 해양환경모니터링 및 자료관리 워킹보고서.

국립환경연구원 1987. 단위수역의 환경용량산정에 관한 연구.

국립환경연구원 1990. 수질환경기준 달성 최적화 방안에 관한 연구 (II).

국립환경연구원, 1996, 해양오염감시망 구축 및 오염실태 변화에 관한 연구(III),  
연구보고서, 국립환경연구원.

김경태 등. 1994. 진해만 표층해수중의 중금속 농도 분포(1987-88).  
해양연구 16:19-27.

김대선. 1994. 우리나라 인접국가의 환경관계 조직과 현황, 동화기술 :  
190-193.

박원규. 1994. 낙동강 수계에서의 총량규제방안에 관한 연구.  
한국환경기술개발원 연구보고서 KETRI/1994/RE-11.

서울대 보건대학원 1994. 수역수질관리를 위한 수질예측모형과 의사결정  
지원시스템 개발에 관한 연구. 환경부 선도기술사업연구보고서 9-2-4.

수로국. 1989. 중국연안수로지, 서지 제201호, 대한민국: p10.

시스템공학연구소. 1996, 자연환경 영향평가용 지식기반 소프트웨어 개발(II),  
시스템공학연구소.

이응호, 김태진 (1994) 자연산 및 양식산 넙치육의 물리, 화학적 성상에 관한  
연구. pp 17-19.

최병호. 1993. 황해 및 동중국해륙붕에서의 해류관측.  
한국해안·해양공학회지, 5: 414-426.

최병호. 1993. 황해 및 동중국해륙붕에서의 해류관측, 한국해안·해양공학  
회지, 5 : 414-426.

최진호, 조수열, 허봉열. 1990. 특수영양학(교문사). pp.188-192.

최진호. 1991. 칼로리 제한에 의한 노화과정의 조절. 한국영양식량 학회.,  
20(2), 187-196.

해양연구소. 1986. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구. 해양연구소보고서



BSPG00030-119-7.

한국자원연구소. 1995. 해저지질 및 지구물리자료 DB구축을 위한 기술 개발 연구(I), 한국자원연구소.

한국해양연구소. 1991. 한반도 주변 해역의 화학물질 수치 및 순환 연구 - 1차년도 년차보고서-, 해양연구소, BSPG 00132-391-4.

한국해양연구소. 1992 a. 한반도 주변 해역의 화학물질 수치 및 순환연구 - 서남해역(2차년도) BSPG00149-489-4.

한국해양연구소. 1992 b. 황해의 해양오염 조사 및 대책연구 - 1차년도 - 해양연구소 보고서 BSPG00170-505-4.

한국해양연구소. 1993. 황해의 해양오염 조사 및 대책연구 - 1차년도 년차보고서 한국해양연구소보고서 9-4-1.

한국해양연구소. 1994. 황해의 해양오염 조사 및 대책연구 - 2차년도 년차보고서 한국해양연구소보고서 9-4-1.

한국해양연구소 1995. 황해의 해양오염조사 및 대책연구 - 3차년도 단계보고서 한국해양연구소보고서 9-4-1.

한국해양연구소, 1995, 연안역 이용 및 통합관리를 위한 연구(I), 한국해양  
연구소.

환경처. 1992. 한국환경연감 제5호: p168.

柳哲雄, 1994. 黃海·東シナ海の物質輸送, 沿岸海洋研究ノート, 31(2):  
239-256.

柳哲雄, 1989. 海の中てものはどう動くか, 沿岸海洋學, 恒星社厚生閣: p39.

折田義正 (1980) 血液,尿 化學檢査(日本臨床社). pp 789-798.32.

西村 肇, 1980. 環境容量の概念について, 海洋科學: 42-45.

藏本武明·中田喜三郎,1992. 物質循環モテ-リ, 漁場環境容量, 水産學シリーズ  
(87),恒星社厚生閣: p87.

中田喜三郎·石川公敏·松川康夫, 1985. 内灣の流動場の數値實驗, 沿岸海洋研究  
ノート, 22: 96-108.

日本分析化學會 北海道 支部. 1981. "水の 分析". 228-230.

佐伯清子, 熊谷 洋 1979. 天然および養殖マダイの一般成分の比較. 食衛誌.  
20, 147-150.

菅野道廣, 今泉勝己 1990. 콜레스테롤(신광출판사). pp 198-200.

榎本六良, 宮田克也, 松尾重己, 大里進子, 高良治江, 三鳥敏雄, 橋勝康(1988)  
養殖マダイの肉質に対する遊泳運動の効果. 日水誌., 54, 677-681.

Alexander, C.R., D. J. DeMaster and C. A. Nittrouer. 1991. Sediment  
accumulation in a modern epicontinental -shelf setting: The Yellow  
Sea. Mar. Geol., 98, 51-72.

Ames, B. N. 1966. Assay of inorganic phosphate, total phosphate and  
phosphatases. Analytical Methods., 8, 115-118.

An, H.S., 1977. A numerical experiment of the  $M_2$  tide in the Yellow  
Sea, J. Oceanogr. Soc. Japan, 33:103-110.

Battelle, 1991. Field surveys of sewage plumes in Boston Harbor, Report  
to Massachusetts Water Resources Authority, Boston, MA.

Bocquéné G. and F. Galgani. 1991. Acetylcholinesterase activity in the common  
prawn(*palaemon serratus*) contaminated by carbarly and phosalone :

choice of a method for detection of effects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 22: 337-345.

Bocquéné, G., F. Galgani and P. Truquet. 1990. Characterisation and assay conditions for use of AChE activity from several marine species in pollution monitoring. *Marine environ. Res.* 30 : 75-89

Bogot, M., A. Saiot, Y.J. Qiu, Z. Yang, and Y. Tang. 1990. Hydrocarbons in surficial sediments from the Changjiang Estuary and adjacent East China Sea. pp. 667-675.

Boyle, E. A., S. S. Husted, and S. P. Jones. 1981. On the distribution of copper, nickel, and cadmium in the surface waters of the North Atlantic and North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 86 : 8048-8066.

Brimblecombe, P., and D.H. Stedman. 1982. Historical evidence for a dramatic increase in the nitrate component of acid rain. *Nature* 294:460-462.

Buat-menard, P. and R. Chesselet. 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of ocean suspended

matter, *Earth & Planet. Sci. Lett.*, 42, 399-411.

Byrd, J.T. and M.O. Andrae. 1986. Concentrations and fluxes of tin in aerosols and rain. *Atmos. Environ.* 20:931-939.

Calderini, G., A. C. Bonetti, A. Battistella, F. T. Crews and G. Toffano. 1983. Biochemical changes of rat brain membranes with aging. *Neurochemical Research.*, 8(4): 483-492.

Cantillo, A. Y. and T. P. O'Connor. 1992. Trace element contaminants in sediments from the NOAA national status and trends programme compared to data from throughout the world. *Chemistry and Ecology* 7 : 31-50.

Carpenter, R., J. T. Bennet and M. L. Peterson. 1981. <sup>210</sup>Pb activities and fluxes to sediments of the Washington continental slope and shelf. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45:1155-1172.

Chen et. al. 1989. *Marine Atlas of Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea.* China Ocean Press

Chen, S., W. Liao, G. Zhuang and A. Xu. 1990. Transportation of heavy

metals at seawater-sediment interface in the Changjiang Estuary.  
pp. 881-892.

Cheng, T. W., and C. N. Zhao. 1985. Discharge of water and sediment from major rivers in China and their effects on the coastal environment (in Chinese), *Acta Oceanol. Sin.*, 7, 4, 460-471.

Chester, R. and G. F. Bradshaw. 1991. Source control on the distribution of particulate trace metals in the North Sea atmosphere.  
*Mar. Pollut. Bull.* 22:30-36.

Choi B.H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. Korea Ocean Research and Development(KORDI), Rep. 80-02.

Choi B.H., 1984a. A three-dimensional model of the East China Sea. *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, Elsevier Oceanography Series, 39:209-224.

Choi B.H., 1984b. Observed and Computed Tidal Currents in the East China Sea, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 20:56-73.

Choi B.H., 1990. A finite-grid three-dimensional  $M_2$  tidal model of the

East China Sea, Modeling marine systems, Vol.1, CRC Press.  
Florida, USA.: 167-185.

Choi, J. H. and B. P. Yu. 1990. Unsuitability of TBA test as a  
lipidperoxidation marker due to prostaglandin synthesis in the aging  
kidney. AGE., 13: 61-64.

Choi, J.H., J.I. Kim, D.W. Kim, I.S. Kim and H.Y. Chung. 1994.  
Age-related physiological changes in brain membranes of senescence  
accelerated mouse (SAM). The First International Conference : The  
SAM Model. March 17-18, Kyoto.

Chough, S.K., and D. C. Kim. 1981. Dispersal of the fine-grained sediments  
in the southeastern Yellow Sea: A steady-state model. J. Sediment.  
Petrol., 51, 721-728.

Coppage, D. L., E. Matthews. 1974. Short-term effects of  
organophosphate insecticides on cholinesterases of estuarine fishes  
and pink shrimp. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 11 : 483-488

Dallschmitter, K. and M. Zell 1980. Analysis of polychlorinated biphenyls  
by glass capillary gas chromatography. Fresenius Z. Anal. Chem.  
302:20-31.

Danielsson, L. G., B. Magnusson, and S. Westerlund. 1978. An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in sea water by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. *Anal. Chim. Acta* 98:47-57.

Ding W., 1985. The characteristics of the tides and tidal currents in the Bohai and Yellow Seas, *Studia Marina Sinica*(海洋科學集刊), 25:27-40.

Duce, R. A., R. Arimoto, B. J. Ray, C. K. Unni and P. J. Harder. 1983. Atmospheric trace elements at Enewetak Atoll, 1. Concentrations, sources, and temporal variability. *J. Geophys. Res.*, 88, 5321-5342.

Duce, R. A., P. S. Liss, J. T. Merrill, E. L. Atlas, P. Buat-Menard, B. B. Hicks, J. M. Miller, J. M. Prospero, R. Arimoto, T. M. Church, W. Ellis, J. N. Galloway, L. Hansen, T. M. Jickells, A. H. Knap, K. H. Reinhardt, B. Schneider, A. Soudine, J. J. Tokos, S. Tsunogai, R. Wollast, and M. Zhou. 1991. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochem. Cycl.*, 5, 193-259.

Dyerberg, J., H.O. Bang and N. Hjerne 1975. Fatty acid composition of



- the plasma. *Am J Clin Nutr.*, 28, 956-966.
- Dyerberg, J., H.O. Bang, E. Stoffersen, S. Moncada and J.R. Vane 1978.  
Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis.  
*Lancet.*, 8081, 117-119.
- Ellman, G.L., K.O. Courtney., V. Andres and R.M Featherstone. 1961. A  
new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase  
activity. *Biochem. Pharmacol.*, 7, 88-95.
- Fileman, C. F., M. Althaus, R. J. Law, and I. Haslam. 1991. Dissolved and  
particulate trace metals in surface waters over the Dogger Bank,  
Central North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 22:241-244.
- Förstner, U. and W. Salmons. 1981. Trace metal analysis on polluted  
sediments. *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 1:494-517.
- Forster, B., X. Baide and S. Xingwai. 1994. Modelling suspended particle  
distribution in near coastal waters using satellite remotely sensed data,  
*Int. J. Remote Sensing*, 15(6): pp. 1207-1219.
- Fyfe, W. S. 1974. *Geochemistry*, Oxford University press, Oxford.

- Galgani, F. 1992. Monitoring of pollutant biochemical effects on marine organisms of the french coasts. *Oceanologica Acta.*, 15(4): 355-364.
- Galgani F. and G. Bocquéné. 1990. In vitro inhibition of acetylcholinesterase from four marine species by organophosphates and carbamates. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 45: 243-249.
- Galgani F. and G. Bocquéné. 1991. Semi-automated colorimetric and enzymatic measurements in aquatic organisms using a plate reader. *Wat. Res.*, 25. 2, 147-150.
- Galgani F., G. Bocquéné and Y. Cadiou. 1992. Evidence of variation of cholinesterase activity in fishes along a pollution gradient in the north sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*,
- Gao S. W. and H. Q. Zhang. 1992. On the ecology of zooplankton in the Changjiang river estury. *Studia Marina Sinica, China*, Vol. 33: 201-216.
- Gao, Y., R. Arimoto, R. A. Duce, D. S. Lee, and M. Y. Zhou. 1992. Input

of atmospheric trace elements and mineral matter to the Yellow Sea during the spring of a low-dust year. *J. Geophys. Res.*, 97, D4, 3767-3777.

GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution), 1989. The atmospheric input of trace species to the World Ocean. IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP, 38, 111 pp.

Grasshoff, K., M. Ehrhardt and K. Kremling. 1983. *Methods of Seawater Analysis*, Verlag chemie, Weinheim, G.D.R. 134-136, 419.

Grzebyk D. and F. Galgani. 1991. Measurement of organic pollution on marine organism : Rapid determination of EROD induction using plate readers. *Aquat. Liv. Resour.*: 4, 53-59.

Guieu, C., J. M. Martin, A. L. Thomas, and F. Elbaz-Poulichet. 1991. Atmospheric versus river inputs of metals to the Gulf of Lions, total concentrations, partitioning and fluxes. *Mar. Pollut. Bull.*, 22, 176-183.

Guo B., 1993. Major features of the Physical Oceanography in the Yellow Sea. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai seas(黄渤海海洋)*, 11(3): 7-18.

- Guo Y. and Z. Yang. 1992. Quantitative variation and ecological analysis of phytoplankton in the estuarine area of the Changjiang river. *Studia Marina Sinica*, China, Vol. 33: 153-189.
- Guo Y. and Y. Pan. 1992. Primary productivity in the Changjiang river estuary. *Studia Marina Sinica*, China, Vol. 33: 191-199.
- Guo. L. 1996. The present status and future development of China's pollution monitoring on the marine environment. The First APEC Symposium on Marine Environmental Monitoring. May, 1996, Seoul.
- Habig C., R. T. Digiulio and M. B. Abou-Donia. 1988. Comparative properties of Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and Blue Crab (*Callinectes sapidus*) acetylcholinesterases. *Comp. Biochem. Physiol.*, 91 C, 2, 293-300.
- Haglund, O. R. Luostarinen. R. Wallin. L. Wibell. and T. Saldeen. 1991. The effects of fish oil on triglyceride, cholesterol, fibrinogen and malondialdehyde in humans supplemented with vitamin E. *J. Nutr.*, 121: 165-169.

- Harper, D. J. 1991. The distribution of dissolved cadmium, lead and copper in the Bristol Channel and the outer Severn Estuary. *Mar. Chem.* 33:131-143.
- Harper, D. J. 1991. The distribution of dissolved cadmium, lead and copper in the Bristol channel and the outer Severn estuary. *Mar. Chem.* 33:131-143.
- Hashimoto, Y., T. Otoshi, and Y. Sekine. 1989. East Asia Air Surveillance Network, Annual Report, 37 pp., Jack Network Group, Yokohama, Japan.
- Hodge, V., S. R. Johnson, and E. D. Goldberg. 1978. Influence of atmospherically transported aerosols on surface ocean water composition. *Geochem. J.*, 12, 7-20.
- Hu, M. H., R. F. Stallard, and J. M. Edmond. 1982. Major ion chemistry of some large Chinese rivers. *Nature*, 298, 550-553.
- Kang Y. Q., 1984. An analytic model of the M<sub>2</sub> tide near Cheju Island, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19:18-23.

- Kang, Y.Q. and H.-K. Kim, 1987. Relationship between the winter-time surface water temperature and summer-time bottom water temperature in the west sea of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 22: 228-235.
- Kestern, M., 1989. Distribution and fate of heavy metals in the North Sea. In *Pollution of the North Sea: an assessment* (ed. W. Salomons, B.L. Bayne, E.K. Duursma and U. Forstner) pp. 330-347. Berlin : Springer - Verlag.
- Kitto, M. E. and L. Anderson. 1988. The use of Whatman-41 filters for particle collection; Correspondence, *Atmos. Environ.*, 22, 11, 2629-2630.
- Kneizys F.X. et al., 1988, Users Guide to LOWTRAN 7, Air Force Geophysics Laboratory.
- KORDI, 1989. Sea/Air exchange in Yellow Sea. KORDI Report BSPE 00129-221-4, Seoul, Korea, 58 pp.
- Krahn, M. M., C. A. Wigren, R. W. Pearce, L. K. Moore, R. G. Bogar, W. D. MacLeod, Jr., S.L. Chan, and D.W. Brown. 1988. Standard analytical procedures for the NOAA National Analytical Facility 1988 : new HPLC cleanup and revised extraction procedures for organic contaminants. NOAA Tech. Memo. NMFS F/NWC-153. NOAA/NMFS/NWFSC, Seattle, WA 52pp.

- Lauenstein, G. G. and A. Y. Cantillo 1993. Sampling and analytical methods of the national status and trends program, national benthic surveillance and mussel watch projects 1984-1992. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 71, 182pp.
- Lawrence, R.A. and R. F. Burk. 1978. Species, tissue and subcellular distribution of non Se-dependent glutathion peroxidase activity. *Lipid.*, 19, 444.
- Lee, C.B., Y.A. Park, H.J. Kang and D.C. Kim. 1991. Geochemical characteristics of the continental shelf and slope sediments off the southeastern coast of Korea. *Korean J. Quater. Res.*, 5:15-32.
- Lee, D. S. and M. J. Valencia, 1992. Pollution: (In) Atlas for Ocean Policies in East Asian Seas. East-West Center.
- Lee, H. J., and S. K. Chough. 1989. Sediment distribution, dispersal and budget in the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, 87, 195-205.
- Lie, H. J., 1986. Summertime hydrographic features in the southeastern Hwanghae. *Prog. Oceanogr.*, 17: 229-242.

Lindell, L. T., Steinvall, O., Jonsson, M., and Claesson, T., 1985.

Mapping of coastal-water turbidity using LANDSAT imagery, *Int. J. Remote Sensing*, 6(5): pp. 629-642.

Liu A., X. Yin and M. Lu. 1983. The tide characteristics of the

Huanghai Sea, *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai seas(黄渤海海洋)*, 1:1-7.

Lowry, O.H., N.J., Roseborough, L.A. Farr and R. J. Randall. 1951. Protein

measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193: 265-275.

Ma, Y. 1996. QA/QC Program for Marine Environmental Monitoring in

China. The First APEC Symposium on Marine Environmental Monitoring. May, 1996, Seoul.

MacLeod, W. D., Jr., D. W. Brown, A. J. Friedman, D. G. Burrows,

O. Maynes, R.W. Pearce, C.A. Wigren, and R. G. Bogar. 1985.

Standard analytical procedures for the NOAA National Analytical Facility, 1985-1986 : extractable toxic organic compounds, Second Edition, NOAA Tech. Memo. NMFS F/NWC-92.

NOAA/NMFS/NWFSC, Seattle, WA 121pp.



McDowell, S. E. and J. H. Ryther 1991. A new shipboard monitoring system for field studies of pollutant plumes in the marine environment. First International Ocean Pollution Symposium, Puerto Rico, Apr. 26 - May 3, 1991.

McDowell, S. 1989. Battel builds BOSS for enhanced monitoring capabilities, *Sea Technol.* 30:10-17.

NOAA. 1987. National Coastal pollutant discharge inventory. NOAA/NOS/SEAD Technical Report 13.

NOAA. 1991. Second summary of data on chemical contaminants in sediments from the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 59. 29 pp.

Nolting, R. F. 1986. Copper, zinc, cadmium, nickel, iron and manganese in the Southern Bight of the North Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 16: 285-291.

Olson, D. L. and G. M. Christensen. 1980. Effects of water pollutants and other chemicals on fish acetylcholinesterase in vitro. *Environ. Res.*

21 : 327-335.

Olson P. E. and C. Hogstrand. 1987. Subcellular distribution and binding of cadmium to metallothionein in tissues of rainbow trout. *Environ. Toxicol. Chem.*, 6, 867-874.

Oyanagui, Y. 1984. Reevaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity. *Anal. Biochem.*, 42: 290-296.

Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, U.K.

Paulson, A. J. and R. A. Feely. 1985. Dissolved trace metals in the surface waters of Puget Sound. *Mar. Pollut. Bull.* 16:285-291.

Ren G., 1992. Distribution and variation of dissolved oxygen in the Changjiang river estuary and its adjacent waters, *Studia Marina Sinica*, China, Vol. 33:139-151.

R.N.O. 1991. Reseau national d'Observation de la qualité du milieu marin Travaux du RNO, 1991,32pp.

- Robbins, S.L., Cotran, R.S. and Kumar, V. (1984) Pathologic basis of disease. W.B.Saunders Company.
- Rudel, L. L. and M. D. Morris. 1973. Determination of cholesterol using o-phthaldehyde. J. Lipid. Res., 14: 364-366.
- Ryther, J. H. and W. M. Dunstan, 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the marine environment. Science, 171: 1008-1013.
- Safe, S. 1990. Polychlorinated biphenyls (PCBs), dibenzo-p-dioxins (PCDDs), dibenzofurans (PCDFs), and related compounds : environmental and mechanistic considerations which support the development of toxic equivalency factors(TEFs). Crit. Rev. Toxicol., 21:51-88.
- Schebel, J. R., H. T. Shen, and M. J. 1984. A comparison of some characteristic sedimentation process of estuaries entering the Yellow Sea, in Proceeding of Korea-U.S. Seminar and Workshop, Marine Geology and Physical Process of the Yellow Sea, pp. 286-308, Korea Institute of Energy and Resources, Seoul.
- Seung, Y. H., J. H. Chung, and Y. C. Park, 1990. Oceanographic studies

related to the tidal front in the mid-Yellow Sea off Korea: Physical aspects. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25: 84-95.

Shen, Z., X. Liu, and J. Lu. 1988. Nutrients in seawater and interstitial water of the sediments in the Huanghe River estuarine area (November). *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 6:104-114.

Tassan, S., 1987, Evaluation of the potential of the Thematic Mapper for marine application, *Int. J. Remote Sensing*, v.8, no.10, pp. 1455-1478.

Taylor, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 28 : 1273-1285.

Valencia, Mark J. 1988. The Yellow Sea: Transnational marine resource management issues. *Marine Policy* October 1988, 382-395.

Valete-Silver, N. Historical reconstruction of contamination using sediment cores: A review, NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 65, 40pp.

Van der Wel, H., W. Welling. 1989. Inhibition of acetylcholinesterase in guppies (*Poecilia reticulata*) by Chlorpyrifos at sublethal concentrations : methodological aspects. *Ecotoxicol. Environ. Safety*

17 : 205-219.

Viarengo, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Mar. Pollut. Bull.*,  
16, 4, 153-158.

Watanabe, S. T., T. Shimada, S. Nakamura, N. Nishiyama, N. Yamashita, S.  
Tanabe and R. Tatsukawa. 1989. Specific profile of liver  
microsomal cytochrome p-450 in dolphin and whales. *Mar. Env. Res.*  
27:51-65.

Wei, X., J. Tong and Y. Li. 1993. The pollution state of Huanghai and  
Bohai Seas and its ecological impact. *Journal of Oceanography of  
Huanghai and Bohai Seas.* 11(3) 76-82.

W.H.O. 1986. IPCS International Programme on Chemical Safety.  
Organophosphorus insecticides : a general introduction.  
Environmental Health Criteria 63. OMS, Genève, 1986

Wilkerson, F.P. and R.C. Dugdale, 1987. The use of large shipboard  
barrels and drifters to study the effects of coastal upwelling on  
phytoplankton nutrient dynamics. *Limnol. Oceanogr.* 32: 368-382.

Yagi, K. 1987. Lipid peroxides and human diseases. Chemistry and physics of Lipids., 45, 337-351.

Yanagi T. and S. Takahashi. 1993. Seasonal variation of circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. J. Oceanogr. Japan, 49: 503-520.

Zinkl, G. J., P. J. Shea, R. J. Nakamoto and J. Callman. 1987. Brain cholinesterase activity of rainbow trout poisoned by carbaryl. Bull, environ. Contam. Toxicol. 38 : 29-35