

인공 용승류를 이용한 어장환경 개선 연구

- 2차년도 보고서 -



해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 연구보고서를 “인공용승류를 이용한 어장환경 개선사업” 과제의 제 2차년도 최종 결과 보고서로 제출합니다.

2005년 12월

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 유 정 화 김 정 년

성 규 열 이 병 관 황 석 범

김 필 근 김 영 환 박 호 섭

김 기 현 박 세 영 김 윤 하

김 의 준 김 문 호

연 구 기 관: 경상대학교

참 여 연 구 원: 김 무 찬 정 우 건 이 병 우
김 정 동 최 순 호 이 상 준
이 건 옥 강 주 현

연 구 기 관: 연안 해양환경연구소

참 여 연 구 원: 배 상 완

□ 시설물 제작 및 설치

연 구 기 관: (주) 삼성산업

참 여 연 구 원: 이 정 식 서 완 옥 김 경 훈
김 영 안 김 익 상 최 종 혁

연 구 기 관: (주) 한국해양기술

참 여 연 구 원: 김 도 현 안 승 환 허 회 권
박 경 원 이 성 일 김 성 권

부경대학교 해양산업개발연구소장

요 약 문

■ 연구조사분야 - 구조물의 효과평가

2차년도 인공구조물 설치 주변해역의 물리환경특성은 다음과 같다.

본 연구해역의 추계 수온, 염분 및 밀도($\sigma-t$)의 분포를 보면, 수평적으로는 북서쪽역에서 고수온·고염분, 남동쪽역에서 저수온·저염분의 분포가 나타났고 밀도분포는 표·중층 및 저층의 수층간의 차이가 크게 나지 않는 거의 균질한 분포가 나타났다. 연직적인 분포특성은 남북방향(SN Line)의 북쪽역인 정점 02와 06의 수심 20m 이천에서 고수온·고염분대가 형성되었고, 동서방향(EW Line)의 서쪽역인 정점 09와 13에서 고수온·고염분이 형성되었다. 추계 본 연구해역에서의 수온·염분 특성으로는 표층수온이 낮아지고 하계에 형성되었던 성층이 파괴되어 연직적인 혼합이 이루어져 전수층에서 균질한 분포의 결과가 나타났음을 알 수 있다.

한편 구조물 투하 전과 투하 후의 수온과 염분분포를 비교해 보면, 구조물 투하 전인 2002년 9월의 성층형성 수심은 약 30~40m에 존재하였으나 구조물 투하 후인 2005년 8월에는 성층이 수심 약 10~20m로 성층형성 수심이 얕아졌다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 구조물 투하에 의한 효과로 저층의 저수온 및 고염분의 해수가 상층으로 용승되어 상층부의 수온 및 염분 분포에 영향을 미쳤다고 판단된다.

연구해역에서 해수 유동을 파악하기 위하여 블록 투하지역인 정점 B와 남동쪽에 위치한 정점 C 에서 대조기 및 소조기시에 25시간 연속 해양관측을 실시하였다. 2005년 11월 10일~11일 소조기시에 정점 C 에서 실시한 조류의 분산분포는 남북성분이 동서성분보다 작은 분포를 나타내고 있었으며 주축의 방향이 동-서방향이 되는 분포가 나타났다. 2005년 11월 30일~12월

1일 대조기시에 정점 B에서 실시한 조류 분산도를 보면, 소조기의 관측결과보다 큰 값이 나타났으며, 그 세기의 범위도 넓게 나타났다. 표층(8m)과 저층(52m)의 분포는 북서-남동방향의 주축성분이 주를 이루었고, 전체적인 분포도 이와 유사한 북서-남동류가 주류를 이루었다.

구조물 투하 전과 구조물 투하 후의 동서성분 및 남북성분(U-V 성분)의 분포를 비교 하였을 때, 구조물 투하전인 4월의 동서성분(U 성분)과 남북성분(V 성분)의 분포는 표층과 저층에서 층별 유속의 차가 크게 나지 않았으며, 약 6시간의 주기로 유향이 바뀌었다. 구조물 투하 후인 8월의 유동결과에서 U 성분은 층별 유속차가 크게 나타나지 않는 균일한 크기의 유속분포가 나타났지만 V 성분에서는 1차년도 구조물 구축수심(구조물 높이 18m, 수심 약 40m)에서 구조물에 의한 효과로 주변에 흐름이 변화하는 양상이 나타났다.

인공구조물 설치 주변해역의 수질환경특성은 다음과 같다. 2005년 11월에서의 화학적 산소 요구량(COD)은 평균 1.4mg/L이며, 0.68~2.4mg/L까지의 농도범위가 나타났다. 또한 영양염(질산, 아질산, 암모니아, 인)의 수심별 농도분포는 표층과 저층에서 농도분포가 균질한 형태의 분포가 나타났다. 총질소의 함량은 평균 0.12mg/L으로 나타났으며, 0.058~0.32 mg/L의 범위가 나타났으며, 2005년 3월, 5월 및 8월보다 높은 농도값이 나타났다.

표층의 식물플랑크톤 평균 현존량은 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월에 각각 1,077cells/m, 738cells/ml, 700cells/ml, 319cells/ml로 나타났으며, 중층(25m depth)의 식물플랑크톤 평균 현존량은 3월, 5월, 8월 및 11월에 각각 1,054cells/m, 469cells/ml, 1,923cells/ml, 261cells/ml로 나타났다. 식물플랑크톤의 우점종을 보면, 3월에는 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros denticulatus*, *Odontella sinensis*, 5월에는 규조류인 *Chaetoceros*

compressus, *Melosira moniliformis*, *Thalassionema nitzschioides*, 8월에는 규조류인 *Nitzschia pungens*와 외편모조류인 *Ceratium furca*, 11월에는 규조류인 *Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Eucampia zodiacus*가 우점종으로 나타났다.

동물플랑크톤의 풍도는 3월에 125.95~755.67개체/m³ 범위(평균 392.37개체/m³)이며, 5월에 125.95~1070.53개체/m³ 범위(평균 537.73개체/m³)이고, 8월에 125.95~503.78개체/m³ 범위(평균 256.73개체/m³)이고, 11월에는 125.95~1252.14개체/m³ 범위(평균 779.89개체/m³)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 나타났으며, 11월에 18~173× 100 cfu/ml의 범위(평균 85.6× 100 cfu/ml)로 나타났다.

매물도 주변해역의 어종조성과 월변동을 조사 저서성 어류에 대한 금어기로 인하여, 2005년 2월에서 4월까지의 저인망과 새우조망으로, 5월부터 12월까지는 각망, 통발, 소형조망, 외줄낚시를 이용하여 채집하였다. 조사기간 동안 총 13목 51과 81종의 어류가 채집되었으며, 저층에서는 미역치가 전체 개체수의 약 83%, 전체 생체량의 약 51%로 가장 우점하였으며, 중층에서의 개체수로는 열동가리돔이 전체 개체수와 생체량에서 각각 약 50.5%, 약 45.1%, 표층에서는 개체수로는 전갱이가 약 77%, 생체량에서 방어가 약 63%로 가장 우점하였다.

■ 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, 2차광물의 동정, 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 희석으로 인한 농도 저하로 문제가 되지 않을 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. 해수에 장기 침적한 석탄회 블록의 중금속 용출 농도 역시 해역별 수질등급 기준이하로 나타났으며, 수은과 카드뮴은 검출되지 않았다. 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 이차광물은 형성되지 않았다. 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 주성분 함량은 5개월 경과 후에도 평균함량을 유지하였으며, 특정원소의 부화와 농집은 나타나지 않았다. 석탄회 블록-해수 반응에 의한 모델링 결과, 깁사이트, 카오리나이트, 녹니석, 클로로아파타이트, 스틸바이트, 침철석의 2차 생성물을 형성하였으며, 중금속을 함유한 2차광물은 형성되지 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 2.1-5.1 mg/kg이며 최대 23.3ppm에 달한다.

■ 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 선정, 인공용승류를 발생시키는 2차년도분의 4,800개의 블록을 제작하였다.

계류시설을 갖춘 해상기중기선, 예인선 등의 선박과 DGPS 및 해상측량프로그램(HYPACK)을 이용하여 블록 투하 지점인 해상 N 34° 36.020', E 128° 30.006'에 4,800개의 블록을 투하하였다. 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)와 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)로 구조물의 형태를 확인한 결과 높이는 16m, 반경이 42~35m로 원추형태의 구조물이 설치되어진 것을 확인하였다.

여 백

Abstract

■ Oceanic environmental research section :

Effect and estimation of artificial upwelling structures

According to the distributions of water temperature, salinity and density in autumn, higher water temperature and salinity were occurred in the northwestern part of study area, and in the southeastern part of study area lower water temperature and salinity were. In case of water density, vertical distribution was nearly homogeneous. In relation to vertical distribution of water properties, higher water temperature and salinity existed shallower layer than 20m in the northern part (st. 02 and 06) and the southern part (st. 09 and 13). These distributions of water properties seem to be related to vertical mixing through water column after the broken of summer stratification.

Stratification of water column before insyallation of artificial structures was installed existed between 30m and 40m, however after installation of artificial structures, it existed between 10m and 20m. It seems that rising of stratification have a close relation with upwelling of lower temperature and higher salinity water.

To illustrate the variation of current field due to the installation of artificial structures, current meter was deployed at st. B (installation point of artificial structures) and st. C(the southeastern part of st.B) for 24 hours at spring and neap tides. Tidal currents around st. C during neap tide had strong east and

westward component, in case of st. B during spring tide northeast and southwestward flows were strong.

In relation to the effect of artificial structure installation on the current field, U (east-west) and V (north-south) components in the upper layer and the lower layer in April when structure were not installed had a little difference, and their periodicity was about 6 hours. However, V component in August when structure were already installed showed great difference between the upper layer and the lower layer compared to conditions before structure was not installed.

The average concentration of chemical oxygen demand (COD) in November was 1.43 mg/L and its range was from 0.68 to 2.4 mg/L. This concentration is comparable to that in August, but higher than that in March and May, 2005. Except a few station, the concentrations of nutrients (nitrate, nitrite, ammonia, phosphate) according to depth showed homogeneous tendency in November, which meant stratification disappeared. TN concentration was 0.121 mg/L, which was lower than that in August and comparable to that in March and May. TP concentration was 0.029 mg/L, comparable to that in August and higher than that in March and May.

Standing crop of phytoplankton at the surface layer were 1,077cells/ml in March, 738cells/ml in May, 700cells/ml in August and 319cells/ml in November, 2005. The mean standing crop of phytoplankton at the middle layer were 1,054cells/ml in March, 469cells/ml in May, 1,923cells/ml in August and 261cells/ml in November, 2005.

The dominant species of phytoplankton showed *Coscinodiscus radiatus*, *Chaetoceros denticulatus*, *Odontella sinensis*

(BACILLARIOPHYCEAE) in March, *Chaetoceros compressus*, *Melosira moniliformis* and *Thalassionema nitzschioides* (BACILLARIOPHYCEAE) in May, *Nitzschia pungens* (BACILLARIOPHYCEAE) and *Ceratium furca* (DINOPHYCEAE) in August, *Chaetoceros pseudocurvisetus* and *Eucampia zodiacus* (BACILLARIOPHYCEAE) in November, 2005.

The abundance of zooplankton ranged from 125.95 to 755.67 inds/m³ (mean 392.37 inds/m³) in March, 125.95 to 1070.53 inds/m³ (mean 537.73 inds/m³) in May, 125.95 to 503.78 inds/m³ (mean 256.73 inds/m³) in August and 125.95 to 1252.14 inds/m³ (mean 779.89 inds/m³) in November, respectively.

The number of viable cell ranged from 200 to 3,700 cfu/ml (mean 800 cfu/ml) in March, 200 to 3,400 cfu/ml (mean 1,360 cfu/ml) in May, 200 to 6,500 cfu/ml (mean 2,070 cfu/ml) in August and 1,800 to 17,300 cfu/ml (mean 8,560 cfu/ml) in November, 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 December 2005. During the study period, 13 orders 51 families and 81 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 *Apogon lineatus* about 50.5% in the number of individuals and about 45% in the biomass. The surface layer was dominated by *Trachurus japonicus* about 77% in the number of individuals and by *Seriola quinqueradiata* 63% in the biomass.

■ 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 4,800 upwelling blocks for the second year allocation by finding the best mixture of industrial by-product called coal fly-ashand structured large artificial structure in near undersea marine area. 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 nutritive sales 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 total 4,800 at the N 34° 36.020', E 128° 30.006'. 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 cone with a height of 16m and diameter of 42~35m.

여 백

- 목 차 -

요약문	1
그림 목차	25
표 목차	47
1. 연구개발의 필요성	55
2. 연구개발의 배경	59
3. 연구개발의 목표 및 내용	63
4. 연구의 기대효과	67
5. 연구추진계획	71
6. 연구 내용	79
□ 연구 조사 분야 - 구조물의 효과 평가	
1.1. 물리환경조사	81
1.1.1. 연구자료 및 방법	81
1.1.2. 연구결과	83
1.2 수질 환경 조사	104
1.2.1. 조사방법	104
1.2.2 조사결과	105
1.3. 생물상 조사	129
1.3.1. 식물 플랑크톤 조사	129
1.3.1.1. 재료 및 방법	129
1.3.1.2. 식물플랑크톤 현존량 및 종조성	129

1.3.2. 동물 플랑크톤 조사	141
1.3.2.1. 재료 및 방법	141
1.3.2.2. 동물플랑크톤의 풍도	141
1.3.3. 생균수 조사	143
1.3.3.1. 재료 및 방법	143
1.3.3.2. 생균수의 분포	143
1.4. 어류상 조사	145
1.4.1. 연구 배경	145
1.4.2. 재료 및 방법	145
1.4.2.1 조사해역 및 조사어구	145
1.4.2.2. 측정 및 종동정	147
1.4.2.3 자료분석	147
1.4.3. 결과	147
1.4.3.1 어종목록	147
1.4.3.2 분류군별 출현양상	153
1.4.3.3 저층어류	154
1.4.3.4 중층어류	161
1.4.3.5 표층어류	167
1.5. 수중 환경 모니터링	176
1.5.1. 수중촬영	176
1.5.2 수중 촬영 결과	178

□ 연구 조사 분야 - 구조물의 해수 반응

2.1. 연구의 필요성	181
2.1.1. 중금속 용출 가능성	181
2.1.2. 블록의 안정성	183
2.2. 연구배경	184

2.3. 연구 목표	185
2.3.1. 중금속 용출 안정성 평가	185
2.3.2. 블록의 풍화반응 평가	185
2.3.3. 퇴적물의 화학적 환경변화 연구	186
2.3.4. 생물체내의 중금속 축적량 조사	186
2.4. 연구의 기대효과	187
2.5. 연구의 추진 계획(3차년도)	188
2.6. 연구내용	189
2.6.1. 현장관측	189
2.6.2. 입도분석	192
2.6.3. 퇴적물의 중금속 분석	194
2.6.4. 장기 중금속 용출 실험	195
2.6.5. 해수 침적에 따른 석탄회 블록의 중금속 용출 변화	197
2.6.6. 구조물 안정성 조사	198
2.6.7. 반응경로 모델링	199
2.6.8. 해수 침적에 따른 석탄회 블록의 중량 변화	200
2.6.9. 생물체 내의 중금속 축적량 조사	201
2.7. 연구 결과	203
2.7.1 현장관측 결과	203
2.7.2. 퇴적물의 입도분석 결과	204
2.7.3. 퇴적물의 중금속 분석 결과	206
2.7.4. 퇴적물의 REE 패턴	208
2.7.5. 장기 중금속 용출 실험	210
2.7.5.1. 컬럼 내 pH/Eh 환경 변화	210
2.7.5.2. 중금속 용출량	212
2.7.5.3. 석탄회 블록의 중금속 용출 변화	220
2.7.6. 석탄회 블록의 안정성	226

2.7.6.1. 석탄회 블록의 표면	226
2.7.6.2. 전자현미경 관찰 결과	228
2.7.7. X-선 회절 분석 결과	232
2.7.8. 반응경로 모델링	234
2.7.9. 석탄회 블록의 중량변화	238
2.7.10. 생물체 내 중금속 축적량	239
2.8. 결론	241

□ 시설물 제작 및 설치

3. 인공 용승 구조물 제작	243
3.1 시설물 제작	243
3.1.1 구조물의 재료	244
3.1.2 구조물의 배합	245
3.1.3 구조물의 형태	246
3.1.4 구조물의 품질	247
3.2. 구조물의 제작 및 품질관리	249
3.2.1 구조물 제조공정	249
3.2.2 구조물 품질관리	251
3.2.2.1 일일현장배합관리	251
3.2.2.2 압축강도시험	251
3.2.2.3 기타시험	252
3.3. 구조물의 형틀(몰드) 추가 제작 및 수리	253
3.3.1 형틀(몰드) 제작	253
3.3.2 형틀(몰드) 수리	253
3.4. 사업홍보물 제작 및 설치	254
3.5. 연구달성내용	256
4. 인공 용승 구조물 설치 및 투하	257

4.1. 설치 계획	257
4.2. 설 치	261
4.3. 설치 확인	266
4.3.1. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사방법	269
4.3.2 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사방법	272
4.3.3. 설치확인 결과	274
4.4. 연구달성내용	279
7. 연구 달성 내용	283
8. 결론 : 정책적 제안	289
9. 참고 문헌	295

여 백

〈CONTENTS〉

Abstract	1
List of Figures	25
List of Tables	47
1. Importance of the research project	55
2. Background of the project	59
3. Objectives and contents of the project	63
4. Effect of the project	67
5. Study plan of the project	71
6. Contents of the research project	79
□ Oceanic environmental research section :	
Effect and estimation of artificial upwelling structures	
1.1. Study of physical environment	81
1.1.2. Data and method of study	81
1.1.1. Results	83
1.2. Study of water environment	104
1.2.1. Data and method of study	104
1.2.2. Results	105
1.3. Study of Biological environment	129
1.3.1. Phytoplankton	129
1.3.1.1. Data and method of study	129
1.3.1.2. Standing crop and species composition of phytoplankton	129

1.3.2. Zooplankton	141
1.3.2.1. Data and method of study	141
1.3.2.2. Enrich of zooplankton	141
1.3.3. Bacteria	143
1.3.3.1. Data and method of study	143
1.3.3.2. Distribution of bacteria	143
1.4. Fishes	145
1.4.1. Background of study	145
1.4.2. Data and method of study	145
1.4.2.1. Study area and fishing implement	145
1.4.2.2. Measurement and spices composition	147
1.4.2.3. Data analysis	147
1.4.3. Results	147
1.4.3.1. list of fishes	147
1.4.3.2. Appearance complexion	153
1.4.3.3. Bottom layer fishes	154
1.4.3.4. Middle layer fishes	161
1.4.3.5. Surface layer fishes	167
1.5. Submarine environmental Monitoring	176
1.5.1. Submarine monitoring	176
1.5.2. Results	178

□ Oceanic environmental research section :

Seawater reaction of artificial upwelling structures

2.1. Importance of the Research Project	181
2.1.1. Possibility of heavy metal leaching	181
2.1.2. Stability of blocks	183
2.2. Background	184

2.3. Aims of research	185
2.3.1. Stability of heavy metal leaching	185
2.3.2. Weathering of blocks	185
2.3.3. Chemical environments of sediments	186
2.3.4. Heavy metal accumulation into organisms	186
2.4. Expectations	187
2.5. Plan of research(The third research)	188
2.6. Methods	189
2.6.1. Field observation	189
2.6.2. Grain size analysis	192
2.6.3. Heavy metal analysis of sediments	194
2.6.4. Long term leaching test of heavy metal	195
2.6.5. Weight change of ash block	197
2.6.6. Stability of structures	198
2.6.7. Heavy metal accumulation into organisms	199
2.6.8. Leaching variation of heavy metal	200
2.6.9. Heavy metal accumulation amount in organisms	201
2.7. Results	203
2.7.1. Filed observation	203
2.7.2. Grain size analysis of sediments	204
2.7.3. Heavy metal analysis of sediments	206
2.7.4. REEs pattern of sediments	208
2.7.5. Long term leaching test of heavy metal	210
2.7.5.1. pH/Eh variation in the column	210
2.7.5.2. Leaching amount of heavy metal	212
2.7.5.3. Leaching variation of heavy metal	220
2.7.6. Stability of ash blocks	226
2.7.6.1. Surface of ash blocks	226

2.7.6.2. SEM observation	228
2.7.7. X-ray diffraction pattern	232
2.7.8. Reaction path modeling	234
2.7.9. Weight change of ash block	238
2.7.10. Heavy metal accumulation amount in organisms	239
2.8. Conclusions	241

□ Manufactured and dropped the blocks of artificial upwelling structures

3. Manufacture of artificial upwelling structures	243
3.1. Manufacture	243
3.1.1. Material of the block	244
3.1.2. Mixture of the block	245
3.1.3. Shape of the block	246
3.1.4. Quality of the block	247
3.2. Manufacture and management	249
3.2.1. Construction progress	249
3.2.2. Quality control	251
3.2.2.1. Mixture management	251
3.2.2.2. Test of compressive strength	251
3.2.2.3. Test of blocks	252
3.3. Manufacture and repair of mold	253
3.3.1. Manufacture of mold	253
3.3.2. Repair of mold	253
3.4. Public relations and installation of project	254
3.5. Achievement of research objectives	256
4. Establishment of artificial upwelling structures	257
4.1. Establishment plan	257
4.2. Establishment	261

4.3. Establishment check	266
4.3.1. Survey methods of Side Scan Sonar	269
4.3.2. Survey methods of Multi-beam Sonar	272
4.3.3. Results	274
4.4. Achievement of research objectives	279
7. Achievement of research objectives	283
8. Conclusion : Suggestions of policy (Administration)	289
9. References	295

여 백

그림 목 차

그림 1-1-1. 관측정점.	82
그림 1-1-2. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 수온의 수평분포도.	85
그림 1-1-3. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 염분의 수평분포도.	86
그림 1-1-4. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom) 에서 σ_t 의 수평분포도.	87
그림 1-1-5. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분 (하: EW Line)의 수온 연직구조.	90
그림 1-1-6. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분 (하: EW Line)의 염분 연직구조.	91
그림 1-1-7. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분 (하: EW Line)의 σ_t 연직구조.	92
그림 1-1-8. 2005년 3월 2일, 5월 3일, 8월 4일 및 12월 9일에 관측한 수괴의 T-S도.	95
그림 1-1-9. 2002년 9월과 2005년 8월의 수온 및 염분의 연직구조. SN Line 은 남북방향이고 EW Line은 동서성분.	96
그림 1-1-10. 2005년 11월 10일~11일에 정점 C에서 관측한 조류 분산도.	98

그림 1-1-11. 2005년 11월 30일~12월 1일에 정점 B에서 관측한 조류 분산도.	99
그림 1-1-12. 2005년 11월 10일~11일(좌)과 11월 30일~12월 1일(우) 정점 A에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.	101
그림1-1-13. 2005년 정점 B에서 관측한 U-V-W성분의 연직 분포도. (상단 : 2005년 4월 16~17일, 중단 : 2005년 8월 29~30일, 하단 : 2005년 11월 30~12월 1일)	103
그림 1-2-1. 조사해역의 수층별 용존산소 분포도(2005년 11월).	106
그림 1-2-2. 조사해역의 용존산소 조사결과(2005년 11월).	107
그림 1-2-3. 조사해역의 평균 용존산소 농도 (2005년 11월) (Bar는 표준편차).	107
그림 1-2-4. 조사해역의 Chl-a 조사결과(2005년 11월).	109
그림 1-2-5. 각 조사정점별 평균 Chl-a 조사결과(2005년 11월).	109
그림 1-2-6. 조사해역의 수층별 Chl-a 수평분포도(2005년 11월).	110
그림 1-2-7. 조사해역의 부유물질 농도 조사결과(2005년 11월).	111
그림 1-2-8. 각 조사정점별 평균 부유물질 조사결과(2005년 11월).	111
그림 1-2-9. 정점 01의 수질항목의 연직변화도.	112
그림 1-2-10. 2005년 11월 각 층별 COD의 분포.	115
그림 1-2-11. 2005년 11월 각 층별 COD의 수평분포.	116
그림 1-2-12. 2005년 11월 각 층별 질산성 질소의 분포.	117
그림 1-2-13. 2005년 11월 각 층별 아질산성 질소의 분포.	117

그림 1-2-14. 2005년 11월 각 층별 암모니아성 질소의 분포.	118
그림 1-2-15. 2005년 11월 각 층별 DIN(NH ₄ ⁺ +NO ₂ ⁻ +NO ₃ ⁻)의 분포.	119
그림 1-2-16. 2005년 11월 각 층별 총 질소의 분포.	120
그림 1-2-17. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 분포.	120
그림 1-2-18. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 수평분포.	121
그림 1-2-19. 2005년 11월 각 층별 총 인의 분포.	122
그림 1-2-20. 정점 01에서 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월에서의 용존산소, 클로로필-a, 용존무기질소 및 용존무기인의 연직분포.	124
그림 1-2-21. 구조물 투하 전(2002년 9월)과 구조물 투하 후(2005년 8월) 의 영양염 비교.	125
그림 1-2-22. 구조물 투하 전(2002년 9월)과 구조물 투하 후(2005년 8월) 의 영양염의 평균농도분포.	126
그림 1-3-1. 3월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	132
그림 1-3-2. 5월 표층 및 중층(25m)식물플랑크톤 현존량.	132
그림 1-3-3. 8월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	133
그림 1-3-4. 11월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	133
그림 1-3-5. 표층에서의 식물플랑크톤의 현존량.	134
그림 1-3-6. 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.	134
그림 1-3-7. 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월의 동물플랑크톤 풍도 분포.	142

그림 1-3-8. 2005년 11월 표층(1m)에서의 생균.	144
그림 1-3-9. 각 월별 평균 생균수.	144
그림 1-4-1. 어류자원 조사를 실시한 해역도.	146
그림 1-4-2. 분류군별 출현양상.	154
그림 1-4-3. 조사해역에서 채집한 저층어류.	158
그림 1-4-4. 대응일치분석에 의한 조사시기와 저층 주요어종의 차원상 분포.	160
그림 1-4-5. 출현 양상에 따른 주요 어종의 구분.	161
그림 1-4-6. 조사해역에서 채집한 중층어류.	165
그림 1-4-7. 조사해역의 표층어류의 월변동.	172
그림 1-4-8. 대응일치분석으로부터 유도된 조사시기와 표층어류의 차원상 분포.	174
그림 1-4-9. 대응일치분석으로부터 유도된 표층어류의 차원상 분포.	175
그림 1-5-1. 수중 비디오 촬영기.	176
그림 1-5-2. 잠수 장비.	177
그림 1-5-3. 구조물에 부착된 따개비류.	179
그림 1-5-4. 구조물에 부착된 따개비류.	179
그림 1-5-5. 구조물 주변에 서식하는 갑각류	180
그림 2-1-1. 해양 환경과 해수-블록간의 반응.	183
그림 2-1-2. 시료채취 위치도.	189

그림 2-1-3. 연구에 이용된 채수기와 CTD.	190
그림 2-1-4. 피스톤 코아를 이용한 해양퇴적물 채취 과정.	191
그림 2-1-5. 입도분석 과정. (A)탄산염 제거, (B)습식분석, (C)로텍 요동기, (D)자동입도분석기.	193
그림 2-1-6. 유도결합 플라즈마 방출분광기.	194
그림 2-1-7. 실험에 이용된 컬럼.	196
그림 2-1-8. 중금속 용출 과정. (A)항온 진탕기를 이용한 반응 모습, (B)시료 원심분리.	197
그림 2-1-9. 구조물 안정성 조사. (A)수산과학기술센터 내 순환수조, (B)수조 내 블록의 침지 모습.	198
그림 2-1-10. 모래, 실트 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.	205
그림 2-1-11. 자갈, 모래 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.	205
그림 2-1-12. 연구지역 퇴적물의 희토류원소 패턴.	209
그림 2-1-13. 컬럼 내 시간 경과에 따른 산화환원전위(A), pH, (B)변화	211
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. (D)Cd, (E)Zn, (F)Cr, (G)Pb, (H)Mo, (I)Ba, (J)Ni, (K)Cu.	214
그림 2-1-14. 계속	215
그림 2-1-14. 계속	216

그림 2-1-14. 계속	217
그림 2-1-14. 계속	218
그림 2-1-14. 계속	219
그림 2-1-15. 시간에 따른 중금속의 농도변화. (A)크롬, (B)코발트, (C)니켈, (D)구리, (E)아연, (F)납.	222
그림 2-1-15. 계속	223
그림 2-1-15. 계속	224
그림 2-1-16. 석탄회 블록 원시료의 절단면 사진.	226
그림 2-1-17. 석탄회 블록 표면 사진. (A)원시료의 표면, (B)2개월 경과한 석탄회 블록의 표면, (C)5개월 경과한 석탄회 블록의 표면.	227
그림 2-1-18. 석탄회 블록 내 공극의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A) 기공을 충전한 2차생성물, (B) 판상과 주상 구조를 갖는 2차 생성물.	229
그림 2-1-19. 2차 광물의 EDS 분석 결과 (A) clinocllore, (B) dolomite, (C) Kaolinite, (D) calcite.	231
그림 2-1-20. 석탄회 블록의 x-선 회절 분석 결과.	233
그림 2-1-21. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25℃). 반응정도에 따른 음이온의 함량 변화.	235
그림 2-1-22. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25℃). 반응정도에 따른 양이온의 함량 변화.	236

그림 2-1-23. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25°C). 반응정도에 따른 2차광물의 종류와 침전량.	237
그림 3-1-1. 용승류블록 제작 및 야적장 전경	243
그림 3-1-2. 용승류블록 재료	245
그림 3-1-3. 용승류블록의 형태	246
그림 3-2-1. 구조물(블록)제작과정	249
그림 3-2-2. 구조물(블록)제작과정	250
그림 3-2-3. 압축강도 시험	251
그림 3-3-1. 몰드제작 및 납품	253
그림 3-3-2. 몰드수리 및 보완	254
그림 3-4-1. 사업 홍보물 제작 및 설치	255
그림 4-1-1. 인공용승류 블록 설치 위치도	258
그림 4-1-2. 2005년 8월 29일~30일(하) 정점 B(N 34° 36.020', E 128° 30.006') 에서 관측한 조류 분산도.	258
그림 4-1-3. 최종 구조물의 3차원 조감도 및 단면도.	259
그림 4-1-4. 1차년도 구조물의 3차원 영상.	259
그림 4-1-5. 2차년도 설치 계획 단면도.	260
그림 4-2-1. 제작에서 투하까지의 공정도.	262
그림 4-2-2. 야적장.	263
그림 4-2-3. 선착장.	263

그림 4-2-4. 육상운반.	263
그림 4-2-5. 해상기증기선 및 예인선.	263
그림 4-2-6. 선적.	263
그림 4-2-7. 적재확인.	263
그림 4-2-8. 해상운반.	64
그림 4-2-9. 계류.	264
그림 4-2-10. 결색.	264
그림 4-2-11. 투하.	264
그림 4-2-12. GPS의 비콘.	264
그림 4-2-13. 해상측량프로그램(HYPACK).	264
그림 4-2-14. 블록투하 방법.	265
그림 4-3-1. Side Scan Sonar 조사 모식도 및 시스템 구성도.	267
그림 4-3-2. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사모식도 및 시스템 구성도.	268
그림 4-3-3. 양방향음파탐지기(S-150) 견인체(towfish)(좌), 자료처리기(우).	271
그림 4-3-4. 3,208개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.	274
그림 4-3-5. 4,800개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.	275

그림 4-3-6. 구조물의 2차원 영상.	275
그림 4-3-7. 등수심도.	276
그림 4-3-8. 구조물의 3차원 영상.	277
그림 4-3-9. 구조물의 부피(왼쪽 : 1차년도- 7.102m ³ , 오른쪽 2차년도 - 5,516m ³).	278
그림 4-3-10. 구조물의 단면 1형상.	278
그림 4-3-11. 구조물의 단면 2형상.	279

여 백

List of Figures

Fig. 1-1-1.	Observation points.	82
Fig. 1-1-2.	Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9 , 2005.	85
Fig. 1-1-3.	Horizontal distribution of salinity at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9, 2005.	86
Fig. 1-1-4.	Horizontal distribution of sigma-t at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9, 2005.	87
Fig. 1-1-5.	Vertical distribution of temperature in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).	90
Fig. 1-1-6.	Vertical distribution of salinity in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).	91
Fig. 1-1-7.	Vertical distribution of sigma-t in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).	92
Fig. 1-1-8.	T-S diagram of water masses observed on March 2, May 3, August 4 and December 9, 2005.	95

Fig. 1-1-9.	Comparison of vertical distribution of temperature and salinity in September, 2002 and August, 2005. SN Line is South-North Component and EW Line is East-West Component.	96
Fig. 1-1-10.	Scatter plot of current with the depth of the mooring site st. C in November 10~11, 2005.	98
Fig. 1-1-11.	Scatter plot of current with the depth of the mooring site st. B in November 30~December 1, 2005.	99
Fig. 1-1-12.	Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st. B and C in November 10~11(left) and November 30~December 1(right), 2005.	101
Fig. 1-1-13.	Vertical distribution of U-V-W components with the depth of the mooring site st. B. (upper panel : April 16~17, 2005. middle panel : August 29~30, 2005. lower panel : November 30~December 1, 2005.	103
Fig. 1-2-1.	Horizontal distribution of dissolved oxygen in November, 2005.	106
Fig. 1-2-2.	Distribution of dissolved oxygen in November, 2005.	107
Fig. 1-2-3.	Mean value of dissolved oxygen in November, 2005.	107
Fig. 1-2-4.	Distribution of chlorophyll-a in November, 2005.	109
Fig. 1-2-5.	Mean value of chlorophyll-a in November, 2005.	109

Fig. 1-2-6.	Horizontal distribution of chlorophyll-a in November, 2005.	110
Fig. 1-2-7.	Distribution of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.	111
Fig. 1-2-8.	Mean value of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.	111
Fig. 1-2-9.	Vertical distribution of seawater at st. 01.	112
Fig. 1-2-10.	Distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.	115
Fig. 1-2-11.	Horizontal distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.	116
Fig. 1-2-12.	Distribution of NO ₂ -nitrogen in November, 2005.	117
Fig. 1-2-13.	Distribution of NO ₃ -nitrogen in November, 2005.	117
Fig. 1-2-14.	Distribution of NH ₄ -nitrogen in November, 2005.	118
Fig. 1-2-15.	Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN) in November, 2005.	119
Fig. 1-2-16.	Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005.	120
Fig. 1-2-17.	Distribution of PO ₄ -phosphate in November, 2005.	120
Fig. 1-2-18.	Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005.	121

Fig. 1-2-19.	Distribution of total phosphate(T-P) in November, 2005.	122
Fig. 1-2-20.	Vertical distribution of DO, chlorophyll-a, DIN and DIP at st.01 in March, May, August and November, 2005.	124
Fig. 1-2-21.	Comparison of nutrients(DIN, DIP and SiO ₂ -Si) in September, 2002 and August, 2005.	125
Fig. 1-2-22.	Comparison of average concentrations of nutrients in September, 2002 and August, 2005.	126
Fig. 1-3-1.	Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in March, 2005.	132
Fig. 1-3-2.	Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in May, 2005.	132
Fig. 1-3-3.	Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in August, 2005.	133
Fig. 1-3-4.	Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in November, 2005.	133
Fig. 1-3-5.	Standing crop of phytoplankton in surface water.	134
Fig. 1-3-6.	Standing crop of phytoplankton 25m depth water.	134
Fig. 1-3-7.	Distribution of Zooplankton abundance(inds. /m ³) in March, May, August and November 2005.	142

Fig. 1-3-8.	Distribution of CFU(Colony Forming Unit) in surface water(1m depth) in November, 2005.	144
Fig. 1-3-9.	Average distribution of CFU(Colony Forming Unit) in each month.	144
Fig. 1-4-1.	Location of the small trawl and shrimp trawl area.	146
Fig. 1-4-2.	The aspect of appearance by the grouping classification.	154
Fig. 1-4-3.	The fishes of low layer collected in the study area.	158
Fig. 1-4-4.	Dimension scores of the dominant fishes and three months induced from the correspondence analysis.	160
Fig. 1-4-5.	Dendrogram illustrating the classification of the dominant fishes on the basis of their occurrence patterns.	161
Fig. 1-4-6.	The fishes of middle layer collected in the study area.	165
Fig. 1-4-7.	Monthly variation of the fishes collected the surface fishes in the study area.	172
Fig. 1-4-8.	Dimension scores of the fishes of surface layer and four months induced from the correspondence analysis.	174
Fig. 1-4-9.	Dimension scores of the fishes of surface layer induced from the correspondence analysis.	175
Fig. 1-5-1.	A underwater videotape recorder.	176

Fig. 1-5-2.	A SCUBA diving set.	177
Fig. 1-5-3.	A barnacles on the block.	179
Fig. 1-5-4.	A barnacles on the block.	179
Fig. 1-5-5.	A living Arthropoda around the block.	180
Fig. 2-1-1.	The ocean environment and seawater-block interaction.	183
Fig. 2-1-2.	Sampling location of study area.	189
Fig. 2-1-3.	Seawater sampler and CTD (Conductivity-temperature- depth sensor).	190
Fig. 2-1-4.	Photograph of sediment sampling by piston core sampler.	191
Fig. 2-1-5.	Photographs of partical size analysis process. (A)Decarbonization, (B)wet analysis, (C)RO-TAP Sieve Shaker and (D)sedigraph meter.	193
Fig. 2-1-6.	Photograph of Inductively Coupled Plasma Atomic Emissioni Spectrometer (ICP/AES).	194
Fig. 2-1-7.	Photographs of column test system.	196
Fig. 2-1-8.	Heavymetal leaching process. (A) Reacting ash block in shaking incubator, (B)sample centrifuge.	197

Fig. 2-1-9.	Block stability test. (A)Circulating water tank, (B)ash block in the water tank.	198
Fig. 2-1-10.	Classification at the propotion among sand, silt and clay.	205
Fig. 2-1-11.	Classification at the propotion among gravel, sand and clay.	205
Fig. 2-1-12.	Rare earth element patterns of sediments from different station.	209
Fig. 2-1-13.	Variation of (A)Eh variation, (B)pH in the column as a function of time.	211
Fig. 2-1-14.	Variation of Concentration of heavymetal in the culumn 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.	214
Fig. 2-1-14.	Continued	215
Fig. 2-1-14.	Continued	216
Fig. 2-1-14.	Continued	217
Fig. 2-1-14.	Continued	218
Fig. 2-1-14.	Continued	219
Fig. 2-1-15.	Variation of Concentration of heavymetal as a function of time. (A)Cr, (B)Co, (C)Ni, (D)Cu, (E)Zn, (F)Pb.	222

Fig. 2-1-15.	Continued	223
Fig. 2-1-15.	Continued	224
Fig. 2-1-16.	Photograph of cutting section of fresh ash block.	226
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.	227
Fig. 2-1-18.	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.	229
Fig. 2-1-19.	EDS analyses of secondary mineral phase (A) clinochlore, (B) dolomite, (C) Kaolinite, (D) calcite.	231
Fig. 2-1-20.	X-ray diffraction pattern of ash block.	233
Fig. 2-1-21.	Result of calculated ash block-weawater interaction at 2 5°C. Aqueous molality of anions of aqueous component species as a function of log added grams.	235
Fig. 2-1-22.	Result of calculated ash block-weawater interaction at 25°C. Aqueous molality of cations of aqueous component species as a function of log added grams.	236
Fig. 2-1-23.	Result of calculated ash block-weawater interaction at 25°C. Abundance of secondary minerals of aqueous	

	component species as a function of log added grams.	237
Fig. 3-1-1.	Manufacture of artificial upwelling block & Scenery of open storage yard	243
Fig. 3-1-2.	Material of artificial upwelling block	245
Fig. 3-1-3.	Type of artificial upwelling block	246
Fig. 3-2-1.	Production process of artificial upwelling block	249
Fig. 3-2-2.	Production process of artificial upwelling block	250
Fig. 3-2-3.	Test of compressive strength	251
Fig. 3-3-1.	Manufacture and delivery of mold	253
Fig. 3-3-2.	Repair and complement of mold	254
Fig. 3-4-1.	Public relations and installation of Project	255
Fig. 4-1-1.	The Map of structure installation	258
Fig. 4-1-2.	Scatter plot of current with the depth of the mooring site St. B(N 34° 36.020', E 128° 30.006') in August 29~30(right), 2005.	258
Fig. 4-1-3.	Three dimension and two dimension of final structure.	259
Fig. 4-1-4.	Image of structure(three dimension).	259
Fig. 4-1-5.	Plan cross section of structure.	260
Fig. 4-2-1.	Process of structure installation.	262

Fig. 4-2-2.	Open storage yard.	
Fig. 4-2-3.	Harbor.	263
Fig. 4-2-4.	Ground transport.	263
Fig. 4-2-5.	Floating crane and tugboat.	263
Fig. 4-2-6.	Shipment.	263
Fig. 4-2-7.	Check of shipment.	263
Fig. 4-2-8.	Marine transport.	264
Fig. 4-2-9.	Mooring Buoy.	264
Fig. 4-2-10.	Band of blocks.	264
Fig. 4-2-11.	Dropping.	264
Fig. 4-2-12.	Beacon of GPS.	264
Fig. 4-2-13.	Program of marine	264
Fig. 4-2-14.	Dropping method of block.	265
Fig. 4-3-1.	Air view and systems of Side Scan Sonar.	267
Fig. 4-3-2.	Air view and System of Multi-beam Sonar.	268
Fig. 4-3-3.	Towfish and data pro-cessing.	271
Fig. 4-3-4.	Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 3,208).	274

Fig. 4-3-5.	Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 4,800).	275
Fig. 4-3-6.	Image of structure(two dimension).	275
Fig. 4-3-7.	Contours of water depth.	276
Fig. 4-3-8.	Image of structure(three dimension).	277
Fig. 4-3-9.	Volume of structures.	278
Fig. 4-3-10.	Image of Section 1.	278
Fig. 4-3-11.	Image of Section 2.	279

여 백

표 목 차

표 1-1-1.	2차년도 유동관측의 통계치	100
표 1-2-1.	조사해역의 수질조사결과 요약	104
표 1-2-2.	조사해역수질항목분석 결과 요약 (2005년 11월27일)	114
표 1-2-3.	구조물 투하전과 투하 후의 영양염의 평균값	127
표 1-3-1.	2005년 3월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성	135
표 1-3-2.	2005년 5월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성	136
표 1-3-3.	2005년 8월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성	138
표 1-3-4.	2005년 11월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성	140
표 1-3-5.	동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위(inds/m3)	142
표 1-4-1.	조사해역에서 저인망, 새우조망으로 채집한 어종의 월 변동	155
표 1-4-1.	계속	156
표 1-4-2.	주요 저층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해	159
표 1-4-3.	중층어류의 개체수 및 생체량	166
표 1-4-4.	표층어류의 개체수 및 생체량(5~9월)	170
표 1-4-4.	계속(10~12월)	171
표 1-4-5.	표층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해	173
표 2-1-1.	KSLT법에 의한 산업부산물 내의 중금속 용출양 (Han et al., 2001)	182
표 2-1-2.	석탄회 내에 존재하는 광물의 풍화반응	186
표 2-1-3.	NIST에서 구입한 표준물질(진주담치) 의 중금속 회수율 결과 (단위:µg/kg wet wt.)	202

표 2-1-4.	연구지역의 온도, 용존산소농도, 염도, 수소이온전위, 산화환원전위, 해수 깊이 자료(측정일 : 2005년 4월 6일)	203
표 2-1-5.	퇴적물의 채취 정점별 입도 분포(단위:%)	204
표 2-1-6.	정점별 퇴적물 화학조성	206
표 2-1-7.	연구지역과 광양만, 서남해안 및 목포해안의 중금속 농도 비교 (단위:ppm)	207
표 2-1-8.	정점별 희토류 농도	208
표 2-1-9.	컬럼 내 시간 경과에 따른 수소이온전위, 산화환원전위, 온도 및 전기전도도변화	210
표 2-1-10.	해역별 중금속 함량에 대한 수질등급기준 (해양수산부, 2002)	212
표 2-1-11.	시간 경과에 따른 산화환원전위와 pH 변화	220
표 2-1-12.	석탄회 블록 내 중금속 농도(단위:ppm)	225
표 2-1-13.	시간 변화에 따른 석탄회 블록의 중량 변화	238
표 2-1-14.	블록 구조물 설치 이전에 채집된 어류 내의 중금속 농도 (단위:mg/kg dry wt)	240
표 3-1-1.	석탄회 배합표	246
표 3-1-2.	인공용승류블록(구조물) 규격 및 제원	247
표 3-1-3.	코어채취 압축강도 측정	248
표 3-1-4.	슈미트햄머를 이용한 압축강도 측정	248
표 4-3-1.	다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 시스템구성	267
표 4-3-2.	양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사 순서도.	271
표 4-3-3.	다중빔음향측심기를 이용한 수심측량 조사순서	272
표 4-3-4.	구성장비별 운용방법	273

List of Tables

Table 1-1-1.	Statistics of observed current	100
Table 1-2-1.	Statistics of observed seawater	104
Table 1-2-2.	Statistics of observed seawater in November 27, 2005	114
Table 1-2-3.	Mean value of nutrients at seawater in September, 2002 and August, 2005	127
Table 1-3-1.	The species composition of phytoplankton in March, 2005	135
Table 1-3-2.	The species composition of phytoplankton in May, 2005	136
Table 1-3-3.	The species composition of phytoplankton in August, 2005	138
Table 1-3-4.	The species composition of phytoplankton in November, 2005	140
Table 1-3-5.	Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m ³)	142
Table 1-4-1.	Monthly variation of the fishes collected by trawl and shrimp trawl in the study area	155
Table 1-4-1.	Continued	156
Table 1-4-2.	Singular value decomposition for the correspondence analysis of the dominant fishes	159

Table 1-4-3.	The number of individuals and biomass in the middle layer	166
Table 1-4-4.	The number of individuals and biomass in the surface layer(from May to September)	170
Table 1-4-4.	Continued(from October to December)	171
Table 1-4-5.	Singular value decomposition for the correspondence analysis of the fishes of surface layer	173
Table 2-1-1.	Heavy metal leaching amount of industrial residual products about KSLT method (unit in mg/l)	182
Table 2-1-2.	Weathering reactions of the fly ash forming minerals ...	186
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.)	202
Table 2-1-4.	Temperature, DO, salinity, pH, Eh and depth of studied area.(Measured date : Jun. 2005)	203
Table 2-1-5.	Distribution of particle size at each station (Unit in %)	204
Table 2-1-6.	Chemical composition for each station	206
Table 2-1-7.	Heavy metal concentration in sediments from Gwangyang, Southwestern coast, Mokpo coast and study area (Unit in ppm)	207
Table 2-1-8.	Rare earth element (REE) concentration from each station (unit in ppm)	208

Table 2-1-9.	Variation of pH, Eh, Temperature and EC in the column as a function of time	210
Table 2-1-10.	Regulation of seawater quality (heavymetal concentration, MOMAF)	212
Table 2-1-11.	Eh/pH variation by leaching of ash block as a function of time	220
Table 2-1-12.	Heavy metal concentration in ash block (Unit in ppm)	225
Table 2-1-13.	Weight change of ash block as funtion of time	238
Table 2-1-14.	Concentrations of heavy metals in the sampled fish (unit in mg/kg dry wt.)	240
Table 3-1-1.	Proportion of bottom ash	246
Table 3-1-2.	Standard of artificial upwelling block	247
Table 3-1-3.	Core picking compressive strength measurement	248
Table 3-1-4.	Schumidt hammer compressive strength measurement	248
Table 4-3-1.	Specifications of Multi-beam Sonar	267
Table 4-3-2.	Process of Side Scan Sonar works.	271
Table 4-3-3.	Process of Multi-beam Sonar survey	272
Table 4-3-4.	Using method of equipments	273

여 백

1. 연구개발의 필요성

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

여 백

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 생각되어진다. 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 중·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).

라. 우리나라의 어장환경조성 현황

현재 우리나라에서 실시되고 있는 어장환경개선으로는 1971년부터 현재까지 남해안, 서해안 및 동해안 연안역에서 인공어초사업이 실시되고 있다. 또한 바다목장화사업(7개년사업, 1999년부터 2004년까지; 9개년사업, 1998년부터 2006년까지)이 실시되고 있는 실정이다.

한편 어장환경조성사업인 인공용승류를 이용한 어장환경조성사업은 인공어초사업과 바다 목장화 사업과는 또다른 새로운 개념으로 기초사업이 2000년부터 2002년까지 3개년에 걸쳐 수행되었으며, 현재 해양수산부(2004년부터)에서 시범사업으로 실시되고 있다.

3. 연구개발의 목표 및 내용

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 어군유도하기 위함.

나. 연구개발 기간

2005년 7월 1일부터 2005년 12월 31일 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 조사
- 어류상 조사 및 수중환경 조사

○ 구조물의 해수반응

- 블록의 중금속 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

여 백

4. 연구의 기대효과

■ 기술적 측면

- 용승류에 의한 원활한 해수순환으로 인한 해수수질의 개선을 통한 환경개선효과
- 대규모 해양구조물형성을 위한 투하 및 침설기술 개발
- 석탄회 재활용을 위한 소재 및 가공기술 개발효과
- 석탄회 재가공을 통한 미래지향적인 재활용방안 제시
- 석탄회 활용기술의 실용화로 자원 재활용 및 구조재료개발 분야 기술 향상

■ 경제·산업적 측면

- 용승류에 의한 기초생산력 향상으로 좋은 어장형성으로 인한 어민 소득증대
- 암초생태계 형성으로 인한 암초성어, 회유어를 포함한 어군의 유집효과
- 연근해 수역의 입체적인 어장 조성의 적극적인 추진
- 저인망어업 등에 의한 불법어업방지로 남획방지 효과
- 석탄회 재활용에 의한 대규모 해양구조물의 설치가능성 제시(원가절감)
- 연근해역의 해양 레크레이션산업(예 낚시 등)과의 연계에 의한 어민의 소득 증대효과
- 자원재활용을 통한 고부가가치 창출 및 경제성 제고
- 석탄회의 구조재료 활용 타당성 검증으로 회처리장 등의 전력산업 부대설비 건설비용 절감 및 친환경적 이미지 제고에 기여

여 백

5. 연구추진계획

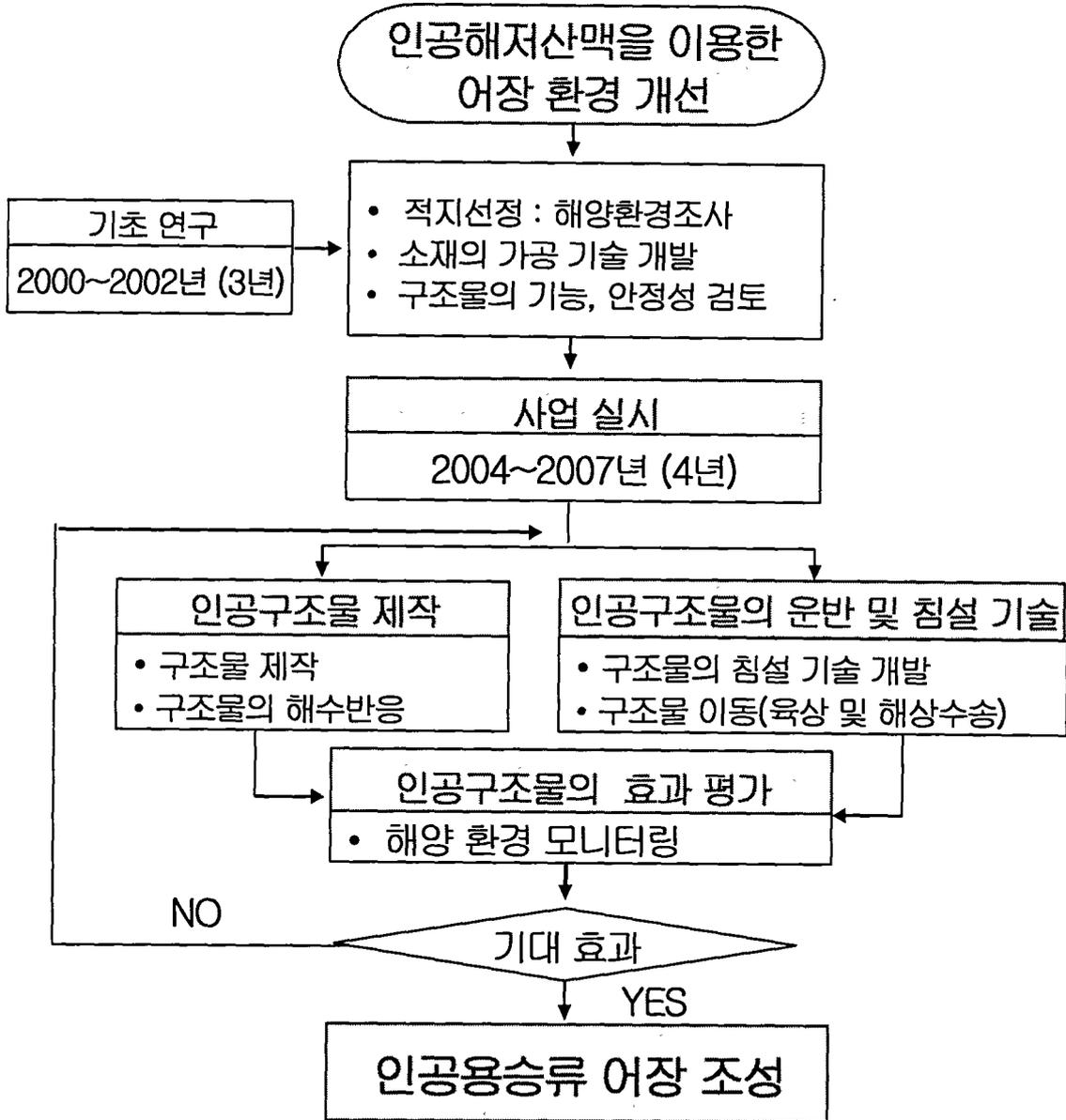
여 백

5. 연구추진계획

가. 연구의 추진체계

- 본 사업은 부경대학교 해양산업개발연구소를 주관연구기관으로 하며, 연구조사부분은 경상대학교 해양산업연구소 및 연안해양환경연구소가 참여하는 협동연구이며, 시설물 제작 및 설치부분의 기술적인 문제는 (주)삼성산업 기술연구소와 (주)한국해양기술이 참여하는 공동도급이다.
- 주관연구기관인 부경대학교 해양산업개발연구소는 본 연구과업의 목적을 달성하기 위하여 과업내용 중 일부를 관련 연구기관, 기술 용역업체 및 민간환경단체에 위탁을 수행할 수 있다.
- 용승류블록 제작분야의 경우 삼성산업 기술연구소에서 품질관리 분야를 담당하며, 시제품 제작실적을 보유한 (주)삼성산업이 블록 제작을 담당한다.
- 용승류블록의 침설은 (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

< 연구조사분야 >

과업내용		추진일정				
		1개월	2개월	3개월	4개월	비고
구조물의 효과평가	물리환경조사		관측준비 유동관측	해양관측	자료정리	
	수질환경조사			시료채취	시료분석	자료정리
	생물상조사			시료채취	시료분석 (배양, 동정)	자료 분석
	어류상조사					시료채집 자료정리
	수중환경모니터링			수중촬영	촬영자료정리/ CD작성	
	최종보고서					
	월별공정(%)	15	35	30	20	
	누계공정(%)	15	50	80	100	

< 연구조사분야 >

연구내용		추진일정						
		1개월	2개월	3개월	4개월			
구조물의 해수 반응	중금속 용출 안정성	해수반응 : 중금속 용출	14, 16주차 샘플링					
		저질부반응 : 중금속 용출	14, 16주차 샘플링					
	블록의 안정성	조직변화	1개월 단위(2회 실시)					
		중량변화	1개월 단위(2회 실시)					
	퇴적물 화학적 환경변화	저질부 주원소 함량변화	1개월 단위(2회 실시)					
		저질부 중금속 함량 변화	1개월 단위(2회 실시)					
	해양생태조사	중금속 분석	시료 채취 및 분석					
		자료정리						
	반응경로 모델링		각 분석 data를 이용하여 모델링					
	최종보고서 작성							
월별공정(%)		15	35	20	30			
누계공정(%)		15	50	70	100			

< 시설물 제작 및 설치 >

연구내용			추진 일정 (개월)						비고
			1	2	3	4	5	6	
시설물 제작·설치	제작 및 침설	블록제작	38EA/일×125일=4,754개						
		블록침설	1,585개/달 ×3달=4,754개						해상기상을 고려 9월-11월 중 침설예정
최종보고서작성									
월별공정(%)			5	15	20	25	25	10	
누계공정(%)			5	20	40	65	90	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. 당해연도(2차년도)는 전년도(1차년도)의 계속사업으로써 구조물 투하해역을 중심으로 한 구조물 설치 후 효과를 평가하기 위하여 추계해황을 중심으로 해양관측 결과를 분석 및 평가한다.

당해 연도에 실시 할 연구는 다음과 같다. 구조물 투하지역(정점 01: E 128°30', N 34°36')을 중심으로 하여 구조물 투하 전에 그 예상해역에서 투하 후 저층에서 표층으로 용승할 영양염이 12시간, 24시간 및 48시간 후에 확산할 가능성이 있는 광역화된 연구영역(그림 1-1-1)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 투하 후의 유동변화양상을 조사하여 해조류의 변동을 밝힌다.

수질환경조사는 투하해역(정점 01)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.

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. 물리환경조사

1.1.1. 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. 2차년도는 1차년도의 연구를 연계하여 추계의 수온, 염분 및 밀도($\sigma-t$) 그리고 유동관측에 중점을 두어 실시한다.

물리환경조사는 CTD(Sea-Bird Electronics, SBE-19 SEACAT Profiler)를 이용하여 구조물 투하 해역을 중심으로 수온, 염분을 조사하였고, 밀도는 관측된 수온, 염분의 자료를 이용하여 산출하였다. 수온, 염분 및 밀도를 이용하여 성층구조 및 예상 용승역 범위의 수온, 염분 및 밀도의 분포를 파악한다.

해수의 유동 조사는 구조물 투하 해역 그림 1-1-1(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.

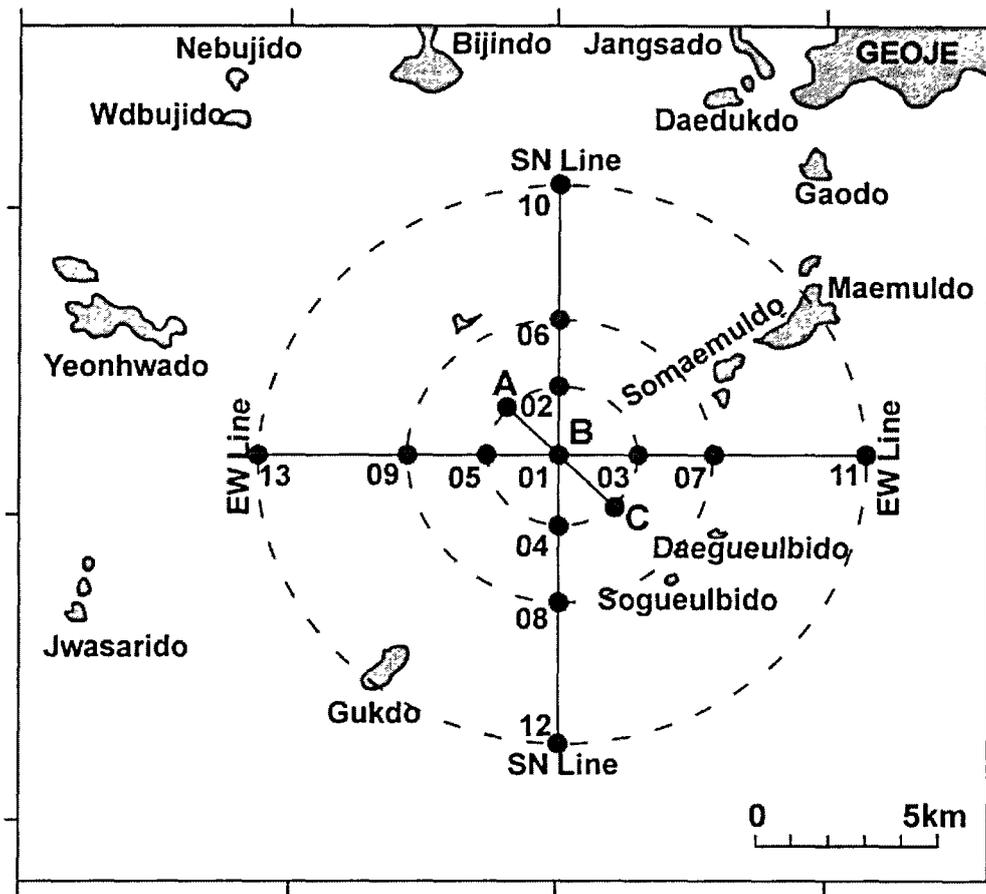


그림 1-1-1. 관측정점.

Fig. 1-1-1. Observation points.

1.1.2. 연구결과

연구해역의 수온, 염분, sigma-t 및 유동(정점 B 및 C, 그림 1-1-1)의 관측결과는 다음과 같다.

그림 1-1-2는 2005년 12월 9일 수온의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포를 나타낸 것이다. 표층에서는 연구해역의 남동쪽에서 14.5~15.0°C의 범위를 나타내고 있으며, 서쪽과 북쪽부근에서 16.0°C의 고수온대가 형성되었다. 전체적인 표층의 수온분포는 남동쪽역이 북서쪽역보다 작은 수온대가 형성되었고, 그 범위는 14.3~17.1°C의 분포를 나타냈으며, 수온차는 2.7°C로 나타났다. 중층에서의 수온분포는 남동쪽역에서 14.5°C의 수온대가 존재하였으며, 15°C의 등온선이 동쪽 경계역과 남쪽 경계역에 넓게 분포하였다. 또한, 북동쪽역으로 갈수록 15.5°C이상의 수온대가 분포하였다. 중층에서의 전체적인 수온은 14.3~16.3°C의 범위로 나타났고, 지역적인 수온차는 약 2°C정도가 나타났다. 저층에서의 수온분포는 표·중층과 마찬가지로 남동쪽역에서 14.5°C의 수온대가 형성되었고 북서쪽역에서 15.5°C 이상의 수온대가 형성되었다. 저층수온의 전체적인 범위는 14.2~16.0°C로 나타났으며, 수온차는 약 2.0°C로 저층에서는 지역적으로 수온차가 작게 나타났다. 수온의 표·중·저층에서의 전체적인 수평분포는 표층에서 수온차이가 가장 많이 낮지만, 전수층에서의 수온차는 약 3°C로 작은 차이를 보였고, 표·중·저층에서 거의 유사한 수온의 공간적 수평분포를 나타냈다.

2005년 12월 9일 염분의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포도를 그림 1-1-3에 나타내었다. 표층에서 염분의 분포는 북서쪽역에서 33.8psu이상의 염분이 동쪽역으로 걸쳐서 존재하고 있으며 남쪽역에서 33.5psu이하의 염분이 존재하였다. 표층에서의 전체적인 염분범위는 33.1~34.1psu로 표층에서의 지역적인 염분차는 약 1.0psu로 작은 차이가 나타났다. 중층에서의 염분분포는 구조물투하지점인 정점 01을 중심으로 북서쪽역

은 33.9psu의 염분대가 형성되었고, 남동쪽역은 33.8psu의 염분대가 형성되었다. 전체적인 염분범위는 33.7~34.0psu이고, 중층에서의 염분차는 0.3psu로 거의 차이가 없는 지역적으로 균질한 분포가 나타났다. 저층에서의 염분의 수평분포는 남동쪽역에서 33.8psu의 염분대가 형성되었고, 북서쪽역에서 33.9psu의 염분대가 형성되었다. 저층에서의 염분범위는 33.6~34.0psu가 나타났으며 염분차는 0.4psu로 중층보다 0.1psu 높은 차이를 보였지만, 지역적인 분포는 중층과 거의 유사한 형태로 나타났다. 표·중층 및 저층의 염분의 공간적인 수평분포결과를 보면, 표층에서는 북서역이 높고 남쪽이 낮은 분포형태를 보였고, 중·저층에서는 북서쪽역에서 높고 남동쪽역에서 낮은 염분대가 형성되었지만, 전체적인 염분차는 약 1.0psu로 공간적인 염분차를 보이지 않는 거의 균질한 염분분포를 형성하였다.

수온과 염분의 관측값으로부터 산출한 2005년 12월 9일 밀도(σ_t)의 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)의 수평분포도를 그림 1-1-4에 나타내었다. 표층에서 밀도(σ_t)의 분포는 남쪽역에서 24.8이하의 밀도대가 형성되었으며 북쪽역으로 갈수록 남쪽보다 높은 밀도대가 형성하였다. 정점 01에서 동쪽역으로 25.1의 가장 높은 밀도대가 형성되었다. 표층에서의 밀도범위는 24.3~25.1로 나타났으며 지역적인 밀도차는 0.8로 거의 차이가 나지 않았다. 중층에서의 분포는 전체적으로 약 0.2의 차이가 나는 지역적으로 균질한 밀도분포를 나타내고 있으며 밀도범위는 24.9~25.1로 나타났다. 저층에서의 밀도분포를 보면 24.9~25.1로 약 0.2의 차이가 나타났으며, 중층에서의 분포와 마찬가지로 지역적인 차이가 작게 나는 공간적으로 거의 균질한 밀도분포를 보이고 있다. 이상의 결과 밀도(σ_t)의 수층별 분포를 보면 표층에서 북쪽역이 고밀도대를 형성하였고 남쪽역이 저밀도대를 형성하였으나 그 차가 0.8로 차이가 작은 분포가 나타났다. 중·저층에서는 밀도차가 약 0.2정도로 거의 차이가 나지 않는 균질한 분포를 이루었다.

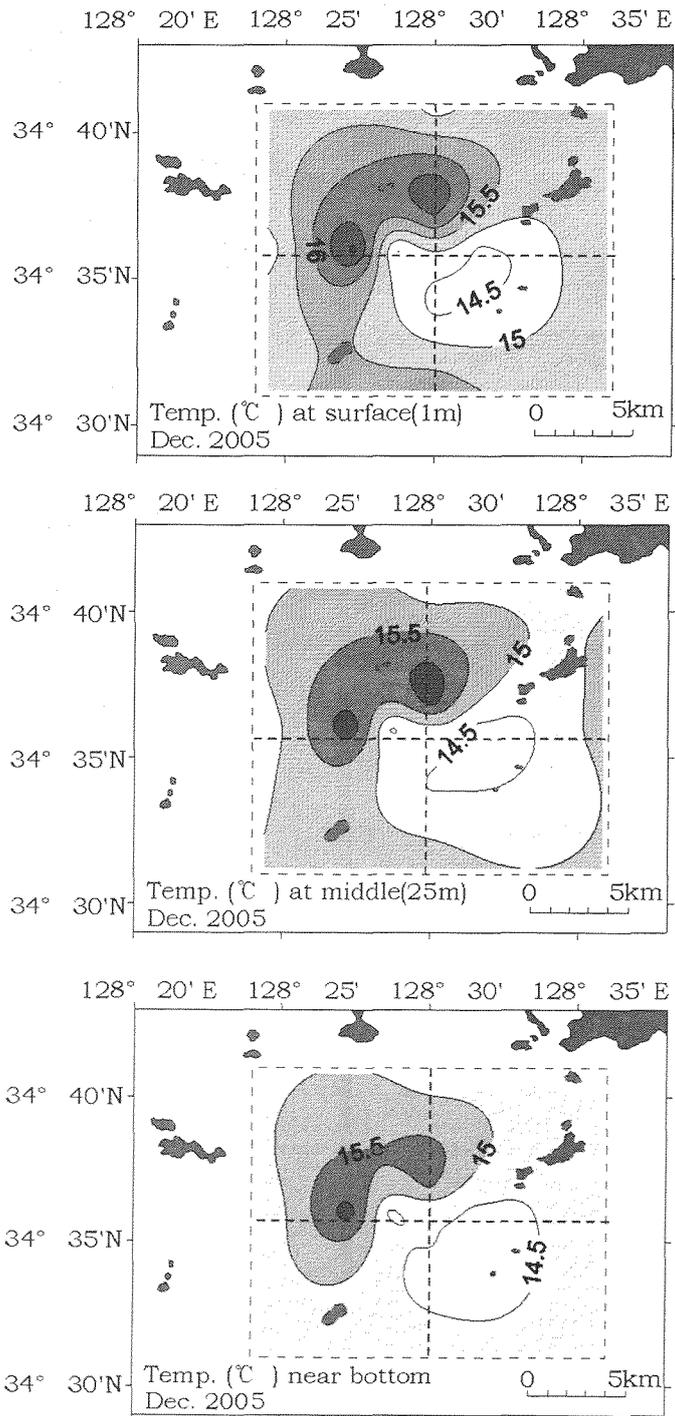


그림 1-1-2. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 수온의 수평분포도.

Fig. 1-1-2. Horizontal distribution of temperature at surface layer(1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9, 2005.

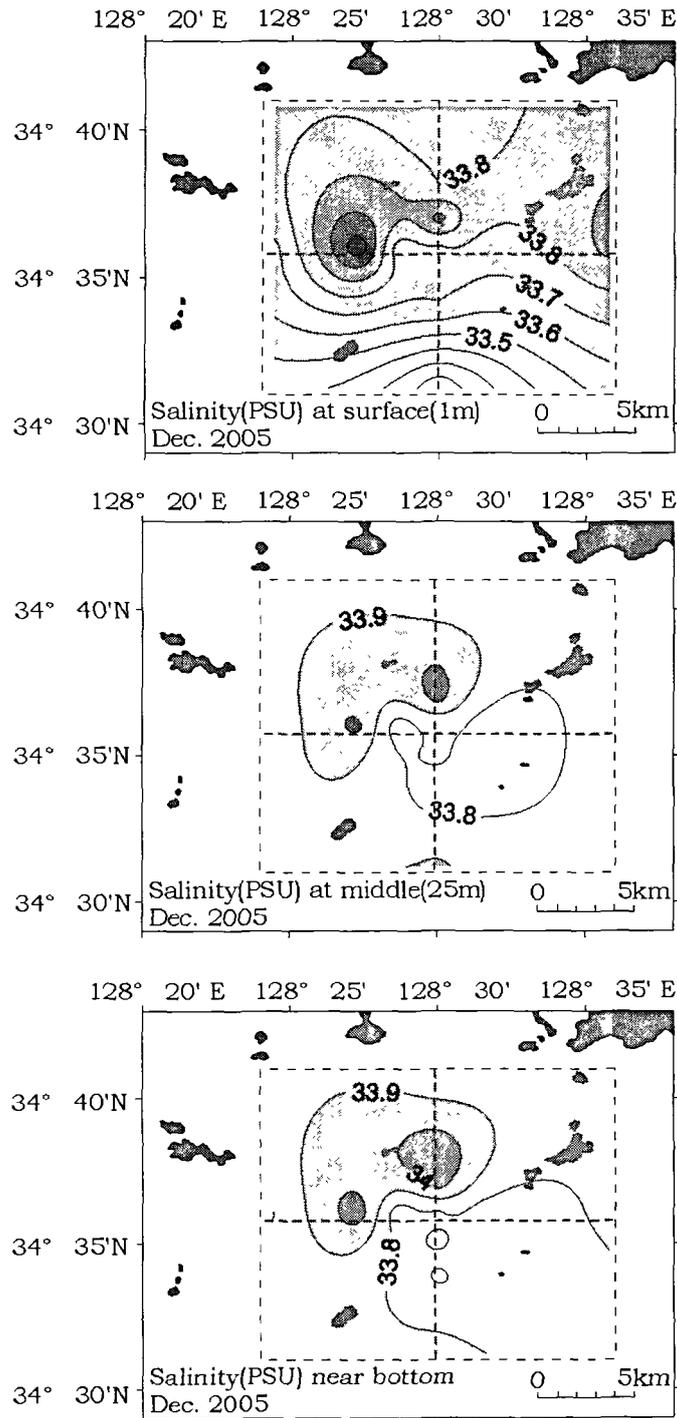


그림 1-1-3. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 염분의 수평분포도.

Fig. 1-1-3. Horizontal distribution of salinity at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9, 2005.

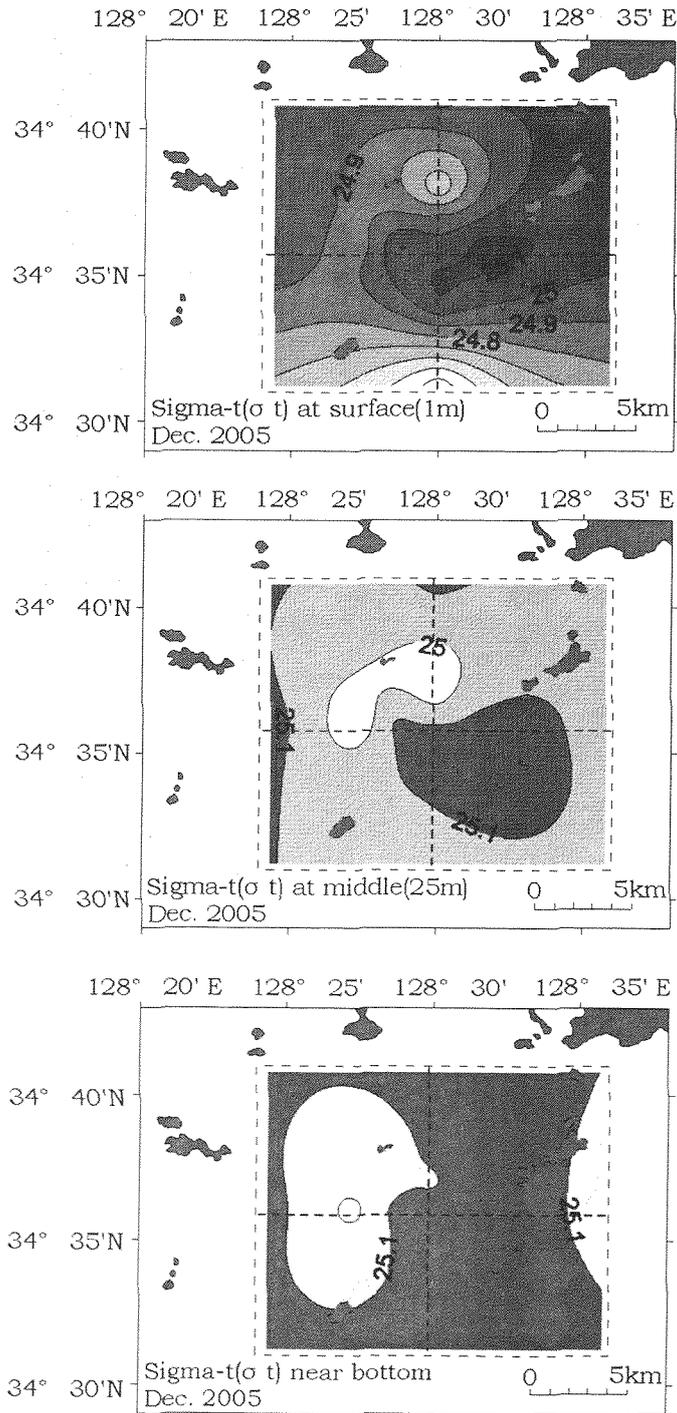


그림 1-1-4. 2005년 12월 9일 표층(1m), 중층(25m) 및 저층(near bottom)에서 sigma-t의 수평분포도.

Fig. 1-1-4. Horizontal distribution of sigma-t at surface layer (1m: upper), middle layer(25m: middle) and near bottom(lower) in December 9, 2005.

이상에서 본 수온, 염분 및 밀도($\sigma-t$)의 수층별 수평분포 결과로는 북서쪽역에서 고수온·고염분의 분포를 나타내고 있으며 남동쪽역에서 저수온·저염분의 분포를 나타내었다. 밀도분포에서는 중층과 저층에서는 밀도차가 약 0.2정도의 균질한 분포차가 나타났지만 표층에서는 염분의 표층분포와 비슷한 양상으로 남쪽역에서 낮은 값을 나타냈고, 구조물 투하지점의 동쪽부근에서 25.1의 밀도대가 형성되었다.

그림 1-1-5는 2005년 12월 9일 수온의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 남북성분(SN Line)에 대한 수온의 연직구조를 보면, 북쪽역인 정점 02 과 06부분의 수심 20m 이천에서 16.5℃의 수온분포를 나타내고 있으며, 남쪽역인 정점 04 과 08에서는 14.5℃의 수온대가 표·저층에 걸쳐 균질하게 분포를 나타내고 있다. 또한 정점 12로 갈수록 15.0℃의 균질한 분포를 나타내었다. 동서성분(EW Line)에 대한 수온의 연직구조를 보면, 정점 09의 20m 이천에서 17.0℃의 수온분포가 나타났고 서쪽역에서 수심이 깊어질수록 수온이 감소하는 경향을 보이고 있으며 그 차는 약 3.0℃ 정도로 나타났다. 또한 정점 03 과 07의 표층에서 저층에 걸쳐서 14.5℃의 수온이 균질하게 분포하고 있으며, 동쪽역인 정점 11에서 15℃의 수온대가 수심 40m 부근까지 형성하고 있다.

그림 1-1-6은 2005년 12월 9일 염분의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 남북성분(SN Line)의 염분분포를 보면, 북쪽역인 정점 02 과 06에서 34.0psu의 염분대가 전수층에 균질하게 분포하고 있으며 남쪽역으로 갈수록 그 값이 작아져 33.8psu의 염분 분포를 보이고 있다. 염분의 동서성분(EW Line)의 연직구조를 보면, 서쪽역인 정점 09에서 34.0psu의 염분대가 수심 40m 이천에서 정점 13까지 분포하고 있다. 국지적인 현상이지만 서쪽역에서의 높은 염분분포는 동쪽역으로 갈수록 그 값이 작아져서 정점 07과 11에서는 33.8psu의 염분대가 전수층에 균질하게 분포하고 있다.

그림 1-1-7은 2005년 12월 9일 밀도($\sigma-t$)의 남북성분(SN Line) 및 동서성분(EW Line)의 연직구조를 나타낸 것이다. 남북성분(SN Line)의 밀도

(sigma-t)분포를 보면, 북쪽역인 정점 02와 10의 수심 20m 이천에서 24.9의 밀도대가 형성되고 있으며 수심이 깊어 질 수록 또한 남쪽역으로 갈 수록 그 값은 높아져서 25.1의 밀도대가 균질하게 분포하였다. 밀도(sigma-t)의 동서성분(EW Line)을 보면, 서쪽역인 정점 09 부근 수심 20m 이천에서 24.9의 밀도분포를 보이고 있으며 정점 01에서부터 동쪽역으로 갈수록 25.1의 밀도대가 표·저층간에 균질한 밀도가 분포하고 있었다.

이상에서 2005년 12월 9일 연구해역의 수온, 염분 및 밀도(sigma-t)의 분포를 보면, 수평적으로는 북서쪽역에서 고수온·고염분의 분포를 나타내고 있으며 남동쪽역에서 저수온·저염분의 분포가 나타났다. 밀도분포에서는 중층과 저층에서는 밀도차가 약 0.2정도의 균질한 분포차가 나타났지만 표층에서는 염분의 표층 분포와 비슷한 양상으로 남쪽역에서 낮은 값을 나타냈고, 구조물 투하지점의 동쪽부근에서 25.1의 밀도대가 형성되었다. 하지만, 표·중층 및 저층의 수층간의 차이는 크게 나지 않는 거의 균질한 밀도분포를 형성하였으며 수온, 염분 및 밀도의 전체적인 수층 차도 각각 2.9℃, 1.1psu 및 0.8로써 변화폭이 작게 나타났다. 또한 연직적인 분포특성은 남북방향(SN Line)의 북쪽역인 정점 02와 06의 수심 20m 이천에서 고수온, 고염분 및 고밀도대가 형성되었고, 동서방향(EW Line)의 연직구조에서 나타났듯이 서쪽역인 정점 09와 13에서 고수온, 고염분 및 고밀도대가 형성되었다. 이와 같은 현상은 수평분포에서 나타난 북서쪽역에서의 고수온·고염분분포와 남동쪽역에서의 저수온·저염분분포와 잘 일치하였고, 연직적인 변화 폭이 작은 분포특성을 보이고 있다. 따라서 본 연구해역에서의 수온·염분 특성으로는 표층수온이 낮아지고 하계에 형성되었던 성층이 파괴되어 연직적인 혼합이 이루어져 전수층에서 균질한 분포의 결과가 나타났음을 알 수 있다.

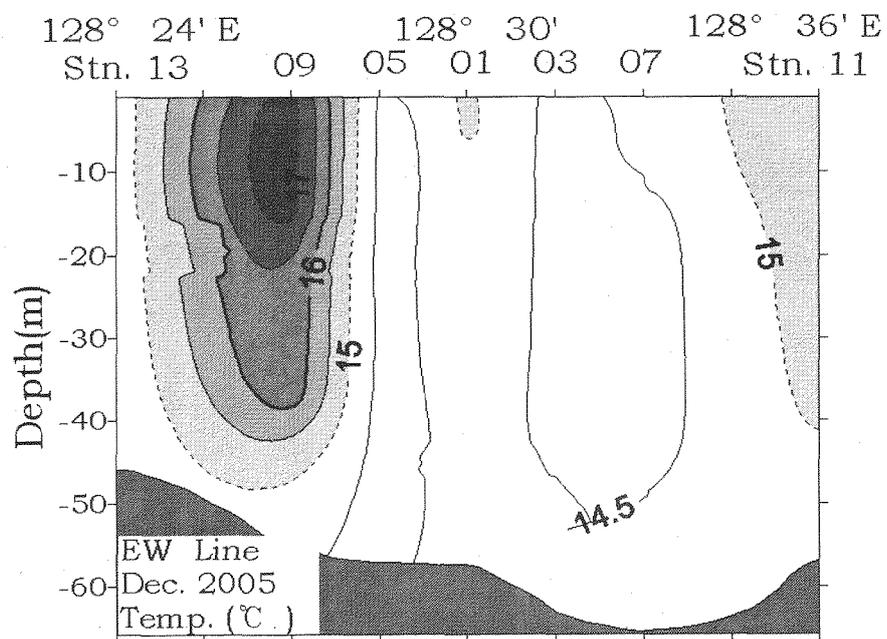
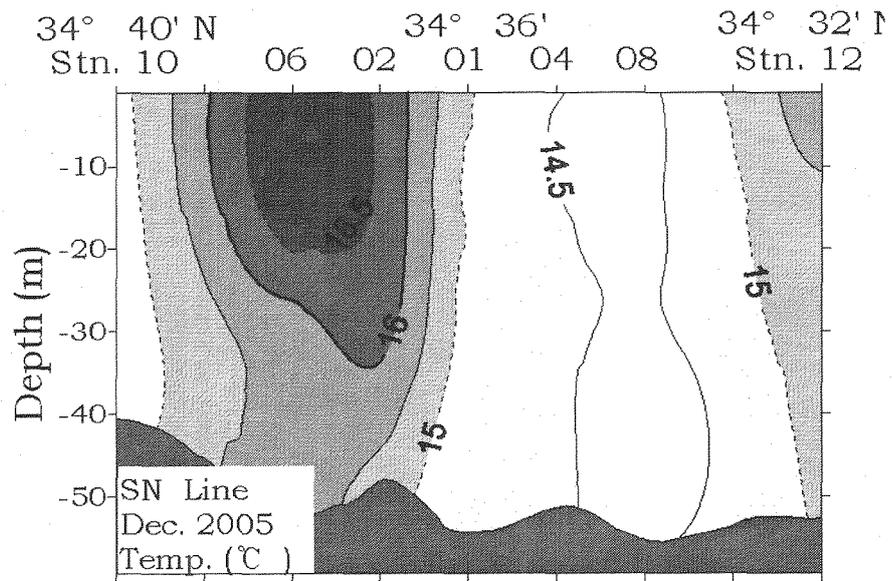


그림 1-1-5. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 수온 연직구조.

Fig. 1-1-5. Vertical distribution of temperature in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

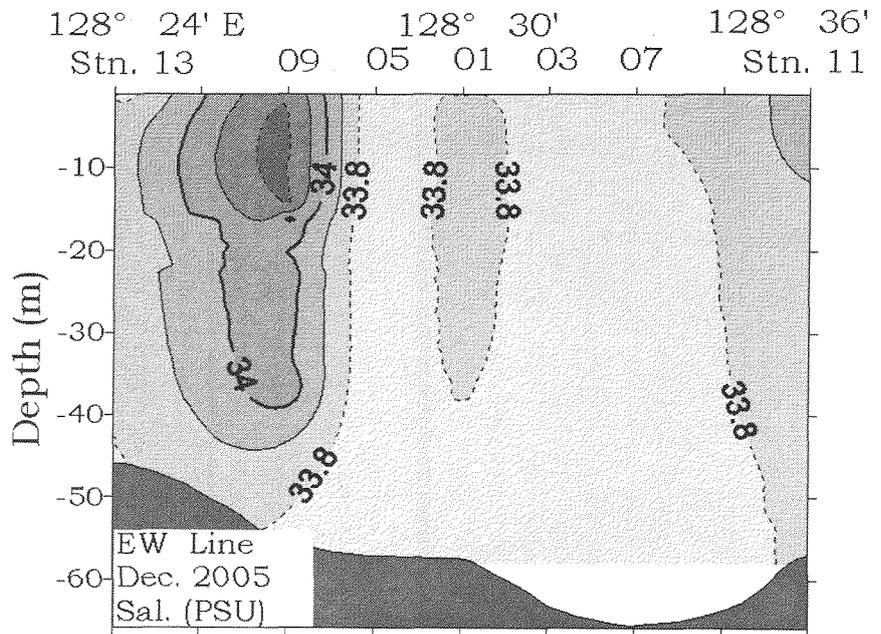
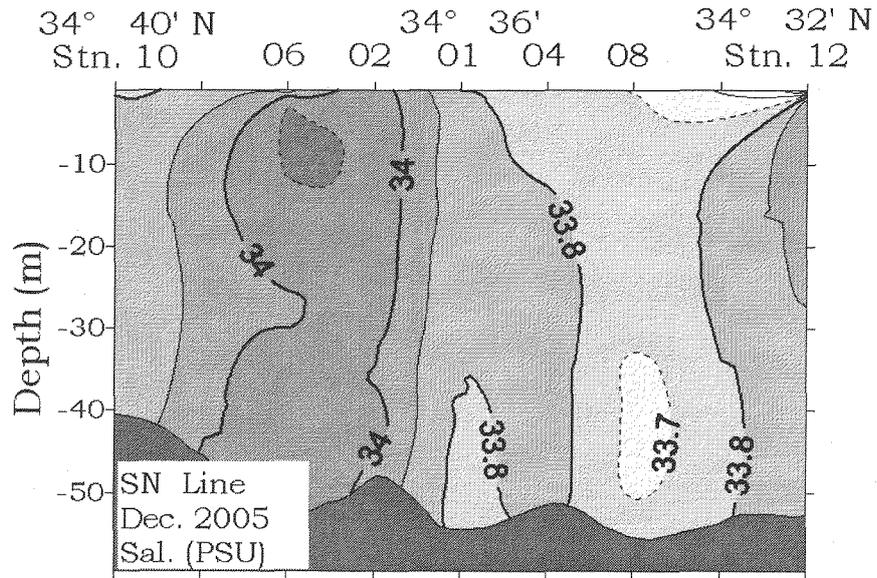


그림 1-1-6. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 염분 연직구조.

Fig. 1-1-6. Vertical distribution of salinity in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

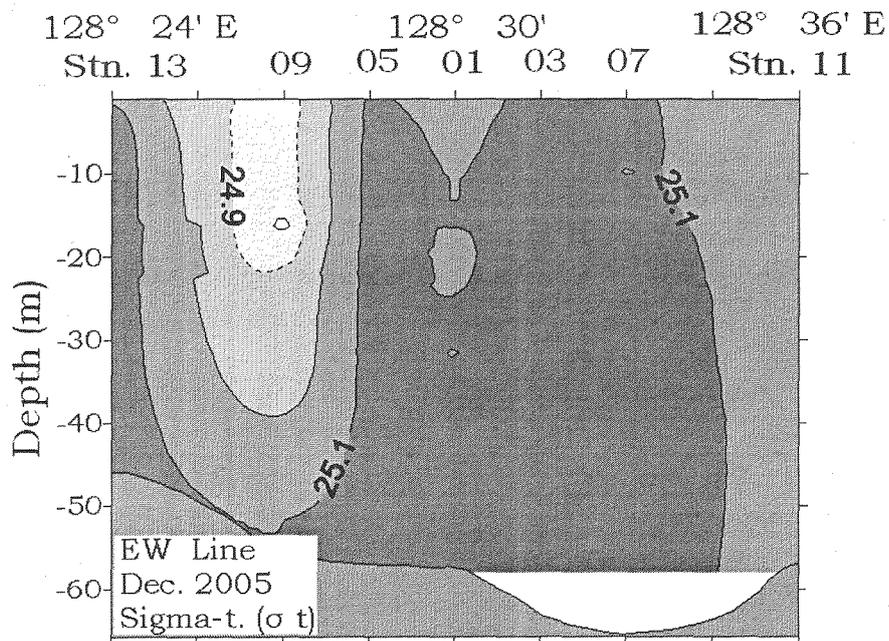
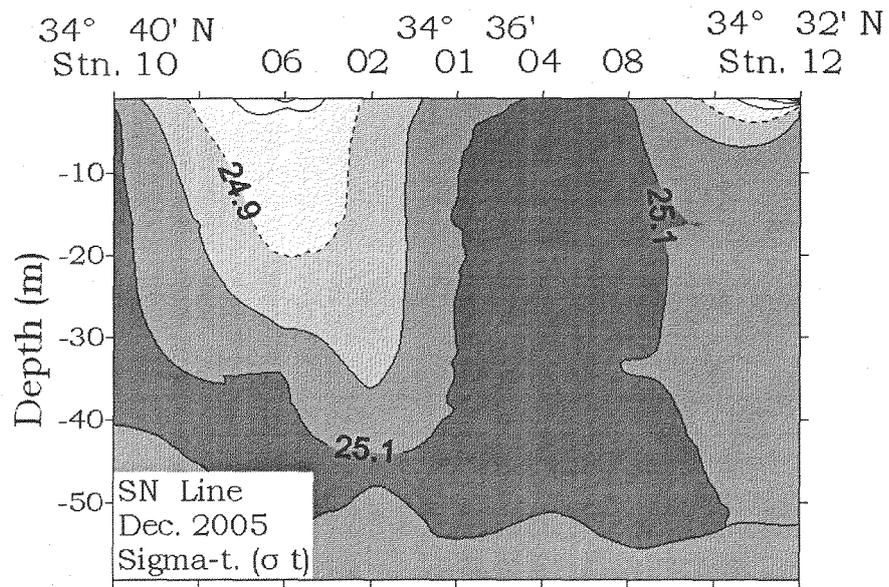


그림 1-1-7. 2005년 12월 9일 남북성분(상: SN Line) 및 동서성분(하: EW Line)의 sigma-t 연직구조.

Fig. 1-1-7. Vertical distribution of sigma-t in December 9, 2005 (SN Line: upper, EW Line: lower).

그림 1-1-8은 연구해역에 대한 계절적 수괴분포를 파악하기 위하여 1차년도(동계, 춘계 및 하계)와 2차년도(추계)의 수온 및 염분값을 이용하여 T-S도로 나타내었다. 동계(2005년 3월 2일)는 표·저층의 연직혼합으로 인하여서 균질한 수괴분포를 이루었고 수온과 염분의 범위는 각각 10.4~12.3°C 및 34.6~34.7psu로 변화가 작게 나타나는 수괴를 형성하였다. 춘계(2005년 5월 3일)에서의 염분의 범위는 동계와 비슷하였으나 수온의 범위는 동계보다 약 3.0°C 정도 상승하였다. 춘계에는 동계보다 수온이 상승하였으나, 아직 성층을 이루지는 못하였고 동계와 비슷한 범위를 나타내었다. 하계(2005년 8월 4일)의 수괴는 수온이 약 14.0~25.5°C, 염분은 31.1~33.8psu로써 넓은 범위의 해수가 존재하고 있으며, 표층과 저층간의 강한 성층이 형성하고 있음을 알 수 있다. 추계(2005년 12월 9일)의 수온과 염분은 14.2~17.1°C, 33.1~34.2psu의 범위로 하계에 비하여 변화가 작게 나타난 것을 볼 수 있다. 따라서 이 지역은 하계 표층과 저층간의 성층이 형성되고 추계에서 동계로 갈수록 성층은 파괴되며, 표층과 저층간의 연직혼합이 발생하여 거의 균질한 해수가 존재하고 있다는 것을 알 수 있다.

그러나 성층이 파괴되기 시작하는 추계 및 동계에서는 표·저층간의 수괴가 거의 균질하기 때문에(그림 1-1-8) 이 시기에는 구조물에 대한 수온 및 염분의 변화는 아주 미약하게 나타난다.

연구해역의 구조물에 의한 수온 및 염분분포의 변화양상을 그림 1-1-9로 설명할 수 있다. 그림 1-1-9는 구조물 투하전인 2002년 9월과 구조물 투하 후인 2005년 8월의 수온 및 염분의 동서-남북방향의 연직구조를 나타낸 것이다. 구조물 투하 후인 2005년 8월의 수온의 연직분포를 보면 수심 20m 전후에서 강한 성층이 존재하고 있다. 또한 수심 30m 이심에서의 수온은 균질한 분포를 보이고 있으며 표층과 저층간의 수온 차는 약 10.0°C로 아주 크게 나타났다. 염분의 분포를 보면 수심 10m 이천에 32.5psu의 등염선이 존재하고 있으며 수심 25m 이심에서 33.5psu의 고농도의 염분이 저층에 걸쳐

서 균질하게 분포하고 있다. 따라서 2005년 하계 수온과 염분의 연직분포는 표층에서 저층으로 갈수록 고염분 및 저수온 분포를 나타내고 있다. 또한 수심 10~20m에 걸쳐서 강한 수온약층 현상이 나타나고 있다.

구조물 투하 전과 투하 후의 수온과 염분분포를 비교해 보면, 투하 전인 2002년 9월의 성층 형성 수심은 약 30~40m에 존재하였으나 구조물 투하 후인 2005년 8월에는 성층이 수심 약 10~20m로 성층형성 수심이 얕아졌다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 구조물 투하 후에 구조물의 영향으로 인하여 저층의 저수온 및 고염분의 해수가 상층으로 용승되어 상층부의 수온 및 염분 분포에 영향을 미쳤다고 판단된다. 즉, 구조물 투하 후의 정점 01에서 용승효과로 인한 수온의 하강 및 염분의 상승 구조를 보이고 있다.

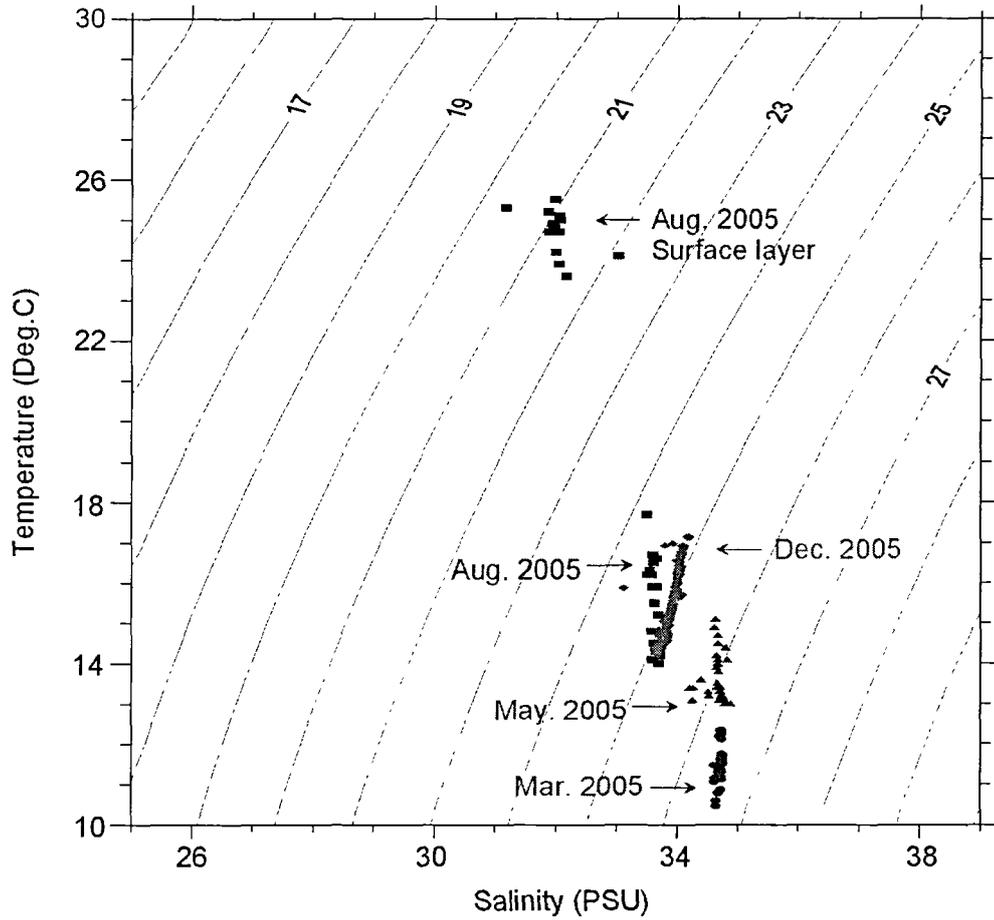


그림 1-1-8. 2005년 3월 2일, 5월 3일, 8월 4일 및 12월 9일에 관측한 수괴의 T-S도.

Fig. 1-1-8. T-S diagram of water masses observed on March 2, May 3, August 4 and December 9, 2005.

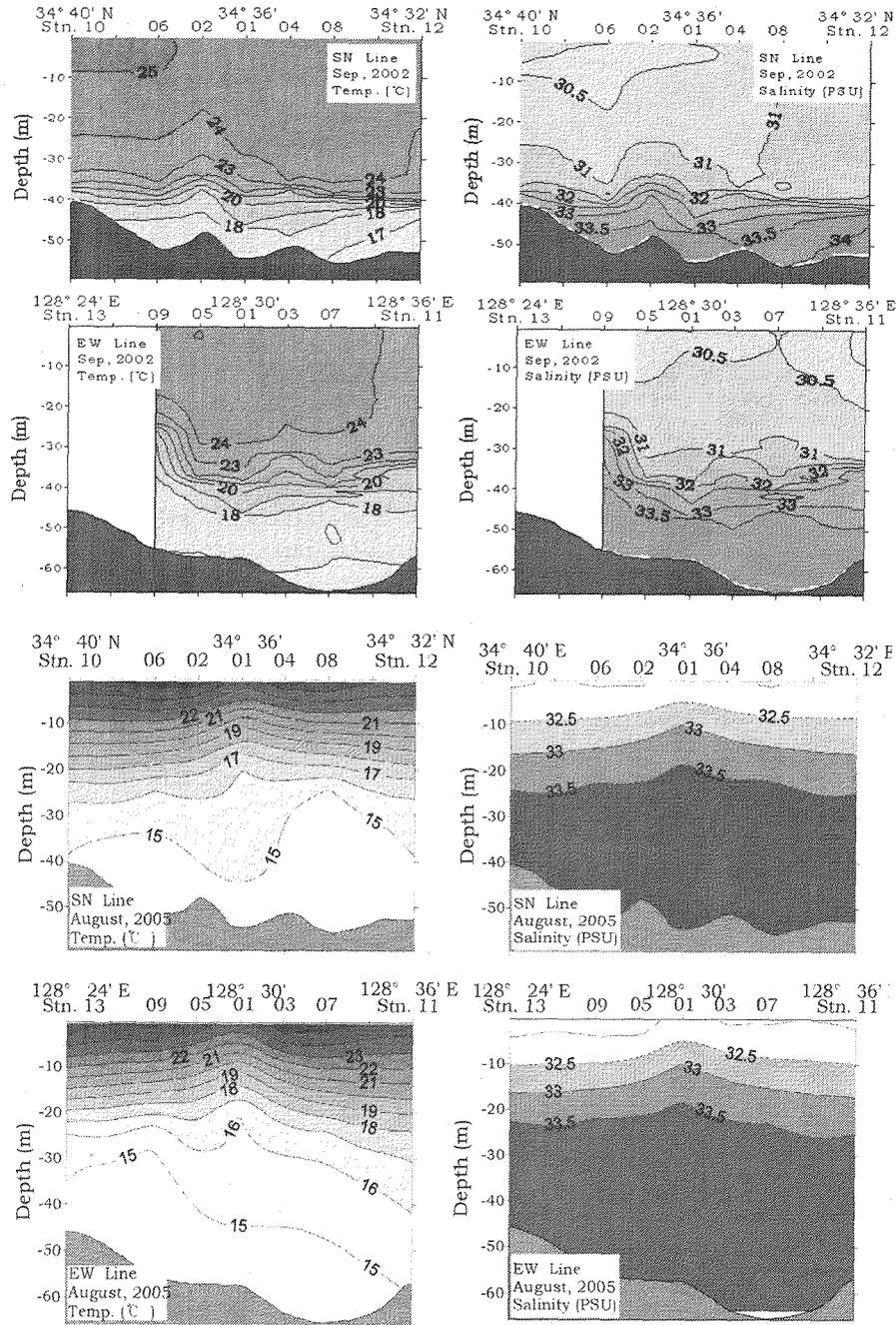


그림 1-1-9. 2002년 9월과 2005년 8월의 수온 및 염분의 연직구조. SN Line 은 남북방향이고 EW Line은 동서성분.

Fig. 1-1-9. Comparison of vertical distribution of temperature and salinity in September, 2002 and August, 2005. SN Line is South-North Component and EW Line is East-West Component.

연구해역에서 해조류의 양상을 파악하기 위하여 소조기 및 대조기시에 정점 B 및 정점 C에서 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 자료 분석에 이용한 관측 데이터는 수심 4m간격으로 총 12개 층에 대한 유속 데이터를 사용하였다.

그림 1-1-10은 구조물 투하지점에서 동남쪽으로 약 2km 떨어진 정점 C에서 관측한 표층(8m), 저층(52m)과 전체 층별 동서방향과 남북방향성분(U-V 성분)의 조류 분산도를 나타내었다. 표층(8m)에서의 분포는 동-서방향의 주류를 이루는 분포가 나타났고, 저층(52m)에서의 분포도 표층과 유사한 동-서방향이 주류를 이루는 분포가 나타났다. 전체 층별 분산도를 살펴보면, U 성분의 범위는 $-57.0 \sim 65.3 \text{cm/s}$ 가 나타났고 V 성분은 U 성분보다 작은 범위인 $-25.4 \sim 21.1 \text{cm/s}$ 가 나타났다. 2005년 11월 10일~11일 소조기시의 전체적인 조류의 분산분포는 남북성분이 동서성분보다 작은 분포를 나타내고 있었으며 주축의 방향이 동-서방향이 되는 분포가 나타났다.

그림 1-1-11은 구조물 투하지역인 정점 B에서 관측한 표층(8m), 저층(52m)과 전체 층별 동서방향과 남북방향 성분(U-V성분)의 조류 분산도를 나타내었다. 유동관측시기가 대조기시에 관측이 이루어져 일반적으로 소조기시인 11월 10일~11일의 분산분포보다 큰 값이 나타났으며, 그 세기의 범위도 넓게 나타났다. 표층(8m)과 저층(52m)의 분포는 북서-남동방향의 주축성분이 주를 이루었고, 전체적인 분포도 이와 유사하게 나타났다. 전체적인 U 성분의 범위는 $-78.9 \sim 75.6 \text{cm/s}$ 가 나타났고, V 성분은 $-38.3 \sim 50.7 \text{cm/s}$ 의 범위가 나타나 소조기시보다 분산범위는 크게 나타났지만 이 시기에도 정점 C에서의 소조기의 결과와 같이 V 성분범위가 U 성분범위보다 작게 나타났으며 그 주축방향은 북서-남동방향의 성분이 주류를 이루었다.

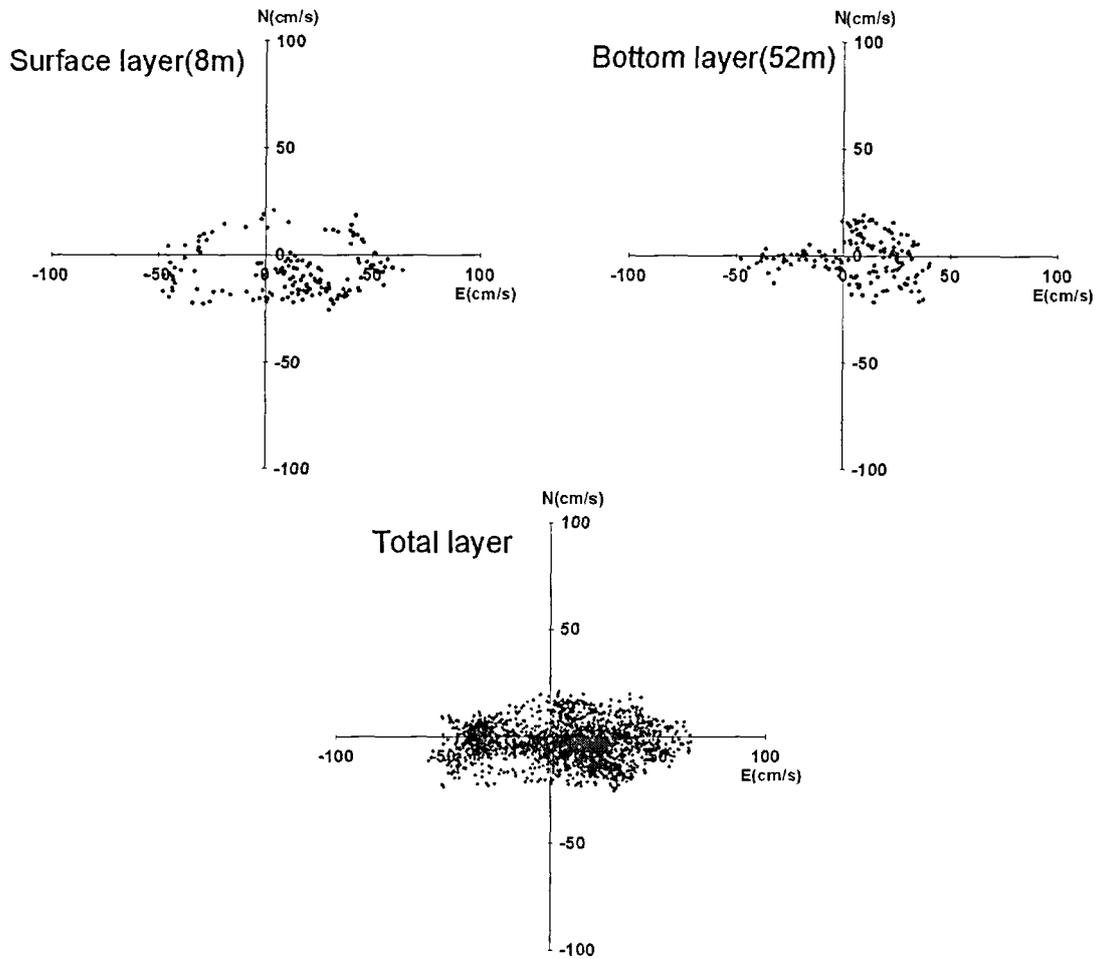


그림 1-1-10. 2005년 11월 10일~11일에 정점 C에서 관측한 조류 분산도.
 Fig. 1-1-10. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st. C in November 10~11, 2005.

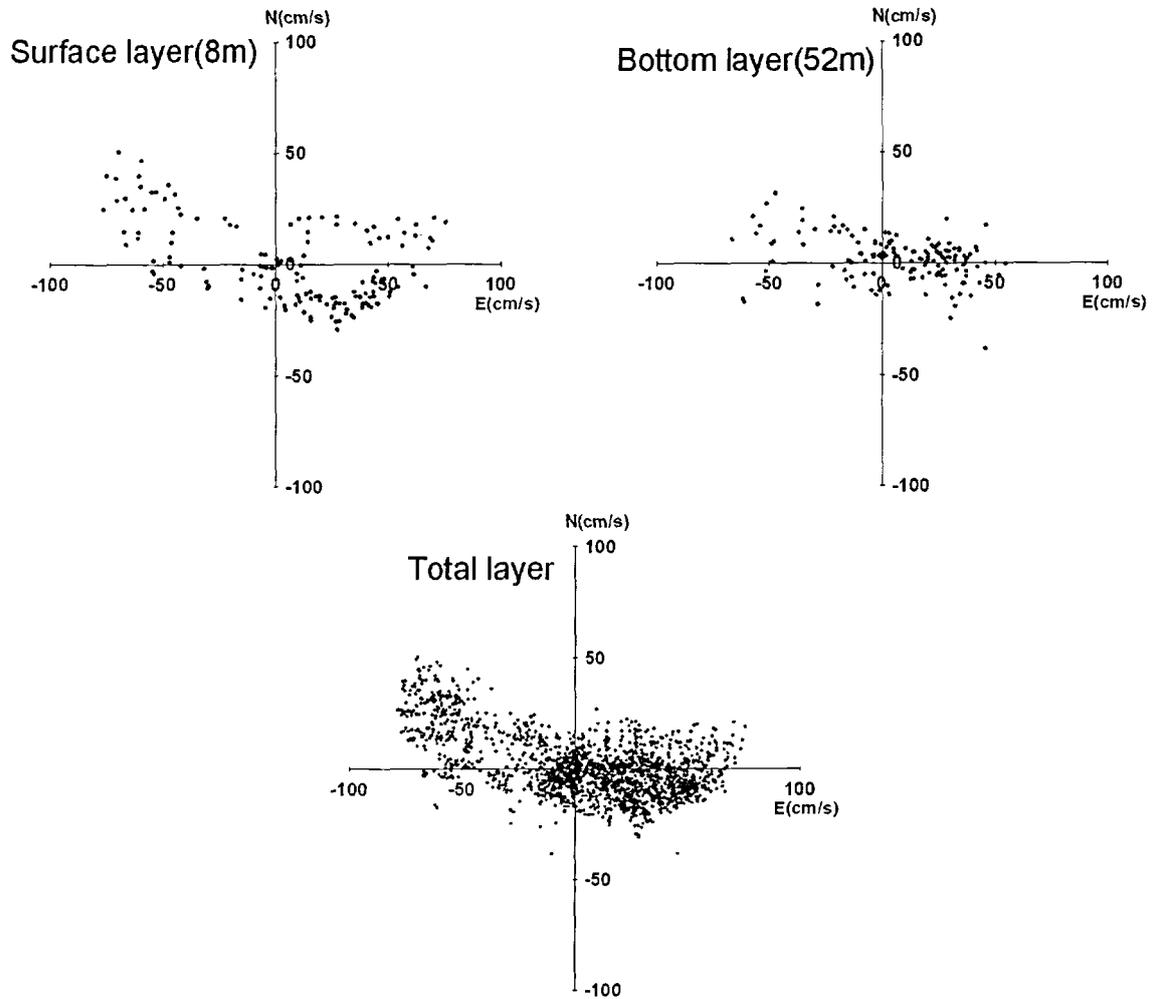


그림 1-1-11. 2005년 11월 30일~12월 1일에 정점 B에서 관측한 조류 분산도.
 Fig. 1-1-11. Scatter plot of current with the depth of the mooring site st. B in November 30~December 1, 2005.

그림 1-1-12는 2005년 11월 10일~11일과 11월 30일~12월 1일에 각각 정점 C(128° 31'E, 34° 35'N)와 정점 B(128° 30'E, 34° 36'N)에서 실시한 유동관측의 동서방향과 남북방향성분(U-V 성분)의 연직분포도를 나타낸 것이다. 2005년 11월 10일~11일 소조기시에 실시한 유동구조의 U-V 연직분포를 보면, 시간에 따라서 흐름의 U 성분은 서향류(-)에서 동향류(+), 동향류(+에서 서향류(-)로의 반복되는 성분이 약 6시간 주기로 표층과 저층에 걸쳐 나타났다. V 성분은 구조물 구축수심(수심 30~45m, 저층에서부터 20m)에서 약 10cm/로 U성분보다 유속이 작게 분포하였으며, 표층과 저층에서의 흐름이 반대가 되는 분포가 나타났다. 2005년 11월 30일~12월 1일까지 대조기시에 실시한 U-V 성분의 연직분포를 보면, U 성분은 11월과 마찬가지로의 분포를 보이는 동향류(+에서 서향류(-), 서향류(-)에서 동향류(+로)의 흐름이 나타났다. V 성분을 살펴보면 북향성분보다 남향성분이 많이 분포하였으며, 저층으로 갈수록 흐름이 약해지는 양상이 나타났다.

표 1-1-1. 2차년도 유동관측의 통계치

Table 1-1-1. Statistics of observed current

2005년		Minium		Maxium		평균류		평균유속 (cm/s)
		유속 (cm/s)	유향 (°)	유속 (cm/s)	유향 (°)	유속 (cm/s)	유향 (°)	
11월	표층 (8m)	4.2	205	64.5	96	14.1	124	31.4
	중층 (28m)	0.8	293	61.7	85	4.8	108	24.2
	저층 (52m)	2.4	225	47.9	268	7.1	91	21.8
12월	표층 (8m)	0.1	106	86.3	306	6.7	88	39.1
	중층 (28m)	0.2	109	83.1	295	3.2	80	35.1
	저층 (52m)	0.2	357	67.5	279	7.8	75	23.3

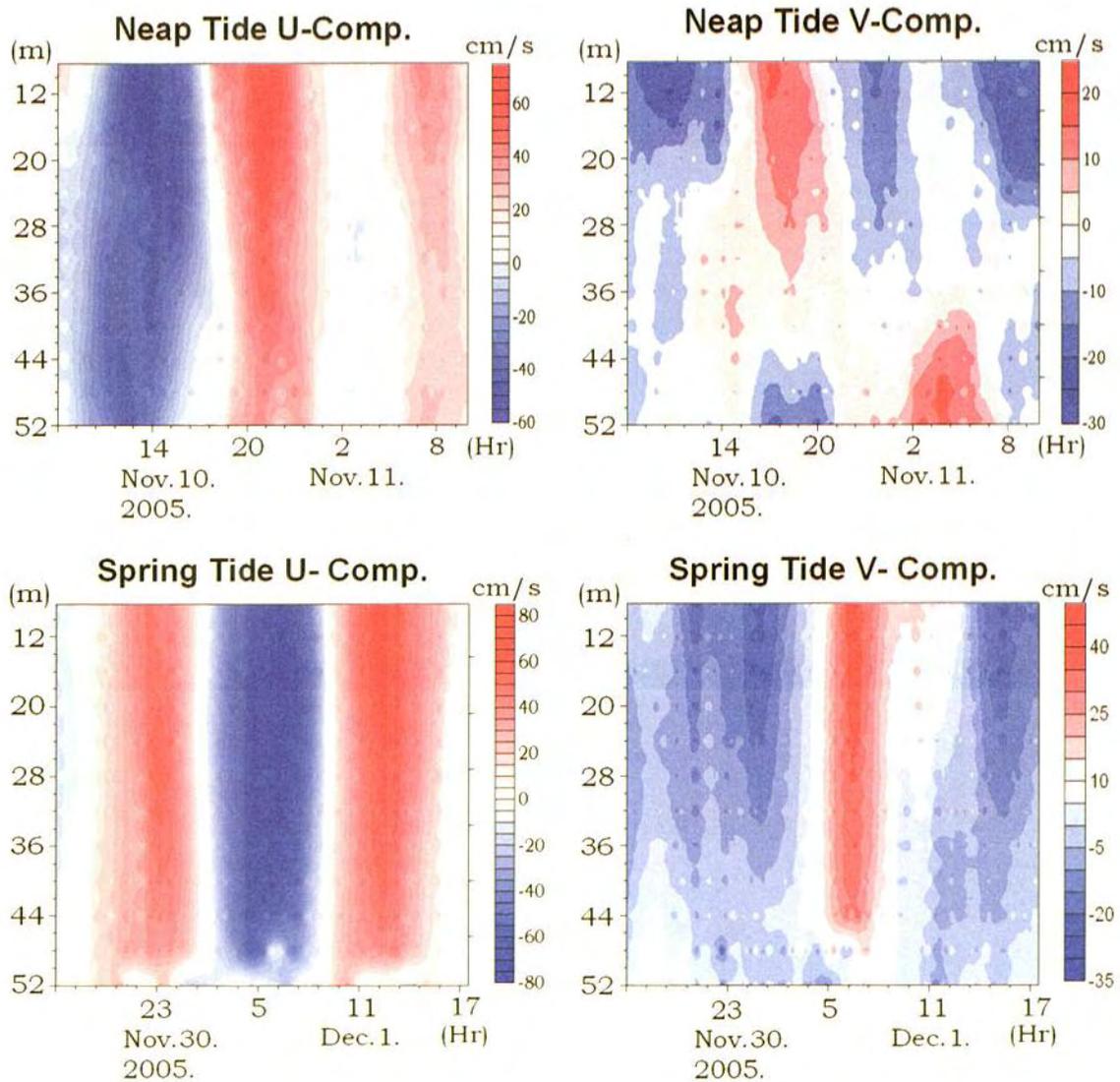


그림 1-1-12. 2005년 11월 10일~11일(좌)과 11월 30일~12월 1일(우) 정점 A에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-1-12. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st. B and C in November 10~11(left) and November 30~December 1(right), 2005.

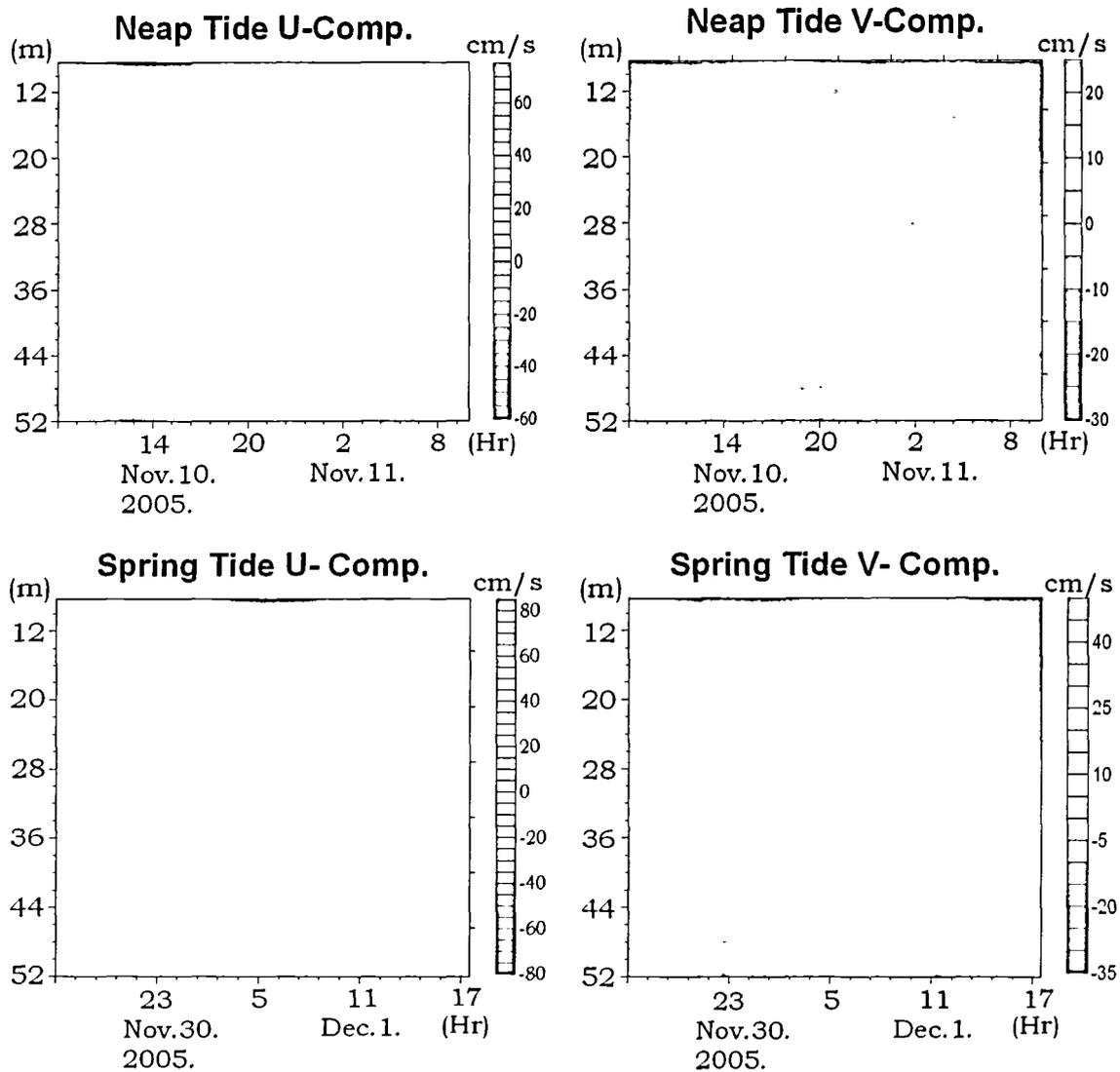


그림 1-1-12. 2005년 11월 10일~11일(좌)과 11월 30일~12월 1일(우) 정점 A에서 관측한 U-V성분의 연직 분포도.

Fig. 1-1-12. Vertical distribution of U-V components with the depth of the mooring site st. B and C in November 10~11(left) and November 30~December 1(right), 2005.

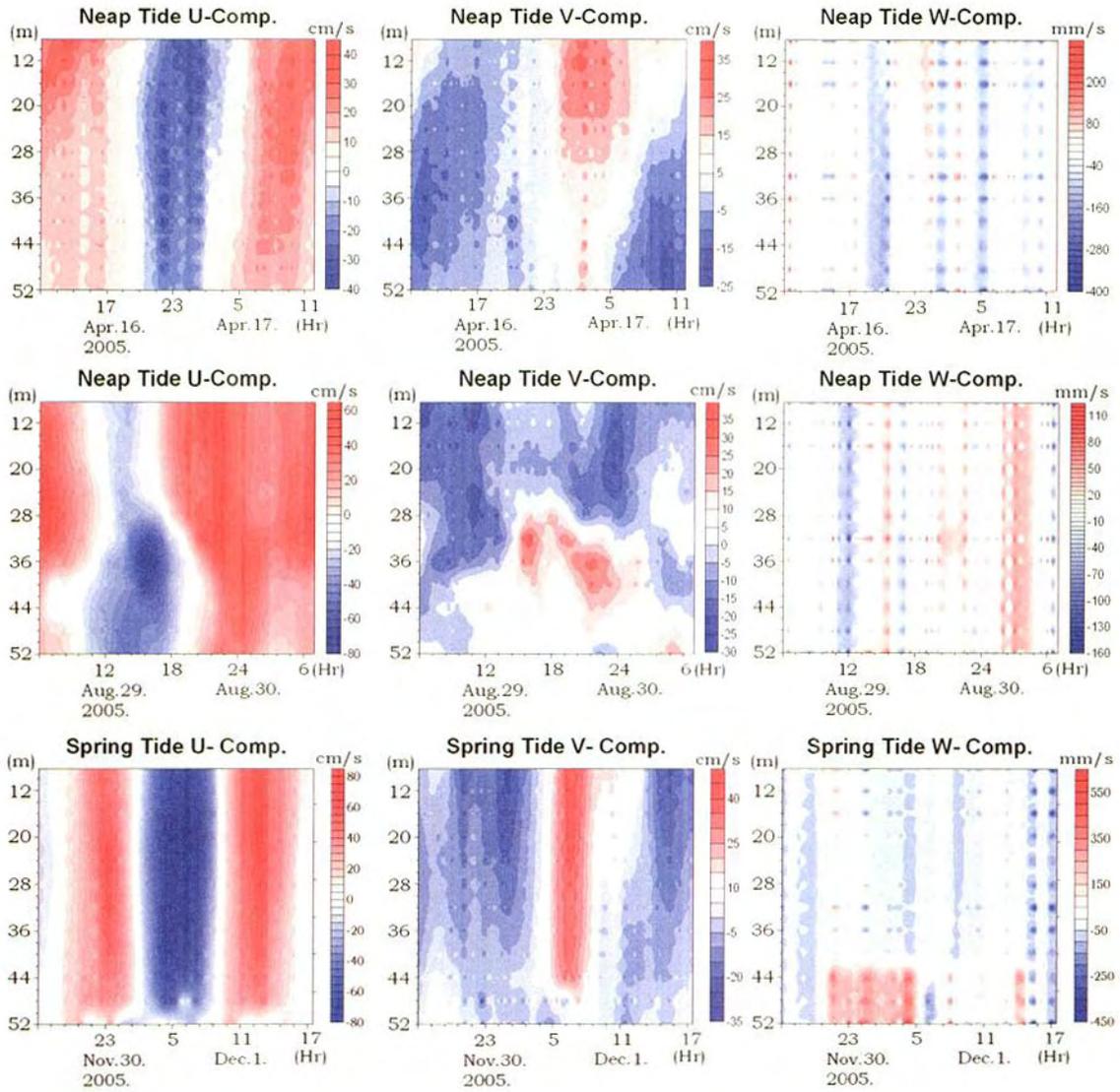


그림 1-1-13. 2005년 정점 B에서 관측한 U-V-W성분의 연직 분포도.
 (상단 : 2005년 4월 16~17일, 중단 : 2005년 8월 29~30일,
 하단 : 2005년 11월 30~12월 1일)

Fig. 1-1-13. Vertical distribution of U-V-W components with the depth of the mooring site st. B. (upper panel : April 16~17, 2005. middle panel : August 29~30, 2005. lower panel : November 30~December 1, 2005.

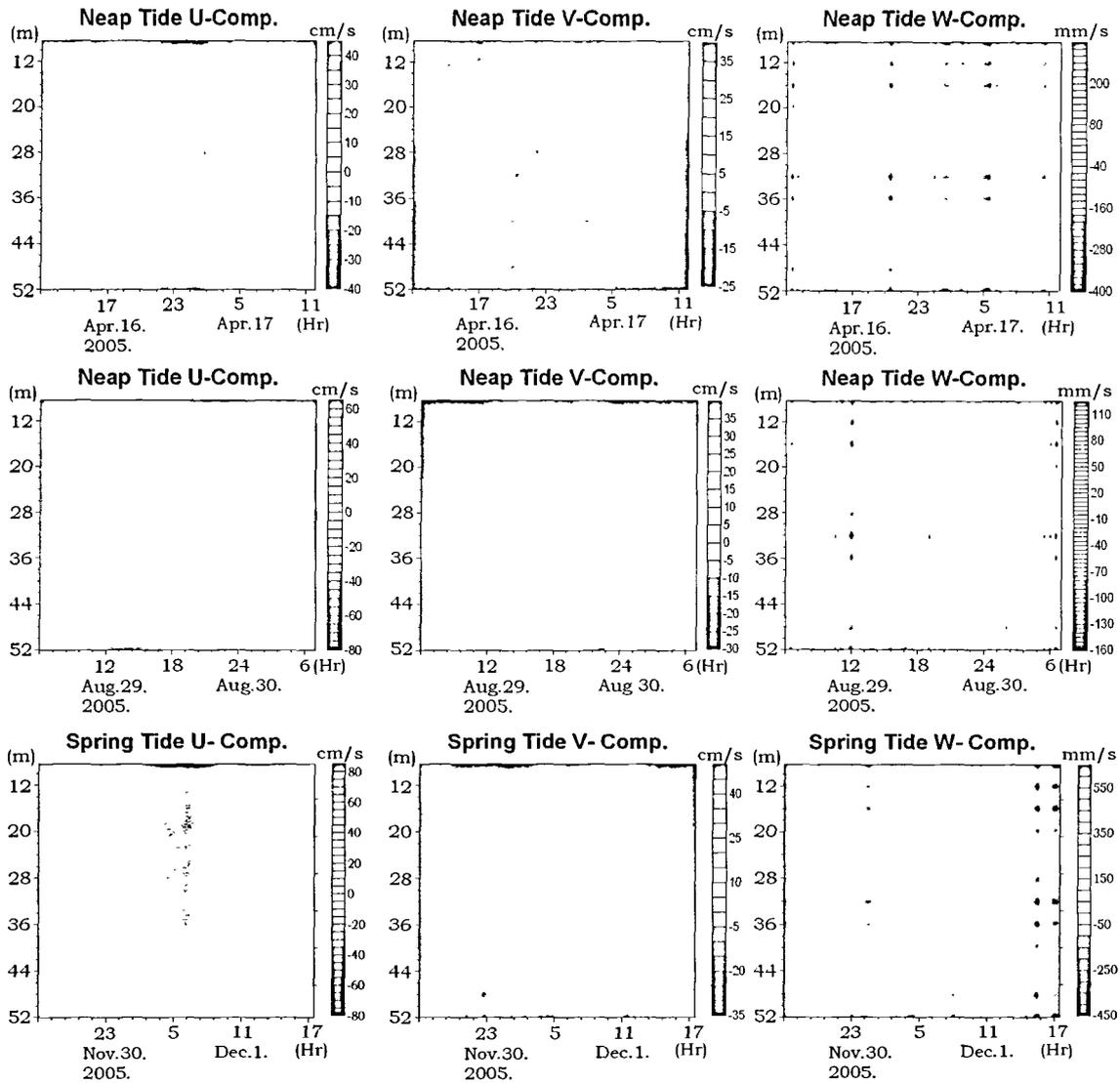


그림 1-1-13. 2005년 정점 B에서 관측한 U-V-W성분의 연직 분포도.
 (상단 : 2005년 4월 16~17일, 중단 : 2005년 8월 29~30일,
 하단 : 2005년 11월 30~12월 1일)

Fig. 1-1-13. Vertical distribution of U-V-W components with the depth of the mooring site st. B. (upper panel : April 16~17, 2005. middle panel : August 29~30, 2005. lower panel : November 30~December 1, 2005.)

그림 1-1-13은 2005년 4월 16~17일, 8월 29~30일과 11월 10~11일에 실시한 구조물 투하지점인 정점 B(128° 30'E, 34° 36'N)에서 실시한 유동관측의 U-V-W 성분의 연직분포도를 나타낸 것이다. 4월의 유동관측결과는 구조물 투하 전을 나타내고 8월과 12월의 유동관측결과는 구조물 투하 후를 나타낸다.

구조물 투하 전과 구조물 투하 후의 동서남북 및 연직방향성분(U-V-W 성분)의 분포를 비교 하였을 때, 구조물 투하전인 4월의 동서성분(U 성분)과 남북성분(V 성분)의 분포는 표층과 저층에서 층별 유속의 크게 나지 않았으며, 약 6시간의 주기로 유향이 바뀌었다. 또한 연직성분인 W 성분의 분포를 보면, 저층으로 하강(downwelling)하는 성분(그림 scale의 - 값)이 상승(upwelling)하는 성분(그림 scale의 + 값)보다 크게 나타났다. 구조물 투하 후인 8월의 유동결과에서 U 성분은 층별 유속차가 크게 나타나지 않는 균일한 크기의 유속분포가 나타났지만 V 성분에서는 1차년도 구조물 구축수심(구조물 높이 18m, 수심 약 40m)에서 구조물에 의한 효과로 주변에 흐름이 변화하는 양상이 나타났다. W 성분에서는 구조물 투하전보다 상승하는 (+) 성분이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 12월의 연직분포결과에서도 8월과 마찬가지로 U 성분은 비슷한 분포 형태를 나타냈지만 V 성분에서는 남향류가 북향류보다 더 강하게 나타나는 흐름이 나타났다. 이는 계절적 변화양상이 뚜렷한 연구해역에서 하계(8월)에는 성층이 형성되어 수층별 안정화가 이루어져 표·중층 및 저층에서 다른 유속분포가 나타났지만, 추계(12월)에서는 성층현상이 파괴되는 시기로 전수층의 혼합화가 진행되어 수층별 밀도 차이가 거의 나지 않는 분포가 나타나 이러한 계절적 변동이 유속분포에서도 영향을 미쳤다고 사료된다.

1.2 수질 환경 조사

1.2.1. 조사방법

해역의 수질조사는 2005년 11월 27일 실시하였고, 표 1-2-1과 같은 정점에서 실시하였다. 현장에서 Niiskin sampler를 사용하여 수층별로 3L씩 채수하였고, 채수한 시료수는 해양환경공정시험법에 따라 클로로필-a, SS, COD, 질소(질산성질소, 아질산, 암모니아), 인산 인, T-N, T-P를 분석하였다.

표 1-2-1. 조사해역의 수질조사결과 요약

Table 1-2-1. Statistics of observed seawater

ST.	WT (°C)	pH	Sal.	DO (mg/ℓ)	Chl-a. (mg/m ³)	SS (mg/l)
1	14.88± 0.14	8.06± 0.04	33.81± 0.02	5.96± 0.45	0.55± 0.20	9.00± 0.34
2	16.12± 0.39	8.08± 0.02	34.04± 0.01	5.62± 0.36	0.43± 0.18	8.74± 1.10
3	14.39± 0.01	8.07± 0.02	33.75± 0.00	6.12± 0.11	0.17± 0.05	8.49± 0.70
4	14.55± 0.03	8.07± 0.01	33.81± 0.05	6.12± 0.04	0.17± 0.08	7.95± 1.79
5	14.42± 0.03	8.04± 0.04	33.73± 0.01	6.04± 0.20	0.53± 0.20	8.36± 0.72
6	16.26± 0.62	8.05± 0.02	33.96± 0.15	5.41± 0.47	0.20± 0.12	9.26± 1.62
7	14.45± 0.14	8.05± 0.04	33.74± 0.02	5.96± 0.29	0.11± 0.09	7.86± 0.68
8	14.37± 0.12	8.06± 0.03	33.70± 0.03	6.05± 0.37	0.56± 0.23	9.45± 0.89
9	16.57± 0.51	8.06± 0.02	34.08± 0.08	5.95± 0.25	0.17± 0.04	9.04± 0.92
10	14.77± 0.05	8.05± 0.02	33.78± 0.07	5.85± 0.52	0.20± 0.13	8.25± 0.38
11	15.23± 0.24	8.09± 0.00	33.89± 0.04	5.92± 0.28	0.12± 0.10	9.12± 0.89
12	15.32± 0.54	8.06± 0.01	33.62± 0.44	5.74± 0.59	0.39± 0.02	6.61± 2.15
13	14.64± 0.09	8.08± 0.02	33.77± 0.08	5.69± 0.76	0.33± 0.24	8.60± 1.35

1.2.2 조사결과

조사정점별 수층별 수질조사결과를 요약하면 표 1-2-1과 같고, 수질조사 결과는 부록 1과 같다.

pH는 8.00-8.10의 범위였고, 해역의 평균 8.06 ± 0.03 이었다. 정점별로는 큰 차이가 없었고, 수심에 따른 특이적 경향도 관찰되지 않았다. 염분농도는 33.12-34.17의 범위였고, 해역평균 33.82 ± 0.17 였다. 정점별로 큰차이가 없었고, 수심에 따른 경향을 찾을 수 없었다.

해역의 용존산소(DO) 농도분포는 4.81-6.28 mg/l의 범위였고, 해역평균 5.88 ± 0.40 mg/l였다(그림 1-3-5). 정점별 용존산소 평균농도분포는 그림 1-3-6과 같다. 정점 06이 다른 조사정점에 비해 다소 낮았지만, 통계적 유의성을 찾을 수는 없었다(ANOVA test, $P=0.656$). 수평분포(그림1-2-1)를 살펴보면, 주로 정점 04와 정점 08에서 높게 나타났고, 정점 06에서 낮게 나타났다.

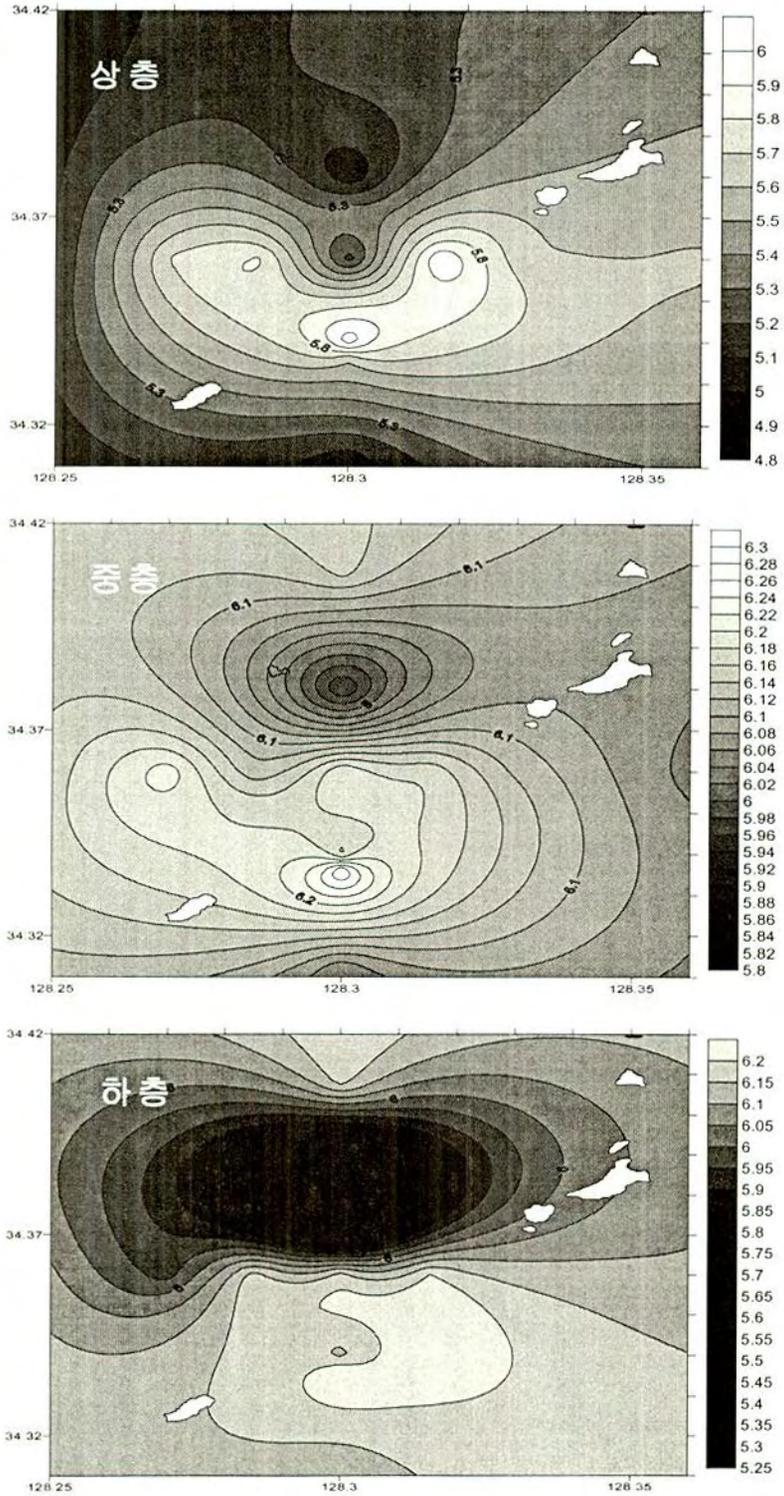


그림 1-2-1. 조사해역의 수층별 용존산소 분포도(2005년 11월).

Fig. 1-2-1. Horizontal distribution of dissolved oxygen in November, 2005.

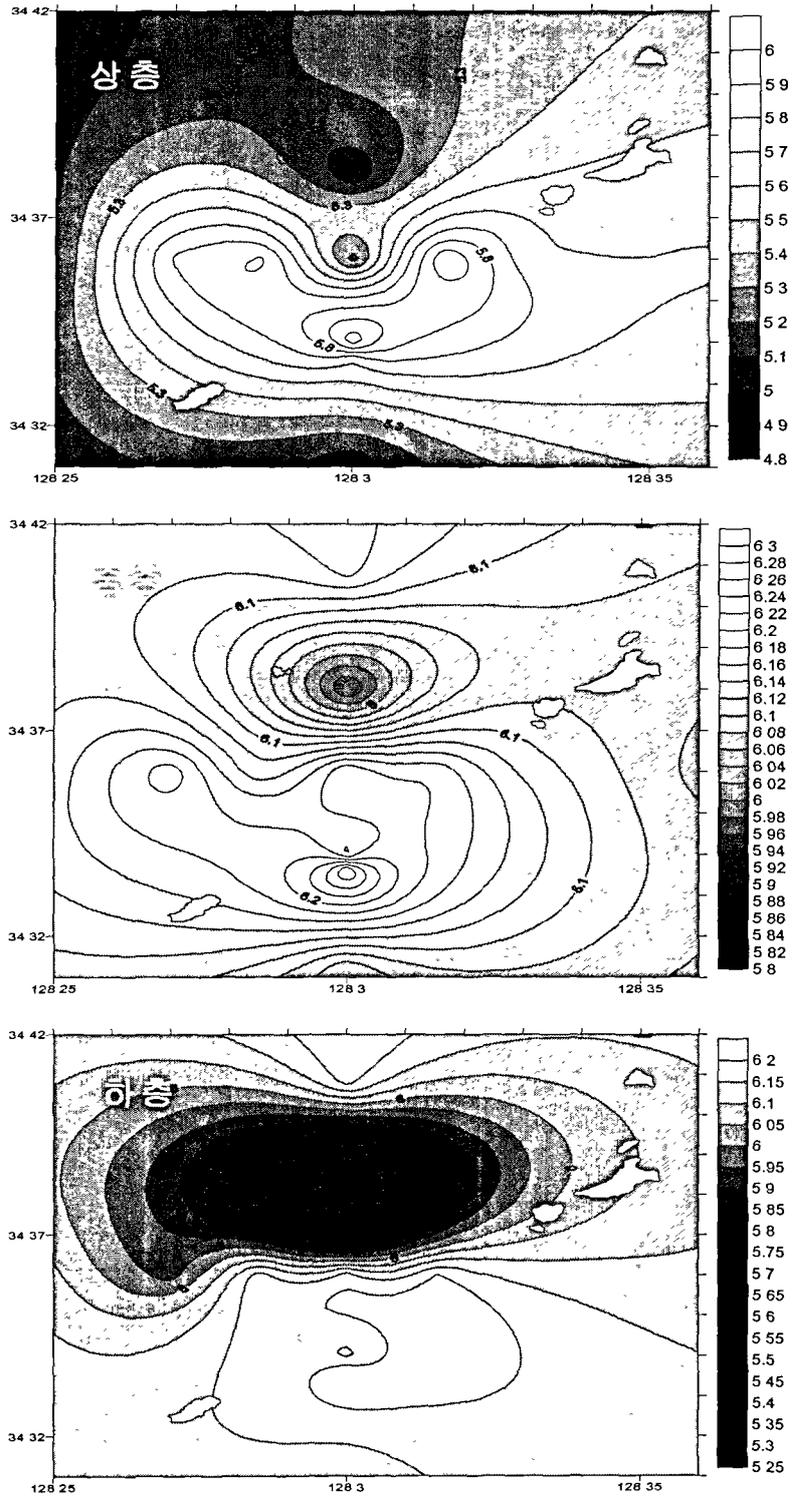


그림 1-2-1. 조사해역의 수층별 용존산소 분포도(2005년 11월).

Fig. 1-2-1. Horizontal distribution of dissolved oxygen in November 2005.

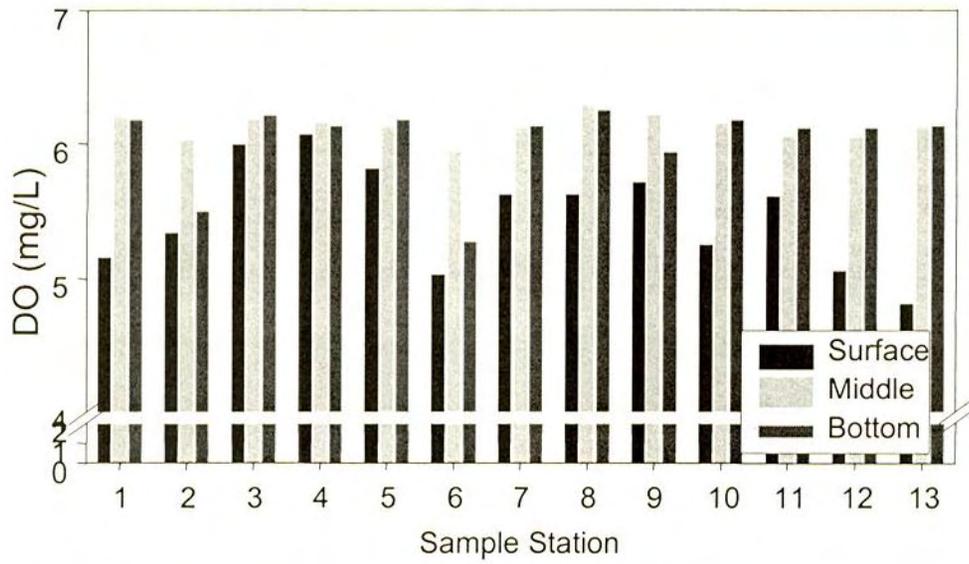


그림 1-2-2. 조사해역의 용존산소 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-2. Distribution of dissolved oxygen in November, 2005.

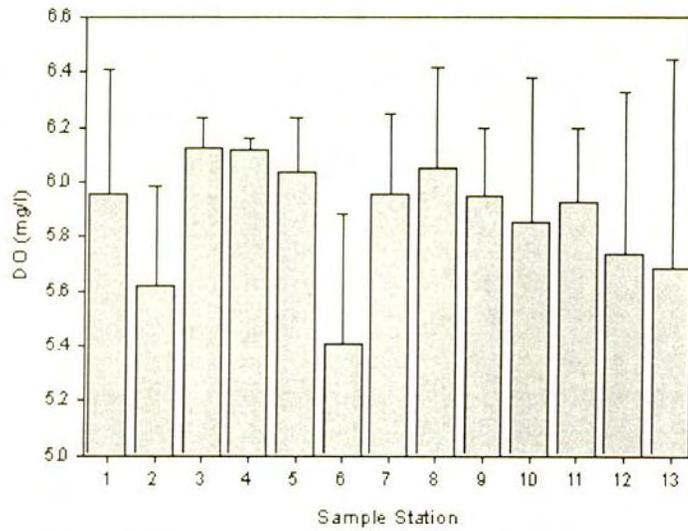


그림 1-2-3. 조사해역의 평균 용존산소 농도 (2005년 11월) (Bar는 표준편차).

Fig. 1-2-3. Mean value of dissolved oxygen in November, 2005.

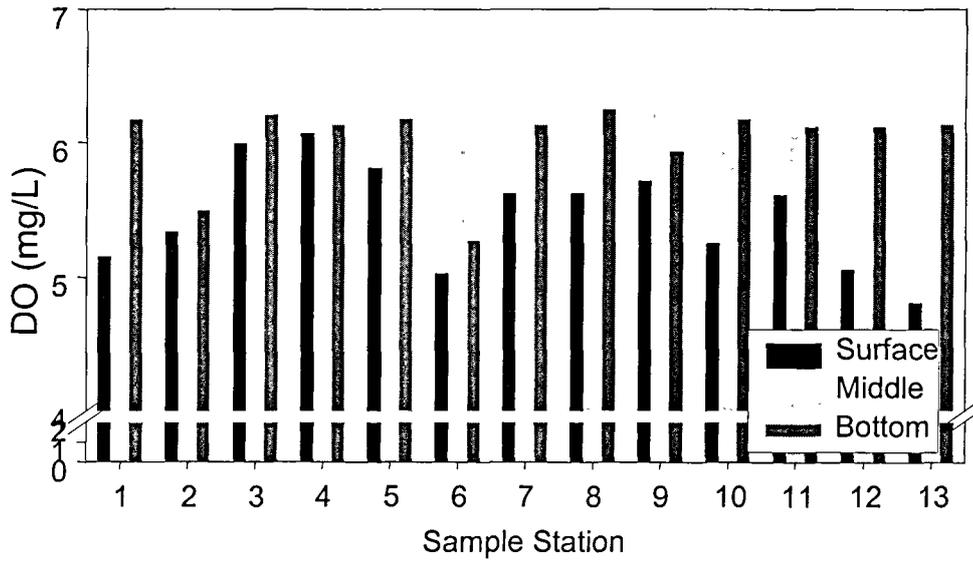


그림 1-2-2. 조사해역의 용존산소 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-2. Distribution of dissolved oxygen in November, 2005

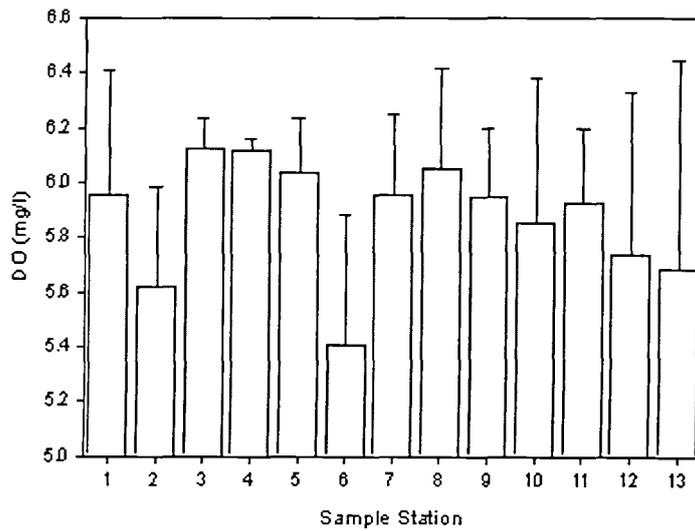


그림 1-2-3. 조사해역의 평균 용존산소 농도 (2005년 11월) (Bar는 표준편차)

Fig. 1-2-3. Mean value of dissolved oxygen in November, 2005.

조사해역의 클로로필-a 농도는 0.05-0.82 mg/m³의 범위였고, 해역평균은 0.31± 0.21mg/m³의 범위였다(그림 1-2-4). 조사정점별 평균 클로로필-a 농도는 그림 1-2-5와 같다. 조사정점별로 유의한 평균농도의 차이가 나타났고(ANOVA test, P=0.001), 가장 높은 농도의 정점 08을 기준으로 정점 03, 04, 07, 09, 11에서 유의한 차이가 나타났다. 그러나 이는 연안 해역에서 일반적으로 검출되는 클로로필-a 농도의 범위였다. 클로로필-a의 수평분포를 살펴보면, 정점 01의 주위가 다른 정점에 비해 다소 높게 나타났지만, 하층의 경우 이러한 증가세는 보다 명확하게 구분할 수 있다. 즉, 전체해역이 남서쪽에서 북동쪽으로 감소하는 추세를 보이지만, 정점 01 구역에서는 이러한 패턴에 역행하여 다시 증가하는 현상을 관찰할 수 있다(그림 1-2-6).

조사해역의 총 부유물질(SPM) 농도는 4.32-10.88 mg/l의 범위였고, 평균 8.54± 1.19 mg/l였다(그림 1-2-7). 정점별 평균을 비교하면(그림 1-2-8), 정점 12가 6.61 mg/l로 가장 낮았고, 정점 08이 9.45± 0.89 mg/l로 가장 높았지만, 통계적으로 유의한 정점간의 SS 농도차이는 나타나지 않았다(Kolmogrow-Smirnov ANOVA test, P=0.590).

인공구조물을 설치한 정점 01의 수질조사 항목의 연직 분포도를 살펴보면(그림 1-2-9), 수온은 상층이 하층에 약 0.5℃ 정도 높았고 염분도 수층간에 다소간의 차이는 있었지만, 수온과 염분에 의한 성층이 형성되지 않았다. 용존산소는 5-6mg/L로 저층이 다소 높았고, 클로로필-a는 수층에 따라 변동이 있었지만, 상층으로 향 할수록 다소간 증가하는 패턴을 보였다. 그러나 조사해역에서 측정된 수질항목은 전체적으로 연안해역의 범위내에 해당하였고, 시설물 설치이후 특이적인 물리적 수질항목의 변화는 관찰되지 않은 점 등을 고려해 볼 때, 이런 현상이 인공구조물에 의한 용승 때문에 발생한 것인지에 대해서는 보다 많은 연구가 필요하다.

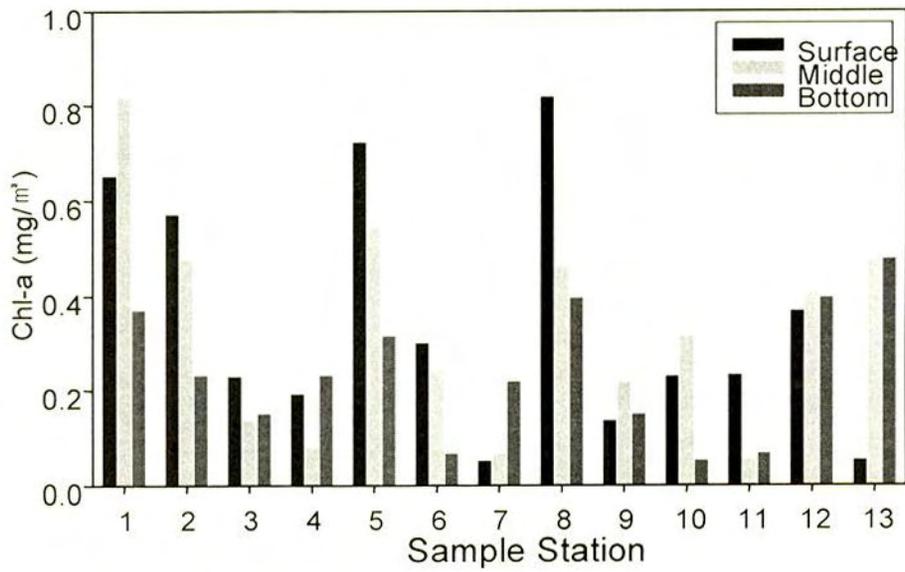


그림 1-2-4. 조사해역의 Chl-a 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-4. Distribution of chlorophyll-a in November, 2005.

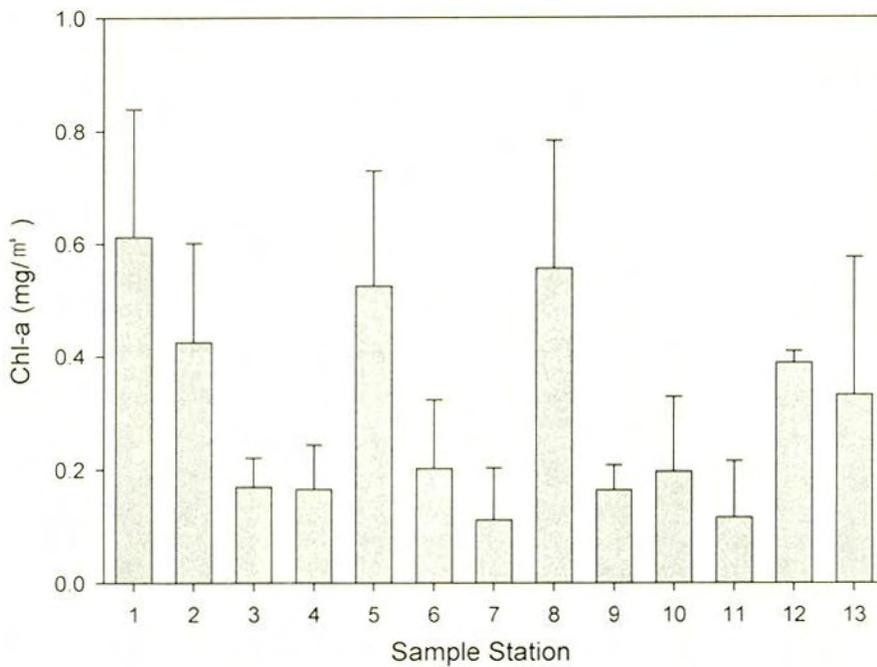


그림 1-2-5. 각 조사정점별 평균 Chl-a 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-5. Mean value of chlorophyll-a in November, 2005.

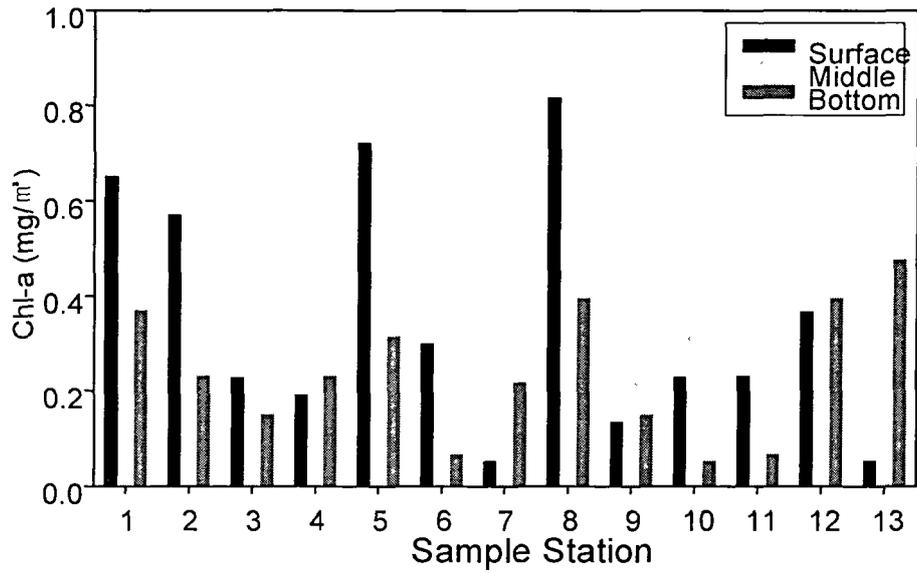


그림 1-2-4. 조사해역의 Chl-a 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-4. Distribution of chlorophyll-a in November, 2005

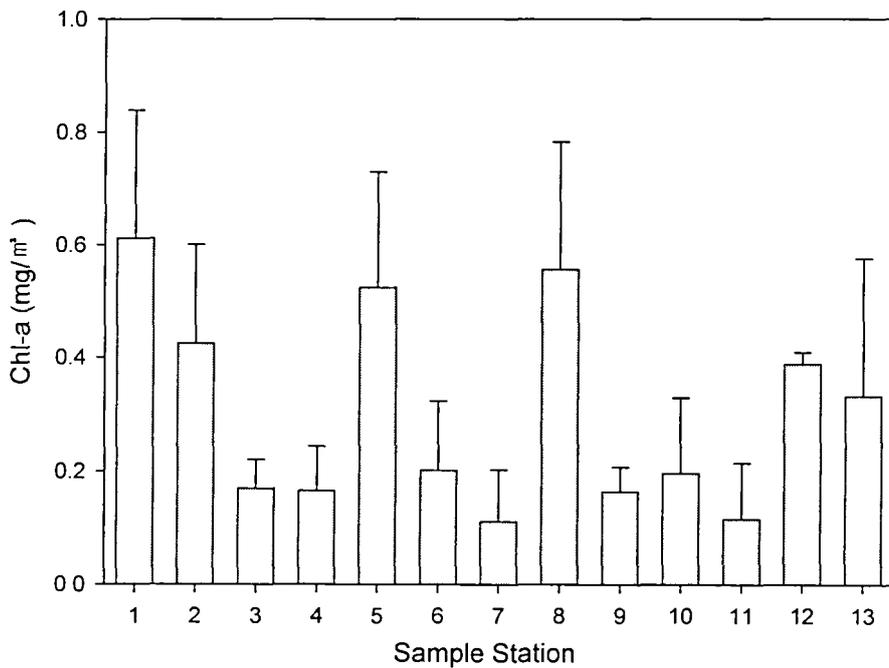


그림 1-2-5. 각 조사정점별 평균 Chl-a 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-5. Mean value of chlorophyll-a in November, 2005.

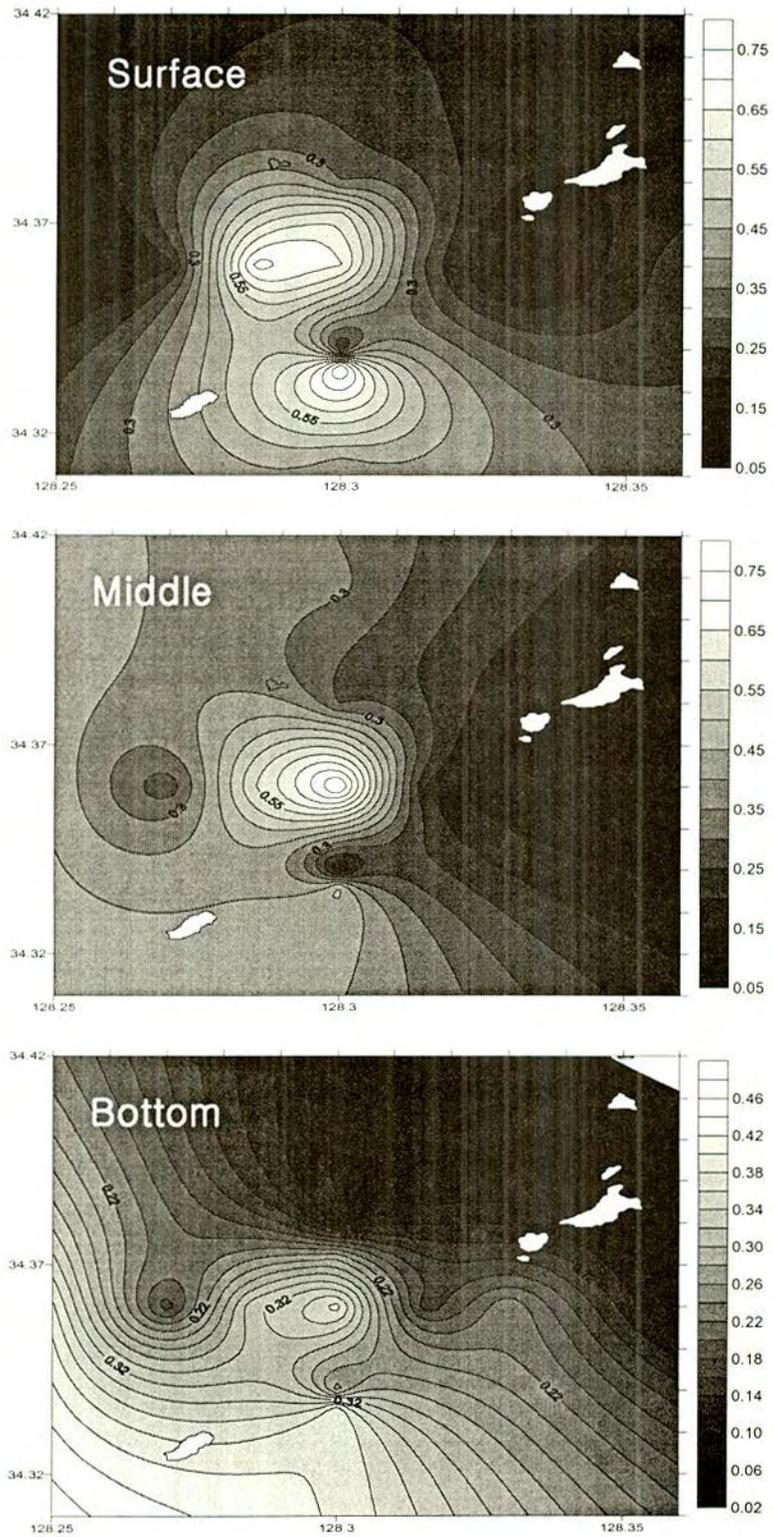


그림 1-2-6. 조사해역의 수층별 Chl-a 수평분포도(2005년 11월).

Fig. 1-2-6. Horizontal distribution of chlorophyll-a in November, 2005.

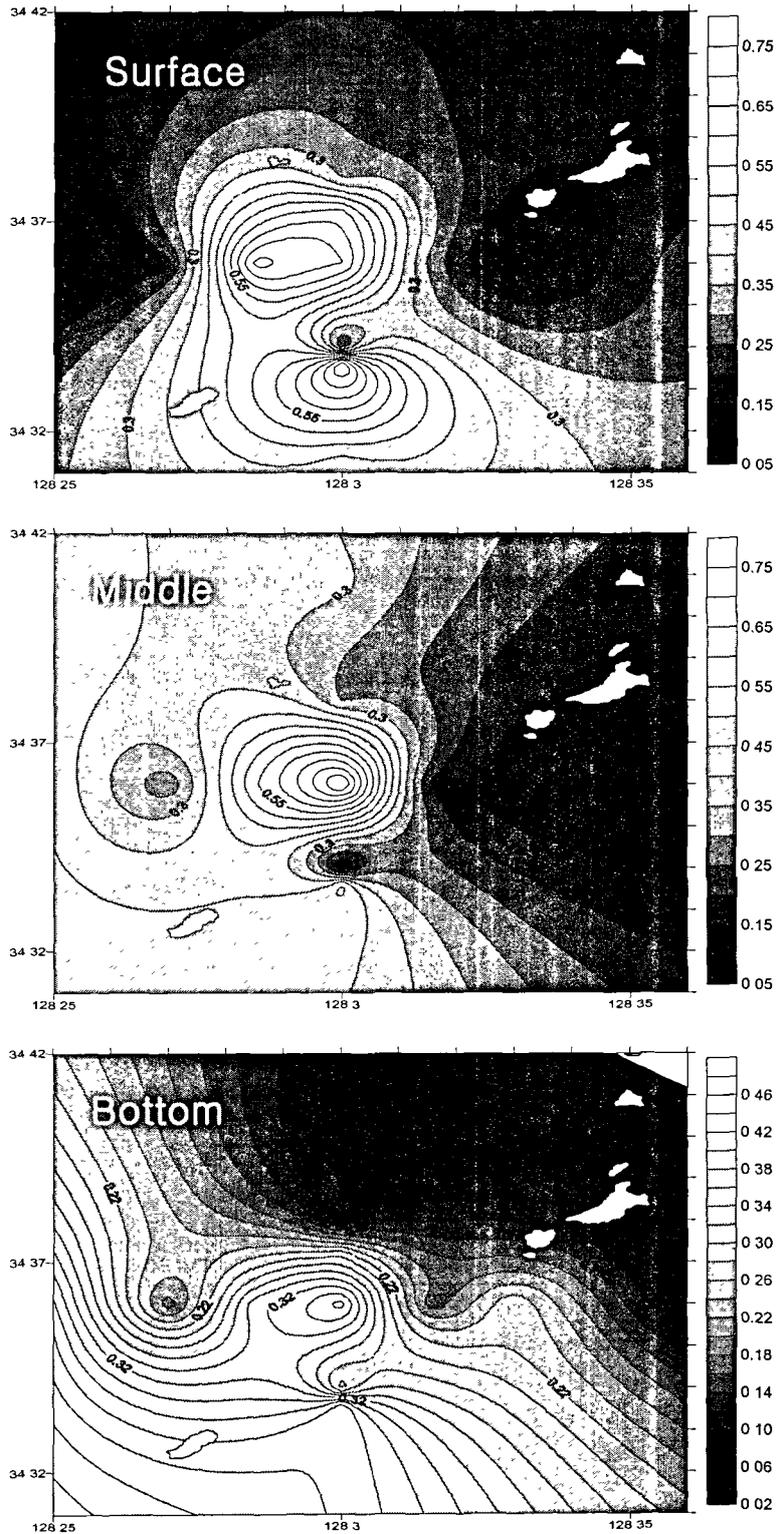


그림 1-2-6. 조사해역의 수층별 Chl-a 수평분포도(2005년 11월).

Fig. 1-2-6. Horizontal distribution of chlorophyll-a in November 2005.

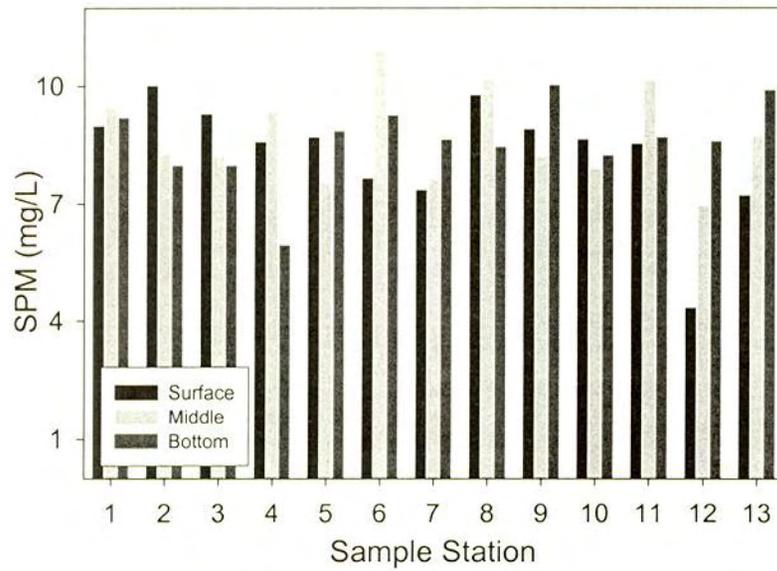


그림 1-2-7. 조사해역의 부유물질 농도 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-7. Distribution of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.

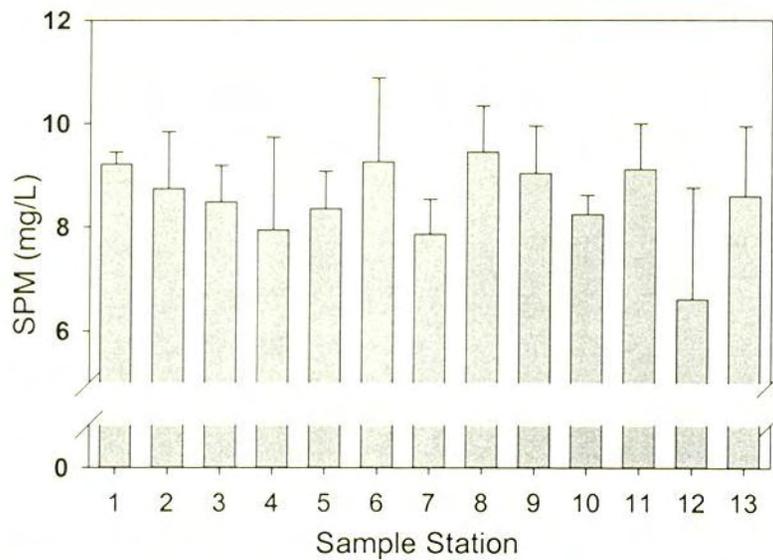


그림 1-2-8. 각 조사정점별 평균 부유물질 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-8. Mean value of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.

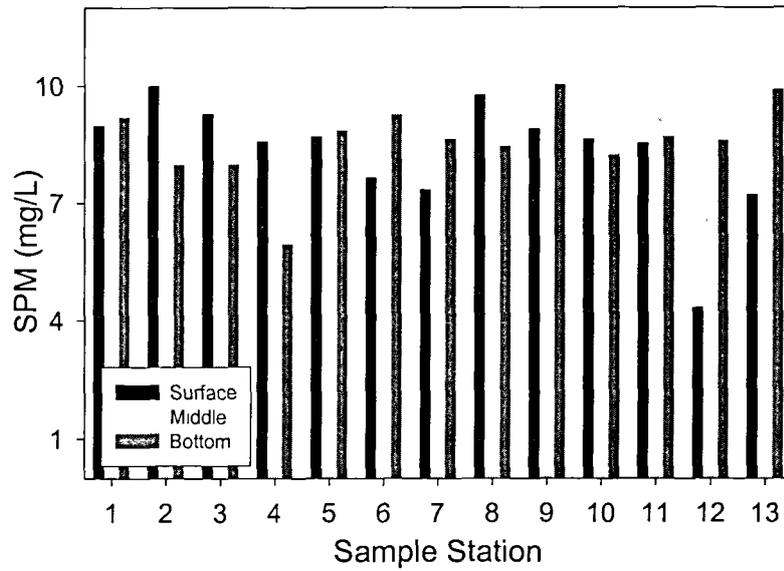


그림 1-2-7. 조사해역의 부유물질 농도 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-7. Distribution of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.

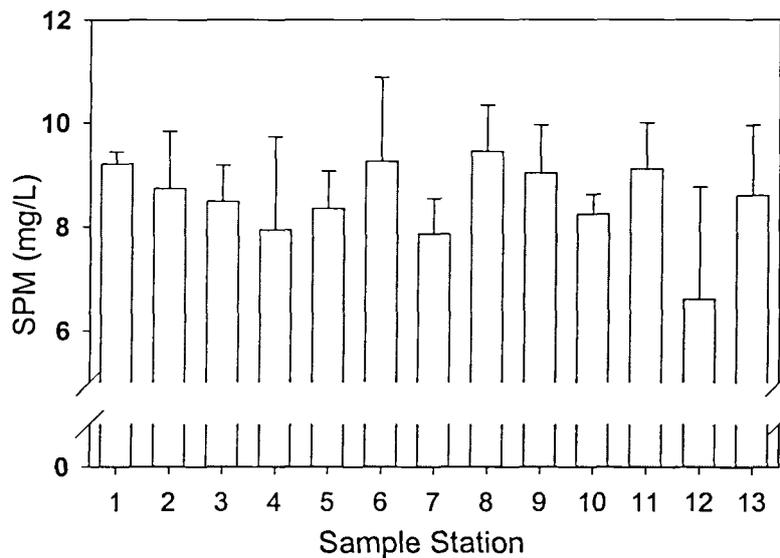


그림 1-2-8. 각 조사정점별 평균 부유물질 조사결과(2005년 11월).

Fig. 1-2-8. Mean value of suspended particulate matter(SPM) in November, 2005.

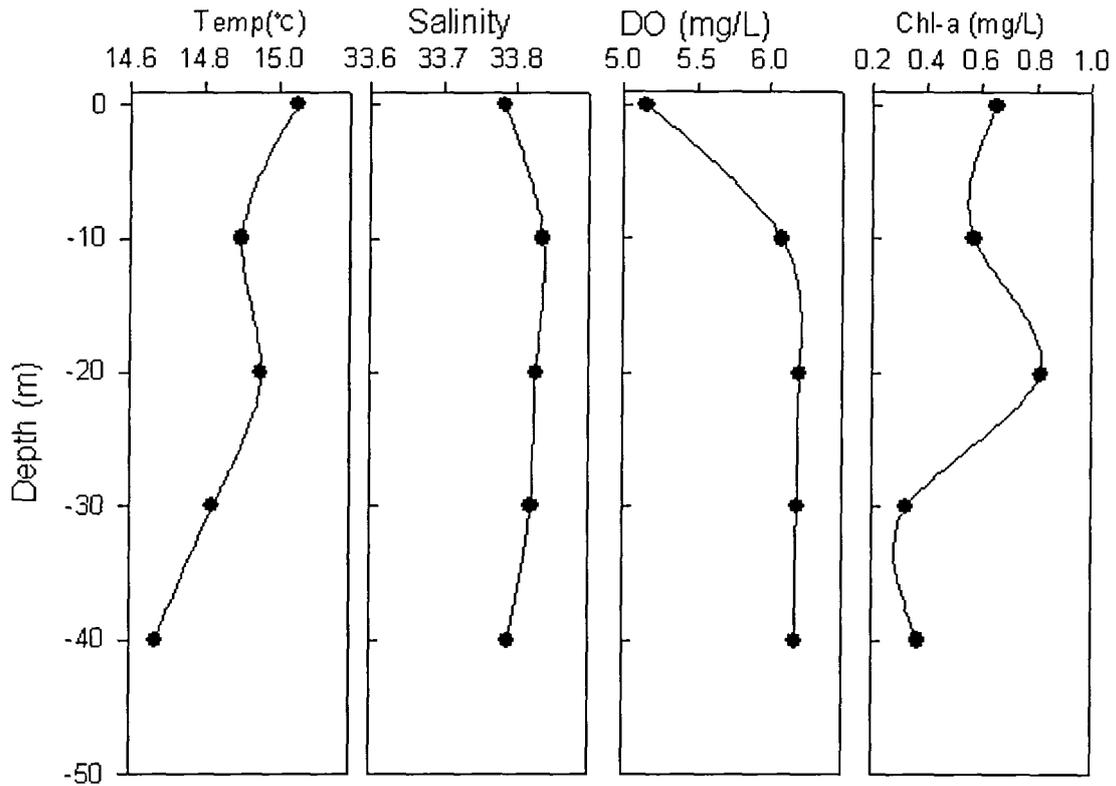


그림 1-2-9. 정점 01의 수질항목의 연직변화도.

Fig. 1-2-9. Vertical distribution of seawater at st. 01.

본 연구기간동안 분석되어진 모든 수질항목의 분석결과를 표 1-2-2에 나타내었다.

화학적 산소 요구량(COD)은 평균 1.4mg/L이며, 0.7에서 2.4mg/L까지의 농도범위를 보여주었다. 각 층에서의 농도는 그림 1-2-10에 나타내었으며, 각 층에서의 농도분포도는 그림 1-2-11에 도시하였다. 정점 간 깊이별 농도 차이를 통계적으로 유의하게 판단할 수는 없었다.

질소의 3가지 형태 중 질산성 질소로 가장 많이 존재하였고 3가지 형태의 총량에서 80%를 차지하였고 아질산과 암모니아가 각각 6%와 14%를 차지하였다. 질산성질소는 평균 0.143 mg/L값을 보였으며, 0.071-0.37mg/L의 범위를 보여주었다(그림 1-2-12). 아질산성 질소는 평균 0.011 mg/L값을 보였으며, 0.006-0.02 mg/L의 범위를 보여주었다(그림 1-2-13). 그리고 암모니

아성 질소는 평균 0.024 mg/L값을 보여주었으며, 0- 0.19 mg/L의 범위를 보여주었다(그림 1-2-14). 암모니아에 있어서 농도변화가 큰 것은 분석시에서 상당한 주의를 기울였음에도 대기중으로부터 오염으로 인한 것으로 판단된다. 각 층별 농도분포는 DIN(질산성+아질산성+암모니아성 질소)을 계산한 후에 그림 1-2-15에 도시하였다.

총질소의 함량은 평균 0.12mg/L으로 나타났으며, 0.058-0.32 mg/L의 범위를 보여주었다(그림 1-2-16). 분석상에서의 약간 오차가 발생하며, DIN보다 높은 값을 보여주었지만, 본 결과로부터 해수 중 질소의 대부분은 용존태 질산성 질소 형태로 존재함을 알 수 있었다. 깊이와 정점에 따른 특징적인 경향성은 본 자료로부터 알 수 없었다.

인산 인의 평균함량은 0.027mg/L로서 0.006에서 0.04mg/L의 범위를 보여주었다(그림 1-2-17). 총인은 0.029mg/L정도로서 해수 내에서 인의 대부분은 용존 인산 인으로 존재하는 것으로 판단되었다. 각 층에서의 농도분포는 그림 1-2-18에 도시하였다.

총인의 경우에는 평균 0.029 mg/L값을 보여주었으며, 최소값과 최대값의 변화폭(0.021-0.035mg/L)이 작아 조사해역에 전체에 걸쳐 매우 일정한 농도분포를 가지고 있음을 보여주었다(그림 1-2-19).

표 1-2-2. 조사해역수질항목분석 결과 요약 (2005년 11월27일)

Table 1-2-2. Statistics of observed seawater in November 27, 2005

정 점	깊이	COD (mg/L)	질산 (mg/L)	아질산 (mg/L)	암모 니아 (mg/L)	총질소 (mg/L)	인산 (mg/L)	총인 (mg/L)
1	0m	0.78	실패	0.008	0.021	0.16	0.022	0.024
	25m	1.04	0.10	0.007	0.010	0.12	0.019	0.026
	35m	1.10	0.12	0.006	0.010	0.08	0.029	0.030
	45m	1.14	0.13	0.006	0.004	0.10	0.006	0.033
	55m	1.38	0.14	0.007	0.024	0.06	0.022	0.035
2	표층	0.92	0.09	0.014	0.011	0.11	0.024	0.030
	중층	1.72	0.15	0.008	0.000	0.11	0.026	0.033
	저층	1.76	0.14	0.010	0.014	0.07	0.029	0.033
3	표층	1.34	0.09	0.011	0.027	0.10	0.026	0.021
	중층	1.64	0.10	0.007	0.019	0.09	0.017	0.028
	저층	2.24	0.15	0.010	0.013	0.09	0.032	0.028
4	표층	1.32	0.12	0.012	0.020	0.12	0.020	0.030
	중층	1.44	0.14	0.012	0.020	0.12	0.027	0.033
	저층	1.34	0.11	0.008	0.008	0.07	0.036	0.031
5	표층	1.22	0.17	0.010	0.014	0.12	0.022	0.031
	중층	1.68	0.16	0.012	0.015	0.12	0.030	0.033
	저층	1.34	0.17	0.007	0.008	0.07	0.023	0.031
6	표층	1.42	0.12	0.014	0.013	0.07	0.026	0.031
	중층	1.86	0.11	0.016	0.024	0.13	0.029	0.030
	저층	1.72	0.14	0.015	0.016	0.06	0.027	0.030
7	표층	0.68	0.08	0.016	0.020	0.17	0.029	0.030
	중층	0.94	0.13	0.012	0.009	0.12	0.027	0.030
	저층	1.00	0.07	0.010	0.014	0.12	0.026	0.026
8	표층	1.28	0.11	0.016	0.083	0.06	0.032	0.026
	중층	1.16	0.15	0.010	0.014	0.12	0.035	0.028
	저층	1.98	0.13	0.012	0.007	0.14	0.029	0.025
9	표층	1.48	0.07	0.014	0.001	0.32	0.025	0.028
	중층	1.42	0.13	0.014	0.012	0.08	0.030	0.031
	저층	1.58	0.17	0.011	0.007	0.16	0.027	0.035
10	표층	0.68	0.13	0.014	0.025	0.15	0.026	0.031
	중층	1.14	0.14	0.014	0.011	0.12	0.042	0.031
	저층	1.82	0.16	0.014	0.024	0.16	0.027	0.031
11	표층	2.40	0.14	0.010	0.010	0.11	0.030	0.030
	중층	2.38	0.17	0.007	0.018	0.17	0.032	0.026
	저층	1.78	0.19	0.007	0.020	0.18	0.032	0.028
12	표층	1.72	0.11	0.012	0.048	0.11	0.023	0.021
	중층	1.14	0.10	0.013	0.142	0.09	0.026	0.021

저층	1.66	0.16	0.013	0.020	0.12	0.029	0.021
13 표층	2.28	0.37	0.015	0.007	0.17	0.026	0.026
중층	0.96	0.22	0.015	0.024	0.17	0.029	0.030
저층	0.88	0.35	0.009	0.188	0.15	0.025	0.031
전체							
평균	1.43	0.14	0.011	0.024	0.12	0.027	0.029

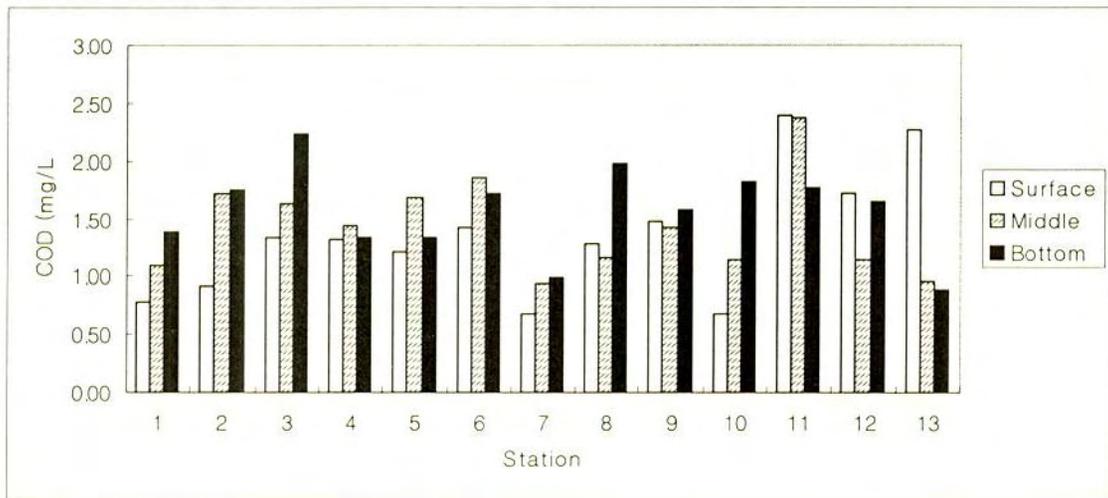


그림 1-2-10. 2005년 11월 각 층별 COD의 분포.

Fig.1-2-10. Distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.

저층	1.66	0.16	0.013	0.020	0.12	0.029	0.021
13 표층	2.28	0.37	0.015	0.007	0.17	0.026	0.026
중층	0.96	0.22	0.015	0.024	0.17	0.029	0.030
저층	0.88	0.35	0.009	0.188	0.15	0.025	0.031
전체							
평균	1.43	0.14	0.011	0.024	0.12	0.027	0.029

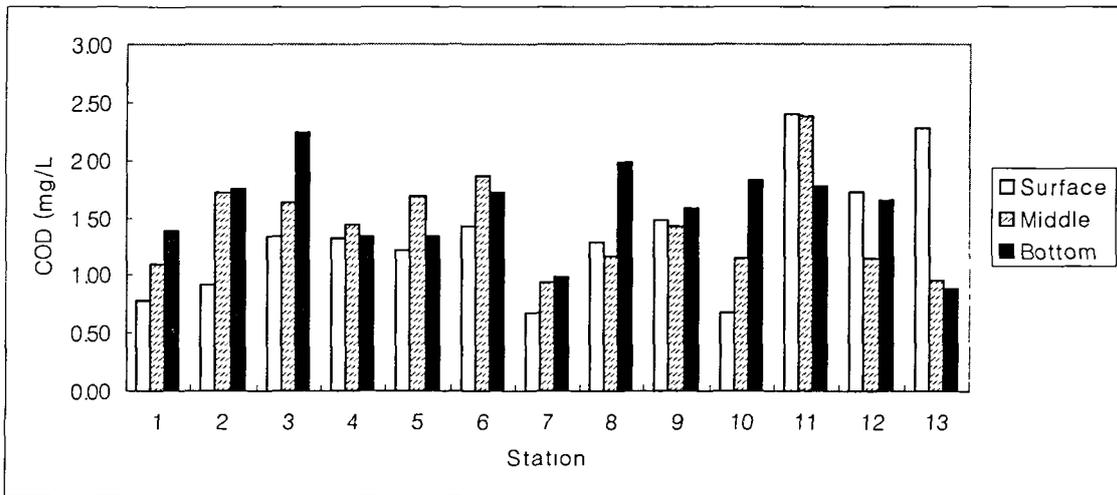


그림 1-2-10. 2005년 11월 각 층별 COD의 분포.

Fig. 1-2-10. Distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.

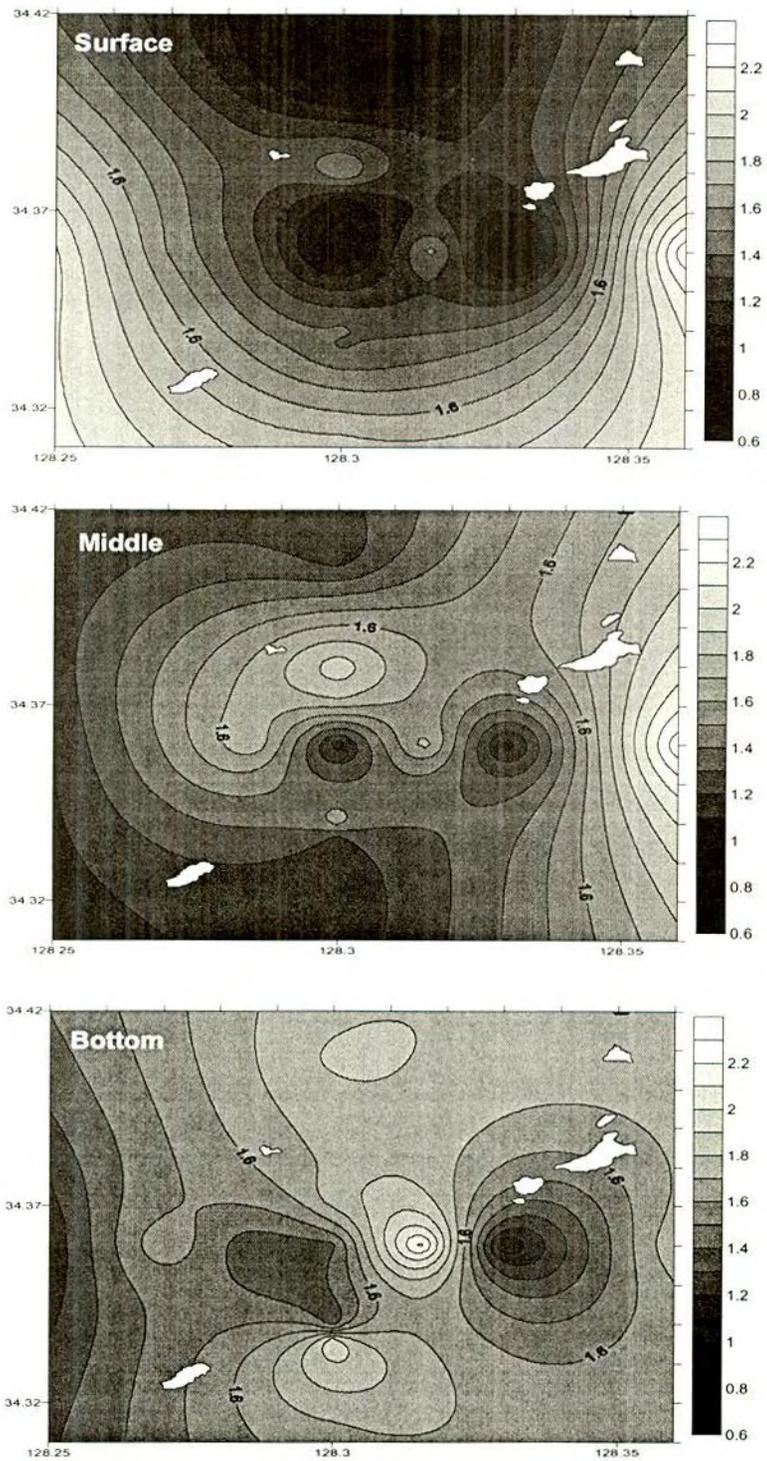


그림 1-2-11. 2005년 11월 각 층별 COD의 수평분포.

Fig. 1-2-11. Horizontal distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.

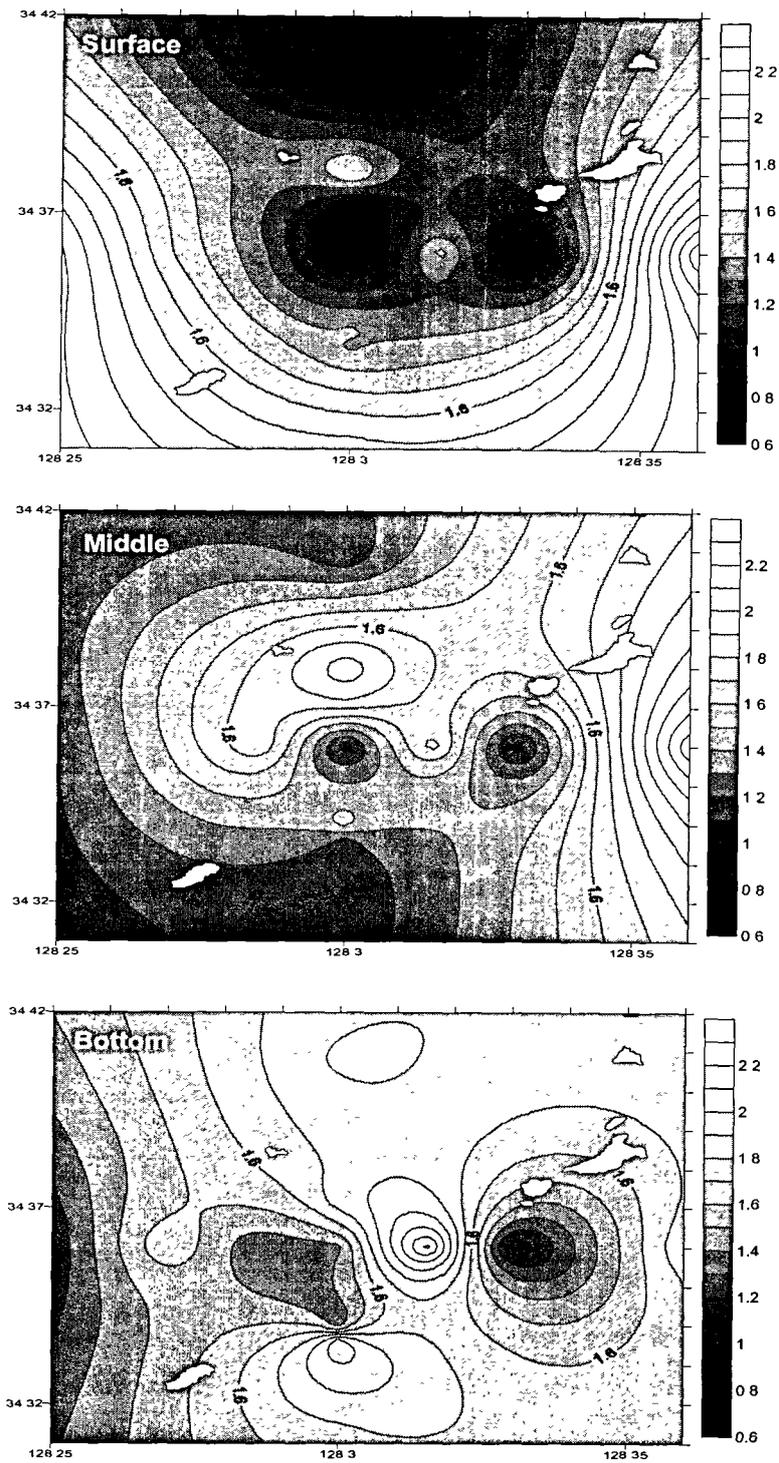


그림 1-2-11. 2005년 11월 각 층별 COD의 수평분포.

Fig. 1-2-11. Horizontal distribution of chemical oxygen demand(COD) in November, 2005.

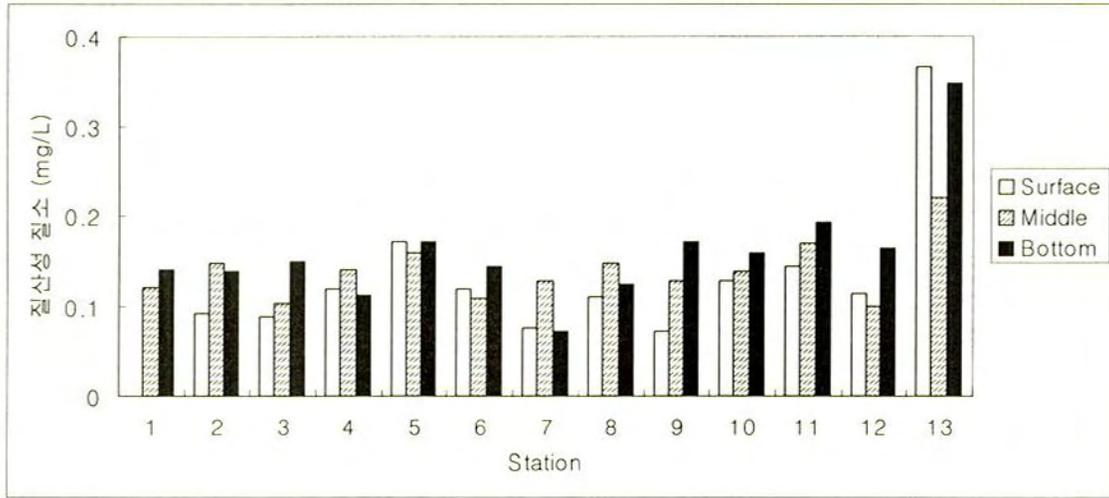


그림 1-2-12. 2005년 11월 각 층별 질산성 질소의 분포.

Fig. 1-2-12. Distribution of NO₂-nitrogen in November, 2005.

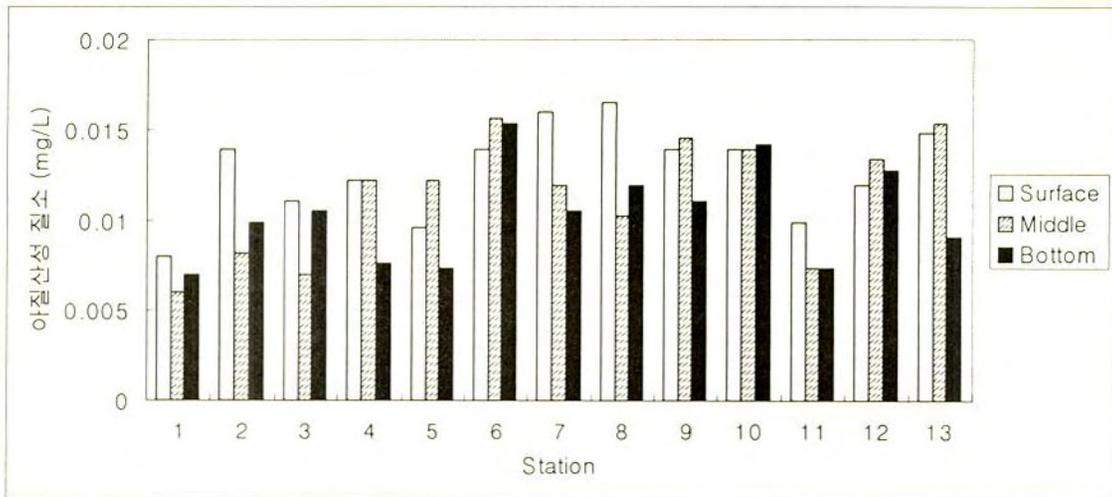


그림 1-2-13. 2005년 11월 각 층별 아질산성 질소의 분포.

Fig. 1-2-13. Distribution of NO₃-nitrogen in November, 2005.

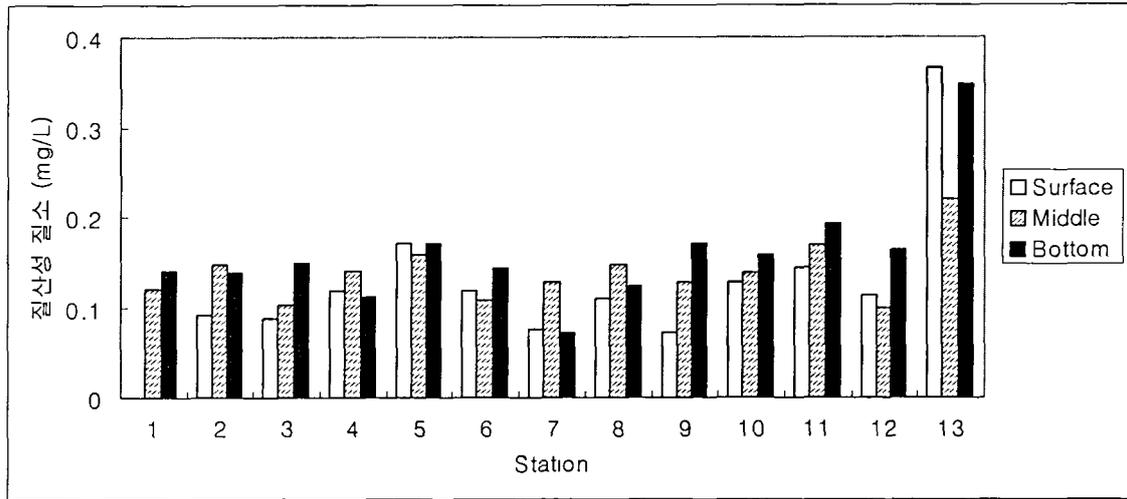


그림 1-2-12. 2005년 11월 각 층별 질산성 질소의 분포.

Fig. 1-2-12. Distribution of NO₂-nitrogen in November, 2005.

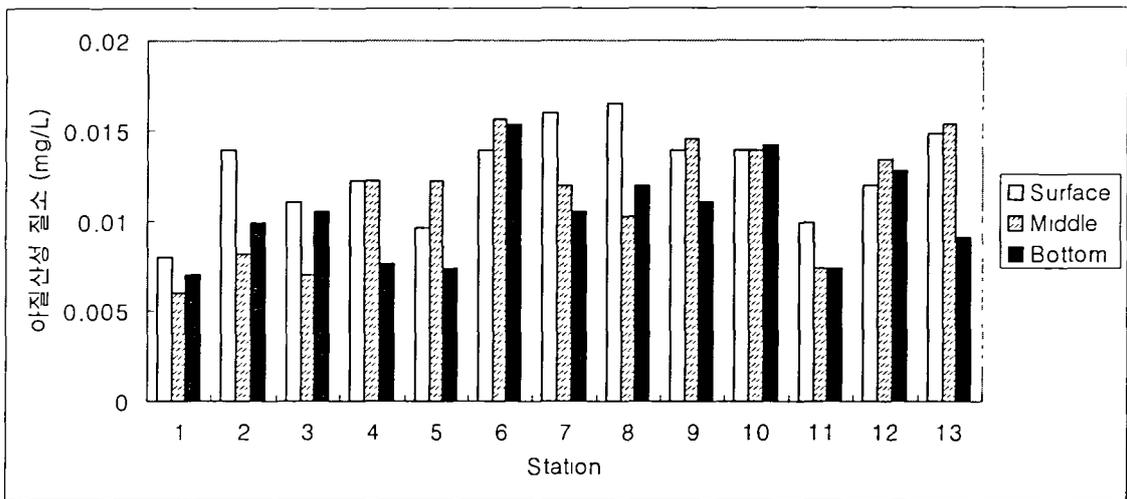


그림 1-2-13. 2005년 11월 각 층별 아질산성 질소의 분포.

Fig. 1-2-13. Distribution of NO₃-nitrogen in November, 2005.

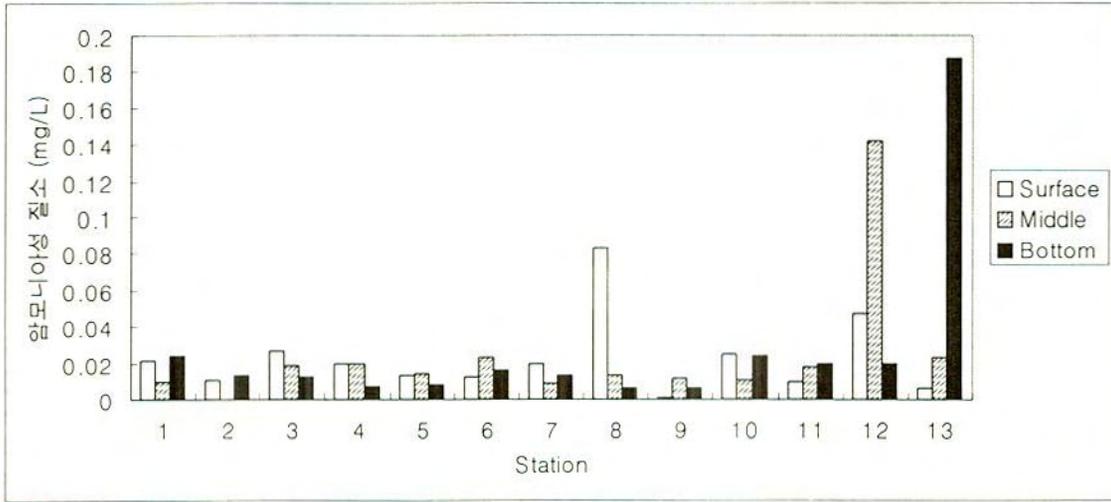


그림 1-2-14. 2005년 11월 각 층별 암모니아성 질소의 분포.

Fig. 1-2-14. Distribution of NH_4 -nitrogen in November, 2005.

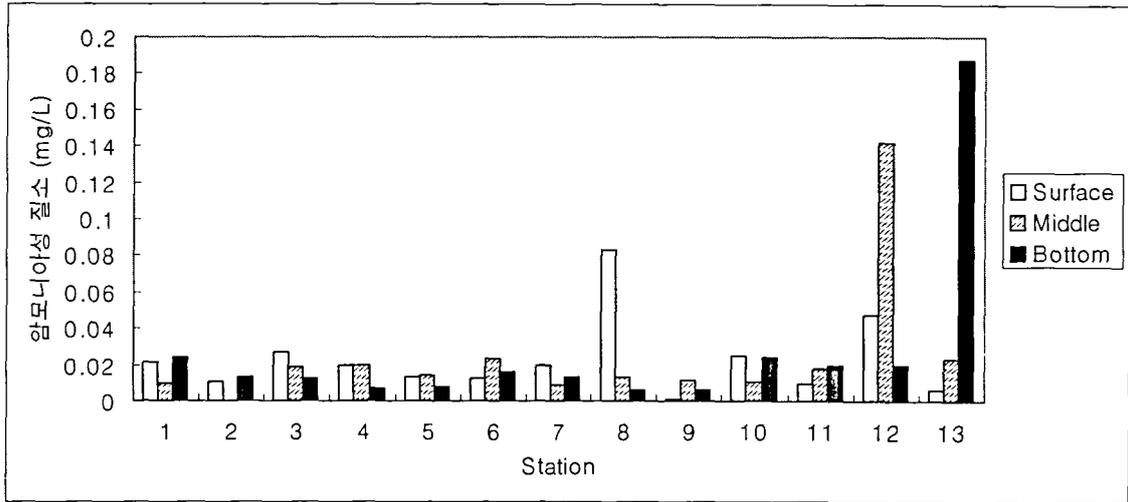


그림 1-2-14. 2005년 11월 각 층별 암모니아성 질소의 분포.

Fig. 1-2-14. Distribution of NH₄-nitrogen in November, 2005.

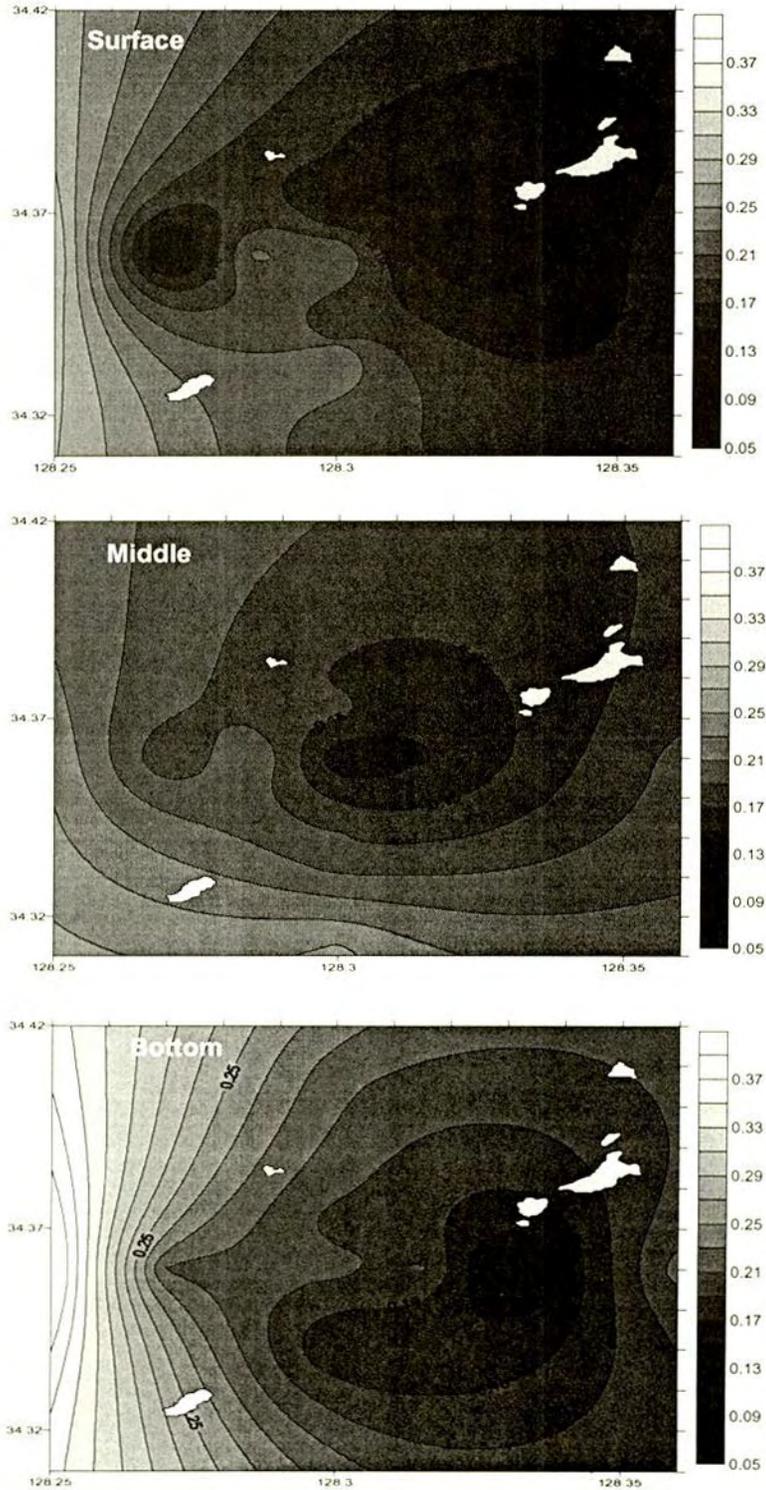


그림 1-2-15. 2005년 11월 각 층별 DIN($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)의 분포.
 Fig. 1-2-15. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN)
 in November, 2005.

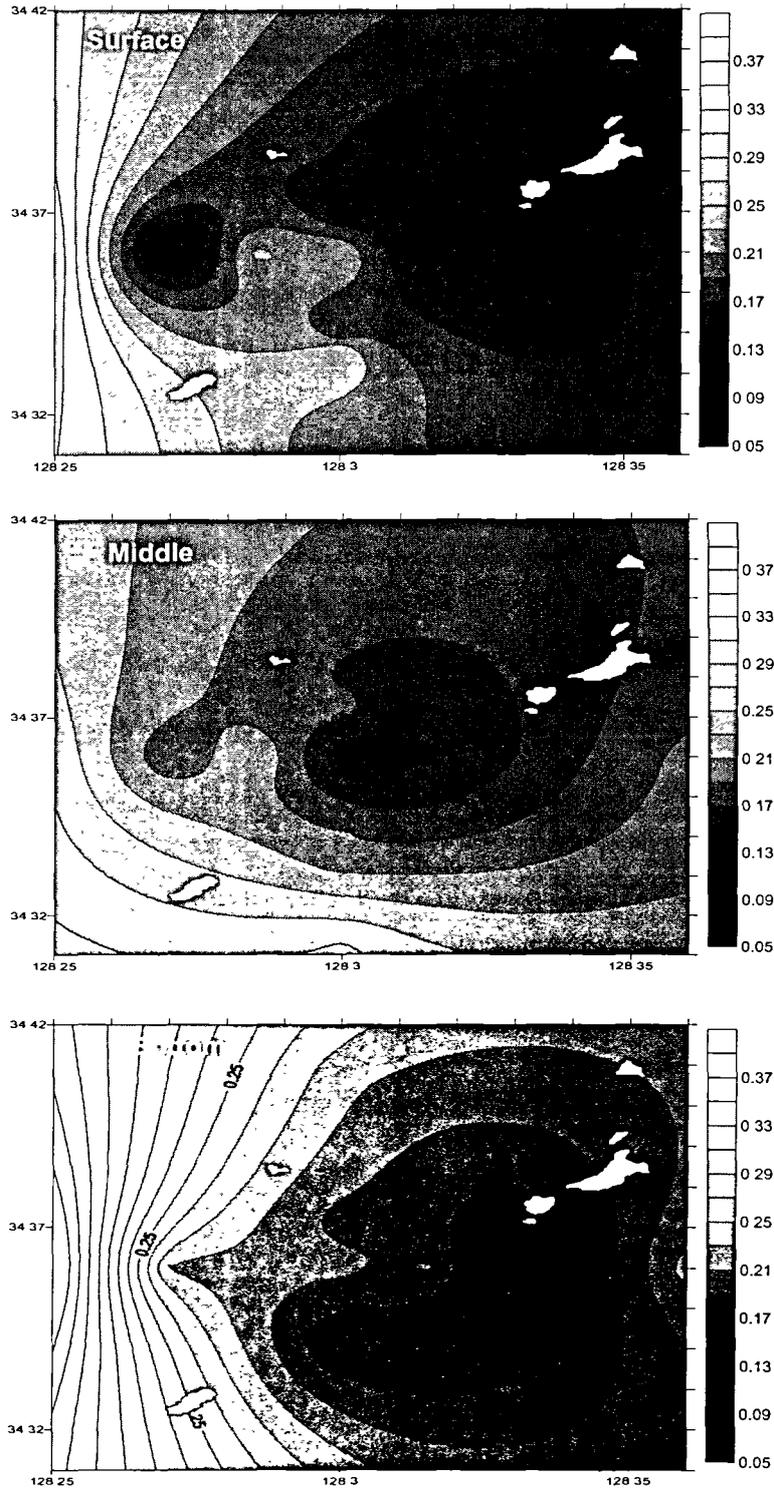


그림 1-2-15. 2005년 11월 각 층별 DIN($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)의 분포.
 Fig. 1-2-15. Horizontal distribution of dissolved inorganic nitrogen(DIN)
 in November, 2005.

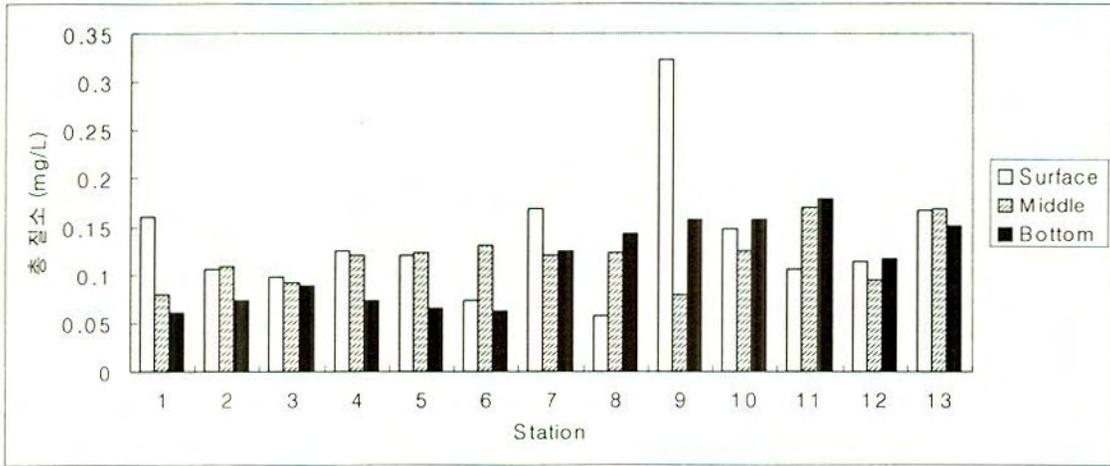


그림 1-2-16. 2005년 11월 각 층별 총 질소의 분포.

Fig. 1-2-16. Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005.

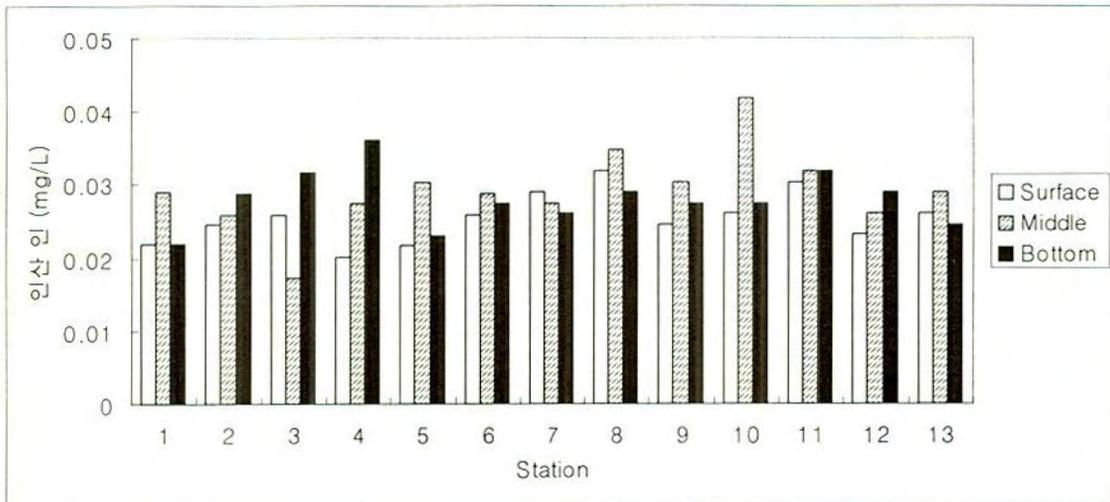


그림 1-2-17. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 분포.

Fig. 1-2-17. Distribution of PO₄-phosphate in November, 2005.

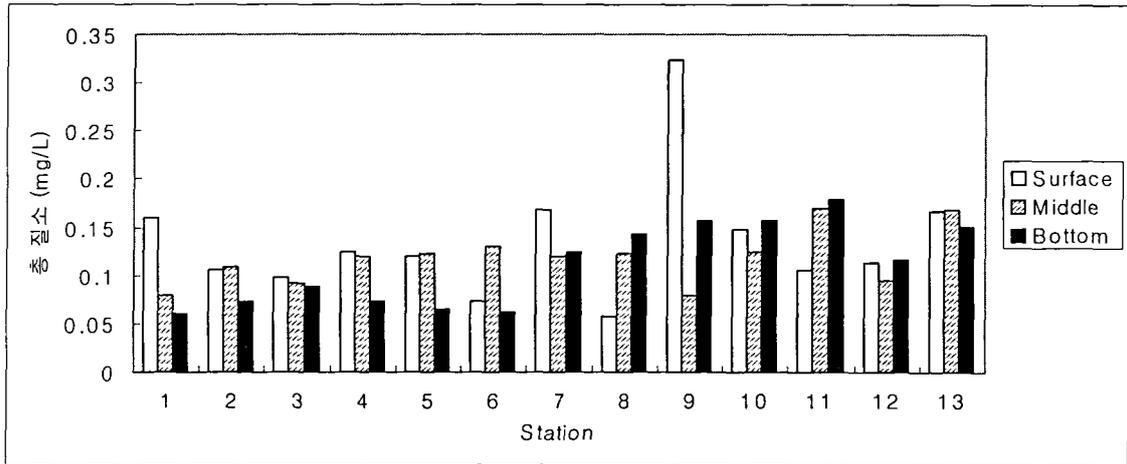


그림 1-2-16. 2005년 11월 각 층별 총 질소의 분포.

Fig. 1-2-16. Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005.

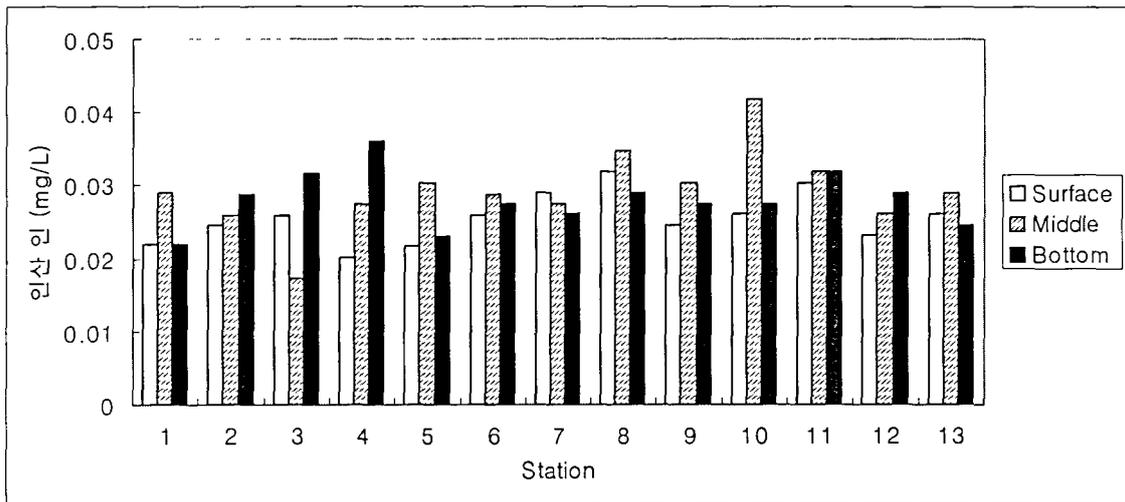


그림 1-2-17. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 분포.

Fig. 1-2-17. Distribution of PO₄-phosphate in November, 2005.

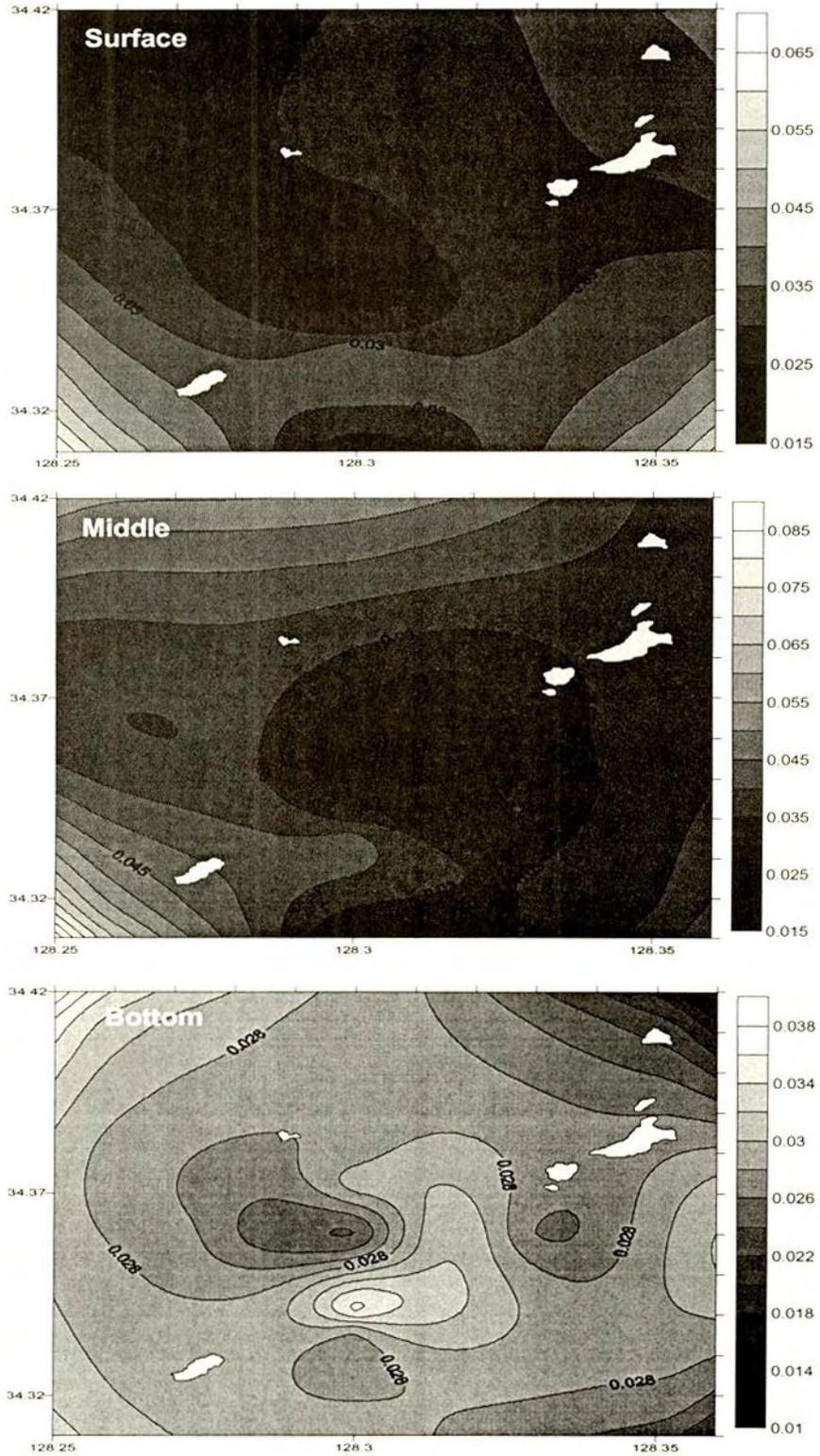


그림 1-2-18. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 수평분포.

Fig. 1-2-18. Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005.

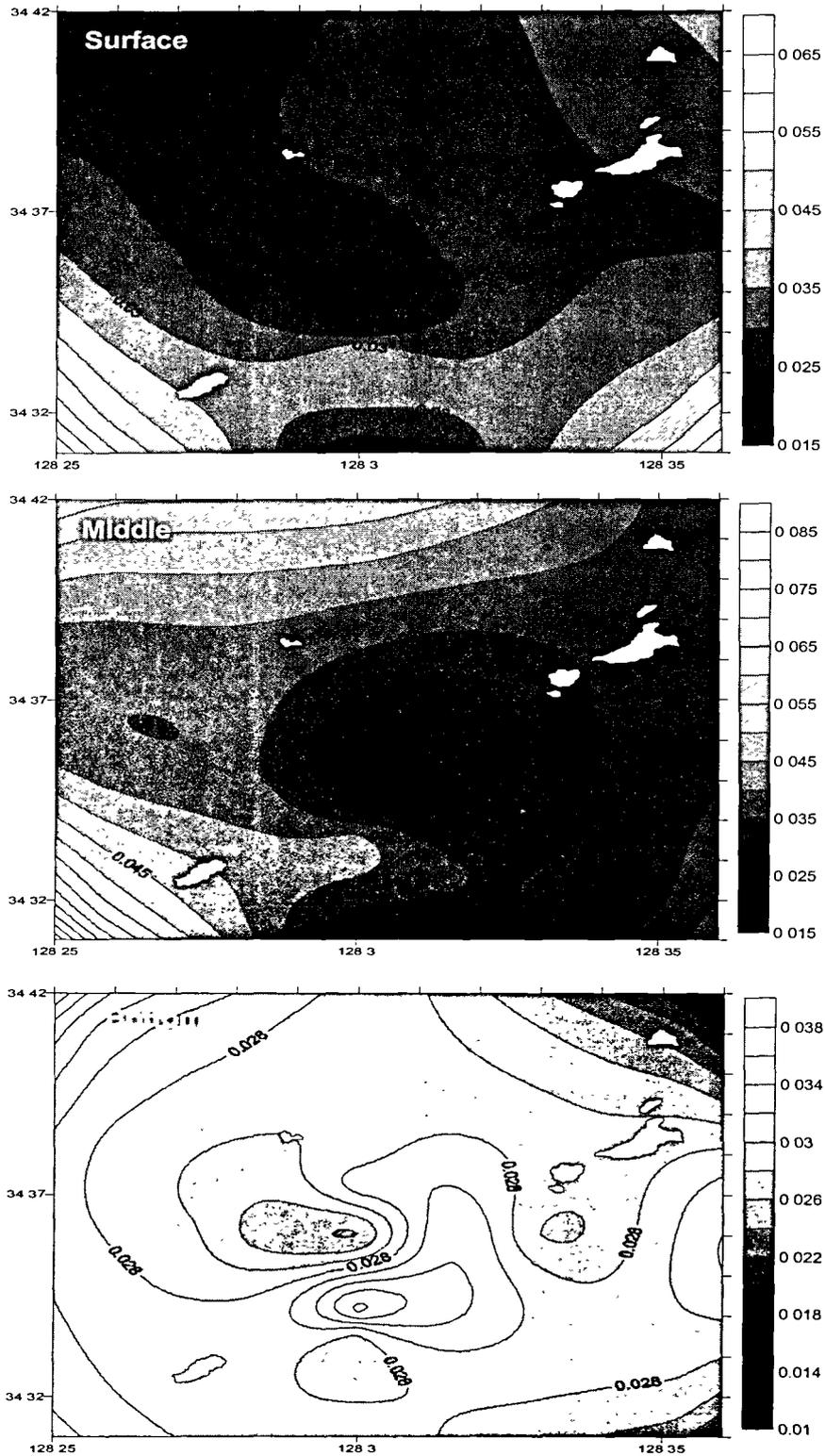


그림 1-2-18. 2005년 11월 각 층별 인산 인의 수평분포.

Fig. 1-2-18. Distribution of total nitrogen(T-N) in November, 2005

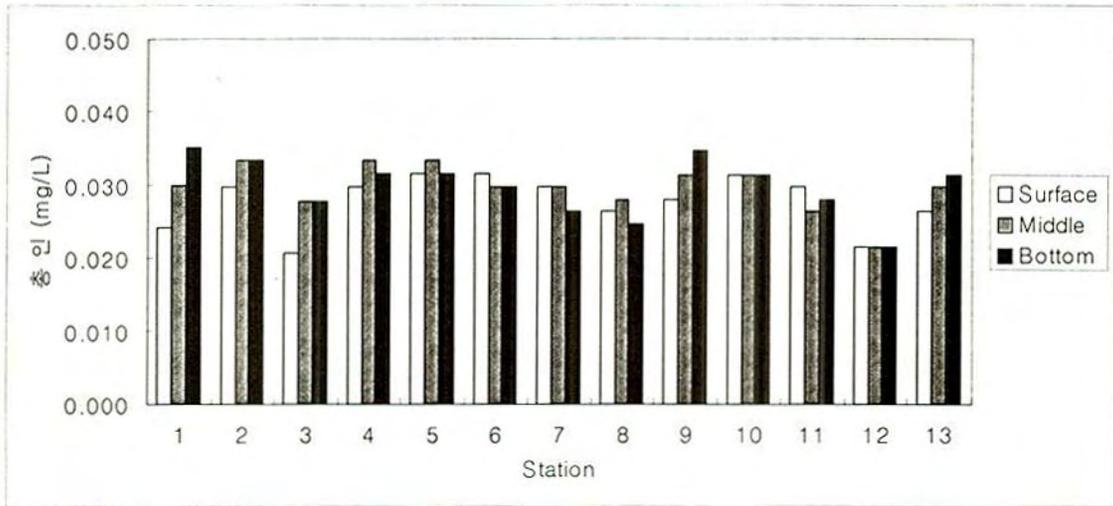


그림 1-2-19. 2005년 11월 각 층별 총 인의 분포.

Fig. 1-2-19. Distribution of total phosphate(T-P) in November, 2005.

인공용승 구조물 설치 해역에 대한 수질환경인자(DO, DIN, DIP, Chl-a)의 계절별 특성을 파악하기 위해 블록 투하 지점인 정점 01에서 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월의 연직 분포를 그림 1-2-20에 나타내었다.

용존산소(DO)의 계절별 연직분포를 보면, 동계(3월)와 춘계(5월)와 추계(11월)에는 표층과 저층의 전 수층에서 농도차가 작은 균질한 분포를 보이고 있다. 하계(8월)에는 수심 10~20m에서 용존산소(DO)의 감소가 나타났다. 이는 하계의 수온약층 형성으로 인하여 상부 유광층까지의 생물 신진 대사량이 늘어나 호흡량이 증가하여 수온약층 부근인 수심 약 10~20m에서 용존산소(DO)가 표층보다 저농도 분포를 보이고 있다.

엽록소 a(Chlorophyll-a)의 계절별 연직분포는 하계(8월)가 동계(3월)보다 높은 농도분포가 나타났다. 또한 춘계(5월)에는 식물 플랑크톤의 blooming 현상으로 인하여 가장 큰 농도분포를 보이고 있다. 하계(8월)의 경우, 표층 농도가 동계(3월)의 표층 농도와 비슷한 분포를 보이고 있다.

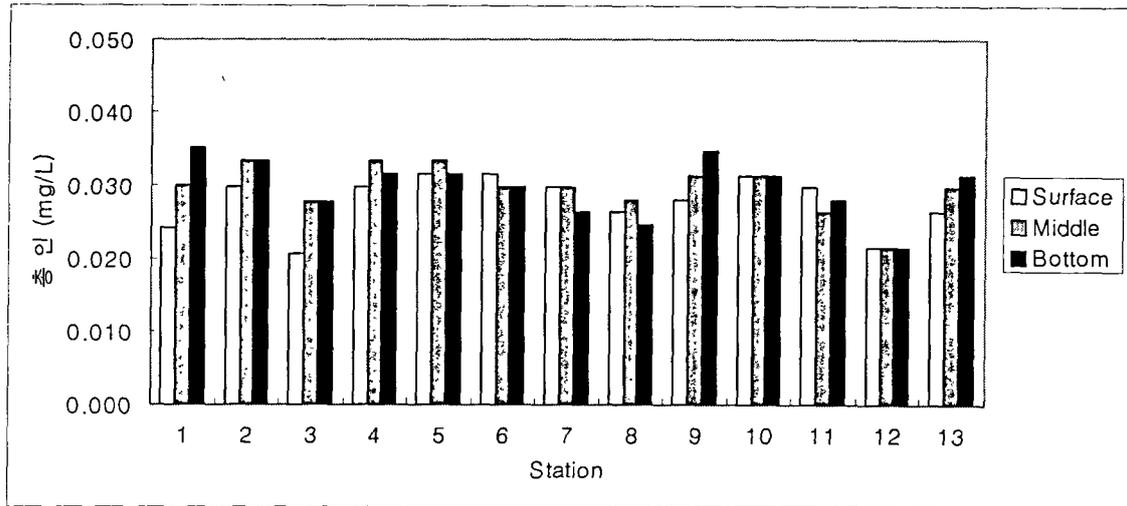


그림 1-2-19. 2005년 11월 각 층별 총 인의 분포.

Fig. 1-2-19. Distribution of total phosphate(T-P) in November, 2005.

인공용승 구조물 설치 해역에 대한 수질환경인자(DO, DIN, DIP, Chl-a)의 계절별 특성을 파악하기 위해 블록 투하 지점인 정점 01에서 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월의 연직 분포를 그림 1-2-20에 나타내었다.

용존산소(DO)의 계절별 연직분포를 보면, 동계(3월)와 춘계(5월)와 추계(11월)에는 표층과 저층의 전 수층에서 농도차가 작은 균질한 분포를 보이고 있다. 하계(8월)에는 수심 10~20m에서 용존산소(DO)의 감소가 나타났다. 이는 하계의 수온약층 형성으로 인하여 상부 유광층까지의 생물 신진대사량이 늘어나 호흡량이 증가하여 수온약층 부근인 수심 약 10~20m에서 용존산소(DO)가 표층보다 저농도 분포를 보이고 있다.

엽록소 a(Chlorophyll-a)의 계절별 연직분포는 하계(8월)가 동계(3월)보다 높은 농도분포가 나타났다. 또한 춘계(5월)에는 식물 플랑크톤의 blooming 현상으로 인하여 가장 큰 농도분포를 보이고 있다. 하계(8월)의 경우, 표층 농도가 동계(3월)의 표층 농도와 비슷한 분포를 보이고 있다.

이와 같은 현상은 하계(8월)의 해양 관측 시간이 표층 수온이 정온화가 형성되지 않은 오전 9시에 관측하여 엽록소 a가 저농도 분포를 보이고 있는 것으로 생각된다.

용존 무기질소(DIN) 및 용존 무기인(DIP)의 계절별 연직분포는 동계(3월)와 춘계(5월)와 추계(11월)에 표층에서 저층간의 농도차가 크지 않았다. 그러나 하계(8월)에는 수심이 깊어질수록 증가했다가 감소하는 경향이 나타났다. 이와 같은 현상은 춘계(5월)에 식물 플랑크톤의 대증식이 하계에 영향을 끼쳐 표층의 고수온이 영양염의 다량 소비가 발생하는 생물의 신진 대사를 높여 영양염의 저농도가 나타났고, 수심이 깊어질수록 저수온으로 인하여 고농도가 나타났다. 또한, 용존 무기인(DIP)의 하계연직 분포에서 저층의 농도가 증가하는 것은 연안역의 대용출로 인한 인의 증가로 저층의 용존 무기인(DIP)의 농도가 높아지는 경향을 보이고 있다.

그림 1-2-21은 구조물 설치지점(정점 01)에 대하여 블록 투하 전(2002년 9월)과 투하 후(2005년 8월)의 영양염 농도분포를 나타낸 것이다. 규산규소($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)의 경우 구조물 설치 전보다 설치 후에 전 수층에서 높은 분포가 나타났다. 한편 용존 무기질소(DIN)와 용존 무기인(DIP)은 표층과 저층에서 구조물 설치 전과 설치 후 모두 비슷한 농도 분포를 나타냈으나 구조물 설치 후에는 중층에서 높은 농도를 나타냈다. 이와 같은 현상은 구조물 설치 후의 용존 무기질소(DIN)와 용존 무기인(DIP)이 구조물 설치 높이(18m)까지 용승하여 중층의 영양염 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

그림 1-2-22은 구조물 설치 전(2002년 9월)과 구조물 설치 후(2005년 8월) 구조물 설치 주변해역의 하계 영양염 평균농도를 나타낸 것이다. 용존 무기질소(DIN)는 2005년 8월이 2002년 9월에 비해 표층과 중층에서 약 4~5배 증가하였고 저층에서는 중층에서의 증가로 인한 보상현상으로 농도가 감소하였다. 용존 무기인(DIP)의 관측결과를 보면, 2002년 9월에 비해 2005년 8월 평균농도가 표층과 저층은 비슷하였으나 중층에서는 약 3배 정도 증가한 것으로 나타났다. 또한 규산규소($\text{SiO}_2 - \text{Si}$)는 2002년 9월의 조사결과에

비해 2005년 8월에 전 수층에서 증가하였고 표층과 중층에서 증가폭이 크게 나타났다(Table 1-2-3).

따라서 인공용승 구조물 설치 후 영양염 농도는 구조물 설치 전보다 대체적으로 표층 및 중층에서 증가되는 양상을 나타내고 있다.

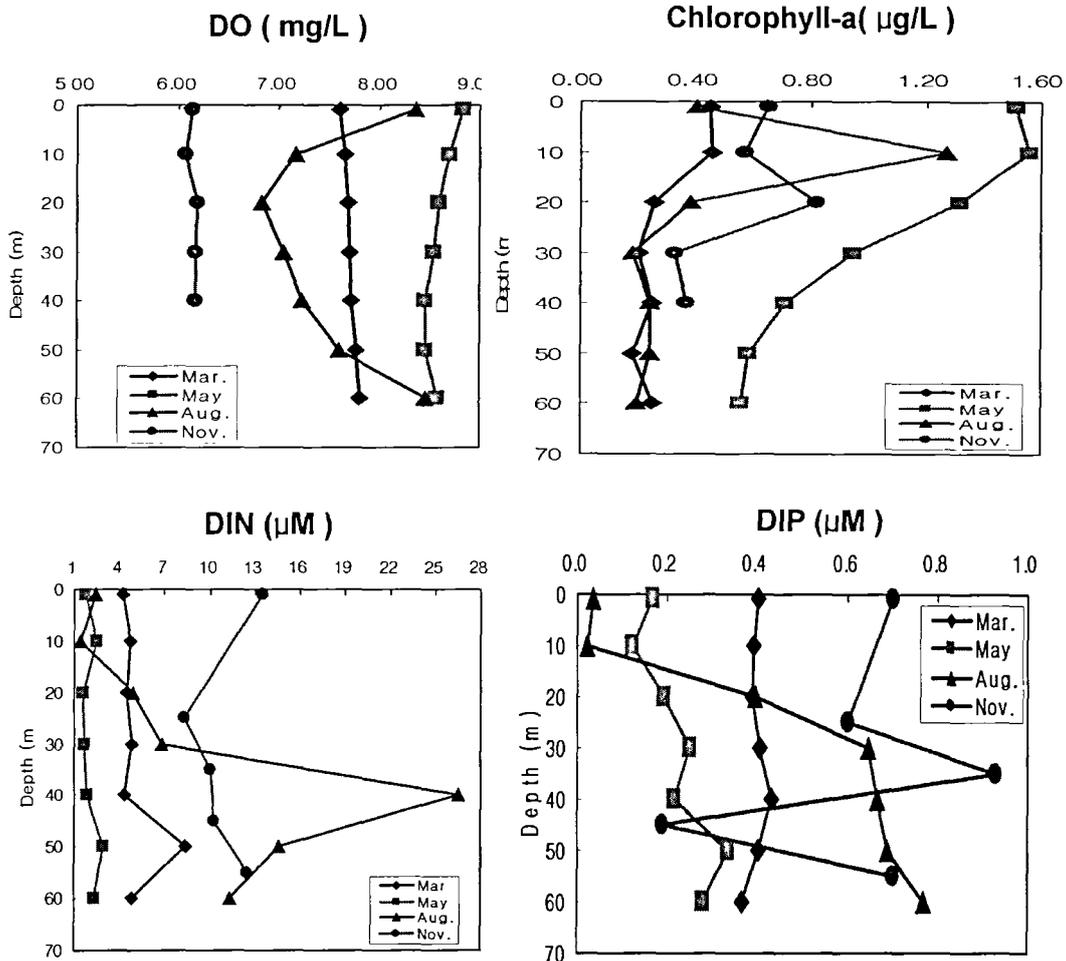


그림. 1-2-20. 정점 01에서 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월에서의 용존산소, 클로로필-a, 용존무기질소 및 용존무기인의 연직분포.

Fig. 1-2-20. Vertical distribution of DO, chlorophyll-a, DIN and DIP at st.01 in March, May, August and November, 2005.

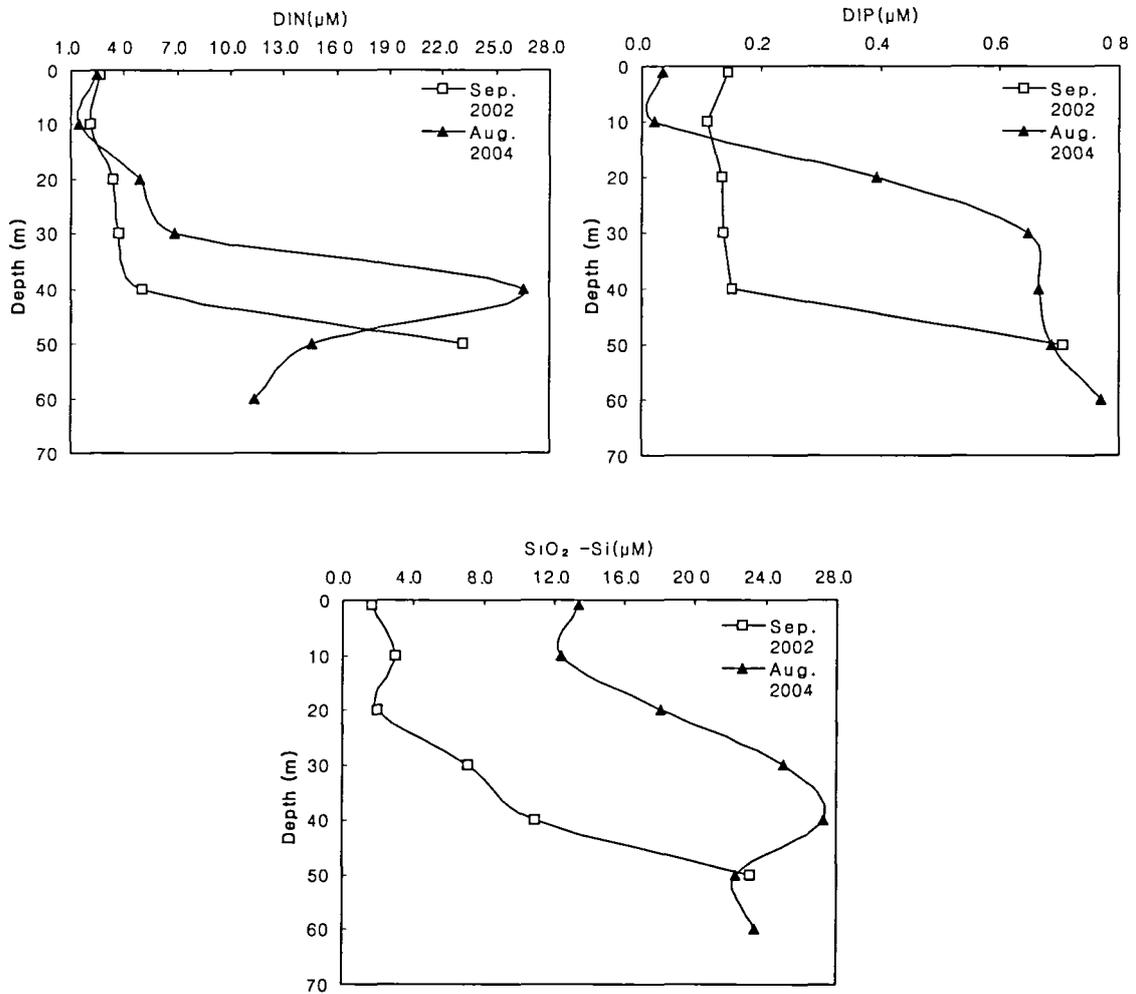


그림 1-2-21. 구조물 투하 전(2002년 9월)과 구조물 투하 후(2005년 8월)의 영양염 비교.

Fig. 1-2-21. Comparison of nutrients(DIN, DIP and SiO₂ -Si) in September, 2002 and August, 2005.

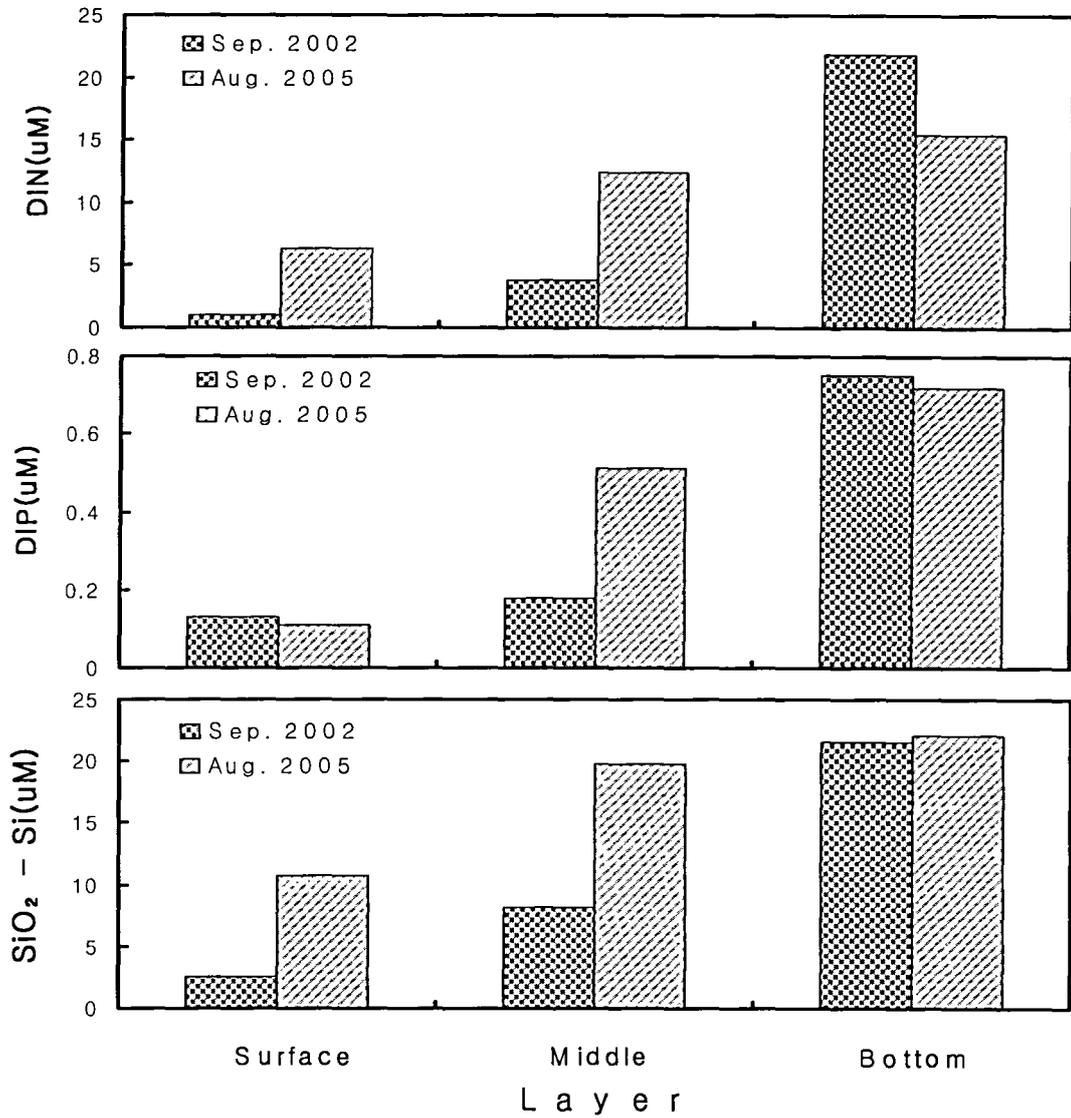


그림 1-2-22. 구조물 투하 전(2002년 9월)과 구조물 투하 후(2005년 8월)의 영양염의 평균농도분포.

Fig. 1-2-22. Comparison of average concentrations of nutrients in September, 2002 and August, 2005.

표 1-2-3. 구조물 투하전과 투하 후의 영양염의 평균값

Table 1-2-3. Mean value of nutrients at seawater in September, 2002 and August, 2005

Date	Layer	DIN(μM)	DIP(μM)	SiO ₂ -Si(μM)
September 2002.	Surface	1.33	0.13	2.49
	Middle	3.35	0.17	8.16
	Bottom	21.84	0.73	21.63
August 2005.	Surface	6.30	0.11	10.72
	Middle	12.42	0.51	19.73
	Bottom	15.39	0.69	22.10

<부록 1> 조사해역의 일반수질 조사결과

st.	수층	WT ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Sal.	DO (mg/ℓ)	Chl-a. (mg/m^3)	SS (mg/l)
1	0	15.05	8.09	33.78	5.15	0.65	8.98
	10	14.90	8.10	33.84	6.08	0.57	8.57
	20	14.95	8.02	33.83	6.20	0.82	9.45
	30	14.82	8.09	33.82	6.18	0.33	8.79
	40	14.67	8.00	33.79	6.17	0.37	9.19
2	상	16.41	8.09	34.05	5.34	0.57	10.00
	중	16.29	8.10	34.05	6.03	0.48	8.25
	하	15.67	8.05	34.03	5.49	0.23	7.97
3	상	14.39	8.08	33.75	5.99	0.23	9.28
	중	14.38	8.05	33.75	6.17	0.14	8.22
	하	14.38	8.07	33.75	6.20	0.15	7.97
4	상	14.52	8.06	33.74	6.07	0.19	8.56
	중	14.56	8.08	33.84	6.15	0.08	9.35
	하	14.57	8.08	33.84	6.13	0.23	5.93
5	상	14.44	8.02	33.72	5.81	0.72	8.69
	중	14.42	8.09	33.74	6.13	0.54	7.53
	하	14.38	8.01	33.72	6.17	0.31	8.85
6	상	16.93	8.04	33.80	5.02	0.30	7.64
	중	16.14	8.07	34.01	5.94	0.24	10.88
	하	15.71	8.05	34.08	5.27	0.07	9.26

7	상	14.60	8.01	33.77	5.62	0.05	7.34
	중	14.36	8.09	33.72	6.12	0.07	7.62
	하	14.38	8.04	33.74	6.13	0.22	8.63
8	상	14.39	8.08	33.69	5.62	0.82	9.76
	중	14.47	8.03	33.74	6.28	0.46	10.15
	하	14.23	8.08	33.68	6.24	0.39	8.45
9	상	17.15	8.06	34.17	5.71	0.13	8.90
	중	16.32	8.04	34.03	6.21	0.21	8.19
	하	16.23	8.08	34.05	5.93	0.15	10.02
10	상	14.83	8.05	33.71	5.25	0.23	8.64
	중	14.75	8.03	33.82	6.15	0.31	7.89
	하	14.74	8.07	33.82	6.17	0.05	8.22
11	상	15.49	8.09	33.93	5.61	0.23	8.52
	중	15.19	8.09	33.88	6.05	0.05	10.14
	하	15.02	8.09	33.84	6.11	0.07	8.69
12	상	15.87	8.06	33.12	5.05	0.37	4.32
	중	15.31	8.05	33.92	6.04	0.41	6.94
	하	14.79	8.06	33.83	6.11	0.39	8.59
13	상	14.73	8.06	33.67	4.81	0.05	7.20
	중	14.65	8.09	33.83	6.12	0.47	8.72
	하	14.54	8.08	33.79	6.13	0.47	9.89
min		14.23	8.00	33.12	4.81	0.05	4.32
max		17.15	8.10	34.17	6.28	0.82	10.88
mean		15.06	8.06	33.82	5.88	0.31	8.54
STD		0.78	0.03	0.17	0.40	0.21	1.19

1.3. 생물상 조사

1.3.1. 식물 플랑크톤 조사

1.3.1.1. 재료 및 방법

2005년 3월, 5월, 8월 및 11월에 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/L)으로 환산하였고, 山路(1979)에 따라 동정하여 종조성을 조사하였다.

1.3.1.2. 식물플랑크톤 현존량 및 종조성

조사해역의 2005년 3월 식물플랑크톤 현존량 및 종조성을 그림 1-3-1 및 표 1-3-1에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100~3,600cells/L(평균1,077cells/L)의 범위로 나타났으며, 정점 1에서 가장 높은 3,600cells/L으로 출현하였고, 정점 06과 04에서 각각 다른 정점보다 상대적으로 높은 2,400cells/L와 1,900cells/L로 나타났다. 중층의 현존량은 100~2,600cells/L(평균1,054cells/L)이었으며, 정점 01과 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 1-3-2 및 표 1-3-2에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100-1,900cells/L(평균738cells/L)로 나타나 3월보다 상대적으로 적었으며, 정점 7, 8과 9에서 상대적으로 높게 나타나 3월과는 다른 양상이었다. 중층의 현존량도 100~1,000cells/L(평균469cells/L)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 1-3-3 및 표 1-3-3에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100-2,900cells/L(평균700cells/L)으로 3월과 5월보다 평균 현존량이 적었으며, 정점 01에서 상대적으로 높게 나타나 3월과 유사한 양상이었다. 그러나 저층의 현존량은 100-6,500cells/L의 범위로 나타났으며, 평균 현존량이 1,923cells/L으로 3월과 5월보다 매우 높게 나타났다. 특히 정점 01 및 02에서 각각 5,000cells/L과 6,500cells/L로 전 조사기간을 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. 정점 07을

제외한 모든 정점에서 출현한 *Nitzschia pungens*이 가장 우점하였고, 외편모조류인 *Ceratium furca*도 모든 정점에서 출현하였다.

조사해역의 2005년 11월 식물플랑크톤 현존량 및 종조성을 그림 1-3-4 및 표 1-3-4에 나타내었다. 표층에서 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 100~1,000cells/L(평균 319.23cells/L)의 범위로 나타났으며, 정점 13에서 가장 높은 1,000cells/L으로 출현하였고, 정점 02과 04에서 각각 다른 정점보다 상대적으로 높은 800cells/L과 900cells/L로 나타났다. 중층의 현존량은 100-600cells/L(평균261.54cells/L)이었으며, 정점 05과 10에서 상대적으로 높게 나타났다.

종조성을 살펴보면 총 12속 15종이 출현하였으며, 이 중 규조류가 10속 13종으로 전체 출현종의 86.7%를 차지하였고, 그 외 외편면조류와 은편모조류가 각각 1속 1종(6.7%), 1속 1종(6.7%)으로 나타났다. 규조류인 *Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Eucampia zodiacus*, *Pleurosigma sp*은 대부분 조사 정점에서 출현하였다. 정점 10에서 가장 많은 6종이 출현하였다.

식물플랑크톤의 현존량(그림 1-3-5)은 표층에서는 블록 투하 전인 3월과 5월이 블록 투하 후인 8월과 11월에 비해 식물플랑크톤이 많이 출현하였으며, 중층(그림 1-3-6)에서는 블록 투하 전이나 블록 투하 후 식물 플랑크톤의 현존량은 8월의 정점 01과 02를 제외한 나머지 정점에서는 표층에 비해 비교적 적은 양이 출현하였다.

이처럼 표·중층(25m)간 식물플랑크톤의 현존량 차이를 보이는 이유는 계절적 영향이 미치는지 아니면, 블록투여로 인한 일시적인 현상인지 정확히 구분할 수 없기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다.

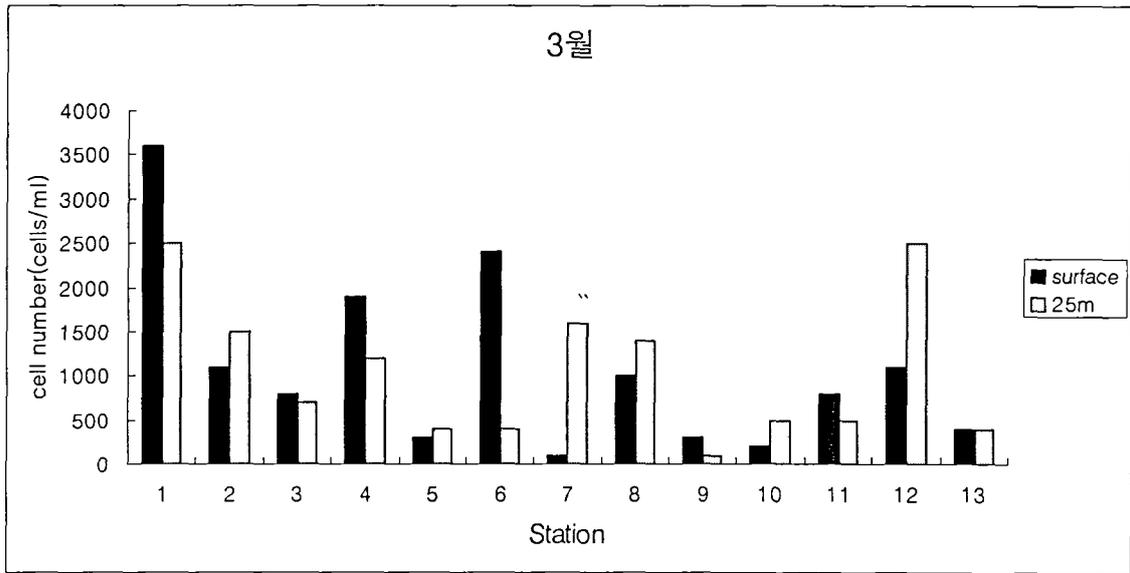


그림 1-3-1. 3월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

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

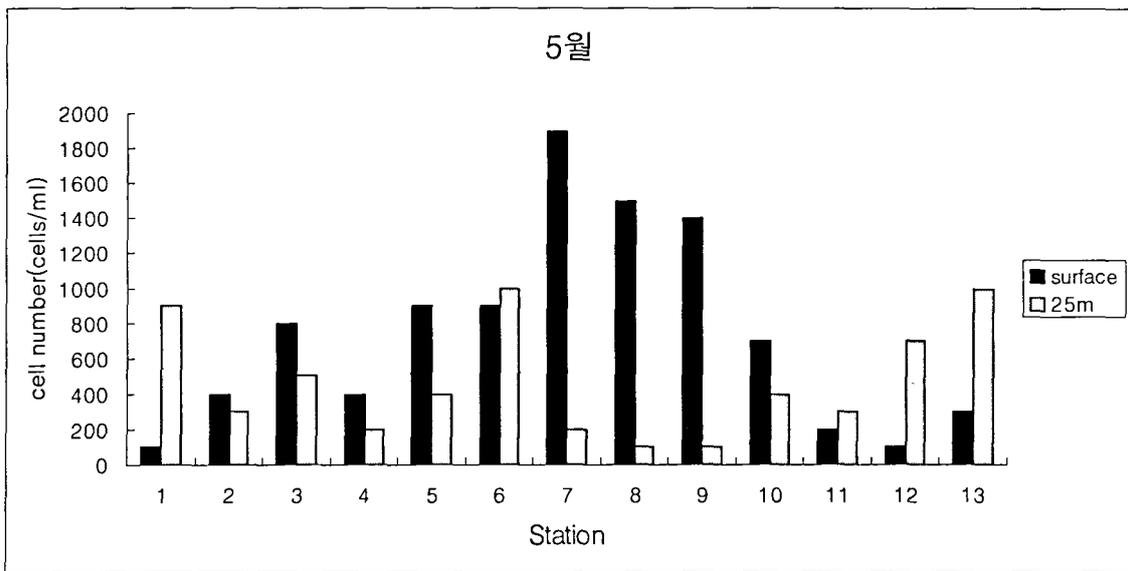


그림 1-3-2. 5월 표층 및 중층(25m)식물플랑크톤 현존량.

Fig. 1-3-2. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in May, 2005.

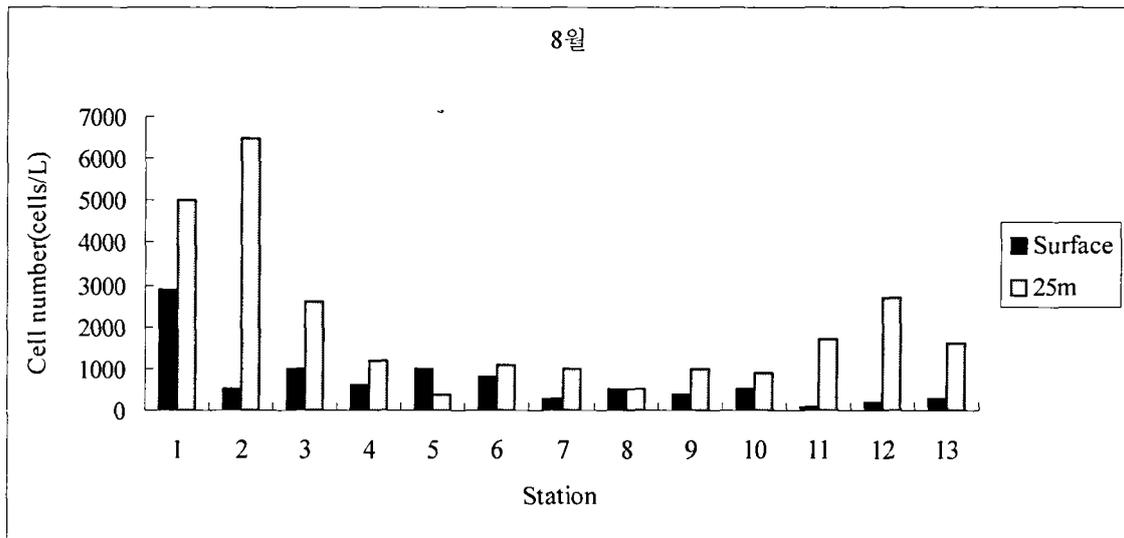


그림 1-3-3. 8월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

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

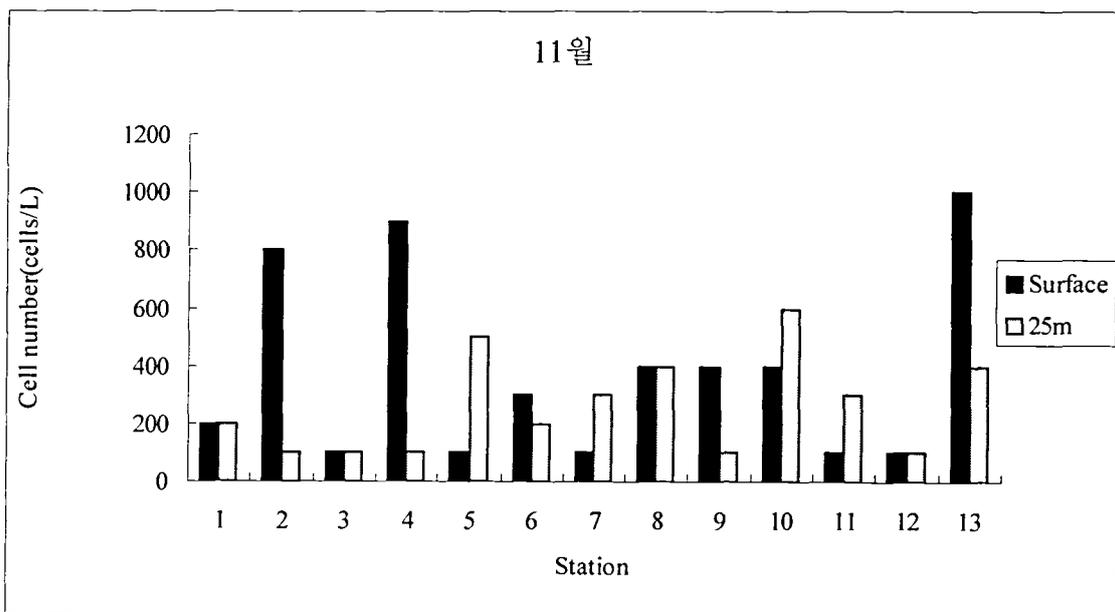


그림 1-3-4. 11월 표층 및 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-3-4. Standing crop of phytoplankton in surface water and 25m depth in November, 2005.

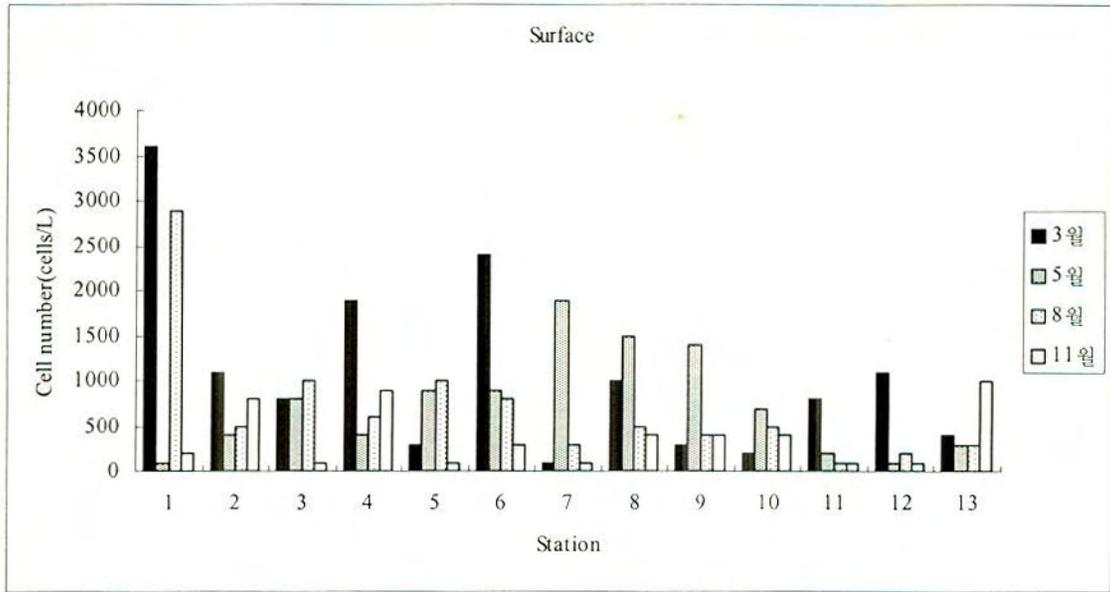


그림 1-3-5. 표층에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-3-5. Standing crop of phytoplankton in surface water.

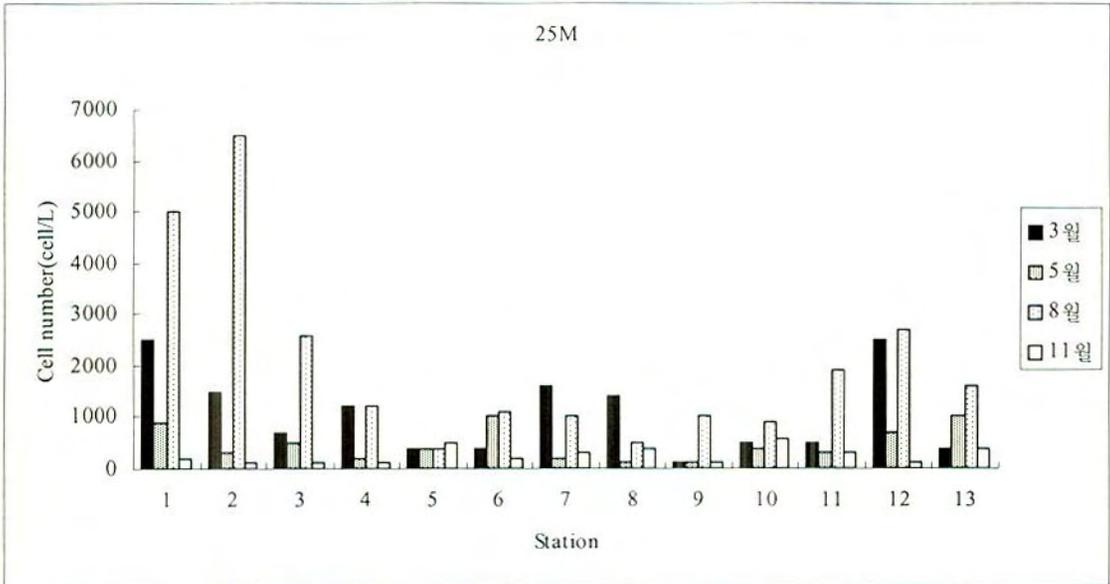


그림 1-3-6. 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-3-6. Standing crop of phytoplankton 25m depth water.

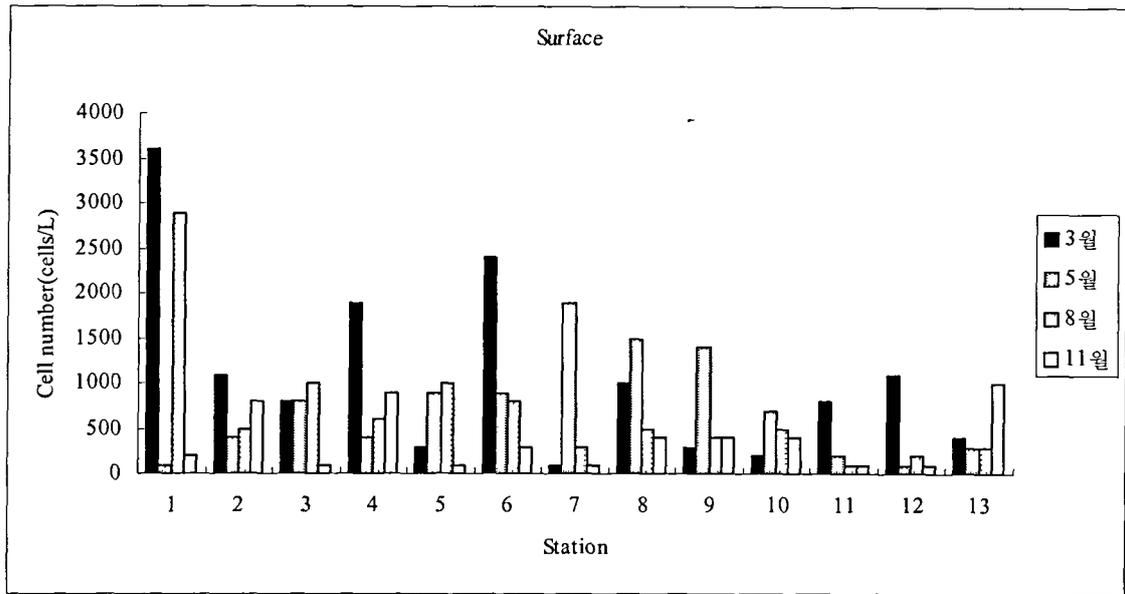


그림 1-3-5. 표층에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-3-5. Standing crop of phytoplankton in surface water.

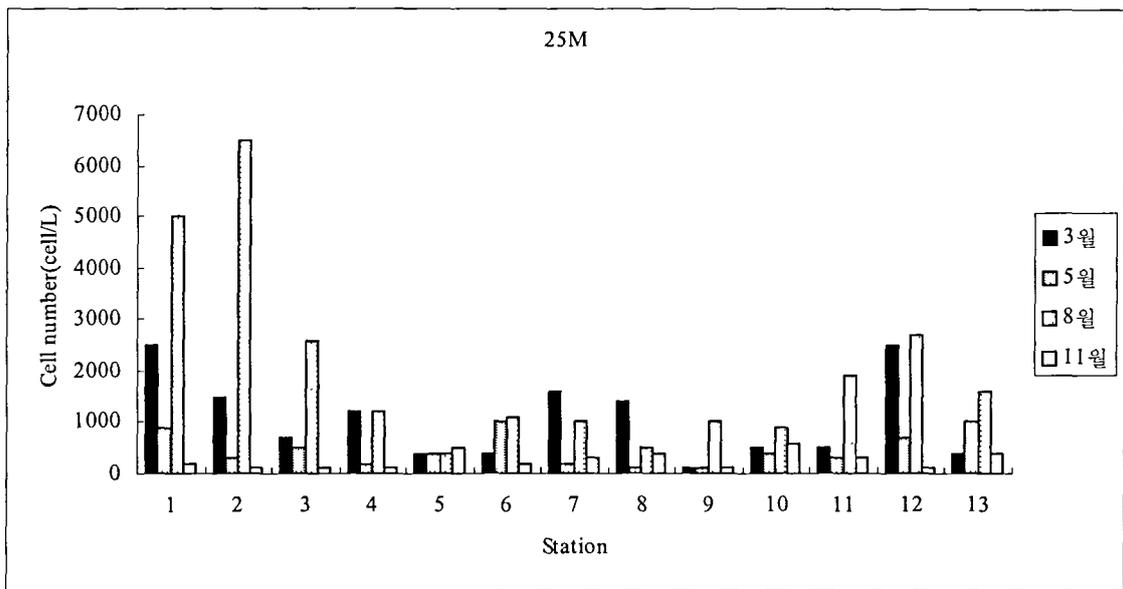


그림 1-3-6. 중층(25m)에서의 식물플랑크톤의 현존량.

Fig. 1-3-6. Standing crop of phytoplankton 25m depth water.

표 1-3-1. 2005년 3월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

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

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BACILLARIOPHYCEAE													
<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</i>	+		+	+			+					+	

<i>palmeriana</i>													
<i>Thalassionema nitzchiolides</i>						+	+						+
CRYPTOPHYCEAE													
<i>Chroomonas lateralis</i>													+
DINOPHYCEAE													
<i>Ceratium furca</i>													+
<i>Ceratium gravidum</i>													+

표 1-3-2. 2005년 5월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

Table 1-3-2. The species composition of phytoplankton in May, 2005

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BACILLARIOPHYCEAE													
<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>Nitzchia pungens</i>	+	+	+	+		+				+		+
<i>Odontella sinensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pleurosigma elongatum</i>												+
<i>Skeletonema costatum</i>	+			+		+			+			+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>		+		+	+				+			+
<i>Thalassionema nitzchiolides</i>								+	+			+
<hr/> CRYPTOPHYCEAE <hr/>												
<i>Chroomonas lateralis</i>	+											
<hr/> DINOPHYCEAE <hr/>												
<i>Ceratium furca</i>	+											
<i>Ceratium gravidum</i>												+

표 1-3-3. 2005년 8월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

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

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BACILLARIOPHYCEAE													
<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>	+		+	+			+					+	

Thalassionema
nitzchioides + + +

CRYPTOPHYCEAE

Chroomonas lateralis +

DINOPHYCEAE

Ceratium furca +

Ceratium gravidum +

표 1-3-4. 2005년 11월에 출현한 식물플랑크톤의 종조성

Table 1-3-4. The species composition of phytoplankton in November, 2005

	Station												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CHRYSTOPHYCEAE													
<i>Dictyocha speculum</i>	+							+					
BACILLARIOPHYCEAE													
<i>Chaetoceros danicus</i>				+			+						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	+						+			+	+		
<i>Chaetoceros pendulus</i>	+						+						
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>		+		+		+		+	+		+		+
<i>Coscinodiscus sp</i>				+					+	+			
<i>Cylindrotheca closterium</i>		+											
<i>Ditylum brighwellii</i>					+			+		+			
<i>Eucampia zodiacus</i>		+	+	+		+			+	+			+
<i>Leptocylindrus danicus</i>							+	+					
<i>Pleurosigma sp</i>		+		+	+	+		+	+	+	+		+
<i>Rhizosolenia setigera</i>					+				+	+		+	
<i>Stephanopyxis turris</i>		+											
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		+											
DINOPHYCEAE													
<i>Ceratium sp</i>								+					

1.3.2. 동물 플랑크톤 조사

1.3.2.1. 재료 및 방법

2005년 3월, 5월, 8월 및 11월에 식물플랑크톤과 동일한 정점에서 Norpac(구경: 45cm, 망목: 0.33mm)로 중층에서 표층까지 동물플랑크톤을 수직채집 하여 5% 중성포르말린으로 고정하였다. 채집된 동물플랑크톤은 현미경하에서 풍도(개체수/m³)를 분석하였다.

1.3.2.2. 동물플랑크톤의 풍도

동물플랑크톤의 풍도를 그림 1-3-7와 표 1-3-5에 나타내었다. 3월의 풍도의 범위는 125.95~755.67개체/m³이며, 평균 풍도는 392.37개체/m³이다. 조사 정점별 동물플랑크톤 풍도의 분포를 살펴보면 3월에는 정점 12에서 755.67개체/m³로 가장 높게 나타났으며, 정점 01, 06, 07, 08, 및 13에서 평균보다 높은 400개체/m³이상으로 나타났으며, 정점 03에서 가장 낮았다.

5월의 풍도의 범위는 125.95~1070.53개체/m³이며, 평균 풍도는 537.73개체/m³로 3월 보다 높게 나타났다. 조사 정점별 풍도는 정점 8에서 1070.53개체/m³로 가장 높게 나타났으며, 정점 01, 02, 06 및 10에서 평균보다 높은 600개체/m³이상으로 나타났으며, 정점 03과 13에서 가장 낮았다.

8월의 풍도의 범위는 125.95~503.78개체/m³이며, 평균 풍도는 256.73개체/m³로 3월과 5월보다 낮게 나타났다. 조사 정점별 풍도는 정점 01에서 503.78개체/m³로 가장 높게 나타났으며 정점 05, 06, 11, 13이 125.95개체/m³로 가장 낮게 나타났다. 블록 투하 전후의 동물플랑크톤의 풍도 변화를 보면, 정점 03과 04에서는 다소 증가하였으나 그 외의 정점에서는 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

11월 풍도의 범위는 125.95~1952.14개체/m³이며, 평균 풍도는 779.89개체/m³로 앞서 실시되어진 조사 때의 풍도보다 가장 많이 나타났다.

조사 정점별 풍도를 살펴보면 정점 02와 04에서 가장 많은 출현량을 보

였으며, 정점 13에서 가장 낮은 출현량을 보였다.

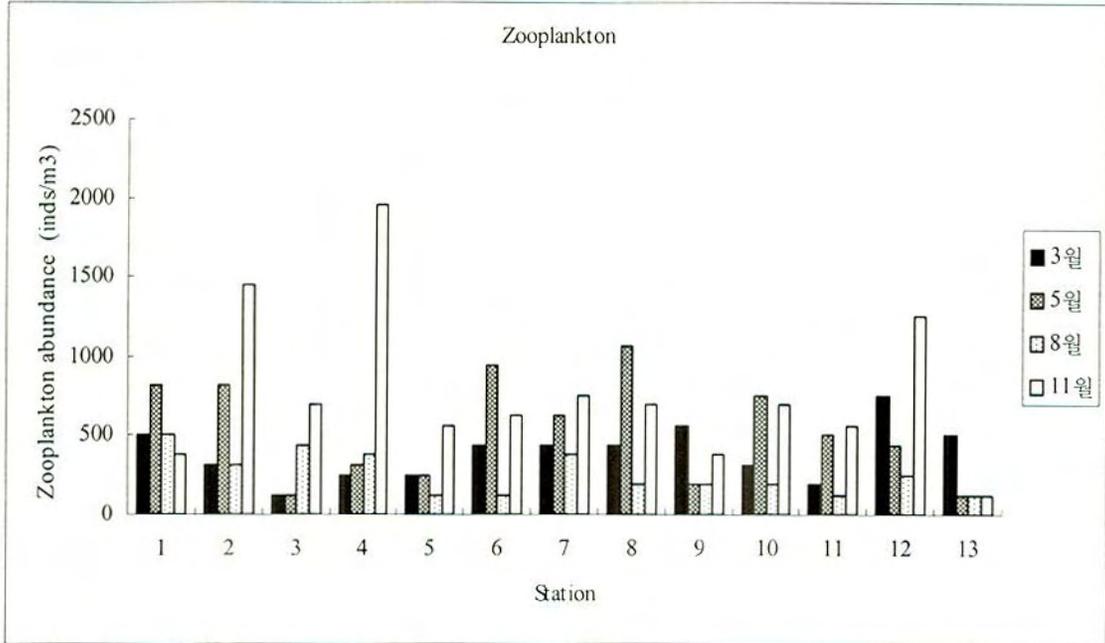


그림 1-3-7. 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월의 동물플랑크톤 풍도 분포.

Fig. 1-3-7. Distribution of Zooplankton abundance(inds. /m3) in March, May, August and November 2005.

표 1-3-5. 동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위 (inds/m3)

Table 1-3-5. Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m3)

Month	Mean	Range
March	392.37	125.95-755.67
May	537.73	125.95-1070.53
August	256.73	125.95-503.78
November	779.89	125.95-1952.14

였으며, 정점 13에서 가장 낮은 출현량을 보였다.

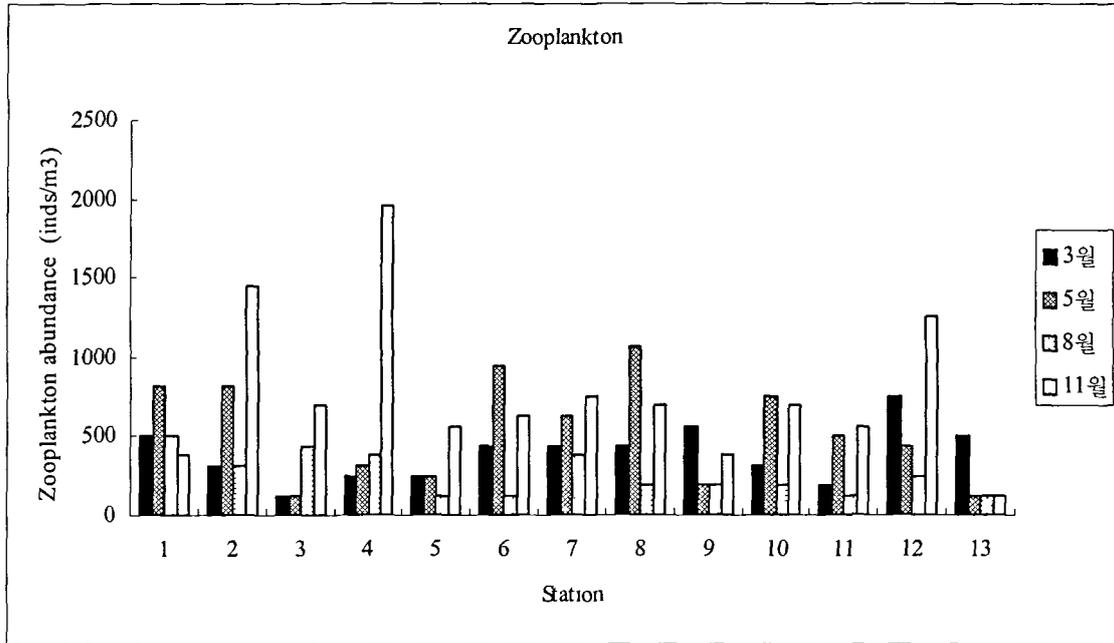


그림 1-3-7. 2005년 3월, 5월, 8월 및 11월의 동물플랑크톤 풍도 분포.

Fig. 1-3-7. Distribution of Zooplankton abundance(inds. /m3) in March, May, August and November 2005.

표 1-3-5. 동물플랑크톤의 평균 풍도와 범위 (inds/m3)

Table 1-3-5. Mean and range of Zooplankton abundance (inds. /m3)

Month	Mean	Range
March	392.37	125.95-755.67
May	537.73	125.95-1070.53
August	256.73	125.95-503.78
November	779.89	125.95-1952.14

1.3.3. 생균수 조사

1.3.3.1. 재료 및 방법

샘플은 11월에 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 1 ml씩 분주, 도말하여 배양하였다.

1.3.3.2. 생균수의 분포

2005년 11월의 정점별 생균수 분포를 그림 1-3-8에 나타내었다. 생균수의 분포는 $1.8\sim 17.3 \times 10^3$ CFU/ml의 범위로 나타났으며, 평균 생균수는 8.56×10^3 CFU/ml로 나타났다. 정점 07에서 가장 높은 생균수(17.3×10^3 CFU/ml)를 보였으며, 정점 02, 06, 09, 12에서 12.8×10^3 CFU/ml로 상대적으로 높게 나타났다. 반면에 정점 03과 10에서 2×10^3 CFU/ml 범위로 낮게 나타났다. 1차년도(블럭 투여 전, 3월, 5월, 8월)와 2차년도(블럭 투여 후, 11월)의 평균 생균수는 그림 1-3-9에서 나타내었다. 2005년 3월 2.51, 5월 8.23, 8월 11.6 그리고 11월 85.57 ($\times 10^2$ CFU/ml) 으로 눈에 띄게 생균수가 증가하였음을 알 수 있다.

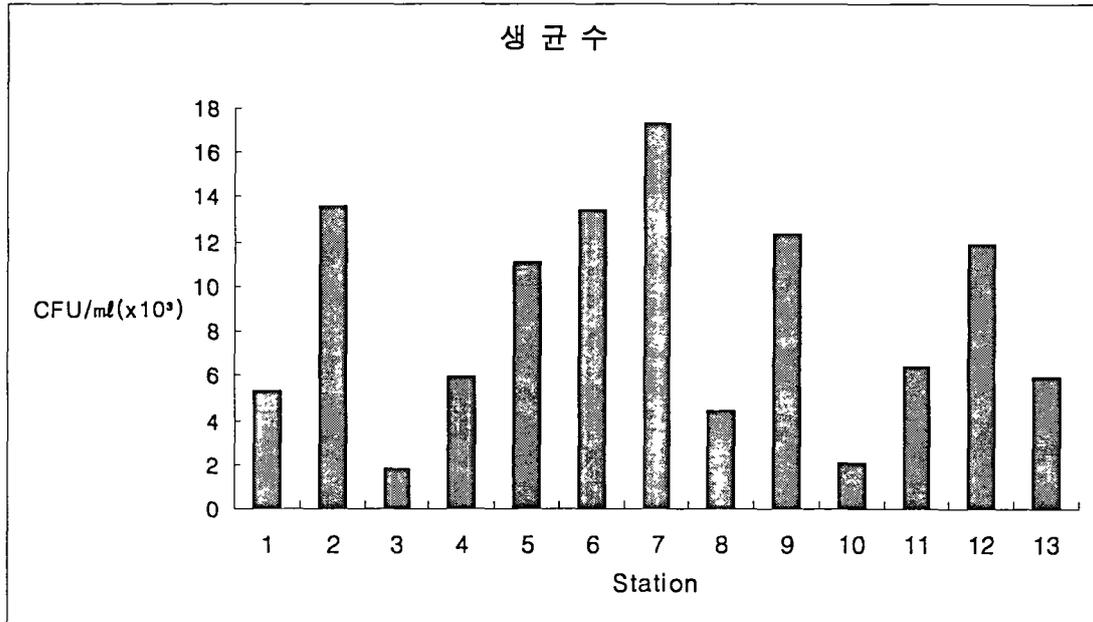


그림 1-3-8. 2005년 11월 표층(1m)에서의 생균.

Fig. 1-3-8. Distribution of CFU(Colony Forming Unit) in surface water(1m depth) in November, 2005.

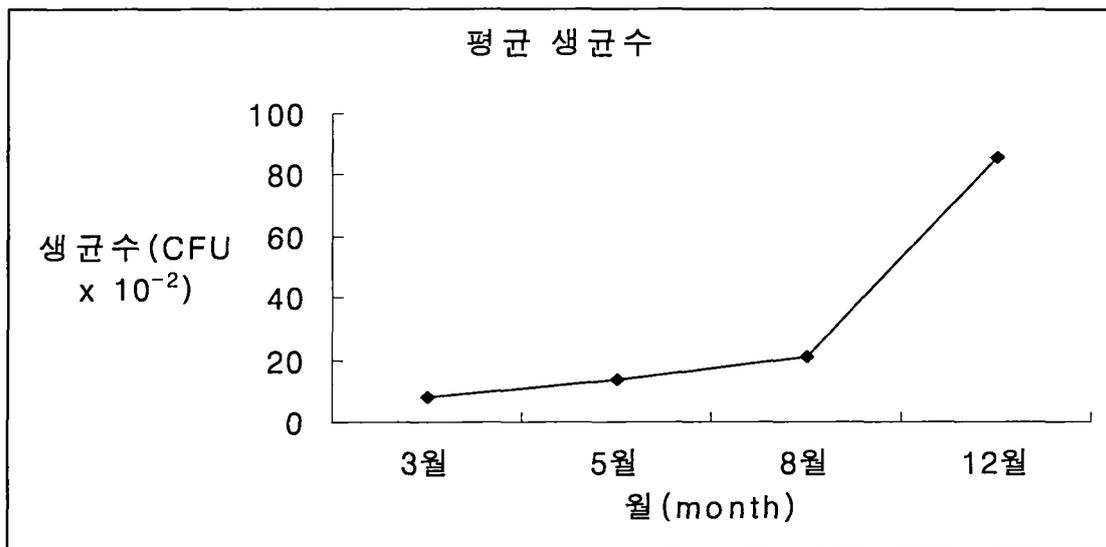


그림 1-3-9. 각 월별 평균 생균수.

Fig. 1-3-9. Average distribution of CFU(Colony Forming Unit) in each month.

1.4. 어류상 조사

1.4.1. 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 과급되는 영향을 기대하며, 조사해역 부근에서 서식하는 어류의 종조성 및 월변동을 통해, 인공구조물 투하로 인한 어장환경의 변화가 어류자원에 미치는 영향을 간접적으로 규명하고자 한다.

1.4.2. 재료 및 방법

1.4.2.1 조사해역 및 조사어구

2005년 2월부터 12월까지 매물도 부근해역 128°25' ~ 128°35'E, 34°30' ~ 34°40'N(그림 1-4-1)에서 어종조사를 실시하였으며, 수심별로 편상 저층, 중층, 표층어류로 나누어 조사해역의 수심별 채집을 위해 소형 저인망, 새우조망, 각망, 통발, 외줄 낚시 등의 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 80,000m²였다.

다음으로, 2005년 5월부터 12월까지 저인망 및 새우조망 어구사용의 금지로 중층 및 표층어류를 대상으로 조사하였으며, 중층어류는 연안통발 어선에 승선하여 장어통발용 어구 300개를 전날 오전에 투승하여 다음날 오전

에 양승한 어류를 대상으로 하였으며 수심은 25~30m(평균 약 28m)였으며, 다음으로 소형 새우조망 어구를 가진 어선에 승선하여 조사하였으며, 어구 크기는 망길이 약 8m, 망폭 약 2m 예인망 어구로 속도는 약 0.5km/h로 하여 1시간씩 4회 반복채집하였으며, 예인면적은 16,000m²였으며 수심은 약 20~30m(평균 약 25m) 내외였으며, 외출낚시 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 3,000m²의 각망(정치성구획어업) 어선에 승선하여, 약 1일 경과한 어류를 대상으로 조사하였으며, 수심은 약 10~12m 내외였다.

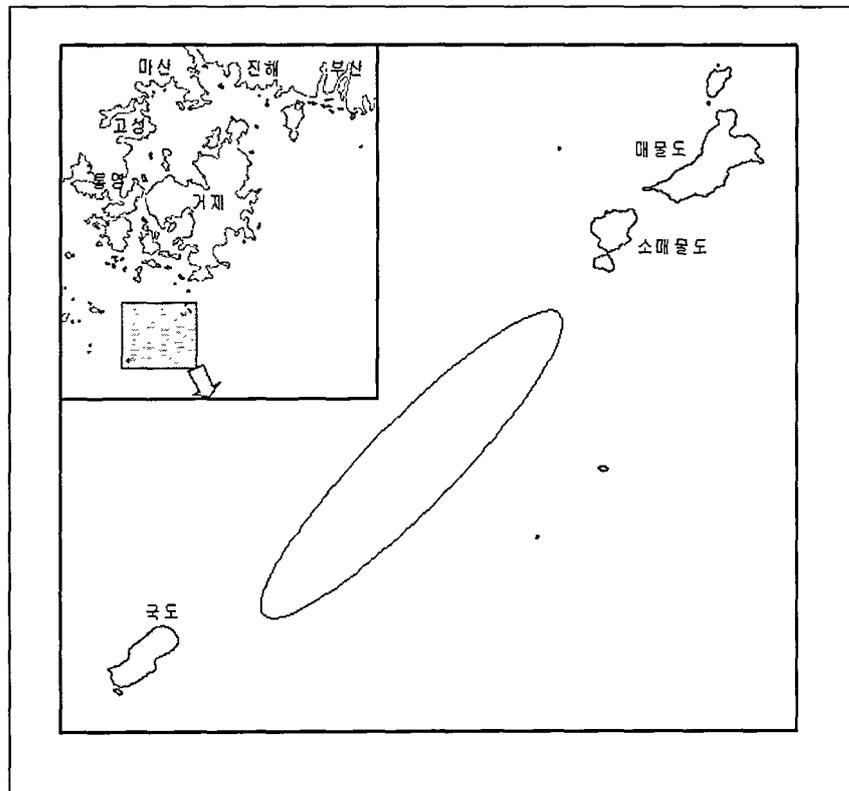


그림 1-4-1. 어류자원 조사를 실시한 해역도.

Fig. 1-4-1. Location of the small trawl and shrimp trawl area.

1.4.2.2. 측정 및 종동정

채집된 어류는 전량 또는 부분채집하여 매몰도 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.

1.4.2.3 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.

1.4.3. 결과

1.4.3.1 어종목록

2005년 2월부터 12월까지 채집된 어류는 총 2강 13목 52과 83종으로, 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

뱀장어과 Family Congridae

2. 뱀장어 *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*

송어목 Order Mugiliformes

송어과 Family Mugilidae

9. 송어 *Mugil cephalus*

달고기목 Order Zeiformes

달고기과 Family Zeidae

10. 달고기 *Zeus faber*

솜뱅이목 Order Scorpaeniformes

양볼락과 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. 솜뱅이 *Sebastes marmoratus*

폴미역치과 Family Aploactinidae

21. 폴미역치 *Erisphex pottii*

성대과 Family Triglidae

22. 성대 *Chelidonichthys spinosus*

23. 밑달갱이 *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. 필립흙무굴치 *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*

빨판상어과 Family Echeneidae

40. 빨판상어 *Echeneis naucrates*

전갱이과 Family Carangidae

41. 방어 *Seriola quinqueradiata*

42. 전갱이 *Thachurus japonicus*

43. 민전갱이 *Uraspis helvola*

주둥치과 Family Leiognathidae

44. 주둥치 *Leiognathus nuchalis*

하스돔과 Family Haemulidae

45. 벤자리 *Parapristipoma trilineatum*

도미과 Family Sparidae

46. 참돔 *Pagrus major*

민어과 Family Sciaenidae

47. 보구치 *Ayrosomus argentatus*

48. 민어 *Miichthys miuiy*

황줄감정이과 Family Kyphosidae

49. 벙에돔 *Girella punctata*

돌돔과 Family Pomacanthidae

50. 돌돔 *Oplegnathus fasciatus*

망상어과 Family Embiotocidae

51. 망상어 *Ditrema temmincki*

자리돔과 Family Pomacentridae

52. 자리돔 *Chromis notatus*

놀래기과 Family Labridae

53. 용치놀래기 *Halichoeres poecilopterus*

54. 놀래기 *Halichoeres tenuispinnis*

55. 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*

등가시치과 Family Zoarcidae

56. 등가시치 *Zoarces gilli*

장갱이과 Family Stichaeidae

57. 피도라치 *Chirolophis japonicus*

58. 그물베도라치 *Dictyosoma burgeri*

황줄베도라치과 Family Pholididae

59. 베도라치 *Pholis nebulosa*

까나리과 Family Ammodytidae

60. 까나리 *Ammodytes personatus*

악어치과 Family Champsodontidae

61. 악어치 *Champsodon snyderi*

양동미리과 Family Pinguipedidae

62. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciata*
통구멍과 Family Uranoscopidae
63. 푸렁통구멍 *Gnathagnus elongatus*
64. 얼룩통구멍 *Uranoscopus japonicus*
- 돛양태과 Family Callionymidae
65. 돛양태 *Repomucenus lunatus*
- 망둑어과 Family Gobiidae
66. 도화망둑 *Chaeturichthys hexanema*
67. 망둑어류 Gobiidae *gen. sp.*
- 고등어과 Family Scombridae
68. 고등어 *Scomber japonicus*
69. 삼치 *Scomberomorus niphonius*
- 샛돔과 Family Centrolopidae
70. 샛돔 *Psenopsis anomala*
- 병어과 Family Stromateidae
71. 병어 *Pampus argenteus*
- 가자미목 Order Pleuronectiformes
- 풀넙치과 Family Citharidae
72. 풀넙치 *Citharoides macrolepidotus*
- 넙치과 Family Paralichthyidae
73. 넙치 *Paralichthys olivaceus*
- 가자미과 Family Pleuronectidae
74. 물가자미 *Eopsetta grigorjewi*
75. 문치가자미 *Limanda yokohame*
76. 도다리 *Pleronichthys cornutus*
- 납서대과 Family Soleidae
77. 각시서대 *Pseudaesopia japonica*

참서대과 Family Cynoglossidae

78. 용서대 *Cynoglossus abbreviatus*

79. 참서대 *Cynoglossus joyneri*

80. 개서대 *Cynoglossus robustus*

복어목 Order Tetraodontiformes

쥐치과 Family Monacanthidae

81. 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*

82. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

참복과 Family Tetraodontidae

83. 국매리복 *Takifugu vermicularis*

1.4.3.2 분류군별 출현양상

조사기간 중 채집된 어종을 분류군별로 비교하면, 농어목(Perciformes)이 29과로 전체의 과(Family) 수준의 분류군수의 약 55%로 가장 우점하였으며, 쏨뱅이목 (Scorpaeniformes)은 7과로 약 13%, 가자미목(Pleuronectiformes)은 5과로 약 10%, 복어목(Tetraodontiformes) 어류가 2과로 약 4%를 차지하였으며, 그 외 홍어목(Rajiformes), 뱀장어목(Angulliformes), 청어목(Clupeiformes), 홍메치목(Aulopiformes), 샛비늘치목(Myctophiformes), 대구목(Gadiformes), 아귀목(Lophiiformes), 송어목(Mugiliformes), 달고기목(Zeiformes) 어류는 각각 1개과로 약 2%로 나타났다(그림 1-4-2).

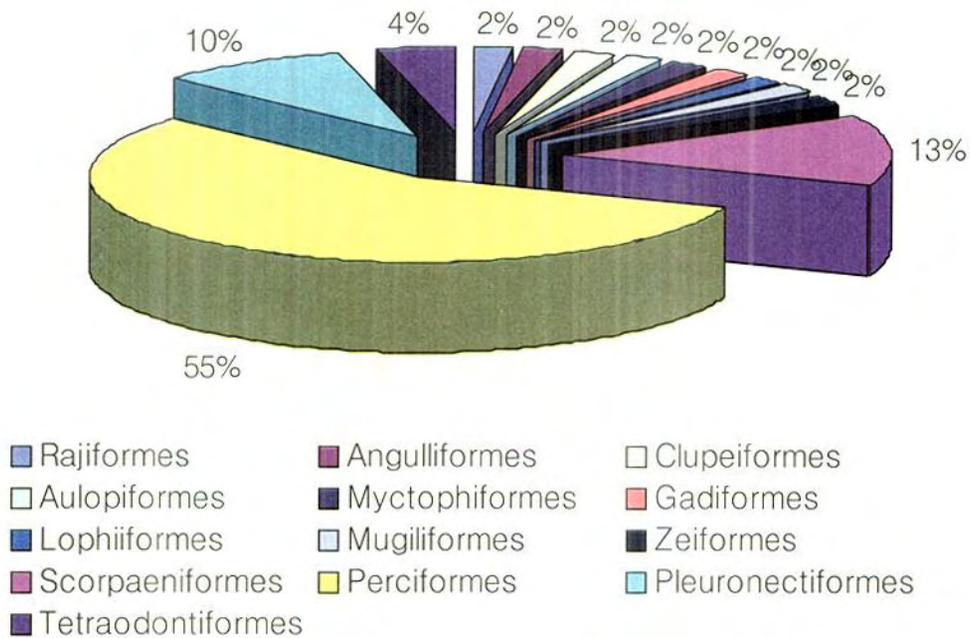


그림 1-4-2. 분류군별 출현양상.

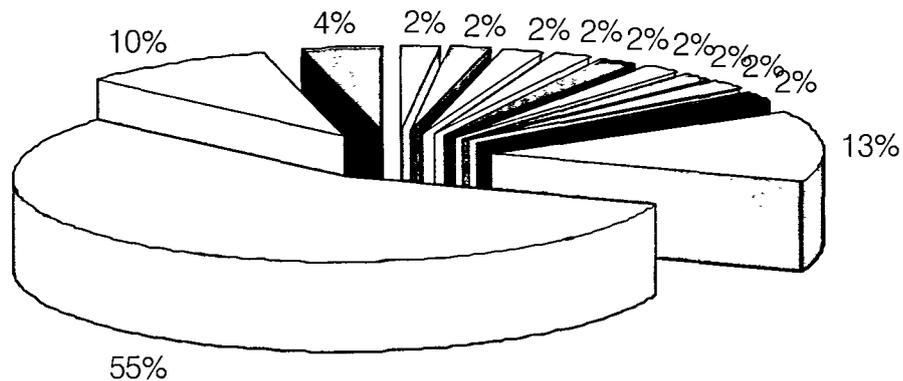
Fig. 1-4-2. The aspect of appearance by the grouping classification.

1.4.3.3 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 1-4-1).

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



- | | | |
|---------------------|------------------|---------------------|
| □ Rajiformes | □ Angulliformes | □ Clupeiformes |
| □ Aulopiformes | ■ Myctophiformes | □ Gadiformes |
| □ Lophiiformes | □ Mugiliformes | ■ Zeiformes |
| □ Scorpaeniformes | □ Perciformes | □ Pleuronectiformes |
| □ Tetraodontiformes | | |

그림 1-4-2. 분류군별 출현양상.

Fig. 1-4-2. The aspect of appearance by the grouping classification.

1.4.3.3 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 1-4-1).

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 1-4-3).

표 1-4-1. 조사해역에서 저인망, 새우조망으로 채집한 어종의 월 변동

Table 1-4-1. 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
밀달갱이	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
아카씨물메기	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

표 1-4-1. 계속

Table 1-4-1. Continued

어종	2월		3월		4월		총합계	
	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량	개체수	생체량
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
쌍동가리	115	10,100	225(2)	12429(8)	170(2)	9455(5)	510(2)	31984(6)
푸령통구멍	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
폴넙치	9	408	0	0	0	0	9	408
넙치	0	0	5	24,000 (15)	5	30,000 (15)	10	54,000 (10)

물가자미	18	600	205(2)	3,425(2)	320(3)	8,337 (4)	543(2)	12,362 (2)
문치가자미	368(4)	31,783 (15)	75	2,620 (2)	85	3,494 (2)	528(2)	3,7897 (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
개서대	5	544	135	2883 (2)	405(4)	6662 (3)	545(2)	10,089
쥐치	7	546	5	185	5	339	17	1,070
말쥐치	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/80,000m²

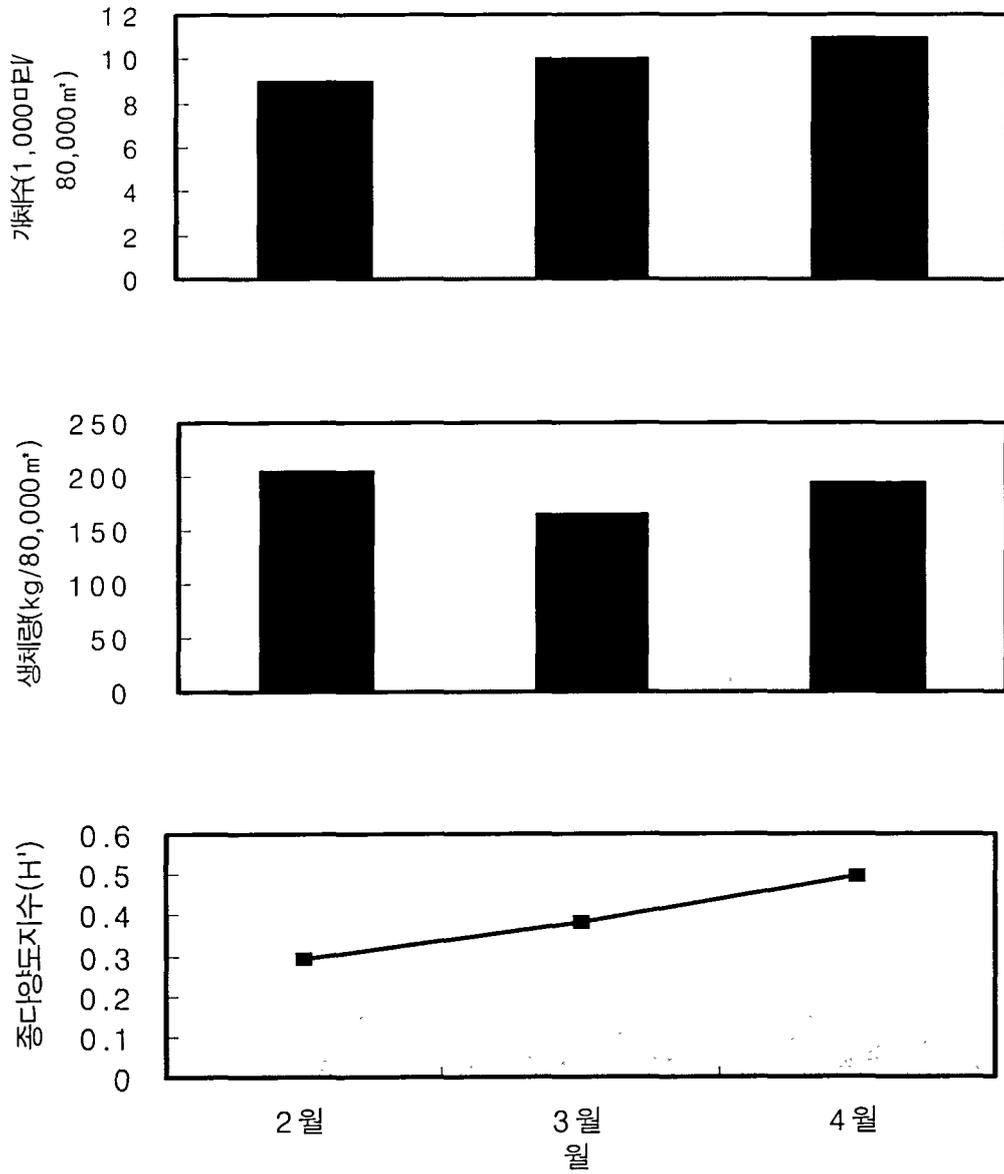


그림 1-4-3. 조사해역에서 채집한 저층어류.

Fig. 1-4-3. 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 1-4-5). 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 1-4-2).

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 1-4-4, 그림 1-4-5).

표 1-4-2. 주요 저층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해

Table 1-4-2. 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

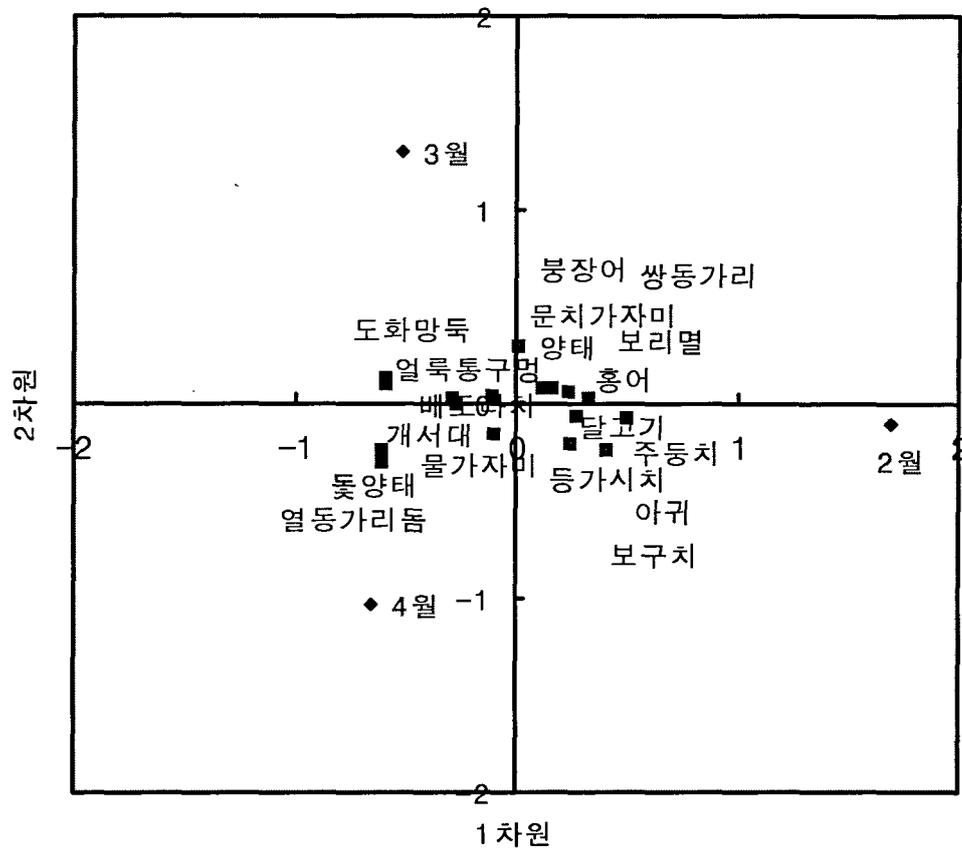


그림 1-4-4. 대응일치분석에 의한 조사시기와 저층 주요어종의 차원상 분포.

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

붕장어과 Family Congridae

1. 붕장어 *Conger japonicus*

청어목 Order Clupeiformes

멸치과 Family Engraulidae

2. 멸치 *Engraulis japonicus*
3. 청멸 *Thrissa kammalensis*

샛비늘치목 Order Myctophiformes

샛비늘치과 Family Myctophidae

4. 갯비늘치 *Benthosema pterotum*

아귀목 Order Lophiiformes

아귀과 Family Lophiidae

5. 아귀 *Lophiomus setigerus*

달고기목 Order Zeiformes

달고기과 Family Zeidae

6. 달고기 *Zeus faber*

쏨뱅이목 Order Scorpaeniformes

양볼락과 Family Scorpaenidae

7. 홍감펍 *Helicolenus hilgendorfi*
8. 미역치 *Hypodytes rubripinnis*
9. 우럭볼락 *Sebastes hubbsi*
10. 볼락 *Sebastes inermis*
11. 개볼락 *Sebastes pachycephalus*
12. 쏨뱅이 *Sebastes marmoratus*

성대과 Family Triglidae

13. 성대 *Chelidonichthys spinosus*

양태과 Family Platycephalidae

14. 양태 *Platycephalus indicus*

쥐노래미과 Family Hexagrammidae

15. 노래미 *Hexagrammos agrammus*

16. 쥐노래미 *Hexagrammus otakii*

꼼치과 Family Liparidae

17. 꼼치 *Liparis tanakai*

농어목 Order Perciformes

반딧불게르치과 Family Acropomatidae

18. 반딧불게르치 *Acropoma japonicum*

바리과 Family Serranidae

19. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

동갈돔과 Family Apogonidae

20. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

보리멸과 Family Sillaginidae

21. 보리멸 *Sillago sihama*

주둥치과 Family Leiognathidae

22. 주둥치 *Leiognathus nuchalis*

하스돔과 Family Haemulidae

23. 벤자리 *Parapristipoma trilineatum*

도미과 Family Sparidae

24. 참돔 *Pagrus major*

자리돔과 Family Pomacentridae

25. 자리돔 *Chromis notatus*

놀래기과 Family Labridae

26. 용치놀래기 *Halichoeres poecilopterus*

27. 놀래기 *Halichoeres tenuispinnis*

28. 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*

등가시치과 Family Zoarcidae

29. 등가시치 *Zoarces gilli*
 장갱이과 Family Stichaeidae
30. 피도라치 *Chirolophis japonicus*
31. 그물베도라치 *Dictyosoma burgeri*
 황줄베도라치과 Family Pholididae
32. 베도라치 *Pholis nebulosa*
 양동미리과 Family Pinguipedidae
33. 쌍동가리 *Parapercis sexfasciata*
 까나리과 Family Ammodytidae
34. 까나리 *Ammodytes personatus*
 꼬치고기과 Family Sphyrænidae
35. 꼬치고기 *Sphyræna pinguis*
 갈치과 Family Trichiuridae
36. 갈치 *Trichiurus lepturus*
 가자미목 Order Pleuronectiformes
 가자미과 Family Pleuronectidae
37. 문치가자미 *Limanda yokohame*
 참서대과 Family Cynoglossidae
38. 개서대 *Cynoglossus robustus*

나. 종조성 및 출현양상

조사기간 동안 채집한 총 개체수는 3,273마리 약 134kg이었다. 이 중 개체수는 열동가리돔이 1655마리로 전체 개체수의 약 50.5%로 가장 우점하였으며 갈치가 약 945마리 약 28.9%, 붕장어가 약 4.9%의 순으로 나타났으며, 생체량은 열동가리돔이 약 61kg으로 전체 생체량의 약 45.1%로 가장 우점하였으며, 참돔 약 9.1%, 아귀 약 8.9%, 갈치 약 7.9%의 순으로 나타났다(그림 1-4-6, 표 1-4-3).

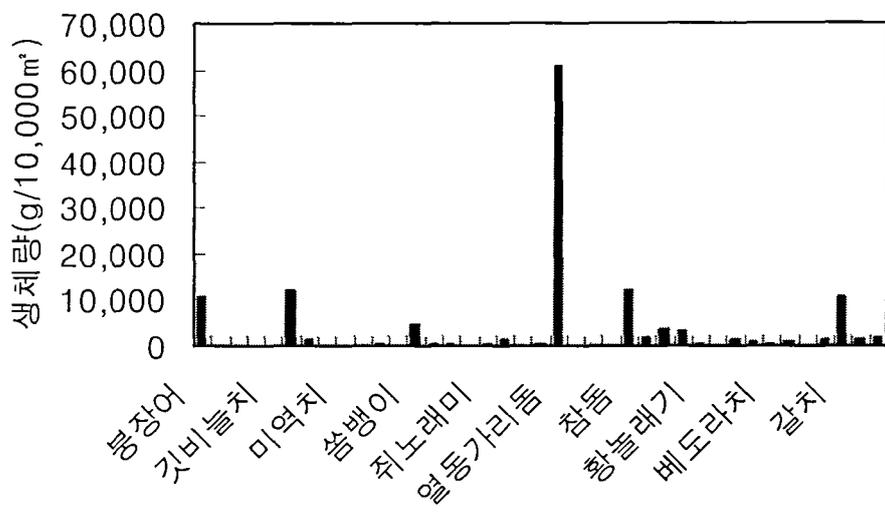
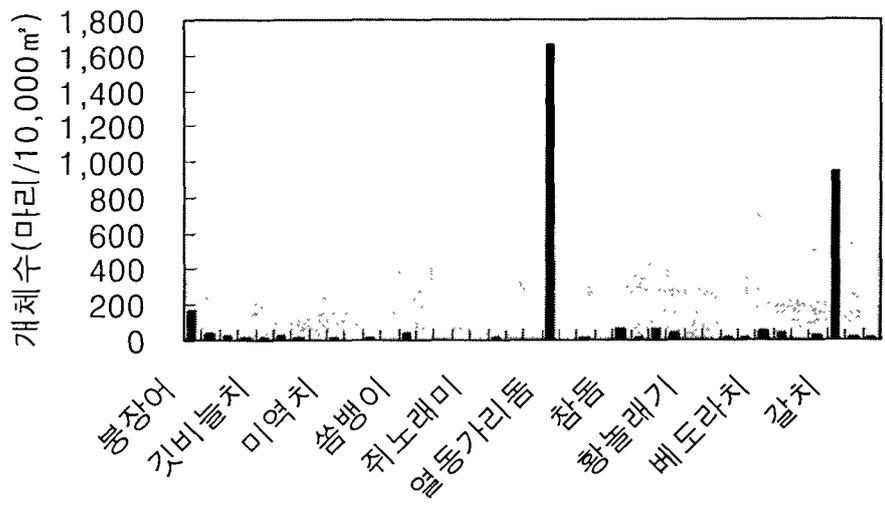


그림 1-4-6. 조사해역에서 채집한 중층어류.

Fig. 1-4-6. The fishes of middle layer collected in the study area

표 1-4-3. 중층어류의 개체수 및 생체량

Table 1-4-3. The number of individuals and biomass in the middle layer

Species	5~8월		9~12월		합계		비율(%)	
	N	B	N	B	N	B	N	B
붕장어	105	8,736	57	1,696	162	10,432	4.9	7.8
멸치	0	0	40	196	40	196	1.2	0.1
청멸	0	0	20	225	20	225	0.6	0.2
히메치	0	0	6	100	6	100	0.2	0.1
깃비늘치	0	0	9	148	9	148	0.3	0.1
아귀	1	52	25	11,920	26	11,972	0.8	8.9
달고기	0	0	10	1,365	10	1,365	0.3	1.0
홍감펍	1	141	0	0	1	141	0	0.1
미역치	12	139	0	0	12	139	0.4	0.1
우럭볼락	1	67	0	0	1	67	0	0
볼락	6	474	0	0	6	474	0.2	0.4
개볼락	2	147	0	0	2	147	0.1	0.1
섬뱅이	39	4,798	0	0	39	4,798	1.2	3.6
성대	0	0	3	388	3	388	0.1	0.3
양태	2	634	0	0	2	634	0.1	0.5
노래미	2	226	0	0	2	226	0.1	0.2
쥐노래미	1	274	0	0	1	274	0	0.2
꼼치	1	16	6	1,201	7	1,217	0.2	0.9
반딧불게르치	1	8	0	0	1	8	0	0
능성어	2	556	0	0	2	556	0.1	0.4
열동가리돔	5	29	1,50	60,498	1,655	60,527	50.5	45.1
보리멸	1	90	0	0	1	90	0	0.1
주둥치	0	0	6	21	6	21	0.2	0
벤자리	0	0	1	6	1	6	0	0
참돔	6	12,256	0	0	60	12,256	1.8	9.1
자리돔	10	1,800	0	0	10	1,800	0.3	1.3
용치놀래기	54	3,572	0	0	54	3,572	1.6	2.7
놀래기	36	3,404	0	0	36	3,404	1.1	2.5
황놀래기	5	453	0	0	5	453	0.2	0.3
등가시치	4	82	0	0	4	82	0.1	0.1
괴도라치	2	830	6	369	8	1,199	0.2	0.9
그물베도라치	11	709	0	0	11	709	0.3	0.5
베도라치	21	545	31	117	52	662	1.6	0.5
쌍동가리	3	129	27	920	30	1,049	0.9	0.8
까나리	1	20	0	0	3	29	0.1	0
꼬치고기	0	0	19	1,350	19	1,350	0.6	1.0
갈치	0	0	945	10,584	945	10,584	28.9	7.9
문치가자미	1	104	5	1,123	6	1,227	0.2	0.9
개서대	0	0	15	1,628	15	1,628	0.5	1.2
합계					3,273	134,155	100	100

*마리, (%), g/10,000m²

1.4.3.5 표충어류

가. 어류목록

조사기간은 2005년 5월부터 12월까지 표충어류를 조사하였으며, 채집된 어종은 총 1장 8목 17과 23종이었다.

조기장 Class Actinopterygii

뱀장어목 Order Anguilliformes

붕장어과 Family Congridae

1. 붕장어 *Conger japonicus*

아귀목 Order Lophiiformes

아귀과 Family Lophiidae

2. 아귀 *Lophius litulon*

승어목 Order Mugiliformes

승어과 Family Mugilidae

3. 승어 *Mugil cephalus*

달고기목 Order Zeiformes

달고기과 Family Zeidae

4. 달고기 *Zeus faber*

솜뱅이목 Order Scorpaeniformes

양볼락과 Family Scorpaenidae

5. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*

농어목 Order Perciformes

농어과 Family Moronidae

6. 농어 *Lateolabrax japonicus*

바리과 Family Serranidae

7. 붉바리 *Epinephelus akaara*

8. 능성어 *Epinephelus septemfasciatus*

동갈돔과 Family Apogonidae

9. 열동가리돔 *Apogon lineatus*

케르치과 Family Pomatomidae

10. 케르치 *Scombrops boops*

전갱이과 Family Carangidae

11. 방어 *Serilola quinqueradiata*

12. 전갱이 *Trachurus japonicus*

13. 민전갱이 *Uraspis helvola*

도미과 Family Sparidae

14. 참돔 *Pagrus major*

망상어과 Family Embiotocidae

15. 망상어 *Ditrema temmincki*

놀래기과 Family Labridae

16. 용치놀래기 *Halichoeres oeciopterus*

17. 황놀래기 *Pseudolabrus japonicus*

고등어과 Family Scombridae

18. 고등어 *Scomber japonicus*

19. 삼치 *Scomberomorus niphonius*

셋돔과 Family Centrolophidae

20. 셋돔 *Psenopsis anomala*

가자미목 Order Pleuronectiformes

넙치과 Family Paralichthyidae

21. 넙치 *Paralichthys olivaceus*

복어목 Order Tetradontiformes

쥐치과 Family Monacanthidae

22. 쥐치 *Stephanolepis cirrhifer*

23. 말쥐치 *Thamnaconus modestus*

나. 종조성 및 월변동

조사기간 동안 채집한 총 개체수는 14,319마리 약 4,142,248kg이었다. 이 중 개체수로는 전갱이가 9,881마리로 전체 개체수의 약 77%로 가장 우점하였으며 방어가 약 13.8%, 쥐치가 약 3.41%의 순으로 나타났으며, 생체량으로는 방어가 약 2,578kg으로 전체 생체량의 약 63%로 가장 우점하였으며, 넙치가 약 14.9%, 쥐치가 14.7%, 붉바리가 약 7.7%의 순으로 나타났다(표 1-4-4). 월별 비교를 하면, 5월에는 전갱이가 800마리로 전체 개체수의 약 93%로 가장 우점하였으며, 방어, 승어, 참돔이 약 3%, 2%, 2% 순으로 우점하였으며, 생체량에서도 전갱이가 약 40kg으로 전체 생체량의 약 67%로 가장 우점하였으며, 방어, 승어, 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. 9월은 개체수는 전갱이가 약 2,000마리로 전체의 약 87%, 생체량은 붉바리가 300,000g으로 전체의 약 73%로 가장 우점하였다. 10월은 개체수는 전갱이가 1,250마리 약 88%, 생체량은 방어가 996kg 약 93%로 가장 우점하였다. 11월은 개체수는 1100마리 약 84%, 생체량은 방어가 약 813kg 약 54%로 가장 우점하였다. 12월은 개체수는 방어가 60마리 약 47%, 생체량은 방어가 약 610kg 약 84%로 가장 우점한 경향을 보였다(그림 1-4-7, 표 1-4-4).

표 1-4-4. 표층어류의 개체수 및 생체량(5~9월)

Table 1-4-4. The number of individuals and biomass in the surface layer(from May to September)

Species	5월		6월		7월		8월		9월	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
붕장어	0	0	3	480	0	0	0	0	0	0
아귀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
송어	15	5,700	1	300	0	0	0	0	10	4,000
달고기	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1,960
조피볼락	0	0	1	70	0	0	0	0	0	0
농어	0	0	2	734	0	0	0	0	0	0
붉바리	0	0	0	0	0	0	31	15,000	55	300,000
능성어	0	0	0	0	0	0	1	1,200	0	0
열동가리돔	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0
게르치	0	0	0	0	0	0	1	44	0	0
방어	23	8,050	0	0	1,270	80,000	76	60,000	160	10,000
전갱이	800	40,000	3,510	45,000	856	50,495	365	30,495	2,000	80,000
민전갱이	0	0	0	0	0	0	1	59	0	0
참돔	13	4,940	0	0	134	50,000	224	30,000	0	0
망상어	0	0	30	3,000	0	0	0	0	0	0
용치놀래기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
황놀래기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
고등어	0	0	5	63	0	0	0	0	20	3,600
삼치	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
삿돔	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
넙치	0	0	0	0	0	0	11	4,000	12	3,360
쥐치	5	900	2	500	229	32,000	84	12,000	28	7,000
말쥐치	0	0	0	0	0	0	1	322	0	0
합계		55590		50147		212495		153128		409920

표 1-4-4. 계속(10~12월)

Table 1-4-4. Continued(from October to December)

Species	10월		11월		12월		합계		비율(%)	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
붕장어	0	0	0	0	0	0	3	480	0.02	0.01
아귀	0	0	2	1100	3	1620	5	2,720	0.04	0.07
송어	16	6,400	20	8,000	11	4,400	73	28,800	0.57	0.7
달고기	8	7,840	1	810	1	780	12	11,390	0.09	0.28
조피볼락	0	0	0	0	0	0	1	70	0.01	0
농어	5	2,450	1	690	0	0	8	3,874	0.06	0.09
뽕바리	0	0	0	0	0	0	86	315,000	0.67	7.7
능성어	0	0	0	0	0	0	1	1,200	0.01	0.03
열동가리돔	0	0	0	0	0	0	1	8	0.01	0
게르치	0	0	0	0	0	0	1	44	0.01	0
방어	98	996,333	80	813,333	60	610,000	1,767	2,577,716	13.8	63
전갱이	1,250	50,000	1,100	72,190	0	0	9,881	368,180	77	9
민전갱이	0	0	0	0	0	0	1	59	0.01	0
참돔	8	2,800	12	1,440	9	1,080	400	90,260	3.12	2.21
망상어	0	0		0	0	0	30	3,000	0.23	0.07
용치놀래기	0	0	2	360	0	0	2	360	0.02	0.01
황놀래기	14	3,080	18	3,960	20	4,400	52	11,440	0.41	0.28
고등어	4	320	3	550	0	0	32	4,533	0.25	0.11
삼치	1	82	0	0	0	0	1	82	0.01	0
샛돔	0	0	2	108	4	176	6	284	0.05	0.01
넙치	0	0	1	600,000	3	1,560	27	608,920	0.21	14.9
쥐치	10	1,800	62	3,080	17	3,000	437	60,280	3.41	1.47
말쥐치	0	0	0	0	0	0	1	322	0.01	0.01
합계		1071105		1505621		627016	14,319	4,142,248	100	100

*N: 개체수(마리), B: 생체량(g), g/3,000m²

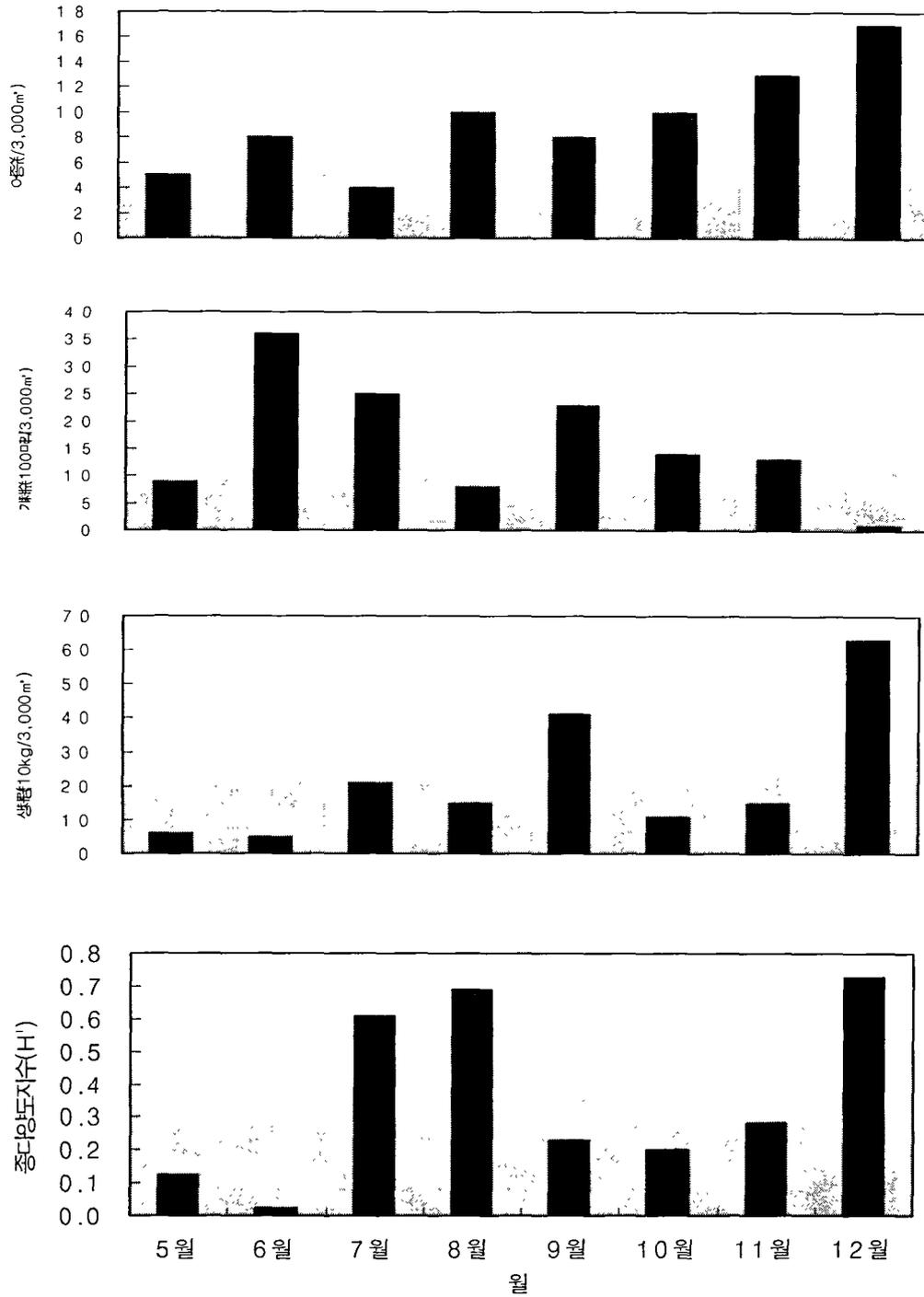


그림 1-4-7. 조사해역의 표층어류의 월변동.

Fig. 1-4-7. Monthly variation of the fishes collected the surface fishes in the study area.

다. 출현양상

조사시기를 행, 어종을 열로 하여 값을 대입한 후, 대응일치분석에서 특이값분해 방법에 의해 특이값을 계산한 결과, 제 1차원이 확보한 정보의 양은 약 58%, 제 2차원이 확보한 정보의 양은 약 22%를 차지하여 제 1차원과 제 2차원이 확보하는 정보의 양은 약 79%로 나타났다(표 1-4-5, 그림 1-4-8, 그림 1-4-9).

대응일치분석에 의한 월별 및 출현 어류의 3차원상 분포는 크게 3부류군으로 나누어 5-10월군, 11월군, 12월군으로 대별할 수 있으며, 3차원상 어류 조성에서 붕장어와 능성어, 열동가리돔, 말쥐치와 셋돔, 아귀, 황놀래기, 넙치, 게르치, 참돔 등으로 대별할 수 있다 (그림 1-4-8, 그림 1-4-9).

표 1-4-5. 표층어류에 대한 대응일치분석의 특이값 분해

Table 1-4-5. Singular value decomposition for the correspondence analysis of the fishes of surface layer

차원	특이값	비율(%)	누적비율(%)
1	0.41	58	58
2	0.15	22	79
3	0.11	16	95

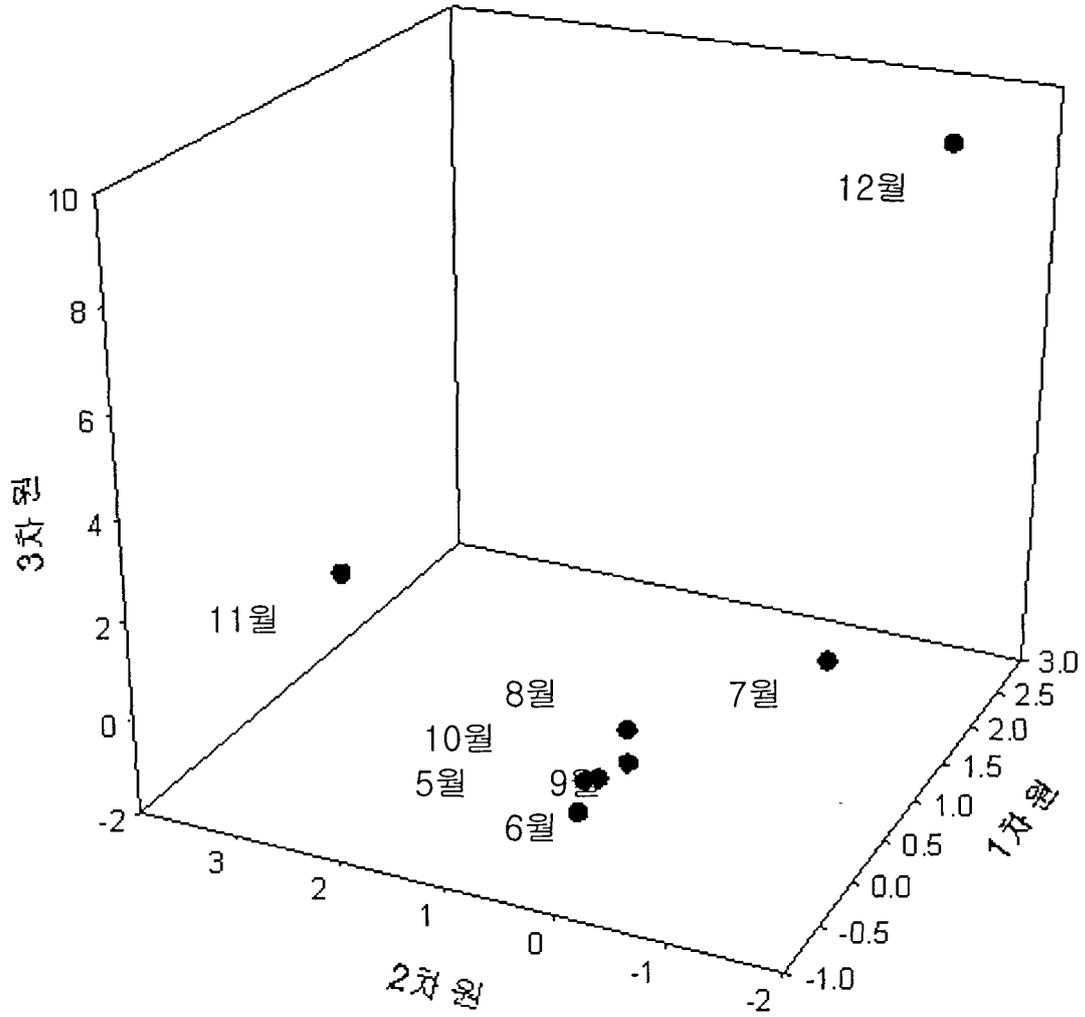


그림 1-4-8. 대응일치분석으로부터 유도된 조사시기와 표층어류의 차원상 분포.
 Fig. 1-4-8. Dimension scores of the fishes of surface layer and four months induced from the correspondence analysis.

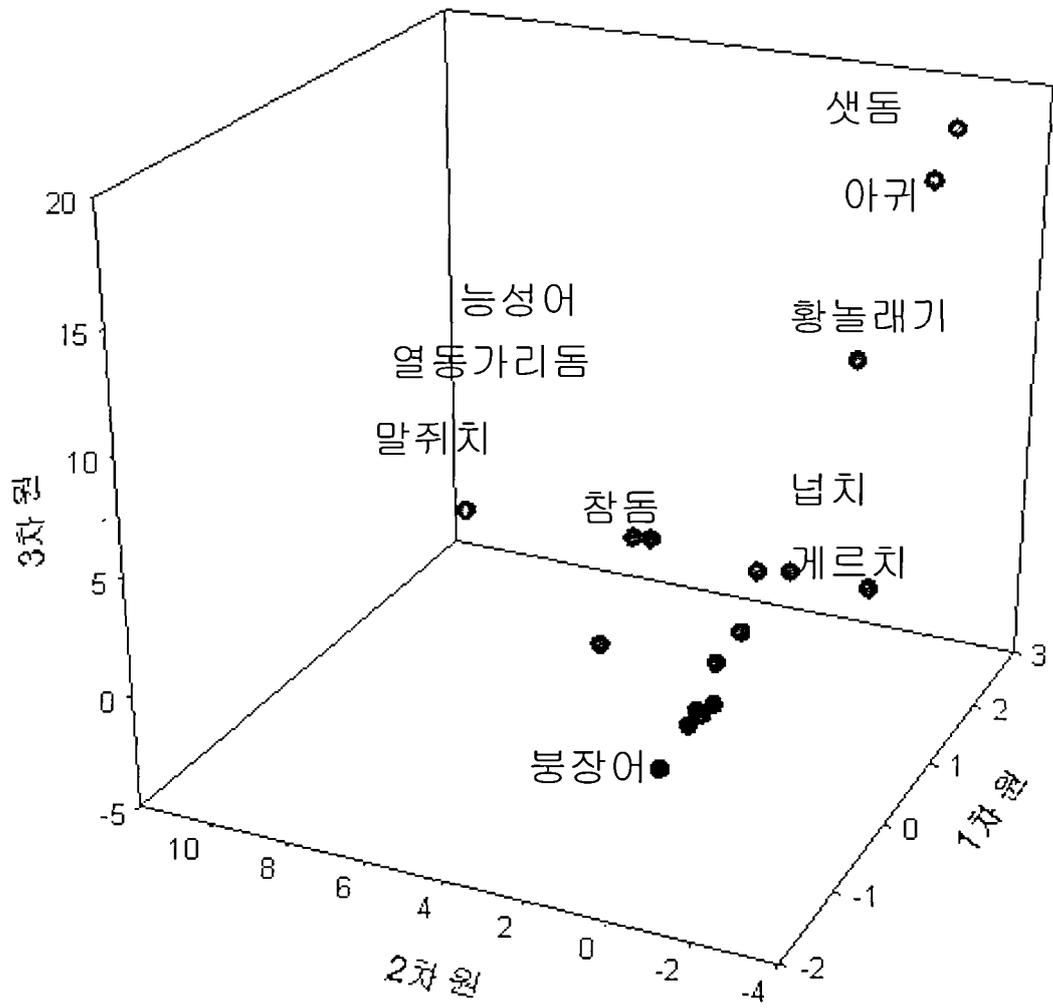


그림 1-4-9. 대응일치분석으로부터 유도된 표층어류의 차원상 분포.
 Fig. 1-4-9. Dimension scores of the fishes of surface layer
 deduced from the correspondence analysis.

1.5. 수중 환경 모니터링

1.5.1. 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 고순도산소(산소 99.9%)를 사용하였다.



그림 1-5-1. 수중 비디오 촬영기.

Fig. 1-5-1. A underwater videotape recorder.

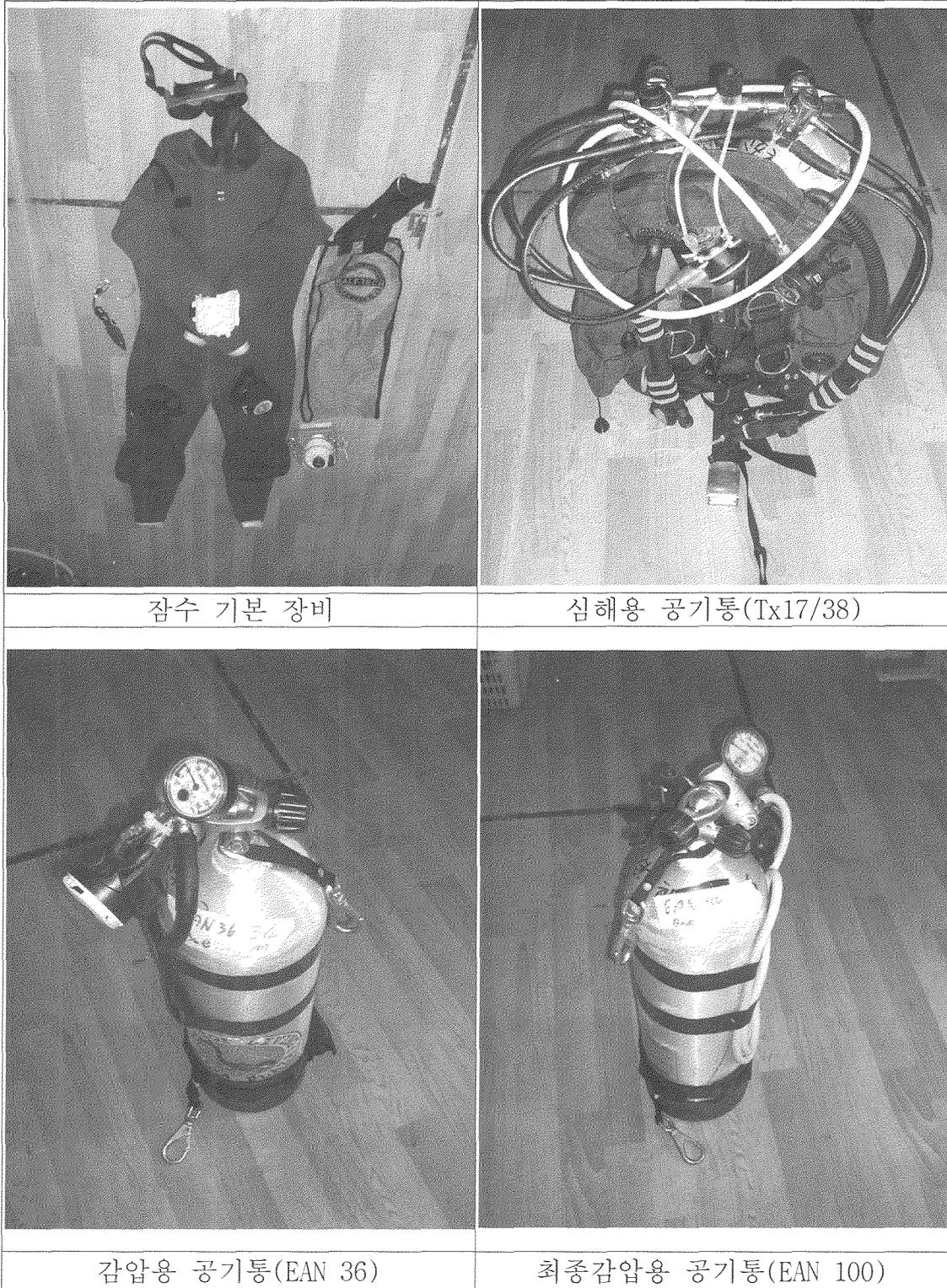


그림 1-5-2. 잠수 장비.

Fig. 1-5-2. A SCUBA diving set.

1.5.2 수중 촬영 결과

가. 추계 조사 : 12월 1일(음 10월 30일 대조기) 조사

12월 1일에 구조물 투하역에서 실시한 수중환경촬영 결과를 요약하면 다음과 같다.

실시해역의 해황을 보면, 파고는 1~2m 비교적 파도가 조금있는 상태에서 조사지점의 부의를 타고 하강하였다. 조류는 수심 약 40m까지는 강한편이었으나, 그 이하 수심에서는 조금 약하다는 느낌을 받았다. 빛은 수심 30m를 넘으면서 거의 없어서 수중현상을 보기위해서는 수중라이터를 사용해야만 했다. 구조물 최상부의 수심은 45m였으며, 해저의 수심은 63m 였다.

수중촬영은 구조물 정상부에서 사면을 타고 하강하며 촬영하였으며, 바닥에 도달하여 다시 구조물의 최상부로 이동하였다. 구조물의 촬영 방향은 구조물 정상에서 남측사면을 따라 촬영하였다. 구조물의 상태는 비교적 경사가 급하게 쌓여있었으며, 구조물의 표면에는 퇴적물이 얇게 깔려있는 상태였다. 촬영하면서 이동하는 중 수중라이터의 불빛을 보고 황급히 도망가는 어류(10cm, 3개체)를 발견하였다. 또한 작은 갑각류도 다수 발견되었다. 갑각류의 경우 빛을 피해 이동하는 모습을 촬영하였으나, 촬영시 자동초점 조절기능을 사용하여 초점이 맞지 않아 정지화면에 선명하게 나타나지 않았다(그림 1-5-5). 구조물의 표면에는 따개비류가 구조물에 몇 개 부착(구조물 1개당 1~3개체 정도)되어 있는 상태였다(그림 1-5-3 및 1-5-4).

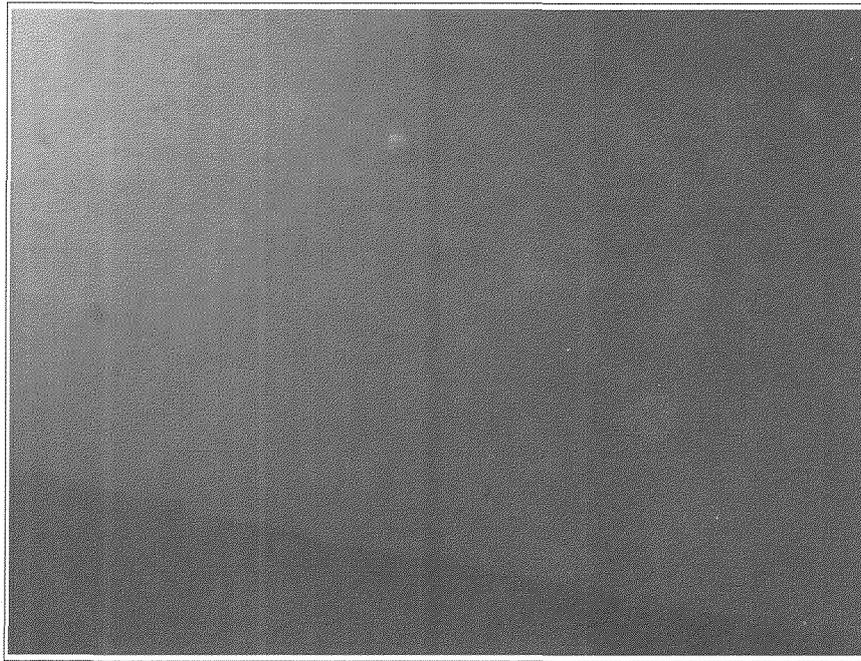


그림 1-5-3. 구조물에 부착된 따개비류.

Fig. 1-5-3. A barnacles on the block.

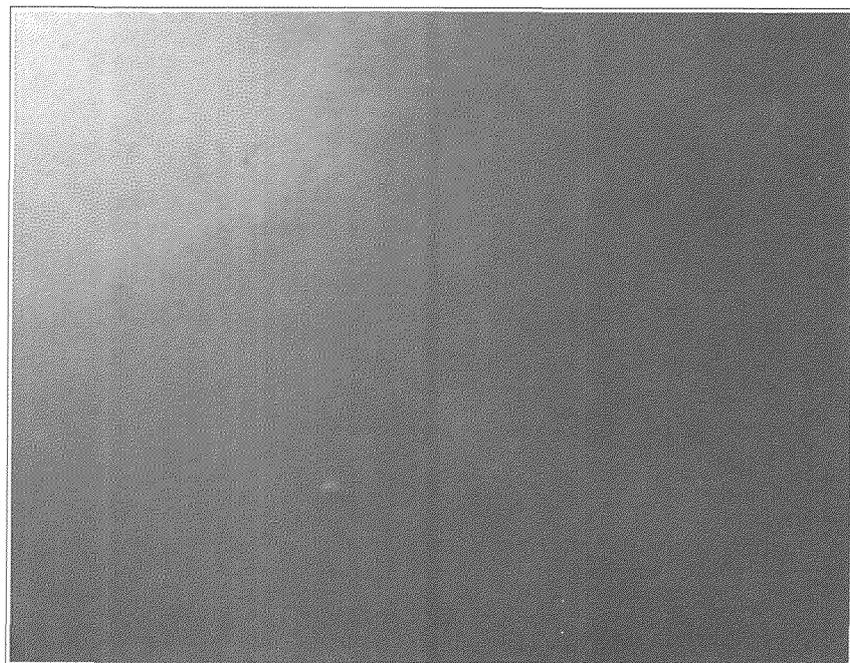


그림 1-5-4. 구조물에 부착된 따개비류.

Fig. 1-5-4. A barnacles on the block.

○ 향후 추가촬영 계획

12월 1일의 촬영시 전반적인 해양의 상황을 촬영하지 못하여, 다음과 같은 항목을 중심으로 해황이 정도에 따라 그 촬영목표를 수립하였다.

- ① 해저에 조성된 인공구조물의 개략적인 외곽형태
- ② 구조물 부근의 부유물의 해류에 따른 이동형태 (국지적 현상)
- ③ 구조물에 부착된 부착생물 및 구조물 주변에 서식하고 있는 어류
- ④ 표·중층의 유영성 군집어류

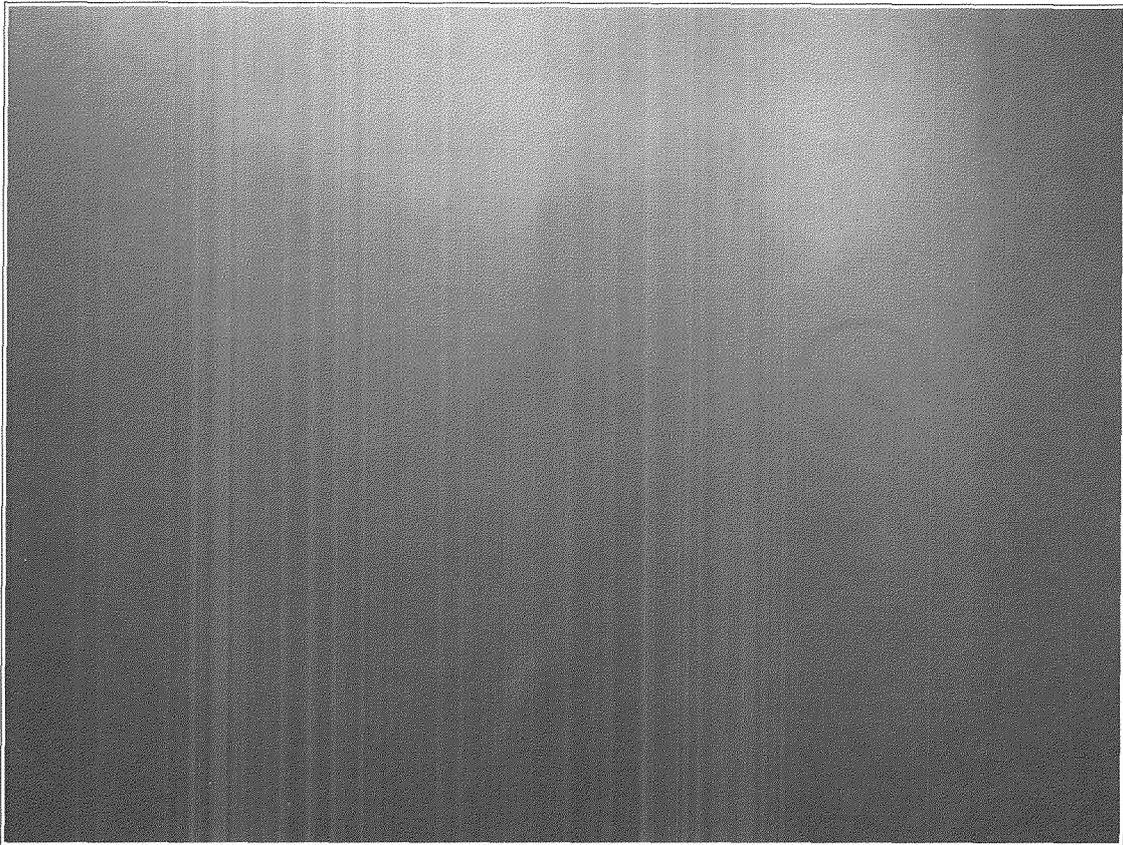


그림 1-5-5. 구조물 주변에 서식하는 갑각류

Fig. 1-5-5. A living Arthropoda around the block.

□ 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). 석탄회에 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.

해양공정시험방법(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 실험 결과를 현장에 적용하는데 문제점을 안고 있다. 또한 폐기물 공정시험법에서는 각종 소각재와 슬래그의 중금속 용출시험결과가 일부원소를 제외하고

는 KSLT (Korea Standard Leaching Test)의 기준에 부합되지 않는다(표 2-1-1).

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.

KSLT의 용출조건이 실제 해양환경의 pH, Eh 조건(그림 2-1-1)과 해수와
의 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 제
작시 사용되는 원료물질이 2종 이상이 혼합될 경우에 혼합비가 중금속의 고
정화에 영향을 미칠 수 있으므로(Hitoshi et. al., 2003), 이에 대한 검토
가 동시에 요구된다.

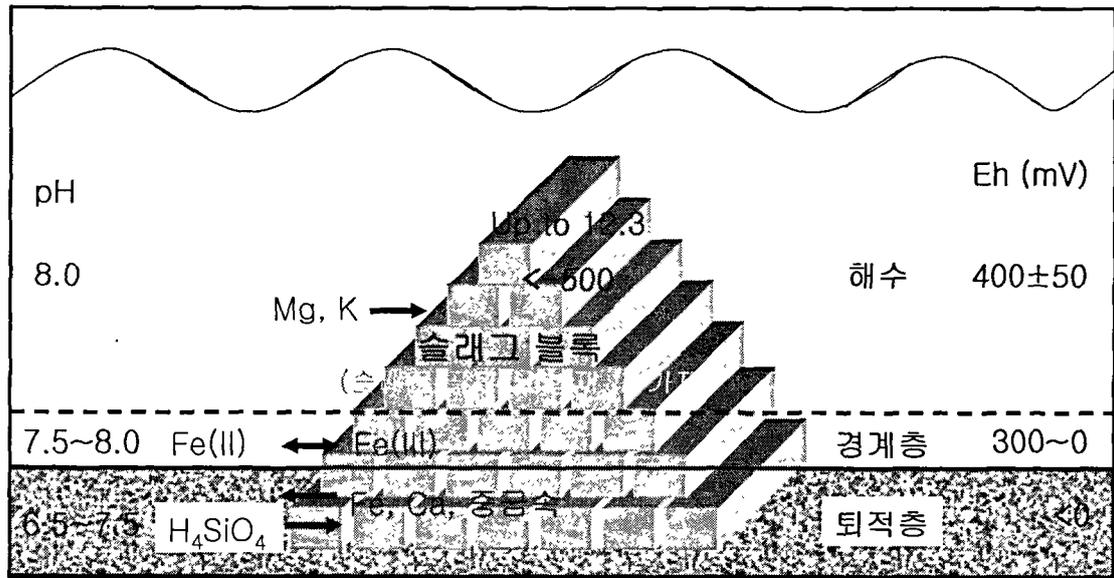


그림 2-1-1. 해양 환경과 해수-블록간의 반응.

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 유기

물의 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 안정성 검증이 우선 되어야 한다. 특히 해양에 투여되는 석탄회 블록과 해수 반응에 의한 풍화 작용(변질작용) 양상과 중금속 용출 특성 등이 규명되어야 한다. 산업부산물에 대해 가장 보편적으로 활용되고 있는 폐기물 공정시험법의 용출 시험 방법은 폐기물을 증류수(pH=6.0)에서 6시간동안 진탕하는 방법으로 인공용승류를 유도하기 위한 석탄회 블록의 투여조건과는 상이하다. 따라서 해양 환경에 적합한 용출시험법이 필요하며, 장기 투여에 의한 중금속 용출가능성에 대한 연구가 병행되어야한다.

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 조성 시 석탄회 블록의 조성 물질과 해수 경계면에서는 화학적 반응이 수반된다. 석탄회 블록은 해수와 저질부 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 2-1-2). 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 파

악하고, 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 ₂)	Quartz → SiO _{2(aq)}
Orthoclase (KAlSi ₃ O ₈)	4H ⁺ + orthoclase → K ⁺ + Al ³⁺ + 3SiO _{2(aq)} + 2H ₂ O
Plagioclase	
Albite (NaAl ₂ Si ₂ O ₈)	4H ⁺ + albite → Na ⁺ + Al ³⁺ + 3SiO _{2(aq)} + 2H ₂ O
Anorthite (CaAl ₂ Si ₂ O ₈)	8H ⁺ + anorthite → Ca ²⁺ + 2Al ³⁺ + 2SiO _{2(aq)} + 4H ₂ O
Calcite (CaCO ₃)	H ⁺ + calcite → Ca ²⁺ + HCO ₃

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 적

용하였다. 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 2차광물의 형성을 예측하는데 활용될 수 있다. 블록의 내구성 및 안정성 평가연구는 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. 연구의 추진 계획(3차년도)

1. 퇴적물 모니터링

- ① 용승용 블록 설치 전후의 퇴적물 입도변화
- ② 용승용 블록 설치 전후의 퇴적물의 광물조성 변화
- ③ 용승용 블록 설치 전후의 퇴적물의 화학조성(중금속) 변화
- ④ 용승용 블록 설치 전후의 공극수 내 중금속 함량 변화

2. 블록의 기능 안정성

- ① 해수 반응에 의한 압축강도 변화
- ② 해수 반응에 의한 중량 변화
- ③ 해수 반응에 의한 알칼리 탄산화 작용
- ④ 블록 용해에 의한 열화현상 규명

3. Ash 함유량 변화에 따른 중금속 용출 양상

4. 재료 차이에 의한 중금속 대비

- ① 석탄회 블록의 중금속 용출
- ② RMB 블록의 중금속 용출
- ③ 슬래그 블록의 중금속 용출
- ③ 석탄회, RMB, 슬래그 블록의 중금속 용출 비교

2.6. 연구내용

2.6.1. 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).

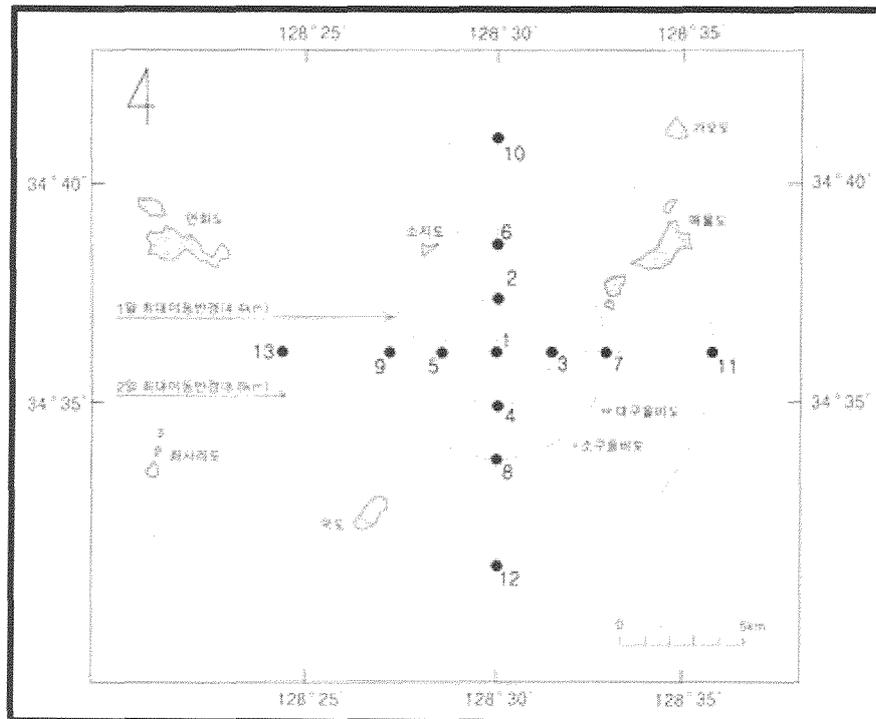


그림 2-1-2. 시료채취 위치도.

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

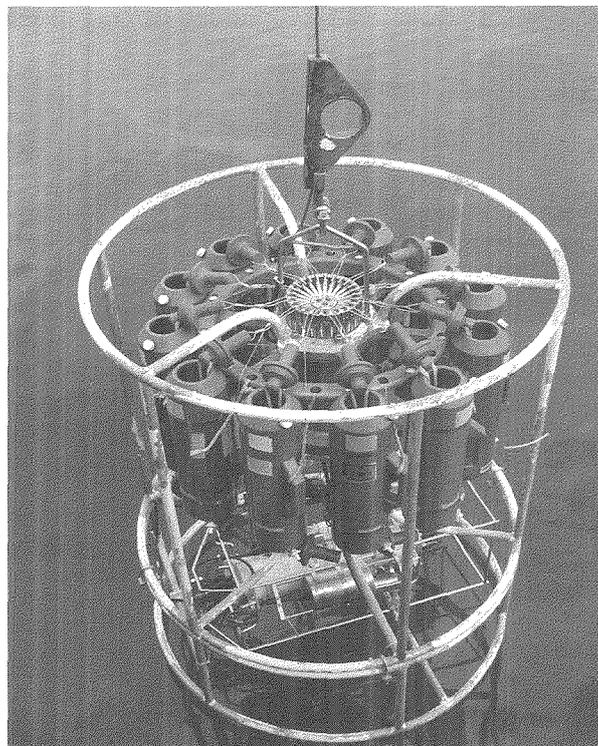
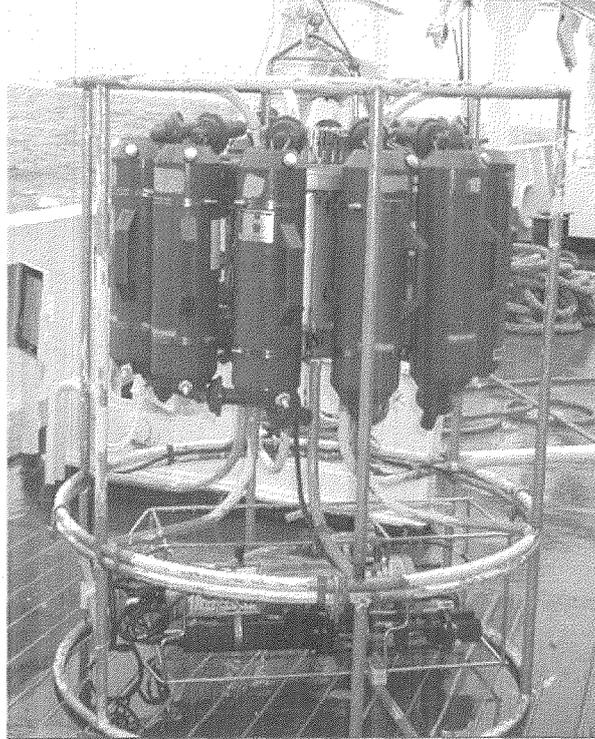


그림 2-1-3. 연구에 이용된 채수기와 CTD.

Fig. 2-1-3. Seawater sampler and CTD (Conductivity-temperature-depth sensor).

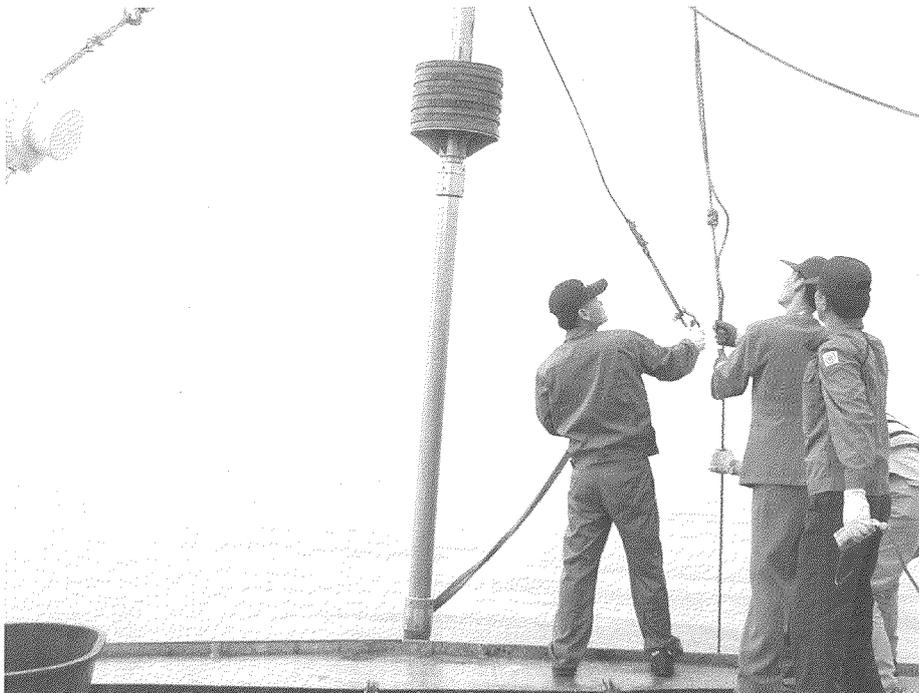
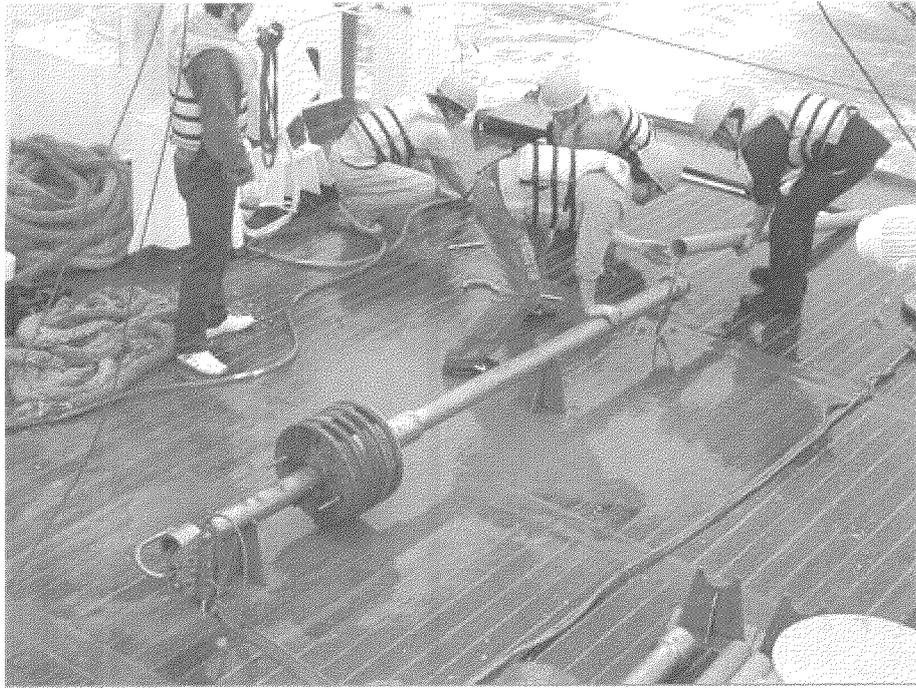


그림 2-1-4. 피스톤 코어를 이용한 해양퇴적물 채취 과정.

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

2.6.2. 입도분석

해양 퇴적물의 입도분석은 코아 시료(상부 5cm의 표층부퇴적물)를 대상으로 수행하였다. 30g의 시료를 1,000ml 비이커에 담고 6% 과산화수소수를 이용하여 유기물을 제거하였다. 증류수로 용해성 염분을 2회간 세척하고 0.1N 염산으로 탄산염을 제거하였다(그림 2-1-5A).

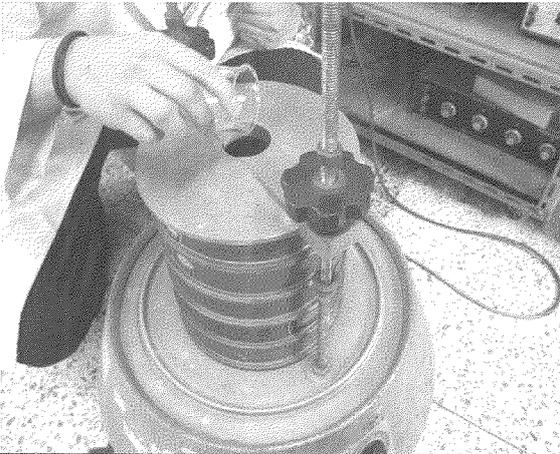
전처리된 시료는 4 Φ 체를 이용하여 습식 체질하였다(그림 5B). 4 Φ 이상의 사질 및 역질 입자들은 건조하여 로탭요동기(RO-TAP Sieve Shaker, 그림 5C)에 의해 1 Φ 간격으로 분석하였다. 4 Φ 이하의 실트 및 점토 입자들은 확산제(2%의 Sodiumhexametaphosphate) 50cc를 첨가하여 확산시킨 후 자동입도분석기(micromeritics, Sedigraph 5100, 그림 2-1-5D)를 이용하여 1 Φ 간격으로 분석하였다. 분석 결과는 Folk and Ward (1968)와 Ward (1968)법에 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 partial size analysis process. (A)Decarbonization, (B)wet analysis, (C)RO-TAP Sieve Shaker and (D)sedigraph meter.

2.6.3. 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.

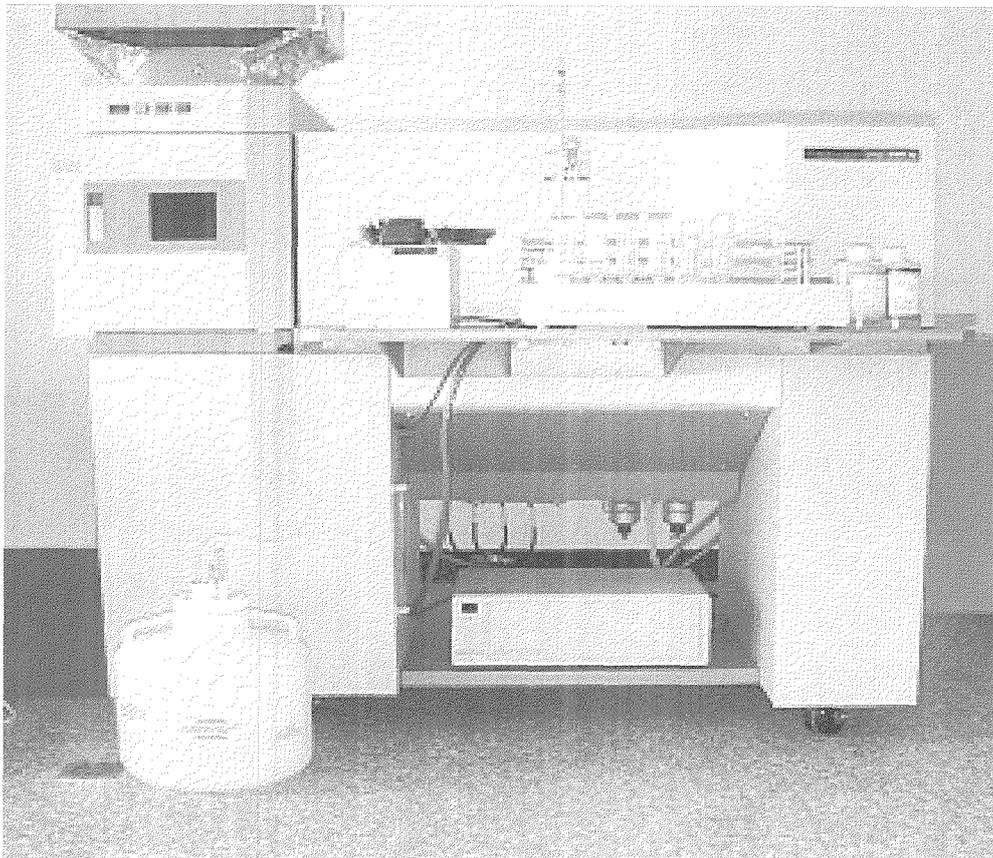


그림 2-1-6. 유도결합 플라즈마 방출분광기.

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

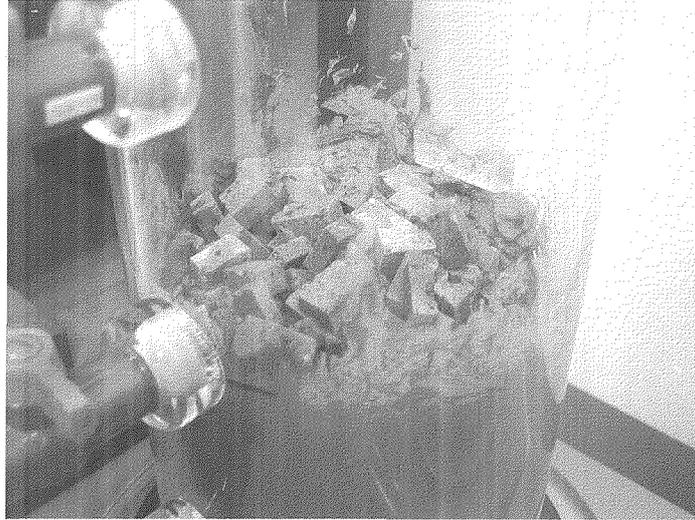
2.6.4. 장기 중금속 용출 실험

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 μ m 필터지)후 질산으로 처리하여 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000 III), 한국기초과학지원연구원)를 이용하여 중금속 원소의 함량을 분석하였다.



(A)



(B)



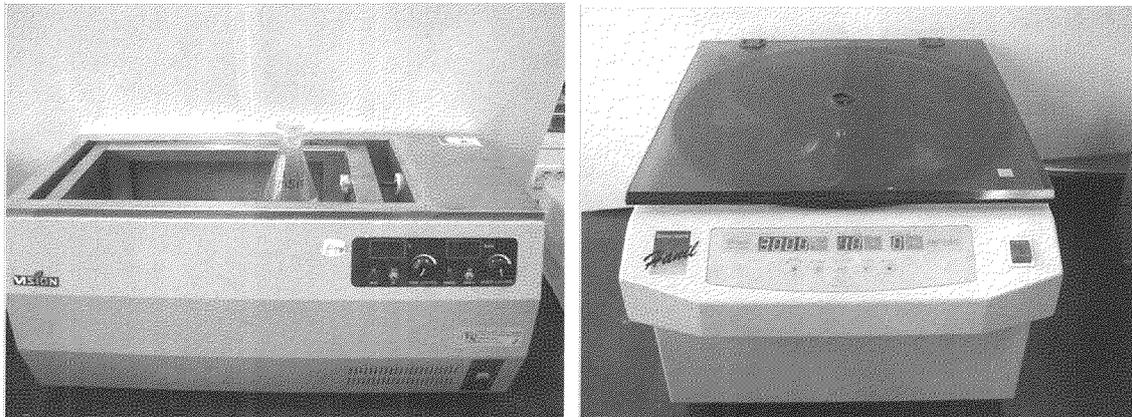
(C)

그림 2-1-7. 실험에 이용된 컬럼.

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

2.6.5. 해수 침적에 따른 석탄회 블록의 중금속 용출 변화

시료는 해수에 침적하지 않은 시료와 1, 3, 5, 7개월간 해수에 침적한 시료를 이용하였다. 시험방법은 염산을 이용하여 증류수의 pH를 5.8~6.1으로 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).



(A)

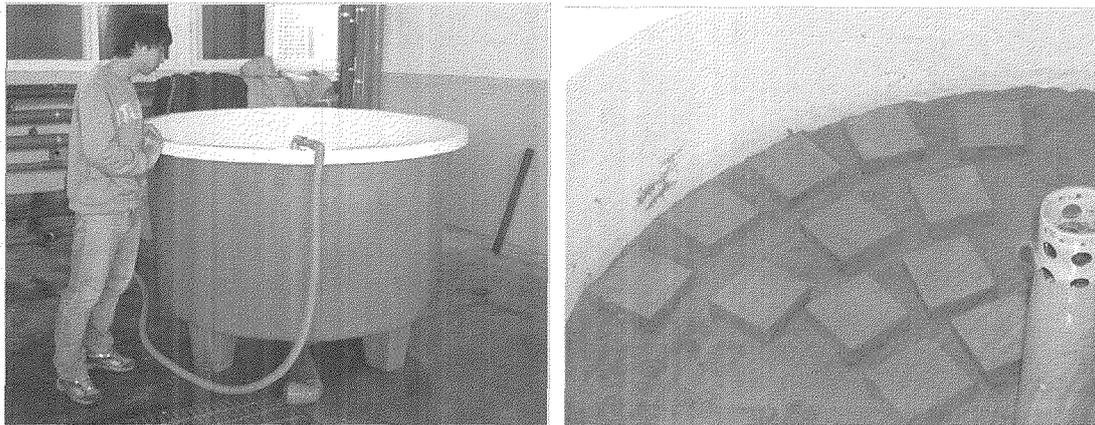
(B)

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

Fig. 2-1-8. Heavy metal leaching process. (A) Reacting ash block in shaking incubator, (B) sample centrifuge.

2.6.6. 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-선형광분석기(Shimadzu (XRF-1700), 부경대학교 공동실험실습관)와 유도결합플라즈마 방출분광분석기(Shimadzu (ICP1000III), 한국기초과학지원연구원)을 실시하였다.



(A)

(B)

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.

2.6.7. 반응경로 모델링

프로그램 SOLVEQ와 CHILLER는 일차적으로 관심이 되는 수용액상(강우, 지하수, 해수, 열수 등)을 프로그램에서 미리 정해진 성분(components)으로 표현하여야 한다. 각 성분은 계(system)를 표현할 수 있는 최소의 이온과 분자로 이루어지며, 하나의 성분이 다른 성분에 의해 표현될 수 없다. 현재 SOLVEQ와 CHILLER에서 사용되는 성분은 37종으로서 주로 H^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HS^- , CO_3^{2-} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} 등의 비금속 및 금속이온과 SiO_2 , H_2O 등의 전하를 띠지 않는 분자와 유기물 등으로 구성된다. 그 외 화학종은 이상의 성분을 결합하여 표현된다. 프로그램 SOLVEQ와 CHILLER에서 성분 간의 결합(물-암석 상호반응)에 의해 생성될 수 있는 2차 생성물(derived species)은 25~300°C까지의 수용액상에 존재하는 이온 168종, 광물 159종 및 기체 12종이다.

SOLVEQ와 CHILLER는 주어진 성분, 양 및 계산조건에 의해 음이온과 양이온의 전기적 부하를 계산하여 음이온종과 양이온종의 총 부하 값이 일치하도록 성분의 양 및 종류를 평형 계산한다. 이어서 질량작용방정식(Mass-action equation) 및 질량보전방정식(Mass-balance equation)을 이용하여 주어진 조건(온도, 압력, 수용액상의 농도 등)에서 열역학적으로 안정한 이온 및 2차 생성물(광물, 기체 등)의 양을 계산한다. 이상의 계산을 위한 각종 열역학적 데이터는 SOLTHERM 데이터 파일에 수록되어 있다.

SOLVEQFFM 운영하기 위해서는 입력 데이터 파일 SOLRUN이 필요하며, SOLRUN은 연구의 대상이 되는 수용액내의 성분과 양 및 SOLVEQ가 계산을 수행하기 위한 각종 정보가 미리 정해진 형식에 따라 표현되어야 한다. 특히 수용액상을 구성하는 성분 및 양은 SOLVEQ와 CHILLER에서 정해놓은 성분과 형식에 따라 표현되어야 한다. 입력된 정보에 의해 SOLVEQ는 주어진 조건에 따라 수용액상에서의 다성분 평형계산을 수행한 후 출력 데이터 파일 SOLOUT과 SOLPLOT이 출력된다. SOLOUT은 주어진 조건(온도, 압력 및 화학조

성 등)에서 SOLVEQ에 의해 수행된 각종 계산결과, 즉 주어진 조건에서 평형 상태로 존재하는 각종 광물, 기체 및 이온종들의 종류와 양(총 몰수, 몰랄 농도, ppm 농도 등)이 수록되어 있으며, SOLPLOT는 계산의 결과를 그래프로 표현하기 위해 생성되는 파일이다.

CHILLER에서는 최초 입력되는 데이터 파일은 CHILLRUN이 되고, 출력되는 계산결과는 CHILLOUT와 CHILPLOT가 된다.

SOLTHERM 데이터 파일은 SOLVEQ와 CHILLER를 수행하기 위한 모든 열역학 데이터들이 수록되어 있다. 이 데이터 파일은 수용액상, 가스와 광물등에 대한 모든 열역학 데이터를 포함하고 있다. 이 파일은 주석부, 활동도 계수(activity coefficient), 성분종(component species), 2차 생성물(수용액상), 가스, 광물 및 그 외 추가적인 자료 등의 7가지 부분으로 구성되어 있다.

2.6.8. 해수 침적에 따른 석탄회 블록의 중량 변화

석탄회 블록의 중량변화 실험은 부경대학교 수산과학기술센터(경남 고성군 소재)의 순환수조(950cm× 1600cm)에서 수행하였다. 수조에 10cm 두께로 퇴적물을 충전한 후, 7cm× 5cm 크기의 석탄회 블록 시료 12개를 투입하였다. 매 1개월 단위로 회수된 석탄회 블록 시료를 대상으로 과산화수소를 이용하여 유기물을 제거하였으며, 건조로에서 충분히 건조한 후 해수 반응 전·후의 중량 변화를 관찰하였다.

2.6.9. 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 분석파장은 해양환경공정시험법(국립수산진흥원, 1997)에서 권장하는 파장을 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 2-1-3과 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

2.7. 연구 결과

2.7.1 현장관측 결과

현장 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 측정된 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 산화 전위값을 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 : Jun. 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

2.7.2. 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

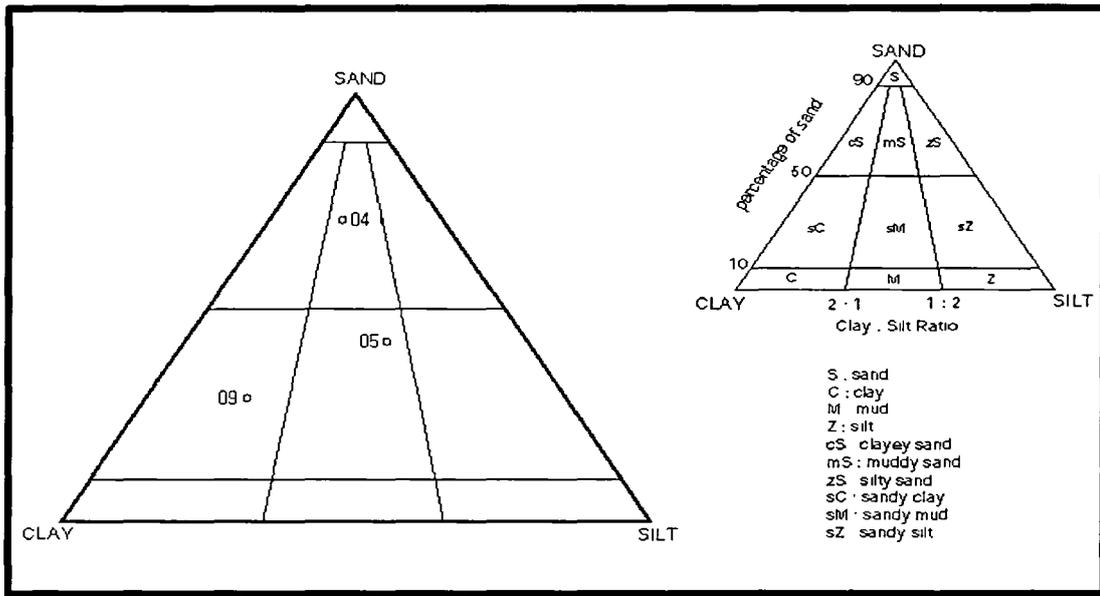


그림 2-1-10. 모래, 실트 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.

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

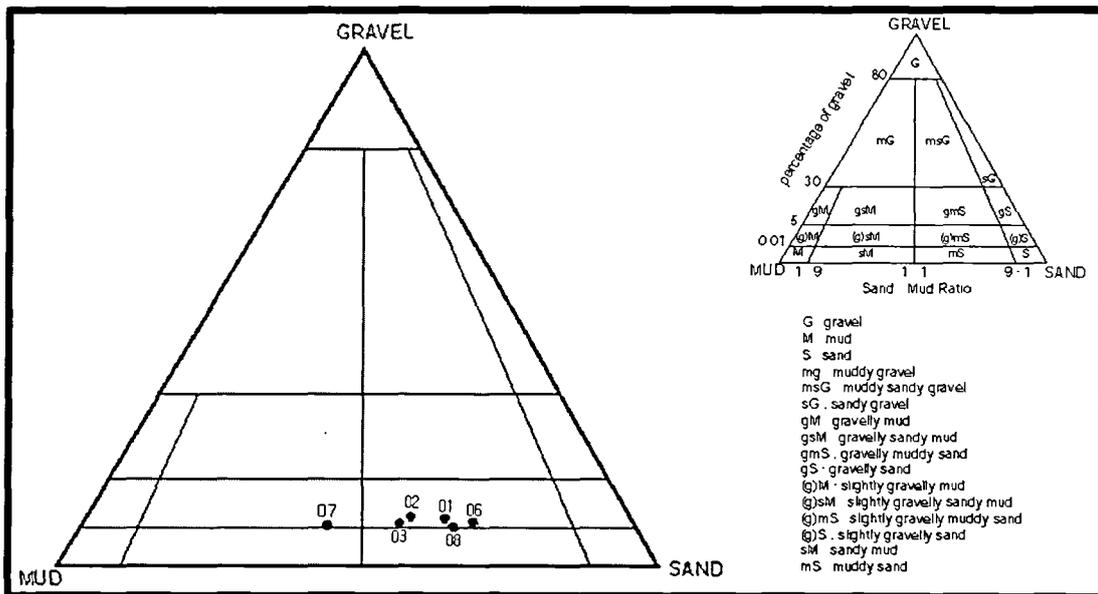


그림 2-1-11. 자갈, 모래 및 점토 입자의 성분비에 따른 분류.

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

2.7.3. 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 에서 최소 25ppm 이며, 니켈은 평균 17ppm으로 농도가 가장 높은 지점은 28.9ppm 이다. 구리와 비소는 평균 7ppm, 몰리브덴은 1ppm, 카드뮴은 0.08ppm 이하이다(표 4).

연구지역 퇴적물 내에 함유되어있는 중금속 함유량을 광양만과 서남해안의 퇴적물 및 목포해안 갯벌에서의 농도와 비교하면, 연구지역 퇴적물은 망간과 납을 제외한 중금속의 농도가 서남해안 및 광양만보다 낮게 나타났으며, 망간과 납은 목포해안의 갯벌보다 다소 높게 나타난다(표 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

2.7.4. 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

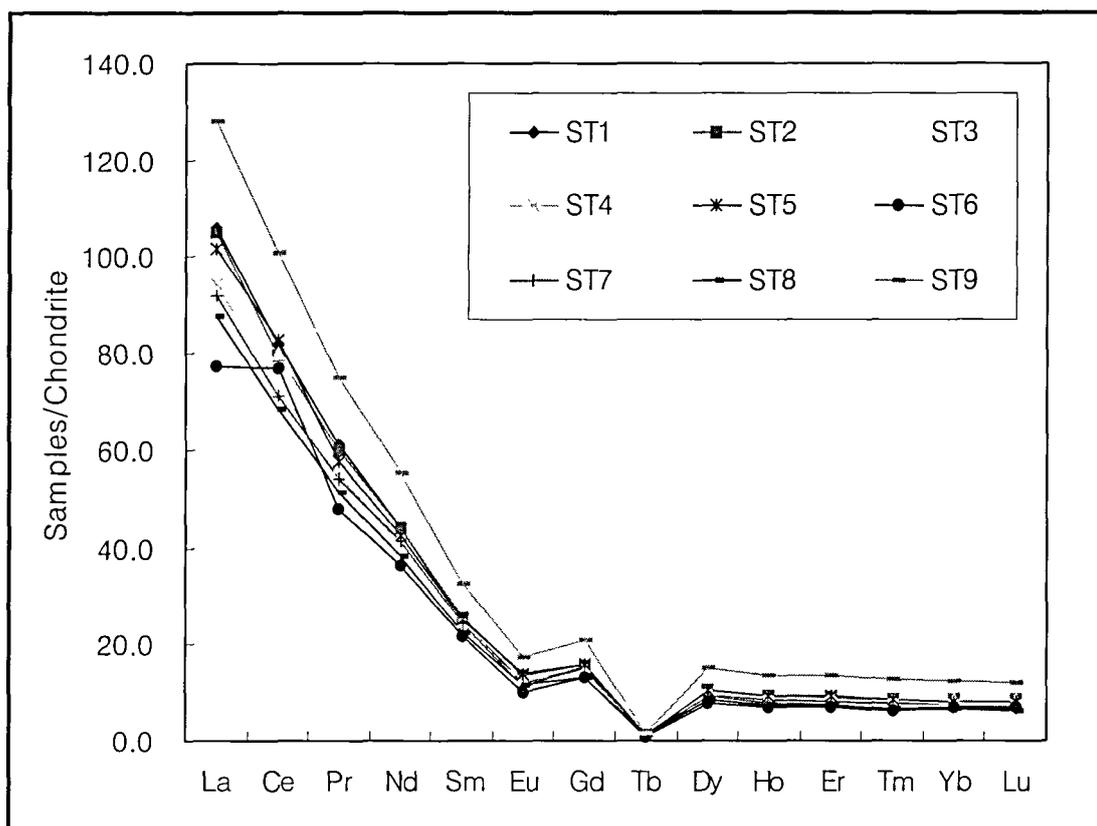


그림 2-1-12. 연구지역 퇴적물의 희토류원소 패턴.

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

2.7.5. 장기 중금속 용출 실험

2.7.5.1. 컬럼 내 pH/Eh 환경 변화

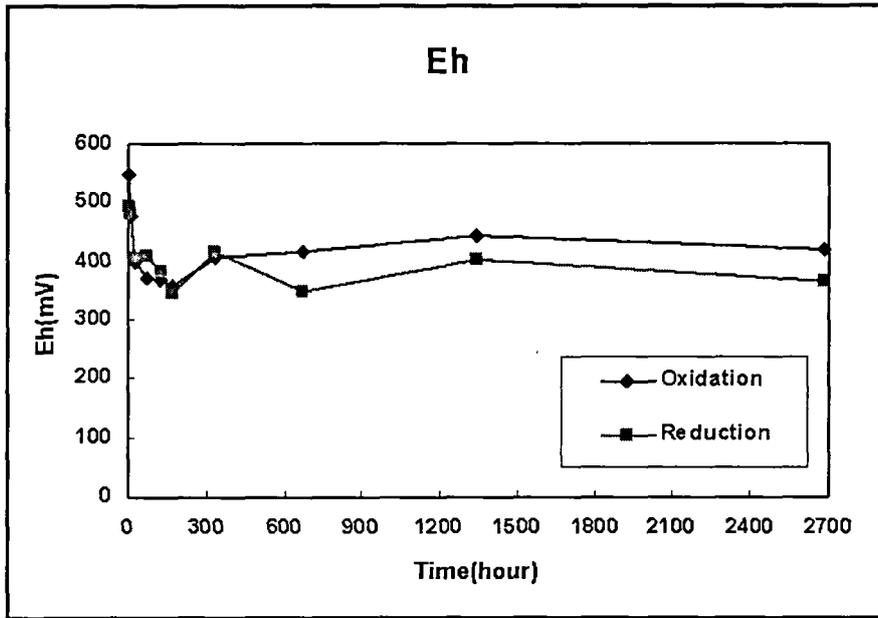
장기간의 중금속 용출실험에서 산화조건에서의 산화환원전위(Eh)는 초기 548mV에서 일시적으로 358mV까지 감소되었으며, 2주 후부터는 지속적으로 증가하여 최종적으로 419mV를 나타내었다. 환원조건에서의 산화환원전위(Eh)는 초기 495mV에서 16주 후 364.7mV로 감소하였다(그림 2-1-13).

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.

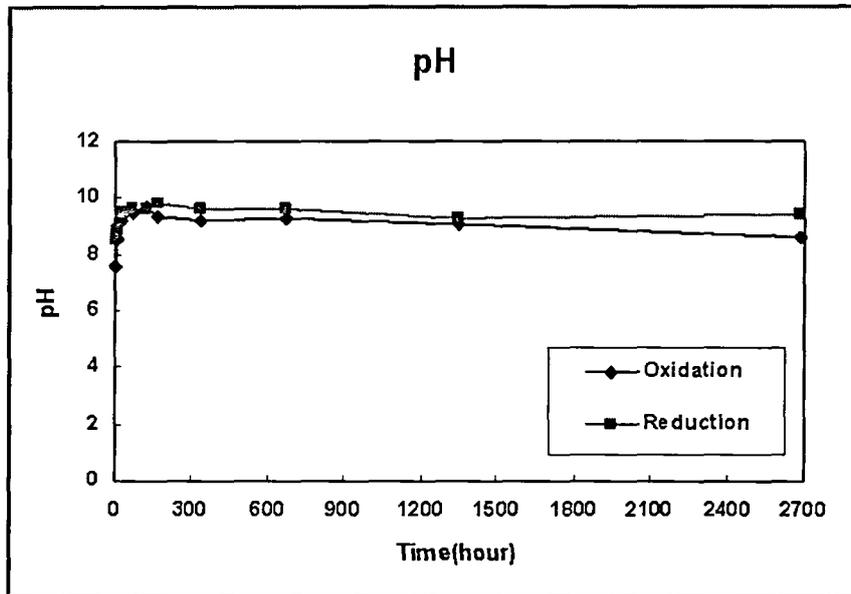
표 2-1-9. 컬럼 내 시간 경과에 따른 수소이온전위, 산화환원전위, 온도 및 전기전도도변화

Table 2-1-9. Variation of pH, Eh, Temperature and EC in the column as a function of time

Reaction time (hour)	Oxidized condition				Reducted 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



(B)



(A)

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.

2.7.5.2. 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 해역별 수질등급 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 재용출되는 경향을 나타내지만 해역별 수질등급기준을 초과하지 않는다(그림 2-1-14D).

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

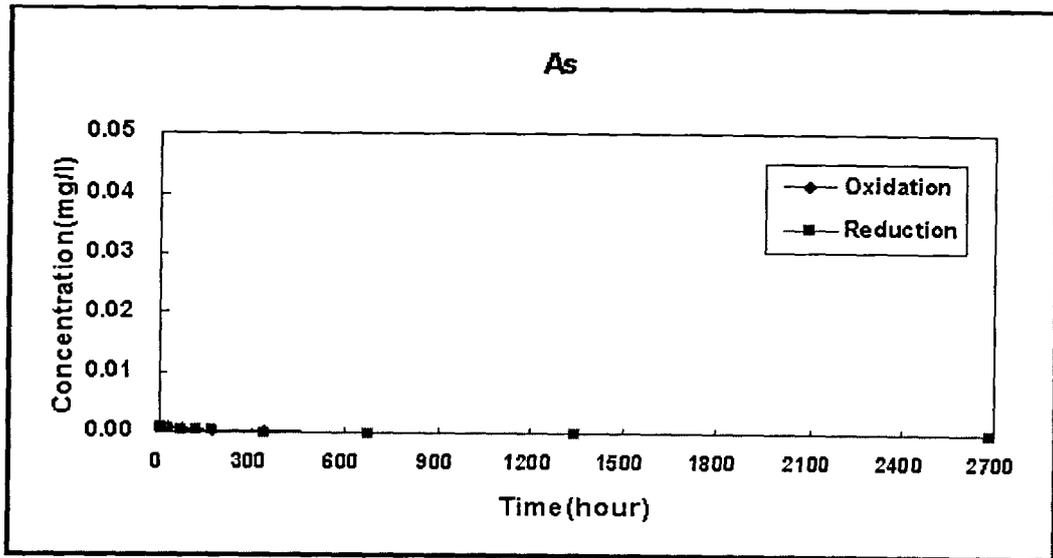
Table 2-1-10. Regulation of seawater quality (heavymetal concentration, MOMAF)

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(그림 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).

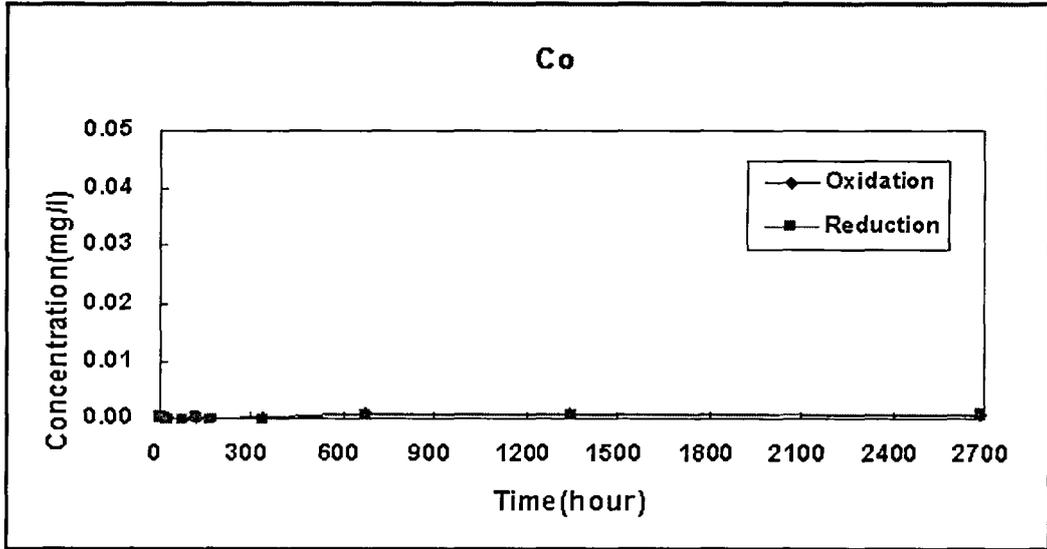
용출실험결과, 반응시간에 따른 중금속의 용출 양상은 원소별로 다양한 양상을 보여준다. 이는 산화와 환원조건에서 해수-블록 반응에 따른 pH와 Eh변화의 영향에 기인한 것으로 판단된다.



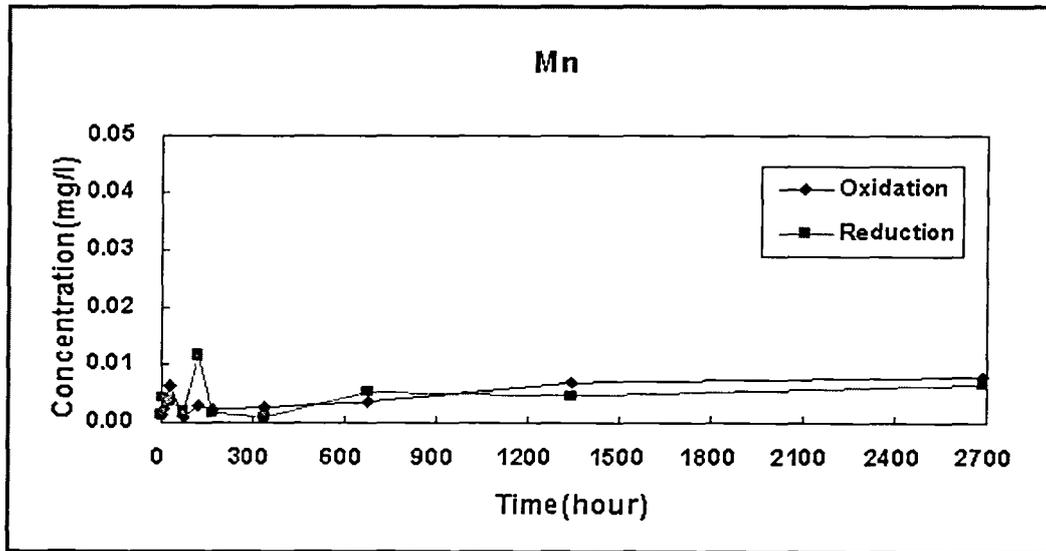
(A)

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 culumn 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.



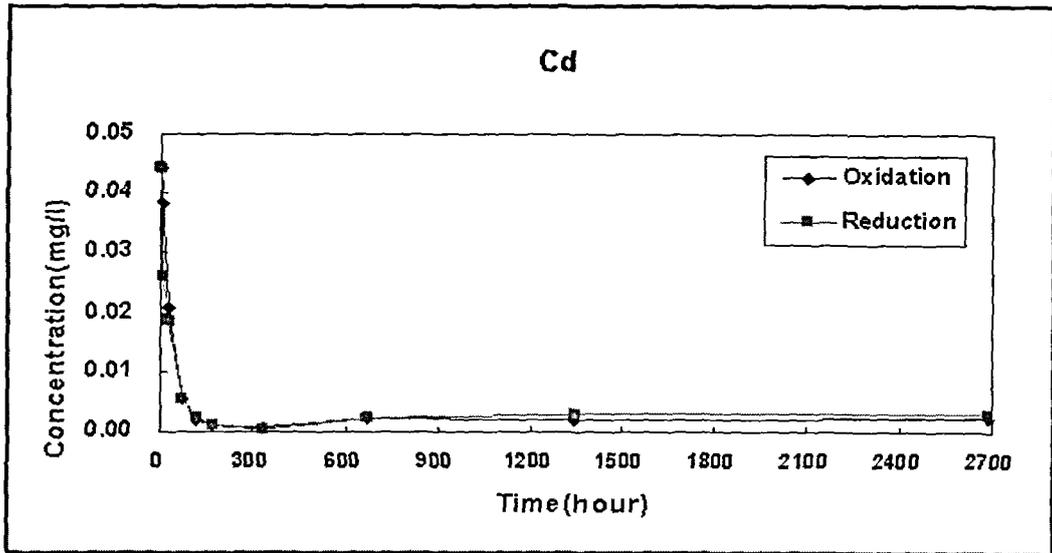
(B)



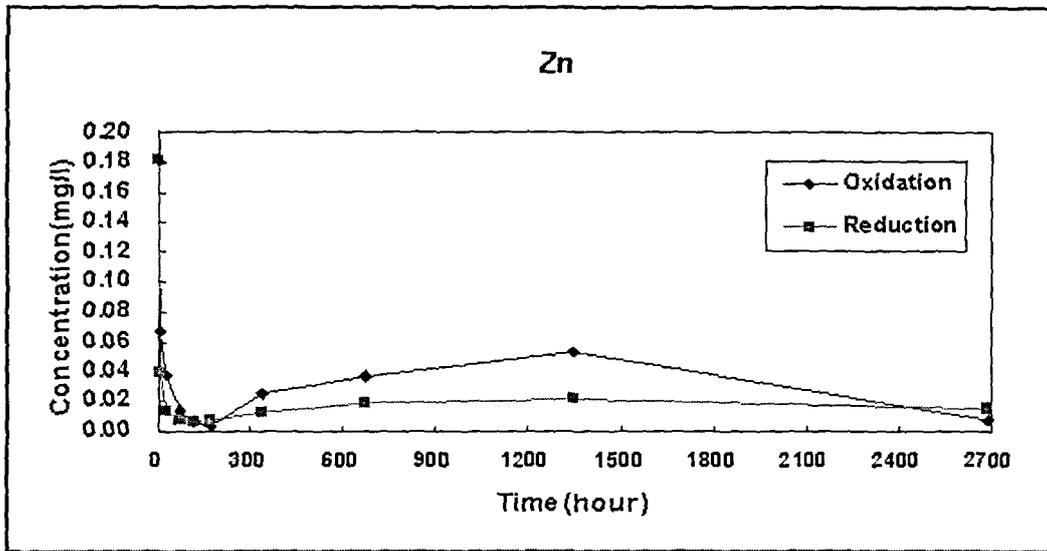
(C)

그림 2-1-14. 계속

Fig. 2-1-14. Continued



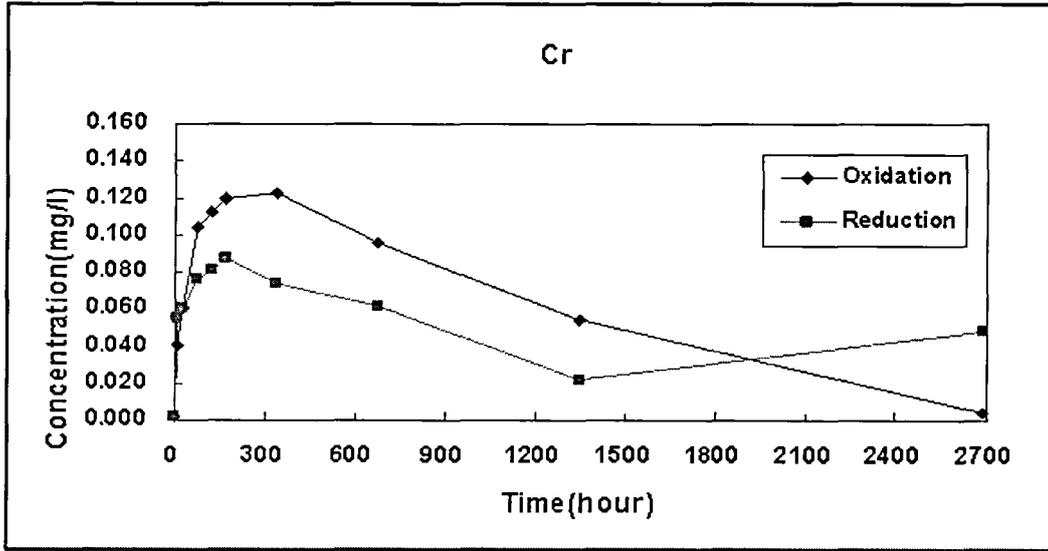
(D)



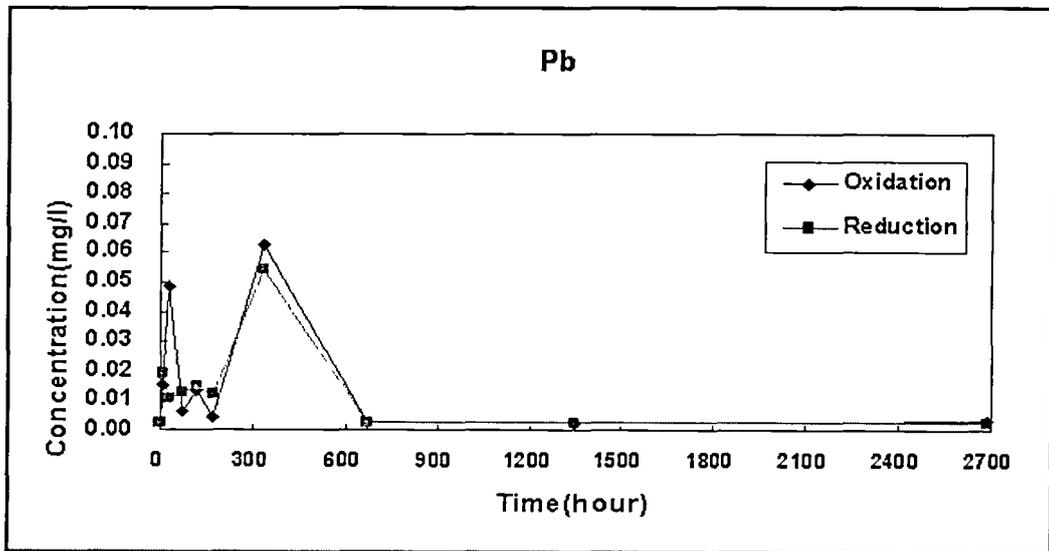
(E)

그림 2-1-14. 계속

Fig. 2-1-14. Continued



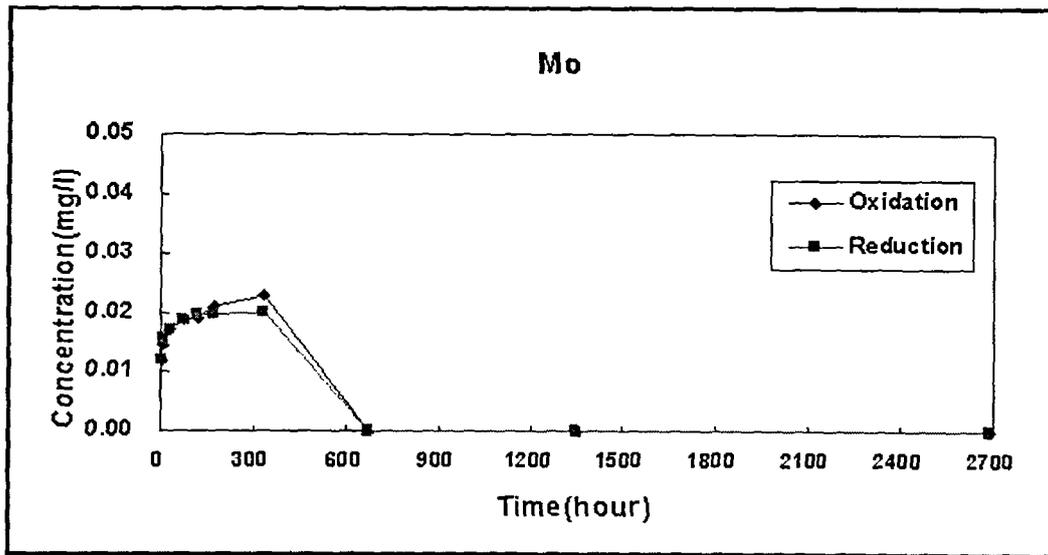
(F)



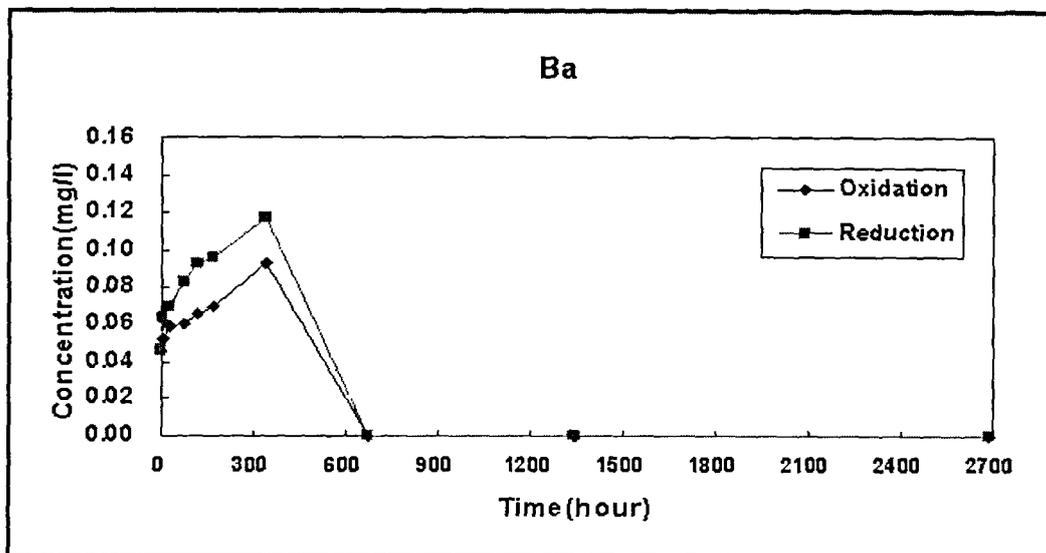
(G)

그림 2-1-14. 계속

Fig. 2-1-14. Continued



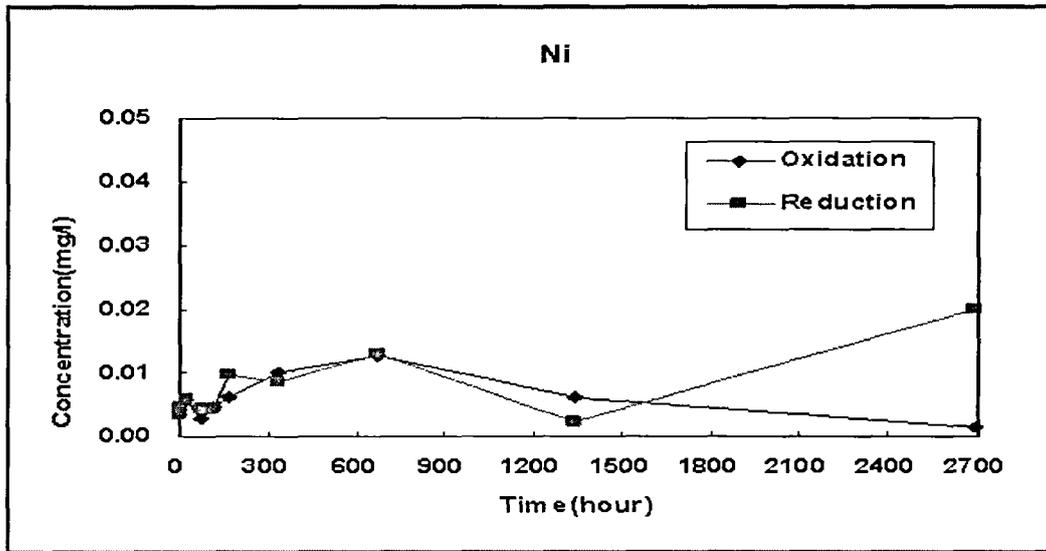
(H)



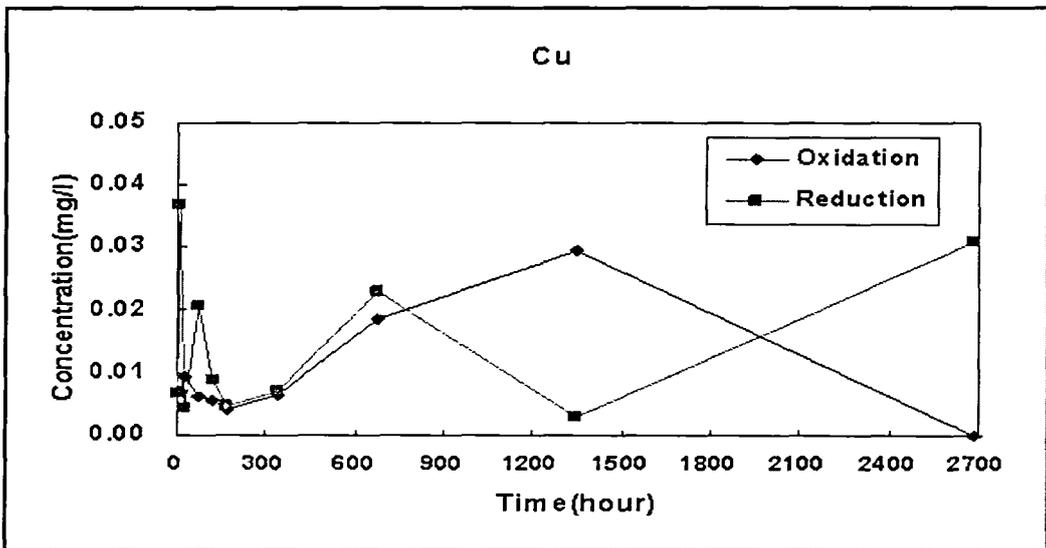
(I)

그림 2-1-14. 계속

Fig. 2-1-14. Continued



(J)



(K)

그림 2-1-14. 계속

Fig. 2-1-14. Continued

2.7.5.3. 석탄회 블록의 중금속 용출 변화

pH=5.91~6.09의 조건에서 석탄회 블록의 중금속 용출실험을 수행한 결과, 석탄회 블록을 투여 직후에는 12.15~12.44의 범위를 보인다. 1개월간 반응한 석탄회 블록(pH=12.44)에서 가장 높고, 해수반응 시간이 길어지면서 감소하는 경향을 보인다. 6시간 경과 후에서도 pH=12.33~12.5로 1개월간 반응한 석탄회 블록에서 가장 높고, 해수반응시간이 길어지면서 감소하는 경향을 보인다. 산화환원전위(Eh)는 석탄회 블록 투여 직후 205~247mV의 범위로 나타났으며, 해수반응시간이 길어지면서 높아지는 경향을 보인다. 또한, 6시간 용출 후 산화환원전위에서도 206~243mV으로 해수와 반응시간이 길어지면서 높아지는 경향을 보인다.(표 2-1-11).

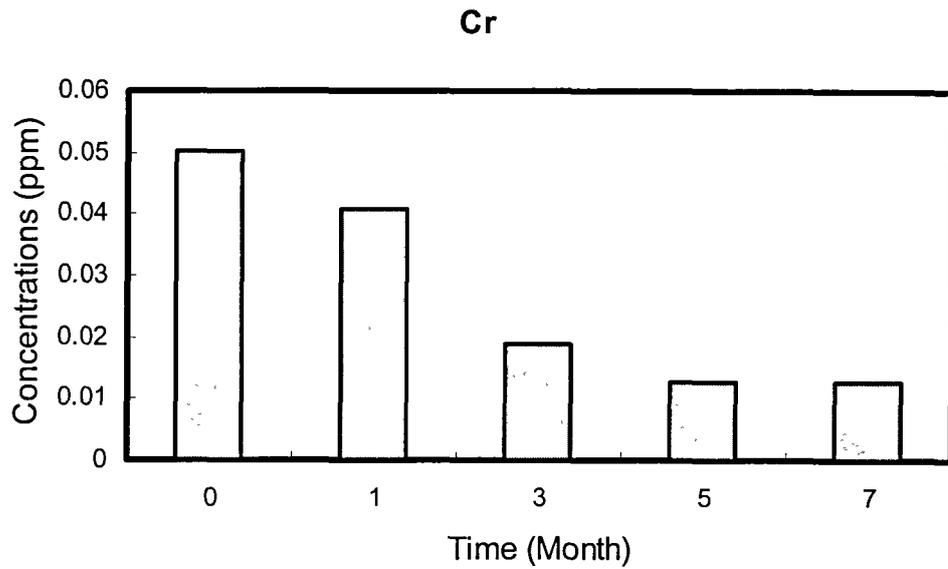
표 2-1-11. 시간 경과에 따른 산화환원전위와 pH 변화

Table 2-1-11. Eh/pH variation by leaching of ash block as a function of time

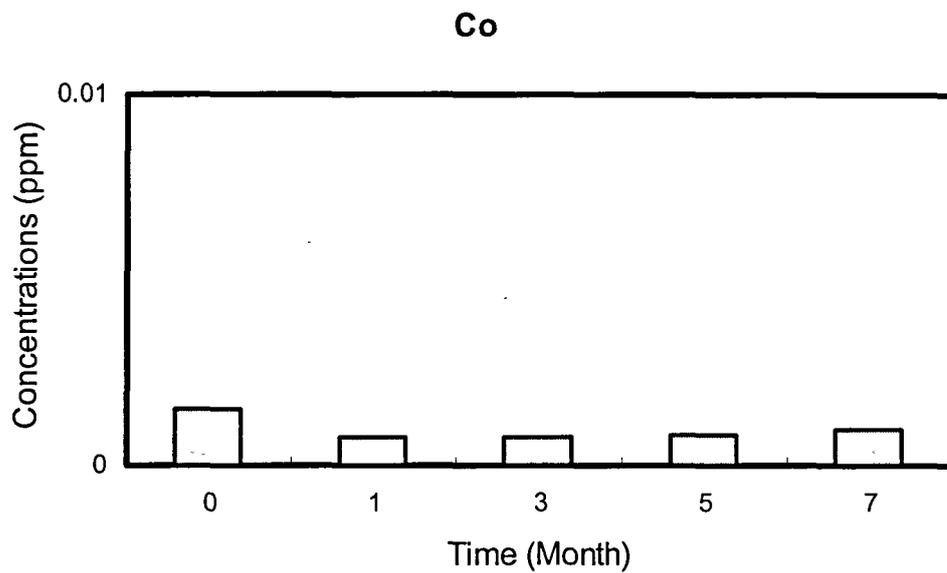
Sample	added hydrochloric acid		added ash block		after 6 hour	
	pH	Eh	pH	Eh	pH	Eh
Ash-1 month	5.91	696	12.44	214	12.49	206
Ash-3 month	5.91	696	12.34	205	12.50	225
Ash-5 month	6.09	697	12.29	247	12.42	243
Ash-7 month	6.09	697	12.15	240	12.33	234

한편, 크롬의 용출 농도는 원시료에서 0.05ppm으로 가장 높으며, 해수와 반응시간이 길어지면서 점차 감소하는 경향을 보인다. 원래의 석탄회 블록의 용출농도는 해역별 수질등급기준인 0.05ppm과 동일하지만 해수와 반응하면서 농도는 0.05ppm이하로 낮아진다. 해수와 반응한 석탄회 블록의 코발트 농도는 0.0008~0.001ppm으로 변화가 거의 없었으며, 해수와 반응하지 않은 원래의 석탄회 블록에서의 용출 농도(0.0015ppm)보다 낮다. 니켈의 용출 농도는 해수와 반응하지 않은 석탄회 블록에서 0.012ppm으로 가장 높으며, 해

수와 반응한 석탄회 블록은 0.006~0.008ppm으로 원래의 석탄회 블록보다 낮은 용출 농도를 보인다. 구리는 해수와 반응기간이 1개월과 7개월 경과한 시료에서 용출농도가 0.004ppm으로 가장 높게 나타났으며, 그 외의 시료에서는 0.002ppm으로 해역별 수질등급기준인 0.02ppm 이하로 나타났다. 아연의 용출 농도는 해수와 반응시간이 5개월 경과시까지 0.002~0.003ppm이며, 해수와의 반응시간이 7개월 경과한 석탄회 블록에서 0.01ppm으로 증가하였다. 그러나 이들 농도는 아연의 해역별 수질등급기준 농도인 0.1ppm보다 현저히 낮은 농도이다. 납은 모든 구간에서 0.01ppm이하로 용출되었으며, 해수와 반응하지 않은 석탄회 블록에서 0.003ppm으로 가장 높다. 비소와 카드뮴은 검출한계(0.005ppm) 이하로 나타났다(그림 2-1-15).



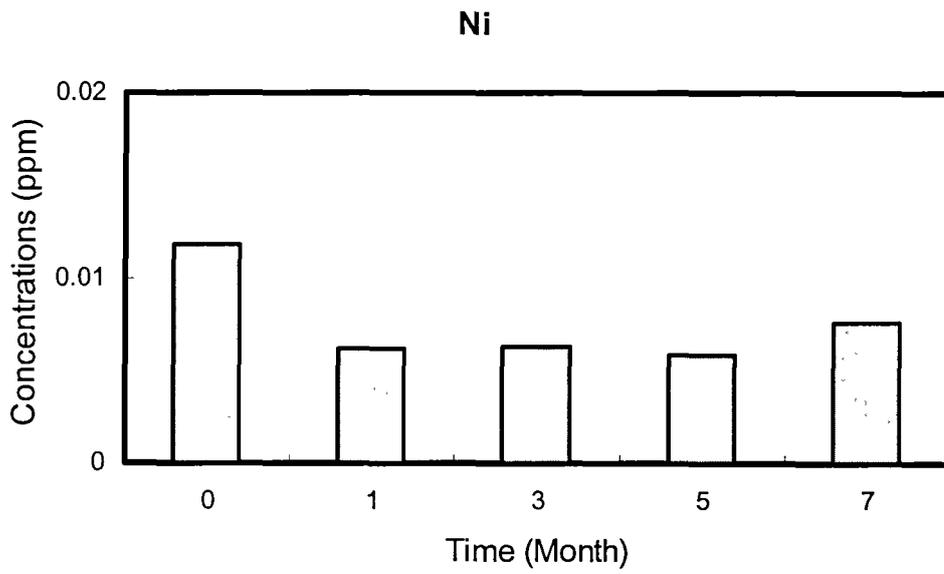
(A)



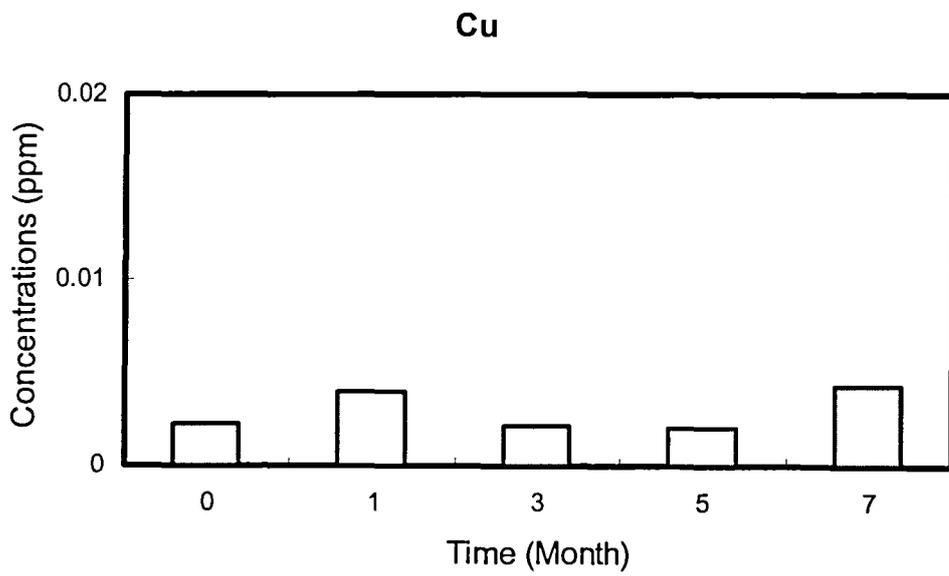
(B)

그림 2-1-15. 시간에 따른 중금속의 농도변화. (A)크롬, (B)코발트, (C)니켈, (D)구리, (E)아연, (F)납.

Fig. 2-1-15. Variation of Concentration of heavymetal as a function of time. (A)Cr, (B)Co, (C)Ni, (D)Cu, (E)Zn, (F)Pb.



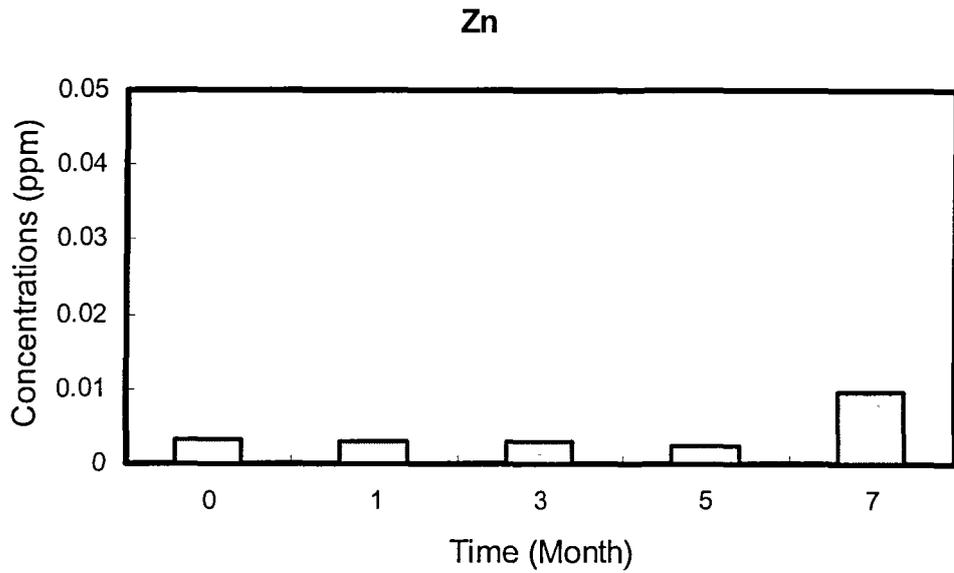
(C)



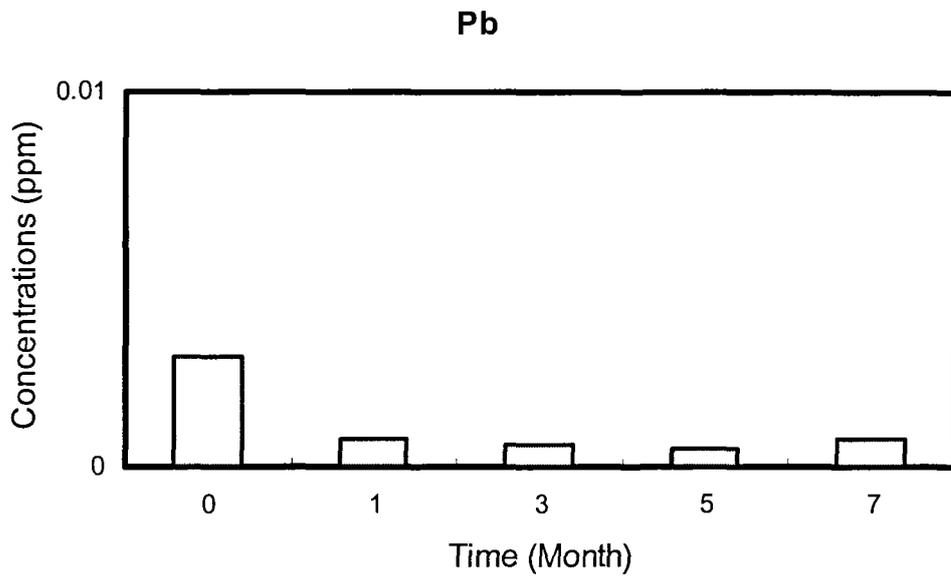
(D)

그림 2-1-15. 계속

Fig. 2-1-15. Continued



(E)



(F)

그림 2-1-15. 계속

Fig. 2-1-15. Continued

석탄회 블록의 중금속 농도는 해수와의 반응 시간(1, 3, 5, 7 개월)에 따라 크롬=29.74~110.26ppm (평균 70.36ppm), 아연=103.59~210.36ppm (평균 181.00ppm), 코발트=13.78~28.86ppm (평균 21.42ppm), 니켈=35.86~43.13ppm (평균 38.16ppm), 구리=27.87~66.20ppm (평균 55.02ppm), 비소=3.54~13.26ppm (평균 8.28ppm), 카드뮴=0.11~0.42ppm (평균 0.32ppm), 납=16.65~33.37ppm (평균 29.96ppm)이다(표 12). 전체적으로 불 때 크롬은 시간 경과에 따라 함량이 상대적으로 증가하는 경향을 갖으며, 그 외의 원소들은 뚜렷한 변화를 나타내지 않는다.

표 2-1-12. 석탄회 블록 내 중금속 농도(단위:ppm)

Table 2-1-12. Heavy metal concentration in ash block (Unit in ppm)

Reaction time (month)	Cr	Zn	Co	Ni	Cu	As	Cd	Pb
0	29.74	202.09	19.15	40.01	61.22	9.37	0.41	33.44
1	66.63	188.15	16.75	38.55	54.61	8.33	0.38	31.99
3	62.43	200.80	28.55	35.83	66.20	6.91	0.29	34.35
5	110.26	103.59	13.78	33.29	27.87	3.54	0.11	16.65
7	82.74	210.36	28.86	43.13	65.19	13.26	0.42	33.37
average	70.36	181.00	21.42	38.16	55.02	8.28	0.32	29.96

2.7.6. 석탄회 블록의 안정성

2.7.6.1. 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 해수에서 침지 후의 블록 표면을 비교한 결과, 블록의 표면, 내부의 기공 그리고 가장자리에서 풍화반응의 흔적이 나타나며, 특히 기공부에서는 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 공극형성과 2차 생성물에 의한 충전 현상이 수반되며, 블록의 가장자리에 선택적으로 풍화가 일어나고 있는 것을 관찰할 수 있다(그림 2-1-17).

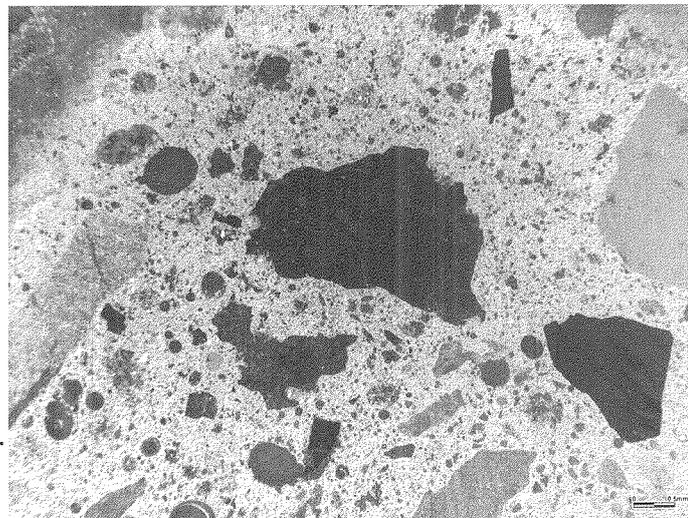
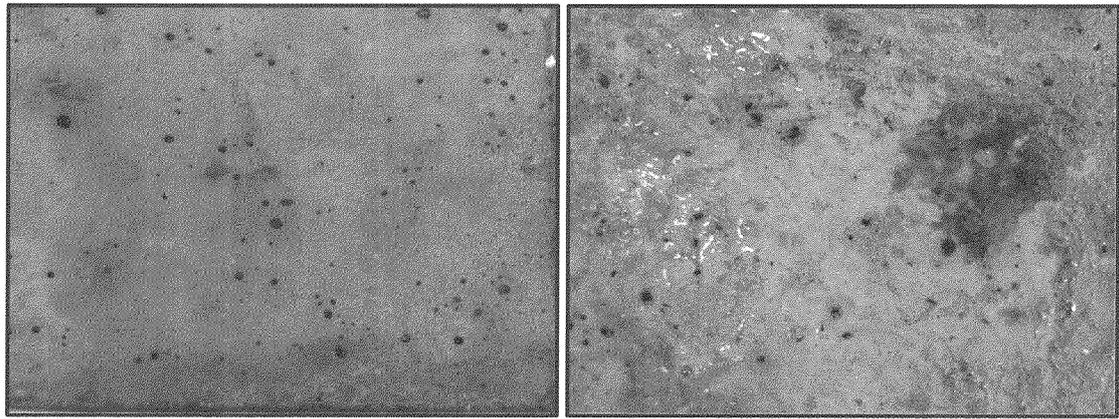


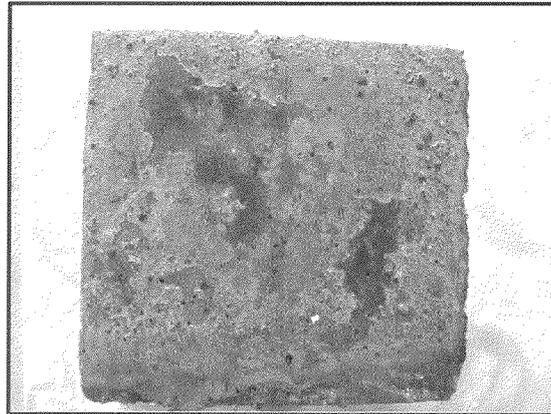
그림 2-1-16. 석탄회 블록 원시료의 절단면 사진.

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



(A)

(B)



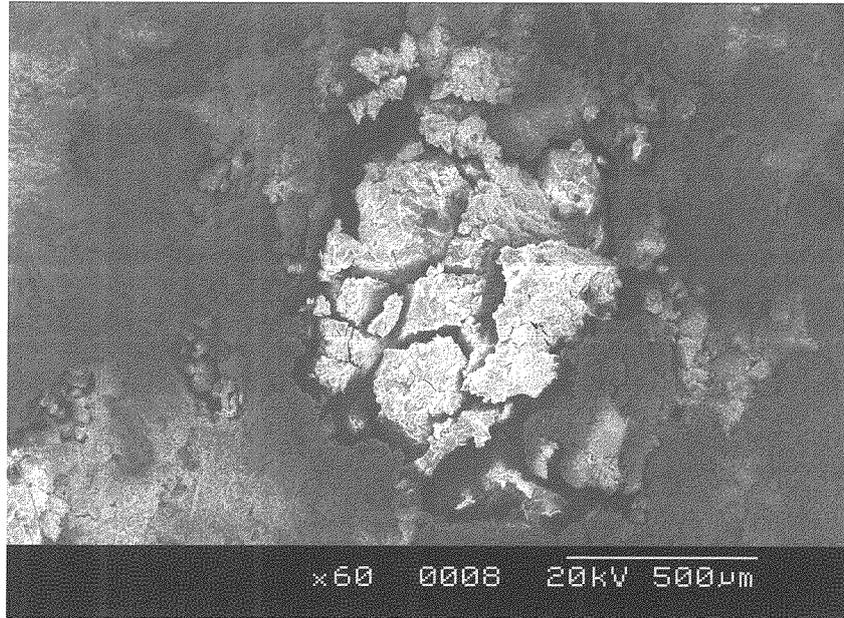
(C)

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

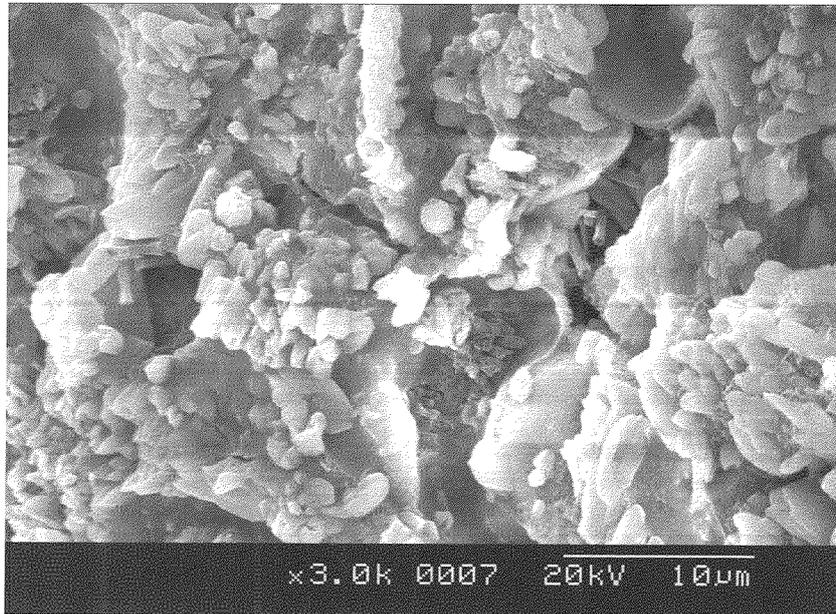
Fig. 2-1-17. Photographs of ash block surface. (A)Surface of fresh ash block, (B)surface after two months reacted with seawater and (C)surface after five months reacted with seawater.

2.7.6.2. 전자현미경 관찰 결과

석탄회 블록과 해수와의 반응에 의한 조직과 화학조성의 변화 및 2차광물의 생성 여부를 파악하기 위해서 주사전자현미경(SEM) 관찰과 함께 EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer)를 이용한 화학분석을 병행하였다. 전자현미경 관찰 결과, 블록 표면의 공극에 2차 광물이 충전된 것이 관찰되며, 2차 광물의 성상을 확인하기 위하여 SEM에서 3,000배로 공극을 관찰하였다. 그 결과 공극 내에 주상과 판상의 정벽을 갖는 광물을 확인하였다(그림 2-1-18). EDS분석결과 2차광물은 녹니석((Mg, Fe)5Al(Si3AlO10(OH)8), 침철석(FeO(OH)), 카오리나이트(Al2SiO5(OH)4, 스틸바이트NaCa(Al8Si28O72), 돌로마이트(CaMg(CO3)2)의 광물로 예상된다(그림 2-1-19). 이 결과는 EDS분석에 의한 원소 피크와 반응경로 모델링에 의한 2차광물 침전 결과를 반영하고 있다(그림 2-1-23).



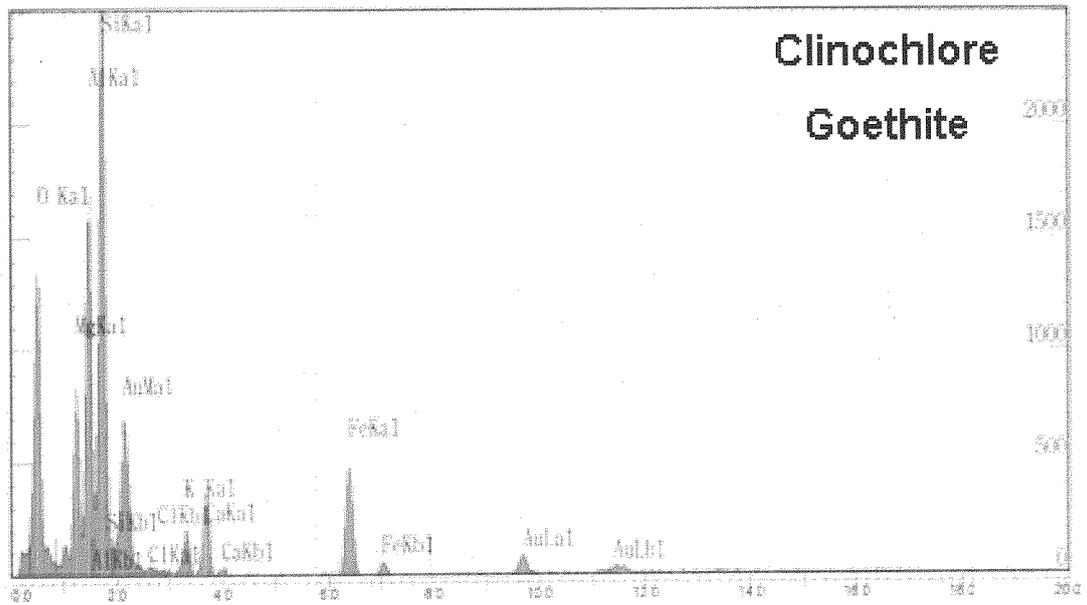
(A)



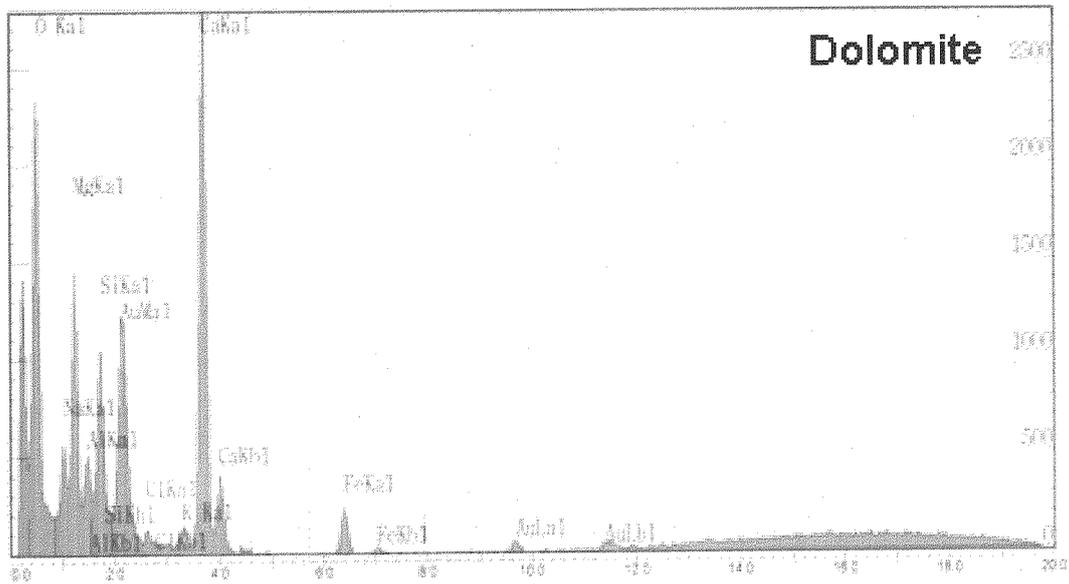
(B)

그림 2-1-18. 석탄회 블록 내 공극의 주사전자현미경(SEM) 사진. (A) 기공을 충전한 2차생성물, (B) 판상과 주상 구조를 갖는 2차 생성물.

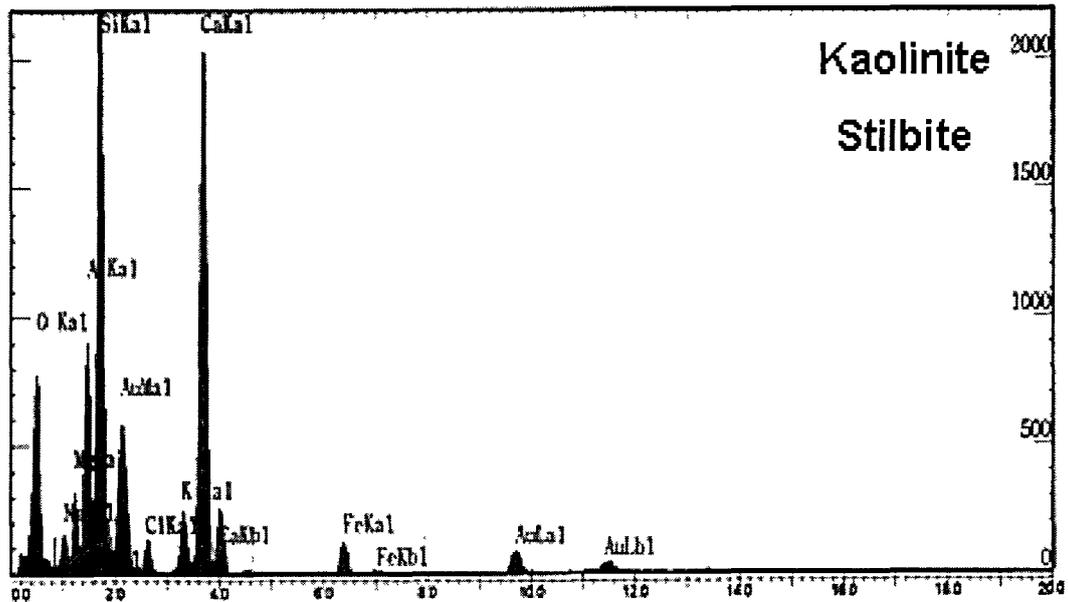
Fig. 2-1-18. SEM images of secondary minerals in the pore space of ash block. (A) Secondary minerals of the pore space and (B) Tabular and columnar texture for the secondary minerals.



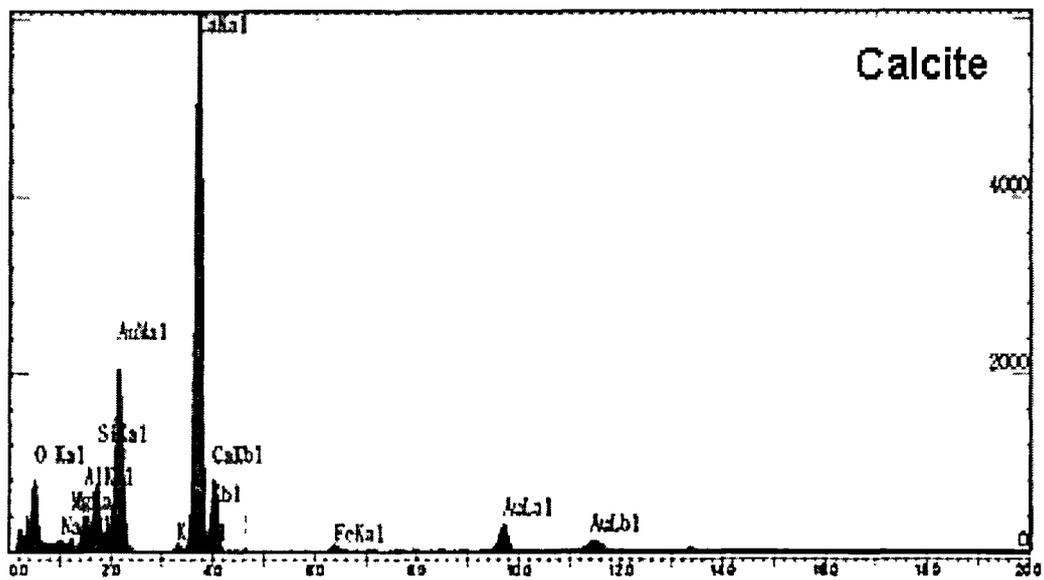
(A)



(B)



(C)



(D)

그림 2-1-19. 2차 광물의 EDS 분석 결과 (A) clinocllore, (B) dolomite, (C) Kaolinite, (D) calcite.

Fig. 2-1-19. EDS analyses of secondary mineral phase (A) clinocllore, (B) dolomite, (C) Kaolinite, (D) calcite.

2.7.7. X-선 회절 분석 결과

X-선 회절 분석 결과 포틀란다이트(portlandite), 방해석(calcite), 돌로마이트(dolomite), 석영(quartz) 피크가 상대적으로 명확하게 검출되었다 (그림 2-1-20). 원시료에서 4.23Å의 포틀란다이트, 3.03Å의 방해석의 피크가 석영과 함께 검출되었으며, 골재성분 중에 포함되어있는 석영결정의 강한 회절피크로 인하여 나머지 생성물은 확인되지 않았다. 해수와 반응한 석탄회 블록에서는 4.23Å의 포틀란다이트의 피크가 점점 소멸되었으며, 해수침적 5개월 후부터는 9.78Å과 7.73Å의 피트가 생성되는 것을 관찰할 수 있다. 이 피크가 정확히 어떤 광물인지는 관찰되지 않지만, 점토광물 계열의 광물이 2차 광물로 침전한 것으로 여겨진다. 또한 해수침적 5개월의 X-선 회절 분석 결과에서는 2.88Å의 돌로마이트 피크가 검출되었으며, 이는 해수내의 Mg에 의해 방해석이 돌로마이트로 생성되는 돌로마이트화 작용으로 생성된 돌로마이트와 골재 성분 내에 이미 존재 했던 돌로마이트의 2가지로 생각할 수 있다. 돌로마이트 피크가 5개월의 X-선 회절 분석 결과에서만 나타나는 것은 해수반응에 의한 2차광물 침전이 아닌 골재 내에 이미 존재했던 돌로마이트 피크로 판단된다.

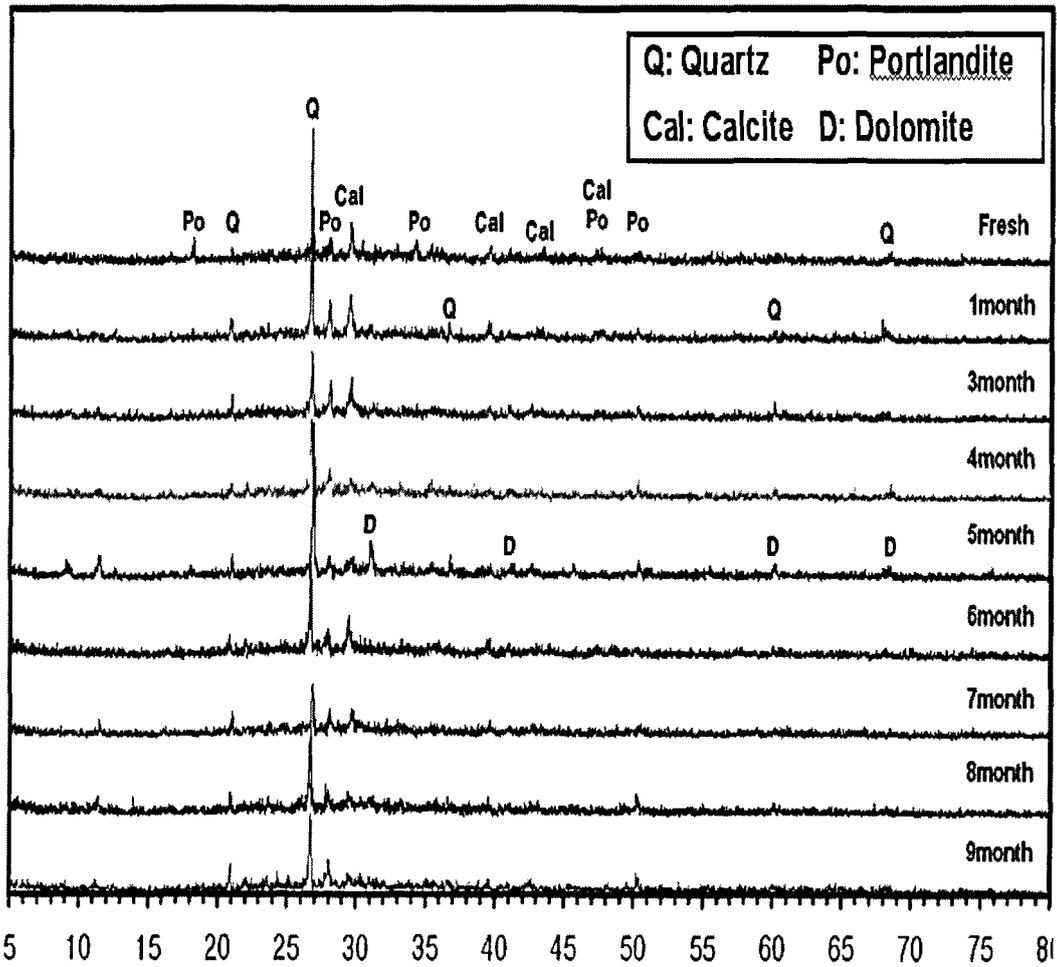


그림 2-1-20. 석탄회 블록의 x-선 회절 분석 결과.

Fig. 2-1-20. X-ray diffraction pattern of ash block.

2.7.8. 반응경로 모델링

석탄회 블록-해수 상호반응으로 인한 2차광물의 특성을 파악하기 위하여 프로그램 CHILLER를 이용하여 다성분 평형계산(수치반응)을 실시하였다. 평형계산에서는 석탄회 블록을 해수에 단계적으로 적정반응(titration reaction)을 하였으며, 각각의 단계가 완전한 화학적 평형상태에 도달할 수 있도록 연속적으로 실행하였다. 각각의 적정단계에서, 하나의 반응광물이 용액 내에서 포화될 때, 그 광물의 적정은 중지되나 다른 광물종의 적정은 지속되는 조건으로 실행하였다. 예를 들면, 일단 고령토가 생성되기 시작하면 더 이상 고령토의 적정이 수반되지 않고, 포화되어 용액내에서는 용해되지 않는다. 따라서, 각 단계별 반응 종결 후 고령토의 계산된 함량은 석탄회 블록의 풍화작용에 의한 것으로 해석 될 수 있다.

계산의 결과는 석탄회 블록과 해수의 반응비에 대비한 음이온종, 양이온종 및 2차 생성광물의 생성으로 나타내었다. 그림의 좌측에서 우측으로 갈수록 물/암석(해수/석탄회 블록)비가 감소되며, 이는 연속적인 반응경로를 의미한다.

수치반응의 진행에 따른 pH의 변화와 밀접한 관계를 가지는 음이온 Cl^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} 와 HCO_3^- 의 변화양상을 보여준다. HPO_4^{2-} 는 반응이 진행됨에 따라 수소이온의 활동도와 상호연관성을 가지며 변화하는 양상을 보여준다. Cl^- 와 SO_4^{2-} 는 변화가 없으며, 수소이온의 활동도에 영향을 미치지 않는다 (그림 2-1-21).

그림 2-1-22는 석탄회 블록-해수 상호반응에 있어서 반응초기부터 종결까지 양이온의 변화양상을 도시한 것이다. 반응이 진행됨에 따라 양이온의 농도는 pH의 변화에 따른 모암의 구성하는 광물들의 용해, 2차 생성물의 침전 및 용해에 따른 농도변화에 의해 다양한 변화양상을 보여준다. Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 이온은 해수에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. Fe^{2+} 이온 역시 해수에 큰 영향을 미치지 않는데, 이는 해수에 용출됨과 동시

에 침철석으로 침전되어 Fe^{2+} 의 농도변화가 없는 것으로 판단된다. Al^{3+} 의 농도는 반응이 진행됨에 따라 지속적으로 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보여준다. 이는 그림의 깁사이트와 카올리나이트의 침전과 관련하여 감소되는 것으로 판단된다. 2차 생성물의 침전에 관여하지 않는 다른 원소 (Mn^{2+} , $\text{Ti}(\text{OH})_4$)들은 반응이 진행됨에 따라 지속적인 증가양상을 보여준다.

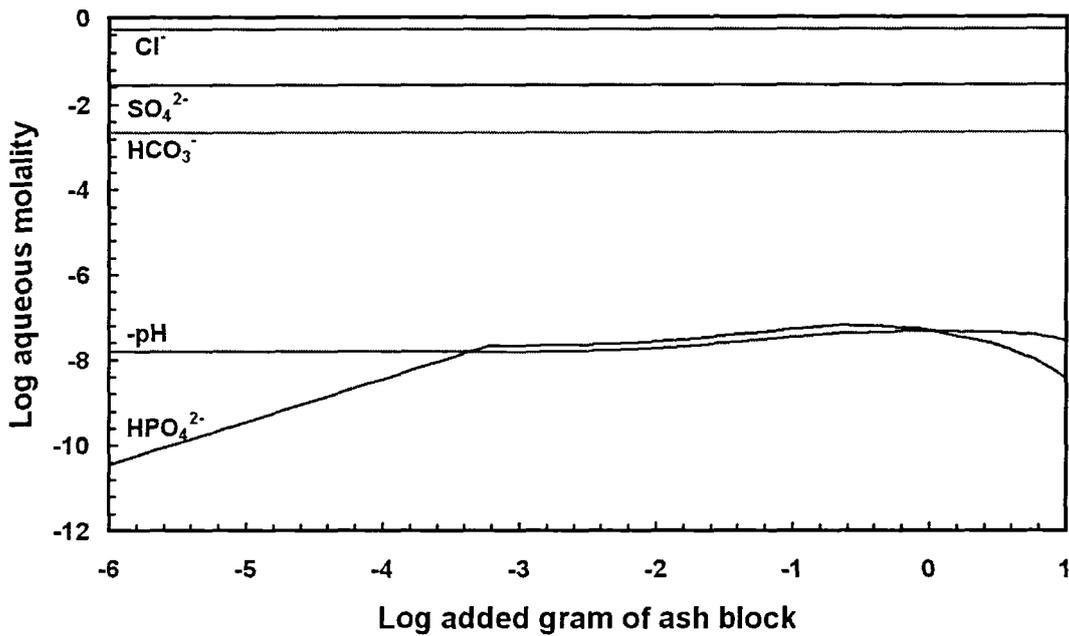
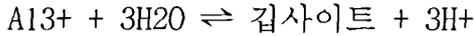


그림 2-1-21. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25°C). 반응정도에 따른 음이온의 함량 변화.

Fig. 2-1-21. Result of calculated ash block-weawater interaction at 25°C. Aqueous molality of anions of aqueous component species as a function of log added grams.

모델링 결과에서 반응이 진행됨에 따라 깁사이트, 카올리나이트로 2차 생성물이 침전됨을 보여준다(그림 2-1-23). 녹니석, 클리노아파타이트, 스틸사이트, 침철석의 2차 생성물이 침전되었다. 특히 침철석은 지속적으로 침전된다. 반응 초기 납석으로부터 기원된 다량의 알루미늄은 가수분해반응

을 통하여 킵사이트를 형성한다.



초기에 생성된 킵사이트는 이후의 지속적인 H⁺의 방출로 인하여 pH가 감소함에 따라 pH 변화에 따른 안정도(solubility)의 변화로 인해 수용액상으로 재용해 된다. 킵사이트의 침전량이 감소함에 따라 보다 낮은 pH 환경에서 안정한 광물인 카오리나이트의 침전이 발생한다.



모델링 결과 해수 반응에 의해 녹니석, 클리노아파타이트, 스틸바이트, 침철석, 킵사이트, 카오리나이트의 광물이 형성되었으며, 중금속을 함유한 광물은 침전되지 않은 것으로 판단된다.

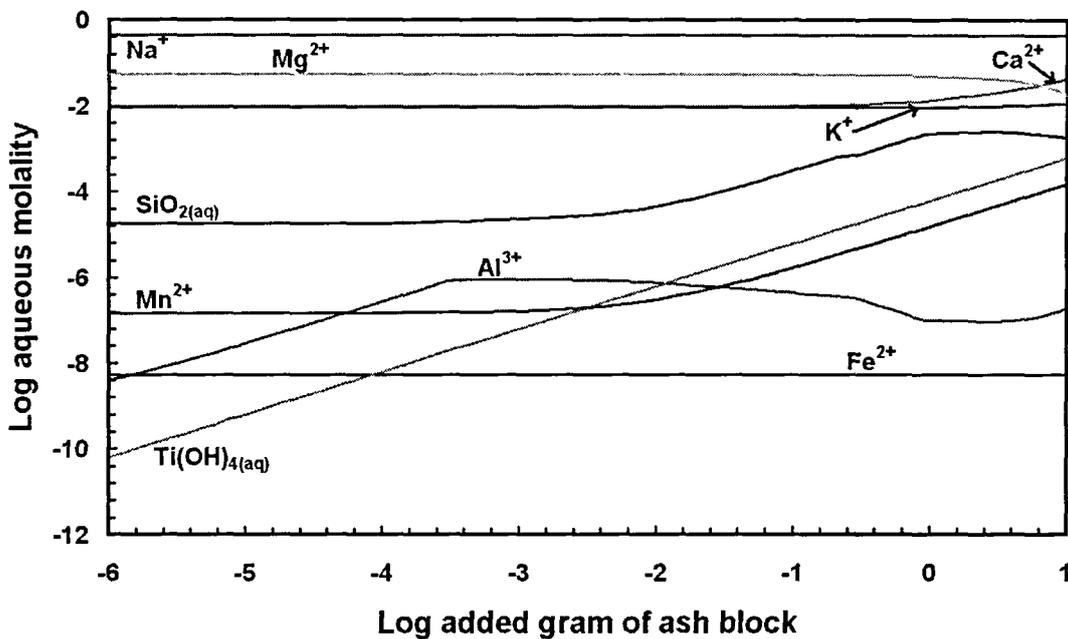


그림 2-1-22. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25℃). 반응정도에 따른 양이온의 함량 변화.

Fig. 2-1-22. Result of calculated ash block-weawater interaction at 25℃. Aqueous molality of cations of aqueous component species as a function of log added grams.

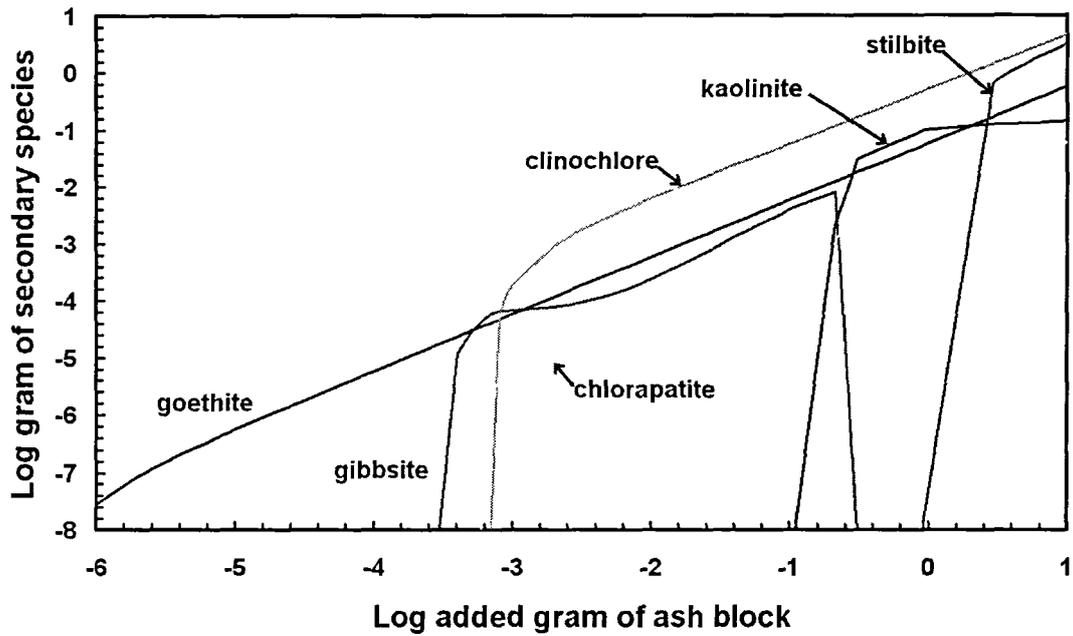


그림 2-1-23. 석탄회 블록-해수 반응 모델링 결과(25℃). 반응정도에 따른 2차광물의 종류와 침전량.

Fig. 2-1-23. Result of calculated ash block-weawater interaction at 25℃. Abundance of secondary minerals of aqueous component species as a function of log added grams.

2.7.9. 석탄회 블록의 중량변화

해수 침적에 의한 석탄회 블록의 중량변화에서 해수에 침적하지 않은 원래의 석탄회 블록의 중량변화는 0.2%의 증가율을 보인 반면, 1개월 동안 해수와 반응한 석탄회 블록은 해수반응전의 중량(490.08g)보다 9.40g 증가한 499.48g으로 2%의 증가를 보였다. 2개월 동안 해수와 반응한 석탄회 블록은 해수반응전의 중량(442.55g)보다 16.66g 증가하여 459.21g를 나타내었다(표 2-1-13). 이러한 중량의 변화는 105℃ 24시간 건조에서 휘발되지 않은 미량의 공극수의 양과 2차광물 침전에 의한 중량변화로 생각된다. 이러한 결과는 석탄회 블록이 해수 침적에 의해 해수중의 성분과 결합하여 생성된 2차광물 생성에 의한 중량 증가로 판단되며, 석탄회 블록이 해수 내에서 용해되지 않고 성장할 수 있음을 시사한다고 볼 수 있다.

표 2-1-13. 시간 변화에 따른 석탄회 블록의 중량 변화

Table 2-1-13. Weight change of ash block as function of time

Reaction Time	Before reaction	After reaction	Rate of change (%)
	Unit in g		
added hydrogen peroxide (H ₂ O ₂)			
	346.41	347.09	0.2
exposed to seawater			
1month	490.08	499.48	2
2month	442.55	459.21	3.63

2.7.10. 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.

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

2.8. 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, 2주경과 후부터는 Eh 및 pH의 안정으로 인해 더 이상 용출이 일어나지 않는 것으로 판단된다. 구리를 제외한 모든 중금속은 해역별 수질등급기준

이하로 나타났다.

(바) 7개월 동안 해수에 침적한 석탄회 블록의 중금속 용출은 모든 중금속에서 해역별 수질등급 기준 이하이며, 비소와 카드뮴은 검출되지 않았다.

(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-해수 반응에 의한 모델링 결과, 깁사이트, 카오리나이트, 녹니석, 클로로아파타이트, 스틸바이트, 침철석의 2차 생성물을 형성하였으며, 중금속을 함유한 2차 광물은 형성되지 않았다.

(자) 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 시설물 제작

인공용승류를 발생시키는 시설물인 「인공 용승 구조물」을 석탄회를 활용하여 최적 배합의 블록형태로 제작.

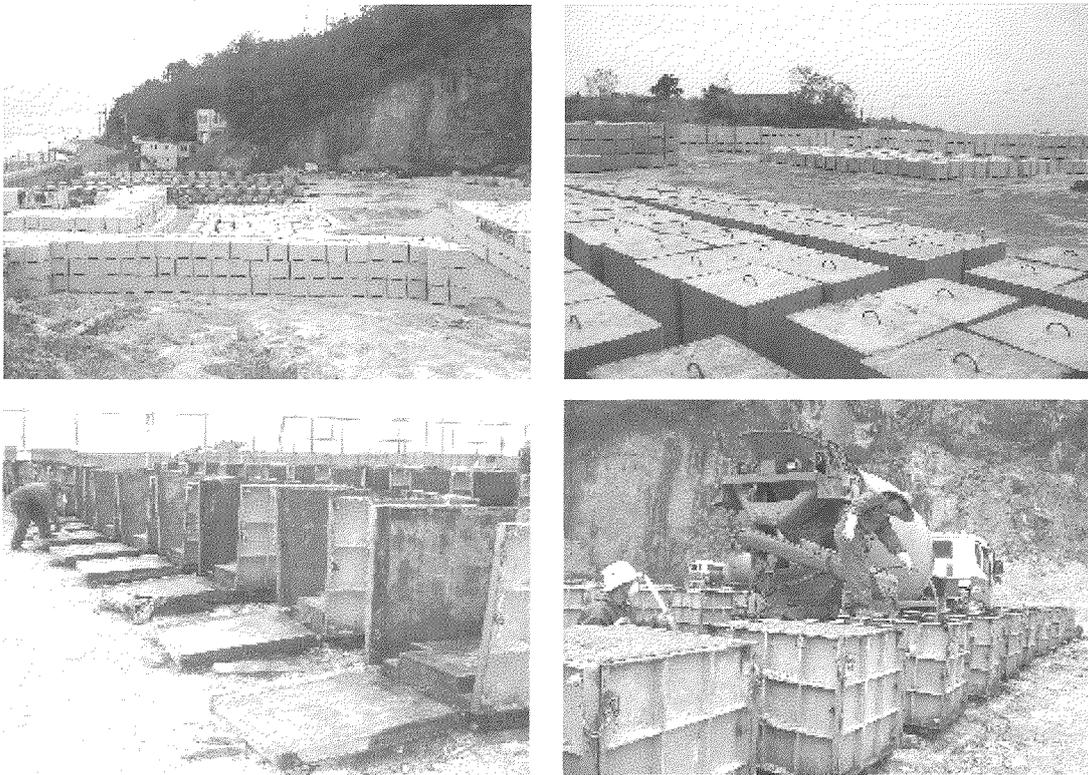


그림 3-1-1. 용승류블록 제작 및 야적장 전경

Fig. 3-1-1. Manufacture of artificial upwelling block & Scenery of open storage yard

2차년도 4,800개의 블록 제작을 목표로 수행하였으며, 구조물의 제작 및 야적장은 통영시 광도면 일대이다.

3.1.1 구조물의 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 시 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 갖춰야한다. 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 벨 및 긴석편 등 유해한 양을 함유해서는 안 되며 함수량도 배합에 영향을 주지 않는 범위 내(비중: 1.5ton/m³ 전후)에서 한다.



그림 3-1-2. 용승류블록 재료

Fig. 3-1-2. Material of artificial upwelling block

3.1.2 구조물의 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 ³)						목표 Slump (cm)	목표강도 (kg/cm ²)
		W	C	F/A	B/A	G	S		
석탄회	55	180	327	15	160	931	690	8	210

3.1.3 구조물의 형태

구조물은 가로, 세로, 높이 약 1000mm의 정육면체를 기본 형태로 하고, 하단부에 운반 및 적재용 홈과 상단부의 탈형 및 투하용 철근을 구비한다.

블록의 하단부는 인수·인도자간의 협의에 따라 제품의 본 기능발현(인위적인 용승류 생성)에 영향을 주지 않는 범위 내에서 변경이 가능하며, 블록 상단부의 철근 또한 강도, 탈형, 적재, 투하에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 형태(규격) 및 소재의 변경이 가능하다.

인공 용승류 블록 Type - 4

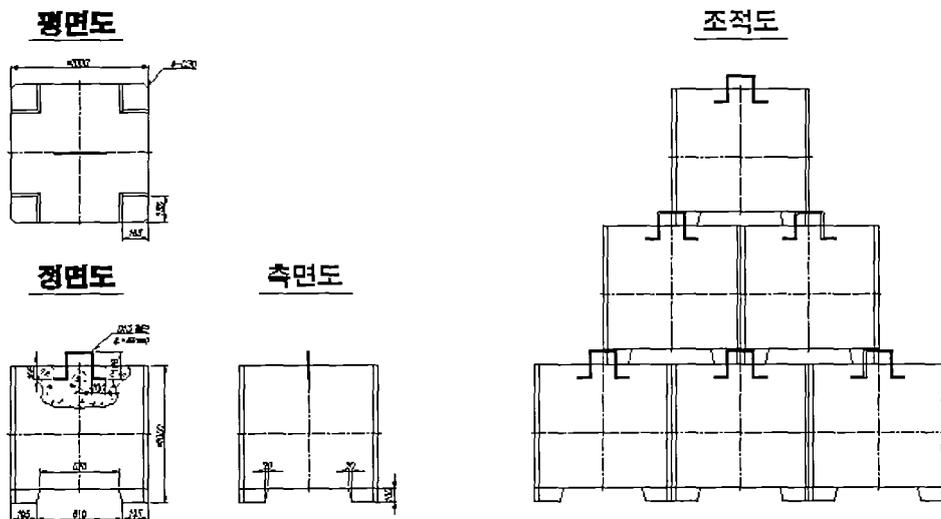


그림 3-1-3. 용승류블록의 형태

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

3.1.4 구조물의 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 3-1-2. 인공용승류블록(구조물) 규격 및 제원

Table 3-1-2. Standard of artificial upwelling block

구 분	치 수 (mm)			중량(kg)	콘크리트 강도(28일)
	가로	세로	높이		
인공용승류 블록(구조물)	1,000	1,000	1,000	1,900	210kgf/cm ²

※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 150m³당 1회의 비율로 하고 다만, 인수·인도 당사자간의 협정에 따라 검사 로트의 크기를 조정 할 수 있으며 1회의 압축강도 시험결과는 임의의 1개운반차로부터 채취한 시료로 3

개의 공시체를 제작하여 시험한 평균값으로 한다.

표 3-1-3. 코어채취 압축강도 측정

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

구 분	시편1(kg/cm ²)	시편2(kg/cm ²)	시편3(kg/cm ²)
측정강도	257	202	209
길이보정강도	268	211	218
환산평균	232.3		

표 3-1-4. 슈미트햄머를 이용한 압축강도 측정

Table 3-1-4. Schmidt hammer compressive strength measurement

구 분	석탄회
평균 반발경도(R)	30.6
보정 반발경도(R0)	33.7
압축강도 환산(kg/cm ²)	254.1

배합사양은 시방배합 <표 3-1-1>을 기준으로 <표 3-1-3>, <표 3-1-4>를 고려하여야 하며, 강도 준수 및 작업성 향상을 위하여 강도를 만족하는 범위 내에서 조정가능하다.

3.2. 구조물의 제작 및 품질관리

3.2.1 구조물 제조과정

블록(구조물)의 제조는 설계·제작된 형틀(몰드)에 산업부산물인 석탄회를 활용한 최적배합을 투입하고, 성형 후 탈형, 양생의 단계를 거쳐야 투하될 수 있다. 여기에서 양생은 재령 28일을 기본으로 한다. 공장제작시에는 증기양생으로 조기강도 발현이 가능하여, 즉시 2~3단의 야적이 가능하겠으나, 일체의 작업을 자연양생에 의지해야하는 본 제조여건의 특성상 충분한 강도 발현 이후 추가적인 탈형 및 야적 등의 작업을 행해야 제품의 파손 및 결함을 방지할 수 있다. 따라서 제품 탈형을 위해 성형되는 1차 양생, 탈형 후 1단 적재하여 하중에 의한 파손을 방지 할 수 있도록 하는 2차 양생, 충분한 강도 발현 후 2~3단 적재하여 3차 양생으로 행해야 한다.

본 2차년도의 제작기간은 9~10월로 기상 및 기온 등의 여건이 양호하여 1차 양생 1~2일, 2차 양생 3~10일, 이후 3차 양생을 실시하여 제품 파손 및 불량률을 억제하고 양호한 품질로 관리할 수 있었다.

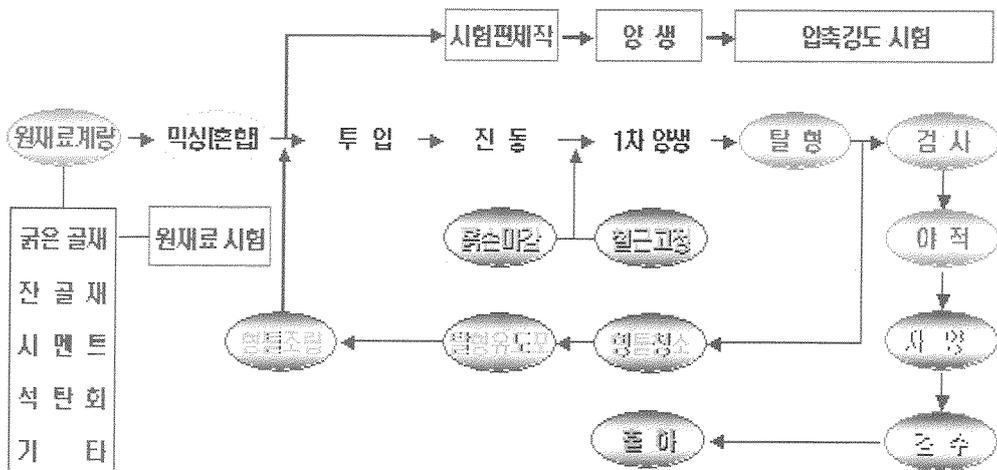


그림 3-2-1. 구조물(블록)제작과정

Fig. 3-2-1. Production process of artificial upwelling block

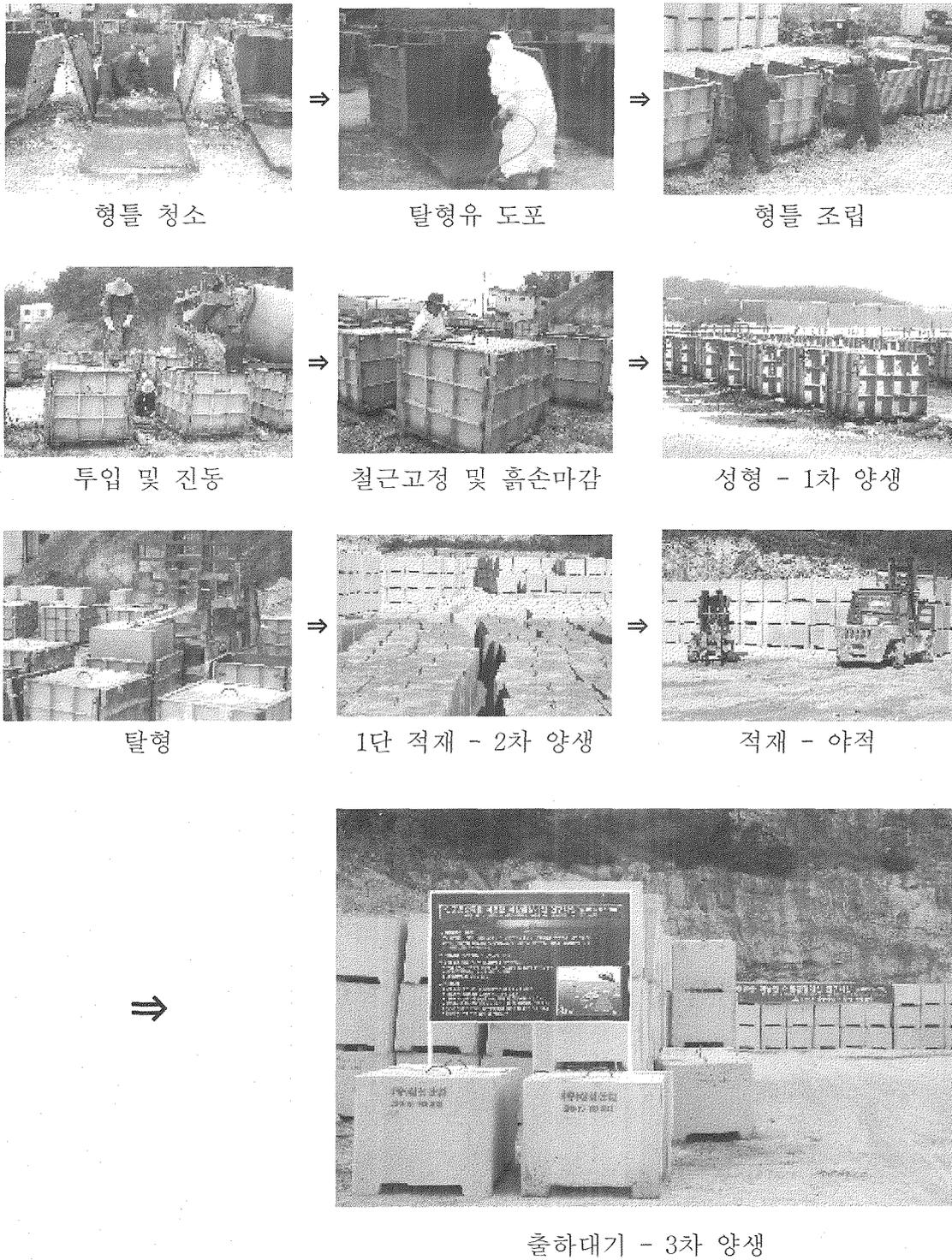


그림 3-2-2. 구조물(블록)제작과정

Fig. 3-2-2. Production process of artificial upwelling block

3.2.2 구조물 품질관리

3.2.2.1 일일현장배합관리

구조물 제작(투입) 시 잔골재 5mm체 잔류율, 굵은골재5mm체 통과율, 잔골재 표면수율, 굵은골재 표면수율을 확인하고, 시방배합을 보정하여 일일 현장배합표를 기록 관리 하였다.

3.2.2.2 압축강도시험

가. 자체 압축강도 시험 및 성적서 관리

구조물 제작(투입) 시 매일 1회, 임의의 1개 운반차로부터 현장 채취한 시료로 3개의 공시체를 제작하여 KS F4009 따라 시험 및 관리하였다.

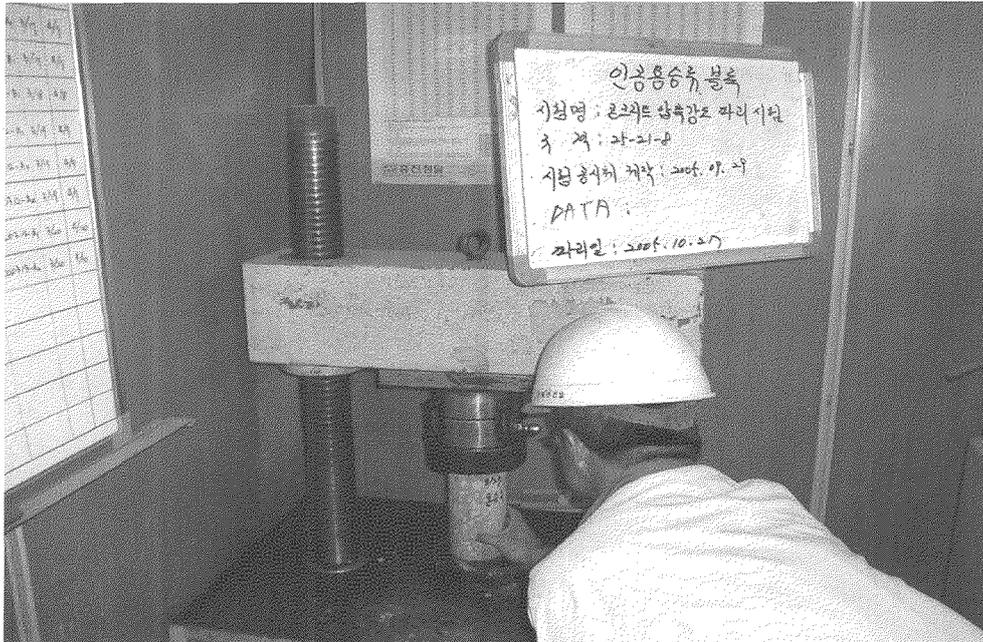
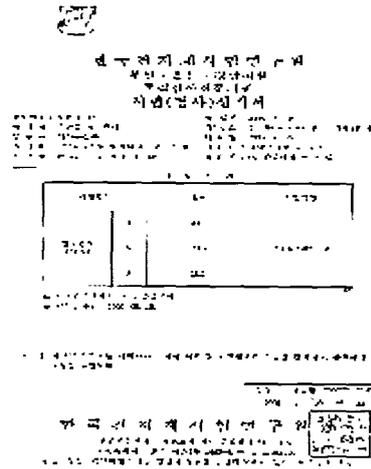


그림 3-2-3. 압축강도 시험

Fig. 3-2-3. Test of compressive strength

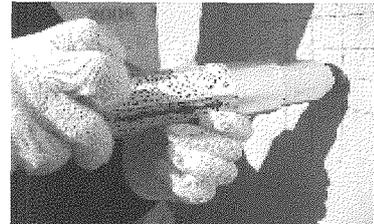
나. 압축강도 공인시험 의뢰

구조물(인공용승류 블록) 제작 현장에서 임의 채취한 시료 3개를 한국건자재시험연구원에 압축강도 시험을 의뢰하고, 공인시험(검사)성적서를 통해 품질을 입증하였다.



다. 슈미트햄머를 이용한 비파괴검사 시험

반발 경도법에 의한 콘크리트 강도시험을 Schmidt Hammer를 이용하여 2005.10.10 검사하고 성능을 확인하였다. 시험장소는 통영시 광도면의 블록제조 및 야적장이고, 적용제품은 2005.09.04 ~ 12일에 제조된 구조물로 재령 28일 강도 발현 제품을 대상으로 하였다.



3.2.2.3 기타시험

가. 공기량시험

: $4.5 \pm 1.5\%$



나. 염화물 함유량시험

: 0.3kg/m^3 이하



다. 슬럼프시험

: $8 \pm 2.5\text{cm}$



3.3. 구조물의 형틀(몰드) 추가 제작 및 수리

3.3.1 형틀(몰드) 제작

인공용승류블록 제조용 형틀 30SET을 추가 제작하여 2005.10.04일 부로 현장납품하고, 10.05일부로 블록 제작에 사용할 수 있도록 하였다. 현재 (2005.12.28), 총 121SET의 인공용승류블록 제조용 몰드를 보유하여, 월 3000EA의 블록 생산능력을 보유하고 있다.

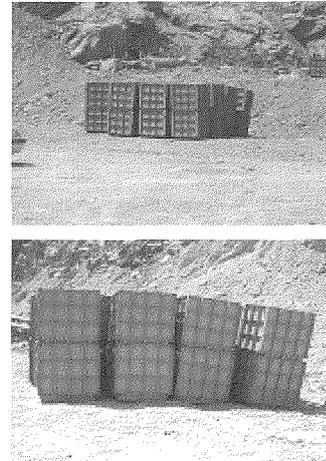
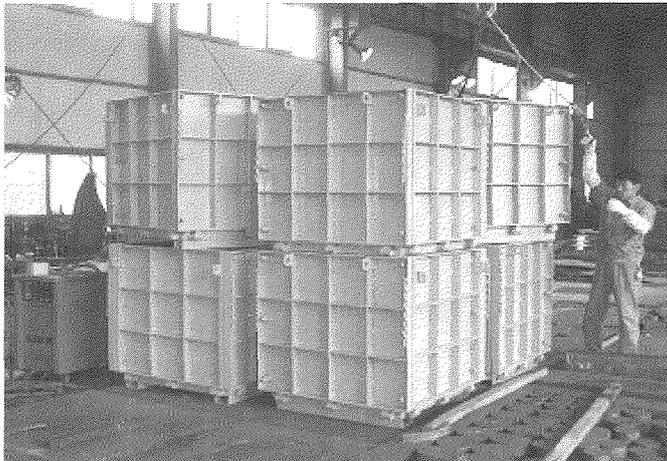


그림 3-3-1. 몰드제작 및 납품

Fig. 3-3-1. Manufacture and delivery of mold

3.3.2 형틀(몰드) 수리

기존 인공용승류블록 제조용 형틀 91SET에 대하여 아래의 내역과 같이 수리·보완 하였다.

가. 1차 제작현장 수리(2005.10.26~29)

1차년도 제작 몰드(91SET) 일체에 대해 고무링 교체, 탈형도움용 배

수출 천공, 임팩트 볼트·너트 수리 및 교체, 문짝 고정용 체인 및 체인걸이 부착 등 현장작업 시행

나. 2차 공장입고 수리(2005.11.04~10)

1차년도 제작 몰드(91SET)몰드중 문짝 비틀림(휨)으로 현장수리가 어려운 12SET에 대해 공장입고 후 수리작업 시행

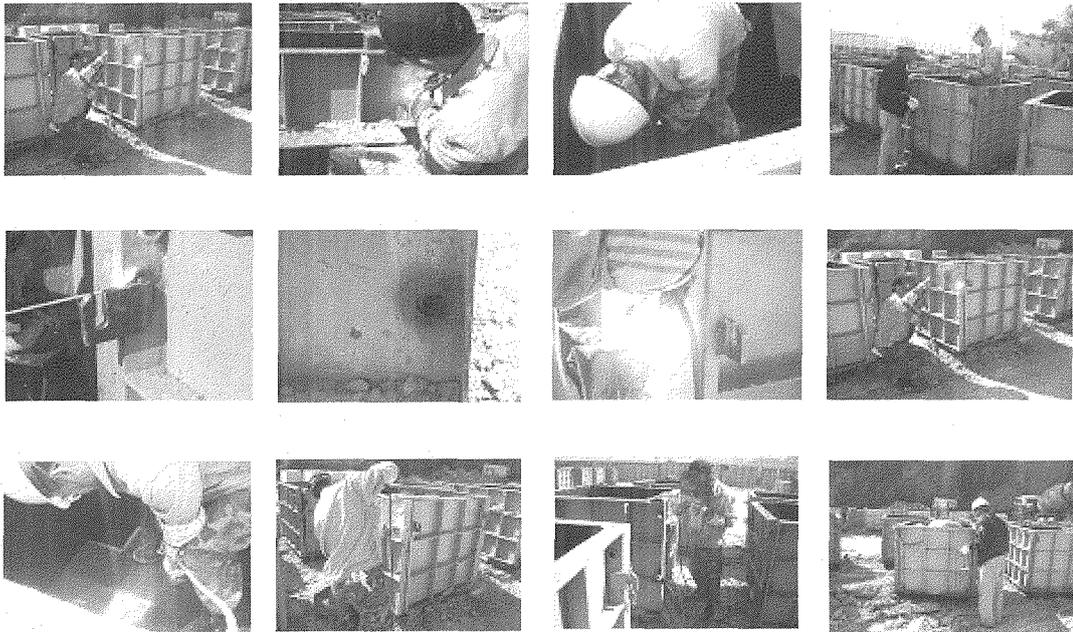


그림 3-3-2. 몰드수리 및 보완

Fig. 3-3-2. Repair and complement of mold

3.4. 사업홍보물 제작 및 설치

본 연구사업의 실사용자에 해당하는 어촌계 및 지역 주민, 일반시민에서 부터 해양구조물의 인허가 관련자 등의 전문가에 이르기 까지 「인공용승류를 이용한 어장환경 개선 사업」에 대한 사회적 인지도는 미흡한 실정임.

이에, 본 연구사업의 목적 및 인공용승류의 기대효과 등에 대한 개요를 포함한 홍보물을 제작하고 현장 설치하였다.

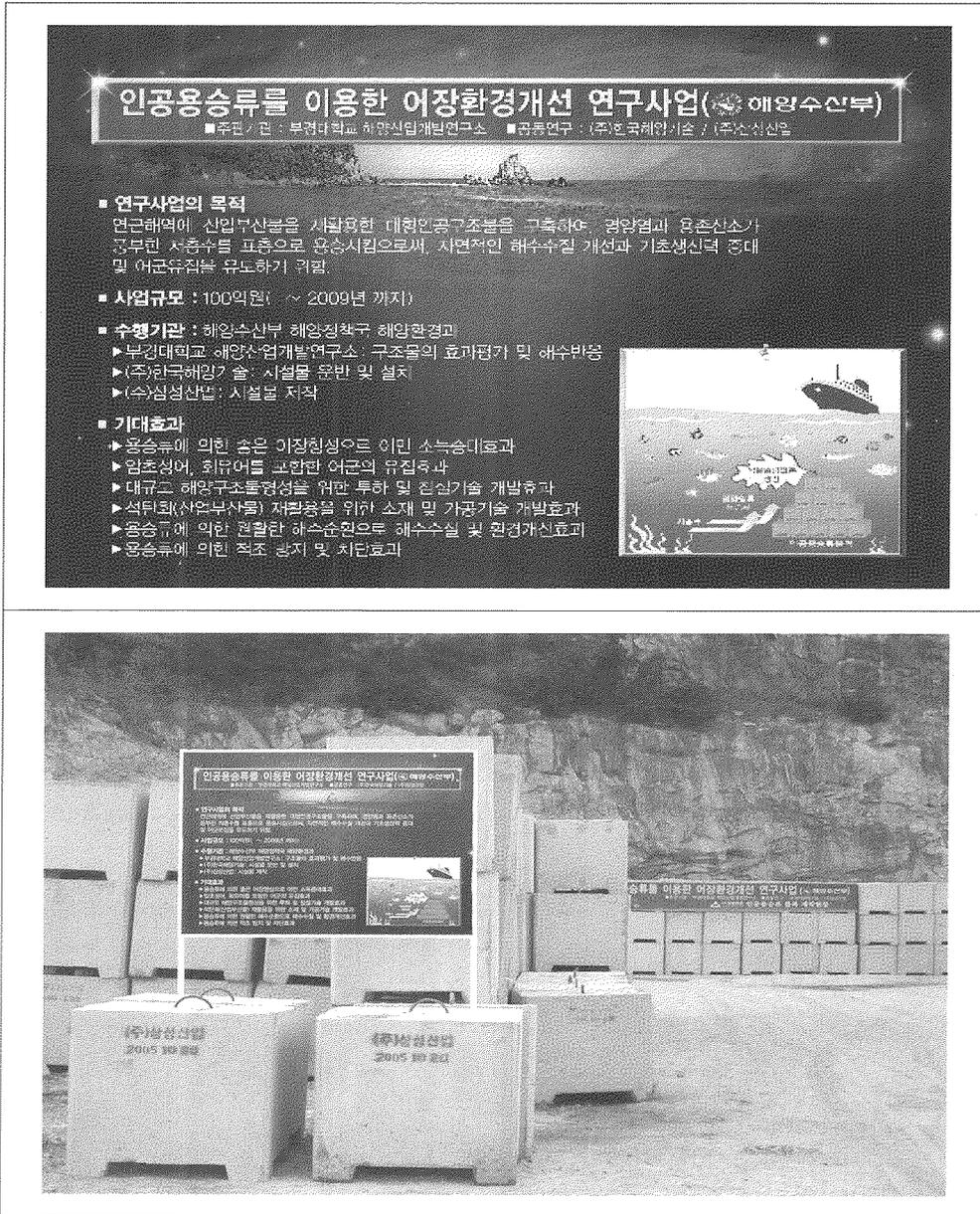


그림 3-4-1. 사업 홍보물 제작 및 설치

Fig. 3-4-1. Public relations and installation of Project

3.5. 연구달성내용

연구개발목표	연구달성내용
시설물 제작	인공용승류를 유도하기 위해 산업부산물인 석탄회를 이용하여 4,800개의 블록을 제작하였다.

※ 기타 성과

인공용승류 블록 생산 및 품질체계 정립 및 안정화

형틀(몰드) 30SET 추가 제작으로 월 3,000EA의 블록 생산능력 확보

※ 인공용승류 블록 월별 제조현황

기 간(월)	형틀(몰드) 수 량	작업일수	생산수량	비 고
09월	91	21	1,905	제품제작 09.03~
10월	91	2	182	몰드 30SET 입고 10.04
	121	21	2,541	
11월	121	2	172	제작완료 ~11.02
합 계		46	4,800	제품출하 11.11~11.25

4. 인공 용승 구조물 설치 및 투하

4.1. 설치 계획

구조물을 설치될 지점은 경상남도 매물도에서 남서방향으로 약 7km 떨어진 해상으로 좌표는 N 34° 36', E 128° 30'이며 수심은 54m~ 64m이다(그림 4-1-1). 2005년 8월 소조기시에 N 34° 36', E 128° 30'정점에서 수행된 조류 관측결과 조류는 동서방향의 흐름이 지배적이며 표층, 중층, 저층에서의 최대유속은 각각 54.4cm/sec, 52.0cm/sec, 46.44cm/sec로 조사되었다(그림 4-1-2).

용승류의 블록의 재원은 가로 1m, 세로 1m, 높이 1m를 가진 정육면체로 용승류 블록의 설치량은 1차년도 6,215개, 2차년도 4,800개이다.

설치할 구조물의 형태는 구조물의 안정성을 위하여 양 끝단을 원추형태로 하고 중앙은 삼각기둥으로 계획하였으며, 2000년~2002년에 수행된 기초연구결과 용승류가 잘 일어날 조건으로 구조물의 유속경사가 $hs/h=0.3$ 일 때 이므로 구조물의 설치 높이는 수심을 고려하여 최소 17m, 폭은 구조물 사면의 안정각을 고려하여(폭=10/3*설치높이) 고려하여 약 50m로 계획 하였다(그림 4-1-3).

1차년도에는 6,215개의 블록(1× 1× 1m)을 N 34° 36.000', E 128° 30.000'의 위치에 투하하여 높이 18m, 폭 45m의 원추형태로 설치하였다(그림 4-1-4).

2차년도의 설치할 블록 수는 4,800개이며 조류의 주 방향(동서)과 완성될 용승 구조물의 장축이 수직이 되도록 하기 위하여 2차년도의 투하위치좌표는 그림 4-1-5 과 같이 N 34° 36.020', E 128° 30.006'지점에 투하하여 높이 15m, 폭 40m의 원추형태로 설치할 계획이다.

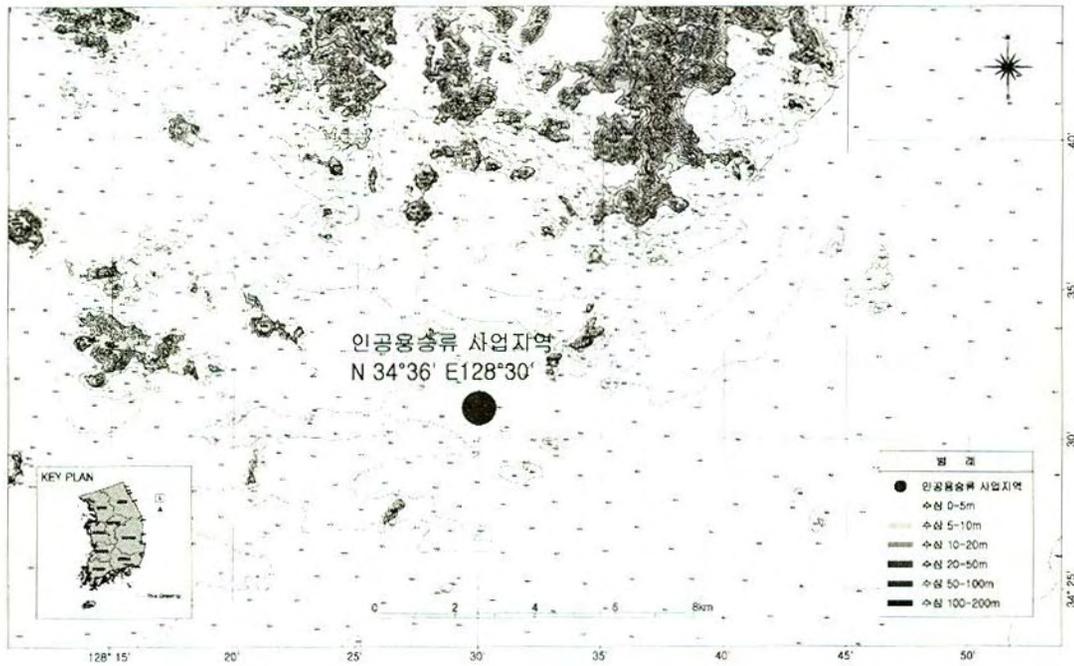


그림 4-1-1. 인공용승류 블록 설치 위치도

Fig. 4-1-1. The Map of structure installation

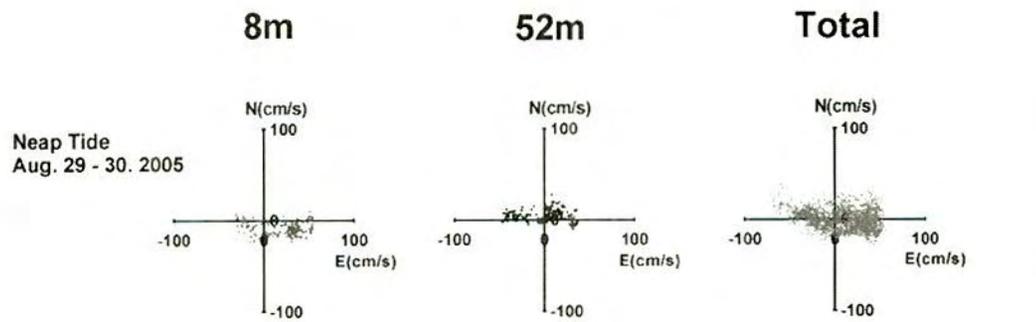


그림 4-1-2. 2005년 8월 29일~30일(하) 정점 B(N 34° 36.020' , E 128° 30.006') 에서 관측한 조류 분산도.

Fig. 4-1-2. Scatter plot of current with the depth of the mooring site St. B(N 34° 36.020' , E 128° 30.006') in August 29~30(right), 2005.

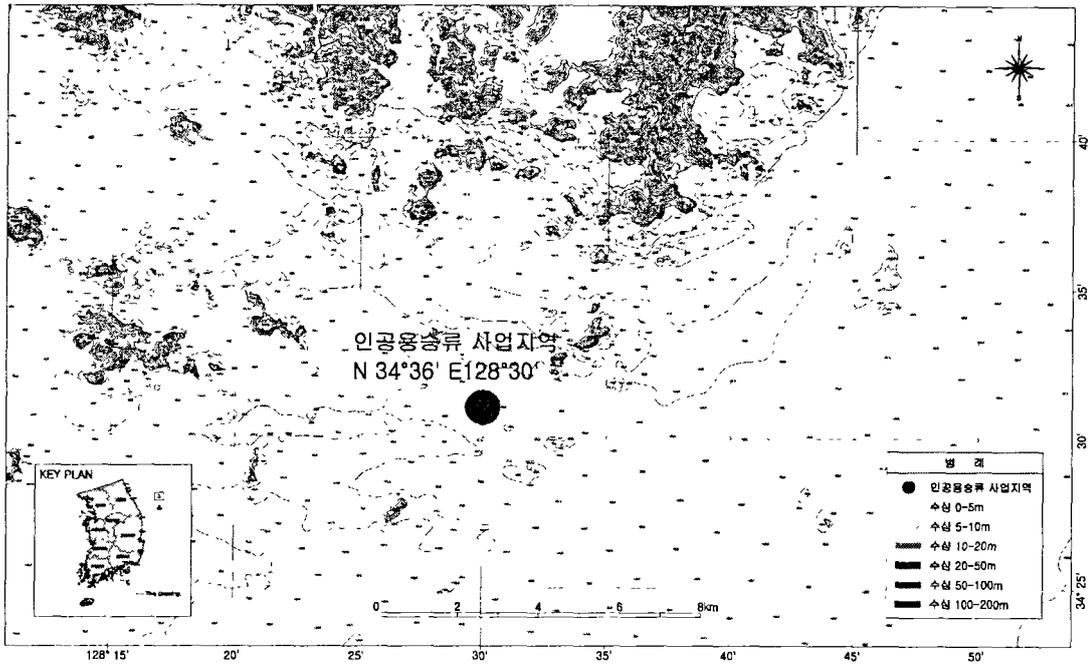


그림 4-1-1. 인공용승류 블록 설치 위치도

Fig. 4-1-1. The Map of structure installation

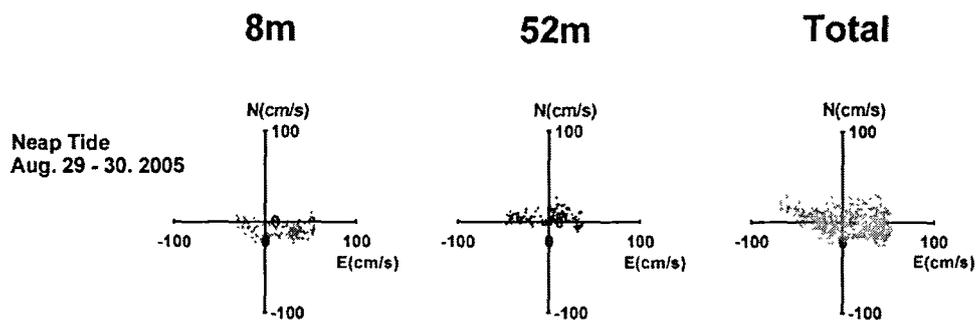


그림 4-1-2. 2005년 8월 29일~30일(하) 정점 B(N 34° 36.020' , E 128° 30.006')에서 관측한 조류 분산도.

Fig. 4-1-2. Scatter plot of current with the depth of the mooring site St. B(N 34° 36.020' , E 128° 30.006') in August 29~30(right), 2005.

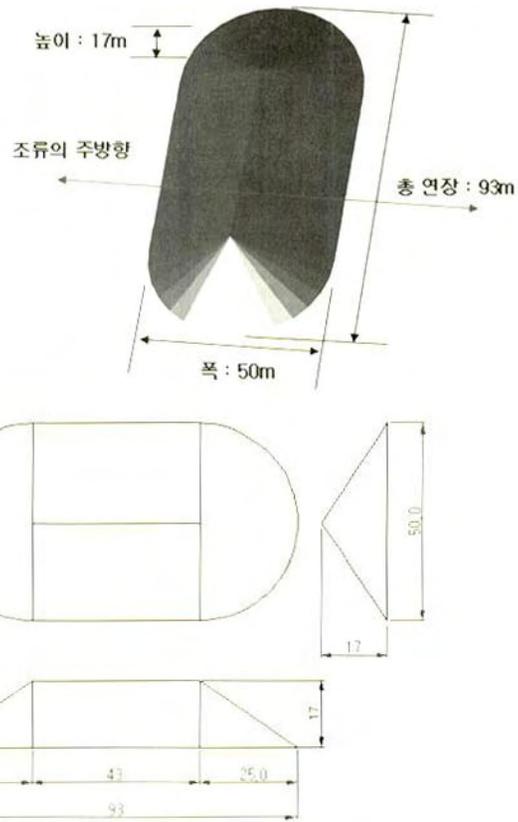


그림 4-1-3. 최종 구조물의 3차원 조감도 및 단면도.

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

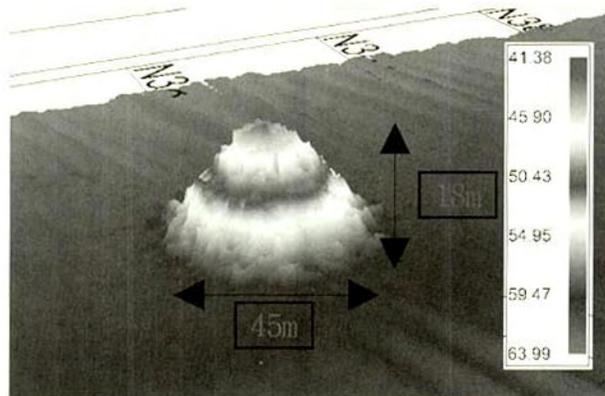


그림 4-1-4. 1차년도 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-1-4. Image of structure(three dimension).

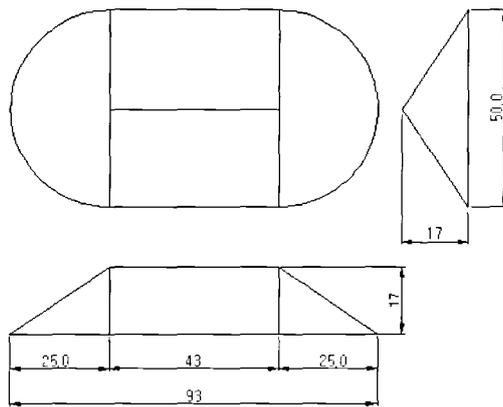
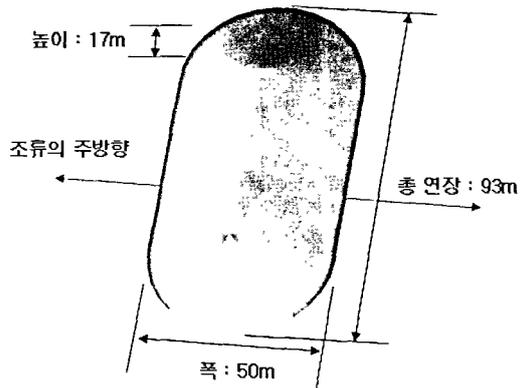


그림 4-1-3. 최종 구조물의 3차원 조감도 및 단면도.

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



그림 4-1-4. 1차년도 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-1-4. Image of structure(three dimension).

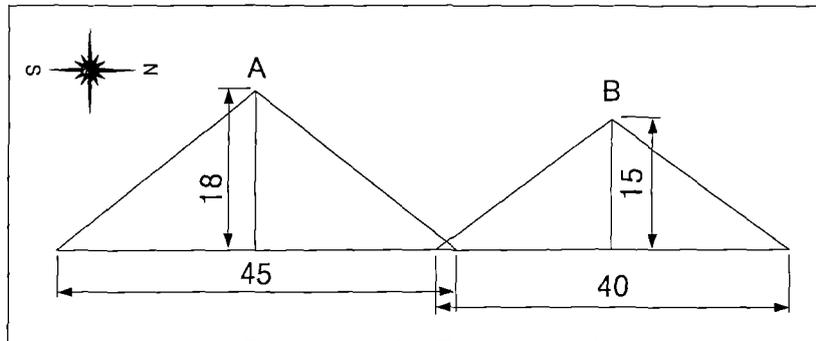
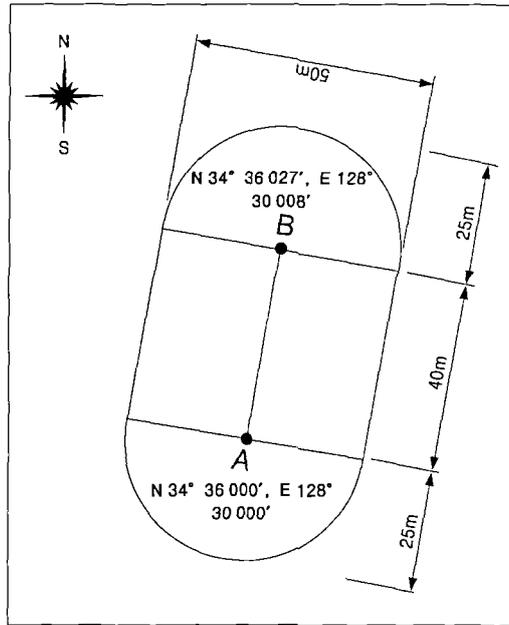


그림 4-1-5. 2차년도 설치 계획 단면도.

Fig. 4-1-5. Plan cross section of structure.

4.2. 설 치

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 선착장에서 투하장소까지의 해상운반거리는 약 60km이다.

블록반출은 지게차를 이용하여 트럭에 4개의 블록을 선적하여 반출하였으며 마산지방해양수산청 감독관의 검수를 거쳐 양생 28일을 초과한 블록만을 선적하였다. 선적은 해상기중기선의 크레인을 이용하여 블록을 4개씩 적재하였다.

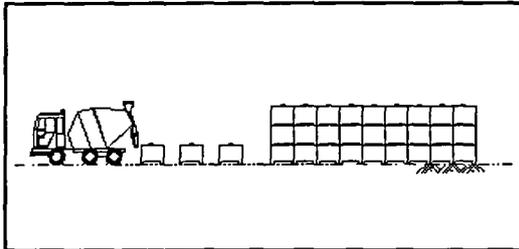
해상운반 및 투하에 사용된 장비는 예인선과 해상기중기선(크레인 150ton), 바지선을 사용하였으며 해상운반시간은 선착장에서 투하장소까지 약 7시간이 소요되었다.

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 투하좌표를 입력하여 설정하였다.

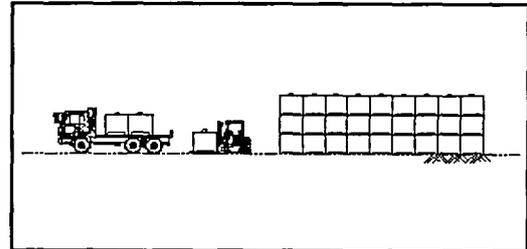
예인선의 GPS를 이용하여 투하지점 근처까지 온 뒤 바지선의 앵커를 예인선이 끌어서 내린 후 해상측량프로그램상의 모니터 상에 반경 5m내로 크레인의 붐대(DGPS 수신기)가 들어오도록 앵커를 앞뒤로 당겨 셋팅하였다. 셋팅이 완료되면 크레인의 와이어 로프에 블록의 4개씩 걸어 인양한 뒤 크레인의 기사가 노트북의 해상측량프로그램상의 투하위치를 모니터링 하면서 투하위치에 크레인을 이동 시킨 후 블록을 투하하였다.

투하방법은 그림 4-2-14와 같이 크레인의 와이어로프 1줄과 부이를 이용하여 블록이 해지면 바닥에 닿으면 부표의 부력에 의해 고리가 자동으로 풀

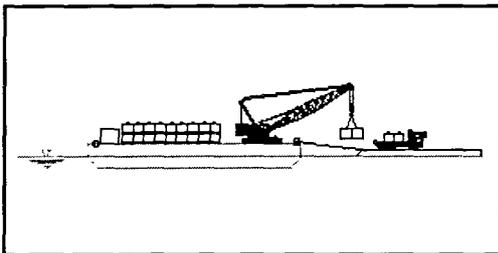
리게 고안하여 설치하였다.



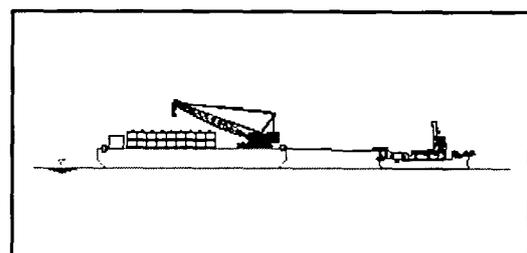
제작 및 양생(야적장)



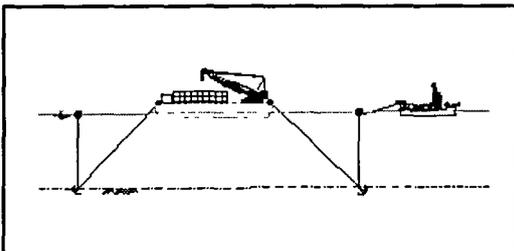
적재(야적장)



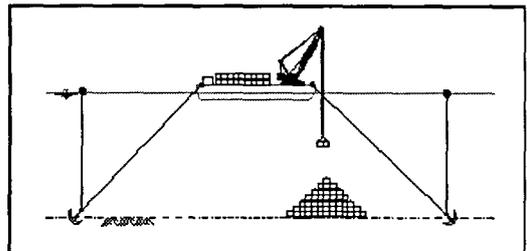
선적(선착장)



해상운반



Mooring



투하

그림 4-2-1. 제작에서 투하까지의 공정도.

Fig. 4-2-1. Process of structure installation.

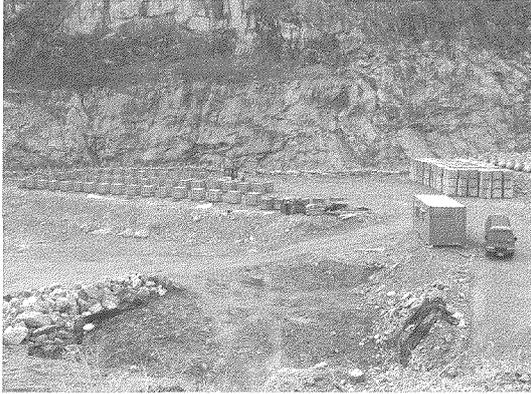


그림 4-2-2. 야적장.

Fig. 4-2-2. Open storage yard.

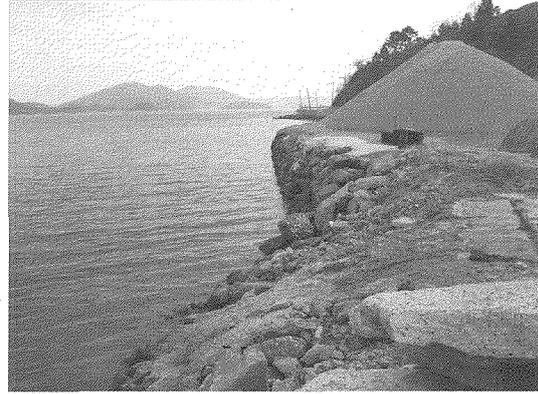


그림 4-2-3. 선착장.

Fig. 4-2-3. Harbor.



그림 4-2-4. 육상운반.

Fig. 4-2-4. Ground transport.



그림 4-2-5. 해상기중기선 및 예인선.

Fig. 4-2-5. Floating crane and tugboat.



그림 4-2-6. 선적.

Fig. 4-2-6. Shipment.

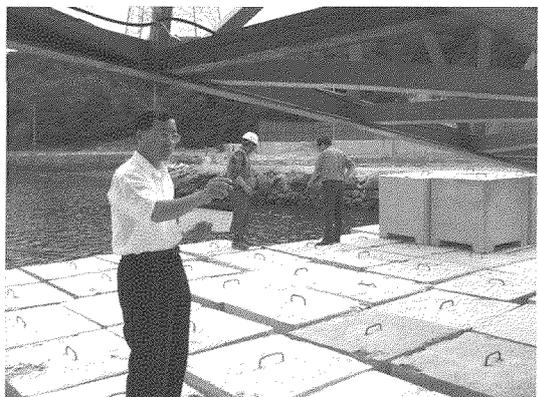


그림 4-2-7. 적재확인.

Fig. 4-2-7. Check of shipment.



그림 4-2-8. 해상운반.

Fig. 4-2-8. Marine transport.



그림 4-2-9. 계류.

Fig. 4-2-9. Mooring Buoy.

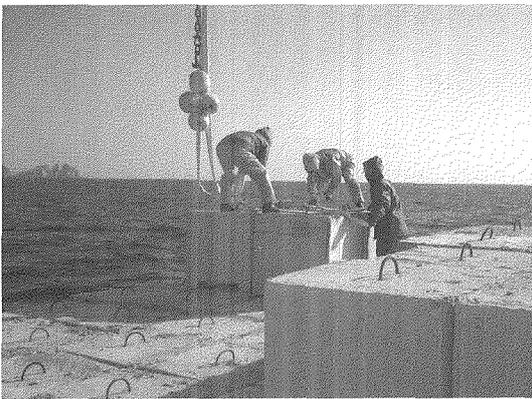


그림 4-2-10. 결색.

Fig. 4-2-10. Band of blocks.

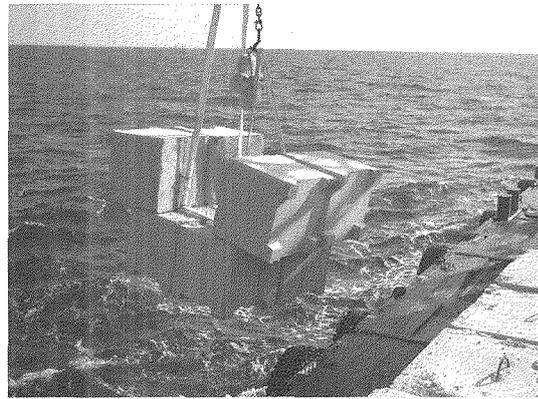


그림 4-2-11. 투하.

Fig. 4-2-11. Dropping.

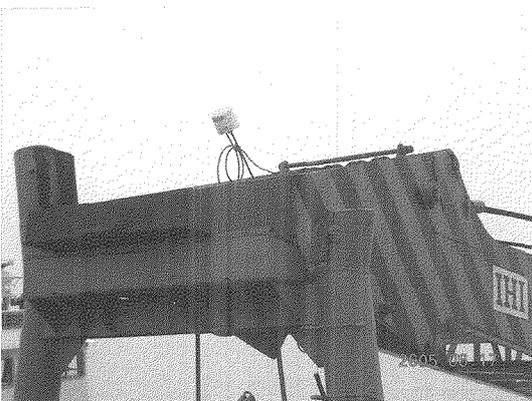


그림 4-2-12. GPS의 비콘.

Fig. 4-2-12. Beacon of GPS.

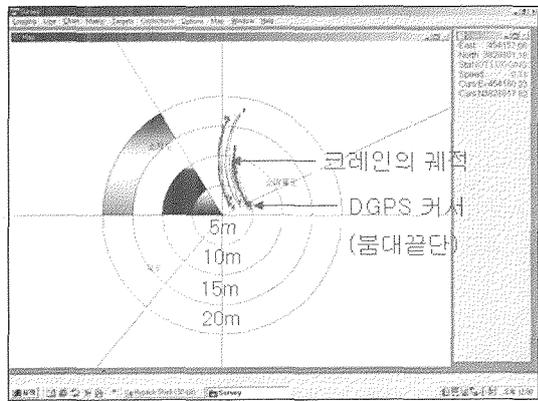


그림 4-2-13. 해상측량프로그램(HYPACK).

Fig. 4-2-13. Program of marine survey(HYPACK).

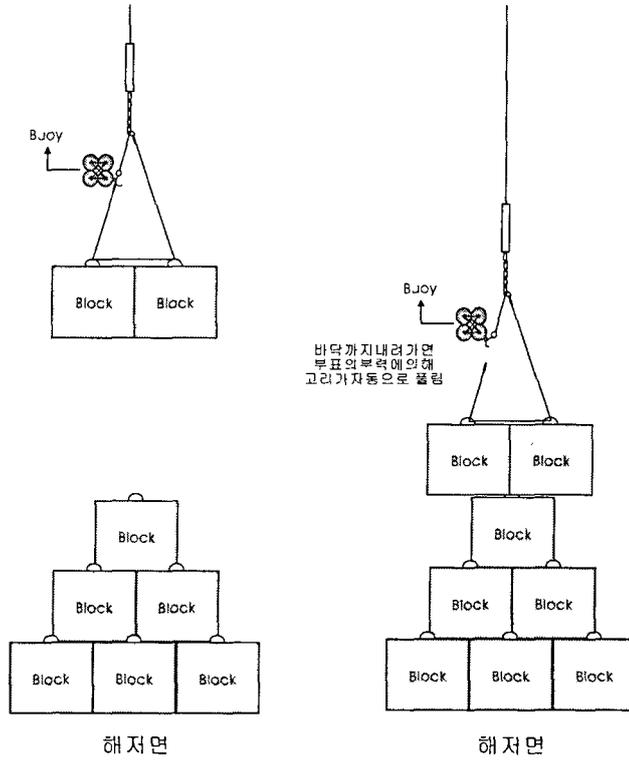


그림 4-2-14. 블록투하 방법.

Fig. 4-2-14. Dropping method of block

4.3. 설치 확인

본 사업지역은 수심이 60m의 대수심 지역으로 한번 투하된 블록을 옮겨서 설치하기가 불가능하기 때문에 투하 후의 확인이 중요하다. 투하확인용 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar), 다중음향측심기 (Multi-beam Sonar)를 이용하였다.

Side Scan Sonar는 특정한 주파수의 음파를 수중에서 발사시켜 되돌아오는 음파의 음압 강도를 수치 값으로 전환하여, 화면상에 영상화함으로써 해저의 형태와 물체들을 2차원적으로 인식하는 해양측량장비 이다.

측면주사음탐기는 그 구성은 수중 예인체(Towfish)와 수상의 Deck Unit(주제어 컴퓨터; Control System 및 자료취득 S/W 등), 그리고 이들을 연결하여 견인·통신하는 Tether Cable로 이루어진다. Towfish 내부에는 초음파를 송수신하는 좌 우측 각 한 개씩의 Transducer Array와 이들을 제어하는 Control Can이 탑재되어 선박의 진행 방향으로 0.5° 정도의 빔 폭으로, 양 측면으로는 약 55° 정도의 넓은 빔을 형성하여 음파를 발사하고, 해저 면으로부터 후방 산란되거나 반사되어 돌아오는 음파를 시간 순으로 주제어 컴퓨터로 전송하는 역할을 한다. Deck Unit는 이같이 수신된 신호를 분석하고 다듬어 영상화하는 역할을 한다. 즉 특정한 주파수의 음파를 수중에서 발사 시켜 되돌아오는 음파의 음압 강도를 디지털 샘플링하여 수치 값으로 전환하며, Scattering 되는 음파신호를 증폭하고 불필요한 잡음들을 필터링한 후에 연속된 송·수신에 의하여 화면상에 영상화함으로써 해저의 형태와 물체들을 2차원적으로 인식하게 된다. 해상측량프로그램은 DGPS의 위치신호(선박의 위치)를 노트북에 전송하여 주는 장비이다.

다중음향측심기(Multi-beam Sonar)는 특정 주파수를 가진 음파를 수십개 이상 해저면에 방사하여 수신기로 되돌아오는데 걸린 시간을 측정하여 해저면 까지의 거리를 측정하는 해상장비이다.

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 계측하여 수심으로 환산한다. 수층별 음파의 전달속도의 변화는 측정수심 및 빔의 측정위치계산에 많은 영향을 끼친다. 그러므로 다중빔음향측심기 시스템을 이용한 해저지형 관측에서는 음속도의 정밀관측이 필수적이다.

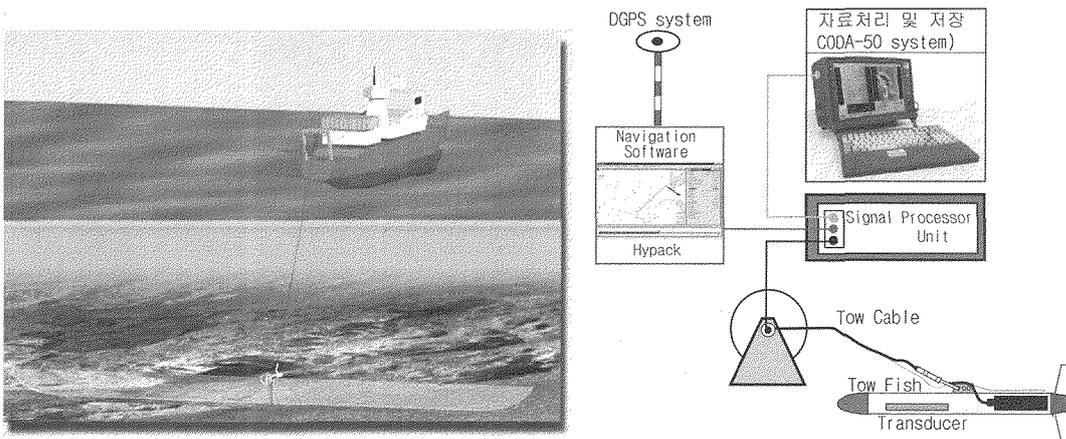


그림 4-3-1. Side Scan Sonar 조사 모식도 및 시스템 구성도.

Fig. 4-3-1. Air view and systems of Side Scan Sonar.

표 4-3-1. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 시스템구성

Table 4-3-1. Specifications of Multi-beam Sonar

항 목	기 능
다중빔음향측심기 송수파기	다중빔 음파송신 및 수신
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

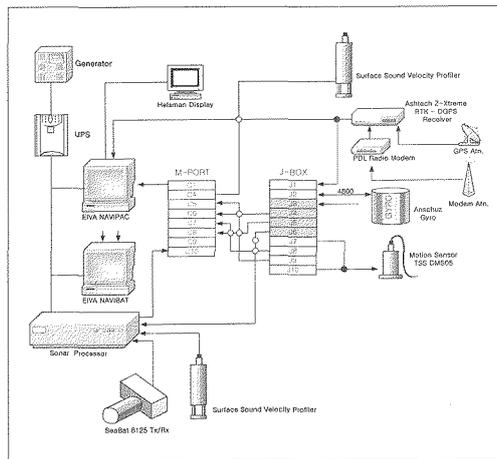
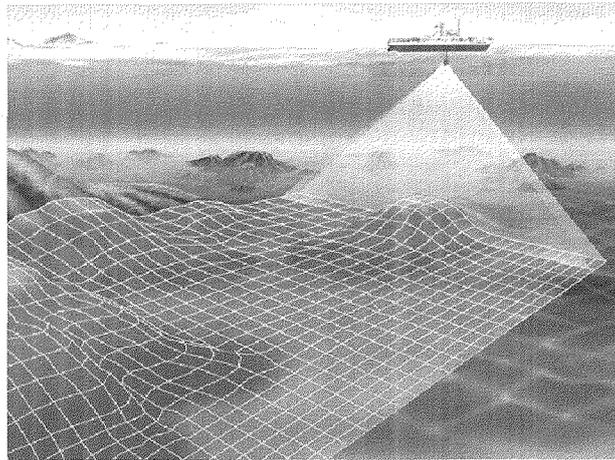


그림 4-3-2. 다중음향측심기(Multi-beam Sonar) 조사모식도 및 시스템 구성도
 Fig. 4-3-2. Air view and System of Multi-beam Sonar.

4.3.1. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사방법

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.

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 가시화 시킨다.

- DGPS운영 프로그램과 함께 사용하여 실시간으로 위,경도, 조사선박의 선 수각, 속도 및 항행궤적을 모니터에 가시화 시킨다.

② DGPS Setting

DGPS를 위한 정보는 해양수산부에서 설치운영 중인 기준국의 정보를 이용하였다. DGPS 장비에서 각 기준국의 주파수 및 전송속도는 해양수산부에서 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 4-3-2. 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 조사 순서도.

Table 4-3-2. Process of Side Scan Sonar works.

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

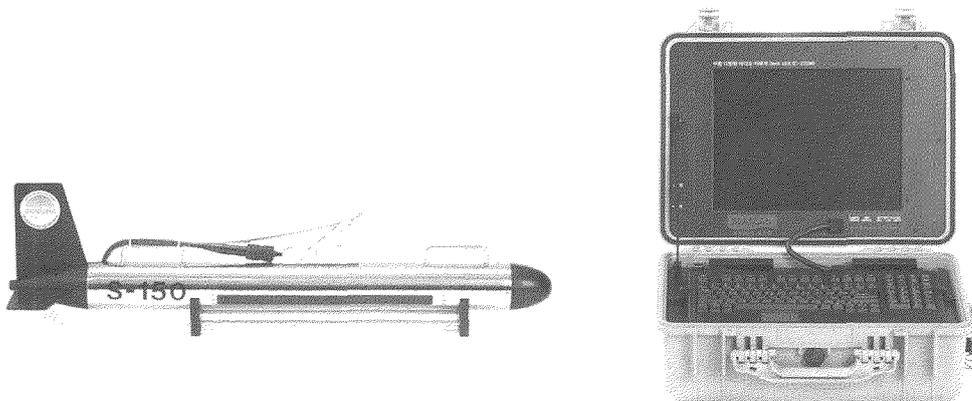


그림 4-3-3. 양방향음파탐지기(S-150) 견인체(towfish)(좌), 자료처리기(우)

Fig. 4-3-3. Towfish and data pro-cessing.

4.3.2 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 조위관측에 의해서 얻어진 성과를 취득하여 DL상의 조위개정을 적용하였다.

표 4-3-3. 다중빔음향측심기를 이용한 수심측량 조사순서

Table 4-3-3. Process of Multi-beam Sonar survey

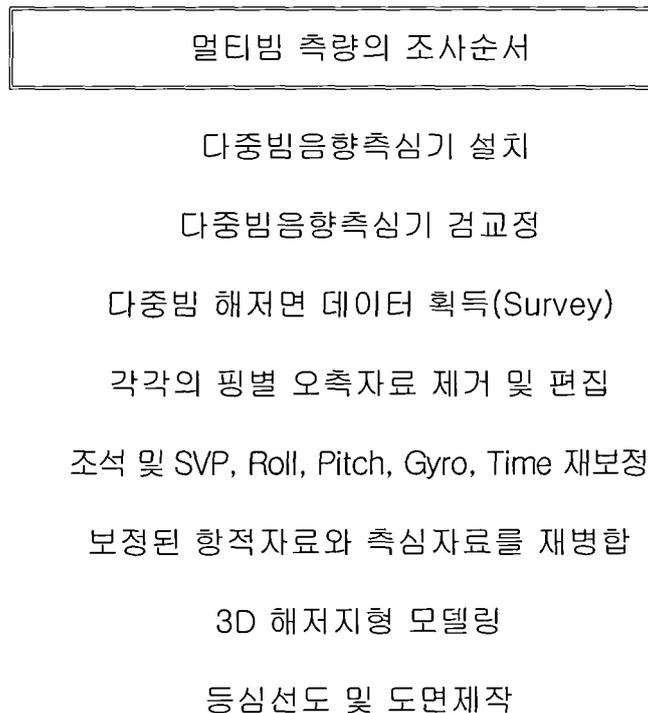
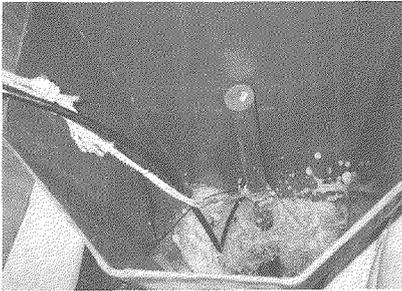


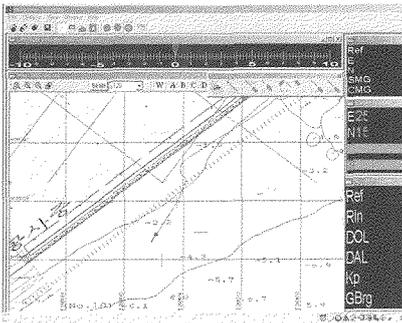
표 4-3-4. 구성장비별 운용방법

Table 4-3-4. Using method of equipments



송수파기

- 측량선의 선형에 맞춰서 송수파기와 GPS ANT의 위치를 동일한 일선중앙에 배치하여 위치상 오차를 제거하였다.
- 송수파기와 함께 Motion Sensor 및 표면 SVP 장비를 장착하여 중앙직하 수면하 1m에 부착하였다.



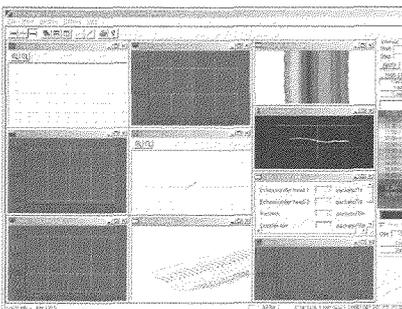
항적 Display

- GYRO는 조타실 직하에 장착하였고 디지털 화면으로 방위를 인식하였으며, 운항 4시간 전에 작동하여 정상가동이 되도록 하였다.
- 측심작업전 측량선 위치와 항정선과의 위치를 확인한 후 계획항정선을 Navipac S/W상에서 dxf로 전환하여 PC Monitor상에 표시하여 측량선이 측심선에 따라 항행하였다.



SVP Check

- 측량시 수면하 Sound Velocity를 체크하여 실시간 보정하며 Multibeam EchoSounder SeaBat 8125자동화 시스템으로부터 잡음을 소거하고 디지털 연속출력방식으로 데이터 자동 처리하여 Navipac S/W로 항해용 PC와 연결하여 항행하는데 지장이 없게 하였다.



NaviScan Display

- 송수파기에서 수신된 Data와 모션센서에서 수집된 Data 및 Gyro Data의 이상유무를 Display를 통하여 확인하고 실시간으로 저장하였다.

4.3.3. 설치확인 결과

투하확인 결과 구조물은 높이는 16m, 폭은 42~35m의 원추 형태로 쌓여 있는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 4-2-18과 4-2-19은 각 각 3,208개 투하 후 및 4,800개 투하 후의 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar)의 영상을 나타낸 것으로 한 지점에 타원의 형태로 쌓여져 있는 영상을 보여주고 있으며 4,800개의 블록을 투하한 후 구조물의 높이는 약 15m, 반경은 약 40m가 되는 것으로 추정되었다.

그림 4-2-20과 4-2-22은 4,800개의 블록을 투하 후 조사한 다중음향측심기(Multi-beam Sonar)의 2차원과 3차원의 영상을 나타낸 것으로 주변의 수심은 60.4m이고 구조물의 정상에서의 수심은 46m로 의 높이가 16m 쌓여져 있으며 구조물의 반경은 35~40m로 확인되었다. 또한 1차년도와 2차년도의 구조물의 부피는 각각 7.102m³와 5,516m³로 계산되었으며 공극률은 12.49%, 12.98%로 계산되어 졌다.

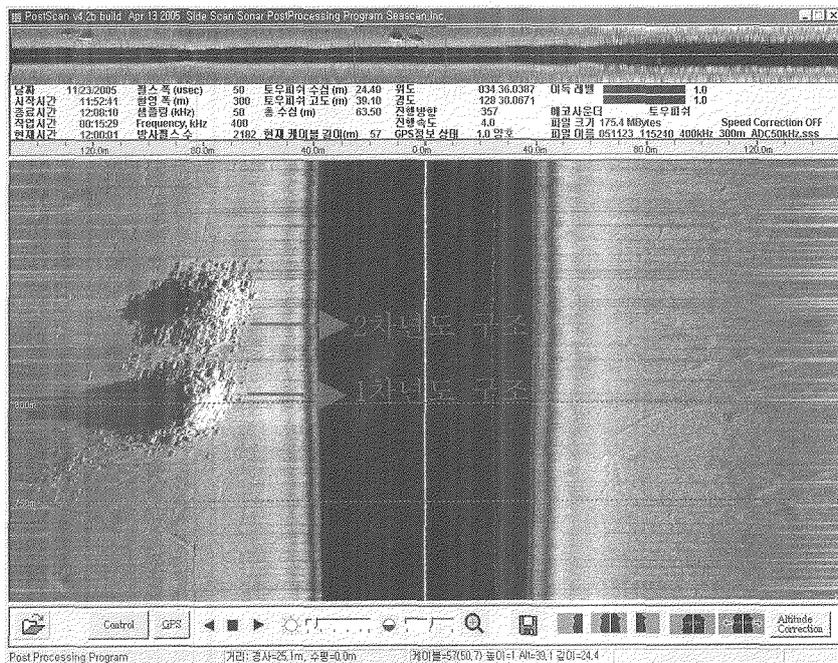


그림 4-3-4. 3,208개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.
 Fig. 4-3-4. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 3,208).

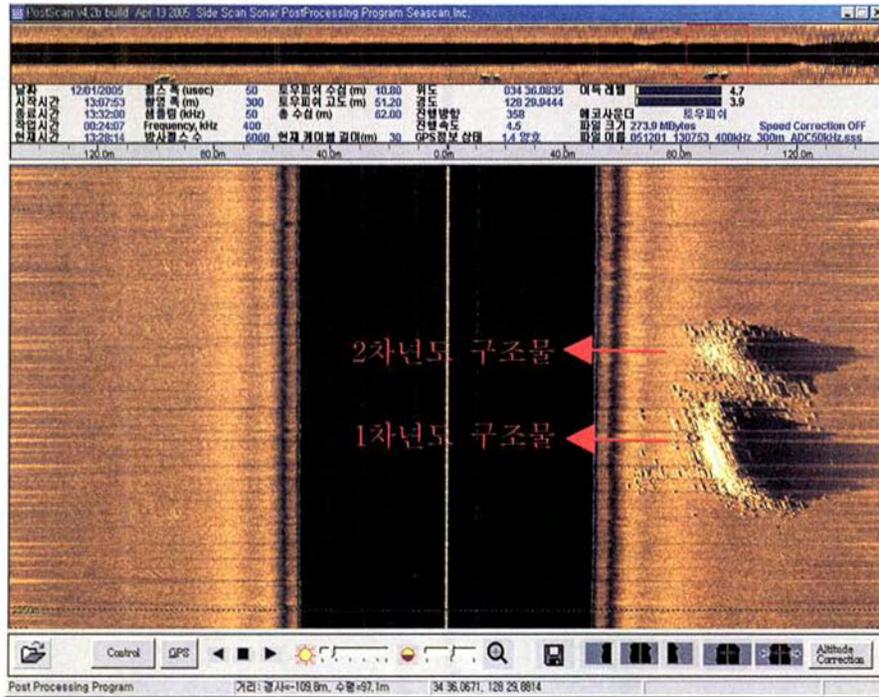


그림 4-3-5. 4,800개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상.
 Fig. 4-3-5. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 4,800).

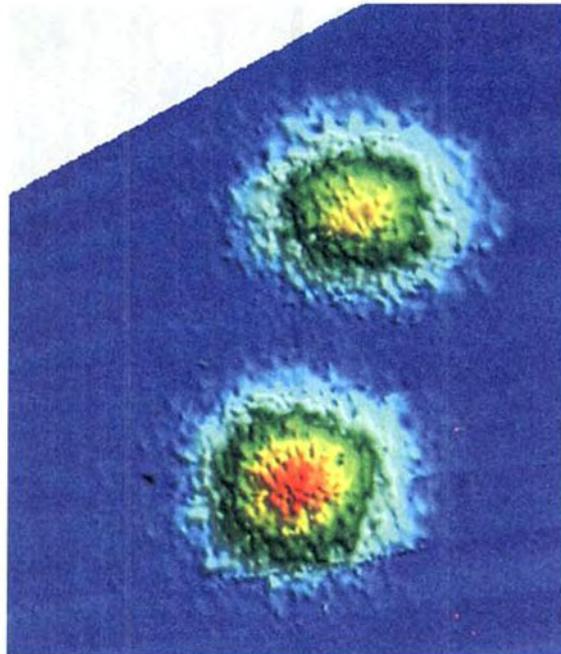


그림 4-3-6. 구조물의 2차원 영상.
 Fig. 4-3-6. Image of structure(two dimension).

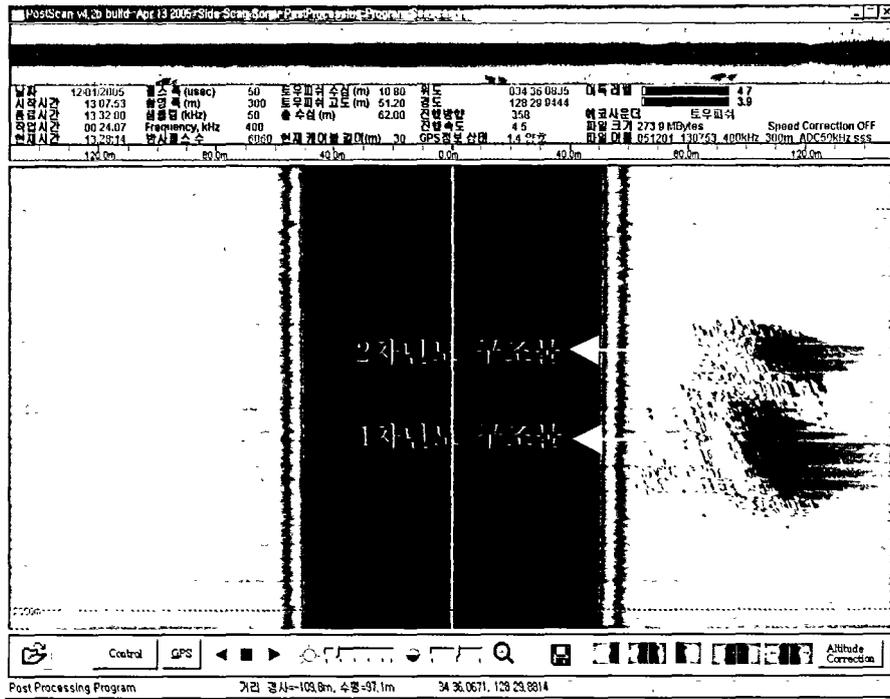


그림 4-3-5. 4,800개 투하 후 양방향 음파탐사기(Side Scan Sonar) 영상
 Fig. 4-3-5. Side Scan Sonar's image after dropping(blocks = 4,800)



그림 4-3-6. 구조물의 2차원 영상.
 Fig. 4-3-6. Image of structure(two dimension).

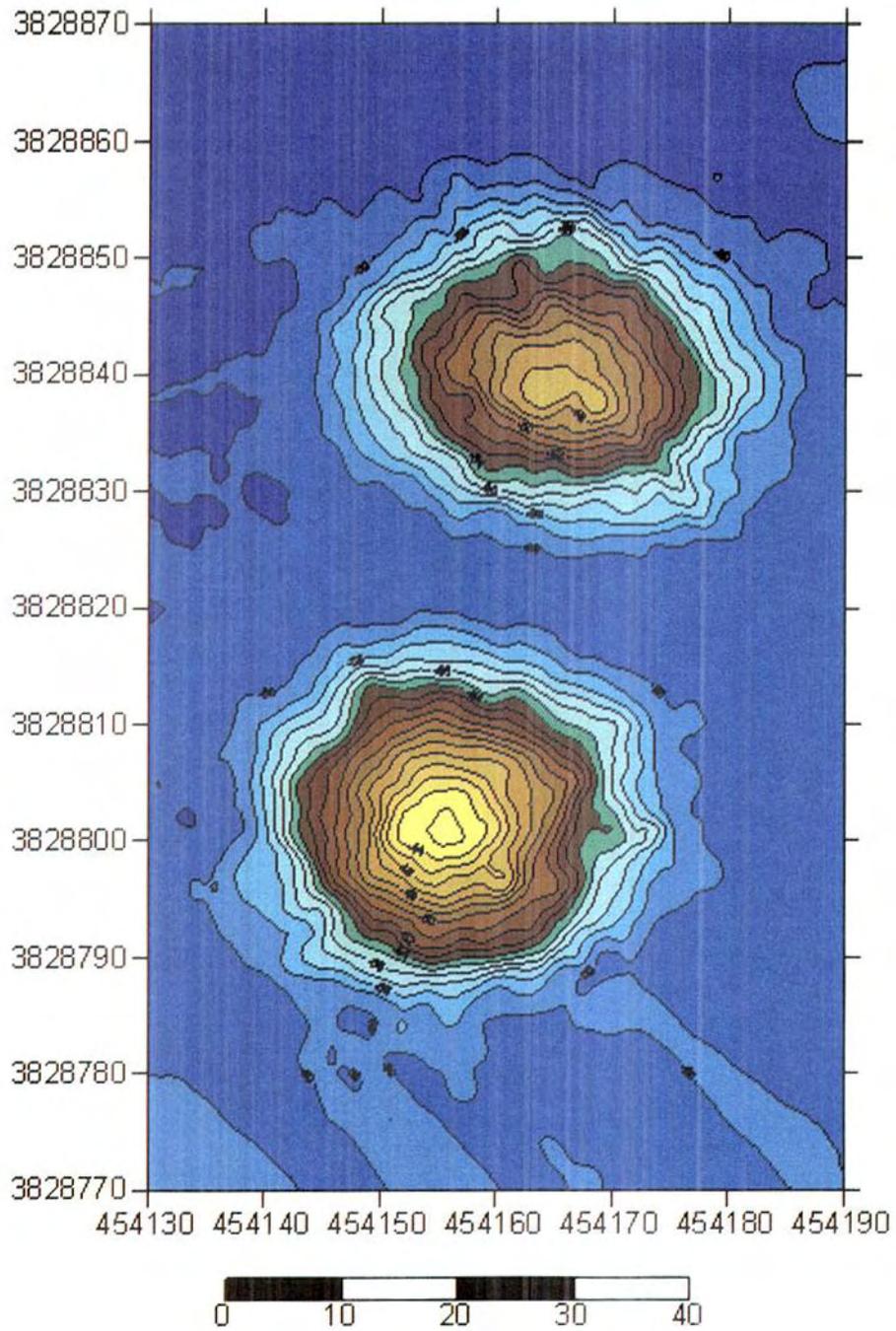


그림 4-3-7. 등수심도.

Fig. 4-3-7. Contours of water depth.

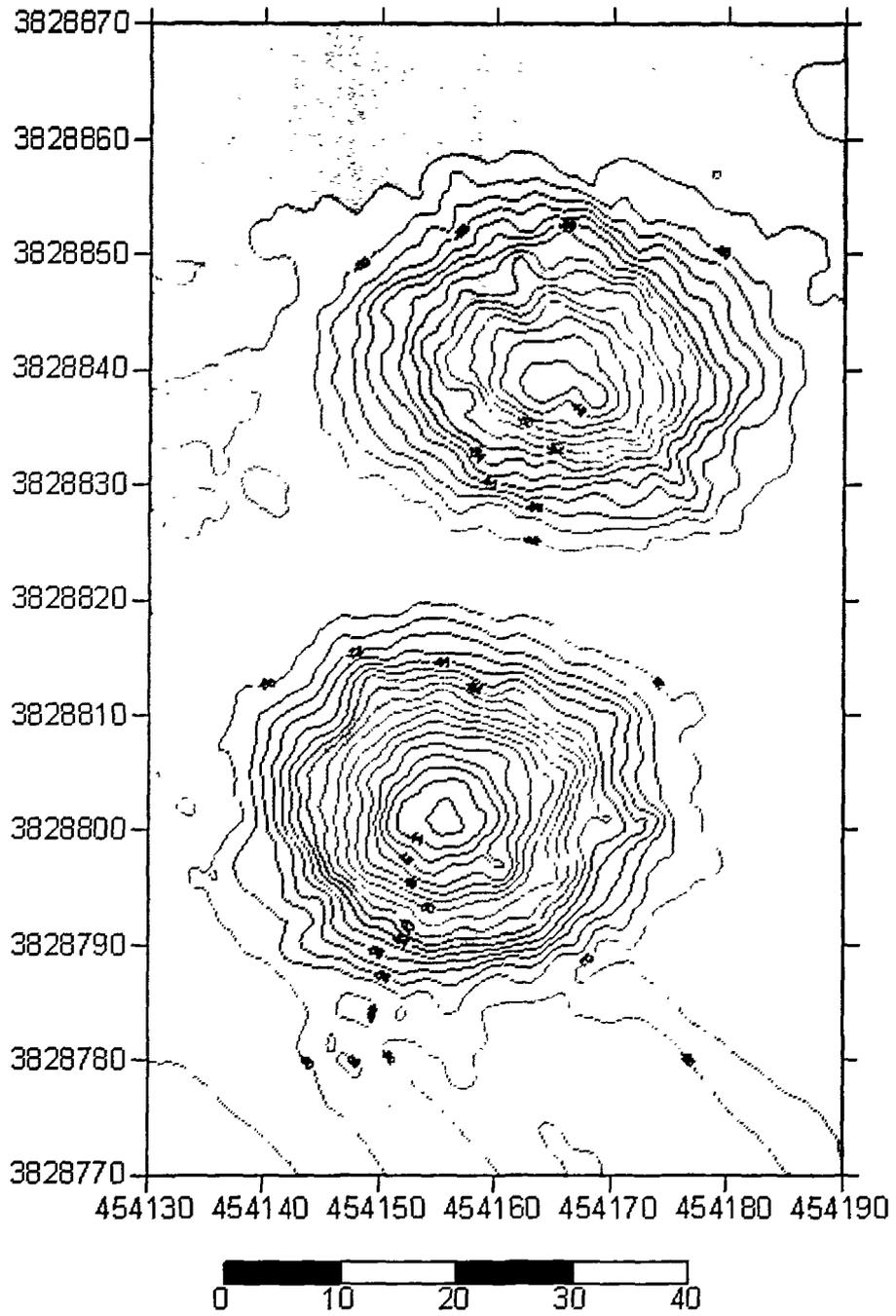


그림 4-3-7. 등수심도.

Fig. 4-3-7. Contours of water depth.

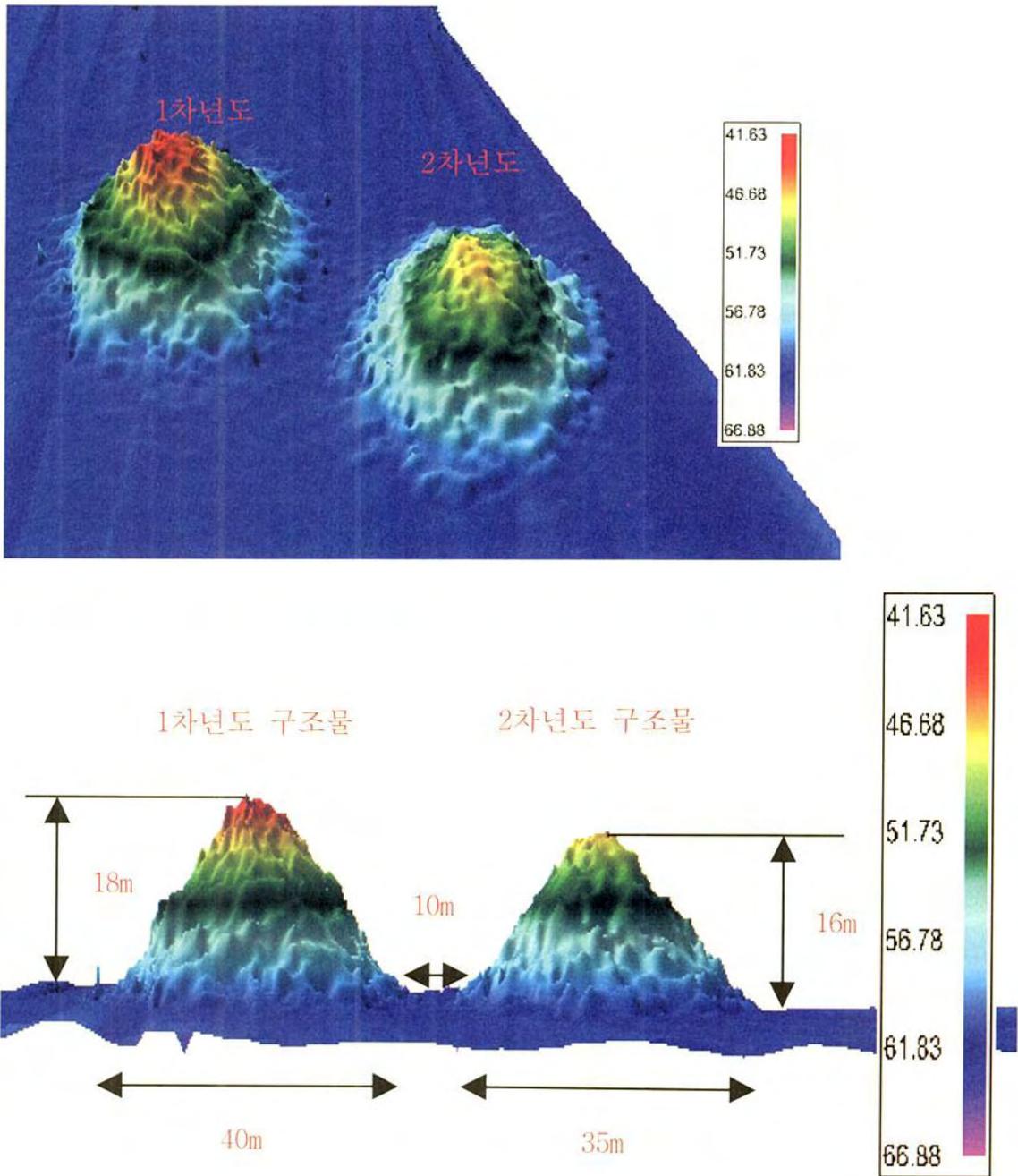


그림 4-3-8. 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-3-8. Image of structure(three dimension).

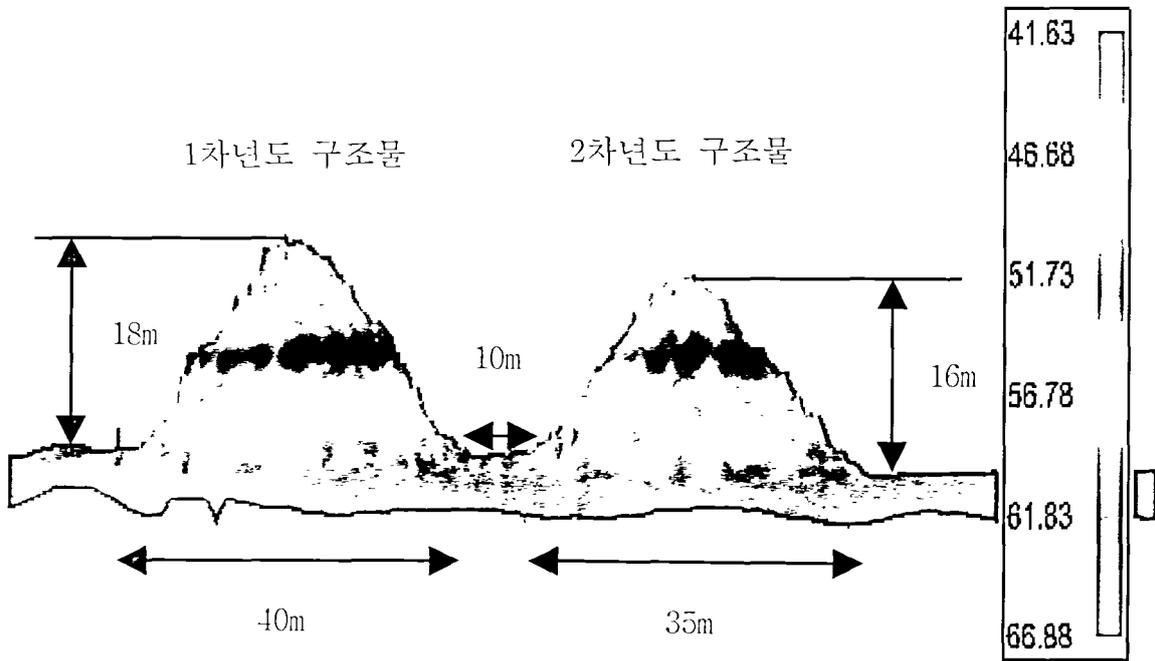
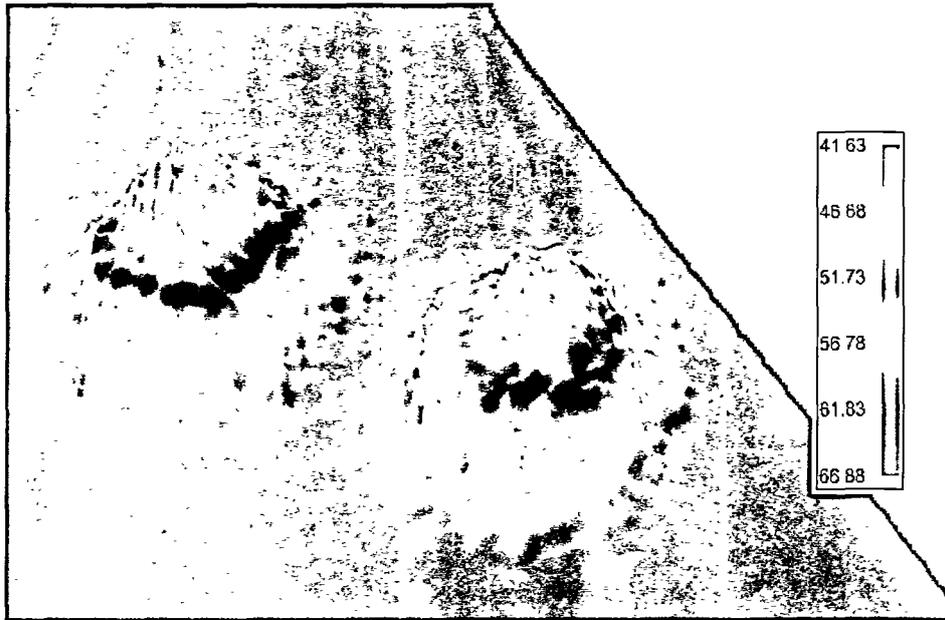


그림 4-3-8. 구조물의 3차원 영상.

Fig. 4-3-8. Image of structure(three dimension).

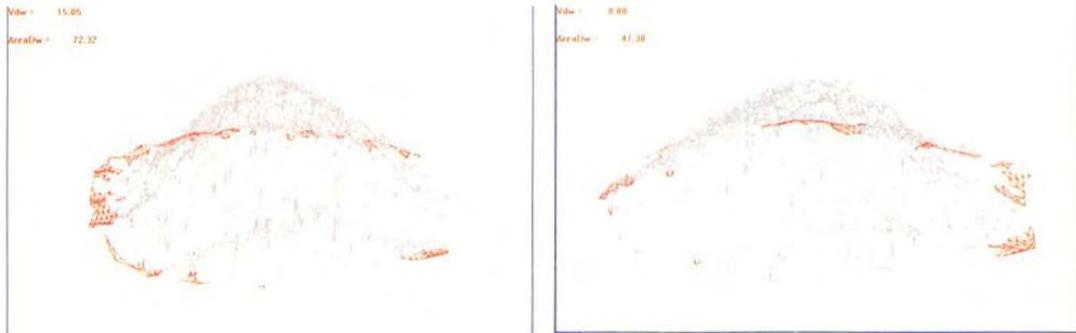


그림 4-3-9 . 구조물의 부피(왼쪽 : 1차년도 - 7,102m³, 왼쪽 2차년도 - 5,516m³).
 Fig. 4-3-9 . Volume of structures.

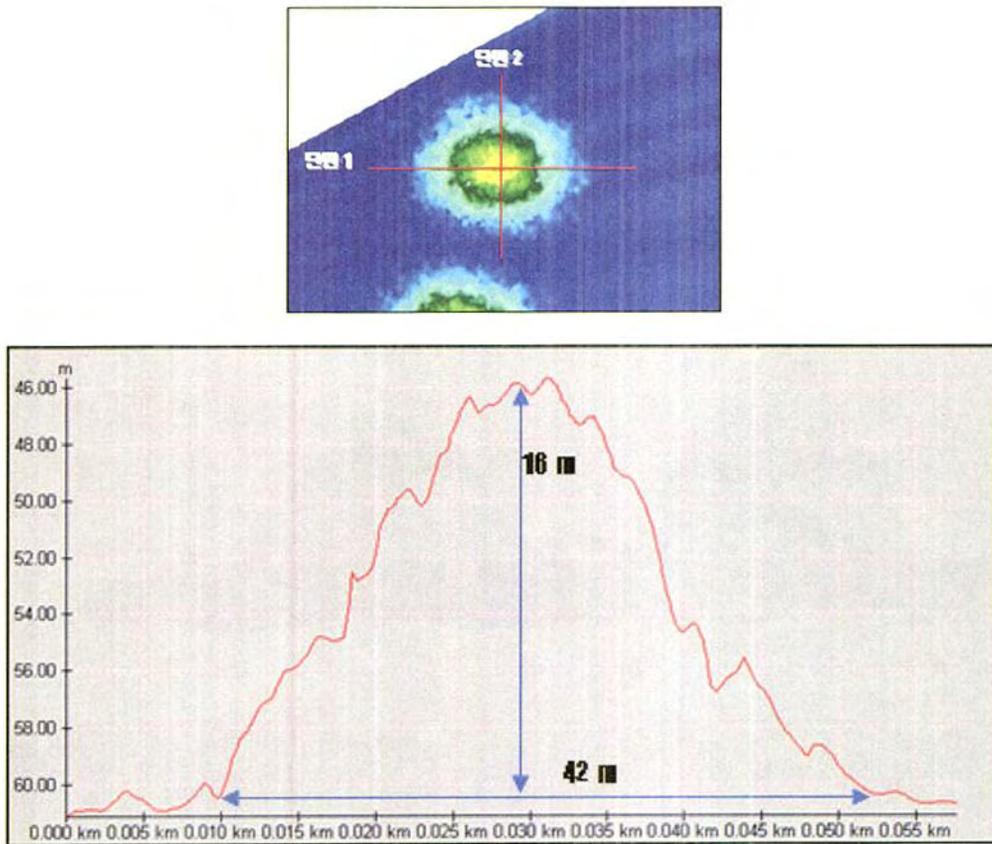


그림 4-3-10. 구조물의 단면 1 형상.
 Fig. 4-3-10. Image of Section 1.

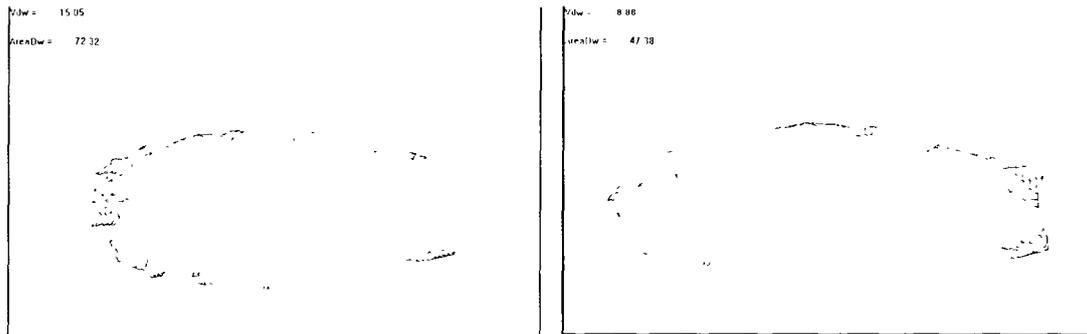


그림 4-3-9 . 구조물의 부피(왼쪽 : 1차년도- 7.102m³, 왼쪽 2차년도 - 5,516m³)

Fig. 4-3-9 . Volume of structures.

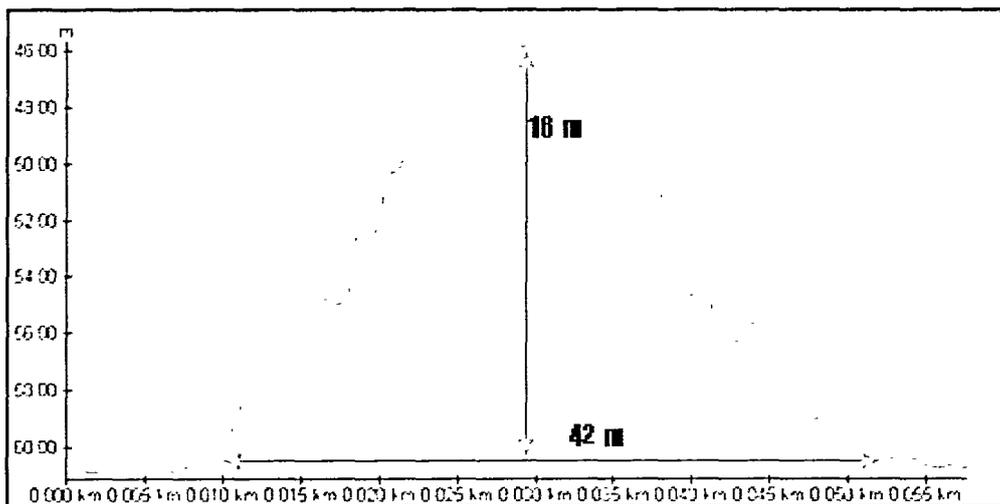
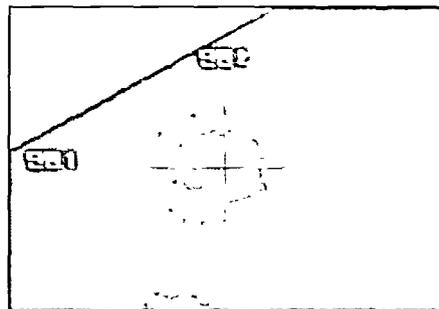


그림 4-3-10. 구조물의 단면 1형상.

Fig. 4-3-10. Image of Section 1.

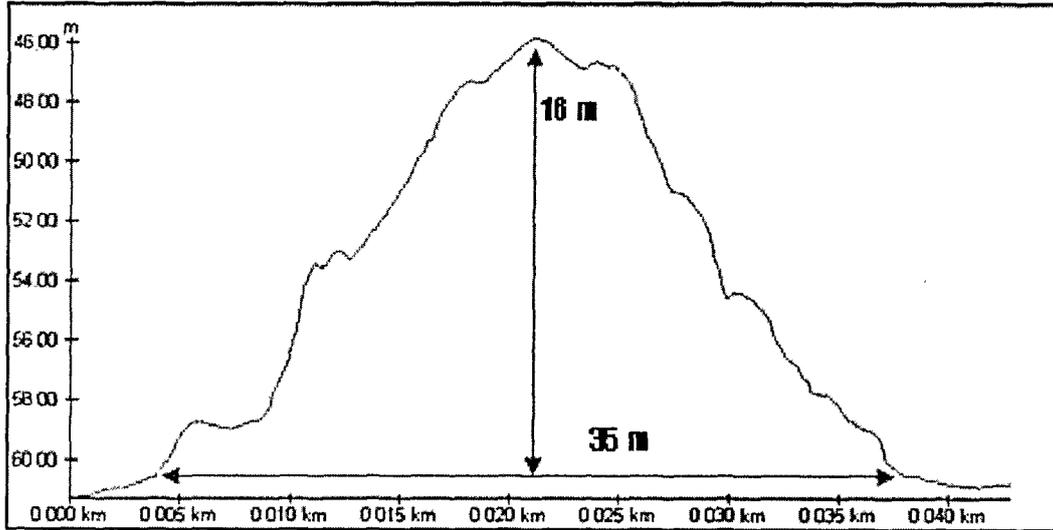


그림 4-3-11. 구조물의 단면 2형상.

Fig. 4-3-11. Image of Section 2.

4.4. 연구달성내용

연구개발목표	연구달성내용
시설물 설치	4,800개의 블록을 해상 N 34° 36.020', E 128° 30.00 6'지점에 투하하여 높이 16m, 폭 42~35m의 원추형태의 인공용승류 구조물 설치완료

여 백

7. 연구 달성 내용

여 백

7. 연구 달성 내용

□ 연구조사분야 - 구조물의 효과평가

1.1 물리환경조사

○ 추계 연구해역의 수온, 염분 및 밀도의 공간적인 분포(수평 및 연직 구조) 파악

○ 수온 및 염분의 계절적인 변화 특성 파악

: 연구해역은 하계에는 표층과 저층간의 성층이 형성되고 추계에서 동계로 갈수록 성층은 파괴되며, 표·저층간의 연직혼합으로 인하여 거의 균질한 해수가 존재함. 따라서 이 시기의 구조물에 의한 수온 및 염분의 변화는 미약함.

○ 그러나 성층이 존재하는 하계에는 구조물에 의한 수온 및 염분의 변화를 파악 가능함. 즉 구조물을 투하하기 전인 2002년 9월은 성층이 수심 약 30~40m에 존재하였으나 구조물 투하 후인 2005년 8월에는 성층이 수심 약 10~20m로 성층형성의 수심이 얕아 졌다. 이와 같은 현상은 구조물 투하 후에 구조물의 영향으로 인하여 저층의 저수온 및 고염분의 해수가 상층으로 용승되어 상층부의 수온 및 염분 분포에 영향을 미쳤다고 판단함.

○ 구조물 투하에 의한 유동변화 파악

: 구조물 투하정점에서 구조물 투하전인 2005년 4월에는 북서-남동성분의 흐름이 주축을 이루고 있으나, 2005년 8월의 유동분포는 구조물 설치로 인한 저층의 유속 감소와 구조물의 크기에 영향을 받아 북향류의 유속이 구조물이 높이 부근에서 강한 흐름현상이 나타남. 2005년 11월30~12월 1일에는 성층이 파괴되는 시기로 전 수층의 혼합화가 진행되어 수층별 밀도차이가 거의 나지 않은 분포가 나타났으나, 하계 성층 현상을 파괴 할 수 있는 유속과 그 유속의 변화는 구조물 설치로 인하여 발생 했음을 알 수 있었다.

1.2 수질환경조사

○ 추계(2005년 11월 29일)의 영양염 등의 수질환경요소의 관계 파악

: 각 영양염간의 상관은 정 상관관계임. 영양염과 엽록소 a 와의 상관관계는 DIN과 DIP가 서로 다르게 나타났음. 즉 DIN과 Chl-a 는 정의 관계, DIP와 Chl-a는 역의 상관관계를 나타냄.

○ 추계의 영양염분포 파악은 하계 구조물 투하전과 후의 영양염구조 변화의 이해를 가능케 함. 즉 추·동계의 영양염은 표층에서 저층간에 거의 농도차가 나타나고 있지 않지만, 하계에서는 저층의 영양염은 표층에 비하여 높게 나타나고 있다. 따라서 구조물의 설치는 표층과 중층에서 구조물 설치 전보다 영양염이 약 4-5배 증가하였고, 저층에서는 중층에서의 증가로 인한 보상현상으로 농도는 감소하였다.

1.3 생물상조사

○ 추계의 식물플랑크톤의 분포를 조사하였다. 식물플랑크톤의 계절변동을 보면 표층에서는 봄의 대번식으로 인하여 춘계에 가장 많은 현존량을 보이고, 저층 근처에서는 하계에 최대의 현존량을 보이고 있다.

○ 동물플랑크톤의 풍도를 보면, 추계에 최대의 풍도를 나타내며, 이것은 하계의 조성되었던 식물플랑크톤을 섭취한 결과로 볼 수 있다.

○ 계절별 생균수를 보면, 추계의 생균수가 최대를 보이고 있다. 이와 같은 현상은 추계 최대의 풍도를 나타내는 동물플랑크톤의 사멸과 뇨 등과 같은 배설물의 증가현상으로 기인한다.

1.4 어류상조사

○ 2차년도 분류군 출현양상을 보면, 2과 2종의 늘어났다. 증가된 어류를 보면, 빨판상어과 빨판상어와 셋돔과 셋돔이다.

○ 조사해역의 어류목록은 13목 51과 81종으로 조사되었다. 3차년도의 조사에 의해서 구조물 투하 후의 어종의 증가 등을 설명할 수 있다.

1.6 수중환경모니터링

○ 구조물 투하 후(1~2차년도 분량)의 투하상태 확인

: 양호한 상태로 설치 계획에 맞게 구조물이 조성됨을 확인

○ 구조물 주변의 수중환경 확인

: 표층에서 구조물 정상까지의 깊이는 약 45m, 구조물 표면에 부유물질이 얇게 퇴적되어 있는 상태, 따개비 등 고착생물이 구조물 1개당 1~3개 확인 그리고 이 전에는 볼 수 없었던 체장 10cm 정도의 어류 3개체와 다수의 갑각류를 발견했음.

□ 연구조사분야 - 해수반응

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

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

○ 조사지역 퇴적물의 중금속 함량 중 크롬, 아연, 코발트, 니켈, 구리, 비소, 몰리브덴 및 카드뮴 등은 대체적으로 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.

○ 장기간의 중금속 용출안정성 실험에서 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, 2주경과 후부터는 Eh 및 pH의 안정으로 인해 더 이상 용출이 일어나지 않는 것으로 판단된다.

○ 7개월 동안 해수에 침적한 석탄회 블록의 중금속 용출은 모든 중금속에서 해역별 수질등급 기준 이하이며, 비소와 카드뮴은 검출되지 않았다.

○ 석탄회 블록과 접촉한 저질부 퇴적물의 주성분 함량은 5개월 경과 시

까지 특정원소의 농집과 중금속에 의한 2차 침전물의 형성은 일어나지 않았다.

○ 석탄회 블록-해수 반응에 의한 모델링 결과, 깃사이트, 카오리나이트, 녹니석, 클로로아파타이트, 스틸바이트, 침철석의 2차 생성물을 형성하였으며, 중금속을 함유한 2차 광물은 형성되지 않았다.

□ 시설물 제작

○ 인공용승류를 유도하기 위해 산업부산물인 석탄회를 이용하여 4,800개의 블록을 제작하였다.

○ 기타 성과

: 인공용승류 블록 생산 및 품질체계 정립 및 안정화, 형틀(몰드) 30SET 추가 제작으로 월 3,000EA의 블록 생산능력 확보.

□ 시설물 설치

○ 2차년도 구조물 설치

: 4,800개의 블록을 해상 N 34° 36.020', E 128° 30.006' 지점에 투하하여 높이 16m, 폭 42~35m의 원추형태의 인공용승류 구조물 설치완료

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 키타마쯔우라 앞바다(1995~2000년: 6년)에 가로 120m, 세로 40m 및 높이 14m 크기의(총 예산 120억원)의 2/3 수준이다. 일본에서 인공용승구조물은 설치후 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. 유해생물의 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 따

라 확산되는 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(물리

적) 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 대표적

인 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, 최동림, 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 Na₂SO₄ 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.