

피조개 양식어장의 인터넷 환경 자동감시 및 생산량 산정

Internet-based Realtime Monitoring of the Environmental Parameters in the Marine Large-Arch Shell Culture Bed and Its Productivity Assessment Model

피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 운용
어장환경 특성 분석
어장 생산성 모델 개발

2006. 11.

충남대학교
(주)메이텍 엔지니어링

해양수산부

주 의

1. 이 보고서는 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 수산특정연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “피조개 양식어장의 인터넷 환경 자동감시 및 생산량 산정” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 11 월 일

주관연구기관명 : 충남대학교

총괄연구책임자 : 노 영 재

연 구 원 : 김 동 희

연 구 원 : 김 병 학

협동연구기관명 : (주)메이텍

엔지니어링

협동연구책임자 : 나 기 환

요 약 문

I. 제 목

피조개 양식어장의 인터넷 환경 자동감시 및 생산량 산정

II. 연구개발의 목표 및 내용

현재 우리나라의 “피조개 양식어장의 인터넷 환경 자동감시 및 생산량 산정 관한 연구”는 본 연구에 의해 최초로 이루어졌다. 본 연구의 목적은 크게 세 분야로 대별할 수 있다. 첫째, 강진만 피조개 양식어장의 인터넷 실시간 환경감시 시스템 개발을 통하여 실시간으로 환경변수를 감시, 수집 자료의 DB화, 실시간 인터넷 자료 서비스와 특히 급변 현상에 대한 경보시스템을 개발하고, 둘째, 실시간 감시를 통하여 생산한 환경 파라미터와 피조개 양식어장의 생산성 변동의 상호관계를 규명하고, 셋째, 대체어장을 개발하기 위해 대조구를 설정 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건을 파악하였다.

III. 연구개발결과

본 연구는 우리 나라 남해군에 위치한 강진만을 대상으로 실시간 어장환경 감시시스템을 설치 운영하여, 해양물리, 수질 자료를 매 10분 단위로 실시간 생산하였으며, 어민들에게 인터넷과 타 통신을 이용하여 정보 및 경보 메시지를 전달하였고 실시간 감시를 통하여 생산한 환경 파라미터와 피조개 양식어장의 생산성 변동 및 대량 폐사의 원인을 규명하였으며, 대체어장을 개발하기 위하여, 대조구를 진해만에 설정하여 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건을 파악하였다.

(1) 실시간 감시 시스템 운용 및 자료 생산

수질, 유속 및 기상 센서와 데이터 로거, CDMA 통신 모듈을 결합하여, 자료를 실시간으로 생산하고, 홈페이지에 그 정보를 실시간으로 어민들에게 제공하였다. 지난 3년간 수질 자료 생산 통계를 보면 2006년 7월 20일을 기준으로 YSI 106,891개, Hydrolab 12891개의 수질 자료를 관측하였고, 유향유속 자료는 93,050개로 2004년(10개월간)에 35,049개, 2005년 42,579개 이고, 2006년(7개월간) 15,488개이다. 기상자료는 총 96,490개를 생산하였고, 2004년(10개월간) 31,816개, 2005년 45,618개, 2006년(7개월간) 19,056개의 기상자료를 생산하였다.

(2) 인터넷 어장정보 서비스 제공

강진만 피조개 어민 및 등록된 일반 사용자들을 위해서 생산된 어장환경 자료를 공개하여 제공하였고, 경보 메시지를 통신 및 팩스를 통하여 제공하였다.

(3) 정기 정점 관측

2004년 6월 6일부터 2006년 7월 12일까지 거의 매월 강진만의 14개 정점에서 수질 Profile을 관측하여 총 23회의 수질 Profile을 관측하였다. 남강댐 방류수의 영향을 알기 위해 진주만 일대 3개의 정점은 총 4회(2005년 6월, 7월, 8월, 2006년 7월) 관측하였고, 2006년 2월 13일에 동계 강진만내 냉수분포를 알아보기 위해 창선수로의 4개 정점에서 관측을 하였다. 1회 관측 시 평균 96개의 자료를 생산하였다.

(4) 태풍 내습시 직후 정밀 조사

2004년 8월과 2006년 7월 태풍 내습시 남강댐 방류수의 영향을 알아보기 위하여 기본 관측 정점에서 수층별 정밀 조사를 실시하여, 담수의 분포 범위, 그 이후 발생하는 빈산소 현상등을 규명하였다.

(5) 어장 환경 조사

강진만 4개의 정점과 노량수도를 거쳐 유입되는 먹이생물량을 추적하기 위해 강진만 중앙북부 해역에 2개의 정점에서 총 16회에 걸쳐 계절별 어장환경 파라미터 (수온, 염분, 탁도, 클로로필, 용존산소, COD, DIN(mg/ℓ) DIP(mg/ℓ)N/P Ratio, Si(OH)₄-Si(mg/ℓ))를 측정 분석 하였다. 저질 조사로서는 저질내 화학적 산소 요구량 (COD), 강열감량 (IL), 황화물량(AVS)을 조사하였다.

피조개 대량폐사가 매년 반복되고 있는 강진만과 비교적 피조개 생산이 되고 있는 경남 거제시 장목면 구영리 피조개 어장에서 어장환경조사를 조사한 결과를 보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

2004년도와 2005년도의 피조개 어장 수질환경의 연별 변동의 특징은 2005년은 2004년도에 비해 3.0℃ 저수온이었다, 이에 따라 강진만에서는 부유물질, 용존산소, 인산, 투명도의 약한 증가가 있었던 반면 클로로필, COD, DIN, 규산의 감소가 있었고, N/P 비율은 5.00에서 2.00으로 감소하여 강진만내의 심한 총질소의 결핍이 있었다.

한편 대조구인 진해만 입구에 위치한 경남 거제시 장목면 구영리지선 피조개어장의 수질환경 변동은 2005년에 2004년보다 3.0℃의 저수온의 변동에 따라 부유물질(SS), 용존산소(DO), DIP의 증가가 있는 반면 투명도, 클로로필, COD, DIN, 규산의 감소가 있어 고수온과 저수온에 따른 환경인자간 분포경향이 달랐으나 실험구인 강진만과 대조구인 진해만의 변화경향은 일치하였다.

그러나 계절별로는 각 인자간 변화경향은 연 변동과는 일치하지 않았다. 수온의 경우 기온과 일사량에 따라 춘계와 하계에는 강진만이 진해만보다 쉽게 수온이 올라가나 가을과 겨울철 기온이 급강하는 계절에는 진해만이 강진만보다 높았다.

클로로필의 경우 계절별로 춘계와 동계에는 강진만이 높았지만 춘계와 하계에는 진해만에 위치한 거제 구영리 피조개 어장에서 높게 나타났다. 클로로필의 변동과 일치하여 총질소의 변동은 특히 춘계와 하계에 진해만에서 강진만보다 높게 나타났는데 이에 따라 생물생산이 결정되는 것으로 판단된다. 인산-인의 경우에도 강진만보다 진해만이 높게 나타났는데 총질소와는 달리 가을과 겨울에 높게 나타났고 N/P Ratio로 볼 때도 강진만보다 진해만에서 높고 춘계에 진해만에 뚜렷한 증가를 나타내어 진해만의 춘계 대 발생이 주로 질산 및 암모니아에 의해 결정됨을 알 수 있다.

(6) 생물 조사

저서생물의 채집을 위하여 남해 강진만과 거제 구영리의 9개 정점에서 입구면적 0.1m²인 van Veen Grab을 이용하여 정점 당 1회씩 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 선상에서 망목 1mm인 체를 이용하여 해수로 빨을 씻어낸 후 체에 남겨진 생물은 10% 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하여 동정 계수하였다.

식물플랑크톤의 정량·정성분석을 위하여 12개의 조사정점에서 투명도를 측정 한 후, Van Dorn 채수기를 이용하여 표, 저층에서 해수를 채수하여 1ℓ 폴리에틸렌병에 담고, Lugol solution으로 고정하여 실험실로 운반하여 48시간 이상 침전시켜 농축된 사료를

Sedgwick-Rafter 계수기에 넣어 현미경 하에서 개체수를 계수한 후 원래 해수 중의 현존량(cells/ ℓ)으로 환산하였다. 동물 플랑크톤분석을 위한 조사는 식물 플랑크톤과 동일한 12개 조사정점에서 입구지름 45cm(면적:0.16 m^2), 망목크기 200 μm 인 net를 이용하여 저층에서 표층까지 수직으로 7m 예인하여 채집된 플랑크톤을 10% 중성포르말린으로 현장에서 고정하여 실험실로 옮긴 후 Bogorov chamber에 넣고 현미경 하에서 개체수를 계수한 후, 해수 중 현존량(indiv./ m^3)으로 환산하였다.

남해 강진만의 피조개 어장의 6개 정점에서 현존량의 범위는 최소 85개체/0.1 m^2 에서 최대 2,982개체/0.1 m^2 이었다. 조사 시기별로 보면 2004년 6월에 85개체/0.1 m^2 으로 최소 출현 개체를 나타낸 이후 점차 증가하여 2005년 4월에는 2,982개체/0.1 m^2 으로 최대출현 개체수를 나타낸 후 급격히 감소하여 6월과 8월에 200~300개체/0.1 m^2 이었다가 10월에 다시 1,566개체/0.1 m^2 으로 증가한 후 겨울에는 감소하다가 다시 2006년 4월에 919개체/0.1 m^2 으로 출현개체수의 큰 변동을 나타내었다.

출현종에 있어서도 2004년 6월에 6개 정점에서 11종/0.1 m^2 만이 출현하여 최소를 나타내었고 점차 증가하여 2005년 4월에 6개 정점에서 51종/0.1 m^2 이 출현하여 출현종수로는 최대를 기록하였다.

한편 거제 구영리 피조개 어장 3개 정점에서 조사한 현존량은 강진만과 같이 2004년 6월에 40개체/0.1 m^2 으로 최소 출현개체수를 2005년 8월에 674개체/0.1 m^2 최대 출현개체수를 나타내었다. 출현종수에 있어서도 2004년 6월에 7종으로 가장 낮았고 2005년 8월에 68종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

남해 강진만과 거제 구영리의 출현 개체수와 출현종수를 비교하기 위하여 현존량을 조사 횟수와 정점별로 나누어 정점별로 정점별 특성을 고려하지 않고 통계처리 한 결과 남해 강진만의 경우 현존량은 104개체/정점, 출현종수는 5.4종/정점인 반면 거제 구영리의 경우에 114개체/정점, 출현종수는 13.2종/정점으로 출현 개체수의 비율은 거제 구영리는 출현 개체수에서 10% 정도 많고 출현종수도 2.4배의 출현종수를 나타내어 현존량과 출현종수가 많아 거제 구영리 피조개 어장이 남해 강진만 어장보다 보다 생태적으로 안정된 구조를 나타내었다.

특히 남해 강진만의 경우 2005년 4월에 정점 1, 3에서 오염의 대표종인 애기반투명조개가 군집의 82%를 차지하여 완전 우점 하였고, 2005년 10월에는 정점 4에서 현존량 1,424개체/0.1 m^2 중 종맛이 차지하는 비율이 86.3%를 차지하여 강진만 해역에서 중 채집한 개체수 8,740개체 중 3,681개체 48.1%를 차지하여 오염지시종인 2종이 차지하는 비율이 절반을 차지한 점을 고려한다면 강진만의 피조개 어장의 환경은 저서생물로 볼 때 극

히 불안정한 구조를 가지고 있음을 알 수 있었다.

동물 플랑크톤을 조사한 결과를 정리하면 강진만의 6개 정점에서 총 출현 개체수는 2005년 2월 겨울철에 5,103개체수로 최소 출현개체수를 나타내었고 2005년 6월에 114,861개체수로 최대를 나타내었다. 출현종수는 최소 개체수가 출현한 2005년 2월에 16종으로 가장 낮았으며 최대 출현개체수가 나타난 2005년 6월에 31종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

대조구인 거제 구영리 피조개어장의 3정점에서는 2005년 2월에 출현 개체수는 4,567개체로 최소였으며, 2004년 8월에 526,791개체로 최대농도를 분포하여 차이가 100배 이상 나타났다. 출현종수는 2005년 2월 18종으로 최소였으며 2004년 10월에 26종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

위의 결과를 종합하면 겨울철로 갈수록 출현종수와 출현개체수가 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 강진만과 거제 구영리 지선의 각 정점별 평균을 보면 강진만의 경우 겨울철에는 1,000cell/m³이하를 나타낸 반면 여름철 2005년 6월에는 19,144cell/m³으로 20배의 차이를 보였다. 그러나 거제 구영리의 경우 정점평균 겨울철 1,522cell/m³로 최소를 나타내었으나 2004년 8월에는 최대 175,597cell/m³로 115배로 농밀하게 분포하였다.

(7) 피조개 환경 독성 실험 결과

수온은 5, 10, 15, 20, 25 및 30℃(염분: 30 psu)에서 부착치패 2.9±1.3mm의 수온내성 실험 결과, 24시간째 생존율은 0, 74, 89, 99, 98, 96%로 나타났고, 48시간째 0, 54, 88, 99, 98, 98, 96%였으며, 72시간째 0, 48, 88, 99, 98, 96%로 부착치패는 상온 25.0℃에서 저수온 5℃에 투입한 결과 대부분이 탈락하였고 24시간 경과 후 전량 폐사로 나타나 온도차가 클수록 폐사율이 높아지는 경향이 이었다. 그러나 15℃이상에서는 비교적 높은 내성을 나타내어 생존율이 높았다. 따라서 부착치패는 저온에는 약한 경향이 있었으나 15℃ 이상 상온에서는 내성이 비교적 높은 경향이 있었다.

염분 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu(수온: 20 ± 1℃)에서 염분 내성 실험 결과, 생존율은 4시간 경과 후 0 psu에서 전량폐사 하였고, 38, 49, 52, 59, 73, 97, 98% 순이었다. 8시간 경과 후 10 및 15 psu에서 전량폐사 하였고, 36시간 경과 후 20 psu에서도 전량 폐사하였다.

부착치패의 염분별 생존율은 15 psu이하에서는 8시간에 이내에 전량 폐사하였고, 이러한 결과는 부착치패는 염분의 급격한 변화에는 매우 약한 경향이 있어 비교적 낮은 염분 내성을 나타내었다.

IV. 연구개발결과의 활용 계획

3차례에 걸쳐 강진만 피조개협회 회원들을 대상으로 설명회를 개최하였으며, 수시로 피조개 양식 조합에 기술적 자문을 수행하였다. 강진만의 어장환경을 파악하였으며, 특히 여름철 홍수기 남강댐 대량 방류수에 의한 어장환경의 급변에 따른 각종 물리, 화학 생태적 제문제를 규명하여, 피조개의 치패 입식 시기의 조절 및 입식량의 산정에 기초자료로 활용하였고, 향후 지속적으로 피조개 협회에 과학적 정보를 제공하는 대화 채널을 형성하여, 어민들의 어장환경 자율관리의 틀을 조성하는데 활용할 계획이다.

S U M M A R Y

The Objectives of this study can be categorized into three :

First, this study has produced the data for sea water quality and environmental variables every 10 minutes and published those data on the web site(<http://oceaninfo.co.kr/kangjin>) on a realtime base by developing and operating realtime monitoring system in the Kangjin Bay,

Second, this study investigated the correlation between environmental variables for the large-arc shell culturing bed and its productivity,

Third, this study investigated the optimal culturing bed conditions to restore the local culturing beds for the large-arc shell in the Kangjin Bay by comparing the productivity rates of the comparing site, Goo Young-ri.

Operation of the Realtime Monitoring System and Data Production

Combination of communication system using CDMA module and sensor arrays of water quality, current, and meteorological parameter has produced data base which has been published on a realtime basis to serve for the local fishermen's timely needs. Based on the statistics of the data production, data has been produced for the 106,891 records of YSI, 12891 records of Hydrolab, total 93,050 current record with 35,049 in 2004, 42,579 in 2005, 15,488 in 2006 respectively. Total of 96,490 meteorological records have been produced since Apr., 2004.

Profiles for the Observation Stations

Besides realtime monitoring operations, regular field works have been carried out from June, 2004 to July, 2006 to sample water quality variables at the 14 stations covering the entire Kangjin Bay from south to north and west to east lines.

In particular, after the typhoon passages in 2004 and 2006, intensive field samplings have been carried out to investigate the impact of the fresh water discharges from the Nam-gang Dam on the formation of the hypoxia in the Kangjin Bay.

Environmental Investigation for the Aqua-Culture Beds

Besides collecting environmental and physical parameters, investigations have also been made in terms of the chemico-biological parameters such as chlorophyll, dissolved oxygen, COD, DIN(mg/ℓ) DIP(mg/ℓ) N/P Ratio, Si(OH)₄-Si(mg/ℓ) and COD, IL, AVS in the sediment samples.

Biological Investigation

Samples for the benthic fauna were made by using Van Veen Grab with surface area of 0.1 m² at 9 stations in the Kangjin Bay and the Goo Young-ri. The collected samples were sieved with mesh size of 1 mm and the remaining animals were treated on board with 10 % formaline solution and carried to the laboratory for later identification inspection.

Sampling of the phytoplankton was made with a Van Dorn sampler at surface and bottom depth at 12 stations and sampled water was fixed with Lugol solution and were carried to the laboratory to settle down for 48 hours. The number of biomass were counted under microscope by using a Sedgwick-Rafter counter.

In the Kangjin Bay, in October, 2005, the standing crop of 1,424 individuals/0.1m² was occupied by the single species of *Musculista senhousia* to amount to 86.3% indicating the unstable structure of the benthic biota based on the benthos population.

Zooplankton population in the Kangjin Bay shows the minimal 5,103 individuals in Feb., 2005 and maximal 114,861 individuals in June, 2005. The number of species appeared in Feb., 2005 was 16 and in June, 2005 to be 31.

Experiments of Environmental Toxicology to Large-arc Shell

Toxicological experiment to large-arc shell was carried out in the water tank to investigate the impact of two parameters such as water temperature of 5, 10, 15, 20, 25 and 30°C and salinity of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu. The statistics of the survival rate of the juvenile large-arc shell are as follows; the survival rate was 0, 74, 89, 99, 98, 96% after 24 hr and 0, 54, 88, 99, 98, 98, 96% after 48 hr and 0, 48, 88, 99, 98, 96% after 72 hours. It shows that at low temperature of 5 °C, most of large-arc shell was dead after 24 hours, while in warm water over 15 °C, very high survival rates exceeding 95 % were recorded.

In terms of salinity exposure, the survival rate at 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu at fixed temperature of $20 \pm 1^\circ\text{C}$ was 0 , 38, 49, 52, 59, 73, 97, 98 % after 4 hours and at 10 and 15 psu, all shells were dead after 8 hours and at 20 psu, all shells were dead after 36 hours. These results show very significant impact of the low salinity on the survival rate of the large-arc shell.

List of Contents

Ch. 1. Introduction for Research and Development (R&D) -----	1
S. 1 Rationale for the Research and Development -----	1
1. Technological Side -----	1
2. Economy and Industry Side -----	2
3. Socio-Cultural Side -----	3
S. 2 Objectives. of the Research and Development -----	3
1. Final Goal -----	3
2. Yearly Objectives and Contents -----	4
Ch. 2. Status of the Domestic and Oversea's. Technological Development and its Future Prospect -----	5
S. 1 Status of the Domestic Technological Development and Problems -----	5
1. Investigation for the Research Cases -----	6
2. Assesment for the Technical Details -----	8
S. 2 Future Prospect -----	14
1. National Needs for the Coastal Environmental Monitoring System Development -----	14
2. Industrial Needs for the General Environmental Monitoring System Development -----	14
Ch. 3. R & D Contents and Results -----	15
S. 1 R & D Methodology -----	15
S. 2 R & D Contents -----	16
1. Operation of the Realtime Monitoring for the Physical and Meteorological Conditions. for the Aqua-Culture Beds -----	16
A. System Configuration and Capability -----	18
B. Introduction for the System Operation -----	19
2. Web_based Information Service for the Kangjin Bay -----	20
A. Operation of the Web Service -----	20

B. Information Service -----	20
3. Field Investigation for the Aqua-Culture Bed -----	23
A. Selection of the Observation Stations -----	23
B. Analysis of the Environmental Factors -----	24
4. Biological Investigation -----	24
A. Material and Method -----	25
5. Numerical Modeling for the Kangjin Bay Circulation and Hypoxia -	26
A. Model Overview -----	26
B. Governing Equations. and Numerical Analysis -----	27
6. Toxicological Experiment for the Large-arc Shell -----	29
A. Material and Method for the Tank Experiment -----	29
B. Material and Method for the Respiration Experiment -----	30
S. 3 Results of the R & D -----	33
1. Data Production Statistics. for the Realtime Monitoring -----	33
A. Water Quality Data -----	33
B. Profiles for the Observation Stations -----	35
C. Current Measurements -----	36
D. Meteorological Records -----	37
2. Results of the Realtime Monitoring -----	39
A. Water Quality -----	39
B. Profiles for the Observation Stations -----	42
C. Current Measurements -----	43
D. Meteorological Records -----	45
3. Results of the Environmental Investigation for the Aqua-Culture Beds -----	50
A. Water Quality -----	50
B. Sediment -----	58
4. Biological Investigation -----	61
A. Benthic Biota -----	62
B. Zoo-Plankton -----	66
5. Results of the Numerical Modeling for the Kangjin Bay Circulation	

and Hypoxia -----	68
A. Results of the Tidal Current -----	68
B. Results of the Salinity Distribution with and without Dam Water Discharge -----	72
C. Results of the Hypoxia -----	74
6. Toxicological Experiment for the Large-arc Shell -----	76
A. Results of the Tank Experiment -----	76
B. Results of the Respiration Experiment -----	81
Ch. 4. Accomplishment of the Objectives and Their Contribution -----	86
S. 1 Accomplishment of the Objectives -----	86
S. 2 Self-Assessment for the Evaluation Items -----	90
Ch. 5. Future Application Plan for the R&D Accomplishments -----	91
S. 1 Overview of the R&D Accomplishments -----	91
1. Core Technology -----	91
2. Conference Presentation and Publications -----	91
3. Inventions and Prototype -----	91
4. Policy Application -----	91
5. Other Application -----	91
S. 2 Level of Core Technology -----	94
S. 3 Specific Application Plan for R&D Achievements -----	94
S. 4 Expectation and Effects -----	95
1. Quantitative Effects -----	95
2. Qualitative Effects -----	95
Ch. 6. Oversea's Technical Informations Collected -----	96
Ch. 7. References -----	101

Appendix 1. Water Quality Data ----- 104

Appendix 2. Vertical Profile Data ----- 109

Appendix 3. Current Measurement Data ----- 114

Appendix 4. Meteorological Record ----- 130

Appendix 5. Water and Sediment Environmental Data ----- 137

Appendix 6. Benthos and Zoo Plankton Data ----- 143

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 -----	1
제 1절 연구개발의 필요성 -----	1
1. 기술적 측면 -----	1
2. 경제·산업적 측면 -----	2
3. 사회·문화적 측면 -----	3
제 2절 연구개발의 목표 -----	3
1. 최종 목표 -----	3
2. 연차별 연구개발 목표와 내용 -----	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 향후 전망 -----	5
제 1절 국내외 관련 연구의 현황과 문제점 -----	5
1. 연구사례 조사 -----	6
2. 세부 기술사항의 검토 분석 -----	8
제 2절 앞으로의 전망 -----	14
1. 해양환경 감시체제 구축의 국가적 수요 전망 -----	14
2. 일반 환경감시체제의 구축 수요 -----	14
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 -----	15
제 1절 연구수행 방법 -----	15
제 2절 연구수행 내용 -----	16
1. 실시간 어장환경 물리 및 기상조건 감시 시스템 운용 -----	16
가. 시스템 구성 및 성능 -----	18
나. 시스템의 운용 개요 -----	19
2. 인터넷을 이용한 실시간 강진만 어장환경 정보서비스 제공 ---	20
가. Web 서비스를 위한 홈페이지 제작 운영 -----	20
나. 정보 서비스 제공 -----	20

3. 어장환경 조사 -----	23
가. 조사정점 선정 -----	23
나. 환경요인 분석 -----	24
4. 생물조사 -----	24
가. 재료 및 방법 -----	25
5. 강진만 해수 순환 및 용존산소 수치 모델링 -----	26
가. 모델 개요 -----	26
나. 지배방정식 및 수치 해석 -----	27
6. 피조개 환경 독성 실험 -----	29
가. 수조실험 재료 및 방법 -----	29
나. 호흡률 실험 재료 및 방법 -----	30
제 3절 연구수행 결과 -----	33
1. 실시간 자료 생산 통계 -----	33
가. 수질 자료 -----	33
나. 정점별 수직 관측 자료 -----	35
다. 유속 자료 -----	36
라. 기상 자료 -----	37
2. 현장 실시간 모니터링 결과 -----	39
가. 수질 관측 결과 -----	39
나. 정점별 수직 관측 결과 -----	42
다. 조류 관측 결과 -----	43
라. 해양 기상 관측 결과 -----	45
3. 어장 환경 조사 결과 -----	50
가. 수질 조사 결과 -----	50
나. 저질 조사 결과 -----	58
4. 생물 조사 결과 -----	61
가. 저서 생물 -----	62
나. 동물 플랑크톤 -----	66

5. 3차원 조류 및 수온, 염분, 용존산소 모델링 결과 -----	68
가. 조류 계산 결과 -----	68
나. 염분 확산 계산 결과 -----	72
다. 용존산소 계산 결과 -----	74
6. 피조개 환경 독성 실험 및 결과 분석 -----	76
가. 수조 실험 -----	76
나. 산소 호흡률 감소 실험 -----	81
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	86
제 1절 연구개발 목표의 달성도 -----	86
제 2절 평가 착안점에 따른 달성도에 대한 자체 평가 -----	90
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 -----	91
제 1절 연구개발결과 현황 -----	91
1. 핵심 기술 -----	91
2. 학술회의 발표 실적 -----	91
3. 발생품 및 시작품 내역 -----	91
4. 정책활용실적 -----	91
5. 기타 활용 실적 -----	91
제 2절 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용 유형 -----	94
제 3절 연구결과별 구체적 활용 계획 -----	94
제 4절 기대 효과 -----	95
1. 정량적 효과 -----	95
2. 정성적 효과 -----	95
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	96
제 7 장 참고문헌 -----	101

부록 1. 수질 관측 자료	-----	104
부록 2. 정점별 수직 관측 자료	-----	109
부록 3. 유속 관측 자료	-----	114
부록 4. 기상 관측 자료	-----	130
부록 5. 어장환경조사 수질 및 저질 분석 자료	-----	137
부록 6. 어장환경조사 저서생물 및 동물 플랑크톤 분석 자료	-----	143

그 립 목 차

그림 2-1. 적도에서의 엘니뇨 감시 관측 부이 위치도 -----	9
그림 2-2. 적도 태평양 상의 1998. 7.25. 현재의 수온편차와 바람장 분포 -----	9
그림 2-3. ORCA 시스템을 이용하여 수집한 다양한 파라미터의 시계열 자료 -----	9
그림 2-4. 한국해양연구원 실시간 해양관측 프로그램 모식도 -----	10
그림 2-5. 당진화력발전소 실시간 온배수 감시 시스템 -----	11
그림 2-6. 세부책임자에 의해 수행된 광양만, 강진만 주변해역 하천수의 거동에 의한 염분분포의 변화(김차겸, 2002) -----	12
그림 2-7. 2002. 8. 앵강만에서의 용존산소 급변 특이 변동 -----	13
그림 2-8. a,b,c,d. 앵강만 급변 특이변동 현상에 대한 경보 시스템 조건의 예 -----	13
그림 3-1. 강진만 어장환경 물리 및 수질 조사 정점도 -----	16
그림 3-2. Schematic system configuration of the realtime monitoring of oceanic condition in coastal waters -----	18
그림 3-3. 인터넷 이용 강진만 실시간 어장환경 감시 시스템 개념도 -----	21
그림 3-4. 강진만 피조개 어장환경 실시간 감시 시스템 홈페이지 초기 화면 모습 -----	22
그림 3-5. 강진만 피조개 어장환경 실시간 감시 시스템 실시간 자료 화면 모습 -----	22
그림 3-6. 최근 24시간 수질 정보 (수온, 염분, 용존산소) 그래픽 화면 예 -----	22
그림 3-7. 최근 7일 수질 정보 (수온, 염분, 용존산소) 그래픽 화면 예 -----	22
그림 3-8. 남해 강진만 수질, 생물조사 정점도 -----	23
그림 3-9. 거제 구영리(대조구) 피조개어장 수질, 생물조사 정점도 -----	23
그림 3-10. 강진만의 수치모델 격자체계와 수심 분포 -----	26
그림 3-11. 실험에 이용된 자동 호흡률 측정기의 모식도 -----	32
그림 3-12. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 수온 변동 -----	39
그림 3-13. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 염분 변동 -----	40
그림 3-14. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 용존산소 변동 -----	40
그림 3-15. 연구해역에서 수온, 염분, 용존산소의 겨울철, 여름철의 남북방향 수직 단면도 -----	42
그림 3-16. 강진만 바야지 1에서의 하계/동계의 최대유속 및 평균유속 -----	43
그림 3-17. 강진만 바야지 1에서의 U, V성분의 4대 분조 -----	43
그림 3-18. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 기온 변동 -----	45
그림 3-19. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 태양복사량 변동 -----	46
그림 3-20. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 습도 변동 -----	46
그림 3-21. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 기압 변동 -----	46
그림 3-22. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 풍속 변동 -----	47
그림 3-23. 기압, 기온, 풍속의 동/하계 스펙트럼 분석 결과 -----	47
그림 3-24. 실험구, 대조구 연별 수온 변동 -----	56
그림 3-25. 실험구, 대조구 계절별 수온 변동 -----	56
그림 3-26. 실험구, 대조구 연별 투명도 변동 -----	56
그림 3-27. 실험구, 대조구 계절별 투명도 변동 -----	56
그림 3-28. 실험구, 대조구 연별 부유물질 변동 -----	56
그림 3-29. 실험구, 대조구 계절별 부유물질 변동 -----	56
그림 3-30. 실험구, 대조구 연별 클로로필 변동 -----	56

그림 3-31. 실험구, 대조구 계절별 클로로필 변동	56
그림 3-32. 실험구, 대조구 연별 용존산소 변동	57
그림 3-33. 실험구, 대조구 계절별 용존산소 변동	57
그림 3-34. 실험구, 대조구 연별 COD 변동	57
그림 3-35. 실험구, 대조구 계절별 COD 변동	57
그림 3-36. 실험구, 대조구 연별 DIN 변동	57
그림 3-37. 실험구, 대조구 계절별 DIN 변동	57
그림 3-38. 실험구, 대조구 연별 DIP 변동	57
그림 3-39. 실험구, 대조구 계절별 DIP 변동	57
그림 3-40. 실험구, 대조구 연별 N/P비 변동	58
그림 3-41. 실험구, 대조구 계절별 N/P비 변동	58
그림 3-42. 실험구, 대조구 연별 $SI(OH)_4-SI$	58
그림 3-43. 실험구, 대조구 계절별 $SI(OH)_4-SI$	58
그림 3-44. 실험구, 대조구 저질 연별 COD	60
그림 3-45. 실험구, 대조구 저질 계절별 COD	60
그림 3-46. 실험구, 대조구 저질의 연별 IL	60
그림 3-47. 실험구, 대조구 저질 계절별 IL	60
그림 3-48. 실험구, 대조구 저질 연별 AVS	60
그림 3-49. 실험구, 대조구 저질 연별 AVS	60
그림 3-50. 고조위 및 저조위 분포도(Case B04D)	71
그림 3-51. 2004년 8월 남강댐 방류시 유속 벡터도 및 분포도(Case B04D, 8월 19일)	71
그림 3-52. 남강댐 방류시 염분 분포도(Case B04D, 2004년 8월 19일, 24일)	73
그림 3-53. 염분 수직 분포도(Case B04D, 2004년 8월 24일)	73
그림 3-54. 용존산소 (DO) 분포도(Case B04D, 2004년 8월 19일, 24일, 표층)	75
그림 3-55. 용존산소 (DO) 수직 분포도(Case B04D, 2004년 8월 24일, N-S 방향)	75
그림 3-56. 피조개 부착치패의 수온변화에 따른 생존율	76
그림 3-57. 피조개 부착치패의 염분에 따른 생존율	77
그림 3-58. 피조개 치패의 수온에 따른 생존율	78
그림 3-59. 피조개 치패의 염분에 따른 생존율	78
그림 3-60. 피조개 성패의 수온에 따른 생존율	79
그림 3-61. 피조개 성패의 염분에 따른 생존율	80
그림 3-62. 피조개 자연종묘의 월별 각장 성장 비교	80
그림 3-63. 평균 호흡량 감소율	82
그림 3-64. 염분 충격 실험 결과 (염분 농도 5 psu)	83
그림 3-65. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 1-10%)	83
그림 3-66. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 5-15%)	83
그림 3-67. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 15-25%)	84
그림 3-68. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 25-35%)	85
그림 6-1. ORCA 시스템 구성도	96
그림 6-2 ORCA 시스템을 이용하여 수집한 다양한 파라미터의 시계열 자료	97

표 목 차

표 1-1 . 연차별 연구개발목표와 내용 -----	4
표 2-1. 감시 시스템 주요 사양 및 연락처 -----	7
표 3-1. 강진만 조사 정점 위치 및 조사 항목 -----	17
표 3-2. 연도별 수질 자료 생산 통계 -----	33
표 3-3. 월별 수질 자료 생산 통계 -----	34
표 3-4. 정점별 자료 취득개수 -----	35
표 3-5. 정점 1 (바아지 1)에서의 월별 유항유속 자료 생산 통계 -----	36
표 3-6. 정점 2 (바아지 1)에서의 월별 유항유속 자료 생산 통계 -----	37
표 3-7. 자동기상관측 시스템에 의한 기상관측 자료 통계 -----	38
표 3-8. 강진만의 수온, 염분, 용존산소 관측 결과 -----	41
표 3-9. 강진만 바아지 1에서의 월별 유속 분포 -----	44
표 3-10. 강진만 바아지 2에서의 월별 유속 분포 -----	44
표 3-11. 강진만에서의 기온, 태양복사량, 습도의 월별 최대, 최소, 평균 -----	48
표 3-12. 강진만에서의 기압, 풍속, 순간풍속의 월별 최대, 최소, 평균 -----	49
표 3-13. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 연도별 수질 조사 결과 (2004.3-2005.12) -----	54
표 3-14. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 계절별 수질 조사 결과 (2003.9-2006.7) -----	55
표 3-15. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 연별 수질조사 결과 (2004.3-2005.12) -----	59
표 3-16. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 계절별 저질조사 결과 (2004.3-2006.7) -----	59
표 3-17. 조사 해역의 저서생물의 현존량 및 출현종 비교 -----	63
표 3-18. 남해 강진만 구역별 현존량 및 출현종 비교(A: 정점 1,2,3, B: 정점 4,5,6) -----	64
표 3-19. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장의 우점종 천이 -----	65
표 3-20. 조사해역의 동물플랑크톤 출현 개체수와 출현 종수 -----	67
표 3-21. 조류 수치모형모델링 개요 -----	69
표 3-22. 염분 확산 수치모형모델링 개요 -----	72
표 3-23. 용존산소 (DO) 변화 수치모형모델링 개요 -----	74
표 3-24. 용존산소 충격 실험 결과. 감소율= 충격후의 평균 호흡률 - 충격전 평균호흡률 -----	81
표 4-1. 1차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적 -----	87
표 4-2. 2차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적 -----	88
표 4-3. 3차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적 -----	89
표 4-4. 연구목표 대비 결과 -----	90
표 4-5. 세부과제별 배점 및 자체 평가표 -----	90
표 5-1. 학술회의 발표 실적 -----	92
표 5-2. 핵심기술 수준 및 기술 활용 유형 -----	94
표 5-3. 핵심 기술의 활용 계획 및 기대 효과 -----	94
표 6-1. 2006. 3. ORION 계획 워크샵 의제 -----	100

사 진 목 차

사진 3-1. 정점 1의 바아지 상황 -----	18
사진 3-2. CDMA 모듈을 이용한 data logger -----	19
사진 3-3. 시스템의 통신부과 전원부 -----	19

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

해양 환경은 시시각각 변동하는 물리적 조건과 유기적으로 연결고리를 이루고 있는 복잡한 생태계와 더불어 지구상에서 가장 복잡하고 난해한 시스템을 이루고 있음은 주지의 사실이다. 복잡한 해양현상을 이해하기 위하여 가장 선행되어야 할 조건은 바로 가장 해양상태 조건(파라미터)에 대한 감시와 체계적 데이터 베이스의 구축이다. 현대 해양학은 첨단기술을 동원하여 실시간 3차원 감시가 육해공에서 가능하게 되고 있다. 90년대 이후 센서공학 및 통신공학의 획기적 발달은 과거에 할 수 없었던 해양환경 감시에 획기적 전기를 가져오면서 새로운 지구적 차원(GOOSE)에서부터 지역적 차원의 해양감시 체제의 구축(Near-Goose)이 현실화 되고 있는 시점에 와있다.

인터넷 상의 해양환경 감시 체제 구축은 크게 3가지 요소로 대별할 수 있는 바 ① 파라미터 측정의 센서 공학 ② 통신 공학 ③ 자료의 처리 분석 및 DB 구축과 web 상의 표출이다. 이러한 각 요소는 자체 기술 또한 중요하지만 특정 대상을 목표로 가지고 상호 접합되어 완성된 체계를 이룰 때 그 효용성은 극대화 될 수 있을 것이다. 해양환경은 이러한 요소가 종합적으로 결합이 될 때 그 감시 목표가 달성될 수 있는 최상의 대상이 될 수 있으며 가까운 장래에 그러한 목표가 달성될 날이 올 것이다. 각 요소 별 원천 기술은 국내에 어느 정도 선진국 수준에 도달되어 있다. 다만 이러한 요소 기술이 해양환경 감시라는 대목표에 통합되어 유기 복합적으로 운영되는 시스템은 개발된 일이 없다. 그 이유는 첫째 요소 기술을 가진 자가 해양환경이라는 특성에 접근이 어려워 그 속성을 이해하기 어렵고, 둘째 이러한 기술을 통합하여 유기적으로 결합시켜 주는 요소기술간 매체 기술이 부재하였으며, 셋째 일반 소비자(어민, 정부부처, 환경 종사자 등) 들은 첨단 학문과 기술로부터 소외되어 있어 그러한 기술의 존재 및 중요성을 인식하기 어렵기 때문이다.

우리나라의 연안해양환경은 세계에서 유래가 없는 독특한 특성을 가지고 있으며, 또한 그 잠재 가치는 이루 헤아릴 수 없다. 그러나 70년대 이후 무분별한 개발 정책에 의해 연안해양환경의 오염과 황폐화는 거의 절정에 달하고 있으며, 그로 인한 환경적 재앙과

수산특정연구개발사업

각종 해양산업의 폐해는 이루 다 말로 할 수 없을 지경이다. 따라서 그에 따른 산업의 경제적 손실 또한 엄청날 수밖에 없다. 90년대 말에 들어와 정부의 환경부와 해양수산부 등 환경 관련 부처는 비로소 환경에 대한 인식을 새롭게 하면서 소위 지탱 가능한 건전한 개발과 환경 보전에 투자를 기울이고 있는 실정이다.

그러나 국내는 관련 기반 기술이 정착이 되어 있지 못하고 또한 해양환경에 종합적으로 통합 적용된 사례는 많지 않으며, 항상 기술적으로 낙후되어 있는 것이 현실이다. 이러한 때 해양수산부의 연구개발 자금을 해양환경의 지능적 감시 제어 시스템의 개발에 사용될 수 있다면 이 방면의 기술 축적은 물론이고 그에 따른 산업적 시너지 효과는 대단할 것으로 확신하고 있다.

2. 경제·산업적 측면

연구대상 해역인 남해군 강진만 중심으로 한 남해군 내의 피조개 생산량 추이를 보면, 국내 피조개생산량 변동추이와 거의 비슷한 유형을 나타내어 1989년부터 생산량이 뚜렷이 감소되었으며, 1995년에는 연간 690M/T의 생산실적을 보였으나 2000년도에는 최근 들어 가장 낮은 410M/T의 생산실적을 보이고 있다. 이러한 급격한 생산량의 감소는 어장노화와 대량폐사가 주원인으로 지적되고 있다(남해군, 2002).

2002년 7월에는 사라 태풍 이후 가장 강력한 태풍 루사가 여수, 남해군 일대로 상륙하면서 기록적인 재산 및 인명 피해 기록을 낳았으며, 이 때 특히 강진만의 피조개 어장에서는 남강 하천수의 방류를 섬진강 하구로 전환 방류한 결과 100% 피조개 폐사의 피해를 입힌 바 있어 현재 피조개 수협 측과 수자원공사 간에는 하천수 방류에 따른 피해 보상 문제로서 민원이 제기되어 있는 실정이다.

그러나 강진만의 피조개 양식과 관련한 국내의 연구 및 조사는 타해역 (진해, 마산만, 득량만, 여자만 등) 과 비교해 볼 때 극히 미미한 실정으로서 어장노화의 생지화학적, 생태학적 연구가 부족한 형편이고 더 나아가 대량 폐사에 따른 급변 특이현상에 대한 자료는 전무한 실정이다. 이는 기존의 해양환경조사 방법의 제한성으로 인해 2개월에 1번 관측으로는 초단기간 동안의 급변현상을 감지하는 것이 사실상 불가능하기 때문이다. 그 결과 대량폐사의 원인 규명이 미비하여 피해와 관련된 보상 문제도 과학적으로 접근하지 못하는 실정이다. 향후 재발할 우려가 높은 해역인 만큼 이에 대한 실효적이고 적절한 과학적 대응이 그 어느 때 보다 요구되고 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 특히 급변현상을 조기 감지하는 실시간 어장환경 감시 시스템을 개발하여 특히 급변현상 (저산소, 저염수의 침투 등)을 실시간으로 감시하게 되면 즉각적 (1시간 이내)으로 관련 어민, 수협, 정책당국자(해수부 어업기술인력과, 어촌지도소)에게 경보 메시지를 발령하는 동시에 그 자료는 인터넷 상에 등재하여 원거리의 일반 사용자와 연구자들에게 열람할 수 있도록 하는 인터넷 어업정보 시스템의 개발이 절실하다.

3. 사회·문화적 측면

현대는 인터넷을 통한 정보화 사회로 급격히 변화하고 있다. 그러나 우리나라 어촌은 이러한 인터넷 정보화의 사각지대로 남아 있어 어민들의 사회 문화적 소외감은 갈수록 심각해지고 있다. 어업활동에 필요한 실질적 Contents (내용)의 부재와 어촌의 인터넷 인프라의 미비가 그 원인으로 지적되고 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 가장 긴요한 어장 환경에 대한 실시간 정보와 어장생산성 관련 연구결과를 직접적으로 제공할 수 있기 때문에 대단히 필요하다.

제 2 절 연구개발의 목표

1. 최종 목표

본 연구개발을 통하여 실시간 어장환경 감시시스템 및 생산력 산정 모델이 개발되는데, 크게 세 분야로 대별할 수 있다.

첫째, 강진만 피조개 양식어장의 인터넷 실시간 환경감시 시스템 개발을 통하여 실시간으로 환경변수를 감시, 수집 자료의 DB화, 실시간 인터넷 자료 서비스와 특히 급변현상에 대한 경보시스템을 개발하고,

둘째, 실시간 감시를 통하여 생산한 환경 파라미터와 피조개 양식어장의 생산성 변동의 상호관계를 규명하고,

셋째, 대체어장을 개발하기 위하여, 대조구를 설정 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건을 파악한다.

수산특정연구개발사업

2. 연차별 연구개발목표와 내용

표 1-1 . 연차별 연구개발목표와 내용

구 분	목 표	내용 및 범위
1차 년도 (2003년)	피조개 양식어장 (남해 강진만) 실시간 해양환경 감시 시스템 개발 설치 및 운용 (시작품 제작)	(남해 강진만) 환경 파라미터의 자동 측정 및 자료 수집 (각종 해양 및 수질 파라미터- 수온, 염분, DO, pH, 총인, 총질소, 탁도, 클로로필), 수집자료의 DB화, 실시간 자료 인터넷 서비스, 특히 급변현상에 대한 경보 모델 및 경보메시지 전송 시스템 개발
	어장환경 특성분석	실시간 감시를 통하여 생산한 환경 파라미터와 피조개 양식어장의 생산성 변동의 상호관계를 규명하고, 피조개 양식 생태특성 정밀분석, 남해 강진만, 진해 행암만의 2개 해역의 어장비교, 어장환경을 더욱 면밀히 검토하여 어장환경용량을 산정하여 지속적 생산가능 양식량 결정
	어장 생산성 모델 개발	대조구를 진해 행암만에 설정 운영하여 주기적(춘,하계((5,6,7,8월) 집중) 피조개 성장 분석. 양식어장의 생지화학적 특성과 생산성 분석.
2차 년도 (2004년)	피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 개발 및 운용	1차년도 내용에 추가하여 강진만 해수순환모델 및 염분모델 개발
	어장환경 특성분석	어장환경 특성치 비교조사를 수행하며, 먹이망 관계를 유기잔사물, 저서규조류와 저질의 이화학적 분석 결과로부터 도출, 저질의 생지화학적 분석을 통하여 어장환경용량을 산정하여 지속적 생산가능 양식량을 결정
	어장 생산성 모델 개발	진해 행암만 해역에, 대조구를 설정하여 피조개를 양성하고 주기적(춘,하계((5,6,7,8월) 집중))으로 성장을 정량적으로 측정 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건을 파악.
3차 년도 (2005년)	피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 개발 및 운용	1, 2차년도 내용에 추가하여 3차원 수치수질 모델개발
	어장환경 특성분석	피조개 생리, 생태 특성간 상관 분석, 대량 폐사 원인 분석
	어장 생산성 모델 개발	적정 입식량 산정 모델 개발

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 향후 전망

제 1 절 국내외 관련 연구 현황 및 문제점

선진국에서의 실시간 해양 및 환경 감시에 관한 연구와 시스템 개발은 국내의 수준과 비교하면 큰 차이를 보이고 있다. 이는 기반기초 기술의 현격한 차이와 시장 규모의 차이에서 비롯된다. 국내에서 사용되고 있는 거의 모든 계측 센서들이 외국에서 생산되고 있는 실정이며, 과거에 비해 가격이 1/10 의 수준까지 저하되어 있으며 문제는 이러한 센서들을 통합 운영하는 software의 개발과 무선통신 기술이 다르다는 점이다. 외국에서의 실시간 해양감시 시스템으로 대표적인 것이 적도태평양 상에서 El Nino 의 진행을 감시하고 있는 TAO(Tropical Atmospheric Ocean) 로서 실시간 인공위성을 이용한 수온과 해류를 감시하여 Internet을 통하여 전 세계의 과학자와 일반사용자에게 그 결과가 Web 환경(<http://www.pmel.noaa.gov/tao>)에서 바로 가시화(visualize)되고 자료가 전달(transfer)되는 것이다.

전 세계 대양의 감시시스템 구축을 위하여 세계적인 관측/감시 시스템(Goos; Global Ocean Observation System)이 구상되고 현재 그 실천을 위한 세부 계획이 만들어지고 있는데 그 중에서도 prototype의 소규모 실험안이 Near-GOOS 이다. GOOS 계획 속에는 5개의 세부 계획(Module)이 포함되어 있는데 Summerhayes(1997) 에 의하면

- ① 기후 계획 : 기후 변화 이해를 위한 해양과정의 감시와 이해
- ② 대양의 건강 계획 : 사람에 의한 오염물의 해양으로의 유입에 따른 상태와 경향 파악
- ③ LMR 계획 : 해양의 생태계 이해를 위한 시스템 개발
- ④ 연안 계획 : 복잡한 연안에서의 해양조건과 인간의 활동에 대한 통합적 시스템 구축
- ⑤ 서비스 계획 : 다원 종류의 해양 정보의 다양한 사용자 그룹을 위한 처리와 제공기술 개발

국내의 해양 및 환경 감시를 위한 시스템 개발은 아직 활성화 되지 못하는 실정이다. 이는 국내에 기반 기술이 정착이 되어 있지 못한 상황에 비롯되고 있으며, 일부 원천 기

수산특정연구개발사업

술이 해양연구소 및 충남대학교 본과제의 연구책임자(노영재 교수)에 의해 이루어지고 있다. 한국해양연구원에서는 국가해양관측망 기본계획에 따라 2010년까지 100여개소의 실시간 해양관측시스템 구축을 목표로 단계적으로 우리나라 주변 지역에 대한 실시간 해양관측을 현재 실시하고 있다. 현재 설치 운용중인 관측소와 관측 요소들은 주로 해양 및 해양기상의 주된 항목 중 파랑, 조위, 수온, 염분과 해양기상의 풍향, 풍속, 기온, 습도 및 기압으로서 해양환경의 주요 파라미터나 해양생태적 변수들의 관측은 아직 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 충남대학교 원격탐사실에서는 아산만 당진화력발전소의 온배수 감시를 위한 10개의 부이를 통한 수온 감시 시스템을 비롯하여, 어장환경 감시로서 천수만과 남해 앵강만에서 10분 단위의 수질변수 (수온, 염분, DO, pH) 등과 광양만-섬진강 하구역 내에서 정기여객선을 이용한 실시간 수질 감시 시스템을 개발하여 운용한 바 있으며 위의 수질항목 외에 탁도, 클로로필 및 총질소, 총인의 양을 선박 운행시 매 1분 단위로 측정하여 실시간으로 인터넷 (<http://bluekhan.ac.kr/~monitor>)을 통한 자료 서비스를 하였다.

1. 연구 사례 조사

가. 외국의 경우

- 엘니뇨 현상 연구를 위한 적도 태평양 실시간 해황 감시 (TAO)
- 미국 워싱턴주 퓨제 사운드 순환 모델 및 무인 수질 자동감시 프로그램

나. 국내의 경우

- 한국 해양연구원 실시간 해양관측 프로그램
- 당진화력발전소 온배수확산 감시를 위한 실시간 감시
- 천수만, 앵강만 연안어장환경 실시간 인터넷 감시 시스템

다. 조사연구개발사례에 대한 평가

(1) 미국의 엘니뇨 현상 연구를 위한 적도 태평양 실시간 해황 감시 (TAO) 체제는 현존하는 대규모 해양감시 및 관측 시스템으로서는 가장 방대하고 최첨단 설비와 방식에 의해 운영되는 최선의 것이라고 볼 수 있다. 각종 관측 장비(약 70여개의 부이)와 그 생산 자료의 ARGOS 위성을 이용한 실시간 통신 및 WWW상에서의 일반사용자들에

계 자료의 가시화 및 전달 체계로 가장 훌륭한 시스템이며 소위 state of art 의 결정체라고 평가 된다.

(2) 선진외국에서는 90년대 중반부터 원격 자동감시 시스템을 개발운영하고 있으며, 특히 최근에는 적조의 발생과 같은 급변 특이현상을 감시하기 위한 시스템이 인터넷과 연동되어 운영중에 있으며, 사례로 보여주는 워싱턴주 퓨제 사운드 순환 모델 및 무인수질 자동감시 프로그램은 물리 모델의 개발과 현장관측이 유기적으로 어떻게 연계 개발되어야 하는가를 보여주는 좋은 prototype 프로그램이라 할 수 있다.

(3) 당진화력발전소 온배수확산 감시를 위한 실시간 무인 자동 수온 관측 시스템은 현재 가동중인 연안 해양 자동 관측 시스템으로서는 국내에서 최선의 것이며, 본 연구책임자의 책임하에 진행되고 있다. 무선통신과 센서 기술이 접합되어 있으며, 생산되는 자료(10개 관측점에서의 매 10분당 수온치)는 자동으로 수신 컴퓨터에 수록되고, 자료 현황이 매일 인터넷 전산망을 통하여 현장(충남 당진군 당진화력발전소 내 수신소)에서 연구실(대전시 유성구 충남대학교 기초과학 1호관)까지 전자메일 형태로 전달되고 있다.

(4) 남해 앵강만과 광양만 섬진강 하구 연안해양환경 실시간 인터넷 감시 시스템은 본 연구책임자에 의해 가동 한 바 있으며, 2002년 8월 적조 발생시 특이 현상을 앵강만에서 실시간으로 관측하였으며, 특히 섬진강 하구의 하천수 플럼의 광양만 내 거동 및 염분의 분포를 해상도 수백 m 이내로 감시한 바 있다.

(5) 센서 기술

먼저 센서 자체에 관한 기술은 본 연구의 목적이 센서 자체를 개발하는 것이 아니기 때문에 신뢰도 높고 효율적인 센서를 도입하여 사용하는 것이 연구의 중요한 관건이다. 본 연구에서 측정하고자하는 정보는 크게 물리해양특성에 관한 정보와 수질특성에 관한 정보이다. 전자의 경우는 수온, 염분, 유향, 유속, 조위 등이고 후자의 경우는 영양염류(질소, 인), 용존산소, 클로로필, 탁도 등이다. 지난 7년간의 현장 경험을 통하여 사용 중인 신뢰도가 높은 센서 및 시스템의 개요는 다음 표 2-1과 같다.

수산특정연구개발사업

표 2-1. 감시 시스템 주요 사양 및 연락처.

시스템	주요 항목	연락처
Coastal Environmental Systems	3-Meter Discus Buoy (wind, air temp., barometric press., radiation, wave height/direction are typically standard; options include water quality parameters salinity, fluorescence, pH, dissolved oxygen, turbidity and others)	http://www.coastalenvironmental.com/buoy/3metdisc.html
Hydrolab Corp. Datasonde 4a	Multiprobe (temperature, pH, ORP, conductivity, dissolved oxygen, depth, turbidity, total dissolved gas, ammonia, nitrate, chloride, ambient light, transmissivity, and chlorophyll)	http://www.hydrolab.com
YSI, Inc. YSI 6-Series	DO, cond., temp., depth, pH, ORP, salinity, nitrate, ammonium, ammonia, turbidity, chloride, total dissolved gas	http://www.ysi.com

2. 세부 기술사항의 검토 분석

가. 외국 사례 분석

(1) 적도 해역의 원격 엘니뇨 감시 및 예측 시스템

실시간 해양환경 감시 및 예측의 예로서 세계에서 최첨단의 보기는 바로 엘니뇨를 감시하기 위한 미국 상무성 소속 해양대기청(NOAA)의 엘니뇨 감시 연구계획에서의 해수온 및 해류와 기상조건 감시 시스템이다. 그림 2-1은 적도 태평양상에서의 관측점을 보여준다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 향후 전망

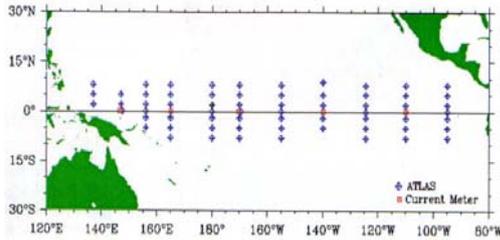


그림 2-1. 적도에서의 엘니뇨 감시 관측 부이 위치도.

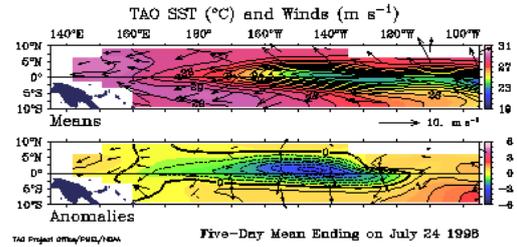


그림 2-2. 적도 태평양 상의 1998. 7.25. 현재의 수온편차와 바람장 분포.

여기서 생산되는 여러 종류의 자료는 실시간으로 ARGOS 위성을 이용하여 과학자들의 컴퓨터에 직접 전달될 수 있도록 설계되어 있다. 상업적으로 활용되고 있는 ARGOS 위성은 특히 해양에서 생산된 자료의 실시간 전달(transfer)에 획기적 전기를 이루게 된 첨단 통신 위성이다.

실시간으로 인터넷을 통하여 전세계의 일반 사용자 WWW 상에서 보여지는 적도상의 현재 수온과 바람장의 분포를 그림 2-2에서 보여준다. 대양에서의 원격 감시 시스템으로 세계 최우수성을 자랑하는 시스템으로 대양에서 부표 이용 감시 시스템의 모델이 되고 있다.

(2) 미국 워싱턴주 퓨제 사운드 순환 모델 및 무인 수질 자동감시 프로그램

순환 모델은 POM code 에 기반하여 360x540 격자체계와 수직 14개 시그마 층을 가지고 있으며, 예측변수는 Velocity, temperature, salinity, turbulent kinetic energy, turbulent master length 이다. 이와 동시에 모델 입력 자료의 생산 및 원격 화학 및 생물 감시 시스템 (ORCA)를 개발하여 대상 변수(T, S, Light, Meteorology, NO₃, O₂, Chl-a, turbidity, NH₄, Gas Exchange parameters)를 감시하고 자료송신은 위성 및 무선 통신을 이용한다. 자연상태의 변동성과 인위적 효과를 판별하고 물리 및 생물 결합 모델 (PRISM) 검증에 사용한다.

그림 2-3은 ORCA에 의해 관측된 2002년 각종 변수의 시계열 자료 결과의 예를 보여준다.

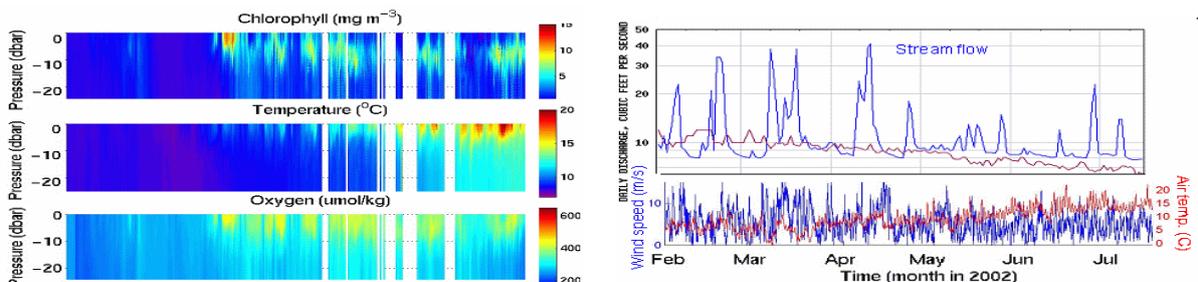


그림 2-3. ORCA 시스템을 이용하여 수집한 다양한 파라미터의 시계열 자료.

수산특정연구개발사업

나. 국내 사례적 분석

(1) 한국해양연구원 실시간 해양관측 프로그램

한국해양연구원에서는 국가해양관측망 기본계획에 따라 2010년까지 100여개소의 실시간 해양관측시스템 구축을 목표로 우리나라 주변 지역에 대한 실시간 해양관측을 실시하고 있다.



그림 2-4. 한국해양연구원 실시간 해양관측 프로그램 모식도.

(2) 충남대학교 실시간 연안환경 감시 시스템

충남대학교 해양학과에서는 우리나라 연안해역의 실시간 환경 감시를 목적으로 당진화력발전소 온배수 감시 시스템과 천수만 및 앵강만 연안 어장환경 감시 시스템을 설치 운영하고 있다. 당진화력발전소의 온배수 감시 시스템은 발전소 주변 해역의 수온분포를 매 20분 간격으로 관측하여 인터넷을 통하여 제공함으로써 실시간으로 온배수의 분포를 파악할 수 있도록 하고 있다(그림 2-5). 천수만과 앵강만 연안 어장환경 감시 시스템은 매 10분 간격으로 수온, 염분, 용존산소 및 pH를 관측함으로써 실시간 어장 환경을 파악할 수 있도록 하고 있다.

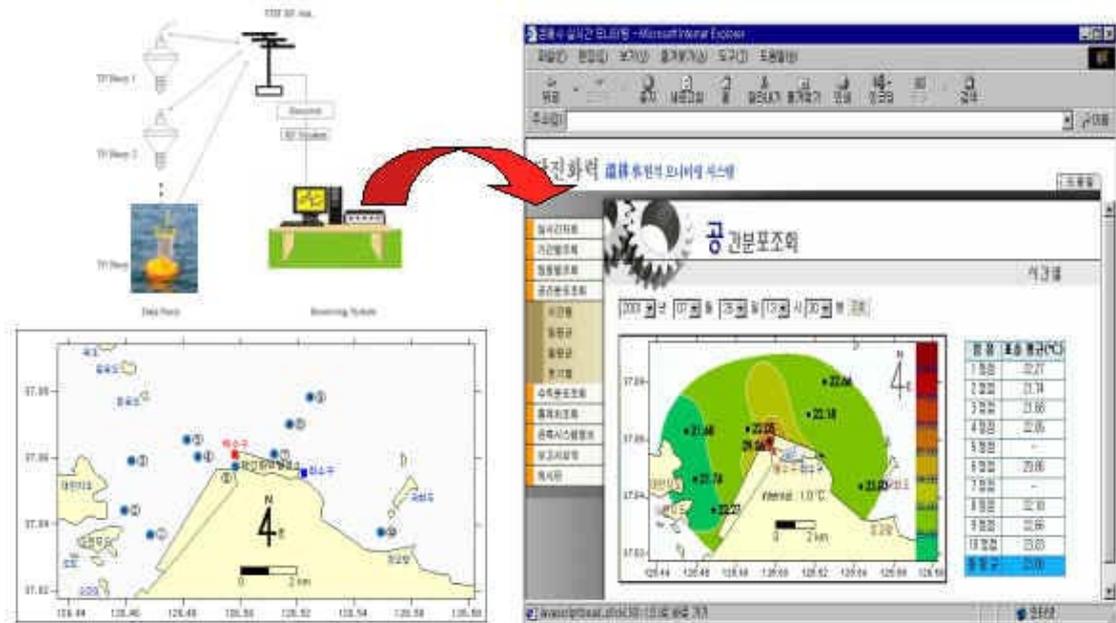


그림 2-5. 당진화력발전소 실시간 온배수 감시 시스템.

(3) 협동연구대학 연안역 해수순환 및 수질 모델링 연구

남해대학교 토목환경 시스템학과에서는 광양만 및 주변해역을 대상으로 조류에 의한 순환 모델 및 섬진강 하천수의 거동(그림 2-6)을 이해하기 위한 염분모델을 개발하여 대규모 공단건설과 준설에 따른 지형 및 수심변화에 따른 효과를 규명하고 있으며, 본 연구에서는 기 개발된 모델을 강진만 주변해역에 적용하여 양식어장 환경의 변화 추이를 규명하고자 한다.

수산특정연구개발사업

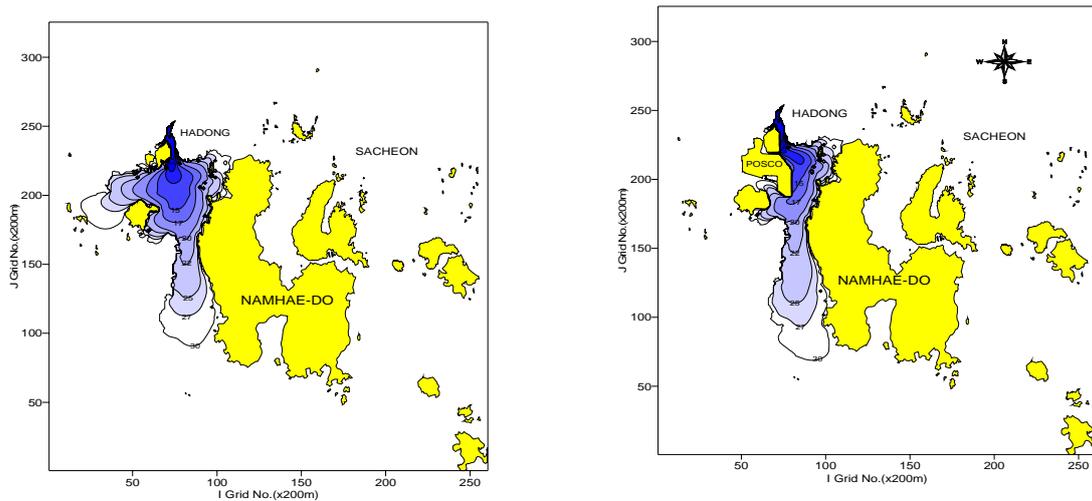


그림 2-6. 세부책임자에 의해 수행된 광양만, 강진만 주변해역 하천수의 거동에 의한 염분분포의 변화 (김차겸, 2002).

(4) 경보 시스템 개발

근본적인 적조 방제 대책이 마련되지 않은 현 상황에서 적조 방제를 위하여 무엇보다 중요한 것은 적조 발생에 관한 조기 감지와 경보 시스템의 운용이다. 이는 적조 발생 상황을 조기에 감지하여 방제 대책을 마련하고 그에 따른 방제 노력을 조기 실시함으로써 피해를 최소화할 수 있기 때문이다.

그림 2-7은 충남대학교 해양학과에서 운용하고 있는 앵강만 어장환경 감시 시스템에 의해서 실시간으로 관측된 자료 중 용존산소의 시계열 자료를 보여주는 것이다. 본 자료에 의하면, 지난 2002년 8월 2일 *C. polykrikoides*에 의한 적조 주의보 발령이 있기 전인 7월 23일부터 이상 징후를 감지하기 시작한 것으로 판단된다. 본 감시 시스템을 이용하여 이러한 수질 변화와 적조 발생과의 관계를 정확하게 규명하기 위해서는 보다 구체적인 변수들에 대한 정보가 수집되어야 하겠지만 수질의 이상 징후 및 적조 발생 조기 감지를 위한 시스템으로의 활용도는 높다고 하겠다.

그림 2-8은 실시간 자료를 이용하여 충남대학교 해양학과에서 구축한 경보 시스템으로부터 얻어진 경보의 예이다. 이 결과는 이용 가능한 특정 해양변수 중에서 용존산소를 이용한 경우로써, 그림 2-8a는 실시간 용존산소 시계열자료이고, 그림에서 적색선은 상한계치의 범위가 된다. 그림 2-8b는 특정 시점의 자료가 임계 변동치를 초과할 때 발령되는 경보를 보여주는 있으며, 그림 2-8c는 상한치 초과시, 그림 2-8d는 수온, 염분의 실시간 조건을 이용하여 계산한 이론적인 포화농도를 30% 이상 초과시 발령되는 경보의

예를 보여주고 있다. 실제 경보는 임계 변동치, 상한치, 하한치, 과포화, 저포화 임계치를 초과하는 어떤 조건이라도 만족하게 되면 발령이 자동적으로 일어나고, 시스템 감시 프로그램에 의해 사용자에게 경고 상황이 전달된다.

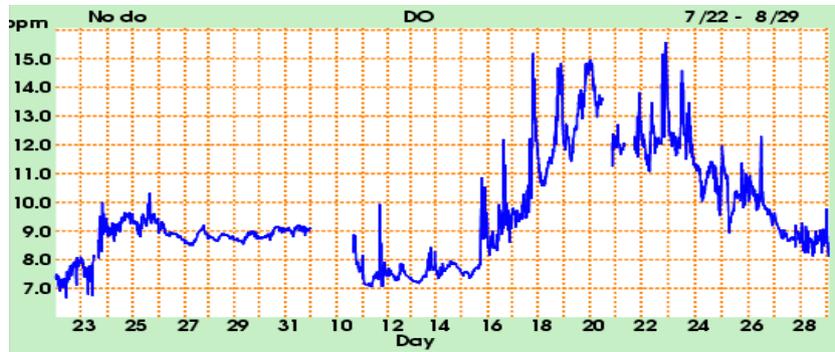


그림 2-7. 2002. 8. 앵강만에서의 용존산소 급변 특이 변동.

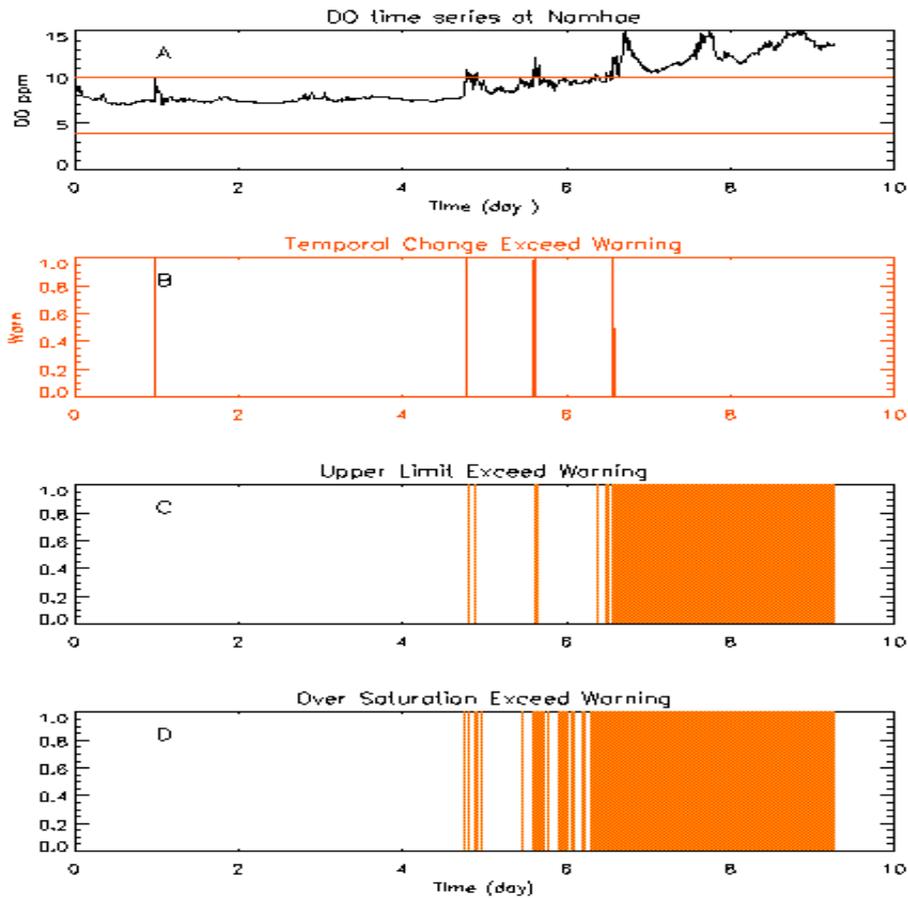


그림 2-8 a,b,c,d. 앵강만 급변 특이변동 현상에 대한 경고 시스템 조건의 예.

제 2 절 앞으로의 전망

1. 해양환경 감시체제 구축의 국가적 수요 전망

앞으로 가까운 장래에 국내의 모든 연안 환경은 연안관리법의 발효와 더불어 국가 해양개발기본법을 근거로 하여 국가가 정한 개발 기본계획에 의거하여 지방자치단체가 연안의 환경 보전을 위한 감시와 관리의 책임을 맡게 된다. 그럴 경우 연안어장환경을 포함한 연안 감시체제의 구축은 필수적 요소가 되며, 그 속에는 자동 감시 및 제어 시스템이 전산망과 연동되어 그 기능을 발휘하여야 소기의 목적을 달성할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 측면에서 본다면 해양/연안 환경을 대상으로 한 감시 및 제어 시스템의 개발은 가까운 미래에 필수 불가결한 시스템으로서 그 사용자가 크게는 국가, 지방자치단체 및 일반 영세어민에 이르기까지 광범위하고도 다양하게 분포하고 있다. 그러나 기반 기술의 확립과 운용경험 또한 실제 전문지식이 부족한 일반인들이 사용하게 되기까지에는 상당한 시행착오와 난관이 있을 것으로 전망된다.

그 이유는 다음의 조건을 생각할 때 분명해진다. 첫째) 해양환경이 다양하고, 둘째) 사용목적이 다양하며, 셋째) 사용자의 지식 수준이 다양하다. 연안 해양환경도 우리나라의 서해, 남해, 동해가 그 자체로서 대단히 상이하고 특징적이어서 특정 시스템의 개발로서는 범용성을 유지할 수 없다. 어장환경 또한 다양하여 소규모 가두리(사방 10 m 크기)에서 수십조의 가두리 양식어장, 제법 넓은 피조개, 가리비 등의 패류 양식어장, 우렁챙이, 미역 굴 등의 연승식 어장 등은 물리적, 생지화학적 조건이 다양하다.

2. 일반 환경감시체제의 구축 수요

상기의 해양환경 감시 및 제어 시스템의 개발은 해양환경의 적용 뿐 만 아니라 광범위한 일반 환경감시에도 바로 적용이 가능하다. 그것은 관련 센서가 우선 수질과 물리 센서에서 중복이 될 뿐만 아니라, 필요에 따라서 센서의 추가는 용이하고 해양환경에 비하여 일반환경(하천, 호소 및 대기 등)의 조건은 감시의 측면에서 해양에 비해 대단히 호조건을 가지고 있으므로 바로 적용이 가능하다. 중요한 것은 센서들로부터 발생하는 여러 신호들을 통합적으로 처리 관리해 주는 software의 개발이 관건이 될 것이다. 일반환경 감시의 대상으로는 하천, 호소 등의 수질관리와 이들 환경으로의 유해물 배출 업소 감시에도 효과적으로 적용이 가능할 것이며, 특히 상수원 오염원 감시 및 수질관리에 효과적으로 활용이 될 수 있을 것이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구수행 방법

1. 강진만의 해수순환 및 수질모델링에 필요한 기초 자료 획득을 위하여 RCM-9 유향 유속계를 이용하여 그림 3-1의 2개 정점(St1, St2)의 표층(수심 1.5 m)에서 연속 조류를 관측하였다.
2. 수질모델링 기초자료를 획득하기 위해 정점 St 1에서 YSI 6600을 이용하여 일반 수질환경 인자를 연속 관측하였다.
3. 강진만 전체 18개 정점에서 약 2개월 간격으로 HydroLab 장비를 이용하여 수층별 수질 조사를 실시하였다.
4. 자동기상관측기기(Aanderraas사의 AWS)를 설치하여 매 10분 간격 기상 자료를 측정하여 실시간 수질자료와 함께 인터넷에 출판하여 연속적으로 운용하였다.
5. 환경요인인 수질, 저질, 생물학적 요인들은 해양환경공정시험법에 의해 수행되었고 현장조사는 현지사정에 밝은 현지 어민의 양식경험을 토대로 연구를 수행하고 있다.
6. 유한차분법을 이용한 3차원 해수순환 모델링을 수행하여 강진만 해역의 조류와 사천만 남강댐 방류수에 따른 염분, 수온, 밀도 및 용존산소의 변화 상태를 모델링 하여 빈산소 형성의 기작을 규명하였다.
7. 피조개 환경 독성 실험을 두가지 방법에 의거 수행하였으며, 첫째 염분 및 수온 조건을 조절하여 수조에서 피조개 치폐의 내성실험을 통하여 폐사율을 산출하였으며, 자동호흡률 측정기를 사용하여 특정 조건(염분과 용존산소)하에 노출시켜 그 충격에 의한 호흡률 감소율을 산출하였다.

제 2 절 연구수행 내용

1. 실시간 어장환경 물리 및 기상조건 감시 시스템 운용

그림 3-1은 강진만의 어장환경 물리 및 수질 조사 정점도와 실시간 자동 감시 시스템의 위치도이다. 정점은 남북으로 10개 동서로 2개 고정선에 각 3정점을 배치하여 총 22개 정점(표 3-1)에서 강진만 전체의 공간적 분포 특성을 파악할 수 있도록 설계하였으며, 실시간 감시 시스템은 강진만의 중앙과 노량수도를 통하여 들어오는 수중골 깊은 수심위치에 장치하였다.

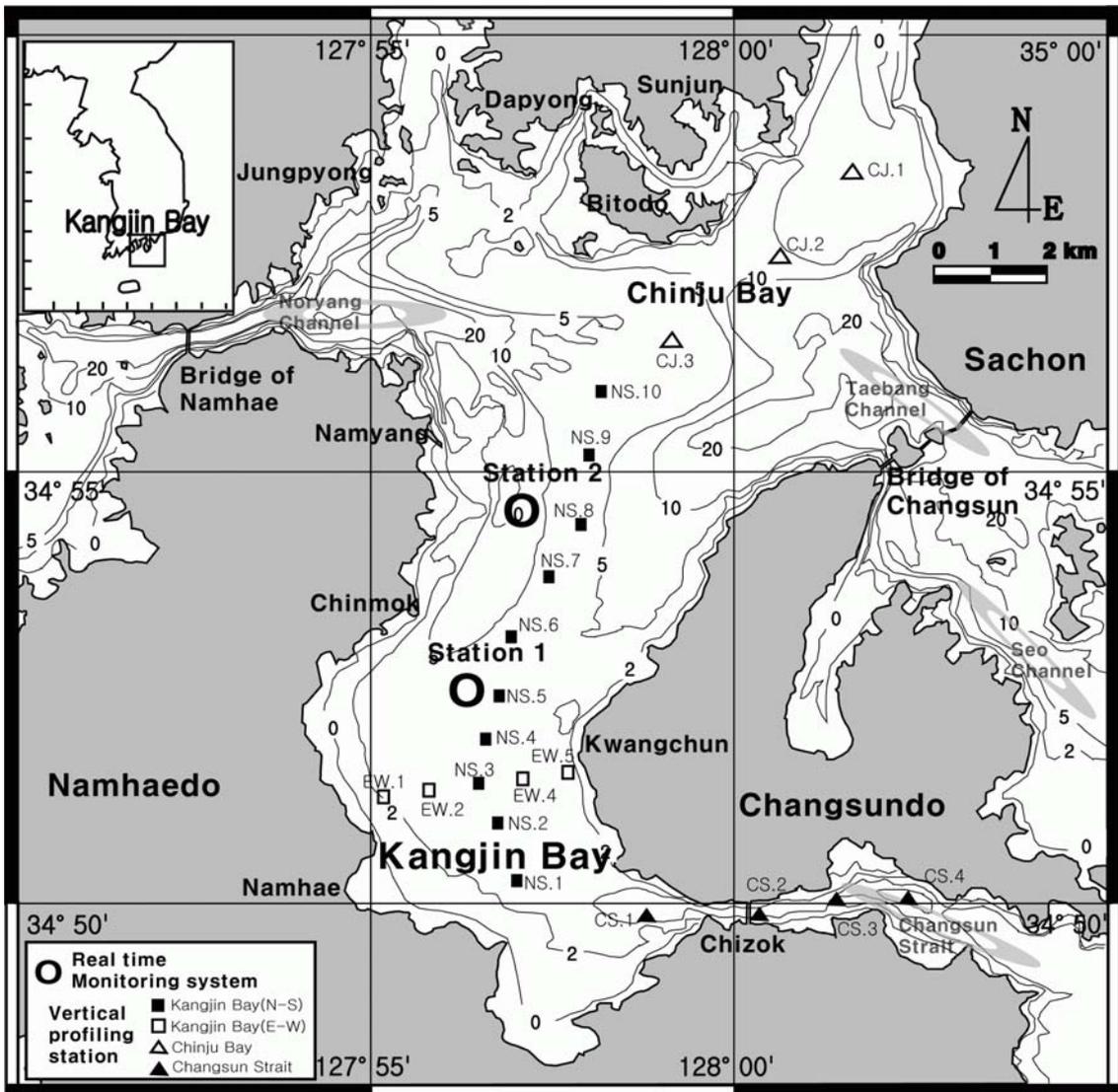


그림 3-1. 강진만 어장환경 물리 및 수질 조사 정점도.

표 3-1. 강진만 조사 정점 위치 및 조사 항목.

위 치	감시 정점	위도	경도	조사 항목
강진만 남-북 방향	NS_01	34° 50.481 ' N	127° 56.338 ' E	WQ
	NS_02	34° 50.988 ' N	127° 56.196 ' E	WQ
	NS_03	34° 51.758 ' N	127° 56.284 ' E	WQ
	NS_04	34° 52.030 ' N	127° 56.004 ' E	WQ
	NS_05	34° 52.439 ' N	127° 56.127 ' E	WQ
	NS_06	34° 52.805 ' N	127° 56.303 ' E	WQ
	NS_07	34° 53.204 ' N	127° 56.627 ' E	WQ
	NS_08	34° 54.072 ' N	127° 57.041 ' E	WQ
	NS_09	34° 55.306 ' N	127° 57.300 ' E	WQ
	NS_10	34° 55.733 ' N	127° 57.374 ' E	WQ
강진만 동-서 방향	EW_01	34° 51.569 ' N	127° 54.942 ' E	WQ
	EW_02	34° 51.682 ' N	127° 55.551 ' E	WQ
	EW_03	34° 51.758 ' N	127° 56.284 ' E	WQ
	EW_04	34° 51.922 ' N	127° 56.758 ' E	WQ
	EW_05	34° 51.937 ' N	127° 57.215 ' E	WQ
진주만 일대	CJ_01	34° 58.950 ' N	128° 01.630 ' E	WQ
	CJ_02	34° 57.450 ' N	128° 00.460 ' E	WQ
	CJ_03	34° 56.750 ' N	127° 58.750 ' E	WQ
창선수로	CS_01	34° 49.823 ' N	127° 59.030 ' E	WQ
	CS_01	34° 49.852 ' N	128° 00.042 ' E	WQ
	CS_01	34° 50.013 ' N	128° 01.012 ' E	WQ
	CS_01	34° 50.012 ' N	128° 02.019 ' E	WQ
바야지	ST1	34° 52.550 ' N	127° 56.556 ' E	YSI, Hydrolab, AWS, CM
	ST2	34° 54.985 ' N	127° 56.964 ' E	YSI, CM
관측항목	WQ : T, S, pH, DO, Chl-a YSI : WQ 포함, SS, Chlorophyl Hydrolab : WQ 포함, SS, Chlorophyl CM : 안테라 유속계, 유향, 유속, T, S AWS : 안테라 기상자동관측 시스템, 기온, 기압, 태양복사량, 풍향, 풍속, 상대습도			

수산특정연구개발사업

정점 관측 수질 파라미터는 수온, 염분, pH, 용존산소, 탁도, 클로로필을 바닥에서 표층까지 연속 HydroLab 장비를 이용하여 관측하였고, 실시간 감시 항목에는 전술한 수질 항목과 동시에 유속계(Aanderra아 사의 직독식)를 이용한 유향, 유속과 자동 기상감시시스템 (Aanderra아 사의 AWS)을 이용한 풍향, 풍속, 습도, 일사량, 기압을 측정하였다.

가. 시스템 구성 및 성능

실시간 감시 시스템은 다음과 같이 구성되어 있다(그림 3-2).

- ① 각종 센서 다발 (수질 센서; 수온, 염분, DO, pH, 탁도, 클로로필, 유속 센서; 유향, 유속, 수온, 염분, 기상 센서; 와 데이터 로거
- ② CDMA 통신 모듈과 OS (Window CE 3.1),
- ③ 태양 전지판과 전원 공급 장치,
- ④ 자료 수신용 컴퓨터 및 web server 용 주컴퓨터
- ⑤ 각종 제어 및 실시간 계산용 컴퓨터 프로그램

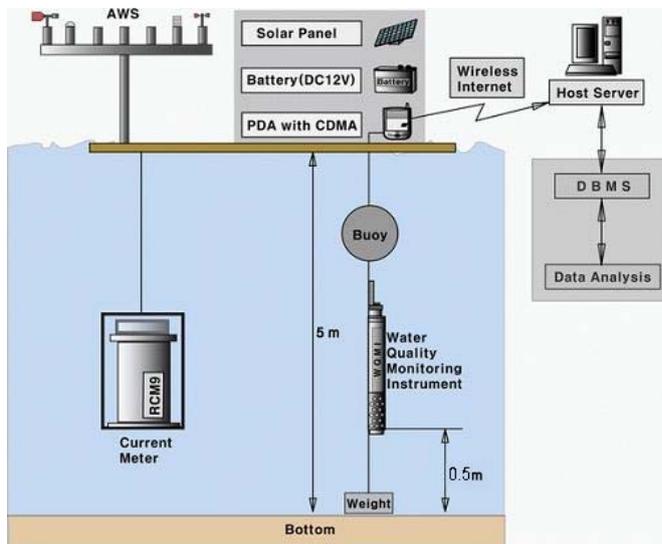


그림 3-2. Schematic system configuration of the realtime monitoring of oceanic condition in coastal waters.



사진 3-1. 정점 1의 바이지 상황

나. 시스템 운용 개요

실시간 감시 시스템의 운용은 3가지 핵심 기술에 의해서 이루어 진다.

(1) 통신기술

앞에서 소개한 CDMA 모듈을 이용한 무선 데이터 통신으로 육상의 자료 수신용 컴퓨터와 정기적 통신을 통하여 자료의 up-download 작업 수행을 하며, 통상 1시간 간격으로 이루어지나, 필요시 자료 송신 cycle을 조절할 수 있다.



사진 3-2. CDMA 모듈을 이용한 data logger



사진 3-3. 시스템의 통신부와 전원부

(2) 정보 공학

실시간 송신되는 자료의 web 상에서의 표출을 위하여 graphic engine (IDL 6.2) 실시간 구동을 통하여 도면 작성 후 자동으로 홈페이지에 연동 되고, 자료의 database 구성 및 활용을 통해 사후 자료 분석 및 실시간 자료 검색에 활용 한다.

(3) 해양 모델링

실시간으로 수신되는 자료를 초기치로 활용하여, 용존산소에 대한 경보 메시지 작성 및 송출을 위한 통계모델링과 등록된 사용자에게 홈페이지 및 이동통신을 이용하여 문자 메시지 전송에 활용할 수 있다. 강진만 순환 수지 모델링에 실시간 자료를 수신하여, 자료의 초기치 및 모델의 검증에 활용하고, 장차 실시간 모델링 및 예보에 활용할 수 있다.

수산특정연구개발사업

상기의 3가지 핵심 기술을 접목한 감시 시스템의 운용은 정기적 관리가 다음과 같이 요구된다.

- 1) 시스템이 탑재된 바야지 및 컨테이너 실험실의 정기 점검 및 보수
- 2) 생물오염(biofouling)에 의한 기기들의 세척 및 센서의 교환 및 각종 센서의 검교정

2. 인터넷을 이용한 실시간 강진만 어장환경 정보서비스 제공

가. Web 서비스를 위한 홈페이지 제작 운영

본 연구를 위하여 홈페이지를 제작하여 2003. 10. 이후 현재까지 운영하고 있다. 홈페이지는 그림 3-4, 5, 6, 7에서 보듯이 초기 화면 외에 다양한 기능을 제공하고 있는 바, 게시판 등을 통한 공지 사항, 자료 관리 및 연구원을 대상으로 인트라넷을 통한 연구과제 및 현장조사 관리에 활용하고 있다. 초기 화면상에는 최근 수신된 자료의 원시자료를 텍스트 형태로 제공하고 있으며, 실시간 홈페이지에서는 최근 24시간과 최근 7일 동안 수신된 자료를 실시간으로 도면화하여 그래픽으로 제공하고 있다.

나. 정보 서비스 제공

인터넷을 통하여 일반 사용자(등록된 어민 한정)에게 제공되는 정보는 다음과 같다.

- ① 현재의 수질 (수온, 염분, 용존산소, pH, 클로로필, 탁도), 조류(유형, 유속) 및 기상 자료 (기온, 상대 습도, 기압, 풍향, 풍속, 태양광도) 의 값 (text) 및 그림
- ② 위 각 변수들의 최근 24시간과 7일 기간 동안의 수질, 조류 및 기상자료의 그림
- ③ 각 계절별로 조사한 정점 자료를 이용한 수평 및 수직 단면도상의 수질 분포도.

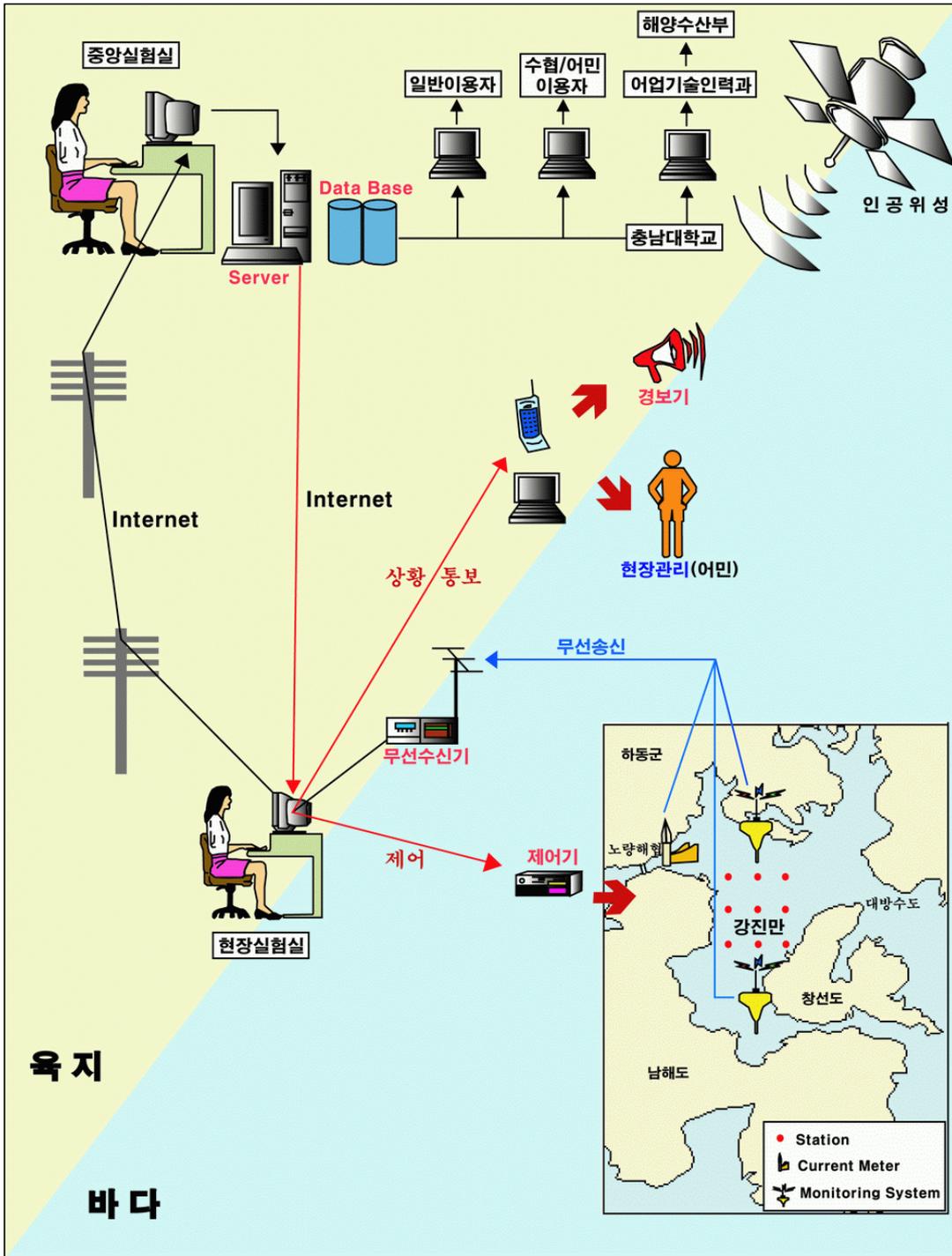


그림 3-3. 인터넷 이용 강진만 실시간 어장환경 감시 시스템 개념도.

수산특정연구개발사업

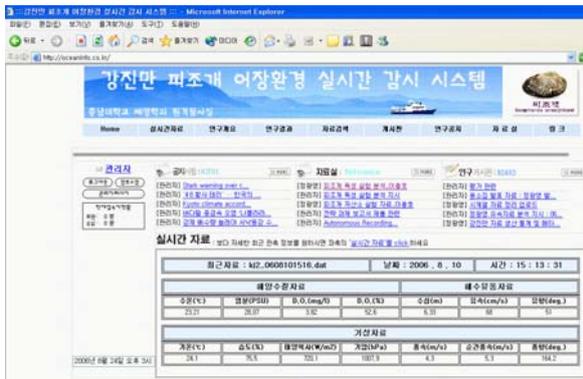


그림 3-4. 강진만 피조개 어장환경 실시간 감시 시스템 홈페이지 초기 화면 모습.



그림 3-5. 강진만 피조개 어장환경 실시간 감시 시스템 실시간 자료화면 모습.

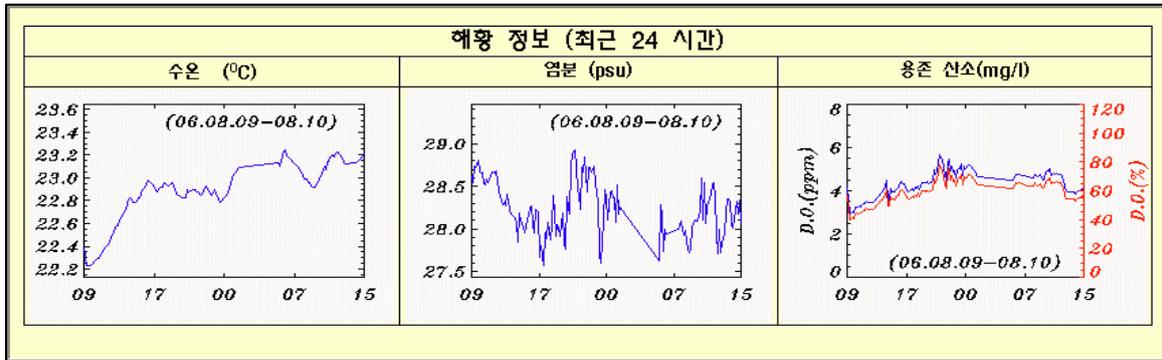


그림 3-6. 최근 24시간 수질 정보 (수온, 염분, 용존산소) 그래픽 화면 예.

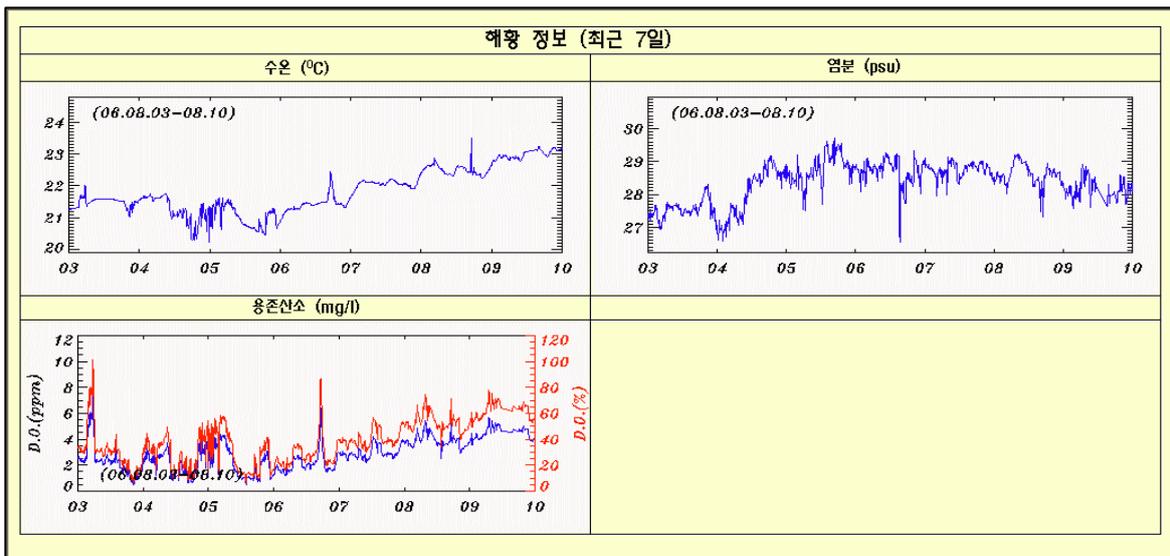


그림 3-7. 최근 7일 수질 정보 (수온, 염분, 용존산소) 그래픽 화면 예.

3. 어장환경 조사

강진만의 피조개 대량 폐사원인을 규명하고자 피조개가 서식하고 있는 어장환경의 수질 저질의 변화를 우선적으로 파악할 필요가 있다.

특히, 저질 표층에 잠입하여 살고 있는 피조개는 서식환경의 수질과 저질의 이화학적 변화에 민감하게 반응할 뿐 아니라 먹이생물에 크게 영향을 받으면서 성장하며 상품으로의 가치를 가질 때까지 비이동성 패류로서, 살고 있는 수질 저질 환경에 영향을 받을 수밖에 없다.

본 연구에서는 물리조사에서 얻어진 시계열에 따른 미세변화를 연속적으로 파악함과 동시에 어장환경조사를 통하여 물리조사를 보완하는 측면과 생물조사와 병행하여 생물조사의 변동파악을 목적으로 어장환경조사를 동시에 실시하여 생물변동자료의 해석에 이용하고자 어장환경조사를 실시하였다.

가. 조사 정점 선정

강진만의 피조개 대량폐사 원인조사의 정점 선정은 강진만 남부의 피조개어장 밀집지역에 4개 정점(정점1-4)을 선정하고 노량수도를 거쳐 유입되는 먹이생물량 추적을 위해 강진만 중앙북부 해역에 2개의 정점을 선정하였다. 이중 정점4는 물리조사 정점과 일치시켰다(그림 3-8).

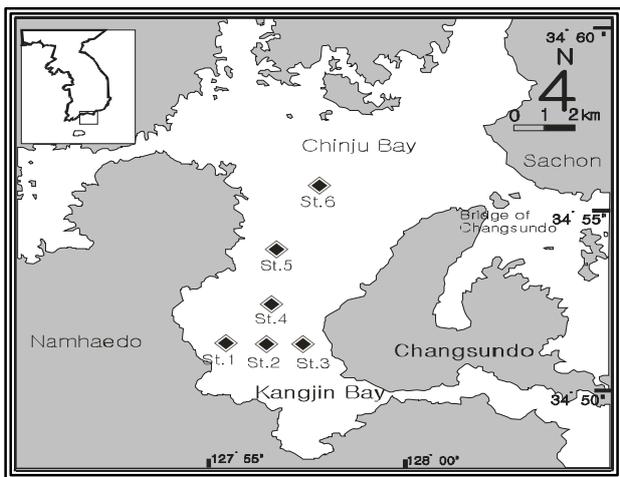


그림 3-8. 남해 강진만 수질, 생물조사 정점도



그림 3-9. 거제 구영리(대조구) 피조개어장 수질, 생물조사 정점도

수산특정연구개발사업

대량 폐사가 매년 반복되는 강진만과는 달리 대조구로 그림 3-9와 같이 피조개 수협을 통하여 현재 피조개 양식이 활발히 계속되고 있는 경남 거제시 장목면 구영리 지선의 피조개 어장에 3개의 정점을 정하였다.

정점 1은 거제시와 진해시 경계지역에 위치한 어장으로 수심이 깊고(29m), 진해만으로 유입되는 창낙조류의 영향을 강하게 받는 정점이고, 정점 2는 저도와 거제도 사이에 창낙조류의 강한 영향으로 저질의 입도가 조개껍질등 사질이 우세한 정점으로 수심이 20m 전후이었으며, 정점 3은 장목면 구영리 지선의 어장으로 피조개 양식 이후 매년 대량생산이 이루어진 어장으로 구영리 지선어민의 주된 수입원으로 막대한 생산을 올렸으나 1986년 어장환경개선 목적으로 마사토를 대량 살포한 후 어장의 생산성이 급격히 감소한 어장을 선정하였다.

나. 환경 요인 분석

실험구인 강진만의 6개 정점과 거제시 구영리 지선에 3개 정점에서 수층별로 채수한 시료와 생물 조사시 채집된 저질의 표층을 일정량(200 cc 전후)을 채취하여 실험실로 옮긴 후 해양환경공정시험법(해양수산부, 1995)에 따라 분석하였다.

4. 생물 조사

피조개의 대량폐사에 관한 원인을 분석하기 위해서는 피조개 어장을 중심으로 저서에 분포하는 생물 및 먹이망 전반에 걸친 각 생물군의 기능과 역할을 규명해야만 정확한 폐사원인을 밝혀 낼 수 있을 것이다.

이러한 복잡한 생태계 내에서 각 생물군의 역할을 파악하고자 조사정점의 저서생물의 조사와 함께 수질환경의 조사를 동시에 동식물 플랑크톤의 정량, 정상적인 분포를 밝혀 폐사원인을 추정할 수 가 있다.

적절한 환경에서 피조개의 생존전략과 인위적인 대량양식을 행할 경우 자연 상태와는 또 다른 생물적, 무생물적인 요인으로 지금까지 알려진 바와 다른 영향을 주므로 피조개 대량폐사원인 규명을 더욱 어렵게 할 수도 있다.

본 연구에서는 남해 강진만과 대조구로 경남 거제시 장목면 구영리 지선의 생물조사를

수질조사와 동일한 정점에서 동식물 플랑크톤조사와 함께 일정량의 저질을 채취하여 저질에 살고 있는 저서생물을 조사하여 이화학변동요인과 함께 저서생물의 정성 정량을 분석하여 피조개의 대량폐사문제와 결부하여 해석하였다.

가. 재료 및 방법

저서생물의 채집을 위하여 남해 강진만과 거제 구영리의 9개 정점에서 입구면적 0.1m²인 Van Veen Grab을 이용하여 정점 당 1회씩 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 선상에서 망목 1mm인 체를 이용하여 해수로 빨을 씻어낸 후 체에 남겨진 생물은 10% 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하여 동정 계수하였다. 분류 및 동정은 Banse와 Hobson(1974), Hobson과 Banse(1981), 백(1989), 최(1990) 등의 자료를 이용하였다.

식물 플랑크톤은 해양생태계의 먹이체계에서 기초생산을 담당하는 중요한 생물군으로 이들의 분포와 변동은 동물플랑크톤 및 자치어 등 상위 영양단계의 생물군에 직접적으로 관련되어 있으므로 생태조사에서 우선적으로 실시되어야 할 항목이다. 식물플랑크톤의 정량·정성분석을 위하여 12개의 조사정점에서 투명도를 측정 후, Van Dorn 채수기를 이용하여 표, 저층에서 해수를 채수하여 1ℓ 폴리에틸렌병에 담고, Lugol solution으로 고정하여 실험실로 운반하여 48시간 이상 침전시켜 농축된 사료를 Sedgwick-Rafter 계수기에 넣어 현미경 하에서 개체수를 계수한 후 원래 해수 중의 현존량(cells/ℓ)으로 환산하였다. 식물플랑크톤의 분류·동정은 Cupp(1943), 小久保(1955), Hendey(1964), Simonsen(1974), Yamaji(1991), 심(1994) 등의 자료를 인용하였다.

동물 플랑크톤분석을 위한 조사는 식물 플랑크톤과 동일한 12개 조사정점에서 입구지름 45cm(면적:0.16m²), 망목크기 200μm인 net를 이용하여 저층에서 표층까지 수직으로 7m에 인하여 채집된 플랑크톤을 10% 중성포르말린으로 현장에서 고정하여 실험실로 옮긴 후 Bogorov chamber에 놓고 현미경 하에서 개체수를 계수한 후, 해수 중 현존량(indiv./m³)으로 환산하였다. 모악류의 동정은 박(1970), 요각류는 Mori(1964), 김(1985), 강(1994)과 전체 군별 분류는 Yamaji(1991)과 유(1995)등의 자료를 이용하였다.

5. 강진만 해수순환 및 용존산소 수치 모델링

가. 모델 개요

본 모델링은 사천만 남강댐의 방류에 따른 강진만의 염분 및 용존산소 변화에 대하여 예측·분석을 위한 수치 모델링을 수행하였다. 사용 모델은 미국 Hydroqual사에서 개방, 공개한 ECOM3D 모델로서 전세계 전문가들의 사용을 통하여 그 성능이 입증되어있다. ECOM3D 모델은 3차원 원시방정식을 유한차분법을 이용하여 적분하는 것으로 수직으로 시그마 좌표를 이용하고 있으며, 미국 프리스턴 대학교의 POM을 기반으로 하고 있다. 자세한 모델의 내역은 Kourafalou (1996a) or Fong (1998) 을 참조할 수 있다.

모델링을 위해 대상해역을 적절한 격자망 (95*126)으로 분할하고, 수직으로 11개 층을 가지고 있으며, 각 격자점에 해도에서 추출한 수심을 입력하여 강진만의 해저지형을 사실적으로 묘사하고 있으며, 모델수립 후 조위와 조류속의 모델링결과가 관측치와 잘 일치할 수 있도록 개방경계 조건 등의 입력 자료를 조정하여 검증하였다.

검증을 위해 조위의 경우 삼천포의 관측 자료를 사용하고 조류, 염분, 수온 및 용존산소량(DO)은 강진만의 2004년 하계 관측 자료를 이용하였다.

염분확산 모델링의 경우 염분 및 수온의 초기조건은 강진만의 2004년 하계 관측 자료를 활용하여 초기 조건을 부과하였으며, 용존산소 (DO) 변화 수치모델링은 해수 중 용존산소 (DO)의 농도 변화 예측을 위하여 초기 농도 및 표층의 폭기 효과와 바닥에서의 유기 퇴적물에 의한 산소 소모항을 포함하여 모델링 실험을 수행하였다.

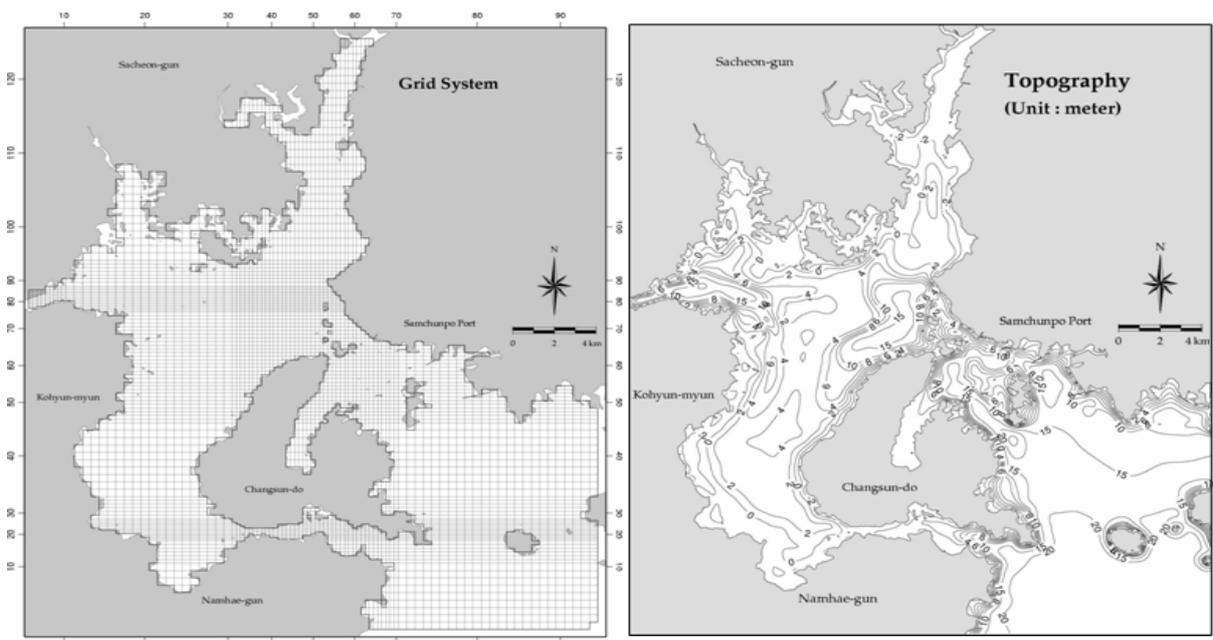


그림 3-10. Model grid system and topography in the Kangjin Bay.

나. 지배방정식 및 수치 해석

○ 이 모형은 2차원 난류 에너지 보존법칙을 적용하여 연직 운동량과 열 및 염분의 확산 계수를 산정함. 수평 격자망은 기존의 등간격 및 가변간격 격자망 이외에 직교 곡선 격자망을 사용할 수 있어 격자망을 크게 늘이지 않으면서도 관심 지역의 격자를 세밀하게 구성 가능. 또한 연직 방향으로 시그마 좌표계를 사용하여 계산영역 내에 수심 차가 큰 해역의 연직 해수유동 구조를 적절히 재현할 수 있음.

○ 자유수면이 $z = \eta(x, y, t)$, 바닥이 $z = -H(x, y)$ 인 직교좌표계에서 Boussinesq 및 정수압 가정을 사용하면 연속 방정식은 다음과 같음.

$$\nabla \cdot \bar{V} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0$$

○ 여기서, \bar{V} 는 (U, V) 성분을 갖는 수평 유속 벡터이고 ∇ 는 수평 구배 연산자임.

○ Reynolds 운동량 보존 방정식은 아래와 같음.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla U + W \frac{\partial U}{\partial Z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + F_X$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla V + W \frac{\partial V}{\partial z} - fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + F_Y$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z}$$

○ 여기서, ρ_o 는 기준 밀도, ρ 는 원위치에서의 밀도, g 는 중력가속도, P 는 압력, K_M 은 연직 운동량 난류 확산계수임. 코리올리 상수의 위도상의 변화인 f 는 β 면 근사의 사용으로 적용됨.

○ 수심 z 에서 압력은 운동 방정식의 수직 항을 z 에서부터 자유수면 η 까지 적분함으로써 얻을 수 있으며 여기서부터 대기압력 P_{atm} 는 상수로 가정함.

$$P(x, y, z, t) = P_{atm} + g\rho_o\eta + g \int_z^0 \rho(x, y, z', t) dz'$$

○ 수온과 염분에 대한 보존 방정식은 다음과 같음.

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla T + W \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F_T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla S + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S$$

○ 여기서, T는 가능 수온 (또는 천해역에 적용시에는 원위치에서의 수온)이며 S는 염분임. 열과 염분의 연직 운동량 난류 확산계수를 K_H 라고 함. 수온과 염분을 사용할 경우 밀도는 다음과 같은 Fofonoff(1962)에 의해 정의된 상태 방정식에 의하여 계산됨.

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

수산특정연구개발사업

○ 가능 밀도 ρ 는 대기압상에서 가능 수온과 염분의 함수로서 계산되는 밀도임. 이것은 압력 구배항에 입력되는 수평 경압 기울기와 압력 효과가 중요하게 되었을 때 심해에 난류 경계 모듈에 입력되는 물기둥의 연직 안정성을 계산하기 위한 정확한 밀도 정보를 제공함.

○ 3차원 이송-분산 방정식과 경계조건은 다음과 같음.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial UC_k}{\partial x} + \frac{\partial VC_k}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_{s,k})C_k}{\partial z} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

- 경계조건

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0, z \rightarrow n$$

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = E_k D_{k,z} \rightarrow -H$$

○ 여기서 C_k 는 부유물(DO) 농도이고 U, V, W 는 각 x, y, z 방향 유속이고, A_H 는 수평 확산계수, K_H 는 수직 와확산계수임.

○ 모형 격자(내부격자 크기)에 의해 직접 하는 것이 아니라 소규모의 과정에 의해 포함된 모든 운동들은 수평 혼합 과정의 향으로 모수화됨. 이 해결되지 않은 과정들과 분자 확산과 유사함을 나타내는 위의 식들에 포함되어 있는 F_x, F_y, F_T 과 F_S 는 아래와 같이 나타낼 수 있음.

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

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

$$F_{T,S} = \frac{\partial}{\partial x} \left[A_H \frac{\partial (T,S)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_H \frac{\partial (T,S)}{\partial y} \right]$$

○ F_x, F_y 는 좌표 회전 에 대해서 변하지 않음. 이들의 수평적인 확산항이 내부격자 크기의 과정들을 모수화하는 것을 의미하는 반면에 실제로는 수평 확산성분인 A_M 과 A_H 는 작은 크기의 계산상의 잡음을 감소시키는데 필요함. F_x, F_y 와 $F_{T,S}$ 는 변수 A_M 과 A_H 를 고려하지만 여태까지는 고정값으로 해왔음. 이 확산성분들은 실제 현상의 평활성을 지나치게 나타내지 않기 때문에 사용됨.

6. 피조개 환경 독성 실험

가. 수조 실험 재료 및 방법

우리나라의 피조개, *Scapharca broughtonii*는 1970년 중반 이후 자연채묘에 의한 중요 산업이 시작된 이래, 1980년대는 양식생산량과 수출물량이 지속적으로 증가하여 1988년도의 수출액은 143,244천불에 이르는 고부가 수출 전략 품종이었다. 그러나 최근에 이르러 양식생산량은 1990년도 17,758톤에서 2003년도에는 4,696톤(1990년 대비 26%)으로 급격히 감소하고 있는 실정이다. 피조개는 연안의 수심 5~50m의 모래나 펄 바닥에 서식하는 고급 품종으로 최근에는 연안어장의 노후화 및 오염으로 인해 생산량이 점차 감소하고 있는 추세이다.

서식지에서 염분은 해양에 서식하는 생물의 생리적 과정에 영향을 미치며, 특히 온도와 염분의 상호작용에 의해 먹이섭취 활동 및 성장률의 저하가 수반되고, 급격한 변화에는 체내에 조절 기작이 미약하여 생존에 위협할 수도 있다. 또한 수중내의 용존산소의 감소는 혐기성대사가 증가되며, 노출시간과 개체크기, 먹이이용 및 생식주기와 같은 생물학적 요인에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특히 패류의 경우에는 용존산소가 감소되면 에너지 사용을 최소화 하여 제한된 시간동안 저산소 및 무산소 상태에서도 생존할 수 있도록 생리적 반응을 조절한다.

환경내성의 정도는 생물이 서식하고 있는 서식생태에 따라 다르게 나타나므로, 본 연구는 피조개의 크기별로 수온, 염분을 각각 다르게 하여 생존율 등을 비교 조사하였다.

실험에 사용된 피조개 부착치패는 남해 강진만산 피조개 어미로부터 2004년 5월 20일과 6월 3일 2회에 걸쳐 수정란을 얻어 실내에서 사육한 부착치패(각장 1~3 mm), 치패(각장 1~2cm)와 남해 강진만산 성패(각장 5~8cm)를 2004년 8월 3일부터 15일간 *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros calcitrans*, *Monochrysis* sp.를 혼합하여 해수 1ml당 $3 \sim 5 \times 10^4$ cells/day 공급하여 실내사육 하면서 실험에 사용하였다. 실험 수온은 5, 10, 15, 20, 25, 30°C(염분: 30 psu), 염분은 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu(수온: $20 \pm 1^\circ\text{C}$)로 하였고, 크기는 부착치패 $2.9 \pm 1.3\text{mm}$, 치패 $1.2 \pm 0.4\text{cm}$ 및 성패 $6.8 \pm 1.3\text{cm}$ 를 사용하였다. 실험방법은 1L 비이커에서 지수식으로 하였으며, 실험기간동안 사망률을 측정하였으며, 생존율은 사망률을 계수 환산하여 구하였다.

수산특정연구개발사업

나. 호흡률 실험 재료 및 방법

(1) 시료 채집 및 보존

본 연구는 2005년 12월~2006년 3월까지 경상남도 남해군 상주면 상주리 국립수산과학원 패류연구센터에서 사육중인 피조개 치패를 대상으로 실험을 수행하였다. 연구기간 중 사용된 피조개 치패의 개체 수는 총 520개체(19.3 ± 0.4 mm, 1.4 ± 0.2 g)이며, 채집된 피조개는 실험실로 운반하여 순환여과식 수조에 순치시켜 실험 전까지 안정된 상태를 유지시켰다. 실험은 BOD incubator (VS-1203P5N-0, Vision Scientific Co., LTD, Korea)에서 수행되었다. 수온은 사육시의 수온과 유사하게 17.0 °C로 유지하였으며, 섭이에 따른 신진대사의 영향을 최대한 줄이기 위하여 실험대상 생물은 절식상태를 유지하며 어두운 상태(constant darkness-DD)에서 실험하였다. 실험기간 중 측정시스템 내에서 일어나는 박테리아 또는 다른 생물들에 의한 산소소비 요인의 가능성을 제거하기 위하여, 실험용수는 멤브레인 펌프(KNF-ND 100, Neuberger, Germany)에 Saritorius capsule filter (input $0.2\mu\text{m}$, output $0.1\mu\text{m}$, Germany)로 여과하여 사용하였다. 실험 종료 후, 모든 개체는 버어니어 캘리퍼스와 전자저울(MW120, Cas, Korea)을 이용하여 각각 전장 및 전중량을 측정하였다.

(2) 실험 방법

용존산소(DO) 농도에 따른 의한 실험생물의 호흡생리영향을 알아보기 위해 농도를 1.0~10.0, 5.0~15.0, 15.0~25.0, 25.0~35.0% 의 4단계로 구분하여 사용하였다. 산소소비율 측정 실험은 자동호흡측정기(Automatic Intermittent Flow Respirometer : AIFR)를 사용하였으며, 그 개요는 그림 3-11에 나타내었다. 측정시스템 내의 물 흐름을 연결하는 관(tube)은 대기로부터의 공기 유입을 차단하기 위하여 관 벽에 두꺼운(2mm) Tygon 튜빙(R-3603, U.S.A)을 사용하였으며, 측정시스템 내의 유량 조절(345 ml/min)은 magnetic drive gear pump(MS-Z, ISMATEC, Switzerland)를 이용하였다. 측정용기는 0.3 l 용량의 원형 아크릴 용기를 사용하였으며, 각 용기별로 10개체의 대상생물을 넣고 실험하였다. 염분은 염분계(LF 320, WTW, Germany)를 사용하여 실험 전·후 농도를 확인하였다. 실험과정 중 측정 시스템 내에서 수온(°C), 대기압(hPa) 및 산소포화 농도(%)는 각각의 센서에서 연속적으로 측정하였다. 이때 사용된 수온 센서(Farnell, Pt-100,

Germany)는 자체적으로 calibration하여 사용하였으며, 대기압 센서(Sensym-Hs 20, Farnell, Germany)는 측정 시스템 내에 부착되어 있어 모든 시스템이 자동으로 측정된다.

압력(대기압 $P_{atm} = 1기압 = 1013\text{ mbar} = 1013\text{ hPa}$) 및 수온과 염분에 따른 산소포화 농도, $K_{O_2}(ml/l)$ 는 다음과 같은 수식을 이용하였다(Weiss, 1970).

$$\ln K_{O_2} = A_1 + A_2 (100/T) + A_3 \ln(T/100) + A_4 (T/100) + S_{\%} ((B_1 + B_2 (T/100) + B_3 (T/100)^2))$$

여기서, $T(^{\circ}C)$ 는 실험 과정 중 측정된 수온, S 는 염분($\%$)이며, A 와 B 는 상수로서 다음과 같다.

$$A_1 = -173.4292, A_2 = 249.6339, A_3 = 143.3483, A_4 = -21.8492,$$

$$B_1 = -0.033096, B_2 = 0.0142959, B_3 = -0.0017000.$$

측정상태(V_R)의 산소농도(mg/l)는 아래와 같이 표준상태(V_{STD})와의 관계로 추정하였다.

$$V_R = V_{STD} (1013\text{ hPa}/P_{atm}) \times (T/273.15K)$$

여기서, T 는 수온, $P_{atm}[hPa]$ 은 실험 과정 중 측정된 대기 압력을 나타낸다(Mortimer, 1983).

$O_2 (mg/l)$ 와 $O_2 (ml/l)$ 관계는 Forstner and Gnaiger (1983)에 의해서

$$K_{O_2} (mg/l) = K_{O_2} (ml/l) \times 1.429$$

의 수식을 이용하여 산출하였다.

생물의 산소소비율은 매초마다 산소센서에 의해서 감지되어 90초에 한번씩 측정된다. 측정된 결과는 위에 설명한 수식으로 컴퓨터를 통해 산술평균 되어 시간당 평균 산소 소비율($ml\ O_2\ h^{-1}$)의 형태로 계산되며, 모니터 상에는 한 개의 점으로써 표시된다. 이와 같이 시스템 내에서는 생물의 산소소비율이 측정되는 모든 과정 즉, 현재의 실험시간(local time), 포화산소농도($\%$), 산소소비율($ml\ O_2\ h^{-1}$), 온도($^{\circ}C$), 대기압력(hPa) 자료 등의 정보

수산특정연구개발사업

가 ASCII file의 형식으로 컴퓨터에 자동 저장된다. 또한 위에 열거된 모든 수식과 기기의 작동은 자동적으로 visual basic (windows) program을 통해 조절되며, 모든 자료를 저장할 수 있는 프로그램으로(RESCON program) 자체 제작하였다. 더불어 본 실험의 산소소비율 측정과 관련된 측정원리와 수식은 Dorrien (1993)과 Kim (1996; 1997; 1998)에 상세히 설명되어 있다.

연속적으로 측정된 수온 및 산소소비 자료는 KaleidaGraphy custom program (Macintosh, Synergy Software)을 사용하여 그래프로 나타내었다. 또한 연속적인 시간 경과에 따른 피조개의 산소소비 과정을 분석하기 위해 모든 자료는 2%의 유의수준 범위 내에서 가중 이동 평균 곡선(weighted smooth curve)으로 처리하여 도식화 하였으며, 실험 경과 시간에 따른 수온 및 생물의 산소소비 양상을 분석하는 tool로 사용하였다.

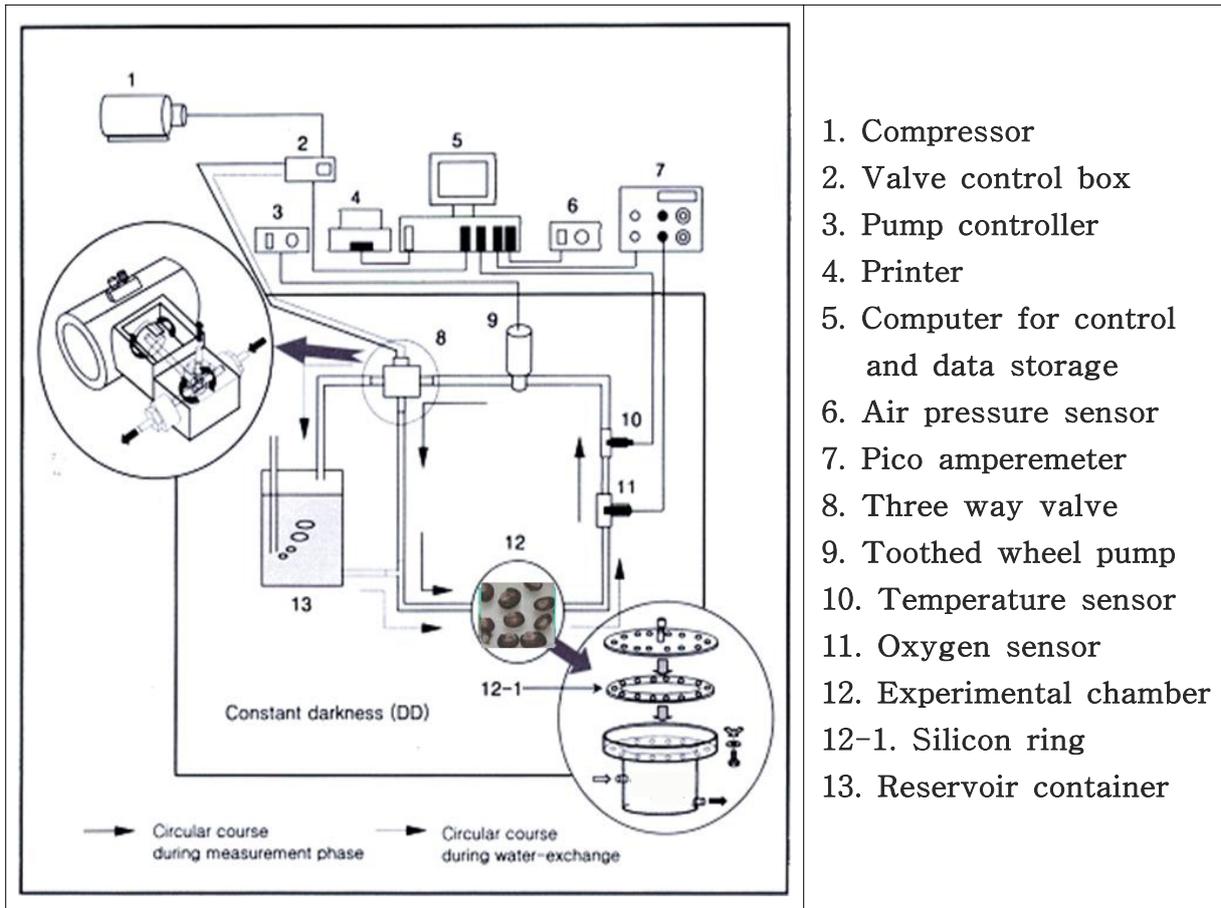


그림 3-11. 실험에 이용된 자동 호흡률 측정기의 모식도.

제 3 절 연구수행 결과

1. 실시간 자료 생산 통계

가. 수질 관측 결과

YSI를 이용하여 수온, 염분, 용존산소를 관측하였고(2004년은 pH 관측), Hydrolab으로 수온, 염분, 용존산소, pH, 클로로필, 탁도를 측정 한 수질자료의 생산 통계를 보면 2006년 7월 20일을 기준으로 YSI 106,891개, Hydrolab 12891개의 수질 자료를 관측하였고, YSI의 경우 90%이상의 자료생산율을 기록한 월도 있는 반면 모니터링 시스템의 보수 및 개발로 인해 자료 생산이 저조한 월이 있어 평균 70%의 자료생산율을 보였다. 자료 생산이 최대인 월은 2005년 3월로 수질자료 4,472개, 자료생산율 100.18%이고, 최저인 월은 2004년 10월로 수질자료 366개, 자료생산율 8.20%를 보였다(표 3-2, 3-3).

표 3-2. 연도별 수질 자료 생산 통계

장비	년도	기간	Temp.	Sal.	D.O.	pH	Chl.	Turb.
YSI600	2003	9.25~12.12	4155	4155	4155	-	-	-
	2004	1.11~12.31	40810	40810	40810	28567	-	-
	2005	1. 1~12.31	42091	42091	42091	-	-	-
	2006	1. 1~ 7.20	19805	19805	19805	-	-	-
	소계		106891	106891	106891	28567	-	-
Hydrolab	2003	10.23~12.12	4368	4368	4368	4368	4368	4368
	2004	1.11~12.31	6930	6930	6930	6930	6930	6930
	2005	1. 1~ 7.31	1194	1194	1194	1194	517	481
	2006	1. 1~ 7.20	399	399	399	399	-	-
	소계		12891	12891	12891	12891	11815	11779

수산특정연구개발사업

표 3-3. 월별 수질 자료 생산 통계

년도	월	YSI600(개)	자료생산율(%)	비고(Hydrolab)
2003년	9	564	13.06	-
	10	366	8.20	264
	11	1664	38.25	2438
	12	1561	34.97	1666
	소계	4155	23.65	4368
2004년	1	2450	54.88	3024
	2	799	19.82	859
	3	1783	39.94	2160
	4	3358	77.73	-
	5	2882	64.56	-
	6	4168	96.48	479
	7	4464	100.00	110
	8	4464	100.00	82
	9	4011	92.95	91
	10	4261	95.45	90
	11	4031	93.31	-
	12	4169	93.39	35
	소계	40840	77.70	6930
2005년	1	4173	93.48	21
	2	3890	96.48	110
	3	4472	100.18	153
	4	4278	99.03	-
	5	4442	99.51	-
	6	4317	99.93	229
	7	3965	88.82	130
	8	3068	68.73	146
	9	3653	84.56	206
	10	3146	70.47	-
	11	1640	37.96	128
	12	1047	23.45	71
	소계	42091	80.08	1194
2006년	1	4455	99.80	-
	2	1835	45.51	116
	3	1484	33.24	44
	4	3337	77.25	114
	5	2526	56.59	-
	6	4062	94.03	68
	7	2106	47.18	57
	소계	19805	64.87	399
총계		106891	69.76	12891

나. 정점별 수직 관측 자료

2004년 6월 6일부터 현재(2006년 7월 12일)까지 거의 매월 강진만의 14개 정점에서 총 23회의 수직 Profile을 관측하였다. 남강댐 방류수의 영향을 알기위해 진주만 일대 3개의 정점은 총 4회(2005년 6월, 7월, 8월, 2006년 7월) 관측하였고, 2006년 2월 13일에 동계 강진만내 냉수분포를 알아보기 위해 창선수로의 4개 정점에서 관측을 하였다. 1회 관측 시 평균 96개의 자료를 생산하였다(표 3-4).

표 3-4. 정점별 자료 취득개수

관측회수	관측일자	강진만		진주만 CJ-(3)	창선수로 CS-(4)	소계
		N-S (10)	E-W (5)			
1	04. 6. 6	78	31	-	-	109
2	04. 6.19	75	31	-	-	106
3	04. 7.13	77	33	-	-	110
4	04. 8.25	51	31	-	-	82
5	04. 9.22	69	22	-	-	91
6	04.10.15	68	22	-	-	90
7	04.12.10	21	14	-	-	35
8	05. 1.12	21	-	-	-	21
9	05. 2.23	59	51	-	-	110
10	05. 3.22	102	51	-	-	153
11	05. 6. 4	69	22	-	-	91
12	05. 6.17	72	36	30	-	138
13	05. 7.12	83	20	27	-	130
14	05. 8.15	93	31	22	-	146
15	05. 9. 4	95	28	-	-	123
16	05. 9.26	65	18	-	-	83
17	05.11. 7	97	31	-	-	128
18	05.12.25	48	23	-	-	71
19	06. 2.13	50	32	-	34	116
20	06. 3.15	44	-	-	-	44
21	06. 4.29	85	29	-	-	114
22	06. 6.10	56	12	-	-	68
23	06. 7.12	34	15	8	-	57
총계		1512	583	87	34	2216

수산특정연구개발사업

다. 유숙 자료

연구지역 정점1에서 관측된 연구기간 내 생산된 총 유항유숙 자료는 93,050개로 2004년(10개월간)에 35,049개, 2005년 42,579개 이고, 2006년(7개월간) 15,488이다. 관측기간 평균 73.2%의 자료생산율을 보였다. 연구지역 정점 2에서 2005년 4월부터 8월까지 관측된 유항유숙 자료는 총 14,805개가 관측되었고, 평균 67.2%의 자료생산율을 보였다. 자료생산이 최대인 월은 2005년 10월로 4,465개, 자료생산율 100.02%이고, 최저인 월은 2004년 10월로 유항유숙자료 405개, 자료생산율 9.07%이다(표 3-5, 3-6).

표 3-5. 정점 1 (바야지 1)에서의 월별 유항유숙 자료 생산 통계

장비	년도	월	유항, 유숙	자료 생산율 (%)	
RCM9 (정점1)	2004	3	1914	42.88	
		4	3578	82.82	
		5	4449	99.66	
		6	4316	99.91	
		7	4448	99.64	
		8	4453	99.75	
		9	3927	90.90	
		10	405	9.07	
		11	3097	71.69	
		12	4462	99.96	
	소계			35049	79.54
	2005	1	4456	77.82	
		2	4032	100.00	
		3	4462	99.96	
		4	4314	99.86	
		5	4455	99.80	
		6	4306	99.68	
		7	4324	96.86	
		8	1965	44.02	
		9	3937	91.13	
		10	4465	100.02	
		11	807	18.68	
		12	1056	23.66	
	소계			42579	81.01

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

	2006	1	1752	38.25
		2	621	15.40
		3	1801	40.34
		4	3338	77.27
		5	1742	39.02
		6	4062	94.03
		7	2106	47.18
	소계		15488	50.52
총계		93050	73.18	

표 3-6. 정점 2 (바야지 1)에서의 월별 유향유속 자료 생산 통계

장비	년도	월	유향, 유속, 수온, 염분	자료 생산율 (%)
RCM9 (정점2)	2005	4	928	21.48
		5	4464	100.00
		6	4282	99.12
		7	4322	96.84
		8	809	18.12
Total			14805	67.19

라. 기상 자료

2004년 3월부터 2006년 7월까지 자동기상관측 시스템에서 관측된 기상자료는 총 96,490개의 기상자료를 관측하였고, 2004년(10개월간) 31,816개, 2005년 45,618개, 2006년(7개월간) 19,056개의 기상자료를 관측하였다. 관측기간의 자료생산율은 평균 75.9%이다. 자료생산이 최대인 월은 2004년 7월, 2005년 5월, 2005년 10월로 자료 4464개, 자료생산율 100%이고, 최저인 월은 2004년 3월로 자료 430개, 자료생산율 9.63%이다(표 3-7).

수산특정연구개발사업

표 3-7. 자동기상관측 시스템에 의한 기상관측 자료 통계

장비	년도	월	기온, (순간)풍속, 풍향, 습도, 기압, 태양복사량	자료 생산율 (%)	
AWS	2004	3	430	9.63	
		4	968	22.41	
		5	3223	72.20	
		6	4317	99.93	
		7	4464	100.00	
		8	4462	99.96	
		9	4318	99.95	
		10	2077	46.53	
		11	3094	71.62	
		12	4463	99.98	
	소계			31816	72.20
	2005	1	4462	99.96	
		2	4031	99.98	
		3	4462	99.96	
		4	4317	99.93	
		5	4464	100.00	
		6	4318	99.95	
		7	4463	99.98	
		8	4459	99.89	
		9	4317	99.93	
		10	4464	100.00	
		11	808	18.70	
		12	1053	23.59	
		소계			45618
		1	4461	99.93	
		2	1638	40.63	
		3	1836	41.13	
		4	3211	74.33	
		5	1742	39.02	
		6	4062	94.03	
		7	2106	47.18	
	소계			19056	62.42
총계			96490	75.89	

2. 현장 실시간 모니터링 결과

가. 수질 관측 결과

관측된 수온은 관측시기별로 다소 차이는 있으나, 각 계절별 변동을 모두 잘 보여주고 있다. 수온은 04년과 05년 동계(04.1.26/05.2.2)에 최저 1.9°C로 관측되었고, 06년도(06.1.10) 동계에는 2.5°C로 관측되었다. 04년도 8월 평균 26°C로 나타났으나 05년도에는 약 3°C 감소한 23°C로 나타났다. 2월 평균 4.3°C, 8월 평균 24.1°C로 연교차가 약 20°C 이상 비교적 크게 나타났으며 연 평균 수온은 13.0°C이다. 염분의 경우 하계를 제외한 다른 계절은 30~33 psu 이지만 남강댐 방류량이 많았던 04년도 하계(6~9월)의 경우에는 최저 10.63 (04.8월)까지 감소하고, 변동 폭은 10~32 psu로 범위가 크게 나타났다. 06년도 7월 평균 염분이 26.4 psu까지 감소하였다. 반면 남강댐 방류량이 거의 없었던 05년도 하계의 염분은 약 30 psu로 큰 변화를 나타내지는 못하였다. 염분의 동계와 하계 평균은 각각 32.4, 28.7 psu이고, 연평균 염분은 31.5 psu이다. 용존산소의 경우 동계 평균 9~10 mg/l로 높게 나타났고, 하계 평균 4~5 mg/l로 타났다. 월별 최소값은 2004년 6~10월에 3 mg/l 이하로 나타났고, 2004년 7, 8월과 2005년 7월에는 1 mg/l 이하로 관측되었다. 05년도에는 8~9월, 06년도의 경우 7월에 3 mg/l 이하로 나타났다. 하계 적조 발생 시기(6월 말~7월말)에는 12 mg/l 까지 증가한 바 있고, 이후 태풍을 전후하여 용존산소의 급격한 증감이 발생하였다(그림 3-12, 3-13, 3-14, 표 3-8).

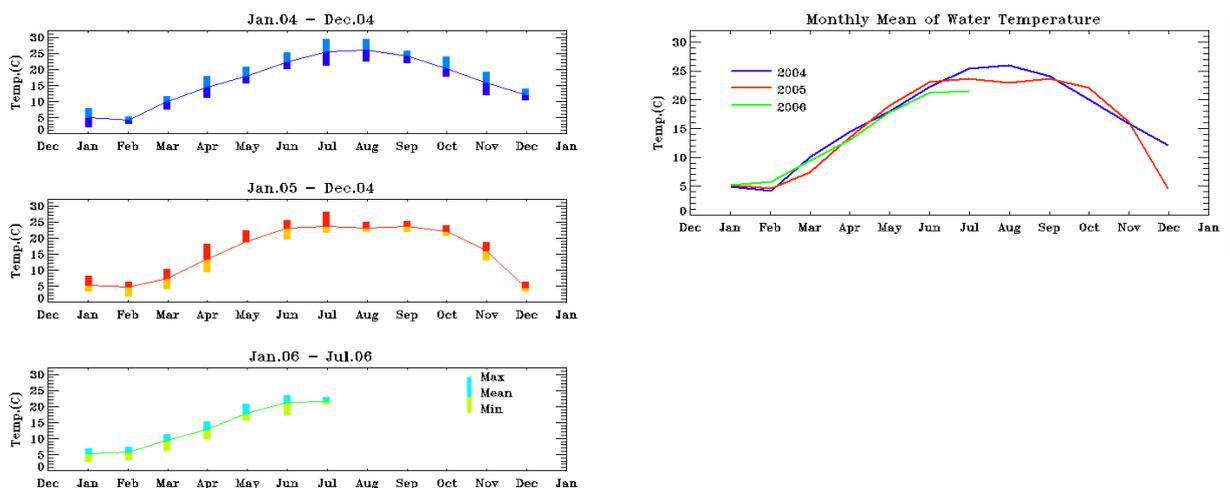


그림 3-12. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 수온 변동

수산특정연구개발사업

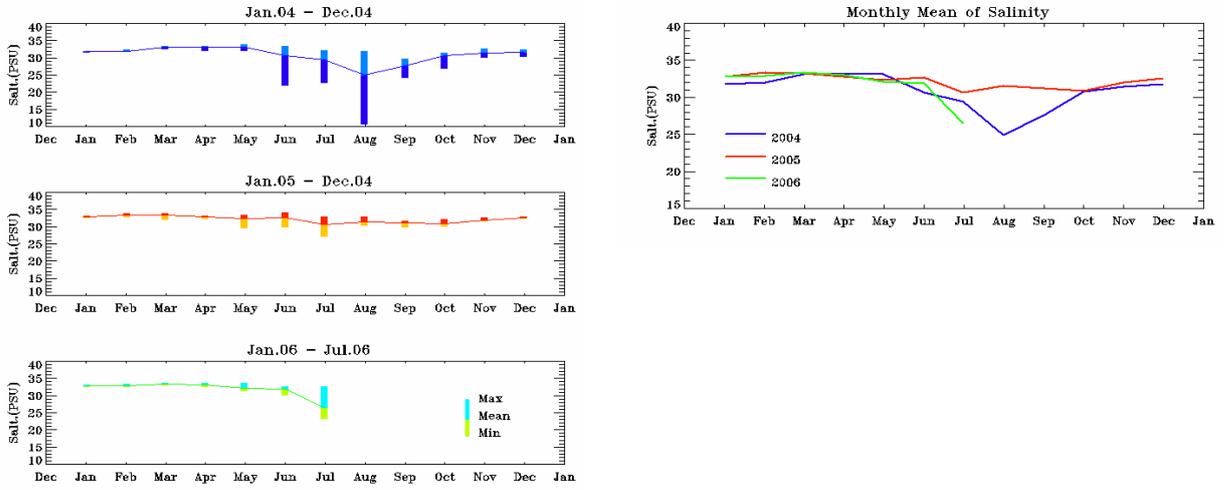


그림 3-13. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 염분 변동

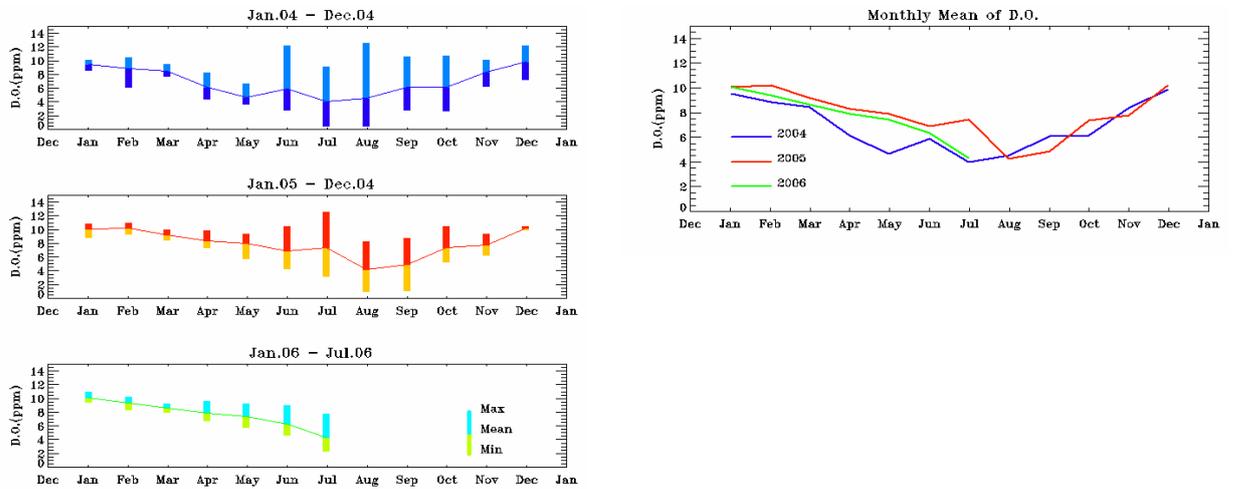


그림 3-14. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 용존산소 변동

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

표 3-8. 장진만의 수온, 염분, 용존산소 관측 결과

YSI600		수온 (°C)			염분 (psu)			용존산소 (mg/l)		
연도	월	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
2004	1	2.04	7.80	4.86	31.60	31.97	31.82	8.65	10.1	9.51
	2	3.13	5.22	4.13	31.91	32.42	31.98	6.17	10.4	8.83
	3	7.68	11.44	9.97	32.67	33.26	33.14	7.70	9.41	8.44
	4	11.30	17.87	14.39	32.07	33.43	33.08	4.47	8.21	6.16
	5	15.81	20.80	17.87	32.22	33.92	33.08	3.67	6.59	4.66
	6	20.22	25.06	22.26	22.13	33.42	30.67	2.79	12.2	5.87
	7	21.29	29.40	25.33	22.81	32.08	29.44	0.48	9.07	4.02
	8	22.62	29.33	26.00	10.63	31.92	24.89	0.55	12.6	4.53
	9	22.06	25.72	24.10	24.37	29.55	27.63	2.79	10.6	6.10
	10	17.92	23.92	20.07	26.99	31.43	30.71	2.74	10.7	6.18
	11	12.17	19.06	15.86	30.09	32.66	31.48	6.32	10.1	8.41
	12	10.37	13.78	12.04	30.45	32.29	31.73	7.31	12.2	9.84
	평균		13.88	19.12	16.41	27.33	32.36	30.80	4.47	10.18
2005	1	3.40	8.26	5.24	32.64	33.08	32.84	8.81	10.8	10.1
	2	1.90	6.24	4.66	32.85	33.89	33.32	9.33	11.0	10.2
	3	4.29	10.30	7.32	32.17	33.94	33.29	8.48	10.0	9.18
	4	9.38	18.01	13.35	32.37	33.07	32.80	7.37	9.82	8.34
	5	18.63	22.24	18.83	29.70	33.37	32.30	5.77	9.38	7.93
	6	19.59	25.50	23.03	30.04	34.15	32.71	4.30	10.4	6.92
	7	21.75	28.06	23.69	27.31	32.76	30.65	3.25	12.5	7.40
	8	21.97	24.80	22.97	30.29	32.76	31.50	0.93	8.26	4.24
	9	21.97	25.31	23.58	30.03	31.75	31.18	1.09	8.68	4.89
	10	20.59	23.75	22.09	30.11	32.17	30.93	5.32	10.4	7.34
	11	12.99	18.63	16.10	31.63	32.50	31.96	6.31	9.31	7.75
	12	3.33	6.35	4.55	32.36	32.76	32.56	9.91	10.5	10.2
	평균		13.32	18.12	15.45	30.96	33.02	32.17	5.91	10.09
2006	1	2.90	6.70	5.19	32.59	33.02	32.79	9.52	11.0	10.1
	2	3.38	7.34	5.76	32.65	33.24	32.93	8.41	10.2	9.38
	3	6.36	11.24	9.33	33.02	33.66	33.40	7.94	9.25	8.64
	4	10.06	15.27	12.94	32.52	33.65	33.01	6.79	9.57	7.88
	5	15.73	20.59	17.78	31.32	33.52	32.08	5.78	9.22	7.43
	6	17.31	23.33	21.12	30.21	32.73	31.86	4.69	8.98	6.32
	7	20.67	22.95	21.42	23.16	32.74	26.47	2.30	7.79	4.30
	평균		10.92	15.35	13.36	30.78	33.22	31.79	6.49	9.43
평	균	12.99	17.88	15.35	29.51	32.81	31.56	5.48	9.98	7.45

수산특정연구개발사업

나. 정점별 수직 관측 결과

매 월 정점별 수직 관측 결과 동계에는 강한 바람의 영향으로 수직 혼합이 우세하게 나타나 상하층간 수온, 염분, 용존산소의 구배는 나타나지 않았다. 반면 하계에는 태풍을 전후하여 댐 방류수가 만내로 유입됨에 따라 표층부터 수심 약 3 m를 전후하여 염분과 용존산소의 구배가 뚜렷하게 나타나고 있다. 06년 7월 태풍 직후 관측한 자료를 보면 염분의 경우 표층이 약 10 psu를 나타내고 있고, 저층에서는 약 28~30 psu를 보이고 있어 수직적으로 상당히 안정된 상태를 보이고 있다. 용존산소는 표층이 약 8 mg/l, 저층이 약 3 mg/l로 상하층간 5 mg/l 이상의 차이가 나타났다(그림 3-15).

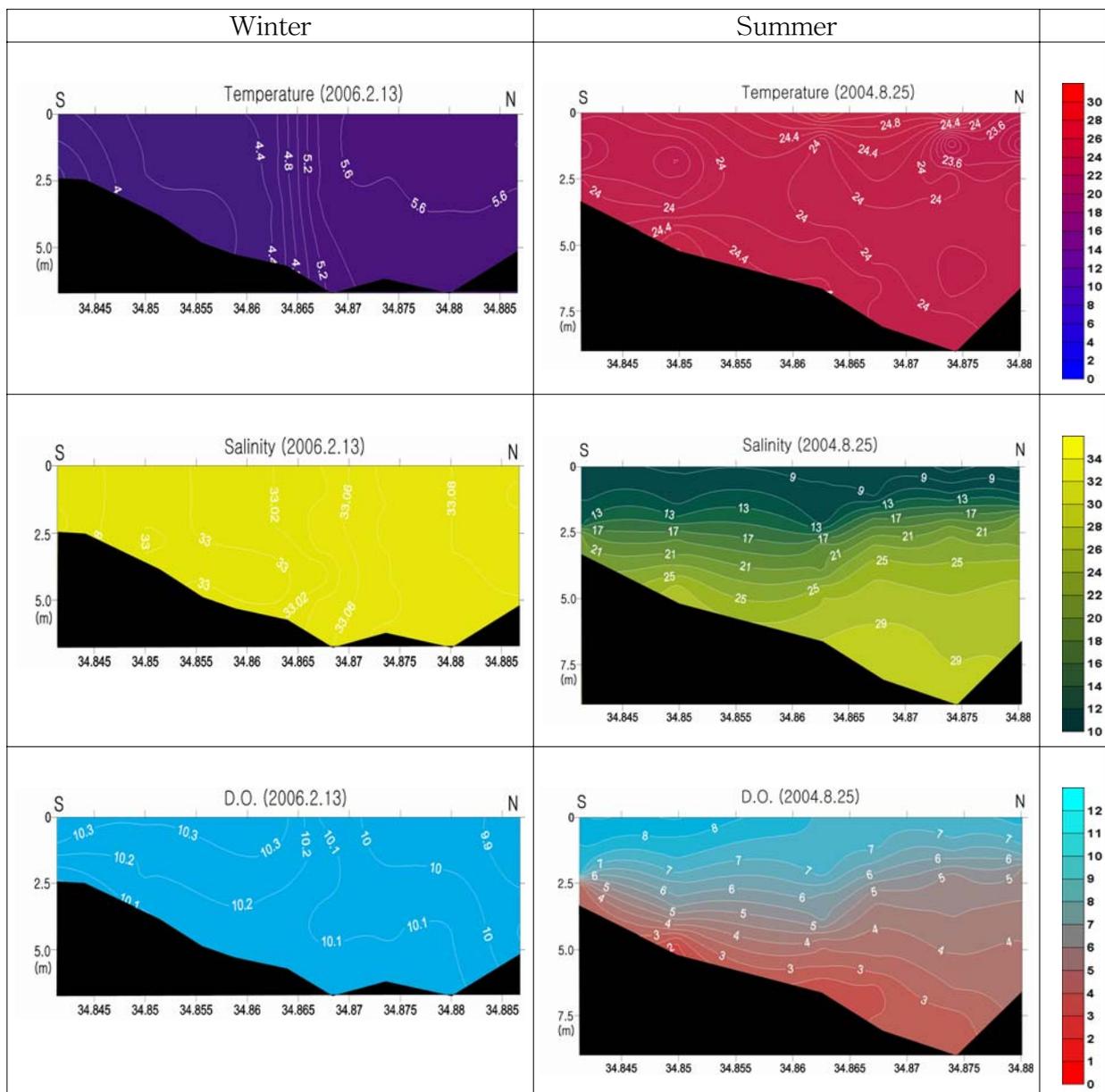


그림 3-15. 연구해역에서 수온, 염분, 용존산소의 겨울철, 여름철의 남북방향 수직 단면도

다. 조류 관측 결과

연구해역에서의 유속 분포는 북북동, 남남서 방향의 흐름이 주를 이루고 있다. 하계 태풍(6~9월)을 전후한 댐 방류시기를 제외하고는 조류에 의한 유속 분포를 잘 보여주고 있다. 춘 추계 시기의 대조시 유속은 동계보다 작게 나타나지만 소조승에서의 유속은 동계보다 크게 나타났다. 최대 유속은 창조시 북북동 방향으로 37.1 cm/sec, 낙조시 남남서 방향으로 32.5 cm/sec로 관측되었다. 04년 8월 U 성분의 평균 유속은 동-서 방향의 흐름 각각 5.97, 5.19 cm/sec이고, V 성분은 남-북 각각 7.22, 9.02 cm/sec이다. 05년 2월 U 성분의 평균 유속은 동-서 각각 9.21, 7.32 cm/sec, V 성분은 남-북 10.05, 11.11 cm/sec로 나타났다. 전반적으로 낙조시 남남서 방향으로의 흐름 보다 창조시 북북동 방향으로의 흐름이 더 강하게 나타났다(그림 3-16, 3-17, 표 3-9, 3-10).

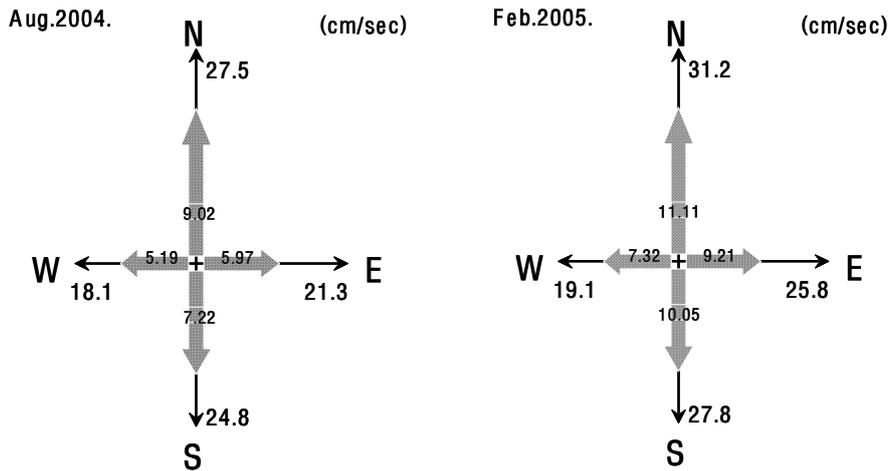


그림 3-16. 강진만 바야지 1에서의 하계/동계의 최대유속 및 평균유속

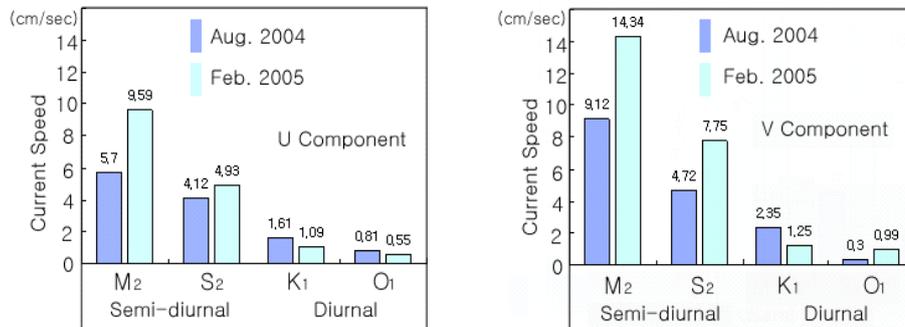


그림 3-17. 강진만 바야지 1에서의 U, V성분의 4대 분조

수산특정연구개발사업

표 3-9. 강진만 바아지 1에서의 월별 유속 분포

바아지 1		유속 (cm/sec)		U성분 (cm/sec)			V성분 (cm/sec)		
연도	월	최대	평균	서(-)	동(+)	평균	남(-)	북(+)	평균
2004	3	37.1	11.2	18.3	21.2	-0.1	31.3	34.1	0.6
	4	38.6	13.0	19.6	18.9	-0.0	30.2	35.6	0.1
	5	33.2	10.9	17.1	18.1	-1.0	28.5	31.0	-0.9
	6	27.3	10.1	18.7	15.8	-1.0	25.7	25.3	-0.6
	7	29.8	10.2	18.9	14.8	-1.8	26.1	27.6	-1.3
	8	35.2	10.8	27.3	22.5	-0.4	32.6	31.7	1.2
	9	28.8	10.3	19.6	16.5	-0.9	26.2	24.6	0.2
	10								
	11	35.4	13.5	19.7	33.4	-1.1	26.9	30.7	0.2
	12	31.9	11.4	17.1	17.5	-0.7	27.1	27.1	0.1
	평균	33.03	11.27	17.63	17.87	-0.78	25.46	26.77	-0.04
2005	1	34.3	12.3	19.1	19.5	-1.1	27	29.2	0.71
	2	37.8	13.0	22.6	20.2	-0.8	30	33.0	0.36
	3	39.8	13.5	23.3	23.2	-0.3	31	35.0	0.35
	4	37.8	14.9	20.8	21.7	0.2	32	33.0	0.66
	5	31.9	12.8	21.2	20.7	0.6	24	26.3	0.03
	6	31.9	12.8	22.7	20.9	-0.0	25	27.0	0.00
	7	41.0	13.3	27.0	32.6	-0.7	30.0	35.4	-0.1
	8	39.3	13.3	27.0	20.1	-0.1	31.0	33.9	-0.3
	9	36.6	11.8	24.0	21.4	-1.0	28.0	31.3	0.08
	10	37.6	12.0	23.0	19.0	-1.3	30.0	30.7	0.32
	11	29.8	15.7	18.0	17.8	-1.6	24.0	24.5	0.2
	12	30.5	10.6	17.0	15.8	-0.3	24.0	27.4	0.94
		평균	34.48	12.21	19.98	19.54	-0.64	26.79	28.75
2006	1	32.8	12.5	22.0	24.8	-1.0	26.0	27.7	0.52
	2	41.1	15.1	20.0	22.1	-0.3	34.0	36.4	-0.2
	3	42.5	15.2	23.0	21.6	-0.1	35.0	38.8	1.16
	4	38.6	13.5	34.0	30.5	0.84	32.0	33.3	1.63
	5	33.7	13.9	26.0	26.4	0.8	28.0	30.2	0.2
	6	37.6	11.8	25.0	37.0	0.44	36.0	31.7	0.47
	7	41.6	12.7	31.0	30.3	0.15	33.0	37.5	-1.1
		평균	38.27	13.53	25.86	27.53	0.12	32.00	33.66
평	균	35.48	12.58	22.25	22.30	-0.51	29.09	31.07	0.14

표 3-10. 강진만 바아지 2에서의 월별 유속 분포

바아지 2		유속 (cm/sec)		U성분 (cm/sec)			V성분 (cm/sec)		
연도	월	최대	평균	서(-)	동(+)	평균	남(-)	북(+)	평균
2005	4	35.2	15.8	19.2	17.7	-4.8	32.1	34.9	1.20
	5	34.7	11.7	34.5	23.3	-2.8	29.5	33.7	1.00
	6	34.7	12.8	23.1	14.1	-2.8	34.7	34.7	1.35
	7	35.6	10.2	16.2	10.0	-1.6	31.2	26.7	0.03
평	균	35.1	12.6	23.62	16.31	-3.05	32.16	32.51	0.91

라. 해양 기상 관측 결과

관측 기간 중 기온의 최대값은 04년 7월 38.49℃, 최저값은 06년 2월 -6.8℃로 관측되었고, 일평균값은 04년도 7월에 29.16℃로 가장 높고 06년도 2월에 -4.71℃로 가장 낮았으며, 연 평균값은 14.4℃로 관측되었다. 월 평균 태양복사량은 봄철인 4,5월에 약 270~310 W/m²으로 가장 높게 나타났고, 겨울철이 상대적으로 낮게 나타났다. 연 평균 태양복사량은 약 200 W/m²으로 관측되었다. 강수량이 많은 하계에는 월 평균 습도가 80% 이상으로 나타났다. 기압은 태풍이 지나가는 시기인 하계 6~9월에는 1000 hPa 이하로 관측되었고, 여름철 8월에 최대 1013 hPa 최소 980.6 hPa, 겨울철 2월에 최대 1035 hPa 최소 1009.0 hPa로 관측되었으며 연평균기압은 1013.7 hPa로 봄과 여름에 낮고 상대적으로 가을, 겨울에 높게 나타났다. 관측 기간 중 평균 풍속은 3.78 m/s였으며 여름철인 7월에 태풍 통과시 최대 풍속이 18.8 m/s로 겨울철인 2월의 최대 풍속 15.9 m/s보다 높게 나타났으나, 월 평균 풍속은 겨울철과 봄철이 여름과 가을보다 높게 나타났다. 하계의 기온과 풍속은 1일주기와 반일 주기가 강하며, 기압은 약 14일 주기가 우세하게 나타났다. 동계의 기온은 10.28일, 5.54일, 4일 주기가 우세하며, 풍속과 기압은 14.4일 주기가 우세하게 나타났다(그림 3-18 ~ 3-23, 표 3-11, 3-12).

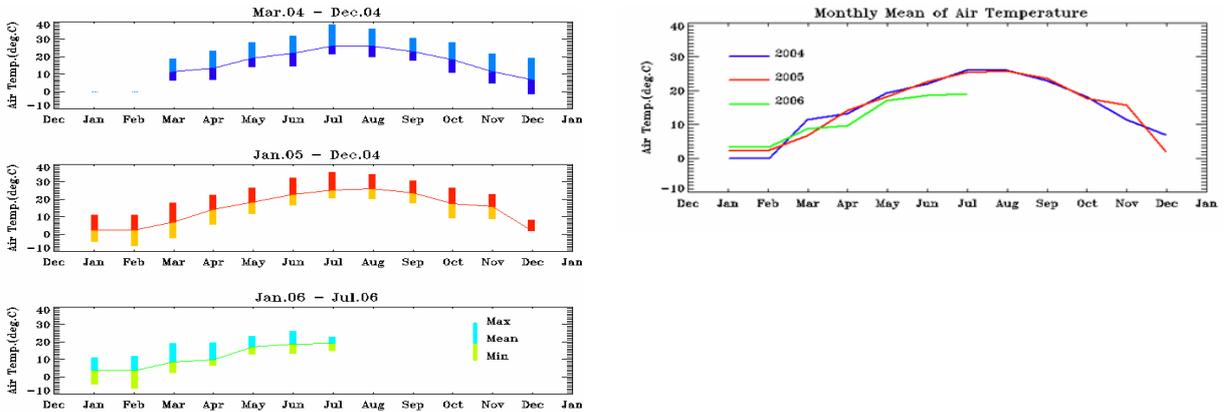


그림 3-18. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 기온 변동

수산특정연구개발사업

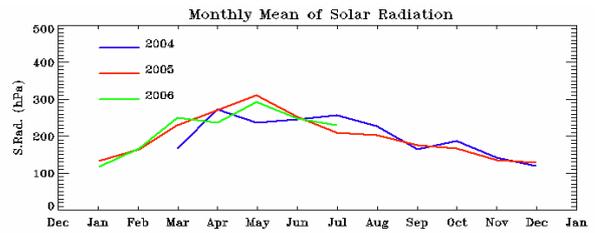
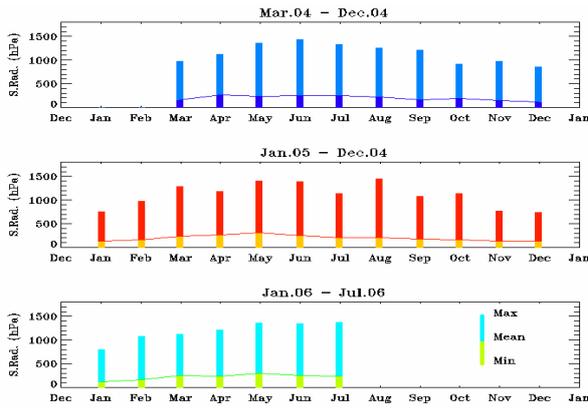


그림 3-19. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 태양복사량 변동

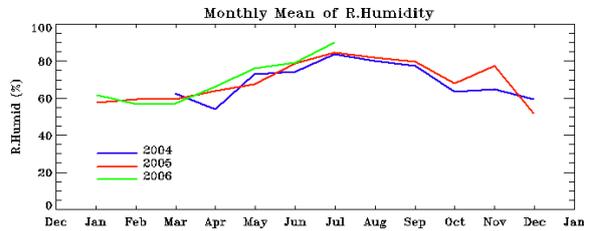
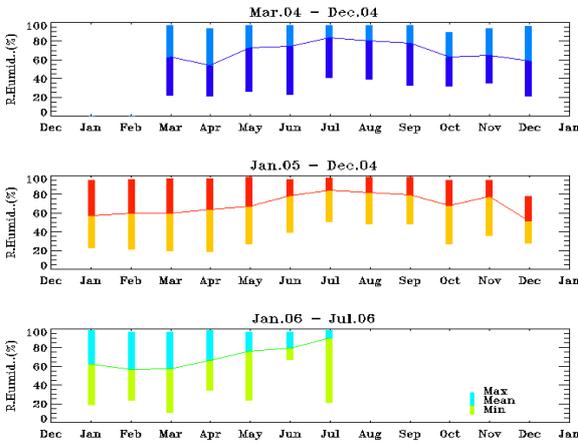


그림 3-20. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 습도 변동

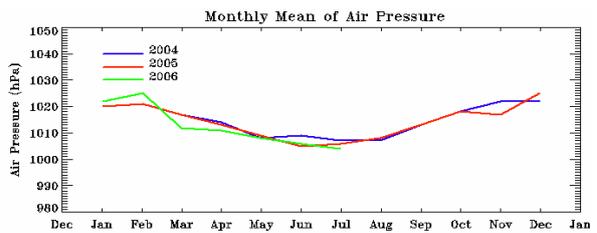
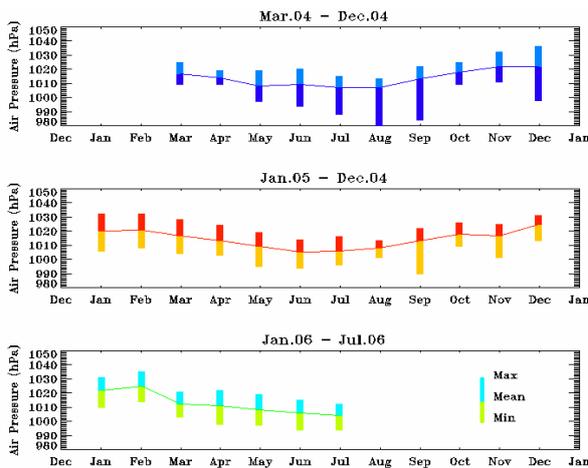


그림 3-21. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 기압 변동

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

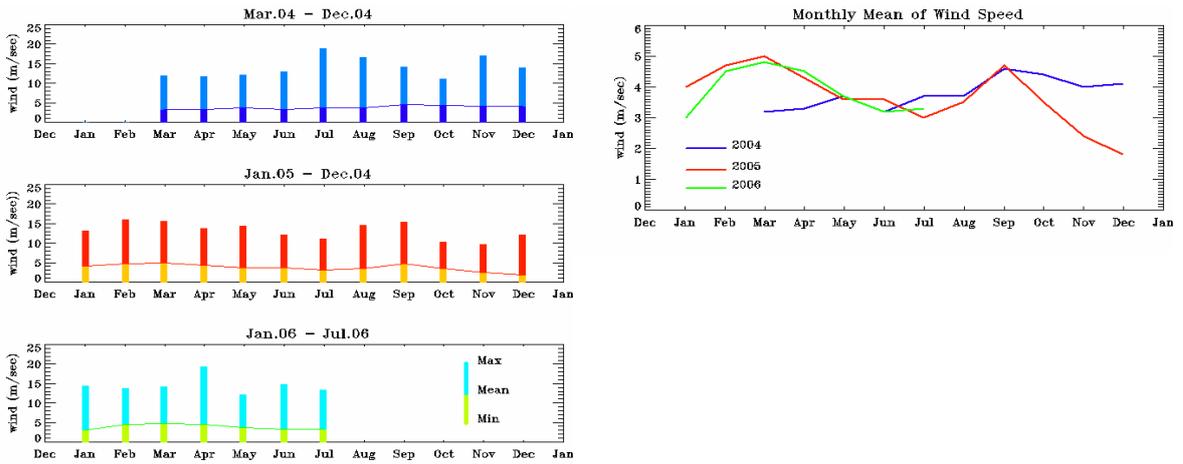


그림 3-22. 연구해역에서의 04년 1월-06년 7월까지의 풍속 변동

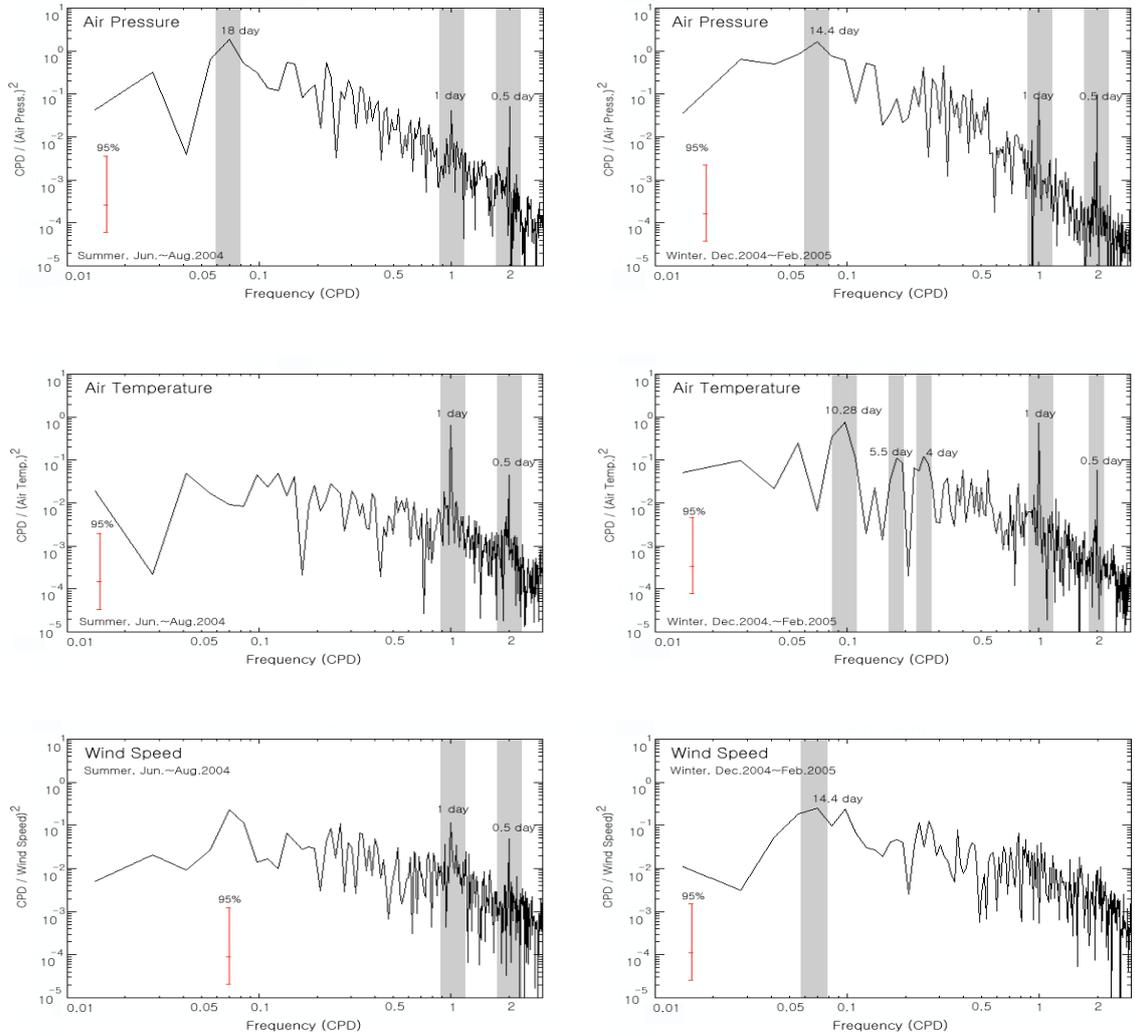


그림 3-23. 기압, 기온, 풍속의 동/하계 스펙트럼 분석 결과

수산특정연구개발사업

표 3-11. 강진만에서의 기온, 태양복사량, 습도의 월별 최대, 최소, 평균

AWS		기온(°C)			태양복사량 (W/m ²)		습도 (%)		
연도	월	최소	최대	평균	최대	평균	최소	최대	평균
2004	3	6.4	18.7	11.3	971	167	22.0	96.6	62.8
	4	6.8	23.2	13.2	1122	272	21.2	93.2	54.2
	5	14.1	28.2	19.2	1354	236	25.9	96.8	73.0
	6	14.6	31.9	22.0	1425	246	22.6	96.8	74.2
	7	21.5	38.4	26.1	1335	256	40.7	96.6	83.6
	8	20.0	35.7	26.1	1255	228	39.4	96.6	80.1
	9	17.7	30.5	22.9	1207	165	32.5	96.6	77.7
	10	10.8	28.1	18.2	909	186	21.1	89.2	63.4
	11	4.9	21.4	11.5	980	141	34.9	93.2	64.9
	12	-1.5	18.9	6.9	857	119	21.1	95.7	59.4
	평균	11.53	27.50	17.74	1141.5	201.6	28.1	95.1	69.3
2005	1	-4.2	10.9	2.1	757	133	22.8	95.0	57.7
	2	-6.6	10.8	2.3	980	165	21.2	95.5	59.6
	3	-2.2	18.0	6.7	1283	229	19.3	96.5	59.6
	4	5.4	22.3	14.1	1174	270	18.9	96.8	64.1
	5	11.8	26.3	18.2	1406	311	26.7	98.1	67.6
	6	16.6	32.4	22.7	1392	253	39.0	95.8	78.8
	7	20.7	35.6	25.3	1131	210	50.7	97.4	84.7
	8	20.2	34.2	25.9	1449	203	48.1	98.2	82.1
	9	17.9	30.7	23.5	1079	176	48.5	98.2	79.7
	10	9.1	26.32	17.6	1141	167	27.2	94.9	68.2
	11	8.8	22.9	15.7	767	136	35.8	95.0	77.6
	12	2.4	8.2	1.9	744	128	27.6	77.8	51.8
	평균	8.32	23.22	14.67	1108.6	198.4	32.2	94.9	69.3
2006	1	-4.2	10.8	3.6	801	116	18.6	98.3	61.9
	2	-6.8	11.8	3.4	1084	166	11.2	96.7	56.7
	3	2.4	19.3	8.6	1117	249	23.9	96.5	57.4
	4	-6.5	19.5	9.7	1212	236	10.8	98.3	66.4
	5	13.0	23.1	17.0	1359	292	34.2	96.5	76.1
	6	13.4	26.0	18.6	1340	247	23.9	96.9	79.3
	7	14.9	22.7	19.0	1368	130	67.0	98.2	89.9
	평균	3.74	19.03	11.41	1183.0	205.1	27.1	97.3	69.7
평 균	10.13	23.68	16.61	1171.3	201.1	29.5	95.6	69.4	

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

표 3-12. 강진만에서의 기압, 풍속, 순간풍속의 월별 최대, 최소, 평균

AWS		기압 (hPa)			풍속 (m/sec)		순간풍속 (m/sec)	
연도	월	최소	최대	평균	최대	평균	최대	평균
2004	3	1009	1025	1017	11.9	3.2	15.2	4.3
	4	1009	1019	1014	11.6	3.3	16.7	4.7
	5	997	1019	1008	12.1	3.7	17.4	5.1
	6	994	1020	1009	12.9	3.2	17.7	4.3
	7	988	1015	1007	18.8	3.7	33.2	5.4
	8	980	1013	1007	16.6	3.7	23.3	5.1
	9	984	1022	1013	14.2	4.6	19.5	6.2
	10	1009	1025	1018	11.1	4.4	14.9	6.0
	11	1011	1032	1022	17.0	4.0	23.0	5.5
	12	998	1036	1022	13.9	4.1	18.3	5.5
	평균	997.9	1022.6	1013.7	14.01	3.79	19.92	5.2
2005	1	1006	1032	1020	13.2	4.7	17.7	6.7
	2	1008	1032	1021	15.9	4.7	21.7	6.5
	3	1004	1028	1017	15.6	5.0	21.4	6.8
	4	1003	1024	1013	13.8	4.3	19.5	5.9
	5	995	1019	1009	14.4	3.6	19.8	5.0
	6	994	1014	1005	12.1	3.6	17.4	4.8
	7	996	1016	1006	11.0	3.0	14.9	4.2
	8	1001	1013	1008	14.6	3.5	28.6	4.8
	9	990	1022	1013	15.4	4.7	19.9	6.2
	10	1009	1026	1018	10.2	3.5	13.1	4.9
	11	1001	1025	1017	9.7	2.4	12.7	3.5
	12	1013	1031	1025	12.1	1.8	15.5	2.9
평균	1001.7	1023.5	1014.3	13.17	3.73	18.52	5.18	
2006	1	1010	1031	1022	14.3	3.0	18.0	4.2
	2	1014	1035	1025	13.8	4.5	17.1	6.3
	3	1003	1021	1012	14.1	4.8	21.8	6.8
	4	998	1022	1011	19.2	4.5	27.0	6.4
	5	997	1019	1008	12.1	3.7	14.9	5.2
	6	994	1015	1006	14.8	3.2	20.8	4.4
	7	994	1012	1004	13.4	3.3	18.0	4.6
	평균	1001.4	1022.1	1012.6	14.53	3.86	19.66	5.41
평	균	1003.4	1022.9	1013.7	13.79	3.78	19.28	5.25

3. 어장 환경 조사 결과

피조개 대량폐사가 매년 반복되고 있는 강진만과 비교적 피조개 생산이 되고 있는 경남 거제시 장목면 구영리 피조개 어장에서 어장환경조사를 조사한 결과를 보면 다음과 같이 정리할 수 있었다.

2004년도와 2005년도의 피조개 어장 수질환경의 년별 변동의 특징은 2005년은 2004년도에 비해 3.0℃ 저수온이었다, 이에 따라 강진만에서는 부유물질, 용존산소, 인산, 투명도의 약한 증가가 있었던 반면 클로로필, COD, DIN, 규산의 감소가 있었고, N/P 비율은 5.00에서 2.00으로 감소하여 강진만내의 심한 총질소의 결핍이 있었다.

한편 대조구인 진해만 입구에 위치한 경남 거제시 장목면 구영리지선 피조개어장의 수질환경 변동은 2005년에 2004년보다 3.0℃의 저수온의 변동에 따라 부유물질(SS), 용존산소(DO), DIP의 증가가 있는 반면 투명도, 클로로필, COD, DIN, 규산의 감소가 있어 고수온과 저수온에 따른 환경인자간 분포경향이 달랐으나 실험구인 강진만과 대조구인 진해만의 변화경향은 일치하였다.

그러나 계절별로는 각 인자간 변화경향은 연 변동과는 일치하지 않았다. 수온의 경우 기온과 일사량에 따라 춘계와 하계에는 강진만이 진해만보다 쉽게 수온이 올라가나 가을과 겨울철 기온이 급강하는 계절에는 진해만이 강진만보다 높았다.

클로로필의 경우 계절별로 춘계와 동계에는 강진만이 높았지만 춘계와 하계에는 진해만에 위치한 거제 구영리 피조개 어장에서 높게 나타났다. 클로로필의 변동과 일치하여 총질소의 변동은 특히 춘계와 하계에 진해만에서 강진만보다 높게 나타났는데 이에 따라 생물생산이 결정되는 것으로 판단된다. 인산-인의 경우에도 강진만보다 진해만이 높게 나타났는데 총질소와는 달리 가을과 겨울에 높게 나타났고 N/P Ratio로 볼 때도 강진만보다 진해만에서 높고 춘계에 진해만에 뚜렷한 증가를 나타내어 진해만의 춘계 대 발생이 주로 질산 및 암모니아에 의해 결정됨을 알 수 있다.

가. 수질 조사 결과

조사시기별 실험구는 표·저층 12개의 자료를 평균하였고, 대조구는 표·저층 6개의 자료를 평균하여 조사결과를 2004년도와 2005년도의 년별 (표 3-13), 계절별 (표 3-14)로 나타내었다.

(1) 수온

수온은 생물의 생식, 발생, 성장 및 행동 등에 미치는 직접적인 환경요인이다. 조사기간 중 계절별 수온은 강진만의 경우 겨울 6.9℃ 여름 24.9℃로 높게 나왔으며, 평균은 2004년 18.8℃, 2005년 15.8℃를 나타내었다. 거제 구영리는 겨울 8.0℃, 여름 22.7℃를 나타냈고, 2004년 18.1℃, 2005년 15.1℃를 나타내어 2005년도는 양 해역 모두 3.0℃ 저수온을 나타내었다.

(2) 투명도

투명도는 청탁정도를 알아보기 위한 방법으로 물속의 부유물질과 관련이 있는 것으로 알려져 있고, 일반적으로 연안수역의 투명도는 기초 생산력을 좌우하는 투과량, 수온등의 환경요인에 의해 발생하는 부유생물과 육지로부터 유입되는 지표수, 도시하수 등의 고형 유기물에 의해 좌우된다고 볼 수 있으며, 계절적으로 강수기인 하절기에는 투명도가 낮으며 강우량이 적고, 저온이 계속 유지되는 동절기에 높은 것으로 알려져 있다.

계절별 강진만의 경우 2.2m~3.2m의 분포를 나타내며, 겨울에 3.2m로 높게 나타났다. 거제 구영리의 경우는 2.7m~4.2m의 분포로 겨울에 4.2m로 높게 나타났다. 연별 강진만은 2004년 2.3m, 2005년 2.9m, 거제 구영리 2004년 4.0m, 2005년 3.4m를 나타냈다. 강진만이 거제 구영리보다 낮은 범위를 나타냈는데, 이는 강진만이 거제 구영리에 비해 수심이 얕고 바람에 의한 저질의 부유의 영향으로 사료된다.

(3) 부유물질(SS)

부유물질은 현탁물질이라고도 하며 해수중의 용존 착색물질이나 현탁입자(무기 및 유기물질로 이루어진 미립자나 세균이나 플랑크톤과 같은 미생물 포함)가 어패류의 호흡을 방해함은 물론 물의 투명도를 저하시킴으로서 광합성을 억제하여 수중의 광합성 생물의 기초 생산력을 저하시키는 원인이 된다

강진만의 경우 계절별 32.8mg/l ~ 48.3mg/l, 연별 2004년 39.7mg/l, 2005년 43.5mg/l의 분포를 나타냈고, 거제 구영리는 계절별 28.8mg/l ~ 42.0mg/l, 연별 2004년 34.7mg/l, 2005년 38.3mg/l의 분포로 겨울에 낮고, 여름에 높게 나타내어 투명도와 반비례 하였다.

(4) 클로로필

식물 플랑크톤의 양을 측정하는 척도인 클로로필은 계절별 강진만의 경우 0.13~0.51μg/l

수산특정연구개발사업

ℓ , 거제 구영리의 경우 $0.10\sim 0.64\mu\text{g}/\ell$ 의 범위를 나타냈다. 강진만 2004년 $0.22\mu\text{g}/\ell$, 2005년 $0.20\mu\text{g}/\ell$, 거제 구영리 2004년 $0.24\mu\text{g}/\ell$, 2005년 $0.12\mu\text{g}/\ell$ 을 나타내었다.

(5) 용존산소 (DO)

DO는 수중의 유기물에 의해 직접적으로 변동하는데, 오염이 많이 된 물일수록 많은양의 산소가 소비되게 되며 자연적으로 산소전달 속도보다 소비속도가 빨라지며 물속의 용존산소가 고갈되어 혐기성 상태가 된다. DO의 양은 수온, 기압, 염분도, 기타 조건에 따라 달라지며 수온이 높아지면 그 양이 적어지고 공기 중에 산소가 많아지면 증가한다.

강진만의 경우 $8.4\text{mg}/\ell\sim 10.8\text{mg}/\ell$, 거제 구영리의 경우 $7.3\text{mg}/\ell\sim 10.3\text{mg}/\ell$ 의 범위로 두 해역에서 비슷한 값을 보였으며 수온이 낮은 겨울에 높은 값이 나타났다. 강진만에서 2004년에 $9.3\text{mg}/\ell$, 2005년에 $10.2\text{mg}/\ell$, 거제 구영리에서는 2004년에 $9.2\text{mg}/\ell$, 2005년에 $9.4\text{mg}/\ell$ 로 나타났다.

(6) 화학적 산소요구량 (COD)

화학적 산소요구량은 수중의 유기물량을 나타내는 지표로 수중의 유기물량의 영향을 많이 받는다. 이 지표는 해역의 각 등급의 산정기준 및 부영양화의 척도로 매우 중요하게 다루어진다.

계절별 강진만의 경우 $1.2\text{mg}/\ell\sim 2.7\text{mg}/\ell$, 거제 구영리의 경우 $1.1\text{mg}/\ell\sim 2.6\text{mg}/\ell$ 의 범위로 나타나고, 겨울에 낮게 나타났다. 연별 강진만 2004년 $3.0\text{mg}/\ell$, 2005년 $1.4\text{mg}/\ell$, 거제 구영리 2004년 $3.0\text{mg}/\ell$, 2005년 $0.8\text{mg}/\ell$ 로 나타났고, 2등급의 수질을 나타냈다. (Fig. 3-13, Fig. 3-14)

(7) 용존 무기질소 (DIN)

수질오염과 관련된 질소화합물은 암모니아(NH_3), 유기탄소 (단백질, 아미노산, 요소등), 아질산 이온(NO_2^-), 질산이온 (NO_3^-)의 네가지 형태로 분류할 수 있다, 이들 네가지 질소화합물들은 서로 밀접한 관계가 있는데, 유기질소는 분해되어 암모니아가 되고 암모니아는 질산화 박테리아에 의해 아질산과 질산이온으로 산화되며 부영양화의 척도는 물론 수계내 고농도로 존재할 경우 적조발생의 원인이 되기도 한다. 용존 무기질소(DIN)는 해수 중 함유된 질산염, 아질산염 그리고 암모니아 농도의 합한 값을 말한다.

계절별 강진만의 경우 $0.13\text{mg}/\ell$, $0.07\text{mg}/\ell\sim 0.23\text{mg}/\ell$, 거제 구영리의 경우 $0.17\text{mg}/\ell$,

0.09mg/ℓ ~ 0.25mg/ℓ 의 범위를 나타냈다. 연별 강진만 2004년 0.10mg/ℓ, 2005년 0.08mg/ℓ, 거제 구영리 2004년 0.18mg/ℓ, 2005년 0.08mg/ℓ 로 강진만보다 거제 구영리가 높게 나타났다.

(8) 용존 무기인(DIP)

용존 무기인은 물속에 존재하는 인산이온의 형태는 오르토 인산 (H_3PO_4), 다중인산 (오르토 인산이 여러개 결합된 형태), 유기인 등의 다양한 형태로 존재한다. 과량의 질소 및 인의 농도는 부영양화 및 적조의 원인이 된다.

계절별 강진만의 경우 0.06mg/ℓ, 0.02mg/ℓ ~ 0.14mg/ℓ, 거제 구영리의 경우 0.07mg/ℓ, 0.02mg/ℓ ~ 0.15mg/ℓ 의 범위를 나타냈다. 연별 강진만 2004년 0.02mg/ℓ, 2005년 0.04mg/ℓ, 거제 구영리 2004년 0.03mg/ℓ, 2005년 0.05mg/ℓ 로 나타났다.

(9) N/P비

N/P비는 Redfield비로 알려져 있으며, 정상적인 해역 생태계에서 15~16으로 그 이상이면 인이 생물제한요소로 작용하고, 그 이하이면 질소가 생물제한요소로 작용한다고 알려져 있다.

계절별 강진만의 경우 4.37mg/ℓ, 3.20mg/ℓ ~ 5.55mg/ℓ, 거제 구영리의 경우 3.75mg/ℓ, 2.11mg/ℓ ~ 5.55mg/ℓ 의 범위를 나타냈다. 연별 강진만 2004년 5.00mg/ℓ, 2005년 2.00mg/ℓ, 거제만 2004년 6.00mg/ℓ, 2005년 1.60mg/ℓ 로 나타났다.

(10) 규산규소($Si(OH)_4-Si$)

규산규소는 용존무기 질소와 용존무기인과 마찬가지로 중요한 영양염류로서 규조류의 무기성분의 SiO_4 가 60%를 차지하며 방산충류, 규소질 편모류 등의 골격구성성분의 기본 물질로서 봄, 가을철에 발생하는 규조적조의 제한 인자가 된다.

강진만의 경우 계절별 평균 0.43mg/ℓ, 0.08mg/ℓ ~ 0.83mg/ℓ, 연별 2004년 0.51mg/ℓ, 2005년 0.12mg/ℓ 로 나타났다. 거제 구영리의 계절별 0.66mg/ℓ, 0.19mg/ℓ ~ 1.27mg/ℓ, 2004년 0.53mg/ℓ, 2005년 0.12mg/ℓ 범위를 나타냈다.

수산특정연구개발사업

표 3-13. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 연도별 수질 조사 결과 (2004.3-2005.12)

구 분	항 목	2004	2005	평균
실험구 (강진만)	Temp. (°C)	18.8	15.8	17.3
	Ts (m)	2.3	2.9	2.6
	SS (mg/ℓ)	39.7	43.5	41.6
	Chl.a (μg/ℓ)	0.22	0.20	0.22
	DO (mg/ℓ)	9.3	10.2	9.8
	COD (mg/ℓ)	3.0	1.4	2.2
	DIN (mg/ℓ)	0.10	0.08	0.09
	DIP (mg/ℓ)	0.02	0.04	0.03
	N/P Ratio	5.00	2.00	3.00
	Si(OH) ₄ -Si (mg/ℓ)	0.51	0.12	0.33
대조구 (거제 구영리)	Temp. (°C)	18.1	15.1	16.7
	Ts (m)	4.0	3.4	3.7
	SS (mg/ℓ)	34.7	38.3	36.5
	Chl.a (μg/ℓ)	0.24	0.12	0.19
	DO (mg/ℓ)	9.2	9.4	9.3
	COD (mg/ℓ)	3.0	0.8	1.9
	DIN (mg/ℓ)	0.18	0.08	0.13
	DIP (mg/ℓ)	0.03	0.05	0.04
	N/P Ratio	6.00	1.60	3.25
	Si(OH) ₄ -Si (mg/ℓ)	0.53	0.12	0.33

표 3-14. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 계절별 수질 조사 결과 (2003.9-2006.7)

구분	항목	춘계	하계	추계	동계	평균
실험구 (강진만)	Temp.(°C)	15.6	24.9	21.1	6.9	17.1
	Ts(m)	2.4	2.4	2.2	3.2	2.6
	SS(mg/ℓ)	38.0	48.3	32.8	34.1	38.3
	Chl.a(μg/ℓ)	0.31	0.36	0.51	0.13	0.33
	DO(mg/ℓ)	9.8	9.6	8.4	10.8	9.7
	COD(mg/ℓ)	2.4	2.7	2.4	1.2	2.2
	DIN(mg/ℓ)	0.07	0.13	0.23	0.09	0.13
	DIP(mg/ℓ)	0.02	0.03	0.14	0.04	0.06
	N/P Ratio	3.50	4.33	1.64	2.25	2.16
	Si(OH) ₄ -Si (mg/ℓ)	0.40	0.83	0.41	0.08	0.43
대조구 (거제구영리)	Temp.(°C)	15.3	22.7	21.9	8.0	16.8
	Ts(m)	2.7	3.9	3.3	4.2	3.5
	SS(mg/ℓ)	33.1	42.0	26.7	28.8	33.4
	Chl.a(μg/ℓ)	0.31	0.64	0.42	0.10	0.39
	DO(mg/ℓ)	9.7	9.8	7.3	10.3	9.2
	COD(mg/ℓ)	2.6	2.3	2.0	1.1	2.1
	DIN(mg/ℓ)	0.21	0.15	0.22	0.09	0.17
	DIP(mg/ℓ)	0.02	0.04	0.15	0.06	0.07
	N/P Ratio	10.50	3.75	1.46	1.50	2.42
	Si(OH) ₄ -Si (mg/ℓ)	0.33	0.69	1.27	0.19	0.66

수산특정연구개발사업

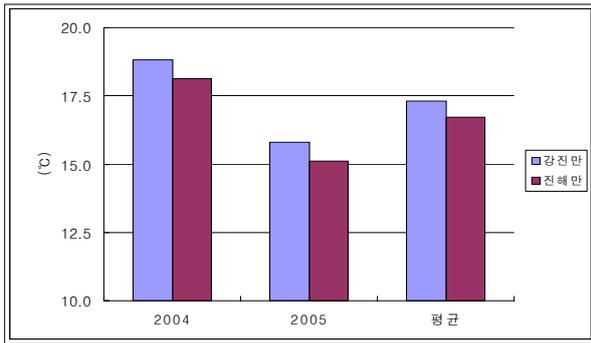


그림 3-24. 실험구, 대조구 연별 수온 변동

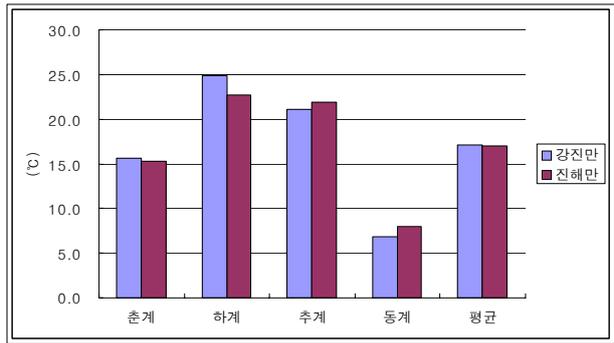


그림 3-25. 실험구, 대조구 계절별 수온 변동

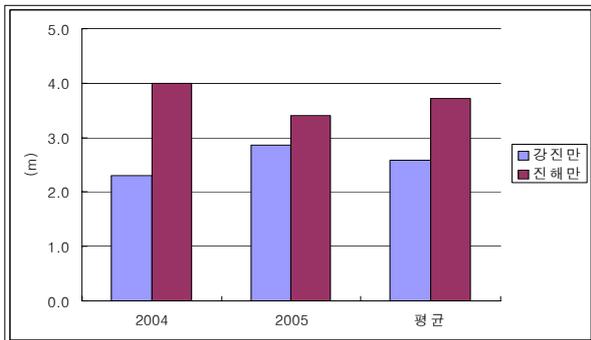


그림 3-26. 실험구, 대조구 연별 투명도 변동

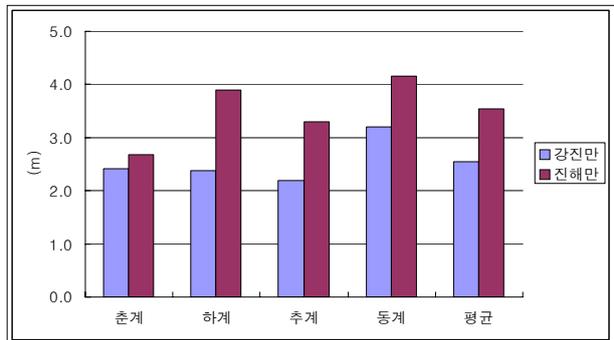


그림 3-27. 실험구, 대조구 계절별 투명도 변동

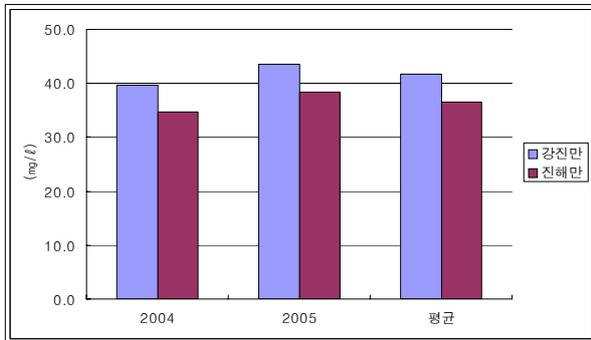


그림 3-28. 실험구, 대조구 연별 부유물질 변동

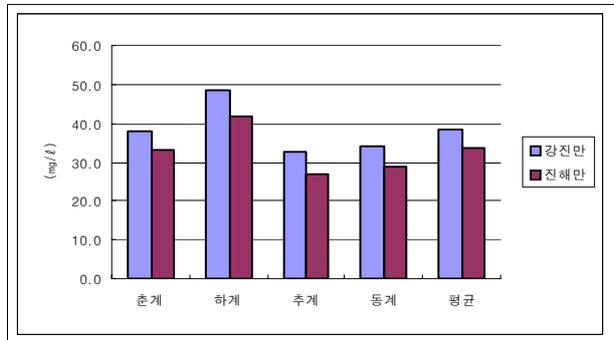


그림 3-29. 실험구, 대조구 계절별 부유물질 변동

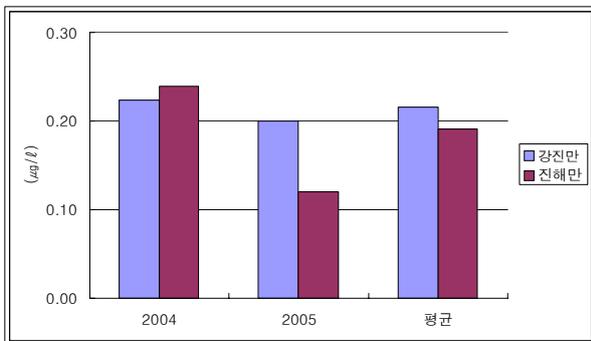


그림 3-30. 실험구, 대조구 연별 클로로필 변동

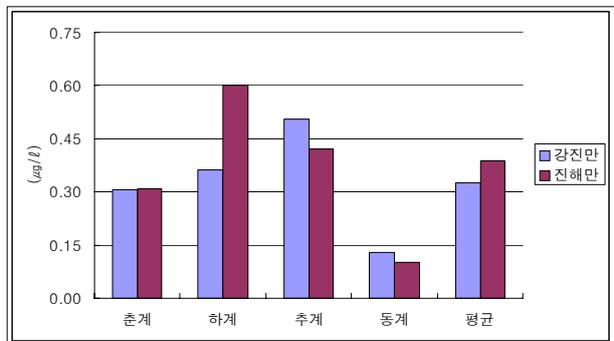


그림 3-31. 실험구, 대조구 계절별 클로로필 변동

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

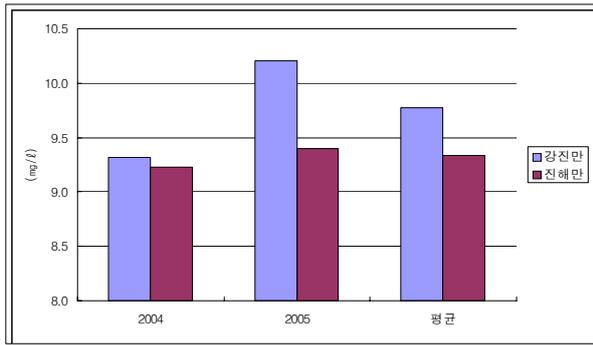


그림 3-32. 실험구, 대조구 연별 용존산소 변동

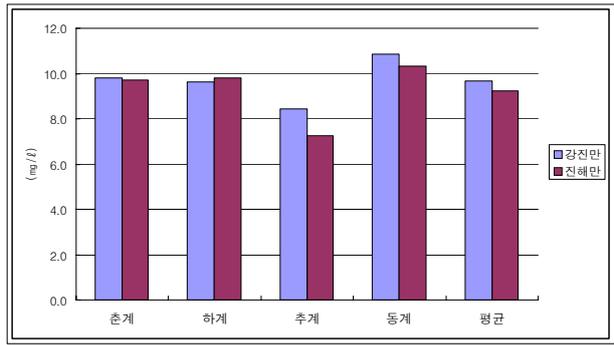


그림 3-33. 실험구, 대조구 계절별 용존산소 변동

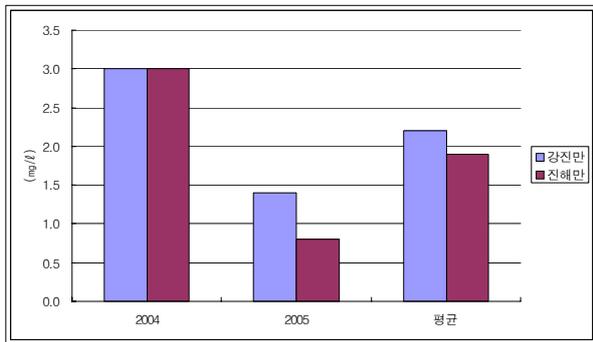


그림 3-34. 실험구, 대조구 연별 COD 변동

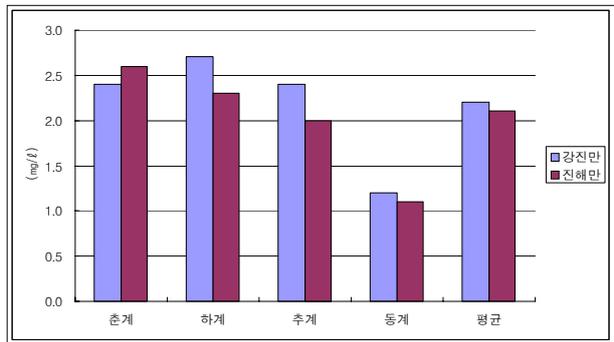


그림 3-35. 실험구, 대조구 계절별 COD 변동

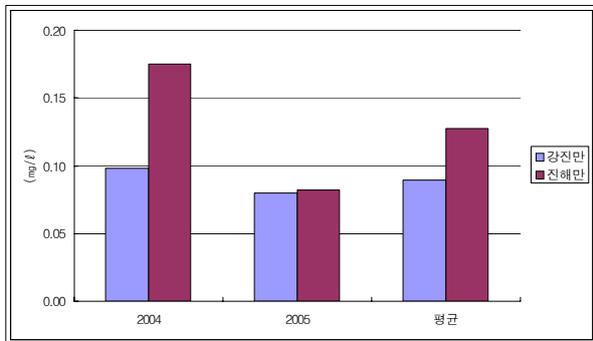


그림 3-36. 실험구, 대조구 연별 DIN 변동

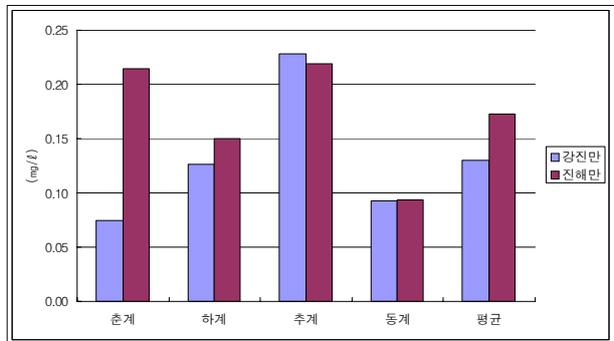


그림 3-37. 실험구, 대조구 계절별 DIN 변동

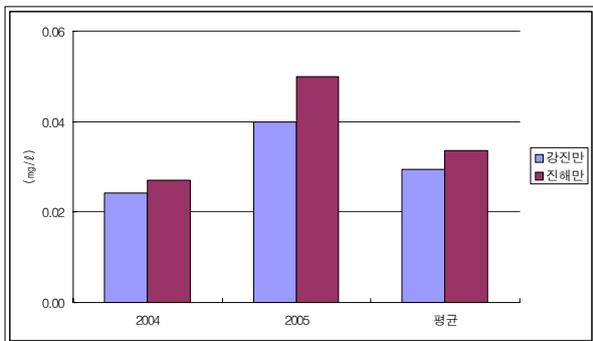


그림 3-38. 실험구, 대조구 연별 DIP 변동

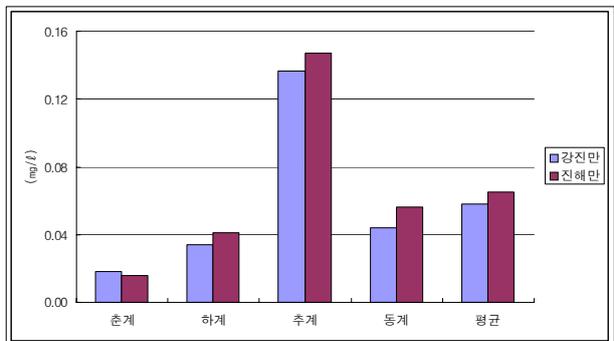


그림 3-39. 실험구, 대조구 계절별 DIP 변동

수산특정연구개발사업

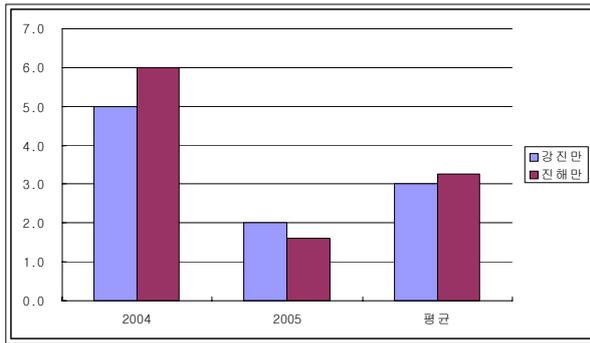


그림 3-40. 실험구, 대조구 연별 N/P비 변동

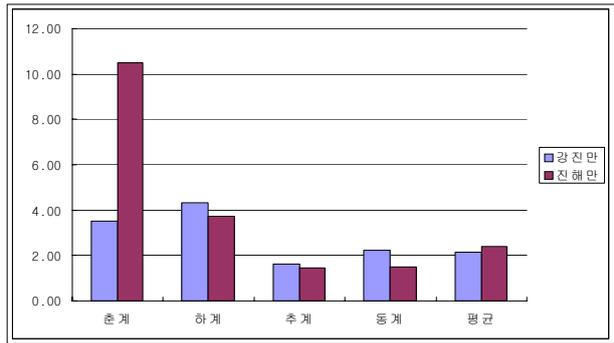


그림 3-41. 실험구, 대조구 계절별 N/P비 변동

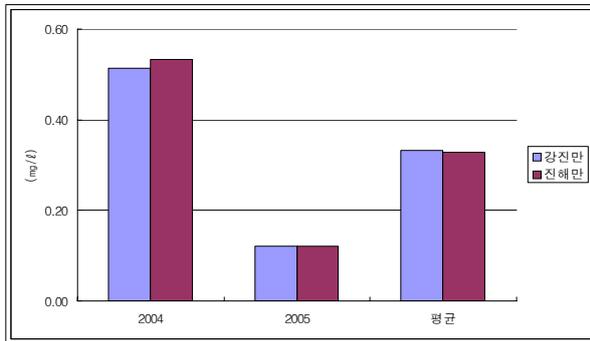


그림 3-42. 실험구, 대조구 연별 SI(OH)₄-SI

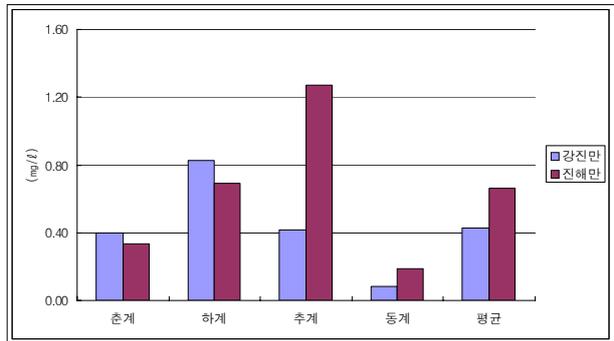


그림 3-43. 실험구, 대조구 계절별 SI(OH)₄-SI

나. 저질 조사 결과

조사시기별 강진만에서는 6개의 자료를 평균하였고, 대조구인 진해만에서는 3개의 자료를 평균하여 조사결과는 연별(표 3-15), 계절별(표 3-16)로 하였다.

(1) 저질내 화학적 산소 요구량 (COD)

저질퇴적물의 유기물이 산화될 때 소비되는 산소량을 측정하는 방법으로 유기물량을 측정하는데 있어서 유용한 방법이다.

계절별 강진만의 경우 평균 22.4mg O₂/g-dry, 18.2mg~26.0mg O₂/g-dry, 거제 구영리의 경우 21.0mg O₂/g-dry, 17.6mg~23.4mg O₂/g-dry의 범위를 나타냈다. 연별 강진만 2004년 18.7mg O₂/g-dry, 2005년 19.0mg O₂/g-dry, 거제 구영리 2004년 19.1mg O₂/g-dry, 2005년 16.2mg O₂/g-dry의 범위를 나타냈다.

(2) 강열감량 (IL)

강열감량은 퇴적물중 유기물량을 측정하는데 있어서 유용한 방법이다.

계절별 강진만의 경우 7.9%, 7.2%~8.5%, 거제 구영리의 경우 8.6%, 7.3%~11.0%의 범위를 나타내었다. 연별 강진만 2004년 7.5%, 2005년 8.6%, 거제 구영리 2004년 7.4%, 2005년 7.4%의 범위를 나타냈다.

(3) 황화물량(AVS)

황화물 증가는 저질 퇴적환경의 악화된 결과이며, 저서생물의 서식에 나쁜 영향을 주고 또한 조건에 따라서는 저질 퇴적물의 산소 고갈과 같은 부차적인 오염현상이 동반되기도 한다.

계절별 강진만의 경우 0.43mg S/g-dry, 0.23mg~0.93mg S/g-dry, 거제 구영리의 경우 0.61mg S/g-dry, 0.16mg~1.92mg S/g-dry의 범위를 나타내었다. 연별 강진만 2004년 0.70mg S/g-dry, 2005년 0.33mg S/g-dry, 거제 구영리 2004년 1.28mg S/g-dry, 2005년 0.27mg S/g-dry의 범위로 나타났다.

표 3-15. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 연별 수질조사 결과 (2004.3-2005.12)

구 분	항 목	2004	2005	평균
실험구 (강진만)	COD(mg O ₂ /g-dry)	18.7	19.0	18.8
	IL(%)	7.5	8.6	8.0
	AVS(mg S/g-dry)	0.70	0.33	0.51
대조구 (거제 구영리)	COD(mg O ₂ /g-dry)	19.1	16.2	17.7
	IL(%)	7.4	7.4	7.4
	AVS(mg S/g-dry)	1.28	0.27	0.78

표 3-16. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장 계절별 저질조사 결과 (2004.3-2006.7)

구 분	항 목	춘계	하계	추계	동계	평균
실험구 (강진만)	COD(mg O ₂ /g-dry)	26.0	23.3	18.2	22.2	22.4
	IL(%)	8.5	8.5	7.6	7.2	7.9
	AVS(mg S/g-dry)	0.93	0.29	0.27	0.23	0.43
대조구 (거제 구영리)	COD(mg O ₂ /g-dry)	24.4	21.4	17.6	20.7	21.0
	IL(%)	11.0	8.4	7.9	7.3	8.6
	AVS(mg S/g-dry)	1.92	0.19	0.17	0.16	0.61

수산특정연구개발사업

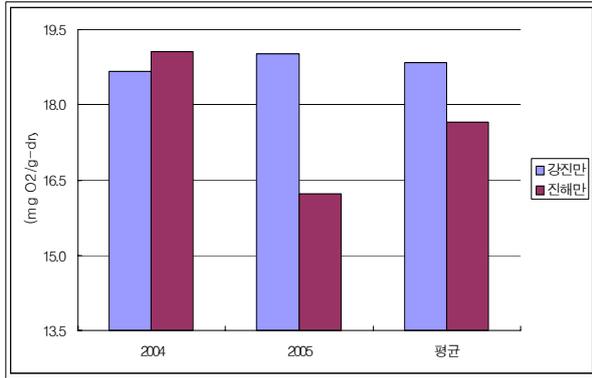


그림 3-44. 실험구, 대조구 저질 연별 COD

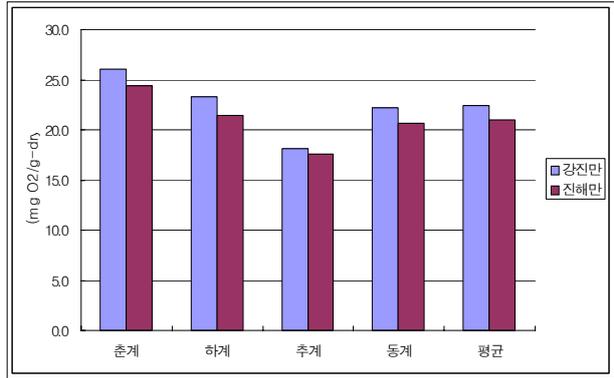


그림 3-45. 실험구, 대조구 저질 계절별 COD

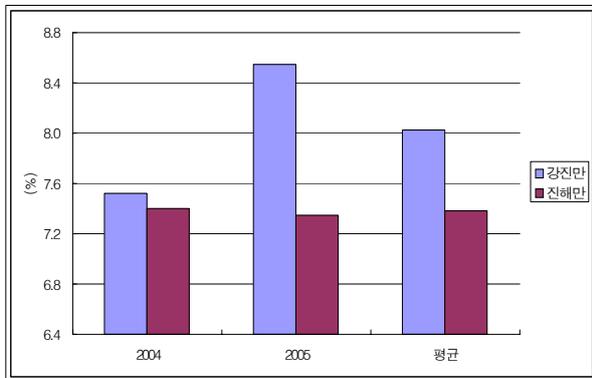


그림 3-46. 실험구, 대조구 저질의 연별 IL

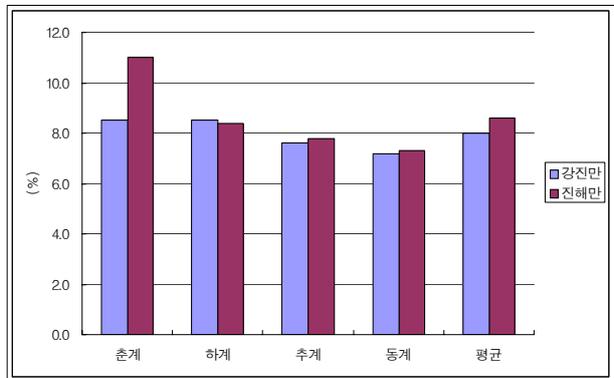


그림 3-47. 실험구, 대조구 저질 계절별 IL 변동

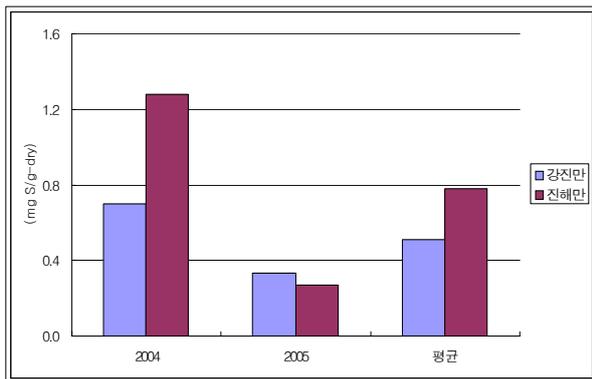


그림 3-48. 실험구, 대조구 저질 연별 AVS

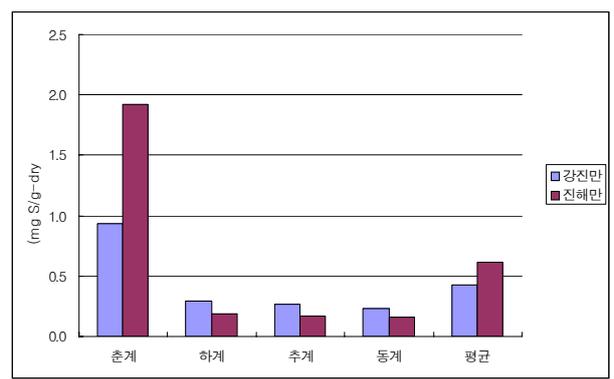


그림 3-49. 실험구, 대조구 저질 연별 AVS

4. 생물 조사 결과

수심이 낮고 바람의 영향을 크게 받는 남해 강진만에서는 피조개를 계속 양식하고 있는 대조구로 설정한 경남 거제시 장목면 구영리 지선 피조개 어장과는 저서생물 분포특성이 달리 나타났다. 즉, 수질환경과 저질환경의 뚜렷한 차이가 없지만 저서생물분포에 있어서 출현개체수나 출현종수가 거제 해역보다 낮으나 오염지시종인 아기반투명조개나 종뿔과 같은 우점종에 의해 분포특성이 뚜렷이 구분되었다.

이러한 종들의 우점 현상은 연성저질에 서식하는 피조개에 있어서 먹이생물 경쟁은 물론 서식처 경쟁에서도 불리한 조건으로 작용 할 수밖에 없다.

이는 남해안의 당동만, 여자만, 가막만 등 오염이 진행된 어장에서는 공통적인 현상으로 강진만에서도 겨울에는 아기반투명조개(*Theora fragilis*)에서 여름에는 갯지렁이류가 우점하고 가을에는 다시 간각목이나 종뿔으로 우점종의 천이가 이루어진 반면 거제 구영리 피조개 어장에서는 봄철에는 단각목에서 거미불가사리로 우점 하다가 여름에는 갯지렁이류가 우점한 후 조사기간 중 갯지렁이류가 최우점 하였으며 그중에서도 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*)가 최우점하여 실험구와 대조구에 있어서 저서생물분포에서 차이를 나타내었다.

이러한 경향은 동물 플랑크톤이나 피조개의 먹이상에 있어서도 차이를 나타내는 것으로 밝혀졌다. 이(2001)에 의하면 이때패류 생산에 관여하는 입자 유기물질을 조사한 결과 거제 해역에서는 식물 플랑크톤 기원 입자 유기물질이 주된 먹이원이지만 강진만의 경우에는 입자 유기물질이 쇠설성 입자 유기물질로 되어 있어 그 동안 피조개 어민들이 주장 하였던 하동·삼천포 화력발전소의 영향이라는 주장에 상당한 개연성이 있는 것으로 추정된다. 강진만에서 쇠설성 유기입자가 먹이원으로 공급되는 피조개 어장의 환경적인 특성은 강진만에 유입되는 남강의 지속적인 담수공급이 중단되어 남강의 영향을 받고 있는 강진만의 식물 플랑크톤의 일차생산이 제한되는 상황에서 홍수 때 대량 방류되는 육지기원의 쇠설성 유기입자가 피조개 서식처 경쟁을 하는 종뿔에 어떠한 영향을 주는가는 추가적인 연구가 필요하다.

수산특정연구개발사업

가. 저서 생물

저서생물이라 함은 해저에 붙어살거나 해저 가까이에 사는 생물을 총칭하는 것으로 저서생물군집의 구조 및 변동은 그 군집을 구성하는 몇몇 우점종의 분포 양상과 변동에 따라 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 유기오염의 영향을 받는 내만에서의 저서생물군집은 우점종의 개체수 점유비율이 타해역에 비하여 상대적으로 높고, 환경인자의 변동에 따라 특정해역에 서식하는 저서생물의 군집에 있어서, 우점종의 공간분포 양상과 이들의 계절적인 변동 특성은 그 군집의 구조와 특성을 파악하는데 좋은 정보를 제공한다. 또한 저서생물은 수서생태계 내에서 유용 저어류나 무척추동물의 먹이로서도 매우 중요한 부분을 차지하며 저어류의 성장효율과 생산에 영향을 미치는 주요인이 될 수도 있으며, 그 밖에도 해양 생태계의 먹이사슬 등의 역학관계를 이해하는데 필수적이다. 연안의 일정 해역에서 환경 수용량을 추정하기 위해서도 저서생물의 현존량에 대한 조사는 필수적인 요인이기도 하다.

(1) 저서생물 분포상황

2004년 3월부터 2006년 7월까지 총 14회에 걸쳐 남해 강진과 거제 구영리 주변해역의 저서생물의 출현종 및 현존량을 종합한 결과는 표 3-17과 같다.

남해 강진만의 피조개 어장의 6개 정점에서 현존량의 범위는 최소 85개체/0.1m²에서 최대 2,982개체/0.1m²이었다. 조사 시기별로 보면 2004년 6월에 85개체/0.1m²으로 최소 출현 개수를 나타낸 이후 점차 증가하여 2005년 4월에는 2,982개체/0.1m²으로 최대출현 개체수를 나타낸 후 급격히 감소하여 6월과 8월에 200~300개체/0.1m²이었다가 10월에 다시 1,566개체/0.1m²으로 증가한 후 겨울에는 감소하다가 다시 2006년 4월에 919개체/0.1m²으로 출현개체수의 큰 변동을 나타내었다.

출현종에 있어서도 2004년 6월에 6개 정점에서 11종/0.1m²만이 출현하여 최소를 나타내었고 점차 증가하여 2005년 4월에 6개 정점에서 51종/0.1m²이 출현하여 출현종수로는 최대를 기록하였다.

한편 거제 구영리 피조개 어장 3개 정점에서 조사한 현존량은 강진만과 같이 2004년 6월에 40개체/0.1m²으로 최소 출현개체수를 2005년 8월에 674개체/0.1m² 최대 출현개체수를 나타내었다. 출현종수에 있어서도 2004년 6월에 7종으로 가장 낮았고 2005년 8월에 68종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

남해 강진만과 거제 구영리의 출현 개체수와 출현종수를 비교하기 위하여 현존량을 조사 횟수와 정점별로 나누어 정점별로 정점별 특성을 고려하지 않고 통계처리 한 결과 남해 강진만의 경우 현존량은 104개체/정점, 출현종수는 5.4종/정점인 반면 거제 구영리의 경우에 114개체/정점, 출현종수는 13.2종/정점으로 출현 개체수의 비율은 거제 구영리는 출현 개체수에서 10% 정도 많고 출현종수도 2.4배의 출현종수를 나타내어 현존량과 출현종수가 많아 거제 구영리 피조개 어장이 남해 강진만 어장보다 보다 생태적으로 안정된 구조를 나타내었다.

특히 남해 강진만의 경우 2005년 4월에 정점 1, 3에서 오염의 대표종인 아기반투명조개가 군집의 82%를 차지하여 완전 우점하였고, 2005년 10월에는 정점 4 에서 현존량 1,424 개체/0.1m² 중 종맛이 차지하는 비율이 86.3%를 차지하여 강진만 해역에서 중 채집한 개체수 8,740개체 중 3,681개체 48.1%를 차지하여 오염지시종인 2종이 차지하는 비율이 절반을 차지한 점을 고려한다면 강진만의 피조개 어장의 환경은 저서생물로 볼 때 극히 불안정한 구조를 가지고 있음을 알 수 있었다.

표 3-17. 조사 해역의 저서생물의 현존량 및 출현종 비교

구 분	강진만(6개 정점)		거제 (3개 정점)	
	현존량 (indiv./0.1m ²)	출현종수 (species/0.1m ²)	현존량 (indiv./0.1m ²)	출현종수 (species/0.1m ²)
2004년 3월	155	16	287	24
5월	188	21	80	23
6월	85	11	40	7
8월	167	32	237	34
10월	180	26	208	21
12월	251	27	221	37
2005년 2월	613	48	307	43
4월	2982	51	512	52
6월	296	41	422	55
8월	209	32	674	68
10월	1566	47	479	54
2006년 2월	383	28	380	49
4월	919	43	373	39
7월	742	34	576	52

수산특정연구개발사업

표 3-18. 남해 강진만 구역별 현존량 및 출현종 비교(A: 정점 1,2,3, B: 정점 4,5,6)

구 분	강진만(6개 정점)		거제 (3개 정점)	
	현존량 (indiv./0.1m ²)	출현종수 (species/0.1m ²)	현존량 (indiv./0.1m ²)	출현종수 (species/0.1m ²)
2004년 3월	94	14	65	10
5월	63	16	125	16
6월	35	8	50	8
8월	70	15	97	27
10월	71	21	109	17
12월	120	17	131	21
2005년 2월	182	36	427	35
4월	2514	27	468	43
6월	330	22	596	34
8월	54	19	155	24
10월	142	28	1424	37
2006년 2월	107	24	276	14
4월	516	26	403	38
7월	101	18	641	32

(2) 우점종 분포

(가) 강진만

2004년 3월부터 5월까지 오염지시종인 아기반투명조개(*Theora fragilis*)가 35%~36%로 최우점을 차지하였고, 2004년 6월부터 8월까지 갯지렁이류가 우점종을 차지하였다. 갯지렁이류 중 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*)가 최우점하였다. 2004년 10월에는 갑각류인 단각목(*Amphipoda*)가 28%로 최우점하여 이후 12월에는 45%, 2005년 2월에 33%로 최우점 하였다.

2005년 4월에는 다시 아기반투명조개가 82%로 최우점하여 2005년 6월에는 41%로 감소하다가 8월에는 갯지렁이류가 최우점하여 계절적인 변동을 계속하였다. 2005년 10월에

는 종밧이 79%로 최우점을 차지하다가 2006년 2월 70%를 차지하였고 2006년 4월에는 다시 아기반투명조개가 50%를 차지하였으며 2006년 7월에는 종밧이 38%로 우점종을 차지하였다.

종합적으로 조사기간 중 저서생물의 우점종 변화는 겨울철과 봄철에는 아기반투명조개가 최우점종을 차지하다가 여름철에는 갯지렁이류가 우점하고 가을, 겨울로 가면서 단각류가 우점한 후 겨울로 가면서 종밧과 아기반투명조개 등 이매패류인 아기반투명조개와 종밧이 우점종의 천이를 이루고 있었다.

표 3-19. 강진만, 거제 구영리 피조개 어장의 우점종 천이

조사시기	강진만	거제 구영리
2004년 03월	<i>Theora fragilis</i> (아기반투명조개)	<i>Amphipoda</i> (단각류)
2004년 05월	<i>Theora fragilis</i> (아기반투명조개)	<i>Ophioplocus japonicus</i> (거미불가사리) <i>Musculus senhousia</i> (종밧)
2004년 06월	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2004년 08월	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)	<i>Ampharete arctica</i> (작은사슴갯지렁이)
2004년 10월	<i>Amphipoda</i> (단각류)	<i>Ampharete arctica</i> (작은사슴갯지렁이)
2004년 12월	<i>Amphipoda</i> (단각류)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 02월	<i>Amphipoda</i> (단각류)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 04월	<i>Theora fragilis</i> (아기반투명조개)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 06월	<i>Theora fragilis</i> (아기반투명조개)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 08월	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 10월	<i>Musculus senhousia</i> (종밧)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2006년 02월	<i>Musculus senhousia</i> (종밧)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 04월	<i>Theora fragilis</i> (아기반투명조개)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)
2005년 07월	<i>Musculus senhousia</i> (종밧)	<i>Lumbrineris longifolia</i> (긴자락송곳갯지렁이)

수산특정연구개발사업

(나) 거제 구영리

대조구로 선정된 경남 거제시 장목면 구영리 피조개 2004년 3월에 단각목이 51%로 최우점 하였고 다음으로 아기반투명조개가 12%인 반면 5월에는 거미불가사리가 30%로 최우점하였고 종뱀이 25%이었다. 2004년 6월에는 갯지렁이류가 92%를 차지하였으며 이 중 긴자락송곳갯지렁이가 34%를 최우점 하였으며 8월에는 61%로 감소하였다.

10월에는 갯지렁이류가 52%로 계속 감소한 반면 거미불가사리와 다른 종들이 증가하여 12월에는 갯지렁이류 43%, 기타 종들이 56%를 차지하였다. 이러한 경향도 2005년 2월부터 4월, 6월, 8월까지 2006년 7월까지 미약한 단각류와 아기반투명조개의 출현율의 증가를 제외하고는 비교적 동일한 출현빈도를 나타내었다.

나. 동물 플랑크톤

(1) 조사 지역의 출현 개체수 및 출현 종수

2003년 9월부터 2006년 4월까지 8회에 걸쳐 동물 플랑크톤을 조사한 결과를 정리하면 표 3-20과 같다.

강진만의 6개 정점에서 총 출현개체수는 2005년 2월 겨울철에 5,103개체수로 최소 출현개체수를 나타내었고 2005년 6월에 114,861개체수로 최대를 나타내었다. 출현종수는 최소 개체수가 출현한 2005년 2월에 16종으로 가장 낮았으며 최대 출현개체수가 나타난 2005년 6월에 31종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

대구조인 거제 구영리의 피조개어장의 3정점에서는 2005년 2월에 출현개체수는 4,567개체로 최소였으며, 2004년 8월에 526,791개체로 최대농도를 분포하여 차이가 100배 이상 나타났다. 출현종수는 2005년 2월 18종으로 최소였으며 2004년 10월에 26종으로 최대 출현종수를 나타내었다.

위의 결과를 종합하면 겨울철로 갈수록 출현종수와 출현개체수가 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 강진만과 거제 구영리 지선의 각 정점별 평균을 보면 강진만의 경우 겨울철에는 1,000cell/m³이하를 나타낸 반면 여름철 2005년 6월에는 19,144cell/m³으로 20배의 차이를 보였다. 그러나 거제 구영리의 경우 정점평균 겨울철 1,522cell/m³로 최소를 나타내었으나 2004년 8월에는 최대 175,597cell/m³로 115배로 농밀하게 분포하였다.

표 3-20. 조사해역의 동물플랑크톤 출현 개체수와 출현 종수

조사일시	강진만		거제 구영리	
	개체수	출현종	개체수	출현종
2003년 09월	46,652	22	35,359	26
2004년 08월	55,085	27	526,791	21
2004년 10월	35,957	24	25,101	26
2004년 12월	20,857	21	58,036	21
2005년 02월	5,103	16	4,567	18
2005년 04월	27,366	19	23,353	21
2005년 06월	114,861	31	320,306	25
2006년 04월	12,331	21	88,071	17

강진만의 최우점은 2003년 9월에는 지각류(Cladoceran)인 *Podon Polyphemoides*이었고, 2004년 8월에는 연체류의 유생이 26.23%로 최우점이었고 차우점 종은 지각류인 *Evadne tregestina*로서 14.3%를 차지하였다. 2004년 10월에는 야광충(*Noctiluca scintillans*)가 38.28%로 최우점 하였고, 지각류인 *Podon polyphemoides*가 21.10%를 차지하였다. 겨울철인 12월에는 단일종인 야광충이 20.36%로 최우점하였으나 *Acantia* 속 및 기타 요각류가 대부분을 차지하였다. 이후 2005년 2월 겨울철에는 대부분 요각류 우점속에 다시 연체류 유생이 증가하는 경향을 나타내었다.

2006년 6월에는 다시 지각류인 *Evadne tregestina*가 53.80%로 최우점하였으며 2006년 4월에는 다시 *Acartia*속 등 요각류가 우점을 차지하는 계절적인 변동을 나타내었다.

거제 구영리의 동물 플랑크톤의 우점종의 변화는 2003년 9월 *Noctiluca scintillans*가 최우점을 차지하였고 지각류인 *Podon polyphemoides*가 차우점하였다. 2004년 8월에는 *Noctiluca scintillans*가 95.94%를 차지한 반면 지각류인 *Penilia avirostris*가 차우점하였으나 1.53%를 나타내었다. 가을철인 10월에는 요각류인 *Oithona similis*가 23.78%로 최우점하였고 야광충이 15.60%로 차우점하였으나 대부분 요각류가 우세하였다. 2004년 12월 겨울철인데도 야광충이 68.49%로 최우점종을 나타내었다. 이후 2005년 2월에는 다시 요각류인 *Acantia omorii*가 32.63%로 최우점하였고 대부분 주요종은 요각류였다.

봄철인 2005년 4월에는 다시 야광충이 88.38%를 차지하여 최우점종으로 되었고 여름으로 갈수록 2006년 6월 야광충이 전체 군집의 96.31%를 차지하여 단일종의 우점을 나타내

수산특정연구개발사업

었다. 이러한 경향은 2006년 4월에도 야광충이 96.97%를 차지하여 거제 구영리의 경우 최우점종은 년중 야광충이 최우점을 차지하고 있었다.

이상의 결과를 강진만과 거제 구영리를 비교하여 보면 출연개체수에 있어서는 강진만보다 거제 구영리가 압도적으로 많은데 이는 주로 야광충에 의한 차이에 따른 것이다.

그러나 전체적인 종의 분포나 천이 우점종은 강진만의 경우 동물 플랑크톤에 있어서는 생태적으로 안정되어 있다고 볼 수 있으며 야광충이 번무하는 거제 구영리의 경우는 부산 등 인간기원 오염영향으로 동물 플랑크톤의 분포가 결정되는 것으로 판단된다.

5. 3차원 조류 및 수온, 염분, 용존산소 모델링 결과

가. 조류 계산 결과

(1) 조류 모델링 개요

본 모델링의 목적인 사천만 남강댐의 방류에 따른 강진만의 조위, 조류속 등의 수리 특성변화를 예측하기 위하여 3차원 해수유동 수치모형모델링을 수행하였다.

모델링은 대상해역을 적절한 격자망으로 분할하고, 각 격자점에 수심을 입력하여 해저지형을 모형으로 재현하는 모델수립 후 조위와 조류속의 모델링결과가 관측치와 잘 일치할 수 있도록 개방경계 조건 등의 입력 자료를 조정하여 검증을 실시하였다. 조위 검증자료는 삼천포의 관측 조위 자료를 사용하고 조류 검증자료는 강진만의 2004년 하계 관측 자료를 이용하였다.

해수유동 산정을 위한 격자망은 강진만과 사천만 해역을 충분히 포함한 영역으로 구성하였으며, 수치모형모델링의 개요를 표 3-21에 제시하였다.

표 3-21. 조류 수치모형모델링 개요

구 분	내 용	
적용 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 양해법 해수유동 수치모형 • 미국 HydroQual에 의해 개발된 모형 (ECOMSED)이며, 해외의 여러 연구에서 적용성이 검토되어 신뢰성 입증 	
모형 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 경상남도 강진만 주변해역 (28km×33km = 924km²) 	
격자간격 및 격자수	<ul style="list-style-type: none"> • 가변격자구성 (최대 : 400m, 최소 : 100m) • 격자수 : 95×126 	
모델링 조건	<ul style="list-style-type: none"> • 4개 분조 입력 (M₂, S₂, K₁, O₁ 분조) 	
모델링명	구 분	설 명
	Case B04	• 2004년 8월의 실시간 조석 시물레이션
	Case B04D	• 2004년 8월의 실시간 조석 + 남강댐 방류시
결과 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 최강유속 분포도 및 벡터도 	

(2) 조류 모델링 결과 분석

(가) Case B04

이 실험은 외해 경계조건에 주요 4개 분조인 M₂, S₂, K₁, O₁ 분조 각각의 진폭과 위상을 적용하여 수행하였다.

① 조위

조위 분포의 경우 진주만, 강진만내의 고조위 분포는 진주만에서 강진만 및 사천만으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났으며 저조위의 경우 만내 해역에서 강진만 해역이 사천만, 진주만 해역보다 4cm 정도 감소하였다. 만외해역의 물건항, 수우도 주변해역과 비교할 때 고조위의 경우 10cm, 저조위의 경우 40cm 정도 차이가 발생하였다. 강진만 해역에서의 고조위는 271cm 정도, 저조위는 93cm 정도로 계산되었다.

수산특정연구개발사업

② 조류

강진만 주변해역의 해수흐름은 창조시 노량수도와 대방수도를 통해 유입되는 해수가 진주만에서 사천만으로 북진하는 해류와 강진만으로 남진하는 해류로 나누어진다. 또한 창선 수도를 통해 유입되는 해수는 진주만에서 강진만으로 남진하는 해수와 강진만내에서 합류한다. 낙조시 진주만, 강진만, 사천만으로 유입되었던 해수가 노량수도, 대방수도, 창선수도를 통해 유출함. 강진만에서는 해수가 진주만 및 창선수도 방향의 남·북 방향으로 나뉘지는 것으로 나타났다.

대조기의 최강유속은 노량수도, 대방수도와 창선수도에서는 100cm/sec 이상의 큰 해류속이 발생하였고 강진만내에서는 10cm/sec ~ 30cm/sec의 분포를 보이며 사천만에서는 10cm/sec ~ 60cm/sec의 유속이 계산되었다.

소조기의 최강유속 분포를 보면 각 수도에서는 대조기에 비해 100cm/sec 이상 작게 산정되었으며, 강진만에서는 6cm/sec ~ 17cm/sec 유속 분포가 나타났다.

(나) Case B04D

이 실험은 외해 경계조건에 주요 4개 분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조 각각의 진폭과 위상을 적용하고 2004년 8월 15일 ~ 31일 기간의 남강댐의 방류량 자료를 입력하여 실험을 수행하였다.

① 조위

남강댐 방류시 강진만 주변해역의 조위 분포는 고조위의 경우 조석 정보만 경계에 입력했을 경우(Case B04) 보다 강진만에서의 조위 상승은 미미하며, 사천만에서는 3cm 정도 상승하여 270cm ~ 380cm로 나타난 반면, 저조위의 경우 변화가 1cm ~ 2cm 정도로 미미하게 나타났다.

② 조류

2004년 8월 대조기의 최강유속의 변화는 사천만에서 1.0cm/sec 정도로 미미하게 나타났다. 남강댐 방류시 소조기의 경우 사천만내 해역에서는 30cm/sec ~ 100cm/sec의 유속이 나타났으며 대조기에 비해 10cm/sec ~ 40cm/sec정도 증가하였는데 이의 원인은 남강댐 방류가 소조기에 이루어졌기 때문인 것으로 사료된다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

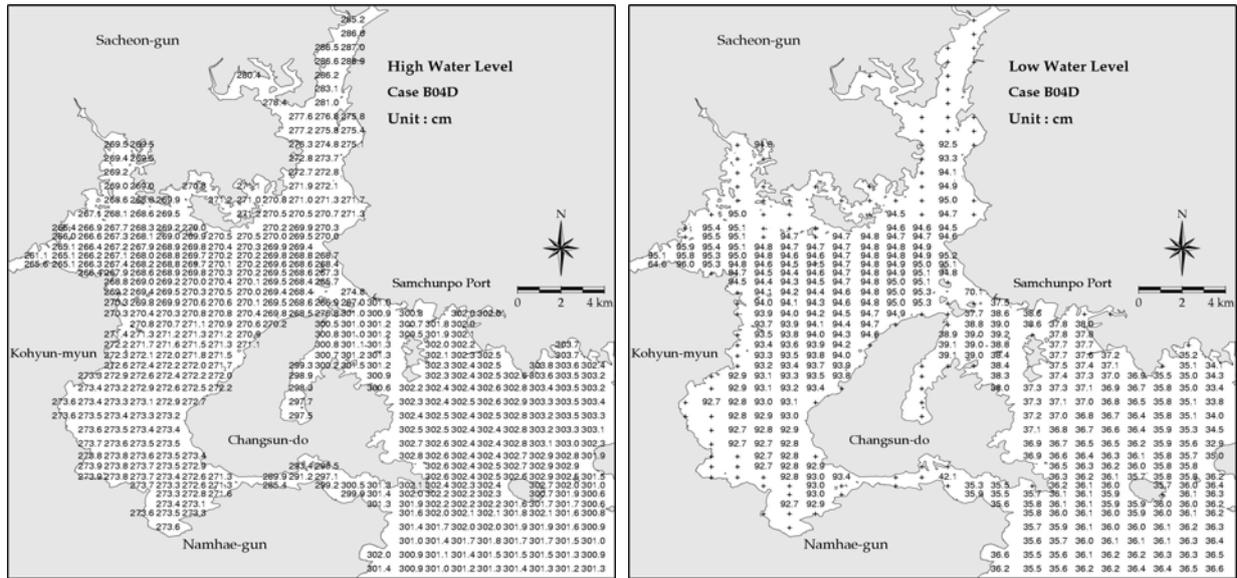


그림 3-50. 고조위 및 저조위 분포도(Case B04D)

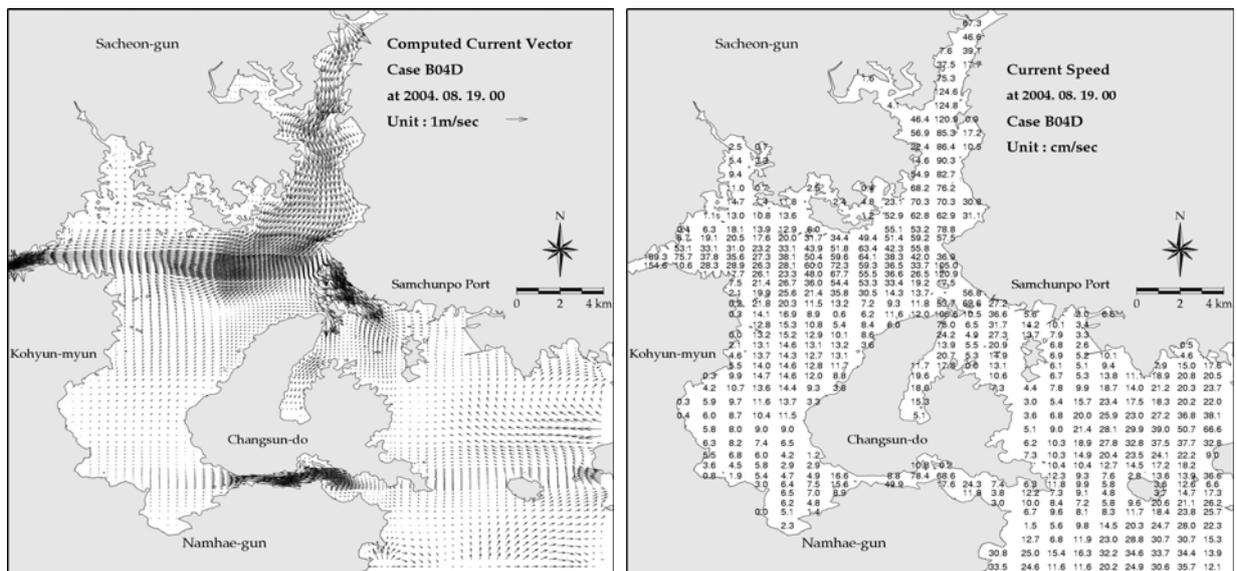


그림 3-51. 2004년 8월 남강댐 방류시 유속 벡터도 및 분포도(Case B04D, 8월 19일)

수산특정연구개발사업

나. 염분 확산 계산 결과

(1) 염분 확산 수치모형모델링 개요

본 모델링의 목적인 남강댐의 여수로 방류에 따른 강진만에서의 염분, 수온 등의 수리 특성변화를 추정하기 위하여 3차원 열염 확산 수치모형모델링을 수행하였다.

모델링은 대상해역을 적절한 격자망으로 분할하고, 각 격자점에 수심을 입력하여 해저 지형을 모형으로 재현하는 모델수립 후 조위와 조류속의 모델링결과가 관측치와 잘 일치할 수 있도록 개방경계 조건 등의 입력 자료를 조정하여 검증을 실시하였다.

염분 확산 모델링을 위한 격자망은 강진만과 사천만 해역을 충분히 포함한 영역으로 구성하였으며, 수치모형모델링의 개요를 표 3-22에 제시하였다.

표 3-22. 염분 확산 수치모형모델링 개요

구 분	내 용
적용 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 양해법 수치모형. • 미국 HydroQual에 의해 개발된 모형이며, 해외의 여러 연구와 사업 등에서 적용성이 검토되어 신뢰성 입증
결과 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 염분 및 수온의 수직, 수평 분포도

(2) 염분 확산 수치모형모델링 결과 분석

(가) 수치모형 검증

2004년 하계 관측 자료를 이용하여 본 수치모형의 수온 결과를 비교·검증하였다. 확산 수치모형모델링 상의 저장 시간 간격은 1시간으로 하였고, 염분 결과는 ST-1에서의 2004년 하계 관측 자료를 수치모형모델링 결과와 비교하였다.

(나) Case B04D

이 실험은 외해 경계조건에 주요 4개 분조인 M₂, S₂, K₁, O₁ 분조 각각의 진폭과 위상을 적용하고 남강댐의 매시간 여수로 방류량 자료를 입력하여 수행하였다.

남강댐 여수로 최대 방류시인 8월 19일 0시와 24일 0시의 층별 염분 분포도와 강진만 해역에서의 N-S 방향과 E-W 방향의 수직 분포도를 제시하였다. 사천만 내의 염분 분포는 남강댐 방류로 인해 10psu 이하의 값을 나타내며 저층에 비하여 표층에서 낮은 염

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

도를 갖는 것으로 나타나며, 강진만에서 염분 분포는 남강댐 방류로 인해 21.5psu에서 10.0psu까지 감소되는 것으로 나타났다. 수직분포의 경우 19일에는 남강댐 방류의 영향이 크게 미치지 않아 21.5psu 내외의 분포를 나타내며 St. 10 부근에서 염분의 경사가 발생하였으며, 24일에는 전체적으로 13.7psu ~ 18.6psu의 분포를 나타낸다.

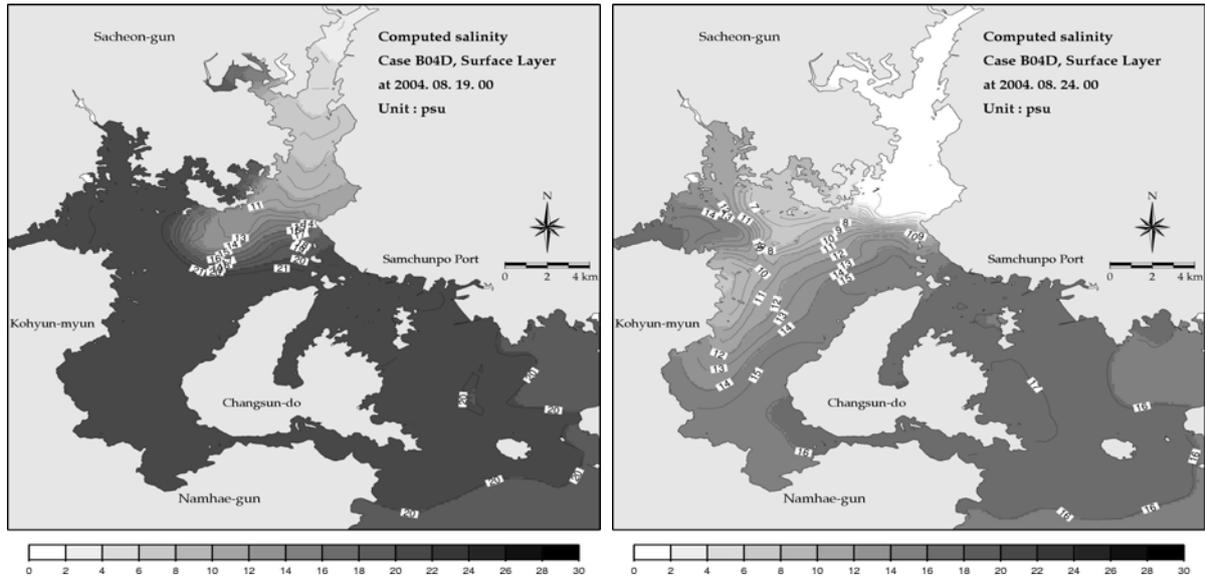


그림 3-52. 남강댐 방류시 염분 분포도(Case B04D, 2004년 8월 19일, 24일)

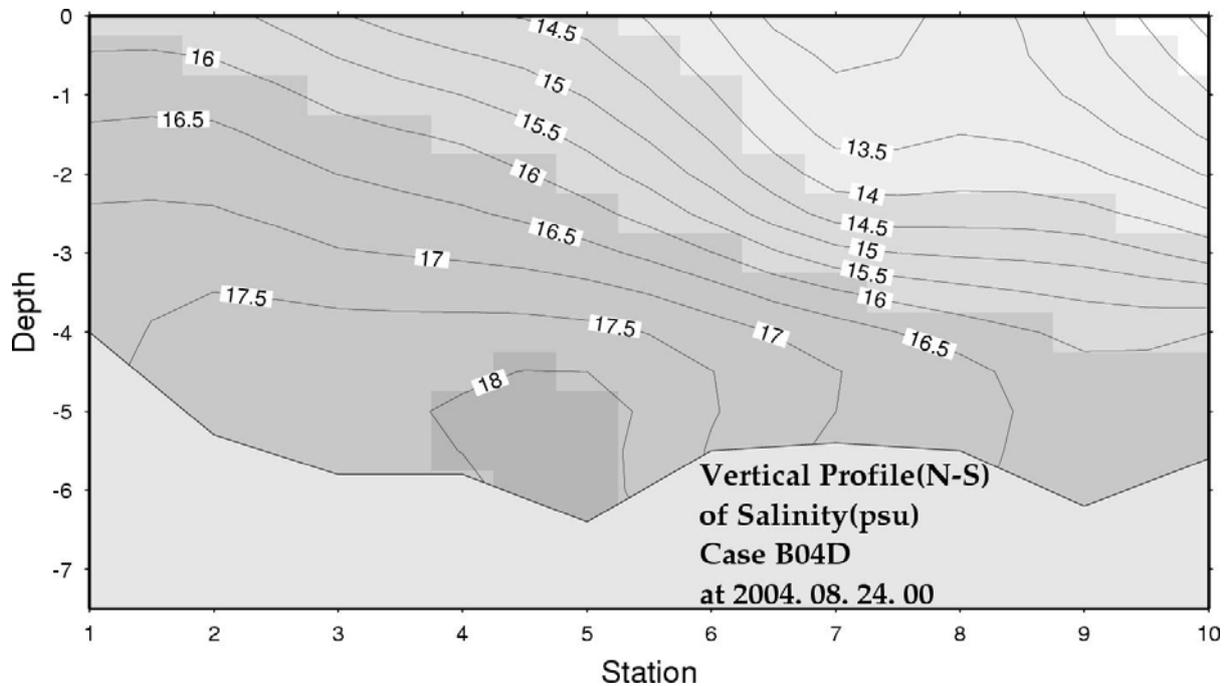


그림 3-53. 염분 수직 분포도(Case B04D, 2004년 8월 24일)

수산특정연구개발사업

다. 용존산소 계산 결과

(1) 용존산소 수치모형모델링 개요

본 모델링의 목적인 남강댐의 여수로 방류에 따른 강진만에서의 용존산소의 수리 특성 변화를 추정하기 위하여 3차원 용존산소 (DO) 변화 수치모형모델링을 수행하였다.

모델링은 대상해역을 적절한 격자망으로 분할하고, 각 격자점에 수심을 입력하여 해저 지형을 모형으로 재현하는 모델수립 후 조위와 조류속의 모델링결과가 관측치와 잘 일치할 수 있도록 개방경계 조건 등의 입력 자료를 조정하여 검증을 실시하였다.

용존산소 (DO) 변화 모델링을 위한 격자망은 강진만과 사천만 해역을 충분히 포함한 영역으로 구성하였으며, 수치모형모델링의 개요를 표 3-23에 제시하였다.

표 3-23. 용존산소 (DO) 변화 수치모형모델링 개요

구 분	내 용
적용 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 3차원 양해법 수치모형. • 미국 HydroQual에 의해 개발된 모형이며, 해외의 여러 연구와 사업 등에서 적용성이 검토되어 신뢰성 입증
결과 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 용존산소 (DO)의 수직, 수평 분포도

(2) 용존산소 수치모형모델링 결과 분석

(가) 수치모형 검증

2004년 하계 관측 자료를 이용하여 본 수치모형의 용존산소 (DO) 결과를 비교·검증하였다. 용존산소 (DO) 변화 수치모형모델링 상의 저장 시간 간격은 1시간으로 하였다.

(나) 모델링 결과 분석

8월 19일과 24일 0시의 용존산소 (DO) 수평 분포도와 강진만 해역에서의 N-S 방향과 E-W 방향의 수직 단면 분포도를 제시하였다. 강진만에서 용존산소 (DO) 분포는 저층의 경우 8.0mg/l에서 2.7mg/l까지 감소되는 것으로 나타내며 표층에 비하여 저층에서 낮은 용존산소량을 갖는 것으로 나타났다. 수직분포의 경우 19일에 표층에서 9.5mg/l 내외, 저층에서 3.5mg/l 미만의 분포를 나타내며 24일에는 표층에서 10.5mg/l 내외, 저층에서 4.0mg/l 정도의 분포를 나타냈다.

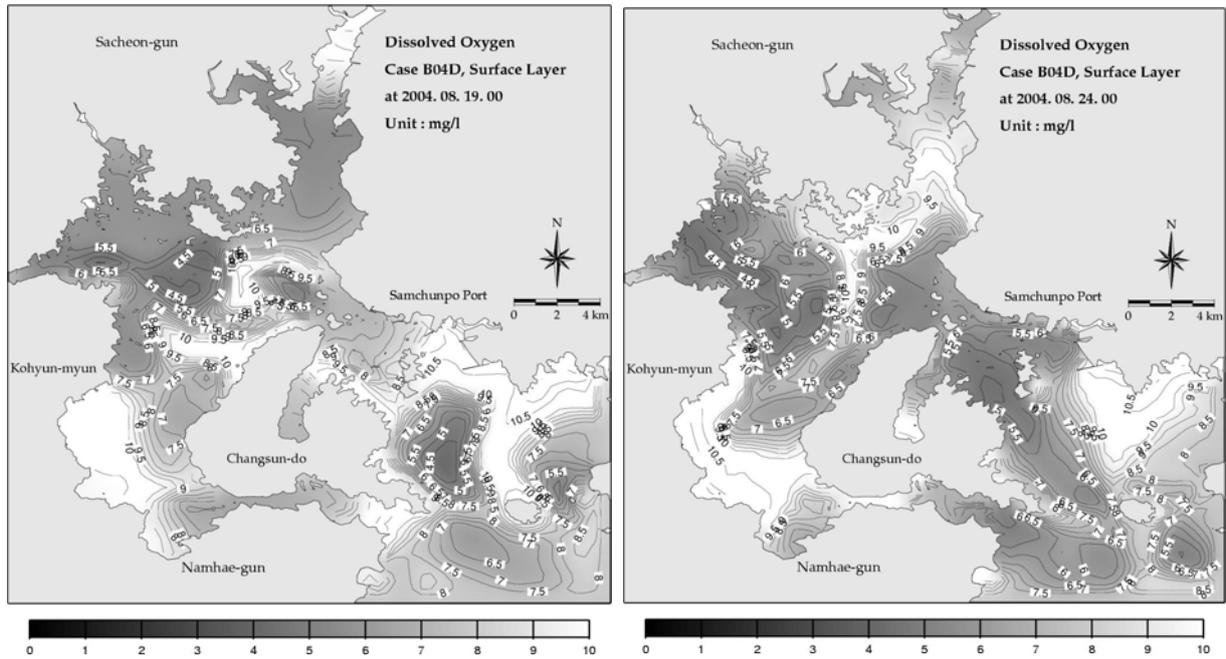


그림 3-54. 용존산소 (DO) 분포도(Case B04D, 2004년 8월 19일, 24일, 표층)

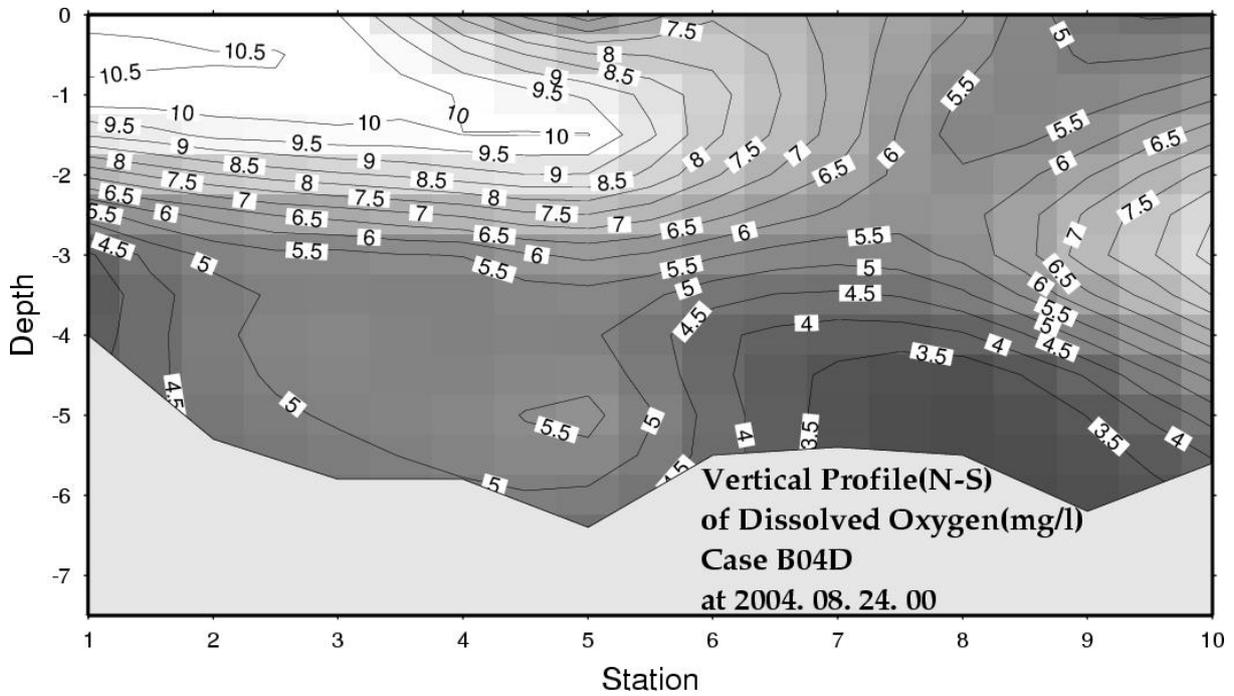


그림 3-55. 용존산소 (DO) 수직 분포도(Case B04D, 2004년 8월 24일, N-S 방향)

6. 피조개 환경 독성 실험 및 결과 분석

가. 수조 실험

(1) 부착치패의 수온 및 염분 내성

(가) 수온 내성

수온은 5, 10, 15, 20, 25 및 30°C(염분: 30 psu)에서 부착치패 2.9±1.3mm의 수온내성 실험 결과, 24시간째 생존율은 0, 74, 89, 99, 98, 96%로 나타났고, 48시간째 0, 54, 88, 99, 98, 98, 96%였으며, 72시간째 0, 48, 88, 99, 98, 96%로 부착치패는 상온 25.0°C에서 저수온 5°C에 투입한 결과 대부분이 탈락하였고 24시간 경과 후 전량 폐사로 나타나 온도차가 클수록 폐사율이 높아지는 경향이 있었다. 그러나 15°C 이상에서는 비교적 높은 내성을 나타내어 생존율이 높았다. 따라서 부착치패는 저온에는 약한 경향이 있었으나 15°C 이상 상온에서는 내성이 비교적 높은 경향이 있었다(그림 3-56).

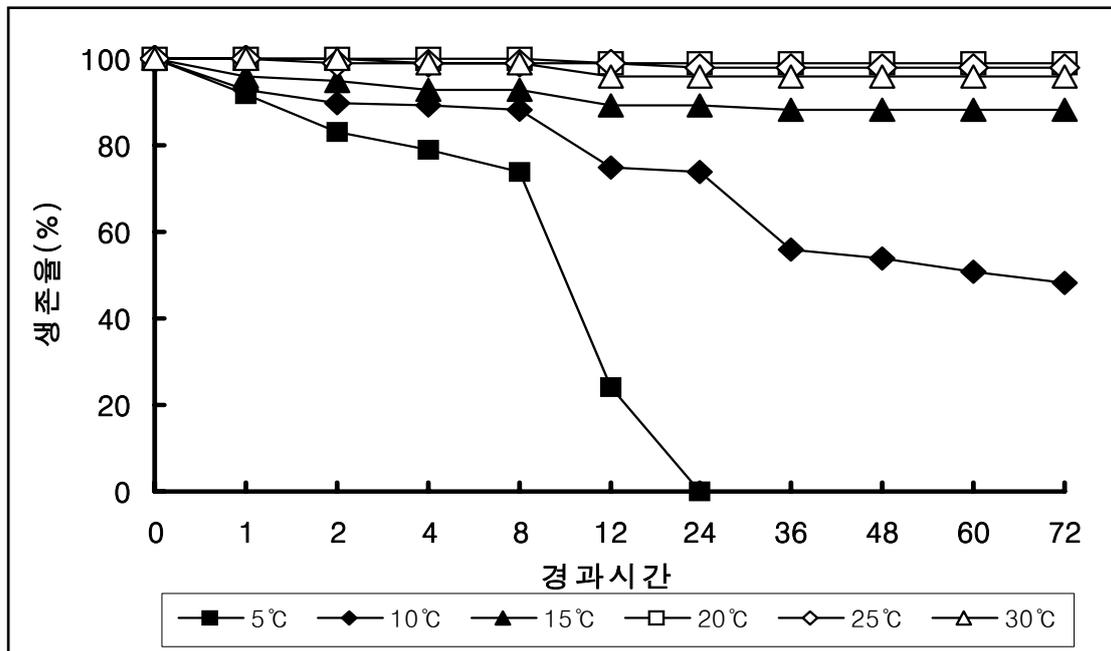


그림 3-56. 피조개 부착치패의 수온변화에 따른 생존율

(나) 염분 내성

염분 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu(수온: $20 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 염분 내성 실험 결과, 생존율은 4시간 경과 후 0 psu에서 전량폐사 하였고, 38, 49, 52, 59, 73, 97, 98% 순이었다. 8시간 경과 후 10 및 15 psu에서 전량폐사 하였고, 36시간 경과 후 20 psu에서도 전량 폐사하였다.

부착치패의 염분별 생존율은 15 psu이하에서는 8시간에 이내에 전량 폐사하였고, 이러한 결과는 부착치패는 염분의 급격한 변화에는 매우 약한 경향이 있어 비교적 낮은 염분 내성을 나타내었다(그림 3-57).

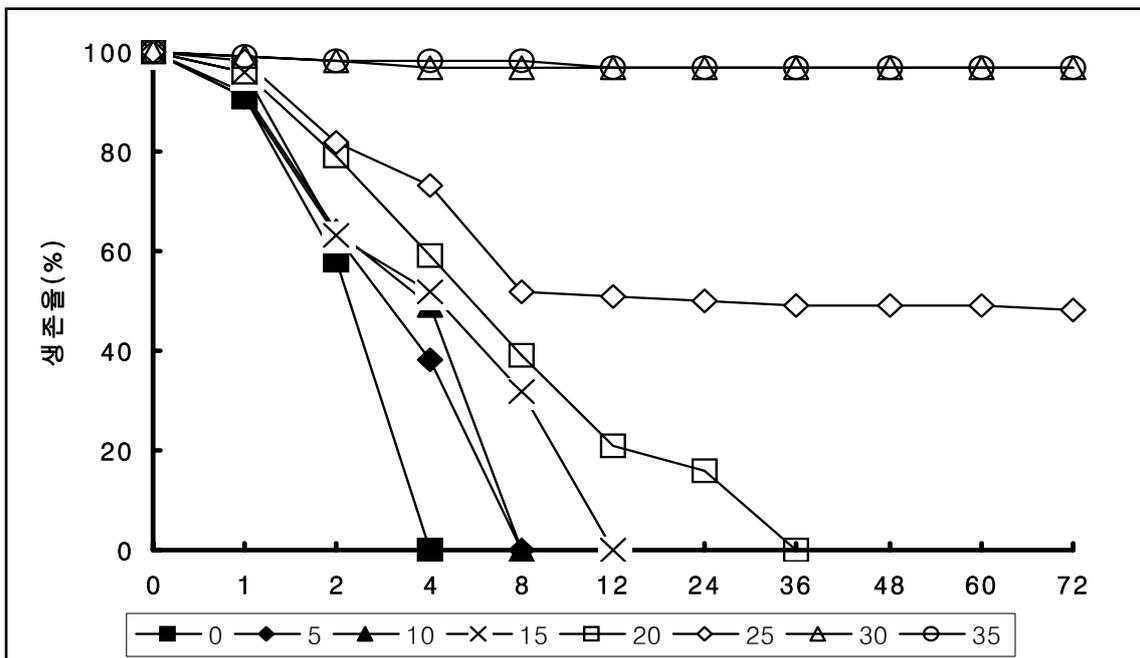


그림 3-57. 피조개 부착치패의 염분에 따른 생존율

(2) 치패의 수온 및 염분 내성

(가) 수온 내성

수온 5, 10, 15, 20, 25 및 30°C (염분: 30 psu)에서 부착치패 $1.2 \pm 0.4\text{cm}$ 의 수온내성 실험 결과, 24시간째 생존율은 63, 88, 94, 98, 96, 99%로 나타났고, 48시간째 55, 84, 90, 98, 96, 99%였으며, 72시간째 52, 80, 89, 98, 96, 96%로 치패는 부착치패 보다는 생존율이 높아 수온 내성이 비교적 높은 경향이 있었다(그림 3-58).

수산특정연구개발사업

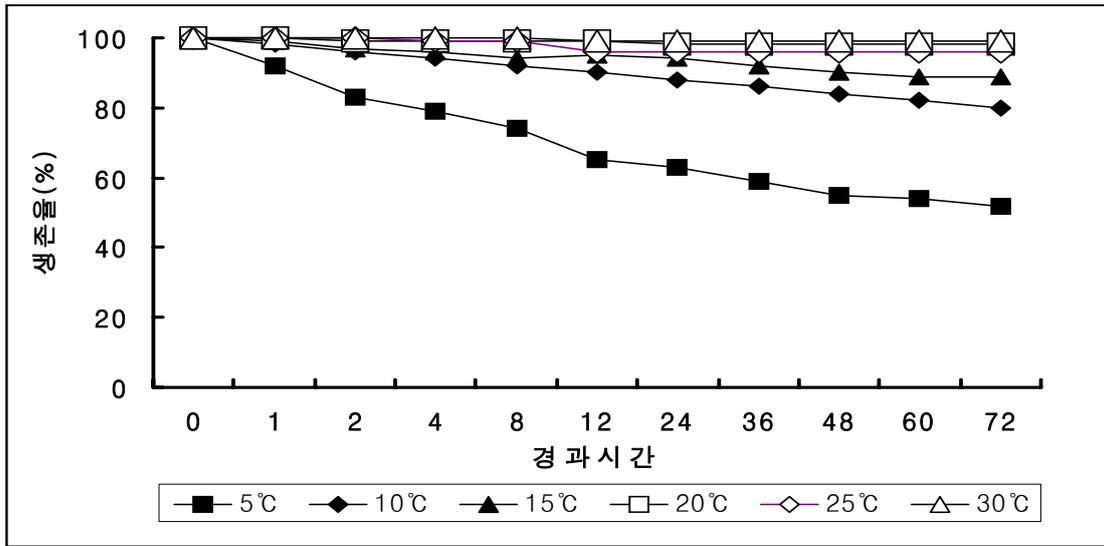


그림 3-58. 피조개 치패의 수온에 따른 생존율

(나) 염분 내성

염분 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu(수온: 20 ± 1°C)에서 염분 내성 실험 결과, 생존율은 4시간 경과 후 0 psu에서 전량 폐사 하였고, 53, 56, 52, 78, 96, 97, 98% 순이었다. 8시간 경과 후 10 psu에서 전량 폐사 하였고, 36시간 경과후 20 psu에서도 전량 폐사하였다.

치패의 염분별 생존율은 15 psu이하에서는 48시간에 이내에 전량 폐사하였고, 이러한 결과는 치패는 염분의 급격한 변화에는 매우 약한 경향이 있어 비교적 낮은 염분 내성을 나타내었다.(그림 3-59).

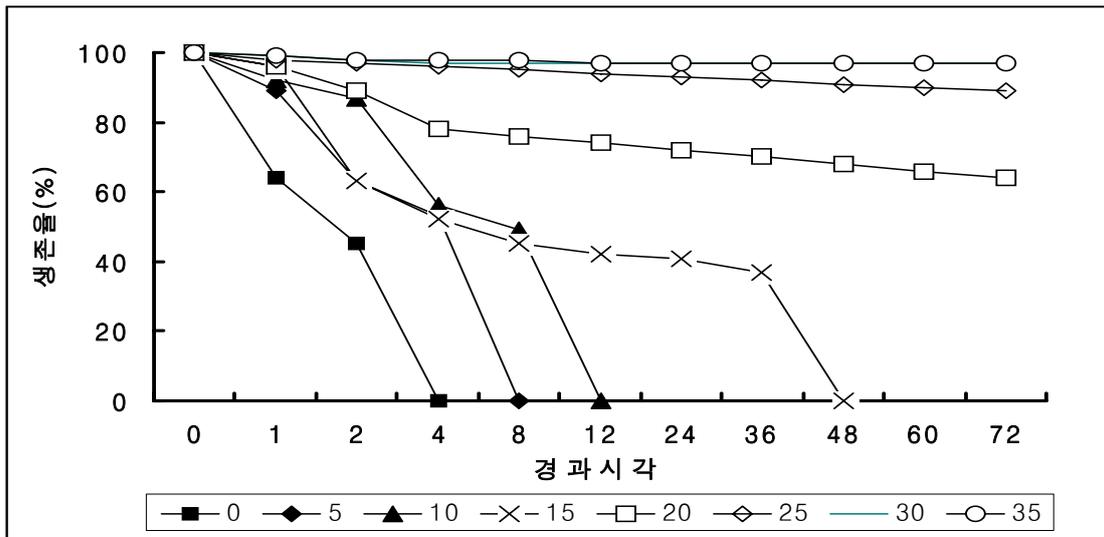


그림 3-59. 피조개 치패의 염분에 따른 생존율

(3) 성패의 수온 및 염분 내성

(가) 수온 내성

수온 5, 10, 15, 20, 25 및 30℃(염분: 30 psu)에서 성패 6.8±1.3cm의 수온내성 실험 결과, 24시간째 생존율은 96, 98, 98, 98, 99, 99%로 나타났고, 48시간째 96, 97, 98, 98, 99, 99, %였으며, 72시간째 95, 97, 98, 98, 99, 99%로 성패는 부착치패, 치패 보다는 수온 내성이 비교적 높은 경향이 있었다(그림 3-60).

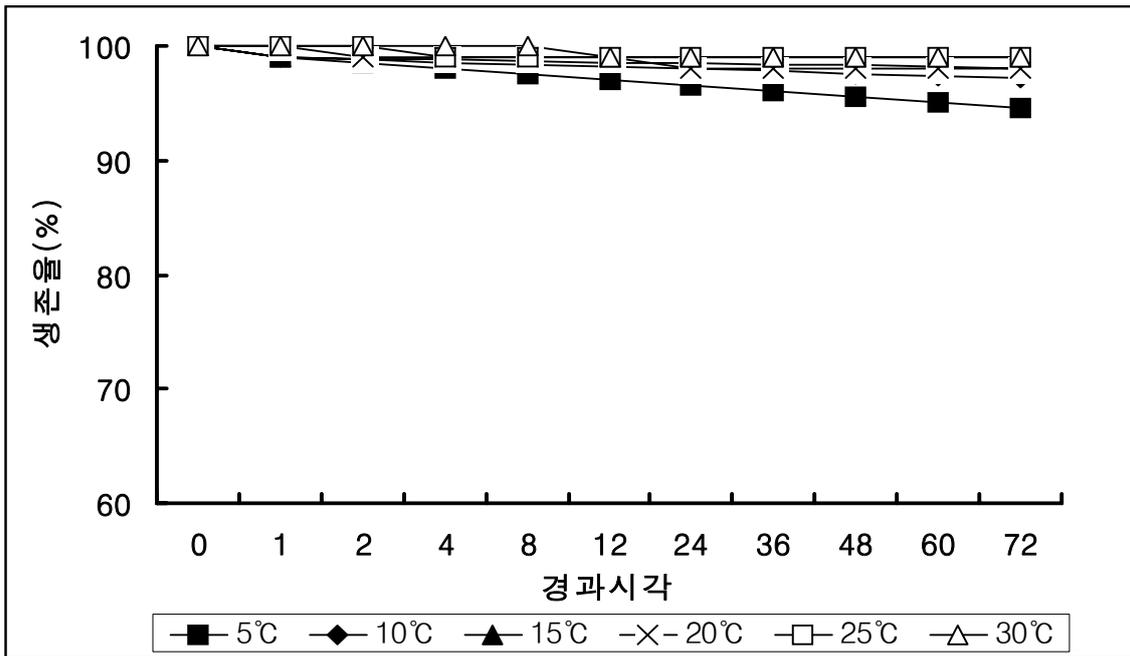


그림 3-60. 피조개 성패의 수온에 따른 생존율

(나) 염분 내성

염분 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 psu(수온: 20 ± 1℃)에서 염분 내성 실험 결과, 생존율은 4시간 경과 후 0 psu에서 전량폐사 하였고, 64, 66, 52, 92, 96, 97, 98% 순이었다. 12시간 경과 후 10 psu에서 전량폐사 하였고, 48시간 경과후 15 psu에서도 전량 폐사하였다.

성패의 염분별 생존율은 15 psu이하에서는 48시간에 이내에 전량 폐사하였고, 이러한 결과 성패도 염분의 급격한 변화에는 약한 경향이 있어 비교적 낮은 염분 내성을 나타내었다(그림 3-61).

수산특정연구개발사업

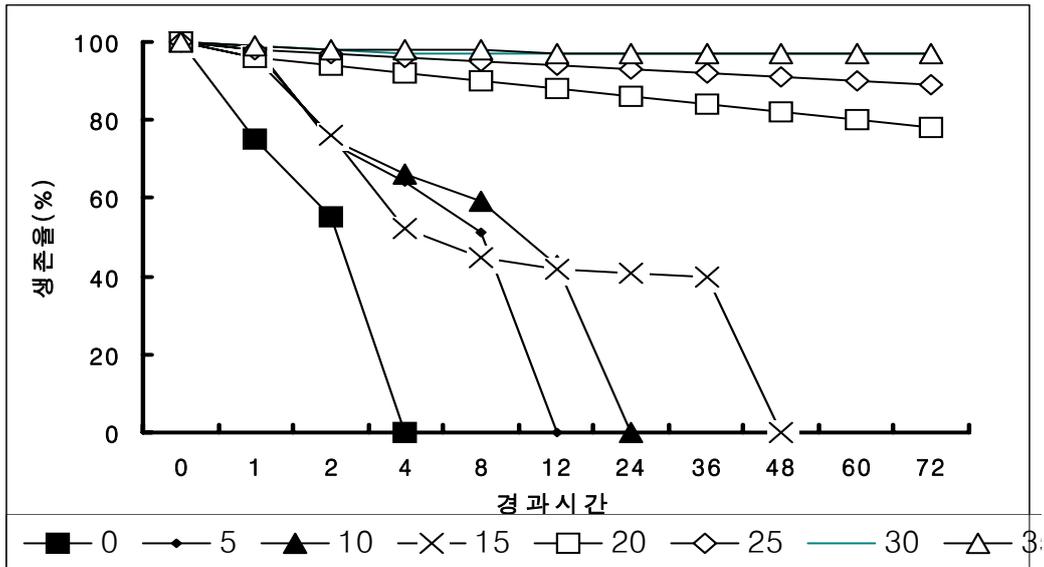


그림 3-61. 피조개 성패의 염분에 따른 생존율

따라서 피조개 부착치패, 치패 및 성패를 수온과 염분에 따라 환경 내성 실험을 한 결과 수온에 따라서는 내성의 정도가 큰 차이를 발견할 수 없었으나, 염분의 경우 15 psu이하에서는 매우 낮은 생존율을 나타내었다. 특히 이러한 결과는 고수온기에는 상승작용에 의해 보다 생존율이 낮을 것으로 판단된다.

※ 피조개의 성장

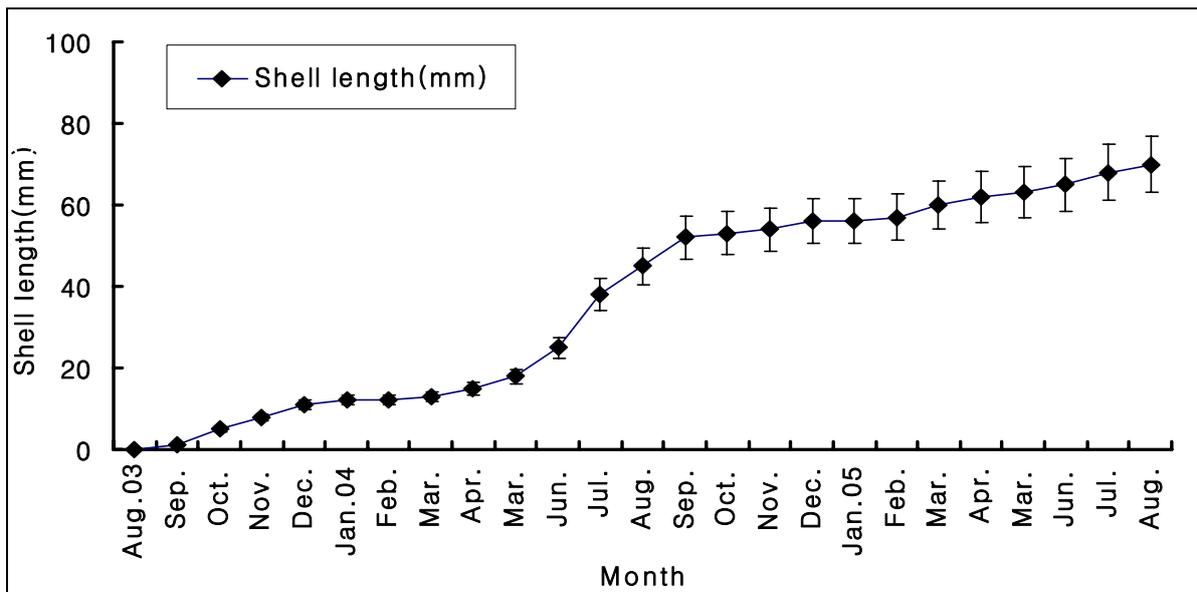


그림 3-62. 피조개 자연종묘의 월별 각장 성장 비교

나. 산소 호흡률 감소 실험

(1) 실험 결과

총 40회의 용존산소 및 염분에 대한 호흡률 변화 독성 실험을 실시한 중에서 유의미한 결과 (12회)를 대상으로 분석 하였다. 분석 방법은 원시 호흡률 자료로부터 각종 에러 신호를 제거한 후 환경 조건(염분 및 용존산소)에 피조개 시료를 노출시킨 후 그 충격에 따른 호흡률의 변화를 충격 시점 전후하여 측정 비교 분석하였으며, 그 결과는 그림 3-63과 표 3-24에 각각 나타내었다. 감소율 최고치는 실험4의 경우 0.296 mlO₂ /g H 이고 최저치는 실험 7의 0.042 mlO₂ /g H 이다. 실험 횟수 별로 감소율의 기복이 있어 이를 실험 조건별 평균을 한 결과가 평균 감소율로 표 3-24에 표시 되어 있다. 이 결과를 보면 포화산소 농도가 낮을수록 평균감소율은 높아지고, 높을수록 감소율은 낮아서, 역시 낮은 산소 포화농도에서의 독성 효과가 강하게 나타남을 알 수 있다.

표 3-24. 용존산소 충격 실험 결과. 감소율= 충격후의 평균 호흡률 - 충격전 평균호흡률

실험 ID			(DO Impact)							감소 율	평균 감소율
			충격전			충격후					
			초기	최종	평균	초기	최종	평균			
1	1-10%	01041941-1	0.718	0.756	0.737	0.906	0.447	0.676	0.0605	0.1668	
2		01042016-2	1.028	0.943	0.985	0.964	0.461	0.712	0.273		
3	5-15%	01171605-1	0.556	0.799	0.677	0.682	0.501	0.591	0.086	0.1913	
4		01171635-1	1.171	1.279	1.225	1.074	0.783	0.928	0.2965		
5	15-25%	11241316-1	0.231	0.185	0.208	0.173	0.138	0.155	0.0525	0.0908	
6		11241316-2	0.166	0.165	0.165	0.137	0.104	0.1205	0.045		
7		12071904-1	0.222	0.222	0.222	0.21	0.15	0.18	0.042		
8		12191509-2	0.654	0.903	0.778	0.628	0.422	0.525	0.2535		
9		12191517-1	0.21	0.16	0.185	0.156	0.092	0.124	0.061		
10	25-35%	11241303-1	0.178	0.232	0.205	0.198	0.115	0.156	0.0485	0.0470	
11		12071347-2	0.215	0.221	0.218	0.189	0.156	0.172	0.0455		

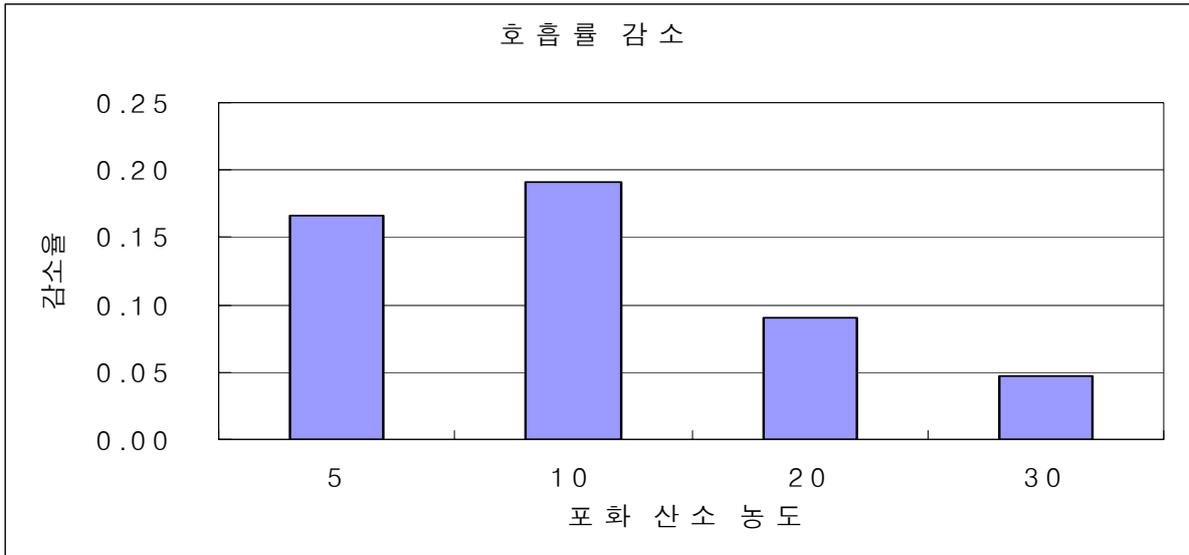


그림 3-63. 평균 호흡량 감소율.

(2) 산소 충격실험 결과에 대한 해석

피조개에 대한 환경 조건의 독성에 대한 호흡률 변동 실험은 국내에서는 물론이고 전 세계적으로 그 유례를 찾을 수 가 없다. 따라서 실험 결과에 대한 해석은 신중을 기할 필요가 있고 향후 반복적 실험을 수행하여 결론을 도출할 필요가 있다. 위 표의 결과에 의하면 용존산소 농도(포화도 기준) 변화에 따른 반응으로서 충격전 호흡률의 변화가 최소 0.0001에서 최대 0.02까지 분포하여 대단히 넓은 범위를 나타내고 있으며, 충격후에는 호흡률의 감소가 최소 0.006에서 최대 0.04로서 최대 8배의 호흡률 감소를 나타내고 있다. 특히 실험 12191509-2의 경우를 보면 충격전에는 호흡률이 0.06~0.09 (ml O₂/g H) 범위에서 호흡하다가 충격후는 0.04 까지 호흡률이 감소하여 시간당 감소율이 0.04 에 이르러서 실험중 가장 높은 호흡률의 감소를 기록하였다. 호흡률의 감소는 궁극적으로 피조개 개체의 사망으로 이어질 수 있어 충격에 대한 반응 지수로 활용할 수 있다.

(3) 호흡률 충격 실험상의 문제점

- 1) 실험 장치가 피조개를 대상으로 원래 고안되지 못한 것으로 다수 개체(10개 이상)를 용기에 넣기에는 부피의 한계로 어려움이 있었다.
- 2) 개체당 호흡률의 변이가 상대적으로 높아 신뢰성 있는 결과 도출이 어려웠다.
- 3) 염분 및 용존산소의 조건을 동시에 제어하기에는 기술적 어려움이 있고, 특히 저염분 농도에서는 실험이 거의 불가능하였다.

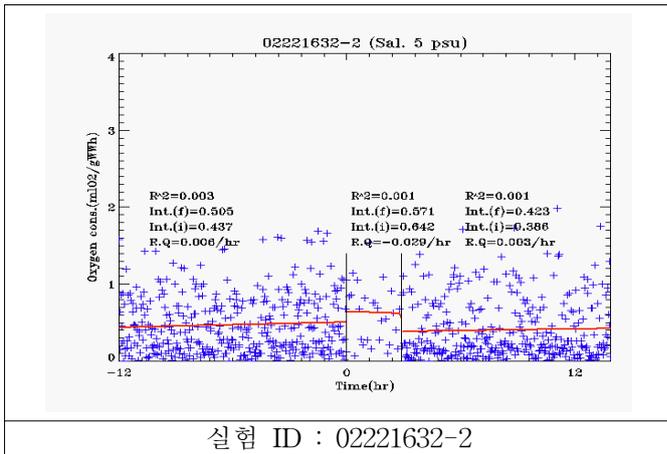


그림 3-64. 염분 충격 실험 결과 (염분 농도 5 psu)

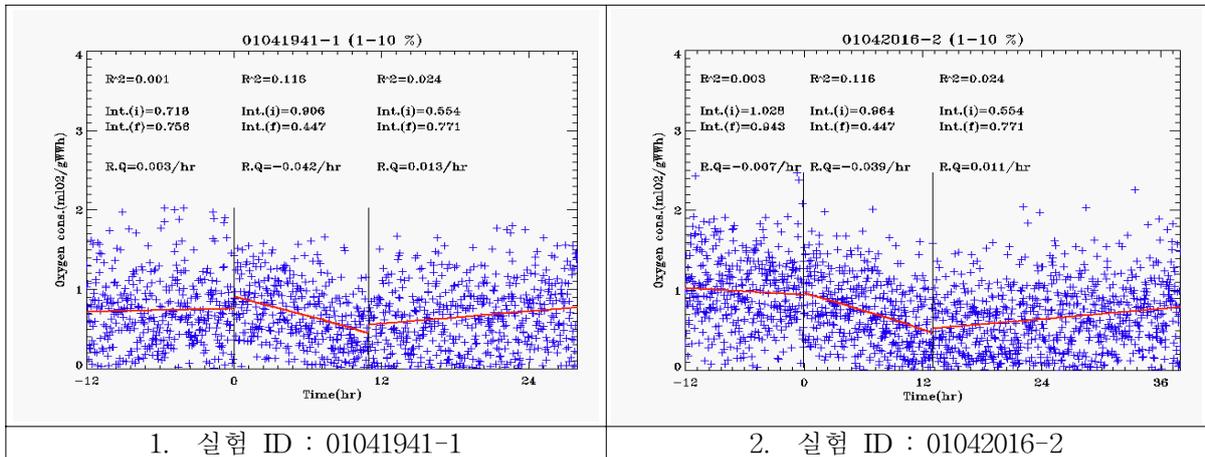


그림 3-65. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 1-10%)

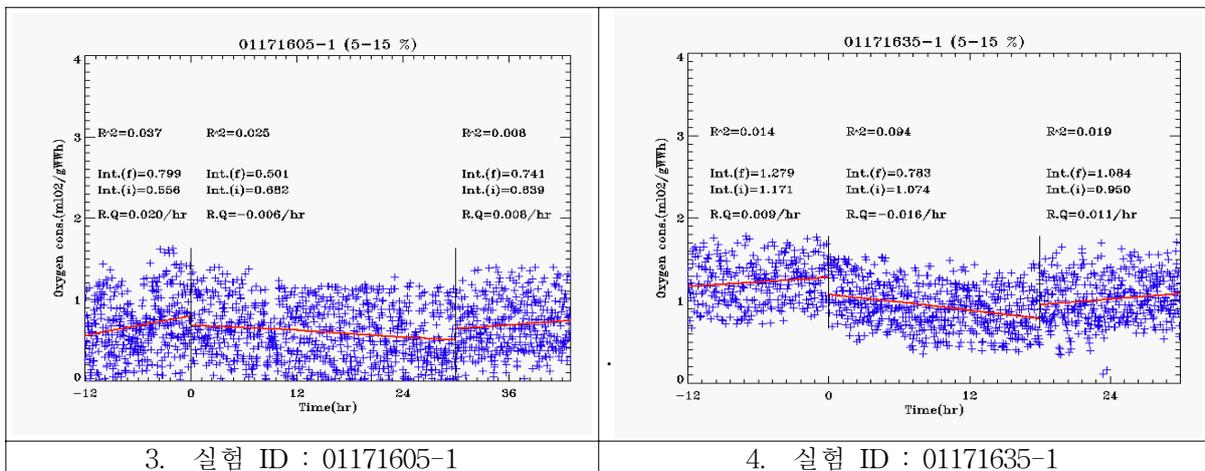


그림 3-66. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 5-15%)

수산특정연구개발사업

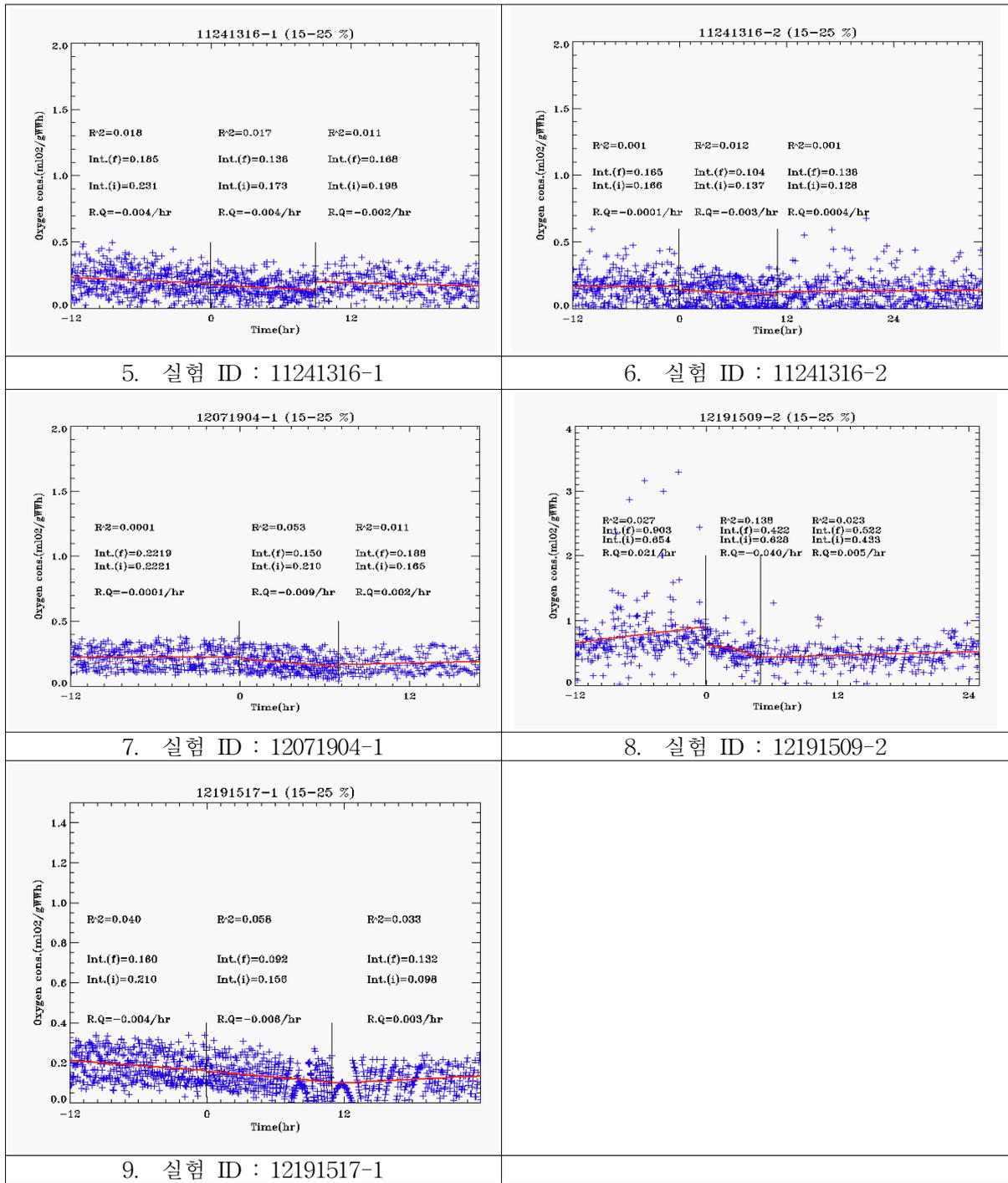


그림 3-67. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 15-25%)

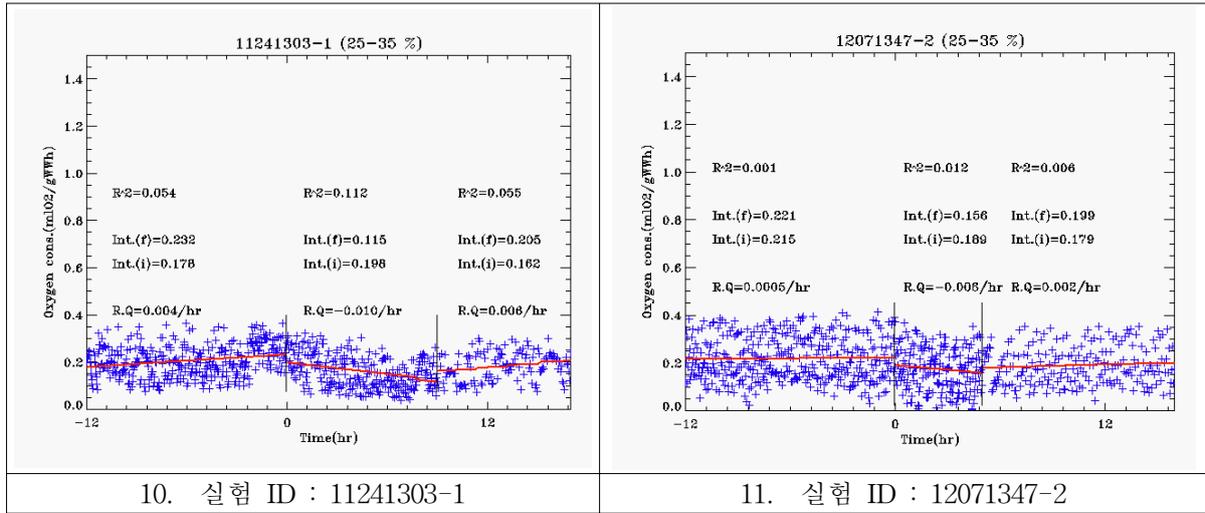


그림 3-68. 용존산소 충격 실험 결과 (산소 농도 25-35%)

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도

강진만 피조개 어장 환경을 실시간 감시 시스템에 의거 현장 상황을 실시간으로 파악하고, 자료를 생산하였으며, 자료의 생산율과 생산량에 있어서는 국내 해양 수산연구에서 일찍이 볼 수 없었던 정도로 많은 양의 자료를 성공적으로 생산하고 있으며 지속적으로 3차 년도에도 이루어 질 예정이며, 생산된 자료에 대한 분석과 평가도 현재 다각적으로 진행 중에 있다.

이 연구의 최대 쟁점 현안인 피조개 대량 폐사의 원인을 규명할 수 있을 직접적 증거 자료를 2004. 6 - 8월 기간 동안의 정밀 상세 현장 조사 자료를 통하여 확보하였으며, 현재 90 %의 확신을 갖고 결론을 도출하고 있으며, 현재 논문을 작성 전문학회지에 투고 예정이다. 이 결과로서 본 연구의 주요 결론을 조기에 달성하는 성과를 내릴 수 있게 되었지만, 아직도 여러 가지 측면의 연구 현안은 여전히 존속하고 있다. 대조구(진해만 구영리)와의 어장 환경과 생산성의 차이점, 빈산소 발생 기작 중 주요 메커니즘의 규명과 크기의 상대적 비교 등이다.

본 연구는 크게 3개의 목표로 대별할 수 있으며, 첫째, 본 연구의 기본 인프라인 피조개 양식어장(남해 강진만)의 인터넷 실시간 환경감시 시스템을 설치하여 안정적 운용을 통하여 실시간으로 환경변수(각종 해양 및 수질 파라미터 - 수온, 염분, DO, pH, 총인, 총질소, 탁도, 클로로필)를 자동 측정하여 인터넷 상에 실시간으로 자료 및 정보를 제공하며 어민 및 정책관계자와 참여연구원에게 제공하고, 자료의 수집 및 양식장 내의 특정 파라미터(염분 및 DO)의 급변 등에 대한 경보시스템을 개발하여 대어 민 경보 메시지를 전송하며, 이와 병행하여 주변해역의 해수 순환 및 수질 모델링을 실시하여 어장조건 변동의 기작을 이해하고, 둘째, 강진만의 어장조건을 이화학적, 생지 화학적 조건을 통하여 파악하며, 셋째, 대조구(진해만)를 설정하여 생산성 비교 분석을 통하여 성장을 정량적으로 측정 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건을 파악하고, 강진만 피조개의 대량폐사 원인 규명을 위한 용존산소 고갈 기작을 규명 및 수치 모델링 한다.

표 4-1. 1차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적

연구수행년차	연구세부계획	연구 실적
1년차	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 개발 설치 및 운용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강진만 주변해역 2개(강진만 북측 입구, 강진만 남동측 중앙부) 관측망에서 조류, 수온, 염분, DO, 탁도, 클로로필 연속 관측
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장환경 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 남해 강진만 6개정점 수질, 저질 수온 외 환경요인 12항목 조사 분석 ○ 대조구인 진해만 거제 구영 피조개 어장에 3정점의 수온 외 12항목 수질, 저질 조사 분석 ○ 대조구와 실험구의 차이 분석을 위한 과거 30년간 염분변화 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3차원 해수순환 모델링 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3차원 해수순환 모델을 이용한 강진만 주변해역 3차원 해수유동 구조 해석

수산특정연구개발사업

표 4-2. 2차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적

연구수행년차	연구세부계획	연구 실적
2년차	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 운용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강진만 주변해역 관측망에서 수온, 염분, DO, pH, 총인, 총질소, 탁도, 클로로필 등 해양 및 수질 파라미터 관측 ○ 수집자료의 DB화, 실시간 인터넷 서비스 및 특이 급변현상에 대한 경보모델 및 경보메시지 전송시스템 개발 ○ 강진만 해수순환모델 및 염분모델 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장환경 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장환경 특성치 비교조사를 수행하며, 먹이망 관계를 유기잔사물, 저서규조류와 저질의 이화학적 분석 결과로부터 도출 ○ 저질의 생지화학적 분석을 통하여 어장환경용량을 산정하여 지속적 생산가능 양식량을 결정함
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장 생산성 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강진만과 대조구(진해만)를 설정하여 피조개를 양성하고 주기적으로 성장을 정량적으로 측정, 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건 파악 ○ 피조개 어장의 빈산소 현상에 따른 대량 폐사를 규명하는 용존산소 모델링 결과 도출 ○ 피조개 독성실험 - 수조 방식

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

표 4-3. 3차년도 연구 세부 계획 및 연구 실적

연구수행년차	연구세부계획	연구 실적
3년차	<ul style="list-style-type: none"> ○ 피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 운용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강진만 주변해역 관측망에서 수온, 염분, DO, pH, 총인, 총질소, 탁도, 클로로필 등 해양 및 수질, 기상 파라미터 관측 ○ 수집자료의 DB화, 실시간 인터넷 서비스 및 특이 급변현상에 대한 경보모델 및 경보메시지 전송시스템 개발 운용 ○ 강진만 해수순환모델 및 염분모델 개선
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장환경 특성분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장환경 특성치 비교조사를 수행하며, 먹이망 관계를 유기잔사물, 저서규조류와 저질의 이화학적 분석 결과로부터 도출 ○ 저질의 생지화학적 분석을 통하여 어장 환경용량을 산정하여 지속적 생산가능 양식량을 결정함
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어장 생산성 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강진만과 대조구(진해만)를 설정하여 피조개를 양성하고 주기적으로 성장을 정량적으로 측정, 생산성을 조사 비교 분석하여 피조개 양식어장의 생산성 향상을 위한 어장조건 파악 ○ 3차원 용존산소 및 수질 모델링 검증 ○ 피조개 독성실험 - 호흡률 방식

수산특정연구개발사업

표 4-4. 연구목표 대비 결과

당초 연구 목표	당초 목표 대비 연구결과
① 피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 설치, 운용	설치 후 운용 성공적 완수 실시간 수질, 기상, 해수유동자료 생산
② 어장환경 특성 분석	4계절 3년간 수질/생물상 조사 및 분석 완료
③ 어장 생산성 모델	적정 피조개 치패 식입량 산정 및 어민 지도
④ 해수 유동 모델 개발	강진만 해수 유동 모델 개발 완료
⑤ 남강댐 방류에 의한 밀도류 모델 개발	방류에 따른 밀도류 모델 개발 완료
⑥ 용존 산소 확산 모델 개발	용존 산소 확산 모델 개발 완료

제 2 절 평가 착안점에 따른 달성도에 대한 자체 평가

표 4-5. 세부과제별 배점 및 자체 평가표

세부과제명	주요항목	배점	자체 평가 점수	
			%	배점*%
피조개 양식어장 실시간 해양환경 감시 시스템 운용	실시간 어장환경 감시 시스템 운용	30	100	30
	감시 시스템에 의한 자료 생산	10	200	20
어장환경 특성분석	어장 환경 특성 분석	20	100	20
	피조개 폐사 원인 규명	10	100	10
어장 생산성 모델 개발	강진만, 구영리 어장 생산성 비교	10	100	10
	강진만 빈산소 발생 기작 모델링	10	150	15
	피조개 환경 독성 실험	10	200	20
	합계	100		135

※ 상기 평가표에 의한 달성도를 정량적으로 표시한다면 당초 계획 대비 135 %의 달성율을 올렸다고 생각 함. (당초 계획에 없던 피조개 독성실험 추가 달성)

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

제 1 절 연구개발결과 현황

1. 핵심 기술

국내 연안 해양환경 감시 네트워크 구축의 핵심 기술 제공
연안 해양환경 예보 시스템 구축의 핵심 기술 제공
연안 어장환경 경보 시스템 구축의 핵심 기술 제공

2. 학술회의 발표 실적

전체 14건 (국내 9건, 국외 5건) < 표 5-1 >

3. 발생품 및 시작품 내역

가. 실시간 연안어장 환경 자동 모니터링 시스템
(1) 바아지 및 앵커
(2) 실험 컨테이너 하우스
(3) 실시간 자료 송신 시스템

4. 정책활용실적

가. 수산과학원 주최 ‘피조개 산업 복원 연구’ 심포지움 2회 발표
나. 남해군 삼동면 지족 소재 남해 해양수산관리사무소(소장 최동민) 강진만 어장
환경 변동 및 현황에 대한 자문, 2004-2006년 총 8회

5. 기타 활용 실적

강진만 피조개 양식협회원 대상 설명회 개최, 2004-2006년 총 3회

수산특정연구개발사업

표 5-1. 학술회의 발표 실적

제 목	발표자	학술회의명	호	발표년월일	발행기관
Extreme Cold Episode in the Coastal Waters of the Kangjin Bay, South Sea, Korea during Winter 2003-2004	노영재, 김응	2004년도 춘계 심포지엄 및 학술발표대회	04년도 춘계 요약집	2004.5.14	한국 해양 학회
Mechanism Study of the Hypoxic Conditions in the Kangjin Bay in Summer, 2004	노영재	2004년도 추계 심포지엄 및 학술발표대회	04년도 추계 요약집	2004.11.5	한국 해양 학회
남해도 주변해역 해수유동 3차원 모델링 및 수질변동 특성	김차검, 노영재	2004년도 추계 심포지엄 및 학술발표대회	04년도 추계 요약집	2004.11.5	한국 해양 학회
Numerical Modeling of the Tidal Circulation in the Kangjin Bay	노영재	국제황해 6차 심포지움	2004. ISMY Proceeding	2004.10.9	국제 황해 학회
Impact of the Nam Gang Dam Discharge on the Formation of the hypoxia in the Kangjin Bay	노영재, 정광영	2005년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회	05년도 공동 학술 대회 초록집	2005.5.13	한국해양 과학기술 협의회 (한국해양 학회)
Seasonal Variation of the Water Conditions in the Kangjin Bay, Korea, During 2004-2005	정광영, 노영재	2005년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회	05년도 공동 학술 대회 초록집	2005.5.13	한국해양 과학기술 협의회 (한국해양 학회)
Variability of Meteorological Conditions in the Kangjin Bay, Korea	노영재, 유인자	2005년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회	05년도 공동 학술 대회 초록집	2005.5.13	한국해양 과학기술 협의회 (한국해양 학회)

제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

제 목	발표자	학술회의명	호	발표년월일	발행기관
Impact of the Namsang Dam Discharge on the Formation of the Hypoxia in the Kangjin Bay, Korea	노영재	XIII JECSS/ PAMS workshop Bali, Indonesia,	JECSS Proceeding	2005.7.14	JECSS
Hydrographic and Hydrodynamic Variability in the Kangjin Bay, South Sea, Korea	노영재, 정광영	PICES 14th Annual Meeting Program	14th Abstracts	2005.10.6	PICES(14)
Realtime monitoring of oceanic state variable in Kangjin Bay, South Sea, Korea	노영재, 정광영	PICES 14th Annual Meeting Program	14th Abstracts	2005.10.6	PICES(14)
Estimation of the Heat Flux in the Kangjin Bay, Korea, during Summer and Winter periods, 2004-2005	정광영, 노영재	2005년도 추계 학술발표대회	05년도 추계 요약집	2005.11.3	한국해양학회
Numerical Modeling of River Plume in the Kangjin Bay and Its Implication for the Ecosystem	노영재, 전웅식, 정광영, 김병학	2005년도 추계 학술발표대회	05년도 추계 요약집	2005.11.3	한국해양학회
Interannual Variation of the Winter Air-Sea Heat Flux in the Kangjin Bay, South Sea in 2004-2006	정광영, 노영재	2006년도 한국해양 과학기술협의회 공동학술대회	06년도 공동학술대 회 초록집	2006.5.16	한국해양과학 기술협의회 (한국해양학 회)
Numerical Modeling of the Impact of the River Runoff on the Formation of the Anoxia in the Kangjin Bay, South Sea, Korea	노영재	Joint Assembly Meeting Baltimore	Joint Assembly Meeting Proceeding	2006.5.22	미국 지구물리 연합회

제 2 절 핵심기술(연구내용) 수준 및 활용 유형

표 5-2. 핵심기술 수준 및 기술 활용 유형

핵심기술 (연구내용)	핵심기술(연구내용) 수준					기술(연구결과) 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개발	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 해결	정책 자료	기타
실시간 연안 어장환경 감시 시스템 기술					v	v		v		
해수 순환 수치 모델링 기술					v			v		
연안 수질 수치 모델링 기술					v			v		
피조개 적정 입식량 산정 및 입식시기 결정 기술		v					v			

제 3 절 연구결과별 구체적 활용 계획

본 연구는 경남 남해군 강진만 피조개 양식 어장환경과 피조개 폐사 원인 규명에 초점을 맞추어 연구 결과를 도출하였다. 따라서 도출한 결과는 피조개 어장환경을 개선하고 복원하는데 기초 자료로 활용될 수 있다. 또한 개발된 핵심 기술과 그 활용 계획은 다음 표 5-3과 같다.

표 5-3. 핵심 기술의 활용 계획 및 기대 효과

연번	핵심 기술 명	활용계획 및 기대효과
1	실시간 연안 어장환경 감시 시스템 기술	- 국내 연안 해양환경 감시 네트워크 구축의 핵심 기술 제공
2	해수 순환 수치 모델링 기술	- 연안 해양환경 예보 시스템 구축의 핵심 기술 제공 - 국가(해양조사원) 연근해 해양상태 예보시스템 구축시 기술 제공
3	연안 수질 수치 모델링 기술	- 연안 어장환경 정보 시스템 구축의 핵심 기술 제공
4	피조개 적정 입식량 산정 기술	- 강진만 피조개 협회 어민 대상 교육 및 서비스 제공 - 피조개 양식 어민에게 적정 입식량과 시기 정보를 제공하여 생산량을 높이고 어장 생산력을 복원 가능

제 4 절 기대 효과

1. 정량적 효과

가. 강진만 어장환경 조건에 대한 물리, 생지화학, 생물 조사 성과를 통해 피조개 치패의 대량 폐사원인을 규명하여, 20억 미 이상의 치패 입식량을 조절하여 폐사율을 50% 감소, 폐사 손실을 감소 시켜 50억 원 절감

나. 피조개 생산율을 향상시켜 10억 미를 성장시켜 년 5000톤에서 6000톤으로 20% 증산 효과에 따른 생산증가액 100억 원

다. 결과적으로 200억 원의 생산 증가 유발

2. 정성적 효과

가. 피조개 어민들의 자율적 어장환경 감시 체제의 구성과 의식 제고

나. 피조개 대량 폐사의 원인규명을 통하여 향후 폐사를 감소시키고, 증산을 기할 수 있는 입식 방법의 개선을 통하여 어민 소득을 증대시킬 수 있음.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 미국 워싱턴주 퓨제 만의 실시간 모니터링 시스템 운용 (<http://www.ocean.washington.edu/research/orca>)

1. ORCA의 장기 목표

화학 및 생물에 대한 원격 실시간 장기 모니터링 시스템(ORCA ; Oceanic Remote Chemical-Bio-Optical Analyzer)을 개발하여 대상 변수(T, S, Light, Meteorology, NO₃, O₂, Chl-a, turbidity, NH₄, Gas Exchange parameters)를 감시하고 자료송신은 위성 및 무선 통신을 이용한다. 이 때 변동성의 시간 간격은 수시간, 일, 주, 월, 년 및 년 간 변동을 대상으로 하고 자연 상태의 변동성과 인위적 효과를 판별하고 물리 및 생물 결합 모델 (PRISM) 검증에 사용한다.

ORCA 시스템의 구성은 그림 6-1에 보인다. 이 시스템의 가장 큰 특징은 두 가지 구성 요소에 있는데, 첫째는 자동으로 윈치를 조작하여 수직 profiling 이 가능하도록 하고, 생물오염을 방지하기 위하여 비관측시에는 저층 약 200 m 수심 하에 센서 깊이를 유지할 수 있는 것과, 둘째, 영양염류를 자동으로 측정하기 위한 wetlab 장치가 마련되어 있어, 주요 영양염류인 Nitrate, Phosphate, Silicate를 자동으로 측정할 수 있다. 이에 필요한 시약은 매 1개월 마다 이루어지는 현장 관리시에 시스템 장치에 보충되어 진다.

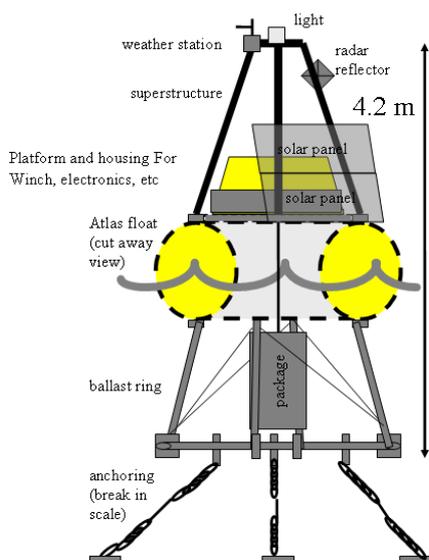


그림 6-1. ORCA 시스템 구성도.

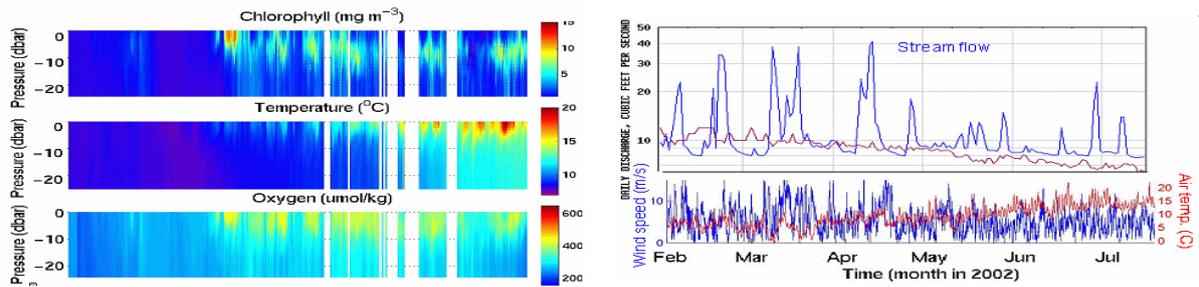


그림 6-2 ORCA 시스템을 이용하여 수집한 다양한 파라미터의 시계열 자료.

그림 6-2는 ORCA에 의해 관측된 2002년 각종 변수의 시계열 자료 결과의 예를 보여준다.

PS (Puget Sound) 해양생태계는 해수 순환과 아울러 육지에서 바다로의 영양소의 이동과 다시 바다에서 하구로의 이동이 끊임없이 존재한다. 이 과정은 무기물, 유기물과 해양포유류를 포함한다. PRISM은 유체역학과 먹이사슬 속에서의 1차 생산 간의 복잡한 관계를 이해하기 위한 노력의 일환으로 해수순환모델과 생지화학 순환 모델을 통합한다.

PS는 대규모의 도심 곁에 있는 대규모의 하구로서 역사적으로 관측이 부족하다. 자료는 공간과 시간에 있어서 큰 gap을 갖고 있다. PRISM 은 모델에 필요한 경계조건과 자료를 제공하기 위하여 일련의 관측 프로그램을 수행하였다.

두 가지 접근 방법으로는

- 1) PS 와 인근 Juan de Fuca 에서의 반년주기 해양조사와,
- 2) Juan de Fuca 해협에서의 매월 관측을 실시하였으며, 반년주기의 현장조사는 전 만에 걸친 수온, 염분, 용존산소와 영양염 및 엽록소의 농도에 대한 종관분포를 얻는 것이며, 1998년에서 현재까지 14회에 걸쳐 R. V. Thomas G. Thompson 연구선을 이용하여 6월과 12월에 이루어 졌으며, 이때 학생들의 교육과 훈련이 동시에 진행되었다.

(<http://www.psmem.org/data/uwhydrographicsurvey.html>)

PS 내에서의 중요한 하구 순환으로서는 Admiralty Inlet 에 존재하는 해중 언덕(sill)을 넘어 유입되는 태평양수의 공급이다. 모델은 PS 에서의 전체 수량을 계산하기 위하여 이 유입수의 특성들을 요구한다. 1999년 이래로 San Juan 섬 남쪽의 3정점에서 매월 조사가 이루어졌다. 이 자료들이 기후적 자료에 비해 훨씬 더 향상된 실제 경계조건을 제공하고 있다.

수산특정연구개발사업

PRISM 연구과제는 초기 ORCA 의 개발과 투입에 연구비를 제공하였다. 2000년 5월부터 2003년 5월 초기에는 ORCA는 Carr Inlet에 투입되었으며 현재는 PS의 중심에 있는 Point Wells 부근에 투입되었다. 그리고 그 운영은 King County 자연보호국 (Dept. Natural Resource) 에 의해 지원되고 있다.

제 2 절 미국의 Orion 계획

(<http://www.orionprogram.org/default.html>)

미국의 NSF 해양과학 분과는 해양에 대한 통합적 관측 네트워크(OOI, Ocean Observatories Initiation)를 구축하기 위하여 ORION(Ocean Research Interactive Observatory Network) 연구계획을 수립하였다. 이 OOI 는 해양연구와 교육분야에 혁신적으로 해양에 대한 접근을 제공하여 수업교실과 전세계의 일반 시민사회에 생생한 해양 연구를 제공할 것이다. OOI 는 세가지 요소로 구성되어 있는데, 고정식 혹은 이동가능한 연안관측 장비와 북동 태평양에 위치한 Juan De Fuca 지판위의 케이블 네트워크와 전지구적으로 분산되어 있는 심해용 관측 부이 들이다. OOI 계획은 다음의 세 가지 관측 네트워크를 통하여 구성된다.

1. 전지구적 OOI

10-20개의 계류 심해용 부이 네트워크로 구성되며 통신위성으로 연결되어 있다. 센서는 해양-대기간 열, 습도 및 운동량의 플럭스를 측정하고, 전 수층에 걸친 물리, 화학, 생물적 과정과 해저면에서의 지구물리적 운동을 관측할 수 있다. 이러한 전지구적 OOI의 핵심은 고위도 지역에서 과거 충분히 관측할 수 없었던 주요한 곳, 예를 들어 남빙양 등에서의 지구기후변화에 대한 해양의 역할을 이해하는데 기여할 것이다.

2. 지역적 OOI

지역적 OOI의 핵심은 장기간의 지역적 규모의 지질 및 해양 현상의 관측이다. 예를 들어, 케이블 관측소는 모든 류의 경계면에서의 특정 지판의 연구를 가능케 한다. 이 네트워크는 양방향 통신을 가능케 하는 광케이블로 연결될 것이며 과거 선박에 의한 관측으로 불가능하였던 현상을 규명할 수 있을 것이다.

3. 연안 OOI

연안의 OOI는 기존의 연안관측망의 모든 장점을 포괄하고, 나아가 연안의 복잡한 현상을 파악할 수 있게 할 관측망으로 확장될 것이다. 여기에는 연안의 대규모 및 중규모의 순환과 소용돌이, 물질 대사, 생태계의 안정과 변화, 해빈의 침식 및 육지-해양간의 인간에 의한 영향 파악이 포함될 것이다. 연안에서의 다양하고 복잡한 현상 연구를 위하여 계류 부이, 케이블, 표층 레이더, 위성에 의한 원격탐사 및 전통적 탐사선과 같은 다양한 관측 수단이 동원될 것이다.

ORION의 설계와 실천 계획 수립을 위한 워크샵 개최

개 최 일 : 2006. 3. 27 - 30. (4일간)

참 가 자 : 350여명

개최장소 : 미국 유타주 Salt Lake 시

이러한 계획 수립을 위하여 300여개의 연구 단체들을 대표하는 과학자들이 참가하여 초유의 워크샵을 개최하여 많은 의제에 관하여 전문가 위원회 별로 토의가 이루어 졌으며, 그 결과 권고안이 제시되었다.

워크샵의 진행 순서와 의제는 다음 표 6-1과 같다.

수산특정연구개발사업

표 6-1. 2006. 3. ORION 워크숍 의제.

Monday, March 27

- Interacting with the Oceans for Research & Education (K. Daly)
- Broader Role of the OOI Funding & Planning (A. Isern)
- The Road to the CNDs (D. Luther)
- Conceptual Network Design-Coastal (J. Trowbridge)
- Conceptual Network Design-RCO (D. Kelley)
- Conceptual Network Design-Global (U. Send)
- ORION/OOI Cyberinfrastructure (L. Mayer)
- Education & Public Awareness Committee (G. Matsumoto)
- Charge to Breakout Groups (O. Schofield)

Tuesday, March 28

- Conceptual Network Design-Coastal:Cabled
- Conceptual Network Design-Coastal:Pioneer
- Conceptual Network Design-Coastal:Uncabled
- Conceptual Network Design-RCO
- Conceptual Network Design-Global

Wednesday, March 29

- Physical Processes/Climate Variability
- Biogeochemical Cycles and Marine Ecosystems
- Earth Structure and Geodynamics
- Fluid-Rock Interactions and Sub-Seafloor Biosphere
- Ocean-Atmosphere Fluxes and Marine Meteorology
- Ocean Hazards

Thursday, March 30

- Conceptual Network Design-Coastal
- Conceptual Network Design-RCO
- Conceptual Network Design-Global Agenda
- Breakout Group Questions
- Breakout Group Leaders
- Role of Mobile Assets
- Community Letter
- Final Participant List
- Acronyms & Terms
- Frequently Asked Questions
- RFA Abstracts (and available Full Proposals)
- Draft ORION Data Policy
- OOI Science Plan
- ORION San Juan Workshop

제 7 장 참고문헌

- Bansek & K.D.Hobson, 1974. Benthic errantiate polychaetes of British Columbia and Washington. Fisheries and Marine service Bull. 1985, 104p
- Cupp E, E, 1943. Marine plankton diatoms of the West Coast of North America, Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 5:1-237.
- Dorrien, CF von. 1993. Ecology and respiration of selected arctic benthic fish. Ber Polarforsch 125: 1-99
- Forstner, H. and E. Gnaiger, 1983. Polarographic oxygen sensors. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Hendey N. I. 1964, An Introductory account of the Smaller Algae of British Coastal waters. partV. Bacillariophyceae(Diatoms), MAFF. Fishery Invest. ser. IV. 317pp
- Hobson, K, D.&r. Bansek, 1981. Sedentariate and archiannelid polychaetes of British Columbia and Washington Dep. Fisheries and Oceans, Ottawa, Bull. 209, 144p.
- Kim, W.S., J.K. Jeon, S.H. Lee and H.T. Hut, 1996a. Effects of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol Prog. Ser., 43: 9-14.
- Kim, W.S., H. Rumohr, M.K. Schmid and C.H. Koh, 1996b. A rhythmicity in the rate of oxygen consumption by the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. J. Korean. Soc. Oceanogr., 31:117-122.
- Kim, W.S., J.M. Kim, S.K. Yi and H.T. Huh, 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 153: 293-298.
- Kim, W.S., J.M. Kim, M.S. Kim, C.W. Park and H.T. Huh, 1998. Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythms of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp.. Mar.Biol., 131: 219-225.
- Mortimer, C.E. 1983. Chemie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, p. 637
- Simonsen R, 1974, The Diatom plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V

수산특정연구개발사업

- Meteor 1964-1965. Meteor Forsch. Ergebnisse, Ser. D. 19:1-107.
- Weiss, R.F., 1970. The solubility of nitrogen, oxygen, and argon in water and seawater. Deep Sea Res., 17: 721-735.
- Yamaji I. 1991, Illustrations of the marine plankton of Japan, 3rd. ed., Hoikusha Pud. Co., Ltd., 160-193.
- 강영실, 1994. 한국근해 난류외양성 Calanoid Copepods의 분류 및 분포. 부산수산대학원 박사 학위논문 144p. Figs. 80, Table 5.
- 김금조 1994. 중국산 피조개 이식 시험에 대한 연구. 어촌지도사례집
- 김동엽, 1985. Taxonomical Study on Calanoid Copepod Crustacea:
- 김병수, 박홍현 1995. 피조개 인공종묘 성육시험. 경상남도
- 김차겸, 이재철, 노영재, 2002. 광양만 개발로 인한 해수유동 변동 및 섬진강 유출수 확산 특성, “해양공간개발과 남해안 환경보전대책” 심포지움 논문집, 2002. 11. 22., 187-211.
- 김학균 외 2003. 적조문제 해결을 위한 국가종합 기획연구과제 개발방안, 해양수산부 348pp.
- 노영재, 1999. 당진화력발전소 온배수 영향조사, 최종보고서, 305pp, 충남대학교 부설 해양연구소
- 노영재, 2002. www상의 지능적 연안해양환경 감시 시스템 개발, 과학재단 과제번호 (1999-2-153-003-3) 연구보고서, 127pp.
- 농림부 1998. 피조개 양어장의 객토효과 연구. 199pp.
- 박정흠, 문태석, 전영렬, 최우정, 최혜승, 김풍호, 유현덕 1995. 피조개 양식장의 지속적 생산에 관한 연구. '94 남해수연 사업보고, 179-190pp.
- 박주석, 1970. 한국근해의 모약류에 관한 연구·수진연구보고 6:1~174.
- 백의인, 1989. 한국식물도감 제 31권 동물편(갯지렁이류). 문교부, 764p
- 심재형, 1994. 한국동식물도감 제 34권 식물편(해양식물 플랑크톤). 문교부, 487p.
- 유광일, 1995. 한국동식물도감 제 35권 동물편(해양동물플랑크톤). 문교부, 415p.
- 이필용, 2001. 한국 남해 내만역에서 입자유기물질과 이매패류생산. 부경대학교 박사학위 논문 184p.
- 전영렬, 나기환, 최우정 1991. 해양생태학적 특성에 따른 피조개 치패의 대량폐사. 한

- 국수산학회지 24, 70-78pp.
- 최동민, 김홍균, 김기찬, 장진덕, 2002. 피조개 양식어장의 단위면적당 적정 살포량 규명 연구, 남해군 64pp.
- 최진우, 1990. 한국동해의 대륙붕과 대륙사면에 서식하는 저서 다모류 군집. 서울대 대학원 박사학위 논문, 166p.
- 해양수산부 2001. 패류양식장에서 지속적인 생산성 유지를 위한 최적 생산 기술개발.