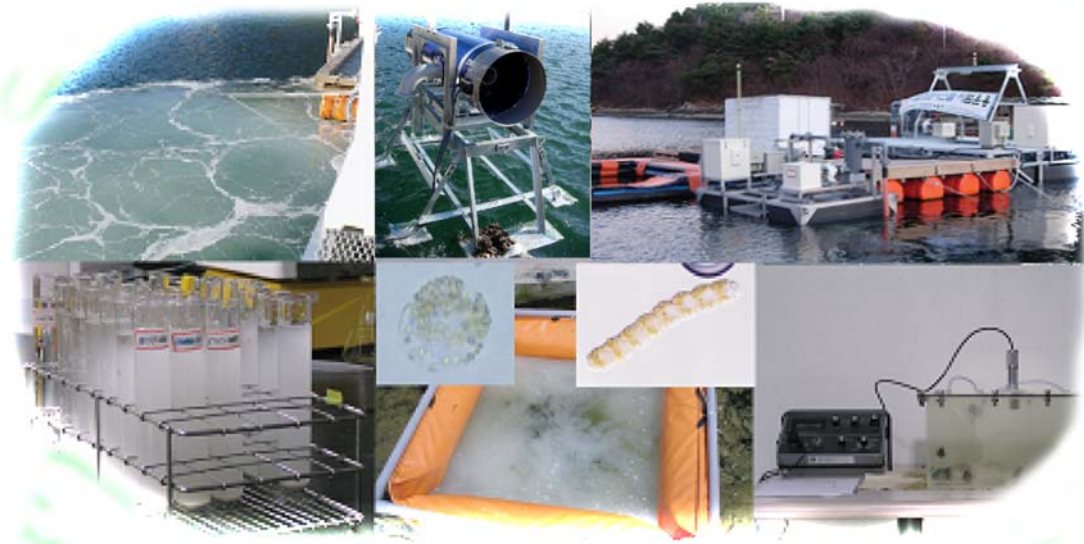


친환경적 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가

An Evaluation on the Practicality of the Environmentally-friendly
Mitigation and Control Technique with Harmful Algal Blooms



주관연구기관
부경대학교

해양수산부

친환경적 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가

An Evaluation on the Practicality of the Environmentally-friendly
Mitigation and Control Technique with Harmful Algal Blooms

주관연구기관
부 경 대 학 교
위탁연구기관
(주) 다원환경

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경적 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가” 용역 사업
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2006년 9월

주관연구기관명 : 부경대학교

총괄연구책임자 : 김 창 훈

연 구 원 : 손민호, 김미향

연 구 보 조 원 : 민유홍, 손명백

황철희, 장성욱

위탁연구기관명 : (주) 다원환경

위탁연구책임자 : 배 현 민

연 구 원 : 강 희 영 외

요 약 문

I. 제 목

- 친환경적 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 적조발생 및 부영양화 해역의 환경 개선
- 수질환경 개선으로 적조 방제 및 효율적인 적조제어 실현

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 시설해역의 생태계 조사

가. 조사해역의 시설장소 선정

- 현지답사, 문헌조사 및 사전조사를 통해 적합한 시설장소 선정

나. 조사해역의 계절별 환경조사

- 계절별 수질환경의 사전 조사 및 본 조사 실시

다. 저서생물 및 플랑크톤 조사

- 계절별 저서생물 및 동·식물플랑크톤의 시공간적 분포상 조사

라. 적조구제 효율 조사(실내실험)

- 적조구제물질의 *Cochlodinium* 구제효율 조사

마. 메소코즘 조사

- 메소코즘 내 적조구제물질 살포에 따른 수질환경 및 생물상 조사

바. 현장실험

- *Cochlodinium* 적조 발생 해역에서 적조구제물질 살포에 따른 구제효율 조사

2. 소형장치 제작 및 실내실험

가. 소형 장치 제작, 살포방법 및 시작품 시설방안 조사

- 장치설치를 위한 작업장, 전기등 주변 환경 현장조사 후, 해역크기에 적합한 소형 및 시작품 선정 및 제작, 살포방법 결정 및 전기사용에 따른 시설방안 결정 후 해역 시설

나. 실내생물영향 실험

- 대표어종 선택하여 적용 물질 및 방법에 대한 영향 실험 수행

다. 생리활성 물질 및 초음파 적용실험

- 초음파 및 구제물질에 대한 적조구제효과 실험 수행

라. 효율증진 기술연구

- 적조 이외의 유해생물인 해파리 구제 기술에 확대 적용
- 본 장치를 수질정화 이외에 생리활성물질을 적용시켜 적조의 직접제어 기술 개발

3. 시작품 설계제작 및 설치운영

가. 기초조사 자료를 통한 설계

- 시설해역의 주변 환경 현장조사와 해역크기에 적절한 시작품 설계

나. 시작품 제작과 성능검사

- 시작품 각 부품 제작 조립 후 제작 현장 주변해역에서 성능 검사 후 구입 결정

다. 해상제어 구조물 제작

- 제작사의 도면에 의한 국내 제작

라. 계류시설물 제작

- 본 장치에 적합한 앵커 등 계류시설물 제작

마. 해역시설 및 실험

- 시스템 현장 조립 후 시설해역으로 이동 현장 계류시설 및 장치운영에 따른 실험수행

바. 사용방법 및 적정 살포량 예시

- 적조발생 시기에 따른 시스템 사용방법 및 적정 살포량 도출

IV. 결과

제1장 서론

제2장 시설해역의 생태계 조사

제1절 조사해역 시설장소 선정

진해만 내외의 당동과 덕동, 수정리, 오비도에 대한 자료조사 및 현지 답사를 통해 적조발생이 빈번하고 수질정화 및 적조제어장치 설치가 용이한 수정리를 선정했다.

제2절 조사해역의 계절별 환경조사

수질정화 및 적조제어장치의 설치장소로 선정된 수정리의 사전조사(2003. 08~2005. 04) 결과, 해역의 영양염은 겨울철에 높고 봄철에는 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 봄철에 적조발생으로 인해 해수 중의 영양염이 소모되는 전형적인 적조발생해역의 특징이다. 수질정화 및 적조제어장치 설치 이후의 조사 결과에서도 이러한 경향을 보였으나, 장치의 설치 전의 조사 시기에 비해 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$)와 아질산질소($\text{NO}_2\text{-N}$)가 큰 폭으로 감소했다. 여기서, 총질소는 2005년 8월(장치 가동전)과 2006년 8월(장치 가동후)과의 비교에서 표층에서 평균 31.77 mg/L에서 9.56 mg/L로 22.21 mg/L 약 70% 감소하였으며, 저층에서 평균 43.41 mg/L에서 38.89 mg/L로 4.52 mg/L 약 10% 감소하였다. 그리고 $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 동일시기에 표층에서 평균 2.16 mg/L에서 0.22 mg/L로 1.94 mg/L 약 90% 감소했으며, 저층에서 평균 4.00 mg/L에서 3.27 mg/L로 0.73 mg/L 약 18% 감소하였다. 그러나, COD는 적조제어장치 가동전후에 표층에서 평균 1.22 mg/L에서 2.18 mg/L로 0.95 mg/L 약 78% 증가했으나, 저층에서 평균 2.16 mg/L와 2.04 mg/L로 0.12 mg/L 약 5.6% 감소했다. 전반적

으로 저층 기원의 영양염 및 환경인자들은 계속해서 그 농도를 유지하고 있는 반면, 표층에서는 이를 지속적으로 환원시켜 생태환경을 개선하고 있는 것으로 나타났다.

한편 실험해역에서 용존산소(DO)는 여름에 크게 감소하여 저층에서는 무산소층이 형성되기도 하였으나 수질정화 및 적조제어장치가 설치된 방파제 내측에서는 높게 나타남으로서 장치에 의한 인위적인 DO 상승효과를 관찰할 수 있었다. 즉, DO는 장치 가동전후 표층에서 6.46 mg/L에서 10.88 mg/L로 약 69% 증가했으며, 저층에서 4.90 mg/L에서 7.40 mg/L로 약 51% 증가하였다.

제3절 저서생물, 플랑크톤 조사

저서생물 조사결과 수정리 해역은 무생물구역을 나타내는 정점이 다수 포함되어 있고, 또한 생물이 출현하는 일부 정점에서도 *P. pinnata* 와 같은 기회종이 매우 높은 밀도를 나타내고 있어 유기물오염정도가 매우 심한 해역으로 구분할 수 있다. 따라서 본 해역은 저서생태계의 무기환경요인이 우선적으로 개선되지 않는 한, 해역의 조류 흐름의 정도와 지역적인 차폐성 등을 고려했을 때, 오염정도의 개선을 기대하기가 어려울 것으로 예상되며 점진적으로 오염상태가 심화 또는 현 상태로 지속될 것으로 추정할 수 있어 향후 지속적인 감시와 함께 저질토 개선을 위한 노력이 수반되어야 할 것이다.

한편, 동·식물플랑크톤 현존량은 수질정화 및 적조제어장치 가동 이후 모두 봄과 가을에 증가하고 여름과 겨울에 감소하는 전형적인 계절특성을 나타냈으나, 장치의 가동 이후에는 이전에 비해 현존량이 급격하게 증가하였다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치는 실험해역의 영양염(특히 NO₂-N, NO₃-N)을 식물플랑크톤이 이용 가능한 형태로 수괴내로 공급하였고, 공급된 영양염은 식물플랑크톤 증식에 이용되었다. 이 결과는 단기적으로 식물플랑크톤 증식 및 적조유발 가능성을 내포하고 있으나, 조사기간 동안 유해성 식물플랑크톤 종의 대량증식 현상은 나타나지 않았으며, 적조도 아주 적은 밀도로 나타나, 장기적으로 해역의 청정화를 유도할 수

있을 것으로 기대된다.

제4절 적조구제 효율 조사(실내실험)

황토, 세프레마 및 신물질을 이용하여 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides*의 세포밀도별, 구제 물질의 농도별 실험에서는 동일한 조건 하에서는 황토<세프레마<신물질 순서대로 높은 구제효과를 나타냈다. 황토는 10,000 ppm의 농도에서 약 60%의 적조구제효율을 보였으며, 세프레마는 동일 농도에서 80% 이상의 적조구제효율을 보였다. 반면 신물질은 1,000 ppm 이상의 농도에서 100%에 가까운 적조구제효율을 보여주었다. 아울러 적조생물에 대한 세물질의 구제작용 기구는 황토는 적조생물의 단순 침강, 세프레마는 침강 및 세포 터짐, 신물질은 침강, 세포막용해 및 세포분해 작용을 했다.

제5절 메소코즘 조사

수정리 해역에 설치한 메소코즘 내에서 적조구제물질인 세프레마를 투여한 후 시공간적인 구제효과 및 수질변화를 관찰한 결과, 식물플랑크톤은 수심별 및 시간경과에 따른 세포밀도의 변화를 나타내지 않았다. 반면 동물플랑크톤은 시간 경과에 따라 생물량이 감소하는 경향을 나타냈다. 수질은 세프레마 살포직후 일시적으로 증가 혹은 감소되기는 하였으나 시간이 지나면서 다시 원상태로 회복되는 것으로 나타났다.

제6절 현장실험

Cochlodinium 적조 발생 해역에서 실시한 메소코즘(mesocosm) 내 적조구제물질인 황토, 세프레마, 신물질(각각의 최종농도 200 ppm) 실험결과, 적조구제효율은 제4절의 실내실험과 마찬가지로 황토<세프레마<신물질 순서였다.

제3장 소형장치 제작 및 실내실험

제1절 소형장치 제작, 살포방법 및 시작품 시설방안 조사

수질정화 및 적조제어장치 설치에 있어서 장치를 적재한 대형 트럭 출입이 용이한 진입도로, 현지에서 장치를 조립하기 용이한 넓은 작업장, 해수면에 장치를 거치할 수 있는 크레인 시설, 장치 가동에 필요한 전기용량을 공급하기 쉬운 전기 인입 여부 등의 여건을 조사하여 수정리 해역을 선정하였으며, 해역의 크기에 적합한 장치로 소형장치는 RTK-30-2를 시작품으로는 MJS-150을 선택하여 설계 제작하도록 하였다. 장치의 설치에 따른 살포방법으로는 해수유동 방향에 따라 장치를 수정리만 안쪽을 향하도록 설치하였으며, 장치는 적정 용량의 전기가 이미 유입되어 있어 발전기보다 설치 및 운영비가 저렴한 전기시설을 이용하여 설치하였다. 소형장치의 이동성을 감안하여 제작한 부유식 전기인입선은 전기 공급 장치에 연결하여 전기선이 닿은 범위 내에서 어장 주변이나 폐쇄된 소규모 해역에서 장치를 이동시키면서 적조구제 및 수질정화 작업에 적용할 수 있는 것으로 하였다.

제2절 실내생물영향 실험

본 수질정화 및 적조제어장치에 적용하는 농도의 UV 오존에 대한 어류영향 실험에서 환경변화에 민감한 돌돔과 숨뽕이 및 넙치 등의 어류에 아무런 영향이 없는 것으로 나타났다. 그리고 각각의 적조구제물질 농도별 투여에 대한 참돔, 감성돔, 전복의 어패류에 대한 반수치사시간을 측정하여 영향을 조사한 결과 적조구제 효과가 높은 물질이 치사율이 높은 것으로 나타나 적조구제물질을 사용할 시에는 이를 고려하여 사용할 필요가 있는 것으로 판단된다.

제3절 생리활성 물질 및 초음파 적용 실험

소형실험장치의 초음파는 약 50~80%의 녹조 구제효과를 보였다. 이와 같이 녹조 구제율에 차이가 있는 것은 녹조가 표층에 집적되어있는 상태 또는 수중에 부유하고 있는 상태 등에 따라, 샘플 채수 시 녹조 분포 상태에 따라 영향이 있는 것으로 추측되었다. 또 클로로필-a의 농도와 구제율 사이에는 상관관계를 보여지 않았다.

초음파의 적조구제에 대한 실내실험에서 주파수 강도 및 조사시간에 따라 구제효과가 10% 이상에서 100%까지 차이가 났으나, 소형장치의 현장실험에서는 소형장치 안쪽을 지나가는 해수 중에 포함된 적조생물에 한하여 100%에 가까운 구제효과가 있었다.

제4절 효율증진 기술연구

적조 이외의 생물에 대한 효과를 검증하던 중 수질정화 및 적조제어장치는 해파리 제어에 효과가 있을 가능성을 실험을 통하여 검증하였으며, 효율증진 기술 연구의 일환으로서 본 장치를 다 방향으로 강제수류를 만들 수 있도록 개조한 다음, 수질정화 및 적조와 해파리 제어용으로 활용할 것을 제시하였다.

제4장 수질정화 및 적조제어장치

제1절 수질정화 및 적조제어장치의 제작

시작품은 초기설계안 대로 본체 및 각 부품들을 제작하여 현장에 설치하여 운영하였다. 수질정화 및 적조제어장치는 작동 원리 조사에서 해저 바닥의 저질을 용승치 않으면서 용존산소를 모포를 씌우는 것과 같이 저질에 침투시켜 저질의 환경을 개선하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 프로펠러방식에 의한 수류발생방식은 해저 저질을 용승시키고, 수질을 오히려 악화시키는 경우가 생긴다. 그러나 본 장치는 분류 축 대칭류를 발생시키기 때문에 해저에 평행, 직근의 유동축진에 있어서도 해저의 저질을 용승시키지 않고 확산 폭기하는 것이 가능하다. 분류토출방식에는 기본적으로 밀링효과가 없으며, 분류 선단이 해저에 접촉할 시 아주 작은 규모의 난류 발생은 그것보다도 큰 축 방향 유속을 가진 유출 수괴가 상방향에서 진행 방향, 폭 방향으로 순서대로 모포를 펼치면서 뒤집어씌우는 것처럼 바닥면상으로 눌러 들어가는 형태이다. 분류 수괴의 주변부의 바닥면은 이와 같이 비교적 부드럽게 고 용존산소농도의 물을 모포로 커버하는 것처럼 되고 이 모포는 용승을 억제함과 동시에 시간 경과에 따라 용존산소를 저질로 침투, 확산 시키는 에어레이션 효과도 발휘한다.

본 시작품 시설 방안 조사에서는 현장의 여러 가지 조건을 다양하게 조사하여, 관계 기관의 동의를 얻어 마산 수정리 해역을 선정하였으며, 에너지 공급에 따른 효율성 비교를 통하여 많은 비용이 소모되는 발전기 대신에 저렴하게 전기 유입시설을 하여 사용하였다. 장치는 설치하기 전 제작현지의 해역에서 그 기능을 확인하고 도입하였다.

제2절 해상제어 구조물 제작

해상제어 구조물 제작에 있어서는 구조물에 탑재될 장비들을 오차 없이 탑재시키기 위해 제작사의 도면을 받아 제작하였으며, 제작과정에서 제작사 현지의 기술자가 직접 국내 제작에 참여하여 설계 도면대로 정확하게 제작하였다. 해상제어구조물의 프레임은 철로 이루어져 있으며, 철에는 아연으로 도금하였다.

수질정화 및 적조제어장치까지 설치한 전기선은 해수의 압력과 전기선 내부에 습기발생이 생기지 않도록 고려되어 제작한 것으로 약 300 m 떨어진 육상의 전기 공급 판넬에서 바다 밑으로 시설하여 연결하였으나, 사용결과 문제를 발견할 수 없었다.

제3절 현장시설 및 운전

시작품 설치 후 가동한 결과, 본 장치에서 강력하게 분류되는 미세기포 흐름은 수정리 해역 내만의 전반부로 확산되어 가는 것을 확인하였다. 장치 가동 후 관리 운영 중에 부착생물은 해수 취수에 문제를 일으킬 정도로 취수구 주변에 많이 부착하였으나, 이를 제거한 후 장치는 정상 가동하였다. 따라서 부착생물은 정기적인 관리를 통하여 제거하면 별다른 문제가 없는 것으로 나타났다.

제4절 시설관리 및 점검

장치의 부식문제에 있어서는 장치의 프레임 철 구조물은 아연으로 도금하여 1차 부식방지 처리하였으나, 이것만으로

는 부식문제를 해결할 수가 없기 때문에 철 구조물의 각 절점에 해당하는 30여 곳의 각 요소에 아연희생 양극판을 부착하여 2차 방식처리를 한 결과 부식은 생기지 않았다. 그러나 아연판의 소모로 년 2~3회 정도는 새것으로 교체하여야 하였다. 본 장치는 정기적인 부착생물 제거와 부식방지 관리만 제대로 행하면 반영구적으로 사용할 수 있는 장치이며, 그 외 다른 관리는 현재까지 별달리 필요 없는 것으로 나타났다.

제5장 수치시물레이션에 의한 해수유동 실험

제1절 실험개요

본 수치해석에 의한 해수유동 실험은 적조제어를 하기 위해 적용한 본 시스템이 해역의 어느 위치에 시설하는 것이 보다 효율적인가? 그리고 어느 정도의 범위까지 효과가 미칠 것인가? 를 평가하여 본 시스템의 적조 제어에 대한 타당성을 파악하였다.

제2절 모형수립

수정리 해역에 대한 해수유동 실험에서는 조석의 주요 4대분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 을 고려하여 현재 상태에 대하여 해황을 재현한 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 따른 해수유동 변화를 2차원 수심적분모형을 적용하여 예측하였다.

제3절 수질정화 및 적조제어장치의 유체역학적 정의

본 시스템 MJS-150의 유체역학적 해석에 따라 제트스트림의 토출 유량을 계산한 결과 본 장치에서 사용한 펌프 용량의 (7.5 kW 용량, 토출 유량 3.3 ton/min) 약 18배의 유량 59.4 톤의 유동장이 발생하였으며, 제작 현장 해역에서 시설 후의 유량계의 계측 결과에서도 확인되었다.

제4절 수치모형 실험

적조제어 타당성을 평가하기 위해 적용한 본 시스템의 수치해석에 의한 해수유동 실험 결과, 수질정화 및 적조제어장치를 항내와 육지에 근접하여 설치한 2가지 경우 모두 설치 전에 비해 해수유동성을 약 2배가량 증진시켜주었으며, 입자추적 실험에서도 영향이 미치는 범위가 약 2배가량 넓어지는 것을 알 수 있었다.

제6장 현장실용성 평가

제1절 효율증진 기술

해파리 적용실험을 통하여 본 시스템을 사방으로 수류를 발생시키는 방식으로 일부 개선하여 해파리 제어기술로 적용할 것을 대규모 장치와 소규모 형식의 장치 형태로 제시하였다. 그리고 금후 본 장치를 다른 해역으로 이동, 가동시켜 본 용역 실험에서는 미진한 부분을 지속적으로 조사를 할 것을 제시하였다.

제2절 적용물질의 살포방법 및 적정 살포량

본 장치는 적조가 발생치 않는 시기에는 수질개선을 목표로 지속적으로 가동하다가, 적조가 발생하는 시기에는 적조구제와 저질개선효과까지 동시에 얻을 수 있는 물질들을 혼입시켜 살포하는 방법을 도출하였다. 그

리고 현장 살포 실험과 적조구제효과 실험을 통하여 적용물질에 대한 적정 살포량을 제시하였으며, 적용물질 및 기술로 해수를 전기분해한 전해수를 본 시스템에 적용할 것을 제안하였다.

제7장 종합 결론

1. 수질정화 및 적조제어장치 가동 이후 수정리 해역의 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$)와 아질산질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 표층 70%, 저층 10%, 인은 표층 90%, 저층 18%의 차이로 크게 감소하였으며, 식물플랑크톤은 장치의 가동 이후 이전에 비해 현존량이 급격하게 증가하였다.
2. 수질정화 및 적조제어장치는 실험해역의 영양염(특히 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)을 식물플랑크톤이 이용 가능한 형태로 수피내로 공급하였고, 공급된 영양염은 식물플랑크톤 증식에 이용되는 것으로 나타났다.
3. 대규모 적조상습 발생해역인 본 조사해역에서 시스템을 가동한 후의 조사기간 동안 유해성 식물플랑크톤 종의 대량증식에 의한 대규모 적조는 나타나지 않고 저밀도의 적조생물만 출현하여, 본 장치는 장기적으로 해역의 청정화를 유도하면서 적조제어에 효과를 발휘할 수 있을 것으로 기대된다.
4. 황토, 세프레마 및 신물질을 이용한 *Cochlodinium* 적조 구제 실험에서는 동일한 조건하에서 황토<세프레마<신물질 순서대로 높은 구제효과를 나타냈다.
5. 소형실험장치 제작과 소형장치의 초음파와 오존 및 황토, 세프레마, 신물질에 대한 적조생물 구제 실험 및 어류에 대한 영향실험을 행하여, 어류에 영향이 없는 것으로 나타났으나, 구제물질에

대한 반수치사시간 측정 영향 실험에서 적조구제 효과가 높은 물질이 치사율이 높았다.

6. 초음파는 적조구제 실내실험에서 초음파의 주파수와 강도의 세기 및 조사시간에 따라 구제효과가 10% 이상에서 100%까지 차이가 났으나, 소형장치의 현장실험에서는 소형장치 내를 지나가는 해수 중에 포함된 적조생물에 한하여 100% 가량의 구제효과가 있었다.
7. 소형장치의 이동성을 감안하여 제작한 부유식 전기 인입선은 전기 공급 장치에 연결하여 전기선이 닿는 범위 내에서 어장주변이나 폐쇄된 소규모 해역에서 장치를 이동시키면서 실험한 결과 효율성과 편리한 점이 있어, 금후 적조 구제 및 수질정화 작업에 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.
8. 실험을 통하여 본 장치가 해파리 구제에 대한 가능성을 도출하였으며, 본 시스템을 다 방향으로 강제수류를 만들 수 있도록 개조하여 수질정화와 동시에 해파리 구제용으로 활용할 것을 제시하였다.
9. 수질정화 및 적조제어장치 시작품은 초기설계안 대로 본체 및 각 부품들을 제작하여 현장에 설치 운영하였으며, 본 수질정화 및 적조제어장치의 작동 원리 조사에서 해저 바닥의 저질을 용승치 않으면서 용존산소를 모포를 썩우는 것과 같이 저질에 침투시켜 저질의 환경을 개선하는 효과가 있는 것을 밝혔다.
10. 시작품은 설치 후 가동한 결과 본 장치에서 강력하게 분류되는 미세기포 흐름은 수정리 해역 전반부로 확산되어 가는 것을 확인하였다.

11. 장치 가동 후 관리 운영 중에 부착생물은 해수 취수에 문제를 일으킬 정도로 취수구에 많이 부착하였으나, 이를 제거한 후 장치는 정상 가동하여, 부착생물은 정기적인 관리를 통하여 제거하면 별다른 문제가 없는 것으로 나타났다.
12. 장치의 부식문제에 있어서, 장치의 프레임 철 구조물은 아연으로 도금하였으나, 이것만으로는 부식문제를 해결할 수가 없기 때문에 철 구조물의 각 절점에 해당하는 30여 곳의 각 요소에 아연희생 양극판을 부착한 결과 부식은 생기지 않았다. 그러나 아연판의 소모로 년 2~3회 정도는 새것으로 교체할 필요가 있었다.
13. 본 장치는 정기적인 부착생물 제거와 부식방지 관리만 제대로 행하면 반영구적으로 사용할 수 있는 장치이며, 그 이외의 다른 관리는 현재까지 별달리 필요 없는 것으로 나타났다.
14. 수치해석에 의한 해수유동 실험 결과 수질정화 및 적조제어장치를 항내와 육지에 근접하여 설치한 2가지 경우 모두 설치 전에 비해 해수유동성을 약 2배가량 증진시켜주었으며, 입자추적 실험에서도 영향이 미치는 범위가 약 2배가량 확장되는 것을 알 수 있었다.
15. 본 수질정화 및 적조제어장치 가동 이후 질산질소와 아질산질소의 큰 폭 감소와 더불어 유용한 먹이생물인 식물플랑크톤 현존량은 급격하게 증가되었으나, 매년 대규모로 발생하던 유해한 플랑크톤에 의한 적조는 아주 적은 밀도로 나타나 본 시스템이 오염된 해역의 청정화와 더불어 적조를 효과적으로 제어할 수 있는 장치로 그 실용성을 평가하였다.

16. 적조제어에 대한 본 장치의 효율과 실용성을 증가시키기 위하여 적조가 발생치 않는 시기에는 수질개선을 목표로 본 장치를 지속적으로 가동하다가, 적조가 발생하는 시기에는 적조구제와 저질개선효과까지 동시에 얻을 수 있는 수산화마그네슘과 같은 물질들을 혼입시켜 적정 살포량으로 살포하는 방법을 실험을 통해 도출하였다. 그리고 적용물질 및 기술로 해수를 전기분해한 전해수를 본 시스템에 적용 적조제어 효율을 증진시킬 것을 제안하였으며, 장치의 살포 방법의 일부 개선으로 해파리 방제에 대한 가능성을 실험을 통해 제시하였다.

SUMMARY

I. Title

- An Evaluation on the Practicality of the Environmentally-friendly Mitigation and Control Technique with Harmful Algal Blooms

II. Objectives and Significance

- The improvement of coastal environments with harmful algal blooms of red tide and eutrophication
- The prevention and efficient mitigation of harmful algal blooms by improving the water quality

III. Contents and Scope

1. Surveys on the Ecosystem of the Sea Area with Equipments

- Selecting the installing location in the sea areas
 - Selecting the proper installing location through field investigations and documentary and preparatory surveys
- Surveying seasonal environments of the sea areas
 - Preparatory and main surveys on seasonal environments of the water quality
- Surveying benthic organisms and zoo/phyto-plankton
 - Surveying spatio-temporal distribution of benthic organisms and zoo/phyto-plankton
- Surveying the mitigation efficiency of harmful algal blooms (indoor experiment)
 - Surveying the mitigation substance efficiency in *Cochlodinium*
- Experiments on Mesocosm
 - Surveying the water environments and biota through dispersion of mitigation substances into Mesocosm
- Field Experiments

- Surveying the mitigation efficiency through dispersion of mitigation substances over the sea areas with an outbreak of *Cochlodinium*

2. Small size Device Manufacturing and Indoor Experiments

- Surveying the small size device manufacturing, the method of installing an experimental equipments, and the method of dispersion
 - Selecting and manufacturing a proper small size device and experimental equipment after investigating environmental circumstances such as workplace, electricity etc.
 - Installing the equipment in the sea area after deciding the method of dispersion
- Indoor experiments with effects on marine organisms
 - Experimenting the effects of applied substances and application methods on some typical species
- Experiments on bio-active substances and application of ultrasonic waves
 - Performing experiments on the effects of ultrasonic waves and mitigating substances
- Studies on the technique of improving efficiency
 - Extending the application of the mitigation method to harmful jellyfish along with red tide
 - Developing a direct mitigating technique of red tide by applying bio-active substances along with water purification

3. The Design, Manufacture, Installation and Operation of an Experimental Equipment

- Designing through the grounding survey
 - Designing an experimental equipment suitable to the size of the sea area based on the result of the field investigation on its environments
- Manufacturing an experimental equipment and testing its efficiency
 - Testing the efficiency at the sea areas around the workplace, manufacturing and assembling the parts of the experimental equipment
- Manufacturing the marine controlling structure
 - Manufacturing the controlling structure domestically based on the blueprints

- of the manufacturer
- Manufacturing moorings
 - Manufacturing moorings such as anchors proper to the equipment
- Installing and experimenting the equipment
 - Performing experiments on the field moorings and the operation of the equipment, carrying them to the sea area to be installed after assembling the equipment
- Deducing the method of use and the appropriate amount of dispersion
 - Deducing the method of operating the system and the proper amount of dispersion according to red tide occurrences

IV. Results

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Surveys on the Ecosystem of the Sea Area with Equipments

1. Selecting the installing location in the sea areas

Sujeong-ri was selected because it has a frequent outbreak of red tide and it is good to install the water purification and red tide controlling system, based upon the documentary and field investigation on Dangdong, Dukdong, Sujeong-ri and Obido around Jinhae Bay.

2. Surveying seasonal environments of the sea areas

The preparatory investigation of Sujeong-ri, which was selected for the location of the water purification and red tide controlling system, showed that the nutrient concentration of the sea area had the tendency of being high in winter and lower in spring. This tendency was typical of the sea areas with the occurrence of red tide that nutrients were consumed along

with the outbreak of red tide in spring. $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ decreased greatly after the installation of the water purification and red tide controlling system. That is, total nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and ammonia nitrogen) decreased by about 70% from 31.77 mg/L on the average in August, 2005 to 9.56 mg/L on the average in August, 2006 in the surface and by about 10%, that is, by 4.52 mg/L from 43.41 mg/L to 38.89 mg/L on the average in the bottom. During the same period, phosphorus decreased by about 90%, that is, by 1.94 mg/L from 2.16 mg/L to 0.22 mg/L on the average in the surface and by about 18%, that is, by 0.73 mg/L from 4.00 mg/L to 3.27 mg/L on the average in the bottom. However, COD increased by about 78%, that is, 0.95 mg/L from 1.22 mg/L to 2.18 mg/L on the average in the surface after the operation of the red tide controlling system, but decreased by about 5.6%, that is, by 0.12 mg/L from 2.16 mg/L to 2.04 mg/L on the average in the bottom. On the whole, nutrients and environmental factors maintained its concentration in the bottom, but they were revived to improve the ecosystem in the surface.

On the other hand, DO decreased greatly in summer in the experimental sea areas, with the bottom layer ending up with anoxic zones. However, some artificial DO increase was observed to be caused by the system, as DO was high in the inner part of the breakwater,

where the water purification and red tide controlling system was installed. DO increased by about 69%, that is, by 4.43 mg/L from 6.46 mg/L to 10.88 mg/L in the surface after the operation of the system, and by about 51%, that is, by 2.50 mg/L from 4.90 mg/L to 7.40 mg/L in the bottom.

3. Surveying benthic organisms and zoo/phyto-plankton

The survey of benthic organisms found that the sea area of Sujeong-ri included several stations representing the inanimate zone. A few stations in Sujeong-ri, belonging to the animate zone, was found to have a very high density of opportunistic species such as *P. pinnata*. So, Sujeong-ri was classified to be a sea area with a very high level of organic pollution. Therefore, the improvement of pollution would be very hard to expect in Sujeong-ri without a preferential improvement of inorganic environmental factors in benthic ecosystem, considering the degrees of its tidal currents and regional closing. In addition, it should be given a continuous monitoring and a proper measure to improve benthic sediment because its pollution is estimated to be as it is and could get gradually worse.

On the other hand, zooplankton and phytoplankton biomass had a typical seasonal tendency of increasing in spring and autumn and

decreasing in summer and winter after the operation of the water purification and red tide controlling system, but the biomass increased sharply compared to that before the operation. Therefore, the water purification and red tide controlling system supplied nutrients, especially $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$, available for phytoplankton into the water column and the nutrients were used for the growth of phytoplankton. The result could imply the possibility of developing phytoplankton and triggering red tide. However, the system induced the purification of the sea areas in the long run, as there was no sign of any proliferation of harmful phytoplankton and red tide during the period of the survey.

4. Surveys on the mitigation efficiency of harmful algal blooms (indoor experiment)

The experiments with different cell densities of *Cochlodinium polykrikoides* and different concentrations of mitigation substances found that new material, sefrema and yellow loess showed an mitigation efficiency in the order named. Yellow loess showed about 60% of mitigation efficiency in 10,000 ppm and sefrema more than 80% in the same concentration. In contrast, new material showed almost 100% of mitigation efficiency in 1,000 ppm and over. In addition, yellow loess had the mitigation function of simple sedimentation, sefrema had a sedimentation and broken cells, and new material had a sedimentation, cell wall lysis and cell decomposition.

5. Experiments on Mesocosm

There was no difference in the density of plankton cells at the different depths of water with the lapse of time in the observation of the

spatio-temporal mitigation effects and water quality changes after the input of Sefrema into Mesocosm, installed in Sujeong-ri. In contrast, zooplankton showed the tendency of decreasing with the lapse of time. The water quality was temporarily improved or worsened just after dispersion of Sefrema only to restore to the previous condition with the lapse of time.

6. Field Experiments

The experiments in the sea area with outbreaks of *Cochlodinium* found that new material, Sefrema and yellow loess showed a mitigation efficiency with the concentration of 200 ppm in Mesocosm in the order named.

Chapter 3. small size Device Manufacturing and Indoor Experiments

1. Surveys on small size device manufacturing, the method of installing an experimental equipments, and the method of dispersion

The sea area was selected in consideration of the conditions, such as roads available for the access of trucks loaded with equipments of the system, a crane for installing equipments on the sea surface, and electricity available for the system. RTK-30-2 was designed and manufactured as a small size device and MJS-150 as an experimental equipment, both of which were suitable for the size of the sea area. The system was installed in the direction of the currents so that the dispersion was designed toward the inside of Sujeong-ri. An electric device, which was lower in installation and operation fee, was installed as the area was available for the proper electric capacity. The application of the floating electric cords for mobility of the small size device was found to be promising as they had no problems in the device.

2. Indoor experiments with effects on marine organisms

The experiment of effects on fish showed that the density of UV ozone applied to this system did not affect the species sensitive to the environmental changes, such as striped beakperch, scorpion fish, and bastard. The

experiment on different red tide mitigation concentrations and the median survival time of TL50 of *pagrus major*, *acanthopagrus schlegeli*, and abalone showed that the efficiency of red tide mitigation substances was correlated to mortality. Therefore, the correlation should be considered in the use of high efficient mitigation substances.

3. Experiments on bio-active substances and application of ultrasonic waves

The ultrasonic waves of the small size experimental device showed about 50~80% of mitigation efficiency on green tide. The difference of mitigation effects seemed to be affected by the condition of green tide collecting in the surface and floating in the water, and by the distribution of green algae in the sampling. Also, it did not show a clear correlation between concentrations of *chlorophyll a* and mitigation efficiency.

In the indoor experiment, the ultrasonic waves of the small size experimental device showed about 10~100% of mitigation efficiency on red tide. But the field experiment of the small size device showed 100% of removal efficiency only to the red tide organisms in the sea water passing through the device.

4. Studies on the technique of improving efficiency

This system was expected to have a good mitigation effect on jellyfish from the examination of the effects on other harmful organisms along with red tide. It was suggested that the system should be renovated to make multidirectional compulsive currents and used to purify water and mitigate red tide and jellyfish as a part of technological improvement.

Chapter 4. The Water Purification and Red Tide Controlling System

1. Manufacturing a water purification and red tide controlling equipment

The experimental equipment was installed and operated in the field, being manufactured based on the blueprints,. The water purification and red tide controlling equipment had the effect of improving the environments of

sediments by infiltrating dissolved oxygen just like carpeting, not stirring the sediments of the sea bottom. The generation of currents by propelling power stirred the sediments, worsening the quality of water. However, this system generated an axi-symmetric currents without stirring the sediments. The bottom around the water column was carpeted softly by the water with a high concentration of dissolved oxygen. The carpeting restrained the stirring of sediments, and exercised an aeration of infiltrating and spreading dissolved oxygen with the lapse of time.

The investigation on the installation method including multiple conditions of the field enabled Sujeong-ri to be selected through the agreement of the institutions concerned. The comparison of efficiency in energy supply was suggested to take a less expensive electric device than a generator. The device was purchased after confirming the effect in the sea area of manufacturing field before installation.

2. Manufacturing the marine controlling structure

The marine controlling structure was domestically manufactured in order to install the equipments on it without any error, and manufactured precisely to the design, with technicians from the manufacturer participating in the process. The frame of the marine controlling structure was made of iron plated by zinc.

The electric cable to the water purification and red tide controlling system was manufactured in consideration of the pressure of sea water and the prevention of inner humidity. It was layed under the water and connected to the power supply 300m away from the system.

3. Field Installation and operation

After the operation of the experimental equipment, the flow of fine air bubbles, emitted powerfully from this system, was confirmed to spread to the whole area of Sujeong-ri. Adhesive organisms were attached to the intake entry enough to cause trouble with intaking sea water in the operation of the equipment. Therefore, periodical checking and removing was required to solve the problems, as it operated normally after removing the adhesive organisms.

4. Equipment management and checking

To prevent the corrosion of the equipment, its iron structure was coated with zinc, and galvanic anode Zn metal were attached to every point of thirty or more junctures of the frame, as well. As a result, there was no corrosion, but the plates should be renewed twice or three times a year because of their consumption. The equipment was found to be semi-permanent without leaving any other measures taken, if adhesive organisms were removed periodically and corrosion managements were given properly.

Chapter 5. The Experiment of Seawater Circulation by Numeric Simulation

1. Outline of the experiment

The experiment with the flow of currents by numeric interpretation evaluated the mitigation efficiency of this system on red tide, along with the efficient installing location and the range of effects

2. Model establishment

The experiment with the flow of currents in the sea area of Sujeong-ri predicted the changes of currents according to the amount of the flow, generated in the water purification equipment after reproducing the marine environment with present conditions in consideration of the major four tidal components, such as M_2 , S_2 , K_1 , and O_1 , and applying a two-dimensional ADI method.

3. The definition of fluid mechanics on the water purification equipment

The calculation of outflow amount of the jet stream by the fluid mechanical interpretation of MJS-150 showed that the system generated about 28 times more outflow amount than the capacity of the pump used in the equipment, with the capacity of 7.5kW and 3.3 ton/min of outflow amount. It was proved in the field operation.

4. An experiment of numeric model

In the experiment by numeric interpretation, the flow capacities was improved about 2 times higher in both of the water column and the inside corner of embayment than before the operation. Also, it was proved that the expansion ranges of flows reached twice in the experiment of a fluid tracer.

Chapter 6. Practicality Evaluation

1. A technique of efficiency improvement

The experiment of application to jellyfish suggested that the partial improvement should enable the system to mitigate jellyfish. It was also suggested that this system should be moved to and operated in other sea areas, and that continuous researches should be done.

2. The dispersion method of applied substances and proper amount of dispersion

This system was operated continually for the improvement of water quality in the periods of no red tide. It was also designed to disperse substances effective enough to mitigate red tide and to improve sediments in the periods of red tide. The experiments of field dispersion and red tide mitigation suggested the proper amount of dispersion, and the application of electrolyzed sea water to the system.

Chapter 7. Conclusion and Further Applications

1. After the installation and operation of the water purification system at Sujeong-ri, Masan Bay in 2006, the seasonal investigation showed that the nutrient concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ decreased greatly, that is, by 70% in the surface and 10% in the bottom, and those phosphorus decreased by 90% in the surface and 18% in the bottom. However, biomass of phytoplankton increased a lot, compared to the period of the preparatory investigation.
2. It showed that the operation of the water purification system supplied the nitrogen sources such as nitrate and nitrite through the denitrification

process by supplying the oxygen in the middle and benthic water column, causing the increase of the biomass of plankton, which got rid of inorganic nitrogen sources in the sea water in return.

3. Judging from the results that there were neither harmful algal blooms nor large scale red tide outbreaks in the installing area where large scale red tide blooms had been frequently occurred every year, this system was expected to have good mitigation effects on red tide, along with the improvement of water quality in the long run.
4. The experiments with different cell densities of *Cochlodinium polykrikoides* and different concentrations of mitigation substances found that the mitigation efficiency of new material, sefrema and yellow loess was in the order named.
5. The ultrasonic waves of the small size experimental device showed that the density of UV ozone did not affect fish. On the other hand, the application experiment of the bio-active substances on fish showed that new material had much better lethal effects than yellow loess. The high mitigation effects meant high mortality, that is, a shorter median survival time of TL50 (tolerance limit corresponding to 50% survival).
6. In indoor experiment, the ultrasonic waves of the small size experimental device showed about 10~100% of mitigation efficiency on red tide. But the field experiment on the effect showed that 100% of removal efficiency was restricted to the red tide organisms in the sea water passing through the device.
7. It was suggested that the floating electric cables, which were manufactured considering the mobility of the small size device, could be applied to the work of red tide mitigation and water purification, as its efficiency and convenience were verified through the experiments in different areas such as around aquaculture facilities or in the closed small embayment.
8. The examination of the effects on other harmful organisms suggested that this system would have the possibility of exercising a good mitigation effect on jellyfish. It also suggested that the system should be renovated to make multidirectional compulsive currents for purifying water and mitigating jellyfish.
9. The experimental equipment was manufactured based on the blueprints,

and installed and operated in the field. The water purification equipment had the effect of improving the environments of sediments by carpeting and infiltrating dissolved oxygen, not stirring the sediments.

10. After the operation of the experimental equipment, the flow of fine air bubbles emitted powerfully from this system was confirmed to spread to the whole area of Sujeong-ri.
11. Although adhesive organisms were attached to the intake entry enough to cause trouble with intaking sea water in the operation of the equipment, it operated normally with the adhesive organisms being removed periodically.
12. To prevent the corrosion of the equipment, its iron structure was coated with zinc, and galvanic anode Zn metal were attached to every point of thirty or more junctures of the frame, as well. As a result, there was no corrosion, but the plates should be renewed twice or three times a year because of their consumption.
13. The equipment was found to be semi-permanent without leaving any other measures taken if adhesive organisms were removed periodically and corrosion managements were given properly.
14. The experiment with numeric interpretation found that the flow capacity was improved about 2 times higher than before the installation in the water column and the inside corner of embayment. Also, it was proved that the expansion ranges of flows reached twice in the experiment of a fluid tracer.
15. The practicality of the water purification system, MJS-150, was confirmed as a good equipment for the improvement of water quality with mitigation effects on red tides, as neither harmful algal blooms nor red tide outbreaks occurred in spite of the decrease in nitrate and nitrite concentrations and the increase in useful phytoplankton in the installing area, where red tide blooms had frequently occurred every year.
16. It was suggested that this system should be operated continually for the improvement of water quality even in the periods of no red tide, and also designed to disperse substances such as magnesium hydroxide effective enough to mitigate red tide and to improve sediments in the periods of red tide. The experiments of field dispersion and red tide mitigation

suggested the proper amount of dispersion, and the application of electrolyzed sea water to the system. Furthermore, the system would be used to mitigate jellyfish in fisheries as a partial improvement.

목 차

요약문	ii
SUMMARY	xv
목차	xxviii
CONTENTS	xxxv
표 목차	xxxix
그림 목차	xlii
제1장 서 론	1
제2장 시설해역의 생태계조사	5
제1절 조사해역 시설장소 선정	7
1. 재료 및 방법	7
2. 결과	12
가. 현장답사	12
1) 적조발생 상황	12
2) 공유수면적 및 평균수심	12
나. 예비조사	15
다. 장기조사	20
제2절 조사해역의 계절별 환경조사	28
1. 재료 및 방법	28
2. 결과	31
가. 제1차 계절별 환경조사(예비조사, 2005. 9. 21)	31
나. 제2차 계절별 환경조사(2005. 11. 14)	36
다. 제3차 계절별 환경조사(2006. 1. 18)	44
라. 제4차 계절별 환경조사(2006. 02. 14)	56
마. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3. 18)	59

바. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5. 2)	66
사. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8. 8)	74
3. 논의	83
제3절 저서생물 및 동식물플랑크톤 조사	84
1. 저서생물	84
가. 재료 및 방법	84
1) 현장조사	84
2) 환경요인분석	88
나. 결과	88
1) 퇴적학적 특성 및 유기물 함량	88
2) 출현종 양상 및 군집구조	90
다. 논의	98
2. 동물플랑크톤	102
가. 재료 및 방법	102
나. 결과	106
1) 2005년 9월 21일 출현양상	106
2) 2005년 11월 14일 출현양상	112
3) 2006년 1월 18일 출현양상	117
3) 2006년 3월 18일 출현양상	123
4) 2006년 8월 8일 출현양상	129
3. 식물플랑크톤	135
가. 재료 및 방법	135
1) 예비조사	135
2) 본조사	135
나. 결과	138
1) 예비조사	138
2) 본조사	141
다. 논의	161
제4절 적조구제 효율조사(실내실험)	162
1. 재료 및 방법	162
2. 결과	165

가. 황토	165
나. 세프레마	165
다. 신물질	166
라. 살조반응	166
제5절 메소코즘조사	171
1. 재료 및 방법	171
가. 메소코즘 제작	171
나. 메소코즘 실험	184
2. 결과	184
가. 수질	184
나. 동물플랑크톤	188
다. 식물플랑크톤	192
제6절 현장실험	196
1. 재료 및 방법	196
2. 결과	198
가. 황토	198
나. 세프레마	198
다. 신물질	198
제3장 소형장치 제작 및 실내실험	203
제1절 살포방법 및 시작품 시설방안	205
1. 소형실험 장치제작	205
가. 사양서	205
나. 각 장치제작	206
2. 효과실험	215
가. 녹조에 대한 구제효과	215
나. 녹조 초음파 처리후의 현미경 관찰	220
다. 녹조 종 조사	221
3. 논의	221
제2절 실내 생물영향 실험	223
1. 재료 및 방법	223

가. 붉은 솜팽이 및 넙치 실험	223
나. 참돔과 전복실험	227
다. 감성돔에 대한 적조구제물질 투여 실험	227
2. 결과	232
가. 붉은 솜팽이 및 넙치	232
나. 참돔과 전복	232
다. 감성돔에 대한 적조구제물질의 영향	235
제3절 현장시설	242
1. 설계도면	242
2. 현지시설	243
제4절 생리활성물질·초음파 적용실험	245
1. 적조생물에 대한 실험	245
가. 적조에 대한 효과	246
2. 현장 설치 운영	254
제5절 효율증진 기술 연구	257
1. 해파리 영향 실험	257
2. 해파리 제어장치	262
제6절 결과	264
제4장 시작품 설계·제작 및 설치운영	265
제1절 수질정화 및 적조제어장치 설계 제작	267
1. 작동원리	267
가. 유동장의 특징	268
나. 분류방식	269
2. 사양서	271
3. 설계도면	273
4. 각 부품 장치의 제작	274
가. 수류발생장치	274
나. 초음파 발생장치	275
다. 오존 발생장치	276
라. 구동수 펌프	277

마. 에어 콤프레샤	278
바. 윈치	279
사. 제어판	280
아. 기타장치	281
5. 해역 시설 및 실험	288
가. 시작품 시설방안 조사	288
나. 현장조립	289
다. 현장진수	294
라. 현장 성능 시험	295
제2절 해상제어 구조물 제작	299
1. 설계	299
2. 플로트 제어 구조물 제작	300
가. 사양	300
나. 각 부품별 제작	301
3. 계류시설물 제작	309
가. 계류로프 검토	309
나. 계류앵커 및 체인제작 시설	309
4. 현장 조립	313
제3절 현장시설 및 운전	317
1. 현장해역시설	317
2. 전기시설	325
3. 시스템운전 및 수류발생장치 가동	328
4. 시설완공	331
5. 시설 후 효과조사	332
제4절 시설관리 및 점검	336
1. 부착생물	336
2. 부식방지 아연 희생양극판	341
제5절 결과	344
제5장 수치시뮬레이션에 의한 해수유동 실험	345
제1절 실험개요	347

제2절 모형수립	348
1. 모형개요	348
2. 계산방법	349
3. 격자구성	350
4. 경계조건 및 주요입력 자료	351
제3절 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 유체역학적 해석	353
제4절 수치모형 실험	354
1. 항내에 설치한 경우(해수유동)	355
2. 항내에 설치한 경우(입자추적 실험)	360
3. 육지에 근접하여 설치한 경우(해수유동)	374
4. 육지에 근접하여 설치한 경우(입자추적 실험)	378
제5절 결과	388
1. 해수유동	388
2. 입자추적	389
제6장 현장실용성 평가	393
제1절 효율증진 기술	395
제2절 적용물질의 살포방법 및 적정 살포량	397
제7장 종합결론 및 기대효과	407
참고문헌	413

# 부록 1. 소형 실험장치 사용설명서	415
# 부록 2. 수질정화 및 적조제어장치 사용설명서	420

CONTENTS

SUMMARY	xv
CONTENTS	xxxv
Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Survey on the Ecosystem of the Sea Area with Equipments	5
1. Selection of the installing location in the sea areas	7
2. Survey on seasonal environments of the sea areas	28
◦ Material and methods	28
◦ Results	31
- 1st survey (2005. 9. 21)	31
- 2nd survey (2005. 11. 14)	36
- 3rd survey (2006. 1. 18)	44
- 4th survey (2006. 02. 14)	56
- 5th survey (2006. 3. 18)	59
- 6th survey (2006. 5. 2)	66
- 7th survey (2006. 8. 8)	74
◦ Discussion	83
3. Survey on benthic organisms and zoo/phyto-plankton	84
◦ Benthos	84
- Material and methods	84
- Results	88
- Discussion	98
◦ Zooplankton	102
- Material and methods	102
- Results	106

◦ 2005. 9. 21	106
◦ 2005. 11. 14.	112
◦ 2006. 1. 18.	117
◦ 2006. 3. 18.	123
◦ 2006. 8. 8.	129
◦ Phytoplankton	135
- Material and methods	135
- Results	138
- Discussion	161
4. Survey on the mitigation efficiency of harmful algal blooms (indoor experiment)	162
◦ Material and methods	162
◦ Results	165
- Yellow loess	165
- Sefrema	165
- new material	166
- Algaecidal reaction	166
5. Experiment on mesocosm	171
◦ Material and methods	171
- Mesocosm construction	171
- Mesocosm experiment	184
◦ Results	184
- Water quality	184
- Zooplankton	188
- Phytoplankton	192
6. Field experiment	196
◦ Material and methods	196
◦ Results	198
- Yellow loess	198
- Sefrema	198
- new material	198

Chapter 3. Model Device Manufacturing and Indoor Experiment	203
1. The method of installing an experimental equipments and the method of dispersion	205
◦ Model device manufacturing	205
◦ Effect experiment	215
2. Indoor experiment with effects on marine organisms	223
3. Field devices	242
4. Experiment on bio-active substances and application of ultrasonic waves	245
◦ Harmful algae treatment	245
◦ Field establishment and operation	254
5. Studies on the technique of improving efficiency	257
◦ Effect on jellyfish	257
◦ Control device of jellyfish	262
6. Results	264
Chapter 4. Device Design, Manufacturing, Installation and Operation	265
1. Manufacturing a water purification equipment	267
2. Manufacturing the marine controlling structure	288
3. Field installation and operation	317
4. Equipment management and checking	336
Chapter 5. Experiment of Seawater Circulation by Numeric Simulation	345
1. Outline of experiment	347
2. Model establishment	348
3. Definition of fluid mechanics on the water purification equipment	353
4. Experiment of numeric model	354
5. Results	388

Chapter 6. Practicality Evaluation	393
1. Technique of efficiency improvement	395
2. Dispersion method of applied substances and proper amount of dispersion	397
 Chapter 7. Conclusion and Further Applications	 407
 References	 413
 Appendix 1	 415
Appendix 2	420

표 목 차

표 1. 조사해역에서 4년간 발생한 적조 발생횟수 및 적조 발생종	13
표 2. 사전답사 해역의 평균 공유 수면적 및 평균 수심	14
표 3. 예비조사 시의 오비도, 덕동, 수정리 해역의 영양염 농도	18
표 4. 수정리 조사지점 St 1의 계절별 영양염 농도 변화	22
표 5. 수정리 조사지점 St 2의 계절별 영양염 농도 변화	23
표 6. 수정리 조사지점 St 3의 계절별 영양염 농도 변화	24
표 7. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 수질 및 영양염 변화	32
표 8. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수질분석결과	38
표 9. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 영양염 분석결과	39
표 10. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 저질공극수 내의 pH와 DO	43
표 11. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 전 수질분 석결과	47
표 12. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 1시간 이후 의 수질분석결과	48
표 13. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 3시간 이후 의 수질분석결과	49
표 14. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 영양염분석 결과	52
표 15. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 저질공극수 내의 pH, DO 및 ORP	55
표 16. 제4차 계절별 환경조사시(2006. 2. 14) 수질분석결과	57
표 17. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3) 수질분석결과	60
표 18. 제5차 계절별 환경조사시(2006. 3) 영양염 분석결과	61
표 19. 제5차 계절별 환경조사시(2006. 3) 공극수의 DO와 ORP	65
표 20. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) 수질분석결과	68
표 21. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) 영양염 분석결과	69
표 22. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) 저질공극수의 DO와 ORP	73
표 23. 제7차 계절별 환경조사시(2006. 8) 수질분석결과	76
표 24. 제7차 계절별 환경조사시(2006. 8) 영양염 분석결과	77
표 25. 제7차 계절별 환경조사시(2006. 8) 저질공극수 내의 DO와 ORP	80
표 26. 조사해역 퇴적물의 조직학적 특성치 및 강열감량(유기물 함량, %)	89
표 27. 2005년 조사해역의 생태학적 제 지수	97

표 28. 2006년 조사해역의 생태학적 제 지수	97
표 29. 2005년과 2006년에 출현한 대형저서동물의 목록 및 개체수 변화	101
표 30. 예비조사 시 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수	107
표 31. 예비조사 시 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 생태지수	111
표 32. 2005년 11월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수	113
표 33. 2005년 11월 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 생태지수	116
표 34. 2006년 1월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현 개체 수	119
표 35. 2006년 1월 조사해역에서 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수	122
표 36. 2006년 3월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수	124
표 37. 2006년 3월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수 ...	128
표 38. 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체수 ...	130
표 39. 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수 ...	134
표 40. 2004년 마산시 수정리의 월별 식물플랑크톤 현존량	139
표 41. 2005년 9월 수정리 식물플랑크톤 현존량	142
표 42. 2005년 9월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	143
표 43. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤 현존량	145
표 44. 2005년 11월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	146
표 45. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤 현존량	148
표 46. 2006년 1월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	149
표 47. 2006년 3월 수정리 식물플랑크톤 현존량	150
표 48. 2006년 3월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	151
표 49. 2006년 5월 수정리 식물플랑크톤 현존량	152
표 50. 2006년 5월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	153
표 51. 2006년 8월 수정리 식물플랑크톤 현존량	155
표 52. 2006년 8월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교	156
표 53. 수정리의 조사 시기별 식물플랑크톤 우점종	157
표 54. 적조구제물질의 농도별/적조(<i>Cochlodinium polykrikoides</i>) 밀도별 투여에 따른 클로로필-a 상대값 변화	167
표 55. 적조구제물질에 따른 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> (현장채집시료)의 살조반응 모 습	169
표 56. 메소코즘 구조물 입체도, 평면 단면도.	171
표 57. 메소코즘의 재질 특성	174
표 58. 적조구제물질 살포이후 메소코즘 내 수질변화비교	186
표 59. 적조구제물질 살포이후 메소코즘 내 영양염 변화	187

표 60. 적조 구제 물질 효과 실험시 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수	190
표 61. 적조구제물질 살포 후 약 1주일 경과 후, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현 개체 수	191
표 62. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 시간·수심별 식물플랑크 톤 현존량 변화	193
표 63. 살조물질 투입에 따른 메소코즘 내의 클로로필-a 값의 변화와 적조제거효율 비 교	202
표 64. 실험구와 대조구에서 DO 감소에 따른 실험생물의 생존률 비교	233
표 65. 200 ppm의 적조구제물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간 ..	236
표 66. 500 ppm의 적조구제물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간 ..	237
표 67. 1000 ppm의 적조구제물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간	238
표 68. RTK-30-2에 부착된 초음파 장치 사양	245
표 69. 수정리의 분류군별 식물플랑크톤 분포	246
표 70. 고속제트 분사장치와 Air stone 투입후의 시간 경과에 따른 용존산소 변화량	259
표 71. 해수유동 수치모형실험의 개요	347
표 72. 해수유동 실험결과 만내의 유속분포	357
표 73. 입자추적 실험의 개요	361
표 74. 해수유동 실험결과 만내의 유속분포	375

그림목차

그림 1. 수질정화 및 적조제어장치 설치장소 선정을 위한 현장답사 및 예비조사 해역 도	8
그림 2. 덕동(A), 수정리(B) 및 오비도(C)의 영양염 조사정점	9
그림 3. 시설장소 선정을 위한 사전답사해역의 전경과 시료채집 모습	10
그림 4. 수정리 장기조사 정점	11
그림 5. 예비조사(2005. 8) 시 덕동, 수정리 및 오비도 해역의 영양염농도 비교 ..	19
그림 6. 수정리 조사지점 St 1의 계절별 영양염농도 변화	25
그림 7. 수정리 조사지점 St 2의 계절별 영양염농도 변화	26
그림 8. 수정리 조사지점 St 3의 계절별 영양염농도 변화	27
그림 9. 예비조사(2005. 9) 수질조사정점	29
그림 10. 1차(2005. 11) 수질조사정점	29
그림 11. 2차(2006. 1), 3차(2006. 2) 수질조사정점	30
그림 12. 4차(2006. 3), 5차(2006. 5), 6차(2006. 8) 수질조사정점	30
그림 13. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 DO 변화	33
그림 14. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 Chl-a(A), NO ₂ -N(B) 및 NO ₃ -N(C)의 수평분포	34
그림 15. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) NH ₄ -N(A), PO ₄ -P(B) 및 SiO ₂ -Si(C)의 수평 분포	35
그림 16. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) DO의 수평분포	40
그림 17. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수정리의 Chl-a(A), NO ₂ -N(B) 및 NO ₃ -N(C)의 수평분포	41
그림 18. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수정리의 NH ₄ -N(A), PO ₄ -P(B) 및 SiO ₂ -Si(C)의 수평분포	42
그림 19. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동전, 가동 1시간 후, 가동 3시간 후의 용존산소의 수평분포도. 검정색 원은 수질정화 및 적조제어장치 설치장소를 나타냄	50
그림 20. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 클로로필-a 수평분포	51
그림 21. 제3차 계절별 환경조사시 수질정화 및 적조제어장치 가동전 영양염 분석결과	53
그림 22. 제3차 계절별 환경조사시 수질정화 및 적조제어장치 가동 3시간 후 영양염	

분석결과	54
그림 23. 제4차 계절별 환경조사시(2006. 2) DO의 수평분포.	58
그림 24. 제5차 계절별 환경조사시(2006. 3) DO의 수평분포.	62
그림 25. 제5차 계절별 환경조사시(2006. 3) 수정리의 Chl-a(A), DO(B) 및 NH ₄ -N(C)의 수평분포	63
그림 26. 제5차 계절별 환경조사시(2006. 3) 수정리의 NO ₃ -N(A), NH ₄ -N(B), PO ₄ -P(C), SiO ₂ -Si(D)의 수평분포	64
그림 27. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) DO의 수평분포.	70
그림 28. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) 수정리의 Chl-a(A), NO ₂ -N(B), SiO ₂ -Si(C)의 수평분포	71
그림 29. 제6차 계절별 환경조사시(2006. 5) 수정리의 NH ₄ -N(A), PO ₄ -P(B) 및 SiO ₂ -Si(C)의 수평분포	72
그림 30. 제7차 계절별 환경조사시(2006. 8) 수정리의 Chl-a(A), DO(B), NH ₄ -N(C), NO ₂ -N(D)의 수평분포	78
그림 31. 제7차 계절별 환경조사시(2006. 8) 수정리의 NO ₃ -N(A), PO ₄ -P(B) 및 SiO ₂ -Si(C)의 수평분포	79
그림 32. 수정리의 2005~2006년 NH ₄ -N와 클로로필-a 변화	81
그림 33. 수정리의 2005~2006년 SiO ₂ -Si와 클로로필-a 변화	81
그림 34. 수정리의 2005~2006년 NO ₂ -N와 NO ₃ -N 변화	82
그림 35. 수정리의 2005~2006년 NO ₃ -N와 클로로필-a 변화	82
그림 36. 예비조사시 조사해역의 정점도(M; mesocosm 실험구)	85
그림 37. 본조사시 조사해역의 정점도(M; mesocosm 실험구)	85
그림 38. 2006년 3월에 실시한 현장조사에서의 정점도(M; mesocosm 실험구). .	86
그림 39. 2006년 8월에 실시한 현장조사에서의 정점도	86
그림 40. 변형된 채니기(van Veen grab)를 이용한 대형저서동물 채집	87
그림 41. 채취된 퇴적물을 세척해서 대형저서동물을 분리하는 모습	87
그림 42. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 종수의 변화	91
그림 43. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 개체수의 변화	92
그림 44. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 생체량의 변화	92
그림 45. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 종수의 변화	94
그림 46. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 개체수의 변화	94

그림 47. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 생체량의 변화	95
그림 48. 유기물 오염도의 심화에 따른 대형저서동물의 변화양상	99
그림 49. 동물플랑크톤 예비조사 정점도	104
그림 50. 동물플랑크톤 본 조사 정점도	104
그림 51. 2006년 1, 3월 조사의 동물플랑크톤 정점도	104
그림 52. 2006년 8월 조사의 동물플랑크톤 정점도	105
그림 53. 조사해역에서 NORPAC net로 동물플랑크톤은 채집하고 있는 모습	105
그림 54. 예비조사시, 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조 성비	106
그림 55. 예비조사시, 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현 개체 수의 조성비	108
그림 56. 예비조사시, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수	109
그림 57. 예비조사시, 동물플랑크톤 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis) 결과	111
그림 58. 2005년 11월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조 성비(%)	112
그림 59. 2005년 11월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현 개체 수의 조성비(%)	114
그림 60. 2005년 11월 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수	114
그림 61. 2005년 11월 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis) 결과	116
그림 62. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조 성비(%)	118
그림 63. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현개체 수의 조성비(%)	120
그림 64. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수	120
그림 65. 1월 조사시, 최우점종(<i>Acartia omorii</i>)과 차우점종(<i>Paracalanus parvus</i>)의 현 미경 사진	121
그림 66. 2006년 1월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집	

분석(Cluster analysis)결과	122
그림 67. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조성비(%)	123
그림 68. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현개체수의 조성비(%)	125
그림 69. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체수	126
그림 70. 2006년 3월 최우점종(<i>Acartia omorii</i>)과 차우점종(<i>Hydromedusa</i>)의 현미경 사 진	127
그림 71. 2006년 3월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집 분석(Cluster analysis)결과	128
그림 72. 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조성 비(%)	129
그림 73. 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현개체 수의 조 성비(%)	131
그림 74. 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수	132
그림 75. 2006년 8월의 최우점종(<i>Penilia avirostris</i>)과 차우점종(<i>Evadne nordmanni</i>)의 현미경 사진	133
그림 76. 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집 분석(Cluster analysis)결과	134
그림 77. 2005년 9월 마산시 수정리 식물플랑크톤 조사정점	136
그림 78. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤 조사정점	136
그림 79. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤 조사정점	137
그림 80. 2005년 3월, 5월, 8월 수정리 식물플랑크톤 조사정점	137
그림 81. 2004년 마산시 수정리 해역의 월별 식물플랑크톤 현존량 변화	139
그림 82. 2004년 월별 식물플랑크톤 현존량(위)과 종구성비(아래)	140
그림 83. 2005년 9월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	143
그림 84. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	146
그림 85. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	149
그림 86. 2006년 3월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	151
그림 87. 2006년 5월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	153
그림 88. 2006년 8월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비	156
그림 89. 시설해역에 출현한 식물플랑크톤의 계절별 우점종	158

그림 90. 조사해역에서 예비조사(위, 2004년) 및 본조사시(아래) 계절별 식물플랑크톤 출현종수 비교	159
그림 91. 2005~2006년 계절별 식물플랑크톤 현존량 평균값의 변화	160
그림 92. 살조물질의 투여 농도별 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> (현장채집시료)의 제거효율 실험	163
그림 93. 적조구제물질별 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> (현장채집시료)의 제거효율 비교	164
그림 94. 적조구제물질의 투여 농도별 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> (현장채집시료)의 제거효율	168
그림 95. 적조구제물질별 적조생물 <i>Cochlodinium polykrikoides</i> (현장채집시료)의 제거효율 비교	170
그림 96. 메소코즘 구조물 제작원리	172
그림 97. 공기를 주입시켜 제작한 해상 부유 구조물	172
그림 98. 공기 주입 전 메소코즘 구조물을 펼친 상태	176
그림 99. 차단막을 설치한 메소코즘	176
그림 100. 차단막과 조절 로프 설치 후 상하를 뒤집는 모습	176
그림 101. 메소코즘을 해상에 띄운 모습	177
그림 102. 메소코즘의 이동을 위해 선체에 연결	177
그림 103. 선체에 연결된 메소코즘의 조사현장 이동	177
그림 104. 준비를 위해 작업장 측면에 연결시킨 메소코즘	178
그림 105. 메소코즘 작업용 바지 시설물의 설치와 장비 보관을 위한 컨테이너 모습	178
그림 106. 공기구조물 메소코즘에 차단 방지막 부착	178
그림 107. 메소코즘을 뒤집는 모습	179
그림 108. 바다 입수직전의 메소코즘	179
그림 109. 바다로 입수한 메소코즘	179
그림 110. 현장 실험용 작업장 바지에 접근하는 메소코즘	180
그림 111. 메소코즘을 작업장 바지에 연결하는 모습	180
그림 112. 메소코즘 차단막에 침자를 달고 있는 모습	181
그림 113. 현장 실험용 작업장 바지 위의 컨테이너 내부 모습과 소형 모형실험장치	181
그림 114. 완성된 시설모습	181
그림 115. 소형 이동식 메소코즘	183

그림 116. 소형 메소코즘의 현장 실험	183
그림 117. 적조 구제 물질 살포 후 시간의 경과에 따른 동물플랑크톤의 출현개체 수	189
그림 118. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 식물플랑크톤 현존량의 시·공간 변화	194
그림 119. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 시간·수심별 식물플랑크톤 현존량 변화	195
그림 120. <i>Cochlodinium polykrikoides</i> 적조 발생해역에서 메소코즘 내 황토, 세프레마, 신물질 살포에 따른 구제효율 실험모습	197
그림 121. 황토 살포 후 메소코즘 내 모습(최종농도 200 ppm)	199
그림 122. 세프레마 살포 후 메소코즘 내 모습(최종농도 200 ppm)	200
그림 123. 신물질 살포 후 메소코즘 내 모습(최종농도 200 ppm)	201
그림 124. 살조물질(메소코즘 내 최종농도 200 ppm) 투입에 따른 메소코즘 내의 클로로필-a 값의 변화와 적조제거효율 비교	202
그림 125. 수류발생부에 부착된 초음파 발생장치	206
그림 126. 초음파 조사실	206
그림 127. 오존발생장치	207
그림 128. 구동수 펌프	208
그림 129. 낙수방지 챔버와 구동수 펌프가 설치된 소형실험장치 모습	208
그림 130. 제작중의 소형 실험장치의 프레임	209
그림 131. 수류발생부의 제작과정	209
그림 132. 소형실험장치의 운전 제어박스의 내 외부 모습	210
그림 133. 소형 실험 장치에 부착되는 각종 부속품	211
그림 134. 프레임에 부착된 각종 주요 장비	212
그림 135. 부력재 부착 전 소형장치	213
그림 136. 부착장비들의 점검	213
그림 137. 현장 실험을 위한 소형실험장치의 운반	213
그림 138. 현장 성능 확인 실험을 위해 실험 해역에 설치되는 소형장치	214
그림 139. 소형 실험장치 후류의 미세기포 확산 모습	214
그림 140. 구제효율 계측 방법	215
그림 141. 녹조 구제효율(3번째 막대그래프)	216
그림 142. 표층의 클로로필 a 농도(3번째 막대그래프)	216
그림 143. 초음파 적용 전과 적용 후 2시간 경과 후의 녹조 모습	217

그림 144. 처리유량(취수구내 유속), 초음파 조사장치 설치대수와 녹조 구제율과의 관계	218
그림 145. 시간대별 구제효율	218
그림 146. 클로로필 a 연직분포도	219
그림 147. 수온 연직 분포도	219
그림 148. 계측 위치도	220
그림 149. 초음파 처리전과 처리후의 녹조 현미경 그림	220
그림 150. 녹조 종의 현미경 그림	221
그림 151. 고속제트 분사 시스템의 개략도	223
그림 152. 고속 제트분사 시스템	224
그림 153. 어류 영향 실내 수조실험 모습(숨팽이)	224
그림 154. 어류 영향 실내 수조실험 모습(넙치: 30 cm 정도)	225
그림 155. 생물 영향 실내 수조실험 모습(넙치: 10~20 cm 정도)	226
그림 156. 생물 영향 실내 수조실험 모습(넙치: 10~20 cm, 참돔: 20 cm 정도)	226
그림 157. 어류영향 실험을 행한 민간 양식장(화남수산)	226
그림 158. 전복과 참돔의 생물영향실험을 위한 실험모습	227
그림 159. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 황토 실험구	228
그림 160. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 세프레마 실험구	229
그림 161. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 신물질 실험구	230
그림 162. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 실험모습	231
그림 163. 실험구(위)와 대조구(아래)에서 DO 감소에 따른 실험생물의 생존율 비교	234
그림 164. 황토 투여구의 농도별 DO 소모량	239
그림 165. 세프레마 투여구의 농도별 DO 소모량	240
그림 166. 신물질 투여구의 농도별 DO 소모량	241
그림 167. 부유식 조류제어 기능을 가진 소형실험장치 설계도면	242
그림 168. 마산 수정리 해역에 운반되어온 소형실험장치의 하역 모습	243
그림 169. 소형실험장치 재조립 모습	243
그림 170. 소형실험 장치의 현장 진수 및 시설 모습	244
그림 171. 수정리 해역의 조류밀도 측정 조사정점	247
그림 172. RTK-30-2 소형장치에 해상으로의 전기선 연결 작업	248
그림 173. RTK-30-2 소형장치의 적조구제 효과 실험	249
그림 174. 수정리 실험 해역에서 발생한 적조생물	251

그림 175. 구체되어 형태를 알 수 없는 적조생물	253
그림 176. 초음파 출력과 주사시간 경과에 따른 적조생물 개체수 변동	254
그림 177. RTK-30-2 소형장치의 현장점검 및 장비보수 모습.	256
그림 178. 해파리 영향 실험을 위한 원형 수조	257
그림 179. 메소코즘 내의 해파리(마산 수정리 해역, 보름달 물해파리)	258
그림 180. 미세기포에 의해 폐사한 노무라 입깃 해파리 모습	260
그림 181. 미세기포에 의해 해수 표층에 부유하는 해파리(보름달 물해파리)	261
그림 182. 흐름방향으로 형성된 해수 표층에 부유하는 기포로 폐사한 해파리	261
그림 183. 기포로 폐사 상태인 소형 메소코즘 내의 해파리	262
그림 184. 수질정화 및 해파리 제어용 강제수류 발생 시스템	263
그림 185. 프로펠러식과 제트스트림 방식의 제트스트림 방식 흐름의 비교	267
그림 186. 프로펠러에서 발생하는 유동장의 개념도	268
그림 187. 프로펠러 흐름에 의한 물질의 강제 유동의 단면도와 축방향 단면도 ..	269
그림 188. 제트스트림 토출 분류에 의한 유동장의 개념도	269
그림 189. 토출 분류에 의한 물질의 강제 유동	270
그림 190. 수질정화 및 적조제어장치인 MJS-150의 설계도면	273
그림 191. 거치대에 부착된 MJS-150 수류발생장치	274
그림 192. MJS-150의 정류통에 부착된 초음파 발생 및 반사장치	275
그림 193. 오존 발생장치 내부 모습과 보관함	276
그림 194. 플로트에 거치된 구동수 펌프	277
그림 195. 에어컴프레샤의 내부 모습과 보관함	278
그림 196. 설치된 윈치와 덮개를 덮은 윈치	279
그림 197. 운전 제어판의 외관모습과 플로트에 설치된 모습	280
그림 198. 수류발생장치의 발사 부 외관 모습	281
그림 199. 수류발생장치의 내부 발사 노즐 펌프	281
그림 200. 수류발생장치 MJS-150과 거치대의 제작 모습	282
그림 201. 낙수 방지 챔버의 제작	282
그림 202. 플로트에 시설된 낙수방지 챔버	283
그림 203. 전기공급 박스의 제작과 내부 배선	284
그림 204. 운전 제어판의 제작과 내부 배선	284
그림 205. 수류발생장치의 거치대 제작	285
그림 206. 해수유입부의 스트레이너와 유입 호스	285
그림 207. 구동수 호스	286

그림 208. 오존 송수관 및 전기선을 보호하는 보호관	286
그림 209. 야간 점등관	287
그림 210. 압력계의 모습	287
그림 211. 수정리 어촌계 동의서	289
그림 212. 소음기가 부착된 발전기	289
그림 213. 구동수 펌프와 전기공급 박스, 오존 및 콤프레샤 장치 박스, 거치대의 포장 모습 등과 장치들 하역	290
그림 214. MJS-150 수류발생장치의 주변 관련장비의 포장 모습 등과 장치들 하역	291
그림 215. 포장 장비 현장 해체	292
그림 216. 해체된 장비 현장 조립	293
그림 217. 현장조립 후 해수면 진수	295
그림 218. 진수 후의 시스템 전체에 대한 세부 점검	296
그림 219. 시운전 해역의 해저 모습과 수류발생장치에서 고속 분사되는 초미세 기포의 모습	297
그림 220. 시운전 모습	298
그림 221. 해상제어 구조물 설계도면	299
그림 222. 플로트 구조물들의 각 부위별 소품 제작	303
그림 224. 상판과 leg 제작	304
그림 225. 플로트에 부자 체결	305
그림 226. 플로트에 부자를 체결한 모습	305
그림 227. 아연을 도금한 플로트의 모습	306
그림 228. 전기선과 오존 공급선 등의 배선	307
그림 229. 아연 도금한 3등분 플로트에 사각부자를 체결한 모습	308
그림 230. 스티로폼 부자와 철 파이프를 사용한 플로트	308
그림 231. 제작 완성되어 출하 준비 중의 계류구조물	308
그림 232. 파형에 따른 버퍼케이블 탄성로프 계류삭에 작용하는 하중	310
그림 233. 계류용 앵커	310
그림 234. 계류용 로프	311
그림 235. 플로트 계류용 앵커 시설	312
그림 236. 수정리 현장 해역에 운반되어온 플로트	313
그림 237. 수정리 해역에서의 플로트 하역 모습	314
그림 238. 3등분한 플로트를 크레인으로 들어 올려 각각의 플로트를 연결	315

그림 239. 연결된 플로트의 조립된 하단 모습	315
그림 240. 조립 체결된 플로트에 각 장비들 부착	315
그림 241. 해수면으로의 조립 완성된 플로트 진수	316
그림 242. 메소코즘과 작업장 모습	317
그림 243. 각 장비가 탑재된 플로트	317
그림 244. 플로트에 수류발생장치의 인양과정	320
그림 245. 구동수 배관 호스 탑재	321
그림 246. 해역으로 이동하여 작업장 바지에 계류시킨 플로트	322
그림 247. 구동수 펌프 배관 호스의 설치	322
그림 248. 플로트 계류용 앵커 시설	323
그림 249. 해저에 거치 작업 중인 수류발생장치	325
그림 250. 전기선 풀이 작업	327
그림 251. 해상 플로트에서 육지로 연결된 전기선	327
그림 252. 전기선 매설을 위한 굴삭 작업	327
그림 253. 보호관으로 싸서 매립한 전기선에 콘크리트 작업	328
그림 254. 완공한 전기공사(전기공급관넬)	328
그림 255. 구동수 펌프 배관 호스와 해수 취수 배관 호스	329
그림 256. MJS-150에서 분류되는 미세기포 흐름	329
그림 257. 점점 넓게 퍼져 나가는 미세기포 흐름	330
그림 258. 확산되는 미세기포 흐름	330
그림 259. 시설 완료된 시스템에 부착된 현수막	331
그림 260. 최종 시설 완료된 시스템 전체 전경	331
그림 261. 시설 후 수류발생장치의 안착 상태 점검 모습	332
그림 262. 수류발사부의 상태 점검 모습	332
그림 263. 시스템 설치 주변 1km 내외 해역의 해양환경 변화조사	334
그림 264. 적조방제 및 수질정화 및 적조제어장치가 시설된 마산 구산면 수정리 어항 전경	335
그림 265. 취수구의 스트레이너에 부착된 부착생물	336
그림 266. 취수부 스트레이너에 부착되어 층을 이루는 생물	337
그림 267. 취수부 스트레이너의 부착생물 해체 후	338
그림 268. 낙수방지 챔버 내의 스트레이너 내의 이물질	338
그림 269. MJS-150 제트 분사장치의 부착생물	339
그림 270. 제트분사장치 MJS-150 계류 로프의 부착생물	339

그림 271. 제트분사장치 MJS-150 노즐주변의 부착생물상	340
그림 272. 부착생물 제거 후의 제트분사장치(초음파 장치)	340
그림 273. 아연희생양극판 교체 후의 수중시설	341
그림 274. 장마 후의 장치에 쌓인 진흙 제거	342
그림 275. 장치 거치 가동 후의 제트분사 흐름	342
그림 276. 감독관의 현지 점검	343
그림 277. 해수유동 실험 계산 격자망도	350
그림 278. 해수유동 실험 등수심선도	351
그림 279. 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 구동 구조	354
그림 280. 창조시 유속벡터도(현재 상태)	357
그림 281. 낙조시 유속벡터도(현재 상태)	358
그림 282. 창조시 유속벡터도(조위+유량발생시)	358
그림 283. 낙조시 유속벡터도(조위+유량발생시)	359
그림 284. 유속벡터도(유량발생시)	359
그림 285. 초기 입자투하 위치	363
그림 286. 입자투하 6시간 후의 실험결과(현재 상태)	366
그림 287. 입자투하 12시간 후의 실험결과(현재 상태)	366
그림 288. 입자투하 18시간 후의 실험결과(현재 상태)	367
그림 289. 입자투하 24시간 후의 실험결과(현재 상태)	367
그림 290. 입자투하 30시간 후의 실험결과(현재 상태)	368
그림 291. 입자투하 6시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	368
그림 292. 입자투하 12시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	369
그림 293. 입자투하 18시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	369
그림 294. 입자투하 24시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	370
그림 295. 입자투하 30시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	370
그림 296. 입자투하 6시간 후의 실험결과(유량발생시)	371
그림 297. 입자투하 12시간 후의 실험결과(유량발생시)	371
그림 298. 입자투하 18시간 후의 실험결과(유량발생시)	372
그림 299. 입자투하 24시간 후의 실험결과(유량발생시)	372
그림 300. 입자투하 30시간 후의 실험결과(유량발생시)	373
그림 301. 창조시 유속벡터도(현재 상태)	375
그림 302. 낙조시 유속벡터도(현재 상태)	376
그림 303. 창조시 유속벡터도(조위+유량발생시)	376

그림 304. 낙조시 유속벡터도(조위+유량발생시)	377
그림 305. 유속벡터도(유량발생시)	377
그림 306. 초기 입자투하 위치	378
그림 307. 입자투하 6시간 후의 실험결과(현재 상태)	380
그림 308. 입자투하 12시간 후의 실험결과(현재 상태)	381
그림 309. 입자투하 18시간 후의 실험결과(현재 상태)	381
그림 310. 입자투하 24시간 후의 실험결과(현재 상태)	382
그림 311. 입자투하 30시간 후의 실험결과(현재 상태)	382
그림 312. 입자투하 6시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	383
그림 313. 입자투하 12시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	383
그림 314. 입자투하 18시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	384
그림 315. 입자투하 24시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	384
그림 316. 입자투하 30시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)	385
그림 317. 입자투하 6시간 후의 실험결과(유량발생시)	385
그림 318. 입자투하 12시간 후의 실험결과(유량발생시)	386
그림 319. 입자투하 18시간 후의 실험결과(유량발생시)	386
그림 320. 입자투하 24시간 후의 실험결과(유량발생시)	387
그림 321. 입자투하 30시간 후의 실험결과(유량발생시)	387
그림 322. 강제수류 발생 수질 정화장치에 적조구체물질을 혼합하여 살포하는 적조제 어 시스템 개념도	396
그림 323. 수산화마그네슘의 적조구체 및 저질개선 효과	402
그림 324. 적조구체물질 살포 장치	404
그림 325. 해역으로 확산되는 미세 기포와 수산화마그네슘수용액	406

제 1 장 서 론

우리나라의 연안 양식생산은 100만 톤을 상회 전체 어업생산량의 약 30%를 점유하고 있으며 앞으로도 계속 발전시켜야 할 중요한 식량생산 산업이다. 게다가 유엔 해양법이 발효되면서 각국은 자국의 연안환경을 조사 보호해야 할 의무와 책임을 가지며, 모든 연안 국가는 보다 넓은 해역에 대한 경제수역 선포를 피하고 있어 원양어업의 신장을 피하기는 더욱 어려워져 연안양식의 중요성은 더해지고 있다. 특히, 최근의 한·일, 한·중 어업 협정에서와 같이 앞으로는 연안의 자원을 효과적으로 관리하는 것은 대단히 중요하다. 따라서 양질의 연안 수산물 생산을 안정적으로 지속시키고 환경의 국제화에 적극적으로 동참하기 위해서는 현재 연안양식과 어업에 가장 큰 방해요인으로 작용하는 적조현상에 대한 종합적인 연구와 더불어 오염된 해양의 수질을 정화시켜 적조발생을 근본적으로 제어하는 기술구축은 무엇보다도 중요하다.

현재 연안역의 개발과 해면의 지속적인 이용으로 오염 부하량 증대에 따른 연안 해역은 자정능력을 초과한 유입 부하량으로 인해 부영양화가 가속화되어가고 있는 실정이다. 이에 대한 결과로 매년 적조가 상습적으로 발생하고 있으며, 특히 1995~1996년 중 764억원의 수산피해를 일으킨 유독성적조는 우리나라뿐만 아니라 전 세계 연안에서 발생하여 어장환경과 수산생물에 막대한 피해를 일으킴으로서 심각한 사회·경제적인 문제로 제기되고 있다.

그동안 정부에서도 적조피해를 경감시키기 위하여 많은 인력과 예산을 투입하여 수산생물 피해저감 및 적조 방제 기술 개발 연구를 수행하였으나, 대규모로 발생하는 적조를 효율적으로 방제하기에는 역부족 이었다. 이에 정부에서는 적조발생을 근본적으로 제어하기 위한 일환으로 육지에서 유입되는 오염물질 및 자가오염을 규제하는 오염물질 총량규제법인 해양오염방지법을 제정하여 시행하게 되었으나, 그 효과를 거두기 위해서는 장기간 지속적으로 국민 참여와 더불어 강력한 법 시행이 무엇보다도 필요하다.

이와 같이 적조를 제어하기 위한 방법 중에는 상기와 같은 간접적인 방법 이외에 직접적인 방법으로 오염된 해역을 중심으로 수질을 직접적으로 정화시키는 방법이다. 예를 들어 오염된 양식장 해저 저질의 경운과 객토, 양식생물의 윤작, 밀도조절, 어장의 안식년 등을 통한 어장 향상성 유지도 좋은 방법이라 할 수 있겠다. 또 새로운 복합 양식기법 개발을 통하여 수질과 저질을 안정시키며 biodeposit을 최소화하는 방법이나 또는 부영양화 수역에 해중립을 대량으로 조성하여 수질을 안정시키는 방법, 또 그 해역의 수질에 알맞은 양식생물을 개발함으로써 적조발생을 제어할 수 있겠다. 그러나 이와 같은 방법들은 어느 정도 수질이 개선된 후 이 수질환경을 지속시키기 위한 방법은 될 수 있으나, 상기의 방법들을 오염된 해역에 바로 적용시키기에는 실패할 확률이 높다.

수생생태계의 기초생산자인 식물플랑크톤은 연안환경의 먹이사슬 내에서 탄소유기물과 영양물질(질소, 인 등)을 순환시키는 중요한 역할을 담당하고 있다 (Kemp and Boynton, 1981; Sundbaeck et al., 1990). 또한 이들은 광합성과 수중호흡을 통해 용존산소를 증가시키는 반면, 적조 발생 후의 잔존세포들은 저층에 침적하여 용존산소를 고갈시킬 수 있는 미생물 분해의 기질로서 작용하기도 한다(Officer et al., 1984; Sundbaeck et al., 1990). 연안역에서의 적조발생은 광, 수온, 염분 등의 물리적 조건과 영양염, 미량금속 등의 생리적 조건 및 동물플랑크톤에 의한 포식압에 의해 영향을 받는다(Kimmer et al., 1990). 특히 질소와 인의 유입량이 증가하면 식물플랑크톤의 생장이 촉진되고, 과도한 식물플랑크톤의 증가는 적조 유발 뿐 아니라 부영양화과정을 통해 무산소층을 생성하는 수질오염의 전형적인 형태로 발전하게 된다. 따라서 수생생태계는 물리·화학·생물학적 요소들이 적절한 균형을 이룰 때 풍요롭고 청정한 환경을 유지하게 된다.

본 용역 연구에서 '적조제어기술'에 직접적으로 적용하고자하는 기술과 그 목적은 수중에 미세기포 형태의 산소를 지속적으로 공급하여 수질과 더불어 저질까지 정화하는 고 효율성 장치를 설치하여, 오염된 해역에 거대한 인공 해중림을 조성한 것과 같은 효과를 거두고자 한다. 본 설비는 외국에서 개발 세계 각지에 설치되어 그 효과를 발휘하고 있는 것으로서, 10 μ m 이하의 미세 산소기포 및 강력한 제트수류를 형성하는 일명 제트 스트리머(Jet Streamer)이며, 여기에 국내에서 개발된 적조방제 기술을 접목시켜, 적조가 발생치 않는 시기에는 수질 및 저질을 정화하는 목적으로 장치를 가동하고, 적조가 발생하는 시기에는 적조구제물질 및 기술을 접목시켜 적조를 제어하는 세계에서 처음 시도되는 기술이다. 그리고 본 기술을 적조 이외의 유해생물인 해파리 제어에도 효과를 조사, 그 가능성을 도출하여 본 장치의 효율성을 증가시키고자 하였다.

이를 효과적으로 실현하기 위해 Jet Streamer 장비를 설계 제작하고 그 성능을 검증 한 뒤 국내에 도입하여 현장에서 조립 설치 가동한 뒤 시스템을 점점 관리하면서, 1)이로 인한 수서생태환경변화를 정기적으로 모니터링하고 2)적조구제물질과의 접목과 3)컴퓨터에 의한 수치시뮬레이션을 통하여 본 장치에 대한 평가를 통해 연안 수질개선 및 적조제어의 현장실용성을 평가하고자 하였다.

제 2 장

시설해역의 생태계조사

제1절 조사해역 시설장소 선정

1. 재료 및 방법

2005년 6월부터 7월까지 경상남도 마산시 구산면 덕동항, 수정리항, 경상남도 고성군 당동항, 및 경상남도 통영시 오비도 해역을 후보지로 선정하여 공유수면적과 수심, 적조 발생 종과 적조발생 일수, 수질정화 및 적조제어장치(Jet-streamer)와 메소코즘의 설치 및 관리 용이성에 대해 1차 현장답사를 실시하였다(그림 1). 이어 2005년 8월 11일에는 진해만 내의 덕동과 수정리 및 진해만 외의 오비도에서 2차 현장답사를 실시하였으며(그림 2), 이때에는 답사해역의 부영양화 정도를 알아보기 위해 현장해수를 1 L씩 채수하여 예비조사를 실시했다. 표층해수는 수심 0.3 m에서, 저층해수는 바닥에서 1 m 상층에서 난센채수기를 이용하여 해수를 채수하였다(그림 3d). 채수된 해수는 현장에서 GF/F filter($\varnothing=0.45 \mu\text{m}$)를 이용하여 흡인 여과한 후 500 mL polyethylene 병에 넣어 4°C 냉장 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 -20°C에서 분석 시 까지 보관하였다. 냉동 보관된 시료는 냉암소(4°C)에서 해동한 뒤 Flow Injection analyzer (QuikChem8000, Lachat, USA)로 해수 중의 아질산질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$), 암모니아질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 인산인($\text{PO}_4\text{-P}$), 규산규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)를 분석하였다.

한편 사전답사 해역 중 수정리에서는 2003년 8월에서 2005년 4월까지 3개 지점을 대상으로 영양염농도를 연속적으로 모니터링 했다(그림 4).

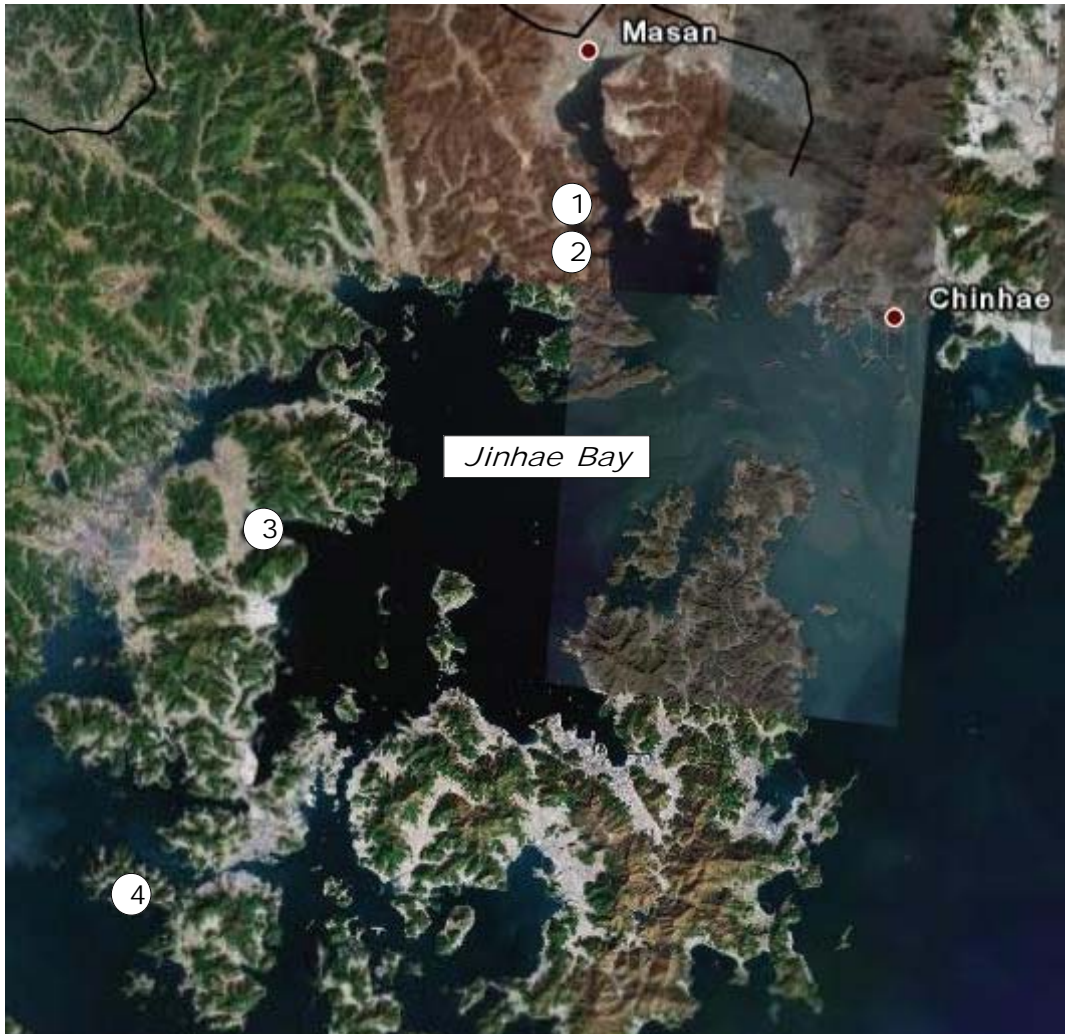


그림 4. 수질정화 및 적조제어장치 설치장소 선정을 위한 현장답사 및 예비조사 해역도. 1, 수정리; 2, 덕동; 3, 당동; 4, 오비도.



그림 5. 덕동(A), 수정리(B) 및 오비도(C)의 영양염 조사정점.

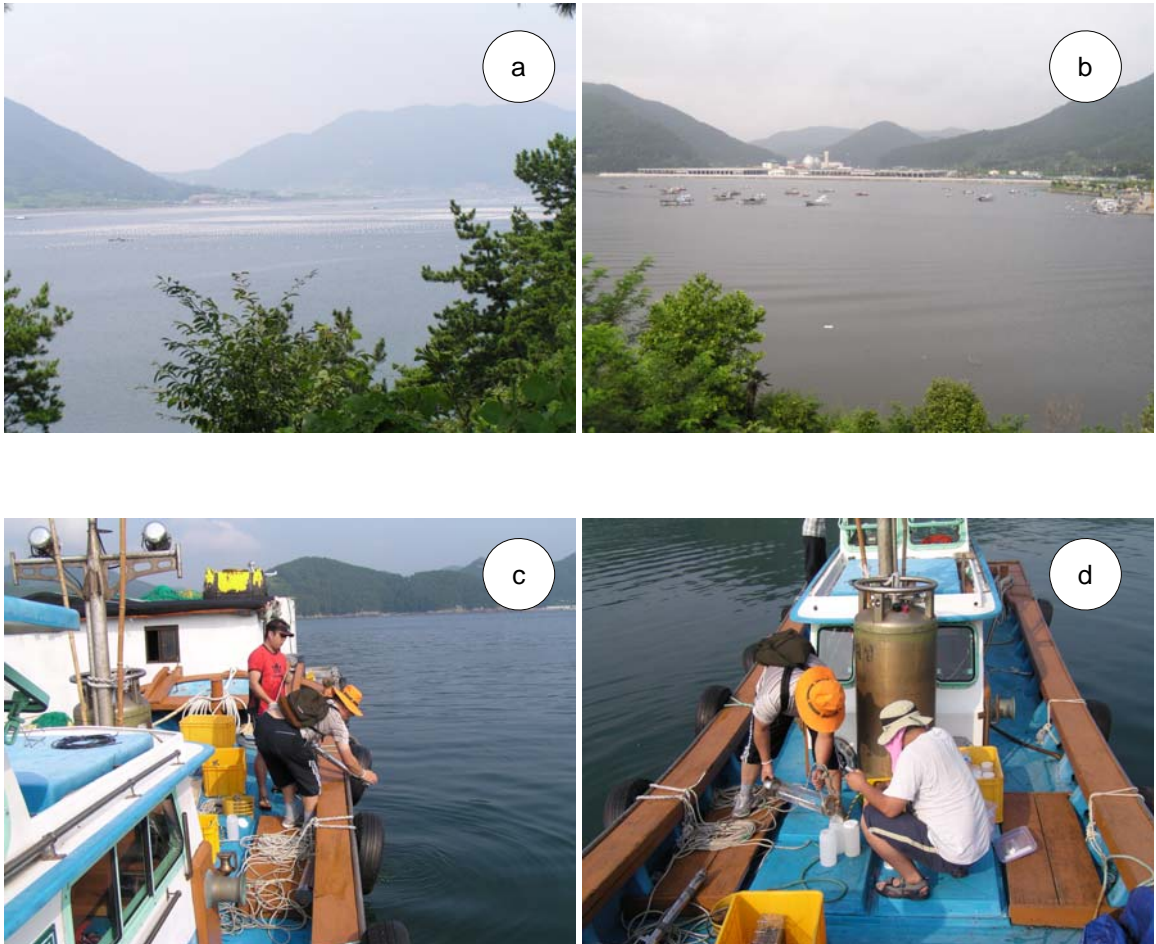


그림 6. 시설장소 선정을 위한 사전답사해역의 전경과 시료채집 모습. (a)덕동 1차 답사해역, (b)덕동 2차 답사해역, (c)오비도 1차 답사해역 및 저질채집, (d)오비도 1차 답사해역에서의 시료채집



그림 7. 수정리 장기조사 정점.

2. 결과

가. 현장답사

1) 적조발생상황

2000년에서 2005년 사이 수정리와 덕동, 당동, 오비도 해역에서 발생한 적조 횟수 및 적조종을 문헌조사한 결과 수정리와 덕동에서는 2002년에 7회, 2003년에 4회, 2004년에 2회로 총 13회의 적조가 발생했다(표 1). 이 해역에서 적조를 발생한 생물은 *Akashiwo*, *Eucampia*, *Eutreptiella*, *Heterosigma*, *Leptocylindrus*, *Prorocentrum*, *Rhizosolenia*, *Thalassiosira* 등으로 매우 다양했다. 당동에서는 2003년 6월에 단 1회의 *Prorocentrum* 적조가 발생했으며, 오비도에서는 2002년에 2회, 2003년에 3회, 2004년에 2회, 2005년에 1회의 적조가 발생했다. 오비도 해역은 진해만 외측으로 만내의 영향보다는 외양수의 영향을 많이 받는 곳으로서 전라남도 해역에서 발생한 적조가 이동하면서 관찰된 것이 대부분이다. 따라서 오비도에서 관찰된 적조생물은 대부분이 *Cochlodinium*이었으며 이외에도 *Akashiwo*, *Prorocentrum* 및 *Scrippsiella*도 있었다.

2) 공유수면적 및 평균수심

사전답사지 당동, 덕동, 수정리, 오비도의 공유수면적은 각각 0.27 Km², 1.08 Km², 0.18 Km², 0.82 Km²로 덕동이 가장 넓고 수정리가 가장 협소했다(표 2). 반면 평균수심은 당동, 덕동, 수정리, 오비도에 서 각각 5 m, 7 m, 8 m, 6 m로 수정리가 가장 깊었다.

표 1. 조사해역에서 4년간 발생한 적조 발생횟수 및 적조 발생종

수정리, 덕동		당동		오비도	
발생 일시	발생 종	발생 일시	발생 종	발생 일시	발생 종
5.17	<i>Heterosigma akashiwo</i>			8.17	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
5.22	<i>Heterosigma akashiwo</i>			9.02	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
6.15	<i>Eutreptiella gymnastica</i>				
	<i>Thalassiosira decipiens</i>				
6.27	<i>Eucamphia zodiacus</i>				
2002	<i>Prorocentrum</i> sp.				
7.04	<i>Heterosigma akashiwo</i>				
	<i>Prorocentrum</i> sp.				
7.10	<i>Leptocylindrus danicus</i>				
	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>				
7.24	<i>Prorocentrum</i> sp.				
5.14	<i>Heterosigma akashiwo</i>	6.03	<i>Prorocentrum</i> sp.	6.12	<i>Akashiwo sanguinea</i>
6.07	<i>Prorocentrum</i> sp.			7.23	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
6.26	<i>Thalassiosira decipiens</i>			8.19	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
2003	<i>Prorocentrum</i> sp.				
7.02	<i>Heterocapsa triquetra</i>				
	<i>Leptocylindrus</i> sp.				
	<i>Heterosigma akashiwo</i>				
4.29	<i>Akashiwo sanguinea</i>			7.09	<i>Prorocentrum dentatum</i>
2004	<i>Prorocentrum triestinum</i>			8.06	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
6.14	<i>Heterosigma akashiwo</i>				
2005				7.29	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>
Total	13	Total	1	Total	8

표 2. 사전답사 해역의 평균 공유 수면적 및 평균 수심

장소	공유수면적 (Km ²)	수심 (m)
당 동	0.27	5
덕 동	1.08	7
수정리	0.18	8
오비도	0.82	6

나. 예비조사(2005. 8) 시의 영양염농도

1) 아질산질소($\text{NO}_2\text{-N}$)

지역별 및 수층별 아질산질소의 농도는 덕동이 가장 높았으며 다음으로는 수정리, 오비도 순서였다(표 3, 그림 5). $\text{NO}_2\text{-N}$ 농도는 덕동의 표층에서 1.01~1.13 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 1.07 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.67~0.72 $\mu\text{g-a/L}$ (0.70 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 표층에서 높았다. 수평분포는 육상에서 유입되는 영양염의 영향이 큰 정점 1에서 높았다. 이는 덕동의 폐쇄적인 지형 특성 때문으로 사료된다(그림 3b 참고). 수정리는 표층에서 0.49~0.68 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.59 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.53~0.58 $\mu\text{g-a/L}$ (0.70 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 수층간 차이가 없었다. 수평분포 또한 3개 정점에서 고른 수치를 나타냈다. 오비도는 표층에서 0.04~0.18 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.09 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.17~0.50 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.28 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층에서 높았다. 정점별로는 양식장과 근접한 1번 정점의 저층에서 가장 높았다. 전체 조사 지역별로는 덕동과 수정리에서 오비도 보다 높은 수치를 나타냈다. 덕동과 수정리의 지형은 오비도에 비해 폐쇄된 만의 형태를 갖추고 있기 때문에 오비도에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타낸 것으로 판단된다.

2) 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

조사지역별로는 덕동이 가장 높았으며 다음으로는 수정리, 오비도 순서였다(표 3, 그림 5). 수층별로는 덕동과 수정리는 표층의 농도가 높았으나 오비도에서는 이와 반대로 저층이 높았다. 덕동은 표층에서 12.67~18.58 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 15.63 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 4.65~5.51 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 5.08 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 표층에서 높았다. 수평분포는 아질산질소와 마찬가지로 정점 1에서 높았다. 수정리는 표층에서 5.02~10.82 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 8.00 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 3.59~6.73 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 5.13 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층에서 덕동보다 다소 높은 농도를 보였다. 수평분포는 만 입구인 정점 2가 다른 곳에 비해 높았다. 오비도는 표층에서 0.33~0.65 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.46 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.62~2.07 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 1.13 $\mu\text{g-a/L}$)

범위로 저층이 높았다. 정점별로는 양식장 인근의 1번 정점 저층에서 가장 높은 수치인 2.61 $\mu\text{g-a/L}$ 을 나타내었다.

3) 암모니아질소($\text{NH}_4\text{-N}$)

지역별로는 수정리가 가장 높았으며 다음으로는 덕동과 오비도 순서였다(표 3, 그림 5). 최고 농도는 수정리 저층에서 평균 23.73 $\mu\text{g-a/L}$ 으로 관찰되었으며 덕동과 오비도에서도 표층에 비해 저층이 높았다. 덕동은 표층에서 15.51~16.48 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 16.00 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 16.58~27.73 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 22.16 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 표층에서 높았다. 수평분포는 정점 2에서 높았다. 수정리는 표층에서 18.58~26.53 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 21.31 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 19.37~26.65 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 23.73 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였다. 오비도는 표층에서 9.73~20.39 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 15.84 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 15.72~20.85 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 18.32 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층이 높았다. 정점별로는 5번 정점의 표층과 저층에서 가장 낮았다. 전체 3개 지역 10개 조사정점 대부분의 저층에서 높은 농도를 보임으로써 저층 유기물 퇴적환경이 악화되어 있는 것을 알 수 있었다.

4) 인산인

지역별로는 수정리의 저층에서 가장 높았고 표저층 평균은 덕동이 가장 높았다(표 3, 그림 5). 덕동은 표층에서 0.074~0.080 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.077 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.061~0.075 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.068 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 표층이 높았다. 수정리는 표층에서 0.034~0.056 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.043 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층에서 0.044~0.154 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.084 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였다. 오비도는 표층에서 0.018~0.048 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.034 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 0.034~0.053 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 0.040 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층이 높았다. 정점별로는 2번 정점의 저층에서 가장 높은 수치를 나타내었다. 평균 값은 덕동과 수정리의 수치가 오비도의 수치보다 높았다.

5) 규산규소

지역별로는 수정리에서 가장 높았고 다음으로는 덕동, 오비도 순서였다(표 3, 그림 5). 덕동은 표층에서 23.80~34.58 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 29.19) 범위였으며 저층에서 21.94~30.99 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 26.47 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 표층이 높았다. 수정리는 표층에서 32.78~46.53 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 40.01 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 26.53~46.03 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 36.46 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였다. 오비도는 표층에서 6.84~25.15 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 12.72 $\mu\text{g-a/L}$) 범위였으며 저층에서 16.00~36.87 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 26.30 $\mu\text{g-a/L}$) 범위로 저층이 높았다. 정점별로는 4번 정점의 저층에서 가장 높은 수치를 나타내었다. 수정리의 높은 규산규소 농도는 규조류의 고밀도 증식 또는 외부로부터 유입된 것으로 판단할 수 있으나, 동 지역은 육수 유입이 많지 않고 항내에 다수의 진주담치 수확장이 있는 점을 고려해야 할 것이다.

표 3. 예비조사 시의 오비도, 덕동, 수정리 해역의 영양염 농도($\mu\text{g-a/L}$)

정점		NO_2^--N	NO_3^--N	NH_4^+-N	$\text{PO}_4^{2-}-\text{P}$	SiO_2-Si	
덕동	표층	1	1.13	18.58	15.51	0.07	34.58
		2	1.01	12.67	16.48	0.08	23.80
	평균		1.07	15.63	16.00	0.08	29.19
	저층	1	0.67	5.51	16.58	0.08	30.99
		2	0.72	4.65	27.73	0.06	21.94
	평균		0.70	5.08	22.16	0.07	26.47
수정리	표층	1	0.49	8.17	18.81	0.03	32.78
		2	0.68	10.82	18.58	0.06	46.53
		3	0.59	5.02	26.53	0.04	40.72
	평균		0.59	8.00	21.31	0.04	40.01
	저층	1	0.53	3.59	26.65	0.15	36.81
		2	0.56	5.09	25.16	0.04	46.03
3		0.58	6.73	19.37	0.05	26.53	
평균		0.56	5.13	23.73	0.08	36.46	
오비도	표층	1	0.08	0.55	20.39	0.03	25.15
		2	0.18	0.41	16.32	0.03	8.52
		3	0.08	0.65	15.92	0.02	10.85
		4	0.04	0.38	16.85	0.05	6.84
		5	0.07	0.33	9.73	0.04	12.23
	평균		0.09	0.46	15.84	0.03	12.72
	저층	1	0.50	2.07	19.20	0.04	27.08
		2	0.26	1.21	16.86	0.05	16.00
		3	0.17	0.68	18.95	0.03	26.65
		4	0.23	1.06	20.85	0.04	36.87
5		0.23	0.62	15.72	0.03	24.89	
평균		0.28	1.13	18.32	0.04	26.30	

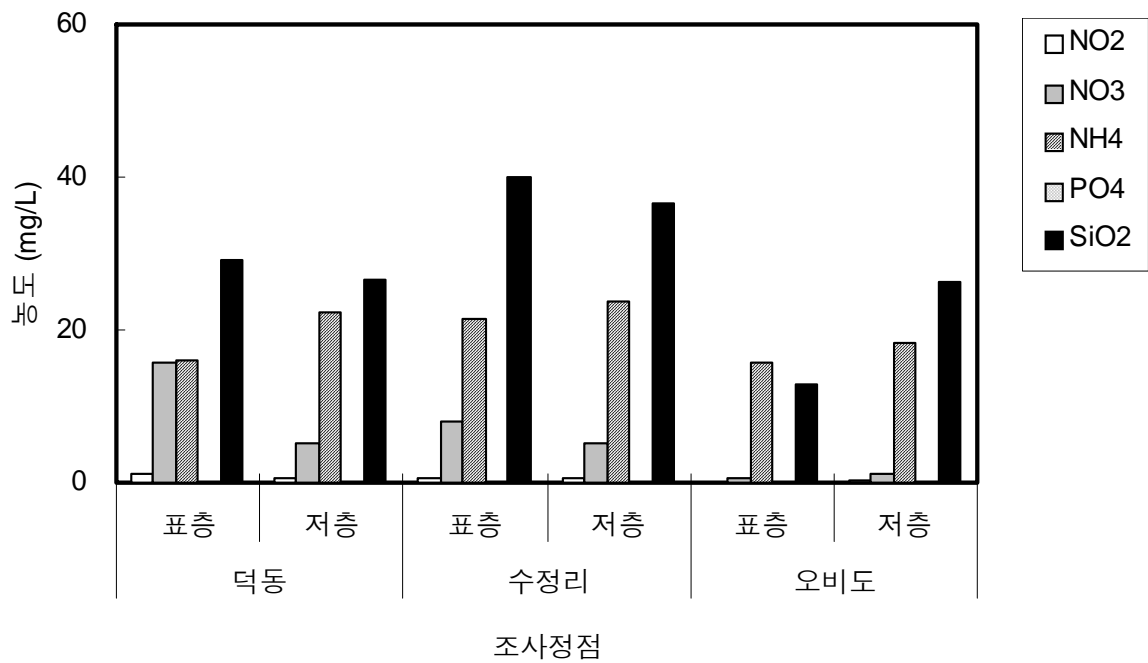


그림 8. 예비조사(2005. 8) 시 덕동, 수정리 및 오비도 해역의 영양염 농도 비교.

다. 장기조사

2003년 8월에서 2005년 4월까지 수정리지역을 대상으로 영양염 농도에 대한 장기 모니터링 결과, $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 저수온기인 겨울에 최고농도로 증가하고 봄과 가을에 급격히 감소하였다. 조사해역에서 이 같은 $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도변화는 봄과 가을철에 식물플랑크톤의 번식에 따른 소모로 인한 농도 감소 때문으로 판단된다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 2003년에는 겨울에 높았으나 2004년에는 가을에 다소 증가하였고 2005년에는 봄에 증가하는 복잡한 경향을 나타냈으나 다른 질소원($\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$)과 마찬가지로 전반적으로 겨울에 높았다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 겨울부터 농도가 감소하기 시작하여 봄철에 최저를 나타냈고 여름과 가을동안 등락을 반복하며 겨울로 갈수록 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 규산규소는 늦여름부터 겨울까지 큰 폭으로 증가하고 봄과 여름에는 감소하였다.

정점별로 정점 1에서 영양염의 특징은 겨울(2003년 12월~2004년 2월, 2004년 12월~2005년 1월)과 여름(2004년 7월)에 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도가 큰 폭으로 증가하는 것이었다(표 4, 그림 6). 이때 최대농도는 표층에서 2004년 2월 $56.64 \mu\text{g-a/L}$, 저층에서 2004년 1월 $63.50 \mu\text{g-a/L}$ 으로 저층에서의 농도증가가 선행되었다. 겨울과 여름에 반해, 봄에는 모든 영양염의 농도가 크게 감소하였는데 이는 식물플랑크톤의 증식으로 인해 해수중의 영양염이 소모되었기 때문으로 판단된다. 실제로 2004년 1월과 2월의 고농도의 영양염은 동일한 시기에 식물플랑크톤 증식을 도와 현존량을 증가시킨 결과로도 나타났다(139 페이지 식물플랑크톤 현존량 변화 그림 참고). 한편 조사해역은 지형적 특성으로 인해 해수 유동이 원활치 않아 보였지만, 표·저층간의 영양염농도 비교에서는 그다지 큰 차이가 나타나지 않음으로서 수괴의 연직혼합이 잘되고 있는 것으로 나타났다. 조사 정점 2와 3에서도 정점 1과 유사한 경향을 보였다(표 5, 6, 그림 7, 8).

계절별 영양염의 평균 농도는 $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 봄(3, 4, 5월) 평균 표층 $0.85 \mu\text{g-a/L}$, 저층 $0.69 \mu\text{g-a/L}$, 여름(6, 7, 8월) 평균 표층 $1.54 \mu\text{g-a/L}$, 저층 $1.15 \mu\text{g-a/L}$, 가을(9, 10, 11월) 평균 표층 $6.72 \mu\text{g-a/L}$, 저층 $2.16 \mu\text{g-a/L}$, 겨울(12, 1, 2월) 평균 표층 $3.11 \mu\text{g-a/L}$, 저층 1.2

$\mu\text{g-a/L}$ 의 수치를 보였다. $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 봄 평균 표층 3.91 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 3.68 $\mu\text{g-a/L}$, 여름 평균 표층 24.70 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 7.08 $\mu\text{g-a/L}$, 가을 평균 표층 18.55 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 15.62 $\mu\text{g-a/L}$, 겨울 평균 표층 30.46 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 12.84 $\mu\text{g-a/L}$ 의 수치를 보였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 봄 평균 표층 4.17 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 5.39 $\mu\text{g-a/L}$, 여름 평균 5.01 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 15.12 $\mu\text{g-a/L}$, 가을 평균 표층 10.95 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 16.72 $\mu\text{g-a/L}$, 겨울 평균 표층 11.32 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 15.05 $\mu\text{g-a/L}$ 의 수치를 보였다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 봄 평균 표층 0.01 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 0.07 $\mu\text{g-a/L}$, 여름 평균 표층 0.10 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 0.20 $\mu\text{g-a/L}$, 가을 평균 표층 2.70 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 4.37 $\mu\text{g-a/L}$, 겨울 평균 표층 2.46 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 2.79 $\mu\text{g-a/L}$ 의 수치를 보였다. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 봄 평균 표층 3.15 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 7.03 $\mu\text{g-a/L}$, 여름 평균 표층 16.27 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 12.08 $\mu\text{g-a/L}$, 가을 평균 표층 29.69 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 37.79 $\mu\text{g-a/L}$, 겨울 평균 표층 20.87 $\mu\text{g-a/L}$, 저층 28.13 $\mu\text{g-a/L}$ 의 수치를 보였다.

표 4. 수정리 조사지점 St 1의 계절별 영양염농도 변화(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

수층	년	월	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si	
표층	2003	8						
		9						
		10	2.45	8.45	12.50	0.36	10.90	
		11	0.83	16.87	19.04	0.40	6.32	
	2004	12	1.68	21.10	38.44	0.54	9.47	
		1	1.62	26.65	21.57	0.01	1.89	
		2	0.74	56.64	44.83	0.06	2.66	
		3	0.83	4.27	1.51	0.02	2.06	
		4	1.27	3.60	2.25	0.01	1.84	
		5	0.46	3.85	8.75	0.01	5.56	
		6	2.34	25.33	1.59	0.11	16.06	
		7	2.23	48.13	11.55	0.16	31.57	
		8	0.06	0.63	1.88	0.01	1.18	
		9	2.90	23.95	17.36	4.72	40.38	
		10	1.55	13.19	13.50	3.25	27.70	
		11	15.71	18.51	1.99	0.10	20.99	
	12	1.34	12.60	16.24	3.87	26.04		
	2005	1	6.88	65.87	0.75	0.02	9.86	
		2	1.11	12.91	16.96	3.50	26.72	
		3	0.75	2.05	32.22	0.05	11.70	
		4	2.11	0.31	24.57	0.23	41.26	
		5						
	저층	2003	8					
			9					
10			2.57	7.75	20.63	0.43	14.12	
11			0.93	12.80	15.88	0.35	5.81	
2004		12	2.14	11.79	36.85	0.60	11.36	
		1	0.59	63.50	25.07	0.06	5.09	
		2	0.97	47.21	19.76	0.02	2.62	
		3	0.92	5.78	1.33	0.02	1.75	
		4	0.71	3.43	0.47	0.05	4.12	
		5	0.44	1.82	14.35	0.12	15.22	
		6	1.11	2.52	1.49	0.09	9.98	
		7	1.86	15.22	30.53	0.34	20.05	
		8	0.49	3.50	13.35	0.17	6.22	
		9	2.27	18.47	20.00	7.79	52.85	
		10	2.12	14.29	12.72	3.89	33.18	
		11	2.07	14.10	17.44	1.45	27.34	
12		1.74	17.23	19.58	5.22	36.53		
2005		1	0.81	8.45	10.06	0.69	24.99	
		2	1.05	12.83	15.51	2.46	22.88	
		3	0.17	0.03	27.79	0.26	11.40	
		4	0.19	0.09	23.60	0.53	71.87	

표 5. 수정리 조사지점 St 2의 계절별 영양염농도 변화(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

수층	년	월	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
표층	2003	8	1.09	11.71	6.53	0.08	4.90
		9	0.12	0.25	8.02	0.23	11.67
		10	2.53	7.17	12.85	0.34	12.13
		11	1.27	14.25	16.78	0.40	5.57
		12	1.75	17.89	23.79	0.43	7.39
	2004	1	0.94	63.75	16.04	0.05	2.31
		2	0.44	38.67	15.86	0.03	1.15
		3	1.12	11.63	13.70	0.00	2.44
		4	0.38	0.82	10.18	0.00	2.90
		5	0.34	1.79	5.05	0.00	7.16
		6	0.74	7.55	1.24	0.02	16.59
		7	2.68	31.35	7.32	0.08	17.13
		8	0.07	0.99	3.50	0.05	1.93
		9	2.89	21.10	19.45	7.31	36.87
		10	2.03	13.98	10.83	3.67	28.94
		11	19.89	16.42	2.27	0.72	31.45
		12	1.15	11.18	14.80	4.49	29.72
	2005	1	6.57	13.73	0.75	0.01	6.88
		2	1.09	12.97	17.14	3.04	25.85
		3	0.45	1.05	41.62	0.00	10.03
		4	0.59	3.00	27.36	0.24	25.48
		5					
		6					
	저층	2003	8				
9							
10			0.41	1.02	2.37	0.41	11.58
11			0.69	12.55	16.40	0.37	6.95
12			1.73	17.45	24.31	0.42	8.58
2004		1	0.40	36.70	26.44	0.05	1.98
		2	0.61	45.27	25.29	0.02	1.77
		3	1.76	9.75	20.96	0.04	3.54
		4	0.42	2.78	9.62	0.03	3.71
		5	0.42	1.97	4.59	0.12	12.29
		6	1.20	4.23	6.49	0.15	14.65
		7	1.69	15.88	18.56	0.25	19.25
		8	0.24	2.77	8.67	0.14	8.64
		9	2.61	20.81	18.44	5.45	44.53
		10	2.06	12.89	11.49	2.94	26.42
		11	2.09	13.62	16.81	0.15	31.77
		12	15.06	13.96	11.38	2.79	23.82
2005		1	1.17	7.54	10.46	0.67	16.31
		2	9.15	12.08	14.54	2.82	21.17
		3	0.25	0.75	32.38	0.03	13.42
		4	0.15	2.58	17.16	0.00	32.89
		5					
		6					

표 6. 수정리 조사지점 St 3의 계절별 영양염농도 변화(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

수층	년	월	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
표층	2003	8	0.33	7.79	5.81	0.11	8.09
		9	0.04	0.04	9.55	0.11	11.14
		10	0.52	1.13	8.77	0.37	12.44
		11	0.75	18.86	15.01	0.43	7.07
		12	1.52	17.01	18.20	0.38	6.91
	2004	1	0.54	59.82	20.05	0.02	1.62
		2	0.35	32.05	20.86	0.03	1.41
		3	1.04	7.52	0.25	0.00	2.42
		4	0.16	0.33	1.36	0.01	3.16
		5	0.12	0.06	1.37	0.01	6.60
		6	0.18	0.24	1.97	0.01	5.73
		7	1.03	12.19	7.33	0.04	7.35
		8	0.02	0.19	0.93	0.03	2.14
		9	2.87	24.22	21.27	0.84	56.14
		10	2.20	12.11	10.86	0.31	32.15
		11	13.81	19.72	2.32	1.20	42.49
		12	1.54	14.71	15.05	0.54	25.00
	2005	1	4.38	4.98	0.62	0.26	13.66
		2	7.68	9.49	12.26	2.21	17.58
		3	0.32	1.10	46.40	0.03	6.64
		4	0.18	0.13	25.89	0.51	32.95
		5					
		6					
	저층	2003	8				
9							
10			0.46	1.12	3.71	0.23	13.85
11			0.72	13.68	15.01	0.38	7.15
12			1.57	17.26	19.40	0.45	6.90
2004		1	2.03	46.87	21.65	0.04	1.67
		2	0.52	24.37	17.66	0.02	1.01
		3	1.23	7.37	0.87	0.01	2.66
		4	0.17	1.61	1.33	0.02	3.08
		5	0.21	0.08	1.80	0.00	12.55
		6	0.27	0.15	1.59	0.01	7.52
		7	1.88	16.90	8.24	0.22	22.14
		8	0.37	6.09	12.17	0.19	11.33
		9	2.43	18.08	18.79	5.62	56.39
		10	1.75	10.57	12.26	3.05	29.31
		11	9.96	2.60	13.37	0.22	28.90
		12	1.96	16.52	18.24	5.54	31.95
2005		1	6.62	0.72	11.92	0.73	14.67
		2	0.86	8.74	12.18	2.49	16.65
		3	0.65	1.38	29.45	0.02	8.04
		4	0.08	0.04	18.40	0.51	24.80
		5					
		6					

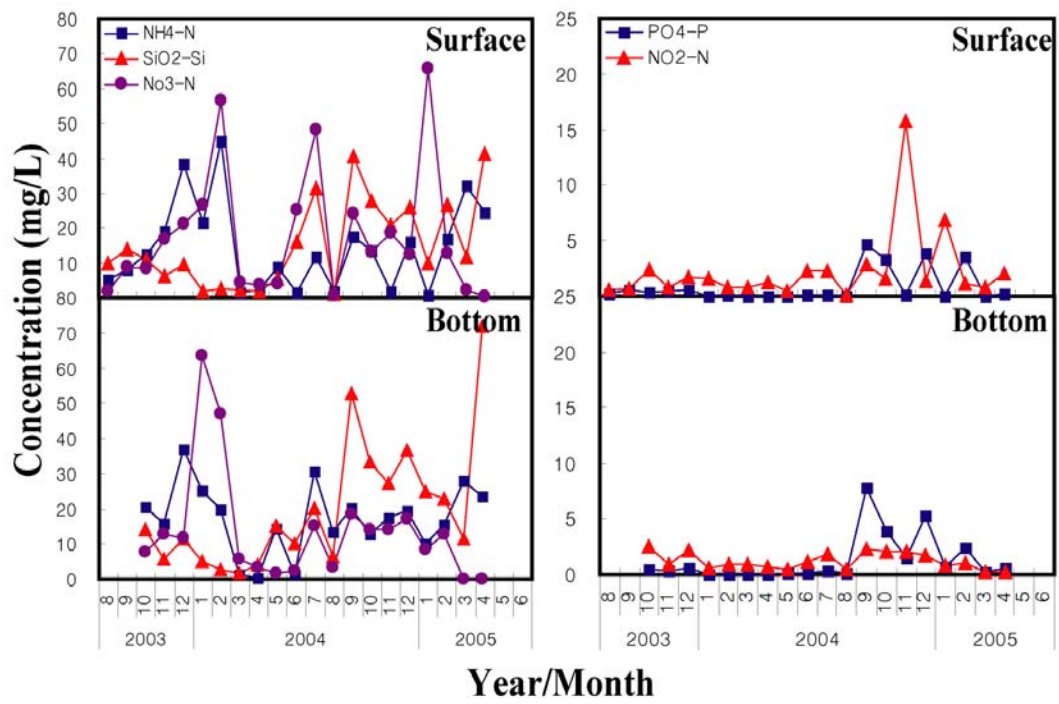


그림 9. 수정리 조사지점 St 1의 계절별 영양염농도 변화.

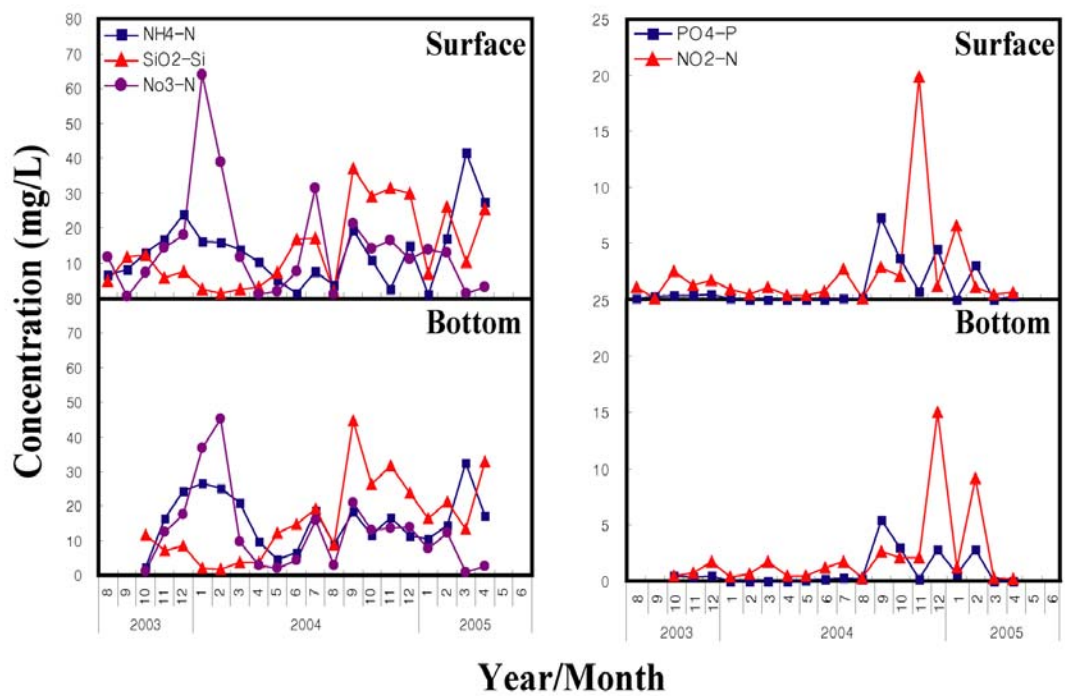


그림 10. 수정리 조사지점 St 2의 계절별 영양염농도 변화.

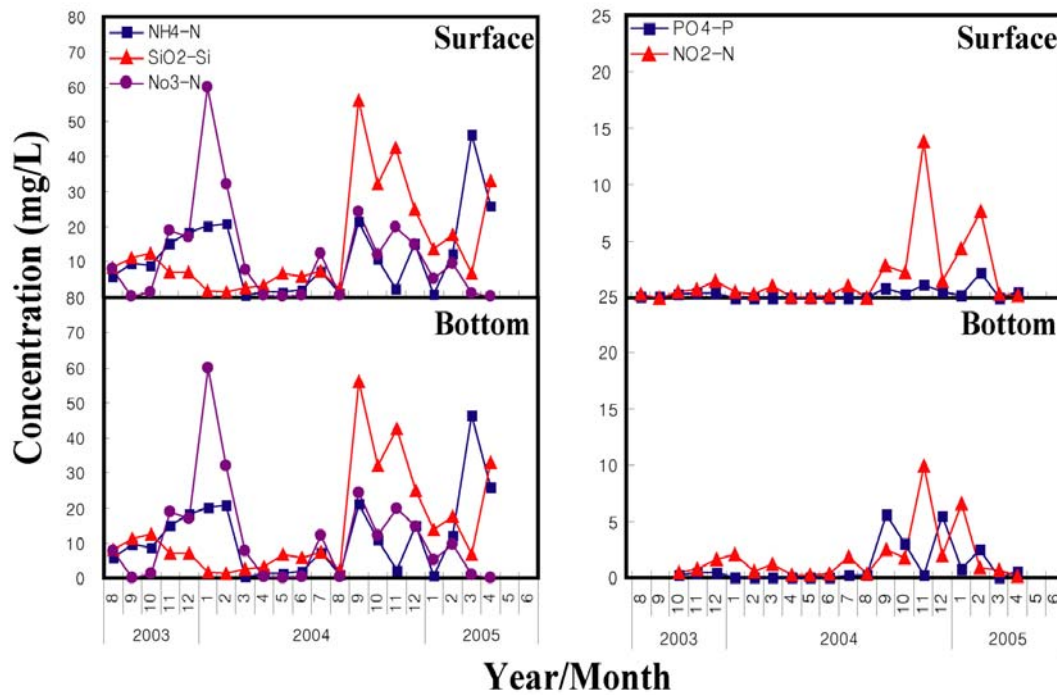


그림 11. 수정리 조사지점 St 3의 계절별 영양염농도 변화.

제2절 조사해역의 계절별 환경조사

1. 재료 및 방법

2005년 8월 이루어진 오비도, 덕동, 수정리 사전 조사 자료를 토대로 경상남도 마산시 구산면 수정리를 시설장소 대상으로 선정하여 2005년 9월 21일에 예비조사, 2005년 11월 14일에 1차 조사, 2006년 1월 18일, 2월 14일, 3월 18일, 5월 2일, 8월 8일에 각각 2에서 6차 조사를 실시했다 (그림 9, 10, 11, 12).

수온, 염분, pH, 용존산소는 YSI-600 (YSI corporate)으로 현장에서 측정하였다. 해수시료는 표층 수심 0.3 m에서, 저층은 바닥에서 1 m 상층 부에서 난센채수기를 이용하여 채수했다. 채수된 시료는 영양염 분석을 위하여 현장에서 GF/F filter($\varnothing=0.45 \mu\text{m}$)를 이용하여 흡인 여과한 후 500 mL polyethylene 병에 넣어 4°C 냉장 조건에서 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 -20°C에서 분석 시까지 보관하였다. 냉동 보관된 시료는 냉암소(약 4°C)에서 해동한 뒤 Flow Injection analyzer (QuikChem8000, Lachat, USA)로 해수 중 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 를 측정하였다.

클로로필-a는 10-AU Fluorometer (Turner Designs, USA)를 이용하여 선상에서 수중펌프를 이용하여 유수식으로 측정하였으며 채수관내에 남아 있을지 모를 잔여물을 제거하기 위하여 일정 시간 해수를 흘려보낸 후 1~3분 동안 측정한 자료를 저장한 후, 실험실에서 자료를 분석하여 평균값을 나타내었다.

부유물질은 채수된 해수를 $\varnothing=0.45 \mu\text{m}$ 의 GF/F 필터를 이용하여 현장에서 500 mL를 흡인 여과한 후 실험실에서 -20°C냉동 보관한 후 건조기를 이용하여 105~110°C에서 1시간 동안 건조기에 넣어 건조시킨 후 실온에서 자연 방냉한 다음 전자저울로 무게를 측정하였다.



그림 12. 예비조사(2005년9월) 수질조사정점.



그림 13. 1차(2005년 11월) 수질조사정점.

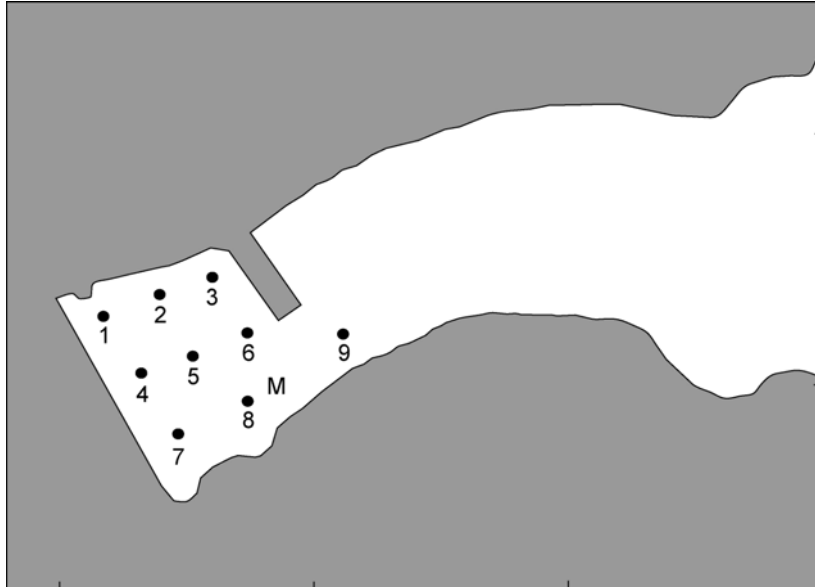


그림 14. 2차(2006년 1월), 3차(2006년 2월) 수질조사 정점.



그림 15. 4차(2006년 3월), 5차(2006년 5월), 6차(2006년 8월) 수질조사정점.

2. 결과

가. 제1차 계절별 환경조사(예비조사, 2005. 9. 21)

1) 수질환경

2005년 9월 21일에 실시한 계절별 환경 예비조사의 수온, pH, 용존산소, *Chlorophyll-a* 측정 결과를 표 7에 나타냈다.

수온은 표층에서 23.6~23.8°C, 평균 23.7°C를 보였으며, 저층에서는 23.0~23.6°C, 평균 23.3°C를 보여 표·저층간의 차이가 거의 없었고, 정점별 차이도 보이지 않았다. pH는 표층에서 8.02~8.16, 평균 8.12를 보였으며, 저층에서는 7.97~8.04, 평균 8.01을 보여 표층이 0.11정도 높았다. 용존산소량은 표층에서 5.27~6.18 mg/L, 평균 5.87 mg/L를 보였으며, 저층에서는 2.26~4.11 mg/L, 평균 2.86 mg/L를 보였으며, 표·저층간에 3.01 mg/L의 차이를 보였으나, 정점별 차이는 보이지 않았다(그림 13). *Chlorophyll-a*의 농도는 표층에서는 최저 0.91 µg/L(정점 9), 최고 7.60 µg/L(정점 1), 평균 4.62 µg/L의 분포를 보였으며, 저층에서는 0.15~0.55 µg/L, 평균 0.39 µg/L로 표층이 저층보다 평균 10배 이상 높은 농도를 보였다. 표층에서의 정점별 분포는 방과제 안쪽이 높은 농도를 보였다.

2) 영양염

NO₂-N은 표층에서 1.61~2.03 µg-a/L(평균 1.75 µg-a/L), 저층에서 1.06~1.82 µg-a/L(평균 1.32 µg-a/L)로 표층과 저층에서 비슷했다. 수평적 분포는 수직적 분포와 같이 전 정점에서 고르게 나타났다(그림 14). NO₃-N은 표층 8.33~16.42 µg-a/L (평균 11.46 µg-a/L) , 저층에서 2.93~6.98 µg-a/L (평균 4.08 µg-a/L) 으로 표층에서 높았다. 정점별로 방과제 안쪽의 표층에서 높은 수치를 나타내었다. NH₄-N은 표층에서 11.18~21.45 µg-a/L(평균 15.77 µg-a/L), 저층에서 23.68~40.12 µg-a/L(평균 35.55 µg-a/L)으로 저층에서 높았다(그림 15). PO₄-P는 표층에서 1.33~2.87 µg-a/L(평균 1.844 µg-a/L), 저층에서 2.71~4.37 µg-a/L(평균 3.80 µg-a/L)으로 저층이 높았다. SiO₂-Si는 표층에서 37.50~73.33 µg-a/L(평균 50.00 µg-a/L), 저층에서 67.69~95.34 µg-a/L(평균 85.43 µg-a/L)으로 저층이 높았다.

표 7. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 수질 및 영양염 변화(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

조사정점	수온($^{\circ}\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_2^{-}\text{-N}$	$\text{NO}_3^{-}\text{-N}$	$\text{NH}_4^{+}\text{-N}$	$\text{PO}_4^{-2}\text{-P}$	$\text{SiO}_2^{-}\text{-Si}$	
1	23.7	8.12	5.64	7.601	1.606	9.774	11.177	1.528	46.196	
7	23.8	8.02	5.27	4.341	1.695	14.125	21.453	2.297	73.330	
3	23.7	8.10	5.92	4.158	2.025	16.421	18.255	2.872	59.844	
8	23.6	8.11	6.08	8.426	1.755	13.009	15.806	1.941	53.957	
표층	O-1	23.7	8.13	5.58	1.660	8.329	18.879	1.666	39.011	
	O-3	23.9	8.16	6.07	1.927	13.137	16.298	1.914	48.820	
	O-2	23.6	8.15	6.18	3.608	1.632	8.956	16.353	1.360	37.504
	O-4	23.6	8.16	6.17	1.813	1.819	10.728	12.040	1.334	46.482
	O-5	23.6	8.13	5.91	0.907	1.667	8.663	11.675	1.684	44.850
평균	23.7	8.1	5.9	4.6	1.8	11.5	15.8	1.8	50.0	
1	23.1	8.01	2.41	0.434	1.252	4.791	40.115	3.827	86.831	
7	23.4	7.99	2.95	0.879	1.477	4.906	37.058	3.890	78.688	
3	23.4	8.02	2.26	0.308	1.366	4.082	37.904	4.025	80.230	
8	23.1	8.04	2.38	0.148	1.058	2.928	36.690	4.275	95.286	
저층	O-1	23.4	8.02	3.25	0.244	1.166	3.225	37.979	3.682	85.510
	O-3	23.5	8.01	2.51	0.326	1.214	3.296	37.864	4.368	93.186
	O-2	23.0	7.97	2.41	0.463	1.318	3.275	37.981	3.832	95.336
	O-4	23.2	8.00	3.42	0.548	1.245	3.275	30.709	3.558	86.155
	O-5	23.6	8.02	4.11	0.160	1.818	6.982	23.678	2.708	67.686
평균	23.3	8.0	2.9	0.4	1.3	4.1	35.6	3.8	85.4	

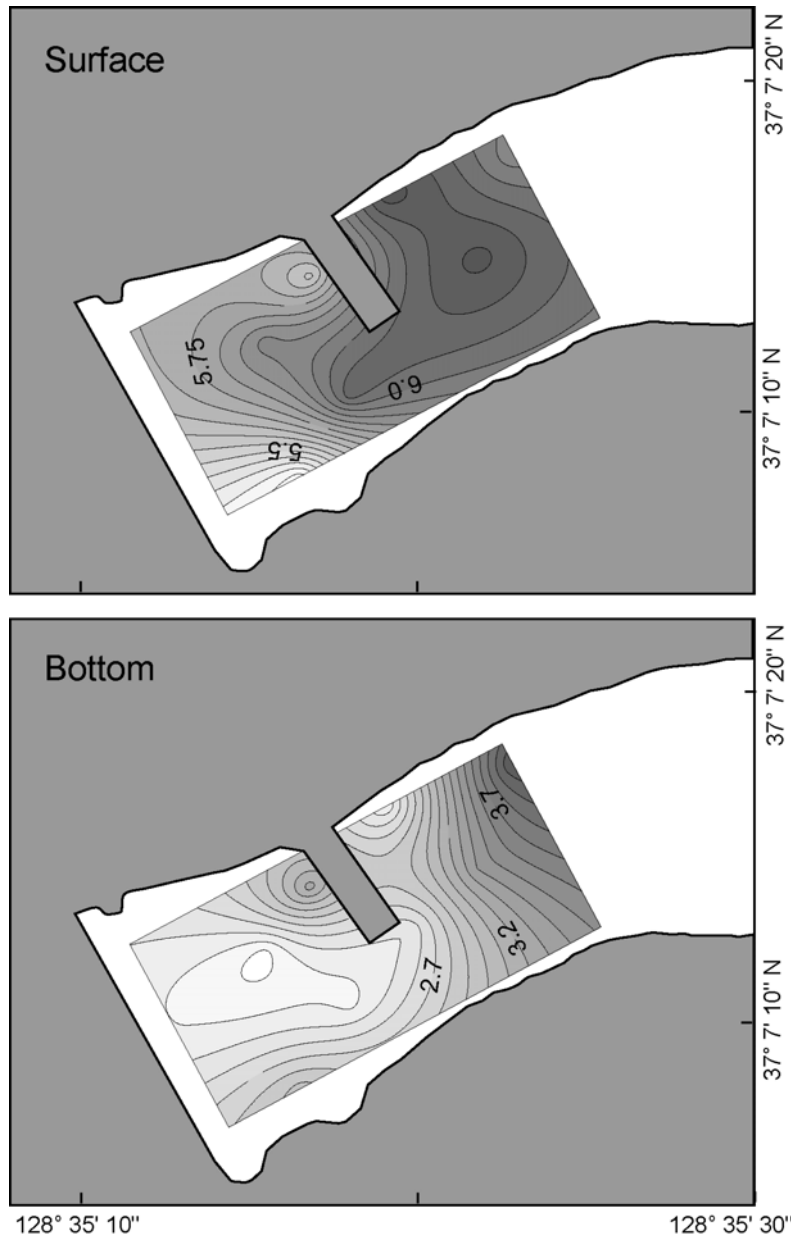


그림 16. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 DO 변화(mg/L).

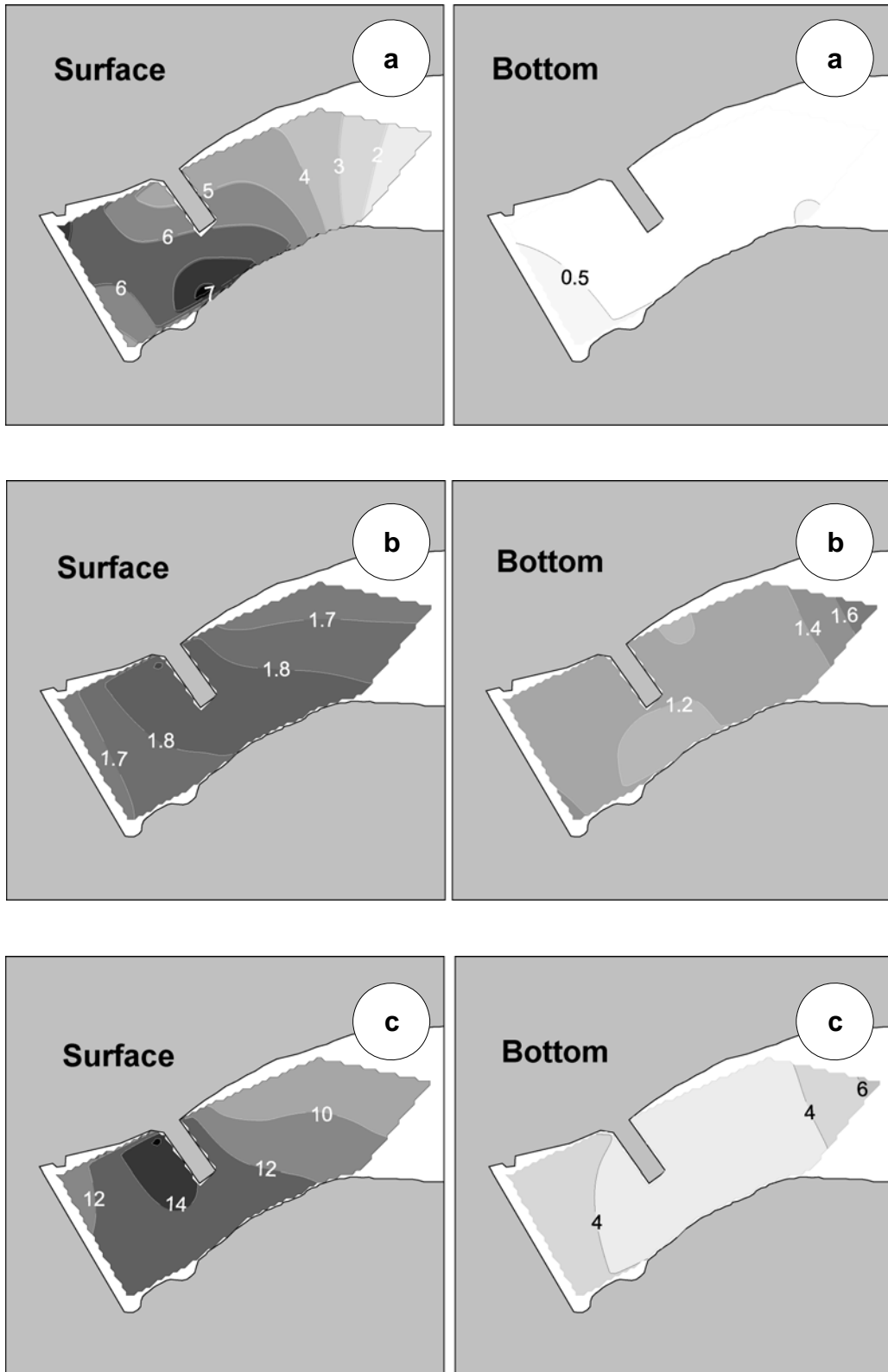


그림 17. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) 수정리의 Chl-a(A), NO₂(B) 및 NO₃(C)의 수평분포.

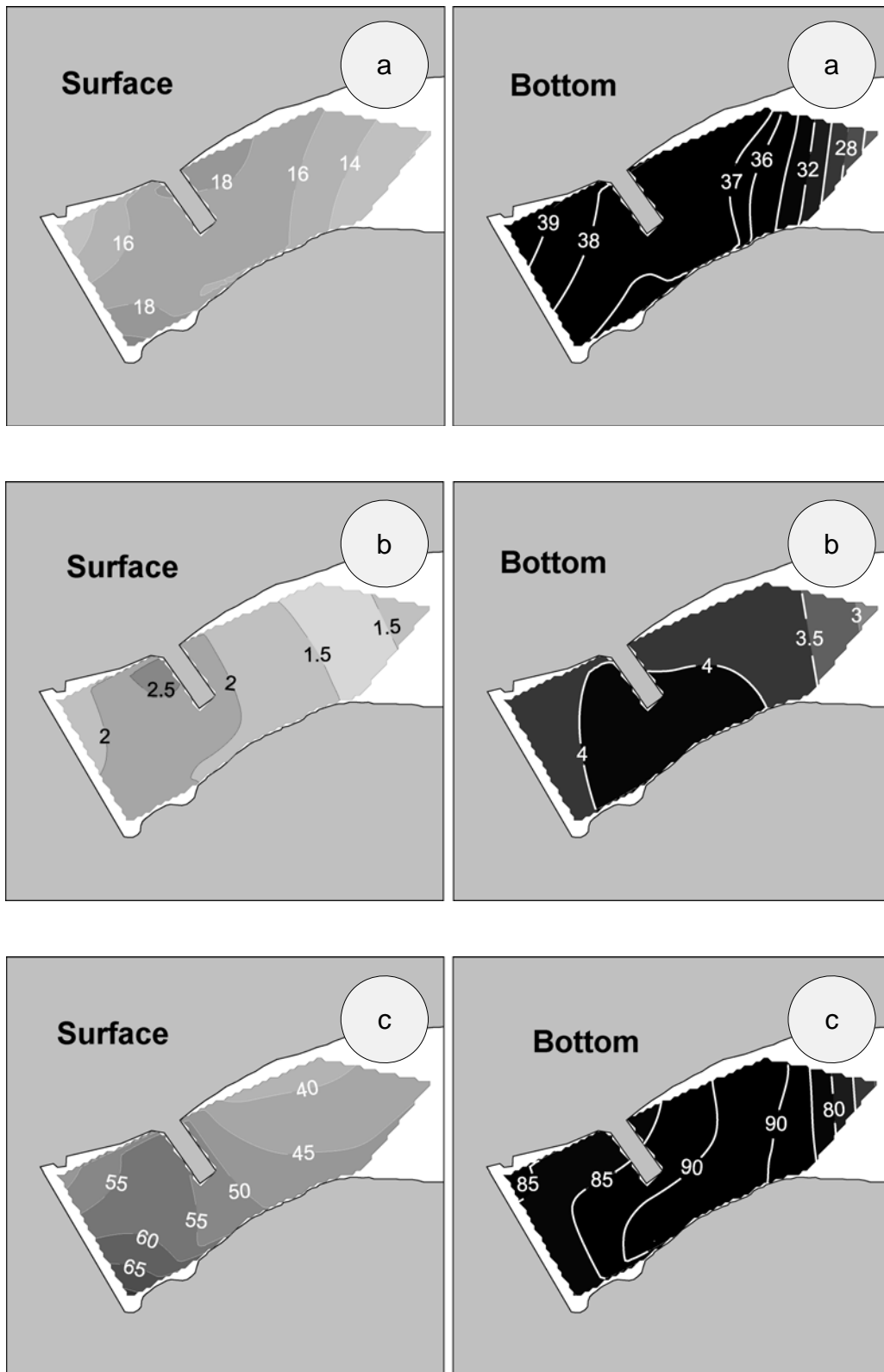


그림 18. 제1차 계절별 환경조사시(2005. 9) NH₄(A), PO₄(B) 및 SiO₂(C)의 수평분포.

나. 제2차 계절별 환경조사(2005. 11. 14)

1) 수질환경

제 2차 환경조사 시의 수온, 염분, pH, 용존산소, COD, Chlorophyll-a 측정 결과를 표 8에 나타내었다.

수온은 표층에서 16.6~17.2°C(평균 16.8°C)를 보였으며, 저층에서는 16.7~17.4°C(평균 17.2°C)로 표·저층간의 차이가 거의 없었고, 정점별 차이도 없었다. 염분은 표층에서 31.14~32.12‰(평균 31.76‰)을 보였으며, 저층에서는 32.11~32.27‰(평균 32.23‰)로 저층이 표층에 비해 약간 높았으나, 같은 수층 내 정점별 차이는 보이지 않았다. pH는 표층에서 7.79~8.16(평균 8.02)를 보였으며, 저층에서는 7.95~8.19(평균 8.07)을 보였다. 표층에서 정점별 차이는 방파제 밖 정점에서 높은 값을 보였다. 용존산소량은 표층에서 3.58~6.71 mg/L(평균 5.20 mg/L)를 보였으며, 저층에서는 4.30~6.85 mg/L(평균 5.03 mg/L)로 표·저층간에 차이를 보이지 않았으나, 방파제 밖 정점에서 높은 값을 보였다(그림 16). COD는 표층에서 1.05~2.04 mg/L(평균 1.51 mg/L)를 보였으며, 저층에서는 1.74~2.70 mg/L(평균 2.17 mg/L)로 저층이 높았다. 부유물질(SS)는 표층에서 15.40~20.70 mg/L(평균 18.03 mg/L)를 보였으며, 저층에서는 5.90~19.30 mg/L(평균 12.97 mg/L)로 표층이 높았다. Chlorophyll-a의 농도는 표층에서 3.359~5.011 µg/L(평균 4.420 µg/L)를 보였으며, 저층에서는 3.855~5.733 µg/L(평균 4.876 µg/L)로 표·저층간에 차이가 없었다.

2) 영양염

영양염 농도 측정 결과를 표 9에 나타내었다. NO₂-N은 표층에서 1.59~2.97 µg-a/L(평균 1.92 µg-a/L), 저층에서 1.47~1.85 µg-a/L(평균 1.62 µg-a/L)로 저층과 표층에서 비슷했다. 수평적 분포는 수직적 분포와 같이 전 정점에서 고른 수치를 나타내었다(그림 17). NO₃-N은 표층에서 6.09~11.21 µg-a/L(평균 7.81 µg-a/L), 저층에서 4.69~8.70 µg-a/L(평균 6.17 µg-a/L)를 나타내었다. NH₄-N은 표층에서 16.78~22.09 µg-a/L(평균 19.006 µg-a/L), 저층에서 19.62~24.09

$\mu\text{g-a/L}$ (평균 21.131 $\mu\text{g-a/L}$)을 나타내었다(그림 18). $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 표층에서 1.39~1.77 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 1.58 $\mu\text{g-a/L}$), 저층에서 1.39~1.81 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 1.57 $\mu\text{g-a/L}$)을 나타내었다. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 표층에서 17.47~31.50 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 22.92 $\mu\text{g-a/L}$), 저층에서 22.47~30.68 $\mu\text{g-a/L}$ (평균 27.47 $\mu\text{g-a/L}$)을 나타내었다.

3) 저질공극수

한편 저질 내 pH는 7.81~7.96(평균 7.90)을 보였으며, 정점별 차이는 보이지 않았다. 저질 내 용존산소는 0.86~1.65 mg/L(평균 1.22 mg/L)를 보였다(표 10).

표 8. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수질분석결과

정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(ug/L)
1	17.2	32.12	7.79	3.58	1.40	17.10	3.359
7	16.8	31.80	7.93	4.50	1.05	20.30	5.011
O-1	16.7	31.62	8.08	5.46	1.61	15.40	4.993
표층 o-2	16.6	32.00	8.16	6.71	2.04	15.40	4.885
O-3	16.7	31.85	8.03	5.06	1.29	20.70	4.596
O-4	16.7	31.14	8.10	5.87	1.69	19.30	3.675
평균	16.8	31.76	8.02	5.20	1.51	18.03	4.420
1	17.2	32.23	7.95	4.68	2.70	19.30	5.282
7	17.4	32.41	8.03	4.30	2.09	16.10	4.885
O-1	17.4	32.20	8.07	4.55	1.74	15.10	4.776
저층 O-2	16.7	32.11	8.19	6.85	1.86	5.90	5.733
O-3	17.3	32.27	8.07	4.65	2.57	10.70	4.722
O-4	17.3	32.13	8.12	5.15	2.08	10.70	3.855
평균	17.2	32.23	8.07	5.03	2.17	12.97	4.876

표 9. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 영양염 분석결과(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

정점	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_2\text{-Si}$
1	2.971	11.210	17.423	1.771	27.507
7	1.637	6.085	22.086	1.548	31.495
O-1	1.700	7.409	19.851	1.647	17.471
표층 O-2	1.594	7.154	19.635	1.385	17.691
O-3	1.904	7.803	18.270	1.631	22.906
O-4	1.686	7.178	16.775	1.486	20.428
평균	1.915	7.806	19.006	1.578	22.916
1	1.467	4.868	21.009	1.430	22.474
7	1.846	8.704	21.835	1.806	29.276
O-1	1.628	6.011	20.592	1.753	29.963
저층 O-2	1.623	5.593	19.624	1.421	24.143
O-3	1.687	6.332	24.087	1.627	30.657
O-4	1.493	5.513	19.640	1.392	28.319
평균	1.624	6.170	21.131	1.572	27.472

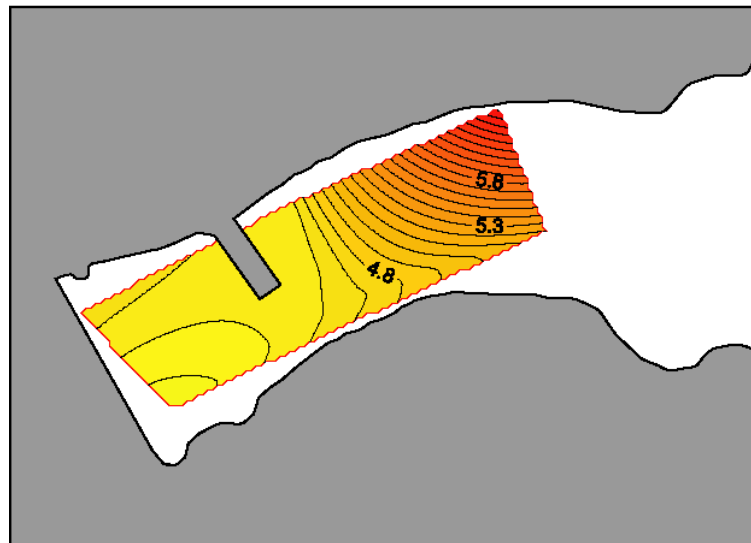
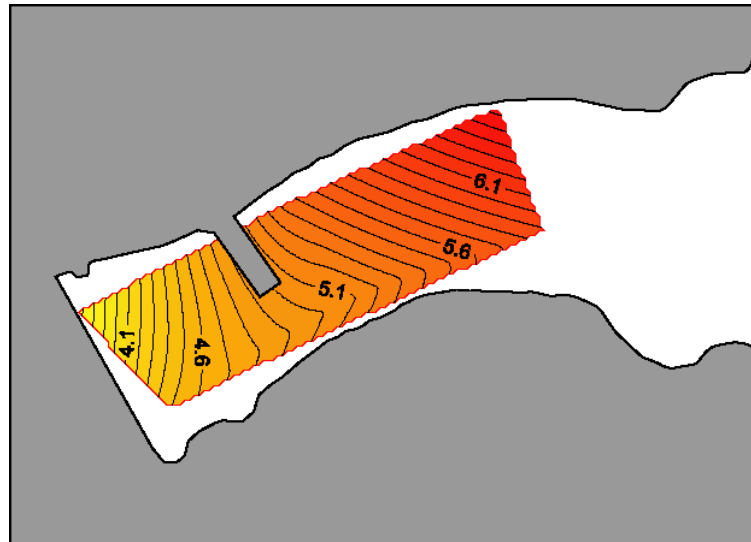


그림 19. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) DO의 수평분포.

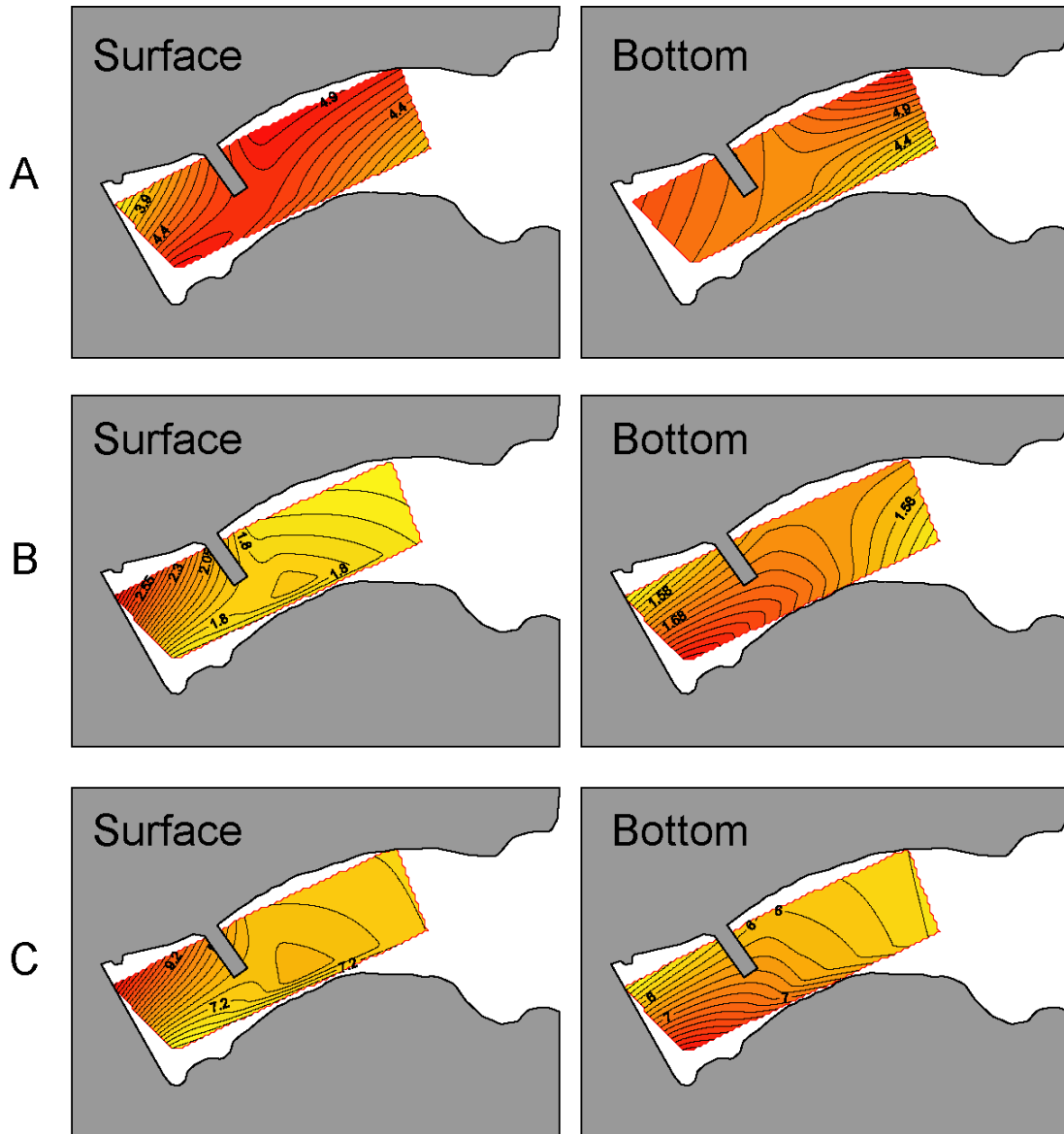


그림 20. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수정리의 Chl-a(A), NO₂-N(B) 및 NO₃-N(C)의 수평분포.

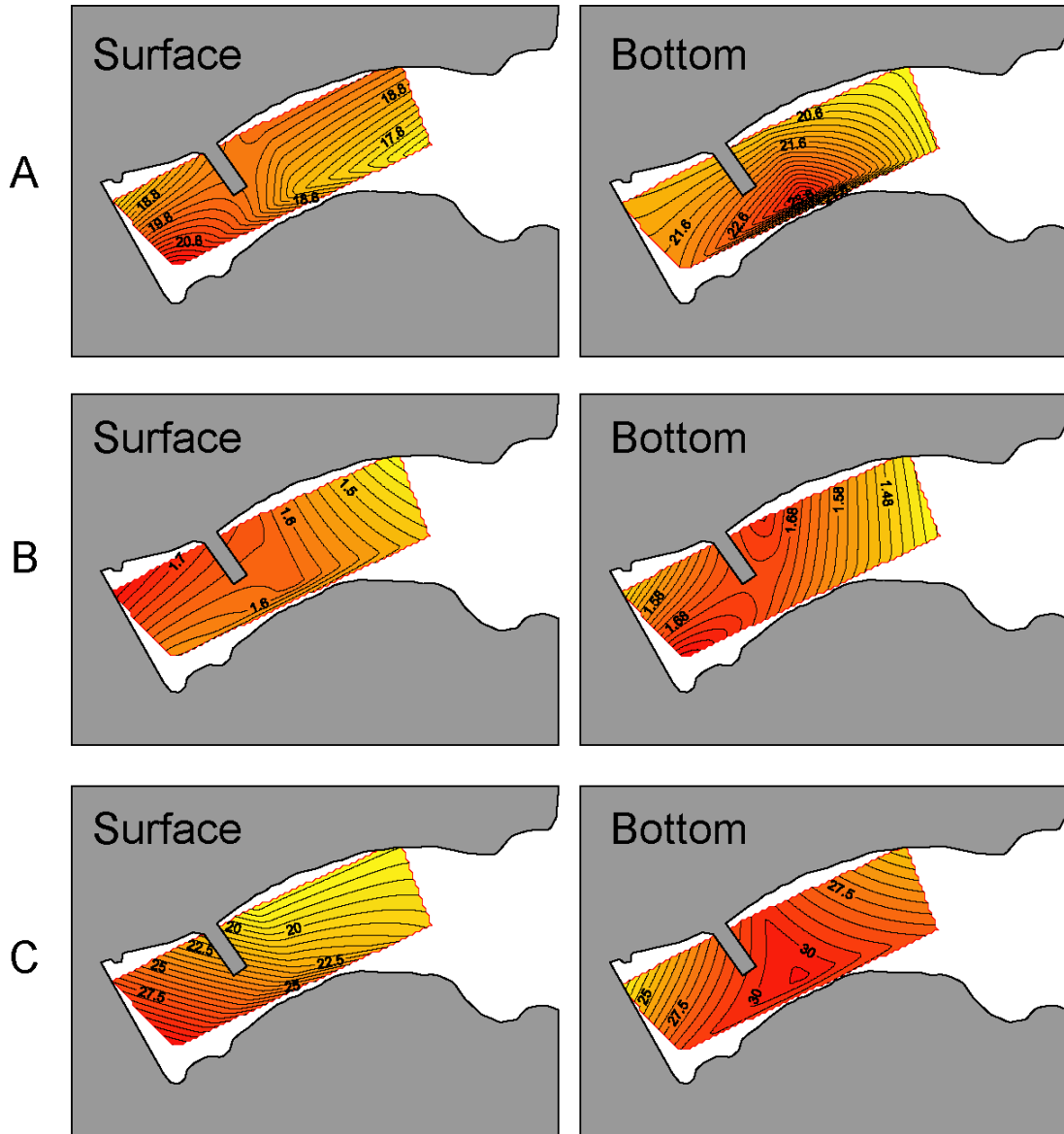


그림 21. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 수정리의 $\text{NH}_4\text{-N}$ (A), $\text{PO}_4\text{-P}$ (B) 및 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ (C)의 수평분포.

표 10. 제2차 계절별 환경조사시(2005. 11) 저질공극수 내의 pH와 DO

정점	pH	DO (mg/L)
1	7.96	1.65
7	7.87	0.86
O-1	7.86	1.40
O-2	7.90	0.93
O-3	7.97	1.20
O-4	7.81	1.26
평균	7.90	1.22

다. 제3차 계절별 환경조사(2006. 1. 18)

수질정화 및 적조제어장치(Jet Streamer) 가동에 따른 조사해역의 수온, 염분, pH, 용존산소, COD, SS 및 *Chlorophyll-a*, 영양염 농도 측정 결과를 표 11,12,13,14에 나타내었다. 전체적으로 수질정화 및 적조제어장치 가동 전후에 수온, 염분, pH, COD 값이 변하지 않은 반면, DO, SS, *Chlorophyll-a* 수치는 변화하였다. DO 농도는 조석에 의한 수괴의 이동과 혼합을 감안하더라도 수질정화 및 적조제어장치에 인접한 지점에서 증가했으며(그림 19), SS와 *Chlorophyll-a* 농도(그림 20)는 감소하였다.

1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 전

(간조 04:30, 만조 10:55, 조사시간 06:48-07:54, 밀물시)

수온은 표층에서 5.1~5.2°C, 평균 5.2°C를 보였으며, 저층에서는 5.5~5.9°C, 평균 5.7°C로 표층에 비해 약간 높았고, 정점별 차이는 없었다(표 11). 염분은 표층에서 31.61~32.79‰(평균 32.58‰)이었으며, 저층에서는 31.60~34.62‰(평균 32.61‰)로 표층과 저층간 차이는 없었다. pH는 표층에서 8.13~8.43(평균 8.38)이었으며, 저층에서는 8.14~8.38(평균 8.29)이었다. 용존산소량은 표층에서 9.05~10.21 mg/L(평균 9.61 mg/L)이었으며 저층에서 0.93~9.13 mg/L(평균 5.96 mg/L)으로 저층에 비해 표층이 2배 정도 높은 값을 보였다. 조석에 의한 해수 이동을 감안할 때, 밀물 시에는 만 외부의 해수가 표층으로 이동하여 만 내부로 공급되는 것을 알 수 있었다. COD는 표층에서 0.74~1.88 mg/L(평균 1.22 mg/L)를 보였으며, 저층에서는 1.04~2.88 mg/L(평균 1.70 mg/L)를 보였다. 부유물질(SS)는 표층에서 26.00~45.20 mg/L(평균 32.57 mg/L)를 보였으며, 저층에서는 26.50~47.50 mg/L(평균 34.13 mg/L)를 보였다. *Chlorophyll-a*의 농도는 표층에서 0.76~3.88 µg/L(평균 1.61 µg/L)를 보였으며, 저층에서는 1.16~2.76 µg/L(평균 1.75 µg/L)를 보여 표·저층간에 차이를 보이지 않았다.

NO₂-N은 표층에서 0.24~0.78 µg-a/L(평균 0.422 µg-a/L), 저층에서 0.37~0.65 µg-a/L(평균 0.460 µg-a/L)로 저층과 표층에서 비슷했

다(그림 21). NO₃-N은 표층에서 0.54~5.09 µg-a/L(평균 1.734 µg-a/L), 저층에서 0.69~2.74 µg-a/L(평균 1.45 µg-a/L)를 나타냈다. NH₄-N은 표층에서 9.21~44.07 µg-a/L(평균 27.749 µg-a/L), 저층에서 19.17~34.24 µg-a/L(평균 26.423 µg-a/L)을 나타내었다. PO₄-P는 표층에서 0.080~0.721 µg-a/L(평균 0.350 µg-a/L), 저층에서 0.52~2.52 µg-a/L(평균 0.991 µg-a/L)을 나타내었다. SiO₂-Si는 표층에서 0.66~7.18 µg-a/L(평균 3.559 µg-a/L), 저층에서 4.95~26.28 µg-a/L(평균 9.55 µg-a/L)을 나타내었다.

2) 수질정화 및 적조제어장치 가동 1시간 후

(만조 10:55, 간조 16:51, 조사시간 12:30-13:29, 썰물시)

수온은 표층에서 5.34~5.84°C(평균 5.40°C)를 보였으며, 저층에서는 5.49~5.93°C(평균 5.65°C)를 보여 저층이 표층에 비해 약간 높아 오전 조사시에 비해 다소 증가하였다(표 12). 염분은 표층과 저층에서 각각 평균 32.79‰, 평균 32.70‰로서 변화가 없었다. pH 또한 표층과 저층에서 각각 평균 8.38, 평균 8.34로 변화가 없었다. DO 농도는 표층에서 8.32~9.40 mg/L(평균 8.90 mg/L)이었으며 저층에서 1.40~9.30 mg/L(평균 7.22 mg/L)으로 오전에 비해 표저층간의 차이가 크게 감소하였다. DO 농도는 오전(수질정화 및 적조제어장치 가동 전)에 비해 다소 감소했으나 이는 썰물에 의한 영향이었다. 한편, 수질정화 및 적조제어장치가 인접한 조사지점(M)에서는 DO 농도가 가장 높게 나타남으로서 수질정화 및 적조제어장치에 의한 용존산소 증가 효과가 높은 것으로 확인되었다.

3) 수질정화 및 적조제어장치 가동 3시간 후

(만조 10:55, 간조 16:51, 조사시간 14:34-15:35, 썰물시)

수온은 이전 조사에 비해 다소 높아져 표층과 저층에서 각각 평균 5.62°C, 평균 5.72°C였다(표 13). 염분은 표층과 저층에서 각각 평균 32.69‰, 평균 32.70‰이었으며, pH 또한 표층과 저층에서 각각 평균 8.36, 8.25로 이전 조사에 비해 차이가 관찰되지 않았다. DO 농도는 표층에서 7.18~9.50 mg/L (평균 8.04 mg/L), 저층에서

3.00~8.51 mg/L (평균 6.39 mg/L)를 보여 수질정화 및 적조제어장치 가동 후에 표·저층간의 차이가 많이 줄어들었다. 평균 DO 농도는 가동전과 가동 1시간 후 조사에 비해 다소 감소했으나 이는 썩음에 의한 영향이었으며, 최대 DO 농도는 수질정화 및 적조제어장치 인근의 조사지점(M)에서 확인되었다. COD는 표층에서 0.44~2.03 mg/L (평균 1.41 mg/L), 저층에서 0.88~1.71 mg/L (평균 1.21 mg/L) 이었다. SS는 표층에서 26.60~33.40 mg/L (평균 28.44 mg/L), 저층에서 27.10~39.40 mg/L (평균 30.91 mg/L)를 보였다. Chlorophyll-a 농도는 표층에서 0.65~1.20 µg/L (평균 0.84 µg/L), 저층에서는 1.32~2.04 µg/L (평균 1.66 µg/L)를 보였다.

4) 영양염

NO₂-N은 표층에서 0.59~0.82 µg-a/L(평균 0.67 µg-a/L), 저층에서 0.38~0.62 µg-a/L(평균 0.51 µg-a/L)를 보였고, 저층과 표층에서 비슷한 수치를 보였다(표 14). NO₃-N은 표층에서 3.39~5.52 µg-a/L(평균 4.076 µg-a/L), 저층에서 1.22~2.66 µg-a/L(평균 2.00 µg-a/L)를 나타냈다. NH₄-N은 표층에서 17.68~42.58 µg-a/L(평균 26.56 µg-a/L), 저층에서 20.12~36.60 µg-a/L(평균 26.55 µg-a/L)을 나타냈다. PO₄-P는 표층에서 0.73~1.95 µg-a/L(평균 1.17 µg-a/L), 저층에서 0.71~1.16 µg-a/L(평균 1.01 µg-a/L)을 나타냈다. SiO₂-Si는 표층에서 4.44~73.22 µg-a/L(평균 13.43 µg-a/L), 저층에서 4.80~8.33 µg-a/L(평균 6.99 µg-a/L)을 나타내었다. 수질정화 및 적조제어장치 가동 후 영양염의 큰 변동은 없었으나 표층에서 NO₃-N의 농도와 SiO₂-Si의 농도가 높은값을 보였다(그림 22).

5) 저질공극수

한편 저질 내 pH, 용존산소, 산화환원전위(ORP) 측정 결과(표 2-11), pH는 7.39~7.61 범위(평균 7.49)를 보였으며, 용존산소는 0.85~2.38 mg/L 범위(평균 1.34 mg/L)를 보였다(표 15). ORP는 정점 1, 2, 3, 5, 7에서 환원환경을 나타냈으며, 그 외 에서는 산화환경을 나타냈다.

표 11. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 전 수질분석결과

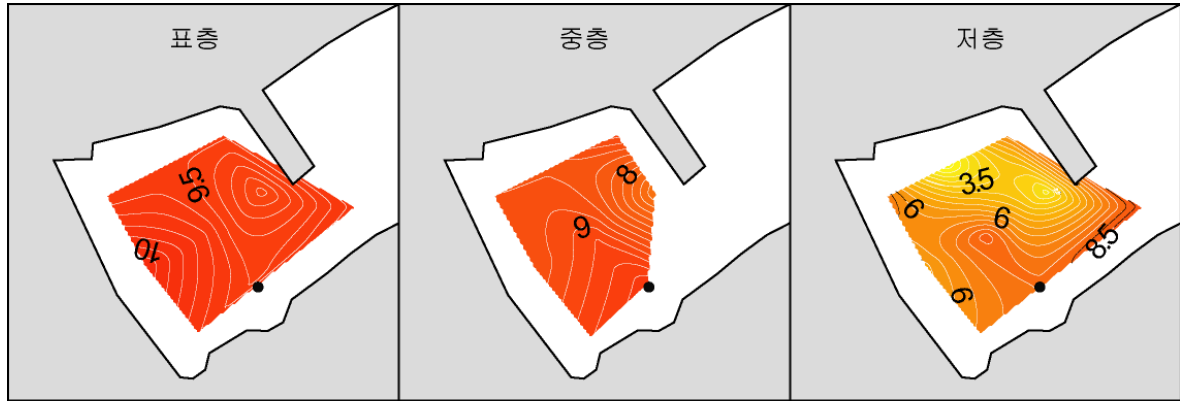
	정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(µg/L)
표층	1	5.2	32.79	8.43	9.50	0.74	26.00	3.75
	2	5.2	32.71	8.40	9.54	0.80	35.40	0.88
	3	5.1	31.61	8.40	9.54	1.16	27.50	0.81
	4	5.2	32.73	8.43	10.21	1.88	45.20	3.88
	5	5.2	32.73	8.42	9.73	1.62	37.60	1.67
	6	5.1	32.68	8.42	9.05	1.04	31.00	0.76
	7	5.2	32.71	8.39	9.71	1.18	26.50	0.85
	8	5.2	32.74	8.38	9.78	1.02	31.80	0.85
	9	5.2	32.50	8.13	9.47	1.54	32.10	1.07
수질 정화장치 가동전 (밀물)	평균	5.2	32.58	8.38	9.61	1.22	32.57	1.61
	1	5.8	31.60	8.25	7.11	1.36	30.80	1.46
	2	5.8	31.60	8.14	0.93	1.78	30.20	1.95
	3	5.7	34.62	8.34	6.45	2.88	40.40	1.31
	4	5.9	32.65	8.25	5.21	1.52	32.50	1.16
	5	5.7	32.84	8.36	8.33	1.64	26.80	1.50
	6	5.9	31.76	8.36	2.26	1.70	26.50	2.02
	7	5.7	32.80	8.29	6.61	2.04	47.50	2.09
	8	5.5	32.81	8.38	9.13	1.38	38.30	2.76
	9	5.5	32.82	8.26	7.60	1.04	34.20	1.46
	평균	5.7	32.61	8.29	5.96	1.70	34.13	1.75

표 12. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 1 시간 이후의 수질분석결과

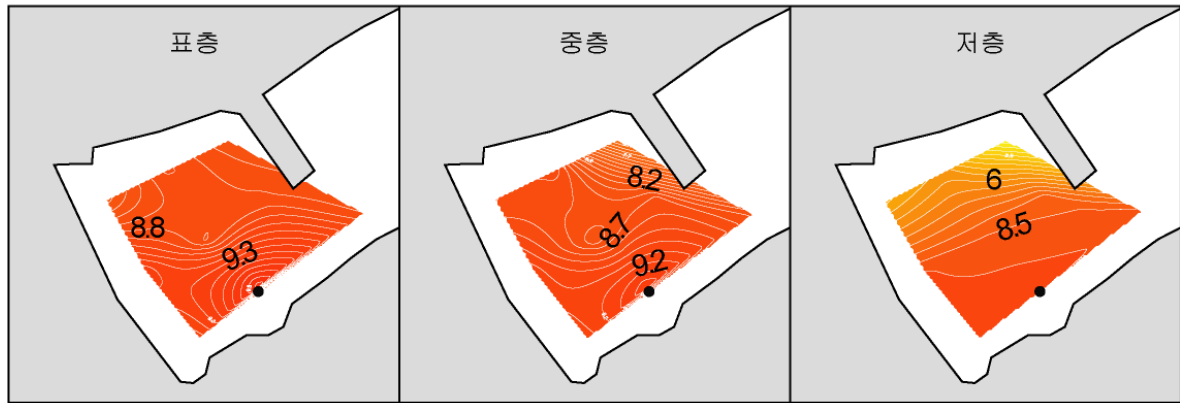
	정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	
수질 정화장치 가동 1 시간 후 (썰물)	1	5.84	32.32	8.35	8.32	
	2	5.50	32.76	8.38	8.83	
	3	5.37	32.84	8.37	8.51	
	4	5.40	32.88	8.38	9.40	
	5	5.40	32.86	8.40	8.69	
	표층	6	5.40	32.84	8.39	8.72
	7	5.45	32.88	8.38	9.00	
	8	5.34	32.82	8.40	8.69	
	9	5.37	32.88	8.34	9.97	
	평균	5.40	32.79	8.38	8.90	
저층	1	5.56	32.84	8.40	4.57	
	2	5.83	32.67	8.29	5.68	
	3	5.93	31.45	8.20	1.40	
	4	5.60	32.88	8.36	9.05	
	5	5.60	32.90	8.38	8.64	
	6	5.68	32.88	8.35	8.25	
	7	5.50	32.90	8.35	9.15	
	8	5.49	32.85	8.38	8.72	
	9	5.70	32.90	8.34	9.30	
	평균	5.65	32.70	8.34	7.22	

표 13. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동 3시간 이후의 수질분석결과

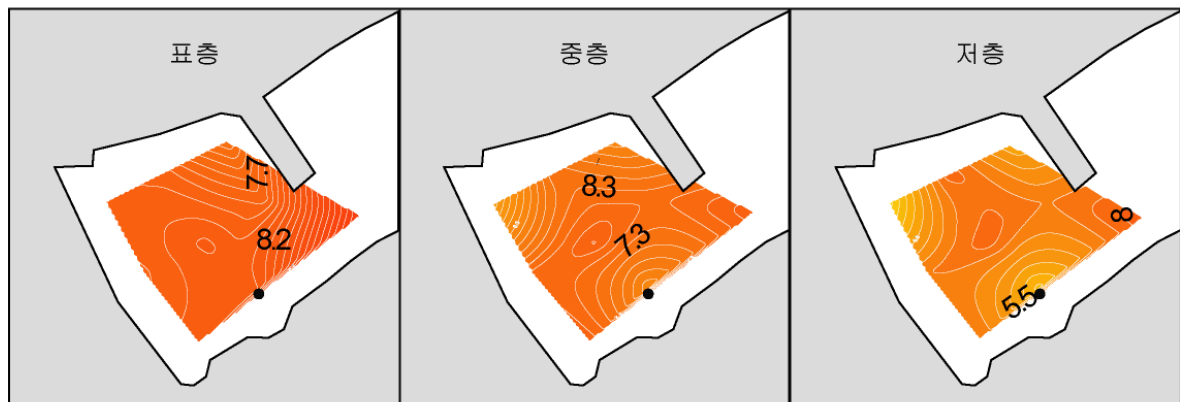
	정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(µg/L)	
표층	1	5.79	32.48	8.36	7.98	0.44	30.00	0.65	
	2	5.68	32.72	8.36	7.83	1.20	29.50	1.20	
	3	5.59	32.73	8.40	7.18	1.62	26.60	0.83	
	4	5.64	32.55	8.36	7.87	1.97	27.10	0.86	
	5	5.65	32.72	8.37	8.13	1.22	33.40	0.84	
	6	5.59	32.74	8.40	7.76	1.25	26.50	0.90	
	7	5.54	32.76	8.35	8.06	1.43	28.50	0.85	
	8	5.45	32.81	8.34	8.09	2.03	27.60	0.67	
	9	5.63	32.72	8.34	9.50	1.52	26.80	0.74	
수질 정화장치 가동 3 시간 후 (셀물)	평균	5.62	32.69	8.36	8.04	1.41	28.44	0.84	
	저층	1	5.89	32.07	8.11	3.00	1.28	35.50	1.96
		2	5.80	32.30	8.23	7.86	1.34	28.50	1.72
		3	5.67	32.74	8.32	5.03	0.88	29.80	1.42
		4	5.79	32.92	8.33	6.95	1.07	28.10	1.65
		5	5.75	32.93	8.32	7.80	1.14	27.10	1.32
		6	5.53	32.83	8.37	6.96	1.71	29.50	1.75
		7	5.54	32.86	8.29	7.08	1.08	31.20	1.60
		8	5.65	32.91	8.00	4.30	1.32	29.10	2.04
		9	5.83	32.75	8.27	8.51	1.09	39.40	1.49
평균	5.72	32.70	8.25	6.39	1.21	30.91	1.66		



수질정화장치 가동전



수질정화장치 가동 1시간 경과



수질정화장치 가동 3시간 경과

그림 22. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 수질정화 및 적조제어장치 가동전, 가동 1시간 후, 가동 3시간 후의 용존산소의 수평분포도. 검정색 원은 수질정화 및 적조제어장치 설치장소를 나타냄.

1차 조사



3차 조사

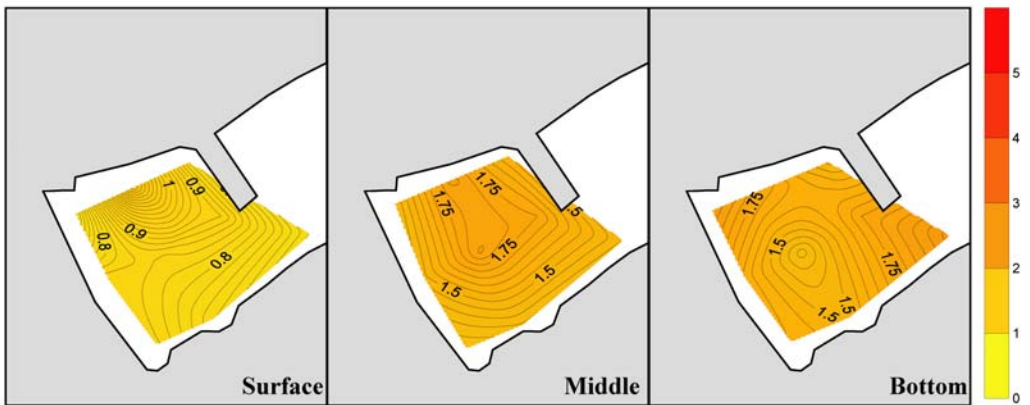


그림 23. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 클로로필-a 수평분포

표 14. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 영양염분석 결과 (단위: µg-a/L)

정점		NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si	
수질 정화장치 가동전 (밀물)	1	0.267	0.693	9.214	0.270	0.661	
	2	0.379	0.539	22.363	0.134	1.122	
	3	0.238	0.763	27.881	0.401	2.634	
	4	0.310	0.581	19.634	0.080	2.653	
	표층	5	0.251	0.726	20.139	0.138	1.828
		6	0.392	2.367	40.968	0.422	5.713
		7	0.509	1.820	43.583	0.721	4.124
		8	0.681	3.028	44.071	0.595	6.118
	9	0.775	5.092	21.888	0.384	7.177	
		평균	0.422	1.734	27.749	0.350	3.559
수질 정화장치 가동 (밀물)	1	0.392	0.691	31.529	0.854	4.948	
	2	0.513	2.036	34.235	1.094	7.761	
	3	0.365	2.740	25.624	2.524	6.454	
	4	0.365	0.703	28.853	0.789	7.896	
	저층	5	0.445	0.738	19.907	0.639	6.665
		6	0.523	1.351	23.636	0.658	8.517
		7	0.369	1.175	19.168	0.523	26.284
		8	0.652	1.972	31.190	1.114	7.747
	9	0.517	1.645	23.666	0.722	9.682	
		평균	0.460	1.450	26.423	0.991	9.550
수질 정화장치 가동 3 시간 후 (썰물)	1	0.817	5.520	29.245	1.434	9.800	
	2	0.625	3.543	22.164	1.951	4.703	
	3	0.585	3.386	36.222	1.115	4.510	
	4	0.591	3.608	20.312	1.265	7.318	
	표층	5	0.698	3.999	27.843	1.163	6.150
		6	0.706	4.802	42.578	0.727	5.435
		7	0.630	4.355	21.657	0.921	73.224
		8	0.676	3.994	21.324	0.883	5.251
	9	0.683	3.474	17.675	1.052	4.437	
		평균	0.668	4.076	26.558	1.168	13.425
수질 정화장치 가동 3 시간 후 (썰물)	1	0.544	2.352	23.439	1.097	7.028	
	2	0.624	2.171	31.559	1.135	7.564	
	3	0.621	2.577	26.978	1.163	7.241	
	4	0.486	2.124	24.515	1.094	6.246	
	저층	5	0.396	1.933	23.519	0.810	7.683
		6	0.467	1.439	36.596	0.714	4.797
		7	0.379	2.662	23.055	1.013	7.190
		8	0.451	1.216	29.161	1.023	6.838
	9	0.575	1.511	20.122	1.034	8.329	
		평균	0.505	1.998	26.549	1.009	6.991

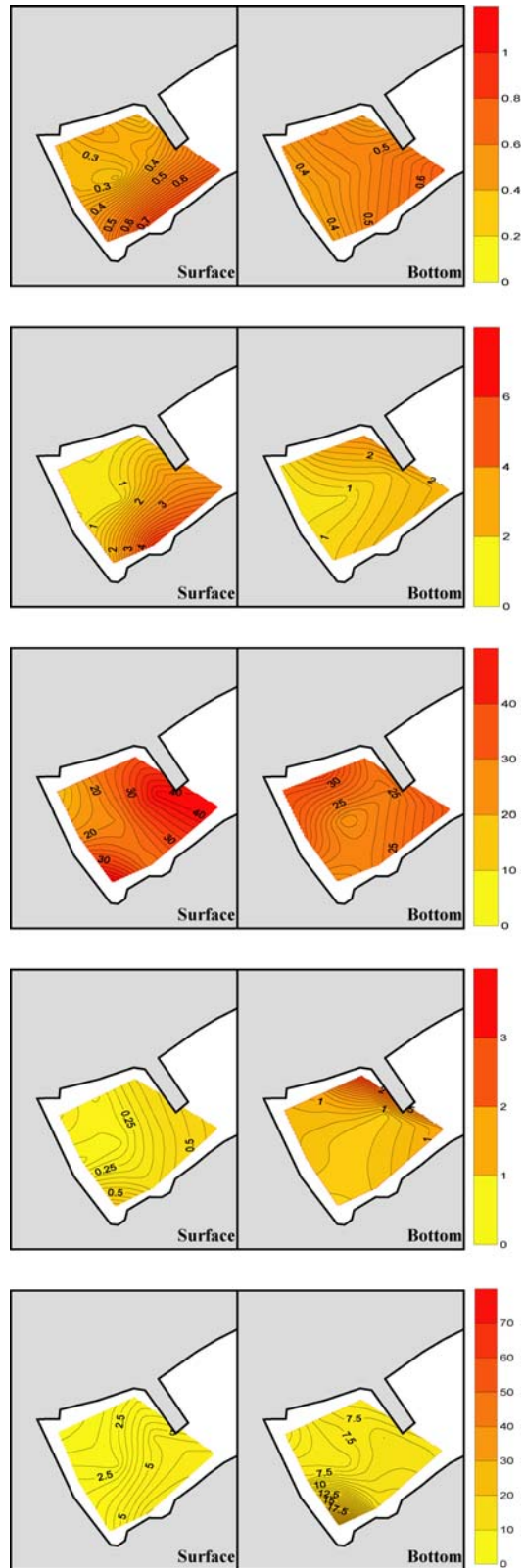


그림 24. 제3차 계절별 환경조사시 수질정화 및 적조제어장치 가동전 영양염 분석결과. 순서대로 NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂-Si

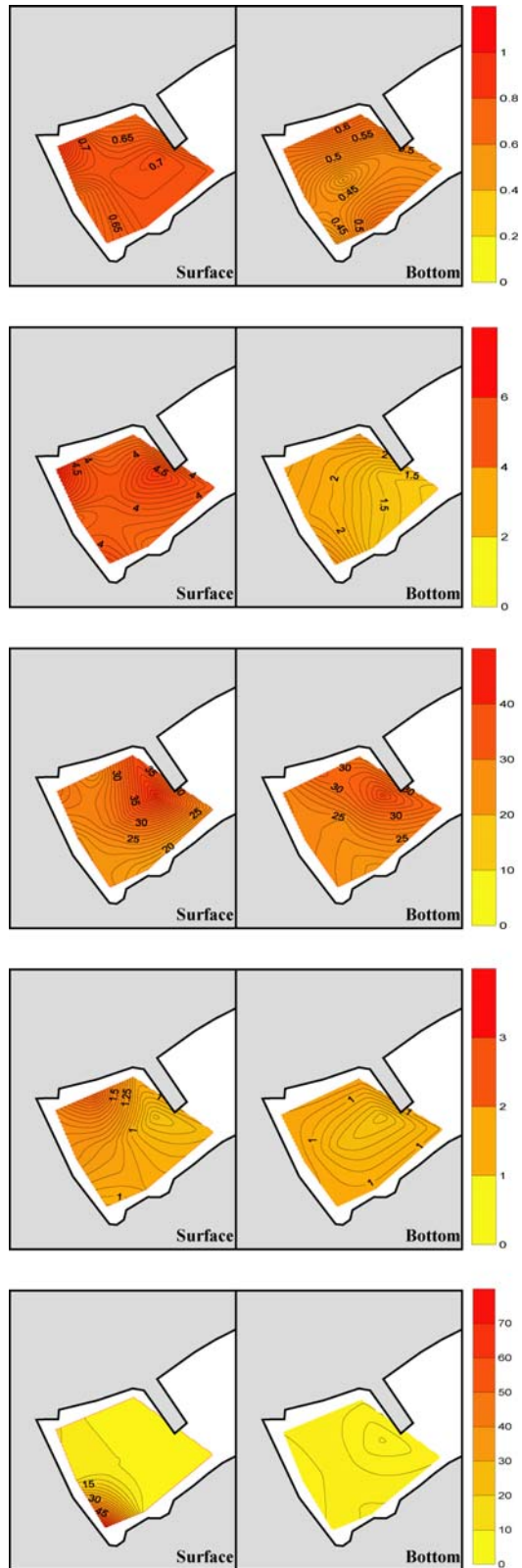


그림 25. 제3차 계절별 환경조사시 수질정화 및 적조제어장치 가동 3시간 후 영양염 분석결과. 순서대로 NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂-Si

표 15. 제3차 계절별 환경조사시(2006. 1) 저질공극수 내의 pH, DO 및
ORP

정점	pH	DO(mg/L)	ORP
1	7.59	1.26	-50.3
2	7.61	1.28	-43.2
3	7.41	1.28	-42.4
4	7.39	1.28	44.2
5	7.46	0.85	-54.6
6	7.47	1.22	343
7	7.50	0.79	-43.2
8	7.40	2.38	260
9	7.56	1.75	293
평균	7.49	1.34	78.5

라. 제4차 계절별 환경조사(2006. 02. 14)

(간조 03:12, 만조 09:39, 조사시간 09:40-10:20)

1) 수질환경

수질정화 및 적조제어장치 가동 이후 27일이 경과한 2월 14일에 조사를 실시한 결과를 표 16에 나타내었다. 수온과 염분은 수질정화 및 적조제어장치 가동전인 1월과 비슷했으나 pH는 1월에 비해 표층과 저층에서 각각 0.33, 0.21이 감소하였다. 오염된 만내에서 pH의 증감은 저층 퇴적유기환경으로부터 기인되는 바, 해수수온 증가에도 불구하고, 전월에 비해 감소한 pH는 저질 환경이 개선된 것으로 추정된다.

한편, DO 농도는 표층에서 9.87~11.75 mg/L 범위였고 평균 농도는 10.59 mg/L였다. DO 농도는 수질정화 및 적조제어장치 부근에서 가장 높았고 이와 멀어질수록 점차 감소하였다. 특히 만조시 조류흐름이 정지한 상태에서 실시한 이번 조사에서, DO의 수평분포도(그림 23)는 수층별로 수질정화 및 적조제어장치에 의한 DO의 확산을 명확하게 보여준다.

표 16. 제4차 계절별 환경조사시(2006. 2. 14) 수질분석결과

정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	
표층	1	5.78	32.97	7.47	11.06
	2(M)	5.82	32.85	7.84	11.75
	3	5.76	32.92	8.00	11.51
	4	60.6	32.85	8.06	10.96
	5	5.99	32.91	8.12	10.29
	6	5.88	32.91	8.13	10.23
	7	6.22	32.84	8.14	9.87
	8	5.93	32.93	8.18	9.92
	9	6.25	32.81	8.19	9.87
	10	5.94	32.88	8.20	9.88
평균	5.96	32.89	8.03	10.59	
중층	1	5.68	32.98	7.58	11.29
	2(M)	5.71	32.91	7.85	11.24
	3	5.64	32.91	8.05	11.48
	4	5.69	32.94	8.08	10.55
	5	5.71	32.93	8.13	10.20
	6	5.70	32.93	8.13	10.00
	7	5.70	32.94	8.14	9.69
	8	5.71	32.93	8.18	9.69
	9	5.69	32.91	8.18	9.52
	10	5.66	32.93	8.21	9.67
평균	5.69	32.93	8.05	10.33	
저층	1	5.67	33.00	7.67	10.15
	2(M)	5.69	32.93	7.86	10.27
	3	5.66	32.98	8.02	10.64
	4	5.66	32.97	8.08	9.99
	5	5.69	32.98	8.09	9.24
	6	5.81	32.41	8.07	8.83
	7	5.68	32.97	8.11	8.97
	8	5.64	32.93	8.15	9.05
	9	5.64	32.92	8.16	9.01
	10	5.64	32.97	8.17	9.19
평균	5.68	32.81	8.04	9.58	

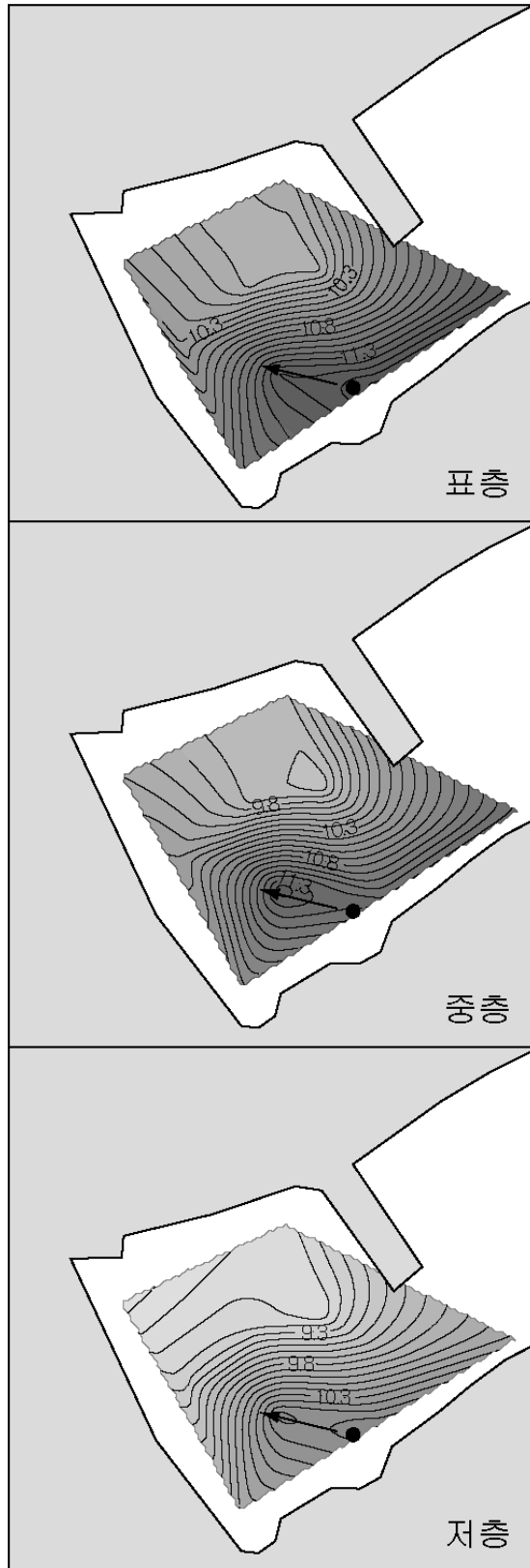


그림 26. 제4차 계절별 환경조사시(2006. 2) DO의 수평분포. 검정색 원과 화살표는 각각 수질정화 및 적조 제어장치 설치장소와 수류방출 방향을 나타냄.

마. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3. 18)

(만조 10:38, 조사시간 10:18-11:44, 밀물시)

1) 수질환경

3월 18일 계절별 환경 4차 조사 결과를 표 17, 18, 19과 그림 25, 26에 나타내었다. 전체 조사정점의 수온은 표층과 저층에서 각각 평균 8.13°C와 7.52°C로 2월 조사시에 비해 약 2°C가 상승했다(표 17). 염분은 표층과 저층에서 각각 32.96‰과 32.93‰로 2월과 동일하였다. pH는 표층과 저층에서 8.24와 8.18로 이전 조사시에 비해 큰 변화는 없었다. 용존산소(DO)는 표층과 저층에서 각각 11.44 mg/L와 10.13 mg/L로 높았다. 한편, 조사 당일에 만조와 간조시에 용존산소를 측정할 계획이었으나, 정오부터 해풍의 영향으로 표층에서 해수 교반을 통한 수괴 내 용존산소 농도의 급증 및 평균화가 진행되어 2차 조사는 실시하지 못하였다. 화학적산소요구량(COD)은 표층과 저층에서 각각 2.55 mg/L와 2.21 mg/L로 1월에 비해 다소 증가했다. 부유물질(SS)는 표층과 저층에서 각각 52.98 mg/L와 56.54 mg/L로 높았으며, 특히 표층보다 저층에서 높은 값을 보임으로서 조류 이동(떨물)에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 엽록체-a는 표층과 저층에서 각각 17.25 µg/L, 21.08 µg/L로 1월에 비해 큰 폭으로 증가하였다.

2) 영양염

영양염 농도는 1월과 대동소이 했으나, NH₄-N은 1월 수질정화 및 적조제어장치 가동 전에 표층과 저층에서 각각 28 mg/L과 26 mg/L인 것에 비해, 3월에는 표층과 저층에서 각각 6.7 mg/L와 10.8 mg/L로서 1월에 비해 큰 폭으로 감소하였다(표 18). 이 같은 NH₄-N 감소 원인은 (1)환경개선 효과로 인해 저층의 오염 저질로부터 암모늄 유출량 감소 내지는 (2)식물플랑크톤의 증식 초기에 영양원으로서 이용되는 자연적인 현상 등이 있을 수 있다.

3) 저질공극수

저질공극수내 DO는 방파제 내측보다 외측 조사정점에서 높았고 ORP는 방파제 안쪽일 수록 마이너스 값을 나타냈다(표 19). DO의 최저 최고 수치는 각각 정점 3과 정점 O-5, ORP의 최저 최고 수치는 각각 정점 O-1과 O-5였다.

표 17. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3) 수질분석결과

정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(µg/L)
1	7.87	33.02	8.26	11.07	1.93	52.64	18.26
3	8.12	32.99	8.28	11.42	2.71	63.64	18.07
5	8.12	33.02	8.27	11.75	2.70	49.84	18.23
7	8.10	33.04	8.26	10.96	2.33	50.84	14.45
8	8.22	32.93	8.26	11.46	2.73	53.64	18.43
표층 O-1	7.89	32.99	8.26	11.31	2.59	51.84	18.03
O-2	8.45	32.91	8.21	11.19	2.54	47.04	16.62
O-3	8.09	33.01	8.25	11.58	2.64	58.24	17.56
O-4	8.45	32.87	8.25	11.70	2.17	49.24	15.34
O-5	7.96	32.84	8.05	11.93	3.14	52.84	17.49
평균	8.13	32.96	8.24	11.44	2.55	52.98	17.25
1	7.53	32.94	8.21	10.07	2.29	68.04	22.91
3	7.53	32.95	8.21	10.28	2.52	43.44	21.82
5	7.49	32.95	8.18	9.61	2.53	50.24	21.82
7	7.62	32.80	8.21	10.52	2.11	58.64	22.54
8	7.55	32.88	8.19	9.40	2.30	50.24	20.92
저층 O-1	7.49	32.95	8.19	10.06	1.87	60.24	20.02
O-2	7.51	32.93	8.16	10.22	2.15	58.24	19.84
O-3	7.47	32.96	8.17	10.07	2.35	58.04	20.74
O-4	7.50	32.99	8.19	10.28	2.11	69.44	20.20
O-5	7.52	32.97	8.10	10.83	1.88	48.84	20.02
평균	7.52	32.93	8.18	10.13	2.21	56.54	21.08

표 18. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3)시 영양염 분석결과(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

정점	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_2\text{-Si}$
1	0.601	1.161	9.074	0.912	5.747
3	0.619	0.912	6.736	0.857	2.657
5	0.617	1.122	8.786	0.862	3.604
7	0.565	1.168	5.948	0.857	3.391
8	0.519	0.935	7.489	0.847	3.795
표층 O-1	0.632	1.290	6.263	0.860	2.863
O-2	0.510	0.539	5.145	0.854	3.143
O-3	0.535	0.962	6.922	0.892	2.189
O-4	0.535	1.113	5.815	0.879	1.822
O-5	0.565	1.154	5.529	0.878	2.078
평균	0.570	1.036	6.771	0.870	3.129
1	0.626	0.936	14.990	1.085	10.549
3	0.603	1.000	13.174	0.841	11.821
5	0.659	1.356	17.197	1.099	12.189
7	0.692	0.930	11.753	0.902	11.617
8	0.594	0.936	12.717	0.874	13.447
저층 O-1	0.631	0.892	6.874	0.876	8.614
O-2	0.589	1.062	5.365	0.885	6.113
O-3	0.577	0.760	10.208	0.856	10.606
O-4	0.582	0.951	11.767	0.893	10.083
O-5	0.522	3.038	4.290	0.865	1.730
평균	0.607	1.186	10.833	0.918	9.677

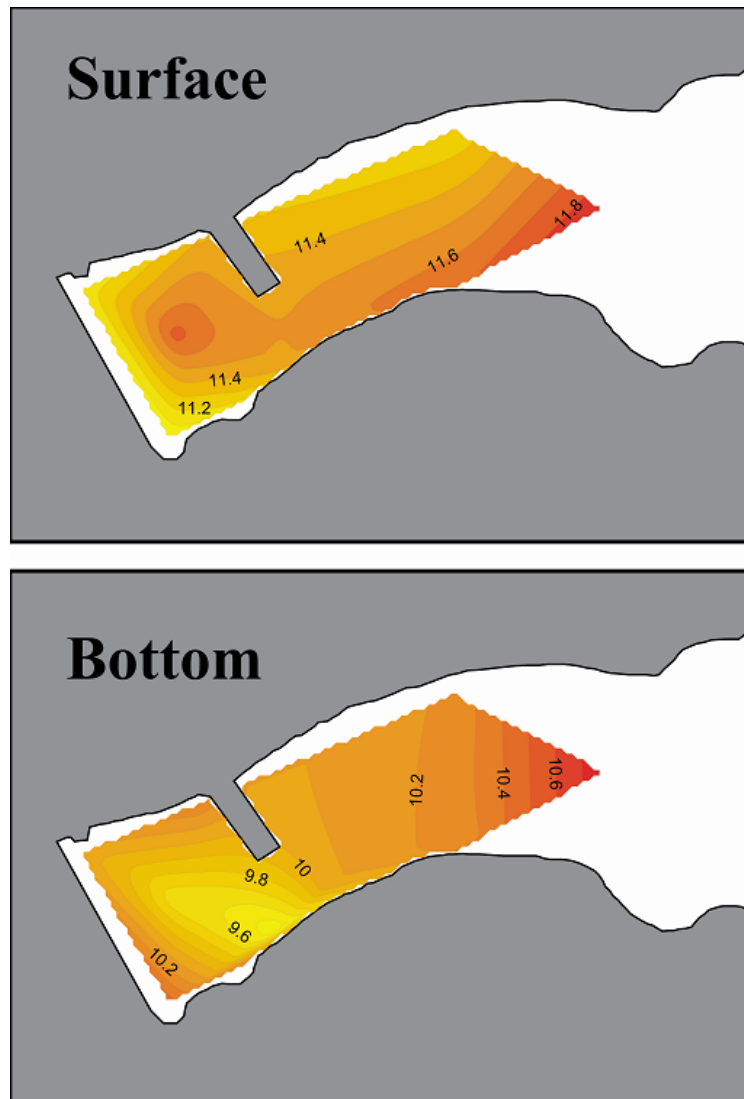


그림 27. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3)시 DO의 수평분포.

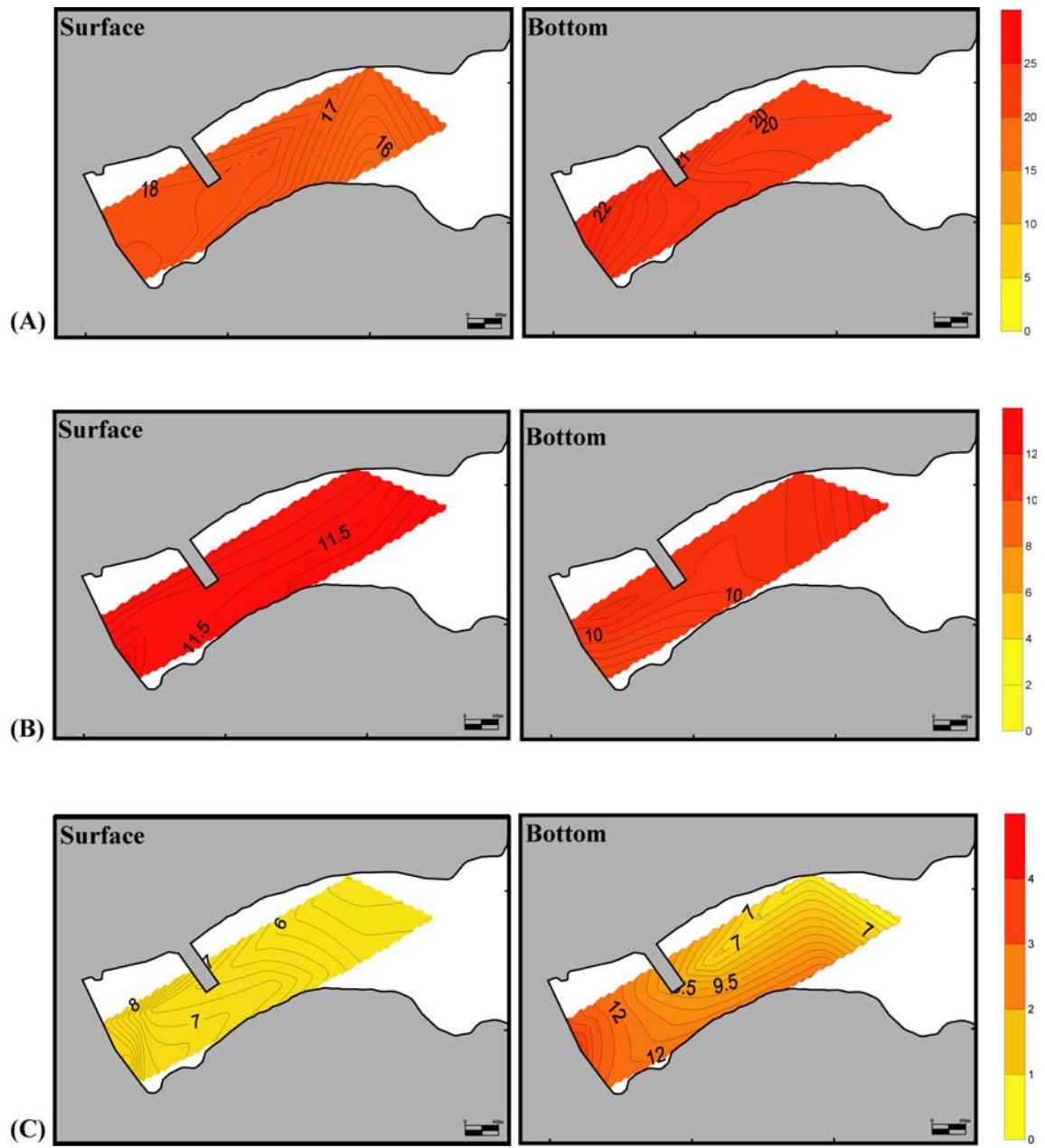


그림 28. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3)시 수정리의 Chl-a(A), DO(B) 및 NH₄-N(C)의 수평분포

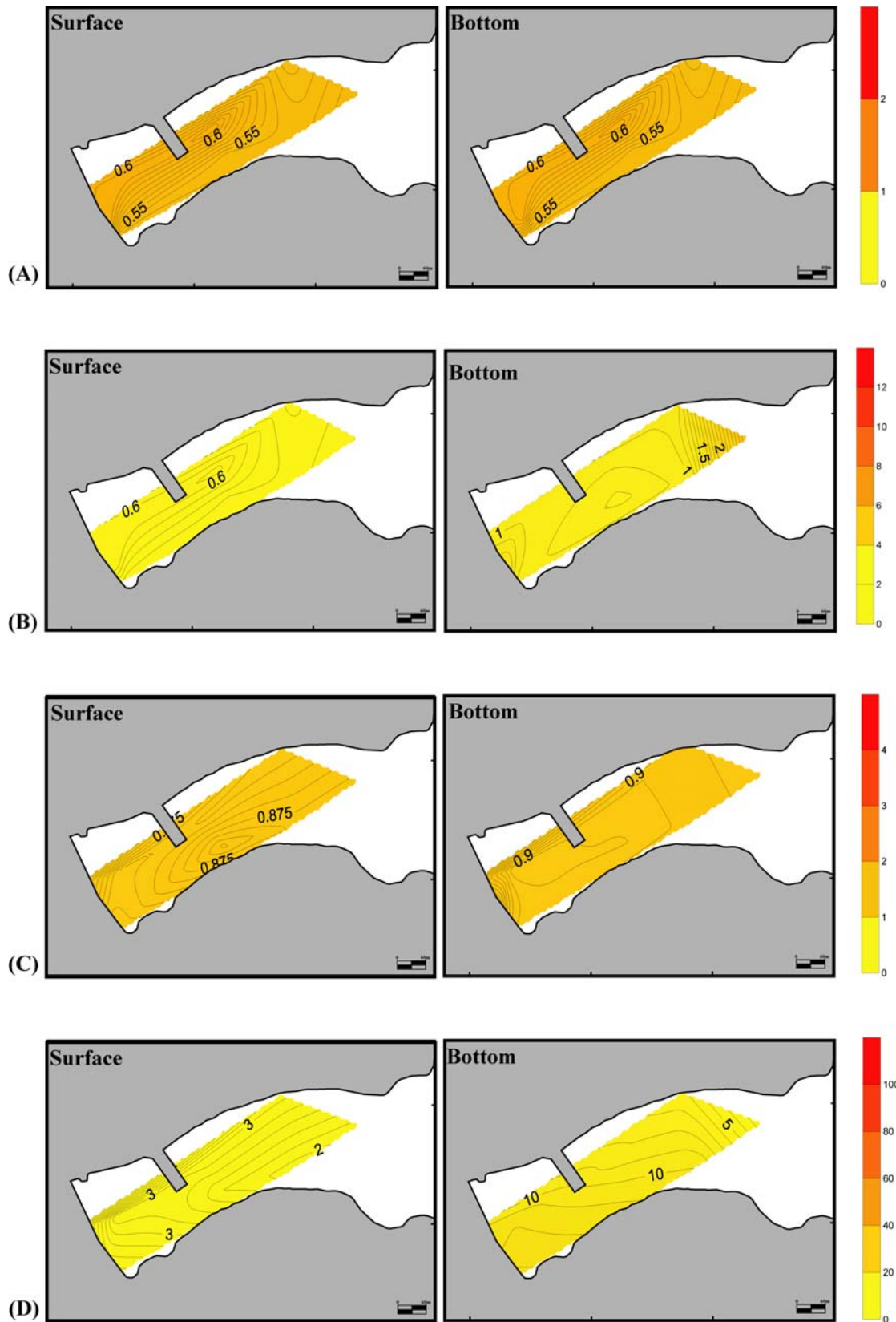


그림 29. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3)시 수정리의 NO₃-N(A), NH₄-N(B), PO₄-P(C), SiO₂-Si(D)의 수평분포

표 19. 제5차 계절별 환경조사(2006. 3)시 공극수의 DO와 ORP

정점	DO(mg/L)	ORP
1	1.82	-7.70
3	1.57	-57.80
5	1.61	-25.60
7	2.02	140.30
O-1	1.47	-72.40
O-2	1.42	-20.80
O-3	1.90	7.50
O-4	2.14	17.80
O-5	3.46	351.60
평균	1.93	36.99

바. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5. 2)

(만조 11:23, 조사시간 10:15-11:32, 밀물시)

1) 수질환경

5월 2일 계절별 환경 5차 조사 결과를 표 20, 21, 22와 그림 27, 28, 29에 나타내었다. 전체 조사정점의 수온은 표층과 저층에서 각각 평균 14.8°C와 13.2°C로 3월 18일 조사시에 비해 5-6°C가 상승했다(표 20). 염분은 표층과 저층에서 각각 32.53‰과 32.66‰로 1월, 2월 및 3월과 유사하였다. pH는 표층과 저층에서 6.87와 6.70으로 이전 조사에 비해 다소 낮아졌다. 용존산소(DO)는 표층과 저층에서 각각 9.97 mg/L와 7.77 mg/L이었다. 한편, 조사 당일에 만조와 간조시에 용존산소를 측정할 계획이었으나, 3월 조사시와 마찬가지로 정오부터 이어진 해풍의 영향으로 DO 농도의 급증 및 평균화가 진행되어 2차 조사는 실시하지 못하였다. 화학적산소요구량(COD)은 표층과 저층에서 각각 2.23 mg/L와 2.29 mg/L로 3월과 대동소이했다. 부유물질(SS)는 표층과 저층에서 각각 33.20 mg/L와 34.85 mg/L이었다. 엽록체-a는 표층과 저층에서 각각 11.34 µg/L와 26.06 µg/L으로 3월에 비해 다소 증가하였다.

2) 영양염

NO₂-N은 방파제 내측이 다소 높았으나 전체적으로 큰 차이는 없었다(표 21, 그림 28, 29). 내측에서는 표층평균 0.46 µg-a/L, 저층평균 0.30 µg-a/L였고, 외측에서는 표층평균 0.31 µg-a/L, 저층평균 0.38 µg-a/L이었다. NO₃-N은 내측에서 표층평균 3.46 µg-a/L로 높았으나 저층평균은 1.66 µg-a/L으로 낮았다. 외측에서는 이와 반대로 표층평균 1.41 µg-a/L, 저층평균 1.80 µg-a/L으로 저층이 다소 높았다. NH₄-N은 내측에서 표층평균 3.83 µg-a/L, 저층평균 6.00 µg-a/L으로 저층이 높았으며 외측에서도 표층평균 1.83 µg-a/L, 저층평균 7.97 µg-a/L으로 내외측 모두에서 저층이 높은 농도를 나타냈다. PO₄-P는 내측에서 표층평균 0.38 µg-a/L, 저층평균 0.31 µg-a/L로 비슷했고 외측에서도 표층평균 0.34 µg-a/L, 저층평균 0.36 µg-a/L으

로 비슷했다. SiO₂-Si는 내측에서 표층평균 2.94 µg-a/L, 저층평균 4.49 µg-a/L였으나 외측에서는 표층평균 22.23 µg-a/L, 저층평균 7.93 µg-a/L으로 외측, 특히 표층에서 높은 농도를 나타냈다.

3) 저질공극수

내측 저질공극수 내의 DO는 평균 1.46 mg/L, 외측은 1.64 mg/L로 내외측간의 차이는 크지 않았다(표 22). 반면 ORP는 내측에서 -11.20, 외측에서 -49.76이었다.

표 20. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5. 2)시 수질분석결과

정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(µg/L)
1	14.7	32.21	7.37	9.46	1.65	32.74	10.88
3	14.7	32.48	6.53	10.11	2.68	27.94	13.35
5	14.8	32.43	5.62	9.84	2.17	28.34	11.64
7	14.7	32.39	7.89	9.64	2.61	26.24	9.11
8	14.8	32.51	8.29	9.81	2.13	34.34	10.27
표층 O-1	15.0	32.65	6.77	10.03	1.84	38.74	10.95
O-2	14.9	32.67	6.89	10.35	2.16	39.14	11.87
O-3	14.9	32.64	6.21	10.01	2.59	35.14	11.67
O-4	14.8	32.63	6.55	10.09	2.00	35.24	12.32
O-5	14.8	32.67	6.59	10.31	2.48	34.14	11.35
평균	14.8	32.53	6.87	9.97	2.23	33.2	11.34
1	13.1	32.68	6.88	5.64	2.30	37.14	22.91
3	13.3	32.64	7.05	8.19	2.39	37.24	26.34
5	13.3	32.68	7.99	8.05	2.23	36.04	26.52
7	13.2	32.67	5.87	7.89	3.00	24.54	18.32
8	13.2	32.65	5.87	7.75	2.25	27.74	28.14
저층 O-1	12.9	32.71	6.66	6.08	2.31	35.54	27.60
O-2	13.1	32.67	6.44	7.84	2.11	39.44	25.25
O-3	13.5	32.59	6.52	9.26	2.33	37.64	26.52
O-4	13.8	32.58	6.76	9.73	2.17	37.74	29.23
O-5	13.1	32.74	6.91	7.25	1.81	35.44	29.77
평균	13.2	32.66	6.70	7.77	2.29	34.85	26.06

표 21. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5. 2)시 영양염 분석결과(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

정점	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_2\text{-Si}$	
1	0.55	5.67	7.69	0.41	5.15	
3	0.46	2.36	2.19	0.37	0.90	
5	0.42	2.40	2.15	0.34	1.85	
7	0.47	4.62	4.47	0.38	2.66	
8	0.42	2.25	2.65	0.42	3.13	
표층	O-1	0.33	1.24	3.28	0.35	1.68
	O-2	0.31	1.24	1.09	0.34	1.49
	O-3	0.33	1.69	1.98	0.37	1.38
	O-4	0.29	1.74	1.75	0.29	103.82
	O-5	0.31	1.13	1.08	0.37	2.81
	평균	0.39	2.43	2.83	0.33	12.59
1	0.27	1.64	4.22	0.27	3.62	
3	0.35	1.83	1.91	0.35	1.95	
5	0.31	1.85	6.41	0.34	8.72	
7	0.30	1.74	13.76	0.37	4.83	
8	0.28	1.25	3.70	0.23	3.32	
저층	O-1	0.27	1.14	6.41	0.32	3.97
	O-2	0.45	2.46	6.35	0.37	1.20
	O-3	0.38	1.57	1.04	0.38	3.84
	O-4	0.41	1.98	13.60	0.39	4.95
	O-5	0.38	1.86	12.45	0.34	25.70
	평균	0.34	1.73	6.98	0.31	6.21

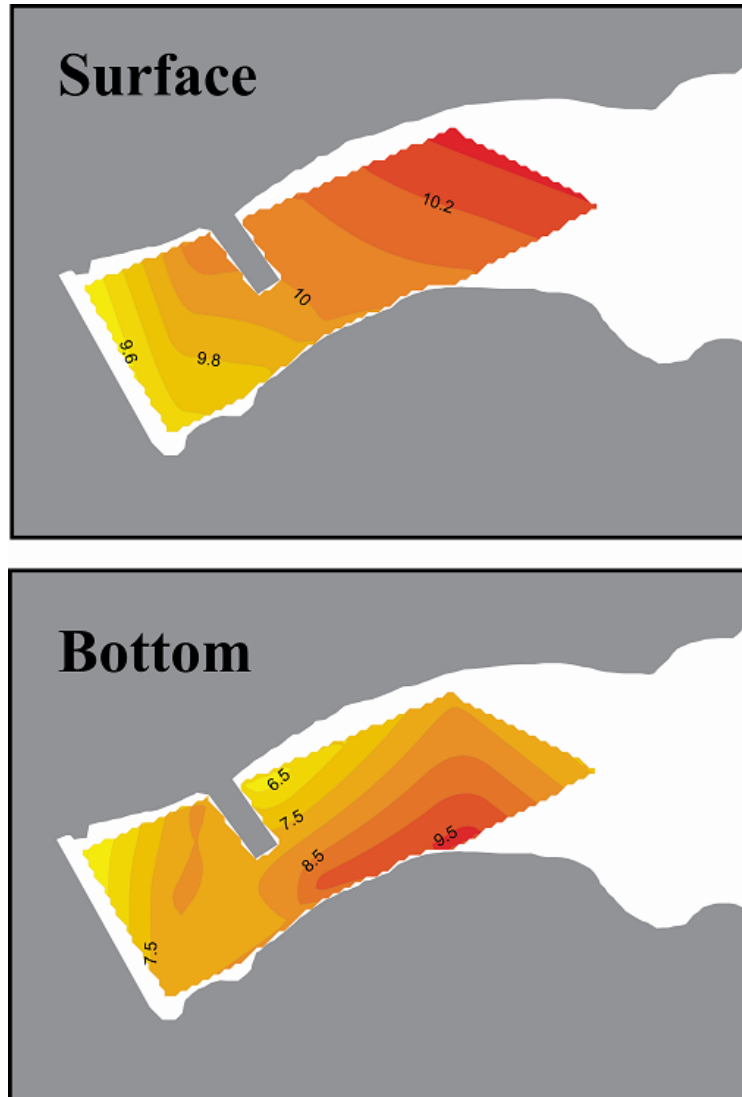


그림 30. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5)시 DO의 수평분포.

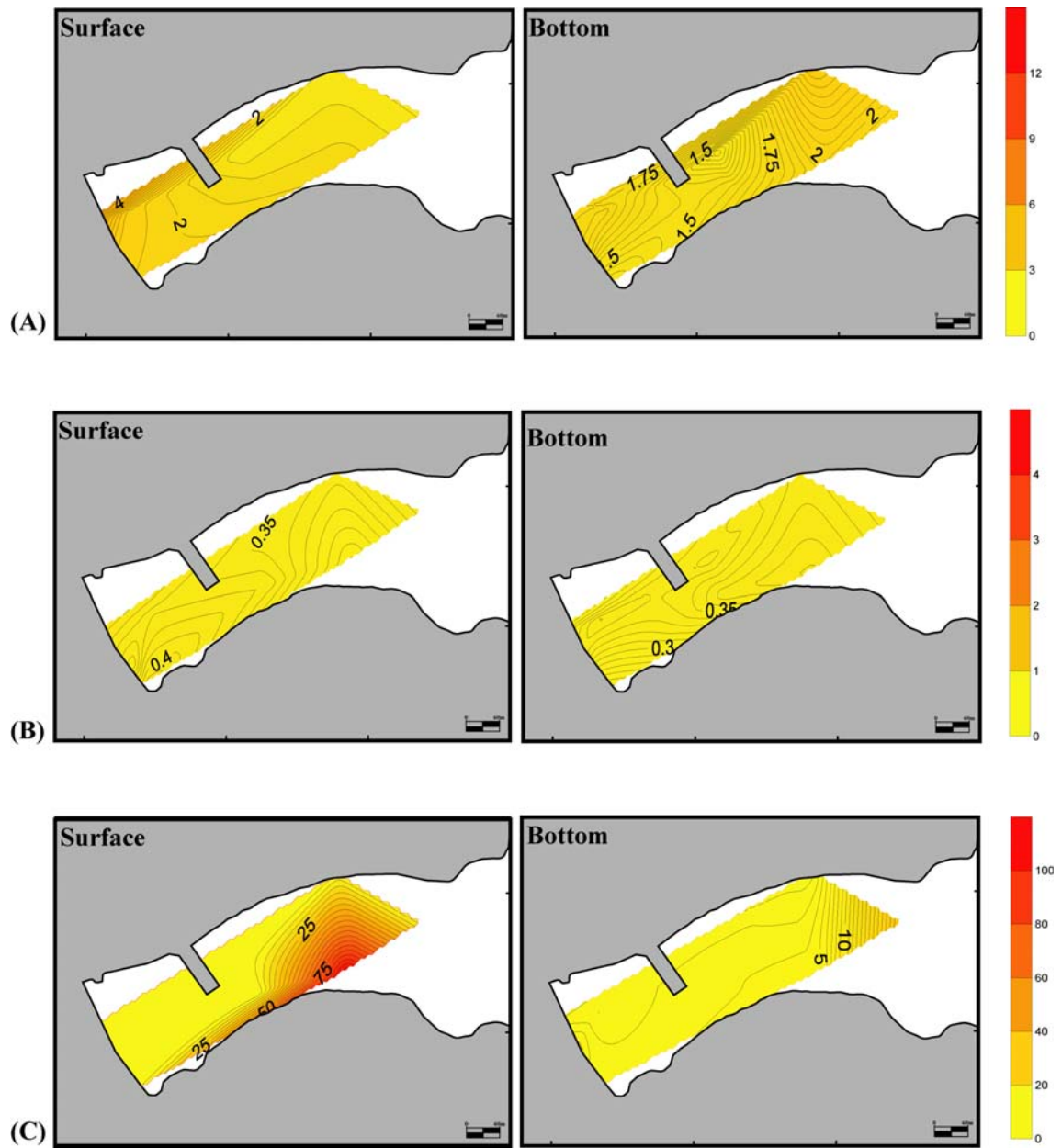


그림 31. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5)시 수정리의 Chl-a(A), NO₂-N(B), NO₃-N(C)의 수평분포.

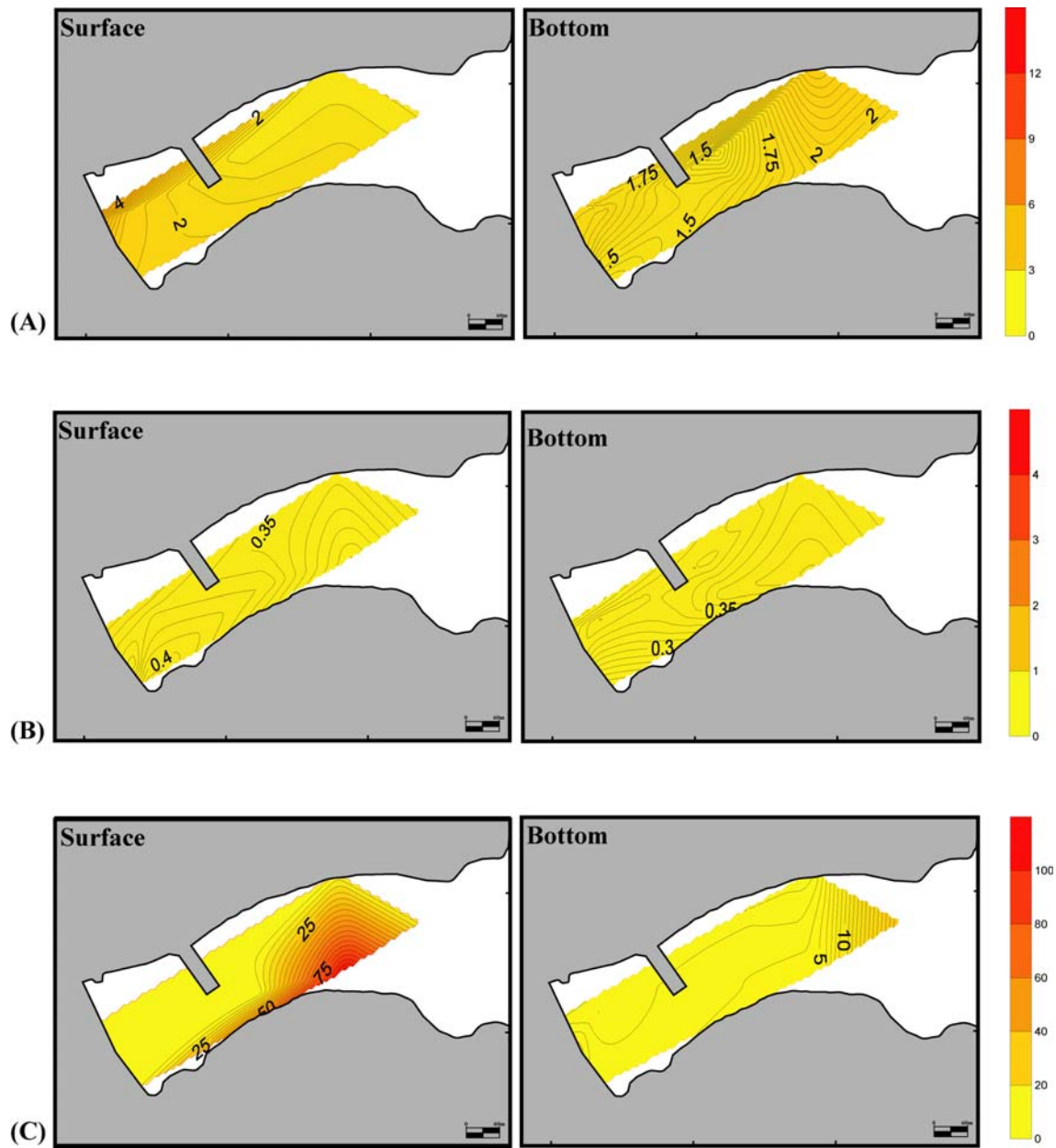


그림 32. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5)시 수정리의 $\text{NH}_4\text{-N}$ (A), $\text{PO}_4\text{-P}$ (B) 및 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ (C)의 수평분포

표 22. 제6차 계절별 환경조사(2006. 5. 2)시 저질공극수의 DO와 ORP

정점	DO(mg/L)	ORP
1	1.98	99.40
3	0.88	-107.00
7	1.61	12.80
8	1.37	-50.00
O-1	1.38	-68.00
O-2	1.69	-67.30
O-3	0.84	-147.90
O-4	3.03	107.00
O-5	1.27	-72.60
평균	1.56	-32.62

사. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8. 8)

1) 수질환경

수온은 내측에서 표층평균 28.22°C, 저층평균 18.01°C, 외측에서 표층평균 28.83°C, 저층평균 18.30°C로 양측에서 모두 표층과 저층간의 차이가 약 10°C로 나타났다(표 27). 5월에 비해 표층과 저층에서는 각각 14°C와 4°C가 상승한 것으로 나타났다. 염분은 내측에서 표층평균 22.84‰, 저층평균 30.57‰, 외측에서 표층평균 22.49‰, 저층평균 30.42‰로 양측 표층염분이 5월 조사에 비해 약 10% 떨어진 것으로 나타났다. 이러한 염분 감소는 장마로 인한 담수유입이 원인인 것으로 사료된다. pH는 내측에서 표층평균 8.52, 저층평균 7.91, 외측에서는 표층평균 8.75, 저층평균 7.64로 양측에서 저층이 다소 높았다. DO는 내측에서 표층평균 11.79 mg/L, 저층평균 2.50 mg/L, 외측에서 표층평균 10.79 mg/L, 저층평균 1.05 mg/L로 저층에서 매우 낮은 농도를 나타냈다(그림 30). 이처럼 현장조사 당시에는 저층에 무산소수괴가 출현하여 도다리과 같은 수서생물들이 호흡을 위해 표층으로 이동하는 모습을 종종 볼 수 있었다. COD는 내측에서 표층평균 2.57 mg/L, 저층평균 2.18 mg/L, 외측에서 표층평균 2.86 mg/L, 저층평균 1.71 mg/L이었다. SS는 내측에서 표층평균 16.27 mg/L, 저층평균 20.95 mg/L, 외측에서 표층평균 16.43 mg/L, 저층평균 20.95 mg/L로 양측 저층에서 높았다. 클로로필-a는 내측에서 표층평균 22.39 µg/L, 저층평균 6.46 µg/L, 외측에서도 표층평균 21.26 µg/L, 저층평균 6.86 µg/L로 양측의 표층에서 높았다.

2) 영양염

NO₂-N은 내측에서 표층평균 0.47 µg-a/L, 저층평균 0.39 µg-a/L, 외측에서 표층평균 0.50 µg-a/L, 저층평균 0.45 µg-a/L으로 표층이 다소 높게 나타났다(표 28). NO₃-N은 내측에서 표층평균 0.62 µg-a/L, 저층평균 0.21 µg-a/L, 외측에서 표층평균 0.62 µg-a/L, 저층평균 0.91 µg-a/L으로 내측보다 외측에서 높았다(그림 31). NH₄-N은 내측에서 표층평균 8.46 µg-a/L, 저층평균 38.30 µg-a/L, 외측에서

표층평균 11.74 $\mu\text{g-a/L}$, 저층평균 38.14 $\mu\text{g-a/L}$ 으로 양측의 저층에서 매우 높은 농도를 나타냈다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 내측에서 표층평균 0.22 $\mu\text{g-a/L}$, 저층평균 3.27 $\mu\text{g-a/L}$, 외측에서 표층평균 0.21 $\mu\text{g-a/L}$, 저층평균 3.39 $\mu\text{g-a/L}$ 으로 양측 모두 저층에서 높게 나타났다(그림 31). $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 는 내측에서 표층평균 10.20 $\mu\text{g-a/L}$, 저층평균 96.18 $\mu\text{g-a/L}$, 외측에서 표층평균 10.64 $\mu\text{g-a/L}$, 저층평균 93.21 $\mu\text{g-a/L}$ 으로 암모니아질소 및 인산인과 마찬가지로 양측 저층에서 높게 나타났다.

3) 저질공극수

공극수의 DO는 내측에서 평균 1.04 mg/L, 외측에서 평균 1.41 mg/L로 외측이 다소 높았고 ORP는 내측에서 평균 54.28, 외측에서 평균 -30.38로 나타났다(표 25).

표 23. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8. 8)시 수질분석결과

정점	수온(°C)	염분(‰)	pH	DO(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)	Chl-a(µg/L)
1	28.1	22.98	8.70	11.66	2.39	14.63	20.92
3	28.0	22.77	7.71	12.69	2.10	15.93	17.49
5	28.6	22.67	8.73	11.42	2.49	16.43	16.91
7	28.1	22.90	8.78	12.15	2.84	17.43	27.42
8	28.3	22.87	8.69	11.05	3.02	16.93	29.23
표층 O-1	28.7	22.34	8.80	10.75	3.00	15.43	25.98
O-2	28.7	22.52	8.74	10.37	2.83	15.43	19.84
O-3	28.6	22.66	8.73	11.83	2.86	16.73	18.28
O-4	29.2	22.46	8.69	9.91	3.28	14.73	21.10
O-5	29.0	22.47	8.81	11.10	2.35	19.83	21.10
평균	28.5	22.66	8.64	11.29	2.72	16.35	21.83
1	17.9	30.65	7.74	2.47	2.18	19.23	6.09
3	18.3	30.32	8.78	2.73	2.54	21.53	5.43
5	18.2	30.38	7.74	2.54	2.61	20.83	9.40
7	17.5	31.02	7.67	2.54	1.93	19.03	6.69
8	18.2	30.46	7.64	2.22	1.64	24.13	4.69
저층 O-1	18.2	30.38	7.63	0.54	1.42	21.33	7.50
O-2	18.3	30.43	7.61	2.47	1.92	20.73	6.26
O-3	18.8	30.29	7.63	0.51	2.02	21.13	9.51
O-4	18.2	30.51	7.63	0.90	1.82	22.13	5.48
O-5	18.0	30.48	7.69	0.83	1.36	19.43	5.57
평균	18.2	30.49	7.78	1.78	1.94	20.95	6.66

표 24. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8. 8)시 영양염 분석결과(단위: $\mu\text{g-a/L}$)

정점	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	$\text{SiO}_2\text{-Si}$	
1	0.44	0.51	7.51	0.21	16.33	
3	0.50	1.35	9.14	0.22	4.82	
5	0.53	1.06	8.02	0.22	16.18	
7	0.50	0.16	8.54	0.22	7.38	
8	0.41	0.04	9.10	0.21	6.29	
표층	O-1	0.43	0.63	10.34	0.20	10.61
	O-2	0.51	0.64	9.68	0.22	13.34
	O-3	0.51	0.44	8.97	0.21	11.29
	O-4	0.63	0.40	16.57	0.25	10.36
	O-5	0.39	0.99	13.12	0.20	7.59
	평균	0.48	0.62	10.10	0.22	10.42
1	0.16	0.35	38.92	3.26	97.34	
3	0.19	0.29	40.05	3.49	94.55	
5	0.19	0.06	40.97	3.35	90.46	
7	0.67	0.01	35.54	3.13	100.10	
8	0.74	0.35	36.00	3.13	98.48	
저층	O-1	0.07	1.09	49.64	3.62	100.79
	O-2	0.08	0.22	44.02	3.69	97.66
	O-3	0.18	0.32	37.95	3.34	91.85
	O-4	0.33	0.42	36.60	3.55	93.21
	O-5	1.60	2.53	22.49	2.76	82.57
	평균	0.42	0.56	38.22	3.33	94.70

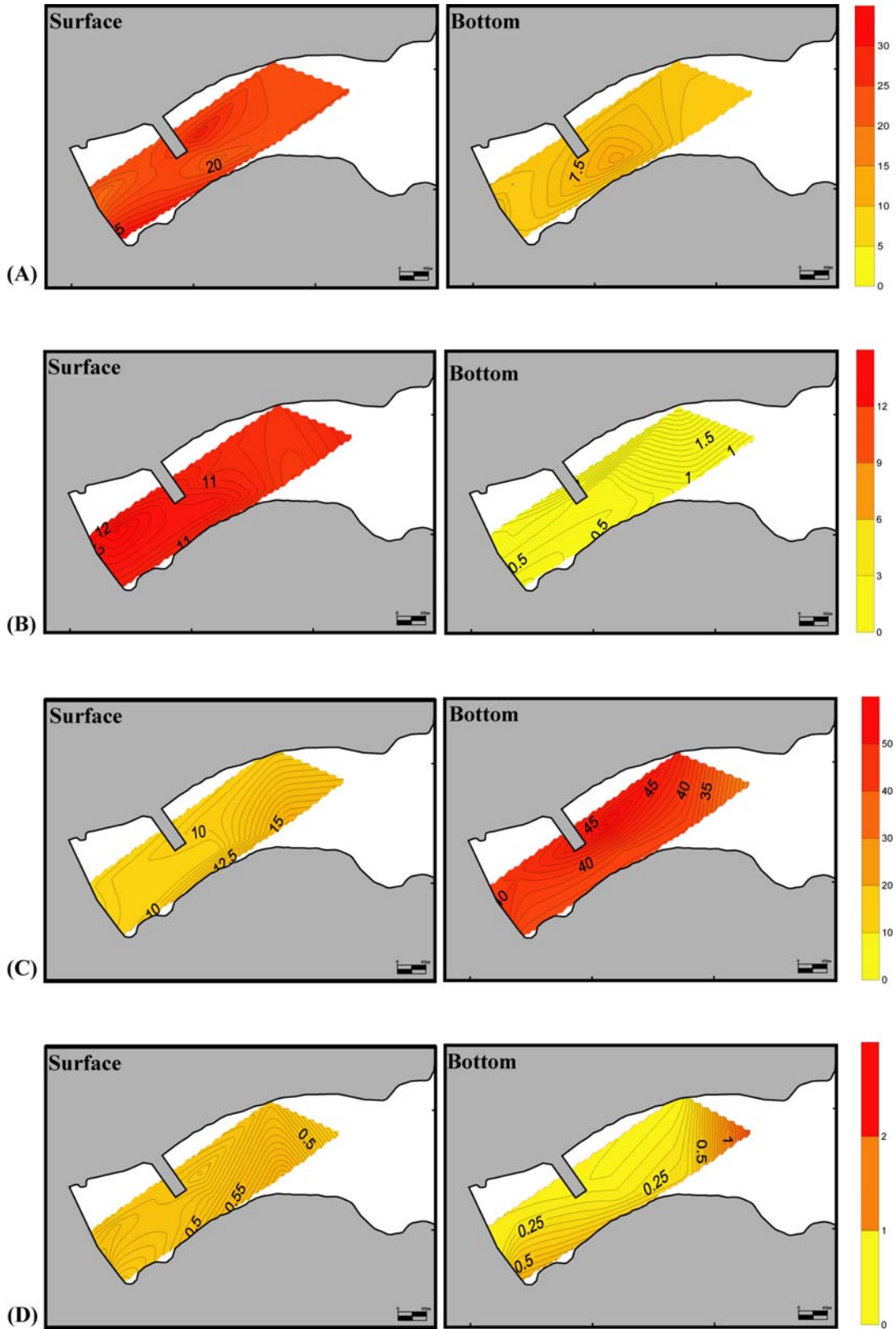


그림 33. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8)시 수정리의 Chl-a(A), DO(B), NH₄-N(C),NO₂-N(D)의 수평분포

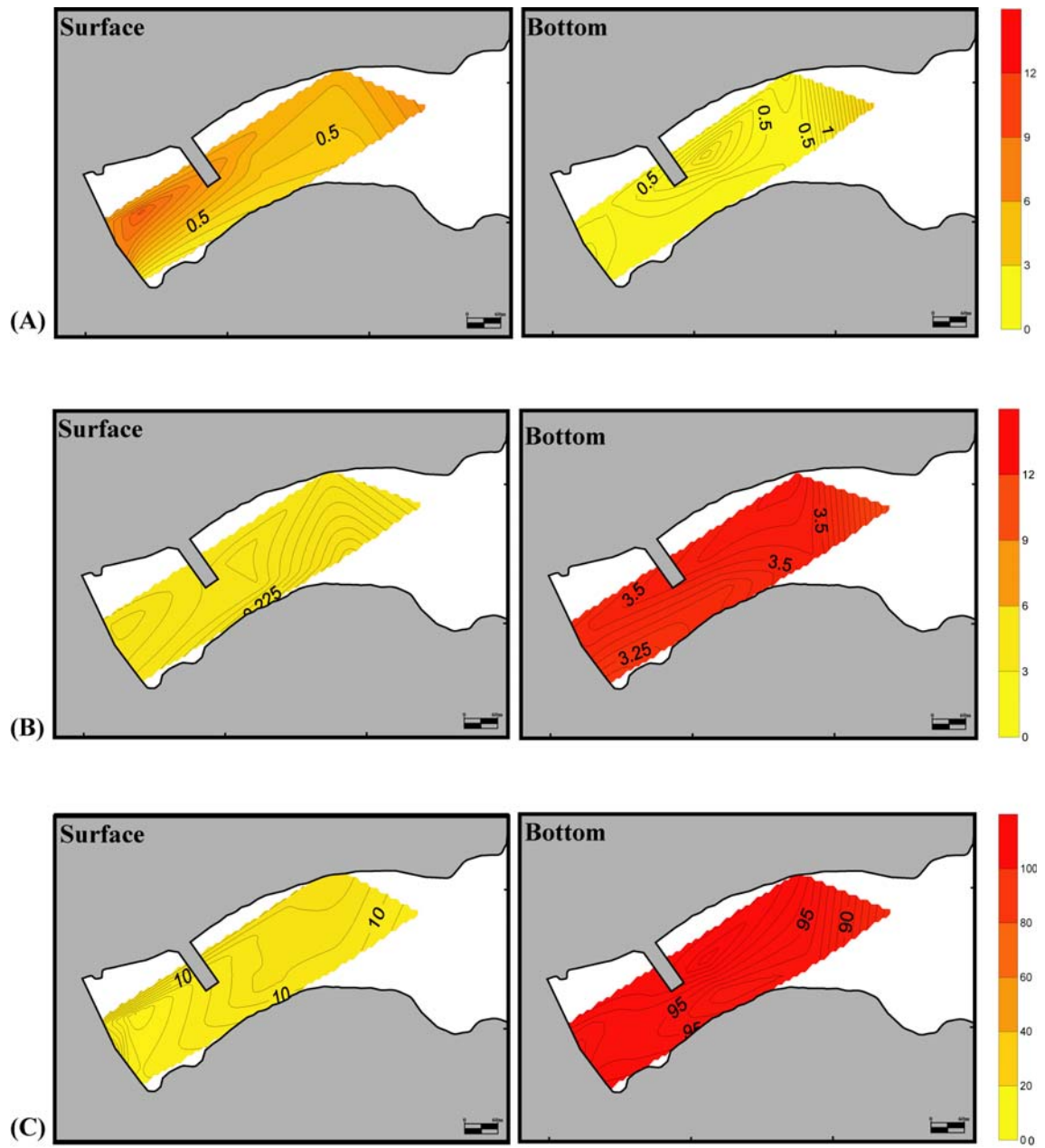


그림 34. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8)시 수정리의 $\text{NO}_3\text{-N}$ (A), $\text{PO}_4\text{-P}$ (B) 및 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ (C)의 수평분포

표 25. 제7차 계절별 환경조사(2006. 8. 8)시 저질공극수 내의 DO와 ORP

정점	DO(mg/L)	ORP
1	1.72	158.0
3	0.98	-166.0
5	1.12	5.6
7	0.28	216.5
8	1.11	57.3
O-1	0.99	70.1
O-2	1.32	177.5
O-3	2.38	-73.5
O-4	1.38	-186.0
O-5	0.98	140.0
평균	1.23	12.0

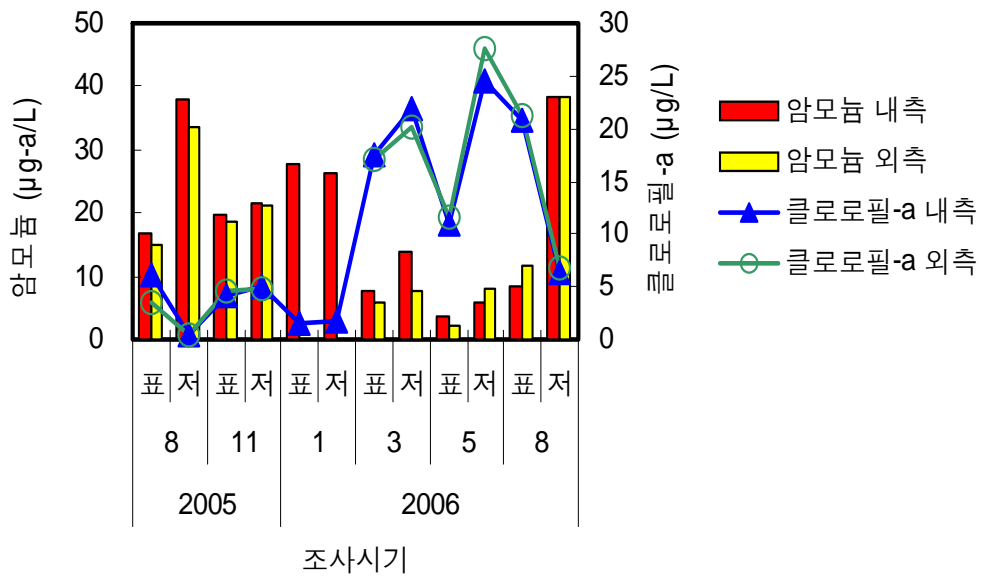


그림 35. 수정리의 2005~2006년 암모니아 질소와 클로로필-a 변화

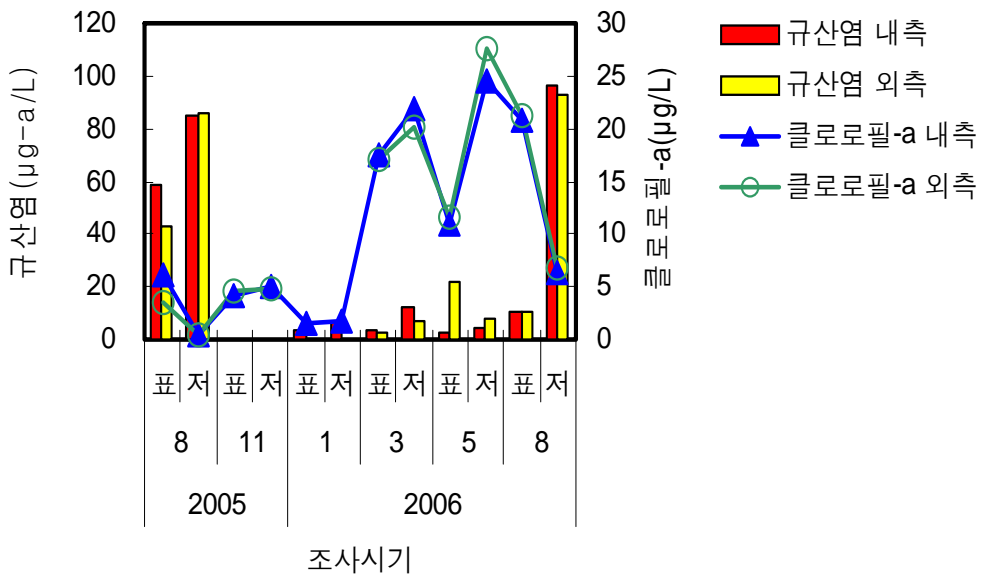


그림 36. 수정리의 2005~2006년 규산 규소와 클로로필-a 변화

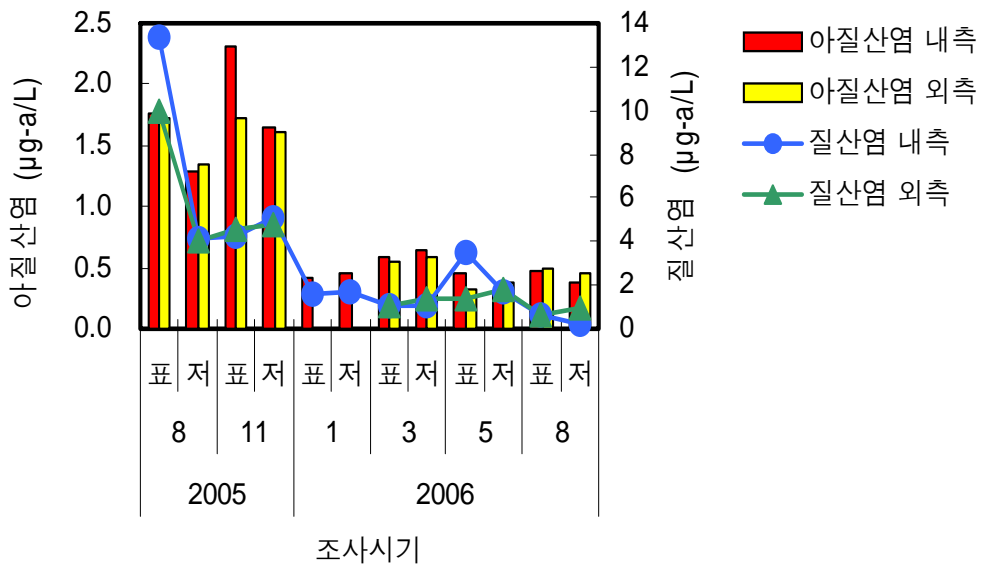


그림 37. 수정리의 2005~2006년 NO₂-N과 NO₃-N 변화

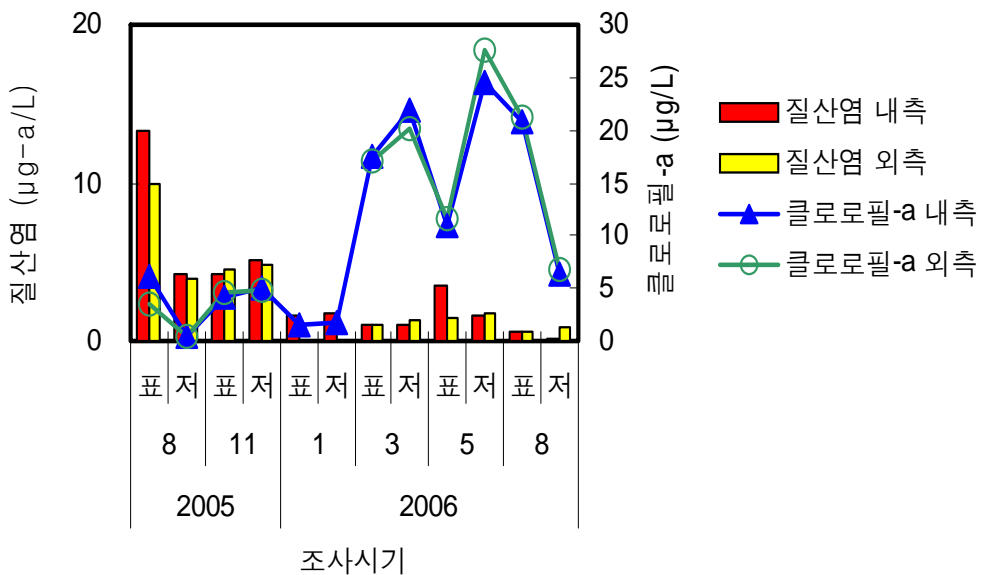


그림 38. 수정리의 2005~2006년 NO₃-N와 클로로필-a 변화

3. 논의

$\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 여름에 증가하기 시작하여 이듬해 봄까지 이어졌다(그림 32). 이러한 경향은 사전조사(2003. 8~2005. 4) 결과(그림 6, 7, 8)와 본 용역 연구(2005. 8~2006. 8) 결과가 동일했다(그림 32). $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 농도는 사전조사 시 여름에 증가했으며(그림 6, 7, 8) 본조사시에도 8월의 여름에 증가하는 동일한 경향을 나타냈다(그림 33). $\text{NO}_2\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 사전조사 시 겨울과 여름에 증가하고 봄과 가을에 감소하는 경향을 나타냈으나(그림 6, 7, 8), 본조사시에는 계절에 관계없이 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다(그림 34, 35). 본조사시 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 감소는 조사해역 내 식물플랑크톤 현존량(그림 91)과 반비례함으로써 조사해역 내에서는 식물플랑크톤의 성장에 필요한 질소원이 지속적으로 공급된 사실을 알 수 있다.

제3절 저서생물 및 동식물플랑크톤 조사

1. 저서생물

가. 재료 및 방법

1) 현장조사

본 조사는 친환경 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가 연구구역의 일환으로 친환경 적조구제 물질의 해양 살포이후 대상해역 저서생태계와 대형저서동물에 미치는 영향 정도를 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 조사해역인 마산시 구산면 수정리 일원 조하대에 서식하는 대형저서동물의 채집을 위하여 2005년 9월 21일에 예비조사를, 11월 14일에 본 조사를 수행하였고, 각각 5개의 정점을 설정하였다(그림 36, 37). 한편, 11월 20일에 정점 2 인근에 mesocosm 실험구를 설치함과 동시에 적조구제물질을 살포하였다. 이후 약 1주일이 경과된 11월 28일에 적조구제물질 살포 이후 대형저서동물의 변화정도를 파악하기 위하여 시료를 채집하였고, 2006년 3월과 8월에는 mesocosm 실험구가 인근에 위치한 해역에서 5개의 정점을 대상으로 대형저서동물을 채집하여 분석했다(그림 38, 39).

각 정점에서는 변형된 채니기(modified van-Veen grab sampler)을 이용하여 0.1 m²의 저질 표면적을 채취하였다(그림 40, 41). 한편, 채취된 퇴적물은 현장에서 1 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 최종농도 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별하여 동정을 실시한 후, 개체수를 계수하고, 생체량을 측정하였다. 대형저서동물의 동정을 위하여 김(1973, 1978), 김(1998), 손과 홍(2003), 한국과학기술원해양연구소(1990), 국립수산진흥원(1999), 해양수산부국립수산진흥원(2001), Nishimura (1992, 1995)와 Okutani (1994, 2000)등을 참고하였다. 각종의 국명은 한국동물분류학회(1997)를 기준으로 명기하였다.

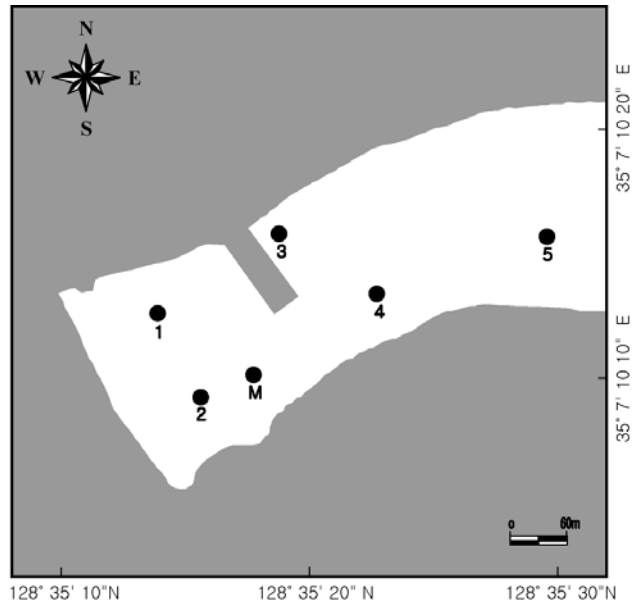


그림 39. 예비조사시 조사해역의 정점도 (M; mesocosm 실험구).

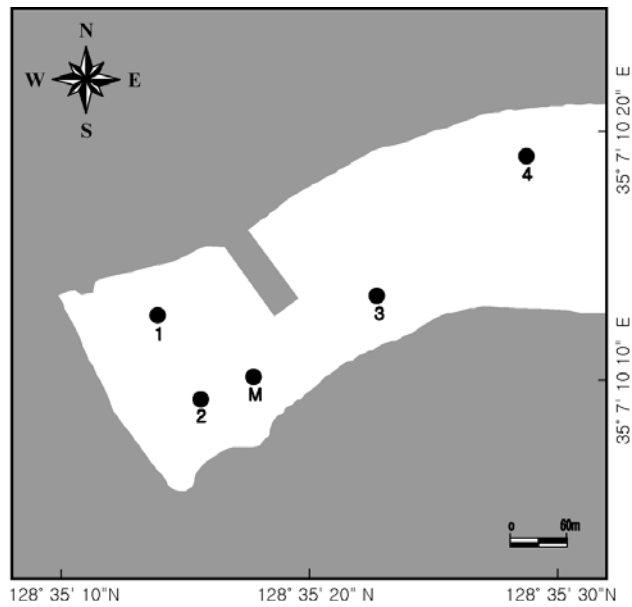


그림 40. 본 조사시 조사해역의 정점도(M; mesocosm 실험구).

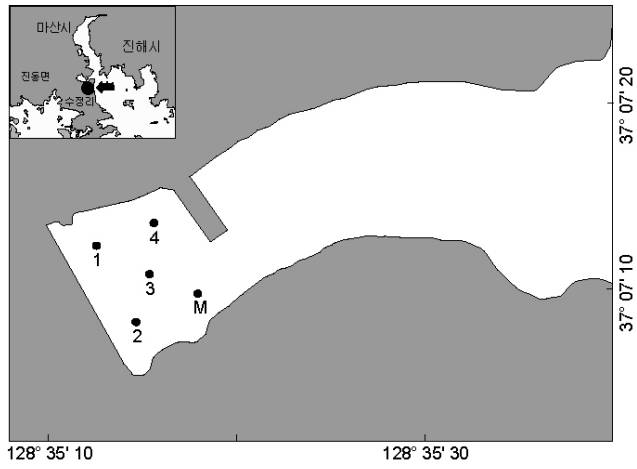


그림 41. 2006년 3월에 실시한 현장조사에서의 정점도(M; mesocosm 실험구).

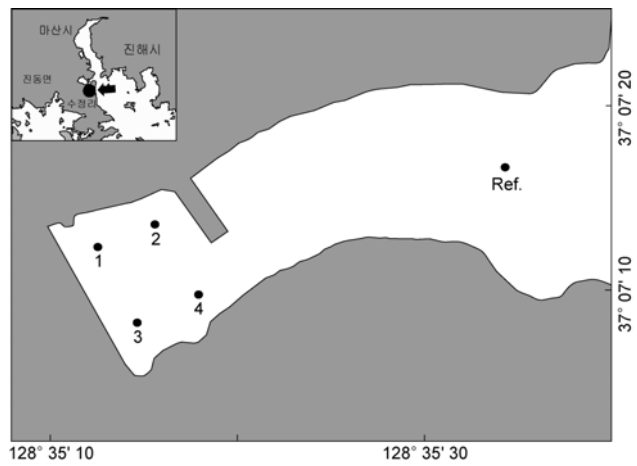


그림 42. 2006년 8월에 실시한 현장조사에서의 정점도.



그림 43. 변형된 채니기(van Veen grab)를 이용한 대형저서동물 채집.



그림 44. 채취된 퇴적물을 세척해서 대형저서동물을 분리하는 모습.

2) 환경요인 분석

조사 해역의 입도 분포와 유기물 함량을 파악하기 위하여, 2005년 11월 조사시 5개 정점에 대하여 현장조사와 동시에 저질 퇴적물을 채취하였다. 채집된 퇴적물은 입도 분석과 유기물 분석(sediment ignition loss)을 시행하였다. 이중 입도분석은 습식 체질법을 사용하여 4 ϕ 이상과 이하의 퇴적물로 분리한 후, 4 ϕ 이상의 조립질 퇴적물은 건식체질을 통하여 구하였고, 4 ϕ 이하의 퇴적물은 Stoke's law에 근거하여 계산되는 입자의 침강속도를 이용한 피펫방법으로 각 입도별 시료의 질량을 측정하였다. 조직 표준치 중 평균입도(mean phi)는 Folk and Ward (1954)의 식을 이용하였다. 한편 유기물 함량의 측정은 건조된 퇴적물 시료의 일부를 분말화한 후, 0.001 mm 체로 거른 후, 이 중 5 g을 추출하여 550 °C에서 2시간 연소시켰다. 그 후 무게의 손실량을 백분율로 표시하였다(해양수산부, 1998). 한편, 대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여, 다양도 지수(Shannon and Weaver, 1949), 종 풍부도 지수(Margalef, 1958)와 균등도 지수(Pielou, 1977)를 구하였다.

나. 결과

1) 퇴적학적 특성 및 유기물 함량

총 5개 정점에 대하여 퇴적학적 특성(입도분포, 분급도 및 모래와 펄함량)을 파악한 결과를 보면(표 26), 평균 입도(mean phi)는 6.2~6.9 ϕ 의 범위에 평균값은 6.5 ϕ 를 나타내었다. 비교적 모든 정점에서 세립질 퇴적물(silt~sandy silt)이 우세하게 분포하였다. 해수 유동과 밀접한 관련이 있는 분급도(sorting value)는 2.2~2.8의 범위로 모든 정점에서 분급도가 매우 불량한 것(very poorly sorted, 2.0~4.0)으로 나타나 조사 해역의 조류의 흐름은 미약하다고 판단할 수 있었다. 퇴적물의 모래와 펄 함량에서도 모래함량은 4.3%(정점 1)~19.8%(정점 2)의 범위에 정점 2를 제외하면 모든 정점에서 10.0%이하로 낮았다. 결국 이것은 모든 정점에서 silt와 clay를 합한 펄의 함량이 높다는 것을 의미한다. 본 조사에서 한 가지 고려해야 할 사항은 정점 2를 제외한 모든 정점에서 펄 퇴적물이 균일하게 분

포하고 있었다. 그럼에도 불구하고 분급도가 매우 불량하게 나타나고 있다. 결국 이것은 펄 퇴적물이 우세하게 분포하고 있으나, 이질적인 퇴적물(**heterogeneous sediments**)이 또한 분포한다는 것을 의미하기도 하는 것이다. 현장조사에서도 각 정점에서 진주담치 패각이나 자갈 등을 관찰할 수 있어 이를 입증하였다.

퇴적물의 유기물 함량은 10.1~14.3%의 범위에 평균 12.5%를 나타내었다. 정점 1에서 가장 높았고, 정점 4에서 가장 낮았다. 한편, mesocosm 내에서의 유기물 함량 변화를 보면, 살포 전 시기에는 11.8%를, 적조구제물질이 살포된 이후에는 12.1%를 나타내 시간의 경과에 따라 증가하였으나, 이것이 적조구제물질의 살포 결과라고 판단하기에는 무리가 있었다.

표 26. 조사해역 퇴적물의 조직학적 특성치 및 강열감량(유기물 함량, %)

정점	평균입도 (phi)	분급도	퇴적물type	Sand	silt	clay	강열감량(%)
				(%)			
1	6.9	2.2	silt	4.3	69.3	26.4	10.1
2	6.2	2.8	Sandy silt	19.8	56.2	24	13.6
3	6.6	2.3	silt	6.3	71.1	22.6	12.7
4	6.5	2.4	silt	8	69.1	22.9	14.3
M	6.5	2.4	silt	9.6	67.5	22.9	11.8
구제물질 살포후 M	-	-	-	-	-	-	12.1

2) 출현종 양상 및 군집구조

2.1) 2005년 9월 21일(예비조사)

2005년 9월 21일에 시행된 예비조사를 보면, 정점 1에서 다모류의 *Paraprionospio pinnata* 1종이 출현하였고, 개체수와 생체량은 12개체와 0.02 gWWt으로 매우 낮았다. 특히 정점 1을 제외한 모든 정점에서 생물이 출현하지 않은 무생물구역이었다. 현장조사 관찰 시에도 거의 대부분의 정점에서 퇴적물은 검은색을 띠었고, 황화수소(H_2S) 가스가 발생하고 있어 저서환경이 매우 열악함을 추정할 수 있었다(그림 42, 43, 44).

2.2) 2005년 11월 14일(본 조사)

2005년 11월 14일에 시행된 조사 결과를 보면, 총 3종, 3,036개체($759\text{개체}/\text{m}^2$)와 22.8 gWWt($5.7\text{ gWWt}/\text{m}^2$)의 대형저서동물이 채집되었다. 환형동물문의 다모류 3종만이 채집된 가운데 대형저서동물이 채집되지 않은 정점 4를 제외하면 모든 정점에서 각 2종씩이 출현하였다. 개체수는 최소 36개체(정점 2)에서 최대 1,668개체(정점 3)의 범위를 나타내었다. 또한 만의 가장 안쪽에 위치한 정점 1(84개체)에서 상대적으로 적었고, mesocosm이 설치될 정점 M에서는 1,248개체가 출현하여 많았다. 특히 상대적으로 밀도가 매우 높았던 정점 3과 M에서는 다모류의 *P. pinnata*가 각각 1,620개체와 1,236개체가 출현하여 매우 특징적이었다(그림 42, 43, 44).

2.3) 2005년 11월 28일(적조구제물질 살포 후 변화양상)

적조구제물질 살포 후 1주가 경과한 2005년 11월 28일에 mesocosm 실험구를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 조사 결과, 총 7종, 2,136개체, 26.8 gWWt의 대형저서동물이 채집되었다. 출현종수를 보면, 환형동물문의 다모류가 5종이 출현하였고, 절지동물문 갑각류의 집게류와 새우류가 각 1종씩 출현하였다. 개체수와 생체량은 다모류가 2,088개체, 21.8 gWWt으로 가장 높았고, 집게류의 쪽(*Upogebia major*)은 36개체와 2.8 gWWt를, 새우류의 민새우(*Parapenaeopsis tenella*)는 12개체와 2.3 gWWt를 나타내었다.

mesocosm 실험구에서 적조구체 물질의 살포에 따른 변화양상을 보면, 출현 종수는 다모류가 3종에서 5종으로 2종이 새롭게 추가되었고, 구체물질 살포 이전에는 출현하지 않았던 갑각류도 2종(쏨과 민새우)이 출현하였다. 개체수와 생체량은 단위 면적당(m²) 1,248개체와 11.5 gWWt에서 2,136개체와 26.8 gWWt으로 각각 약 2배가량 증가한 결과를 보였다. 그러나 우점종에 있어서는 *P. pinnata*가 적조구체 물질 살포 이전과 이후에 각각 1,236개체와 1,940개체가 채집되어 다소 증가하였으나, 본 조사해역의 대표적인 우점종임에 변함이 없었다(그림 42, 43, 44).

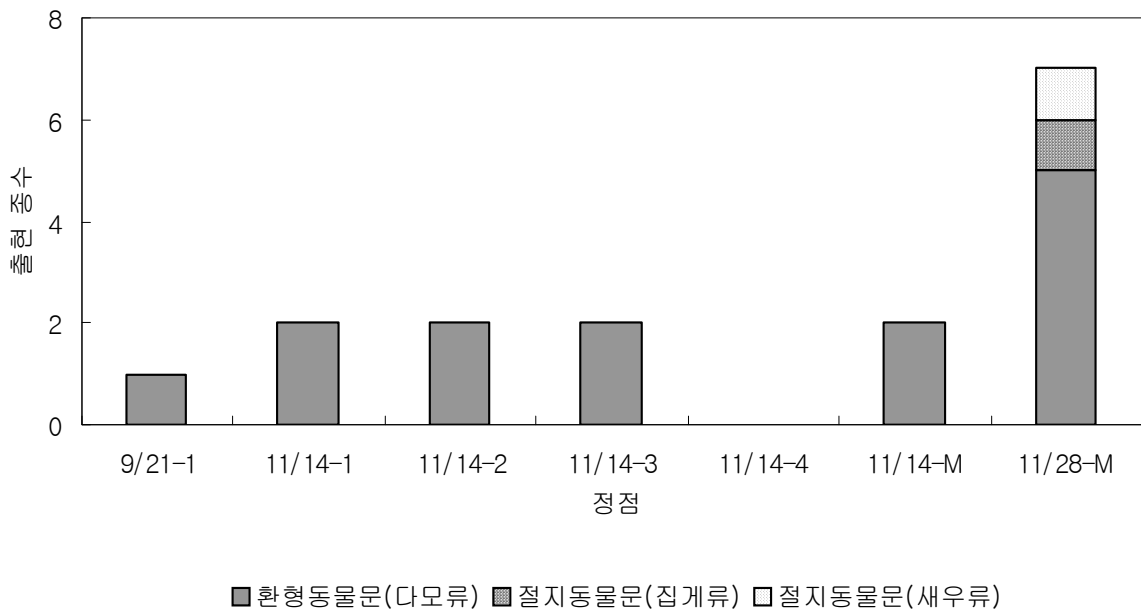


그림 45. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 종수의 변화.

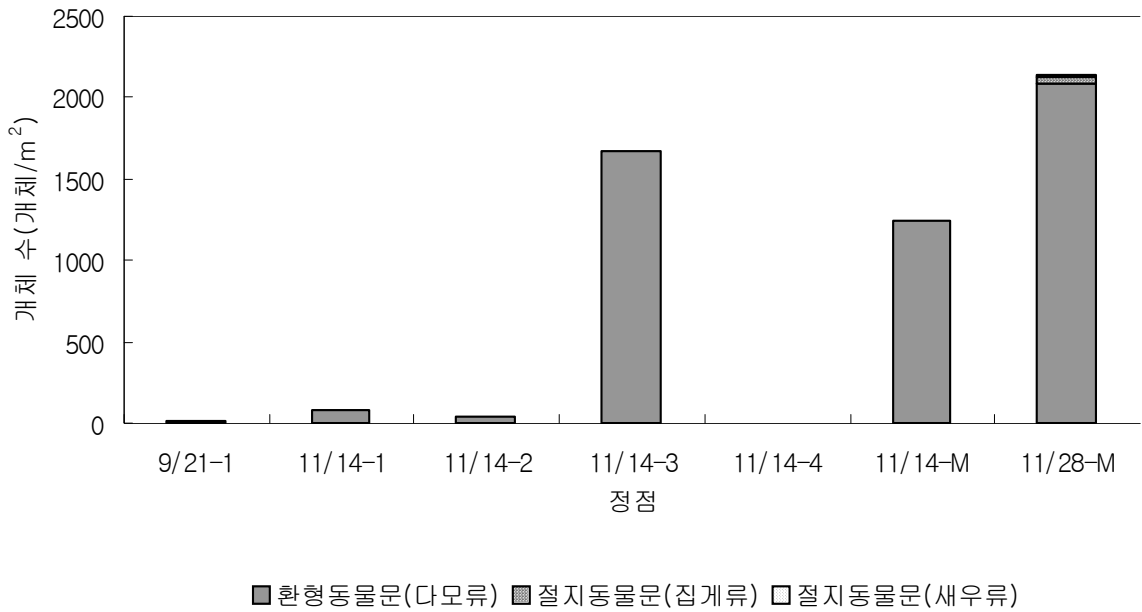


그림 46. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 개체수의 변화.

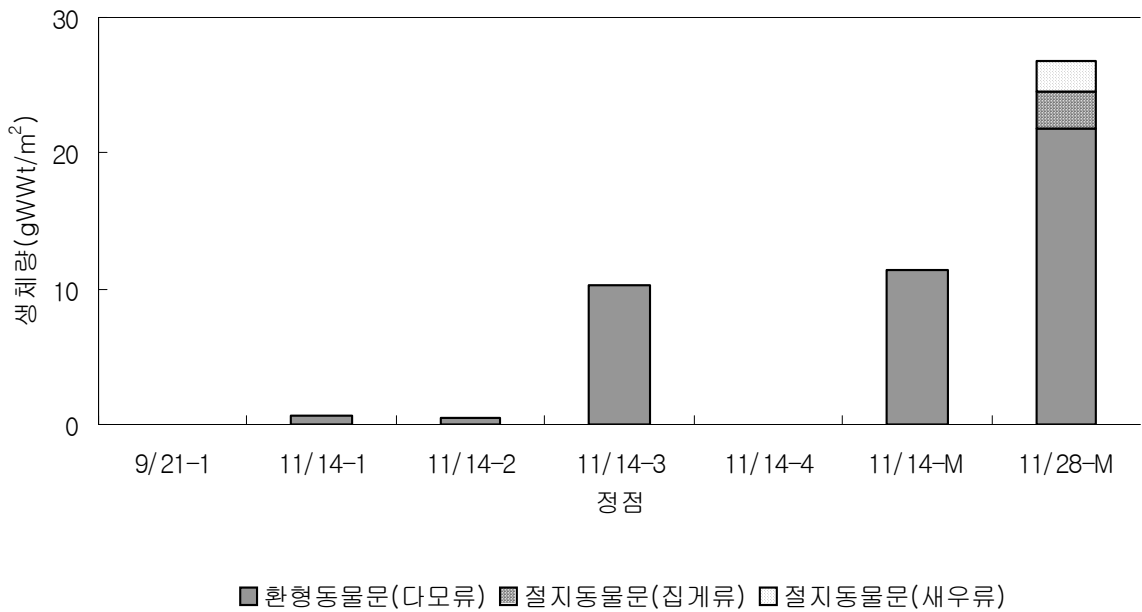


그림 47. 2005년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 생체량의 변화.

2.4) 2006년 3월 18일

2006년 3월에 mesocosm 실험구 인근 해역을 대상으로 총 5개 정점을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 조사 결과, 총 20종, 1,440 개체, 58.9 gWWt의 대형저서동물이 채집되었다. 출현 종수를 보면, 환형동물문의 다모류가 13종이 출현하였고, 연체동물문과 절지동물문의 갑각류는 각각 4종과 3종이 출현하였다. 정점에 따라서는 1~15종의 범위에 정점 4에서 가장 적었고, 정점 3에서 가장 많았다. 이 밖에도 mesocosm 실험구에서도 10종이 출현하여 상대적으로 생물다양성이 높았다(그림 45). 개체수는 갑각류가 710개체로 가장 밀도가 높았고, 다모류는 680개체가 채집되었다. 연체동물문은 50개체가 채집되어 상대적으로 적었다. 특히 미동정의 단각류와 다모류의 *Capitella capitata*는 각각 570개체와 320개체가 출현하여 단일 종으로 가장 우점하는 생물이었다. 정점에 따라 최소 30개체(정점 1)에서 최대 870개체(정점 3)의 범위에 정점 당 평균 288개체가 출현하였다. 이 밖에 정점 2에서도 350개체가 출현하여 다른 정점과 비교해 상대적으로 많았다. 특히 정점 2에서는 다모류가, 정점 3에서는 갑각류의 밀도가 높은 특징이 있었다(그림 46). 생체량은 단일 개체의 중량이 높은 연체동물문이 44.6 gWWt를 나타내어 가장 높았고, 다모류와 갑각류가 각각 10.1 gWWt와 7.0 gWWt를 나타내었다. 정점에 따라서는 0.1~53.1 gWWt의 범위에 평균 11.8 gWWt를 나타내었다. 가장 생체량이 높았던 정점 3을 제외하면 기타 정점에서는 3.0 gWWt 미만으로 낮았다(그림 47).

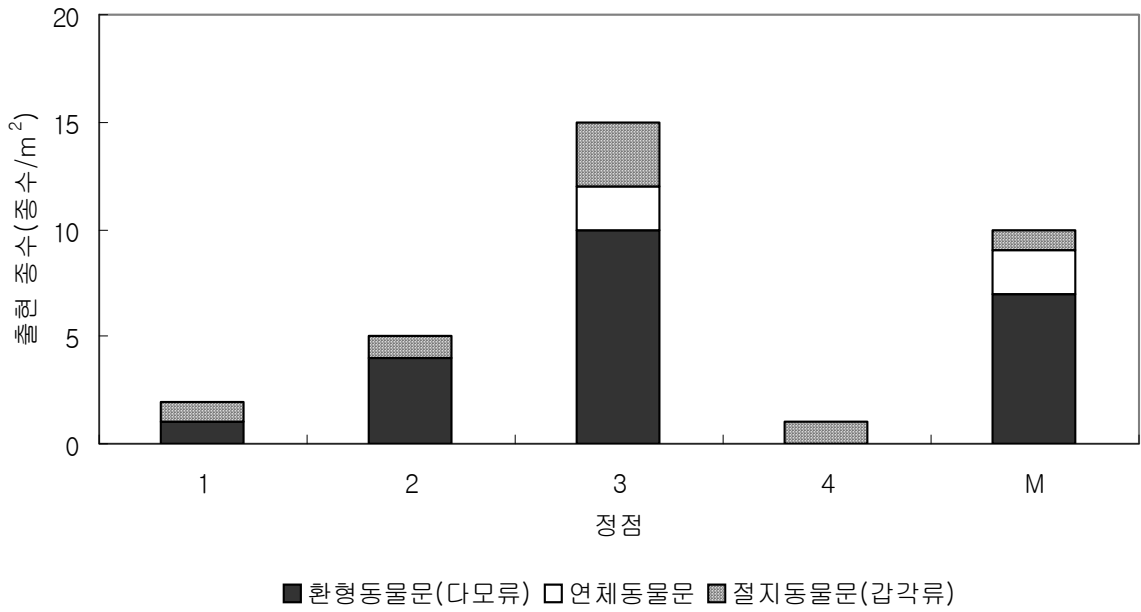


그림 48. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 종수의 변화.

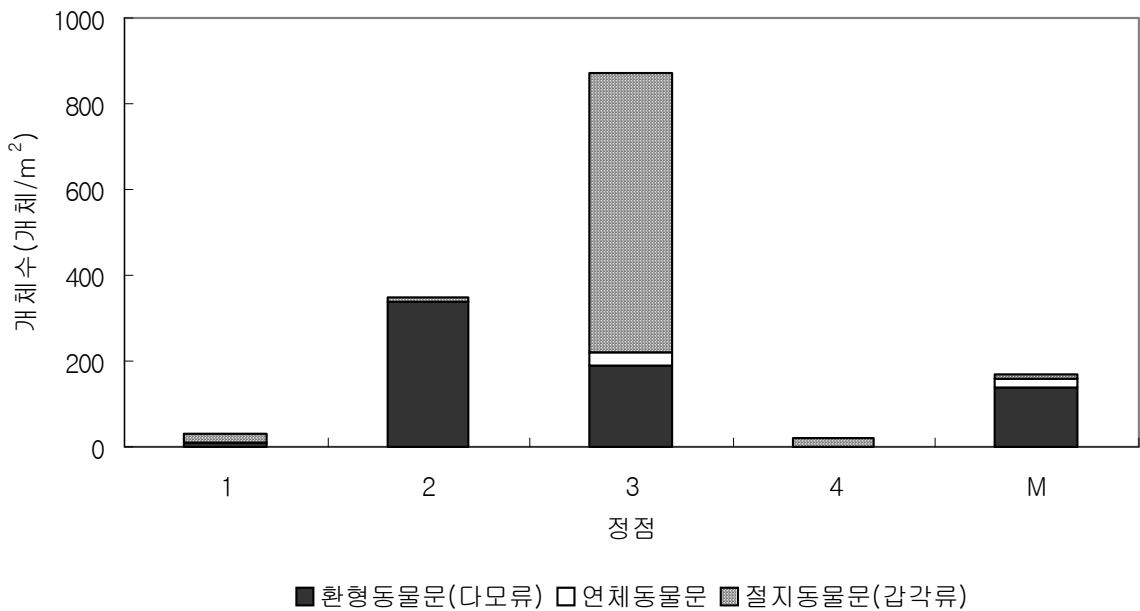


그림 49. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 개체수의 변화.

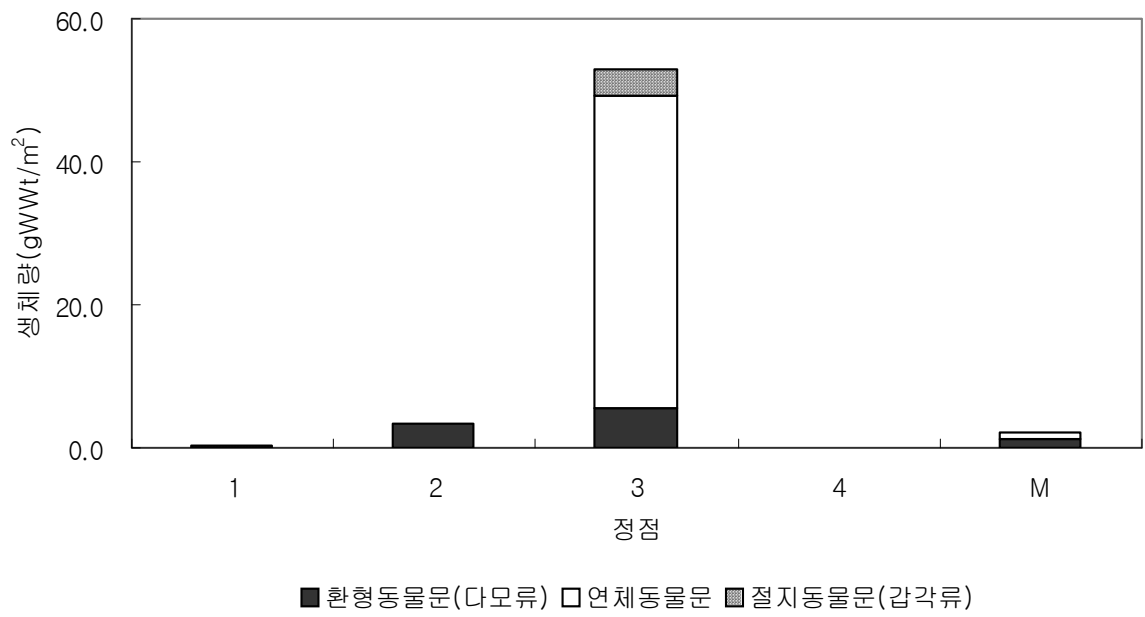


그림 50. 2006년 조사해역에서 채집된 대형저서동물의 정점별 출현 생체량의 변화.

2.5) 2006년 8월 8일

2006년 8월에 mesocosm 실험구 인근 해역과 대조해역(정점 Ref.)을 대상으로 총 5개 정점을 선정하여 현장조사를 실시하였다. 조사 결과, 총 6종, 330개체와 0.79 gWWt의 대형저서동물이 채집되었다. 출현 종수를 보면, 환형동물문의 다모류가 5종이 출현하였고, 절지동물문 단각류가 1종이 채집되었다. 정점에 따라서는 1~4종의 범위에 정점 1에서 가장 적었고, 정점 3에서 가장 많았다. 반면 정점 2에서는 단 1종도 출현하지 않았다. 개체수에 있어서도 다모류는 280개체가 채집되었고, 단각류는 50개체가 출현하였다. 정점에 따라 최소 10개체(정점 1)에서 최대 110개체(정점 3)의 범위에 정점 당 평균 83개체가 출현하였다. 생체량에서도 다모류와 단각류는 각각 0.59 gWWt와 0.20 gWWt를 나타내었고, 정점별로는 0.06~0.53 gWWt의 범위에 정점 4에서 가장 낮은 값을 나타낸 반면, 정점 Ref.에서 가장 높았다. 그러나 8월에는 전반적으로 모든 생물량(출현 종수, 개체수 및 생체량)에서 낮은 값을 보인 특징이 있었다.

2.6) 생태학적 제 지수

본 조사에서는 출현 종이나 밀도가 매우 낮아 11월 14일(1114-1~M)의 정점 1, 2, 3, M 과 11월 28일(1128-M)의 정점 M 을 대상으로 풍부도, 다양도 및 균등도 지수를 구하였다(표 27). 모든 정점에서 생태학적 제 지수는 매우 낮은 값(0.1~0.8)을 보였고, 적조 구제물질이 살포된 이후의 조사(11월 28일-정점 M)에서 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 반면 다양도는 0.1~0.6의 범위에 정점 2에서 상대적으로 높았으나, 전반적으로는 매우 낮은 값이었다. 균등도는 0.1~0.9의 범위로 다양도와 동일한 결과를 나타내었다. 한편 11월 14일의 정점 3과 M, 그리고 11월 28일의 정점 M의 낮은 균등도는 다모류의 *P. pinnata*의 대량 출현에 기인한 결과이었다(표 27).

표 27. 2005년 조사해역의 생태학적 제 지수

지수/정점	1 (14-Nov.)	2 (14-Nov.)	3 (14-Nov.)	4 (14-Nov.)	M (28-Nov.)
풍부도	0.2	0.3	0.1	0.1	0.8
다양도	0.4	0.6	0.1	0.1	0.4
균등도	0.6	0.9	0.2	0.1	0.2

한편 2006년 3월에 출현한 대형저서동물 군집의 생태학적 제 지수 분석에서 단 1종이 출현한 정점 4는 분석에서 제외하였다. 풍부도는 0.3~2.1의 범위에 정점 당 평균 1.0을 나타내었다. 정점 1에서 가장 낮았고, 정점 3에서 가장 높았다. 이 밖에 정점 M의 1.8을 제외하면 기타 정점에서는 1.0이하로 낮았다. 다양도는 최소 0.6(정점 1)에서 최대 2.1(정점 M)의 범위에 평균 1.0이었다. 정점 1을 제외하면 다른 정점에서는 1.0 이상의 값을 나타내었다. 균등도는 0.5~0.9의 범위에 평균 0.7을 나타내었다. 정점 3에서 가장 낮았고, 정점 1과 M에서 가장 높았다. 균등도 수치가 가장 낮았던 정점 3에서는 미동정의 단각류의 밀도가 매우 높았기 때문에 나타난 결과이었다 (표 28). 한편 2006년 8월에 출현한 대형저서동물 군집의 생태학적 제 지수 분석은 전반적으로 정점간 출현 종수나 개체수의 밀도가 상대적으로 매우 낮아 분석을 수행하지 못하였다.

표 28. 2006년 조사해역의 생태학적 제 지수

지수/정점	1	2	3	4	M
풍부도	0.3	0.7	2.1	0.0	1.8
다양도	0.6	1.0	1.5	0.0	2.1
균등도	0.9	0.6	0.5	****	0.9

다. 논의

일반적으로 대상 해역의 유기물 오염의 심화정도에 따른 대형저서 동물 군집의 변화양상을 보면(그림 48), 정상해역에서는 개체의 크기가 상대적으로 크고, 생물 재생산(reproduction)이 상대적으로 느린 k-전략 종들이 우점하게 된다. 그러나, 유기물 오염이 심화되면서 전이 단계를 거쳐 r-전략, 즉 개체의 크기가 상대적으로 작고, 재생산이 빠른 오염지표종 또는 기회종이 폭발적인 밀도 증가를 보인다. 이후 환경이 더욱 악화됨에 따라 기회종마저 사라지는 무생물 구역이 출현하게 된다(Pearson and Rosenberg, 1978). 본 조사 해역은 무생물 구역을 나타내는 정점이 다수 포함되어 있고, 또한 생물이 출현하는 일부 정점에서도 *P. pinnata* 와 같은 기회종이 매우 높은 밀도를 나타내고 있어 유기물 오염정도가 매우 심한 해역으로 구분할 수 있다. 특히 *P. pinnata*는 유기물 함량이 증가하면서 동시에 출현밀도도 증가하는 전형적인 기회종적 특성을 지니는 종으로 한반도 연안 해역 중에서도 유기물 오염이 비교적 심한 해역으로 분류되는 마산만, 진해만과 광양만 등에서 높은 밀도로 출현하고 있다(임과 홍, 1997; 정, 1998).

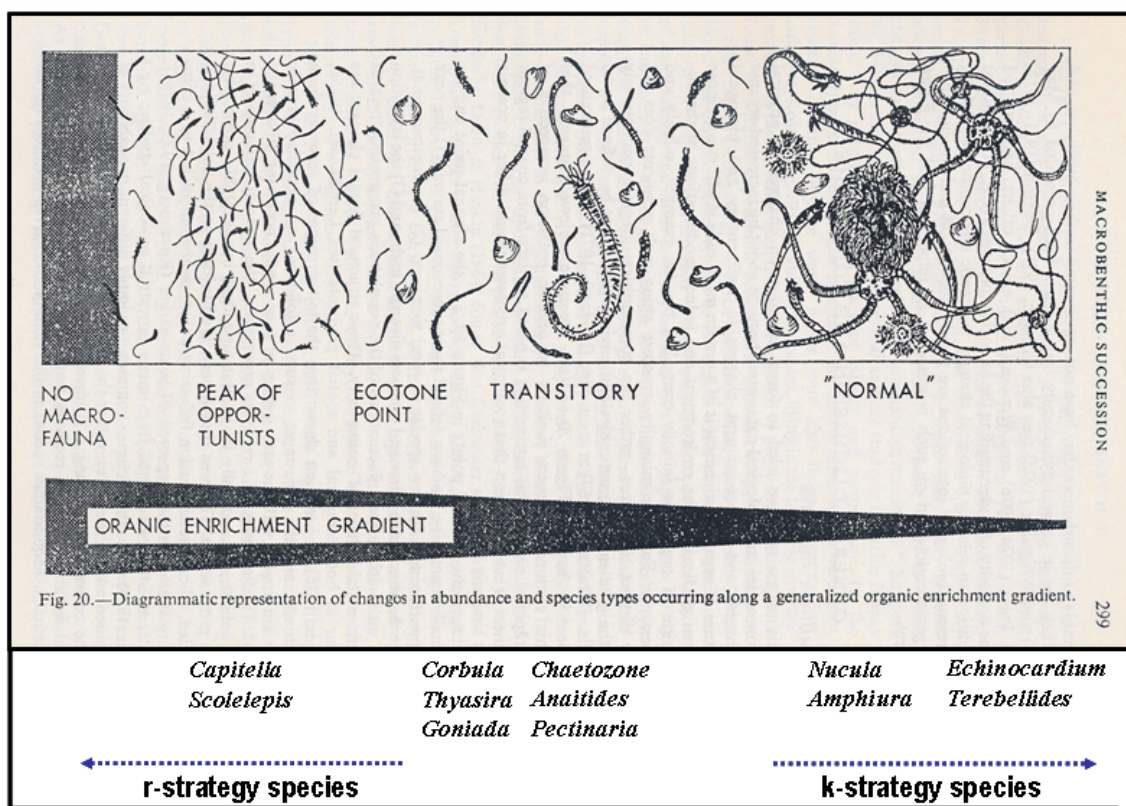


그림 51. 유기물 오염도의 심화에 따른 대형저서동물의 변화양상.

한편 본 조사 해역에서 2005년과 2006년에 실시한 mesocosm 실험구 인근에서의 대형저서동물의 변화를 보면, 출현 종수는 2종에서 13종으로 크게 증가한 반면, 개체수에 있어서는 1,368개체에서 550개체로 약 2배 이상 감소한 결과를 보여 특징적이었다. 특히 생물다양성의 증가와 더불어 오염해역에서 높은 밀도로 출현하는 다모류의 *P. pinnata*의 극적인 감소를 통해서 본 해역의 무기환경이 개선되었다고 단정할 수는 없다. 왜냐하면 *P. pinnata*의 감소와 동시에 2005년에는 출현하지 않았던 다모류의 *C. capitata*와 갑각류의 *Nebalia bipes*가 새롭게 출현하고 있기 때문이다(표 29). 즉 이들 2종 역시 저질토의 환경이 매우 열악한 환경에서 높은 밀도로 출현하는 기회종적인 성격을 보이는 오염지표종으로 분류되고 있다는 점이다. 또한 2006년 8월에 실시한 현장조사에서도 출현 종수나 개체수가 3월과 비교하여 매우 감소하여 이를 반증하고 있다. 따라서 본 해역은 저서생태계의 무기환경 요인의 우선적으로 개선되지 않는 한 해역의 조류 흐름의 정도와 지역적인 차폐성 등을 고려했을 때, 오염정도의 개선을 기대하기가 어려울 것으로 예상되며, 점진적으로 오염상태가 심화 또는 현상태로 지속될 것으로 추정할 수 있어 향후 지속적인 감시와 함께 저질토 개선을 위한 노력이 수반되어야 할 것이다.

표 29. 2005년과 2006년에 출현한 대형저서동물의 목록 및 개체수 변화

종명/정점	2005년 11월			2006년 3월			2006년 8월		
	1	2	M	1	2	M	1	2	M
Phylum Annelida									
Polychaeta									
<i>Capitella capitata</i>					240	50			
<i>Dorvillea matsumaensis</i>					30				
<i>Eteone longa</i>					10				
<i>Eumida sanguinea</i>						20			
Harmothoinae sp.				10		10			
<i>Lumbrineris longifolia</i>									30
<i>Minuspio pulchra</i>									90
<i>Nectoneanthes multignatha</i>			12	12		10			
<i>Ophiodromus pugettensis</i>						20			
<i>Paraprionospio pinnata</i>	72	24	1236						
<i>Sigambra tentaculata</i>						20			
<i>Spiochaetopterus costarum</i>	12				60	10	10		
Phylum Arthropoda									
Crustacea									
Amphipoda									
<i>Amphipoda</i> spp.						10			
<i>Nebalis bipes</i>				20	10				
Phylum Mollusca									
Bivalvia									
<i>Macoma tokyoensis</i>						10			
<i>Theora fragilis</i>						10			
합계	84	36	1248	30	350	170	10	0	120

2. 동물플랑크톤

가. 재료 및 방법

본 조사는 '친환경 적조구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가'를 위하여 마산시 수정리항을 현장 실험 장소로 선정된 후, mesocosm 실험구 설치에 따른 동물플랑크톤의 종조성과 서식밀도의 변화를 파악하기 위하여 실시되었다. 이에 따라 mesocosm 실험구 설치 전인 2005년 9월 21일에 수정리항의 동물플랑크톤을 대상으로 5개의 조사정점에서 예비조사를 실시하였다(그림 49). 본 조사는 mesocosm 실험구 설치 전인 2005년 11월 14일에 4개의 조사정점과 mesocosm 실험구 설치 예정 지점인 정점 M, 총 5개의 조사정점에서 조사를 실시하였다(그림 50). 2005년 11월 20일에는 적조구제물질 살포 후 동물플랑크톤에 미치는 영향을 파악하기 위하여 mesocosm 실험구내에서만 실험을 실시하였는데, 적조구제물질 살포 후 10분, 20분, 30분, 60분, 120분 이후에 동물플랑크톤을 채집하여 적조구제물질이 동물플랑크톤에 미치는 영향을 파악하였으며, 살포후 약 1주일이 경과한 2005년 11월 28일에는 mesocosm 실험구 설치 지점인 정점 M에서만 조사를 실시하여, 이 조사정점을 정점 M'로 표시하였다(그림 50). 또한, mesocosm 실험구 설치에 따른 동물플랑크톤의 종조성과 서식밀도의 변화를 파악하기 위하여 2006년 1월과 3월에 5개의 정점(mesocosm 설치 정점 포함: 정점 M)을 선정한 후 동물플랑크톤 조사를 실시하였으며(그림 51), 2006년 8월에 조사해역에 5개의 정점(참고정점인 정점 Ref. 포함)을 재차 선정하여 조사를 실시하였다(그림 52).

표본의 채집은 선박에 부착된 수심기를 이용 각 정점별 수심을 파악한 뒤 각 정점의 바닥위 1 m 에서부터 표층까지 NORPAC net (North Pacific Standard Net, 구경 45 cm, 망목크기 330 μ m)를 이용하여 수직 채집하였다(그림 53). 채집된 표본들은 선상(船上)에서 7~10% 중성 해수-포르말린 수용액으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 운반된 표본은 해부현미경(OLYMPUS SZ-51) 하에서 대분류한 뒤, 종이나 개체 크기에 따라 필요할 경우 고배율 광학현미경(OLYMPUS CX-21)을 이용하여 가능한 중 수준까지 동정, 분석하였다. 정량적 분

석을 위해서는 현장에서 표시된 유량계의 여수량과 망구크기를 계산한 후, 정점별 출현 개체수를 단위 체적당(m³) 개체수로 환산하여 분석에 이용하였다. 따라서, 본문에 사용된 개체수는 단위 체적당으로 환산된 개체수를 나타낸다. 본 조사 결과 출현한 종의 동정은 Yoo (1995), Smith and Johnson (1996), Chihara and Murano (1997) 및 Young (2002)의 연구결과를 참고로 하였으며, 전체적인 분류체계는 Bowman and Abele (1982)를 바탕으로 하여 실시하였으나, 종 수준까지의 동정이 불가능한 경우, 최대한의 하위 분류군까지 표현하였다. 동물플랑크톤의 군집구조를 파악하기 위하여 이용하는 생태지수는 상용 프로그램인 “Primer 5” 를 사용하였으며, 생태지수를 구하는 식은 다음과 같다.

- 풍부도 지수(Margalef, 1958; Richness index, R')

$$R' = \frac{S-1}{\ln N}$$

S : 출현종의 수

N : 출현개체 수

- 종 다양성 지수(Shannon and Weaver, 1949; Diversity Index, H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

S : 출현종의 수

$$P_i : \frac{N_i}{N}$$

N : 출현개체 수

N_i : i번째 종의 개체 수

- 균등도 지수(Pielou, 1977; Evenness Index, J')

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

S : 출현종의 수

H' : 종 다양성 지수

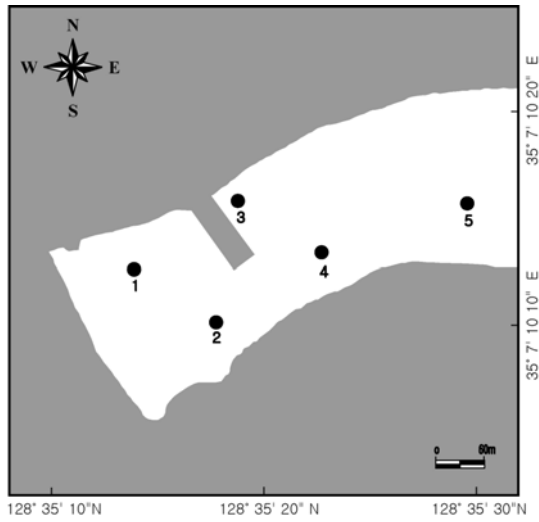


그림 52. 동물플랑크톤 예비조사 정점도.

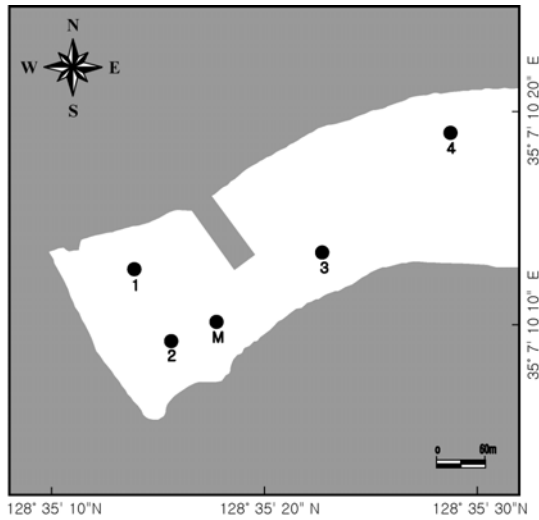


그림 53. 동물플랑크톤 본조사 정점도.



그림 54. 2006년 1, 3월 조사의 동물플랑크톤 정점도.

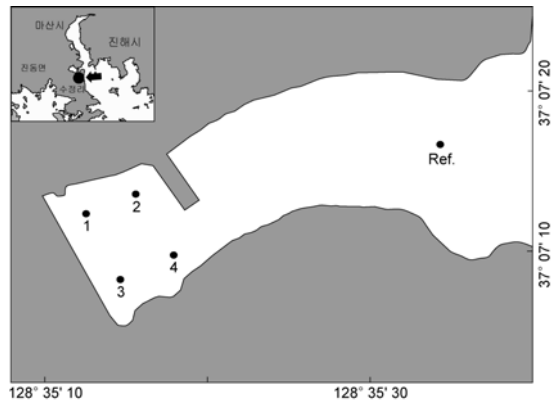


그림 55. 2006년 8월 조사의 동물플랑크톤 정점도.



그림 56. 조사해역에서 NORPAC net로 동물플랑크톤은 채집하고 있는 모습.

나. 결과

1) 2005년 9월 21일 출현양상

1.2) 종조성

조사해역에 서식하는 동물플랑크톤에 대하여 2005년 9월 조사 결과 총 8개 분류군(문, Phylum)에 속하는 25종의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 33). 그 중 동물플랑크톤의 70% 이상을 차지하는 요각류(Copepoda)가 포함되는 절지동물문(Phylum Arthropoda)에 속하는 종들이 총 출현종 수의 52%에 해당되는 13종이 출현하여 가장 우점적인 분류군으로 나타났다(그림 54).

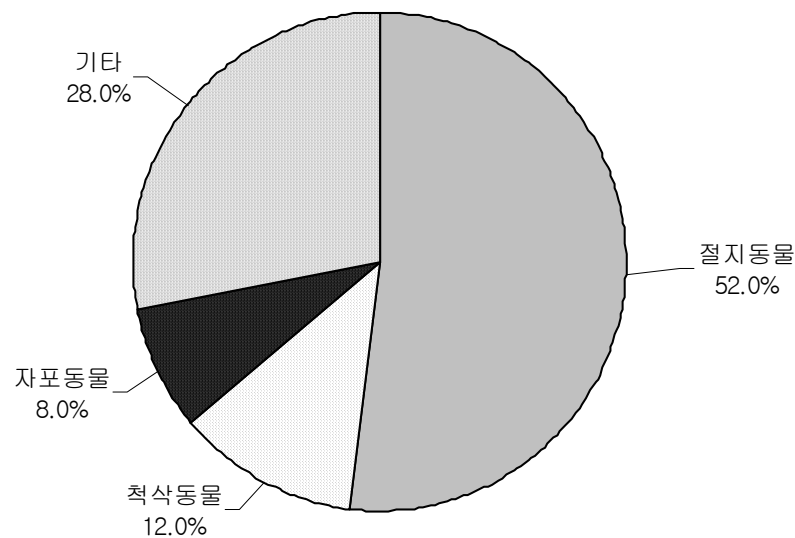


그림 54. 예비 조사시, 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 구성비(%).

표 33. 예비조사 시 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수

출현종/조사정점	1	2	3	4	5	합계
Protozoa						
<i>Noctiluca scintillans</i>	44	88	894	728	1314	3068
Cnidaria						
Hydromedusa	9	24		11		44
Siphonophora	409	24	101	158	145	837
Annelida						
Polychaeta larvae	9	16		21	6	52
Polychaeta trachophores		1				1
Mollusca						
Gastropoda larvae	18					18
Arthropoda						
Crustacea						
Branchiopoda						
<i>Evadne tergestina</i>	18	8	34	11	24	95
<i>Podon</i> spp.					6	6
<i>Penilia avirostris</i>	382	330	624	834	211	2381
Cirriped nauplii and cypris	53	48				101
Copepoda						
<i>Acartia erythraea</i>	2667	2074	3004	971	543	9259
<i>Calanus sinicus</i>				1		1
<i>Hemicyclops japonicus</i>				1		1
<i>Paracalanus</i> spp.		48	169	63	48	328
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	107	16	34	63	48	268
<i>Oithona</i> spp.	71					71
<i>Oithona</i> copepodites		16	68	21		105
Malacostraca						
Decapoda						
Brachyura larvae	9	32			18	59
Macrura larvae		16		11	6	33
Chaetognatha						
<i>Sagitta enflata</i>	9	32	16	21	30	108
<i>Sagitta</i> spp.	26	80	51	42	36	235
Echinodermata		8	33	11	6	58
Chordata						
Urochordata						
Appendicularia spp.	18	32	68	63	12	193
Doliolidae spp.				21	12	33
Salpidae spp.				11	12	23
합계	3849	2893	5096	3063	2477	17378

1.3) 현존량

총 5개 정점에서 총 17,378개체의 동물플랑크톤이 출현하였으며 (표 2-1), 이 중 절지동물문에 속하는 종들이 총 개체수의 73.1%에 해당하는 12,708개체가 출현하여(표 33, 그림 55), 전체 동물플랑크톤 중 분포 밀도에 있어서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 정점별 출현 양상에 있어서는 총 5개 정점 중 정점 3에서 5,096개체가 출현하여 동물플랑크톤의 상대적 분포 밀도가 가장 높은 곳으로 나타난 반면, 정점 5에서 2,477개체가 출현하여 5개의 조사정점 중 상대적 분포밀도가 가장 낮은 곳으로 나타났다(표 33, 그림56).

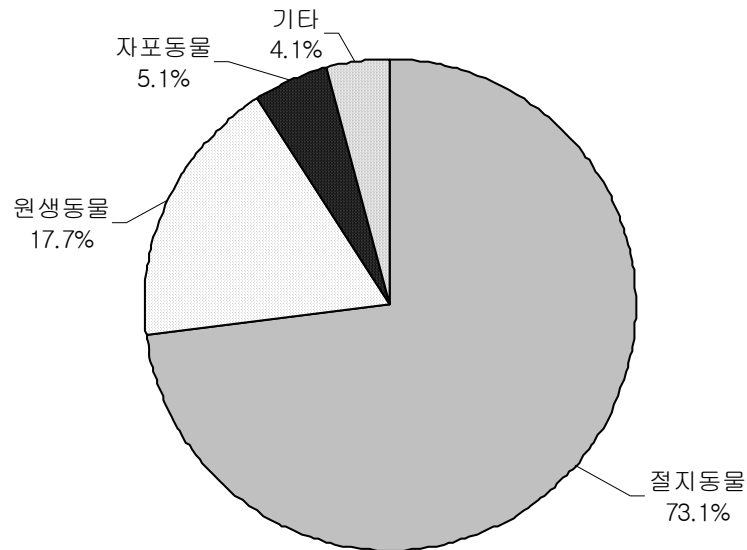


그림 55. 예비 조사시, 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현 개체 수의 조성비(%).

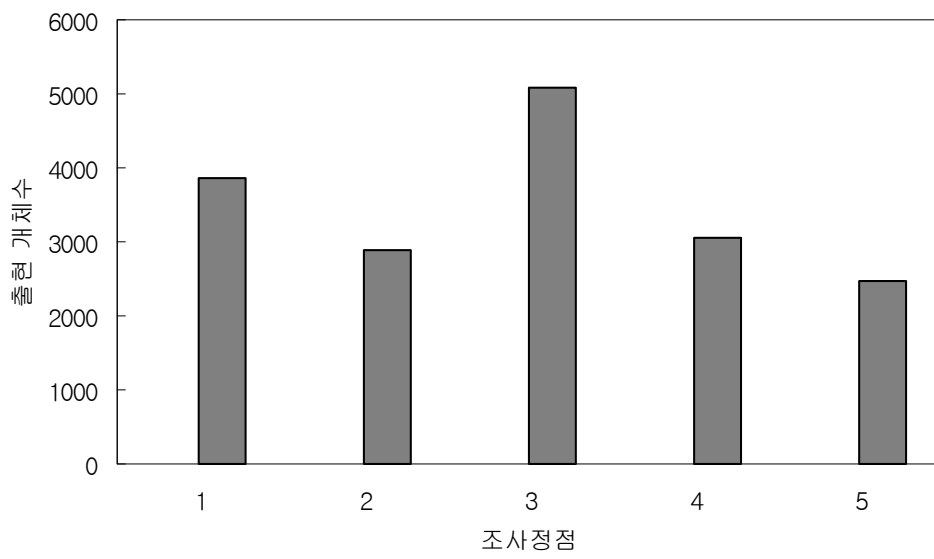


그림 56. 예비 조사시, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 조사 정점별 출현개체 수.

1.4) 우점종

조사해역에서 출현한 총 25종의 출현 동물플랑크톤 중에서 출현 개체 수에서 가장 우점적인 종(류)은 절지동물에 속하는 요각류(Copepoda) 중, *Acartia erythraea*로서 총 출현개체 수의 53.2%에 해당하는 9,259개체가 출현하여 최우점종으로 나타났고, 다음으로 원생동물(Protozoa)인 *Noctiluca scintillans*로서, 전체 출현개체수의 17.7%에 해당하는 3,068개체가 출현하여 차우점종으로 나타났다(표 33).

1.5) 정점별 군집분석

출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 유사도는 정점 1, 2가 하나의 그룹으로 정점 3, 4, 5가 또 하나의 그룹으로 묶여졌으나, 전체적으로는 유사도 50% 이상의 범위에서 하나의 그룹으로 묶여져, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현양상은 비슷한 것으로 사료되었다(그림 57).

각 정점별로 생태학적 지수를 산출해 본 결과, 정점 4에서 풍부도, 균등도 및 다양도가 각각 2.2, 0.6, 1.8이 산출되어 다른 정점들에 비해 상대적으로 높은 값이 나타난 반면, 정점 1에서 균등도 및 다양도가 0.4, 1.2가 산출되어 다른 정점들에 비해 상대적으로 낮은 값이 나타났다(표 31).

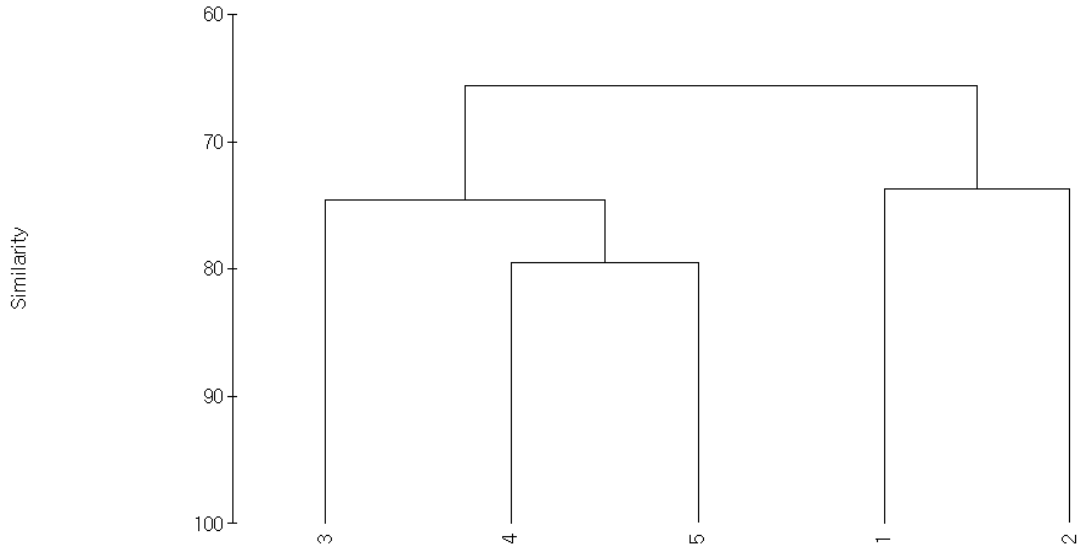


그림 57. 예비조사시, 동물플랑크톤 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis) 결과.

표 31. 예비조사 시 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 생태지수

지수/조사정점	1	2	3	4	5
풍부도	1.7	2.1	1.3	2.2	2.0
균등도	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5
다양도	1.2	1.2	1.3	1.8	1.5

2) 2005년 11월 14일 출현양상

2.1.) 종조성

조사해역에 서식하는 동물플랑크톤의 조사 결과 30종의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 32). 그 중 절지동물에 포함되는 갑각류가 총 출현종 수의 56.7%에 해당되는 17종이 출현하여 가장 우점적인 분류군으로 나타났다(그림 58).

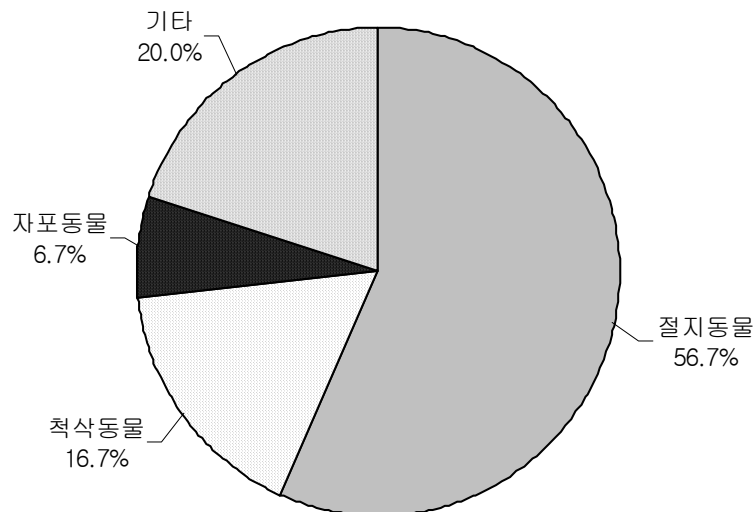


그림 58. 2005년 11월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조성비(%).

표 32. 2005년 11월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수

출현종/조사정점	1	2	3	4	M	합계
Protozoa						
<i>Noctiluca scintillans</i>	19		5	3	14	41
Cnidaria						
Hydromedusa	5		5	9		18
Siphonophora	42	13	25	29	10	120
Annelida						
Polychaeta larvae		7			7	14
Mollusca						
Bivalvia larvae			5			5
Gastropoda larvae			5			5
Arthropoda						
Crustacea						
Branchiopoda						
<i>Evadne nordmanni</i>		20	35	6	17	78
<i>Evadne tergestina</i>	28	13	60		52	154
<i>Podon</i> sp.	118	160	70	29	198	574
<i>Penilia avirostris</i>	14	20		31		66
Cirriped nauplii and cypris	104	127	70	89	66	455
Ostracoda		7	5	6		17
Copepoda						
<i>Acartia erythraea</i>	56	160	160	217	153	747
<i>Acartia omorii</i>	1200	1653	1480	1806	1795	7934
calanoid copepodies	28		40	23	14	105
<i>Calanus sinicus</i>		53	40	11	14	119
<i>Centrophages abdominalis</i>					14	14
Harpacticoida		53				53
<i>Paracalanus</i> spp.	212	213	340	46	56	866
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		1				1
<i>Oithona</i> spp.		27				27
Decapoda						
Brachyura larvae			5	3		8
Euphausiacea						
Euphausiacea egg			5			5
Chaetognatha						
<i>Sagitta enflata</i>				6		6
<i>Sagitta</i> sp.				17	7	24
Chordata						
Urochordata						
Appendicularia spp.	419	300	235	106	383	1442
Doliolidae spp.					14	14
Tadpole larvae	71	33	75		52	231
Fish larvae				3		3
Fish egg					3	3
합계	2315	2861	2665	2437	2870	13148

2.2) 현존량

총 5개 정점에서 총 13,148개체의 동물플랑크톤이 출현하였으며 (표 32), 이 중 절지동물문에 속하는 종들이 총 개체수의 85.4%에 해당되는 11,223개체가 출현하여(표 32, 그림 59), 전체 동물플랑크톤 중 분포 밀도에 있어서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 정점별 출현 양상에 있어서는 정점 M에서 2,870개체가 출현하여 총 5개 정점 중 동물플랑크톤의 상대적 분포밀도가 높은 곳으로 나타난 반면, 정점 1에서 2,315개체가 출현하여 5개 조사정점 중 상대적 분포밀도가 가장 낮은 곳으로 나타났다(표 32, 그림 60).

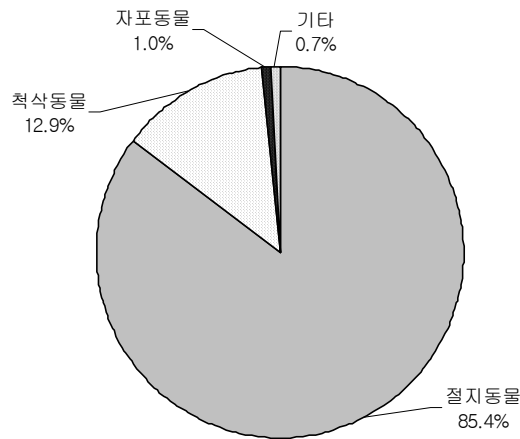


그림 59. 2005년 11월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현 개체 수의 조성비(%).

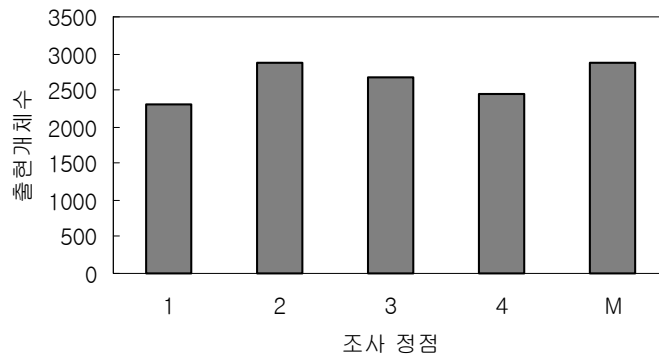


그림 60. 2005년 11월 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수.

2.3) 우점종

총 30종의 출현 동물플랑크톤 중에서 출현개체 수에서 가장 우점적인 종(류)은 절지동물문에 속하는 요각류 중 *Acartia omorii*로 총 출현개체 수의 60.3%에 해당하는 7,934개체가 출현하였다. 반면, 요각류 중 *Pseudodiaptomus marinus*로 정점 2에서 단 1개체만이 출현하였다(표 32).

2.4) 정점별 군집분석

출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 유사도는 정점 4가 약간의 차이는 있었으나, 전체적으로 유사도 50% 이상의 범위에서 하나의 그룹으로 묶여져, 조사 해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현양상은 비슷한 것으로 사료되었다(그림 61).

각 정점별로 생태학적 지수를 산출해본 결과, 정점 3에서 풍부도, 균등도 및 다양도가 각각 2.3, 0.6, 1.7이 나와 비교적 높은 값을 나타낸 반면, 정점 4에서 균등도 및 다양도가 각각 0.4, 1.1로 비교적 낮은 값을 나타내었다(표 33).

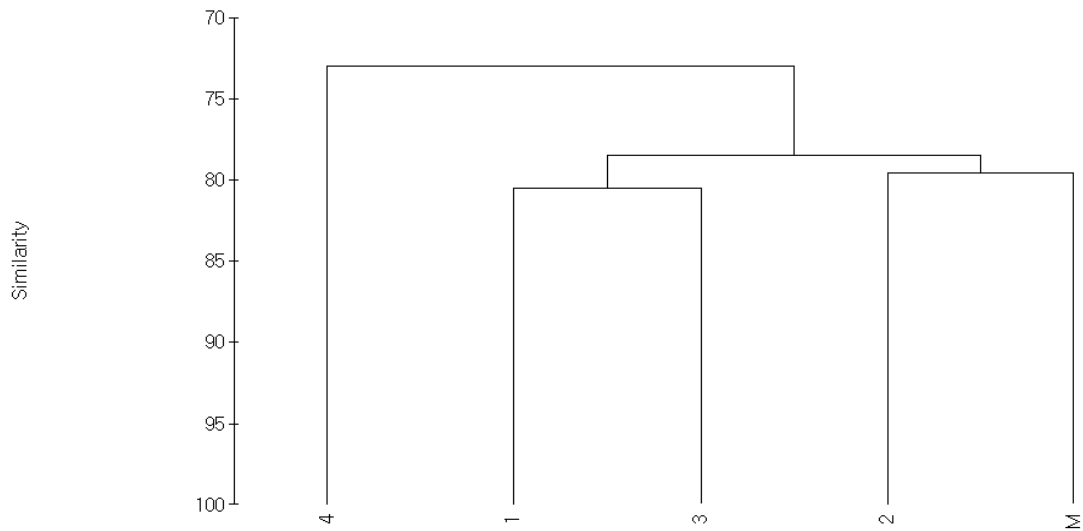


그림 61. 2005년 11월 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집분석 (Cluster analysis) 결과.

표 33. 2005년 11월 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 생태지수

생태지수/정점	1	2	3	4	M
풍부도	1.5	2	2.3	2.1	2
균등도	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5
다양도	1.6	1.6	1.7	1.1	1.4

3) 2006년 1월 18일 출현양상

3.1) 종조성

조사해역에 서식하는 동물플랑크톤의 조사 결과 총 7개 분류군(문, Phylum)에 속하는 25종의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 34). 그 중 동물플랑크톤의 70% 이상을 차지하는 요각류(Copepoda)를 포함하는 갑각류(Crustacea)가 총 출현종 수의 72.0%에 해당되는 18종이 출현하여 가장 우점적인 분류군으로 나타났다(표 34, 그림 62).

3.2) 현존량

총 5개 정점에서 총 8,037개체의 동물플랑크톤이 출현하였으며(표 34), 이 중 절지동물문(Phylum Arthropoda)에 속하는 종들이 총 출현개체 수의 98.2%에 해당되는 7,893개체가 출현하여(표 34, 그림 63), 전체 동물플랑크톤 중 분포 밀도에 있어서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 정점별 출현 양상에 있어서는 총 5개 정점 중 정점 3에서 2,594개체가 출현하여, 동물플랑크톤의 상대적 분포밀도가 가장 높은 곳으로 나타난 반면, 정점 2에서는 623개체가 출현하여 5개 조사정점 중 동물플랑크톤의 상대적 분포밀도가 낮은 곳으로 나타났다(표 33, 그림 64).

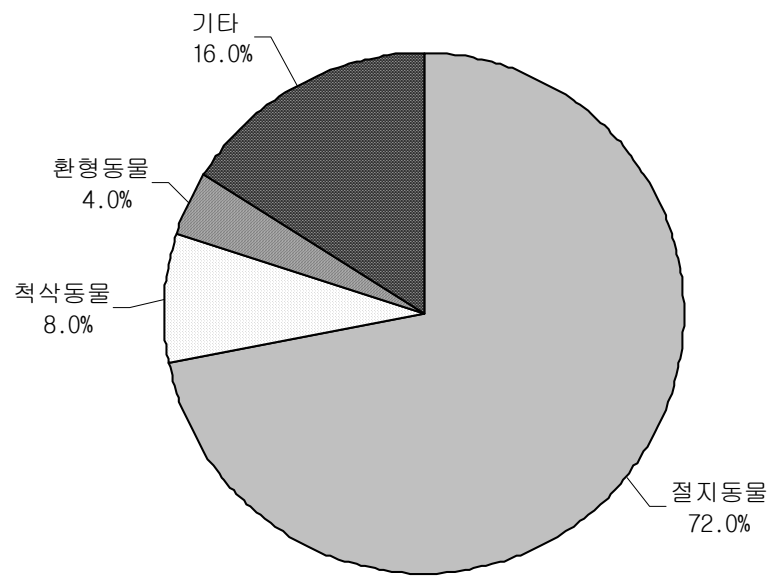


그림 62. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조성비(%).

표 34. 2006년 1월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현 개체 수

출현종/조사정점	1	2	3	4	M	합계
Annelida						
Polychaeta larvae		1	7	3	3	13
Mollusca						
Bivalvia larvae	5	1	13	3	6	28
Arthropoda						
Crustacea						
Branchiopoda						
<i>Podon</i> sp.				3		3
Cirriped nauplii and cypris	5				3	8
Ostracoda				3		3
Copepoda						
<i>Acartia omorii</i>	1440	587	2280	2086	926	7318
Calanoid copepodites					6	6
<i>Calanus sinicus</i>		2			6	8
<i>Corycaeus</i> spp.	10	2	13	6		31
<i>Centropages abdominalis</i>			40			40
<i>Centropages</i> copepodites						
<i>Paracalanus parvus</i>	50	20	160	23	63	316
<i>Paracalanus</i> copepodites		2				2
<i>Paracalanus crassirostris</i>	10		27	6	6	48
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	10		13		6	29
<i>Sapphrina</i> spp.				6		6
Ampipoda						
Gammaridea		1		9		10
Caprellidea	10	3	7	11	17	49
Euphausiacea						
Euphausiacea egg			13	3		16
Cumacea larvae		1				1
Chelicerates						
Pyconogonida			1			1
Chaetognatha						
<i>Sagitta</i> sp.	35	3	13	9	6	66
Echinodermata larvae	10			3		13
Chordata						
Urochordata						
Appendicularia spp.			7		6	12
Fish larvae	6				6	12
합계	1591	623	2594	2171	1057	8037
출현종/조사정점	1	2	3	4	M	합계
Protozoa						
<i>Noctiluca scintillans</i>	755	164	1113	60	766	2858

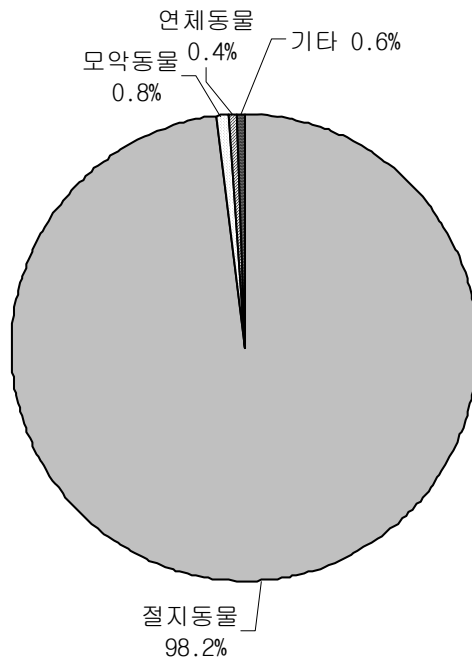


그림 63. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현개체 수의 조성비(%).

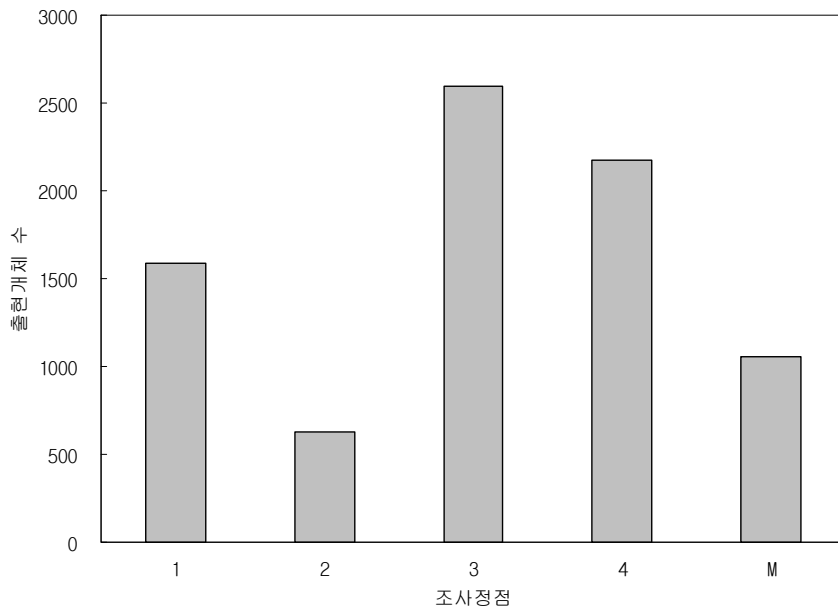


그림 64. 2006년 1월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수.

3.2) 우점종

출현한 동물플랑크톤 25종 중 원생동물을 제외하고, 출현개체 수에서 가장 우점적인 종(류)은 갑각류에 속하는 요각류인 *Acartia omorii*로서 총 출현개체 수의 91.1%에 해당하는 총 7,318개체가 출현하여 최우점종으로 나타났으며, 다음으로는 역시 요각류인 *Paracalanus parvus*로 316개체 출현하여 총 출현개체 수의 3.9%를 차지하는 차우점종으로 나타났다(표 34, 그림 65).



그림 65. 1월 조사시, 최우점종(*Acartia omorii*)과 차우점종(*Paracalanus parvus*)의 현미경 사진.

3.3) 정점별 군집분석

출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 유사도는 정점 1과 정점 M이 하나의 그룹으로, 정점 3과 정점 4가 하나의 그룹으로 나뉘어졌으나, 정점별 유사도 50% 이상의 범위에서 전체적으로 하나의 그룹으로 묶여져서 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현양상은 비슷한 것으로 사료되었다(그림 66).

각 정점별 생태지수를 산출해 본 결과, mesocosm 설치 정점인 정점 M에서 풍부도, 균등도, 다양도가 각각 1.7, 0.2, 0.6이 산출되어 비교적 높은 값이 나타난 반면, 정점 4에서 균등도, 다양도가 각각

0.1, 0.3이 산출되어 비교적 낮은 값을 나타내었다(표 35).

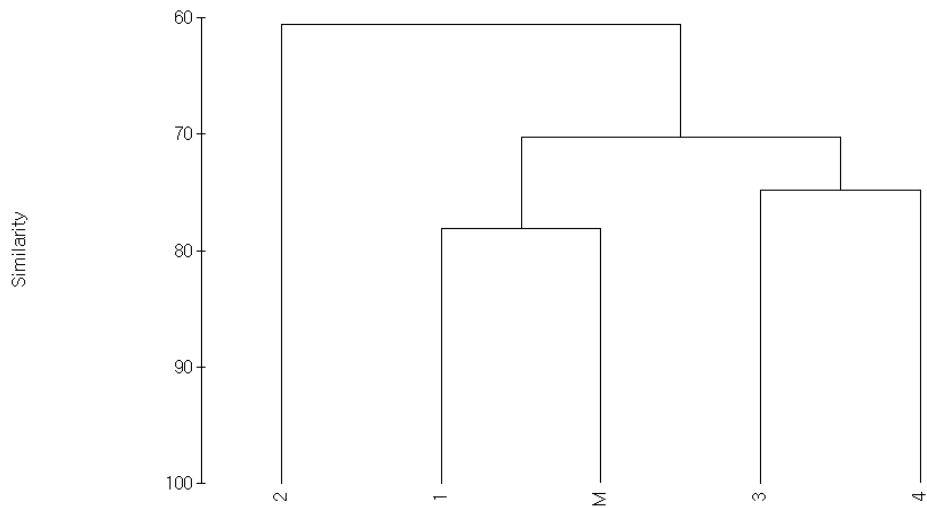


그림 66. 2006년 1월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis)결과.

표 35. 2006년 1월 조사해역에서 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수

지수/조사정점	1	2	3	4	M
풍부도	1.4	1.6	1.5	1.7	1.7
균등도	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
다양도	0.5	0.3	0.6	0.3	0.6

3) 2006년 3월 18일 출현양상

3.1) 종조성

조사해역에 서식하는 동물플랑크톤의 조사 결과 총 7개 분류군(문, Phylum)에 속하는 17종의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 36). 그 중 동물플랑크톤의 70% 이상을 차지하는 요각류(Copepoda)를 포함하는 갑각류(Crustacea)가 총 출현종 수의 58.8%에 해당되는 10종이 출현하여 가장 우점적인 분류군으로 나타났다(표 36, 그림 67).

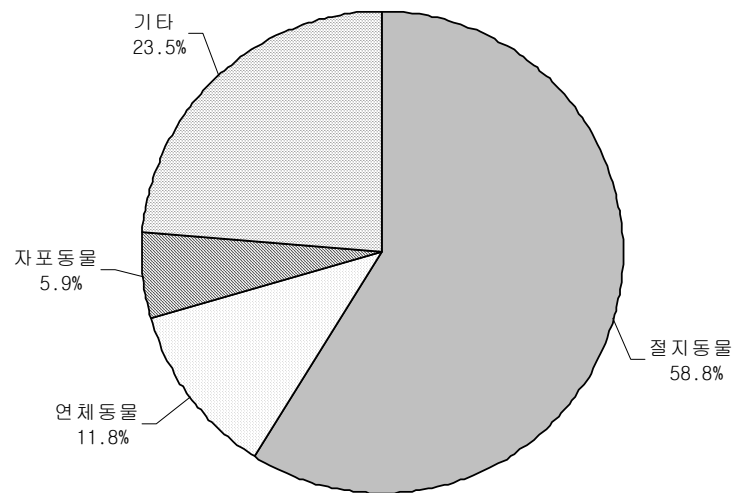


그림 67. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현종 수의 조성비(%).

표 36. 2006년 3월 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수

출현종/조사정점	1	2	3	4	M	합계
Cnidaria						
Hydromedusa	9	36	17	4	5	71
Annelida						
Polychaeta larvae				1		1
Mollusca						
Bivalvia larvae		1	3			4
Gastropoda larvae	1	1	1			3
Arthropoda						
Crustacea						
Copepoda						
<i>Acartia omorii</i>	31	54	34	19	16	154
Calanoid copepodites	1			1		2
<i>Calanus sinicus</i>				1		1
<i>Corycaeus</i> spp.				1	2	3
<i>Centropages</i> Copepodites					1	1
<i>Paracalanus parvus</i>	1					1
<i>Sapphrina</i> spp.			1			1
Decapoda						
Anomura larvae	4	1	1	2		9
Macrura larvae				1	2	3
Euphausiacea						
Euphausiacea egg		3				3
Chaetognatha						
<i>Sagitta</i> spp.	10	5	11	4	5	36
Echinodermata larvae	1	1	4	2	3	12
합계	60	102	73	37	34	305
출현종/조사정점	1	2	3	4	M	합계
Protozoa						
<i>Noctiluca scintillans</i>	4014			3404	1606	9025

3.2) 현존량

총 5개 정점에서 총 305개체의 동물플랑크톤이 출현하였으며(표 36) 이 중 절지동물문(Phylum Arthropoda)에 속하는 종들이 총 개체 수의 58.4%에 해당하는 178개체가 출현하여(표 36, 그림 68), 전체 동물플랑크톤 중 분포 밀도에 있어서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 정점별 출현 양상에 있어서는 총 5개 정점 중 정점 2에서 102개체가 출현하여 동물플랑크톤의 상대적 분포 밀도가 가장 높은 곳으로 나타난 반면, 정점 M에서는 34개체가 출현하여 5개의 조사 정점 중 상대적 분포밀도가 가장 낮은 곳으로 나타났다(표 36, 그림 69).

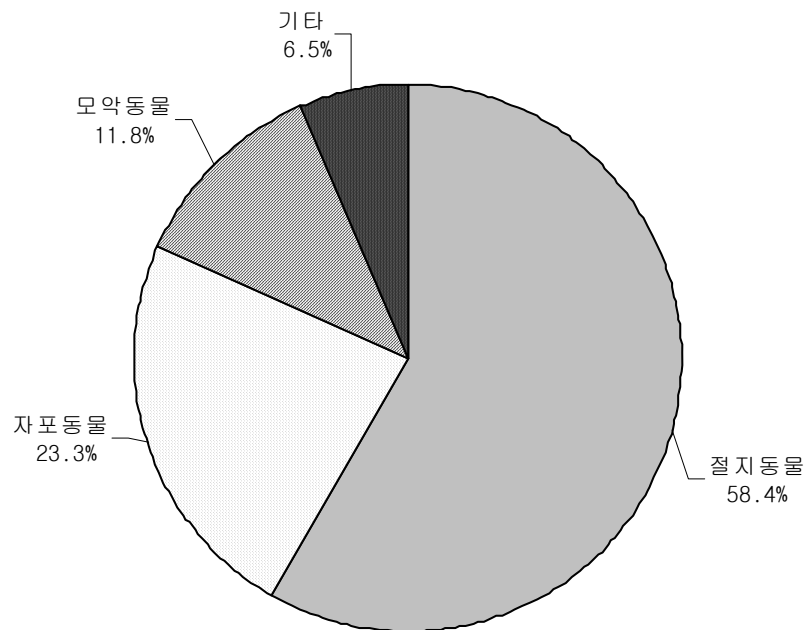


그림 68. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군 별 출현개체 수의 조성비(%).

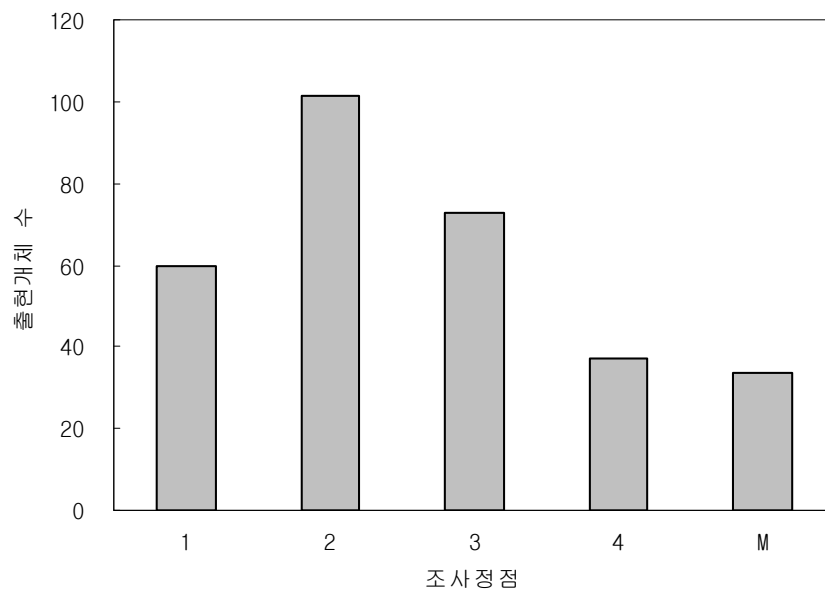


그림 69. 2006년 3월에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점 별 출현개체 수.

3.3) 우점종

원생동물을 제외한 총 17종의 출현 동물플랑크톤 중에서 출현개체 수에서 가장 우점적인 종(류)은 갑각류에 속하는 요각류의 일종인 *Acartia omorii* 로서 총 출현개체 수의 50.4%에 해당하는 총 154개체가 출현하여 최우점종으로 나타났다. 다음으로 자포동물문(Phylum Cnidaria)에 속하는 *Hydromedusa* 가 71개체 출현하여 총 출현개체 수의 23.3%를 차지하는 차우점종으로 나타났다(표 36, 그림 70).



그림 70. 2006년 3월 최우점종(*Acartia omorii*)과 차우점종(*Hydromedusa*)의 현미경 사진.

3.4) 정점별 군집분석

출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 유사도는 정점 4, M이 하나의 그룹으로 정점 1, 2, 3이 나머지 그룹으로 나누어졌으나, 정점별 유사도 50% 이상의 범위에서 전체적으로 하나의 그룹으로 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현양상은 비슷한 것으로 사료되었다(그림 71). 각 정점별로 생태학적 지수를 산출해본 결과, 정점 4에서 풍부도, 균등도 및 다양도가 각각 2.5, 0.7, 1.7이 산출되어 상대적으로 높은 값을 나타낸 반면, 정점 2에서 풍부도, 균등도 및 다양도가 각각 1.5, 0.5, 1.1이 산출되어, 상대적으로 낮은 값을 나타내었다(표 37).

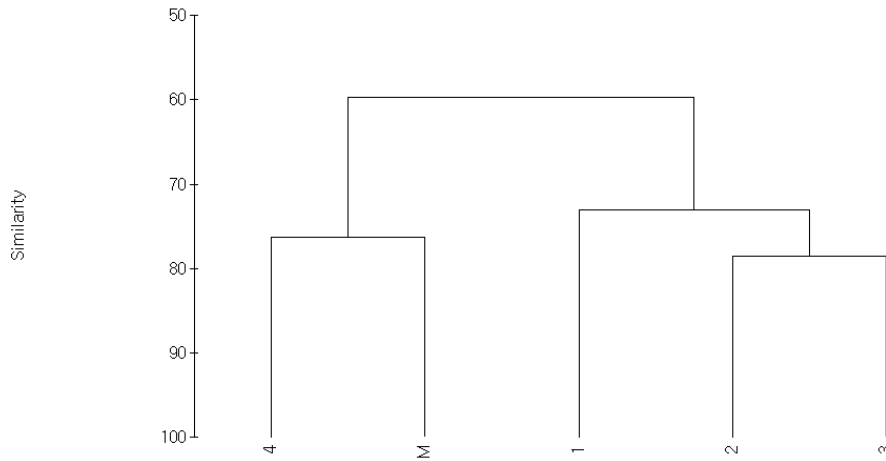


그림 71. 2006년 3월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis)결과.

표 37. 2006년 3월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수

지수/조사정점	1	2	3	4	5
풍부도	1.7	1.5	1.6	2.5	1.7
균등도	0.7	0.5	0.7	0.7	0.8
다양도	1.4	1.1	1.5	1.7	1.6

4) 2006년 8월 8일 출현양상

4.1) 종구성

조사해역에 서식하는 동물플랑크톤의 조사 결과 총 7개 분류군에 속하는 22종 3,192개체의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 38). 그 중 갑각류를 포함하는 절지동물이 총 출현종 수의 63.6%를 차지하는 14종이 출현하여 가장 우점적인 분류군으로 나타났다(표 38, 그림 72).

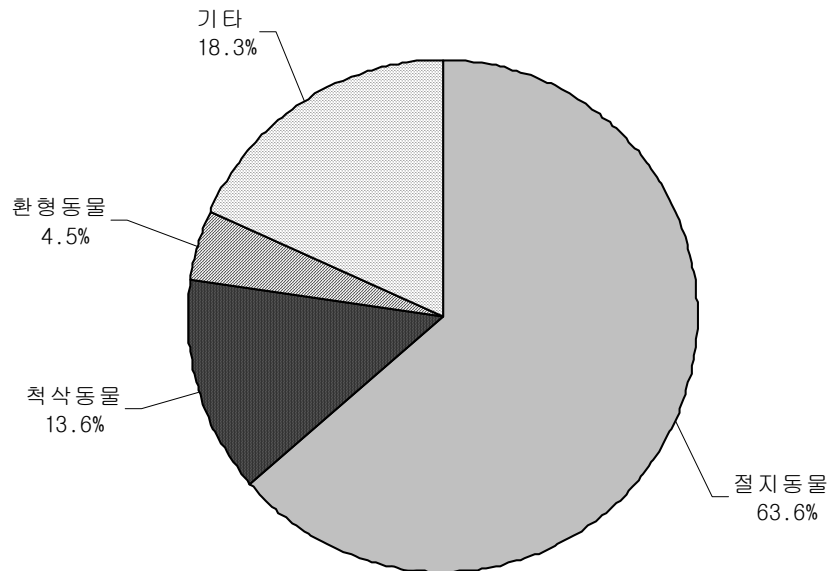


그림 75 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군 별 출현종 수의 구성비(%).

표 38. 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개체 수

출현종/조사정점	1	2	3	4	Ref	합계
Protozoa						
<i>Noctiluca scintillans</i>			2		5	7
Cnidaria						
Hydromedusa		5	33	10	61	109
Annelida						
Polychaeta larvae	26	49	215	54	80	424
Mollusca						
Gastropoda larvae	2					2
Arthropoda						
Crustacea						
Branchiopoda						
<i>Evadne nordmanni</i>	2	9	13	6	445	475
<i>Evadne tergestina</i>	2	52	20	8	5	87
<i>Penilia avirostris</i>	82	71	518	288	136	1095
Cirriped nauplii and cypris	6	6	9		19	40
Ostracoda				2		2
Copepoda						
<i>Acartia copepodites</i>	32	29	95	48	49	253
<i>Acartia erythraea</i>	16	8	20	10	2	56
<i>Centropages tenuiremis</i>		2				2
<i>Labidocera japonica</i>		3				3
<i>Paracalanus parvus</i>			2		14	16
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	12	6	11	6	78	113
Decapoda						
Macrura larvae	2	2	2	6	5	17
Anomura larvae	2					2
Brachyura larvae	4	17	16	40	28	105
Chaetognatha						
<i>Sagitta</i> spp.	48	48	82	104	54	336
Chordata						
Urochordata						
Appendicularia spp.		6	9		5	20
Fish larvae		2				2
Fish egg	2	8	4	12		26
합계	238	323	1051	594	986	3192

4.2) 현존량

총 5개 정점에서 총 3,192개체의 동물플랑크톤이 출현하였으며(표 38), 이 중 절지동물문에 속하는 종들이 총 출현개체 수의 71.0%에 해당하는 2,266개체가 출현하여(표 38, 그림 73), 전체 동물플랑크톤 중 분포 밀도에 있어서 가장 우점하는 분류군으로 나타났다. 정점별 출현 양상에 있어서는 총 5개 조사 정점 중 정점 3에서 1,051개체가 출현하여 동물플랑크톤의 상대적 분포 밀도가 가장 높은 곳으로 나타난 반면, 정점 1에서 238개체가 출현하여 5개의 조사정점 중 상대적 분포밀도가 가장 낮은 곳으로 나타났다(표 38, 그림 74).

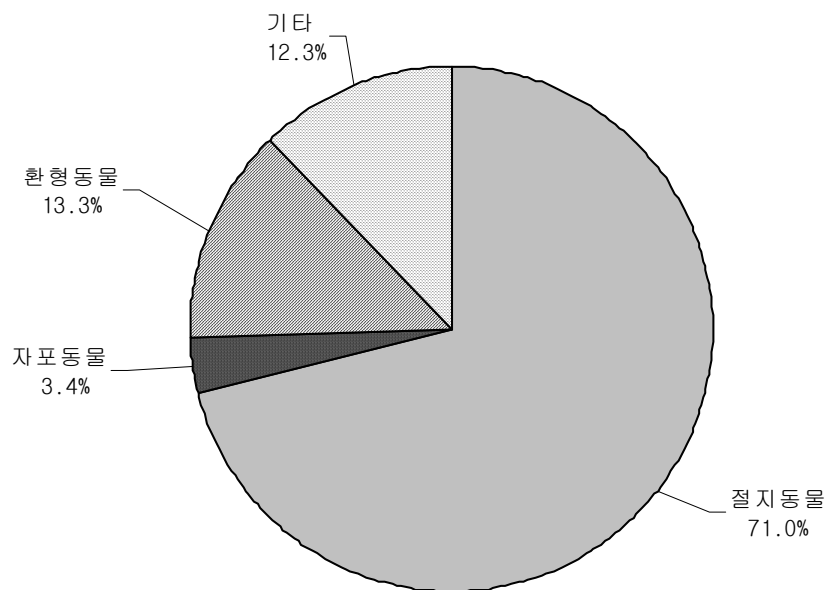


그림 76 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 분류군별 출현개체 수의 구성비(%)

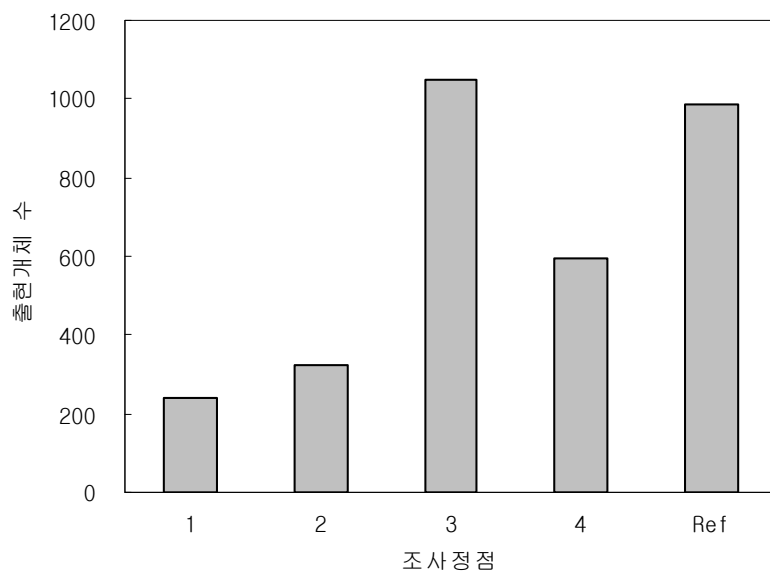


그림 77. 2006년 8월 조사해역에 분포하는 동물플랑크톤의 조사정점별 출현개체 수

4.3) 우점종

조사해역에서 출현한 총 22종의 동물플랑크톤 중에서 출현개체 수에서 가장 우점적인 종(류)은 지각류(Branchiopoda)에 속하는 *Penilia avirostris*로서 총 출현개체 수의 34.3%에 해당하는 총 1,095 개체가 출현하여 최우점종으로 나타났으며, 다음으로 역시 지각류에 속하는 *Evadne nordmanni*로 475개체가 출현하여 전체 출현개체 수의 14.9%를 차지하는 차우점종으로 나타났다(표 38, 그림 75).



그림 78. 2006년 8월의 최우점종(*Penilia avirostris*)과 차우점종(*Evadne nordmanni*)의 현미경 사진.

4.4) 정점별 군집분석

출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 유사도는 정점 Ref.가 약간의 차이는 있었으나, 정점별 유사도 50% 이상의 범위에서 전체적으로 하나의 그룹으로 묶어져, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 출현 양상은 비슷한 것으로 사료되었다(그림 76).

각 정점별로 생태학적 지수를 산출해 본 결과, 정점 2에서 풍부도, 균등도 및 다양도가 각각 2.8, 0.8, 2.3로 비교적 높은 값이 산출되어, 다른 정점들에 비해 상대적으로 안정된 환경으로 사료된 반면, 정점 4에서 풍부도, 균등도, 다양도가 각각 1.9, 0.7, 1.7로 비교적 낮은 값이 산출되어 다른 정점들에 비해 상대적으로 불안정한 환경으로 사료되었다(표 39).

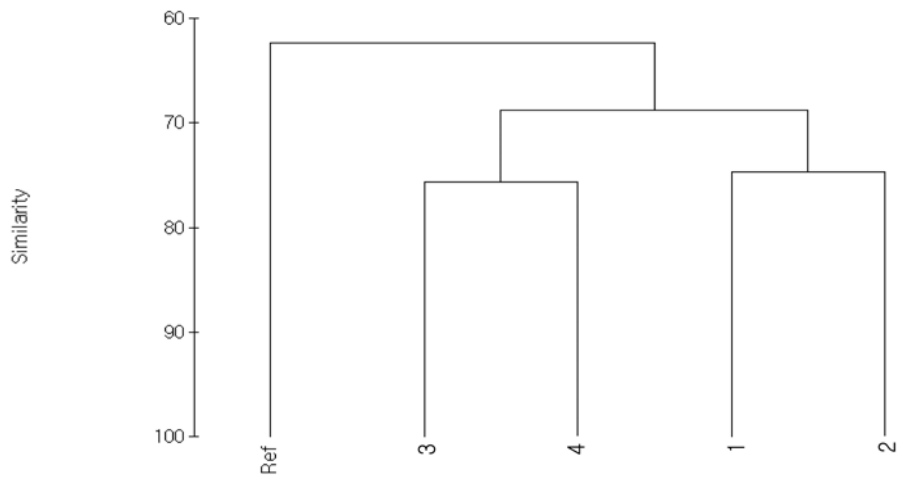


그림 79 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 각 정점별 군집에 대한 군집분석(Cluster analysis)결과.

표 39. 2006년 8월 조사해역에 출현한 동물플랑크톤 군집의 정점별 생태지수

지수/조사정점	1	2	3	4	Ref
풍부도	2.4	2.8	2.2	1.9	2.0
균등도	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7
다양도	1.9	2.3	1.7	1.7	1.9

3. 식물플랑크톤

가. 재료 및 방법

1) 예비조사

식물플랑크톤 예비조사는 2003년 8월부터 2005년 4월 까지 매달 수정리의 방과제 외측의 3개 정점을 대상으로 실시하였다 (그림 3). 시료의 채집은 난센 채수기를 사용하여 각 정점에서 표층(표층 이심 0.3 M)과 저층(바닥에서 1 M 상층부) 해수를 각각 1 L 정량 채수했다. 채집한 시료는 현장에서 20 µm 및 125 µm nylon mesh로 여과 농축 한 다음 Lugol 용액을 첨가하여 최종 농도를 5%로 고정했다. 고정시료는 50 mL 용량의 polyethylene 채집병에 넣고 보관한 다음, 일정량을 Sedgwick-Rafter counting chamber에서 광학 현미경 (Olympus BX50)으로 최대 400 배율에서 관찰되었으며 현존량 및 종다양성을 조사했다. 종의 동정은 심(1994)과 Thomas(1997)의 방법을 따랐으며, 특히 분류 과정에서 종(species) 단위 까지 분류 기재 하였으나 동일 속 (genus)에 속하지만 형태가 유사하여 타종과 명확한 구분이 어려운 경우에는 속명만을 기재하고 spp.로 처리하였다.

2) 본조사 (2005-2006년)

2005년의 9월과 11월, 2006년 1월, 3월, 5월, 8월에 각각 방과제의 내외측에서 조사를 실시했다(그림 77, 78, 79, 80). 시료채취, 시료의 처리 및 분석은 1)의 방법과 동일하게 실시했다.



그림 80. 2005년 9월 마산시 수정리 식물플랑크톤 조사정점



그림 81. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤 조사정점

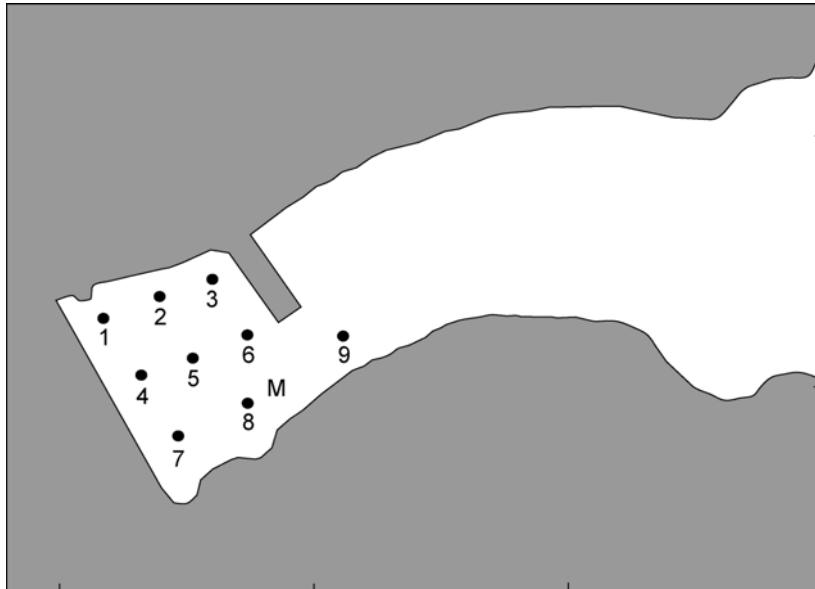


그림 82. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤 조사정점



그림 83. 2005년 3월, 5월, 8월 수정리 식물플랑크톤 조사정점

나. 결과

1) 예비조사

마산시 수정리 해역 2004년 월별 식물플랑크톤 현존량을 표 40과 그림 81에 나타냈다. 정점 1과 3에서 높은 현존량을 확인할 수 있었으며 여름에는 만의 가장 바깥쪽인 정점 3에서 높았다. 월별로는 겨울인 1월과 2월에는 현존량이 현저히 높고 여름에는 매우 낮은 특징을 보였다. 동정 결과, 대부분의 종들은 규조강에 속했으며 일부 와편모조강과 황색편모조강이었다. 특히, 4-6월에는 황색편모조강의 비율이 증가하였으며, 6월에는 와편모조강의 비율이 증가하는 특성을 보였다(그림 82). 월별 최고 우점종은 1월 *Thalassionema nitzschioides*, 2월 *Chaetoceros* spp., 3월 *Thalassiosira* spp., 4월 *Eucampia zodiacus*, 5월 *Coscinodiscus gigas*, 6월 *Nitzschia* spp., 7월 *Coscinodiscus subconcausus*, 8월 *Thalassiosira baltica*, 9월 *Skeletonema costatum*, 10월 *Thalassiosira baltica*, 11월 *Thalassiosira rotula*, 12월 *Thalassiosira baltica*으로 규조류의 출현 밀도가 연중 높게 나타났다. 4월에는 유독종인 *Alexandrium*이 차우점종(18.34%)으로 출현함으로써 마비성패독(Paralytic shellfish poisoning, PSP)의 발생 가능성이 높았다.

한편, 국립 수산과학원 해양환경 조사 자료에 따르면 지난 1980년부터 현재 까지 마산만의 적조 발생 횟수는 총 193회로, 타 지역에 비해 빈도가 높았다.

표 40. 2004년 마산시 수정리의 월별 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
St.1	46,312	23,505	2,656	2,136	610	2,945	340	345	4,040	1,004	41	5,500
St.2	23,962	11,120	2,996	1,496	2,582	2,970	510	590	2,525	1,172	121	8,940
St.3	53,655	16,370	2,420	2,192	2,758	2,965	6,625	9,040	13,170	1,938	312	5,645

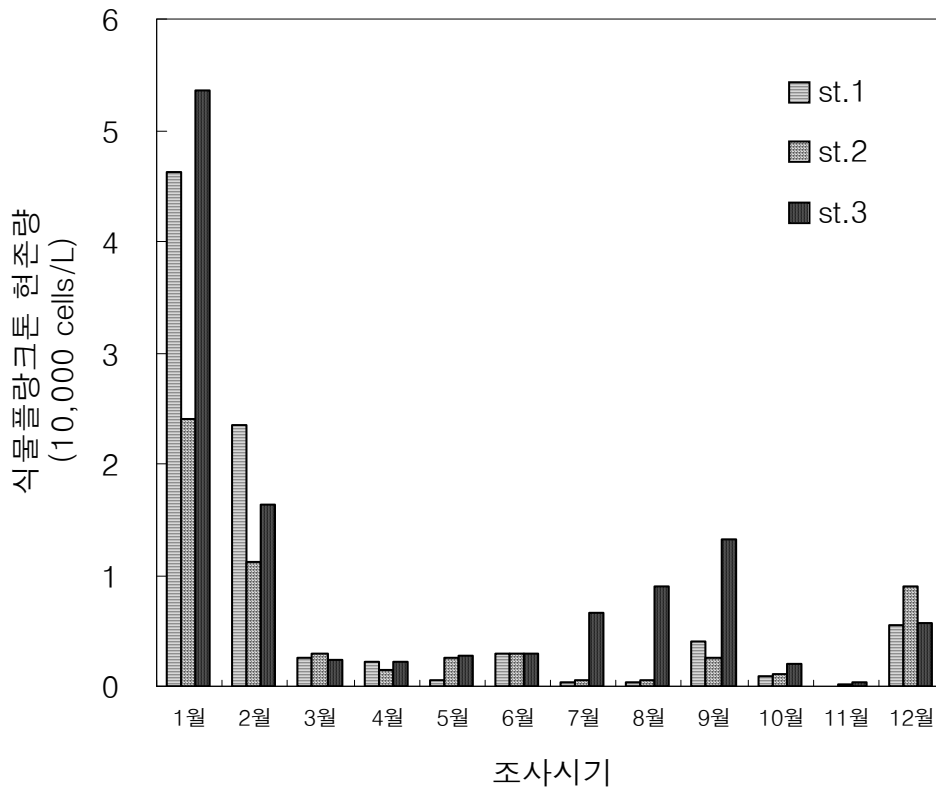


그림 84. 2004년 마산시 수정리 해역의 월별 식물플랑크톤 현존량 변화

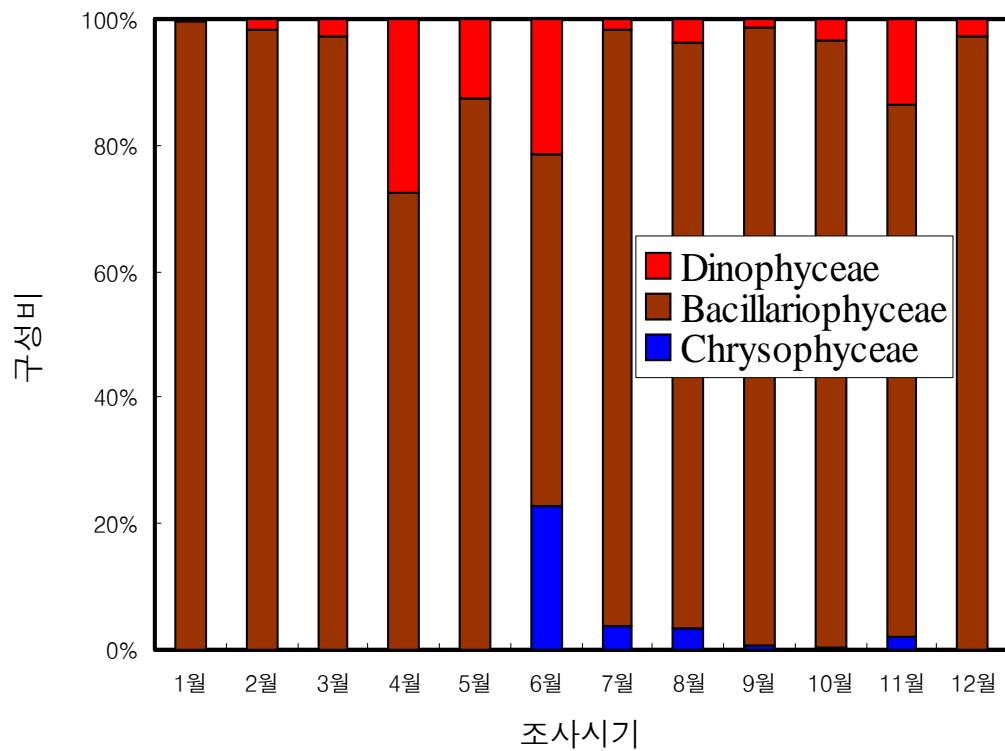
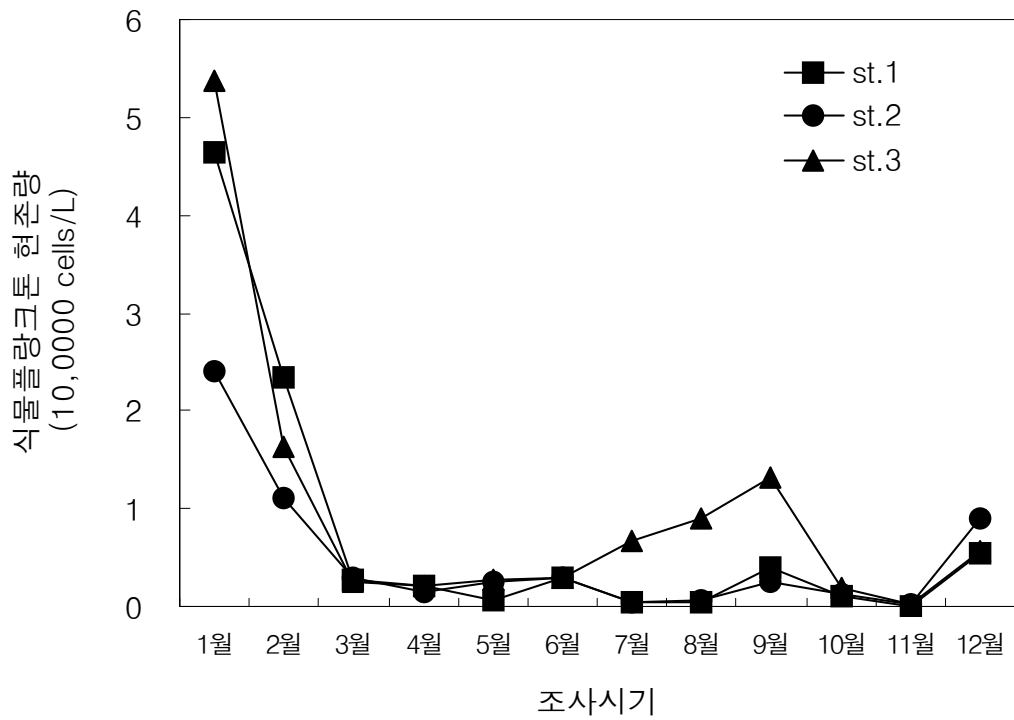


그림 85. 2004년 월별 식물플랑크톤 현존량(위)과 종구성비(아래)

2) 본조사(2005-2006년)

9월에는 총 28 종의 식물플랑크톤이 동정되었고, 이 중 규조강은 20종, 와편모조강은 6종, 황금색조강은 2종이었다. 우점종은 *Pseudo-nitzschia* spp. (0-6,293 cells/mL, 50.82%)와 *Rhizosolenia stolterforthii* (0-4,560 cells/mL, 28.73%)이었으며 *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros* spp.도 다수 관찰되었다(표 41). 수층별 현존 밀도는 표층이 저층보다 높았다. 그러나 정점별 현존량 변화는 표층과 저층이 유사하였다(표 42). 현존량은 정점 4에서 표층: 7,638 cells/mL; 저층: 4,324 cells/mL로 가장 높은 반면, 정점 9에서는 표층: 1,765 cells/mL; 저층: 563 cells/mL로 가장 낮았다. 전체적으로, 조사 해역에 위치한 방파제를 기준으로 내만에서 식물플랑크톤 현존량이 높았으며, 외해로 나갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 분류군별로는 종 조성비는 규조강이 71.88%를 차지하였으며 와편모조강과 황색편모조강이 각각 21.88%와 6.25%를 차지하였다(그림 83).

표 41. 2005년 9월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종/정점	내측								외측													
	St.1		St. 3		St. 7		St.8		St.O-1		St.O-2		St. O-3		St.O-4		St.O-5					
	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저				
Chrysophyceae																						
<i>Dictyocha fibula</i>									6		4		4		3		5		3			
<i>Dictyocha speculum</i>																						
Bacillariophyceae																						
<i>Actinopterychus senarius</i>	42	31	40	17	28	20	73	18														
<i>Chaetoceros danicus</i>																						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>																						
<i>Chaetoceros spp.</i>	32								7		20											
<i>Coscinodiscus gigas</i>																						
<i>Coscinodiscus perforatus</i>																						
<i>Coscinodiscus spp.</i>	28								36													
<i>Cylindrotheca closterium</i>	8																					
<i>Detonula pumila</i>																						
<i>Ditylum brightwellii</i>																						
<i>Eucampia zodiacus</i>																						
<i>Leptocylindrus danicus</i>	176	56	233	127	162	83	428	133	7	7	35	3	83	26	2							
<i>Melosira spp.</i>																						
<i>Nitzschia spp.</i>	16	182	29	122	88	32	66	138	25	88	66	2	83	23	1							
<i>Pseudo-nitzschia spp.</i>	5022	2283	6293	3527	4431	1764	6720	3763														
<i>Rhizosolenia spp.</i>	55																					
<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>	23	27	25	19	23	5																
<i>Skeletonema costatum</i>	98	123																				
<i>Stephanophyxis spp.</i>																						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>																						
<i>Thalassionema spp.</i>	50								61		244		206		13		24					
<i>Thalassiosira rotula</i>																						
<i>Thalassiosira spp.</i>	73	76																				
Dinophyceae																						
<i>Alexandrium spp.</i>																						
<i>Ceratium fusus</i>																						
<i>Dinophysis fortii</i>																						
<i>Dinophysis caudata</i>																						
<i>Protoperdinium bipes</i>																						
<i>Protoperdinium spp.</i>	6	9	12	7																		
<i>Scripsiella trochoidea</i>																						
TOTAL	5440	2781	6675	4017	4813	1978	7638	4324	4499	1878	4360	3201	5430	3276	3536	1987	1765	563				

표 42. 2005년 9월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

	방과제 내측				방과제 외측				
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9
정점									
표층	5,440	4,813	6,675	7,638	4,499	5,430	4,360	3,536	1,765
저층	2,781	1,978	4,017	4,324	1,878	3,276	3,201	1,987	563
합계	8,221	6,791	10,692	11,962	6,377	8,706	7,561	5,523	2,328

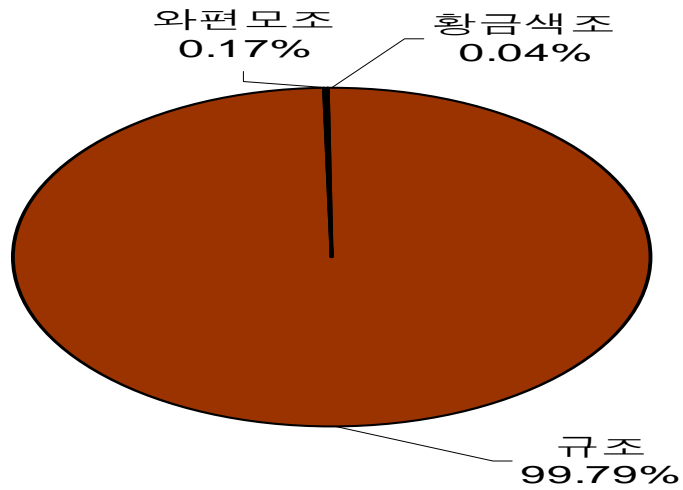


그림 86. 2005년 9월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

2005년 11월에는 총 20 종이 동정되었고 이 중 규조강은 14종, 와편모조강은 5종, 황색색조강은 1종이었다. 우점종은 *Skeletonema costatum* (643-6,328 cells/mL, 68.52%)와 *Chaetoceros decipiens* (9.50%) 이었으며, 이외에도 *Thalassiosira* spp., *C. danicus*, *C. didymus*가 다수 관찰되었다(표 43). 수층별 현존 밀도는 표층이 저층보다 높았다. 그러나 정점별 현존량 변화는 표층과 저층이 유사하였다(표 44). 가장 높은 현존량을 보인 곳은 정점 3으로, 표층은 8,671 cells/mL, 저층은 8,563 cells/mL이었다. 반면, 정점 2에서는 표층이 3,722 cells/mL, 저층이 2,240 cells/mL로 나타나 가장 낮았다. 분류군별 종조성비는 규조강이 69.57%를 차지하였으며 와편모조강과 황색편모조강이 각각 26.09%와 4.35%를 차지하였다(그림 84).

표 43. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종/정점	내측				외측							
	St. 1		St. 7		St.O-1		St.O-2		St. O-3		St.O-4	
	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저	표	저
Chrysophyceae												
<i>Dictyocha fibula</i>		5								4		6
Bacillariophyceae												
<i>Actinoptychus senarius</i>	4					10		4		9		
<i>Chaetoceros danicus</i>	628		611		412		522		890		503	
<i>Chaetoceros decipiens</i>	796	211	432	140	892	330	679	212	863	608	493	272
<i>Chaetoceros didymus</i>		145		156		726		721		823		545
<i>Chaetoceros laciniosus</i>	20		2		24		8		7		11	
<i>Chaetoceros spp.</i>	28	237	10		46							
<i>Coscinodiscus gigas</i>										2		
<i>Coscinodiscus spp.</i>	8	82	9	55	40	145	26	63	172	60	28	98
<i>Ditylum brightwellii</i>		13		14		22		13		18		
<i>Eucampia zodiacus</i>	9		3	53	5		5		61	22	9	
<i>Melosira spp.</i>				6						4		
<i>Nitzschia spp.</i>	52	43	44	91	36		49	9	97	56	36	45
<i>Pseudo-nitzschia spp.</i>	48	35	68	16	132		36		188	66	45	92
<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>						7						9
<i>Skeletonema costatum</i>	2,912	643	2,234	1,442	5,024	3,785	4,303	2,864	5,910	6,328	4,738	2,584
<i>Thalassiosira spp.</i>	292	143	309	267	476	434	337	258	475	563	401	292
Dinophyceae												
<i>Alexandrium spp.</i>									8			
<i>Dinophysis caudata</i>							2					
<i>Dinophysis fortii</i>												4
<i>Dinophysis spp.</i>					4							
<i>Protoperdinium bipes</i>		4		5								
<i>Protoperdinium spp.</i>						8				8		
TOTAL	4,797	1,557	3,722	2,240	7,087	5,459	5,967	4,144	8,671	8,563	6,264	3,947

표 44. 2005년 11월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

	방과제 내측		방과제 외측			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6
정점						
표층	4,797	3,722	8,671	6,264	7,087	5,967
저층	1,557	2,240	8,563	3,947	5,459	4,144
합계	6,354	5,962	17,234	10,211	12,546	10,111

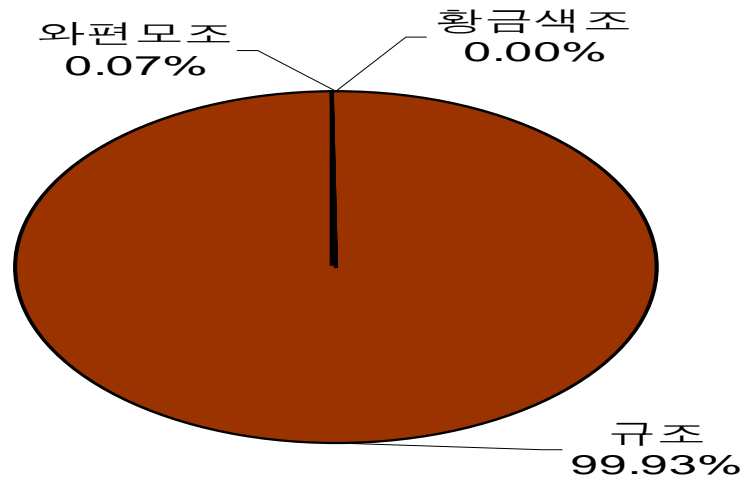


그림 87. 2005년 11월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

2006년 1월에는 총 16 종이 동정되었고 이 중 규조강은 11종, 와편모조강은 4종, 황금색조강은 1종이었다. 우점종은 *Thalassiosira* spp.(643-6,328 cells/mL, 42.42%), *Rhizosolenia setigera* (27.74%), *Chaetoceros danicus* (12.46%)이었다(표 45). 수층별로는 표층보다 저층의 밀도가 높았다. 정점별로는 방과제 내측이 외측에 비해 다소 높은 현존량을 나타냈다(표 46). 가장 높은 현존량을 보인 곳은 정점 1로, 표층 1,150 cells/mL, 저층 25,850 cells/mL이었다. 반면, 정점 8에서는 표층 3,000 cells/mL, 저층 14,350 cells/mL으로 가장 낮았다. 분류군별로는 종조성비는 규조강이 68.75%를 차지하였으며 와편모조강과 황색편모조강이 각각 25.00%와 6.25%를 차지하였다(그림 85).

표 45. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종 (cells/L)/정점	내측						외측	
	St.1		St.5		St.8		St.O-3	
	표	저	표	저	표	저	표	저
Chrysophyceae								
<i>Dictyocha fibula</i>	200	300						
Bacillariophyceae								
<i>Chaetoceros danicus</i>		1,700	200	800		800	100	1,400
<i>Chaetoceros</i> spp.	500	1,300		5,800	300	2,150	200	3,350
<i>Coscinodiscus</i> spp.	100	350						
<i>Eucampia zodiacus</i>								450
<i>Leptocylindrus danicus</i>		350						
<i>Nitzschia</i> spp.	250	150		600		600		900
<i>Rhizosolenia setigera</i>	1,500	8,600	700	4,900	550	3,850	1,400	5,500
<i>Rhizosolenia</i> spp.	150			1,300				
<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>	100							
<i>Skeletonema costatum</i>	800			1,600				1,550
<i>Thalassiosira</i> spp.	5,600	8,200	3,200	8,650	2,050	6,200	2,350	10,050
Dinophyceae								
<i>Ceratium fusus</i>	250	100	300	100				
<i>Dinophysis</i> spp.	50	100						
<i>Heterocapsa triquetra</i>	300	4,300	100			750	200	
<i>Protoperdinium</i> spp.	350	400	100		100			
Total	10,150	25,850	4,600	23,750	3,000	14,350	4,250	23,200

표 46. 2006년 1월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

정점	방과제 내측			
	St.1	St.5	St.8	St.9
표층	10,150	4,600	3,000	4,250
저층	25,850	23,750	14,350	23,200
합계	36,000	28,350	17,350	27,450

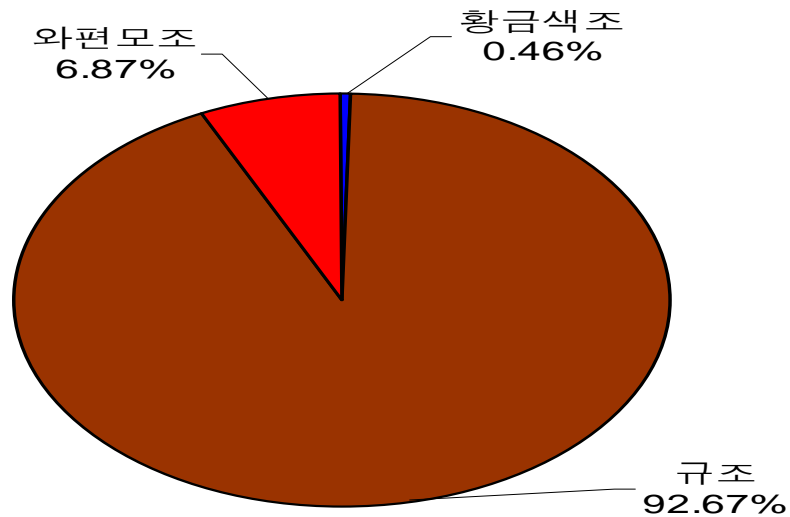


그림 88. 2006년 1월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

2006년 3월에는 총 13 종이 동정되었고 이 중 규조강은 8종, 와편모조강은 5종, 황금색조강은 0종이었다. 우점종은 1월과 동일한 *Thalassiosira* spp.(155,500-253,750 cells/mL, 85.72%)이었다(표 47). 수층별 현존량 차이는 크지 않았으며, 정점별로는 방파제 외측이 내측에 비해 다소 높은 현존량을 나타냈다. 가장 높은 현존량을 보인 곳은 방파제 외측의 정점 O-5로, 표층 287,100 cells/mL, 저층 285,400 cells/mL이었다. 반면, 방파제 내측 정점 5에서는 표층 174,350 cells/mL, 저층 183,700 cells/mL으로 가장 낮았다(표 48). 분류군별 종조성비는 규조강이 61.54%를 차지하였으며 와편모조강과 황색편모조강이 각각 38.46%와 0%를 차지하였다(그림 86).

표 47. 2006년 3월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종 (cells/L)/정점	내측				외측			
	St.5		St.8		St.O-1		St.O-5	
	표	저	표	저	표	저	표	저
Chrysophyceae								
<i>Dictyocha fibula</i>								
<i>Dictyocha speculum</i>								
Bacillariophyceae								
<i>Chaetoceros danicus</i>	300	600			300		2,450	2,250
<i>Chaetoceros</i> spp.	17,250	9,000	7,600	19,750	42,400	4,400	8350	5650
<i>Coscinodiscus</i> spp.	900	600	200	250	100			
<i>Eucampia zodiacus</i>	3,450	11,600	1,800	10,950	8,100	6,800	3700	13150
<i>Nitzschia</i> spp.	1,500		800		300	950		750
<i>Rhizosolenia</i> spp.	1,950	400	1,950	1,250	400	600	1,450	2,650
<i>Skeletonema costatum</i>	10,950	6,000	5,450	9,050	10,100	4,200	7,900	6,550
<i>Thalassiosira</i> spp.	137,600	155,500	162,400	227,050	194,900	183,600	262,000	253,750
Dinophyceae								
<i>Ceratium fusus</i>	300				200		250	
<i>Dinophysis</i> spp.	150		400		800		450	
<i>Gonyaulax</i> spp.			100					
<i>Prorocentrum micans</i>			300					
<i>Protoperidinium</i> spp.			1,150		400		550	650
Total	174,350	183,700	182,150	268,300	258,000	200,550	287,100	285,400

표 48. 2006년 3월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

정점	방과제 내측		방과제 외측	
	St.5	St.8	St.O-1	St.O-5
표층	174,350	182,150	258,000	287,100
저층	183,700	268,300	200,550	285,400
합계	358,050	450,450	458,550	572,500

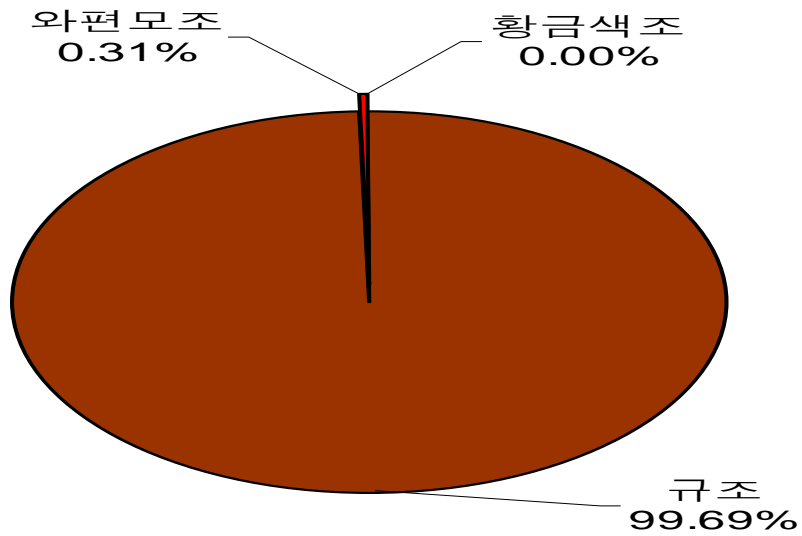


그림 89. 2006년 3월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

2006년 5월에는 총 7 종이 동정되었고 이 중 규조강은 4종, 와편모조강은 3종, 황금색조강은 0종이었다. 우점종은 *Nitzschia* spp. (631,600~889,150 cells/mL, 99.53%)이었다(표 49). 수층별로는 저층이 표층보다 높은 현존량을 보였으며, 정점별로는 방파제 외측이 내측에 비해 다소 높았다. 가장 높은 현존량을 보인 곳은 방파제 외측의 정점 O-5로, 표층 739,700 cells/mL, 저층 916,700 cells/mL이었다. 반면, 방파제 내측 정점 1에서는 표층 634,000 cells/mL, 저층 716,350 cells/mL으로 가장 낮았다(표 50). 분류군별 종조성비는 규조강이 57.14%를 차지하였으며 와편모조강과 황색편모조강이 각각 42.86%와 0%를 차지하였다(그림 87).

표 49. 2006년 5월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종 (cells/L)/정점	내측				외측			
	St.1		St.8		St.O-1		St.O-5	
	표	저	표	저	표	저	표	저
Chrysophyceae								
<i>Dictyocha fibula</i>								
<i>Dictyocha speculum</i>								
Bacillariophyceae								
<i>Coscinodiscus</i> spp.	600	850	1,350	900	800	2,300	850	700
<i>Nitzschia</i> spp.	631,600	712,800	639,400	819,100	692,650	889,150	737,300	912,500
<i>Rhizosolenia</i> spp.		50			150	150	100	50
<i>Thalassiosira</i> spp.	500	150	250	400	650	1,800	300	2,900
Dinophyceae								
<i>Ceratium fusus</i>	1,250	2,400	1,350	2,150	1,000	1,800	1,050	500
<i>Ceratium tripos</i>								
<i>Protoperidinium bipes</i>	50	100	50	150	150	250	100	50
Total	634,000	716,350	642,400	822,700	695,400	895,450	739,700	916,700

표 50. 2006년 5월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

정점	방과제 내측			
	St.1	St.8	St.O-1	St.O-5
표층	634,000	642,400	695,400	739,700
저층	716,350	822,700	895,450	916,700
합계	1,350,350	1,465,100	1,590,850	1,656,400

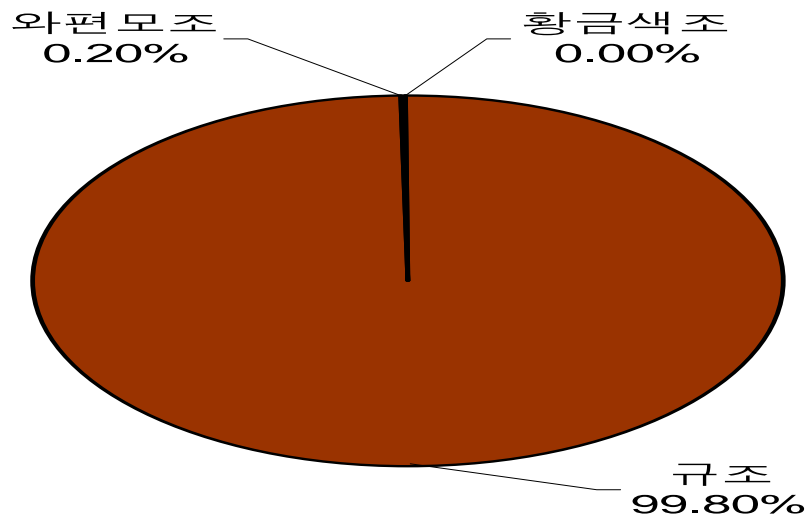


그림 90. 2006년 5월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

2006년 8월에는 총 23 종이 동정되었고 이 중 규조강은 17종, 와편모조강은 6종, 황금색조강은 0종이었다. 우점종은 *Rhizosolenia delicatula* (1,775~9,897 cells/mL, 50.85%)이었다(표 51). 수층별로는 내측에서는 저층 현존량이 높았으나 외측에서는 표층이 높았다. 정점별로는 방파제 외측이 내측에 비해 다소 높았고 최고현존량은 외측 정점 O-5로, 표층 13,558 cells/mL, 저층 8,457 cells/mL이었다(표 52). 분류군별 종조성비는 규조강이 98.14%를 차지하였으며 와편모조강이 1.86%이었다(그림 88).

표 51. 2006년 8월 수정리 식물플랑크톤 현존량(cells/L)

출현종/정점(cells/ml)	내측				외측			
	St.1		St.8		St.O-1		St.O-5	
	표	저	표	저	표	저	표	저
Bacillariophyceae								
<i>Asterionella glacialis</i>	613	539	276	193	372	187	688	180
<i>Chaetoceros brevis</i>				8				
<i>Chaetoceros danicus</i>		24	39	507	47	31		63
<i>Chaetoceros decipiens</i>	51	629	34	1,325	164	109	397	150
<i>Chaetoceros didymus</i>	1,507	675	63		912	781	1,530	2,068
<i>Chaetoceros lacinosus</i>			120					
<i>Coscinodiscus</i> spp.	4	9		3		2	2	3
<i>Ditylum brightwellii</i>		78	6	96	18	47		90
<i>Eucampia zodiacus</i>	35	357	72	264	197	376	98	677
<i>Hemiaulus membranaceus</i>	26	31	24		16	28	68	211
<i>Leptocylindrus danicus</i>	584	1,962		1,056	1,468	1,628	482	2,488
<i>Melosira</i> spp.				78		21	52	55
<i>Nitzschia</i> spp.	68	638	39	729	47	209	56	147
<i>Rhizosolenia delicatum</i>	4,231	7,154	4,569	2,490	2,893	2,849	9,897	1,775
<i>Rhizosolenia</i> spp.				25				
<i>Thalassiosira</i> spp.		43		403		23		80
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	89	918	87	1,650	97	473	182	360
Dinophyceae								
<i>Alexandrium</i> spp.			9			4	8	22
<i>Ceratium tripos</i>					3			
<i>Gonyaulax</i> spp.							20	19
<i>Prorocentrum micans</i>	11		21				33	34
<i>Protoperidinium bipes</i>			3	128			12	
<i>Protoperidinium breve</i>	124	189	201	163	68	169	33	35
Total	7,343	13,246	5,563	9,118	6,302	6,937	13,558	8,457

표 52. 2006년 8월 조사정점별 식물플랑크톤 현존량 비교(cells/L)

정점	방파제 내측			
	St.1	St.8	St.O-1	St.O-5
표층	7,343	5,563	6,302	13,558
저층	13,246	9,118	6,937	8,457
합계	20,589	14,681	13,239	22,015

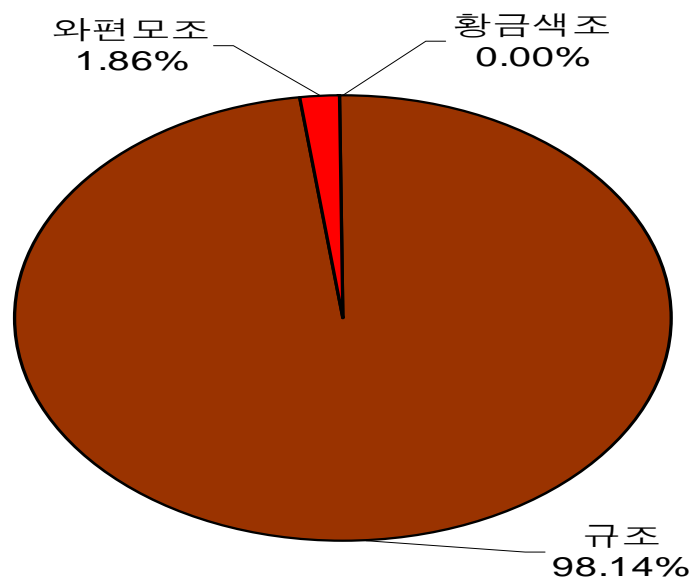


그림 91. 2006년 8월 수정리 식물플랑크톤의 분류군별 조성비

표 53. 수정리의 조사 시기별 식물플랑크톤 우점종

조사시기	출현종수	우점종	비율(%)	
2004년	1월	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	41.48	
		<i>Stephanophyxis</i> spp.	30.67	
		<i>Skeletonema costatum</i>	10.20	
	2월	<i>Chaetoceros</i> spp.	61.29	
		<i>Thalassiosira</i> spp.	14.05	
		<i>Asterionella glacialis</i>	6.58	
	3월	<i>Thalassiosira</i> spp.	78.96	
		<i>Eucampia zoodiacus</i>	11.94	
	4월	<i>Eucampia zoodiacus</i>	56.32	
		<i>Alexandrium</i> spp.	18.34	
	5월	<i>Coscinodiscus gigas</i>	27.80	
		<i>Skeletonema costatum</i>	22.69	
<i>Chaetoceros</i> spp.		16.79		
6월	<i>Nitzschia</i> spp.	36.09		
	<i>Dictyocha speculum</i>	13.57		
7월	22	<i>Coscinodiscus subconcaus</i>	83.01	
8월	25	<i>Thalassiosira baltica</i>	83.36	
		<i>Skeletonema costatum</i>	55.36	
		<i>Thalassiosira baltica</i>	12.14	
9월	24	<i>Chaetoceros</i> spp.	10.06	
		<i>Thalassiosira baltica</i>	56.30	
10월	21	<i>Thalassiosira baltica</i>	17.60	
		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	45.98	
11월	16	<i>Thalassiosira rotula</i>	22.05	
		<i>Thalassiosira baltica</i>	11.25	
		<i>Chaetoceros</i> spp.	96.08	
12월	21	<i>Thalassiosira baltica</i>		
2005년	9월	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	50.82	
		<i>Rhizosolenia stolterforthii</i>	28.73	
	11월	20	<i>Skeletonema costatum</i>	68.52
<i>Chaetoceros decipiens</i>			9.50	
2006년	1월	<i>Thalassiosira</i> spp.	42.42	
		<i>Rhizosolenia setigera</i>	27.74	
		<i>Chaetoceros danicus</i>	12.46	
	3월	13	<i>Thalassiosira</i> spp.	85.72
	5월	7	<i>Nitzschia</i> spp.	99.53
8월	23	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	50.80	



그림 92. 시설해역에 출현한 식물플랑크톤의 계절별 우점종(X 400)

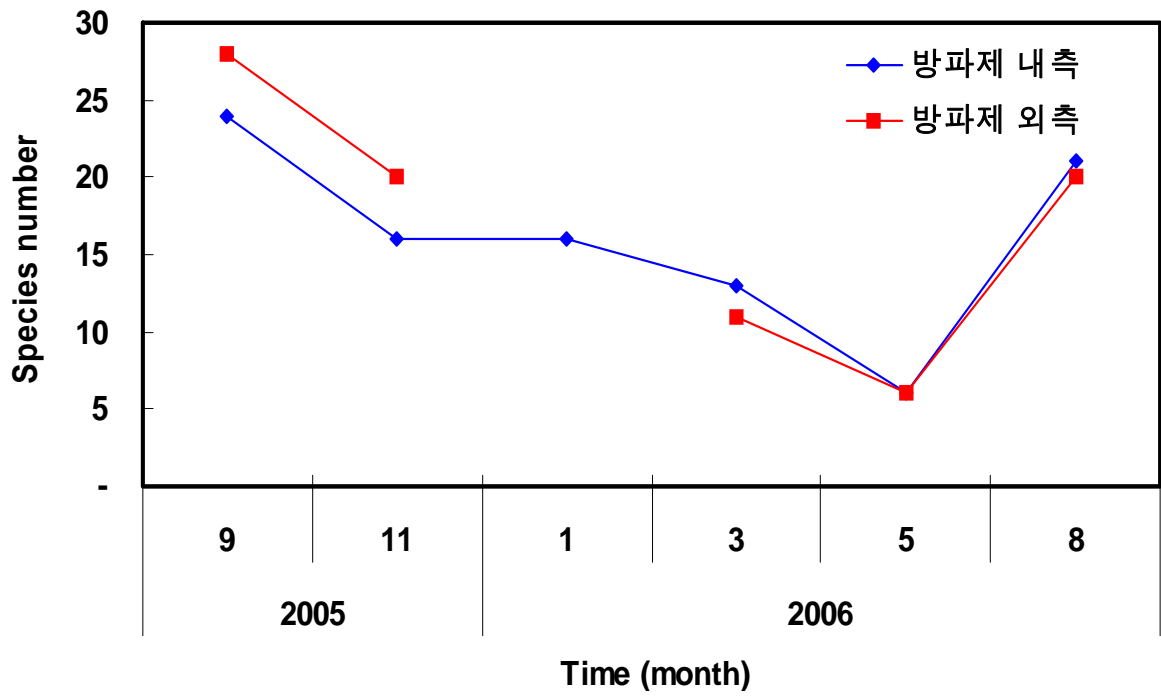
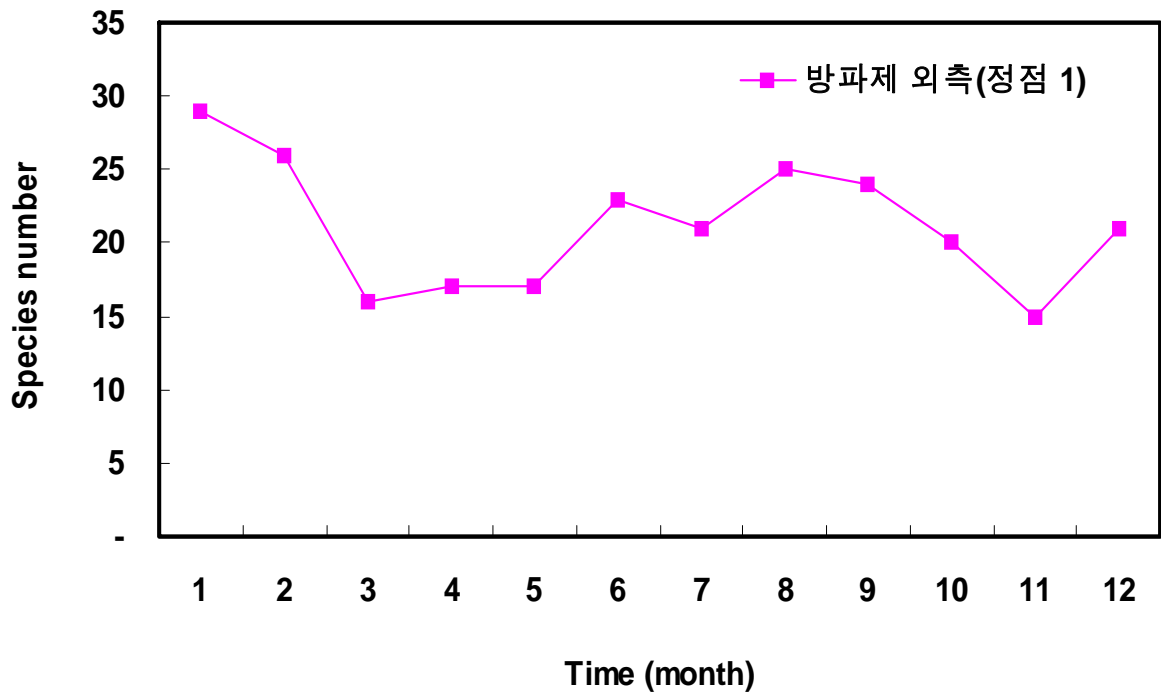


그림 93. 조사해역에서 예비조사(위, 2004년) 및 본조사시(아래) 계절별 식물 플랑크톤 출현종수 비교

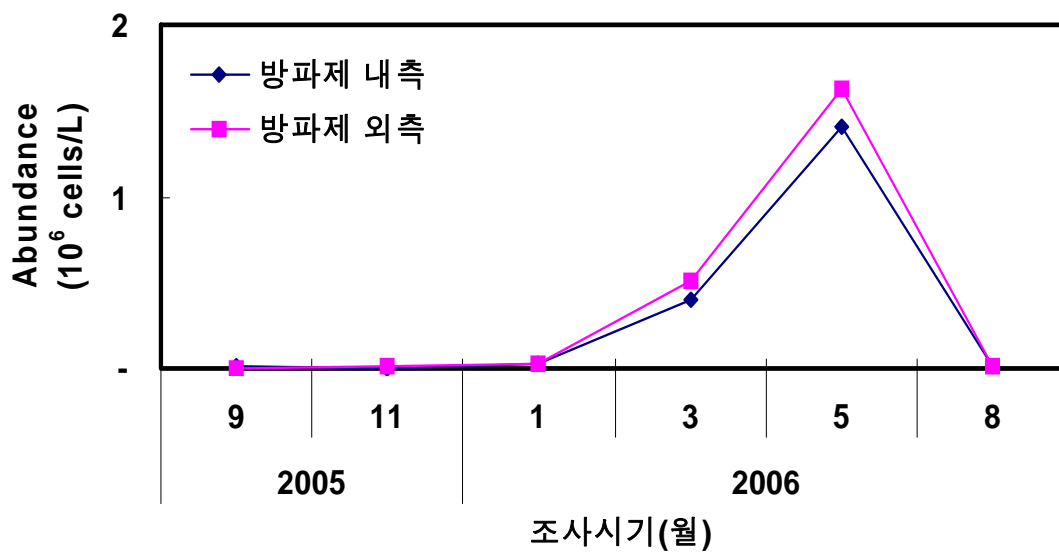


그림 94. 2005~2006년 계절별 식물플랑크톤 현존량 평균값의 변화

다. 논의

사전조사(2004년)기간 동안 수정리에서 관찰된 식물플랑크톤 최대 현존량은 2004년 1월 방파제 외측 정점 1에서 46,312 cells/L이었으나(표 40) 본조사시 2006년 3월과 5월에는 각각 515,525 cells/L와 1,623,625 cells/mL로 매우 큰 폭으로 증가했다(표. 47, 49). 본조사시(2006년 3월과 5월)의 높은 현존량은 조사해역 내에서 식물플랑크톤의 대량 증식에 필요한 조건들(영양염, 수온, 일조량 등)이 뒷받침되었기 때문으로 사료된다. 이때의 우점종은 3월에는 *Thalassisira* sp.와 5월에는 *Pseudo-nitzschia* sp.였으며(그림 89) 전체 현존량 가운데 이들의 점유율은 각각 85.72%와 99.53%이었다(표 53). 아울러 이시기에는 종 다양성도 떨어져서 3월에는 13종, 5월에는 7종만이 동정되었다(그림 90).

한편, 최대현존량이 관찰된 2006년 3월과 5월은 수질정화 및 적조 제어장치가 가동된 지 2개월째로서, 이 장치에 의해 저층의 영양염이 수괴 내로 공급되어 식물플랑크톤 증식을 도운 것으로도 가정해 볼 수 있을 것이다. 만약 이러한 가정이 사실이라면, 수질정화 및 적조제어장치는 1)저층 영양염의 수괴 내 확산과 2)식물플랑크톤 성장, 이로 인한 3)부영양화 해역 정화의 수순을 거치게 될 것이다. 그러나 본 연구의 조사기간이 단기간이었기 때문에, 이를 분석하고 결론을 짓기 위해서는 추후 지속적인 환경 모니터링이 필요할 것이다.

제4절 적조구제 효율조사(실내실험)

1. 재료 및 방법

적조구제물질로는 황토, 세프레마, 신물질을 사용했으며 각각 대조구, 200 ppm, 400 ppm, 600 ppm, 800 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 10000 ppm의 농도로 구제효율을 분석했다. 실험은 60 mL 시험관에 현장에서 채집한 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides*를 각각 1000 cells/mL, 2000 cells/mL, 5000 cells/mL의 밀도로 50 mL씩 담은 다음, 준비해둔 구제물질을 투여했다. 구제효율은 구제물질 투여 30분후 기기(Tuner 10AU, USA)로 생체 클로로필-a를 상대적으로 측정하여 분석했다(그림 92). 아울러 분석결과에 대한 검증을 위해 30 L의 원형수조에 적조생물을 20 L씩 채우고 각 구제물질을 500 ppm의 농도로 투여하여 구제효율을 관찰했다(그림 93).

한편 적조구제반응을 관찰하기 위해 각 구제물질을 적조생물에게 투여한 이후, 고배율 광학현미경을 이용하여 일정시간 간격으로 세포들을 관찰했다(표 55).



그림 95. 살조물질의 투여 농도별 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* (현장채집시료)의 제거효율 실험. A, 황토; B, 세프레마; C, 신물질.



그림 96. 적조구제물질별 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* (현장채집시료)의 제거효율 비교.

2. 결과

모든 실험구에서는 적조구제물질의 투여 농도가 높을 수 록 높은 구제 효율을 나타냈고 물질별 구제효율은 황토<세프레마<신물질 순서대로 높았다. 동일한 물질과 동일한 투여 농도에서는 수중에 적조생물 밀도가 높을수록 구제효율이 높아지는 것으로 나타났다.

가. 황토

1,000 cells/mL의 적조생물 실험구에서 클로로필-a 수치가 황토 0 ppm에서 0.50이었고 200 ppm에서 2000 ppm 사이가 0.34~0.46로 큰 차이가 없었다. 그러나 10,000 ppm에서 0.10으로 고농도에서 구제효율이 높아지는 것으로 나타났다. 10,000 ppm에서 구제효율은 80%였다.

2,000 cells/mL의 적조생물 실험구에서는 황토 0 ppm에서 1.17이었고, 200 ppm에서 800 ppm 사이는 0.80~1.05으로 큰 효과가 없었다. 그러나 1,000 ppm에서는 0.54, 2000 ppm에서는 0.47, 10000 ppm에서는 0.19으로 큰폭으로 감소했다. 1,000 ppm, 2,000 ppm, 10,000 ppm에서의 구제효율은 각각 55%, 60%, 71%이었다.

5,000 cells/mL의 적조생물 실험구에서는 황토 0 ppm에서 3.08이었고, 200 ppm에서는 2.14로 저밀도 세포 실험구보다 높은 구제효율(31%)을 나타냈다. 그러나 400 ppm에서 2,000 ppm 사이는 1.35~1.85으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 이 실험구간의 구제효율은 40%~60%이었다. 1,000 ppm에서는 0.88로서 84%의 구제효율을 기록했다.

나. 세프레마

1,000 cells/mL의 적조생물 실험구에서 클로로필-a 수치가 세프레마 0 ppm에서 0.91이었고, 투여농도가 증가할 수 록 클로로필-a 수치는 점차 낮아졌다(표 54). 1,000 ppm, 2,000 ppm, 10,000 ppm에서는 각각 0.48, 0.31, 0으로 이때의 구제효율은 각각 47%, 66%, 100%였다

(그림 94). 2,000 cells/mL 실험구에서는 세프레마 0 ppm일 때는 1.92이었고 세프레마 투여 농도가 증가할 수 록 클로로필-a 수치가 감소하였다. 1,000 ppm, 2,000 ppm, 10,000 ppm에서는 각각 0.72, 0.48, 0으로 이때의 구제효율은 각각 63%, 75%, 100%였다. 5,000 cells/mL 실험구에서 세프레마 0 ppm 일 때에는 2.98이었고, 200 ppm에서는 2.14으로 56%의 구제효율을 나타냈다. 1,000 ppm, 2,000 ppm, 10,000 ppm에서는 각각 0.66, 0.55, 0으로 이때의 구제효율은 각각 78%, 82%, 100%였다. 전반적으로 세프레마는 동일한 농도의 황토에 비해 다소 높은 적조구제효율을 나타냈다.

다. 신물질

1,000 cells/mL의 적조생물 실험구에서 클로로필-a 수치가 신물질 0 ppm에서 0.48 µg/L이었고, 투여농도가 증가할 수 록 클로로필-a 수치는 점차 낮아졌다(표 54). 800 ppm 투여구에서는 0, 100%의 구제효율을 나타냄으로써 황토나 세프레마에 비해 상당히 높은 효과를 보였다. 2,000 cells/mL 실험구에서는 신물질 0 ppm 일 때 0.97이었던 것이 800 ppm 일 때 0으로 100%의 구제효율을 나타냈고, 5,000 cells/mL 실험구에서도 0 ppm 일 때 1.78이었던 것이 800 ppm일 때 0.17, 84%의 구제효율을 나타냈다. 전반적으로 신물질은 800 ppm 이상으로 투여될 때 100%에 가까운 구제효율을 가지는 것으로 나타났다(그림 94).

라. 살조반응

각 구제물질별로 적조생물에게 투여한 이후에 10분 간격으로 광학현미경으로 관찰한 결과, 황토는 투여 후 30분까지도 세포의 형태가 변하지 않은 채로 남아있는 것이 확인되었다. 반면 세프레마와 신물질은 각각 20분과 5분여에 적조생물 세포가 터지는 것이 관찰되었다. 특히 신물질의 경우에는 5분여가 경과하면서 적조생물 세포의 세포막이 중간 중간 사라진 모습을 볼 수 있었다. 이는 신물질에 의한 세포막의 용해작용으로 판단되며 이런 작용이 적조구제효율을 높인 원인이 된 것으로 사료된다(표 55).

표 54. 적조구제물질의 농도별/적조(*Cochlodinium polykrikoides*) 밀도별 투여에 따른 클로로필-a 상대값 변화

황 토

구제물질농도(ppm) \ 세포농도	1000 cells/mL	2000 cells/mL	5000 cells/mL
0	0.50	1.17	3.08
200	0.46	1.05	2.14
400	0.46	1.03	1.75
800	0.42	0.80	1.85
1000	0.34	0.54	1.40
2000	0.35	0.47	1.35
10000	0.10	0.19	0.88

세프레마

0	0.91	1.92	2.98
200	0.67	1.77	1.32
400	0.49	1.15	1.59
600	0.82	0.80	1.98
800	0.48	0.72	0.66
1000	0.31	0.48	0.55
2000	0.00	0.00	0.00

신물질

0	0.48	0.97	1.78
200	0.45	0.87	1.10
400	0.28	0.66	0.61
600	0.26	0.21	0.45
800	0.00	0.00	0.17
1000	0.00	0.00	0.01
2000	0.00	0.00	0.00

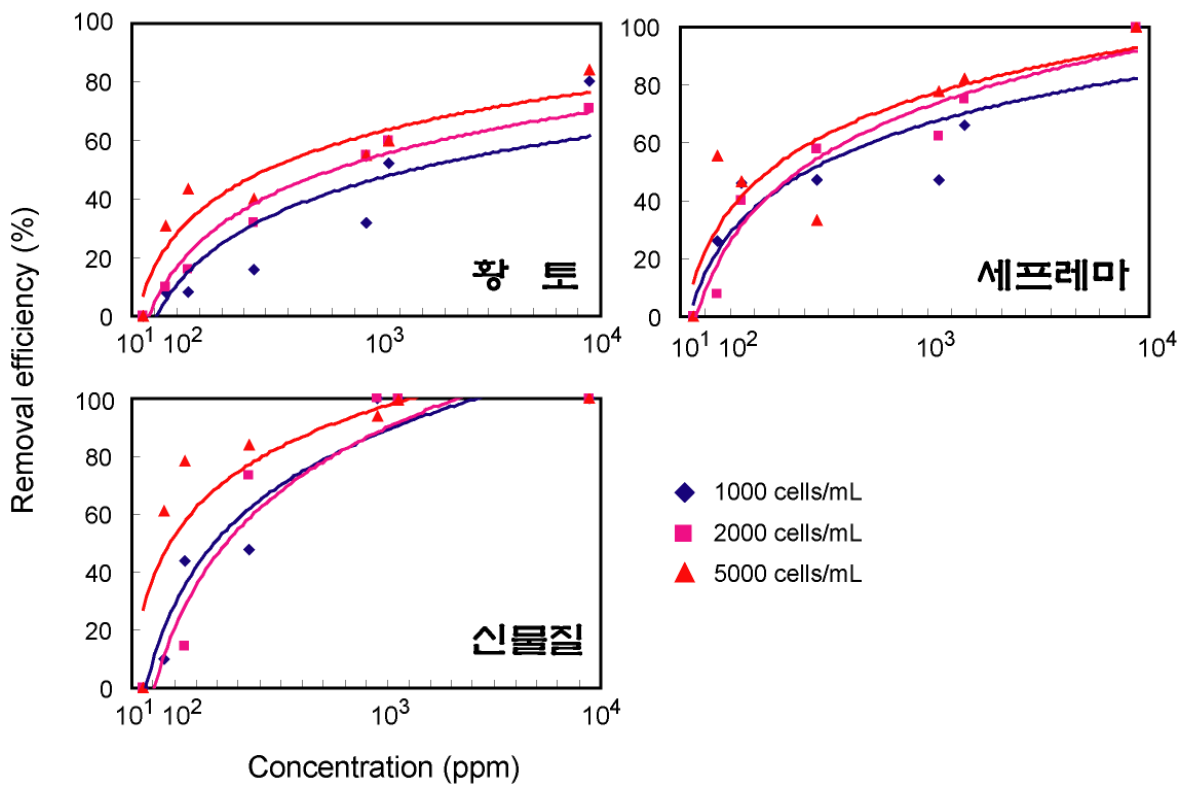


그림 97. 적조구제물질의 투여 농도별 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* (현장채집시료)의 제거효율.

표 55. 적조구체물질에 따른 *Cochlodinium polykrikoides* (현장채집시료)의 살포반응 모습.




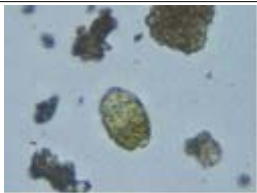
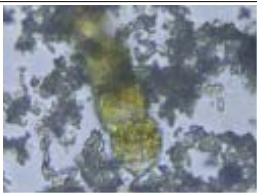
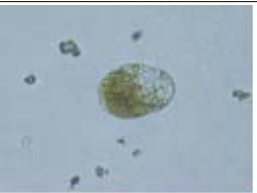
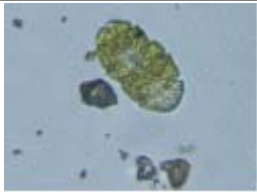

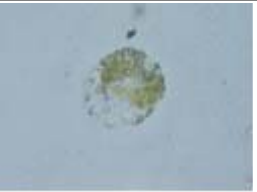
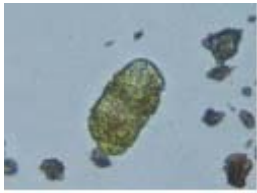
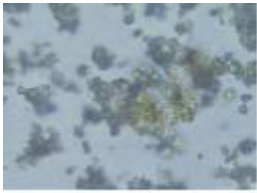
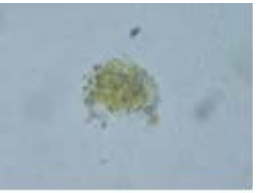
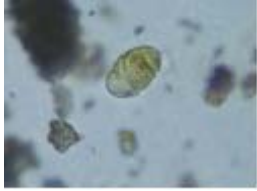
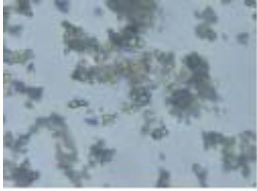

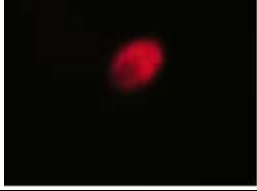


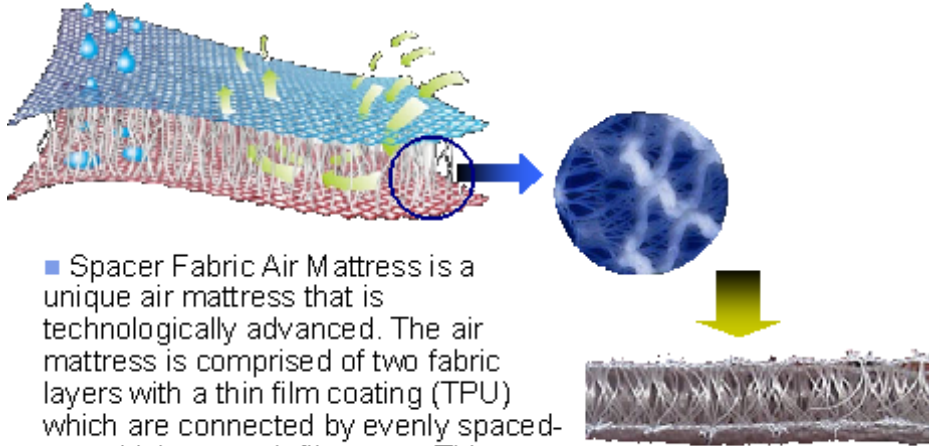
살포 후 시간/구체물질	황토	세프레마	신물질
살포 후 저층퇴적물 (100배)			
0 분 (400배)			
10 분 (400배)			
20 분 (400배)			
30 분 (400배)			
30 분 형광사진 (생체 클로로필-a 촬영, 400배)			



그림 98. 적조구제물질별 적조생물 *Cochlodinium polykrikoides* (현장 채집시료)의 제거효율 비교. A, 황토; B, 세프레마; C, 신물질.

Technology Basis



■ Spacer Fabric Air Mattress is a unique air mattress that is technologically advanced. The air mattress is comprised of two fabric layers with a thin film coating (TPU) which are connected by evenly spaced-apart high strength filaments. This eliminates shifting and unevenness to produce a flat and highly durable surface.

그림 99. 메소코즘 구조물 제작원리



그림 100. 공기를 주입시켜 제작한 해상 부유 구조물

1) 메소코즘 제작 사양

仕様書

1. 내용 및 원리

포타블식 적조구제효과 조사용 해수 유입차단 메소코즘

- 해상 메소코즘에 적조를 유입시켜 효율적인 적조 구제 물질 및 기술을 조사하기 위한 외부유입 차단막 구조물
- 원형 또는 사각형태의 해상가두리 형태의 메소코즘에 우레탄 차단막을 위에서 하단 부분까지 필요에 따라 묶거나 풀어주면서 유입수를 차단하거나 차단막을 걷어 신선한 해수를 유입시켜 효과 조사를 하기 위한 장치

2. 재질 및 특성

- 공기 팽창식으로 적조 조사 시에 편리하게 사용토록 제작
- 부양재 및 차단막 커튼의 재질은 100% 에테르 우레탄을 원료로 자외선 및 항균 표면처리를 하여 부착 생물이 부착이 어려운 재질
- 공기 부양 고조물은 사각형으로 폭 1×5 m 높이 20cm 이상으로서 공기방은 2겹으로 하여 2 챔버 이상
- 작업대는 메소코즘 옆에 붙여 작업을 쉽게 할 수 있으며, 장비 및 들을 보관할 수 있는 기능을 가진 구조물
- 코팅은 단면 0.6mm이상의 100% 에테르 우레탄으로 자외선처리 항균처리가 되는 원료 사용
- 재질의 물성자료는 아래 도표 참고
- 메소코즘 특정상 공기방의 제작은 접착제를 사용하지 않고 웰딩 공법으로 제작 300 이상 강도 유지
- 각종 압력구역의 조각별 봉합 부위는 봉합 부위마다 최소 20mm이상 넓게 겹치며 접착제를 사용하지 않고 작업
- 공기방은 같은 재질인 100% 에테르 우레탄으로 보강

3. 사용 방법

- 인근해역 적조 경보 시
 - * 차단막을 준비하여 가두리 내의 그물망 외부에 차단막 커튼(일명 치마)은 말아둔 상태로 설치
- 가두리 주변해역 적조 유입 시
 - * 말아둔 상태의 차단막 치마 끝을 묶음 상태로 둠
- 메소코즘 내로 적조 유입 시
 - * 메소코즘내 적조가 충분히 들어온 뒤 펼친 상태의 차단막 치마 끝을 끈으로 당겨 조여 해수유통을 차단함
 - 가두리 주변에 계속 적조가 머물시
 - * 적조구제 기술을 적용시킨 뒤에는 다시 차단막 치마 끝을 말아 올려 새로운 적조가 유입하도록 하여 상기의 동작을 반복하여 실험

4. 제작 방법

- 5×5 m의 사각테두리는 메소코즘의 부양구조물로서 물에 강한 100% 에테르 우레탄으로 제작
- 메소코즘의 망의 깊이는 10 m 전후 이다
- 해상구조물이므로 4곳 정도의 앵카 설치용 로프 연결고리 등을 부착하여 앵카 설치를 할 수 있도록 제작
- 포타블식으로 편리하게 설치 사용토록 제작
- 수거 시 작게 접어서 보관토록 수납가방 제작

표 57. 메소코즘의 재질 특성

(1) 인장강도				(4) 두께	KS K 0506	단면 0.6이 상
상 태 제 시	경사	KS K 0520	300이상			
	위사		200이상			
내 유 처리후	경사	ASTM NO 1	300이상	(6) 접합부인장강도		
	위사		200이상			
내 후 처리후	경사	KS K 0704	300이상	제 시 상 태	KS K 0530	200이상
	위사		200이상			
(2) 마모강도		KS K 0818	15이하	내 유 처리 후	ASTM NO 1	100이상
(3) 인열 강도	경사	KS K 0536	29이상	내 후 처리 후	KS K 0704	100이상
	위사		27이상			

2) 현지 제작 및 설치

완성된 모습을 보기 위하여 공장에서 제작된 공기구조물을 해상에서 펼쳐보기 위하여 부경대 수산센터가 있는 고성의 어촌계 수역의 바다 현지에서 작업을 행하였다. 그림 98은 운반되어온 메소코즘 상부구조물을 공기 주입을 위해 펼쳐놓고 있는 모습이다.

그림 99은 메소코즘 상부 구조물에 차단 방지막을 부착시킨 모습이며, 그림 100은 메소코즘의 상하를 뒤집는 모습이고, 그림 101은 해상에 띄운 모습이다.

그림 102는 조사 해역으로 이동시키기 위하여 선박에 연결하는 장면이며, 그림 103은 선박으로 이동 장면이다. 그림 104는 작업장 바지선 측면에 이어 설치한 모습이다. 설치 후 유해적조생물 현장 실험준비를 위해 수시 관찰하였다.

3) 실험해역 이동 설치

메소코즘 설치 후 설치 장소에서 유해적조생물이 발생하지 않아 실험장소를 옮기려고 했으나, 여의치 않아 계속 대기하던 중 결국 최종 실험 해역으로 선정된 마산만 구산면 수정리 해역으로 옮겨 시 설하였다. 그림 105는 메소코즘 설치 전 먼저 작업장 바지를 제작 후 해당 해역에 설치하는 모습이다. 작업장 바지는 목재로 가로 6 m, 세로 10 m로 제작하였다. 그리고 작업장 바지 위에는 실험 시 사용하는 장비, 시료 등을 보관할 수 있는 컨테이너 상자를 설치하였다. 그림 106은 현장 설치를 위해 메소코즘을 거꾸로 위치시켜 차단 방지막을 먼저 부착시킨 모습이고, 그림 107은 메소코즘을 바다로 진수시키기 위해 뒤집는 모습이다. 그림 108은 바다에 입수시킨 메소코즘 모습이고, 그림 109은 바다에 입수시킨 메소코즘 모습이다.



그림 101. 공기 주입 전 메소코즘 구조물을 펼친 상태



그림 102. 차단막을 설치한 메소코즘



그림 103. 차단막과 조절 로프 설치 후 상하를 뒤집는 모습



그림 104. 메소코즘을 해상에 띄운 모습



그림 105. 메소코즘의 이동을 위해 선체에 연결



그림 106. 선체에 연결된 메소코즘의 조사현장 이동



그림 107. 준비를 위해 작업장 측면에 연결시킨 메소코즘



그림 108. 메소코즘 작업용 바지 시설물의 설치와 장비 보관을 위한 컨테이너 모습



그림 109. 공기구조물 메소코즘에 차단 방지막 부착



그림 110. 메소코즘을 뒤집는 모습



그림 111. 바다 입수직전의 메소코즘



그림 112. 바다로 입수한 메소코즘

그림 110은 현장 실험용 작업장 바지에 선박으로 예인하여 접근

하고 있는 메소코즘 모습이고, 그림 111은 메소코즘을 작업장 바지에 연결하고 있는 모습이다.

그림 112는 메소코즘 차단 방지막을 갈아 앓히기 위해 침자를 달아주는 모습이고, 그림 113은 작업장 바지내의 컨테이너 박스 내부의 장비들의 모습이다. 컨테이너 내부에 보이는 장치는 메소코즘 내의 유해적조생물 구제 실험을 하기 위한 (주)다원환경의 모형실험장치이다. 그림 114는 시설이 완성된 모습이다.



그림 113. 현장 실험용 작업장 바지에 접근하는 메소코즘



그림 114. 메소코즘을 작업장 바지에 연결하는 모습



그림 115. 메소코즘 차단막에 침자를 달고 있는 모습



그림 116. 현장 실험용 작업장 바지 위의 컨테이너 내부 모습과 소형 모형실험장치



그림 117. 완성된 시설모습

4) 소형 메소코즘 제작

적조가 수정리 현장 해역에서 발생할 시를 대비하여 공기 매트형 메소코즘은 현장 실험용으로 사용하고, 코크로디니움 유해적조 발생이 해역에서 유동성이 강함에 따라 이에 대비하여 그림 115와 같은 소형(2 m×2 m×2 m 1개, 2 m×2 m×1 m 1개) 메소코즘 2기를 제작하였다. 그림에서 위쪽의 메소코즘은 방지막을 mesh 10 μm 2중 그물막으로 제작하였고, 아래쪽의 메소코즘 방지막은 일반 폐쇄 방지막으로 제작하여 다양한 실험을 행할 수 있도록 하였다. 방지막 하단에는 납추를 넣어 방지막이 물속에서 형태를 유지하도록 하였다. 그림 116은 소형 메소코즘에 의한 현장실험 모습이다.

그림에서 방지막 상부의 플로트 부분은 공기매트식이 아닌 내부에 스티로폼과 같은 부력재가 들어 있는 형태이다. 그러므로 물위에서 정확한 4각 형태를 유지할 수가 없기 때문에 메소코즘 상부에 4각 형태의 PVC 파이프를 그 틀을 유지하도록 하였다. 이는 조립식으로 이동시에는 분리하여 차에 실을 수 있도록 하였으며, 현장 해역에서는 PVC 파이프를 다시 사각 형태로 끼운 다음 메소코즘에 연결시켜 물위에 띄워 실험을 할 수 있도록 하였다.



그림 118. 소형 이동식 메소코즘



그림 119. 소형 메소코즘의 현장 실험

나. 메소코즘 실험

2005년 11월 마산시 수정리에 설치한 메소코즘 내에서 살조물질(세프레마)을 살포 한 후 수질 및 동·식물플랑크톤 변화를 시·공간대별로 조사해 보았다. 세프레마는 메소코즘(5 m×5 m×8 m) 내의 수괴에 투여한 다음, 최종농도가 200 ppm이 되도록 했다. 반응여부를 확인하기 위하여 동·식물플랑크톤은 각 시간대별 (살포전과 살포 직후, 10분 후, 20분 후, 30분 후, 60분 후, 120분 후) 및 수심별로 (0 m, 2 m, 4 m, 6 m, 8 m) 각각 정량 채수하고 채집한 시료는 제3절의 방법과 동일하게 분석했다. 수질환경 변화 또한 시공간대별로 정량 채집하여 제2절의 방법과 동일하게 분석했다.

2. 결과

가. 수질

적조구제물질 살포 후 메소코즘 내 환경조사의 수온, 염분, pH, 용존산소, COD 측정 결과를 표 58에 나타내었다. 수온은 구제물질 살포일(11월 20일)에는 평균 14.2°C를 보였으며, 살포이후 8일에는 평균 12.6°C를 보였다. 염분은 구제물질 살포일에는 평균 32.48‰을 보였으며, 살포 후 8일에는 평균 32.38‰을 보였다. pH는 구제물질 살포 전에는 평균 8.17을 보였으나 살포 후 120분까지 평균 9.55를 나타내어 알카리성을 보였다. 살포 후 8일에는 다시 평균 8.12를 나타내어 살포 전 값을 보였다. DO는 구제물질 살포일에는 평균 7.29 mg/L를 보였으며, 살포 후 8일에는 5.81 mg/L을 보였다. COD는 구제물질 살포일에는 평균 1.75 mg/L를 보였으며 살포 후 8일에는 평균 1.66 mg/L 을 보였다. SS는 살포 전 평균 5.04 mg/L을 보였으나 살포직후 424.14 mg/L, 10분후 357.82 mg/L, 20분후 295.70 mg/L, 30분후 234.98 mg/L, 60분후 256.70 mg/L, 120분후 241.02 mg/L를 나타내어 살포 직후에 최대값을 나타낸 후 시간 경과에 따라 점차 감소함을 보였다, 살포 후 8일에는 다시 평균 7.96 mg/L를 나타내어 살포이전 값을 보였다

적조구제물질 살포 후 메소코즘 내 환경조사의 영양염 측정 결과를 표 59에 나타내었다.

아질산질소는 구제물질 살포직전 1.24 $\mu\text{g-a/L}$, 살포직후 1.30 $\mu\text{g-a/L}$, 10분후 1.33 $\mu\text{g-a/L}$, 20분후 1.34 $\mu\text{g-a/L}$, 30분후 1.39 $\mu\text{g-a/L}$, 60분후에 1.31 $\mu\text{g-a/L}$, 120분후 1.35 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈고, 8일후에는 평균 1.36 $\mu\text{g-a/L}$ 이었다. 전체적으로 살포이후 30분까지 다소 증가한 다음 다시 원상태로 감소하는 경향을 보였다.

질산질소는 구제물질 살포직전 6.13 $\mu\text{g-a/L}$, 살포직후 5.72 $\mu\text{g-a/L}$, 10분후 5.53 $\mu\text{g-a/L}$, 20분후 5.82 $\mu\text{g-a/L}$, 30분후 5.87 $\mu\text{g-a/L}$, 60분후 6.08 $\mu\text{g-a/L}$, 120분후 5.91 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타내었고, 8일후에는 평균 7.25 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈다. 전체적으로 살포직후 10분까지는 농도가 감소한 다음, 이후 지속적으로 농도가 원상태로 증가하는 경향을 보였다.

암모니아질소는 구제물질 살포직전 17.58 $\mu\text{g-a/L}$, 살포직후 21.54 $\mu\text{g-a/L}$, 10분후 21.77 $\mu\text{g-a/L}$, 20분후 19.79 $\mu\text{g-a/L}$, 30분후 20.45 $\mu\text{g-a/L}$, 60분후 19.90 $\mu\text{g-a/L}$, 120분후 20.77 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈고, 8일후에는 평균 19.57 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈다. 전체적으로 살포직후 10분까지 급격하게 농도가 증가한 다음, 8일 이후까지 농도가 매우 서서히 감소하는 경향을 나타냈다.

인산인은 구제물질 살포직전 1.33 $\mu\text{g-a/L}$, 살포직후에 0.57 $\mu\text{g-a/L}$, 10분후 0.49 $\mu\text{g-a/L}$, 20분후 0.56 $\mu\text{g-a/L}$, 30분후 0.58 $\mu\text{g-a/L}$, 60분후 0.76 $\mu\text{g-a/L}$, 120분후 0.71 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈고, 8일후에는 평균 1.29 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈다. 전체적으로 살포이후 120분까지 농도가 급격하게 감소하고 8일후에는 원래대로 돌아오는 경향을 나타냈다.

규산규소는 구제물질 살포직전 17.76 $\mu\text{g-a/L}$, 살포직후 16.99 $\mu\text{g-a/L}$, 10분후 20.73 $\mu\text{g-a/L}$, 20분후 49.502 $\mu\text{g-a/L}$, 30분후 19.72 $\mu\text{g-a/L}$, 60분후 31.79 $\mu\text{g-a/L}$, 120분후 17.42 $\mu\text{g-a/L}$ 를 나타냈고, 8일후에 평균 17.74 $\mu\text{g-a/L}$ 나타냈다. 전체적으로 살포이후 60분까지 급격히 증가하고 120분 이후에는 원상태로 돌아오는 경향을 나타냈다.

표 58. 적조구제물질 살포이후 메소코즘 내 수질변화비교

시간	수심	수온(°C)	염분(‰)	pH	용존산소(mg/L)	COD(mg/L)	SS(mg/L)
살포 전	0	14.1	32.46	8.17	7.40	1.77	9.00
	2	14.1	32.47	8.17	7.44	1.85	2.30
	4	14.2	32.46	8.16	7.11	2.32	2.40
	6	14.2	32.46	8.17	6.98	1.28	7.40
	8	14.1	32.45	8.16	6.98	1.35	4.10
	평균	14.1	32.46	8.17	7.18	1.71	5.04
살포 후 0분	0	14.2	32.51	8.90	7.44	2.22	403.90
	2	14.3	32.49	9.15	7.44	1.30	478.30
	4	14.3	32.49	9.15	7.44	1.49	459.30
	6	14.2	32.45	9.20	7.48	2.37	532.10
	8	14.2	32.46	9.34	7.46	1.60	247.10
	평균	14.2	32.48	9.15	7.45	1.80	424.14
살포 후 10분	0	14.2	32.54	9.28	7.47	2.37	355.70
	2	14.3	32.51	9.39	7.43	1.98	404.90
	4	14.2	32.50	9.53	7.43	1.72	359.50
	6	14.2	32.40	9.54	7.45	1.63	351.50
	8	14.2	32.46	9.55	7.45	2.22	317.50
	평균	14.2	32.48	9.46	7.45	1.98	357.82
살포 후 20분	0	14.2	32.54	9.54	7.46	1.20	319.90
	2	14.3	32.50	9.64	7.37	1.12	348.10
	4	14.3	32.48	9.64	7.33	2.18	339.30
	6	14.2	32.45	9.70	7.32	1.47	261.90
	8	14.2	32.46	9.71	7.37	1.14	209.30
	평균	14.2	32.49	9.65	7.37	1.42	295.70
살포 후 30분	0	14.3	32.51	9.70	7.40	1.55	195.90
	2	14.3	32.51	9.74	7.26	1.56	264.70
	4	14.2	32.49	9.74	7.32	1.46	342.50
	6	14.2	32.48	9.72	7.37	1.51	177.10
	8	14.2	32.48	9.67	7.39	1.58	194.70
	평균	14.2	32.49	9.71	7.35	1.53	234.98
살포 후 60분	0	14.3	32.50	9.77	7.41	1.30	305.70
	2	14.3	32.47	9.81	7.10	1.91	346.90
	4	14.2	32.47	9.82	7.09	2.09	213.90
	6	14.2	32.47	9.83	7.09	2.08	217.90
	8	14.2	32.47	9.44	7.14	1.89	199.10
	평균	14.2	32.48	9.73	7.17	1.85	256.70
살포 후 120분	0	14.1	32.53	9.58	7.33	2.23	281.30
	2	14.3	32.45	9.68	7.17	1.66	370.10
	4	14.3	32.45	9.81	6.89	2.95	190.70
	6	14.2	32.46	9.53	6.88	1.59	189.50
	8	14.2	32.43	9.31	6.98	1.35	173.50
	평균	14.2	32.46	9.58	7.05	1.96	241.02
살포 후 8일	0	12.7	32.43	8.10	5.90	1.89	1.00
	2	12.6	32.39	8.11	5.90	1.36	7.30
	4	12.5	32.37	8.12	5.73	2.09	9.20
	6	12.5	32.35	8.12	5.75	1.35	15.70
	8	12.5	32.36	8.13	5.78	1.61	6.60
	평균	12.6	32.38	8.12	5.81	1.66	7.96

표 59. 적조구제물질 살포이후 메소코즘 내 영양염 변화

시간	수심	NO ₂ (ug-a/L)	NO ₃ (ug-a/L)	NH ₄ (ug-a/L)	PO ₄ (ug-a/L)	SiO ₂ (ug-a/L)
살포 전	0	1.299	6.398	18.081	1.491	21.086
	2	1.164	6.395	19.327	1.179	12.292
	4	1.138	6.124	16.628	1.095	14.305
	6	1.171	5.777	15.710	1.234	27.705
	8	1.442	5.940	18.149	1.660	13.387
	평균	1.243	6.127	17.579	1.332	17.755
살포 후 0분	0	1.420	6.107	18.123	0.914	16.827
	2	1.266	6.241	19.540	0.536	20.426
	4	1.504	6.057	24.431	0.507	16.136
	6	1.146	5.098	23.780	0.438	15.185
	8	1.183	5.095	21.815	0.463	16.359
	평균	1.304	5.720	21.538	0.572	16.987
살포 후 10분	0	1.279	5.147	23.644	0.454	23.202
	2	1.339	5.270	18.163	0.454	20.105
	4	1.157	5.438	23.494	0.482	13.631
	6	1.701	6.666	22.098	0.599	25.547
	8	1.184	5.130	21.434	0.479	21.160
	평균	1.332	5.530	21.766	0.494	20.729
살포 후 20분	0	1.303	5.587	20.654	0.628	19.003
	2	1.413	5.893	21.450	0.473	16.980
	4	1.345	5.940	17.708	0.539	179.727
	6	1.318	6.128	22.620	0.579	17.433
	8	1.323	5.553	16.516	0.571	14.370
	평균	1.340	5.820	19.790	0.558	49.502
살포 후 30분	0	1.175	5.833	19.180	0.574	17.277
	2	1.540	5.782	19.752	0.493	21.463
	4	1.422	6.169	20.730	0.540	17.829
	6	1.277	5.267	21.242	0.623	15.949
	8	1.509	6.292	21.323	0.669	26.094
	평균	1.385	5.869	20.446	0.580	19.722
살포 후 60분	0	1.218	5.554	17.852	0.541	75.480
	2	1.482	6.459	21.489	0.570	23.440
	4	1.310	5.724	20.695	0.636	16.408
	6	1.367	7.527	21.004	0.594	24.471
	8	1.147	5.142	18.470	1.448	19.174
	평균	1.305	6.081	19.902	0.758	31.794
살포 후 120분	0	1.289	5.706	20.037	0.565	17.380
	2	1.380	6.370	19.138	0.595	23.349
	4	1.279	6.230	18.903	0.775	15.130
	6	1.512	5.816	23.422	0.807	15.334
	8	1.290	5.446	22.372	0.810	15.882
	평균	1.350	5.914	20.774	0.710	17.415
살포 후 8일	0	1.405	7.888	17.488	1.233	20.150
	2	1.388	7.231	19.865	1.219	16.340
	4	1.369	7.099	20.260	1.269	17.303
	6	1.265	6.543	18.208	1.242	13.861
	8	1.356	7.471	22.035	1.507	21.045
	평균	1.356	7.247	19.571	1.294	17.740

나. 동물플랑크톤

실험결과, 총 38종, 4,437 개체의 동물플랑크톤이 출현하였다(표 60). 적조구제물질 살포 후, 시간대 별로 동물플랑크톤의 출현양상을 파악해 본 결과, 적조구제물질 살포 직후부터 시간이 흐를수록 동물플랑크톤의 개체수가 점점 줄어드는 양상이 나타나, 60분 후에는 271 개체의 동물플랑크톤이 출현하였다가, 120분 후에는 394 개체로 약간의 동물플랑크톤 개체수가 증가하였다(그림 117).

한편, 적조구제물질 살포 후 약 1주일이 경과한 이후의 동물플랑크톤의 출현양상은 mesocosm 실험구 설치 전에는 2,870 개체가 출현했으며, mesocosm 실험구 설치 후에는 541 개체가 출현하여, 약 5배 정도의 개체수 감소를 보였다(표 61). 반면, 조사 지역에서 동물플랑크톤의 출현종수는 mesocosm 실험구 설치 전에는 18종이 출현하였으나, 설치 후에는 21종이 출현했다(표 61). 적조구제물질 살포 후 1주가 경과한 2005년 11월 28일에 mesocosm 실험구를 대상으로 현장조사를 실시한 결과, 총 7종, 2,136 개체, 26.8 gWWt/m²의 대형저서동물이 채집되었다. 출현 종수를 보면, 환형동물문의 다모류가 5종이 출현했고, 절지동물문 갑각류의 집게류와 새우류가 각 1종씩 출현했다. 개체수와 생체량은 다모류가 2,088 개체, 21.8 gWWt/m²으로 가장 높았고, 집게류의 쪽(*Upogebia major*)은 36 개체와 2.8 gWWt/m²를, 새우류의 민새우(*Parapenaeopsis tenella*)는 12 개체와 2.3 gWWt/m²를 나타냈다. mesocosm 실험구에서 적조구제 물질의 살포에 따른 변화양상을 보면, 출현 종수는 다모류가 3종에서 5종으로 2종이 새롭게 추가되었고, 구제물질 살포 이전에는 출현하지 않았던 갑각류도 2종(쪽과 민새우)이 출현했다. 개체수와 생체량은 단위 면적당(m²) 1,248 개체와 11.5 gWWt/m²에서 2,136 개체와 26.8 gWWt/m²으로 각각 약 2배가량 증가한 결과를 보였다. 그러나 우점종에 있어서는 *P. pinnata*가 적조구제 물질 살포 이전과 이후에 각각 1,236 개체와 1,940 개체가 채집되어 다소 증가했으나, 본 조사해역의 대표적인 우점종임에 변함이 없었다(표 61).

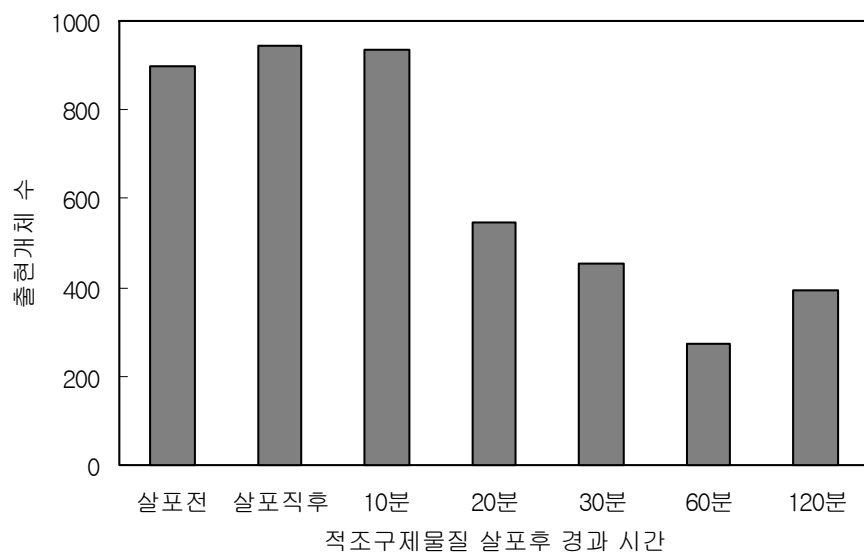


그림 120. 적조 구제 물질 살포 후 시간의 경과에 따른 동물 플랑크톤의 출현개체 수.

표 60. 적조 구제 물질 효과 실험 시 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현개
체 수

출현종/조사정점	전	직후	10분	20분	30분	60분	120분	합계
Protozoa								
<i>Noctiluca scintillans</i>				2				2
Cnidaria								
Hydromedusa	2	16			2	2	4	26
Siphonophora	16	24	15	2	4	7	3	70
Annelida								
Polychaeta larvae	9	24	18	16	4	8	11	90
Polychaeta tracophores	11	8	8	2	2		3	33
Mollusca								
Bivalvia larvae				2				2
Gastropoda larvae	29	4	3	4			1	41
Arthropoda								
Crustacea								
Branchiopoda								
<i>Evadne nordmanni</i>	2	4			2			8
<i>Evadne tergestina</i>	2		3	2				7
<i>Podon</i> sp.	13	48	23	20	4	3	4	115
<i>Penilia avirostris</i>	13	20	10	2	2	2	4	53
Cirriped nauplii and cypris	11	12	15	8	12	2		60
Ostracoda	87	60	43	78	38	35	27	367
Copepoda								
<i>Acartia erythraea</i>	18	16	70					104
<i>Acartia hudsonica</i>				12			14	26
<i>Acartia omorii</i>	213	184	190	84	80	47	46	844
calanoid copepodies	62	40	20	16	36	7	17	198
<i>Calanus sinicus</i>	9		10	4				23
<i>Corycaeus</i> spp.	9	8	10	4			1	32
<i>Centropages abdominalis</i>	9							9
Harpacticoida	9	8	10			2	1	30
<i>Paracalanus</i> spp.	196	296	340	136	160	77	123	1327
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	18	24	10	20	24	10	20	126
<i>Oithona</i> spp.					4		1	5
<i>Temora turbinata</i>	9	24	10	4	4		3	54
Ampipoda								
Gammaridea			3	18	10	2	1	33
Isopoda	4	4				1	1	10
Decapoda								
Anomura larvae				2				2
Macrura larvae	2						1	3
Brachyura larvae	4	4	8	4	2	2	3	26
Mysidacea	2							2
Euphausiacea								
Euphausiacea egg				4				4
Chaetognatha								
<i>Sagitta enflata</i>	4					2		6
<i>Sagitta</i> sp.	18	40	90	32	18	13	30	241
Echinodermata larvae							1	1
Chordata								
Urochordata								
Appendicularia spp.	113	76	28	66	44	48	71	447
Tadpole larvae				2	2	3		7
Fish egg							1	1
합계	896	944	933	546	454	271	394	4437

표 61. 적조구제물질 살포 후 약 1주일 경과 후, 조사해역에서 출현한 동물플랑크톤의 종 목록과 출현 개체 수

출현종/조사정점	M	M'	합 계
Protozoa			
<i>Noctiluca scintillans</i>	14		14
Cnidaria			
Hydromedusa		1	1
Siphonophora	10	1	11
Annelida			
Polychaeta larvae	7	1	8
Polychaeta trachophores		16	16
Mollusca			
Bivalvia larvae		3	3
Gastropoda larvae		1	1
Arthropoda			
Crustacea			
Branchiopoda			
<i>Evadne nordmanni</i>	17		17
<i>Evadne tergestina</i>	52		52
<i>Podon</i> sp.	198	3	201
<i>Penilia avirostris</i>		9	9
Cirriped nauplii and cypris	66	9	75
Ostracoda		17	17
Copepoda			
<i>Acartia erythraea</i>	153		153
<i>Acartia omorii</i>	1795	29	1823
calanoid copepodies	14	6	20
<i>Calanus sinicus</i>	14		14
<i>Centrophages abdominalis</i>	14		14
Harpacticoida		1	1
<i>Paracalanus</i> spp.	56	143	199
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		23	23
Decapoda			
Macrura larvae		1	1
Brachyura larvae		1	1
Euphausiacea			
Euphausiacea egg		1	1
Chaetognatha			
<i>Sagitta</i> sp.	7	17	24
Chordata			
Urochordata			
Appendicularia spp.	383	259	641
Doliolidae spp.	14		14
Tadpole larvae	52	1	53
Fish egg	3		3
합계	2870	541	3410

다. 식물플랑크톤

살조물질 세프레마의 살조능 실험에서는 시간대에 따른 수층별 식물플랑크톤 현존량 변화를 표 62, 그림 119에 나타내었다. 표층의 경우, 세프레마 살포 전 후, 식물플랑크톤 현존량 변화가 거의 없었으며, 2 m 수층에서는 살포 직후부터 30분까지는 별 다른 변화가 없는 듯 하였으나, 살포 후 60분 과 120분 후의 현존량이 약 50% 정도로 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 4 m 수층에서는 살포 직후부터 조금 씩 감소하였으며 살포 2시간 후에는 약 60% 감소하였다. 그러나 6 m 와 8 m 수층에서는 살포 직후 식물플랑크톤의 현존량이 증가하는 경향을 보이다가 살포 20분 후부터 서서히 감소하였다(그림 118). 이는 살포 직후 2~4 m에 존재하던 식물플랑크톤이 하강하여 6~8 m의 수층에서 검출 된 것으로 사료되며 이들은 계속 하강하여 살포 20분 후부터는 2~4 m에 존재하는 식물플랑크톤의 농도가 낮아졌기 때문에 이러한 경향이 약화된 것으로 생각된다. 그러나 이번 실험 결과는 현장에서 적조 발생 시 표층에서 세프레마 살포에 따른 적조구제효과는 분명하게 나타나지 않았다.

표 62. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 시간·수심별 식물플랑크톤 현존량 변화(cells/mL)

Time (min) /depth	0 M	2 M	4 M	6 M	8 M
Before	216.0	235.5	299.9	158.9	83.0
0	181.0	251.4	261.3	232.2	176.6
10	196.2	236.9	291.6	313.8	304.0
20	216.2	396.3	227.5	253.6	194.3
30	178.0	221.0	193.9	101.1	112.4
60	170.5	108.4	192.1	145.2	93.2
120	198.3	127.8	128.5	120.5	188.6

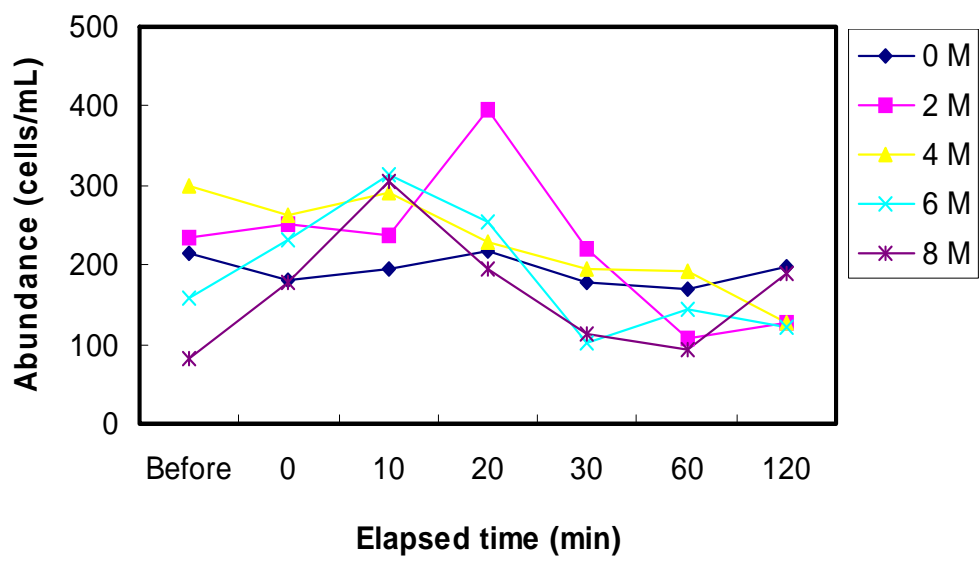


그림 121. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 식물플랑크톤 현존량의 시·공간 변화.

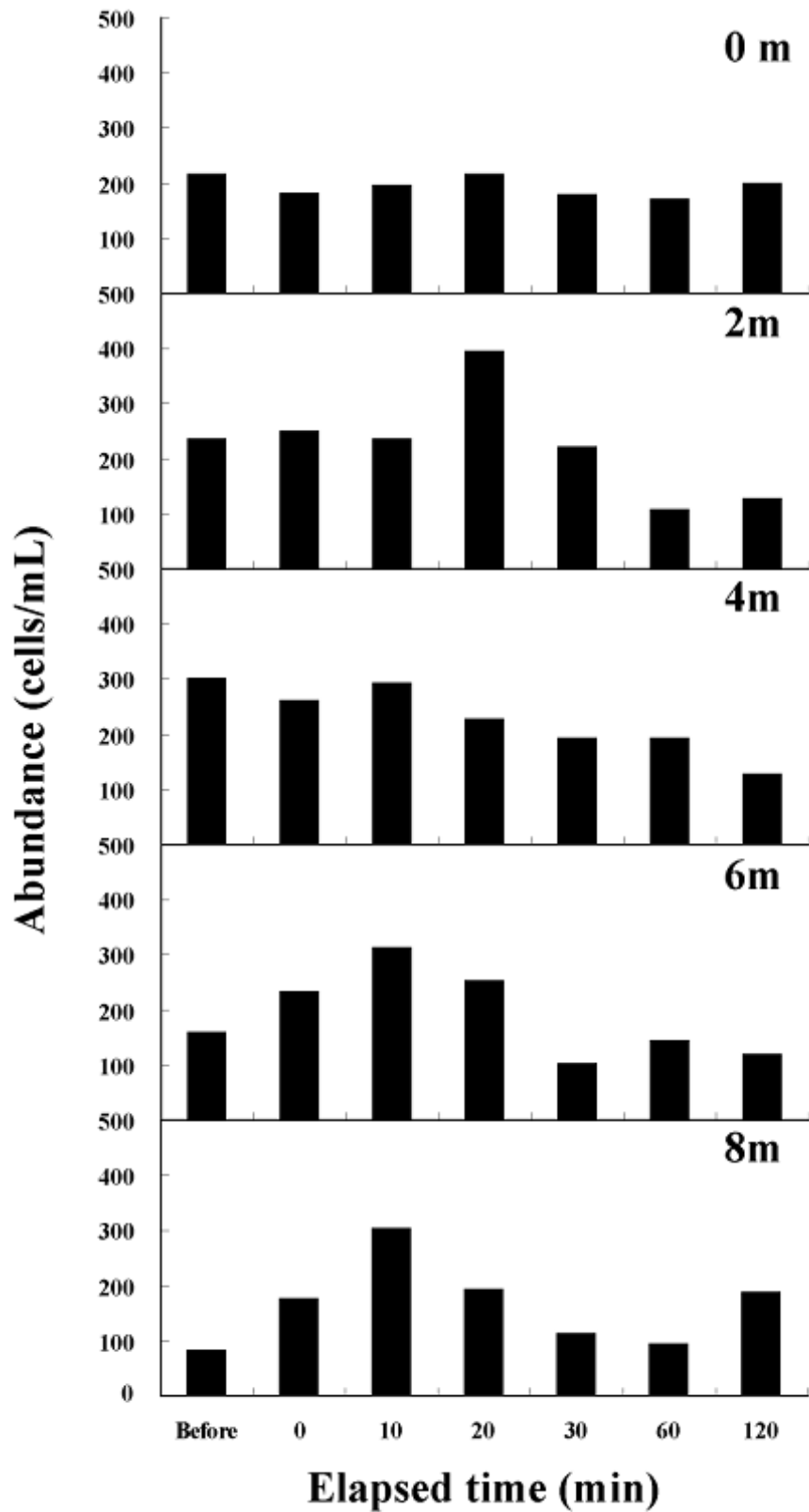


그림 122. 2005년 11월 메소코즘 내 살조물질(세프레마) 살포 후, 시간·수심별 식물플랑크톤 현존량 변화.

제6절 현장실험

1. 재료 및 방법

2006년 8월 22일 *Cochlodinium polykrikoides* 적조가 발생한 경남 남해군 이동면 소재의 앵강만(그림 129a) 내에서 1 mX1 mX1 m(가로X세로X높이) 크기의 메소코즘을 이용해 황토, 세프레마, 신물질을 각각 투여한 이후, 시간 경과(5분, 10분, 30분)에 따른 구제효율을 분석하였다(그림 129b). 적조구제물질은 황토, 세프레마, 신물질을 사용했으며 이들은 조사해역의 해수에 각각 용해시켜 메소코즘 내 투여 후 최종농도가 200 ppm이 되도록 조절했다. 적조구제효율 실험과 동시에 해수수질은 YSI로 연속 측정했으며, 적조구제물질 투여 후 결과는 현장에서 광학현미경 분석(그림 129c) 및 일정량의 해수를 암병에 채취하여 실험실로 운반한 다음, 여과와 산처리를 통해 클로로필-a 양을 기기분석 했다.

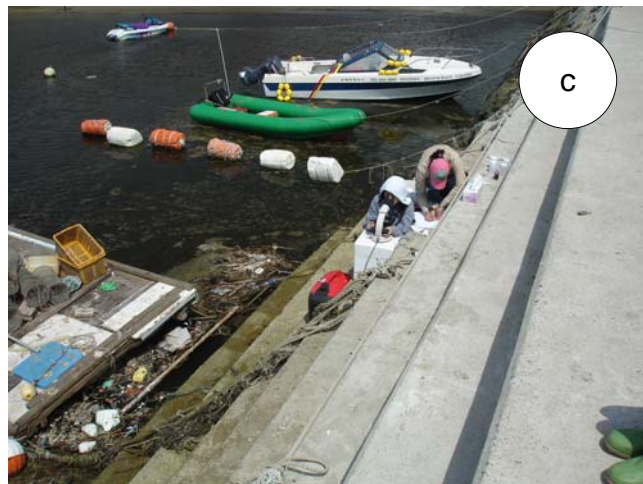


그림 123. *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생해역에서 메소코즘 내 황토, 세프레마, 신물길 살포에 따른 구제효율 실험모습. A, 적조발생해역; B, 메소코즘준비; C, 적조생물의 광학현미경 관찰모습.

2. 결과

각 적조구제물질을 메소코즘 내 투여한 이후 YSI 기기로 연속 측정한 수온, 염분, DO, pH의 변화는 미미했다. 각 물질의 적조구제 효과는 신물질, 세프레마, 황토 순서대로 크게 나타났다(표 63, 그림 124).

가. 황토

황토는 투여직전 클로로필의 농도가 223.8 $\mu\text{g/L}$ 에서 투여이후 5분, 10분, 30분에 198.8 $\mu\text{g/L}$, 170.0 $\mu\text{g/L}$, 163.8 $\mu\text{g/L}$ 으로 감소하여 각각 11.2%, 24.0%, 26.8%의 적조구제효율을 기록했다.(표 63, 그림 121, 124)

나. 세프레마

세프레마는 투여직전 클로로필의 농도가 223.8 $\mu\text{g/L}$ 에서 투여이후 5분, 10분, 30분에 160.0 $\mu\text{g/L}$, 140.0 $\mu\text{g/L}$, 126.7 $\mu\text{g/L}$ 으로 감소하여 각각 28.5%, 37.4%, 43.4%의 적조구제효율을 기록했다(표 63, 그림 122, 124).

다. 신물질

신물질은 투여직전 클로로필의 농도가 223.8 $\mu\text{g/L}$ 에서 투여이후 5분, 10분, 30분에 112.1 $\mu\text{g/L}$, 98.2 $\mu\text{g/L}$, 67.0 $\mu\text{g/L}$ 으로 감소하여 각각 49.9%, 56.1%, 70.1%의 적조구제효율을 기록했다(표 63, 그림 123, 124).

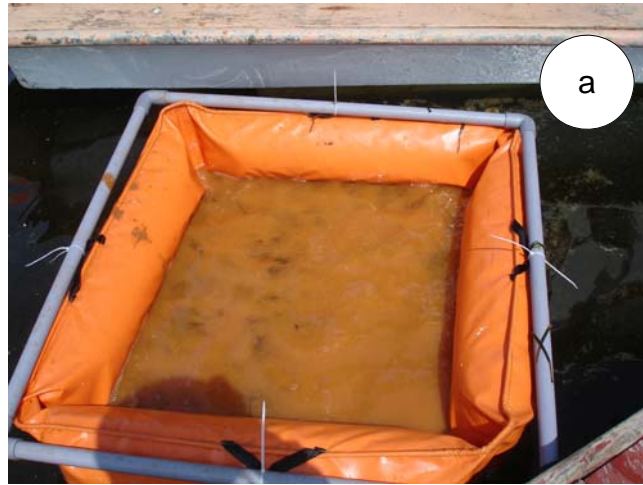


그림 124. 황토 살포 후 메소코즘 내 모습 (최종농도 200 ppm). A, 살포직후; B, 살포 1분후; C, 살포 10분후.



그림 125. 세프레마 살포 후 메소코즘 내 모습(최종농도 200 ppm). A, 살포 직후; B, 살포 1분후; C, 살포 10분후.

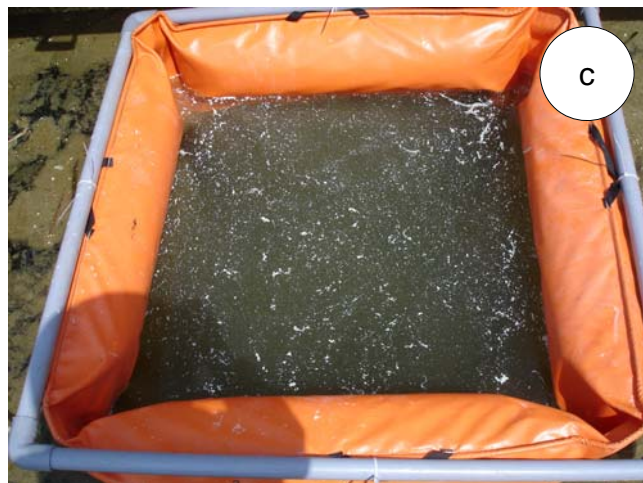


그림 126. 신물질 살포 후 메소코즘 내 모습(최종농도 200 ppm). A, 살포직 후; B, 살포 1분후; C, 살포 10분 후.

표 63. 살조물질(메소코즘 내 최종농도 200 ppm) 투입에 따른 메소코즘 내의 클로로필-a 값의 변화와 적조제거효율 비교

구제 물질 투입 후 시간(분)	클로로필-a 농도			적조제거 효율(%)		
	황 토	세프레마	신물질	황 토	세프레마	신물질
0	223.8	223.8	223.8	0.0	0.0	0.0
5	198.8	160.0	112.1	11.2	28.5	49.9
10	170.0	140.0	98.2	24.0	37.4	56.1
30	163.8	126.7	67.0	26.8	43.4	70.1

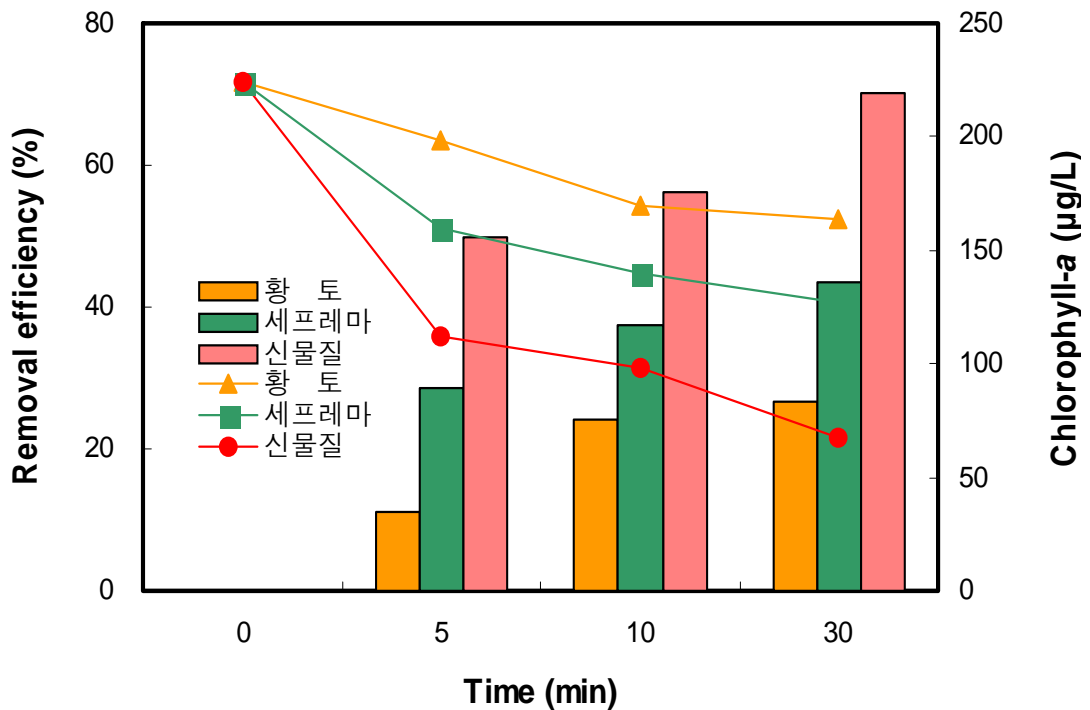


그림 127. 살조물질(메소코즘 내 최종농도 200 ppm) 투입에 따른 메소코즘 내의 클로로필-a 값의 변화와 적조제거효율 비교.

제 3 장

소형장치 제작 및 실내실험

제1절 살포방법 및 시작품 시설방안

1. 소형 실험장치(Algae Hunter, REDTIDE KILLER RTK-30-2) 제작

가.仕様書

仕様書

1. 概要

본 장치는 해면에 발생한 赤潮海水를 흡수하고, 超音波를 照射하여 이것에 의해 赤潮플랑크톤을 非活性化시킴과 동시에 水流발생 장치에 의한 流動促進과 오존 에어레이션에 의해 海底에 堆積, 變질화 없이 산화 분해를 촉진시킨다.

2. 仕様

2-1. 소형 Algae Hunter (赤潮殺藻장치) 본체

1)超音波照射室 : 表層水와 같이 흡입된 赤潮 플랑크톤에 超音波를 照射 시킴

2)超音波振動子 : 高周波×2F 型

3)整流板 : 흡입하는 表層水의 整流를 행함

4)부력관 : 사각형 부이형, 主寸法 : 398×305×4 式

5)水流 발생부 : 수류발생 노즐과 整流筒으로 구성되고, 구동수 펌프의 送水에 의해 整流筒에서 水流를 吐出시킴

2-2. 부속장치

1)구동수 펌프

①形式 : 陸上型 海水仕様 2.2kW

②口徑 : 65×50

③台數 : 1台

2)落水防止 챔버 : 1台(펌프再起動을 容易하게 하기 위한 吸水供給用)

3)구동수 配管 : 1式(仕切弁付 ; 樹脂製)

4)오존 발생장치 : 1式(UV放電管式 오존 발생장치)

공기를 원료로 오존을 발생시키고 이것을 배기관 통하여 水流발생장치의 수류에 난류 혼합시켜 효과적으로 수중에 확산시킴

5)오존 배기관 : 1式(耐오존 배기튜브)

6)컴프레샤 : 0.2kw

2-3. 전기설비

1)制御盤 : 1式

구동수 펌프, 오존 발생장치 등에 電源을 공급하고 이들 機器를 제어하는 全天候型 設置型 制御盤. 장치의 운전, 정지 조작을 주로하고 警報回路로서 누전검지, 펌프 및 에어펌프 過負荷 검지, 펌프이상 등을 표시. 또 낙뢰에 의한 정전 시는 회복 후 재운전 자동 가능

나. 각 장치 제작

1) 초음파 장치

그림 125은 소형실험장치에 부착된 초음파 장치로 소형장치의 수류 발생부를 통과하는 발생관 주변의 흐름속의 적조생물을 구제하는 역할을 하며, 발생주파수대는 고주파이며, 2F 형이다. 녹조생물의 구제 주파수와는 차이가 있는 적조생물 구제 주파수 범위이다. 그림 126은 초음파를 발생 제어하는 조사장치를 나타낸다.



그림 128. 수류발생부에 부착된 초음파 발생장치. (좌)원형초음파발생장치, (우)사각형 초음파 발생장치



그림 129. 초음파 조사실

2) 오존발생장치

그림 127은 공기를 원료로 하여 UV 석영관을 방전관식으로 통과시켜 오존을 발생시키는 오존발생장치를 나타내며, 본 장치는 송기관을 통하여 수류발생장치의 수류에 난류 혼합시켜 수중에 확산시킨다.



그림 130. 오존발생장치. (좌) 오존발생장치 외관, (우) 소형실험장치에 장착

3) 구동수 펌프

그림 128는 육상형 해수 전용 펌프로써 구경은 65×50이며 전기 용량은 1.5kW인 구동수 펌프를 나타낸다. 구동수 펌프 측면에는 펌프 초기 작동 시 해수를 공급하여 압력을 유지시켜주는 낙수방지 챔버가 부착되어 있다. 그림 129는 낙수 방지 챔버와 구동수 펌프가 부착되어 현장에 시설된 모습을 보여준다.



그림 131. 구동수 펌프



그림 132. 낙수방지 챔버와 구동수 펌프가 설치된 소형실험장치 모습

4) 기타 부품

그림 130은 각 장치를 거치하는 프레임의 제작과정중의 모습이고, 그림131은 제작 중의 수류발생부이다.



그림 133. 제작중의 소형 실험장치의 프레임



그림 134. 수류발생부의 제작과정

그림 132는 소형실험장치의 펌프, 오존발생장치 및 초음파 장치의 운전을 조절 제어하는 장치 박스의 모습을 보여준다. 그림 133에는 각 장치의 부속품들을 보여주고 있다.



그림 135. 소형실험장치의 운전 제어박스의 내 외부 모습.



그림 136. 소형실험장치에 부착되는 각종 부속품. (a)스트레이너 및 정류통 내부 필터, (b)경광등, (c)오존 공급 밸브 및 호스, (d)오존 공급 밸브 및 파이프, (e)노즐에 연결된 오존공급밸브, (f)정류통 및 기타 부속품.

그림 134은 대부분의 주요장치가 부착되어 완성단계 직전의 소형 실험 장치의 모습을 보여주며, 그림 135은 부력재가 부착되기 직전의 모습이다. 그림 136는 부착된 장비들의 동작을 점검하고 있는 모습이며, 완성된 장치들의 그림 137은 현장 성능확인 점검 실험을 위해 운반하고 있는 모습이다.

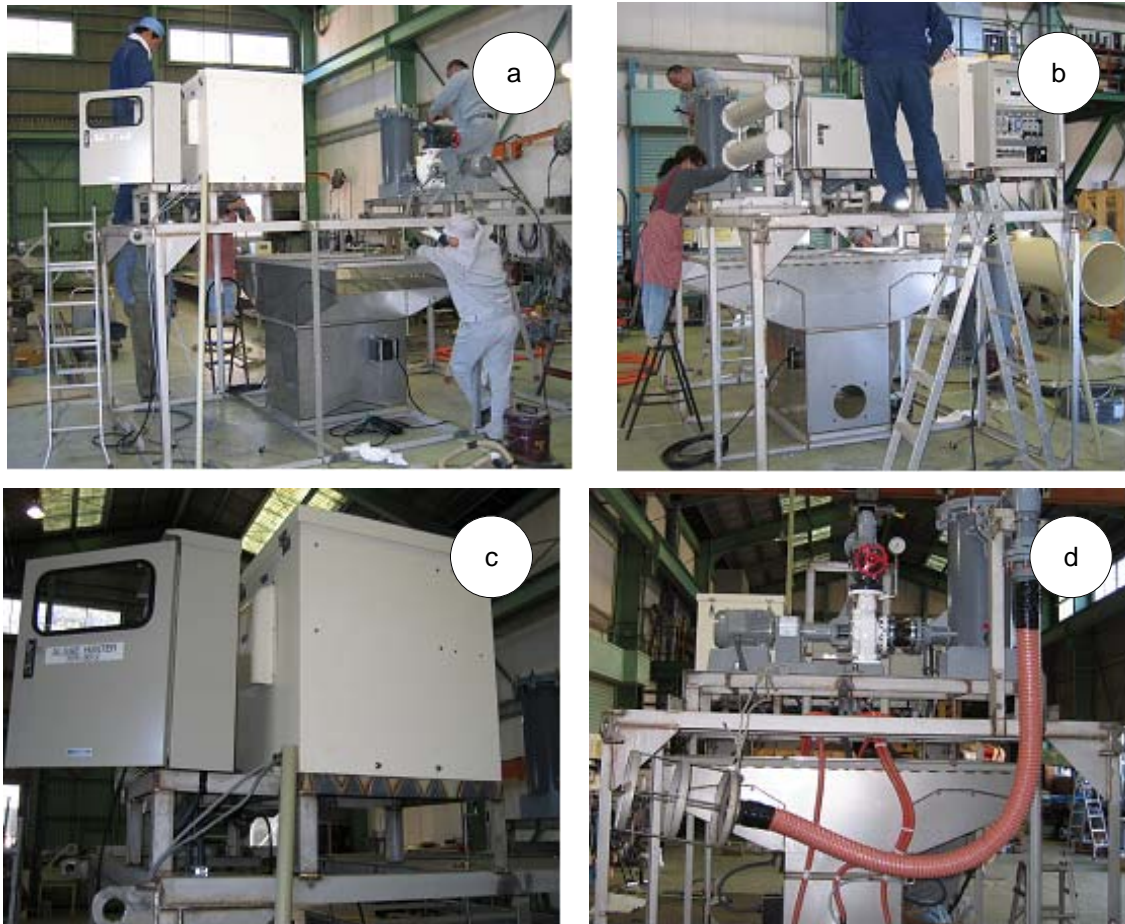


그림 137. 프레임에 부착된 각종 주요 장비. (a) 제어박스, 정류통과 펌프 부착, (b)오존장치, 전기 공급 박스 부착, (c) 부착된 제어박스 모습, (d)부착된 오존장치, 전기 공급 박스



그림 138. 부력재 부착 전 소형장치



그림 139. 부착장비들의 점검



그림 140. 현장 실험을 위한 소형실험장치의 운반

그림 138는 현장 점검 실험을 위해 제작 장소인 일본 長崎 周辺의 바닷가에 진수하고 있는 소형실험장치의 모습을 보여주고 있으며, 그림 139는 설치한 소형장치 후류에서 확산하는 미세기포의 모습을 나타낸다.



그림 141. 현장 성능 확인 실험을 위해 실험 해역에 설치되는 소형장치

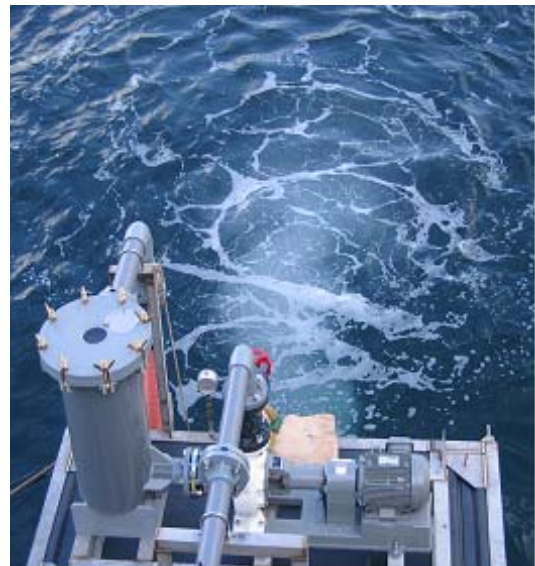
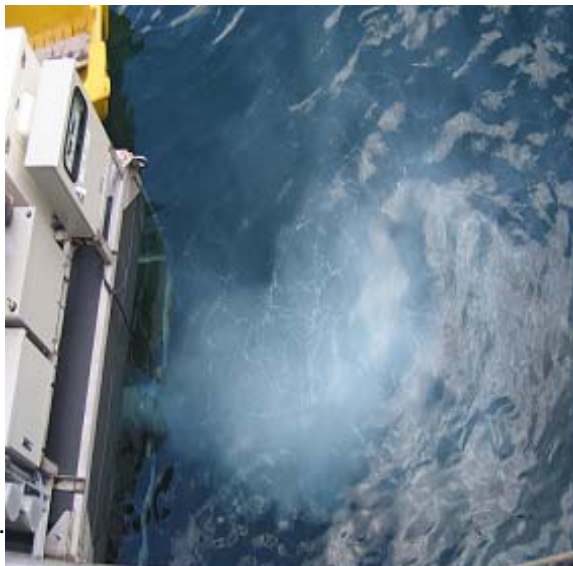


그림 142. 소형 실험장치 후류의 미세기포 확산 모습

2. 효과 실험

생물에 대한 효과 실험을 적조보다 구제가 훨씬 어려운 녹조에 대하여 성능 확인 실험을 행하고, 적조발생 시기에는 적조생물에 대하여 실험을 행하였다. 먼저 실험은 본 연구사업의 수행 시기에 따라 봄철에는 본 장치에 의한 녹조 구제효율 확인과 초음파 처리 전 후의 녹조의 현미경 관찰 및 녹조 종에 대한 조사를 행하였으며, 적조 발생하는 시기인 여름철에는 적조생물에 대한 구제효과조사를 행하였다.

가. 녹조에 대한 구제 효과

1) 측정방법

초음파가 적용된 각 개소에서 채수한 물을 1 L의 폴리에틸렌 통으로 채수하고, 2 시간가량 가라앉힌 후 상하층 500 mL 씩 분할하여 각각의 클로로필 농도를 측정하였다(그림 140).

$$\text{구제효율(\%)} = \frac{\text{하층 클로로필량}(\mu\text{g})}{(\text{상층}+\text{하층})\text{클로로필 농도}(\mu\text{g})} \times 100$$

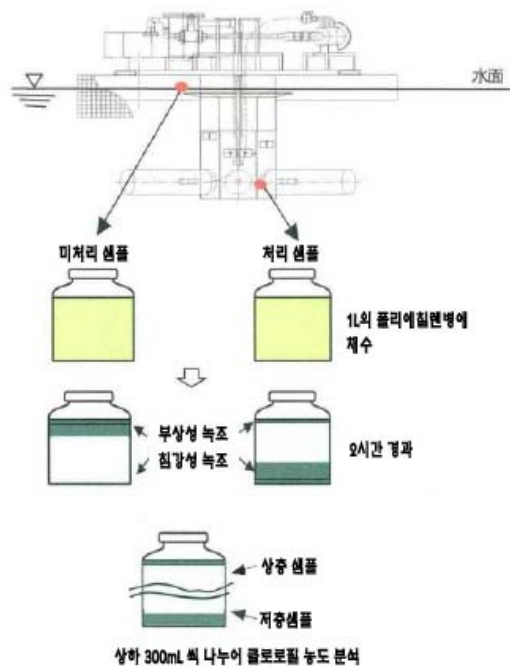


그림 143. 구제효율 측정 방법

2) 녹조구제

초음파 처리하는 것에 의해 표층의 녹조가 약 50%에서 80% 침강하는 것이 확인 되었다. 녹조 구제율과 클로로필 a의 농도와의 상관관계는 나타나지 않았다. 그림 141은 녹조 구제효율을 나타내고 그림 142은 표층의 클로로필 a의 농도, 그림 143은 초기와 2시간 후의 침강한 모습을 보여준다. 그림141과 142에는 본 소형장치 이외에 수류발생 용량이 조금씩 다른 장치 8대의 실험 결과이나 여기서 3번째 그래프 결과가 본 소형장치에 해당하는 결과이다.

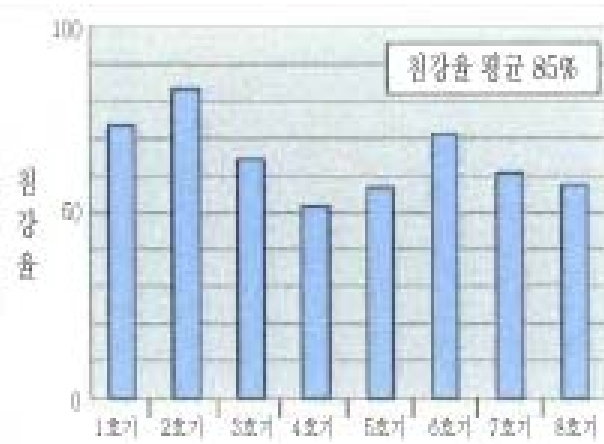


그림 144. 녹조 구제율(3번째 막대그래프)

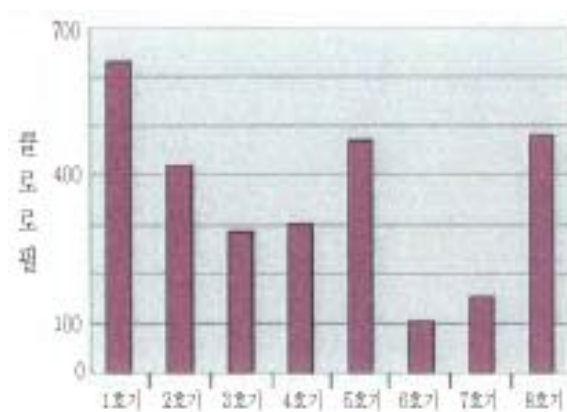


그림 145. 표층의 클로로필 a 농도(3번째 막대그래프)

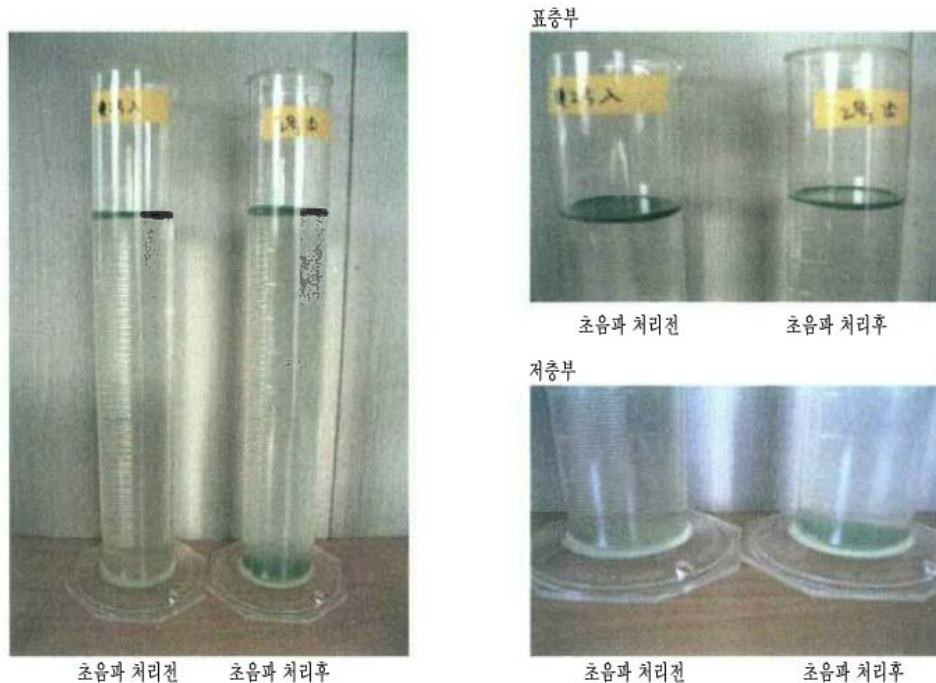


그림 146. 초음파 적용 전과 적용 후 2시간 경과 후의 녹조 모습

3) 처리유량(취수구내 유속), 초음파 조사장치 설치대수와 녹조 구제율의 관계

부유식 조류제어장치인 소형실험장치의 취수구내 유속에 의한 초음파 조사장치의 녹조 구제율의 변화와 초음파 조사장치의 운전대수로서 녹조 구제효율 변화를 확인하였다. 취수구내 유속이 빠를수록 약간 녹조 구제효율이 낮게 되는 경향을 보이고 있다. 그리고 초음파 조사장치 3대 운전과 6대 운전에서의 녹조 구제효율은 6대 운전 쪽이 약간 높은 녹조 구제효율을 보였으나, 대수에 비례한 증가는 보이지 않았다. 그러므로 초음파 조사장치는 장치의 적용 크기에 따라 약간 차이가 있을 수 있으나 2~3대 정도의 설치로 충분한 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

그림 144에는 부유식 조류제어장치의 처리유량, 취수구내 유속 및 처리 조건별 녹조 구제효율을 나타내었다.

4) 시간대별 녹조 구제효율

시간대별 녹조 구제효율을 확인하였으며, 그림 145에 그 결과를

나타내었다. 오전중의 녹조 구제효율은 높으나, 오후에는 낮아지는 경향을 보였다.

機器番号	吐出方向	処理流量 (m ³ /日)	取水口内流速 (cm/s)	備考
2号機 (沈水炭型)	一方向	4,000	11.1	
	二方向	6,900	19.2	
	三方向	8,000	22.3	
3・6・16号機 (標準型)	一方向	4,500	12.7	
	二方向	7,800	22.0	
	三方向	9,000	25.4	

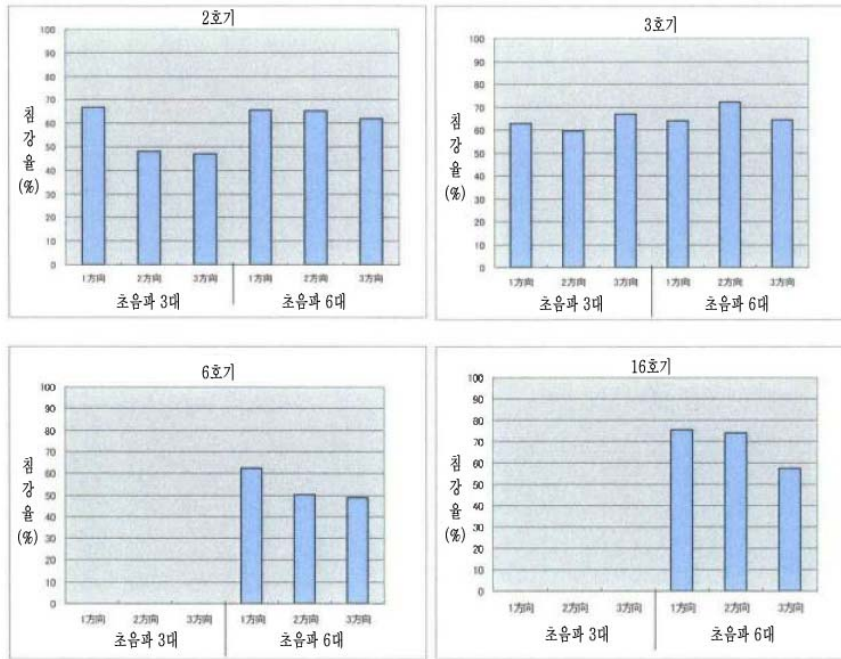


그림 147. 처리유량(취수구내 유속), 초음파 조사장치 설치 대수와 녹조 구제율과의 관계

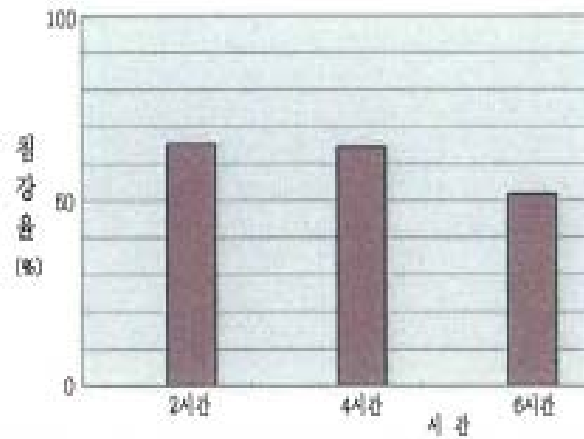


그림 148. 시간대별 구제율

5) 수질조사

계측 위치를 나타낸 그림 148의 A, B 지점 수심 1 m 장소에는 클로로필 a 농도는 표층에서 저층까지 거의 균일하였다(그림 146). 수온은 A 지점에는 분포가 있었지만, B 지점에는 분포가 없었다(그림 147). 또 수심 2.2 m C 지점에는 클로로필 a 농도는 표층(0~1 m) 농도가 높았지만, D 지점에는 표층에서 저층까지 거의 균일하였다. 수온은 C 지점에서는 분포가 있었지만 D 지점에서는 표층에서 저층까지 거의 균일 하였다.

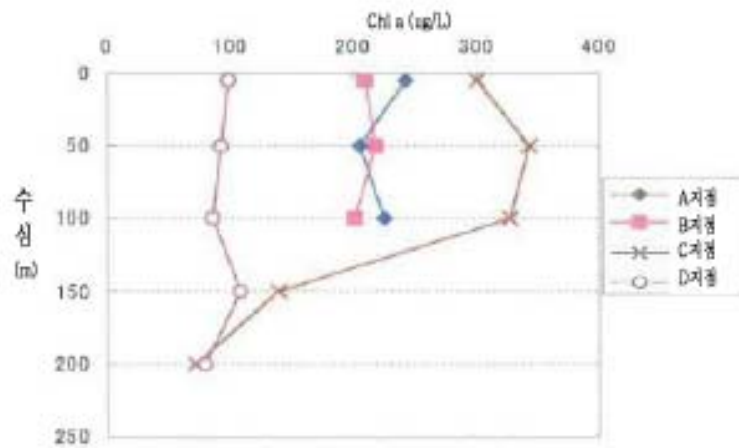


그림 149. 클로로필 a 연직분포도

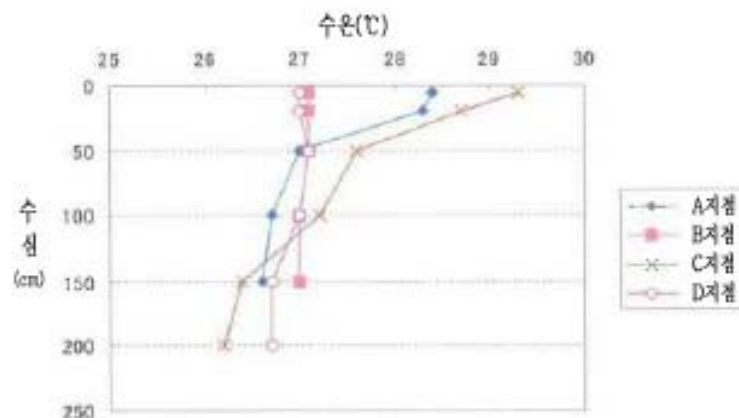


그림 150. 수온 연직 분포도

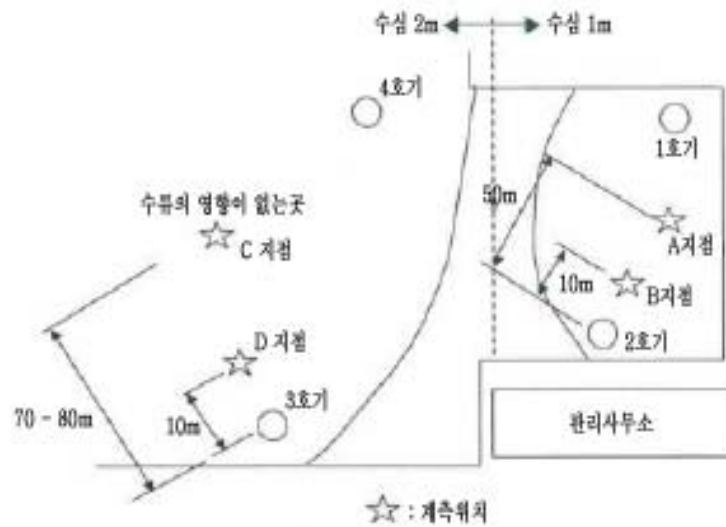


그림 151. 계측 위치도

나. 녹조 초음파 처리 후의 현미경 관찰

초음파 처리전과 처리후의 녹조를 현미경으로 관찰하고 그림 149에 그 결과를 나타내었다. 처리 후는 처리 전에 비해 *Microcystis* 의 색이 옅게 되고 군체가 흩어지는 형태를 보였다. 또 각각의 세포의 표면의 경계가 희미하게 되었다.

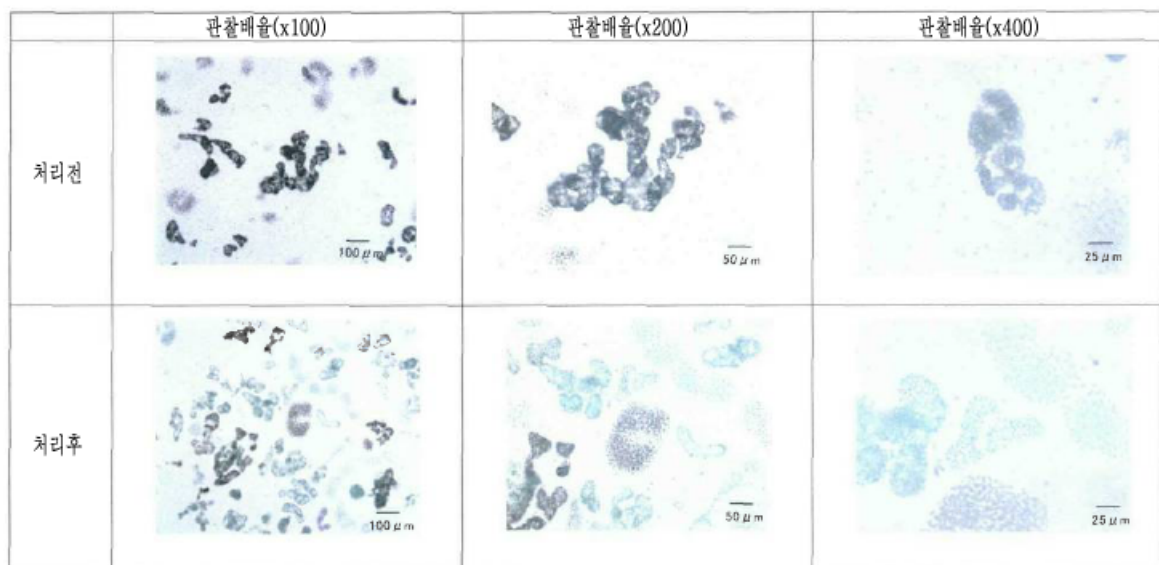


그림 152. 초음파 처리전과 처리후의 녹조 현미경 그림

다. 녹조 종 조사

수역의 녹조 현미경 관찰 결과 *Mycrocystis wesenbergii*와 *Mycrocystis aeruginosa*가 혼재하여 있었으며, 조절지 관리소 주변에는 *Mycrocystis wesenbergii*와 *Mycrocystis aeruginosa*가 거의 같은 비율로 혼재하여 있었다. 중류에서 川妻 배수 수기장 부근에는 *Mycrocystis wesenbergii*에 대하여 *Mycrocystis aeruginosa*의 비율이 많이 보였다. 그림 150에 녹조 현미경 그림을 나타내었다.

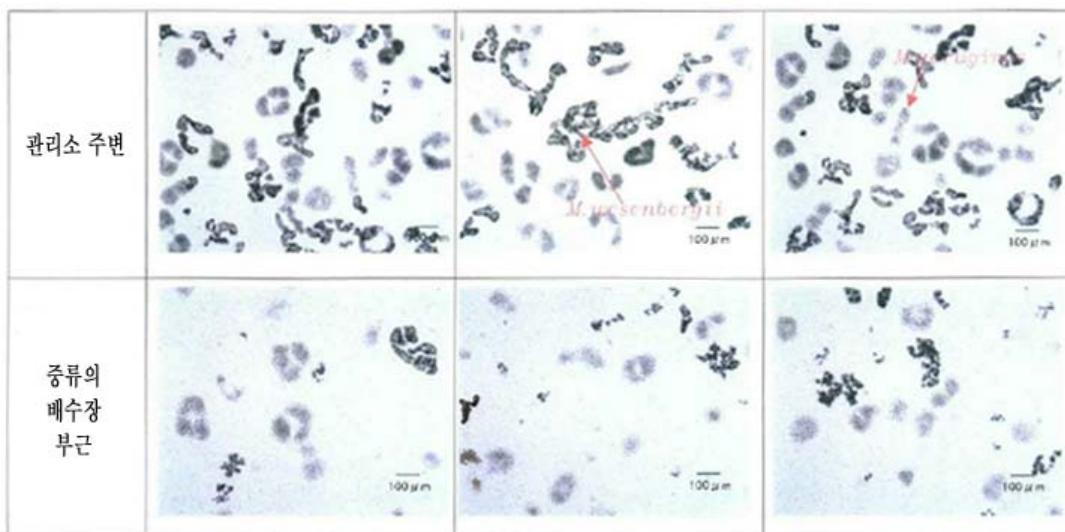


그림 153. 녹조 종의 현미경 그림

3. 논의

부유식 조류제어장치인 소형실험장치의 녹조 구제효율 결과는 아래와 같았다.

가. 녹조 구제효율

① 장치별 녹조 구제효율

조절지의 녹조를 본 장치의 초음파 조사 장치로 조사하는 것에 의해 약 50~80%의 녹조가 침강, 즉 구제되는 것을 확인 하였다. 녹

조 구제효율에 차이가 있는 것은 녹조가 표층에 집적되어있는 상태 또는 수중에 부유하고 있는 상태 등에 따라, 샘플 채수 시 녹조 분포 상태에 따라 영향이 있는 것으로 추측되었다. 또 클로로필 a의 농도와 구제효율에는 상호관계가 보여지지 않았다.

② 처리 유량(취수구내 유속), 초음파 조사장치 대수와 녹조 구제효율

3대 설치한 것 보다 6대 설치한 처리대수가 많은 쪽이 구제효율 즉 구제효율이 조금 높았으나, 대수만큼 효율이 증대하는 것이 아니라 3대 이상에서는 큰 차이가 없었다. 그러므로 적용되는 유량 및 수역의 범위에 따라 처리대수를 결정하여야 할 것으로 판단된다.

③ 시간대별 녹조 구제효율

오전중의 샘플은 녹조 구제효율이 약 65% 정도인 것에 반하여 오후 샘플에서는 50% 정도로 오후는 녹조 구제효율이 저하하는 경향을 보였다.

④수질조사

녹조 연직분포는 장치의 수류 영향이 미치는 범위에서는 클로로필-a 농도는 표층에서 저층까지 균일하였다. 장치의 수류 영향이 미치지 않는 범위에서는 0~1 m 표층의 클로로필-a 농도가 높았다. 또 수온도 수류의 영향이 미치는 범위에서는 표층에서 저층까지 거의 균일하였지만, 수류의 영향이 미치지 않는 범위에서는 수온의 구배가 나타났다.

나. 초음파 처리 전후의 녹조 현미경 관찰

초음파 처리 전의 부양하고 있는 녹조는 군체가 검게 보이지만 초음파 처리 후의 구제되어 침강한 녹조는 색이 옅게 되고, 군체의 덩어리도 흩어져 부드럽게 나타났다. 각각의 세포 표면도 쭈글쭈글하게 나타나 구제효과가 충분한 것으로 나타났다.

3) 적조에 대한 적용 예측

적조생물보다 훨씬 더 구제하기가 어려운 녹조에 대한 처리 결과를 바탕으로 녹조보다 훨씬 더 막 구조가 부드러운 규조적조와 코크로디니움 적조의 경우는 그 효과가 더욱 클 것으로 사료된다.

제2절 실내 생물영향 실험

1. 재료 및 방법

가. 붉은 솜뿔이 및 넙치 실험

생물 중 어류영향 조사를 위해 직경 3 m, 높이 1.3 m의 원형 수조에 해수를 0.8 m 까지 채우고 환경에 민감한 길이 10 cm 정도의 붉은 솜뿔이 50여 마리를 수조 내에 넣어 어류에 미치는 영향을 같이 조사하였다(그림 153). 어류영향 실험은 수산과학원 여수배양장과 민간 양식장 화남수산(부산 기장군 소재)(그림 157)의 도움을 받아 행하였다. 시작품과 원리가 같은 소형 모형 고속 제트 분사장치의 노즐로 미세 오존기포를 분사시켜, 붉은 솜뿔이 50여 마리를 동시에 집어넣어 상태를 관찰하였다. 이때 사용한 오존발생장치는 질소산화물을 만들지 않는 것으로 알려진 UV 오존발생기(발생량 30 ppm)이다. 본 장치에 의해 분사되는 미세기포의 크기는 그림 154에서 보는 것과 같이 1 μ m 정도의 입자로 구성되어 대부분 수중에 용해된다. 본 장치의 효율성을 조사하기 위하여 수조 내에 air stone을 설치하여 오존을 분사시켜 그림 152의 장치에서 비교실험을 행하였다. 시간 경과에 따라 5분 간격으로 용존산소량을 측정하였으며, 측정에는 YSI 550A를 사용하였다. 그림 151에 고속제트 분사시스템의 개념과 그림 152에는 실제의 실험 장치를 나타내었다.

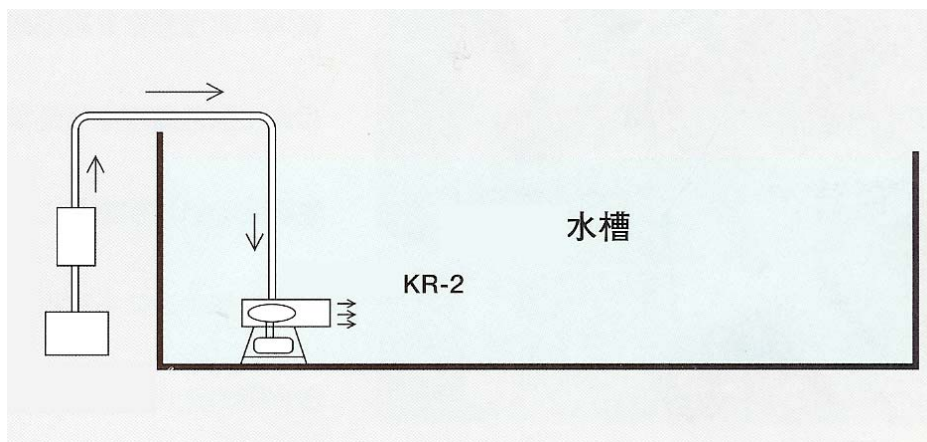


그림 154. 고속제트 분사 시스템의 개략도

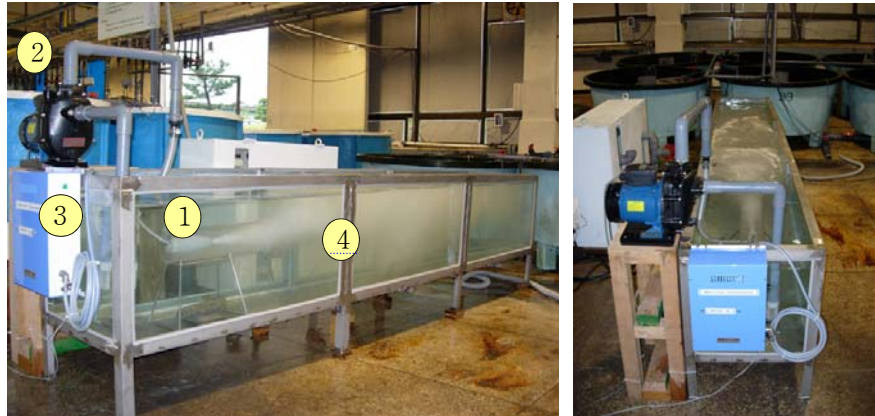


그림 155. 고속 제트분사 시스템. 1: 제트 분사 특수노즐 (KR-2 type), 2: 순환펌프, 3: 에어펌프 및 제어판넬이 내장된 UV 오존발생기, 4: 수조, 실험장소 : 국립수산 과학원 본원 양식실험실)



그림 156. 어류 영양 실내 수조실험 모습(숨팽이)

어류영양 실험은 넙치와 참돔에 대해서도 행하여 졌다. 직경 5 m, 높이 1.2 m의 원형 콘크리트 수조에 해수를 0.5 m 까지 채우고 길이 20 cm 정도의 넙치 200여 마리가 들어 있는 수조 내에 소형 모형 고속 제트 분사장치를 설치하고 분사장치의 노즐로 미세 오존기포를 분사시켜, 어류에 미치는 영향을 같이 조사하였다(그림 154, 155, 156)



그림 157. 어류 영양 실내 수조실험 모습(넓
치: 30 cm 정도)



그림 158. 생물 영향 실내 수조실험 모습(넙치 : 10~20 cm 정도)



그림 159. 생물 영향 실내 수조실험 모습(넙치: 10~20 cm, 참돔: 20 cm 정도)



그림 160. 어류영향 실험을 행한 민간 양식장(화남수산)

나. 참돔과 전복 실험

1,000 L의 용기에 300 L의 여과해수로 채운 실험구와 대조구를 두고 참돔과 전복을 각각 30마리씩 수용하였다. 실험구에는 실험해수로써 용해시킨 세프레마를 실험구의 최종농도가 3,000 ppm이 되도록 투여한 다음, 시간 경과에 DO 변화와 생존률을 측정했다(그림 158).



그림 161. 전복과 참돔의 생물영향실험을 위한 실험모습.

다. 감성돔에 대한 적조구제물질 투여 실험

감성돔은 적조구제물질의 농도에 따른 DO 소모량과 반수치사시간을 분석했고, 참돔, 넙치 및 전복은 적조생물의 밀도에 따른 DO 소모량과 반수치사시간을 분석하여 생물 영향을 검증했다(그림 159, 160, 161, 162).

황토

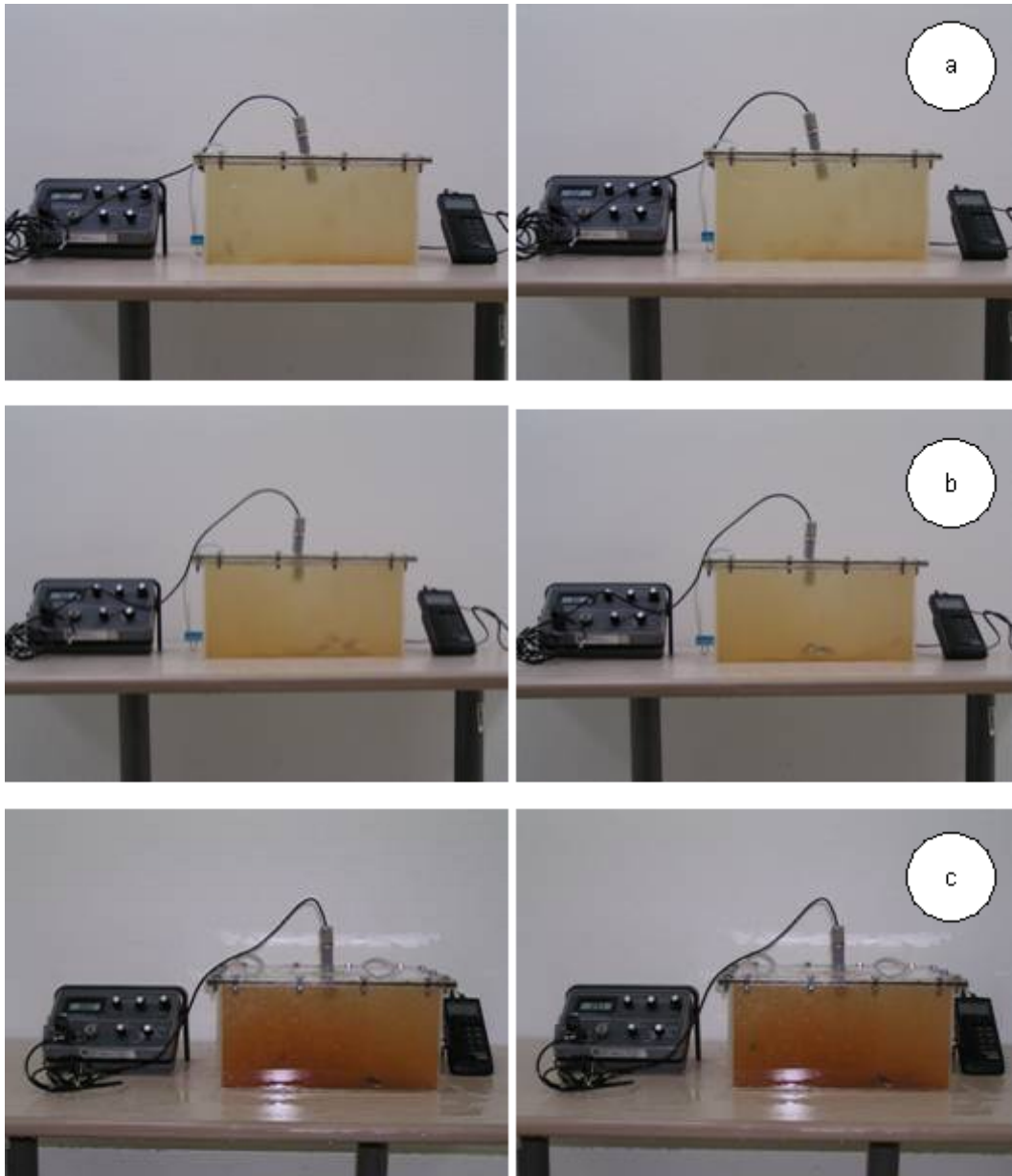


그림 162. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 황토 실험구. (a) 200 ppm, (b) 500 ppm, (c) 1,000 ppm.

세프레마(수산화마그네슘)

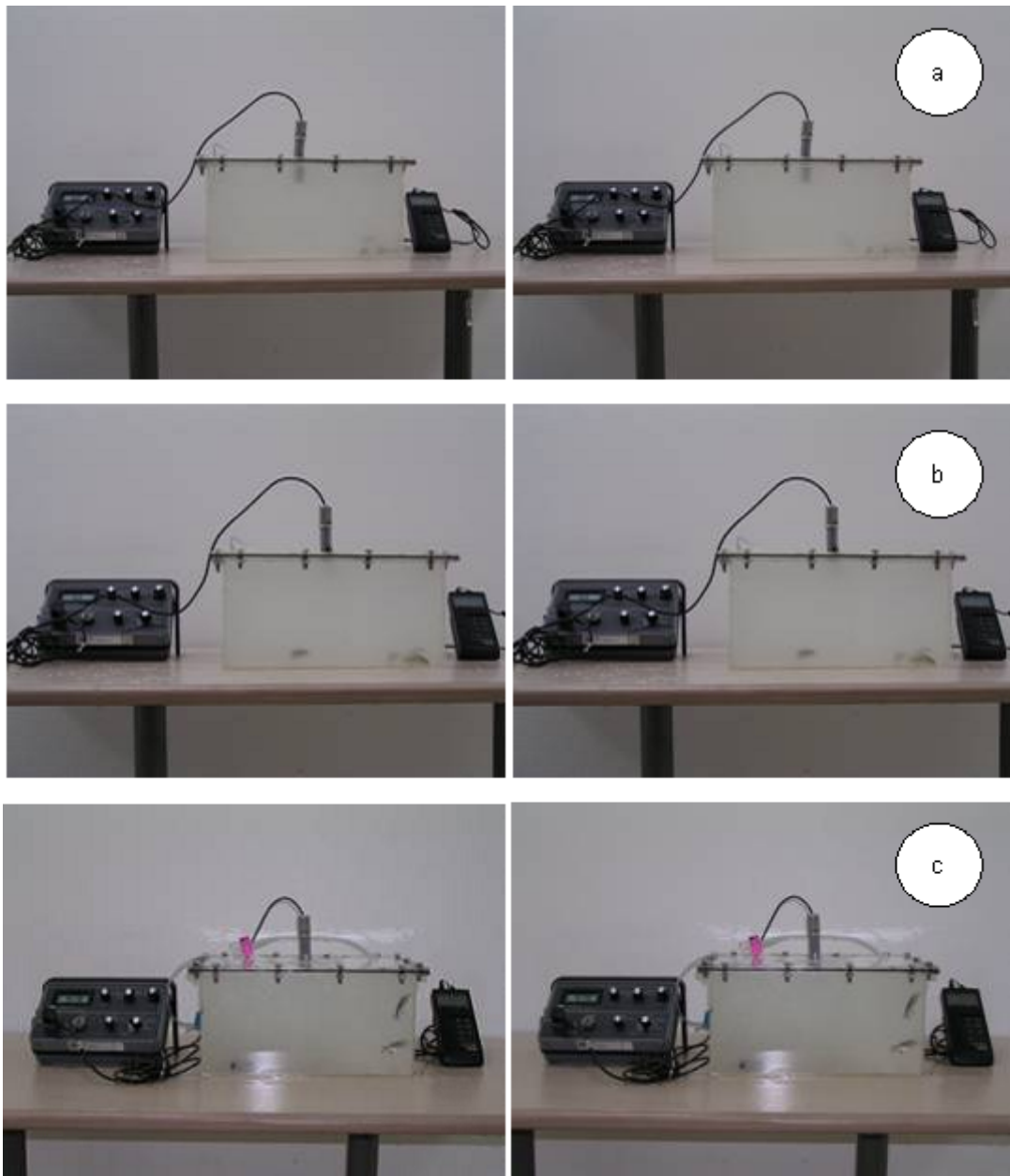


그림 163. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 세프레마 실험구. (a) 200 ppm, (b) 500 ppm, (c) 1,000 ppm.

신물질

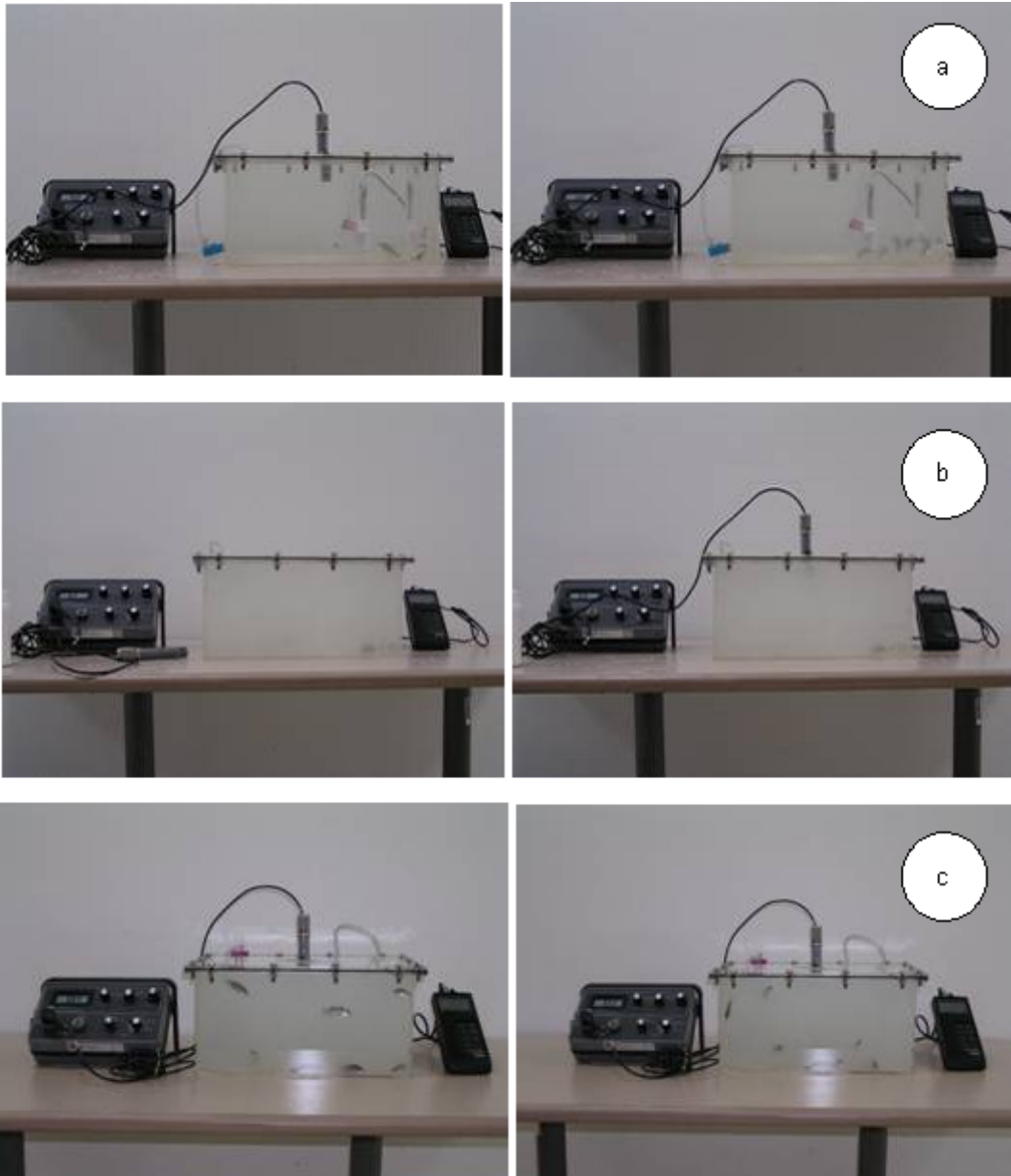


그림 164. 적조구제물질의 생물영향실험을 위한 신물질 실험구. (a) 200 ppm, (b) 500 ppm, (c) 1,000 ppm.



그림 165. 적조구제물질의 생물영양실험을 위한 실험모습. A, 황토; B, 세프레마; C, 신물질.

2. 결과

가. 붉은 솜팡이 및 넙치

10시간 정도 진행된 실험에서 수조속의 용존산소량은 최대(DO: 12 mg/L) 정도로 올라갔으나, 붉은 솜팡이에게는 전혀 영향을 미치지 못하였으며, 실험 중 폐사한 붉은 솜팡이는 없었다. 실험이 끝난 후 다른 수조로 옮겨 10여 시간 회복실험을 행하였으나, 붉은 솜팡이의 활동에는 이상이 없었다.

솜팡이와 마찬가지로 10시간 정도 진행된 실험에서 수조속의 용존산소량은 DO 10 mg/L 정도까지 올라갔으나, 넙치는 영향이 없는 것으로 관찰 되었으며, 실험 중 폐사한 넙치는 없었다. 실험이 끝난 후 분사장치를 중지 시키고 수조 내를 새로 유입시킨 해수로 채워 10여 시간 회복실험을 행하였으며, 넙치의 활동에는 실험 중과 차이가 없었다.

넙치 영향 실험을 하는 과정에서 참돔 5미정도 구입하여 수조 내에 투입하여 넙치와 동시에 실험을 행하였다. 환경 변화에 둔감한 넙치나 조피볼락과 달리 민감한 참돔의 경우에 있어서도 본 장치에서 분사되는 UV 크린 오존 분사는 넙치와 마찬가지로 아무런 영향을 주지 않았다. 10여 시간 회복실험에 있어서도 넙치와 같이 실험중과 차이를 발견하지 못하였다.

나. 참돔과 전복

3,000 ppm 세프레마 실험구에서 DO는 처음 1시간 동안 4.22 mg/L에서 2.84 mg/L로 큰 폭으로 떨어졌다. 이후 지속적으로 감소하여 실험 5시간째에는 1.95 mg/L, 9시간째에는 1.01 mg/L, 12시간째에는 0.30 mg/L였다. DO의 감소와 더불어 참돔은 6시간 경과 후 첫 치사개체가 출현했고 이후 지속적으로 치사하여 시간대별 생존률은 7시간에 90%, 8시간에 63%, 9시간에 30%, 10시간에 10%였다. 전복은 4.5시간에 첫 치사개체가 출현했고 시간대별 생존률은 5.5시간에 80%, 6.5시간에 70%, 8시간에 50%, 10시간에 10%였다.

이에 반해, 세프레마를 살포하지 않은 대조구에는 전복과 참돔은 각각 6.5시간과 7시간에 첫 치사개체가 출현했으며 실험종료시간인 12시간이후에도 약 70%의 생존률을 나타냈다. 결과적으로 수서생물에게 있어 세프레마의 고농도(3,000 ppm) 투입은 약 6시간 이후부터 생존을 위협하는 것을 알 수 있었다(표 64, 그림 163).

표 64. 실험구(위)와 대조구(아래)에서 DO 감소에 따른 실험생물의 생존율 비교

Time(h)	실험구			대조구		
	생존율(%)			생존률(%)		
	참돔	전복	DO	참돔	전복	DO
0.0	100	100	4.22	100	100	4.22
0.5	100	100	4.00	100	100	4.00
1.0	100	100	2.84	100	100	3.81
1.5	100	100	2.71	100	100	3.74
2.0	100	100	2.66	100	100	3.74
2.5	100	100	2.78	100	100	3.10
3.0	100	100	2.54	100	100	3.12
3.5	100	100	2.17	100	100	2.99
4.0	100	100	2.09	100	100	2.84
4.5	100	97	2.01	100	100	2.71
5.0	100	93	1.95	100	100	2.66
5.5	100	80	1.86	100	100	2.78
6.0	93	73	1.77	100	100	2.54
6.5	90	70	1.65	100	97	2.17
7.0	90	67	1.58	93	93	2.09
7.5	77	63	1.55	93	87	1.4
8.0	63	50	1.36	93	80	1.47
8.5	47	33	1.09	93	77	1.35
9.0	30	23	1.01	90	73	1.15
9.5	27	17	0.88	87	73	1.26
10.0	27	10	0.76	83	70	1.13
10.5	20	0	0.43	73	70	1.03
11.0	20	0	0.42	70	70	1.03
11.5	13	0	0.43	70	67	0.88
12.0	10	0	0.3	67	67	0.72

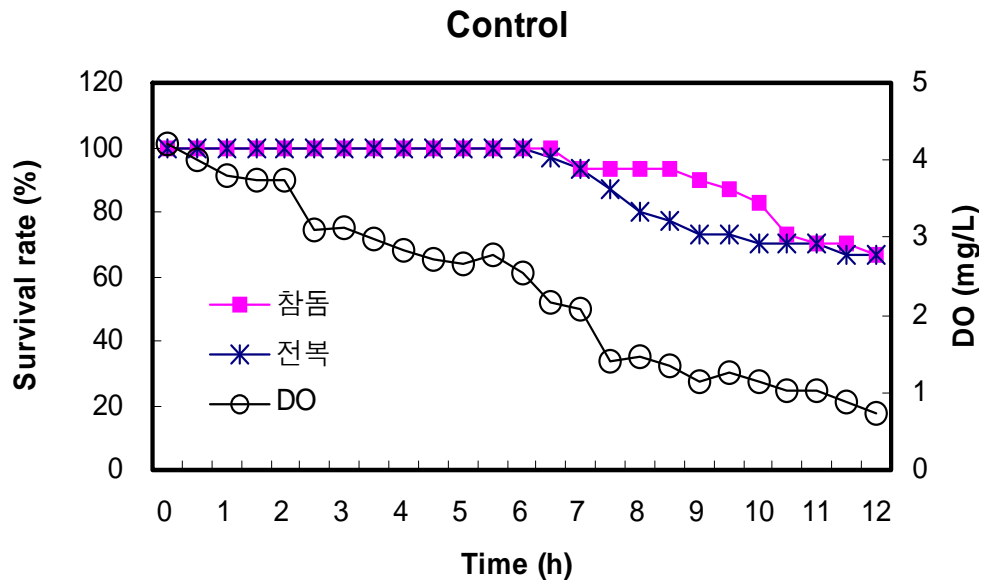
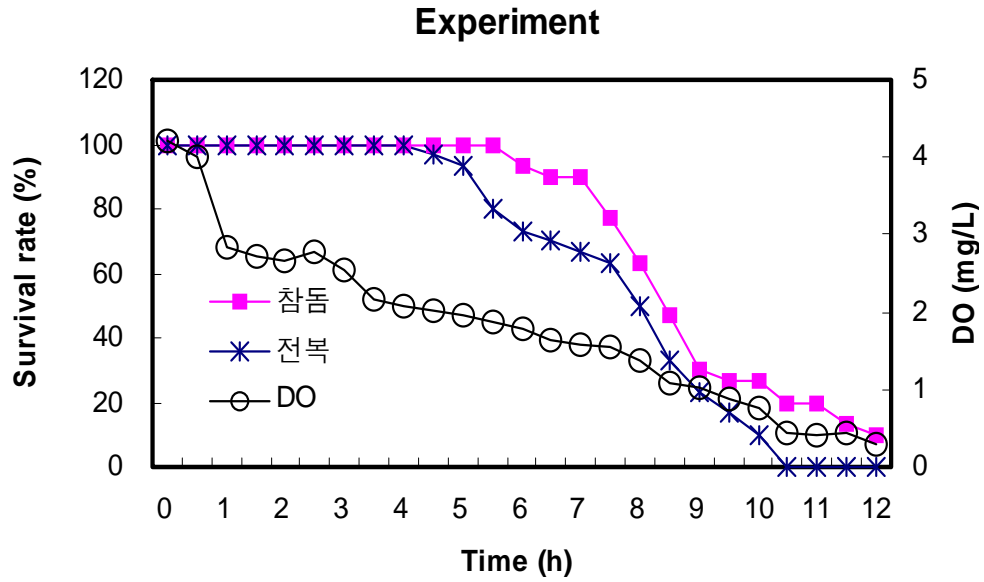


그림 166. 실험구(위)와 대조구(아래)에서 DO 감소에 따른 실험생물의 생존을 비교

다. 감성돔에 대한 적조구제물질의 영향

황토 실험구에서는 200 ppm, 500 ppm, 1,000 ppm에서 각각 320 분, 240분, 320분에 첫 치사개체가 출현했고 각각 500분, 400분, 340 분에 반수가 치사하여 농도 증가에 따라 치사율이 높아졌다. 세프레마 실험구에서는 200 ppm, 500 ppm, 1,000 ppm에서 각각 240분, 280 분, 100분에 첫 치사개체가 출현했고 각각 440분, 360분, 300분에 반수가 치사하여 황토와 마찬가지로 농도 증가에 따라 치사율이 높았다(표 65, 66, 67). 신물질 실험구에서는 200 ppm, 500 ppm, 1,000 ppm에서 각각 100분, 180분, 100분에 첫 치사개체가 출현했고 각각 340분, 360분, 120분에 반수가 치사하여 실험물질 가운데 가장 높은 치사율을 보였다(표 65, 66, 67).

한편 실험구 내 DO 소모량은 황토 실험구에서 200 ppm과 500 ppm은 큰 변화를 보이지 않았으나 1000 ppm에서는 시간 경과에 따라 DO 소모량이 완만하게 증가했다(그림 164). 세프레마 실험구에서는 200 ppm에서 시간 경과에 따라 DO 소모량이 점진적으로 증가했으나 500 ppm과 1,000 ppm에서는 오히려 감소하는 것으로 나타났다(그림 165). 신물질 실험구에서는 200 ppm에서 일정한 DO 소모량을 나타냈으나 500 ppm은 점진적인 증가, 1,000 ppm에서는 급격한 증가를 나타냈다(그림 166). 따라서 신물질의 농도가 높을수록 감성돔은 매우 활발한 호흡작용을 필요로 하는 것을 알 수 있었다.

표 65. 200 ppm의 적조구제물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간

min.	황토			세프레마			신물질		
	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고
0	3.91	8.61		4.44	8.77		4.22	8.64	
10	3.96	8.65		4.35	8.66		3.91	8.11	
20	3.88			4.22			3.88		
40	3.71			4.09			3.80		
60	3.59			3.97			3.11		
80	3.31			3.72			3.10		
100	3.27			3.70			2.84		1마리 폐사
120	3.19			3.69			2.74		
140	3.05			3.81			2.66		
160	2.85			3.77			2.10		3마리 폐사
180	2.84			3.51			2.12		
200	2.81			3.44			1.99		
220	2.69			3.10			1.94		
240	2.51			2.61		1마리 폐사	1.64		
260	2.44			2.33			1.10		
280	2.18			2.04		2마리 폐사	1.01		
300	2.01			1.85			0.93		4마리 폐사
320	1.68		1마리 폐사	1.51		3마리 폐사	0.72		
340	1.59			1.50			0.66	8.33	5마리 폐사
360	1.35			1.37					
380	1.19			1.18					
400	1.11			1.09		4마리 폐사			
420	1.04		2마리 폐사	0.85					
440	0.99			0.71	8.42	5마리 폐사			
460	0.85								
480	0.81		3마리 폐사						
500	0.64	8.63	5마리 폐사						

표 66. 500 ppm의 적조구체물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간

min.	황토			세프레마			신물질		
	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고
0	3.95	8.92		3.84	9.51		3.67	9.16	
10	3.91	8.88		3.66	9.60		3.61	8.88	
20	3.79			3.26			3.25		
40	3.71			3.11			3.11		
60	3.61			3.05			2.92		
80	3.18			2.76			2.93		
100	3.04			2.72			2.81		
120	2.92			2.54			2.81		
140	2.91			2.25			2.71		
160	2.81			2.05			2.54		
180	2.71			1.98			2.21		1마리 폐사
200	2.51			1.94			1.99		
220	2.23			1.43			1.51		
240	1.94		1마리 폐사	1.65			1.21		3마리 폐사
260	1.51			1.35			1.04	8.42	5마리 폐사
280	1.19			1.15		1마리 폐사			
300	1.05			0.94					
320	1.00			0.91		4마리 폐사			
340	0.94		2마리 폐사	0.89					
360	0.89			0.68	9.33	5마리 폐사			
380	0.73		3마리 폐사						
400	0.71	8.72	5마리 폐사						

표 67. 1,000 ppm의 적조구제물질 투여시 감성돔의 DO 소모량 및 반치사 시간

min.	황토			세프레마			신물질		
	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고	D.O.	pH	비고
0	3.50	9.10		4.31	9.40		3.71	9.97	
10	3.93	8.85		3.80	9.60		4.00	10.10	
20	3.83			3.83			3.92		
40	3.45			3.66			3.80		
60	3.11			3.60			3.30		
80	3.00			3.10			3.02		
100	2.62			2.02		1마리 폐사	2.13		2마리 폐사
120	2.52			1.63			2.03	9.71	5마리 폐사
140	2.33			1.44					
160	2.01			1.41		2마리 폐사			
180	1.13			1.33					
200	1.12			1.32					
220	1.01			1.18					
240	0.99			1.10		4마리 폐사			
260	0.94			1.04					
280	0.92			1.03					
300	0.81			0.82	9.43	5마리 폐사			
320	0.51		2마리 폐사						
340	0.42	9.01	5마리 폐사						

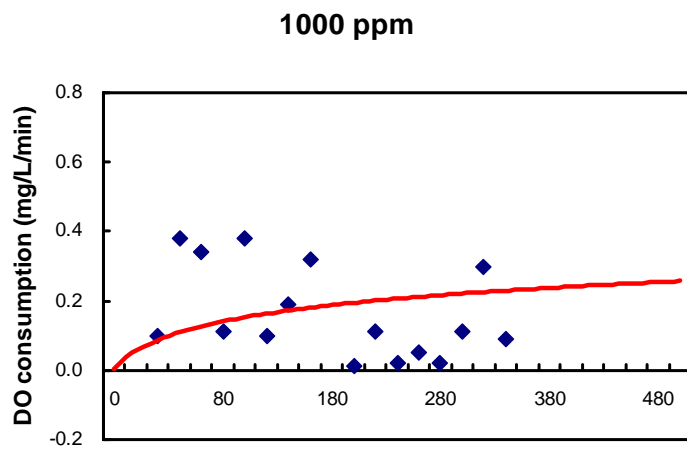
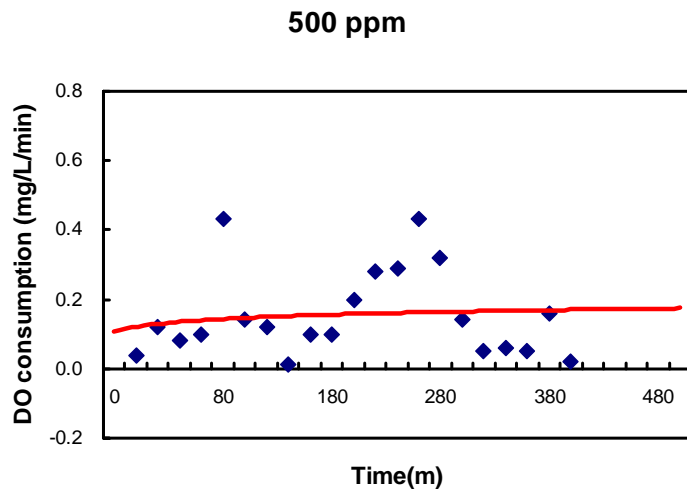
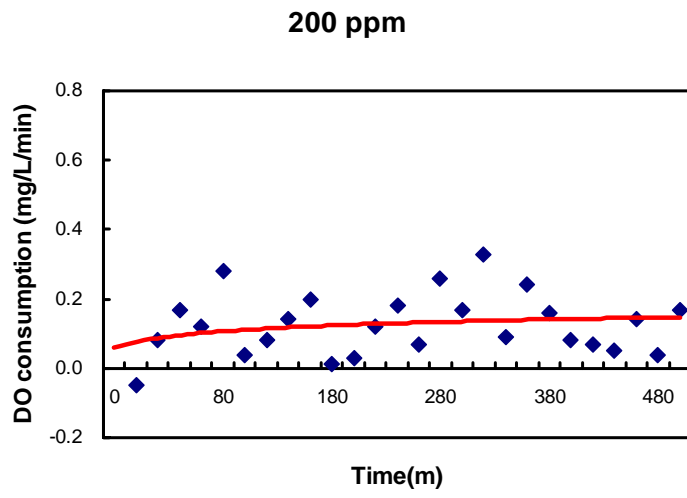


그림 167. 황토 투여구의 농도별 DO 소모량

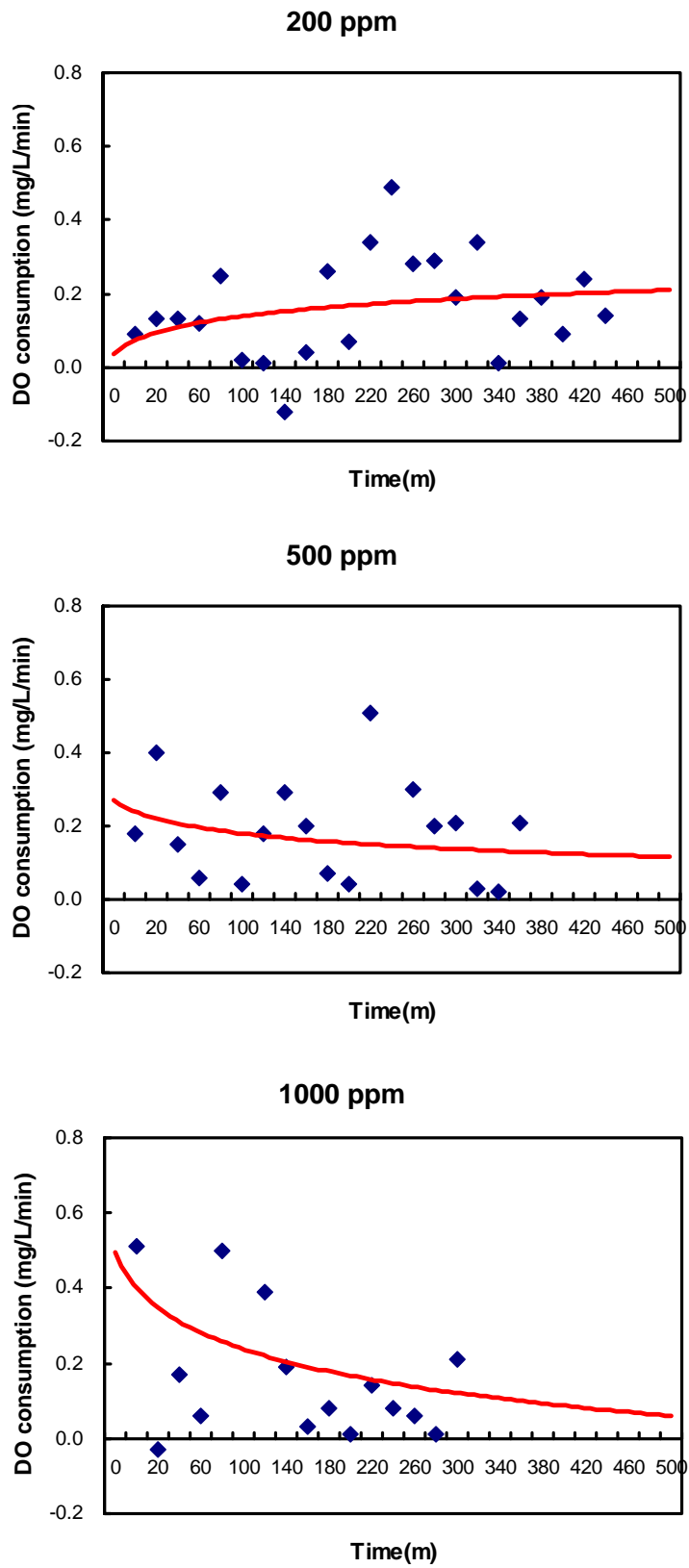


그림 168. 세프레마 투여구의 농도별 DO 소모량

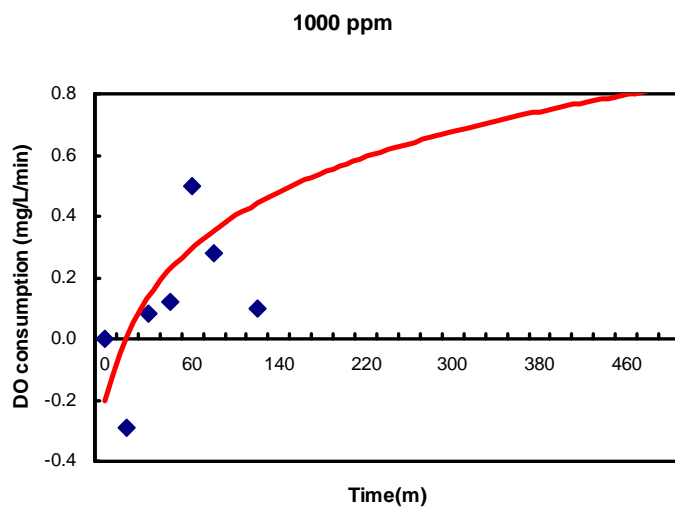
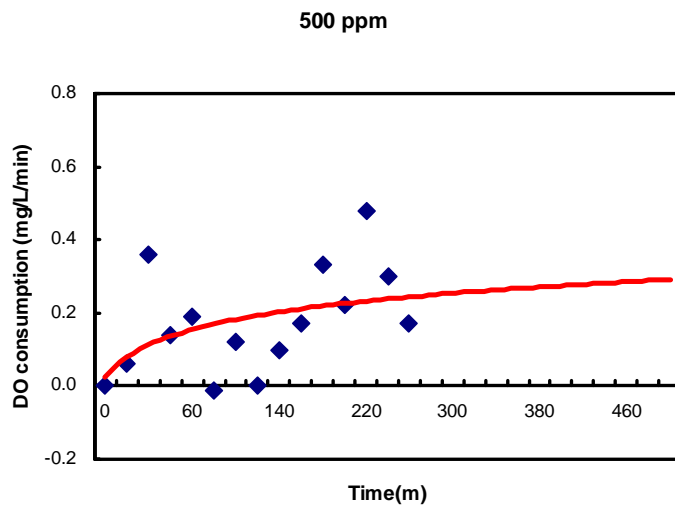
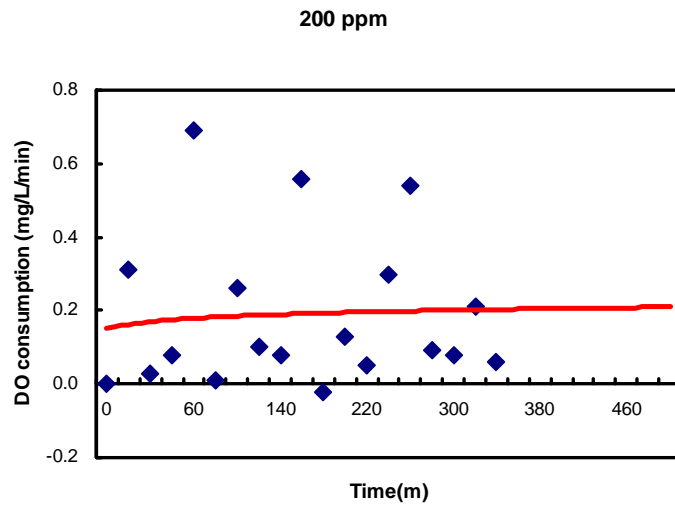


그림 169. 신물질 투여구의 농도별 DO 소모량

제3절 현장시설

1. 설계도면

그림 167에 설계 도면을 나타내었다. 도면대로 제작된 장치들이 마산 수정리 수정어항에 도착하여 지정된 해역에 설치하였다. 설치 장면들을 이하 그림으로 나타내었다.

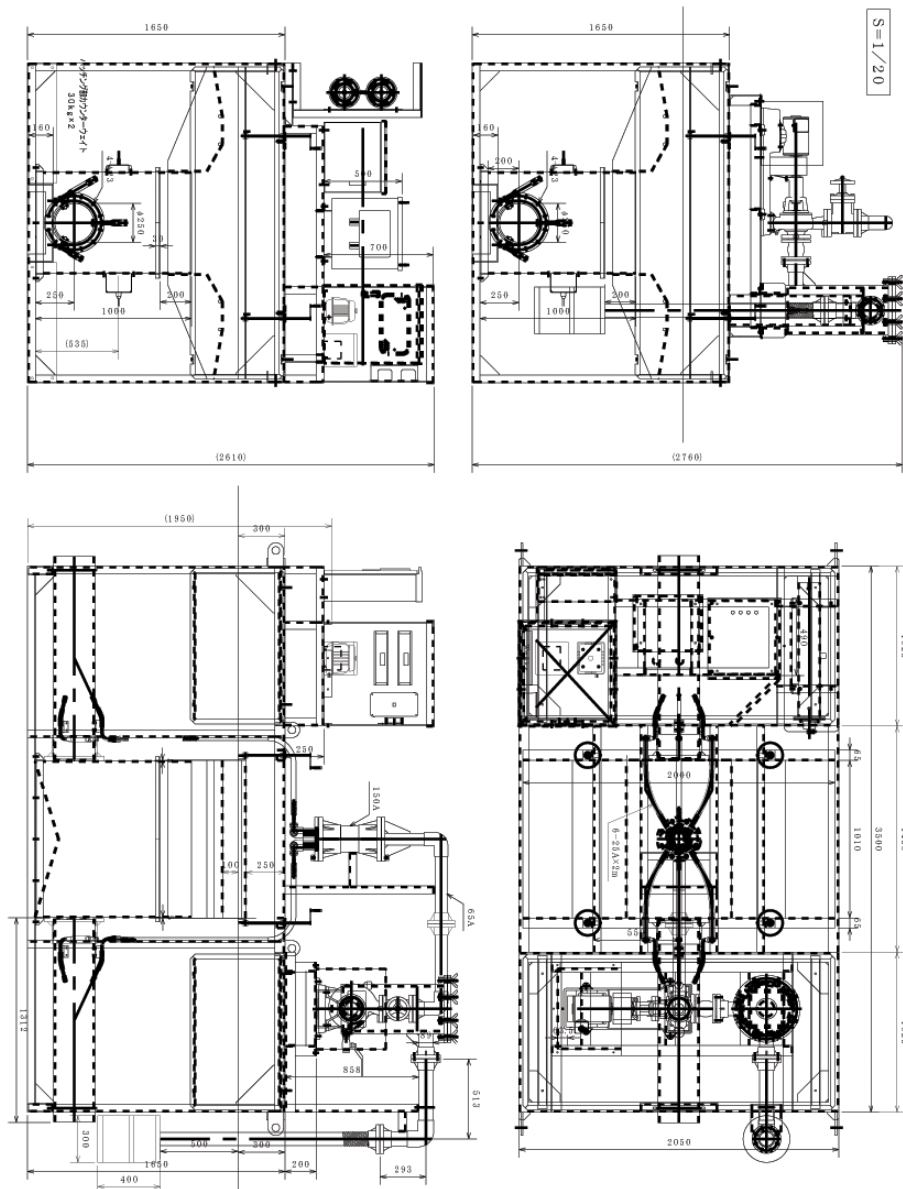


그림 170. 부유식 적조구제 기능을 가진 소형실험장치 설계도면

2. 현지시설

마산 수정리 해역으로 운반되어온 장비들은 수정 어항에 설치된 어촌계 소유의 크레인(그림 168의 뒤쪽 크레인)도 같이 사용하였으며, 그림 168에는 마산 수정리 해역에 운반되어온 부유식 적조구제장치인 소형실험장치의 포장된 모습과 하역 모습을 보여주고 있다.



그림 171. 마산 수정리 해역에 운반되어온 소형실험장치의 하역 모습

현장에 운반되어 하역된 장비들은 다시 부품들을 재조립하였으며, 조립된 장비들은 현장에 설치 전기를 연결하여 작동을 확인하였다. 그림 169에 조립모습을 보여주고 있으며, 조립된 장비들을 25 톤 크레인으로 들어 올려 그림 170과 같이 해수면 위에 진수하여 이동 해당 해역에 시설하였다.



그림 172. 소형실험장치 재조립 모습



그림 173. 소형실험 장치의 현장 진수 및 시설 모습

제4절 생리활성물질·초음파 적용실험

1. 적조생물에 대한 실험

초음파에 대한 구제효율 실험은 녹조생물에 대한 효과를 구하여 3장에서 나타낸 바가 있다. 녹조생물보다 세포막이 훨씬 약한 적조생물에 초음파를 조사하였을 경우는 그 효과가 더욱 높을 것으로 판단된다.

부유식 조류제어장치인 소형실험장치(REDTIDE KILLER RTK-30-2)에 장착된 초음파 장치는 표 68과 같다.

표 68. RTK-30-2에 부착된 초음파 장치 사양

명칭	규격·형식	제원	사양·내용등
초음파 장치	50kHz	규격	160×210×123.5
		전기사용량	AC100V/1Φ/100W
		발생주파수 범위	50kHz
		중량	7kg
		송신출력 전압	1600Vpp
	200kHz	규격	Φ160×50
		전기사용량	AC100V/1Φ/100W
		발생주파수 범위	200kHz
		중량	5kg
		송신출력 전압	1550Vpp

3장에서 소형실험장치의 취수구내 유속에 의한 초음파 조사장치의 구제율의 변화에서 취수구내 유속이 빠를수록 구제효율이 약간 낮게 되는 경향을 보였다. RTK-30-2에 부착된 초음파 조사장치는 원형 1대와 사각형 1대 2대를 설치하였으며, 그림 144에서 초음파 장치는 2~3대 정도가 적당한 것으로 나타났었다. 소형실험장치의 적조구제 효과 조사를 위해 수정리 해역의 조류밀도를 그림 171과 같이 조사정점을 정하여 측정하였다.

소형장치는 3일간 계속 가동시켜 장치의 기능이 충분히 발휘하도록 한 뒤 실험을 하였으며, 실험은 일주일에 1회 정도로 하여 3회 반복하였다.

가. 적조에 대한 효과

3장의 녹조구제에서 적용한 방법과 같은 방법으로 계측하였다. 먼저 그림 172와 같이 RTK-30-2 소형장치에 전기선을 연결하는 작업을 하였다. 전기선은 수질정화 및 적조제어장치 본체에서 연결하였으며, 전기선에는 실험 중 전선이 물에 뜨도록 전선에 부유체를 부착하였다. 적조생물에 대한 효과 계측은 그림 173과 같이 초음파가 적용된 각 개소에서 채수기로 채수한 물을 1 L의 폴리에틸렌 통으로 채수하고, 시간 경과에 따른 구제효율을 측정하였다.

본 장치의 전기 사용량은 약 3kW 수준으로 유해적조가 발생한 해역으로 장치를 이동시켜 선박에 전기를 연결하여 사용하기에는 무리가 따르므로, 현 해역에서 해마다 발생하는 정도의 적조를 대비하여 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150에 연결하여 준하였으나, 8월 현재까지 기대한 적조는 발생하지 않았기 때문에 현재 해역에 분포하고 있는 적은 밀도의 적조생물을 대상으로 실험을 하였다.

그림 174에 수정리 현장해역에서 발생한 적조생물의 종과 모습을 나타내었으며, 표 69에 수정리 해역에서 8월중 채집된 규조류와 편모조류의 양과 전체생체량을 나타내었다. 현재 발생한 조류 밀도로 보아 적조 수준은 아니나 해마다 적조를 일으키는 종이다. 이는 그동안의 대규모 규조 적조 발생으로 보아서 매우 드문 현상이라 할 수 있으며, 이는 다른 요인이 없었기 때문에 본 수질정화 및 적조제어장치를 지속적으로 가동한 결과라고 생각되어 진다. 하여튼 상습 적조발생해역인 본 해역에서의 올해 적조발생은 미비하였다. 우점종은 규조류인 *Rhizosolenia delicatula*와, *Chaetoceros* sp.와 편모조류인 *Protoperdinium* sp. 였다.

표 69. 수정리의 분류군별 식물플랑크톤 분포

채집정점	내측 8(8)		내측 1(1)		외측1(O-1)		외측5(O-5)	
	표	저	표	저	표	저	표	저
규조류	5,329	8,827	7,208	13,057	6,231	6,764	13,452	8,347
편모조류	157	317	212	163	71	173	106	110
전체생체량	5,486	9,144	7,420	13,220	6,302	6,937	13,558	8,457

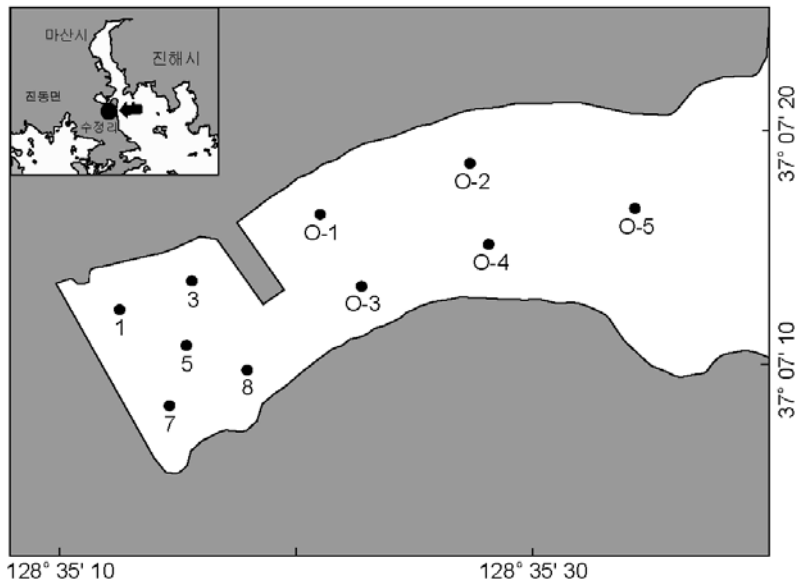


그림 174. 수정리 해역의 조류밀도 측정 조사정점

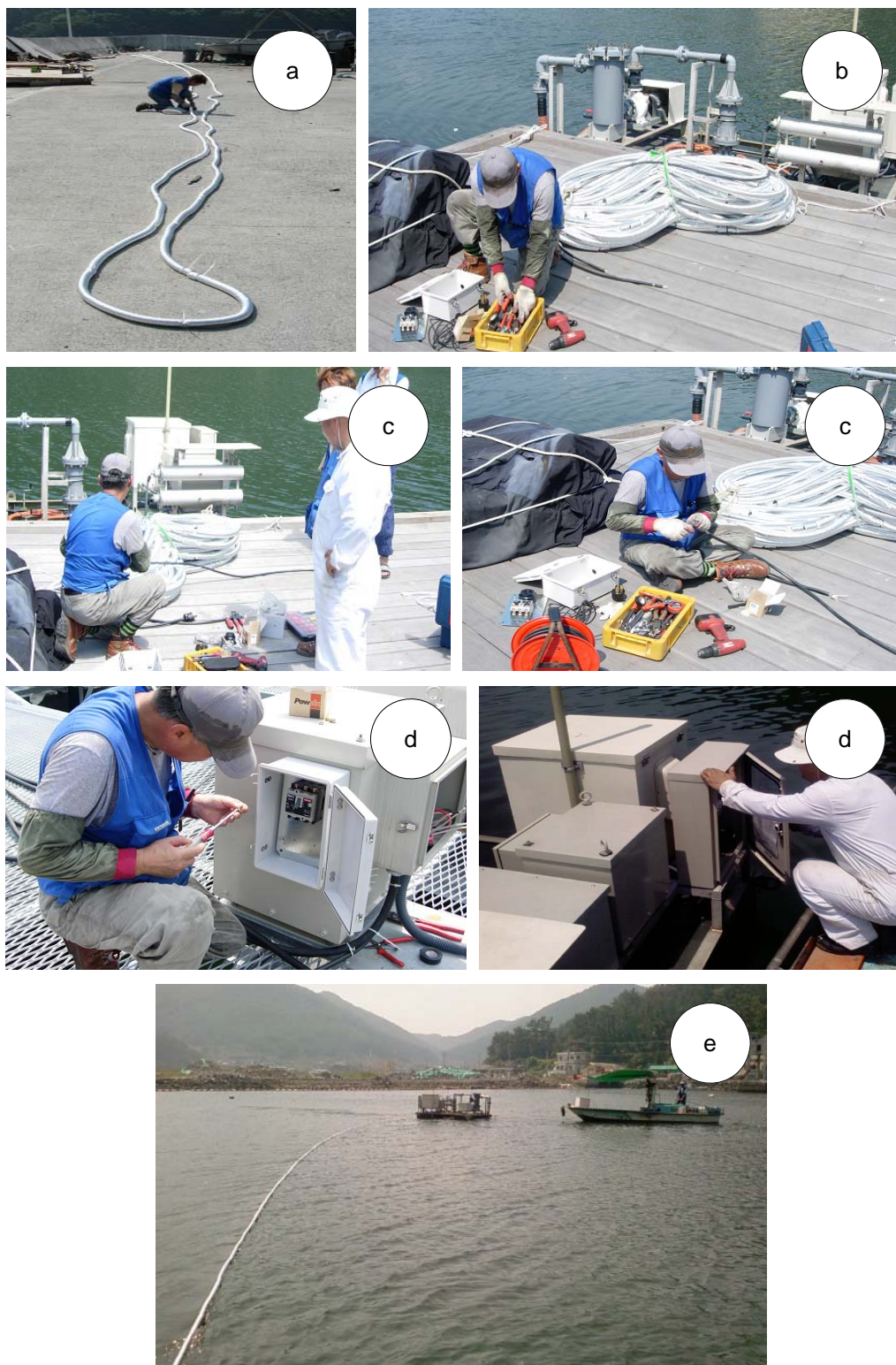


그림 175. RTK-30-2 소형장치에 해상으로의 전기선 연결 작업. (a) 전기선 부유 작업, (b)소형장치에 전기선 연결 작업, (c)소형장치 전기선 연결 작업, (d)전기 연결 및 확인, (e)전기연결 후의 해상 실험을 위한 이동

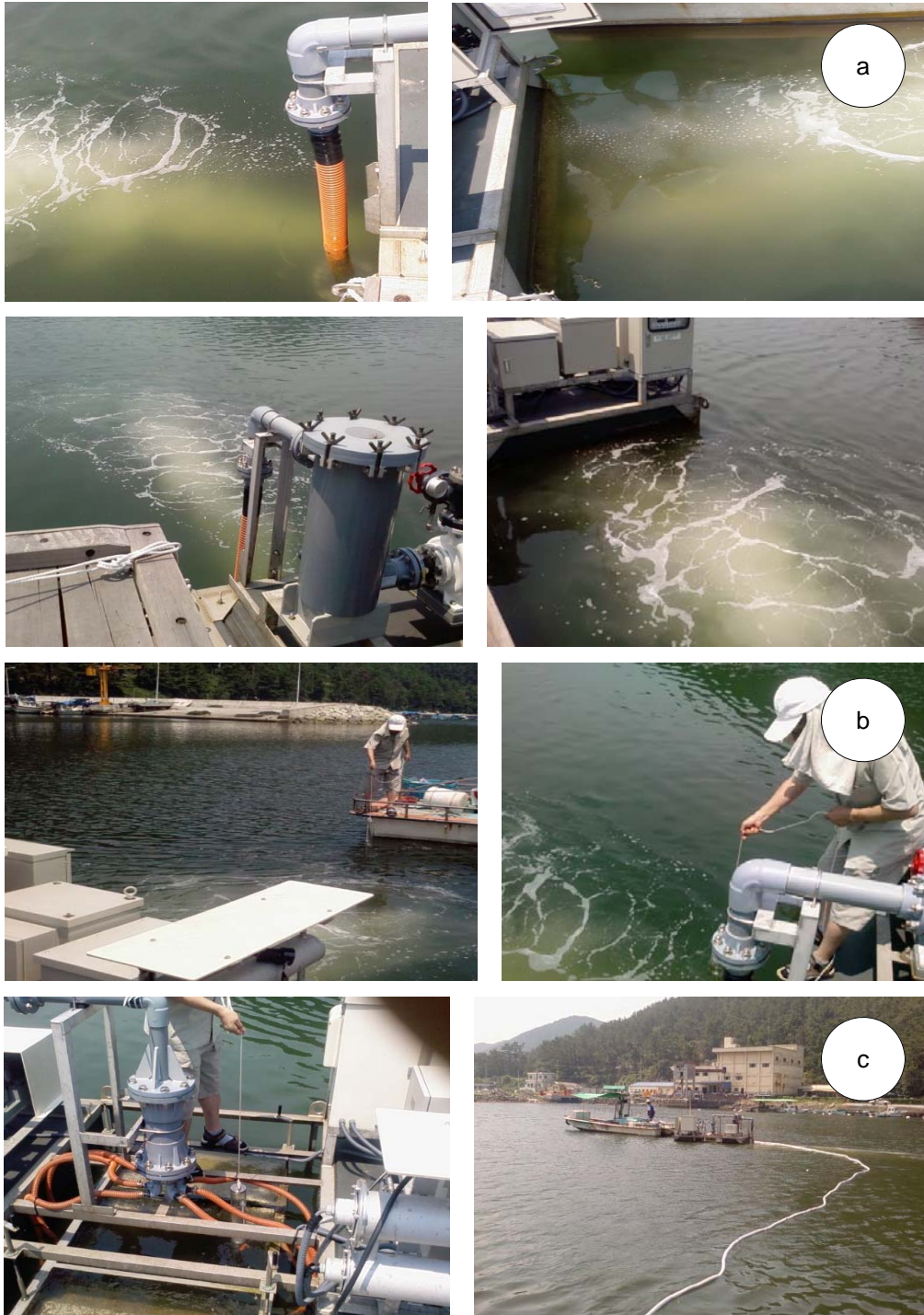
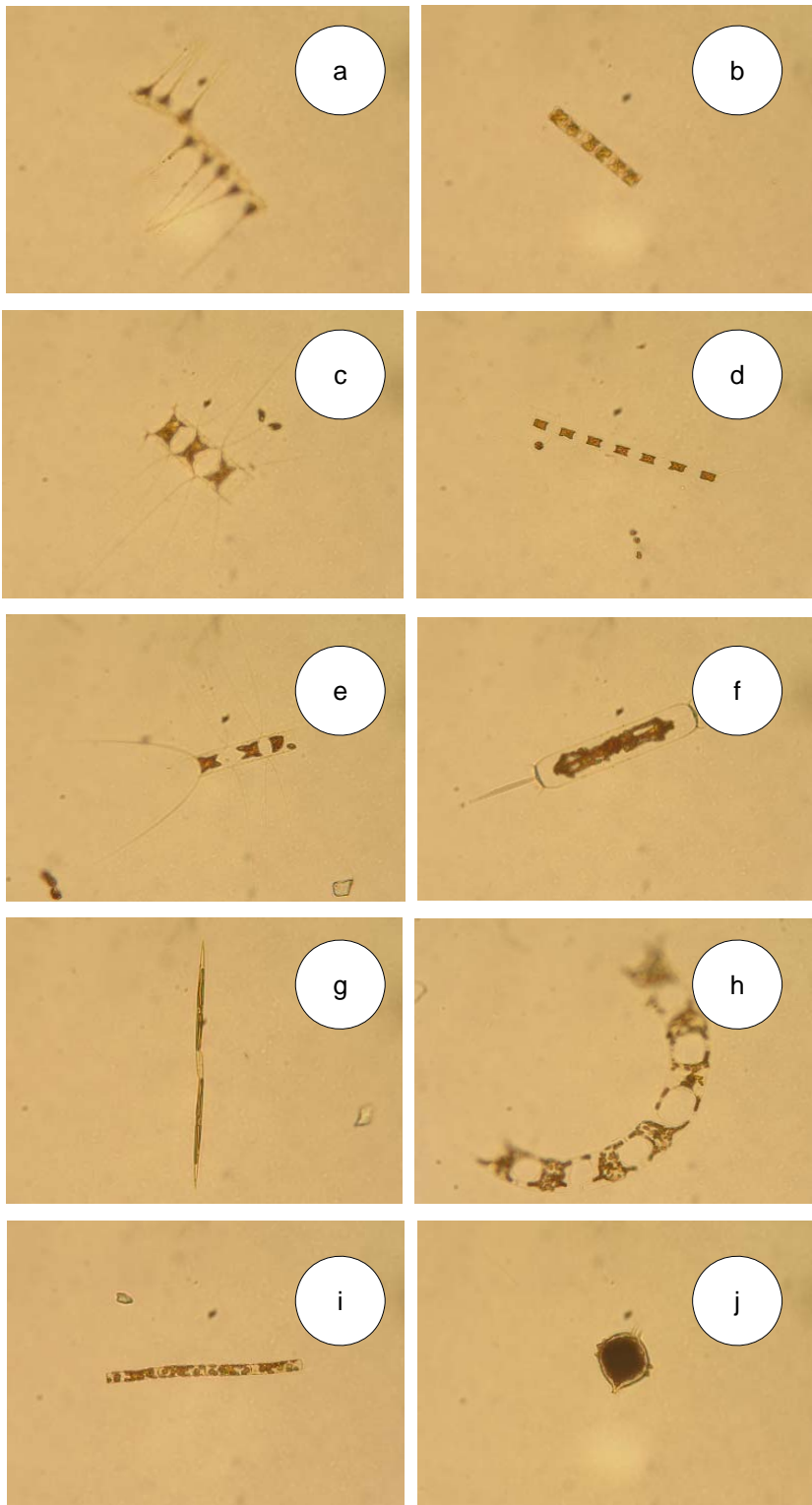


그림 176. RTK-30-2 소형장치의 적조구제 효과 실험. (a)소형실험 장치 가동 모습, (b)초음파 및 오존 적용 후 소형장치 전후의 채수, (c)장치 중간 부분에서의 채수와 실험 중의 장치



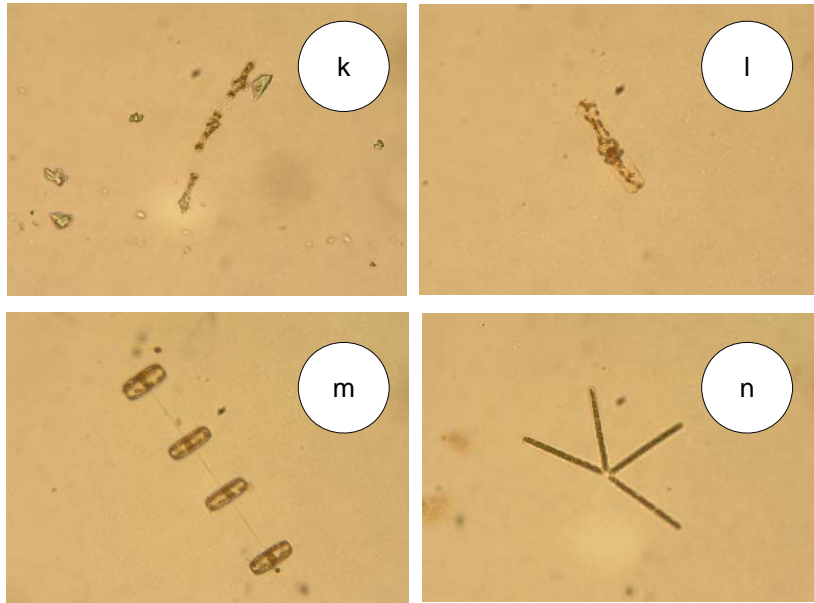


그림 177. 수정리 실험 해역에서 발생한 적조생물.

- (a) *Asterionella glacialis*, (b) *Chaetoceros* sp.,
 (c) *Chaetoceros* sp., (d) *Chaetoceros* sp.,
 (e) *Chaetoceros* sp., (f) *Ditylum brighwellii*,
 (g) *Pseudo-Nitzschia* sp., (h) *Eucampia*
zodiacus, (i) *Leptocylindrus danicus*,
 (j) *Protoperidinium* sp., (k) *Rhizosolenia*
delicatula, (l) *Rhizosolenia delicatula*,
 (m) *Thalassiosira* sp., (n) *Thalassiothrix* sp.

RTK-30-2 소형장치는 오존과 초음파를 동시에 작용 분사시켰다. 장치를 가동한 후 10분 간격으로 2번 장치의 전면과 후면에서 채수하였다. 채수한 샘플을 현미경상으로 검경한 결과를 그림 175에 나타내었다. 현미경상으로는 수정리 해역에서 채집된 적조생물들은 초음파에 의해 구제되어 형태를 알 수 없었다. 이는 수정리 해역에 발생한 적조생물의 밀도가 낮은 원인도 있는 것으로 사료되나, 본 소형장치가 작동되면서 초음파에 의해 파괴된 적조생물들이 대부분 수면 하로 침전된 것으로 사료된다.

그림 176은 수산과학원에서 실험한 자료로 용량 500 mL 비이커에 코클로디니움 포함 적조 해수 400 mL를 넣고 혼형 초음파 파쇄기를 이용하여 초음파 출력을 225 W, 450 W 그리고 600 W로 주사 시간을 10초 20초 40초 60초로 하여 적조 해수에 초음파를 직접 주사한 경우, 적조 생물인 코클로디니움의 개체수 변화 결과이다. 초음파 주사 시간이 10초 20초 40초 60초 일 때 3가지 초음파 출력에 있어서 파쇄율은 225 W에서 13%, 52%, 70% 그리고 78%였고, 450 W에서는 40%, 73%, 86% 그리고 96%였으며, 600 W에서는 59%, 88%, 99% 그리고 100%로 나타났다. 즉, 초음파 출력 600 W에서 40초 이상 주사하면 코클로디니움은 100% 파쇄 되는 것으로 나타났다.

본 실험 소형장치는 출력 전압이 50 kW 초음파는 1,600 w이며, 200 kHz 초음파는 1,550 w이므로 실내실험에서 적용한 혼형 초음파 파쇄기 600 w의 2.5배 이상이므로 그 효율은 더 크기 때문에 그림 175와 같이 현장실험에서 적조생물이 형태를 알아 볼 수 없도록 구제된 것으로 사료된다.

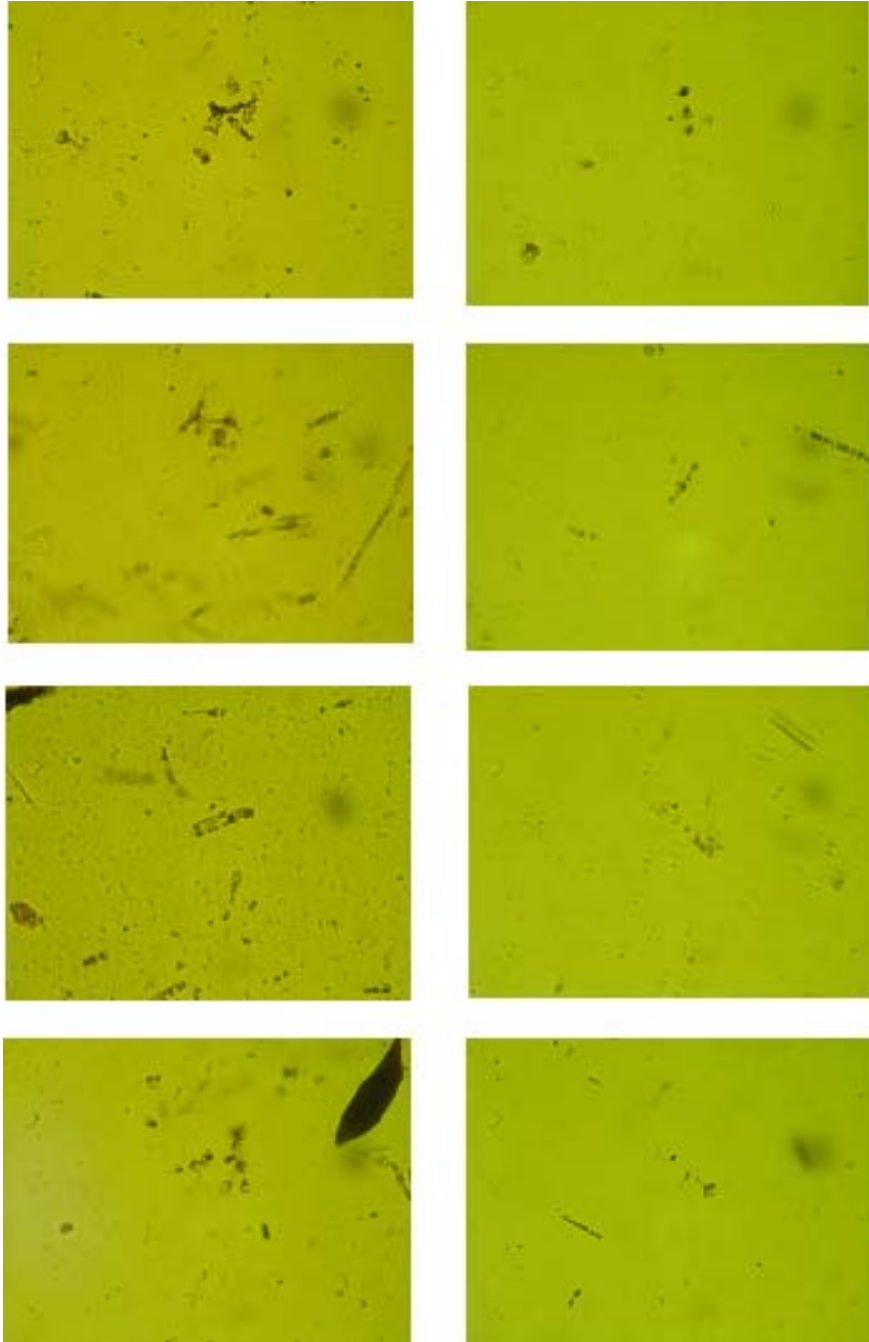


그림 178. 구체되어 형태를 알 수 없는 적조생물

Cochlodinium polykricoides

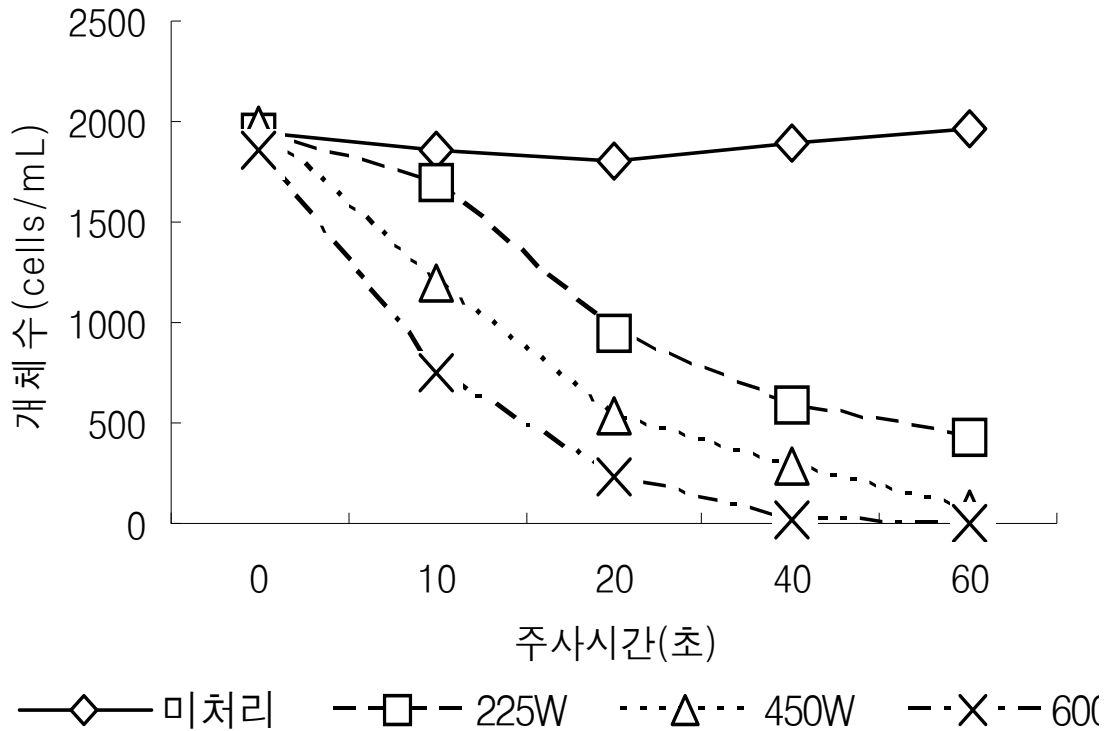
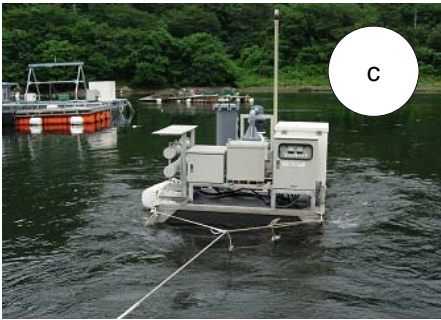
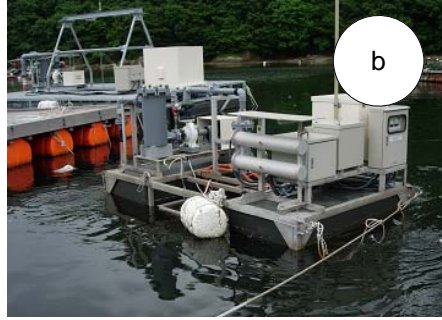
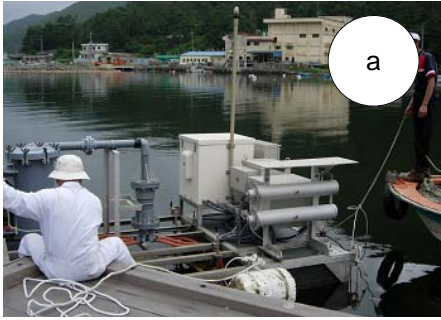


그림 179. 초음파 출력과 주사시간 경과에 따른 적조생물 개체수 변동(수산과학원 실험)

2. 현장 설치 운영

장치를 설치한 후 지속적인 현장 점검과 장비 보수를 행하였다. 그림 177은 RTK-30-2 소형장치의 현장점검 및 장비보수 모습이다. 장치에 부착된 우점종 생물은 대부분이 진주 담치이며, 봄철에 유생들로 주로 부착하기 시작한다. 현장에 설치된 장비들을 어항 작업장 방향으로 이동시켜 크레인으로 육지에 들어 올린 뒤 청소 공구들을 이용하여 보수하였다. 보수한 뒤에는 다시 크레인으로 바다로 진수시켜 현장으로 이동 설치하고 장비를 가동하여 이상 유무를 점검하였다.

소형장치 하단에 설치된 부식을 방지하는 아연 희생양극판은 해수 중으로 방전되어 모두 닳아 없어진 상태라 새것으로 교체하였다.



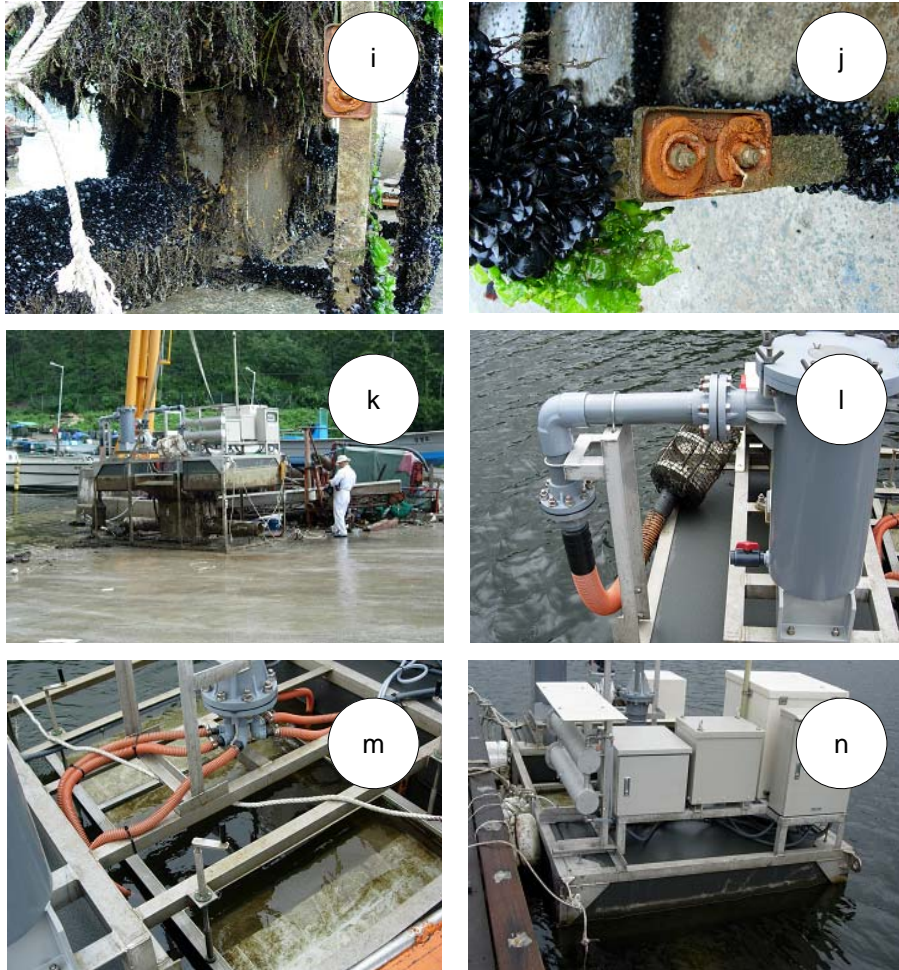


그림 180. RTK-30-2 소형장치의 현장점검 및 장비보수 모습, (a)육상 작업장으로 장치 이동, (b)육상 작업장의 크레인으로 예인, (c)예인된 장치와 부착생물, (d)제트 분사구와 취수부의 부착생물, (e)장치에 부착된 부식 방지 아연 희생양극, (f)소형장치 점검 및 청소후의 장치전체와 취수구, (g)청소 후 시설 장소로 이동하여 재설치

제5절 효율증진 기술연구

1. 해파리 영향실험

수질을 정화하는 과정에서 적조를 제어하려는 본 시스템에 대하여 효율을 증진시키는 연구의 일환으로 대부분 해역에 대량으로 분포하는 해파리 종에 대해서는 어떤 효과가 있을 것인지를 조사하였다. 실험 장치는 어류영향 실험 수조 내에 해파리를 투입하여 본 시스템을 가동하였을 경우 어떤 영향을 받는지를 조사하였다. 그림 178과 같이 직경 3 m, 높이 1.3 m의 원형 수조에 해수를 0.8 m 까지 채우고 남해 여수 연안에서 채취한 직경 0.2~0.5 m 정도의 노무라 입깃 해파리 5마리를 상대로 미세 오존 기포에 의한 실내 구제실험을 행하였다.

현장 실험에 있어서는 해파리가 대량 발생하는 시기에 본 시스템이 설치되어 가동하는 마산 수정리 해역에서 실시하였다. 실험 기간 중에 그림 179와 같이 메소코즘 내에 해파리가 유입되어 해파리에 대한 간단한 실험을 할 수 있었다.



그림 181. 해파리 영향 실험을 위한 원형 수조



그림 182. 메소코즘 내의 해파리 (마산 수정리 해역, 보름달 물해파리)

고속제트 분사장치에 의해 계속적으로 장치를 가동하면서 5분 간격으로 수조내의 용존 산소량을 측정하고, 다시 해수를 교체하여 직경 20 cm의 air stone을 오존발생기에 연결하여 수조의 앞, 중간 뒤에 각각 3개 투입한 뒤 수조내의 용존산소량을 측정하였다. 표 70에 결과를 나타내었다. 표 에서 같은 조건으로 출발 한 용존산소량은 시간의 경과에 따라 고속제트분사장치를 사용한 경우가 일반 Air stone을 사용한 경우 보다 약 4 배 이상으로 용존산소량이 늘어난 것을 알 수 있었다.

표 70. 고속제트 분사장치와 Air stone 투입후의 시간 경과에 따른 용존산소 변화량(단위: mg/L)

경과시간(분)	투입 전	5분	10분	15분	20분
제트 분사	0.8	7.5	10.5	11.5	12.7
air stone	0.8	1.5	2.5	2.8	3.0

해파리가 잘 유영하게 하기 위하여 원형 수조속의 물은 기포가 생기지 않도록 하여 계속 공급해 주었으며, 동시에 고속 제트 분사장치의 노즐로 미세 오존기포를 분사시켰다. 일반적으로 해파리는 공기 기포를 싫어하는 것으로 알려져 있다. 그리고 해파리는 기포방울이 깃 속으로 들어오면 거꾸로 유영하여 기포를 밖으로 배출시킨다. 그러나 본 실험에서 사용한 미세 기포는 해파리가 유영할 때 해파리의 후면에서 작용하는 음압 때문에 해파리의 깃 속으로 깊이 들어가는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 해파리가 거꾸로 유영하여도 미세 기포는 표층으로 부상하지 않고 해파리 깃 속으로 침투하였다. 즉, 미세기포가 부상하는 부력보다는 해파리가 유영할 시 발생하는 음압이 더 크게 작용하기 때문인 것으로 추정된다.

미세기포를 분사하기 시작하여 5분 정도 경과한 상태의 모습을 그림 180에서 볼 수가 있으며, 미세기포가 해파리 깃 속 깊숙이 들어가 켈리 상태의 해파리 조직이 파괴된 것을 알 수가 있다. 이와 같은 결과로 미루어 대형 고속 제트 분사장치가 현장에 설치되어 사방으로 미세기포가 분사되면 보름달 물해파리 같이 크기가 작은 소형 해파리는 *Ephyra* 상태에서부터 구제효과가 있을 것으로 기대된다. 2시간 정도 진행된 실험에서 구제된 해파리가 분쇄되어 그 조각들이 수조 속에서 흘러 다녔다.

현장 실험은 평소 본 장치를 가동하면서 지속적인 관찰을 하였다. 마산 수정리 해역에 있어서 해파리는 8월경에 대량으로 출현하였다. 개체 수는 1 m² 당 십 수 마리로 관찰되었다. 그림 181은 해파리가 대량 출현한 8월에 본 수질정화 및 적조제어장치가 가동 중 본 장치에 영향을 받아 해수 표면에 부유한 해파리 모습이다.

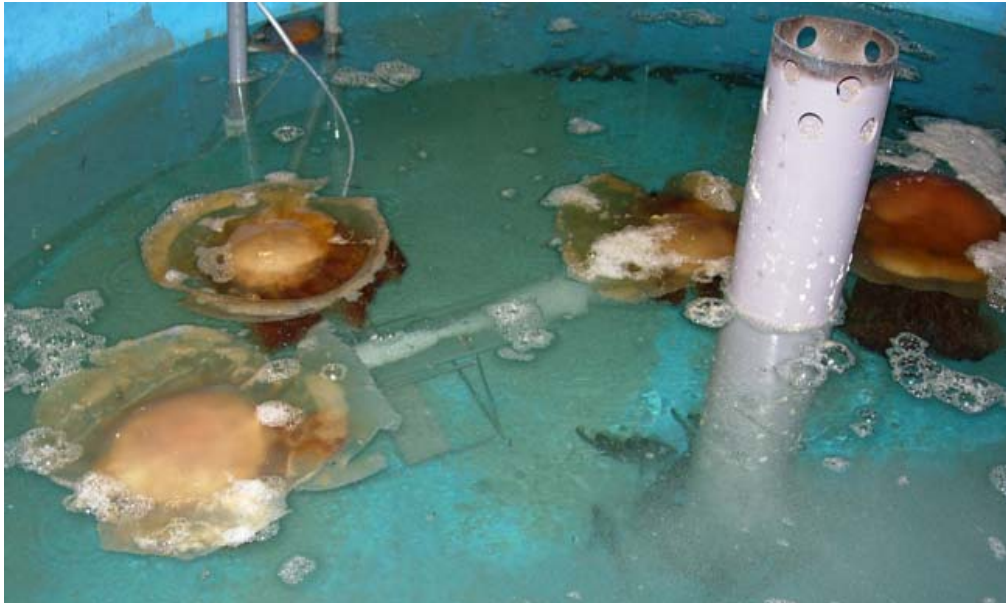


그림 183. 미세기포에 의해 폐사한 노무라 입깃 해파리 모습

수정리항 입구 쪽 방향으로 향해있는 수질정화 및 적조제어장치에서 분사되는 해수의 흐름 방향은 원형의 형태로 안쪽 항내를 향하고 다시 방파제 안쪽으로 돌아 방파제 바깥으로 흘러나가는 형상이다. 현재 그림 182에서 이 흐름 방향을 따라 기포가 가득찬 해파리가 해수 표면에 검은 선 안쪽으로 대량 부유해 있는 것을 관찰할 수 있었다. 그림 183과 같이 이 해파리들을 메소코즘 내에 모아서 관찰한 결과 2시간 정도 경과 후 분해되면서 해파리는 폐사하는 것으로 나타났다.



그림 184. 미세기포에 의해 해수 표층에 부유하는 해파리(보름달 물
해파리)

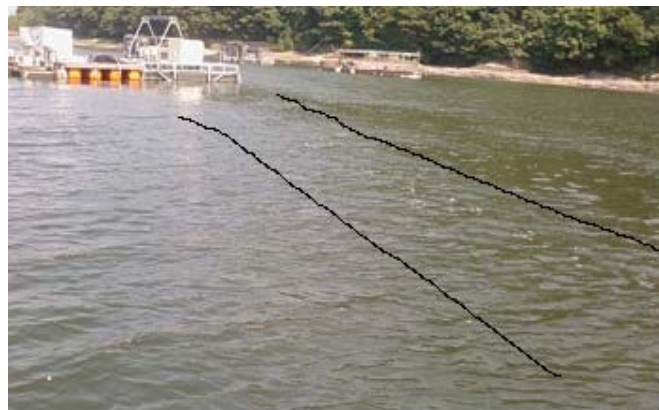
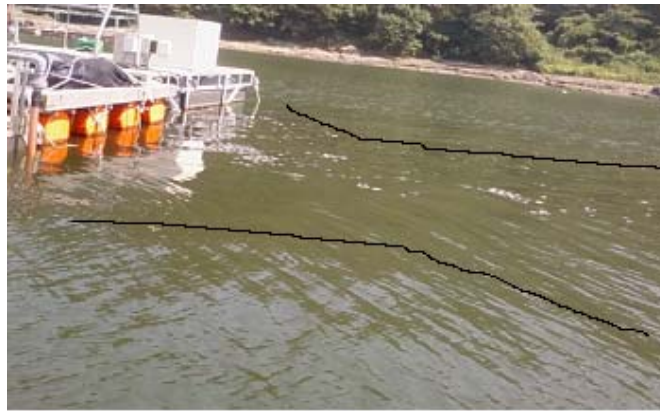


그림 185. 흐름방향으로 형성된 해수 표층에
부유하는 기포로 폐사한 해파리(검
은선 안쪽)

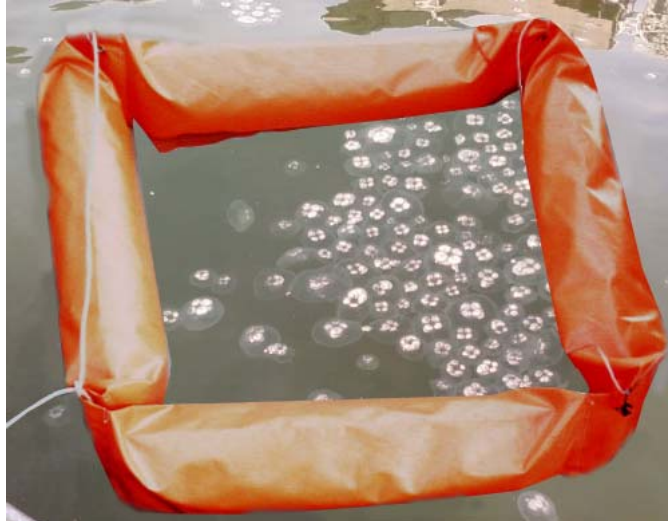
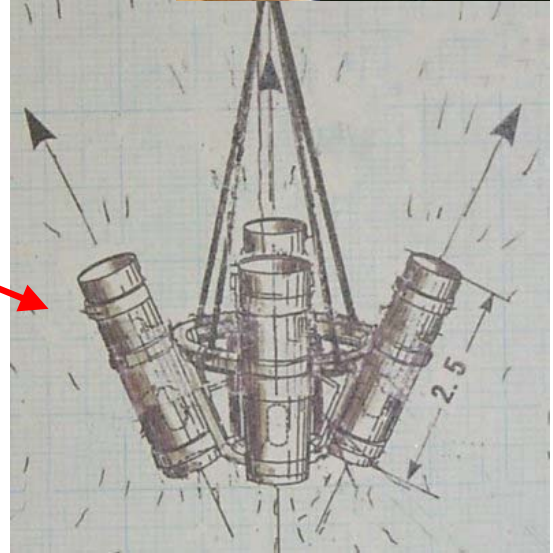
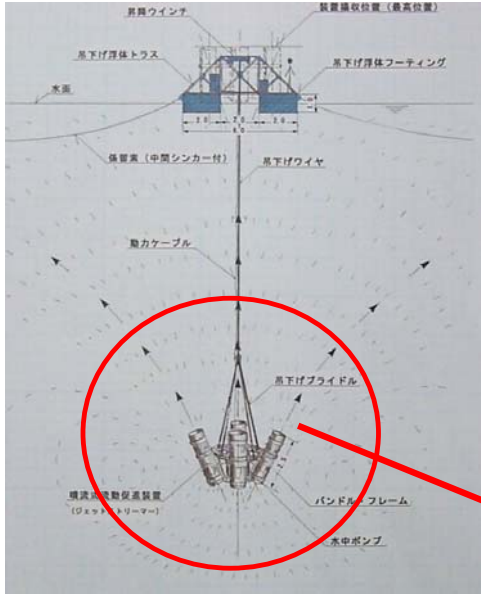


그림 186. 기포로 폐사 상태인 소형 메소코
즘 내의 해파리

2. 해파리 제어장치

이상의 결과에서 본 시스템에 의한 해파리 제어 가능성을 보여 주었다. 그러나 해파리는 해역의 모든 방향에 임의로 존재하기 때문에 미세기포를 해역의 모든 방향으로 보낼 수 있는 장치가 필요하다. 그림 184에 해파리 제어를 위하여 본 시스템에 의한 강제수류를 사방으로 보낼 수 있는 대형 장치 개념도와 이미 상품화되어 있는 소형장치가 효과가 있을 것으로 사료되며, 이에 대해서는 추후 효과 실험을 수행할 예정이다.



MJS-150×4本 복합형

그림 187. 수질정화 및 해파리 제어용 강제수류 발생 시스템

제6절 결과

시작품 제작에 앞서 초음파와 오존으로 표층에 분포하는 적조생물을 구제하는 소형실험장치 RTK-30-2를 제작 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 소형실험장치를 설계안대로 제작하여 현장에 설치 일정기간 운영하여 성능과 효과를 검증하였다.
- 2) 어류영향 실험에서 본 시스템에 적용하는 농도의 UV 오존은 환경변화에 민감한 돌돔과 솜뿔이 및 넙치 등의 어류에 아무런 영향이 없는 것으로 나타났다(제 2절 2결과 가)
- 3) 소형실험장치의 초음파는 약 50~80%의 녹조 구제효과를 보였다(그림 144). 녹조 구제효율에 차이가 있는 것은 녹조가 표층에 집적되어있는 상태 또는 수중에 부유하고 있는 상태 등에 따라, 샘플 채수 시 녹조 분포 상태에 따라 영향이 있는 것으로 추측되었다. 또 클로로필-a의 농도와 구제효율에는 상호관계가 보여지 지 않았다(그림 141, 142)
- 4) 초음파는 적조구제에 대한 실내실험에서 주파수와 강도의 세기 및 조사시간에 따라 구제효과가 10% 이상에서 100%까지 차이가 났으나, 소형장치의 현장실험에서는 소형장치 내를 지나가는 해수 중에 포함된 적조생물에 한하여 100% 가량의 구제효과가 있었다(그림 175).
- 5) 각각의 적조구제물질 농도별 투여에 대한 참돔, 감성돔, 전복의 어패류에 대한 반수치사시간을 측정하여 영향을 조사한 결과 적조구제 효과가 높은 물질이 치사율이 높았다.
- 6) 소형장치의 이동성을 감안하여 제작한 부유식 전기 인입선은 전기 공급 장치에 연결하여 전기선이 닿는 범위 내에서 어장주변이나 폐쇄된 소규모 해역에서 장치를 이동시키면서 적조구제 및 수질정화 작업에 적용하는 것이 유용한 것으로 나타났다.
- 7) 적조 이외의 유해생물에 대한 효과를 검증하던 중 본 시스템은 해파리 제어에 상당히 효과가 있을 가능성을 실험을 통하여 제시하였으며, 효율 증진 기술 연구의 하나로 본 시스템을 다 방향으로 강제수류를 만들 수 있도록 개조하여 수질정화 및 적조와 해파리 제어용으로 활용할 것을 제시하였다(그림 181, 182, 183, 184)

제 4 장
시작품 설계·제작 및
설치 운영

제1절 수질정화 및 적조제어장치(MJS-150) 설계 제작

1. 작동원리

수류발생장치는 해저에 잠겨있는 분류펌프까지 부유구조물에 설치된 구동수 펌프에 의해 송수되고 이것에 의해 발생하는 분류로 물을 유동시켜 해저의 빈산소 상태를 해소하고 해저 저질을 산화, 분해를 촉진시키는 것이 가능하다. 분류는 물 전체를 유동시키기 때문에 성층(수온 성층)을 파괴하고 저층의 빈산소 상태를 개선하는 것이 가능하기 때문에 분류에 오존과 공기를 주입시키는 것으로 조기에 저층의 빈산소 상태의 개선과 해저에 집적된 유기물의 산화, 분해가 이루어진다. 또 오존 효과의 하나로써 대장균의 살균이 이루어진다. 수류발생장치를 검토할 경우 프로펠러장치 등에 있어서는 해저 저질을 용승시키고, 수질을 오히려 악화시키는 경우가 생긴다. 본 수질정화 및 적조제어장치는 분류 축 대칭류를 발생시키기 때문에 해저에 평행, 직근의 유동촉진에 있어서도 해저의 저질을 용승시키지 않고 확산 폭기하는 것이 가능하다.

이와 같이 저질을 용승치 않고 확산 폭기가 가능한 분류식유동촉진장치인 수질정화 및 적조제어장치(MJS-150)의 방식에 대하여 프로펠러식과 비교하여 검토해 본다. 배치조건은 그림 185와 같다.

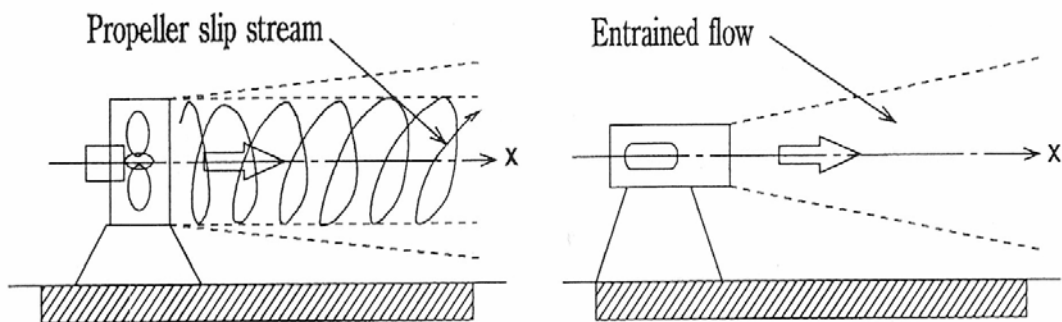


그림 188. 프로펠러 식(좌)과 제트스트림 방식(우)의 제트스트림 방식 흐름의 비교

가. 유동장의 특징

1) 프로펠러식

이 방식에서 생성되는 유동장을 개념적으로 도식하면 그림 186과 같다.

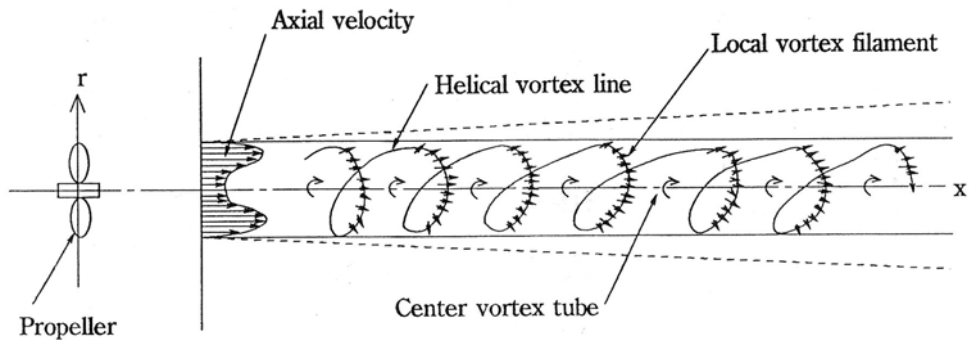


그림 189. 프로펠러에서 발생하는 유동장의 개념도

즉, 프로펠러식에 있어서 특징은 강한 회전류 성분이 생기면서 프로펠러 원반면의 외측에 가까운 쪽(프로펠러 반경의 약 70% 부근)에 축 방향 유속 최대 영역이 있으며, 이것에 의해 프로펠러 후류에 대해서 그림 187과 같은 확산성 물질 층이 이 강한 회전류 성분에 접촉하면, 이 층 내의 물질을 그림 중앙의 화살표 방향으로 날리는 강제유동(밀링효과)이 반드시 발생한다.

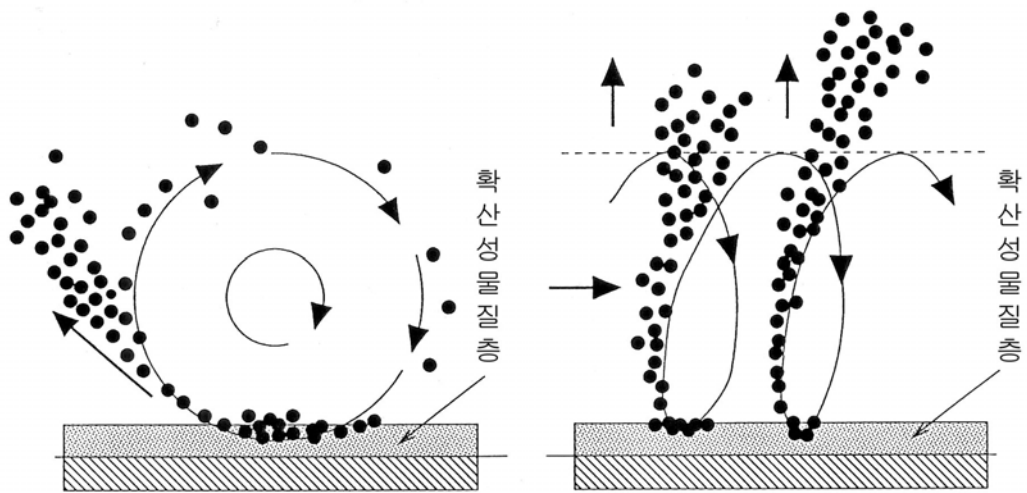


그림 190. 프로펠러 흐름에 의한 물질의 강제 유동의 단면도(좌)와 축방향 단면도(우).

이것은 프로펠러식에 의한 전형적인 용승의 기구를 나타내는 것으로 저질이 용승하는 이유는 이 원리 때문이다.

나. 분류방식

분류방식의 유동축진으로 생성되는 유동장을 개념적으로 나타내면 그림 188과 같다.

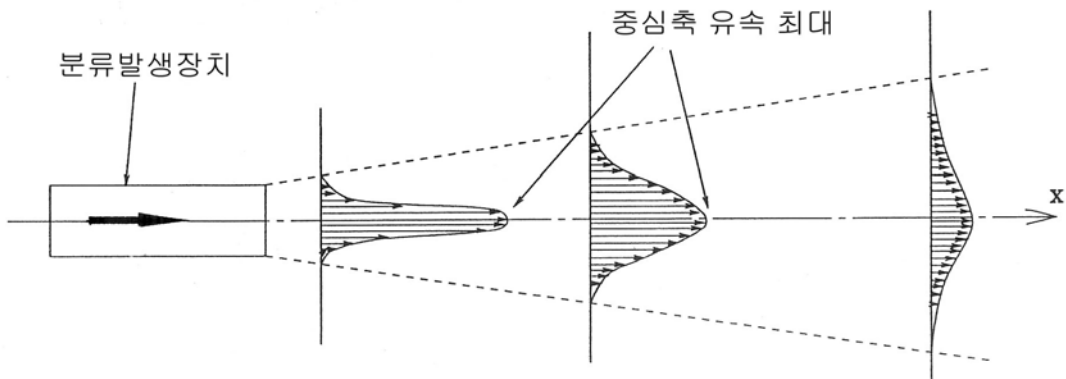


그림 191. 제트스트림 토출 분류에 의한 유동장의 개념도

즉, 제트분류의 특징은 프로펠러 경우와 같은 후류의 회전류 성분이 전혀 없으며, 후류 주위에 집중적으로 존재하는 고속으로 회전하는 vortex tube와 같은 고속류 성분도 전혀 없다. 축 방향 유속은 장치 축 중심으로 최대이며 여기에서 폭 방향으로 멀어질수록 작아진다. 이것에 의해 토출 분류의 하단부가 그림 187과 같이 확산성 물질의 층에 접근 접촉하여도 흐름의 거동은 그림 189와 같이 된다.

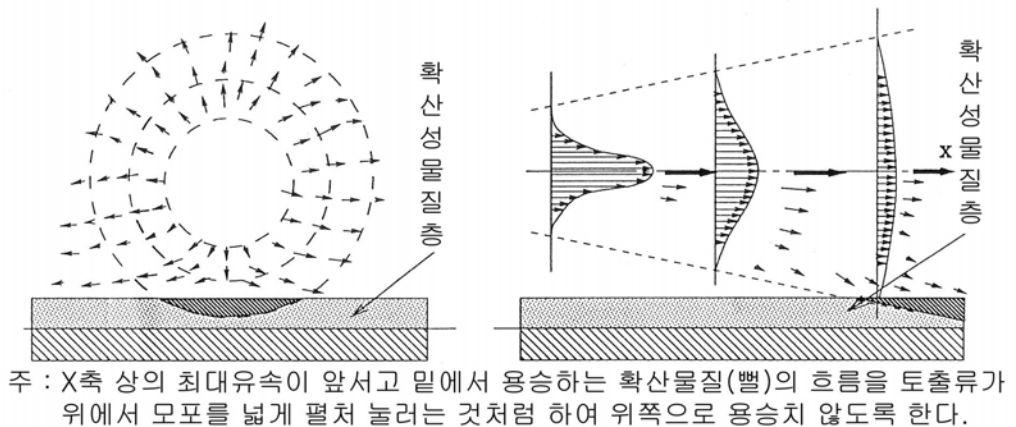


그림 192. 토출 분류에 의한 물질의 강제 유동

이상의 비교에서 그림 185에 나타낸 수평 배치에 대해서 분류토출 방식에는 기본적으로 밀링효과(드릴로 구멍을 뚫을 때 칼의 회전에 의한 물질의 날개 날리기 작용)가 없다. 특히 분류 선단이 접촉할 시 아주 작은 규모의 난류의 발생은 그것보다도 큰 축 방향 유속을 가진 토출류 수괴가 상방향에서 진행 방향, 폭 방향으로 순서대로 모포를 펼치면서 뒤집어씌우는 것처럼 바닥면상으로 눌러 들어가는 형태이다. 분류 수괴의 주변부(바닥면)는 이와 같이 비교적 부드럽게 고 용존산소농도의 물의 모포로 커버하는 것처럼 되고 이 모포는 용승을 억제함과 동시에 시간 경과에 따라 용존산소를 저질로 침투, 확산 시키는 에어레이션 효과도 발휘한다. 즉, 본 방식에 의한 그림188 형식의 수류발생은 저질 용승을 억제하는 것만 아니라 적극적인 저질개선 효과가 있기 때문에 일석이조의 효과를 발휘한다.

2. 사양서

仕様書

1. 수류발생장치

- 1)분류펌프 : 구동수의 통수에 의해 주위의 물을 흡수하여 구동수 펌프수와 같이 토출하는 구조로 재질은 MC 나일론
- 2)정류통 : 분류 펌프에 의해 발생하는 수류를 정류하는 구조로 재질은 FRP재이나 분류 펌프부를 스테인레스제 금구로 지지하는 구조
- 3)가대 : 분류펌프 및 정류통을 지지하는 가대. 재질은 강재로 용융아연 도금을 한 것으로 전식 방지용으로 아연판을 요소에 설비
- 4)형식, 대수 : MJS-150형(동수량 95,000m³/일) 1대

2. 초음파발생장치

- 1)초음파발생장치 : 적조플랑크톤을 초음파에 의해 세포파괴를 하는 장치
- 2)초음파 반사판 : 초음파진동자를 부착하는 상기 수류발생장치의 정류통과 같은 직경 정도로 재질은 SUS재로 초음파진동자를 고정함과 동시에 난반사 시키는 것으로 폭넓게 살조능력을 가지게 하는 구조
- 3)초음파 형식 : 저주파 진동자 1대, 고주파 진동자 1대
- 4)대수 : 1대

3. 부속장치

1)구동수 펌프

- 형식 : 전동식渦卷형 내해수용 펌프(125A×100A)
- 토출량/양정 : 3.3m³/min, 10.0m
- 전동기 : 7.5Kw×400V(380V)×60Hz(4극 모우터)
- 대수 : 1대
- 사양 : 나일론 코팅
- 부속장치 : 상 프랜지 · 呼水 플러그

2)구동수 배관

- 형식등 : 吸込 배관 및 낙수방지 챔버를 경유하여 펌프에서 토출수를 수류발생장치 구동수관에 송수하기까지의 배관
- 수량 : 1식
- 사양 : 낙수방지 챔버 PVC300A, PVC제 토출배관 100/150A 및 흡입배관 125A, 수지제 밸브 JIS10K-100A, 스트레이너

3) 구동수 호스

- 형식 : 호칭경 150mm 보강재 삽입 염화 비닐 호오스
- 수량 : 20m×2본
- 사양 : 양단 PVC재 플랜지 단수 · SUS제 호오스 밴드

4. 오존발생장치 및 오존 송기관

- 1)형식 : 형광관식 오존나이저 MOL-Ⅲ
- 2)오존발생량 : 6.3g/h
- 3)대수 : 1대
- 4)오존 송기관 : PVC제 호오스
- 5)수량 : 40m(호오스 보호관 부착)

5. 공기압축기(에어 콤프레샤)

- 1)형식 : 무오일 콤프레샤(0.75Kw)
- 2)토출량 : 최대 75L/분(최대)
- 3)토출압력 : 0.6~0.8 MPa
- 4)대수 : 1대

4. 각 부품 장치의 제작

가. 수류발생장치

그림 191은 수류발생장치로 거치대가 부착되어 있는 형태이다. 정류통 길이 2,500 mm 이며, 정류통 내경은 700 mm 이다. 1일 발생 유량은 95,000 톤 이다.



그림 194. 거치대에 부착된 MJS-150 수류발생장치

나. 초음파 발생 장치

그림 192는 MJS-150 장치에 부착된 초음파 발생 정류통의 수류 발생부를 통과하는 정류통 주변의 흐름속의 적조생물을 구제하는 역할을 한다. 발생주파수대는 200 KHz의 고주파이며, 녹조생물의 구제 주파수와는 차이가 있는 적조생물 구제 주파수 범위이다. 크기는 ϕ 160x50 mm2F 형이고, 전기 사용량은 AC100 V/1 ϕ /100 W 이며, 중량은 5 Kg이다.

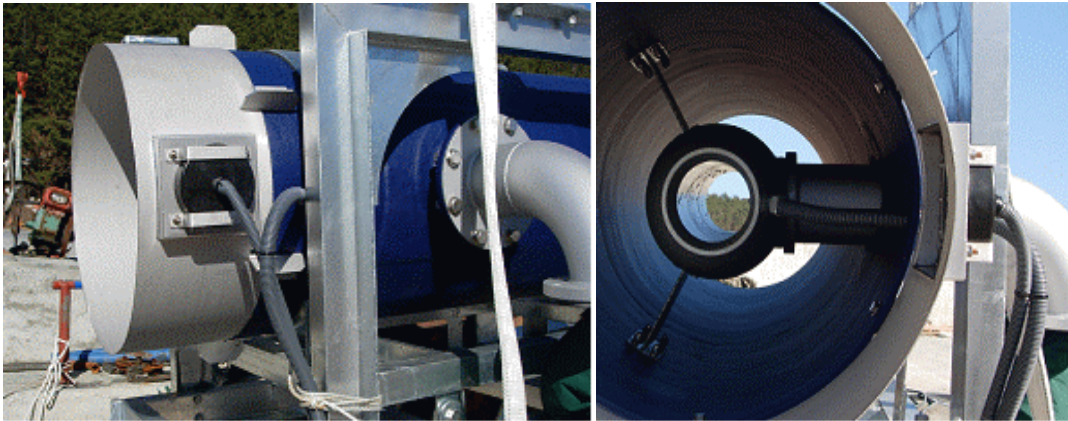


그림 195. MJS-150의 정류통에 부착된 초음파 발생 및 반사장치

다. 오존발생장치

그림 193은 공기를 원료로 하여 UV 석영관을 방전관식으로 통과시켜 오존을 발생시키는 MOL-III 형식의 오존발생장치를 나타내며, 장치의 크기는 길이 1,000 mm에 폭 350 mm, 높이 950 mm 이고, 오존 발생량은 5.2 g/hr이다. 중량은 60 kg으로 무거운 편이다. 본 장치는 송기관을 통하여 수류발생장치의 수류에 난류 혼합시켜 수중에 확산된다.

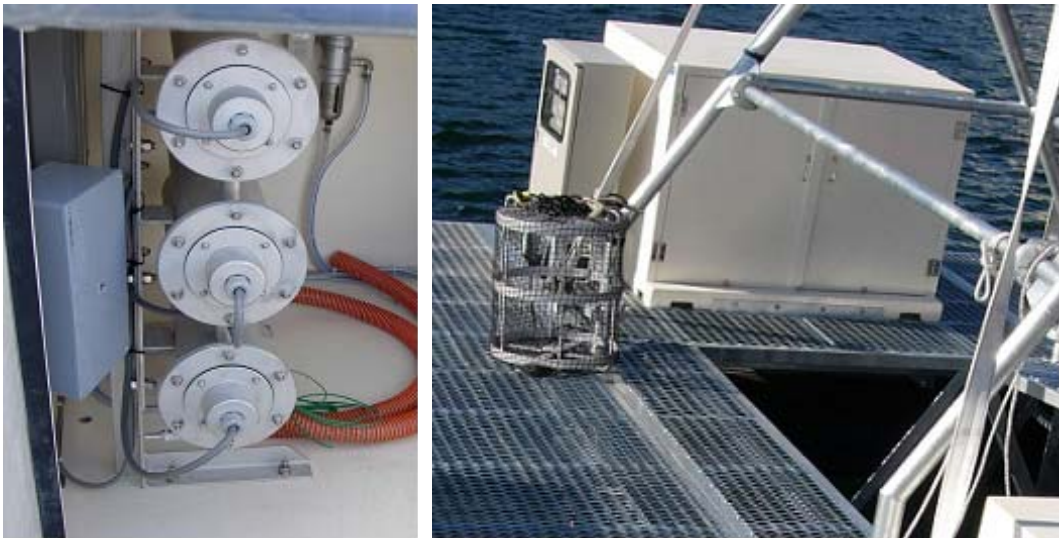


그림 196. 오존 발생장치 내부 모습과 보관함

라. 구동수 펌프

그림 194는 GEZ-1256M-4MW7.5 형식의 육상 거치형 해수 전용 펌프로서 전동식渦卷형이다. 크기는 폭 498 mm 에 길이는 1,026 mm 이며, 높이가 515 mm 이다. 토출 유량은 분당 3톤 이며, 양정은 10 m 이다. 전기사용량은 7.5 Kw에 전체 중량은 199 kg 이다.



그림 197. 플로트에 거치된 구동수 펌프

마. 에어 콤프레샤

그림 195는 TFPCO7-10 형식의 에어 콤프레샤로 길이 770 mm, 폭 350 mm, 높이가 675 mm의 크기이다. 전기사용량은 AC200 V/3 ϕ /750 W 이다. 토출 공기량은 75 L/min 이고, 토출압력은 0.8~1.0 MPa 이다. 전체 중량은 48 Kg이다.

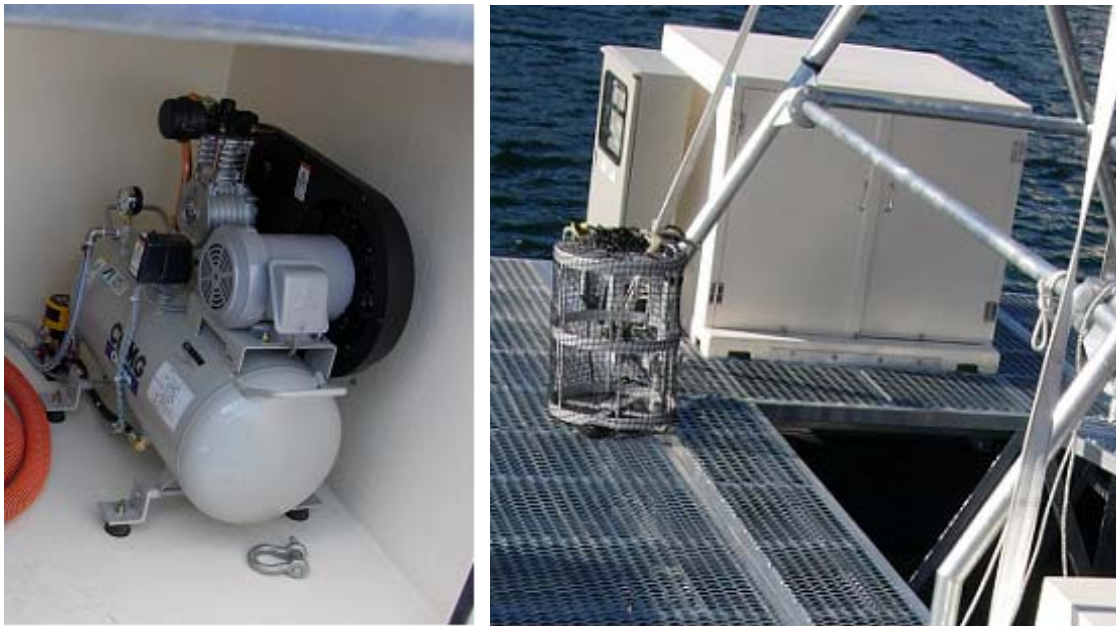


그림 198. 에어 콤프레샤의 내부 모습과 보관함

바. 윈치

그림 196은 TX310 형태의 윈치의 모습이다. 크기는 폭 390 mm, 길이 538 mm, 높이 315 mm 이고, 전기사용량은 AC200 V/3 ϕ /750 W 이다. 정격하중은 1000 kg 이며, 정격 로프 속도는 2.9m/min 이다. 총중량은 65 Kg 이다. 윈치는 해상에서 플로트 위에서 수류발생장치인 MJS-150을 해저에 안착시킬 경우 또는 점검, 철거 시 들어 올릴 경우 사용한다. 사용치 않을 경우는 로프를 모두 거두어 덮개를 덮어 그림과 같이 보관한다.

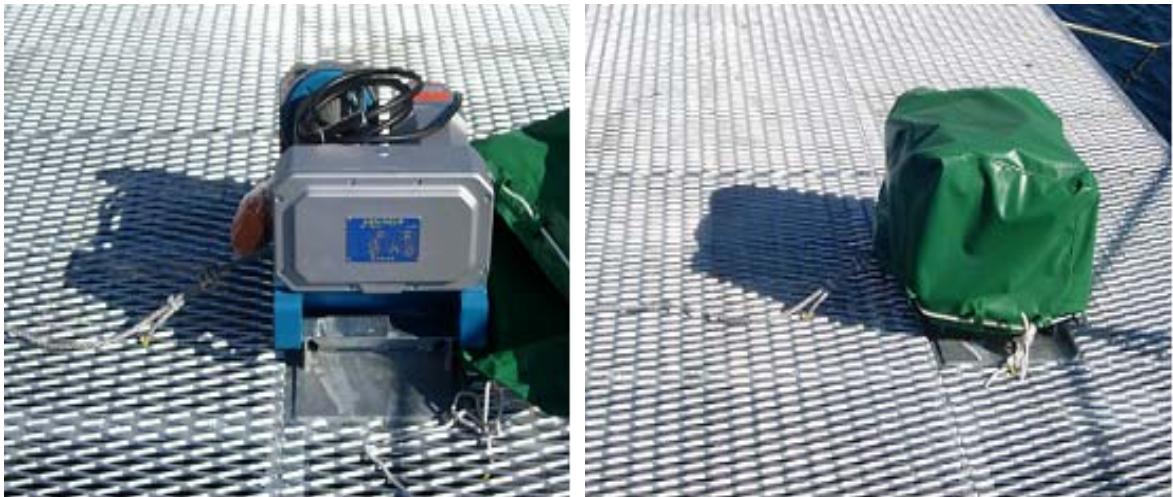


그림 199. 설치된 윈치와 덮개를 덮은 윈치

사. 제어판

제어판은 전체 시스템에 전기공급과 운전을 제어하는 장치이다. 장치는 폭이 605 mm, 높이가 830 mm, 두께가 272 mm 의 크기이다. 플로트에서 오존발생기와 에어 콤프레샤가 들어있는 보관함 옆에 위치해 있다. 그림 197에 제어판의 모습과 플로트상에 설치된 모습을 보여준다.



그림 200. 운전 제어판의 외관모습과 플로트에 설치된 모습

아. 기타 장치의 제작

그림 198은 수류발생장치의 외장 발사부의 제작 모습이고, 그림 199는 수류발생장치의 내부 발사 노즐 펌프의 모습이다.



그림 201. 수류발생장치의 발사부 외관 모습



그림 202. 수류발생장치의 내부 발사 노즐 펌프

그림 200에서 왼쪽은 수류발생장치 MJS-150의 거치대의 제작 모습이고, 오른쪽은 수류발생장치를 부착한 모습이다.



그림 203. 수류발생장치 MJS-150과 거치대의 제작 모습

그림 201은 구동수 펌프에 연결되어 해수를 유입하고 해수 중의 부유물 및 입자성 물질을 걸러주면서 구동수 펌프에 해수를 공급하여 초기 구동수 펌프 작동 시 해수가 잘 유입되도록 하는 역할을 하는 낙수방지 챔버와 정류통의 제작 모습이고, 그림 202는 현장에 시설된 모습이다.



그림 204. 낙수 방지 챔버의 제작



그림 205. 플로트에 시설된 낙수방지 챔버

그림 203은 시스템 전체의 전기를 공급하는 전기 공급 박스의 모습이며, 내부의 전기 배선은 먼저 380 V 3상을 220 V로 변압시키는 모습을 보여주고 있다. 그림 204는 운전 제어판의 제작과 내부 배선도를 보여준다. 본 제어판에는 전기가 절연되었을 경우나 기타 화재 등의 위험시 자동 경보 및 운전 정지 또는 위험상황이 종료되었을 경우는 자동으로 전기가 공급되는 기능을 가지고 있다.

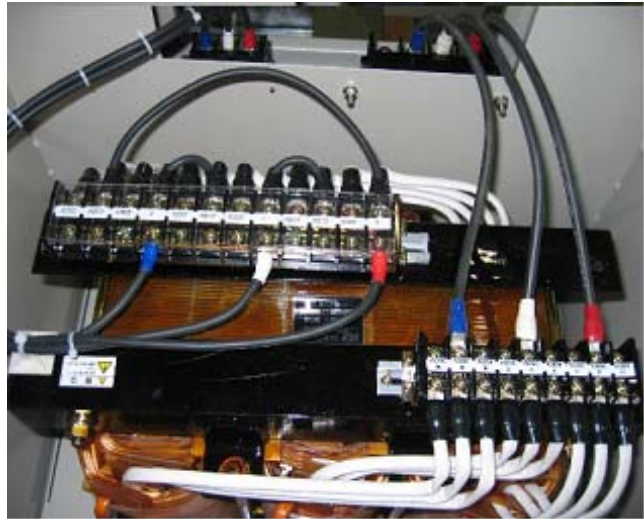
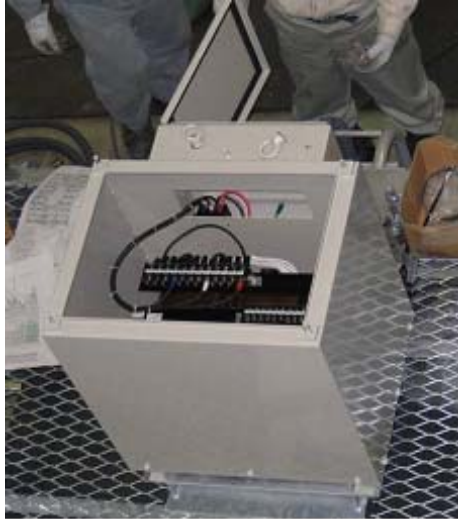


그림 206. 전기 공급 박스의 제작과 내부 배선

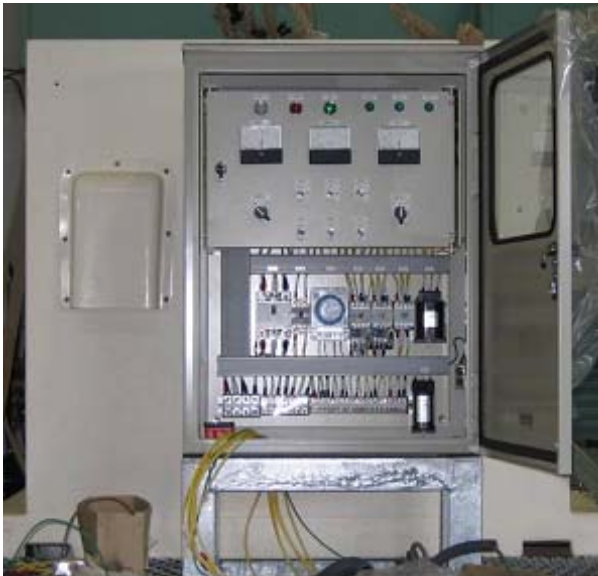


그림 207. 운전 제어판의 제작과 내부 배선

그림 205는 수류발생장치의 해상 플로트의 거치대를 제작하는 모습이다. 거치대는 원치와 연결되어 해저 속으로 수류발생장치를 매달아 거치 및 철수 시 필요한 구조물이다. 현재 제작된 모든 구조물은 철에 아연을 도금하고 전식방지를 위해 아연 위생양극을 부착하였다. 그러나 일부 부품 중 서로 다른 재질로 결합되어야 하는 경우는 모두 SUS 304로 제작하였다.



그림 208. 수류발생장치의 거치대 제작

그림 206은 낙수방지 챔버의 해수 유입부에 연결되는 스트레이너와 호스의 모습을 보여주고 있다.



그림 209. 해수유입부의 스트레이너와 유입 호스

그림 207은 구동수 펌프에 연결되어 수류발생장치의 수류발생 노즐 펌프로 연결되는 호칭 경 150 mm의 보강재가 삽입된 염화 비닐 호스를 보여주며, 전체 길이는 40 m 로 양단에 PVC재 프랜지 단수와 SUS제 호스 밴드로 체결된다. 그림 208은 오존 발생장치에 생성된 오존을 송수하는 송수관과 전기를 공급하는 전기선을 삽입한 송수관 보호관을 보여준다. 그림 209는 플로트의 거치대 구조물 상단에 부착된 야간에 선박 등의 운항 시 충돌을 방지하기 위한 점등관을 보여준다. 점등관은 일몰 시 야간에만 자동으로 불이 점등한다. 그림 210은 구동수 펌프에 작용하는 압력을 나타내는 불돈식 압력계이다.



그림 210. 구동수 호스



그림 211. 오존 송수관 및 전기선을 보호하는 보호관



그림 212. 야간 점등관



그림 213. 압력계의 모습

5. 해역 시설 및 실험

가. 시작품 시설 방안조사

현지 해역 시설을 위하여 경남도와 마산시청 및 마산해양수산청 담당자들과 상의하고 현 해역의 어촌계 동의를 사전에 구하여 설치하였다. 그림 211은 본 장치에 대한 수정리 해역 설치 동의서이다.

본 장치는 그 규모가 크기 때문에 시설에 따르는 주변 장치들이 필요하다. 먼저 초기 설계 시 전기가 인입되지 않는 것을 고려하여 발전기 사용을 항목으로 고려하였었다. 그러나 발전기 사용에 있어서는 해역 주변의 소음을 고려하여야 하므로 그림 212와 같은 소음기가 부착된 발전기가 구입되어야 한다. 본 장치 가동에 있어서의 적정 발전량은 20 kW 정도이나, 일반적으로 발전기는 사용 전력량의 2배 정도의 발전 능력을 가지고 있어야 한다. 그러므로 적당한 발전기는 50 kW급이며, 방음장치 부착 발전기의 가격은 1,070 만원이다. 발전에 필요한 경유는 1일 24시간 가동에 1일 약 200 L가 필요하다. 1 L에 1,300원으로 환산하고, 엔진오일과 기타 소모품 사용을 고려하면, 발전기를 사용할 경우는 1일 약 280,000원 정도의 경비가 소요된다. 전기를 사용할 경우의 경비 1일 약 17,000원에 비하여 17배의 경비가 소요된다. 이와 같은 사항들을 만족할 만한 해역 선정에 많은 시간을 소비하였다.

현장에 실려 올 장비들은 그 규모가 크기 때문에 대형 트럭이 들어올 수 있는 진입로가 있어야 하며, 장비를 하역하여 조립할 수 있는 비교적 넓은 공간이 필요하다. 그리고 장비들을 들어 올릴 수 있는 크레인 등의 장비가 필요하고 그 장비들을 바로 바다로 진수할 수 있는 조건들이 또한 필요하다.

수정리 어촌계에는 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 여건이 구비되어 있는 편이었다. 장비 설치에 상당한 도움이 되는 물양장 시설이 되어 있었으며, 장치 하역에 필요한 크레인도 설치되어 있었다. 크레인에 사용하는 전기도 가까이 시설되어 있어 본 장치 설치 후 필요한 전기 사용에도 어려움이 없는 편이었다.

수질정화시스템인 JET STREAMER의 수정리 어항 설치 동의서

해양수산부 사업과제로 2005년 7월부터 2006년 6월까지 부산 소재의 부경대학교(과제 책임자: 김 창훈 교수)가 수행하는 친환경 적조 구제 및 제어기술의 현장 실용성 평가 연구용역 사업의 일환으로 마산 구산면 수정리 해역의 수질을 정화하기 위하여 첨부 사진과 같은 장치를 설치하는 것에 구산면 수정리 어촌계 계장 이하 계원들은 동의함.

구분	직책	성명	사인	비고
구산면	어촌계장	김 창훈		
	" 간사	김 경진		
	주임 이사	박 만수		
	" 과의원	리 준우		
	리조계원	황 서진		
	"	장 인기		
	"	김 용래		
	"	박 용철		
	"	박 정석		
	"	김		

그림 214. 수정리 어촌계 동의서



그림 215. 소음기가 부착된 발전기

나. 현장 조립

그림 213 및 그림 214에 마산 수정리 해역으로 운반되어온 장비들의 수류발생장치 관련 장비들의 하역 모습 및 현장 포장해체, 조립 모습을 보여주고 있다.



그림 216. 구동수 펌프와 전기공급 박스, 오존 및 콤프레샤 장치 박스, 거치대의 포장 모습 등과 장치들 하역



그림 217. MJS-150 수류발생장치외 주변 관련장
비의 포장 모습 등과 장치들 하역

그림 215와 같이 현장에 운반 하역되어 해체된 장비들은 다시 부품들을 재조립하였으며, 조립된 장비들은 현장에 설치 전기를 연결하여 작동을 확인하였다. 그림 216에 조립모습을 보여주고 있다.



그림 218. 포장 장비 현장 해체

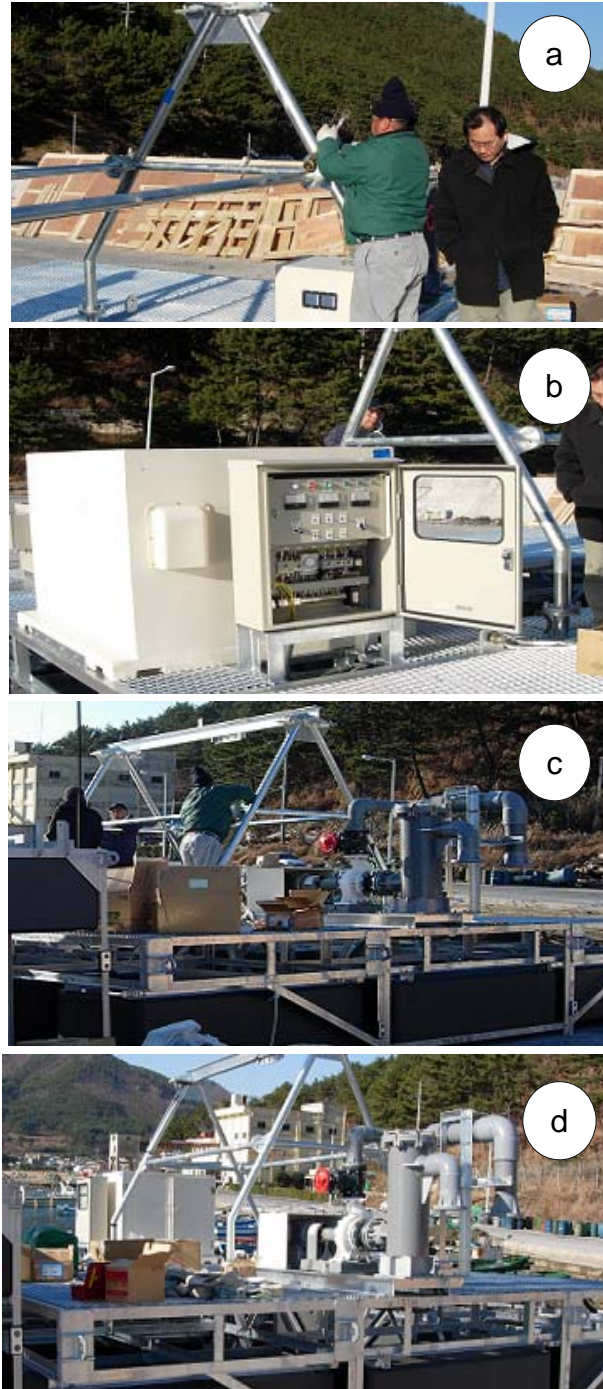


그림 219. 해체된 장비 현장 조립. (a)플로트에 거치대 부착 조립, (b) UV 오존, 콤프레샤 장비함과 운전 제어판 부착, (c) 구동수 펌프, 낙수방지챔버, 정류통 등 부착, (d) 플로트위에 현장조립 완성

다. 현장진수

조립된 장비들을 크레인으로 그림 217과 같이 해수면 위에 진수하여, 각 장치들을 해상에서 재 결합시켰다. 재결합된 장비들은 결합상태를 꼼꼼히 점검하여 이상 유무를 점검하였으며, 플로트 전체의 계산된 부력과 시스템의 해수에 잠긴 상태를 비교하여 초기 설계한 것과 일치하는 것까지도 비교하여 문제가 없음을 확인하였다.

그림 218은 진수 후의 시스템 전체에 대한 세부 점검하는 모습이다. 볼트의 잠김 상태와 부식 발생여부 등도 확인하였다. 스테인레스 스틸 볼트는 부식하지 않지만, 시간이 오래 지나면 볼트가 염분의 영향으로 결합되어 버리므로 이를 방지하기 위하여 볼트 고정을 막아주는 수지류의 재료가 있으며, 볼트류에 칠하여진 붉은색은 부식된 상태가 아니고 바로 이 수지류가 칠해져 있다.





그림 220. 현장조립 후 해수면 진수. (a) 조립 완성된 장비가 탑재된 플로트 해상진수 준비, (b) 크레인으로 들어 올린 시스템 모습, (c) 진수 직전의 시스템 모습, (d) 해수면에 진수한 시스템 모습



그림 221. 진수 후의 시스템 전체에 대한 세부 점검

라. 현장 성능시험

제작된 장치의 성능을 시험하기 위하여 제작 현지의 가까운 해역에서 성능 확인 실험을 행하였다. 실험은 본 장치에 의해 생성된 초미세기포의 확산 현상을 확인하는 것이며, 시스템을 가동시킨 상태에서 운전 상태를 점검하는 것으로 하였다. 그리고 잠수하여 수류발생장치에서 분류되는 흐름을 확인하였다(그림 219). 실험은 이틀에 걸쳐 운영하여 점검하였다.

그림 219에는 시설해역의 해저 상태와 수류발생장치에서 분류되는 초미세기포의 분사모습을 보여주고 있다. 그리고 그림 220에는 해수면에 설치된 시스템의 모습과 플로트의 전면에 분사되어 확산되는 미세기포의 표층에서의 모습을 보여주고 있다.



그림 222. 시운전 해역의 해저 모습(위)과 수류발생장치에서 고속 분사되는 초미세 기포의 모습(아래)



초미세기포의 분출모습

그림 223. 시운전 모습

제2절 해상제어 구조물 제작

1. 설계

그림 221에 설계 도면을 나타내었다. 제작 후 현지시설시의 운반을 위해 전체 크기 6,500 mm를 2,100 mm 2개, 2,300 mm 1개로 구분하여 제작하였으며, 제작된 플롯트는 3개로 나뉘어져 마산 수정리 수정어항에 운반, 지정된 해역에 설치하였다. 제작 및 설치 장면들을 이하 그림으로 나타내었다.

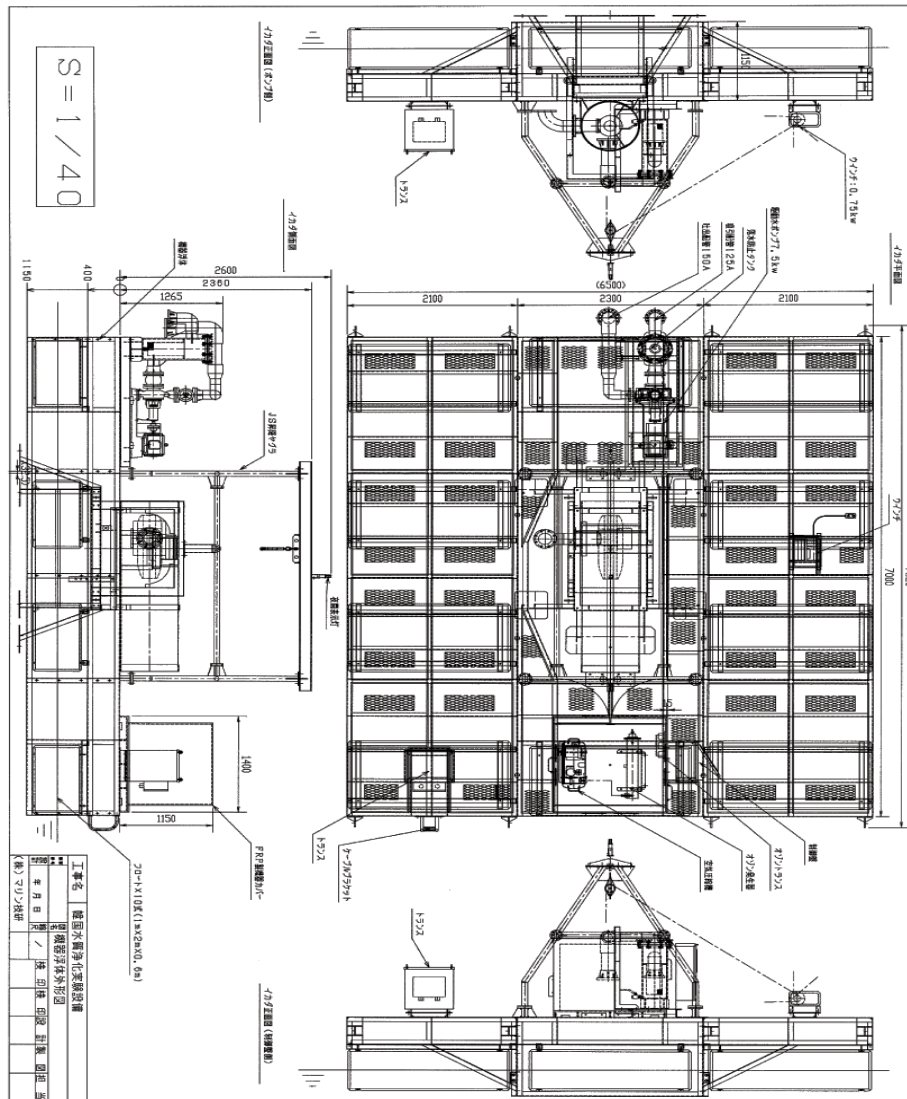


그림 224. 해상제어 구조물 설계도면

2. 플로트 제어 구조물 제작

가. 사양

1) 구조

구동수 펌프 및 오존 발생 장치와 콤프레샤 등의 기계류를 설치하기 위한 부유구조물에는 수류 발생 장치 메인터넌스시 해저에서 끌어올리기 위한 데릭, 즉 거치대와 전동식 윈치가 설비된다. 플로트는 PE 관에 스티로폼을 발포시킨 부력재를 요소에 배치한다. 강재관의 최상부에는 기기를 설치하는 공간에 FRP재 또는 PE재 판재를 부착한다. 해풍에서 장치를 보호하기 위해 기계 커버와 보관함을 펌프 모터 일부와 오존 발생기, 콤프레샤 등에 장비한다. 파이프와 부이의 재질은 PE이며, 대수는 1대이다.

2) 승강 장치와 전동식 윈치

구조는 수류 발생 장치의 메인터넌스 시 해저에서 끌어올리기 위한 전동식 윈치와 부유구조물 위에 수류 발생 장치를 매달아 올리는 데릭을 설치한다. 전동식 윈치 모터 출력은 1.5 kw이며, 대수는 1대이다.

3) 계류 설비

구조는 강재 앵커와 선박용 윈치에 의해 계류한다. 앵커는 개당 100 kg의 무게에 앵커 체인은 16 mm×40 m이다. 개수는 4대로 부유구조물 4 모서리에 로프로 연결하여 계류

4) 전기설비

제어판 구조는 구동수 펌프, 초음파 발생 장치, 오존 발생 장치, 콤프레샤, 전동 윈치로의 동력 전원 공급과 이 기기를 제어하는 옥외형 제어반으로 이루어진다. 재질은 SUS제 제어상자를 도장한 것으로 수량은 1면이다. 크기는 가로 600 mm × 세로 800 mm × 넓이 250 mm로 돌출물은 없으며, 계기용 점검창이 부착되고, 타이머 제어에 의해 오존, 콤프레샤가 자동 운전된다.

5) 배선

육상의 수전판에서 부유구조물까지 케이블에 의한 배선 방법을

적용한다. 케이블선은 2PNCT-4P-14mm, 300 m이다. 보호관은 과형 이설 전선 보호관 FP-65, 100 m를 사용한다.

나. 각 부품별 제작

그림 222에 플로트 부유 구조물의 각 부품별 제작 과정을 보여주고 있다. 먼저 부품들은 각 부위별로 소품들을 제작하고 이들을 파트별로 연결시켜 용접을 하고 아연 도금을 행한다.



그림 225. 플로트 구조물들의 각 부위별 소품 제작. (a) 플로트 연결 고리 부품 및 앵글 부품, (b) 플로트 앵글 판넬 부품, (c) 플로트 각 연결 앵글 부품

그림 224는 각 부위별 소품들을 결합하여 용접하고 결합시켜 파트별 부품을 만들고 있는 모습이다.



그림 226. 파트별 구조물 제작과 재결합 제작. (a) 파트별 구조물 제작, (b) 파트별 구조물 제작, (c) 용접과 파트별 구조물 결합제작

플로트는 전체를 3등분하여 각 등분별로 제작한 후 그들을 현장에서 조립하는 방법을 사용하였다. 이는 전체를 하나의 크기로 제작하였을 경우는 운반에 어려움이 따르기 때문이다. 그림 224는 전체 플로트를 3등분한 크기의 부품들을 만드는 과정이다.

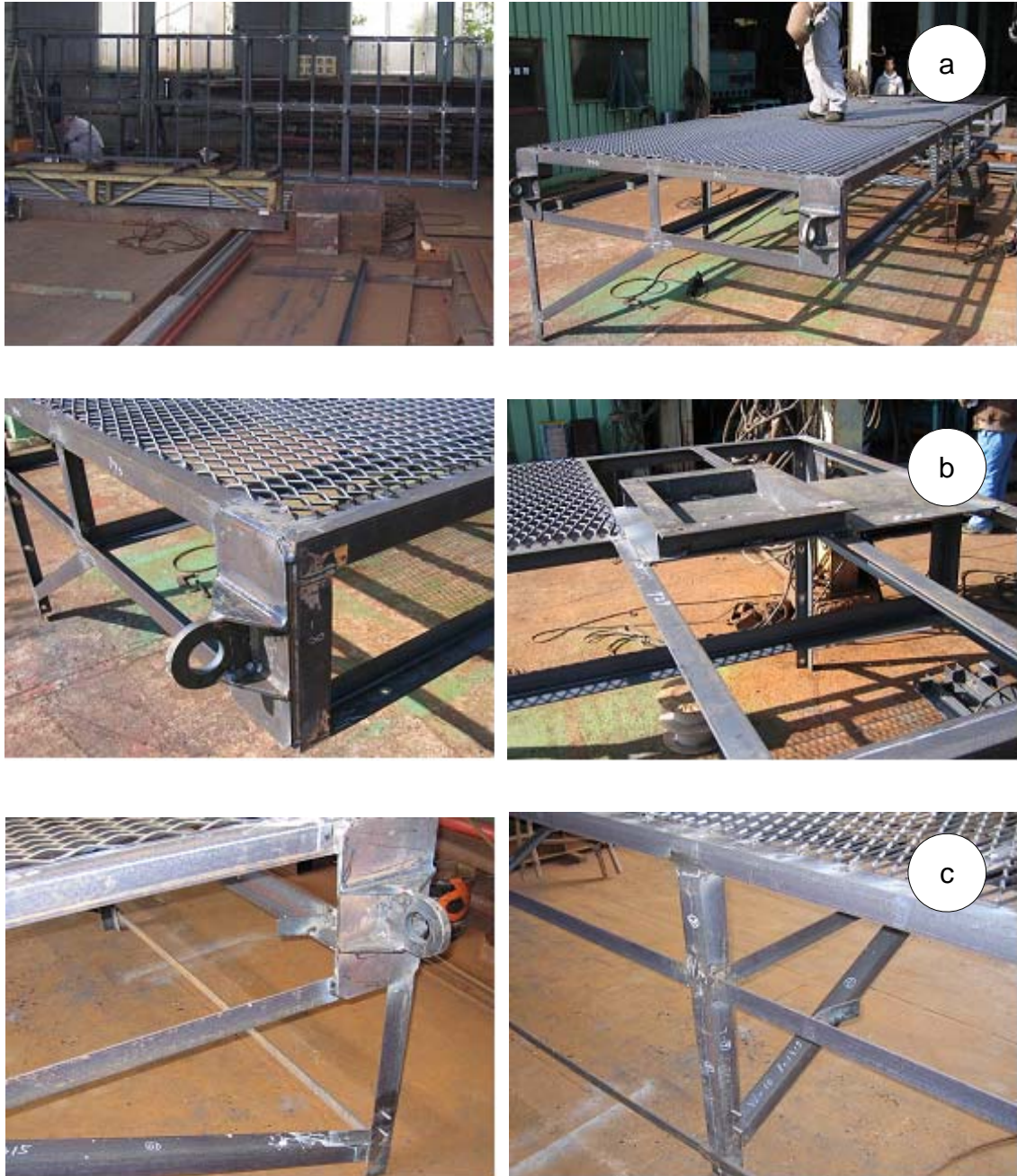


그림 227. 상판과 leg 제작. (a) 상판 및 상판의 leg 부분 조립제작, (b) 상판과 leg 조립상태 점검, (c) 상판과 leg 조립상태 점검

그림 225는 플로트 구조물에 부유력을 가지게 하는 사각형 PE 부자들을 체결하는 과정 모습을 보여주고 있다. 그림 226은 플로트에 부자를 체결한 모습들이다.



그림 228. 플로트에 부자 체결



그림 229. 플로트에 부자를 체결한 모습

해상에서의 철 구조물을 그대로 시설하는 경우는 부식이 급속히 발생한다. 이를 방지하는 방법으로 철에 페인트와 같은 것을 도색하기도 하고, 철구조물을 스테인레스 스틸로 사용하기도 한다. 그러나 스테인레스 스틸은 고가이고, 연결 용접 부분은 결국 취약 부분으로 집중 부식이 발생하여 해상에서는 그리 오래가지는 못한다. 페인트 또한 유해성분이 용출하기도 하지만 해상에서는 1년에 1번 정도 구조물 전체를 재 도색하여야 하므로 경비가 많이 드는 편이고, 또한 불편하다.

이에 반하여 아연으로 도금하는 경우는 용접 부분의 취약한 부위도 같이 도금하기 때문에 집중 부식을 잘 막아주는 편이다. 그리고 구조물 각 부분에는 2차 방식으로 아연 희생양극판을 부착하기 때문에 이들에 의해 부재 사이의 전위차를 막아주어 또한 부식진행을 천천히 진행시키는 역할을 한다. 본 구조물 전체는 이와 같은 방법을 적용하였다. 그림 227은 제작한 플로트 철 구조물에 아연 도금한 후의 모습이다.



그림 230. 아연을 도금한 플로트의 모습

그림 228은 아연 도금한 플로트 구조물에 각 전기배선과 오존을 배급하기 위한 배선을 하고 있는 모습을 보여주고 있다. 그림 229는 도금한 각각의 3등분 플로트에 사각부자를 체결하여 완성한 모습이다. 사각부자는 외피의 재질은 PE이며 내부는 우레탄을 발포하였다. 일반 스티로폼 부자를 사용하여도 무방하나 본 플로트 구조물은 철판 이루어져 있기 때문에 파도 등에 의한 충격하중에는 일반 스티로폼 부자는 취약할 수가 있다. 그림 230과 같은 보다 가격이 저렴한 스티로폼 부자에 철 파이프를 연결하여 사용한 플로트를 제작할 수도 있으나, 보다 내구성이 좋은 사각부자에 아연도금한 철 구조물 플로트를 제작하였다. 그림 231은 제작이 완성되어 출하 중의 모습이다.



그림 231. 전기선과 오존 공급선 등의 배선



그림 232. 아연 도금한 3등분 플로트에 사각부자를 체결한 모습



그림 233. 스티로폼 부자와 철 파이프를 사용한 플로트



그림 234. 제작 완성되어 출하 준비 중의 계류구조물

3. 계류시설물 제작

가. 계류 로프 검토

해상에 설치하는 부유 구조물은 대체적으로 앵커에 의해 계류시킨다. 그런데 이때 사용하는 계류 로프가 가지고 있는 탄성에 의해 계류삭에는 고유진동수가 발생하며, 이 고유진동수와 파도의 주기가 같아지면 해상에 설치한 구조물은 아주 크게 유동하면서 종국에는 계류로프가 파단하는 사고가 발생한다. 이것을 방지하기 위하여 초기 설계시 계류 문제를 검토하나 수정리와 같이 최대 파고 1 m 이내에 5 cm/sec를 넘지 않는 해수유동으로 실제 계류는 문제가 되지 않는다. 현재 제작한 100 kg의 앵커 4개의 파주력이면 전체 총중량 3톤 정도의 해상구조물 계류에는 충분한 것으로 판단한다. 로프는 직경 $\phi 30$ mm의 탄력성 있는 고장력사를 사용하였다.

그림 232에 3가지 규칙적 파형에 대하여 탄력적인 버퍼케이블을 계류 로우프로 사용하였을 경우 계류삭에 작용하는 하중변동을 나타내었다. 그림에서 탄력적인 버퍼케이블을 계류로우프로 사용하였을 경우 파도의 에너지가 탄력적인 로프에 흡수되어 계류삭에는 거의 하중이 작용하지 않는 것을 알 수가 있다.

나. 계류 앵커 및 체인 제작 시설

그림 233에 계류에 사용하기 위하여 제작한 앵커의 모습을 볼 수가 있다. 앵커 끝에는 로프로 부터의 파도 에너지를 앵커에 전달하기 전에 흡수하는 역할을 일부 수행하는 체인블록이 약 4 m 정도씩 연결되어 있다. 그림 234, 235는 앵커에 탄성 계류 로프를 연결하여 현장에 시설하는 모습이다.

수질정화 및 적조제어장치 및 제어구조물을 계류하여 현장에 시설된 계류구조물은 현재까지 문제가 없으며, 계류 로프에 부착한 담치류도 봄철에 발생하는 청수현상 때 모두 사멸하여 계류삭에는 해상제어 구조물 이외의 하중이 걸리지 않고 있다.

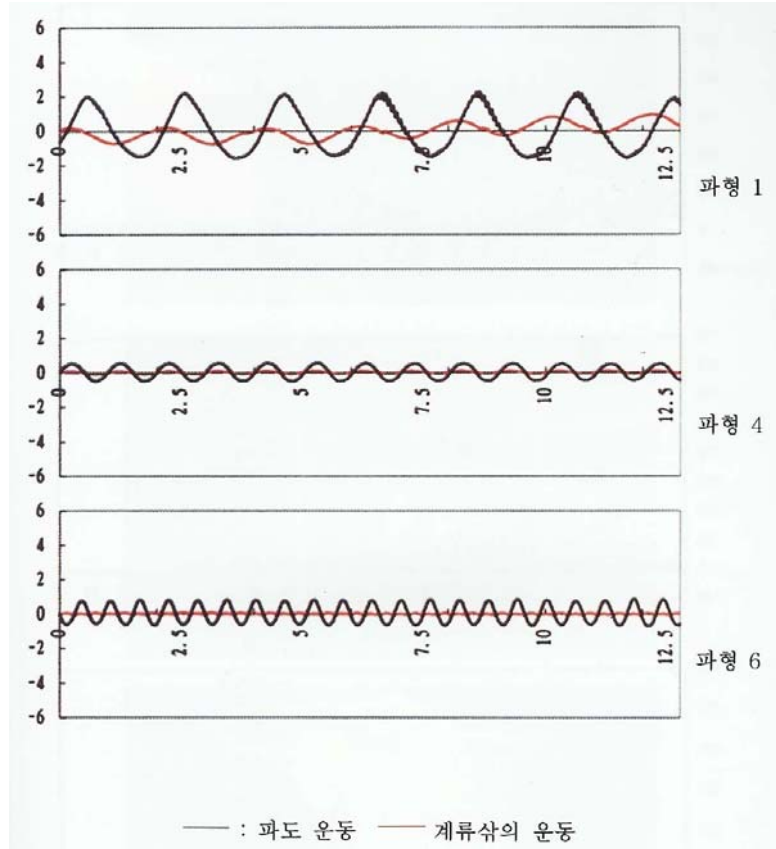


그림 235. 파형에 따른 버퍼케이블 탄성로프 계류삭에 작용하는 하중



그림 236. 계류용 앵커



그림 237. 계류용 로프



그림 238. 플로트 계류용 앵커 시설. 앵커 선박 탑재 (상), 앵커 시설장소 선박 이동(중), 앵커 시설 (하).

4. 현장 조립

그림236 및 그림 237은 마산 수정리 해역으로 운반되어온 플로트 장비의 하역 모습을 보여주고 있다.



그림 239. 수정리 현장 해역에 운반되어온 플로트



그림 240. 수정리 해역에서의 플로트 하역 모습

그림 238은 크레인으로 들어 올려 플로트를 조립하는 모습이고, 그림 239는 조립된 플로트들의 하부 체결된 모습이다. 그림 240은 조립 체결 완성된 플로트에 탑재할 장비들의 부착하고 있는 모습이다.



그림 241. 3등분한 플로트를 크레인으로 들어 올려
각각의 플로트를 연결



그림 242. 연결된 플로트의 조립된 하단 모습. (하
단에 부착된 부식방지용 아연희생양극)



그림 243. 조립 체결된 플로트에 각 장비들 부착

그림 241은 체결 완성되어 장비들을 모두 탑재한 플로트를 바다에 진수하는 모습이다. 진수된 플로트에는 먼저 수류발생장치 MJS-150을 해저 밑으로 탑재시켜 선박으로 예인하여 실험 해역에 시설하였다.



그림 244. 해수면으로의 조립 완성된 플로트 진수

제3절. 현장 시설 및 운전

1. 현장해역 시설

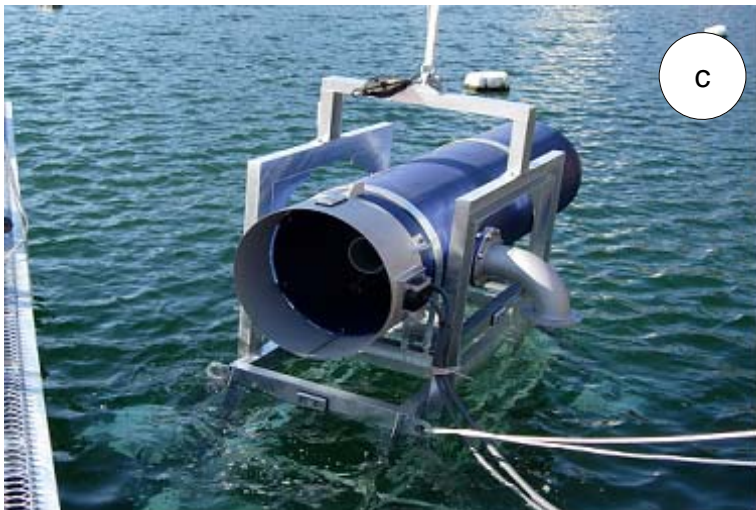
각 시스템 별로 제작 조립된 것들을 해당 해역에 하나의 시스템으로 묶어 시설하였다. 먼저 제작한 해상 작업장과 메소코즘을 시설하고, 플로트에 구동수 펌프, 정류통 및 낙수방지 챔버, 오존 발생장치, 에어 콤프레샤, 윈치, 거치대, 운전 제어판, 전원 공급장치 등을 탑재시키고, 수류 발생장치를 플로트 하부에 매달아 선박으로 예인하여 현장 해역에 계류하여 시설하였다. 그림 242는 먼저 시설된 메소코즘과 작업장 모습이다. 그림 243은 각 장비가 탑재된 플로트의 모습이고 그림 244는 플로트에 수류발생장치인 MJS-150을 물밑으로 하여 거치하는 과정을 보여준다.



그림 245. 메소코즘과 작업장 모습



그림 246. 각 장비가 탑재된 플로트





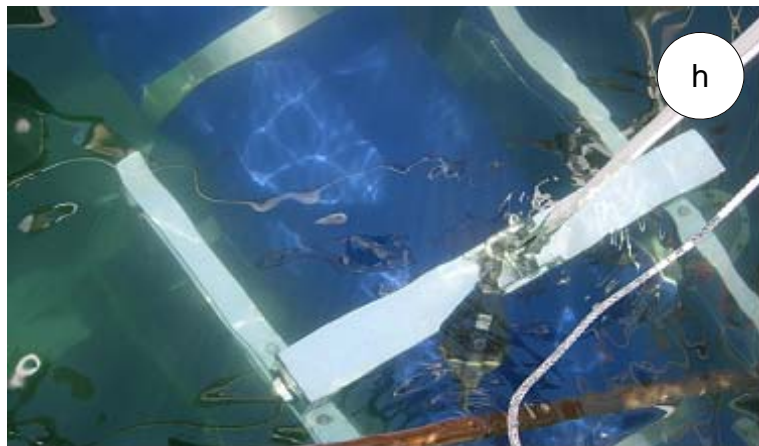


그림 247. 플로트에 수류발생장치의 인양과정. (a) 수류발생장치 침수(b) 수류발생장치 침수(c) 수류발생장치 침수(d) 수류발생장치 침수(e) 플로트내로 수류발생장치 인양(f) 플로트내로 수류발생장치 인양(g) 플로트내로 수류발생장치 인양(h) 플로트내로 수류발생장치 인양(i) 플로트내로 수류발생장치 거치

그림 245는 수류발생장치를 플로트에 거치하고 난 뒤 구동수 펌프 연결 배관 호스를 플로트에 탑재하는 모습과 탑재된 구동수 배관호스 모습이다.



그림 248. 구동수 배관 호스 탑재

그림 246은 현장으로 이동하여 메소코즘과 작업장 바지가 시설된 해역으로 옮겨 작업장 바지에 계류시킨 모습이다. 그림 247은 구동수 펌프를 연결하여 설치하는 모습이다. 그림 248은 플로트를 정확하게 계류시키기 위한 앵커의 모습과 선박으로 플로트를 앵커로 계류하고 있는 모습들이다. 그림 249는 플로트에 거치된 수류발생장치를 해체하여 물속으로 잠수시켜 해저 바닥에 거치하는 장면들을 보여준다.



그림 249. 해역으로 이동하여 작업장 바지에 계류시킨 플로트



그림 250. 구동수 펌프 배관 호스의 설치



그림 251. 플로트 계류용 앵커 시설

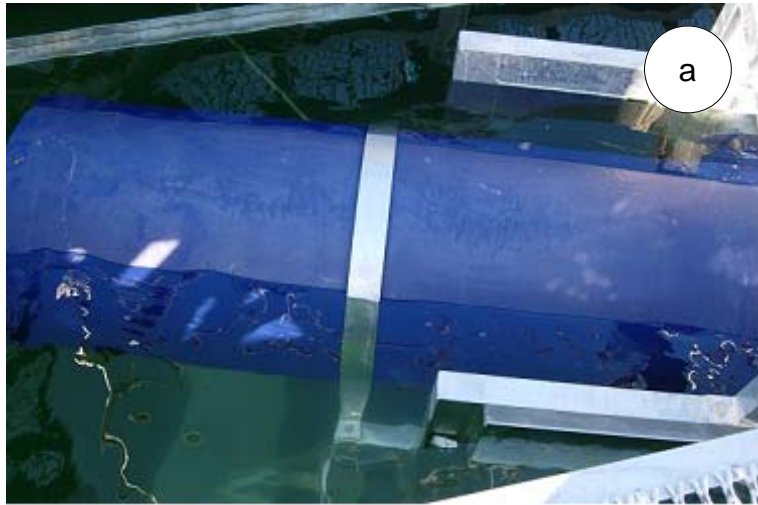




그림 252. 해저에 거치 작업 중인 수류발생장치.
 (a) 플로트에 거치된 수류발생장치의 침수, (b) 물속으로 잠기고 있는 수류발생장치, (c) 물속으로 잠기고 있는 수류발생장치, (d) 해저에 거치된 수류발생장치

2. 전기 시설

수류발생장치 및 장비들을 가동시키기 위하여 전기시설을 하여야 한다. 현재 수정리 수정항에는 기존의 전기가 인입하여 있는데, 이 전기는 어민들의 물량장 역할을 하는 방과제에 시설된 크레인 사용 용도이다. 유입 전기량은 전체 25 kw 정도인데, 크레인은 최대 5 kw를 사용하므로 20 kw 정도의 여유가 남는다. 수류발생장치에서 사용하는 전기량은 구동수 펌프가 7.5 kw, 초음파 장치가 100 W, 오존발생장치 MOLⅢ 1대의 전기 용량 405 W이므로 3대 1,215 W, 에어 콤프레샤가 750 W, 윈치가 750 W 등이다. 이중 구동수 펌프는 계속 가동하여야 하고, 콤프레샤와 오존장치도 지속적으로 사용되므로 평상시 사용되는 전기량은 9.465 kw이다. 여

기서 가끔 소형 실험장치를 사용하는 경우는 전기 사용량이 2.5 kw 정도 이므로 전부 합쳐도 15 kw를 넘지 않는다. 그러므로 수정리 어촌계의 동의를 얻어 현재 시설된 전기 유입 판넬에서 연결하여 전기를 사용하기로 하였다.

그림 250은 전기설치를 위하여 전기선을 풀고 있는 것을 보여주고 있고, 그림 251 내용은 해상 플롯에서 바다 밑으로 전기선을 설치하여 육지의 전기 판넬에 연결하기 위해 방파제에 놓여진 전기선이고, 그림 252은 기존의 어촌계 전기 유입 판넬에서 전기선을 연결하여 전기선을 도로에 매설하고 있는 모습이다.

그림 253은 보호관으로 감싸고 매립한 전기선을 보호하기 위한 콘크리트 타설 작업의 모습이다. 그림 254는 공사 완료한 뒤의 전기 전용 판넬 모습이다.

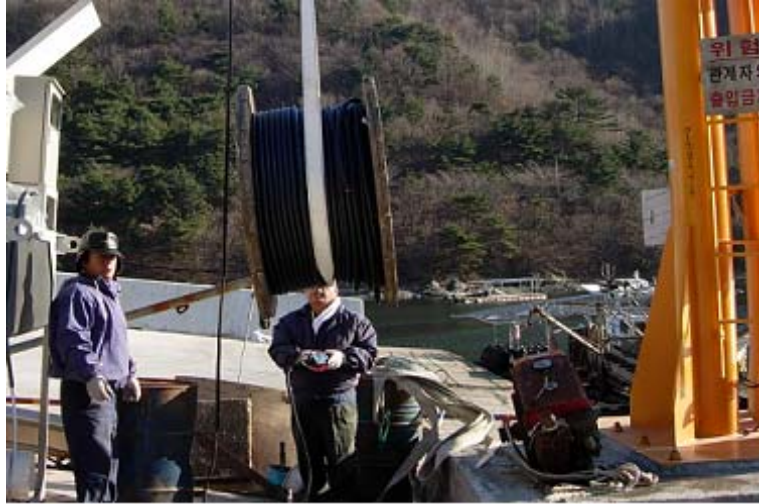


그림 253. 전기선 풀이 작업



그림 254. 해상 플로트에서 육지로 연결된 전기선



그림 255. 전기선 매설을 위한 굴삭 작업



그림 256. 보호관으로 싸서 매립한 전기선에 콘크리트 작업



그림 257. 완공한 전기공사(전기공급판넬)

3. 시스템 운전 및 수류발생장치 가동

전기공사가 끝난 뒤 전기를 연결하여 시스템 전체를 운전하면서 수류 발생장치를 가동하였다. 그림 255는 플로트 앞부분에 설치된 구동수 펌프 배관 호스와 해수를 취수하는 취수 배관 호스의 모습을 보여준다.

그림 256, 257, 258은 구동수 펌프에서 구동된 수량이 해저에 시설된 수류발생장치 MJS-150의 노즐 펌프에서 미세기포로 강력하게 분류되어 표층으로 일부 용승한 흐름의 모습을 보여준다. 약 30분가량 시험 운전한 결과 이와 같은 흐름은 점점 확산되어 넓게 퍼져나가는 것을 알 수가 있었으며, 계속적으로 운전할 경우 빠른 시간 내 수정리 어항전체로 퍼져 나갈 것으로 판단된다.



그림 258. 구동수 펌프 배관 호스와 해수 취수 배관 호스



그림 259. MJS-150에서 분류되는 미세기포 흐름



그림 260. 점점 넓게 퍼져 나가는 미세기포 흐름



그림 261. 확산되는 미세기포 흐름

4. 시설완공

그림 259는 시설 완성된 수질정화 및 적조제어장치에 부착된 현수막의 모습과 최종 시설 완료된 수질정화 시스템의 전체 모습이다. 그림 260은 본 시스템이 설치된 수정리 어항의 전체 전경이다.



그림 262. 시설 완료된 시스템에 부착된 현수막



그림 263. 최종 시설 완료된 시스템 전체 전경

5. 시설 후 효과조사

시설 후 MJS-150 수질 정화장치의 효과를 조사하기 위하여 먼저 수류 발생장치의 안착상태를 점검하기 위하여 윈치를 이용 수류 발생부를 들어 올려 점검하였다.

그림 261은 윈치를 이용 수류발사부를 들어 올리는 모습이고 그림 262는 시설 상태를 점검하고 있는 모습을 보여주고 있다.

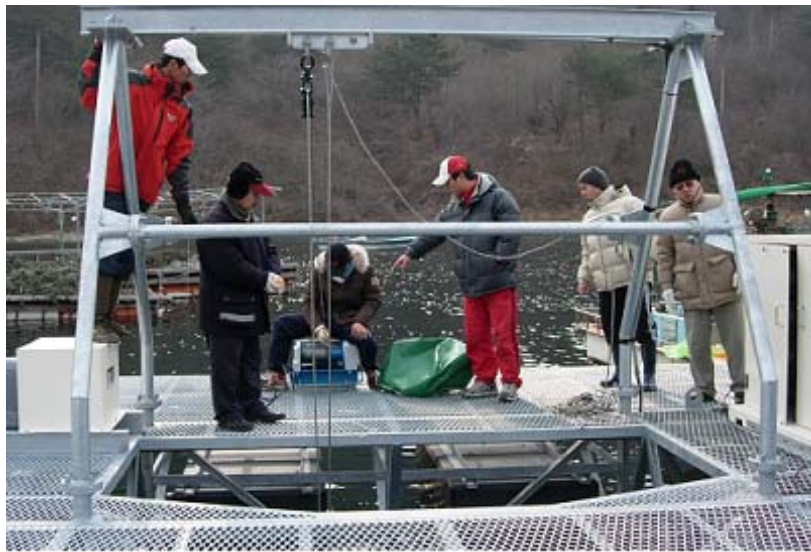


그림 264. 시설 후 수류발생장치의 안착 상태 점검 모습



그림 265. 수류발사부의 상태 점검 모습

그림 263는 수류발생장치 MJS-150의 설치 지점으로부터 주변 1km 내의 해역의 해양환경 변화를 점검하고 있는 모습들이다. 조사에 대한 결과 분석 내용은 2장의 생태계 조사에 상세히 나타내었다. 그림 264는 수정리 어항 전체의 모습이다.





그림 266. 시스템 설치 주변 1 km 내의 해역의 해양환경 변화조사. (a) 동물성 플랑크톤 변화 조사, (b) 클로로필 변화 조사, (c) SS 조사, (d) 용존산소 변화조사, (e) 전체 조사 모습, (f) 전체모습



그림 267. 적조방제 및 수질정화 및 적조제어장치(붉은 점선의 원)가 시설된 마산 구산면 수정리 어항 전경

제4절 시설관리 및 점검

1. 부착생물

하천이나 담수와는 달리 해상에 구조물 등의 시설을 할 경우 가장 문제가 되는 경우는 부식과 부착생물 문제이다. 계절에 따라 구조물에 부착하는 생물들의 종도 차이가 난다. 부착생물 중 처리에 가장 문제가 되는 생물 종은 따개비류와 담치류 이다. 이들은 다른 생물에 비해 부피가 크기 때문에 부착 표면의 거칠기를 증가시켜 흐름에 저항을 증가시키거나 아예 흐름을 차단시키기도 한다. 본 장치의 경우는 해수를 유입하여 강한 흐름을 형성시키는 기구이기 때문에 부착생물은 효율을 떨어뜨리기 때문에 특히 문제가 된다.

본 장비는 2005년 12월 겨울에 설치하여 2006년 1월부터 가동하였다. 겨울철에는 부착생물이 별 문제가 되지 않으며, 실제 점검 시기인 2006년 1월과 2월에는 장비에 부착한 생물은 별로 보이지 않았다. 그러나 3월 이후의 봄철에는 담치 등의 생물이 부착하는 시기이기 때문에 장비 점검을 세밀히 할 필요가 있다.

그림 265는 펌프로 연결된 해수 취수부이다. 시설한 지 4개월 정도 경과하였음에도 불구하고 해수의 취수가 어려울 정도로 담치가 부착되어 있는 것을 알 수가 있다.



그림 268. 취수구의 스트레이너에 부착된 부착생물

그림 266은 스트레이너 내부까지 두껍게 층을 이루고 있는 모습이다. 외부는 담치류가 부착되어있으나, 내부에는 곤쟁이류의 생물들이 층을 이루면서 서식하고 있었다. 그림 267은 취수부의 부착생물을 제거하고 난후의 모습이며, 부착된 생물의 양이 많은 것을 알 수가 있다. 금후 해상에 본 장치를 시설할 시에는 주기적인 청소와 더불어 부착생물 방지에 대한 특별한 대책이 필요할 것으로 사료된다.

그림 268에서는 취수구 다음 필터링 단계인 낙수방지 챔버 내의 스트레이너 통내에 걸러진 담치 껍질 등의 이물질 모습을 볼 수가 있다. 현재 본 장치는 이와 같이 다단계로 이물질을 거르는 장치가 되어 있으며, 장치 내에서는 초음파와 오존등이 작용하기 때문에 부착생물이 장치 내에 부착하기는 어려울 것으로 판단하고 있다.



그림 269. 취수부 스트레이너에 부착되어 층을 이루는 생물



그림 270. 취수부 스트레이너의 부착생물 해체 후



그림 271. 낙수방지 챔버내의 스트레이너 내의 이물질

그림 269, 270, 271은 제트분사장치와 노즐 및 로프에 부착한 생물들의 모습이다. 표층의 취수부와 로프 등에 부착하는 담치류와 달리 햇빛이 도달하지 않는 저층에는 미더덕류와 같은 생물상이 부착하여 생물상이 달랐다. 그림 272는 부착생물을 제거하고 난 뒤의 제트분사장치의 모습이다. 장치의 앞부분에 부착되어 있는 부식방지용 아연희생양극판이 희생 소모되어 없어진 것을 볼 수가 있다.



그림 272. 저층에 시설된 MJS-150 제트 분사장치의 부착생물



그림 273. 제트분사장치 MJS-150 계류 로프의 부착생물



그림 274. 제트분사장치 MJS-150
노즐주변의 부착생물상



그림 275. 부착생물 제거후의 제트분사장치(초음파 장치)

2. 부식방지 아연 희생양극판

그림 273은 아연희생 양극판의 교체 작업 후 해저 면에 장치를 거치하는 과정이며, 그림 274는 장마 후 장치에 쌓여 있는 진흙을 제거하고 있는 것과 부착생물 제거에 사용한 스크레퍼 등의 도구를 보여준다.



그림 276. 아연희생양극판 교체 후의 수중시설



그림 277. 장마 후의 장치에 쌓인 진흙 제거

그림 275는 장치 거치 후 가동한 뒤 시스템 후면의 제트 분사 모습이
다. 수중에 형성된 미세기포가 해역으로 퍼져 나가는 모습을 보여 주고
있다.



그림 278. 장치 거치 가동 후의 제트분사 흐름

그림 276은 감독관 입회하의 현장점검 중의 모습이다.



그림 279. 감독관의 현지 점검

제5절 결과

시작품은 초기설계안 대로 본체 및 각 부품들을 제작하여 현장에 설치 운영하였다. 본 수질정화 및 적조제어장치의 작동원리는 해저 바닥의 저질을 용승치 않으면서 용존산소를 모포를 썩우는 것과 같이 저질에 침투시켜 환경을 개선하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

본 시작품 시설 방안 조사에서는 현장의 여러 가지 조건을 다양하게 조사하여 관계기관의 동의하에 마산 수정리 해역을 선정하였으며, 에너지 사용에 따른 효율성 비교를 통하여 많은 비용이 소모되는 발전기 대신에 상대적으로 저렴한 전기 유입시설을 하여 사용하였다. 그리고 장치의 현장조립과 시설에 있어서는 수정리 해역이 아주 유용하였다. 장치는 설치하기 전 현지의 해역에서 그 기능을 확인하고 수입하였다. 해상제어 구조물 제작에 있어서는 구조물에 탑재될 장비들을 오차 없이 탑재시키기 위해, 일본 현지의 기술자가 직접 국내제작에 참여하여 설계안대로 정확하게 제작하였다. 해상제어구조물의 프레임은 철로 이루어져 있으나, 철에는 아연을 도금하여 부식방지를 하였으며, 해역에서 운영한 결과 부식된 곳은 전혀 없었다. 시설해역까지 설치한 전기선은 해수의 압력과 전기선 내부에 습기발생이 생기지 않도록 고려되어 제작한 것으로 사용결과 문제가 없었다.

시작품의 가동 결과, 장치에서 강력하게 분류되는 미세기포 흐름은 수정리 해역 전반부로 확산되는 것을 확인하였다. 장치 가동 후 관리 운영 중에 부착생물은 해수 취수에 문제를 일으킬 정도로 취수구에 많이 부착하였으나, 이를 제거한 후 장치는 정상 가동하여, 부착생물은 정기적인 관리를 통하여 제거하면 별다른 문제가 없었다. 장치의 부식을 방지하기 위해 프레임 철 구조물은 아연도금 처리하여 1차 부식방지를 하였고, 2차 방식처리로 아연희생 양극판을 철 구조물의 30여 곳의 절점에 부착하였다. 아울러 아연판의 소모로 년 2~3회 정도는 새것으로 교체하여야 하였다.

본 장치는 정기적인 부착생물 제거와 부식방지 관리만 제대로 행하면 반영구적으로 사용할 수 있는 장치이며, 그 외 다른 관리는 현재까지 별달리 필요 없는 것으로 나타났다.

제 5 장
수치시물레이션에 의한
해수유동 실험

제1절 실험개요

본 수치해석에 의한 해수유동 실험은 적조제어를 하기 위해 적용한 본 시스템이 해역의 어느 위치에 시설하는 것이 보다 효율적인가? 그리고 어느 정도의 범위까지 효과가 미칠 것인가? 를 평가하여 본 시스템의 적조 제어에 대한 타당성을 파악하는데 그 목적이 있다. 먼저 경남 마산시 수정리 해역에 대한 해수유동 실험에서는 조석의 주요 4대분조인 M₂, S₂, K₁, O₁을 고려하여 현재 상태에 대하여 해황을 재현한 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 따른 해수유동 변화를 예측하였다. 표 71은 해수유동 수치모형실험의 개요를 나타낸 것이다.

표 71. 해수유동 수치모형실험의 개요

구 분	내 용		
실험 목적	<ul style="list-style-type: none"> • 현재상태의 해수유동 재현 • 유량 발생에 따른 해수유동 예측 		
사용 모형	2차원 수심적분모형(영국 Bradford 대학개발, ADI 법)		
모형 범위	1.30 km × 0.85 km = 1.105 km ²		
격자 간격	5 m 등격자		
격자 수	260 개 × 170 개 = 44,200 개		
실험조석조건	마산의 4대 분조		
	분 조	진폭(cm)	지각(°)
	M ₂	58.2	241.4
	S ₂	27.6	268.6
	K ₁	8.1	157.1
	O ₁	4.4	131.7
계산시간간격	0.5 초		
실험 안	<ul style="list-style-type: none"> • 현재상태 • 조위+유량 발생시 • 유량발생시 		

제2절 모형수립

1. 모형개요

본 실험에서는 조석에 의한 해수유동을 재현하기 위해 연속방정식과 Navier- Stokes 운동량방정식을 수심 적분한 2차원 유한차분모형으로서 각각 x, y 방향의 운동방정식과 연속방정식을 기본으로 하는 모형을 사용하였다.

가. 운동방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial UH}{\partial t} + \beta \left(\frac{\partial U^2 H}{\partial x} + \frac{\partial UVH}{\partial y} \right) - fVH \\ & + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\rho_a C^* W_x (W_x^2 + W_y^2)^{1/2}}{\rho} \\ & + \frac{gU(U^2 + V^2)^{1/2}}{C_h^2 H^{1/3}} - \varepsilon H \left(2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} \right) = 0 \\ & \frac{\partial VH}{\partial t} + \beta \left(\frac{\partial UVH}{\partial x} + \frac{\partial V^2 H}{\partial y} \right) + fUH \\ & + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\rho_a C^* W_y (W_x^2 + W_y^2)^{1/2}}{\rho} \\ & + \frac{gV(U^2 + V^2)^{1/2}}{C_h^2 H^{1/3}} - \varepsilon H \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

나. 연속방정식

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0$$

여기서, U, V : x, y 방향의 수심 평균유속

η : 기본수준면상 수위

H : 전수심 ($h + \eta$)

β : 연직속도분포의 비등방성 계수

f : Coriolis 계수 ($= 2\omega \sin \phi$, ω 는 지구의 자전각속도, ϕ 는 위도)

- g : 중력가속도(=9.81 m/s²)
- ρ_a : 대기의 밀도(=1.25 kg/m³)
- ρ : 해수의 밀도(=1026.0 kg/m³)
- C^* : 해저 경계면에서의 저항계수(=2.6×10⁻³)
- W_x, W_y^* : x, y 방향의 풍속
- C_h : Chezy 계수(= $H^{1/6} / n$, n 은 Manning 조도계수)
- ε : 수심 평균한 와점성계수(=m²/s)

2. 계산방법

본 모형은 기본방정식을 유한차분식으로 구성함에 있어 ADI(Alternating Direction Implicit) 방법을 적용하며, 반격자체계(Staggerd grid system)를 사용하여 수치 해석하였다.

음해법을 이용하므로 계산시간간격(Δt)을 크게 하여도 안정한 해를 얻을 수 있으며, 조간대 처리를 고려할 수 있도록 이동경계조건을 사용하였다. 경계조건은 해수면 변위가 정의되는 개방경계와 유출입이 정의되는 경계를 사용하였으며, 육지경계에서는 유출입이 없는 slip 조건을 적용하였다. 개방경계에서는 주요 4대 분조(M2, S2, K1, O1)의 조석조화상수를 입력하였으며, 시간별 입력 수위는 아래 식으로 주어진다.

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

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

각 계산 격자점에서는 매 시간 간격마다 수위, 유량(유속) 및 바람 등의 주어진 외력조건에 대하여 x, y 방향의 유량(유속)과 수위를 계산한다.

3. 격자구성

해수유동 실험을 위한 격자망도 및 등수심선도는 그림 277과 그림 278에 나타내었으며, 모형의 범위는 동서방향 1.30 km, 남북방향 0.85 km에 이르는 해역을 설정하였으며, 5 m 등격자망을 구성하여 고 해상도 해석을 제공할 수 있도록 하였다.

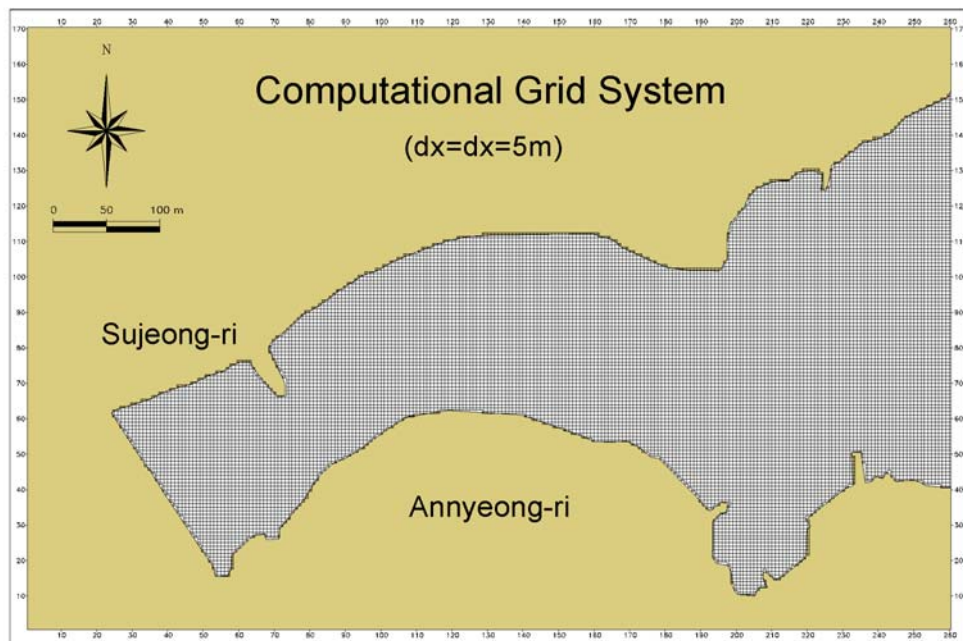


그림 280. 해수유동 실험 계산 격자망도

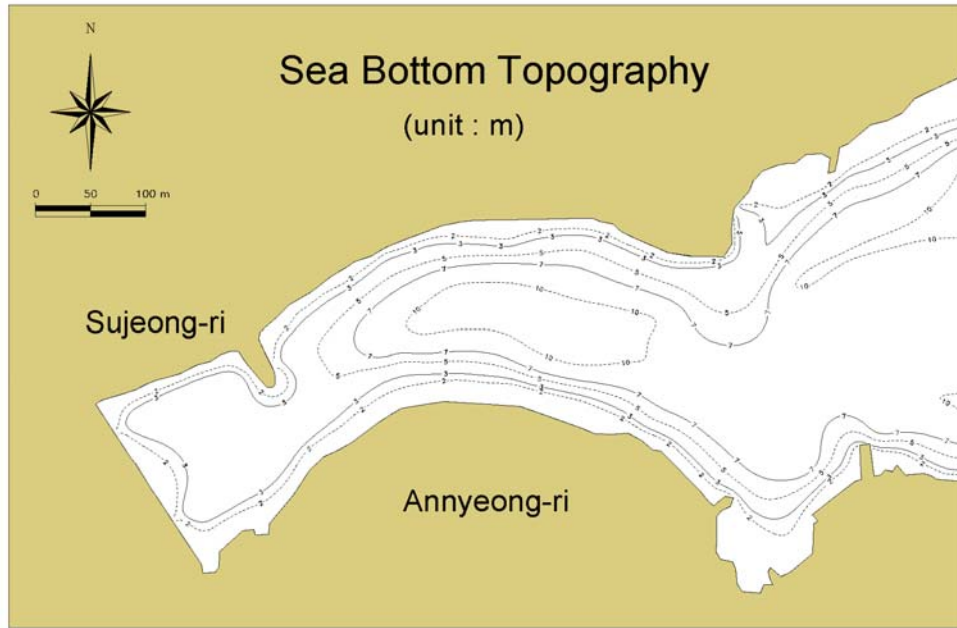


그림 281. 해수유동 실험 등수심선도

4. 경계조건 및 주요입력자료

가. 개방경계조건

본 실험에서는 조석의 주요 4대분조인 M2, S2, K1, O1을 기존의 마산 자료를 이용하여 개방경계에서의 경계치로 입력하였으며, 매 계산시간별 수위는 해수유동의 계산방법에서와 같이 주었다. 이때 개방경계의 위치는 실제 마산과 거리차이가 있으므로 모형 영역 내의 기존 관측치 등과 비교하면서 수위를 반복·조정하여 입력할 수 있도록 하였다.

나. 계산시간 간격

본 모형에서의 계산 시간간격은 다음과 같은 조석의 전파향에 관한 Courant의 안정조건식을 만족하도록 산출하였으며, 계산시간 간격은 0.5 초이다.

$$C_r = \frac{\Delta t}{\Delta s} \sqrt{gh} \leq 8$$

여기서, C_r : Courant number
 Δs : 격자간격
 Δt : 계산시간간격
 g : 중력가속도
 h : 실험영역내의 최대수심

다. 해저면 마찰계수

본 모형에서는 해저마찰항에 포함된 Chezy 마찰계수를 수심의 함수로서 다음 식에 의하여 일정 시간간격(6분)마다 산정하여 입력할 수 있도록 하였다.

$$C_h = -18 \log_{10} \left[\frac{k}{12H} \right]$$

여기서, H : 총수심($n+h$)
 k : Roughness length (0.08 m)
 n : 계산된 수위 (m)
 h : 수심 (m)

라. 와점성계수

연직 방향으로의 대수적 속도 분포의 가정하에 각 격자점의 수심 평균화된 와점성계수는 다음과 같다.

$$\varepsilon = \alpha \frac{\sqrt{g}}{C_h} \sqrt{u^2 + v^2} H$$

여기서, α : 경험적 계수(0.15~100)
(본 실험에서는 1.0)

마. 전향력

지구자전효과에 의한 Coriolis 계수 $f = 2\Omega \sin \phi$ 이며, Ω 는 지구자전각속도($7.29 \times 10^{-5}/\text{sec}$), ϕ 는 위도이다. 본 실험에서는 전향력을 고려할 수 있도록 하였으며, 마산의 위도 35.2° 를 입력하였다.

제3절 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 유체역학적 해석

본 시뮬레이션에 있어서 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150 Jet Streamer 출구 유속과 유량을 구하여야만 해수유동에 관한 사항을 알 수가 있다. 본 시스템 MJS-150에서 사용한 펌프는 7.5 kW 용량으로 토출 유량이 3.3 ton/min 이다. 이 펌프 유량으로부터 노즐의 직경 $\phi=150$ mm 와의 관계에서 아래와 같이 유속과 유량을 구할 수 있다.

먼저, 그림 279의 A에 있어서 유속과 유량은 아래와 같이 된다.

$$u_1 \approx 10 \text{ m/sec}$$

$$Q \approx Q_1 + Q_2 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

그림 279의 단면 A에 있어서 직경 $\phi=150$ mm의 제트 노즐에서 분출하는 물은 구동수 펌프의 토출량 $Q_1(=3.3 \text{ ton/min})$ 과 제트 노즐의 상류단에서 흡입되는 유량 Q_2 의 합친 유량이 된다. 이 설계 조건에서

$$Q_1 + Q_2 \approx 3 Q_1 \dots\dots (1)$$

수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 펌프 토출량은 3.3 ton/min이므로, Q_1 의 분당 유량은 3.3 ton이 된다. 따라서 A의 내경 $\phi=150$ mm의 노즐관 출구에서 분출하는 유속 u_1 은 다음과 같이 된다.

$$u_1 \times \frac{\pi(0.15)^2}{4} = Q_1 + Q_2 = 9.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore u_1 = \frac{9.9 \text{ m}^3/\text{min} \times 4}{\pi(0.15)^2} \times 60 = 9.9 \text{ m/sec}$$

즉, A에 있어서 노즐 분출 속도 u_1 은 약 10 m/sec 정도가 된다.

다음으로 B에 있어서 유속과 유량은 아래와 같다.

$$u_B \doteq 2.6 \text{ m/sec}$$

$$Q_B \doteq (Q_1 + Q_2 + Q_3)_B \text{ (m}^3/\text{min)}$$

수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 정류외통의 출구 직후 B로 부터의 토출유량은 앞의 A의 분류 Q_1+Q_2 에 의해 구동되고 정류외통의 상류측에서 흡입되는 부가질량 Q_3 가 합해져 $Q=Q_1+Q_2+Q_3$ 로 된다.

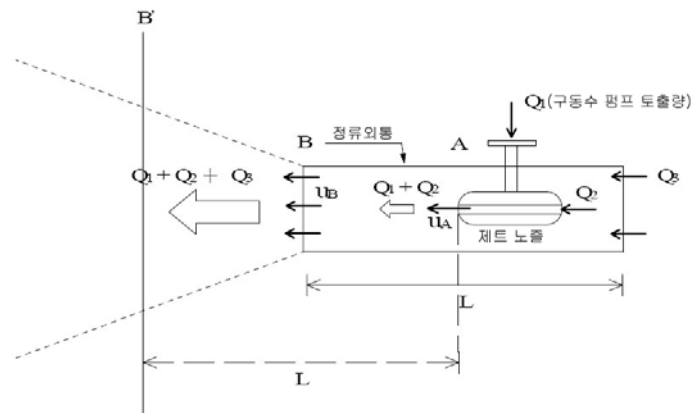


그림 282. 수질정화 및 적조제어장치 MJS-150의 구동 구조

B의 전방 L(B'면)에서 추산되는 기본적인 구동효과는 다음과 같이 된다.

$$Q_{B'} \doteq (Q_1 + Q_2 + Q_3)_{B'} \doteq 20Q_1 \dots \dots (1)$$

그러면서 B는 정류외통 출구 단이기 때문에 토출류에 의한 통 외수의 連行作用이 포함되어 있지 않다. 이것으로부터 B 면에 있어서 동수 효과를 B' 레벨의 10% 정도 감소로 보면 아래와 같다.

$$Q_B = (Q_1 + Q_2 + Q_3)_B \approx 18Q_1 \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

그러면 B 면에 있어서 토출유속 u_B 는 다음과 같이 계산된다. 즉, (2)의 관계를 이용하면 아래와 같고,

$$u_B \times \frac{\pi(0.7)^2}{4} \approx 18 \times 3.3 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\therefore u_B = \frac{4 \times 18 \times 3.3}{\pi \times (0.7)^2 \times 60} \approx 2.6 \text{ m/sec}$$

여기서 본 수질정화 및 적조제어장치의 토출 유량은 분당 59.4 톤이 된다. 이 값들은 실제 장치를 시설한 해역에서 측정된 값들과 대부분 일치 하였다.

제4절 수치모형실험

수질정화 및 적조제어장치를 방파제와 육지 사이의 중간 지점인 만내에 유입하는 창조, 낙조시의 조류 위치에 그림 282와 같이 설치한 경우와 육지 가까운 곳에서 바다를 향하는 곳에 그림 306과 같이 설치한 2가지 형태에 대하여 비교실험을 행하였다.

1. 항내에 설치한 경우(해수유동)

가. 현재 상태

현재 상태의 해수유동 실험결과를 그림 280과 그림 281에 나타내었다. 창·낙조 시 만내의 유속은 5 cm/sec 이하로 분포하였으며, 낙조 시보다 창조시의 흐름이 다소 우세한 해역인 것으로 나타났다.

나. 조위 + 유량발생시

현재상태의 해역에 수질정화 및 적조제어장치를 설치한 경우를 가정하여 해수유동 실험을 수행하였으며, 실험결과를 그림 282와 그림 283에 나타내었다.

창조시의 흐름은 현재 상태와 유사하게 나타났으며, 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 수정리 전면해역에서의 평균 5 cm/sec 정도의 순환류가 발생하였다.

낙조 시에는 만입구부로 흐르는 흐름이 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의하여 평균 7 cm/sec의 순환류가 발생하였다. 또한 수정리 전면의 일부 유량은 낙조 시 흐름과 합류하여 만입구부로 이동하는 것으로 나타났다.

다. 유량발생시

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 해수유동을 파악하였다. 조위에 의한 흐름을 무시한 후 유량발생에 따른 해수유동 실험결과를 그림 284에 나타내었다. 수질정화 및 적조제어장치에서의 유속은 5 cm/sec 전·후로 분포하여 나타났으며, 수정리 전면해역에서 순환류가 형성되는 것으로 나타났다.

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 흐름은 서쪽으로 약 200 m 해역까지 영향을 미치는 것으로 검토되었다.

라. 실험결과

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 따른 수정리 해역의 해수유동 변화를 예측하기 위하여 현재 상태, 조위 + 유량발생시 및 유량발생시를 대상으로 해수유동 실험을 수행하였다. 실험결과, 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량에 의해 수정리 해역의 해수소통능력이 현재상태보다 우수한 것으로 검토되었으며, 해수유동 실험결과를 표 72에 나타내었다.

표 72. 해수유동 실험결과 만내의 유속분포 (단위:cm/sec)

구 분	창조 시	낙조 시
현재 상태	1 ~ 5	1 ~ 5
조위 + 유량발생시	1 ~ 5	1 ~ 10
유량발생시	1 ~ 5	

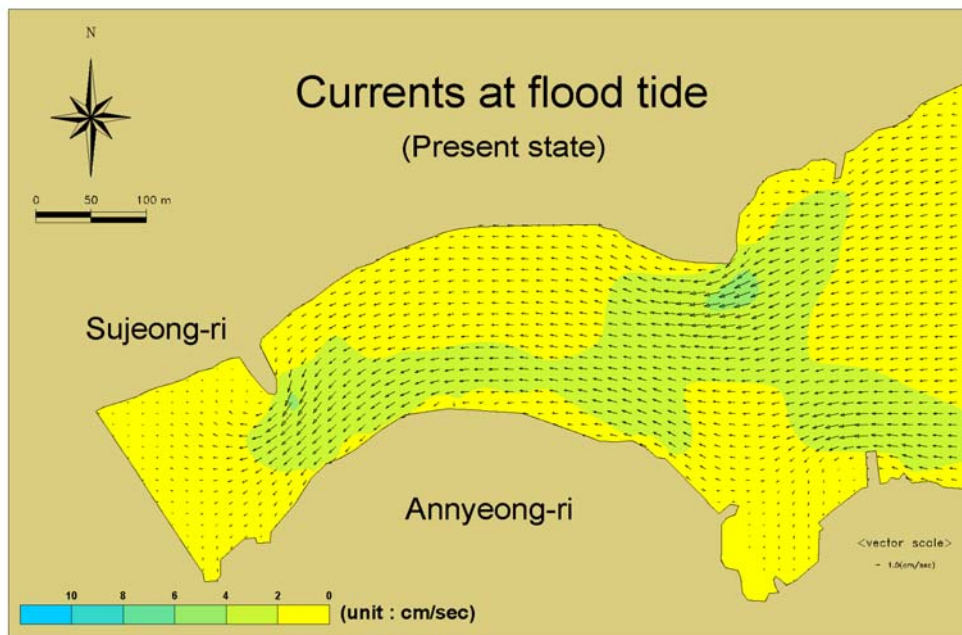


그림 283. 창조 시 유속벡터도(현재 상태)

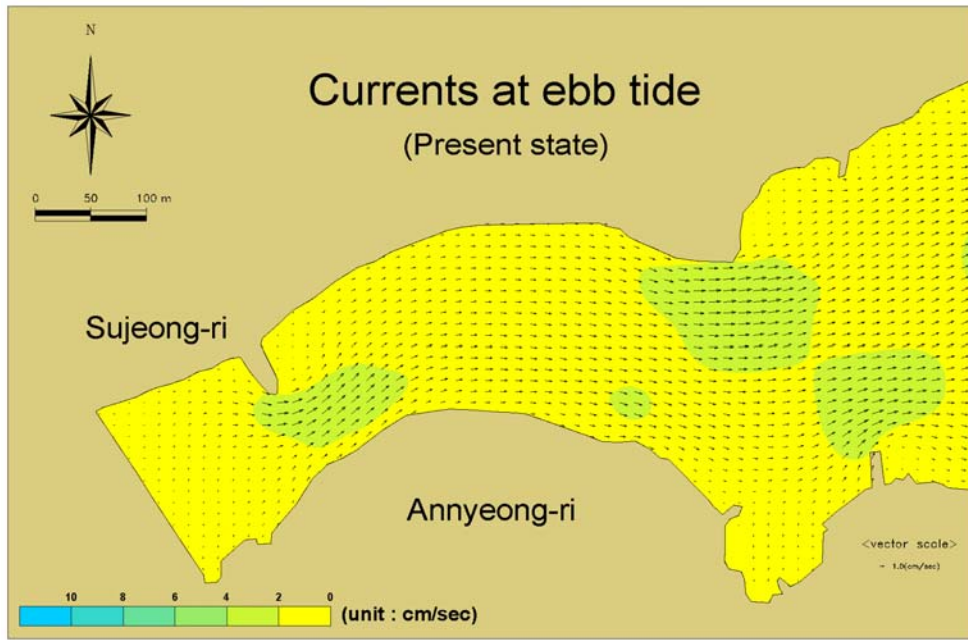


그림 284. 낙조 시 유속벡터도(현재 상태)

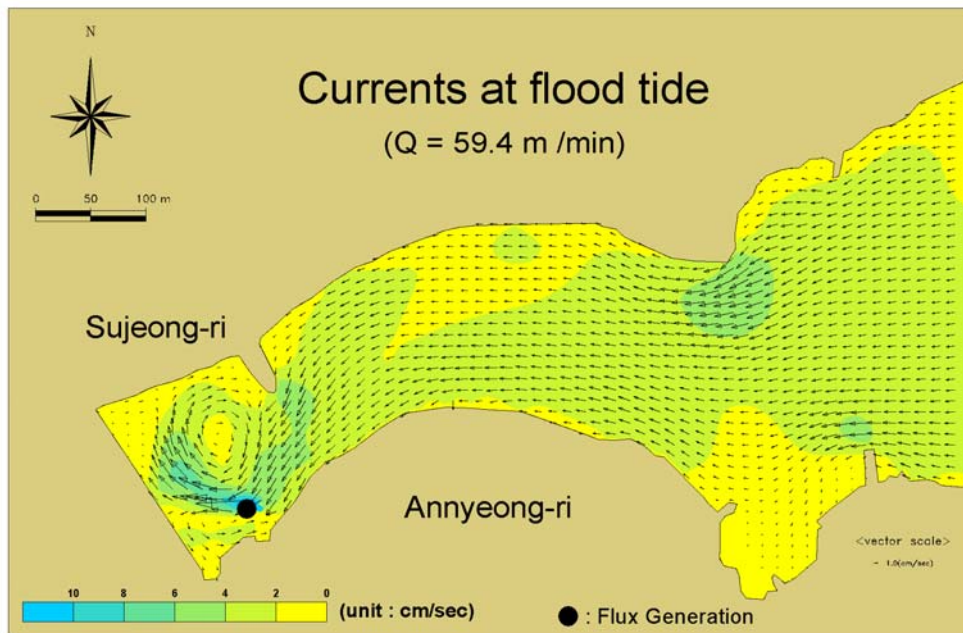


그림 285. 창조 시 유속벡터도(조위+유량발생시)

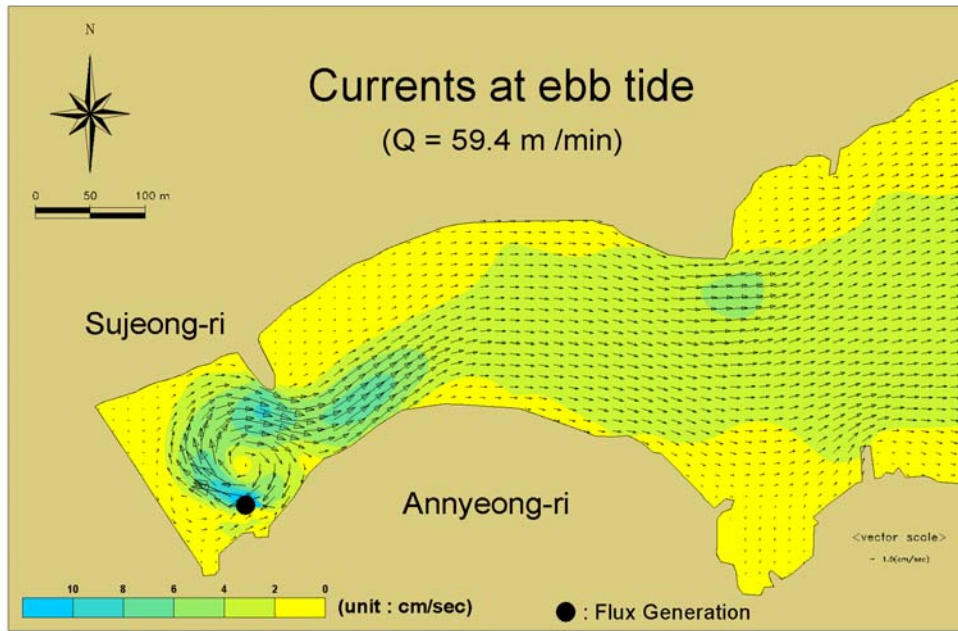


그림 286. 낙조 시 유속벡터도(조위 + 유량발생시)

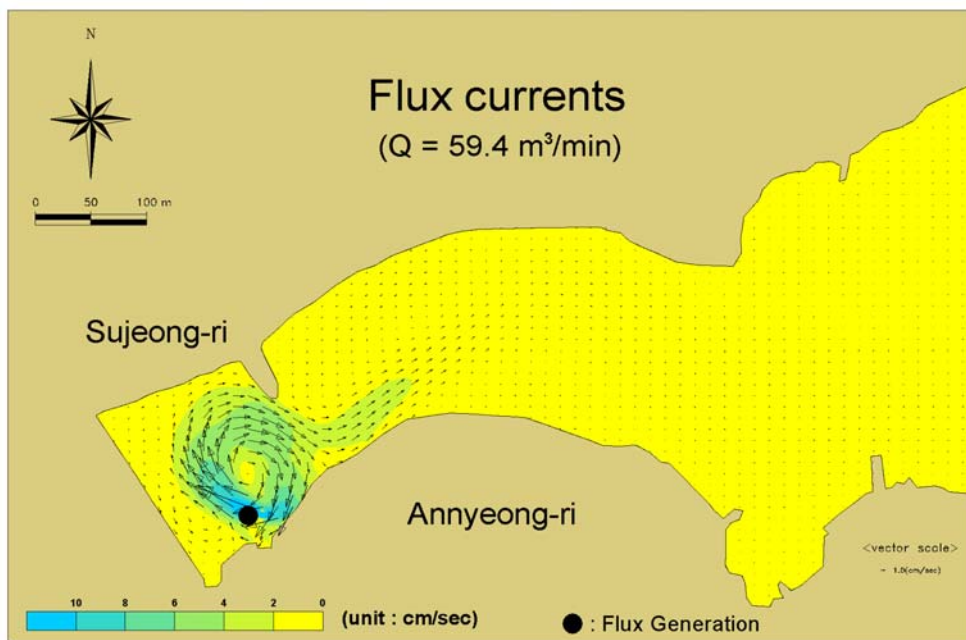


그림 287. 유속 벡터도(유량발생시)

2. 항내에 설치한 경우(입자추적 실험)

가. 실험개요

1) 실험목적

실험 해역의 물질입자 거동을 파악하기 위하여, 유황에 따른 유체 입자 또는 미세기포의 이동경로를 추적한다. 조류에 의한 유체입자와 미세기포의 거동과 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 따른 미세기포 입자의 이동경로를 비교·분석하여 과업대상지 해역에 설치된 수질정화 및 적조제어장치의 해수교환능력을 검토하고자 하였다.

2) 실험내용

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 과업대상지 해역의 흐름이 변화하는 것으로 나타났다(해수유동 결과 참조). 해수유동 실험결과를 이용하여 과업대상지 인근해역에서의 유체입자의 거동을 예측하였으며, 이류 및 전단 확산에 의한 수립자 거동을 해석하였다. 주요 관심해역의 물질 이동 경로를 파악하고자, 수질정화 및 적조제어장치 시설해역에 입자를 투입하여 저조시부터 3조석 주기 동안의 수립자 이동 경로를 추적하였다. 표 73은 입자추적 실험의 개요를 나타낸 것이다.

표 73. 입자추적 실험의 개요

구 분	내 용
실험 목적	<ul style="list-style-type: none"> • 투입된 입자의 이동 경로 추적
사용 모형	Random-Walk(무작위 행보 법에 의한 입자추적)
모형범위 및 격자간격	해수유동 모형과 동일
조위 및 조류 속	해수유동 실험결과 이용
입자 투입 조건	총 1,800 개 투입
총 계산시간	3조석 주기
계산시간 간격	1 초
실험 안	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 상태 • 조위+유량 발생시 • 유량발생시

나. 모형수립

1) 기본방정식

흐름 장에 투입된 물질이 **passive contaminant**인 경우 이류, 확산 등에 의한 입자의 이동 위치는 표류속도벡터 U, V 와 분산속도성분 u', v' 에 의해 다음과 같이 구하여 진다.

$$X(t+\Delta t) = X(t) + U \cdot \Delta t + u' \cdot \Delta t$$

$$Y(t+\Delta t) = Y(t) + V \cdot \Delta t + v' \cdot \Delta t$$

상기 식에서 표류속도 및 분산속도성분은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$U = u + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{h} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{h} \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$V = v + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{h} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{D_{yy}}{h} \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$u' = u_L' \cdot \cos \Theta - u_T' \cdot \sin \Theta$$

$$v' = u_L' \cdot \sin \Theta + u_T' \cdot \cos \Theta$$

여기서, h : 수심 (m)

u, v : x, y 방향의 유속성분(m/sec)

D_L, D_T : 흐름방향에 대한 종분산계수 및 횡분산계수(m²/sec)

Θ : $\tan^{-1}(v/u)$

또한, $u_L' = R_1 \cdot \sqrt{2D_L/\Delta t}$, $u_T' = R_2 \cdot \sqrt{2D_T/\Delta t}$, R_1 과 R_2 는 평균치 0, 표준편차 1의 정규분포를 갖는 난수이다.

2) 계산방법

본 모형은 전술한 해수유동모형의 격자망과 수심자료를 그대로 사용하며, 유동모형에서 계산된 유동장 및 수위를 입력 자료로 이용함으로써 운용이 편리하다. 해석 방법으로는 **Lagrangian** 방법을 이

용함으로써 기존의 Eulerian 해석 방법이 안고 있는 격자간격, 계산 시간 간격의 결정 및 이류항 취급에 있어서의 수치적 진동 문제를 해결한 유용한 모형이다.

3) 격자구성 및 해저지형

입자추적 실험을 위한 격자구성과 실험영역, 수심 등은 해수유동 실험과 동일하다(그림 277, 그림 278 참조).

4) 경계조건 및 주요입력자료

본 실험은 수질정화 및 적조제어장치 설치 전·후의 상황에 대하여 실험을 수행하였으며, 조위 및 유동장은 대조기의 해수유동 결과를 이용하였다. 입자는 수질정화 및 적조제어장치 설치 해역에 투입하였으며, 투입된 입자의 개수는 5 m 등간격의 각 격자점에서 그림 285와 같이 총 1,800 개를 투입하였다. 투입된 입자는 이류 및 전단 확산에 의해 이동하므로 일정시간 간격으로 이들 입자의 거동을 추적하였다.

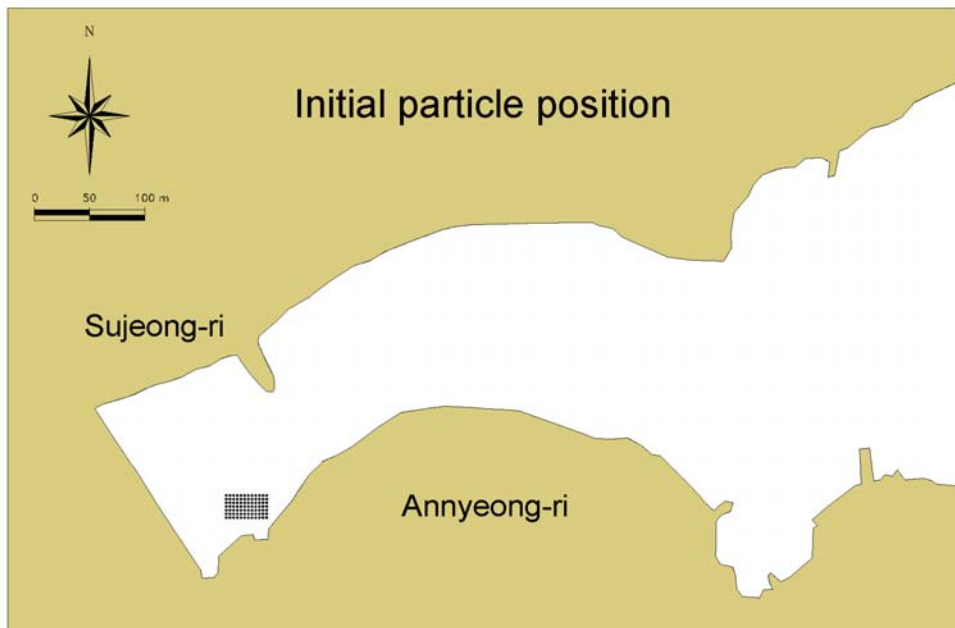


그림 288. 초기 입자투하 위치

다. 수치모형실험

1) 현재 상태

현재상태의 입자추적 실험결과를 그림 288~302에 나타내었다. 수질정화 및 적조제어장치 설치 전 대조기시에 항내 전체 수역에 1,800 개의 입자를 투하한 후 입자의 이동 양상을 시간 단계별로 추적한 결과, 시간이 경과할수록 조류의 흐름 경향에 따라 다수의 입자가 서쪽 방향으로 이동하였다. 입자투하 12시간 경과 후의 입자는 창조 시 흐름에 의해 수정리 전면 해역에서 정체되어 분포하였으며, 입자투하 18시간 경과 후 낙조시의 흐름에 의해 점차 만 입구부측으로 이동하는 경향을 보였다.

창·낙조시의 흐름에 따라 동-서 방향으로 입자의 이동이 나타났으며, 과업대상지는 낙조류가 창조류보다 우세한 해역이지만 일부 입자만이 서쪽으로 이동하여 분포하였고, 나머지 입자의 경우 수정리 전면해역에 정체되는 것으로 나타났다.

2) 조위+유량발생시

수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과를 그림 286~290에 나타내었다. 입자투하 6시간 경과 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 일부 입자가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 18시간 경과 후에는 대부분의 입자가 만 입구부측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후에 입자는 서쪽방향으로 계속 이동하는 것으로 나타났으며, 수정리 전면해역에 분포하는 입자는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 수정리 전면해역에의 해수소통이 현재상태보다 우수할 것으로 검토되었다.

3) 유량발생시

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 입자의 이동경로를 살펴보기 위하여 그림 291~300과 같이 실험을 수행하였다. 입자투하 6시간 경과 후 투하입자의 절반정도가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 시간경과에 따라 계속 만입구부 측으로 이동하여

분포하였다. 30시간 경과 후 입자는 만내 전체에 넓게 분포되어 나타났습니다.

4) 실험결과 및 분석

마산 수정리 해역과 같이 창·낙조시의 흐름이 약하여 해수소통에 어려움이 있는 해역을 대상으로 수질정화 및 적조제어장치의 해수교환능력을 파악하기 위하여 입자추적 실험을 수행하였다. 현재상태 실험결과, 창·낙조시의 흐름에 따라 입자는 동-서 방향으로 이동하였으나, 수정리 전면해역에 다수의 입자가 정체되어 분포하였다.

수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과, 현재 상태에 비하여 입자의 이동이 활발하게 나타났으며, 다수의 입자가 발생된 유량에 의해 서쪽으로 이동하여 분포하였다.

입자추적 실험결과, 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량으로 수정리 전면해역의 해수소통능력에 많은 도움을 주는 것으로 나타났다.

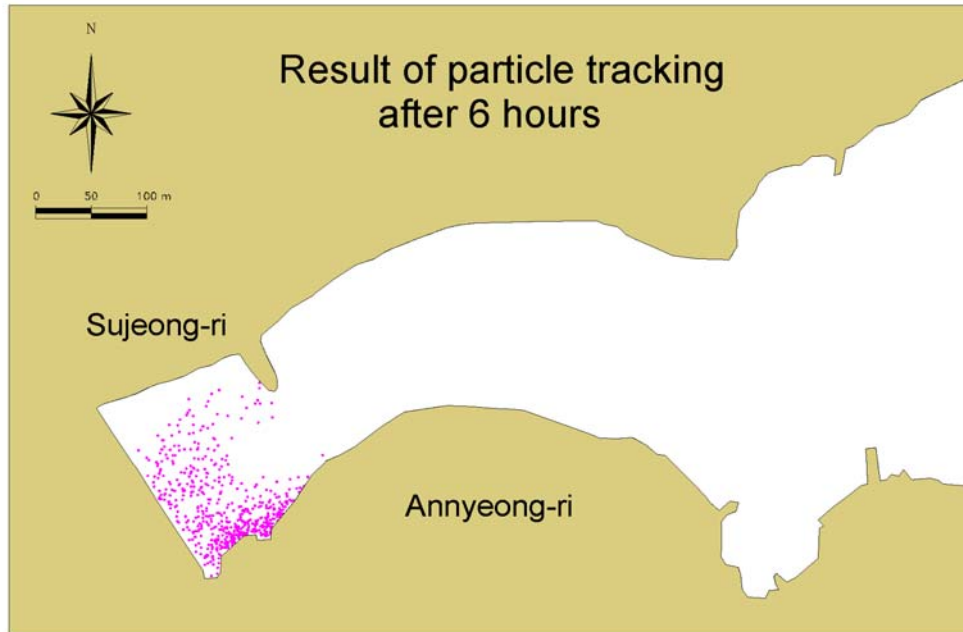


그림 289. 입자투하 6시간 후의 실험결과(현재 상태)

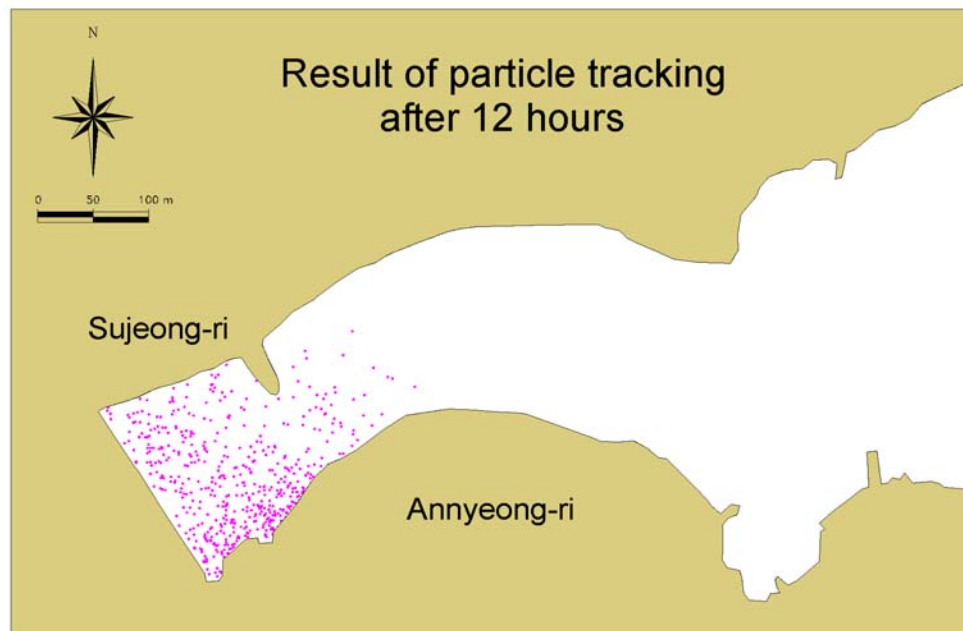


그림 290. 입자투하 12시간 후의 실험결과(현재 상태)

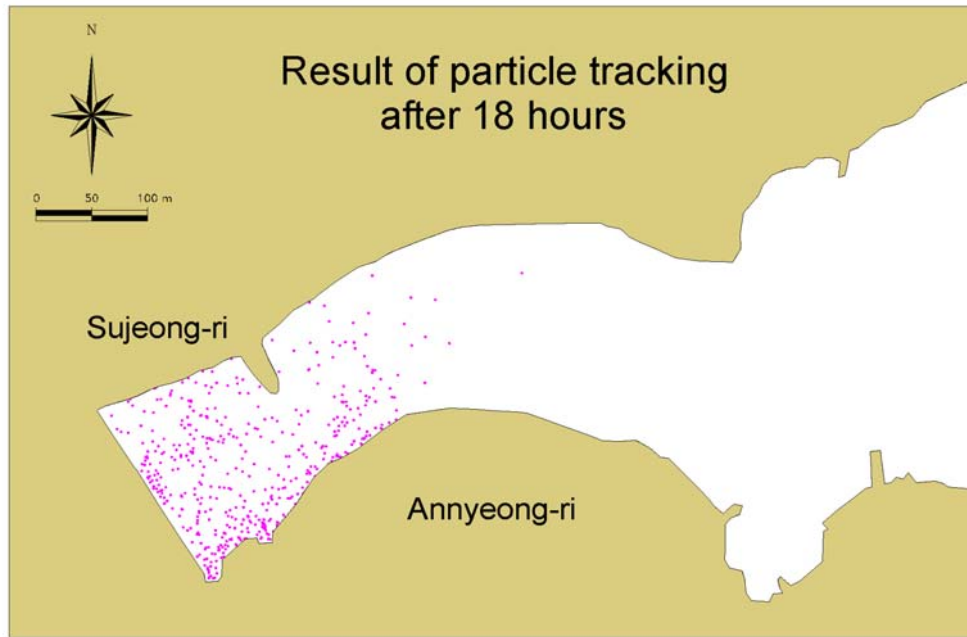


그림 291. 입자투하 18시간 후의 실험결과(현재 상태)

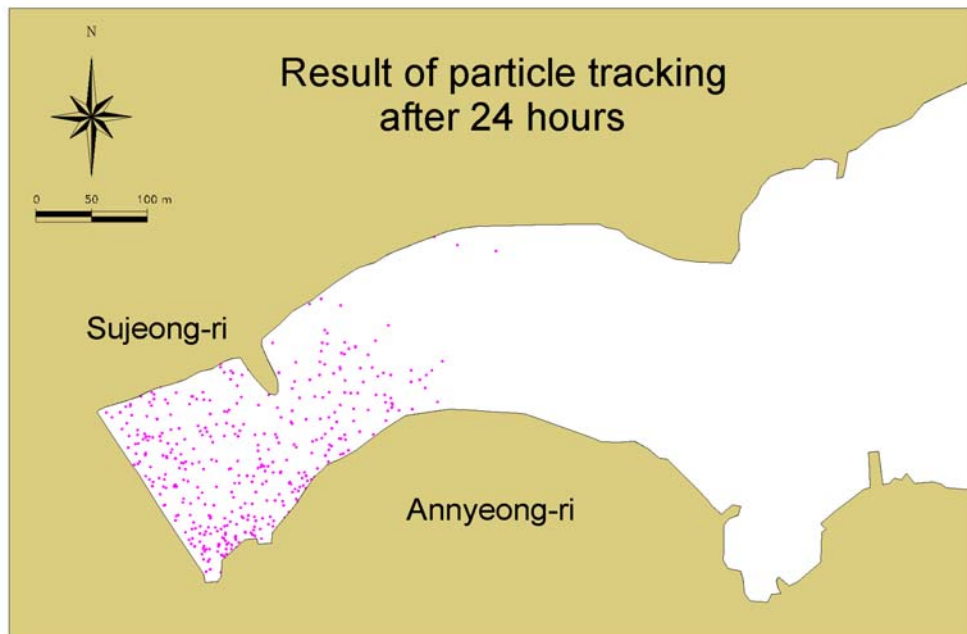


그림 292. 입자투하 24시간 후의 실험결과(현재 상태)

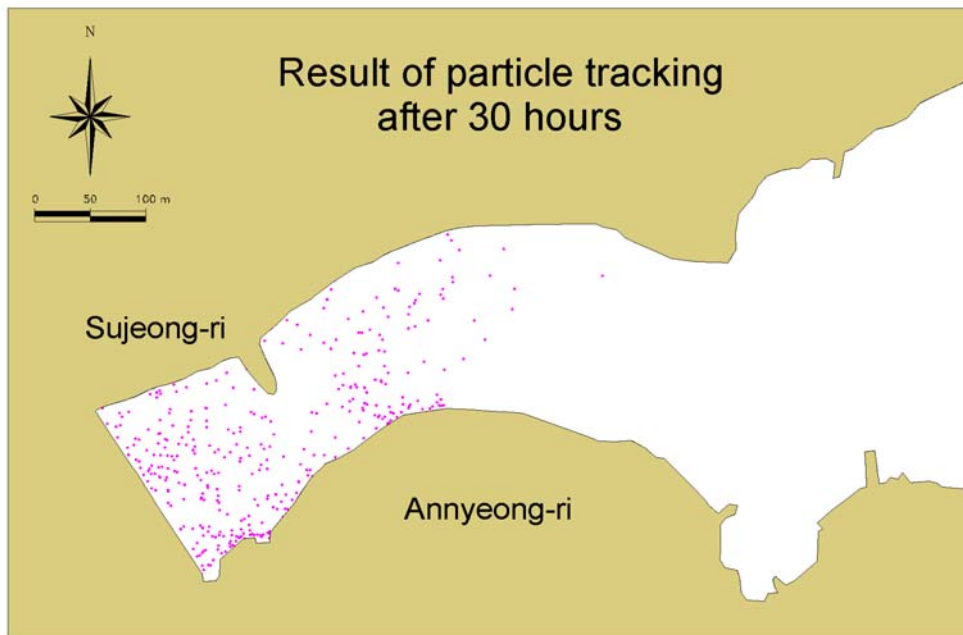


그림 293. 입자투하 30시간 후의 실험결과(현재 상태)

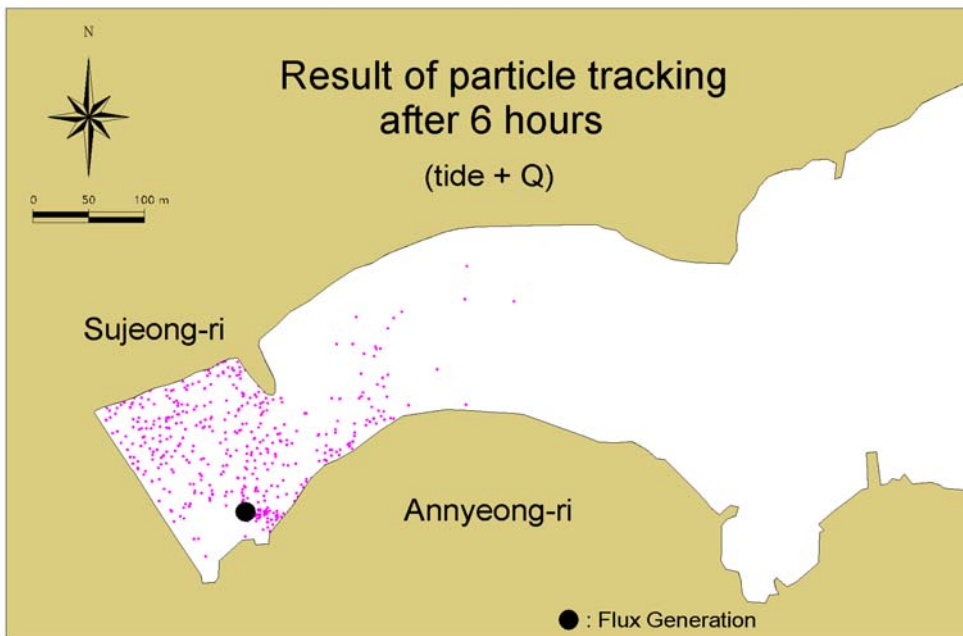


그림 294. 입자투하 6시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

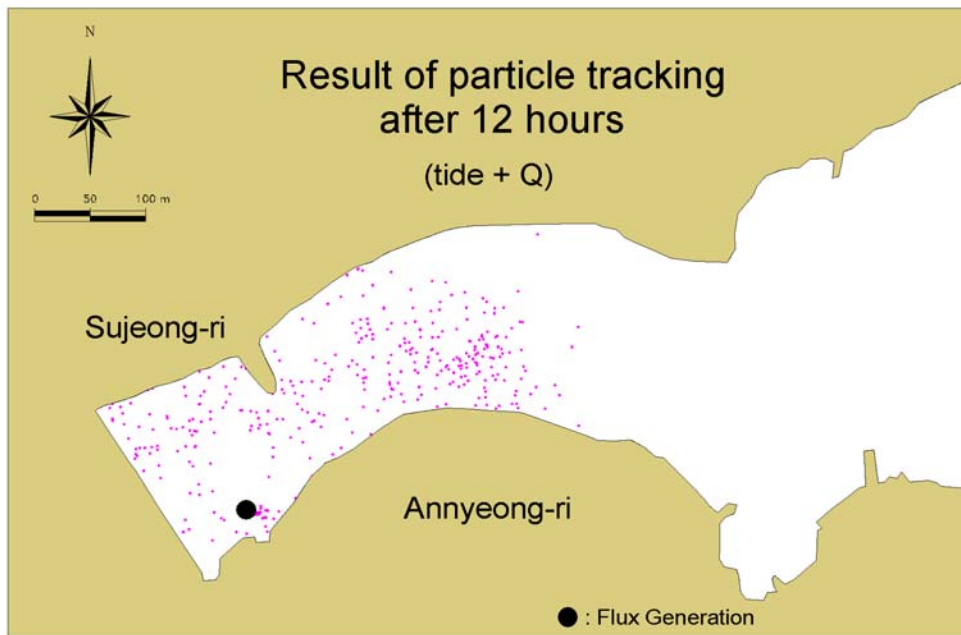


그림 295. 입자투하 12시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

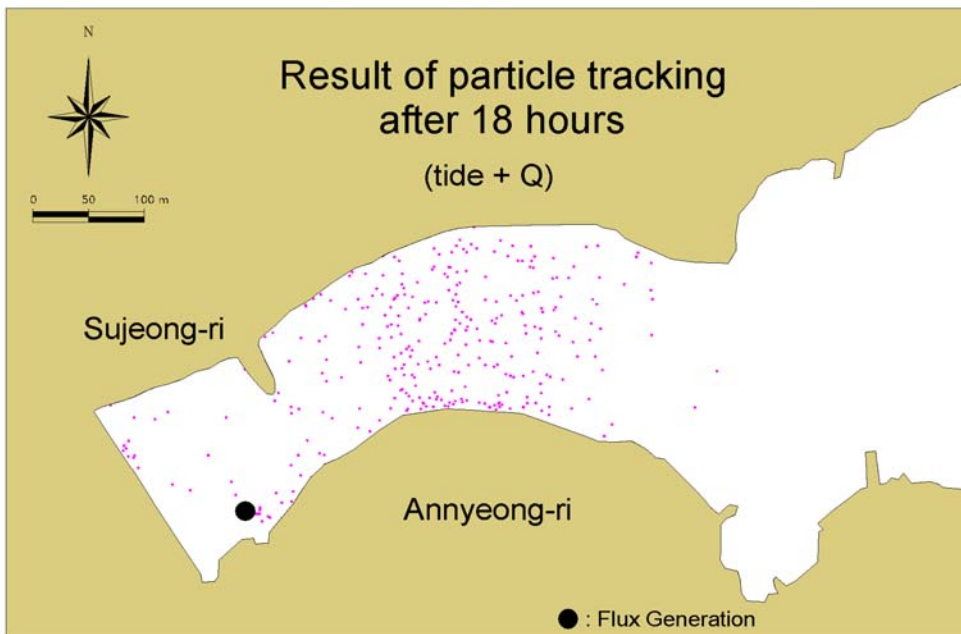


그림 296. 입자투하 18시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

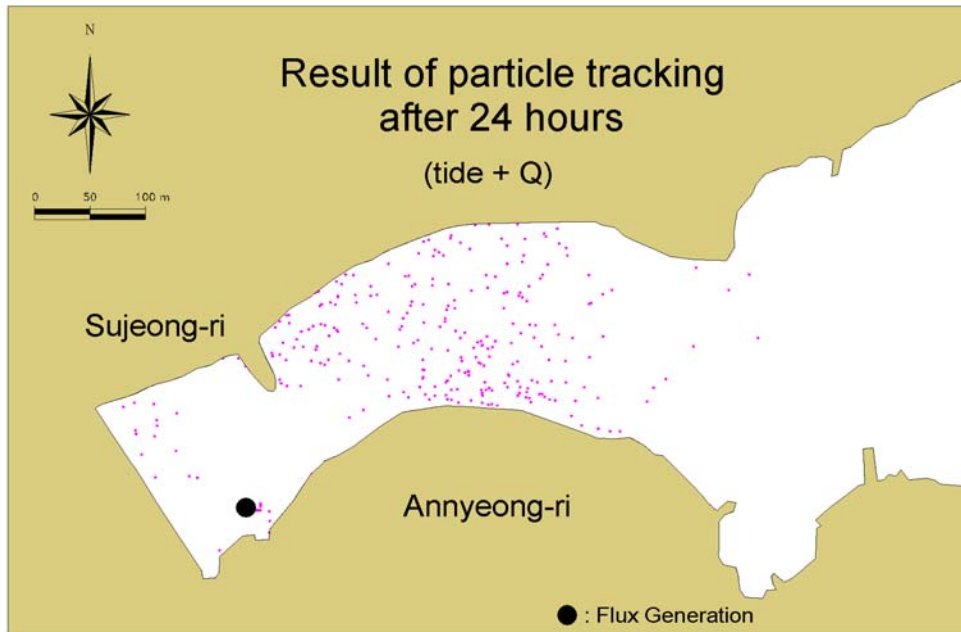


그림 297. 입자투하 24시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

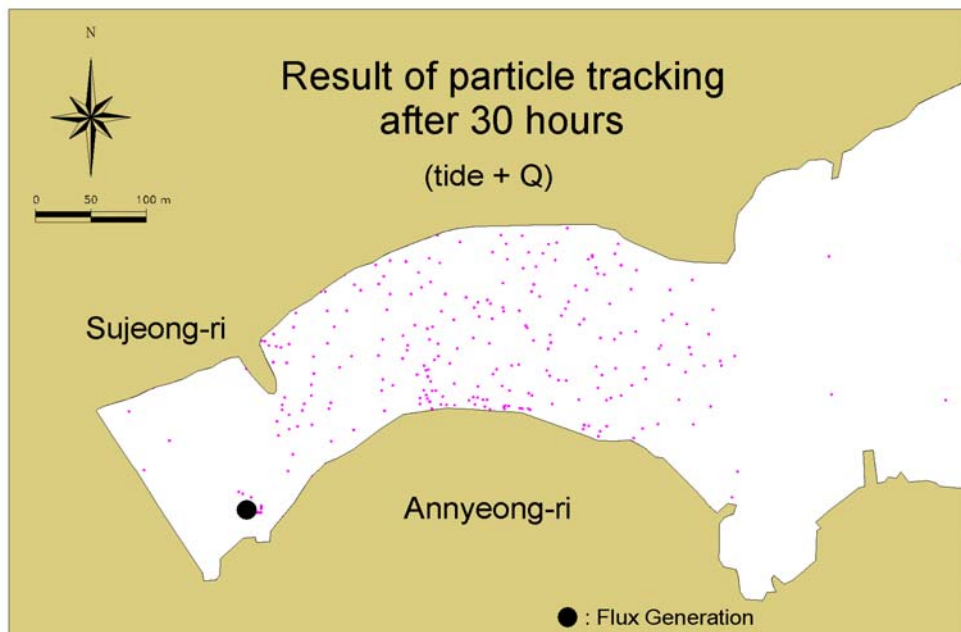


그림 298. 입자투하 30시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

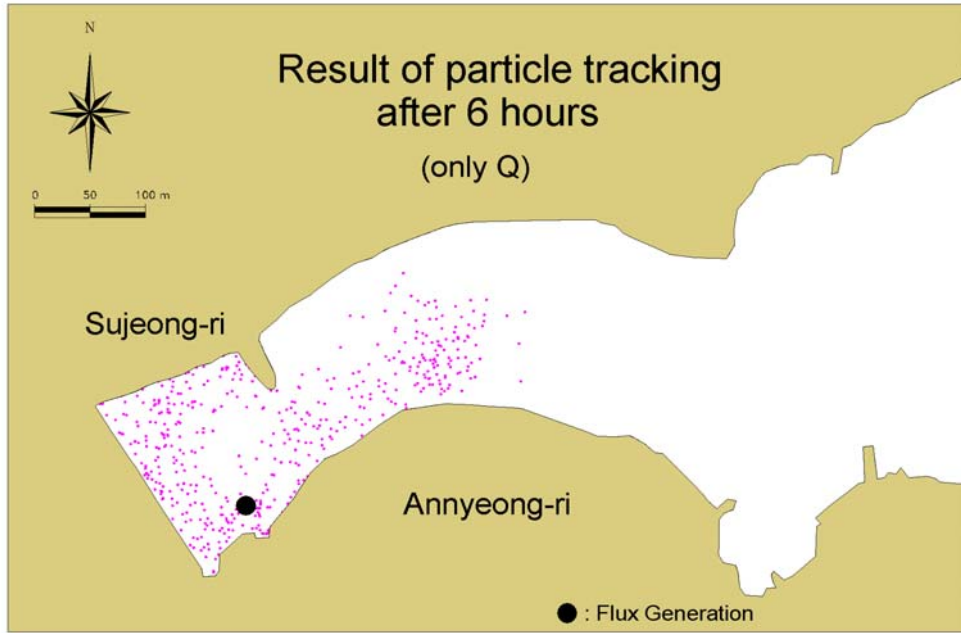


그림 299. 입자투하 6시간 후의 실험결과(유량발생시)

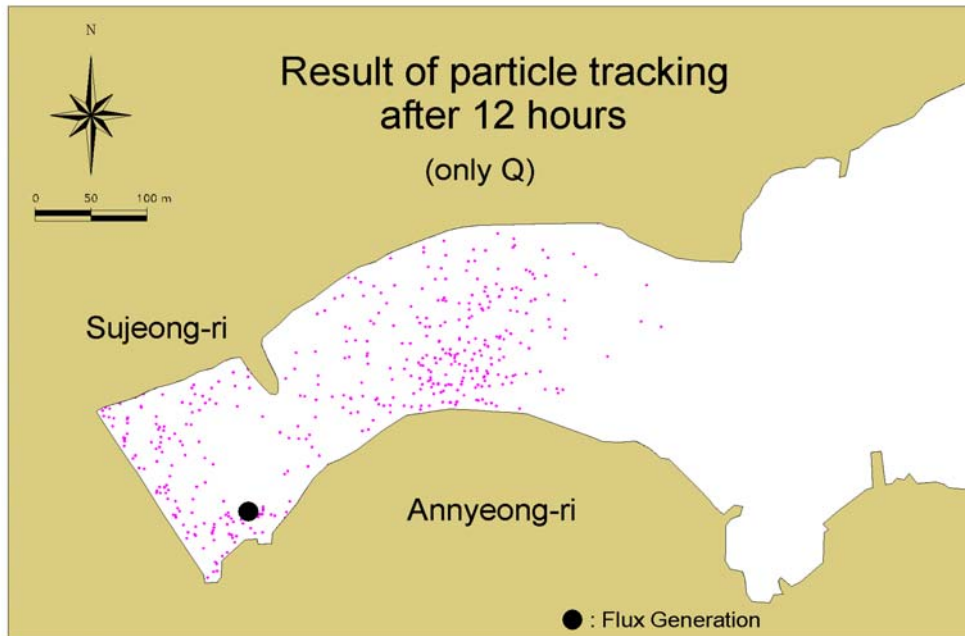


그림 300. 입자투하 12시간 후의 실험결과(유량발생시)

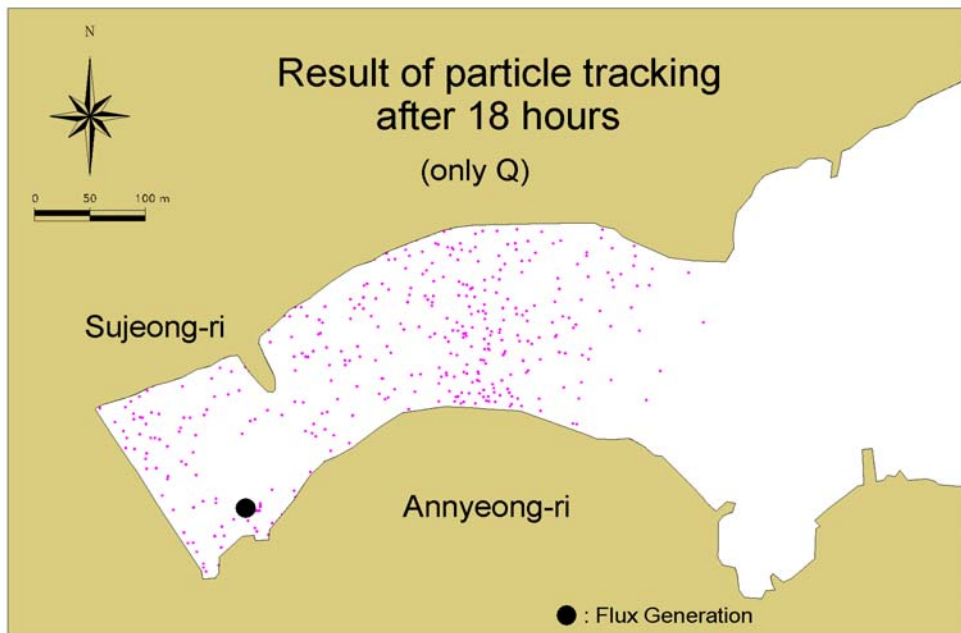


그림 301. 입자투하 18시간 후의 실험결과(유량발생시)

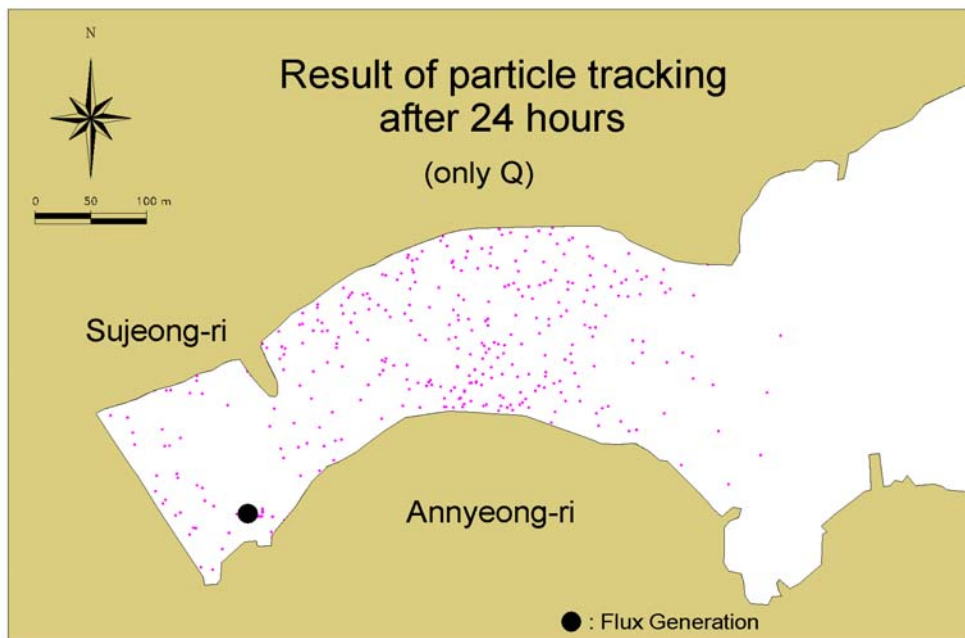


그림 302. 입자투하 24시간 후의 실험결과(유량발생시)

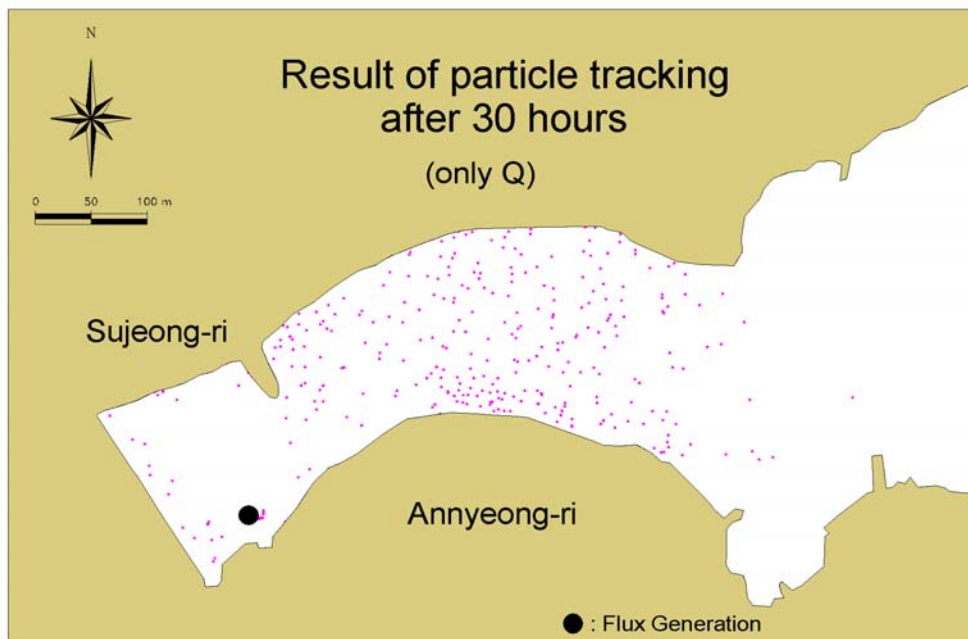


그림 303. 입자투하 30시간 후의 실험결과(유량발생시)

3. 육지에 근접하여 설치한 경우(해수유동)

가. 현재 상태

현재상태의 해수유동 실험결과를 그림 301과 그림 302에 나타내었다. 창·낙조 시 만내의 유속은 5 cm/sec 전·후로 분포하여 나타났으며, 창조 시 만내 측의 수정리 전면해역에서 주변 지형에 의하여 약 2 cm/sec의 순환류가 발생하였다.

나. 조위 + 유량발생시

현재상태의 해역에 수질정화 및 적조제어장치를 설치한 경우를 가정하여 해수유동 실험을 수행하였으며, 실험결과를 그림303과 그림 304에 나타내었다. 창조시의 흐름은 현재 상태와 유사하게 나타났으며, 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 수정리 전면해역에서의 순환류 유속이 크게 나타났다. 낙조 시에는 만입구부로 흐르는 흐름이 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의하여 최대 10 cm/sec의 유속이 발생하였으며, 수질정화 및 적조제어장치에서의 유속은 20 cm/sec 전·후로 분포하였다.

다. 유량발생시

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 해수유동을 파악하였다. 조위에 의한 흐름을 무시한 후 유량발생에 따른 해수유동 실험결과를 그림 305에 나타내었다. 수질정화 및 적조제어장치에서의 유속은 20 cm/sec 전·후로 분포하여 나타났으며, 만내에서의 유속은 3 cm/sec 정도로 분포하였다. 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 흐름은 서쪽으로 약 300 m 해역까지 2 cm/sec의 유속이 나타나는 것으로 검토되었다.

라. 실험결과

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 따른 수정리 해역의 해수유동 변화를 예측하기 위하여 현재 상태, 조위+유량발생시 및

유량발생시를 대상으로 해수유동 실험을 수행하였다. 실험결과, 수질 정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량에 의해 수정리 해역의 해수소통능력이 현재상태보다 우수한 것으로 검토되었으며, 해수유동 실험결과를 표 74에 나타내었다.

표 74. 해수유동 실험결과 만내의 유속분포 (단위: cm/sec)

구 분	창조시	낙조시
현재 상태	1 ~ 5	1 ~ 5
조위 + 유량발생시	1 ~ 5	1 ~ 10
유량발생시	1 ~ 5	

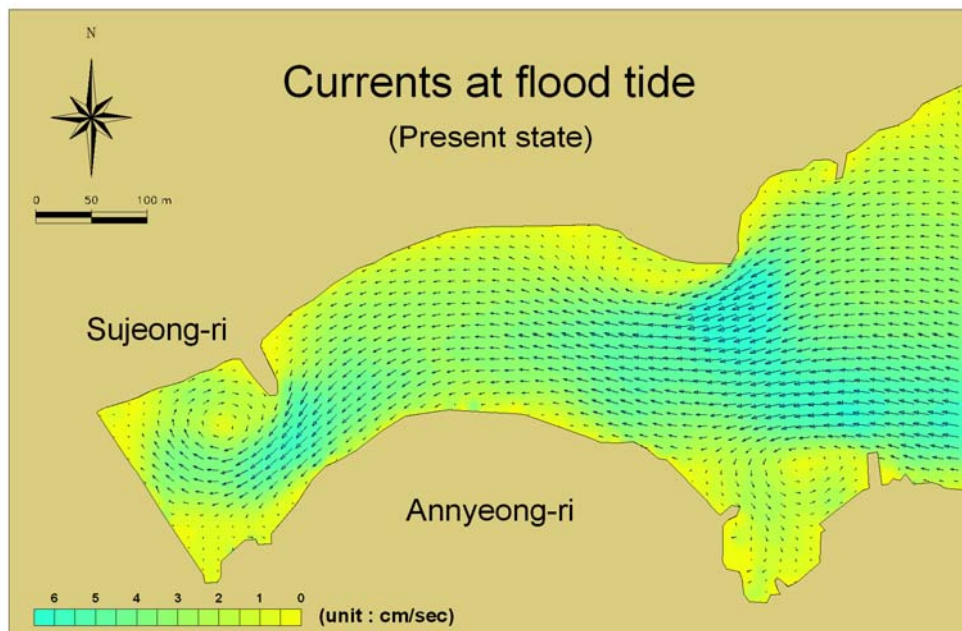


그림 304. 창조 시 유속벡터도(현재 상태)

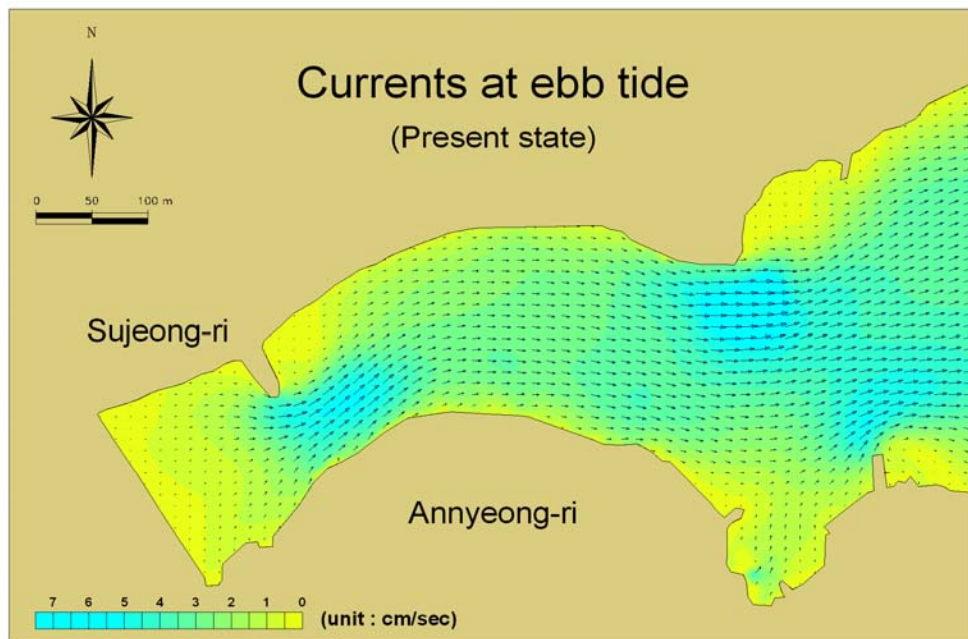


그림 305. 낙조 시 유속벡터도(현재 상태)

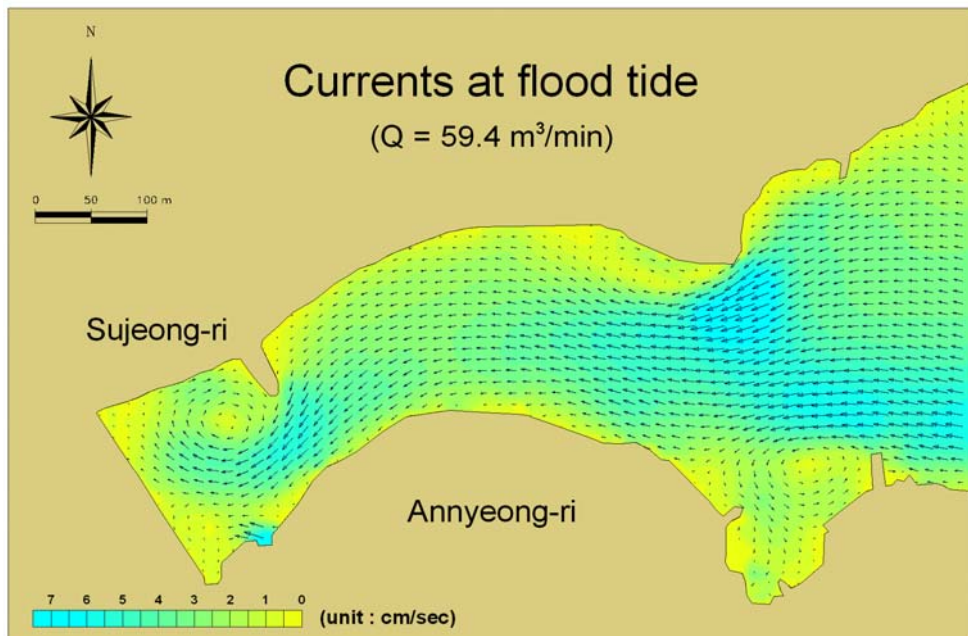


그림 306. 창조 시 유속벡터도(조위+유량발생시)

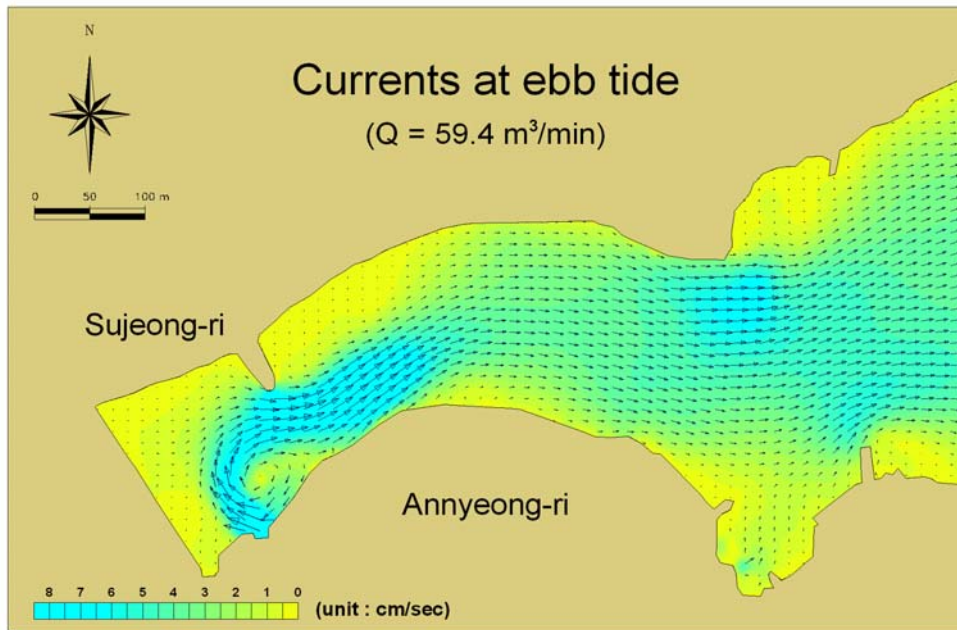


그림 307. 낙조 시 유속벡터도(조위 + 유량발생시)

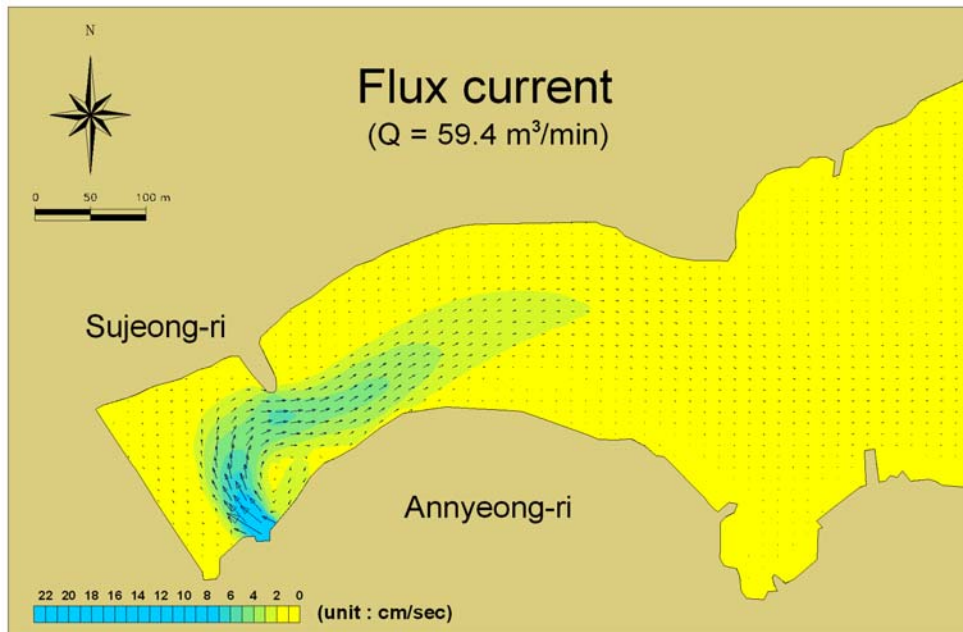


그림 308. 유속벡터도(유량발생시)

4. 육지에 근접하여 설치한 경우(입자추적 실험)

실험 내용은 항내에 설치한 경우와 동일한 방법을 적용하였다. 그리고, 입자추적 실험을 위한 격자구성과 실험영역, 수심 등도 동일하다.

가. 경계조건 및 주요입력자료

본 실험은 수질정화 및 적조제어장치 설치 전·후의 상황에 대하여 실험을 수행하였으며, 조위 및 유동장은 대조기의 해수유동 결과를 이용하였다. 입자는 수질정화 및 적조제어장치 설치 해역에 투입하였으며, 투입된 입자의 개수는 5 m 등간격의 각 격자점에서 그림 306과 같이 총 1,800 개를 투입하였다. 투입된 입자는 이류 및 전단 확산에 의해 이동하므로 일정시간 간격으로 이들 입자의 거동을 추적하였다.

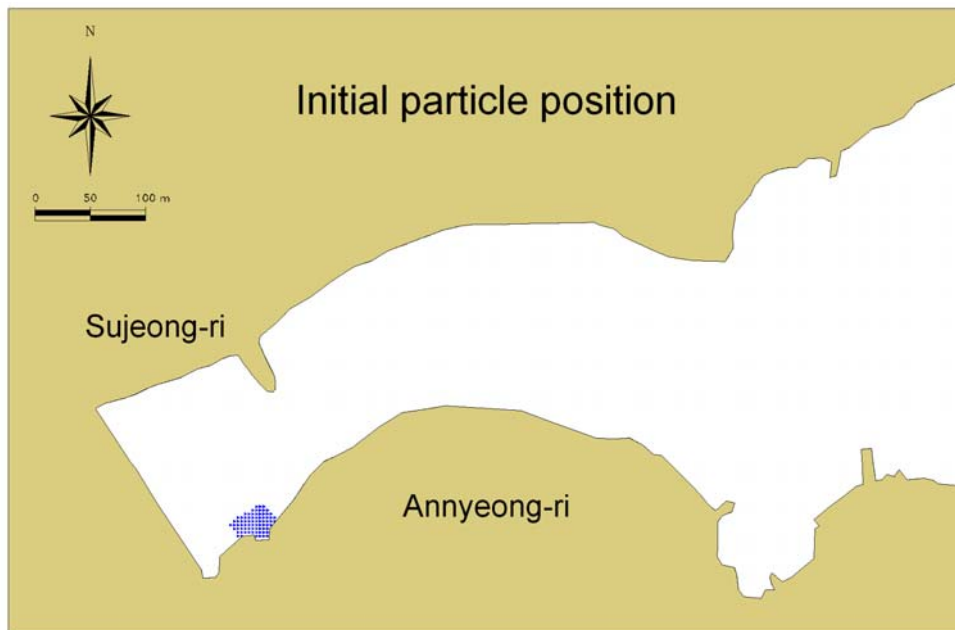


그림 309. 초기 입자투하 위치

나. 수치모형실험

1) 현재 상태

현재상태의 입자추적 실험결과를 그림 307~311에 나타내었다. 수질정화 및 적조제어장치 설치 전 대조기시에 항내 전체 수역에 1,800 개의 입자를 투하한 후 입자의 이동 양상을 시간 단계별로 추적한 결과, 시간이 경과할수록 조류의 흐름 경향에 따라 다수의 입자가 서쪽 방향으로 이동하였다. 입자투하 12시간 경과 후의 입자는 창조 시 흐름에 의해 수정리 전면 해역에서 정체되어 분포하였으며, 입자투하 18시간 경과 후 낙조시의 흐름에 의해 점차 만 입구부측으로 이동하는 경향을 보였다. 창·낙조시의 흐름에 따라 동-서 방향으로 입자의 이동이 나타났으며, 과업대상지는 낙조류가 창조류보다 우세한 해역이지만 일부 입자만이 서쪽으로 이동하여 분포하였고, 나머지 입자의 경우 수정리 전면해역에 정체되는 것으로 나타났다.

2) 조위+유량발생시

수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과를 그림 312~316에 나타내었다. 입자투하 6시간 경과 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 일부 입자가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 18시간 경과 후에는 대부분의 입자가 만 입구부측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후에 입자는 서쪽방향으로 계속 이동하는 것으로 나타났으며, 수정리 전면해역에 분포하는 입자는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 수정리 전면해역에의 해수소통이 현재상태보다 상당히 우수할 것으로 검토되었다.

3) 유량발생시

수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 입자의 이동경로를 살펴보기 위하여 실험을 수행하였고 그림 317~321에 나타내었다. 입자투하 6시간 경과 후 투하입자의 절반정도가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 시간경과에 따라 계속 만 입구부측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후 입자는 만내 전체에 넓게 분포되

어 나타났다.

다. 실험결과 및 분석

마산 수정리 해역과 같이 창·낙조시의 흐름이 약하여 해수소통에 어려움이 있는 해역을 대상으로 수질정화 및 적조제어장치의 해수교환능력을 파악하기 위하여 입자추적 실험을 수행하였다. 현재 상태 실험결과, 창·낙조시의 흐름에 따라 입자는 동-서 방향으로 이동하였으나, 수정리 전면해역에 다수의 입자가 정체되어 분포하였다.

수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과, 현재 상태에 비하여 입자의 이동이 활발하게 나타났으며, 다수의 입자가 발생된 유량에 의해 서쪽으로 이동하여 분포하였다.

입자추적 실험결과, 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량으로 수정리 전면해역의 해수소통능력에 많은 도움을 주는 것으로 나타났다.

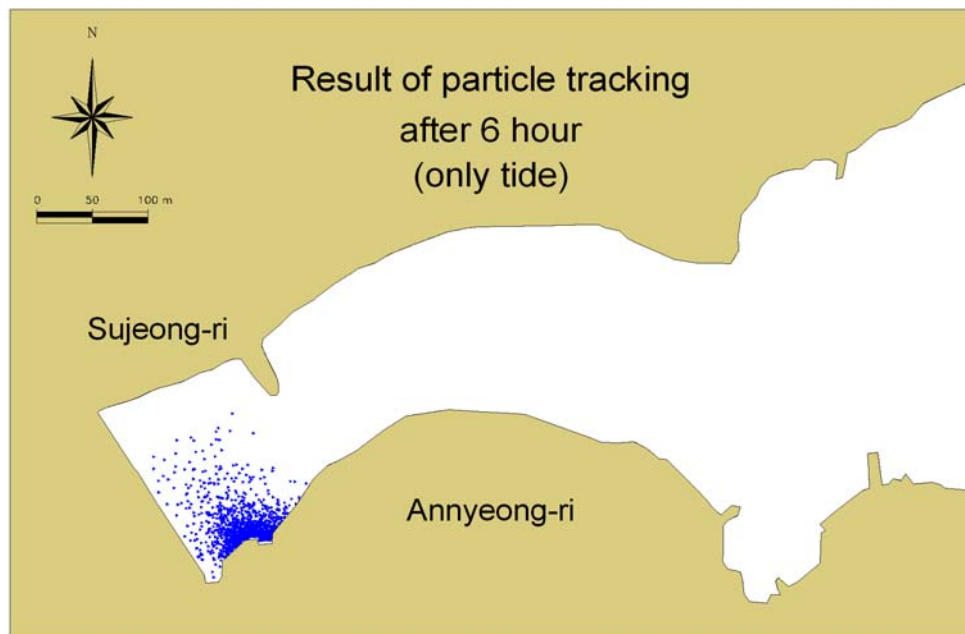


그림 310. 입자투하 6시간 후의 실험결과(현재 상태)

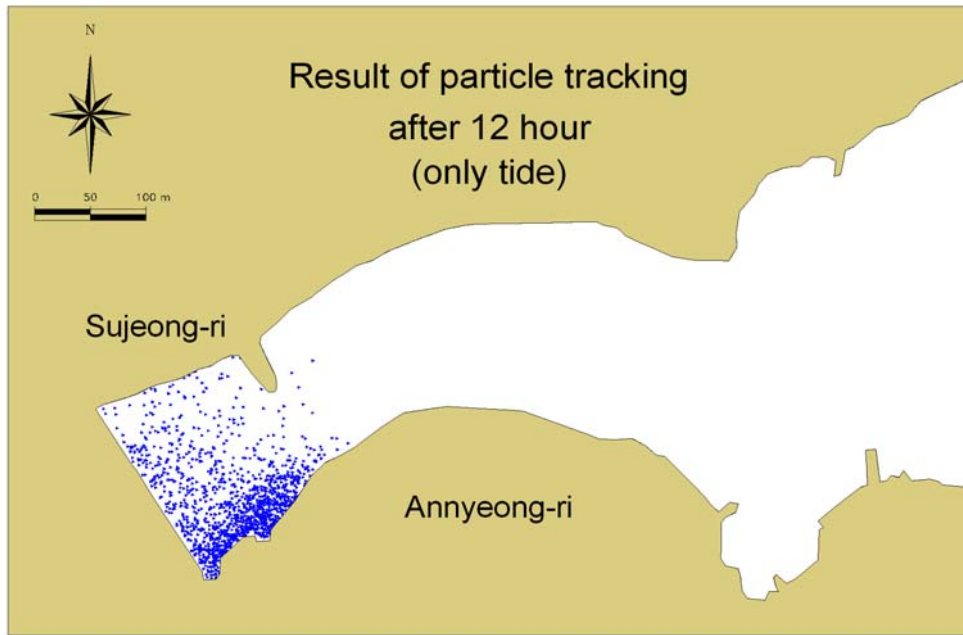


그림 311. 입자투하 12시간 후의 실험결과(현재 상태)

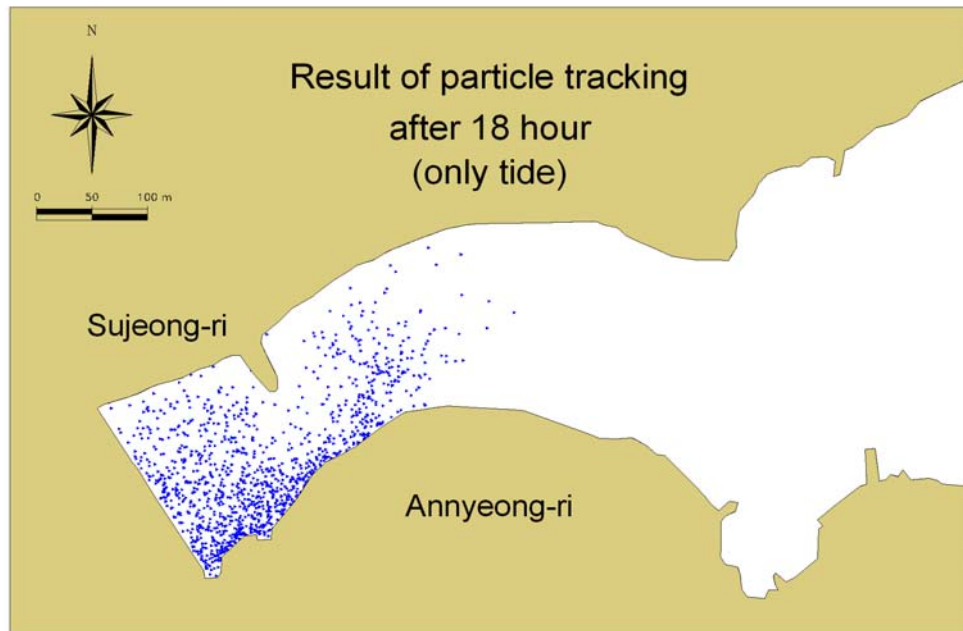


그림 312. 입자투하 18시간 후의 실험결과(현재 상태)

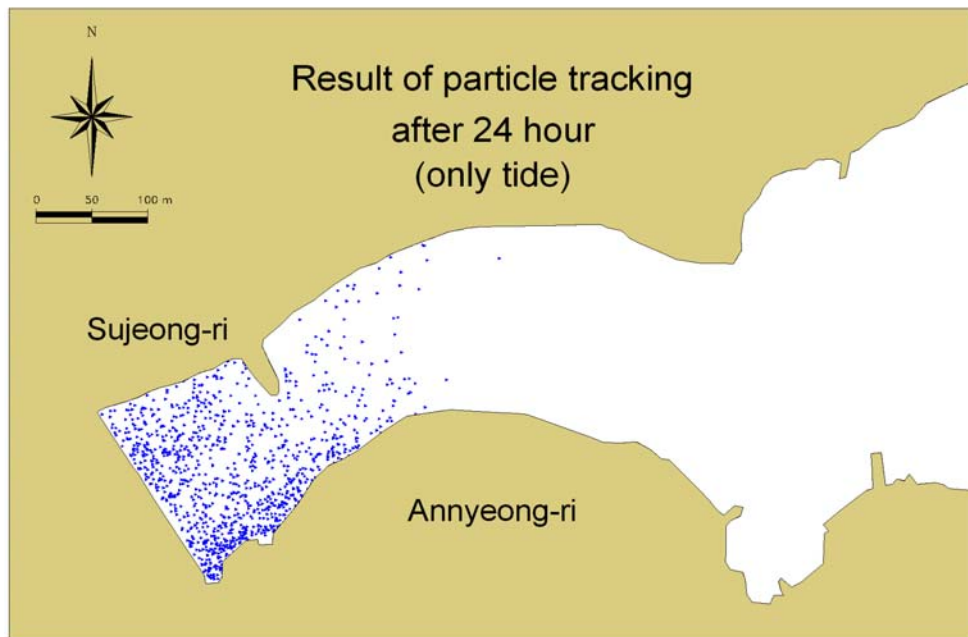


그림 313. 입자투하 24시간 후의 실험결과(현재 상태)

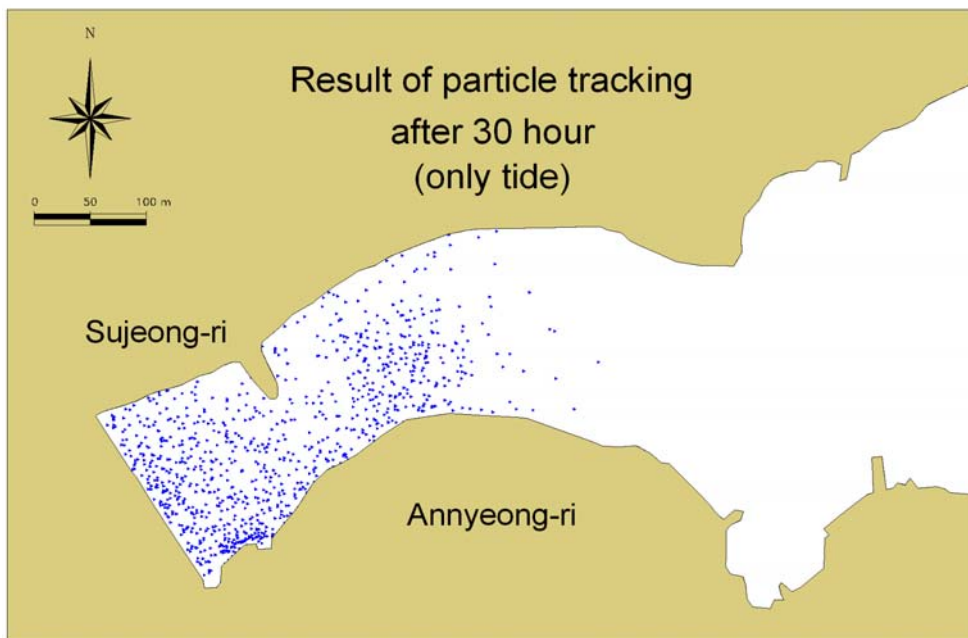


그림 314. 입자투하 30시간 후의 실험결과(현재 상태)

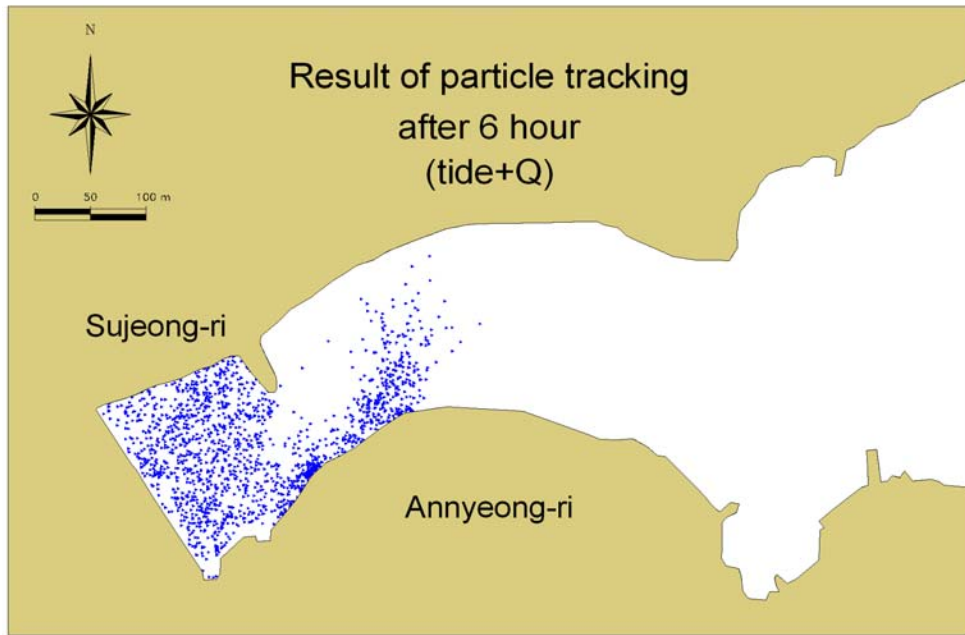


그림 315. 입자투하 6시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

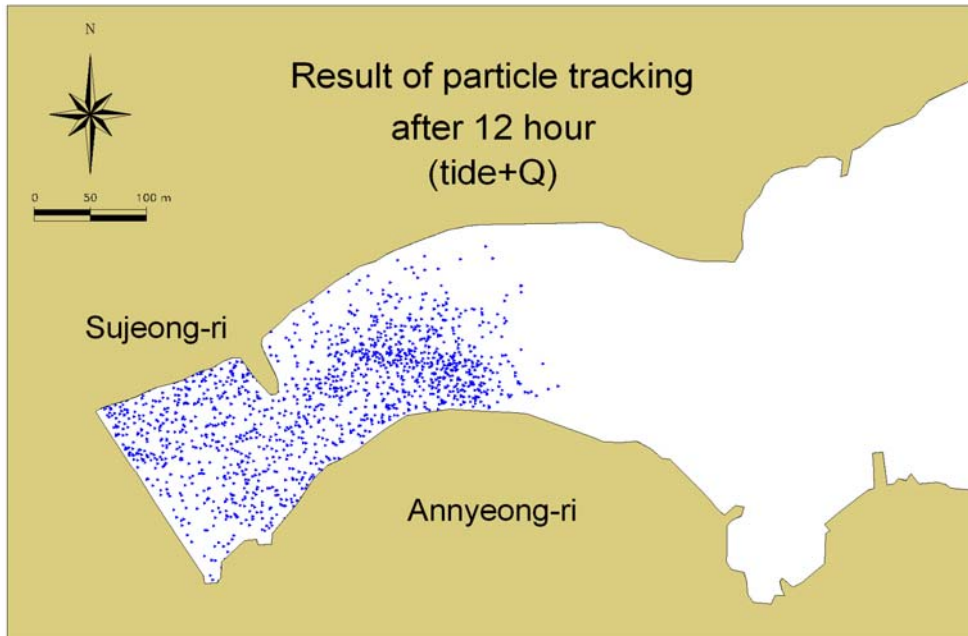


그림 316. 입자투하 12시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

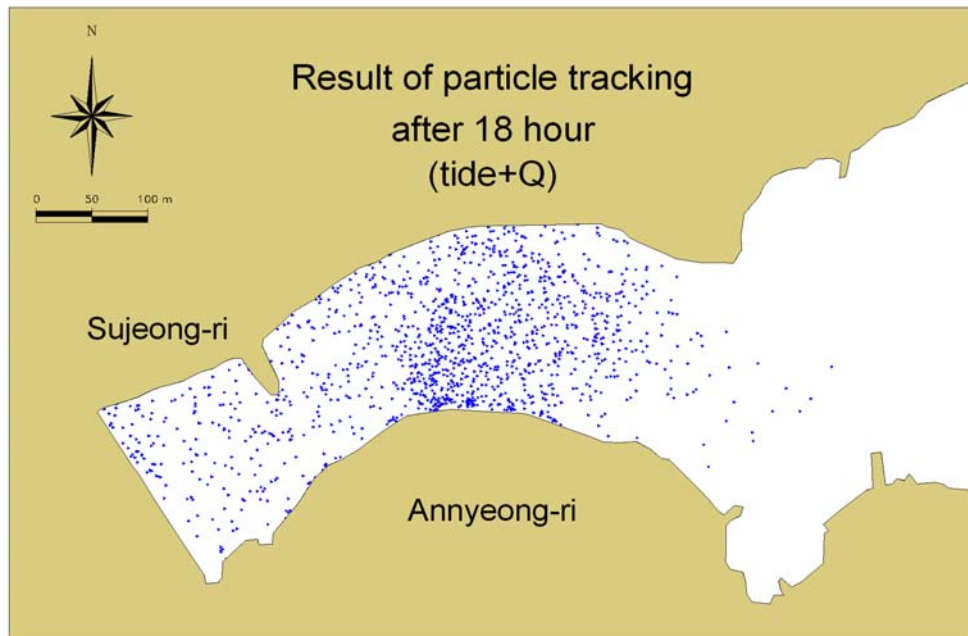


그림 317. 입자투하 18시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

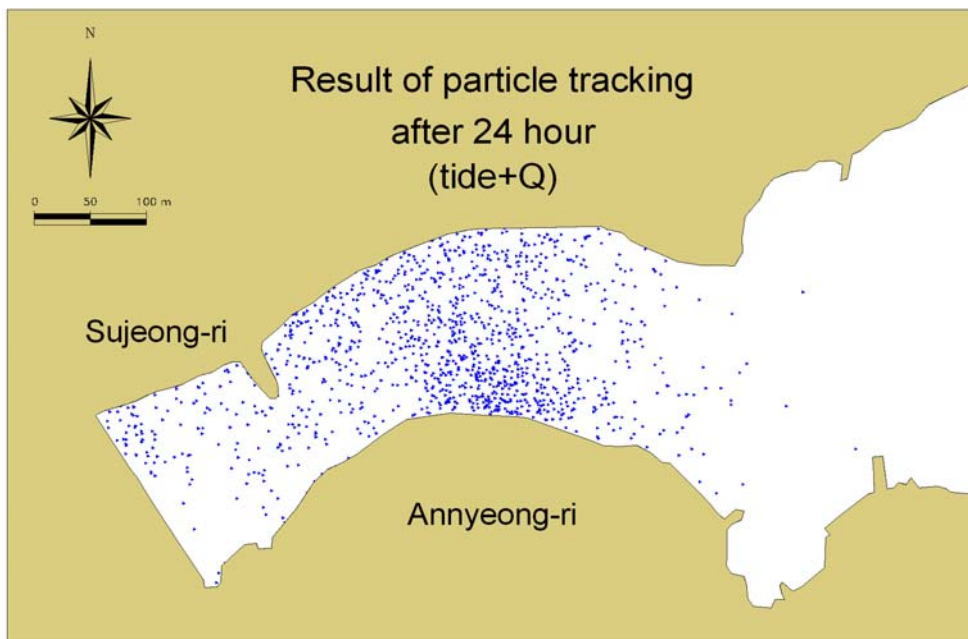


그림 318. 입자투하 24시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

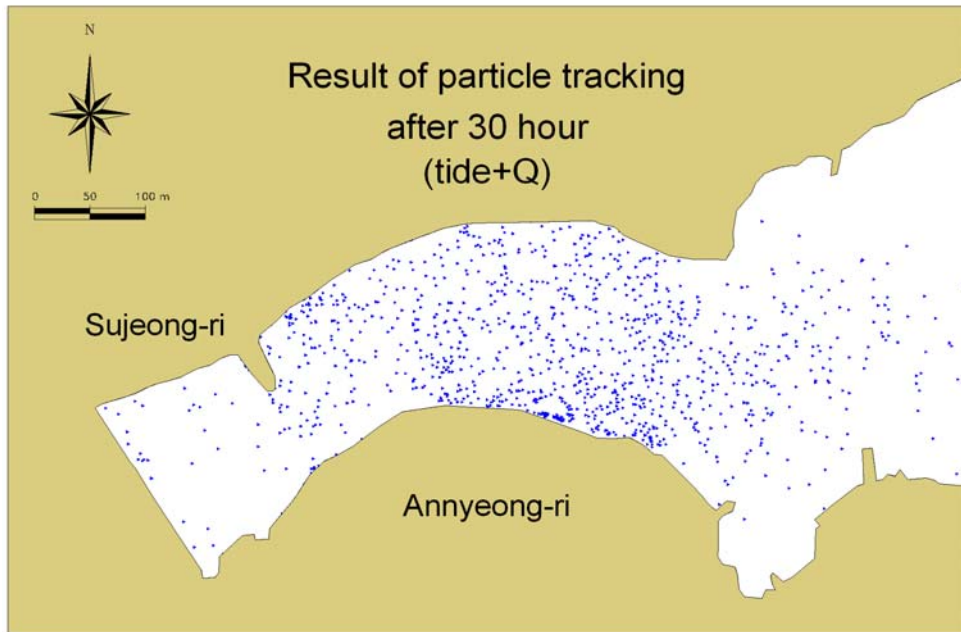


그림 319. 입자투하 30시간 후의 실험결과(조위+유량발생시)

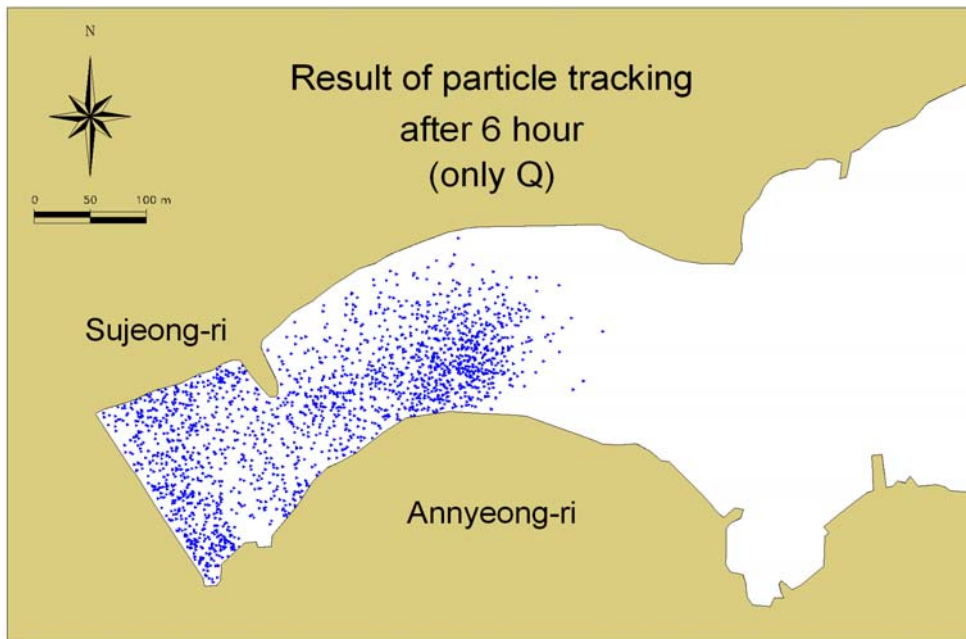


그림 320. 입자투하 6시간 후의 실험결과(유량발생시)

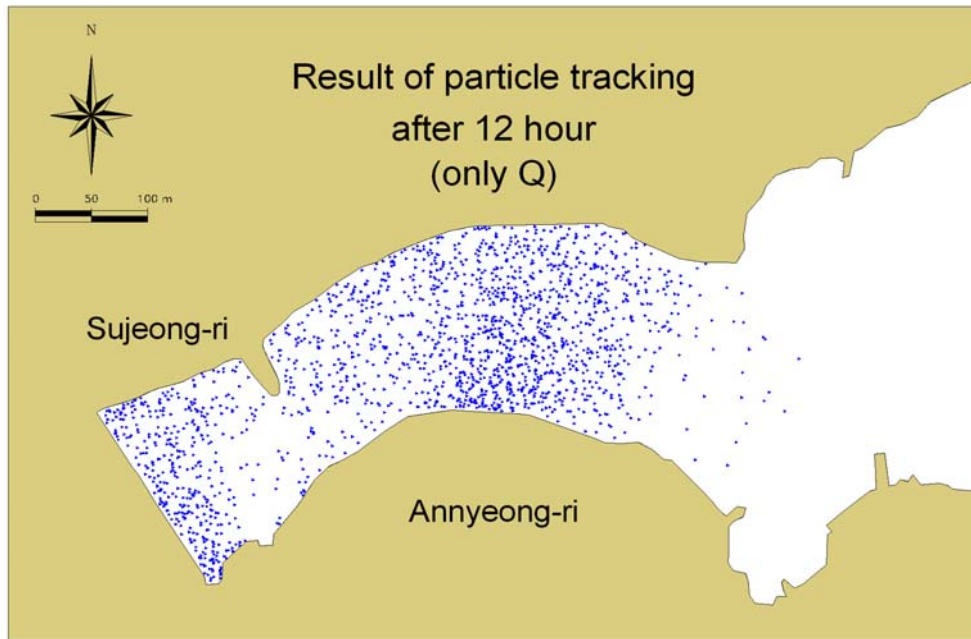


그림 321. 입자투하 12시간 후의 실험결과(유량발생시)

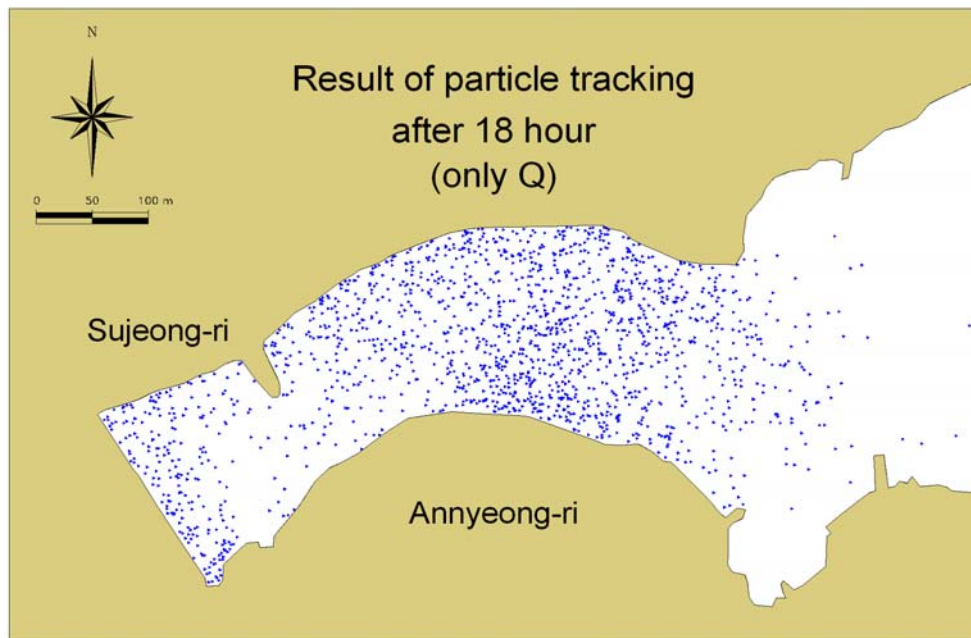


그림 322. 입자투하 18시간 후의 실험결과(유량발생시)

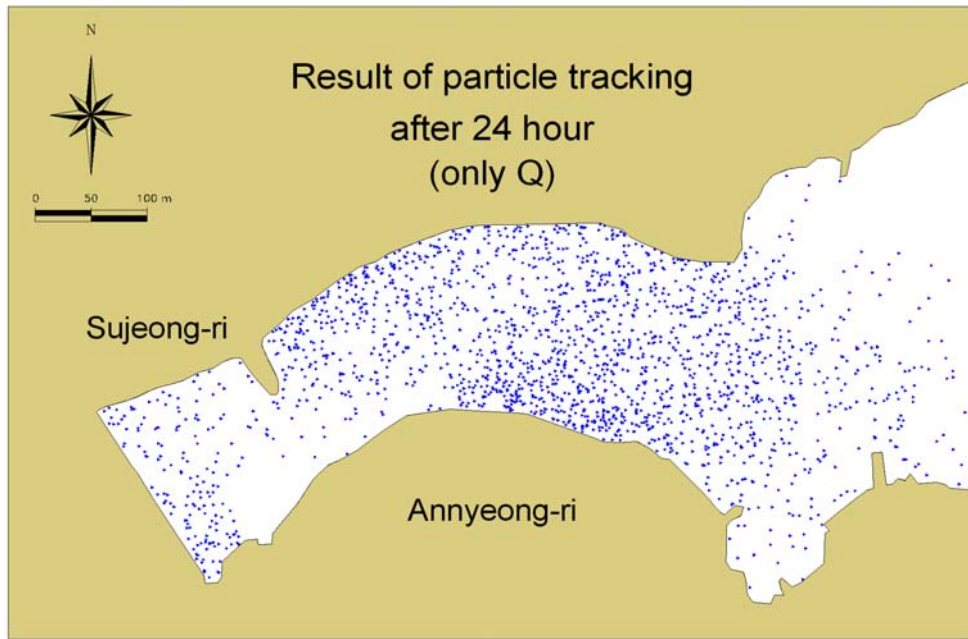


그림 323. 입자투하 24시간 후의 실험결과(유량발생시)

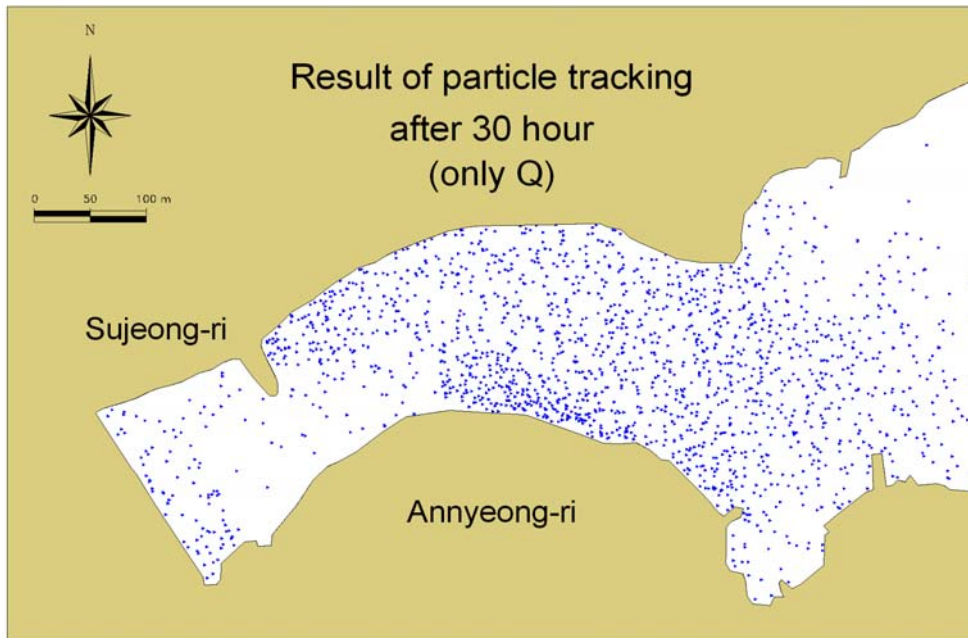


그림 324. 입자투하 30시간 후의 실험결과(유량발생시)

제5절 결과

1. 해수 유동

가. 수질정화 및 적조제어장치를 항내에 설치한 경우,

- i) 수질정화 및 적조제어장치를 설치하지 않은 현재 상태에서는 창·낙조 시 만내의 유속은 5 cm/sec 이하로 분포하여 해수유통이 잘 안 되는 것으로 나타났으며, 낙조시보다 창조시의 흐름이 다소 우세한 해역인 것으로 나타났다. 그리고 창조 시 만내 측의 수정리 전면해역에서 주변 지형에 의하여 약 2 cm/sec의 순환류가 발생하였다.
- ii) 해역에 수질정화 및 적조제어장치를 설치한 경우, 창조시의 흐름은 현재 상태와 유사하게 나타났으나, 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 수정리 전면해역에서의 평균 5 cm/sec 정도의 순환류가 발생하였다. 그리고 낙조 시에는 만입구부로 흐르는 흐름이 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의하여 평균 7 cm/sec의 순환류가 발생하였으며, 수정리 전면의 일부 유량은 낙조 시 흐름과 합류하여 만입구부로 이동하는 것으로 나타났다.
- iii) 조위의 흐름을 무시한 후 수질정화 및 적조제어장치의 유량발생 만에 따른 해수유동 실험결과, 유속은 5 cm/sec 전·후로 분포하여 나타났다. 수정리 전면해역에서 순환류가 형성되는 것으로 나타났으며, 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 흐름은 서쪽으로 약 200 m 해역까지 영향을 미치는 것으로 검토되었다.
- iv) 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량에 의해 수정리 해역의 해수소통능력은 현재상태보다 낙조 시에는 2배가량 우수한 것으로 검토되었다.

나. 수질정화 및 적조제어장치를 육지에 근접하여 설치한 경우,

- i) 창조시의 흐름은 설치하지 않은 경우와 유사하게 나타났으나, 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 수정리 전면해역에서의 순환류 유속이 크게 나타났다. 낙조 시에는 만입구부로 흐르는 흐름이 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의하여 최대

10 cm/sec의 유속이 발생하였으며, 수질정화 및 적조제어장치에서의 유속은 20 cm/sec 전·후로 분포하였다.

- ii) 조위에 의한 흐름을 무시한 후 유량발생 만에 따른 해수유동 실험 결과, 수질정화 및 적조제어장치에서의 유속은 20 cm/sec 전·후로 분포하여 나타났으며, 만내에서의 유속은 3 cm/sec 정도로 분포하였다. 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의한 흐름은 서쪽으로 약 300 m 해역까지 2 cm/sec의 유속이 나타나는 것으로 검토되었다.
- iii) 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량에 의해 수정리 해역의 해수소통능력은 수질정화 및 적조제어장치를 항내에 설치한 경우와 마찬가지로 설치하지 않은 경우에 비해 약 2배가량 우수한 것으로 검토되었다.

2. 입자추적

가. 수질정화 및 적조제어장치를 항내에 설치한 경우,

- i) 수질정화 및 적조제어장치 설치 전 대조기시에 항내 전체 수역에 1,800 개의 입자를 투하한 후 입자의 이동 양상을 시간 단계별로 추적한 결과, 시간이 경과할수록 조류의 흐름 경향에 따라 다수의 입자가 서쪽 방향으로 이동하였다. 입자투하 12시간 경과 후의 입자는 창조 시 흐름에 의해 수정리 전면 해역에서 정체되어 분포하였으며, 입자투하 18시간 경과 후 낙조시의 흐름에 의해 점차 만 입구 측으로 이동하는 경향을 보였다. 창·낙조시의 흐름에 따라 동·서 방향으로 입자의 이동이 나타났으며, 대상해역은 낙조류가 창조류보다 우세한 해역이지만 일부 입자만이 서쪽으로 이동하여 분포하였고, 나머지 입자의 경우 수정리 전면해역에 정체되는 것으로 나타났다.
- ii) 수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 입자투하 6시간 경과 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 일부 입자가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 18시간 경과 후에는 대부분의 입자가 만 입구 측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후에 입자는 서쪽방향으로 계속 이동하는 것으로 나타났으며, 수정리 전면해역에 분포하는

입자는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 수정리 전면해역에의 해수소통 영역은 현재상태보다 2배가량 확장하는 것으로 검토되었다.

- iii) 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량 만에 의한 경우, 입자투하 6시간 경과 후 투하입자의 절반정도가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 시간경과에 따라 계속 만 입구 측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후 입자는 만내 전체에 넓게 분포되어 나타났다.
- iv) 수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과, 현재 상태에 비하여 입자의 이동이 활발하게 나타났으며, 다수의 입자가 발생된 유량에 의해 서쪽으로 이동하여 분포하였다. 입자추적 실험결과, 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량으로 수정리 전면해역의 해수소통범위는 2배가량 확장되어 항내의 해수소통에 많은 도움을 주는 것으로 나타났다.

나. 수질정화 및 적조제어장치를 육지에 근접하여 설치한 경우,

- i) 수질정화 및 적조제어장치를 항내에 설치한 경우와 거의 차이가 없이 해당 해역은 낙조류가 창조류보다 우세한 해역으로 일부 입자만이 서쪽으로 이동하여 분포하였고, 나머지 입자의 경우 수정리 전면해역에 정체되는 것으로 나타났다.
- ii) 수질정화 및 적조제어장치 설치에 따라 입자투하 6시간 경과 후 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량에 의해 일부 입자가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 18시간 경과 후에는 대부분의 입자가 만 입구 측으로 이동하여 분포하였다. 30시간 경과 후에 입자는 서쪽방향으로 계속 이동하는 것으로 나타났으며, 수정리 전면해역에 분포하는 입자는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 수정리 전면해역에의 해수소통이 현재상태보다 약 2배가량 우수할 것으로 검토되었다.
- iii) 수질정화 및 적조제어장치에서 발생하는 유량 만에 의한 경우 입자투하 6시간 경과 후 투하입자의 절반정도가 서쪽으로 이동하여 나타났으며, 시간경과에 따라 계속 만입구부 측으로 이동하여 분포하였

다. 30시간 경과 후 입자는 만내 전체에 넓게 분포되어 나타났다.

iv) 수질정화 및 적조제어장치 설치 후의 실험결과, 현재 상태에 비하여 입자의 이동이 활발하게 나타났으며, 이동 범위가 장치 설치 전에 비해 2배가량 확장되는 것으로 나타났다. 다수의 입자는 발생된 유량에 의해 서쪽으로 이동하여 분포하였다. 입자추적 실험결과, 수질정화 및 적조제어장치 설치로 인하여 발생하는 유량으로 장치를 항내에 설치한 경우와 마찬가지로 수정리 전면해역의 해수소통능력에 많은 도움을 주는 것으로 나타났다.

제 6 장

현장실용성 평가 및 결론

제1절 효율증진 기술

수질정화를 목적으로 하는 본 시스템에는 ppm 단위에서 적조를 구제하는 UV 크린 오존과 그 효과가 미치는 범위는 한정적이거나 본 장치를 통과하는 해수내의 적조를 구제하는 초음파가 장착되어 있어 본 장치는 적조구제 시스템으로 효과가 있는 것을 확인하였다. 본 장치에서 발생하는 오존량은 시간당 30 g/h (MOL III type: 1대당 10 g/hx3대)이다. 그리고 본 장치에서 발생하는 유량은 분당 59.4톤으로 분당 3톤의 유량을 발생시키는 7.5 kW 펌프 한대의 전력 사용으로 20배 정도의 유동장을 조성하는 것에 대해서는 그 효율이 아주 좋다고 할 수 있다.

수치시뮬레이션 결과에 의하면 본 장치의 펌프 용량으로 수정리 입구 해역까지 그 효과가 미치는 범위로 나타나, 본 장치의 수질정화 효과가 미치는 범위는 매우 양호하다고 할 수 있다. 이미 담과 같은 담수에서는 수역환경을 개선하는 효과가 아주 우수한 것으로 보고되고 있다. 그러나 바다에서는 담수와는 달리 조류에 의한 해수 유동으로 계속 해수가 출입하기 때문에 환경변화 등의 효과 검증에 있어서의 정확한 측정은 쉽지가 않다. 그러므로 수질 환경 하나만 측정하기 보다는 생태계 전반의 경향을 보는 것이 정확한 평가가 될 수 있다.

매년 어김없이 대규모 적조가 발생하는 수정리 해역에서 2006년도 본 연구 조사시기에는 대규모 적조가 발생치 않아 해역에 저밀도로 발생한 적조생물에 대하여 본 장치의 적조구제 효과를 확인하였다.

본 장치에 대한 수질 정화 효과는 여러 보고를 통하여 대외적으로 검증되어 있으며, 많은 시설실적을 가지고 있다. 본 용역 연구조사에서도 그 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

본 장에서는 수질정화뿐만 아니라 적조를 제어하는 방법으로, 적조가 발생하지 않는 시기에는 본 장치의 본래 기능인 수질 정화를 지속적으로 행하여 적조 발생을 억제하는 방법을 적용시키고, 적조가 발생하는 시기에는 그림 322와 같은 방법으로 본 장치를 통해 적조구제물질을 동시에 같이 살포하는 방법을 적용하여 적조제어 효과를 증진시키고자 하였다.

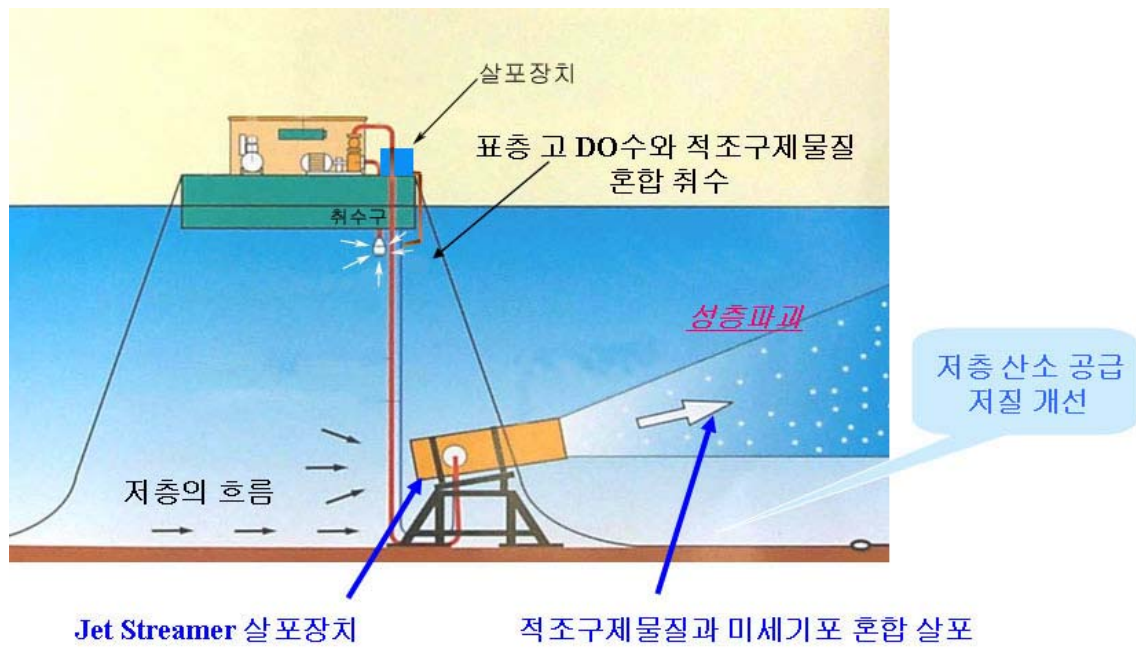


그림 325. 강제수류 발생 수질 정화장치에 적조구제물질을 혼합하여 살포하는 적조제어 시스템 개념도

제2절 적용물질의 사용방법 및 적정 살포량

장치 내에서 발생하는 콤프레샤의 고압공기 및 UV 오존의 미세기포가 제트펌프를 통해 해수 중에 용해되어 강하게 분사되는 제트수류에 적조구제 효과와 저질의 개선효과가 있는 물질을 동시에 살포하면 적조구제효과와 저질개선효과까지 동시에 얻을 수 있다는 것이 본 적용물질 사용방법의 내용이다.

적조가 발생치 않는 시기에는 수질개선효과를 목표로 본 장치를 지속적으로 가동하다가, 적조가 발생하는 시기에는 상기의 물질들을 혼입시켜 살포하는 방법을 도출하고자 한다. 그림 323은 본 시스템에 적용하고자 하는 적조구제 및 저질개선 효과가 있는 수산화마그네슘에 대한 자료이다. 수산화마그네슘 일명 세프레마는 일반적으로 해수 중에 용해되어 있는 마그네슘을 탈탄산 과정이라는 공정을 통해 추출하는 것으로, 결국은 바다에서 추출한 물질을 다시 바다로 보낸다는 개념으로 이해할 수 있어 상당히 환경 친화적인 물질로 받아들일 수 있다. 그리고 안정성 평가에서 별다른 문제가 없는 것으로 나타났다.

그림 324, 325에는 본 시스템에 살포장치를 부착하고 그 장치 내에 수산화마그네슘을 투입하여 현장에 살포하는 모습을 나타내고 있다. 그림에서 해수 취수구 근처로 투입시킨 수산화마그네슘 수용액은 모두 해수 취수구로 흡수되는 것을 확인할 수 있었으며, 흡수된 수용액은 미세기포들과 같이 해역 전반부로 확산되어 가는 것을 볼 수가 있었다. 그러나 수정리 해역 전체가 혼탁해지지는 않았다.

1장 생태계 연구에서 제안한 물질에 대한 조사 자료에 의하면 수산화마그네슘은 황토에 비해 1/10~1/20 정도의 양에서 적조구제효과가 황토와 비슷한 것으로 나타나 적정 살포량으로는 500 ppm 정도가 적당한 것으로 사료된다. 본 시스템에 수산화 마그네슘을 적용할 경우에는 본 장치의 시간당 제트 분사량을 계산하여 그 펌프 량에 맞추어 물질을 혼입시키면 되지만 해역에 발생한 적조생물의 밀도를 고려할 필요가 있다. 그리고 본 장치에서 물질을 살포할 경우에도 적조생물이 분포하는 위치가 장치에서 가까운 해역과 먼 해역이 있기 때문에 현장에서 농도를 설정할 경우 이를 면밀히 조사하여 적조발생 밀도 및 범위를 고려하면서 살포량을 조절할

필요가 있다.

본 용역 연구에서는 적용치 못하였으나, 적조구제물질로 해수를 전기분해한 전해수를 적용할 것을 제시한다. 해수를 전기분해 시킨 전해수를 황토와 혼합하여 살포하는 기술은 이미 실용화되어 현장에서 사용되고 있으며, 그 효과도 아주 좋은 것으로 조사되고 있다.

그리고 본 기술에 전해수를 적용하면 평상 시 장치 내에 부착하는 생물들 제거에도 아주 유용할 것으로 사료된다. 즉, 일정기간 간격을 두면서 해수를 전기분해하여 장치 내에 일정농도 흘려주면 장치 내에는 부착생물들이 부착할 수가 없게 되어 장치 관리에 아주 좋은 효과가 있을 것으로 사료된다. 이와 같은 방법은 바다 근처에 시설되어 있는 화력발전소나 원자력 발전소 같은 곳에서 가열된 발전 설비를 냉각시키기 위해 사용하는 해수 취수의 취수관내 부착생물 방지에 사용하고 있다.

지금까지의 결론으로 보아 본 장치는 수정리 해역과 같이 오염이 심하여 적조가 매년 상습적으로 대규모로 발생하는 해역의 수질 및 생태계 개선 효과로 적조가 제어되는 것으로 나타나고 있기 때문에, 본 보고서에서 주장하는 바와 같이 적조가 발생하지 않는 시기에는 수질을 정화하여 적조를 제어하는 목적으로 사용하다가 적조가 발생하는 시기에는 적조구제물질을 투입시켜 적조를 직접 구제하는 방식으로 사용하면, 본 장치에 의한 적조제어 시스템 방식은 상당한 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다. 이에 대해서는 금후 본 장치의 지속적인 조사가 필요하다.

세프레마 제품 소개 (포스텍)

a



- ▶ 상품명 : 세프레마(SEFREMA)
- ▶ 주성분 : 수산화마그네슘 [Mg(OH)₂]
- ▶ 특징 : 바닷물에 이온상태로 녹아있는 마그네슘(Mg⁺⁺)을 추출하여 만든 제품으로, 바닷물로 만든 것을 다시 바다로 환원하는 친환경 제품

규격	크기	용도	주요성분		
			Mg(OH) ₂	CaO	SiO ₂
액상	평균입도 2.6μm	수질정화, 악조양제	95% 이상	2% 이하	0.5% 이하
분말	0.045mm 이하				
과립(중형)	φ5mm / φ2mm	오염저적물(자갈) 정화			
중형(고형)	φ15mm / φ5mm 이하				
이온드	15 x 25mm				

2 / 35

제품 안전성 분석 결과 (해양수산부 고시 기준 '04.10)

분석시험실지서

항목	단위	결과	기준
수소	g/g	0.00	0.00
탄소	g/g	0.00	0.00
질소	g/g	0.00	0.00
인	g/g	0.00	0.00
칼슘	g/g	0.00	0.00
마그네슘	g/g	0.00	0.00
중금속	g/g	0.00	0.00

한국제철시험연구원

구성성분 분석결과

분석시험실지서

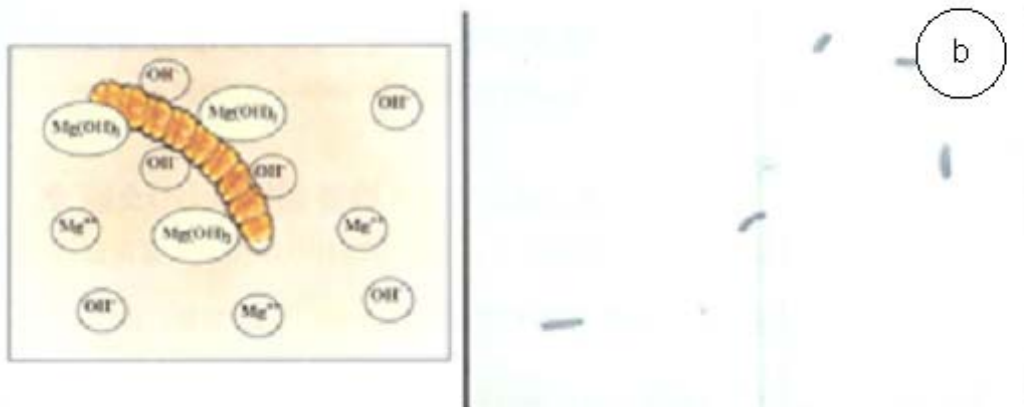
항목	단위	결과	기준
수소	g/g	0.00	0.00
탄소	g/g	0.00	0.00
질소	g/g	0.00	0.00
인	g/g	0.00	0.00
칼슘	g/g	0.00	0.00
마그네슘	g/g	0.00	0.00
중금속	g/g	0.00	0.00

한국제철시험연구원

유해성분 분석결과

3 / 35

적조 방제 Mechanism – 적조 제거



▶ 세프레마의 미립자가 적조세포에 흡착하여, 알칼리 효과로 제거



4/35

새만금호 적조 생물



◆ Proocentrum minimum (프로코센트럼)

- 세포는 2개의 껍질로 구성되어있고, 크기는 15-23 μ m
- 껍질에는 가시 돌기가 있고, 편모는 앞쪽에 2개 있음
- 전세계 연안에 분포하며 우리나라의 연안역과 기수역에서 자주 적조를 일으키며 늦봄에 상습 출현
- 발생시기 : 늦봄 ~ 가을
- 주 발생해역 : 진해만

적조 방제 Mechanism – 적조 예방

C

◆ 인(P) 제거 : 불활성 고형물 형태로 전환



◆ 질소(N) 유기물 분해 : 안정 물질인 질산염 전환

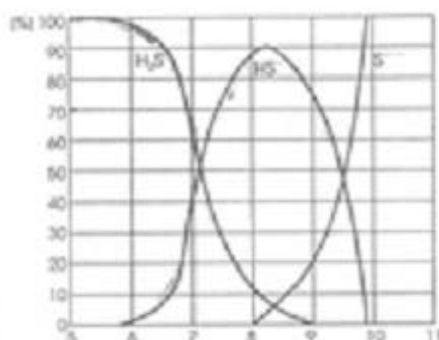
- 단백질 \Rightarrow 암모니아($\text{NH}_3, \text{NH}_4^+$) \Rightarrow 아질산(NO_2^-) \Rightarrow 질산염(NO_3^-)
- 암모니아성 질소 1mg 질산염화 하기위해 7mg의 알칼리도를 소모하여, 이때 pH가 감소
- pH 7 이하에서는 질산염으로 전환되는 효율이 저하 되므로, 알칼리도를 높여 질산염화 촉진
- 오염 퇴적물 내에서 암모니아성 질소($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 용출을 증가시켜 유기물을 분해

적조 방제 Mechanism – 황화수소(H_2S)제거

◆ 황화수소(H_2S) 발생 원인 : 오폐수 유입, 조류사체, 생물배설물 등 유기물이 퇴적도에 축적되어, 고수온기 유기물 분해과정의 무산소 상태에서 황산염환원균의 번식에 의해 발생

◆ H_2S 제거 : 황산염환원균은 pH 6.5~7.5 에서 증식하며, pH 8.5 이상에서는 생존할 수 없으므로 pH를 상승시켜 황산염환원균이 증식할 수 없는 환경을 조성 하여 H_2S 제거

◆ pH 에 따른 황화물 존재형태 (佐野和生, 1990)



- pH=6 이하 : 99% H_2S
- pH=7 : 60% H_2S , 40% HS^-
- pH=8 이상 : HS^- , S^{2-}

※ 석회(CaO)는 바닷물 중 SO_4^{2-} (885ppm)와 반응하여, 석고(CaSO_4)가 생성되므로 퇴적층을 콘크리트화 하는 2차오염이 발생하며, 저서생물 및 생태계에 피해가 있음

2003년 적조물질 현장시험 - 수과원, 경남도청

d

- 일자 : 2003년 8월 27일
- 장소 : 통영-남해 적조발생 해역
- 적조생물 : *Cochlodinium polykrikoides* (코클로디니움)

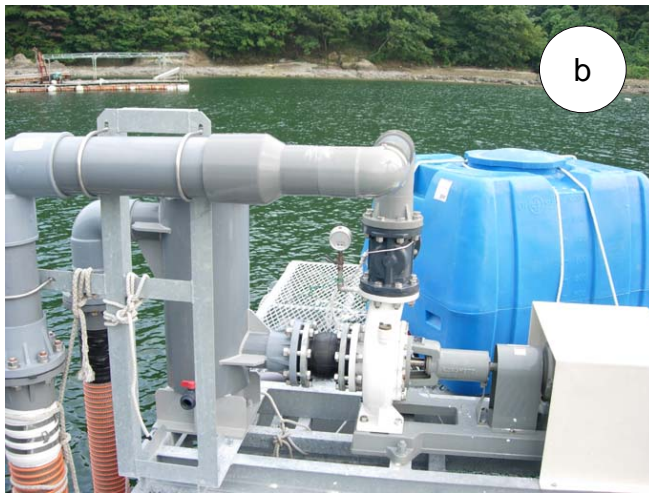


2003년 적조물질 현장시험 결과 - 수과원, 경남도청

- 일자 : 2003년 8월 27일, 장소 : 통영-남해 적조발생 해역
- 적조생물 : *Cochlodinium polykrikoides* (코클로디니움)

구분	시험 결과				비고	
	삼포전	적후	10 min 후	30 min 후		
실내구제효율	-	98%	100%	100% (황도 30~90%)	- 황도에 비해 효율 우수	
현장구제효율	-	71%	86% (황도 74%)	83%		
해양 환경 변화 (mg/l)	pH	8.12	8.28	8.24	8.15	- 해양환경변화 영향 없음
	총질소	0.454	0.489	0.431	0.440	
	인산염	0.004	0.004	0.004	0.004	
	규산염	1.530	1.704	1.367	1.372	
	부유물질	84.0	272.0	67.2	44.8	
식물플랑크톤변화 (개체수/ml)		101	83	81	107	- 영향 없음

그림 326. 수산화마그네슘의 적조구제 및 저질개선 효과.



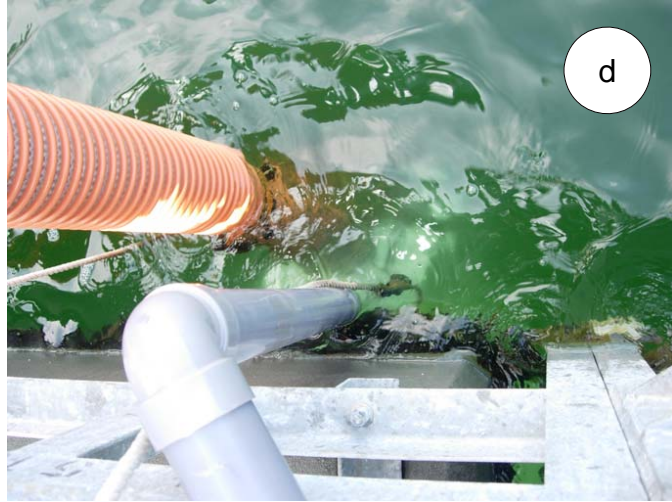
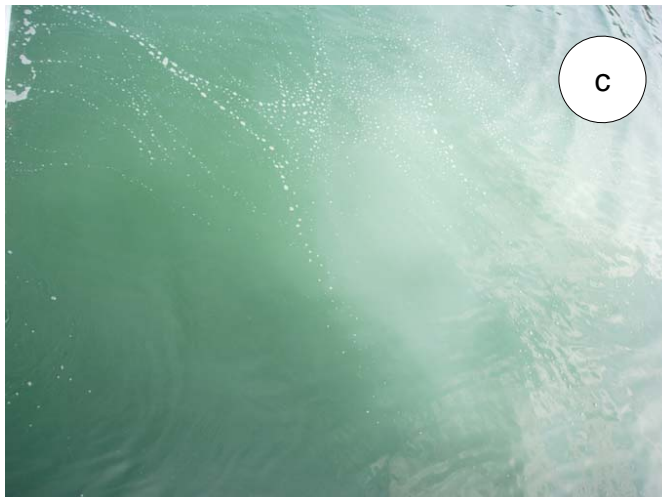
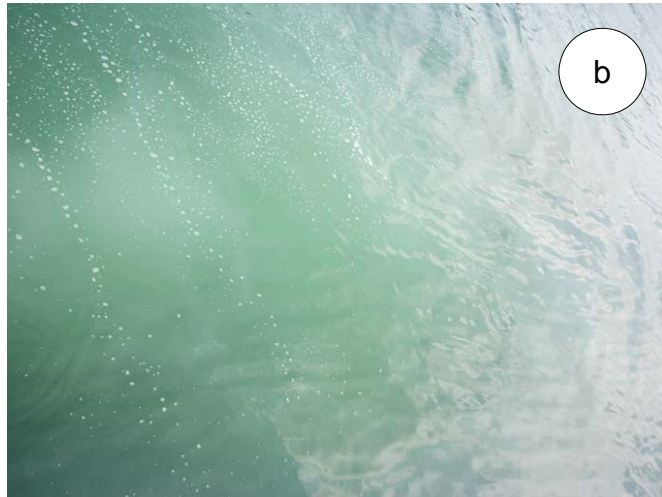


그림 327. 적조구제물질 살포 장치. (a)살포장치의 밸브 연결, (b)취수구 부근에 설치된 살포 장치, (d)수산화마그네슘 세프레마, (e)취수구로 유입되는 수산화마그네슘 수용액.



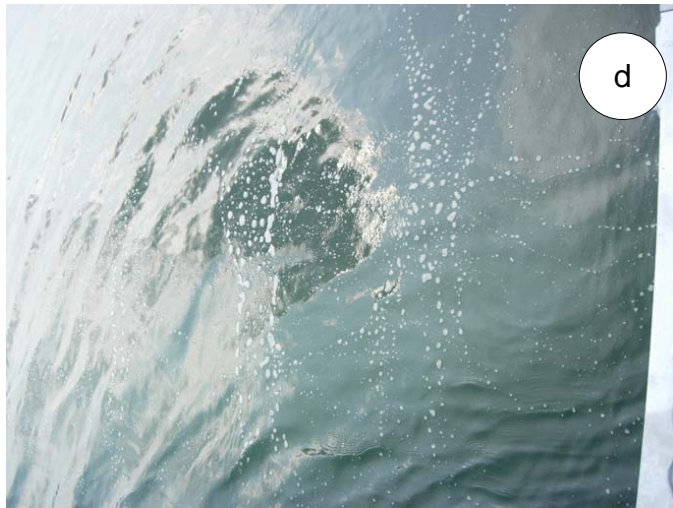


그림 328. 해역으로 확산되는 미세기포와 수산화마그네슘수용액. (a)확산 1, (b) 확산 2, (c)확산 3, (d)확산 4

제 7 장

종합결론 및 기대효과

종합결론 및 기대효과

사전조사를 통해 수질정화 및 적조제어 장치를 설치한 수정리 해역은 2002년부터 2004년까지 총 14회의 적조가 발생하였고, 다른 해역에 비해 영양염이 풍부한 해역이었다. 또한 수정리는 공유수면 면적이 0.18 Km²로 협소하며 평균 수심이 8 m로 깊어 수질정화 및 적조제어 장치의 설치 및 실험 장소로서 적합하였다.

수정리의 사전조사(2003. 8~2005. 4) 결과, 영양염 농도는 겨울에는 증가하고 봄에는 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 수질정화 및 적조제어 장치 설치 이후에도 이어졌으나 질산질소(NO₃-N)와 아질산질소(NO₂-N)는 장치의 설치와 가동 이후에 더욱 큰 폭으로 감소하였다. 여기서, 총질소는 2005년 8월(장치 가동 전)과 2006년 8월(장치 가동 후)과의 비교에서 표층에서 평균 31.77 mg/L에서 9.56 mg/L로 약 70% 감소하였으며, 저층에서 평균 43.41 mg/L에서 38.89 mg/L로 약 10% 감소하였다. PO₄-P는 동일시기에 표층에서 평균 2.16 mg/L에서 0.22 mg/L로 약 90% 감소했으며, 저층에서 평균 4.00 mg/L에서 3.27 mg/L로 약 18% 감소하였다. 그러나 COD는 적조제어장치 가동전후에 표층에서 평균 1.22 mg/L에서 2.18 mg/L로 약 78% 증가했으나, 저층에서 평균 2.16 mg/L와 2.04 mg/L로 약 5.6% 감소했다. 전반적으로 저층 기원의 영양염 및 환경인자들은 계속해서 그 농도를 유지하고 있는 반면, 표층에서는 이를 지속적으로 환원시켜 생태환경을 개선하고 있는 것으로 나타났다.

한편 실험해역에서 용존산소(DO)는 여름에 크게 감소하여 저층에서는 무산소층이 형성되기도 하였으나 수질정화 및 적조제어장치가 설치된 방파제 내측에서는 다소 높게 나타남으로서 장치에 의한 인위적인 DO 상승효과를 관찰할 수 있었다. 즉, DO는 장치 가동전후 표층에서 6.46 mg/L에서 10.88 mg/L로 약 69% 증가했으며, 저층에서 4.90 mg/L에서 7.40 mg/L로 약 51% 증가하였다.

식물플랑크톤 현존량은 수질정화 및 적조제어장치 설치 전후 모두 봄과 가을에 증가하고 여름과 겨울에 감소하는 전형적인 계절특성을 나타냈으나, 장치의 가동 이후에는 이전에 비해 현존량이 급격하게 증가하였다. 따라서 수질정화 및 적조제어장치는 실험해역의 영양염(특히 NO₂-N, NO₃-N)을 식물플랑크톤이 이용 가능한 형태로 수괴내로 공급하였고, 공급된 영양염은 식물플랑크톤 증식에 이용되었다. 이 결과는 단기적으로 식물플랑크톤 증식 및 적조유발 가

능성을 내포하고 있으나, 조사기간 동안 매년 대규모로 발생하던 유해성 식물 플랑크톤 종의 대량증식은 나타나지 않았으며, 적조도 아주 적은양의 저밀도로 나타나, 장기적으로 해역의 청정화를 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

황토, 세프레마 및 신물질을 이용한 *Cochlodinium* 적조 구제 실험에서는 동일한 조건하에서 황토<세프레마<신물질 순서대로 높은 구제효과를 나타냈다. 동일 조건에서 각 물질의 적정한 적조구제 농도와 구제율은 황토가 10,000 ppm에서 약 60%, 세프레마는 1,000 ppm에서 80% 이상, 신물질은 1,000 ppm에서 100%를 보여주었다. 아울러 *Cochlodinium* 적조 발생 현장(남해군 앵강만)에서 실시한 각 구제물질의 실험결과도 황토<세프레마<신물질 순서대로 높은 구제효과를 나타냈다. 적조생물에 대한 3가지 물질의 구제작용 기구를 현미경 분석한 결과, 황토는 적조생물의 단순 침강, 세프레마는 침강 및 세포 터짐, 신물질은 침강, 세포막용해 및 세포분해 작용을 하는 것으로 나타났다.

시작품 제작에 앞서 소형 실험 장치를 제작하였으며, 소형장치의 초음파와 오존으로 적조생물 구제 실험 및 어류에 대한 영향실험을 행하였으며, 황토, 세프레마, 신물질에 대해서도 같은 실험을 행하였다. 먼저, 본 시스템에 적용하는 농도의 UV 오존에 대한 어류영향 실험에서 환경변화에 민감한 돌돔과 솜뿔이 및 넙치는 전혀 영향이 없는 것으로 나타났다. 초음파는 적조구제 실내실험에서 초음파의 주파수와 강도의 세기 및 조사시간에 따라 구제효과가 10% 이상에서 100%까지 차이가 났으나, 소형장치의 현장실험에서는 소형장치 내를 지나가는 해수 중에 포함된 적조생물에 한하여 100% 가량의 구제효과가 있었다.

각각의 적조구제물질 농도별 투여에 대한 참돔, 전복, 강섬돔의 어패류에 대한 반수치사시간을 측정하여 영향을 조사한 결과 적조구제 효과가 높은 물질이 치사율이 높았다.

소형장치의 이동성을 감안하여 제작한 부유식 전기 인입선은 전기 공급장치에 연결하여 전기선이 닿는 범위 내에서 어장주변이나 폐쇄된 소규모 해역에서 장치를 이동시키면서 적조 구제 및 수질정화 작업에 적용하면 좋은 효과를 거둘 것으로 사료된다.

적조 이외의 생물에 대한 효과를 검증하던 중 본 시스템은 해파리 제어에 상당히 효과가 있을 가능성을 실험으로 검증하였으며, 효율증진 기술 연구의

하나로 본 장치를 다 방향으로 강제수류를 만들 수 있도록 개조하여 수질정화 및 적조와 해파리 제어용으로 활용할 것을 제시하였다.

시작품은 초기설계안 대로 본체 및 각 부품들을 제작하여 현장에 설치 운영하였다. 본 수질정화 및 적조제어장치는 작동 원리 조사에서 해저 바닥의 저질을 용승치 않으면서 용존산소를 모포를 씌우는 것과 같이 저질에 침투시켜 저질의 환경을 개선하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 프로펠러방식에 의한 수류발생방식은 해저 저질을 용승시키고, 수질을 오히려 악화시키는 경우가 생긴다. 그러나 본 장치는 분류 축 대칭류를 발생시키기 때문에 해저에 평행, 직근의 유동축진에 있어서도 해저의 저질을 용승시키지 않고 확산 폭기하는 것이 가능하다. 분류토출방식에는 기본적으로 밀링효과가 없으며, 분류 선단이 해저에 접촉할 시 아주 작은 규모의 난류 발생은 그것보다도 큰 축 방향 유속을 가진 유출 수괴가 상 방향에서 진행 방향, 폭 방향으로 순서대로 모포를 펼치면서 뒤집어씌우는 것처럼 바닥면상으로 눌러 들어가는 형태이다. 분류 수괴의 주변부의 바닥면은 이와 같이 비교적 부드럽게 고 용존산소농도의 물을 모포로 커버하는 것처럼 되고 이 모포는 용승을 억제함과 동시에 시간 경과에 따라 용존산소를 저질로 침투, 확산 시키는 에어레이션 효과도 발휘한다.

장치는 설치하기 전 현지의 해역에서 그 기능을 확인하고 도입하였다. 해상 제어 구조물 제작에 있어서는 구조물에 탑재될 장비들을 오차 없이 탑재시키기 위해 제작사의 도면을 받아 제작하였다. 그리고 해상제어구조물의 프레임은 철로 이루어져 있으나, 철에는 아연을 도금하였다.

시작품은 설치 후 가동한 결과 본 장치에서 강력하게 분류되는 미세기포 흐름은 수정리 해역 전반부로 확산되어 가는 것을 확인하였다. 장치 가동 후 관리 운영 중에 부착생물은 해수 취수에 문제를 일으킬 정도로 취수구에 많이 부착하였으나, 이를 제거한 후 장치는 정상 가동하여, 부착생물은 정기적인 관리를 통하여 제거하면 별다른 문제가 없는 것으로 나타났다.

장치의 부식방지는, 프레임 철 구조물을 아연 도금하여 1차 부식방지 처리하였으며, 2차 방식처리로서 철 구조물의 30여 절점에 아연희생 양극판을 부착하여 완벽하여 완벽한 부식방지 효과를 얻었다. 그러나 아연판의 소모로 년 2~3회 정도는 새것으로 교체하여야 하였다. 본 장치는 정기적인 부착생물 제거와

부식방지 관리만 제대로 행하면 반영구적으로 사용할 수 있는 장치이며, 그 외 다른 관리는 현재까지 별달리 필요 없는 것으로 나타났다.

수치해석에 의한 해수유동 실험은 적조제어를 하기 위해 적용한 본 시스템이 해역의 어느 위치에 시설하는 것이 보다 효율적이고 어느 정도의 범위까지 효과가 미칠 것인가를 평가하여 본 시스템의 적조제어에 대한 타당성을 실험한 결과 수질정화 및 적조제어장치를 항내와 육지에 근접하여 설치한 2가지 경우 모두 설치 전에 비해 해수유동성을 약 2배가량 증진시켜주었으며, 입자추적 실험에서도 영향이 미치는 범위가 약 2배가량 넓어지는 것을 알 수 있었다.

적조제어에 대한 본 장치의 실용성 평가에 있어서는, 본 장치 가동 이후 해역의 질산질소와 아질산질소의 큰 폭 감소와 더불어 실험해역의 영양염(질산과 아질산염)을 식물플랑크톤이 이용 가능한 형태로 수괴내로 공급, 유용한 먹이생물인 식물플랑크톤 현존량을 급격하게 증가시켰으나, 매년 대규모로 발생하던 유해한 플랑크톤에 의한 대량증식은 나타나지 않았으며, 적조도 아주 적은양의 저밀도로 나타나, 본 시스템은 오염된 해역의 청정화와 더불어 적조를 효과적으로 제어할 수 있는 장치로 평가되어 진다.

특히, 적조제어에 대한 본 장치의 효율과 실용성을 증가시키기 위하여 적조가 발생치 않는 시기에는 수질개선을 목표로 본 장치를 지속적으로 가동하다가, 적조가 발생하는 시기에는 적조구제와 저질개선효과까지 동시에 얻을 수 있는 세프레마(수산화마그네슘)와 같은 물질들을 혼입시켜 적정 살포량으로 살포하는 방법을 실험을 통해 제시하였다. 그리고 적용물질 및 기술로 해수를 전기분해한 전해수를 본 시스템에 적용 적조제어 효율을 증진시킬 것을 제시하였으며, 장치의 살포 방법의 일부 개선으로 해파리 방제에 대한 가능성을 실험을 통해 도출하였다. 그리고 금후 본 장치를 수질이 오염되어 적조가 발생하는 해역으로 이동, 가동시켜 지속적인 조사를 할 것을 제시하였다.

참고문헌

- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.*, 27, 3-27.
- Kemp and Boynton, 1984. Spatial and temporal coupling of nutrient inputs to estuarine primary product: the role of particulate transport and decomposition. *Bull. Mar. Sci.* 35: 522-535.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics*, 3: 36-71.
- Nishimura, S. 1992. Guide to seashore animals of Japan with color pictures and keys, Vol. I. Hoikusha, Tokyo, 663pp.
- Nishimura, S. 1995. Guide to seashore animals of Japan with color pictures and keys, Vol. II. Hoikusha, Tokyo, 425pp.
- Officer, C.B., Biggs, R.B., Taft, J.L., Cronin, L.E., Tyler, M.A., Boynton, W.R. 1984. Chesapeake Bay anoxia: origin, development, significance, *Science*, 223:22-27.
- Okutani, T. 1994. Field books, V. 8. Yama-kei Publishers Co., Ltd., Tokyo, 367pp.
- Okutani, T. 2000. Marine mollusks in Japan. Tokai Univ. Pre., Tokyo, 1173pp.
- Pearson, T. H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229~311.
- Pielou, E.C. 1977. *Mathematical Ecology*. Wiley Co., New York, 164pp.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, 125pp.
- Sundbaeck, K., Joensseon, B., Nilsson, P., Lindstroem, I., 1990. Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow-water sediment system: an experimental study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 58(3):261-274.
- Thomas, C. R. 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, San Diego, California.
- Yoo, K.I. and Lim, B.J., 1991. Seasonal variation in the zooplankton community structure of the Lower Han River system. *Kor. J. Limnol.* 24:85-91.
- 국립수산과학원. 1999. 한국연근해 유용연체동물도감. 도서출판구덕, 부산, pp. 215.
- 김일회. 1998. 한국동식물도감, 제38권 동물편(따개비류, 공생성요각류, 바다거미류). 국정교과서주식회사, 서울, pp. 1038.
- 김훈수. 1973. 한국동식물도감, 제14권 동물편(집게·게류). 삼화출판사, 서울, pp. 694.

- 김훈수. 1977. 한국동식물도감, 제19권 동물편(새우류). 삼화출판사, 서울, 414.
- 손민호, 홍성윤. 2003. 바위해변에 사는 해양생물. 풍등출판사, 서울, pp. 143.
- 심재형, 1994. 한국동식물도감 제34권 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부, 국정교과서
주식회사.
- 임현식, 홍재상. 1997. 진해만 저서동물의 군집생태, 2. 우점종의 분포. 한국수산학회
지, 30(2), 161~174.
- 정래홍, 1998. 연안역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기변동 연구-광양만의 저서
다모류 군집을 대상으로-. 인하대학교 대학원 이학박사학위청구논문, p. 306.
- 한국동물분류학회. 1997. 한국동물명집. 아카데미서적, 서울, p. 489.
- 한국과학기술연구원해양연구소. 1990. 한국산 두족류에 관한 연구(I). PE00180-266-3,
p. 146.
- 해양수산부, 1998. 해양환경공정시험방법. p. 317.
- 해양수산부국립수산진흥원. 2001. 한국새우류도감. 한글그라픽스, 부산, p. 224p.

#부록 1

소형 실험장치(Algae Hunter) 사용 설명서

【운전 준비】

구동수 펌프(A)의 취수 측 배관 라인 중에 설치된 낙수방지 챔버(B)의 상부 측 덮개를 열고 취수구의 높이 까지 챔버 내에 물을 채운다. 초기 시동 시에는 토출 측 배관에 있는 조절밸브(C)의 조작이 필요하다. 토출압력계(D) 바늘의 압력 지시가 밑으로 내려오지 않도록 조절밸브(C)를 닫힌 상태에서 서서히 열도록 한다.

【운전조작 순서】

1. 메타 판넬의 모든 조작 스위치가 OFF로 되어있는지, 또는 모든 브레이커가 차단되어 있는지를 확인한다
2. 전원표시등(백) ①이 점등하고 전원이 공급되는가를 확인한다.
(주전원)
3. 주전원 차단기(NFB1)②와 동력회로의 누전차단기(ELB1)③ 및 AC100V 회로의 누전차단기(ELB2)④를 투입한다.
4. 전원전압계⑤에 AC210V 규정치인지 확인한다.
5. 자동(AUTO) 운전용 타이머(TR1)⑥에 전원이 공급되기 때문에 내측의 분 다이얼을 오른쪽 방향으로 돌려 ▼표에 현재 시각을 맞추어 줄 것

【펌프운전】

6. 펌프제어 스위치(SW1)⑦을 ON으로 전환하면, 전자개폐기(MC1)⑧이 작동하고, 펌프 운전표시등(녹)⑨이 점등하고, 구동수 펌프모터(A)가 시동하기 때문에 조절밸브(C)를 서서히 OPEN하여 완전하게 열어준다. 펌프 전류계⑩에 기준 전류치(적색지침)내인지 확인한다.
7. 펌프 제어 스위치(SW1)⑦을 AUTO로 전환하면 자동타이머(TR1)⑥의 설정시간에만 운전을 행한다.
8. 자동타이머⑥의 동작시간 설정은 다이얼 외측에 있는 설정자(15분 간격)를 외측으로 눌러 입력한다.

【에어펌프 운전】

9. 에어펌프 제어스위치(SW2)⑪을 ON으로 전환하면 에어펌프가 운전 개시하여 오존 발생장치로 에어를 공급한다. 유량조절은 오존 출구측 배관의 2 방향의 에어밸브(E)로 행한다.
10. 에어펌프 제어스위치(SW2)⑪을 AUTO로 전환하면 자동운전 타이머⑥의 설정

시간만 운전을 행한다(단, 펌프가 운전중).

【오존발생장치의 운전】

11. 오존 1 제어 스위치(SW3)⑫를 ON으로 전환한다. 오존 발생기의 점검창(F)으로 오존 1의 점등을 확인한다. 같은 방법으로 오존 2(SW4)⑬을 ON으로 전환하고, 점검창(G)으로 오존 2의 점등을 확인한다.
12. 오존 1, 2의 제어 스위치를 AUTO로 전환하면 자동타이머(TR1)⑥의 설정 시간만 운전을 행한다.

【초음파 발진장치의 운전】

13. 초음파 제어 스위치의 50kHz(SW5)⑭로 200kHz(SW6)⑮를 ON으로 전환하여 운전을 행한다. 초음파 BOX내에 있는 초음파 발진장치의 전원 모니터(적색 LED)의 점등과 발진 펄스 모니터(녹색 LED)의 점등을 확인한다. OUTPUT POWER 스위치는 D(최대), 펄스 전환 스위치는 1.0mS에 통상 설정한다.

【야간표식등의 점등】

14. FLASH SIG의 스위치(SW7)⑯을 ON으로 전환하면 표식등에 +1.5V의 전원이 공급된다. 야간은 자동적으로 표식등이 점멸한다.

【이상경보표시】

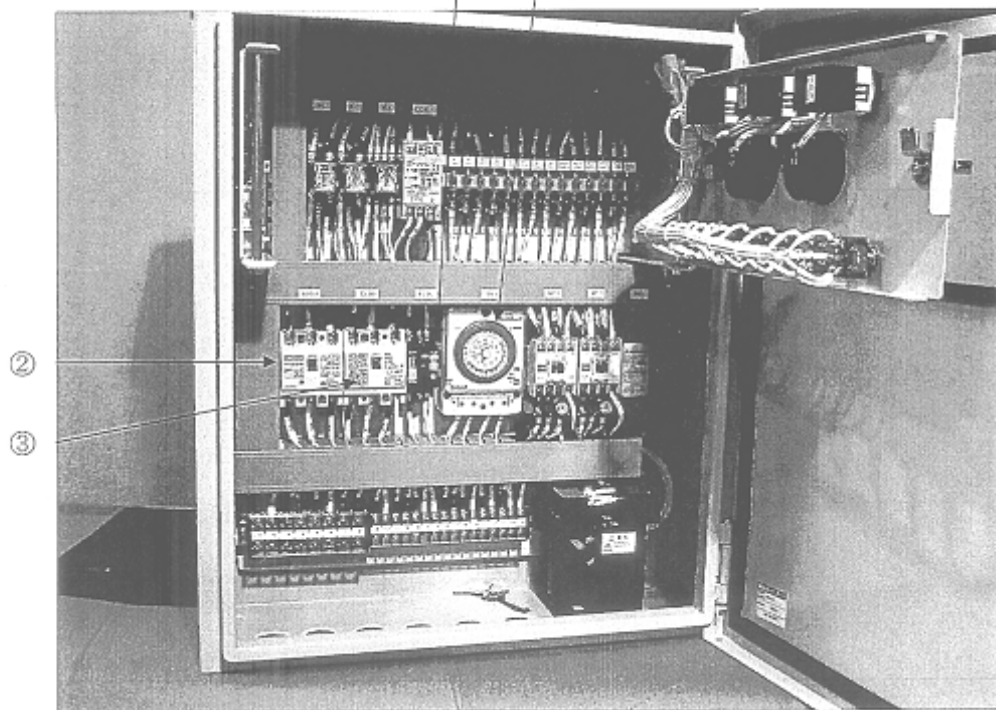
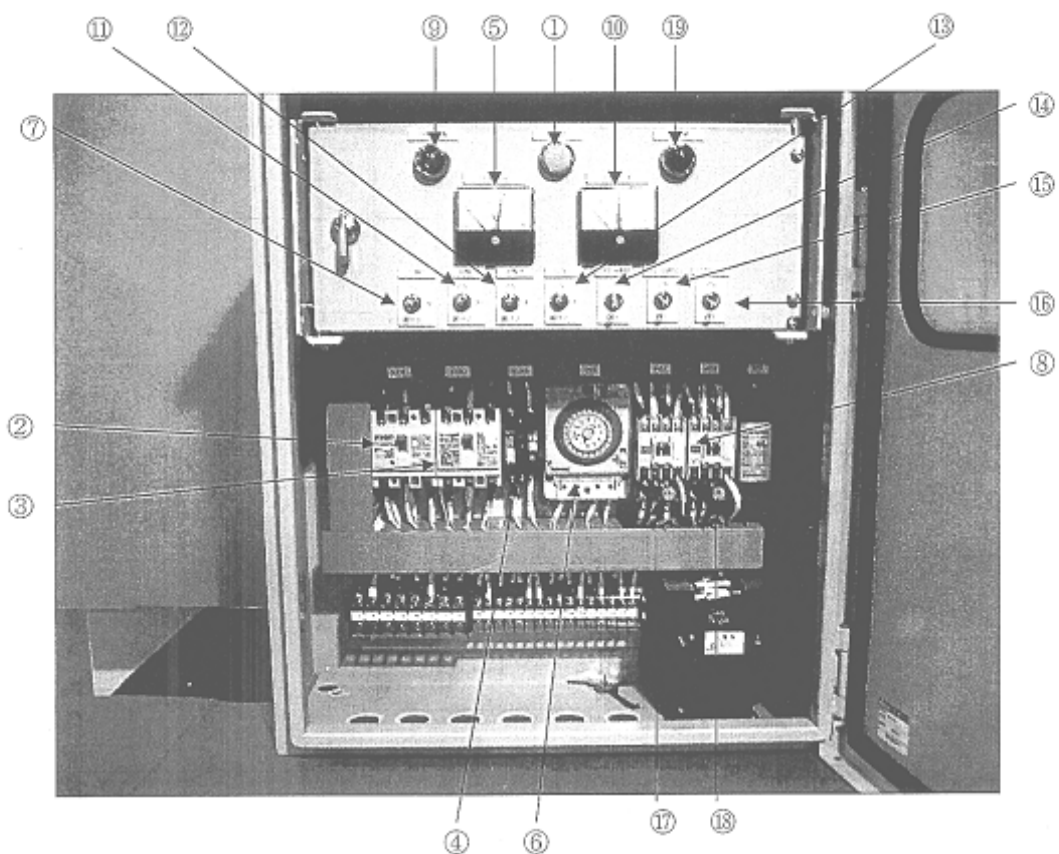
15.
 - (1)펌프 및 에어펌프, 오존측에 누전이 생긴 경우 ELB1③이 작동한다.
 - (2)펌프가 과부하등으로 과전류가 흐르는 경우 서멀릴레이(THR1)⑰이 작동한다.
 - (3)에어펌프가 과전류로 된 경우에 서멀릴레이(THR2)⑱이 작동한다.상기(1)~(3)의 어느 쪽이던지 작동한 경우에 이상경보 표시등(적)⑲가 점등 표시한다.

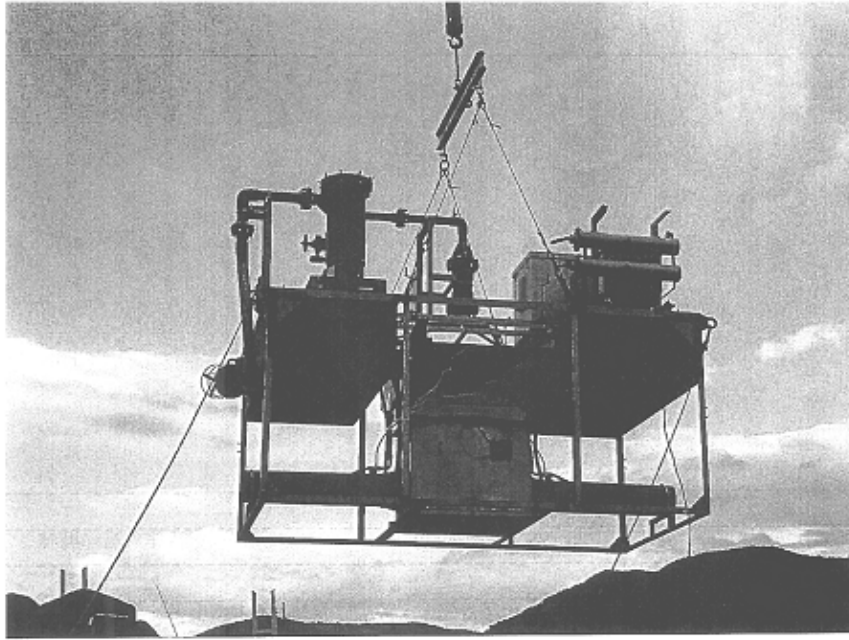
【이상경보의 RESET】

16. 이상경보 표시가 발생한 후 원인을 조사하여 회복시킨다. ELB의 경우는 채투입한다. 서멀릴레이(THR1, 2)의 경우에는 청색 버튼을 눌러 RESET하고 회복시킨다.

【운전 정지 순서】

17. 운전 순서의 역순으로 정지시킨다. 특히 오존송기를 배출하기 위해 오존 스위치⑫⑬을 OFF한 후에 수분간의 배기를 행하고 에어 펌프의 스위치⑪을 OFF하여 준다.
18. 펌프 정지 후 토출측 집합관의 에어콕크를 열고 챔버 및 펌프내의 물을 드레인시켜, 밸브를 열고 또는 캡을 열어 물을 제거시켜 동결등에 대비한다. 에어 배관의 밸브 및 조절밸브를 마지막으로 닫는다.



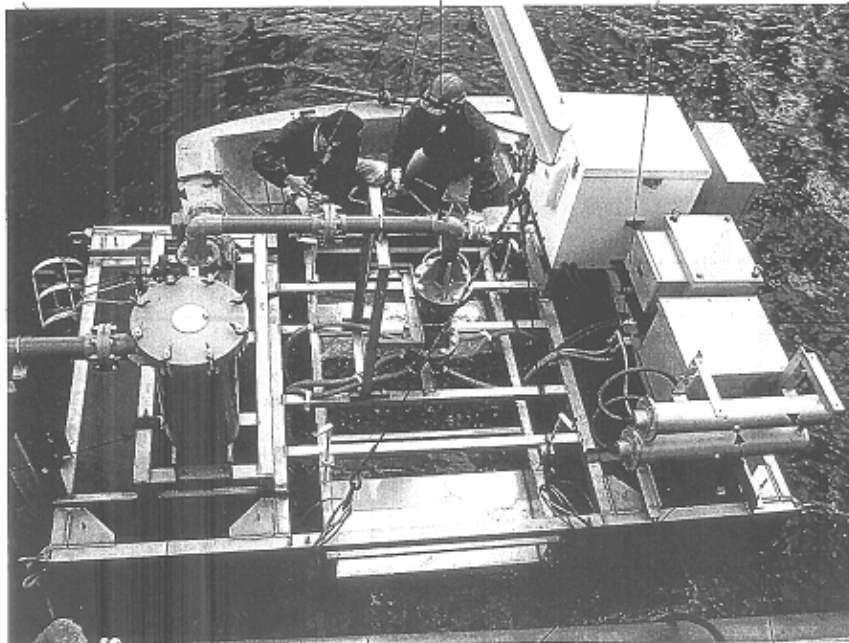


A 구동수 펌프

에어록크

E. 에어밸브

에어펌프 박스



D. 압력계

C. 조절밸브

드레인판제거

제어판

전원트랜스

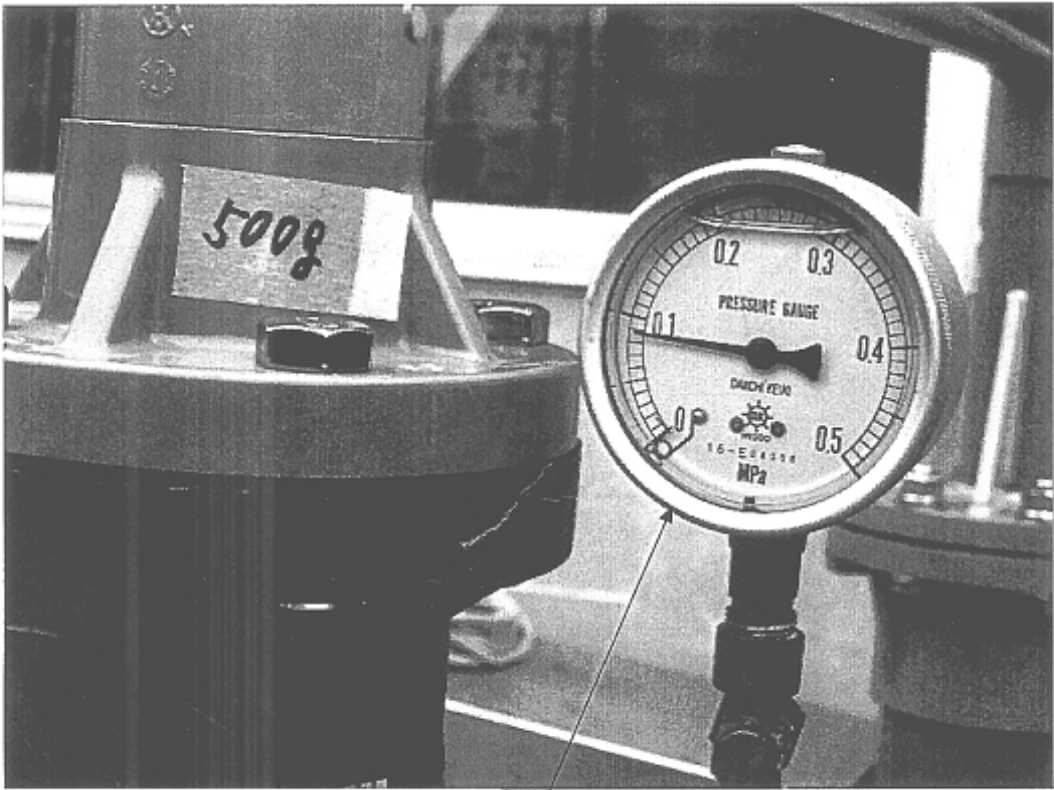
초음파박스

오존발생기

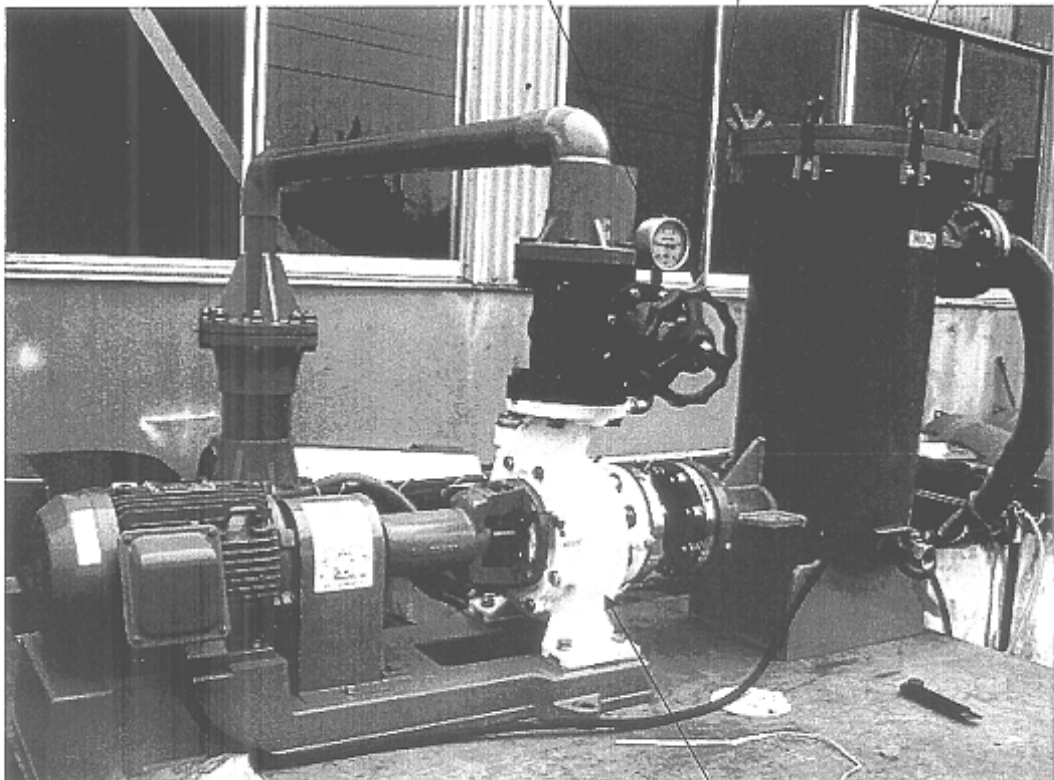
B. 낙수방지챔버

G. 오존발생기 2 점검창

F. 오존발생기 1 점검창



D. 압력계 C. 조절밸브 B. 낙수방지챔버



A. 구동수 펌프

#부록 2

수질정화 및 적조제어장치 (MJS-150) 사용 설명서

【운전 준비】

구동수 펌프(A)의 취수 측 배관 라인 중에 설치된 낙수방지 챔버(B)의 상부 측 덮개를 열고 취수구의 높이 까지 챔버 내에 물을 채운다. 초기 시동 시에는 토출 측 배관에 있는 조절밸브(C)의 조작이 필요하다. 토출압력계(D) 바늘의 압력 지시가 밑으로 내려오지 않도록 조절밸브(C)를 닫힌 상태에서 서서히 열도록 한다.

【운전조작 순서】

1. 메타 판넬의 모든 조작 스위치가 OFF로 되어있는지, 또는 모든 브레이커가 차단되어 있는지를 확인한다
2. 전원표시등(SOURCE) 백색①이 점등하고 전원이 공급되는가를 확인한다.
(주전원)
3. 주전원의 누전 차단기(ELB1)②와 제어회로의 차단기(NFB1)③을 투입한다.
4. 전원전압계(POWER)④에 AC210V 규정치인지 확인한다.
5. 자동(AUTO) 운전용 타이머(TR1)⑤에 전원이 공급되기 때문에 내측의 분 다이얼을 오른쪽 방향으로 돌려 ▼표에 현재 시각을 맞추어 줄 것

【펌프운전】 스타델타 시동

6. 펌프제어 스위치(PUMP CONT) SW1⑥을 ON으로 절환하면, 전자개폐기(MCM)⑦과 (MCS)⑨가 작동, 스타 결선으로 모터가 기동하고, 스타델타 절환 지연릴레이(RT1)⑩이 작동 후에 전자개폐기(MCM)⑦과 (MCS)⑨가 정지하고, 다음에 (MCD)⑧과 (MCC)⑪이 작동하여 델타 결선에 의해 펌프 모터는 운전을 행한다.
7. 펌프(A)가 운전을 개시하면 조절밸브(C)를 서서히 열고(OPEN) 모두 열어준다. 운전표시등(RUN) 녹색⑬이 점등하고, 펌프 전류계(PUMP A)⑫가 흔들리기 때문에 기준 전류치(적색 지침) 내인가 확인한다.

【컴프레샤 운전】

8. 컴프레샤 제어 스위치(CONP CONT)⑭를 ON으로 절환하면, 전자개폐기(MC2)⑮가 작동, 컴프레샤(E)가 운전한다. 동시에 圧送에어를 필터를 통해 오존발생기에 공급한다. 또 자동적으로 탱크 내 드레인의 배출을 오토 드레인으로 행한다. 컴프레샤 전류계(CONP A)⑯는 흔들리기 때문에 기준 전류치(적색지침) 내인지를 확인한다.

9. 콤프레샤 제어 스위치(CONP CONT)^⑭를 AUTO로 절환하면, 자동타이머(TR1)^⑤의 설정 시간만 운전한다.
10. 자동타이머(TR1)^⑤의 동작 시간 설정은 다이얼 외측에 있는 설정자(15분 간격)을 외측으로 눌러 넣는다.

【오존발생장치의 운전】

오존발생기의 제어는 각각 스위치, 오존 1(OZN1)^⑰, 오존 2(OZN 2)^⑱, 오존 3(OZN 3)^⑲로 제어를 행한다. 오존 1(OZN1)^⑰을 ON으로 절환한다. 오존 1 운전 표시등^⑳(녹색)이 점등하고, 콤프레샤 BOX 내의 오존발생기 1의 점검창(F)으로 오존 1의 점등을 확인한다. 같은 방법으로 오존 2(OZN 2)^⑱은 오존 2 운전 표시등^㉑과 오존발생기 2의 점검창(G)의 점등을 확인한다. 오존 3(OZN 3)^⑲은 오존 3 운전 표시등^㉒와 오존발생기 3의 점검창(H)의 점등을 확인한다.(단, 콤프레샤가 운전중이 아니면 오존발생장치는 운전되지 않는다)

11. 오존 1, 2, 3의 제어 스위치를 AUTO로 절환하면 자동 타이머(TR1)^⑤의 설정 시간에만 운전을 행한다.

【환기팬의 운전】

12. 콤프레샤 운전중에 BOX내의 환기를 하기 위하여 환기팬(FAN) 스위치(SW6)^㉓을 ON 한다. BOX내의 온도 릴레이가 실내 온도 40℃ 이상이 되면 자동적으로 환기를 행한다.

【원치의 가동】

13. 수류발생장치를 원치(WINCH)에 탑승시킬 때는 정화장치의 운전을 모두 OFF 시키고 원치(WINCH) 스위치(SW6)^㉔를 ON으로 한다. 전자개폐기(MC3)^㉕이 작동하여 원치에 전원이 공급된다. 휴대용 조작 스위치로 상(UP) 또는 하(DOWN)을 눌러 승강시킨다.

【야간표식등의 점등】

14. 야간 표식등(FLASH SIG)의 스위치(SIG)^㉖를 ON으로 절환하여, 표식등에 +1.5V의 전원이 공급된다. 야간은 자동적으로 표식등이 점멸한다.

【이상경보표시】

15. (1)펌프 및 콤프레샤, 오존발생기, 원치 등에 누전이 생긴 경우 ELB1^㉗이 작동한다.
- (2)펌프모터가 과부하등으로 과전류가 흐르는 경우 서멀릴레이(THR1)^㉘이 작동한다.
- (3)콤프레샤 모터가 과부하 등으로 과전류가 흐르는 경우에 서멀릴레이(THR2)^㉙이 작동한다.

(4) 윈치모터가 과부하등으로 과전류가 흐르는 경우에 서멀릴레이(THR#)²⁷이 작동한다.

상기(1)~(4)의 어느 쪽이던지 작동한 경우에 이상 경보 표시등(ALARM)²⁸이 점등 표시한다.

【이상경보의 RESET】

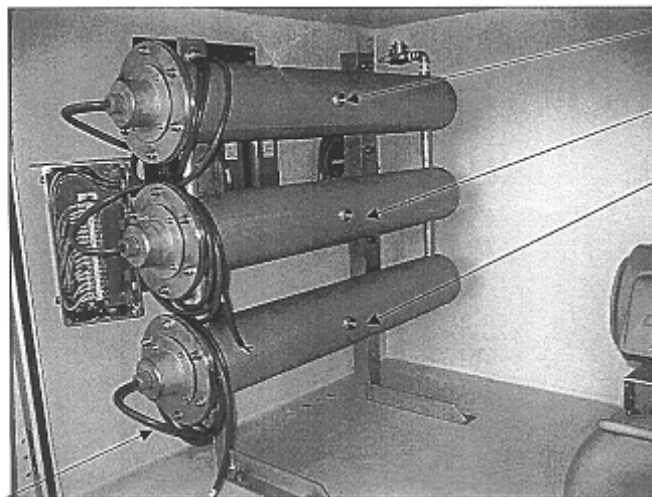
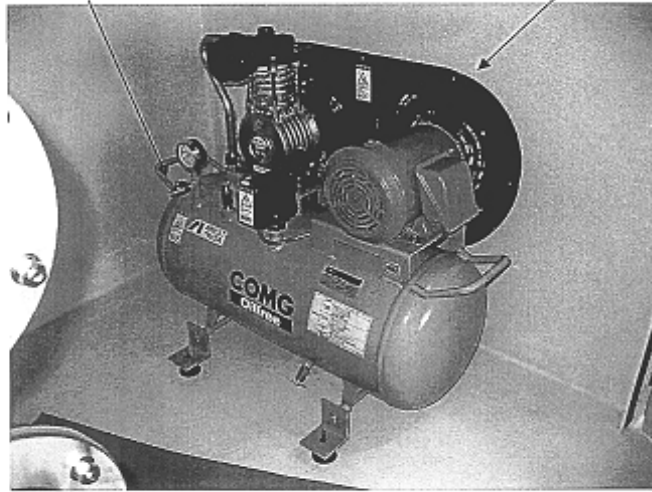
16. 이상 경보 표시가 발생한 후 원인을 조사하여 회복시킨다. ELB의 경우는 재투입한다. 서멀릴레이(THR1, 2, 3)의 경우에는 청색 버튼을 눌러 RESET하고 회복시킨다.

【운전 정지 순서】

17. 운전 순서의 역순으로 정지시킨다. 특히 오존送氣를 배출하기 위해 오존 스위치¹⁷ ¹⁸ ¹⁹를 OFF한 후에 수분간의 배기를 행하고 콤프레샤 스위치 ¹⁴를 OFF 하여 준다.
18. 펌프가 정지 후 챔버 및 펌프내의 물을 드레인 제거 밸브 (I), (J)를 열어 물을 제거하여 동결 등에 대비한다. 에어 배관의 밸브 및 조절밸브(K)를 마지막으로 닫는다.

K. 에어밸브

E. 콤프레샤



F. 오존발생기 1
점검창
G. 오존발생기 2
점검창
H. 오존발생기 3
점검창

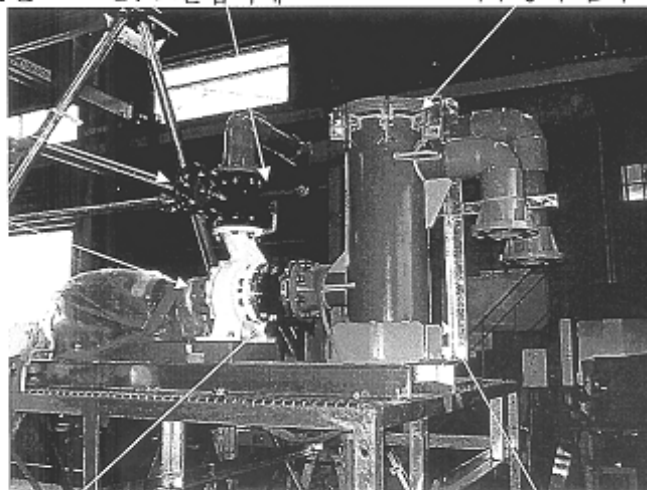
K. 에어조절밸브

D. 토출압력계

B. 낙수방지 챔버

C. 조절밸브

A. 구동수 펌프



J. 드레인 제거

I. 후측에 드레인 밸브가 있음

