

GOVP1200823410

최 종
연구보고서

70020404

외해 어류양식 시스템 개발을 위한 기반 연구
The Fundamental Study for Development
of Fish Farming System in Open Sea

제주대학교

농림수산식품부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “외해 어류양식 시스템 개발을 위한 기반 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2008년 7월

주관연구기관명 : 제주대학교

주관연구책임자 : 최 영 찬

세부연구책임자 : 김 성 근

세부연구책임자 : 임 종 환

연 구 원 : 김 영 수

연 구 원 : 양 영 태

연 구 원 : 최 학 선

연 구 원 : 강 주 찬

연 구 원 : 박 노 식

연 구 원 : 조 상 래

연 구 원 : 정 우 철

요 약 문

I. 제 목

외해 어류양식 시스템 개발을 위한 기반 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

▶ 효율적이면서 환경 친화적인 대규모 양식시설 개발

▶ 어업의 현안문제와 다양한 어종의 양식을 위한 연안가두리 개념을 뛰어넘는 시스템 개발

현재 국내의 어업 현황은 대부분이 어선을 이용한 잡는 어업의 형태이며 일부 연안의 가두리 양식과 육상 수조식 양식으로 구성되어 있다. 그러나 최근 국제적인 어업협상으로 인해 잡는 어업은 그 규모가 날로 축소되어가고 있으며 주변국과의 분쟁을 유발하고 있는 어려운 실정에 처해있다. 또한, 연안일대에서 행하여지고 있는 종래의 양식은 과밀 경향을 띠고 있어 그로 인하여 양식어의 성장률 저하, 어병 발생, 적조 발생 등 양식과 관련된 많은 문제가 야기되고 있고, 이른바 환경오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있다. 육상의 수조식 양식은 그 규모 면에서 줄어들고 있는 잡는 어업을 대체하기에는 역부족이며 연안 오염 문제 또한 심각한 수준에 와 있는 형편이다. 따라서, 양식에 적합한 연안일대에 새로운 양식시설을 증가시키는 것이 어렵게 되고 있어 보다 효율적인 환경친화형 양식시설 개발이 불가피한 상태이다.

이와 같은 어업의 현안 문제를 극복할 수 있는 방법 중에 가장 가능성이 큰 것이 연안의 가두리 개념을 뛰어 넘는 대규모의 외해 대형 어류양식 시스템을 개발하는 것이라 할 수 있다. 노르웨이 등 일부 해양 선진국들은 이미 다양한 해양 양식 시스템을 개발하여 운용 중에 있으나 국내에는 아직 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하고 있는 상황이다. 따라서 날로 악화되어 가는 어업 환경을 개선하기 위해서는 국가적인 차원에서 기르는 어업으로의 획기적인 방향 전환을 시급히 시도할 필요가 있다.

연구개발의 필요성

1. 환경오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있으며 이에 대한 근본적인 대처 방안
2. 양식시설을 증가시키는 것이 어렵게 되고 있어 보다 효율적인 환경친화형 양식시설 개발이 불가피
3. 연안의 가두리 개념을 뛰어 넘는 대규모 외해 대형 어류양식 시스템 개발
4. 노르웨이 등 일부 해양 선진국들은 이미 다양한 해양양식시스템을 개발하여 운용 중에 있으나 국내에서는 아직 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하고 있는 상황
5. 날로 악화되고 가는 어업 환경을 개선하기 위해서는 국가적인 차원에서 기르는 어업으로의 획기적인 방향 전환이 필요
6. 여름철 태풍과 겨울철 북서풍에 견딜 수 있는 외해 대형 어류양식 시스템 개발
7. 주변국과 분쟁을 유발하고 있는 잡는 어업에 대한 새로운 대안 제시
8. 제주도를 해양산업 및 해양문화의 전진기지로 활용

III. 연구개발 내용 및 범위

- 외해 대형 어류양식 시스템의 시스템 설계
 - 여름철 태풍과 겨울철 북서풍에서 양식이 가능한 시스템 설계
- 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화 개발
 - 해상에서 급이, 청소, 선별 등 관리가 용이한 장비 개발
- 외해 대형 어류양식 시스템의 운영에 따른 환경 및 생산성평가
 - 오염방지에 의한 환경조화형 시스템의 도출
 - 자연생태계를 유지하면서 양식할 수 있는 시스템 도출
 - 단위면적당 생산성을 극대화시킬 수 있는 시스템 도출

Table 1 1차년도 연구개발 내용 및 범위

구 분	목 표	내용 및 범위
1차년도 (2004년)	외해 대형 어류양식 시스템의 설계	① 개념설계, 초기설계, 일반배치, 구조설계, 상세 설계, 생산설계 등 일련의 설계 과정 ② 이동시 발생할 수 있는 문제점을 도출하기위한 2차 모형실험 ③ 10m x 30m x 5m 규모의 설계, 제작, 설치를 비롯한 실험역 실험
	실험실 차원의 소형 모델개발	① 자료수집 ② 자동급이 모델 설계(사료손실의 극소화 방안 모색) ③ 모니터링 시스템 모델 설계 ④ 자동선별 모델 설계
	1. 시스템설계 및 제작에 필요한 환경 및 생산성요인의 설정 2. 외해의 시스템 설치장소의 환경평가	① 시스템 설계 및 제작에 있어 환경 특성 ② 시스템 설계 및 제작에 있어 양식생물의 특성 ③ 제작 시 환경 및 생산성을 위한 고려 사항 ① 물리 및 화학적 요인에 대한 평가 ② 지질 및 생물학적 요인에 대한 평가 ③ 시스템 설치장소의 결정

Table 2 2차년도 연구개발 내용 및 범위

구 분	목 표	내용 및 범위
2차년도 (2005년)	외해 대형 어류양식 시스템의 설계	① 10m x 5m x 5m 규모의 2기 실해역 실험 (경제적인 부상 및 침하 방안 도출) ② 100m x 40m x 10m 규모의 개념설계, 초기설계, 일반배치, 구조설계, 상세설계, 생산설계 등 일련의 설계 과정(설계 흐름도 작성) (공진 등을 고려하여 50년 주기의 해양환경을 고려한 설계) (상사법칙을 적용한 설계) (외해의 특성을 고려한 설계) ③ 20m x 8m x 2m 규모의 제작 및 설치를 비롯한 실해역 실험 (슬라이드 망의 변형과 부착생물로 인한 문제점을 해결할 수 있는 방안 모색) (회유성 어종의 양식을 고려한 설계)
	실해역용 소형 모델 개발 및 실험	① 자동급이 시스템 실해역 성능평가 (1톤 수조의 3일분량의 EP사료를 저장) ② 모니터링 시스템 실해역 성능평가 및 database 구축 ③ 최적 출하를 위한 시스템 설계
	1. 시스템의 운행에 따른 환경평가 2. 시스템 운행에 따른 생산성 평가	① 물리 및 화학적 요인에 대한 평가 ② 지질 및 생물학적 요인에 대한 평가 ③ 시스템 운행에 따른 환경적합성 검토 (수조 규모의 결정과 적정사육미수의 설정) ① 양식생물의 행동학적 조사 (유영, 먹이활동 등) ② 생리·생화학적 조사 (건강도, 스트레스 요인 등) ③ 질병조사 (병원성 미생물, 면역기능 등) ④ 절식기간에 대한 평가

Table 3 3차년도 연구개발 내용 및 범위

구 분	목 표	내용 및 범위
3차년도 (2006년)	외해 대형 어류양식 시스템의 설계	① 20m x 8m x 2m규모(3.6m x 8m x 4m 신형3기)의 제작 및 설치를 비롯한 실패역 실험 및 신뢰성 (돌돔 및 방어 입식 실험(주종 돌돔)) ② 100m x 40m x 10m 규모의 대형외해가두리의 설 계 완성
	실패역 대형 시제품 운용	① 자동급이 시스템 시제품 운용 ② 모니터링 시스템 시제품 운용 ③ 최적 출하 방안의 실패역 실험 ④ 개선방안 도출
	1. 종합적인 환경 및 생산성평가 2. 환경 및 생산성을 고려한 최종시스템 도출	① 주요 환경요인에 대한 평가 ② 주요 생산성요인에 대한 평가 ③ 적정 규모의 돌돔 입식 후 시스템의 생태 적정성 실험 ① 환경요인에 대한 보완사항 검토 ② 생산성요인에 대한 보완사항 검토 ③ 보완사항 수정에 의한 최종시스템 도출 ④ 경제성 분석

IV. 연구개발 결과

<제1세부과제> 외해 대형 어류양식 시스템의 시스템 설계

1. 외해 대형 어류 양식 시스템

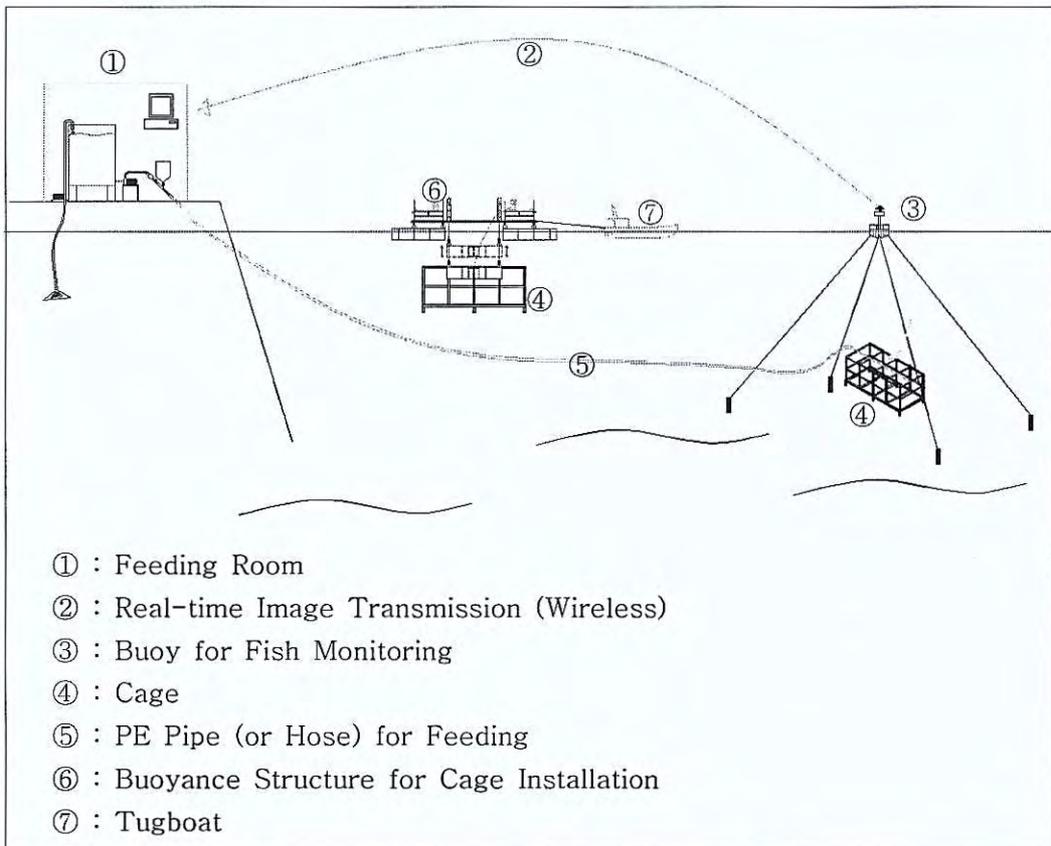


Fig. 1 외해대형어류양식시스템 구성도

외해 대형 어류 양식 시스템은 Fig. 1에서와 같이 크게 가두리 시스템, 해중가두리 전용관리 시스템, 모니터링 시스템, 급이 시스템으로 나뉘어진다.

가두리 시스템은 프레임이 강재(steel materials)로 제작되어 내부에 그물을 설치하는 형태의 가두리로 해저면에 가두리의 자체 중량에 의해 고정된다.

실해역 실험 시 제작된 가두리의 크기는 폭이 3.6M, 길이가 8M, 높이가 3.65M 이며, 자체 중량이 약 2.8ton이 된다.

전용 관리시스템은 부력을 갖는 강재로 제작된 구조물로서 상부에는 윈치와 발전기, 그리고 에어컴프레서가 설치되고, 부력은 좌우측에 배치되고 중앙이 개방된 형태로, 개방된 중앙으로 가두리가 올라올 수 있으며, 부력이 있는 부력부의 전면의 형태는 썩기형태로 하여 예인 시 물의 저항을 덜 받도록 한다. 전용 관리시스템은 가두리의 해저 투하 설치 및 활어의 해상운송 등에 사용된다.

모니터링 시스템은 부력을 갖는 구조물 내부에 배터리가 설치되고, 외부에는 독립전원을 사용할 수 있도록 태양광발전시스템이 설치된다. 또한 부력체의 상단에는 모니터링 및 태양광발전을 제어할 수 있는 컨트롤러가 설치된 제어박스가 설치되고, 해저 가두리의 내부 영상을 모니터링 할 수 있는 수중 카메라가 가두리 내부에 설치된다. 어류 활동을 모니터링 함으로서 어류의 상태를 확인할 수 있고, 또한 사료 급이 시에는 급이 활동이 활발히 진행되고 있는가를 확인할 수도 있다. 모니터링 시스템은 Web을 통해 어디서든지 확인이 가능하여, 상품 홍보 효과에도 큰 도움이 될 것이다.

급이 시스템은 펌프 및 자동볼밸브를 이용한 자동 급이 시스템이 사용되며 사료저장 탱크에 일정량의 사료를 채워 두면 하루에 오전과 오후로 나누어 총 2회를 급이하며, 프로그램 수정으로 사료 급이 횟수 및 급이량을 조절할 수가 있다. 또한 해저에 있는 가두리 내부로의 사료 이송이 가능하도록 Fig. 1에서와 같이 급이 장치와 해저 가두리와는 파이프로 연결된다. 특히 급이 시스템은 가두리가 설치된 위치에 따라 육상에서도 설치가 가능하고 해상에서도 설치가 가능하다. 즉, 가두리의 해저 설치 장소가 육상에서 아주 먼 곳에 설치되어 있을 경우에는 해상에 베이스 구조물을 세워 그 곳에 설치하고, 육상에서 그다지 멀지 않은 곳에 설치 될 경우에는 육상에 설치하여 먹이 공급 파이프로 해저에 있는 가두리와 연결시켜준다.

2. 가두리 시스템

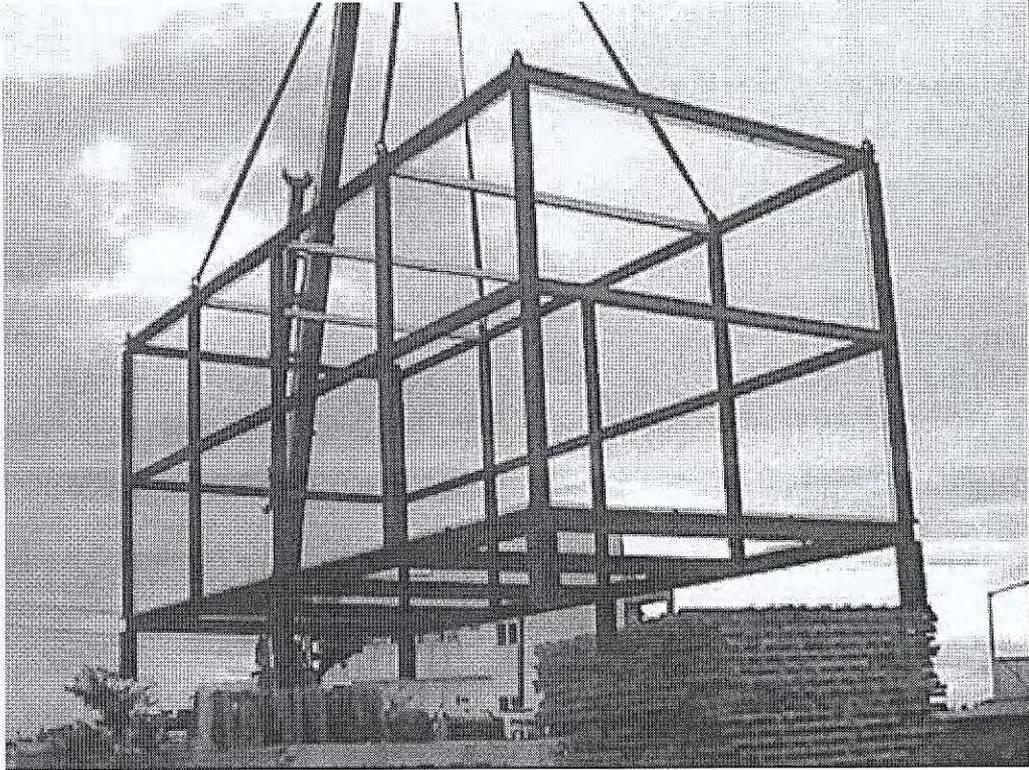


Fig. 2 그물 설치 전 가두리 실제 모습

가두리 시스템은 Fig. 2와 같이 강재(steel materials)로 제작된 프레임 내부에 그물을 설치하여 어류를 양식하는 방식의 가두리로 해저면에 가두리의 자체 중량에 의해 고정된다. 가두리 하부에는 비교적 중량이 많이 나가는 빔을 사용하였으며 다리를 두어 해저면과 일정 거리를 두도록 하였다. 본 연구에서는 여러 type의 가두리를 제작하고 실험실 실험을 하였다. 그 중 최종모델로 제작된 가두리는 크기가 폭이 3.6M, 길이가 8M, 높이가 3.65M, 자체 중량이 약 2.8ton인 사각 형태의 용접 구조물로 상부의 프레임은 볼팅처리를 하였다. 이는 그물 설치 시 볼트를 풀어 프레임을 해체하여 그물을 통째로 설치할 수 있는 공간을 확보토록 하기 위함이다. Fig. 3은 실제 해중에 설치되어 있는 가두리에 어류를 입식하여 양식하는 모습을 나타내고 있다. 이 중

상부의 그림에서는 가두리 밖에서 촬영한 영상을 capture한 것으로 그물과 활어상태를 나타내고 있고, 하부 그림은 가두리 안에서 촬영한 영상을 capture한 것으로 어류 및 가두리 프레임을 보여주고 있다.

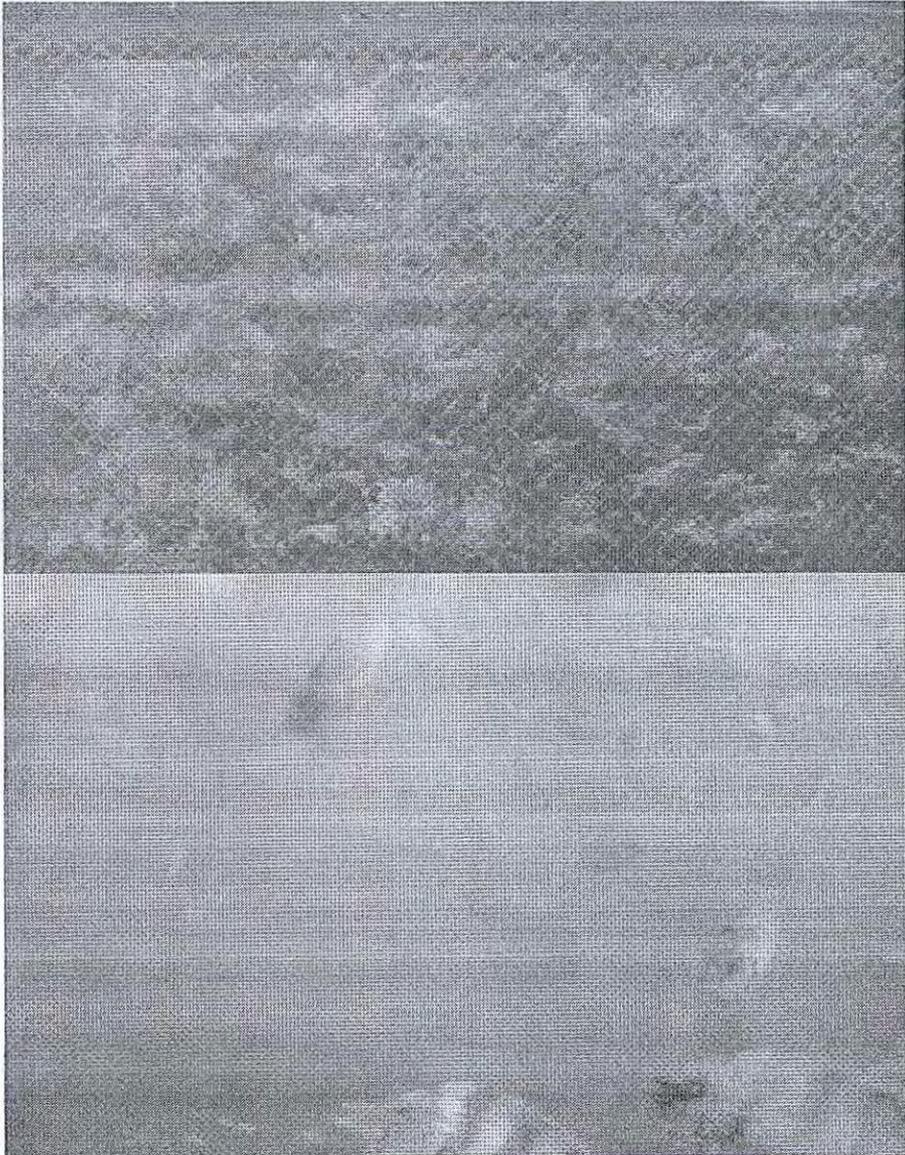


Fig. 3 실제 어류 양식 capture 사진

3. 해중가두리 전용관리 시스템

(특허등록 10-0745080 : 해중가두리 양식장용 리프팅 관리 장치)

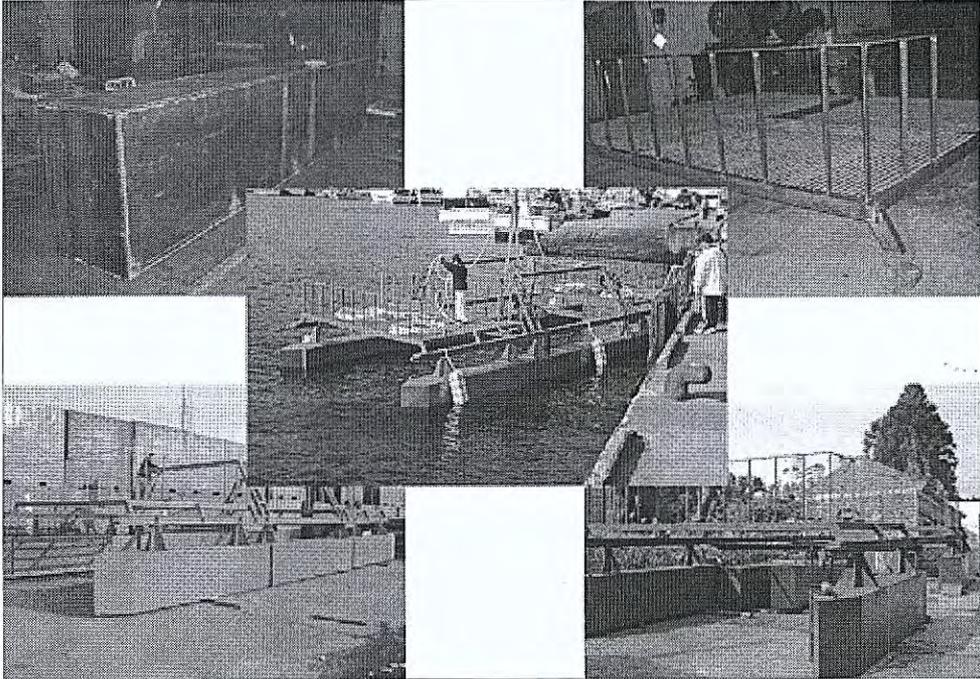


Fig. 4 침하식 해면 부양 구조물 제작 및 실제 모습

해중가두리 전용관리 시스템은 침하식 해면 부양 구조물이 해중가두리를 설치 및 관리하는 시스템으로 내부에 공기를 충전하여 부력을 발생토록 하는 통형구조의 부력발생부들을 좌우에 균형있게 배치한 하부 부력발생부, 부력발생부의 상측에 연결체에 의하여 연결되며, 상측에 배치되는 데크부를 지지하는 전후좌우 멤버로 구성된 플랫폼, 플랫폼의 상측 전방과 후방에 해저면과 일정거리를 두고 발전기, 컴프레서 윈치타워들을 배치한 데크부, 데크부에 설치된 윈치타워의 윈치에 의하여 권취가 제어되는 견인와이어에 연결되는 동시에 컴프레서에서 발생된 고압의 공기가 호스를 통하여 견인부력부에 임의로 충, 방전을 가능하도록 한 리프팅부로 구성되어있다. Fig. 4는 침하식 해면 부양 구조물의 제작 모습과 진수 장면을 보여주고 있다.

해중가두리의 해저 설치에 앞서 언급한 바와 같이 침하식 해면 부양 구조물을 이용하여 진행되고 그 설치 순서의 개념도와 실제 설치 모습을 Fig. 5에 나타내었다.

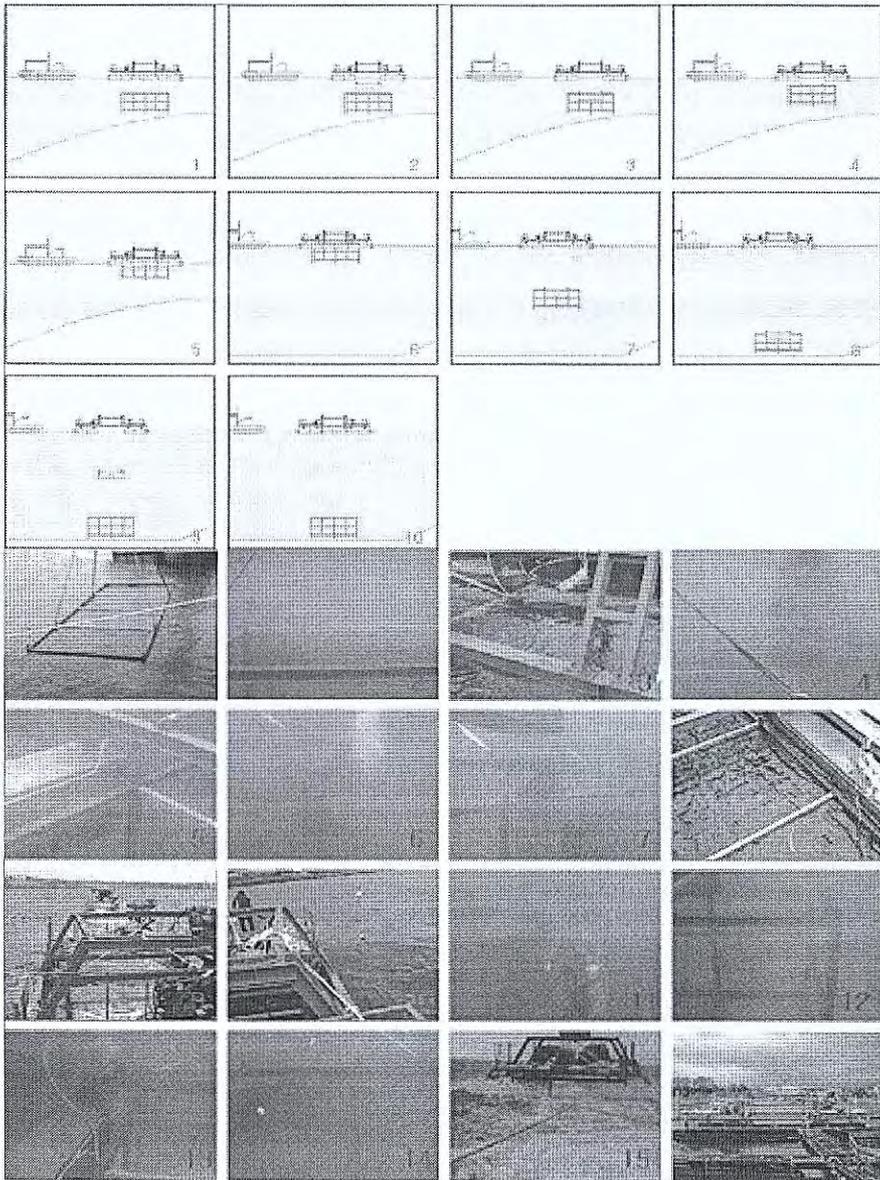


Fig. 5 해중가두리 설치 과정

<제2세부과제> 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화

1. 급이 시스템

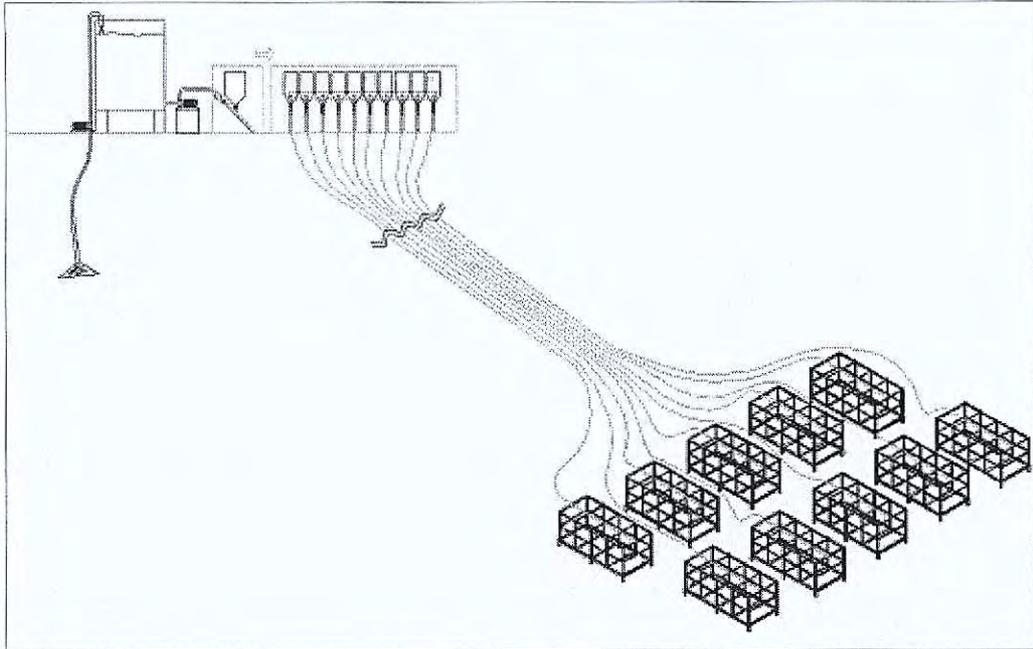


Fig. 6 급이 시스템 구성도

급이 시스템은 해저에 설치된 해중가두리 내부에 사료를 공급해 주는 시스템으로 다이버의 해중가두리 접근 없이도 사료 공급이 가능하다.

급이 시스템은 해수 공급 펌프, 해수 저장 탱크, 사료 공급 펌프, 사료 저장 탱크, 해수 공급 밸브, 사료 공급 밸브, 연결관, 전원장치, 제어장치로 구성되는데, 급이 시스템의 사료 공급 원리는 펌프에서 배출되는 배출수의 힘으로 사료를 밀어 해저에 있는 가두리 내부로 사료를 이송하는 방식으로 사료를 이송하기 위한 사료 공급관이 해중가두리와 급이장치와 연결되어야 한다.

사료 급이 제어 방식은 마이크로프로세서를 이용한 프로그램 제어 방식을 채택하였으며, 사료 급이량, 사료 공급 시간, 급이 시간 등을 조절할 수 있고,

밸브역시 자동 불밸브를 사용하여 밸브의 개폐가 수동이 아닌 프로그램에 의해 자동으로 제어된다.

Fig. 7은 급이장치가 설치된 급이실 모습과 실제 사료가 가두리 내부로 떨어지는 모습을 보여 주고 있다.

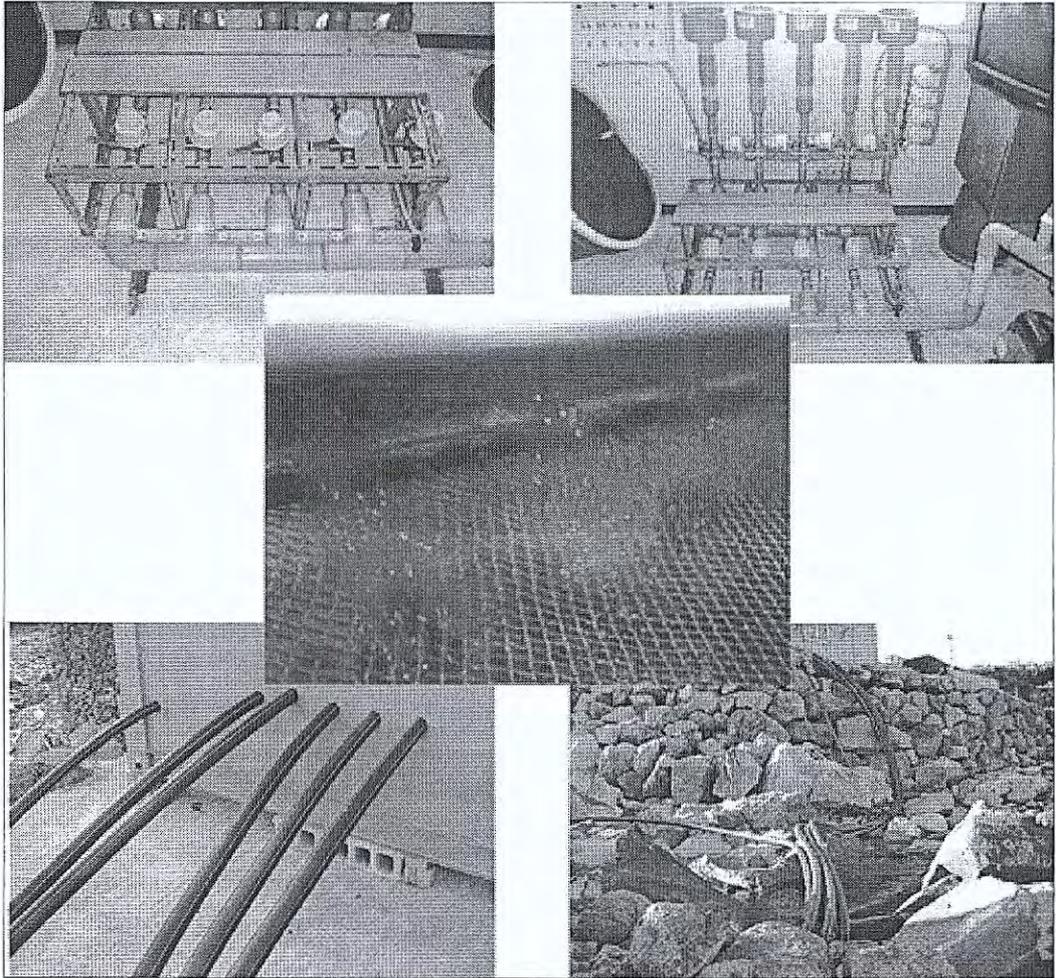


Fig. 7 급이 시스템 실제 모습

2. 모니터링 시스템

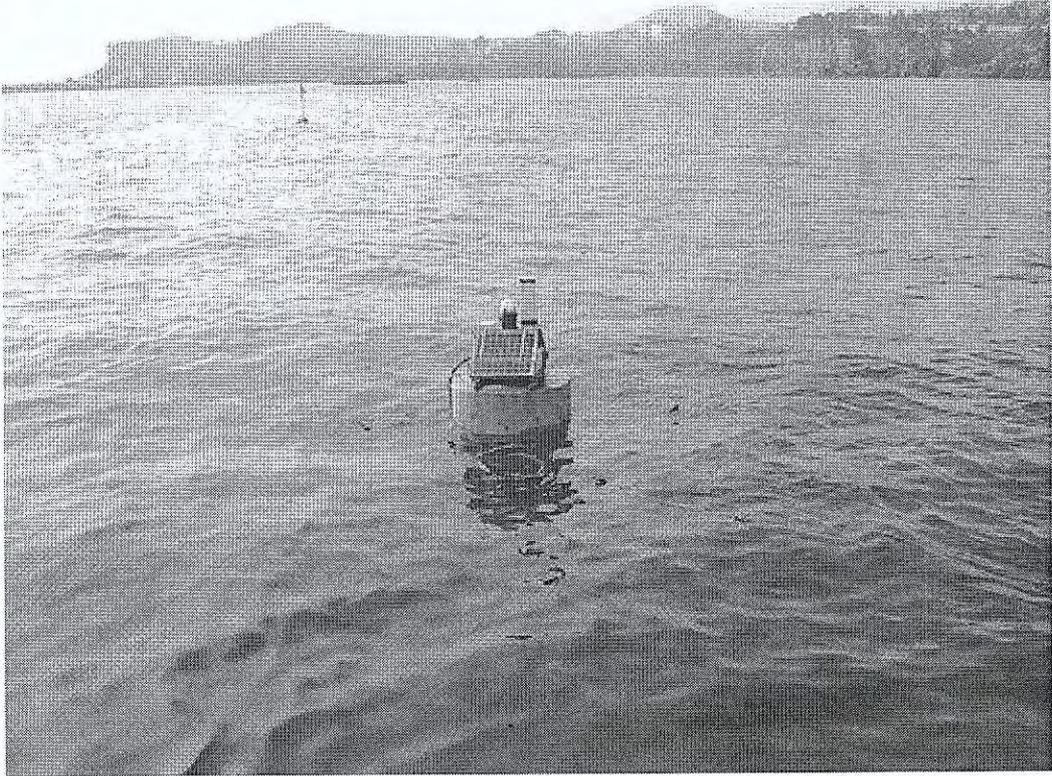


Fig. 8 모니터링 부이 실제 모습

모니터링 시스템은 해중가두리가 설치되어 있는 해상에 부력체를 부유시키고 부력체 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중가두리에 수중카메라를 설치하고 수중카메라에서 촬영되는 영상을 관리실 및 급이실로 무선 전송하여 주고, 무선 전송된 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템이다.

부력을 갖는 구조물 내부에 배터리가 설치되고, 외부에는 독립전원을 사용할 수 있도록 태양광발전시스템이 설치된다. 또한 부력체의 상단에는 모니터링 및 태양광발전을 제어할 수 있는 컨트롤러가 설치된 제어박스가 설치되고, 해저 가두리의 내부 영상을 모니터링 할 수 있는 수중카메라가 가두리

내부에 설치된다. 어류 활동을 모니터링 함으로서 어류의 상태를 확인할 수 있고, 또한 사료 급이 시에는 급이 활동이 활발히 진행되고 있는가를 확인할 수도 있다. 모니터링 시스템은 Web을 통해 어디서든지 확인이 가능하며, 상품 홍보 효과에도 큰 도움이 될 것이다. Fig. 9는 해중가두리에서 양식되고 있는 어류의 상태를 실시간으로 PC에서 web을 통해 확인하는 장면을 capture한 것이다.

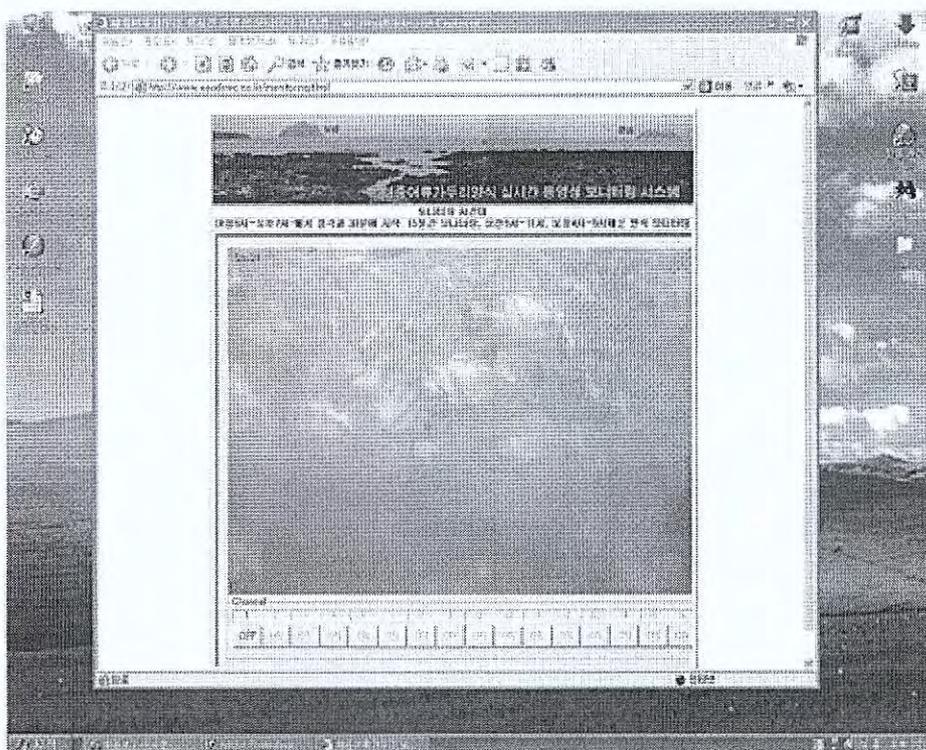


Fig. 9 PC에서의 가두리 내부 영상 확인

3. 활어 운송시스템

(특허출원 10-2007-0094629 : 가두리양식장 전용 활어류 운송전용장치)

상하가 개방된 형태로 전.후.좌.우벽체를 구성하고 이것에 의하여 형성된 내측 공간부는 방수탄성재질로 구성된 쉬이트지로 밀봉처리한 박스형 프레임

부를 구성한 다음 전후방에 부력실과 저항감쇄부를 구성하였다. 그리고 저면은 임의로 개방이 자유롭게 하여, 치어를 가두리에 방류할 때와 성어를 출하할 때, 이 공간부에 가두리에 있는 그물을 가두고 작업이 한꺼번에 이루어지도록 하였다. 그 결과 모든 작업이 한번에 이루어져 이송에 필요한 시간이 최단시간으로 줄어들어 고기에 주는 스트레스의 최소화를 이루어 생산성을 높이는 동시에 최고의 품질을 갖게 하였다.

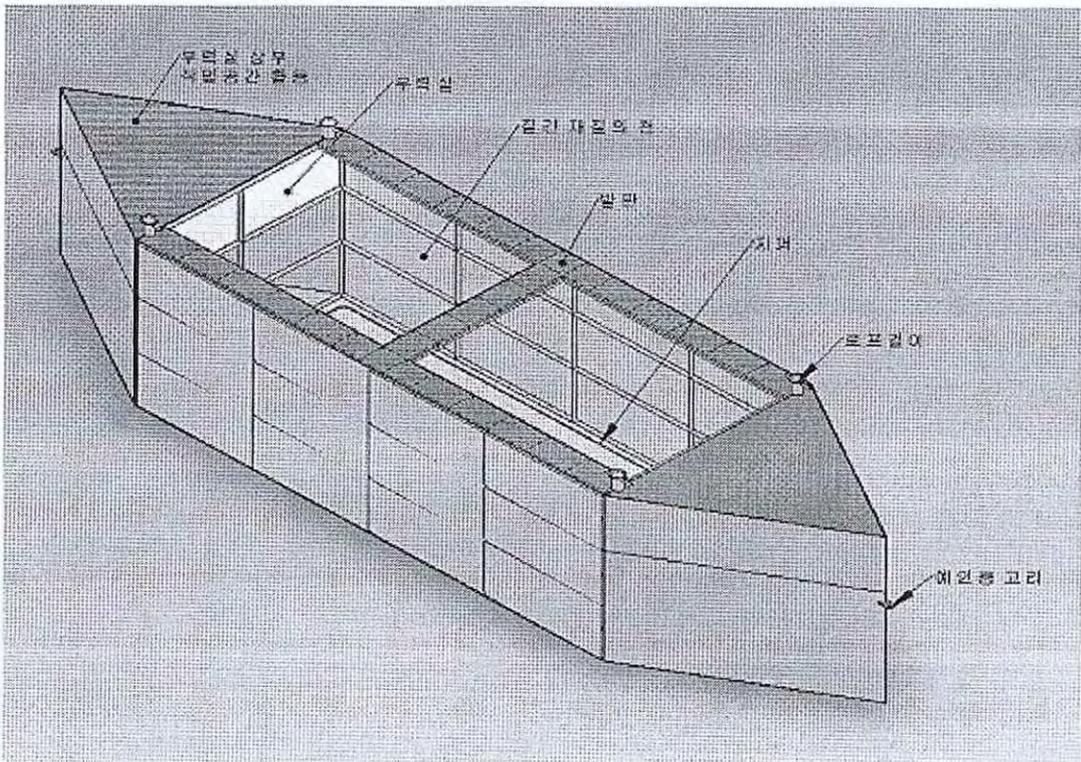


Fig. 10 활어 운송 시스템 개념도

5. 활어 출하시스템

(특허출원 10-2007-0094628 : 활어출하장치)

활어를 실은 배나 수송 장치가 접안하는 해안부두에 대형 이송 컨테이너를 윈치와 같은 장치로 이송가능 하도록 한 프레임구조를 설치하였다. 그리

고 이 프레임의 상측에 설치된 루프프레임을 타고 전후좌우로 이송 가능한 위치조절멤버에 의하여 컨테이너를 원하는 위치로 이동가능하게 하였다. 따라서 배가 접근하면 위치조절멤버로 컨테이너를 배에 보내어 활어를 실은 다음, 수직상승, 수평이동의 동작으로 육지에 있는 활어수송차량에 보내어 활어를 단시간에 대량 이송가능하게 하였다.

또한 컨테이너의 작동 시, 중량 측정구에 의하여 이송되는 활어의 무게, 회수, 시간 등의 데이터를 제어부에 저장하여 데이터베이스화하도록 하였다.

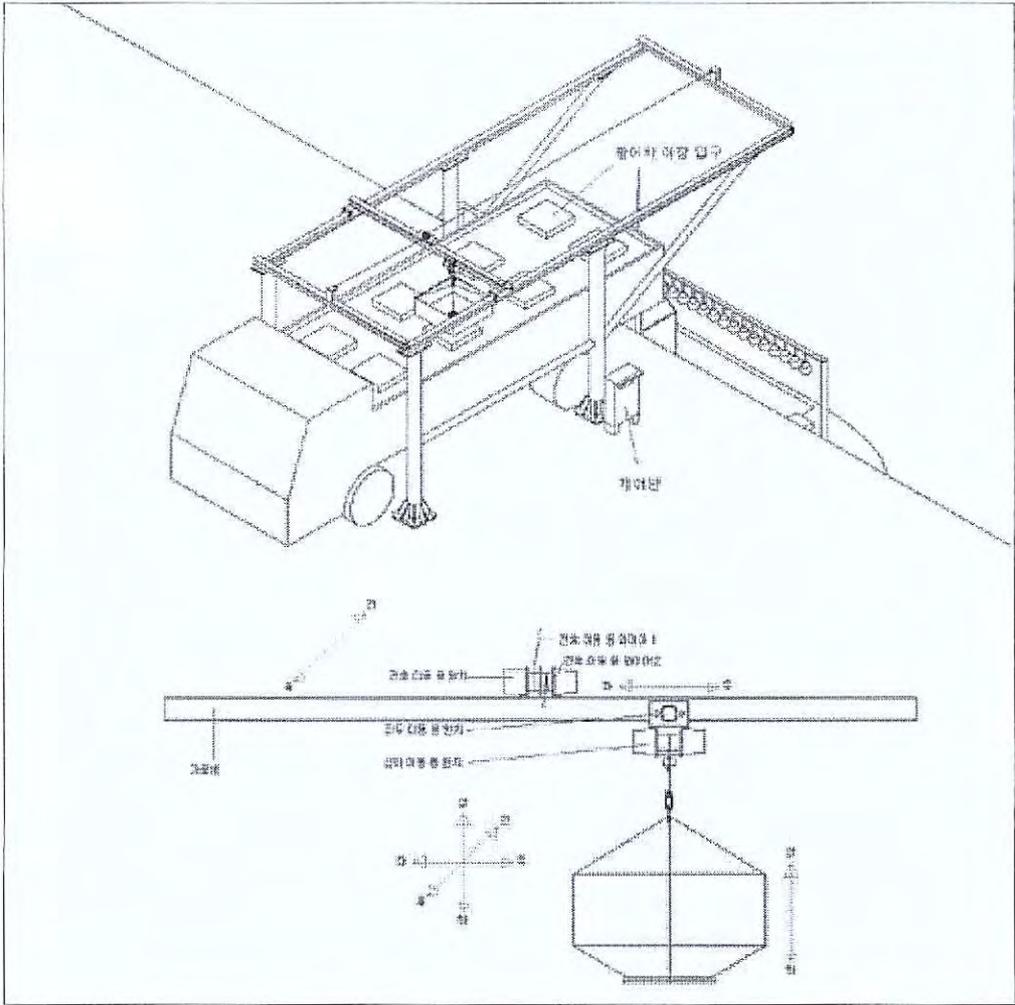


Fig. 11 활어 출하 시스템 구성도

<제3세부과제> 외해 대형 어류양식 시스템의 운영에 따른 환경 및 생산성 평가

1. 생산성 평가

본 연구에서 개발한 수중 가두리와 기존의 육상 수조식 양식에서의 생산성을 비교하기 위하여 각각의 양식방법에 돌돔을 수용하여 10개월간 사육실험을 하면서 돌돔의 성장, 혈액성상, 스트레스호르몬 및 혈액화학적 변동을 조사하였다.

10개월간 사육한 결과, 육상 수조 양성 시에는 평균 전장은 10.1 ± 0.99 cm에서 20.6 ± 2.07 cm로 204% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 10.1 ± 0.56 cm에서 20.1 ± 4.18 cm으로 199% 성장하였다. 육상 수조 양성 시에는 평균 체중 41.4 ± 5.53 에서 230.5 ± 7.14 로 557% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 42.9 ± 3.14 에서 210.5 ± 5.25 로 490% 증가하여 두 양식방법에 있어 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다.

돌돔의 혈액성상에 있어 적혈구수, 적혈구 용적 (Hematocrit), 혈색소 농도 (Hemoglobin), 평균적혈구용적 (MCV), 평균적혈구색소량 (MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (MCHC)는 약간의 차이를 보였으나 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 또한 혈액의 Magnesium, Calcium, Glucose, 총 단백질 (total protein), Albumin, 총 콜레스테롤 (T-Ch) 농도, 혈청 GOT, GPT활성 및 스트레스 호르몬인 cortisol의 유의한 변동도 관찰되지 않았다.

결론적으로 본 연구에서 개발한 수중 가두리에 돌돔을 양식할 경우, 기존의 육상 수조식 양식방법과 비교하여 생산성에서 차이를 나타내지 않고 있으며, 이 결과는 기존의 육상 수조식 양식장의 시설비 및 환경 등을 고려할 경우에 우수한 양식 방법이라고 생각된다.

2. 경영수지 분석

가. 외해대형어류가두리(해상양식전진기지) 사업투자비 분석

- 분석기준
 - 필요허가 면적 : 12 ~ 15 ha
 - 사육 어종 : 돌돔
 - 사육 미수 : 500만미
 - 가두리 치수 : 15m x 7m x 6m
 - 가두리 수 : 100기
 - 가두리선박치수: 25m x 12m x 5m

시설투자비

항목	내용	수량	단가(천원)	금액(천원)	비고
가두리	15m x 7m x 6m	100기	30,000	3,000,000	
가두리선박	25m x 12m x 5m	1기	1,000,000	1,000,000	
선박	예인, 작업용	1기	1,000,000	1,000,000	감척어선 가능
급이시설	급이거리 약5km	1set	1,000,000	1,000,000	
기타	해상장비	1set	1,000,000	1,000,000	
			소계	7,000,000	

나. 수지분석손익표

수입

경우의 수	돌돔 치어 500만미, 연간성장률 150g/미	수량 (만미)	단가 (천원)	금액 (백만원)	비고
Case 1	폐사율 20%, 단가 10,000원/미	400	1.5	6,000	Case10
Case 2	폐사율 20%, 단가 15,000원/미	400	2	8,000	
Case 3	폐사율 20%, 단가 20,000원/미	400	3	12,000	Case13
Case 4	폐사율 30%, 단가 10,000원/미	350	1.5	5,250	Case11
Case 5	폐사율 30%, 단가 15,000원/미	350	2	7,000	
Case 6	폐사율 30%, 단가 20,000원/미	350	3	10,500	
Case 7	폐사율 40%, 단가 10,000원/미	300	1.5	4,500	Case12
Case 8	폐사율 40%, 단가 15,000원/미	300	2	6,000	
Case 9	폐사율 40%, 단가 20,000원/미	300	3	9,000	
Case 10	Case 1에서 연간 성장률 200g/미	400	2	8,000	
Case 11	Case 4에서 연간 성장률 200g/미	350	2	7,000	
Case 12	Case 7에서 연간 성장률 200g/미	300	2	6,000	
Case 13	Case 3에서 연간 성장률 200g/미	400	4	16,000	
	평균 금액			8,096	평균

지출

항목		내용	수량	단가	금액 (천원)	비고
생산관리비	종묘구입비	5cm(7g) 돌돔	500만미	3백원	1,500,000	
	사료비	폐사율 20%, 40kg1포	6만포	2만원	1,200,000	
	유지보수비	시설비의 1%	0.01	70억원	70,000	
	유류비	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	전기료 등	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	소모품비	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	어장관리비	월간 100만원	12월	1백만원	12,000	
	자원조성비	월간 100만원	12월	1백만원	12,000	
	용선료	월간 500만원	12월	5백만원	60,000	
	소계				2,890,000	
인건비	본인인건비	1인 월간 500만원	12월	5백만원	60,000	
	본인외인건비	20인 월간 300만원	12월	6천만원	720,000	
	소계				780,000	
감가상각비	시설물	20년 월간 1천만원	12월	1천만원	120,000	
	관리선	20년 월간 2천만원	12월	2천만원	240,000	
	가두리	20년 월간 1.5천만원	12월	1.5천만원	180,000	
	기타장비	20년 월간 1천만원	12월	1천만원	120,000	
	소계				660,000	
판매관리비	보관비	3개월 월간 2천만원	3월	2천만원	60,000	
	판매수수료	예상판매단가의 2%	0.02	70억원	140,000	
	판매잡비	예상판매단가의 5%	0.05	70억원	350,000	
	소계				550,000	
기타잡비	제세공과금	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	어장행사료	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	주부식비	월간 5백만원	12월	5백만원	60,000	
	복리후생비	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	보험료	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	공제료	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	기타	월간 1백만원	12월	1백만원	12,000	
	소계				138,000	
합계					5,018,000	

경상이익

최저 Case 12 : 4,500백만원 - 5,018백만원 = - 518백만원

최고 Case 13 : 16,000백만원 - 5,018백만원 = + 10,982백만원

평균 : 8,096백만원 - 5,018백만원 = + 3,078백만원

V. 연구개발 결과의 활용계획

연구개발 결과의 활용과 관련된 국내외 상황

- 친환경적인 새로운 외해 양식에 대하여 비교적 많은 관심을 갖고 언론 매체에서 보도되고 있는 것은 주지의 사실이며,

- 해양수산부를 비롯한 지자체 등에서도 예산을 편성하는 등 적극적인 자세로 임하고 있는 실정이다.

- 그러나, 외국에서 도입하려고 하는 시스템에 대하여 국내 설치 해역의 적합성에 대한 기초 연구는 물론 경제성 평가가 되어있는 자료는 찾을 수가 없는 실정이다.

- 따라서, 본 보고서의 활용계획에서는 3년간의 연구과정을 통하여 얻어진 결과와 외국의 사례를 바탕으로 아래와 같이 활용계획을 작성하였다. 이하 작성되는 내용의 기본 조건은 제시하고 있는 시스템이 태풍(2007년 나리)에 강인하다는 조건입니다.

● 1단계 활용방안

실질적인 운영을 위해서는 많은 시행착오와 경험이 필요한 것은 물론 어종의 선택과 어류의 이동 시 스트레스의 저감을 위한 지속적인 연구개발이 필요하다.

외해에서의 가두리 관리의 특성상 일정규모(최소 매출 기준) 이상인 사업으로 추진되어야 하며, 이를 위해서는 최소 기간 동안 투자의 개념으로 해양수산부의 주도하에 관심이 있는 지자체는 물론 일정지분을 갖는 기업이 참여할 필요가 있다.

● 2단계 활용방안

1단계가 성공할 경우에는 기업의 주도하에 어촌계 어민을 고용 또는 참여

시킴으로서 지역 경제의 활성화에 많은 보탬이 될 것으로 예상된다. 즉 어선 어업의 활로 모색, 어촌 경제의 활성화 등에 능동적인 방안으로 생각된다.

- 3단계 활용방안

기업을 선두에 내세울 경우에는 국내 뿐 만아니라 동남아시아는 물론 북한의 수산업 발전에 기여할 수는 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

- 정책 대안

- 남해안 가두리를 외해로 이주하기 위한 정책에 활용
- 삼면이 바다는 물론 북한과의 수산업 교류를 위한 정책에 활용

- 추후 연구개발 방향

- 지속적인 시범 활동을 통하여 신뢰성 확보
- 어류의 입식 및 출하 시 발생할 수 있는 생리적인 문제에 대한 과학적인 Manual 확보

- 한국 외해양식의 나갈 방향

- 미국과 유럽 등의 가두리는 대형어종을 대상으로 하는 가두리가 주종을 이루고 있어 국내의 양식 어종에 알맞은 가두리 시스템은 다양하게 지속적으로 연구 개발하여야 할 충분한 필요성을 인식하고,
- 세계 최고 수준의 해양환경을 갖고 있는 제주연안과 동해안을 활용하기 위한 대규모 가두리 양식(국내 어종을 대상으로 한) 산업의 육성
- 북한을 비롯한 동남아시아 각국들과 가두리 산업의 육성을 위한 협의체를 구성하여 우리나라가 주도하는 가두리산업의 벨트를 구축

SUMMARY

I . Title

The Fundamental Study for Development of Fish Farming System in Open Sea

II. The purpose and need for the research and development

The present condition of the most domestic fishing industry is the type of catching fish by using the fishing boat, and some parts of the offshore are composed of the cultivation of cage fish farming and land aquatic plant farming.

However, the size of fishing industry has been gradually reduced and there is in a difficult situation, causing the conflict with the surrounding nations. In addition, the existing fish farming, conducted in the zone of offshore is inclined to be overcrowded so that many problems such as the decline of growth of farmed fish, and the occurrence of disease and red tide, and the ageing phenomenon of fishing ground is rapidly advanced. Land aquatic plant farming is not sufficient to replace the fishing, which has been reduced in size, and the coastal pollution is also a serious problem. Accordingly, on the ground that the difficult in increasing new farming facilities in the costal zone, it is a situation that the development of efficient environment friendly farming facility is inevitable.

For this reason, the most possible method to overcome the current problem in the fishing industry is to develop the large fish farming system going beyond the concept of the cage fish farming (Spar) along the offshore. Some marine developed nations such as Norway are operating

various marine farming systems through development at the moment but the systematic research and development is not conducted yet in Korea. Accordingly, in order to enhance the fishing environment, which is gradually worsened, the epochal transition in the dimension of a nation is urgently required.

The Need for the Research and development

1. The rapid advancement of ageing phenomenon of the fishing field along with environment pollution and the fundamental coping method
2. The inevitability of environment friendly efficient farming facility due to the difficulty of increasing the farming facilities.
3. The development of large open sea fish farming system, going beyond the cultivation of fish along the coast.
4. The domestic situation in which the systematic research and development is not conducted even though some marine developed nations such as Norway developed various marine farming system.
5. The need to do the epochal transition towards the fishing of a national dimension in order to enhance the fishing environment, which is worsening day by day.
6. The development of large fish farming system in open sea, which can cope with the typhoon in summer and the northwesterly wind in winter
7. The suggestion of new alternative about the fishing industry to catch the fish, causing the conflict with the surrounding nations
8. Putting to use as an advanced base of marine industry and marine culture of Jeju.

III. The contents and range for the research and development

- The design of large fish farming system in open sea
 - The system design, which can endure the typhoon in summer and the northwesterly wind in winter

- The management of large fish farming system in open sea and the development of automation
 - The equipment development, in which the management of feeding, cleaning, and sorting in the marine area is possible

- The environment according to the operation of large fish farming system in open sea and the evaluation of productivity
 - The induction of environmentally harmonious system by the prevention of pollution
 - The induction of system, which can do fish farming by keeping the natural ecology
 - The induction of system which can maximize the productivity according to the area unit

IV. The results for the research and development

<First Subject> The system design for the large fish farming system in open sea

1. The large fish farming system in open sea

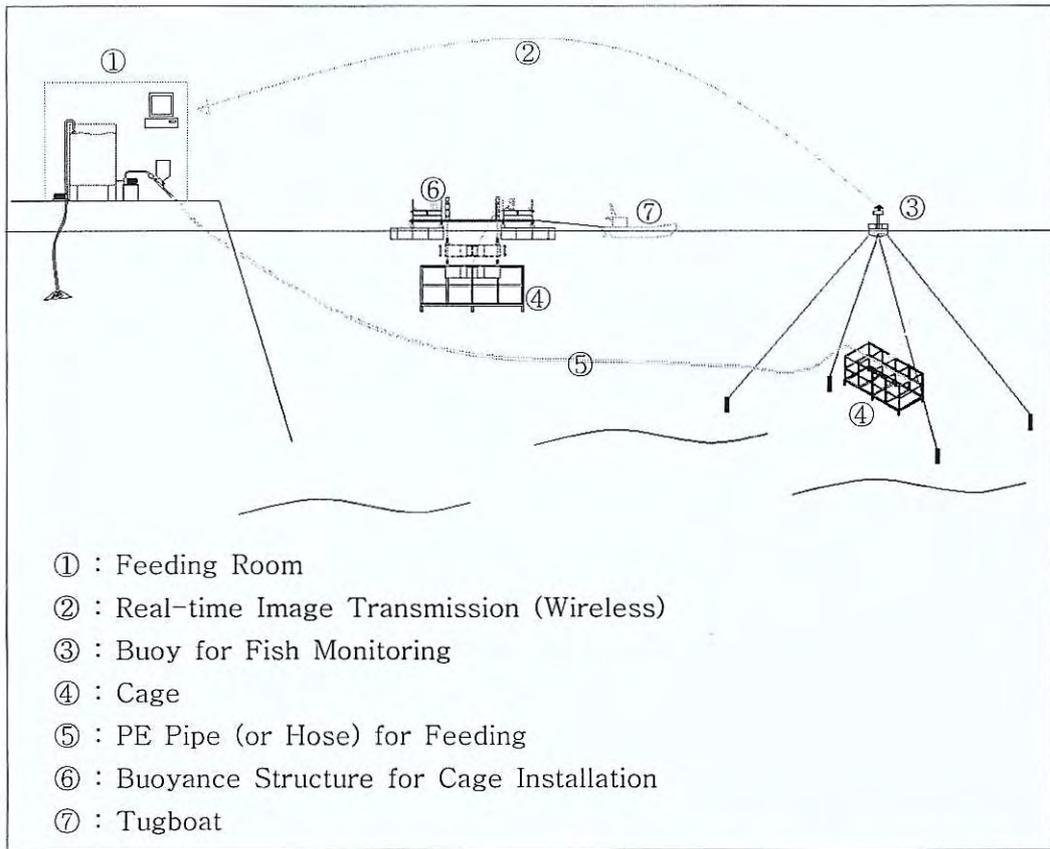


Fig. 1 The concept draw of the large fish farming system in open sea

The large fish farming system in open sea is divided into the cage system, the exclusive management system in the middle of the sea, monitoring system, and feeding system like the figure 1.

The cage system is the form of installing the spar inside by manufacturing with the steel materials in frame, which is fixed by the weight of the fish cage on the bottom of the sea. In the time of experiment of Silhae station, the size of manufactured cage is the 3.6M in width, 8M in length, and 3.65M in height, and the weight of itself is about 2.8ton.

The exclusive management system is the steel material, which keeps the buoyance, and in the upper part of which, winch, electric generator, and air compressor are installed, and the buoyance is allocated in the left and right side, and the center is open. cage is lifted in the open center, and the front of buoyance part is the form of wedge to receive the less resistance of water. The exclusive management system is used in the installation of cage in the bottom and the marine transportation of live fish.

In the monitoring system, the battery was installed in the inside of construction, which holds the buoyance, and solar development system is installed in the outside in order to use the independent electric power source. In addition, in the upper portion of buoyance body, the control box is installed, and the controller of which conducts the monitoring and controls the solar development, while the underwater camera is installed in the inside of cage. The condition of fish is confirmed by monitoring the fish activity and feeding about whether it is properly conducted or not, is confirmed. The confirmation of monitoring system is possible through web anywhere which is helpful to the effect of product publicity.

Regarding the feeding system, the automatic feeding system by using the pump and automatic ball valve is used, the feeding is possible two times per day in the morning and afternoon if the fixed amount of feed is filled in the feed storage tank, and the feeding amount and frequency can be regulated with the revision of program. In addition, the feeding device and cage of the sea bed are connected like the figure 1, making the transference of feed to the inside is possible. Especially, the feeding system can be installed in the land or marine area according to the

installed location of cage. That is, if the location of cage is installed in the place, far from the land, the base construction is installed in the sea, on the other hand, if the base construction is installed in the place close to the land, the cage is installed in the land, linking the cage of sea bottom through the supply pipe.

2. The fish farming system

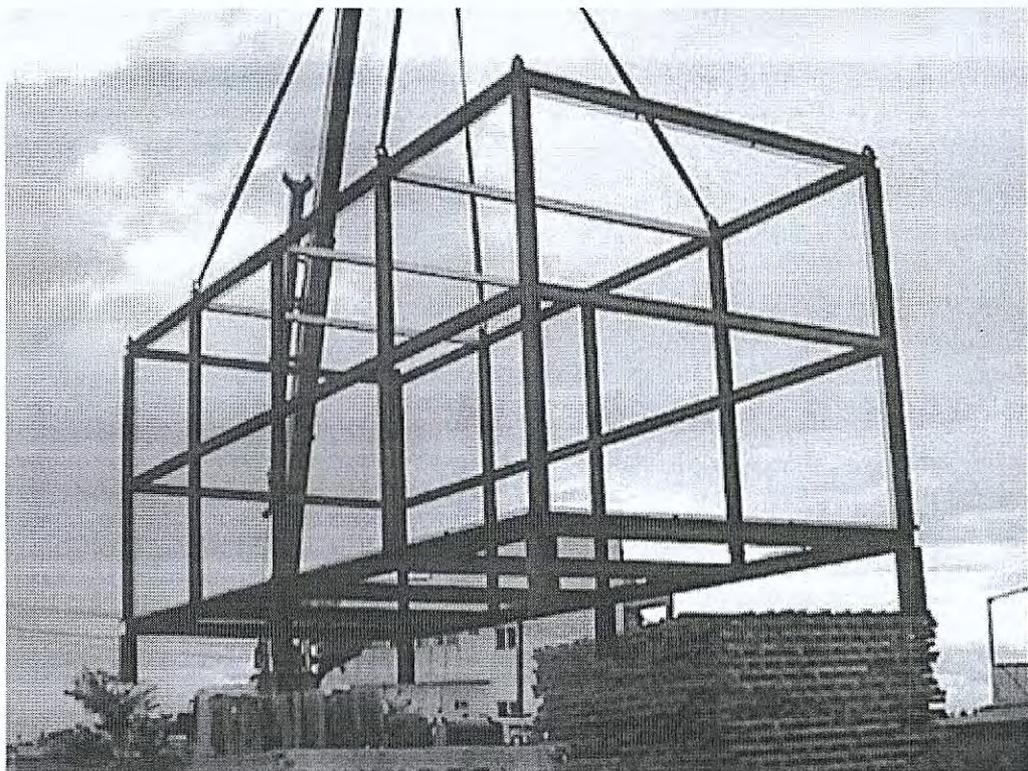


Fig. 2 Farming system before net install

Cage fish farming is fixed by the weight of cage itself as the spar of farming way of fish with installing in the inside of frame, manufactured with the steel materials like the figure 2. Beam is used, which is

comparatively heavy, on the bottom part of cage to keep the distance from the sea bottom to some extent. This study manufactured several types of cage and conducted the experiment of real sea area. The cage, which was manufactured as the final model is the 3.6M in width, 8M in length, and 3.65M in height, and the weight of which is the welding construction of about 2.8ton square form, and vaulting treatment was conducted in the frame of upper part. It is for securing the space, whose whole net is installed through disintegrating the frame by releasing the vault. Figure 3 shows the farming which puts fish in the cage, installed in the middle of water. The picture of the upper part is the capture of image, photographed out of the cage, showing the shape of cage and the condition of live fish, while the picture of the bottom part shows fish and frame of cage with the image capturing, photographed inside of cage.

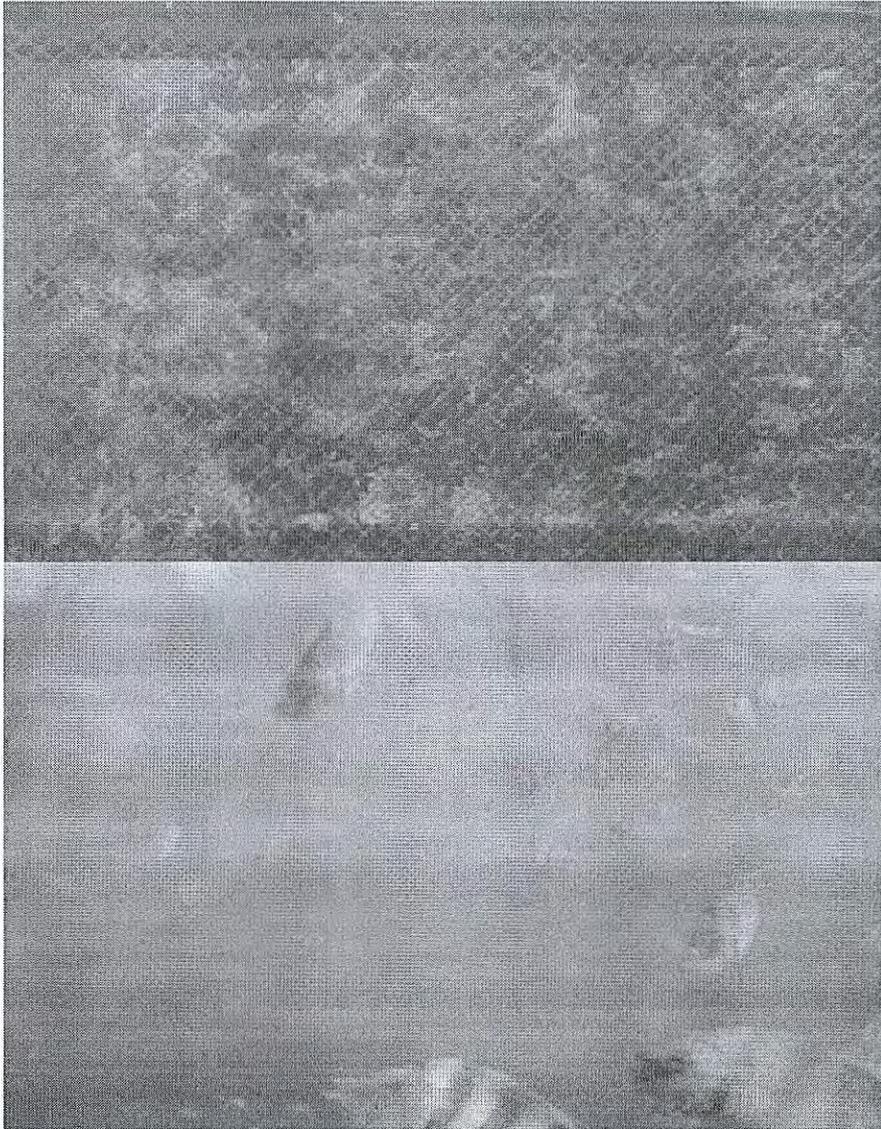


Fig. 3 Capture photo of fish and feeding in cage

3. Management system for underwater cage

(Patent pending 10-0745080 : Management system for lifting of underwater cage)

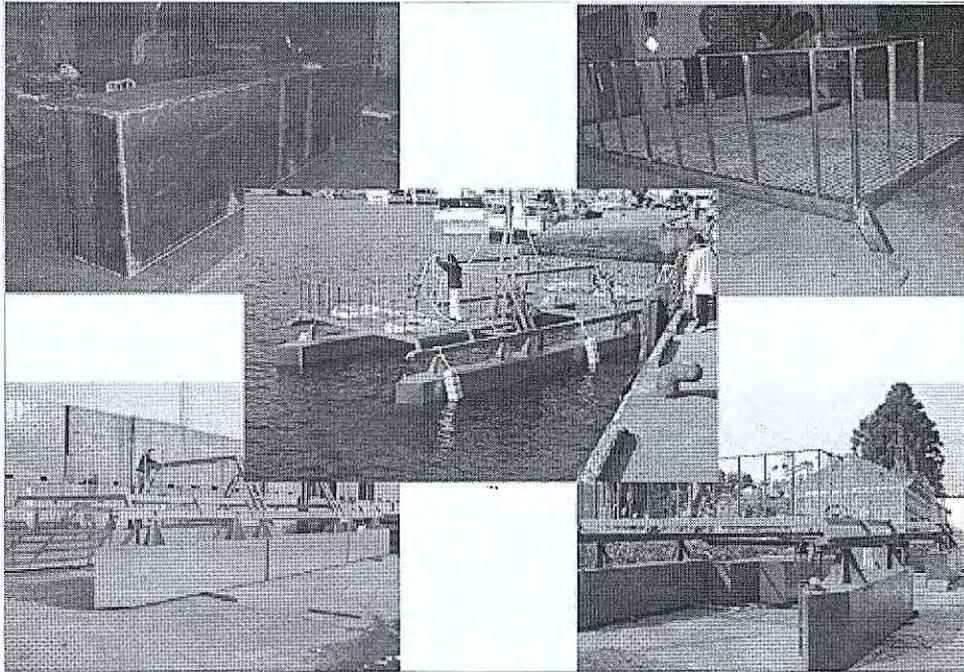


Fig. 4 Management system for lifting of underwater cage

The exclusive management cage system in the middle of sea is the system, installing and managing the cage in the middle of sea under the buoyancy construction, which is the sinking type, which is connected by the buoyancy generation part of bottom and upper, allocating the buoyancy generation part of roll form, generating the buoyancy by charging the air inside in the right and left in the well balanced condition. This system is composed of the platform, comprised of the member of the front and rear and the right and left, supporting the deck part, allocated in the upper side; generator, keeping the fixed distance from the bottom of sea in the front and rear of the upper side; deck part, allocating compressor and winch tower; and the lifting part, making the arbitrary charging and discharging possible through the hose of high pressured air, occurred in

the compressor, while connecting the traction wire, in which winding part is controlled by the winch of winch tower, installed in the deck part. Figure 4 shows the manufacturing shape of sinking sea bed buoyancy construction and launching.

The establishment of cage in the middle of sea is processed by using the sinking seabed buoyancy construction, like being mentioned above and the concept drawing of installation process is shown in the Figure 5.

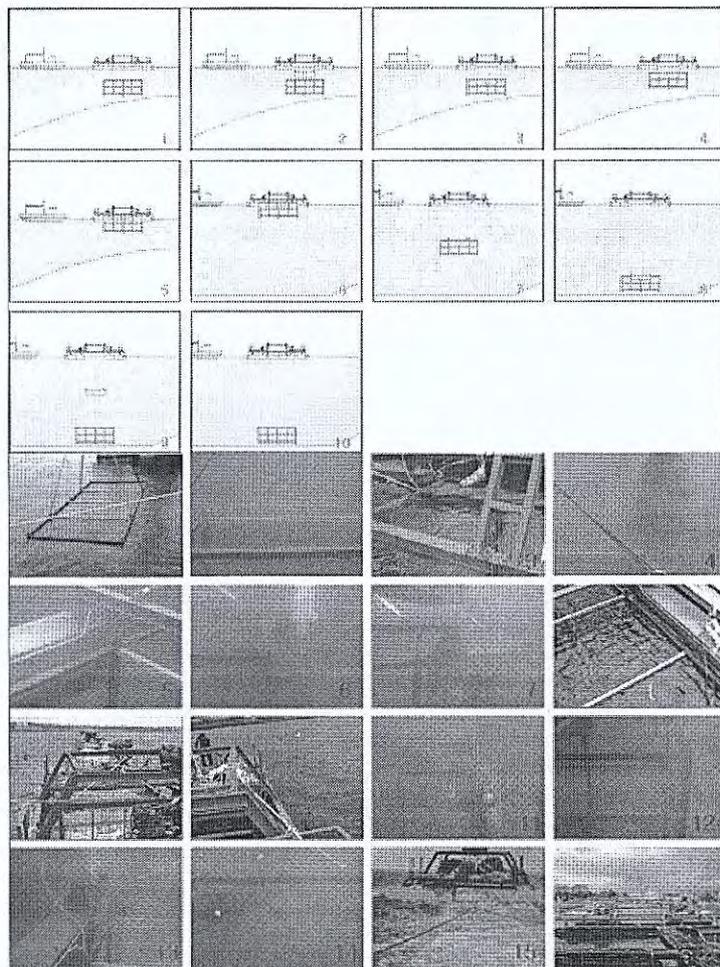


Fig. 5 Install procedure of underwater cage

<Second Subject> Management and automatic of the large fish farming system in open sea

1. Feeding system

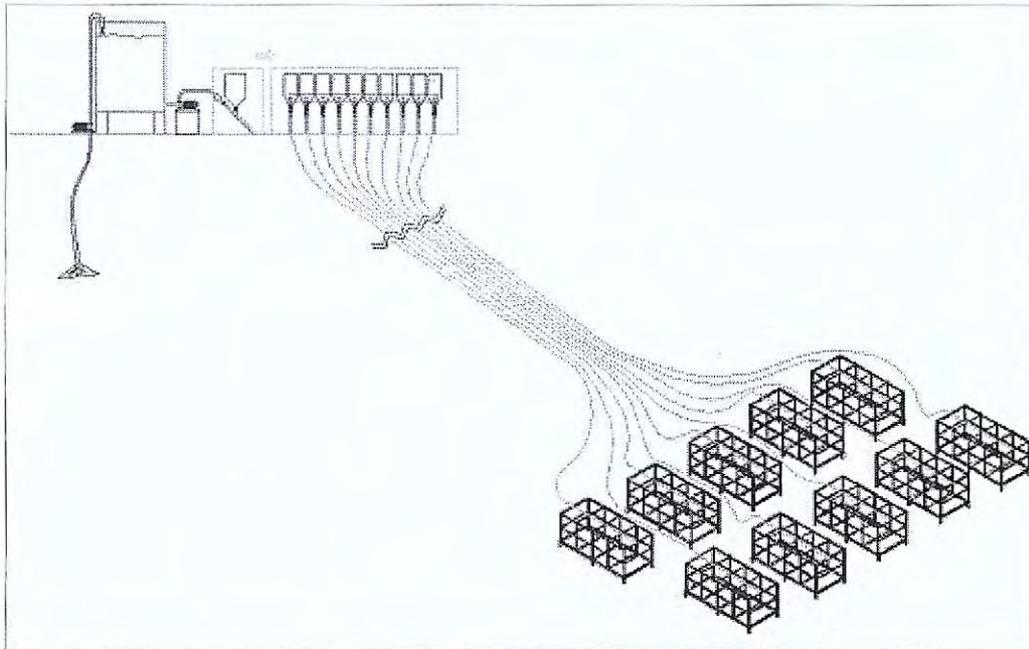


Fig. 6 Concept draw of feeding system

Feeding system is the system to provide the feed in the inside of cage, installed in the bottom of sea, in which the supply of feed is possible without the access of diver to the cage.

Feeding system is composed of sea water supply pump, sea water storage tank, feed supply pump, feed storage tank, marine water supply valve, feed supply valve, connection pipe, electric power source, and control device. The supply principle of feeding system is to connect the supply pipe of feed with the undersea cage and feeding device as a way

of transferring the feed to the inside of cage, which is in the bottom of sea by pushing feed with the power of water, exhausted in the pump.

The feeding control method adopted the program control method by using the micro processor, and it can regulate the amount of feeding, the time of feed supply, and the time of feed, and valve is also automatically controlled by the program instead of hand operation in opening and closing by using the ball valve.

Figure 7 shows the shape of feed room, where the feeding system is installed and feed falling into the inside of cage.

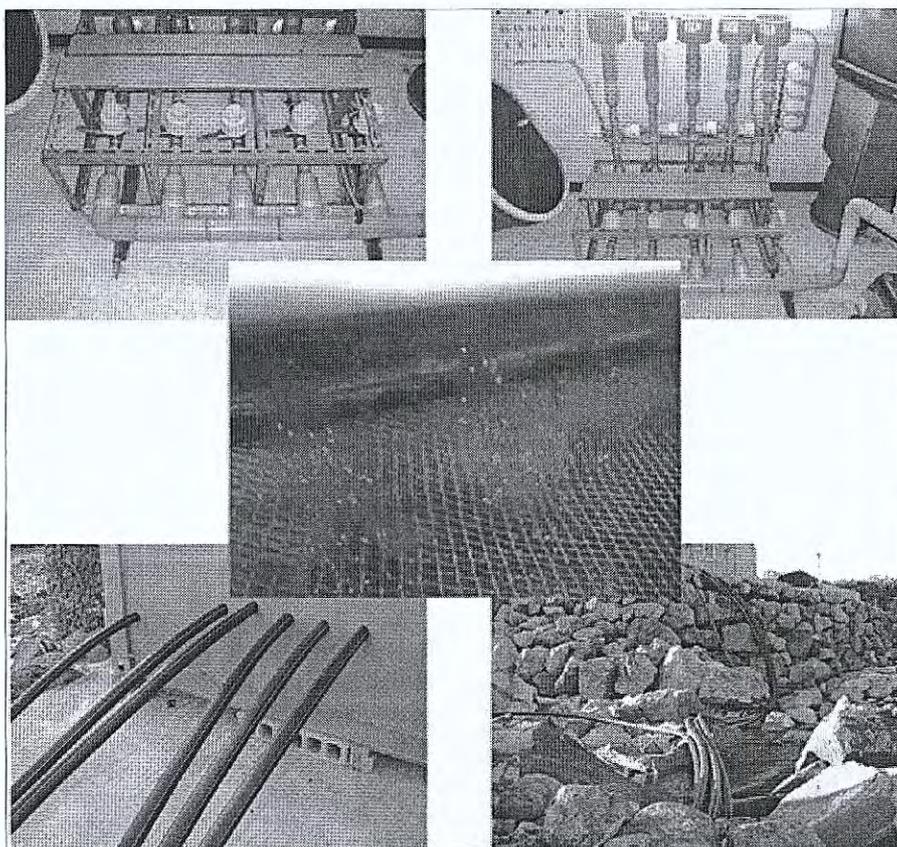


Fig. 7 Real situation of feeding system

2. Monitoring system

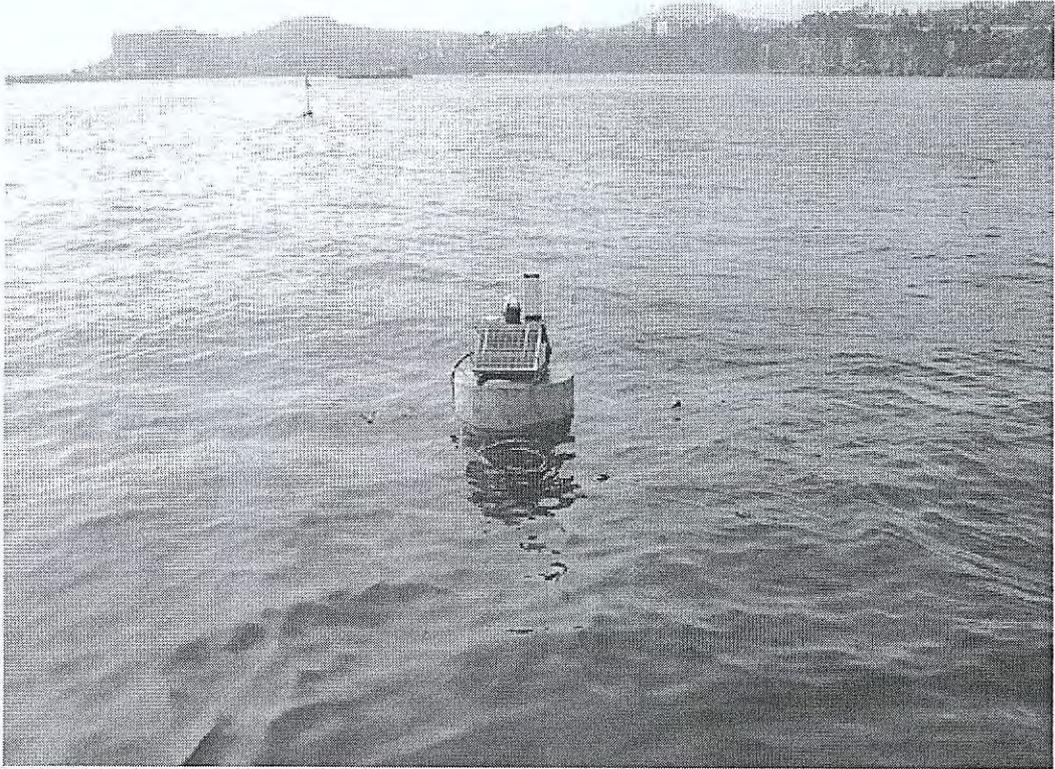


Fig. 8 Real situation of monitoring buoy

Monitoring system is the real time confirmatory system in the monitor, by floating the buoyancy body in the sea, in which the sea cage is installed, and sending an image by wireless to the management room and feeding room, photographed in the underwater camera through installing the underwater camera in the sea cage by loading the monitoring equipment in the inside and outside of buoyancy body.

The battery is installed in the inside of buoyancy construction, and solar development system is installed in order to use the independent

electric power source in the outside. In addition, control box, whose controller controlled the solar development, is established, and the water camera which can confirm the monitoring of interior image is installed in the inside of cage. The condition of fish is confirmed by the monitoring of fish activity and the feed activity, whether it is actively processed or not, is confirmed. The confirmation of monitoring system is possible anywhere through web, which is helpful to the effect of product publicity. Figure 9 is the capture of scene, confirming the condition of fish through web in the PC as real time.

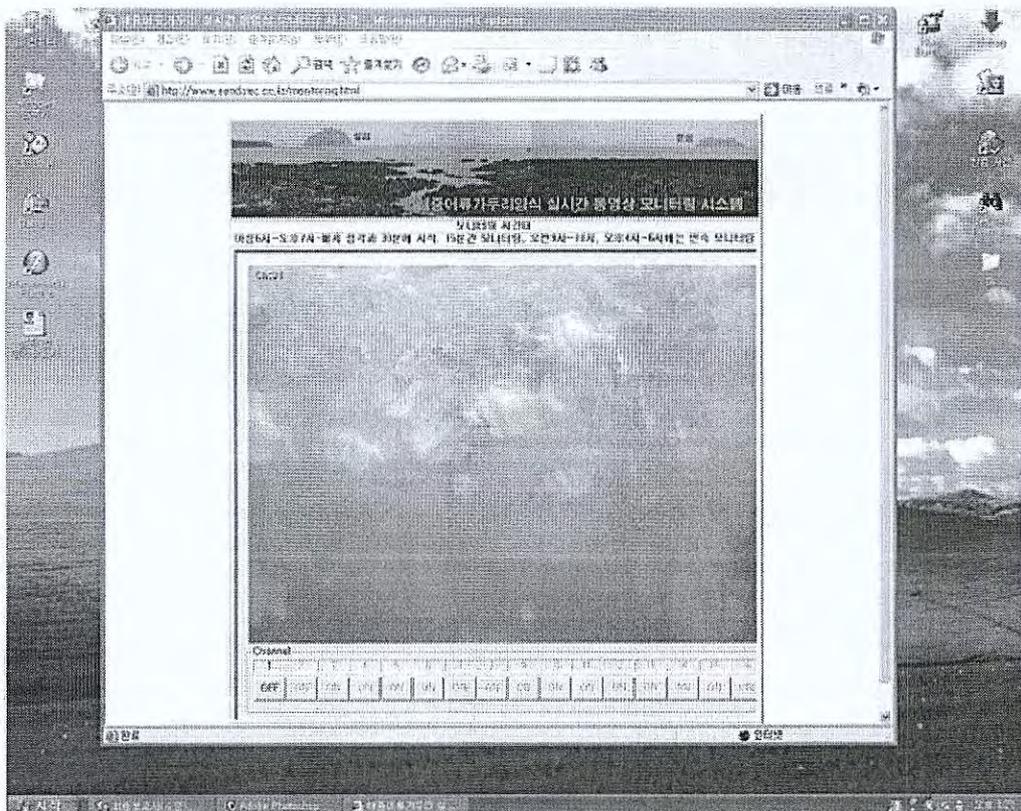


Fig. 9 Image of underwater cage in PC

3. Moving system for live fish transport

(Patent application 10-2007-0094629 : Carriage system for the live fishes from the cultivation of fish in an inclosing net)

As an opening form of up and down, the wall part of the front and rear, and the right and left is composed, and inside space, which is formed by it, is composed of buoyancy room and resistance attenuation part in the front and rear part after composing the sealing treatment with the sheet, which is the waterproof elastic material. Regarding the low floor, the arbitrary opening was possible so that all work operation at a time was conducted by setting the cage in this space part in the time of discharging young fish and shipping the adult fish. As a result, the time, which is needed in the transportation, was reduced with the shortest time and the fish could hold the best quality along with the enhancement of productivity by accomplishing the minimization of stress of fish.

5. Send system for live fish

(Patent application 10-2007-0094628 : Shipment system for the live fishes)

The frame structure, in which large container can be transferred with the device like winch, contacting the ship and transportation vehicle, carrying the live fish alongside the pier of shore wharf. And the location of container became shifted to the direction, which is wanted by the location regulation number, which can change the direction to the front and rear, and the right and left, by taking the roof frame, installed in the upper side of frame.

Accordingly, when the ship approaches, container is sent to the ship

by the location regulation member, and sent to the lively transportation vehicle in land with the movement of horizontal shift in order to shift the live fish in the short time.

In addition, data such as the weight of transferred live fish, frequency, and time, are stored in the control part by the measurement of weight for doing the database.

<Third Subject> The environment and evaluation of productivity for the large fish farming system in open sea

1. The Evaluation of Productivity

In order to compare the productivity of the cage fish farming, developed in this study with the existing land aquatic farming, parrot fish were accommodated according to respective farming method, and breeding experiment was conducted for 10 months in order to investigate the growth of parrot fish, blood astrocyte, stress hormone, and chemical change of blood.

While average total length was from $10.1 \pm 0.99 \text{ cm}$ to $20.6 \pm 2.07 \text{ cm}$ by the increase of 204% as a result of 10 months breeding, and in case of cage fish farming, it was from $10.1 \pm 0.56 \text{ cm}$ to $20.1 \pm 4.18 \text{ cm}$ on average by the growth of 199%. In case of land aquatic farming, average weight increased from 41.4 ± 5.53 to 230.5 ± 7.14 by the increase of 557%, and in case of cage fish farming, the average was from 42.9 ± 3.14 to 210.5 ± 5.25 by the increase of 490%, in which distinctive difference of two ways of fish farming was not observed.

There was a little bit difference in the blood astrocyte of parrot fish in

terms of the no. of erythrocyte, Hematocrit, Hemoglobin, MCV, MCH. and MCHC, but significant difference was not observed. In addition, significant change was not found in Magnesium, Calcium, Glucose, total protein, Albumin, T-CH concentration, serum, GOT, GPT activation, cortisol, which is the stress hormone.

In conclusion, this study demonstrated that the existing land aquatic farming didn't show the difference in the productivity in the comparison with the ocean cage fish farming, developed in this study. It shows that existing land aquatic farming is an excellent method for fish farming if the farm facility fee and environment are considered in the existing land aquatic farming.

2. Managerial income and expenditure analysis

A. Business investment cost analysis of the large fish farming system in open sea

- An analysis basis
 - Necessary approval area : 12 ~ 15 ha
 - Breeding various species of fish. : parrot fish(rock bream, イシダイ)
 - Number of Breeding fish : 5,000,000
 - Cage Dimension : 15m x 7m x 6m
 - Number of Cage : 100
 - Vessel for Cage : 25m x 12m x 5m

Amount invested in equipment

Item	Contents	N	Unit Cost (₩1,000)	Amount (₩1,000)	Note
Cage	15m x 7m x 6m	100	30,000	3,000,000	
Vessel for Cage	25m x 12m x 5m	1	1,000,000	1,000,000	
Vessel	Towing, Work	1	1,000,000	1,000,000	
Feeding System	Distance 5km	1set	1,000,000	1,000,000	
etc.	Ocean Equipment	1set	1,000,000	1,000,000	
			Subtotal	7,000,000	

B. Income and expenditure analysis profit and loss table.

Income

The number of cases	Contents (Number of Breeding fish : 5,000,000, 150g/ea duration 1 year	Number (10,000)	Unit Cost (₩1,000)	Amount (₩1,000,000)	Note
Case 1	Ratio of the meat which died 20%, 10,000₩/kg	400	1.5	6,000,000	Case10
Case 3	Ratio of the meat which died 20%, 10,000₩/kg	400	3	12,000,000	Case13
Case 4	Ratio of the meat which died 30%, 10,000₩/kg	350	1.5	5,250,000	Case11
Case 7	Ratio of the meat which died 40%, 10,000₩/kg	300	1.5	4,500,000	Case12
Case 13	at Case 3 150g/ea duration 1 year	400	40	16,000,000	
	Case 1 ~ Case 13 Average Amount			8,096	Average

Expenditure

Item	Contents	N	Unit Cost (₩1,000)	Amount (₩1,000)	Note
Production control costs	Fry purchasing costs, Feed cost, etc	5 million		2,890,000	
Labor costs	21 persons	20		780,000	
depreciation expenses	20 years, 300million won(₩)			660,000	
Selling control expenses				550,000	
Tax, insurance, supplies etc				138,000	
			Subtotal	5,018,000	

Current profit

Minimum Case 7 : 4,500 - 5,018 = -518million won(₩)

Maximum Case 13 : 16,000 - 5,018 = + 10,982million won(₩)

Average : 4,500 - 5,018 = -518million won(₩)

V. Practical using project of the results the research and development

The practical use of the results of Research & development and relevant condition at home and abroad

- It is a noticeable fact that the environment friendly farming in open sea attracted the attention and mass media showed the considerable amount of concern,

- It is a situation that the local self governing bodies including the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries take aggressive attitude with the activities of the drawing up of budget and so on.

- However, in regard to the system, which is likely to be introduced from the foreign nations, it is a state that the data of economic evaluation as well as basis study about the appropriateness of marine zone in the domestic installation are not found

- Accordingly, the practical plan of this report was drawn up based on the results, obtained from the 3 years' research and the study of foreign cases. The basic condition of this content is that the system, presented in this, is strong towards Typhoon (Nari in 2007).

1. First Stage Method of Practical Use

The business should be equipped with the fixed size to some extent (The standard of least sales) in consideration of peculiarities of cage fish farming in open sea, and for it, the enterprises which hold the fixed quota as well as the local self governing bodies, which take interest under

the initiatives of the Ministries of Marine Affairs and Fisheries as a concept of investment of the least period.

2. Second Stage Practical Use Method

If the first stage is successful, it is expected that it will be helpful to the activation of local economy by employing the fishermen of a fishing village under the initiatives of the enterprise. That is, it is judged to be the active method to find a way of the fishing industry and activate the economy of fishing village.

3. Third Stage Practical Using Method

When enterprise stands in the first line, it will be the method to contribute to the development of marine products industry of the North Korea as well as Southeast.

여 백

CONTENTS

Chapter 1 An outline of a research and development project	53
Section 1 Necessity of research and development	55
1. The technical side	55
2. The side of economy and industry	57
3. The side of a society and culture	58
Chapter 2 The present situation of domestic and foreign technology development & the scientific technical information	59
Section 1 A future prospect	60
Chapter 3 Research and development accomplishment contents and the results	61
Section 1 < First subject : The system design for the large fish farming system in open sea >	61
1. Calculation data for a design & manufacture of a cage model	61
A. Calculation data for a design	61
B. Manufacture of a cage model	75
2. The results of secondary model experiment	81
A. Introduction	81
B. Conclusion	82
3. Cage manufacture and experiment	84
A. Manufacture of the seabed sinking type cage & real sea area experiment	85
B. Manufacture of the floating structure for lifting & real sea area	

experiment	99
C. Concept design of actual scale	119
Section 2 <Second subject : Management and automatic of the large fish farming system in open sea>	122
1. Data collection regarding an automatic feeding system	122
A. Kind of feed	122
B. Method of feeding	122
2. Automatic feeding system manufacture and experiment	125
A. An outline of an Automatic feeding system	126
B. Automatic feeding system manufacture and experiment	129
3. Monitoring system	133
4. Live fish transportation and shipment system	135
A. Live fish transportation system	135
B. Live fish shipment system	137
Section 3 <Third subject : The environment and evaluation of productivity for the large fish farming system in open sea>	139
1. Environmental factors setting	139
A. Flow velocity	140
B. Water temperature	140
C. pH	140
D. Floating matters	141
E. Pathogenic microbe	141
F. Dissolved oxygen	141
2. Productivity factors setting	142
A. Aquaculture space	142
B. Acceptance density	142

C. Feed supply	143
3. Environmental evaluation of The place that a system is installed ..	143
A. Water quality Investigation	143
B. Marine ecosystem investigation	149
4. The striped beakperch Productivity comparison of land farm and underwater cage	180
A. Introduction	180
B. Materials and methods	182
C. Results	185
D. Summary and conclusion	210
5. Economic evaluation (Managerial income and expenditure analysis)	211
A. Business investment cost analysis of the large fish farming system in open sea	211
B. Income and expenditure analysis profit and loss table	212
Chapter 4 Achievement of the research and development goal & contributions in related fields	214
A. Achievement of the research and development goal	214
B. Contributions in related fields	215
Chapter 5 Application plan of the research and development results	216
Chapter 6 References	218
Appendix Patent & paper	230

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	53
제 1 절 연구개발의 필요성	55
1. 기술적 측면	55
2. 경제·산업적 측면	57
3. 사회·문화적 측면	58
제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술정보	59
제 1 절 앞으로 전망	60
제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과	61
제 1 절 <제1세부과제 : 외해대형어류양식 시스템의 시스템 개발>	61
1. 설계를 위한 계산 자료 및 모델 제작	61
가. 설계를 위한 계산 자료	61
나. 가두리 모델 제작	75
2. 2차 모형실험의 결과	81
가. 서언	81
나. 결론	82
3. 가두리 제작 및 실험	84
가. 해저 침하 가두리의 제작 및 실험	85
나. 해면 부유견인 구조물(가두리선)의 제작 및 실험	99
다. 실제 규모 개념 설계도	119
제 2 절 <제2세부과제 : 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화> ...	122
1. 자동급이기에 대한 자료 수집	122
가. 사료의 종류	122
나. 급이 방법	122

2. 자동 급이 시스템 제작 및 실험	125
가. 자동 급이 시스템의 개요	126
나. 자동 급이 시스템 제작 및 실험	129
3. 모니터링 시스템	133
4. 활어 운송 및 출하 시스템	135
가. 활어 운송시스템	135
나. 활어 출하시스템	137
제 3 절 <제3세부과제 : 외해 대형 어류양식 시스템의 운영에 따른 환경 및 생산성 평가>	139
1. 환경요인 설정	139
가. 유속	140
나. 수온	140
다. pH	140
라. 부유물질	141
마. 병원성 미생물	141
바. 용존산소	141
2. 생산성 요인 설정	142
가. 양식공간	142
나. 수용밀도	142
다. 사료공급	143
3. 시스템 설치 장소의 환경평가	143
가. 수질환경 조사	143
나. 해양생태계 조사	149
4. 수중가두리 및 육상수조식 양식장의 돌돔의 생산성 비교	180
가. 서론	180
나. 재료 및 방법	182

다. 결과	185
라. 요약 및 결론	210
5. 경제성평가(경영수지분석)	211
가. 외해대형어류가두리 사업투자비분석	211
나. 수지분석손익표	212
제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	214
가. 연구개발 목표달성도	214
나. 관련 분야에의 기여도	215
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	216
제 6 장 참고문헌	218
부 록 특허 및 논문	230

제 1 장 연구개발과제의 개요

▶ 효율적이면서 환경 친화적인 대규모 양식시설 개발

▶ 어업의 현안문제와 다양한 어종의 양식을 위한 연안가두리 개념을 뛰어넘는 시스템 개발

현재 국내의 어업 현황은 대부분이 어선을 이용한 잡는 어업의 형태이며 일부 연안의 가두리 양식과 육상 수조식 양식으로 구성되어 있다. 그러나 최근 국제적인 어업협상으로 인해 잡는 어업은 그 규모가 날로 축소되어가고 있으며 주변국과의 분쟁을 유발하고 있는 어려운 실정에 처해있다. 또한, 연안일대에서 행하여지고 있는 종래의 양식은 과밀 경향을 띠고 있어 그로 인하여 양식어의 성장률 저하, 어병 발생, 적조 발생 등 양식과 관련된 많은 문제가 야기되고 있고, 이른바 환경오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있다. 육상의 수조식 양식은 그 규모 면에서 줄어들고 있는 잡는 어업을 대체하기에는 역부족이며 연안 오염 문제 또한 심각한 수준에 와 있는 형편이다. 따라서 양식에 적합한 연안일대에 새로운 양식시설을 증가시키는 것이 어렵게 되고 있어 보다 효율적인 환경친화형 양식시설 개발이 불가피한 상태이다.

이와 같은 어업의 현안 문제를 극복할 수 있는 방법 중에 가장 가능성이 큰 것이 연안의 가두리 개념을 뛰어넘는 대규모의 외해 대형 어류양식 시스템을 개발하는 것이라 할 수 있다. 노르웨이 등 일부 해양 선진국들은 이미 다양한 해양 양식 시스템을 개발하여 운용 중에 있으

나 국내에는 아직 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하고 있는 상황이다. 따라서 날로 악화되어 가는 어업 환경을 개선하기 위해서는 국가적인 차원에서 기르는 어업으로의 획기적인 방향 전환을 시급히 시도할 필요가 있다.

연구개발의 필요성

- 환경오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있으며 이에 대한 근본적인 대처 방안
- 양식시설을 증가시키는 것이 어렵게 되고 있어 보다 효율적인 환경친화형 양식시설 개발이 불가피
- 연안의 가두리 개념을 뛰어 넘는 대규모 외해 대형 어류양식 시스템 개발
- 노르웨이 등 일부 해양 선진국들은 이미 다양한 해양양식시스템을 개발하여 운용 중에 있으나 국내에서는 아직 체계적인 연구개발이 이루어지지 못하고 있는 상황
- 날로 악화되고 가는 어업 환경을 개선하기 위해서는 국가적인 차원에서 기르는 어업으로의 획기적인 방향 전환이 필요
- 여름철 태풍과 겨울철 북서풍에 견딜 수 있는 외해 대형 어류양식 시스템 개발

- 주변국과 분쟁을 유발하고 있는 잡는 어업에 대한 새로운 대안 제시
- 제주도를 해양산업 및 해양문화의 전진기지로 활용

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

- 여름철 태풍과 겨울철 북서풍에 견딜 수 있는 외해 대형 어류양식 시스템개발
- 평상시 해표면에 위치하여 급이와 선별이 용이하도록 하고,
- 태풍 내습시 수심 20m 부근에서 시스템이 안정적으로 유지할 수 있도록 설계한다.
- 한편, 해면에서 수심 20m로 상하 이동시 발생할 수 있는 어류의 부래에 미치는 영향과 시스템의 상부에 대한 처리에 고려해야 하는 많은 문제점을 안고 있다.
- 해상 가두리 양식은 육상양식의 어류와 비교하여 육질과 질병의 문제에 있어 상대적인 장점을 갖고 있으나,
- 남해안의 내파성 가두리를 비롯한 일반가두리는 연안의 오염 등

으로 생산성이 날로 악화되고 있는 실정이며,

- 제주연안은 단조로운 해안선을 갖고 있어 일부 항만내를 비롯한 내파시설이 되어 있는 일부 지역을 제외하고 가두리가 전무하다.
- 가두리 개념을 뛰어 넘는 외해 대형 어류양식 시스템의 주요 개발 내용은 다음과 같다.
 - ☞ 시스템의 구조적인 안정성
 - ☞ 용이한 망 청소, 경제적인 급이 및 선별
 - ☞ 생산성 향상을 위한 어종 및 사육 방안
- 외해 대형 어류양식 시스템은 주요개발내용을 고려하여 다음과 같은 연구개발이 필요하다.
 - ☞ 어류의 생태를 고려한 유체역학적인 해석 및 설계
 - ☞ 어류의 생태를 고려한 구조역학적인 해석 및 설계
(재료연구 포함)
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템을 위한 새로운 개념의 계류라인 설계
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템에서의 자동급이
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템에서의 선별 방법
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 효율적인 망청소 방안
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 관리를 위한 모니터링
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 운행에 따른 환경
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 운행에 따른 생산성(어종, 성장률 등)
 - ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 모형실험(1차년도)

- ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 실패역실험(2차년도)
- ☞ 외해 대형 어류양식 시스템의 신뢰성, 생산성, 환경평가(3차년도)

2. 경제·산업적 측면

- 제주연안의 적극적인 활용을 통한 양질의 수산물 생산 기지화
- 국가적인 차원의 기르는 어업에 대한 획기적인 방향 제시
- 연안 육상 수조식 양식산업의 한계성에 대한 해결 방안 제시
- 오염이 가중되고 있으며, 생산성이 저하되고 있는 남해안의 휴식년제를 위한 기술적인 해결 방안 제시
- 관광산업과 연계한 소득 증대
- 무력화되고 있는 WTO 체제하의 우리 수산업을 호기로 만들 수 있는 방안 제시
- 주변국과 분쟁을 유발하고 있는 잡는 어업에 새로운 대안 제시
 ==> 쿠릴열도의 쾡치분쟁(300억원), 제주도육상수조식양식(2000억원)

- 제주도 육상수조식 양식에 버금가는 외해 대형 어류양식 시스템 개발(수용적 80만톤급)

3. 사회·문화적 측면

- 제주도를 해양산업 및 해양문화의 전진 기지로 활용.
- 21세기를 해양시대라고 하는 공허한 현재의 입장에서 일부지만 구체적인 내용 제시가 가능
- 양식어에 대한 일반적인 잘못된 선입견을 시각적으로 개선이 가능
- 환경과 주변 여건으로 인하여 감척되고 있는 어선을 기르는 어업에 활용할 수 있는 능동적인 방안 도출
- 육상수조식 양식시설의 환경적인 문제점을 획기적으로 전환 가능
- 해양 친숙 공간이 극히 제한된 제주도의 여건 변화 및 방대한 공간활용.
- 남해의 문제점을 교훈으로 체계적인 적정해역의 조사 및 시설물의 위치 결정

제 2 장 국내외 기술개발 현황 및 과학기술 정보

해양에서의 신뢰성 있는 연구 결과가 미흡한 실정일 뿐 아니라, 외해 대형 어류양식 시스템의 개발을 위해서는 해양학, 해양공학, 기계공학, 제어공학, 양식학 등의 여러 학문분야가 결합된 협동 연구가 필요하지만, 이러한 연구의 활성화와 개발 투자가 열악한 실정이다.

국내에서는 관련된 조사 및 연구를 아래와 같이 수행하고 있다.

- ① 92년 포항제철주식회사에서 한국해양연구소에 의뢰하여 일본의 이동식가두리(노르웨이제품)에 대한 경제성을 평가한 경험이 있으며,
- ② 95년 부경대학교(당시 부산수산대학교) 해양산업개발연구소에서 이동식가두리에 대한 기초연구를 수행하였다.
- ③ 2001년 7월 제주대학교 BK21사업단 주관으로 한국해양연구원, 부경대학교를 포함한 국내외 연구원들이 참석하여 외해 대형 어류양식 시스템 개발을 위한 1차 Workshop을 개최하여 연구의 방향을 토의하였고,
- ④ 2001년 11월 16일 제주대학교 BK21사업단 주관으로 2차 Workshop을 개최하여 해상양식전지기지의 개념, 자동화, 환경 및 사육에 대한 조사 및 연구자료를 발표하였다.
- ⑤ 2002년 7월 8일 제주대학교 해양과학대학BK21사업단 주관으로 3차 workshop을 개최하여 외해 대형 어류양식 시스템의 모형시험에 필요한 토론회를 개최하였다.
- ⑥ 2002년 9월부터 2003년 1월까지 한국해양연구원 해양공학수조

(KRISO)에서 1차 모형시험 수행하였다.

한편, 국외에서는 자국의 해양 환경을 고려하여 다양한 시설물이 개발되고 있다.

- ① 노르웨이 : 다양한 해상가두리를 개발하여 상업화되어 있으며, 시설물을 수출하는 등 가장 선진화되어 있음.
- ② 미국 : Sparbuoy사를 비롯하여 자국내 대학 및 연구소에서 다양한 시스템을 개발하고 있고, 필리핀에서도 상업화되어 있음.
- ③ 일본, 이스라엘, 대만 등 많은 국가에서 자국의 실정에 적합한 해상양식 시스템을 개발하여 운영 중에 있음.

제 1 절 앞으로 전망

- 제주연안은 물론 한반도 삼면의 바다에서 다양한 형태의 시설물들이 개발할 수 있는 기술적인 근거 자료를 제시할 수 있을 것으로 전망하고 있으며,
- 다양한 어종의 양식을 위한 기술적이며, 경제적인 방안의 제시가 가능할 것으로 기대하고 있다.
- 제주도 연안은 물론 삼면의 바다를 다각적으로 활용할 수 있는 방안에 대한 창출이 기대되고 있으며,
- 안정적인 대량 생산을 통하여 주변국으로의 수출에 의한 고부가가치가 예상되고 있다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 <제1세부과제 : 외해대형어류양식 시스템의 시스템 개발>

연구의 주 내용은 태풍과 계절풍 등 극심한 해상 환경에서 해상 구조물의 안정성과 생물이 사육에 적합한 대형 어류 가두리의 설계, 제작, 모형실험 및 실험실 실험으로 구성된다.

1. 설계를 위한 계산 자료 및 모델 제작

가. 설계를 위한 계산 자료

본 연구에서는 해상 가두리의 성능을 추정하고, 구조물을 설계 제작하기 위해 구조물의 운동에 대하여 연구하였다. 다목적 twin hull 가두리에 작용하는 유체력을 3차원 특이점 분포법과 근사계산법을 이용하여 다목적 가두리의 운동에 대한 계산을 수행 하였다.

1) 이론의 정식화

좌표계는 Fig. 3.1-1에 표시한 것과 같이 $x-y$ 평면을 정지수면으로 하고 연직상방을 양의 z 축으로 하는 직교좌표계를 사용한다.

유체는 비압축성, 비점성이고 유동은 비회전성인 이상유체이고, 자유표면의 파고 및 부체에 의한 유체교란은 미소하며 유체영역은 무한하다고 가정한다. 또한 입사파는 주기운동을 하며 x 축에 대하여 α 의 각도로 입사되고 있다고 생각한다. 이론계산에 있어서 수치계산은 Hess & Smith 이론과 Green

function을 이용해서 부유체의 표면에 분포시킨 특이점의 세기를 미지수로 하는 적분방정식을 푸는 3차원 특이점 분포법 (Three-Dimensional Source Distribution Method)을 이용하여 수행하였다. 3차원 특이점 분포법에 적용된 이론 및 가정들은 참고문헌을 참조하기 바란다.

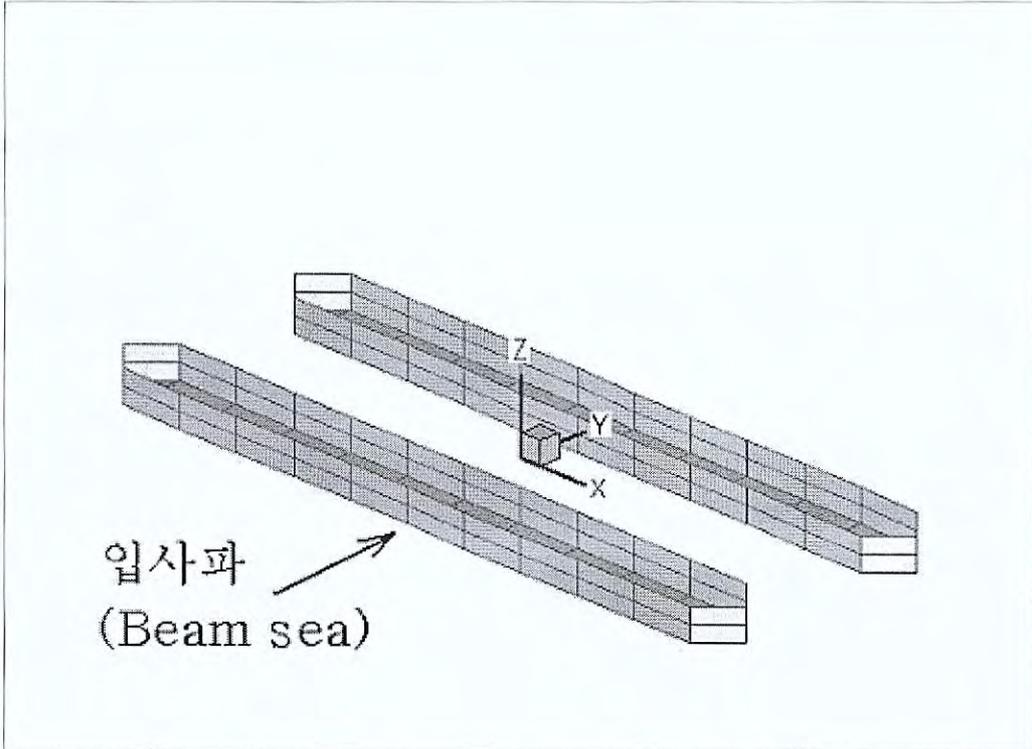


Fig. 3.1-1 쌍동형 소파구조물의 좌표계

2) 경계조건 및 지배방정식

부체가 x 축의 양의방향으로부터 입사하는 파에 의하여 부체가 동요원진 동수 ω 로 정현운동하고 있을 경우 유동장은 속도포텐셜로 나타낼 수 있으며 입사파의 속도포텐셜을 ϕ_0 , 산란파의 속도포텐셜을 ϕ_1 , 방사파의 속도포텐셜을 ϕ_R 그리고 유장의 전체속도 포텐셜을 ϕ 라 하면 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_I + \Phi_R \quad (1)$$

또한 속도포텐셜 ϕ 는 선형자유표면조건, 바닥경계조건, 방사조건, 물체표면조건을 만족하는 Laplace 방정식의 해를 파랑그린함수(Green Function) $G(P, Q)$ 라 놓으면 속도포텐셜 $\phi(P)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\phi(P) = \iint_s \alpha(Q) G(P, Q) dS(Q) \quad (2)$$

여기서 $P(x, y, z)$ 는 유체중의 임의의 점이며, $Q(x', y', z')$ 는 물체표면 S 상에 분포시킨 점이다. 또한 $\alpha(Q)$ 는 물체표면 S 상에 분포시킨 Source Strength이다.

(2)식의 소스세기 $\alpha(Q)$ 를 구하기 위하여 물체표면조건을 이용하면, 즉 (2)식에서 양변을 물체표면 S 의 법선방향으로 미분하고 점 P 를 물체표면 S 상의 점 Q 에 접근시키면 $\alpha(Q)$ 가 미지수인 다음의 적분방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial \phi(P)}{\partial n} = -2\pi\alpha(P) + \iint_s \alpha(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) ds(Q) \quad (3)$$

(3)식에서 점 $P(x, y, z)$ 와 점 $Q(x', y', z')$ 는 물체표면 S 상의 점이다. 적분은 물체표면 S 에 대하여 적용된다. 따라서 (3)식에서 구한 $\alpha(Q)$ 를 (2)식에 대입하면 속도 포텐셜 $\phi(P)$ 가 구하여진다.

한편, 그린 함수는 무한수심의 경우 다음과 같이 표시된다.

$$G(P, Q) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + 2K \int_0^\infty \frac{e^{k(z+z')} J_0(kR)}{k-K} dk + i2\pi K e^{K(z+z')} J_0(KR) \quad (4)$$

부유체가 i 모드(Mode)의 운동을 하고 있을 때 단위진폭 속도포텐셜을 $\phi_j (j = 1, 2, \dots, 6)$ 라 하면 j 방향의 부가질량 A_{ij} 와 조파감쇠계수 B_{ij} 는 다음 식으로부터 구하여진다. [6]

$$A_{ij} = -\rho \operatorname{Re} \left[\iint_s \phi_j n_i ds \right] \quad (5)$$

$$B_{ij} = \rho \omega \operatorname{Im} \left[\int_S \phi_j n_i ds \right] \quad (6)$$

그리고 n_i 는

$$\begin{vmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{vmatrix} = \mathbf{n}, \quad \begin{vmatrix} n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{vmatrix} = \mathbf{r} \times \mathbf{n},$$

\mathbf{n} : 물체표면에서의 외향 단위법선벡터

\mathbf{r} : 물체중심에서의 물체표면상의 임의의 점에 대한
위치벡터

$i=1\sim 6$: surge, sway, heave, roll, pitch, yaw

규칙과 중에서 부체가 고정되어 있을 때 반사파의 속도포텐셜, 즉 산란파 속도포텐셜을 ϕ_7 이라 하면 ϕ_7 은 물체표면조건으로부터 $\frac{\partial \phi_7}{\partial n} = -\frac{\partial \phi_0}{\partial n}$ 과 같이 생각할 수 있으며, 입사파의 속도포텐셜 ϕ_0 는 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \phi_0 e^{i\omega t} &= -\frac{i\omega \zeta_a}{K} e^{Kz + iK(x \cos \alpha + y \sin \alpha) + i\omega t} \\ &= -\frac{i\omega \zeta_a}{K} \phi_0 e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (7)$$

산란파 속도포텐셜 ϕ_7 이 구해지면 파강제력은

$$\begin{aligned} F_{7j} &= i\omega \rho \iint_S (\phi_0 + \phi_7) n_j ds \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \\ &= \rho g \zeta_a \iint_S (\phi_0 + \phi_7) n_j ds \end{aligned} \quad (8)$$

본 연구에서는 파강제력을 구하기 위하여 방사문제(Radiation Problem) 와 산란문제(Diffraction Problem)에 관한 Haskind - Newman의 관계를 이용하였다.

따라서 방사파 속도포텐셜 ψ_j 을 이용하면, ϕ_7 은 Green의 정리를 이용하고, 선형 자유표면조건 및 방사조건을 고려하면 다음 식을 얻는다.

$$\iint_S \left(\psi_7 \frac{\partial \phi_j}{\partial n} - \phi_j \frac{\partial \psi_7}{\partial n} \right) ds = 0 \quad (9)$$

(9)식을 이용하고, Haskind - Newman [6]의 관계를 적용하면 파강제력 (8)식은 다음과 같이 표시된다.

$$F_{7j} = \rho g \zeta_a \iint_s \left(\psi_0 \frac{\partial \psi_j}{\partial n} - \psi_j \frac{\partial \psi_0}{\partial n} \right) ds \quad (10)$$

따라서 방사와 속도포텐셜이 얻어지면 본 관계식을 이용하여 파강제력을 구할 수 있다.

한편, 3차원 Kochin 함수

$$\begin{aligned} H_j(K, \alpha) &= \iint_s \left(\frac{\partial \psi_j}{\partial n} - \psi_j \frac{\partial}{\partial n} \right) e^{Kz + iK(x' \cos \alpha + y' \sin \alpha)} ds \\ &= \iint_s \left(\psi_0 \frac{\partial \psi_j}{\partial n} - \psi_j \frac{\partial \psi_0}{\partial n} \right) ds \end{aligned} \quad (11)$$

를 도입하여 (10)식을 정리하면

$$F_{7j} = \rho g \zeta_a H_j(K, \alpha) \quad (j = 1, 2, \dots, 6)$$

(12)

으로 나타낼 수 있다.

파랑중 부유체의 6자유도 선형운동방정식은 일반적으로 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^6 [(M_{ij} + A_{ij}) Y_j + \hat{N}_{ij} Y_j + K_{ij} Y_j] = F_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (13)$$

(13)

Y_j : 부유체의 중심에 있어서 j 방향의 운동진폭

M_{ij} : 부유체의 질량 및 관성모멘트

A_{ij} : 부유체의 부가질량 및 부가관성모멘트

\hat{N}_{ij} : 조파감쇠계수

K_{ij} : 복원력계수

F_j : 파강제력

을 각각 의미한다.

3) 수치계산

일반적으로 운동성능은 특정한 인자에 의해 변하는 것보다는 부체의 단면 형상, 개수, 흘수, 폭 등에 따른 유체역학적 상호 간섭의 영향 등 다양한 인자의 조합에 의해 변하므로 운동성능을 향상시키기 위해서는 여러 가지 인자들을 고려한 유체역학적 특성을 이해함으로써 우수한 효율을 가진 구조물을 계획할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 구조물의 운동에 대한 계산 및 실험하여 비교하였다.

Table 3.1-1 쌍동형 소파구조물의 주요제원

		Length (L)	Breadth (B)	Draft (D)	Water plan Area (m^2)	Displace ment (m^3)	Element (EA)
Case 1	TH-148	55	20	1.25	525	656.25	148
	TH-236	55	20	1.25	525	656.25	236
	TH-400	55	20	1.25	525	656.25	400
Case 2	TH-1	55	20	1.25	525	656.25	148
	TH-2	55	20	1.50	525	787.50	148
	TH-3	55	20	2.75	525	1443.75	148
	TH-4	55	20	3.75	525	1968.75	148
	TH-5	55	20	4.75	525	2493.75	148
Case 3	THM-1	55	20	6.25	525	656.25	618
	THM-2	55	20	6.25	525	787.50	618
	THM-3	55	20	6.25	525	1443.75	650
	THM-4	55	20	6.25	525	1968.75	666
	THM-5	55	20	6.25	525	2493.75	598
Case 4	THM-30	55	20	6.25	525	656.25	618
	THM-40	55	20	6.25	525	656.25	618
	THM-50	55	20	6.25	525	656.25	618
	THM-60	55	20	6.25	525	656.25	618
	THM-70	55	20	6.25	525	656.25	618

먼저 구조물의 요소분할에 있어서 요소의 수에 따른 유효성을 확인하기 위해서 Table 3.1-1의 Case 1에서 보이듯이 흘수가 1.25m인 twin hull 구조물의

요소분할을 각각 148개, 236개, 400개로 하여 계산하였다.

그리고 본 연구에 있어서 공시모형은 양식을 겸한 소파구조물을 계획할 목적으로 부력을 발생하는 twin hull 형태의 구조물과 아래쪽의 그물망으로 구성되어 있다. 여기서 그물망 부분의 계산은 요소분할이 어려워 내부 그물망을 외부그물망으로 합하여 그물망의 투과율을 계산하고 그 투과율과 같은 구조물로 가정하여 요소를 분할하여 계산하였다. 또한 그물망 부분의 요소분할에서 그물망의 두께는 전체 구조물의 크기에 비하여 아주 작아서 무시하는 것으로 가정하고 요소를 분할하고 유체력을 계산하였다.

또한 Case 2는 수치계산에 있어서 흘수의 변화에 대한 유체력의 영향을 비교하기 위해서 twin hull 만 있고 그물망이 없는 5가지 형상을 흘수를 다르게 하여 비교하였다. Case 3에서는 Case 2의 twin hull에 투과율이 50%인 망이 있는 5가지 형상에 대하여 상하요에 작용하는 유체력 및 소파효율을 계산하였다. 한편 Case 4에서는 twin hull의 흘수가 2.5m인 구조물에 대하여 투과율이 각각 30%, 40%, 50%, 60%, 70%인 구조물을 계산하였다.

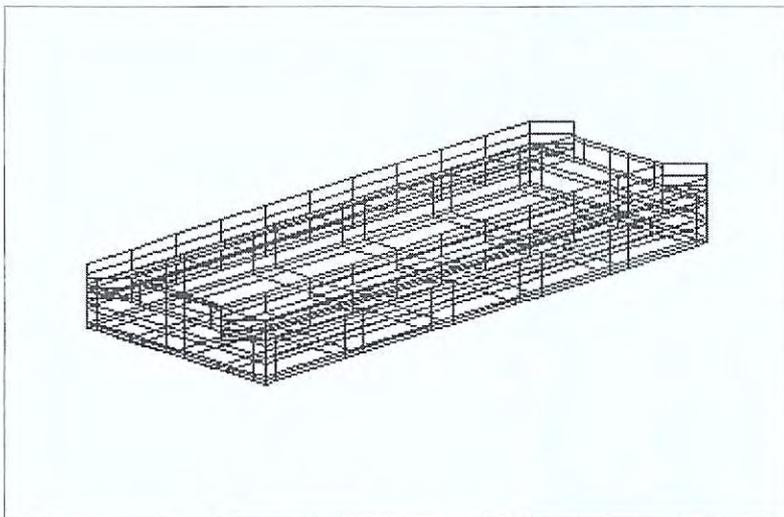


Fig. 3.1-2 쌍동형 소파구조물의 mesh 분할

4) 동요 및 소파울 실험

가) 모형제작

모형실험은 $L \times B \times H$ 가 각각 $35 \times 0.5 \times 0.6$ (m)인 2차원 조파수조에서 행하였으며 실험모델은 2차원 조파수조의 폭에 맞게 모형 폭의 축척이 1/50가 되도록 제작하였다. 너비와 폭을 각각 45.4cm와 40cm로 하였고 재료는 PVC와 플라스틱으로 제작하고 twin hull 하단에 그물을 부착하였다.

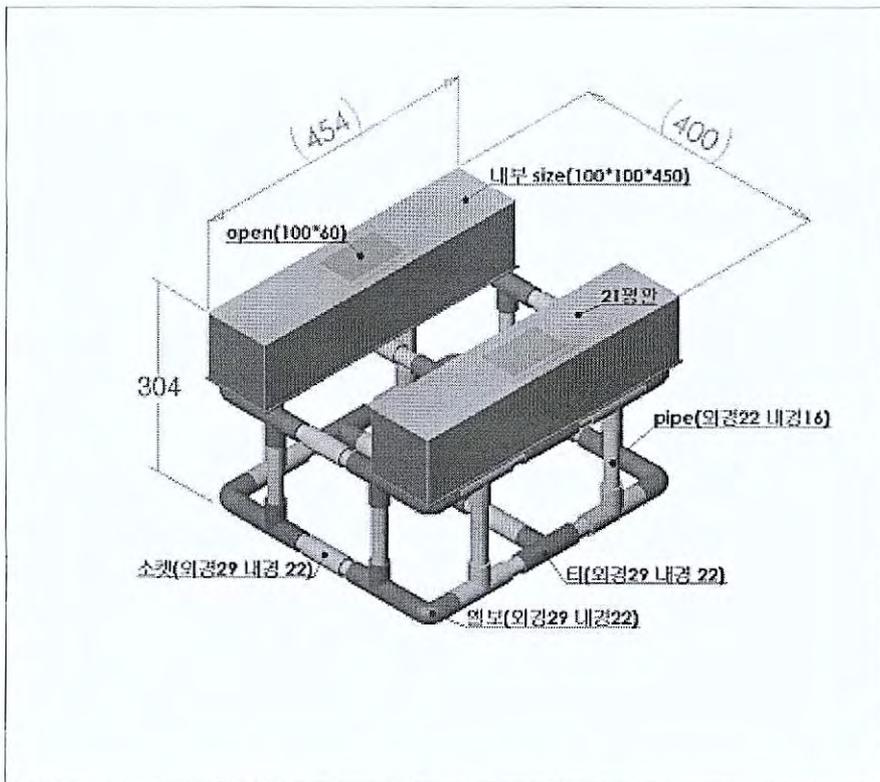


Fig. 3.1-3 실험 모델의 모식도

실험모델에 대한 주요제원 및 형상은 Fig. 3.1-3에 나타내었다. 또한 실험모델은 twin hull에 흡수를 조절할 수 있도록 제작되어 흡수변화에 따른 구조물의 운동을 비교하였다.

나) 실험장치 및 설치

실험에 대하여 구조물을 Fig. 3.1-4 에 표시한 것과 같이 설치하였다. 2차원 조파수조에서 생성 가능한 파장 중에서 $0.4m \sim 2m$ 사이의 파장을 만들었고 data 측정시간은 15초로 하였다. 2차원 조파수조의 수심은 $38cm$ 로 하였고 장파에 대한 무한수심에 대한 영향은 고려하지 않았다.

실험모델은 소파성능을 계측할 때는 계류를 하지 않고 자유운동을 하고 그 운동으로 인한 소파효율 계측하였다. 그리고 운동성능은 두 가지 방법으로 계측하였다. 첫 번째 방법은 6자유도 운동 측정 장비를 이용하였고 그중 heave motion만 계측하였다. 두 번째 방법은 계류를 하지 않고 자유운동을 할 때의 heave motion을 캠코더를 이용하여 촬영하고 그것으로 화면 capture를 하여 운동계측을 하였다.

twin hull의 흘수에 따른 구조물의 소파효율을 알아보기 위하여 실험모델의 흘수는 twin hull에서 각각 $1cm, 2.5cm, 5cm$ 의 3가지로 하였고 $\lambda/B = 1.0 \sim 4.8$ 사이의 14개 상태에서 측정하였다.

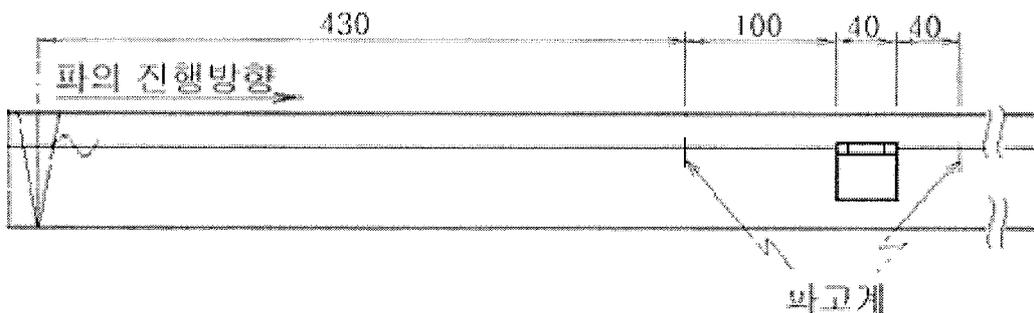


Fig. 3.1-4 실험 모델 및 장비 설치

5) 결과 및 고찰

양식시설에 대한 구조물의 동요 특성을 수치계산 하였다. Case 1에서는 구조물의 요소분할에 따른 계산의 유효성을 확인하였고 Case 2에서는 twin

hull의 흘수에 따라 유체력, Case 3에서는 twin hull에 그물망을 설치하고 계산한 유체력, 그리고 Case 4에서는 그물망의 투과율에 따른 유체력을 계산하였다.

가) 수치계산

Case 1에서 구조물의 요소분할의 유효성을 알아보기 위해서 요소의 수를 150개, 240개, 400개로 분할하여 계산하였다. 계산 결과를 확인하면 요소의 수에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 앞으로 계산에서 구조물에 대한 요소의 수에 따른 계산의 유효성을 확인하였다. Case 2~4까지 twin hull의 요소의 수는 150개로 하여 계산하였다..

Case 2와 Case 3에서 구조물의 운동에 있어 twin hull에 그물망을 설치하지 않은 것과 설치한 것은 거의 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 Case 4에서 나타나듯이 그물망의 투과율에 의한 구조물의 운동 역시 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

위의 결과를 바탕으로 Case 2에 관해서만 나타내었다.

Fig. 3.1-5는 heave added mass를 보여주는 그래프이다. 그래프를 살펴보면 흘수에 따라 $\lambda/B = 2.4 \sim 3.5$ 부근에서는 음(-)의 값은 나타내고 있다. 그러나 이 부분은 山下誠也의 경우에서도 같은 쌍동형 형상의 모형인 경우 음의 값이 나타남을 볼 수 있다.

Fig. 3.1-6은 heave damping coefficient를 나타낸다. 그래프를 살펴보면 $\lambda/B = 2$ 되는 부분까지는 heave damping coefficient는 나타나지 않다가 파장이 길어짐에 따라 $\lambda/B = 2$ 이상의 값에서 급격히 증가함을 보인다. 그리고 흘수가 증가함에 따라 heave damping coefficient는 감소함을 것을 보인다.

Fig. 3.1-7에서 heave exciting force를 알아보면 $\lambda/B = 2$ 보다 작은 부분에서는 exciting force가 거의 나타나지 않다가 $\lambda/B = 2$ 가 넘는 부분에서는 갑자기 증가하는 경향을 나타낸다. 그리고 흘수가 증가하면 좀 더 긴 파장에서

exciting force가 급격히 증가하는 것을 보여준다.

Fig. 3.1-8은 heave amplitude는 파장이 길어질수록 파도와 같이 움직이게 되는 것을 알 수 있다. 흘수에 따라 각 파장에서의 극대점을 살펴보면 흘수가 커질수록 극대점이 생기는 파장이 $\lambda/B = 1$ 부근에서 $\lambda/B = 2$ 이후로 늦어지는 것을 볼 수 있다.

나) heave motion

heave motion은 두 가지 방법으로 측정하였다. 첫 번째 방법은 6자유도 운동 측정 장치에 모델을 설치하고 측정 장치에 설치되어 있는 potentiometer를 이용하여 운동을 계측하였고 그 결과를 Fig. 3.1-9에 나타내었다. 두 번째 방법은 계류를 하지 않고 자유운동을 할 때의 motion을 캠코더로 촬영하여 그것을 motion capture 프로그램을 이용하여 움직임을 계측하였고 그 결과를 Fig. 3.1-10에 표시하였다.

Fig. 3.1-9에서 수치 해석한 결과와 실험에 의한 data를 비교하여 살펴보면 heave motion은 실험 data와 수치 계산한 결과가 비슷하게 나왔으나 공진에 의한 효과는 $\lambda/B = 1.5$ 부근에서 아주 작게 나타났다. 그리고 $\lambda/B = 3$ 이후의 값은 수치 계산한 결과보다 더 빨리 1로 수렴하는 것을 보인다. 실험결과에서 흘수에 따른 heave motion을 비교해보면 수치 계산한 결과와 같이 흘수가 증가할수록 heave motion은 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3.1-10에서 수치 해석한 결과와 비교하면 비교적 잘 일치한다. 그리고 $\lambda/B = 1.5$ 부근에서 약간 움직임이 증가하는 것을 보인다. $\lambda/B = 4$ 이후에서 수치 계산한 결과보다 큰 값을 나타낸다.

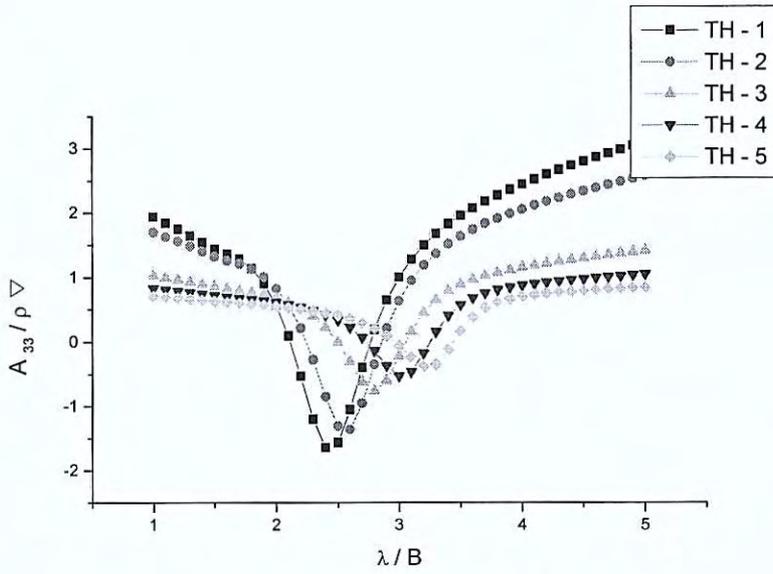


Fig. 3.1-5 Case 2의 heave added mass 비교

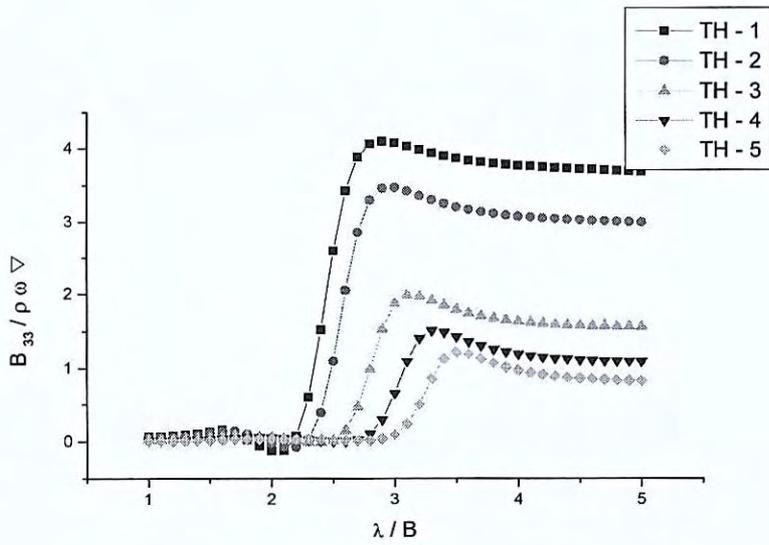


Fig. 3.1-6 Case 2의 heave damping coefficient 비교

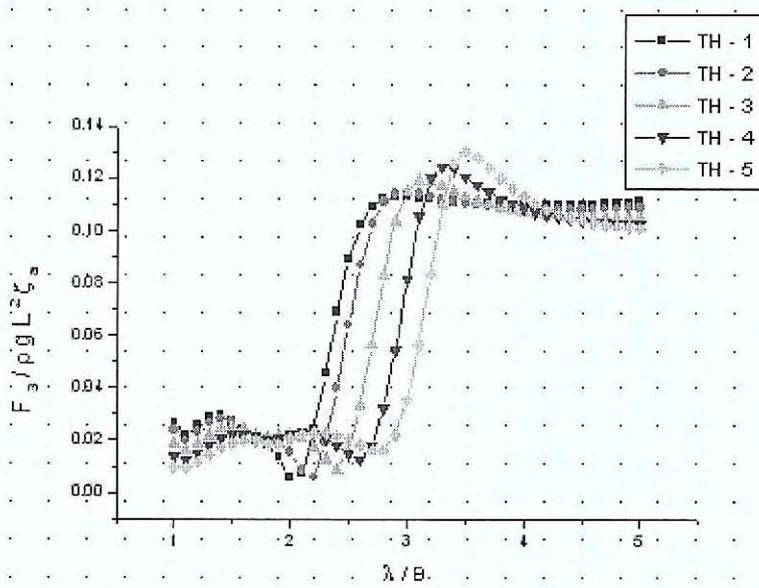


Fig. 3.1-7 Case 2의 heave exciting force 비교

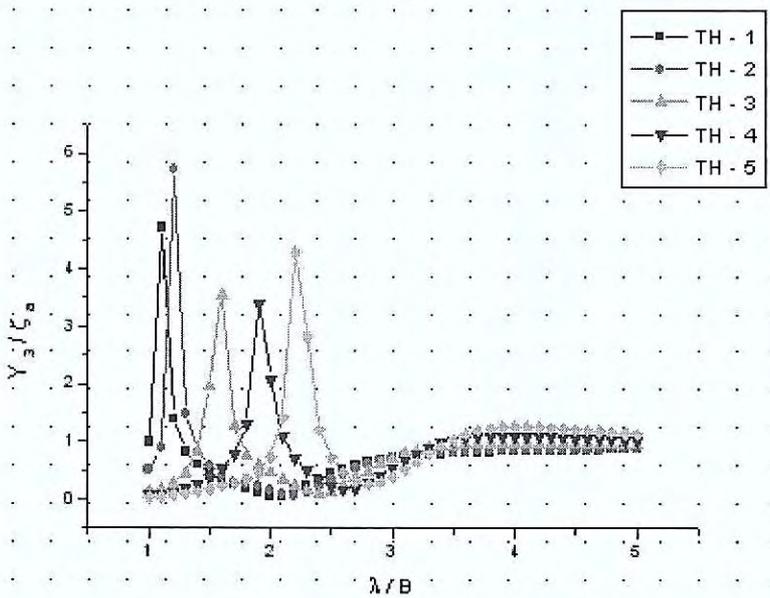


Fig. 3.1-8 Case 2의 heave amplitude 비교

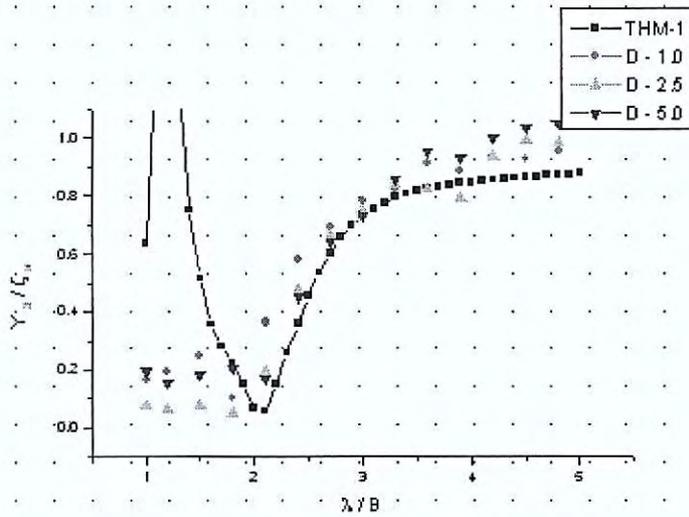


Fig. 3.1-9 6자유도 운동 측정 장치에 의한 heave amplitude 의 비교

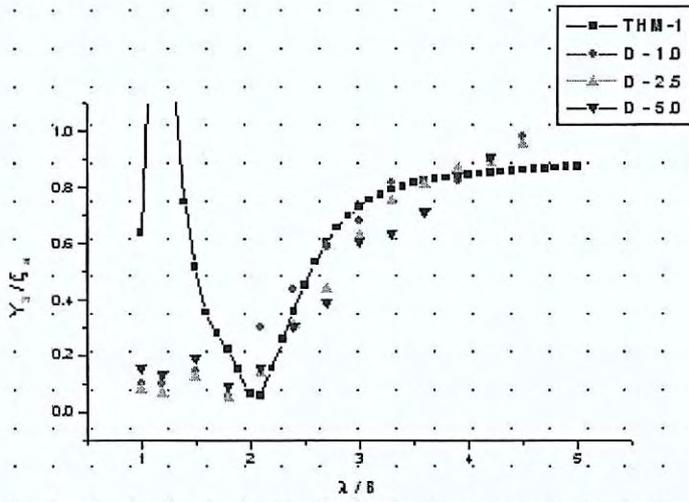


Fig. 3.1-10 Motion capture 프로그램을 이용한 heave amplitude 비교

나. 가두리 모델 제작

계산 결과와 경험을 바탕으로 설계도면을 작성하고, 이에 따른 가두리 모델을 제작하였다.

1) 가두리 모델 1

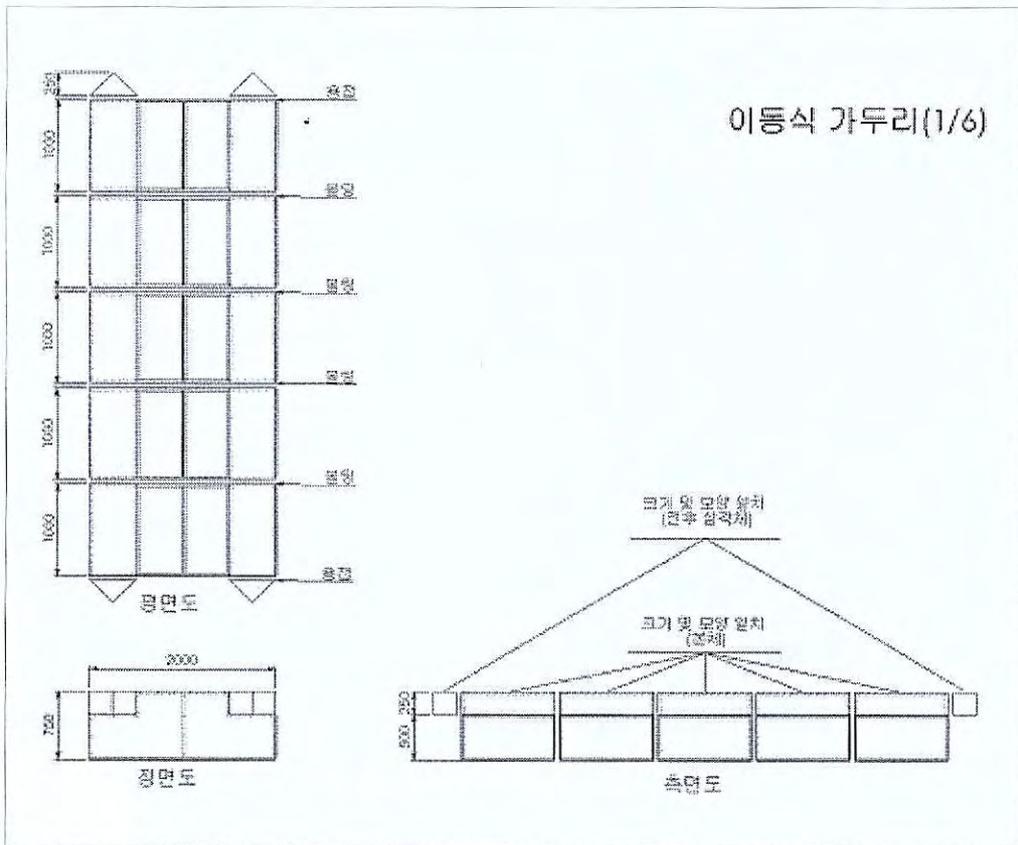


Fig. 3.1-11-1 1차 가두리 설계도 1

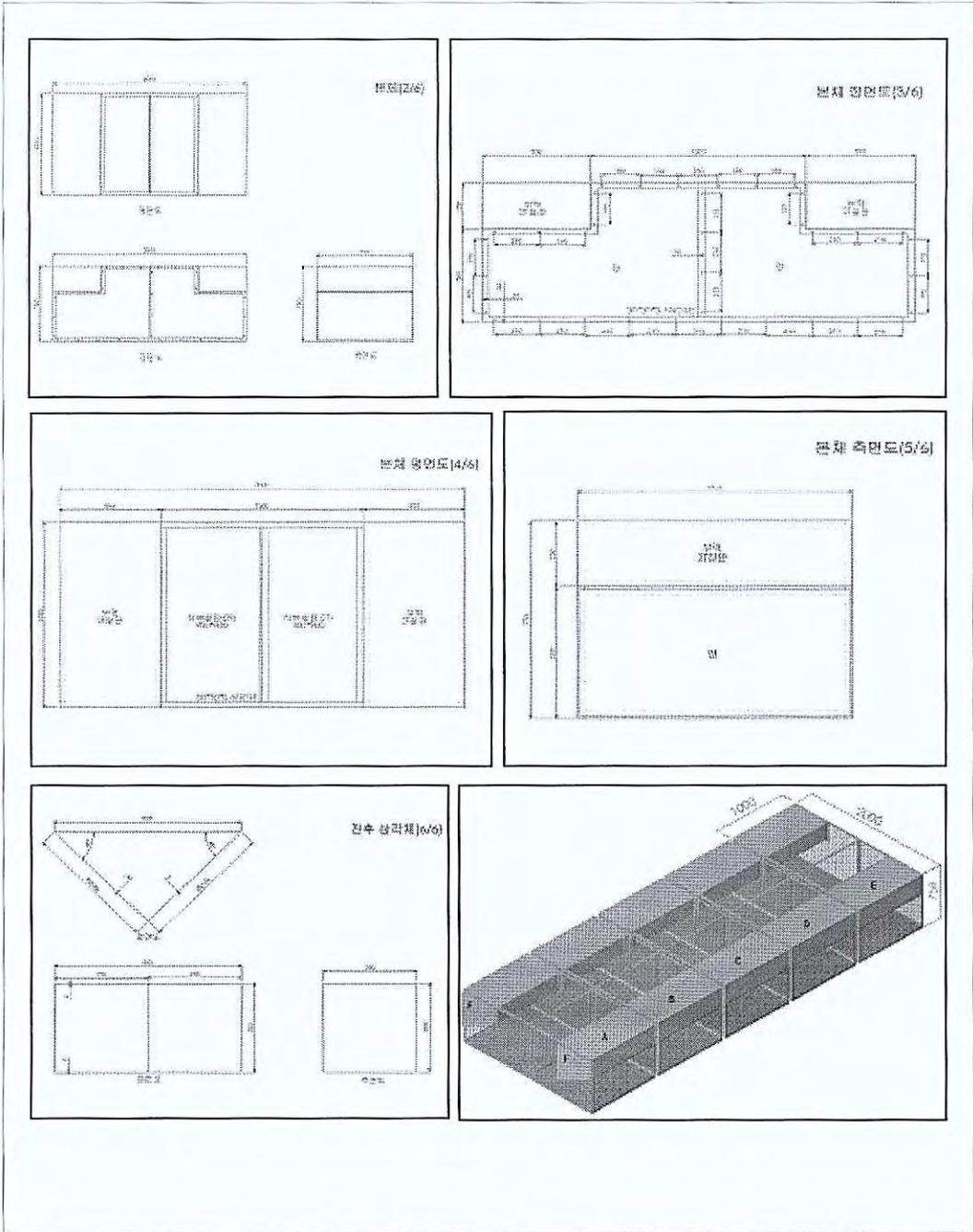


Fig. 3.1-11-2 1차 가두리 설계도 2

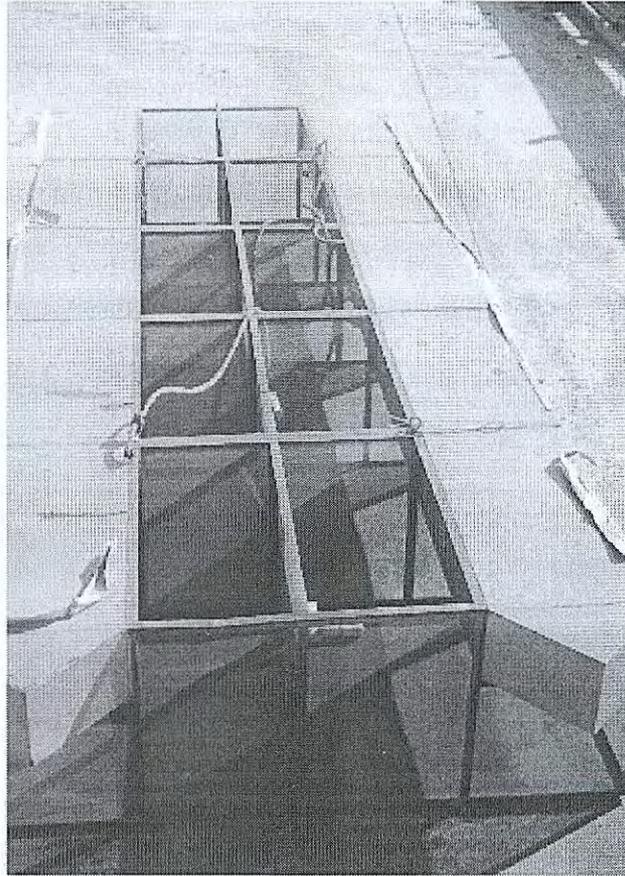


Fig. 3.1-11-3 1차 쌍동 형태의 가두리 모델

2) 가두리 모델 2

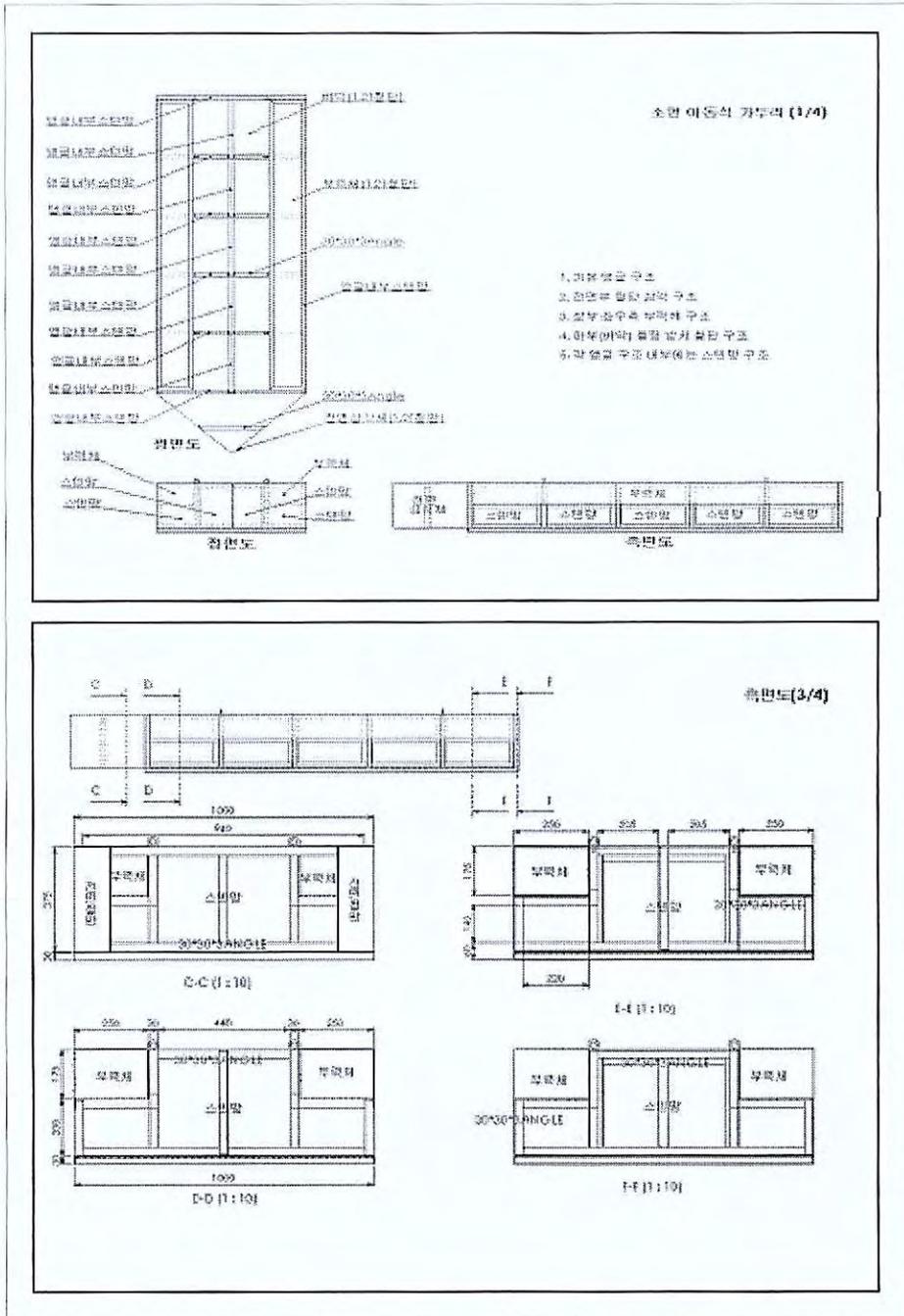


Fig. 3.1-12-1 2차 가두리 설계도 1

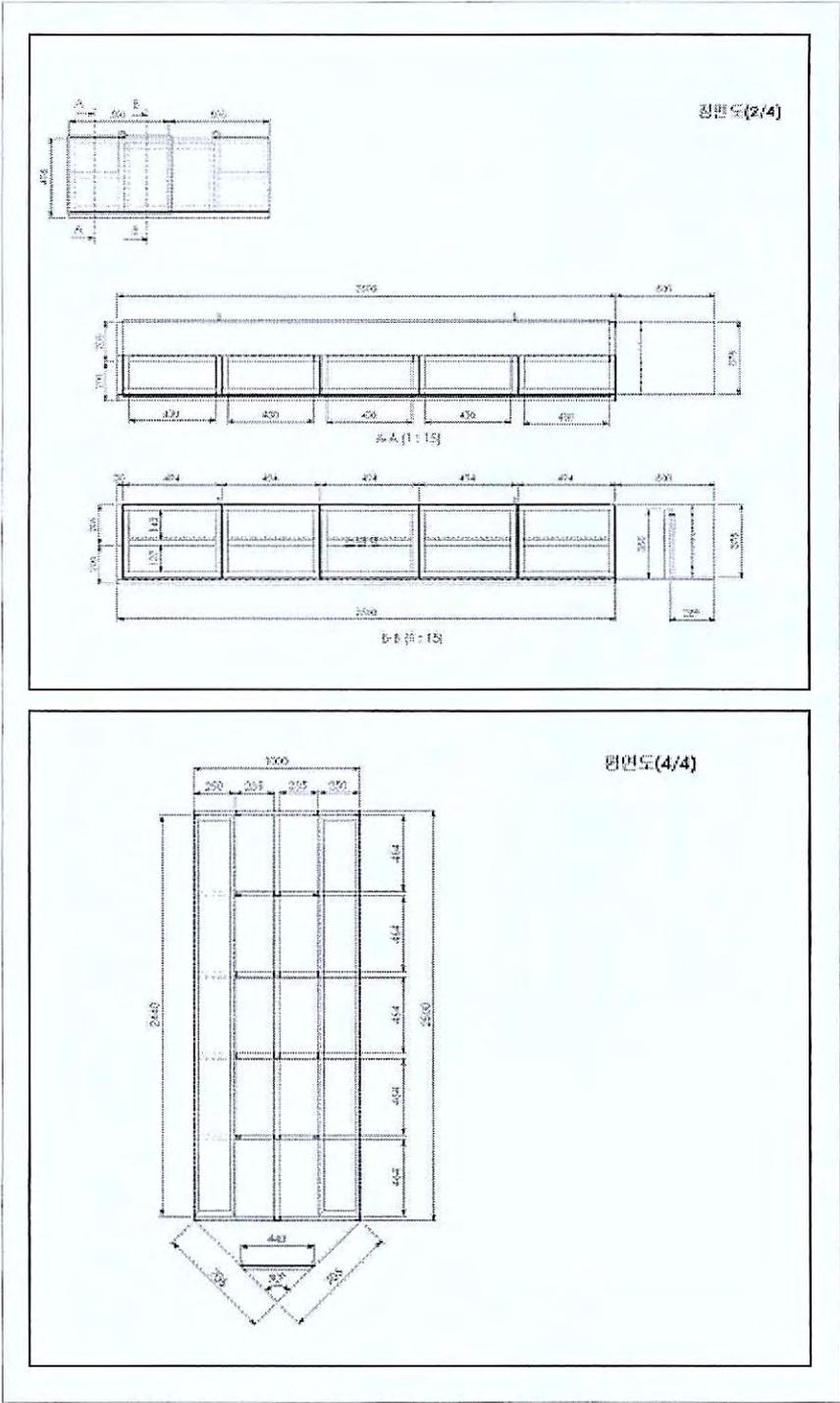


Fig. 3.1-12-1 2차 가두리 설계도 2

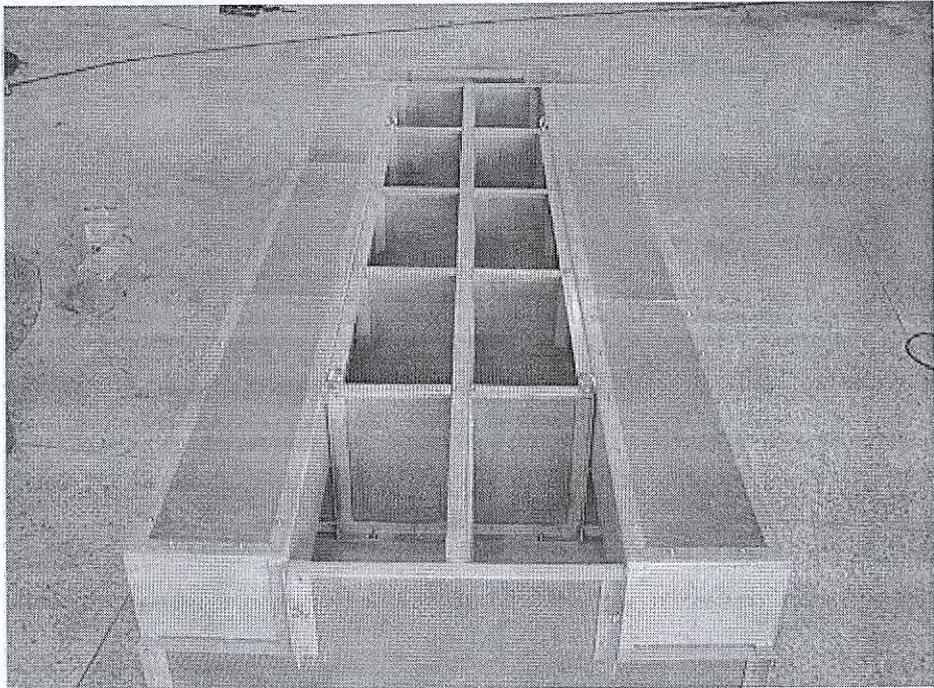
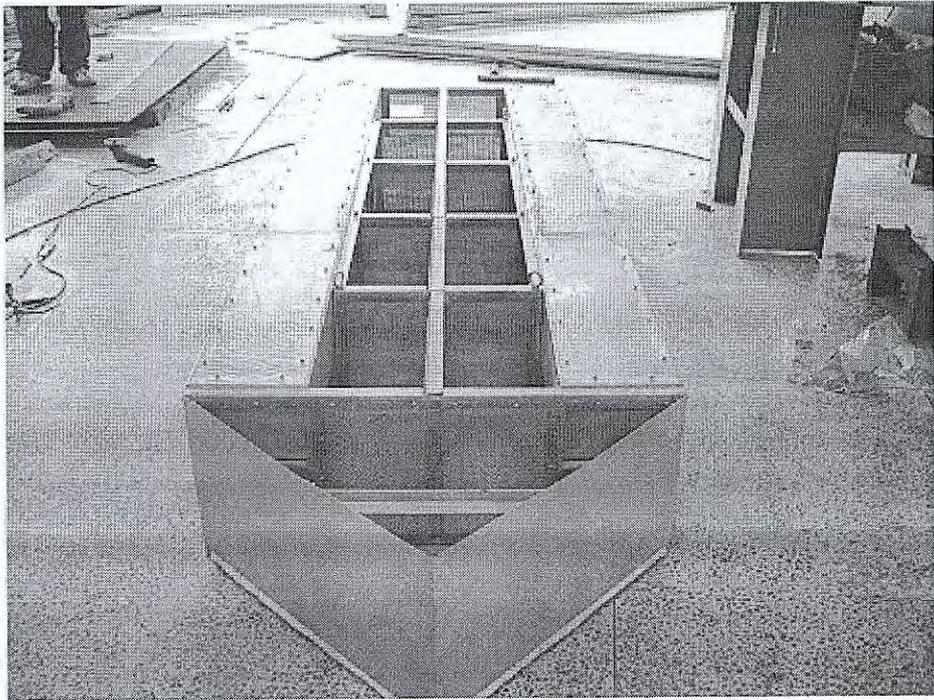


Fig. 3.1-12-3 2차 쌍동 쇠기형태의 가두리 모델

2. 2차 모형실험의 결과

한국해양연구원 해양공학수조에서 가두리모형 1과 가두리모형 2를 가지고 실험된 2차 모형실험의 서언과 결론을 수록한다.

가. 서언

세계 각국의 200해리 배타적 경제수역 선포에 따라 해양분할 관리 원칙에 의한 조업가능해역의 축소 및 공해에서 조업규제 등으로 인한 이용가능 수산 자원이 크게 축소됨에 따라 세계 각국은 200해리 수역 내 자국의 수산자원을 적극적으로 이용 및 보전하기 위해 장기적 대책을 강구하고 있다. 우리정부는 “잡는 어업에서 기르는 어업”으로의 전환을 기반으로 한 수산업 발전 대책을 마련하고 있다. 이에 따라 연안 어장의 조성을 활성화하기 위하여 인공어초와 같은 수산 증식시설의 설치에 박차를 가하는 한편, 가두리와 같은 양식시설을 외해로 유도하기 위한 노력을 경주하고 있다. 특히 가두리 양식장은 적조에 의한 잇단 폐사 및 연안 양식장의 환경오염 등으로 인해 보다 청정 해역인 외해로 나가야 하는 현실에 직면해 있다. 이에 따라 양식장이 보다 심해진 해양환경을 극복해야 하는 구조 안정성을 확보해야 하는 문제가 수산공학 분야에서 가장 큰 관건이 되고 있다.

해상구조물의 설계에 고려하여야 할 환경하중으로는 파랑하중, 바람하중 그리고 조류력 등이 있다. 또한 지역적 특성에 따라 지진 및 쓰나미 그리고 빙하중(ice force)등이 있을 수 있으나, 우리나라 연근해에서는 크게 고려하지 않아도 된다. 이러한 환경하중의 크기는 계류시스템의 필요강도를 결정하는 주요인자이며, 환경하중의 동적 특성은 계류시스템의 동적 특성과 연계하여 구조물의 운동성 해석 및 설계에 있어서 필히 고려되어야 할 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 연구에서는 대상해역의 설계 조건 및 가동 조건에 해당하는 파랑 중,

부유체에 작용하는 하중과 운동성능에 관한 연구를 수행하였다.

수산양식시설의 효과적인 운용을 위해서는 안전성 및 적절한 운동성능의 확보가 필수적이며, 이들 성능의 평가를 위해서는 운동특성 및 계류장력의 파악을 위한 모형시험이 요구된다.

모형시험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소의 해양공학수조에서 수행되었다. 해양공학수조는 실효역 환경조건인 파랑, 조류, 바람의 생성이 가능한 모형시험수조로서, 시험가능한 영역의 크기가 길이 56m, 폭 30m, 수심 4m 이고, 파주기 0.5--5.0sec, 최대파고 0.8m, 최대 풍속 10m/sec, 수심 2.5m에서 최대 유속 0.5m/sec의 해양환경 재현이 가능하다.

실제 양식장이 가동될 지점이 제주도 남해의 깊이 60m-70m인 지점이므로, 해양공학수조의 가용수심 3.4m와의 수심비를 통하여 모형은 1:20 축적비로 제작되었다. 철제 모형을 사용하였으며, 무게 중심 및 관성반경을 계측하기 위해 경사시험 및 관성능률시험을 각각 수행하였다.

모형시험의 환경조건은 실효역의 설계환경조건과 수조의 환경재현 한계를 고려하여 결정하였다.

모형의 축적비와 실효역의 설계조건에 따라 결정되는 모형시험 환경조건은 수조에서 생성가능한 파랑의 한계를 고려하여 재현 가능한 최대 파고를 사용하여 시험을 실시하였다. 바람에 의한 외력은 대상에서 제외하였고, 조류에 의한 외력은 조류력의 크기에 대응하는 중량추를 조류력의 작용점에 수평하게 작용시킴으로서 상사시켰으며, 파랑은 조파장치를 이용하여 재현하였다.

나. 결론

제주도 남해 수심 60m-70m 실효역에 설치할 해상양식장의 안전성 및 운동성능을 알아보기 위해 1/20 축적비를 갖는 모형을 제작하여 한국해양연구원의

해양공학수조에서 실험을 수행하였다. 조류력은 그에 대응하는 추를 작용점에 매달아 모사하였고, 규칙파 중 실험을 통하여 파 주기에 따른 파랑 중 운동성능 및 계류계장력을 조사하고, bi-regular 파 중 실험을 통하여 차주파수(difference frequency)에 의한 장주기 운동 및 장력 성분을 계측하였으며, 불규칙파 실험을 통하여 갑판침수, 주파수에 대한 운동의 RAO 및 운동과 장력 등의 통계학적 수치를 예측하여 보았다. 또한 설계파 파주기를 갖는 몇 가지 파고의 파랑 중 실험 결과를 통해 수조에서는 만들 수 없는 설계파 중의 설계 계류 장력을 외삽하여 구하였다.

본 실험의 결과 다음과 같은 몇가지 중요한 결론에 도달할 수 있었다.

- 1) 규칙파 중 양식장의 2차 표류 운동은 계류시스템의 스프링 상수에 민감하게 영향을 받아, 스프링의 강성이 작을수록 운동량이 많아진다. 반면 운동의 진폭은 스프링 강성에 큰 영향을 받지 않는다.
- 2) 규칙파 중 계류사에 걸리는 장력 중에서, 평균 표류력 성분은 앵커쪽과 양식장 연결부가 거의 비슷하지만, 그 진폭에 있어서는 양식장 연결부가 훨씬 크다. 이 것은 양식장의 운동과 계류사의 운동에 의한 동역학적 효과와 snapping load에 의한 영향이라 할 수 있다.
- 3) bi-regular 파 중의 운동에서는 surge가 두 파의 차주파수에 의한 장주기 운동 특성을 잘 보여주었으며, 주기가 짧으면 연결부에 계류사와 양식장의 운동에 의한 동역학적 힘이 더 강하게 작용하고, 그 경향은 계류계의 강성이 강할수록 더 강해진다.
- 4) 불규칙파 중 갑판침수는 30분간 관찰되었고, 유의파고 4m의 경우가 19회이

고, 유의파고 5m인 경구가 29회였다.

- 5) 불규칙파 중의 운동 시계열로부터 스펙트럼을 구해보면, heave와 pitch는 입사파의 동일한 부기에서 peak가 나오는 반면 surge는 입사파 보다 긴 주기 성분의 느린 운동성분이 관찰되었고, 이것이 bi-regular 파의 결과에서 보았듯이 입사파들 간의 차주파수가 야기하는 운동이다.
- 6) 설계파를 외삽에 의해 구해보면, 앵커쪽에서는 평균 표류력 270ton에 진폭이 37ton/2 가 나오고, 양식장 연결부 쪽에는 평균 표류력 297ton에 진폭이 55ton/2가 나왔다. 결국 설계 장력은 앵커쪽에 289ton, 양식장 연결부에 325ton으로 산정되었다.

3. 가두리 제작 및 실험

앞서 2차 모형실험의 결과를 언급한 바와 같이 가두리 모델 1과 가두리 모델2의 제작 및 모형실험 결과를 바탕으로 대형 외해 어류 양식 가두리의 형태는 이동식이거나 혹은 해저 침하식 가두리가 적합할 것으로 판단되며, 이 중에서도 해저 침하식 가두리가 관리 및 운영상에 효율적일 것으로 예상된다.

즉, 평상시(파고 2 ~3m)에는 해면에서 운영되지만 폭풍주의보 이상에서는 해저에 침하를 시켜서 외력으로부터 보호하는 것이 경제적인 것으로 예상된다.

본 항에서는 해저 침하식 발생할 수 있는 문제점을 파악하기 위해서 해저 침하식 가두리의 설계 및 제작, 이의 운영에 필요한 부유 견인 구조물의 설계 및 제작 그리고 기초 실험을 수행한 내용을 중심으로 설명한다.

가. 해저 침하 가두리의 제작 및 실효역 실험

돌둑의 유영을 억제하여 어류의 에너지 소비를 줄임으로서 성장에 기여할 목적과 제작비용의 절감, 해저 밑바닥에 놓이는 가두리의 특성 등을 고려하여 고안되었다.

1) 해저 침하 가두리의 구조 및 기능

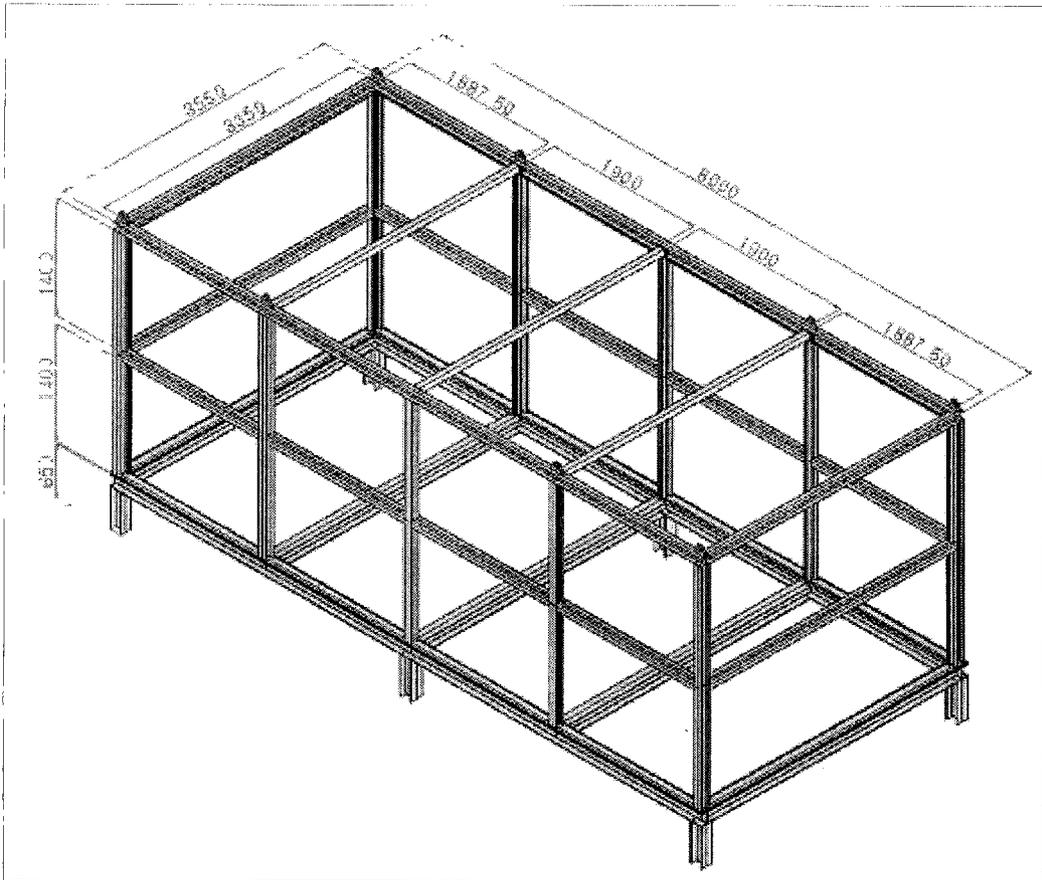


Fig. 3.1-13 해저 침하 가두리의 3D 개념도

해저 침하 가두리는 Fig. 3.1-13에서 보는 바와 같이 150×150×7×10(mm) 규격의 H빔을 사용하여 6개의 다리와 하부 베이스를 용접 제작하고, 하부베이스 상단으로 100×100×6×8(mm) 규격의 H빔 기둥과 보강 프레임을 세우고,

상단에는 75×75(mm) 규격의 아연각관을 사용하여 보강하였다. 상단의 아연각관은 볼팅 체결하여 해체가 가능하도록 하였다. 또한 상단에는 견인 고리를 용접하여 가두리를 설치하는데 견인이 용이 하도록 하였다. 가두리 프레임 안쪽에는 원형강을 용접하여 그물 설치 시 그물 고정 고리 역할을 할 수 있도록 하였다. 가두리의 크기는 길이 8M, 폭3.6M, 높이 3.65M로 자체 중량은 약 2.8ton 가량 된다. Fig. 3.1-14에서 Fig. 3.1-16까지는 해저 침하식 가두리의 도면을 보여주고 있으며, 그중 Fig. 3.1-14는 해저 침하 가두리의 측면도를 나타내고 있고, Fig. 3.1-15는 해저 침하 가두리의 정면도를 나타내고 있으며, Fig. 3.1-16은 해저 침하 가두리의 평면도를 나타내고 있다. 또한 Fig. 3.1-17은 실제 제작된 가두리의 해저 설치를 위해 육상 운반을 위한 크레인 작업 모습을 보여주고 있고, Fig. 3.1-18은 실제 해중에 설치되어 있는 가두리에 어류를 입식하여 양식하는 모습을 나타내고 있다. Fig. 3.1-18 중 상부의 (a) 그림에서는 가두리 밖에서 촬영한 영상을 capture한 것으로 그물과 활어 상태를 나타내고 있고, 하부 (b)그림은 가두리 안에서 촬영한 영상을 capture한 것으로 어류 및 가두리 프레임을 보여주고 있다.

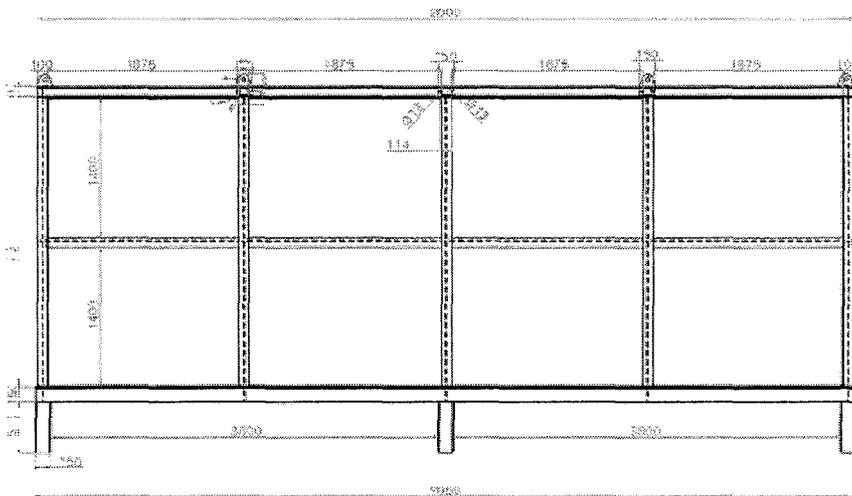


Fig. 3.1-14 가두리 측면도

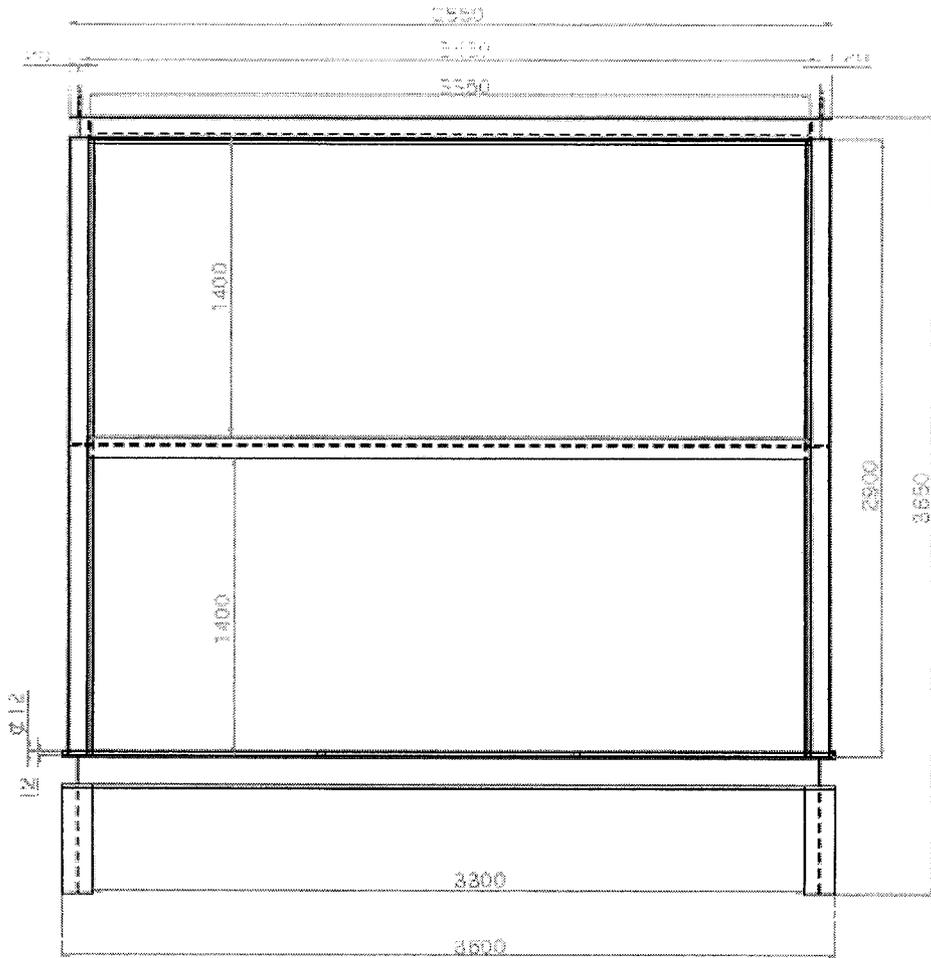


Fig. 3.1-15 가두리 정면도

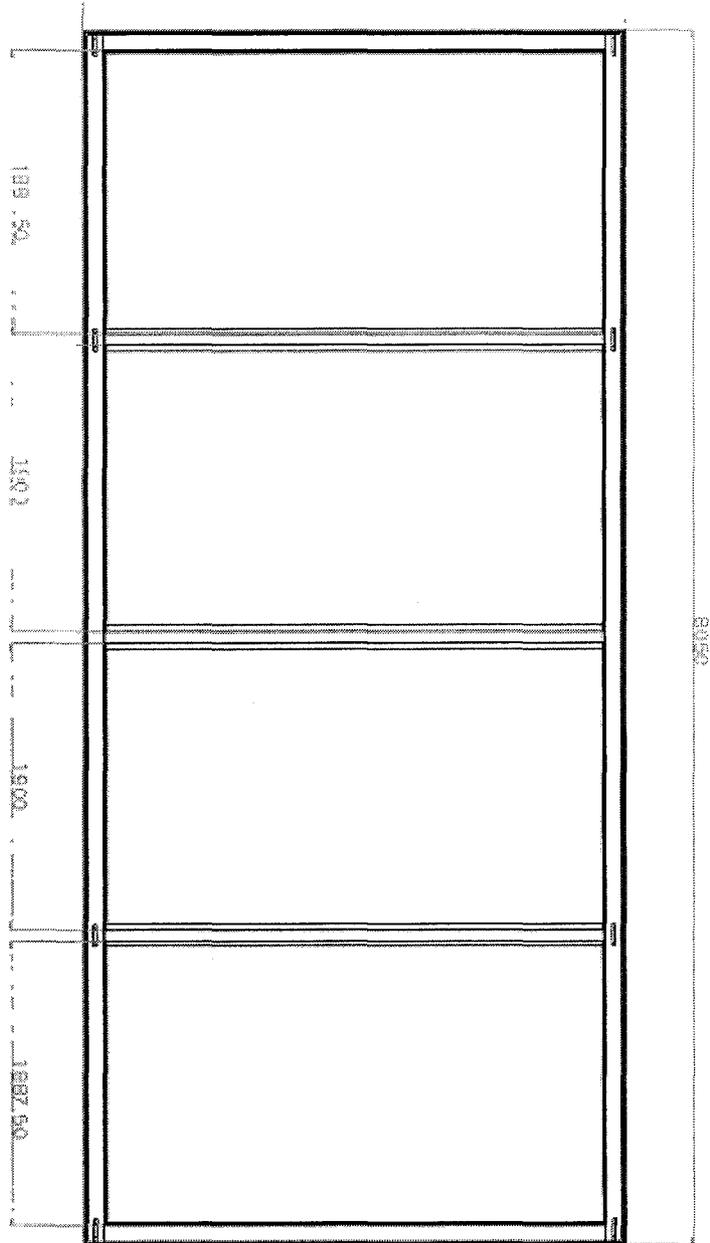


Fig. 3.1-16 가두리 평면도

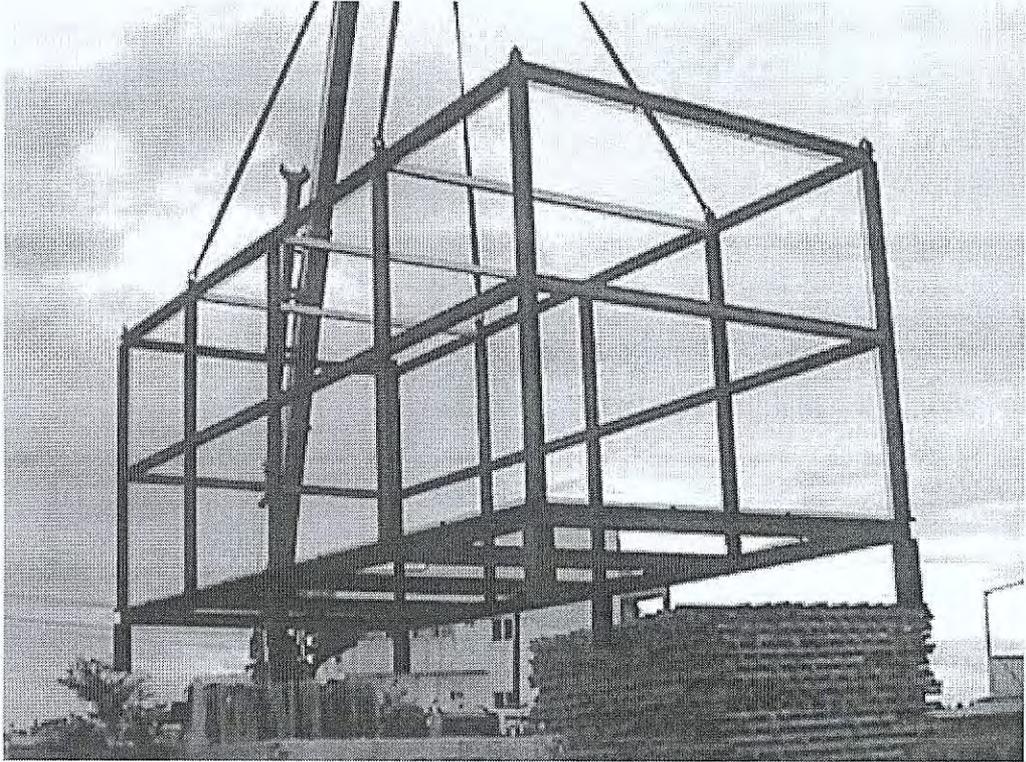
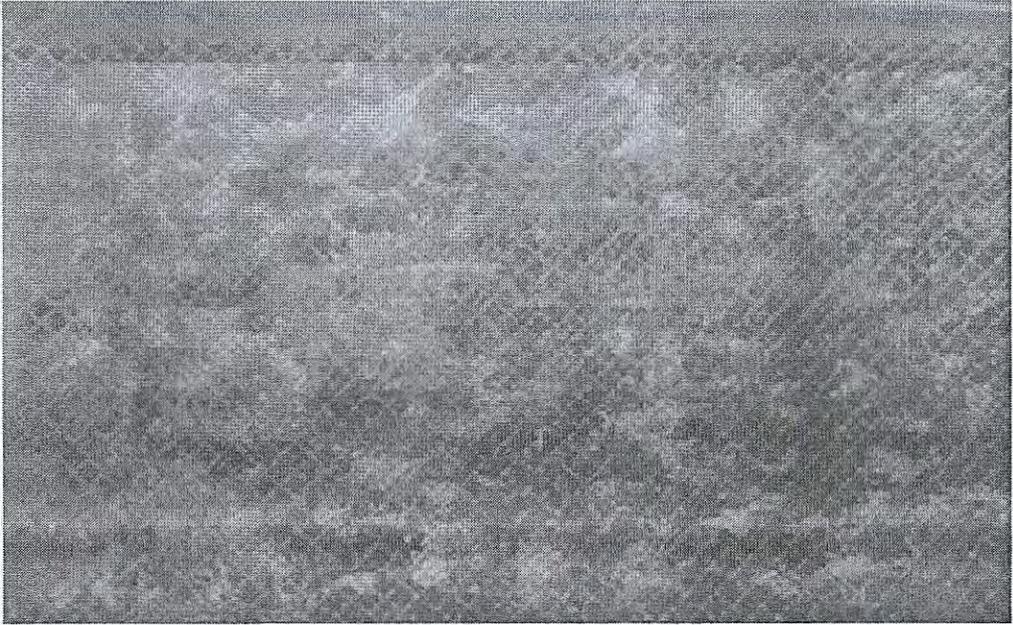
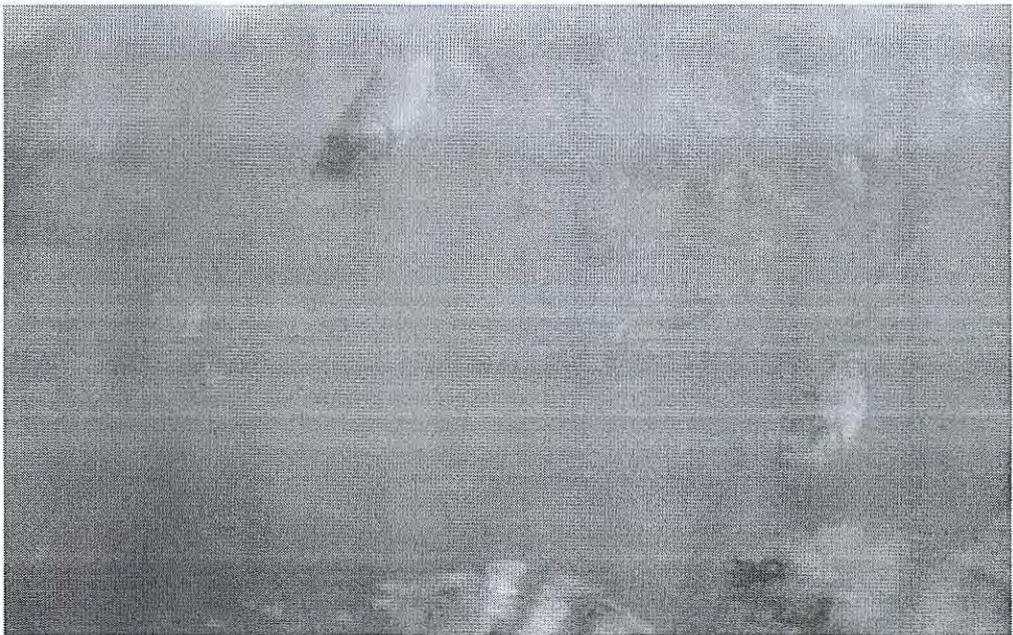


Fig. 3.1-17 가두리의 그물 설치 전 모습



(a) 가두리 외부에서의 촬영 모습



(b) 가두리 내부에서의 촬영 모습

Fig. 3.1-18 어류 가두리 양식 실제 모습

2) 해저 침하 가두리의 실패역 실험

본 연구에서의 해저 침하 가두리의 최종 타입은 앞서 언급한 바와 같이 강재(steel materials)로 제작된 프레임 내부에 그물망을 장착하는 방식의 해중가두리이다.

먼저 최종 타입 전의 가두리의 형태와 실패역 실험 내용을 그림을 통해 설명하고자 한다.

Fig. 3.1-19와 Fig. 3.1-20에서는 1차 가두리의 형태를 나타내고 있는데, 가두리의 상하부는 아연판으로 되어 있고, 측면은 수직 슬라이드 타입의 아연망으로 개폐가 가능하다. Fig. 3.1-21과 Fig. 3.1-22는 실패역에 설치된 1차 가두리의 모습과 어류를 입식하는 모습을 나타내고 있다. Fig. 3.1-23 태풍이 지나간 후 1차 해중가두리의 파손된 부분을 보여 주고 있는데, 상하부가 아연판으로 되어 있어 와류의 힘을 많이 받아 가두리가 10M가량 이동되면서 파손된 것으로 판단되고, 또한 슬라이드식의 개폐 방식은 해저에서 시간이 지날수록 바다 생물이 많이 붙기 때문에 개폐에 효과적이지 못하였다.

위와 같은 문제점을 해결하고자 연구진은 2차 가두리를 제작하게 되었다. 2차 해중가두리는 Fig. 3.1-24~26에서 알 수 있듯이 가두리의 육면 모두 망을 설치하여 와류의 힘을 덜 받도록 하였다. 강재로 제작된 프레임에 아연망으로 제작된 망 세트를 볼트 너트로 체결하고 프레임 내부에는 그물을 쳐서 이중 망 구조가 되도록 하였으며 상부에는 문을 만들어 출입이 가능하도록 하였으나, Fig. 3.1-27, 28에서 보는 바와 같이 태풍이 지나고 난 후 2차 가두리 역시 파손이 있었다. 가두리의 움직임은 거의 없었으나 아연망이 용접부위에서 떨어지면서 내부에 있는 그물까지 파손되었다. 연구진은 외부의 아연망을 대체할 것으로 하이젝스 망을 채택하였다. 하이젝스 망은 강화플라스틱 재질의 망으로 녹이 안 생기는 장점이 있다. 하이젝스 망을 사용한 3차 가두리 역시 Fig. 3.1-29와 Fig. 3.1-30에서 알 수 있듯이 외부의 하이젝스 망이 파손된 것을 알 수 있다. 지금까지의 실험으로 프레임의 강도에 있어서는 태풍에

도 잘 견딜 수 있었으나 이중망으로 제작했던 망 타입은 외부망이 파손되면서 내부에 있는 망까지 훼손시킨다는 것을 알 수 있었다. 따라서 연구진은 이중망이 아닌 내부의 그물 망 만으로 실험을 다시 하게 되었는데, 그물 망은 늘어나는 성질이 있어 아연망이나 하이젠스 망처럼 쉽게 파손되지 않고 잘 견뎌줄 수 있었다. 따라서 최종적인 망 형태는 프레임 내부에 그물 망 1set만을 설치하는 타입으로 하였으며 그물이 설치된 모습은 Fig. 3.1-31에서 알 수 있다.

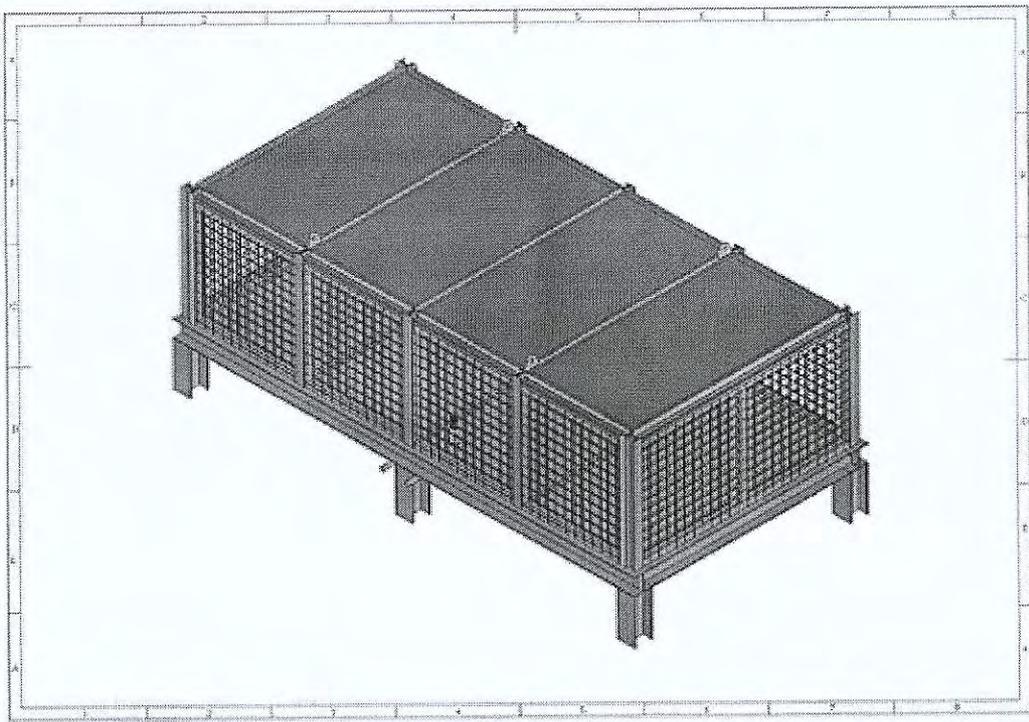


Fig. 3.1-19 1차 해중가두리의 개념도

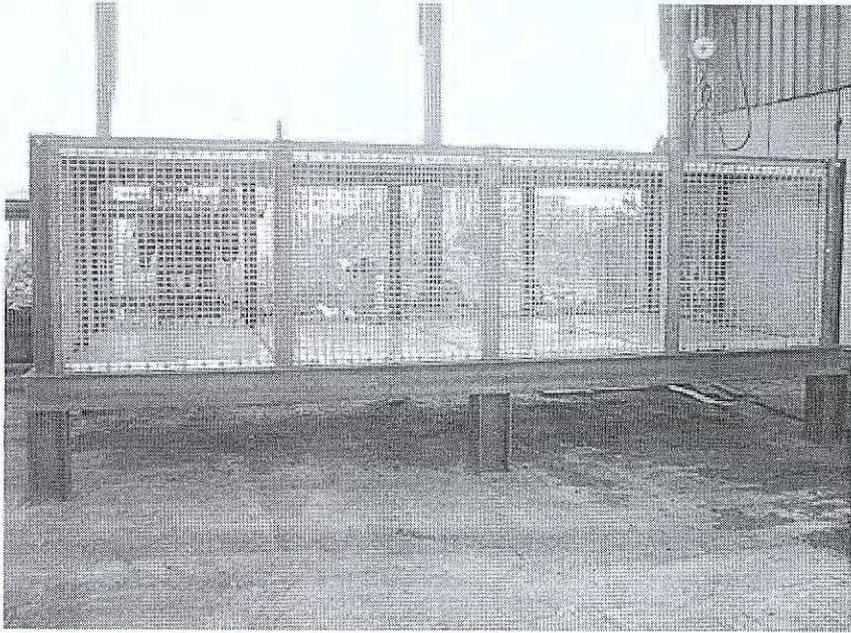


Fig. 3.1-20 1차 가두리의 실제 모습

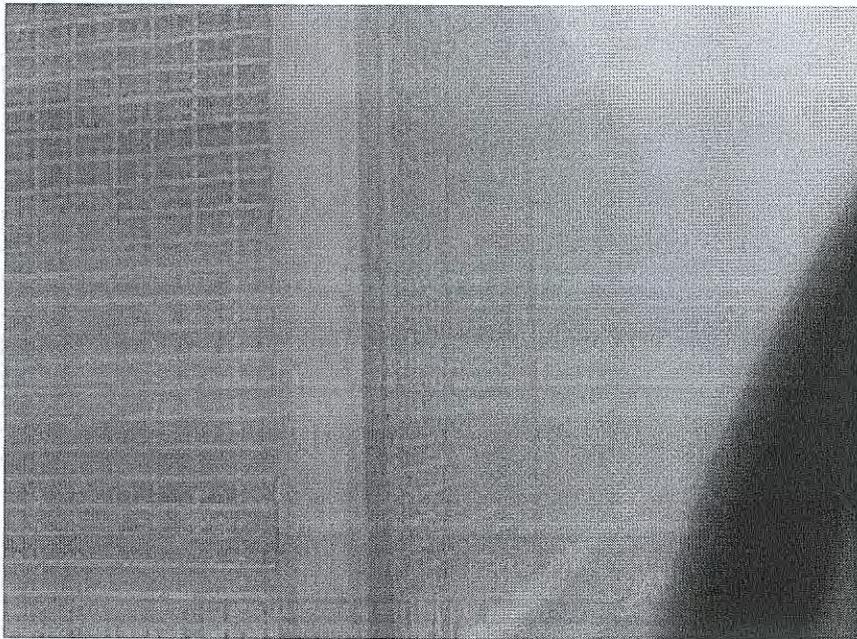


Fig. 3.1-21 해저면에 설치된 1차가두리



Fig. 3.1-22 1차 가두리 내 어류 입식

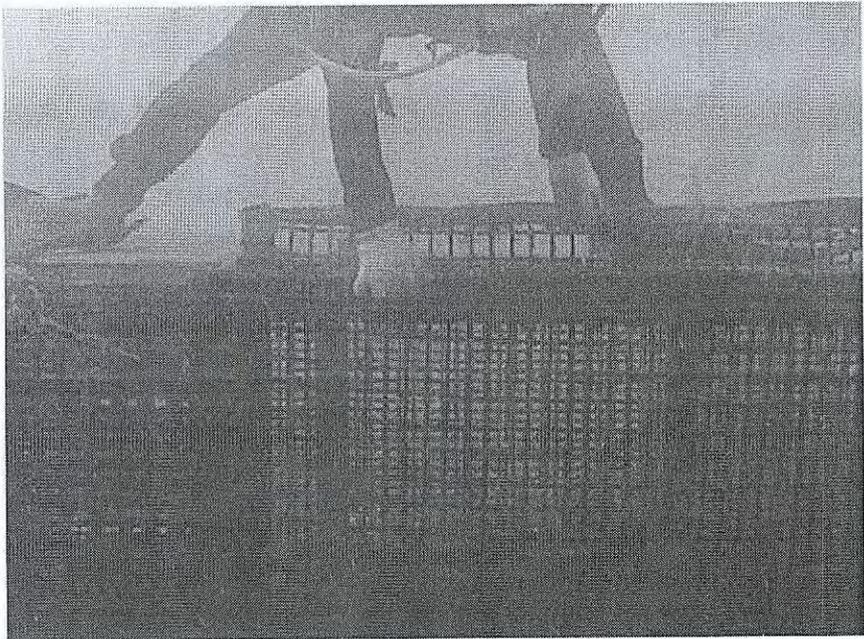


Fig. 3.1-23 1차 가두리의 망 틀 파손

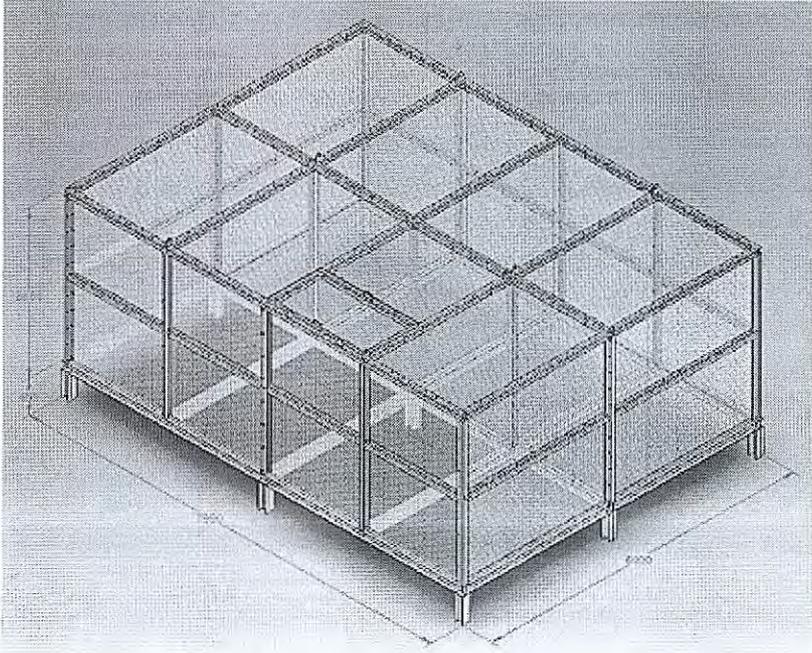


Fig. 3.1-24 2차 해중가두리 개념도

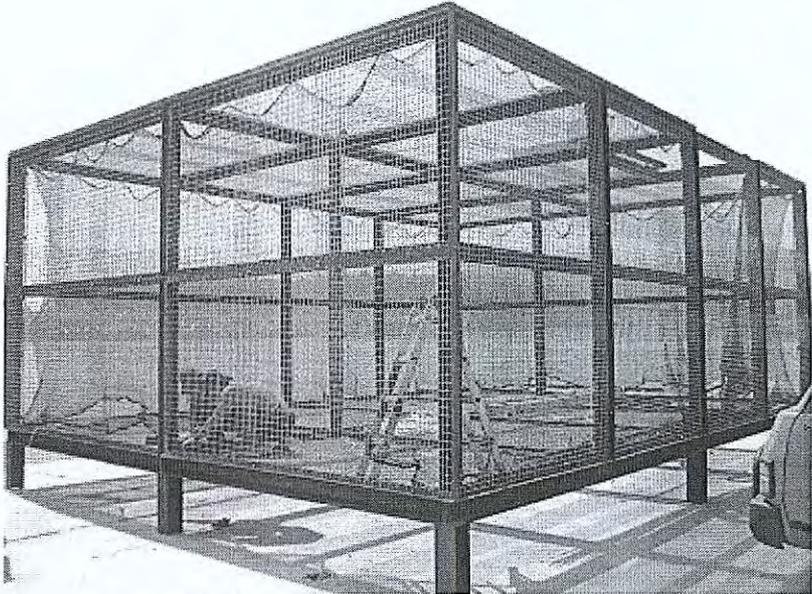


Fig. 3.1-25 2차 가두리 내부 그물 설치 모습

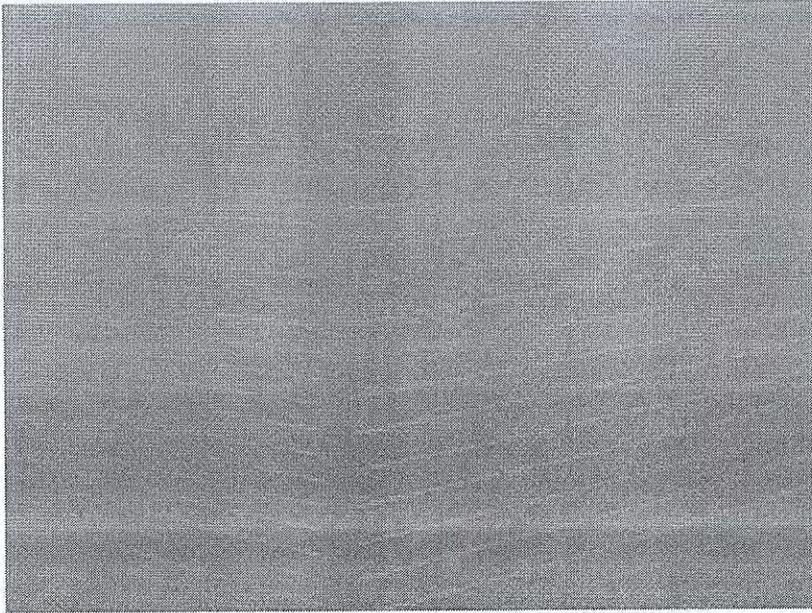


Fig. 3.1-26 2차 가두리 실해역 설치

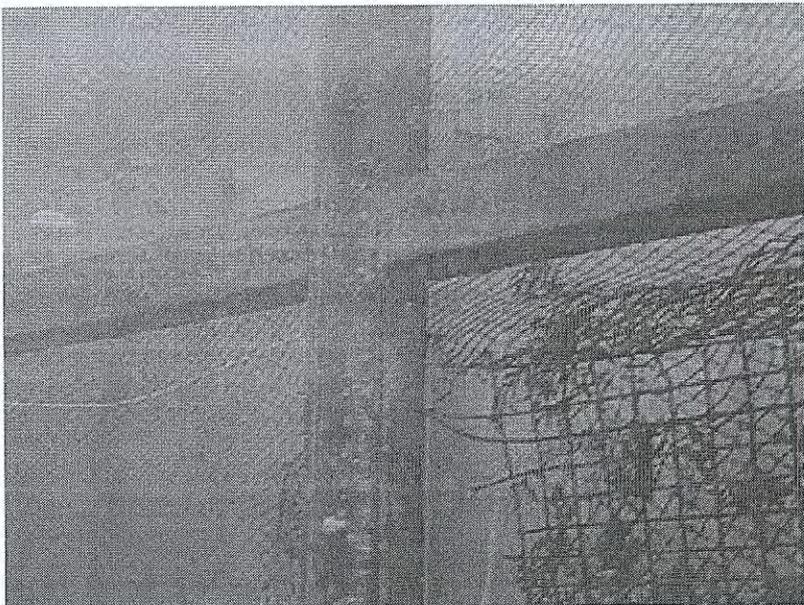


Fig. 3.1-27 2차 가두리 망 파손

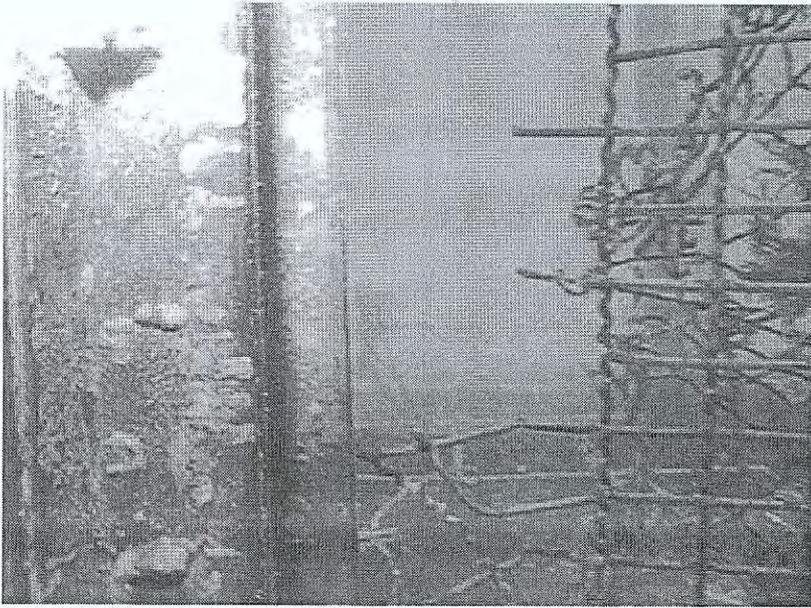


Fig. 3.1-28 2차 가두리 망 파손 부위 확대

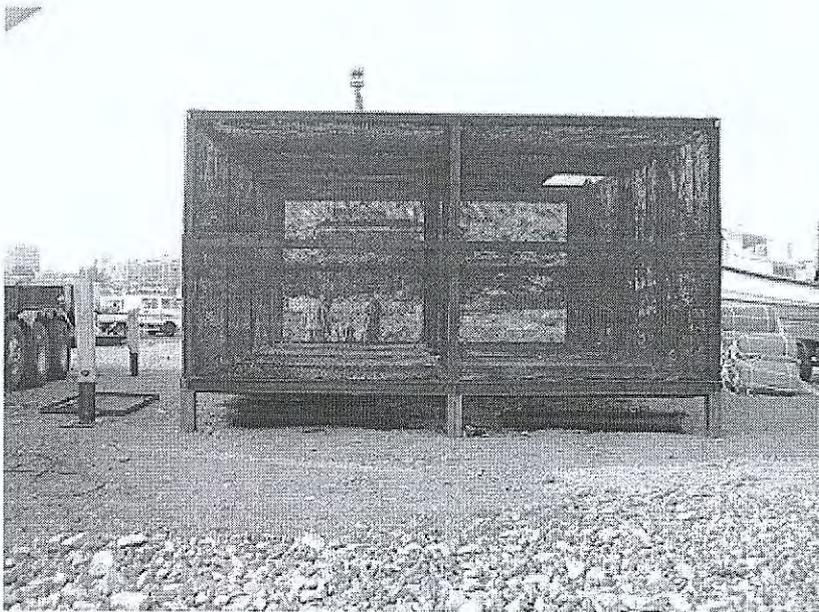


Fig. 3.1-29 3차 해충 가두리 실제 모습

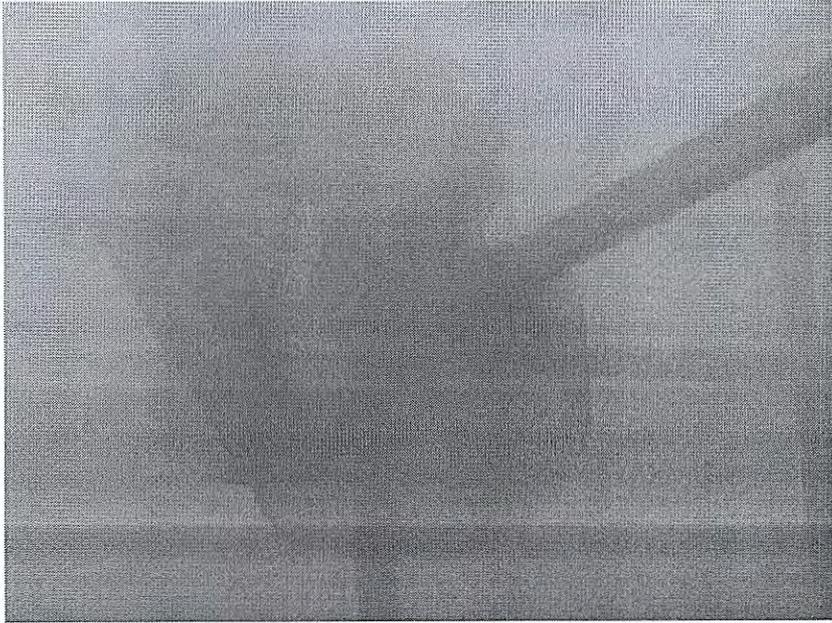


Fig. 3.1-30 3차 해중 가두리 그물 파손

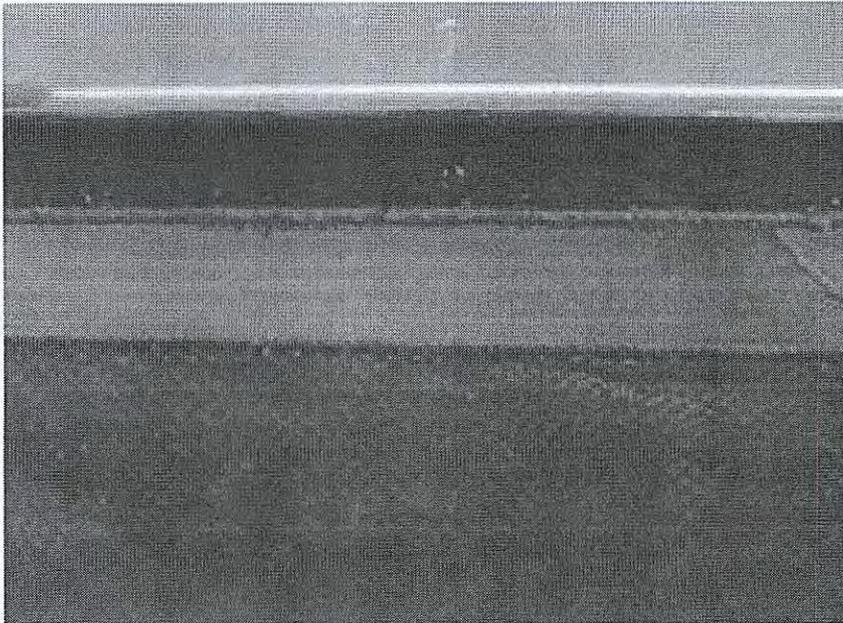


Fig. 3.1-31 가두리 내부에 설치된 single net 모습

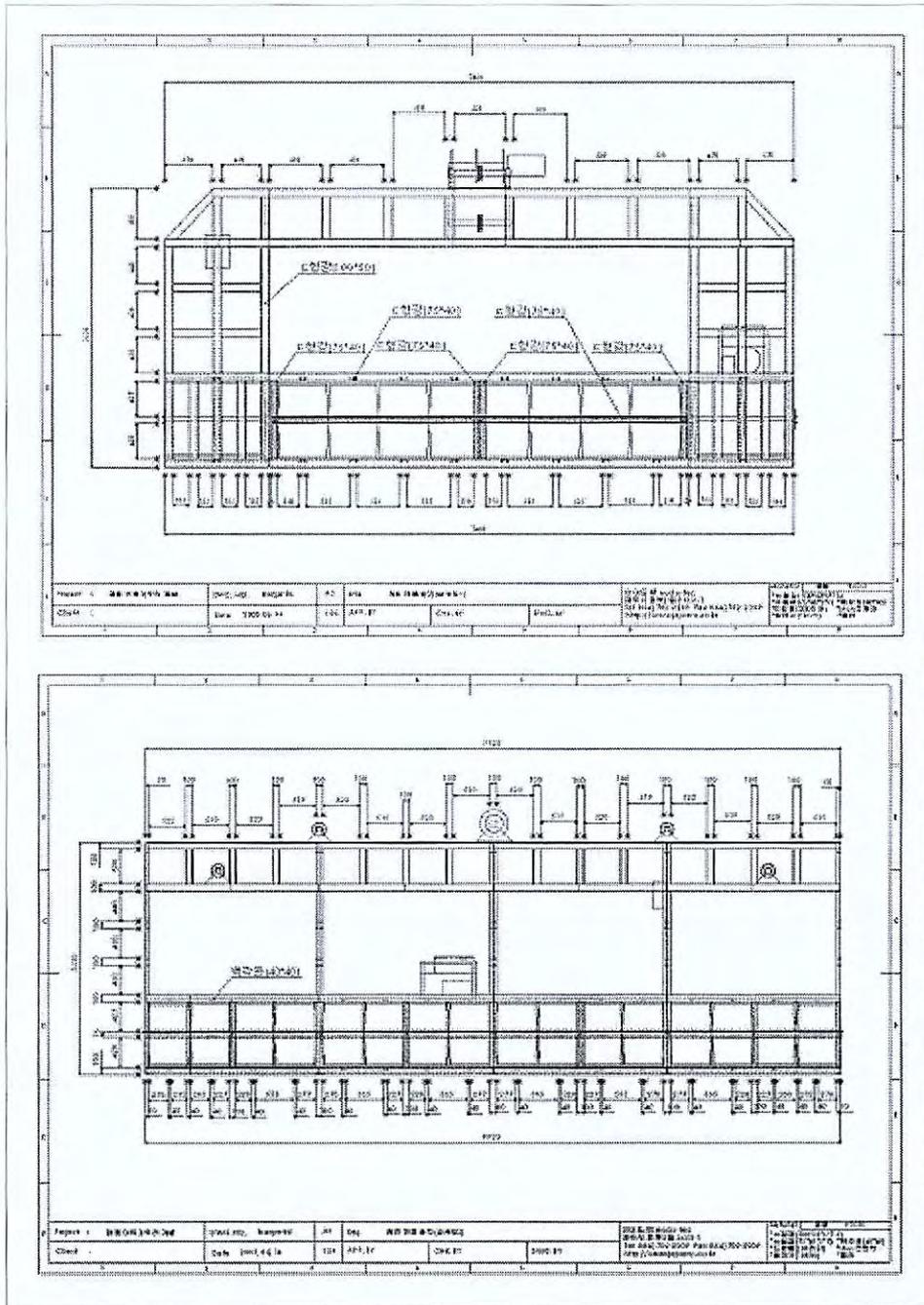


Fig. 3.1-32-2 부유 건인 구조물의 정면도 및 측면도

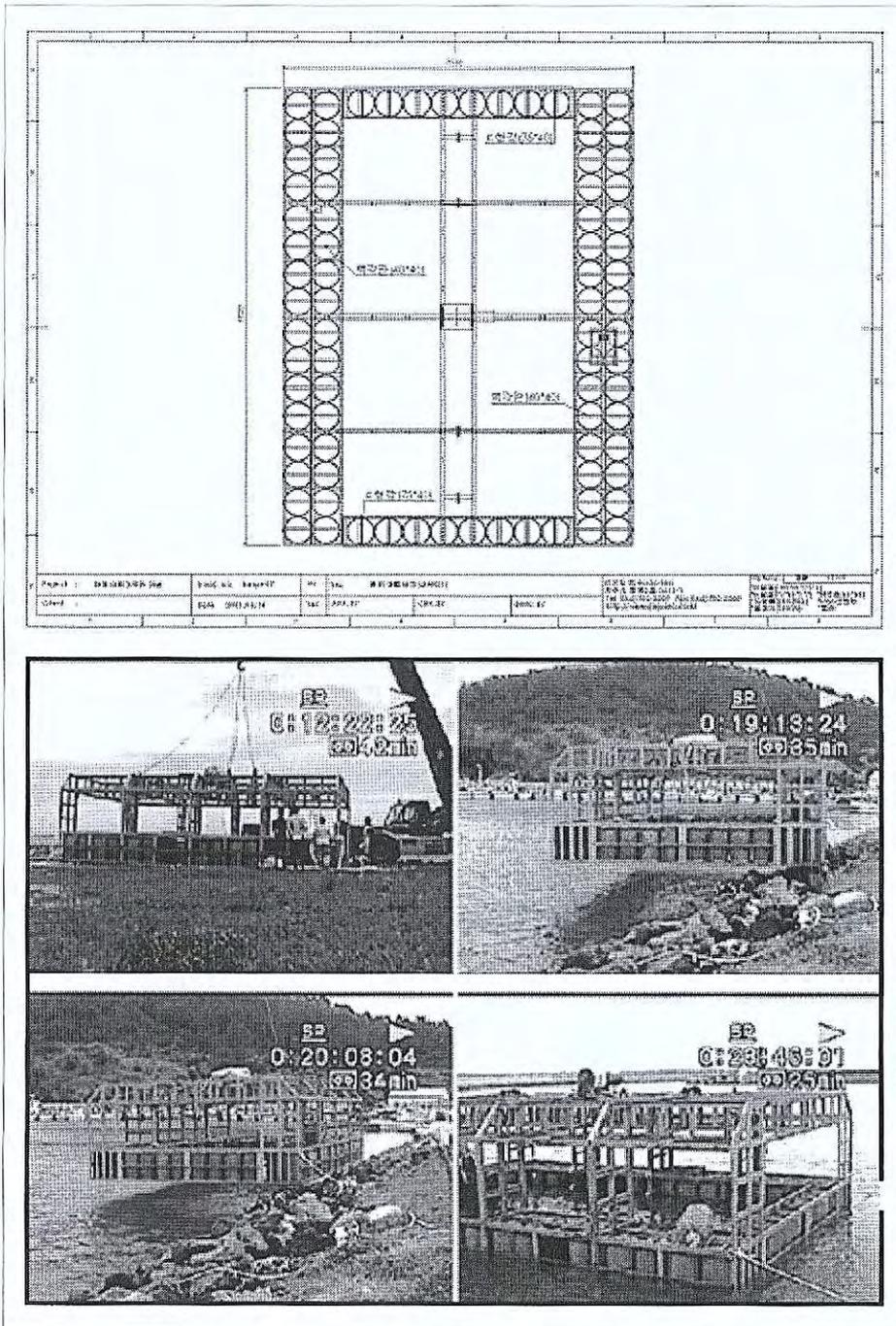


Fig. 3.1-32-3 부유 견인 구조물의 평면도 및 실제 모습

구조물 전체의 하부에 부력실을 전후좌우에 설치하여 구조물을 해상에 뜨게 하였으며, 상부에 프레임을 설치하여 barge의 강도를 높게 하였다. barge 하부에는 부력실을 제외하고는 중앙이 사각으로 개방이 되어 있어 해중 어류 가두리가 barge 안으로 들어 올 수 있도록 되어있다. 상부 프레임에는 해중 어류 가두리를 해수면으로 리프팅 가능하도록 여러 장비가 설치되어 있다. 상부 프레임 중앙에는 5ton급 윈치가 설치되어 있는데, 로프가 감길 수 있는 부위는 두 부분으로 나누어 져 각각 방향이 반대로 리프팅 로프가 감겨져 있다. 또한 윈치 양편으로는 활차가 각각 2개씩 설치되어 있어 한 개의 윈치로 2개의 리프팅 포인트를 갖게 된다. 상부 한 쪽에는 발전기를 설치하여 윈치 전원을 공급하고, 상부 프레임의 기둥에는 윈치 제어 박스를 설치하여 윈치를 제어한다.

부유 견인 구조물을 예인하여 해저 침하식 어류 가두리가 설치되어 있는 해저면의 상부에 이르면 앵커를 투하하여 구조물을 고정하고, 윈치에 감겨져 있는 로프를 활차를 통과하여 해중에 있는 어류 가두리에 연결한다. 윈치 제어를 통해 윈치를 작동하여 로프를 감아올리면 로프 끝에 연결된 해저 침하 가두리는 해수면으로 올라오게 된다.

Table 3.1-2 부유 견인 구조물의 제원

		CONTENT	REMARK
SIZE (M)		7.5×10×3.3	
WEIGHT (TON)		9	
VOLUME (ℓ)		16000	
MATERIAL		Steel	
PARTS	WINCH	5TON	Lifting
	GENERATOR	3Ø 220V	Power supply
	PULLEY	150Ø	

2) 1차 부유 견인 구조물의 실패역 실험

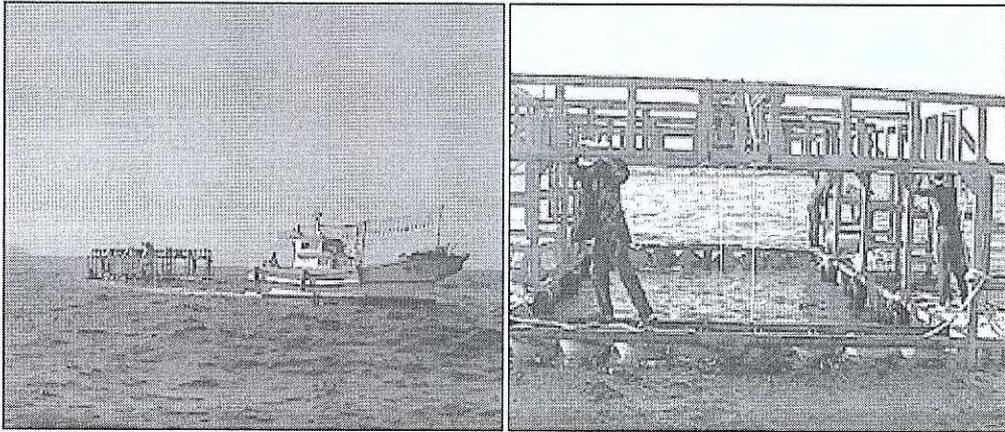


Fig. 3.1-32-4 부유 견인 구조물의 예인 및 윈치 작동 실험

부유 견인 구조물의 실패역 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 어떤 물건도 탑재하지 않고 구조물의 자체 중량으로만 바닷물 위에 띄웠을 때의 흘수선(draft line)은 45cm로 부력체 높이의 1/2를 가리켰다.

둘째, 구조물을 3.5톤급 어선으로 예인하여 본 결과 조류의 방향에 따라 다소 차이가 있으나 평균 속도가 0.4knot로 이동성에 있어선 그리 좋지 않은 결과를 보였다.

셋째, 실패역에서 해중에 설치된 자체하중이 5톤이 되는 구조물을 윈치를 작동하여 리프팅 해본 결과 해수면으로의 부상이 가능하였고, 해수면 부상시 구조물의 흘수선은 부력체 전체 높이의 3/4에 조금 못 미치는 65cm를 가리켰다.

위와 같은 실험 결과를 분석해 볼 때 기대치에 못 미치는 이동성의 문제는 구조물의 부력 확보를 위해 구조물 하부에 설치한 부력실이 예인시 큰 저항력을 갖고 있기 때문이라 판단하고, 이동성 향상을 위해 실제 리프팅 될 해저 침하식 가두리의 중량도 감안하여 구조물의 전후 부력실을 제거하여 평균속도를

1.2knot 까지 향상시켰다. 또한 초기 제작 시 발전기는 설계도면에서 보면 알 수 있듯이 부력실 상단에 설치하였으나, 예인 시 튀어 오르는 물살을 피하기 위하여 구조물 상단으로 이동 설치하였다.

실해역 실험을 통해 수정된 부유 견인 구조물을 이용해 해저면에 설치된 가두리를 실제 리프팅 실험을 하였다.

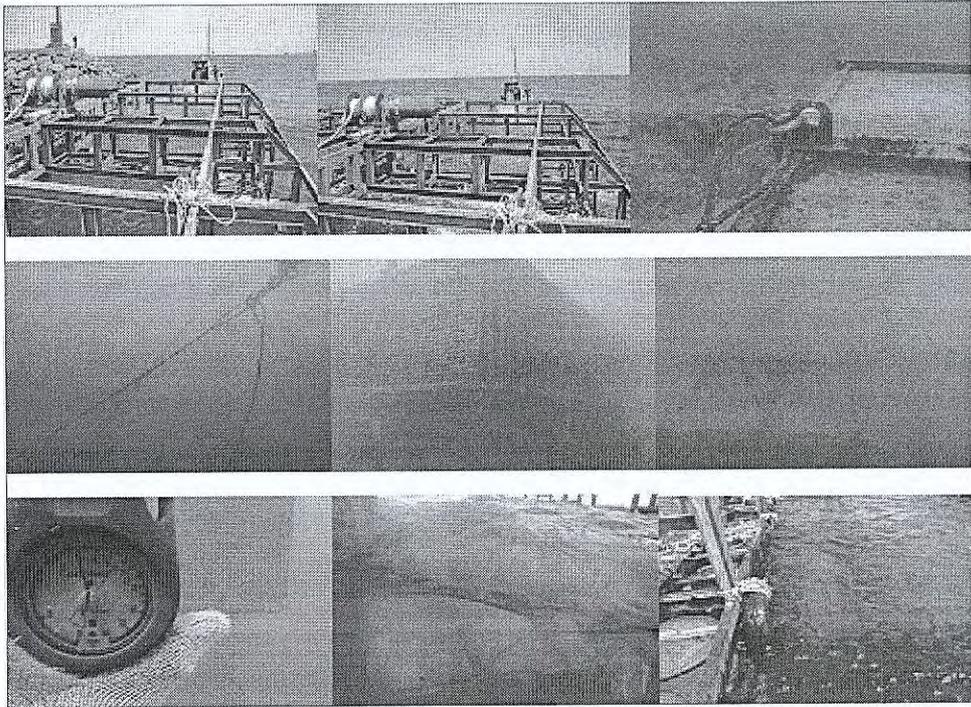


Fig. 3.1-32-5 해저 칩하식 가두리의 실해역 리프팅 실험 전경

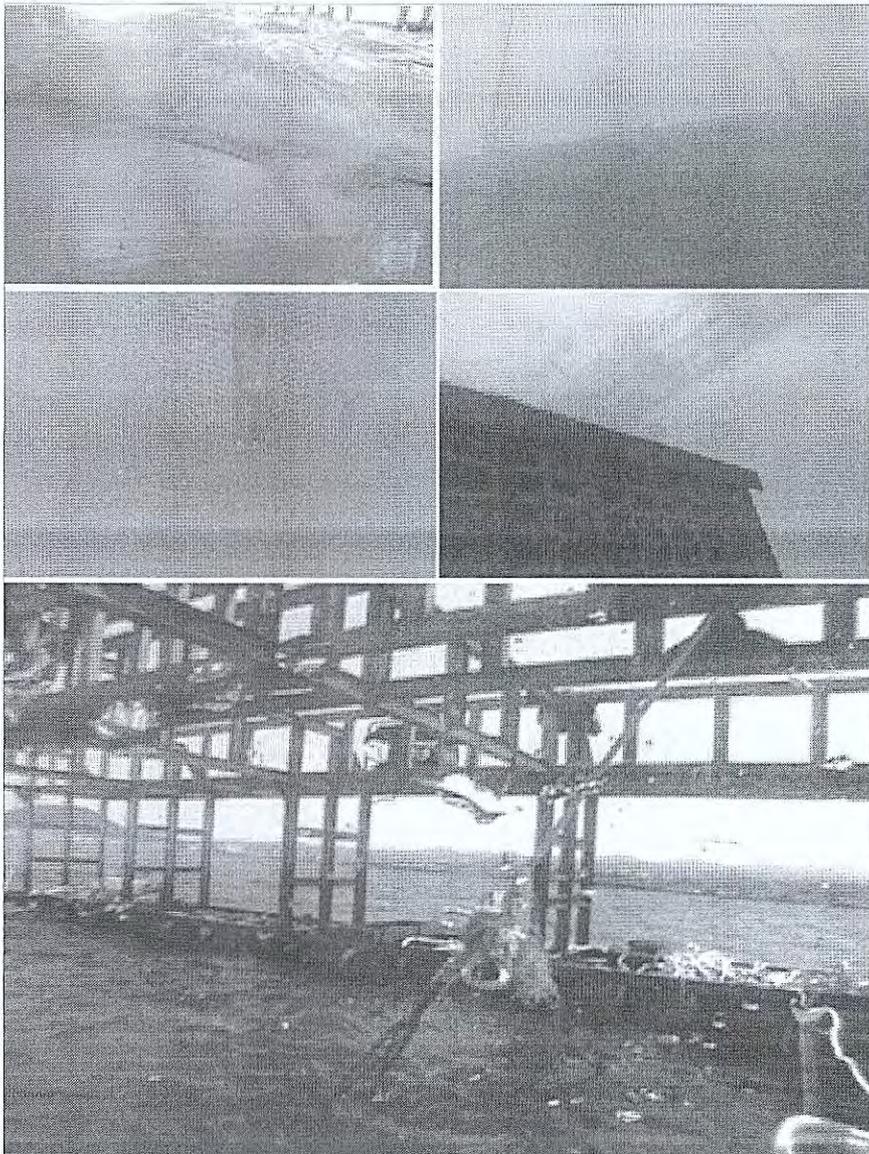


Fig. 3.1-32-6 해저 침하식 가두리의 리프팅 전경

해저 침하식 가두리의 실해역 리프팅 실험 결과, 해저면에 설치된海中 어류 가두리를 해수면으로 쉽게 인양할 수 있었다. 따라서 본 실험으로 출하 작업이나, 양식어의 입식 등 해저에 있는 가두리를 해수면으로 부양시킬 때는 별 문제 없이 이용할 수 있다는 것을 확인하였으나, 다만 가두리 인양시 인양 속도

가 어류에게 영향을 미칠 거라 여겨지고, 지속적인 연구를 통해 적정한 인양 속도를 산출하여야 본 시스템을 운영하는 데 보다 효과적일 수 있다고 판단된다.

3) 2차 부유 견인 구조물

앞서 언급한 과정을 통하여 아래에 서술한 바와 같이 최종 가두리 선을 개발 할 수 있었다.

부유 견인 구조물은 해저 침하 어류 가두리 시스템을 활용함에 있어 가두리의 해저 설치와 바다 속에 있는 가두리를 해수면으로 부상하는 문제를 해결하는 역할을 한다. 기본적으로 가두리 자체를 해중에 설치하여 운영하기 때문에 가두리의 설치 및 가두리의 교체 등의 이유로 가두리를 해수면으로 부상시키지 않으면 안 되는 경우가 있을 수 있다. 수심 30m정도에 위치한 구조물을 해상으로 부상시키는 일은 그리 쉬운 일은 아니다. 이 문제를 해결하고자 본 연구진은 가두리를 해수면으로 부상시킬 수 있는, 윈치를 이용한 가두리 부상 장치가 설치된 부유 견인 구조물인 해중가두리 전용관리 시스템을 개발하게 되었다.

해중가두리 전용관리 시스템은 최소의 동력으로 고중량의 해중 가두리를 리프팅하여 관리가능하게 하는 장치로서, 공기를 임의로 채우거나 배출하도록 하는 부력발생장치를 이용하여 자체적인 관리 장치를 부유하면서 동시에 가두리도 부유가능하게 한 장치이다.

해중가두리 전용관리 시스템은 특히 해중가두리가 수면으로 부상 시 부력을 이용하는 견인부력부에 대한 공기 주입량을 임의로 조절가능하게 하여 가두리의 리프팅 중량을 최대한 줄이고 수면으로의 상승속도와 그 방향을 제어가능하게 한 장치를 제공한다.

해중가두리 전용관리 시스템은 내부에 공기를 충전하여 부력을 발생토록 하는 통형구조의 부력발생부들을 좌우에 균형 있게 배치한 하부 부력발생부, 부

력발생부의 상측에 연결체에 의하여 연결되며, 상측에 배치되는 데크부를 지지하는 전후좌우 멤버로 구성된 플랫폼, 플랫폼의 상측 전방과 후방에 해저면과 일정거리를 두고 발전기, 컴프레서, 윈치타워들을 배치한 데크부, 데크부에 설치된 윈치타워의 윈치에 의하여 권취가 제어되는 견인와이어에 연결되는 동시에 컴프레서에서 발생된 고압의 공기가 호스를 통하여 견인부력부에 임의로 충, 방전을 가능하도록 한 리프팅부로 구성되어 있다.

해중가두리 전용관리 시스템의 부력발생부는 통형구조물의 내부를 빈 공간으로 구성하고 내부에 공기를 충전한 것으로 해저에 부유하면서 그 상부에 배치되는 플랫폼, 데크부 등에 대한 부력을 주어 관리장치의 부유가 가능하게 한다. 해중가두리 전용관리 시스템은 자체적인 추진력이 없으나 전, 후진 시 발생하는 물과의 저항을 최소화하기 위하여 전면에 배치되는 부력발생부는 침예하게 구성한다. 부력발생부의 크기와 배치 숫자는 해저면에서 인양할 가두리의 규모에 따라 적절히 조절이 가능하도록 각각의 단위체들이 서로 연이어지도록 구성한다. 즉, 단위형태의 통형구조물을 연속하여 이어짐으로서 부력발생 정도를 임의로 조절할 수 있다.

해중가두리 전용관리 시스템 플랫폼은 부력발생부의 부력을 받아 해상에 돌출된 각종 장치를 지지하기 위한 기본 프레임으로 부력발생부와 평행방향으로 배치한 좌, 우측 멤버와 이 좌, 우측 멤버를 전후에서 연결 지지하는 전, 후 멤버로 이루어진다. 이 플랫폼의 크기와 숫자도 역시 하부에 배치될 부력발생부의 크기와 숫자 등의 규모에 따라 적절히 증감 가능하다. 플랫폼과 부력발생체를 연결하는 연결체는 가능한 한 해수에 대한 내염방어성이 좋은 재질이라면 특별히 제한을 둘 필요는 없다.

해중가두리 전용관리 시스템 데크부는 상측 전방과 후방에 해저면과 일정 거리를 두고 발전기, 컴프레서, 윈치타워, 윈치들이 배치되며, 이 배치된 장치들을 운영하기 위한 작업 원들의 작업도 가능한 공간이다. 데크부의 바닥은 작업원이 미끄러지지 않도록 요철이 형성된 내구성이 있는 구조물로 구성한다.

데크부는 전방데크부와 후방데크부로 구분 설치되어지며, 이 전방데크부와 후방데크부의 사이는 가두리 안착공간부를 형성하여 해저면에서 부양되어오는 가두리가 이곳으로 유도되도록 한다.

해중가두리 전용관리 시스템 원치타위는 해저에서 상승하여 온 가두리가 고정되는 안착공간부의 전후상측에 서로 대칭되게 배치된 구조이다. 데크부에 설치된 구동모터의 구동력은 가두리 안착공간부에 설치되어있는 원치타위의 주원치와 보조원치에 대한 동력을 공급하여, 주원치는 견인와이어의 권취동작을, 보조원치는 보조 견인와이어에 대한 권취동작을 하게 된다. 견인와이어중 주원치와 연결된 견인와이어는 안착공간부의 좌우측에 설치된 견인부력부와 연결되도록 하여 와이어의 권취에 따라 견인부력부가 해저로 수직적인 승강 혹은 하강 동작을 돕게 된다. 반면에 보조원치에 연결된 견인와이어는 보조원치를 통하여 해저면에 설치되어있는 가두리양식장의 양단모서리부에 설치된 가이드롤러를 거쳐 다시 견인부력부의 하측에 있는 체결구에 연결되어진다. 따라서 보조원치의 견인와이어를 당기는 경우 해저면에 견인부력부가 하강하는 위치를 정확하게 잡아주게 한다.

즉, 보조원치는 해저면에 고정되어 있는 고중량의 가두리 양식장에 대하여 견인부력부가 접근할 때 조류가 수시로 변화하고 유속 등이 변화하게 되므로 견인부력부가 가두리 양식장에 정확한 접근이 되도록 도와주는 역할을 한다.

구체적으로는 보조원치가 데크부에서 주원치와 반대되는 쪽에 설치되어져 견인와이어가 견인부력부를 주원치에서 나온 견인와이어와 달리 해수면과 경사를 이루면서 체결되어져 이것을 양측에서 적절히 당기거나 풀어주어 위치조정을 하게 된다.

해중가두리 전용관리 시스템의 특징은 이 원치에 의한 견인력은 최소화하고 가두리 양식장에 체결된 견인부력부에 공기를 충전하여 부력을 부여함으로써 약 3톤 가량의 무게를 감소시켜 준 다음 견인한다는 것에 특징이 있다.

또 다른 특징은 견인부력부에 부력을 부여하되 그 부여되는 부력의 정도를

가두리 양식장 자체보다 크지 않도록 하는 것이다. 즉, 부력을 과도하게 부여하여 부력이 가두리 양식장의 무게를 이기게 되면 자체적인 부력에 의하여 수톤에 이르는 양식장이 급상승하면서 사고의 발생위험이 있기 때문이다.

따라서 해중가두리 전용관리 시스템은 어느 정도 조류나 견인 속도에 의한 흔들림 등이 최소화하는 것으로 약 100 내지 200kg 정도의 중량을 갖도록 하여 원치의 와이어 견인으로 충분히 통제된 속도로 상승하게 한다. 가두리의 부력에 의한 중량감소는 가두리 양식장의 크기에 따라 조절이 된다.

해중가두리 전용관리 시스템에서 견인와이어에 연결된 견인부력부는 플랫폼과는 별도로 독립된 구조물로 견인와이어에 의해서만 플랫폼과 연결성을 갖는다.

견인부력부는 좌, 우 모두 균형을 이룬 구조로, 부력발생부와 동일한 통형 구조물이지만 컴프레서로부터 공급된 공기가 임의로 출입 가능하도록 호스가 설치되어져 있다. 이 견인부력부는 또한 해저면에 설치된 가두리와 체결이 가능하도록 체결구가 설치되어져, 이 체결구에 의하여 해저면 가두리 양식장이 연결이 될 수 있게 한다. 호스와 견인부력부의 연결부에는 컴프레서에서 공급된 고압의 공기의 이탈을 방지하기 위하여 체크밸브, 혹은 보다 정밀한 압력제어밸브, 방향제어밸브 등을 설치하여 견인부력부에 대한 고압공기의 충전을 임의로 제어가능하게 한다.

견인부력부의 체결구는 해저면에 설치된 가두리의 연결뿐 만 아니라 관리장치가 다른 곳으로 이동시 플랫폼과의 연결을 위한 기능도 함께 겸비하도록 한다. 보다 구체적으로는 기계적인 볼트 너트 방식이나 샤클과 같은 장치를 이곳에 설치하여 견인부력부가 상기한 주원치에 연결된 와이어에 의하여 서서히 하강하다 가두리에 접근하면 다이버가 잠수하여 샤클과 같은 체결장치로 가두리와 연결함으로써 견인을 위한 준비가 된다.

Fig. 3.1-33~39에는 부유 견인 구조물인 해중가두리 전용 관리 시스템의 제작도면과 실제모습을 나타내었다.

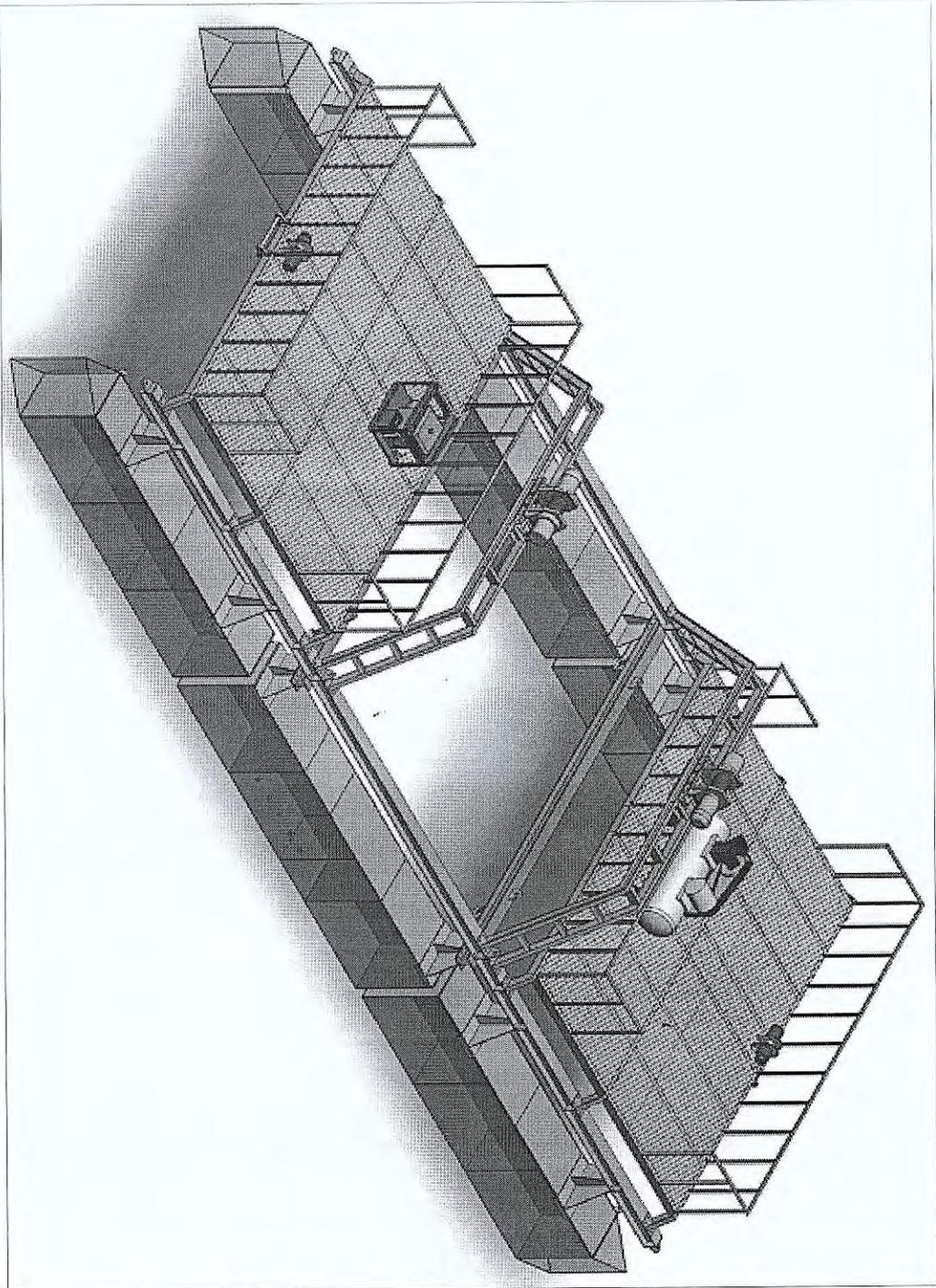


Fig. 3.1-33 부유건인구조물(가두리선)의 3D 개념도

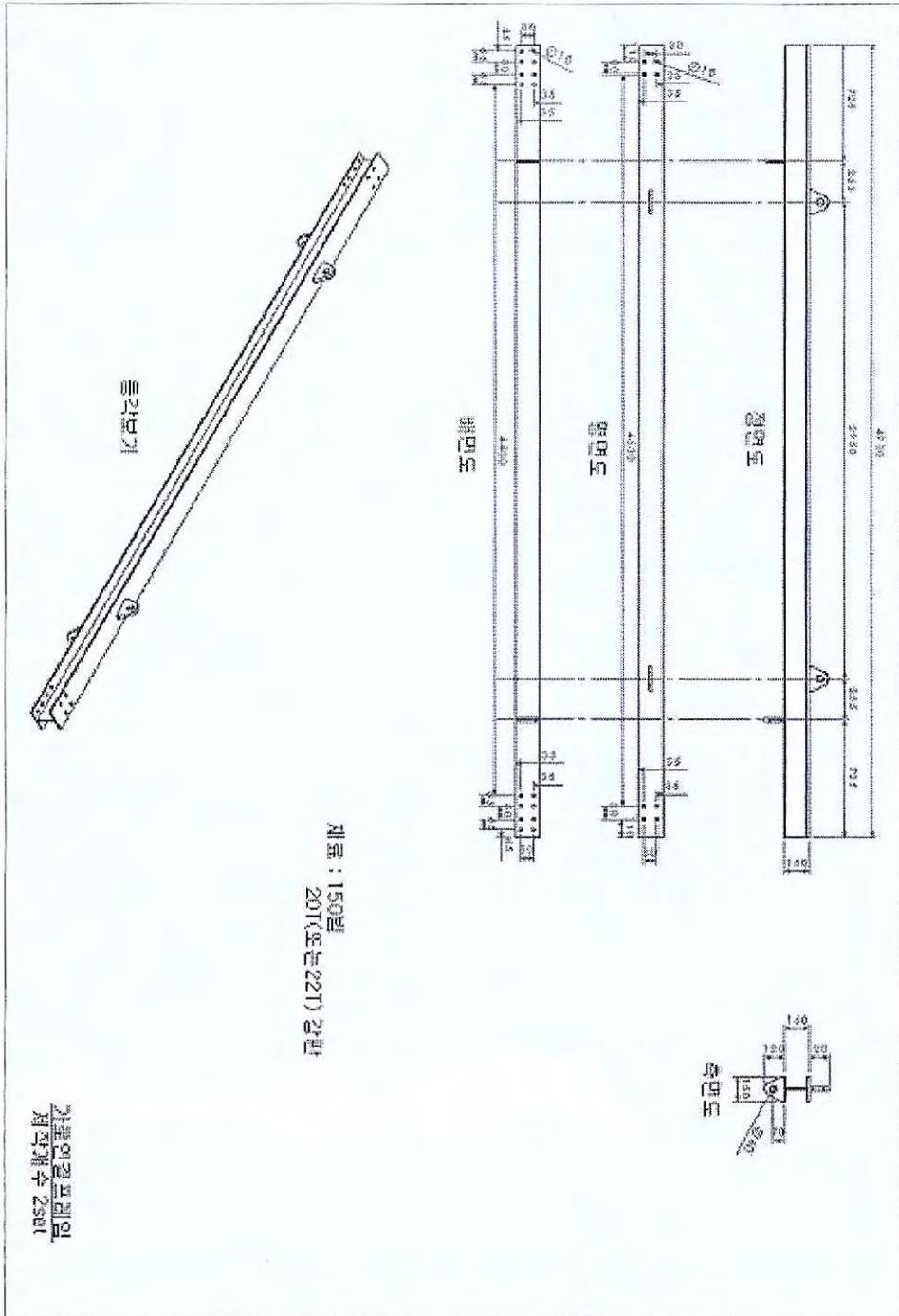


Fig. 3.1-34 제작도 1

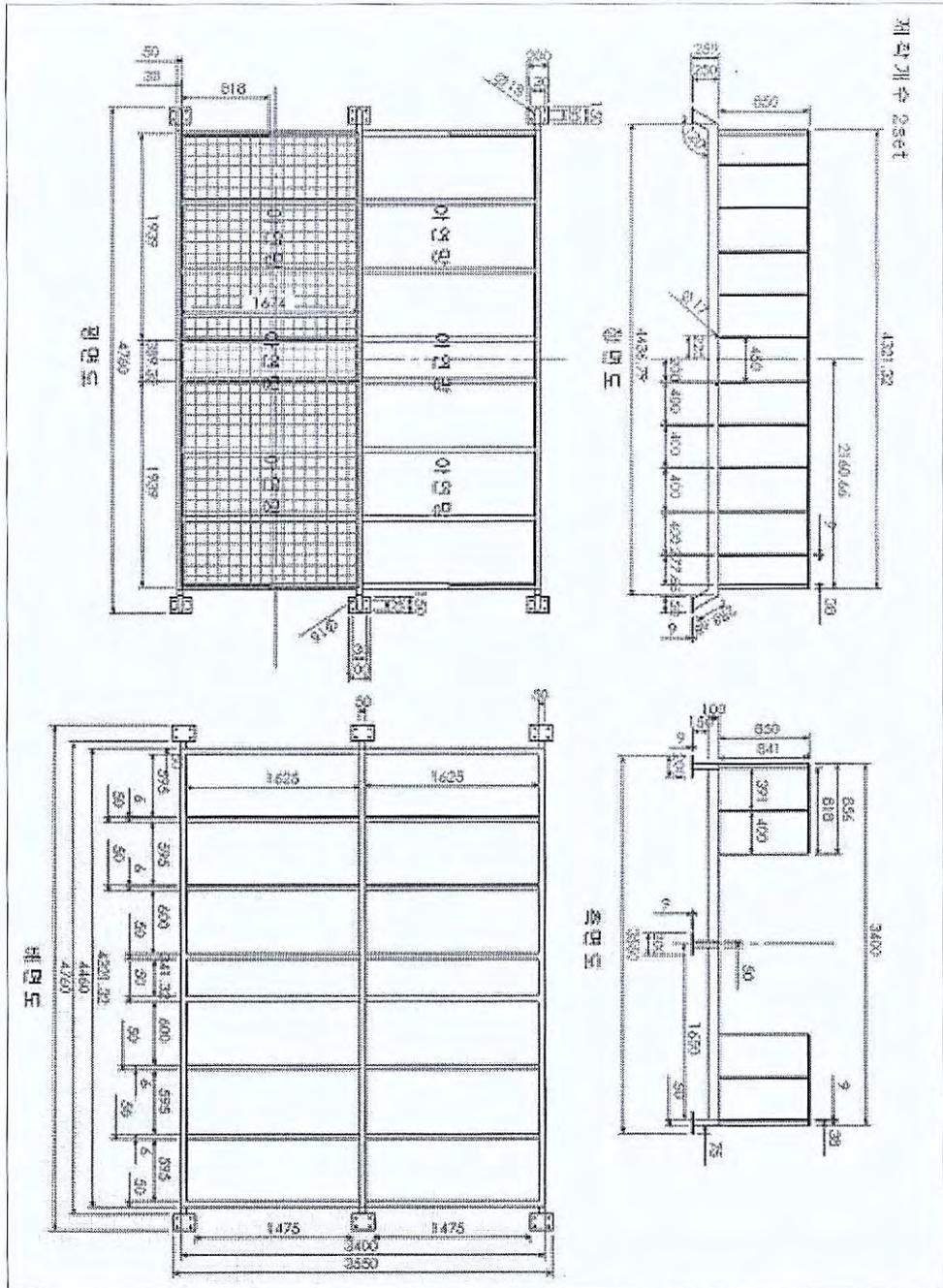


Fig. 3.1-35 제작도 2

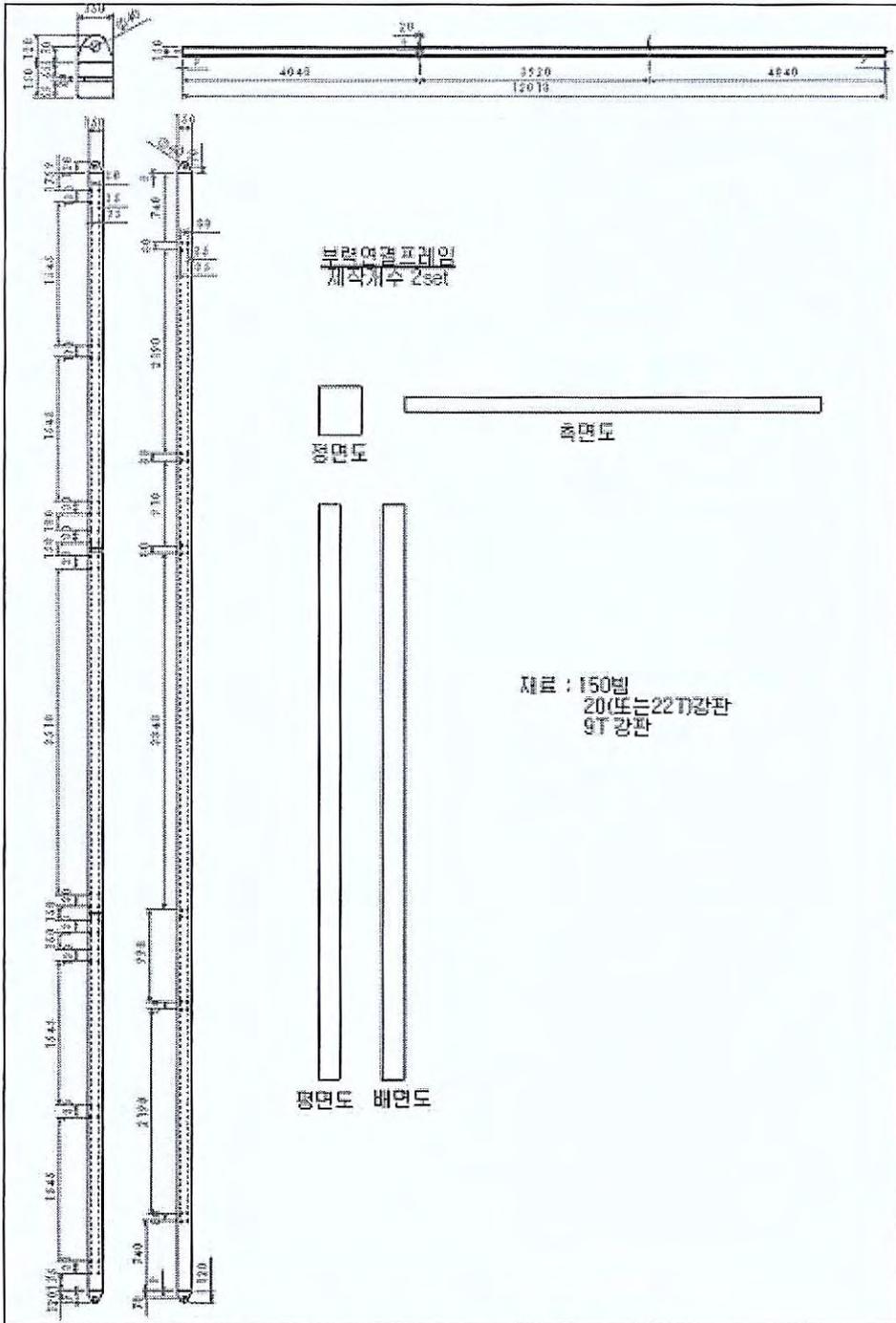


Fig. 3.1-36 제작도 3

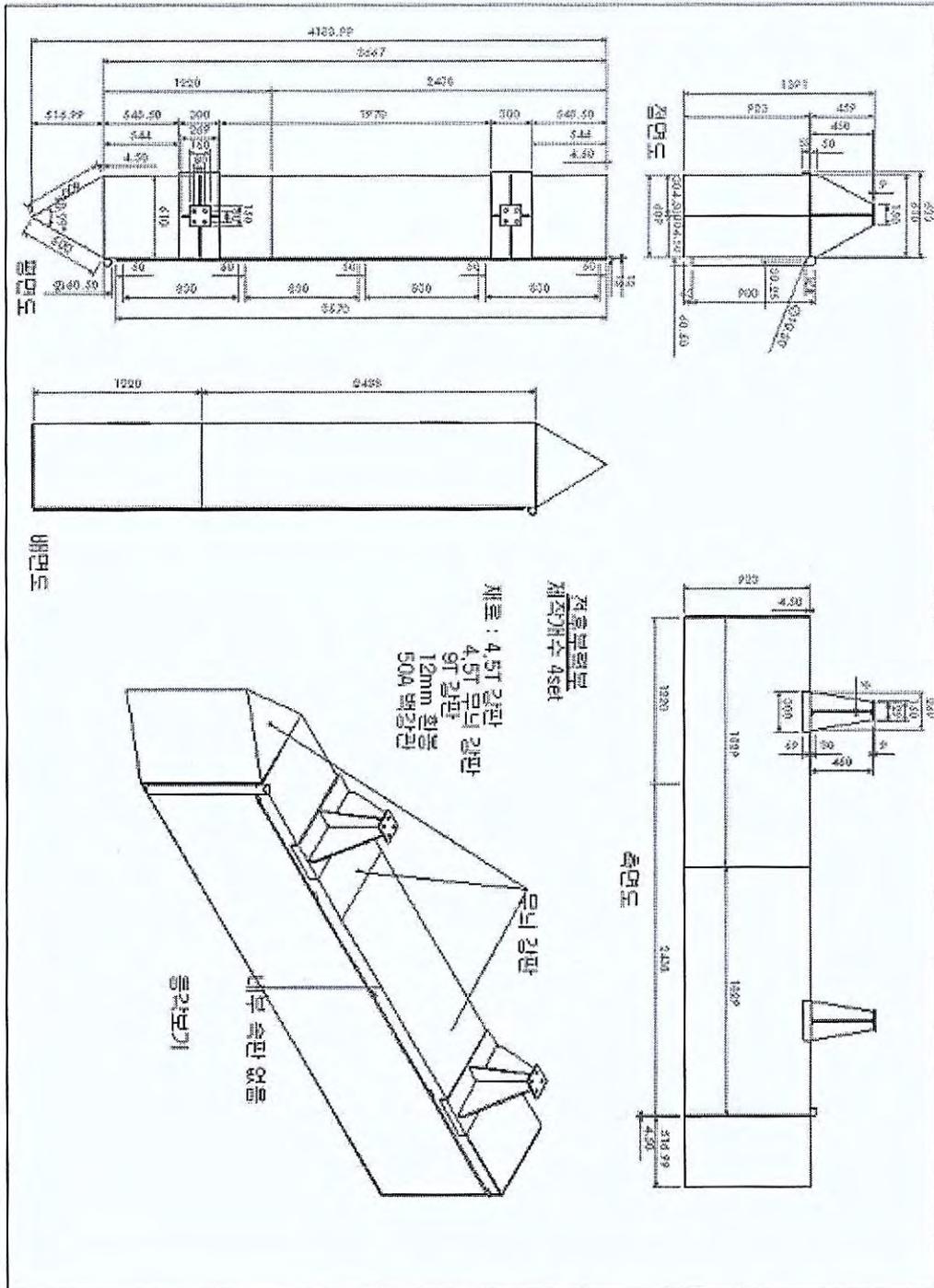


Fig. 3.1-37 제작도 4

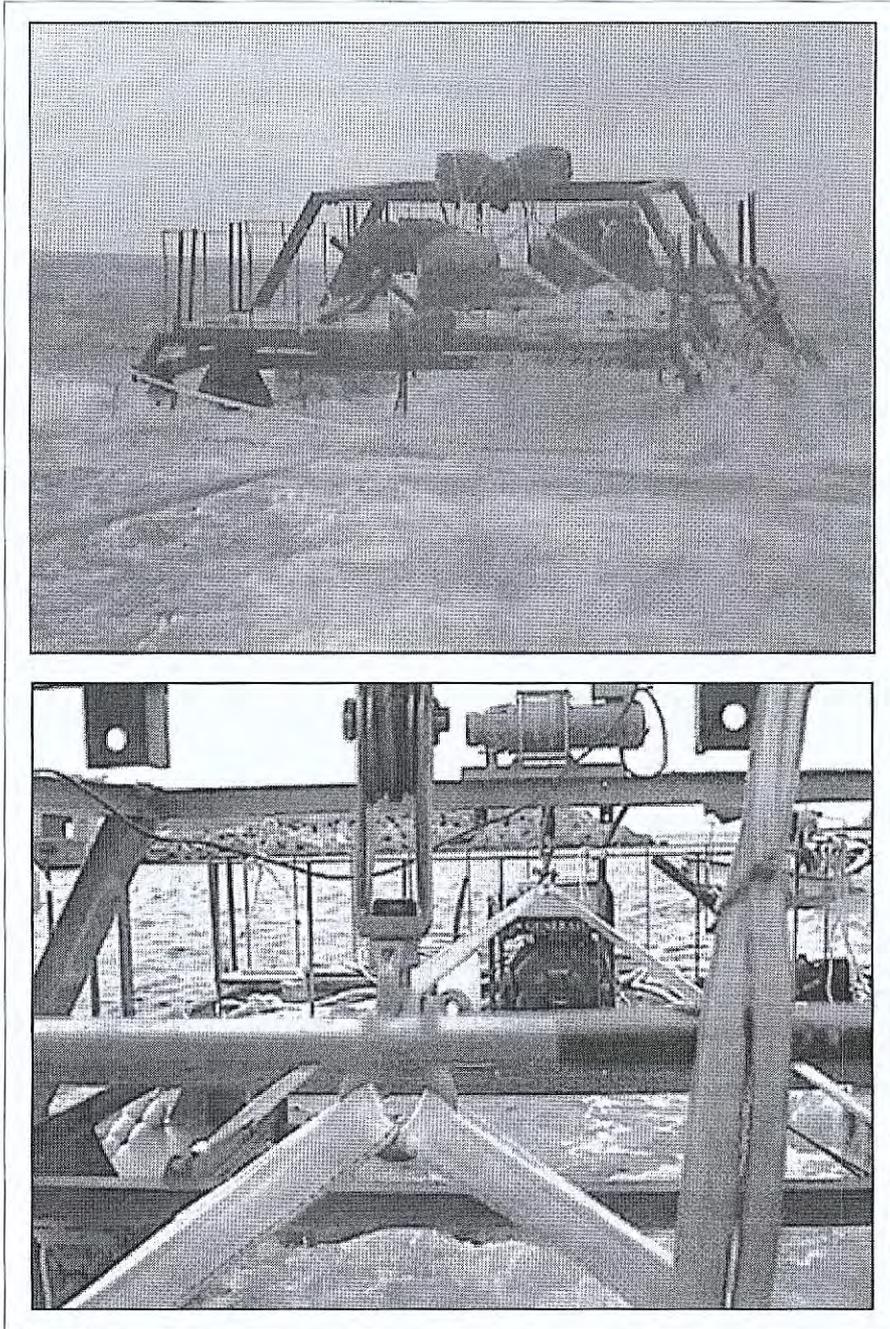


Fig. 3.1-39 가두리선 및 리프팅 장치 실제 모습

4) 2차 부유 견인 구조물의 실패역 실험

본 연구에서는 부유 견인 구조물을 설계 제작하였고, 해저 침하 가두리의 최종모형을 설치하는 데 사용되었으며, 그 과정을 Fig. 3.1-40에 나타내었다.

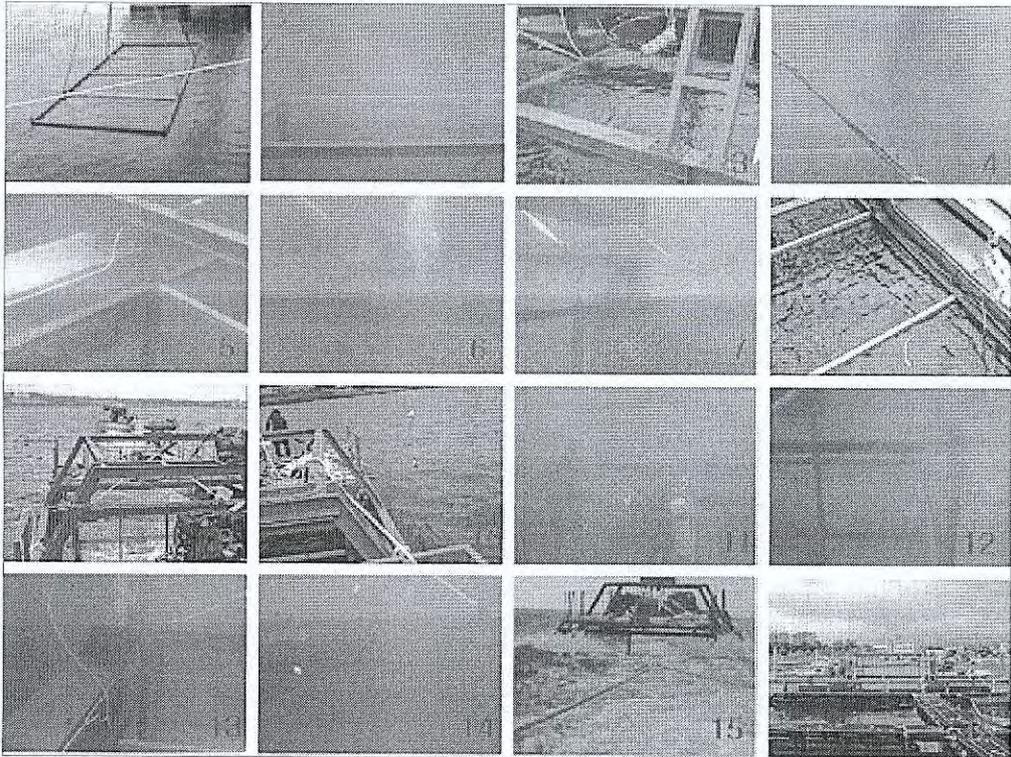


Fig. 3.1-40 가두리선의 실패역 실험 전경

Fig. 3.1-40의 1번 과정은 실패역에 설치할 해중가두리를 크레인을 이용하여 항/포구에 투하하는 모습을 나타내고 있고, 2번은 항/포구 해중에 투하된 가두리의 모습을 나타내고 있으며, 3번은 가두리 리프팅을 위해 부유 견인 구조물의 중앙부력부의 부력실 내의 공기를 빼고 윈치를 작동하여 하강 시작하는 모습을 나타내고 있다.

4번은 부유 견인 구조물의 중앙부력부가 항/포구 해중에 투하된 가두리 상부에 하강된 모습을 보여주고 있고, 5번은 중앙부력부와 가두리를 체인으로 체

결한 모습을 보여 주고 있으며, 6번은 가두리의 리프팅 중량을 감소시키기 위해 중앙부력부에 공기를 가득 채워 넣어 공기가 중앙부력부 외부로 배기 되는 모습을 보여주고 있다.

7번은 윈치를 작동하여 중앙부력부와 체인으로 체결된 가두리를 해면으로 상승시키는 과정이고, 8번은 가두리를 해수면으로 완전히 상승시켜 중앙부력부와 부유 견인 구조물 본체와 볼트 너트로 완전 체결한 과정이며, 9번은 가두리가 설치될 실해역으로 예인하는 과정이다.

10번은 실해역으로의 예인이 끝난 후 부유 견인 구조물을 앵커링 하는 과정을 보여주고 있고, 11번은 가두리를 실해역으로 해저면으로 하강하는 과정을 보여주고 있으며, 12번은 가두리가 실해역 해저면에 안착된 모습을 보여주고 있다.

13번은 중앙부력부에 가득 채워 있는 공기를 빼는 과정을 보여주고 있는데, 이는 가두리와 중앙부력부와 체결된 체인을 해체하고 나면 중앙부력부는 양성 부력이어서 해수면으로 급상승하게 되어 사고의 위험이 매우 높기 때문에 체인을 해체하기 전에 중앙부력부의 공기를 배기시켜야 한다.

14번은 중앙부력부의 공기를 빼고 체인을 해체한 후 윈치의 힘으로 중앙부력부를 상승시키는 과정을 보여주고 있고, 15번은 중앙부력부를 상승 완료시키고 귀항하는 모습을 보여 주고 있으며, 16번은 항/포구에 정박해 모습을 보여 주고 있다.

이상과 같이 해면 부유 견인 구조물을 실해역 실험한 결과 부력 성능, 가두리 리프팅 성능, 예인 성능, 복원성 등 대부분의 항목은 양호하였으나, 중앙부력부의 공기를 빼는 시간이 많이 걸리는 단점이 있었다. 이는 중앙부력부의 배기용 홀을 크게 하면 간단히 해결 될 수가 있는 것이어서 현재 제작된 부유 견인 구조물은 몇 가지 보완을 통해 가두리 설치 등에 유용하게 사용될 것이라 판단된다.

다. 실제 규모 개념 설계도

1) 100m × 40m × 6m(d) 가두리 선박의 개념도

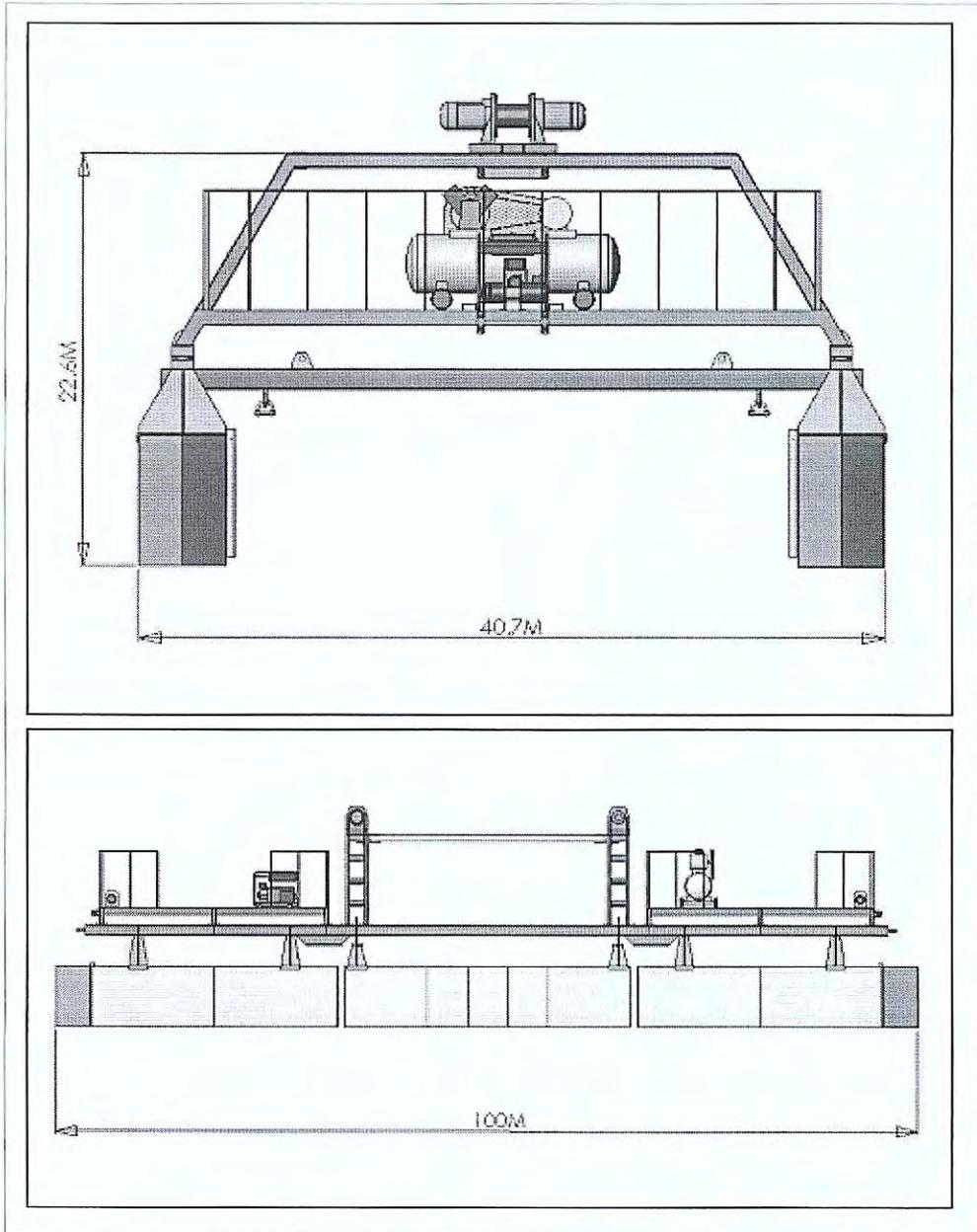


Fig. 3.1-41 가두리선의 실제 규모 개념도

2) 길이 30m 가두리 선박 및 수체적 70ton 가두리의 개념도

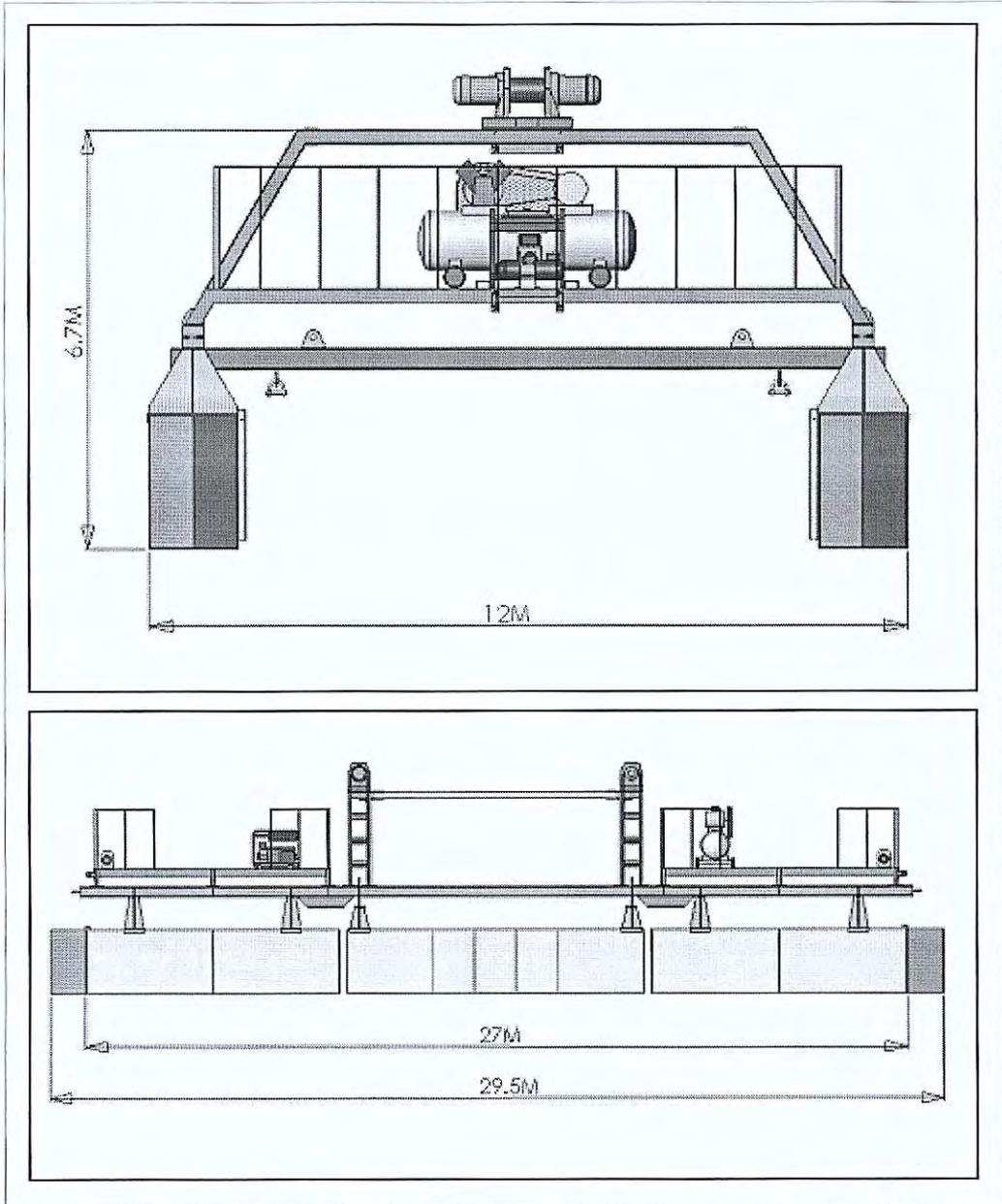


Fig. 3.1-42 사업비 100억원을 기준으로 할 경우의 가두리선 개념도

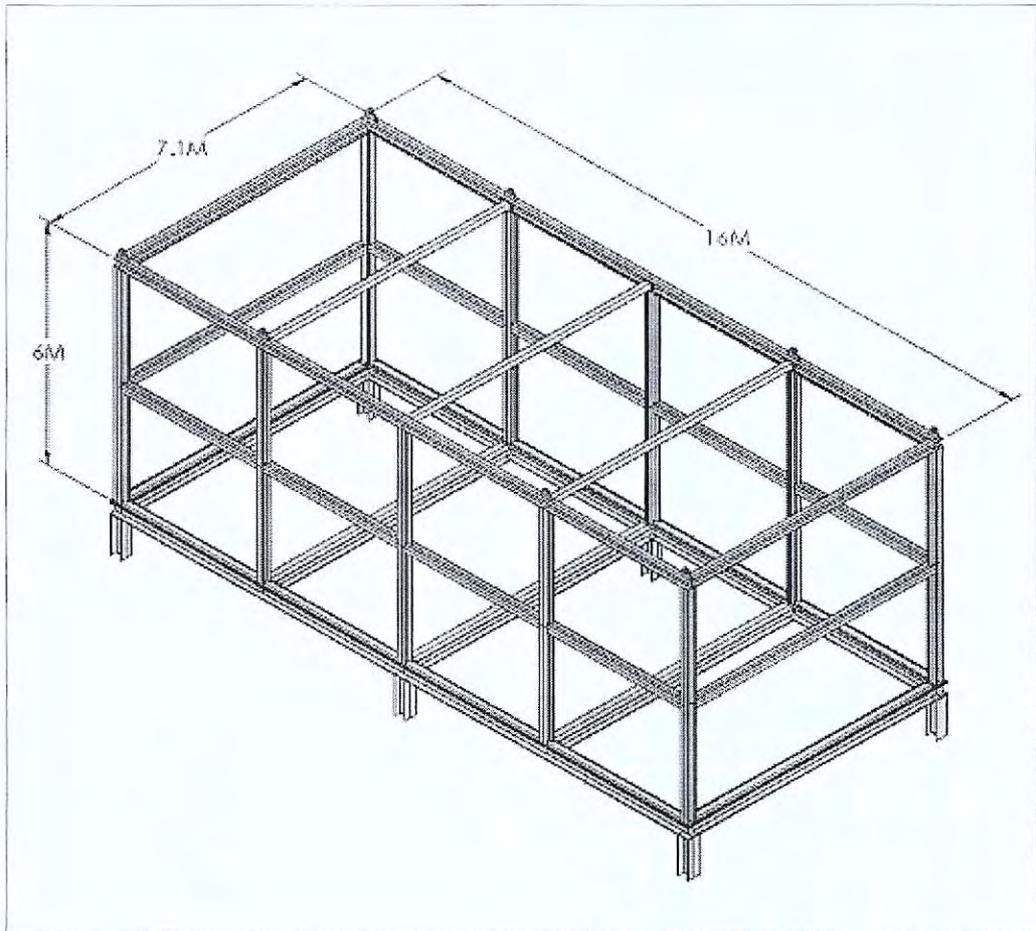


Fig. 3.1-43 사업비 100억원을 기준으로 할 경우의 가두리 개념도

제 2 절 <제2세부과제 : 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화>

연구의 주 내용은 대형 어류가두리의 효율적인 관리를 위하여 자동급이기, 모니터링 시스템 및 출하를 용이하게 할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 연구를 진행하였다. 다음에서는 연구수행 내용을 중심으로 항목별로 서술하였다.

1. 자동급이기에 대한 자료 수집

가. 사료의 종류

1) MP(생사료)

- 급이장치에 부착되어 질병 유발의 가능성
- 경제성
- 급이의 저효율 및 신뢰성 문제

2) EP(배합사료)

- 비싸다
- 급이가 용이

나. 급이 방법

- 양식장내 부이형
- 구조물 상부 이동형
- 상시 급이 장치 설치(고정형)
- 급이선 이용 ==> 내구성, 경제성 및 신뢰성에 따라 선택

<자동급이장치 예>



Fig. 3.2-1 福新電機(Japan)의 자동급이장치

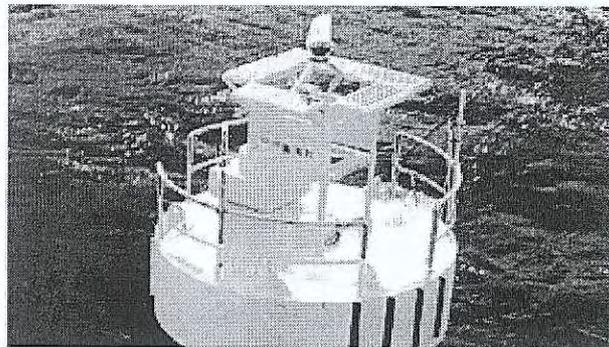


Fig. 3.2-2 Sharp(Japan)의 자동급이장치

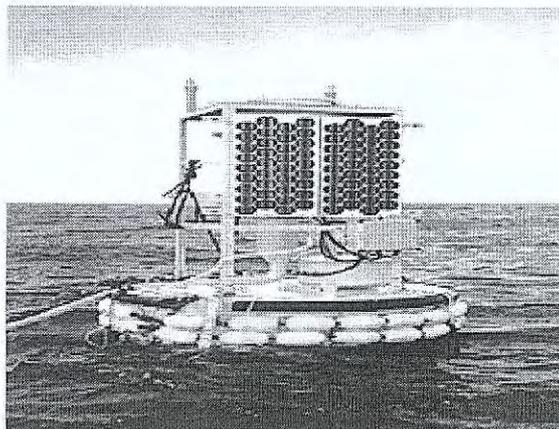


Fig. 3.2-3 綠星社(Japan)의 자동급이장치

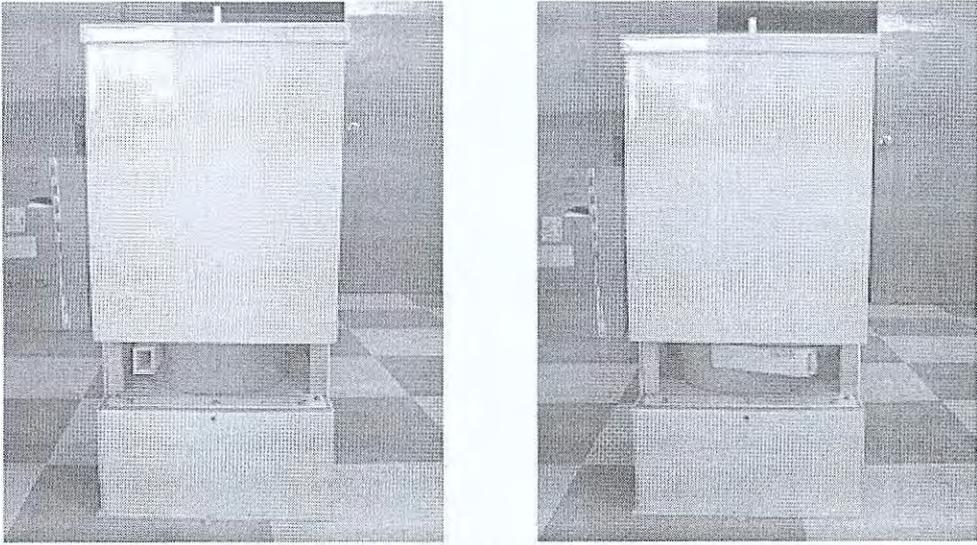


Fig. 3.2-4 투사구 회전형 급이 시스템(투사구의 회전모습 비교)

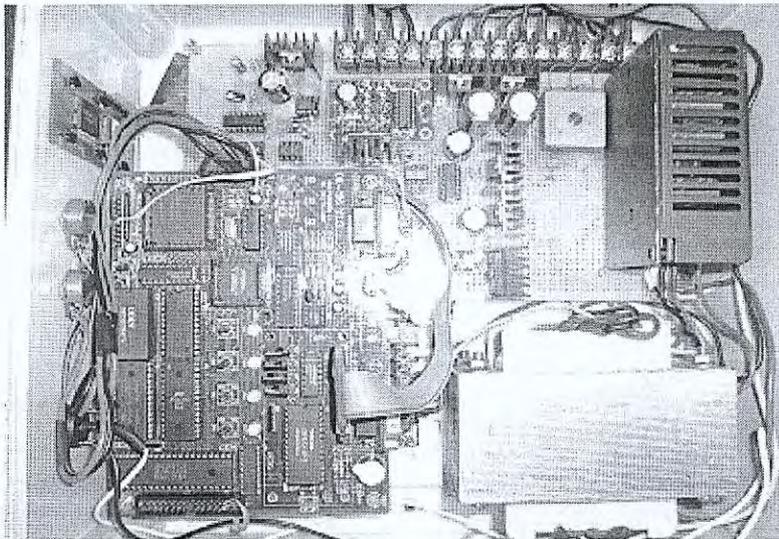


Fig. 3.2-5 투사구 회전형 급이시스템의 제어부 구성

2. 자동 급이 시스템 제작 및 실험

현재의 양식에 있어서 가장 노동력과 환경을 저해하는 MP 사료의 수동 투여에 대하여 문제점을 나열 하였다.

- 인력에 의존한 급이 방식은 많은 시간과 숙련된 노동력을 요하므로 생산 비용 증대와 관리의 측면에서 어려운 점이 많다.
- 급이량, 급이시간, 급이 방식 등이 작업자의 작업태도에 의하여 정확히 유지되기 어려운 점이 많아, 양식에 관련된 정확한 기초 통계 데이터를 확보하기가 어렵다.
- 현재 주로 사용되는 생사료(MP)는 환경오염의 원인이 되고 있어 EP 사료의 사용을 유도가 필요성이 있다.
- 수동급이 방식이므로 통합 생산관리 시스템 구축이 불가능하다. 현재는 EP 사료를 사용할 목적으로 국내에서 생산되고 있는 시스템이 없으므로, 본 개발 기술을 바탕으로 점차적으로 개선된 형태의 시스템이 개발 될 것으로 예상된다.
- 생산 효율의 향상을 위하여 양식 데이터의 확보 및 상호 정보 교류의 정보화 시스템 체계가 요구된다. 현재의 양식 산업은 정보화 및 자동화 기술이 거의 보급되지 못한 분야이며, 향후 반드시 개선되어야 할 부분이다.

한편, 문제점에 대한 개선 방향을 나열하면 아래와 같다.

- 인력에 의한 사료의 수동 급이는 양식어종의 반응 상태를 살펴보며 급이를 할 수 있다는 장점은 있으나 체계적인 급이 방식을 유지하기에는 어려운 부분이 많다. 따라서 자동급이 방식의 시스템을 도입하여 정해진 시간에 정확한 양의 급이를 통하여 체계적인 급이 방식 및 자료를 관리함과 동시에 인

력에 의한 비용의 발생을 절감하여 생산성을 향상 시킬 수 있다.

- MP에서 EP사료로의 전환은 환경적인 측면에서 그 중요성이 대두되고 있으며 정책적으로 유도되고 있는 상태이다. 더욱이 최근의 EP 사료의 경우 질과 가격적인 면에서 생사료를 능가할 수 있도록 개선되어 추후의 양식 관련 사업장에서는 EP 사료로 전환되고 있는 추세이며 본 급이 시스템 역시 EP 사료에 적용이 가능하도록 최적화하여 설계 하였다.

가. 자동 급이 시스템의 개요

해저 침하 가두리를 운영함에 있어 수심 30m 정도에 위치한 가두리에 양식어의 먹이를 공급하는 일은 결코 쉬운 일은 아니다. 전문 다이버를 채용하여 먹이 급이를 실시 할 수는 있으나 그렇게 되면, 인건비 증가로 인한 생산 단가의 증가는 물론 효율적인 먹이 공급이 이루어지지 않을 것이 예측되는 상황이다. 연구진은 이러한 문제점을 해결하고자 다이버의 가두리 접근 없이도 사료를 공급 할 수 있는 자동 급이 시스템을 개발하였다.

자동 급이 시스템은 자동 급이 장치 내에 위치한 사료 저장 탱크에 일정량의 사료를 충전하고 나면 설정된 시각에 맞춰 자동으로 해중가두리에 사료를 공급하는 시스템으로, 인건비 절감은 물론 효율적인 사료 공급을 통하여 해중가두리의 가치를 한 층 더 부각시킨다.

1차 자동 급이 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 3.2-6-1에서 알 수 있듯이 본체(부력체), 사료 저장 탱크, 자동 볼 밸브, 사료 배출관, 수중 펌프, 수중 펌프 배출 호스, 수중 펌프 보호망, 배터리, 제어 판넬, 덮개등으로 구성된 해중 자동 급이 장치 하부 4군데에 체인 줄을 체결하여 약 2m정도 연장하고, 해저면에 고정되어 있는 앵커에 체결된 로프와 연결 고리를 통해 서로 연결되어 해중 자동 급이 장치 설치 구성을 이루고, 사료 이송 호스는 해중 어류 가두리와 해중 자동 급이 장치의 사료 배출관을 연결하여 사료 공급 라인을 구성해 준다.

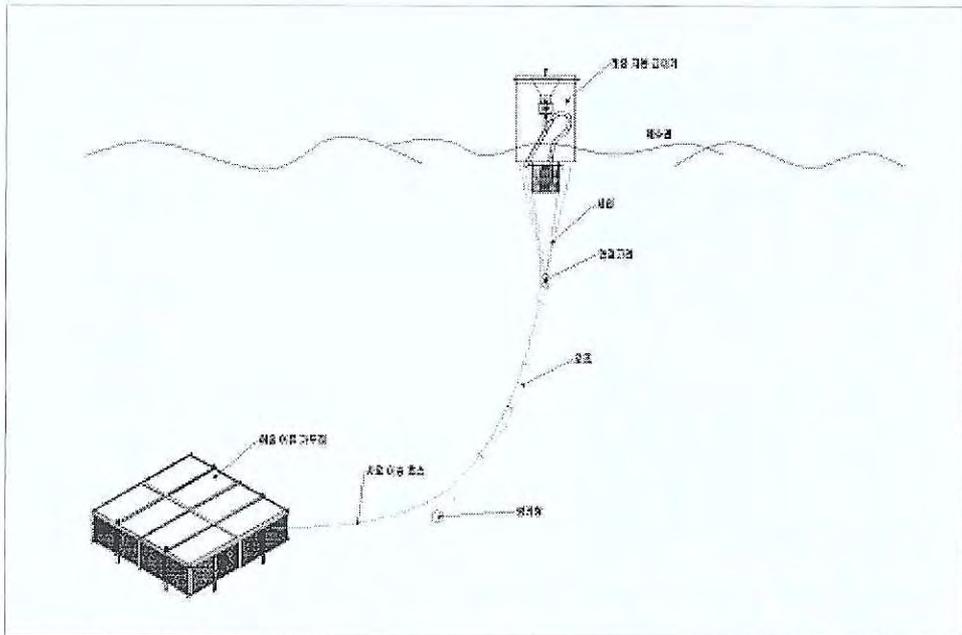


Fig. 3.2-6-1 해상 자동 급이 시스템의 모식도

1차 자동 급이 장치의 작동 원리를 살펴보면 Fig. 3.2-6-2에서 쉽게 알 수 있듯이 사료 저장 탱크에 사료를 충전(1번 그림)하고 나면, 우선 자동 볼 밸브를 열어(2번 그림) 사료가 사료 저장 탱크에서 사료 배출관으로 분배되게 하고 일정량이 분배되고 나면 자동 볼밸브를 닫아(3번 그림) 수중 펌프에서 흡입된 물이 사료 저장탱크로 역류되는 것을 방지한다. 이렇게 해서 1차적으로 사료 저장 탱크에서 1회 급이량이 분배되는 것이고, 자동 볼 밸브가 닫히고 나면, 수중 펌프가 가동되고, 펌프에서 흡입·배출된 물은 수중 펌프 배출 호스를 따라 사료 배출관을 통과하면서 사료 배출관에 있는 사료를 사료 이송 호스로 밀어내고(4번 그림) 사료 이송 호스의 끝은 해중 어류 가두리와 연결되어 있어 결국 사료는 사료 이송 호스를 따라 해중 어류 가두리로 배출되게 된다. 사료 배출이 완료가 되고 나면 수중 펌프 가동이 중단되어 1회 급이를 완료하게 된다. 급이 시각을 설정해 주고, 그 설정된 시각이 돌아오면 자동 볼 밸브가 열리는 과

정부터 다시 작동하게 된다.

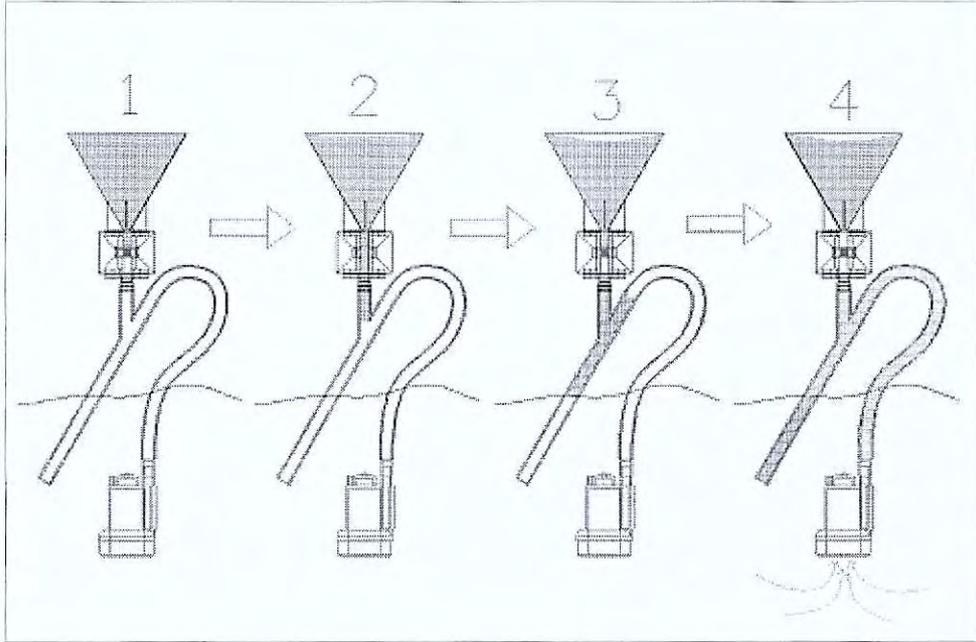


Fig. 3.2-6-2 해상 자동 급이 장치 작동 순서도

2차 자동 급이 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 3.2-7에서 알 수 있듯이 해수 공급 펌프, 해수 저장 탱크, 사료 공급 펌프, 사료 저장 탱크, 해수 공급 밸브, 사료 공급 밸브, 연결관, 전원장치, 제어장치, 사료 공급 라인 등으로 구성되며, 펌프에서 배출되는 배출수의 힘으로 사료를 밀어 해저에 있는 가두리 내부로 사료를 이송하는 방식으로 사료를 이송하기 위한 사료 공급관이 해중 어류 가두리와 급이 장치 사이에 연결되어야 한다.

사료 급이 제어 방식은 마이크로프로세서를 이용한 프로그램 제어 방식을 채택하였으며, 사료 급이량, 사료 공급시간, 급이 시간 등을 조절할 수 있고, 밸브역시 자동 볼밸브를 사용하여 밸브의 개폐가 수동이 아닌 프로그램에 의해 자동으로 제어된다.

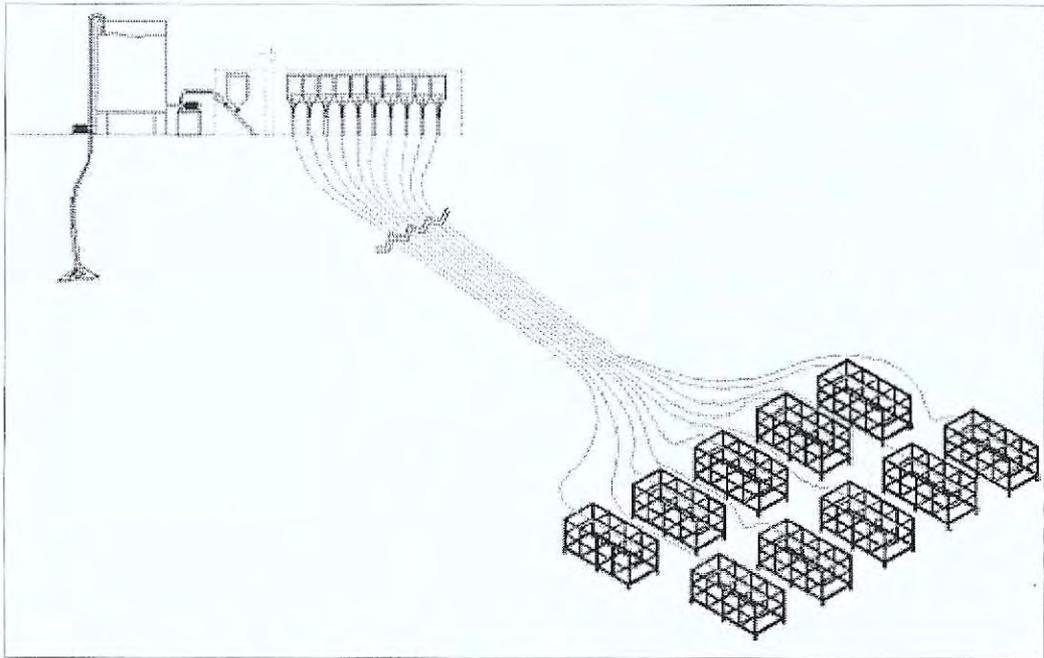


Fig. 3.2-7 육상 자동 급이 시스템의 구성

나. 자동 급이 시스템 제작 및 실험

1차 자동 급이 시스템을 활용한 해중어류가두리의 먹이 공급 실험은 해상 자동 급이 장치를 실패역 해상에 설치하고 사료저장탱크 내부에 사료를 충전하여 설정된 시간에 사료가 해중으로 투사 되는지를 실험하였고, 2차 자동 급이 시스템의 실험은 우선 육상에 급이실을 설치하고 급이실 내에 자동 급이 장치를 설치하여 자동 급이 장치와 실패역 해저면에 설치된 해중어류가두리를 PE 파이프를 이용하여 서로 연결되도록 구성하였고, 먹이 공급 상태 확인은 육상에 설치된 급이실에서 EP사료를 급이 하고 동시에 해중에서는 다이버가 잠수하여 EP사료의 공급 상태를 수중카메라로 촬영하는 방식으로 수행되었다.

한편, 미관, 실용성, 안전성은 물론 경제성, 설치의 간편성 등을 종합적으로 고려하였고, 해상의 악조건을 고려하여 설계되었다.

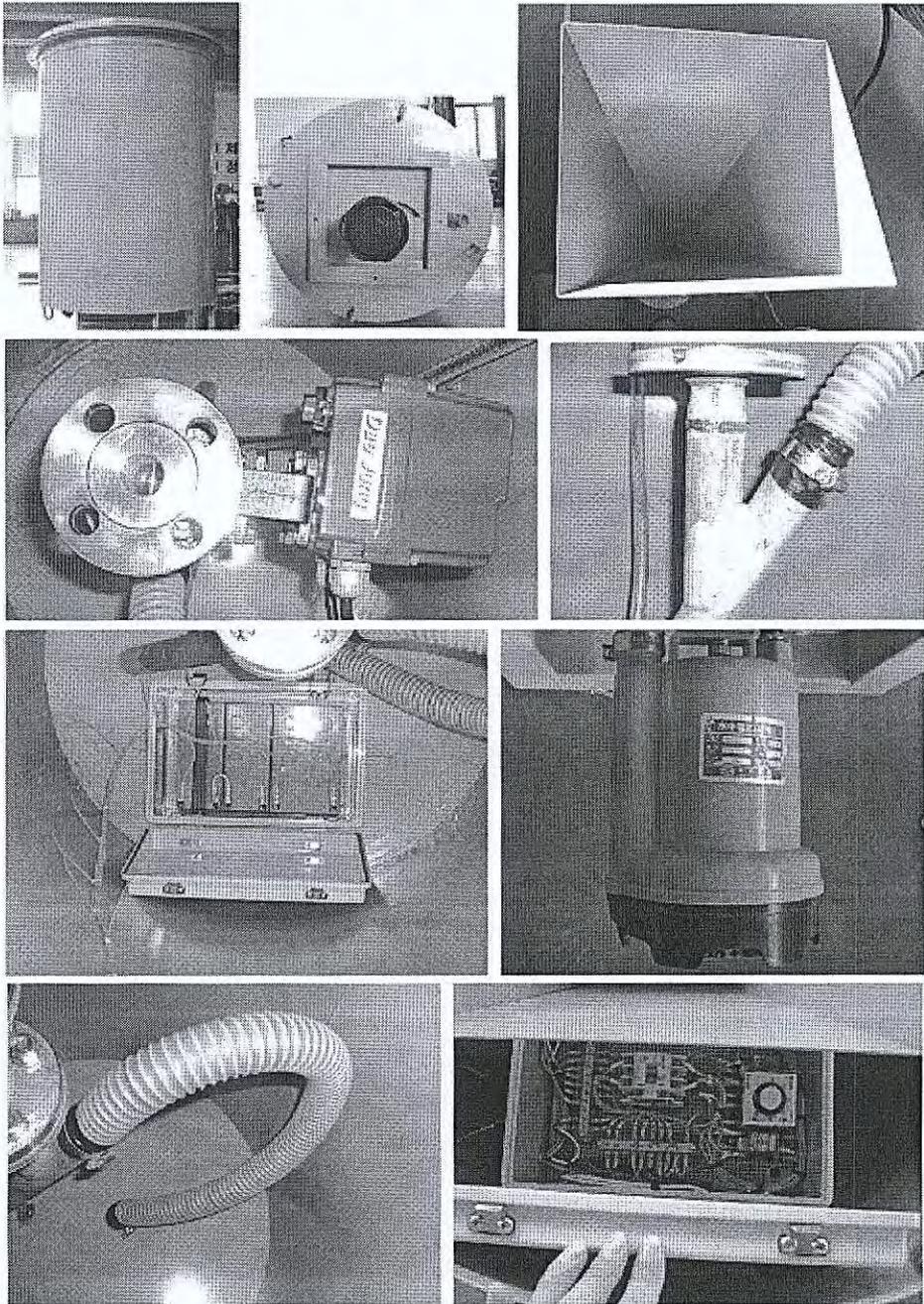


Fig. 3.2-8-1 해상 자동 급이 장치 제작



Fig. 3.2-8-2 해상 자동 급이 장치 설치

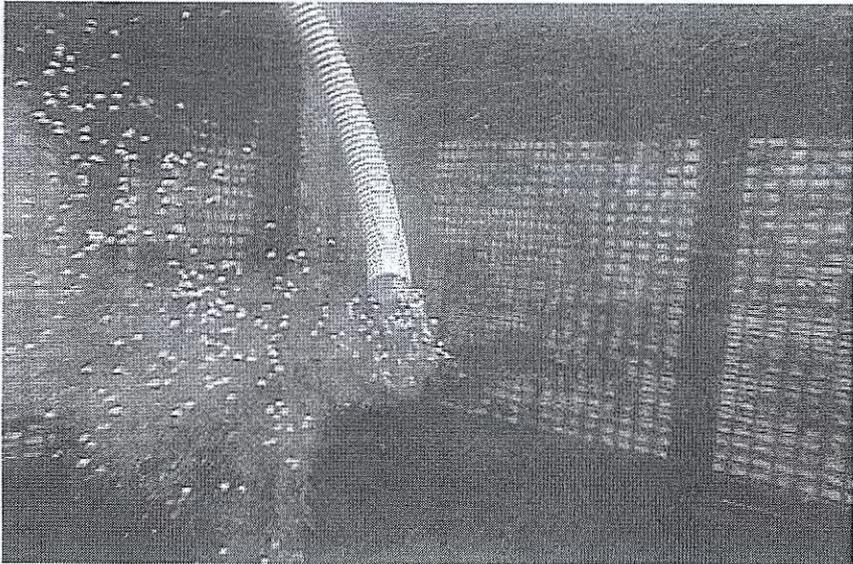


Fig. 3.2-8-3 해상 자동 급이 장치 사료 급이

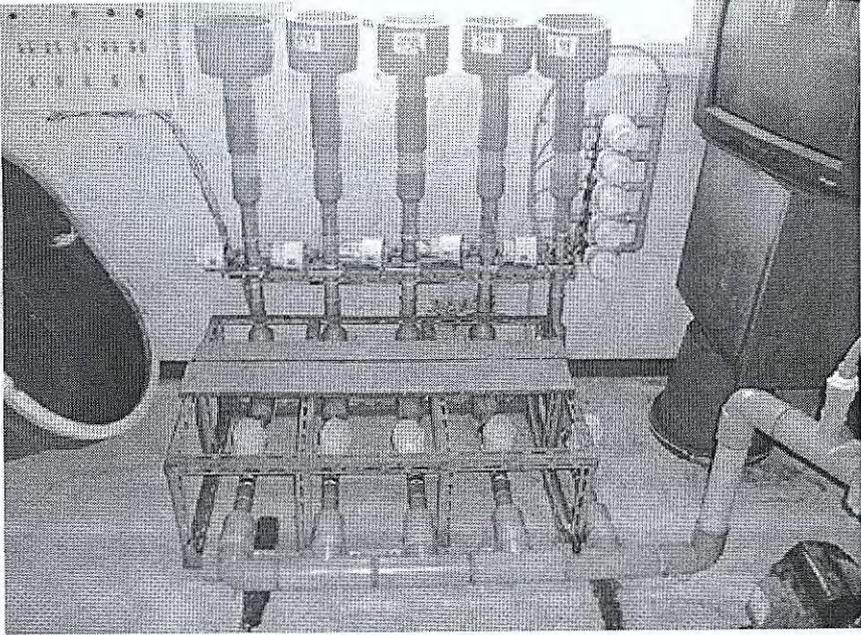


Fig. 3.2-9-1 육상 자동 급이 시스템의 급이 장치



Fig. 3.2-9-2 육상 자동 급이 사료 공급 파이프

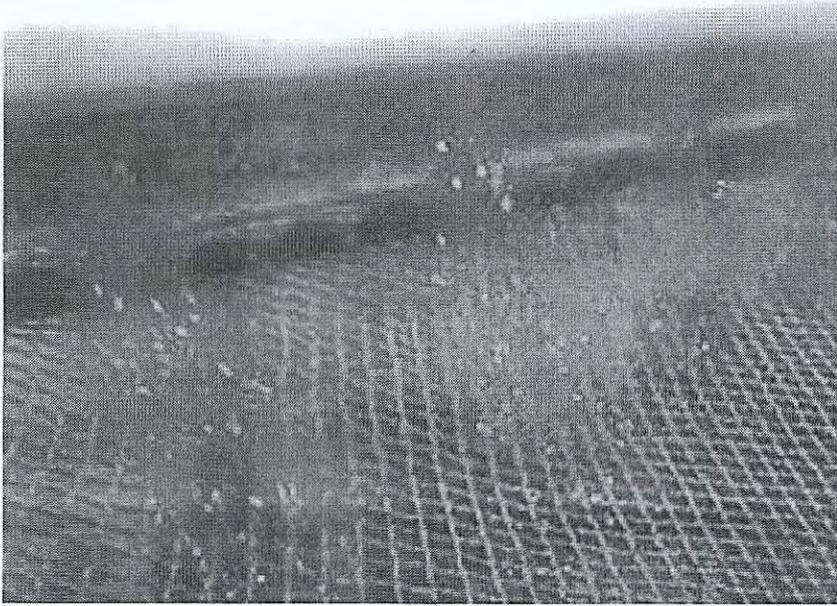


Fig. 3.2-9-3 육상 자동 급이 시스템 사료 급이 장면

3. 모니터링 시스템

모니터링 시스템은 해중가두리가 설치되어 있는 해상에 부력체를 부유시키고 부력체 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중가두리에 수중카메라를 설치하고 수중카메라에서 촬영되는 영상을 관리실 및 급이실로 무선 전송하여 주고, 무선 전송된 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템이다.

부력을 갖는 구조물 내부에 배터리가 설치되고, 외부에는 독립전원을 사용할 수 있도록 태양광발전시스템이 설치된다. 또한 부력체의 상단에는 모니터링 및 태양광발전을 제어할 수 있는 컨트롤러가 설치된 제어박스가 설치되고, 해저 가두리의 내부 영상을 모니터링 할 수 있는 수중카메라가 가두리 내부에 설치된다. 어류 활동을 모니터링 함으로서 어류의 상태를 확인할 수 있고, 또한 사료 급이 시에는 급이 활동이 활발히 진행되고 있는가를 확인할

수도 있다. 모니터링 시스템은 web을 통해 어디서든지 확인이 가능하며, 상품 홍보 효과에도 큰 도움이 될 것이다. Fig. 3.2-10은 실해역에 설치된 모니터링 시스템의 해상 부이의 모습을 보여주고 있고, Fig. 3.2-11은 해중가두리에서 양식되고 있는 어류의 상태를 실시간으로 web을 통하여 PC에서 확인하는 장면을 capture한 것이다.

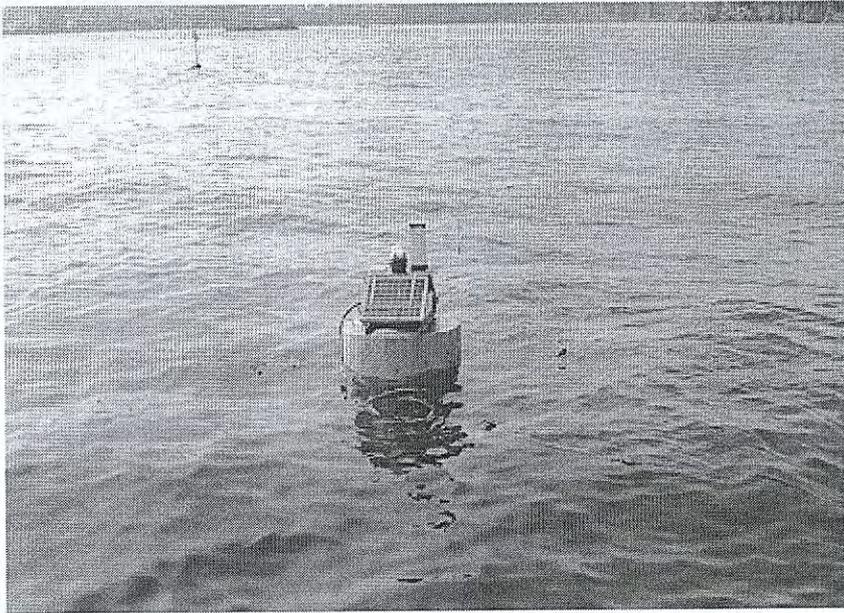


Fig. 3.2-10 모니터링 용 부이 실해역 설치 모습

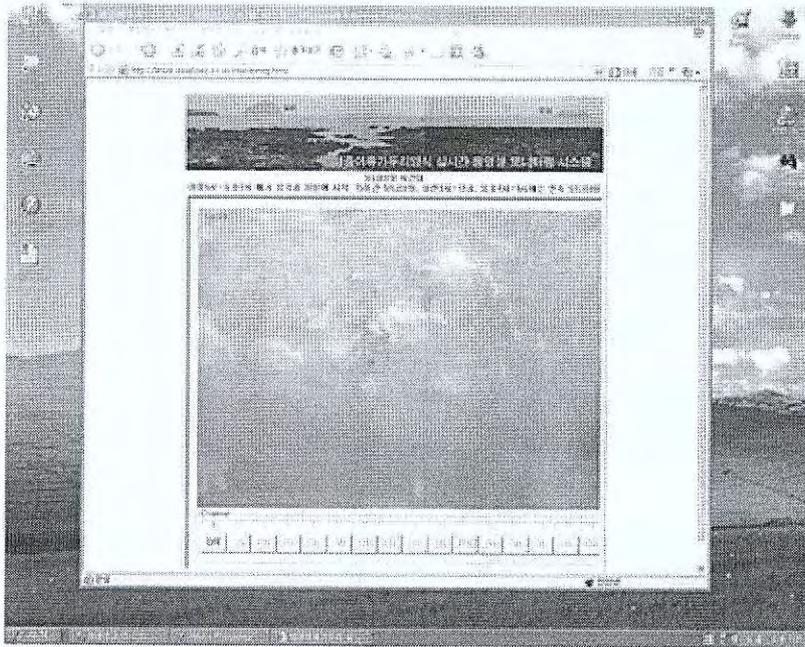


Fig. 3.2-11 PC에서의 웹 모니터링 장면

4. 활어 운송 및 출하 시스템

가. 활어 운송시스템

(특허출원 10-2007-0094629 : 가두리양식장 전용 활어류 운송전용장치)

가두리 양식을 함에 있어, 해상(海上) 및 해중(海中) 가두리에 치어(稚魚)를 입식(入植)하기 위해서는 해상 가두리의 경우 어선의 어창을 이용하여 어선을 통해 해상 운송하고, 해상가두리에는 어창에서 치어들을 뜰채 등으로 퍼내어 소형 물통 등에 넣어 다시 해상가두리로 입식하고 있고, 해중 가두리의 경우에는 소형 컨테이너 등에 치어를 넣고 입구에 그물을 쳐서 다이버가 수중으로 가지고 내려가 소형 컨테이너 입구 그물을 해체하고 해중가두리의 그물 안으로 집어넣고 있다.

가두리에서 일정하게 양식된 어류를 출하(出荷)할 때도 이와 같은 방법으로

하고 있어 어류에게 많은 스트레스와 상처를 입히게 되어 많은 양이 폐사되고 있는 실정이다. 이에 해중가두리양식을 연구하면서 치어 또는 성어의 해상운송에 있어 어류에게 스트레스와 상처를 최소화하기 위해 해중어류가두리의 그물 사이즈를 통째로 전용 관리선에 체결하여 어류를 입식하고 해상운송을 시도하였다. 그 결과 어류의 상처는 줄어들었으나 해상 운송 시 물의 저항으로 어류에게 많은 스트레스를 주고 있다는 것을 알 수 있었다. 그렇기 때문에 어류를 입식한 전용 관리선 예인 속도를 상당히 낮추어야 함으로 해상 운송 시간이 너무 길어지는 단점이 있었다.

또한 어선의 어창을 이용하기 위해서는 어류에게 인위적인 힘이 여러 번 가해지는 치명적인 단점이 있다. (뜯채 작업 등) 어선의 어창을 이용하기 위해서는 한번의 수송 능력에 한계 있다. 이러한 이유로 어류에게 스트레스와 상처가 생기면 많은 양의 어류가 폐사(斃死)하게 된다.

활어 운송 시스템은 상하가 개방된 형태로 전.후.좌.우벽체를 구성하고 이것에 의하여 형성된 내측 공간부는 방수탄성재질로 구성된 스위트지로 밀봉처리한 박스형 프레임부를 구성한 다음 전후방에 부력실과 저항감쇄부를 구성하였다. 그리고 저면은 임의로 개방이 자유롭게 하여, 치어를 가두리에 방류할 때와 성어를 출하할 때, 이 공간부에 가두리에 있는 그물을 가두고 작업이 한꺼번에 이루어 지도록 하였다. 그 결과 모든 작업이 한번에 이루어져 이송에 필요한 시간이 최단시간으로 줄어들어 고기에 주는 스트레스의 최소화를 이루어 생산성을 높이는 동시에 최고의 품질을 갖게 하였다. 활어 운송 시스템의 개념도를 Fig. 3.2-12에 도시하였다.

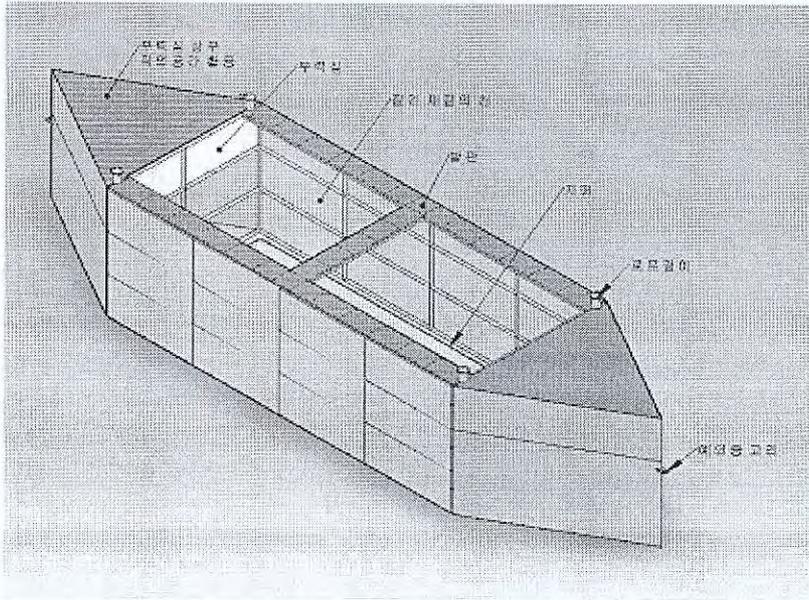


Fig. 3.2-12 활어 운송 시스템의 3D 개념도

나. 활어 출하시스템

(특허출원 10-2007-0094628 : 활어출하장치)

종래의 활어 출하를 위한 활어의 활어수송차량에 보급하는 구조는 해상 어류 가두리 및 해중 어류 가두리에서 양식된 어류를 어선의 어창에 선적하여 포구로 이송한 다음, 포구에 어선이 정박하고 나면 어선에 2명, 육상(지면)에 2명, 육상에 대기하고 있는 활어차에 2명씩 배치한다. 이 중 어선에 배치된 2명은 어선의 어창에 있는 어류들을 뜰채를 사용하여 소형 컨테이너에 담는 작업을 담당하고, 육상(지면)에 있는 2명은 어류로 채워진 소형 컨테이너를 어선에서 육상으로 끌어올리고 저울에서 무게를 확인하고, 다시 활어차 위로 올려주는 일을 담당한다. 활어차에 있는 2명은 활어차 위로 올려지는 소형 컨테이너를 받고 활어차의 어창으로 배분하는 역할을 담당한다.

이러한 활어 이송 수단은 1대에 보통 800kg의 활어를 수송하는 차량의 경우 적어도 40회 이상의 뜰채에 의한 수송이 이루어지며, 이러한 수동적 수송의 경

우 로스가 많고, 이송에 30분 이상이 소요되면서 물고기가 스트레스를 받아 품질이 저하되는 문제점이 있다.

활어 출하 시스템은 활어를 실은 배나 수송 장치가 접안하는 해안부두에 대형 이송 컨테이너를 윈치와 같은 장치로 이송 가능하도록 한 프레임구조를 설치한다. 그리고 이 프레임의 상측에 설치된 루프프레임을 타고 전후좌우로 이송 가능한 위치조절멤버에 의하여 컨테이너를 원하는 위치로 이동가능하게 한다. 따라서 배가 접근하면 위치조절멤버로 컨테이너를 배에 보내어 활어를 실은 다음, 수직상승, 수평이동의 동작으로 육지에 있는 활어수송차량에 보내어 활어를 단시간에 대량 이송가능하게 한다.

또한 컨테이너의 작동시, 중량 측정구에 의하여 이송되는 활어의 무게, 회수, 시간 등의 데이터를 제어부에 저장하여 데이터베이스화하도록 한다. 활어 출하 시스템의 구성을 Fig. 3.2-13에 도시하였다.

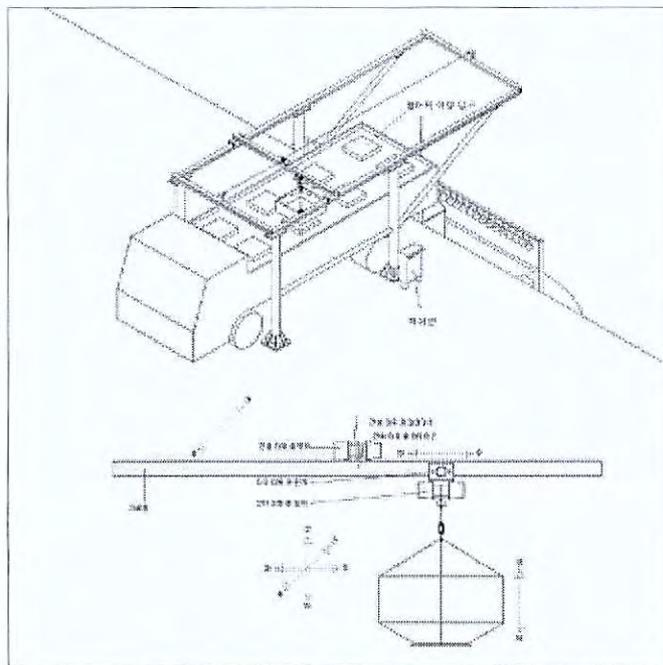


Fig. 3.2-13 활어 출하 시스템의 구성

제 3 절 <제3세부과제 : 외해 대형 어류양식 시스템의 운영에 따른 환경 및 생산성 평가>

1. 환경요인 설정

양식용수는 대상생물에 적합한 조건범위의 환경요인으로 전체가 구성되어야 하며, 이들에 대한 적합성은 항상성 요인을 주체로 그에 따른 변동요인에 대하여 생물의 생존에 깊이 관여하는 항목으로 판단된다.

양식생물은 때때로 환경에 대한 순화를 보이지만, 생산의 기초가 되는 성장에 대한 영향정도는 경제성이 깊이 관여하기 때문에 조정성에 의해 각각의 적합 범위가 결정된다. 따라서 염분농도 등과 같은 항상성이 강한 요인보다 수온, 산소, 영양염류 및 유해물질 등과 같은 변동성이 강한 요인을 관리할 필요가 있다. 따라서 본 시스템은 환경요인을 충분히 고려하여 개발할 필요가 있다. 즉 다음과 같은 주요 환경요인을 고려하여 시스템을 개발할 필요가 있다.

- 용존산소의 공급은 제대로 이루어 질수 있는가 ?
- 수온 및 염분변화에 대처할 수 있는가 ?
- 영양염류의 변동에 대처할 수 있는가 ?
- 저질의 유기물변동은 어느 정도인가 ?
- 배설물의 확산은 잘 이루어지고 있는가 ?
- 환경의 동태를 충분히 파악되고 있는가 ?
- 인위적 요인에 의한 환경오염은 없는가 ?
- 자정작용의 정도는 어떠한가 ?

본 시스템은 다음과 같은 환경 요인들을 고려하여 시스템을 설계하였다.

가. 유속

어류는 유속이 거의 없는 장소에 서식하는 종부터 1m/sec의 빠른 장소에 서식하는 종이 있기 때문에 유속에 대한 적정범위는 양식어의 생산성에 변수로 크게 작용한다.

나. 수온

양식생물을 적온범위 내에서 수온이 증가할수록 양호한 성장을 하지만, 고온으로 가면 섭이 활동이 급격히 저하되고 극단적인 경우는 사망한다. 또한, 수온이 적용 범위 이하로 감소는 활동성과 섭이 활동이 저하되므로 적정수온의 유지는 양식장의 생산성을 좌우하는 요인이 된다.

Table 3.3-1 어류에 대한 수온의 일반적 적정범위

	Species	Temperature (°C)
Cold water	Rainbow trout	7-13
Cool water	Yellow perch	24-27
Warm water	Channel catfish	28-31
Tropical	Tilapia	27-32

다. pH

pH는 생물의 호흡에 의해 발생하는 탄산가스가 물과 반응하여 탄산이 생성되는 것에 의해 변화하며, 양식용수의 산성화 (황사, 산성비 등)는 양식어류에 악 영향을 미친다.

라. 부유물질

어류 양식장의 사육수에 존재하는 부유물질은 유기물인 경우가 많으며, 부유유기물은 용존 유기물을 만들기 쉬우며, 병원성 미생물을 번식시키기도 한다.

마. 병원성 미생물

양식어류는 병원성 미생물에 의해 때때로 질병이 발생하며, 이 경우 환경 변화에 따른 어류의 스트레스가 일차적 요인이 될 수 있다.

바. 용존산소

용존산소는 양식생물의 생리대사에 직접적으로 관여하며, 수중의 포화산소 농도는 낮고 확산속도도 느리기 때문에 양식장의 중요한 생산억제 요인으로 작용한다. 양식생물은 자연계의 동일 종보다 낮은 산소농도에서 인내할 수 있으나, 임계 농도 이하에서는 생산성에 치명적인 영향을 미칠 수 있다.

Table 3.3-2 양식생물의 활동에 필요한 하한 산소농도

양식생물	하한산소농도 (O ₂ mg/ℓ)	수온 (°C)
금붕어	2.5	20
농어	7.0	20
연어	6~7	5
방어	4.3	20.0
참돔	3~4.2	16.5
넙치	2.6	15.6
잉어	4.2	23.0

2. 생산성 요인 설정

집약적 양식에 있어 유수식 육상수조식 양식은 사용가능한 수량이 사육량을 결정하며, 가두리 양식은 유수식 양식의 변형된 형태로 물의 유동교환성이 사육량을 결정하게 된다. 본 시스템은 가두리 양식형태의 하나이며, 다음과 같은 사항들을 충분히 고려할 필요가 있다.

- 양식어에 적합한 환경요인으로 구성되어 있는가 ?
- 수용밀도는 적합한가 ?
- 양식어종에 따른 차이는 어떠한가 ?
- 어류질병은 발생하고 있지 않은가 ?
- 생산에 관련된 항목의 변화는 어떠한가 ?
- 관리는 적절하게 이루어지고 있는가 ?
- 불의의 사고에 대한 대책은 마련되어 있는가 ?

상기의 요인들을 바탕으로 생산성에 관련하여 다음과 같은 요인들을 충분히 고려하여 시스템을 설계하였다.

가. 양식공간

시스템의 설계 및 제작과정을 통해 양식어가 충분한 생활과 먹이활동을 할 수 있는 공간을 조성하며, 축양 시스템으로도 활용하기 위하여 축양 중의 공간도 고려하였다.

나. 수용밀도

현재 육상수조식 및 가두리양식에서 사용되는 수용밀도, 특히 가두리 양식

장의 수용밀도를 바탕으로 이들 수용 밀도보다 1.5배 높은 밀도를 선정하였다.

다. 사료공급

생산성에 관련하여 가장 높은 사료효율을 파악하기 위하여 사료투여량, 어체중당 공급비율 및 사료투여횟수 등에 따른 변화를 검토하고 있으며, 다음과 같은 사항에 중점을 두고 있다.

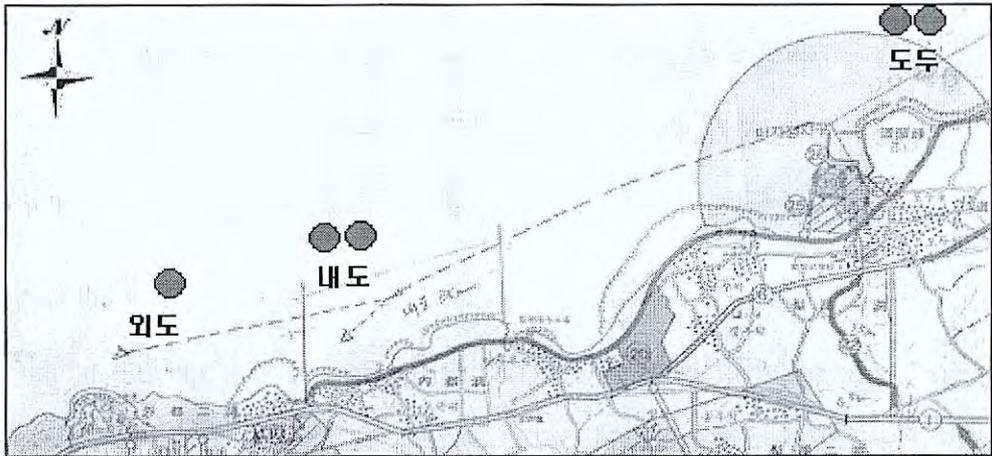
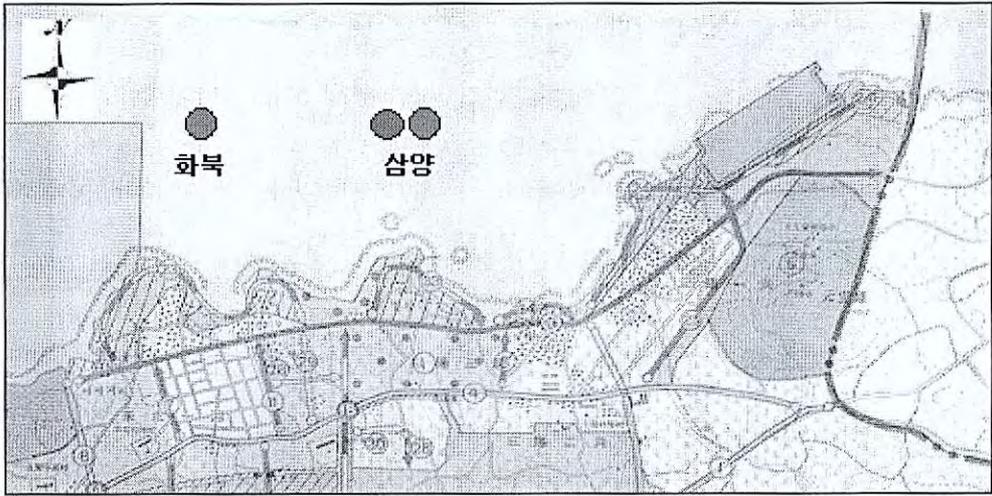
- 사료의 질로 인한 양식어 건강의 영향
- 적정 영양이 확보된 사료의 선정도 중요
- 영양성 질병의 유발을 억제
- 환경에 대한 내성을 가지는 여러 가지 복합물질의 첨가효과 가능
- 과다투여로 인한 양식장 주변의 환경 부하량 고려

3. 시스템 설치 장소의 환경평가

가. 수질환경 조사

1) 조사 정점

Fig. 3.3-1과 같이 삼양어촌계에서 외도어촌계까지 해저지형 조사정점 중 5지점(외도, 내도, 도두, 화북, 삼양)을 정하여 채수하여 결과를 분석하였다.



축적: S = 1 : 25,000

● 생미계
● 해양수질

Fig. 3.3-1 내도, 도두, 화북 및 삼양 주변해역의 조사정점

2) 조사방법

해양수질 5개 정점을 표·저층수를 Van dorn 채수기로 채수하여 현장 및 실험실에서 해양환경공정시험방법(수질편)에 의하여 분석하였다.

항 목	시험방법
수소이온농도(pH)	pH meter (Fisher 230A)로 측정
염분(‰)	salinometer와 IAPSO 인증 검정용 표준해수 이용하여 측정
화학적산소요구량(COD)	알카리성 과망간산 칼륨법으로 측정
부유물질(SS)	유리섬유여과지를 이용, 시수를 여과(1~3L)후 105℃에서 건조후 평량하여 무게차로 구함
암모니아성질소(NH ₄ ⁺ -N)	phenate method에 의한 비색 정량
아질산성 질소(NO ₂ ⁻ -N)	sulfanilamide-N.E.D에 의한 비색 정량
질산성 질소(NO ₃ ⁻ -N)	cadmium reduction method에 의한 비색 정량
총인(PO ₄ ³⁻ -P)	ascorbic acid에 의한 비색 정량
용존산소(DO)	현장에서 용존산소 고정 후 실험실에서 윙클러아지드변법으로 측정
저질중 유기물량(VSS)	강열감량법으로 측정

3) 조사시기

2004년 12월 5일 부터 2005년 1월 5일까지 해저 지형 조사 결과를 바탕으로 각 어촌계의 적지를 확인 예정지 어촌계 각각 1지점을 지정하여 2005년 1월 6일 채수하고 분석하였다.

4) 조사 결과

가) 염분, pH

2005년 1월 사업예정지 해역의 염분 분포는 전체 33.8%~34.2%로 각 예정지가 비슷한 분포를 보이고 있으며 pH의 분포도 각 예정지 해역이 비슷한 평균 8.36으로 양호한 해역 수질환경을 나타내고 있다.

나) 용존산소

2005년 1월 사업예정지 각 해역의 용존산소 농도는 $6.8\text{mg}/\ell \sim 7.3\text{mg}/\ell$ 로 전체적으로 비슷한 분포를 보였다. 수직적으로는 저층이 조금 높은 농도를 보이고 있으나 거의 비슷한 농도이며 해역별로는 화북, 삼양 정점에서 조금 높은 농도를 보이나 큰 차이가 없으며 평균농도는 해역 기준 I등급인 $7.5\text{mg}/\ell$ 에 근접하는 $7.08\text{mg}/\ell$ 의 농도로 전체 조사 해역이 모두 양호한 수질 환경을 보이고 있다.

다) 총질소

총질소는 암모니아 질소, 아질산 질소 및 질산성 질소의 농도를 합한 값으로 2005년 1월 예정지 해역의 총질소 농도 분포는 $0.079\text{mg}/\ell \sim 0.147\text{mg}/\ell$ 로 나타내고 있으며 내도, 외도에서 다른 해역보다 조금 높은 농도를 보이고 있으나 내도,외도의 총질소 농도도 $0.147\text{mg}/\ell$ 로 해역환경기준 I등급($0.3\text{mg}/\ell$)을 보이고 있다. 또한 전체평균 $0.105\text{mg}/\ell$ 로 예정지 해역 모두 해역환경기준 I등급($0.3\text{mg}/\ell$)의 양호한 수질 환경을 보이고 있다. 이는 문 예정지의 해역의 각 어촌계 마을 어장구역으로부터 약 100m 이상 떨어진 외해역으로 연안 내해역에 비해 수질 환경이 양호하게 나타나는 것으로 판단된다.

라) 총인

해수에서 총인은 인산염 인의 농도로 표시하였다. 예정지 해역의 2005년 1

월 총인농도는 $0.006\text{mg}/\ell \sim 0.03\text{mg}/\ell$ 를 보이고 있으며 외도, 내도 저층에서 $0.018\text{mg}/\ell \sim 0.031\text{mg}/\ell$ 의 농도를 보이며 다른 예정지 보다 조금 높은 경향을 보이고 있으나 외도, 내도 해역의 총인농도도 해역환경기준 I 등급($0.03\text{mg}/\ell$) 이하의 농도분포로 전체적으로 양호한 수질 환경을 보이고 있다.

마) 화학적산소요구량(COD)

화학적 산소 요구량(COD) 농도분포는 $0.94\text{mg}/\ell \sim 1.66\text{mg}/\ell$ 의 분포를 보이고 있다. 각 예정지 해역의 각 표층은 약 $1.1\text{mg}/\ell$ 로 해역환경기준 I 등급($1.0\text{mg}/\ell$) 수준을 보이고 있으며 저층은 조금 높은 약 $1.6\text{mg}/\ell$ 으로 해역환경기준 I 등급($1.0\text{mg}/\ell$ 이하)을 넘어 서고 있으나 전체적으로 양호한 환경을 보이고 있다.

바) 부유물질

부유물질은 2001년 1월 1일 시행 생활환경의 해역수질기준에는 포함되고 있지 않다. 그러나 부유물질은 광차단, 호흡기곤란 등 생태계에 피해가 지대한 영향이 있으므로 본 조사에는 실험결과를 제시하였다.

전체 분포는 $3.0 \sim 5.2\text{mg}/\ell$ 를 보이며 외도, 내도에서 조금 높은 농도를 보이고 있으나 전체 평균 $3.6\text{mg}/\ell$ 으로 양호한 환경을 보이고 있다.

사) 저질중 유기물질량(VSS)

저질중의 유기물질량은 기본 해저 지형조사 중간 결과를 바탕으로 사용가능한 사업예정지의 해역중 저질의 유기물질량을 측정하였다. 전체 분포는 $3.1\text{mg}/\text{kg} \sim 5.6\text{mg}/\text{kg}$ 으로 큰 차이를 나타내고 있지 않다.

5) 결과 요약

사업예정지 각 해역의 수질 환경을 조사한 결과 pH, 영양염(총질소, 총인),

용존산소의 분포가 전체적으로 해역환경기준 I 등급의 수준으로 보였으며 화학적 산소요구량의 농도는 표층에서는 I 등급의 수준으로 보였으며 저층에서는 전체적으로 I 등급(1.0mg/ℓ 이하)을 넘어 서고 있었으나 전체적으로 수질 환경이 양호하고 부유물질 농도는 5mg/ℓ 이하로 각 예정지 해역이 모두 양식단지 조성에 수질 환경적으로는 적합한 것으로 판단되어진다.

한편, 2004년 9월 집중 호우 이후 내도와 외도 경계의 마을어장 외곽 인접 지역의 염분을 측정 한 결과 9월2일에는 수심1m에서 20.1‰, 수심7m에서 32.5‰, 수심 15m에서는 33.9‰로 측정되었고, 9월6일에는 수심1m에서 25.0‰, 수심7m에서 32.8‰, 수심 15m에서는 33.4‰로 측정되었다. 또한, 9월17일에는 수심1m에서 21.0‰, 수심 7m에서 32.5‰, 수심15m에서는 33.2‰로 측정되었다. 따라서 내도와 외도 지역을 사업예정지로 할 경우에는 수면에서 급이시 저염분의 상황을 측정하여 급이 작업을 수행할 필요가 있다.

Table 3.3-3 사업 예정지 해역 수질분석 결과

구 분		염분 (%)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	TIN (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	VSS(저질) (mg/kg)
외도	표층	33.8	8.34	6.9	1.25	4.1	0.088	0.018	
	저층	34.1	8.40	7.1	1.60	4.0	0.122	0.031	5.6
내도	표층	33.8	8.35	7.0	1.20	5.2	0.147	0.009	
	저층	34.2	8.40	7.1	1.66	3.8	0.130	0.018	5.4
도두	표층	33.9	8.39	7.0	1.10	3.2	0.105	0.006	
	저층	34.2	8.32	6.8	1.46	3.0	0.079	0.006	4.2
화북	표층	33.8	8.34	7.2	1.02	3.2	0.105	0.009	
	저층	34.2	8.35	7.3	1.55	3.5	0.090	0.008	4.0
삼양	표층	33.9	8.35	7.2	0.94	3.3	0.095	0.012	
	저층	34.2	8.35	7.2	1.52	3.0	0.092	0.007	3.1
평균		34.0	8.36	7.08	1.33	3.6	0.105	0.012	4.5

나. 해양생태계 조사

1) 조사일시 및 지점

2004년 12월 18-23일에 걸쳐 내도, 외도, 도두, 화북 및 삼양 주변해역에서 해양생태계 조사를 통하여 실시하였다

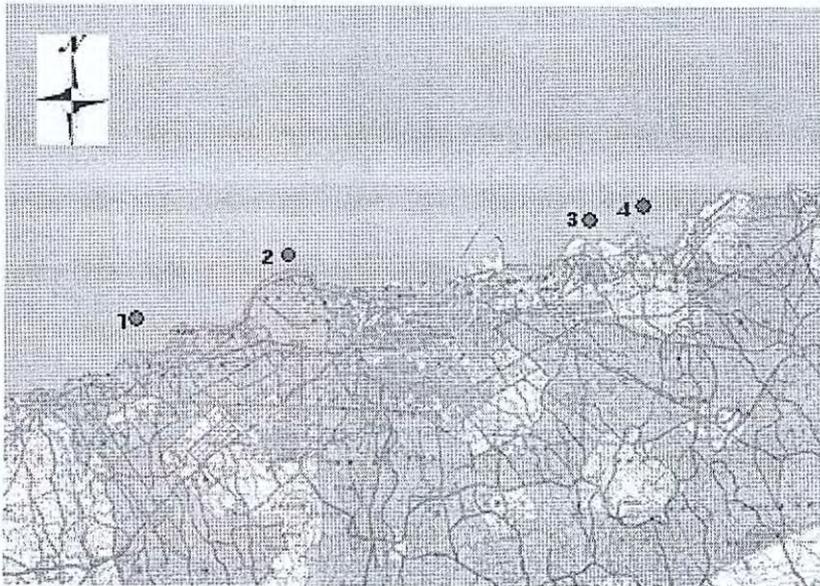


Fig. 3.3-2 외도, 내도, 도두, 화북 및 삼양 주변해역의 해양 생태계 조사정점

2) 조사방법

가) 식물플랑크톤

제주의항 주변해역 4개 정점에서 조사시마다 수심, 수온, 투명도를 측정하고 표층은 1m에서, 저층은 저질 상층 1m에서 사업시행 주변해역 (Fig. 3.3-2 참조)에서 Van Dorn 채수기를 이용하여 채수한 후 폴리에틸렌 병에 옮겨 Lugol액을 첨가하여 고정시켰다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 유리 침전관에서

24시간 이상 침전시킨 뒤 광학현미경 하에서 Sedgwick Rafter 계수판을 이용 계수하여 세포수(cells/ℓ)를 현존량으로 계산하였고, 각 정점별 생태지수를 계산하였다. 식물플랑크톤의 분류·동정은 Cupp (1943), 久保 (1955), Hendey (1964), Simonsen (1974), Yamaji (1984), 심 (1994) 등의 자료를 인용하였다.

나) 동물플랑크톤

조사해역 내 동물플랑크톤 채집을 위하여 식물플랑크톤 조사정점과 동일한 4개 정점에서 NORPAC net (구경 43cm, 측장 180cm, 망목구경 200 μ m)를 사용하여 저층에서 표층까지 수직 예망하였다. 채집된 시료는 선상에서 중성포르말린을 첨가하여 5%되게 고정된 후 실험실에서 Motoda식 분할기로 1/2~1/16로 분할한 후 해부현미경 및 광학현미경 하에서 Bogorov 계수판 및 Sedgwick Rafter 계수판 등으로 계수하여 현존량 (indiv./m³)으로 환산하였고, 생태지수를 계산하였다. 모약류의 동정은 박 (1970), 요각류는 Mori (1937), 김 (1998), 강 (1992)과 전체 군별 분류는 Yamaji (1984)과 유 (1995) 등의 자료를 인용하였다.

다) 어란 및 치자어

어란 및 치자어의 채집은 망구가 60cm인 치자어 넷트 (망목 : 0.33mm×0.33mm)에 유량계를 장착하여 채집하였다. 채집된 시료는 선상에서 5% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반한 다음, 해부현미경 하에서 어란과 치자어를 동정·계수한 후 출현개체수를 체적 당 개체수 (개체/m³)로 환산하였다. 종 동정은 김 (1981), 정 (1977), 부산수산대학교 (1981), 한국해양연구소 (1986) 등의 자료를 인용하였다.

라) 저서생물

제주의항 주변해역에서 4개의 조사정점을 선정하여 저서생물조사를 실시하

였다. 저서생물은 Skin Scuba 장비를 이용하여 해저암반에 서식하고 있는 동식물을 방형구를 사용하여 채취하였으며, 수중 CCTV를 이용하여 저서생물의 분포양상을 촬영하였다. 저서생물의 동정 및 분류는 권 등 (1993), 최 (1992), 신과 노(1996), 김 (1998) 등의 자료를 이용하였다.

마) 해조류

해조류는 Skin Scuba 장비를 이용하여 해저암반에 서식하고 있는 해조류를 방형구를 사용하여 채취하였으며, 수중 CCTV를 이용하여 해조류의 분포 양상을 촬영하였다. 해조류의 동정 및 분류는 권 등 (1993), 최 (1992), 신과 노 (1996), 김 (1998) 등의 자료를 이용하였다.

바) 조간대 생물

조간대에 서식하는 부착생물의 채집은 정량분석을 위해 부착생물의 분포가 비교적 많은 곳 중에서 채집하기 용이한 편평한 수평, 또는 수직 인공면을 골라 가로, 세로 50cm 방형구 내에 들어 있는 생물을 끌과 호미로 전량 채취하였다. 정성적인 조사를 위해 주위 암반과 저질에 서식하고 있는 생물들을 관찰되는 대로 채집하여 분포 생물상을 조사하였다. 채집한 시료는 현장에서 10% 중성포르말린으로 고정시킨 후, 실험실로 운반한 다음, 동정과 분류 및 계측하였다. 조간대 동물은 개체수와 중량을 측정하였고, 조간대 식물은 중량만을 측정하였다. 동·식물의 동정 및 분류는 권 등 (1993), 최 (1992), 신과 노 (1996), 김 (1998) 등의 자료를, 해산식물은 강 (1968), Arasaki (1981), Tseng (1983) 등의 자료를 이용하였다.

사) 해산어류 조사

해조류와 저서생물과 마찬가지로 Skin Scuba 장비를 이용하여 수중 CCTV로 해산어류의 분포양상을 촬영하였으며, 이를 도표와 사진으로 제시하였다.

아) 생태지수 및 군집분포

- 생태계는 에너지 흐름에 환경기초인자가 변하고 이에 따라 생태계를 이루는 생물학적 구성인자인 부유생물, 유영생물, 저서생물 군집구조도 변한다. 이들은 서식환경과 먹이사슬 관계에 따라 분포가 결정되며 생물 상호간 관계가 성립된다.
- 따라서 이들의 생물군집의 특성을 설명하는 생태지수는 종다양성지수 (H'), 풍부도지수(R), 균등도지수(J), 우점도지수(D)를 가지고 생태계 내에서의 역할을 유추할 수 있다. 이러한 각 지수의 계산식은 다음과 같다.

- 종다양성지수 : $H' = - \sum_{i=0}^S P_i \times \ln(P_i)$ (Shannon and Weaver, 1963)

P_i : i 번째 종의 점유율, S : 출현종수

풍부도 지수 : $R = \frac{(S-1)}{\ln(N)}$ (Margalef, 1958)

균등도 지수 : $J = \frac{H'}{\ln(S)}$ (Pielou, 1966)

우점도 지수 : $D = \frac{n_1 + n_2}{N}$ (McNaughton, 1968)

N : 총 개체수

n_1 : 최우점종의 개체수

n_2 : 차우점종의 개체수

집괴분석은 조사지역의 종조성에 기초하여 실시하였으며, Bray-Curtis 지수 (Bray and Curtis, 1957)를 사용하여 유사도 지수를 구한 후, Lance and Williams (1967)의 Linear Combinatorial equation을 이용한 가중평균결합법 (WPGMA)을 사용하여 정점군을 구분하였다.

3) 조사결과

가) 식물플랑크톤

해양에서의 기초생산을 담당하는 식물플랑크톤은 수중에서 부유생활을 하고 있는 단세포조류(單細胞藻類)의 총칭으로 직접 유기물을 분비하거나 세포 자체가 죽어서 세균의 분해로 인한 입자상태의 유기물 생산에 중요한 역할을 담당하며, 해양 종속영양세균(heterotrophic bacteria)의 중요한 영양원을 제공하므로 수계에서 표층 가까이에 분포하여 영양생성층을 형성하고, 수계에서의 식물플랑크톤의 분포는 모든 생물적·무생물적 요인의 상호작용에 의해 좌우되며 또한 계절적으로 변화한다. 이러한 식물플랑크톤은 해양생태계에서 일차생산자로서 중요한 위치를 차지할 뿐아니라, 이들의 공간분포와 시간분포를 파악하는 일 또한 생산구조의 규명에 있어서도 불가결한 일이라 하겠다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 표층 식물플랑크톤 종조성 및 현존량은 다음과 같다. 조사해역에서 출현한 표층 식물플랑크톤은 규조강 9속 10종 만이 채집되었다. 정점별 출현종수는 정점 2에서 6종으로 가장 출현종 수가 많은 정점이었으며, 정점 4에서 5종, 정점 1과 3에서 4종이었다. 전체적으로 정점간에 비교적 고른 분포를 보였다. 전 정점에서 출현한 종은 *Pseudonitzschia pungens* 단 1종이 조사되었다. 정점별 현존량에 따른 출현빈도를 보면, 정점 1에서 3,118 cells/ℓ로 총출현개체수 대비 21.77%를, 정점 2에서 4,667 cells/ℓ로 32.58%를 차지하여 현존량이 가장 많은 정점으로 나타났고, 정점 3에서는 2,338 cells/ℓ로 16.32%를 차지하여 현존량이 가장 적은 정점이었으며, 정점 4에서는 4,202 cells/ℓ로 29.33%를 차지하였다. 총 출현개체수 대비 10%이상 출현한 종은 *Pseudonitzschia pungens*, *Stephanopyxis turris*, *Thalassiothrix frauenfeldii*로 3종이었고, 이 중 *Pseudonitzschia pungens*가 5,812 cells/ℓ로 총출현개체수 대비

40.57%를 차지하여 최우점하였고, 그 다음으로 *Thalassiothrix frauenfeldii*가 1,541 cells/ℓ 로 10.76%를 차지하여 차우점하였다.

한편, 저층 식물플랑크톤 종조성 및 현존량은 다음과 같다. 조사해역에서 출현한 저층 식물플랑크톤은 규조강 7속 7종 만이 채집되었다. 정점별 출현 종 수는 정점 2와 3에서 5종, 정점 1과 4에서 4종이었으며, 전체적으로 표층 식물플랑크톤과 마찬가지로 정점간 비교적 고른 분포를 나타내었다. 전 정점에서 출현한 종은 *Nitzschia seriata*와 *Pseudonitzschia pungens* 2종으로 조사되었다. 정점별 현존량에 따른 출현빈도를 보면, 정점 1에서 3,647 cells/ℓ 로 총출현개체수 대비 31.52%를 차지하여 현존량이 가장 많은 정점이었으며, 정점 2에서는 2,733 cells/ℓ 로 23.62%를, 정점 3에서는 2,439 cells/ℓ 로 21.08%를 차지하여 현존량이 가장 적은 정점이었으며, 정점 4에서는 2,752 cells/ℓ 로 23.78%를 차지하여 표층 플랑크톤과는 다른 양상을 보였다. 총출현개체수 대비 10%이상 출현한 종은 규조강인 *Chaetoceros lorenzianus*, *Nitzschia seriata*, *Pseudonitzschia pungens*, *Stephanopyxis turris*, *Thalassiothrix frauenfeldii*로 5종이었으며, 이 중 *Pseudonitzschia pungens*가 4,867 cells/ℓ 로 총출현개체수 대비 42.06%를 차지하여 최우점하였고, 그 다음으로 *Thalassiothrix frauenfeldii*가 1,863 cells/ℓ 로 16.10%를 차지하여 차우점하였다.

Table 3.3-4 사업예정지 주변해역 표층 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량

(cells/ℓ : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Bacillariophyceae 규조강						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1,379				1,379	9.63
<i>Ditylum brightwellii</i>			406		406	2.83
<i>Licmophora abbreviata</i>		540			540	3.77
<i>Nitzschia longissima</i>				406	406	2.83
<i>Nitzschia seriata</i>	183	299		507	989	6.90
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	1,370	1,036	703	2,703	5,812	40.57
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>		1,411			1,411	9.85
<i>Stephanopyxis turris</i>		481	588	377	1,446	10.09
<i>Thalassiosira rotula</i>	186			209	395	2.76
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>		900	641		1,541	10.76
출현 개체수	3,118	4,667	2,338	4,202	14,325	100.00
출현 종수	4	6	4	5	10	
출현 빈도 (%)	21.77	32.58	16.32	29.33	100.00	

Table 3.3-5 사업예정지 주변해역 저층 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량

(cells/ℓ : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Bacillariophyceae 규조강						
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1,418				1,418	12.25
<i>Licmophora abbreviata</i>		200			200	1.73
<i>Nitzschia seriata</i>	246	406	199	363	1,214	10.49
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	1,577	840	682	1,768	4,867	42.06
<i>Stephanopyxis turris</i>		271	406	507	1,184	10.23
<i>Thalassiosira rotula</i>	406		305	114	825	7.13
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>		1,016	847		1,863	16.10
출현 개체수	3,647	2,733	2,439	2,752	11,571	100.00
출현 종수	4	5	5	4	7	
출현 빈도 (%)	31.52	23.62	21.08	23.78	100.00	

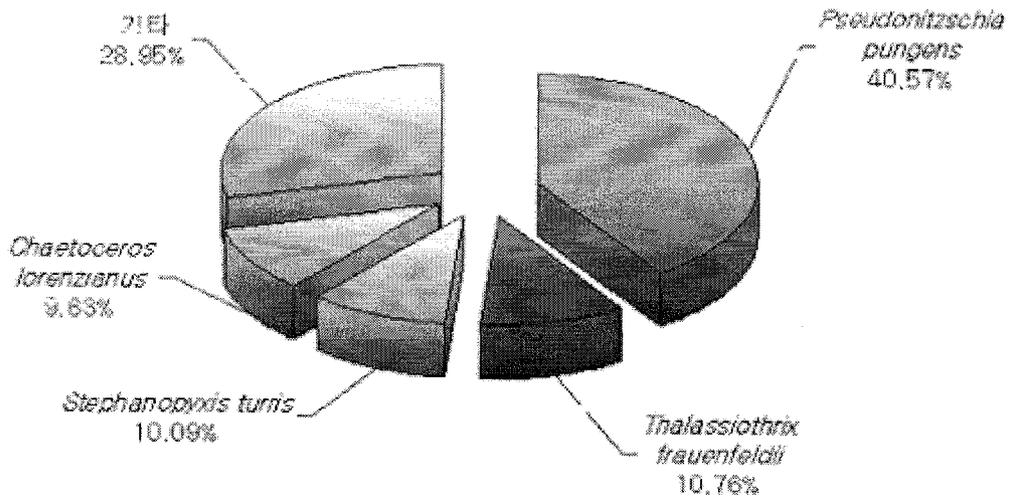


Fig. 3.3-3 사업예정지 주변해역 식물플랑크톤의 우점종 현황
(2004년 12월)

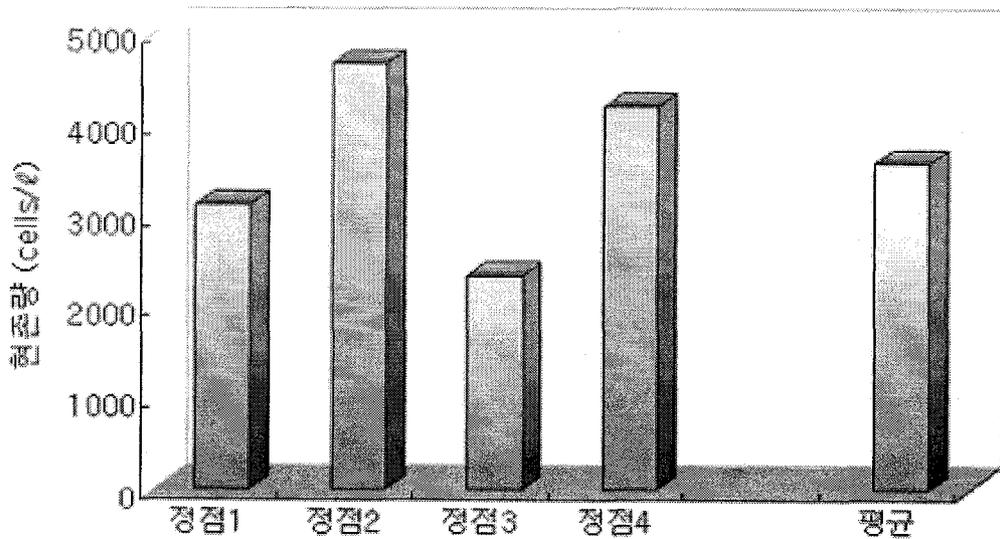


Fig. 3.3-4 사업예정지 주변해역 식물플랑크톤의 정점별 현존량
(2004년 12월)

(2) 생태 지수

2004년 12월, 표층 식물플랑크톤의 생태지수 조사 결과는 Table 5.3-6 과 같다. 종다양성지수는 1.0568 (정점 1)~1.6730 (정점 2)의 분포범위를 나타내 정점 2가 상대적으로 가장 안정된 군집구조를 보였으며, 정점 1은 가장 불안정한 구조를 나타냈다. 풍부도지수는 0.3729 (정점 1)~0.5918 (정점 2)의 분포범위를, 균등도지수는 0.7023 (정점 4)~0.9863 (정점 3)의 분포범위를 나타냈으며, 우점도지수는 0.5243 (정점 2)~0.8817 (정점 1)의 분포범위를 나타냈다. 한편, 정점간 지수별 상관관계는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

저층 식물플랑크톤의 생태지수 조사결과는 Table 3.3-6 과 같다. 종다양성 지수는 0.9950 (정점 4)~1.4865 (정점 3)의 범위로 정점 3이 상대적으로 가장 안정된 군집구조를 보였으며, 정점 4는 가장 불안정한 구조를 나타냈다. 풍부도지수는 0.3658 (정점 1)~0.5129 (정점 3)의 분포범위를, 균등도지수는 0.7177 (정점 4)~0.9236 (정점 3)의 분포범위를 나타냈으며, 우점도지수는 0.6269 (정점 3)~0.8267 (정점 4)의 범위를 나타냈다. 한편, 정점 3은 종다양성지수, 풍부도지수와 균등도지수는 높은 반면, 우점도지수는 낮게 나타났다.

Table 3.3-6 사업예정지 주변해역 표층 식물플랑크톤 군집의 생태지수
(2004년 12월)

정점	수심	종다양성지수 (H')	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	우점도지수 (D)
1	표층	1.0568	0.3729	0.7623	0.8817
	저층	1.1561	0.3658	0.8339	0.8212
2	표층	1.6730	0.5918	0.9337	0.5243
	저층	1.4342	0.5055	0.8911	0.6791
3	표층	1.3673	0.3867	0.9863	0.5749
	저층	1.4865	0.5129	0.9236	0.6269
4	표층	1.1304	0.4794	0.7023	0.7639
	저층	0.9950	0.3788	0.7177	0.8267

나) 동물플랑크톤

수괴특성과 관련된 동물플랑크톤의 지리적 분포양상을 파악하는 것은 유기물질의 순환, 영양염류의 교환 및 생산력에 관한 상호관계를 파악하는데 크게 기여되며, 궁극적으로는 연안의 생물상을 이해하기 위한 유용한 자료로 이용되어지며, 동물플랑크톤 중 주요한 지표성 종과 군집구조 해석에 의한 오염정도의 파악과 생태계 변화를 밝히는 것 또한 매우 중요한 일이다. 해양 생태계내의 에너지 흐름을 파악하기 위하여 생태계 구성원인 생물들을 중심으로 영양단계별로 생물량을 측정하고, 생태효율을 계산하여 생물생산량을 추정하여 영양단계별 에너지 흐름을 파악하게 되는데 생산자로서의 동물플랑크톤인 경우는 통일된 측정방법이 아직 확립되어 있지 못하기 때문에 생산량 측정은 매우 제한적으로 이루어지고 있다. 동물플랑크톤은 세대기간이 길고, 분류군이 다양하므로 전체 동물플랑크톤의 생산량을 측정하기 위해서는 우선 그들의 생산량과 종조성에 관한 정보를 수집하는 것이 우선 이루어져야 한다. 동물플랑크톤의 생산량은 하부 영양단계인 식물플랑크톤의 생산량에 의존되며, 고차 영양단계의 생산에 직접 영향을 주므로 어느 해역의 고차 생산력이나 생산량을 추정하는데 생태학적으로 매우 유용하다. 동물플랑크톤은 유영력이 약하여 조류나 파도 등 해수유동에 따라 분포범위가 결정되며, 같은 해역이라도 국소적으로 종조성이나 생산량에 차이가 있을 수 있으며, 특히 환경변화가 심한 연안생태계에서 동물플랑크톤의 분포 및 군집변동은 그 해역의 환경과 밀접한 관계를 가진다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 동물플랑크톤의 종조성 및 현존량은 Table 3.3-7 과 같다. 본 조사에서 출현한 동물플랑크톤은 Protozoa 1종, Hydrozoans 1종, Appendicularians 1종, Copepods 11종, Barnacle larvae 1종, Amphipod 1종으로 총 16종이 출현하였다. 정점별 출현종 수를 살펴 보면, 정점 2에서 가장

많은 14종이 출현하였고, 정점 1, 3과 4에서 13종이 출현하여 전체적으로 정점간 비교적 고른 분포를 보였다. 정점별 현존량 및 현존량에 따른 출현빈도를 살펴 보면, 정점 1에서 492 indiv./m³로 총 출현개체수 대비 22.92%를, 정점 2에서 793 indiv./m³로 36.94%를 차지하여 현존량 및 출현빈도가 가장 많은 정점으로 나타났고, 정점 3에서는 494 indiv./m³로 23.01%를, 정점 4에서는 368 indiv./m³로 17.14%를 차지하여 현존량 및 출현빈도가 가장 적은 정점으로 나타났다.

전 정점에서 출현한 종은 *Noctiluca scintillans*, *Acartia omorii*, *Acartia pacifica*, *Corycaeus affinis*, *Oithona similis*, *Paracalanus aculeatus*, *Paracalanus indicus*, *Paracalanus parous*, *Tortanus forcipatus*, Unidentified copepodites로 총 10종이 조사되다. 한편, 전체 출현개체수의 10% 이상 출현한 종은 Copepods (요각류)인 *Corycaeus affinis*와 *Oithona similis* 2종이었으며, 이 중 *Oithona similis*가 999 indiv./m³로 총 출현개체수 대비 46.53%로 최우점하는 종으로 조사되었고, 차우점 종으로는 242 indiv./m³에 11.27%를 차지한 *Corycaeus affinis*로 조사되었다.

Table 3.3-7 사업예정지 주변해역 동물플랑크톤의 현존량

(indiv./m³ : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Protozoa						
<i>Noctiluca scintilans</i>	15	5	8	7	35	1.63
Hydrozoans						
Siphonophorans (medusa form)	12				12	0.56
Appendicularians						
<i>Oikopleura dioica</i>		3		5	8	0.37
Copepods						
<i>Acartia omorii</i>	33	72	29	42	176	8.20
<i>Acartia pacifica</i>	22	65	33	27	147	6.85
<i>Calanus sinnicus</i>		10	35	11	56	2.61
<i>Corycaeus affinis</i>	58	34	115	35	242	11.27
<i>Microsetella rosea</i>		5	7		12	0.56
<i>Oithona similis</i>	257	485	156	101	999	46.53
<i>Paracalanus aculeatus</i>	33	55	41	30	159	7.41
<i>Paracalanus indicus</i>	15	30	40	55	140	6.52
<i>Paracalanus parvus</i>	21	18	14	33	86	4.01
<i>Tortanus forcipatus</i>	5	7	10	6	28	1.30
Unidentifide copepodites	8	3	5	9	25	1.16
Barnacle larvae						
(nauplius, cyprid)	11			7	18	0.84
Amphipoda						
<i>Hyperia galba</i>	2	1	1		4	0.19
출현 개체수	492	793	494	368	2,147	100.00
출현 종수	13	14	13	13	16	
출현 빈도 (%)	22.92	36.94	23.01	17.14	100.00	

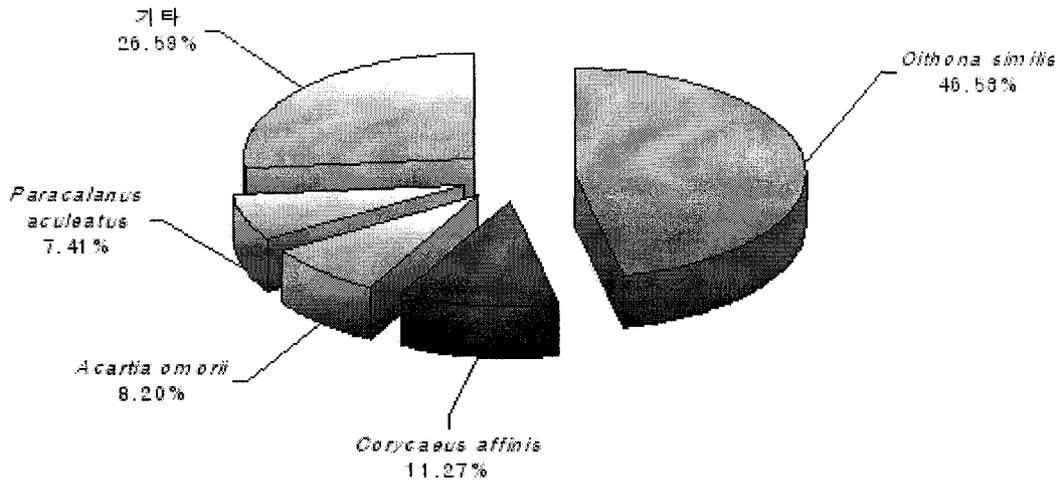


Fig. 3.3-5 사업예정지 주변해역 동물플랑크톤의 우점종 현황
(2004년 12월)

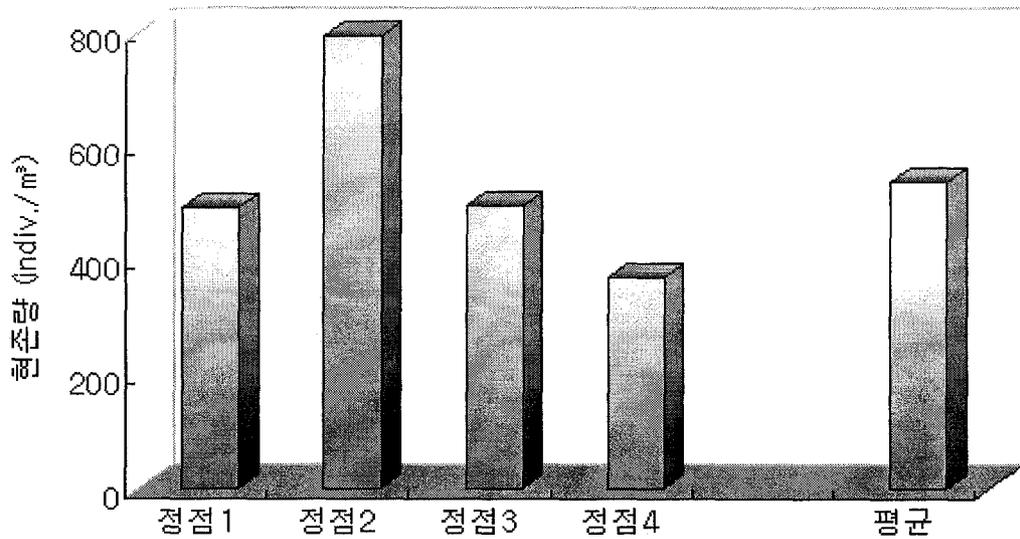


Fig. 3.3-6 사업예정지 주변해역 동물플랑크톤의 정점별 현존량
(2004년 12월)

(2) 생태 지수

2004년 12월, 동물플랑크톤의 생태지수 조사 결과는 Table 3.3-8 과 같다. 종다양성지수는 1.4649 (정점 2)~2.1946 (정점 4)의 분포범위를 나타내 정점 4가 상대적으로 가장 안정된 군집구조를 보였으며, 정점 2는 가장 불안정한 구조를 나타냈다. 풍부도지수는 1.9347 (정점 3)~2.0311 (정점 4)의 분포범위를, 균등도지수는 0.5551 (정점 2)~0.8556 (정점 4)의 분포범위를 나타냈으며, 우점도지수는 0.4239 (정점 4)~0.7024 (정점 2)의 범위를 나타냈다. 한편, 정점 4는 상대적으로 종다양성지수와 풍부도지수, 균등도지수는 높은 반면, 우점도지수는 낮게 나타났다.

Table 3.3-8 사업예정지 주변해역 동물플랑크톤 군집의 생태지수

(2004년 12월)

정점 \ 생태지수	종다양성지수 (H')	풍부도지수 (R)	균등도지수 (J)	우점도지수 (D)
1	1.7517	1.9360	0.6829	0.6402
2	1.4649	1.9473	0.5551	0.7024
3	2.0143	1.9347	0.7853	0.5486
4	2.1946	2.0311	0.8556	0.4239

다) 어란 및 치자어

어류의 생식활동은 대개 계절적이거나 정해진 주기를 가지고 있으며, 알의 성숙과 산란은 외부환경의 주기적 변화에 많은 영향을 받는다. 또한 어류의 성장정도와 산란여부를 결정하는 것으로 알려진 먹이생물의 밀도도 계절적 주기를 가지고 있으며, 알의 성숙에 직접 관련이 있다. 외부환경의 변화들은 어류의 감각기관을 통하여 감지되고, 그러한 자극은 체내에서 생식기관이나 생식세포의 발달 혹은 산란에 관여하는 호르몬의 분비를 촉진하게 된다. 이처럼 어류의 생식활동에 영향을 미치는 요인으로는, 호르몬의 분비, 외부의 환경요인, 어미의 영양 상태 등을 들 수 있다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 조사결과는 Table 3.3-9 와 같다. 조사결과 Eggs (어란)만이 조사되어 *Stephanolepis cirrhifer* (쥐치)가 31.7 개체/1,000m³, 미동정 어란이 67.0 개체/1,000m³로 조사되었다. 정점별 현존량을 살펴 보면, 정점 1과 2에서는 어란 및 치자어가 나타나지 않았으며, 정점 3은 62.0 개체/1,000m³, 정점 4는 36.7 개체/1,000m³로 조사되었다.

Table 3.3-9 사업예정지 주변해역 어란 및 치자어의 현존량

(개체/1,000m³ : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계
	1	2	3	4	
Eggs (어란)					
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (쥐치)	-	-	18.0	13.7	31.7
Unidentified fishes I	-	-	25.0	15.0	40.0
Unidentified fishes II	-	-	19.0	8.0	27.0
합 계	-	-	62.0	36.7	98.7

라) 저서생물

저서생물이라는 말은 해저에 붙어살거나 해저 가까이에 사는 생물을 총칭하는 것으로 시각·청각 등의 감각이 둔하고 운동능력도 떨어지며, 유영속도도 빠르지 않은 것이 보통이다.

해양 저서생물 (benthos)은 크기에 의해서도 나누고 있는데 5cm이상으로 육안으로 형태의 식별이 가능한 동물을 거대형 저서동물 (megafauna), 몸체가 1mm에서 5cm이하의 동물을 대형 저서동물 (macrofauna), 32 μ m에서 1mm이하의 동물을 중형 저서동물 (meiofauna), 32 μ m이하의 동물을 소형 저서동물 (microfauna)이라고 부른다. 이와 같이 저서 다모류를 다양하게 분류하는 것은 이들이 다양한 서식환경에 다양한 형태로 적응하고 있기 때문이다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 조사결과는 Table 3.3-10 과 같다. 조사결과 총 20종이 출현하였고, 평균서식밀도는 35개체로 조사되었으며, 연체동물이 12종, 환형동물이 2종, 극피동물이 3종, 갑각류 2종, 척색동물이 1종 출현하였다. 채집된 종 중에서 전 정점에서 출현한 종은 연체동물인 *Batillus comutus* (소라), *Crassostrea kegaki* (가시굴), *Notoacmea schrenki* (배무래기), *Septifer keenae* (격판담치) 4종과 갑각류인 *Tetraclita japonica* (검은큰따개비) 1종으로 총 5종이 조사되었다. 채집된 종 중 갑각류인 *Tetraclita japonica* (검은큰따개비)가 우점하였다. 정점별 종 출현양상을 보면, 정점 3에서 15종으로 조사되었으며, 정점 2와 4에서는 12종, 정점 1에서는 7종으로 조사되어 전체적으로 정점간 차이를 나타내었다. 정점 1에서 14개체에 201.6g이, 정점 2에서 46개체에 877.4g이, 정점 3에서 35개체에 845.8g이, 정점 4에서 43개체에 545.5g으로 각각 조사되었다. 또한, 정점 1에서는 연체동물 5종과 극피동물 1종, 갑각류 1종이 출현하였고, 정점 2에서는 연체동물 9종과 극피동물 2종, 갑각류 1종이 출현하였으며, 정점 3에서는 연체동물 8종과 환형동물 2종, 극피동물 2종, 갑각류

2종, 척색동물 1종이, 정점 4에서는 연체동물 8종과 환형동물 1종, 극피동물 1종, 갑각류 2종이 출현하였다.

Table 3.3-10 사업예정지 주변해역 저서생물의 종조성 및 현존량
(개체수(g) : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Mollusca (연체동물)						
Batillus comutus (소라)	1(88.5)	7(462.3)	5(583.2)	3(223.7)	16(1,357.7)	11.59
Crassostrea kegaki (가시굴)	2(8.7)	4(20.8)	3(6.9)	2(4.1)	11(40.5)	7.97
Crassostrea gigas (굴)			2(14.2)		2(14.2)	1.45
Ceratostoma foumieri (세뿔고둥)	1(10.1)	2(15.5)			3(25.6)	2.17
Kelletia lischkei (매끈이고둥)		1(26.5)		2(55.4)	3(81.9)	2.17
Lunella coronata (눈알고둥)		3(75.8)	2(65.8)	2(45.8)	7(187.4)	5.07
Notoacmea schrenki (배무래기)	2(1.2)	3(5.7)	3(6.0)	4(6.9)	12(19.8)	8.70
Omphalius pfeifferi carpenteri (팽이고둥)			1(4.8)	6(25.8)	7(30.6)	5.07
Reishia bronni (두드럭고둥)			1(2.2)	2(3.5)	3(5.7)	2.17
Reishia clavigera (대수리)		3(2.9)			3(2.9)	2.17
Septifer keenae (격판담치)	2(8.6)	2(7.7)	5(18.8)	10(40.2)	19(75.3)	13.77
Trochus sacellus (바퀴고둥)		3(10.2)			3(10.2)	2.17
Annelida (환형동물)						
Gattyana deludens (황금갑옷비늘갯지렁이)			1(0.1)		1(0.1)	0.72
Eunoe senta (가시수염비늘갯지렁이)			2(0.2)	1(0.1)	3(0.3)	2.17
Echinodermata (극피동물)						
Anthocardaris crassispina (보라성게)		4(82.6)	2(63.8)		6(146.4)	4.35
Cettonardoa semiregularis (빨강불가사리)	1(15.8)	4(65.9)		2(28.6)	7(110.3)	5.07
Ophioplocus japonicus (왜곱슬거미불가사리)			1(3.3)		1(3.3)	0.72
Crustacea (갑각류)						
Tetraclita japonica (검은따개비)	5(68.7)	10(101.5)	5(50.0)	8(95.8)	28(316.0)	20.29
Unid. Paguridae (집게류)			2(26.5)	1(15.6)	3(42.1)	2.17
Chordata (척색동물)						
Halocynthia sp. (멍게류)			2(3.5)		2(3.5)	1.45
출현 개체수	14(201.6)	46(877.4)	35(845.8)	43(545.5)	138(2,470.3)	100.00
출현 종수	7	12	15	12	20	

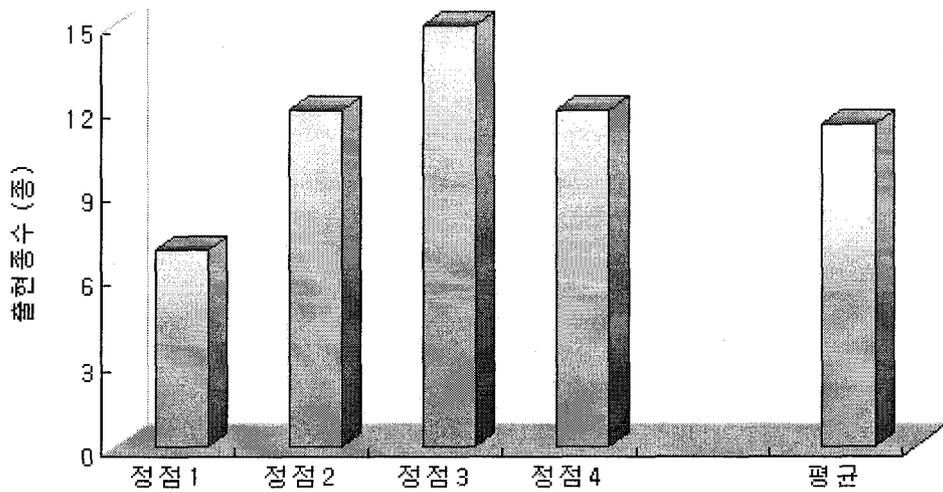


Fig. 3.3-7 사업예정지 주변해역 저서생물의 정점별 출현종수
(2004년 12월)

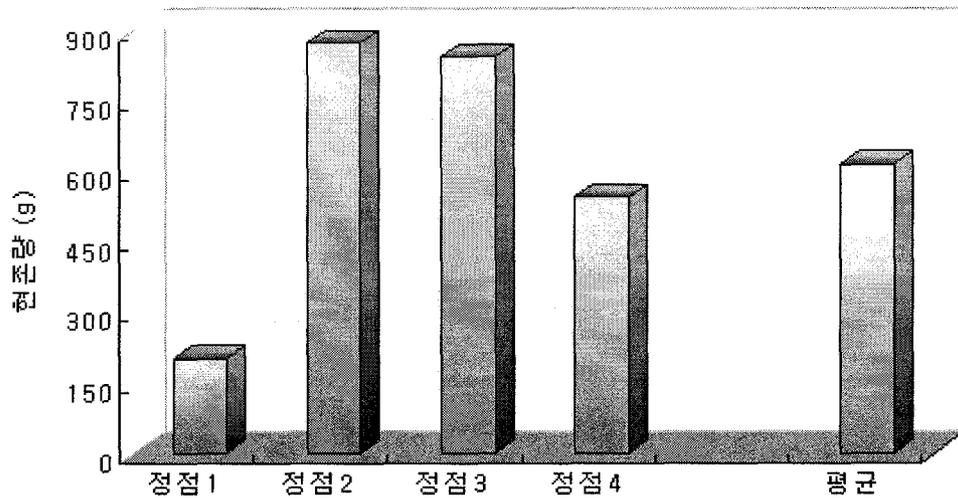


Fig. 3.3-8 사업예정지 주변해역 저서생물의 정점별 현존량
(2004년 12월)

마) 조하대 해조류

해조류는 광합성 색소가 획득한 빛에너지를 이용하여 탄수화물을 스스로 합성하며 저서생활을 하는 해양 저서식물의 한 종류로 남조류, 녹조류, 갈조류, 홍조류 등으로 분류되는데, 이것은 광합성에 관여하는 색소의 특징에 의해 구별된다.

이런 해조류의 군집은 동일 지역에서도 광선, 수온, 영양염 조성의 차이, 해류, 수질, 부착기질의 경쟁, 초식성 동물의 식해 등의 물리·화학적, 역학적, 생물학적 요인 등 여러 복합적 요인에 의하여 시·공간적인 변화가 수반되므로 이를 확일적으로 인식하기는 어렵지만 이 지역의 현재 해조상 조사에 그 주안점을 두었다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 조사결과는 Table 3.3-11 과 같다. 총 현존량은 345.7g으로 조사되었고, 총 출현종수는 19종이었다. 한편, 전 정점에서 출현한 종으로는 Chlorophyta (녹조식물문)인 *Ulva pertusa* (구멍갈파래) 1종과 Phaeophyta (갈조식물문)인 *Eckloniacava* (감태), *Ecklonia stolonifera* (곰피), *Sargassum yendoi* (엔도모자반) 3종으로 총 4종이 조사되었고, Phaeophyta (갈조식물문)인 *Ecklonia cava* (감태)가 163.8g 채집되어 최우점하였고, 그 다음으로 역시 Phaeophyta (갈조식물문)인 *Sargassum yendoi* (엔도모자반)이 74.2g 채집되어 차우점하였다. 전체적으로 출현종들을 살펴 보면, 녹조식물이 3종, 갈조식물이 3종, 홍조식물이 13종으로 총 19종이 조사되었다. 정점별로는 정점 1에서 총 9종에 96.5g이 채집되었고, 정점 2는 10종에 26.7g, 정점 3은 13종에 137.0g이 채집되어 가장 출현종 수 및 출현량이 많은 정점이었고, 정점 4는 11종에 85.5g이 채집되었다.

Table 3.3-11 사업예정지 주변해역 조하대 해조류의 종조성 및 현존량

(g : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Chlorophyta (綠藻植物門)						
<i>Cladophora wrightiana</i> (갈색대마디말)		1.1	10.7		11.8	3.41
<i>Codium fragile</i> (청각)			1.1	4.5	5.6	1.62
<i>Ulva pertusa</i> (구멍갈파래)	1.0	0.8	1.2	3.5	6.5	1.88
Phaeophyta (褐藻植物門)						
<i>Ecklonia cava</i> (감태)	75.7	3.7	50.7	33.7	163.8	47.38
<i>Ecklonia stolonifera</i> (곰피)	11.4	10.7	15.8	11.7	49.6	14.35
<i>Sargassum yendoii</i> (엔도모자반)	2.2	5.4	46.8	19.8	74.2	21.46
Rhodophyta (紅藻植物門)						
<i>Amphiroa dilatata</i> (넓은게발)		1.1		1.4	2.5	0.72
<i>Calliarthron modestum</i> (화살깃산호말)				2.2	2.2	0.64
<i>Cruoriella japonica</i> (고등웃)	2.2		1.1	1.4	4.7	1.36
<i>Delisea fimbriata</i> (나도쟁꼬리)		2.5			2.5	0.72
<i>Gelidium vagum</i> (막우뭇가사리)			0.7	1.5	2.2	0.64
<i>Lithothamnion</i> sp. (적류)	0.1	0.1	0.5		0.7	0.20
<i>Lithothamnion okamurae</i> (흑돌잎)				0.3	0.3	0.09
<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (도박)	0.7	0.5	1.5		2.7	0.78
<i>Peyssonnelia</i> sp. (바다표고)			0.5		0.5	0.14
<i>Plocamium telfairiae</i> (참곱술이)			4.3		4.3	1.24
<i>Polysiphonia</i> sp. (붉은실류)	1.1		2.1		3.2	0.93
<i>Prionitis patens</i> (작은툽니지누아리)				5.5	5.5	1.59
<i>Scinaia japonica</i> (외호늘풀)	2.1	0.8			2.9	0.84
현 존 량	96.5	26.7	137.0	85.5	345.7	100.00
출현 종수	9	10	13	11	19	

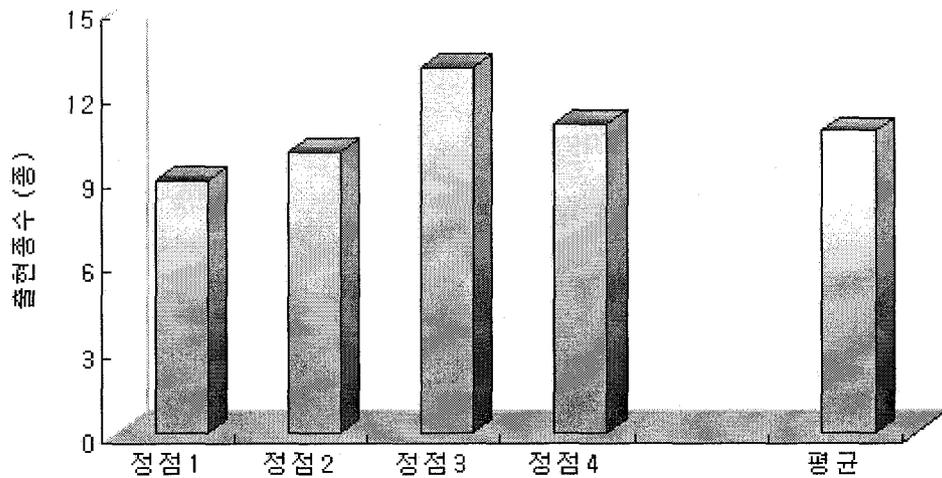


Fig. 3.3-9 사업예정지 주변해역 조하대 해조류의 정점별 출현종수
(2004년 12월)

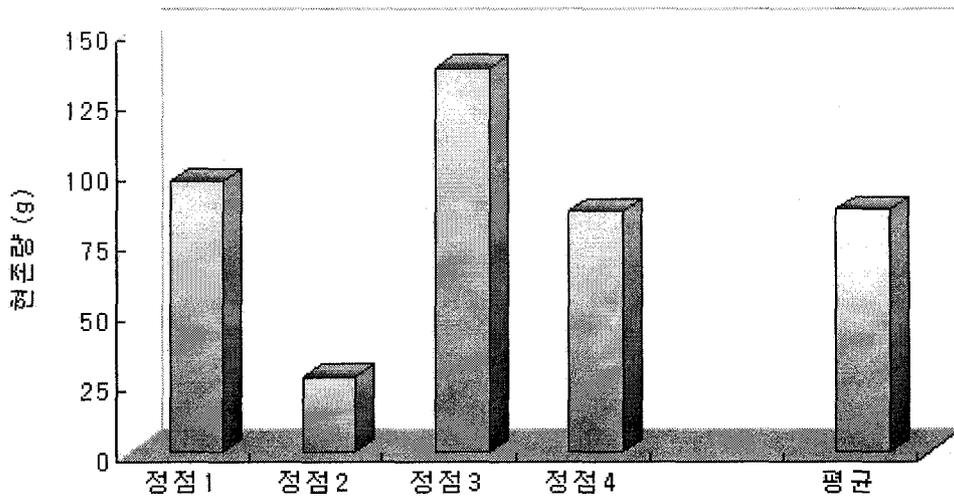


Fig. 3.3-10 사업예정지 주변해역 조하대 해조류의 정점별 현존량
(2004년 12월)

바) 조간대 해조류

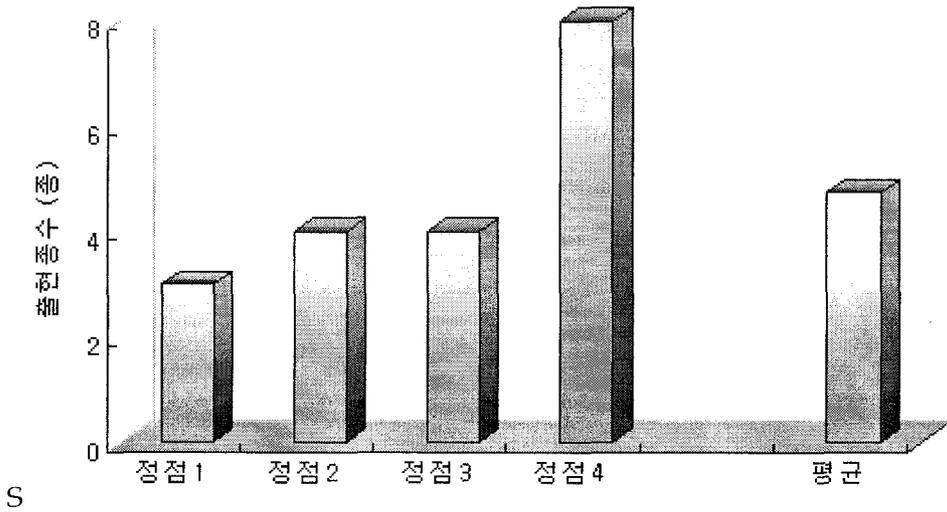
(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 조간대 해조류의 종조성과 현존량 조사결과는 Table 3.3-12와 같다. 총 현존량은 72.3g으로 조사되었고, 총 출현종수는 9종이었다. 한편, 전 정점에서 출현한 종으로는 Rhodophyta (홍조식물문)인 *Corallina pilulifera* (작은구슬산호말) 단 1종이 조사되었고, Phaeophyta (갈조식물문)인 *Sargassum hornei* (괭쟁이모자반) 이 26.2g 채집되어 최우점하였고, 그 다음으로 역시 Phaeophyta (갈조식물문)인 *Sargassum thunbergii* (지충이)가 11.1g 채집되어 차우점하였다. 전체적으로 출현종들을 살펴 보면, 녹조식물이 1종, 갈조식물이 5종, 홍조식물이 3종으로 총 9종이 조사되었다. 정점별로는 정점 1에서 총 3종에 3.4g이 채집되었고, 정점 2에서는 4종에 2.8g, 정점 3에서는 4종에 16.7g, 정점 4에서는 8종에 49.4g이 채집되어 가장 출현종 수 및 출현량이 많은 정점이었다.

Table 3.3-12 사업예정지 주변해역 조간대 해조류의 종조성 및 현존량

(g : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Chlorophyta (綠藻植物門)						
<i>Cladophora wrightiana</i> (갈색마디말)	2.2	1.2		3.4	6.8	9.41
Phaeophyta (褐藻植物門)						
<i>Diophus okamurae</i> (개그물바탕말)			3.4	2.4	5.8	8.02
<i>Hizikia fusiformis</i> (뚝)				6.7	6.7	9.27
<i>Ishige okamurai</i> (괘)				5.8	5.8	8.02
<i>Sargassum hornei</i> (괘생이모자반)			10.8	15.4	26.2	36.24
<i>Sargassum thunbergii</i> (지충이)				11.1	11.1	15.35
Rhodophyta (紅藻植物門)						
<i>Amphiroa beauvoisii</i> (고리마다게발)		0.5	1.1		1.6	2.21
<i>Corallina pilulifera</i> (작은구슬산호말)	0.1	0.3		0.2	0.6	0.83
<i>Cruoriella japonica</i> (고등옷)	1.1	0.8	1.4	4.4	7.7	10.65
현 존 량	3.4	2.8	16.7	49.4	72.3	100.00
출현 종수	3	4	4	8	9	



S Fig. 3.3-11 사업예정지 주변해역 조간대 해조류의 정점별 출현종수 (2004년 12월)

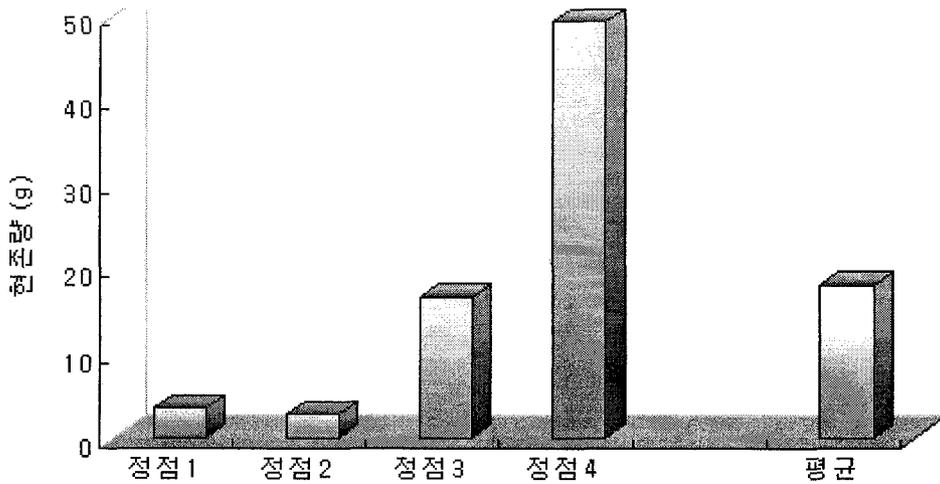


Fig. 3.3-12 사업예정지 주변해역 조간대 해조류의 정점별 현존량 (2004년 12월)

사) 조간대 동물

조간대는 대기중의 노출과 해수의 침수가 반복하는 곳으로 특히, 온도와 수분 등의 환경변화가 극심하다. 암반해안 (Rocky shore)은 부착생물의 기질인 암반의 기복이 매우 풍부하고 이것에 조석과 파랑의 영향이 더해져 다양한 서식 환경을 제공하게 된다. 생물의 분포는 조석에 따른 조위변화에 크게 지배되고, 부착하는 생물은 조위변화에 대응하여 대상분포를 보인다.

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 조간대 동물의 종조성 및 현존량 조사결과는 Table 3.3-13 과 같다. 조사결과 총 17종이 출현하였고, 평균서식밀도는 60.0개체로 조사되었으며, 연체동물이 12종, 갑각류가 5종 출현하였다. 채집된 종 중에서 전 정점에서 출현한 종은 연체동물인 *Cellana grata* (진주배말), *Liolophura japonica* (군부), *Reishia clavigera* (대수리), *Septifer keenae* (격판담치) 4종과 갑각류인 *Chthamalus challengerii* (조무래기따개비), *Pollicipes mitella* (거북손), *Tetraclita japonica* (검은큰따개비) 3종으로 총 7종이 조사되었다. 채집된 종 중 갑각류인 *Chthamalus challengerii* (조무래기따개비)가 우점하였다. 정점별 종 출현양상을 보면, 정점 1에서는 8종이 조사되었으며, 정점 2에서는 9종, 정점 3에서는 11종, 정점 4에서는 14종으로 조사되어 전체적으로 정점간 차이를 나타내었다. 정점 1에서 18개체에 33.4g이, 정점 2에서 30개체에 108.1g이, 정점 3에서 54개체에 115.1g이, 정점 4에서 138개체에 142.2g으로 각각 조사되었다. 또한, 정점 1에서는 연체동물 5종과 갑각류 3종이 출현하였고, 정점 2에서는 연체동물 6종과 갑각류 3종이, 정점 3에서는 연체동물 7종과 갑각류 4종이, 정점 4에서는 연체동물 9종과 갑각류 5종이 출현하였다.

Table 3.3-13 사업예정지 주변해역 조간대 동물의 종조성 및 현존량

(개체수(g) : 2004년 12월)

종 명	조 사 정 점				합 계	우점율 (%)
	1	2	3	4		
Mollusca (연체동물)						
<i>Cellana grata</i> (진주배말)	2(2.1)	3(2.8)	2(3.0)	5(5.3)	12(13.2)	5.00
<i>Crassostrea kegaki</i> (가시굴)		2(25.1)			2(25.1)	0.83
<i>Granulilittorina exigua</i> (좁살무늬총알고둥)			3(0.5)	11(1.8)	14(2.3)	5.83
<i>Heminerita japonica</i> (갈고둥)				5(1.6)	5(1.6)	2.08
<i>Japeuthria ferrea</i> (타래고둥)				2(10.2)	2(10.2)	0.83
<i>Liolophura japonica</i> (군부)	2(3.4)	2(3.3)	6(5.8)	8(7.5)	18(20.0)	7.50
<i>Lithophaga curta</i> (총알고둥)				7(4.2)	7(4.2)	2.92
<i>Patelloida saccharina</i> (태두리고둥)	1(2.2)		1(1.8)	3(3.3)	5(7.3)	2.08
<i>Pyrene fava</i> (고운점무늬부룩)		1(0.1)			1(0.1)	0.42
<i>Reishia bronni</i> (두드럭고둥)			3(15.2)		3(15.2)	1.25
<i>Reishia clavigera</i> (대수리)	2(2.4)	2(2.2)	5(6.2)	11(10.8)	20(21.6)	8.33
<i>Septifer keenae</i> (격판담치)	2(10.6)	2(12.6)	7(22.5)	5(16.8)	16(62.5)	6.67
Crustacea (갑각류)						
<i>Chthamalus challengeri</i> (조무래기따개비)	5(0.2)	10(0.3)	17(0.4)	68(1.1)	100(2.0)	41.67
<i>Gaetice depressus</i> (납작게)			2(10.8)	4(16.8)	6(27.6)	2.50
<i>Pollicipes mitella</i> (거북손)	2(5.8)	2(5.5)	4(8.7)	3(6.7)	11(26.7)	4.58
<i>Tetraclita japonica</i> (검은큰따개비)	2(6.7)	6(56.2)	4(40.2)	4(53.2)	16(156.3)	6.67
Unidentified Paguridae (집게류)				2(2.9)	2(2.9)	0.83
출현 개체수	18(33.4)	30(108.1)	54(115.1)	138(142.2)	240(398.8)	100.00
출현 종수	8	9	11	14	17	

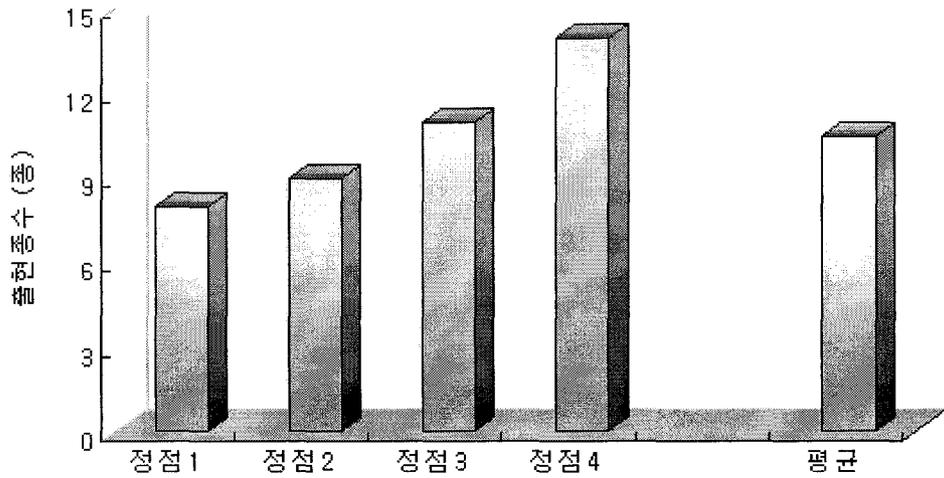


Fig. 3.3-13 사업예정지 주변해역 조간대 동물의 정점별 출현종수
(2004년 12월)

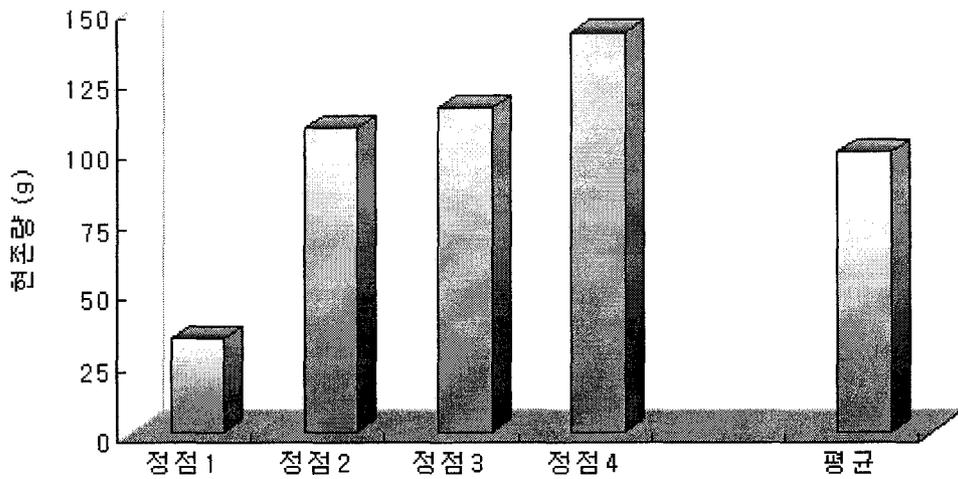


Fig. 3.3-14 사업예정지 주변해역 조간대 동물의 정점별 현존량
(2004년 12월)

아) 해산어류 조사

어류는 서식처에 따라 편의상 부어류와 저어류로 대별 할 수 있으며 부어류는 일반적으로 유영력이 커서 시공간에 따른 변화가 심하여 정량채집에는 상당한 어려움이 따른다. 세립퇴적물이 주를 이루는 내만은 생물 생산력이 높고 대형 포식자가 적어 많은 어류들이 산란하고 어린 시기를 보내는 곳으로 중요한 위치를 차지한다

(1) 종조성 및 현존량

2004년 12월, 해산어류 조사결과는 Table 3.3-15 와 같다. 총 출현종수는 13종으로 조사되었고, 전 정점에서 출현한 종으로는 *Chromis notatus* (자리돔) 1종만이 조사되었다. 정점별로 살펴 보면, 정점 1에서 4종이 출현하였으며, 정점 2에서 7종, 정점 3에서 10종, 정점 4에서 3이 출현하였다. 한편, 전 정점에서 출현한 *Chromis notatus* (자리돔)은 우리나라 다도해이남, 일본 중부이남, 동지나해 등지에 분포하는 내만성 물고기로 산란기는 6월경으로 보고되어 있다.

Table 3.3-14 사업예정지 주변해역 해산어류 출현종 목록

(2004년 2월)

Chordata (척삭동물門)
Vertebrata (척추동물亞門)
Actinopterygii (조기綱)
Mugiliformes (송어目)
Mugilidae (송어科)
<i>Mugil cephalus</i> (송어)
Perciformes (농어目)
Apogonidae (동갈돔科)
<i>Apogon doederleini</i> (세줄얼개비늘)
<i>Apogon semilineatus</i> (줄도화돔)
Gobiidae (망둑어科)
<i>Sagamia geneionema</i> (바닥문절)
Labridae (놀래기科)
<i>Halichoeres tenuispinnis</i> (놀래기)
Oplegnathidae (돌돔科)
<i>Oplegnathus fasciatus</i> (돌돔)
Pholidae (황줄베도라치科)
<i>Pholis nubilosa</i> (베도라치)
Pinguipedidae (양동미리科)
<i>Parapercis multifasciatus</i> (열쌍동가리)
Pomacentridae (자리돔科)
<i>Chromis notatus</i> (자리돔)
Scorpaeniformes (쏨뱅이目)
Scorpaenidae (양볼락科)
<i>Hypodytes rubripinnis</i> (미역치)
<i>Pterois lunulata</i> (쏨배감팽)
<i>Sabastes pachycephalus</i> (개볼락)
Tetraodontiformes (복어目)
Monacanthidae (쥐치科)
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (쥐치)

Table 3.3-15 사업예정지 주변해역 해산어류의 종조성

(2004년 12월)

종 명	조 사 정 점			
	1	2	3	4
<i>Apogon doederleini</i> (세줄얼게비늘)		●	●	
<i>Apogon semilineatus</i> (줄도화돔)		●	●	
<i>Chromis notatus</i> (자리돔)	●	●	●	●
<i>Halichoeres tenuispinnis</i> (놀래기)		●	●	
<i>Hypodytes rubripinis</i> (미역치)			●	
<i>Mugil cephalus</i> (숭어)	●			
<i>Oplegnathus fasciatus</i> (돌돔)			●	
<i>Parapercis multifasciatus</i> (열쌍둥가리)		●	●	
<i>Pholis nubulosa</i> (베도라치)	●			●
<i>Pterois lunulata</i> (솔배감팽)		●	●	
<i>Sabastes pachycephalus</i> (개볼락)			●	
<i>Sagamia geneionema</i> (바닥문절)	●			●
<i>Stephanolepis cirrhifer</i> (쥐치)		●	●	
출 현 종 수	4	7	10	3

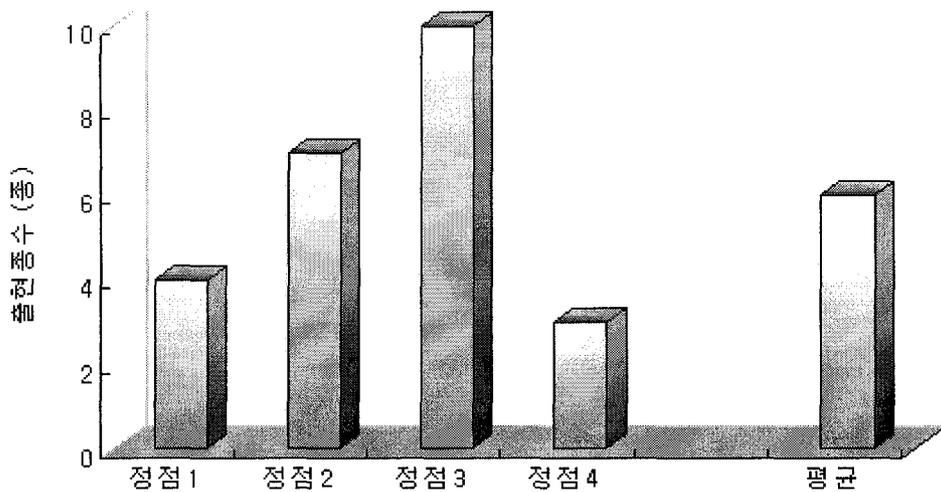


Fig. 3.3-15 사업예정지 주변해역 해산어류의 정점별 출현종수
(2004년 12월)

제주 연안의 해저 지형의 조사에 대한 과정 및 결과에 대한 구체적인 내용은 본 과제의 1차년도보고서에 작성되어 제출한 바 있어, 최종보고서에는 수록하지 않았다.

4. 수중가두리 및 육상수조식 양식장의 돌돔의 생산성 비교

가. 서론

일반적으로 어류가 성장하기에 절적하지 않거나 서식환경 등이 다를 경우에는 혈액 구성 성분이 변하게 되는데 이를 통해서 어류의 생리적인 영향을 파악할 수 있다 (Khattak and Hafeez, 1996). 이러한 혈액성상은 어류의 만성적인 생리적 장애 수준을 파악하고, 더 나아가 노출된 화학물질에 대한 정보를 추정할 수 있는 특이적인 생화학적 지표에 대한 연구가 활발히 진행되고

있다 (Leroy, 1993). 또한, 일반적으로 어류가 적정치 못한 환경에 처하거나, 오염물질에 노출되면 RBC 수는 일반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 비장의 기능 장애와 관련성을 가지고 있으며 이와 같은 조혈기관의 손상은 빈혈을 유발한다고 추정되고 있다 (Witters, *et al.*, 1990). Ht 값은 어종, 계절, 영양 및 온도 등에 따라 변화하지만, 어류가 오염물질에 노출되었을 때 Ht와 Hb농도는 변동을 일으키는데 이는 혈액의 pH 변동으로 세포의 삼투이동 (Osmotic shifts)에 영향을 미치기 때문인 것으로 보고 되었다 (Milligan and Wood, 1982). 또한 서로 다른 환경에 노출된 어류, 특히 오염물질 등에 노출된 어류는 혈청 calcium농도가 저하하며, 특히 잉어과 어류에서 자주 관찰되는 현상으로, 원인은 신장의 세노관 상피세포의 재흡수 기능의 장애, 아가미 상피세포의 막 투과성 변화 및 장관 흡수 기능의 장애에 기인 한다 (Jiro and Yasuo, 1977; Roch and Maly, 1979). 어류의 혈청 유기성분은 어류의 대사 장애의 수준을 판단할 수 있는 주요한 지표로 사용된다. 일반적으로 어류가 오염물질에 노출되었을 때 장관의 흡수장애, 간체장의 손상 및 세노관의 재흡수 장애로 인하여 혈청 total protein의 농도는 감소하는 경향을 보인다 (Yamawaki *et al.*, 1986 ; Khattak and Hafeez, 1996 ; Shen *et al.*, 1997). 혈청 glucose의 농도는 일반적으로 오염물질에 급성적으로 노출되었을 때 급격한 증가를 보이는데 이는 catecholamines에 의해서 근육과 간에 존재하는 glycogen reserves의 방출 과정인 glycogenolysis가 일어나기 때문이고, 만성적인 경우는 cortisol에 의한 단백질 분해 작용인 gluconeogenesis에 의한 것으로 알려져 있다 (Leroy, 1993).

어류의 혈청 효소성분인 GOT와 GPT는 간, 심장 및 근육 등의 조직 손상을 나타내는 지표로 사용 된다 (Tietz, 1987). 혈청 내의 GOT의 경우 pulp effluent (2mg/ℓ, 24hr)와 Methidathion (2mg/ℓ, 96hr)를 각각 무지개송어와 잉어에 노출시켰을 때 유의한 증가를 나타냈다. 또한, GOT 및 GPT는 오염물질에 대한 어류에 있어 이들 효소는 간체장 조직에 높은 활성을 가지고

있으며, 간장 장애에 의해 혈 중에 일탈 한다 (尾崎, 1971). 혈중 cortisol은 스트레스의 지표로 사용되고 있으며, 스트레스의 강도와 기간을 반영하는 것으로 알려져 있다(Donaldson, 1981; Barton and Iwama, 1991). 하지만, 낮은 cortisol 함량이 스트레스의 존재를 확인하는데 모호한 점도 없지는 않다. 예를 들어서 어류 건강을 저해하는 독성물질들이 반드시 cortisol 농도를 증가시키는 것은 아니며 (Grant and Mehrle, 1973; Schreck et al., 1989), 낮은 등급의 수질 및 오염물질은 corticosteroid 반응 및 일련의 스트레스 반응을 억제할 수 있다는 보고가 있다 (Pickering and Pottinger, 1987).

상기와 같이 어류의 혈액성상, 스트레스호르몬 및 혈액화학적 변동은 어류의 건강 상태를 파악하는 지표로 활용되고 있다. 따라서 본 장에서는 본 연구에서 개발한 수중가두리의 어류의 생산성 및 건강도를 검토하기 위하여 기존의 육상수조식 양식과 비교하였다.

나. 재료 및 방법

1) 성장 및 생물지표

실험어는 시험 개시 시점과 종료 시점에서 무작위 추출하였고, 각 시기마다 전장, 체장, 전중, 체중 및 간 중량을 측정하였다. 전장과 체장은 측정자와 버지니아 캘리포스(No. 500, Motutoyo, Japan)로 측정하였으며, 체중, 전중 및 간 중량은 전자저울 (HF-3000GD, A&D Company, Ltd, Japan)을 이용하여 측정하였다. 간 중량지수 (HSI)와 비만도 지수 (Condition factor: CF)는 아래와 같이 산출하였다.

간 중량지수 (HSI : Hepatosomatic index)

: $\text{간 무게(g)} \times 100 / \text{체중(g)}$

비만도 지수(CF : Condition factor)

: 체중(g) × 100 / 전장³(cm)

2) 혈액화학 지표

가) 혈액 채취 및 혈청의 분리

혈액은 어체의 미부정맥에서 헤파린 처리된 주사기를 이용하여 분리하였으며, 즉시 Ht와 RBC count, Hb를 측정하였고, 또한 4℃, 3,000rpm에서 10분간 원심 분리(Supra 21K, Hanil Science Industrial Co.)하여 혈청을 분리하였다. 위의 모든 시료는 분석 전까지 -70℃의 초저온 냉동고 (SW-UF- 400, Samwon Freezing Engineering Co.)에 보관했다.

나) 각종 혈구 지수 분석

사육 환경이 어체에 미치는 영향을 연구하기 위해 혈액성상 및 혈청 중의 유기성분, 무기성분 및 효소의 활성 변화를 조사하였다. 적혈구 수 (red blood cell, RBC count)는 Hendrick's diluting solution으로 혈액을 희석한 후, Hemocytometer (Improved Neubauer, Germany)를 이용하여 광학 현미경에서 계수하였다. Hematocrit (Ht)치는 hematocrit 모세관으로 혈액을 채혈한 후, Microhematocrit centrifuge (Model; 01501, Hawksley and sons Ltd., England)에서 12,000 rpm으로 5분간 원심 침적시켜 판독판으로 측정하였으며, Hemoglobin (Hb)농도는 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 cyanmethemoglobin 법으로 측정하였다. 평균적혈구용적 (MCV), 평균적혈구색소량 (MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (MCHC)는 각각 RBC수, Hb농도 및 Ht 값을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

평균 적혈구 용적 (MCV, μ^3)

$$= \text{Hematocrit (\%)} \times 10 / \text{RBC} (\times 10^6)$$

평균 적혈구 색소량 (MCH, μg)

$$= \text{Hemoglobin (gm/dL)} \times 10 / \text{RBC} (\times 10^6)$$

평균 적혈구 색소농도 (MCHC, %)

$$= \text{Hemoglobin (g/dL)} / \text{Hematocrit (\%)} \times 100$$

다) 각종 혈청 지수 분석

혈청 내 무기성분은 magnesium 및 calcium에 대하여 조사하였다. Magnesium 농도는 키시딜블루-I이 마그네슘의 존재 하에서 마그네슘 콤플렉스를 생성하여 홍색을 나타내므로 이것을 515nm에서 비색 정량하는 자일리딜 블루법 (Xylidyl blue method)으로 실시하였다. Calcium 농도는 o-cresolphthalein -complexon (OCPC)법으로 시판되고 있는 임상용 kit (Asan Pharm. Co., Ltd.)를 사용하여 측정하였다.

혈청 내 유기성분은 glucose, total protein, albumin 및 total cholesterol에 대하여 조사하였다. Glucose는 Glucose-oxidase (GOD)의 작용에 의하여 glucose는 용액 중의 효소 및 물과 반응하여 글루콘산과 과산화수소가 된다. 이어서 이 과산화수소가 peroxidase의 작용에 의하여, phenol과 4-aminoantipyrine을 산화적으로 축합시켜, 키논형 적색 색소를 생성한다. 이 적색 색소를 파장 500nm 에서 비색 측정하여 시료중의 glucose량을 구하는 GOD/POD법 (Werner et al., 1970)으로 측정하였다. Total protein은 혈청에 알칼리성으로 구리 이온을 작용시키면, 단백질은 착염을 형성하여 청자색을 나타내므로 이 착염에 의하여 생성된 청자색을 파장 540 nm에서 측정하여 총단백질량을 구하는 Biuret법으로 측정하였다. Albumin은 pH 4.0 부근에서 BCG와 반응하여 알부민량에 비례하여 녹색을 나타내므로 이것을 파장 630nm에서 측정하였다. Total cholesterol는 colorimetric 법에 의해 시판되는 kit (Sigma Diagnostics kit)에 의해 측정하였다.

혈청 내 효소 활성은 Glutamic oxalate transaminase (GOT), Glutamic pyruvate transaminase (GPT) 및 LDH (Lactate dehydrogenase)에 대하여 측정하였다. GOT는 α -케토 글루탈산과 L-아스파라긴산을 기질로 하여, GPT는 α -케토 글루탈산과 DL-알라닌을 기질로 하여 reitman-frankel-법으로 측정하였다. LDH (Lactate dehydrogenase)는 젖산을 탈수소시켜 피루빈산을 생성한다. 이 때 보조소 NAD는 환원되어 NADH가 되고, 생성된 NADH는 1-Methoxy PMS의 존재하에서 Nitrotetrazolium blue를 환원시켜 디포르마잔을 생성한다. 이 디포르마잔의 정색을 비색 정량하여 LDH의 활성을 측정하였다.

라) 스트레스 호르몬 (Cortisol) 분석

혈청 내 스트레스 호르몬인 cortisol은 diethyl ether로 2회 추출 후 Aida et al. (1984)의 방법에 따라 방사능면역측정법 (radioimmunoassay)를 이용하여 분석하였다. 실험에 사용한 항체는 Cosmo-Bio Co. Ltd. (Tokyo, Japan)에서, 표준 호르몬은 Steraloids Inc. (Wilton, NH, USA)로부터 구입하였다. 방사선 표지 ^3H -cortisol은 Amersham Life Science (England)로부터 구입하였다.

3) 통계분석

통계처리는 일원배치 분산분석 후 Duncan's new multiple range test를 사용하여 사후 검정을 하였다.

다. 결과

1) 성장 및 생물지표

육상 수조식과 가두리에서 각각 10개월간(2006년 4월1일부터 2007년 2월28

일까지) 사육실험을 실시한 돌돔의 성장 및 생물지표는 Fig. 3.3-16부터 Fig. 3.3-18에 나타내었다.

10개월간 사육한 결과, 육상 수조 양성 시에는 평균 전장은 10.1 ± 0.99 cm에서 20.6 ± 2.07 cm로 204% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 10.1 ± 0.56 cm에서 20.1 ± 4.18 cm으로 199% 성장함으로써 육상 수조 양성과 가두리 양성, 두 양성 조건에 따른 유의한 차이는 없었다 (Fig. 3.3-16). 체중도 체장과 마찬가지로, 육상 수조 양성 시에는 평균 체중 41.4 ± 5.53 에서 230.5 ± 7.14 로 557% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 42.9 ± 3.14 에서 210.5 ± 5.25 로 490% 증가하여, 두 양성 조건에 따른 유의한 차이는 없었다 (Fig. 3.3-17). 돌돔의 사육 조건에 따른 비만도지수 (CF)는 사육 10개월째에 육상 수조 양성과 가두리 양성 시, 각각 4.01 ± 0.99 에서 2.63 ± 0.56 으로 65.6%, 4.04 ± 2.07 에서 2.27 ± 0.34 로 56.2%로 감소하였으나 두 사육 조건에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다 (Fig. 3.3-18). 두 사육 조건 모두에서, 전장과 전중은 사육이 진행됨에 따라 유의하게 증가하였으나, 육상 수조식 양성과 가두리 양성, 즉 사육 조건에 따른 유의한 차이는 없었다. 이에 따라 비만도 지수 또한 사육 조건에 따라 유의한 차이는 없었으며, 시험 개시 시점보다 종료 시점에 비만도 지수가 감소하는 경향을 보였으나, 유의성은 인정되지 않았다.

2) 혈액화학 지표

가) 각종 혈구 지수 분석

육상 수조식, 가두리 양성 조건에 따른 돌돔의 혈구 지수의 변동을 Fig. 3.3-19~24에 나타냈다. 시험 개시 시점에, 적혈구수가 육상 수조양성 시에서는 $2.82 \pm 0.49 \times 10^6 \text{ min}^{-3}$ 로 조사되었고, 가두리 양성 시에는 $2.53 \pm 1.21 \times 10^6 \text{ min}^{-3}$ 로 두 집단 간의 유의한 차이가 없었다 ($P < 0.05$). 또한 각각의 양성조건에서 10개월간의 사육 뒤에도 두 집단 간의 적혈구 수치에는 유의성이 인정

되지 않았다 (Fig. 3.3-19).

적혈구 용적 (Hematocrit)은 육상 수조양성 시에서는 $32.34 \pm 3.12\%$ 로 조사되었고, 가두리 양성 시에는 $37.23 \pm 4.07\%$ 로 두 집단 간의 유의성이 관찰되지 않았다 ($P < 0.05$). Fig. 3.3-20에서 보는 바와 같이 각각의 양성조건에서 3개월 간의 사육 뒤에도 두 집단 간의 적혈구 용적의 유의한 변화가 관찰 되지 않았다.

혈색소 농도 (Hemoglobin)은 육상 수조양성 시에서는 $9.19 \pm 1.15 \text{ g dL}^{-1}$ 로 조사되었고, 가두리 양성 시에는 $10.15 \pm 2.05 \text{ g dL}^{-1}$ 로 두 집단 간의 유의성이 관찰되지 않았다 ($P < 0.05$). Fig. 3.3-21에서 보는 바와 같이 각각의 양성조건에서, 8.89 ± 1.05 , $9.56 \pm 2.15 \text{ g dL}^{-1}$ 로, 10개월간의 사육 뒤에도 두 집단 간의 혈색소 농도의 유의한 변화는 없었다.

평균적혈구용적 (MCV), 평균적혈구색소량 (MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (MCHC)도 Fig. 3.3-22~24에서 보는 바와 같이, 돌돔 사육조건 내지 사육 기간에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다 ($P < 0.05$).

일반적으로 어류가 성장하기에 적절하지 않는 환경이나 오염물질에 노출되었을 때 혈액 구성 성분이 변하게 되는데 이를 통해서 오염에 따른 생리적인 영향을 파악할 수 있다 (Khattak and Hafeez, 1996). 이러한 혈액성상은 어류의 만성적인 생리적 장애 수준을 파악하고, 더 나아가 노출된 화학물질에 대한 정보를 추정할 수 있는 특이적인 생화학적 지표에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Leroy, 1993). 또한, 일반적으로 어류가 적정치 못한 환경에 처하거나, 오염물질에 노출되면 RBC 수는 일반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 비장의 기능 장애와 관련성을 가지고 있으며 이와 같은 조혈기관의 손상은 빈혈을 유발한다고 추정되고 있다 (Witters, *et al.*, 1990). Ht 값은 어종, 계절, 영양 및 온도 등에 따라 변화하지만, 어류가 오염물질에 노출되었을 때 Ht와 Hb농도는 변동을 일으키는데 이는 혈액의 pH 변동으로 세포의 삼투이동 (Osmotic shifts)에 영향을 미치기 때문인 것으로 보고되었

다 (Milligan and Wood, 1982).

또한, 출혈이나 철의 흡수 불량이 계속 되거나 철의 수요가 높아지면 철 결핍상태가 되는데, 철 결핍 정도가 진행됨에 따라 철의 체내 분포가 변화된다. 우선 체내 저장철이 감소되고, 저장철이 거의 없어지면 혈청철 (serum iron)이 감소된다. 그 감소가 고도로 진행되면 normoblast에서의 hemoglobin 합성이 저하되어 비로서 빈혈이 나타나는데, 한 개의 RBC 당 hemoglobin 함량이 적어서 저혈색소성 (hypochromic) 빈혈이 된다. 이후에도 철 결핍이 진행되면 cytochrome 등의 조직철이 감소하여 세포 점막 등의 위축이 일어난다 (혈액학, 1992).

나) 각종 혈청 지수 분석

(1) 혈청 무기성분의 변동

육상 수조식 양식과 가두리 양식 방법의 차이에 따른 돌돔의 혈청 무기성분의 변동을 Fig. 3.3-25~26에 나타냈다. Magnesium 농도는, 시험 초기에 육상 수조식에서 $3.06 \pm 0.55 \text{ mg dL}^{-1}$ 에서 시험 종료 시에 $3.98 \pm 0.82 \text{ mg dL}^{-1}$ 으로 130% 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았고, 가두리 양식에서도 이와 같은 경향으로 magnesium 농도가 124% 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았다 ($P < 0.05$). Calcium 농도는, 시험 초기에 육상 수조식 양식에서 4.35 ± 0.92 에서, 시험 종료 시에는 $3.55 \pm 0.82 \text{ mg dL}^{-1}$ 으로 82% 감소하였으나, 가두리 양식에서는 $3.78 \pm 0.65 \text{ mg dL}^{-1}$ 에서, 시험 종료 시에 4.72 ± 0.76 으로 130%로 증가하였다. 그러나 두 양식 방법 모두 시험 초기와 시험 종료 시의 값을 비교하였을 때 유의하지 않았다 ($P < 0.05$).

일반적으로 오염물질에 노출된 어류는 혈청 calcium 농도가 저하하며, 특히 잉어과 어류에서 자주 관찰되는 현상으로, 원인은 신장의 세노관 상피세포의 재흡수 기능의 장애, 아가미 상피세포의 막 투과성 변화 및 장관 흡수 기능의 장애에 기인 한다 (Jiro and Yasuo, 1977; Roch and Maly, 1979).

(2) 혈청 유기성분의 변동

육상 수조식 양식과 가두리 양식 방법의 차이에 따른 돌돔의 혈청 유기성분의 변동을 Fig. 3.3-27~30에 나타냈다. 혈청 유기성분 또한 모든 항목에서 육상 수조식 양식과 가두리 양식에 따른 유의한 변동은 관찰되지 않았다 ($P<0.05$).

Glucose 농도는, 시험 초기에 육상 수조식에서 98.32 ± 12.49 mg dL^{-1} 에서 시험 종료 시에 97.76 ± 11.09 mg dL^{-1} 으로 99.4%로 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았고, 가두리 양식에서는 이와 다르게 118%로 증가하였으나 유의성은 인정되지 않았다 ($P<0.05$) (Fig. 3.3-27). 총 단백질 (total protein)은 육상 수조양성 시에서는 시험 개시에 비해서 시험 종료 시에 9.86 ± 4.84 mg dL^{-1} 로 22.1% 감소되었고, 가두리 양성 시에는 10.23 ± 3.04 mg dL^{-1} 로 8.1% 감소되었으나, 두 집단 간의 유의성이 관찰되지 않았다 ($P<0.05$) (Fig. 3.3-28).

Albumin 농도도 Fig. 3.3-29에서 보는 바와 같이, 돌돔 사육조건 내지 사육 기간에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다 ($P<0.05$). 실험 개시에 육상 수조양성 시에서는 2.67 ± 0.18 mg dL^{-1} 로 조사되었고, 가두리 양성 시에는 2.23 ± 0.264 mg dL^{-1} 로, 두 집단 간의 유의성은 관찰되지 않았다 ($P<0.05$).

육상 수조식, 가두리 양성 조건에 따른 돌돔의 총 콜레스테롤 (T-Ch)의 변동을 Fig. 3.3-30에 나타냈다. 시험 개시 시점에, 총 콜레스테롤 수치가 육상 수조양성 시에서는 133.472 ± 8.73 g dL^{-1} 로 조사되었고, 가두리 양성 시에는 14.25 ± 10.14 g dL^{-1} 로 두 집단 간의 유의한 차이가 없었다 ($P<0.05$). 또한 각각의 양성조건에서 10개월간의 사육 뒤에도 두 집단 간의 총 콜레스테롤 수치에는 유의성이 인정되지 않았다.

어류의 혈청 유기성분은 화학물질의 노출에 의한 대사 장애의 수준을 판단할 수 있는 주요한 지표로 사용된다. 일반적으로 어류가 오염물질에 노출되었을 때 장관의 흡수장해, 간체장의 손상 및 세뇨관의 재흡수 장애로 인하여 혈청 total protein의 농도는 감소하는 경향을 보인다 (Yamawaki *et al.*, 1986

; Khattak and Hafeez, 1996 ; Shen *et al.*, 1997). 혈청 glucose의 농도는 일반적으로 오염물질에 급성적으로 노출되었을 때 급격한 증가를 보이는데 이는 catecholamines에 의해서 근육과 간에 존재하는 glycogen reserves의 방출 과정인 glycogenolysis가 일어나기 때문이고, 만성적인 경우는 cortisol에 의한 단백질 분해 작용인 gluconeogenesis에 의한 것으로 알려져 있다 (Leroy, 1993).

(3) 혈청 효소활성의 변동

육상 수조식 양식과 가두리 양식 방법의 차이에 따른 돌돔의 혈청 효소활성의 변동을 Fig. 3.3-31~33에 나타냈다. 혈청 효소활성 또한 모든 항목에서 육상 수조식 양식과 가두리 양식에 따른 유의한 변동은 관찰되지 않았다 ($P < 0.05$).

GOT 활성은 시험 초기에 육상 수조식에서 36.99 ± 6.80 KU에서 시험 종료 시에 32.67 ± 7.8 KU로 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았고, 가두리 양식에서도 이와 같은 경향으로 GOT 농도가 9.4% 감소하였으나 유의성은 인정되지 않았다 ($P < 0.05$).

GPT 활성은 시험 초기에 육상 수조식 양식에서 20.23 ± 4.45 KU에서, 시험 종료 시에는 19.78 ± 5.05 KU으로 2.3% 감소하였으나, 가두리 양식에서는 18.78 ± 3.28 KU에서, 시험 종료 시에 17.62 ± 4.28 로 6.2% 감소하였다. 그러나 두 양식 방법 모두 시험 초기와 시험 종료 시의 값을 비교하였을 때 유의하지 않았다 ($P < 0.05$).

일반적으로 오염물질에 노출된 어류의 혈청 효소성분인 GOT와 GPT는 간, 심장 및 근육 등의 조직 손상을 나타내는 지표로 사용된다 (Tietz, 1987). 혈청 내의 GOT의 경우 pulp effluent (2mg/ℓ, 24hr)와 Methidathion (2mg/ℓ, 96hr)를 각각 무지개송어와 잉어에 노출시켰을 때 유의한 증가를 나타냈다. 또한, GOT 및 GPT는 오염물질에 대한 어류에 있어 이들 효소는 간췌장

조직에 높은 활성을 가지고 있으며, 간장 장애에 의해 혈 중에 일탈한다 (尾崎, 1971). 따라서 오염물질에 노출된 조피볼락은 간 조직에 장애를 받아 혈 중에 일탈한 결과로 인하여 적어도 GOT 활성이 상승한 것으로 사료된다.

(4) 스트레스 호르몬의 변동

육상 수조식 양식과 가두리 양식 방법의 차이에 따른 돌돔의 스트레스 호르몬인 cortisol의 변동을 Fig. 3.3-34에 나타냈으며, 육상 수조식 양식과 가두리 양식에 따른 유의한 변동은 관찰되지 않았다 ($P < 0.05$).

일반적으로 혈중 cortisol은 스트레스의 지표로 사용되고 있으며, 스트레스의 강도와 기간을 반영하는 것으로 알려져 있다(Donaldson, 1981; Barton and Iwama, 1991). 하지만, 낮은 cortisol 함량이 스트레스의 존재를 확인하는데 모호한 점도 없지는 않다. 예를 들어서 어류 건강을 저해하는 독성물질들이 반드시 cortisol 농도를 증가시키는 것은 아니며 (Grant and Mehrle, 1973; Schreck et al., 1989), 낮은 등급의 수질 및 오염물질은 corticosteroid 반응 및 일련의 스트레스 반응을 억제할 수 있다는 보고가 있다 (Pickering and Pottinger, 1987).

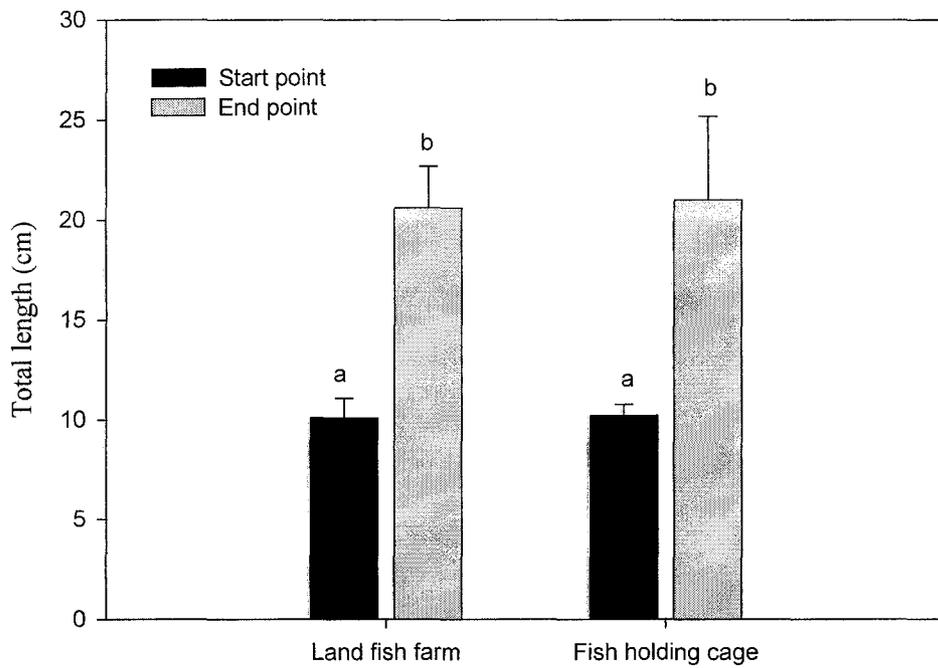


Fig. 3.3-16 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 전장의 변화

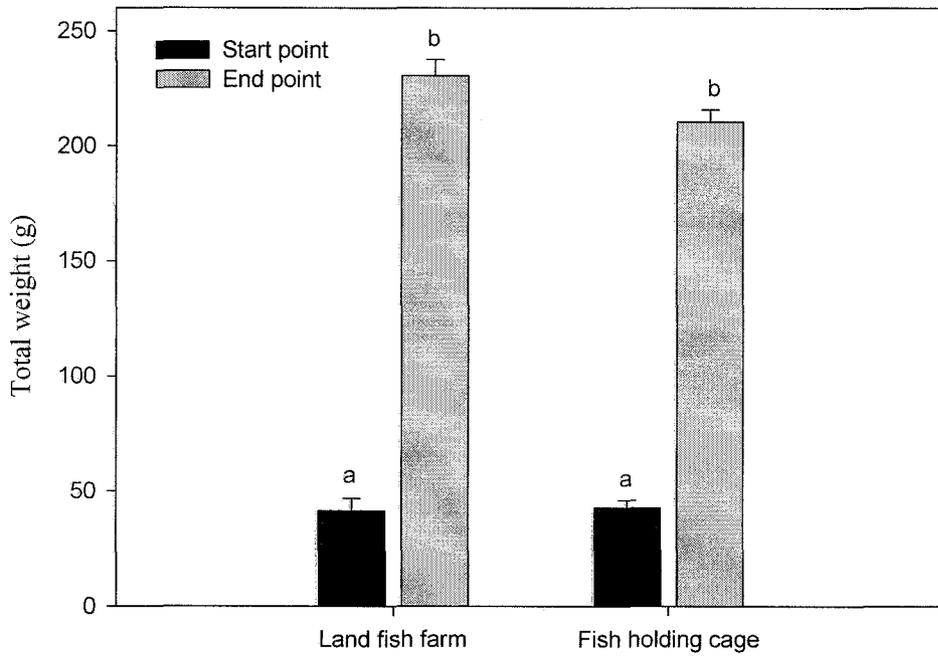


Fig. 3.3-17 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 체중의 변화

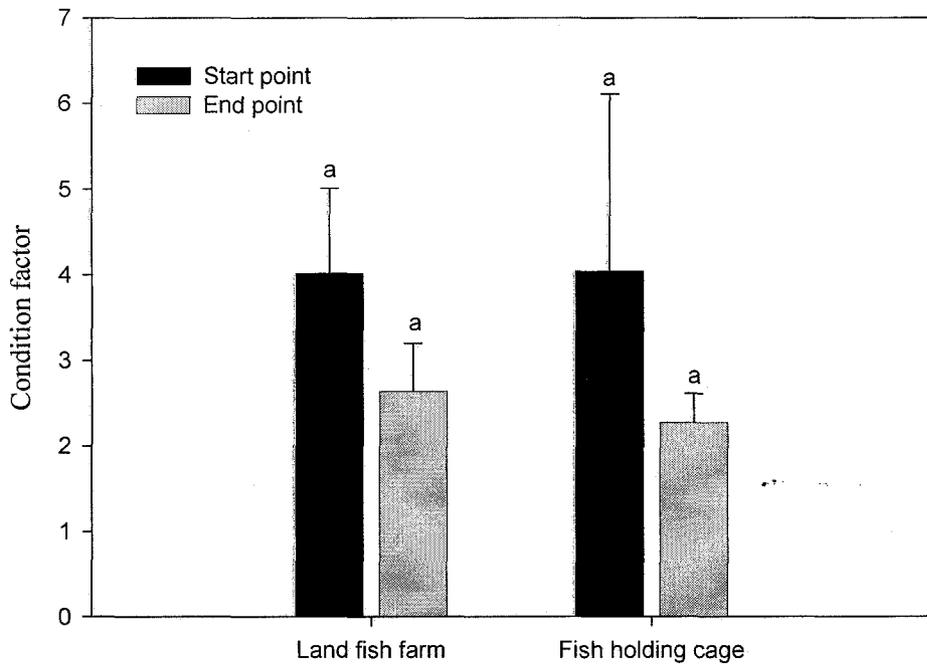


Fig. 3.3-18 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 비만도 지수 변화

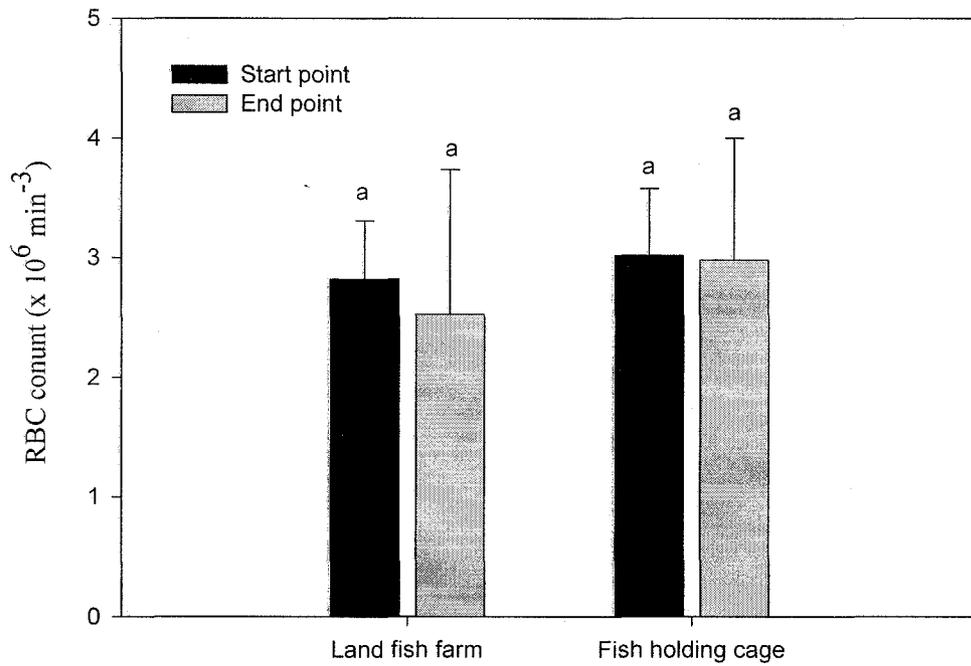


Fig. 3.3-19 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 적혈구수 변화

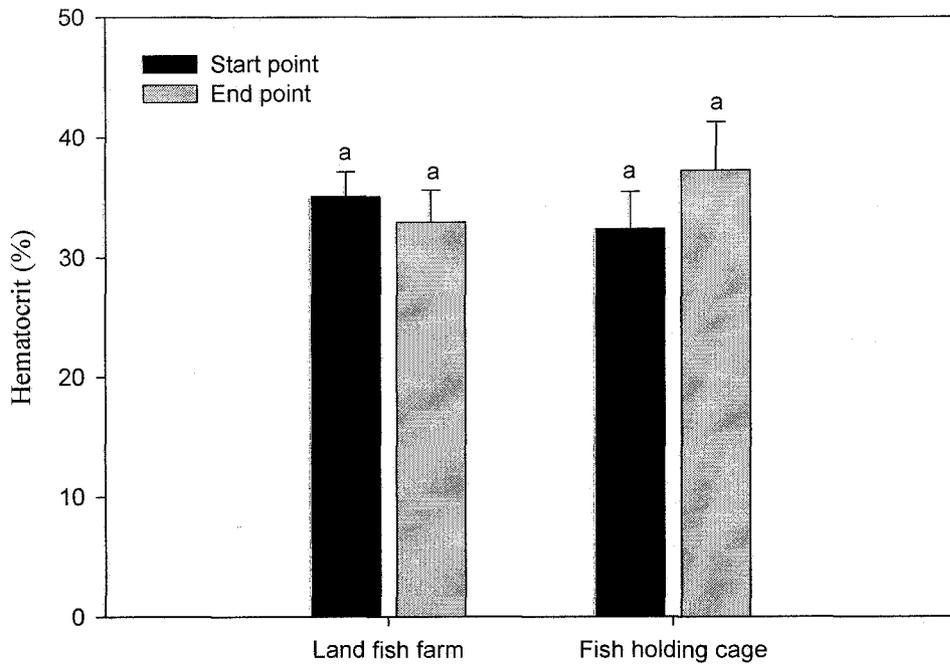


Fig. 3.3-20 들돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 적혈구 용적의 변화

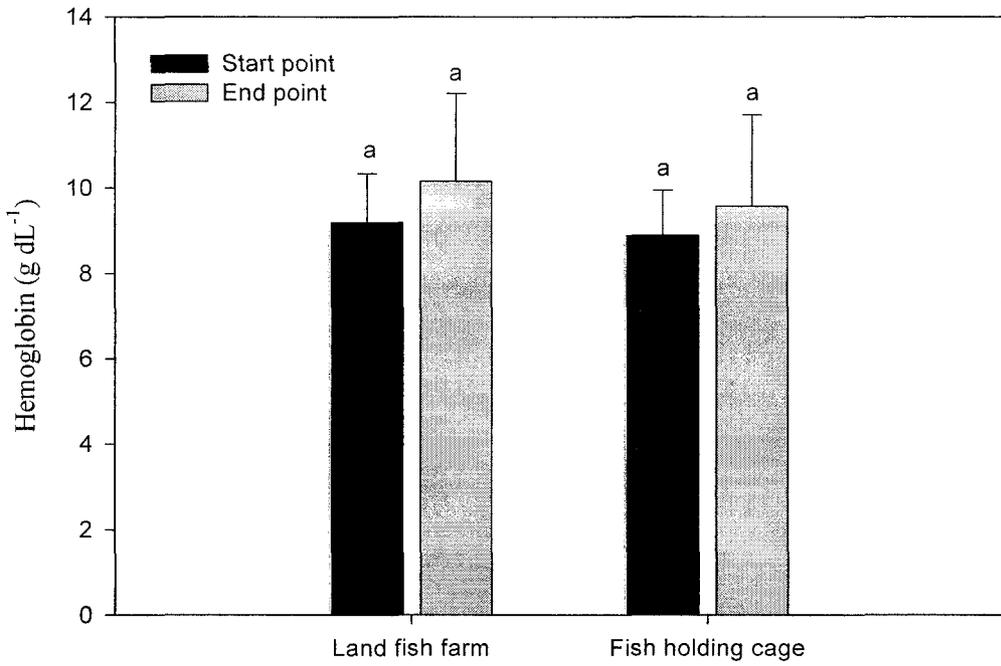


Fig. 3.3-21 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈색소의 변화

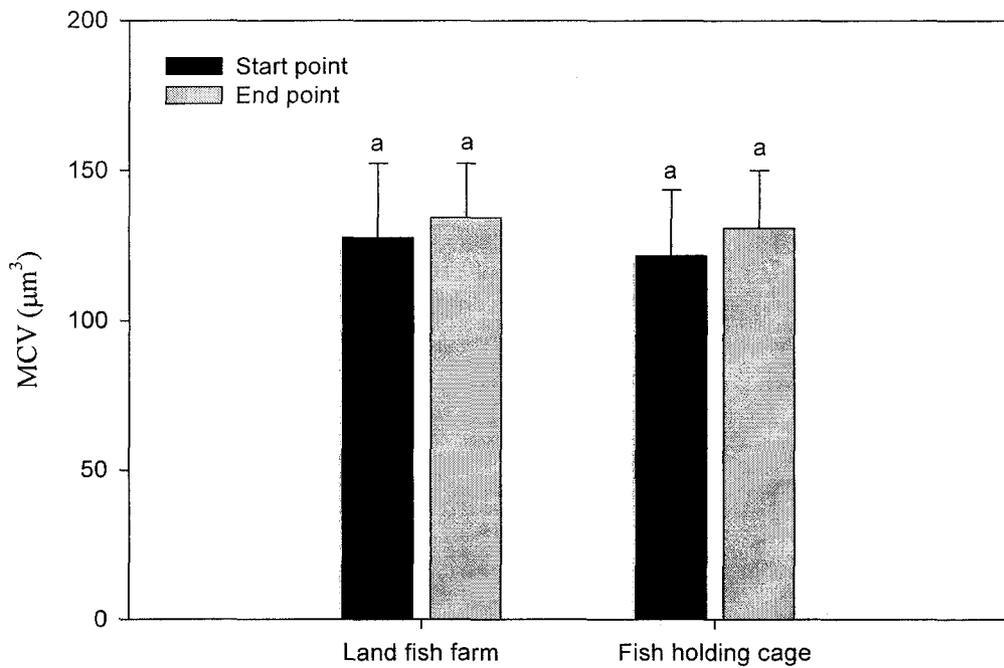


Fig. 3.3-22 들돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 평균 적혈구 용적의 변화

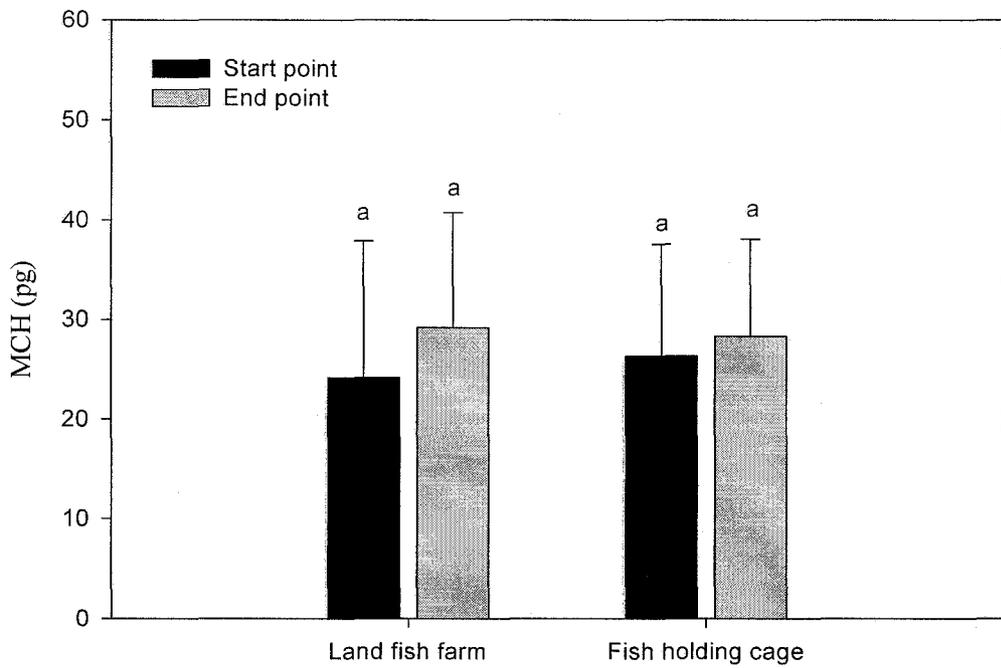


Fig. 3.3-23 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 평균 적혈구 혈색소량의 변화

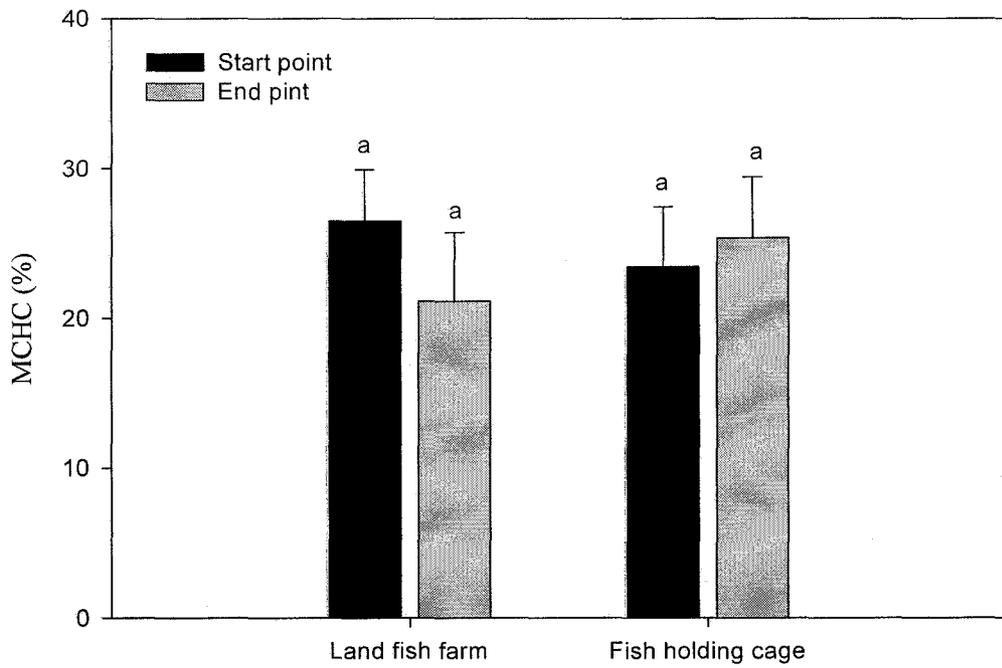


Fig. 3.3-24 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 평균 적혈구
 혈색소농도 변화

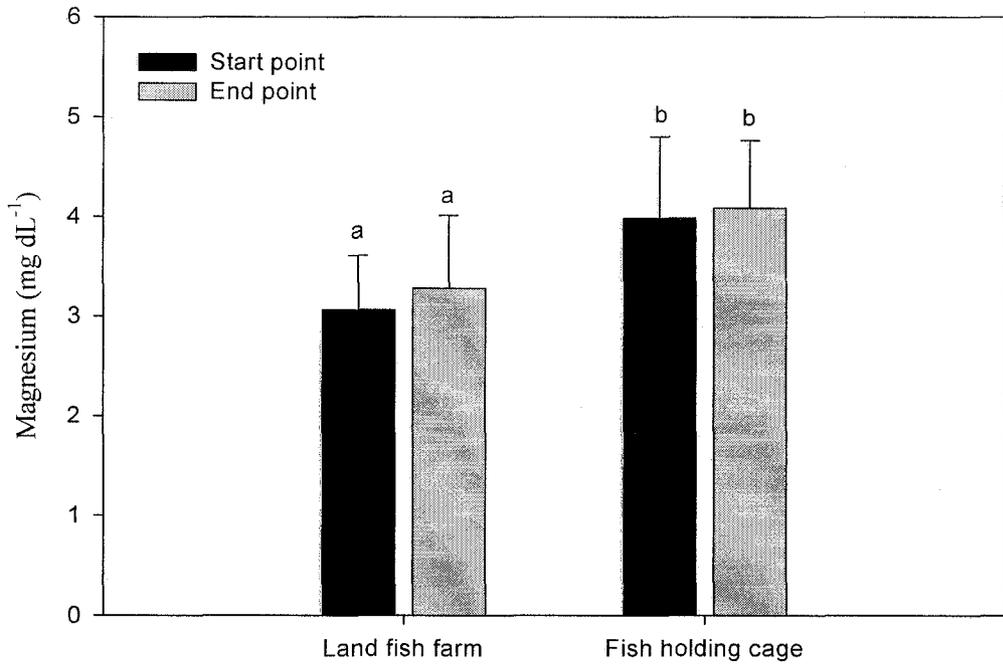


Fig. 3.3-25 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 마그네슘 농도 변화

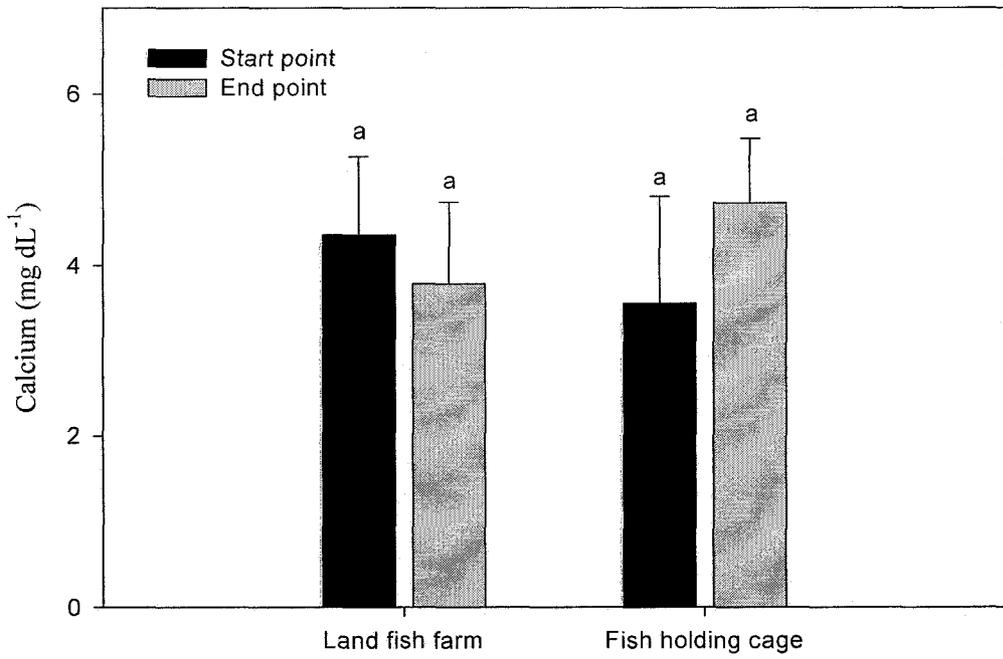


Fig. 3.3-26 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 칼슘 농도 변화

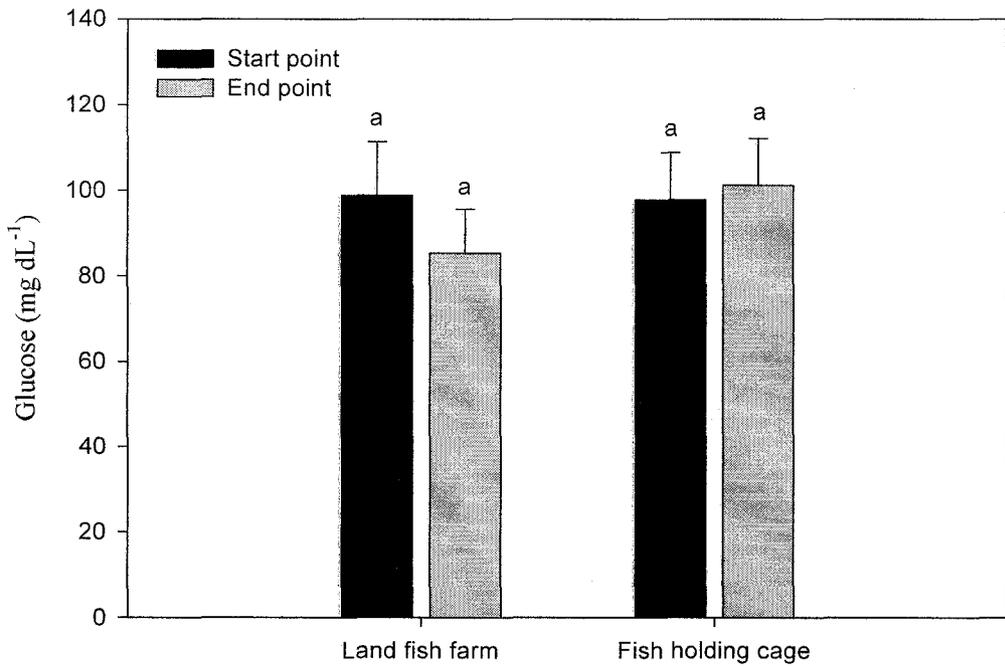


Fig. 3.3-27 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 글루코즈 농도 변화

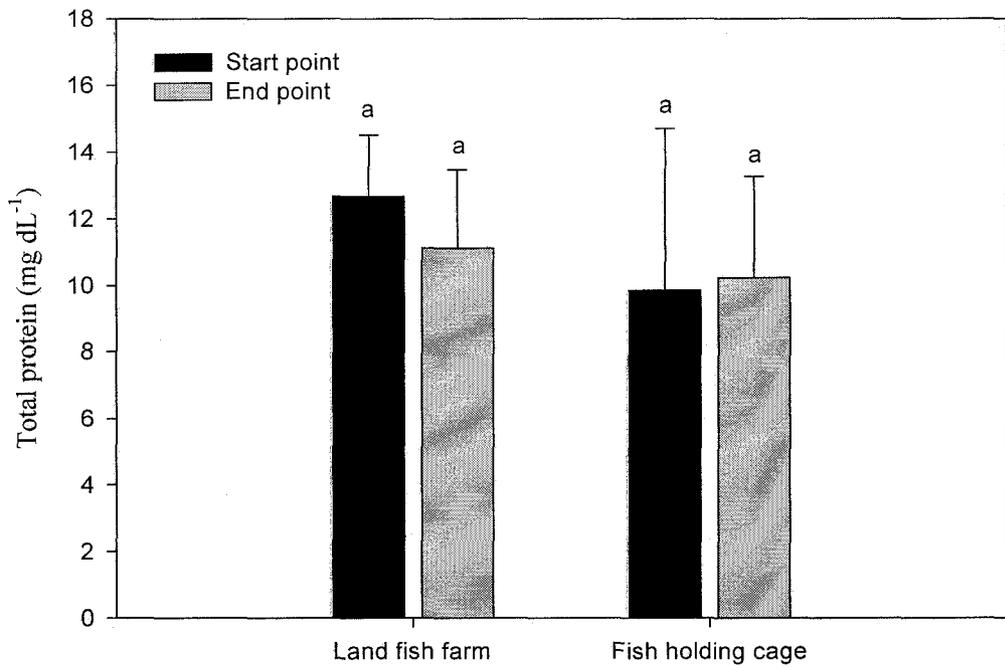


Fig. 3.3-28 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 총단백질 농도 변화

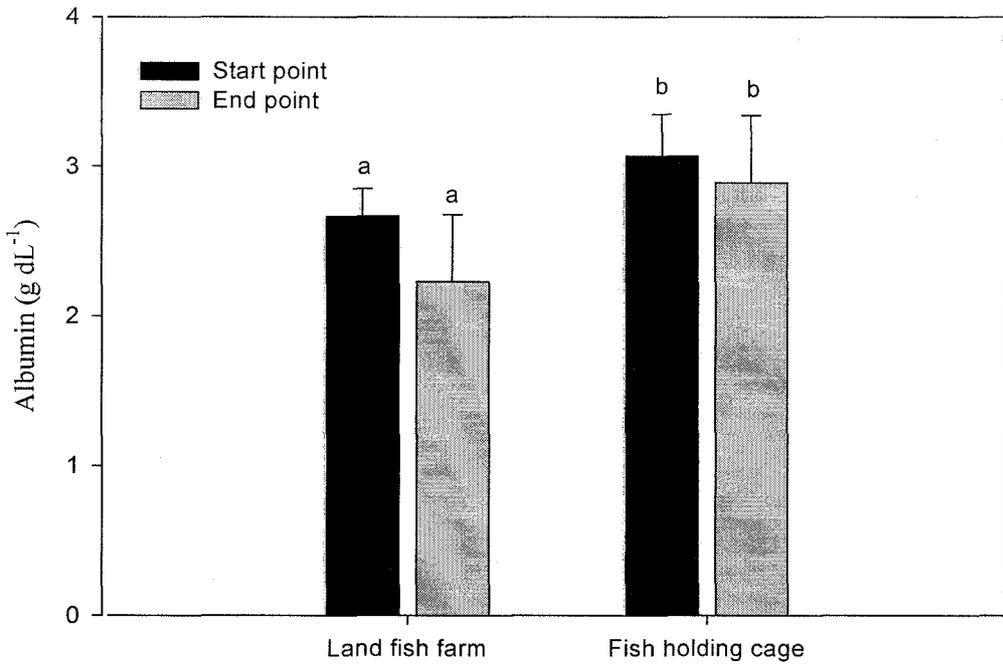


Fig. 3.3-29 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 알부민 농도 변화

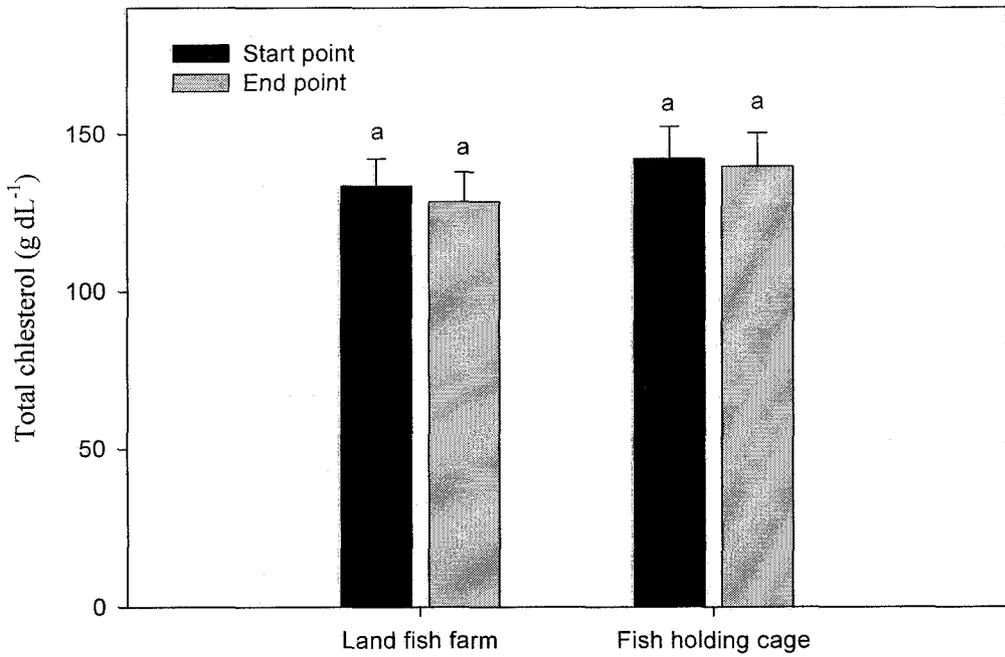


Fig. 3.3-30 들돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 총콜레스테롤 농도 변화

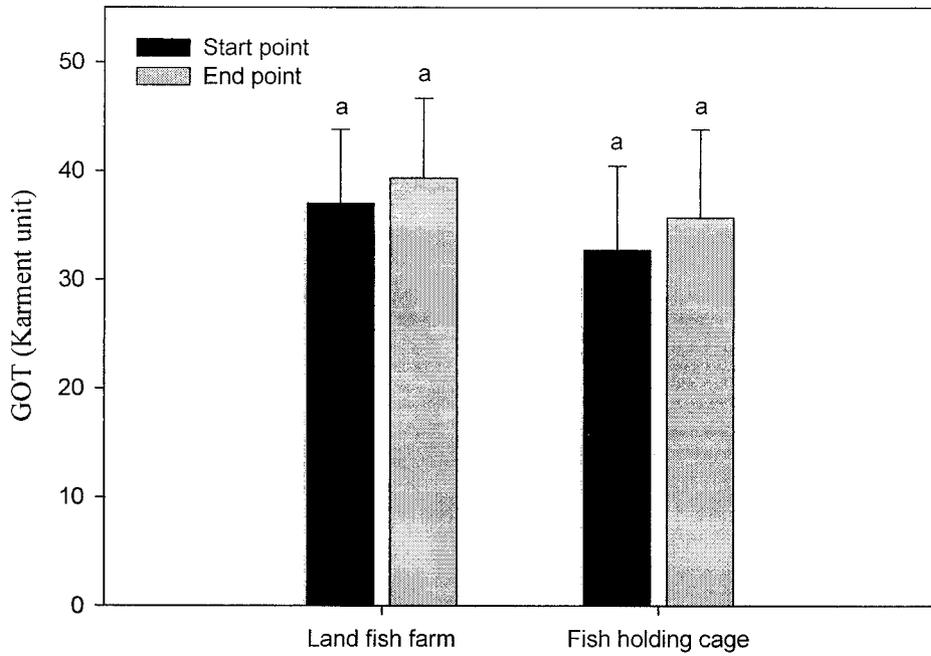


Fig. 3.3-31 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 GOT 농도 변화

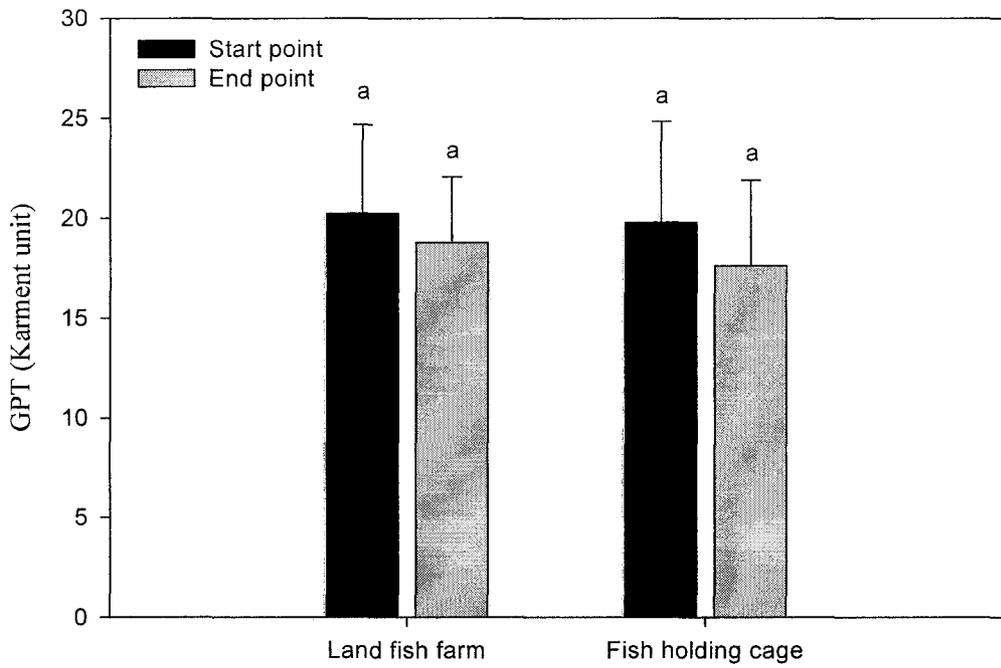


Fig. 3.3-32 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 GPT 농도 변화

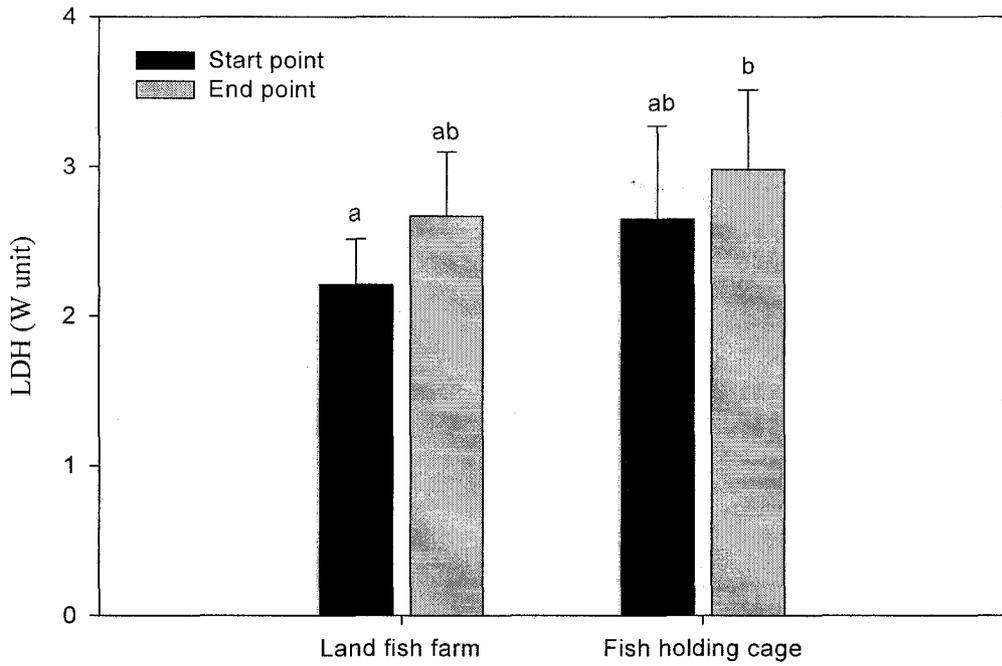


Fig. 3.3-33 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 젖산탈수소효소 농도 변화

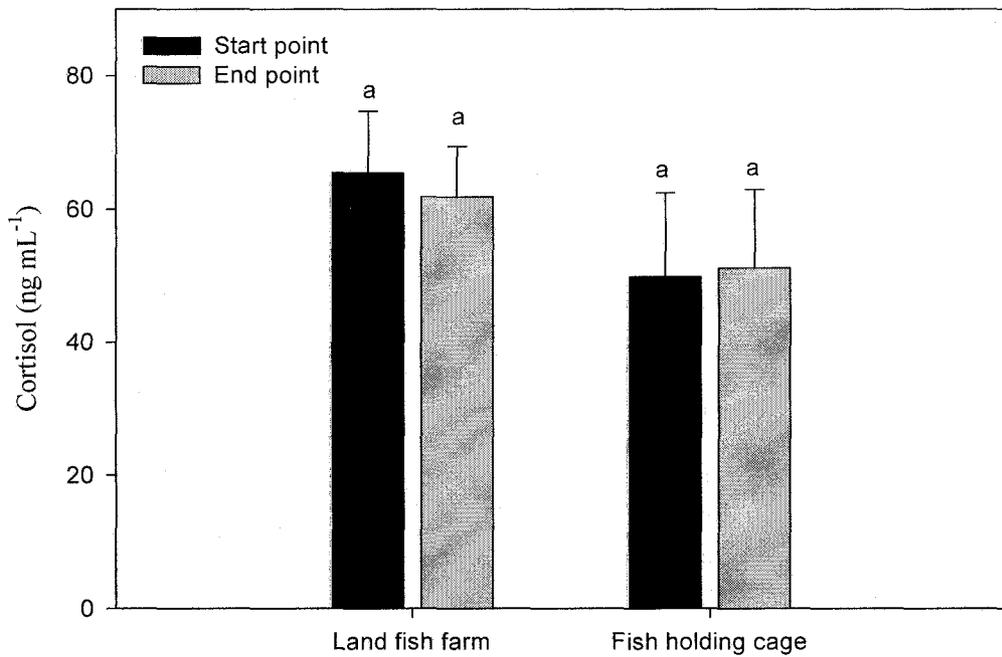


Fig. 3.3-34 돌돔의 육상 수조식 양성과 가두리 양성 시 혈청 중 스트레스 호르몬 농도 변화

라. 요약 및 결론

본 연구에서 개발한 수중 가두리와 기존의 육상수조식 양식에서의 생산성을 비교하기 위하여 각각의 양식방법에 돌돔을 수용하여 10개월간 사육실험을 하면서 돌돔의 성장, 혈액성상, 스트레스호르몬 및 혈액화학적 변동을 조

사하였다.

10개월간 사육한 결과, 육상 수조 양성 시에는 평균 전장은 10.1 ± 0.99 cm에서 20.6 ± 2.07 cm로 204% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 10.1 ± 0.56 cm에서 20.1 ± 4.18 cm으로 199% 성장하였다. 육상 수조 양성 시에는 평균 체중 41.4 ± 5.53 에서 230.5 ± 7.14 로 557% 증가하였으며, 가두리 양성 시에는 평균 42.9 ± 3.14 에서 210.5 ± 5.25 로 490% 증가하여 두 양식방법에 있어 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다.

돌돔의 혈액성상에 있어 적혈구수, 적혈구 용적 (Hematocrit), 혈색소 농도 (Hemoglobin), 평균적혈구용적 (MCV), 평균적혈구색소량 (MCH) 및 평균적혈구혈색소농도 (MCHC)는 약간의 차이를 보였으나 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 또한 혈액의 Magnesium, Calcium, Glucose, 총 단백질 (total protein), Albumin, 총 콜레스테롤 (T-Ch) 농도, 혈청 GOT, GPT활성 및 스트레스 호르몬인 cortisol의 유의한 변동도 관찰되지 않았다.

결론적으로 본 연구에서 개발한 수중 가두리에 돌돔을 양식할 경우, 기존의 육상수조식 양식방법과 비교하여 생산성에서 차이를 나타내지 않고 있으며, 이 결과는 기존의 육상수조식 양식장의 시설비 및 환경 등을 고려할 경우에 우수한 양식 방법이라고 생각된다.

5. 경제성 평가(경영수지분석)

가. 외해대형어류가두리(해상양식전진기지) 사업투자비 분석

- 분석기준
 - 필요허가 면적 : 12 ~ 15 ha
 - 사육 어종 : 돌돔
 - 사육 미수 : 500만미

- 가두리 치수 : 15m x 7m x 6m
- 가두리 수 : 100기
- 가두리선박치수: 25m x 12m x 5m

시설투자비

항목	내용	수량	단가(천원)	금액(천원)	비고
가두리	15m x 7m x 6m	100기	30,000	3,000,000	
가두리선박	25m x 12m x 5m	1기	1,000,000	1,000,000	
선박	예인, 작업용	1기	1,000,000	1,000,000	감척어선 가능
급이시설	급이거리 약5km	1set	1,000,000	1,000,000	
기타	해상장비	1set	1,000,000	1,000,000	
			소계	7,000,000	

나. 수지분석손익표

수입

경우의 수	돌돔 치어 500만미, 연간성장률 150g/미	수량 (만미)	단가 (천원)	금액 (백만원)	비고
Case 1	폐사율 20%, 단가 10,000원/미	400	1.5	6,000	Case10
Case 2	폐사율 20%, 단가 15,000원/미	400	2	8,000	
Case 3	폐사율 20%, 단가 20,000원/미	400	3	12,000	Case13
Case 4	폐사율 30%, 단가 10,000원/미	350	1.5	5,250	Case11
Case 5	폐사율 30%, 단가 15,000원/미	350	2	7,000	
Case 6	폐사율 30%, 단가 20,000원/미	350	3	10,500	
Case 7	폐사율 40%, 단가 10,000원/미	300	1.5	4,500	Case12
Case 8	폐사율 40%, 단가 15,000원/미	300	2	6,000	
Case 9	폐사율 40%, 단가 20,000원/미	300	3	9,000	
Case 10	Case 1에서 연간 성장률 200g/미	400	2	8,000	
Case 11	Case 4에서 연간 성장률 200g/미	350	2	7,000	
Case 12	Case 7에서 연간 성장률 200g/미	300	2	6,000	
Case 13	Case 3에서 연간 성장률 200g/미	400	4	16,000	
	평균 금액			8,096	평균

지출

항목		내용	수량	단가	금액 (천원)	비고
생산 관리 비	종묘구입비	5cm(7g) 돌돔	500만미	3백원	1,500,000	
	사료비	폐사율 20%, 40kg1포	6만포	2만원	1,200,000	
	유지보수비	시설비의 1%	0.01	70억원	70,000	
	유류비	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	전기료 등	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	소모품비	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	어장관리비	월간 100만원	12월	1백만원	12,000	
	자원조성비	월간 100만원	12월	1백만원	12,000	
	용선료	월간 500만원	12월	5백만원	60,000	
	소계				2,890,000	
인건 비	본인인건비	1인 월간 500만원	12월	5백만원	60,000	
	본인외인건비	20인 월간 300만원	12월	6천만원	720,000	
	소계				780,000	
감가 상각 비	시설물	20년 월간 1천만원	12월	1천만원	120,000	
	관리선	20년 월간 2천만원	12월	2천만원	240,000	
	가두리	20년 월간 1.5천만원	12월	1.5천만원	180,000	
	기타장비	20년 월간 1천만원	12월	1천만원	120,000	
	소계				660,000	
판매 관리 비	보관비	3개월 월간 2천만원	3월	2천만원	60,000	
	판매수수료	예상판매단가의 2%	0.02	70억원	140,000	
	판매잡비	예상판매단가의 5%	0.05	70억원	350,000	
	소계				550,000	
기타 잡비	제세공과금	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	어장행사료	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	주부식비	월간 5백만원	12월	5백만원	60,000	
	복리후생비	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	보험료	월간 2백만원	12월	2백만원	24,000	
	공제료	월간 50만원	12월	50만원	6,000	
	기타	월간 1백만원	12월	1백만원	12,000	
	소계				138,000	
합계					5,018,000	

경상이익

최저 Case 7 : 4,500백만원 - 5,018백만원 = - 518백만원

최고 Case 13 : 16,000백만원 - 5,018백만원 = + 10,982백만원

평균 : 8,096백만원 - 5,018백만원 = + 3,078백만원

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

가. 연구개발 목표 달성도

구 분	평가의 착안점, 척도, 달성도		
	착안사항	척도 (점수)	달성도 (%)
1차년도 (2004년)	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 설계		
	1. 개념설계	10	100
	2. 해양공학수조실험 및 예인수조실험	20	100
	3. 1차 실험실실험	20	100
	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화 - 실험실 차원의 소형 모델 개발	20	100
○ 외해 대형 어류양식 시스템의 운영에 따른 환경 및 생산성평가			
	1. 시스템 설계 및 제작에 필요한 환경 및 생산성요인의 설정	20	100
	2. 외해의 시스템설치장소의 환경평가	10	100
2차년도 (2005년)	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 설계		
	1. 1차 실험실모델의 실험실실험	10	100
	2. 상세설계 내용	20	100
	3. 2차 실험실실험	20	100
	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자 동화 - 실험실용 소형 모델개발 및 실험	20	100
	○ 해양양식 전진기지의 설계, 제작 및 운영 에 따른 환경 및 생산성평가		
1. 시스템의 운영에 따른 환경평가		10	100
2. 시스템의 운영에 따른 생산성 평가		20	100

구 분	평가의 착안점, 척도, 달성도		
	착안사항	척도 (점수)	달성도 (%)
3차년도 (2006년)	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 설계 1. 1차 실패역모델의 실패역실험 2. 2차 실패역실험 3. 시스템의 신뢰성	10 10 30	100 100 100
	○ 외해 대형 어류양식 시스템의 관리 및 자동화 실패역 대형 시제품 개발	20	100
	○ 해양양식 전진기지의 설계, 제작 및 운영에 따른 환경 및 생산성평가 1. 종합적인 환경 및 생산성평가 2. 환경 및 생산성을 고려한 최종시스템도출 ○ 경제성 분석에 대한 평가	10 20	100 100

최종 평가	외해 대형 어류양식 시스템의 설계, 자동화, 환경 및 생산성에 대한 실패역 실험 결과	100
----------	--	-----

나. 관련 분야에의 기여도

- 한국형 외해 가두리의 최초 설계 및 실패역 실험
- 육상에서 해중으로 급이 하는 최초 시스템의 개발
- 우리나라 어종의 외해 양식 가능성 실험

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

연구개발 결과의 활용과 관련된 국내외 상황

- 친환경적인 새로운 외해 양식에 대하여 비교적 많은 관심을 갖고 언론 매체에서 보도되고 있는 것은 주지의 사실이며,

- 해양수산부를 비롯한 지자체 등에서도 예산을 편성하는 등 적극적인 자세로 임하고 있는 실정이다.

- 그러나, 외국에서 도입하려고 하는 시스템에 대하여 국내 설치 해역의 적합성에 대한 기초 연구는 물론 경제성 평가가 되어있는 자료는 찾을 수가 없는 실정이다.

- 따라서, 본 보고서의 활용계획에서는 3년간의 연구과정을 통하여 얻어진 결과와 외국의 사례를 바탕으로 아래와 같이 활용계획을 작성하였다. 이하 작성되는 내용의 기본 조건은 제시하고 있는 시스템이 태풍(2007년 나리)에 강인하다는 조건입니다.

● 1단계 활용방안

실질적인 운영을 위해서는 많은 시행착오와 경험이 필요한 것은 물론 어종의 선택과 어류의 이동 시 스트레스의 저감을 위한 지속적인 연구개발이 필요하다.

외해에서의 가두리 관리의 특성상 일정규모(최소 매출 기준) 이상인 사업으로 추진되어야 하며, 이를 위해서는 최소 기간 동안 투자의 개념으로 해양수산부의 주도하에 관심이 있는 지자체는 물론 일정지분을 갖는 기업이 참여할 필요가 있다.

● 2단계 활용방안

1단계가 성공할 경우에는 기업의 주도하에 어촌계 어민을 고용 또는 참여 시킴으로서 지역 경제의 활성화에 많은 보탬이 될 것으로 예상된다. 즉 어선 어업의 활로 모색, 어촌 경제의 활성화 등에 능동적인 방안으로 생각된다.

- 3단계 활용방안

기업을 선두에 내세울 경우에는 국내 뿐 만아니라 동남아시아는 물론 북한의 수산업 발전에 기여할 수는 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

- 정책 대안

- 남해안 가두리를 외해로 이주하기 위한 정책에 활용
- 삼면이 바다는 물론 북한과의 수산업 교류를 위한 정책에 활용

- 추후 연구개발 방향

- 지속적인 시범 활동을 통하여 신뢰성 확보
- 어류의 입식 및 출하 시 발생될 수 있는 생리적인 문제에 대한 과학적인 Manual 확보

- 한국 외해양식의 나갈 방향

- 미국과 유럽 등의 가두리는 대형어종을 대상으로 하는 가두리가 주종을 이루고 있어 국내의 양식 어종에 알맞은 가두리 시스템은 다양하게 지속적으로 연구 개발하여야 할 충분한 필요성을 인식하고,

- 세계 최고 수준의 해양환경을 갖고 있는 제주연안과 동해안을 활용하기 위한 대규모 가두리 양식(국내 어종을 대상으로 한) 산업의 육성

- 북한을 비롯한 동남아시아 각국들과 가두리 산업의 육성을 위한 협의체를 구성하여 우리나라가 주도하는 가두리산업의 벨트를 구축

제 6 장 참고문헌

1) <제 1세부과제>

- 박노식(2003) 외, “양식시설을 겸한 부유식 쌍동형 소파제의 상하동요와 유체력에 관한 연구”, 2003년 한국해양공학회 추계학술발표대회.
- 양찬규(2003) 외, “해상양식시설에 대한 해양공학수조에서의 모형실험”, 한국해양연구원 보고서.
- 김성근(2004) 외, “제주형 내파성 가두리 양식시설 모델 개발”, 제주대학교 해양과학대학 BK21사업단.
- 양찬규 외. (2003). 해상양식시설에 대한 해양공학수조에서의 모형실험, 한국해양연구소 해양시스템안전연구소 보고서, BSI 01930-2424.
- 이상무, 김용철, 김영환, 홍석원, 김훈철, (1986). “계류사의 비선형운동특성 해석에 관한 연구”, 대한조선학회지, 제23권 제1호, pp.3-11.
- 홍사영, 이상무, 홍도천, (1987). “컨테이너선의 불규칙파중 운동응답에 대한 실험적 고찰”, 대한조선학회지, 제 24권 제 2호.
- Agustsson, G. (2004). Design considerations and loads on open ocean fish cage south of Iceland, Ms. Sc. thesis, University of Iceland.
- Arribas, F.P. (2006). "Some methods to obtain the added resistance of a ship advancing in waves", Elsevier, Ocean Engineering, June. No.3.
- Fridriksson, D.W., Swift, M.R., Irish, J.D., Tsukrov, I. and Celikkol, B., (2003) "Fish Cage and Mooring System Dynamics using Physical and Numerical Models with Field Measurements", Aquaculture Engineering, Vol. 27, Iss. 2, pp117-146.
- Lloyd, A.R. (1989). Seakeeping: Ship Behaviour in Rough Weather, Ellise

Howood Limited, England.

Scott, D.C. and Muir, J.F. (2000). "Offshore cage systems- A practical overview", Options Mediterranennes, CIHEAM No.30.

Turner, R. (2000). "Offshore mariculture: Mooring System Design", Options Mediterranennes, CIHEAM No.30.

Utsunomiya, T. and Watanabe, E. (2001). "Analysis of drift forces on VLFS by the near-field approach", Proc. of International Offshore and Polar Engineering Conference, Norway, pp.218-222.

Goudey, C.A., Loverich, G., Kite-Powell, H., and Costa-Pierce B.A. (2001). "Mitigating the environmental effects of mariculture through single-point moorings(SPMS) and drifting cages", ICES Journal of Marine Science Vol.58 pp.497-503.

Goudey, C.A. (2002). "Evolution and performance of a single-point mooring for an offshore aquaculture cage", IEEE Oceans Vol.1 Iss.29-30. Oct. pp.126-130.

2) <제 2세부과제>

Tamaki, U., "Development of AUV 'PTEROA'," International J. of Advanced Robotics, MBARI, pp.195-200., 1990.

Yuh, J., " Design and Control of Autonomous Underwater Robots," International J. of Autonomous Robots, Vol. 8, No. 1, pp. 7-24, 2000.

안유환, "해양환경관측 및 개선을 위한 기반기술 연구," KORDI 2000 Annual Report, 2000.

한국해양연구소, 광역 표층 해류관측을 위한 TG PS Buoy 시스템 운영지침

서, 1995.

Marin Tech 사, 연안 관측모형선 카탈로그, 1998.

Tom Logsdon, Understanding the NAVSTAR - GPS, GIS, and IVHS, VNR
Van Nostrand Reinhold, New York, 1995.

Cox, D. B. "Integration of GPS with Inertial Navigation Systems," Journal
of the Institute of Navigation, vol. 1, pp. 144-153., 1978.

Upadhyay, T., "Autonomous GPS/INS navigation experiment for space
transfer vehicle," IEEE Trans. of Aerospace & Electronic Systems,
Vol. 29, No. 3, 1993.

Kao, W., "Integration of GPS and Dead Reckoning Navigation Systems,"
Proc. of VNIS, 1991.

김진원, 지규인, 이장규, 이영재, "GPS와 Dead-Reckoning을 이용한 항법 시
스템 설계," 제어·자동화·시스템 공학회지., Vol. 2, No. 3,
pp188-193, 1996.

박요섭, 다중 빔 음향 측심 자료 처리를 위한 해저면 맵핑 시스템, 인하대학
교 자동화 공학과 석사 학위 논문, 1996.

박대선, 실시간 OS 를 이용한 GPS/DR 결합 무인지상차량 항법시스템 개발,
건국대학교 전자·정보통신공학과 석사 학위 논문, 2001.

Siouris, G., Aerospace Avionics Systems, A Modern Synthesis, Academic
Press Inc., San Diego, California, USA, 1993.

한국해양연구소, DGPS운용을 위한 기반 구축, BSPE 98716-00-1158-2, 1998.

Derrick, R. Peyton., "Using GPS and ROVs to Map the Ocean," GPS
World, PP.40-44, 1992.

이영재, 지규인, 박찬식, 김일선, 이장규, 김춘식, "DGPS를 이용한 위치측정실
험," 제2차 GPS Workshop, pp.273-280, 1995.

Roberts, G., Williams, A., David, L, J., Penning, D, P., Mark, S, R., "A

Low-Power Postprocessed DGPS System for Logging the Locations of Sheep on Hill Pastures," Journal of the Institute of Navigation Vol.42, No.2 pp.327, 1995.

Lim, J, H., Kang, C, U., " Grid-based Localization of a Mobile Robot using Sonar Sensors," KSME Int. J., Vol. 6, No. 3, pp. 302-309, 2002.

Bar-shalom, Tracking and Data Association, Academic Press, 1988

3) <제 3세부과제>

Abelli, L., Picchiatti, S., Romano, N., Mastrolia, L. and Scapigliati, G. 1996. Immunocytochemical detection of thymocyte antigenic determinants in developing lymphoid organs of sea bass *Dicentrarchus labrax* (L). Fish and Shell Immunology 6, 493~505.

Adams, S. M., ed. 1990. "Biological Indicators of Stress in Fish", American Fisheries Society. Bethesda, Maryland. 38~39.

Aida, K., T. Kato, and M. Awaji. 1984. Effects of castration on the smoltification of precocious male masu salmon, *Onchorhynchus masou*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 50, 565~571.

Alabaster J. S., D. G. Shurben and M. J. Mallett. 1983. The acute lethal toxicity of mixtures of cyanide and ammonia to smolts of salmon, *Salmo salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. J. Fish Biol., 22(2), 215~222.

Allen AC, Koller LD, Pollack GA. 1983. Effect of toxaphene exposure on immune responses of mice. J. Toxicol. Environ. Health 11:61-9.

APHA (American Public Health Association), American Water Works and

- Water Pollution Control Federation, 1985, Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Washington, D. C. pp. 214~220.
- Arnold, H., H. J. Pluta and T. Braunbeck. 1995. Simultaneous exposure of fish to endosulfan and disulfoton in vivo: Ultrastructural, stereological and biochemical reactions in hepatocytes of male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat. Toxicol.*, 33(1), 17~43.
- Balint, T., T. Szegletes, Z. Szegletes, K. Halasy and J. Nemcsok. 1995. Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methidathion and the pyrethroid deltamethrin. *Aquat. Toxicol.*, 33(3~4), 279~295.
- Baumann, P. C., Smith, I. R. and Metcalfe, C. D. 1996. Linkages between chemical contaminants and tumors in benthic Great Lakes fish. *Journal of Great Lakes Research* 22, 131~152.
- Burke, M.D. and R.T. Mayer, 1974. Ethoxyresorufin: direct fluorometer assay of a microsomal O-dealkylation which is preferentially inducible by 3-methylcholanthrene. *Drug Metab. Disp.*, 2, 583~588.
- Casillas, E. and W. Ames. 1985. Serum chemistry of diseased English sole, *Parophrys vetulus* Girard, from polluted areas of Puget Sound, Washington. *J. Fish Dis.*, 8(5), 437~449.
- Casillas, E. and W. Ames. 1986. Hepatotoxic effects of CCl₄ on English sole (*Parophrys vetulus*): Possible indicators of liver dysfunction. *Comp. Biochem. Physiol., C.*, 84C(2), 397~400.
- Chandrasekar, S. and N. Jayabalan. 1993. Hematological responses of the common carp, *Cyprinus carpio* L. exposed to the pesticide endosulfan. *Asian Fish. Sci.*, 6(3), 331~340.

- Dalela, R. C., S. Rani and S. R. Verma. 1980. In vivo subacute physiological stress induced by phenolic compounds on acid and alkaline phosphatases in serum of a fish, *Notopterus notopterus*. *Toxicol. Lett.*, 7(2), 181~186.
- Delbert, M., Gatlin, I. and R. P. Wilson. 1986. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 52, 191~198.
- Dunier, M. and Siwicki, A. K. 1993. Effects of pesticides and other organic pollutants in the aquatic environment on immunity of fish; a review. *Fish and Shellfish Immunology* 3, 423~438.
- Flory, C.M. & Bayne, C.J. (1991) The influence of adrenergic and cholinergic agents on the chemiluminescent and mitogenic responses of leukocytes from the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Dev. Comp. Immunol.*, 15: 135-142.
- Gajbhiye, S. N and Hirota, R. 1990. Toxicity of heavy metals to brine shrimp *Artemia*. *J. Indian Fish. Assoc.*, 20, 43~50.
- Galgani, F. 1992. Monitoring of pollutant biochemical effects on marine organism of the French Coasts. *Oceanologica. Acta.*, 15(4), 355~363.
- Grzebyk, D. and F. Galgani. 1991. Measurement of organic pollution on marine organism: rapid determination of EROD induction using plate readers. *Aquat. Liv. Resour.*, 4, 53~59.
- Hodson, P. V., M. McWhirter, K. Ralph, B. Gray, D. Thivierge, J. H. Carey, G. Van-Der-Kraak, D. M. Whittle and M. C. Levesque. 1992. Effects of bleached kraft mill effluent on fish in the St. Maurice River, Quebec. *Environ. Toxicol. Chem.*, 11(11), 1635~

1651.

- Holland, H. T., D. R. Coppage and N. Imada. 1967. Use of fish brain acetylcholinesterase to monitor pollution by organophosphorus pesticides. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2(3), 156~162.
- Hwang, U. G., Kagawa, N. and Mugiya, Y. 2000. Aluminium and Cadmium inhibit vitellogenin and its mRNA induction by estradiol-17 β in the primary culture of hepatocytes in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 119, 69-76.
- Ito, Y. and T. Murata. 1990. Changes in glucose, protein contents and enzyme activities of serum in carp administered orally with PCB. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46(4), 465~468.
- Jiro, K. and I. Yasuo. 1977. Effects of oral administration of cadmium on fish- I. Analytical results of the blood and bones. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 43(5) 523~526.
- Ju-Chan Kang and Jung-hoon Jee. 1999. Hemochemical Changes in Israel carp, *Cyprinus carpio* exposed to cyanide. *J. Korean Fish. Soc.*, 32(5), 573~581.
- Kang, J. C. Jung-Sick Lee and Jung-hoon Jee. 1999. Ecophysiological Responses and Subsequent Recovery of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* exposed to Hypoxia and Iron II. Survival, Metabolic and Histological Changes of the Olive Flounder Exposed to Iron. *J. Korean Fish. Soc.*, 32(6), 699~705.
- Kang, J. C., O. Matsuda and N. Immamura. 1995. Avoidance and behavior of prawn *Macrobranchium nipponense* by oxygen depletion and hydrogen sulfide. *Jap. Soc. Fish. Sci.*, 61(6), 827~831.
- Kang, J. C., O. Matsuda and N. Immamura. 1995. Effects of hypoxia and

- hydrogen sulfide on survival of the prawn *Macrobranchium nipponense* in Lake Kojima, Jap. Soc. Fish. Sci., 61(6), 821~826.
- Kang, J. C. and Rho S., 1995, Effects of O₂ Saturation and pH on Gas-bubble Disease of blue crab, *Portunus trituberculatus*. The Korean Society of Fish Pathology, 8(2) : 157-164.
- Kerkvliet NI, Beacer-Steppan L, Claycomb AT, Craig AM, Sheggeby GG. 1982. Immunotoxicity of technical pentachlorophenol PCP-T: Depressed humoral immune responses to T-dependent and T-independent antigen stimulation in PCP-T exposed mice. Fund. Appl. Toxicol. 2:90-7.
- Khattak, I. U. D. and M. A. Hafeez. 1996. Effect of malathion on blood parameters of the fish, *Cyprinion watsoni*. Pak. J. Zool., 28(1), 45~49.
- Kirchessner, M. and F. J. Schwarz. 1986. Mineral content (major and trace element) of carp (*Cyprinus carpio* L.) fed with different protein and energy supplies. Aquaculture, 54, 3~9.
- Koller LD, Exon JH, Moore SA, Watanabe PG. 1983. Evaluation of ELISA for detecting *in vivo* chemical immunomodulation. J. Toxicol. Environ. Health 11:15-22.
- Koller LD. 1996. Profiling immunotoxicology: past, present, and future. In: Stolen J S, Fletcher
- Koyama, J. and Y. Itazawa. 1977. Effects of oral administration of cadmium on fish. 1. Analytical results of the blood and bones. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 43(5), 523~526.
- Lai, Z-W., Kremer, J., Gleichmann, E. and Esser, C. 1994. 3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl inhibits proliferation of immature

- thymocytes in fetal thymus organ culture. *Scandinavian J. Immunol.*, 39, 480~488.
- Lindholm, C., Pedersen, K.L., Pedersen, S.N., 2000. Estrogenic response of bisphenol A in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquat. Toxicol.* 48, 87-94.
- Lubet, R. A., R. T. Mayer, J. W. Cameron, R. W. Nims, M. D. Burke, T. Wolff and F. P. Guengerich, 1985. Dealkylation of pentoxyresorufin: a rapid and sensitive assay for measuring induction of cytochrome(s) P-450 by phenobarbital and other xenobiotics in rat. *Arch. Biochem. Biophys.*, 238, 43~48.
- Ma, G., H. Lin and W. Zhang, 1995. Effects of cadmium on serum gonadotropin and growth hormone in common carp (*Cyprinus carpio* L.) *J. Fish. China Shuichan Xuebao.* 19(2), 120~126.
- Mage, A. and H. Sveier. 1998. Addition of dietary iron (III) oxide does not increase iron status of growing Atlantic salmon. *Aquacult. Int.* 6(3): 249~252.
- Malyzheva, T. D. and V. S. Vasilevskij. 1991 Digestive enzymatic activity in common carp with enteral zinc loads. *Gidrobiol. J. Hydrobiol.*, 27(2), 66~72.
- McCain, B. B., T. K. Collier, D. W. Brown, J. E. Stein, T. Horn, S. L. Can, M. S. Myers, S. M. Pierce and U. Varanas. 1996. Chemical contaminant exposure and effects in four fish species from Tampa Bay, Florida. *Estuaries.* 19(1), 86~104.
- Mullick, S and Konar, A. S. 1991. Combined effects of zinc, copper, iron and lead on plankton. *Environ. Ecol.*, 9 (1), 187~198.
- Omura, T. and R. Sato., 1964. The carbon monoxide-binding pigment of

- liver microsome. I. Evidence for its hemoprotein nature. *J. Biol. Chem.*, 239, 2370~2378.
- Perez-Lopez, M., Anglade, P., Bec-Ferte, M. P., Debrauwer, L., Perdu, E., Cravedi, J. P. and Rouimi, P. 2000. Characterization of hepatic and extrahepatic glutathione S-transferase in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their induction by 3,3',4,4'-tetrachlorobiphenyl. *Fish Physiol. and Biochem.*, 22, 21~32.
- Rao, P. P., K. V. Joseph and K. J. Rao. 1990. Histopathological and biochemical changes in the liver of a fresh water fish exposed to heptachlor. *J. Nat. Conserv.*, 2(2), 133~137.
- Roch, M. and E. J. Maly. 1979. Relationship of cadmium-induced hypocalcemia with mortality in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and the influence of temperature on toxicity. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36(11), 1279~1303.
- Stein, J.E., T.K. Collier, W.L. Reichert, E. Casillas, T. Horn and U. Varanas. 1993. Bioindicators of contaminant exposure and sublethal effects in benthic fish from Puget Sound, Washington. *Mar. Env. Res.* 35, 95~100.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1976. Requirement of red sea bream for dietary Fe - 1. *Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ.*, 3: 53~58.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron. 2. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44(3): 223~225.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1979. Availabilities of three iron compounds as dietary iron sources for red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45(2): 231~235.
- Shen, H, Q. Zhang R. Xu and G. Wang. 1997. Effects of petroleum on the

- sero-proteins of *Tilapia mossambica*. Mar. Environ. Sci., 16(1), 1~5.
- Shich, M. S., 1978. Changes of blood enzymes in brook trout induced by infection with *Aeromonas salmonicida*. J. Fish Biol., 11, 13~18.
- Smith, A. C. and F. Ramos. 1980. Automated chemical analysis in fish health assessment. J. Fish Biol., 17, 445~450.
- Sumpter, J. P. and Jobling, S. 1995. Vitellogenesis as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment. Environ. Health Persp., 103, 173-178.
- TemaNord, Nordic Council of Ministers, 1996. Chemicals with Estrogen-Like Effects. Copenhagen, pp. 35-51
- Toppari, J., Larsen, J. C. and Christiansen, P. 1995. Male reproductive health and environmental chemicals with estrogenic effects. Miljøprojekt 290, Copenhagen; Ministry of the environment and energy, Danish Environmental Protection Agency 166 pp.
- Tripp, R.A., Maule, A.G., Schreck, C.B. & Kaattari, S.L. (1987) Cortisol mediates suppression of salmonid lymphocytes responses in vitro. Dev. Comp. Immunol., 11: 565-576.
- weeks, B. A., D. P. Anderson, A. P. DuFour, A. Fairbrother, A. J. Goven, G. P. Lahvis, and G. Peters. 1992. Immunological biomarkers to assess environmental stress. Pages 211-234 in R. J. Huggett, R. A. Kimerle, Jr. P. M. Mehrle, and H. L. Bergman, editors. Biomarkers: Biochemical, Physiological and Histological Markers of Anthropogenic Stress, Lewis Publishers, Boca Raton, Louisiana.
- Weiss, C. M. and J. H. Gakstatter. 1964. Detection of pesticides in water by biochemical assay. J. WPCF., 36(2), 240~252.
- Wester, P. M., Vethaak, A. D., and Van Muiswinkel, W. B. 1994. Fish as

- biomarkers in immunotoxicology. *Toxicology* 86, 213-234.
- Yamazaki, K. W. Hashimoto, K. Fujii, J. Koyama, Y. Ikeda and H. Ozaki. 1986. Hemochemical changes in carp exposed to low cadmium concentrations. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52(3), 459~466.
- Zelikoff JT. 1994. Fish immunotoxicology. In: Dean JH, Luster MI, editors. *Immunotoxicology and immunopharmacology*. 2nd ed. New York: Raven Press 71-96.
- Zheng, J. and R. A. Nicholson. 1996. Influence of two naturally occurring abietane monocarboxylic acids (resin acids) and a chlorinated derivative on release of the inhibitory neurotransmitter gammaaminobutyric acid from trout brain synaptosomes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 56(1), 114~120.
- 姜柱贊. 1998. 水生生物の呼吸と環境-甲殻類の呼吸機能の低酸素應答. *日本月刊海洋*, 30(3), 138~143).
- 尾崎久雄, 1971. 魚類生理學講座 : 3. 消化生理(上), 録書房, 東京, pp.184~188
- 이차수. 1997. 동물중독의 진단과 치료. 도서출판. pp. 81~84.

부 록 특허 및 논문

가.海中 가두리 양식장용 리프팅 관리장치{Lifting management system for the underwater fish farming tools}

- 특허출원일자 : 2006년 09월 15일
- 특허출원번호 : 10-2006-0089585
- 특허등록일자 : 2007년 07월 26일
- 특허등록번호 : 10-0745080

나. 가두리양식장용 전용 활어류 운송전용 장치{ carriage system for the live fishes from the cultivation of fish in an inclosing net}

- 특허출원일자 : 2007년 09월 18일
- 특허출원번호 : 10-2007-0094628
- 특허등록일자 : 심사 중
- 특허등록번호 : 심사 중

다. 활어 출하장치{Shipment system for the live fishes}

- 특허출원일자 : 2007년 09월 18일
- 특허출원번호 : 10-2007-0094629
- 특허등록일자 : 심사 중
- 특허등록번호 : 심사 중

라. 해상양식전진기지 개발 1 (해양환경과 개념설계)

- The Development of Multi-purpose large-size Cage in Open Sea (Ocean Environment and Concept Design)
- 김성근, 고유봉, 임종환, 박노식*, 강주찬**, 이상무***, 김영수*****

- 제주대학교 해양과학대학 *울산대학교, **부경대학교,***동양대학교,
****(주)태우해양기술
- 2005년도 한국해양공학회 추계학술발표대회

마. 해상양식전진기지 개발 I (해중양식시스템 설계)

- Development I of Aquaculture Innovation System on the Open Sea
(Design of Undersea Aquaculture System)
- 김성근* · 최영찬** · 임종환** · 김영수*** · 양영태**** · 최학선**** · 강주찬****
* · 박노식***** · 조상래***** · 정우철*****
- *이어도텍, **제주대학교, *** (주)태우해양기술, ****현대중공업(주) *****한국해양
연구원, *****부경대학교, *****울산대학교, *****인하공업전문대학
- 2007년도 한국해양공학회 추계학술발표대회

바. 해상양식전진기지 개발 II (관리 및 자동화 시스템)

- Development II of Aquaculture Innovation System on the Open
Sea (Management and Automatic System)
- 김성근* · 최영찬** · 임종환** · 김영수*** · 양영태**** · 최학선**** · 강주찬****
* · 박노식***** · 조상래***** · 정우철*****
- *이어도텍, **제주대학교, *** (주)태우해양기술, ****현대중공업(주) *****한국해양
연구원, *****부경대학교, *****울산대학교, *****인하공업전문대학
- 2007년도 한국해양공학회 추계학술발표대회

사. 해수면 외해양식장에 작용하는 파랑평균표류력 추정기법

- Wave Mean Drift Force on a Floating Offshore Fish Cage in
Regular and Irregular Waves
- 한국해양공학회지 2008년도 논문 투고

외해 어류양식 시스템 개발을 위한 기반 연구

- 발 행 일 : 2008. 7. 15.
 - 발 행 처 : 제주대학교
제주특별자치도 제주시 아라동 1번지
TEL. 064-754-1114(대)
 - 인 쇄 처 : 성민출판사
-