

# 인공 용승류를 이용한 어장환경 개선 연구

- 1차년도 보고서 -



해양수산부

# 제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 연구보고서를 “인공용승류를 이용한 어장환경 개선사업” 과제의 제1차년도 최종 결과 보고서로 제출합니다.

2005년 9월

주 관 연구기관: 부경대학교 해양산업개발연구소

연구 책임자: 류 청 로

□ 구조물의 효과평가 및 해수반응

연 구 기 관: 부경대학교

세부과제책임자: 김 동 선 박 맹 언

참 여 연 구 원: 조 규 대 이 충 일 유 정 화

김 대 현 성 규 열 김 필 근

황 석 범 황 동 운 김 정 녕

백 승 균 김 기 현 박 세 영

김 윤 하 이 유 미 김 의 준

박 호 섭 박 상 철

연구 기관: 국립수산과학원

참여연구원: 엄기혁 김성수 김성길  
김외숙 박성은 박미옥

연구 기관: 경상대학교

참여연구원: 김무찬 김정동 이병우  
최고야 이권욱

연구 기관: 연안해양환경연구소

참여연구원: 배상완

□ 시설물 제작 및 설치

연구 기관: (주) 삼성산업

참여연구원: 이정식 서완욱 김경훈  
김익상 최종혁 김억렬  
김영안

연구 기관: (주) 한국해양기술

참여연구원: 김도현 안승환 허희권  
박경원 이성일 김성권

부경대학교 해양산업개발연구소장

# 요 약 문

## < 연구조사분야 - 구조물의 효과평가 >

인공구조물 설치 주변해역의 물리환경특성은 다음과 같다.

본 연구해역의 수온과 염분은 계절에 따라 변화하고 있다. 즉 동계(2005년 3월 2일)의 수온의 공간적인 분포 차는 0.5℃ 정도로 작으며, 연안 쪽인 북서쪽보다 남동역이 고수온의 분포를 하고 있다. 염분의 분포는 수온의 분포와 비슷한 경향을 보이고 있다. 연직적으로는 표·저층의 혼합으로 인하여 거의 균일한 수온 및 염분분포를 보이고 있다. 춘계(2005년 5월 3일)의 표·저층의 수온은 아직까지 공간적인 큰 변화를 보이고 있지 않고, 염분은 북쪽역보다 남쪽역에서 고농도 분포를 나타내고 있다. 태양복사열이 증가하는 하계(2005년 8월 4일)의 표층과 저층의 수온차이는 약 10℃ 정도이고 수심 약 25m까지 강한 성층이 형성되어 있는 특성을 보이고 있다. 염분은 표층에서는 서쪽역이 동쪽역보다 저염분이고, 중·저층에서는 서쪽역보다 동쪽역이 저염분 분포를 하고 있는 특성을 보이고 있다.

연구해역에서 해수 유동을 파악하기 위하여 블록 투하지역인 정점 B와 구조물 구축지점인 정점 B에서 북서쪽에 위치한 정점 A에서 대조기시 및 소조기시에 25시간 연속 해양관측을 하였다. 자료분석에 쓰인 데이터는 선박에 ADCP를 계류하여 저층까지 수심 4m 간격으로 총 12개층에 대한 유속을 관측하였다. 2005년 1월 27일에서 28일까지의 정점 A에서 실시한 해조류 관측 결과를 보면, 표층(8m)의 최강유속은 76.96cm/s, 중층(28m)의 최강유속 75.50cm/s, 저층(48m)의 최강유속 67.28cm/s가 나타났고, 2005년 6월 22일에서 23일까지의 관측결과를 보면 표층(8m)의 최강유속은 74.86cm/s, 중층

(28m)의 최강유속 106.33cm/s, 저층(48m)의 최강유속 73.38cm/s가 나타났다.

2005년 4월 16일에서 17일까지의 정점 B에서 실시한 해조류 관측결과를 보면, 표층(8m)의 최강유속은 52.34cm/s, 중층(28m)의 최강유속 42.90cm/s, 저층(52m)의 최강유속 33.01cm/s가 나타났고, 2005년 8월 29일부터 20일까지의 관측 결과를 보면, 표층에서는 표층(8m)의 최강유속은 54.74cm/s, 중층(28m)의 최강유속 56.61cm/s, 저층(52m)의 최강유속 46.26cm/s가 나타났다. 따라서 구조물 구축지점인 정점 B의 저층에서는 소조기에 약 30cm/s 이상의 강한 유속의 존재가 확인되었다.

구조물 설치 전후의 유속변화를 조사하기 위하여 3차원 해수유동모델을 수행하였다. 상세역 계산에서는 50m 격자를 사용하여 보다 세밀한 조류결과를 얻을 수 있었다. 계산결과 섬과 수심이 상대적으로 얕은 둔덕 주변에서 몇몇 와류들이 출현함을 볼 수 있었다. 사업대상 해역인 소매물도와 국도사이 해역에서 구조물 설치 전의 최대 유속은 약 45~60cm/s 범위로 나타났다. 구조물 설치 후 유속은 10~25cm/s 내외로 감소하였다. 이때 유향은 서향 또는 서북향이었다.

인공구조물 설치 주변해역의 수질환경특성은 다음과 같다. 용존산소는 관측기간(2005년 3월, 5월 및 8월)에 걸쳐 5mg/L이상으로 양호한 수준이었으며, 화학적 산소요구량(COD)은 2005년 3월은 전 수층(표·중층 및 저층)에서 평균 0.68~0.69 mg/L, 2005년 5월과 8월은 평균 0.86~1.42 mg/L 수준이었다. 영양염류는 3월과 5월은 전반적으로 수층별 농도차가 크지 않았으나, 성층이 형성된 8월에는 수심이 깊어질수록 높은 농도를 보였고, 저층에서는 현저히 높은 농도를 보였다. 염록소 a는 표층에서 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 5월이 8월보다 높았다. 염록소 a와 영양염류와의 상관관계는 다소의 분산이 있었으나 대수적인 역상관계를 보였다.

구조물투하지점인 정점 1의 연직분포를 보면 영양염류는 3월, 5월에는

수층별 농도차가 거의 없었으나 8월에는 수심이 깊어질수록 농도가 증가하는 경향이였으며 구조물 투하전인 2002년 9월의 조사결과와 구조물 투하후인 2005년 8월의 자료를 비교해보면 투하후에 중층에서 비교적 높은 농도를 보였다. 평균농도를 비교해보면 투하후에 용존무기질소는 표층과 중층은 4~5배 증가하였으며, 저층은 감소하였고 용존무기인은 중층에서 증가 폭이 컸으며 규산규소는 전 수층에서 증가한 것으로 나타났다.

표층의 식물플랑크톤 평균 현존량은 2005년 3월, 5월, 8월에 각각 1,077cells/ml, 738cells/ml, 700cells/ml로 나타났으며, 중층(25m depth)의 식물플랑크톤 평균 현존량은 3월, 5월, 8월에 각각 1,077cells/ml, 738cells/ml, 700cells/ml로 나타났다. 식물플랑크톤의 우점종을 보면, 3월에는 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros denticulatus*, *Odontella sinensis*, 5월에는 규조류인 *Chaetoceros compressus*, *Melosira moniliformis*, *Thalassionema nitzschioides*로 나타났으며, 8월에는 규조류인 *Nitzschia pungens*와 와편모조류인 *Ceratium furca* 로 우점종으로 나타났다.

동물플랑크톤의 풍도는 3월에 125.95~755.67개체/m<sup>3</sup> 범위(평균 392.37개체/m<sup>3</sup>)이며, 5월에 125.95~1070.53개체/m<sup>3</sup> 범위(평균 537.73개체/m<sup>3</sup>)이며, 8월에 125.95~503.78개체/m<sup>3</sup> 범위(평균 256.73개체/m<sup>3</sup>)로 나타났다.

생균수의 분포는 3월에 2~37×100 cfu/ml의 범위(평균 8×100 cfu/ml)로 나타났으며, 5월에 2~34×100 cfu/ml의 범위(평균 13.6×100 cfu/ml)로 나타났으며, 8월에 2~65×100 cfu/ml의 범위(평균 20.7×100 cfu/ml)로 3월과 5월보다 높게 나타났다.

매물도 주변해역의 어종조성과 월변동을 조사 저서성 어류에 대한 금어기로 인하여, 2005년 2월에서 4월까지의 저인망과 새우조망으로, 5월부터 8월까지의 각망, 통발, 소형조망, 외줄낚시를 이용하여 채집하였다. 조사기간 동안 총 13목 49과 79종의 어류가 채집되었으며, 저층에서는 미역치가

전체 개체수의 약 83%, 전체 생체량의 약 51%로 가장 우점하였으며, 중층에서의 개체수로는 붕장어가 전체 개체수의 약 27%, 생체량은 참돔이 약 30%, 표층에서는 개체수로는 전갱이가 약 72%, 생체량이 약 34%로 가장 우점하였다. 수심별로 채집된 어류의 군집분석과 대응일치분석을 각각 실시한 결과 거의 유사한 것으로 나타났다.

### < 연구조사분야 - 구조물의 해수반응 >

어장환경의 개선에 활용되는 석탄회 블록은 해양생태환경에 직·간접적으로 영향을 미칠 가능성이 존재하므로 해양환경의 보전을 위한 종합적인 안정성 평가가 필수 요소이다. 석탄회 블록의 해양환경에 대한 안정성 평가를 위하여 현장관측, 중금속 용출량, 블록의 풍화반응 특성, 저질부 퇴적물의 화학적 환경변화, 생물체내 중금속 축적량 등을 조사하였다.

연구지역 내 9개 지점에서 채취한 해양퇴적물의 납과 망간의 농도는 다른 지역(광양만, 서남해, 목포해안 등)에 비해 다소 높았으나, 크롬, 카드뮴, 니켈, 구리, 아연 등의 농도는 낮았다. 산화와 환원 조건에서의 컬럼실험 결과, 6시간 후의 크롬, 구리 및 카드뮴 농도는 해역별 수질등급기준을 초과하는 것으로 나타났으나, 실제 해양환경에서는 회석으로 인한 농도 저하로 문제가 되지 않는 것으로 판단된다. 장기 용출 실험에서 24시간 경과 후 모든 중금속 원소의 용출량은 기준치 이하로 안정화 되었으며, 최종결과(2,688시간)에서도 구리를 제외한 모든 중금속의 농도는 해역별 수질등급기준 이하로 나타났다. 해수와 반응한 석탄회 블록의 표면, 기공 및 미세 균열을 따라 선택적으로 풍화현상이 수반되었으나 풍화 정도는 미약하다. 칼슘의 용출에 의한 2차 침전의 형성이 수반되었으나, 중금속을 함유한 이차 광물은 형성되지 않았다. 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 주성분 함량은 5개월경과 후에도 평균함량을 유지하였으며, 특정원소의 부화와 농집은 나타나지 않았다.

석탄회 블록 투여 이전 조사지역에서 채집된 생물체내의 중금속 축적량은 간>내장>육질부 순이다. 육질부의 경우 대부분의 중금속 함량은 아연을 제외하고는 현저하게 낮았다. 아연 함량은 평균 2.1~5.1ppm 이며 최대 23.3ppm에 달한다. 여름철은 저서성 어류를 대상으로 하는 각종 어업의 금어기로 어류의 채집이 불가능하였기 때문에 구조물 설치 이후의 어류 내 중금속 함량 자료는 금어기가 해제되는 가을철에 채취하여 제시할 예정이다.

### < 시설물 제작 및 설치 >

연근해역에 대형 인공구조물을 구축하여, 영양염과 용존산소가 풍부한 저층수를 표층으로 용승시킴으로써, 자연적인 해수수질 개선과 기초 생산력 증대 및 어군유집을 유도하기 위하여 산업부산물인 석탄회를 활용하고 최적의 배합을 선정하여 1차년도분의 6,215개의 블록을 제작하였다.

계류시설을 갖춘 해상기증기선, 예인선 등의 선박과 DGPS 및 해상측량프로그램(HYPACK)을 이용하여 블록 투하 지점인 해상 N 34° 36', E 128° 30'에 1차년도분의 6,215개의 블록을 투하하였다. 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)와 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)로 구조물의 형태를 확인한 결과 높이는 18m, 반경이 45m로 원추형태의 구조물이 설치되어진 것을 확인하였다.



여 백

# Abstract

< Oceanic environmental research section :  
Effect and estimation of artificial upwelling structures >

Physical environment characteristics in waters around the artificial structure set up like following.

Temperature and salinity was seasonally changed at study area. that is in winter season (2nd March, 2005.), temperature distribution shows lower than 0.5°C in the vicinity. Temperature in the southeastern part of the outer area is higher than that in the northwestern part of the coast at area. Salinity distribution shows alike temperature. Vertical distributions of temperature and salinity show nearly homogeneous because the water column was mixed from the surface layer to near bottom. In spring season (3rd May, 2005.), the temperature not shows variation from the surface to near bottom layer. Salinity in the southern area is higher than that in the northern area. In summer season(4th August, 2005.), difference of temperature shows 10.0°C from the surface to near bottom because of increasing of solar radiation. There is strong stratification at 25m depth in summer season. Surface salinity in the eastern area lower than that in the western part of the study area. Salinity distribution at the middle and near bottom layer shows low concentration in the eastern part of the study area.

To investigate current pattern in the study area, current measurement was carried out during 25hours of spring tide and neap tide at st. A and B. Current field was measured by ADCP

an interval of 4m from subsurface to near bottom. Maximum current speed was measured 76.96cm/s at surface layer(8m, st.A) during spring tide(27~28th in January, 2005.).At middle layer(28m), maximum current speed was 75.50cm/s. Also, maximum current speed was 67.28cm/s at bottom layer(48m). From 22th to 23th in June of 2005, maximum current speed of surface layer(8m) was 74.86cm/s at st.A. At middle and bottom layer(48m), maximum current speed was measured 106.33cm/s and 73.38cm/s, respectively.

Current fields at st.B during neap tide (16~17th in April, 2005.) are as follow : At surface layer(8m), maximum current speed was 52.34cm/s. Maximum current speed was measured 54.74cm/s, 56.61cm/s and 46.26cm/s at surface(8m), middle(28m) and bottom layer(48m), respectively.

Three-dimensional numerical model experiments for the tidal circulation in the artificial upwelling area. Using a fine computing mesh( $\Delta x = \Delta y = 50\text{m}$ ), we obtained detailed information on the hydrodynamic structure of tidal circulation in the artificial upwelling area. Several eddy cells due to complex topography and morphology around the islands, barriers are detected. Calculated maximum velocities are about 45~60cm/s in the study area before the constructed submerged structure. After constructed submerged structure, maximum velocity are reduced to about 10~25cm/s.

The concentrations of dissolved oxygen were general tendency over 5mg/L during observation periods(March, May and August, 2005.). The

concentrations of chemical oxygen demand(COD) were below first grade(1 mg/L) in March and May and below second grade(2 mg/L) in August, 2005. The concentrations of nutrients showed very homogeneous except for those of some stations in March and May, 2005, while nutrients content increased with depth and the bottom layer were very high at the bottom layer in August, 2005, when the stratification was formed.

Chlorophyll-a contents were gradually decreased with depth. The contents were higher in May than in August. Correlations between chlorophyll-a and nutrients were logarithmic relationships.

As data were investigated in August, 2005 compare with that in September, 2002, vertical distributions of nutrients content at st. 1, that artificial upwelling structure point, were high at the middle layer relatively. To compare with average concentrations, after artificial upwelling structures, DIN increased four or five times at the surface and middle layer, DIP was high at the middle layer and SiO<sub>2</sub>-Si increased at the all layers.

The mean standing crop of phytoplankton were 1,077cells/ml (March, 2005.), 738cells/ml in May and 700cells/ml (August, 2005.) at the surface layer and 1,054cells/ml (March, 2005.), 469cells/ml (May, 2005) and 1,923cells/ml at the middle layer(25m depth).

The dominant species of phytoplankton showed *Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros denticulatus*, *Odontella sinensis* (BACILLARIOPHYCEAE) in March, 2005. *Chaetoceros compressus*, *Melosira moniliformis* and *Thalassionema nitzschioides* (BACILLARIOPHYCEAE) in May, *Nitzschia pungens* (BACILLARIOPHYCEAE) and *Ceratium furca* (DINOPHYCEAE) in August, 2005.

The abundance of zooplankton ranged from 125.95 to 755.67 inds/m<sup>3</sup>

(mean 392.37 inds/m<sup>3</sup>) (March, 2005), 125.95 to 1070.53 inds/m<sup>3</sup> (mean 537.73 inds/m<sup>3</sup>) (May, 2005) and 125.95 to 503.78 inds/m<sup>3</sup> (mean 256.73inds/m<sup>3</sup>) (August, 2005), respectively.

The number of viable cell ranged from 200 to 3,700 cfu/ml (mean 800 cfu/ml) (March, 2005), 200 to 3,400 cfu/ml (mean 1,360 cfu/ml) (May, 2005) and 200 to 6,500 cfu/ml (mean 2,070 cfu/ml) (August, 2005), respectively.

The species composition and monthly variation with of fish assemblage around sea area of Maemul-Do were studied using trawl and shrimp trawl gear from February to April, stationary net, fish pot, small trawl and single-line fishing gear from May to August 2005. During the study period, 13 orders 49 families and 79 species were collected. The fish assemblage of low layer was dominated by *Hypodytes rubripinnis* which accounted for about 83% and 51% in the number of individuals and biomass. The middle layer was dominated by *Conger japonicus* about 27% and *Pagrus major* about 30%. The surface layer was dominated by *Trachurus japonicus* about 72% and 34%. The cluster analysis and correspondence analysis of the fishes collected according to depth resembled each other.

#### < Oceanic environmental research section :

#### Seawater reaction of artificial upwelling structures >

An environmental stability assessment for the block made by coal ash mixture (ash block) is very important to conserve a marine

ecosystem. In order to evaluate an environmental stability of the ash block, field observation, appraisal of leaching heavy metals and weathering characteristics, chemical variation of bottom sediments, and bio-concentration of metals in benthic marine fish were investigated. The Pb and Mn concentrations of nine samples collected in the study area are higher than other areas such as the Gwangyang Bay, the southwestern coast, and the Mokpo coast, but the concentrations of Cr, Cd, Ni, Cu and Zn are lower. According to the result of a column test that designed for oxidized and reduced conditions, the Cr, Cu, and Cd concentrations are excess to the regulation of marine water quality after 6 hours. However, the concentration of these metals would be decreased by dilution of seawater when this block applies to a marine system. All heavy metals are stable after 24 hours, and also most of heavy metals are lower than the limit of regulation. Weathering reactions selectively occur along micro fractures, pores and surface of block, and Ca leached out at the weathered surface of the block. The degree of weathering, however, is weak, and then a secondary mineral including a heavy metal was not formed. The contents of major elements of bottom sediments contacted with the block maintain as the average value until 5 months, and there is no enrichment of any element.

Metal concentration were ordered as liver>intestine>meat. For meat, most metal concentrations were negligible but Zn ranged 2.1 to 5.1 mg/kg. Owing to a closed season for benthic fishing, comparison between the metal concentrations in marine fishes for post- and pre-establishment of the artificial upwelling system were not made.

**<Manufactured and dropped the blocks of artificial upwelling  
structures>**

We had been manufactured upwelling blocks of 6,215 numbers at the first year. One of the best mixtures of upwelling blocks was used by called coal fly-ash. The purposes of these upwelling blocks are to improve natural sea water quality and increase principle production level and building fish school's induction by upwelling the bottom sea water, which contains nutrients and dissolved oxygen, to the ocean surface.

Using floating crane with possible 4 point mooring, tugboat, DGPS and program of marine survey(HYPACK), we dropped the blocks of 6,215 numbers at the N 34° 36' and E 128° 30'. After dropped the blocks, we made a survey of structure with Side Scan Sonar and Multi-beam Sonar. As a result of survey, the structure's shape was alike cone with a height of 18m and radius of 45m.

## - 목 차 -

요약문 .....	1
그림 목차 .....	25
표 목차 .....	47
1. 연구개발의 필요성 .....	55
2. 연구개발의 배경 .....	56
3. 연구개발의 목표 및 내용 .....	61
4. 연구의 기대효과 .....	62
5. 연구추진계획 .....	65
6. 연구내용 .....	71
□ 연구조사분야 : 구조물의 효과 및 평가	
1.1. 구조물 설치해역에 대한 현황조사 .....	73
1.2. 물리환경조사 .....	77
1.2.1. 연구자료 및 방법 .....	77
1.2.2. 연구결과 및 고찰 .....	79
1.3. 해양 수치 모델 .....	112
1.3.1. 연구자료 및 방법 .....	112
1.3.1.1. 연구 배경 .....	112
1.3.1.2. 연구 방법 .....	112
1.3.2. 사용 모델 .....	113
1.3.3. 모형 수립 .....	117



1.3.3.1. 해저 지형 .....	117
1.3.3.2. 격자 구성 .....	117
1.3.3.3. 초기조건 및 경계조건 .....	121
1.3.4. 해수 유동 모델의 검증 .....	122
1.3.4.1. 조위 검증 .....	122
1.3.4.2. 조류 검증 .....	123
1.3.5. 해수 유동 모델 실험 결과 .....	128
1.3.5.1. 광역 계산 결과 .....	128
1.3.5.2. 상세역 계산 결과 .....	128
1.4. 수질 환경 조사 .....	158
1.4.1. 재료 및 방법 .....	158
1.4.2. 결과 및 고찰 .....	160
1.4.2.1. 이화학적 농도 분포 특성 .....	160
1.5. 생물상 조사 .....	204
1.5.1. 식물 플랑크톤 조사 .....	204
1.5.1.1. 재료 및 방법 .....	204
1.5.1.2. 식물플랑크톤 현존량 및 종조성 .....	204
1.5.2. 동물 플랑크톤 조사 .....	211
1.5.2.1. 재료 및 방법 .....	211
1.5.2.2. 동물플랑크톤의 풍도 .....	211
1.5.3. 생균수 조사 .....	213
1.5.3.1. 재료 및 방법 .....	213
1.5.3.2. 생균수의 분포 .....	213
1.6. 어류상 조사 .....	216
1.6.1. 연구 배경 .....	216
1.6.2. 재료 및 방법 .....	216
1.6.2.1. 조사해역 및 조사어구 .....	216
1.6.2.2. 측정 및 종동정 .....	218

1.6.2.3. 자료 분석 .....	218
1.6.3. 결과 .....	218
1.6.3.1. 어종 목록 .....	218
1.6.3.2. 분류군별 출현 양상 .....	224
1.6.3.3. 저층 어류 .....	225
1.6.3.4. 중층 어류 .....	232
1.6.3.5. 표층 어류 .....	237
1.6.3.6. 수심에 따라 채집된 어종 .....	245
1.7. 수중 환경 모니터링 .....	249
1.7.1. 수중 촬영 .....	249
1.7.2. 수중 촬영 결과 .....	251

□ 연구조사분야 : 구조물의 해수반응

2.1. 연구의 필요성 .....	254
2.1.1. 중금속 용출 가능성 .....	254
2.1.2. 블록의 안정성 .....	257
2.2. 연구 배경 .....	258
2.3. 연구 목표 .....	259
2.3.1. 중금속 용출 안정성 평가 .....	259
2.3.2. 블록의 풍화반응 평가 .....	259
2.3.3. 퇴적물의 화학적 환경변화 연구 .....	260
2.3.4. 생물체내의 중금속 축적량 조사 .....	260
2.4. 연구의 기대 효과 .....	261
2.5. 연구 방법 .....	262
2.5.1. 현장 관측 .....	262
2.5.2. 입도 분석 .....	265
2.5.3. 퇴적물의 중금속 분석 .....	267
2.5.4. 장기 중금속 용출 실험 .....	268

2.5.5. 폐기물 공정 시험법 .....	270
2.5.6. 구조물 안정성 조사 .....	271
2.5.7. 생물체 내의 중금속 축적량 조사 .....	272
2.6. 연구 결과 .....	274
2.6.1. 현장 관측 결과 .....	274
2.6.2. 퇴적물의 입도분석 결과 .....	275
2.6.3. 퇴적물의 중금속 분석 결과 .....	277
2.6.4. 퇴적물의 REE 패턴 .....	279
2.6.5. 장기 중금속 용출 실험 .....	281
2.6.5.1. 컬럼 내 pH/Eh 환경 변화 .....	281
2.6.5.2. 중금속 용출량 .....	283
2.6.5.3. 폐기물공정시험 결과와의 비교 .....	290
2.6.6. 석탄회 블록의 안정성 .....	292
2.6.6.1. 석탄회 블록의 표면 .....	292
2.6.6.2. 내부 조직 변화 .....	294
2.6.6.3. 전자현미경 관찰 결과 .....	296
2.6.7. 블록/퇴적물의 화학조성 .....	300
2.6.8. 생물체 내 중금속 축적량 .....	302
2.7. 결론 .....	304

□ 구조물의 제작 및 설치

3. 인공 용승 구조물 제작 .....	306
3.1. 연구 개발의 범위 .....	306
3.2. 시설물 제작 .....	306
3.2.1. 구조물 재료 .....	306
3.2.2. 구조물 배합 .....	308
3.2.3. 구조물 품질 .....	310
3.3. 시설물 제작 주요 공정 .....	312

3.3.1. 몰드 설계 및 제작 .....	312
3.3.2. 시제품 제작 및 양생 .....	315
3.3.3. 제작장 및 접안시설 .....	317
3.4. 구조물 관리 .....	318
3.4.1. 제작일지 .....	318
3.4.2. 검사 .....	319
3.4.3. 품질 .....	319
3.4.4. 기타 .....	319
3.5. 연구 달성 내용 .....	320
4. 인공 용승 구조물 설치 및 투하 .....	321
4.1. 구조물 설치 .....	321
4.2. 구조물 설치 방법 .....	323
4.2.1. 설치계획 .....	323
4.2.2. 운반 및 설치 .....	327
4.2.3. 투하 확인 .....	333
4.3. 설치결과 및 고찰 .....	349
4.4. 연구 달성 내용 .....	355
7. 연구 달성 내용 .....	359
8. 결론 : 정책적 제안 .....	365
9. 참고 문헌 .....	371

여 백

# 〈CONTENTS〉

Abstract .....	7
List of Figures .....	35
List of Tables .....	49
1. Importance of the research project .....	55
2. Background of the project .....	56
3. Objectives and contents of the project .....	61
4. Effect of the project .....	62
5. Study plan of the project .....	65
6. Contents of the research project .....	71
<input type="checkbox"/> Oceanic environmental research section :	
Effect and estimation of artificial upwelling structures	
1.1. The present condition of study area .....	73
1.2. Study of physical environment .....	77
1.2.2. Data and method of study .....	77
1.2.1. Result and discussion of study .....	79
1.3. Numerical model .....	112
1.3.1. Data and method of study .....	112
1.3.1.1. Background of study .....	112
1.3.1.2. The method of study .....	112
1.3.2. Using model .....	113
1.3.3. Foundation of model .....	117
1.3.3.1. Model topography .....	117

1.3.3.2. Model grid system .....	117
1.3.3.3. The open boundary condition .....	121
1.3.4. Inspection of model .....	122
1.3.4.1. Tide inspection .....	122
1.3.4.2. Current inspection .....	123
1.3.5. Result of model .....	128
1.3.5.1. Calculated of wide area .....	128
1.3.5.2. Calculated of local area .....	128
1.4. Study of water environment .....	158
1.4.1. Data and method of study .....	158
1.4.2. Result and discussion of study .....	160
1.4.2.1. Characteristic of physio-chemical distribution .....	160
1.5. Study of Biological environment .....	204
1.5.1. Phytoplankton .....	204
1.5.1.1. Data and method of study .....	204
1.5.1.2. Standing crop and spices composition of phytoplankton .....	204
1.5.2. Zooplankton .....	211
1.5.2.1. Data and method of study .....	211
1.5.2.2. Enrich of zooplankton .....	211
1.5.3. Bacteria .....	213
1.5.3.1. Data and method of study .....	213
1.5.3.2. Distribution of bacteria .....	213
1.6. Fishes .....	216
1.6.1. Background of study .....	216
1.6.2. Data and method of study .....	216
1.6.2.1. Study area and fishing implement .....	216
1.6.2.2. Measurement and spices composition .....	218
1.6.2.3. Data analysis .....	218

1.6.3. Result .....	218
1.6.3.1. list of fishes .....	218
1.6.3.2. Appearance complexion .....	224
1.6.3.3. Bottom layer fishes .....	225
1.6.3.4. Middle layer fishes .....	232
1.6.3.5. Surface layer fishes .....	237
1.6.3.6. Caught fishes by depth .....	245
1.7. Submarine environmental Monitoring .....	249
1.7.1. Submarine monitoring .....	249
1.7.2. Results .....	251

□ Oceanic environmental research section :

Seawater reaction of artificial upwelling structures

2.1. Importance of the Research Project .....	254
2.1.1. Possibility of heavy metal leaching .....	254
2.1.2. Stability of blocks .....	257
2.2. Background .....	258
2.3. Aims of research .....	259
2.3.1. Stability of heavy metal leaching .....	259
2.3.2. Weathering of blocks .....	259
2.3.3. Chemical environments of sediments .....	260
2.3.4. Heavy metal accumulation into organisms .....	260
2.4. Expectations .....	261
2.5. Methods .....	262
2.5.1. Field observation .....	262
2.5.2. Grain size analysis .....	265
2.5.3. Heavy metal analysis of sediments .....	267
2.5.4. Long term leaching test of heavy metal .....	268



2.5.5. Standard methods process for the examination of waste .....	270
2.5.6. Stability of structures .....	271
2.5.7. Heavy metal accumulation into organisms .....	272
2.6. Results .....	274
2.6.1. Filed observation .....	274
2.6.2. Grain size analysis of sediments .....	275
2.6.3. Heavymetal analysis of sediments .....	277
2.6.4. REEs pattern of sediments .....	279
2.6.5. Long term leaching test of heavy metal .....	281
2.6.5.1. pH/Eh variation in the column .....	281
2.6.5.2. Leaching amount of heavy metal .....	283
2.6.5.3. Comparison with Standard methods process for the exami- nation of waste .....	290
2.6.6. Stability of ash blocks .....	292
2.6.6.1. Surface of ash blocks .....	292
2.6.6.2. Change of inner texture .....	294
2.6.6.3. SEM observation .....	296
2.6.7. Chemical composition of block/sediments .....	300
2.6.8. Heavymetal accumulation amount in organisms .....	302
2.7. Conclusions .....	304

Manufactured and dropped the blocks of artificial upwelling structures

3. Manufacture of artificial upwelling structures .....	306
3.1. Extent of study .....	306
3.2. Manufacture .....	306
3.2.1. Manufactured materials .....	306
3.2.2. Manufactured combination .....	308
3.2.3. Manufactured quality .....	310

3.3. Construction progress .....	312
3.3.1. Design and manufacture of mold .....	312
3.3.2. Cure and manufacture of products .....	315
3.3.3. Workshop and pier .....	317
3.4. Products Management .....	318
3.4.1. Diary .....	318
3.4.2. Examination .....	319
3.4.3. Quality .....	319
3.4.4. Etc .....	319
3.5. Achievement of research objectives .....	320
4. Establishment of artificial upwelling structures .....	321
4.1. Establishment .....	321
4.2. Establishment method .....	323
4.2.1. Establishment plan .....	323
4.2.2. Conveyance and Establishment .....	327
4.2.3. Dropped definition .....	333
4.3. Result and discussion of study .....	349
4.4. Achievement of research objectives .....	355
7. Achievement of research objectives .....	359
8. Conclusion : Suggestions of policy (Administration) .....	365
9. References .....	371

여 백

# 그림 목 차

그림 1-1-1. 현장 주변해역의 3차원 지형도(수심). .....	73
그림 1-1-1. 계속. ....	74
그림 1-1-2. 한국 남해의 퇴적물 분포. ....	74
그림 1-1-3. 주변해역의 어업권 현황. ....	75
그림 1-2-1. 관측정점. ....	78
그림 1-2-2. 2005년 3월 2일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 수온의 수평분포도. ....	81
그림 1-2-3. 2005년 3월 2일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 염분의 수평분포도. ....	82
그림 1-2-4. 2005년 3월 2일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조. ....	83
그림 1-2-5. 2005년 3월 2일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조. ....	84
그림 1-2-6. 2005년 5월 3일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 수온의 수평분포도. ....	87
그림 1-2-7. 2005년 5월 3일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 염분의 수평분포도. ....	88
그림 1-2-8. 2005년 5월 3일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조. ....	89
그림 1-2-9. 2005년 5월 3일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조. ....	90
그림 1-2-10. 2005년 8월 4일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 수온의 수평분포도. ....	93
그림 1-2-11. 2005년 8월 4일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 수온의 수평분포도. ....	94

그림 1-2-12. 2005년 8월 4일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조. ....	95
그림 1-2-13. 2005년 8월 4일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조. ....	96
그림 1-2-14. 유속계(ADCP) 사진. ....	97
그림 1-2-15. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A에서 관측한 수심에 따른 해류의 벡터성분. ....	99
그림 1-2-16. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서벡터(U)와 남북벡터(V) 성분. ....	100
그림 1-2-17. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도. ....	102
그림 1-2-18. 2005년 1월 27일~28일(상)과 6월 21일~22일(하) 정점 A에서 관측한 조류 분산도. ....	103
그림 1-2-19. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B에서 관측한 수심에 따른 해류의 벡터성분. ....	106
그림 1-2-20. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서벡터(U)와 남북벡터(V) 성분. ....	107
그림 1-2-21. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도. ....	109
그림 1-2-22. 2005년 4월 16일~17일(상)과 8월 29일~30일(하) 정점 B에서 관측한 조류 분산도. ....	110
그림 1-3-1. 사업지구 주변 해역의 3차원 해저지형도. ....	118
그림 1-3-2. 해수유동모델의 광역 및 상세역 등수심도. ....	119
그림 1-3-3. 해수유동모델의 정방향 1km 격자도. ....	120
그림 1-3-4. Pt.1(삼천포항)에서의 조위 검증 곡선. ....	125
그림 1-3-5. Pt.2(육지항)에서의 조위 검증 곡선. ....	125
그림 1-3-6. 기존 측류자료에 의한 st.A 및 st. B 정점의 조류분산도. ....	126

그림 1-3-7.	해수유동모델에 의해 재현된 st.A 및 st.B 정점의 조류타원도. ...	127
그림 1-3-8.	현재 상태의 해수유동실험에 의한 광역의 최강 창조시 유속 벡터도. ....	132
그림 1-3-9.	현재 상태의 해수유동실험에 의한 광역의 최강 낙조시 유속 벡터도. ....	133
그림 1-3-10.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 시). (상)표층 (하)저층. ....	134
그림 1-3-11.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 1시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	135
그림 1-3-12.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 2시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	136
그림 1-3-13.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 3시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	137
그림 1-3-14.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 4시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	138
그림 1-3-15.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 5시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	139
그림 1-3-16.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 시). (상)표층 (하)저층. ....	140
그림 1-3-17.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 후 1시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	141
그림 1-3-18.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 후 2시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	142
그림 1-3-19.	현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 후 3시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	143
그림 1-3-20.	사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 4시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	144
그림 1-3-21.	사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 5시간 뒤). (상)표층 (하)저층. ....	145

그림 1-3-22. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 시). (상) 표층 (하) 저층. ....	146
그림 1-3-23. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 1시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	147
그림 1-3-24. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 2시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	148
그림 1-3-25. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 3시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	149
그림 1-3-26. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 4시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	150
그림 1-3-27. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 5시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	151
그림 1-3-28. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 시). (상) 표층 (하) 저층. ....	152
그림 1-3-29. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 1시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	153
그림 1-3-30. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 2시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	154
그림 1-3-31. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 3시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	155
그림 1-3-32. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 4시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	156
그림 1-3-33. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 5시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층. ....	157
그림 1-4-1. 수질조사정점. ....	160
그림 1-4-2. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존산소의 분포. ....	162
그림 1-4-3. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 화학적산소요구량의 분포. ....	164
그림 1-4-4. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 부유물질의 분포. ....	166
그림 1-4-5. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 엽록소 a의 분포. ....	167

그림 1-4-6. 2005년 3월 엽록소 a의 수평분포. ....	168
그림 1-4-7. 2005년 5월 엽록소 a의 수평분포. ....	169
그림 1-4-8. 2005년 8월 엽록소 a의 수평분포. ....	170
그림 1-4-9. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 암모니아질소의 분포. ....	173
그림 1-4-10. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 아질산질소의 분포. ....	175
그림 1-4-11. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 질산질소의 분포. ....	176
그림 1-4-12. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기질소(DIN)의 분포. ..	179
그림 1-4-13. 2005년 3월 용존무기질소의 수평분포. ....	180
그림 1-4-14. 2005년 5월 용존무기질소의 수평분포. ....	181
그림 1-4-15. 2005년 8월 용존무기질소의 수평분포. ....	182
그림 1-4-16. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기인의 분포. ....	183
그림 1-4-17. 2005년 3월 용존무기인의 수평분포. ....	184
그림 1-4-18. 2005년 5월 용존무기인의 수평분포. ....	185
그림 1-4-19. 2005년 8월 용존무기인의 수평분포. ....	186
그림 1-4-20. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 총질소(T-N)의 분포. ....	189
그림 1-4-21. 2005년 3월 총질소의 수평분포. ....	190
그림 1-4-22. 2005년 5월 총질소의 수평분포. ....	191
그림 1-4-23. 2005년 8월 총질소의 수평분포. ....	192
그림 1-4-24. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 총별 총인의 분포. ....	193
그림 1-4-25. 2005년 3월 총인의 수평분포. ....	194
그림 1-4-26. 2005년 5월 총인의 수평분포. ....	195
그림 1-4-27. 2005년 8월 총인의 수평분포. ....	196
그림 1-4-28. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 규산규소의 분포. ....	198
그림 1-4-29. 2005년 3월과 8월 해수 중 영양염류와 클로로필의 관계. ....	199
그림 1-4-30. 2005년 3월과 5월 8월의 정점 1에서 용존산소, 엽록소 a, 용존 무기질소, 용존무기인, 규산규소의 수직분포. ....	200
그림 1-4-31. 2002년 9월과 2005년 8월의 정점 1에서의 영양염류 비교. ...	201



그림 1-4-32.	2002년 9월과 2005년 8월의 영양염류 평균농도 비교.	203
그림 1-5-1.	3월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	206
그림 1-5-2.	5월 표층 및 중층(25m)식물플랑크톤 현존량.	207
그림 1-5-3.	8월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	207
그림 1-5-4.	2005년 3월, 5월 및 8월의 동물플랑크톤 풍도 분포.	212
그림 1-5-5.	2005년 3월 표층(1m)에서의 생균수.	214
그림 1-5-6.	2005년 5월 표층(1m)에서의 생균수.	215
그림 1-5-7.	2005년 8월 표층(1m)에서의 생균수.	215
그림 1-6-1.	어류자원 조사를 실시한 해역도.	217
그림 1-6-2.	분류군별 출현양상.	224
그림 1-6-3.	조사해역에서 채집한 저층어류.	228
그림 1-6-4.	대응일치분석에 의한 조사시기와 저층 주요어종의 차원상 분포.	230
그림 1-6-5.	출현 양상에 따른 주요 어종의 구분.	231
그림 1-6-6.	조사해역에서 채집한 중층어류.	235
그림 1-6-7.	조사해역의 표층어류의 월변동.	241
그림 1-6-8.	출현양상에 따른 표층어류의 구분.	243
그림 1-6-9.	대응일치분석으로부터 유도된 조사시기와 표층어류의 차원상 분포.	244
그림 1-6-10.	수심별 군집분석.	248
그림 1-7-1.	수중 비디오 촬영기.	249
그림 1-7-2.	잠수 장비.	250
그림 1-7-3.	동계 해저 상태.	251
그림 1-7-4.	춘계 해저 상태(키조개 포착).	252
그림 1-7-5.	하계 해저 상태.	253
그림 2-1-1.	해양 환경과 해수-블록간의 반응.	256
그림 2-1-2.	시료채취 위치도.	262

그림 2-1-3. 연구에 이용된 채수기와 CTD. ....	263
그림 2-1-4. 피스톤 코아를 이용한 해양퇴적물 채취 과정. ....	264
그림 2-1-5. 입도분석 과정. (A)탄산염 제거, (B)습식분석, (C)로텡 요동기, (D)자동입도분석기. ....	266
그림 2-1-6. 유도결합 플라즈마 방출분광기. ....	267
그림 2-1-7. 실험에 이용된 컬럼. ....	269
그림 2-1-8. 폐기물 공정시험 과정. (A)항온 진탕기를 이용한 반응 모습, (B)시료 원심분리. ....	270
그림 2-1-9. 구조물 안정성 조사. (A)수산과학기술센터 내 순환수조, (B)수조 내 블록의 침지 모습. ....	271
그림 2-1-10. 모래, 실트 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류. ....	276
그림 2-1-11. 자갈, 모래 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류. ....	276
그림 2-1-12. 연구지역 퇴적물의 희토류원소 패턴. ....	280
그림 2-1-13. 컬럼 내 시간 경과에 따른 산화환원전위(A), pH, (B)변화 ....	282
그림 2-1-14. 시간에 따른 컬럼내 중금속의 농도변화. (A)비소, (B) 코발트, (C)망간, (D)카드뮴, (E)아연, (F)크롬, (G)납, (H) 몰리브덴, (I)바륨, (J)니켈, (K)구리. ....	284
그림 2-1-14. 계속. ....	285
그림 2-1-14. 계속. ....	286
그림 2-1-14. 계속. ....	287
그림 2-1-14. 계속. ....	288
그림 2-1-14. 계속. ....	289
그림 2-1-15. 폐기물 공정시험법과 컬럼 실험에 의한 중금속 용출량의 비교. ....	291
그림 2-1-16. 석탄회 블록 원시료의 절단면 사진. ....	292
그림 2-1-17. 석탄회 블록 표면 사진. (A)원시료의 표면, (B)2개월 경과한 석탄회블록의 표면, (C)5개월 경과한 석탄회 블록의 표면. ..	293
그림 2-1-18. 원시료의 현미경 사진. A와 C는 개방니콜, B와 D는 교차 니콜임. ....	294

그림 2-1-19. 2개월 경과한 시료의 현미경 조직 사진. A와 C는 개방니콜, B와 D는 교차니콜임. ....	295
그림 2-1-20. 석탄회 블록 기공에 생성된 2차 생성물의 주사전자현미경 (SEM) 사진. A와 B는 EDS 분석 위치임. ....	297
그림 2-1-21. 석탄회 블록 내 공극의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A) 기공을 충전한 2차생성물, (B) 판상과 주상 구조를 갖는 2차 생성물. ....	298
그림 2-1-22. 석탄회 블록 표면의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A)풍화 되지 않은 신선한 표면, (B)풍화된 표면. ....	299
그림 3-1-1. 용승류블록 재료. ....	307
그림 3-1-2. 몰드 설계도. ....	313
그림 3-1-3. 몰드 형상. ....	314
그림 3-1-4. 구조물(블록)제작과정. ....	316
그림 3-1-5. 제작장 및 접안시설. ....	317
그림 4-1-1. 구조물 설치 공정도. ....	322
그림 4-1-2. 인공용승류 블록 설치 위치도. ....	324
그림 4-1-3. 최종 구조물의 3차원 조감도 및 단면도. ....	325
그림 4-1-4. 1차년도 및 2차년도 설치 단면도. ....	326
그림 4-1-5. 제작에서 투하까지의 공정도. ....	328
그림 4-1-6. 야적장. ....	329
그림 4-1-7. 선착장. ....	329
그림 4-1-8. 육상운반. ....	329
그림 4-1-9. 해상기중기선 및 예인선. ....	329
그림 4-1-10. 선적. ....	329
그림 4-1-11. 적재확인. ....	329
그림 4-1-12. 해상운반. ....	330
그림 4-1-13. 계류. ....	330
그림 4-1-14. 결색. ....	330

그림 4-1-15. 투하. ....	330
그림 4-1-16. GPS의 비콘. ....	330
그림 4-1-17. 해상측량프로그램(HYPACK). ....	330
그림 4-1-18. 블록투하 방법 1. ....	332
그림 4-1-19. 블록투하 방법 2. ....	332
그림 4-1-20. 양방향 음파탐지기 구성도. ....	334
그림 4-1-21. Side Scan Sonar 조사 모식도. ....	334
그림 4-1-22. 양방향음파탐지기(S-150) 견인체(towfish)(좌), 자료처리기 (우). ....	338
그림 4-1-23. 다중음향측심기 시스템 구성도. ....	341
그림 4-1-24. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사모식도. ....	341
그림 4-1-25. 편집 전후의 영상물. ....	345
그림 4-1-26. 자료편집 후의 영상 예제. ....	345
그림 4-1-27. 1,816개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상. ....	350
그림 4-1-28. 5,914개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상. ....	350
그림 4-1-29. 구조물의 2차원 영상. ....	351
그림 4-1-30. 구조물의 3차원 영상. ....	351
그림 4-1-31. 구조물의 단면도. ....	352
그림 4-1-32. 구조물의 단면 1형상. ....	352
그림 4-1-33. 구조물의 단면 2형상. ....	353
그림 4-1-34. 구조물의 단면 3형상. ....	353
그림 4-1-35. 구조물의 단면 4형상. ....	353
그림 4-1-36. 구조물의 단면 5형상. ....	354
그림 4-1-37. 구조물의 단면 6형상. ....	354

여 백

## List of Figures

Fig. 1-1-1. 3 dimensional topography of around field sea area. ....	73
Fig. 1-1-1. Continued. ....	74
Fig. 1-1-2. Distribution of surface sedimentary facies in the South Sea, Korea. ....	74
Fig. 1-1-3. The present condition of fishery right in the around sea area. ....	75
Fig. 1-2-1. Observation points. ....	78
Fig. 1-2-2. Horizontal distribution of temperature at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom (lower) in March 2, 2005. ....	81
Fig. 1-2-3. Horizontal distribution of salinity at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in March 2, 2005. ....	82
Fig. 1-2-4. Vertical distribution of temperature in March 2, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower). ....	83
Fig. 1-2-5. Vertical distribution of salinity in March 2, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower). ....	84
Fig. 1-2-6. Horizontal distribution of temperature at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom (lower) in May 3, 2005. ....	87
Fig. 1-2-7. Horizontal distribution of salinity at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in May 3, 2005. ....	88
Fig. 1-2-8. Vertical distribution of temperature in May 3 , 2005(SN Line: upper, EW Line: lower). ....	89
Fig. 1-2-9. Vertical distribution of salinity in May 3, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower). ....	90

Fig. 1-2-10. Horizontal distribution of temperature at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom (lower) in August 4, 2005. ....	93
Fig. 1-2-11. Horizontal distribution of temperature at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom (lower) in August 4, 2005. ....	94
Fig. 1-2-12. Vertical distribution of temperature in August 4, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower). ....	95
Fig. 1-2-13. Vertical distribution of salinity in August 4, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower). ....	96
Fig. 1-2-14. Picture of current meter(ADCP). ....	97
Fig. 1-2-15. Stick vector plot of current with depth of mooring st. A in January 27~28(left) and June 21~22(right), 2005. ....	99
Fig. 1-2-16. Time series of East-Wast(U) and South-North(V) omponents with the depth of the mooring site st.A in January 27~28(left) and June 21~22(right), 2005. ....	100
Fig. 1-2-17. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st.A in January 27~ 28(left) and June 21~22(right), 2005. ....	102
Fig. 1-2-18. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st.A in January 27~28(upper) and June 21~22(lower), 2005. ....	103
Fig. 1-2-19. Stick vector plot of current with depth of mooring st. B in April 16~17(left) and August 29~ 30(right), 2005. ....	106
Fig. 1-2-20. Time series of East-Wast(U) and South-North(V) com-ponents with the depth of the mooring site st. B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005. ....	107
Fig. 1-2-21. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st.B in April 16~ 17(left) and August 29~30(right), 2005. ....	109

Fig. 1-2-22. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st.B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005. ....	110
Fig. 1-3-1. 3D Bottom topography. ....	118
Fig. 1-3-2. Model domain and topography. ....	119
Fig. 1-3-3. 1km constant model grid system. ....	120
Fig. 1-3-4. Comparison of the computed and the observed tide for Pt.1. ....	125
Fig. 1-3-5. Comparison of the computed and the observed tide for Pt.2. ....	125
Fig. 1-3-6. Observed tidal current for st. A and B. ....	126
Fig. 1-3-7. Computed tidal current for st. A and B. ....	127
Fig. 1-3-8. Tidal current during maximum flood flow. ....	132
Fig. 1-3-9. Tidal current during maximum ebb flow. ....	133
Fig. 1-3-10. The distribution of tidal current (low water). (upper) upper layer (lower) lower layer. ....	134
Fig. 1-3-11. The distribution of tidal current (1h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	135
Fig. 1-3-12. The distribution of tidal current (2h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	136
Fig. 1-3-13. The distribution of tidal current (3h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	137
Fig. 1-3-14. The distribution of tidal current (4h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	138
Fig. 1-3-15. The distribution of tidal current (5h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	139
Fig. 1-3-16. The distribution of tidal current (high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	140
Fig. 1-3-17. The distribution of tidal current (1h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	141



Fig. 1-3-18. The distribution of tidal current (2h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	142
Fig. 1-3-19. The distribution of tidal current (3h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	143
Fig. 1-3-20. The distribution of tidal current (4h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	144
Fig. 1-3-21. The distribution of tidal current (5h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	145
Fig. 1-3-22. The distribution of tidal current (low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	146
Fig. 1-3-23. The distribution of tidal current (1h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	147
Fig. 1-3-24. The distribution of tidal current (2h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	148
Fig. 1-3-25. The distribution of tidal current (3h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	149
Fig. 1-3-26. The distribution of tidal current (4h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	150
Fig. 1-3-27. The distribution of tidal current (5h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	151
Fig. 1-3-28. The distribution of tidal current (high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	152
Fig. 1-3-29. The distribution of tidal current (1h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	153
Fig. 1-3-30. The distribution of tidal current (2h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	154
Fig. 1-3-31. The distribution of tidal current (3h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	155
Fig. 1-3-32. The distribution of tidal current (4h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	156

Fig. 1-3-33. The distribution of tidal current (5h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer. ....	157
Fig. 1-4-1. Sampling station map. ....	160
Fig. 1-4-2. Distribution of dissolved oxygen (DO) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part). ....	162
Fig. 1-4-3. Distribution of chemical oxygen demand (COD) in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	164
Fig. 1-4-4. Distribution of suspended particulate matter(SPM) in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	166
Fig. 1-4-5. Distribution of chlorophyll-a in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	167
Fig. 1-4-6. Horizontal distribution of chlorophyll-a in March, 2005. ....	168
Fig. 1-4-7. Horizontal distribution of chlorophyll-a in May, 2005. ....	169
Fig. 1-4-8. Horizontal distribution of chlorophyll-a in August, 2005. ...	170
Fig. 1-4-9. Distribution of ammonia in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	173
Fig. 1-4-10. Distribution of nitrite in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	175
Fig. 1-4-11. Distribution of nitrate in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part). ....	176
Fig. 1-4-12. Distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part). ....	179
Fig. 1-4-13. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in March, 2005. ....	180
Fig. 1-4-14. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in May, 2005. ....	181

Fig. 1-4-15. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in August, 2005. ....	182
Fig. 1-4-16. Distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part). ....	183
Fig. 1-4-17. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate (DIP) in March, 2005. ....	184
Fig. 1-4-18. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate (DIP) in May, 2005. ....	185
Fig. 1-4-19. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate (DIP) in August, 2005. ....	186
Fig. 1-4-20. Distribution of total nitrogen(TN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part). ....	189
Fig. 1-4-21. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in March, 2005. ....	190
Fig. 1-4-22. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in May, 2005. ....	191
Fig. 1-4-23. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in August, 2005. ....	192
Fig. 1-4-24. Distribution of total phosphorus(T-P) in March, May and August 2005(from upside to the lower part). ....	193
Fig. 1-4-25. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in March, 2005. ....	194
Fig. 1-4-26. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in May, 2005. ....	195
Fig. 1-4-27. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in August, 2005. ....	196
Fig. 1-4-28. Distribution of dissolved inorganic silicate(Sio <sub>2</sub> -Si) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part). ....	198

Fig. 1-4-29. Plot of nutrients against chlorophyll-a in March and August, 2005. ....	199
Fig. 1-4-30. Vertical distribution of DO, chlorophyll-a, DIN, DIP, SiO <sub>2</sub> -Si at st. 1 in March, May and August, 2005. ....	200
Fig. 1-4-31. Comparison of nutrients in September, 2002 against in August, 2005. ....	201
Fig. 1-4-32. Comparison of average concentrations of nutrients in September, 2002 against in August, 2005. ....	203
Fig. 1-5-1. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in March, 2005. ....	206
Fig. 1-5-2. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in May, 2005. ....	207
Fig. 1-5-3. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in August, 2005. ....	207
Fig. 1-5-4. Distribution of zooplankton abundance(inds. /m <sup>3</sup> ) in March, May and August, 2005. ....	212
Fig. 1-5-5. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water (1m depth) in March, 2005. ....	214
Fig. 1-5-6. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water (1m depth) in May, 2005. ....	215
Fig. 1-5-7. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water (1m depth) in August, 2005. ....	215
Fig. 1-6-1. Location of the small trawl and shrimp trawl area. ....	217
Fig. 1-6-2. The aspect of appearance by the grouping classification. ....	224
Fig. 1-6-3. The fishes of low layer collected in the study area. ....	228
Fig. 1-6-4. Dimension scores of the dominant fishes and three months induced from the correspondence analysis. ....	230
Fig. 1-6-5. Dendrogram illustrating the classification of the dominant fishes on the basis of their occurrence patterns. ....	231

Fig. 1-6-6. The fishes of middle layer collected in the study area. ....	235
Fig. 1-6-7. Monthly variation of the fishes collected the surface fishes in the study area. ....	241
Fig. 1-6-8. Dendrogram illustrating the classification of the fishes of surface layer on basis of their occurrence patterns. ....	243
Fig. 1-6-9. Dimension scores of the fishes of surface layer and four months induced from the correspondence analysis. ....	244
Fig. 1-6-10. Cluster analysis illustrating the depth water. ....	248
Fig. 1-7-1. Submarine video camera. ....	249
Fig. 1-7-2. Diving equipment. ....	250
Fig. 1-7-3. A state of submarine in winter. ....	251
Fig. 1-7-4. A state of submarine in spring. ....	252
Fig. 1-7-5. A state of submarine in summer. ....	253
Fig. 2-1-1. The ocean environment and seawater-block interaction. ....	256
Fig. 2-1-2. Sampling location of study area. ....	262
Fig. 2-1-3. Seawater sampler and CTD. (Conductivity-temperature- depth sensor). ....	263
Fig. 2-1-4. Photograph of sediment sampling by piston core sampler. ..	264
Fig. 2-1-5. Photographs of particle size analysis process. (A)Decar- bonization, (B) wet analysis, (C)RO-TAP Sieve Shaker and (D)sedigraph meter. ....	266
Fig. 2-1-6. Photograph of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP/AES). ....	267
Fig. 2-1-7. Photographs of column test system. ....	269
Fig. 2-1-8. Standard methods process for the examination of waste. (A)Reacting ash block in shaking incubator, (B)sample centrifuge. ....	270
Fig. 2-1-9. Block stability test. (A)Circulating water tank, (B)ash block in the water tank. ....	271

Fig. 2-1-10. Classification at the proportion among sand, silt and clay. ....	276
Fig. 2-1-11. Classification at the proportion among gravel,sand and clay. ...	276
Fig. 2-1-12. Rare earth element patterns of sediments from different station. ....	280
Fig. 2-1-13. Variation of (A)Eh variation, (B)pH in the column as a function of time. ....	282
Fig. 2-1-14. Variation of Concentration of heavy metal in the column as a function of time. (A)As, (B)Co, (C)Mn, (D)Cd, (E)Zn, (F)Cr, (G)Pb, (H)Mo, (I)Ba, (J)Ni, (K)Cu. ....	284
Fig. 2-1-14. Continued. ....	285
Fig. 2-1-14. Continued. ....	286
Fig. 2-1-14. Continued. ....	287
Fig. 2-1-14. Continued. ....	288
Fig. 2-1-14. Continued. ....	289
Fig. 2-1-15. Comparison to the result from standard method for the examination of waste and by column test to the leached heavy metals. ....	291
Fig. 2-1-16. Photograph of cutting section of fresh ash block. ....	292
Fig. 2-1-17. Photographs of ash block surface. (A)Surface of fresh ash block, (B)surface after two months reacted with seawater and (C)surface after five months reacted with seawater. ....	293
Fig. 2-1-18. Microphotographs of the fresh ash block. A and C : open nicol, B and D : cross nicol. ....	294
Fig. 2-1-19. Microphotographs of the ash block after two months reacted with seawater for two months. A and C : open nicol, B and D : cross nicol. ....	295
Fig. 2-1-20. SEM (scanning electron microscope)image of secondary minerals in the pore of ash block. A and B mean position for EDS analysis. ....	297

Fig. 2-1-21. SEM images of secondary minerals in the pore space of ash block. (A)Secondary minerals of the pore space and (B)Tabular and columnar texture for the secondary minerals. ....	298
Fig. 2-1-22. SEM images of block surface. (A)Unweathered fresh surface and (B)weathered surface. ....	299
Fig. 3-1-1. Material of artificial upwelling. ....	307
Fig. 3-1-2. Design of artificial upwelling-mold. ....	313
Fig. 3-1-3. Image of artificial upwelling-mold. ....	314
Fig. 3-1-4. Production process of artificial upwelling-block. ....	316
Fig. 3-1-5. Production place and docking facility. ....	317
Fig. 4-1-1. Process of structure installation. ....	322
Fig. 4-1-2. The map of structure installation. ....	324
Fig. 4-1-3. Three dimension and two dimension of final structure. ....	325
Fig. 4-1-4. Plans of structure in the first and second years. ....	326
Fig. 4-1-5. Process of structure installation. ....	328
Fig. 4-1-6. Open storage yard. ....	329
Fig. 4-1-7. Harbor. ....	329
Fig. 4-1-8. Ground transport. ....	329
Fig. 4-1-9. Floating crane and tugboat. ....	329
Fig. 4-1-10. Shipment. ....	329
Fig. 4-1-11. Check of shipment. ....	329
Fig. 4-1-12. Marine transport. ....	330
Fig. 4-1-13. Mooring buoy. ....	330
Fig. 4-1-14. Band of blocks. ....	330
Fig. 4-1-15. Dropping. ....	330
Fig. 4-1-16. Beacon of GPS. ....	330
Fig. 4-1-17. Program of marine survey(HYPACK). ....	330

Fig. 4-1-18. Dropping method one of block. ....	332
Fig. 4-1-19. Dropping method two of block. ....	332
Fig. 4-1-20. Systems of Side Scan Sonar. ....	334
Fig. 4-1-21. Air view of Side Scan Sonar survey. ....	334
Fig. 4-1-22. Towfish and data processing. ....	338
Fig. 4-1-23. System of Multi-beam Sonar. ....	341
Fig. 4-1-24. Air view of Multi-beam Sonar survey. ....	341
Fig. 4-1-25. Raw data scan(left) and editing data Scan(right). ....	345
Fig. 4-1-26. Data Editor File. ....	345
Fig. 4-1-27. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 1,816). ..	350
Fig. 4-1-28. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 5,914). ..	350
Fig. 4-1-29. Image of structure(two dimension). ....	351
Fig. 4-1-30. Image of structure(three dimension). ....	351
Fig. 4-1-31. Cross section of structure. ....	352
Fig. 4-1-32. Image of section 1. ....	352
Fig. 4-1-33. Image of section 2. ....	353
Fig. 4-1-34. Image of section 3. ....	353
Fig. 4-1-35. Image of section 4. ....	353
Fig. 4-1-36. Image of section 5. ....	354
Fig. 4-1-37. Image of section 6. ....	354



여 백

## 표 목 차

표 1-2-1. 대조기시 정점 A에서의 관측값의 통계치 .....	104
표 1-2-2. 소조기시 정점 B에서의 관측값의 통계치 .....	111
표 1-3-1. 해수유동 실험의 개요 .....	113
표 1-3-2. 상세역 모형의 조류 검증 결과 .....	123
표 1-4-1. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존산소, 화학적산소요구량, 부유 물질 및 염록소 a의 평균값과 변동범위 .....	171
표 1-4-2. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 영양염류의 농도범위와 평균값 .....	177
표 1-5-1. 2005년 3월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성 .....	208
표 1-5-2. 2005년 5월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성 .....	209
표 1-5-3. 2005년 8월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성 .....	210
표 1-5-4. 동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위(inds/m <sup>3</sup> ) .....	212
표 1-6-1. 조사해역에서 저인망, 새우조망으로 채집한 어종의 월 변동 .....	226
표 1-6-1. 계속 .....	227
표 1-6-2. 주요 저층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해 .....	229
표 1-6-3. 중층어류의 개체수 및 생체량 .....	236
표 1-6-4. 표층어류의 개체수 및 생체량 .....	239
표 1-6-5. 표층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해 .....	242
표 1-6-6. 수심별 채집된 어종비교 .....	245
표 1-6-6. 계속 .....	246
표 2-1-1. KSLT법에 의한 산업부산물 내의 중금속 용출양(Han et al., 2001) .....	255
표 2-1-2. 석탄회 내에 존재하는 광물의 풍화반응 .....	260
표 2-1-3. NIST에서 구입한 표준물질(진주담치) 의 중금속 회수율 결과 (단위:µg/kg wet wt.) .....	273
표 2-1-4. 연구지역의 온도, 용존산소농도, 염도, 수소이온전위, 산화환원 전위, 해수 깊이 자료(측정일 : 2005년 4월 6일) .....	274

표 2-1-5. 퇴적물의 채취 정점별 입도 분포(단위:%) .....	275
표 2-1-6. 정점별 퇴적물 화학조성 .....	277
표 2-1-7. 연구지역과 광양만, 서남해안 및 목포해안의 중금속 농도 비교 (단위:ppm) .....	278
표 2-1-8. 정점별 희토류 농도 .....	279
표 2-1-9. 컬럼 내 시간 경과에 따른 수소이온전위, 산화환원전위, 온도 및 전기전도도 변화 .....	281
표 2-1-10. 해역별 중금속 함량에 대한 수질등급기준 (해양수산부, 2002) .....	283
표 2-1-11. 석탄회 블록 공극과 표면의 2차 생성물에 대한 화학조성 .....	297
표 2-1-12. 석탄회 블록의 신선한 면과 풍화면의 화학조성 비교(그림 2-1-22참조) .....	300
표 2-1-13. 시간경과에 따른 석탄회 블록과 퇴적물의 주성분 변화 .....	301
표 2-1-14. 블록 구조물 설치 이전에 채집된 어류 내의 중금속 농도 (단위: mg/kg dry wt) .....	303
표 3-1-1. 석탄회 배합표 .....	308
표 3-1-2. 석탄회 압축강도 시험 .....	308
표 3-1-3. 매립석탄회 배합표 재료특성 .....	309
표 3-1-4. 재료의 계량 .....	309
표 3-1-5. 인공용승류블록 규격 및 재원 .....	310
표 3-1-6. 코어채취 압축강도 측정 .....	311
표 3-1-7. 슈미트햄머를 이용한 압축강도 측정 .....	312
표 3-1-8. 제작일지 .....	318
표 4-1-1. 연차별 블록 투하수 및 부피 .....	324
표 4-1-2. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사 순서도 .....	337
표 4-1-3. 조사에 사용된 양방향 음파탐사기(S-150)의 사양 .....	338
표 4-1-4. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 시스템구성 .....	340
표 4-1-5. 다중빔음향측심기를 이용한 수심측량 조사순서 .....	343
표 4-1-6. 구성장비별 운용방법 .....	344
표 4-1-7. 블록투하 현황 .....	349

# List of Tables

Table 1-2-1. Statistics of observed current during spring tide for st. A	104
Table 1-2-2. Statistics of observed current during neap tide for st. B	111
Table 1-3-1. Hydrodynamic model condition	113
Table 1-3-2. Comparison of the computed and the observed tide	123
Table 1-4-1. Range and mean values of dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), suspended particulate matter (SPM) and chlorophyll-a at seawaters in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part)	171
Table 1-4-2. Range and mean values of nutrient at seawaters in March, May and August, 2005	177
Table 1-5-1. The species composition of phytoplankton in March, 2005	208
Table 1-5-2. The species composition of phytoplankton in May, 2005	209
Table 1-5-3. The species composition of phytoplankton in August, 2005	210
Table 1-5-4. Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m <sup>3</sup> )	212
Table 1-6-1. Monthly variation of the fishes collected by trawl and shrimp trawl in the study area	226
Table 1-6-1. continued	227
Table 1-6-2. Singular value decomposition for the correspondence analysis of the dominant fishes	229
Table 1-6-3. The number of individuals and biomass in the middle layer	236
Table 1-6-4. The number of individuals and biomass in the surface layer	239
Table 1-6-5. Singular value decomposition for the correspondence analysis of the fishes of surface layer	242
Table 1-6-6. The comparative collected fishes according to the depth	245

Table 1-6-6. continued .....	246
Table 2-1-1. Heavy metal leaching amount of industrial residual products about KSLT method (unit in mg/l) .....	255
Table 2-1-2. Weathering reactions of the fly ash forming minerals .....	260
Table 2-1-3. Concentrations of metals found in Standard Reference Material Organics in Mussel ( <i>Mytilus edulis</i> ) from the National Institute Standards and Technology (unit in $\mu\text{g}/\text{kg}$ wet wt.) .....	273
Table 2-1-4. Temperature, DO, salinity, pH, Eh and depth of studied area. (Measured date : April, 2005) .....	274
Table 2-1-5. Distribution of particle size at each station (Unit in %) .....	275
Table 2-1-6. Chemical composition for each station .....	277
Table 2-1-7. Heavy metal concentration in sediments from Gwangyang, Southwestern coast, Mokpo coast and study area (Unit in ppm) .....	278
Table 2-1-8. Rare earth element (REE) concentration from each station (unit in ppm) .....	279
Table 2-1-9. Variation of pH, Eh, Temperature and EC in the column as a function of time .....	281
Table 2-1-10. Regulation of seawater quality (heavymetal concentration, MOMAF) .....	283
Table 2-1-11. Chemical composition for the surface (A) and secondary mineral (B) .....	297
Table 2-1-12. Chemical compositions of the unweathered surface(A) and weathered surface (B). Refer to Fig. 2-1-22 .....	300
Table 2-1-13. Variation of chemical composition of the ash block and sediments as a function of time (unit in %) .....	301
Table 2-1-14. Concentrations of heavy metals in the sampled fish (unit in $\text{mg}/\text{kg}$ dry wt.) .....	303

Table 3-1-1. Proportion of bottom ash .....	308
Table 3-1-2. Compressive strength test of bottom ash .....	308
Table 3-1-3. Characteristic of proportion bottom ash .....	309
Table 3-1-4. Measurement of material .....	309
Table 3-1-5. Standard of artificial upwelling block .....	310
Table 3-1-6. Core picking compressive strength measurement .....	311
Table 3-1-7. Schumidt hammer compressive strength measurement .....	312
Table 3-1-8. Production Journal .....	318
Table 4-1-1. Numbers and volumes of block by year .....	324
Table 4-1-2. Process of Side Scan Sonar works .....	337
Table 4-1-3. Specifications of Side Scan Sonar(model : S-150) .....	338
Table 4-1-4. Specifications of Multi-beam Sonar .....	340
Table 4-1-5. Process of Multi-beam Sonar survey .....	343
Table 4-1-6. Using method of equipments .....	344
Table 4-1-7. The present state of dropping blocks .....	349

여 백

**1. 연구개발의 필요성**

**2. 연구개발의 배경**



여 백

## 1. 연구개발의 필요성

### 가. 근해해역 어장조성의 필요성

우리나라 수산업은 그동안 수산인 모두가 노력한 결과 연간 330만ton의 수산물을 생산하여, 세계 10위권의 선진수산국으로써의 면모를 확고히 함과 아울러 중요한 식량자원으로써 국가 경제발전에도 크게 기여하고 있다.

그러나, 최근 유엔해양법의 발효와 연안국들이 앞을 다투어 200해리 경제수역을 선포함으로써 우리원양어선들의 조업어장이 계속 줄어들고 있다. 근해어업도 주변국인 일본, 중국 등의 배타적 경제수역 선포, 조업규제강화로 어장이 축소되고 있어 연안해역의 중요성이 크게 부각되고 있다. 또한, 최근 우리나라 연안역은 대규모의 간척사업확대 등으로 어장의 축소화와 더불어 도시화·산업화로 인한 산업 및 생활폐수의 유입으로 인하여 어장환경이 악화되고 있는 실정이다.

따라서 이러한 국내·외 어업여건의 변화에 능동적으로 대체하고, 연안어업을 경쟁력있는 산업으로 육성하기 위해서는 수산자원조성사업의 중요성이 크게 요구되고 있는 실정이다.

### 나. 인공구조물의 소재: 산업부산물 재활용

석탄회는 석탄을 연소시킨 결과 발생하는 회(재)를 말하며, 현재 국내의 석탄회는 대부분 화력발전소에서 발생되고 있다. 국민의 생활수준 및 에너지 소비 증가 등에 따른 원활한 전력 수급을 위해 화력발전소와 더불어 석탄회 발생량도 증가 일로에 있다. 그 량은 1998년 380만ton에서 2004년에는 발생량 550만ton 중 360만ton 정도가 재활용되고 있고 아직까지 발생량의 약 35%인 190만 ton은 매립 등으로 처리되고 있는 실정이다.

산업부산물의 재활용의 하나로써 護岸工事등에 사용되는 콘크리트 블록에 석탄재를 대량으로 활용한 저비용의 제조 기술(애쉬크리트: 석탄재, 시

멘트, 해수로 제조)을 개발하여 일본(Hazama社 등)에서는 인공해저산맥을 구축하는 프로젝트 들을 진행하여 왔다. 그러나, 애쉬크리트(ash-crete)는 비중이 콘크리트의 70~80%로 작고, 波 등의 외력을 받는 장소에서는 활용에 문제점이 발생하였다.

따라서, 위와 같은 문제점을 개선하기 위하여, 지금까지 산업부산물로써 처분되고 있던 석탄회를 重量骨材로 첨가함으로써 종래의 콘크리트와 비슷한 비중으로 개선하였다. 더욱이 소형의 진동모터에 의한 고주파를 이용해서 재료의 밀도를 높임(超流体工法)으로써 강도 확보에 성공하였다. 이 기술의 활용에 의해 종래의 제조방법과 비교하여 5~10% 정도 싸게 제조하는 것이 가능하였고, 석탄재 뿐 만 아니라 금속 슬래그 등 산업부산물의 재활용에도 넓게 공헌 할 수 있다고 생각 되어 진다.

## 2. 연구개발의 배경

### 가. 지형적용승류 발생해역 : 좋은어장형성

Ryther(1969)는 해양에서 용승류해역의 면적은 0.1%밖에 되지 않지만, 어류 생산량은 전해양의 1/2에 달한다고 보고하였다. 이와 같이 용승류해역이 어류생산성이 높은 이유로서는 영양염이 풍부한 저층수가 용승에 의해 유광층에까지 운반되어 식물플랑크톤을 대량 발생하여 해양 기초생산력이 향상되어서 먹이사슬에 의해 어류의 군집을 유도하기 때문이라고 생각되어 진다. 또한, 용승류해역은 다른 해역과 비교해서 해조류, 새우류, 패류 등의 생산량이 약 3배, 우뚝가사리의 생산력은 약 10배에 달한다고 보고되고 있다(續辰·中尾, 1986).

## 나. 인공어초에 의한 수산자원 조성효과

인공어초에 의한 수산자원 조성효과는 사용 어초의 구조, 크기, 배치형태 및 시설규모 등의 요인에 의해 크게 영향을 받으나, 실제 어장이용 측면에서 볼 때 시설규모의 크기가 가장 중요한 요인이라 할 수 있다.

인공어초 시설어장은 어획량에 있어서, 일반 어장에 비해 1.2~12.0(평균 2.7배)의 효과가 있고, 자연초 어장보다 1.3~2.2배의 어획효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 어업생산에 집결되는 기능 이외에 미성어 보호 육성 등 자원배양 기능과 어군을 유도하는 유도기능을 갖고 있음이 확인되고 있다(국립수산진흥원, 1989, 1992).

## 다. 인공구조물에 의한 용승류 발생어장

위의 2가지 장점을 접목하여, 인위적으로 해양구조물(대형어초)을 설치함으로써 용승류를 발생시켜, 연안해역의 기초생산력을 증대시켜 좋은 어장을 조성하려는 새로운 개념이 대두되고 있다.

연구사례를 보면, 일본의 豊後水道 宇和海에서 인공용승류발생구조물(가로: 45m, 세로: 10m)의 설치에 의한 효과는 조류유속이 2할 증가하고, 아표층의 클로로필 a 농도도 2~3배 증가, 동물플랑크톤의 개체수 및 침전량도 2배로 증가하였다. 또한, 저서생물이 설치 후 2년간은 감소하였으며 3년 이후에는 종·개체수도 증가하였던 것으로 밝혀졌다(Yanagi and Nakajima, 1991).

인공 용승류 발생구조물은 어초의 역할도 하여 정어리, 전갱이, 고등어 및 말쥐치 등과 같은 표·중층어가 구조물주위에 모여있는 것도 밝혀졌다(柳 등, 1991). 위의 구조물을 3배의 크기로 하였을 때 그 효과는 구조물의 크기에 비례하여 증가하는 것으로 보고되었다(今村 등, 1995). 이를 토대로 일본에서는 長崎縣北松海域內에서 대규모 용승어장조성을 추진하였다(沿岸漁場造成技術研究會, 1996, 1997, 1998, 1999).

여 백

**3. 연구개발의 목표 및 내용**

**4. 연구의 기대효과**

여 백

### 3. 연구개발의 목표 및 내용

#### 가. 연구개발의 목표

연근해 해역에 대형인공구조물을 구축하여, 영양염과용존산소가 풍부한 저층수를 표층으로 용승시킴으로써, 자연적인 해수수질 개선과 기초생산력 증대 및 어균유도하기 위함.

#### 나. 연구개발 기간

2004년 11월 18일부터 2005년 9월 17일 까지

#### 다. 연구개발의 범위

##### 가) 지역적 범위

연구해역은 남해안의 거제도 소매물도 앞바다를 중심으로 한다.

##### 나) 내용적 범위

##### ■ 연구조사분야

###### ○ 구조물 설치 효과조사 및 평가

- 현장의 물리환경, 수질환경, 생물상 및 어류상 조사
- 수치모델을 이용한 환경파악 및 수중환경 조사

###### ○ 구조물의 해수반응

- 블록의 증금속 등 용출 및 블록의 안정성 평가

##### ■ 시설물제작·설치분야

###### ○ 시설물제작 설치 공정

###### ○ 용승류 블록제작



- 재료/ 제조방법/ 품질관리/ 제작일지/ 검사/ 기타

o 블록의 운반 및 설치

- 육상운반 및 선적

- 해상운반 및 블록의 설치(투하)

o 블록의 투하 확인

- 육안확인, 기계장비에 의한 확인 병행

o 운반 및 설치 공사의 개선방안 제시

#### 4. 연구의 기대효과

##### ■ 기술적 측면

o 용승류에 의한 원활한 해수순환으로 인한 해수수질의 개선을 통한 환경개선효과

o 대규모 해양구조물형성을 위한 투하 및 침설기술 개발

o 석탄회 재활용을 위한 소재 및 가공기술 개발효과

o 석탄회 재가공을 통한 미래지향적인 재활용방안 제시

o 석탄회 활용기술의 실용화로 자원 재활용 및 구조재료개발 분야 기술 향상

##### ■ 경제·산업적 측면

o 용승류에 의한 기초생산력 향상으로 좋은 어장형성으로 인한 어민 소득증대

o 암초생태계 형성으로 인한 암초성어, 회유어를 포함한 어군의 유집효과

o 연근해 수역의 입체적인 어장 조성의 적극적인 추진

o 저인망어업 등에 의한 불법어업방지로 남획방지 효과

o 석탄회 재활용에 의한 대규모 해양구조물의 설치가능성 제시(원가절감)

o 연근해역의 해양 레크레이션산업(예 낚시 등)과의 연계에 의한 어민의 소득 증대효과

o 자원재활용을 통한 고부가가치 창출 및 경제성 제고

o 석탄회의 구조재료 활용 타당성 검증으로 회처리장 등의 전력산업 부대설비 건설비용 절감 및 친환경적 이미지 제고에 기여

## 5. 연구추진계획

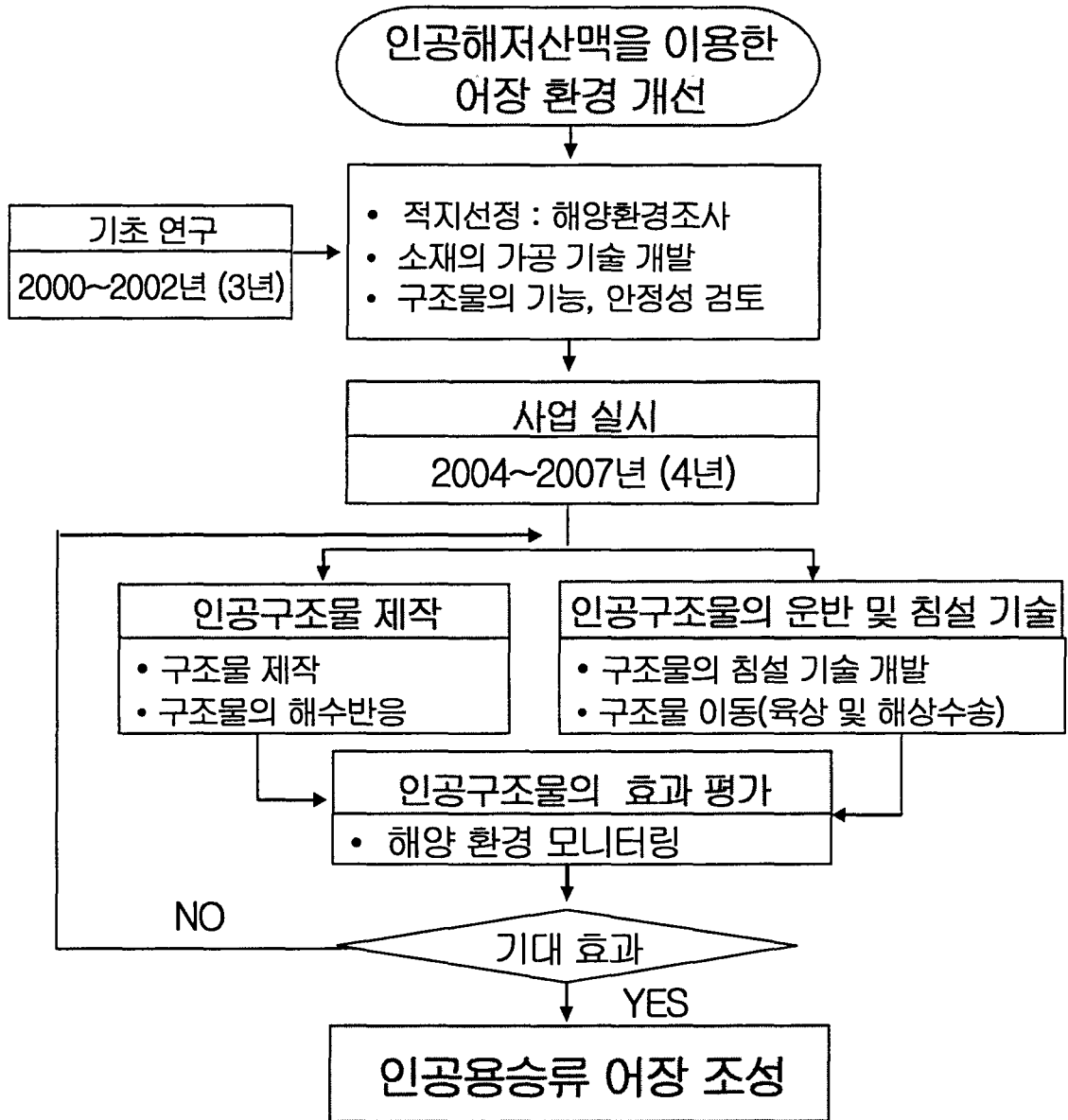
여 백

## 5. 연구추진계획

### 가. 연구의 추진체계

- 0 본 사업은 부경대학교 해양산업개발연구소를 주관연구기관으로하며, 연구조사부분은 국립수산과학원, 경상대학교 해양산업연구소 및 연안해양환경연구소가 참여하는 협동연구이며, 시설물 제작 및 설치부분의 기술적인 문제는 (주)삼성산업 기술연구소와 (주)한국해양기술이 참여하는 공동도급이다.
- 0 주관연구기관인 부경대학교 해양산업개발연구소는 본 연구과업의 목적을 달성하기 위하여 과업내용 중 일부를 관련 연구기관, 기술용역업체 및 민간환경단체에 위탁을 수행할 수 있다.
- 0 용승류블록 제작분야의 경우 삼성산업 기술연구소에서 품질관리 분야를 담당하며, 시제품 제작실적을 보유한 (주)삼성산업이 블록 제작을 담당한다.
- 0 용승류블록의 침설은 (주)만도건설의 장비력과 (주)한국해양기술의 기술력으로 가장 이상적인 침설의 형태를 유도해 낸다.

나. 세부연구 과제간의 구성과 연관성



※ 사업실시 : 현재 사업 예산 50억원, 사업비가 100억원으로 증액될 경우 총 사업실시 기간은 2009년까지 연장 시행할 예정임.

다. 연구의 추진계획

연구 내용			추진 일정										비고	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
연구 조사 분야	구조물의 효과평가	물리환경조사 /수치모델												
		수질환경조사												
		생물상조사												
		자원량조사 /수중모니터 링(구조물설 치전·후)												
	구조물의 해수반응	안정성조사												
		해수반응조사												
시설 물제 작· 설치	제작및침설	블록제작												
		블록침설												
최종보고														
월별공정(%)			5	10	10	10	10	10	10	15	15	5		
누계공정(%)			5	15	25	35	45	55	65	80	95	100		

# 여 백

## 6. 연 구 내 용



여 백

## 6. 연구 내용

### □ 연구 조사 분야 - 구조물의 효과 평가

인공구조물의 투하전과 후의 해양환경변화를 모니터링하여 사업목적에 따른 기대효과를 점검한다.

당해 연도에 실시 할 연구는 다음과 같다. 구조물 투하지역(정점 01: E 128°30', N 34°36')을 중심으로 하여 구조물 투하전에 그 예상해역에서 투하 후 저층에서 표층으로 용승할 영양염이 12시간, 24시간 및 48시간 후에 확산할 가능성이 있는 광역화된 연구영역(그림 1-2-1)에 대하여 해양환경조사를 실시한다.

먼저 구조물 투하해역을 중심으로 한 광역화된 해역을 연구해역으로 설정하여 이 해역의 물리환경조사를 실시한다.

구조물 투하지점인 정점 01, 인접해역(관측정점 A~C)에서 구조물 투하전·후의 유동변화양상을 조사하고, 대조기와 소조기의 해조류의 변동을 밝힌다.

수질환경조사는 투하해역(정점 1)을 중심으로 하여 구조물 투하지역 가까운 곳에서는 저층에서 표층까지 층별 조사를 실시하고, 그 외 넓은 해역에 대해서는 구조물 투하전후의 수질환경변화를 조사하기 위하여 표층(수면하 0.5m), 중층(25m) 및 저층(해저면으로부터 1m)만을 대상으로 한다.

우리나라 연안역은 물리적 환경 특성이 다양하고 계절의 변화가 뚜렷한 온대 해역에 위치하고 있기 때문에 서식하는 수산 생물의 종류와 분포 양상이 매우 다양하며, 이에 따라 다양한 어업이 발달해 왔다. 그러나 70, 80년대 이후로 국가의 경제성장과 국토개발로 인해 연안환경의 변화와 오염이 심해졌으며 이는 해양생물의 서식처 축소와 어획고 감소, 남획에 따른 어자원 고갈 등의 심각한 문제를 야기 시켰다. 또한 최근에 이루어진 한·중·일 어

업협정으로 인한 어장 축소 때문에 어자원의 유용성은 더욱 낮아지고 있다.

이러한 문제들을 극복하면서 안정적인 수산물 공급을 도모하기 위해 원양 어업, 양식 어업 및 해외로부터의 수산물 수입과 같은 대안이 제시되었다. 그러나 원양 어업은 자국의 수산자원 보호를 위해 점차 많은 제약을 받고 있으며, 양식 어업은 과도한 개발로 인해 연안 환경의 주요 오염원이 되면서 오히려 생산성을 떨어뜨렸으며, 수입 수산물의 경우 품질에 있어 부족한 점이 많고 살아있는 수산생물의 수입은 국내 생태계를 파괴할 위험을 가지는 등의 문제점을 일으키고 있다. 이에 해양목장이나 인공어초, 인공용승 등과 같은 새로운 서식처를 제공하여 수산 자원을 회복시키고자 하는 노력이 시도되고 있다. 그러나 이 역시 적지 선정을 잘 못 할 경우 오히려 또 다른 오염원으로 전락할 위험이 크므로 철저한 사전 조사와 연구가 필요하다고 판단된다.

인공 용승은 영양염이 풍부한 저층수를 표층으로 공급하여 기초생산의 증가와 먹이생물, 상위 포식자의 증가로 이어지는 먹이 연쇄를 통해 어족자원을 증가시킨다. 또 인공 용승을 일으키기 위한 구조물 자체가 서식처 및 은신처의 기능을 함으로써 어족자원이 증가하여 어장환경조성에 긍정적인 역할을 할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 인공 구조물을 설치하기 전의 주변 해역 어류 군집에 미치는 영향과 변화를 파악하여 구조물 설치후의 어장환경조성의 비교치를 사전에 만들어 인공 구조물 설치후의 변화상태를 규명하고자 한다.

따라서 인공 구조물을 설치 전·후의 어류의 변동양상을 조사한다. 또한 구조물 설치 전후의 구조물에 부착하는 암초성생물이나 해조류 및 구조물 주위에 서식하는 어류의 변화양상을 수중촬영을 이용하여 파악한다.

### 1.1. 구조물 설치 해역에 대한 현황조사

인공 구조물을 설치 주변해역의 현황을 보면, 그림 1-1-1은 주변해역의 해저지형 및 수심을 3차원으로 나타낸 것이다. 구조물 설치해역 (정점 1: E 128°30' , N 34°36' )은 수심이 약 54~64m로 주변의 해역보다 완만한 형태의 굴곡을 보이고 있다. 또한 남해안 지역의 퇴적물 분포를 그림 1-1-2에 나타내었다. 남해도 남쪽에는 mud가 넓게 분포하며 외해쪽으로 (남동부) 가면서 sand의 함량이 68~93%로 급격히 증가하는 양상을 보인다(Sung, 1994). 부산과 거제도 사이의 낙동강에 인접한 지역에서는 sand의 함량이 25~39%로 보이고 있으며, 외해로 가면서 clay의 함량이 증가하나 수심 70m 부근에서부터 sand의 함량이 73%로 급격히 증가한다. 따라서 이와 같은 현상을 종합해 보면, 구조물 투하지역(정점 01: E 128°30' , N 34°36' )인 소매물도와 국도 사이의 해역은 sand나 sand silt(gravelly)가 분포하고 있으며 이 해역으로 블록 투하시 mud 지역에서 일어날 수 있는 침하작용의 위험성이 적은 지역이다.

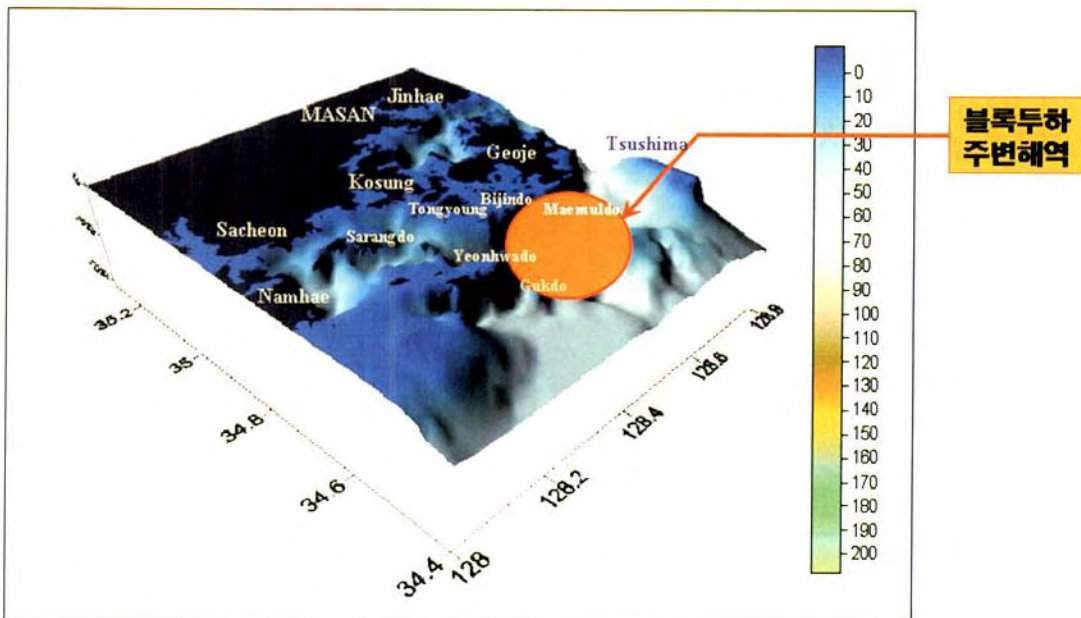


그림 1-1-1. 현장 주변해역의 3차원 지형도(수심).

Fig. 1-1-1. 3 dimensional topography of around field sea area.

### 1.1. 구조물 설치 해역에 대한 현황조사

인공 구조물을 설치 주변해역의 현황을 보면, 그림 1-1-1은 주변해역의 해저지형 및 수심을 3차원으로 나타낸 것이다. 구조물 설치해역 (정점 1: E 128°30' , N 34°36' )은 수심이 약 54~64m로 주변의 해역보다 완만한 형태의 골곡을 보이고 있다. 또한 남해안 지역의 퇴적물 분포를 그림 1-1-2에 나타내었다. 남해도 남쪽에는 mud가 넓게 분포하며 외해쪽으로 (남동부) 가면서 sand의 함량이 68~93%로 급격히 증가하는 양상을 보인다(Sung, 1994). 부산과 거제도 사이의 낙동강에 인접한 지역에서는 sand의 함량이 25~39%로 보이고 있으며, 외해로 가면서 clay의 함량이 증가하나 수심 70m 부근에서부터 sand의 함량이 73%로 급격히 증가한다. 따라서 이와 같은 현상을 종합해 보면, 구조물 투하지역(정점 01: E 128°30' , N 34°36' )인 소매물도와 국도 사이의 해역은 sand나 sand silt(gravelly)가 분포하고 있으며 이 해역으로 블록 투하시 mud 지역에서 일어날 수 있는 침하작용의 위험성이 적은 지역이다.

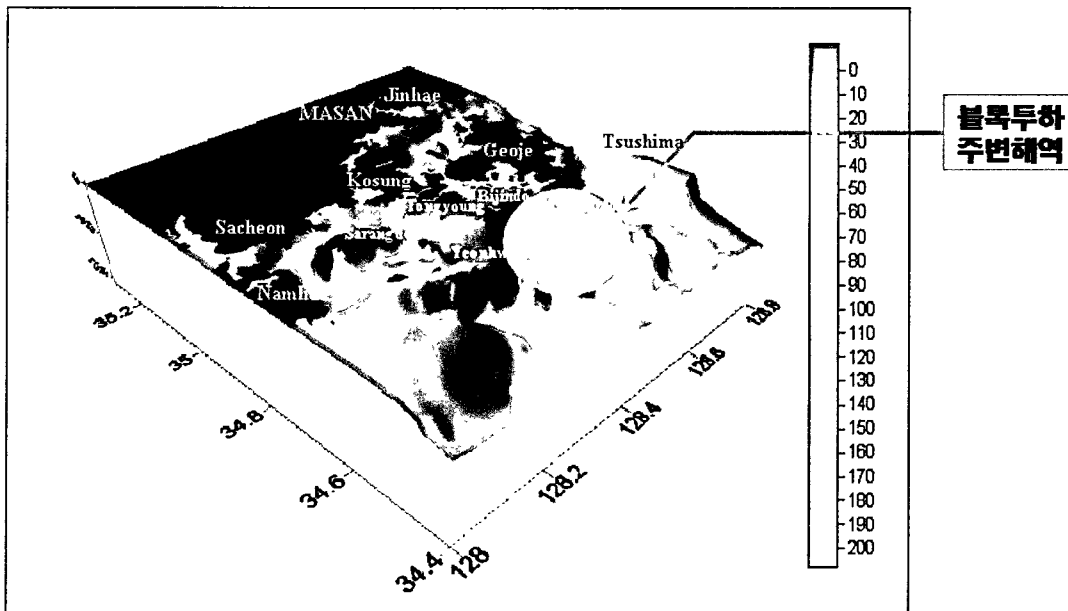


그림 1-1-1. 현장 주변해역의 3차원 지형도(수심).

Fig. 1-1-1. 3 dimensional topography of around field sea area.

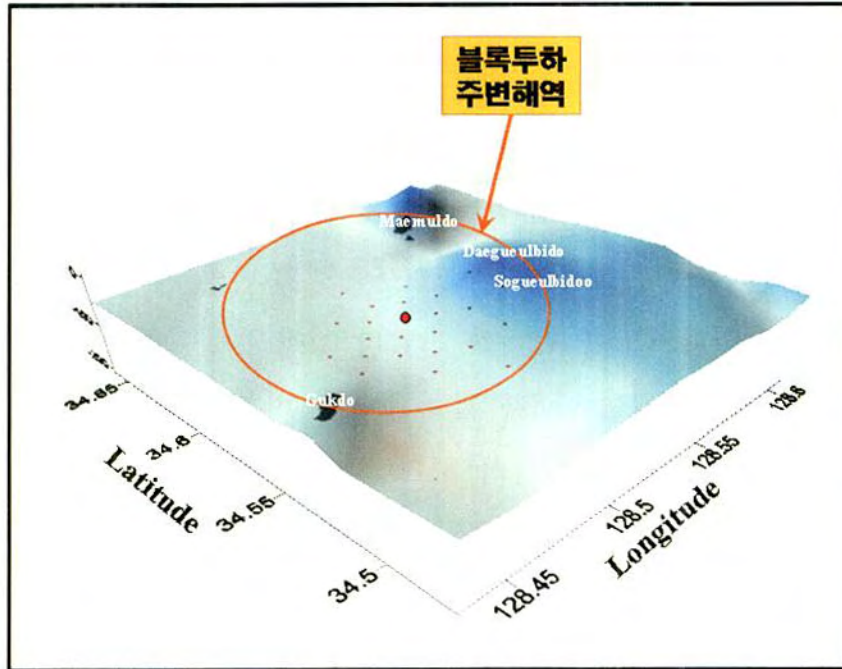


그림 1-1-1. 계속.

Fig. 1-1-1. Continued.

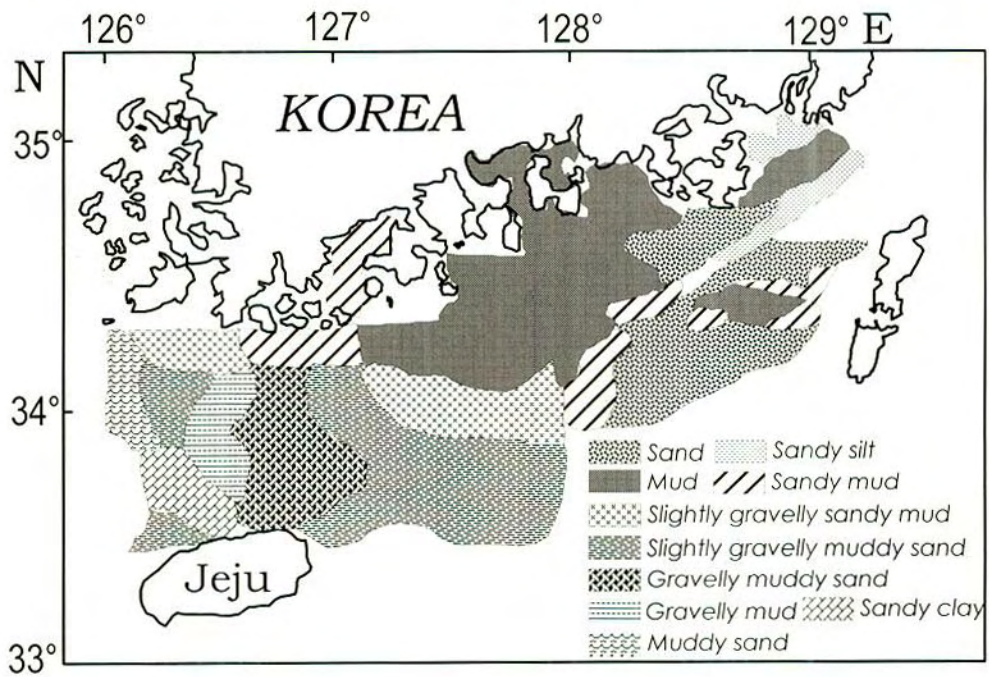


그림 1-1-2. 한국 남해의 퇴적물 분포.

Fig. 1-1-2. Distribution of surface sedimentary facies in the South Sea, Korea.

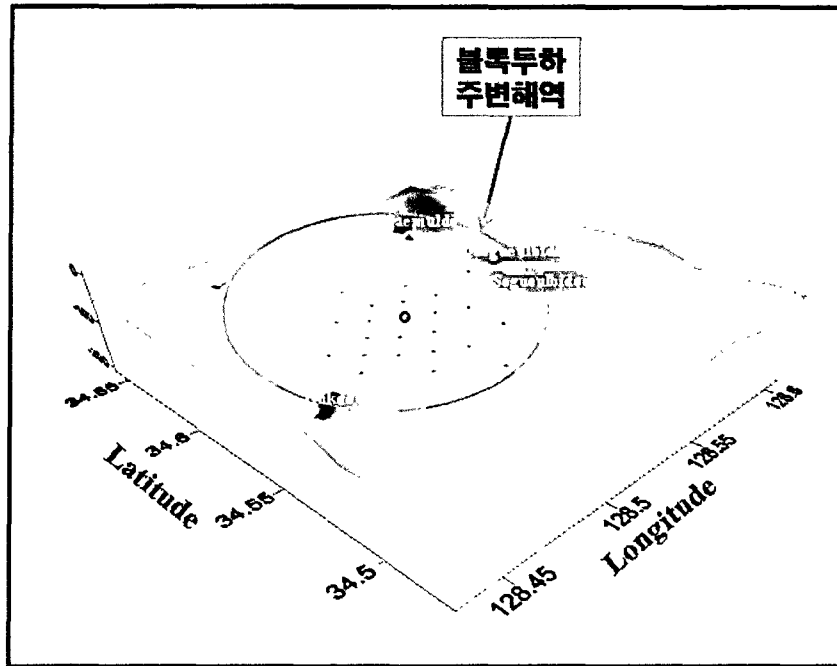


그림 1-1-1. 계속.

Fig. 1-1-1. Continued.

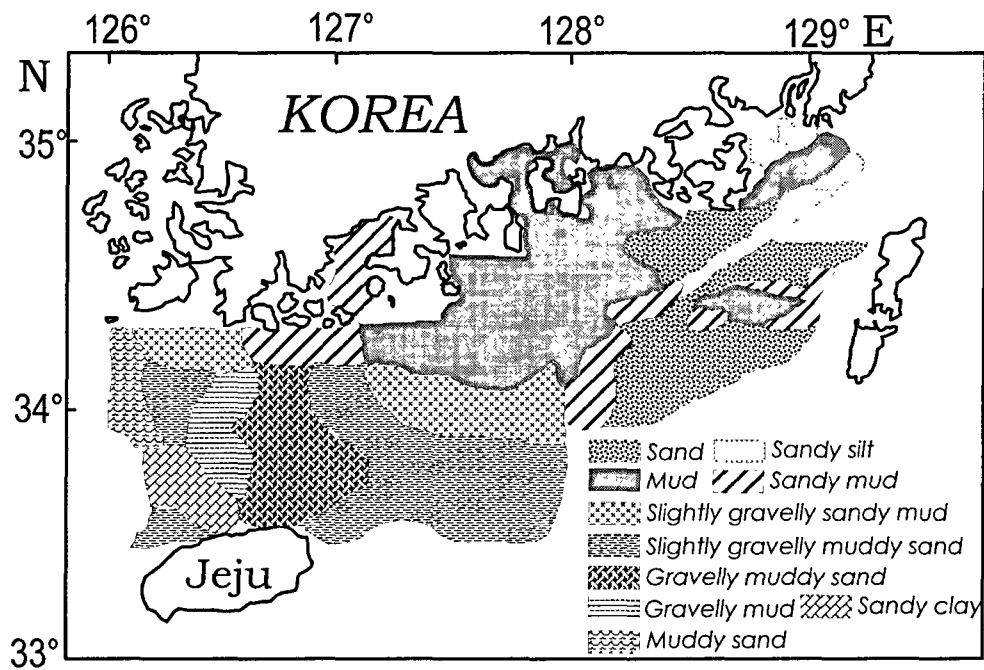


그림 1-1-2. 한국 남해의 퇴적물 분포.

Fig. 1-1-2. Distribution of surface sedimentary facies in the South Sea, Korea.

또한 본 연구 결과 발생할 결과 중 인공 용승류 해역은 기초생산의 증가와 먹이생물, 상위 포식자의 증가로 이어지는 먹이 연쇄를 통해 어족자원의 증가가 예상된다. 따라서 인공 구조물을 설치하기 전의 주변 해역에 대한 어업권 현황 및 어획대상에 대해서 그림 1-1-3에 나타냈으며, 이러한 조사는 구조물 설치후의 어장환경조성의 결과로 나타나는 인공 구조물 설치효과에 대한 비교 자료로 사용될 수 있다.

대상지역은 구조물 설치해역의 인근지역인 경상남도 통영시 한산면 매죽리 소재 매물도 및 소매물도를 대상으로 조사하였다. 어선어업 현황(2005년 9월 현재)을 보면, 연안통발어업이 10척으로 평균 톤수는 5.5톤, 연안복합어업이 33척, 평균 2.5톤 이며, 연안자망어업은 5척으로 평균 톤수는 3.1톤으로 총 48척의 어선어업이 행해지고 있다.

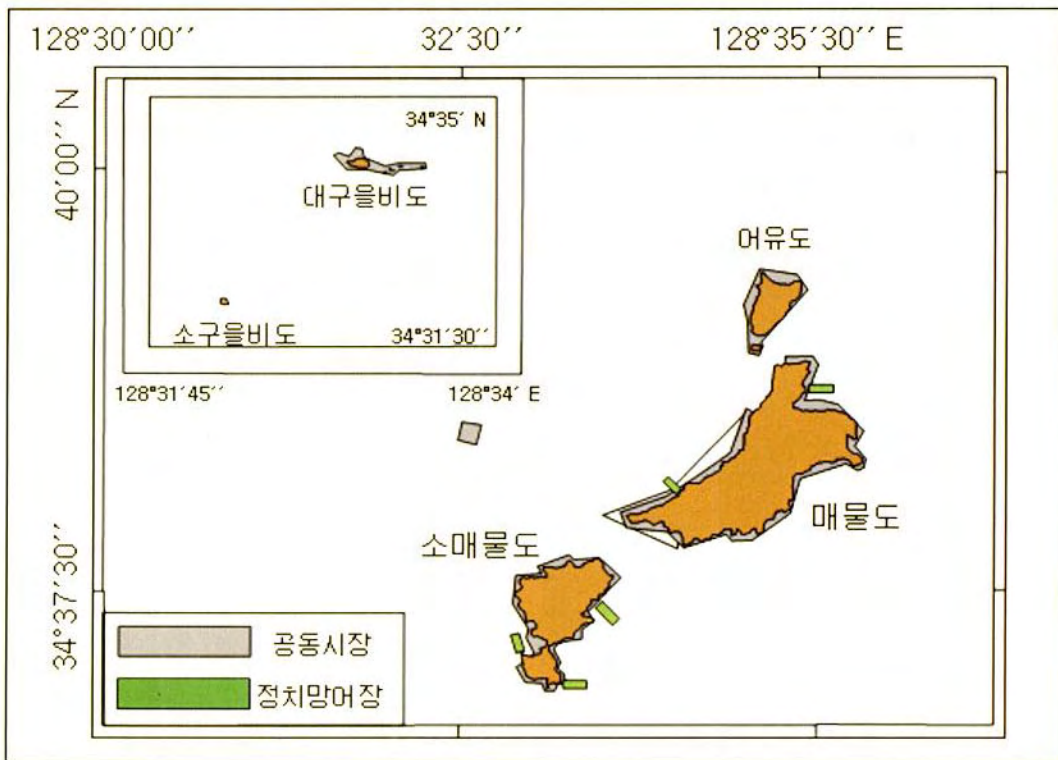


그림 1-1-3. 주변해역의 어업권 현황.

Fig. 1-1-3. The present condition of fishery right in the around sea area.



또한 본 연구 결과 발생할 결과 중 인공 용승류 해역은 기초생산의 증가와 먹이생물, 상위 포식자의 증가로 이어지는 먹이 연쇄를 통해 어족자원의 증가가 예상된다. 따라서 인공 구조물을 설치하기 전의 주변 해역에 대한 어업권 현황 및 어획대상에 대해서 그림 1-1-3에 나타냈으며, 이러한 조사는 구조물 설치후의 어장환경조성의 결과로 나타나는 인공 구조물 설치효과에 대한 비교 자료로 사용될 수 있다.

대상지역은 구조물 설치해역의 인근지역인 경상남도 통영시 한산면 매죽리 소재 매물도 및 소매물도를 대상으로 조사하였다. 어선어업 현황(2005년 9월 현재)을 보면, 연안통발어업이 10척으로 평균 톤수는 5.5톤, 연안복합어업이 33척, 평균 2.5톤 이며, 연안자망어업은 5척으로 평균 톤수는 3.1톤으로 총 48척의 어선어업이 행해지고 있다.

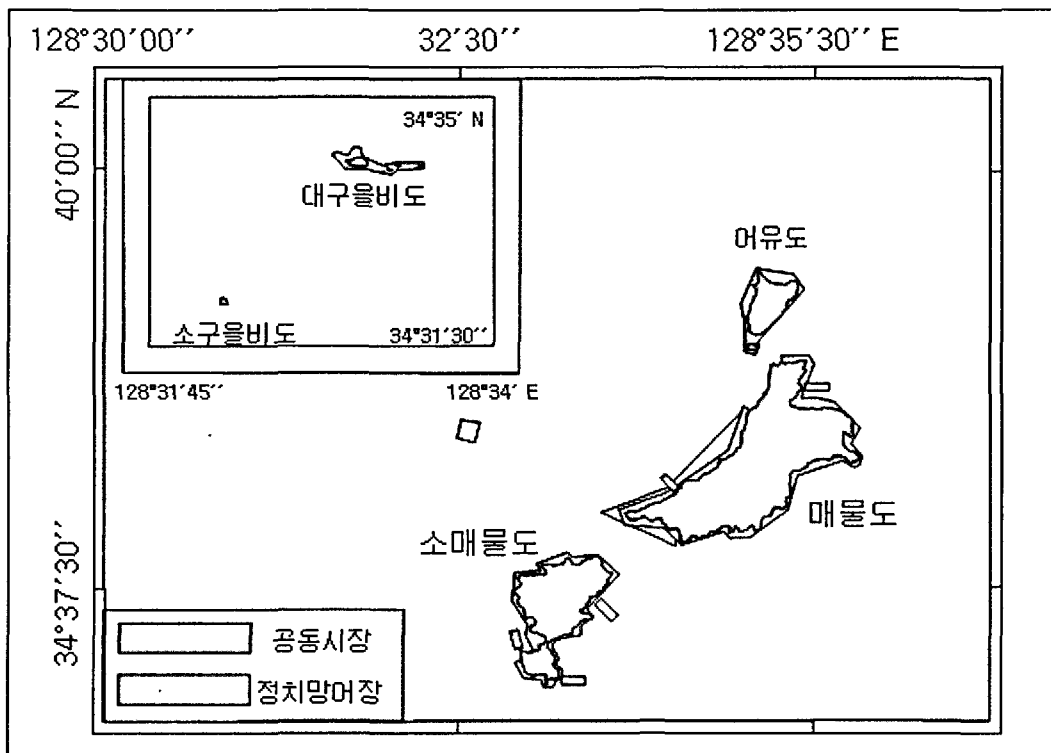


그림 1-1-3. 주변해역의 어업권 현황.

Fig. 1-1-3. The present condition of fishery right in the around sea area.

한편 어촌계 소유 어업권 현황을 보면, 32가구가 거주하는 매물도에서는 각망(정치망)어장 2건이고, 7~8가구가 거주하고 있는 소매물도에서는 3건의 각망어업이 허가된 상황이다. 어획대상을 보면, 연안통발어업으로 메기, 장어류, 고등류, 게류 등, 연안복합어업(외줄, 연승, 채낚기, 문어단지 어구 등)으로 삼치류, 돔류, 불락류 및 문어류 등이 채취되고 있는 실정이다. 그러나 어업현황이 소규모로 행해지고 있기 때문에 정확한 통계량은 파악되고 있지 않다.

이 지역은 자연산 미역생산이 많이 되고 있으나, 가공 및 홍보 부족으로 판로에 어려움이 있다. 또한 이 지역은 과도나 조류가 강하게 발생하는 해역으로써 양식어업이 행해지지 않고 있으며, 방류사업과 같은 자원조성사업도 미실시되고 있는 해역이다. 따라서 본 연구에서와 같이 인공용승류를 활용한 어장환경조성 사업은 주변해역을 대상으로 하여 활동하는 어민들의 수산업에의한 어획량 증가에 많은 영향을 가져 올 것이다.

## 1.2. 물리환경조사

### 1.2.1. 연구자료 및 방법

연구해역에 대한 물리환경조사(해황 및 성층)를 실시하여 구조물 투하 해역의 환경을 평가한다. 따라서 구조물 투하지점(정점 01)을 중심으로 하여 반경 4km, 6km 및 12km로 광역화된 범위에서의 물리환경조사를 실시한다.

물리환경조사는 CTD 및 YSI Model Sonder 6600을 이용하여 구조물 투하 해역을 중심으로 수온, 염분을 조사하여 성층구조 및 예상 용승역 범위의 수온 및 염분의 분포를 파악한다.

해수의 유동 조사는 구조물 투하 해역 그림 1-2-1(정점 A~C)을 중심으로 음향유속계(RD Instruments, Acoustic Doppler Current Profiler, 300KHz)를 이용하여 10분 간격으로 25시간 연속 관측을 통하여 구조물 투하해역 및 주변해역에 대한 해조류 성분을 파악한다.

수치유동모델은 인공용승어장 주변해역의 해수유동 상황을 재현하고자 POM (Princeton Ocean Model)을 이용한 해수유동모델 수치실험을 수행하였다. 실험은 광역 및 상세역으로 구분하여 사업시행 이전 주변해역의 해수유동 상황을 재현하고, 향후 개발계획에 따른 해수유동의 변화를 예측하였다.

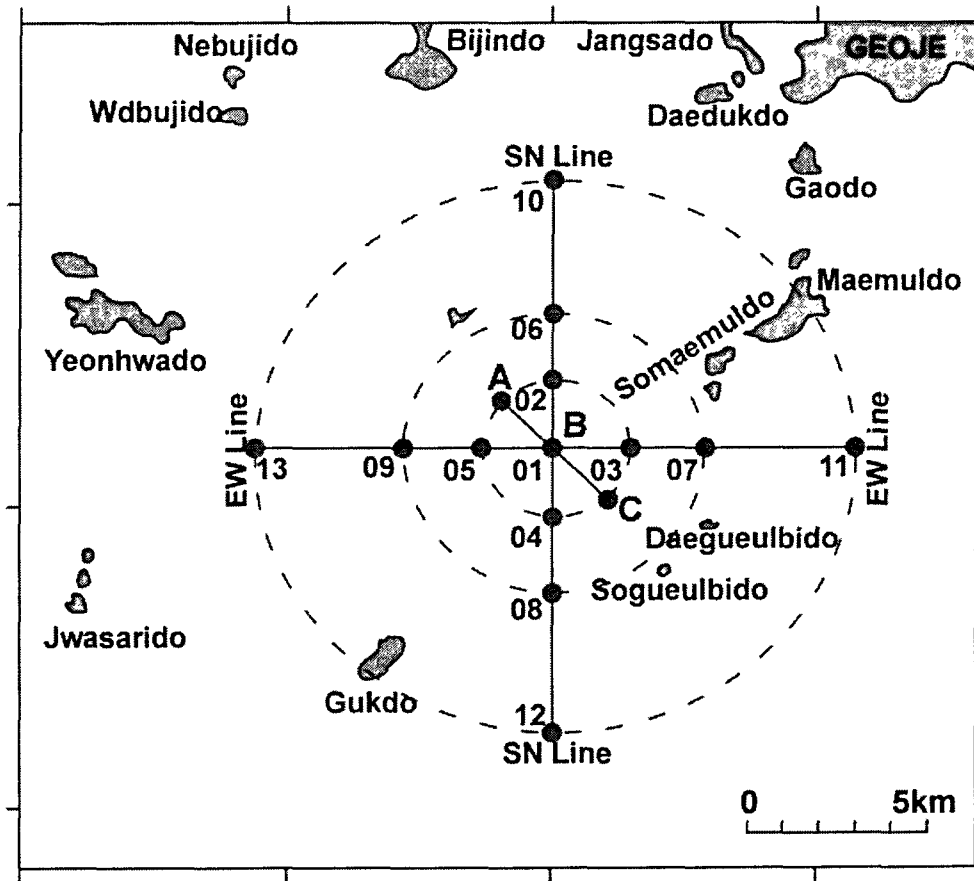


그림 1-2-1. 관측정점.

Fig. 1-2-1. Observation points.

### 1.2.2. 연구결과 및 고찰

연구해역의 수온, 염분 및 유동(정점 A, B, 그림 1-2-1)의 연속관측결과는 다음과 같다.

그림 1-2-2는 동계(2005년 3월 2일) 수온의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포를 나타낸 것이다. 표층에서는 연구해역의 남동쪽의 외해역이 북서쪽인 연안역보다 고수온의 분포를 하고 있다. 중층에서도 남동쪽역이 북서쪽역에 비하여 고수온의 분포를 하고 있으며, 수온차는 표층과 비슷한 분포를 나타내고 있다. 또한 저층에서는 남동쪽역이 북서쪽역에 비하여 고수온분포를 보이고 있지만, 표층에 비하여 약 0.5°C 정도 낮은 수온차로 연직적인 혼합에 따른 표·중층 및 저층의 분포 특성을 볼 수 있다.

2005년 3월 2일 염분의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포도를 그림 1-2-3에 나타내었다. 먼저 표층에서 염분의 분포는 남동쪽역으로 갈수록 고농도의 분포를 나타내고 있고, 중층과 저층에서도 남동쪽역으로 갈수록 고염분 분포를 나타내고 있다. 동계에서 염분의 전반적인 분포는 표층, 중층, 저층에서 남동쪽역으로 갈수록 고염분의 분포양상을 보이고 있다. 저층은 표층과 중층에 비하여 염분이 고농도의 분포를 보이고 있으나 그 차는 0.5psu로 작고, 저층의 남동쪽 경계역에서 34.75psu의 고염분 분포를 하고 있는 특성을 볼 수 있다.

그림 1-2-4는 동계(2005년 3월 2일) 수온의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 먼저 수온의 남북성분(SN Line)에 대한 연직구조를 보면, 표층에서는 남쪽에 12.0°C 수온의 등온선이 수심 10m 이천에 걸쳐 있으며, 남쪽 저층 수심 40m 근처의 11.0°C 등온선과는 약 1.0°C의 수온차를 보이고 있다. 동서성분(EW Line)에 대한 수온의 연직구조를 보면, 동쪽 표층의 수심 약 10m 이천에서 12.0°C 등온선이 보이고

있으며, 서쪽 수심 약 10m 근처에서부터 저층까지 11.0℃의 저수온 분포를 보이고 있다. 동계에 수온의 연직분포는 남쪽역과 동쪽역에서 12.0℃의 분포를 보이고 있으며, 북쪽역과 서쪽역의 저층에서 11.0℃의 수온분포를 나타내고 있다.

그림 1-2-5는 동계(2005년 3월 2일) 염분의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 남북성분(SN Line)의 염분분포를 보면, 북쪽 수심 30m 이천 표층에 34.65psu의 염분이 존재하고 있으며, 정점 02 및 정점 06에서부터 남쪽역의 표 · 저층에 34.70psu로 북쪽역에서 남쪽역으로 갈수록 고농도의 염분 분포를 나타내고 있다. 염분의 동서성분(EW Line)을 보면, 동쪽역의 수심 20m 이천에서 34.65psu의 염분 분포를 나타내고 있으며, 정점 09에서부터 표 · 저층에 걸쳐서 34.70psu의 염분이 서쪽역까지 균질한 형태로 분포하고 있는 것을 볼 수 있다.

이상에서 2005년 동계(3월 2일) 연구해역의 수온 및 염분의 분포를 보면, 표층(1m)에서는 남동쪽의 외해역이 북서쪽의 연안역보다 수온이 0.5℃ 정도 높게 나타나는 분포를 보이고 있으며, 염분도 수온과 마찬가지로 남동쪽의 외해역이 북서쪽 연안역보다 염분이 높게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 동계(2005년 3월 2일)에는 표 · 저층간의 연직혼합에 의해서 표 · 저층간의 수온과 염분은 거의 균질한 분포이며, 연안역인 북서쪽보다 외해역인 남동쪽역이 고수온 · 고염분의 해양특성을 보이고 있다.

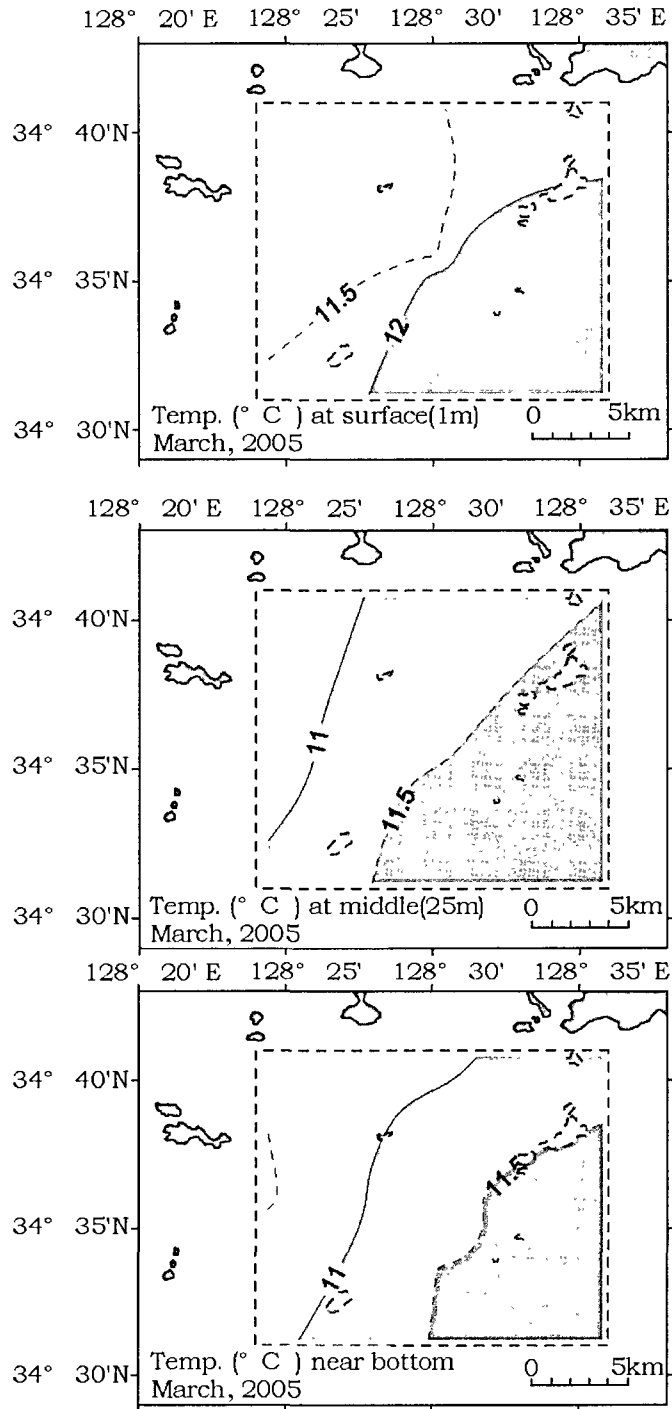


그림 1-2-2. 2005년 3월 2일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 수온의 수평분포도.

Fig. 1-2-2. Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in March 2, 2005.

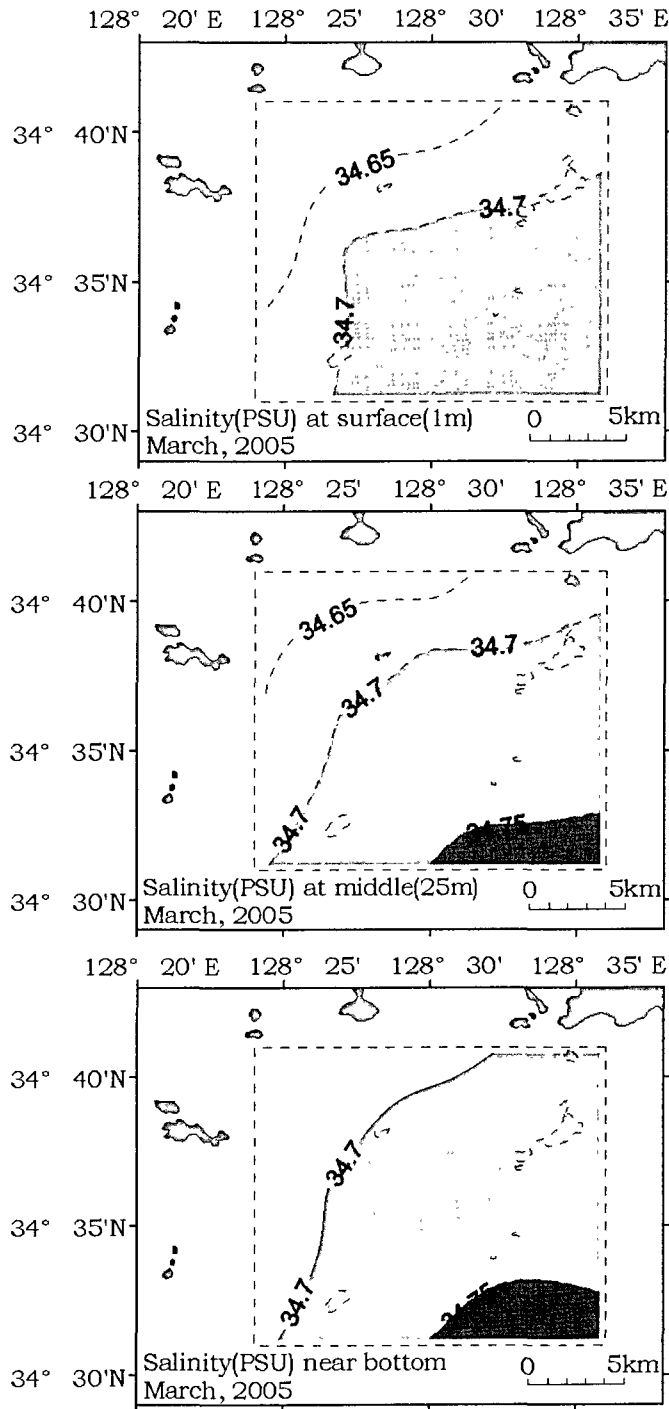


그림 1-2-3. 2005년 3월 2일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 염분의 수평분포도.

Fig. 1-2-3. Horizontal distribution of salinity at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in March 2, 2005.



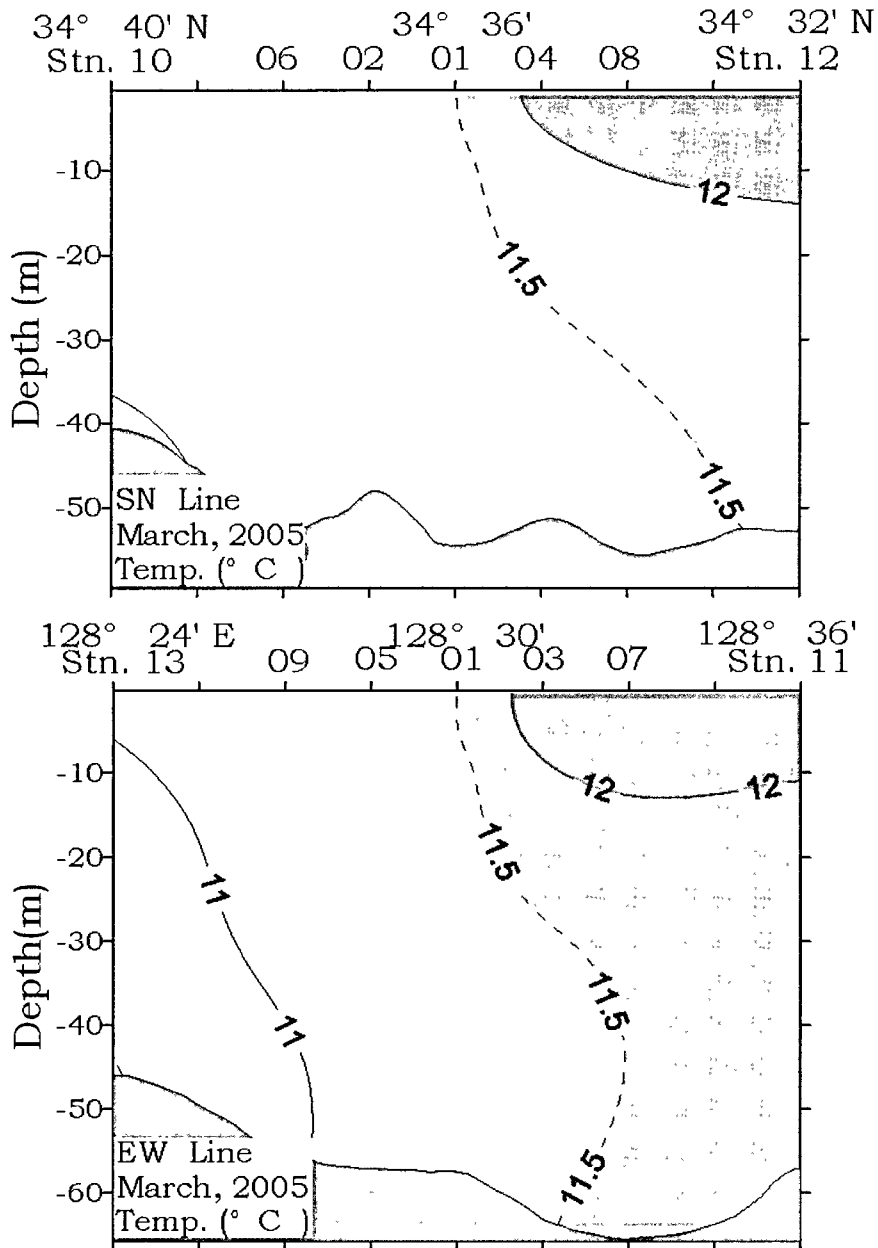


그림 1-2-4. 2005년 3월 2일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조.

Fig. 1-2-4. Vertical distribution of temperature in March 2, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

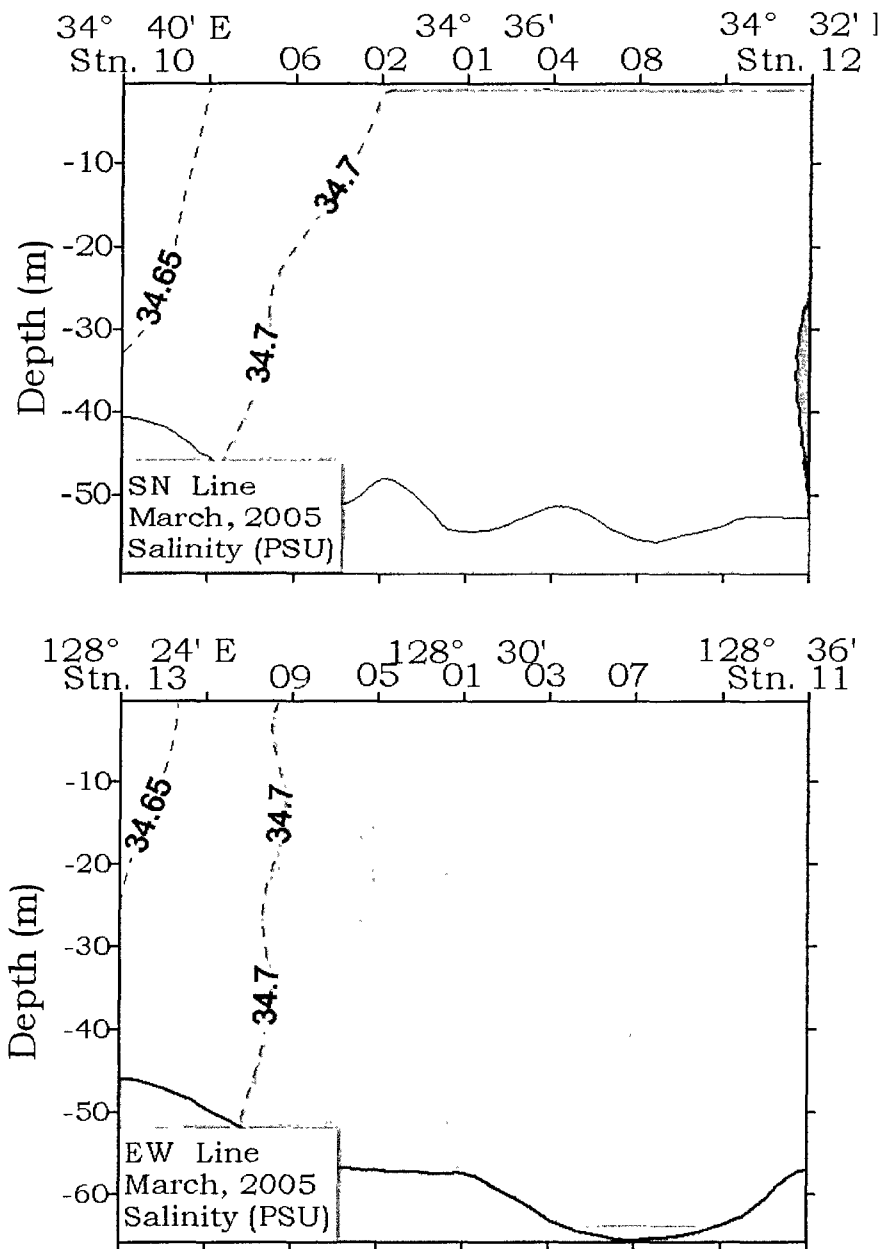


그림 1-2-5. 2005년 3월 2일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조.

Fig. 1-2-5. Vertical distribution of salinity in March 2, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower).

그림 1-2-6은 춘계(2005년 5월 3일) 수온의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포를 나타낸 것이다. 표층에서는 구조물 투하지역인 정점 01을 기준으로 동쪽역과 서쪽역에 고수온분포를 보이고 있으며, 중층에서는 동쪽역에서 고수온 분포가 표층에 비해서  $0.5^{\circ}\text{C}$  작게 나타났고, 또한 저층에서는 남동쪽 경계역에서 고수온분포를 나타내고 있다. 또한, 공간적인 분포로는 저층은 표 · 중층에 비해서 수온이 약  $1.0 \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 가 낮게 나타났으며, 표층을 제외하고 중 · 저층에서 동쪽역이 고수온 분포를 나타내고 있다.

염분(2005년 5월 3일)의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포도를 그림 1-2-7에 나타내었다. 먼저 표층에서 염분의 분포는 연구해역의 북쪽역이  $34.40\text{psu}$  이하의 저염분형태를 나타내고 있는데 비하여 남동쪽역은  $34.70\text{psu}$ 의 고염분을 나타내고 있다. 그리고 중층과 저층의 분포도 표층과 유사한 북쪽역의 저염분, 남동쪽역의 고염분형태로 나타났다.

그림 1-2-8은 춘계(2005년 5월 3일) 수온의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 먼저 수온의 남북성분(SN Line)에 대한 연직구조를 보면, 남쪽에 10m 이천에  $14.0^{\circ}\text{C}$ 의 수온을 분포하고 있다. 동서성분(EW Line)에 대한 수온의 연직구조를 보면, 표층의 동쪽역과 서쪽역의 수심 10m 이천에서  $14.5^{\circ}\text{C}$ 의 수온 분포를 나타내고 있으며, 표층과 저층간의 수온차는 남북성분(SN Line)과 마찬가지로  $1.0^{\circ}\text{C}$ 로 동계에 표 · 저층간에 혼합되어 있는 수온분포가 춘계에는 태양복사열에 의해서 서서히 가열된 분포를 보이고 있다.

그림 1-2-9는 염분(2005년 5월 3일)의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line) 연직분포를 나타낸 것이다. 남북성분의 염분분포를 보면, 북쪽역에서는 남쪽역보다  $34.40\text{psu}$ 이하의 저농도의 염분이 표 · 저층에 걸쳐서 균질한 분포를 보이고 있으며, 남쪽역에서는 표 · 저층에 걸쳐서  $34.70 \sim 34.80\text{psu}$ 의 고농도의 염분분포를 나타내고 있다. 동서성분(EW Line)에 대한

염분의 연직구조를 보면, 동쪽역에서 34.75psu이상의 고염분이 표층과 저층에 걸쳐 균질한 분포를 나타내고 있으며 서쪽역의 표층 18m 이천에서 34.65psu 저농도의 염분분포를 보이고 있다. 따라서 염분의 수심에 따른 변화를 보면 남동쪽역이 북서쪽역에 비하여 34.70~34.80psu의 고농도의 염분 분포를 나타냈으며, 북서쪽역으로 갈수록 남동쪽역에 비하여 0.1 ~ 0.5psu 저농도의 염분 분포를 보이고 있다.

이상에서 2005년 춘계(2005년 5월 3일)연구해역의 수온과 염분의 분포를 보면, 표층(1m)에서의 수온은 북쪽역보다 남쪽역이 높고 분포를 보이고 있으며, 염분은 북서쪽역보다 남동쪽역으로 갈수록 고염분 분포를 나타내고 있다. 중층(25m)에서의 수온은 동쪽역에 고수온 분포를 나타내고 있으며, 염분은 남동쪽역으로 갈수록 고염분 분포를 보이고 있다. 저층(50m)에서의 분포는 중층과 마찬가지로 남동쪽역에서 고수온, 고염분 현상이 나타났다. 전체적으로 표층에서는 공간적으로 동서역에 걸쳐서 고수온 분포를 나타내고 있지만, 중층과 저층에서는 남동쪽역에서 고수온, 고염분 분포를 나타내고 있다.

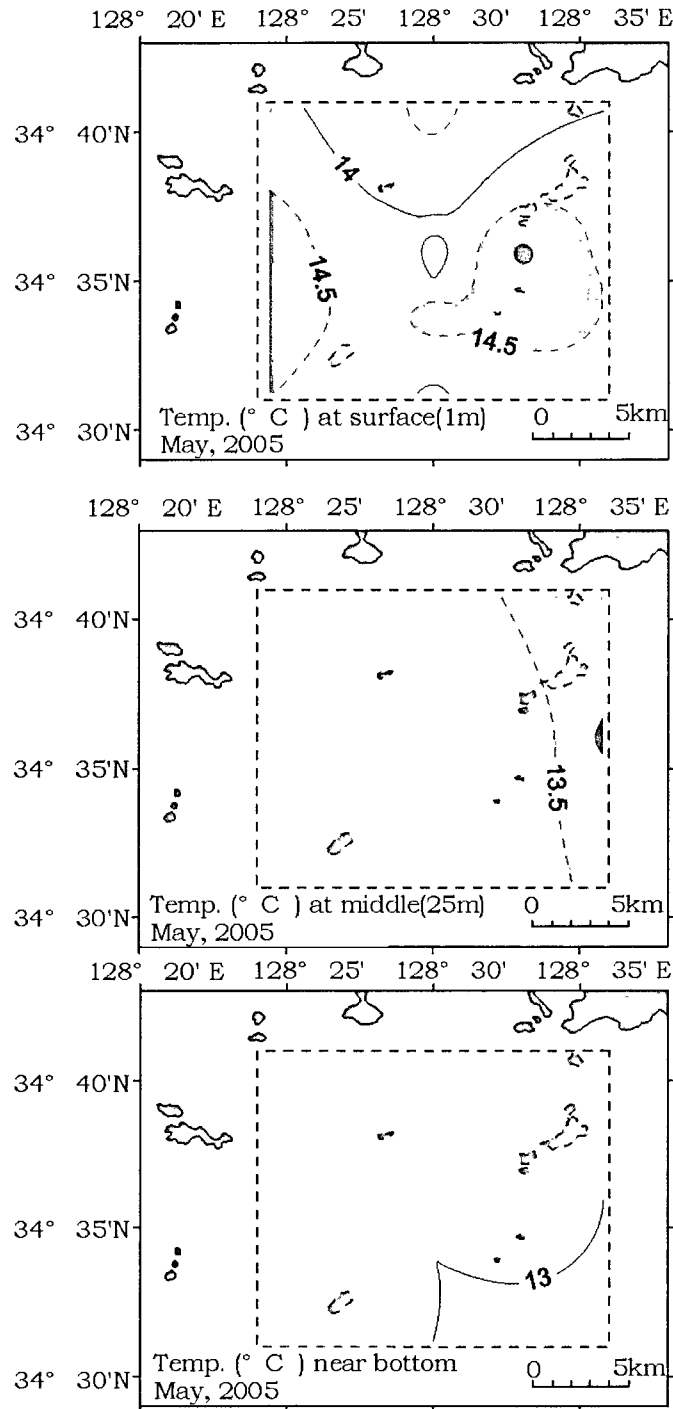


그림 1-2-6. 2005년 5월 3일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 수온의 수평분포도.

Fig. 1-2-6. Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in May 3, 2005.

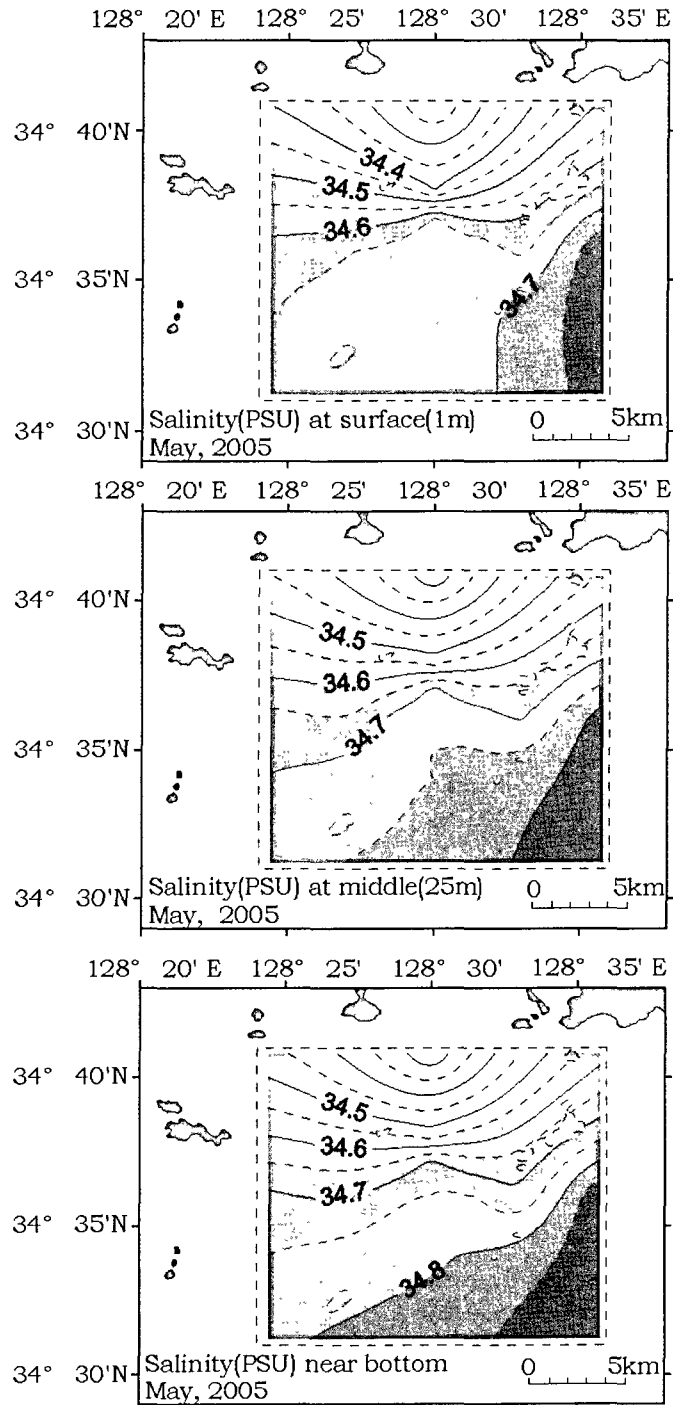


그림 1-2-7. 2005년 5월 3일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 염분의 수평분포도.

Fig. 1-2-7. Horizontal distribution of salinity at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in May 3 , 2005.

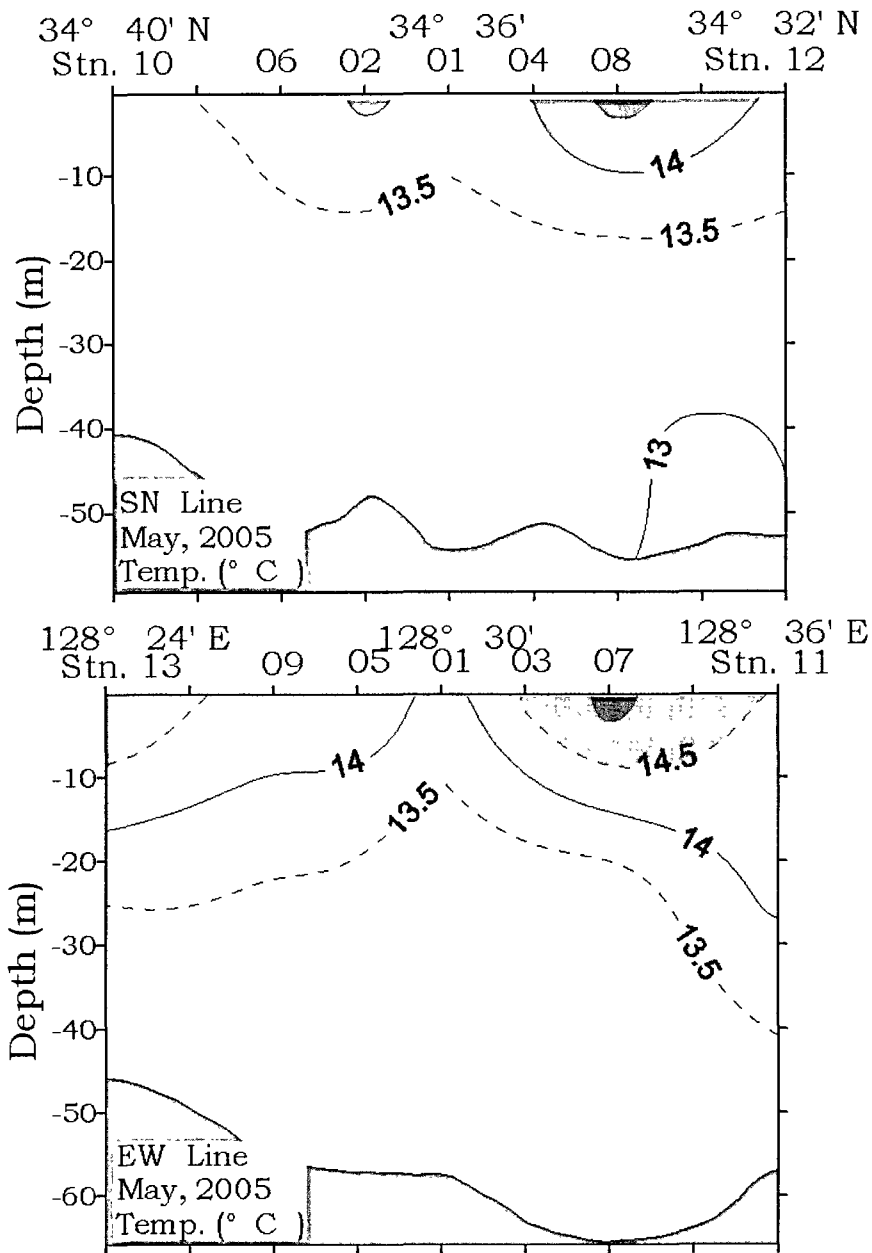


그림 1-2-8. 2005년 5월 3일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조.

Fig. 1-2-8. Vertical distribution of temperature in May 3, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

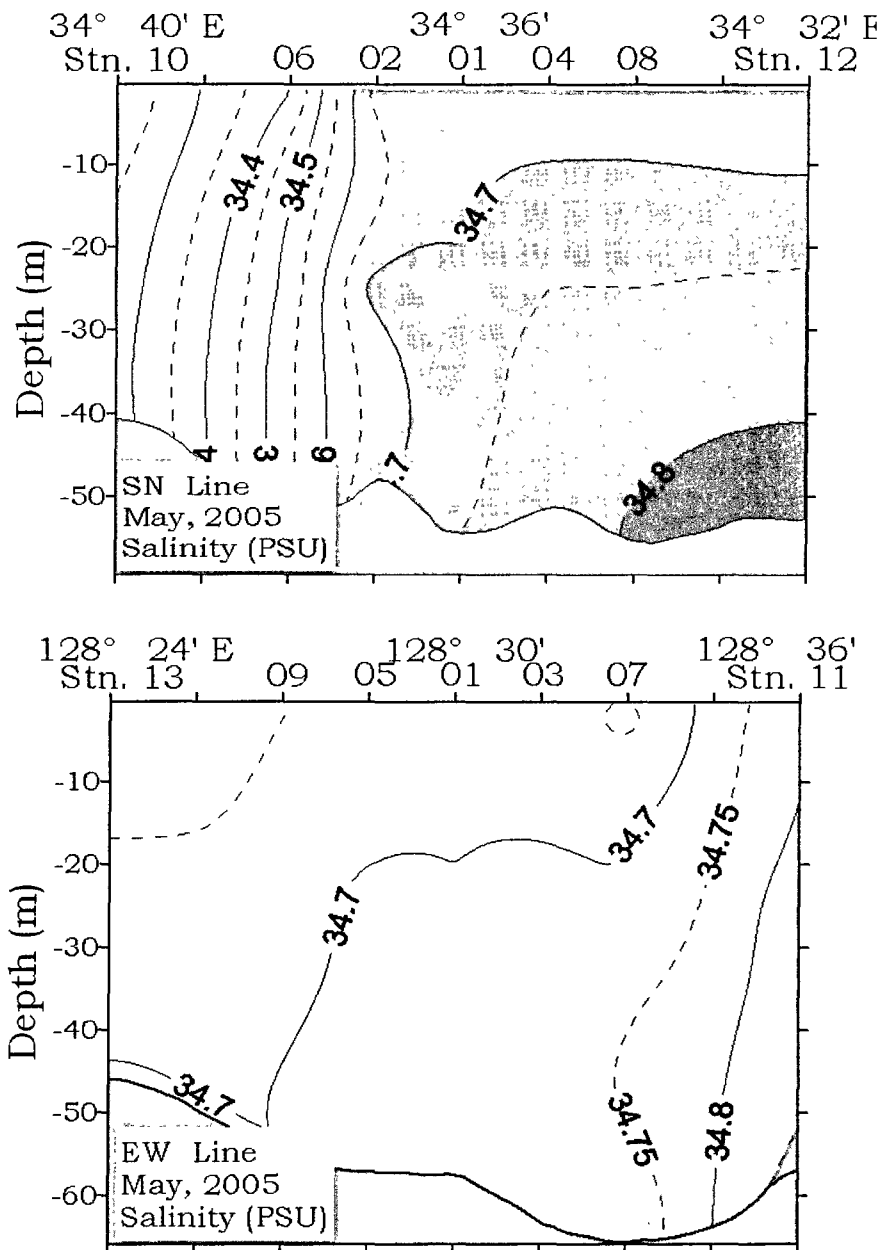


그림 1-2-9. 2005년 5월 3일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조.

Fig. 1-2-9. Vertical distribution of salinity in May 3, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower).



그림 1-2-10는 하계(2005년 8월 4일) 수온의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포를 나타낸 것이다. 표층에서는 북쪽역에서 25.0°C 이상의 고수온분포를 나타내고 있으며, 남동쪽역은 24.5°C의 분포를 나타내고 있다. 중층에서는 동쪽역에서 17.0°C의 수온분포를 보이고 있으며, 서쪽역으로 갈수록 16.0°C의 저수온이 분포하고 있다. 저층에서는 동쪽역이 수온분포가 서쪽역으로 갈수록 낮은 수온 분포를 보이고 있으나 공간적인 수온차는 0.5°C 정도로 낮게 나타났다.

염분(2005년 8월 4일)의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포도를 그림 1-2-11에 나타내었다. 먼저 표층에서 정점 01지역에서 32.05psu의 고염분 분포가 나타났으며, 서쪽역으로 갈수록 31.90psu 이하의 저염분 분포가 나타났다. 중층과 저층의 염분 분포는 표층의 분포 양상과 다르게 나타났다. 즉, 동쪽역에서 서쪽역으로 고농도의 염분 분포를 보이고 있다.

그림 1-2-12는 하계(2005년 8월 4일) 수온의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 먼저 수온의 남북성분(SN Line)에 대한 연직구조를 보면, 표층에서는 10m 이천에서 22.0°C 이상의 고수온을 남북쪽역에 걸쳐서 나타내고 있으며 표층에서 수심 20m 까지 8.0°C의 수온차가 발생하는 강한 성층이 나타났고, 수심 30m 이심에서 15.0°C ~ 16.0°C 정도의 균질한 수온분포가 나타났다. 동서성분(EW Line)에 대한 수온의 연직분포를 보면, 표층에서는 10m 이천에서 22.0°C 이상의 고수온 분포가 나타났으며, 수심 25m 이심에서는 15.0°C ~ 16.0°C 정도의 균질한 수온분포를 보이고 있다. 수온의 연직적인 분포를 보면, 남북성분과 동서성분이 비슷한 양상이 나타났고 수심 20m 전후에서 강한 성층이 존재하고 있으며, 수심 30m 이심으로 갈수록 균질한 수온분포가 나타났고 표층과 저층간의 수온차는 약 10.0°C로 큰 특징을 볼수 있다.

그림 1-2-13은 염분(2005년 8월 4일)의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line) 연직구조를 나타낸 것이다. 남북성분(SN Line)의 염분분포를 보

면, 표층 10m 이천의 남북에 걸쳐서 32.50psu의 저농도의 등염선이 존재하고 있으며, 수심 25m 이십에서 33.50psu의 염분이 저층에 걸쳐서 균질하게 분포하고 있다. 염분의 동서성분(EW Line)를 보면, 남북성분과 마찬가지로 수심 10m 이천의 남북에 걸쳐서 32.50psu의 등염선이 존재하고 있으며, 수심 25m 이십에 33.50psu의 염분의 등염선이 존재하고 표층에서 저층으로 갈수록 고농도의 염분분포를 보이고 있다.

이상에서 2005년 하계(8월 4일) 연구해역의 수온과 염분의 분포를 보면, 표층(1m)에서는 24.50℃ 정도의 고수온이 분포하고 있으나 염분은 32.5psu의 저염분이 나타났으며 중층에서의 수심 약 20m 부근에서 수온과 염분이 동일한 양상으로 강한 성층이 존재하고 있다. 저층에서는 수심 30m이십에서 15.0℃의 저수온분포로 표층과 저층간의 수온차는 약 10.0℃로 나타났다. 염분은 표층에서의 저농도의 분포와 수심이 깊어질수록 고농도의 염분분포 특성을 보이고 있다. 연구해역의 하계 수온과 염분 분포는 표층에서 대기의 태양 복사열로 인하여 고수온 분포를 나타내고 있으나 수심이 깊어질수록 저수온, 고염분 현상이 나타났고 중층(수심 25m)에서 강한 성층이 존재했다.

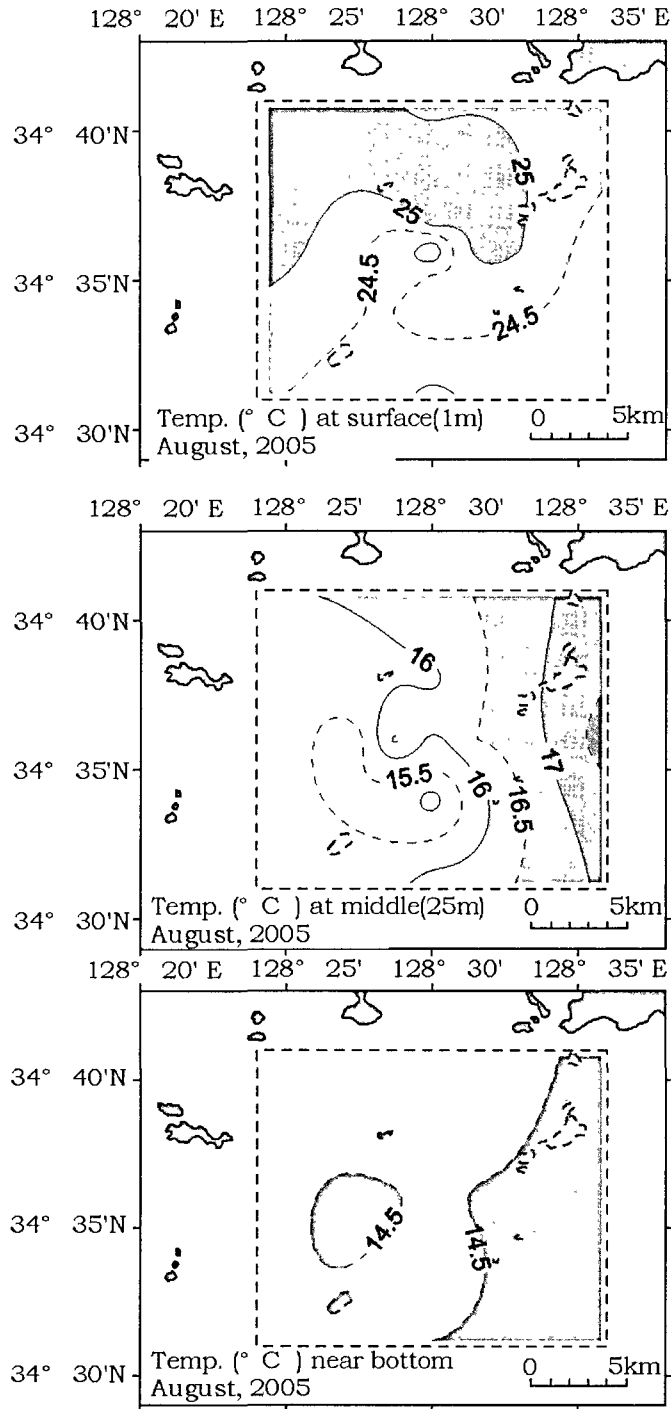


그림 1-2-10. 2005년 8월 4일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 수온의 수평분포도.

Fig. 1-2-10. Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in August 4, 2005.

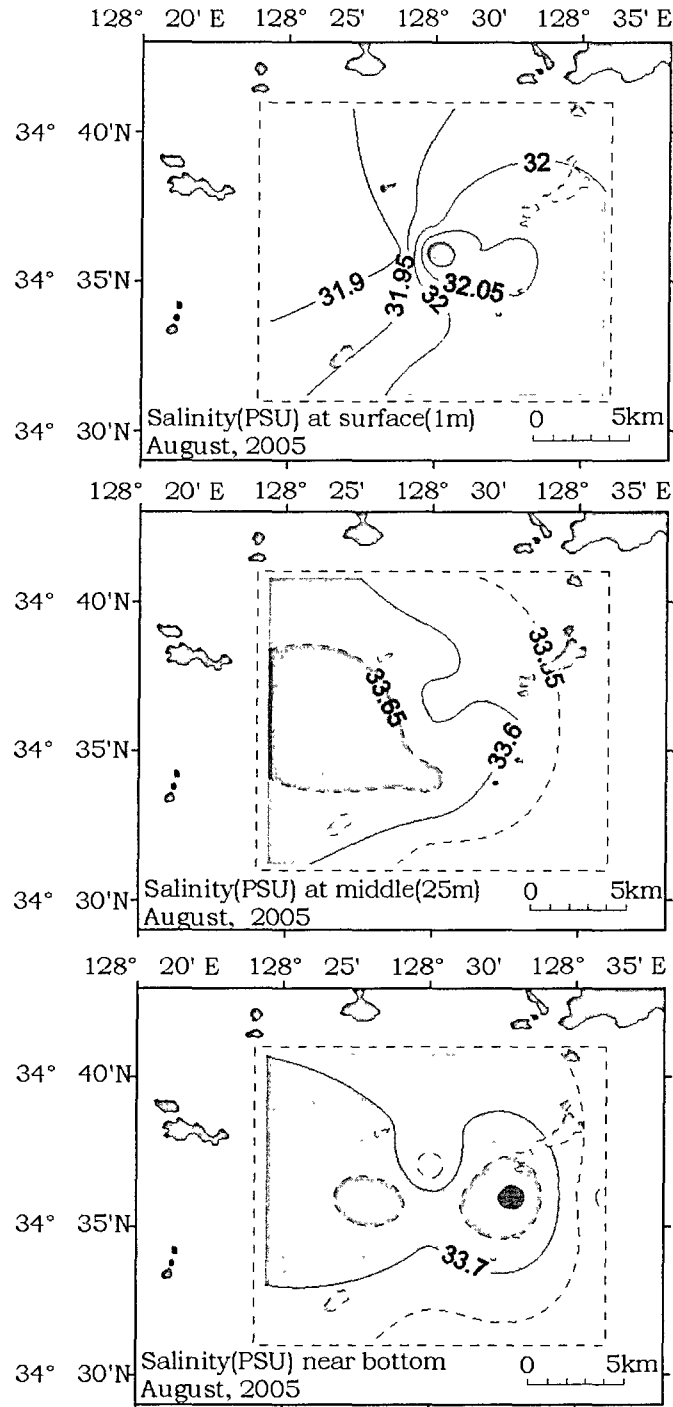


그림 1-2-11. 2005년 8월 4일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 수온의 수평분포도.

Fig. 1-2-11. Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in August 4, 2005.

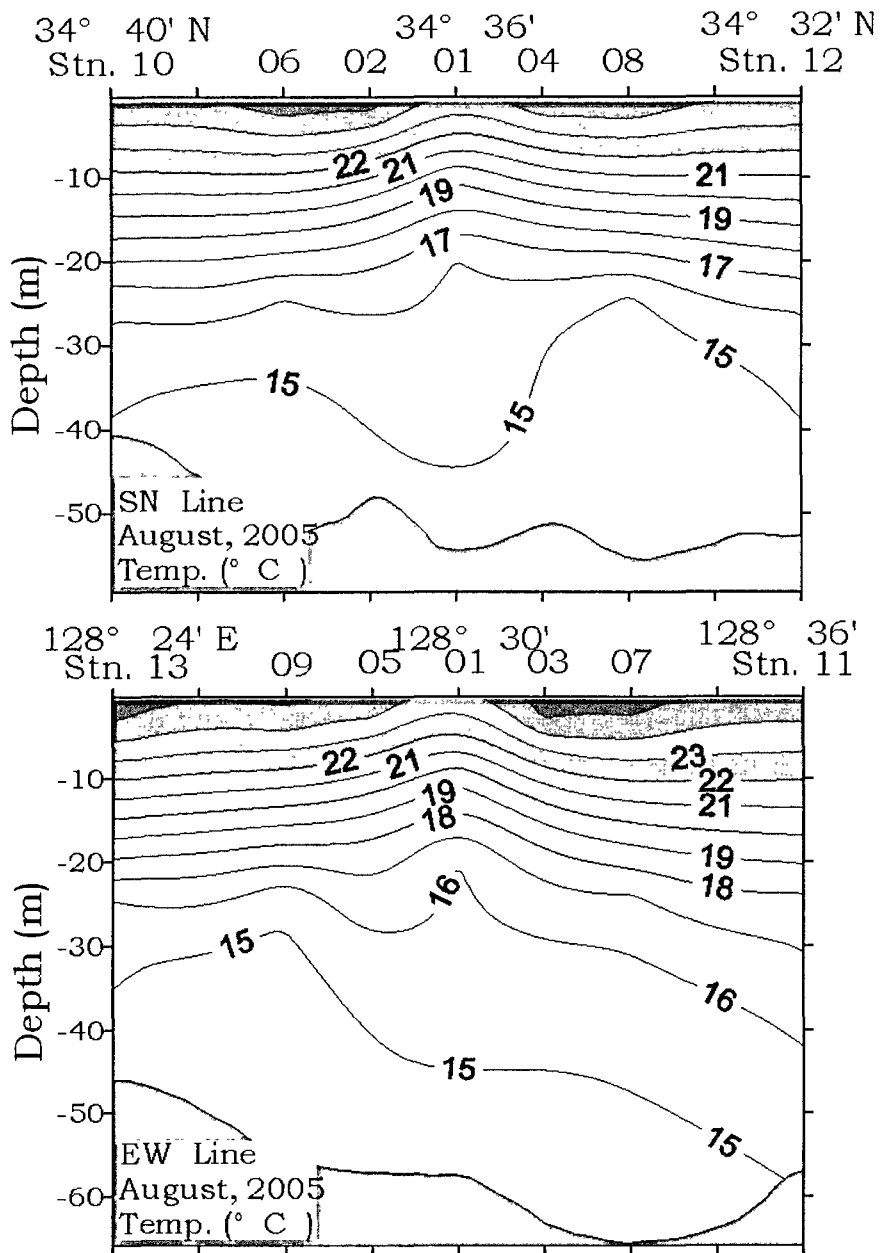


그림 1-2-12. 2005년 8월 4일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조.

Fig. 1-2-12, Vertical distribution of temperature in August 4, 2005(SN Line: upper, EW Line: lower).

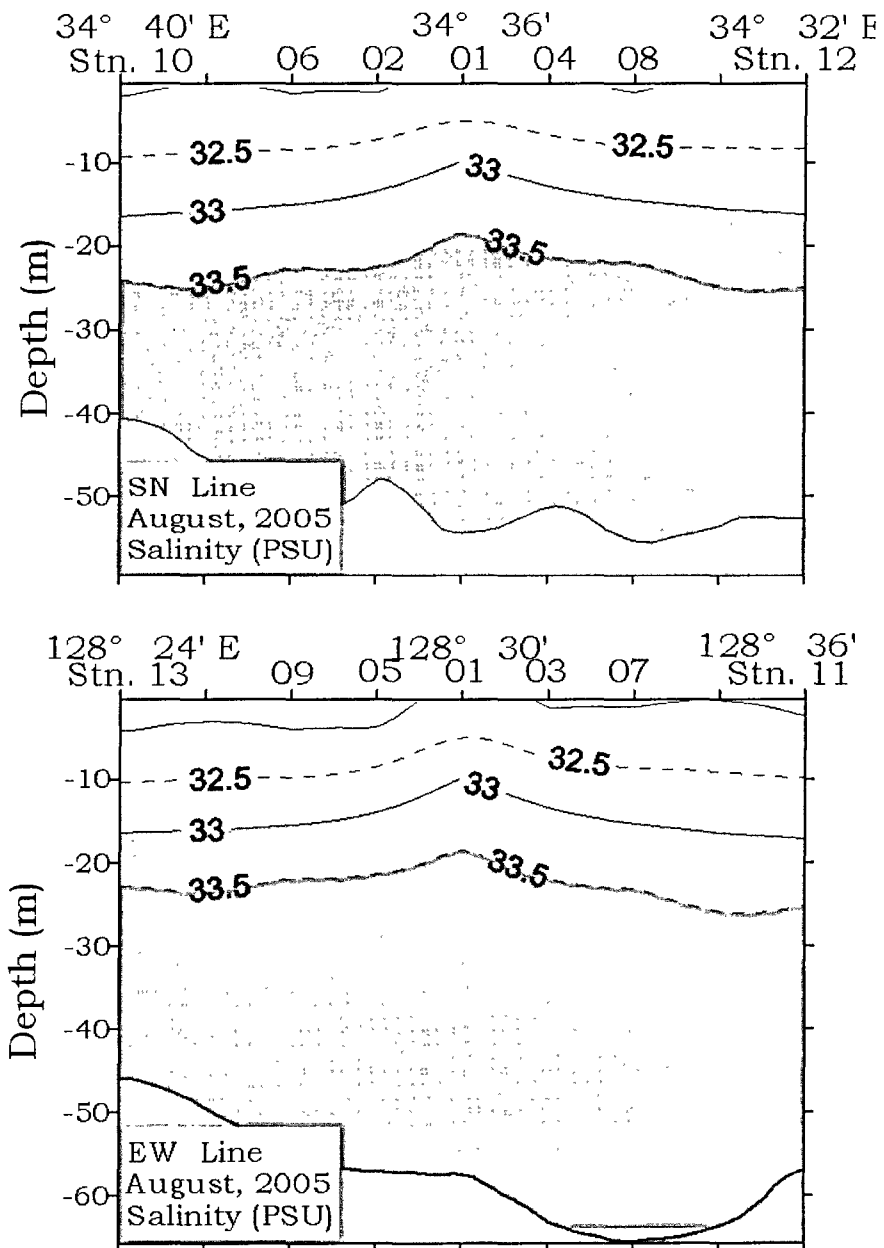


그림 1-2-13. 2005년 8월 4일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조.

Fig. 1-2-13. Vertical distribution of salinity in August 4, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

연구해역에서 해조류의 양상을 파악하기 위하여 관측정점 A 및 정점 B에서 대조기 및 소조기시에 25시간 연속적으로 유동관측을 하였다. 조사에 사용한 유동관측기기로는 RD Instruments사의 ADCP 300Khz를 사용하였으며, 선박은 Anchoring하여 고정된 정점에 계류시키고 ADCP는 표층에서 수심 4m에 계류하여 저층까지 관측하였다. 유동 자료분선에 이용한 관측 데이터는 수심 4m간격으로 총 12개층에 대한 유속 데이터를 사용하였다.

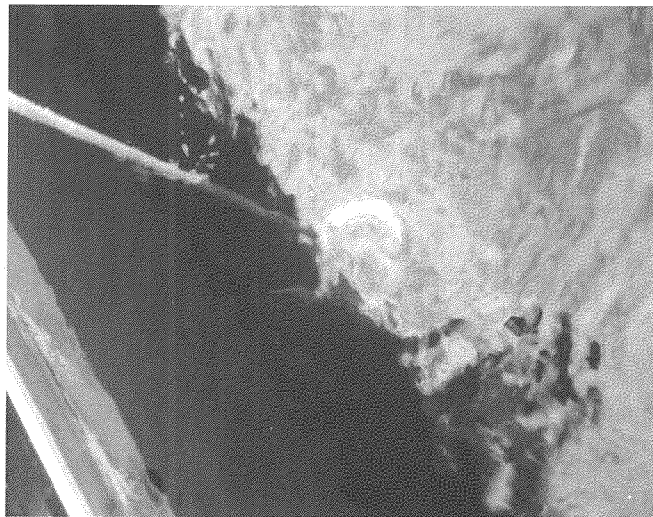
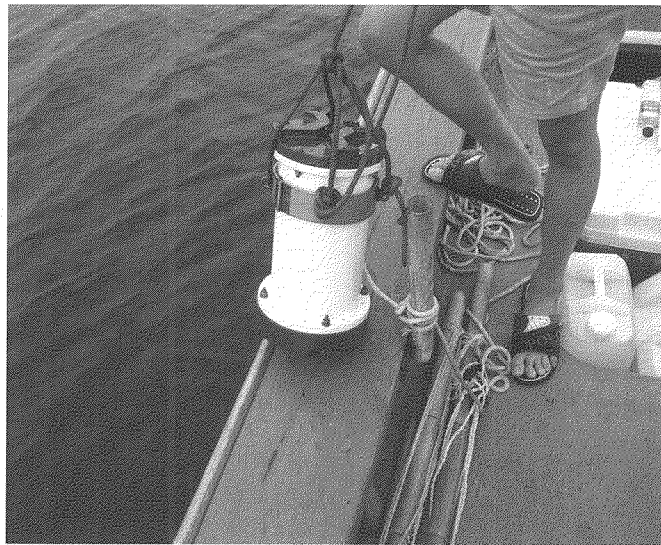


그림 1-2-14. 유속계(ADCP) 사진.

Fig. 1-2-14. Picture of current meter(ADCP).

그림 1-2-15은 2005년 1월 27일~28일과 6월 21일~22일에 2회에 걸쳐 정점 A(128°29' E, 34°36' 50" N)에서 실시한 해조류 관측 결과를 나타낸 것이다.

정점 A에서의 관측은 대조기에 실시되었으며 관측결과를 보면, 표층과 저층의 흐름 세기가 거의 유사하게 나타났다. 즉, 표층(8m)의 최강유속은 81.1cm/s, 중층(28m)의 최강유속 76.8cm/s, 저층(48m)의 최강유속 57.3cm/s가 나타났으며, 또한 평균유속은 표층(8m) 37.7cm/s, 중층(28m) 31.8cm/s, 저층(48m) 27.6cm/s가 나타났고, 전체적인 평균 유속은 31.1cm/s가 나타났다. 2005년 6월 22일~23일의 관측결과를 보면 22일 07시부터 13시까지 중층(28m)부터 저층까지의 흐름이 표층보다 강하게 나타났고, 22일 19시부터 23일 02시까지의 흐름은 표층에서 남동향류가 주류를 이루다 중층(28m)에서 북동향류의 흐름이 나타났고, 중층과 저층보다 표층의 흐름이 강하게 나타났다. 표층에서는 표층(8m)의 최강유속은 67.9cm/s, 중층(28m)의 최강유속 100.0cm/s, 저층(48m)의 최강유속 72.3cm/s가 나타났으며, 또한 평균유속은 표층(8m) 34.5cm/s, 중층(28m) 39.0cm/s, 저층(48m) 31.1cm/s가 나타났고, 전체적인 평균 유속은 36.6cm/s가 나타났다.

그림 1-2-16에서의 동서성분과 남북성분에 대한 유속벡터를 나타내었다. 2005년 1월 27일부터 28일까지의 동서성분과 남북성분을 살펴보면, 남북성분보다 동서성분이 더 강하게 나타났으며, 27일의 표층과 저층에서 동향성분이 전체적으로 강하게 분포하였고, 27일 23시부터 28일 03시까지 동향성분이 전체적으로 강하게 나타났다. 2005년 6월 22일부터 23일까지의 동서성분과 남북성분을 살펴보면, 2005년 1월과 마찬가지로 남북성분보다 동서성분이 더 강하게 나타났다. 22일 7시부터 13까지는 동향류가 강하게 나타났고, 13시부터 19시까지는 서향류가 강하게 나타났으며, 19시부터 23일 3시까지는 동향류가 강하게 나타났다. 6월에 실시한 전체적인 유속벡터의 성분을 보면 1월과 마찬가지로 남북성분보다 동서성분이 주류를 이루는 분포가 나타났다.



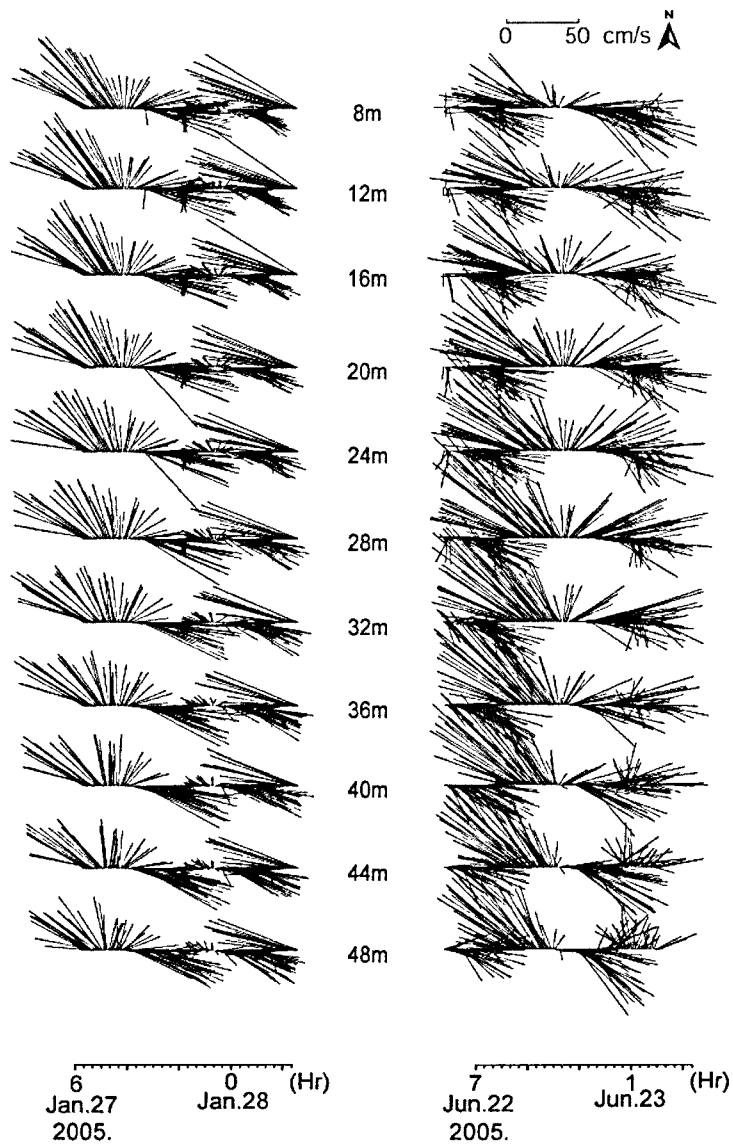


그림 1-2-15. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A  
에서 관측한 수심에 따른 해류의 벡터성분.

Fig. 1-2-15. Stick vector plot of current with depth of mooring  
st. A in January 27~28(left) and June 21~22(right),  
2005.

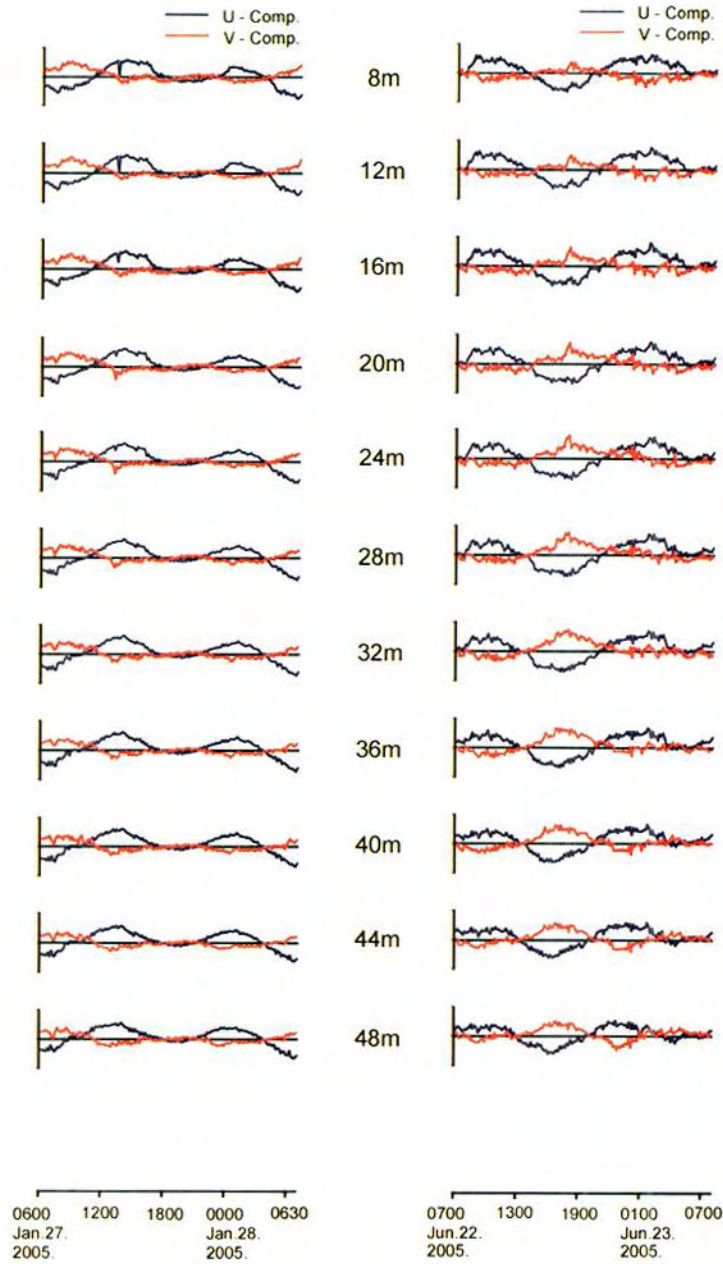


그림 1-2-16. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서벡터(U)와 남북벡터(V) 성분.

Fig. 1-2-16. Time series of East-West(U) and South-North(V) components with the depth of the mooring site st.A in January 27~28(left) and June 21~22(right), 2005.

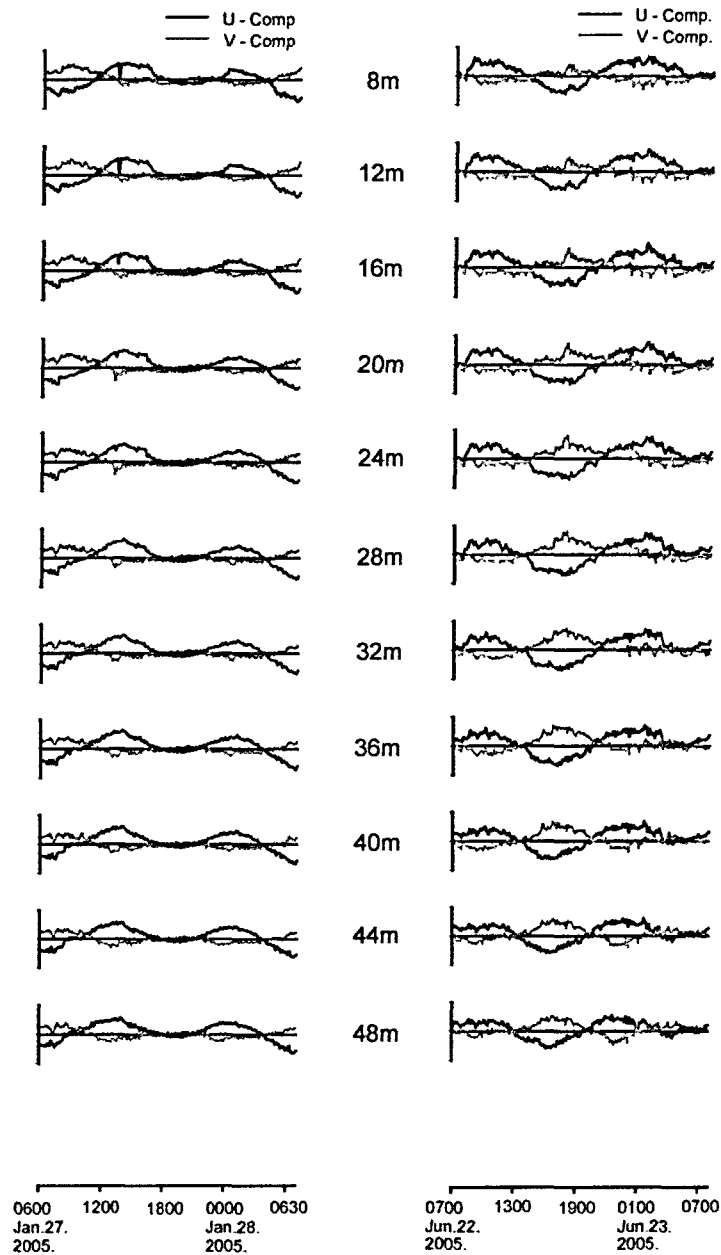


그림 1-2-16. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서벡터(U)와 남북벡터(V) 성분.

Fig. 1-2-16. Time series of East-West(U) and South-North(V) components with the depth of the mooring site st.A in January 27~28(left) and June 21~22(right), 2005.

그림 1-2-17은 2005년 1월 27일~28일과 2005년 6월 21일~22일에 정점 A(128°29' E, 34°36' 50" N)에서 실시한 유속관측의 U-V 성분의 연직분포도를 나타낸 것이다. 2005년 1월의 U-V 성분의 연직분포를 보면, 시간에 흐름에 따라서 U 성분은 서향류(-)에서 동향류(+), 동향류(+에서 서향류(-)로의 반복되는 성분이 약 6시간 주기로 표층과 저층에 걸쳐서 같은 크기로 나타났다. V 성분은 북향류(+에서 남향류(-), 남향류(-)에서 북향류(+로 흐름이 U 성분과 비슷한 주기를 보이고 있다. 따라서 2005년 1월에 관측한 유동분포로 북서류와 남동류가 주류를 이루는 흐름특성을 보이고 있다. 2005년 6월 U-V 성분의 연직분포를 보면, 시간의 흐름에 따라서 U성분은 동향류(+에서 서향류(-), 서향류(-)에서 동향류로 1월의 성분과 비슷한 분포를 나타냈다. V성분을 보면 2005년 6월 23일 1시에서 7시까지의 표층 성분은 남향류(-)가 지배적인 분포를 나타나는 표층과 저층의 유형이 반대로 나오는 분포 특성을 보이고 있다.

그림 1-2-18은 표층(8m), 저층(48m) 및 전체 수심에서 관측한 유동의 U-V 성분 조류 분산도를 나타낸 것이다. 2005년 1월 분산도와 6월을 분산도를 살펴보면, 주축의 방향이 북동-남서방향의 주축을 이루는 분산도를 파악할 수 있다. 2005년 1월은 표층의 흐름이 저층의 흐름보다 큰 값을 보이고 있으나 그 차이는 크지 않다. 2005년 6월의 분산도는 표층보다 저층의 기울기가 더 기울어져 있음을 알 수 있다. 이는 U-V성분의 연직분포도에서도 나타났듯이 2005년 6월 23일 1시에서 7시까지의 표층 성분은 남향류(-)가 지배적인 분포가 그 주류로 구성되어 있어서 저층의 분산도에 영향을 미쳤다고 생각된다.

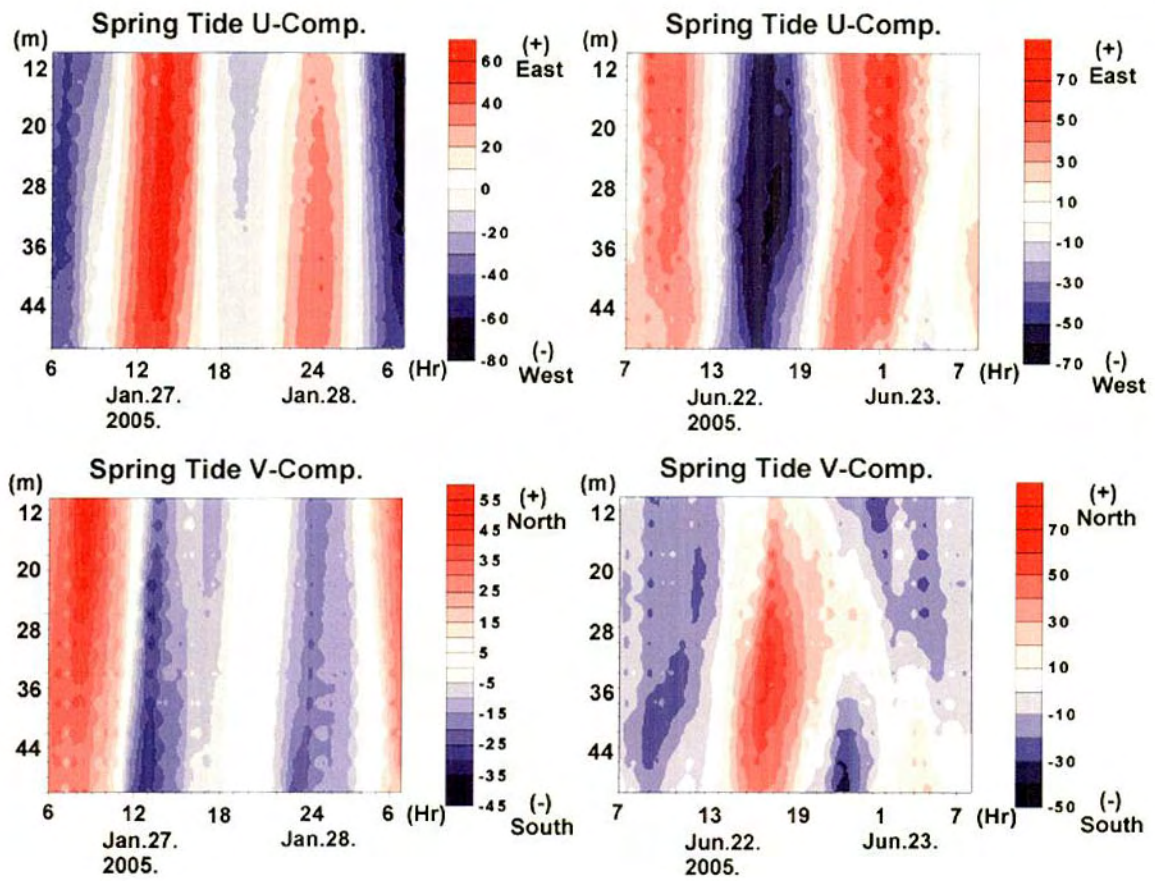


그림 1-2-17. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A  
에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-2-17. Vertical distribution of U-V components with the  
depth of the mooring site st.A in January 27~  
28(left) and June 21~22(right ), 2005.

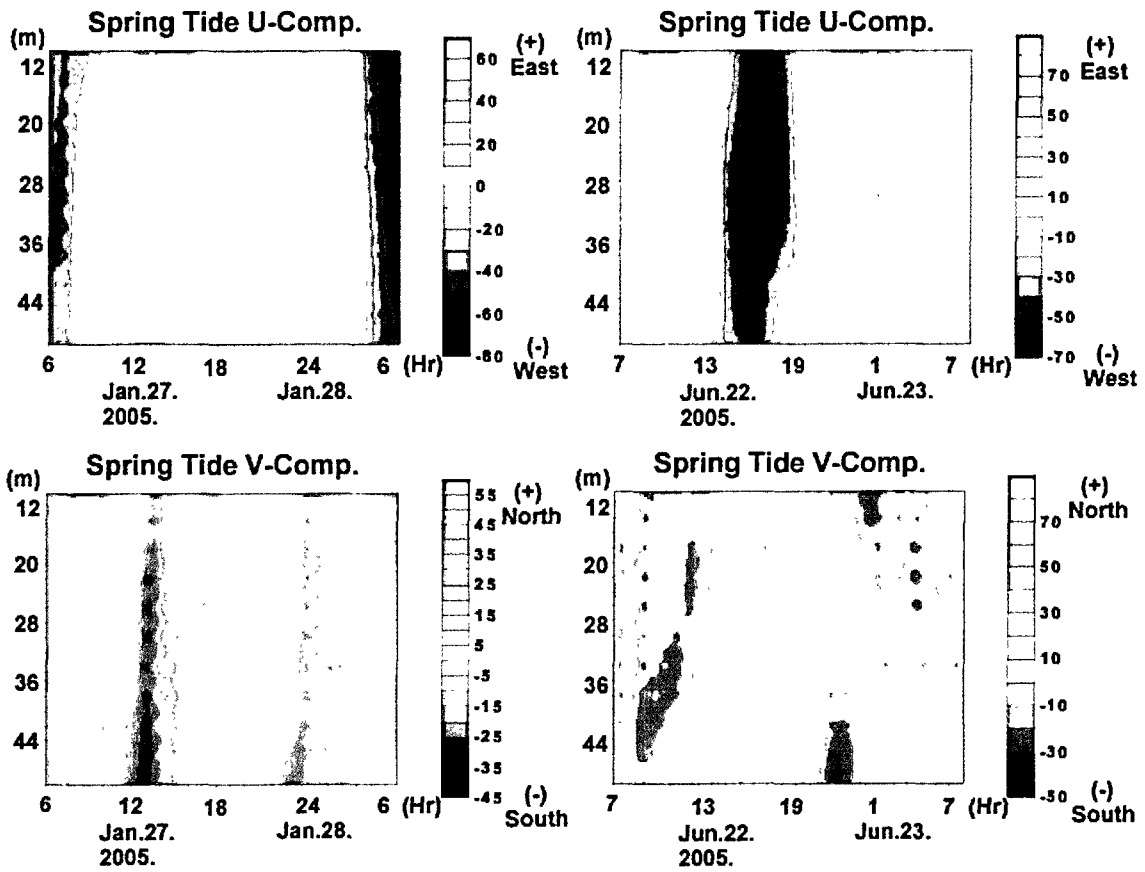


그림 1-2-17. 2005년 1월 27일~28일(좌)과 6월 21일~22일(우) 정점 A  
에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-2-17. Vertical distribution of U-V components with the  
depth of the mooring site st.A in January 27~  
28(left) and June 21~22(right ), 2005.

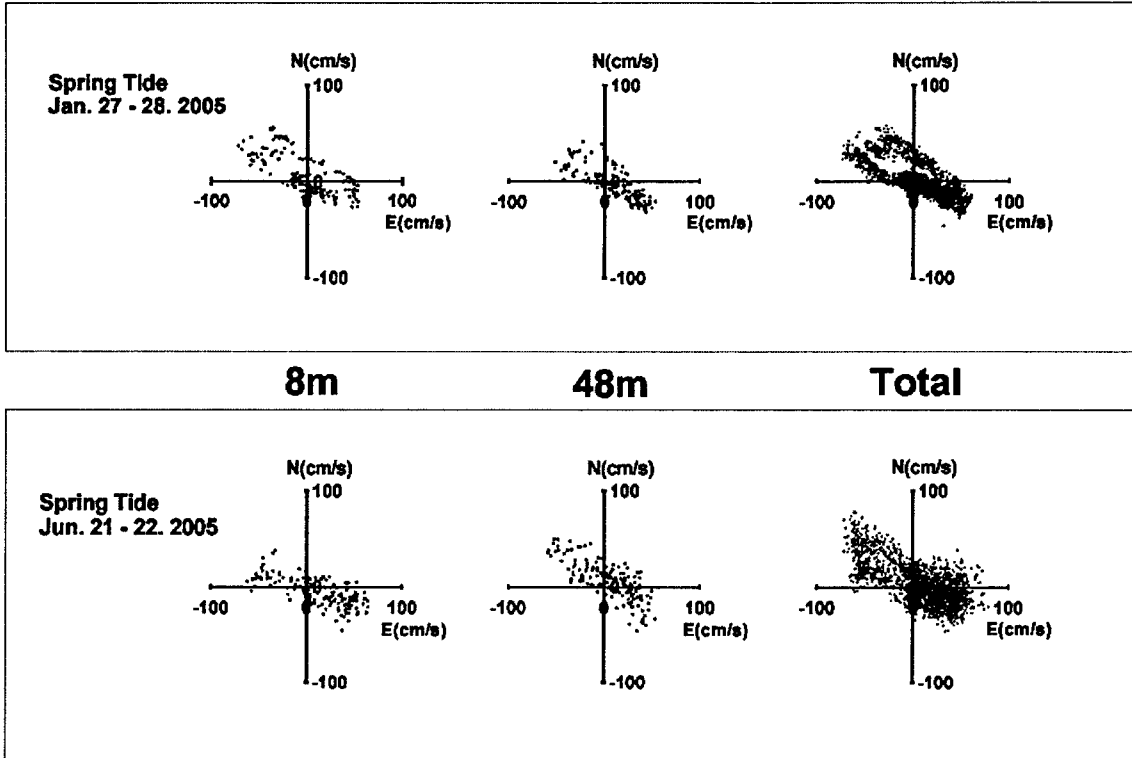


그림 1-2-18. 2005년 1월 27일~28일(상)과 6월 21일~22일(하) 정점 A에서 관측한 조류 분산도.

Fig. 1-2-18. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st.A in January 27~28(upper) and June 21~22(lower), 2005.

표 1-2-1. 대조기시 정점 A에서의 관측값의 통계치

Table 1-2-1. Statistics of observed current during spring tide for st. A

2005년		Minimum		Maximum		평균류		평균유속 (cm/s)
		유속 (cm/s)	유향 (°)	유속 (cm/s)	유향 (°)	유속 (cm/s)	유향 (°)	
1월	표층 (8m)	1.2	37	81.1	297	6.4	344	37.7
	중층 (28m)	2.5	227	76.8	292	5.0	54	31.8
	저층 (48m)	1.3	186	57.3	111	7.5	103	27.6
6월	표층 (8m)	2.0	156	67.9	113	13.5	114	34.5
	중층 (28m)	4.9	260	100.0	314	8.7	45	39.0
	저층 (48m)	5.0	311	72.3	313	9.0	45	31.1

그림 1-2-19은 2005년 4월 16일~17일과 2005년 8월 29일~30일에 정점 B(128°30'E, 34°36'N)에서 실시한 해조류 관측 결과를 나타낸 것이다.

정점 B에서의 관측은 소조기에 실시하였으며 2005년 4월 16일~17일의 관측결과를 보면, 저층보다 표층의 흐름이 더 강하게 나타났다. 표층(8m)의 최강유속은 41.2cm/s, 중층(28m)의 최강유속 35.5cm/s, 저층(52m)의 최강유속 31.4cm/s가 나타났으며, 또한 평균유속은 표층(8m) 24.2cm/s, 중층(28m) 19.1cm/s, 저층(52m) 14.75cm/s가 나타났고, 전체적인 평균 유속은 19.2cm/s가 나타났다. 표층의 흐름이 16일 11시부터 14시까지는 북동류가 강하게 나타나는 반면, 24m 아래에서는 방향이 바뀌어 남동류의 흐름이 전반적으로 나타났다. 2005년 8월 29일부터 20일까지의 흐름을 살펴보면, 29



일 06시부터 12시까지 중층(28m)의 흐름이 가장 강하게 나타났고, 전체적인 흐름은 표층과 저층 흐름 방향이 반대현상을 보이고 있다. 표층에서는 표층(8m)의 최강유속은 54.4cm/s, 중층(28m)의 최강유속 52.0cm/s, 저층(52m)의 최강유속 46.4cm/s가 나타났으며, 또한 평균유속은 표층(8m) 30.7cm/s, 중층(28m) 32.1cm/s, 저층(52m) 22.57cm/s가 나타났고, 전체적인 평균 유속은 29.3cm/s가 나타났다. 구조물 투하지점인 st.B에서 관측한 유동결과를 보면, 중·저층에서 소조기에도 흐름이 강하게 나타나고 있음을 알수 있었다. 이와같은 현상은 본 연구목적인 해저에 구조물을 구축(높이 약 18m, 총 연장길이 93m)하여 저층의 강한 해류를 상층으로 용승시키려는 메카니즘에 부합되는 결과 두출이 예상되는 것이다.

그림 1-2-20에서의 동서성분과 남북성분에 대한 유속벡터를 나타내었다. 2005년 4월 16일부터 17일까지의 동서성분과 남북성분을 살펴보면, St.A에서 측류한 대조기시의 흐름보다는 전체적으로 작으나 남북성분보다 동서성분이 강하게 나타나는 흐름을 보였다. 2005년 8월 29일부터 30일까지의 동서성분과 남북성분을 살펴보면, V성분보다 U성분의 크기가 더 크게 나타났으며, 특히 중층 U성분 즉 동서성분이 저층보다 크게 나타남을 알 수 있다.

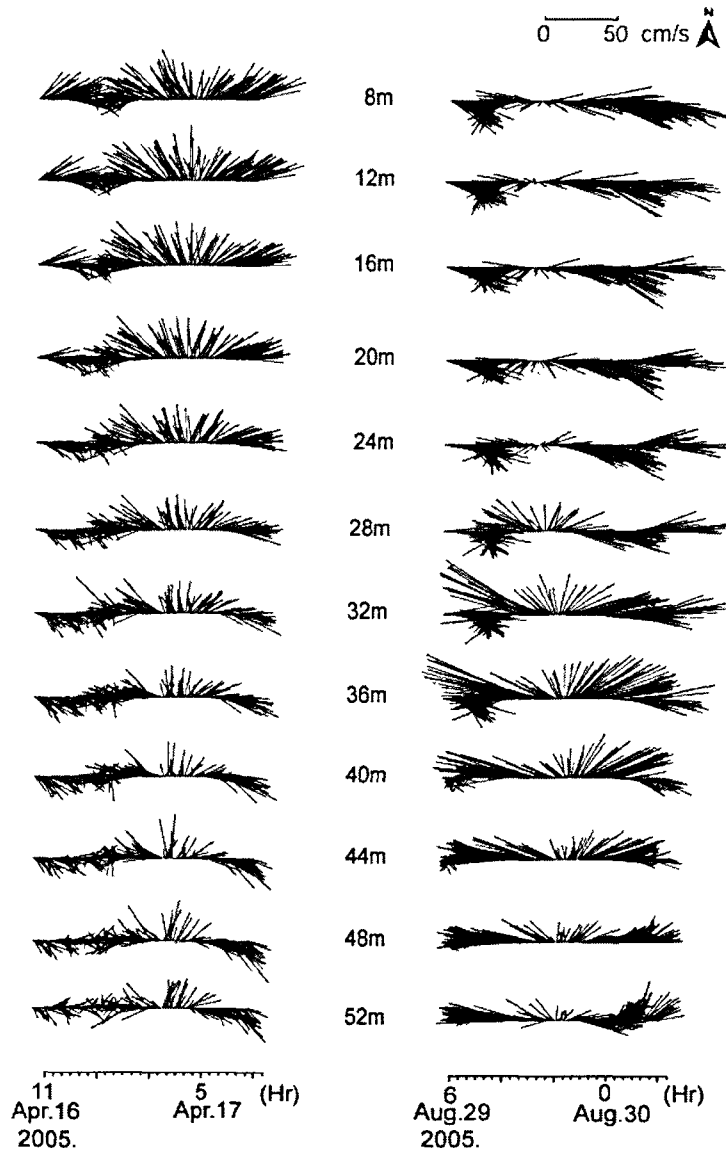


그림 1-2-19. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B  
에서 관측한 수심에 따른 해류의 벡터성분.

Fig. 1-2-19. Stick vector plot of current with depth of mooring  
st. B in April 16~17(left) and August 29~  
30(right), 2005.

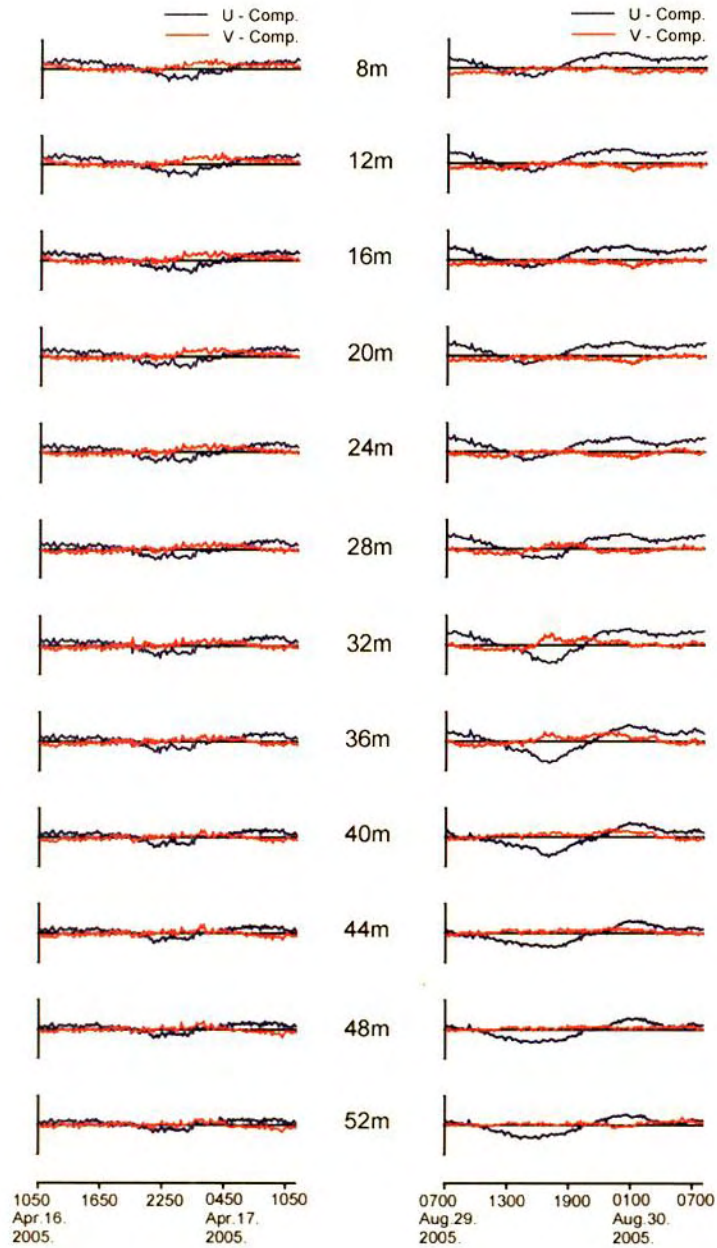


그림 1-2-20. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B 에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서백터(U)와 남북백터(V) 성분.

Fig. 1-2-20. Time series of East-West(U) and South-North(V) components with the depth of the mooring site st. B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005.

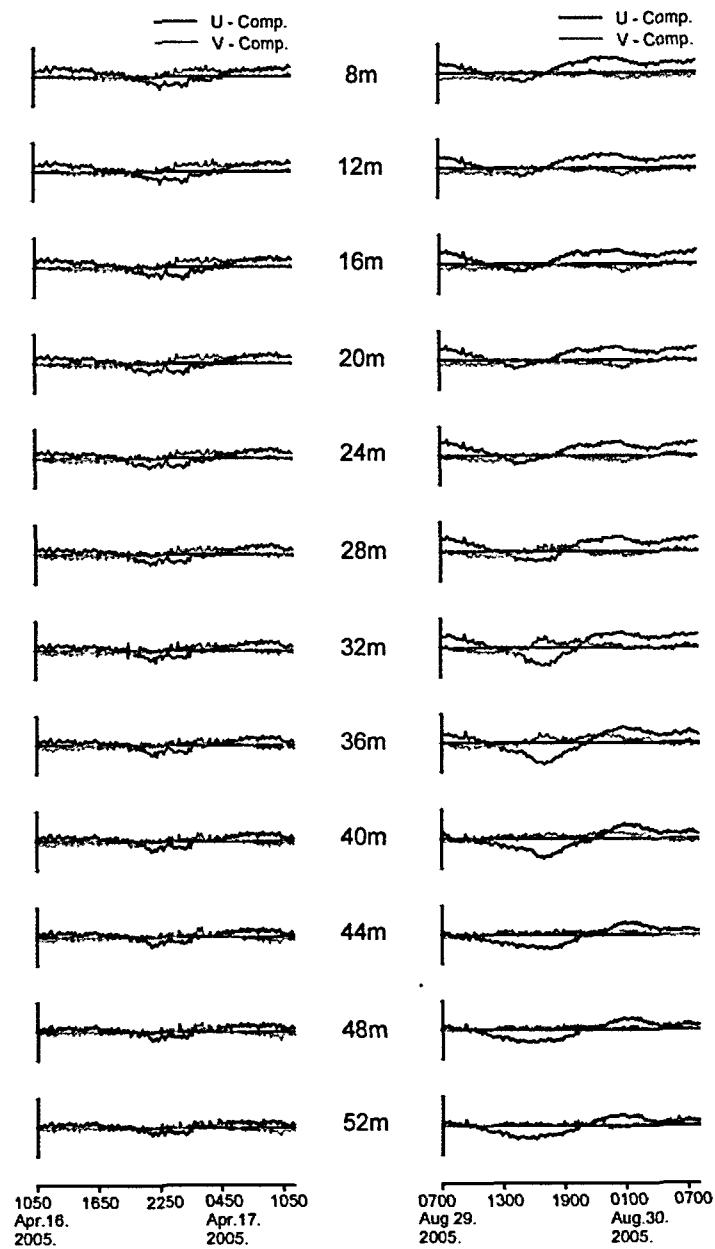


그림 1-2-20. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B 에서 관측한 수심에 따른 해류의 동서벡터(U)와 남북벡터(V) 성분.

Fig. 1-2-20. Time series of East-West(U) and South-North(V) components with the depth of the mooring site st. B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005.

그림 1-2-21은 2005년 4월 16일~17일과 2005년 8월 29일~30일에 정점 B(128°30' E, 34°36' N)에서 실시한 유속관측의 U-V 성분의 연직분포도를 나타낸 것이다. 2005년 4월의 U-V 성분의 연직분포를 보면, 시간에 흐름에 따라서 U 성분은 동향류(+)에서 서향류(-), 서향류(-)에서 동향류(+)로의 흐름이 주기적으로 나타나는 반면, V 성분은 북향류(+)와 남향류(-)의 흐름이 일정하지 않은 표층과 저층의 흐름이 서로 다른 분포가 나타났다. 2005년 8월 U-V 성분의 연직분포를 보면, U분포는 동향류(+)가 서향류(-)보다 지배적으로 나타났고, V성분은 표층에서는 남향류(-), 저층에서는 북향류(+)의 흐름이 강하게 나타났다.

그림 1-2-22은 표층(8m), 저층(52m)과 전체 U-V성분의 조류 분산도를 나타내었다. 2005년 4월 분산도와 8월을 분산도를 살펴보면, 대조기시의 흐름에 비하여서 분산의 크기가 작게 나타났고, 주축의 방향이 북서-남동방향의 주축을 이루는 분산도를 파악할 수 있다. 그러나 2005년 8월에서의 분산도는 주축의 방향이 서북서-동남동 방향으로 서향-동향으로 많이 편향되었고 이는 구조물 투하전인 2005년 4월의 기울기와 구조물 투하 후인 8월에서의 기울기에 변화가 있음을 나타낸다. 이와 같이 2005년 4월에는 볼수 없었던 결과는 구조물 설치(블록 갯수 : 5,106개, 유동관측시기 구조물 크기 : 높이 15m, 2005년 8월 현재)로 인한 흐름의 변화가 영향인 결과로 생각되나, 이에 대해서는 장기적인 이 지점에 대한 해조류 관측의 결과를 구조물의 효과로 인한 유동분포의 변화인지 규명할 수 있다.

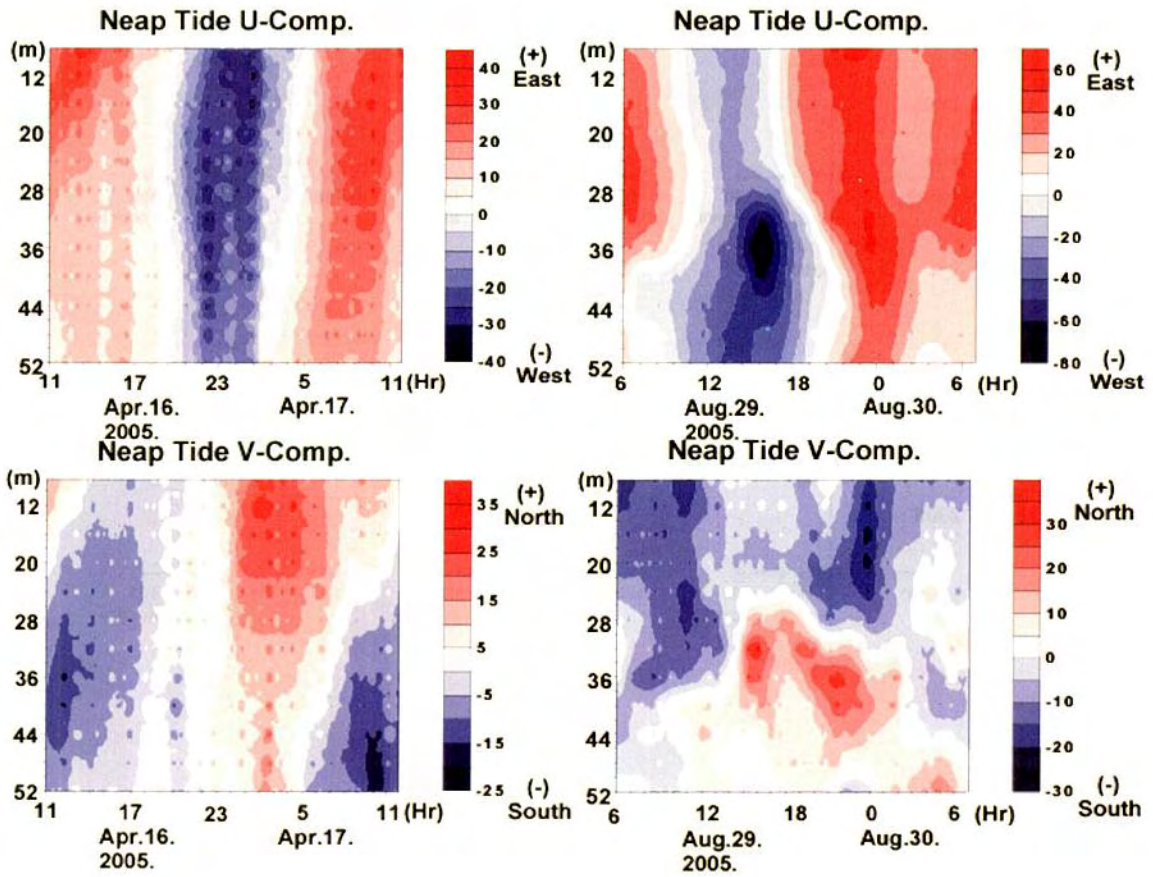


그림 1-2-21. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-2-21. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st.B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005.

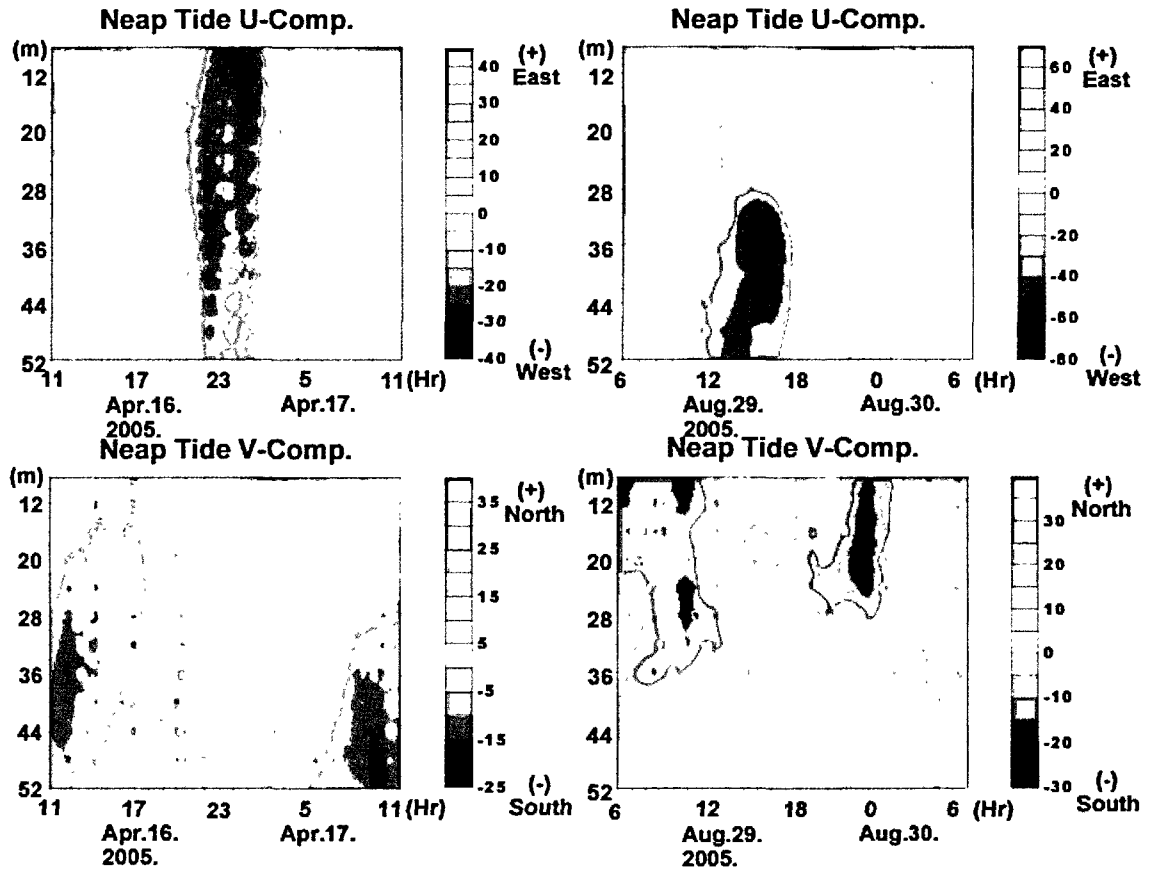


그림 1-2-21. 2005년 4월 16일~17일(좌)과 8월 29일~30일(우) 정점 B에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-2-21. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st.B in April 16~17(left) and August 29~30(right), 2005.

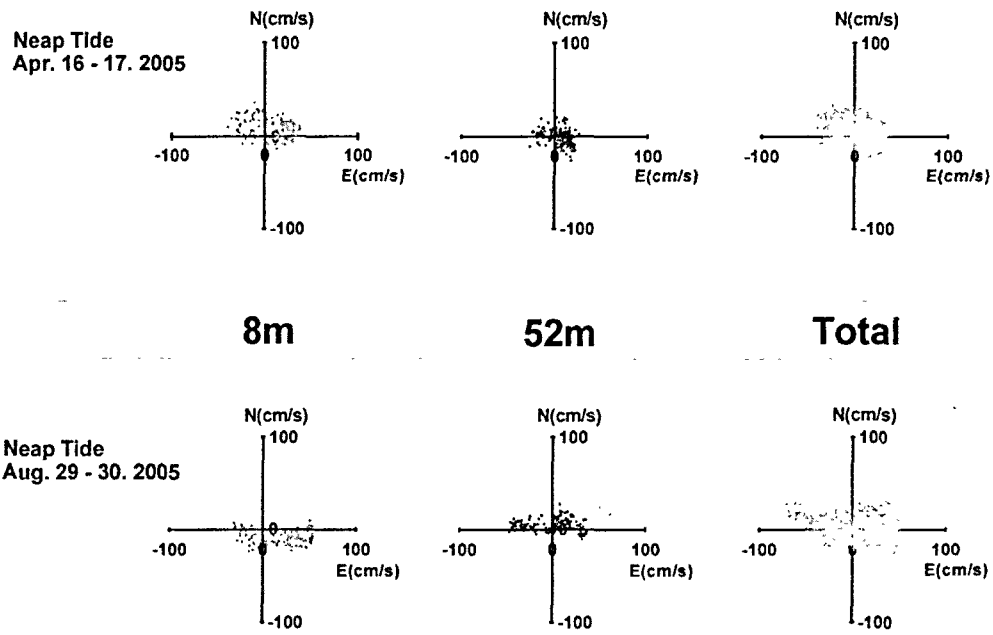


그림 1-2-22. 2005년 4월 16일~17일(상)과 8월 29일~30일(하) 정점 B에서 관측한 조류 분산도.

Fig. 1-2-22. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st.B in April 16~17(left) and August 29~30 (right), 2005.



표 1-2-2. 소조기시 정점 B에서의 관측값의 통계치

Table 1-2-2. Statistics of observed current during neap tide for st. B

2005년		Minimum		Maximum		평균류		평균유속 (cm/s)
		유속 (cm/s)	유향 (° )	유속 (cm/s)	유향 (° )	유속 (cm/s)	유향 (° )	
4월	표층 (8m)	2.8	165	41.2	283	11.9	43	24.2
	중층 (28m)	2.3	134	35.5	260	4.9	63	19.1
	저층 (52m)	2.3	32	31.4	146	5.1	103	14.7
8월	표층 (8m)	0.5	248	54.4	98	21.6	113	30.7
	중층 (28m)	9.9	182	52.0	107	19.3	97	32.1
	저층 (52m)	1.4	74	46.4	267	5.2	340	22.5

### 1.3. 해양 수치 모델

#### 1.3.1. 연구자료 및 방법

##### 1.3.1.1. 연구 배경

본 과업에서는 인공용승어장해역의 해수유동 상황을 재현하고자 POM(Princeton Ocean Model)을 이용한 해수유동모델 수치실험을 수행하였다. 실험은 광역 및 상세역으로 구분하여 사업시행 이전 주변해역의 해수유동 상황을 재현하고, 향후 개발계획에 따른 해수유동의 변화를 예측하였다.

##### 1.3.1.2. 연구 방법

본 실험에서는 조석의 주요 4대 분조인  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  을 외력으로 부여하여 현재 상태에 대한 유동장을 재현하였으며, 모델의 검증은 기존 관측점 조위 및 사업지구의 조류 관측결과와 비교하여 검증하였다.

<표 1-3-1>은 해수유동모델의 실험내용을 나타낸 것이며, 해수유동 실험 결과로부터 얻어진 매 시간별 각 격자점의 조위 및 조류속 자료를 나타낸 것이다.

표 1-3-1. 해수유동 실험의 개요

Table 1-3-1. Hydrodynamic model condition

구 분	내 용	
	광 역	상세역
실험목적	· 현재 상태 및 구조물 투하 후의 해수유동 변화 예측 · 해양생태계모델의 입력자료 제공	
사용모델	· POM(Princeton Ocean Model); Blumberg and Mellor (1987)	
실험영역	사천만~부산항	소매물도 인근 해역
모델영역	94km × 145km = 13,630 km <sup>2</sup>	20km × 23km = 13,630 km <sup>2</sup>
격자간격	Δx×Δy=1km 등격자	Δx×Δy=50m 등격자
격자수	94개 × 145개 × 7개층 (수평격자 총 13,630개 × 7개층)	400개 × 460개 × 7개층 (수평격자 총 184,000개 × 7개층)
해수유동 실험시간	16 일	
시간스텝	· External time step = 10초 · Internal time step = 300초	· External time step = 0.8초 · Internal time step = 24초
실험안	① 현재 상태	① 현재 상태 ② 구조물 투하후

1.3.2. 사용 모델

본 수치실험에서는 조석에 의한 해수유동을 재현하기 위해 Blumberg and Mellor(1987)에 의해 개발된 POM(Princeton Ocean Model) 모형을 사용하였다. POM은 외양뿐만 아니라 하구, 대륙붕 등 연안역에 주로 적용되어 왔으며(Ezer *et al.*, 2002) 국내에서도 여러 해역에 성공적으로 적용된 바가 있다. 모델에서 운동방정식 및 연속방정식은 흐름과 조위의 시·공간 변화를 계산한다. 운동방정식과 연속방정식은 다음과 같이 적용된다.

본 모형은 연직좌표계로 σ-좌표계를 사용함으로써 z-좌표계의 단점인 해저지형 경사에 따른 저층흐름 재현의 문제점(Gerdes, 1993; Winton *et al.*, 1998; Pacanowski and Gnanadesikan, 1998)을 해결하였다. σ-좌표계는 해저지형을 따라 저층경계가 형성되므로 계단모양의 저층경계를 계산하는 z-좌표계와는 달리 해저면의 물리적 과정을 보다 현실에 가깝게 재현할 수 있기 때문이다. 또 연직방향의 시간차분으로 음해법을 사용하고, 시간

간격(time step)은 외부모드(2D) 및 내부모드(3D)를 분리하여 계산하는 split time method를 사용하여 계산 시간 면에서 효율성이 높다.

○ 운동 방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ & + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \\ & \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ & + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \end{aligned}$$

○ 연속 방정식

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$$

여기서, t : 시간

x, y : 직교좌표상의 거리

$\eta$  : 평균해면으로부터의 해면변위

U, V : 연직적으로 평균된 x방향과 y방향의 유속성분

D : 총수심(D=H+ $\eta$ )

f : Coriolis parameter (f=2 $\Omega$ sin $\psi$ ,  $\psi$ =35°N)

g : 중력 가속도

P : 압력

$\rho_0$  : 평균 해수 밀도

F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub> : x방향과 y방향의 수평외동점성항

K<sub>M</sub> : 연직외동점성계수

지배방정식들의 좌표계는 x, y 축이 각각 동쪽과 북쪽을, z축은 해수면으로부터 위쪽을 가리키는 오른손 좌표계를 사용한다. 방정식에서 수평외동점성항 F<sub>x</sub>와 F<sub>y</sub>은 sub-grid scale 현상에 의한 것으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2DA_M \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ DA_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right]$$

$$F_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[ DA_M \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2DA_M \frac{\partial V}{\partial y} \right]$$

여기서,

$A_M$  : 수평와동점성계수

$A_H$  : 수평난류확산계수

과거 상수로 사용되던 수평와동 점성계수는 POM에서 격자 크기 및 수평 전단속도에 비례하도록 하는 Smagorinsky type diffusivity (Smagorinsky, 1963)가 사용되며 그 식은 다음과 같다.

$$A_M = C \Delta x \Delta y \sqrt{\left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2}$$

여기서

$C$  : 무차원 상수

$\Delta x, \Delta y$  : x방향과 y방향의 격자 크기

해수면 경사는 반음해법(semi implicit method), 수평확산은 CS(Centered Space)법, 그리고 시간 차분은 leapfrog scheme이 사용된다. 운동방정식의 이류항은 CS법으로 해석하고 물질보존 방정식의 이류항은 upwind scheme으로 해석하였다. 또 각 time step(N)마다 수치해는 아래의 식(Asselin, 1972)에 따라 평활화(smooth)되었다.

$$T_s^n = T^n + \frac{\alpha}{2} (T^{n+1} - 2T^n + T_s^{n-1})$$

여기서,

$$\alpha = 0.05$$

T : unsmoothed numerical solution

T<sub>s</sub> : smoothed solution

경계조건은 해수면 변위가 정의되는 개방경계와 유출입이 정의되는 경계를 사용하였으며, 육지경계에서는 유출입이 없는 slip 조건을 적용하였다. 개방경계에서는 주요 4대 분조 ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ )의 조석조화상수를 입력하였으며, 시간별 입력 조위는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \eta(t) = & H_{M_2} \cos \left( \frac{2\pi}{12.42 \times 3,600} n \frac{\Delta t}{2} - K_{M_2} \frac{\pi}{180} \right) \\ & + H_{S_2} \cos \left( \frac{2\pi}{12.00 \times 3,600} n \frac{\Delta t}{2} - K_{S_2} \frac{\pi}{180} \right) \\ & + H_{K_1} \cos \left( \frac{2\pi}{23.94 \times 3,600} n \frac{\Delta t}{2} - K_{K_1} \frac{\pi}{180} \right) \\ & + H_{O_1} \cos \left( \frac{2\pi}{25.82 \times 3,600} n \frac{\Delta t}{2} - K_{O_1} \frac{\pi}{180} \right) \end{aligned}$$

여기서,  $H_{M_2}$ ,  $H_{S_2}$ ,  $H_{K_1}$ ,  $H_{O_1}$  : 각 분조의 진폭

$K_{M_2}$ ,  $K_{S_2}$ ,  $K_{K_1}$ ,  $K_{O_1}$  : 각 분조의 위상각

각 계산 격자점에서는 매 시간 간격마다 조위, 유속 및 바람 등의 주어진 외력조건에 대하여  $x$ ,  $y$  방향의 유속과 조위를 계산한다.

### 1.3.3. 모형 수립

#### 1.3.3.1 해저 지형

수치모형 실험에 있어서 대상 영역의 연안지형 및 해저지형도 작성은 가장 중요한 기초 작업이다. 따라서 본 실험에서는 최신 수치해도(No.224, No.229)를 활용하여 연안선 및 수심값을 Digitalizing 하고 이로부터 보간하여 각 격자점에 대한 해안지형과 수심값을 생성하였다. (그림 1-3-1)과 (그림 1-3-2)는 각 격자점에 생성된 수심자료로부터 구한 3차원 해저지형도와 등수심도이다.

#### 1.3.3.2 격자 구성

모델 수립을 위한 격자구성은 인공용승구조물 투하해역의 인근해역을 중심으로 서쪽으로는 고성만을 포함하고, 동쪽으로는 진해만에 이르는 영역에 대해 광역은 1km, 상세역은 50m 등격자로 구성하였다. 모델의 영역은 광역의 경우 동서로 94km, 남북으로는 145km로 총 면적은 13,630km<sup>2</sup>이다. 이때 사용된 총 격자수는 동서방향으로 94개, 남북방향으로는 145개로 총 13,630개의 격자를 사용하였다. 상세역의 경우 동서로 20km, 남북으로는 23km로 총 면적은 460km<sup>2</sup>이다. 이때 사용된 총 격자수는 동서방향으로 400개, 남북방향으로는 460개로 총 184,000개의 격자를 사용하였다. 연직적으로는 수층은 7개층의 시그마층을 구성하였다.

그림 1-3-3은 해수유동모델을 위한 계산 격자망도를 나타낸 것이다.

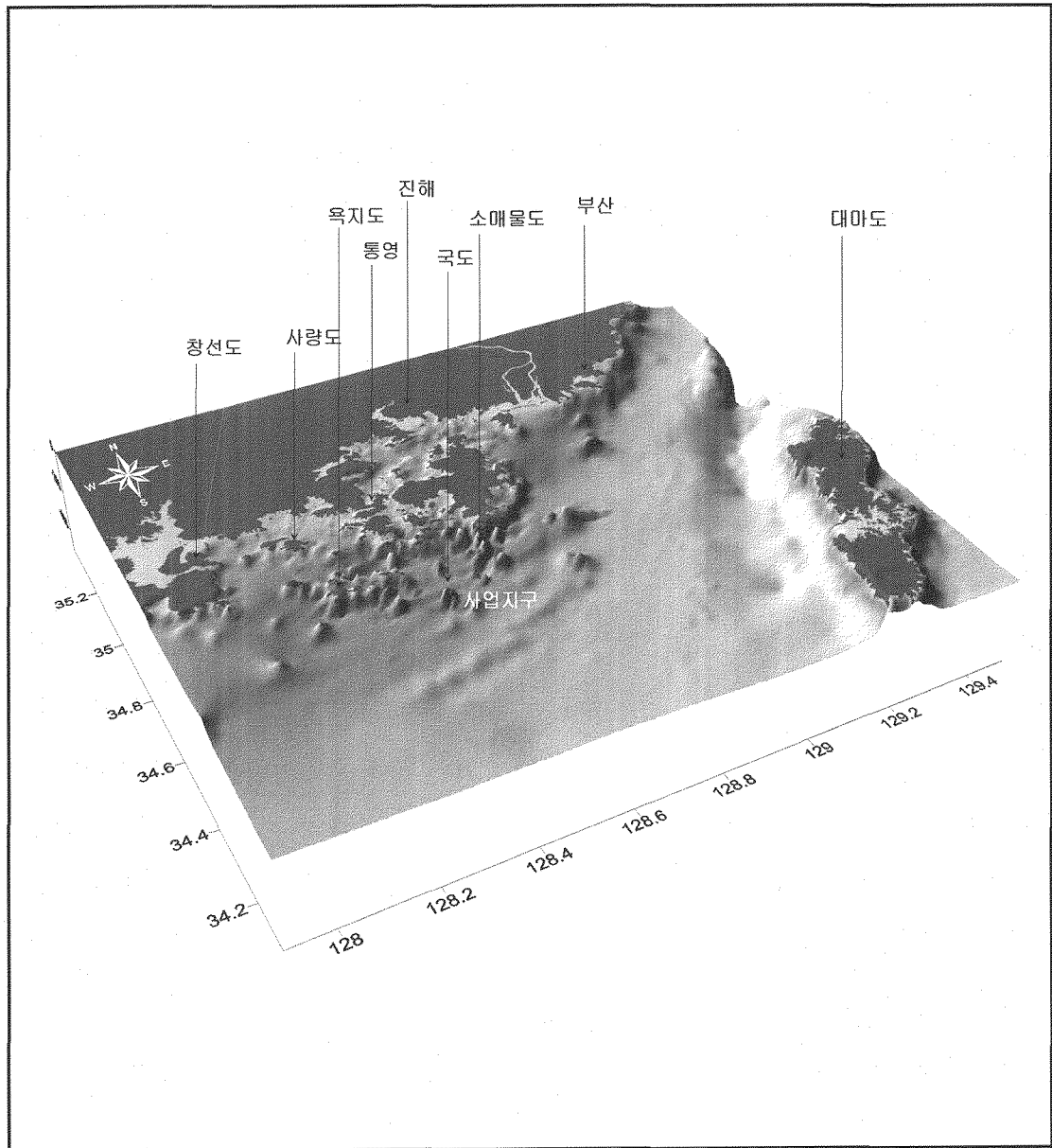


그림 1-3-1. 사업지구 주변 해역의 3차원 해저지형도.

Fig. 1-3-1. 3D Bottom topography.



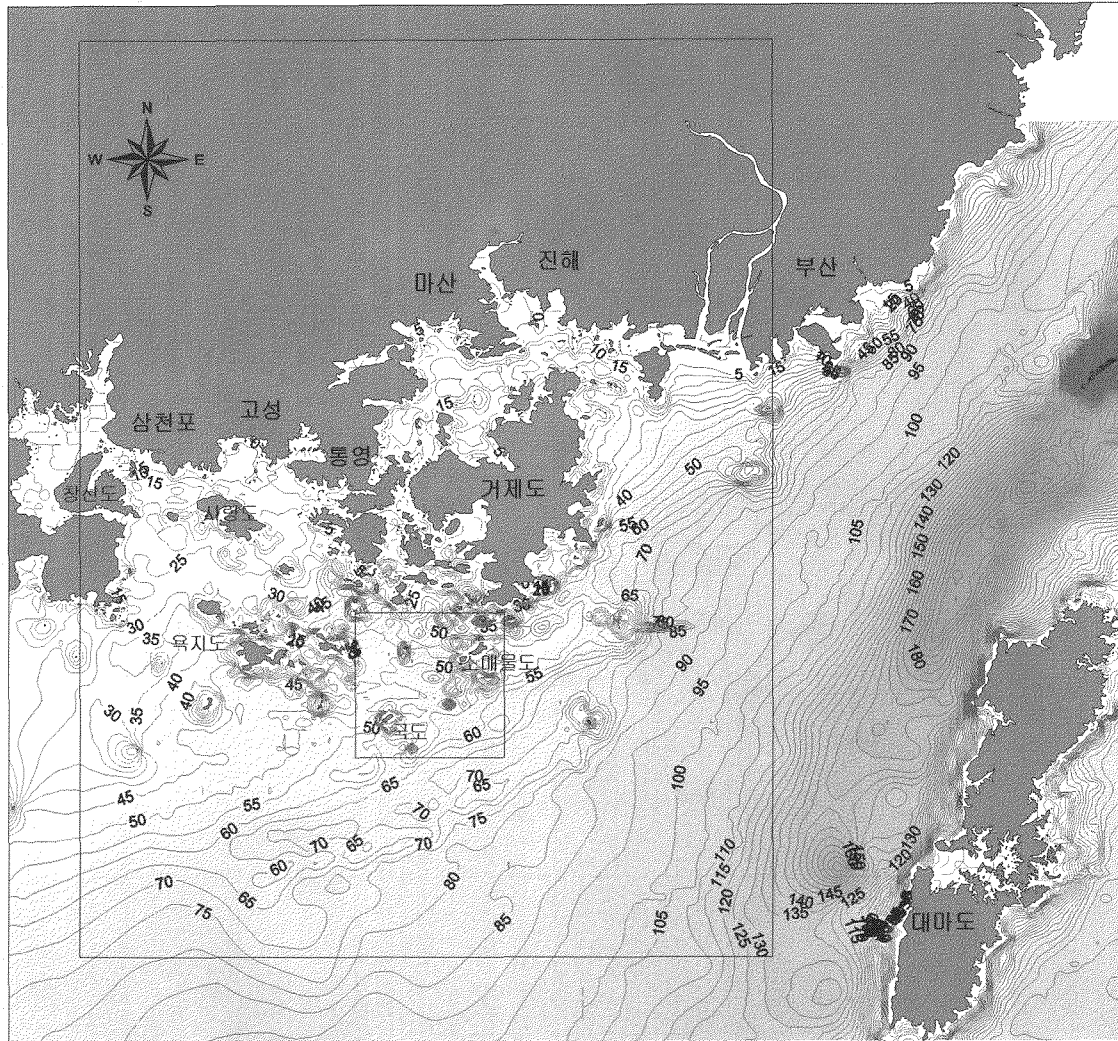


그림 1-3-2. 해수유동모델의 광역 및 상세역 등수심도.

Fig. 1-3-2. Model domain and topography.

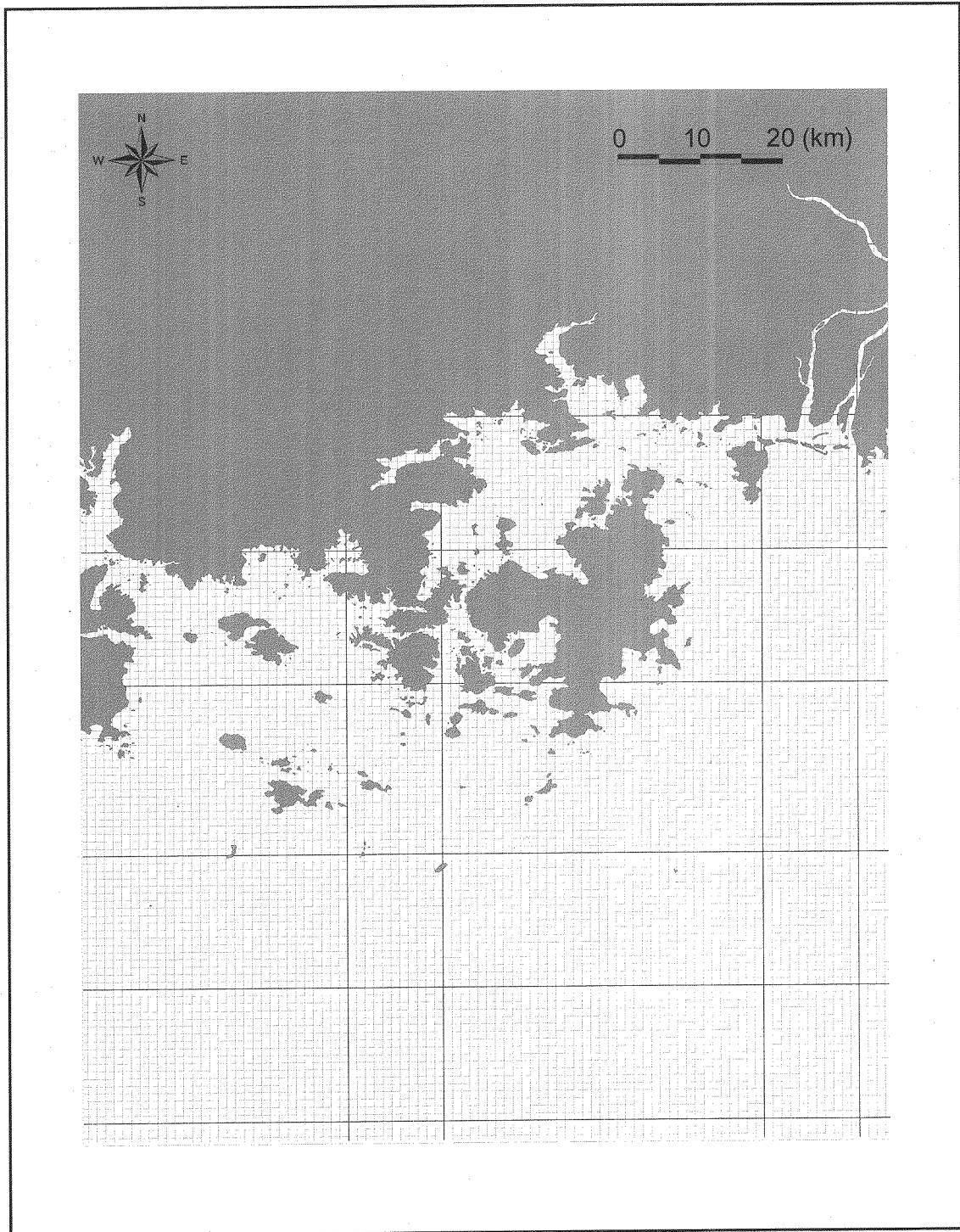


그림 1-3-3. 해수유동모델의 정방형 1km 격자도.

Fig. 1-3-3. 1km constant model grid system.

### 1.3.3.3 초기 조건 및 경계 조건

#### (가) 초기 조건

본 수치실험에서 유동장에 대한 초기조건으로는 계산 시작 단계에서 해수유동이 없는 것(cold start)으로 설정하여 계산을 시작하였고, 유동의 폐경계 조건으로는 육지 경계면을 가로지르는 유량은 없는 조건을, 그리고 해저마찰은 다음의 식과 같이 Manning의 마찰계수를 이용한 quadratic stress law를 사용하였다.

$$\text{quadratic stress law} = \vec{\tau} = C_D \sqrt{U^2 + V^2} \vec{U}$$

$$C_D = gn^2 \Delta z^{-1/3}$$

n : manning의 마찰계수

$\Delta z$  : bottom layer thickness (수심 적분된 경우는 전체 수심)

#### (나) 개방경계조건

본 실험에서는 조석의 주요 4대 분조인  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ 의 삼천포항 및 육지항의 자료를 이용하여 시-공간의 함수로 부여하였고 모델의 계산치가 조석 및 조류 관측치와 잘 일치할 때까지 경계조석을 수정하면서 반복 실험하였다.

조류의 개방경계조건으로는 개방경계에 수직(normal)한 속도 성분을 모델 영역 외부의 속도 성분을 필요로 하는 이류항(advective term)과 수평 와동항(horizontal eddy viscosity term)을 무시하고 운동방정식을 풀어 구하였다. 개방경계에 평행한(tangential) 속도 성분은 흐름이 모델 영역 외부로부터 내부를 향할 때는 내부값과 같은 값으로 처리하였고 흐름이 모델 영역 내부로부터 외부로 향할 때는 다음의 식에 의해 구하였다.

$$\frac{\partial U_t}{\partial t} + U_n \frac{\partial U_t}{\partial x_n} = 0$$

여기서,

$U_t$  : 개방경계에 평행한(tangential) 속도성분

$U_n$  : 개방경계에 수직(normal)한 속도성분

$x_n$  : 개방경계에 수직(normal)한 좌표(coordinate)

#### (다) 계산시간 간격

수치안정조건인 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy) condition을 고려한 time step ( $\Delta t$ )결정은 다음의 식에 따라 external time step을 1초로 사용하여 계산하였다(Blumberg and Mellor, 1987).

$$\Delta t \leq \frac{1}{C_t} \left( \frac{1}{\Delta} x^2 + \frac{1}{\Delta} y^2 \right)^{-1/2}$$

$$C_t = 2 \sqrt{gH} + U_{\max}$$

$U_{\max}$  : 최대 수심평균 속도

#### (라) 전향력

지구자전효과에 의한 Coriolis 계수는  $f = 2\Omega \sin \phi$ 이며,  $\Omega$ 는 지구자전각 속도( $7.29 \times 10^{-5}/\text{sec}$ ),  $\phi$ 는 위도이다. 본 실험에서는 삼천포항 및 육지항의 위도  $36.0^\circ$ 을 입력하였다.

### 1.3.4 해수유동모델의 검증

#### 1.3.4.1 조위 검증

해수유동모델의 조위 검증은 삼천포항 및 육지항의 기준 조석을 이용하여 수행하였다. (그림 1-3-4)와 (그림 1-3-5)는 각각 삼천포항 및 육지항의

조석 검증곡선을 나타낸 것으로 실선은 관측값, 원으로 표시된 것은 계산값을 나타낸 것이다. 검증 결과 대·소조기 조위의 진폭과 위상이 대부분 관측치와 잘 일치하는 것으로 나타나 해수유동모델의 계산결과가 현장값을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

#### 1.3.4.2 조류 검증

대조기 최대유속 관측치와 실험치를 비교하여 <표 1-3-2>에 나타내었다. 관측치는 2005년 1월 27일~28일, 4월 16일~17일, 6월 21일~22일, 8월 29일~30일(총 4회)의 층별 조류 관측자료로부터 각 측정점의 조류곡선을 작도하여 평균대조기 최대유속을 산출한 것이다.

관측치와 실험치의 최대 유속은 대부분의 측정점에서 비슷하게 나타났으며, 전반적으로 낙조 시에는 계산된 유속이 다소 크게 나타났으나 본 과업 대상지의 복잡한 해저지형 및 관측기간의 조차 등을 고려할 때 비교적 정확하게 유속을 재현한 것으로 판단된다.

표 1-3-2 상세역 모형의 조류 검증 결과

Table 1-3-2 Comparison of the computed and the observed tide

측 정 지 점	창조류			낙조류		
		관측치(cm/s,°)	실험치(cm/s,°)		관측치(cm/s,°)	실험치(cm/s,°)
05.1.27~28 ST. A (Spring tide)	표층	81.1(297)	62.3(312)	표층	59.1(116)	61.3(122)
	저층	55.6(291)	53.5(300)	저층	57.3(111)	55.1(120)
05.6.21~22 ST. A (Spring tide)	표층	62.1(275)	61.5(288)	표층	67.9(113)	59.7(121)
	저층	72.3(313)	57.7(305)	저층	62.9(121)	55.1(119)
05.4.16~17 ST. B (Neap tide)	표층	41.2(283)	38.7(297)	표층	30.9(97)	33.8(105)
	저층	26.2(84)	25.5(90)	저층	31.4(146)	38.4(161)
05.8.29~30 ST. B (Neap tide)	표층	53.8(86)	44.6(88)	표층	54.4(98)	59.1(89)
	저층	45.9(279)	38.9(287)	저층	46.4(267)	41.2(274)

(그림 1-3-6)은 기존 해양조사에서 얻어진 유속, 유향값을 조류분산도로 나타낸 것이다. 조류분산도는 관측된 조류자료를 벡터적으로 표시한 그림으로 조류속도와 방향의 분산정도를 용이하게 파악할 수 있게 해 준다. 그림에서 수평축은 동-서 방향의 스케일 축을 나타내며, 연직축은 남-북 방향의 스케일 축을 나타낸다. 분산의 정도가 낮을수록 왕복성 조류의 성격을 가지며, 분산의 정도가 높을수록 회전성의 흐름특성을 가지고, 주축의 기울기 및 크기로 부터 최강창조유속 및 최강낙조유속을 파악할 수 있으며 주 흐름방향을 용이하게 파악할 수 있다.

이 결과를 (그림 1-3-7)의 계산값과 비교해보면, 조류타원은 동-서 방향이 남-북 방향의 스케일에 비해 상대적으로 큰 타입으로 나타나 주 흐름의 방향은 창, 낙조 시 북서-남동 방향의 흐름이며 분산성이 적은 것이 비교적 잘 일치하고 있다.

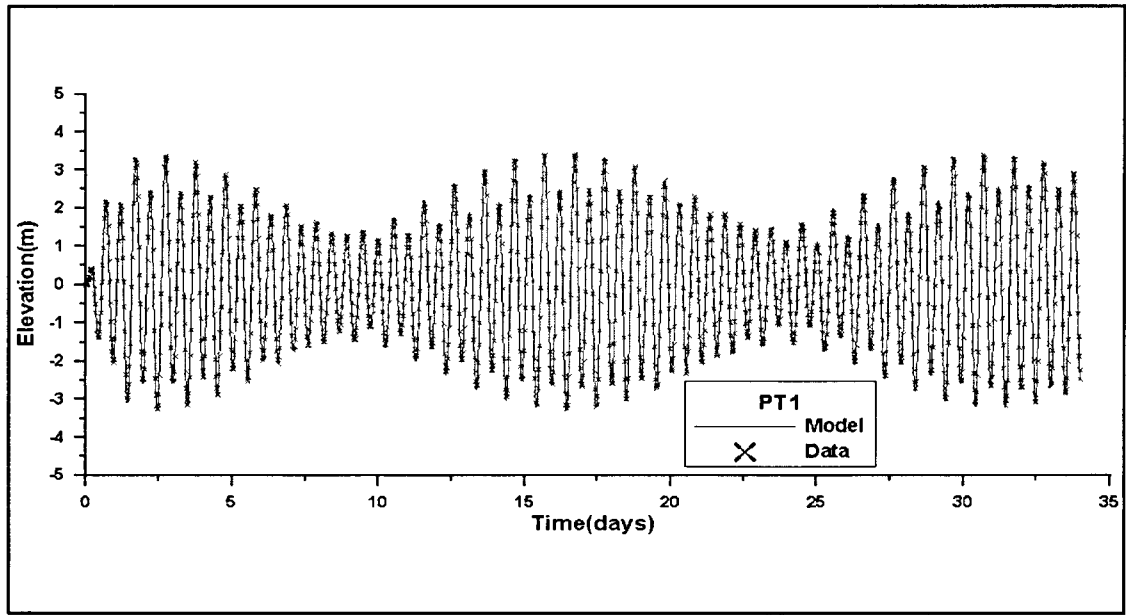


그림 1-3-4. Pt.1(삼천포항)에서의 조위 검증 곡선.

Fig. 1-3-4. Comparison of the computed and the observed tide for Pt.1.

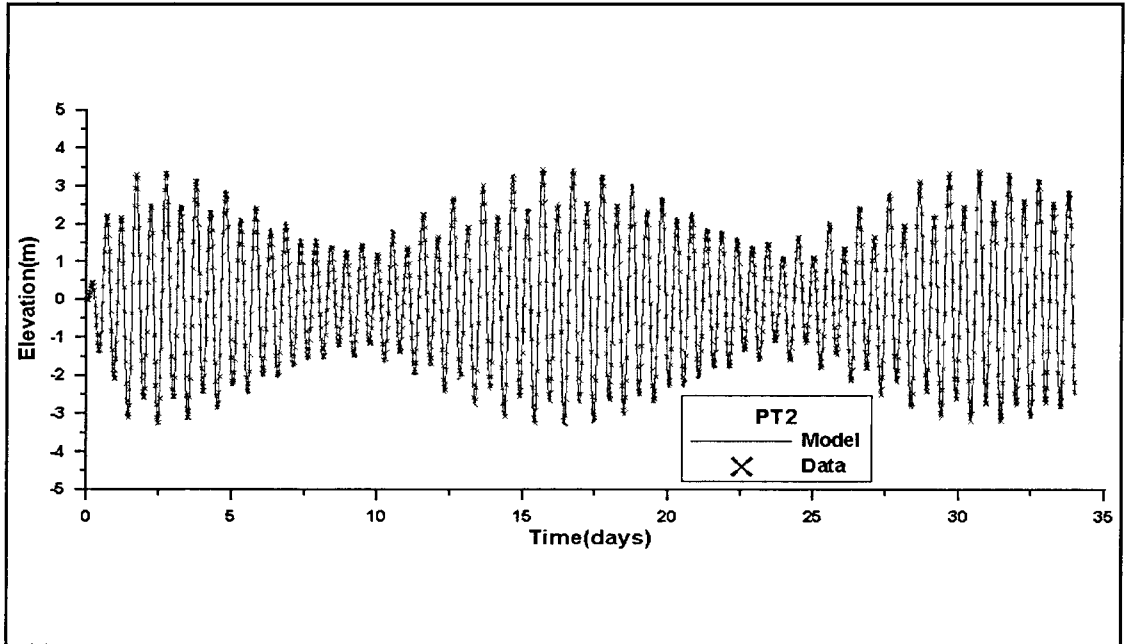


그림 1-3-5. Pt.2(육지항)에서의 조위 검증 곡선.

Fig. 1-3-5. Comparison of the computed and the observed tide for Pt.2.

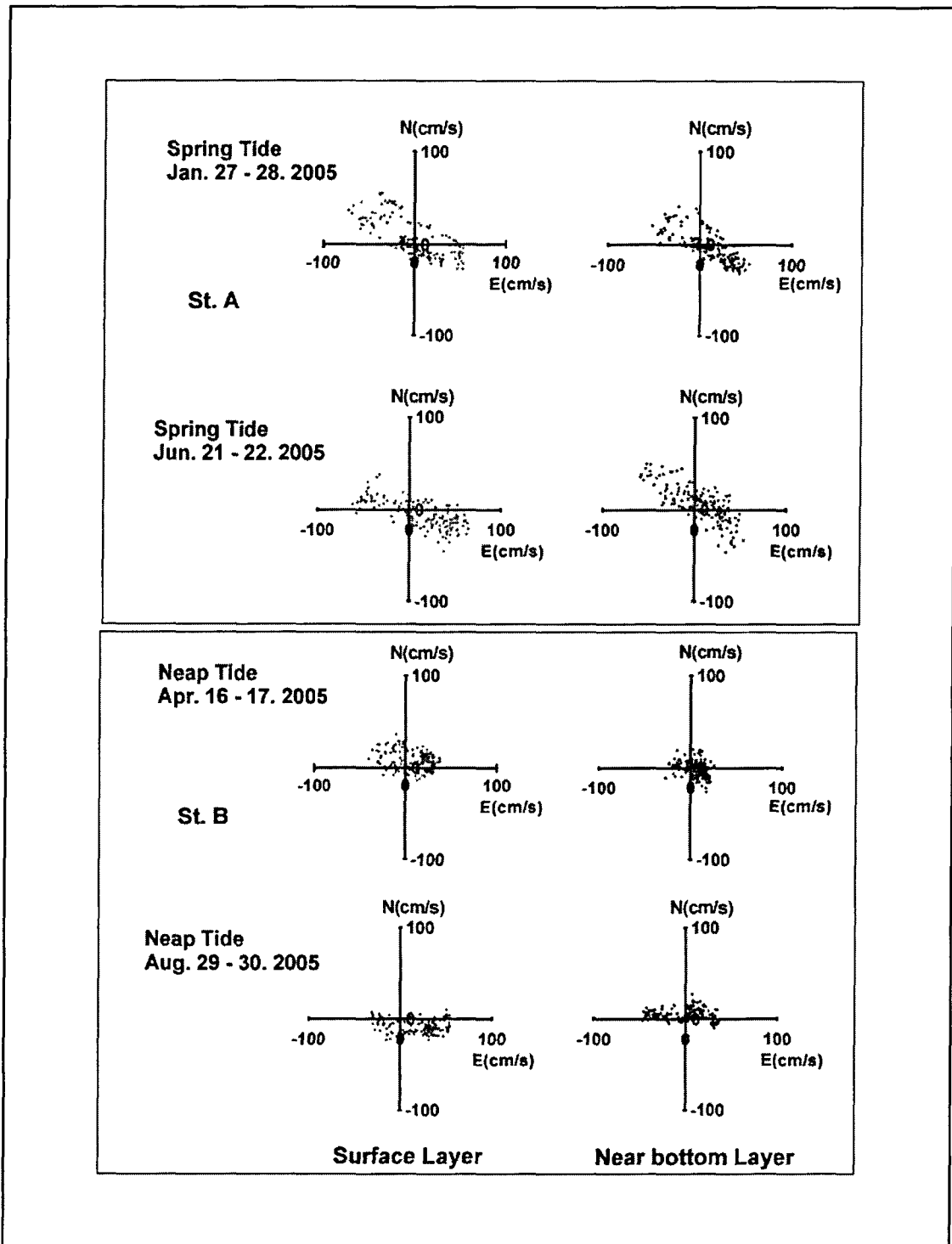


그림 1-3-6. 기존 측류자료에 의한 st.A 및 st. B 정점의 조류분산도.

Fig. 1-3-6. Observed tidal current for st. A and B.



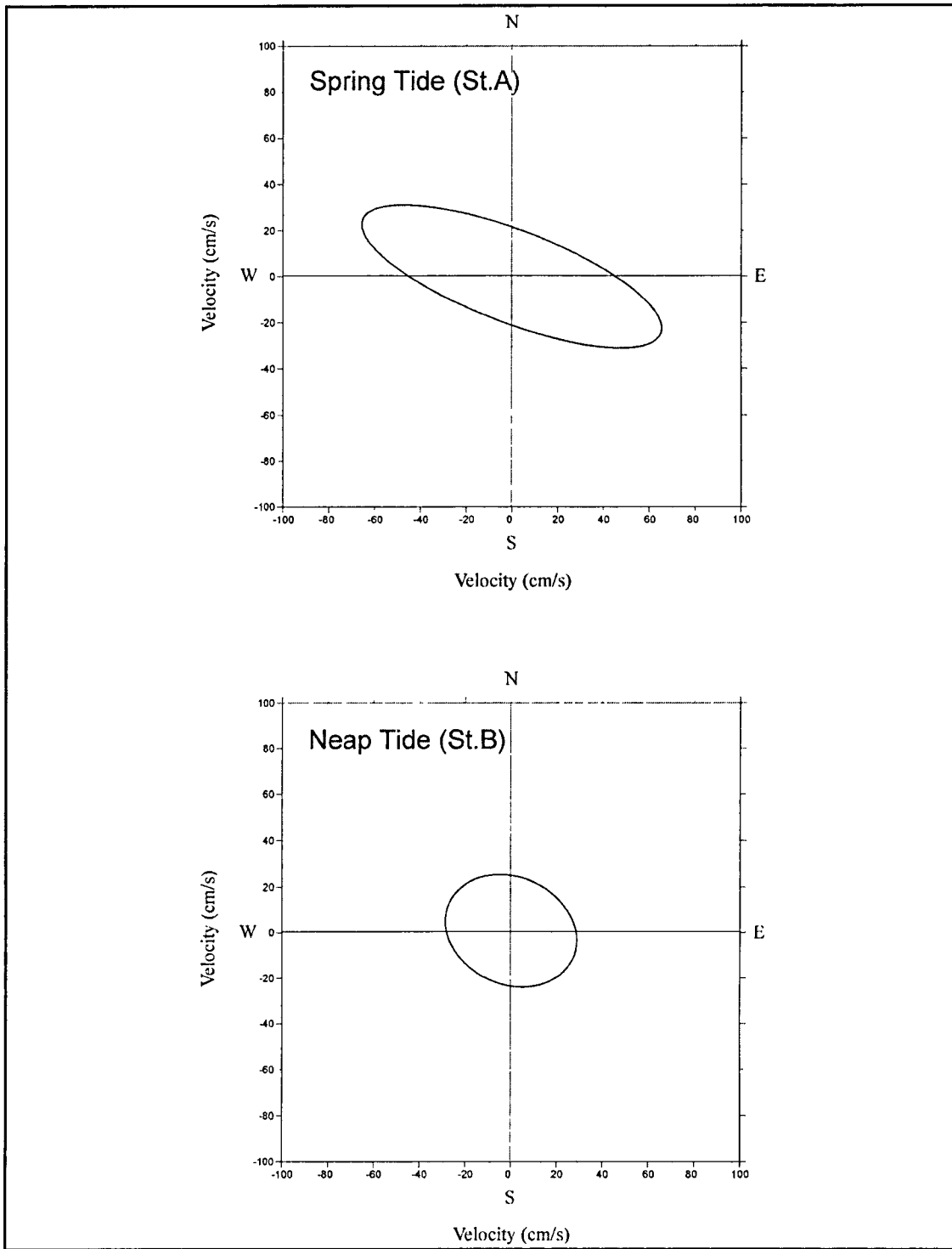


그림 1-3-7. 해수유동모델에 의해 재현된 st.A 및 st.B 정점의 조류타원도.

Fig. 1-3-7. Computed tidal current for st. A and B.

### 1.3.5 해수유동모델 실험 결과

#### 1.3.5.1 광역 계산결과

(그림 1-3-8)과 (그림 1-3-9)는 현재 상태에 대한 광역의 해수유동실험 결과를 나타낸 것으로 각각 최강 창조 시와 최강 낙조 시의 조류분포를 보여준다.

본 사업지구 주변 해역의 창조류는 전반적으로 외해로부터 서류 및 북서류 해수의 일부가 진해만으로 유입되고 그 나머지는 매물도, 연화도, 옥지도 등의 섬을 경유하면서 유속이 다소 빨라진 뒤 고성만과 자란만, 창선도, 사랑도, 삼천포 등 수심이 얇은 연안선 부근에서 유속이 감소하는 패턴을 보이고 있다. 사업대상 해역인 소매물도와 국도 사이의 유속은 약 40~60cm/s 범위였으며, 소매물도와 매물도 주위에서 유속이 빠르고 유향이 일정하지 않았다. 반면 소매물도와 국도 사이의 조류는 조시별로 일정한 방향으로 유향이 유지되고 있는 것으로 나타나 인공용승 발생을 위한 구조물 설치 대상해역으로 적합한 유동특성을 나타내었다. 낙조 시에는 창조 시와 반대방향의 유향을 보이며 유속의 크기는 유사하게 나타난다.

#### 1.3.5.2 상세역 계산결과

##### (가) 현재 상태

(그림 1-3-10)~(그림 1-3-21)에 현재 상태에 대한 상세역의 1시간 간격 해수유동실험 결과를 나타내었다.

사업대상 해역인 소매물도 인근 해역의 창조 시 최대 유속은 소매물도 남쪽 및 북쪽 인근해역에서 약 70~80cm/s 범위로 나타났으며, 낙조 시 최대유속은 약 75~90cm/s 범위로 나타났다. 해중구조물이 설치될 위치인 소매물도와 국도 사이 해역의 최대 유속은 약 45~60cm/s 범위였다.

전체적인 유동패턴은 저조(그림 1-3-10) 시 10~20cm/s 내외의 유속 분

포를 보이고 유향이 불규칙적이다가 창조(그림 1-3-11)가 시작되면서 유속이 빨라짐과 동시에 서류 및 서남류 성분이 강해지기 시작한다. 이때 소매물도와 매물도, 국도에 근접한 곳에서는 섬에 의한 마찰력 영향으로 유속값이 작게 나타나나 그 주변해역의 유속은 빠른 것을 볼 수 있다. 또 소매물도 남쪽의 수심이 얇은 일부 해역에서도 유속이 감소하며 섬 주위와 함께 흐름의 형태는 와류에 가깝게 나타난다. 저조 후 2시간 뒤(그림 1-3-12)부터는 유속이 최대 70~80cm/s 까지 증가되고 흐름의 방향은 동쪽으로부터 서진 및 서남진하며 소매물도와 국도 사이 해역에서는 서진 혹은 서북진하는 흐름 패턴을 나타낸다. 저조 후 3시간 뒤(그림 1-3-13)에는 최대 유속이 75~90cm/s 범위로 증가되고 섬 주위의 와류가 뚜렷해지며 표저층의 유속차도 커진다. 사업 대상 해역인 소매물도-국도 간 영역의 유속은 약 60cm/s 내외이며 유향은 서향 또는 서북향이다. 저조 후 4시간 뒤(그림 1-3-14)부터 유속은 감소하기 시작하여 저조 후 5시간 뒤(그림 1-3-15)에는 소매물도 서남쪽에서 시계방향의 와류가 형성되는 등 흐름의 방향이 매우 불규칙적으로 나타난다. 이 와류는 고조(그림 1-3-16) 시까지 형성되다가 소멸된다. 고조 후 1시간 뒤(그림 1-3-17)부터 조류는 동향류로 바뀌고 고조 후 2시간 뒤(그림 1-3-18)를 지나 고조 후 3시간 뒤(그림 1-3-19)에 최대 유속이 약 80~90cm/s 범위로 증가하면서 동향 또는 동북향한다. 이때 사업지구인 소매물도-국도 사이의 유속은 50cm/s 내외로 나타났다. 고조 후 4시간 뒤(그림 1-3-20)와 5시간 뒤(그림 1-3-21)에는 유속이 점차 감소되면서 특이한 패턴은 나타나지 않는다.

#### (나) 사업시행 후

(그림 1-3-22)~(그림 1-3-33)에 사업시행 후에 대한 상세역의 1시간 간격 해수유동실험 결과를 나타내었다.

사업대상 해역인 소매물도 인근 해역의 창조 시 최대 유속은 소매물도 남쪽 및 북쪽 인근해역에서 사업시행 전과 유사한 약 70~80cm/s 범위로 나

타났으나 해중구조물 설치 위치인 소매물도와 국도 사이 해역의 최대 유속은 설치 전 약 45~60cm/s 범위에서 설치 후 약 10~30cm/s 정도로 감소하였다.

전체적인 유동패턴은 저조(그림 1-3-22) 시 10~20cm/s 내외의 유속 분포를 보이고 유향이 불규칙적인 것은 설치 전과 유사하나 구조물 주위의 유속은 감소하였다. 창조(그림 1-3-23)가 시작되면서 유속이 빨라짐과 동시에 서류 및 서남류 성분이 강해지기 시작하는데 이때 소매물도와 매물도, 국도에 근접한 곳에서는 섬에 의한 마찰력 영향으로 유속값이 작게 나타나고 이와 유사하게 구조물 설치 위치 주변에서도 유속감소가 뚜렷하게 나타난다.

저조 후 2시간 뒤(그림 1-3-24)부터는 유속이 최대 70~80cm/s 까지 증가되나 구조물 주위의 유속은 15~25cm/s 정도로 약하게 나타나고 흐름의 방향은 동쪽으로부터 서진 및 서남진하며 소매물도와 국도 사이 해역에서는 서진 혹은 서북진하는 흐름 패턴은 설치 전과 다르지 않다. 저조 후 3시간 뒤(그림 1-3-25)에는 최대 유속이 소매물도 주변에서 약 75~90cm/s 범위임에도 불구하고 구조물 주위의 유속은 10~25cm/s 내외로 설치 전에 비해 현저히 감소됨을 볼 수 있다. 섬 주위의 와류와 함께 구조물 주위의 와류도 뚜렷해지며 표저층의 유속차도 커진다. 사업 대상 해역인 소매물도-국도 간 영역의 유속은 설치 전 약 60cm/s 내외였으나 구조물의 영향이 나타나는 구조물 서측 해역까지 유속은 30cm/s 이하로 나타남을 볼 수 있다. 이때 유향은 서향 또는 서북향이다. 저조 후 4시간 뒤(그림 1-3-26)부터 유속은 감소하기 시작하여 저조 후 5시간 뒤(그림 1-3-27)에는 소매물도 서남쪽에서 시계방향의 와류가 형성되는 등 흐름의 방향이 매우 불규칙적으로 나타난다.

이 와류는 고조(그림 1-3-28) 시까지 형성되다가 소멸되는데 구조물은 이 시계방향 와류의 남단에 위치한다. 따라서 소매물도 남쪽에서 서진하던 조류가 소매물도 서측으로 돌아 와류를 형성할 때 구조물은 그 와류의 남단 유속을 감소시키면서 물질이 그 해역에 체류할 수 있는 시간(retention time)이 길어지도록 하는 역할을 할 것으로 보인다. 고조 후 1시간 뒤(그림

1-3-29)부터 조류는 동향류로 바뀌고 고조 후 2시간 뒤(그림 1-3-30)를 지나 고조 후 3시간 뒤(그림 1-3-31)에 최대 유속이 약 80~90cm/s 범위로 증가하면서 동향 또는 동북향한다. 이때 사업지구인 소매물도-국도 사이의 유속은 설치 전 약 50cm/s 내외로 나타났으나 구조물 설치 후 그 효과에 의하여 약 10~20cm/s 내외로 감소되었다. 고조 후 4시간 뒤(그림 1-3-32)와 5시간 뒤(그림 1-3-33)에는 유속이 점차 감소되면서 특이한 패턴은 나타나지 않는다.

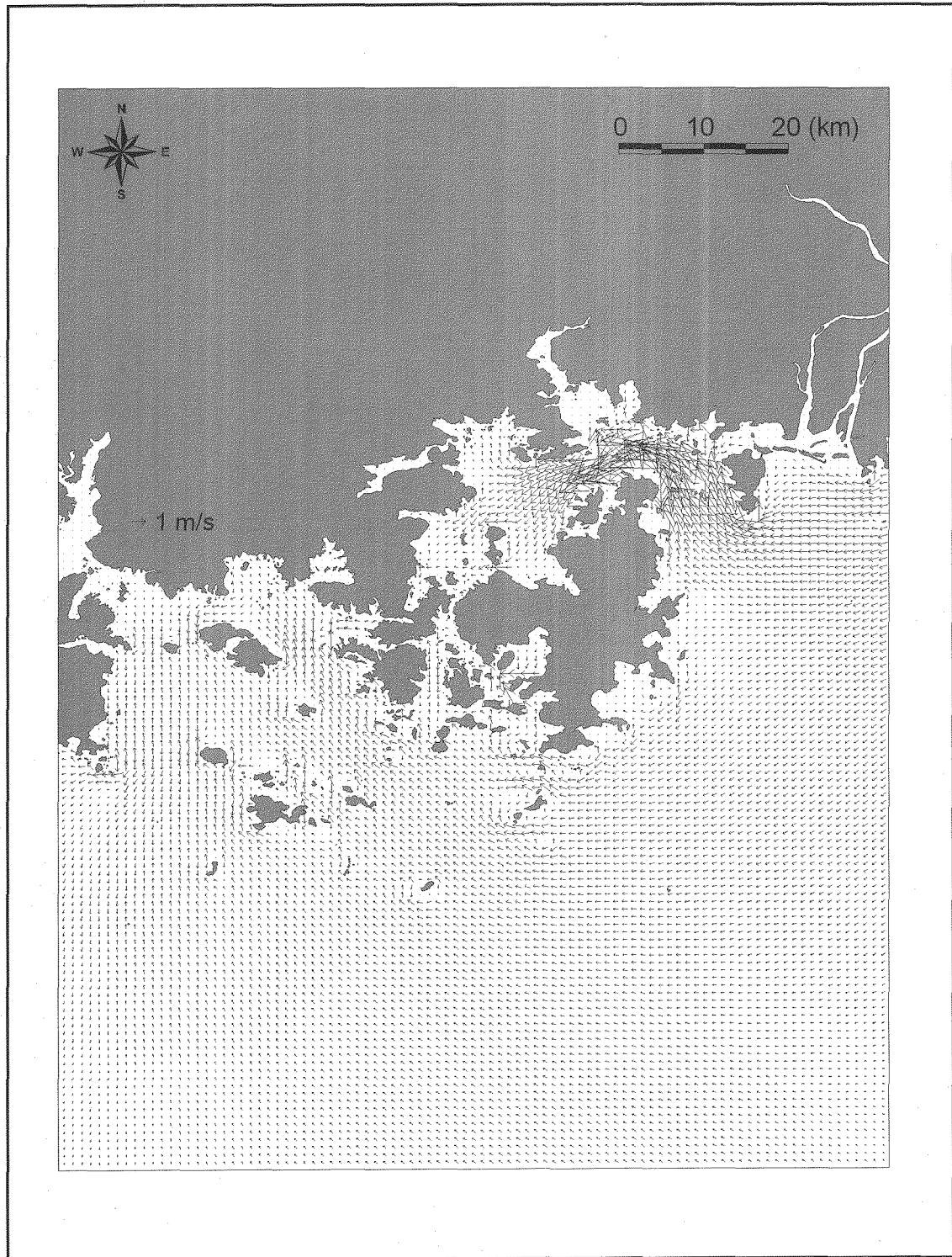


그림 1-3-8. 현재 상태의 해수유동실험에 의한 광역의 최강 창조시 유속벡터도.

Fig. 1-3-8. Tidal current during maximum flood flow.

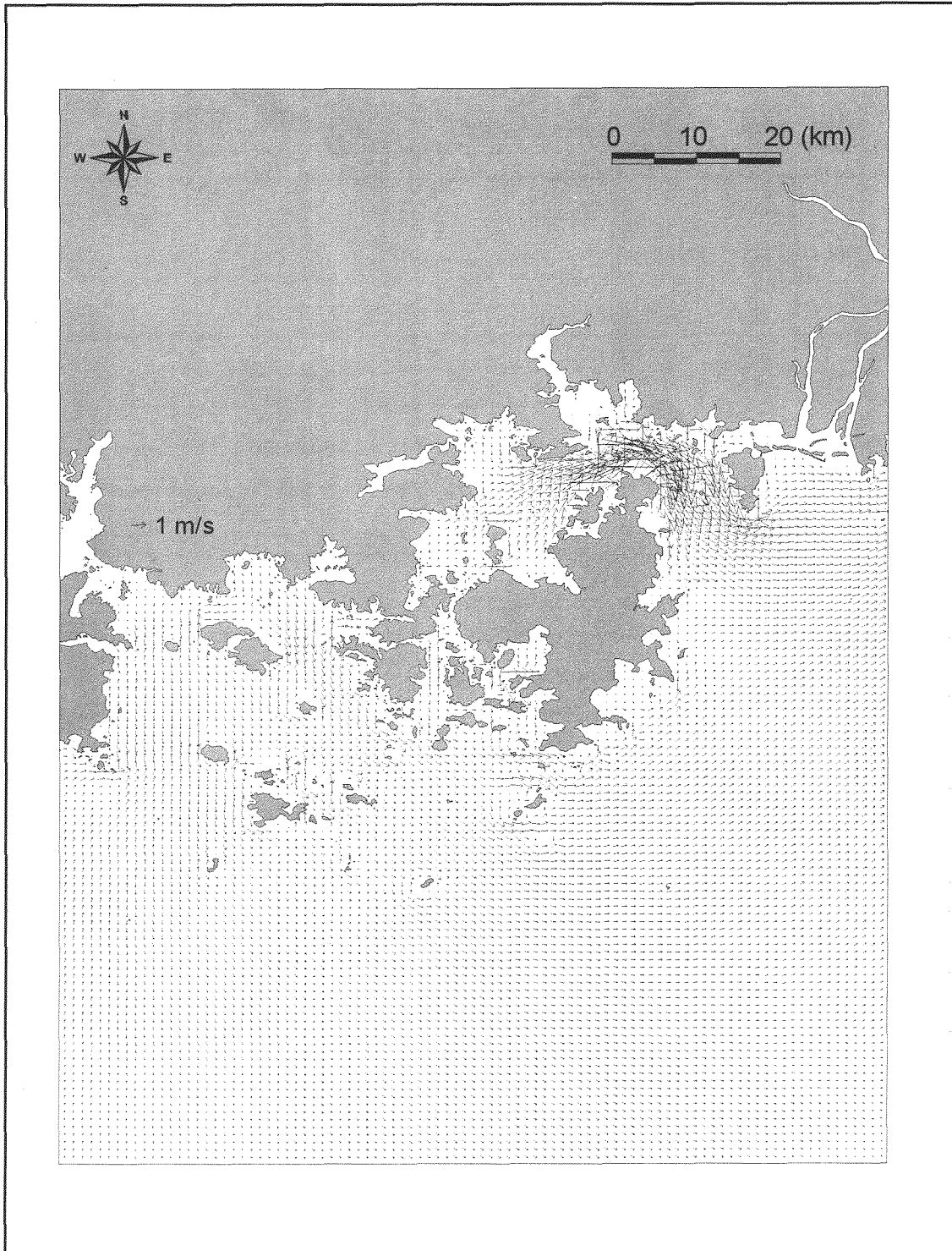


그림 1-3-9. 현재 상태의 해수유동실험에 의한 광역의 최강 낙조시 유속벡터도.  
 Fig. 1-3-9. Tidal current during maximum ebb flow.

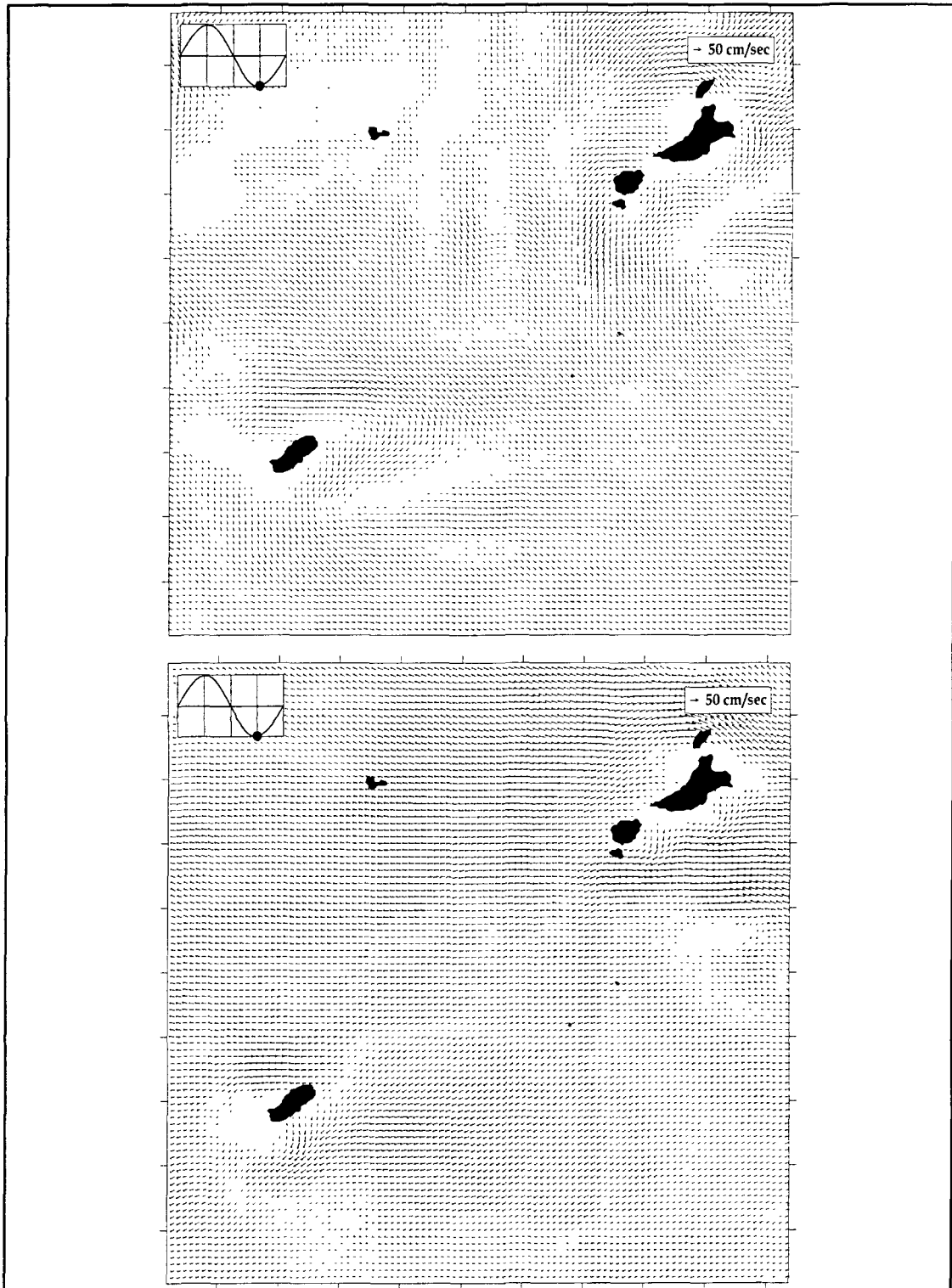


그림 1-3-10. 현재 상태 상해역의 조류벡터도 (저조 시). (상)표층 (하) 저층.  
 Fig. 1-3-10. The distribution of tidal current (low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.



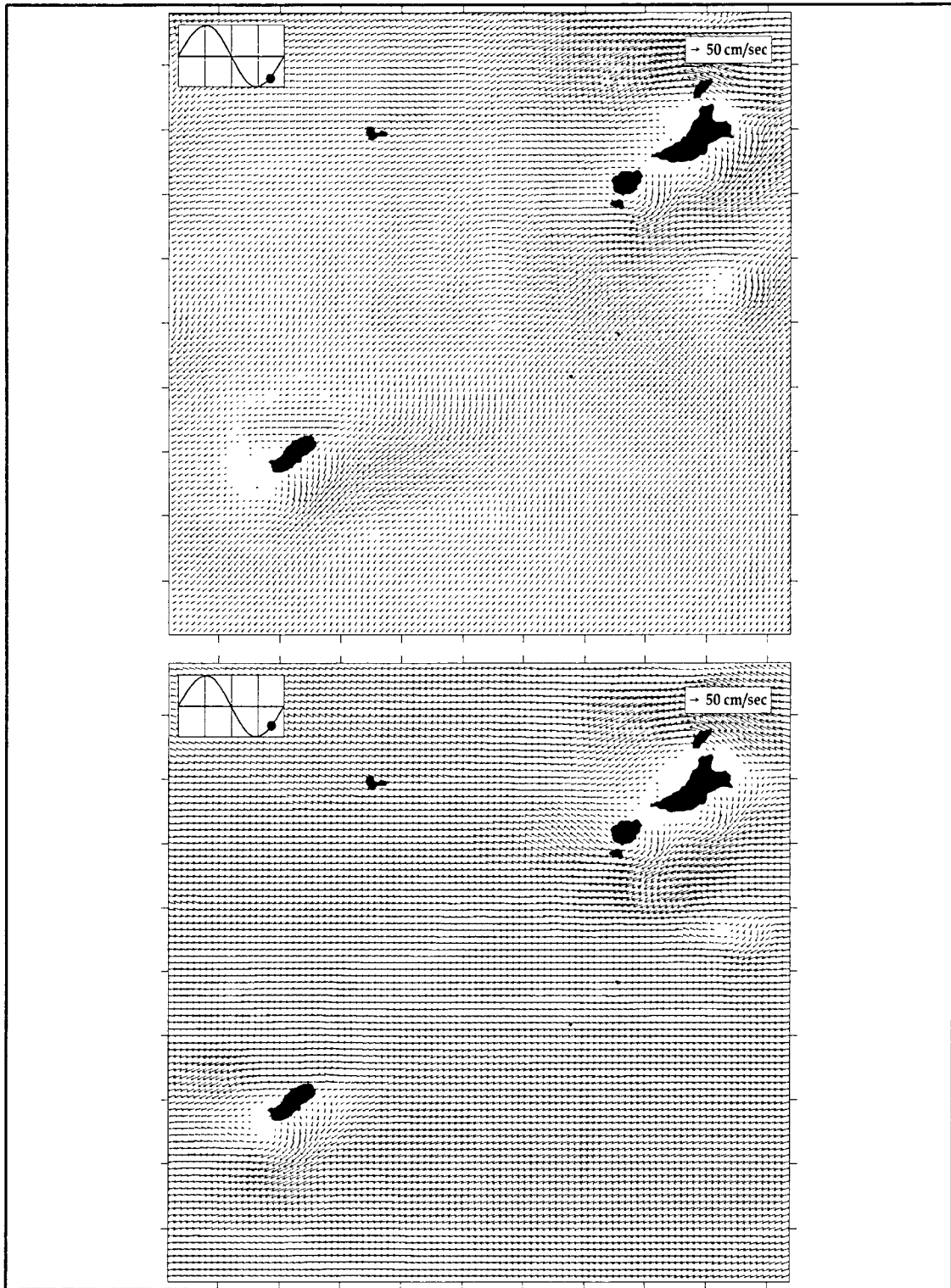


그림 1-3-11. 현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 1시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-11. The distribution of tidal current (1h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

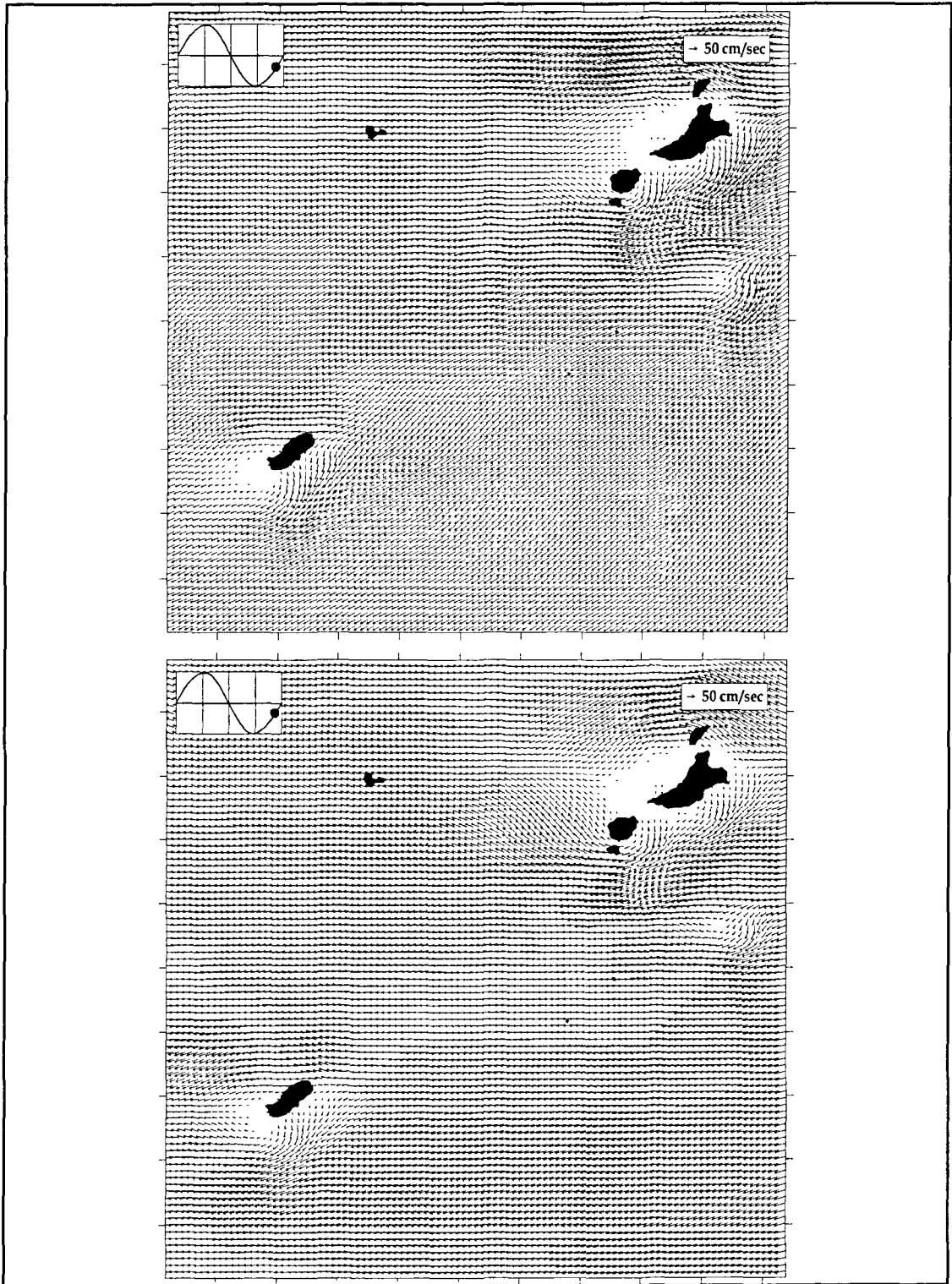


그림 1-3-12. 현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 2시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-12. The distribution of tidal current (2h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

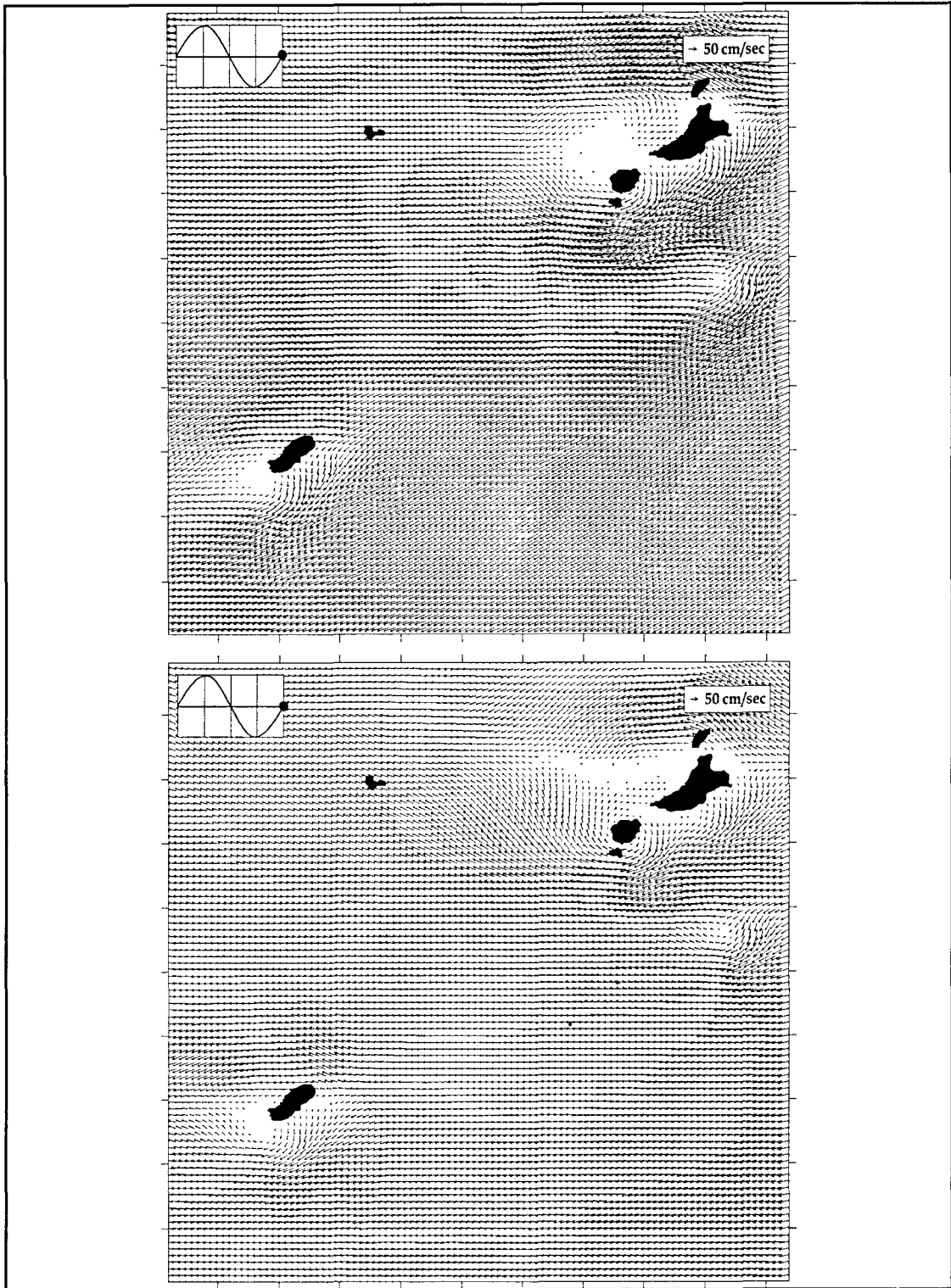


그림 1-3-13. 현재 상태 상해역의 조류벡터도 (저조 후 3시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-13. The distribution of tidal current (3h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

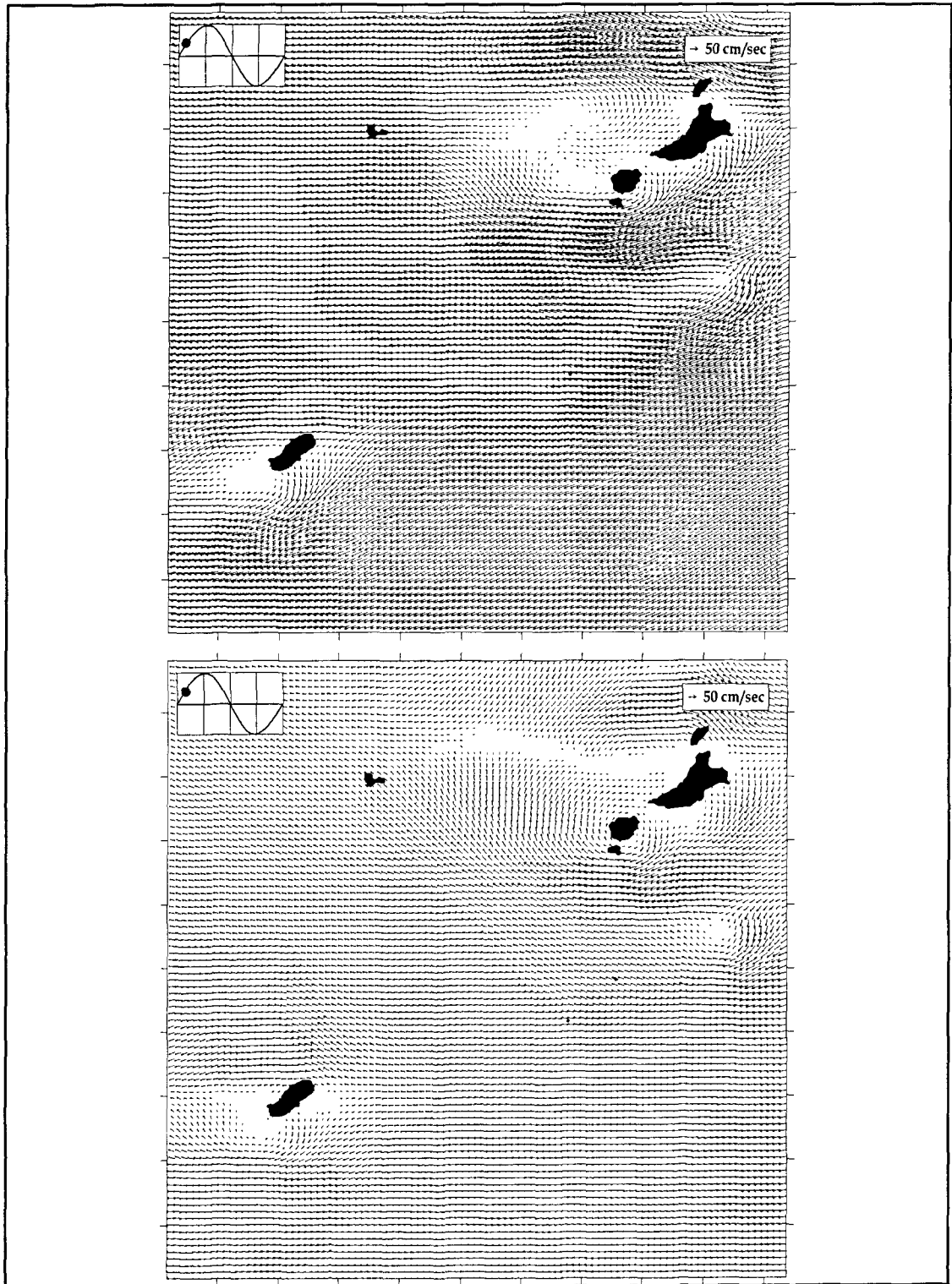


그림 1-3-14. 현재 상태 상세역의 조류벡터도 (저조 후 4시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-14. The distribution of tidal current (4h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

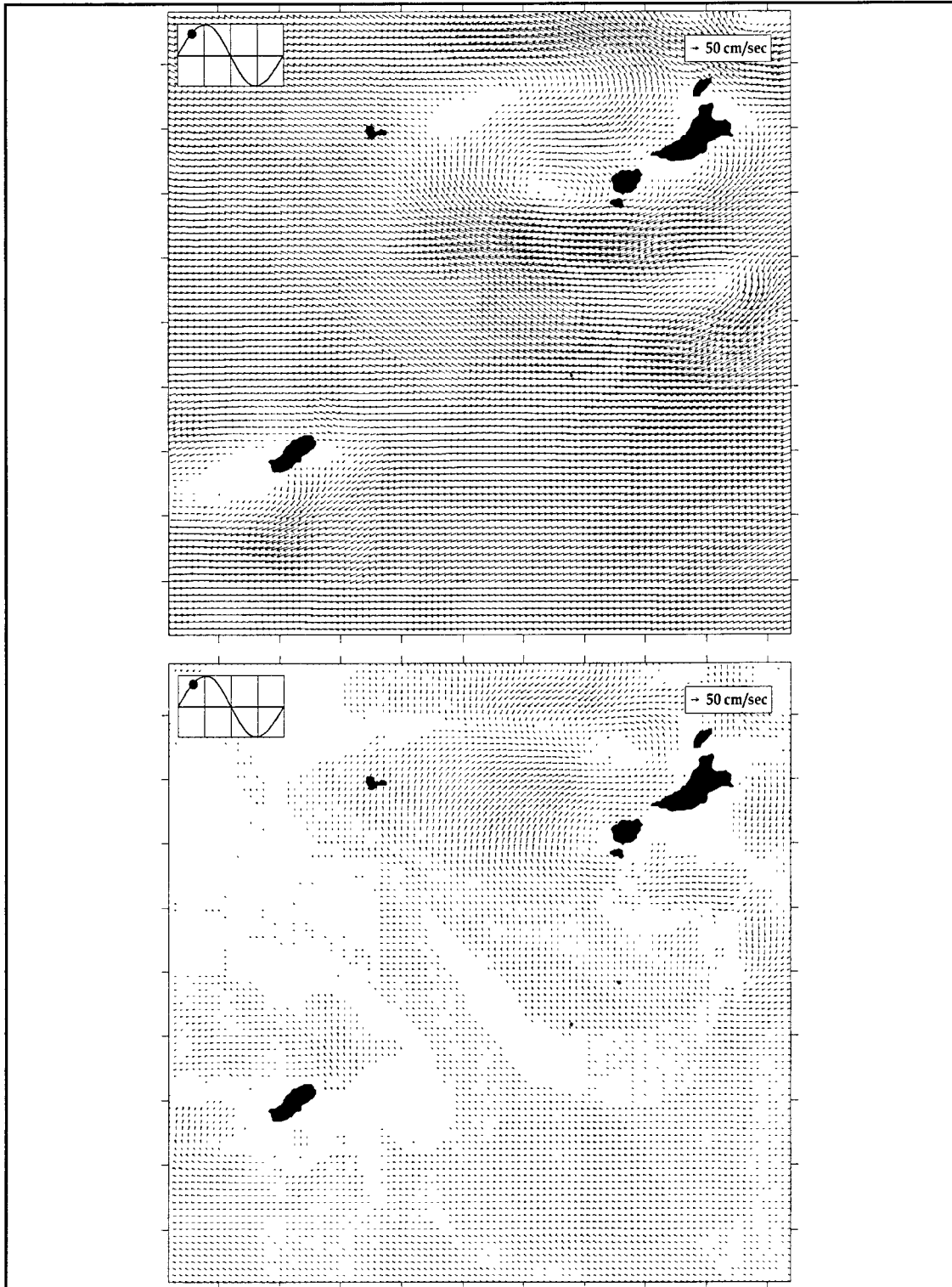


그림 1-3-15. 현재 상태 상해역의 조류벡터도 (저조 후 5시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-15. The distribution of tidal current (5h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

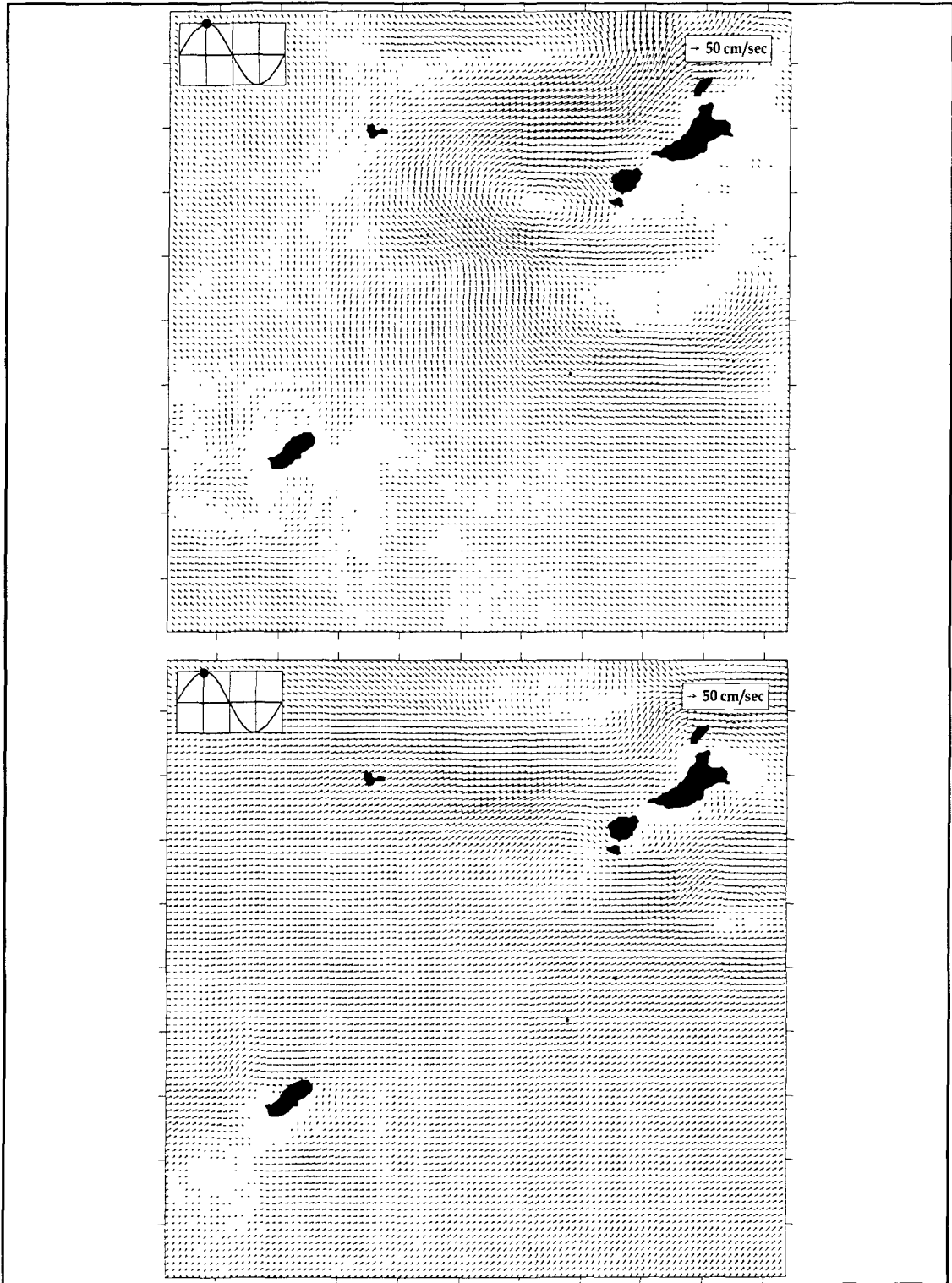


그림 1-3-16. 현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 시). (상) 표층 (하) 저층.

Fig. 1-3-16. The distribution of tidal current (high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

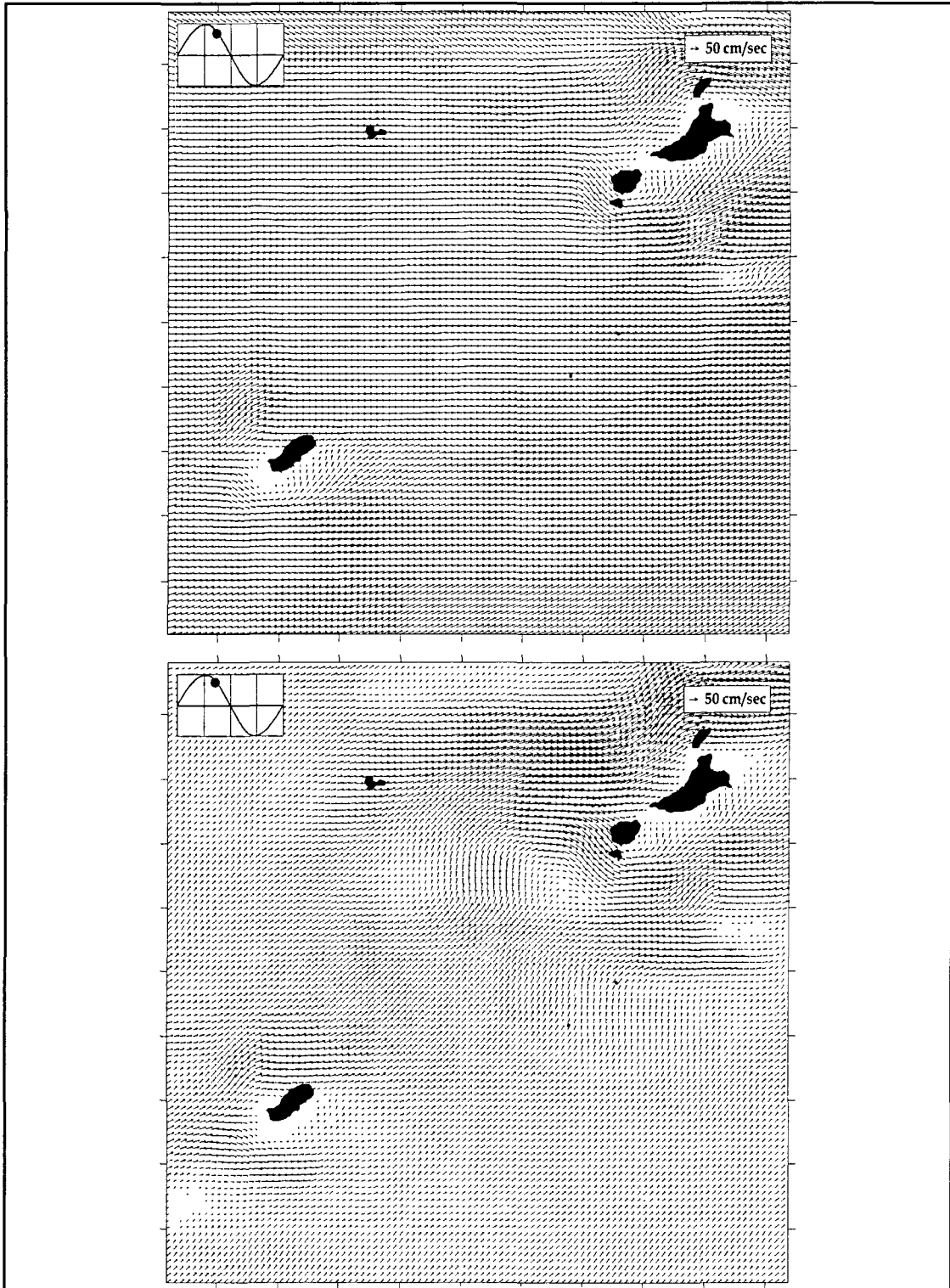


그림 1-3-17. 현재 상태 상해역의 조류벡터도 (고조 후 1시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-17. The distribution of tidal current (1h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

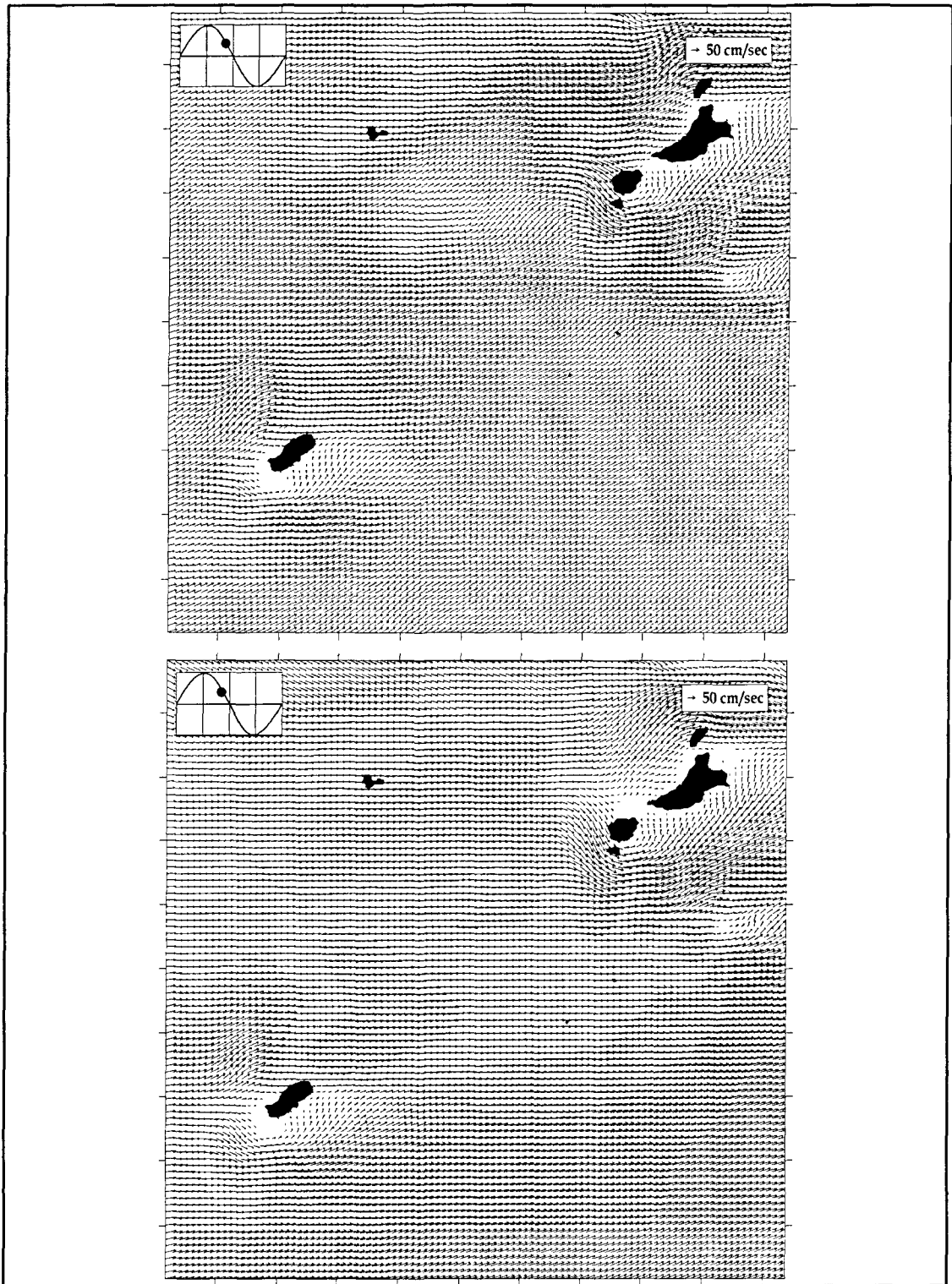


그림 1-3-18. 현재 상태 상해역의 조류벡터도 (고조 후 2시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-18. The distribution of tidal current (2h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.



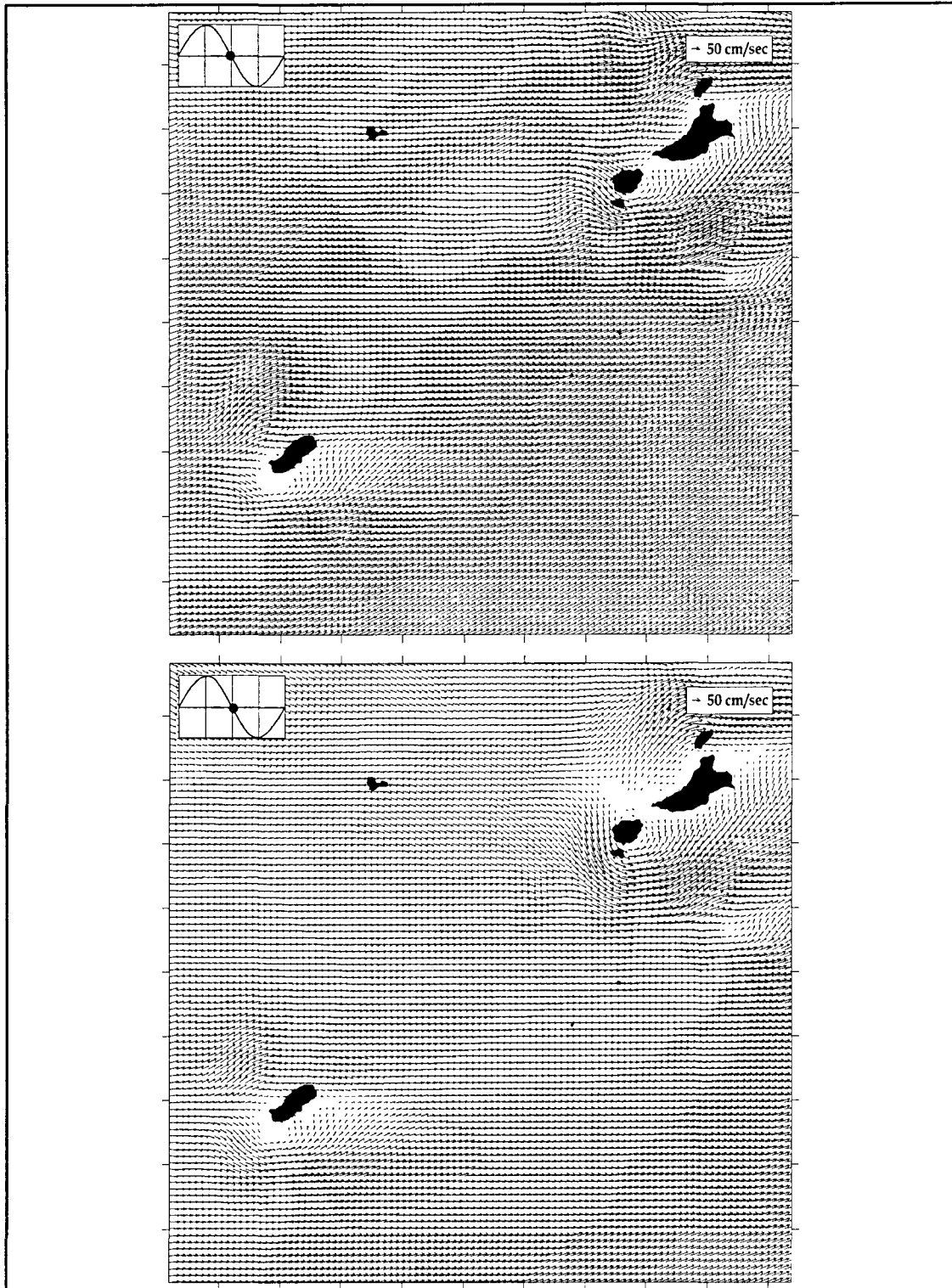


그림 1-3-19. 현재 상태 상세역의 조류벡터도 (고조 후 3시간 뒤). (상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-19. The distribution of tidal current (3h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

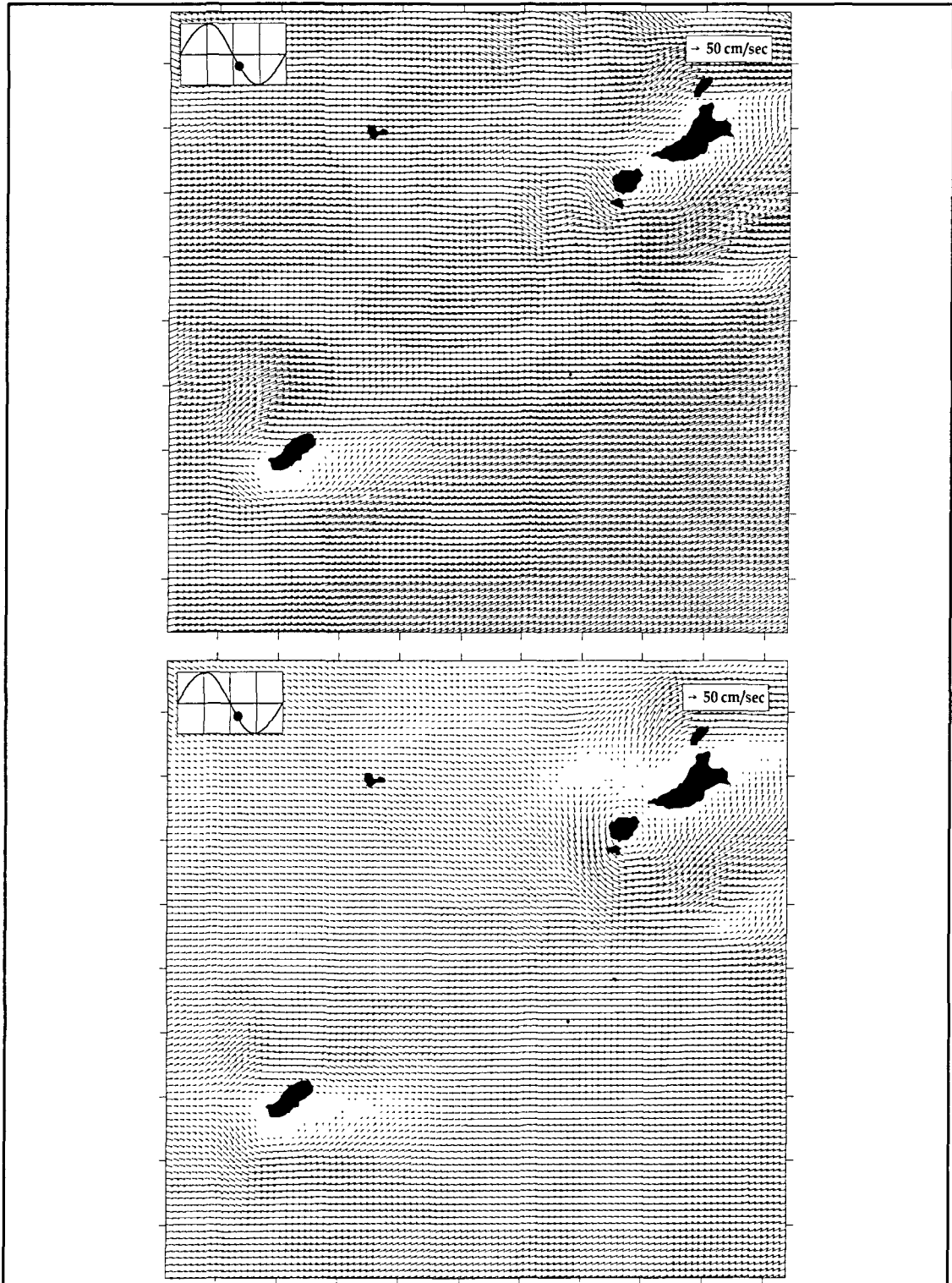


그림 1-3-20. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 4시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-20. The distribution of tidal current (4h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

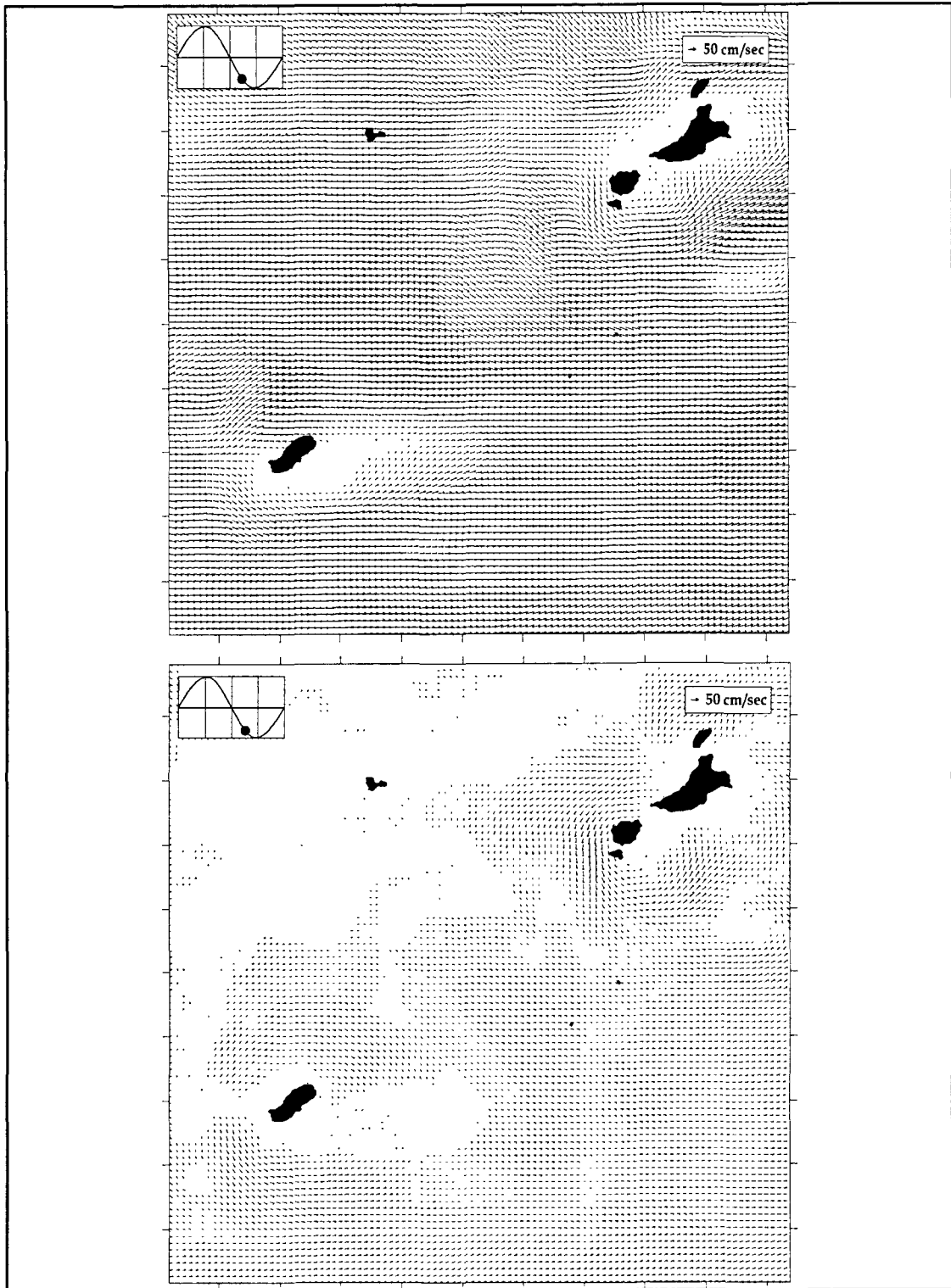


그림 1-3-21. 사업시행 후 상해역의 조류벡터도 (고조 후 5시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-21. The distribution of tidal current (5h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

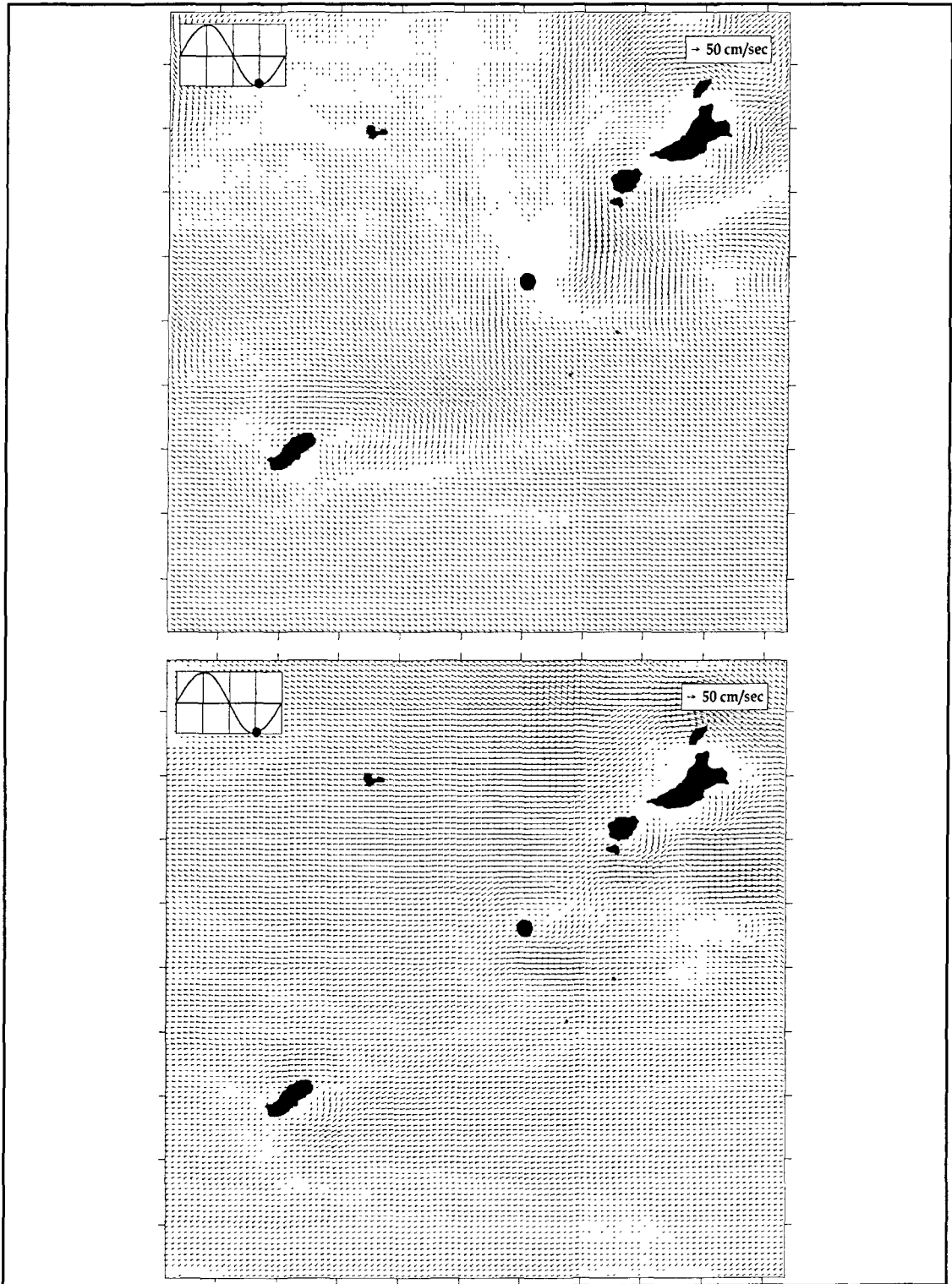


그림 1-3-22. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 시). (상) 표층  
(하) 저층.

Fig 1-3-22. The distribution of tidal current (low water).  
(upper) upper layer/ (lower) lower layer.

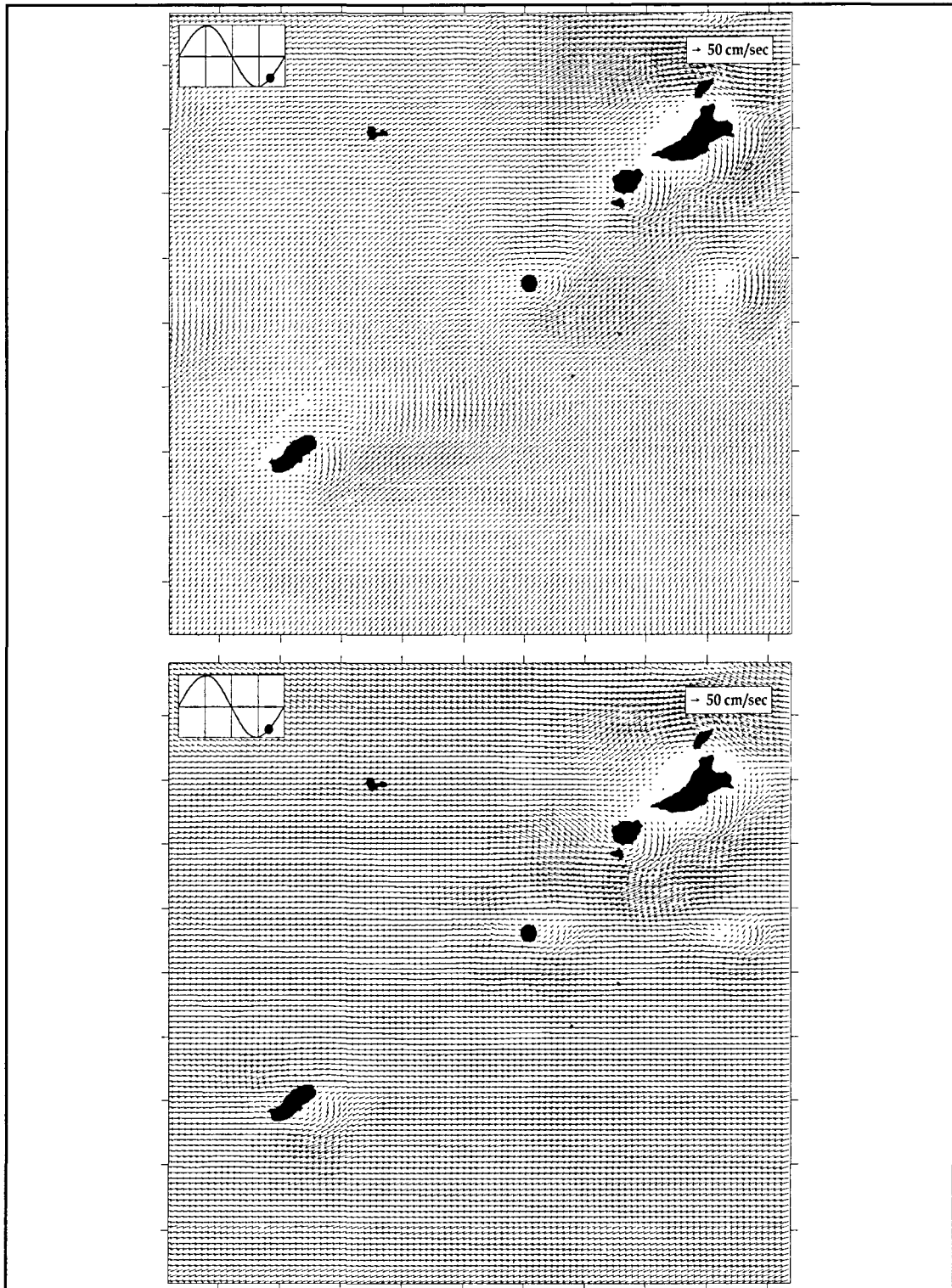


그림 1-3-23. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 1시간 뒤).  
 (상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-23. The distribution of tidal current (1h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

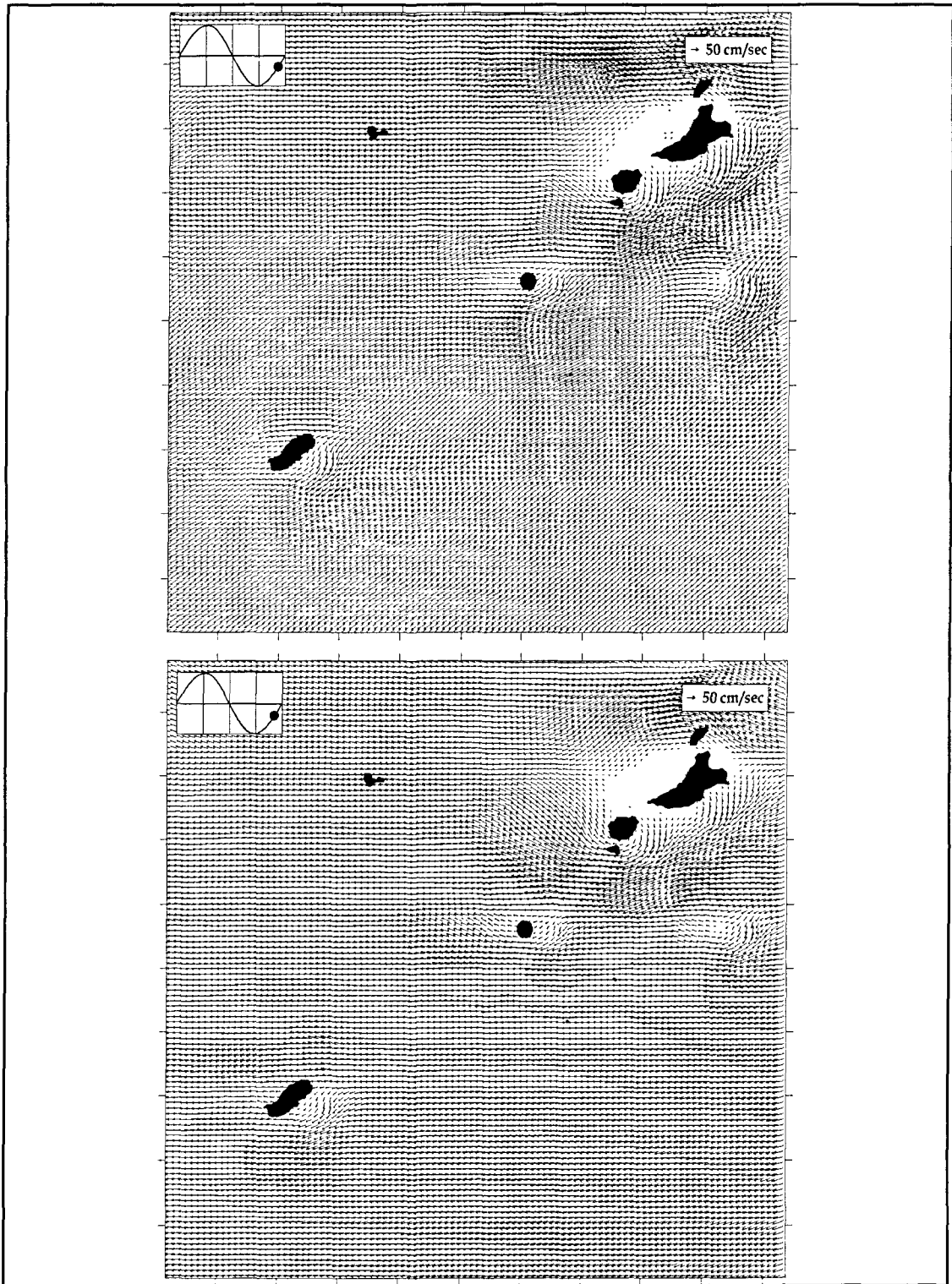


그림 1-3-24. 사업시행 후 상해역의 조류벡터도 (저조 후 2시간 뒤).  
 (상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-24. The distribution of tidal current (2h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

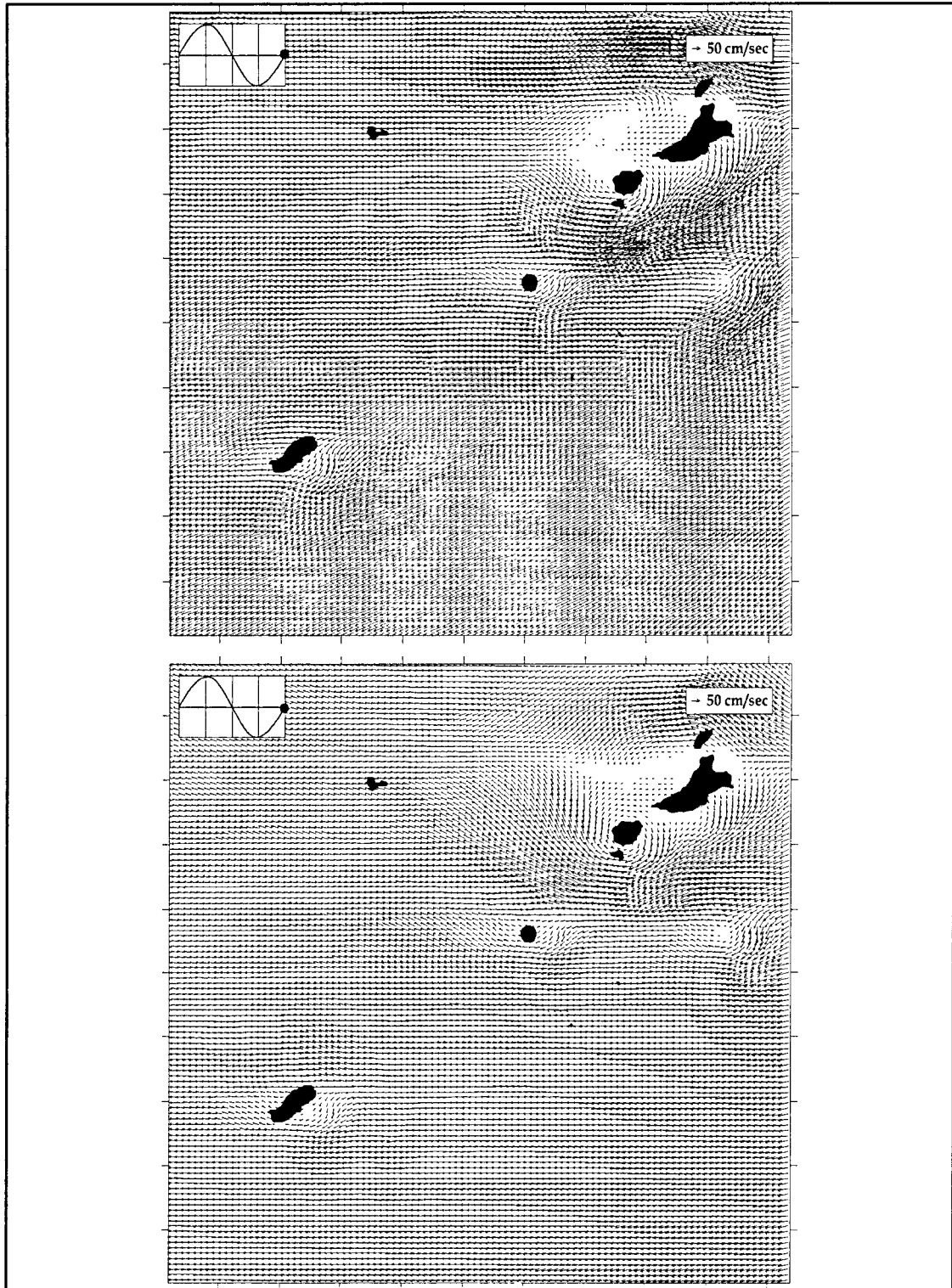


그림 1-3-25. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 3시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-25. The distribution of tidal current (3h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

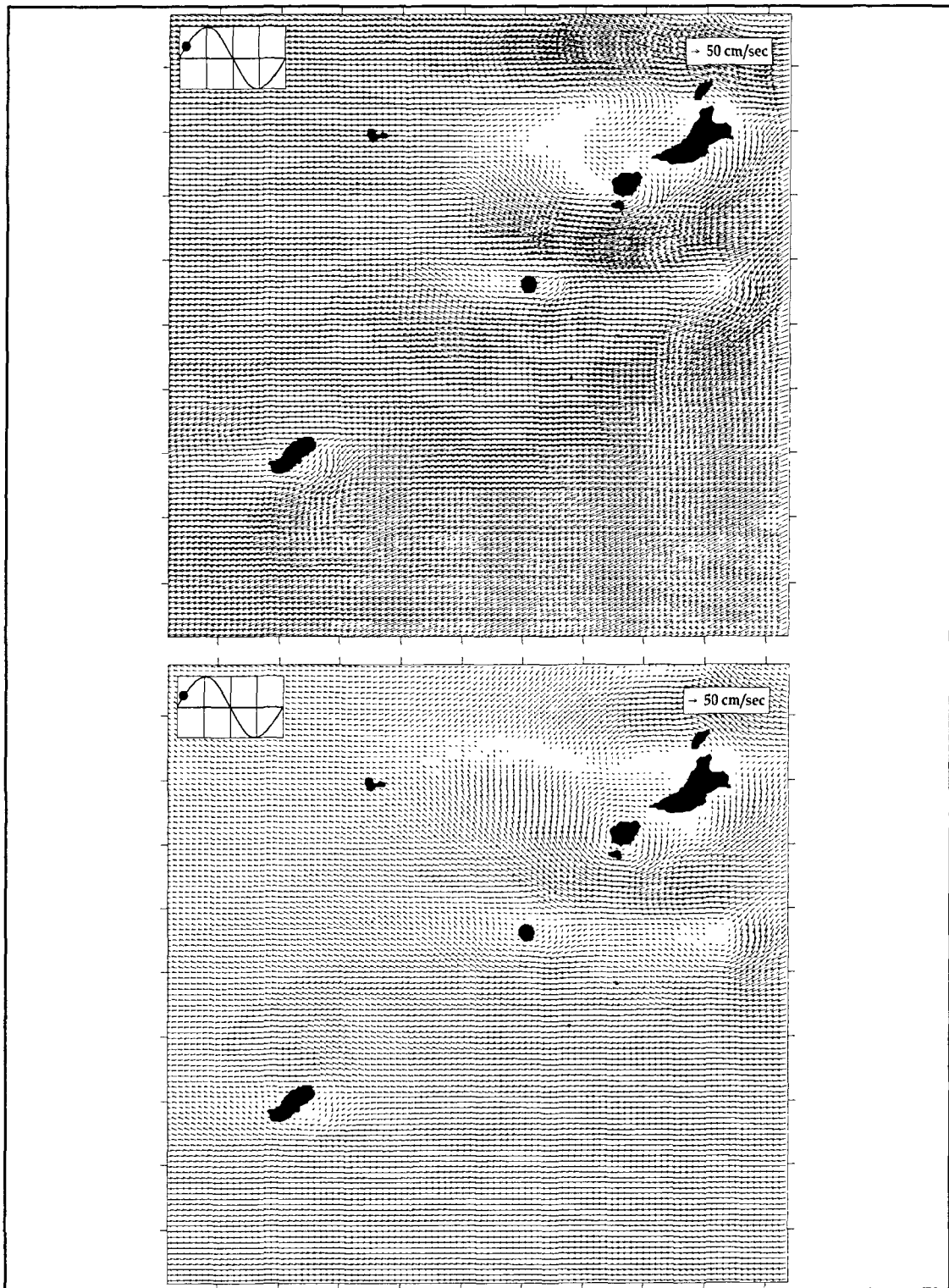


그림 1-3-26. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 4시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-26. The distribution of tidal current (4h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.



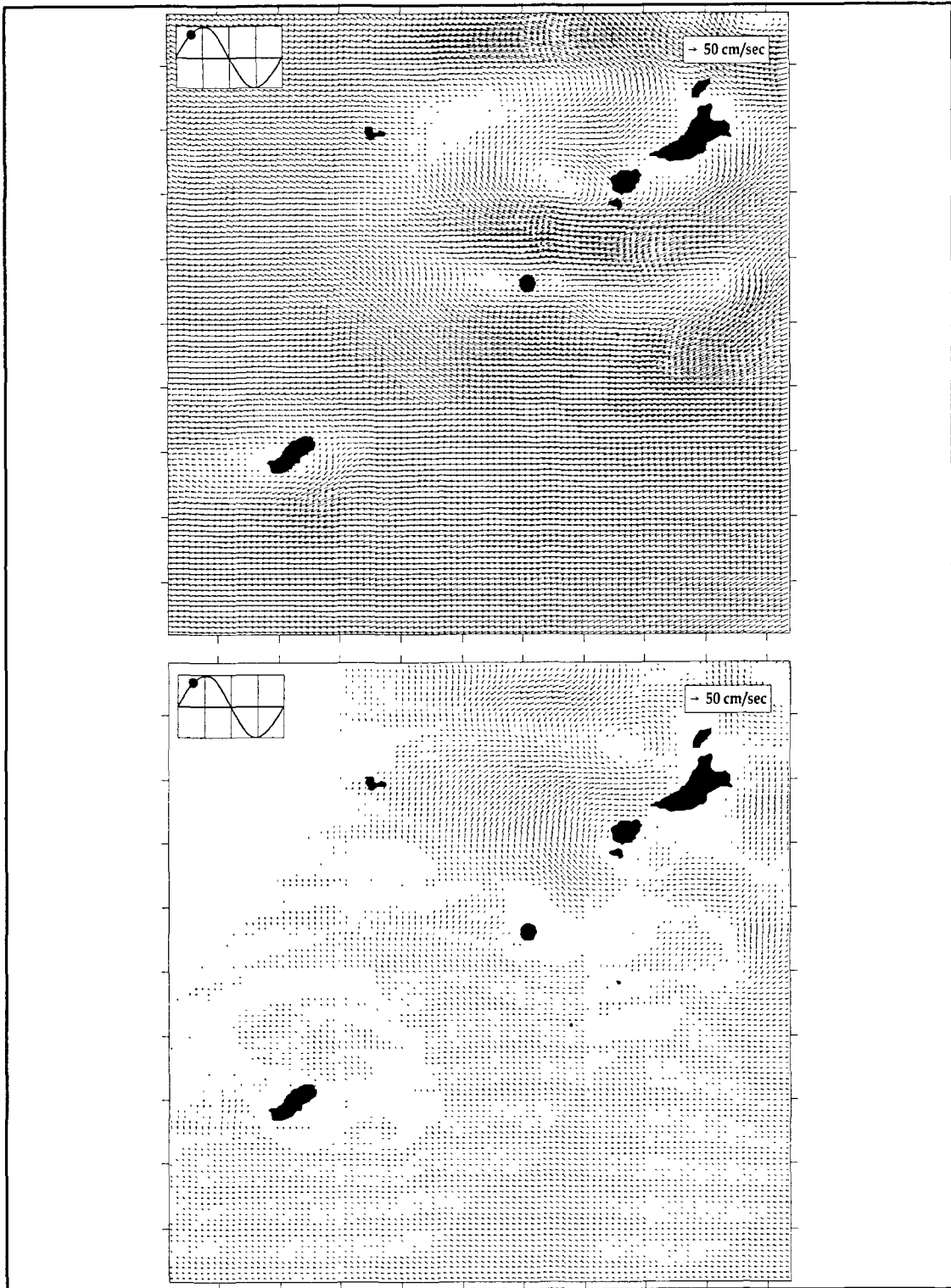


그림 1-3-27. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (저조 후 5시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-27. The distribution of tidal current (5h after low water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

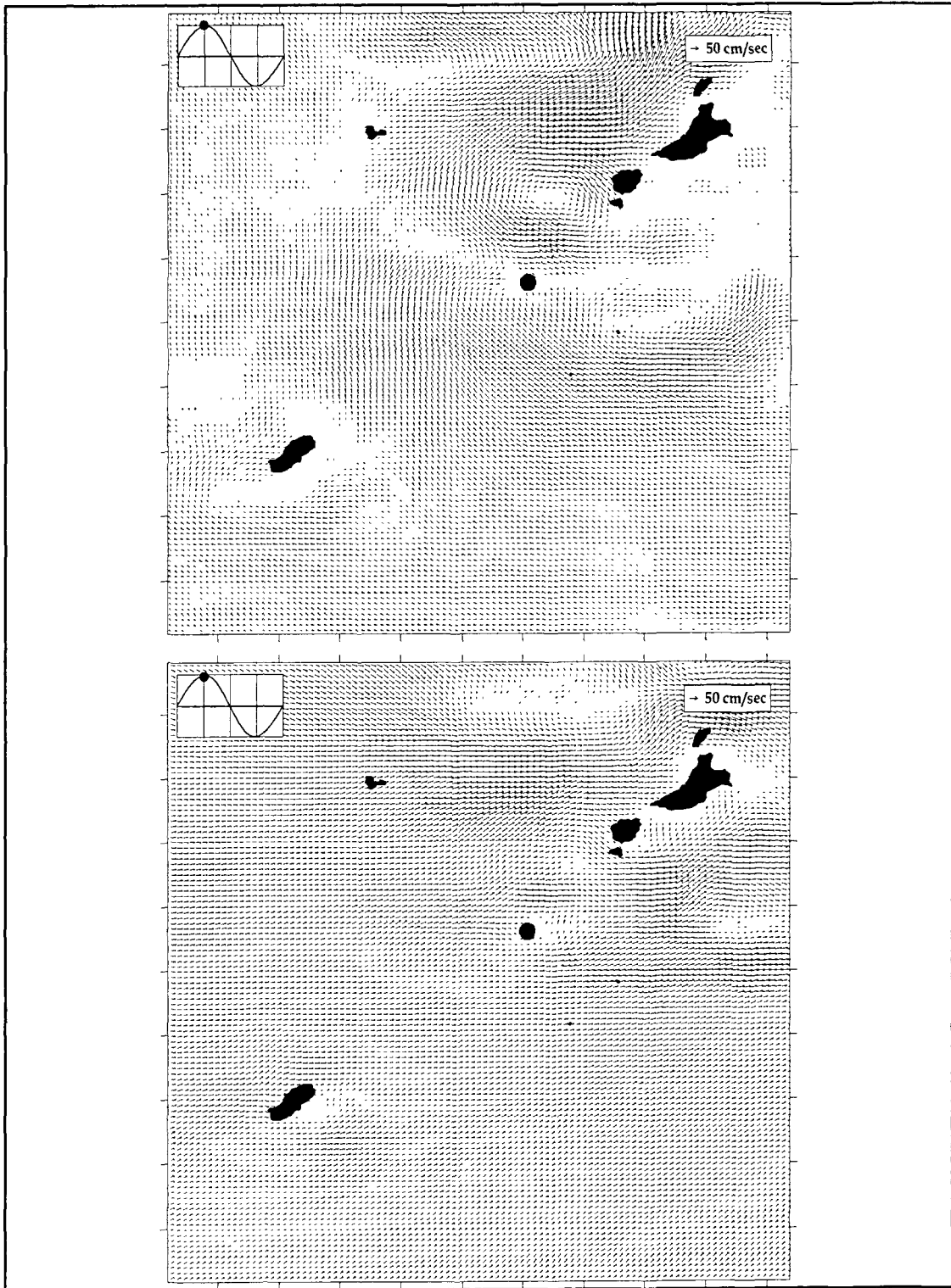


그림 1-3-28. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 시). (상) 표층  
(하) 저층.

Fig 1-3-28. The distribution of tidal current (high water).  
(upper) upper layer/ (lower) lower layer.

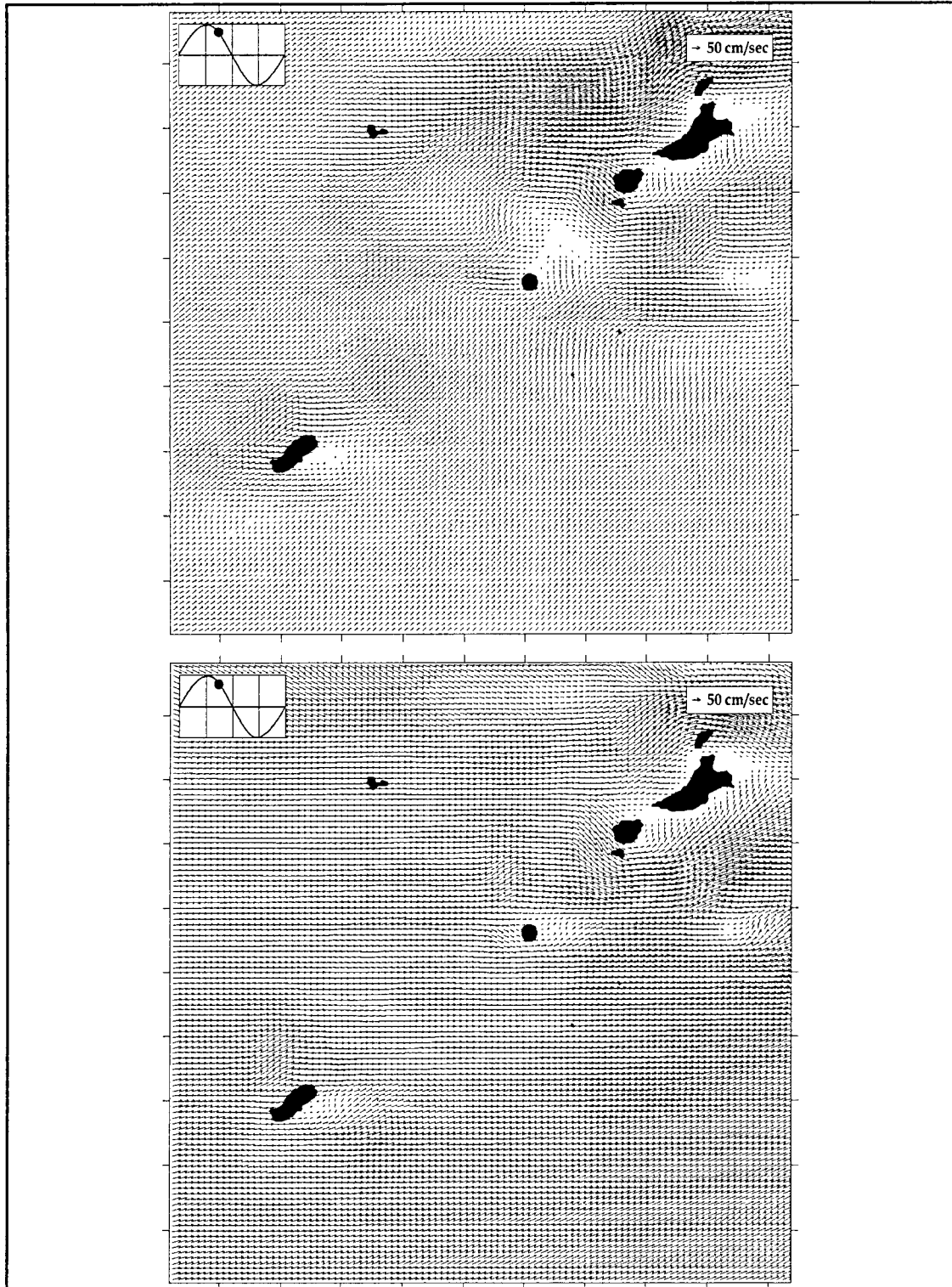


그림 1-3-29. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 1시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-29. The distribution of tidal current (1h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

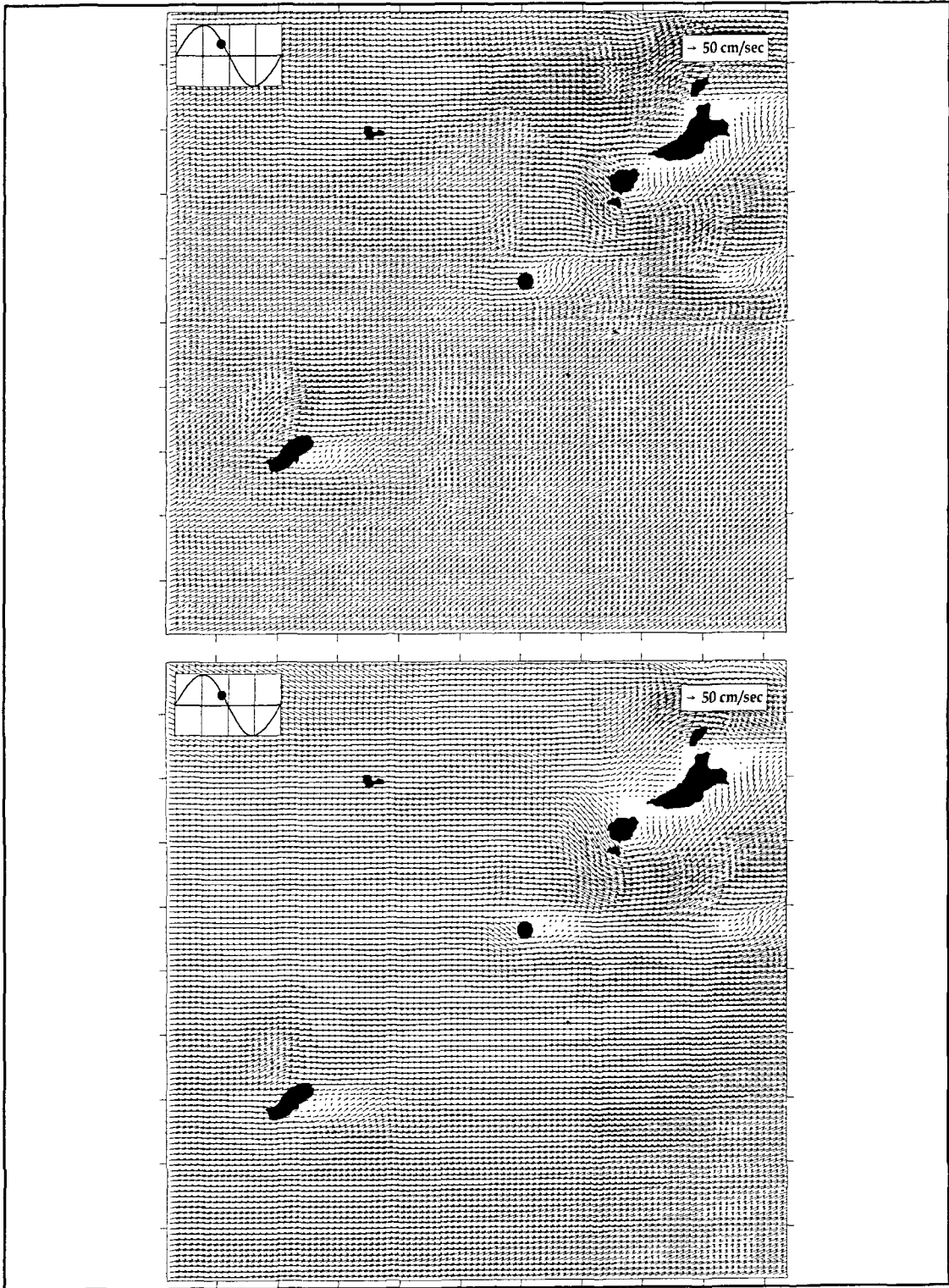


그림 1-3-30. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 2시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-30. The distribution of tidal current (2h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

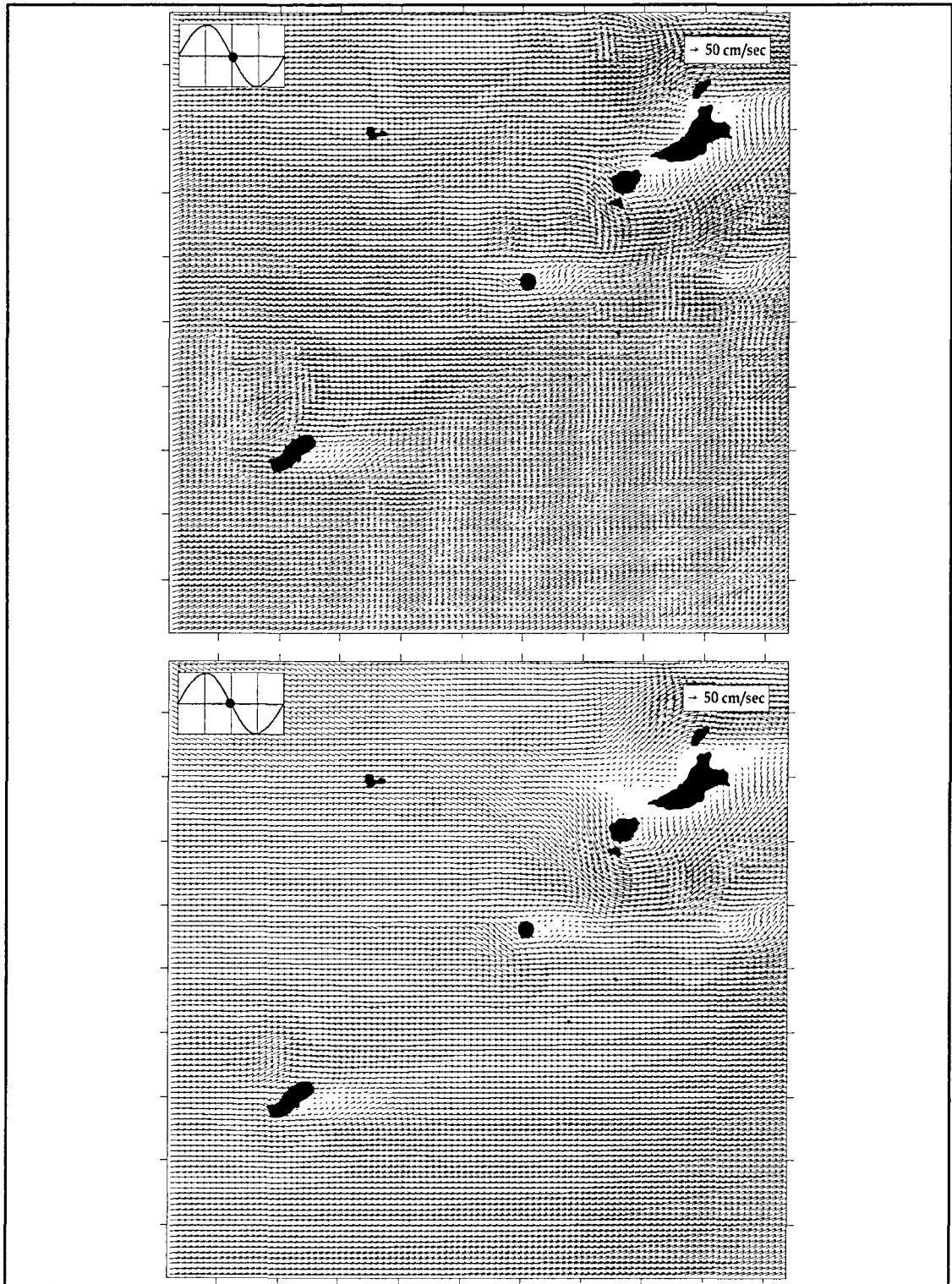


그림 1-3-31. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 3시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-31. The distribution of tidal current (3h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

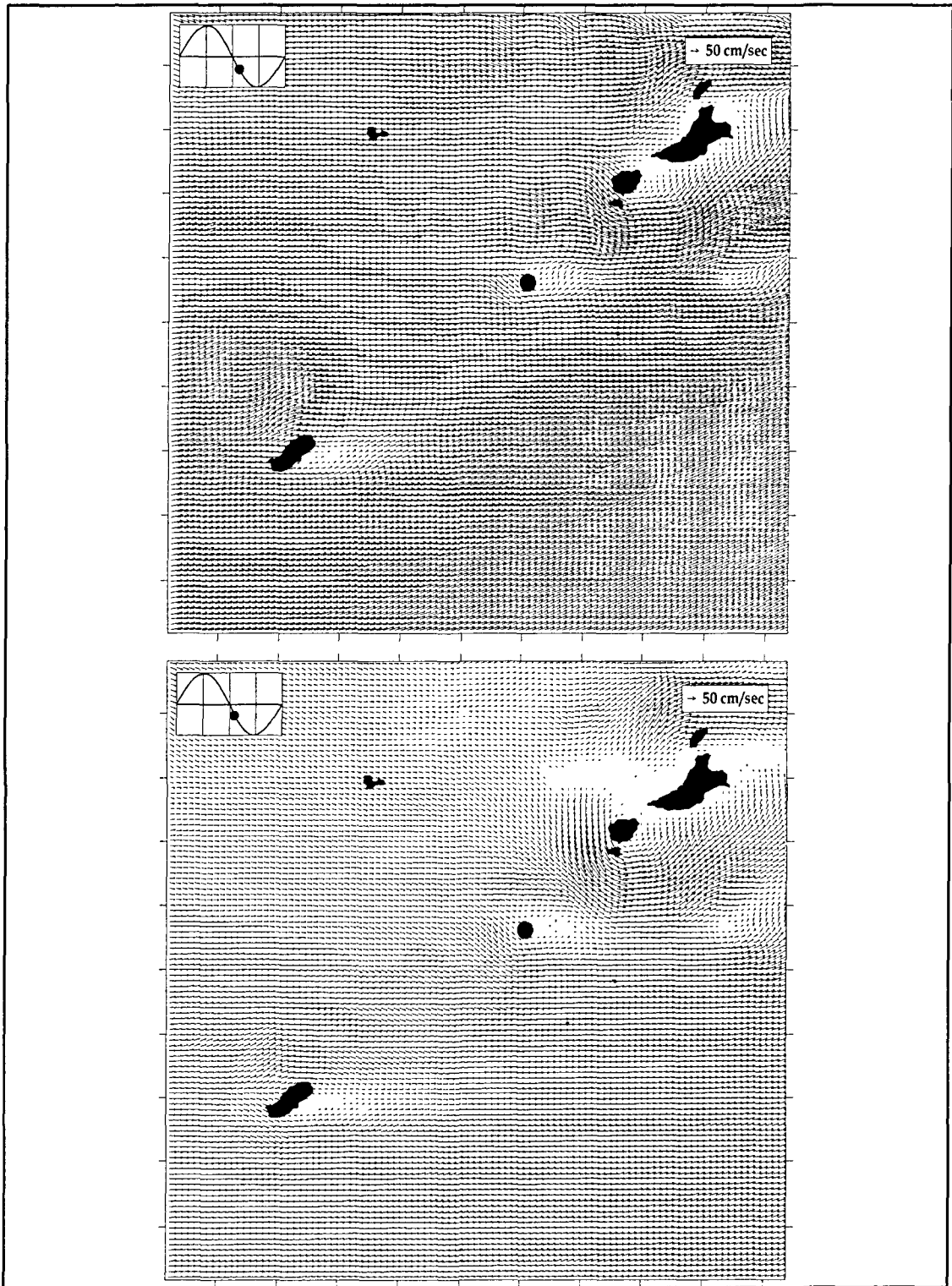


그림 1-3-32. 사업시행 후 상해역의 조류벡터도 (고조 후 4시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-32. The distribution of tidal current (4h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

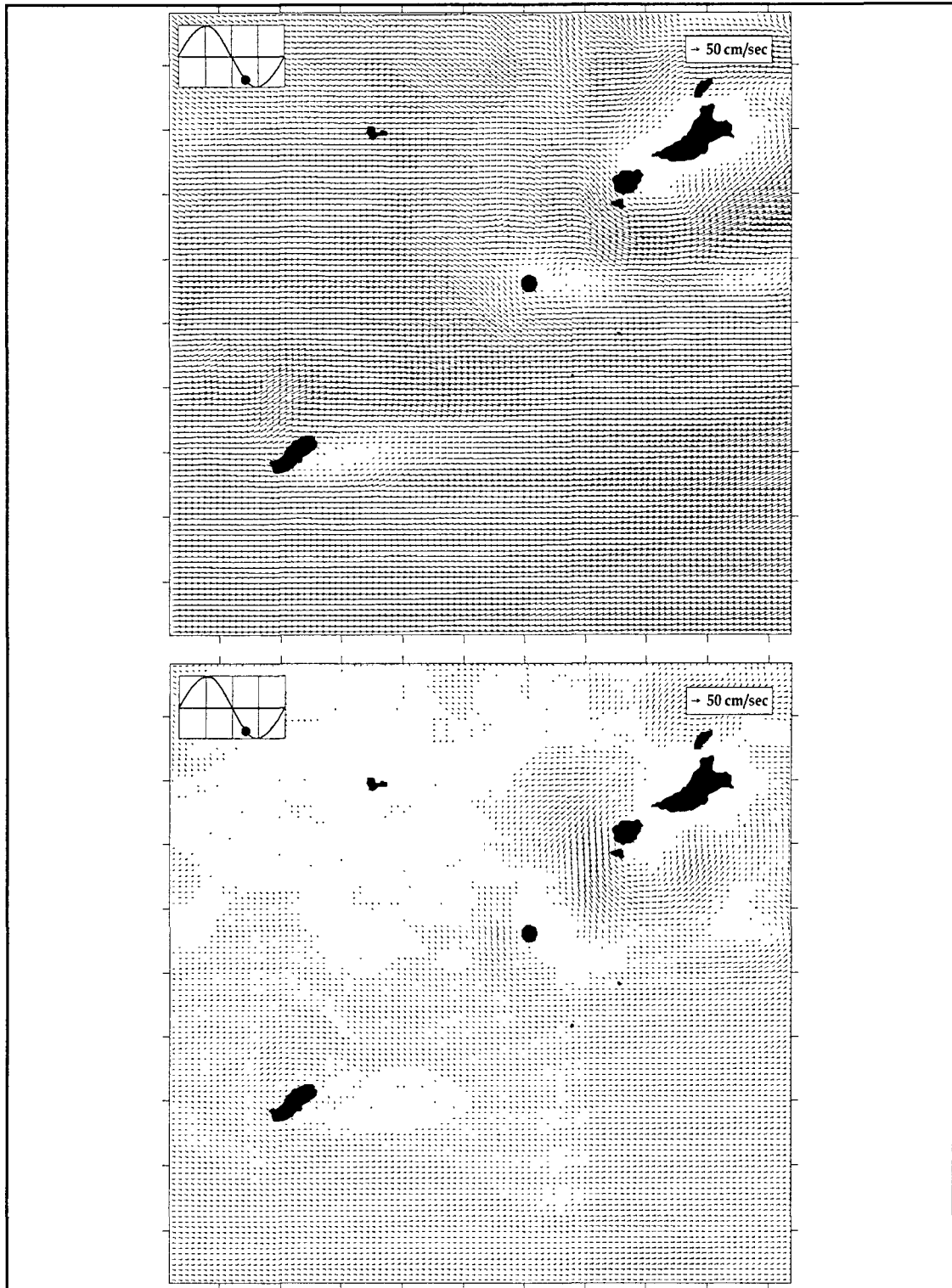


그림 1-3-33. 사업시행 후 상세역의 조류벡터도 (고조 후 5시간 뒤).  
(상) 표층 (하) 저층.

Fig 1-3-33. The distribution of tidal current (5h after high water). (upper) upper layer/ (lower) lower layer.

## 1.4. 수질 환경 조사

### 1.4.1. 재료 및 방법

인공적으로 용승류를 발생시켜 연안해역에 수산자원을 조성하기 위한 일환으로 인공용승 조성 적지로 선정된 남해안의 매몰도 주변 해역에 대해 2005년 3월과 5월 그리고 8월에 13개 정점을 선정(그림 1-4-1)하여 표층(수면하 0.5 m), 중층(25m), 및 저층(바닥으로부터 1m)으로 구분하여 해양환경 조사를 실시하였다.

수질환경조사는 니스캔 채수기를 사용하여 3개 층(표층, 중층, 저층)에서 채수한 다음 폴리에틸렌병에 담아 냉장보관 후 실험실로 옮겨 해양환경 공정시험방법(해양수산부, 2002)에 따라 분석하였으며, 각 성분별 분석방법은 다음과 같다.

용존산소(dissolved oxygen, DO)는 현장에서 수질측정기(YSI 6600)와 DO meter가 부착된 CTD(Seabird-19)로 측정하였으며, 현장에서 채수 후 고정시킨 다음 Winkler-azide변법으로 적량하여 보정하였다.

화학적산소요구량(chemical oxygen demand, COD)은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 정량하였다.

부유물질(suspended particulate matter, SPM)은 시료수 1000ml를 미리 무게를 측정한 유리섬유여과지(GF/F, 직경 47mm)로 여과한 후 건조시켜 여과전후의 여과지 무게차이로부터 계산하였다.

염록소 a는 해수 1000ml를 membrane 여과지(공경 0.45 $\mu$ m, 직경 47mm)로 여과한 다음 90% 아세톤 용액에 24시간 침적시켜 염록소를 추출한 후 3,000 rpm에서 20분동안 원심분리한 다음 상등액에 대해 형광광도계를 이용하여 측정하였다.

암모니아질소는 시료수 중 암모니아질소를 염기성 차아염소산과 산화반응하여 모노크롤아민을 생성한 후 phenol과 촉매인 nitropruside 및 과량의



차아염소산에 의해 생성되는 청색의 indophenol을 비색정량하였다.

아질산질소는 시료수 중 아질산이온을 산성하에서 술퍼닐아미드와 반응하여 생성된 디아조화합물을 NED와 반응하여 생성된 아조색소를 측정하였으며, 질산질소는 시료수 중 질산이온을 pH 8.5의 카드뮴-구리 칼럼을 이용하여 아질산으로 환원시킨 다음 아질산질소 정량법으로 비색정량하였다. 한편, 용존무기질소(dissolved inorganic nitrogen; DIN)는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소의 합으로 나타내었다.

용존무기인(dissolved inorganic phosphorus; DIP)은 시료수 중 용존무기인을 몰리브덴산과 반응시켜 황색의 인-몰리브덴 착화합물을 형성한 후 환원제인 아스코르빅산으로 환원시켜 생성된 청색의 몰리브덴착화합물을 비색정량하였다.

총질소는 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소, 유기질소, 입자태질소 등을 알칼리성 과황산칼륨으로 분해하여 질산질소로 산화시킨 후 카드뮴-구리 환원칼럼을 통과시켜 질산이온을 아질산이온으로 환원하여 비색정량하였다.

총인은 시료중의 용존, 입자태 또는 무기, 유기태 등 모든 인 화합물을 과황산칼륨(K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)으로 산화분해하여 인산염(P<sub>04</sub>-P)형태로 변화시킨 다음 아스코르빈산 환원법으로 비색정량하였다.

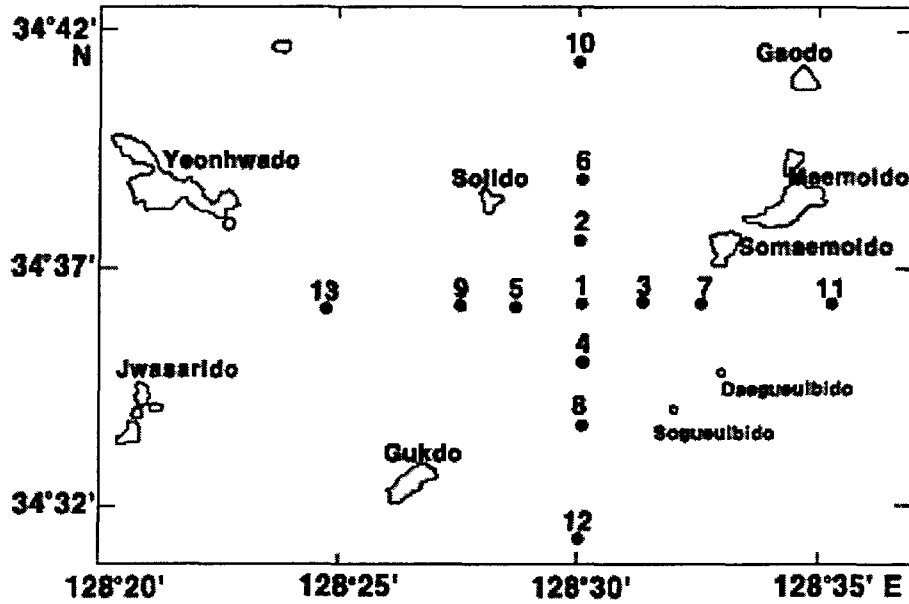


그림 1-4-1. 수질조사정점.

Fig. 1-4-1. Sampling station map.

#### 1.4.2. 결과 및 고찰

##### 1.4.2.1. 이화학적 농도분포특성

2005년 3월과 5월 그리고 8월의 현장조사 결과 수질환경요인들의 범위와 평균값을 표 1-4-1과 1-4-2에 수록하였으며, 각 성분의 정점별, 수층별, 수평분포도를 그림 1-4-2에서 그림 1-4-28까지에 나타내었다.

용존산소의 정점별, 수층별 농도분포(그림 1-4-2와 표 1-4-1)를 보면, 3월의 경우 표층은 6.03~7.74 (평균 6.86) mg/L, 중층은 6.04~11.28 (평균 7.31) mg/L, 저층은 5.94~8.75 (평균 7.36) mg/L의 농도분포로 모든 정점에서 수심이 증가할수록 그 농도가 증가하였고 전 조사정점에서 5mg/L이상으로 양호한 수준의 농도를 보였다. 정점별로는 정점 3, 7, 8의 저층에서 높은 농도를 보였고, 중층은 정점 12에서 높은 농도를 보였다. 5월의 표층은 8.43~8.97 (평균 8.72) mg/L, 중층은 8.39~8.64 (평균 8.51) mg/L, 저층은 8.03~8.86 (평균 8.51) mg/L의 농도분포로 표층이 높고 중층이 낮은

경향을 보였다. 정점별로는 표층은 정점 1, 4, 7, 8, 11에서 높았고, 저층은 정점 7, 9, 11에서 높았다. 8월의 표층은 7.82~10.18 (평균 8.86) mg/L, 중층은 6.73~7.77 (평균 7.27) mg/L, 저층은 6.89~9.22 (평균 7.88) mg/L의 농도분포로 표층의 정점 3, 5, 7, 10에서 비교적 높은 농도를 보였으며 층별 변화양상이 뚜렷하지 않았고 평균농도는 5월에 비해 표층은 유사한 농도였으나 중층과 저층은 낮았다. 역시 관측을 실시한 전 기간에 걸쳐 5mg/L이상으로 양호한 수준의 농도를 보였다.

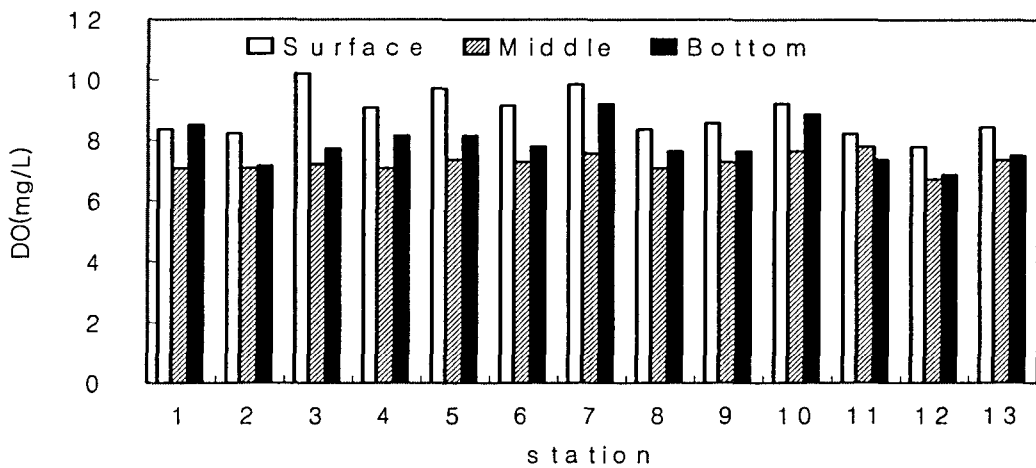
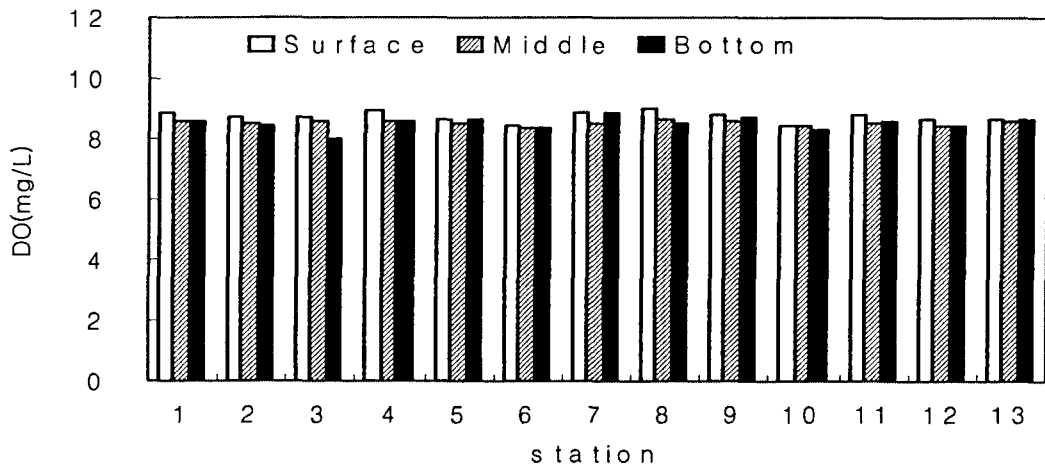
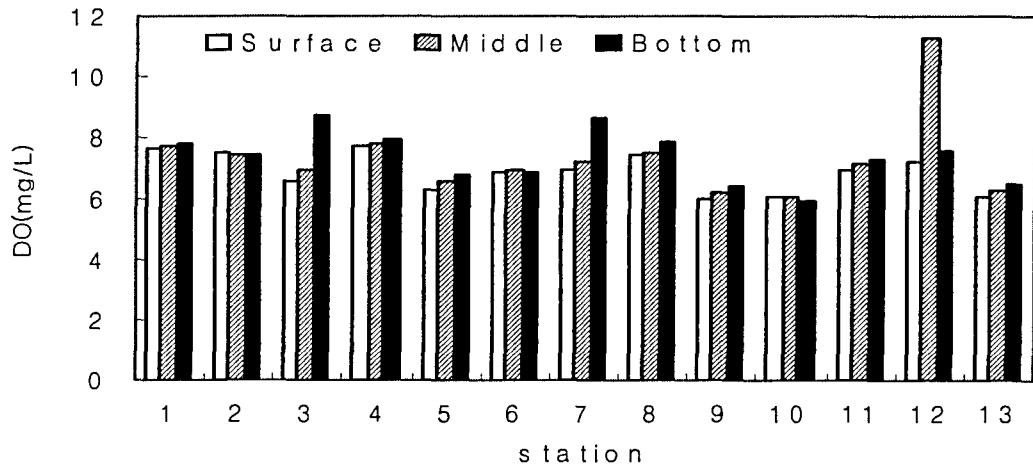


그림 1-4-2. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존산소의 분포.

Fig. 1-4-2. Distribution of dissolved oxygen (DO) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

화학적산소요구량의 농도분포(그림 1-4-3과 표 1-4-1)를 보면, 3월의 경우 표층 0.51~0.98 (평균 0.69) mg/L, 중층 0.52~1.04 (평균 0.69) mg/L, 저층 0.22~0.92 (평균 0.68) mg/L의 농도분포로 정점 10의 중층을 제외한 수역에서 해역수질기준 I등급(1.0mg/L 이하)의 양호한 농도수준을 나타내었고 정점 3, 6, 11, 13의 표층에서 비교적 높은 농도를 보였다. 5월은 표층 0.62~1.29 (평균 0.92) mg/L, 중층 0.65~1.21 (평균 0.89) mg/L, 저층 0.73~1.42 (평균 0.92) mg/L의 농도분포로 평균농도는 층별로 차이가 거의 없었으며, 해역수질기준 II등급(2.0 mg/L이하) 이내의 수준이었다. 정점별로는 표층의 정점 5와 7, 중층의 1, 3, 7, 8 그리고 저층의 정점 7, 9에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 8월은 표층 0.91~2.41 (평균 1.42) mg/L, 중층 0.78~1.66 (평균 1.06) mg/L, 저층 0.59~1.45 (평균 0.86) mg/L의 농도분포로 평균농도는 표층에서 저층으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였으며 5월에 비해 상대적으로 높은 농도를 보였고 표층은 정점 12를 제외한 전 정점에서 해역 II등급 수준이었다.

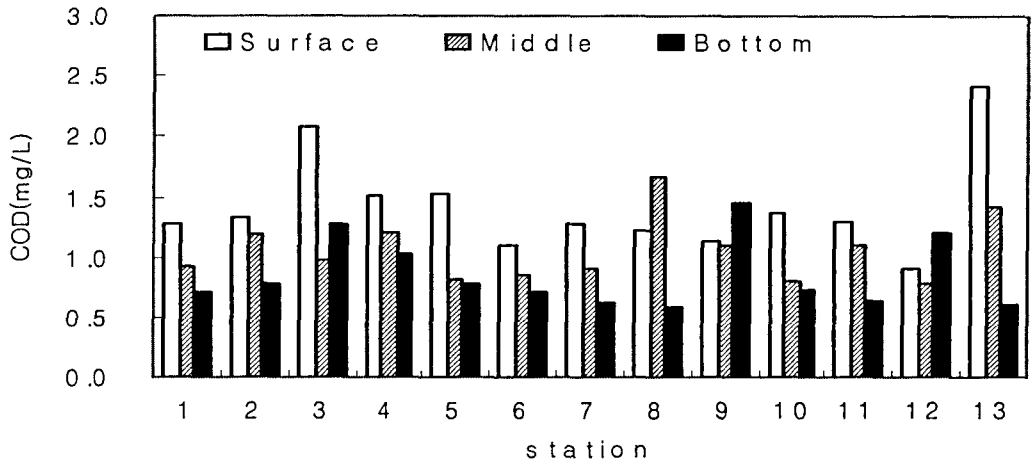
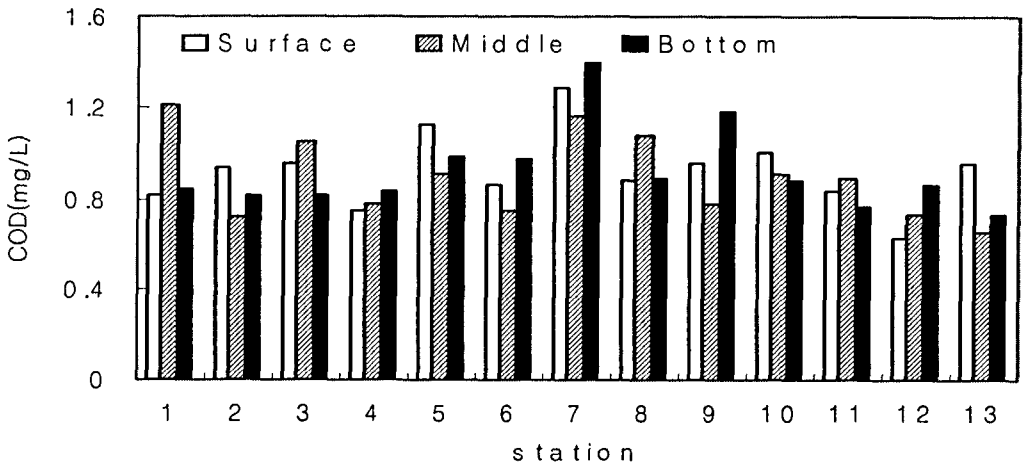
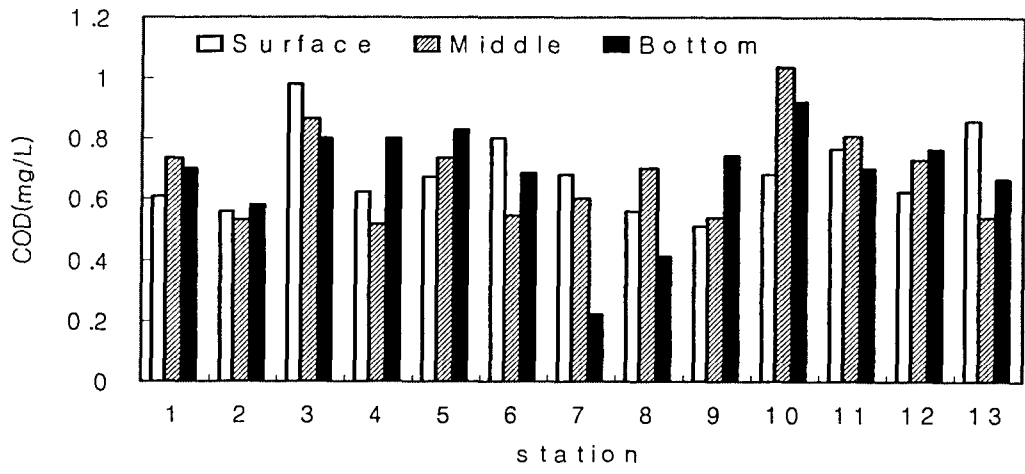


그림 1-4-3. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 화학적산소요구량의 분포.  
 Fig. 1-4-3. Distribution of chemical oxygen demand (COD) in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).

부유물질(SPM)의 농도분포(그림 1-4-4와 표 1-4-1)를 보면, 3월은 표층 1.3~6.6 (평균 3.3) mg/L, 중층 2.0~8.2 (평균 3.7) mg/L, 저층 3.1~8.3 (평균 4.8) mg/L의 농도분포로 수심이 증가할수록 높은 농도를 보였으며 정점 1, 4, 8에의 저층에서 높은 농도를 보였다. 5월은 표층 2.1~32.8 (평균 9.4) mg/L, 중층 2.0~27.0 (평균 6.0) mg/L, 저층 0.1~7.7 (평균 3.9) mg/L의 농도분포로 정점 4, 6, 12의 표층은 중층과 저층에 비해 2~10배의 농도를 보였고, 정점 8은 중층이 높았다. 8월은 표층 2.7~30.8 (평균 6.0) mg/L, 중층 2.0~24.0 (평균 5.4) mg/L, 저층 3.7~11.7 (평균 6.5) mg/L의 농도분포로 층별차이는 비교적 작았으나 정점 2는 중층에서 정점 3은 표층에서 높은 농도를 보였고 정점별 차이는 뚜렷하지 않았으며 5월에 비해 다소 높았다.

엽록소 a (chlorophyll a)의 농도분포(그림 1-4-5, 6, 7, 8과 표 1-4-1)는 3월은 표층 0.27~0.89 (평균 0.53)  $\mu\text{g/L}$ , 중층 0.20~0.43 (평균 0.28)  $\mu\text{g/L}$ , 저층 0.16~0.77 (평균 0.33)  $\mu\text{g/L}$ 로서 표층수 중에서 높은 농도를 보이며 층별차이가 뚜렷하였으며, 정점별로는 표층은 정점 3, 7, 8, 11, 12에서 높은 농도를 보였고, 저층은 정점 3에서 표층보다 높은 농도를 보였다. 5월은 표층 0.23~2.03 (평균 0.96)  $\mu\text{g/L}$ , 중층 0.08~0.95 (평균 0.57)  $\mu\text{g/L}$ , 저층 0.09~0.64 (평균 0.45)  $\mu\text{g/L}$ 로서 역시 층별차이가 뚜렷하였고 3월에 비해 높은 농도를 보였으며 정점 3, 5, 7에서 낮은 농도를 보였다. 8월은 표층 0.31~0.68(평균 0.50)  $\mu\text{g/L}$ , 중층 0.17~0.61 (평균 0.34)  $\mu\text{g/L}$ , 저층 0.16~0.32 (평균 0.23)  $\mu\text{g/L}$ 로서 5월과 비교하면 상대적으로 낮은 농도를 보였고 층별 차이는 뚜렷하였다.

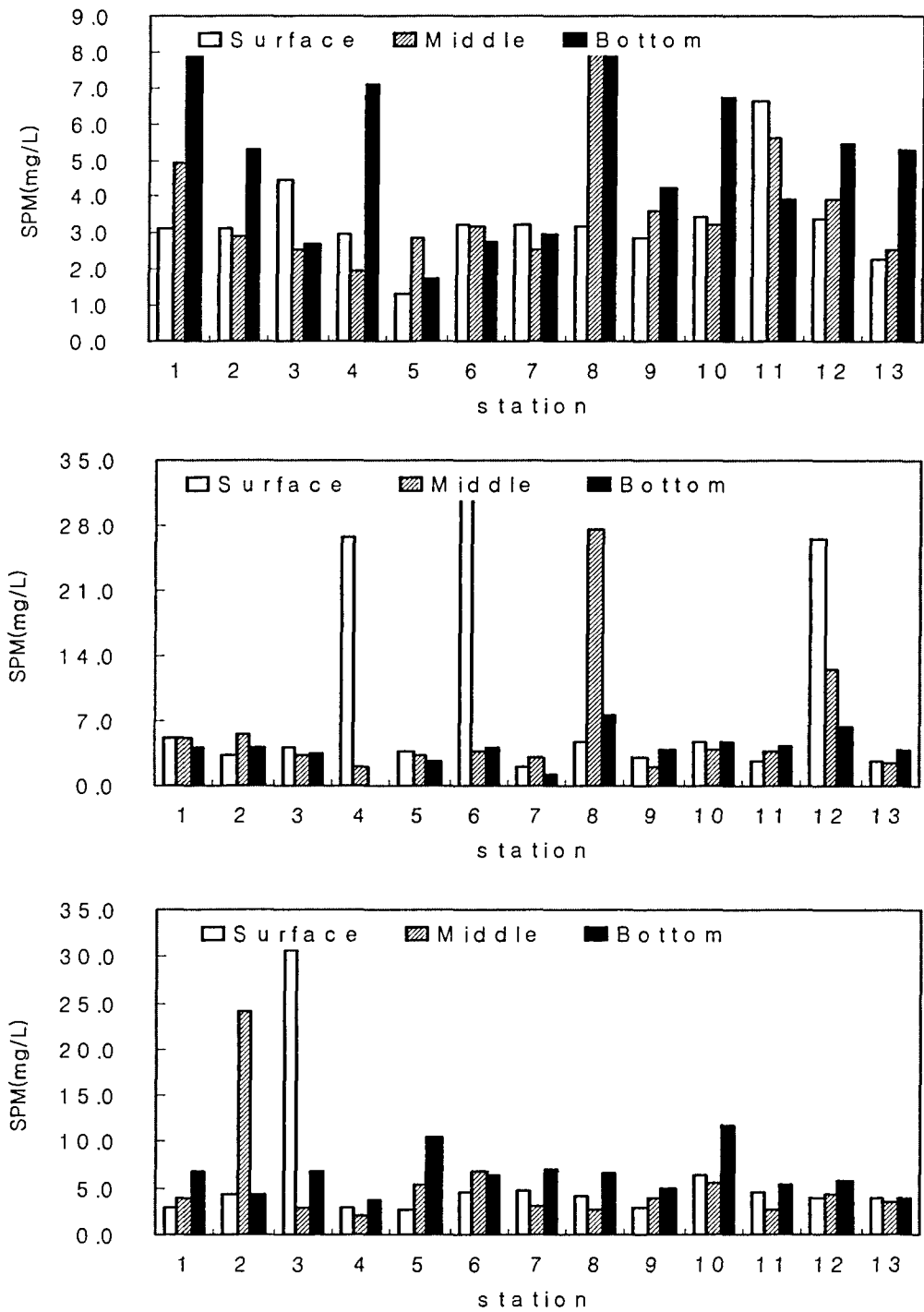


그림 1-4-4. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 부유물질의 분포.

Fig. 1-4-4. Distribution of suspended particulate matter (SPM) in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).



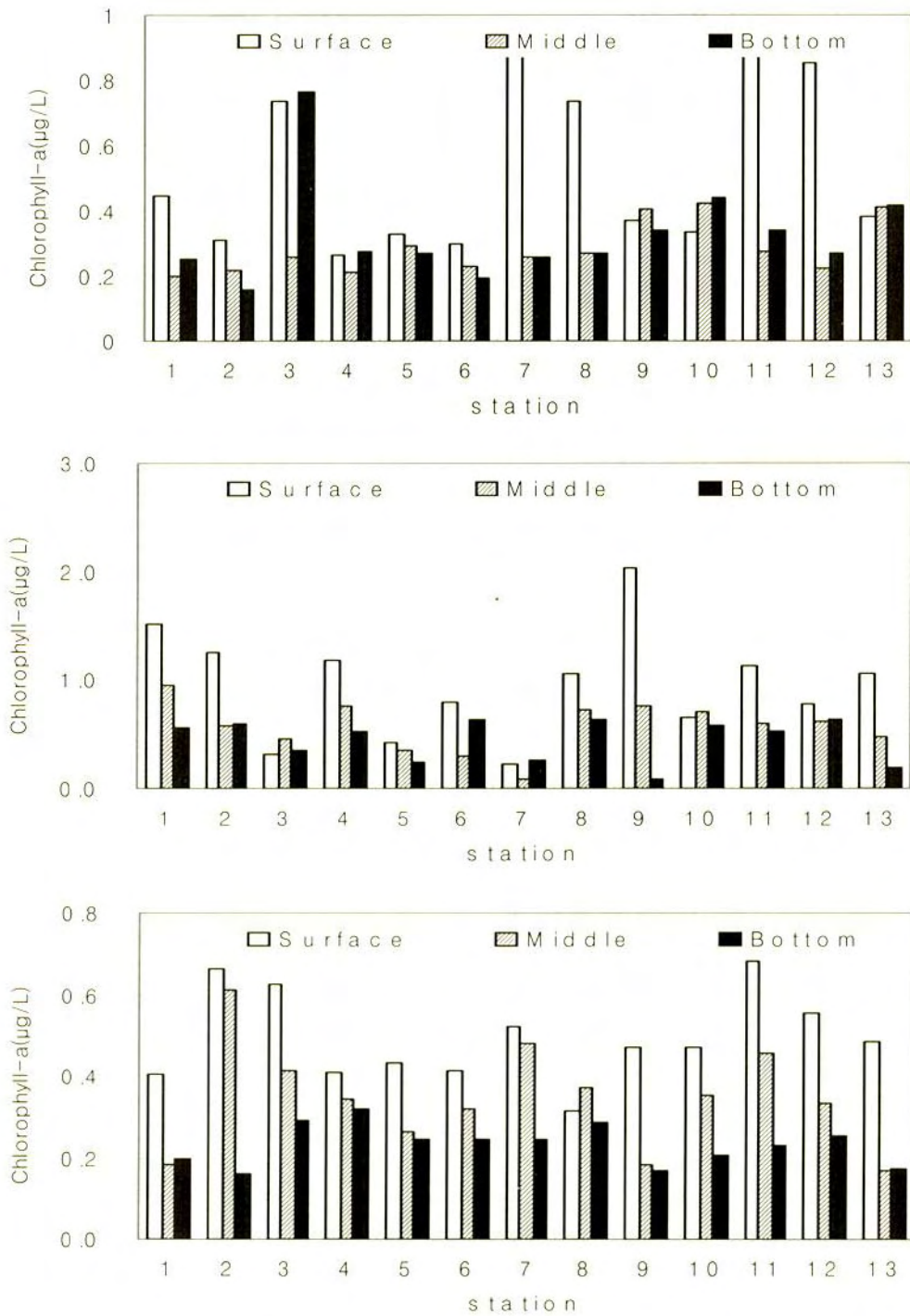


그림 1-4-5. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 엽록소 a의 분포.

Fig. 1-4-5. Distribution of chlorophyll-a in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).

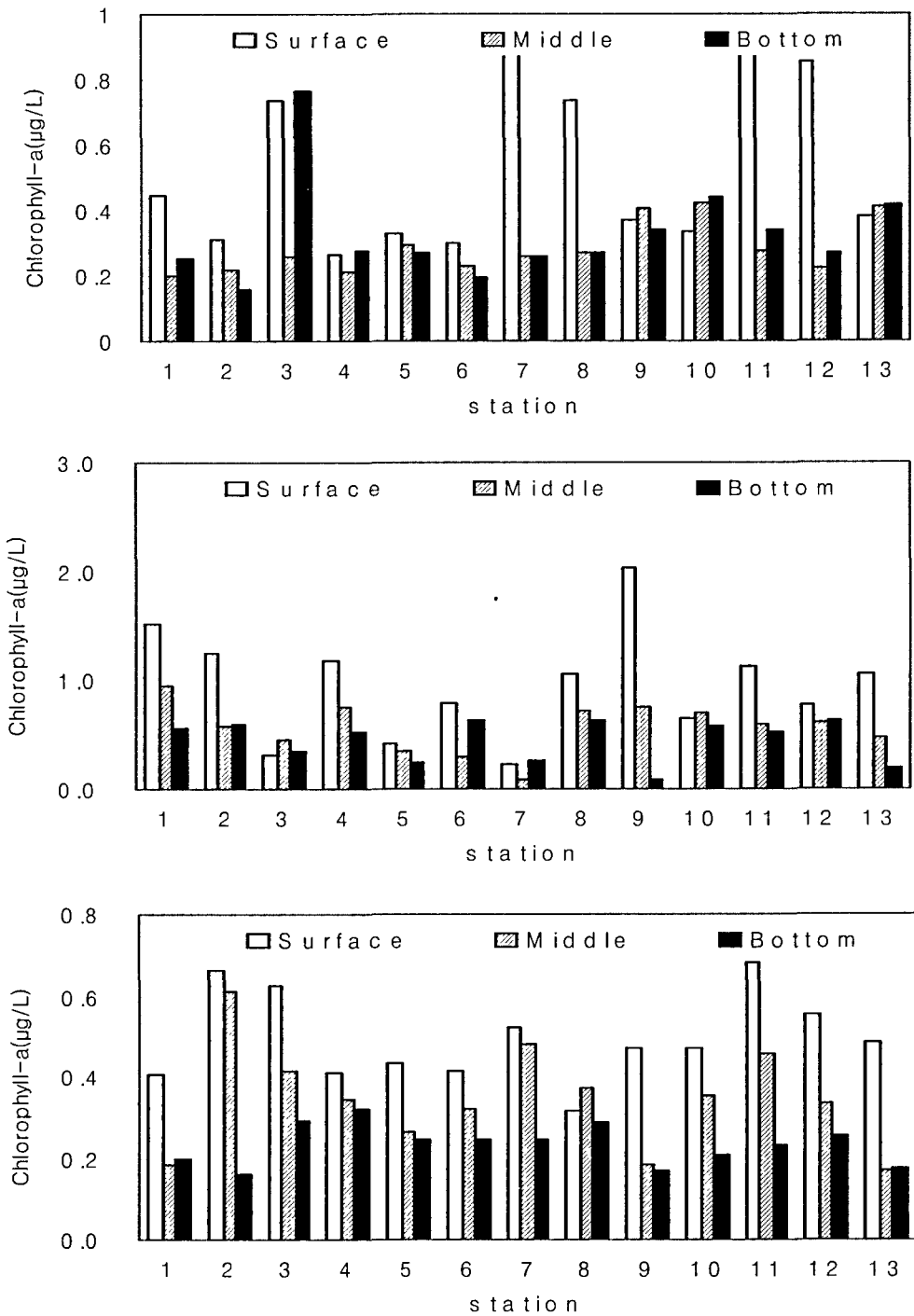


그림 1-4-5. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 엽록소 a의 분포.

Fig. 1-4-5. Distribution of chlorophyll-a in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).

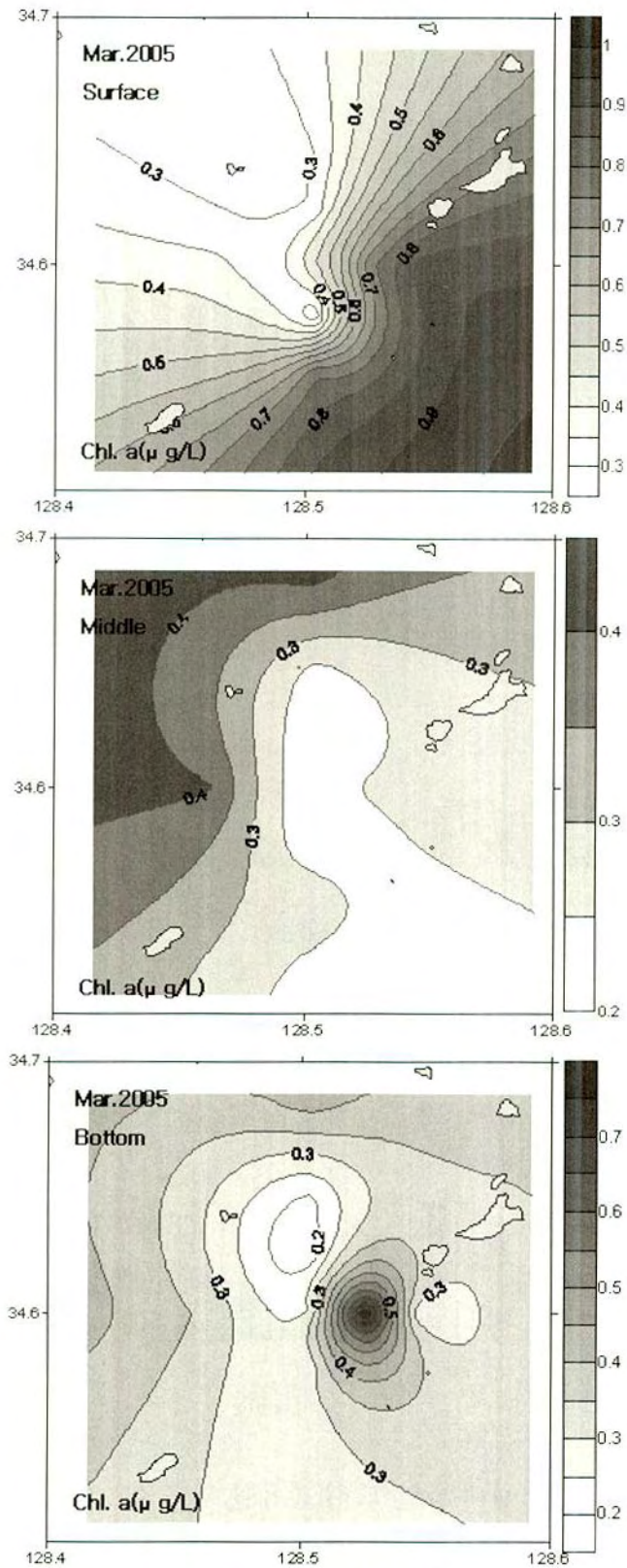


그림 1-4-6. 2005년 3월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-6. Horizontal distribution of chlorophyll-a in March, 2005.

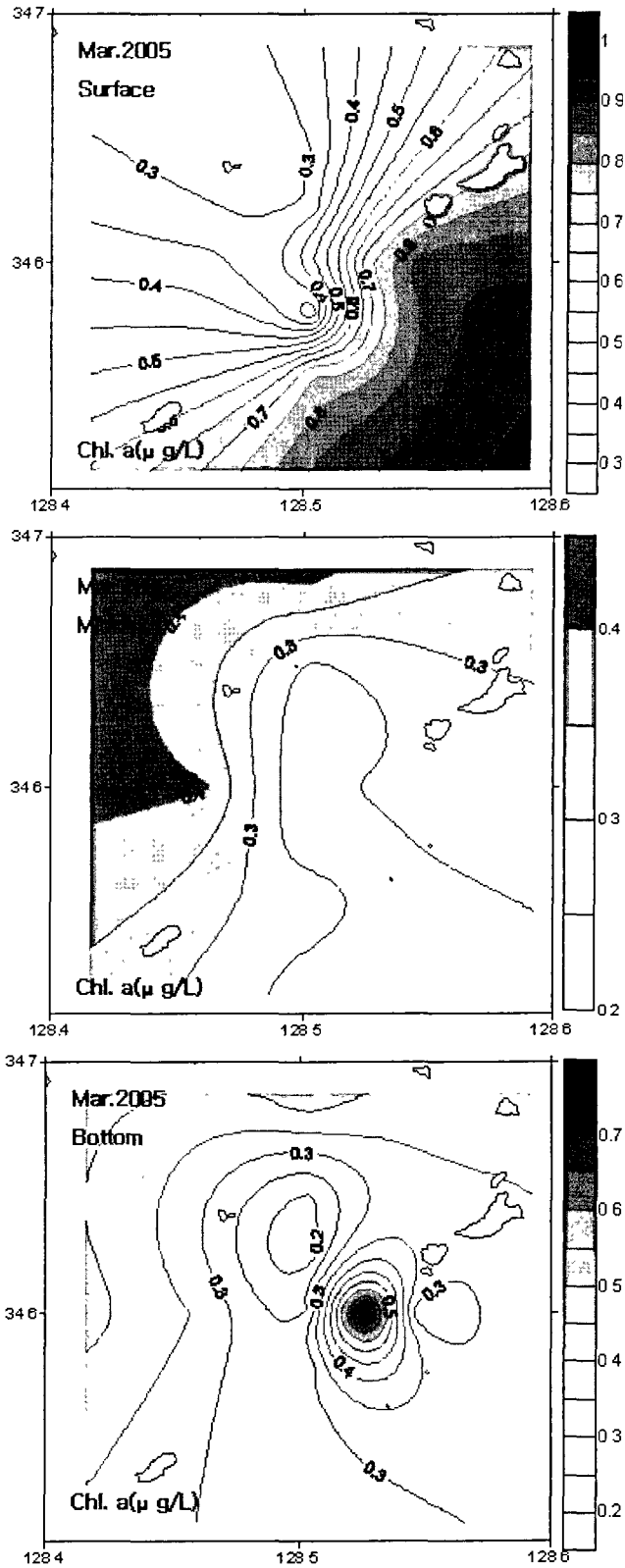


그림 1-4-6. 2005년 3월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-6. Horizontal distribution of chlorophyll-a in March, 2005

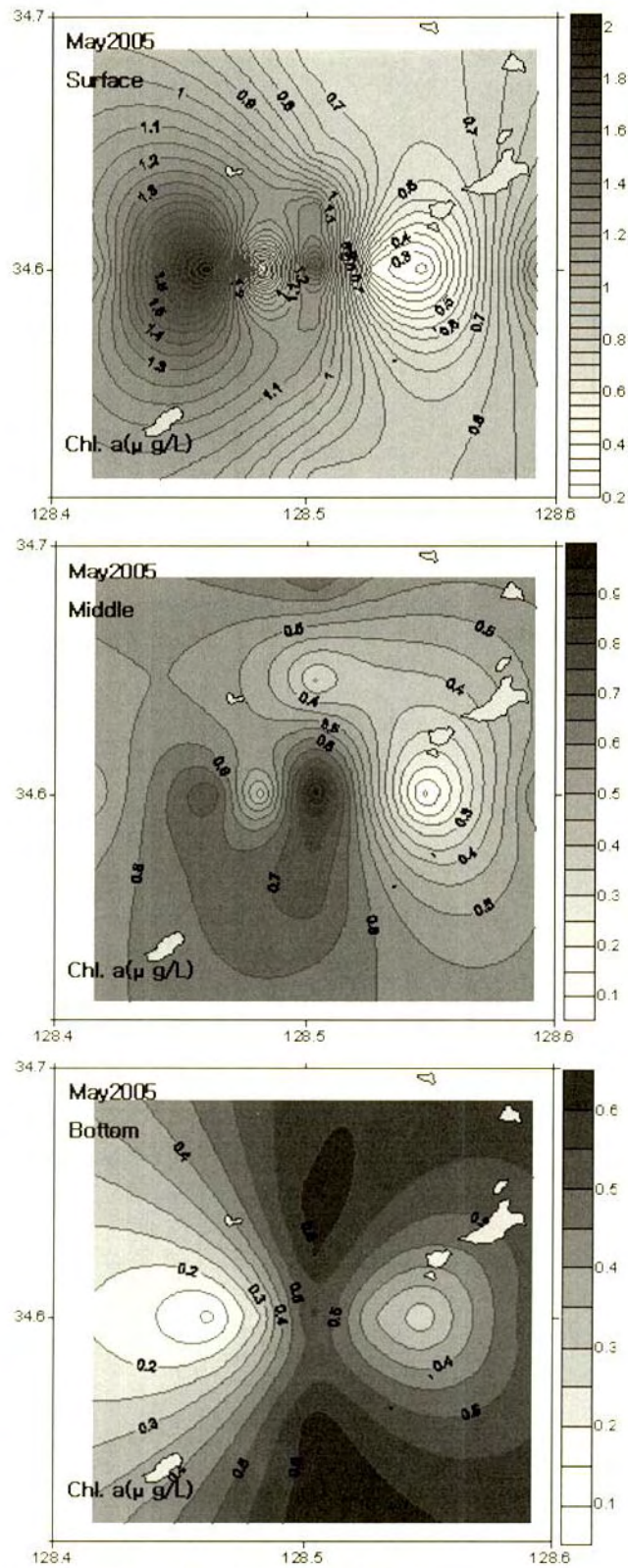


그림 1-4-7. 2005년 5월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-7. Horizontal distribution of chlorophyll-a in May, 2005.

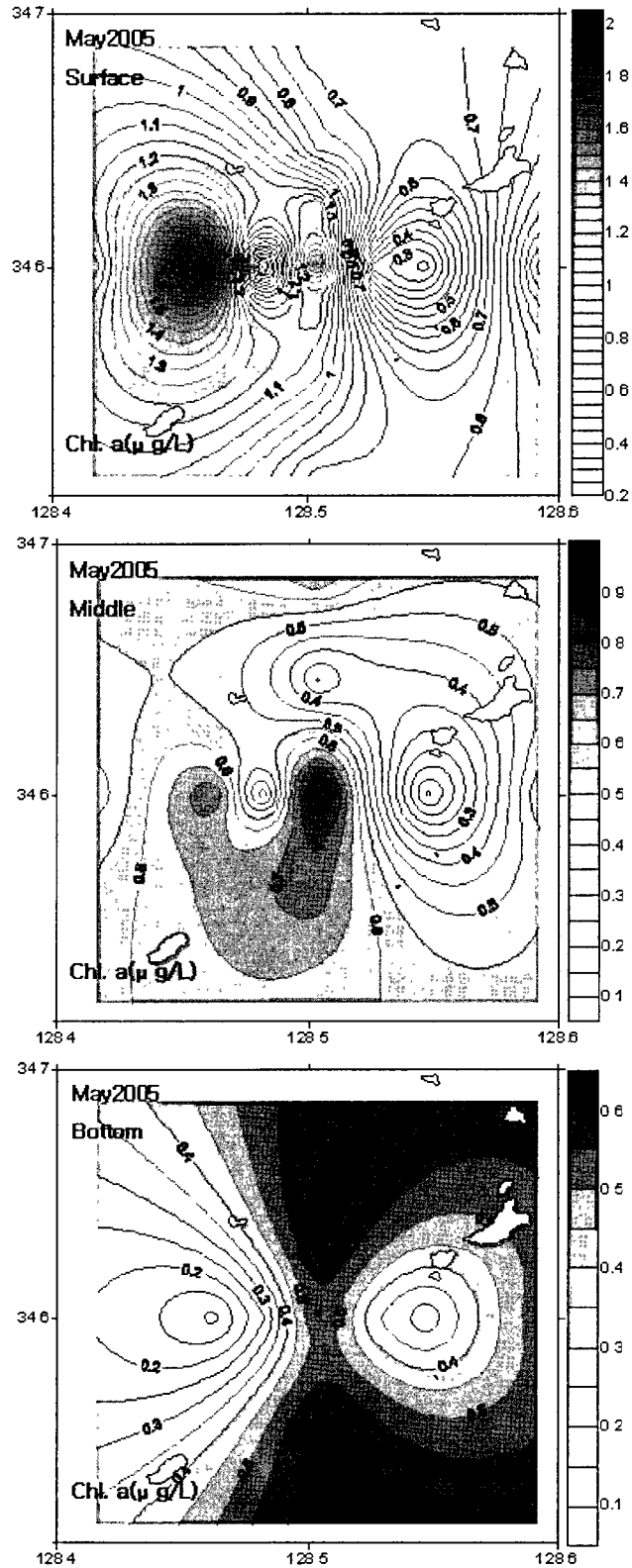


그림 1-4-7. 2005년 5월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-7. Horizontal distribution of chlorophyll-a in May, 2005

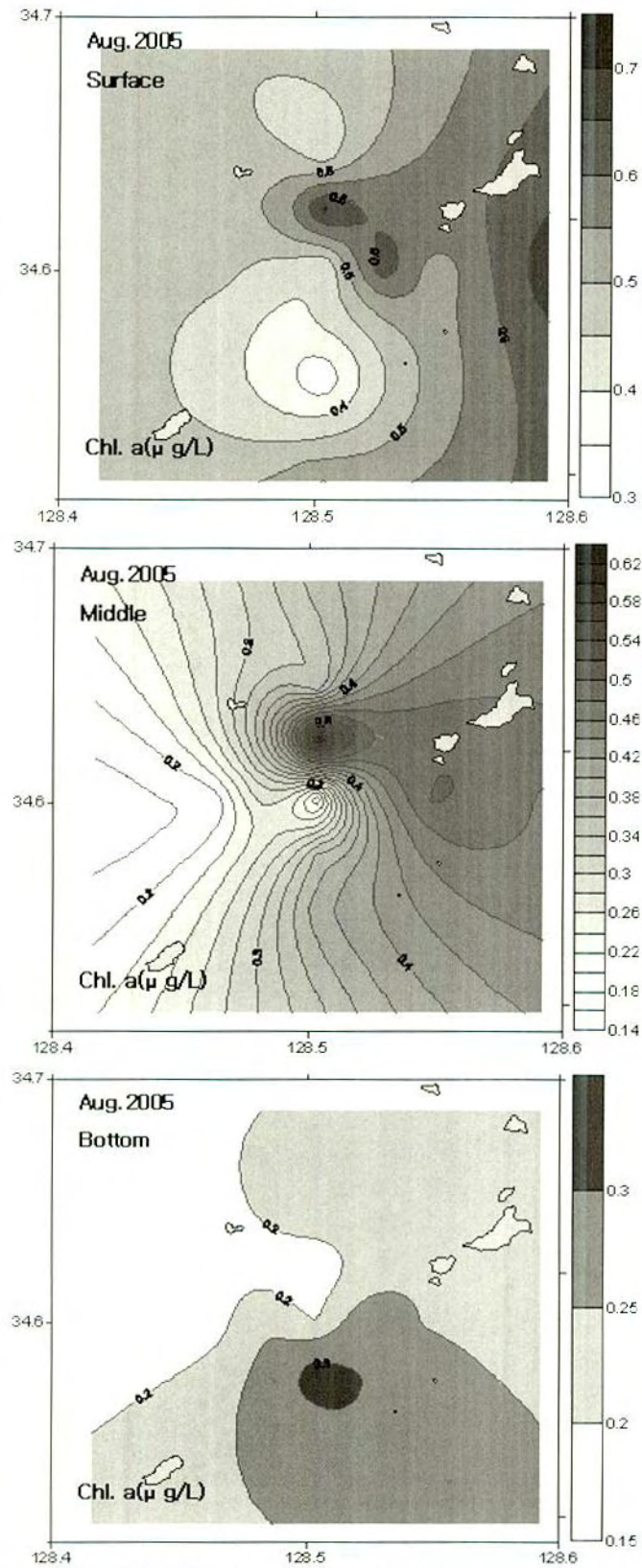


그림 1-4-8. 2005년 8월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-8. Horizontal distribution of chlorophyll-a in August, 2005.

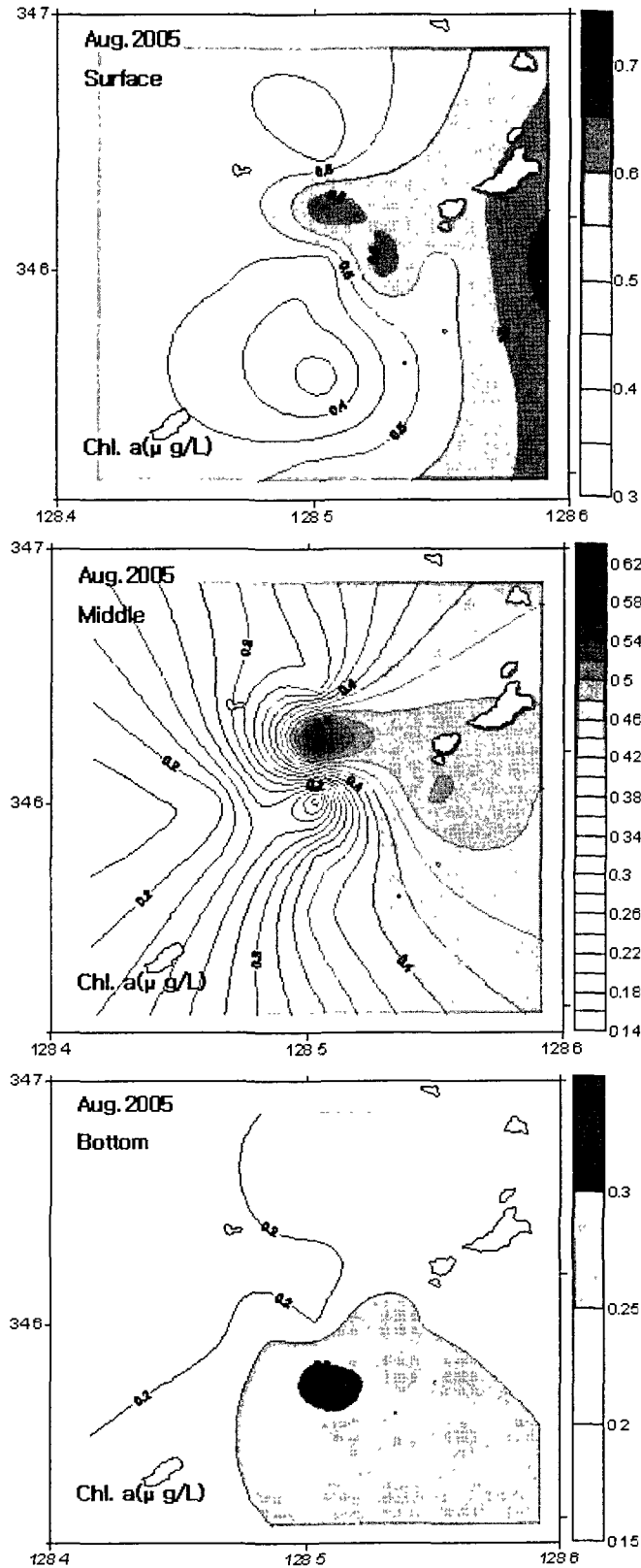


그림 1-4-8. 2005년 8월 엽록소 a의 수평분포.

Fig. 1-4-8. Horizontal distribution of chlorophyll-a in August, 2005



표 1-4-1. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존산소, 화학적산소요구량, 부유물질 및 엽록소 a의 평균값과 변동범위

Table 1-4-1. Range and mean values of dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), suspended particulate matter (SPM) and chlorophyll-a at seawaters in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part)

Layer	DO	COD	SPM	Chl.-a
	(mg/L)	(mg/L)		( $\mu$ g/L)
Mar.	Surface 6.86 6.03~7.74	0.69 0.51~0.98	3.3 1.3~6.6	0.53 0.27~0.89
	Middle 7.31 6.04~11.28	0.69 0.52~1.04	3.7 2.0~8.2	0.28 0.20~0.43
	Bottom 7.36 5.94~8.75	0.68 0.22~0.92	4.8 3.1~8.3	0.33 0.16~0.77
May	Surface 8.72 8.43~8.97	0.92 0.62~1.29	9.4 2.1~32.8	0.96 0.23~2.03
	Middle 8.51 8.39~8.64	0.89 0.65~1.21	6.0 2.0~27.6	0.57 0.08~0.95
	Bottom 8.51 8.03~8.86	0.92 0.73~1.42	3.9 0.1~7.7	0.45 0.09~0.64
Aug.	Surface 7.82 10.18~8.86	1.42 0.91~2.41	6.0 2.7~30.8	0.50 0.31~0.68
	Middle 7.27 6.73~7.77	1.06 0.78~1.66	5.4 2.0~24.0	0.34 0.17~0.61
	Bottom 7.88 6.89~9.22	0.86 0.59~1.45	6.5 3.7~11.7	0.23 0.16~0.32

암모니아질소의 농도분포(Fig. 1-4-9와 Table 1-4-2)를 보면, 3월은 표층 0.377~2.878 (평균 0.788)  $\mu$ M, 중층 0.454~4.836 (평균 0.971)  $\mu$ M, 저층 0.420~1.300 (평균 0.659)  $\mu$ M의 농도분포로 각 정점별 수층별 농도

차는 거의 보이지 않았으나 정점 6의 표층과 정점 8의 표층에서 타 정점에 비해 고농도를 보였다. 5월은 표층 0.590~1.247 (평균 0.838)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.433~1.648 (평균 0.993)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.390~1.198 (평균 0.880)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 층별 차이는 뚜렷하지 않았으며 대체로 표층과 저층에 비해 중층에서 높은 경향이었고, 정점 1, 8, 9에서 다소 낮았다. 8월은 표층 0.469~0.666 (평균 0.596)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.449~1.809 (평균 0.684)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.444~0.657 (평균 0.580)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 높은 농도를 보인 정점 10의 중층을 제외하고는 층별 및 정점별 차이가 거의 없었으며 5월에 비해 낮은 농도를 보였다.

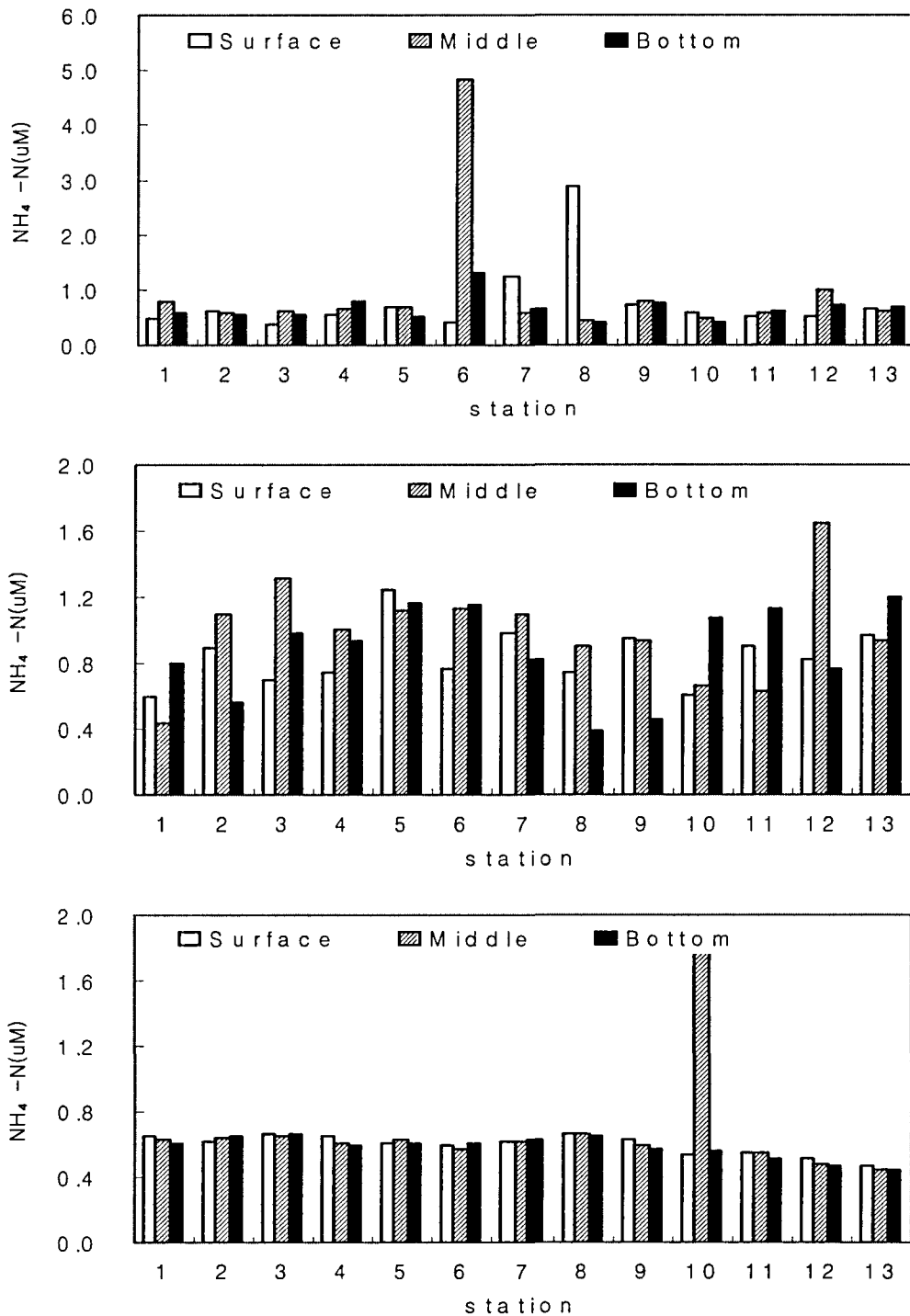


그림 1-4-9. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 암모니아질소의 분포.

Fig. 1-4-9. Distribution of ammonia in March, May and August 2005 (from upside to the lower part).

아질산질소의 농도분포(Fig. 1-4-10과 Table 1-4-2)를 보면, 3월은 표층 0.003~0.230 (평균 0.141)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.000~0.223 (평균 0.161)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.000~0.287 (평균 0.171)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 수심이 증가할수록 농도가 증가하는 경향을 보였고 정점 13을 제외하고는 평균농도는 비슷하였다. 5월은 표층 0.070~0.655 (평균 0.198)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.122~0.332 (평균 0.220)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.040~0.432 (평균 0.197)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 3월과 유사한 경향이었고, 정점 12의 표층과 저층에서 높은 농도를 보였다. 8월은 표층 0.016~0.039 (평균 0.026)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.068~0.386 (평균 0.219)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.091~0.261 (평균 0.178)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 정점 3, 7, 8, 11의 중층과 저층에서 높았고 표층은 중층과 저층에 비해 낮은 농도를 보였다.

질산질소의 농도분포(Fig. 1-4-11 Table 1-4-2)를 보면, 3월은 표층 1.126~4.270 (평균 3.035)  $\mu\text{M}$ , 중층 1.568~5.537 (평균 3.485)  $\mu\text{M}$ , 저층 1.621~4.663 (평균 3.194)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 수심이 증가할수록 농도가 증가하는 경향을 보였으며 정점별로는 8, 10, 11, 13에서 상대적으로 낮았다. 5월은 표층 0.816~21.818 (평균 2.907)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.953~4.691 (평균 1.605)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.570~1.984 (평균 1.307)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 층별 차이는 뚜렷하지 않았고 정점 6의 표층에서 다른 정점들 10배의 고농도를 보였다. 8월은 표층 0.161~31.422 (평균 5.675)  $\mu\text{M}$ , 중층 2.543~36.305 (평균 11.514)  $\mu\text{M}$ , 저층 5.609~39.831 (평균 14.634)  $\mu\text{M}$ 의 농도분포로 5월에 비해 높은 농도를 보였으며 수심이 깊어 질수록 증가하는 경향이었고 국도주변의 정점 8, 12, 13에서 높은 농도를 보였다.

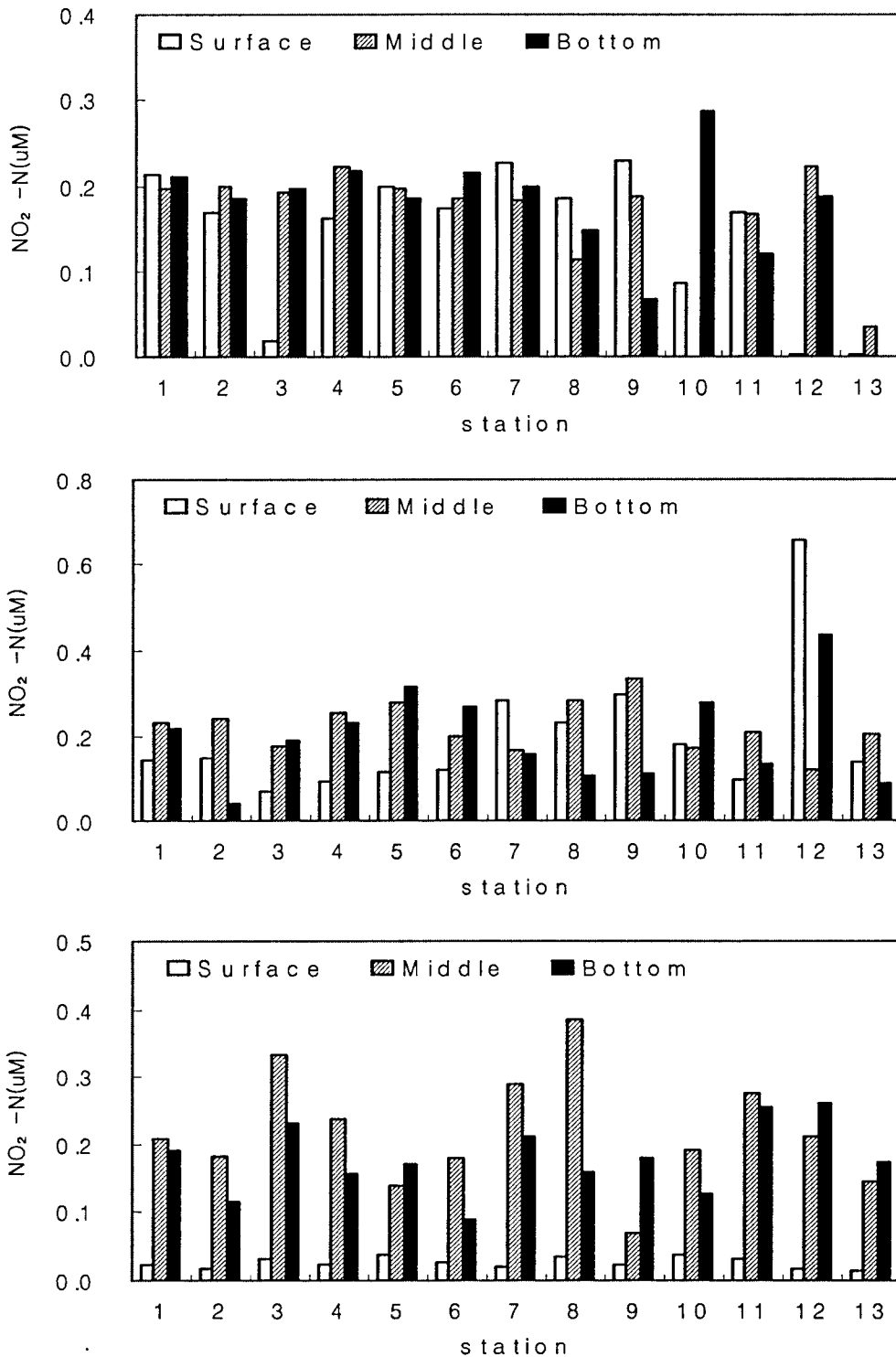


그림 1-4-10. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 아질산질소의 분포.  
 Fig. 1-4-10. Distribution of nitrite in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).

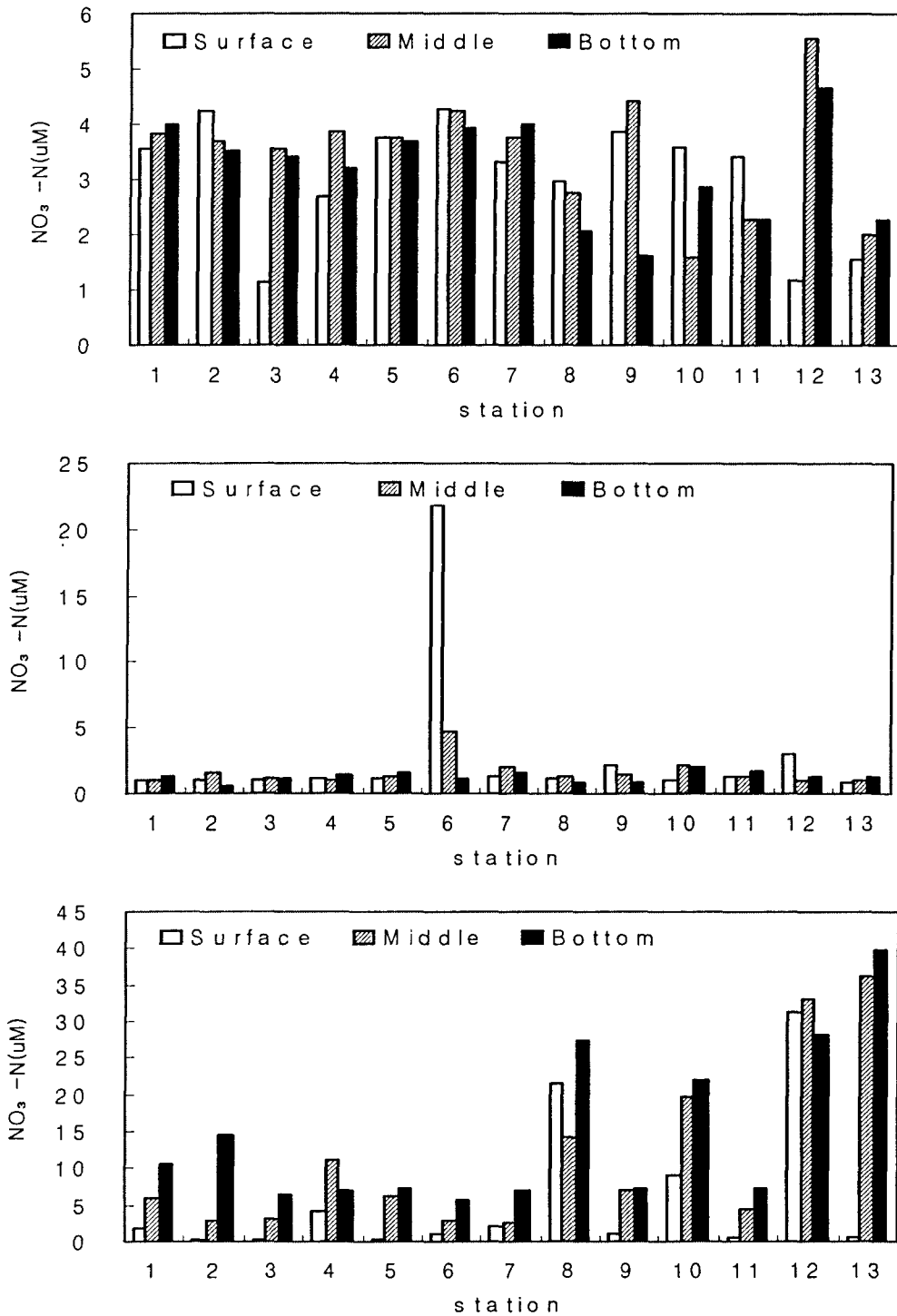


그림 1-4-11. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 질산질소의 분포.

Fig. 1-4-11. Distribution of nitrate in March, May and August, 2005 (from upside to the lower part).

표 1-4-2. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 영양염류의 농도범위와 평균값

Table 1-4-2. Range and mean values of nutrient at seawaters in March, May and August, 2005

Mon La.	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu$ M)	NO <sub>3</sub> -N ( $\mu$ M)	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu$ M)	DIN ( $\mu$ M)	TN ( $\mu$ M)	DIP ( $\mu$ M)	TP ( $\mu$ M)
Sur	0.141 0.003~0.230	3.035 1.126~4.270	0.788 0.377~2.878	3.964 1.523~6.016	14.232 7.286~24.429	0.190 0.015~0.402	0.421 0.321~0.598
Mar. Mid	0.161 0.000~0.223	3.485 1.568~5.537	0.971 0.454~4.836	4.617 2.054~9.269	13.571 6.786~19.786	0.199 0.042~0.405	0.396 0.259~0.578
Bot	0.171 0.000~0.287	3.194 1.621~4.663	0.659 0.420~1.300	4.024 2.430~5.570	13.593 7.571~23.714	0.170 0.006~0.365	0.436 0.311~0.619
Sur	0.198 0.070~0.655	2.907 0.816~21.818	0.838 0.590~1.247	3.943 1.730~22.702	8.167 2.841~23.563	0.288 0.134~0.425	0.373 0.271~0.475
May Mid	0.220 0.122~0.332	1.605 0.953~4.691	0.993 0.433~1.648	2.817 1.662~6.021	7.101 2.426~16.217	0.317 0.234~0.387	0.398 0.301~0.543
Bot	0.197 0.040~0.432	1.307 0.570~1.984	0.880 0.390~1.198	2.384 1.171~3.337	6.834 2.703~16.840	0.282 0.134~0.406	0.448 0.367~0.543
Sur	0.026 0.016~0.039	5.675 0.161~31.422	0.596 0.469~0.666	6.298 0.850~31.952	20.897 11.301~33.357	0.110 0.008~0.215	0.636 0.391~1.460
Aug. Mid	0.219 0.068~0.386	11.514 2.543~36.305	0.684 0.449~1.809	12.416 3.454~36.898	24.816 15.749~61.161	0.507 0.304~0.709	1.090 0.802~1.567
Bot	0.178 0.091~0.261	14.634 5.609~39.831	0.580 0.444~0.657	15.392 6.303~40.449	26.026 15.860~41.214	0.688 0.525~0.787	1.248 1.075~1.475

아질산질소, 질산질소 및 암모니아질소의 합인 용존무기질소(DIN)의 농도분포(Fig. 1-4-12, 13, 14, 15와 Table 1-4-2)를 보면, 3월은 표층 1.523~6.016 (평균 3.964)  $\mu$ M, 중층 2.054~9.269 (평균 4.617) $\mu$ M, 저층은 2.430~5.570 (평균 4.024)  $\mu$ M로서 중층에서 높은 농도분포를 보였고 정점별로는 정점 6과 12의 중층에서 높았다. 5월은 표층 1.730~22.702 (평균 3.943)  $\mu$ M, 중층 1.662~6.021 (평균 2.817) $\mu$ M, 저층은 1.171~3.337 (평

균 2.384)  $\mu\text{M}$ 로서 3월과 비슷한 농도분포를 보였으며 정점 6의 표층에서 높은 농도를 보였다. 8월은 표층 0.850~31.952 (평균 6.298)  $\mu\text{M}$ , 중층 3.454~36.898 (평균 12.416) $\mu\text{M}$ , 저층은 6.303~40.449 (평균 15.392)  $\mu\text{M}$ 로서 전 정점에서 5월에 비해 높은 농도를 보였고 수심이 깊을수록 현저히 증가하는 경향이였으며 정점별로는 정점 8, 10, 12, 13에서 높은 농도를 보였고 수층별로는 표층은 국도 동편의 12, 13 정점에서 높았고 중층과 저층은 소지도와 가오도 중간 그리고 국도 동서편에서 높았다.



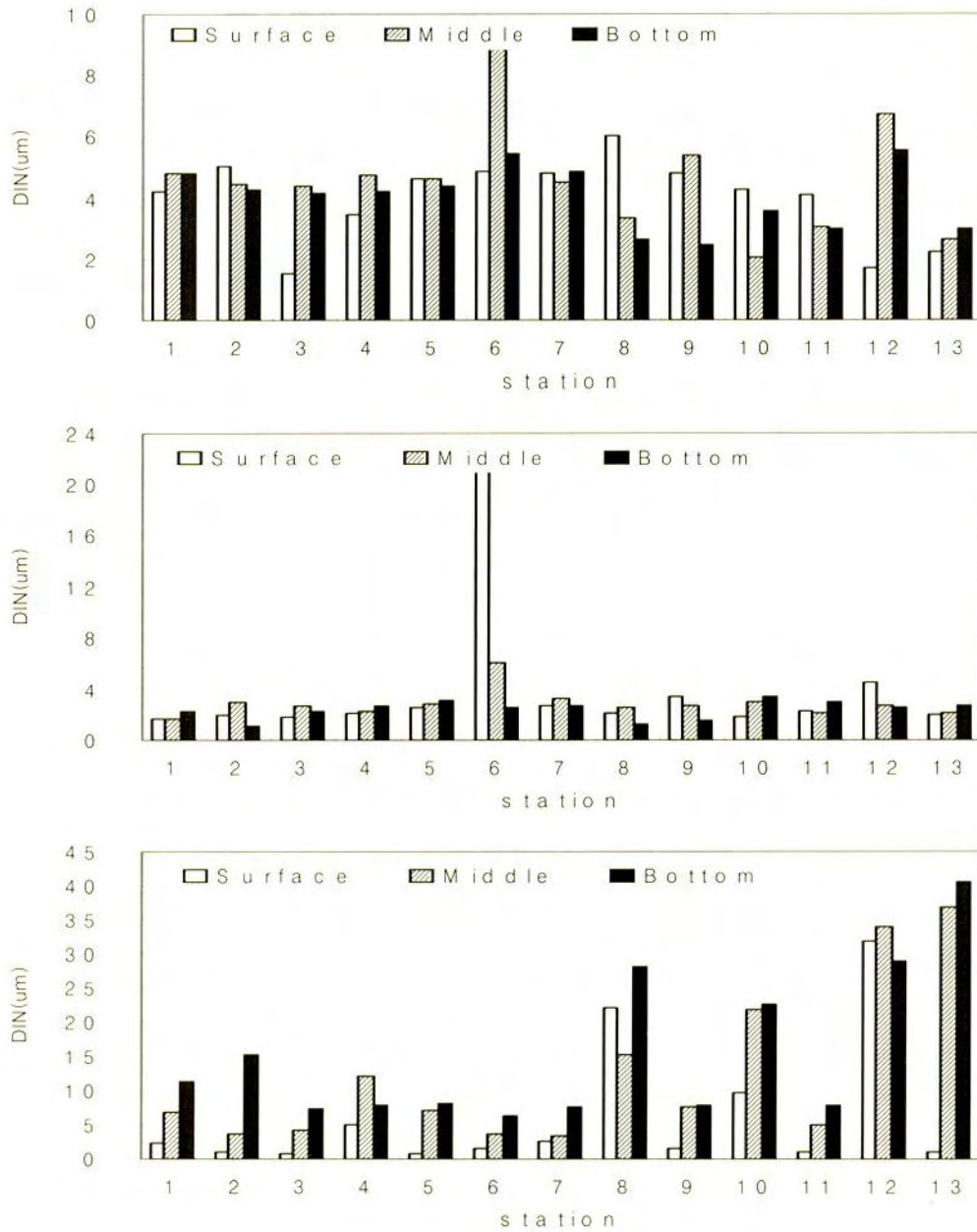


그림 1-4-12. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기질소(DIN)의 분포.  
 Fig. 1-4-12. Distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

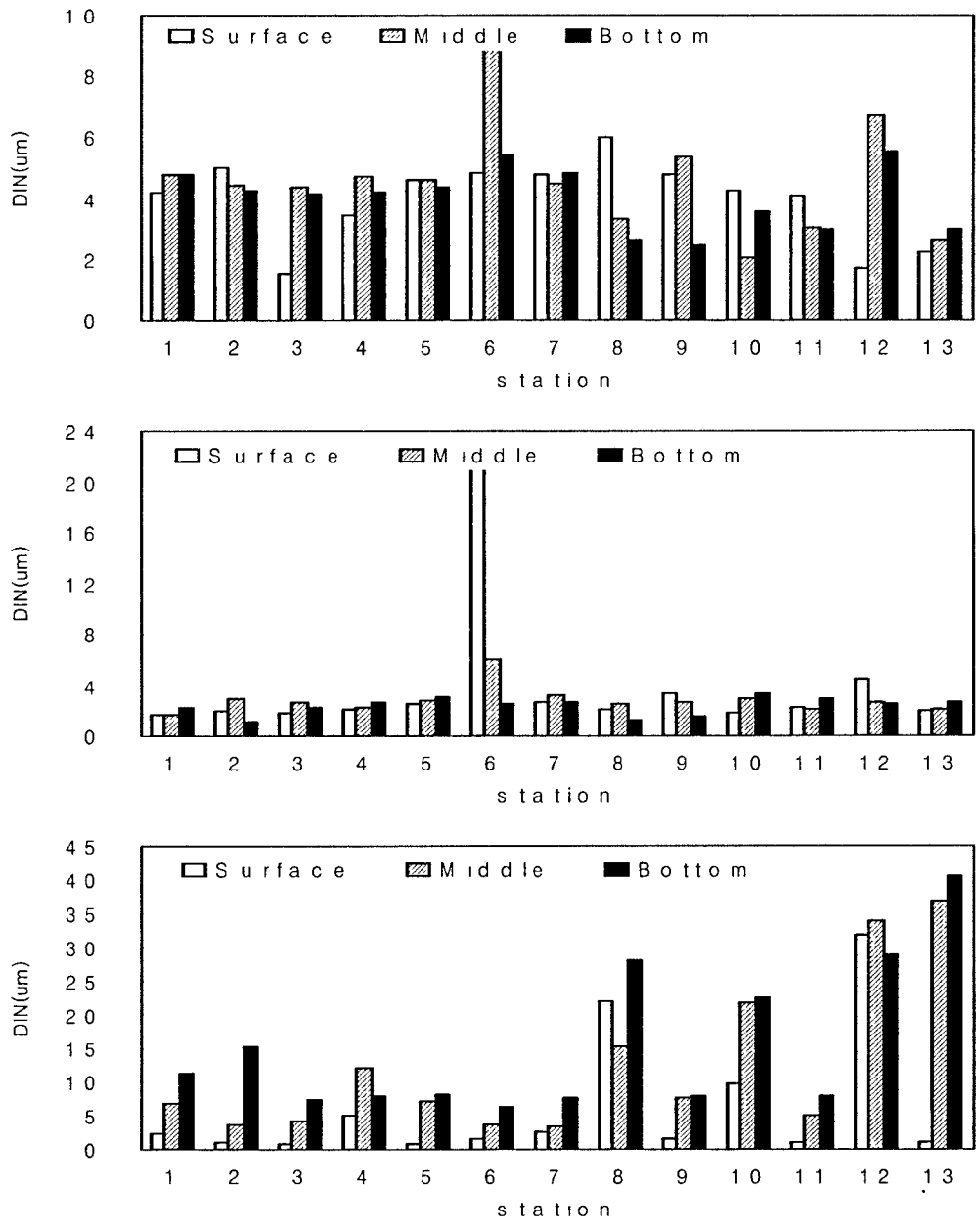


그림 1-4-12. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기질소(DIN)의 분포.  
 Fig. 1-4-12. Distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

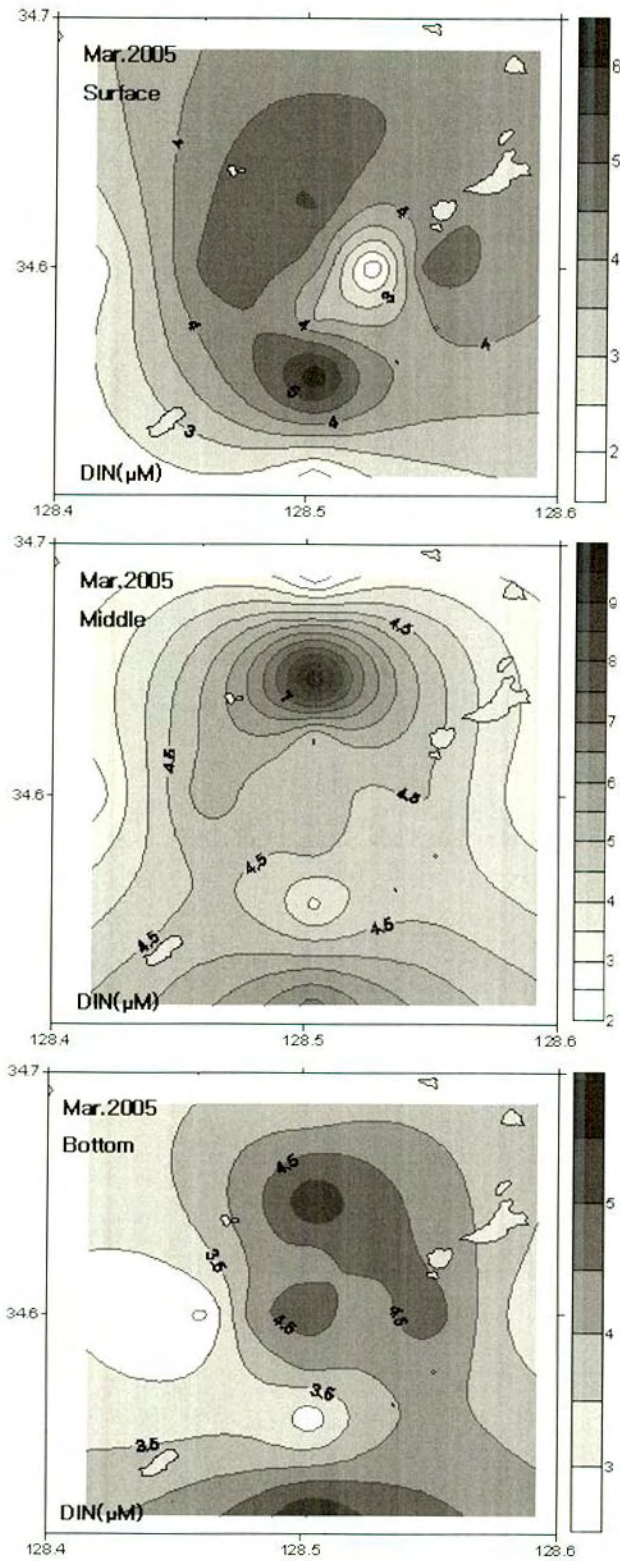


그림 1-4-13. 2005년 3월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.

Fig. 1-4-13. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in March, 2005.

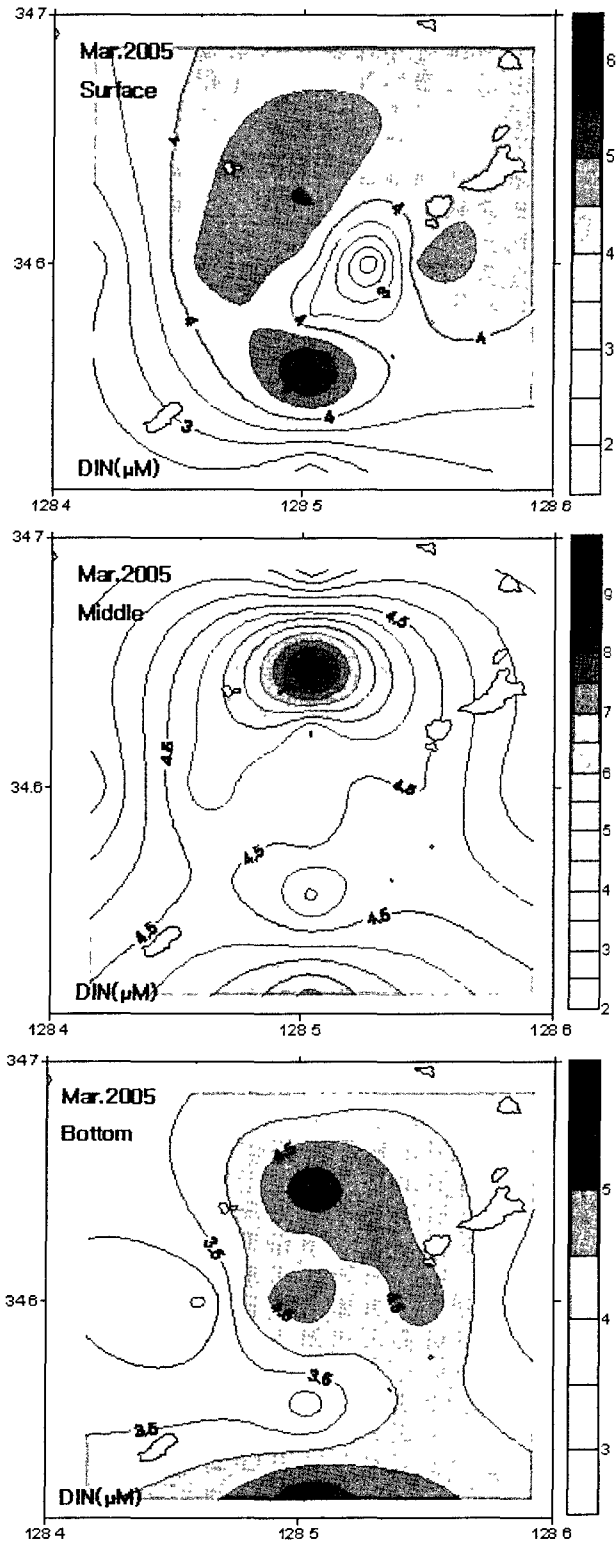


그림 1-4-13. 2005년 3월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.  
 Fig. 1-4-13. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in March, 2005.

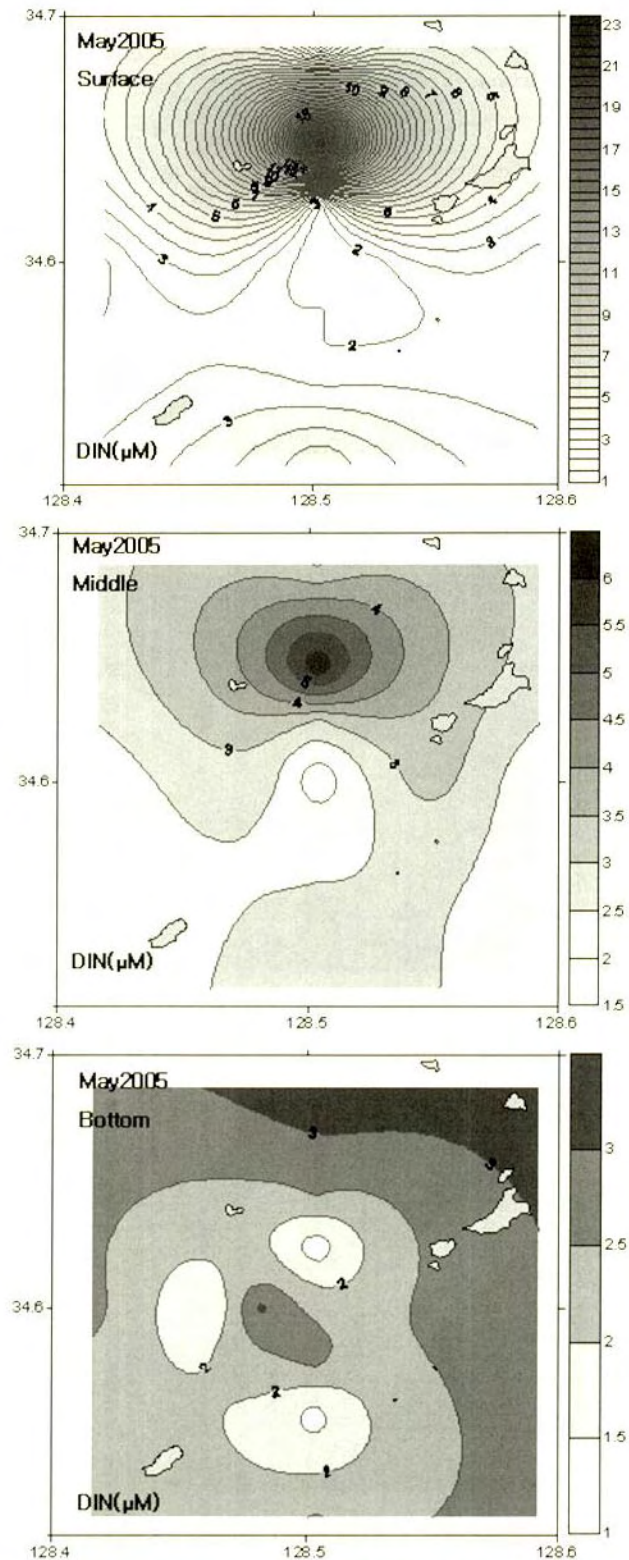


그림 1-4-14. 2005년 5월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.

Fig. 1-4-14. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in May, 2005.

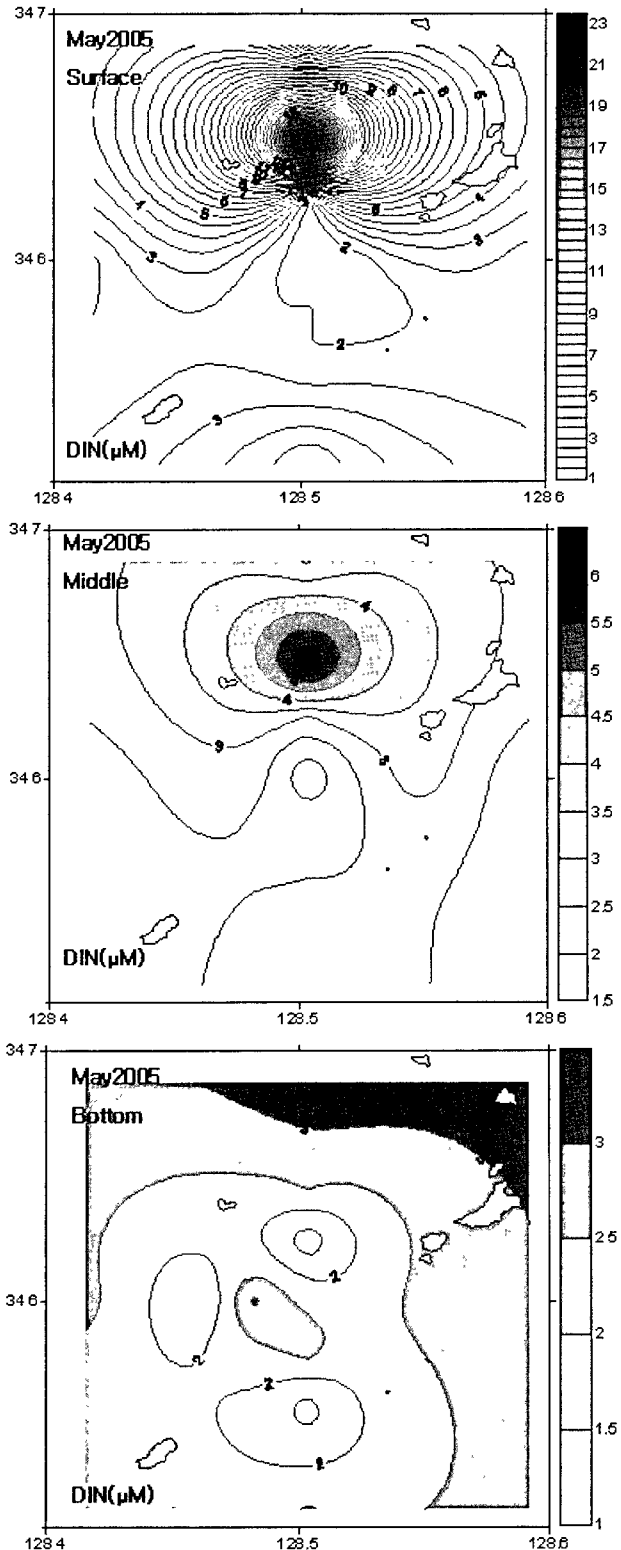


그림 1-4-14. 2005년 5월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.  
 Fig. 1-4-14. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in May, 2005.

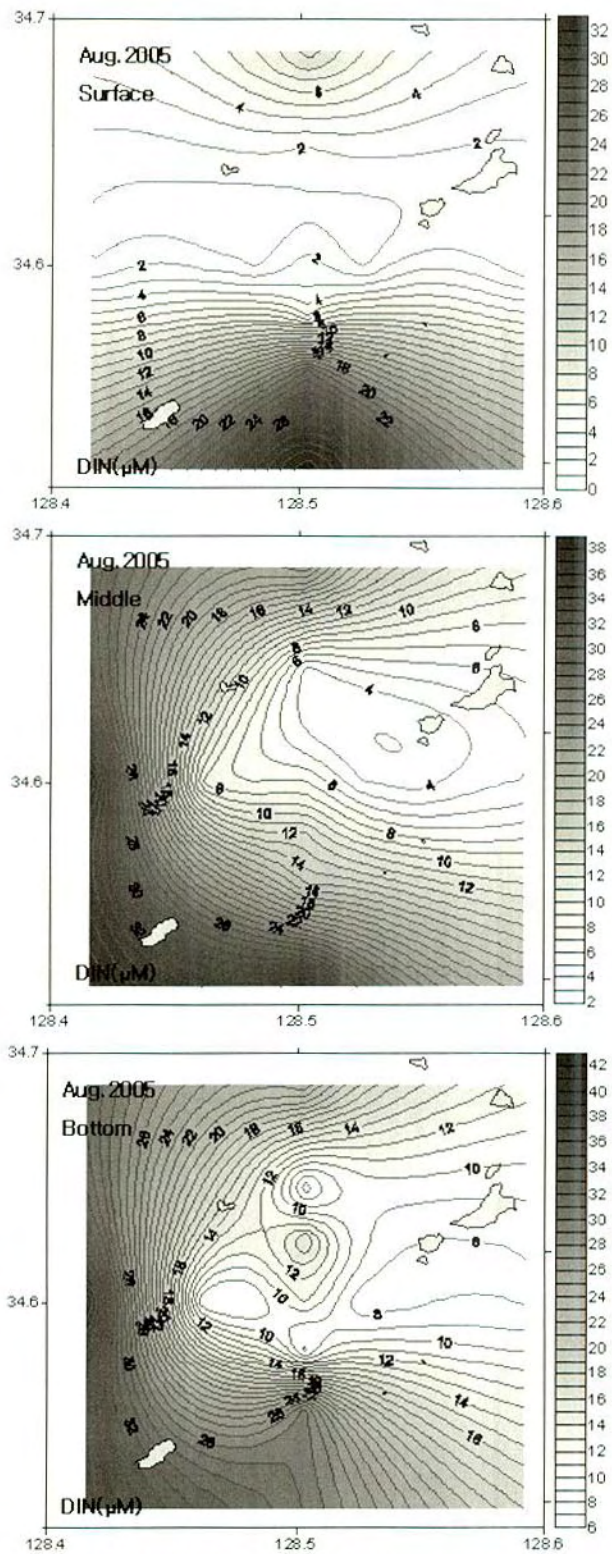


그림 1-4-15. 2005년 8월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.

Fig. 1-4-15. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in August, 2005.

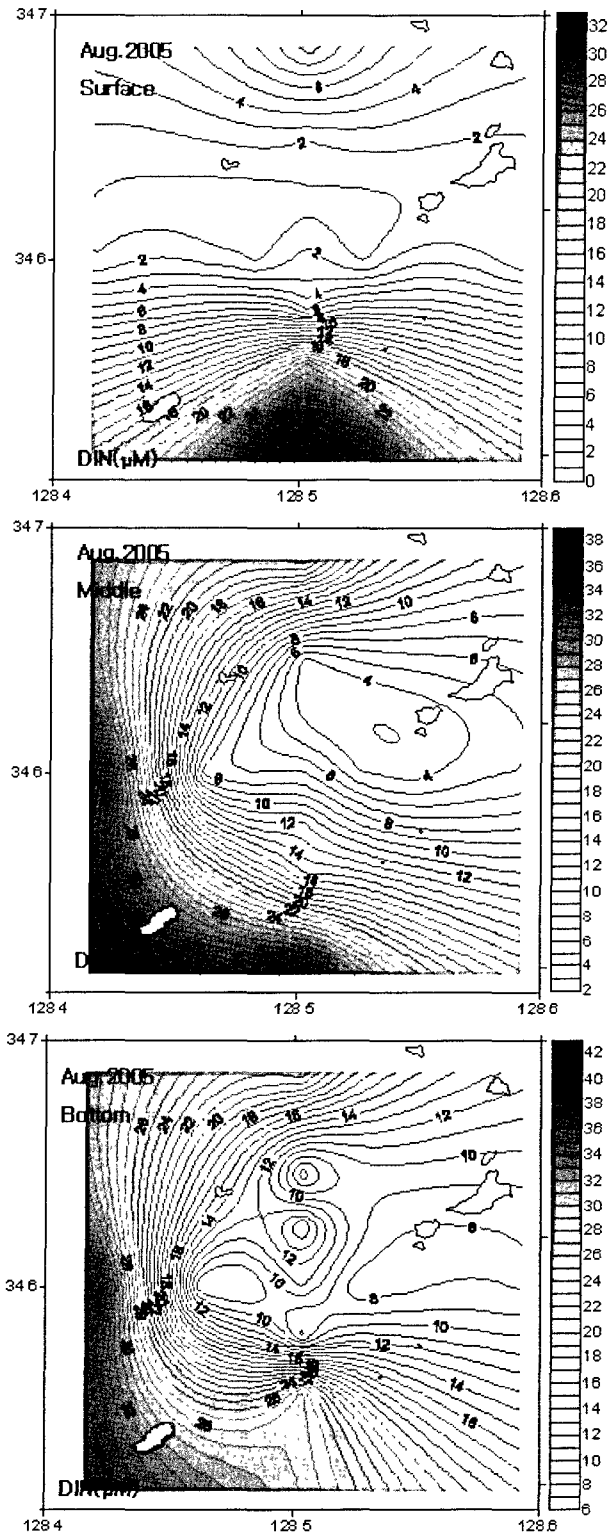


그림 1-4-15. 2005년 8월 용존무기질소(DIN)의 수평분포.

Fig. 1-4-15. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in August, 2005.



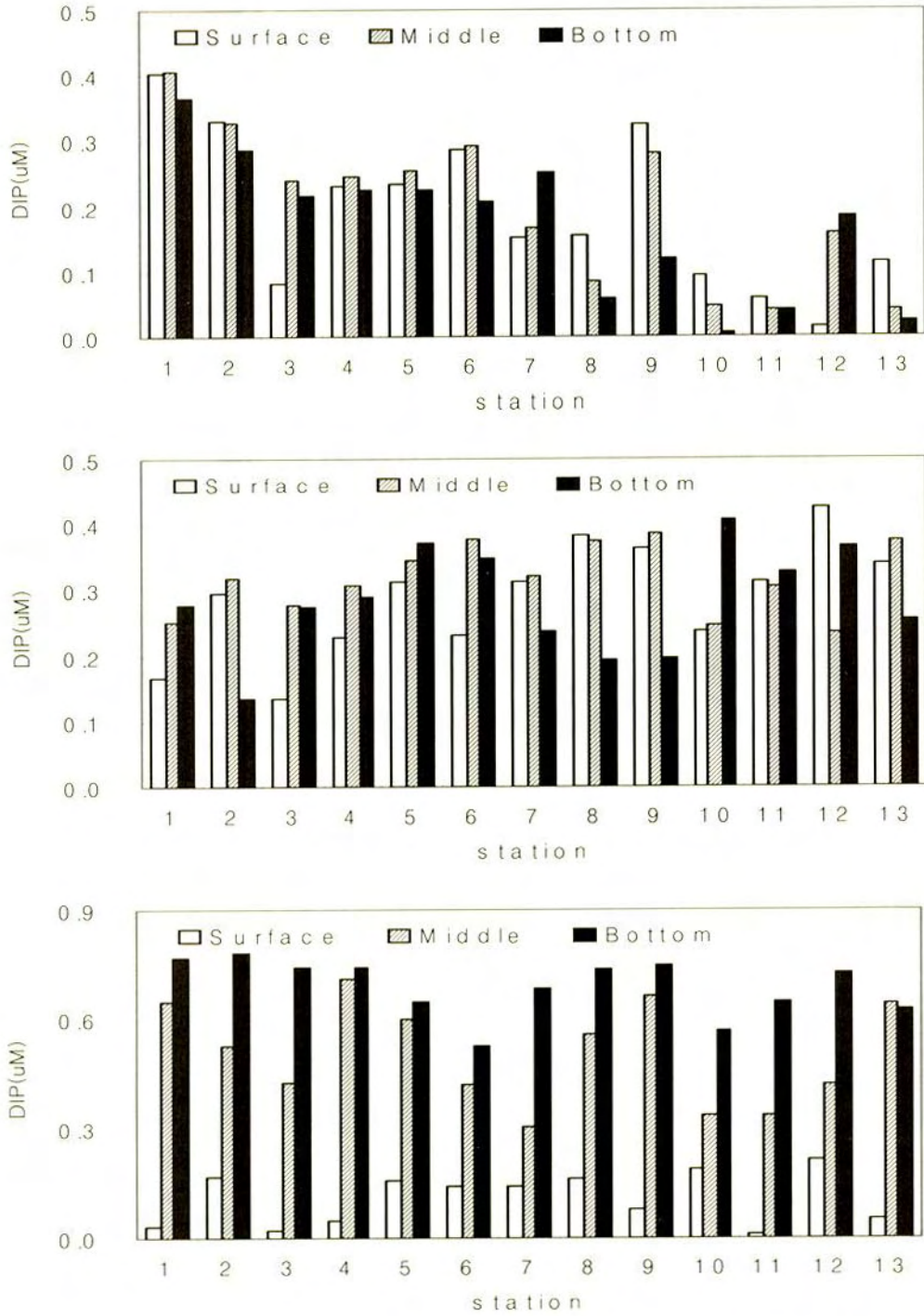


그림 1-4-16. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기인(DIP)의 분포.

Fig. 1-4-16. Distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

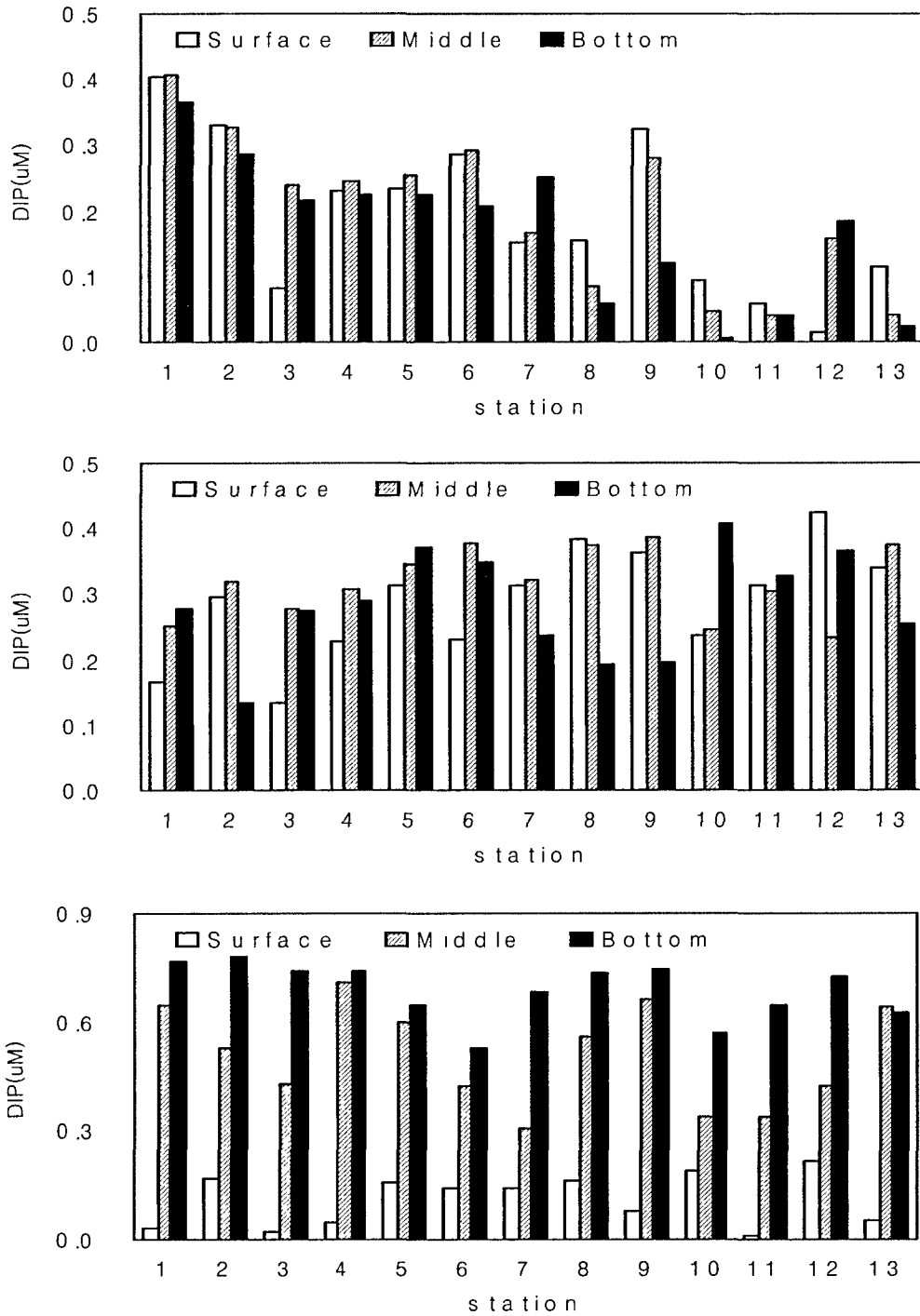


그림 1-4-16. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 용존무기인(DIP)의 분포.

Fig. 1-4-16. Distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

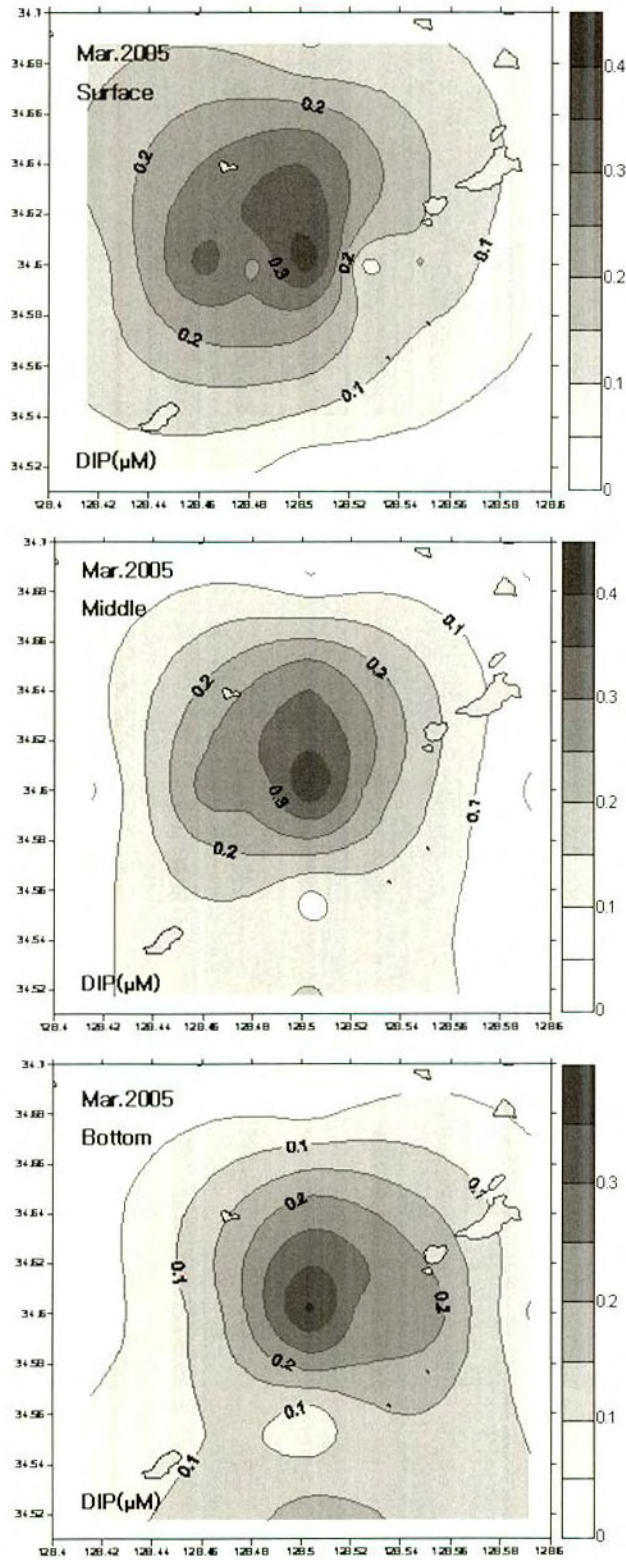


그림 1-4-17. 2005년 3월 용존무기인(DIP)의 수평분포.

Fig. 1-4-17. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in March, 2005.

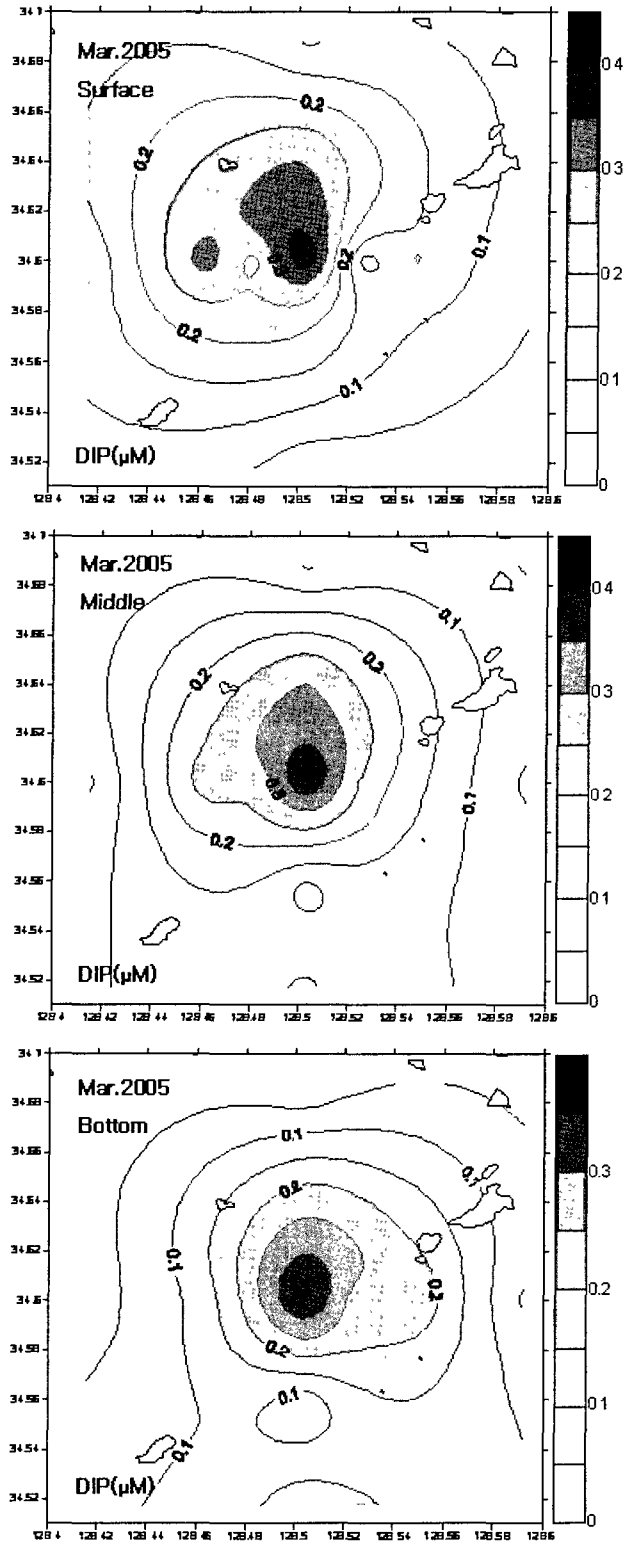


그림 1-4-17. 2005년 3월 용존무기인(DIP)의 수평분포.  
 Fig. 1-4-17. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in March, 2005.

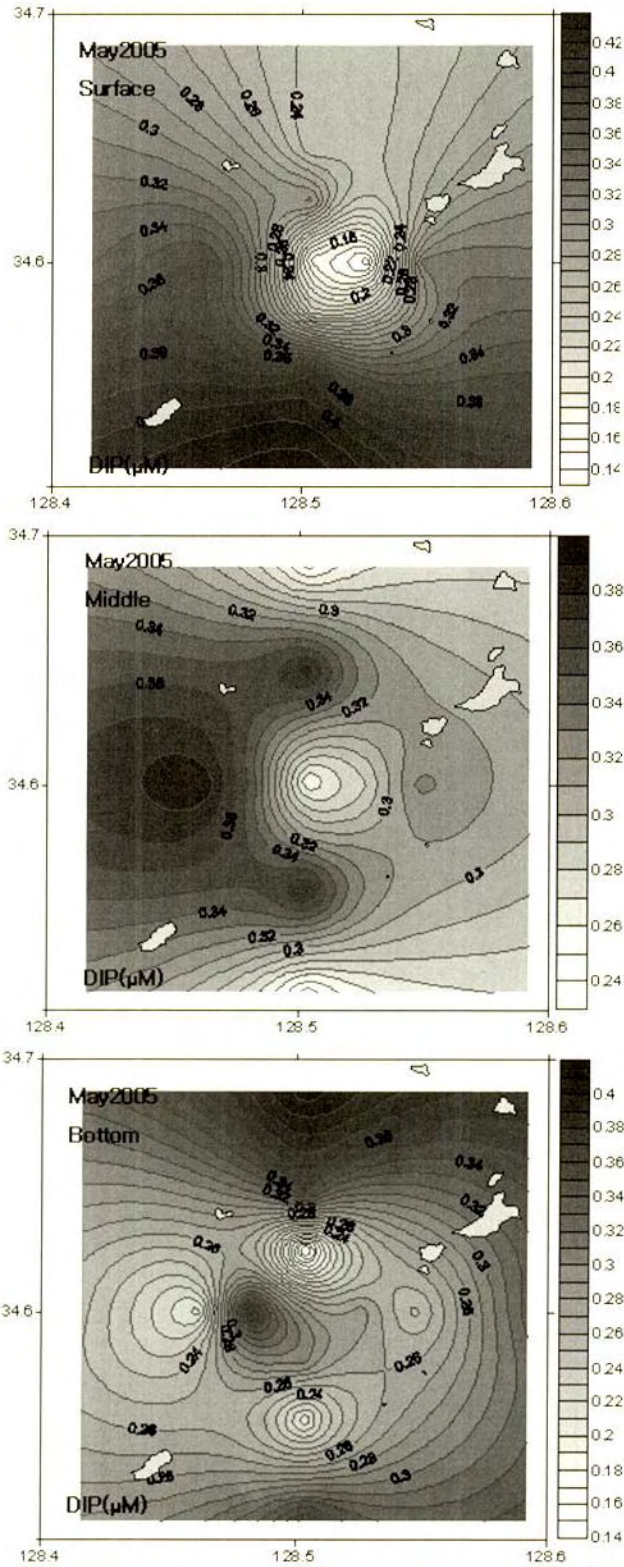


그림 1-4-18. 2005년 5월 용존무기인(DIP)의 수평분포.  
 Fig. 1-4-18. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in May, 2005.

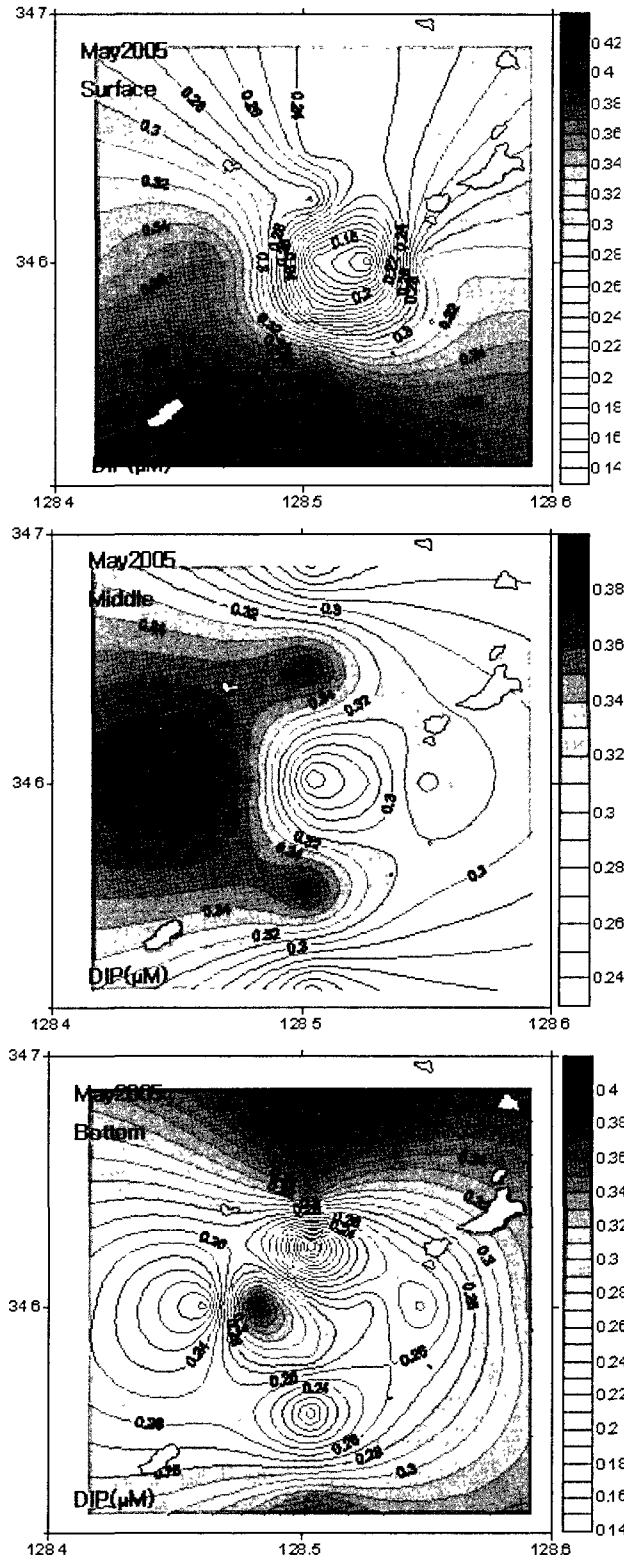


그림 1-4-18. 2005년 5월 용존무기인(DIP)의 수평분포.  
 Fig. 1-4-18. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in May, 2005.

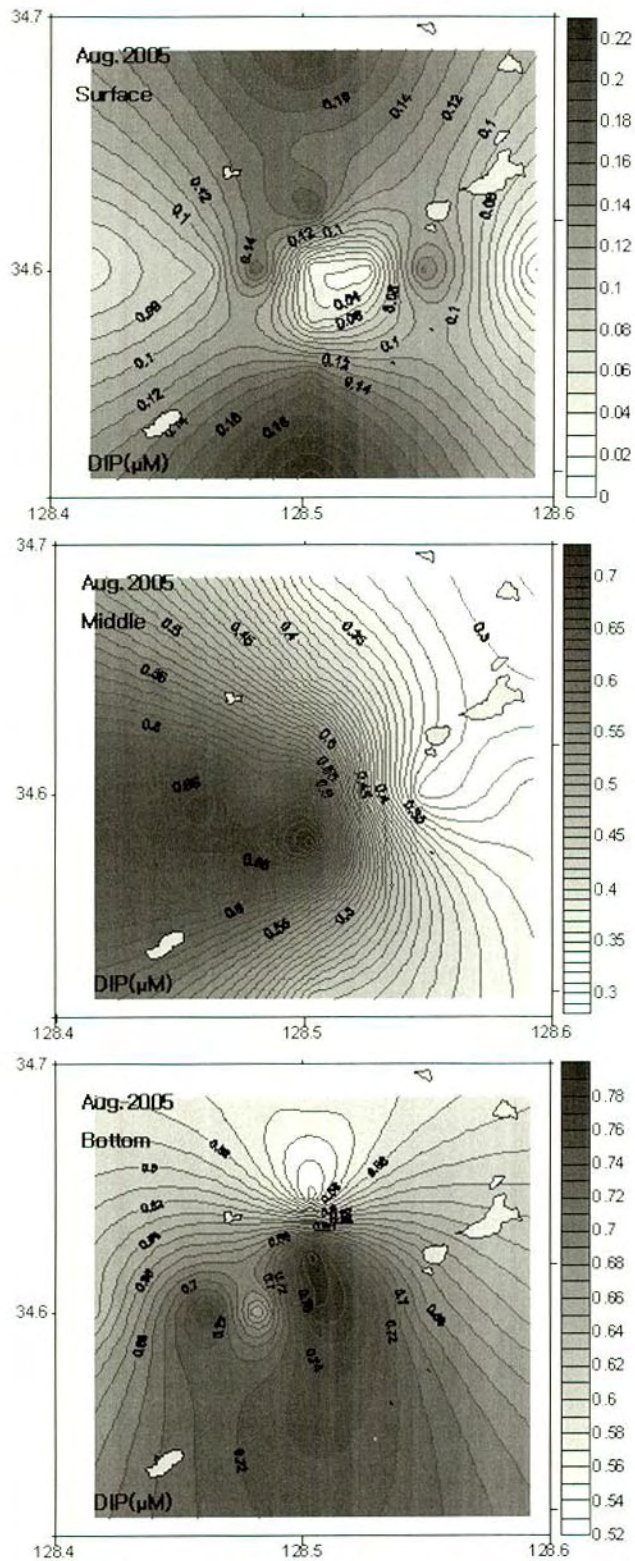


그림 1-4-19. 2005년 8월 용존무기인(DIP)의 수평분포.

Fig. 1-4-19. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in August, 2005.

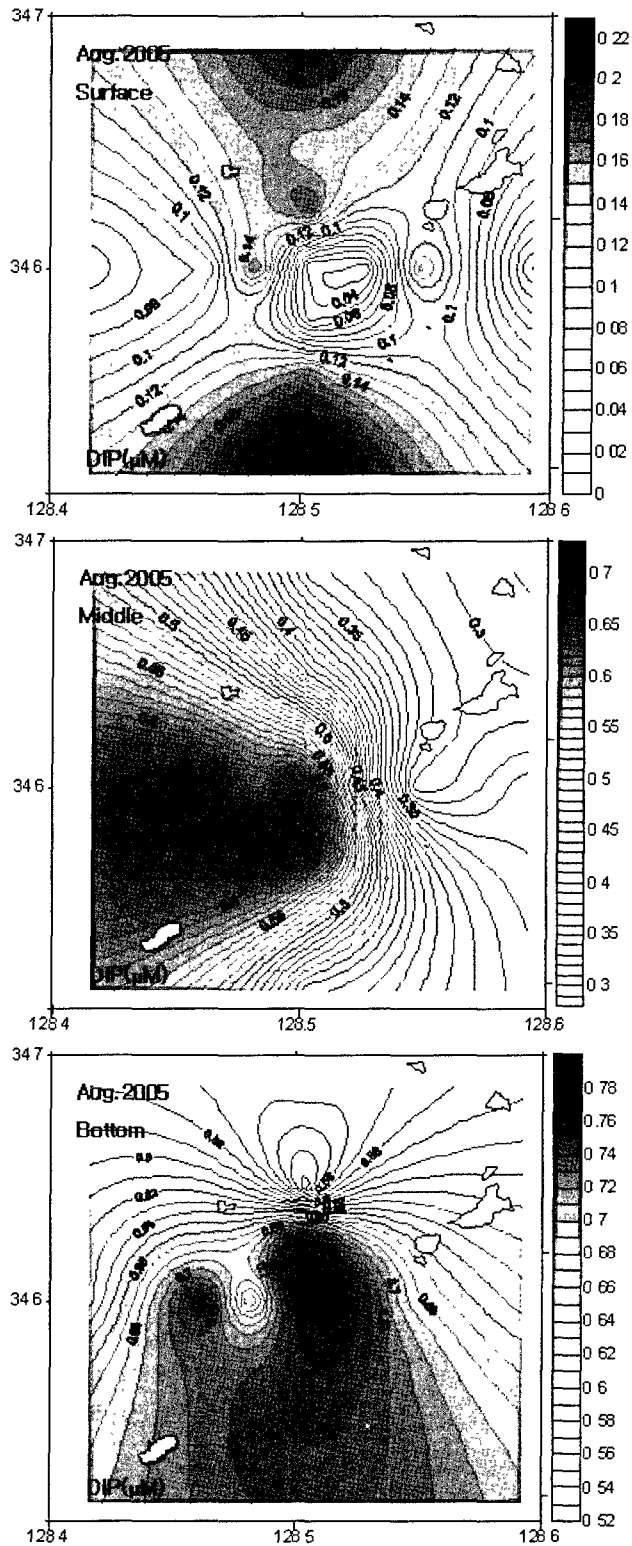


그림 1-4-19. 2005년 8월 용존무기인(DIP)의 수평분포.

Fig. 1-4-19. Horizontal distribution of dissolved inorganic phosphate(DIP) in August, 2005.



용존무기인 (dissolved phosphate)의 농도분포(그림 1-4-16, 17, 18, 19와 표 1-4-2)는 3월은 표층 0.015~0.402 (평균 0.190)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.042~0.405 (평균 0.199)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.006~0.365 (평균 0.190)  $\mu\text{M}$ 로서 층별 농도차는 거의 없었으며 정점별로는 조사정점의 중심에서 가장 바깥 정점인 8, 10, 11, 13에서 낮은 농도를 보였다. 5월은 표층 0.134~0.425 (평균 0.288)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.234~0.387 (평균 0.317)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.134~0.406 (평균 0.282)  $\mu\text{M}$ 로서 수심이 깊을수록 높은 농도를 보였으며 전 정점이 비슷한 농도분포를 보였다. 8월은 표층 0.008~0.215 (평균 0.110)  $\mu\text{M}$ , 중층의 경우 0.304~0.709 (평균 0.507)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.525~0.787 (평균 0.688)  $\mu\text{M}$ 로서 층별 차이가 뚜렷하였고 수심이 깊을수록 높은 농도를 보였으며 정점별 농도분포는 비슷하였고 전 정점에서 표층에 비해 중층과 저층에서 높은 농도를 보였으며 5월에 비해 2~3배의 농도를 보였다.

총 질소(Total nitrogen)의 농도분포(그림 1-4-20, 21, 22, 23과 표 1-4-2)는 3월은 표층 7.286~24.429 (평균 14.232)  $\mu\text{M}$ , 중층 6.786~19.786 (평균 13.571)  $\mu\text{M}$ , 저층 7.571~23.714 (평균 13.593)  $\mu\text{M}$ 로서 정점별로는 표층은 소지도와 국도 중간지선인 정점 5에서 높았고, 중층과 저층은 정점 9, 12에서 비교적 높은 농도를 보였다. 각 정점별 농도차는 있었으나 수층별 농도차는 거의 없었다. 5월은 표층 2.841~23.563 (평균 8.176)  $\mu\text{M}$ , 중층 2.426~16.217 (평균 7.101)  $\mu\text{M}$ , 저층 2.703~16.840 (평균 6.834)  $\mu\text{M}$ 로서 3월과 유사한 경향이나 농도는 상대적으로 낮았으며 . 8월은 표층 11.301~33.357 (평균 20.897)  $\mu\text{M}$ , 중층 15.749~61.161 (평균 24.816)  $\mu\text{M}$ , 저층 15.860~41.214 (평균 26.026)  $\mu\text{M}$ 로서 층별 차이는 뚜렷하지 않았고 연화도와 국도사이의 정점 13에서 높은 농도를 보였다. 평균 농도는 5월에 비해 3~4배의 높은 농도를 보였고 정점 8, 12, 13의 소매물도 남동쪽으로 갈수록 높은 경향을 보였다.

총 인(Total phosphorus)의 농도분포(그림 1-4-24, 25, 26, 27과 표 1-4-2)는 3월은 표층 0.321~0.598 (평균 0.421)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.259~0.578

(평균 0.396)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.311~0.619 (평균 0.436)  $\mu\text{M}$ 로서 각 정점별 농도차는 있었으나 수층별 농도차는 거의 없었다. 5월은 표층 0.271~0.475 (평균 0.373)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.301~0.543 (평균 0.398)  $\mu\text{M}$ , 저층 0.367~0.543 (평균 0.448)  $\mu\text{M}$ 로서 3월과 유사한 경향이였다. 8월은 표층 0.391~1.460 (평균 0.636)  $\mu\text{M}$ , 중층 0.802~1.567 (평균 1.090)  $\mu\text{M}$ , 저층 1.075~1.475 (평균 1.248)  $\mu\text{M}$ 로서 층별차이가 뚜렷하여 수심이 깊어질수록 고농도를 보였고 표층에 비해 중층과 저층이 고농도였으며 평균농도는 5월에 비해 2~3배의 농도를 보였다. 소지도와 국도사이의 정점 9에서 높은 농도를 보였다.

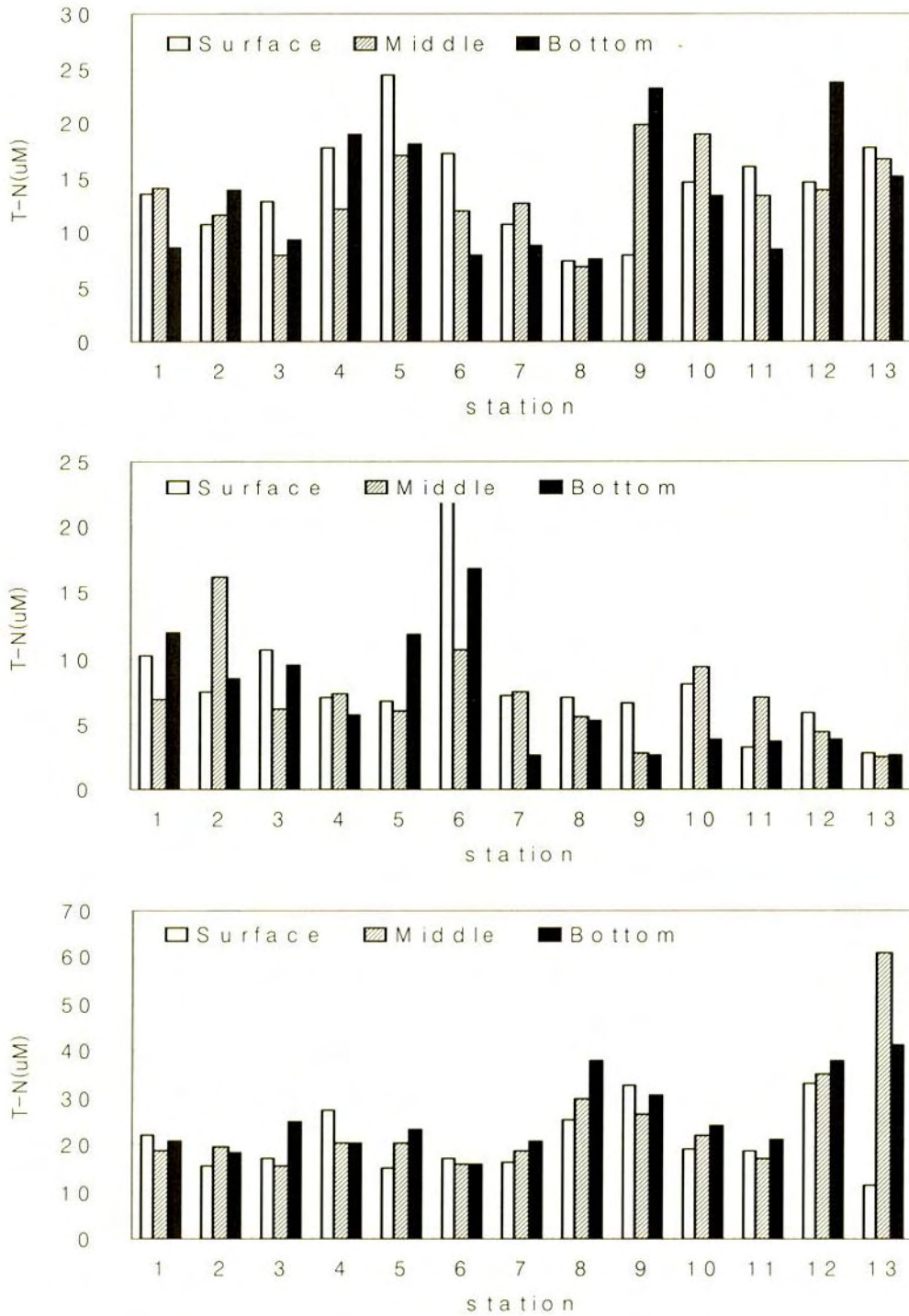


그림 1-4-20. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 총질소(T-N)의 분포.

Fig. 1-4-20. Distribution of total nitrogen(TN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

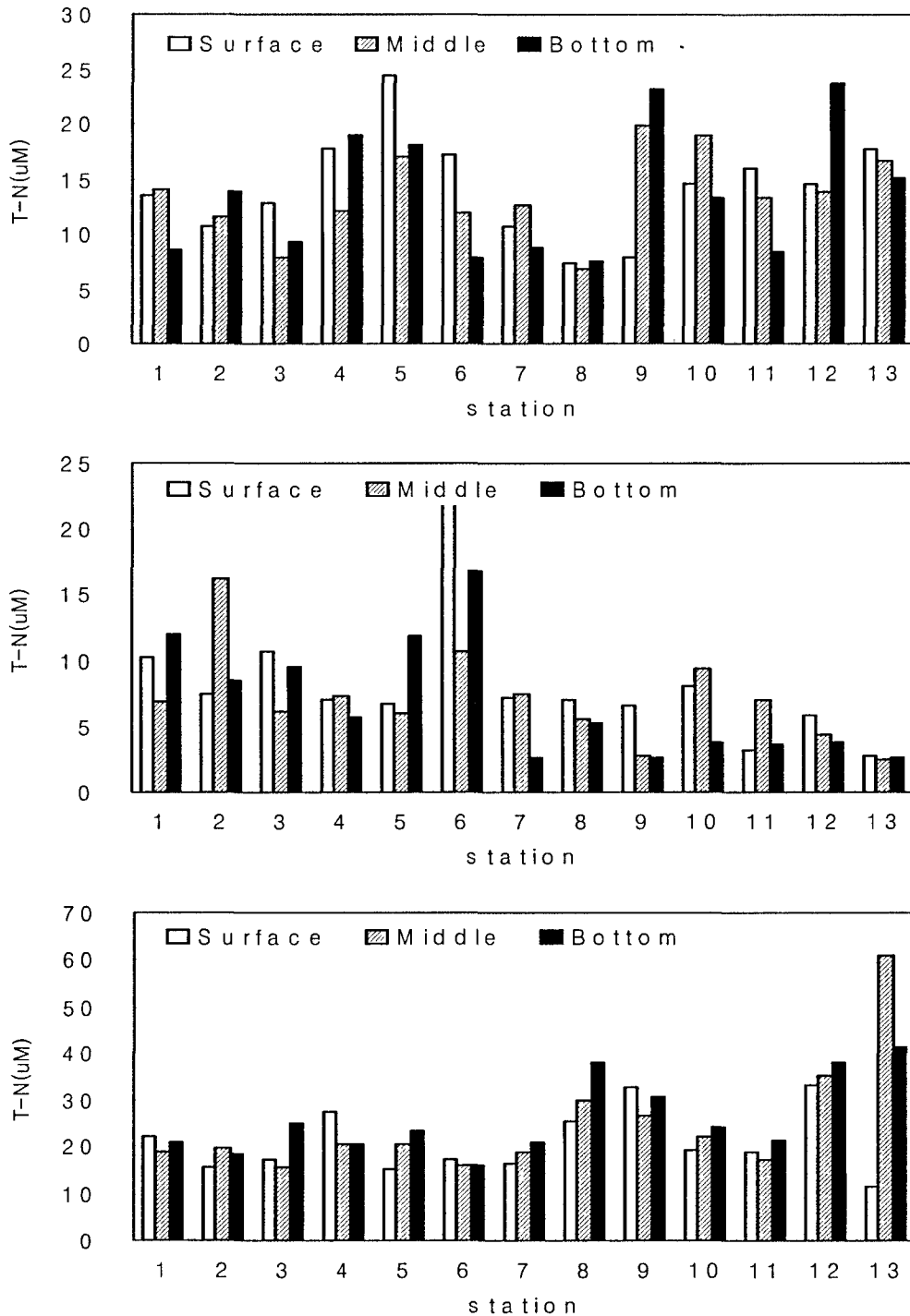


그림 1-4-20. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 총질소(T-N)의 분포.

Fig. 1-4-20. Distribution of total nitrogen(TN) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

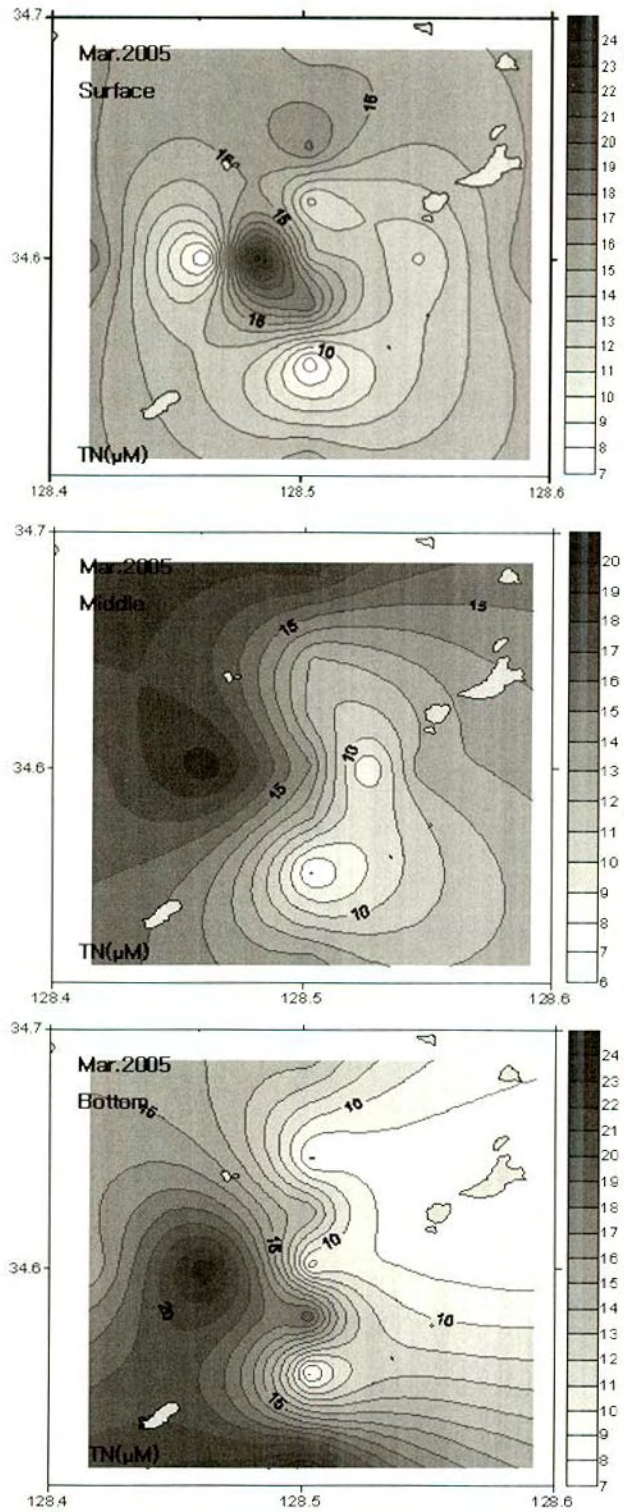


그림 1-4-21. 2005년 3월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-21. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in March, 2005.

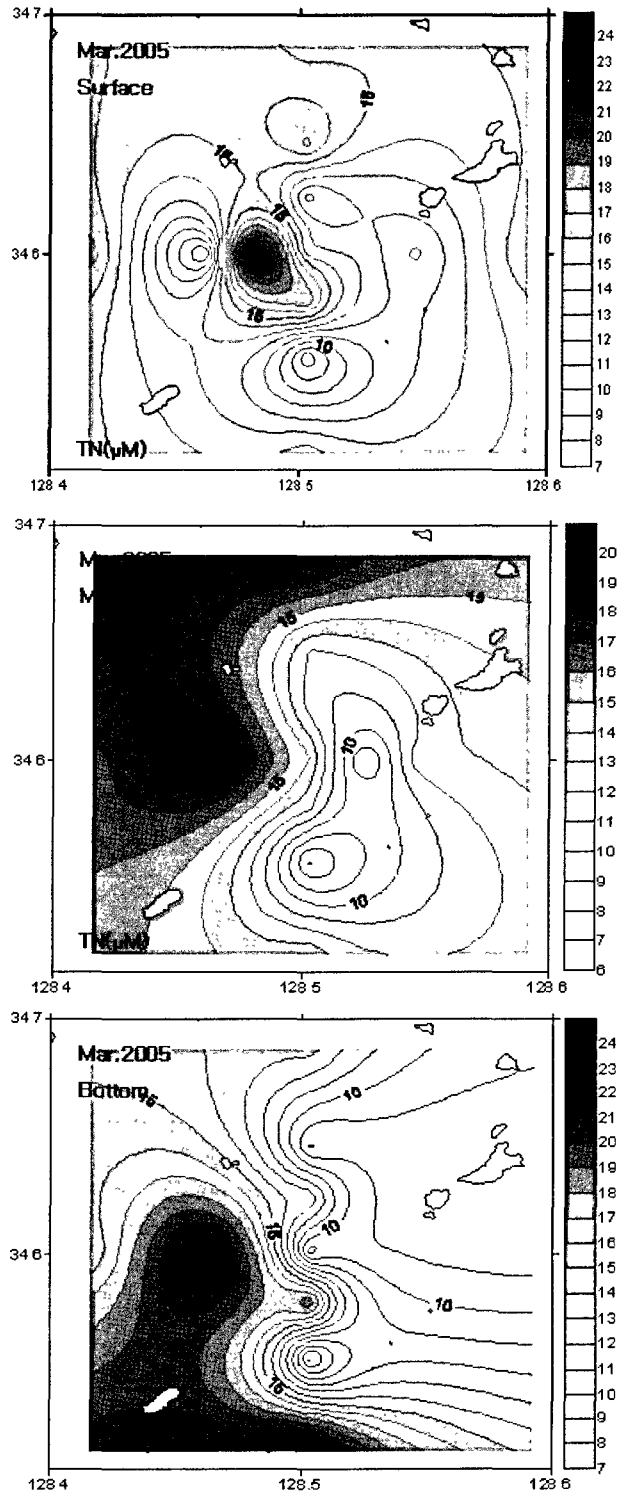


그림 1-4-21. 2005년 3월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-21. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in March, 2005.

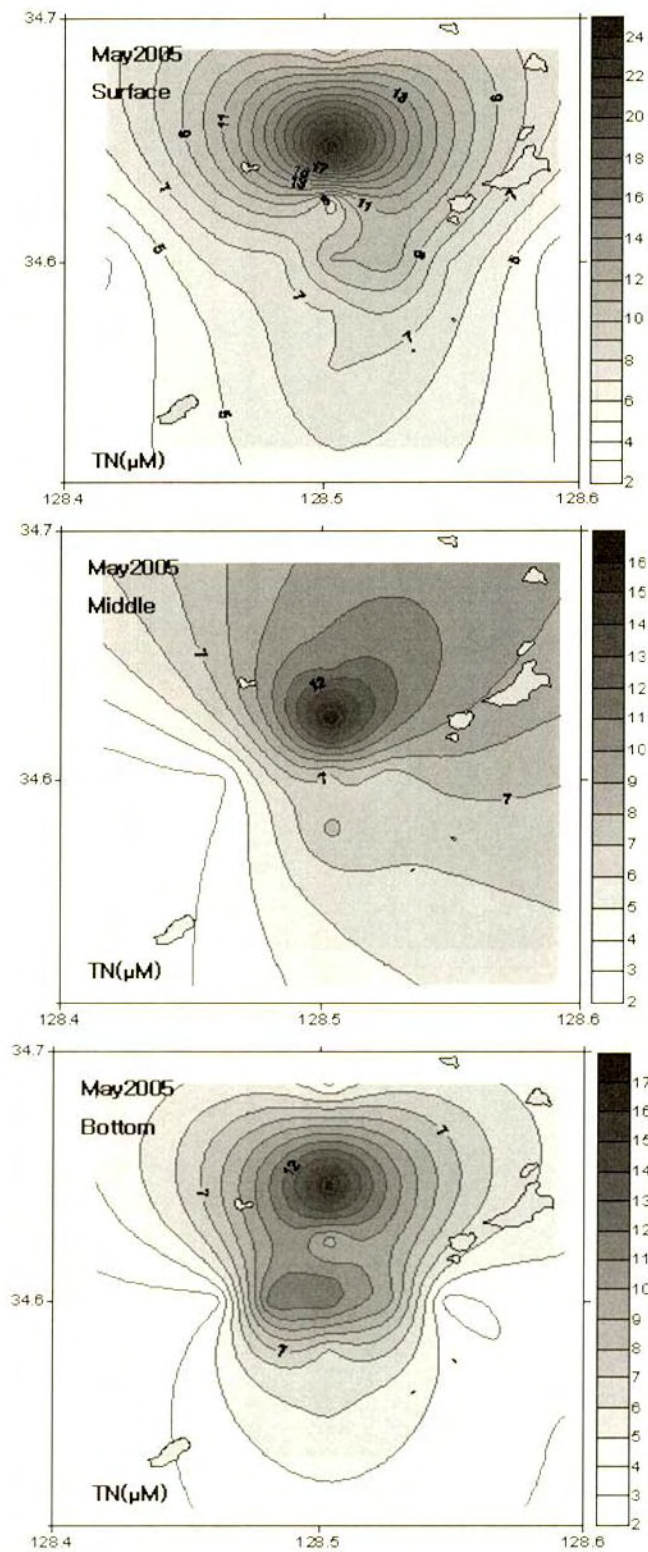


그림 1-4-22. 2005년 5월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-22. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in May, 2005.

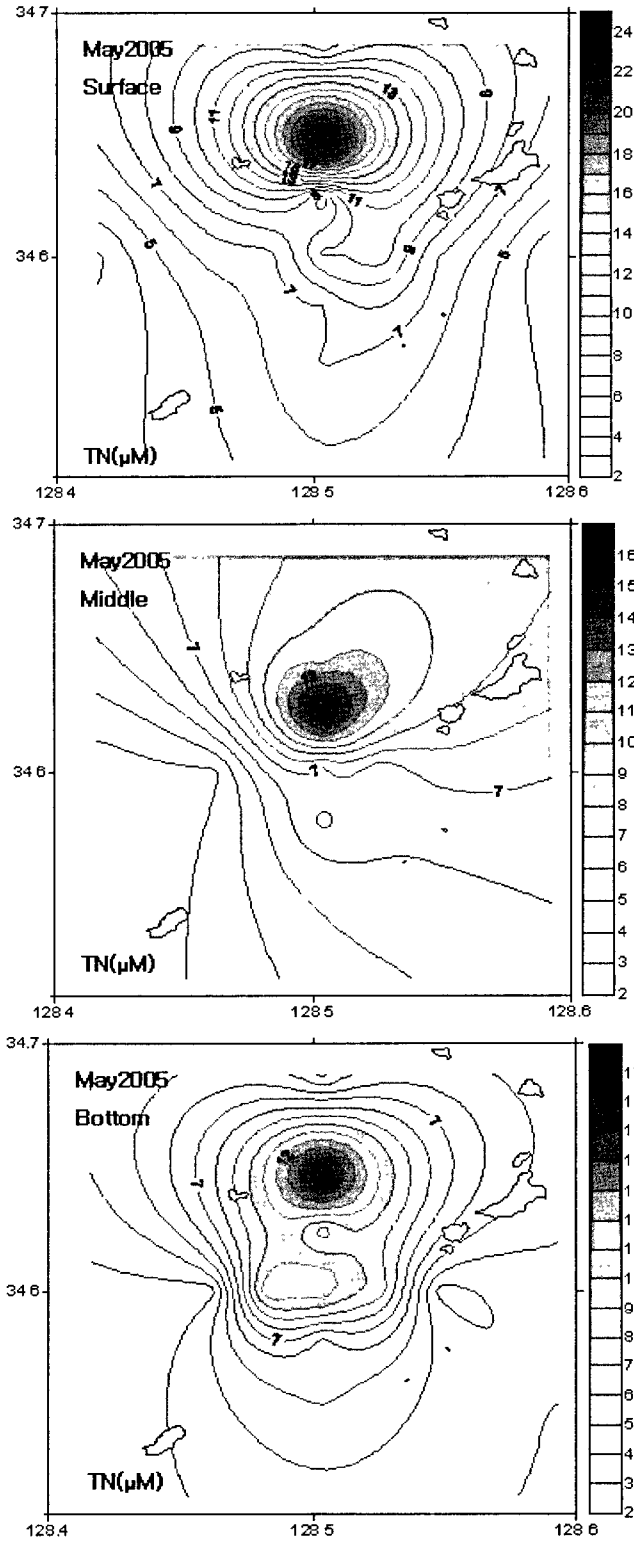


그림 1-4-22. 2005년 5월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-22. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in May, 2005



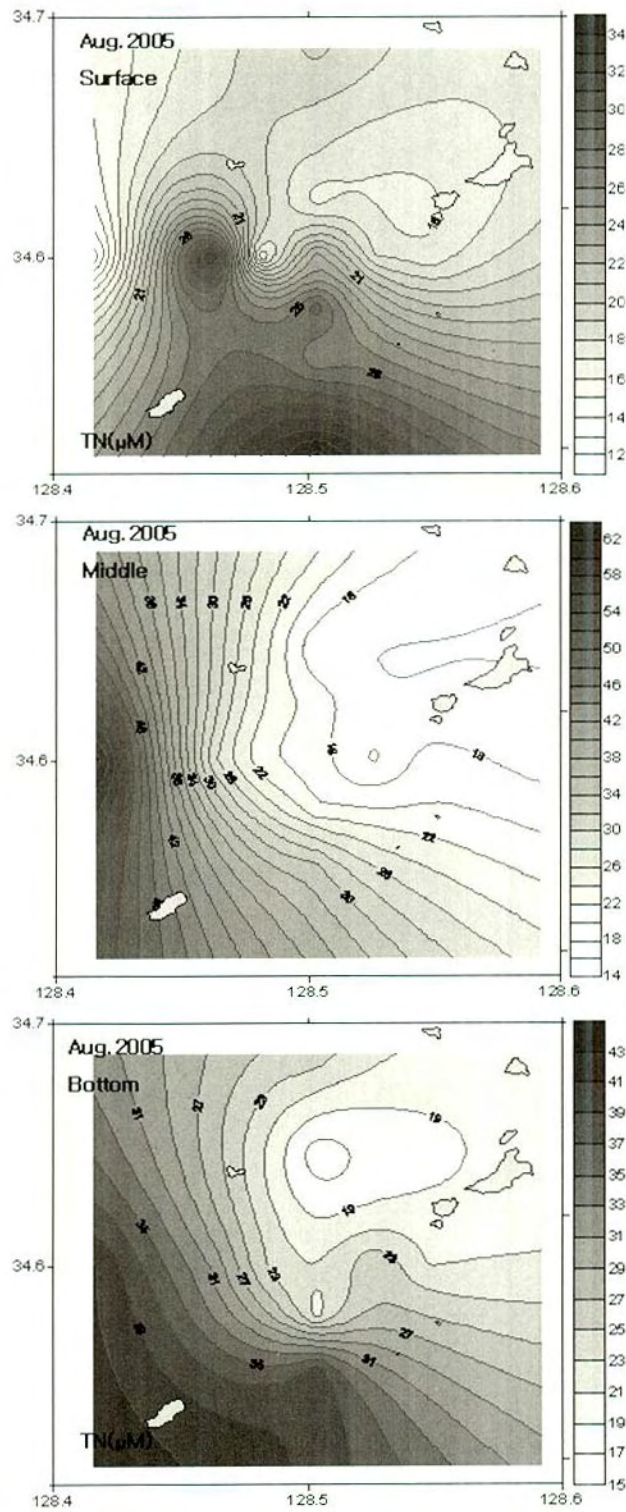


그림 1-4-23. 2005년 8월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-23. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in August, 2005.

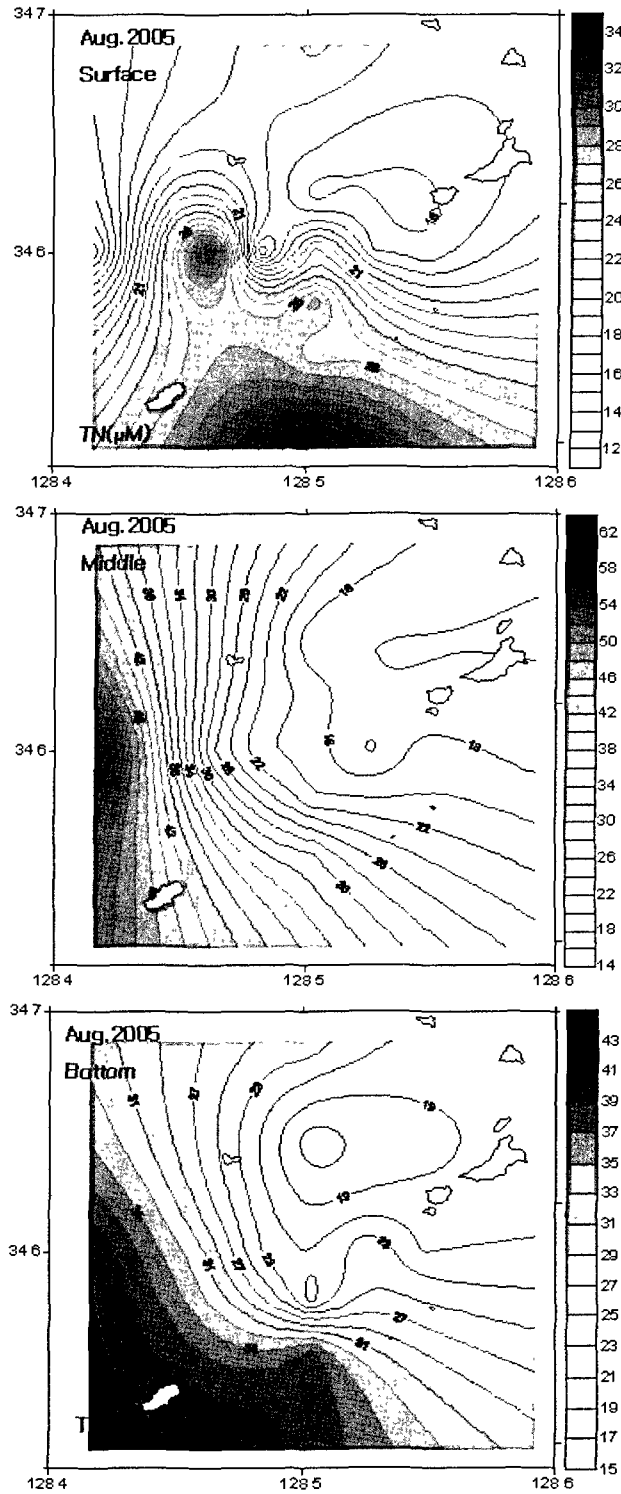


그림 1-4-23. 2005년 8월 총질소(T-N)의 수평분포.

Fig. 1-4-23. Horizontal distribution of total nitrogen(T-N) in August, 2005.

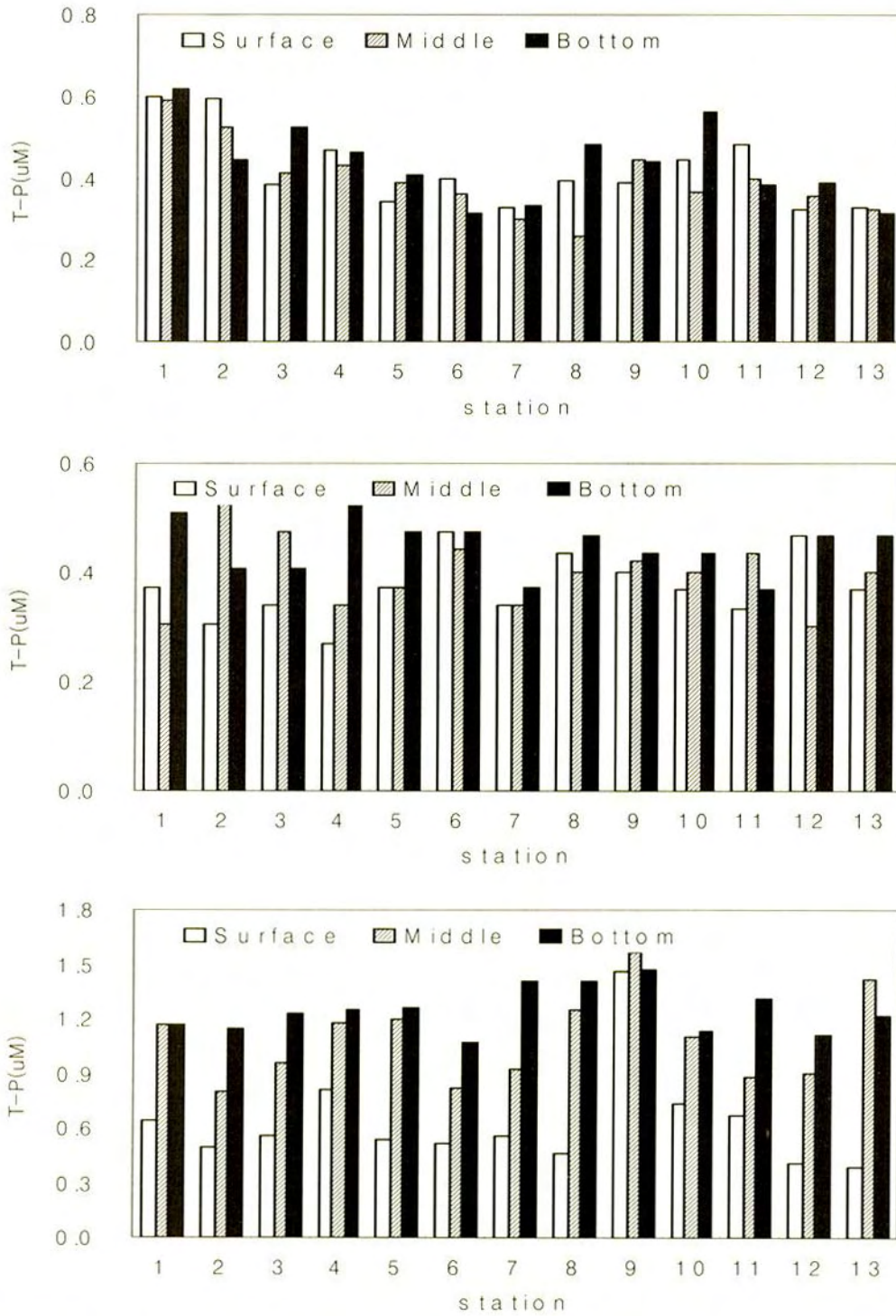


그림 1-4-24. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 층별 총인(T-P)의 분포.  
 Fig. 1-4-24. Distribution of total phosphorus(T-P) in March, May and August 2005(from upside to the lower part).

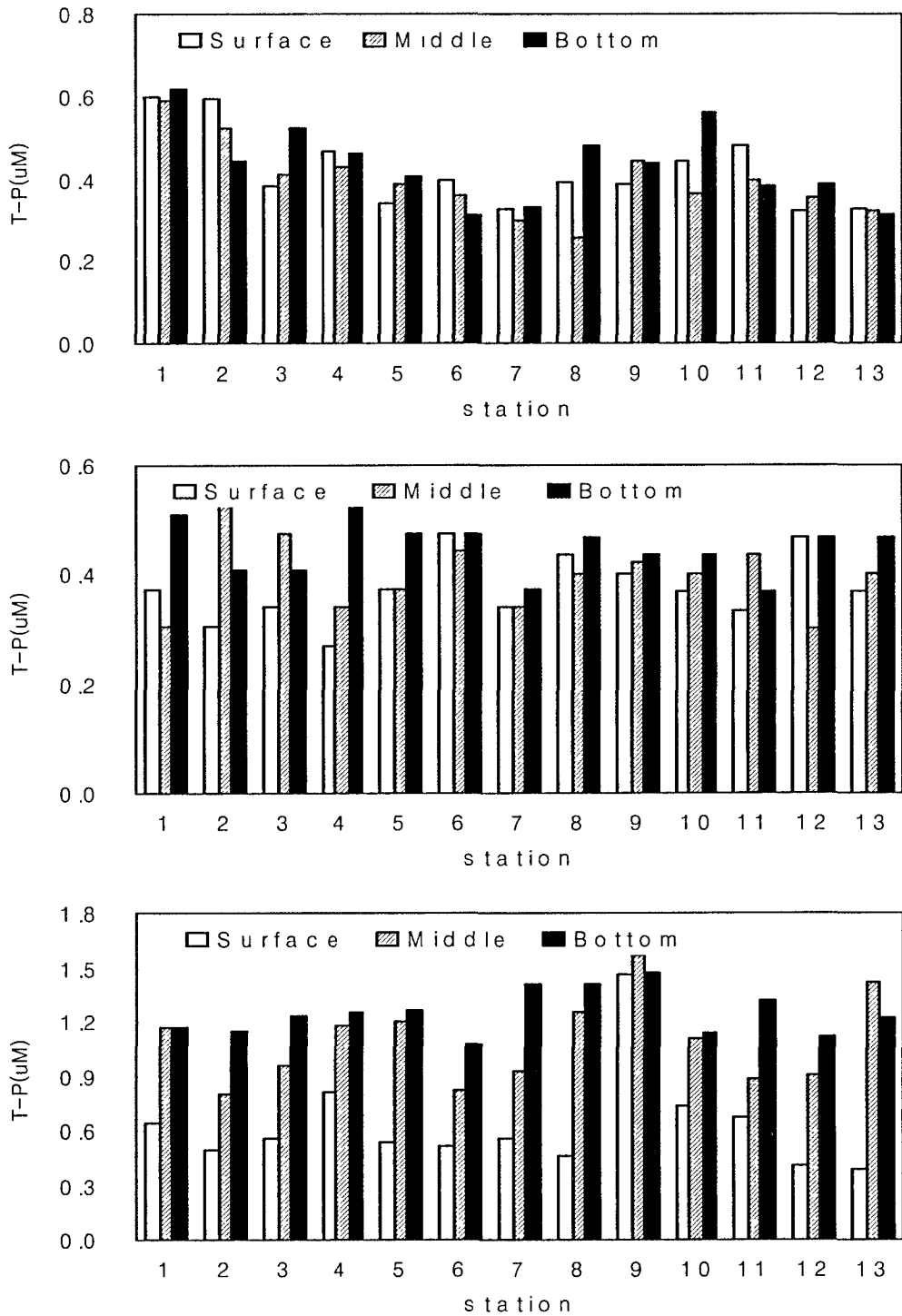


그림 1-4-24. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 층별 총인(T-P)의 분포.  
 Fig. 1-4-24. Distribution of total phosphorus(T-P) in March, May and August 2005(from upside to the lower part).

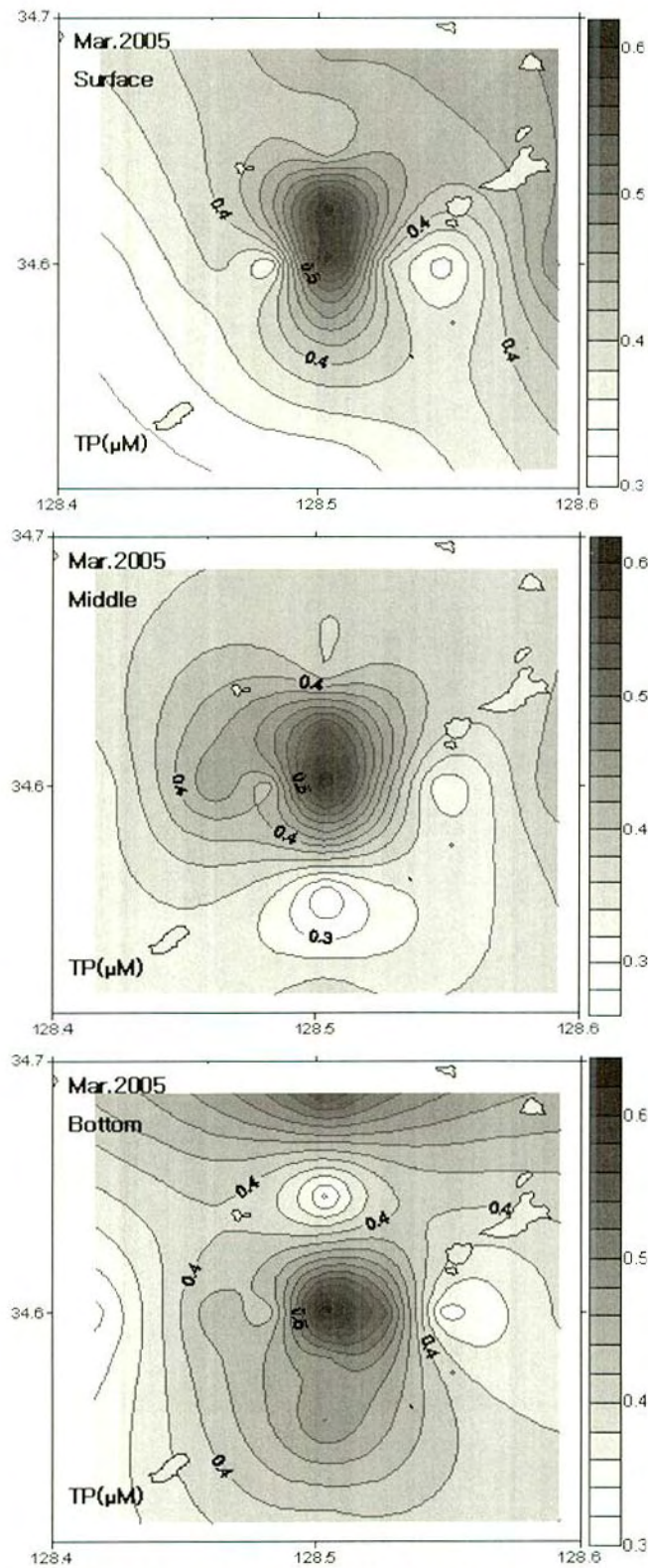


그림 1-4-25. 2005년 3월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-25. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in March, 2005.

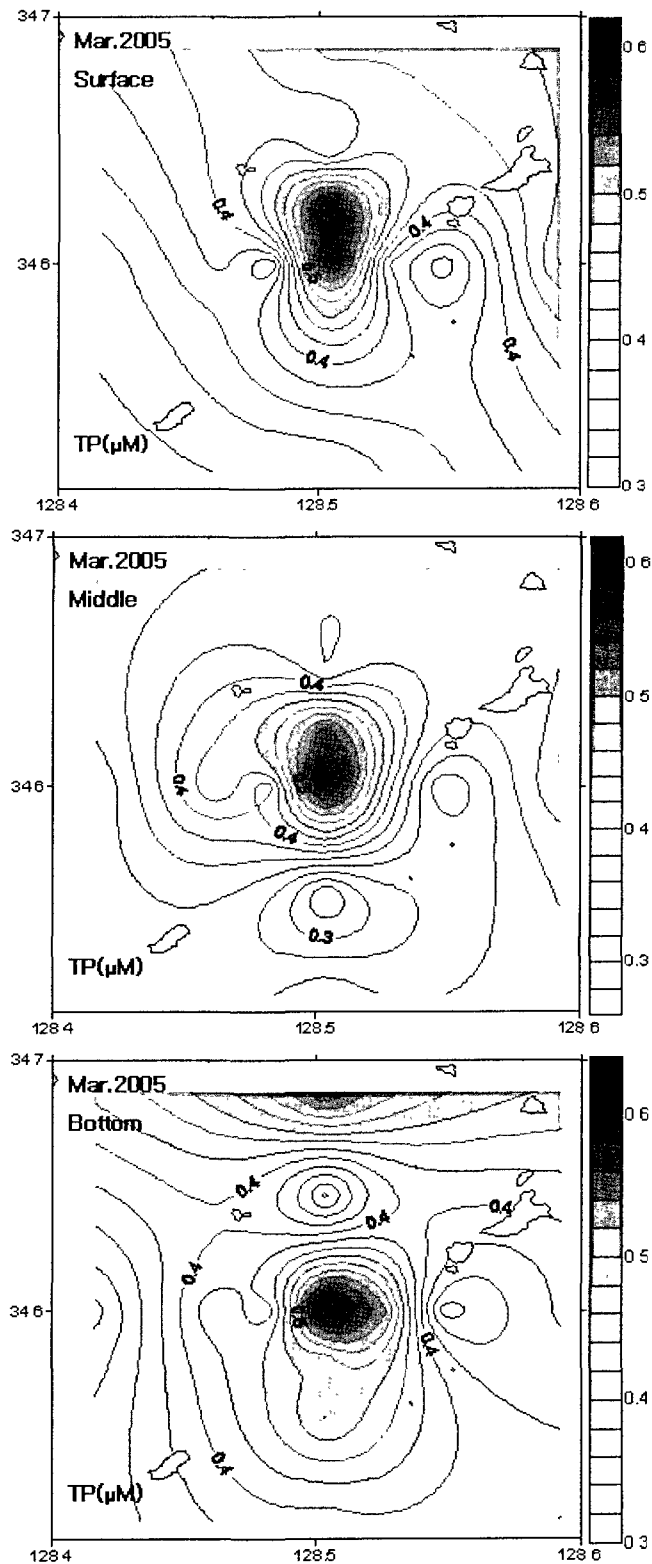


그림 1-4-25. 2005년 3월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-25. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in March 2005.

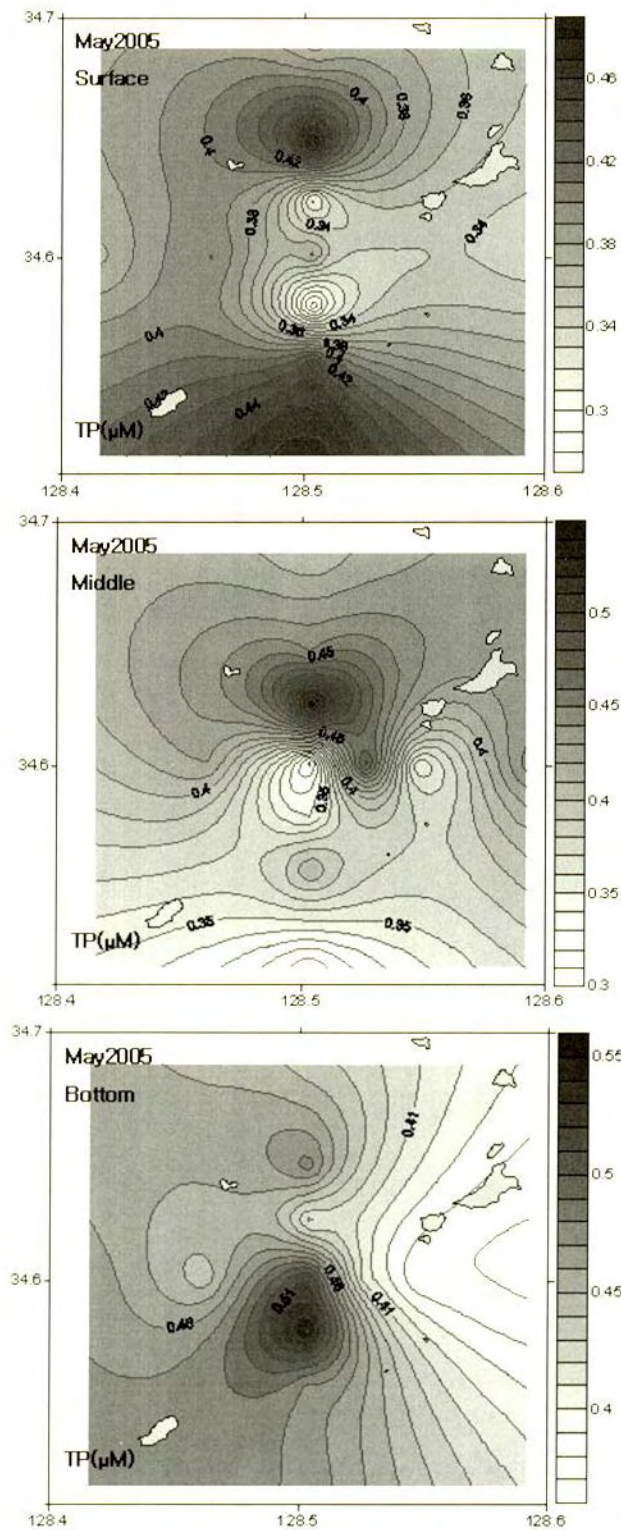


그림 1-4-26. 2005년 5월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-26. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in May, 2005.

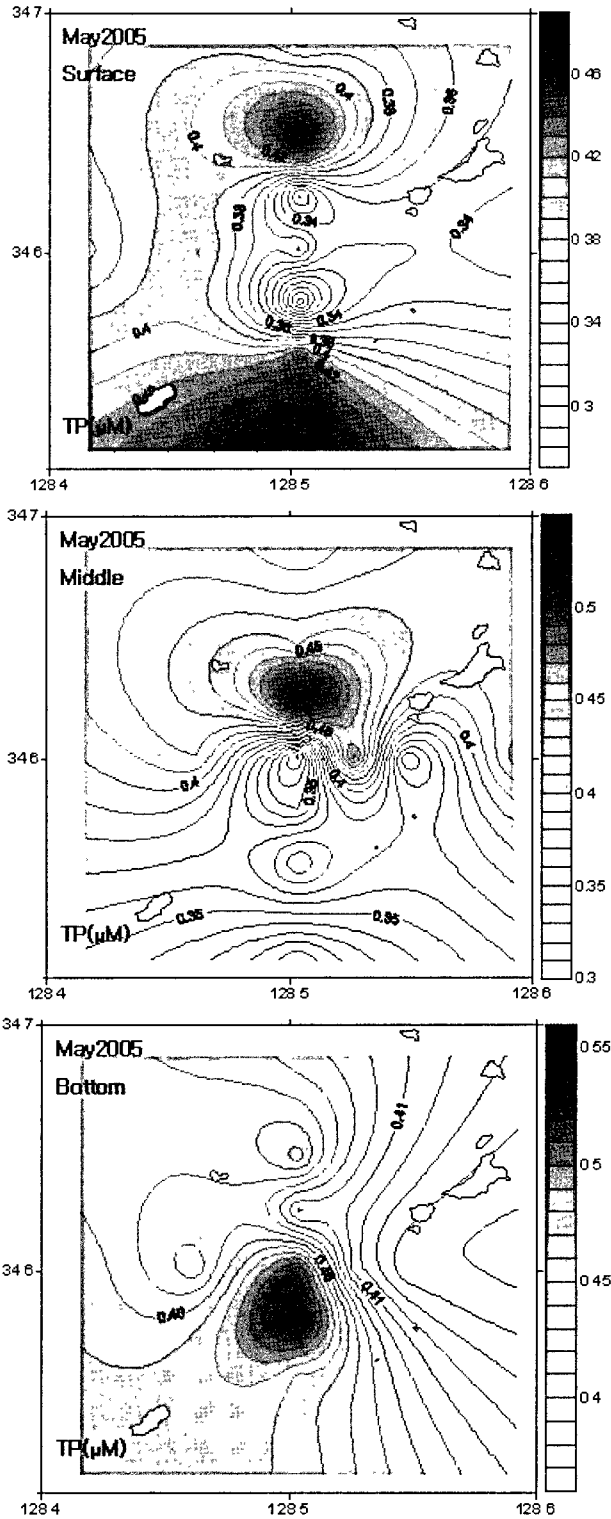


그림 1-4-26. 2005년 5월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-26. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in May, 2005.



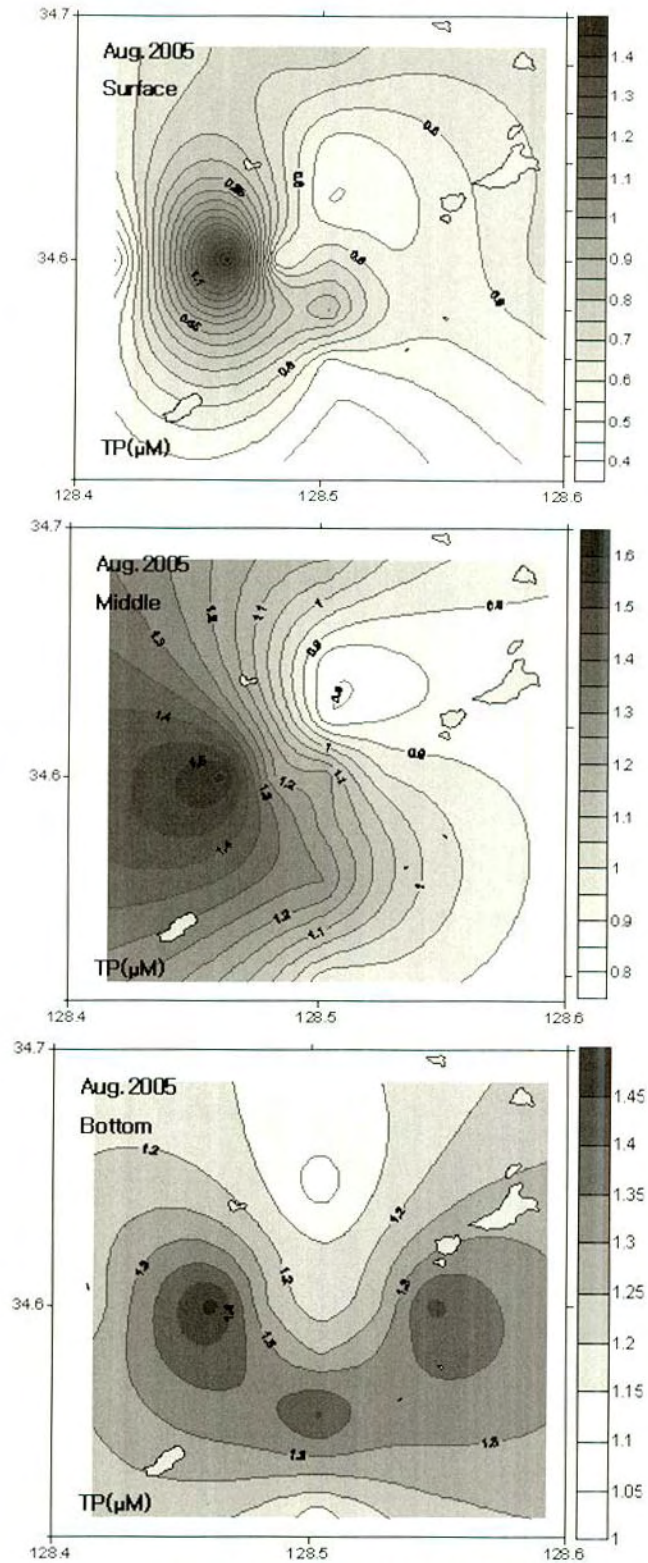


그림 1-4-27. 2005년 8월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-27. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in August, 2005.

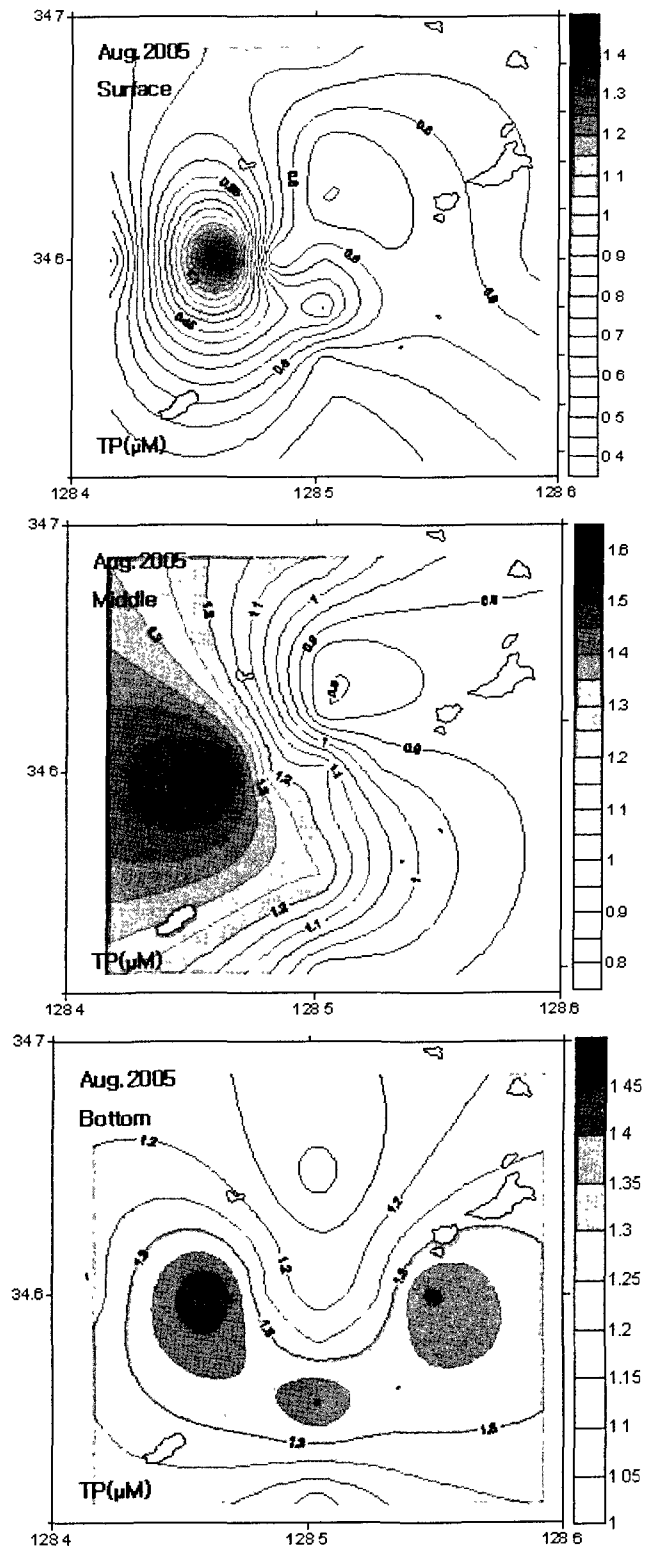


그림 1-4-27. 2005년 8월 총인(T-P)의 수평분포.

Fig. 1-4-27. Horizontal distribution of total phosphorus(T-P) in August, 2005.

규산규소 (dissolved inorganic silicate)의 농도분포(그림 1-4-28)를 보면, 3월에는 표층이 4.517~37.142 (평균 10.439)  $\mu\text{M}$ , 중층 3.075~61.150 (평균 12.840)  $\mu\text{M}$ , 저층 3.746~49.180 (평균 12.627)  $\mu\text{M}$ 로 수심이 깊어짐에 따라 현저히 증가하는 경향을 보였으며, 층별로는 표층은 정점 12, 중층은 정점 6, 저층은 정점 12에서 높은 농도를 보였다. 5월은 표층이 2.643~7.233 (평균 4.708)  $\mu\text{M}$ , 중층 3.616~6.149 (평균 4.801)  $\mu\text{M}$ , 저층 2.744~7.719 (평균 4.641)  $\mu\text{M}$ 로서 층별차이는 뚜렷하지 않았고 3월에 비해 전반적으로 낮은 농도를 보였다. 8월은 표층이 7.675~17.015 (평균 10.727)  $\mu\text{M}$ , 중층 11.999~27.989 (평균 19.773)  $\mu\text{M}$ , 저층 15.415~27.259 (평균 22.103)  $\mu\text{M}$ 로서 정점 1을 제외하고는 층별차이가 뚜렷하여 수심이 깊을수록 높은 농도를 보였고 평균농도는 3월에 비해 표층과 중층은 비슷하였고 저층은 약 2배의 농도를 보였고, 5월에 비해서는 2~4배의 높은 농도를 보였다.

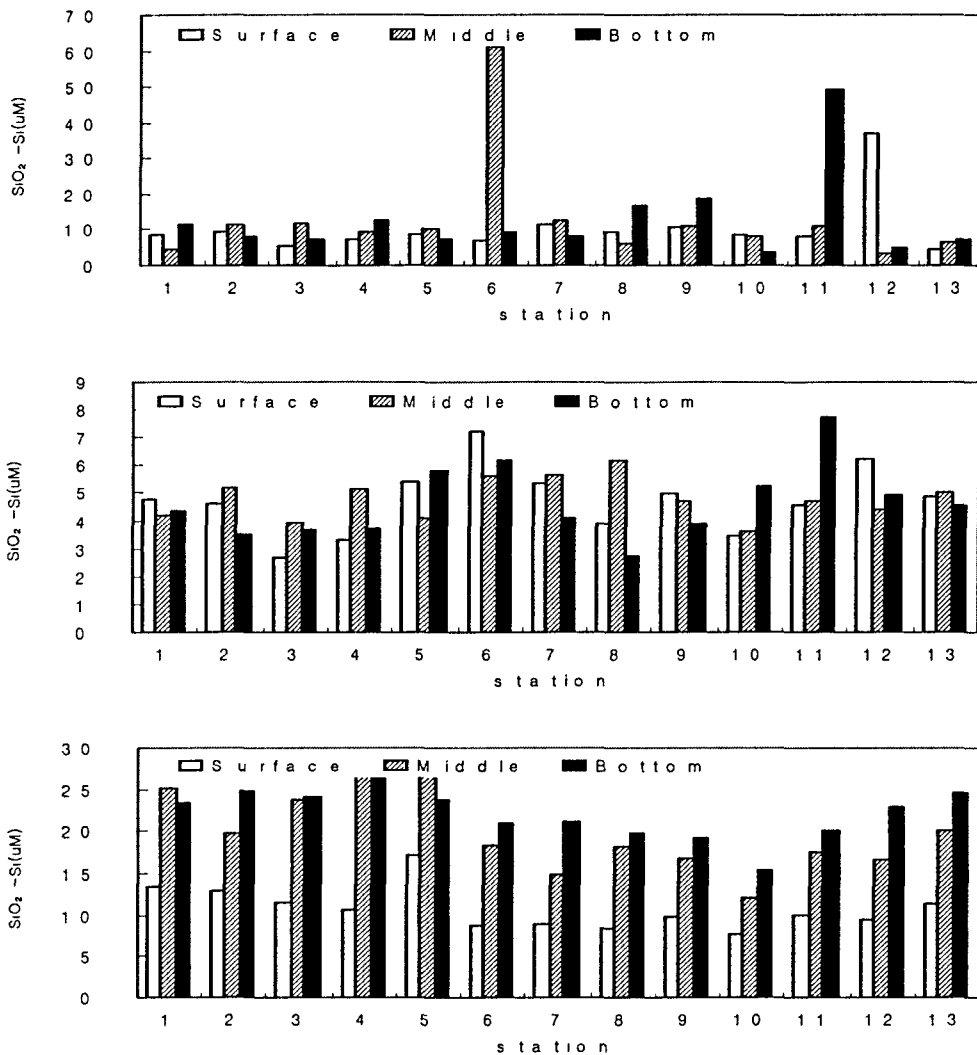


그림 1-4-28. 2005년 3월과 5월 그리고 8월 규산규소( $\text{SiO}_2 - \text{Si}$ )의 분포.

Fig. 1-4-28. Distribution of dissolved inorganic silicate( $\text{SiO}_2 - \text{Si}$ ) in March, May and August, 2005(from upside to the lower part).

식물플랑크톤 현존량의 간접적인 지시자인 엽록소 a량과 영양염류량의 상관관계를 알아보기 위해 3월과 8월을 비교하여 그림1-4-29에 나타내었다. 영양염류와 엽록소 a의 상관관계는 다소의 분산이 있었으나 대수적인 역상관계를 보이는 것으로 보아 이들 해역에의 식물플랑크톤의

성장과 영양염과는 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

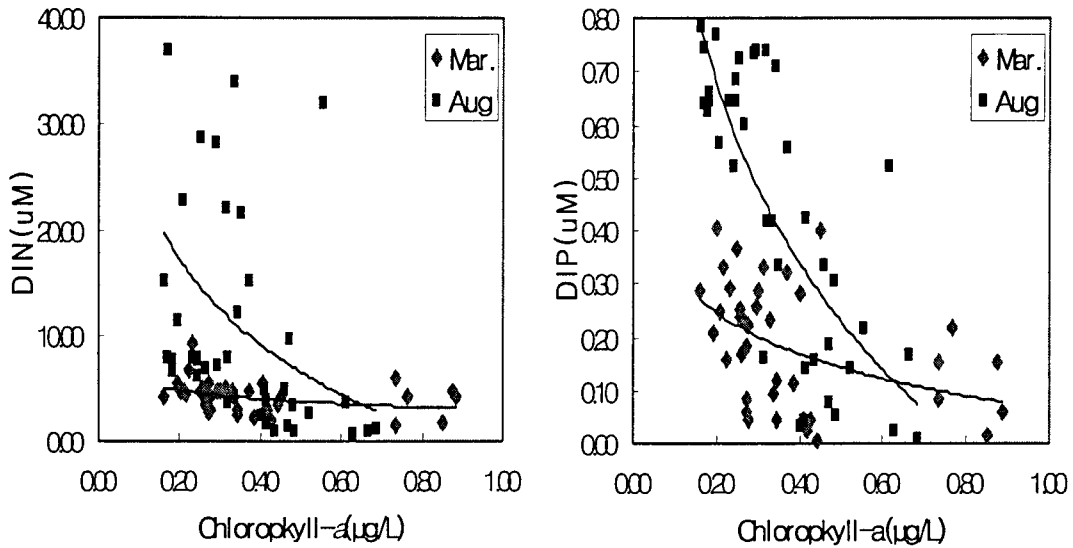


그림 1-4-29. 2005년 3월과 8월 해수 중 영양염류와 클로로필의 관계.

Fig. 1-4-29. Plot of nutrients against chlorophyll-a in March and August, 2005.

구조물 투하지점인 정점 1에서 수직분포를 파악하고자 10m간격으로 채수 하여 분석한 결과 그림 1-4-30에서와 같이 DO(용존산소)는 구조물 투하전인 3월, 5월과 다르게 8월에는 수심이 깊어갈수록 낮아지다 다시 높아지는 경향이였으며 염록소 a (chlorophyll a)는 3월 보다는 높으나 5월보다는 낮은 농도를 보였다. 용존무기질소(DIN)와 용존무기인 (DIP) 그리고 규산규소 ( $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )의 수직분포는 구조물 투하전인 3월, 5월에 비해 투하 후인 8월에 수심이 깊어질수록 농도가 증가하는 경향이였으며 투하구조물의 영향으로 판단된다.

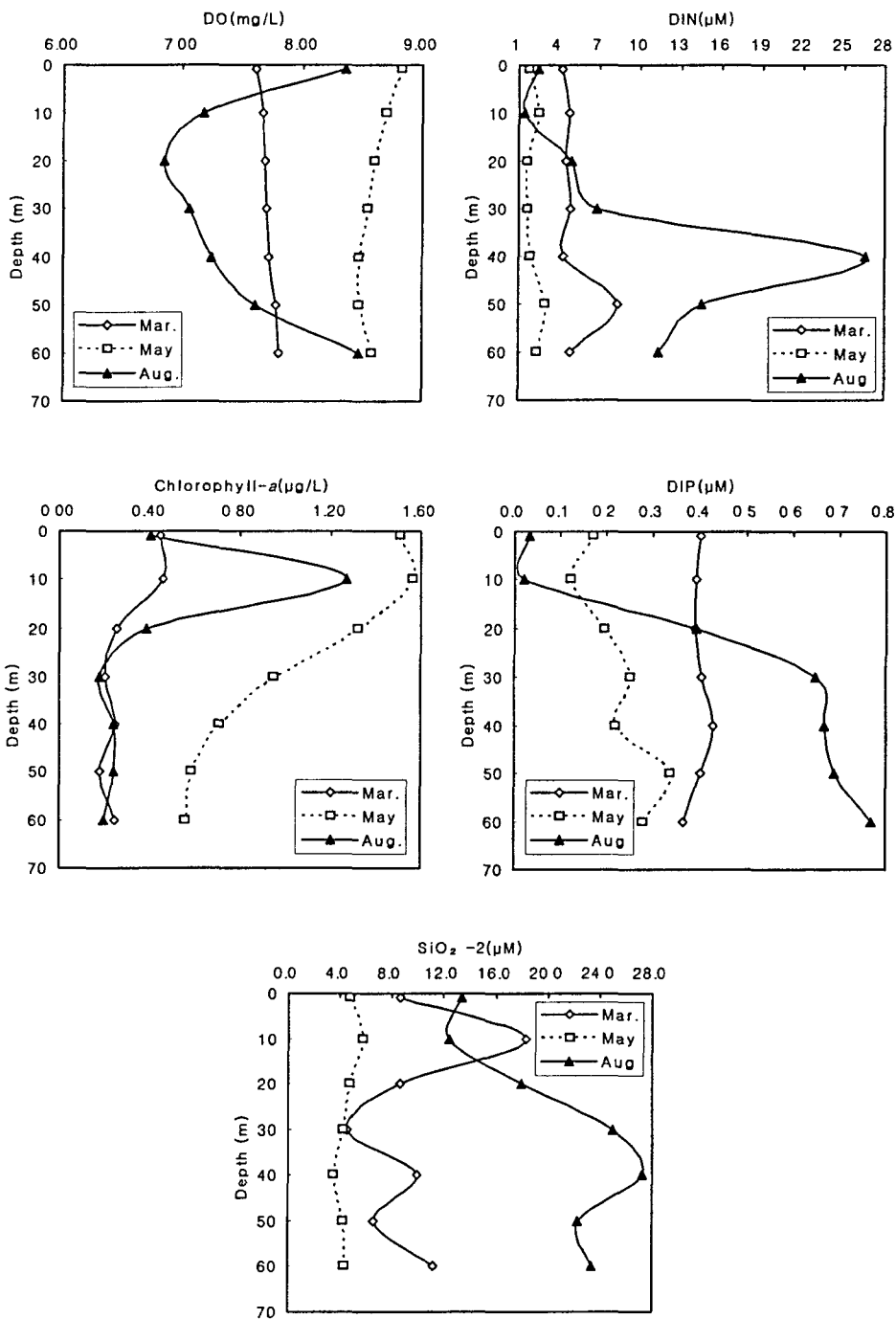


그림 1-4-30. 2005년 3월과 5월 및 8월의 정점 1에서 용존산소, 엽록소 a, 용존 무기질소, 용존무기인, 규산규소의 수직분포.

Fig. 1-4-30. Vertical distribution of DO, chlorophyll-a, DIN, DIP, SiO<sub>2</sub>-Si at st. 1 in March, May and August, 2005.

2005년 8월의 조사결과와 2002년 9월의 조사결과를 비교해보면 구조물 투하지점인 정점 1의 수직분포는 용존무기질소와 용존무기인은 표층과 저층은 비슷하였으나 중층은 2002년 9월보다 구조물 구축후인 2005년 8월에 높은 농도를 보였고, 규산규소는 표층과 중층에서 비교적 높은 농도였다(그림 1-4-31).

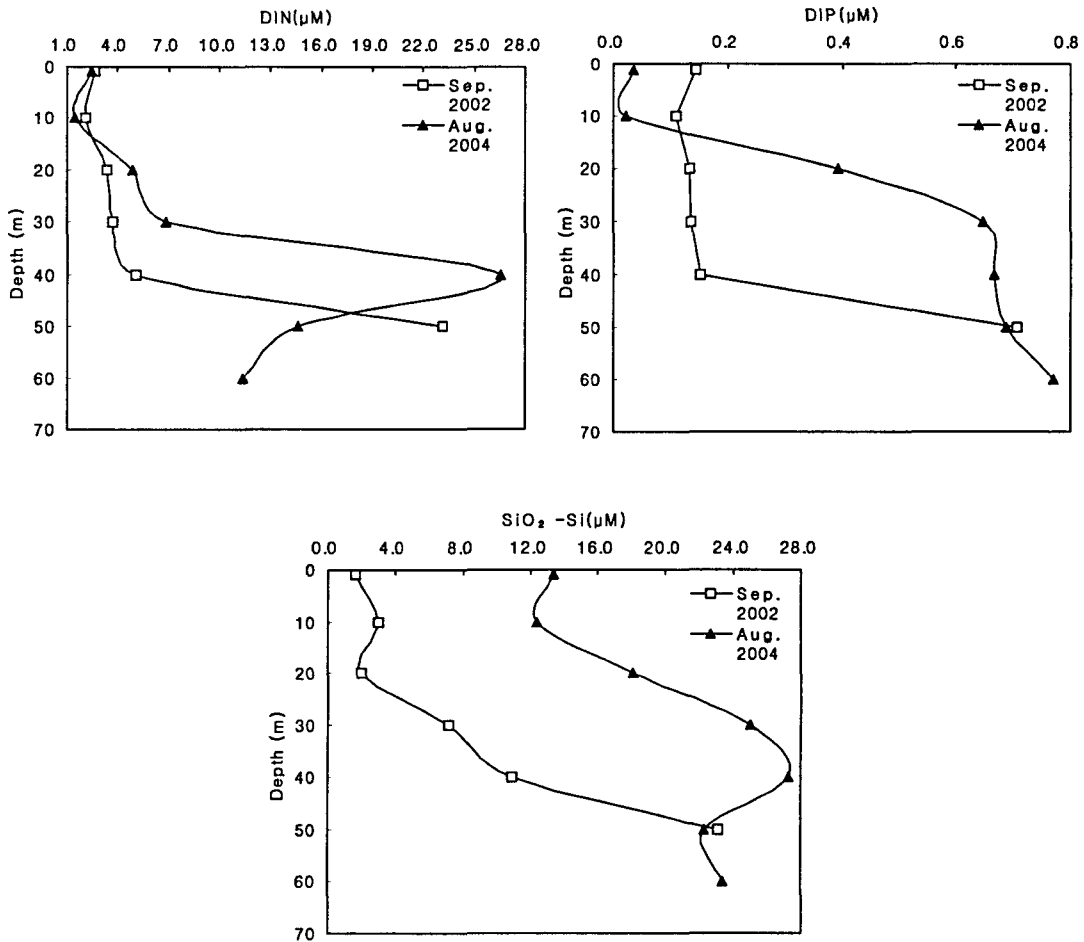


그림 1-4-31. 2002년 9월과 2005년 8월의 정점 1에서의 영양염류 비교.

Fig. 1-4-31. Comparison of nutrients in September, 2002 against in August, 2005.

평균농도를 비교해보면(그림 1-4-32) 2005년 8월이 2002년 9월에 비해 용존무기질소는 표층과 중층은 4~5배 증가하였고 저층은 감소하였으나 정점별로는 소지도와 국도 그리고 소매물도의 중간지선인 정점 8, 10, 12, 13에서는 약간 증가하였다. 용존무기인은 2002년 9월의 조사결과에 비해 2005년 8월의 평균농도는 표층과 저층은 비슷하였고 중층은 3배 증가한 것으로 나타났으며 정점별로는 중층은 전 정점에서 증가하였다. 규산규소는 2002년 9월의 조사결과에 비해 2005년 8월에 전 수층에서 증가하였고 표층과 중층에서 증가폭이 컸으며 정점별로는 표층과 중층은 역시 전 정점에서 증가하였다.



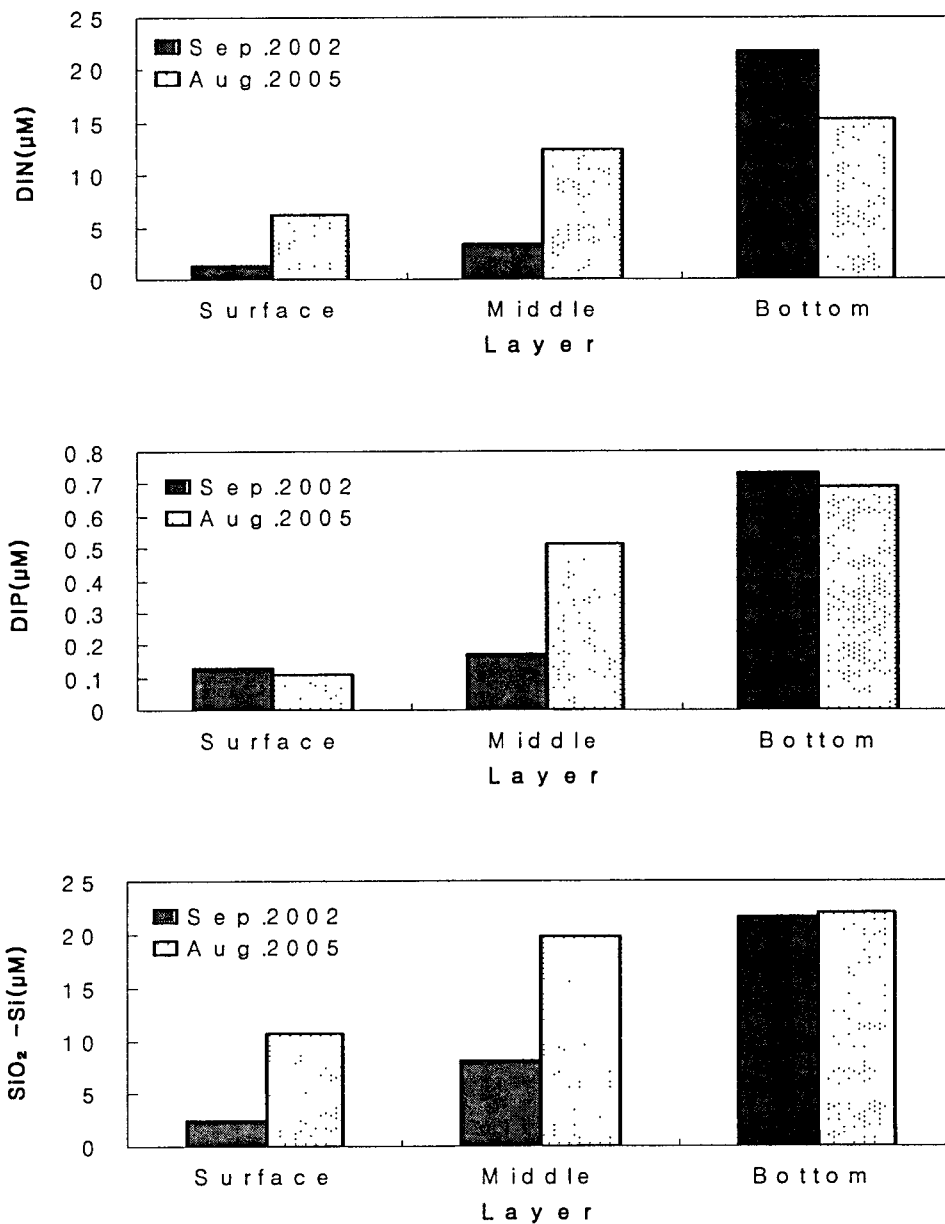


그림 1-4-32. 2002년 9월과 2005년 8월의 영양염류 평균농도 비교.

Fig. 1-4-32. Comparison of average concentrations of nutrients in September, 2002 against in August, 2005.

## 1.5. 생물상 조사

### 1.5.1. 식물 플랑크톤 조사

#### 1.5.1.1. 재료 및 방법

2005년 3월, 5월과 8월에 그림 1-4-1의 조사정점에서 표층과 중층(25m)에서 1L씩 채수하여 즉시 선상에서 5ml의 Lugol 용액으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반한 각 시료들은 침전법을 이용하여 100ml로 농축한 후에 S-R계수기(Sedgwick-Rafter Counting Chamber)를 사용하여 광학현미경(Nikon TS-100)하에서 100~400배에서 검경하여 각 종을 계수하여 해수중의 현존량(cells/ml)으로 환산하였고, 山路(1979)에 따라 동정하여 종조성을 조사하였다.

#### 1.5.1.2. 식물플랑크톤 현존량 및 종조성

조사해역의 2005년 3월 식물플랑크톤 현존량 및 종조성을 그림 1-5-1 및 표 1-5-1에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100~3,600cells /ml(평균1,077cells /ml)의 범위로 나타났으며, 정점 1에서 가장 높은 3,600cells /ml으로 출현하였고, 정점 6과 4에서 각각 다른 정점보다 상대적으로 높은 2,400cells /ml과 1,900cells /ml로 나타났다. 중층의 현존량은 100~2,600cells /ml(평균1,054cells /ml)이었으며, 정점 1과 12에서 상대적으로 높게 나타났다.

종조성을 살펴보면 총 15속 22종이 출현하였으며, 이 중 규조류가 13속 19종으로 전체 출현종의 86.4%를 차지하였고, 그 외 와편면조류와 은편모조류가 각각 1속 2종(9.0%), 1속 1종(4.5%)으로 나타났다. 규조류인

*Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros denticulatus*, *Odontella sinensis*은 모든 조사 정점에서 출현하였다. 정점1에서 가장 많은 14종이 출현하였고, 그 중에서 모든 조사 정점에서 출현한 *C. radiatus*, *C. denticulatus*이 우점하였다.

조사해역의 2005년 5월 식물플랑크톤 현존량 및 종조성을 그림 1-5-2 및 표 1-5-2에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100-1,900cells /ml(평균738cells /ml)로 나타나 3월보다 상대적으로 적었으며, 정점 7, 8과 9에서 상대적으로 높게 나타나 3월과는 다른 양상이었다. 중층의 현존량도 100~1,000cells /ml(평균469cells /ml)으로 3월보다 상대적으로 적었으며, 정점 1, 6과 13에서 다른 정점보다 상대적으로 높게 나타났다.

종조성은 12속 16종이 출현하여 3월보다 출현종수가 적었으며, 이 중 규조류가 10속 14종으로 전체 출현종의 87.5%를 차지하였고, 와편모 조류가 2속 2종(12.5%)이 출현하였다. 규조류인 *Chaetoceros compressus*은 전정점에서 출현하였을 뿐 아니라 우점하였고, 그 외 규조류인 *Melosira moniliformis*와 *Thalassionema nitzschioides*이 우점하였다.

블록을 투하한 후(2005년 8월), 조사해역의 식물플랑크톤 현존량 및 종조성은 그림 1-5-3 및 표 1-5-3에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100-2,900cells /ml(평균700cells /ml)으로 3월과 5월보다 평균 현존량이 적었으며, 정점 1에서 상대적으로 높게 나타나 3월과 유사한 양상이었다. 그러나 저층의 현존량은 100-6,500cells /ml의 범위로 나타났으며, 평균 현존량이 1,923cells /ml으로 3월과 5월보다 매우 높게 나타났다. 특히 정점 1, 2에서 각각 5,000cells /ml과 6,500cells /ml로 전 조사 기간을 통해 가장 높게 나타났다.

8월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성은 15속 23종이 출현하였다. 이 중 규조류는 12속 16종으로 3월과 5월보다 낮은 69.6%를 차지한 반면에 와편모 조류는 2속 5종으로 3월과 5월보다 높은 21.7%를 점하였고, 3월과 5월에는

출현하지 않았던 황금색조식물류가 1속2종(8.6%)이 출현하였다. 정점7을 제외한 모든 정점에서 출현한 *Nitzschia pungens*이 가장 우점하였고, 외편모조류인 *Ceratium furca*도 모든 정점에서 출현하였다.

전조사기간을 통하여 출현한 종은 규조류인 *C. compressus*, *T. nitzschioides* 및 *N. pungens*등이 있었고, 그 외의 출현종들은 조사시기에 따라 다양하게 변동하였다.

식물플랑크톤의 현존량은 표층에서는 블록 투하 후인 8월보다 블록 투하 전인 3월과 5월에 높았으며, 중층에서는 표층과는 반대로 블록 투하 전인 3월과 5월보다 블록 투하 후인 8월에 현저하게 높게 나타났다. 이와 같은 현상이 블록 투하의 영향인가를 규명하기 위해서는 지속적인 조사를 할 필요가 있다.

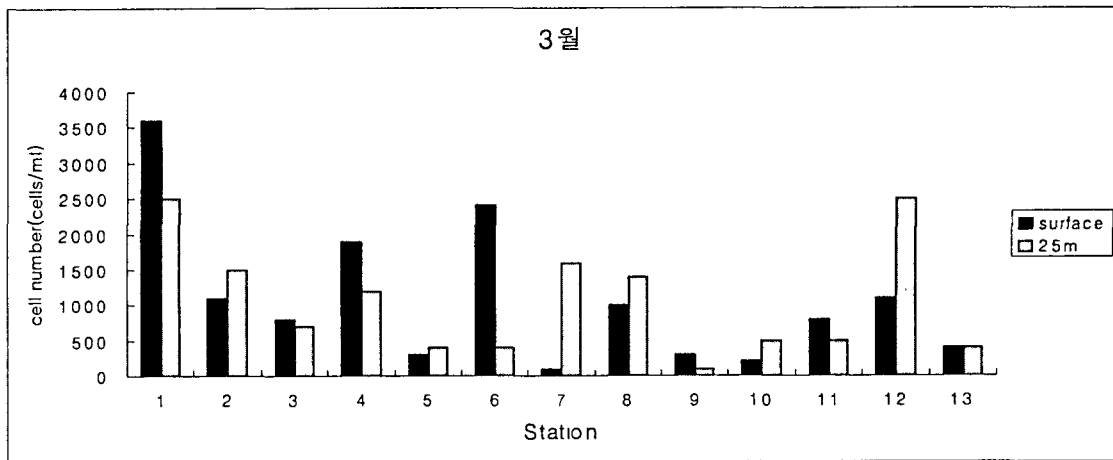


그림 1-5-1. 3월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-5-1. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in March, 2005.

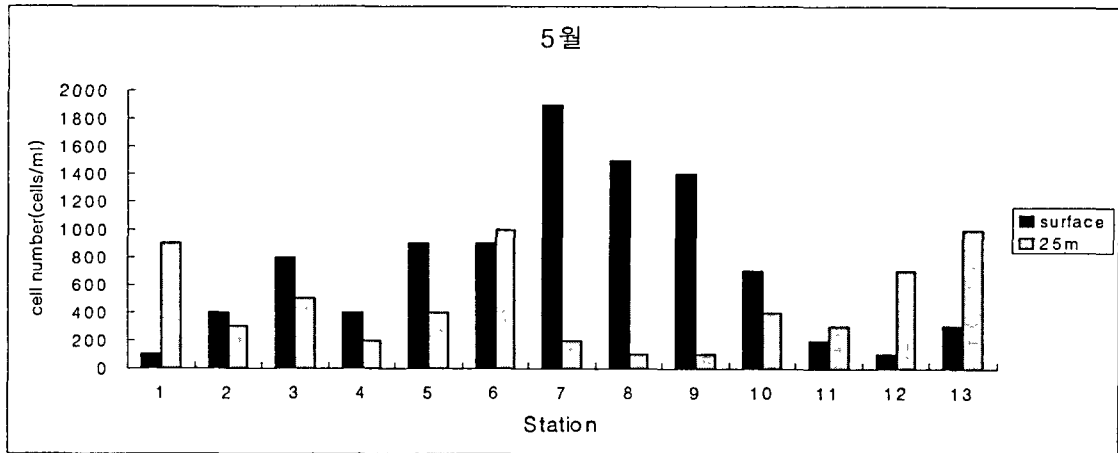


그림 1-5-2. 5월 표층 및 중층(25m)식물플랑크톤 현존량.

Fig. 1-5-2. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in May, 2005.

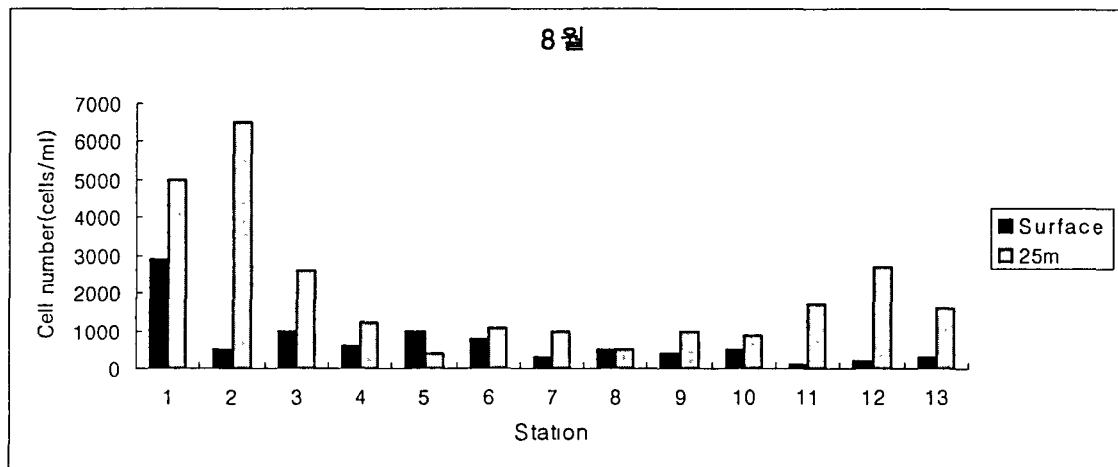


그림 1-5-3. 8월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-5-3. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in August, 2005.

표 1-5-1. 2005년 3월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

Table 1-5-1. The species composition of phytoplankton in March, 2005

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>													
<i>Asterionella japonica</i>	+												
<i>Chaetoceros compressus</i>		+		+			+	+			+	+	+
<i>Chaetoceros danicus</i>	+	+		+			+	+				+	
<i>Chaetoceros decipiens</i>				+							+		
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	+			+		+							
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						+							
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus wailesii</i>						+							
<i>Detonula pumila</i>	+						+	+					
<i>Ditylum brighwellii</i>		+						+					
<i>Eucampia zodiacus</i>	+		+		+			+				+	
<i>Melosira juergensii</i>	+											+	
<i>Nitzschia pungens</i>	+	+	+	+		+				+			+
<i>Odontella sinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pleurosigma elongatum</i>						+							
<i>Skeletonema costatum</i>	+			+		+		+				+	
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+		+	+			+					+	
<i>Thalassionema nitzchiolides</i>						+	+						+
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>													
<i>Chroomonas lateralis</i>	+												
<b>DINOPHYCEAE</b>													
<i>Ceratium furca</i>	+												
<i>Ceratium gravidum</i>				+									

표 1-5-2. 2005년 5월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

Table 1-5-2. The species composition of phytoplankton in May, 2005

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>													
<i>Asterionella japonica</i>	+												
<i>Chaetoceros compressus</i>		+		+			+	+			+	+	+
<i>Chaetoceros danicus</i>	+	+		+			+	+				+	
<i>Chaetoceros decipiens</i>				+							+		
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	+			+		+							
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						+							
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus wailesii</i>						+							
<i>Detonula pumila</i>	+						+	+					
<i>Ditylum brighwellii</i>		+						+					
<i>Eucampia zodiacus</i>	+		+		+			+				+	
<i>Melosira juergensii</i>	+											+	
<i>Nitzschia pungens</i>	+	+	+	+		+				+			+
<i>Odontella sinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pleurosigma elongatum</i>						+							
<i>Skeletonema costatum</i>	+			+		+		+				+	
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+		+	+			+					+	
<i>Thalassionema nitzchiolides</i>						+	+						+
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>													
<i>Chroomonas lateralis</i>	+												
<b>DINOPHYCEAE</b>													
<i>Ceratium furca</i>	+												
<i>Ceratium gravidum</i>				+									

표 1-5-3. 2005년 8월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

Table 1-5-3. The species composition of phytoplankton in August, 2005

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>													
<i>Asterionella japonica</i>	+												
<i>Chaetoceros compressus</i>		+		+			+	+			+	+	+
<i>Chaetoceros danicus</i>	+	+		+			+	+				+	
<i>Chaetoceros decipiens</i>				+							+		
<i>Chaetoceros denticulatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	+			+		+							
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						+							
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus wailesii</i>						+							
<i>Detonula pumila</i>	+						+	+					
<i>Ditylum brighwellii</i>		+						+					
<i>Eucampia zodiacus</i>	+		+		+			+				+	
<i>Melosira juergensii</i>	+											+	
<i>Nitzschia pungens</i>	+	+	+	+		+				+			+
<i>Odontella sinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pleurosigma elongatum</i>						+							
<i>Skeletonema costatum</i>	+			+		+		+				+	
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+		+	+			+					+	
<i>Thalassionema nitzchiolides</i>						+	+						+
<b>CRYPTOPHYCEAE</b>													
<i>Chroomonas lateralis</i>	+												
<b>DINOPHYCEAE</b>													
<i>Ceratium furca</i>	+												
<i>Ceratium gravidum</i>				+									



## 1.5.2. 동물 플랑크톤 조사

### 1.5.2.1. 재료 및 방법

2005년 3월, 5월 및 8월에 식물플랑크톤과 동일한 정점에서 Norpac(구경: 45cm, 망목: 0.33mm)로 중층에서 표층까지 동물플랑크톤을 수직채집 하여 5% 중성포르말린으로 고정하였다. 채집된 동물플랑크톤은 현미경하에서 풍도(개체수/m<sup>3</sup>)를 분석하였다.

### 1.5.2.2. 동물플랑크톤의 풍도

동물플랑크톤의 풍도를 그림 1-5-4와 표 1-5-4에 나타내었다. 3월의 풍도의 범위는 125.95~755.67개체/m<sup>3</sup>이며, 평균 풍도는 392.37개체/m<sup>3</sup>이다. 조사 정점별 동물플랑크톤 풍도의 분포를 살펴보면 3월에는 정점 12에서 755.67개체/m<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났으며, 정점 1, 6, 7, 8, 및 13에서 평균보다 높은 400개체/m<sup>3</sup>이상으로 나타났으며, 정점 3에서 가장 낮았다.

5월의 풍도의 범위는 125.95~1070.53개체/m<sup>3</sup>이며, 평균 풍도는 537.73개체/m<sup>3</sup>로 3월 보다 높게 나타났다. 조사 정점별 풍도는 정점 8에서 1070.53개체/m<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났으며, 정점 1, 2, 6 및 10에서 평균보다 높은 600개체/m<sup>3</sup>이상으로 나타났으며, 정점 3과 13에서 가장 낮았다.

8월의 풍도의 범위는 125.95~503.78개체/m<sup>3</sup>이며, 평균 풍도는 256.73개체/m<sup>3</sup>로 3월과 5월보다 낮게 나타났다. 조사 정점별 풍도는 정점 1에서 503.78개체/m<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났으며 정점 5, 6, 11, 13이 125.95개체/m<sup>3</sup>로 가장 낮게 나타났다.

블록 투하 전후의 동물플랑크톤의 풍도 변화를 보면, 정점 3과 4에서는 다소 증가하였으나 그 외의 정점에서는 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

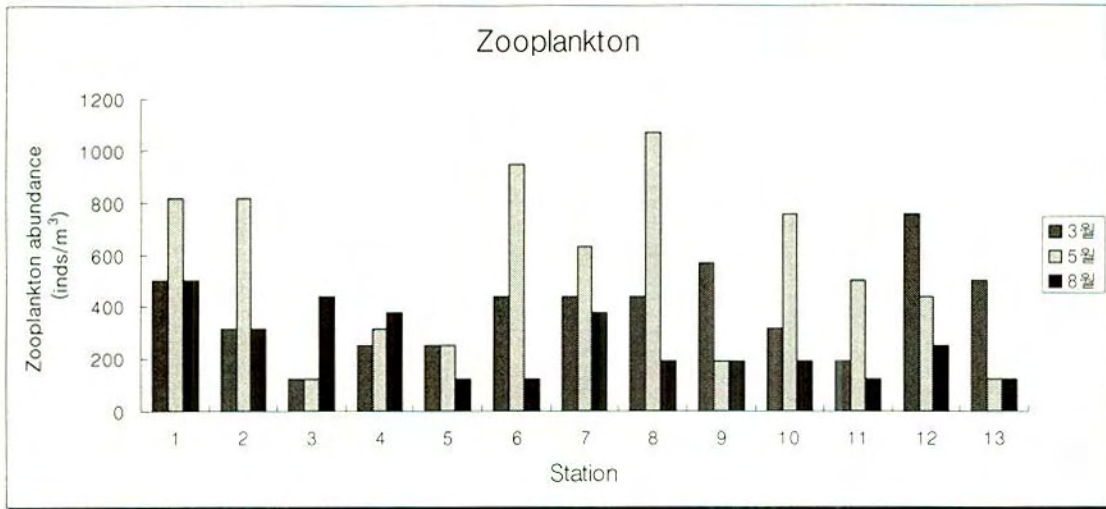


그림 1-5-4. 2005년 3월, 5월 및 8월의 동물플랑크톤 풍도 분포.

Fig. 1-5-4. Distribution of Zooplankton abundance(inds. /m<sup>3</sup>) in March, May and August, 2005.

표 1-5-4. 동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위 (inds/m<sup>3</sup>)

Table 1-5-4. Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m<sup>3</sup>)

Month	Mean	Range
March	392.37	188.92-755.67
May	537.73	125.95-1070.53
August	256.73	125.95-503.78

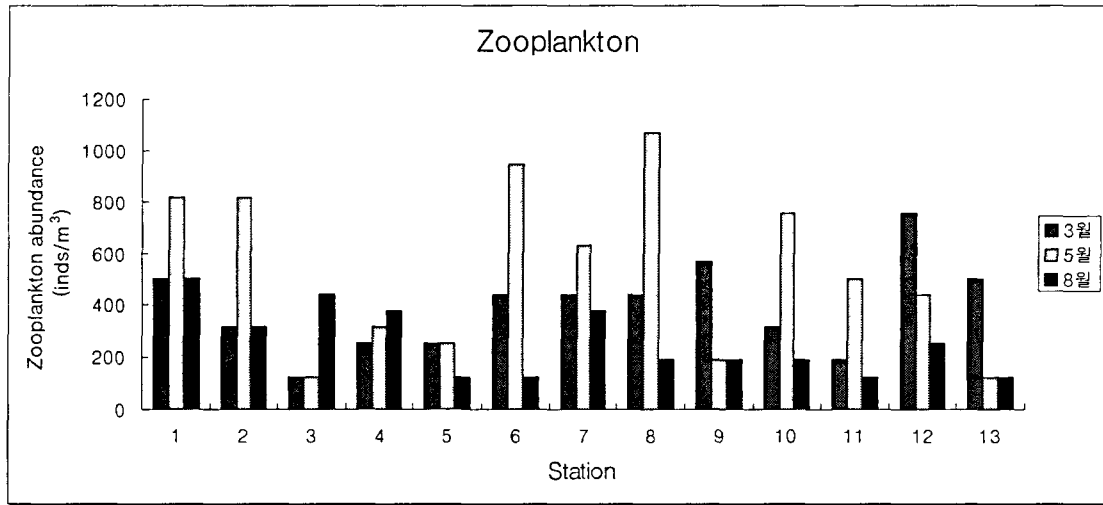


그림 1-5-4. 2005년 3월, 5월 및 8월의 동물플랑크톤 풍도 분포.

Fig. 1-5-4. Distribution of Zooplankton abundance(inds. /m<sup>3</sup>) in March, May and August, 2005.

표 1-5-4. 동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위(inds/m<sup>3</sup>)

Table 1-5-4. Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m<sup>3</sup>)

Month	Mean	Range
March	392.37	188.92-755.67
May	537.73	125.95-1070.53
August	256.73	125.95-503.78

### 1.5.3. 생균수 조사

#### 1.5.3.1. 재료 및 방법

샘플은 3월, 5월, 8월에 식물플랑크톤과 동일한 정점에서 수심 1m의 해수를 MB채수기로 멸균한 채수병에 채수하였다. 채수한 샘플은 ice box에 보관하여 실험실로 옮겨 즉시 실험을 실시하였다. 미리 준비해 둔 멸균 해수 10ml에 샘플 1ml씩 넣어 10-2까지 희석한 후, 각 희석용액을 Marine Agar media에 1ml씩 분주, 도말하여 배양하였다.

#### 1.5.3.2. 생균수의 분포

2005년 3월의 정점별 생균수 분포를 그림 1-5-5에 나타내었다. 생균수의 분포는  $2\sim 37 \times 100$  cfu/ml의 범위로 나타났으며 평균생균수는  $8 \times 100$  cfu/ml로 나타났다. 정점 6에서 가장 높은 생균수( $37 \times 100$  cfu/ml)를 보였으며, 정점은 5와 8에서  $17 \times 100$  cfu/ml로 상대적으로 높게 나타났다. 반면에 정점 2, 8, 12에서  $2\sim 5 \times 100$  cfu/ml 범위로 낮게 나타났다.

2005년 5월의 정점별 생균수 분포를 그림 1-5-6에 나타내었다. 생균수의 분포는  $2\sim 34 \times 100$  cfu/ml의 범위로 나타났으며, 평균생균수는  $13.6 \times 100$  cfu/ml로 3월보다 높게 나타났다. 3월과 동일하게 정점 6에서 가장 높은 생균수( $34 \times 100$  cfu/ml)를 보였으며, 정점 1, 3과 10에서  $22 \times 100$  cfu/ml 이상의 상대적으로 높은 분포를 보였다. 반면에 정점 2, 8, 12에서  $5 \times 100$  cfu/ml 이하의 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

2005년 8월의 정점별 생균수 분포를 그림 1-5-7에 나타내었다. 생균수의 분포는  $2\sim 65 \times 100$  cfu/ml의 범위로 나타났으며 평균생균수는  $20.7 \times 100$  cfu/ml로 3월과 5월보다 높게 나타났다. 정점 12와 13에서  $60 \times 100$  cfu/ml 이상의 매우 높은 생균수를 보였으며, 정점 2, 3, 4, 6 및 7에서  $5 \times 100$  cfu/ml 이하의 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

블록 투하 전후의 생균수의 변화를 보면, 정점 2, 4, 7에서는 큰 변화를 보이지 않았으며, 가장 큰 변화를 보인 곳은 정점 1, 11, 12, 13으로 생균수의 증가가 눈에 띄게 증가했음을 알 수 있다. 그와 반대로 정점 6은 생균수가 감소하는 것을 볼 수 있었다.

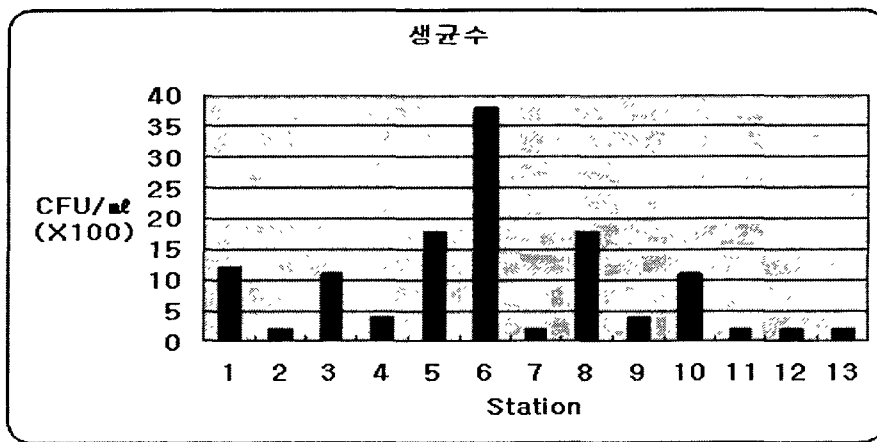


그림 1-5-5. 2005년 3월 표층(1m)에서의 생균수.

Fig. 1-5-5. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water(1m depth) in March, 2005.

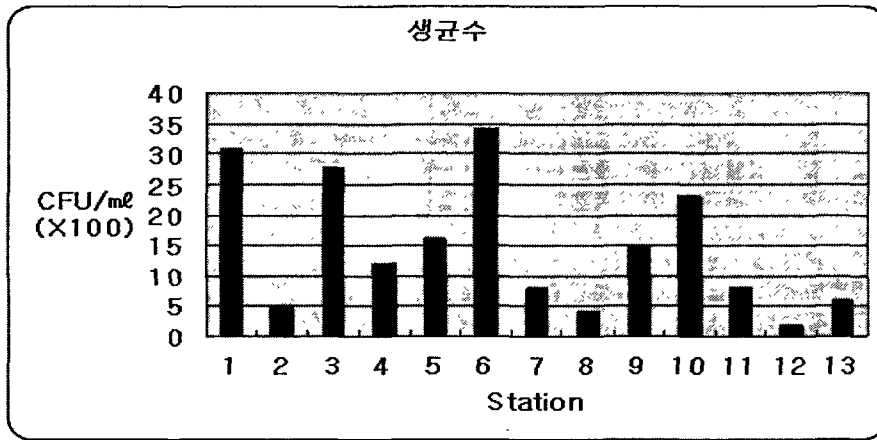


그림 1-5-6. 2005년 5월 표층(1m)에서의 생균수.

Fig. 1-5-6. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water(1m depth) in May, 2005.

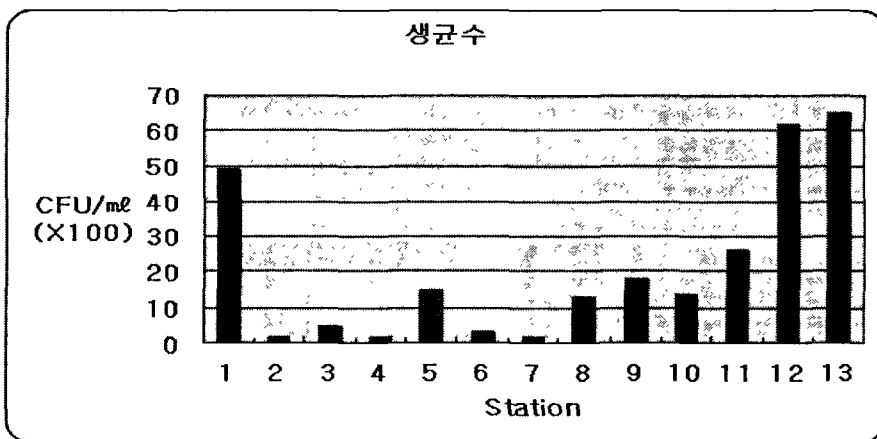


그림 1-5-7. 2005년 8월 표층(1m)에서의 생균수.

Fig. 1-5-7. Distribution of cfu(colony forming unit) in surface water(1m depth) in August, 2005.

## 1.6. 어류상 조사

### 1.6.1. 연구 배경

본 조사는 매물도 부근 해역의 인공구조물 설치를 전후한 시점에서, 해저 구조물의 설치에 의해 발생하는 용승에 의한 수산생물에 미치는 효과로 특히, 수산생물 중 큰 비중을 차지하는 어류의 서식지 등의 생태에 파급되는 영향을 기대하며, 조사해역 부근에서 서식하는 어류의 종조성 및 월변동을 통해, 인공구조물 투하로 인한 어장환경의 변화가 어류자원에 미치는 영향을 간접적으로 규명하고자 한다.

### 1.6.2. 재료 및 방법

#### 1.6.2.1 조사해역 및 조사어구

2005년 2월부터 8월까지 매물도 부근해역 128°25' ~ 128°35'E, 34°30' ~ 34°40'N(그림 1-6-1)에서 어종조사를 실시하였으며, 수심별로 편위상 저층, 중층, 표층어류로 나누어 조사해역의 수심별 채집을 위해 소형 저인망, 새우조망, 각망, 통발, 외줄낚시등의 어구를 사용하였다.

저층어류는 2005년 2월부터 4월까지 연안복합어구(저인망, 새우조망)를 가진 어선에 승선하여 조사하였으며, 45~70m(평균수심 약 57.5m) 수심에 저질은 빨이 약간 섞인 모래지역이었으며, 사용된 어구의 크기는 예인망은 평균 길이 20m, 평균 폭 8m였으며, 예인속도는 약 4km/hr로 하여 평균 1시간씩 4회 반복 채집하였으며, 예인 면적은 약 80,000m<sup>2</sup>였다.

다음으로, 2005년 5월부터 8월까지 저인망 및 새우조망 어구사용의 금지로 중층 및 표층어류를 대상으로 조사하였으며, 중층어류는 연안통발 어선에 승선하여 장어통발용 어구 300개를 전날 오전에 투송하여 다음날 오전에

양승한 어류를 대상으로 하였으며 수심은 25~30m(평균 약 28m)였으며, 다음으로 소형 새우조망 어구를 가진 어선에 승선하여 조사하였으며, 어구크기는 망길이 약 8m, 망폭 약 2m 예인망 어구로 속도는 약 0.5km/h로 하여 1시간씩 4회 반복채집하였으며, 예인면적은 16,000m<sup>2</sup>였으며 수심은 약 20~30m(평균 약 25m) 내외였으며, 외줄낚시 어구를 가진 어선에 승선하여 약 2시간 경과(오후 5시에 시작하여 오후 7시에 종료)후 어획된 어류를 대상으로 중층어류를 조사하였으며, 조사수심은 25~31m(평균 약 28m) 저질이 모래와 빨이 고루 섞인 암초지역이었다.

한편, 표층어류는 통영시 한산면 매죽리 매물도 당금부락 지선에서 약 17~70m(평균 약 45m) 떨어진 면적 3,000m<sup>2</sup>의 각망(정치성구획어업) 어선에 승선하여, 약 1일 경과한 어류를 대상으로 조사하였으며, 수심은 약 10~12m 내외였다.

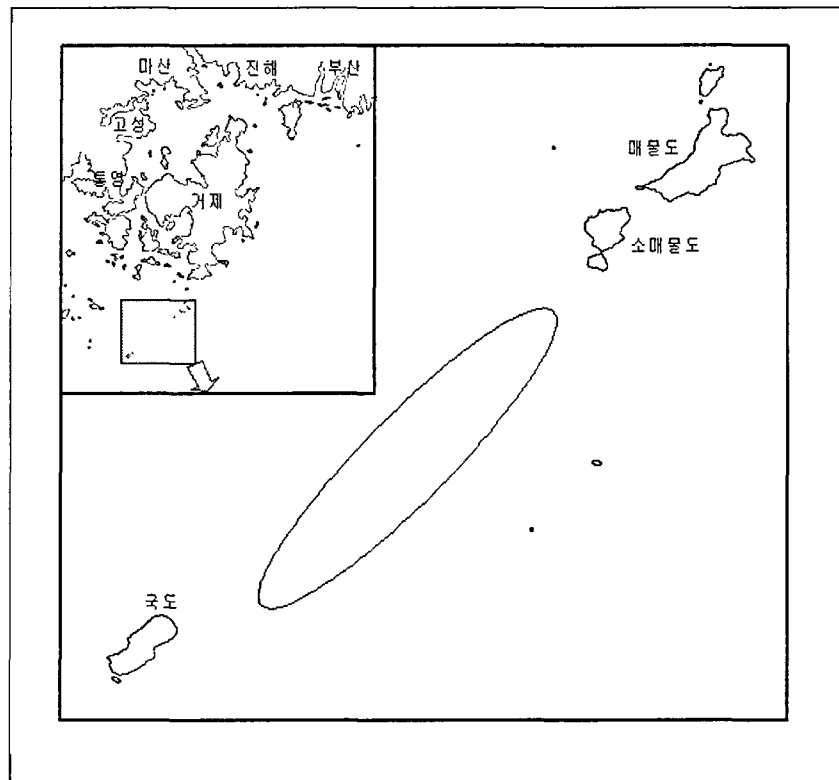


그림 1-6-1. 어류자원 조사를 실시한 해역도.

Fig. 1-6-1. Location of the small trawl and shrimp trawl area.



### 1.6.2.2. 측정 및 종동정

채집된 어류는 전량 또는 부분채집하여 매물도 현지에서 동정 한 후 계측, 계량하였으며, 일부는 빙장 또는 10% 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하여 종동정 후, 종별 개체수와 생체량을 각각 측정하였다. 종동정은, 정(1977), Masuda *et al.*(1984), Nakabo *et al.*(1993), 김 등(2001)을 따랐으며, 학명과 종목록은 한국동물분류학회(1997)에 따랐다.

### 1.6.2.3 자료분석

각 수심별로 월별 어류의 종조성 자료를 이용하여 개체수에 대한 Shannon-Wiener의 종다양도 지수(H')를 구하였다(Shannon and Weaver, 1949). 각 수심별로 주요 어종에 대한 군집분석(cluster analysis)을 위해 종다양성(Shannon and Wiener), 우점도(Simpson, 1949) 지수를 구하여 상호연관성을 비교하였고, 유사도 및 대응일치분석(correspondence analysis)을 실시하였으며, 통계소프트웨어 MVSP 3.0을 이용하였다.

## 1.6.3. 결과

### 1.6.3.1 어종목록

2005년 2월부터 8월까지 채집된 어류는 총 2강 13목 49과 79종으로, 이중 2종이 미동정된 종이였다. 어종목록은 다음과 같다.

연골어강 Class Chondrichthys

홍어목 Order Rajiformes

가오리과 Family Rajidae

1. 홍어 *Raja kenojei*

조기강 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

붕장어과 Family Congridae

2. 붕장어 *Conger japonicus*

청어목 Order Clupeiformes

멸치과 Family Engraulidae

3. 멸치 *Engraulis japonicus*

4. 청멸 *Thrissa kammalensis*

홍매치목 Order Aulopiformes

매통이과 Family Synodontidae

5. 매통이 *Saurida undosquamis*

샛비늘치목 Order Myctophiformes

샛비늘치과 Family Myctophidae

6. 줄비늘치 *Caelorinchus multispinosus*

대구목 Order Gadiformes

돌대구과 Family Moridae

7. 돌대구과어류 Moridae *gen sp.*

아귀목 Order Lophiiformes

아귀과 Family Lophiidae

8. 아귀 *Lophiomus setigerus*

승어목 Order Mugiliformes

승어과 Family Mugilidae

9. 승어 *Mugil cephalus*

달고기목 Order Zeiformes

달고기과 Family Zeidae

10. 달고기 *Zeus faber*

솜뱅이목 Order Scorpaeniformes

양불락과 Family Scorpaenidae

11. 홍감펍 *Helicolenus hilgendorfi*
12. 미역치 *Hypodytes rubripinnis*
13. 쭈기미 *Inimicus japonicus*
14. 살살치 *Scorpaena neglecta*
15. 우럭볼락 *Sebastes hubbsi*
16. 볼락 *Sebastes inermis*
17. 개볼락 *Sebastes pachycephalus*
18. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*
19. 불볼락 *Sebastes thompsoni*
20. 썸뱅이 *Sebastes marmoratus*

플미역치과 Family Aploactinidae

21. 플미역치 *Erisphex pottii*

성대과 Family Triglidae

22. 성대 *Chelidonichthys spinosus*
23. 밀달갱이 *Lepidotrigla abyssalis*

양태과 Family Platycephalidae

24. 까지양태 *Cociella crocodila*
25. 양태 *Platycephalus indicus*

쥐노래미과 Family Hexagrammidae

26. 노래미 *Hexagrammos agrammus*
27. 쥐노래미 *Hexagrammus otakii*

독중개과 Family Cottidae

28. 상어횃대 *Ricuzenius pinetorum*

꼼치과 Family Liparidae

29. 아가씨물메기 *Liparis agassizii*
30. 꼼치 *Liparis tanakai*

농어목 Order Perciformes

농어과 Family Moronidae

31. 농어 *Lateolabrax japonicus*

반딧불게르치과 Family Acropomatidae

32. 반딧불게르치 *Acropoma japonicum*  
33. 필립훅무굴치 *Synagrops philippinensis*

바리과 Family Serranidae

34. 붉바리 *Epinephelus akaara*  
35. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

동갈돔과 Family Apogonidae

36. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

보리멸과 Family Sillaginidae

37. 청보리멸 *Sillago japonica*  
38. 보리멸 *Sillago sihama*

게르치과 Family Pomatomidae

39. 게르치 *Scombrops boops*

전갱이과 Family Carangidae

40. 방어 *Seriola quinqueradiata*  
41. 전갱이 *Thachurus japonicus*  
42. 민전갱이 *Uraspis helvola*

주둥치과 Family Leiognathidae

43. 주둥치 *Leiognathus nuchalis*

도미과 Family Sparidae

44. 참돔 *Pagrus major*

민어과 Family Sciaenidae

45. 보구치 *Ayrosomus argentatus*  
46. 민어 *Michthys miuy*

황줄감정이과 Family Kyphosidae

47. 뱀에돔 *Girella punctata*  
 돌돔과 Family Pomacanthidae
48. 돌돔 *Oplegnathus fasciatus*  
 망상어과 Family Embiotocidae
49. 망상어 *Ditrema temmincki*  
 자리돔과 Family Pomacentridae
50. 자리돔 *Chromis notatus*  
 놀래기과 Family Labridae
51. 용치놀래기 *Halichoeres poecilopterus*  
 52. 놀래기 *Halichoeres tenuispinnis*  
 53. 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*
- 등가시치과 Family Zoarcidae
54. 등가시치 *Zoarces gilli*  
 장갱이과 Family Stichaeidae
55. 괴도라치 *Chirolophis japonicus*  
 56. 그물베도라치 *Dictyosoma burgeri*
- 황줄베도라치과 Family Pholididae
57. 베도라치 *Pholis nebulosa*  
 까나리과 Family Ammodytidae
58. 까나리 *Ammodytes personatus*  
 악어치과 Family Champsodontidae
59. 악어치 *Champsodon snyderi*  
 양동미리과 Family Pinguipedidae
60. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciata*  
 통구멍과 Family Uranoscopidae
61. 푸렁통구멍 *Gnathagnus elongatus*  
 62. 얼룩통구멍 *Uranoscopus japonicus*

돛양태과 Family Callionymidae

63. 돛양태 *Repomucenus lunatus*

망둑어과 Family Gobiidae

64. 도화망둑 *Chaeturichthys hexanema*

65. 망둑어류 Gobiidae *gen. sp.*

고등어과 Family Scombridae

66. 고등어 *Scomber japonicus*

병어과 Family Stromateidae

67. 병어 *Pampus argenteus*

가자미목 Order Pleuronectiformes

풀넙치과 Family Citharidae

68. 풀넙치 *Citharoides macrolepidotus*

넙치과 Family Paralichthyidae

69. 넙치 *Paralichthys olivaceus*

가자미과 Family Pleuronectidae

70. 물가자미 *Eopsetta grigorjewi*

71. 문치가자미 *Limanda yokohame*

72. 도다리 *Pleuronichthys cornutus*

납서대과 Family Soleidae

73. 각시서대 *Pseudaesopia japonica*

참서대과 Family Cynoglossidae

74. 용서대 *Cynoglossus abbreviatus*

75. 참서대 *Cynoglossus joyneri*

76. 개서대 *Cynoglossus robustus*

복어목 Order Tetraodontiformes

쥐치과 Family Monacanthidae

77. 쥐치 *Stephanolepis cirrifer*

78. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

참복과 Family Tetraodontidae

79. 국매리복 *Takifugu vermicularis*

### 1.6.3.2 분류군별 출현양상

조사기간 중 채집된 어종을 분류군별로 비교하면, 농어목(Perciformes)가 25과로 전체의 과(Family) 수준의 분류군수의 약 53%로 가장 우점하였으며, 양볼락목 (Scorpaeniformes), 가자미목(Pleuronectiformes), 복어목 (Tetraodontiformes) 어류의 순으로 각각 약 15%, 10%, 4%를 차지하였으며, 기타 9개 목 어류는 각각 약 2%로 나타났다(그림 1-6-2).

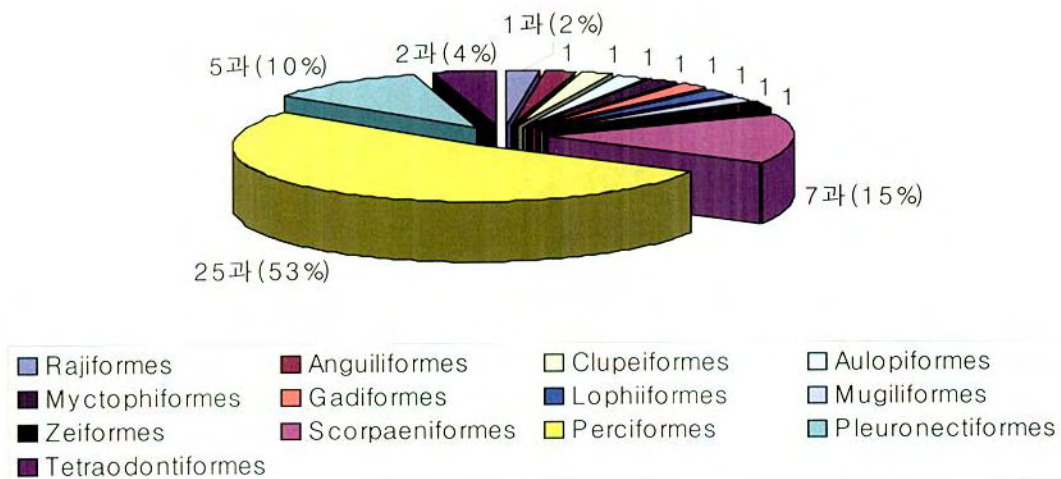


그림 1-6-2. 분류군별 출현양상.

Fig. 1-6-2. The aspect of appearance by the grouping classification.

78. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

참복과 Family Tetraodontidae

79. 국매리복 *Takifugu vermicularis*

### 1.6.3.2 분류군별 출현양상

조사기간 중 채집된 어종을 분류군별로 비교하면, 농어목(Perciformes)가 25과로 전체의 과(Family) 수준의 분류군수의 약 53%로 가장 우점하였으며, 양볼락목 (Scorpaeniformes), 가자미목(Pleuronectiformes), 복어목 (Tetraodontiformes) 어류의 순으로 각각 약 15%, 10%, 4%를 차지하였으며, 기타 9개 목 어류는 각각 약 2%로 나타났다(그림 1-6-2).

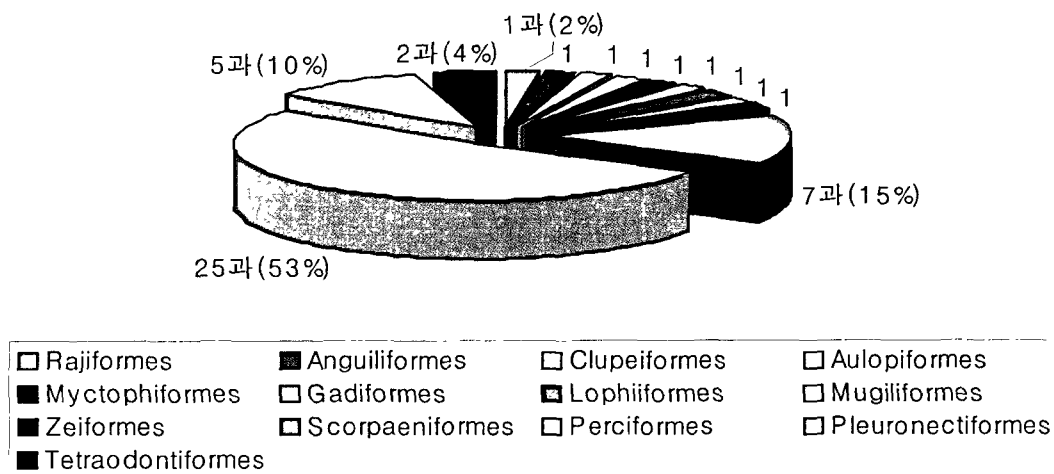


그림 1-6-2. 분류군별 출현양상.

Fig. 1-6-2. The aspect of appearance by the grouping classification.



### 1.6.3.3 저층어류

#### 가. 종조성 및 월변동

연구해역에서 2005년 2월부터 4월까지 저인망, 새우조망으로 채집한 결과 총 2강 12목 58종, 29,095마리, 약 567kg의 어류가 채집되었으며, 이 중에서 가장 많이 채집된 어종은 미역치(*Hypodytes rubripinnis*)로 전체 개체수의 약 83%, 전체 생체량의 약 51%를 차지하였다. 그 다음으로 보리멸, 쌍동가리, 물가자미, 문치가자미, 개서대가 각각 전체 개체수의 약 2.0%를 차지하였으며, 생체량은 넙치가 약 10%, 문치가자미, 아귀가 각각 약 7%, 쌍동가리가 약 6%, 보리멸, 보구치, 물가자미가 각각 2%를 차지하였다(표 1-6-1).

어종수, 개체수, 생체량, 종다양도지수의 월변동을 보면, 어종수는 2월은 26종, 3월은 35종, 4월은 43종이었으며, 개체수는 2월 9,047마리, 3월은 9,545마리, 4월은 10,495마리였으며, 생체량은 2월 205,600g, 3월 165,039g, 4월 194,832g으로 2월에서 4월로 갈수록 차츰 높아지는 경향을 보였다. 또한, 개체수에 의한 종다양도지수 역시 2월에서 4월로 갈수록 높아지는 경향을 보였다(그림 1-6-3).

표 1-6-1. 조사해역에서 저인망, 새우조망으로 채집한 어종의 월 변동

Table 1-6-1. Monthly variation of the fishes collected by trawl and shrimp trawl in the study area

어종	2월		3월		4월		총합계	
	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량
홍어	69	1,650	45	1,175	40	1,444	154	4,269
붕장어	92	2,226	125	2,936 (2)	90	2,313	307	7,475
멸치	5	46	25	250	0	0	30	296
청멸	0	34	25	237	5	25	30	296
매통이	0	0	0	0	5	203	5	203
줄비늘치	0	0	0	0	5	1,033	5	1,033
돌대구과어류	0	0	0	0	5	600	5	600
아귀	25	35294 (17)	5	261	40	1,988	70	37,543 (7)
달고기	12	4,382	5	1,495	10	2,500	27	8,377
미역치	7,900 (87)	94,800 (46)	8,000 (84)	96,000 (58)	8,200 (78)	98,400 (51)	24,100 (83)	289,200 (51)
쭈기미	0	0	0	0	15	3,750	15	3,750
살살치	0	0	5	73	0	0	5	73
조피볼락	0	0	5	1,100	0	0	5	1,100
불볼락	0	0	0	0	5	117	5	117
풀미역치	0	0	5	93	5	79	10	172
성대	23	6,615	0	0	0	0	23	6,615
밑달갱이	0	0	15	545	15	1,100	30	1,645
까지양태	0	0	5	69	0	0	5	69
양태	12	409	110	2,722	15	650	137	3,781
쥐노래미	0	0	0	0	10	537	10	537
상어횃대	0	0	10	24	10	35	20	59
아가씨물메기	0	0	0	0	10	65	10	65
꼼치	0	0	8	40	10	48	18	88
농어	0	0	5	1,650	5	1,600	10	3,250
반딧불게르치	0	0	0	0	5	20	5	20
필립흙무굴치	0	0	0	0	5	18	5	18
능성어	0	0	10	175	0	0	10	175
열동가리돔	0	0	5	25	50	257	55	282
청보리멸	53	2,062	0	0	0	0	53	2,062
보리멸	115	2,070	245(3)	4,333(3)	185	3,008	545(2)	9,411(2)
전갱이	7	344	0	0	5	300	12	644
주둥치	46	316	5	28	10	32	61	376
보구치	129	6,110	5	380	75	2,682	209	9,172(2)

민어	2	2,300	0	0	0	0	2	2,300
돌돔	2	179	0	0	0	0	2	179
등가시치	5	275	10	341	55	1,689	70	2,305
괴도라치	0	0	10	117	0	0	10	117
베도라치	2	43	30	763	50	775	82	1,581
악어치	0	0	0	0	5	350	5	350

표 1-6-1. 계속

Table 1-6-1. Continued

어종	2월		3월		4월		총합계	
	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량
쌍등가리	115	10,100	225(2)	12429(8)	170(2)	9455(5)	510(2)	31984(6)
푸렁통구멍	0	0	0	0	10	581	10	581
얼룩통구멍	0	0	30	2,098	30	2,828	60	4,926
돛양태	0	0	15	202	210(2)	2,828	225	3,030
도화망둑	0	0	95	723	120	1,054	215	1,777
망둑어류	0	0	0	0	5	60	5	60
병어	0	0	5	168	0	0	5	168
풀넙치	9	408	0	0	0	0	9	408
넙치	0	0	5	24,000	5	30,000	10	54,000
				(15)		(15)		(10)
						8,337		12,362
물가자미	18	600	205(2)	3,425(2)	320(3)	(4)	543(2)	(2)
		31,783		2,620		3,494		3,7897
문치가자미	368(4)	(15)	75	(2)	85	(2)	528(2)	(7)
도다리	7	1,346	0	0	5	1,150	12	2,496
각시서대	0	0	10	1,234	5	250	15	1,484
용서대	0	0	30	610	0	0	30	610
참서대	0	0	0	0	175(2)	2,008	175	2,008
				2883		6662		
개서대	5	544	135	(2)	405(4)	(3)	545(2)	10,089
취치	7	546	5	185	5	339	17	1,070
말취치	7	1,817	0	0	0	0	7	1,817
국매리복	12	1,371	0	0	0	0	12	1,371
월계	9,047	207,670	9,553	165,409	10,495	194,664	29,095	567,743

\*마리, (%), g/80,000m<sup>2</sup>

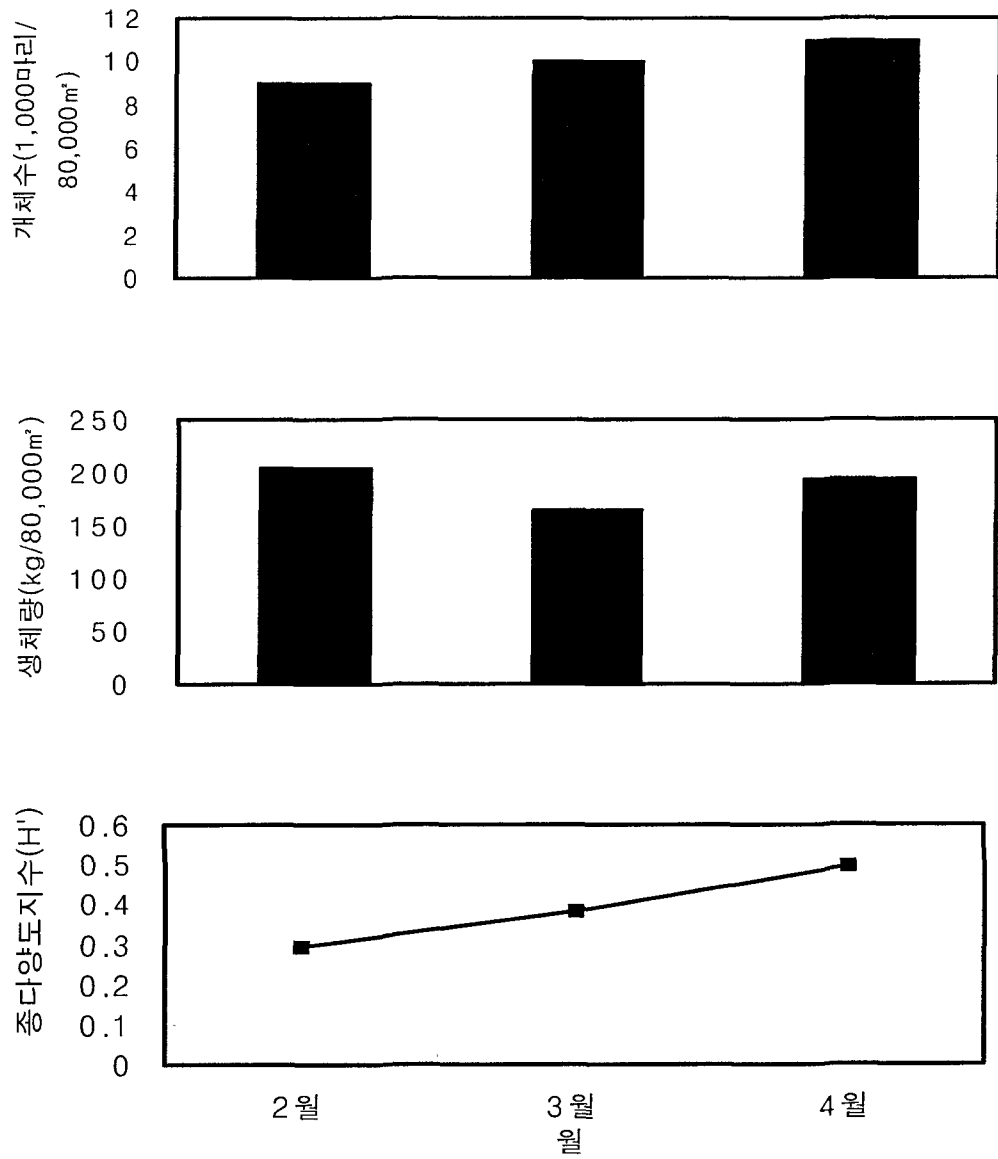


그림 1-6-3. 조사해역에서 채집한 저층어류.

Fig. 1-6-3. The fishes of low layer collected in the study area

### 나. 주요 저층어류의 출현양상

조사기간 중 2회 이상 출현하였으며 수심별 채집량의 약 1% 이상을 차지한 주요 어종 18종에 대하여 군집구조분석과 대응일치분석을 실시하였다. 주요 어종에 대한 채집시기의 유사도를 Pianka의 중복도 공식을 이용하여 비가중산술평균에 의한 군집분석을 실시하였다. 그 결과 주요 어종은 유사도를 0.75를 기준으로 크게 4개 그룹으로 나눌 수 있었다(그림 1-6-5). 군집분석 결과는 대응일치분석과 거의 일치한 것으로 나타났다.

조사기간에 채집된 주요 어종의 채집 개체수를 기준으로 대응일치분석을 실시하였다. 채집된 주요 어종과 조사기기를 각각 열과 행으로 하여 특이값 분해(Singular value decomposition)에 의해 구한 특이값을 inertia 값을 계산한 결과 제 1차원이 확보한 정보량은 약 85%를 차지하였으며, 제 2차원이 차지하는 정보량은 약 100로 나타났다(표 1-6-2).

두 통계분석 결과에 따라, 그룹 1에 속한 열동가리돔, 등가시치, 돛양태는 4월에 주로 채집된 어류이며, 그룹 2에 속한 얼룩통구멍, 도화망둑은, 양태, 베도라치, 물가자미는 3월에 주로 채집된 어류이며, 그룹 3에 속한 아귀, 달고기, 주둥치, 보구치는 주로 2월에 채집된 종이며 그 외 개서대, 문치가자미, 쌍동가리, 보리멸, 붕장어, 홍어는 공통적으로 채집된 어류임을 알 수 있었다(그림 1-6-4, 그림 1-6-5).

표 1-6-2. 주요 저층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해

Table 1-6-2. Singular value decomposition for the correspondence analysis of the dominant fishes

차원	특이값	비율(%)	누적비율(%)
1	0.11	85	85
2	0.02	15	100

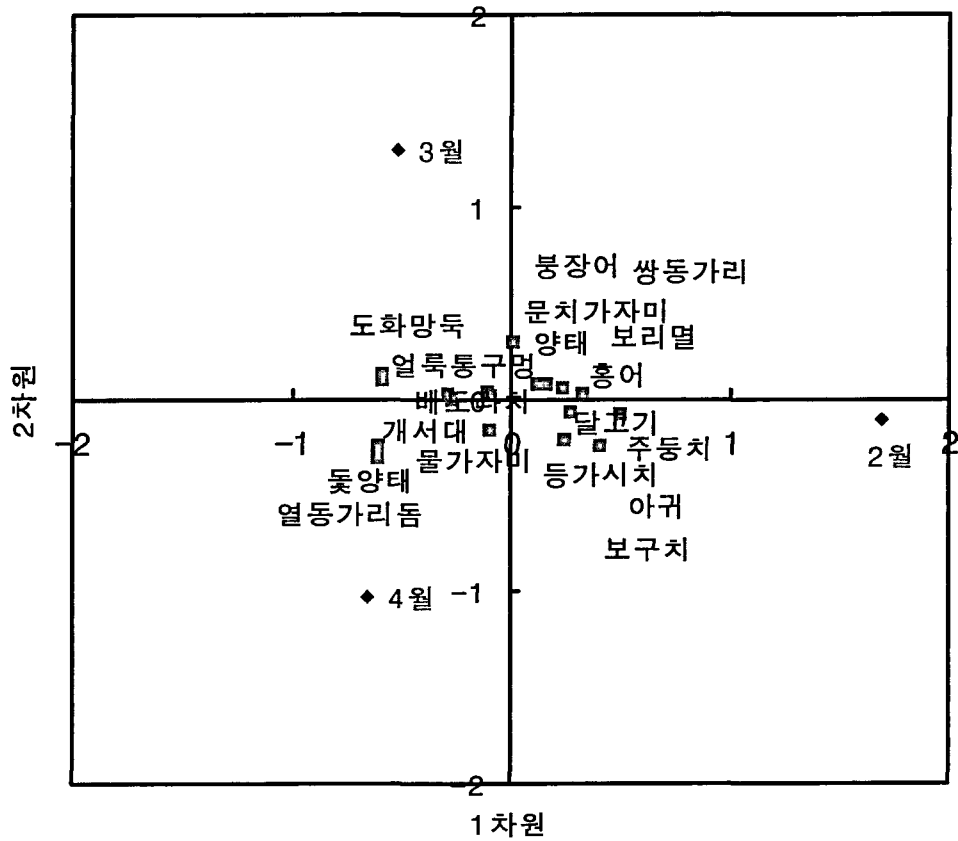


그림 1-6-4. 대응일치분석에 의한 조사시기와 저층 주요어종의 차원상 분포.

Fig. 1-6-4. Dimension scores of the dominant fishes and three months induced from the correspondence analysis.



#### 1.6.3.4 중층어류

##### 가. 어류목록

조사기간은 2005년 5월부터 8월까지 중층어류를 조사하였으며, 채집된 어종은 총 1강 5목 19과 28종이었다.

조기강 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

붕장어과 Family Congridae

1. 붕장어 *Conger japonicus*

아귀목 Order Lophiiformes

아귀과 Family Lophiidae

2. 아귀 *Lophiomus setigerus*

솜뱅이목 Order Scorpaeniformes

양볼락과 Family Scorpaenidae

3. 홍감펍 *Helicolenus hilgendorfi*
4. 미역치 *Hypodytes rubripinnis*
5. 우럭볼락 *Sebastes hubbsi*
6. 볼락 *Sebastes inermis*
7. 개볼락 *Sebastes pachycephalus*
8. 솜뱅이 *Sebastes marmoratus*

양태과 Family Platycephalidae

9. 양태 *Platycephalus indicus*

쥐노래미과 Family Hexagrammidae

10. 노래미 *Hexagrammos agrammus*
11. 쥐노래미 *Hexagrammus otakii*

꼼치과 Family Liparidae

12. 꼼치 *Liparis tanakai*



농어목 Order Perciformes

반딧불게르치과 Family Acropomatidae

13. 반딧불게르치 *Acropoma japonicum*

바리과 Family Serranidae

14. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

동갈돔과 Family Apogonidae

15. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

보리멸과 Family Sillaginidae

16. 보리멸 *Sillago sihama*

도미과 Family Sparidae

17. 참돔 *Pagrus major*

자리돔과 Family Pomacentridae

18. 자리돔 *Chromis notatus*

놀래기과 Family Labridae

19. 용치놀래기 *Halichoeres poecilopterus*

20. 놀래기 *Halichoeres tenuispinnis*

21. 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*

등가시치과 Family Zoarcidae

22. 등가시치 *Zoarces gilli*

장갱이과 Family Stichaeidae

23. 괴도라치 *Chirolophis japonicus*

24. 그물베도라치 *Dictyosoma burgeri*

황줄베도라치과 Family Pholididae

25. 베도라치 *Pholis nebulosa*

양동미리과 Family Pinguipedidae

26. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciata*

까나리과 Family Ammodytidae

27. 까나리 *Ammodytes personatus*

가자미목 Order Pleuronectiformes

가자미과 Family Pleuronectidae

28. 문치가자미 *Limanda yokohame*

#### 나. 종조성 및 출현양상

조사기간 동안 채집한 총 개체수는 390마리 약 40kg이었다. 이 중 개체수는 붕장어가 105마리로 전체 개체수의 약 27%로 가장 우점하였으며 참돔 약 15%, 용치놀래기 약 14%, 썸뱅이 약 10%, 놀래기 약 9%의 순으로 나타났으며, 생체량은 참돔이 약 12kg으로 전체 생체량의 약 30%로 가장 우점하였으며, 붕장어 약 22%, 썸뱅이 약 12%, 용치놀래기 약 9%, 놀래기 약 8%의 순으로 나타났다(그림 1-6-6, 표 1-6-3).

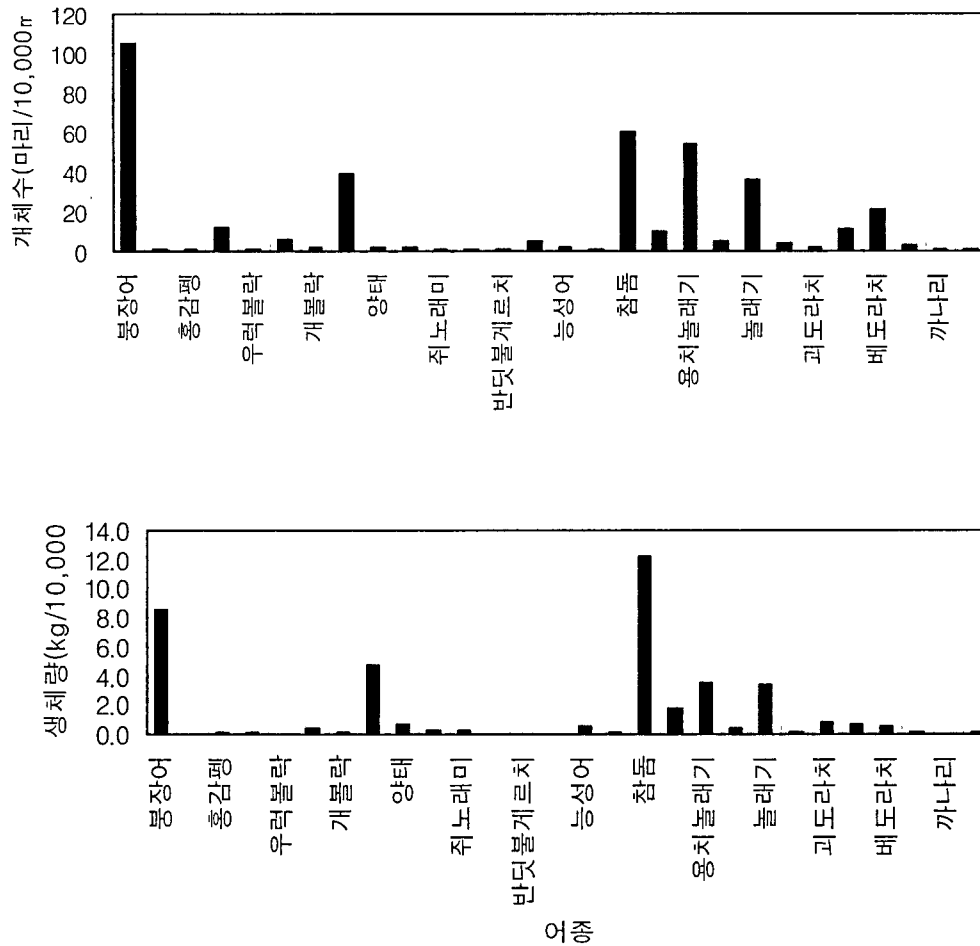


그림 1-6-6. 조사해역에서 채집한 중층어류.

Fig. 1-6-6. The fishes of middle layer collected in the study area

표 1-6-3. 중층어류의 개체수 및 생체량

Table 1-6-3. The number of individuals and biomass in the middle layer

국 명	학 명	개체수	생체량
붕장어	<i>Conger japonicus</i>	105(27)	8,736(22)
아귀	<i>Lophius litulon</i>	1	52
홍감펍	<i>Helicolenus hilgendorfi</i>	1	141
미역치	<i>Hypodytes rubripinnis</i>	12	139
우럭볼락	<i>Sebastes hubbsi</i>	1	67
볼락	<i>Sebastes inermis</i>	6	474
개볼락	<i>Sebastes pachycephalus</i>	2	147
솜뱅이	<i>Sebastiscus marmoratus</i>	39(10)	4,798(12)
양태	<i>Platycephalus indicus</i>	2	634
노래미	<i>Hexagrammos agrammus</i>	2	226
쥐노래미	<i>Hexagrammos otakii</i>	1	274
꼼치	<i>Liparis tanakai</i>	1	16
반딧볼게르치	<i>Acropoma japonicus</i>	1	8
능성어	<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	2	556
열동가리돔	<i>Apogon lineatus</i>	5	29
보리멸	<i>Sillago sihama</i>	1	90
참돔	<i>Pagrus major</i>	60(15)	12,256(30)
자리돔	<i>Chromis notatus</i>	10	1,800
용치놀래기	<i>Halichoeres poecilopterus</i>	54(14)	3,572(9)
놀래기	<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	36(9)	3,404(8)
황놀래기	<i>Pseudolabrus japonicus</i>	5	453
등가시치	<i>Zoarcetes gilli</i>	4	82
괴도라치	<i>Chirolophis japonicus</i>	2	830
그물베도라치	<i>Dictyosoma burgeri</i>	11	709
베도라치	<i>Pholis nebulosa</i>	21	545
쌍동가리	<i>Parapercis sexfasciata</i>	3	129
까나리	<i>Ammodytes personatus</i>	1	20
문치가자미	<i>Limanda yokohamae</i>	1	104
합계		390	40,291

\*마리, (%), g/10,000m<sup>2</sup>

### 1.6.3.5 표충어류

#### 가. 어류목록

조사기간은 2005년 5월부터 8월까지 표충어류를 조사하였으며, 채집된 어종은 총 1강 5목 13과 17종이었다.

조기강 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

뽕장어과 Family Congridae

1. 뽕장어 *Conger japonicus*

승어목 Order Mugiliformes

승어과 Family Mugilidae

2. 승어 *Mugil cephalus*

솜뱅이목 Order Scorpaeniformes

양볼락과 Family Scorpaenidae

3. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*

농어목 Order Perciformes

농어과 Family Moronidae

4. 농어 *Lateolabrax japonicus*

바리과 Family Serranidae

5. 붉바리 *Epinephelus akaara*

6. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

동갈돔과 Family Apogonidae

7. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

게르치과 Family Pomatomidae

8. 게르치 *Scombrops boops*

전갱이과 Family Carangidae

9. 방어 *Serilola quinqueradiata*

10. 전갱이 *Trachurus japonicus*

11. 민전갱이 *Uraspis helvola*

도미과 Family Sparidae

12. 참돔 *Pagrus major*

망상어과 Family Embiotocidae

13. 망상어 *Ditrema temmincki*

고등어과 Family Scombridae

14. 고등어 *Scomber japonicus*

가자미목 Order Pleuronectiformes

넙치과 Family Paralichthyidae

15. 넙치 *Paralichthys olivaceus*

복어목 Order Tetradontiformes

쥐치과 Family Monacanthidae

16. 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*

17. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

## 나. 종조성 및 월변동

조사기간 동안 채집한 총 개체수는 7,695마리 약 475kg이었다. 이 중 개체수로는 붕장어가 105마리로 전체 개체수의 약 27%로 가장 우점하였으며 참돔 약 15%, 용치놀래기 약 14% 솜뱅이 약 10%, 놀래기 약 9%의 순으로 나타났다으며, 생체량으로는 참돔이 약 12kg으로 전체 생체량의 약 30%로 가장 우점하였으며, 붕장어 약 22%, 솜뱅이 약 12%, 용치놀래기 약 9%, 놀래기 약 8%의 순으로 나타났다(표 1-6-4). 월별 비교를 하면, 5월에는 전갱이가 800마리로 전체 개체수의 약 93%로 가장 우점하였으며, 방어, 송어, 참돔이 약 3%, 2%, 2% 순으로 우점하였으며, 생체량에서도 전갱이가 약 40kg으로 전체 생체량의 약 67%로 가장 우점하였으며, 방어, 송어, 참돔이 각각 약 14%, 10%, 8%의 순으로 나타났다. 6월은 3,510마리로 전체 개체수의 약 99%

로 극우점하였으며, 망상어가 약 1%였으며, 생체량에서 전갱이가 약 45kg으로 전체 생체량의 약 90%로 가장 우점하였다. 7월은 방어가 76마리로 전체 개체수의 약 51%로 가장 우점하였으며, 전갱이, 쥐치, 참돔이 각각 약 34%, 9%, 5%의 순으로 나타났으며, 생체량에서 방어가 약 80kg으로 전체 생체량의 약 38%로 우점하였으며, 전갱이, 참돔, 쥐치가 각각 약 24%, 24%, 15%의 순으로 나타났다. 8월은 전갱이가 365마리로 전체 개체수의 약 46%로 가장 우점하였으며, 참돔, 쥐치, 방어, 붉바리가 각각 약 28%, 11%, 10%, 4%의 순으로 나타났으며, 생체량에서는 방어가 약 60kg으로 전체 생체량의 약 39%로 가장 우점하였으며, 참돔, 전갱이, 붉바리, 쥐치가 각각 약 20%, 20%, 10%, 8%의 순으로 나타났다(그림 1-6-7, 표 1-6-4).

표 1-6-4. 표층어류의 개체수 및 생체량

Table 1-6-4. The number of individuals and biomass in the surface layer

어 종	5월		6월		7월		8월		총합계	
	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량
붕장어			3	480					3	480
송어	15 (2)	5,700 (10)	1	300					16	6,000
조피볼락			1	70					1	70
농어			2	734					2	734
붉바리							31 (4)	15,000 (10)	31	15,000
능성어							1	1,200	1	1,200
열동가리							1	8	1	8
돔										
게르치							1	44	1	44
방어	23 (3)	8,050 (14)			1,270 (51)	80,000 (38)	76 (10)	60,000 (39)	1,369	148,050

전갱이	800	40,000	3,510	45,000	856	50,495	365	30,495	5,531	165,990
	(93)	(67)	(99)	(90)	(34)	(24)	(46)	(20)		
민전갱이							1	59	1	59
참돔	13	4,940			134	50,000	224	30,000	371	84,940
	(2)	(8)			(5)	(24)	(28)	(20)		
망상어			30						30	3,000
			(1)	3,000						
고등어			5	63					5	63
넙치							11	4,000	11	4,000
귀치	5	900	2	500	229	32,000	84	12,000	320	45,400
					(9)	(15)	(11)	(8)		
말귀치							1	322	1	322
<b>월계</b>	<b>856</b>	<b>59,590</b>	<b>3,544</b>	<b>50,147</b>	<b>2,489</b>	<b>212,495</b>	<b>796</b>	<b>153,128</b>	<b>7,695</b>	<b>475,360</b>

\*마리, (%), g/3,000m<sup>2</sup>



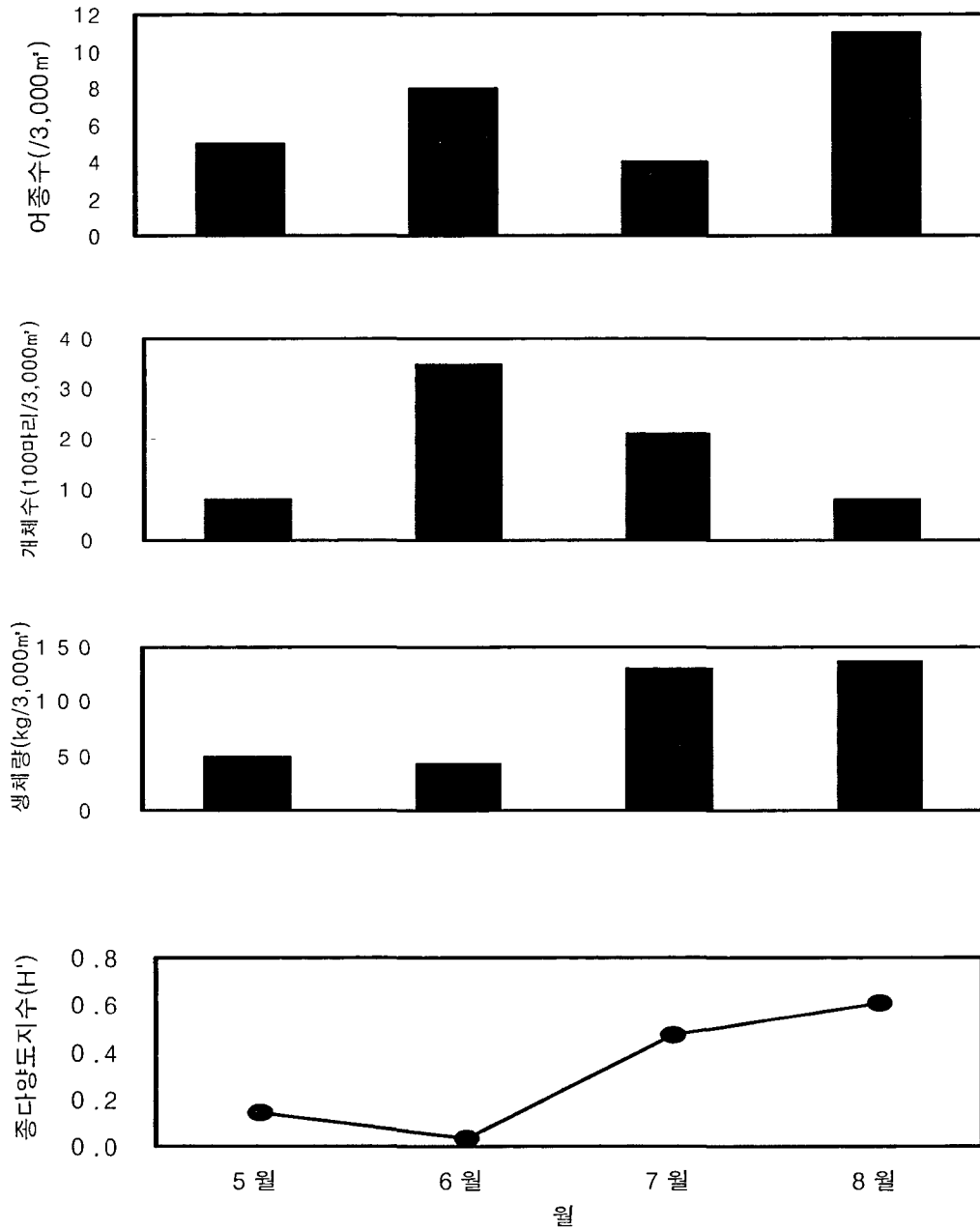


그림 1-6-7. 조사해역의 표층어류의 월변동.

Fig. 1-6-7. Monthly variation of the fishes collected the surface fishes in the study area.

### 다. 출현양상

조사기간 중 채집한 표층어류 17종을 대상으로 군집분석과 대응일치분석을 실시하였다.

표층어류에 대한 채집시기의 유사도를 구하여 비가중산술평균에 의한 군집분석을 실시하였다. 그 결과 유사도 0.5를 기준으로 크게 4개의 그룹으로 나눌 수 있었으며(그림 1-6-8), 군집분석의 결과와 대응일치분석의 결과는 거의 일치하였다.

조사시기를 행, 어종을 열로 하여 값을 대입한 후, 대응일치분석에서 특이값분해 방법에 의해 특이값을 계산한 결과, 제 1차원이 확보한 정보의 양은 약 62%, 제 2차원이 확보한 정보의 양은 약 27%를 차지하여 제 1차원과 제 2차원이 확보하는 정보의 양은 약 89%로 나타났다(표 1-6-5).

두 통계분석 결과에 따라 그룹 1에 속한 전갱이는 그룹 2에 속하는 참돔, 방어, 쥐치 등은 5월과 7월에 주로 채집된 종들로 매우 유사도가 약 0.75로 높으며, 그룹 3에 속하는 말쥐치, 넙치, 민전갱이, 게르치, 열동가리돔, 능성어, 붉바리 등은 주로 8월에 채집된 종들로 유사도가 약 0.25이며, 그룹 4에 속하는 고등어, 망상어, 조피볼락, 붕장어 등은 주로 6월에 채집된 종들임을 알 수 있었다(그림 1-6-8, 그림 1-6-9).

표 1-6-5. 표층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해

Table 1-6-5. Singular value decomposition for the correspondence analysis of the fishes of surface layer

차원	특이값	비율(%)	누적비율(%)
1	0.52	62	62
2	0.22	27	89
3	0.09	11	100

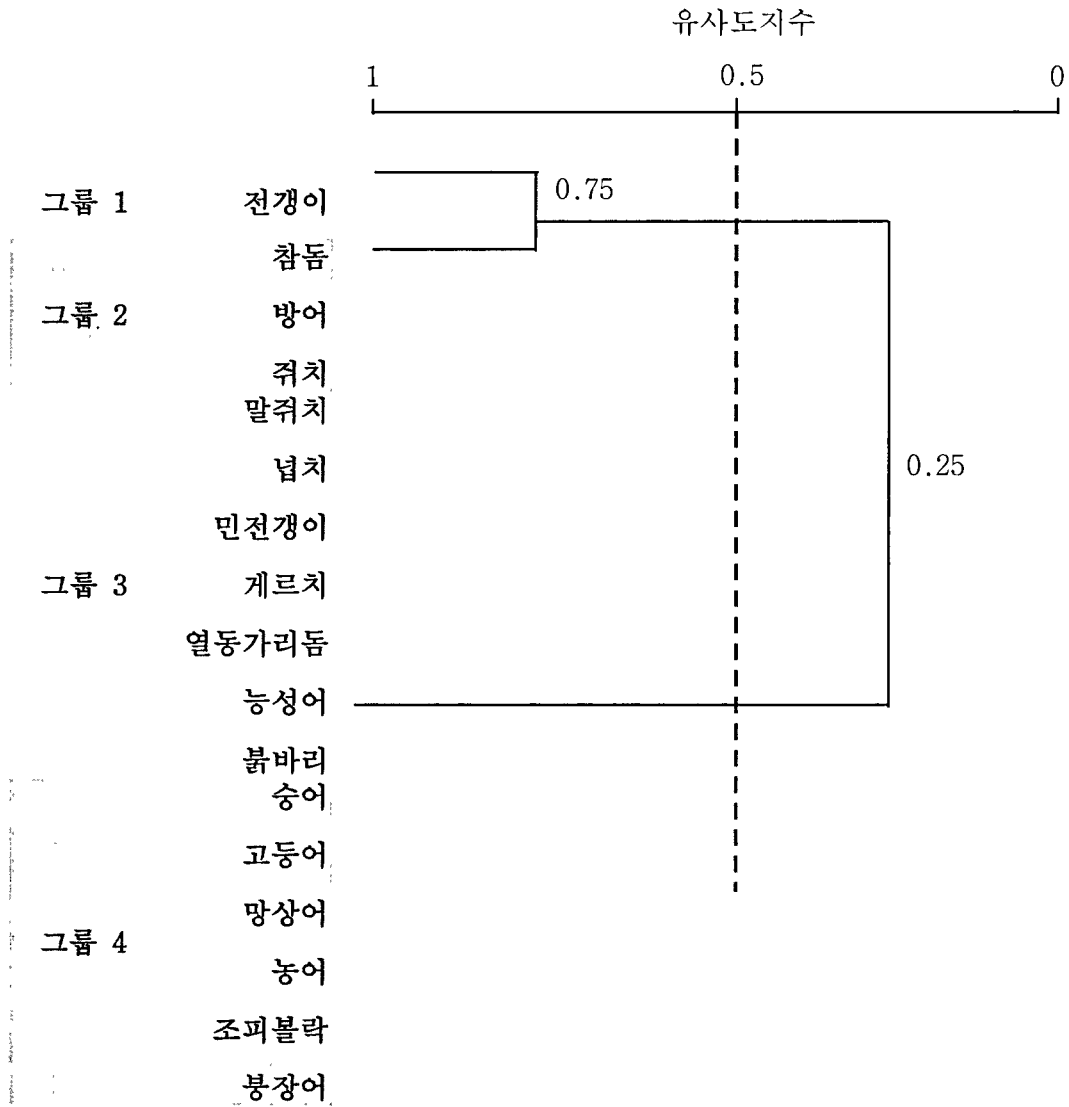


그림 1-6-8. 출현양상에 따른 표층어류의 구분.

Fig. 1-6-8. Dendrogram illustrating the classification of the fishes of surface layer on basis of their occurrence patterns.

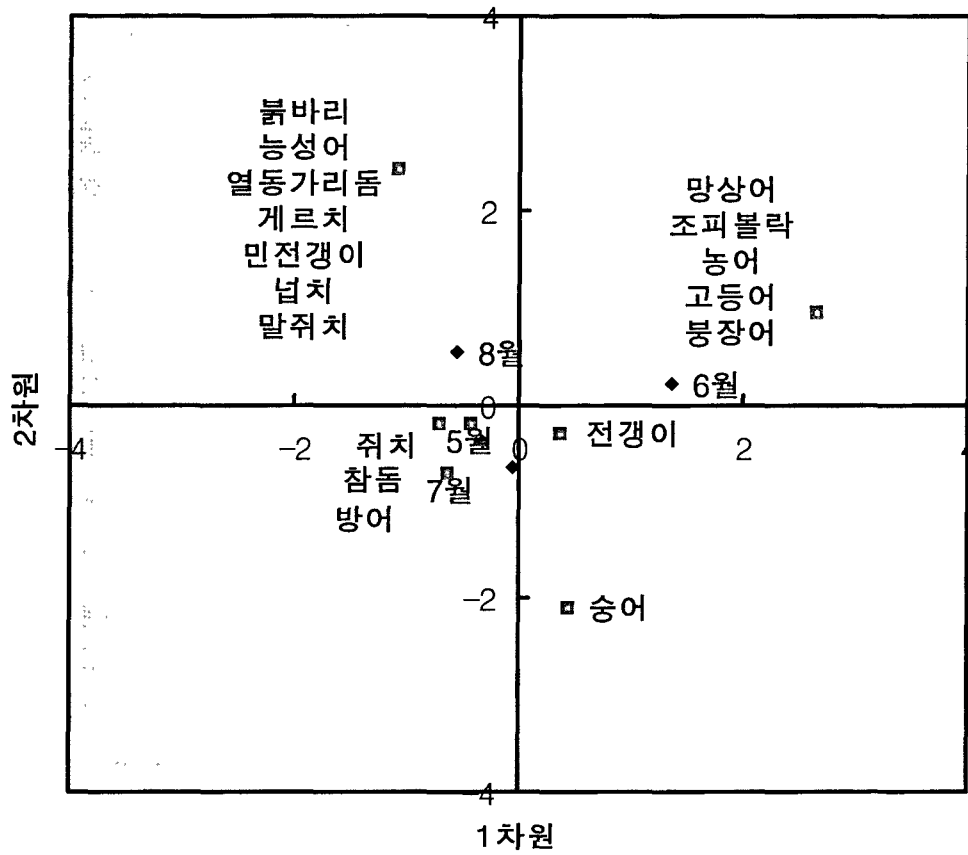


그림 1-6-9. 대응일치분석으로부터 유도된 조사시기와 표층어류의 차원상 분포.

Fig. 1-6-9. Dimension scores of the fishes of surface layer and four months induced from the correspondence analysis.

### 1.6.3.6 수심에 따라 채집된 어종

조사기간 동안 매물도 주변해역에서 표층(10~12m), 중층(20~31m), 저층(45~70m)에서 채집된 어종은 다음과 같다(표 1-6-6).

표층과 중층에서 채집된 종은 참돔 1종이었으며, 중층과 저층에서 채집된 종은 붕장어, 돌대구과 어류, 미역치, 홍감펭, 쥐노래미, 꼼치, 반딧불게르치, 등가시치, 베도라치, 쌍동가리, 문치가자미 등 11종이었으며, 표층, 중층, 저층에서 모두 채집된 종은 능성어 1종이었다.

표 1-6-6. 수심별 채집된 어종비교

Table 1-6-6. The comparative collected fishes according to the depth

국명	표층	중층	저층
홍어	0	0	1
붕장어	0	1	1
멸치	0	0	1
청멸	0	0	1
매통이	0	0	1
줄비늘치	0	0	1
돌대구과 어류	0	0	1
아귀	0	1	1
숭어	1	0	0
달고기	0	0	1
미역치	0	1	1
쭈기미	0	0	1
살살치	0	0	1
홍감펭	0	1	1
우럭불락	0	1	0
불락	0	1	0
개불락	0	1	0
조피불락	1	0	1
불불락	0	0	1
솜뱅이	0	1	0
풀미역치	1	0	0
성대	0	0	1
밑달갱이	0	0	1
까지양태	0	0	1
양태	0	0	1

노래미	0	1	0
쥐노래미	0	1	1
상어횃대	0	0	1
아가씨물메기	0	0	1
꼼치	0	1	1
농어	1	0	1
반딧불게르치	0	1	1
필립흙무굴치	0	0	1
붉바리	1	0	0
능성어	1	1	1

\* 0: 비출현; 1; 출현

표 1-6-6. 계속

Table 1-6-6. continued

국명	표층	중층	저층
열동가리돔	1	1	1
청보리멸	0	0	1
보리멸	0	0	1
게르치	1	0	0
방어	1	0	0
전갱이	1	0	1
민전갱이	1	0	0
주둥치	0	0	1
참돔	1	1	0
민어	0	0	1
보구치	0	0	1
들돔	0	0	1
망상어	1	0	0
자리돔	0	1	0
용치놀래기	0	1	0
놀래기	0	1	0
황놀래기	0	1	0
등가시치	0	1	1
괴도라치	0	1	1
그물베도라치	0	1	0
베도라치	0	1	1
까나리	0	1	0
악어치	0	0	1
쌍동가리	0	1	1

푸렁통구멍	0	0	1
얼룩통구멍	0	0	1
돛양태	0	0	1
망둑어과어류	0	0	1
도화망둑	0	0	1
고등어	1	0	0
병어	0	0	1
플넙치	0	0	1
넙치	1	0	1
물가자미	0	0	1
문치가자미	0	1	1
도다리	0	0	1
각시서대	0	0	1
용서대	0	0	1
참서대	0	0	1
개서대	0	0	1
쥐치	1	0	1
말쥐치	1	0	1
국매리복	0	0	1

\* 0: 미출현; 1; 출현

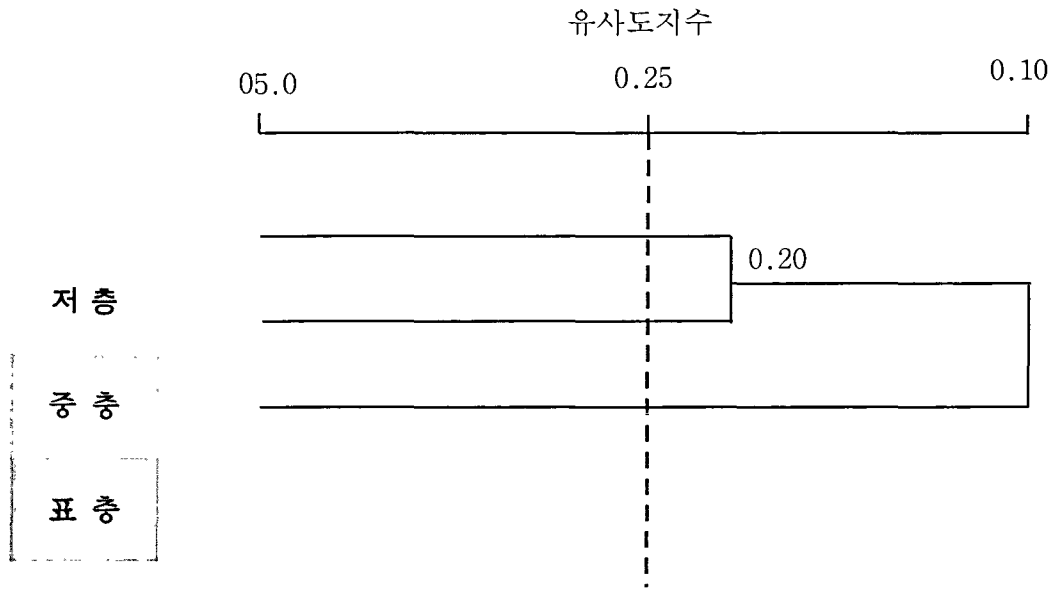


그림 1-6-10. 수심별 군집분석.

Fig. 1-6-10. Cluster analysis illustrating the depth water.

수심별로 어종을 '1' , 출현하지 않은 어종을 '0' 으로 두고, MVSP 3.0에 의한 군집분석에서는 유사도 약 0.25를 기준으로, 중층과 저층은 유사도 약 0.20에서 유집되었으며, 표층과 다른 두 군집과는 약 0.10에서 유집되었으며, 대응일치분석에서는 중층과 저층이 표층에 비해 비교적 가까운 거리로 나타나, 두 통계분석 결과가 거의 유사한 경향을 보였다(그림 1-6-10).



## 1.7. 수중 환경 모니터링

### 1.7.1. 수중촬영

#### (1) 수중촬영 방법

수중촬영은 스쿠바(SCUBA, Self-Contained Underwater Breathing Apparatus) 장비를 착용한 잠수조가 수중촬영을 실시하였으며, 안전을 위하여 잠수조는 짝잠수를 실시하였다.

본 촬영시 사용된 스쿠바 장비는 일반적인 레저용 장비가 아닌 심해잠수용 장비를 사용하였으며, 사용된 공기 또한 일반 압축공기가 아닌 혼합공기를 사용하였다. 심해용 공기는 최대수심 70m로 계획하였으며, 질소마취수심을 35m로 하여 산정한 Tx17/38(산소 17%, 헬륨 38%, 질소 45%)의 혼합공기를 사용하였으며, 중간감압공기로 EAN 36(산소 36%, 질소 64%)과 최종감압공기로 순수산소(산소 100%)를 사용하였다.



그림 1-7-1. 수중 비디오 촬영기.

Fig. 1-7-1. Submarine video camera.

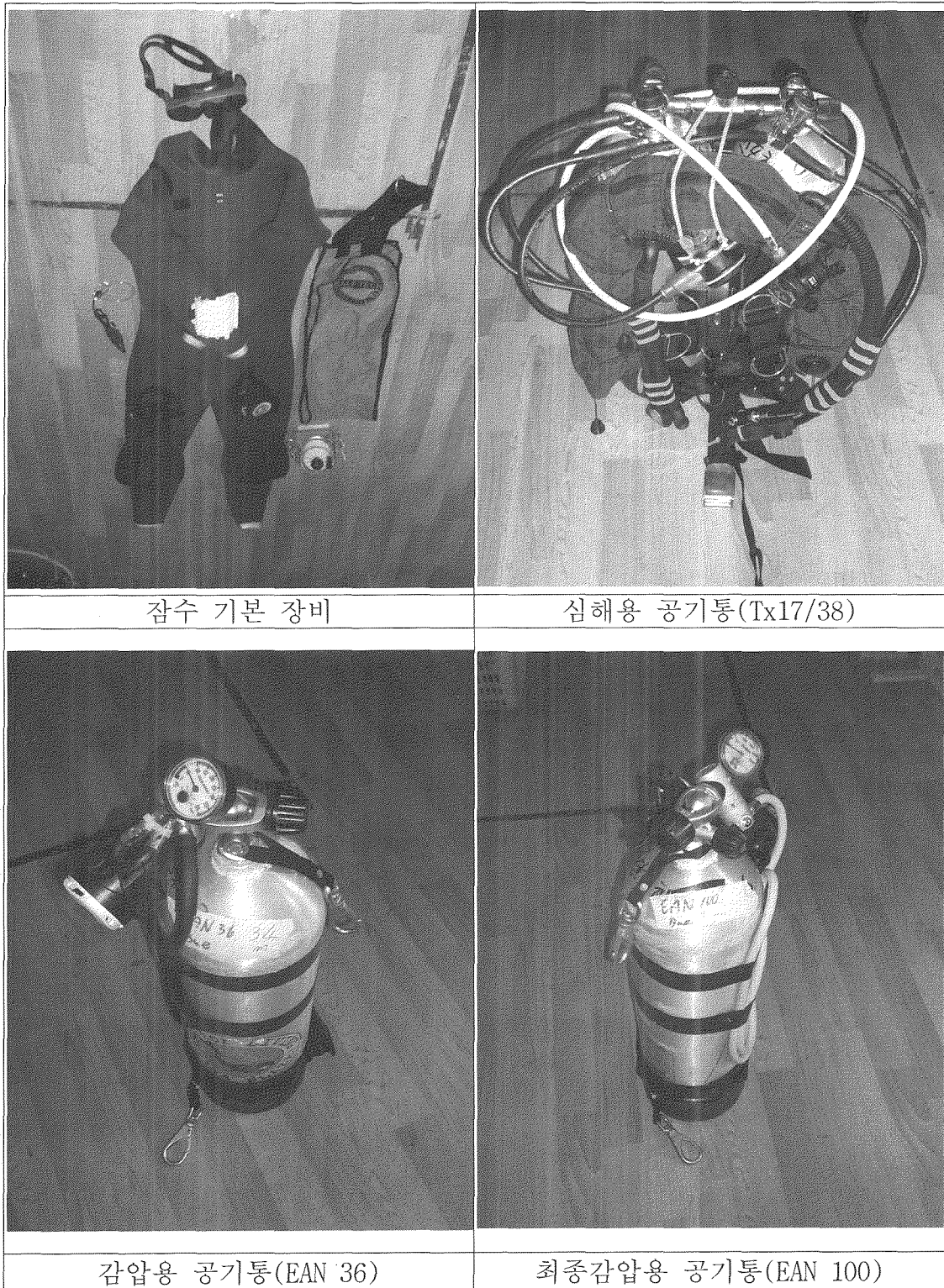


그림 1-7-2. 잠수 장비.

Fig. 1-7-2. Diving equipment.

### 1.7.2 수중 촬영 결과

가. 동계 조사 : 1월 28일(음 12월 19일 대조기) 조사

동절기의 전형적인 해상 상태로 파랑이 강하게 일고 있는 상태에서 조사 지점에 닻줄을 넣고 부의를 띄워 닻줄을 타고 하강하여 해저까지 도달하여 촬영하였다. 조류는 조금강한 상태였고, 해저 수심은 49.3m 이었으며, 부유물이 많은 상태였음. 해저는 사니질로 손을 넣으면 10~15cm 정도 들어가는 부드러운 퇴적물이 표면을 덮고 있었다. 광량은 거의 없었고 닻과 다이버와 줄로 연결하여 약 70m 정도의 해저를 촬영하고 닻줄을 타고 상승하였다. 수중 생물은 거의 찾아 볼 수 없는 상태였다.

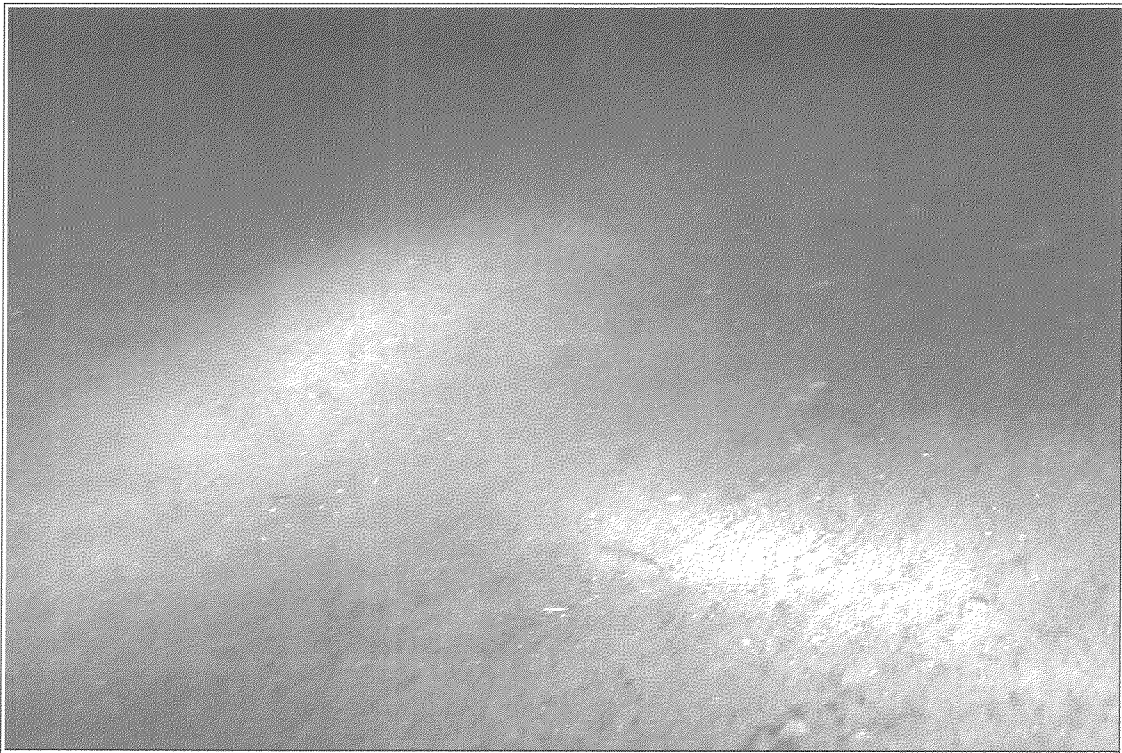


그림 1-7-3. 동계 해저 상태.

Fig. 1-7-3. A state of submarine in winter.

나. 춘계 조사 : 5월 23일(음 4월 16일 대조기) 조사

동절기때 보다는 해상상태가 양호하였으나, 바람이 강하고 너울이 일고 있는 상태에서 동계와 동일한 방법으로 조사지점에 닻줄을 넣고 부의를 띄워 닻줄을 타고 하강하여 해저까지 도달하여 촬영하였다. 조류는 강한 상태였고, 해저 수심은 52m 이었으며, 부유물이 많은 상태였음. 해저는 사니질로 손을 넣으면 10~15cm 정도 들어가는 부드러운 퇴적물이 표면을 덮고 있었다. 광량은 거의 없었고, 닻과 다이버와 줄로 연결하여 약 100m 정도의 해저를 촬영하고 닻줄을 타고 상승하였다. 수중 생물은 동계보다는 많은 생물(키조개 등)이 발견되었다.

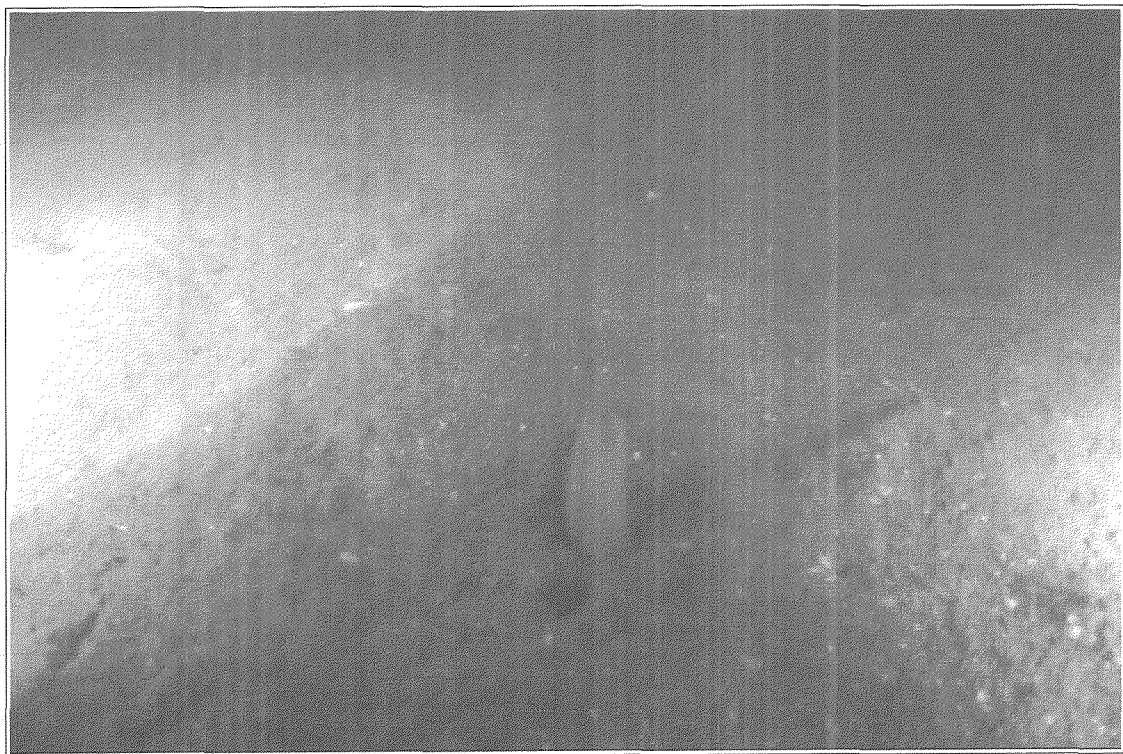


그림 1-7-4. 춘계 해저 상태(키조개 포착).

Fig. 1-7-4. A state of submarine in spring.

다. 하계 조사 : 9월 17일(음 8월 13일 대조기) 조사

바람이 강하고 너울이 일고 있는 상태에서 구조물 최상부에 닻줄을 넣고

부의를 띄워 닻줄을 타고 하강하여 구조물 상부에 도달하여 사면을 따라 촬영하며 하강하였다. 조류는 매우 강한 상태였고, 구조물 상부의 수심은 45m 이었으며, 해저 바닥의 수심을 65m 였다. 구조물이 투하되고 시일이 얼마 경과되지 않아 구조물 사이에 어류가 서식하지는 않았으나, 갑각류 등은 발견되었다.

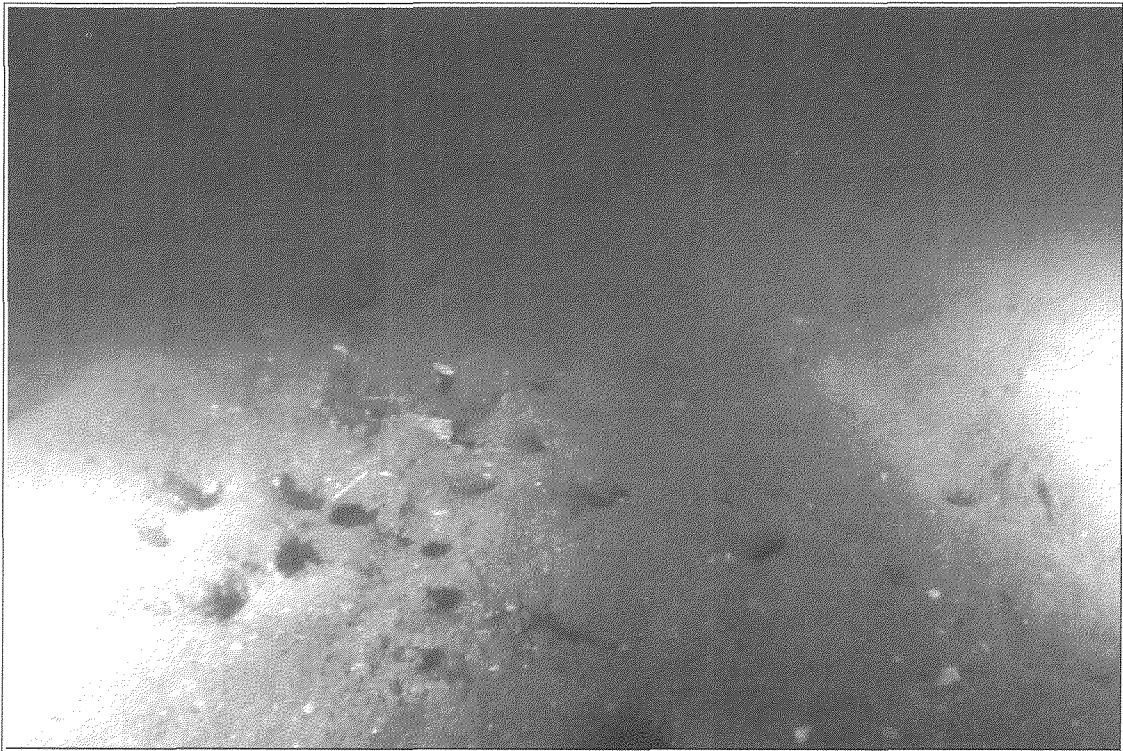


그림 1-7-5. 하계 해저 상태

Fig. 1-7-5. A state of submarine in summer.

## □ 연구 조사 분야 - 구조물의 해수 반응

### 2.1. 연구의 필요성

#### 2.1.1. 중금속 용출 가능성

산업부산물 재활용에 따른 환경 안정성 평가의 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 특히 물리적 특성과 중금속 용출에 대한 실험과 현장 적용성에 대한 검토연구가 집중적으로 수행되고 있다(이우근 등, 1997; 정종태 등, 2000; K. L. Lin et. al., 2003; Futatsuka et. al., 2003). 석탄회(煤灰)에 대한 중금속용출 연구(박성민 등, 2003)에 의하면, 해수에서의 중금속 용출은 산화-환원 조건차이에 의해 담수에서보다 2~7.5배 정도 가속화되며, 해수의 pH 완충작용으로 중금속의 거동특성도 담수와 상당한 차이를 나타낸다. 화력발전소에서 부산물로 생산되는 석탄회(coal ash)는 유용한 자원으로 인식되어, 그 활용성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 석탄회 중 콘크리트용 혼화재로 활용되는 비산재(fly ash)는 해양구조물의 제작에 이용할 경우, 석탄회에 함유되어 있는 중금속의 용출 가능성이 있음에도 불구하고 안정성에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 석탄회를 혼화재로 사용한 블록과 해수와의 반응에 의한 중금속의 용출량 및 거동 특성을 파악하기 위한 연구가 절실히 요구된다.

표 2-1-1. KSLT법에 의한 산업부산물 내의 중금속 용출양(Han et al., 2001)

Table 2-1-1. Heavy metal leaching amount of industrial residual products about KSLT method (unit in mg/l)

Elements	Cr	Cu	Cd	Pb	Hg	As
Fly ash	0.017	1.140	0.579	382.3	0.001	0.001
Bottom ash	0.031	0.343	0.015	0.049	n.d.	n.d.
Slag	n.d.	0.017	0.044	0.237	n.d.	n.d.

해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에서 규정한 해양퇴적물의 중금속 함량분석은 염산이나 질산 등의 강산 또는 여러 종류의 혼합산을 이용한 완전분해방법으로 규정되어 있다. 따라서, 해양공정시험법에 의한 중금속용출의 안정성 평가는 실제 해양의 지구화학적 조건과 일치되지 않으므로 실험결과를 현장에 적용하는데 문제점을 안고 있다. 또한 폐기물 공정시험법에서는 각종 소각재와 슬래그의 중금속 용출시험결과가 일부원소를 제외하고는 KSLT (Korea Standard Leaching Test)의 기준에 부합되지 않는다(표 2-1-1).

KSLT의 용출조건이 실제 해양환경의 pH, Eh 조건(그림 2-1-1)과 해수와 고액비 등이 상이하기 때문에 해양환경에서의 중금속 용출 특성 연구는 해수 및 퇴적물 환경으로 구분하여 수행되어야 하며, 장기간에 걸친 해수와 석탄회 블록반응 실험을 통해 구체적으로 평가되어야 한다. 또한, 블록 제작시 사용되는 원료물질이 2종 이상이 혼합될 경우에 혼합비가 중금속의 고정화에 영향을 미칠 수 있으므로(Hitoshi et. al., 2003), 이에 대한 검토가 동시에 요구된다.

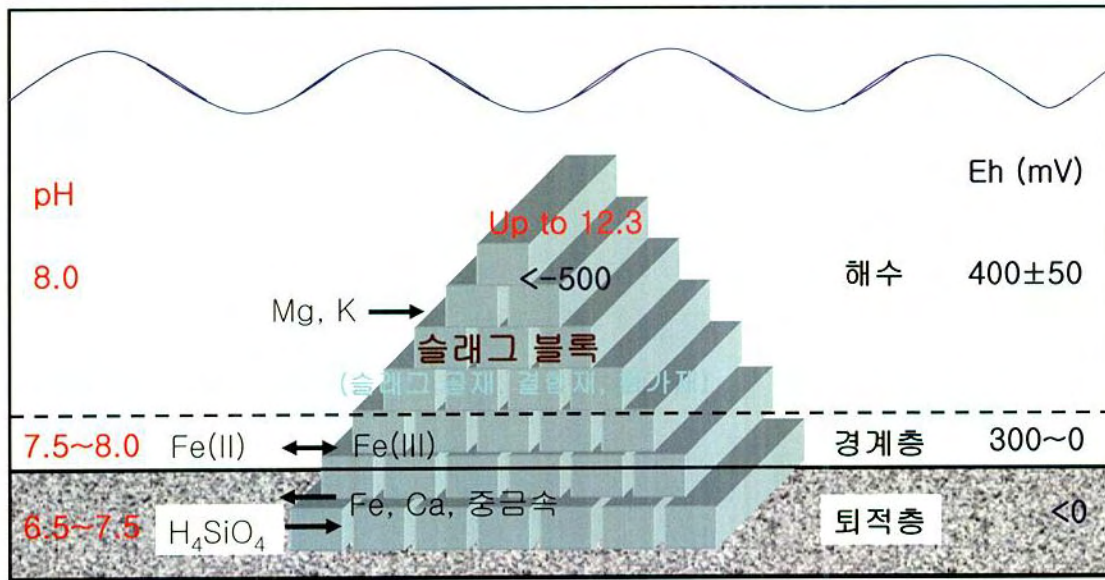


그림 2-1-1. 해양 환경과 해수-블록간의 반응.

Fig. 2-1-1. The ocean environment and seawater-block interaction.



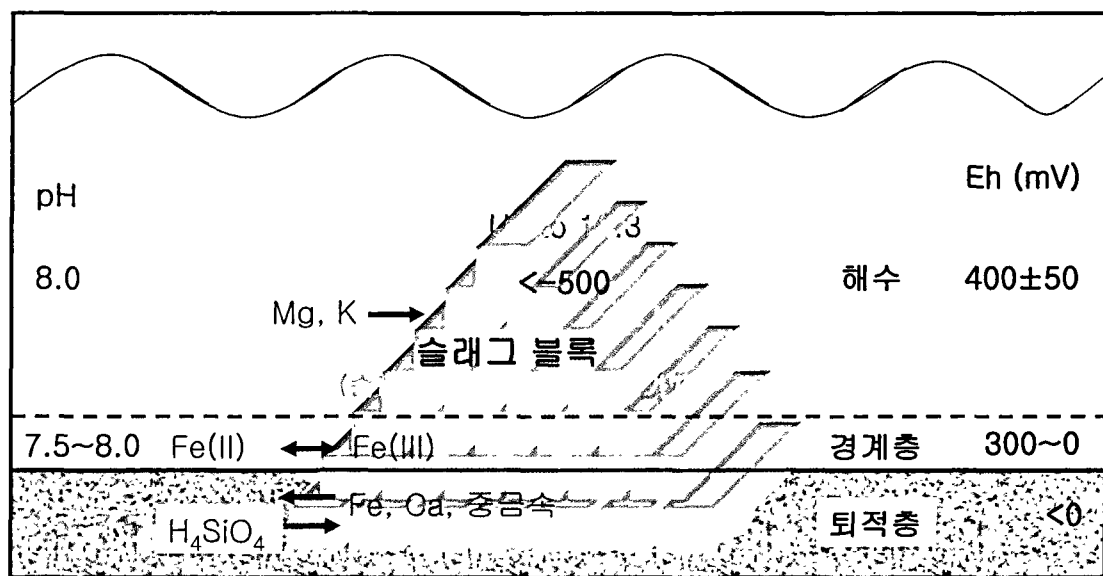


그림 2-1-1. 해양 환경과 해수-블록간의 반응.

Fig. 2-1-1. The ocean environment and seawater-block interaction.

### 2.1.2. 블록의 안정성

콘크리트 구조물은 해수, 오염된 지표수 및 지하수, 공극수, 대기 등으로부터 화학성분이 유입되어 성능저하가 발생할 수 있다(Al-Amoudi, et al., 1992; Bonen and Shark, 1994). 특히 해수 중에 포함된 알칼리 성분들은 블록 골재와의 반응을 촉진시키며, 콘크리트 내에서 균열과 팽창을 일으키는 물질을 형성한다. 또한, 탄산화 작용으로 형성되는 2차 광물들의 성분과 안정도의 차이에 의해 콘크리트의 성능이 저하된다(이효민 등, 2003). 미분말 상태의 석탄회와 시멘트의 혼합재는 숙성과정을 거치는 동안 강도가 증가된다고 알려져 있다. 그러나 콘크리트 성형체의 해수 내 장기간 침지연구에 의하면 처음 400일 동안에는 강도 변화가 없었으나, 800일간의 해수침투반응에 의한 표면의 뚜렷한 성능저하가 보고되었다(Gimenez et al., 1992). 한편, 해양퇴적물 내에 블록이 매몰될 경우 퇴적물 내의 유기물의 분해에 의한 국부적인 pH와 산소분압이 저하되며, 그 결과 알칼리로 활성화된 콘크리트의 저항도를 매우 감소시키는 것으로 보고되었다(Bakharev, 2003).

석탄회 블록은 시멘트와 석탄회, 결합재 및 경화재를 첨가하여 제작된 블록으로서, 해수 내 투여 시 블록의 기능적인 성능저하 연구가 요구되고 있다. 또한, 인공용승류 유도를 위한 해저산 조성에 이용되는 블록(높이 20m 정도)이 수 십년 이상 해수 및 해양퇴적물과 반응하므로 이에 대한 종합적인 검토가 이루어져야한다.

## 2.2. 연구배경

어장환경개선 사업으로 인한 해양환경의 변화를 정량적으로 파악하기 위해서는 해양학적 연구와 더불어 석탄회 블록의 환경 안정성이 검증이 우선되어야 한다. 특히 해양에 투여되는 석탄회 블록과 해수 반응에 의한 풍화작용(변질작용) 양상과 중금속 용출 특성 등이 규명되어야 한다. 산업부 산물에 대해 가장 보편적으로 활용되고 있는 폐기물 공정시험법의 용출 시험방법은 폐기물을 증류수(pH=6.0)에서 6시간동안 진탕하는 방법으로 인공 용승류를 유도하기 위한 석탄회 블록의 투여조건과는 상이하다. 따라서 해양환경에 적합한 용출시험법이 필요하며, 장기 투여에 의한 중금속 용출가능성에 대한 연구가 병행되어야 한다.

해양환경에서 석탄회 블록은 해수와 반응하여 풍화가 진행되며, 블록 구성물질의 용해 또는 침식에 의해 구조적 안정성에 영향을 받는다. 따라서, 이를 판단하기 위하여 해양 내에 투여된 블록의 풍화양상 및 2차 광물 생성 여부를 판단하며 구조적 안정성을 평가하여야 한다. 또한 블록과 퇴적물의 반응에 따른 주성분 변화를 판단하여 화학적인 환경변화가 예측되어야 한다. 또한, 석탄회 블록 투여 시 블록 하부는 해양퇴적물에 매몰되며, 상부는 해수에 노출되게 된다. 따라서, 해양 환경을 블록의 해수에 대한 반응과 퇴적물 경계부 또는 퇴적물 내 공극수의 화학적 특성에 의한 영향 등으로 구분하여 안정성이 평가되어야 한다(박맹언과 김필근, 2003).

## 2.3. 연구 목표

### 2.3.1. 중금속 용출 안정성 평가

인공용승류 유도를 위한 해저산 조성시 석탄회 블록의 조성 물질과 해수 경계면에서는 화학적 반응이 수반된다. 석탄회 블록은 해수와 저질부의 퇴적물질의 특이성으로 인하여 국부적인 환경변화를 초래하므로, 다양한 해양 환경 조건에서 발생될 수 있는 해수-블록 반응과 블록-퇴적물 반응에 따른 중금속 안정성을 규명하고, 인공 구조물로서의 활용성에 대한 환경적 적합성을 평가하였다. 해수와 블록간의 반응(산화환경), 저질부 및 퇴적층과 블록간의 반응(환원환경)으로 구분하여 해수 내의 중금속 용출량을 파악하였으며, 연구결과는 폐기물공정시험법을 적용한 용출량과 비교하였다.

### 2.3.2. 블록의 풍화반응 평가

해양에서 암석이 해수와 반응하여 용해되거나 침식(Thomas et.al., 1999)되는 것과 마찬가지로 석탄회 블록도 해수와의 반응에 의해 구성물질이 풍화되어 용해되거나 침식됨으로서 구조적 안정성에 영향을 미친다(표 2). 구조물의 안정성을 평가하기 위하여 해수와의 반응이 진행된 석탄회 블록 시료를 이용, 시간 경과에 따른 2차 광물 생성 여부와 조직의 변화를 확인하였다. 현미경분석, 주사전자현미경 분석(SEM) 및 화학조성 분석(EDS) 등을 실시하여 블록의 해수 투여 전후 광물조성을 비교하였다. 또한 석탄회 블록의 장기간에 걸친 해수반응에 따른 블록의 화학조성 변화를 파악하고, 2차 광물 생성 여부를 판단하였다.

표 2-1-2. 석탄회 내에 존재하는 광물의 풍화반응

Table 2-1-2. Weathering reactions of the fly ash forming minerals

Name (formular)	Weathering reactions
Quartz (SiO <sub>2</sub> )	Quartz → SiO <sub>2(aq)</sub>
Orthoclase (KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	4H <sup>+</sup> + orthoclase → K <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> + 3SiO <sub>2(aq)</sub> + 2H <sub>2</sub> O
Plagioclase	
Albite (NaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	4H <sup>+</sup> + albite → Na <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> + 3SiO <sub>2(aq)</sub> + 2H <sub>2</sub> O
Anorthite (CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	8H <sup>+</sup> + anorthite → Ca <sup>2+</sup> + 2Al <sup>3+</sup> + 2SiO <sub>2(aq)</sub> + 4H <sub>2</sub> O
Calcite (CaCO <sub>3</sub> )	H <sup>+</sup> + calcite → Ca <sup>2+</sup> + HCO <sub>3</sub>

2.3.3. 퇴적물의 화학적 환경변화 연구

퇴적물 내 포함되어있는 공극수는 석탄회 블록과의 반응에 의해 퇴적물의 주성분 및 중금속원소의 화학조성 변화를 초래할 수 있다. 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 화학적 환경변화를 주성분원소 함량의 초기농도와 반응 후 농도를 비교하였다. 또한 블록과 퇴적물 반응에 의한 중금속 함량 변화와 2차 생성물의 생성여부를 파악하였다.

2.3.4. 생물체내의 중금속 축적량 조사

해수 및 퇴적물 내의 공극수와 블록간의 반응에 의해 금속원소(중금속 포함)가 용출되면 해양환경에 영향을 미칠 수 있다. 해양환경에서 장기간의 반응에 의해 용출된 특정 금속성분은 해양생태학적 특성에 따라 생물체 내에 축적될 수 있다. 생물체 내의 축적 여부는 해안에 위치한 매립장에서 그 축적 양상을 간접적으로 평가하고 그 결과를 실제 블록이 투여된 지역에 적용하였다. 해양생물에 대한 유해성평가는 어독성 평가 방법에 의한 치사율 및 어류 활동성 등을 근거로 수행하였다.

## 2.4. 연구의 기대효과

이 연구는 석탄회 블록의 해양환경에서의 중금속 용출에 대한 안정성, 풍화작용에 의한 기능적 안정성, 퇴적물과 반응에 대한 화학적 환경변화 및 해양 생물체 내의 중금속 축적 여부 등을 규명하였다.

연구결과는 해수와 퇴적물과의 경계층을 비롯하여 블록과 해수, 퇴적물 내의 공극수 반응에 의한 중금속 용출 등에 따른 블록의 안정성과 해양생물에 미치는 영향을 평가하는 중요한 자료로 활용 될 것이다. 해양에 투입될 석탄회 블록의 장시간에 걸친 중금속 용출 양상과 해수-블록 반응에 의한 2차 광물의 형성을 예측하는데 활용될 수 있다. 블록의 내구성 및 안정성 평가 연구는 해양에 투입될 블록의 재질 개선 및 제작방법 결정에 중요한 자료를 제시하고 블록뿐만 아니라 각종 구조물 제작에 필요한 기초 자료 및 해양환경에서의 적용성 평가에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

이 연구에 활용된 다양한 연구방법은 해양산업분야의 산·학·연 협력체계의 구축과 함께 해양환경에 적합한 기능성 콘크리트의 개발을 기대할 수 있으며, 이 분야의 전문인력 양성에 기여할 것으로 생각된다.

## 2.5. 연구방법

### 2.5.1. 현장관측

현장관측은 2005년 4월 6일 매물도 해역의 9개 지점에서 실시하였다(그림 2-1-2). 각 지점에서 수층별 자동 채수기를 이용하여 채수하였으며, 수심, 온도, 깊이, 염도 및 용존산소농도를 측정하였다(그림 2-1-3). 해수의 수소이온농도(pH)와 산화환원전위(Eh)는 pH/Eh meter(orion 250A+)를 이용하여 채수와 동시에 측정하였다.

해양퇴적물은 피스톤 코어 채취기를 이용, 지점별로 교란되지 않은 주상 시료(약 2m)를 채취하였다(그림 2-1-4).

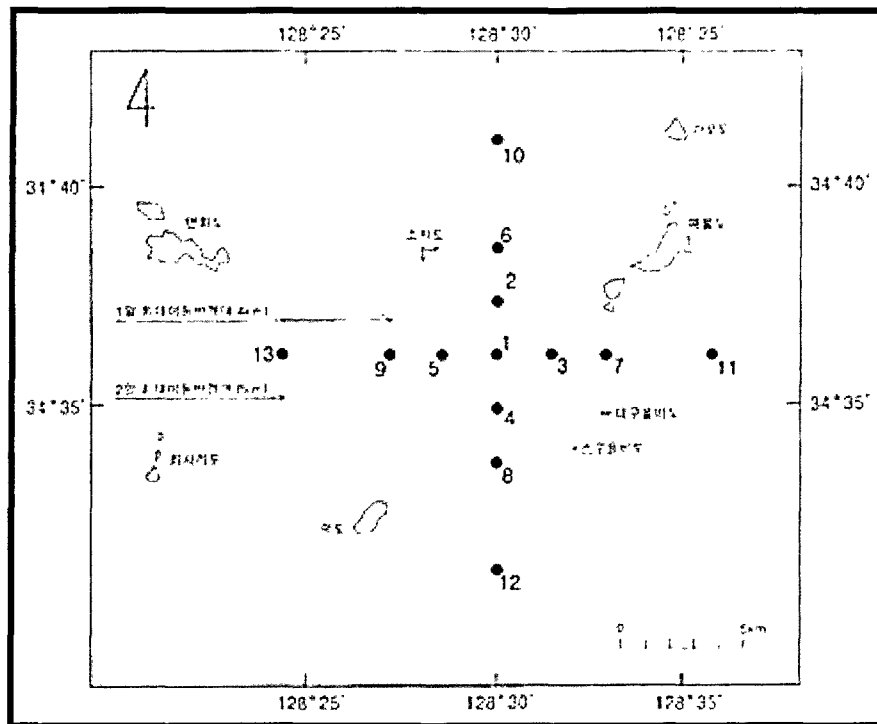


그림 2-1-2. 시료채취 위치도.

Fig. 2-1-2. Sampling location of study area.

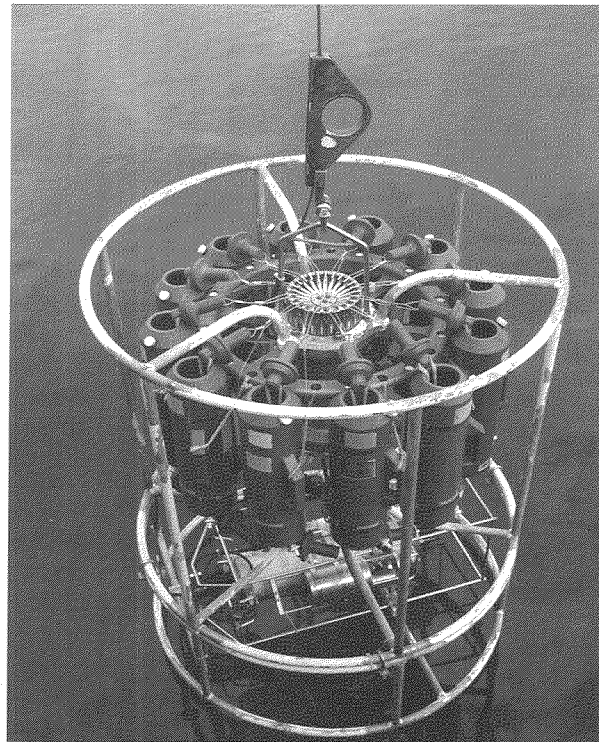
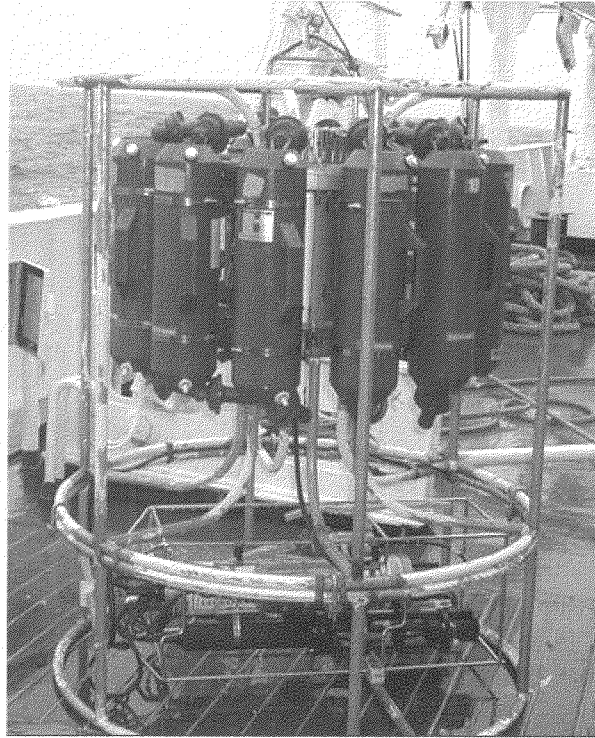


그림 2-1-3. 연구에 이용된 채수기와 CTD.

Fig. 2-1-3. Seawater sampler and

CTD(Conductivity-temperature-depth sensor).



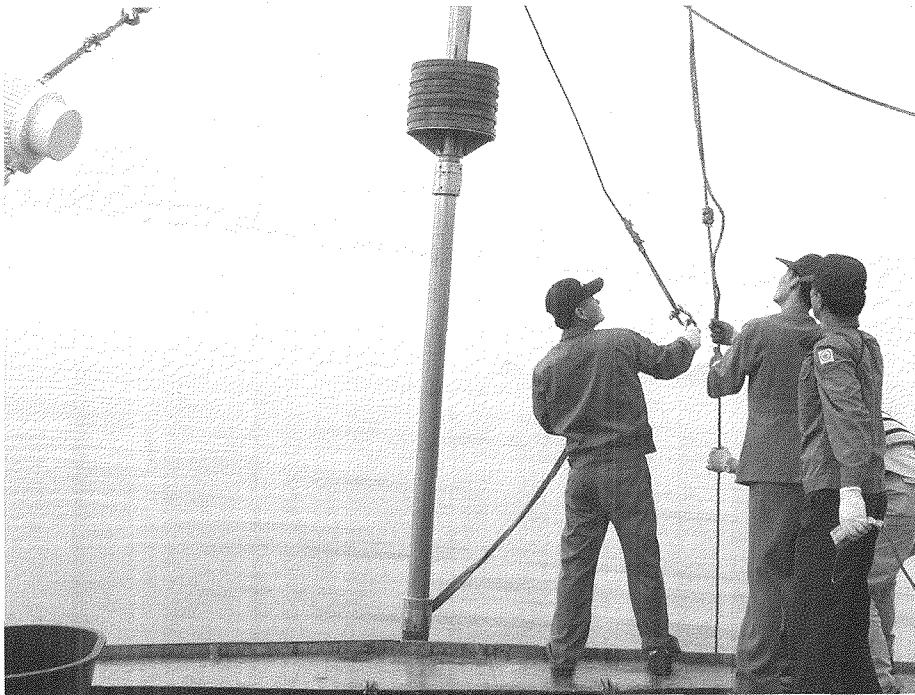
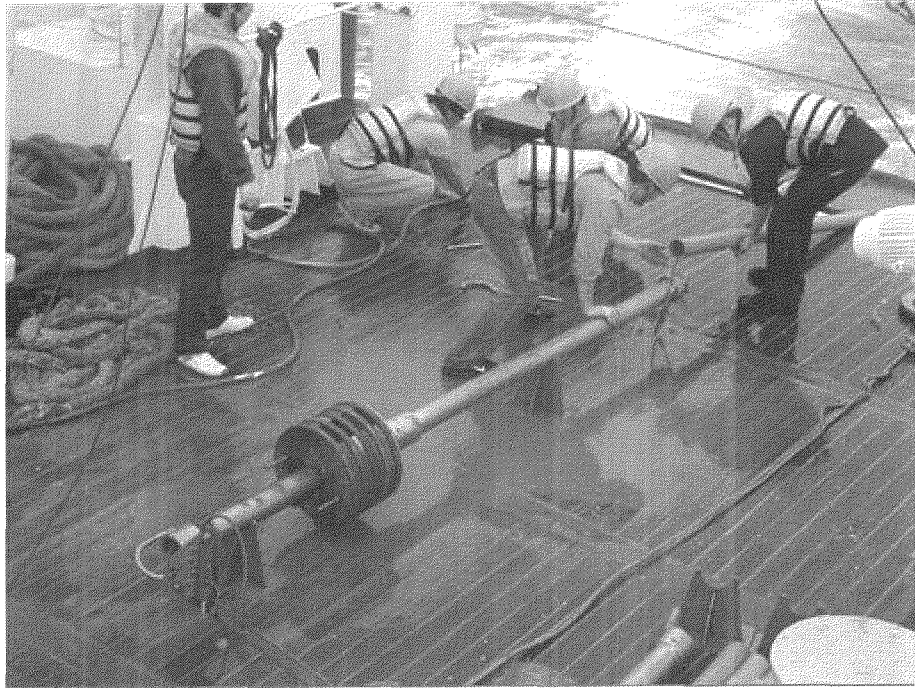


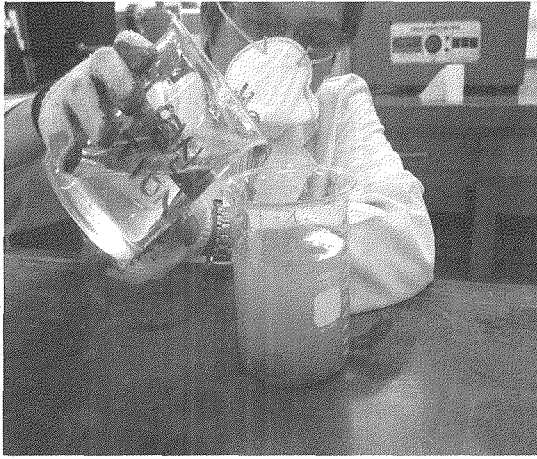
그림 2-1-4. 피스톤 코아를 이용한 해양퇴적물 채취 과정.

Fig. 2-1-4. Photograph of sediment sampling by piston core sampler.

## 2.5.2 입도분석

해양 퇴적물의 입도분석은 코아 시료(상부 5cm의 표층부퇴적물)를 대상으로 수행하였다. 30g의 시료를 1000ml 비이커에 담고 6% 과산화수소수를 이용하여 유기물을 제거하였다. 증류수로 용해성 염분을 2회간 세척하고 0.1N 염산으로 탄산염을 제거하였다(그림 2-1-5A).

전처리된 시료는 4 $\Phi$  체를 이용하여 습식 체질하였다(그림 2-1-5B). 4 $\Phi$  이상의 사질 및 역질 입자들은 건조하여 로탭요동기(RO-TAP Sieve Shaker, 그림 2-1-5C)에 의해 1 $\Phi$  간격으로 분석하였다. 4 $\Phi$  이하의 실트 및 점토 입자들은 확산제(2%의 Sodiumhexametaphosphate) 50cc를 첨가하여 확산시킨 후 자동입도분석기(micromeritics, Sedigraph 5100, 그림 2-1-5D)를 이용하여 1 $\Phi$  간격으로 분석하였다. 분석 결과는 Folk and Ward (1968)와 Ward (1968)법에 따라 분류하였다.



(A)



(B)



(C)



(D)

그림 2-1-5. 입도분석 과정. (A) 탄산염 제거, (B) 습식분석, (C) 로탭 요동기, (D) 자동입도분석기.

Fig. 2-1-5. Photographs of particle size analysis process. (A) Decarbonization, (B) wet analysis, (C) RO-TAP Sieve Shaker and (D) sedigraph meter.

### 2.5.3. 퇴적물의 중금속 분석

코아 시료(상부 5cm 표층퇴적물) 0.2g을 취한 후 혼합산(염산, 질산 및 과염소산)으로 용해하였다. 성분 분석은 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000Ⅲ), 한국기초과학지원연구원)로 분석 하였다(그림 2-1-6). 이 기기의 파장 범위는 160nm에서 850nm 까지이며 RF진동수는 27.12MHz, 최대 출력은 1.6kW이다.

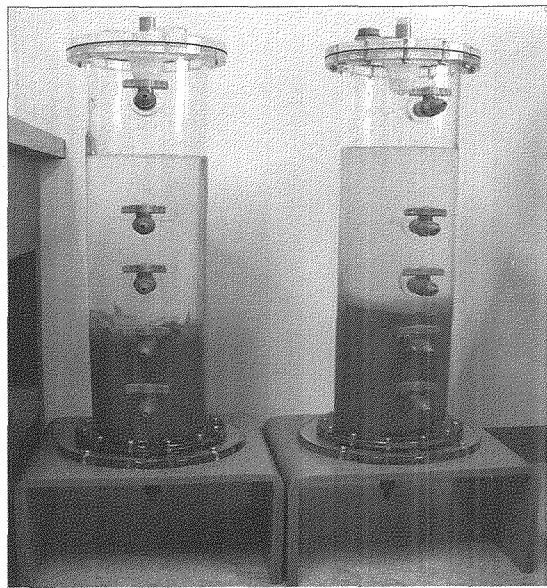


그림 2-1-6. 유도결합 플라즈마 방출분광기.

Fig. 2-1-6. Photograph of Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP/AES).

#### 2.5.4. 장기 중금속 용출 실험

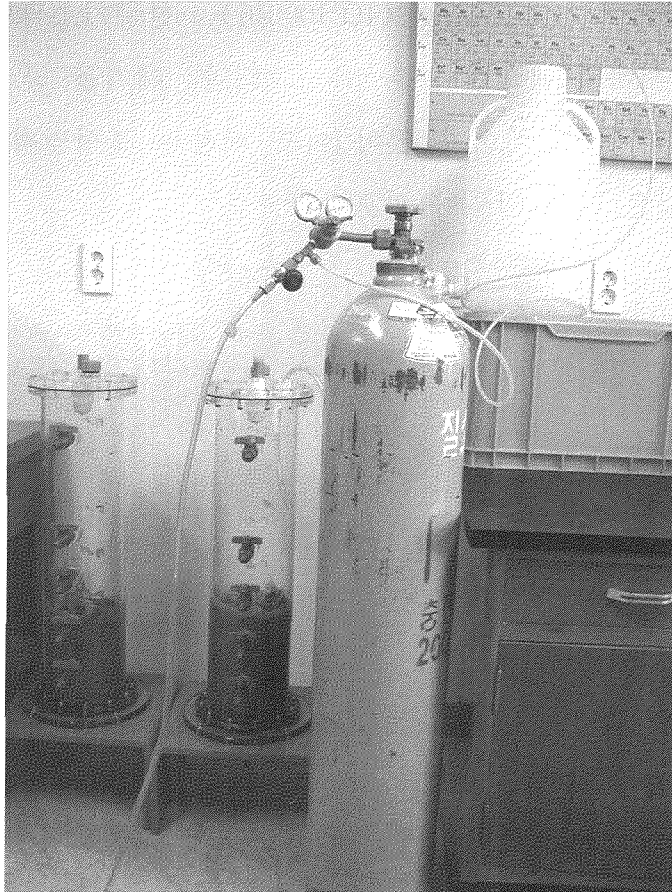
장기간의 용출 실험을 모사하기 위하여 내경 15cm, 높이 70cm의 층별 채수가 가능한 아크릴 컬럼을 제작하였다(그림 2-1-7A). 컬럼 환경은 퇴적물(20cm)를 충전 후 석탄회 블록과 해수의 고액비가 20:1이 되도록 석탄회블록을 투여하였다(그림 2-1-7B). 석탄회 블록의 크기(5cm×5cm×5cm)는 컬럼의 용량을 고려하여 제작하였다. 해수-블록 반응 조건에 대비되는 산화환경은 상부를 개방하여 개방계(open system)을 유지하였으며, 유기물이 함유된 퇴적물 층에 해당되는 환원환경은 컬럼 내에 20psi로 질소 가스를 주입, 내부의 공기를 제거한 후 폐쇄계(close system)을 유지하였다(그림 2-1-7C). 분석용 시료는 6시간, 24시간, 3일, 5일, 1주, 2주, 4주, 8주, 16주 간격으로 채취였으며, 각 단계별로 시료의 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC)를 측정하였다. 채취된 시료는 필터(45 $\mu$ m 필터지)후 질산으로 처리하여 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000III), 한국기초과학지원연구원)를 이용하여 중금속 원소의 함량을 분석하였다.



(A)



(B)



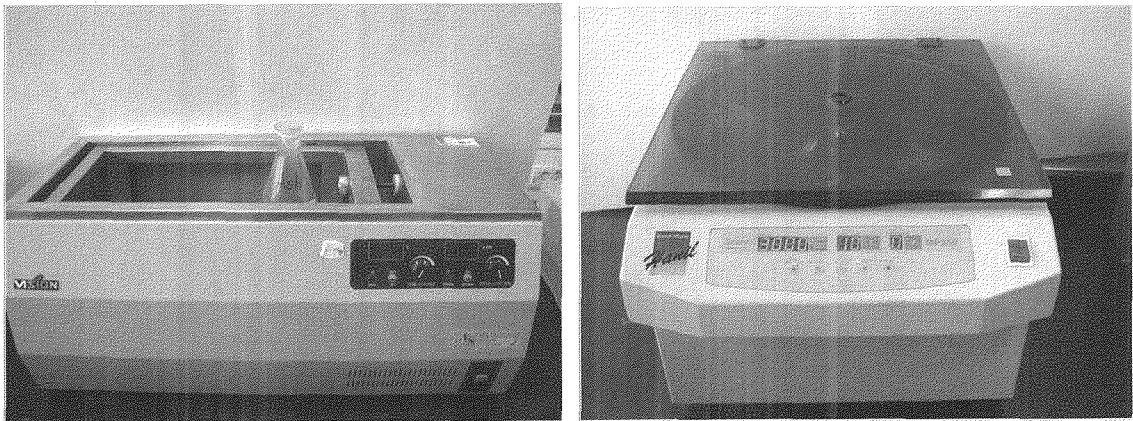
(C)

그림 2-1-7. 실험에 이용된 컬럼.

Fig. 2-1-7. Photographs of column test system.

### 2.5.5. 폐기물 공정시험법

폐기물 공정시험법(환경부, 2000)은 지정폐기물의 판정과 지정 폐기물의 중간처리방법 또는 매립방법을 결정하기 위하여 폐기물 관리법에서 규정하고 있는 시험법이다. 시험방법은 염산을 이용하여 증류수의 pH를 6.0으로 적정한 후, 석탄회 시료 100g을 pH가 적정된 증류수와 1:10(고액비)의 비가 되도록 혼합하였다. 혼합된 시료는 항온진탕기(상온, 200rpm)를 이용하여 6시간 동안 진탕하였다(그림 2-1-8A). 반응된 시료는 원심분리기에서 3,000rpm의 속도로 20분간 분리한 후, 시료의 상등액을 취하여 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000III), 한국기초과학지원연구원)로 중금속원소를 분석하였다(그림 2-1-8B). 그러나, 폐기물 공정시험법의 실험조건은 해양환경과 다소 차이가 있어 이를 이용한 분석결과를 실제 해양환경에 적용하는 것은 많은 검토가 필요하다.



(A)

(B)

그림 2-1-8. 폐기물 공정시험 과정. (A)항온 진탕기를 이용한 반응 모습, (B) 시료 원심분리.

Fig. 2-1-8. Standard methods process for the examination of waste. (A) Reacting ash block in shaking incubator, (B)sample centrifuge.

### 2.5.6. 구조물 안정성 조사

구조물 안정성조사를 위한 석탄회 블록의 해수 침지 실험은 부경대학교 수산과학기술센터(경남 고성군 소재)의 순환수조(950cm×1600cm)에서 수행하였다(그림 2-1-9A). 수조에 10cm 두께로 퇴적물을 충전한 후, 11cm×5cm 크기의 석탄회 블록 시료 12개를 투입하였다(그림 2-1-9B). 매 1개월 단위로 회수된 석탄회 블록 시료를 대상으로 풍화 상태 및 퇴적물과의 반응정도를 파악하였다. 석탄회 블록 시료는 박편 및 연마편을 제작하여 현미경 관찰 및 주사전자현미경(SEM)분석(Hitachi (S-2400), 부경대학교 공동실험실습관)을 실시하였으며, 주성분 및 중금속 함량은 X-선형과분석기(Shimadzu (XRF-1700), 부경대학교 공동실험실습관)와 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000Ⅲ), 한국기초과학지원연구원)을 실시하였다.

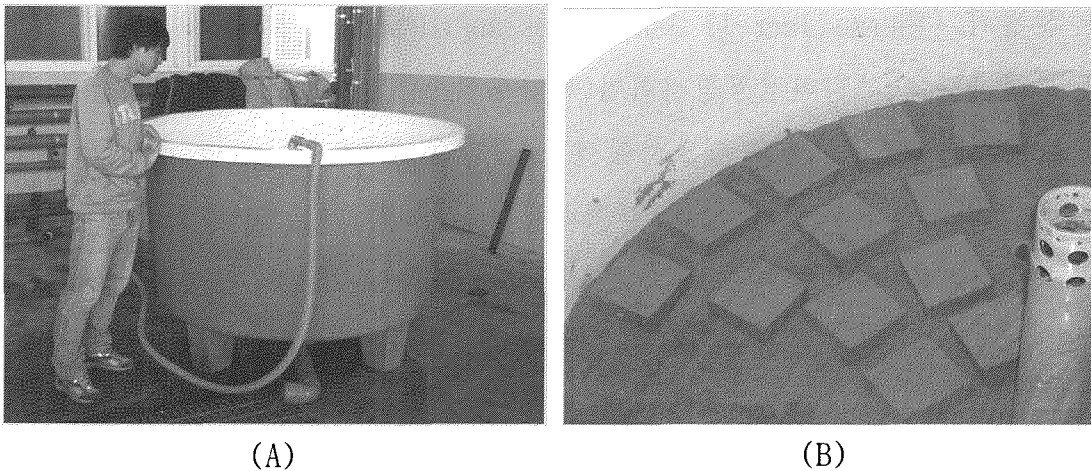


그림 2-1-9. 구조물 안정성 조사. (A)수산과학기술센터 내 순환수조, (B)수조 내 블록의 침지 모습.

Fig. 2-1-9. Block stability test. (A)Circulating water tank, (B)ash block in the water tank.



### 2.5.7. 생물체 내의 중금속 축적량 조사

석탄회 블록의 설치에 따른 생물체 내 중금속 축적량의 변화를 평가하기 위하여 설치 전에 채집된 생물체를 각 조직별로(간, 내장 및 육질부) 해부하여 중금속함량을 조사하였다(설치 후는 금어기간과 관련하여 현재 진행 중임).

중금속 함량 측정을 위해 먼저 생체시료 1g을 50ml의 테프론 바이알에 넣고 10ml의 질산을 첨가한 다음 유리커버를 덮고 24시간 이상 상온에서 반응시켰다. 초기반응이 끝난 후 바이알을 열판에 올려놓고  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간 가열하였다. 가열 후 용액을 완전히 증발시키고 0.2N 질산을 20ml 첨가하여 24시간 동안 재용출하였다. 이때 녹지 않은 잔류물은 원심분리기에 의해 제거하고, 상등액은 산으로 세척한 바이알에서 냉장 보관하였다.

추출한 시료의 납, 아연, 카드뮴, 크롬 및 니켈은 유도결합 플라즈마 방출 분광기 (Thermo Jarrell Ash Tracescan advantage)로 분석하였고, 각각의 분석과장은 해양환경공정시험법(해양수산부, 2002)에서 권장하는 과장을 선택하였다. 비소는 ICP 제조사에서 보급한 Hydride generator를 장착하여 측정하였다. 총 수은 분석은 균질화시킨 생물시료를 Gold amalgamation-Pyrolysis법을 사용한 Mercury Analyzer (NIC MA-2S)로 분석하였다. 이때 Carrier Gas는 Filtering Air를 사용하였고, Detection limit는 0.01ng이다.

회수율은 NIST Standard Material(Organics in Mussels Tissue 1974 b)을 사용하여, 상기에 제시한 방법으로 측정하였고, 그 결과는 표 3과 같다.

표 2-1-3. NIST에서 구입한 표준물질(진주담치)의 중금속 회수율 결과  
(단위:  $\mu\text{g}/\text{kg wet wt.}$ )

Table 2-1-3. Concentrations of metals found in Standard Reference Material Organics in Mussel (*Mytilus edulis*) from the National Institute Standards and Technology (unit in  $\mu\text{g}/\text{kg wet wt.}$ )

Elements	Metal Concentration		Recovery rate (%)
	Certified	Measured	
As	0.80	0.61	76.0
Cd	0.16	0.14	92.3
Cr	0.23	0.22	95.4
Ni	0.11	0.10	91.5
Pb	0.75	0.67	89.4
Zn	12.30	11.86	96.4
Hg	17.00	15.23	89.6

## 2.6. 연구 결과

### 2.6.1. 현장관측 결과

2005년 4월 6일에 현장에서 관측 결과, 조사지역의 해수온도는 11.39~11.86℃ 범위를 나타내었다. 용존산소(DO)는 약 70m 수심에서 5.5mg/l 이며, 염도는 일반적인 해수 염도인 34‰을 갖는다. 해수의 수소이온농도(pH)와 산화환원전위(Eh)를 측정한 결과, 석탄회 블록 투여 중간지점인 정점 1의 pH는 7.96이고 Eh는 675mV로서 산화전위값이 높은 해수의 특성을 띠며, 정점 9의 pH는 7.90이고 Eh는 606mV로서 상대적으로 낮은 산화전위값을 갖는다(표 2-1-4).

표 2-1-4. 연구지역의 온도, 용존산소농도, 염도, 수소이온전위, 산화환원전위, 해수 깊이 자료(측정일 : 2005년 4월 6일)

Table 2-1-4. Temperature, DO, salinity, pH, Eh and depth of studied area. (Measured date : April, 2005)

Station	Temp(℃)	DO(mg/L)	Salinity(‰)	pH	Eh(mV)	Depth(m)
1	11.49	5.51	34.53	7.96	675	60
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	58
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	74.7
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	52
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	57
6	11.71	5.50	34.53	n.a.	n.a.	50
7	11.85	5.49	34.53	n.a.	n.a.	80.4
8	11.86	5.49	34.53	n.a.	n.a.	54
9	11.39	5.46	34.53	7.90	606	52

n.a. : Not Analysed

## 2.6.2. 퇴적물의 입도분석 결과

연구지역에서 채취한 퇴적물의 입도분석 결과, 정점 7번과 9번 지점에서는 점토가 우세하였으며, 나머지 정점에서의 시료들은 모래가 우세하였다(표 2-1-5), 자갈이 함유되어 있지 않은 정점(4, 5, 9번)은 모래, 실트 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류법(그림 2-1-10)을 이용한 결과, 4번 정점은 니질사퇴적물로 5번과 9번은 각각 사질니 퇴적물과 사질점토 퇴적물로 분류되었다. 정점 1, 2, 3, 6, 7, 8번은 자갈, 모래, 점토 입자의 성분비에 따른 분류법(그림 2-1-11)을 이용하였다. 그 결과 7번 정점은 역질을 함유한 사질니 퇴적물로 구성되었으며, 그 외 정점은 역질을 함유한 니질사 퇴적물로 분류되었다.

표 2-1-5. 퇴적물의 채취 정점별 입도 분포(단위:%)

Table 2-1-5. Distribution of particle size at each station  
(Unit in %)

Station	Gravel	Sand	Silt	Clay	Mz	Sorting	Sediment type*
1	0.43	65.25	8.26	26.07	4.53	3.37	(g)mS
2	0.46	59.51	11.00	29.03	4.44	3.42	(g)mS
3	0.37	59.92	20.06	19.65	4.64	3.00	(g)mS
4	0.00	70.65	11.60	17.75	4.18	2.84	mS
5	0.00	45.03	21.56	33.41	5.76	3.13	sM
6	0.04	66.68	13.15	20.13	4.47	2.91	(g)mS
7	0.22	44.11	4.98	50.68	5.92	3.87	(g)sM
8	0.17	58.88	14.58	26.37	4.79	3.30	(g)mS
9	0.00	33.45	15.21	51.34	6.81	3.03	sC

\*(g)mS : Gravelly muddy sand, (g)sM : Gravelly Sandy mud, mS : Muddy sand, sM : Sandy mud, sC : Sandy clay

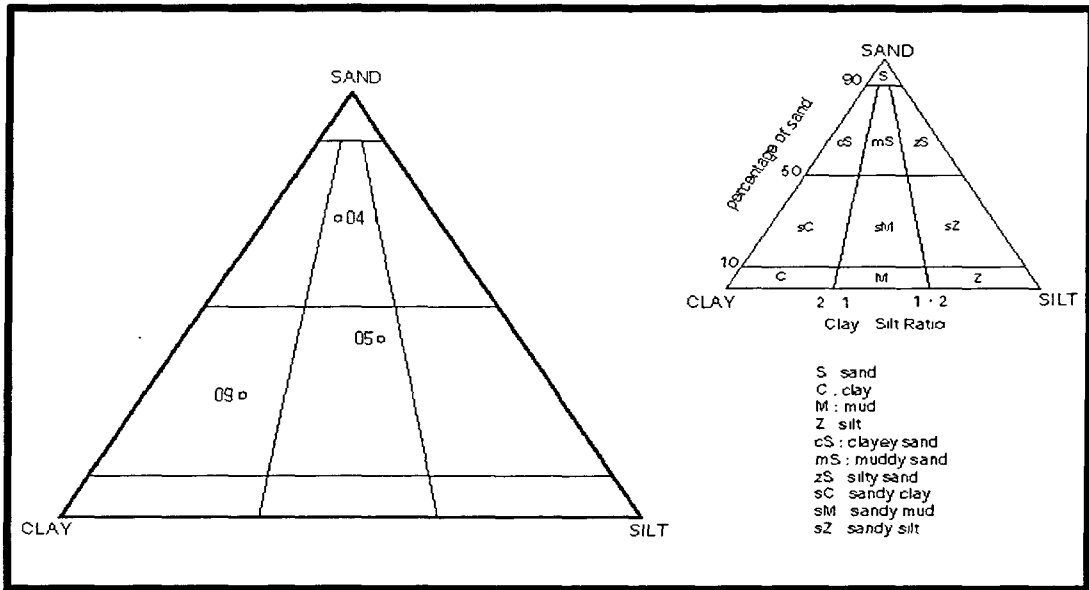


그림 2-1-10. 모래, 실트 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.

Fig. 2-1-10. Classification at the proportion among sand, silt and clay.

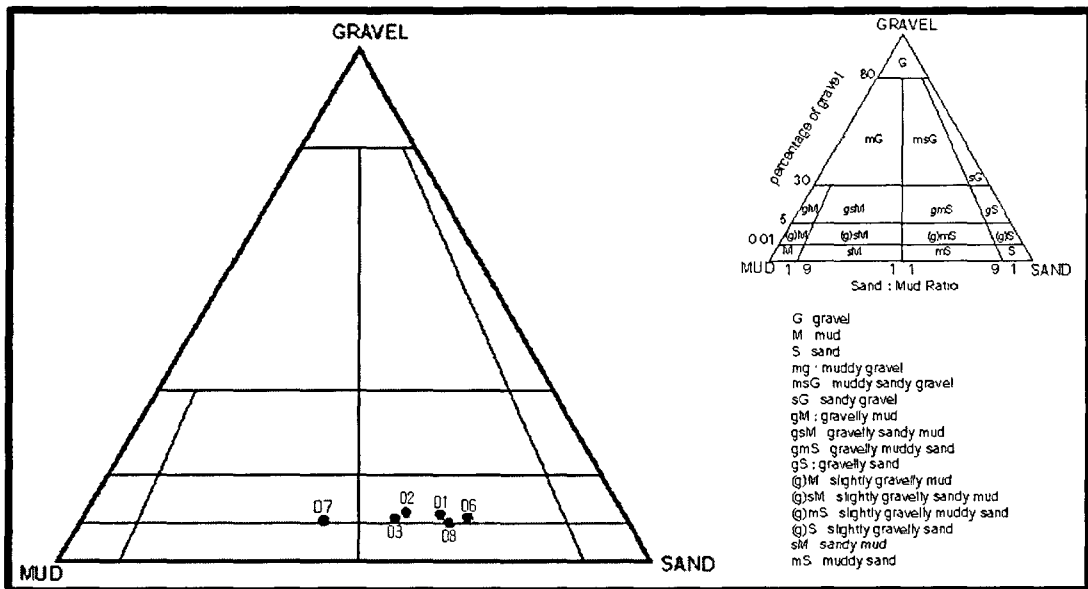


그림 2-1-11. 자갈, 모래 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.

Fig. 2-1-11. Classification at the proportion among gravel, sand and clay.

### 2.6.3. 퇴적물의 중금속 분석 결과

퇴적물의 중금속 함량을 분석한 결과, 크롬은 최대 65ppm 에서 최소 32ppm, 아연은 최대 82ppm 에서 최소 32ppm 이다. 코발트는 최대 106ppm 에 서 최소 25ppm 이며, 니켈은 평균 17ppm으로 농도가 가장 높은 지점은 28.9ppm이다. 구리와 비소는 평균 7ppm, 몰리브덴은 1ppm, 카드뮴은 0.08ppm 이하이다(표 2-1-4).

연구지역 퇴적물 내에 함유되어있는 중금속 함유량을 광양만과 서남해안 의 퇴적물 및 목포해안 갯벌에서의 농도와 비교하면(Cheon et al., 2000; Hyun et al., 2003; Na, 2004), 연구지역 퇴적물은 망간과 납을 제외한 중 금속의 농도가 서남해안 및 광양만보다 낮게 나타났으며, 망간과 납은 목포 해안의 갯벌보다 다소 높게 나타난다(표 2-1-7).

표 2-1-6. 정점별 퇴적물 화학조성

Table 2-1-6. Chemical composition for each station

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	average
Unit : %										
Al	5.3	5.5	5.8	5.7	6.3	3.9	4.0	5.0	7.3	5
Fe	1.8	2.1	2.1	1.9	2.6	1.4	1.9	1.9	3.3	5
K	2.4	2.3	2.4	2.5	2.5	2.4	1.6	2.3	2.7	2
Mg	0.70	0.83	0.81	0.82	1.06	0.48	0.84	0.80	1.39	1
Na	1.9	1.9	2.2	2.2	1.8	1.7	1.4	2.0	2.5	2
Unit : ppm										
Cr	32.0	37.7	34.0	35.1	48.9	32.7	47.3	34.4	65.1	41
Zn	38.2	49.6	47.7	43.2	67.7	32.1	41.6	43.6	82.3	50
Co	106.0	55.5	98.2	97.1	20.1	83.8	31.0	25.5	30.1	61
Ni	12.1	14.6	13.8	15.7	24.0	10.9	16.1	15.6	28.9	17
Cu	5.1	6.3	6.1	6.5	9.1	5.1	6.5	6.3	11.4	7
Mo	2.00	1.17	1.01	0.77	0.93	1.04	0.53	1.17	3.19	1
Cd	0.09	0.17	0.09	0.07	0.08	0.01	0.06	0.07	0.09	0
Pb	19.2	73.1	39.7	20.1	18.7	16.3	17.4	18.8	24.3	27.51
Ba	483	485	512	489	450	492	244	466	420	449

Mn	350	359	363	345	451	269	849	329	549	429
Sr	375	367	332	408	298	192	960	394	337	407
Ti	2114	2558	2452	1983	2710	2190	1735	1807	3265	2313
Li	30.2	37.8	36.4	34.0	51.1	27.6	30.6	34.0	63.3	38
P	181	264	245	192	241	141	269	201	353	232
S	2993	2819	2509	1954	2685	1496	1333	2403	4042	2470
Sc	8.2	9.5	9.0	8.4	11.2	6.4	7.9	8.2	14.0	9
V	34.7	44.7	41.4	37.5	60.8	32.7	36.5	38.6	78.2	45
Zr	90	101	147	93	104	139	63	61	123	102
As	9.1	6.9	7.9	7.5	5.6	7.4	6.8	6.7	7.1	7
Rb	98	102	95	103	114	76	78	100	141	101
Y	12.5	14.1	13.7	12.2	13.8	10.6	11.7	11.0	20.3	13
Sn	0.79	1.23	1.01	1.79	0.46	0.84	1.01	0.85	2.09	1
Sb	0.41	0.45	0.44	0.42	0.36	0.48	0.42	0.42	0.61	0
Cs	3.25	4.30	3.81	3.93	6.54	2.86	4.06	4.34	8.16	4.58
Th	7.95	7.44	7.95	7.32	7.92	7.20	7.79	6.85	11.13	7.94
U	2.75	2.04	2.06	2.11	2.58	1.48	1.40	2.24	3.39	2.23

표 2-1-7. 연구지역과 광양만, 서남해안 및 목포해안의 중금속 농도 비교(단위:ppm)

Table 2-1-7. Heavy metal concentration in sediments from Gwangyang, Southwestern coast, Mokpo coast and study area (Unit in ppm)

	Mn	Cr	Cd	Ni	Cu	Zn	Pb	Reference
Gwangyang	909	67	-	33	19	95	35	Cheon <i>et. al.</i> , 2000
South western coast	480	67	-	37	19	86	33	Hyun <i>et. al.</i> , 2003
Mokpo coast	311.8	-	9.54	-	74.16	120.7	15.64	Na, 2004
Study area	429	41	0.08	17	7	50	27.51	This study

#### 2.6.4. 퇴적물의 REE 패턴

연구지역의 퇴적물에 대한 희토류원소(REE) 분석 결과, 중희토류원소보다 경희토류원소에서 높은 콘드라이트 기준 함량비를 나타내며, Eu와 Tb에 대해서 부(-)의 양상을 보여준다(표 2-1-8). 모든 정점의 시료들은 경희토류원소가 급격한 감소양상을 나타내며, 중희토류원소들은 농도변화를 보이지 않는다. 연구지역 퇴적물의 REE 패턴은 비슷한 양상을 보여주고 있어, 동일 기원 물질로 부터 퇴적되었음을 시사해준다(그림 2-1-12).

표 2-1-8. 정점별 희토류 농도

Table 2-1-8. Rare earth element (REE) concentration from each station (unit in ppm)

	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9
La	25.1	24.9	22.4	22.4	24.1	18.3	21.8	20.9	30.3
Ce	50.1	48.7	49.0	44.8	50.6	47.1	43.5	41.8	61.9
Pr	5.79	5.71	5.36	5.20	5.46	4.56	5.16	4.90	7.15
Nd	20.5	20.6	19.9	19.1	19.8	17.0	19.3	17.9	25.9
Sm	3.83	3.92	3.78	3.57	3.83	3.31	3.74	3.41	4.95
Eu	0.70	0.78	0.77	0.72	0.80	0.58	0.64	0.68	1.00
Gd	3.11	3.18	3.22	2.93	3.25	2.74	3.17	2.71	4.28
Tb	0.44	0.46	0.46	0.41	0.46	0.35	0.42	0.38	0.65
Dy	2.38	2.65	2.61	2.34	2.63	2.01	2.34	2.15	3.85
Ho	0.48	0.53	0.52	0.46	0.52	0.40	0.44	0.41	0.76
Er	1.35	1.50	1.51	1.29	1.52	1.15	1.25	1.20	2.24
Tm	0.20	0.21	0.22	0.18	0.21	0.16	0.17	0.16	0.33
Yb	1.26	1.47	1.44	1.24	1.41	1.16	1.16	1.09	2.08
Lu	0.19	0.21	0.22	0.18	0.20	0.18	0.17	0.15	0.30



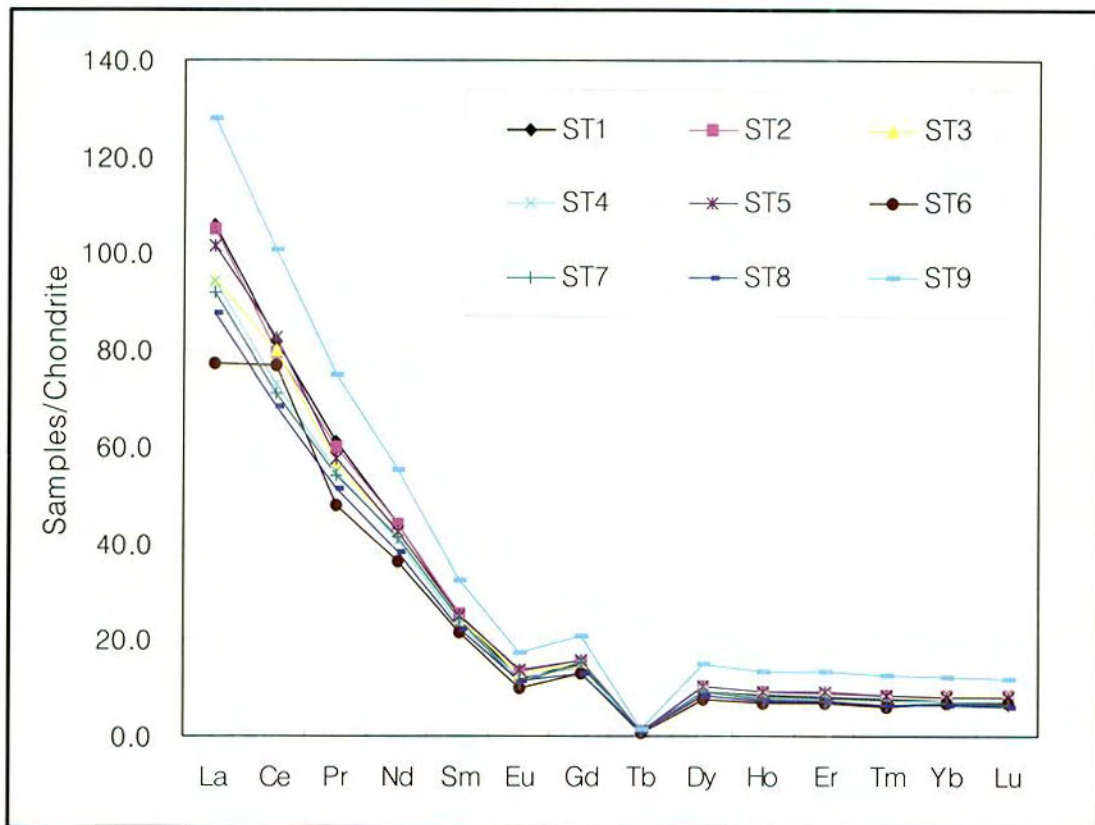


그림 2-1-12. 연구지역 퇴적물의 희토류원소 패턴.

Fig. 2-1-12. Rare earth element patterns of sediments from different station.

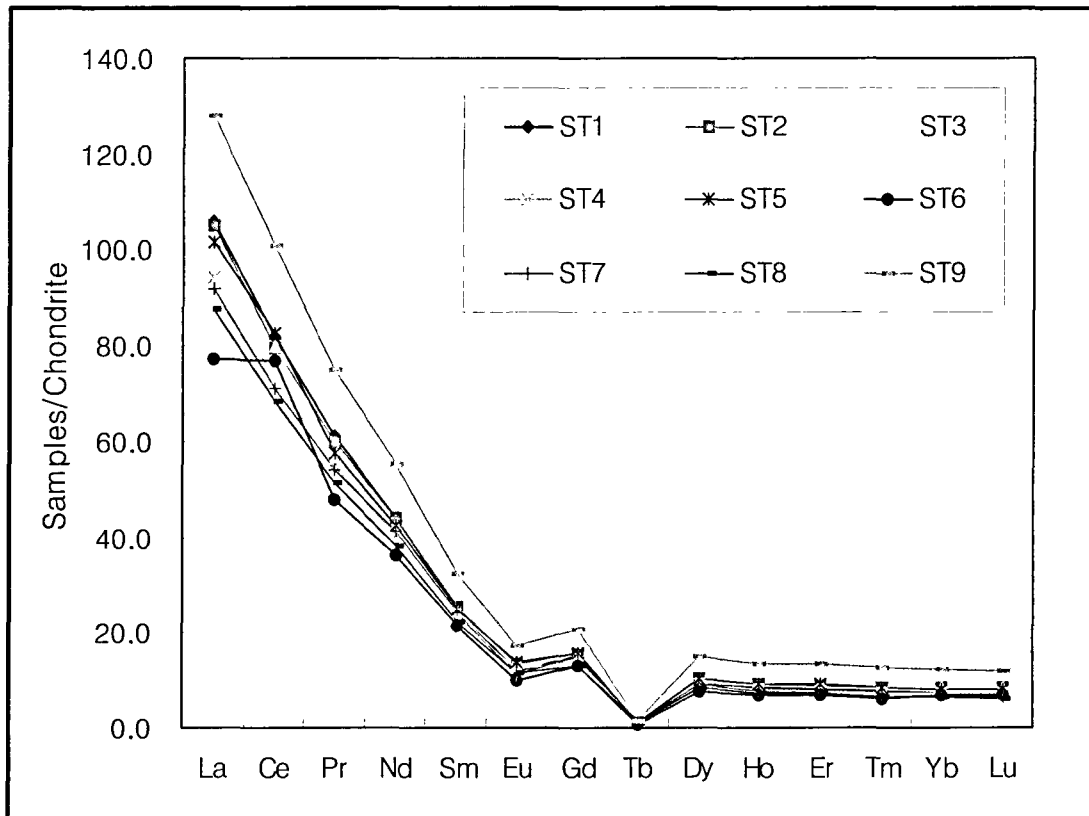


그림 2-1-12. 연구지역 퇴적물의 희토류원소 패턴.

Fig. 2-1-12. Rare earth element patterns of sediments from different station.

## 2.6.5. 장기 중금속 용출 실험

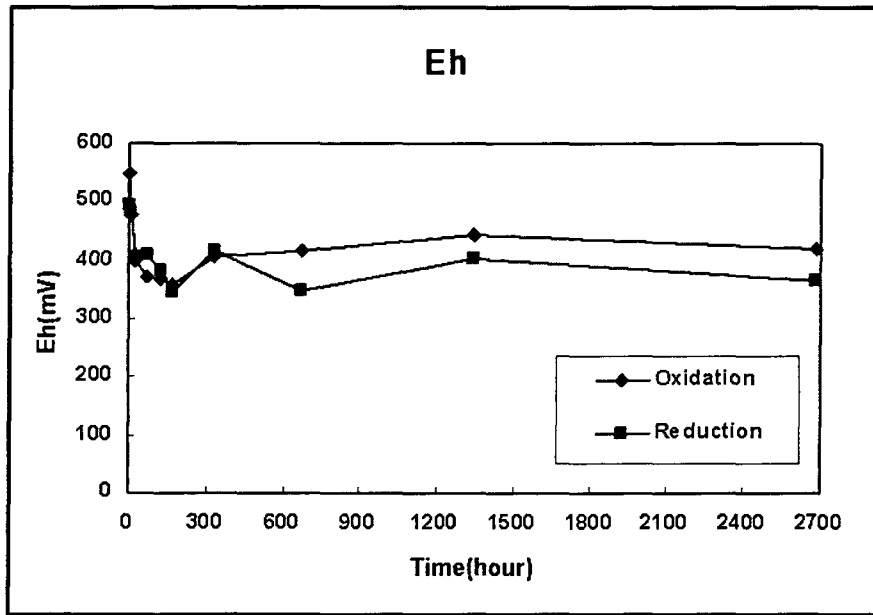
### 2.6.5.1. 컬럼 내 pH/Eh 환경 변화

장기간의 중금속 용출실험에서 산화조건에서의 산화환원전위(Eh)는 초기 548mV에서 일시적으로 358mV까지 감소되었으며, 2주 후부터는 지속적으로 증가하여 최종적으로 419mV를 나타내었다. 환원조건에서의 산화환원전위(Eh)는 초기 495mV에서 16주 후 364.7mV로 감소하였다(그림 2-1-13).

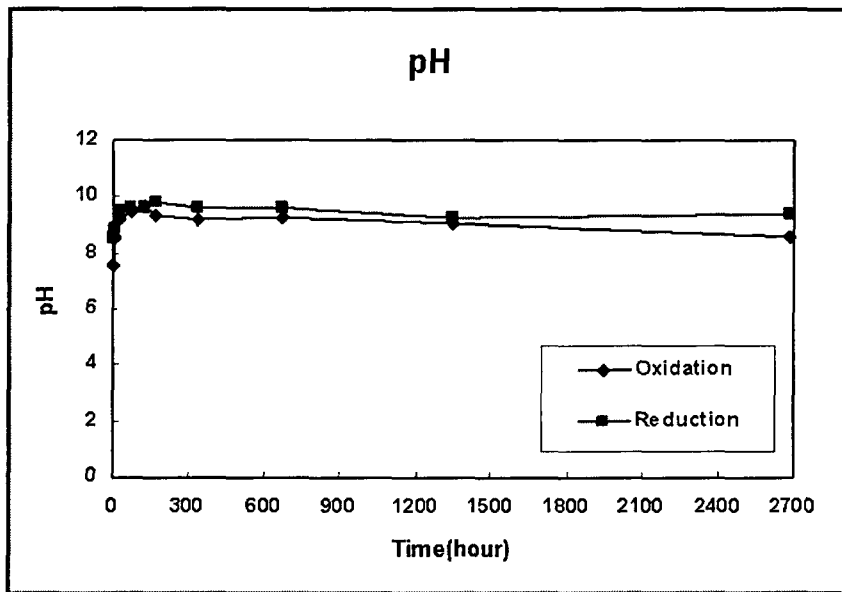
전기전도도(EC)는 산화와 환원조건 모두 큰 변화가 없었으며, 수소이온 농도는 산화조건에서 초기 pH=7.6, 16주 후 pH=8.5로 증가한다. 환원조건에서는 초기 pH=8.5에서 16주 후 pH=9.4로 증가되었다.

표 2-1-9. 컬럼 내 시간 경과에 따른 수소이온전위, 산화환원전위, 온도 및 전기전도도변화  
Table 2-1-9. Variation of pH, Eh, Temperature and EC in the column as a function of time

Reaction time (hour)	Oxidized condition				Reduced condition			
	pH	Eh(mV)	Temp(°C)	EC(ms)	pH	Eh(mV)	Temp(°C)	EC(ms)
0	7.6	548.0	21.7	22.8	8.5	495.0	21.7	22.8
6	8.5	476.6	20.9	22.8	8.9	482.2	20.9	22.4
24	9.2	397.7	21.9	22.3	9.4	405.0	20.1	22.2
72	9.4	372.6	23.0	21.6	9.6	408.1	22.5	22.0
120	9.6	368.8	23.2	21.3	9.6	380.5	23.1	21.9
168	9.3	358.6	21.6	22.0	9.8	344.1	22.0	21.7
336	9.2	405.8	21.4	22.7	9.6	414.3	22.1	22.6
672	9.2	415.6	22.7	23.1	9.6	347.4	22.6	21.5
1344	9.0	442.8	28.1	29.4	9.3	400.9	28.2	22.0
2688	8.5	419.3	28.9	20.0	9.4	364.7	28.8	20.7



(A)



(B)

그림 2-1-13. 컬럼 내 시간 경과에 따른 산화환원전위 (A), pH, (B) 변화.

Fig. 2-1-13. Variation of (A) Eh variation, (B) pH in the column as a function of time.

### 2.6.5.2. 중금속 용출량

산화 및 환원 환경을 모사한 장기간의 중금속 용출량을 분석한 결과, 비소는 672시간까지 0.001ppm이하로 검출되었으며, 이후 검출되지 않았다(그림 2-1-14A). 코발트와 망간은 해역별수질등급 기준(표 2-1-10)에서 제한하는 원소는 아니지만 분석 결과 각각 0.001ppm, 0.008ppm이하로 검출되었다(그림 2-1-14B, C). 카드뮴은 초기 6시간까지 해역별 수질등급기준의 농도를 초과하나, 지속적으로 감소하여 336시간 경과 후에는 약 0.0007ppm으로 감소되었다. 2,688시간 후의 카드뮴의 농도는 0.002ppm으로서 재용출 되는 경향을 나타내지만 해역별 수질등급기준을 초과하지 않는다(그림 2-1-14D).

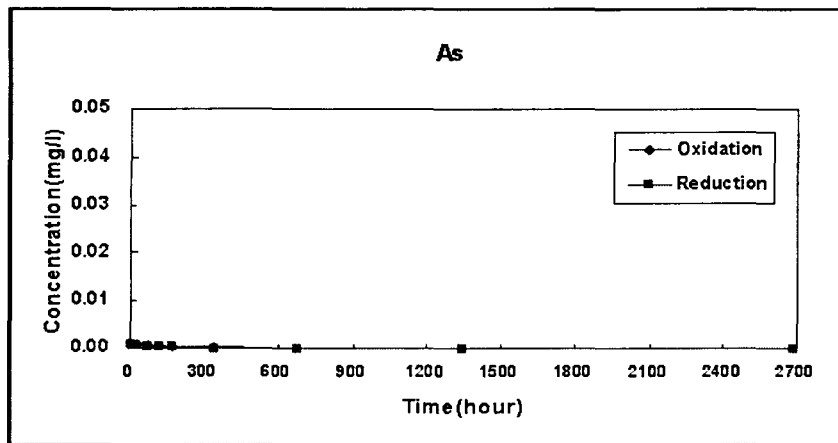
표 2-1-10. 해역별 중금속 함량에 대한 수질등급기준 (해양수산부, 2002)

Table 2-1-10. Regulation of seawater quality (heavy metal concentration, MOMAF)

Element	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn
standard (ppm)	0.05	0.01	0.05	0.02	0.1	0.1

초기 해수의 카드뮴 농도가 0.04ppm으로 해역별 수질등급기준을 초과한 상태이므로 초기 용출수 내 높은 카드뮴 함량은 석탄회 블록에 의한 영향이 아닌 것으로 판단되며, 석탄회 블록에 의한 카드뮴의 흡착이 발생하는 것을 시사하고 있다. 해수의 아연 농도는 0.19ppm 이며, 시간이 경과하면서 감소되어 최종 농도가 산화, 환원 조건에서 각각 0.07ppm 와 0.01ppm으로 감소하였다(그림 2-1-14E). 크롬은 시간이 경과함에 따라 용출량이 증가되어 336시간 후에는 최대 0.1ppm까지 검출되었으나, 이후 점차 감소하여 해역별 수질등급 기준이하로 낮아졌다(그림 2-1-14F). 납은 모든 조건에서 336시간 경과 후에 0.06ppm까지 재용출되었으나, 이후 0.002ppm이하로 감소된다(그

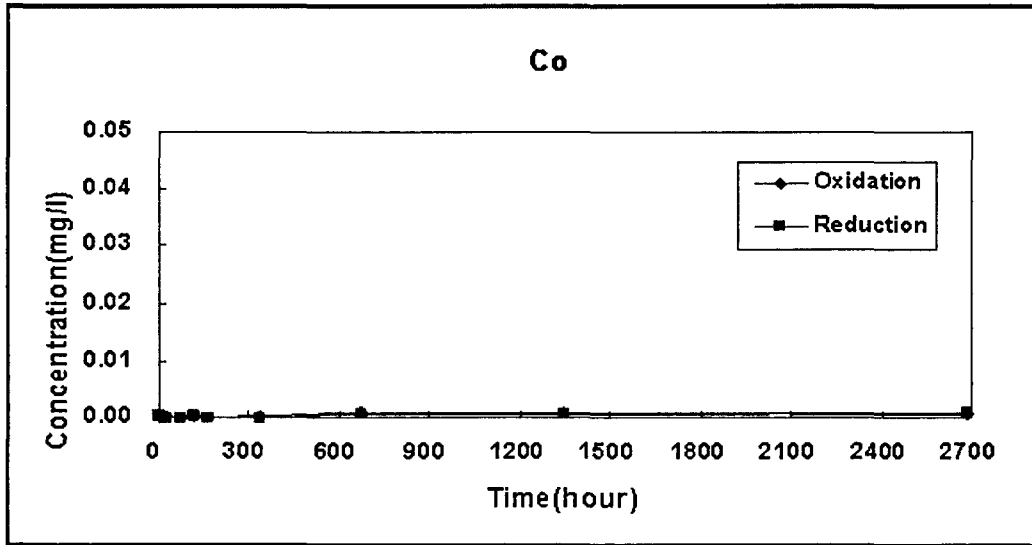
림 2-1-14G). 몰리브덴과 바륨은 336시간 후 각각 0.02ppm 와 0.12ppm으로 서서히 증가하는 경향으로 보였으나, 672시간 후 검출되지 않았다(그림 2-1-14H, I). 니켈은 672시간까지 산화와 환원조건 모두에서 0.01ppm까지 상승하였으나, 이후 0.002ppm이하로 감소하였다. 그러나 2,668시간의 환원 조건에서 니켈 농도는 0.02ppm으로 재용출되는 경향을 나타낸다(그림 2-1-14J). 구리는 산화, 환원 조건에서 용출되는 경향을 보인다. 72시간 후 부터 0.01ppm이하까지 감소하나, 168시간 이후 재용출되어 추후 검토가 요구된다. 산화조건의 시료는 1,344시간 후 0.03ppm까지 증가하나, 2,688시간 후 0.0001ppm으로 감소하여 해역별 수질등급을 초과하지 않는다. 그러나, 환원조건의 시료는 2,688시간 후 0.03ppm으로 증가하여 해역별 수질등급기준을 초과하였다(그림 2-1-14K). 용출실험결과, 반응시간에 따른 중금속의 용출 양상은 원소별로 다양한 양상을 보여준다. 이는 산화와 환원조건에서 해수-블록 반응에 따른 pH와 Eh변화의 영향에 기인한 것으로 판단된다.



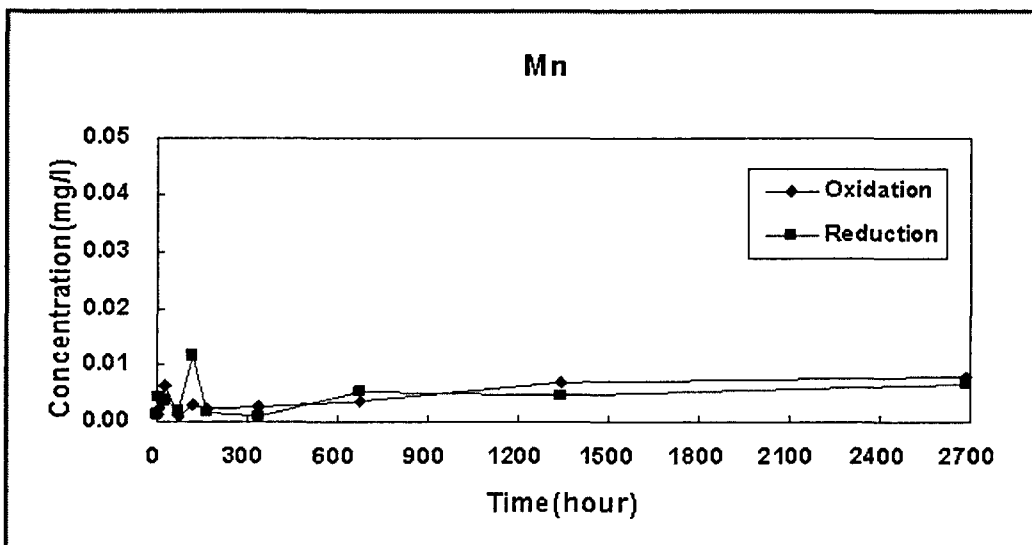
(A)

그림 2-1-14. 시간에 따른 컬럼내 중금속의 농도변화. (A)비소, (B)코발트, (C)망간, (D)카드뮴, (E)아연, (F)크롬, (G)납, (H)몰리브덴, (I)바륨, (J)니켈, (K)구리.

Fig. 2-1-14. Variation of Concentration of heavymetal in the column as a function of time. (A)As, (B)Co, (C)Mn, (D)Cd, (E)Zn, (F)Cr, (G)Pb, (H)Mo, (I)Ba, (J)Ni, (K)Cu.



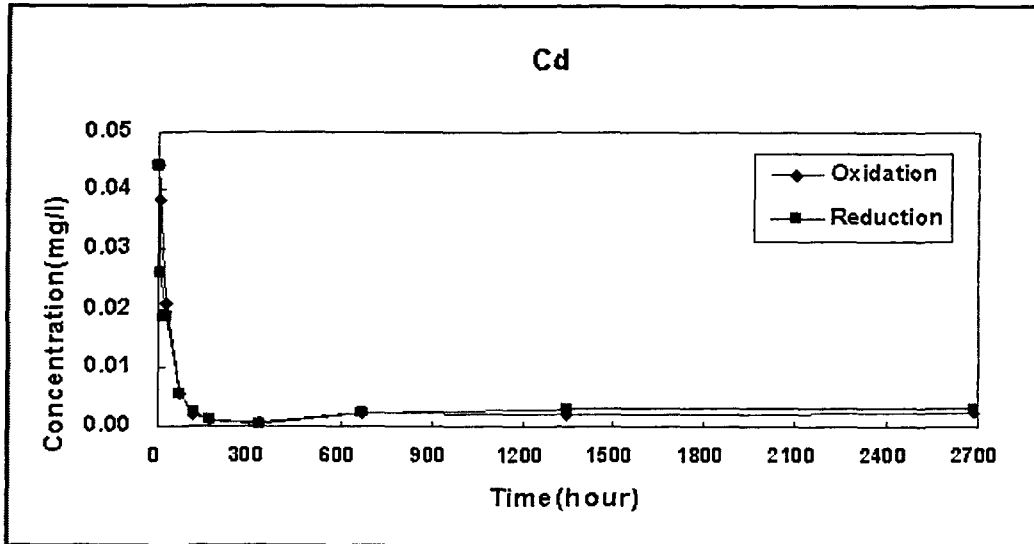
(B)



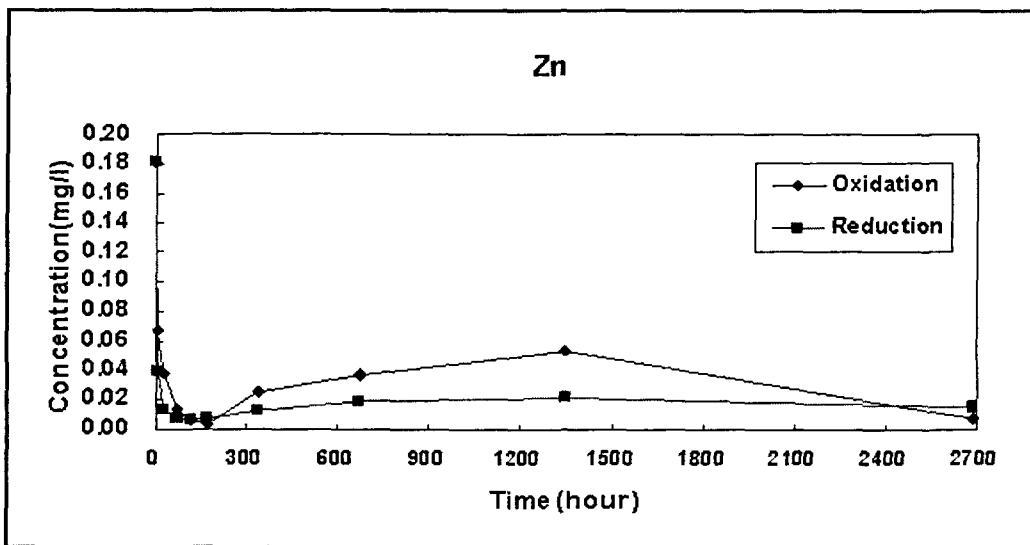
(C)

그림 2-1-14. 계속.

Fig. 2-1-14. Continued.



(D)

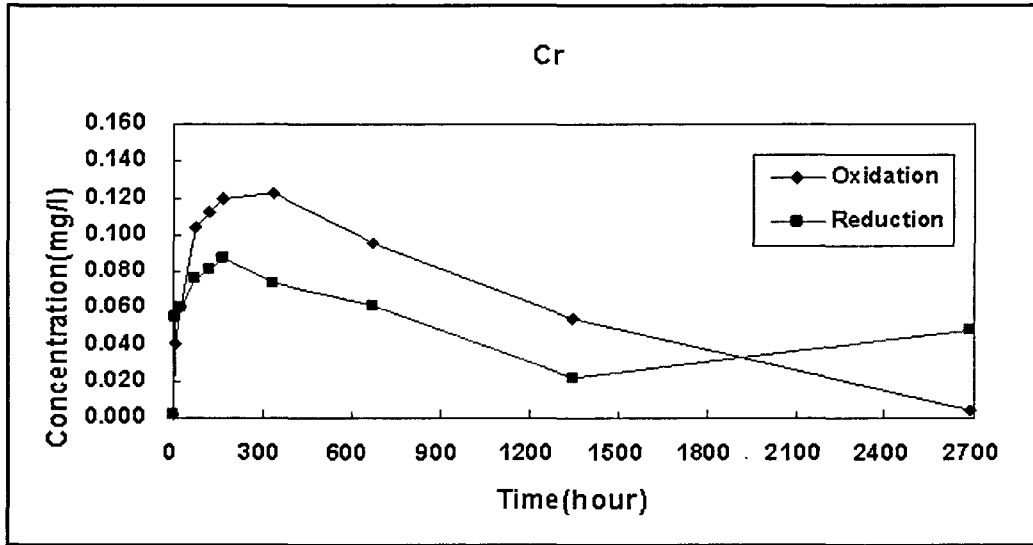


(E)

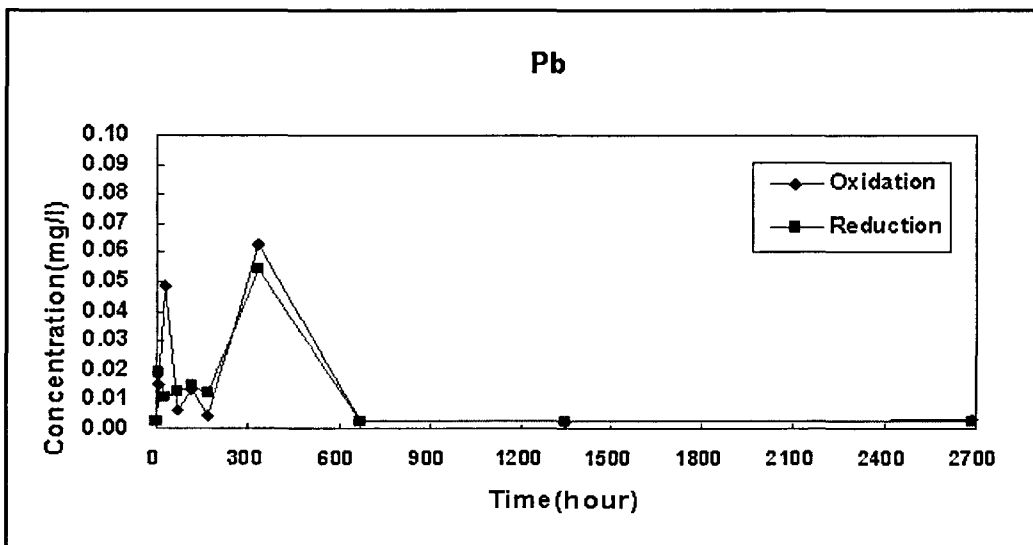
그림 2-1-14. 계속.

Fig. 2-1-14. Continued.





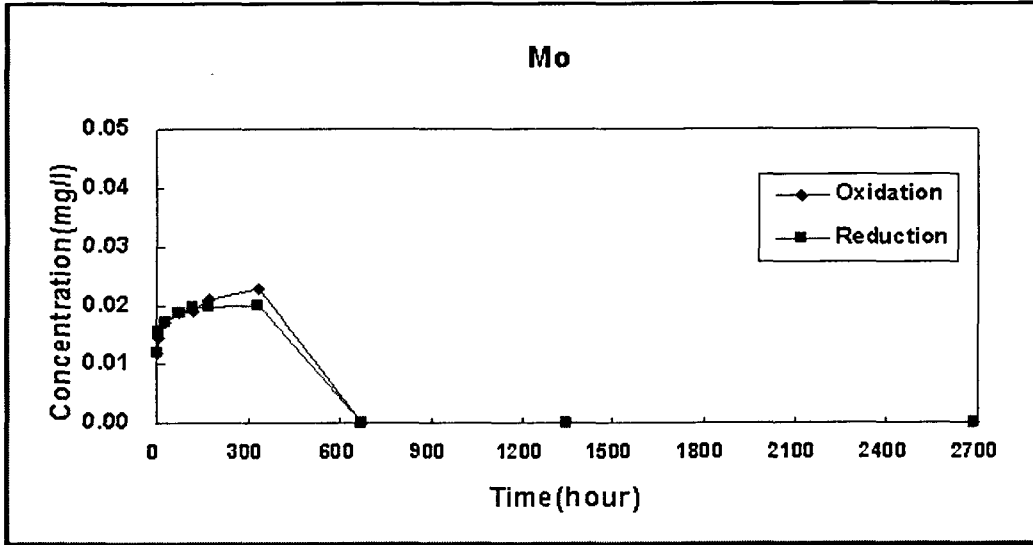
(F)



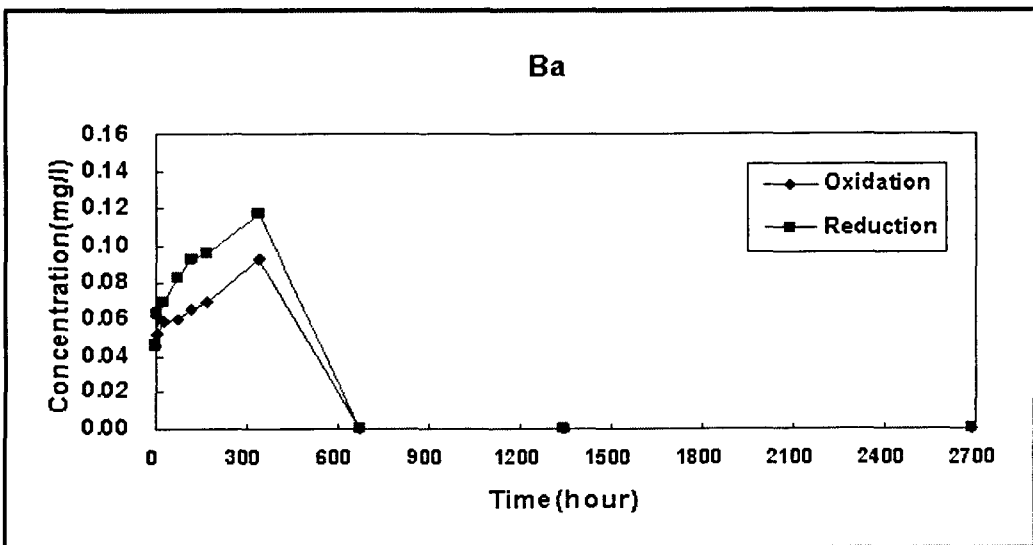
(G)

그림 2-1-14. 계속.

Fig. 2-1-14. Continued.



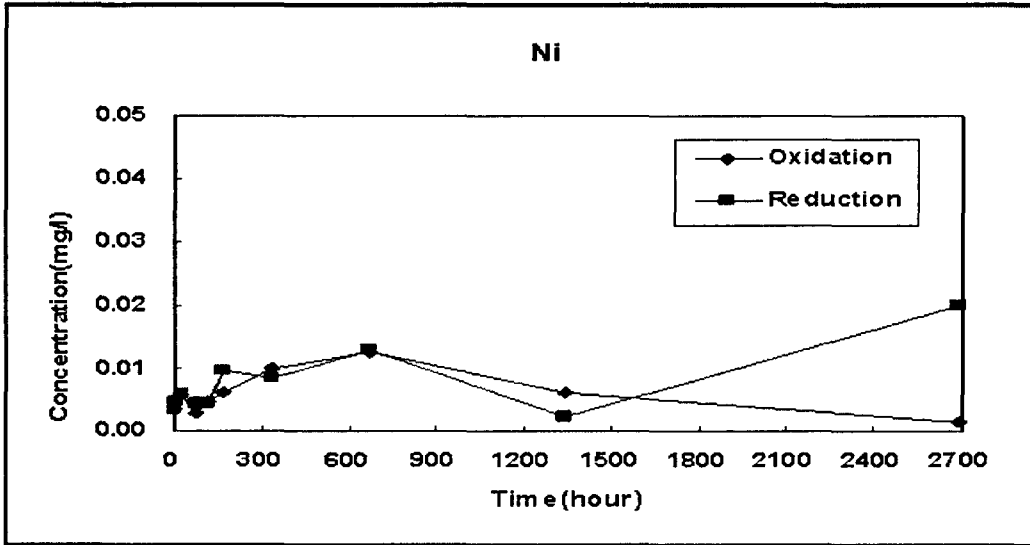
(H)



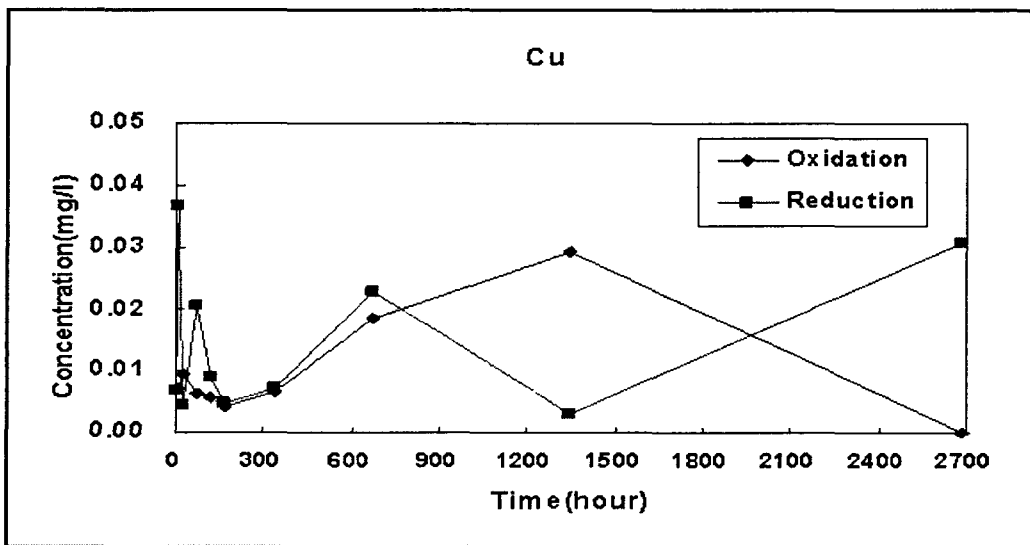
(I)

그림 2-1-14. 계속.

Fig. 2-1-14. Continued.



(J)



(K)

그림 2-1-14. 계속.

Fig. 2-1-14. Continued.

### 2.6.5.3. 폐기물공정시험 결과와의 비교

크롬, 코발트, 니켈, 구리, 아연, 비소, 카드뮴 및 납의 중금속 용출특성에 대한 폐기물공정시험법 결과를 컬럼 실험 결과와 비교하였다. 폐기물공정시험법은 pH=6인 용액에 시료를 첨가하여 6시간 진탕한 후 용출된 중금속 함량으로 표현되므로, 컬럼 실험의 결과 중에서 6시간 경과 후의 중금속 용출량을 선택하였다. 폐기물공정시험법에 의한 크롬의 용출량은 0.052ppm으로서 해역별 수질등급 기준(0.05ppm)을 초과하나, 나머지 중금속은 기준치 이하로 용출되었다. 컬럼 실험에서도 아연, 비소, 납 등은 해역별 수질등급기준을 초과하지 않았으나, 크롬과 구리는 환원조건에서 각각 0.055ppm과 0.038ppm으로 해역별 수질등급기준인 0.05ppm와 0.02ppm을 초과하였으며, 카드뮴은 산화(0.038ppm)와 환원조건(0.025ppm) 모두에서 해역별 수질등급 기준을 초과하였다(그림 2-1-15). 컬럼 실험은 해수와 블록의 비율(1:20)이 실제 해양환경의 고액비와 상당한 차이가 있고, 해수가 순환되지 않는 폐쇄조건에서 수행되었기 때문에 이러한 실험조건을 감안하면, 석탄회 블록의 중금속 용출량은 실제 해양환경에서는 희석으로 인한 농도저하로 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 또한 장기 용출실험(2688시간)에서 중금속 용출량이 해역별 수질등급을 초과하지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 차후 석탄회 블록을 이용한 구조물이 해수 중에서 수년 또는 수십년 이상의 풍화반응이 진행되기 때문에 보다 정밀한 장기적인 관찰이 필요하다. 폐기물공정시험법에 의한 중금속 용출량은 해양에 장기간 침지되는 석탄회 블록의 중금속 용출 환경과는 매우 상이할 뿐 만 아니라, 6시간의 용출 결과를 적용하는 문제점을 안고 있다. 따라서 해양환경에서의 중금속 용출량은 해수의 수소이온농도(pH) 및 산화환원전위(Eh) 환경이 고려된 조건에서 수행되는 것이 바람직하다.

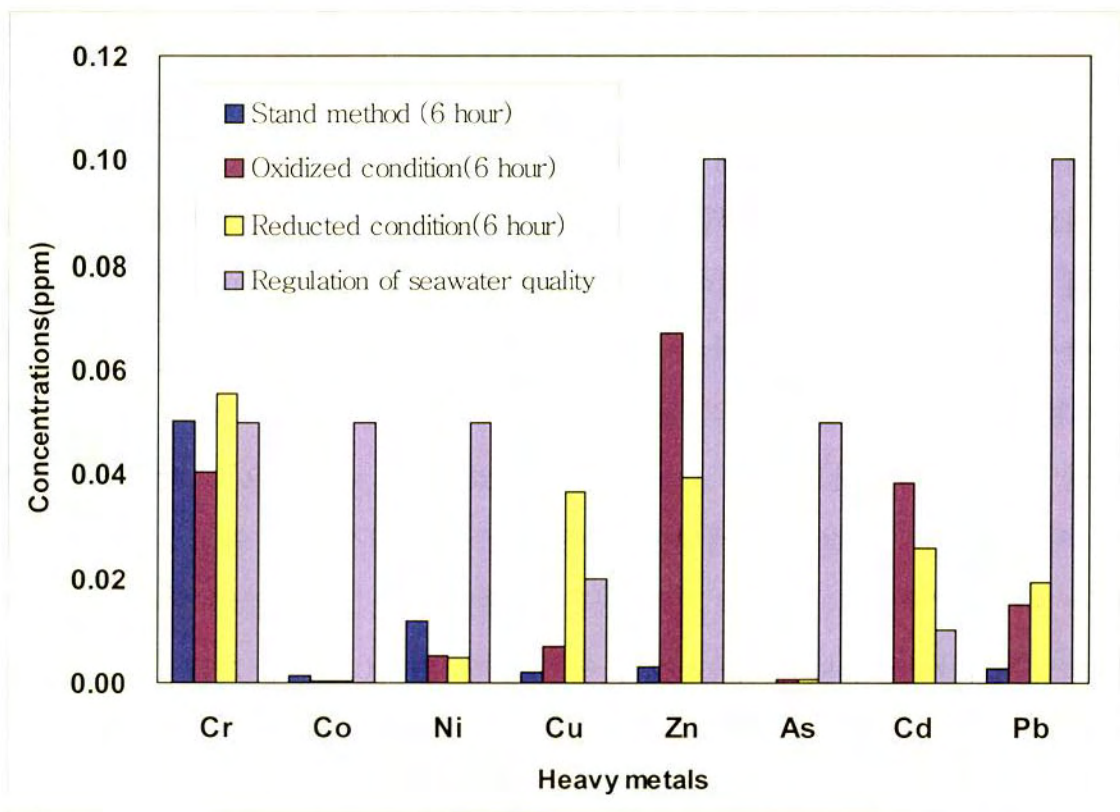


그림 2-1-15. 폐기물 공정시험법과 컬럼 실험에 의한 중금속 용출량의 비교.

Fig. 2-1-15. Comparison to the result from standard method for the examination of waste and by column test to the leached heavy metals.

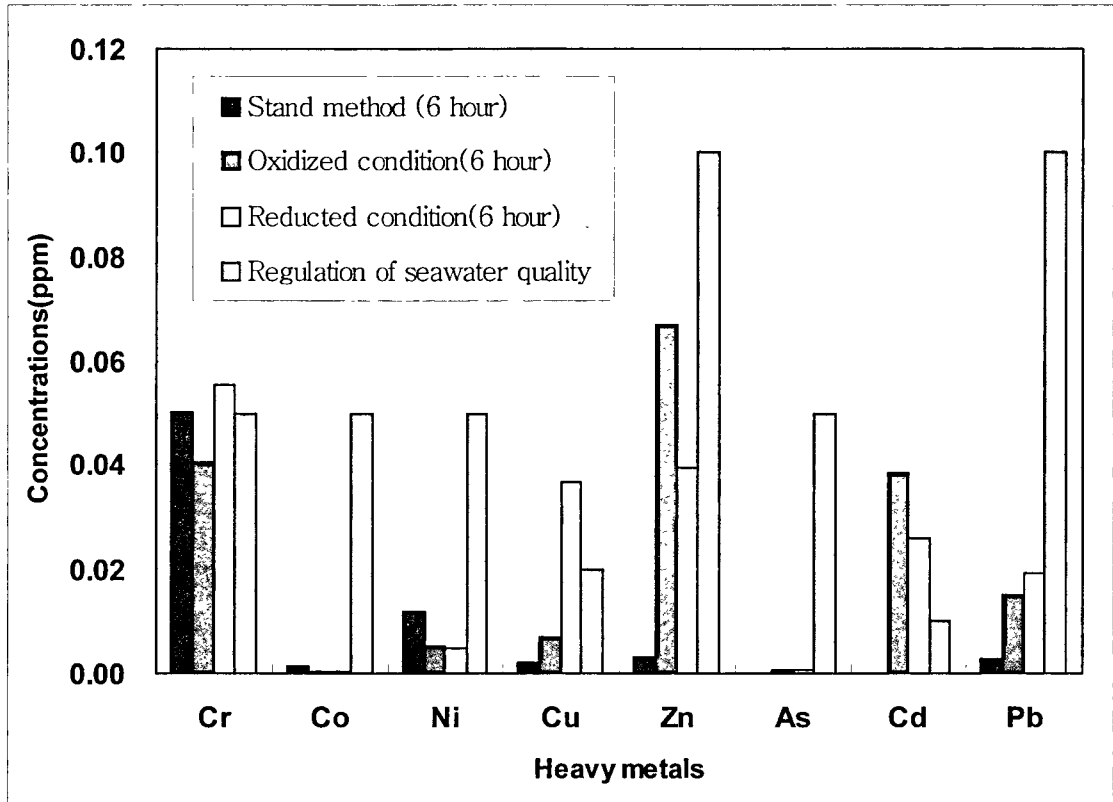


그림 2-1-15. 폐기물 공정시험법과 컬럼 실험에 의한 중금속 용출량의 비교.  
 Fig. 2-1-15. Comparison to the result from standard method for the examination of waste and by column test to the leached heavy metals.

## 2.6.6. 석탄회 블록의 안정성

### 2.6.6.1. 석탄회 블록의 표면

석탄회 블록은 시멘트 물질과 골재인 편암, 안산암 및 모래 등으로 구성되어 있다. 해수와 반응 이전 블록의 시멘트 물질은 대체적으로 균질하며, 골재와의 경계부는 치밀하게 결합되어 있다(그림 2-1-16).

원시료와 2개월 동안 침지 후의 블록 표면을 비교한 결과, 블록의 표면, 내부의 기공 그리고 가장자리에서 풍화반응의 흔적이 나타나며, 특히 기공 부분에서는 검은색의 2차 광물이 인지된다. 육안으로 볼 때 블록의 표면은 해수 침지로 인한 뚜렷한 조직의 변화를 나타내지 않으나, 석탄회 블록의 미세한 균열을 따라서도 2차 광물이 형성되었으며, 국부적으로 해수반응결과에 의해 시멘트 물질이 용해되어 미세한 공극을 형성하고 있다. 5개월 이후에는 미세한 균열과 용해에 의한 공극이 수반되며, 블록의 가장자리에 선택적으로 풍화가 일어나고 있는 것을 관찰할 수 있다(그림 2-1-17).

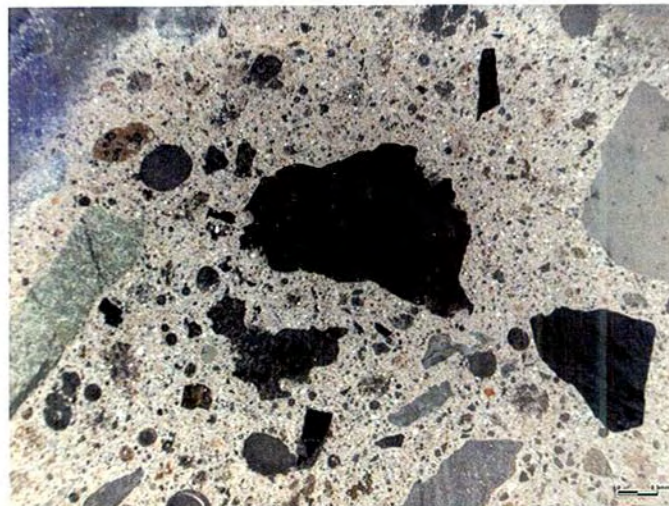


그림 2-1-16. 석탄회 블록 원시료의 절단면 사진.

Fig. 2-1-16. Photograph of cutting section of fresh ash block.

## 2.6.6. 석탄회 블록의 안정성

### 2.6.6.1. 석탄회 블록의 표면

석탄회 블록은 시멘트 물질과 골재인 편암, 안산암 및 모래 등으로 구성되어 있다. 해수와 반응 이전 블록의 시멘트 물질은 대체적으로 균질하며, 골재와의 경계부는 치밀하게 결합되어 있다(그림 2-1-16).

원시료와 2개월 동안 침지 후의 블록 표면을 비교한 결과, 블록의 표면, 내부의 기공 그리고 가장자리에서 풍화반응의 흔적이 나타나며, 특히 기공 부분에서는 검은색의 2차 광물이 인지된다. 육안으로 볼 때 블록의 표면은 해수 침지로 인한 뚜렷한 조직의 변화를 나타내지 않으나, 석탄회 블록의 미세한 균열을 따라서도 2차 광물이 형성되었으며, 국부적으로 해수반응결과에 의해 시멘트 물질이 용해되어 미세한 공극을 형성하고 있다. 5개월 이후에는 미세한 균열과 용해에 의한 공극이 수반되며, 블록의 가장자리에 선택적으로 풍화가 일어나고 있는 것을 관찰할 수 있다(그림 2-1-17).

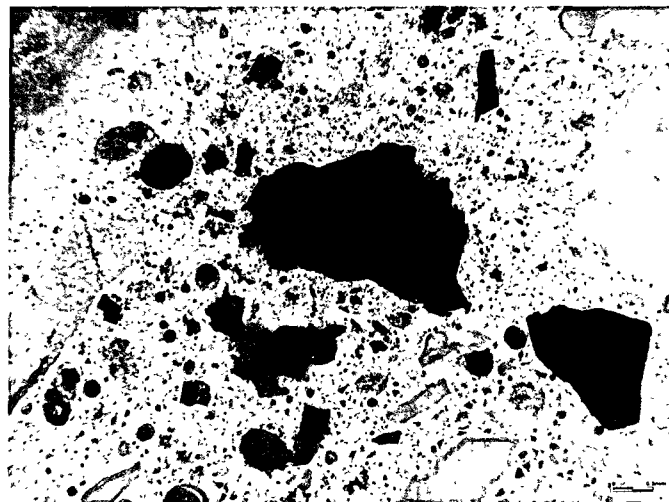
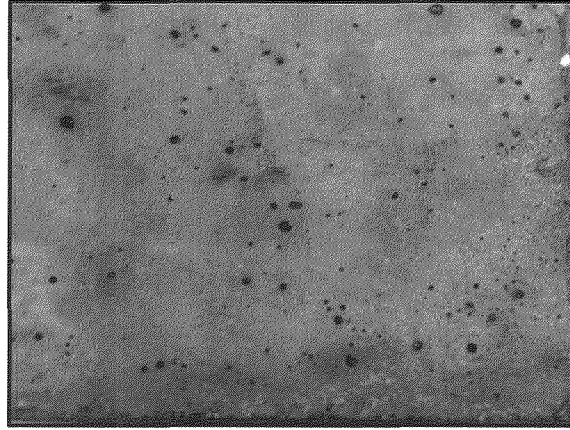


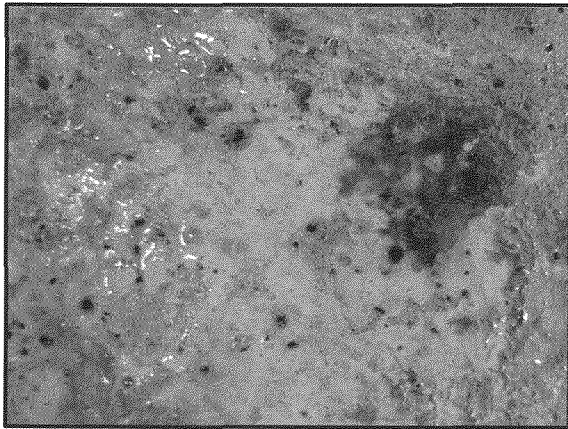
그림 2-1-16. 석탄회 블록 원시료의 절단면 사진.

Fig. 2-1-16. Photograph of cutting section of fresh ash block.

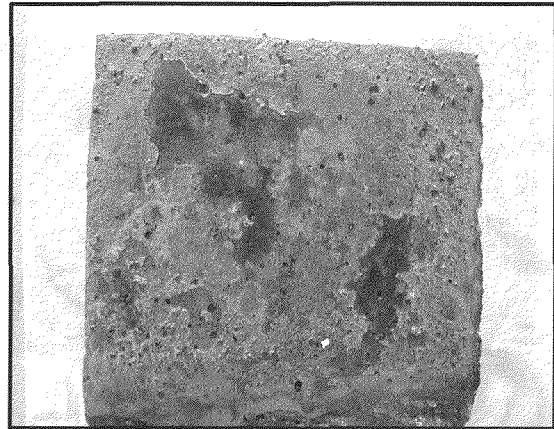




(A)



(B)



(C)

그림 2-1-17. 석탄회 블록 표면 사진. (A)원시료의 표면, (B)2개월 경과한 석탄회블록의 표면, (C)5개월 경과한 석탄회 블록의 표면.

Fig. 2-1-17. Photographs of ash block surface. (A)Surface of fresh ash block, (B)surface after two months reacted with seawater and (C)surface after five months reacted with seawater.

### 2.6.6.2. 내부 조직 변화

현미경 관찰 결과 원시료의 골재를 구성하는 암편과 시멘트에 혼합된 석탄회 결합조직은 균질하며 치밀하다(그림 2-1-18). 2개월 동안 해수와 반응한 블록은 균질하고 치밀한 조직을 유지하지만 부분적으로 해수와 반응에 의해 미세한 공극이 형성되었으며, 공극내의 표면을 따라 미립의 2차 생성물이 침전되었다(그림 2-1-19). 내부 조직의 관찰 결과 열화현상과 용해에 의한 석탄회 블록의 강도저하나 분해현상은 확인되지 않았다.

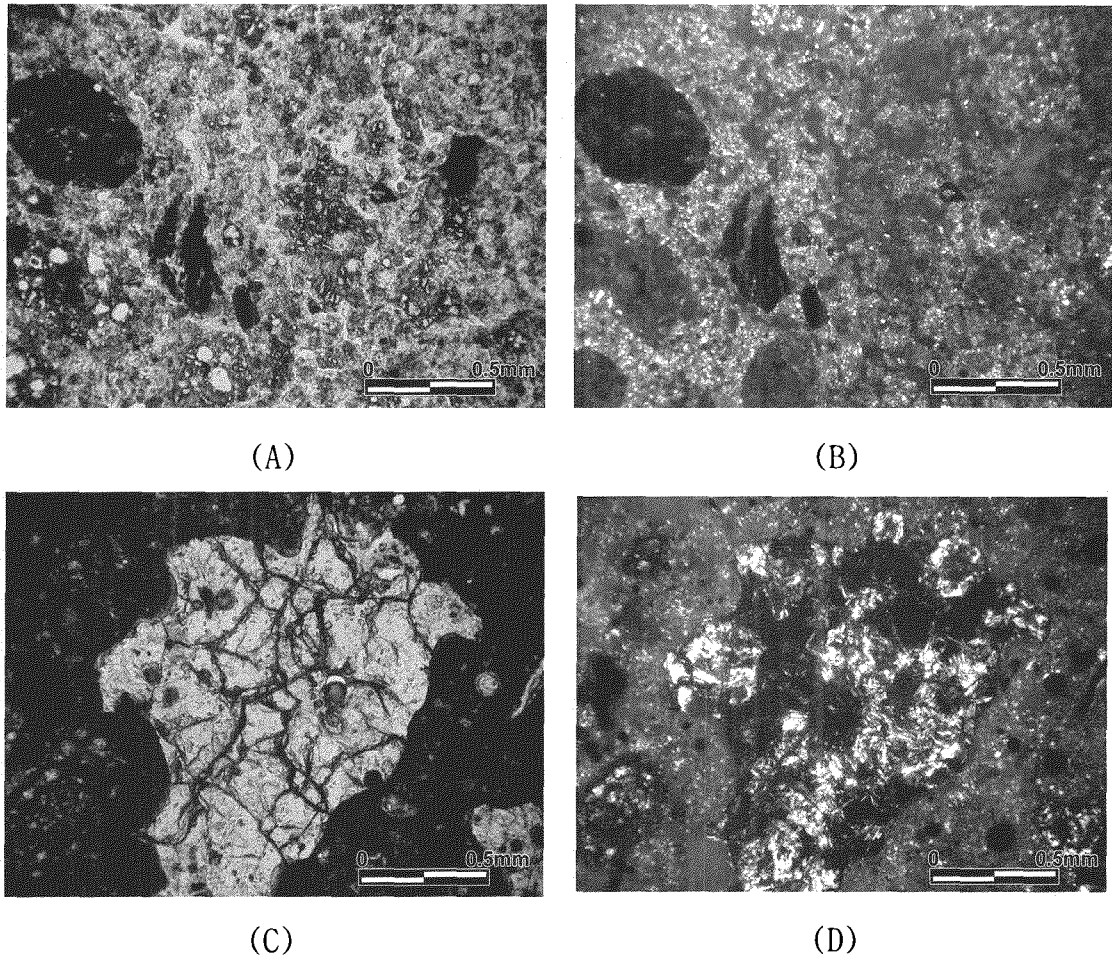


그림 2-1-18. 원시료의 현미경 사진. A와 C는 개방니콜, B와 D는 교차니콜임.

Fig. 2-1-18. Microphotographs of the fresh ash block. A and C : open nicol, B and D : cross nicol.

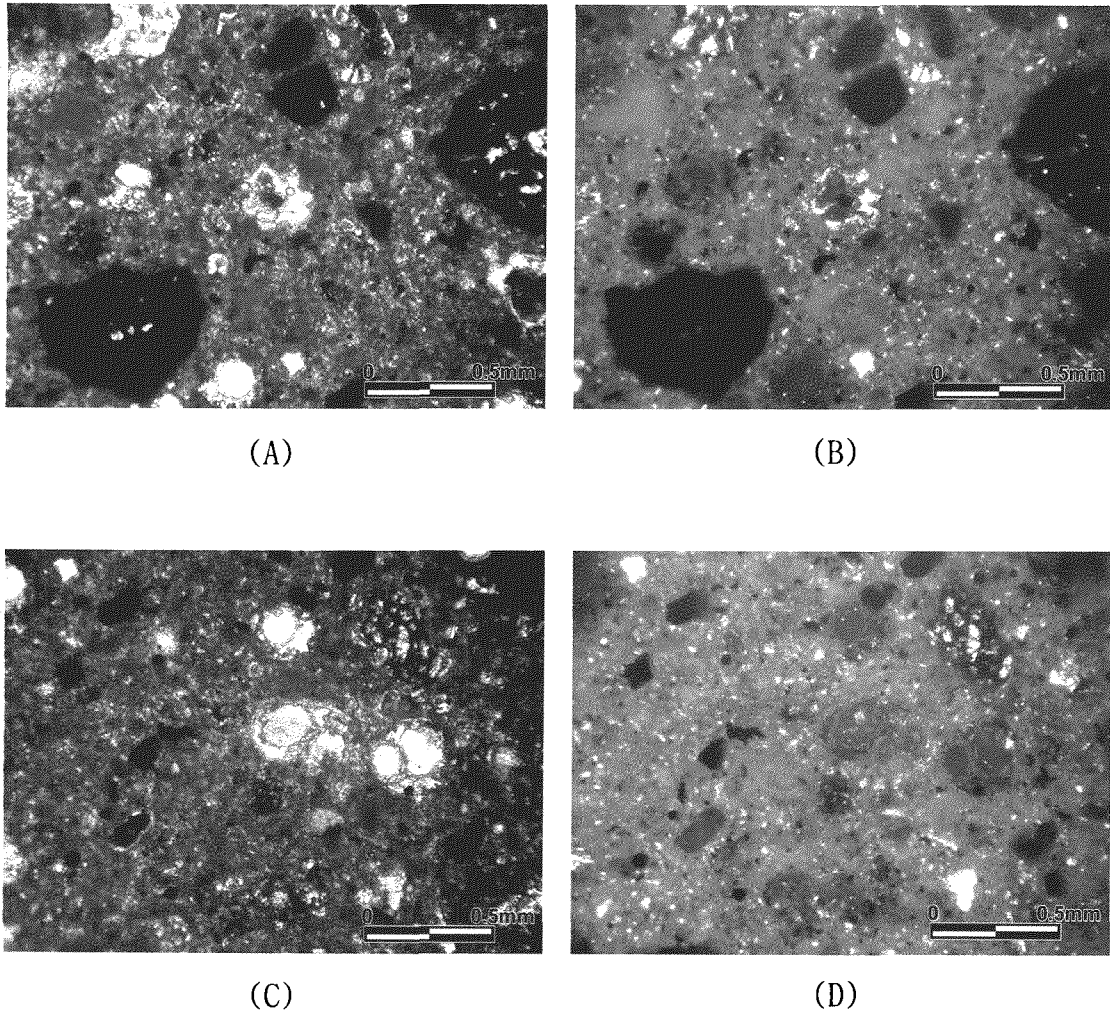


그림 2-1-19. 2개월 경과한 시료의 현미경 조직 사진. A와 C는 개방니콜, B와 D는 교차니콜임.

Fig. 2-1-19. Microphotographs of the ash block after two months reacted with seawater for two months. A and C : open nicol, B and D : cross nicol.

### 2.6.6.3. 전자현미경 관찰 결과

석탄회 블록과 해수와의 반응에 의한 조직과 화학조성의 변화 및 2차광물의 생성 여부를 파악하기 위해서 주사전자현미경(SEM) 관찰과 함께 EDS를 이용한 화학분석을 병행하였다. 전자현미경 관찰 결과, 블록 표면의 공극에 2차 생성광물이 침전되었으며(그림 2-1-20), EDS에 의한 성분 분석결과 2차 생성광물은 블록표면에 비해 칼슘, 나트륨과 칼륨 등의 함량은 증가하였으나, 규소, 알루미늄, 철과 마그네슘 등은 감소하였다(표 2-1-11). 이것은 2차 광물 생성시 해수와의 반응에 의해 나트륨과 칼슘을 함유한 광물의 침전에 기인한 것으로 판단된다. 일부시료에서 공극이 2차 광물로 충전된 것이 관찰되며, 2차 광물의 성상을 확인하기 위하여 SEM에서 3,000배로 공극을 관찰하였다. 그 결과 공극 내에 주상과 판상의 정벽을 갖는 광물을 확인하였다(그림 2-1-21). 이번 연구에서는 공극에 존재하는 2차 광물을 동정하지 않았으며, 2차년도에는 블록의 기능안정성을 평가하기 위하여 광물동정이 수행될 예정이다.

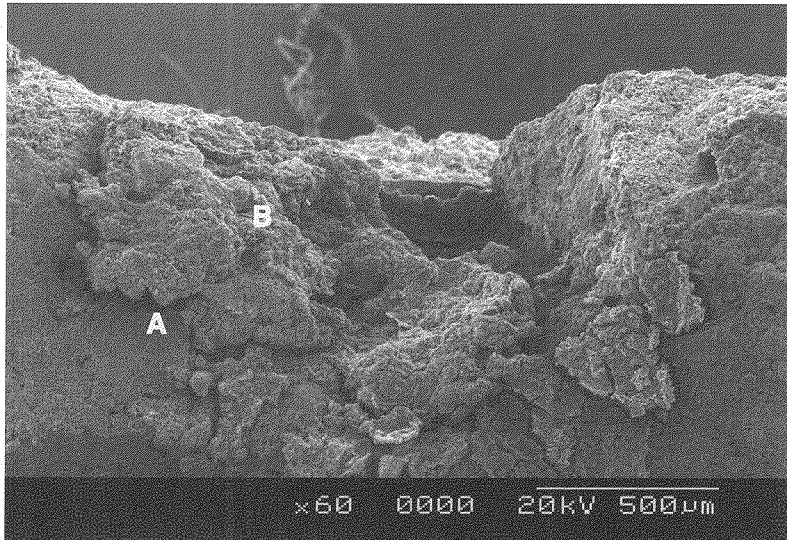


그림 2-1-20. 석탄회 블록 기공에 생성된 2차 생성물의 주사전자현미경 (SEM) 사진. A와 B는 EDS 분석 위치임.

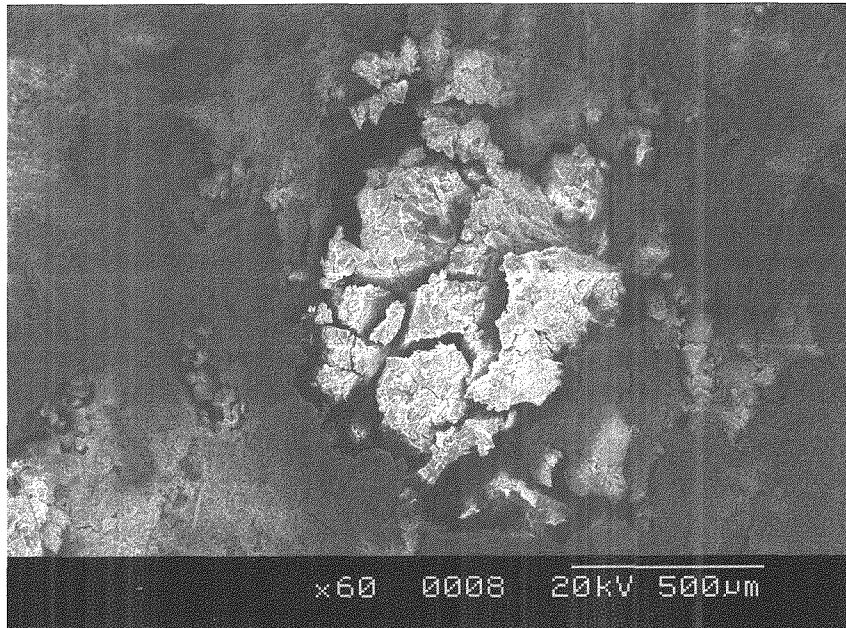
Fig. 2-1-20. SEM (scanning electron microscope) image of secondary minerals in the pore of ash block. A and B mean position for EDS analysis.

표 2-1-11. 석탄회 블록 공극과 표면의 2차 생성물에 대한 화학조성

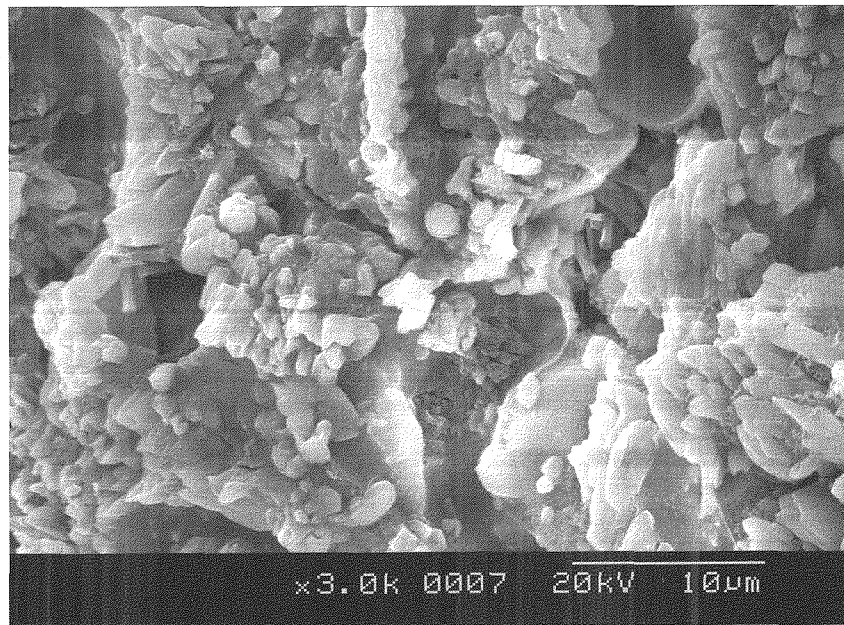
Table 2-1-11. Chemical composition for the surface (A) and secondary mineral (B)

Elements	A(%)	B(%)
Si	20.44	17.74
Al	12.99	7.32
Fe	8.75	2.34
Ca	2.81	17.51
Mg	7.75	3.20
Na	n.d.	2.68
K	1.54	1.97

n.d. : Not Detected



(A)

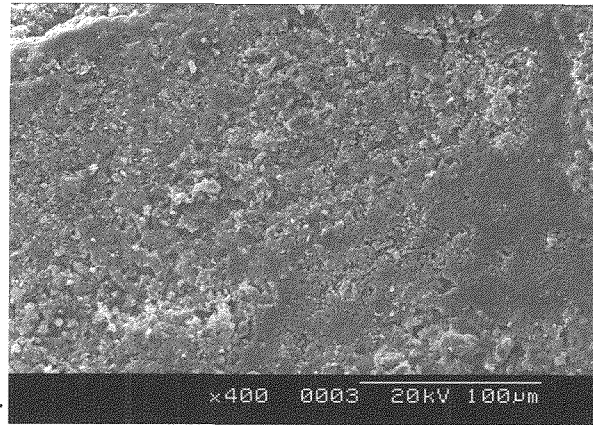


(B)

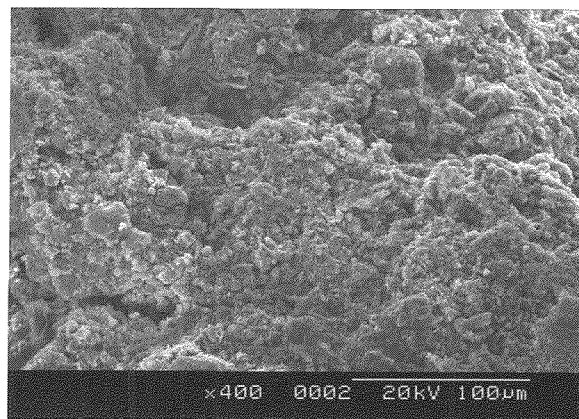
그림 2-1-21. 석탄회 블록 내 공극의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A)기공을 충전한 2차생성물, (B) 판상과 주상 구조를 갖는 2차 생성물.

Fig. 2-1-21. SEM images of secondary minerals in the pore space of ash block. (A)Secondary minerals of the pore space and (B)Tabular and columnar texture for the secondary minerals.

석탄회 블록은 표면의 기공, 미세한 균열 및 상대적으로 용해성이 높은 부분을 따라 선택적으로 풍화가 진행 되었으며(그림 2-1-22), EDS에 의한 화학조성 분석 결과, 풍화되지 않은 신선한 면은 상대적으로 풍화가 진행된 표면에서 칼슘이 약 9% 감소하였으며, 나트륨은 미량 증가하였다(표 2-1-12). 이러한 경우, 나트륨 성분은 해수와의 반응에 의해 증가한 것으로, 칼슘은 풍화에 의해 선택적으로 용출되어 감소된 것으로 판단된다. 그러나, 중금속의 용출에 의한 2차 침전물은 관찰되지 않았다.



(A)



(B)

그림 2-1-22. 석탄회 블록 표면의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A) 풍화되지 않은 신선한 표면, (B) 풍화된 표면.

Fig. 2-1-22. SEM images of block surface. (A) Unweathered fresh surface and (B) weathered surface.

표 2-1-12. 석탄회 블록의 신선한 면과 풍화면의 화학조성 비교(그림 2-1-22참조)

Table 2-1-12. Chemical compositions of the unweathered surface (A) and weathered surface (B). Refer to Fig. 2-1-22

Elements	A(%)	B(%)
Si	5.34	4.18
Al	2.23	2.37
Fe	2.01	1.21
Ca	48.75	39.46
Mg	0.88	1.38
Na	1.66	2.28
K	0.56	0.45

### 2.6.7. 블록/퇴적물의 화학조성

석탄회 블록의 매물로 인한 블록의 화학조성 변화를 분석한 결과, 신선한 석탄회 블록의 평균 함량은  $SiO_2=36.78\%$ ,  $CaO=21.59\%$ ,  $Al_2O_3=14.01\%$ ,  $Fe_2O_3=5.29\%$ 이다. 해수와의 반응 이전 퇴적물의 주성분 함량은  $SiO_2=64.45\%$ ,  $Al_2O_3=15.21\%$ ,  $Fe_2O_3=5.59\%$ 이다. 신선한 석탄회 블록의  $CaO$  성분은 시간 경과에 따라 다소 낮아지은 반면, 퇴적물에서의 함량은 상대적으로 높아지는 경향을 나타내었다.  $Al_2O_3$  역시 석탄회 블록에서 낮아지고, 퇴적물에서 높아지는 경향을 보였다. 그러나, 5개월 경과 후에는 주성분 함량이 일정하게 유지되어 특정 원소의 농집은 지속적으로 일어나지 않는 것으로 판단된다(표 2-1-13).



표 2-1-13. 시간경과에 따른 석탄회 블록과 퇴적물의 주성분 변화

Table 2-1-13. Variation of chemical composition of the ash block and sediments as a function of time (unit in %)

Compositon	Ash blocks				Sediments			
	Fresh	1 month	3 month	5 month	Fresh	1 month	3 month	5 month
SiO <sub>2</sub>	36.78	37.21	37.90	39.73	64.45	63.00	64.14	63.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.01	13.22	14.40	13.08	15.21	16.03	15.22	15.59
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.49	0.51	0.54	0.59	0.62	0.57	0.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.29	5.32	5.44	5.76	5.59	5.77	5.43	5.59
MnO	0.11	0.11	0.11	0.11	0.05	0.66	0.06	0.06
MgO	2.67	3.05	2.89	3.58	1.84	2.08	1.95	2.03
CaO	21.59	20.87	21.01	17.40	0.26	0.66	0.40	0.37
Na <sub>2</sub> O	0.79	1.38	0.68	0.54	1.26	2.14	1.19	1.11
K <sub>2</sub> O	1.04	1.00	0.74	1.31	2.69	2.80	2.65	2.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.23	0.25	0.21	0.08	0.08	0.09	0.09
Total	98.64	98.76	99.84	99.07	99.58	100.53	101.84	101.29

#### 2.6.8. 생물체 내 중금속 축적량

어류의 중금속 분석결과, 육질부의 중금속 함량이 다른 조직에 비해 현저하게 낮으며, 아연함량은 다른 금속에 비해 상대적으로 높다(표 2-1-14). 연구지역의 어류의 중금속함량은 마산만에서 채집한 어류의 중금속 함량 (Kwon and Lee, 2001)보다 현저하게 낮았고, Sung and Lee(1993) 및 Jeoung et al.(2004)에 의한 연구결과와 비슷한 농도를 나타내었다.

생물체 내 중금속 축적량은 각종 저서성 어류에 대한 어업활동이 금지되어 채집이 불가능하였기 때문에 구조물이 시설되기 전의 결과만을 제시하였다. 구조물 설치 이후의 중금속 축적량에 대한 분석은 금어기가 해제되는 가을철에 실시할 예정이다.

표 2-1-14. 블록 구조물 설치 이전에 채집된 어류 내의 중금속 농도

(단위:mg/kg dry wt)

Table 2-1-14. Concentrations of heavy metals in the sampled fish (unit in mg/kg dry wt.)

Elements	Organs	Date	
		17th Feb.	1st April
As	Liver	1.7± 1.2	1.2± 1.8
	Meat	1.1± 1.6	0.1± 0.2
	Intestine	0.9± 0.8	0.2± 0.3
Pb	Liver	1.7± 1.8	0.3± 0.7
	Meat	n.d.	n.d.
	Intestine	1.6± 1.4	1.4± 2.9
Hg	Liver	2.3± 1.8	0.1± 0.3
	Meat	0.3± 0.7	n.d.
	Intestine	1.5± 0.8	n.d.
Cd	Liver	n.d.	n.d.
	Meat	n.d.	0.4± 0.6
	Intestine	n.d.	n.d.
Cr	Liver	n.d.	n.d.
	Meat	n.d.	n.d.
	Intestine	0.1± 0.2	n.d.
Ni	Liver	0.2± 0.3	0.0± 0.1
	Meat	n.d.	n.d.
	Intestine	0.2± 0.2	n.d.
Zn	Liver	7.0± 3.3	23.3± 9.9
	Meat	2.1± 0.4	5.1± 4.1
	Intestine	1.6± 3.3	16.0± 6.8

## 2.7. 결론

어장 환경 개선에 이용되는 석탄회 블록의 환경 안정성 평가에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 현장관측결과, 용존산소 농도(DO)는 5.5mg/l, 산화환원전위(Eh)=600mV, 수소이온농도(pH)=8.0 이다.

(나) 퇴적물의 입도는 역질을 함유한 니질사 퇴적물이 우세하여 해수의 유동이 강한 지역임을 알 수 있다.

(다) 조사지역 퇴적물의 중금속 함량 중 크롬은 최대 65ppm에서 최소 32ppm, 아연은 최대 82ppm에서 최소 32ppm이다. 코발트는 최대 106ppm에서 최소 25ppm이다. 니켈의 평균 함량은 17ppm으로 농도가 가장 높은 지점은 28.9ppm이다. 구리와 비소는 평균 7ppm, 몰리브덴은 1ppm, 카드뮴은 0.08ppm으로 대체적으로 볼 때 서남해안 및 광양만보다 낮으며, 망간과 납의 함량에서는 목포해안의 갯벌보다 다소 높은 결과를 갖는다. 퇴적물에 대한 희토류원소의 패턴은 비슷한 양상을 보여주고 있어, 동일 기원 물질로부터 유래되었음을 시사한다.

(라) 중금속 용출실험 결과, 산화조건에서는 초기 Eh=358mV에서, 최종적으로 Eh=419mV(2,688시간)로 증가하였다. 초기 pH=7.6에서 pH=8.51(2,688시간)로 증가하였다. 환원조건은 초기 Eh=495mV에서 Eh=364.7mV로 감소하였다. pH=8.5에서 최종적으로 pH=9.4로 증가되었다. 전기전도도(EC)는 두 조건 모두 약 22mS로 큰 변화가 없었다.

(마) 장기간의 중금속 용출안정성 실험에서 비소, 코발트 및 카드뮴을 제외한 모든 중금속 용출 결과는 2주 경과 시까지의 용출량이 일시적으로 상승되거나 변화폭이 많아 불안정한 양상을 나타낸다. 이러한 결과는 컬럼 내부의 산화/환원 조건이 2주까지 안정하지 못하여 야기된 것으로 판단되며, 2주 경과 후부터는 Eh 및 pH의 안정으로 인해 더 이상 용출이 일어나지 않는 것으로 판단된다. 구리를 제외한 모든 중금속은 해역별 수질등급기준 이

하로 나타났다.

(바) 폐기물공정시험법의 중금속 용출결과와 장기간의 중금속 용출실험을 모사한 컬럼 실험결과를 비교하였다. 그 결과 폐기물공정시험법에 의한 크롬의 용출량은 0.052ppm으로서 해역별 수질등급 기준(0.05ppm)을 초과하나, 나머지 중금속은 기준치 이하로 용출되었다. 컬럼 실험에서도 아연, 비소, 납 등은 해역별 수질등급기준을 초과하지 않았으나, 크롬과 구리는 환원조건에서 각각 0.055ppm과 0.038ppm으로 해역별 수질등급기준인 0.05ppm과 0.02ppm을 초과하였으며, 카드뮴은 산화(0.038ppm)와 환원조건(0.025ppm) 모두에서 해역별 수질등급 기준을 초과하였다. 그러나 실제 해양환경에서는 희석으로 인한 농도저하로 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 또한 장기 용출실험결과(2,688시간)에서 중금속 용출량이 해역별 수질등급을 초과하지 않는 것으로 확인되었다.

(사) 석탄회 블록은 표면의 기공, 미세한 균열 및 상대적으로 용해성이 높은 부분을 따라 선택적으로 풍화가 진행 되었다. 풍화에 의해 선택적으로 칼슘이 용출되어 약 9% 감소하였다. 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 주성분 함량은 5개월 경과 시까지 특정원소의 농집과 중금속에 의한 2차 침전물의 형성은 일어나지 않았다.

(아) 석탄회 블록 투여 이전 조사지역에서 채집된 생물체내의 중금속 축적량은 간>내장>육질부 순이다. 육질부의 경우 대부분의 중금속 함량은 아연(평균 2.1~5.1 ppm)을 제외하고는 현저하게 낮았다.

## □ 시설물 제작 및 설치

### 3. 인공 용승 구조물 제작

#### 3.1. 연구개발의 범위

##### -용승류블록 제작

각각의 재료를 최적의 배합으로 운반 및 설치가 가능한 크기로 블록을 제작한다. 산업부산물인 석탄회를 활용하고 인공용승류를 발생시키는 1차년도분의 6,215개의 블록을 제작하였다.

#### 3.2 시설물제작

##### 3.2.1 구조물 재료

###### 가. 시멘트

시멘트는 KS L5201(포틀랜드 시멘트)규격에 규정한 것 또는 이와 동등 이상의 것을 사용해야 하고, 시멘트 반입 시 공인된 기관 및 단체의 성적서를 통하여 확인하여야 하며 시멘트는 품질미달 시는 즉각 반송조치 한다. 보관은 방습 구조로 된 사일로에 저장하되, 하절기에 시멘트 온도가 80℃ 이상 넘지 않도록 관리하고 장기간 저장한 시멘트는 사용 전에 시험하여 품질을 확인 후 사용하여야 한다.

###### 나. Fly Ash

Fly Ash 는 KS L5405(플라이 애쉬)규격에 규정한 것을 사용해야 하고, 방습 구조로 된 사일로에 저장하되, 장기간 저장한 Fly Ash 는 사용 전에 품질을 확인 후 사용하여야 한다.

#### 다. 골재

골재는 깨끗하고 단단하며, 내구적이고 적당한 입도를 가지며, 점토 덩어리, 유기물, 얇거나 긴 석편 등이 포함되지 않도록 하고 KS F2526(콘크리트용 골재) 및 KS F2527(콘크리트용 부순돌)에 적합하여야 하며, 한중환경에서는 골재가 얼음, 눈의 혼입 및 동결을 방지 할 수 있는 적절한 설비가 갖춰져야 하고 서중환경에서는 직사광선 및 외기에 의한 온도상승을 억제할 수 있도록 설비를 갖추어야 한다. 품종별로 칸을 막아 크고 작은 골재가 분리되지 않도록 하여야 하며, 바닥은 배수시설을 하여 눈, 비 및 이물질이 혼입되지 않도록 보호시설을 갖추어야 한다. 굵은 골재의 최대치수는 40mm 이하를 사용하여야 한다.

#### 라. 석탄회

석탄회는 화력발전소 가동 후 발생하는 부산물을 사용하여야 하며, 해안 빨 및 긴석편 등 유해한 양을 함유해서는 안 되며 함수량도 배합에 영향을 주지 않는 범위 내(비중: 1.5ton/m<sup>3</sup> 전후)에서 한다.



그림 3-1-1. 용승류블록 재료.

Fig. 3-1-1. Material of artificial upwelling block.

### 3.2.2 구조물 배합

가. 배합

KS F4009 「5. 품질」의 해당규정에 따른다. 배합사양은 대략적으로 시멘트 327kg, 플라이애쉬 15kg, 석탄회 160kg, 굵은 골재 931kg, 잔골재 690kg, 기타(혼화제)를 기본 배합으로 하며, 강도를 준수하는 범위 내에서 배합을 조정을 할 수 있다.

표 3-1-1. 석탄회 배합표

Table 3-1-1. Proportion of bottom ash

배합	W/C (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )						목표 Slump (cm)	목표강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
		W	C	F/A	B/A	G	S		
석탄회	55	180	327	15	160	931	690	8	210

표 3-1-2. 석탄회 압축강도 시험

Table 3-1-2. Compressive strength test of bottom ash

구분	f <sub>7</sub> 평균 (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>28</sub> 환산평균 (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	염화물(C1-)
석탄회	190	286.8	18	0.15

- ① f<sub>28</sub>환산식 :  $f_{28} = 1.35f_7 + 30(\text{kgf/cm}^2)$  - 일본건축학회 공사 시방서(JASS 5 T-602)
- ② 염화물 함유량 : 0.3kg/m<sup>3</sup> 이하 (콘크리트 표준시방서 p.98)



표 3-1-3. 매립석탄회 배합표 재료특성

Table 3-1-3. Characteristic of proportion bottom ash

항목	시험규정	KS규격	매립석탄회
절건밀도	KS F2504	2.5 이상	2.09~2.12
흡수율(%)	KS F2504	3.0 이하	11.8~13.40
단위용적질량(kg/m <sup>3</sup> )	KS F2505	1,450 이상	949~968
조립률	KS F2501	2.3~3.1	2.89~2.94
잔입자량(%)	KS F2511	5 이하	2.89~3.11
안정성	KS F2507	10 이하	8.98~8.72

나. 재료의 계량

표 3-1-4. 재료의 계량

Table 3-1-4. Measurement of material

재료의 종류	측정단위	1회 계량분량의 한계오차
시멘트	질량	1% 이내
골재	질량	3% 이내
물	질량 또는 부피	1% 이내
혼화재	질량	2% 이내
혼화재	질량 또는 부피	3% 이내

다. 성형

제품 성형시에는 진동봉을 이용하고 제작여건을 고려하여 선정하며 타설 시 콘크리트 골재분리 현상이 발생되지 않도록 하여야 한다. 또한, 공기량은 최대한 줄여 강도가 증진 되도록 한다.

라. 보관적재

보관을 위한 적재는 1단 적재를 기본으로 하고, 다단 적재 시는 양생 강도를 고려하여 적재하되, 4단 이상 적재를 하지 않는다.

마. 양생

자연양생을 하며, 양생기간 중에는 예상되는 진동, 충격, 하중 등의 유해한 작용으로부터 보호하고, 재령 28일을 기본으로 한다.

바. 탈형

탈형 시 이송용 철근의 흔들림 및 뺨힘을 주의하고, 몰드와의 접촉으로 인한 파손이 발생하지 않도록 주의한다.

### 3.2.3 구조물 품질

가. 겉모양

블록의 겉모양에는 자연적으로 발생하는 기포자국이나 균열을 제외한 해로운 흠이나 충격에 의한 균열 등 결점이 없어야 하고, 콘크리트 제품의 특성상 탈형 및 운송 중 발생하는 파손은 제품의 본기능(인위적인 용승류 생성) 발현에 영향을 주지 않아야 한다.

나. 제품의 규격 및 제원

표 3-1-5. 인공용승류블록 규격 및 제원

Table 3-1-5 . Standard of artificial upwelling block

구분	치수 (mm)			중량(kg)	콘크리트 강도(28일)
	가로	세로	높이		
인공용승류 블록	1,000	1,000	1,000	1,900	210kgf/cm <sup>2</sup>

※허용오차 : ± 10%

다. 모양

블록 모양은 정해진 도면을 따르고 제품의 하단부의 형상은 운반 및 적재가 가능토록 하며, 인수·인도자간의 협의에 따라 제품의 본 기능발현(인위적인 용승류 생성)에 영향을 주지 않는 범위 내에서 변경이 가능하다.

라. 압축강도 시험

제품의 강도 시험횟수는 KS F4009에 준하여 150m<sup>2</sup>당 1회의 비율로 하고 다만, 인수·인도 당사자간의 협정에 따라 검사 로트의 크기를 조정 할 수 있으며 1회의 압축강도 시험결과는 임의의 1개운반차로부터 채취한 시료로 3개의 공시체를 제작하여 시험한 평균값으로 한다.

배합사양은 대략적으로 다음의 <표 3-1-6>, <표 3-1-7>를 고려하여야 하며, 강도 준수 및 작업성 향상을 위하여 강도를 만족하는 범위 내 조정가능하다.

표 3-1-6. 코어채취 압축강도 측정

Table 3-1-6. Core picking compressive strength measurement

구분	시편1(kg/cm <sup>2</sup> )	시편2(kg/cm <sup>2</sup> )	시편3(kg/cm <sup>2</sup> )
측정강도	257	202	209
길이보정강도	268	211	218
환산평균	232.3		

표 3-1-7. 슈미트햄머를 이용한 압축강도 측정

Table 3-1-7 . Schumidt hammer compressive strength measurement

구분	석탄회
평균 반발경도(R)	30.6
보정 반발경도(R0)	33.7
압축강도 환산(kg/cm <sup>2</sup> )	254.1

### 3.3. 시설물 제작 주요공정

#### 3.3.1 몰드 설계 및 제작

몰드는 사업계획에 맞게 계획/설계하여 외주제작 하였으며, 당초 계획보다 많은 91개를 제작하였다. 다음은 몰드 및 부자재 운송현황이다.

##### 1) 2005. 01. 18일 제작현장 운송(1차)

- 몰드(Steel 제관품) : 31틀
- 탈형유 : 1드럼(200ℓ/드럼)
- 철근궤 : 500EA(D13철근, L=1000mm)
- 보온덮개 및 천막 : 보온덮개(4EA), 천막(2EA)
- 진동봉 준비
- 탈형유 살포 및 몰드 청소를 위한 컴프레셔 준비

##### 2) 2005. 02. 24일 제작현장 운송(2차)

- 몰드(Steel 제관품) : 30틀

##### 3) 2005. 04.20~21일 제작현장 운송(3차)

- 몰드(Steel 제관품) : 30틀
- 철근 : 2,000EA(D13철근, L=1,952mm)

다음 그림은 몰드 설계도와 몰드형상이다.

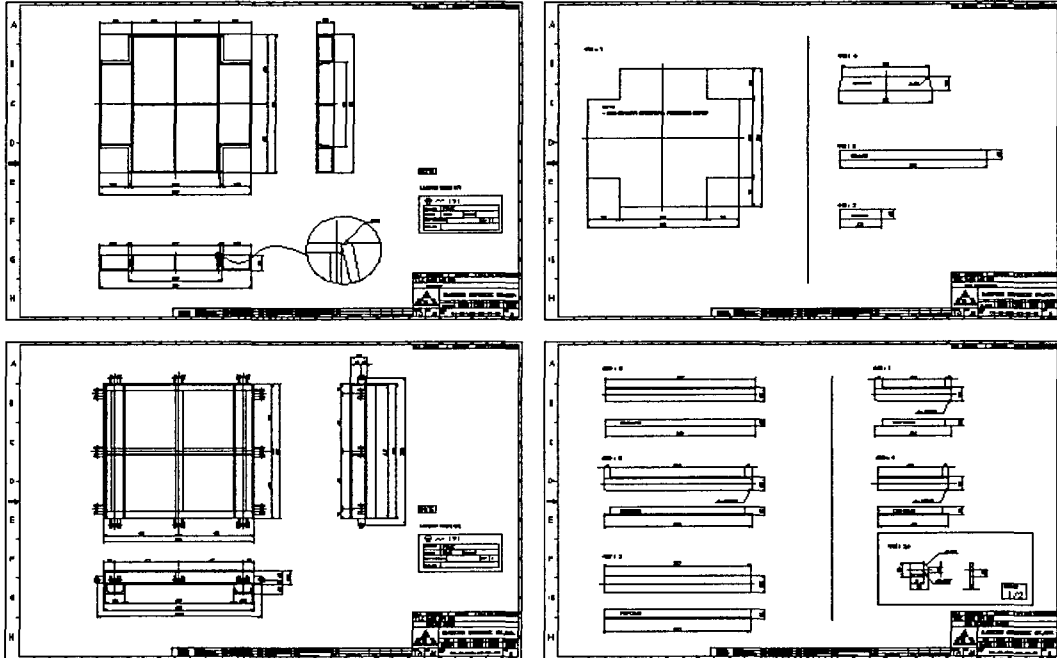
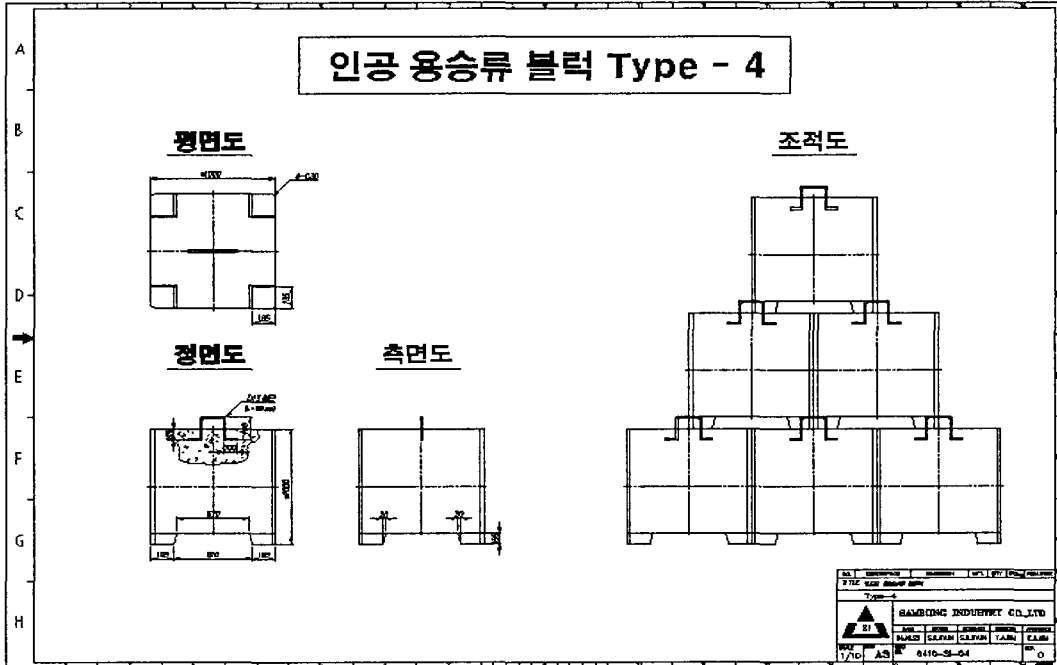
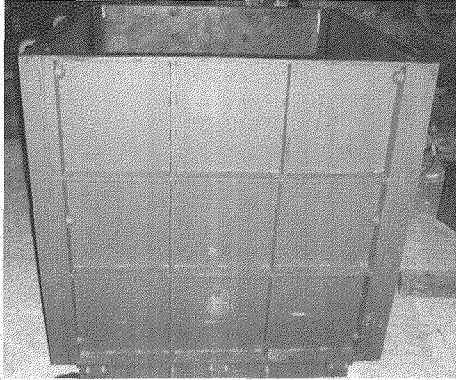
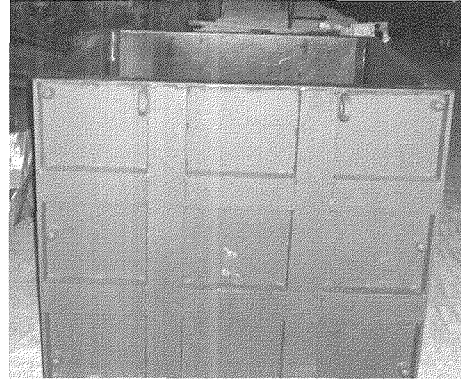


그림 3-1-2. 몰드 설계도.

Fig. 3-1-2. Design of artificial upwelling-mold.



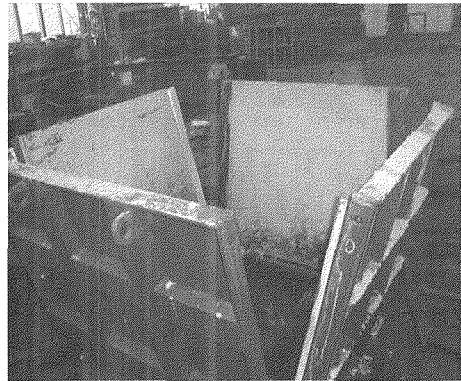
정면도



측면도



평면도



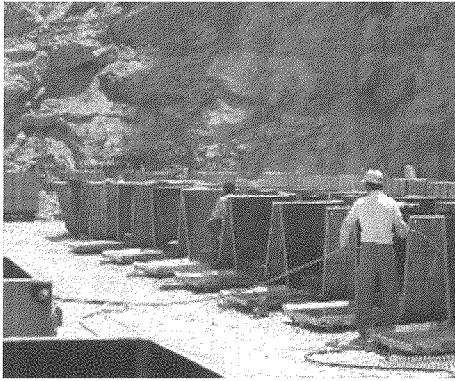
개폐도

그림 3-1-3. 몰드 형상.

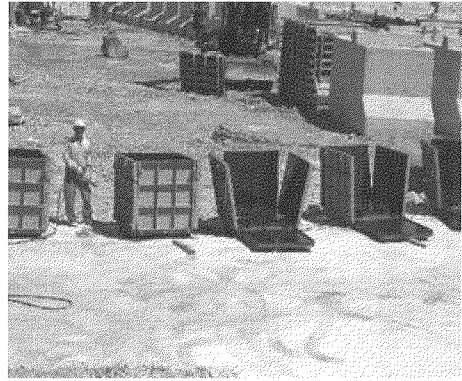
Fig. 3-1-3. Image of artificial upwelling-mold.

### 3.3.2 시제품 제작 및 양생

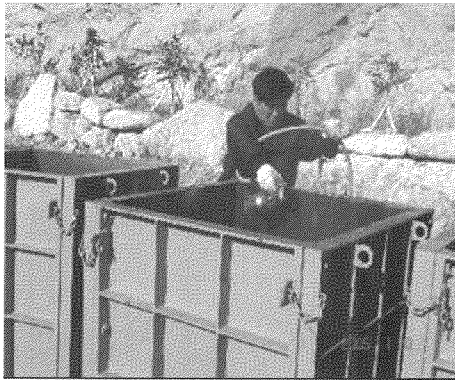
시제품제작은 계획하여 설계·제작된 사각형 몰드에 산업부산물인 석탄회를 첨가한 배합을 투입하여 양생, 투하작업을 할 수 있도록 제작하였다.



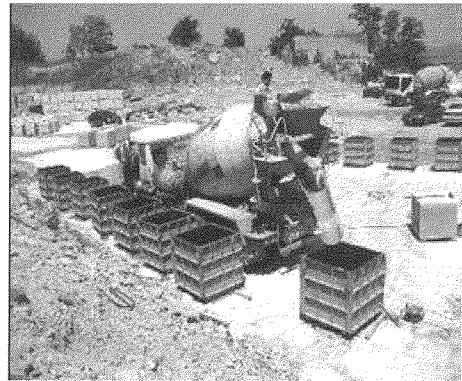
몰드준비 및 청소



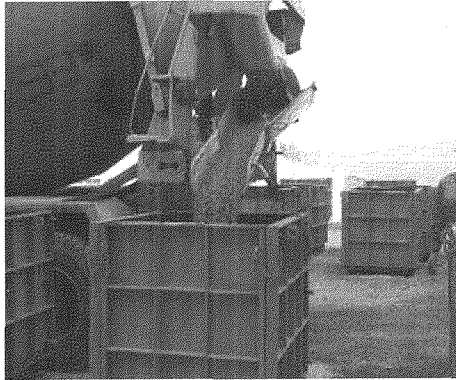
몰드조립



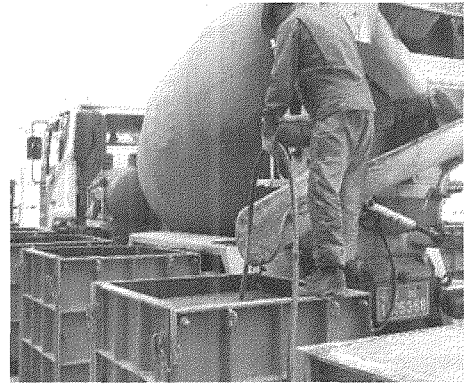
탈형류 살포



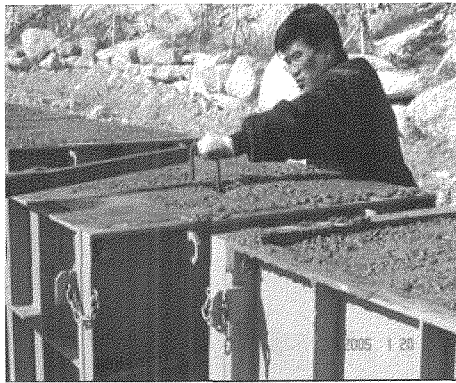
레미콘 타설준비



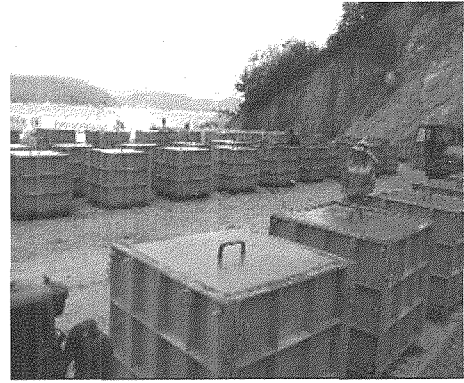
레미콘타설



진동봉을 이용하여 다짐



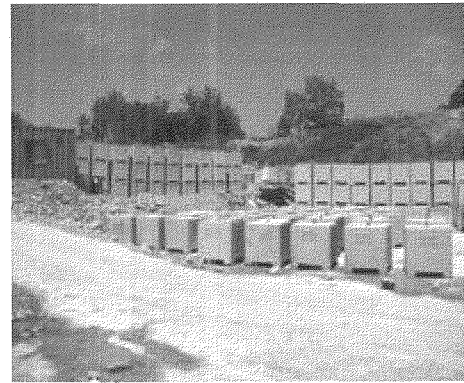
이송용 철근삽입



타설완료



양생



적재

그림 3-1-4. 구조물(블록)제작과정.

Fig. 3-1-4. Production process of artificial upwelling-block.



### 3.3.3 제작장 및 접안시설

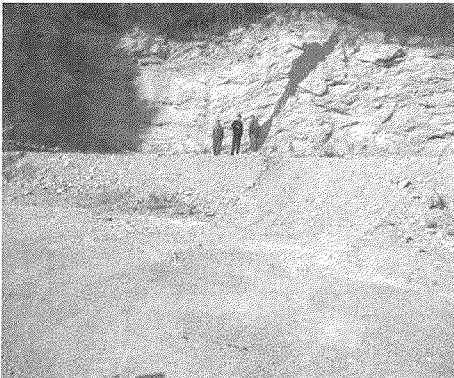
제작장은 경상남도 통영시 광도면 안정리이며, 일 제작 및 탈형 수량은 약 91개이다. 아래 그림은 제작장 및 접안시설이다.



레미콘 배차플랜트



제작장 전경



제작장 전경



접안장

그림 3-1-5. 제작장 및 접안시설.

Fig. 3-1-5. Production place and docking facility.



### 3.4.2 검사

제시된 시험성적서의 결과치가 설계목표 사양의 허용치를 만족치 못할 경우에는 폐기하며 사용 중 재료품질에 대한 협의사항 발생시 시험을 통하여 취득한 자료를 근거로 기준을 재설정한다. 제품의 파손부분은 본기능(인위적인 용승류 생성)발현에 영향이 없다고 판단 될 시에는 정상적인 제품으로 인정한다.

### 3.4.3 품질

제품 제작시 공시체( $\Phi 15 \times 30 \text{cm}$ )제작하여 압축강도 시험을 실시 (레미콘 시험방법은 KS F4009에 준함)하였다.

### 3.4.4 기타

제작현장은 해상의 블록투하 현장의 근거리에 위치하며, 정량계량이 가능한 설비를 이용하여 생산제품의 품질을 확보할 수 있도록 하였고, 제품 제작 후 해상접안 시설까지 육상운반 및 적재를 통하여 제품이 해상운송 가능토록 하였다.

### 3.5. 연구달성내용

연구개발목표	연구달성내용
시설물 제작	인공용승류를 유도하기 위해 산업부산물인 석탄회를 이용하여 6,215개의 블록을 제작하였다.

월	몰드 갯수	블록 생산 갯수
2	31	101
3	61	284
4	61	602
5	91	1,366
6	91	1,988
7	91	1,242
8	91	632
합계	91	6,215

## 4. 인공 용승 구조물 설치 및 투하

### 4.1 구조물 설치

인공용승류는 인공의 구조물을 해저에 설치하여 영양염이 풍부한 저층수가 용승에 의해 유광층에까지 운반되어 식물플랑크톤을 대량 발생하여 해양 기초생산력이 향상시켜 좋은 어장형성이 그 목적이다. 본 사업은 인공용승류를 활용한 어장환경개선에 관한 기존 연구사업의 내용을 기반으로 하여 시범사업의 형태로 현장에 해중구조물을 구축하여 그 효과를 평가하고 동 사업의 확대추진여부를 판단하고자 추진하는 것이다.

인공용승구조물의 현장설치를 위해서는 해역의 특성을 고려한 블록의 투하기술이 필요하다. 따라서 해저의 정점에 대한 블록의 지속적인 투하를 위해 해상에서의 GPS 기술과 계류기술 등의 위치확보기술과 원하는 위치에 투하할 수 있는 투하기술, 투하된 구조물의 설치 확인 기술이 필요하다.

위치확보기술을 확보한 상황에서 용승류 블록의 설치방법으로는 바지에서 크레인을 이용하여 블록을 몇 개씩 내리는 방법과, 토운선을 이용한 집중투하식 방법이 있다. 토운선을 이용한 집중투하식 방법은 대량으로 투하할 수 있는 장점이 있지만 조류에 의하여 정확한 위치와 정형화된 형태로 설치하기가 어렵다. 이에 바지에서 크레인을 이용한 투하방법을 선택하여 정확한 위치와 정형화된 구조물을 설치하는 방법을 선택하였다.

인공용승류 블록의 설치는 계획, 운반, 투하, 확인의 4가지 공정으로 나뉘어 진다. 계획에서는 2000년~2002년에 수행된 기초연구결과를 바탕으로 구조물의 단면 및 형상을 결정하고 투하할 위치와 투하하여야 할 블록의 양을 결정하는 것이며, 운반 및 투하는 예인선, 바지, 크레인 등의 해상장비와 GPS 및 해상측량 프로그램(Hypack)을 이용하여 설치할 위치에 정확하게 투하는 것이 그 목표이다.

확인용 투하한 블록이 원하는 위치에 설치가 잘 되었는지의 여부를 확인

하기 위한 작업으로 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar), 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)를 이용하였다.

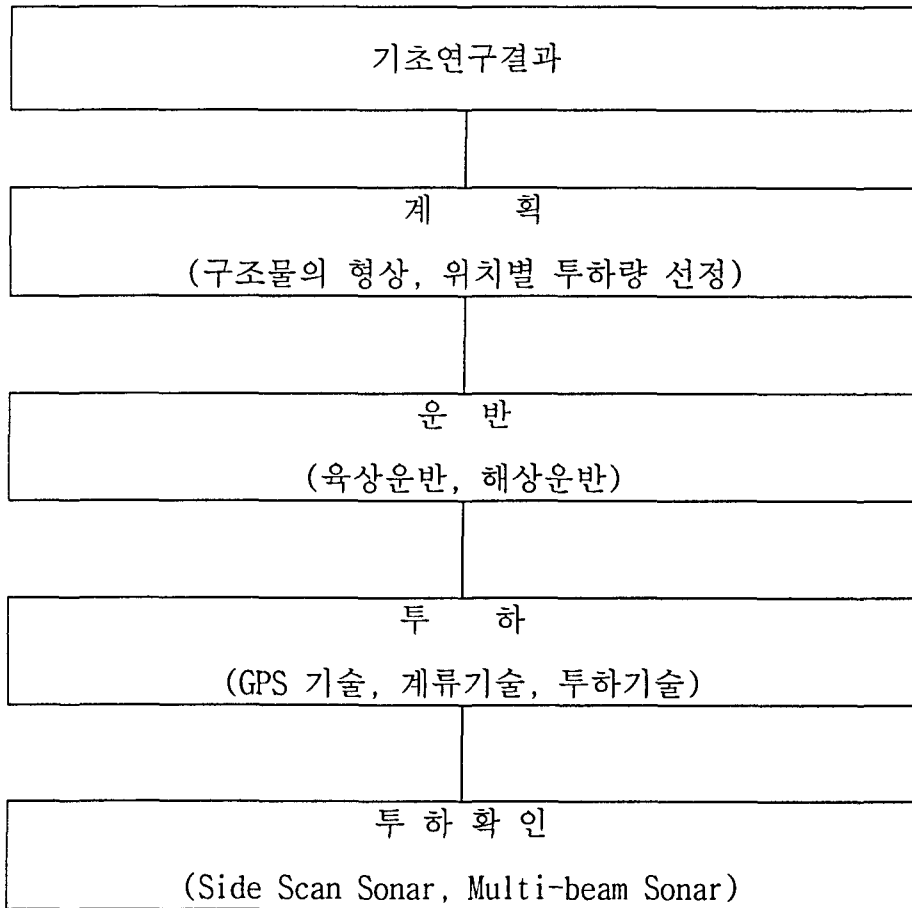


그림 4-1-1. 구조물 설치 공정도.

Fig. 4-1-1. Process of structure installation.

## 4.2. 구조물 설치 방법

### 4.2.1. 설치계획

구조물을 설치될 지점은 경상남도 매물도에서 남서방향으로 약 7km 떨어진 해상으로 좌표는 N 34° 36' , E 128° 30' 이며 수심은 54m~ 64m이다(그림 4-1-2). 2000년~2002년에 수행된 기초연구결과 조류는 북서와 남동방향의 흐름이 지배적인 흐름을 보이고 있으며 2002년 조사당시 표층에서 최대유속은 106.3cm/sec, 평균유속은 7.8cm/sec로 동향류(96.6°)를 나타내었다.

용승류의 블록의 재원은 가로 1m, 세로 1m, 높이 1m를 가진 정육면체로 부피는 1m<sup>3</sup> 이고 용승류 블록의 설치량은 1차년도 6,215개, 2차년도 4,754개, 3차년도에 12,000개로 총 22,969개가 예정되어 있다.

설치할 구조물의 형태는 구조물의 안정성을 위하여 양 끝단을 원추형태로 하고 중앙은 삼각기둥으로 계획하였으며, 2000년~2002년에 수행된 기초연구결과 용승류가 잘 일어날 조건으로 구조물의 유속경사가  $h_s/h=0.3$ 일 때이므로 구조물의 설치 높이는 수심을 고려하여 최소 17m, 폭은 구조물 사면의 안정각을 고려하여(폭=10/3\*설치높이) 고려하여 약 50m로 하였다.

구조물 설치 시 간극비를 0.43, 유실율을 10%로 간주하여 22,969개의 블록 투하시 총 부피는 29,561m<sup>3</sup> 로 계획하였으며 연차별 투하 개수 및 간극비, 유실율을 고려한 부피는 표 4-1-1과 같다.

설치할 구조물의 높이와 폭을 감안한 총 연장길이는 93m로 그림 4-1-3과 같으며 설치할 주 방향은 조류의 주방향과 직각이 되도록 설치할 계획이다.

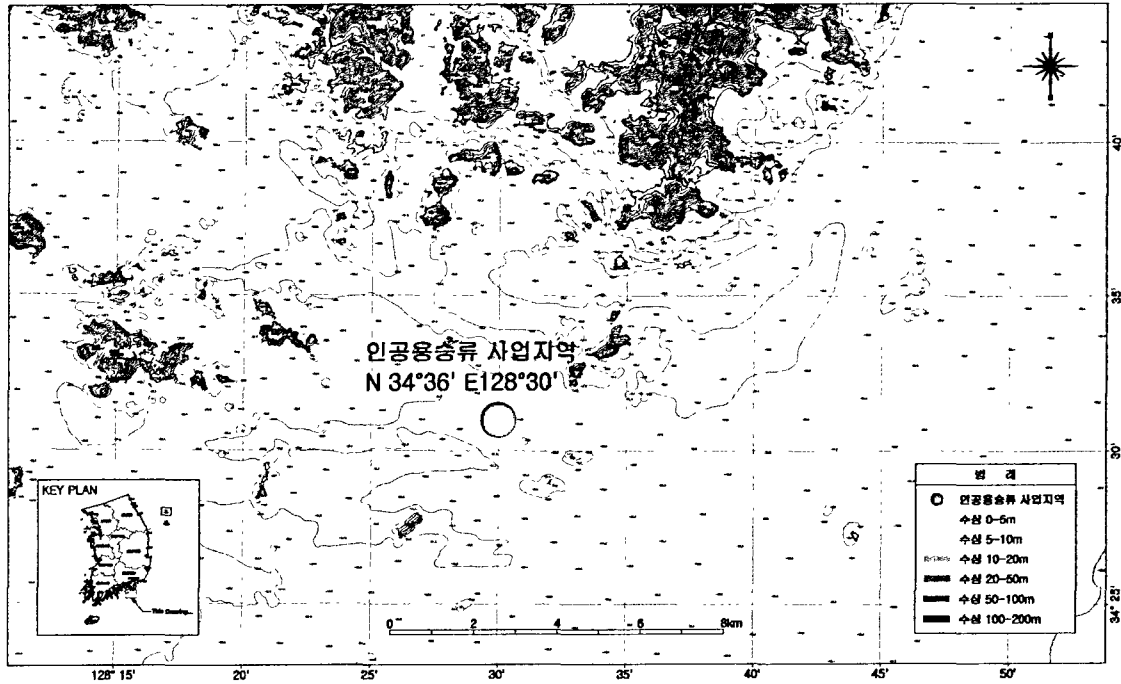


그림 4-1-2. 인공용승류 블록 설치 위치도.

Fig. 4-1-2. The map of structure installation.

표 4-1-1. 연차별 블록 투하수 및 부피

Table 4-1-1. Numbers and volumes of block by year

구 분	블록 투하수	부피(m <sup>3</sup> )	비 고
1차년	6,215	7,999	유실율 10%, 간극비 0.43%고려 부피 = 유실을 감안한 블럭의 순부피 + 간극비에 의한 부피
2차년	4,754	6,118	
3차년	12,000	15,444	
합 계	22,969	29,561	



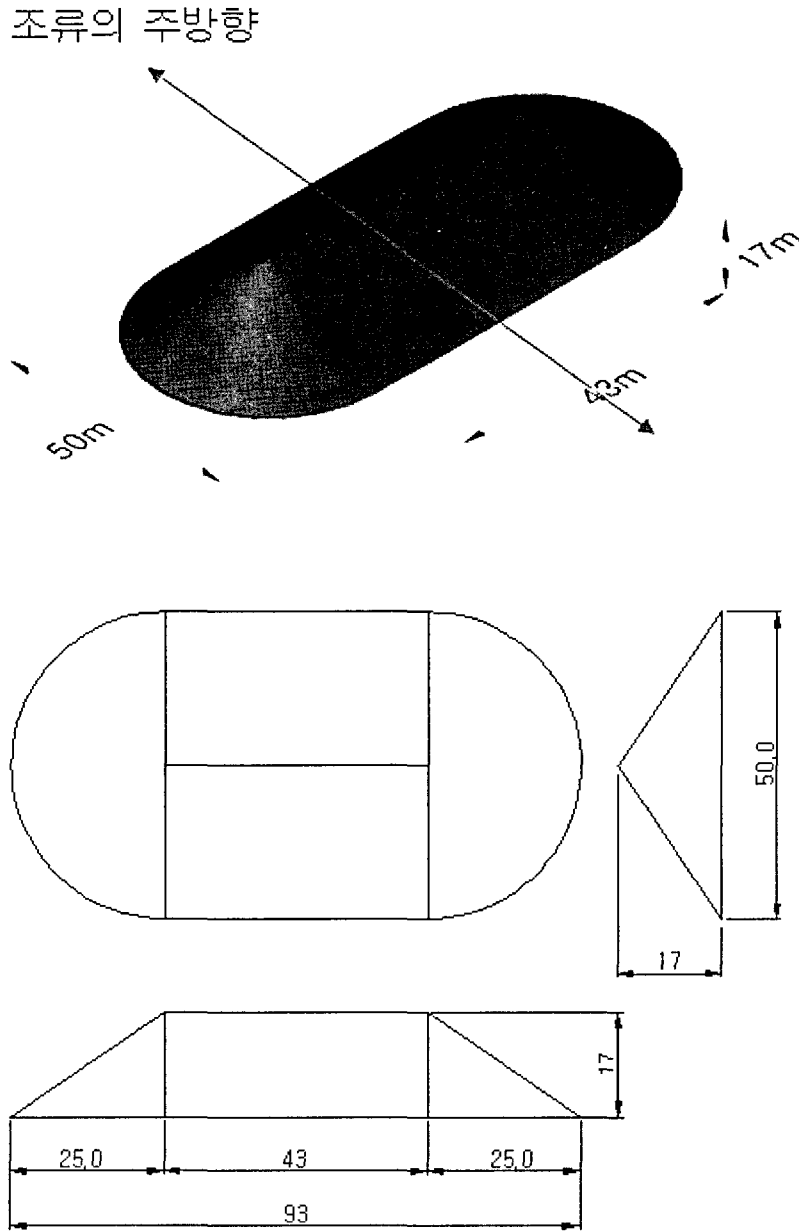


그림 4-1-3. 최종 구조물의 3차원 조감도 및 단면도.

Fig. 4-1-3. Three dimension and two dimension of final structure.

1차년도에는 6,215개(부피 7,999 m<sup>3</sup>)의 블록을 N 34° 36′ , E 128° 30′ (A지점)의 위치에 높이 15m로 설치할 것이며 2차년도 에는 투하수량 4,754개(부피 6,118 m<sup>3</sup>)의 블록을 N 34° 36′ , E 128° 29.987′ (B지점)에 높이 14m로 투하할 계획이다. 3차년도 에는 12,000개(부피 15,444 m<sup>3</sup>)의 블록을 1차년도와

2차년도의 설치결과를 토대로 하여 A와 B지점사이에 투하하고 설치 높이를 계획에 맞추어 투하할 계획이다.

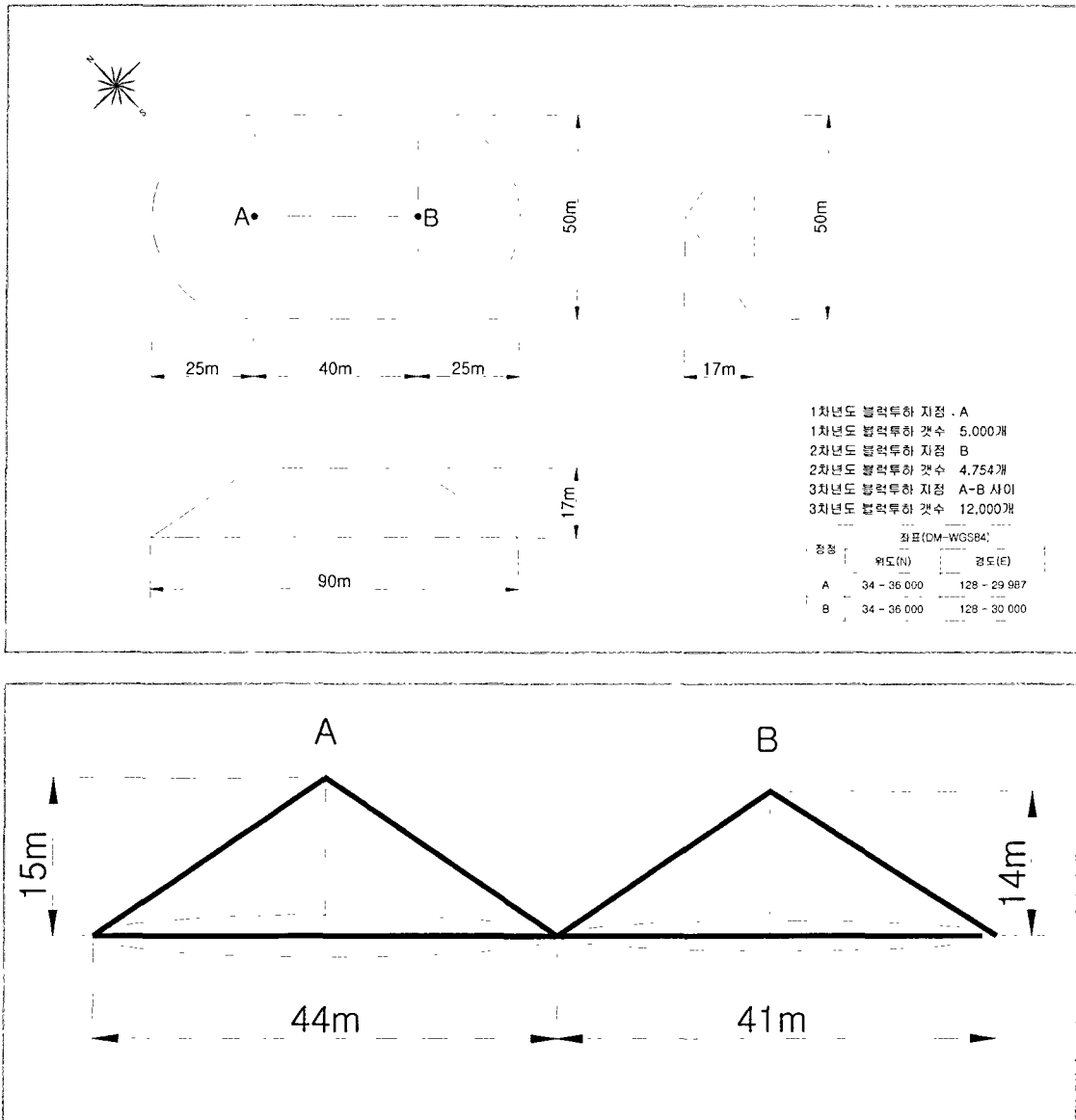


그림 4-1-4. 1차년도 및 2차년도 설치 단면도.

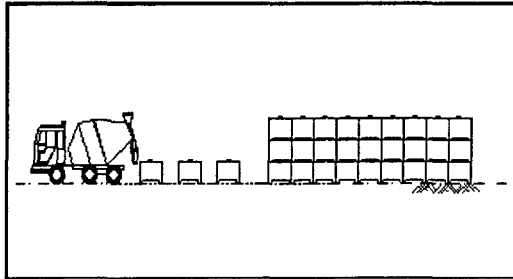
Fig. 4-1-4. Plans of structure in the first and second years.

#### 4.2.2. 운반 및 설치

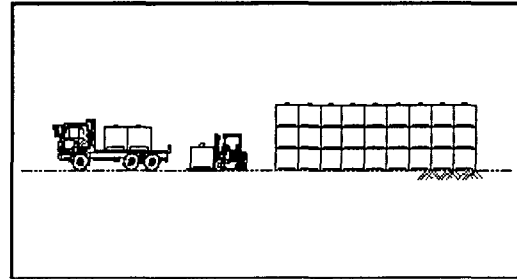
용승류 블록의 제작 및 야적장은 통영시 광도면 안정리 덕적마을이며 선착장은 야적장에서 약 300m 떨어진 곳에 위치해 있다. 블록의 투하위치는 경상남도 매물도에서 남서방향으로 약 7km 떨어진 해상으로 N 34° 36', E 128° 30' 지점으로 선착장에서 투하장소까지의 해상운반거리는 약 60km이다.

블록반출은 지게차를 이용하여 트럭에 4개의 블록을 선적하여 반출하였으며 마산지방해양수산청 감독관의 검수를 거쳐 양생 28일을 초과한 블록만을 선적하였다. 선적은 해상기중기선의 크레인(100ton 이상)을 이용하여 블록을 4개씩 적재하였다.

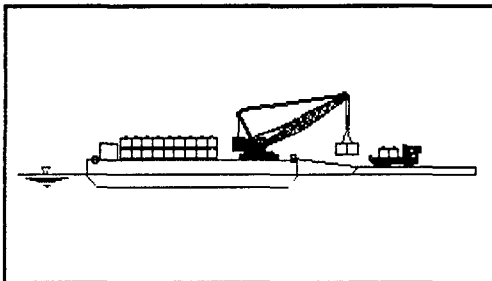
해상운반 및 투하에 사용된 장비는 예인선과 해상기중기선(크레인 100ton)을 사용하였으며 해상운반시간은 선착장에서 투하장소까지 약 7시간이 소요되었다.



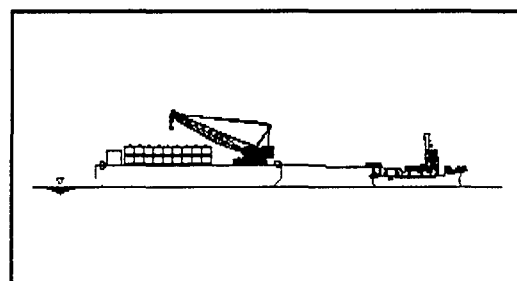
제작 및 양생(야적장)



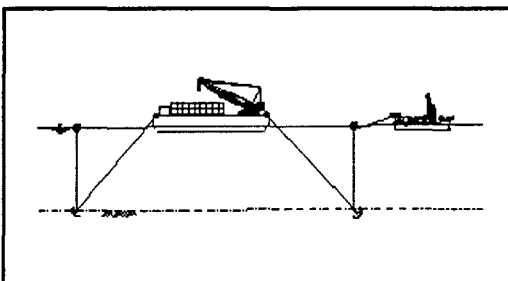
적재(야적장)



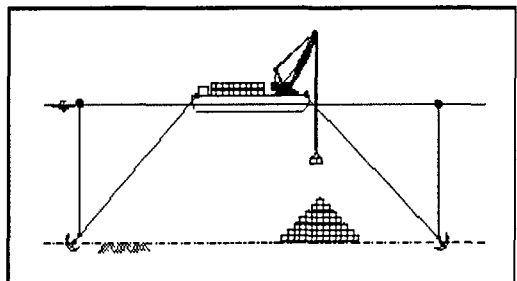
선적(선착장)



해상운반



Mooring



투하

그림 4-1-5. 제작에서 투하까지의 공정도.

Fig. 4-1-5. Process of structure installation.

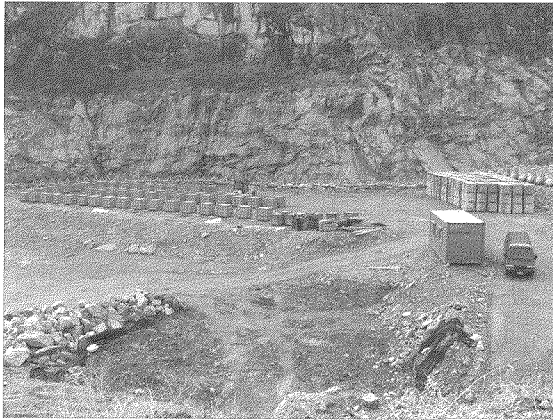


그림 4-1-6. 야적장.  
Fig. 4-1-6. Open storage yard.

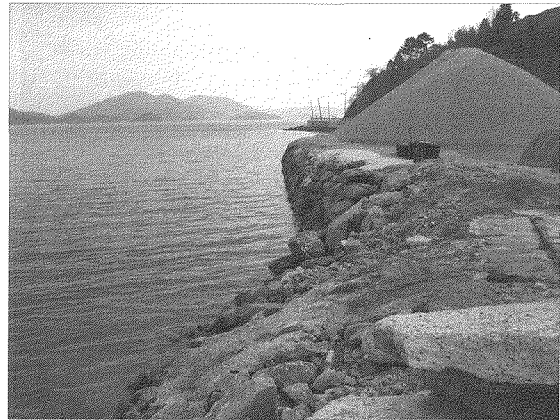


그림 4-1-7. 선착장.  
Fig. 4-1-7. Harbor.



그림 4-1-8. 육상운반.  
Fig. 4-1-8. Ground transport.



그림 4-1-9. 해상기중기선 및 예인선.  
Fig. 4-1-9. Floating crane and tugboat.

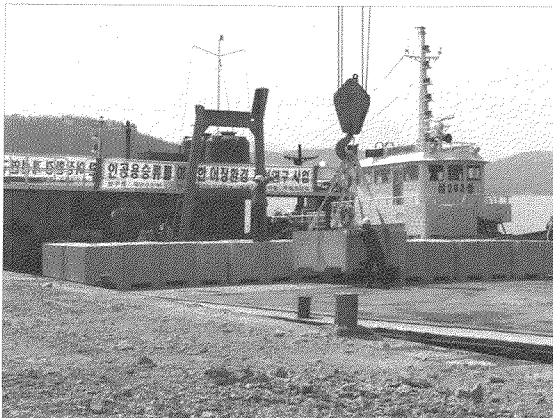


그림 4-1-10. 선적.  
Fig. 4-1-10. Shipment.

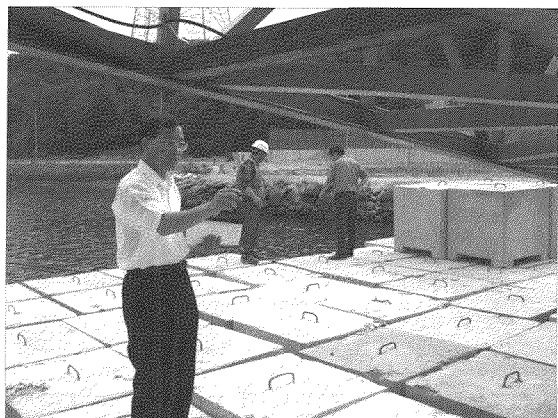


그림 4-1-11. 적재확인.  
Fig. 4-1-11. Check of shipment.

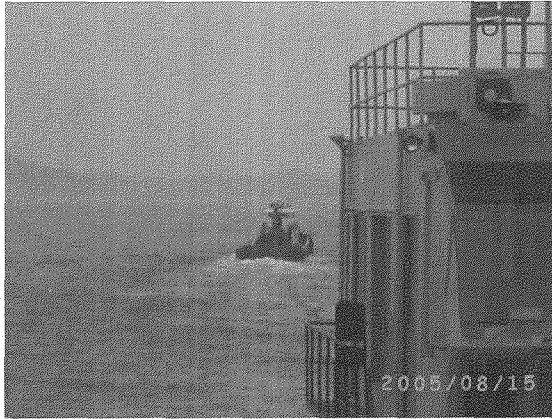


그림 4-1-12. 해상운반.  
Fig. 4-1-12. Marine transport.



그림 4-1-13. 계류.  
Fig. 4-1-13. Mooring buoy.

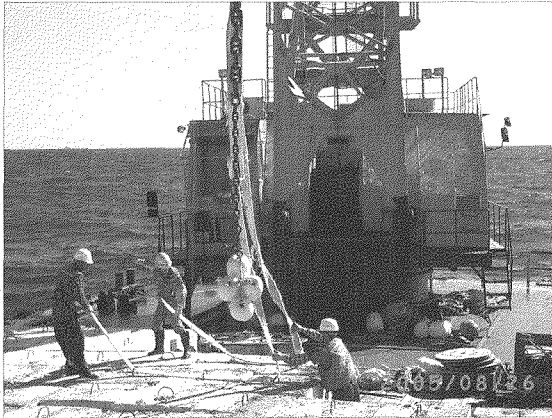


그림 4-1-14. 결색.  
Fig. 4-1-14. Band of blocks.

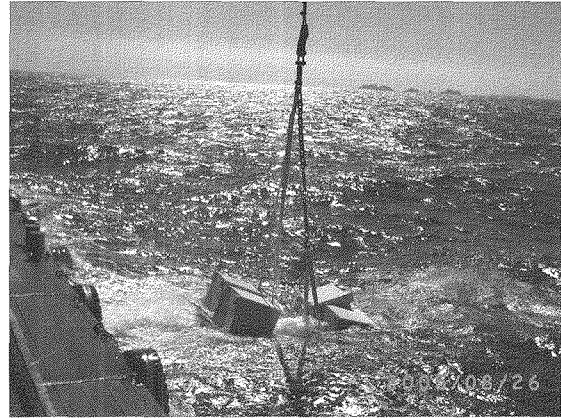


그림 4-1-15. 투하.  
Fig. 4-1-15. Dropping.



그림 4-1-16. GPS의 비콘.  
Fig. 4-1-16. Beacon of GPS.



그림 4-1-17. 해상측량프로그램(HYPACK).  
Fig. 4-1-17. Program of marine survey(HYPACK).

본 사업은 해상에서 이루어지는 작업으로 정확한 위치에 블록을 설치하기 위해서는 위치확보기술 및 계류시설이 필수적이다. 사용된 해상기중기선은 4점 묘박(錨泊)이 가능한 선박으로 4곳의 모서리에 앵커가 있어 조류의 흐름에 움직이지 않고 제자리에 있을 수 있다. 투하위치는 DGPS의 수신기를 크레인의 붐대 끝에 달고 해상측량프로그램(Hypack)에(그림 4-1-17.) 투하좌표를 입력하여 설정하였다.

예인선의 GPS를 이용하여 투하지점 근처까지 온 뒤 바지선의 앵커를 예인선이 끌어서 내린 후 해상측량프로그램상의 모니터 상에 반경 5m내로 크레인의 붐대(DGPS 수신기)가 들어오도록 앵커를 앞뒤로 당겨 셋팅한다. 셋팅이 완료되면 크레인의 와이어 로프에 블록의 4개씩 걸어 인양한 뒤 크레인의 기사가 노트북의 해상측량프로그램상의 투하위치를 모니터링 하면서 투하위치에 크레인을 이동시킨후 블록을 투하하였다.

블록투하시 처음에는 그림 4-1-18과 같이 크레인의 와이어로프를 두 가닥을 사용하여 해저면 바닥까지 내린 후 한쪽의 크레인을 당겨 블록을 투하하도록 하였으나 수심이 깊고 조류가 세 블록이 수중에서 회전하여 와이어로프가 자주 꼬이는 현상이 발생하여 수심 35m정도에서 투하하였다. 그 후 그림 4-1-19와 같이 크레인의 와이어로프 1줄과 부이를 이용하여 블록이 해저면 바닥에 닿으면 부표의 부력에 의해 밴드가 자동으로 풀리게 고안하여 설치하였다.

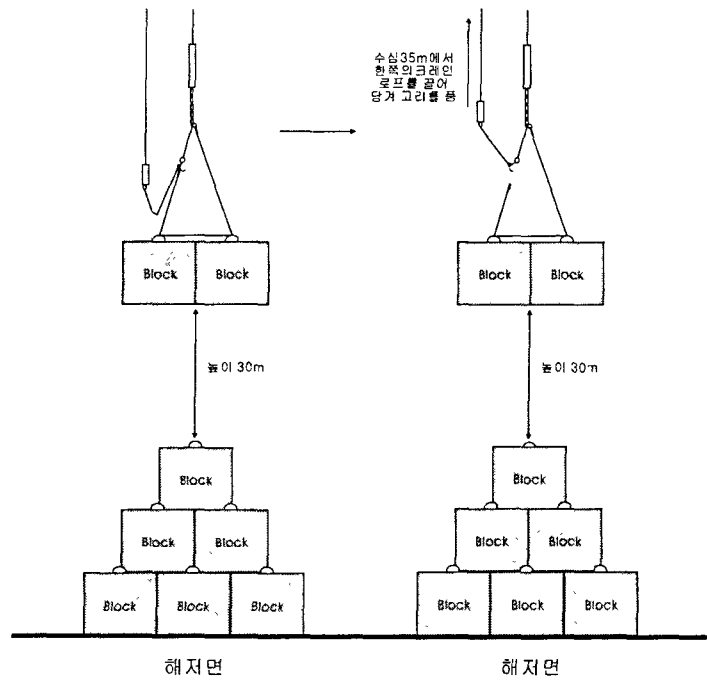


그림 4-1-18. 블록투하 방법 1.

Fig. 4-1-18. Dropping method one of block.

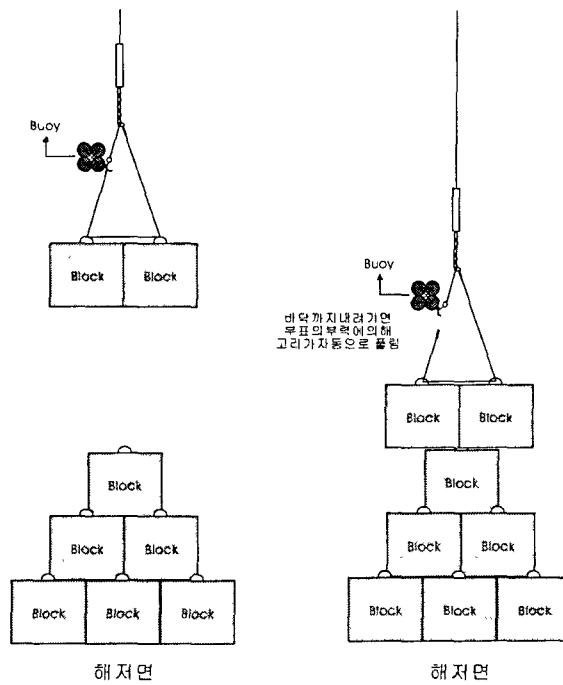


그림 4-1-19. 블록투하 방법 2.

Fig. 4-1-19. Dropping method two of block.



### 4.2.3. 투하확인

본 사업지역은 수심이 60m의 대수심 지역으로 한번 투하된 블록을 옮겨서 설치하기가 불가능하기 때문에 투하 후 제대로 투하 되었는 지의 확인이 중요하다.

투하확인은 어탐기, 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar), 다중음향측심기 (Multi-beam Sonar)를 이용하였다. 어탐기에 의한 확인은 매 항차 블록을 투하 한 후 연직 2차원 단면을 육안으로 개략적인 설치높이를 확인하였으며 Side Scan Sonar에 의한 확인은 블록 투하 2항차 마다 구조물의 평면 2차원의 단면과 구조물의 그림자를 이용하여 개략적인 높이를 확인하였다. 다중음향측심기 (Multi-beam Sonar)에 의한 확인은 블록투하 중간에 1회를 실시하고 블록 투하 완료 후 최종적으로 실시하여 구조물의 형태를 3차원적으로 확인하였다. 당초 잠수부에 의한 육안 확인을 계획하였으나 수심이 깊고 조류가 세 안전사고의 위험이 높아 실시하지 못하였다.

#### 가. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 의한 확인

구조물에 대한 위치정보를 얻기 위하여 정밀위성정보시스템(DGPS)과 시설상태 확인작업을 위한 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)를 연동하여 견인체(Tow-fish)를 해저면과 수면사이에 투하하여 견인하는 방법으로 시설 위치 및 상태 확인 작업을 수행하였다.(그림 4-1-20)

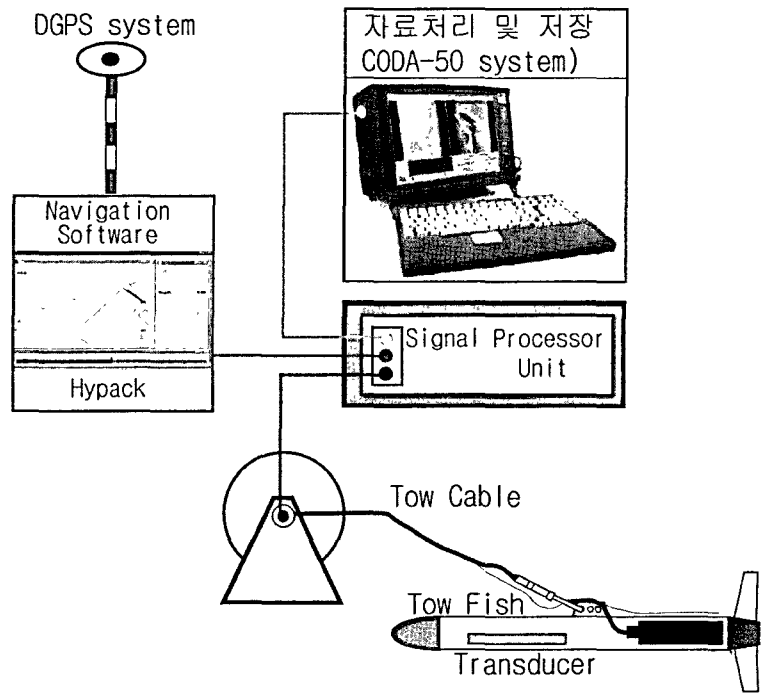


그림 4-1-20. 양방향 음파탐지기 구성도.

Fig. 4-1-20. Systems of Side Scan Sonar.

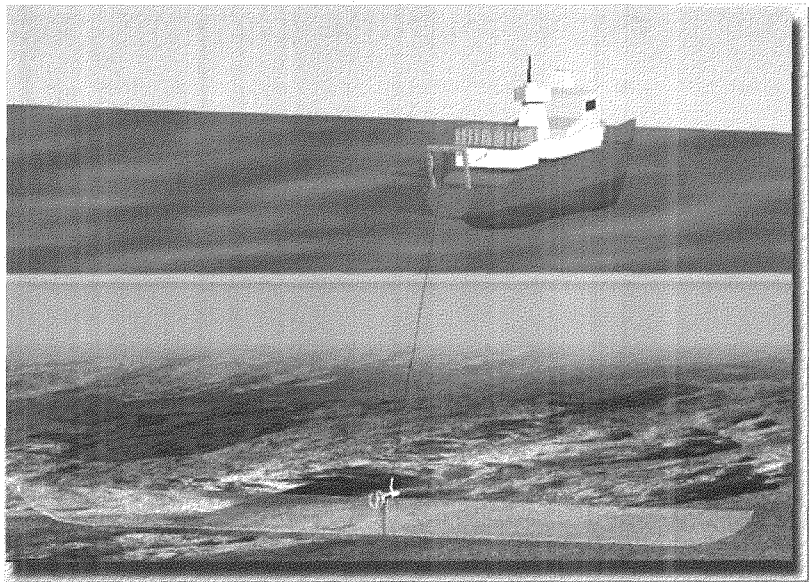


그림 4-1-21. Side Scan Sonar 조사 모식도.

Fig. 4-1-21. Air view of Side Scan Sonar survey.

양방향음파탐사기의 구성요소별 기능분포조사의 절차는 해당지역의 분포도 작성의 사전작업과 현장실태조사, 그리고 조사결과를 분석하는 사후작업으로 나뉘어진다.

## (1) 사전작업(Pre-Processing Work)

### ① 조사지역 계획도 작성

조사지역의 계획도를 개인용 컴퓨터에서 활용하기 위하여 수치지도를 작성할 필요가 있다. 단순히 가시화를 목적으로 할 수도 있고 DGPS장비와 연결하여 실제적인 항로 궤적의 표시, 영상 분포의 정확한 위치를 인지하기 위하여 수치지도가 요구된다. 수치지도의 작성은 다음과 같은 과정을 거친다.

- ㉠ 수치지도 작성 - Hypack Program 상에서 공간 데이터를 입력
  - 화면상에서 래스터이미지를 따라 벡터 커버리지를 생성
  - 고해저도 스캐너를 이용하여 데이터를 입력
- ㉡ 편집 - 수치지도를 U.T.M 좌표체제로 변환하여 DXF로 변환시킨다.
- ㉢ 이용 - 완성된 수치지도를 양방향음파탐사기, DGPS 장비와 함께 실시간으로 사용하기 위해서 자체 개발한 변환프로그램을 이용하여 적절한 형식으로 변환시킨다.
  - 양방향음파탐사기 운영프로그램과 함께 구동시켜 실시간으로 위, 경도, 선수각, 조사선박의 속도 등을 탐사이미지와 함께 모니터에 가시화시킨다.
  - DGPS운영 프로그램과 함께 사용하여 실시간으로 위,경도, 조사선박의 선수각, 속도 및 항행궤적을 모니터에 가시화시킨다.

### ② DGPS Setting

DGPS를 위한 정보는 해양수산부에서 설치운영 중인 기준국의 정보를 이용하였다. DGPS 장비에서 각 기준국의 주파수 및 전송속도는 해양수산부

에서 제공하는 항해정보를 참조하여 설정하였다. 그리고 DGPS의 정보를 쉽게 가시화 하기 위해서 수치지도와 연결한다. 영상조사 작업을 실시하기 전에 대상지역에 대한 지리적 정보의 파악은 필수적인 선결조건이다. 그러나 여기서는 단순한 지리적 정보의 관념적인 인지의 단계뿐만 아니라 보다 과학적인 분석과 효율적인 조사작업을 추진하기 위하여 가공된 형태의 지리정보를 파악해야한다.

## (2) 현장실태조사작업(Main Processing work)

### ① 양방향음파탐사기를 이용한 조사 및 모니터링

조사선박에 각 장비를 탑재하고 Towfish는 Sonar Deck을 통하여 제어하며, 실제 수면아래서 음파를 송수신하여 탐사 결과를 얻는다.

### ② 조사 선박의 항로 및 해저 영상 조사

조사 경로의 중복과 결원을 방지하기 위하여 DGPS를 통한 선박의 현 위치를 실시간으로 모니터링 하면서 그 결과를 가지고 조사항로를 새롭게 지정하여 조사하고 일련의 같은 과정을 반복하여 조사를 수행한다.

## (3) 사후 분석작업(Post-Processing work)

양방향음파탐사기에 의해 조사된 구역에 대한 조사자료는 일정한 간격을 나누어 저장되므로 관련된 소프트웨어를 활용하여 조사선박의 조사항로를 따라 모자이크화 하여 합성하고 조사결과를 인쇄하여 분석하고 조사경로 등을 고려하여 조사 대상 지역에 대한 영상도를 작성한다.

표 4-1-2. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사 순서도

Table 4-1-2. Process of Side Scan Sonar works

측량 순서도
자료 조사
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 과업지시서 및 자료검토</li> <li>○ 해도 및 관련서지 상 과업해역 특성확인</li> <li>○ 조사인원구성 및 장비점검</li> <li>○ 조사해역 장애물 및 시설물 점검</li> </ul>
계획 수립
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 양방향음파탐사기 시스템 운영계획 수립</li> </ul>
현지조사 및 측량실시
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Calibration 실시</li> <li>○ 양방향음파탐사기 시스템을 이용한 정밀측량</li> </ul>
시스템 자료처리
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 오류측위정보 편집</li> <li>○ CAD를 이용한 도면화 작업</li> <li>○ 2D Program을 이용한 형상해석</li> </ul>

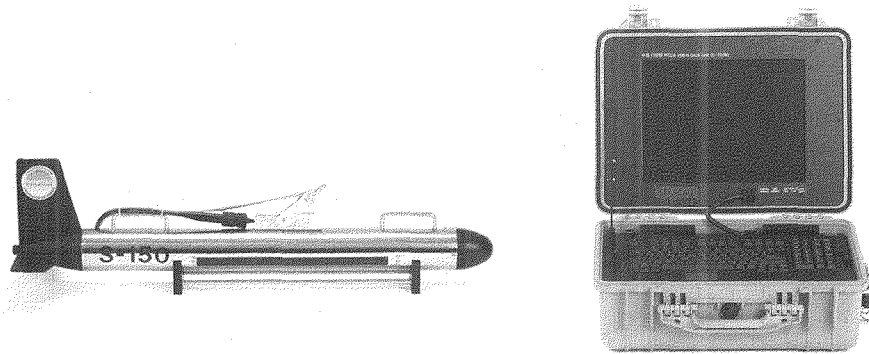


그림 4-1-22. 양방향음파탐지기(S-150) 견인체(towfish)(좌),  
자료처리기(우).

Fig. 4-1-22. Towfish and data processing.

표 4-1-3. 조사에 사용된 양방향 음파탐사기(S-150)의 사양

Table 4-1-3. Specifications of Side Scan Sonar(model : S-150)

#### 1. 제어부(Control Unit)

##### 데크 컨트롤 유닛(Deck Control Unit) - Potable type or Rack Mount Type

- CPU : Pentium IV 2.0GHz, RAM : 256DDR, HDD : 80G
- 모니터: 15" or 17" LCD
- 산업용 키보드 & 터치 패드
- 운반 케이스(Watertight Case) (Potable type)
- 네비게이션: GARMIN GPS
- USB, LAN

##### 운영 소프트웨어(S/W)

- 운영 시스템: Window 2000 Pro. or XP pro.

##### 운영 소프트웨어-Operating S/W> - RealScan®

- 이미지 필터링 기능
- 관심 대상물 표시기능
- 예상항로 및 운항항로 설정

##### 후처리 소프트웨어-Post Processing S/W> - PostScan®

- 정지 이미지 저장 및 출력
- 단위작업지역 모자이킹
- 3D입체 지형도 출력 기능
- 이미지 부분 확대기능

. .2. 동력부(Battery Box) - Potable type

크기 : 490mm × 380mm × 185mm

무게 : 28kg

전원 : 24VDC 출력(연속 6시간 운영가능)

방수상태 : 생활방수

...3. 견인부(Towfish)

Model : S-150 Series

S-150

- 몸체 재질(Body) : Stainless Steel
  - 사이즈(Size) : 1350 x 120(mm)
  - 무게(Weight) : 34kg(in air)
  - 운용 주파수(Operating Frequency) : 400 kHz
  - 방사 빔 각도 : Horizontal beam : 0.3° , Vertical Beam : 40°
  - 펄스 폭(Pulse) : 15 $\mu$ s ~ 100 $\mu$ s
  - 촬영 폭(Swath) : 45m ~ 300m
  - 해상도(Across-track Resolution) : 7cm
  - 수심 센서(Depth Sensor) :  $\pm$ 0.25%
  - 고도 센서(Altimeter) : 200kHz, 20deg.
  - 몸체 운동 센서(Motion Sensor) : Roll, Pitch, Heading
  - 견인 속도(Operating Speed) : 1 ~ 8 knots
  - 운용 최대 수심(Max. Operating Depth) : 300m max.
  - 투우피시 보관 상자(Watertight Pelican Case)
  - 투우피시 받침대(Towfish Pedestal)
- 안전 회수 시스템-Safe Recovery System>
- 안전핀 및 착탈식 꼬리날개 장착(Safety Pin based on Experimental Data)
  - 위치추적 용 음파 발신기(Pinger) : up to 1km

나. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)에 의한 확인

(1) 다중음향측심기(Multi-beam) 시스템 개요

다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 시스템 구성은 송수파기, 위성측위기(GPS), GYRO Sensor, SVP Sensor, Motion Sensor 및 WorkStation PC로 구성된다. 다중빔음향측심기는 수중에서의 음파가 왕복전달되는 속도와 시간을 측정하여 수심으로 환산한다. 수층별 음파의 전달속도의 변화는 측정수심 및 빔의 측정위치계산에 많은 영향을 끼친다. 그러므로, 다중빔음향측심기 시스템을 이용한 해저지형 관측에서는 음속도의 정밀관측이 필수적이다.

표 4-1-4. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 시스템구성

Table 4-1-4. Specifications of Multi-beam Sonar

항 목	기 능
다중빔음향측심기	다중빔 음파송신 및 수신
송수파기	
위성측위기(GPS)	다중빔 기준점에 대한 절대 지구좌표 획득
GYRO Sensor	진북을 기준으로 한 선수의 회전각 취득
SVP Sensor	조사대상 해역의 음속도 프로파일 제공
Motion Sensor	선박의 Heave, Roll, Pitch 변화량 취득
WorkStation PC	각 종 센서자료를 취득, 통합



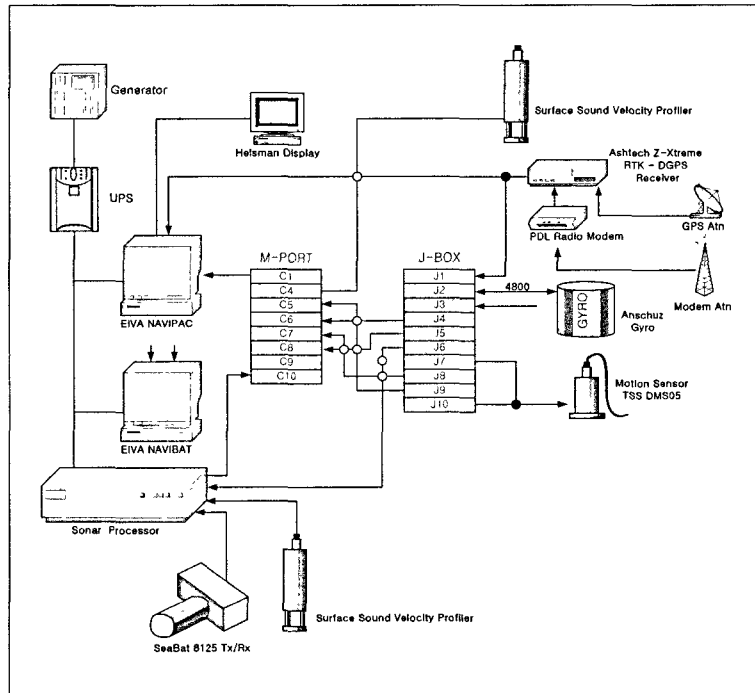


그림 4-1-23. 다중음향측심기 시스템 구성도.

Fig. 4-1-23. System of Multi-beam Sonar.

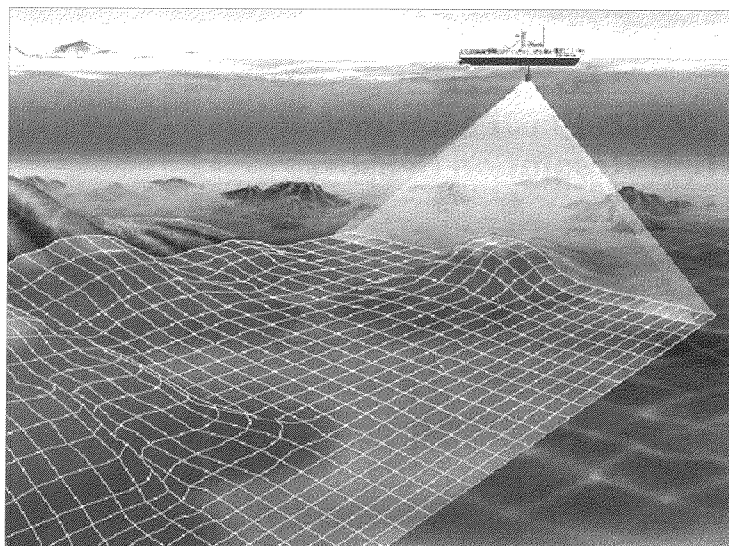


그림 4-1-24. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사모식도

Fig. 4-1-24. Air view of Multi-beam Sonar survey.

## (2) 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사방법

측심선의 해상위치 결정에는 실시간 DGPS(Real-Time Differential Global Positioning System) 수신기(Novatel)를 이용하여 WGS-84 좌표를 얻은 후 Navipac S/W로 Tokyo Datum으로 위치변환(U.T.M도법)을 실시간 보정하고 직선유도법으로 항주하는 측량선의 위치를 결정한다.

DGPS 위치 정도를 확인하기 위하여 보정작업(Calibration)을 실시한다. 그리고 DGPS와 다중음향측심기 값은 Navipac S/W를 이용하여 자료수집하며, 수심측량은 다중음향측심기의(Multi-beam Echo Sounder SeaBat 8125)를 사용하여 시설지의 수심을 측량하였다. 또한 측량시 수면하 음속(Sound Velocity)을 확인하여 실시간 보정하며 Multibeam EchoSounder SeaBat 8125 자동화 시스템으로부터 잡음을 소거하고 디지털 연속출력방식으로 데이터 자동처리하여 Navipac S/W로 항해용 PC와 연결하여 운용하였다. 그리고 현장에 배치된 실시간 조위 관측에 의해서 얻어진 성과를 취득하여 DL상의 조위개정을 적용하였다.(표 4-1-5)

표 4-1-5. 다중빔음향측심기를 이용한 수심측량 조사순서

Table 4-1-5. Process of Multi-beam Sonar survey

멀티빔 측량의 조사순서

다중빔음향측심기 설치

다중빔음향측심기 검교정

다중빔 해저면 데이터 획득(Survey)

각각의 빙별 오측자료 제거 및 편집

조석 및 SVP, Roll, Pitch, Gyro, Time  
재보정

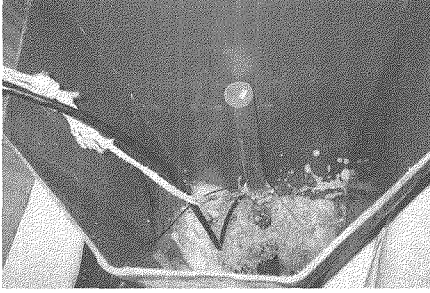
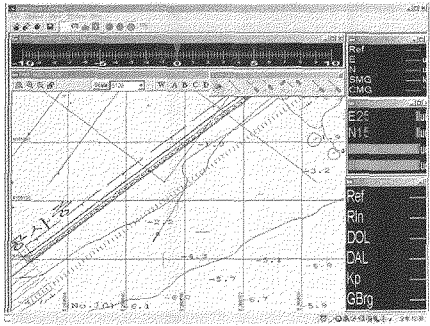
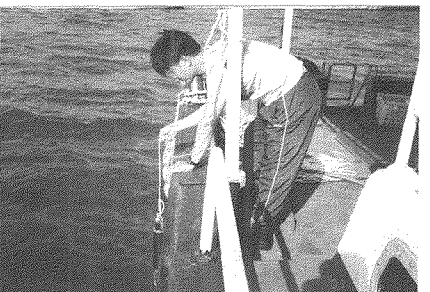
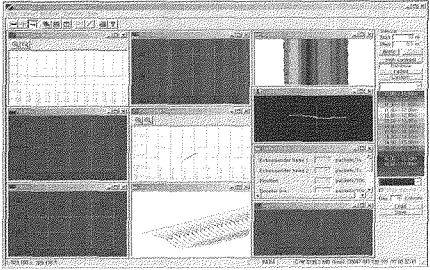
보정된 항적자료와 측심자료를 재병합

3D 해저지형 모델링

등심선도 및 도면제작

표 4-1-6. 구성장비별 운용방법

Table 4-1-6. Using method of equipments

	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 측량선의 선형에 맞춰서 송수파기와 GPS ANT의 위치를 동일한 일선중앙에 배치하여 위치상 오차를 제거하였다.</li> <li>□ 송수파기와 함께 Motion Sensor 및 표면 SVP 장비를 장착하여 중앙직하 수면하 1m에 부착하였다.</li> </ul>
<p>송수파기</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ GYRO는 조타실 직하에 장착하였고 디지털화면으로 방위를 인식하였으며, 운항 4시간 전에 작동하여 정상가동이 되도록 하였다.</li> <li>■ 측심작업전 측량선 위치와 항정선과의 위치를 확인한 후 계획항정선을 Navipac S/W상에서 dxf로 전환하여 PC Monitor상에 표시하여 측량선이 측심선에 따라 항행하였다.</li> </ul>
<p>항적 Display</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 측량시 수면하 Sound Velocity를 체크하여 실시간 보정하며 Multibeam EchoSounder SeaBat 8125자동화 시스템으로부터 잡음을 소거하고 디지털 연속출력방식으로 데이터 자동처리하여 Navipac S/W로 항해용 PC와 연결하여 항행하는데 지장이 없게 하였다.</li> </ul>
<p>SVP Check</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 송수파기에서 수신된 Data와 모션센서에서 수집된 Data 및 Gyro Data의 이상유무를 Display를 통하여 확인하고 실시간으로 저장하였다.</li> </ul>
<p>NaviScan Display</p>	

### (3) 다중음향측심기 (Multi-beam Sonar) 자료처리

Multi-beam Echo Sounder(SeaBat 8125)는 양각 120도의 각도로 ping당 총 241개의 자료를 실시간 획득하여 후처리시에는 양 Side의 각도를 30도 정도 절사 후 정밀한 자료만으로 편집하였다.

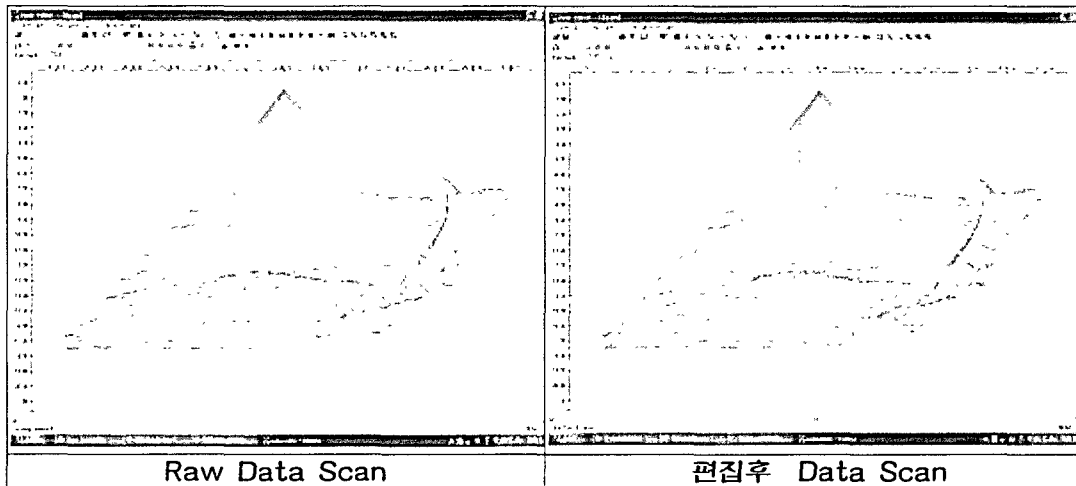


그림 4-1-25. 편집 전후의 영상물.

Fig. 4-1-25. Raw Data Scan(left) and editing data Scan(right).

편집 후에는 Roll, Pitch, Gyro, Time값을 보정하고 Sound Velocity와 조석을 재보정한 값을 XYZ값으로 변환하여 최종데이터를 획득, 양질의 수심 측량을 생산하였다.

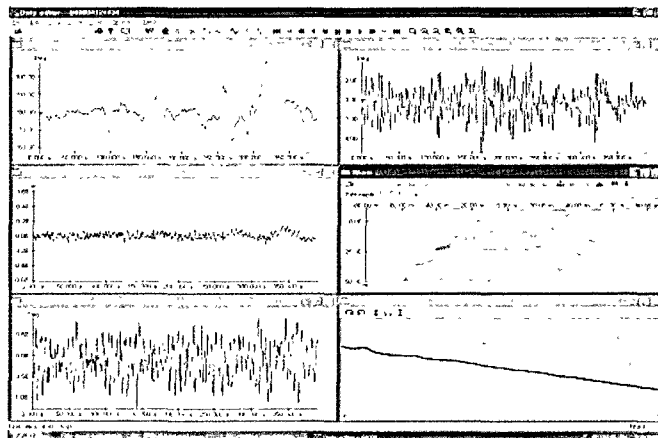

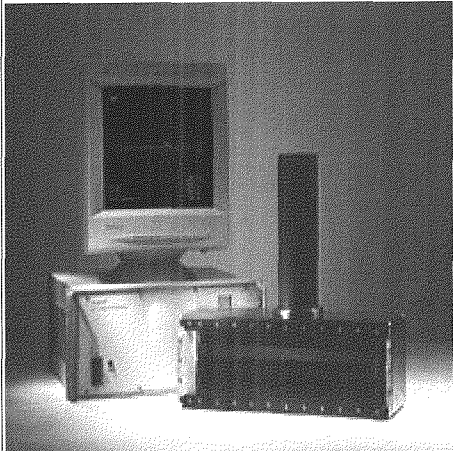


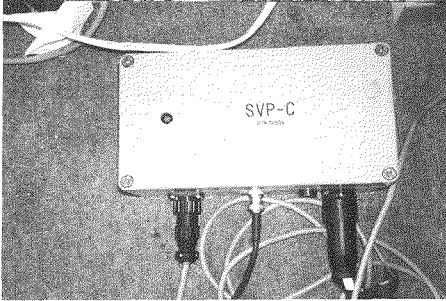
그림 4-1-26. 자료편집 후의 영상 예제.

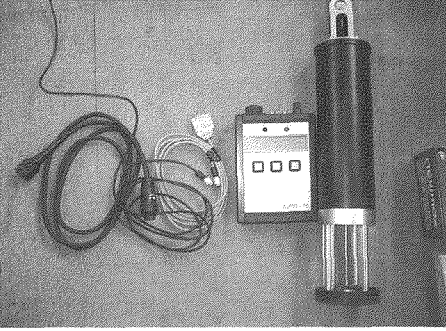
Fig. 4-1-26. Data Editor File.


(4) 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 장비제원

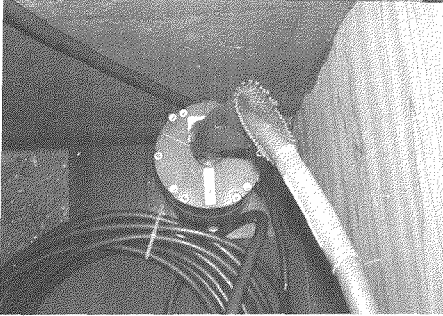
RTK-DGPS	구 분	내 용
	제작회사	Novatel(Canada)
	Model	PROPAK RT20
	DGPS 정밀도	20 cm
	Channel	12 초
	초기화시간	67 초
	소비전력	8.0 Watts
	수신방식	Board & Sensor
	규 격	24.5cm * 13cm * 6.2cm
	중 량	1,200g
	작동온도	(-40) to (+65)
	INPUT VOLTAGE	10~36 V
	NMEA 출력	YES
	통신포트	RS232C I/O
Event Marker	Yes	


다중빔음향측심기	구 분	내 용
	제작회사	RESON(USA)
	Model	SeaBat 8125
	사용주파수	455 KHz
	측정범위	120°
	측심범위	Max 120m
	Coverage	수심 x3.5
	해상도	6mm
	빔 폭	0.5°
	진행방향 빔폭	1°
	핑 속도	40 EA/S
	빔 수	241개
	전 원	AC 110~220

SVP (실시간)	구 분	내 용
	제작회사	Navitronic Systems(덴마크)
	Model	SVP-C
	측정범위	1350 to 1600 m/s
	해상도	0.1 m/s
	정확도	±0.25 m/s
	프린퀀시	2MHz
	전 원	220VA(50,60 Hz)
	출력기능	RS232

SVP	구 분	내 용
	제작회사	Navitronic Systems(덴마크)
	Model	SVP-15
	측정범위	1350 to 1600 m/s
	해상도	0.1 m/s
	정확도	±0.25 m/s
	프린퀀시	2MHz
	측심범위	200m in 0.5m steps
	수심별 정확도	±0.1m +0.2% of measured depth
	출력기능	RS232

Gyro	구 분	내 용
	제작회사	Anschutz (Germany)
	Model	Anschutz Standard 20 Digital Compass
	Settle Point Error	< ±0.1 ° x secLat
	Static Error	< ±0.1 ° x secLat, RMS
	Dynamic Error	< ±0.41 x secLat
	Setting Time	3 h
	Rate of follow up	75 ° /sec
	허용가능한 Roll, Pitch	±45 °
	전 원	24VDC or AC 110~220 (50, 60Hz)

Motion Sensor	구 분	내 용	
	제작회사 Model	Tss (England) DMS-2-05	
	Heave	측정범위 해상도 정확도	$\pm 100m$ 1cm 5cm or 5%
	Roll, Pitch	측정범위 해상도 정확도 최대변위각	$\pm 30^\circ$ Digital 0.01 ° Dynamic $\pm 0.05^\circ$ Static $\pm 0.05^\circ$ RMS 100 ° /second
	전 원	출력기능	220 VAC (50, 60Hz) RS232

해양엑스포호 (측량선)	구 분	내 용
	제작국	Korea
	Model	해양엑스포호
	총톤수	22 ton
	승선인원	12 명
	전장	16.18m
	폭	4.56m
	Maximum Speed	20 Knot
	Engine	615 마력 2기



### 4.3. 설치결과 및 고찰

해상운반 및 설치 횟수는 총 17회로 표 4-1-7과 같다. 1회 적재량은 바지의 적재량에 따라 약 300개에서 412개로 6월 8일 첫 번째로 투하를 시작하여 9월 3일 투하를 완료하였다.

표 4-1-7. 블록투하 현황

Table 4-1-7. The present state of dropping blocks

구 분	날 짜	투하 갯수	누적 투하 갯수	비 고
1	6월 08일	322	322	6월 1일 장비 투입
2	6월 12일	300	622	
3	6월 14일	292	914	
4	6월 17일	300	1,214	
5	6월 19일	302	1,516	
6	6월 21일	300	1,816	
7	8월 11일	408	2,224	
8	8월 13일	412	2,636	
9	8월 15일	412	3,048?	
10	8월 17일	410	3,458	
11	8월 19일	412	3,870?	
12	8월 21일	412	4,282	
13	8월 26일	412	4,694?	
14	8월 28일	412	5,106	
15	8월 30일	412	5,518	
16	9월 01일	396	5,914	
17	9월 03일	301	6,215	

투하확인 결과 구조물의 높이는 18m로; 폭은 45m로 계획하였던 원추의 형태로 잘 쌓여 있는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 4-1-27과 4-1-28은 각각 1,816개 투하 후 및 5,914개 투하 후의 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)의 영상을 나타낸 것으로 한 지점에 타원의 형태로 쌓여져 있는 영상을 보여주고 있으며 5,914개의 블록을 투하한 후 구조물의 높이는 약 17m, 반경은 약 45m가 되는 것으로 추정된다.

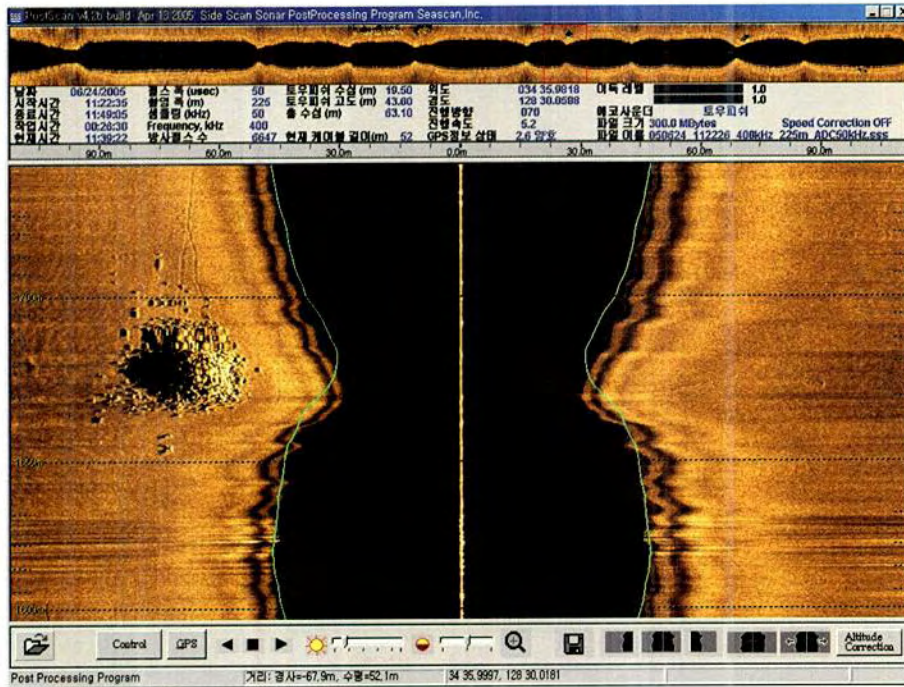


그림 4-1-27. 1,816개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.  
 Fig. 4-1-27. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks : 1,816).

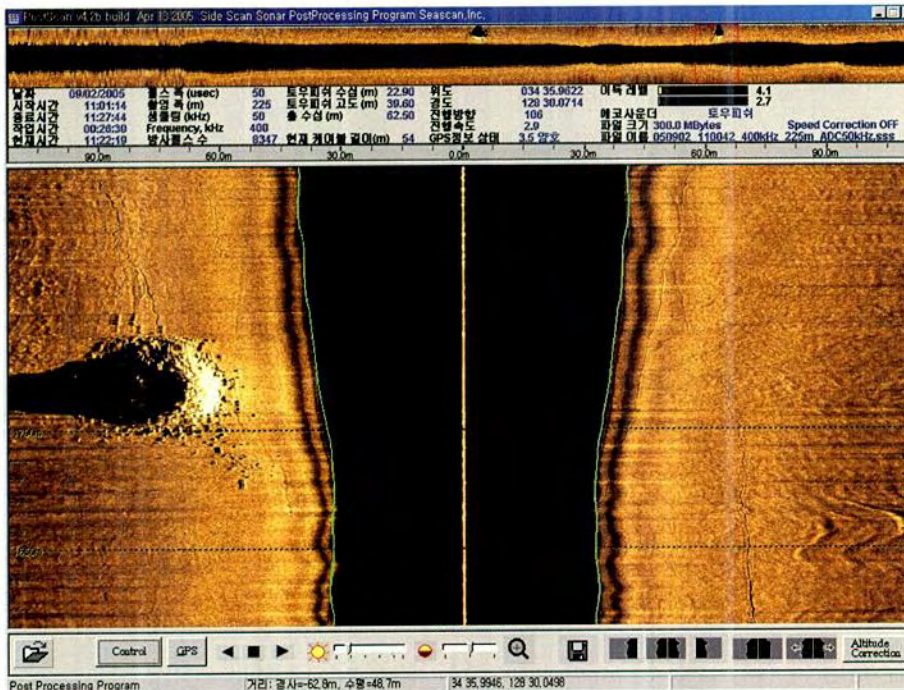


그림 4-1-28. 5,914개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.  
 Fig. 4-1-28. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks : 5,914).

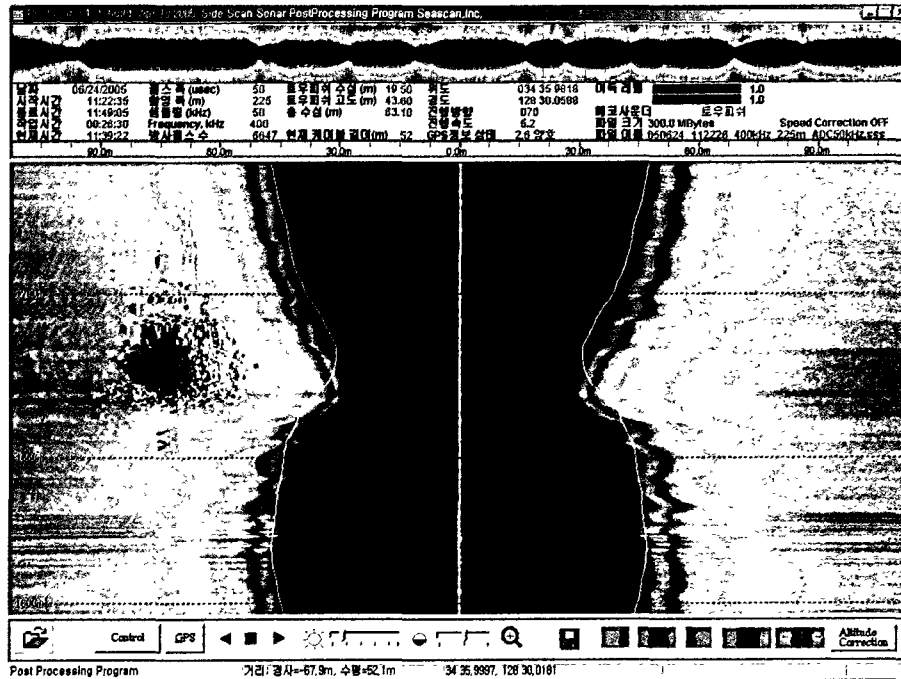


그림 4-1-27. 1,816개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상  
 Fig. 4-1-27. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks : 1,816).

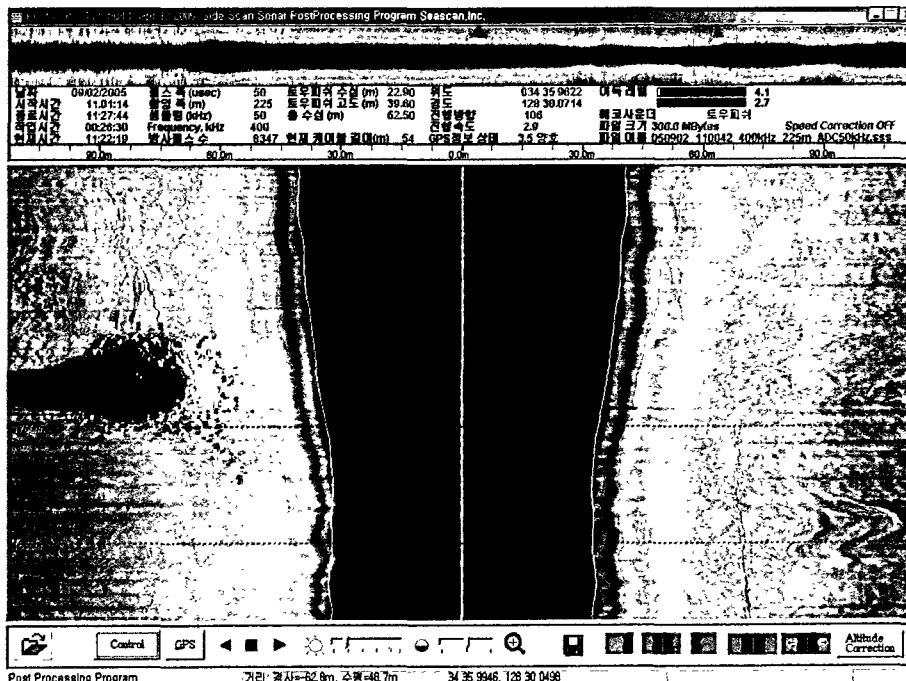


그림 4-1-28. 5,914개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상  
 Fig. 4-1-28. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks : 5,914).

그림 4-1-29과 4-1-30은 6,215개의 블록을 투하 후 조사한 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)의 2차원과 3차원의 영상을 나타낸 것으로 주변의 수심은 60m이고 구조물의 정상에서의 수심은 41.38m로 의 높이가 18m 쌓여져 있으며 구조물의 반경은 45m로 확인되었다.

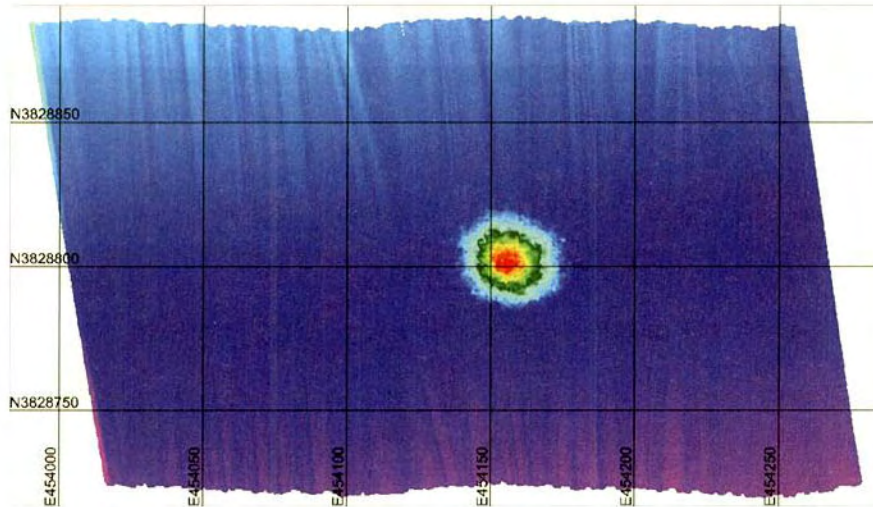


그림 4-1-29. 구조물의 2차원 영상.

Fig. 4-1-29. Image of structure(two dimension).

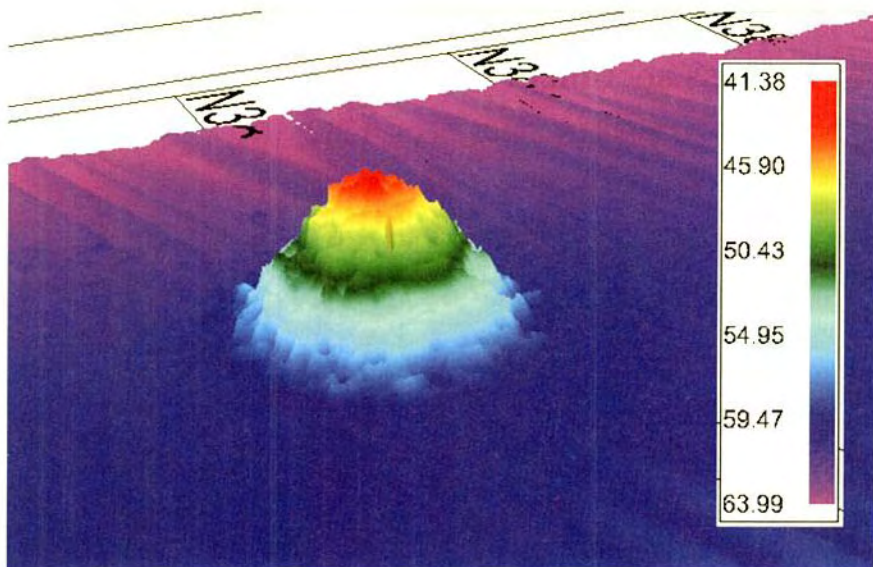


그림 4-1-30. 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-1-30. Image of structure(three dimension).

그림 4-1-29과 4-1-30은 6,215개의 블록을 투하 후 조사한 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)의 2차원과 3차원의 영상을 나타낸 것으로 주변의 수심은 60m이고 구조물의 정상에서의 수심은 41.38m로 의 높이가 18m 쌓여져 있으며 구조물의 반경은 45m로 확인되었다.

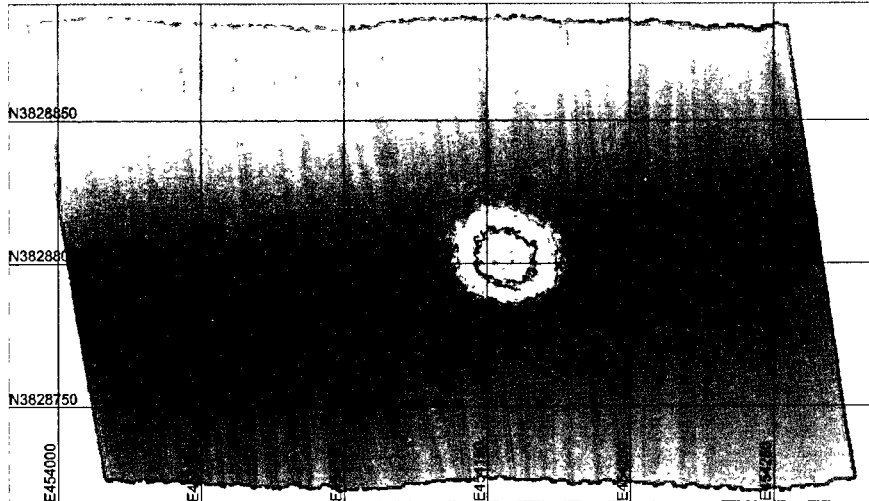


그림 4-1-29. 구조물의 2차원 영상.

Fig. 4-1-29. Image of structure(two dimension).

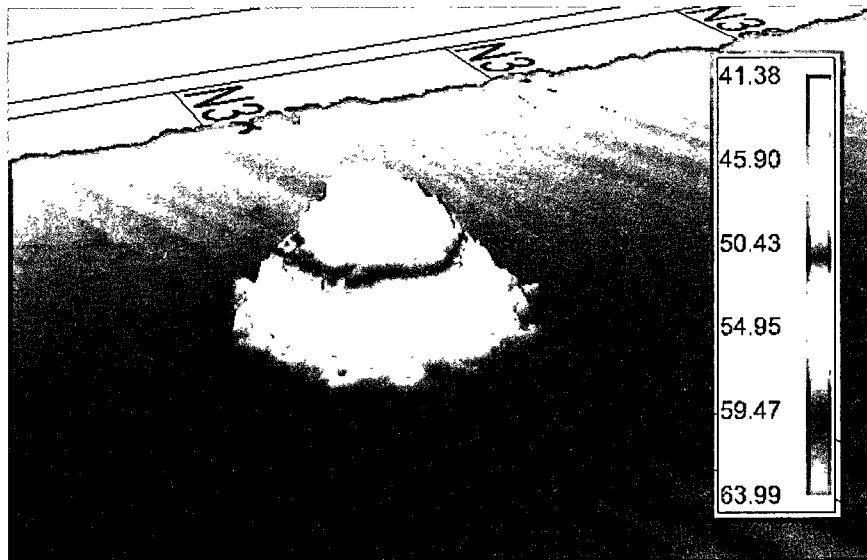


그림 4-1-30. 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-1-30. Image of structure(three dimension).

그림 4-1-31에서 4-1-37은 구조물의 단면을 나타낸 것이다. 그림 4-1-31은 중앙 종단면을 나타낸 것으로 구조물의 높이는 수심 60m를 기준으로 높이가 18m 이고 반경은 약 45m로 나타났다. 이는 1차년도 구조물의 계획 높이인 15m, 높이가 2m 높게 쌓여졌으며 최종 구조물의 계획높이인 17m보다도 1m 정도 높게 설치되었다.

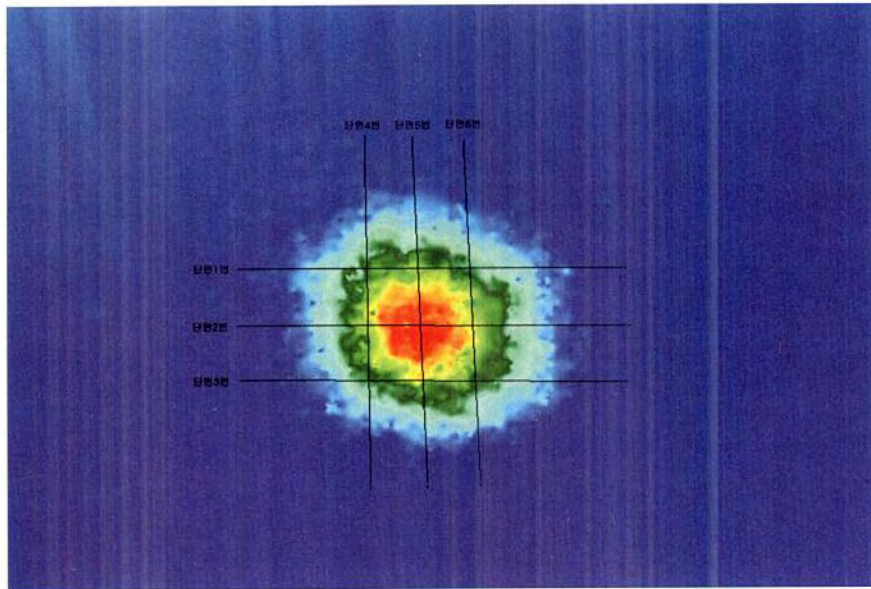


그림 4-1-31. 구조물의 단면도.

Fig. 4-1-31. Cross section of structure.

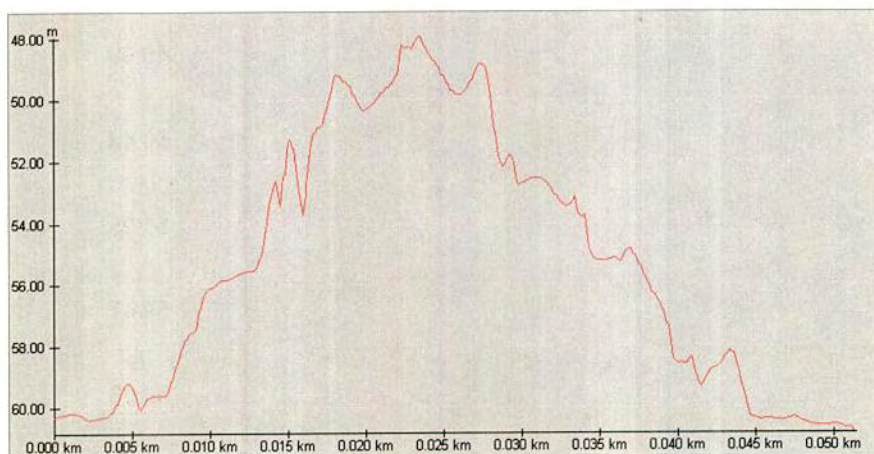


그림 4-1-32. 구조물의 단면 1형상.

Fig. 4-1-32. Image of section 1.

그림 4-1-31에서 4-1-37은 구조물의 단면을 나타낸 것이다. 그림 4-1-31은 중앙 종단면을 나타낸 것으로 구조물의 높이는 수심 60m를 기준으로 높이가 18m 이고 반경은 약 45m로 나타났다. 이는 1차년도 구조물의 계획 높이인 15m, 높이가 2m 높게 쌓여졌으며 최종 구조물의 계획높이인 17m보다도 1m 정도 높게 설치되었다.

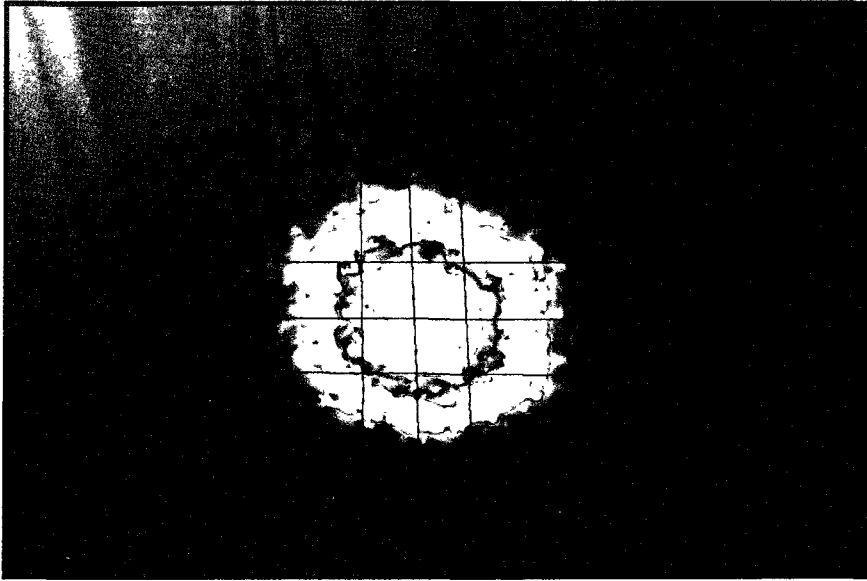


그림 4-1-31. 구조물의 단면도.

Fig. 4-1-31. Cross section of structure.

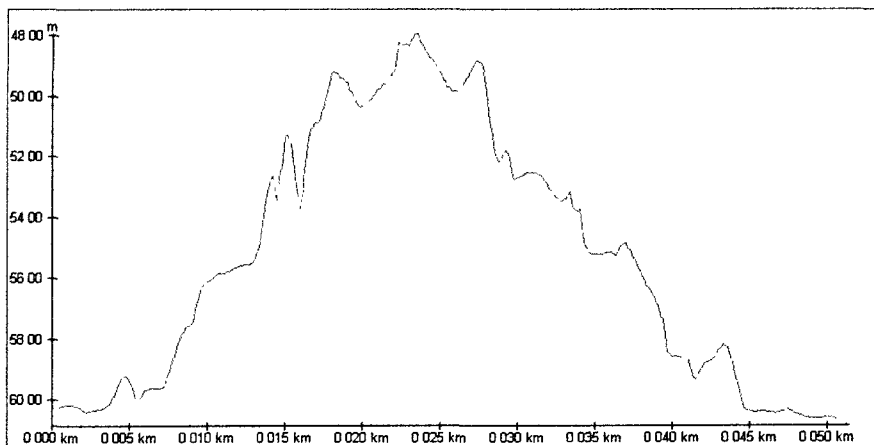


그림 4-1-32. 구조물의 단면 1형상.

Fig. 4-1-32. Image of section 1.

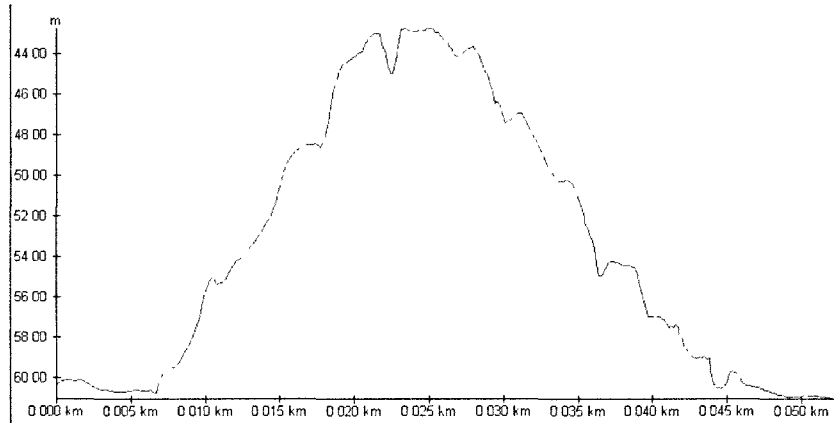


그림 4-1-33. 구조물의 단면 2형상.

Fig. 4-1-33. Image of section 2.

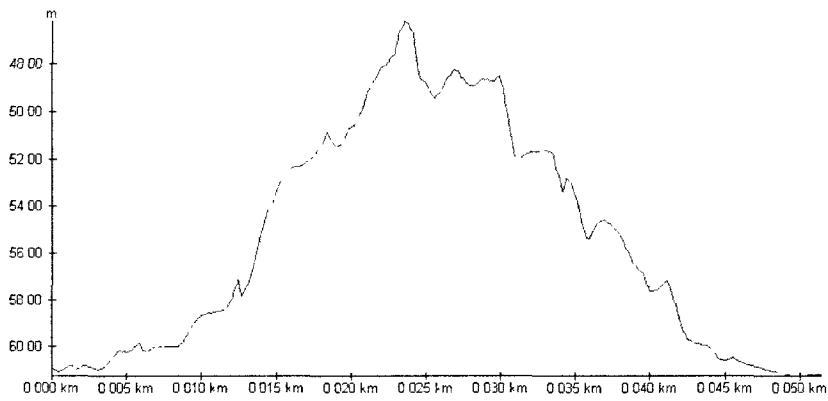


그림 4-1-34. 구조물의 단면 3형상.

Fig. 4-1-34. Image of section 3.

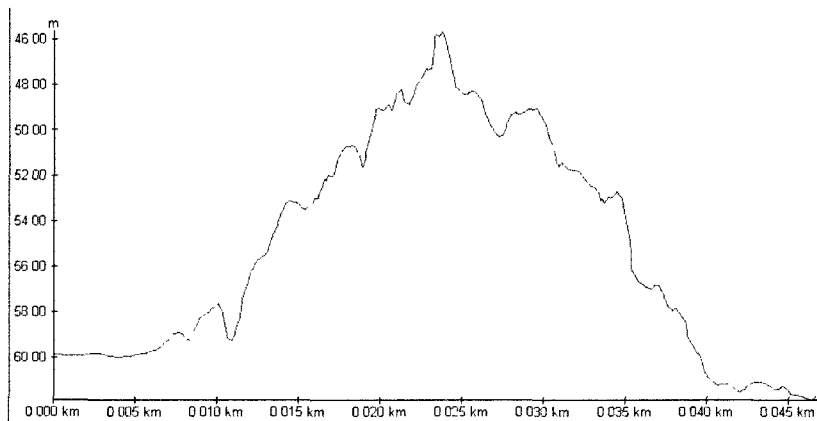


그림 4-1-35. 구조물의 단면 4형상.

Fig. 4-1-35. Image of section 4.



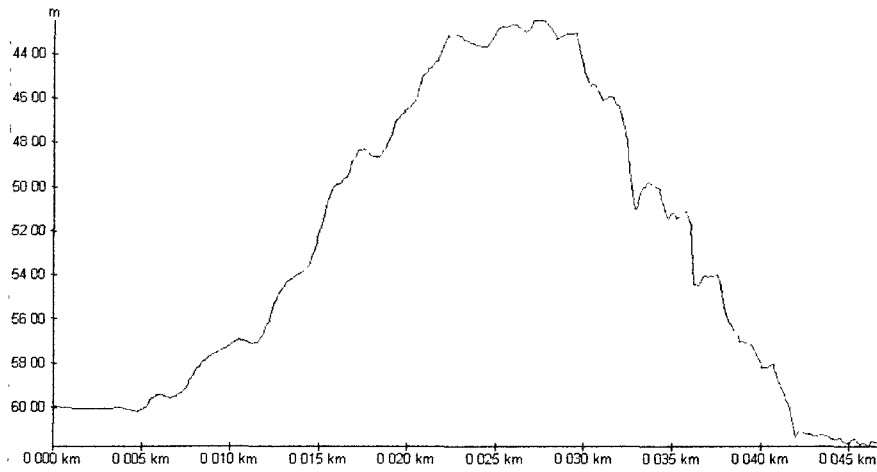


그림 4-1-36. 구조물의 단면 5형상.

Fig. 4-1-36. Image of section 5.

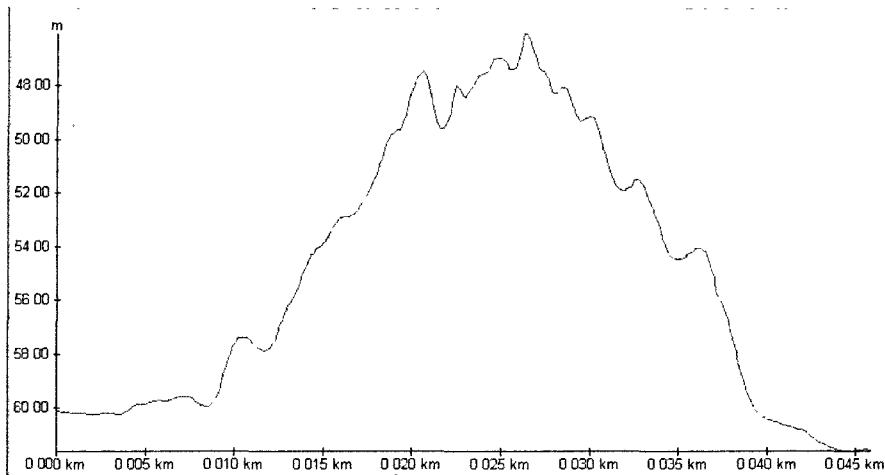


그림 4-1-37. 구조물의 단면 6형상.

Fig. 4-1-37. Image of section 6.

#### 4.4. 연구달성내용

연구개발목표	연구달성내용
시설물 설치	6,215개의 블록을 해상 N 34° 36', E 128° 30'지점에 투하하여 높이 18m, 반경 45m의 원추형태의 인공용승류 구조물 설치완료

여 백

## 7. 연구 달성 내용

여 백

7. 연구 달성 내용

연구개발목표		연구달성내용
연구조사분야	구조물의 효과평가	<p>■ 물리환경조사</p> <p>○ 수온, 염분 : 구조물 투하역 및 주변해역의 수평적·연직적으로 시·공간적인 분포 파악</p> <p>① 동계(2005년 3월 2일) : 연안쪽인 북서쪽보다 남동역이 고수온·고염분 분포(공간적인 수온·염분값 차는 작다) 표·저층간의 혼합으로 연직적으로 거의 균질 한 수온 및 염분 분포</p> <p>② 춘계(2005년 5월 3일) : 표·저층간의 수온은 공간적으로 큰 변화 없음 염분은 북쪽역보다 남동역에서 고농도의 염분분포</p> <p>③ 하계(2005년 8월 4일) : 태양복사열의 증가로 수심 약 25m 부근에 강한 성층형성 서쪽역이 동쪽역보다 표층에서 저염분, 중·저층에서는 서쪽역보다 동쪽역에 저염분 분포</p> <p>○ 해수 유동 관측 : 대·소조기시에 해수 유동 파악 (25시간 연속 관측)</p> <p>- 구조물 투하지점의 중·저층에서 소조기에도 강한 흐름이 관측되었음</p> <p>- 구조물 투하 중(2005년 8월 현재 : 블록 5,106개, 높이 15m, 반경 40m) 연구해역의 유속변화 탐지</p>

연구개발목표		연구달성내용
연구 구조물 조사 분야	구조물 의 효과 평가	<p>■ 해양수치모델</p> <p>○ 구조물 투하해역의 수심별 유동 구조 파악 (창·낙조시) -구조물 설치 유·무시의 계산결과 도출 - 구조물 설치 후의 유동형태 :</p> <p>① 유속분포와 유향은 설치전과 유사하나 구조물 주위의 유속은 감소하였음 ② 구조물 주위에 와류가 발생하여 물질이 해역에 체류할 수 있는 시간(retention time)이 길어지도록 하는 역할을 함</p> <p>■ 수질환경조사</p> <p>① 구조물 구축 해역의 영양염의 계절 변화 파악 ② 구조물 구축 후(2005년 8월) 영양염의 분포는 구조물 구축 전 (2002년 9월)보다 표층과 중층에서의 증가폭이 크게 나타남 →보다 장기적인 모니터링의 필요</p> <p>■ 생물상조사</p> <p>○ 구조물 투하해역의 생물상(식물 플랑크톤, 동물플랑크톤, 생균수) 분포 파악</p> <p>■ 어류상조사</p> <p>○ 구조물 투하 해역의 어류 군집 파악</p> <p>① 표·중층 및 저층 어류 : 어종 목록 / 분류군별 출현양상 / 종조성 및 월변동 등 ② 수심별 군집 분석</p> <p>■ 수중환경모니터링</p> <p>○ 구조물 투하 해역의 수중촬영으로 인한 모니터링 실시</p>

연구개발목표		연구달성내용
연구개발분야	구조물의 해수 반응	<p>■ 구조물의 해수 반응</p> <p>○ 석탄회 블록의 환경 안정성 평가</p> <p>① 장기간의 중금속 용출 안정성 실험 : 모든 중금속은 해역별 수질 등급 기준이하를 나타냄</p> <p>② 장기간의 중금속 농축 실험(2,688시간) : 중금속 용출량이 해역별 수질등급을 초과하지 않음</p> <p>③ 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 주성분 함량은 5개월 경과 시까지 특정원소의 농집과 중금속에 의한 2차 침전물의 형성을 발생하지 않았음</p> <p>④ 블록투하이전 조사지역에서 채집된 생물체내의 중금속 축적량은 간&gt;내장&gt;육질부 순이다. 육질부의 경우 대부분의 중금속 함량은 아연(평균 2.1~5.1ppm)을 제외하고는 낮았음</p>
	시설물 제작	○ 인공용승류를 유도하기 위해 산업부산물인 석탄회를 이용하여 6,215개의 블록을 제작
	시설물 설치	○ 6,215개의 블록을 해상 N 34° 36' , E 128° 30' 지점에 투하하여 높이 18m, 반경 45m의 원추형태의 인공 용승류 구조물 설치 완료



여 백

## **8. 결론 : 정책적 제안**

여 백

## 8. 결론 : 정책적 제안

### 1. 사업예산 증액의 필요성 제안 : 사업비 증액에 따른 구조물 크기 효과

현재 사업비 50억원(2007년까지 실시)으로 조성될 수 있는 인공용승구조물은 길이 93m, 높이 18m 및 폭 45m 의 크기이다. 이것은 일본 나가사키현 키타마쓰우라 앞바다(1995~2000년: 6년)에 가로 120m, 세로 40m 및 높이 14m 크기의(총 예산 120억원)의 2/3 수준이다. 일본에서 인공용승구조물은 설치 후 설치전보다 약 8배의 어획생산액의 증대로 어민소득의 효과를 가져왔다.

따라서 현재 시설되고 있는 구조물 설치에 따른 효과를 지금의 약 2~3배로 발생시키기 위해서는 구조물의 크기(현재 구조물의 약 70% 크기로 확대) 및 배치효과에 따른 사업비 증액(예산 증액 50억원, 총 사업비 100억원 : 2009년까지 실시)이 절실히 요구된다.

### 2. 연근해 해역의 입체적인 어장환경 조성의 필요성 제안

현재 인공용승류 해역이 실시되고 있는 해역은 남해안 거제도 남쪽 소매물도와 국도 사이의 해역에 국한되어 실시하고 있다. 따라서 적지해역으로 평가되는 남해안을 중심으로 하여 서남해안이나 동해 연안해역으로의 공간적 범위 확장이 필요 한다. 또한 인공용승류 해역의 조성 이후 이 지역에 대한 중장기적인 해양환경 모니터링을 실시하여 그 결과에 의해서 사업의 효과를 극대화 시킬 필요가 있다.

### 3. 유해생물(예, 적조생물)의 확산 방지의 새로운 기술 적용에 대한 필요성

인공용승구조물은 해저 구조물을 설치하여 인공용승류에 의한 저층의 저수온을 표층으로 상승시키는 효과를 가지고 있다. 이와 같은 현상을 이용하여 현재 매년 하계에 집중적으로 발생하는 남해안의 유해생물(예, 적조생물)의 발생으로 인한 어민들의 수산업 피해 방지효과를 제공할 수 있다. 매년 하계 남해안에서 발생한 적조는 일반적으로 해류를 따라 확

산되는 현상을 보이고 있으나, 2005년 하계에는 남해안에 걸쳐 있는 저수온대로 인하여 적조가 더 이상 퍼져 나갈 수가 없는 현상이었다. 따라서 본 연구에서 발생하는 저수온의 표층으로 상승효과는 적조생물의 확산에 대한 차단막 효과를 줄 수 있다. 이에 대한 연구도 본 사업과 더불어 진행된다면 유해생물의 확산을 막을 수 있는 새로운 기술로의 제안이 가능해진다.

#### 4. 인공용승구조물 안정성 시험 방법 및 평가에 대한 제안

1) 해양환경공정시험법(2002, 해양수산부)은 해수와 해저 퇴적물로 구분하여 시료의 채취, 보관 및 성분별 시험방법 등을 규정하고 있으나, 시험방법에 있어서 해양환경을 해수, 퇴적물 및 경계층과 같이 매우 상이한 지구화학적 환경을 구체적으로 구분하지 않고 있다. 폐기물공정시험법의 중금속 용출량은 해양에 장기간 침지되는 석탄회 블록의 중금속 용출 환경과는 매우 상이할 뿐 만 아니라, 6시간의 단시간 용출 결과를 적용하는 문제점을 안고 있어 해양에 적용하기에는 적절치 않다. 따라서 해양환경에 적합한 용출시험법이 필요하며, 장기 투여에 의한 중금속 용출가능성에 대한 평가방법이 도입되어야 한다.

해양에 투입되거나 노출된 콘크리트 구조물은 해수, 해저 퇴적물 내, 공극수 등과 반응하여 성능저하가 발생할 수 있다. 특히 해수 중에 포함된 알칼리 성분들은 블록 골재와의 반응으로 콘크리트 내에서 균열과 팽창을 일으키는 물질을 형성한다. 또한, 탄산화 작용으로 콘크리트의 성능이 저하되어 분해 될 경우 심각한 환경오염을 야기한다. 한편, 해양퇴적물 내에 블록이 매몰될 경우 퇴적물 내의 유기물의 분해에 의한 국부적인 pH와 산소분압이 저하되어 알칼리로 활성화된 콘크리트의 저항도를 매우 감소시킨다. 석탄회 블록 투여 시 블록 하부는 해양퇴적물에 매몰되며, 상부는 해수에 노출되게 된다. 따라서, 해양 환경을 블록의 해수에 대한 반응과 퇴적물 경계부 또는

퇴적물 내 공극수의 화학적 특성에 의한 영향 등으로 구분하여 기능적(물리적) 안정성이 평가되어야 한다.

## 2) 중금속 안정성 평가 방법

해양환경에서의 중금속 용출량은 해수의 수소이온농도(pH) 및 산화환원전위(Eh) 환경이 고려된 조건에서 수행되는 것이 필수적이다.

### ① 해수와의 반응

해수와의 반응 조건은 산화조건으로서 pH=8을 유지하고, 해수와 블록의 고액비는 20:1 이상이 되도록 한다. 그리고 Eh=400±50mV로 개방계(open system)를 유지한다. 또한 폐기물공정시험법상의 단시간(6시간) 적용을 보완하기 위하여 중금속 장기 용출실험을 4개월 이상으로 한다.

### ② 저질부와의 반응

저질부와의 반응 조건은 환원조건으로서 pH=6.5~7.5의 영역을 유지하고, 고액비는 20:1이상이 되도록 한다. Eh=0mV 이하를 유지시키며, 질소가스를 주입하여 DO=0mg/L이하가 유지될 수 있도록 폐쇄계(close system)를 유지한다. 실험기간은 4개월 이상으로 한다.

## 5. 구조물의 공학적 안정성 평가방법에 대한 제안

### 1) 사면 안정성 연구(블록의 형태)

인공용승을 형성하는 구조물의 설계는 국내 해양환경의 특성으로 볼 때 20m 정도로서 용승구조물 조성 후 해류에 의한 슬라이딩이나 붕락이 일어날 가능성을 배제할 수 없다. 그러므로 현재의 육면체 블록보다 유실이나 붕락에 대한 안정성이 높은 형태의 설계와 수리모형 실험에 대한 연구에 따른 블록모양의 다양화가 수행되어야 한다.

## 2) 기능(역학적) 안정성 평가

인공용승류 유도에 이용되는 블록은 수 십년 이상 해수 및 해양퇴적물과 반응하므로 이에 대한 종합적인 검토와 함께 공정시험법이 제안되어야 한다.

해양에 침적된 블록의 풍화반응평가를 위해 풍화가 일어날 수 있는 대표적인 부분을 박편과 연마편을 제작하고, 반사/편광 현미경 및 전자 현미경으로 조직과 구조의 변화를 분석한다. 그리고 2차 광물을 생성하거나 삭박 또는 파괴 가능성을 평가하기 위하여 X-선 회절분석을 실시하여 2차생성 광물을 분석하고, 블록의 중량변화를 관찰 한다.

## 6. 인공 용승류 블록 재료의 특성에 대한 제안

### 1) 블록 재료와 배합비 결정

블록을 제작하기 위해서는 블록 재료의 선별과 배합이 필수적이다. 결합재로 사용되는 물질은 포틀란트 시멘트이며, 골재와 첨가제로 사용되는 물질에는 슬래그, 석탄회 및 RMB(Red Mud Bauxite)등의 산업부산물을 이용할 수 있다. 이 물질들이 적절하게 배합이 되지 못 할 경우 응결 저하 및 팽창 발생으로 내구성 저하뿐만 아니라 중금속 오염이 발생할 수 있다. 그러므로 결합재와 골재의 알맞은 선택 및 배합비 결정에 필요한 장기적인 연구가 수행되어야 한다.

### 2) 블록재료의 물리적 특성

해양 구조물에 이용되는 블록은 일정한 강도를 발현할 수 있어야한다. 블록은 해양 내에서 장기간 강도를 발현할 수 있도록 제작이 되어야 한다. 따라서 재료물질의 종류와 골재 및 첨가제의 배합에 따른 압축강도, 기계적 풍화양상 및 팽창에 의한 열하현상 등의 안정성에 대한 연구도 현재 진행되고 있는 사업과 더불어 장기적으로 여러 각도에서 수행되어야 한다.

## 9. 참고 문헌



여 백

## 9. 참고 문헌

- 강영실, 전경암, 1999. 한국 남해 연안전선의 생물·화학적 특성 및 영양역학 구조. 한국수산학회지, 32, 22~29.
- 국립수산진흥원, 1989, 전국연안 인공어초 어장 생산성조사, 사업보고 제82호.
- 국립수산진흥원, 1992, 한국연안 인공어초의 자원조성효과에 관한 연구, 사업보고 제95호.
- 국립수산진흥원, 1997. 해양환경공정시험방법. 한국해양학회. 316pp.
- 김용익·명정구·김영섭·한경호·강충배·김진구. 2001. 한국해산어류도감. 도서출판 한글,mPP. 382.
- 나춘기, 2004, 목포연안 갯벌 및 서식생물에서의 중금속 함량. 자원환경지질, 37(3), p. 335~345.
- 박맹언, 김필근, 2003, 슬래그 블록의 해수반응에 의한 중금속 용출과 안정성 평가에 대한 연구방향, FOID 2003 국내 및 국외 학술발표회, p.47~51.
- 양한섭, 김성수, 김규범. 1995. 득량만 표층수 중 영양염류의 시공간적 분포특성. 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한국수산학회지, 28, 475~488.
- 이영식, 이재성, 정래홍, 김성수, 고우진, 김귀영, 박종수. 2001. 광양만에서 식물플랑크톤증식의 제한영양염. 한국해양학회지 「바다」, 6, 201~210.
- 이우근, 김진범, 김은미, 1997, 비산재 중에 함유된 중금속의 용출특성에 관한 연구(1), 한국폐기물학회, 14(3), p.257~260.
- 이효민, 황진연, 진치섭, 2003, 해안지역 콘크리트의 성능저하 현상과 이에 수반되는 이차광물의 형성 특징, 자원환경지질, 36(5), p.365~374.
- 전수경, 조영길, 2002, 서남해안 연근해저 퇴적물의 중금속 함량 및 분포, 한국환경과학회지, 11(12), p.1299~1305.

정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, PP. 727.

정종태, 성동모, 김진한, 유근우, 박수영, 박정환, 2000, 폐주물사의 용출 특성에 관한 연구, 환경관리학회, 6(2), p.165~170.

한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집(곤충제외). 아카데미서적, 서울, PP. 489.

한영수, 이재영, 2001, 소각재 용융슬래그의 중금속 용출특성에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회, 6(1), p.23~31.

해양수산부, 1997. 해양환경공정시험방법. 316pp.

해양수산부, 2002. 인공용승류를 활용한 어장환경조성에 관한 연구(3차년도). 184pp.

해양수산부, 2002, 해양환경공정시험법. p.330.

해양수산부, 2002, 해양오염방지법 제4조.

현상민, 이태희, 최진성, 최동립, 우한준, 2003, 광양만 및 여수해만 표층 퇴적물의 지화학적 특성과 중금속 오염. The sea, 8(4), p. 380~391.

환경부, 2000, 폐기물공정시험방법. p. 190.

Al-Amoudi, O.S.B. and Abduljawad, S.N., Rasheeduz-zarfar, and Maslehuddin, M., 1992, Effect of chloride and sulfate contamination in soils on corrosion of steel and concrete. Transportation Research Record, 1345, p. 67~73.

Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshino. 1984. The fishes of the Japanese archipelago. Tokai University Press, pp. 437.

Blumberg, A.F. and G.L. Mellor, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Three Dimensional Coastal Models (N.S. Heaps, ed.), American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1~16.

Bonen, D. and Sarkar, S.L., 1994, Environmental attack on concrete. in

- Proceeding of the 16th International Conference on Cement Microscopy, Eds. Couda, C. F. Nisperos, A. and Bayles J. International Cement Microscopy Association, Texas, p. 11~ 23.
- Ezer, T., H. Arango, A.F. Shchepetkin., 2002. Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects. *Ocean Modelling* 4, 249~ 267.
- Gerdes, R., 1993. A primitive equation ocean circulation model using a general vertical coordinate transformation. 1. Description and testing of the model. *Journal of Geophysical Research* 98, 14,683~ 14,701.
- Gimenez, S., Garcia, S., Blanco, M.T. and Palomo, A., 1992, The Behaviour of a Low Energy in Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Sea Water Media, *Cement and Concrete Research*, 22, p. 793~803.
- Hitoshi NAKATA, Manabu YAMAUCHI, Yoshiaki MORINISHI and Kaoru MASUDA, 2003, Dissolution Behavior of Nutrients, Metal Elements and Fluorines from Steelmaking Slag to the Sea Water, *Tetsu-To-Hagane*, 89(4), p.393~400.
- Jeoung, I.G., K.S. Ha and J.D. Choi, 2004. Heavy metals in fish and shellfish at the coastal area of Tongyeong, Korea. *J. Ins. Marine Industry* 17, 39-46.
- K. L. Lin, K. S. Wang, B. Y. Tzeng, C. Y. Lin, 2003, The hydration characteristics and utilization of slag obtained by the vitrification of MSWI fly ash, *Waste Management*,
- Kwon, T.T. and C.W. Lee, 2001. Ecological risk assessment of sediment in wastewater discharging area by means of metal speciation, *Microchemical Journal* 70, pp. 255-264.
- Nakabo, T., M. Aizawa, Y. Anomura, Akihito, Y. Ikeda, K. Sakamoto,

- Kssss Shimada, H. Senoum, K. Hatookka, M. Hayashi, K. Hosoya, U. Yamada and T. Yoshino. 1993. Fishes of Japan with pictorial a keys to the species. Tokai Univ. Press, pp. 1162(in Japanese).
- Pacanowski, R.C., Gnanadesikan, A., 1998. Transient response in a z-level ocean model that resolves topography with partial cells. Monthly Weather Review 126, 3248 ~ 3270.
- Ryther, J.H., 1969, Photosynthesis and fish production in the sea, The production of organic matter and its conversation to higher forms of life vary throughout the world ocean. Science, 166, 72-76.
- Shannon, C. E. and W. Wiener. 1963. The mathematical theory to communication. Urban. Univ. Of Illinois Press, pp. 125.
- Simpaon, E. H. 1949. Measurement of diversity. Nature, 163 : 1~688.
- Smagorinsky, J. 1963. General cicalation experiments with the primitive equation, I. The basic experiment. Monthly Weather Review, 91: 99-164.
- Sung, D.W. and Y.W. Lee, 1993. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. *Kor. J. Food Hygiene* 8(4), 231-240.
- Sung, J. Y. 1994. Sedimentary environment and geoacoustic modeling of the shelf sediment, South Sea of Korea MS Thesis , National Fisheries University of Pusan, 114 pp (in Korea)
- Takayuki Futatsuka, Kiyoteru Shitogiden, Takahiro Miki, Tetsuya Nagasaka and Mitsutaka Hino, 2003, Dissolution Behavior of Elements in Steelmaking Slag into Artificial Seawater, *Tetsu-to-Hagane*, 89(4), p.382~387.
- T. Bakharev, J.G. Sanjayan, Y.-B. Cheng, 2003, Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, *Cement and Concrete*

Research, 33, p.1607~1611.

Thomas Pichler, W. Ian Ridley, Eric Nelson, 1999, Low-temperature alteration of dredged volcanics from the Southern Chile Ridge: additional information about early stages of seafloor weathering, Marine Geology 159, p.155~177.

Yanagi, T. and M. Nakajima, 1991, Change of oceanic condition by the man-made structure for upwelling. Marine Pollution Bulletin, 23, pp.131-135.

Winton, M., Hallberg, R., Gnanadesikan, a., 1998. Simulation of density-driven frictional downslope flow in z-coordinate ocean models. Journal of Physical Oceanography 28, 2, 163~2, 174.

沿岸漁場技術研究会, 1996, 1997, 1998, 1999, マウンド漁場造成システムの開発にする報告書.

今村 均・友田啓二郎・鈴木達雄・細野成一, 1995, 人工湧昇流発生漁場造成の研究, 沿岸工学論文集, 第42号, 1131-1135.

屬辰之介・中尾徹, 1986, 天然湧昇域の海洋環境特性について, 水産土木 第22卷 第2号.

柳哲雄・中鳴昌記・大竹臣哉・近藤浩右, 1991, 魚礁としての人工湧昇流発生構造物, 水産工学, 27, pp.73-77.