

발 간 등 록 번 호

11-1541000-001252-01

자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리시설 개발
(Development of Submersible Fish Cage System by Automatic Control Operation)

전남대학교 산학협력단

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설 개발에 관한 연구”
과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 2월 29일

주관연구기관명 : 전남대학교산학협력단

주관연구책임자 : 김태호

연 구 원 : 양경욱, 장덕중, 신승식
고강희, 허정규, 박주삼
오무환, 박남준, 최영미
김나현, 이승환, 김준수
소애림, XING YAN

참 여 기 업 명 : 성신조선(주)

연 구 원 : 황규석, 김철범, 이원길
김순길, 도현철, 이연효
오병수

요 약 문

I. 제 목

자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설 개발

II. 연구 개발의 목적 및 필요성

1. 연구 개발의 목적

- 파고, 풍속 등 대상 해역의 외력 환경 조건에 따라 가두리시설의 본체가 자동으로 일정 수층까지 침하되고 다시 원래의 위치로 부양이 가능하여 외해에서도 고부가가치 어종을 안정적으로 생산할 수 있는 자동 부침 기능 보유 전천후 어류 가두리 시설 개발

2. 연구 개발의 필요성

가. 기술적 측면

- 우리나라의 어류 가두리 양식 산업은 비교적 짧은 역사에도 불구하고 어류 생산량 증대뿐만 아니라 고부가가치 어종의 공급에 매우 중요한 역할을 해오고 있음. 그러나 최근 연안 환경은 산업화·도시화로 인해 점차 부영양화 되고 있으며, 또한 장기간에 걸친 과도한 개발과 지속적인 대량 생산의 결과, 자가오염에 의한 양식장의 노화가 촉진되어 점차 생산량이 감소하고 있을 뿐만 아니라 어류의 품질마저 저하되고 있는 실정임
- 이와 함께 산업화에 의한 연안의 매립, 간척과 정부의 환경어업 개발 육성으로 인하여 해상 가두리 양식의 제한 요인은 앞으로 더욱 증가될 것으로 예상되어, 최근에는 보다 깨끗한 수질과 생산력이 높은 외해로 가두리 양식장의 이동이 시도되고 있음
- 어류 양식 산업에 사용되는 해면 어류 가두리 양식 시설의 설계 기술은 지난 수십 년간에 걸쳐 발전되어 왔으나, 우리나라의 가두리 양식 시설은 주로 대상 해역의 환경 조건을 고려하여 작용 외력이나 부재의 구조 해석 등 공학적 기법을 도입한 이론적 및 실험적 설계보다는 주로 경험적 설계와 시행착오를 통해 반복적으로 설계되어 왔음
- 최근에는 가두리 양식에 의한 수질 오염 문제가 사회적으로 크게 부각됨으로써 앞으로 큰 파도와 강한 흐름 등과 같은 외해의 거친 환경조건에서도 시설물의 유지 및 관리가 가능한 고강도 구조의 가두리 또는 외력 환경 조건을 경감시킬 수 있는 수중 가두리와 부침식 가두리 시설이 도입되고 있음

- 양식 환경의 패러다임 변화(paradigm shift)로 기존의 양적 생산에서 질적 수급 위주로 전환이 필요하며, 또한 친환경, 자동화 및 고효율 구조의 양식 시설 시스템 개발이 요구되고 있음

다. 경제·산업적 측면

- 우리나라 어류 가두리 양식시설의 대부분이 내만이나 연안에 시설되어 조류 소통 곤란으로 어장 오염이 심화되고 있으며, 이로 인해 어류의 성장률 감소와 폐사율 증가로 생산성이 낮은 실정임
- 또한 최근 값싼 중국산 양식 어류의 국내 시장 잠식과 향후 한·EU 및 한·중 FTA가 체결되면 수산물의 수입이 크게 늘어날 것으로 예상됨에 따라 참다랑어와 같은 새로운 고부가가치 양식 어종의 개발이 절실히 필요한 실정임
- 최근 통영, 제주 등의 지방자치단체에서는 침체된 국내 양식 산업의 새로운 성장 동력 창출을 위해 부가가치가 높은 고급 어종인 참다랑어를 양식하기 위한 기술 개발 사업이 본격적으로 추진되고 있으나, 참다랑어 양식의 경우 해수면 온도가 연중 15℃ 이상이고 수심이 30m 이상인 외해역에서 가능함
- 양식 어장의 생산성 향상과 고부가가치 어종의 양식을 통한 양식 어업의 경쟁력 확보를 위해서는 기존 내만 위주의 양식장을 수질이 깨끗한 외해로의 이동이 요구됨
- 따라서 연안 가두리시설의 외해 이동으로 친환경적 양식 어업 실현과 경제성이 있는 고품질 어종의 안정적 생산을 위해서는 태풍, 고파랑, 급조 등 외해의 환경 조건에서도 시설물의 유지 및 양식이 가능한 자동 부침 기능 보유 전천후 대형 어류 가두리 시설의 개발이 필요함

라. 사회·문화적 측면(공공성 포함)

- 최근 어류에 대한 소비의 형태가 기존의 양적 소비에서 질적 소비로 변하고 있으므로 향후에는 수질 환경 조건이 양호한 외해에서 환경 친화적 방법으로 양식한 자연산에 가까운 양식 어류에 대한 국민의 선호가 매우 높아질 것으로 예상됨
- 또한 생활수준의 향상과 주5일 근무제의 실시 등으로 국민들의 여가 시간이 증가하고 건강 지향의 성향이 증대되면서 어촌·어항을 중심으로 하는 해양 활동형 관광이 사업이 본격적으로 추진되어 있으므로 앞으로는 연안역이 기존의 생산의 장에서 다기능 종합 해양 레저 공간으로 변화될 것으로 전망됨
- 따라서 지속적인 양질의 단백질 공급과 고부가가치 어종의 양식을 통한 우리나라 양식 어업의 경쟁력 확보 및 정부에서 추진하고 있는 어촌 관광 및 문화 사업의 활성화를 위해서는 기존 연안 양식 어장의 외해로의 이동이 불가피함

Ⅲ. 연구 개발 내용 및 범위

- 자동 부침 기능 보유 전천후 가두리 시설 기본 시스템 개념 설계
- 자동 부침 시스템 설계 및 제어, 수리 모형실험 및 역학적 특성 해석
- 소규모 가두리 모델의 시작품 제작, 현장 설치 및 해상 실험
- 자동 부침 기능 보유 전천후 가두리 시설 기본 시스템 특화 모델 개발
- 자동 부침 기능 보유 전천후 대형 가두리 시설 산업화 시작품 제작 및 해상 실험

Ⅳ. 연구 개발 결과

- 기존 가두리 시설 조사 및 부침식 가두리 시설의 메커니즘 분석
 - 국내외 가두리 시설의 설계 조건 및 구조 조사
 - 기존 압축 공기, 수중 모터, 기계식 원치를 이용한 국내외 부침식 가두리 시설의 부침 기능 메커니즘 조사
 - 조사 결과를 정리하여 단행본 어류 가두리 양식시설 설계 출판(2009, 전남대출판부)
- 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능 해석
 - 압축공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 특성 해석
 - 해석 결과를 SCI급 학술지인 Marine Technology Society Journal에 게재(2010. 1)
- 자동 부침 가두리 시설 개념 설계
 - 프레임, 가변 부자, 표시 부자, 전력 및 제어 시스템 등 개념 설계
 - 국내 특허 출원 7건, 해외(일본) 특허 출원 1건(가두리 양식 장치용 보강 장치, 부력 조절용 부구, 부침식 가두리 양식 시스템의 메인 통제 장치, 가두리 양식 장치, 자동 부침 가두리 양식 시스템, 부침형 가두리 양식시스템의 부력 조절 장치, 대형 가두리용 그물 교환 장치)
- 자동 부침 기능 제어 기법 최적 설계 및 알고리즘 개발
 - 기존 모델을 이용한 자동 부침 기능 제어 실용적 알고리즘 개발
 - 개발 결과를 한국마린엔지니어링학회지에 게재(2010. 7)
- 개발 가두리 시설의 수리 모형실험 및 역학적 특성 해석
 - 정수 및 파랑 중 모형 가두리 시설의 부침 기능 해석
 - 해석 결과를 SCI급 학술지인 Aquacultural Engineering에 게재(2011. 9)
 - 파랑 및 흐름 중 가두리 시설의 계류삭 장력 안정성 해석
 - 가두리 시설의 운동 특성 해석 결과를 국제 학술지인 International Journal of Aquatic Science에 게재(2011. 4)

- 가두리 시설의 계류삭 안정성 및 장력 특성 해석
 - 계류삭 안정성 해석 결과를 한국마린엔지니어링학회지에 게재(2011. 7)
 - 계류삭 장력 특성 해석 결과를 SCI급 학술지인 China Ocean Engineering에 게재(2012. 3)
- 소규모 자동 부침 가두리 모델 1차 시작품 개발 및 현장 시험
 - 부침 부자의 부착 생물 부착에 따른 작동 상태 및 안정성 조사
 - 시작품의 부침 기능 및 안정성 조사
 - 시험 결과를 SCI급 학술지인 Sea Technology에 게재(2012. 2)
 - 1차 시작품용 가두리 16대를 프랑스 IDEE Aquaculture사에서 구매 요청
- 산업화 보급을 자동 부침 가두리 모델 개발
 - 대상 해역의 환경 조건(10분간 풍속 14m/s 이상)에 따라 가두리 시설이 자동으로 침하 및 부상되는 자동 부침 가두리 시설 하드웨어 및 제어 시스템 개발
 - 개발 및 시험 결과를 SCI급 학술지인 Aquacultural Engineering에 투고 예정(2012년 중)
 - 사용자가 리모컨으로 가두리 시설을 침하 및 부상 가능한 리모트 컨트롤 시스템 개발
 - 자동 부침 기능 관련 제어 알고리즘과 프로그램 및 PCB(인쇄 회로 기판) 보드 개발
 - 개발 프로그램 및 제어 시스템 특허 출원 예정(2012년 중)
- 자동 부침 가두리 시설의 경제성 분석

V. 연구 성과 및 성과활용 계획

1. 연구 개발 결과의 활용 계획

- 관련 어업인을 대상으로 개발 결과 시연회 개최 계획
- TV, 신문 등 언론 매체를 통한 개발 결과의 대대적 홍보 계획
- 자동 부침 기능 보유 어류 가두리 시설의 브랜드화 계획
- 1차 시작품 가두리 16대 수출 협의(프랑스 해역)
- 양질의 단백질원 공급을 위한 참다랑어 축양 및 양식 전용 시설로 활용 계획
- 국내 어류 양식 산업의 구조 조정 및 대형 기업화 추진 관련 정책 자료 제공
- 개발 제품의 기업체 기술 이전 및 해면 어류 양식장 완전 자동화 구축을 위한 추가 연구 수행 계획
- 구조 변경을 통한 전복 등 기타 품종에 대한 개발 가두리 시설의 적용 가능성 검토

2. 기대성과

가. 기술적 측면

- 자동 부침 제어 시스템 개발을 통한 자동 부침 가두리 관련 원천 기술 창출
- 어류 양식시설 완전 자동화 시스템 구축 기반 조성

나. 경제·산업적 측면

- 고급 어종의 안정적 생산으로 어업인 소득 증대 및 수출 증대
- 태풍, 폭풍, 적조 등 긴급재해 발생시 양식 시설 및 양식 생물 피해 최소화 및 관련 기술 확보
- 프랑스, 알제리, 호주 등 외해 양식 관련 국가에 개발 가두리 시설의 수출을 통한 외화 획득

다. 사회·문화적 측면

- 새로운 양식시스템 개발 및 친환경 양식어업의 실현을 통한 대국민 인식 제고
- 외해 가두리시설 개발 관련 연구 및 기술 수준 향상
- 양식 어장의 외해 이동으로 연안역의 다기능 종합 해양레저 공간 조성

SUMMARY

(영문요약문)

In Korea, offshore is typically defined of at least in 35 m depth. It is well known that the conventional floating cage(e.g. raft) will not survive offshore conditions, especially those related to typhoon events. The fish cage system analyzed as part of this project has a more robust design and can be submerged to better survive the rigors of the offshore environment. As in Korea, the development of submersible fish cage systems in other parts of the world is becoming more important.

Similar to the traditional Korean surface cages, that allow harvesting, stock inventory and inspection without the need of divers, a new system was developed to save operational costs. The cage design includes a buoyancy system that controls the vertical motion of the cage with variable ballast tanks. It is operated by an air control program that detects surface environmental conditions such as wave height, wind speed and other parameters. The air control system adjusts the weight of the cage and the buoyancy forces to freely move the cage vertically within the water column. While the development of offshore submersible fish cages is ongoing, few design details are available in the literature, especially with respect to air control systems.

Building upon this body of work, the primary objective of this study is to develop an automatic submersible fish cage system using compressed air control. The goal is to develop the algorithm required to control the cage system and to verify the ability of the automatic submersion mechanism to function in a still water tank and a large wave tank.

The submersible fish cage system designed as part of this study can move vertically within the water column by adjusting the weight and buoyancy of the cage with an automatic control system. The automatic control system monitors environmental parameters such as wave height and wind speed so the cage can be submerged in extreme sea states and then surfaced after the weather has passed. Being able to remotely remove fish cages from the sea surface during extreme storm events will help to prevent damage.

The fish cage was designed to consist of 12-angled rigid frame components, with both a containment and cover net, 12 variable ballast tanks, mooring ropes, anchors, an upper station(15 3-way motor valves, PCB board, cushion air chamber, etc.), a lower station(a seawater pump, a 3-way, motor valve, water leak sensor, etc.), 12

chambers(a main control chamber, two air compressor chambers, four battery chambers, a reserve air tank chamber), four high pressure tanks, a surface float(an emergency lamp, an antenna, main and remote control system, a wind gauge), various fittings including nipples, air hoses and ball valves, waterproof connectors(for 10A and 30A) to electric wires and water pressure gauge. The buoyancy of the variable ballast tanks is remotely and automatically adjustable with main and the remote control system.

A surface control system operates a switch that enables compressed air or seawater to enter the tanks to either submerge or surface the fish cage. The main control system can regulate both the inflow and outflow of air or seawater to and from the variable ballast tanks by responding to the surface environment conditions. The main control system incorporates wind speed sensors, with a water pressure gauge and controller(six PCB boards, data acquisition components). If the sea state is considered to be safe, the fish cage is then surfaced. To do this, the compressed air is used to displace the seawater in the variable ballast tanks.

In this study, a set of model experiments were conducted to investigate the automatic submerging and surfacing characteristics of a submersible fish cage system by air control in a still water tank and wave tank. It was shown that the fish cage could submerge under the water surface automatically when it sensed wave conditions at the surface to be higher than a critical value. It would then resurface automatically when the values of environmental conditions returned to normal. The algorithm and program required to control the submersible fish cage system were developed, and model experiments were performed to validate the techniques. In addition, the performance results obtained from testing of the model cage in a still water tank, compared well with the results from the numerical model. The surfacing and submerging characteristics of the model cage calculated with the numerical technique were relatively similar to the measurements obtained from the model tests by air control. The result of the model experiments under waves, whose heights were larger than the critical value and incident to the model cage, showed that the cage was automatically submerged to the target water level and surfaced to the original location after a certain time duration at the submerged target level. The usefulness of algorithm and controller developed in this study was confirmed for the auto submerging and surfacing of the fish cage system according to wave height.

A submersible fish cage operated remotely with a tethered surface control system was designed to protect contained fish from high waves and strong currents, etc.

The design included variable ballast tanks attached to the fish cage that are used with a compressed air source to change buoyancy characteristics allowing it to be placed either at the surface or submerged. In either position, the cage can be moved vertically within the water column by adjusting the weight and buoyancy by filling or emptying the variable ballast tanks with the control system. While the functional parts of the control system are also located on the cage structure, it is remotely controlled from the surface through a tethered connection. The dimensions of the cage were 5.18 and 2.86 m in diameter and depth, respectively. Each variable ballast tank was designed with a piston–valve, so that when it was flooded with water, the cage descended.

In the development process, *in-situ* tests were conducted to assess the performance of the submersion mechanism and the reliability of the control system. The first set of tests was performed to assess just the variable ballast tank components with focus on the piston valve operation with and without biofouling. These second experiment was conducted with the fish cage, variable ballast and control system assembly. In both tests, the vertical position in the water column was measured and the data presented. The successful performance of the piston valves while covered with biofouling and the effective vertical movements of the fish cage during the tests, shows promise that such a system could be used to avoid extreme winds and waves and other types of surface contamination where a worker can remotely operate the fish cage from a surface vessel

Finally, small–scale automatic submersible fish cage system was manufactured and then *in-situ* tests were conducted to assess the performance of the submersion mechanism and the reliability of the cage system. The successful performance of the cage system and the effective vertical movements of the fish cage during the tests, shows promise that such a system could be used to avoid extreme winds and waves and other types of surface contamination by automatic operation or remotely control system.

The next step would be to design a commercial size system and perform an engineering to investigate if a system like this could be incorporated effectively in the marine aquaculture industry.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1 Outline of this study	13
Chapter 2 Present condition of home and foreign technology and development	16
1. Present condition of home and foreign technology and development	16
2. Mechanism analysis of the existing submersible fish cage system	24
Chapter 3 Contents and results of this study	29
1. Submerging characteristics of a submersible fish cage system operated by compressed air	29
2. Calculation of design external forces for installation areas	38
3. Pilot model design of automatic submersible fish cage system	42
4. Development of multiple signal-processing module	96
5. Optimal design for controlling automatic submerging and surfacing performances and development of algorithm	103
6. Physical model experiments and analysis of dynamic characteristics for model submersible fish cage system	109
7. Stability analysis of a submersible fish cage system in waves and currents	134
8. Pilot model manufacture and <i>in-situ</i> tests	153
9. Application consideration of data processing and distance control system to automatic submersible fish cage system	198
10. Economic analysis of automatic submersible fish cage system	201
Chapter 4 Attainment of goal and level of contribution to fisheries-related industry	213
Chapter 5 Product of this R & D and applicable planning of the product	216
Chapter 6 Overseas science and technology information collected in the development process	220
Chapter 7 References	227

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	13
제 2 장	국내외 기술개발 현황	16
제 1 절	국내외 관련 분야에 대한 기술 개발 현황	16
제 2 절	기존 부침식 가두리 시설의 메커니즘 분석	24
제 3 장	연구 개발 수행 내용 및 결과	29
제 1 절	압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능 해석	29
제 2 절	대상 해역의 설계 외력 산정	38
제 3 절	자동 부침 가두리 시스템 시작품 설계	42
제 4 절	다중 신호 처리 모듈 개발	96
제 5 절	자동 부침 기능 제어 기법 최적 설계 및 알고리즘 선정	103
제 6 절	수리 모형실험 및 역학적 특성 해석	109
제 7 절	파랑 및 흐름 중 가두리 시설의 안정성 해석	134
제 8 절	시작품 제작 및 현장 실험	153
제 9 절	데이터 처리 및 원거리 제어 시스템 적용성 검토	198
제 10 절	자동 부침 가두리 시설의 경제성 분석	201
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	213
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	216
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	220
제 7 장	참고문헌	227

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구 개발의 목적

파고, 풍속 등 대상 해역의 외력 환경 조건에 따라 가두리시설의 본체가 자동으로 일정 수층까지 침하되고 다시 원래의 위치로 부양이 가능하여 외해에서도 고부가가치 어종을 안정적으로 생산할 수 있는 자동 부침 기능 보유 전천후 어류 가두리 시설 개발

2. 연구 개발의 필요성

○ 기술적 측면

- 우리나라의 어류 가두리 양식 산업은 비교적 짧은 역사에도 불구하고 어류 생산량 증대 뿐만 아니라 고부가가치 어종의 공급에 매우 중요한 역할을 해오고 있음. 그러나 최근 연안 환경은 산업화·도시화로 인해 점차 부영양화 되고 있으며, 또한 장기간에 걸친 과도한 개발과 지속적인 대량 생산의 결과, 자가오염에 의한 양식장의 노화가 촉진되어 점차 생산량이 감소하고 있을 뿐만 아니라 어류의 품질마저 저하되고 있는 실정임
- 이와 함께 산업화에 의한 연안의 매립, 간척과 정부의 환경어업 개발 육성으로 인하여 해상 가두리 양식의 제한 요인은 앞으로 더욱 증가될 것으로 예상되어, 최근에는 보다 깨끗한 수질과 생산력이 높은 외해로 가두리 양식장의 이동이 시도되고 있음
- 어류 양식 산업에 사용되는 해면 어류 가두리 양식 시설의 설계 기술은 지난 수십 년간 에 걸쳐 발전되어 왔으나, 우리나라의 가두리 양식 시설은 주로 대상 해역의 환경 조건을 고려하여 작용 외력이나 부재의 구조 해석 등 공학적 기법을 도입한 이론적 및 실험적 설계보다는 주로 경험적 설계와 시행착오를 통해 반복적으로 설계되어 왔음
- 최근에는 가두리 양식에 의한 수질 오염 문제가 사회적으로 크게 부각됨으로써 앞으로 큰 파도와 강한 흐름 등과 같은 외해의 거친 환경조건에서도 시설물의 유지 및 관리가 가능한 고강도 구조의 가두리 또는 외력 환경 조건을 경감시킬 수 있는 수중 가두리와 부침식 가두리의 도입이 요구되고 있음
- 양식 환경의 패러다임 변화(paradigm shift)로 기존의 양적 생산에서 질적 수급 위주로 전환이 필요하며, 또한 친환경, 자동화 및 고효율 구조의 양식 시설 시스템 개발이 요구되고 있음

○ 경제·산업적 측면

- 우리나라 어류 가두리 양식시설의 대부분이 내만이나 연안에 시설되어 조류 소통 곤란으로 어장 오염이 심화되고 있으며, 이로 인해 어류의 성장률 감소와 폐사율 증가로 생산성이 낮은 실정임
- 또한 최근 값싼 중국산 양식 어류의 국내 시장 잠식과 향후 한·EU 및 한·중 FTA가 체결되면 수산물의 수입이 크게 늘어날 것으로 예상됨에 따라 참다랑어와 같은 새로운 고부가가치 양식 어종의 개발이 절실히 필요한 실정임
- 최근 통영, 제주 등의 지방자치단체에서는 침체된 국내 양식 산업의 새로운 성장 동력 창출을 위해 부가가치가 높은 고급 어종인 참다랑어를 양식하기 위한 기술 개발 사업이 본격적으로 추진되고 있으나, 참다랑어 양식의 경우 해수면 온도가 연중 15℃ 이상이고 수심이 30m 이상인 외해역에서 가능함
- 양식 어장의 생산성 향상과 고부가가치 어종의 양식을 통한 양식 어업의 경쟁력 확보를 위해서는 기존 내만 위주의 양식장을 수질이 깨끗한 외해로의 이동이 요구됨
- 따라서 연안 가두리시설의 외해 이동으로 친환경적 양식 어업 실현과 경제성이 있는 고품질 어종의 안정적 생산을 위해서는 태풍, 고파랑, 급조 등 외해의 환경 조건에서도 시설물의 유지 및 양식이 가능한 자동 부침 기능 보유 전천후 대형 어류 가두리 시설의 개발이 필요함

○ 사회·문화적 측면(공공성 포함)

- 최근 어류에 대한 소비의 형태가 기존의 양적 소비에서 질적 소비로 변하고 있으므로 향후에는 수질 환경 조건이 양호한 외해에서 환경 친화적 방법으로 양식한 자연산에 가까운 양식 어류에 대한 국민의 선호가 매우 높아질 것으로 예상됨
- 또한 생활수준의 향상과 주5일 근무제의 실시 등으로 국민들의 여가 시간이 증가하고 건강 지향의 성향이 증대되면서 어촌·어항을 중심으로 하는 해양 활동형 관광이 사업이 본격적으로 추진되어 있으므로 앞으로는 연안역이 기존의 생산의 장에서 다기능 종합 해양 레저 공간으로 변화될 것으로 전망됨
- 따라서 지속적인 양질의 단백질 공급과 고부가가치 어종의 양식을 통한 우리나라 양식 어업의 경쟁력 확보 및 정부에서 추진하고 있는 어촌 관광 및 문화 사업의 활성화를 위해서는 기존 연안 양식 어장의 외해로의 이동이 불가피함

3. 연구 개발의 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	2009	자동 부침 기능 보유 전천후 가두리시설 기본 시스템 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 선행 연구 및 개발 기술 조사 - 부침식 관련 기존 매커니즘 조사 및 분석 - 대상 해역에 따른 설계 외력 산정 - 자동부침 기능 보유 전천후 가두리 시설 기본 시스템 개념 설계 - 자동 부침 기능 제어 기법 및 알고리즘 개발 - 데이터 처리 및 원거리 제어시스템 개발 - 다중 신호처리 모듈 개발 - 수리 모형실험 및 역학적 특성 실험 - 적정 계류 시스템 해석 	<ul style="list-style-type: none"> - 일본, 노르웨이, 스웨덴, 미국 가두리시설의 설계 조건 및 구조 조사 - 남해안/제주도 대상 해역의 설계 외력 산정 - 자동부침 기능 보유 전천후 가두리 시설 기본 시스템 개념 설계 및 자동부침 기능 제어 기법 알고리즘 선정 - 데이터 처리 및 원거리 제어시스템 개발 - 다중 신호처리 모듈 개발 - 가두리 시설의 역학적 특성 해석 및 안정성 평가 - 적정 계류 시스템 개발
2차년도	2010	소규모 자동 부침 가두리 모델 시제품 제작 및 특화 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 소규모 자동 부침 가두리 모델 시제품 제작 및 현장 설치 - 해상 전력관리 및 계측 시스템 구축 - 기계(공압)시스템 최적 설계 및 제작 - 외력에 대한 각 시스템의 안정성 및 성능 시험 - 자동 부침기능 제어기법 최적 설계 및 알고리즘 개발 - 현장시험 - 자동부침 기능을 갖는 전천후 가두리 시설 특화 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 소규모 자동 부침 가두리 모델 시제품 제작 및 현장 설치 - 해상 전력관리 및 계측 시스템 구축 - 기계(공압)시스템 최적 설계 및 제작 - 외력에 대한 각 시스템의 안정성 및 성능 평가 - 자동 부침기능 제어기법 최적 설계 및 알고리즘 선정 - 시설물의 안정성 및 성능 평가 - 자동부침 기능을 갖는 전천후 가두리 시설 특화 모델 개발
3차년도	2011	자동 부침 가두리시설의 산업화 시제품 제작, 경제성 분석 및 실용화 보급	<ul style="list-style-type: none"> - 설계 보완 및 산업화 시제품 제작 - 시설물 안정성 및 성능 해석과 적정 자동 관리 기술 개발 - 어류 성육 시험 - 자동 부침기능 제어기 on-board화 - 경제성 평가 및 실용화 지침서 작성 - 시연회 개최 	<ul style="list-style-type: none"> - 설계 보완 및 산업화 시제품 제작 및 설치 - 시설물 안정성 및 성능 평가와 적정 자동 관리 기술 개발 - 어류 성육 시험 및 부침시 어류 영향 평가 - 자동 부침기능 제어기 on-board화 - 경제성 평가 및 실용화 지침서 작성 - 실용화 보급을 위한 시연회 개최

제 2 장 국내외 기술 개발 현황

제 1 절 국내외 관련 분야에 대한 기술 개발 현황

1. 우리나라

우리나라의 연안 어류 가두리는 주로 내만 및 섬으로 둘러싸인 연안에 설치되어 있으며, 설치 수심은 대부분 5~25m 정도이나 최근에는 다양한 종류의 외해 가두리 시설이 개발되어 시설 해역의 수심이 50m까지 확대되었다.

시설의 형태는 대부분 사각형이며, 가두리 내부의 크기는 주로 10×10m, 12×12m, 14×14m이다. 프레임부는 뼈대가 되는 프레임과 부력재 역할을 하는 부자로 구성되어 있다. 프레임의 재료는 종전에는 통나무 또는 왕대(맹종죽)를 사용하였으나, 지금은 주로 수입 원목인 아피통(apitong) 목재나 아연도금 처리된 철 파이프(지름 50.4mm)가 사용된다. 최근에는 고밀도 폴리에틸렌(High Density PE, HDPE) 파이프나 폴리프로필렌(PP) 등 합성수지 계통의 재료가 많이 사용되고 있으며, 지역에 따라서는 보다 내구성이 강하고 풍파에 견딜 수 있는 성능이 우수한 고품질의 재료로 대체되고 있다.

가두리 그물의 재료는 나일론(Nylon), 폴리에틸렌(PE) 등과 같이 내구성이 강한 합성 섬유가 주로 사용되고 있지만, 경우에 따라서는 특수 그물이 사용되기도 한다. 즉, 복어류와 같이 날카로운 이빨을 가진 어류는 사료 공급 시 떨어지는 사료가 그물 바닥에 가라앉을 경우, 먹이를 먹기 위해 사료와 함께 그물을 물어 구멍을 내는 경우가 있다. 이러한 경우에 대비해서 플라스틱 피복 철사 그물을 사용하거나 테트론 그물을 사용하는 경우도 있다. 또한 풍파의 영향이 다소 크고 부착 생물이 많은 수역에서는 아연 철사 그물을 사용하기도 한다. 그리고 지름이 수십 m 되는 대형 그물을 제작할 때에도 아연 그물을 사용하고 있으며, 최근에는 무게가 가벼우면서 강도가 매우 강한 신소재 섬유인 스펙트라(Spectra), 테크밀론(Techmilon) 등도 사용되고 있다(Kim, 2009).



<그림 2-1> 국내의 어류 가두리 시설.

그물코의 크기는 어류의 크기에 따라 다르지만, 그것의 크기가 클수록 조류 소통이 잘 되므로 양식중인 어류가 도망가지 않을 정도이면 그물코의 크기는 클수록 좋다. 왜냐하면 가두리 양식에서는 가두리 그물 내부로의 물 교환을 통해 새로운 산소가 공급되고, 가두리 내부에 있는 어류의 배설물과 먹이 찌꺼기 등의 유기 오물과 어류들이 호흡하면서 내놓는 이산화탄소 등이 가두리 밖으로 내보내지기 때문이다. 최근에는 기후 변화로 인해 파고가 점점 높아지고 있으며, 대형 태풍의 잦은 내습으로 인해 가두리에 작용하는 외력이 더욱 커지고 있기 때문에 재래식 가두리 시설의 피해가 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서 파도에 의한 가두리 시설의 파손을 방지하기 위해서는 장기간에 걸쳐 수집된 설치 예정 해역의 파랑 자료 등을 분석하여 그것에 작용하는 설계 하중을 정확하게 계산하고 구성 재료에 대한 구조 해석 등을 수행하여 보다 안전하고 성능이 우수한 가두리 시설을 개발하는 것이 필요하다.

가두리 시설을 고정시키기 위해 사용되는 계류 시설은 닻과 계류삭으로 구성된다. 닻은 주로 소형 철제 닻을 사용하고 있지만, 설치 예정 해역의 특성에 따라 대형 콘크리트 블록 또는 콘크리트 사각 어초나 방파제용 테트라포드(tetrapod) 위에 고리를 만들어 사용하기도 한다. 연안에서는 보통 60~80kg 정도의 철제 닻을 사용하나 조류가 빠르고 풍파가 많이 미치는 곳에서는 1톤에서 15톤 정도의 콘크리트 블록을 사용한다. 그리고 닻과 가두리 시설을 연결하여 그 시설에 작용하는 외력을 닻으로 전달하는 역할을 하는 계류삭의 경우 지름이 32~40mm인 폴리프로필렌(PP) 밧줄이 주로 사용된다. 따라서 최근에는 다양한 형태의 플라스틱 제품의 가두리 시설이 개발되어 목재 가두리를 대체하고 있으나, 목재 가두리에 비해 가격이 다소 비싸기 때문에 보급이 지연되고 있다.

가두리의 계류 시설은 앞에서 언급한 바와 같이 주로 콘크리트 블록 또는 재래식 닻과 합성섬유 로프로만 구성되어 있어 계류삭에 전달되는 과도한 충격력에 대한 완충 효과가 매우 작기 때문에 계류삭이 절단되거나 유실되어 결국 가두리가 파손되는 1차 피해와 가두리 시설 전체가 육상으로 떠밀려가서 양식 어류가 도망가거나 죽게 되는 2차 피해가 발생할 가능성이 매우 높다.



<그림 2-2> 다양한 종류의 플라스틱 가두리.



<그림 2-3> 참다랑어 양식용 가두리 시설.

2. 외국

어류 양식은 과거 수 백 년 동안 주로 열대 지방을 중심으로 세계 각지의 담수에서 이루어졌으며, 해산 어류 양식은 1940년대 후반 일본에서 부유식 가두리로 방어를 양식한 것이 시초이다. 그 후 양식 기술이 발전되어 최근에는 비교적 고가의 어종을 집약적으로 양식하게 되었다. 주요 양식 대상 어종은 일본의 경우 방어와 참돔, 지중해에서는 농어와 참돔, 북유럽에서는 대부분 대서양 연어였다. 일본의 경우 해산 어류 가두리의 개발에 선도적 역할을 하였지만 외해 가두리 시설의 개발은 연어를 주로 양식하는 북유럽 국가들에 의해 주도되었다. 즉 대서양 연어의 주 생산국인 노르웨이, 스코틀랜드 및 아일랜드에서 다양한 종류의 외해 가두리가 개발되었다.

연어 양식에 가장 적합한 해역인 노르웨이의 피요리드(Fjords)의 경우 큰 파도로부터 양식 시설이 보호되고 수질이 비교적 깨끗하였지만, 장기간에 걸친 과밀 양식과 산업화에 의한 연안 오염으로 양식 생산량이 계속 감소되었다. 또한 가두리 양식장의 개발이 다른 양식업의 개발에 비해 둔화되었고 환경 보호자들도 내만에서 어류를 양식하는 것에 대해 매우 부정적이었다. 따라서 노르웨이에서는 이와 같은 문제점들로 인해 양식장의 적지가 내만에서 외해로 이동하게 되었다.

앞에서 언급한 것처럼 양식 시설이 자연 재해로부터 보호되는 내만의 가두리는 프레임부의 강도가 약할 뿐만 아니라 파에 의한 힘을 많이 받는 뿔목형 구조이기 때문에 외력 조건이 내만 보다 훨씬 거친 외해의 양식 시설로는 부적합하다.

이에 비하여 외해에서는 큰 파도와 강한 흐름 등이 항상 존재하고 있기 때문에 시설물이 그와 같은 외력 조건에 견딜 수 있으면서 경제성이 있을 뿐만 아니라 자동 급이 및 관리 장치를 갖춘 무인 시스템 등이 검토되었다.

먼저 유럽에서는 1970년대 초반부터 소규모 목재 가두리가 대형 철제 가두리로 대체되었으며, 가장 일반적인 형태는 <그림 2-4>와 같은 노르웨이의 바이킹과 아일랜드의 웨이브 마스터라고 하는 대형 가두리이다. 이들 철제 가두리는 목재 가두리에 비하여 많은 장점이 있기 때문에 외해 가두리로 큰 각광을 받았으며, 특히 캐나다에서 많이 사용되었다. 그러나 철제 가두리는 목재 가두리보다 구조적으로는 강하였지만 파도의 반복 작용으로 인한 피로와 연결 부분과 용접 부위에 집중 하중이 작용하여 시설물이 파손되는 일이 자주 발생하였으며, 또한 해수에 의한 부식으로 인해 내구성이 저하되는 단점이 있다.



<그림 2-4> 철제 바이킹 가두리.

따라서 노르웨이, 스웨덴, 영국, 일본, 미국 등 선진 외국에서는 철제 가두리 시설의 단점을 보완하기 위해 <그림 2-5>와 같이 유연성이 있는 재료를 사용하여 시설물이 파도로부터 발생된 힘을 흡수하는 고무도 PE 가두리와 고무호스 가두리 및 파에 의한 힘이 최소가 되도록 시설물을 일정한 수층으로 가라앉힐 수 있는 부침식 가두리와 수중 가두리 등을 개발하였으며, 이들 시설의 설계 조건 및 주요 특징은 <표 2-1>과 같다.

먼저 고무도 PE 파이프로 제작된 가두리는 1974년 노르웨이의 PolarCirkel에서 개발한 원형 가두리가 그 시초이다. 이 가두리는 지름이 200~25mm이고 길이가 8m 내외인 고무도 PE 파이프를 휘어서 이들을 서로 용접하여 가두리의 지름이 10~20m나 되도록 제작하였다. 이 경우 파이프는 프레임과 부력재 및 작업 발판의 역할을 하며, 요구되는 부력의 크기에 따라 파이프를 2겹 또는 3겹으로 구성하였다. 그리고 파이프의 내부에는 충격으로 인한 파이프의 파손 시에도 일정 시간 동안 부력을 유지시켜 주기 위해 폴리우레탄 또는 스티로폼으로 채웠다.

그 후 파도에 의해 발생하는 힘을 흡수하는 성질이 고무도 PE 파이프보다 우수한 고무호스로 제작한 가두리가 일본의 타이어 회사인 브리지스톤(Bridgestone)에 의해 개발되었다. 이 회사는 해상에서 유조선으로부터 기름을 배출하는 데 사용되는 파이프를 응용하여 가두리의 프레임을 제작하였으며, 고무호스를 강한 철제 브라켓으로 연결하여 둘레가 30m나 되는 다각형 가두리도 제작하였다.



고밀도 PE 원형 가두리(노르웨이)



고무호스 가두리(영국)



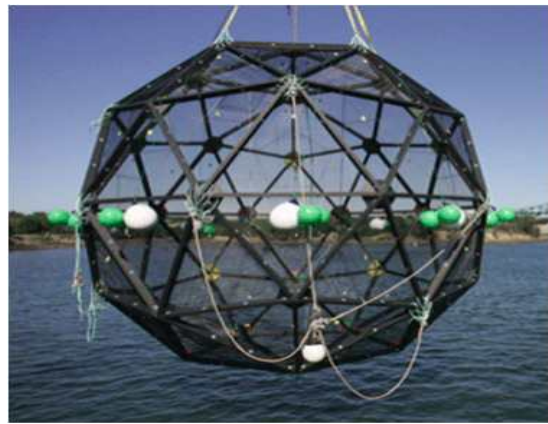
반잠수식 가두리(스웨덴)



침하식 가두리(일본)



수중(Ocean Spar) 가두리(미국)



구형(Aquapod) 가두리(미국)

<그림 2-4> 외국의 외해 가두리 시설(Kim, 2009).

<표 2-1> 외국의 외해 가두리 시설 설계 조건 및 주요 특징

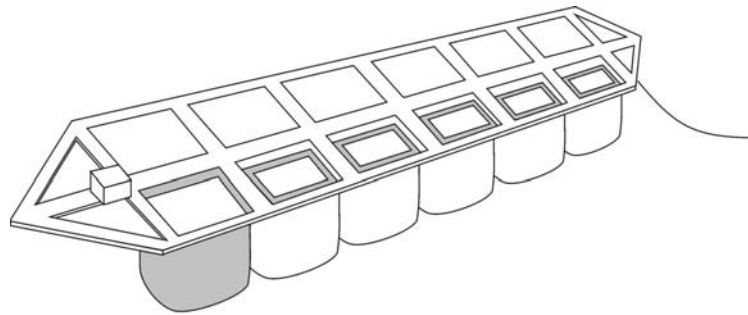
설계 조건	노르웨이	스웨덴	영국	일본	미국
설계 파고	H _{1/3} : 4m H _{max} : 8m	H _{1/3} : 2.7 H _{max} : 5.5	H _{max} : 6.0m	H _{max} : 6.0m	H _{max} : 13.7m
설계 유속	1.0m/s	1.0m/s	1.0m/s	1.0m/s	1.8m/s
시설 수심	10~50m	30~50m	20~50m	15~50m	25~60
시설 형태	원형	육각형	원형	원형, 사각형	8각형
시설 규모	φ12.7~31.8m	3500, 4500, 6000m ³	φ5.7~11.5m	원형: φ9.6m 사각형: 8×8m	3100, 6200, 10000m ³
재질	고밀도 PE	철	고무호스, 고밀도 PE	철파이프, 로프, 고무호스	철파이프
설치방법	부상식, 부침식	반잠수식	부상식	부상식, 부침식	수중식
급이 방법	자동	자동	자동	반자동	수동, 반자동
계류 방식	다점 계류	3점 계류	다점계류	다점	4점 계류

브리지스톤의 고무호스 가두리는 해황 조건이 매우 거친 해역에서도 양식이 가능할 정도로 내파 성능이 우수하였으나, 작업 발판이 별도로 설치되지 않아 인부가 작업을 할 때 매우 불편할 뿐만 아니라 미끄러지기 쉬워 위험하다는 단점이 있다. 그러나 아일랜드에서는 이 가두리로 외해에서 연어를 양식하여 연어 생산량을 크게 증가시켰다. 또한 영국에서는 고무 제조 회사인 던롭(Dunlop)이 브리지스톤의 것과 기본 원리는 유사하나 프레임에 작업 발판을 설치하여 작업 인부가 보다 안전하게 작업을 할 수 있는 가두리를 개발하였다. 그러나 이 가두리도 역시 외해 가두리 시설의 요구 조건을 모두 충족시키지는 못하였다. 왜냐하면 고무호스 가두리는 내파 성능면에서는 우수하였지만 어류에 대한 사료 공급과 그물 관리 등이 여전히 인력으로 이루어지기 때문이다.

외해 가두리의 요구 조건을 충분히 만족시킬 수 있는 가두리는 1980년대 후반 스웨덴의 팜 오션(Farm ocean)에 의해 개발되었다. 이 가두리는 반잠수식으로 대형 사료 저장고, 자동 급이 및 관리 장치 등이 가두리 프레임 위에 설치되어 있으며, 선박으로부터 수송된 사료는 사료 저장고에 보관된 후 컴퓨터 시스템에 의해 일정시간마다 자동으로 사료가 그물 안으로 투여된다. 그리고 이 가두리는 해상의 날씨가 좋지 않을 경우 장기간 무인으로도 운영이 가능할 뿐만 아니라 망갈이를 제외하고는 모든 작업이 자동으로 이루어진다. 또한 프레임이 수면 아래의 3m 지점에 위치하고 있어 파도에 의한 힘을 상대적으로 작게 받기 때문에 프레임과 그물의 움직임이 크게 감소되어 양식 어류에 미치는 스트레스와 손상이 작아 표면의 부력재에 의존하여 파랑의 직접적인 영향을 받는 다른 가두리와는 대조가 된다. 이 가두리의 경우 프레임은 밸러스트 탱크 역할을 하며, 작업을 위해 가두리를 부양시키는 경우에는 이 탱크에 공기를 채우고 가두리를 다시 원래의 상태로 가라앉힐 때에는 탱크에 해수를 채운다.

외해 가두리 시설의 개발이 본격적으로 시작되면서 거주 시설까지 설치된 가두리의 필요성이 인식되었다. 이와 같은 필요성에 의해 개발된 것이 <그림 2-5>와 같은 노르웨이의 아쿠아

시스템(Aqua system)에 의해 개발된 대형 선체 구조의 바지식 가두리이다. 이 가두리는 필요시 이동이 가능하도록 엔진이 장착되어 있고 내부에 거주시설, 발전기, 자동 급이 장치 및 선별기 등이 설치되어 있다.



<그림 2-5> 선체 구조의 바지식 가두리.

이와 함께 파도에 의해 프레임에 작용하는 힘과 그 피해를 최소화하기 위하여 파도의 영향이 미치지 않는 일정 깊이까지 시설물을 가라앉혀 시설물과 어류를 동시에 보호하는 부침식 가두리가 일본, 프랑스, 노르웨이 등에서 개발되어 실용화되고 있다.

특히 일본에서는 1980년대 중반부터 큐슈와 시코쿠 지역을 중심으로 프레임의 부자에서 압축 공기를 빼게 되면 가두리가 수중으로 가라앉고 압축 공기를 넣으면 다시 원래의 상태로 떠오르는 철제 부침식 가두리가 개발되어 방어, 참다랑어 등을 양식하고 있다. 이 가두리는 파도에 의한 힘을 작게 받기 때문에 내파 성능이 뛰어나고 제작 경비가 비교적 적게 들어 경제적이지만 관리 및 작업이 다소 불편하다.

미국에서는 1990년대 말부터 해양 대기청(NOAA)과 NET systems¹⁾가 수중의 일정 깊이 층에 가두리 본체를 설치하여 그것에 작용하는 파랑에 의한 힘을 크게 경감시킬 수 있는 수중 가두리 시설(spar cage)을 공동으로 개발하였다. 이 가두리 시설은 현재 미국 하와이, 멕시코 만, 필리핀, 우리나라 등의 해역에 에 시설되어 있다. 이 가두리 시설은 내파 성능 면에서는 매우 우수하나, 어류에게 먹이를 공급하거나 가두리 그물에 부착된 해중 생물을 제거하는 작업은 전적으로 잠수부에 의해 이루어진다. 그리고 최근에는 파랑에 의한 힘을 크게 경감시킬 수 있는 구(球)형 가두리(Aquapod)가 개발되어 시험 운영 중에 있다.

제 2 절 기존 부침식 가두리 시설의 메커니즘 분석

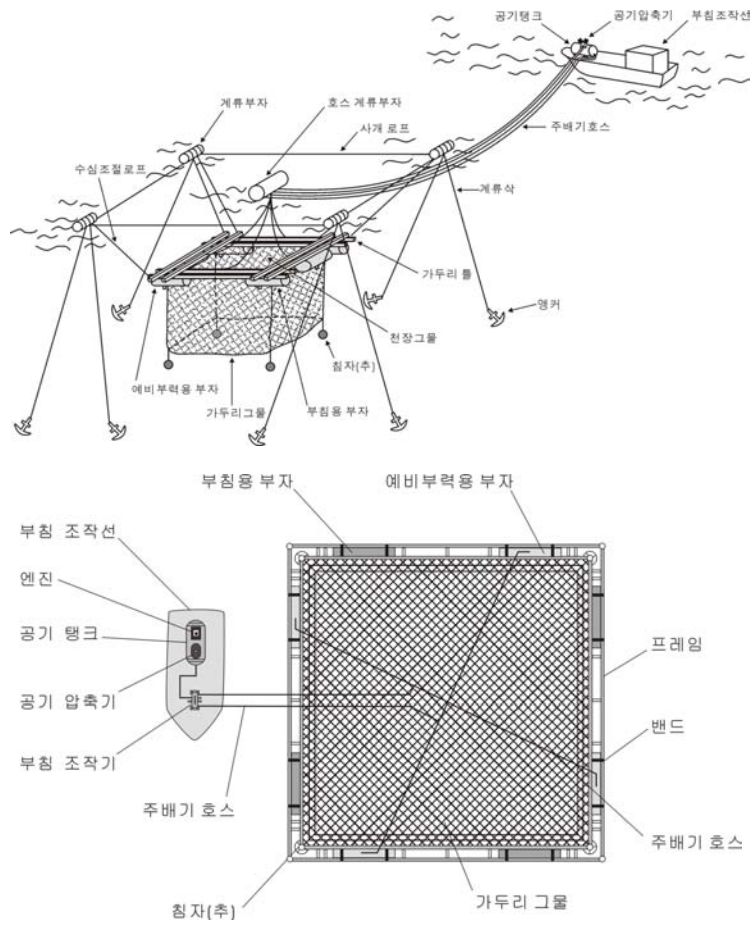
1. 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 구성

외해에서 파랑에 의해 가두리 시설에 작용하는 힘을 경감시키는 방법의 하나로서 표면에 시설된 가두리 시설을 파랑의 영향이 작은 수층까지 가라앉혀 시설물과 어류를 보호하고 해면이 잔잔한 경우 다시 원래의 상태로 떠올리게 할 수 있는 다양한 종류의 부침식 가두리 시설이 일본, 노르웨이, 스웨덴 등에서 개발되었다. 이들 시설에는 압축 공기의 배기와 주입에 의해 시설물이 하강(침하)하거나 상승(부양)하는 것, 기계식 윈치로 가두리 줄의 길이를 조절하여 그것을 침하 및 부양시키는 것, 가두리에 달린 추의 무게를 도래로 조절하여 그것의 부력을 조정하는 것 등이 있다. 그중에서 가장 많이 사용되고 있는 것이 압축 공기를 이용한 부침식 가두리이며, <그림 2-6>은 일본에서 개발한 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설과 주변 장치를 나타낸 것이다.

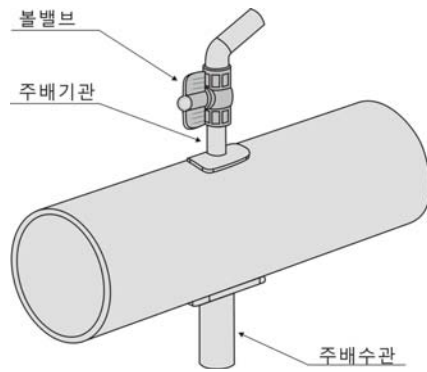
한편 우리나라에서 1990년 중반부터 부침식 가두리 시설에 관한 연구를 활발하게 수행하여 압축 공기를 이용한 부침식 가두리(김 등, 1998, 1999)와 수중 모터를 이용한 부침식 가두리(Kim, 2006; Kim et al., 2008)가 개발되었다. 특히 압축 공기를 이용한 부침식 가두리는 일본에서 개발된 것과 같은 원리로서 압축 공기의 배기와 주입에 의해 시설물이 수중으로 가라앉거나 표층으로 떠오르게 되며, 그것의 구조와 압축 공기 주입 시스템은 <그림 2-7>과 같다. 또한 이 가두리 시설과 주변 기기의 체원은 <표 2-2>와 같다. 이것에서 부침식 가두리 시설은 프레임, 그물, 예비 부력용 부자와 부침용 부자, 압축 공기를 발생시키는 동력 발생 장치, 압축 공기의 유량을 조절하는 밸브, 압축 공기를 이송하는 관로 등으로 구성된다. 특히 프레임 아래쪽에 원통형으로 된 예비 부력용 부자와 부침용 부자를 각 변에 1개씩 서로 대칭되게 시설하여 가두리 시설이 균형 있게 가라앉고 뜰 수 있도록 되어 있다. 이 가두리 시설에서 가장 중요한 구성 요소인 부침용 부자는 <그림 2-8>과 같이 상부에는 주배기 호스가, 하부에는 주배수관이 부착되어 있기 때문에 공기 압축기에 의해서 생성된 압축 공기가 주배기 호스를 통해 부자의 내부로 주입되어 충입되면 부력을 갖게 되어 떠오르게 되고, 압축 공기를 배기하면 주배수관을 통해 해수가 유입되어 가두리 시설에 중력(침강력)이 발생하여 물에 가라앉게 된다(<그림 2-9>).



<그림 2-6> 일본의 부침식 가두리(좌측)와 부침용 부자 및 주배기 호스(우측).



<그림 2-7> 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 구성(Kim et al, 1998).



<그림 2-8> 부침용 부자의 구조(Kim et al., 1998).

<표 2-2> 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설과 주변 기기의 제원(해양수산부, 1996)

항 목	명 세	규 격
프레임	크기 형태	가로 8m×세로 8m 사다리형(폭: 200mm)
공기 주배기 호스	재료 및 크기	철관(KS60A), 지름 75mm
그물	재료 및 크기	망심 고무호스, 지름 16mm 나일론 랫셀그물감 Td 210×60 그물코 크기 60.6mm
침자(밭돌)	크기 및 개수	24kg, 4개
닷	재료와 무게, 개수 종류	철제 70kg×4개, 110kg×2개 덴포스 닷
부침용 부자	크기 및 재료	φ400×길이 1,500mm, 고강도 PVC관
예비 부력용 부자	크기 및 재료	φ400×길이 1,700mm, 고강도 PVC관
공기 압축기	용량	240L/분, 2.2kW
공기탱크	용량 및 내압	200L, 15kgf/cm ²
부침조작기	크기 및 재료	φ90×길이 900mm, 철관
주조작선	종류 및 톤수	동력선, 1톤 내외
보조선	종류 및 톤수	동력선 또는 무동력선, 0.7톤 내외



부양 상태



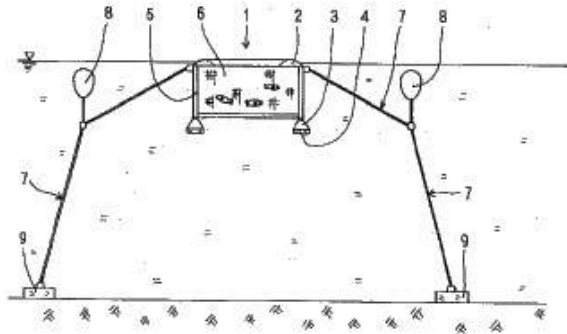
침하 상태

<그림 2-9> 압축 공기를 이용한 부침식 가두리의 부양 및 침하 상태.

2. 기타 부침식 가두리 시설의 부침 원리

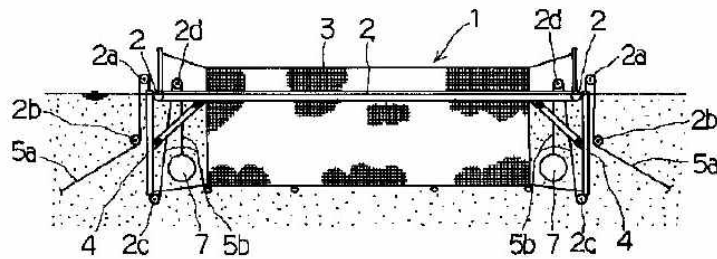
○ 부침식 가두리(일본)

- 해저 고정 장치에 복수개의 계류 로프를 연결
- 조류에 따라 작동되는 저항체와 부낭으로 부침을 조절



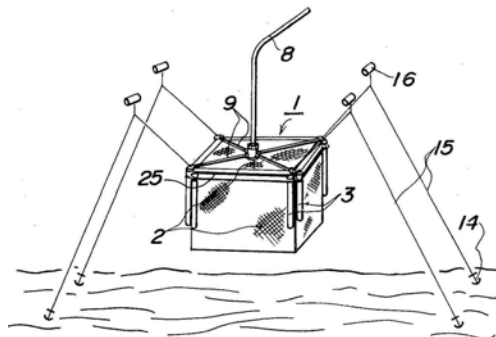
○ 부체물의 계류 장치(일본)

- 가두리에 달린 추의 무게를 기계적 링크 장치인 도래를 이용하여 추에 작용하는 중력으로 가두리의 부력을 조절



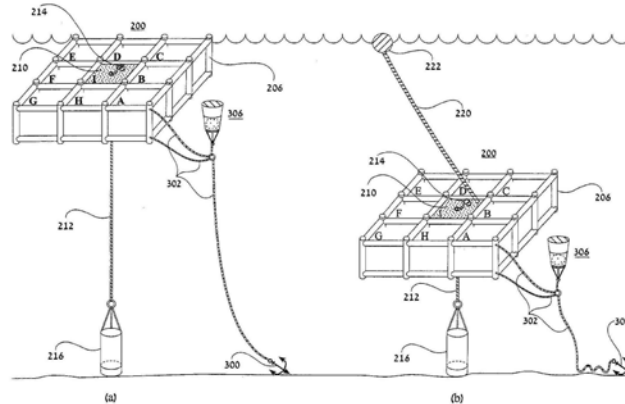
○ Apparatus for Floating and Sinking Fish Breeding Netted Tanks(미국)

- 부력과 중력의 차이로써 가두리의 침하를 조절하기 위하여 지지대 안에 중공 공간을 만들어 이 공간에 해수를 공급하여 가두리의 부양 및 침하 조절



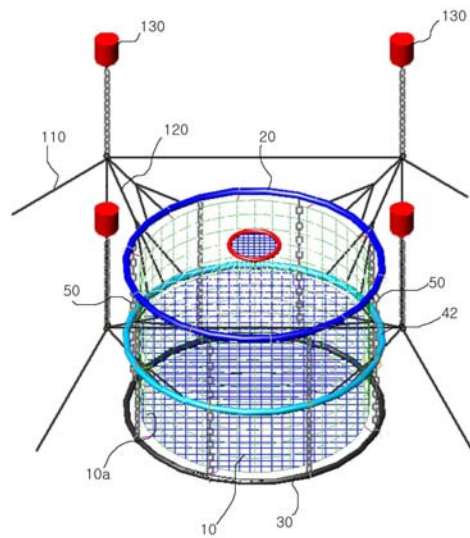
○ Fish Farming System and Method(미국)

- 추와 부력 장치를 사용하여 가두리 시설을 원하는 깊이만큼 원격 침수 및 부상



○ 외해용 부침식 가두리 양식 장치(한국)

- 상부 프레임의 내부에 공간부가 형성되고 그 공간부에는 공기의 공급 및 배출 동작에 따라 팽창 또는 수축하여 부력을 발생시키는 튜브가 설치됨
- 튜브의 수축 및 팽창 동작에 따라 상부 프레임의 내부 공간부로 해수를 유입 또는 배출시키는 다수개의 통과공들이 형성



제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능 해석

압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설은 해상에서 수직 방향으로 자유롭게 이동할 수 있는 구조로서, 본체에 작용하는 중력과 부력의 차이에 의하여 수직 방향으로 이동된다. 즉, 수면에 부상 중인 가두리 시설이 수중으로 하강하는 경우에는 부침용 부자 안에 있던 압축 공기를 배출시킴과 동시에 해수가 들어오며, 이로 인해 가두리 시설의 무게가 증가되어 부력보다 중력 방향의 힘이 커짐으로 인해 하강하게 된다. 반면, 수중에 있는 가두리 시설이 수면 쪽으로 상승하는 경우에는 부침용 부자에 압축공기를 공급하면 그것에 채워져 있던 해수를 배출시켜 무게를 감소시킴으로써 가두리 시설에 작용하는 중력 방향의 힘보다 부력을 크게 할 수가 있다.

이와 같은 가두리 시설의 작동 원리를 고려하면 가두리 시설에 작용하는 중력과 부력에 영향을 미치는 요소는 크게 압축 공기의 공급 압력, 밸브를 통과하는 유량, 가두리 시설 자체의 무게, 예비 부력용 부자와 부침용 부자의 형상 및 그것의 수직 위치에 따른 해수와 압축 공기의 압력차 등이 있다.

따라서 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능에 대한 수치해석을 수행하기 위하여 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- ① 압축 공기의 공급 압력은 일정하다. 즉, 부침용 부자내의 해수와 공기 압력의 압력차에 관계없이 공급 압력은 항상 일정하다.
- ② 압축 공기의 공급원과 부침용 부자까지 관로에서 발생하는 압력 강하는 무시한다.
- ③ 압축 공기의 온도는 항상 일정하다.
- ④ 가두리 시설의 동적 반응 속도에 비하여 밸브의 작동 시간이 매우 빠르므로, 밸브의 동적 특성은 무시한다.
- ⑤ 가두리 시설의 상승 및 하강 속도가 그다지 빠르지 않으므로 그것에 부착된 부품의 형상에 대한 항력 계수의 영향은 작은 것으로 간주한다.
- ⑥ 가두리 시설에 작용하는 파랑, 흐름 등에 의한 수평 및 수직 방향의 힘은 무시한다.

1. 부침용 부자에 작용하는 부력

부침식 가두리 시설의 부침용 부자에서 발생하는 수직 방향의 힘은 부침용 부자 내 해수의 양과 압축 공기의 양 사이의 상호 작용에 의하여 발생된다. 즉, 부침용 부자 내 해수의 높이와 압축 공기의 높이에 의해 무게가 변화함으로써 중력 및 부력이 변화하며, 부침용 부자의 단면 모양이 둥근 원이므로 그 단면 A_{cir} (m^2)은 다음 식으로 구할 수가 있다.

$$A_{cir} = \frac{D^2 (\pi \times \theta / 180 - \sin \theta)}{8} \quad (3.1)$$

여기서, $D(m)$ 는 부침용 부자 단면의 지름이며, $\theta(deg)$ 는 부침용 부자 단면의 중심에서 호의 높이에 따른 각도를 의미한다. 그리고 반원 이상의 면적을 구할 때는 (3.1)식의 계산 결과를 역순하여 구한다.

또한 부침용 부자를 일정한 깊이까지 유지하는데 필요한 힘은 압축 공기 부분의 부력과 같으므로, 부력 $F_{cir}(N)$ 은

$$F_{cir} = \gamma h \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.2)$$

이며, $\gamma(N/m^3)$ 는 공기의 비중량, $h(m)$ 는 물속에서의 부침용 부자의 깊이이다.

그리고 부침용 부자 안에 있는 공기는 등온 변화하므로 대기압을 $P_{atm}(N/m^2)$, 부침용 부자의 높이를 h_{cir} , 부침용 부자 내 압축 공기의 높이와 압력을 각각 $h_{air}(m)$, $P_{supply}(N/m^2)$ 라 하면 (3.2)식은

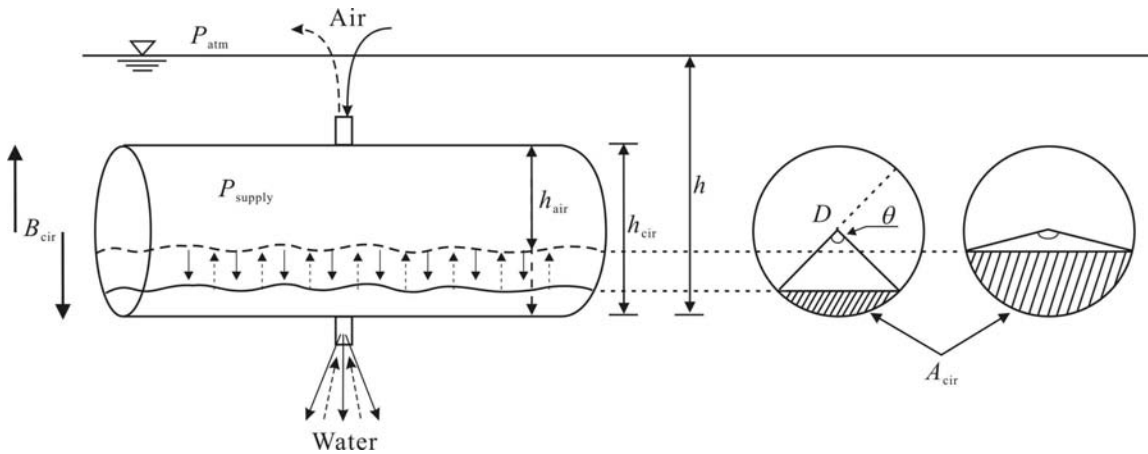
$$P_{atm} \frac{\pi D^2}{4} h_{cir} = P \quad (3.3)$$

으로 변환된다. 따라서 부침용 부자 내 압축된 공기의 압력 P_{supply} 는 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{supply} = P_{atm} + \Upsilon [h - (h_{cir} - h_{air})] \quad (3.4)$$

또한, (3.2), (3.3) 및 (3.4)식에서 P_{supply} 와 h_{air} 를 소거하고 정리하면, 부침용 부자를 일정한 깊이로 유지할 수 있는 부력은 (3.5)식으로 구할 수 있다.

$$F_{cir} = \frac{\pi D^2}{8} [-\{P_{atm} + \Upsilon(h - h_{cir})\} + \sqrt{\{P_{atm} + \Upsilon(h - h_{cir})\}^2 + 4\Upsilon P_{atm} h_{cir}}] \quad (3.5)$$



<그림 3-1> 부침용 부자의 공기 주입과 배기 및 해수의 유입과 배출.

2. 부침용 부자에 공급되는 압축 공기의 양

오리피스나 교축에 흐르는 유량은 그 상류 측과 하류 측의 압력 관계와 유로의 크기로서 결정된다. 그리고 오리피스나 교축의 공기 유동 능력은 유효 단면적으로 표시되는데, 여기서는

관로의 단면적을 사용한다. 특히 공기가 유효 단면적을 가진 기기를 지날 때, 상류 측과 하류 측의 압력 관계 변화에 의해서 공기 흐름이 달라진다. 따라서 밸브를 통과하는 공기 유속이 음속과 아음속 흐름으로 구별하여 나타내어야 한다.

일반적으로 음속과 아음속 흐름의 임계 압력비는 아래의 식(Frank, 1990)으로 나타내며,

$$\frac{P_{low}}{P_{high}} = 0.528 \quad (3.6)$$

압력비가 임계 압력비보다 클 경우에는 음속 흐름이 되고, 작을 경우에는 아음속 흐름이 된다. 따라서 밸브를 지나는 공기의 유량은 다음 식(Frank, 1990)으로 나타낼 수 있다.

먼저, 음속 흐름일 경우에는

$$Q = 11.1 \cdot A_{valve} \cdot P_{high} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (3.7)$$

이며, 아음속 흐름일 경우에는

$$Q = 22.2 \cdot A_{valve} \cdot \sqrt{(P_{high} - P_{low})P_{low}} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (3.8)$$

이다. 여기서, Q (m^3/min)는 체적 유량, P_{high} (N/m^2)는 상류 측의 절대 압력, P_{low} (N/m^2)는 하류 측의 절대 압력, A_{valve} (m^2)는 밸브의 유효 단면적, T (K)는 공기의 절대온도를 나타낸다.

3. 부침식 가두리 시설의 운동 방정식

앞에서 기술한 바와 같이 부침식 가두리 시설의 부침용 부자에 공급되어지는 압축 공기의 유량과 압력에 의하여 가두리 시설의 수직 방향과 속도가 결정되어진다. 따라서 밸브를 통과한 공기 유량 (3.7) 및 (3.8)식은 부침용 부자내에서 아래와 같이 변환(Herbert, 1967)될 수 있다.

$$Q = \frac{dV}{dt} + \frac{V}{\beta_{air}} dP \quad (3.9)$$

여기서, V (m^3)는 부침용 부자 내 체적, β_{air} (N/m^2)는 공기의 체적 탄성 계수이다. 그리고 (3.9)식을 적분하면 부침용 부자내에 작용하는 압축 공기의 압력을 구할 수가 있다.

한편, 압축 공기의 공급과 배출에 따라 부침용 부자 내 해수가 배출되거나 그곳으로 공급되는데, 이때 해수의 유량은 압축 공기와 가두리 시설의 수직 위치에 따른 해수 압력의 변화로써 아래와 같이 계산할 수 있다(Herbert, 1967).

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu L} \Delta P \quad (3.10)$$

여기서 r (m)과 L (m)은 배출 관로의 반지름과 길이, μ (Ns/m^2)는 해수의 점성 계수, ΔP (N/m^2)는 압축 공기와 해수 압력차의 변화를 나타낸다.

그런데, 가두리 시설이 수직 상승 및 하강할 때에는 그것의 형상에 따라 항력이 다르기 때문에, 아래의 식(John et al., 1960)을 이용하여 가두리 시설의 항력을 계산한다. 이 경우 항력

계수는 수치해석을 통해 시행착오적으로 조정하면서 최적의 값을 선택한다.

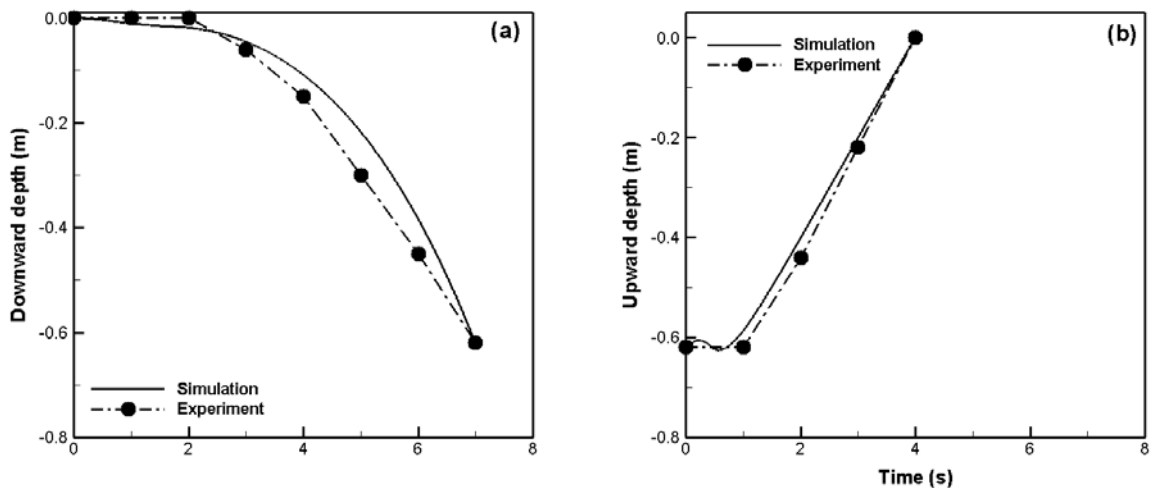
$$F_d = C_D A_{net} \frac{\rho_{water} v^2}{2} \quad (3.11)$$

여기서 C_D 는 가두리 그물의 항력 계수, A_{net} (m^2)은 가두리 그물의 투영 면적, ρ_{water} (kg/m^3)는 해수의 밀도, v (m/s)는 가두리 시설의 수직 상승 및 하강 속도이다.

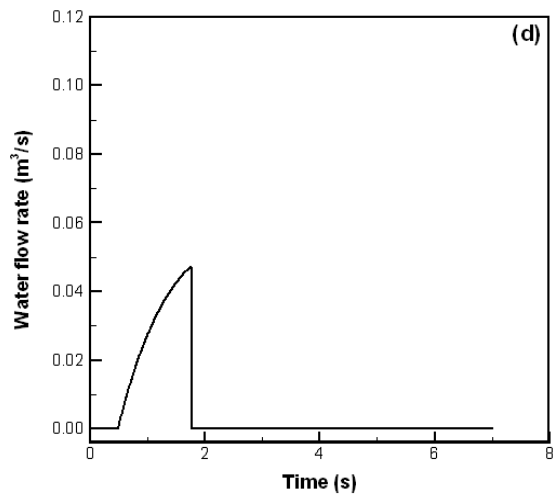
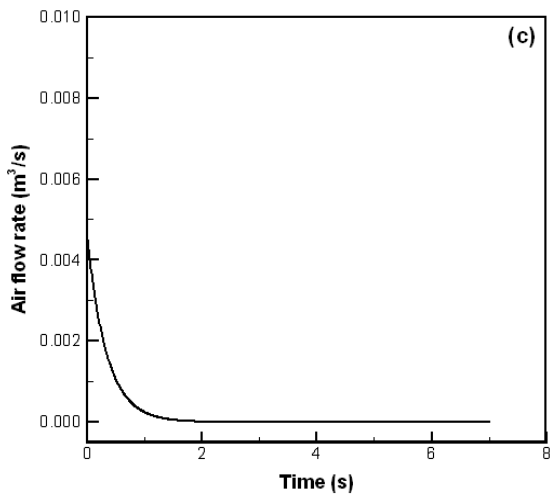
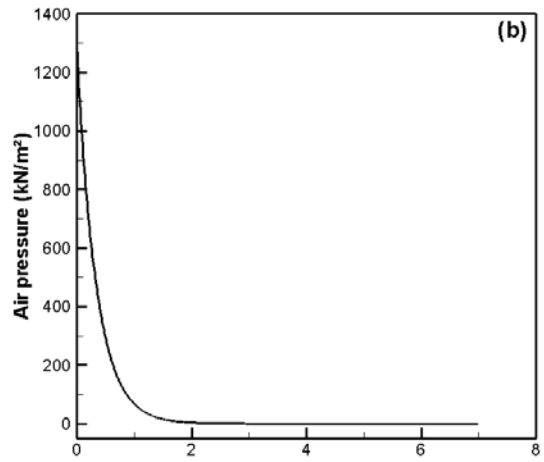
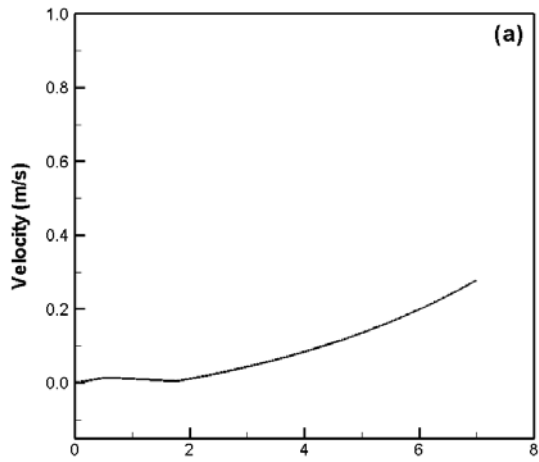
결국, 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설의 운동 방정식은 압축 공기의 공급에 따른 부침용 부자의 무게 변화에 의하여 중력과 부력의 차이가 발생한다. 그 결과, 가두리 시설이 수직적으로 상승 및 하강 운동을 하게 됨으로 이것의 운동 방정식은 다음과 같은 식으로 표현된다(김과 양, 2007).

$$M_{total} \frac{dv}{dt} = -M_{total} \cdot G + \rho_{water} \cdot V \cdot G \pm C_D \cdot A_{net} \cdot \frac{\rho_{water} v^2}{2} \quad (3.12)$$

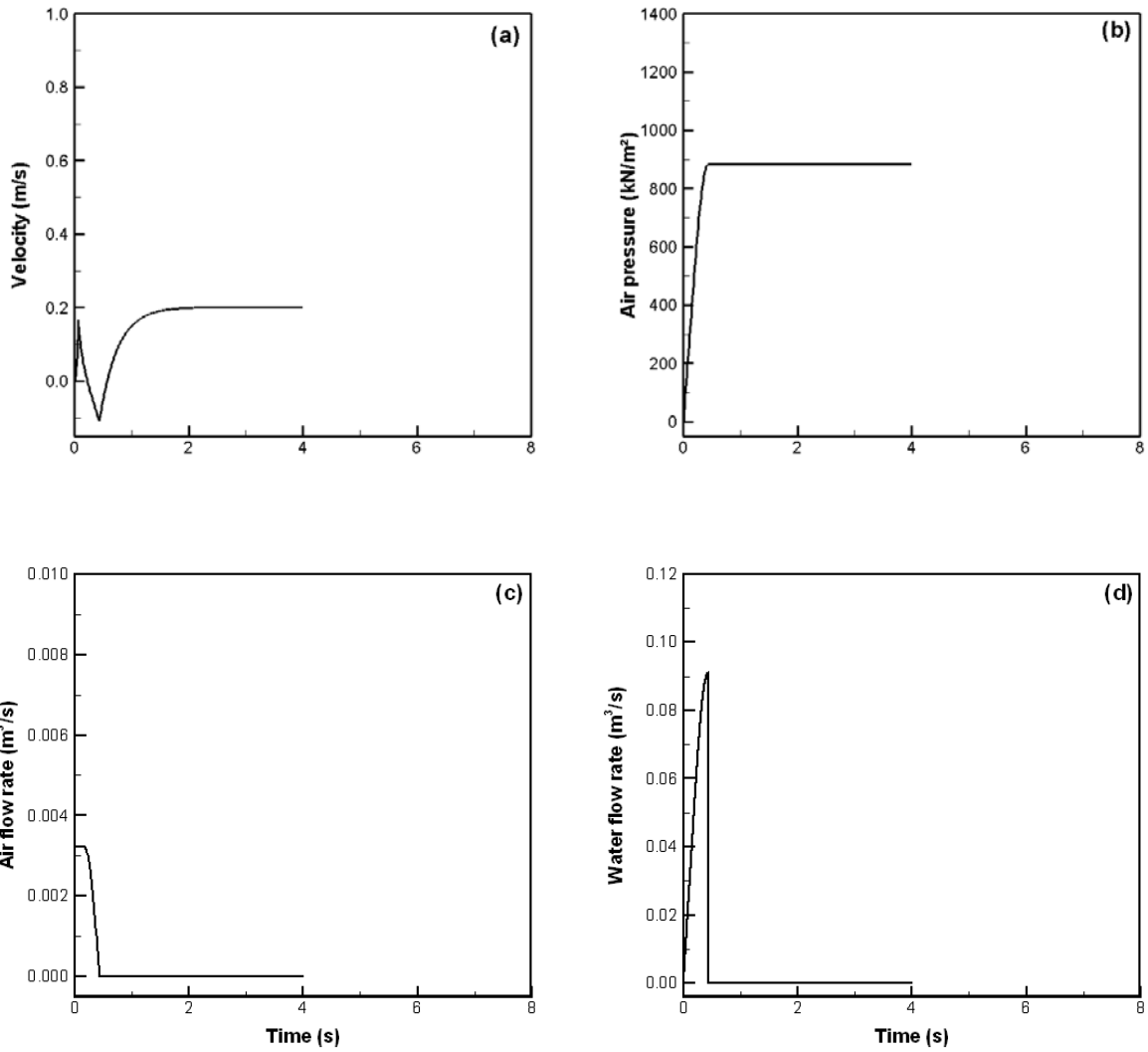
여기서 M_{total} (kg)은 가두리의 전체 질량, G (m/s^2)는 중력 가속도를 나타낸다. 그런데 오른쪽 항 중 제3항의 항력은 방향을 고려하여 가두리 시설이 하강하는 경우에는 양(+)의 방향, 상승하는 경우에는 음(-)의 방향으로 선택된다. 또한 가두리 시설의 전체 질량은 밸브를 통과한 압축 공기와 해수의 입·출력에 의해 항상 변화하기 때문에 이 시설의 동특성에 크게 영향을 미친다. <그림 3-2>는 부침식 가두리 시설의 침하 및 부상 시 시간에 따른 하강 및 상승 깊이를 나타낸 것으로 이것에서 보면 수치해석(김과 양, 2007)의 결과와 실험 결과(김 등, 1999)가 거의 같게 나타난 것을 알 수 있다(Kim et al., 2010a).



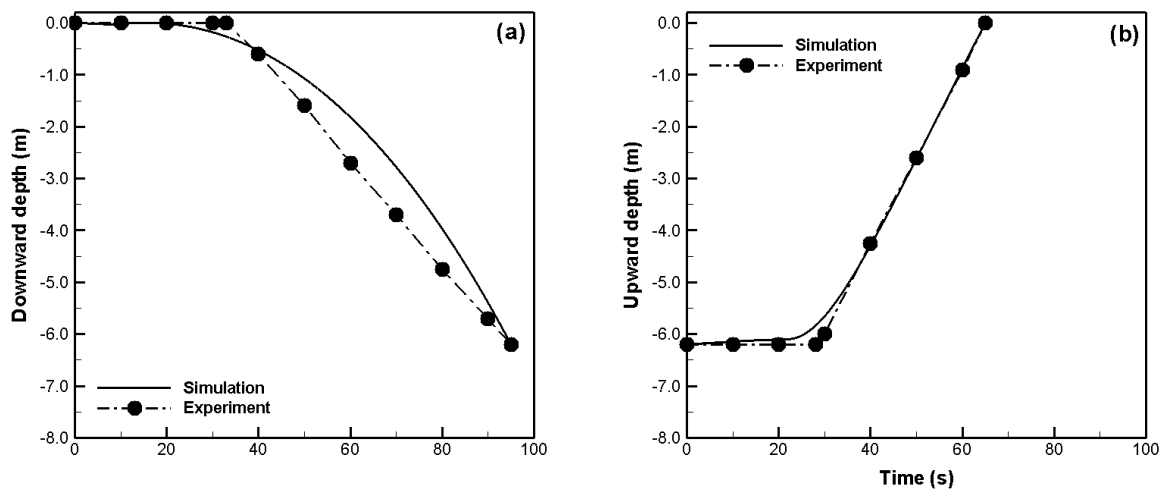
<그림 3-2> 모형 부침식 가두리시설의 수심 0.62 m까지 침하(a) 및 표층 부상(b) 소요 시간



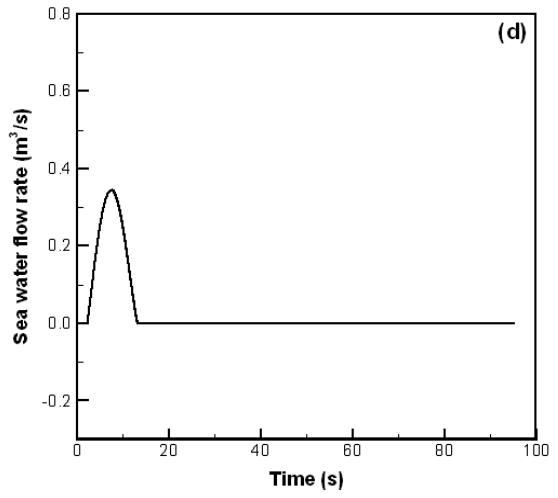
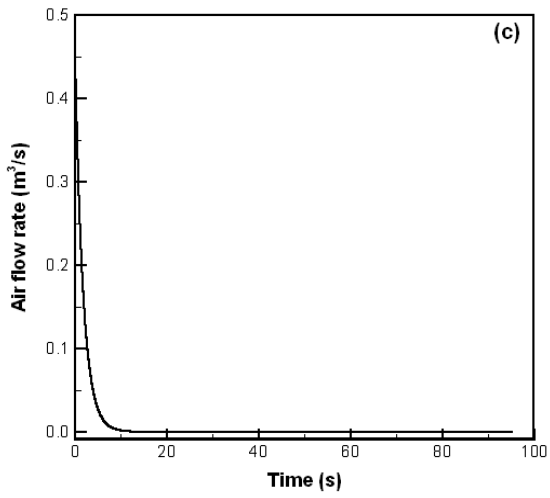
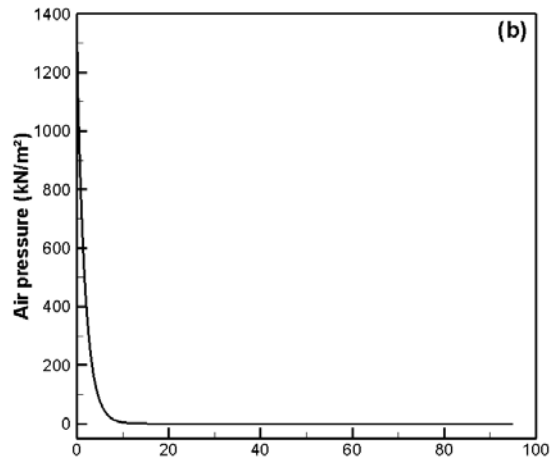
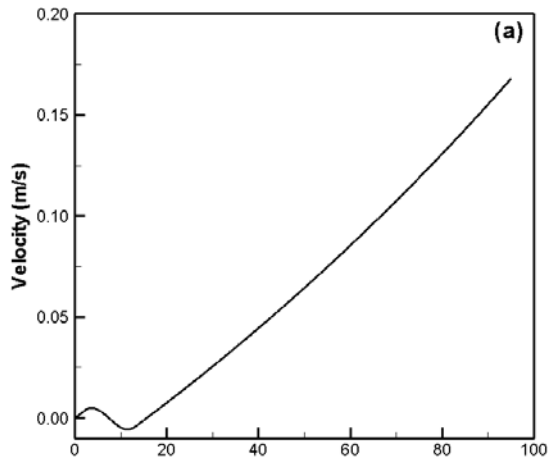
<그림 3-3> 수치해석에 의한 모형 부침식 가두리시설의 침하시 속도(a), 공기 압력(b), 공기 유량(c) 및 물 유량(d).



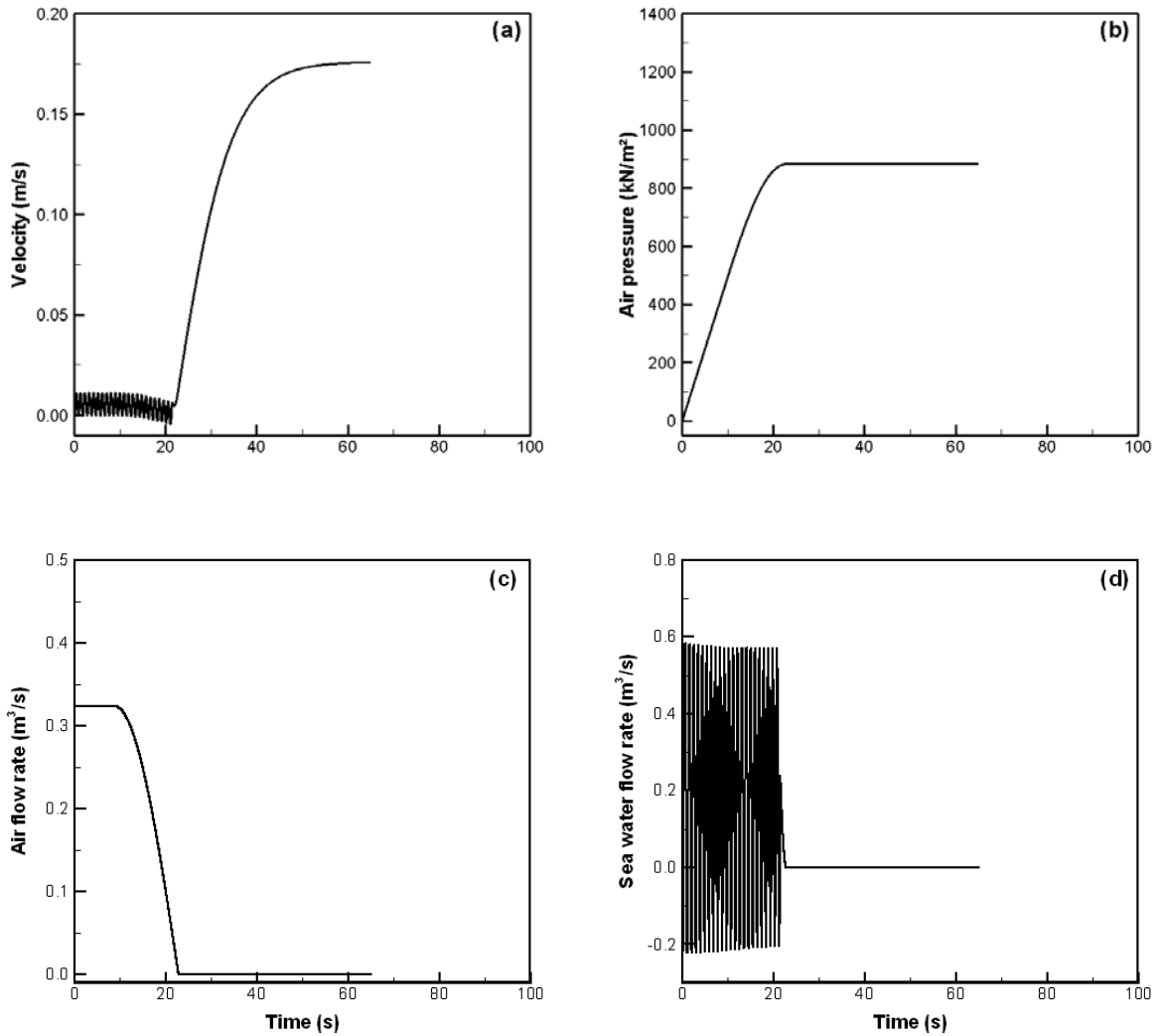
<그림 3-4> 수치해석에 의한 모형 부침식 가두리시설의 부상시 속도(a), 공기 압력(b), 공기 유량(c) 및 물 유량(d).



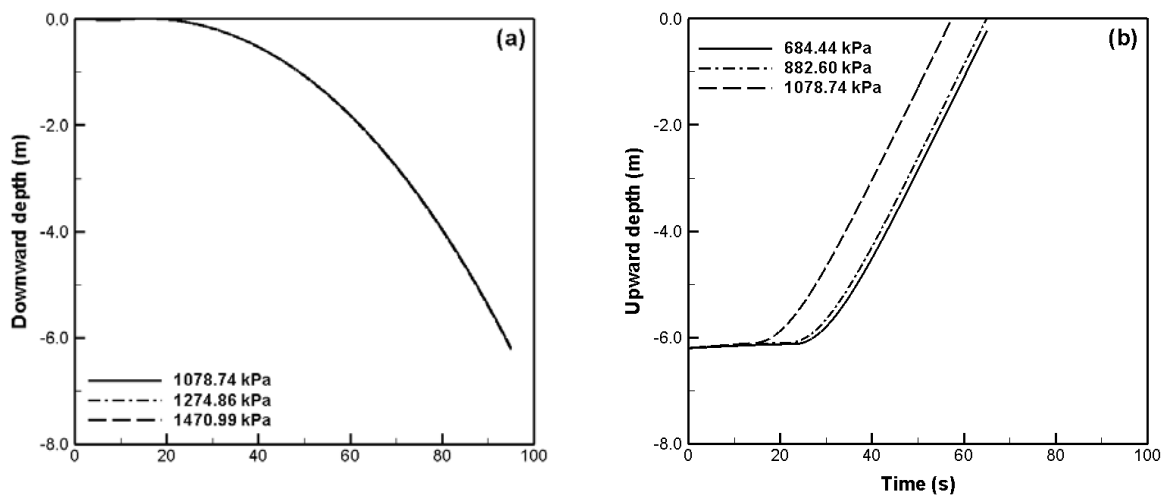
<그림 3-5> 실물 부침식 가두리시설의 수심 6.2 m까지 침하(a) 및 표층 부상(b) 소요 시간



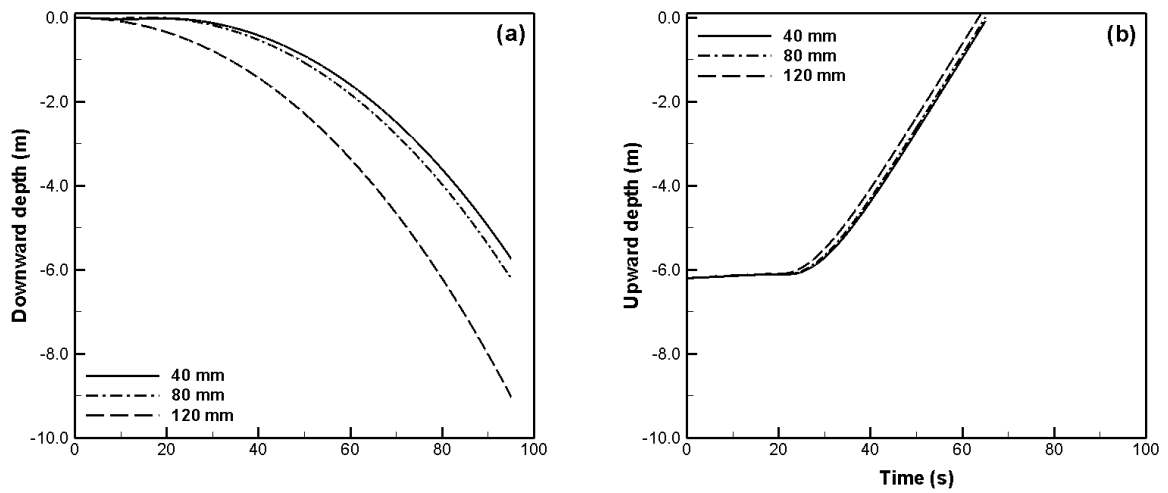
<그림 3-6> 수치해석에 의한 실물 부침식 가두리시설의 침하시 속도(a), 공기 압력(b), 공기 유량(c) 및 물 유량(d).



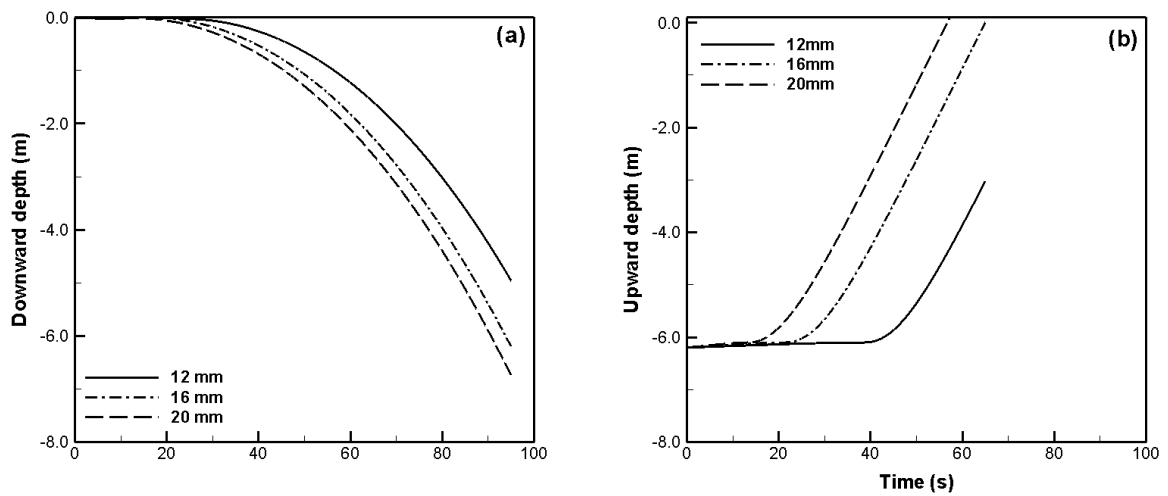
<그림 3-7> 수치해석에 의한 실물 부침식 가두리시설의 부상시 속도(a), 공기 압력(b), 공기 유량(c) 및 물 유량(d).



<그림 3-8> 수치해석에 의한 실물 부침식 가두리시설의 기변 부자에 주입되는 공기압 변화에 따른 침하(a) 및 부상(b)시 소요 시간.



<그림 3-9> 수치해석에 의한 실물 부침식 가두리시설의 가변 부자에 설치된 주배수관의 지름 변화에 따른 침하(a) 및 부상(b)시 소요 시간.



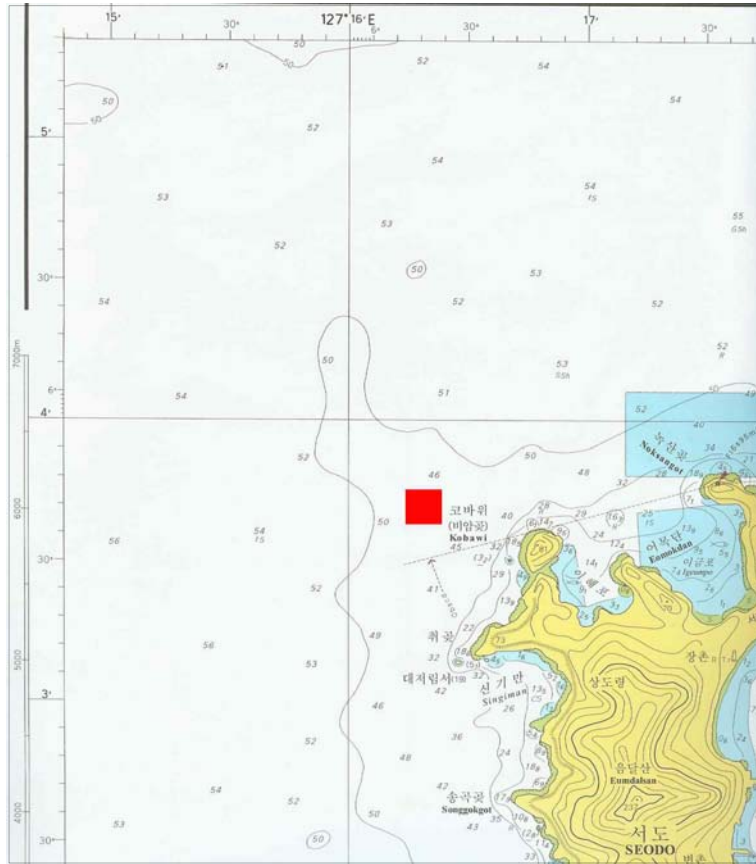
<그림 3-10> 수치해석에 의한 실물 부침식 가두리시설의 가변 부자에 설치된 주배기관의 지름 변화에 따른 침하(a) 및 부상(b)시 소요 시간.

제 2 절 대상 해역의 설계 외력 산정

자동 부침 기능을 갖는 전천후 어류 가두리 시설의 최적 설계를 위해서는 대상 해역의 설계 파고 자료가 필요하다. 본 연구에서 개발 중인 자동 부침 기능 보유 전천후 어류 가두리 시설은 기본적으로 외해에 설치하여 참다랑어 등 고부가가치 어종을 양식하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 해역 조건은 수심이 35 m 이상이고 수온이 연중 12℃ 이상이어야 한다. 이 조건들을 충분히 만족시킬 수 있는 해역은 거문도와 제주도 근해역이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 <그림 3-11> 및 <3-12>와 같이 거문도 서부 해역(서도 해역)과 제주도 동부 해역(표선 인근 해역)을 대상으로 재현 주기 10년, 20년, 30년 및 50년 설계 파고를 한국해양연구원에서 개발한 설계파 추정 프로그램에 의해 조사하였다. 특히 거문도 서도 해역은 여수시에 서 국립수산물과학원 남해수산물연구소에 용역을 의뢰한 참다랑어 양식을 위한 외해 양식 시설의 적지로 선정된 해역이므로 시작품 설치의 적지 선정을 위한 해양 환경 조사를 추가로 실시할 필요가 없으며, 제주도 표선 인근 해역의 경우 미국 NOAA 가두리 시설이 설치되어 운영되고 있다.

또한 금후 자동 부침 가두리 시설의 상용화에 대비하여 동해안의 설계 외력을 산정하였다. 동해안의 경우 강원도 환동해 출장소에서 외해 수중 가두리 양식 시설을 <그림 3-13>과 같이 강원도 양양군 현남면 지경리 해역에 설치하고 운영하고 있다.

일반적으로 방파제 등 항만 구조물의 설계 시에는 50년 재현 주기의 설계파를 대상으로 하지만, 가두리 시설의 경우 내구 수명이 통상 20년이라는 점을 감안하여 30년 재현 주기의 파랑 데이터로써 가두리 시설의 외력 조건을 산정하였다. 거문도 서부 해역과 제주도 동부 해역 및 강원도 양양 현남면 지경리 부근 해역의 설계 파고 산정 자료는 <표 3-1>, <3-2> 및 <3-3>과 같다. 특히 동해안에 위치한 강원도 지경리 해역의 경우에는 태풍 내습 빈도가 남해안에 비해 낮기 때문에 재현 주기 30년의 설계 파고가 거제 서부 및 제주 성산 해역에 비해 작게 나타났다.



<그림 3-11> 거문도 서도 해역(34.26° N, 127.173° E).

<표 3-1> 거문도 서도 해역의 설계 파고

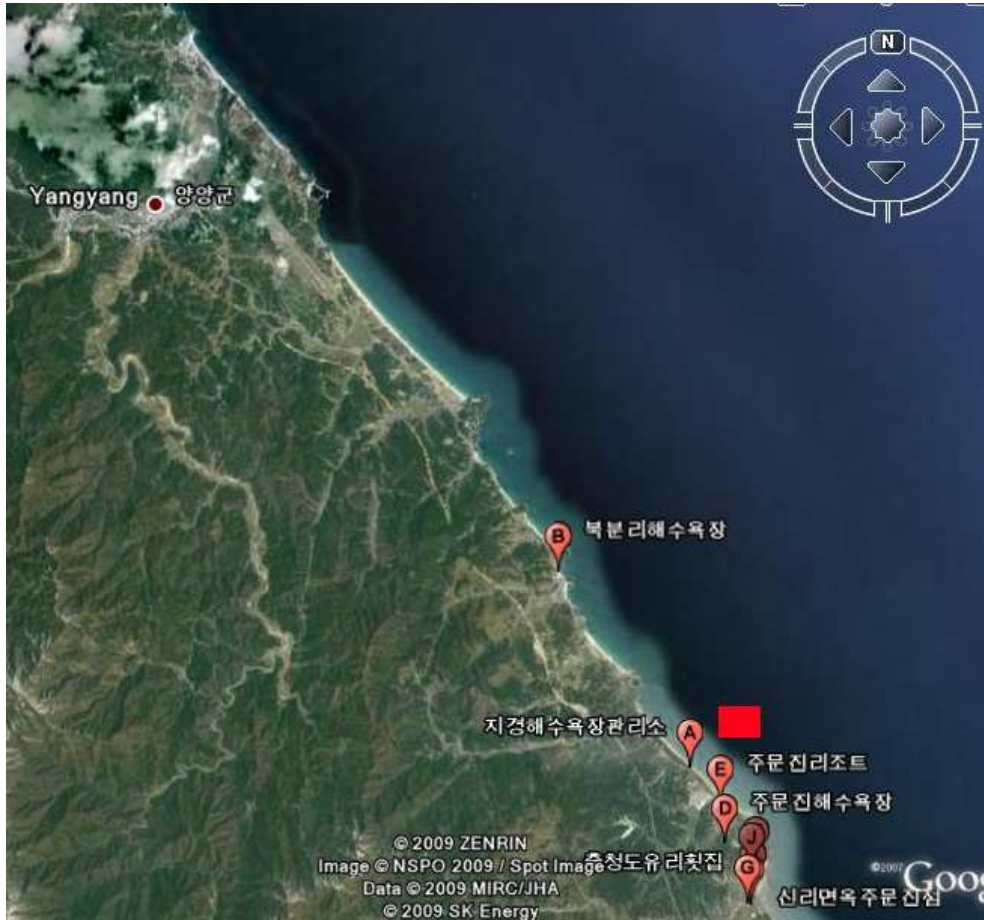
파향(°)	재현 주기 10년		재현 주기 20년		재현 주기 30년		재현 주기 50년	
	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)
0.00	2.44	5.97	2.55	6.11	2.61	6.19	2.81	8.35
22.50	2.68	6.52	2.93	6.81	3.07	6.97	3.24	7.16
45.00	3.47	8.38	4.16	9.17	4.48	9.52	4.84	9.90
67.50	4.48	9.51	5.15	10.20	5.51	10.54	5.92	10.93
90.00	6.46	11.55	7.78	12.67	8.52	13.26	9.44	13.95
112.50	7.93	12.79	9.51	14.01	10.41	14.66	11.53	15.43
135.00	7.61	12.49	8.87	13.48	9.58	14.01	10.45	14.63
157.50	7.29	12.18	8.66	13.26	9.43	13.85	10.40	14.54
180.00	5.78	10.86	6.85	11.82	7.45	12.33	8.19	12.92
202.50	4.60	9.76	5.66	10.82	6.26	11.38	7.01	12.04
225.00	3.51	8.69	4.39	9.72	4.89	10.26	5.50	10.89
247.50	3.97	8.39	4.22	8.65	4.88	10.54	5.96	11.66
270.00	4.15	8.57	4.33	8.75	4.42	8.85	4.86	10.39
292.50	3.34	6.88	3.53	7.08	3.64	7.19	3.84	8.94
315.00	2.80	5.89	2.87	5.96	2.91	6.00	2.95	6.04
337.50	2.63	5.90	2.73	6.02	2.79	6.08	2.86	6.15



<그림 3-12> 제주 성산 표선 해역(34.12° N, 126.83° E).

<표 3-2> 제주 성산 표선 해역의 설계 파고

파향(°)	재현 주기 10년		재현 주기 20년		재현 주기 30년		재현 주기 50년	
	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)
0.00	2.21	7.64	2.40	7.95	2.52	8.22	3.09	9.11
22.50	2.86	7.52	3.29	8.07	3.56	8.39	3.91	8.79
45.00	4.70	9.20	5.00	9.49	5.16	9.64	5.35	9.82
67.50	6.05	11.01	7.61	12.34	8.51	13.05	9.64	13.89
90.00	8.03	12.30	9.64	13.48	10.55	14.10	11.67	14.83
112.50	8.48	12.51	10.12	13.67	11.06	14.28	12.22	15.01
135.00	8.30	12.41	9.83	13.50	10.71	14.09	11.81	14.80
157.50	7.65	11.98	9.03	13.02	9.80	13.56	10.76	14.21
180.00	7.09	11.61	8.48	12.70	9.27	13.28	10.25	13.96
202.50	5.79	10.67	7.00	11.74	7.68	12.29	8.50	12.94
225.00	4.59	9.79	5.21	10.47	5.68	10.94	6.24	11.46
247.50	4.41	9.47	4.86	9.94	5.12	10.20	5.44	10.51
270.00	4.22	9.52	4.51	9.85	4.67	10.02	4.86	10.22
292.50	2.29	7.67	2.56	8.10	2.71	8.34	2.90	8.63
315.00	2.07	7.73	2.25	8.06	2.35	8.24	2.48	8.46
337.50	2.25	8.23	2.52	8.72	2.67	2.67	2.87	9.30



<그림 3-13> 강원 양양 지경 해역(37.55° N, 128.50° E).

<표 3-3> 강원 양양 지경 해역의 설계 파고

파향(°)	재현 주기 10년		재현 주기 20년		재현 주기 30년		재현 주기 50년	
	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)
0.00	4.67	9.51	5.03	9.87	5.23	10.07	5.47	10.29
22.50	5.67	10.95	6.12	11.37	6.36	11.59	6.65	11.86
45.00	5.37	10.72	5.62	10.96	5.75	11.09	5.91	11.24
67.50	4.94	10.05	5.41	10.51	5.79	11.49	6.69	12.35
90.00	4.13	9.07	5.18	10.59	5.90	11.30	6.82	12.15
112.50	4.08	8.81	5.14	9.88	5.77	10.47	6.58	11.18
135.00	4.82	9.34	6.21	10.60	7.06	11.30	8.14	12.13
157.50	5.45	10.02	6.90	11.27	7.77	11.96	8.88	12.79
180.00	4.63	9.44	5.96	10.71	6.75	11.40	7.76	12.22
202.50	2.64	7.36	3.27	8.19	3.63	8.62	4.07	9.13
225.00	2.00	5.54	2.30	5.94	2.77	7.40	3.50	8.32
247.50	1.77	5.35	1.85	5.46	2.06	5.93	2.92	7.06
270.00	2.46	6.11	2.59	6.27	2.66	6.35	2.74	6.45
292.50	2.75	6.34	2.82	6.42	2.85	6.46	2.89	6.51
315.00	3.48	7.40	3.62	7.55	3.69	7.63	3.79	7.73
337.50	3.78	8.11	3.96	8.30	4.05	8.40	4.16	4.16

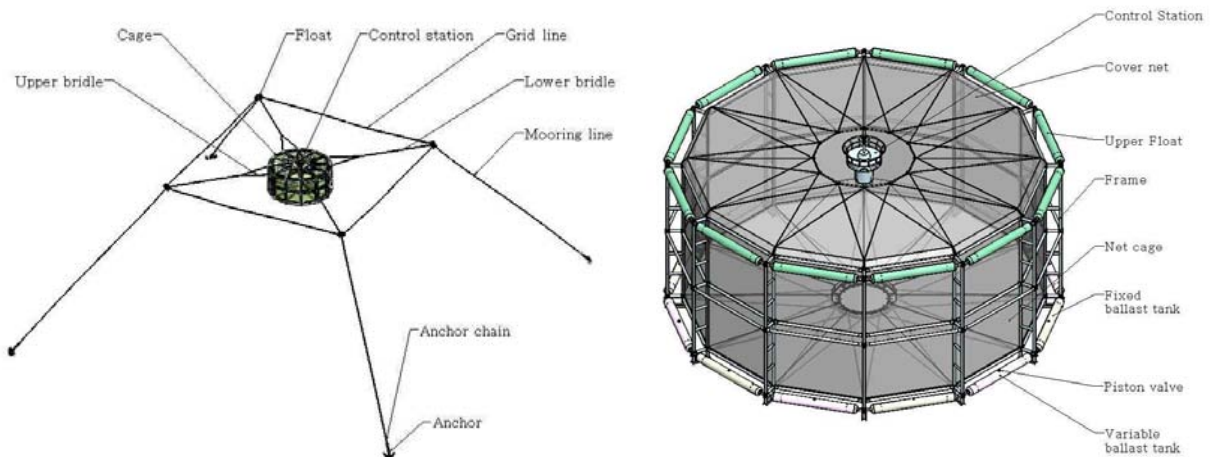
제 3 절 자동 부침 가두리 시스템 시작품 설계

1. 자동 부침 가두리 개념 설계

가. 자동 부침 가두리 시설의 구성

이 연구에서 개발한 자동 부침 가두리 시설은 파고, 풍속 등 해양 환경 조건을 스스로 감지하여 환경 조건이 열악한 경우 수면 아래로 가라앉았다가 환경 조건이 정상으로 돌아오는 경우 다시 수면으로 부상되어 가두리의 파손을 방지할 수 있다.

이와 같은 자동 부침 가두리 양식 시스템은 <그림 3-14>와 같이 어류를 양식할 수 있도록 그물을 구비하는 프레임, 가두리를 구성하는 프레임의 보강을 위한 보강 장치, 가두리를 수면의 일정 위치에 고정시키기 위한 계류 시스템, 가두리의 부력을 유지 또는 조절하는 부자 및 가두리를 자동으로 수면 아래까지 가라앉히고 또는 자동으로 수면까지 떠오르도록 제어하기 위해 6개의 가변 부자(부침 부자)에 기체 또는 바닷물의 유출입을 제어하는 메인 통제 장치를 포함하여 구성된다.



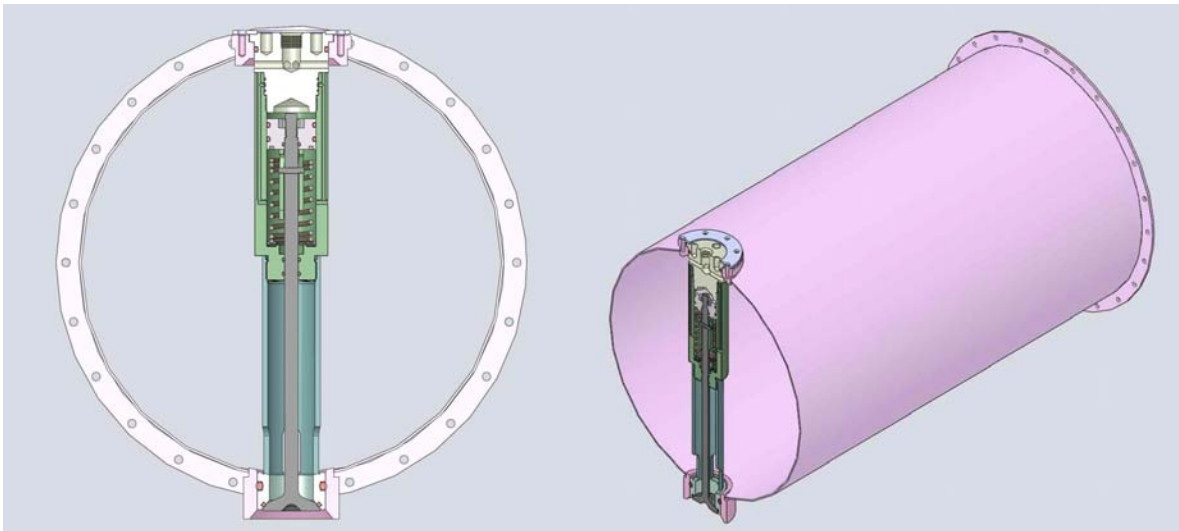
<그림 3-14> 자동 부침 가두리 시설의 구성(개념 설계).

먼저 가두리의 전체적인 골격은 프레임 구조로 형성되어 있다. 상기 골격은 상면, 중면, 하면 및 수직 프레임의 조합으로 구성된다. 그리고 상기 골격을 보완하기 위해 보완 장치를 구비한다. 보완 장치는 가두리의 상부에 위치하여 적어도 하나 이상의 결쇄에 상단 조임줄을 두르고 가두리 상단 내부에 상단 조임줄을 엮갈려 걸기 위한 상부 내륜 프레임과, 가두리 하부에 위치하여 수직 프레임에 하단 조임줄을 두르고 가두리 하단 내부에 하단 조임줄을 엮갈려 걸기 위한 하부 내륜 프레임으로 구성된다. 이와 같이 가두리 상단과 하단에 조임줄을 구비함으로써 가두리를 구성하는 프레임들의 구조를 튼튼하게 보완할 수 있다.

그리고 가두리의 부력을 조절하기 위해서 총 24개의 부자가 구비된다. 이들 부자는 고정 부자, 절대 부자, 가변 부자로 구성된다. 고정 부자는 고정 부력을 갖는 부자를 의미하며, 항상 부력이 일정하고 절대 부자는 작업자가 수동으로 부력을 조절할 수 있는 부자를 의미하며, 가

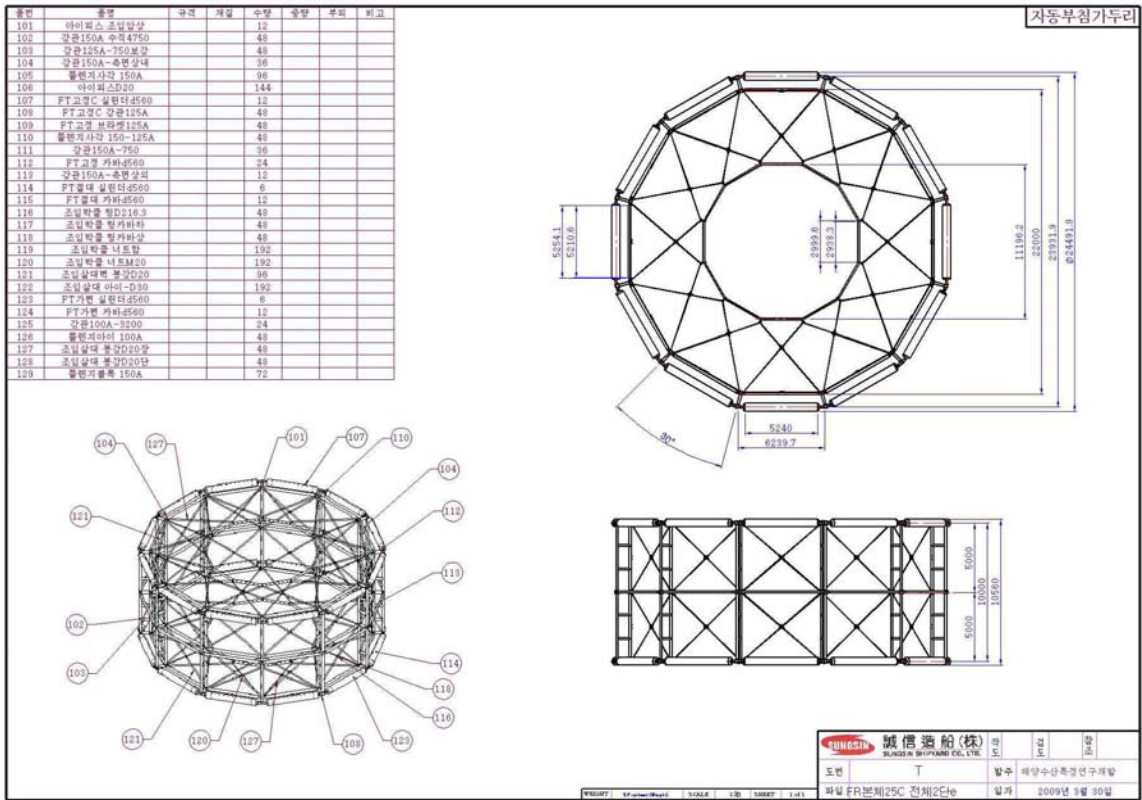
변 부자는 메인 통제 장치에서 부자의 부력을 조절할 수 있는 부자를 의미한다.

자동 부침 가두리 시설 중에서 가장 중요한 부분은 바닷물이 유출입하여 부력을 조정하는 가변 부침 부자와 컨트롤 스테이션(메인 통제 장치)이다. 그런데 종래의 부력 조절용 부침 부자의 경우에는 부력체 안으로 해수가 들어가거나 빠져나오는 주배수관이 항시 수중에 노출되어 있기 때문에 부력체 안으로 수중 생물이 해수와 함께 쉽게 유입될 뿐만 아니라 부착 생물이 그 입구를 막아버리게 된다. 이로 인해 부침 부자 내에 수중 생물이 서식하거나 입구에 부착함에 따라 부침 부자의 성능이 저하된다. 특히 부침 부자 안에 유입된 수중 생물로 인해 부자 안에 유입되는 압축 기체 양의 차이로 인해 부력과 침강력의 불균형이 발생하게 되고 이와 같은 부력과 침강력의 불균형으로 인해 부구의 수중 침하 시 시설물이 뒤집어 질 우려가 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 피스톤 밸브의 경우 <그림 3-15>에서와 같이 그것을 작동시키기 위한 압축 기체로서, 질소 가스가 사용됨으로써 부자 내부에 수중 생물이 서식하는 것을 원천적으로 방지할 수 있으므로 부자 안에 유입된 수중 생물로 인한 상기 부자의 부력과 침강력의 불균형을 방지할 수 있다. 또한 이러한 피스톤 밸브는 작동 시에만 개방되고 작동하지 않을 시에는 닫혀있기 때문에 수중 생물이 가변 부자 안으로 들어가는 것을 차단할 수 있다.

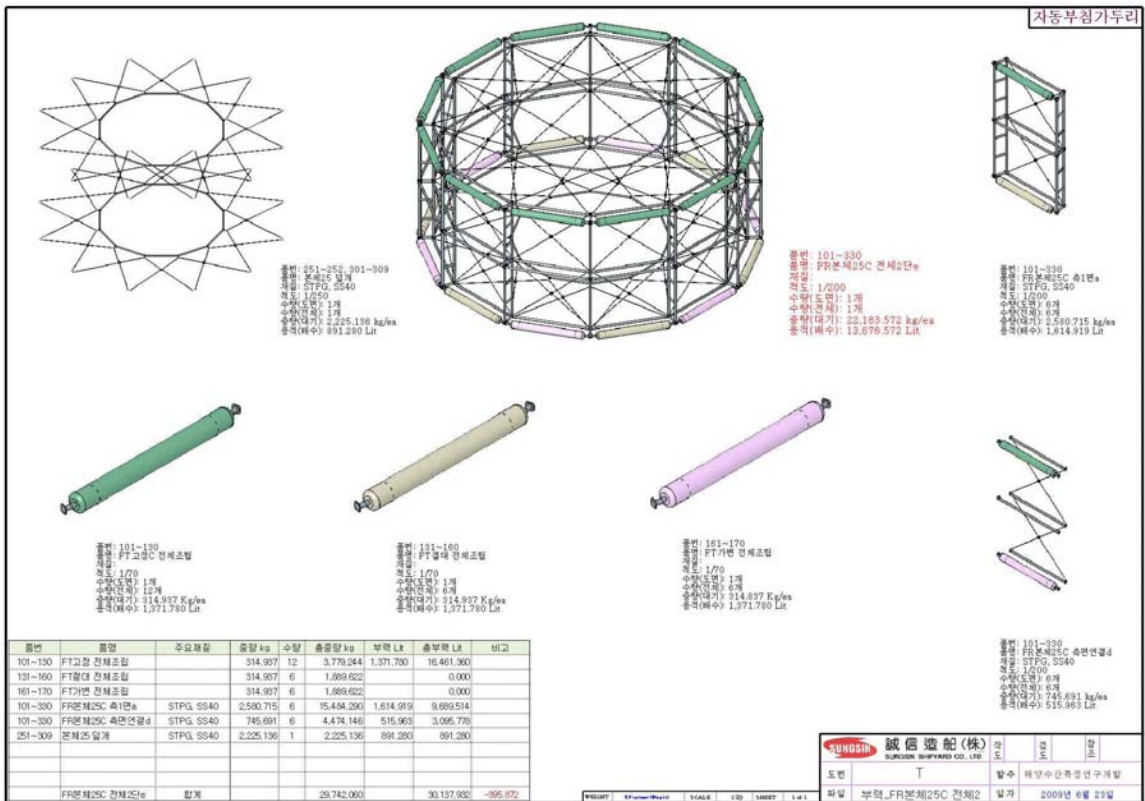


<그림 3-15> 피스톤 밸브가 설치된 부침 부자.

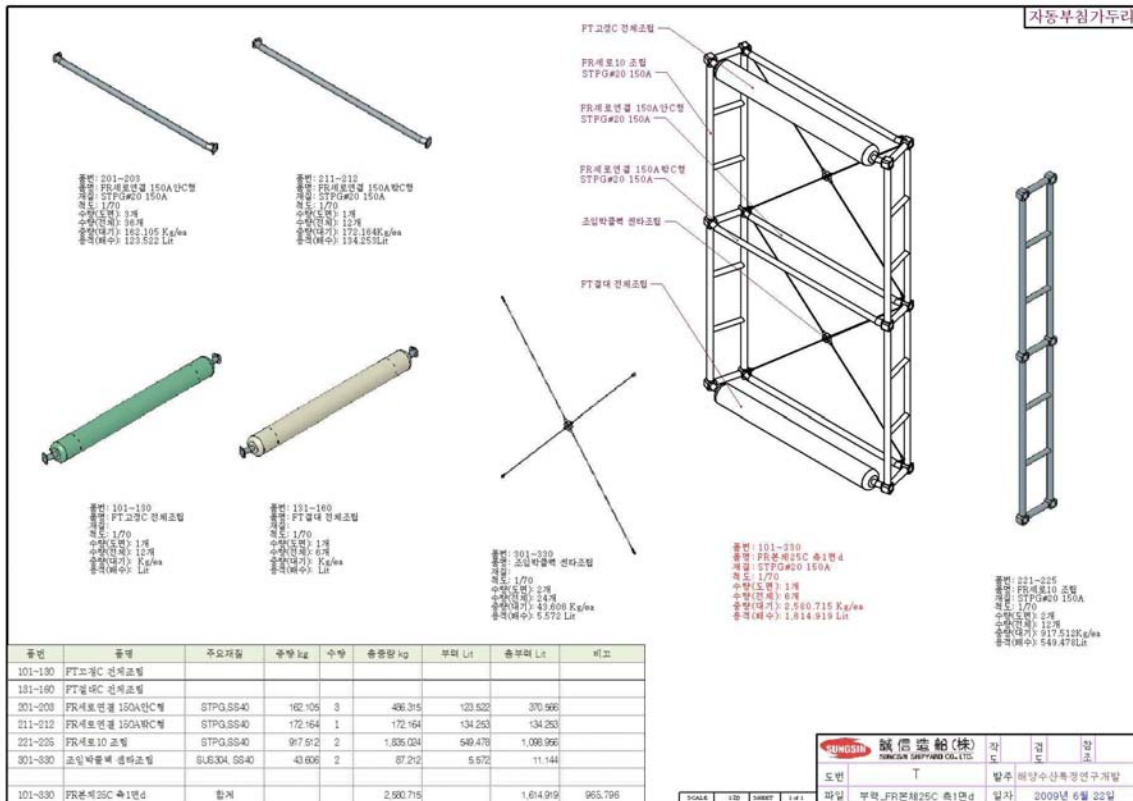
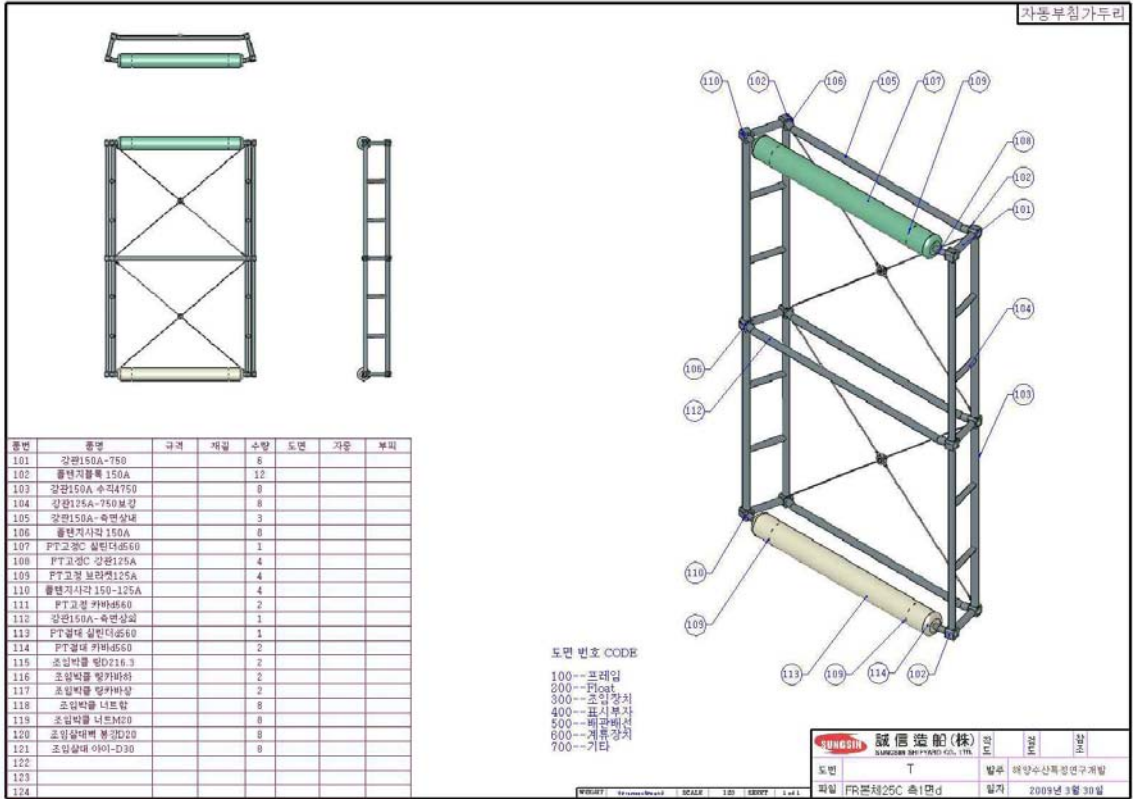
한편, 컨트롤 스테이션은 가두리가 위치하는 지점의 해양 환경을 감지하여 감지된 해양 환경의 수치가 가두리가 파손되거나 그물 내부의 어류를 폐사시키는 임계치라고 판단하면 가두리를 수중으로 하강시킨다. 이 경우 메인 통제 장치의 내부에는 해양 환경 조건을 판별하기 위해 파고계, 풍속계, GPS, A/D-D/A board 등과 같은 관측 장치와 액화 가스 보관 탱크, 배터리 등과 같은 하드웨어가 추가로 구성된다.



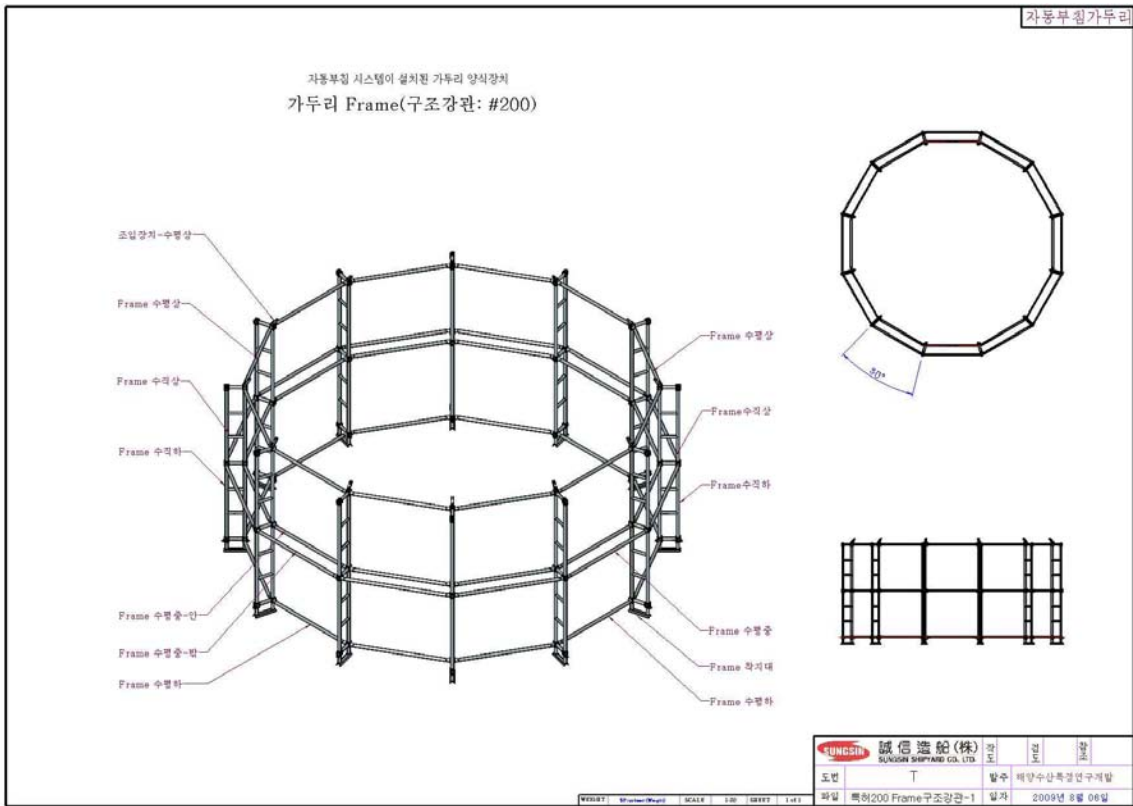
<그림 3-16> 자동 부침 가두리 크기.



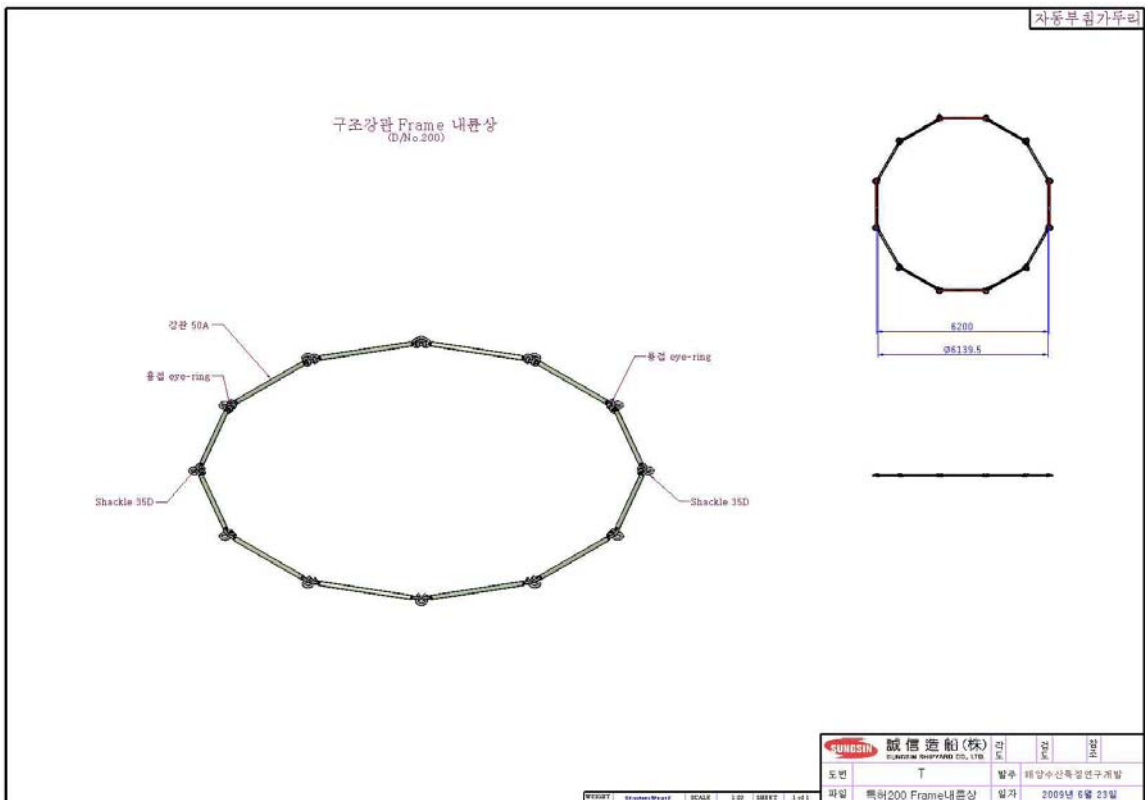
<그림 3-17> 자동 부침 가두리 프레임 구성.



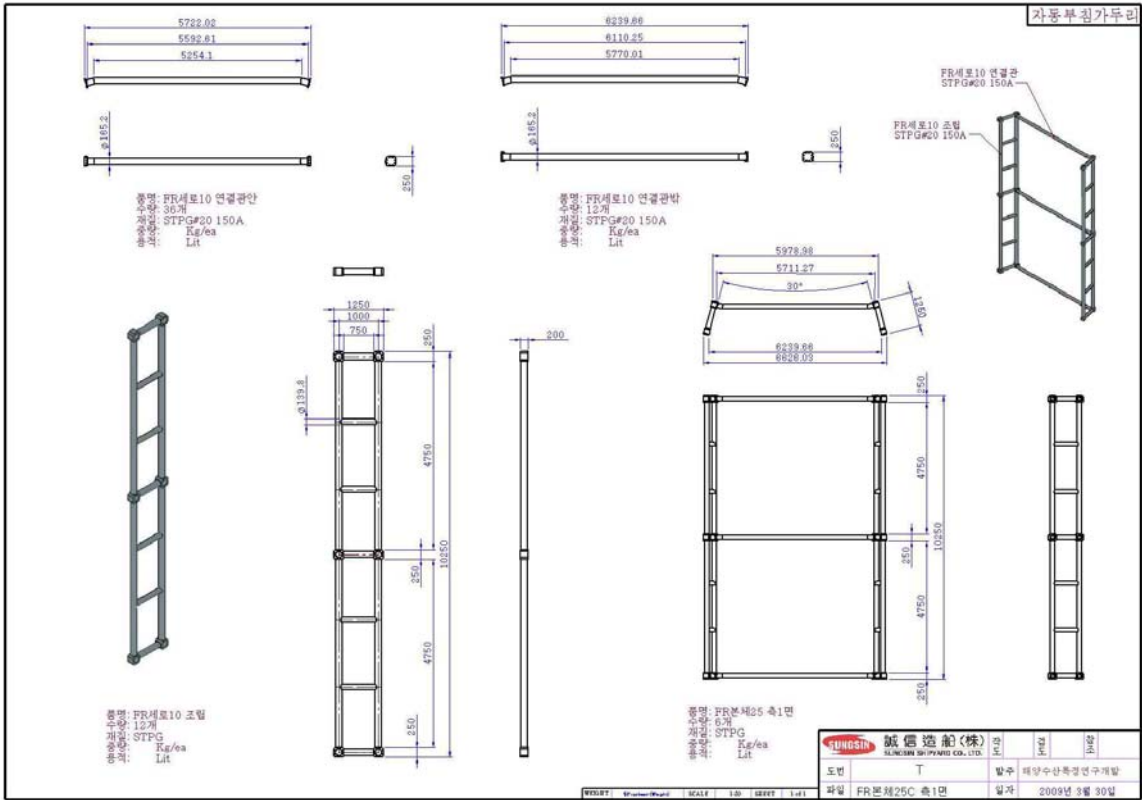
<그림 3-18> 자동 부침 가두리 프레임 및 수직 조임 장치.



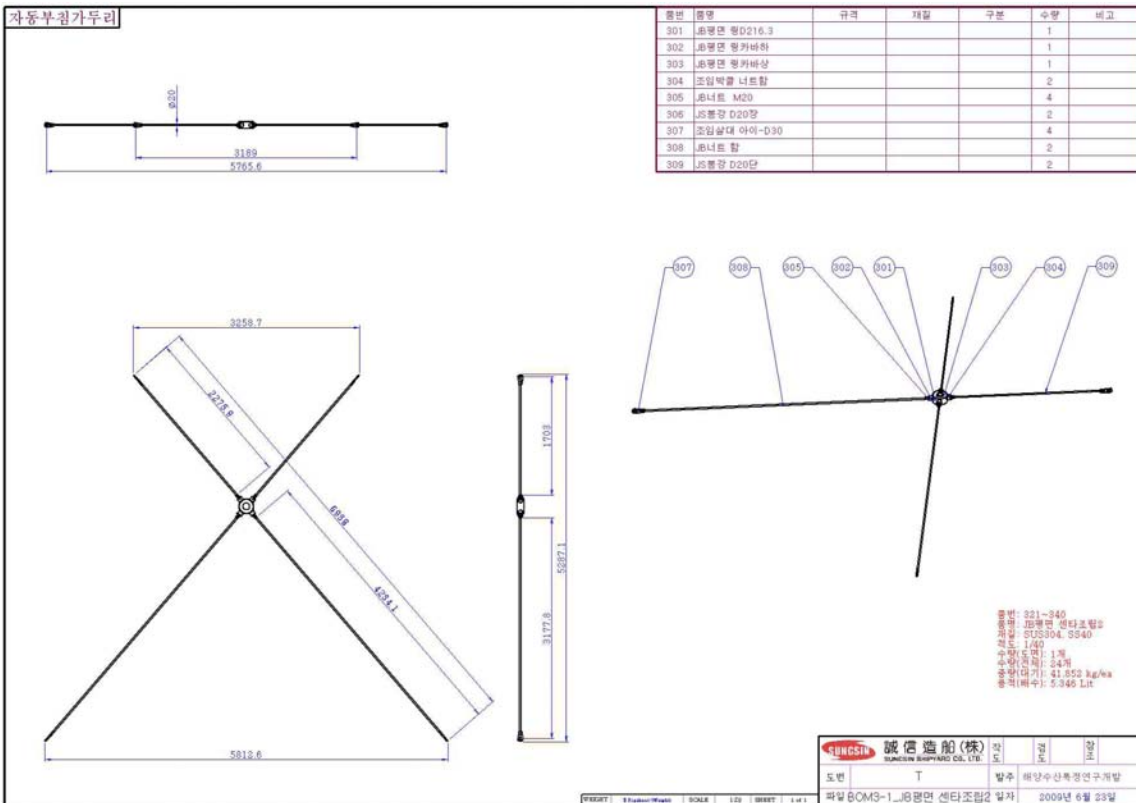
<그림 3-19> 가두리 프레임.



<그림 3-20> 상부 프레임.

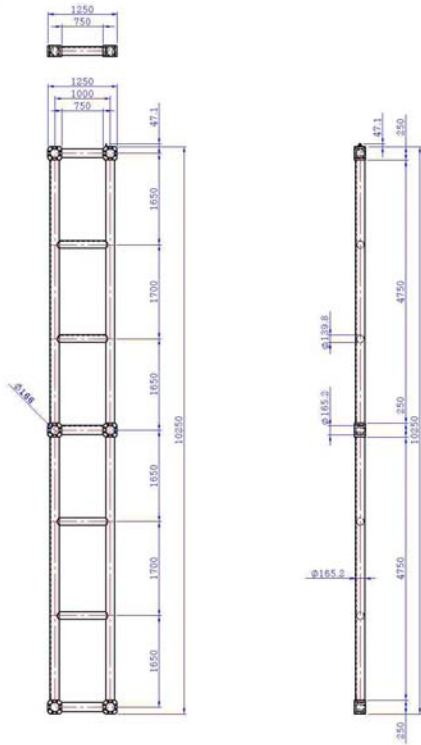


<그림 3-21> 프레임 치수

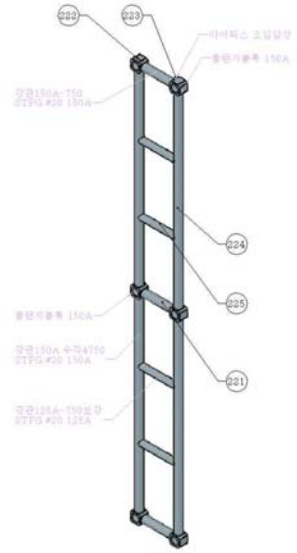


<그림 3-22> 프레임 수직 조임 장치 상세도.

자동부침가두리



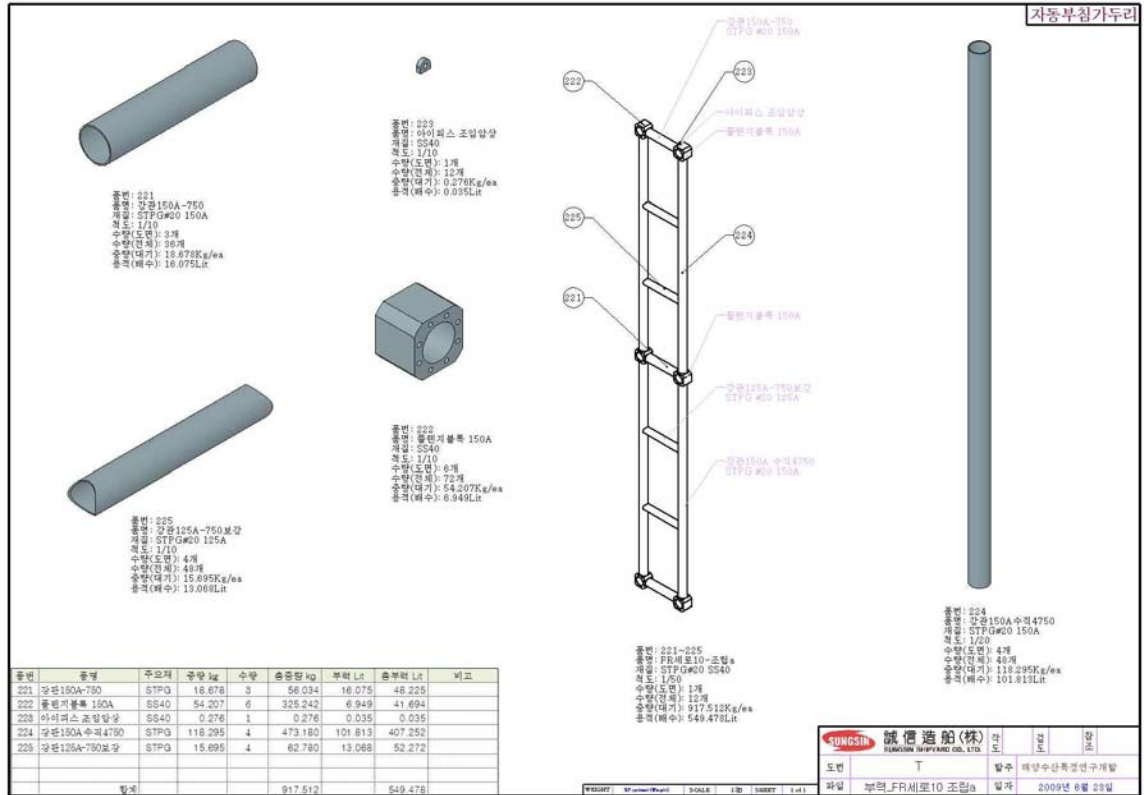
품번	종명	규격	재질	구분	수량	비고
221	간판150A-750				3	16.678kg
222	플랜지볼록 150A				6	54.207kg
223	아이피스 조립양상				1	0.276kg
224	간판150A 수직4750				4	118.295kg
225	간판125A-750보강				4	15.895kg



품번: 221-225
 재질: FR세로10-조립
 규격: STPG#20 SS40
 절단: 1/10
 수량(도면): 1개
 수량(진재): 12개
 중량(대기): 917.512kg/ea
 중량(배수): 549.478Lt

SUNGSHIN 誠信造船(株)		각도	판	장
SUNGSHIN SHIPYARD CO., LTD.		도	면	조
도면	T	발주	해양수산특정연구개발	
파일	BOM2-4_FR세로10_조립	일자	2009년 6월 23일	

FIGURE 3-24a (Sheet) SCALE 1:50 SHEET 1 of 1

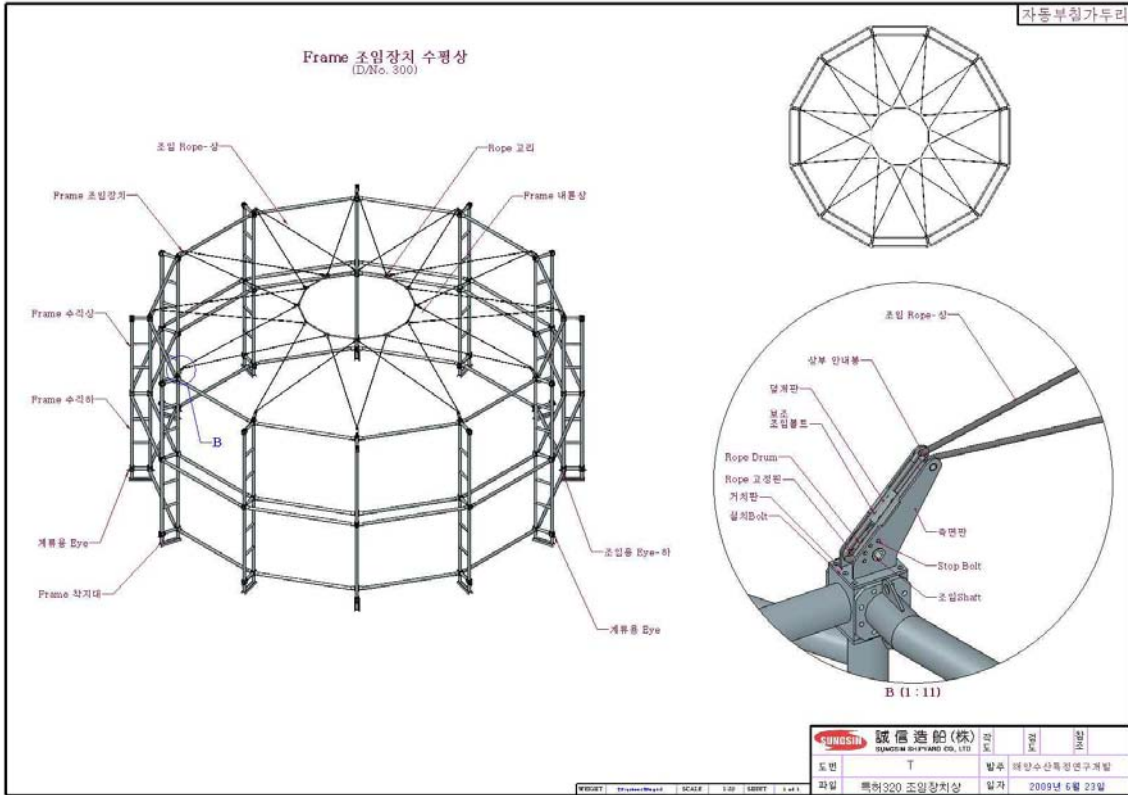


품번	종명	주요제	수량 kg	수량	중량당 kg	부력 Lt	승부력 Lt	비고
221	간판150A-750	STPG	16.678	3	50.034	16.075	48.226	
222	플랜지볼록 150A	SS40	54.207	6	325.242	6.949	41.694	
223	아이피스 조립양상	SS40	0.276	1	0.276	0.035	0.035	
224	간판150A 수직4750	STPG	118.295	4	473.180	101.813	407.252	
225	간판125A-750보강	STPG	15.895	4	62.780	13.068	52.272	
합계						917.512	549.478	

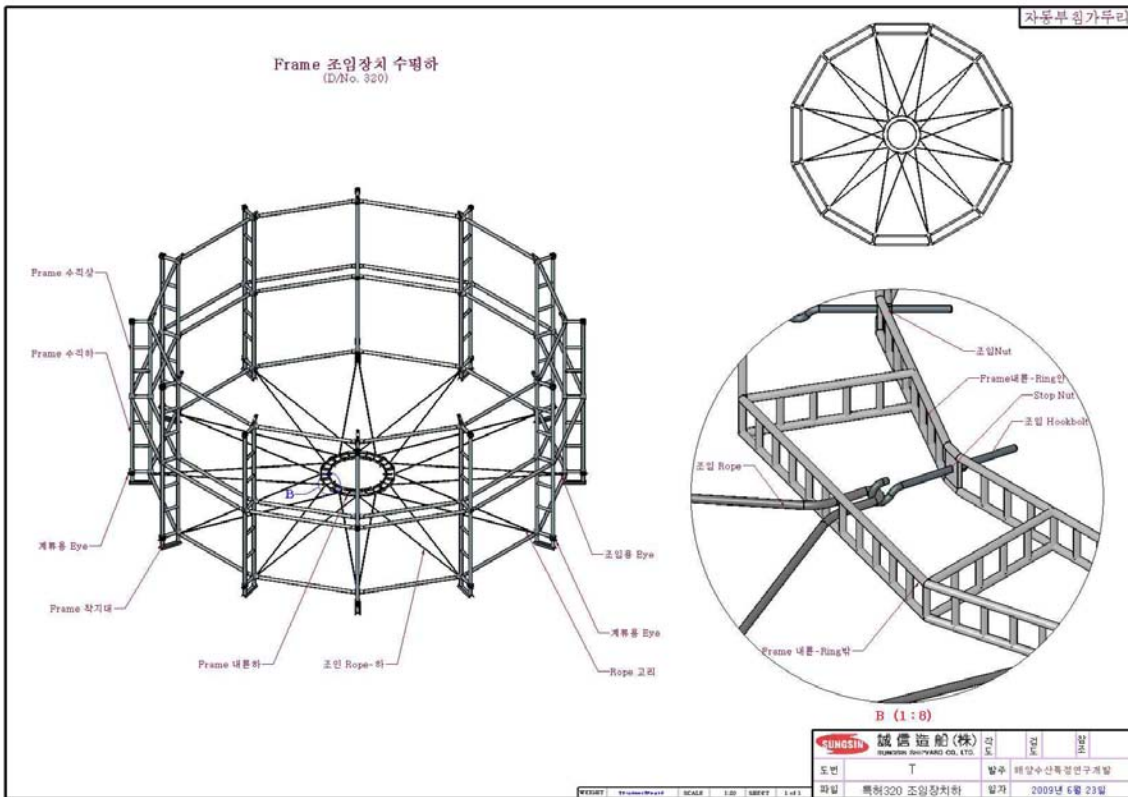
FIGURE 3-24b (Sheet) SCALE 1:50 SHEET 1 of 1

SUNGSHIN 誠信造船(株)		각도	판	장
SUNGSHIN SHIPYARD CO., LTD.		도	면	조
도면	T	발주	해양수산특정연구개발	
파일	부력_FR세로10_조립	일자	2009년 6월 23일	

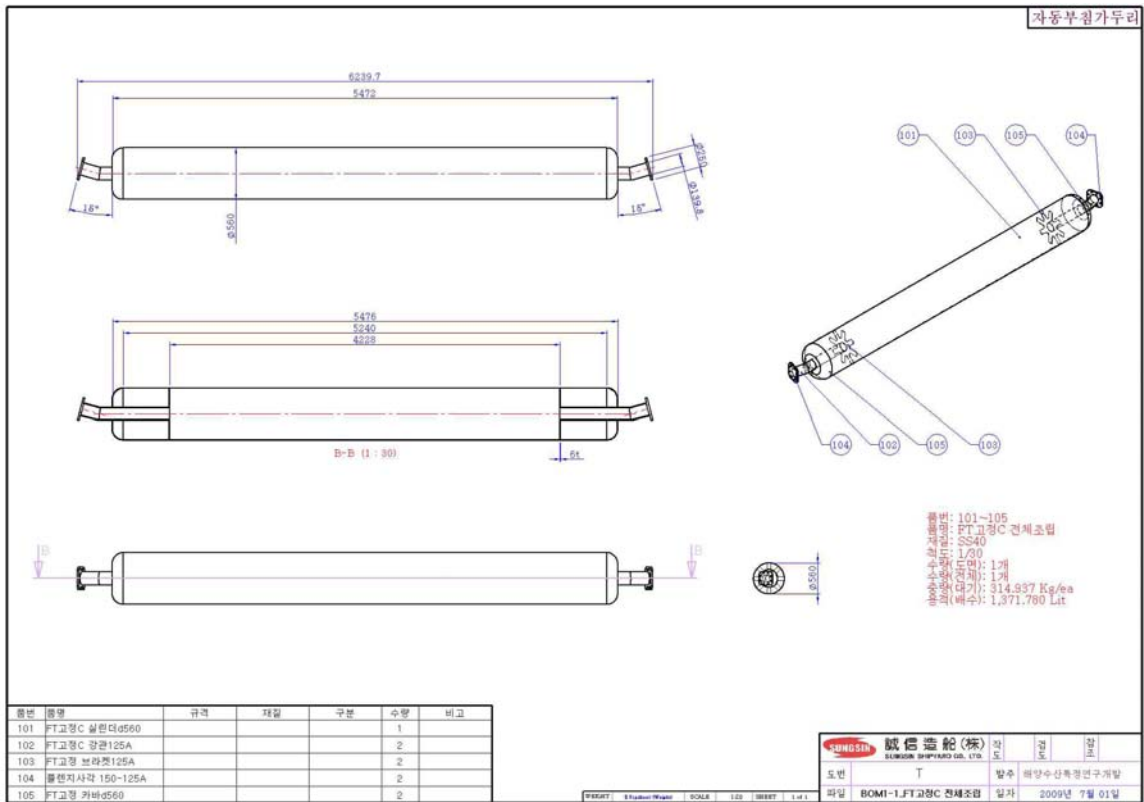
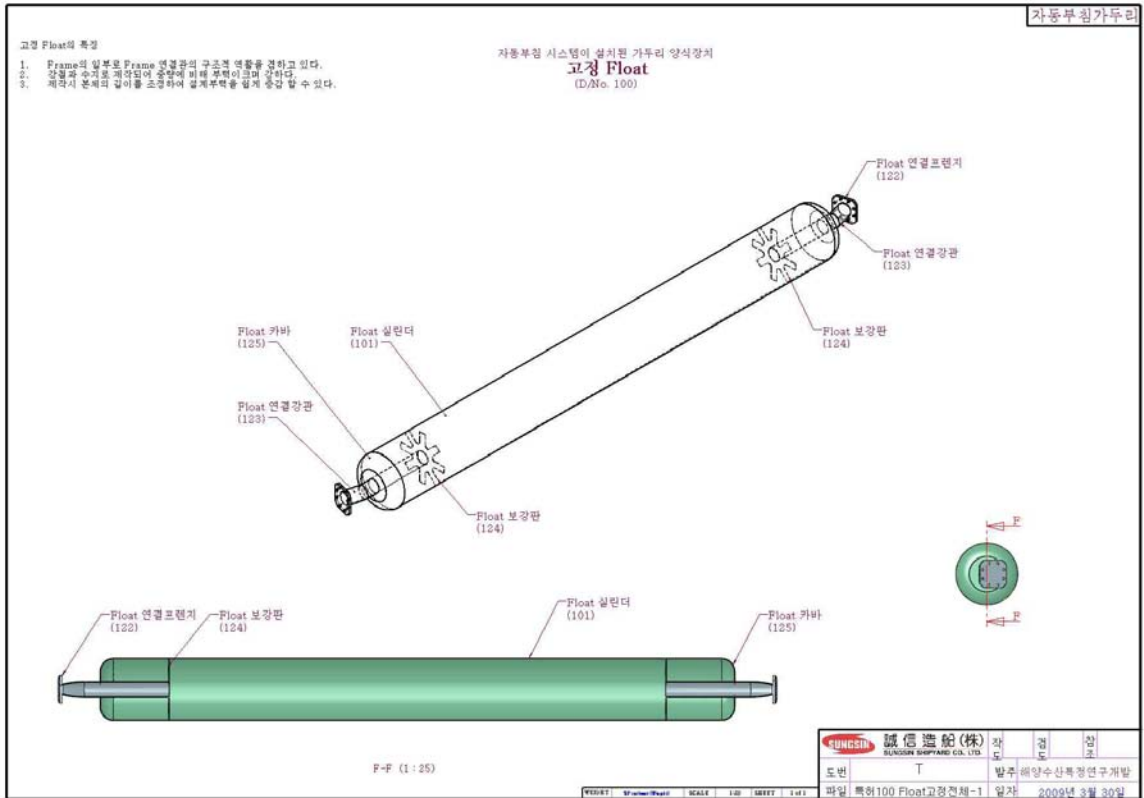
<그림 3-24> 수직 프레임 상세도.



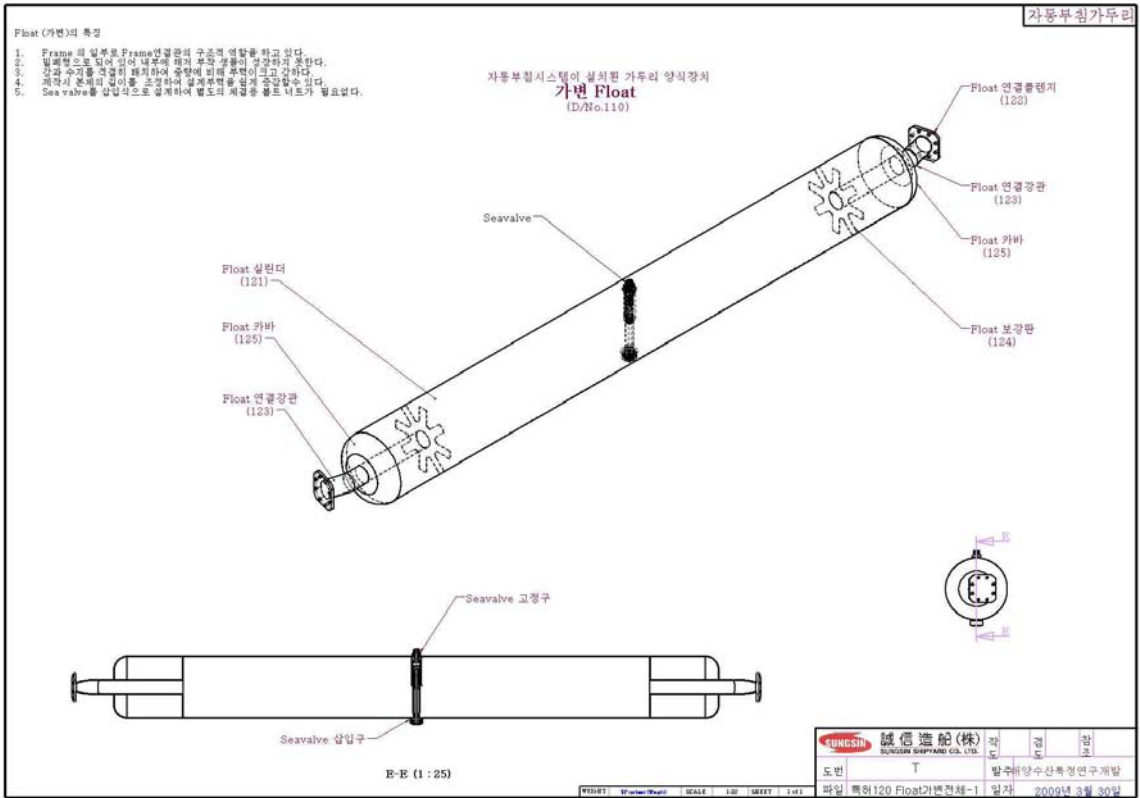
<그림 3-25> 상부 프레임 보강 장치.



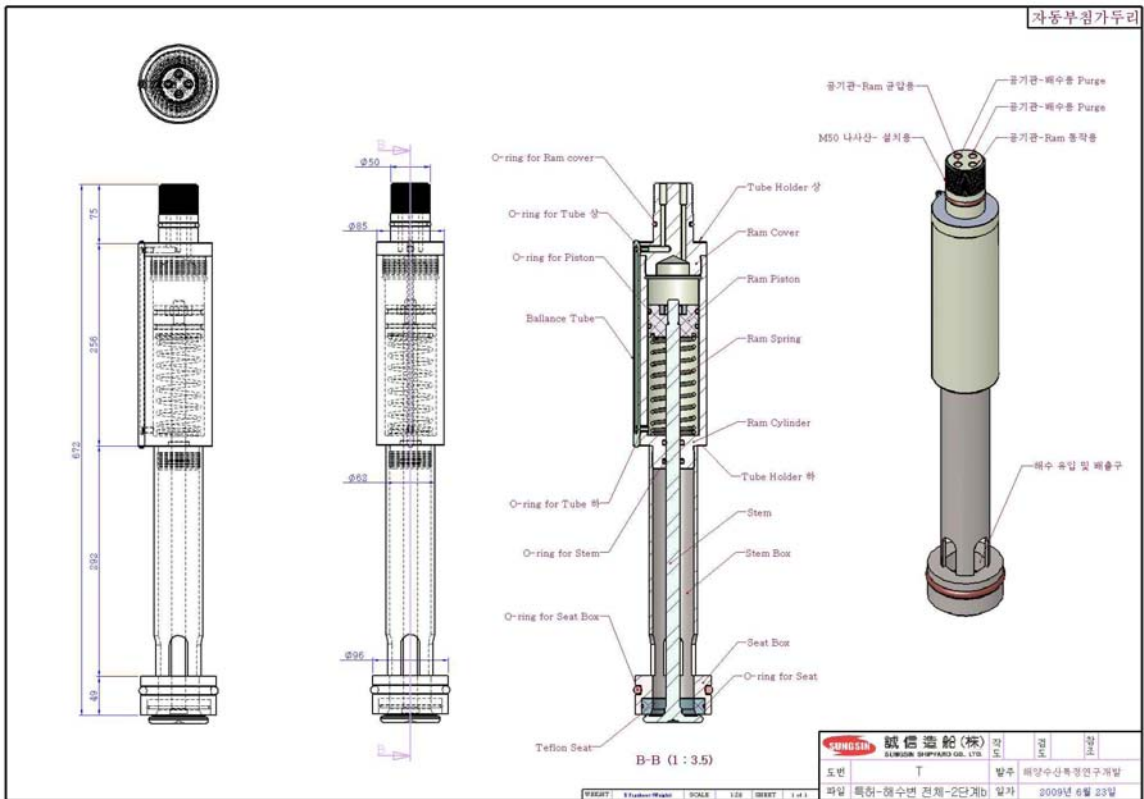
<그림 3-26> 하부 프레임 보강 장치.



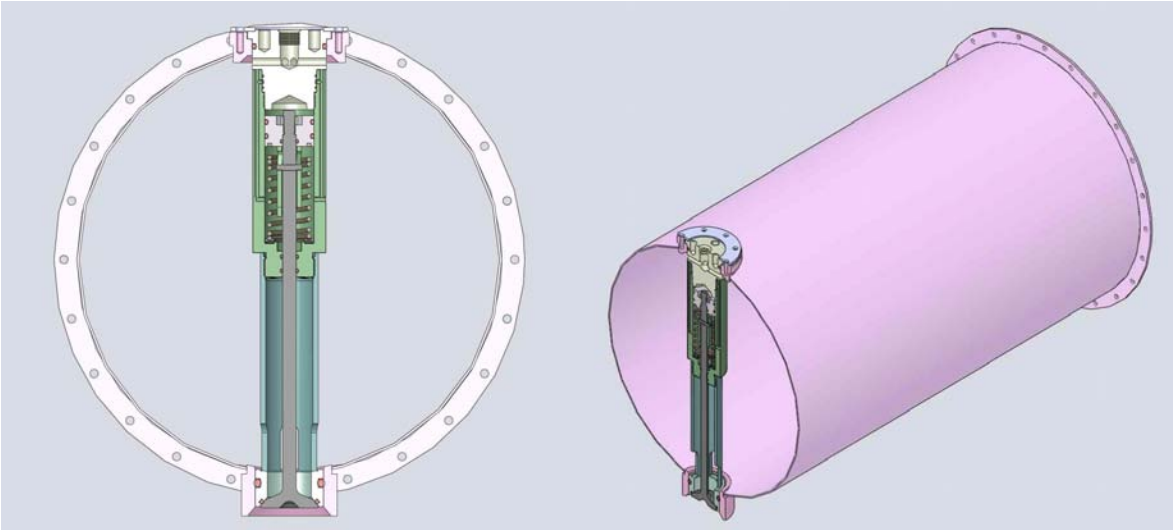
<그림 3-27> 고정 부자.



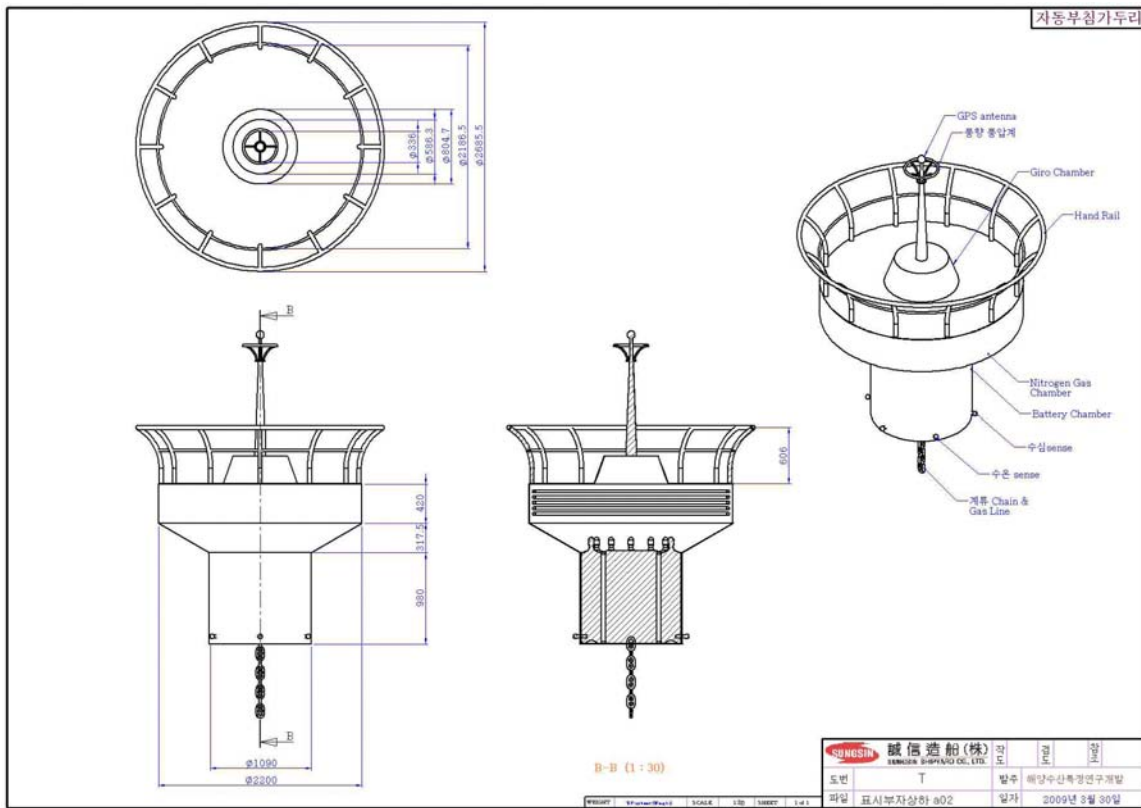
<그림 3-28> 가변 부자.



<그림 3-29> 피스톤 밸브.



<그림 3-30> 가변 부자에 피스톤 밸브 설치도.



<그림 3-31> 메인(main) 통제 장치.

나. 자동 부침 가두리 시설의 작동 원리

자동 부침 가두리의 메인 통제 장치는 가두리의 수중 침하를 위해 가두리의 부력을 감소시킨다. 왜냐하면 가두리가 수면까지 상승하기 위해서는 적어도 하나 이상의 부자에 기체가 차 있어야 하기 때문이다. 따라서 부력을 감소시키기 위해서는 하나 이상의 부자의 기체를 배출하고 바닷물을 유입하여야 한다. 이와 같이 가두리에 구비된 부자의 부력이 감소하면 메인 통제 장치에 의해 가두리는 수면 아래로 위치하게 된다.

가변 부자의 부력 조절에 대해 설명하면 다음과 같다. 우선 메인 통제 장치는 해양환경을 기 설정된 임계치 이상인지 이하인지 감지한다. 만약 임계치 이상이면 메인 통제 장치는 제어선을 통해 가변 부자의 내부 부력을 제어한다. 각 가변 부자에 제어선이 연결된다. 먼저 수면에 위치하는 가두리를 수면 아래로 하강 시키도록 제어하기 위해서는 가변 부자의 부력을 감소시킨다. 이를 위해 메인 통제 장치는 제어선을 통해 가변 부자가 바닷물을 유입할 수 있도록 통로를 열어준다. 그 후 메인 통제 장치는 제어선을 통해 가변 부자를 채우고 있는 기체를 외부로 방출하기 위한 통로를 열어준다. 따라서 가변 부자는 내부에 기체는 외부로 배출되고 바닷물이 유입되어 부력이 감소하여 수면 아래로 하강하게 된다.

한편, 수면 아래에 하강하여 위치하는 가두리를 수면까지 상승 시키도록 제어하기 위해서는 가변 부자의 부력을 증가시킨다. 이를 위해 메인 통제 장치는 제어선을 통해 가변 부자를 채우고 있는 바닷물을 외부로 방출하기 위한 통로를 열어준다. 따라서 가변 부자의 내부에 있던 바닷물은 외부로 배출된다. 이때 바닷물의 배출은 메인 통제 장치에서 액화 질소를 기화시켜 기체로 변환한 후 바닷물을 외부로 배출할 수 있는 압력으로 가변 부자에 주입함으로써 가능해진다. 이와 같이, 가변 부자)에 바닷물이 모두 배출되고 기체가 유입되면 가변 부자는 부력이 증가하여 수면까지 떠오르게 된다. 여기서 제어선은 기체를 가변 부자로 보내는 선과 가변 부자를 전기적 신호로 제어하기 위한 선으로 구성된다.

메인 통제 장치는 가두리와 연결되어 항상 수면에 떠있게 된다. 이를 위해 메인 통제 장치는 가두리와 연결되는 연결선을 갖게 된다. 그러나 가두리가 수면까지 상승한 경우, 연결선이 늘어짐으로써 가두리와 그물의 어류에 악영향을 끼치게 된다. 따라서 이를 방지하기 위해 메인 통제 장치는 연결선의 늘어짐을 방지하기 위해 자동 감감 수단을 구비한다. 자동 감감 수단은 제어선과 연결선이 늘어지는 경우 자동으로 감기도록 일정한 탄성을 가지고 있다.

이와 같이 자동 제어됨으로써 가두리 시설이 파손되거나 양식 어류가 폐사되는 위험이 줄어들어 안전한 양식이 가능하다.

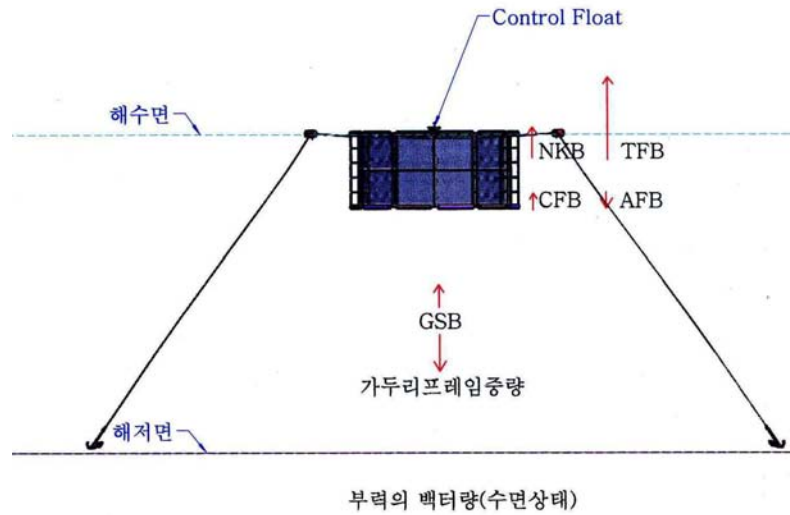
(1) 자동 부침 가두리 부침 작동 조건

- (가) 파고: 임계 파고 이상의 파가 일정 시간 이상 지속될 때
- (나) 풍속: 임계 풍속 이상의 풍속이 일정 시간 이상 지속될 때
- (다) 적조: 적조 생물의 밀도가 일정 이상 확산될 때
- (라) 기타 필요시에는 수동으로 침하 조정

(2) 부침 작용의 작동 원리(지름이 22m이고 높이가 10m이며 중량 30ton인 가두리 대상)

(가) 표층 상태(정상 위치)

자동 부침 가두리가 해상에 정상적으로 설치되면 수면 상에 상부 부자가 약 25cm만 노출되고 프레임의 대부분은 물속에 잠기게 된다. 즉, 수면 위에 보이는 부분은 상부 부자 일부분과 덮개 그물 등으로 이들의 무게는 약 1,500kg 정도로 예상된다. 이것은 <그림 3-32>에서 본느 바와 같이 전체 부력(TFB)이 가두리의 수중 무게(GSB)보다 1500kg 정도 크다는 것을 의미한다.



<그림 3-32> 가두리 시설의 부력(표층 부상 상태).

여기서 수중 무게(GSB)에는 가두리 구성 재료의 무게와 그물, 배관 장치, 각종 보조 장치 등의 총무게를 합한 것으로 항상 일정한 고정 값을 갖고 있다. 그러나 일부 장치를 추가하거나 어류 입식 또는 그물의 상태와 가두리 시설에 작용하는 유수 저항 등에 따라 그 값이 다소 변할 수 있다. 따라서 가두리의 수중 무게는 = 가두리의 실제 무게 - (가두리 배수 체적 × 설치 수역의 해수 밀도)이다.

한편, 가두리의 전체 부력(TFB)의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 가두리 프레임의 상하에 각각 12개의 부자가 설치되어 있고 상부에 있는 12개의 부자는 부력에 변화가 없는 고정 부자로서 가두리 무게의 대부분에 해당하는 부력 값을 갖는다. 그리고 하부에는 부력이 임의로 조정되는 절대 부자와 가두리를 자동으로 부침하게 하는 부침 부자(가변 부자)가 각각 6개씩 설치되어 있다. 이 경우 가두리 시설의 전체 부력은 이러한 3가지 종류의 부력의 합을 의미한다. 즉, $TFB = (FBF \times 12) + (ABF \times 6) + (CBF \times 6)$ 이다. 따라서 $TFB - GSB = 1,500\text{kg}$ 인 경우에는 표층에 부상되어 유지되고 $TFB < GSB$ 이면 가두리가 수중으로 침하되며 반대로 $TFB > GSB$ 면 가두리가 원래의 위치인 표층까지 부상한다. 자동 부침 가두리 시설의 부자의 종류와 부력을 구분해서 정리해 보면 <표 3-4>와 같다.

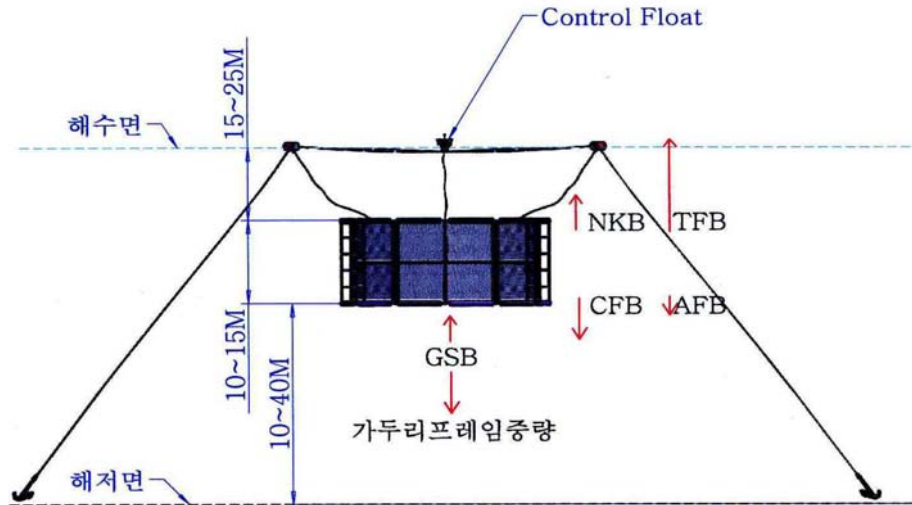
<표 3-4> 자동 부침 가두리 시설의 부자의 종류와 부력

부력체(Float)와 부력의 구분						
	약어	명칭	설계부력(개당)	중량(개당)	수량	
Float의 종류	FBF: Fixed Buoyancy Float	고정부력Float	920kg.f	240kg	12개	
	ABF: Absolute Buoyancy Float	절대부력Float	0~450kg.f	350kg	6개	
	CBF: Control Buoyancy Float	가변부력Float	100~600kg.f	250kg	6개	
		사계Float	1200kg.f	350kg	4개	
부력의 구분	NKB: Normal Keep Buoyancy	정상 유지부력	3260kg.f			정상상태(수면)유지부력
	TFB: Total F.B.F Buoyancy	FBF전체부력	8160kg.f			FBF의 전체부력
	GSB: Gadury Submarine	가두리수중중량	4900kg.f			가두리의 수중중량
	AFB: Absolute	절대부력				가변부력중비조정값
	CFB: Control	가변부력				가두리 자동조정부력

이것에서 FBF는 고정 부자의 무게-(고정 부자의 배수 체적×설치 해역의 해수 밀도)이고 ABF = 절대 부자의 무게 - (절대 부자의 배수 체적×설치 해역의 해수 밀도)이며, CBF = 가변 부자의 중량 - (가변 부자의 배수 체적×설치 해역의 해수 밀도)이다.

(2) 침하 상태

TFB < GSB면 <그림 3-33>과 같이 가두리는 수중으로 가라앉게 된다. 즉 표층 부상 상태에서 가두리의 잉여 부력이 1,500kg이기 때문에 그것의 부력을 1,500kg 이하로 감소시키면 가두리는 수중으로 침하하게 된다. 이 경우 가두리의 부력 조정은 전적으로 6개의 가변 부자에 의해 이루어진다. 각각의 가변 부자는 250kg(500kg/6개) 이상의 부력을 조정할 수 있어야 한다. 그러나 실체는 가두리의 그물 상태나 입식 어류의 성장 등에 의해 잉여 부력이 변할 수 있다. 따라서 이 값을 가능한 초기 설계치에 근사하도록 유지할 필요가 있고 그 역할을 6개의 절대 부자가 한다. 즉 절대 부자에 부착된 수동 조작 해수 밸브(sea valve)와 공기 입출변을 통해 가두리 시설의 부력을 임의로 조정할 수 있다.



부력의 백터량(수중상태)

<그림 3-33> 가두리 시설의 부력(수중 침하 상태).

각각의 절대 부자의 경우 구조적으로 240 kg 이상의 부력은 조절이 어렵도록 설계되어 있다. 왜냐하면 수동으로 부력을 조작하는 경우 관리자의 실수가 있을 수 있을 뿐만 아니라 해수 밸브와 공기 입출변의 고장으로 인하여 가두리 전체의 부력이 감소되어 가두리가 유실 될 수 있기 때문이다.

잉여 부력을 상실한 가두리는 수중으로 침하하게 되며, 가두리에 부착된 수압계와 제어 장치를 통해 일정 위치에 고정된다. 또한 가두리 시설에 연결된 부침 조절 밧줄의 길이에 의해서도 침하 깊이를 조절할 수 있다.

(3) 부상 상태

TFB > GSB면 가두리는 수면으로 부상하여 원래의 표층 상태에 유지된다.

다. 자동 부침 가두리 시설의 자동 부력 조절 방법

부침 부자는 피스톤 밸브를 개폐하는 솔레노이드 밸브, 부자 안의 가스 압력을 조정하는 솔레노이드 밸브와 부자내의 압력에 의해 해수를 유입 또는 배출하는 해수 출입 밸브로 구성된다. 그런데 대형의 가두리 시설을 수면 아래로 가라앉히거나 표층으로 부상시키기 위해서는 큰 동력이 요구되나 외해에서는 전력 확보의 어려움이 예상되기 때문에 전기 또는 동력 장치를 사용하지 않고 가두리를 침하하거나 부상시키기 위한 방안으로 액화 가스(공기 질소 포함)를 동력으로 이용한다. 이와 같은 액화 가스가 바닷물의 열을 흡수하여 기화되면서 고준위의 엔탈피, 즉 압축 에너지가 발생되기 때문에 이것을 이용하면 가두리를 부침시키는 동력으로 사용 가능하다. 즉, 가두리의 침하와 부상을 자동으로 제어하기 위해서는 액화된 기체의 압축 에너지를 이용하고 이 액화 기체를 제어하는 전자 밸브는 배터리로 구동되도록 한다. 자동 부침 가두리 시설의 부력 조절 장치는 <그림 3-34>와 같이 액화 가스 탱크에 일정 압력이 초과하면 개방되는 안전 밸브, 액화 가스가 저장되는 탱크, 탱크에서 방출하는 액화 가스의 압력을 조절

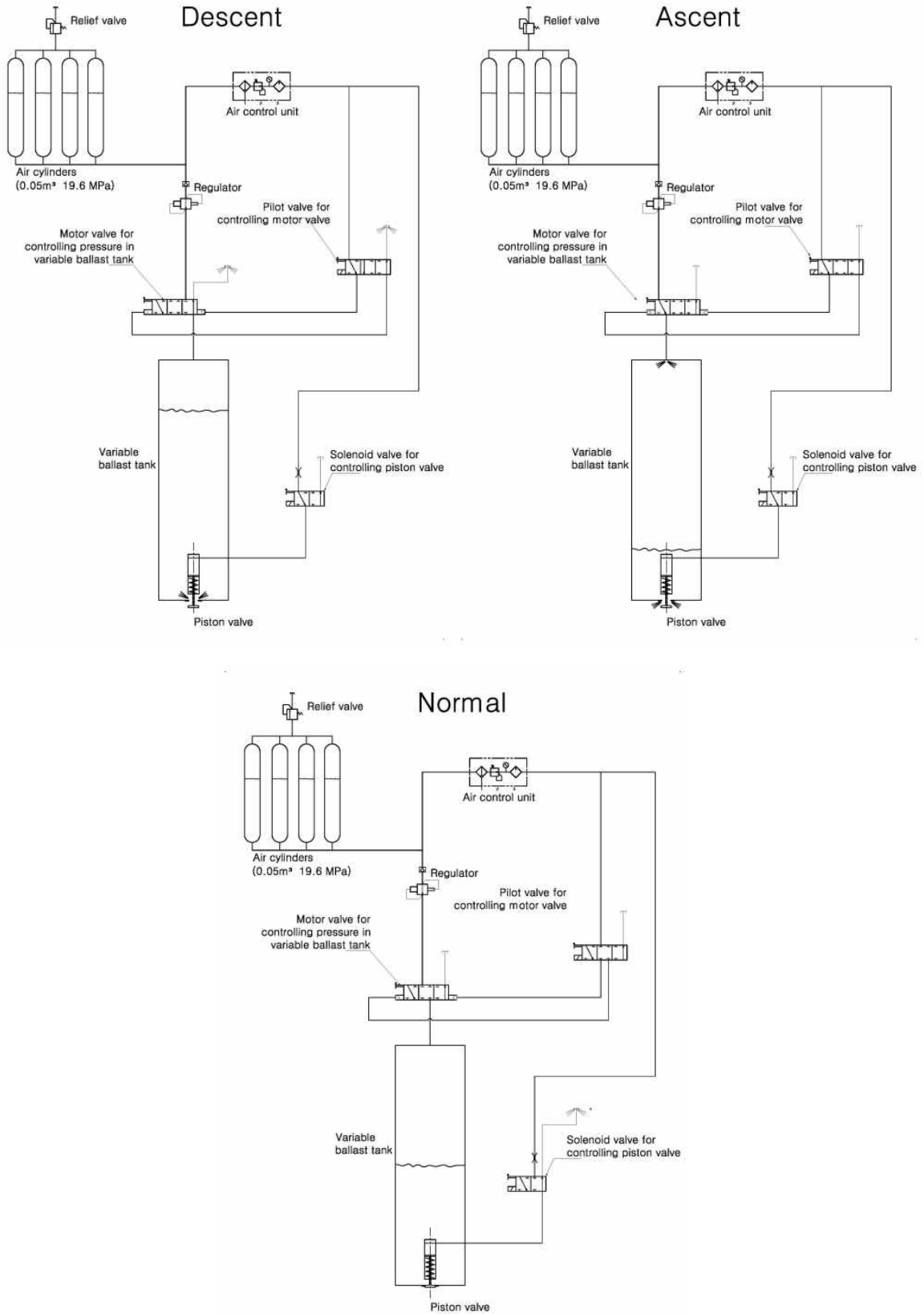
하기 위한 조절기, 압력이 조절된 액화 가스를 유입하여 기화시키는 기화기, 기화기에서 출력되는 기체와 액화 가스를 분리하는 일종의 기수 분리기인 축압기, 피스톤 밸브, 피스톤 밸브 개폐용 솔레노이드 밸브, 부자안의 가스 압력 조정용 솔레노이드 밸브와 해수 출입 밸브로 구성된다. 먼저 가두리를 수중으로 침하시키기 위해서는 부자안의 가스 압력을 조정하는 솔레노이드 밸브에 부착된 배기구를 통해 기체가 배기되도록 하면 부자안의 가스 압력이 저하되어 해수 출입 밸브를 통해 해수가 들어가게 됨으로써 부자의 부력이 감소한다. 따라서 가두리가 수중으로 침하하게 된다. 그리고 기화기에서 배출되는 기체를 부자 안으로 밀어 넣어 주면 압력에 의해서 부자 안에 있던 해수가 해수 출입 밸브를 통해 빠져 나가게 됨으로써 부침 부자의 부력이 증가하여 가두리가 상승하게 된다. 이 경우 솔레노이드 밸브의 개폐는 가두리의 제어 장치에 의해 전기적으로 제어된다. 그리고 피스톤 밸브가 기동하지 않으면 해수 출입 밸브가 작동되지 않기 때문에 부침 부자내에는 유입된 기체 또는 액체에 변화가 없으므로 부자의 부력은 일정하게 유지된다. 상기와 같은 자동 부력 조절 장치를 통해 가두리 시설의 자동 침하시에는 메인 통제 장치의 지령에 의해 부침 부자 내부에 있던 기체가 외부로 배출되고 대신 바닷물이 그곳으로 유입되면서 가두리 시설의 부력이 감소하여 가두리가 메인 보드에 설정된 수면 아래의 일정 수층까지 내려가게 된다. 이와 같이 가두리가 외력을 피하여 수면 아래로 하강한 경우에도 메인 통제 장치는 일정 시간 간격으로 해양 환경을 계속 수집한다. 메인 통제 장치는 가두리와는 달리 항상 수면 상에 위치하여 가두리가 위치하는 지점의 환경 정보를 지속적으로 감지할 수 있다. 만약, 메인 통제 장치가 수집한 해양 환경 정보가 다시 가두리를 상승시켜도 안전하다고 판단되는 수치이면 다시 가두리를 상승시킨다. 이 경우 가두리의 부침 부자에는 바닷물이 차 있기 때문에 기체를 공급하여 바닷물을 배출시키고 부침 부자의 부력을 증가시키게 된다. 즉, 메인 통제 장치의 액화 가스가 기화기를 거쳐 기체로 변환된 후 부침 부자의 바닷물을 외부로 밀어낼 수 있을 정도의 압력으로 기체를 주입하여 바닷물을 대체하여 부력을 상승시킨다. 따라서 메인 통제 장치에서 계측되는 파고 또는 풍속과 메인보드에 미리 설정된 외부 환경의 임계치에 따라 가두리의 부침을 용이하게 하기 위해서는 부침 부자안의 부력을 제어해야 한다. 즉, 부침 부자의 부력을 증가시키기 위해서는 기체를 주입하고 부력을 감소시키기 위해서는 바닷물이 유입되어야 한다.

이와 같이 구성되는 자동 부침 가두리 시설의 부력 조절 장치의 동작은 다음과 같다. 먼저 <그림 3-34>를 참조하여 가변 부자의 부력을 유지하는 동작을 설명한다. 이것에서 보면 기화기에서 배출되는 기체는 피스톤 밸브 제어용 전자 밸브가 닫힘으로써 피스톤 밸브를 기동시키지 못하게 된다. 따라서 이 전자 밸브의 개폐는 가두리의 제어 장치에 의해 전기적으로 제어된다. 그리고 피스톤 밸브가 기동하지 않으면 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브가 동작하지 않게 제어되기 때문에 가변 부자내에는 유입된 기체 또는 액체는 현 상태를 유지함으로써 가변 부자는 일정한 부력을 유지한다. 이 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브는 피스톤 밸브의 기동시에만 개폐 동작을 행하게 프로그래밍화 된다.

<그림 3-34>를 참조하여 가변 부자의 부력을 감소시켜 가두리를 수면 아래로 하강시키는

동작을 설명한다. 우선 기화기에서 배출되는 기체는 피스톤 밸브 제어용 전자 밸브가 열림으로써 피스톤 밸브를 일정 압력으로 눌러 기동시키면 이 전자 밸브의 개폐는 가두리의 제어 장치에 의해 전기적으로 제어된다. 그리고 피스톤 밸브가 기동하면 해수 유입 배출구가 열리게 되어 해수가 가변 부자 내부로 유입된다. 따라서 기체 유입 배출구가 개방되면 기체는 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브를 통해 배출된다. 이와 같이 가변 부자에 바닷물이 차게 되면 피스톤 밸브는 해수 유입 배출구를 닫는다. 여기서 피스톤 밸브가 해수 유입 배출구를 닫는 동작은 가두리의 제어 장치에서 충분히 부력이 감소하였다고 판단하여 피스톤 밸브 제어용 전자 밸브를 닫음으로써 기체의 유입을 차단하여 이루어진다. 이와 같이 피스톤 밸브의 동작이 종료됨에 따라 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브도 닫힌다. 따라서 가변 부자내에는 바닷물이 가득 차서 부력이 감소하여 가두리를 수면 아래로 하강시킨다.

<그림 3-34>를 참조하여 가변 부자의 부력을 증가시켜 가두리를 수면까지 상승시키는 동작을 설명한다. 우선 기화기에서 배출되는 기체는 피스톤 밸브 제어용 전자 밸브가 열림으로써 피스톤 밸브를 일정 압력으로 눌러 기동시키면 이 전자 밸브의 개폐는 가두리의 제어 장치에 의해 전기적으로 제어된다. 그리고 피스톤 밸브가 기동하면 해수 유입 배출구가 열린 후, 기체는 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브가 열림으로써 기체 유입 배출구를 통해 가변 부자의 내부로 유입된다. 따라서 가변 부자 내부의 바닷물은 해수 유입 배출구를 통해 기체 유입 배출구가 개방됨으로 일정 압력으로 유입되는 기체에 의해 해수 유입 배출구를 경유하여 외부로 밀려나가게 된다. 상기 일정 압력은 바닷물을 밀어내기에 충분한 압력이다. 이와 같이 가변 부자에 기체가 차게 되면 피스톤 밸브는 해수 유입 배출구를 닫는다. 여기서 피스톤 밸브가 해수 유입 배출구를 닫는 동작은 가두리의 제어 장치가 충분히 부력이 증가하였다고 판단하여 피스톤 밸브 제어용 전자 밸브를 닫음으로써 기체의 유입을 차단되기 때문에 이루어진다. 이와 같이 피스톤 밸브의 동작이 종료됨에 따라 가변 부자 압력 제어용 전자 밸브도 닫힌다. 따라서 가변 부자내에는 기체가 가득 차서 부력이 증가하기 때문에 가두리를 수면까지 상승시킨다.



<그림 3-34> 자동 부침 가두리 시설의 부력 감소(침하), 증가(부상) 및 유지(일정 수층 유지) 블록선도.

라. 자동 부침 가두리 시설의 전력량

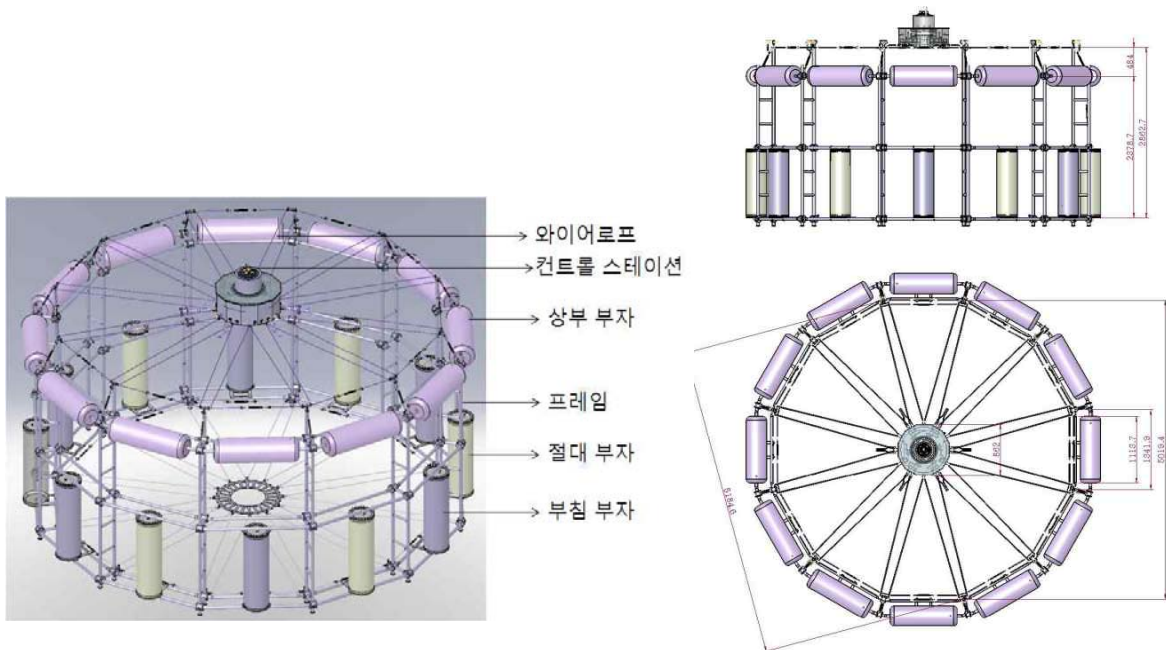
본 연구에서 개발한 자동 부침 가두리는 가두리의 침하와 부상에 필요한 자동 제어를 위해 사용하는 동력이 압축 공기 및 해수이고 공기의 양을 자동으로 조절하기 위한 모터 밸브가 사용된다. 이 모터 밸브는 DC 24V의 축전지(소형 풍력 발전기로 충전 가능)를 이용한다. 자동 부침 가두리 시설에는 모터 밸브, 풍속계, 경사계, 수압계, 압력계, 메인보드, 해수 펌프, 공기 압축기 등이 설치된다. 자동 부침 가두리 시설의 전력량을 계산한 결과는 <표 3-5>와 같다.

<표 3-5> 자동 부침 가두리 시설의 전력량(30일 가동 부침 및 부상 1회 작동 기준)

No	장치	수량	전압	소비 전력	가동 시간	작동횟수	소모 에너지
1	모터 밸브(가변 부사용)	12	DC 24V	10W	5s	4	27.8mAh
2	모터 밸브(공기 압축기 및 해수 펌프용)	3	DC 24V	10W	5s	2	3.47mAh
3	해수펌프	1	AC 220V	1100W	150s	1	208mAh
4	공기압축기	1	DC 24V	900W	210s	1	2.19Ah
5	인버터	1	DC 24V	2000W	160s	1	33.3mAh
6	풍속계	1					nil
7	수압계	1					nil
8	경사계	1					nil
9	메인보드	1	DC 24V	1W	717h	1	29.9Ah
10	자연 방전				720h		20Ah
	계						52.36Ah

2. 자동 부침 가두리 시설 1차 시작품

자동 부침 가두리 시설의 성능 시험을 위하여 소규모 시작품을 설계하였다. 이 시작품은 <그림 3-35>와 같이 프레임, 12개의 상부 부자, 6개의 절대 부자(수동으로 기체 주입 및 배기), 부침 부자(가변 부자, 자동으로 기체와 해수 주입 및 배기), 부침 조작 제어 장치 (컨트롤 스테이션 및 제어반), 철사 밧줄(와이어로프) 및 가두리 그물 등으로 구성된다. 이 가두리는 실물의 1/4 정도 크기로 지름이 약 Ø5m이고 높이가 2.3m이며, 해수에서도 부식이 되지 않도록 하기 위하여 시작품의 모든 부품을 스테인리스 스틸(SUS 304L)과 엔지니어링 플라스틱 및 황동으로 제작하였다.



<그림 3-35> 자동 부침 가두리 1차 시작품의 전체 구성도.

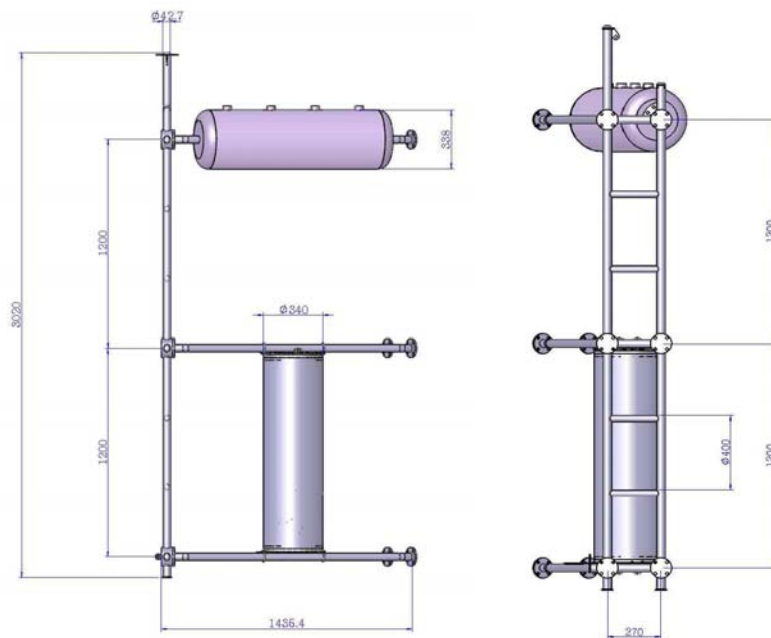
가. 프레임과 부자

시작품의 프레임과 부자 배치도는 <그림 3-36>과 같다. 먼저 프레임은 가두리 시설의 뼈대 역할을 하는 것으로서 상부에 있는 12개의 부자와 하부에 각각 6개씩 있는 고정 부력 부자와 부침 부자의 고정을 위해 사용된다. 이 프레임은 지름이 Ø32mm인 스테인리스 파이프(SUS 304L)를 사용하여 12각형이 되도록 제작하였다. 이 경우 길이가 1.4 m이고 높이가 1.2 m인 12개의 프레임을 플랜지로 연결하였다. 또한 프레임의 한 변은 수평 방향으로 2중 구조이고 수직 방향으로는 3단 구조(상부, 중앙부 및 하부)로 구성되도록 하였다. 이와 같이 프레임을 조립하고 총 24개의 부자를 부착한 후 프레임의 강도를 증대시키고 변형을 방지하기 위하여 프레임에 보강 장치를 설치하였다. 이 프레임 보강 장치는 <그림 3-37>과 같이 상부 및 하부 프레임에서 각각 12개의 철사 밧줄(와이어로프)로써 상부는 컨트롤 시스템의 컨트롤 스테이션에, 하부는 중앙에 있는 링에 고정한다.

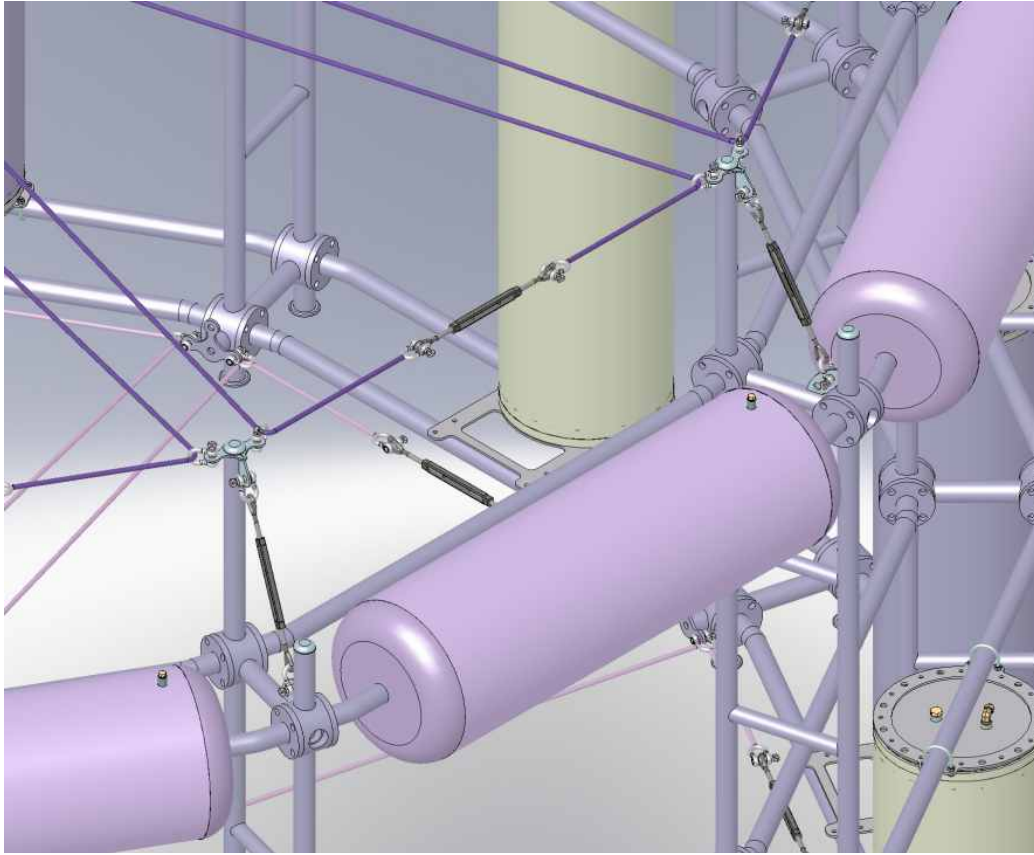
시작품에 사용된 상부 부자는 <그림 3-38>과 같다. 이 부자는 원통형으로 지름이 Ø340mm이

고 길이가 1,120mm이고 프레임의 상부에 수평 방향으로 12개를 설치하며, 부력의 제어는 불가능하다. 이에 비하여 절대 부력 부자와 부침 부자는 모두 원통형으로 지름이 $\varnothing 340\text{mm}$ 이고 길이가 1,120mm이고 프레임의 하부에 수직 방향으로 각각 6개씩 설치하며, 부력의 조절이 가능하다. 이들 12개의 하부 부자는 상부 부자와는 달리 수직 방향, 즉 원주형이 되도록 설치한다. 그 이유는 시작품 부자의 지름이 340 mm로 작아 수평 방향으로 부침 부자를 사용하면 피스톤 밸브를 원활하게 설치할 수 없을 뿐만 아니라 부침 부자에 들어간 해수도 잘 빠지지 않기 때문이다.

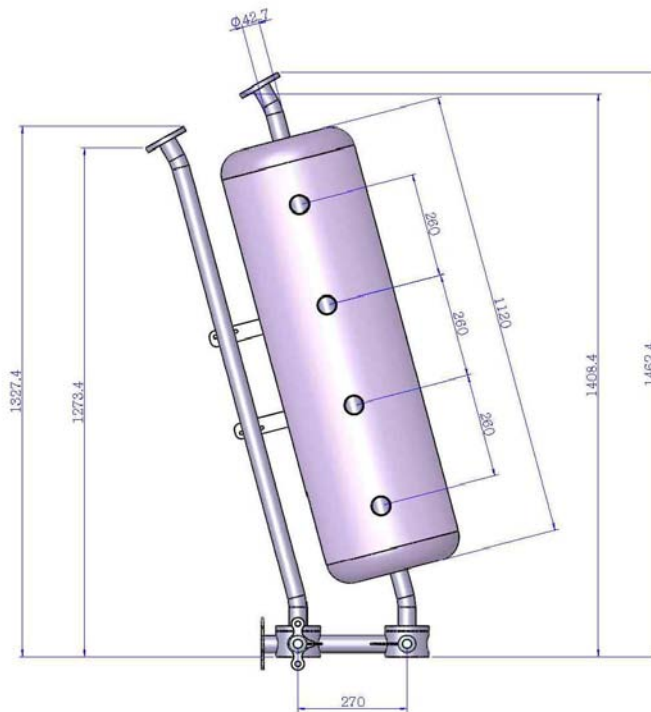
먼저 절대 부자는 가두리 시설의 전체 부력 조절이 필요한 경우, <그림 3-39> 및 <그림 3-40>과 같은 수동 부력 조절 밸브를 통해 압축 공기를 주입하거나 배기하여 부력을 조절할 수 있다. 이에 비하여 가변(부침) 부자는 <그림 3-42>와 같이 하면에 피스톤 밸브가 설치되어 있으며, 가두리의 침하 또는 부상시 컨트롤 시스템에 의해 피스톤 밸브가 개폐되어 해수가 부자 안으로 들어가거나 빠지고 공기 호스를 통해 공기가 들어가거나 빠지면서 부력이 자동으로 조절된다. 부침 부자용 피스톤 밸브의 구조에 대해서는 앞에서 자세하게 설명한 바 있다.



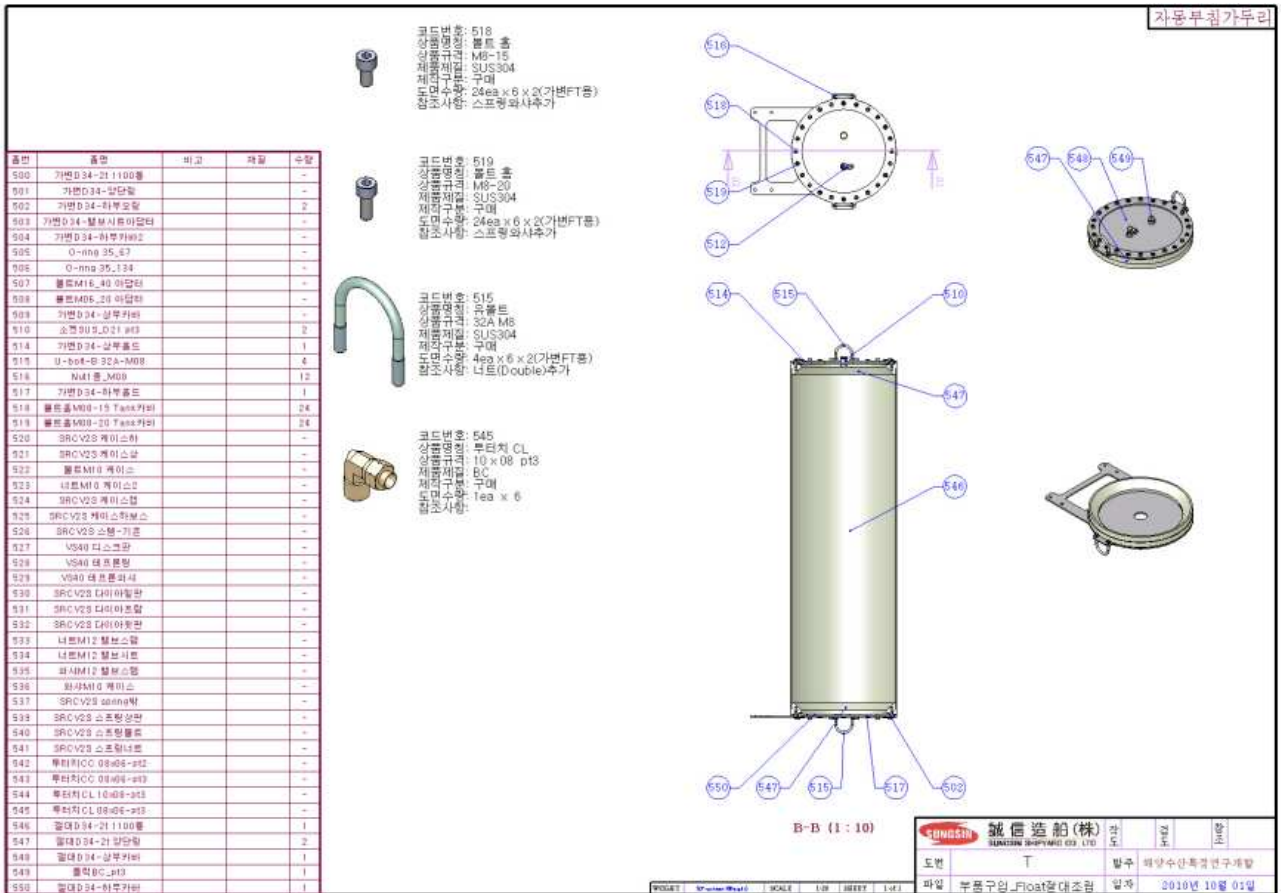
<그림 3-36> 자동 부침 가두리 1차 시작품의 프레임과 부자 배치도.



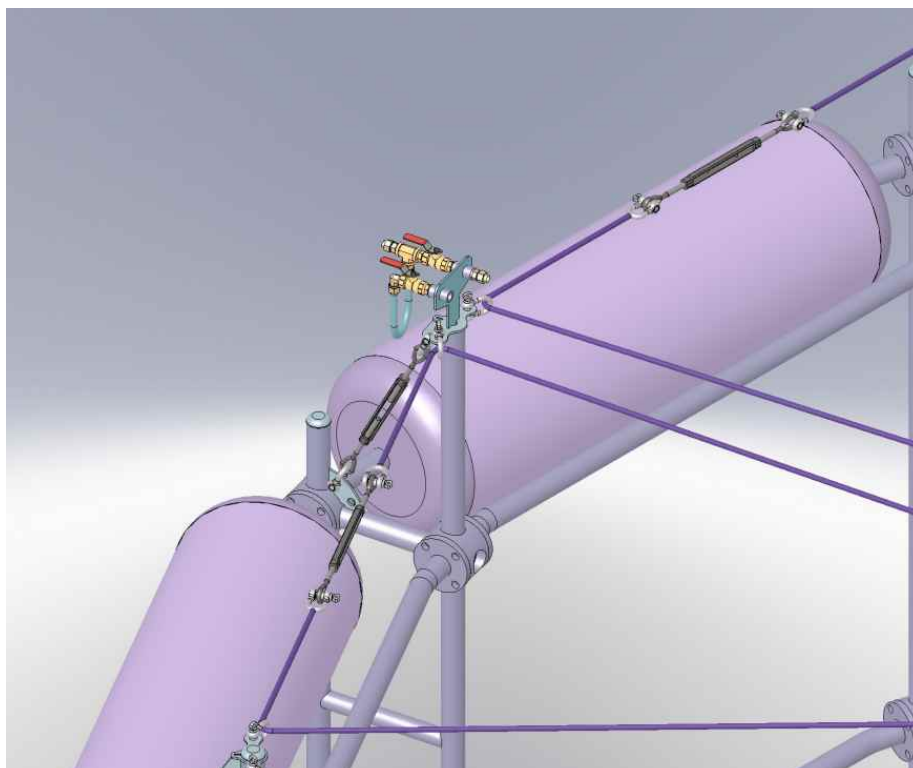
<그림 3-37> 프레임 강도 보강을 위한 와이어로프 및 턴버클.



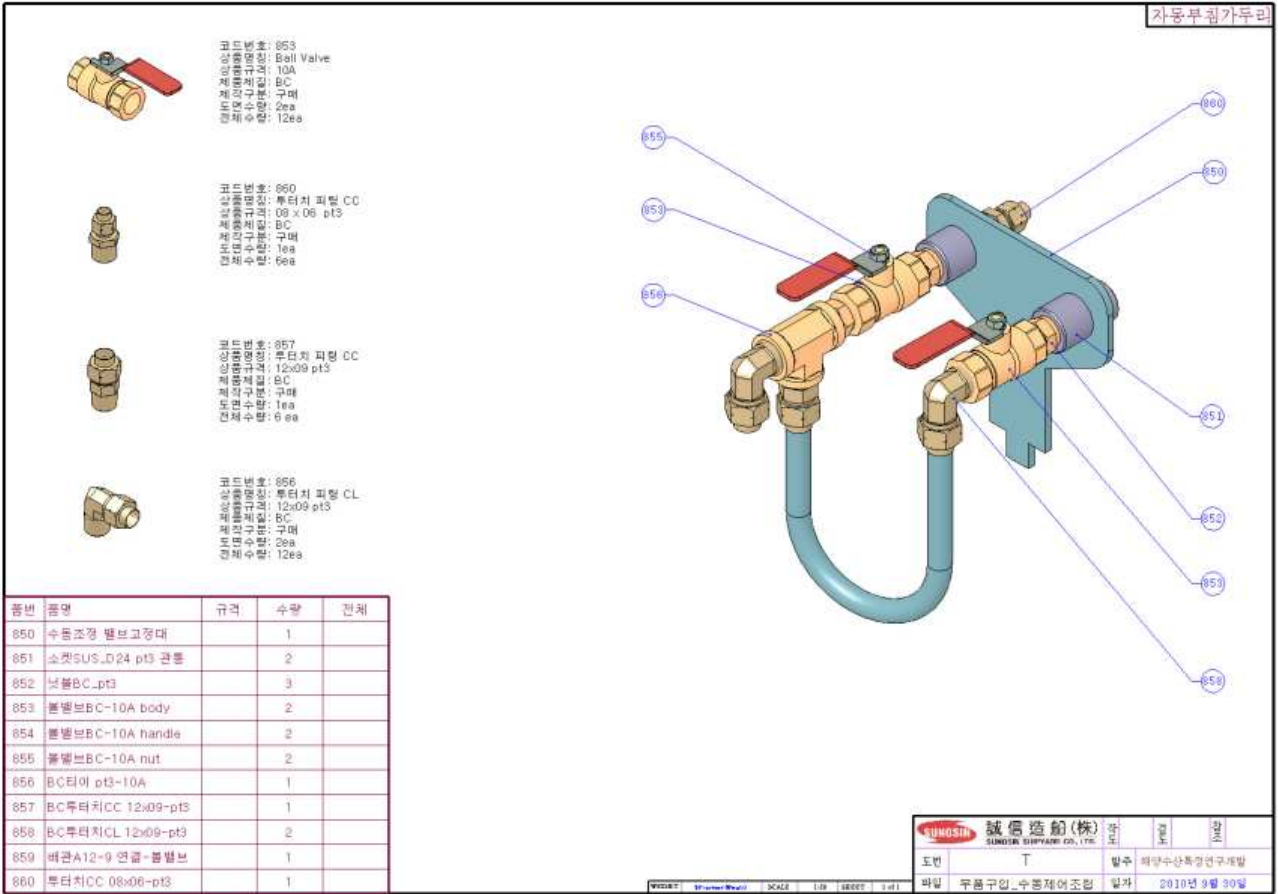
<그림 3-38> 자동 부침 가두리 1차 시작품의 상부 부자.



<그림 3-39> 자동 부침 가두리 1차 시작품의 절대 부자.



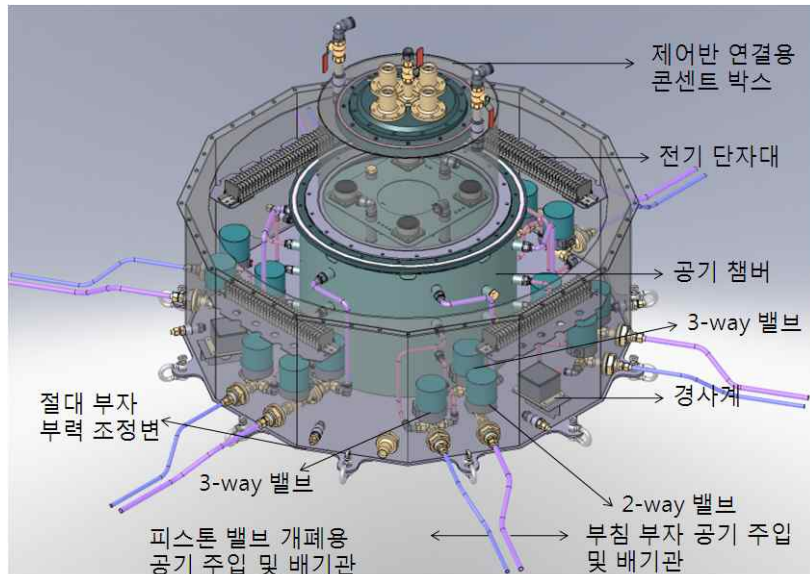
<그림 3-40> 자동 부침 가두리 1차 시작품의 절대 부자 부력 조절용 밸브



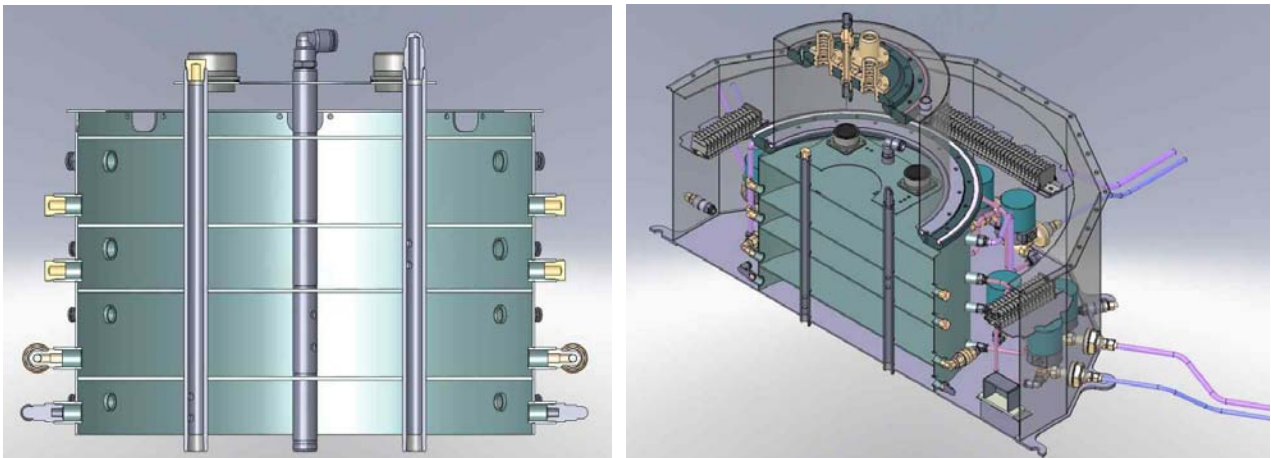
<그림 3-41> 1차 시작품의 절대 부자 부력 조절용 밸브 조립도.

나. 부침 작동 제어 시스템

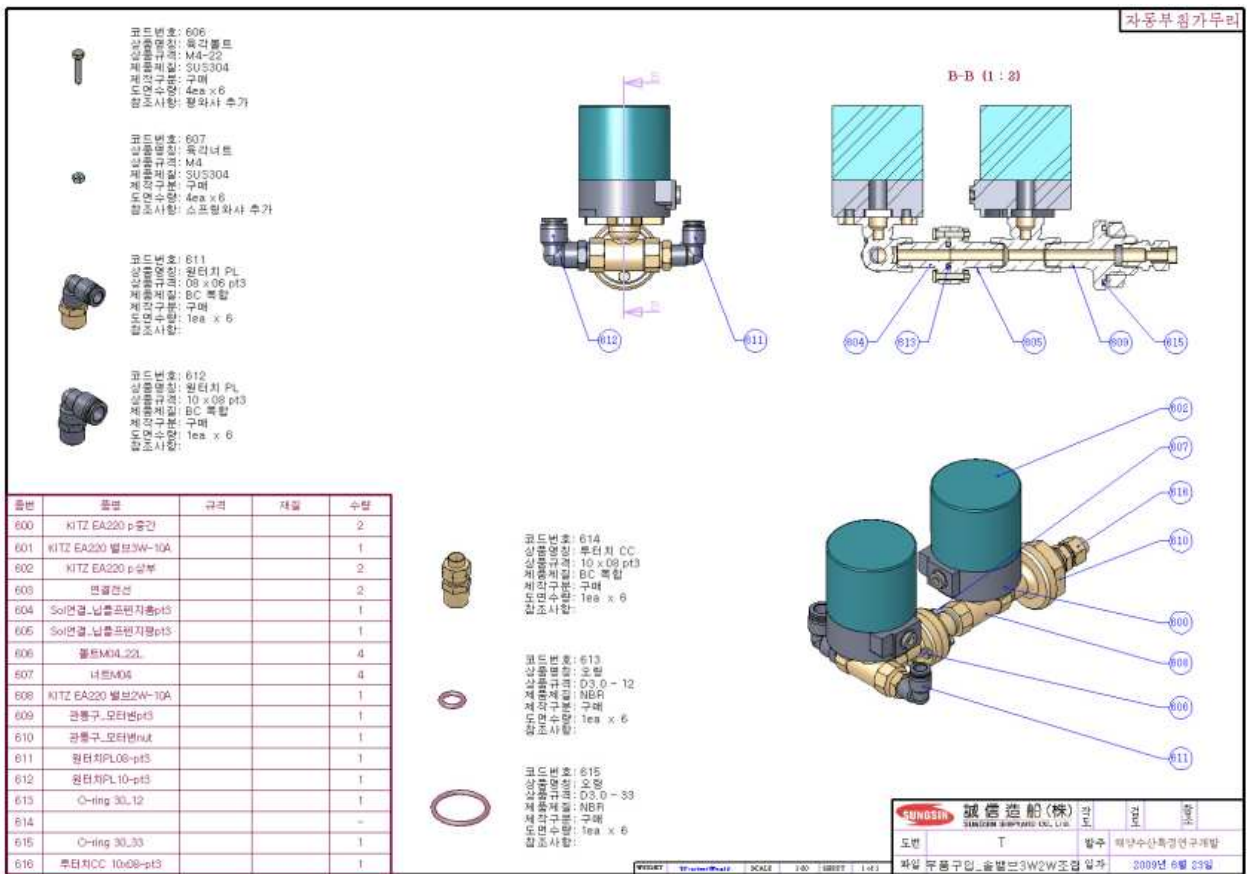
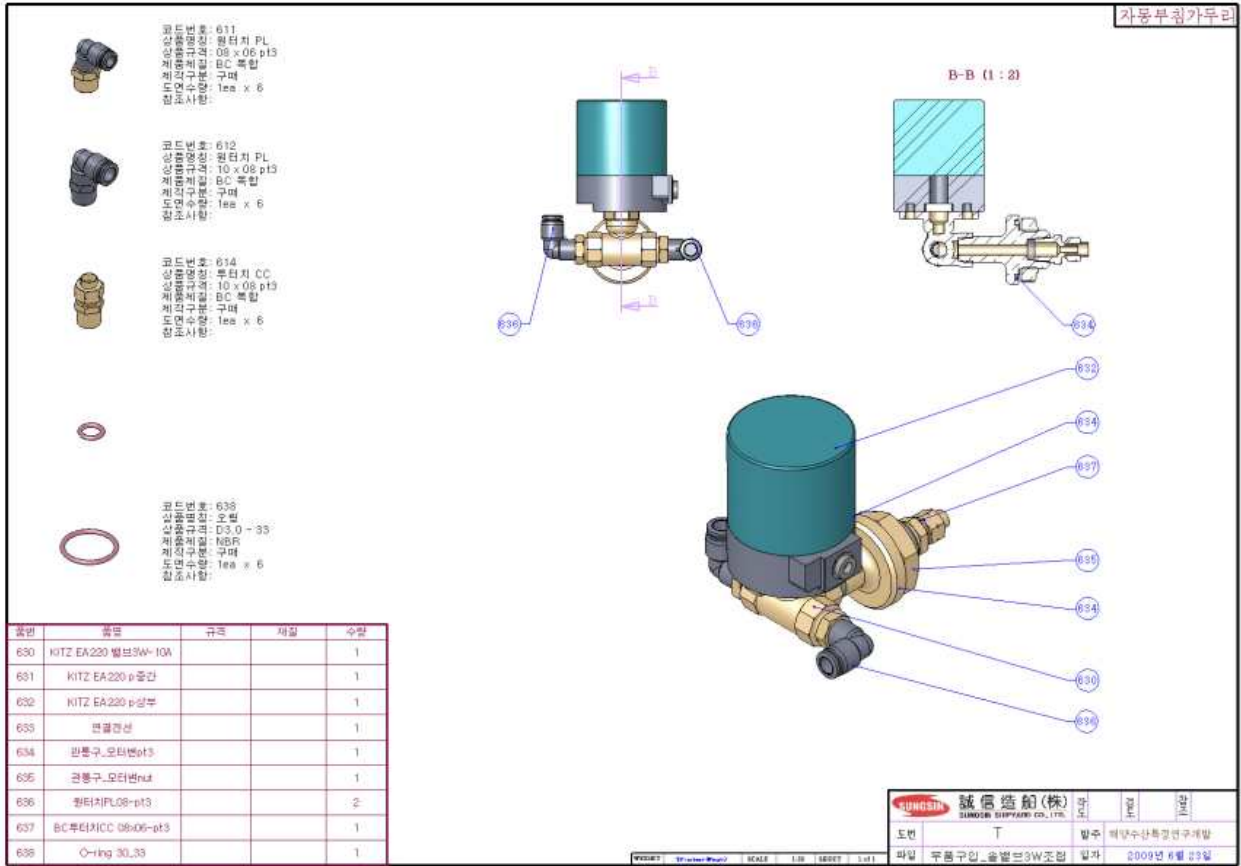
이 연구에서는 가두리 시설의 부침 작동 제어 시스템을 컨트롤 스테이션과 제어반으로 구성하였다. 먼저 컨트롤 스테이션은 <그림 3-43>~<그림 3-44>와 같이 4개의 전기 단자대(솔레노이드 밸브, 경사계 및 간극 수압계용), 공기 챔버(내부에 3개의 방으로 구성), 6개의 2-way 밸브, 12개의 3-way 밸브, 3개의 경사계, 6가닥의 부침 부자 공기 주입 및 배기관, 6가닥의 피스톤 밸브 개폐용 공기관, 절대 부자 조정변 등으로 구성한다. 이 컨트롤 스테이션은 침하 시 가두리 시설과 함께 수중으로 들어가기 때문에 내부에 물이 들어가지 않도록 방수 처리를 하여 <그림 3-45>에서와 같이 스테인리스 턴버클과 철사 밧줄(와이어로프)로써 가두리 상부 프레임에 고정한다. 이 컨트롤 스테이션은 제어반 연결용 콘센트 박스에서 4개의 케이블에 의해 <그림 3-46>의 제어반과 연결된다. <그림 3-47>은 이 제어반의 전기 회로도이고, <그림 3-48>와 <그림 3-49>는 실내에서 제어반의 작동 시험을 나타내는 것으로 시험 결과, 제어반이 정상적으로 작동되는 것을 확인하였다. 이 제어반으로 가두리 시설의 침하 깊이, 부상 및 침하 상태, 가두리 시설의 기울기에 따른 수평 조절 등을 제어한다.



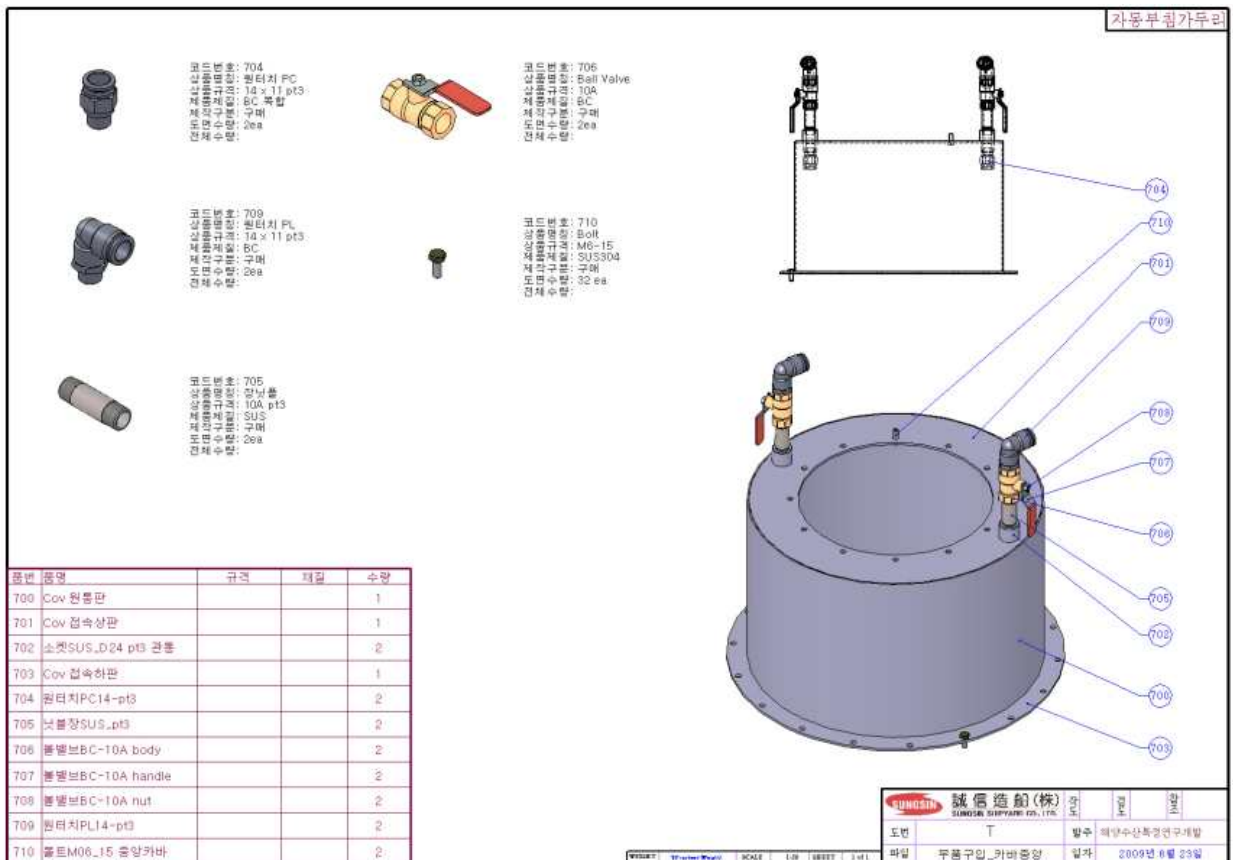
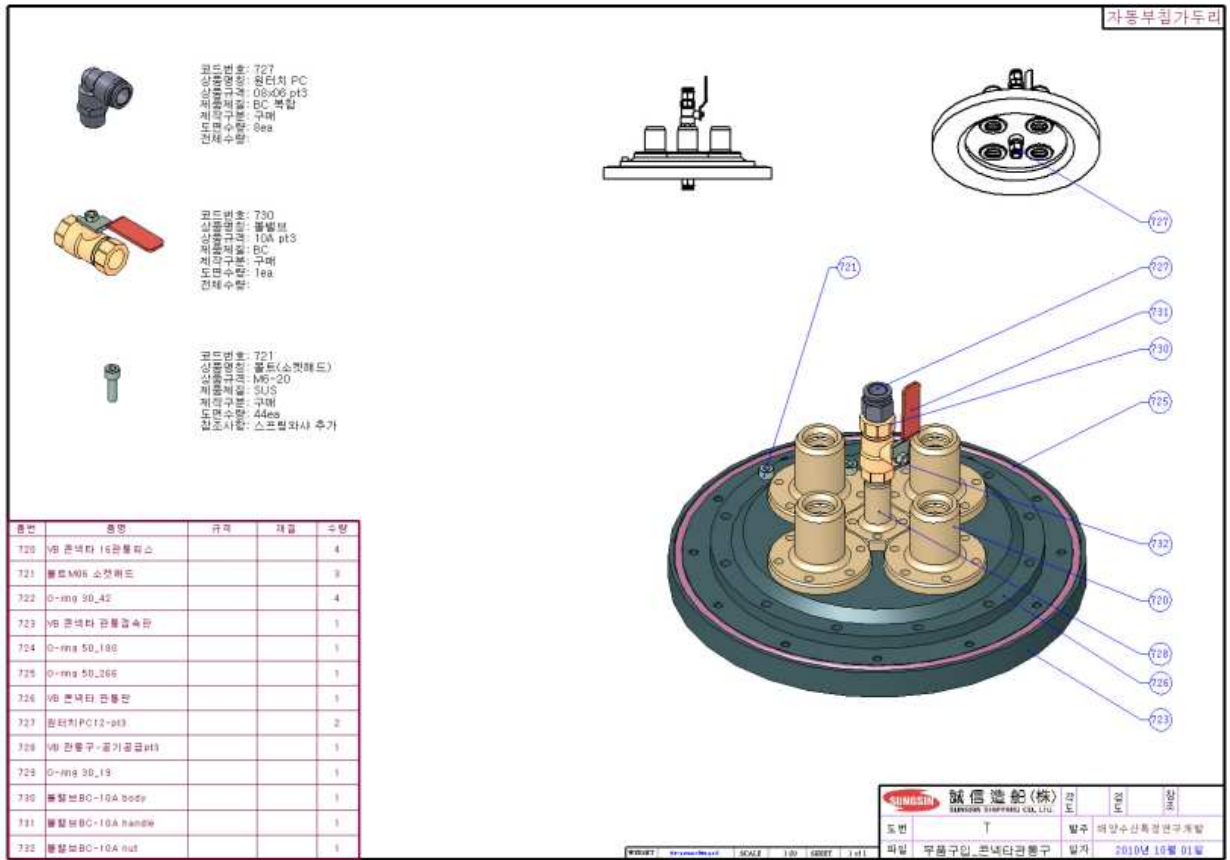
<그림 3-43> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션 구성.



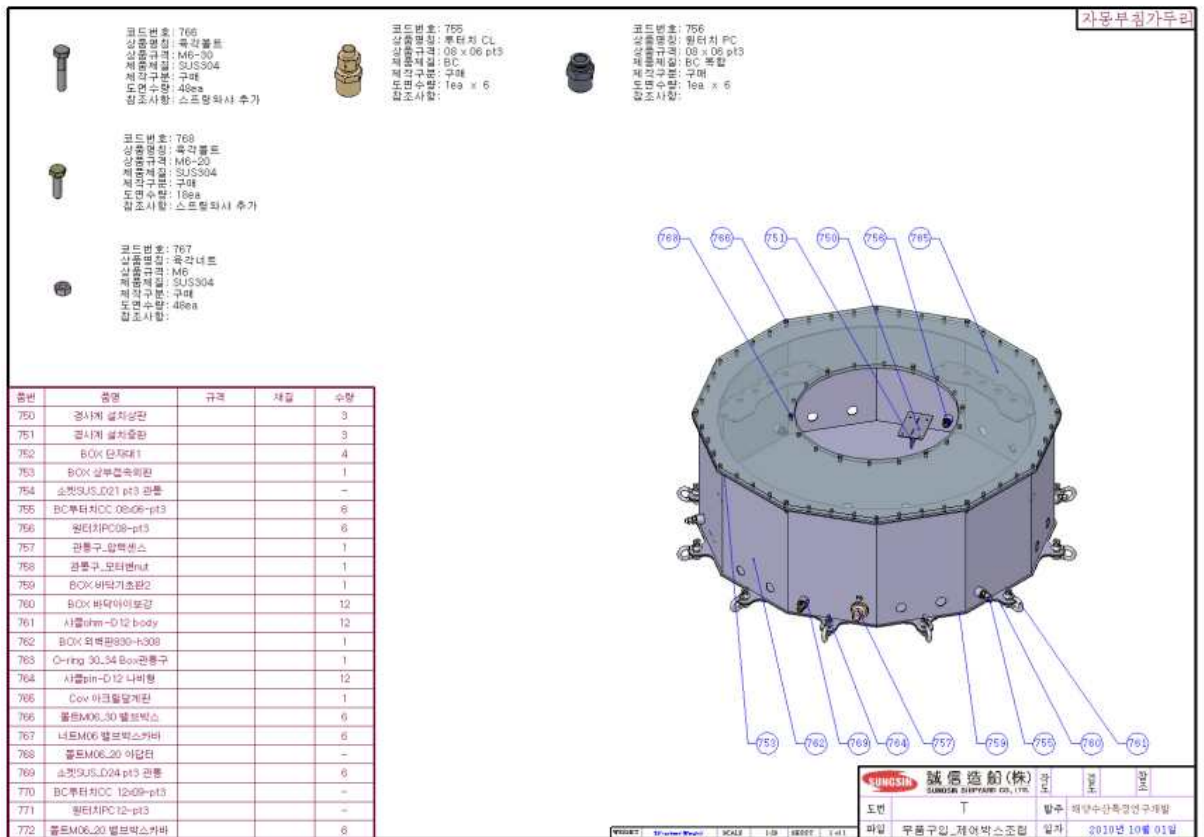
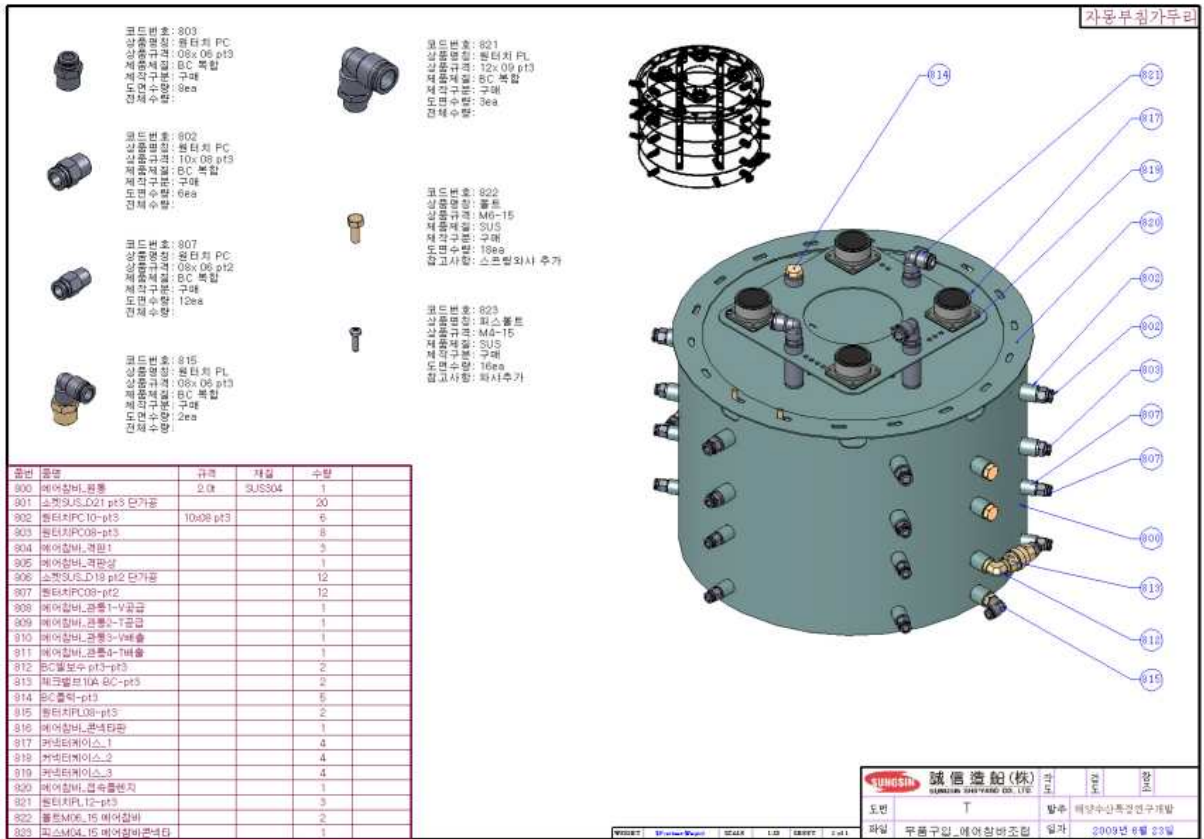
<그림 3-44> 공기 챔버의 외부(좌) 및 내부(우).



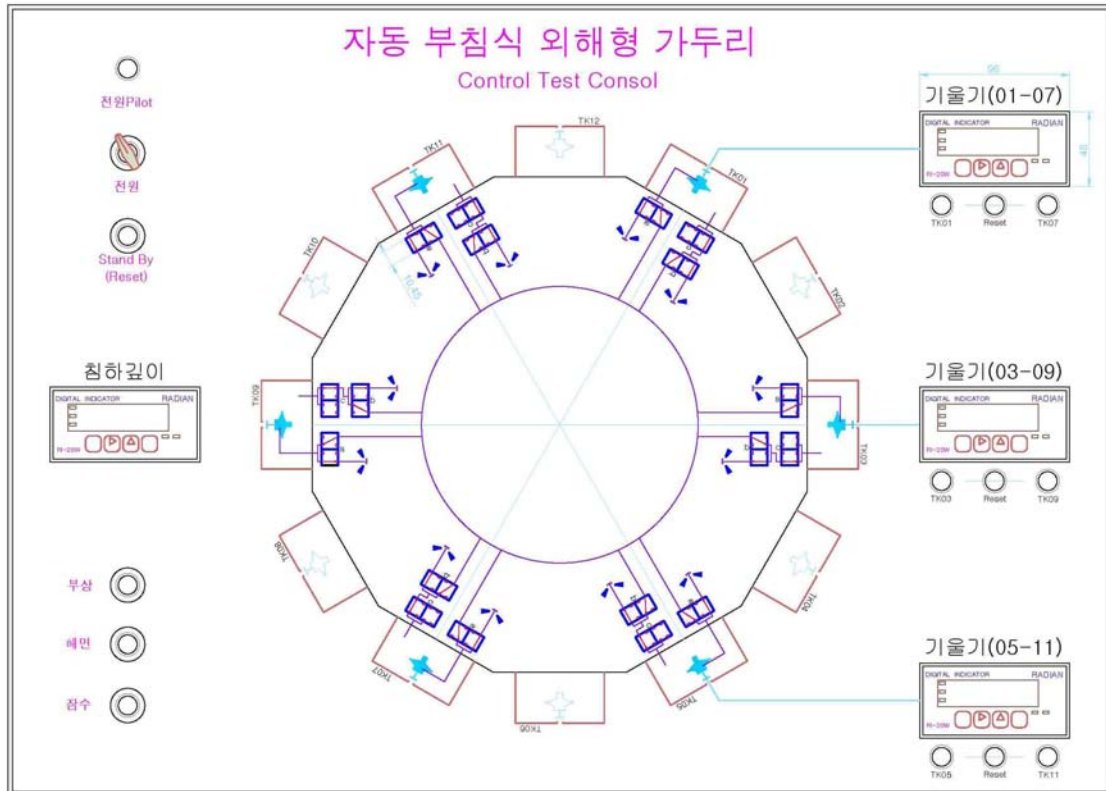
<그림 3-45> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션에 사용된 2-way 및 3-way 밸브 조립도.



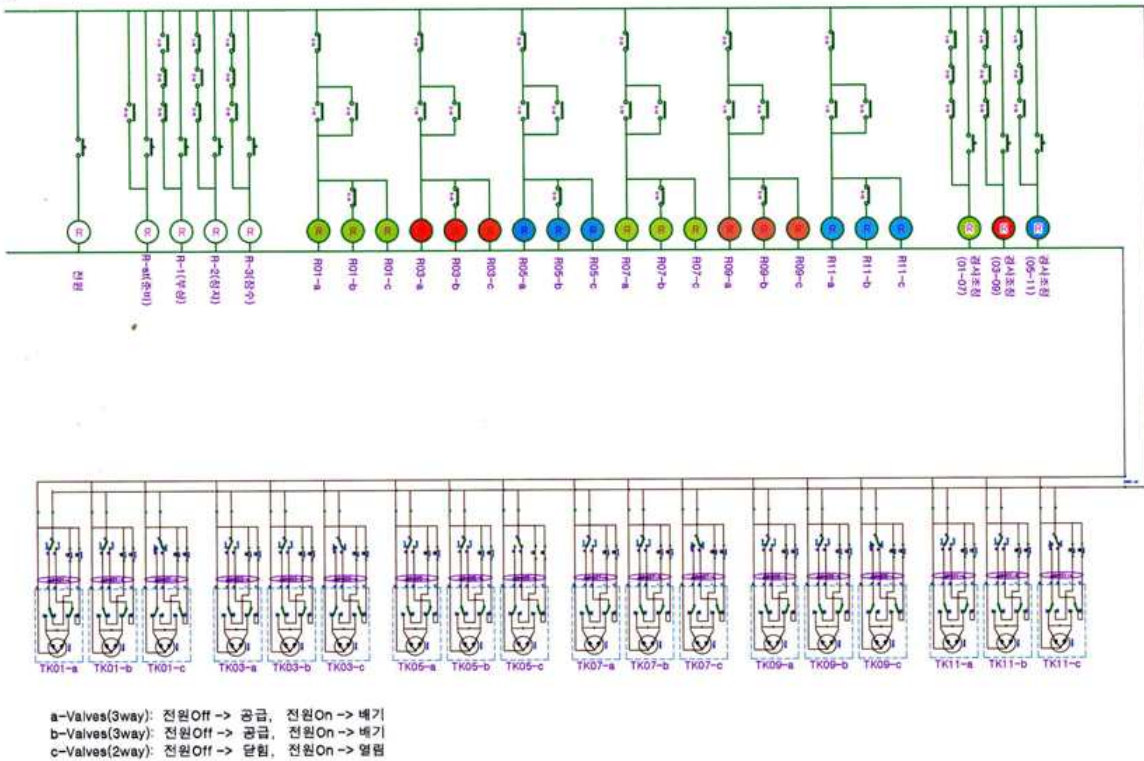
<그림 3-46> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션에 사용된 제어반 연결용 콘센트 박스.



<그림 3-47> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션에 사용된 및 공기 챔버(상) 및 제어 박스 (하)조립도.



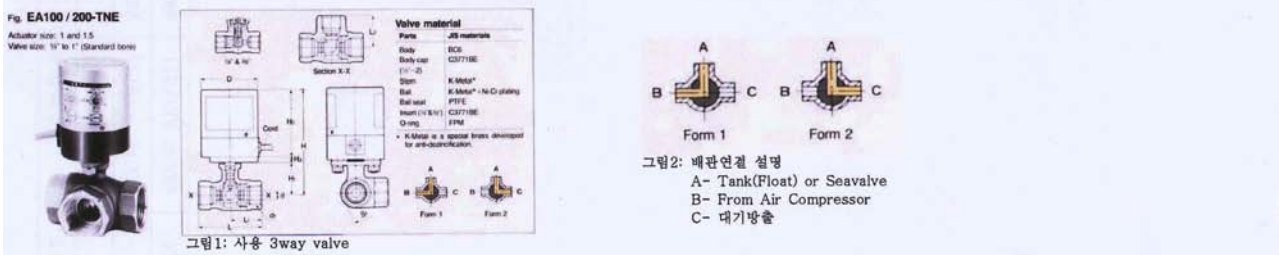
<그림 3-48> 1차 시작품의 부침 제어반.



<그림 3-49> 1차 시작품의 부침 제어반 전기 회로도.

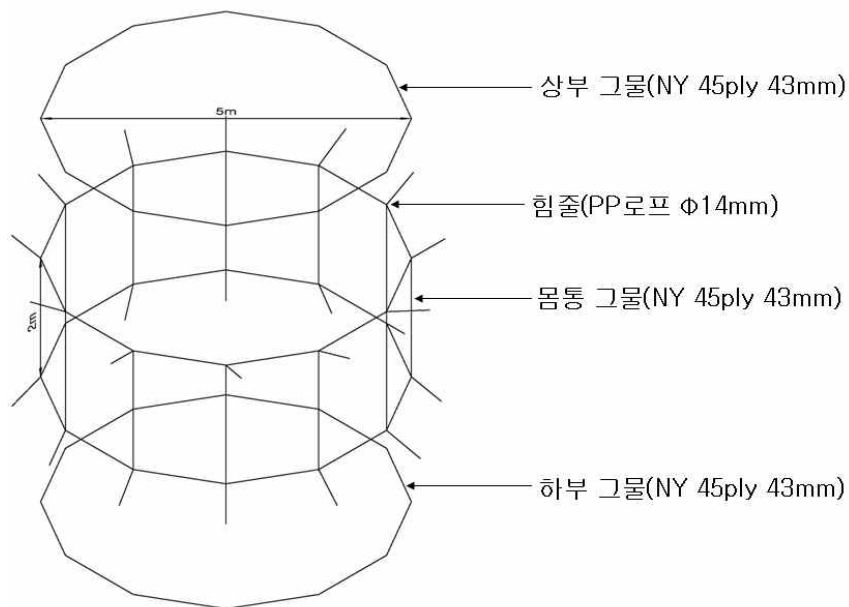
<표 3-6> 1차 시작품의 가변(부침) 부자의 상황별 작동 상태

	Solenoid	Valve	역할 및 상태	공기상태		Sea Valve	Sea Water	압축 공기	Motor Valve			Relay	
				작동	S/B				작동	S/B	Time	전원	
잠수	Sol-a	3-way	Seavalve 개방	공급(개)	배기(폐)	열림	유입	공급	Form1	Form2	4sec	ON	
	Sol-b	3-way	Tank내 공기배기	공급(가압)	배기(감압)			배기	Form2	Form2	0	OFF	
	Sol-c	2-way	Tank내 공기출입	열림(개방)	단침(밀폐)			출입	Open	Close	5sec	ON	
부상	Sol-a	3-way	Seavalve 개방	공급(개)	배기(폐)	열림	배출	공급	Form1	Form1	0	ON	
	Sol-b	3-way	Tank내 공기공급	공급(가압)	배기(감압)			공급	Form1	Form2	4sec	ON	
	Sol-c	2-way	Tank내 공기출입	열림(개방)	단침(밀폐)			출입	Open	Open	0	ON	
정지	Sol-a	3-way	Seavalve 단침	공급(개)	배기(폐)	단침	차단	배기	Form2	Form2	0	OFF	
	Sol-b	3-way	Tank내 공기배기	공급(가압)	배기(감압)			배기	Form2	Form2	0	OFF	
	Sol-c	2-way	Tank내 공기차단	열림(개방)	단침(밀폐)			밀폐	Close	Close	0	OFF	



다. 가두리 그물

가두리 그물은 상부 그물, 몸통 그물 및 하부 그물의 세 부분으로 구성되며, 크기는 프레임의 내면의 크기가 같은 지름이 5m이고 깊이는 2m이다. 가두리 그물에 사용된 그물감의 재질은 나일론 45합사이고 그물코의 크기는 43mm이다. 그리고 힘줄은 지름이 14mm인 PP 밧줄을 사용한다. 가두리 그물감의 표면에는 부착 생물이 붙는 것을 방지하기 위해 방오 페인트를 칠한다.



<그림 3-50> 가두리 그물.

3. 자동 부침 가두리 산업화 시작품 설계

가. 설계 원리

자동 부침 가두리 시설의 보급을 위하여 <그림 3-51>과 같이 산업화 시작품을 설계하였다. 이 시작품은 대상 해역의 환경 조건(10분간 풍속 14m/s 이상)에 따라 가두리 시설이 자동으로 침하 및 부상되는 자동 부침 기능과 필요시 사용자가 리모컨을 사용하여 가두리 시설의 침하와 부상이 이루어지도록 설계하였다. 이를 위해 자체 동력 축전지(DC 24V 배터리, 300Ah)에 의한 가두리 시설의 자동 및 수동(리모컨) 침하와 부상이 가능하고 지정 침하 수심에서 지정 시간 정지와 수면에서 정지가 가능하도록 설계하였다. 그리고 침하 및 부상 시 프레임 기울기(경사각) 보정이 가능하고 가두리가 침하 중인 상태에서 돌발 상황 발생 시에는 가두리가 비상 부상이 되도록 하였으며 평상시에는 풍속계와 통신 보드만 작동됨으로써 동력을 줄일 수 있는 절전 기능도 고려하였다. 또한 이 가두리 시설은 기존 압축 공기를 이용한 부침식 가두리 시설과는 달리 가변 부자에서 빠져 나온 공기가 대기로 완전히 배출시키지 않고 고압 탱크에 보관되는 압축 공기 순환 방식을 채택하였다. 즉, 가두리 시설의 부상 시 고압 탱크에 보관된 압축 공기를 가변 부자에 주입하되, 일부 누설되거나 물에 용해된 소량의 공기에 대해서는 내장된 소형 공기 압축기로 보충하면 된다.

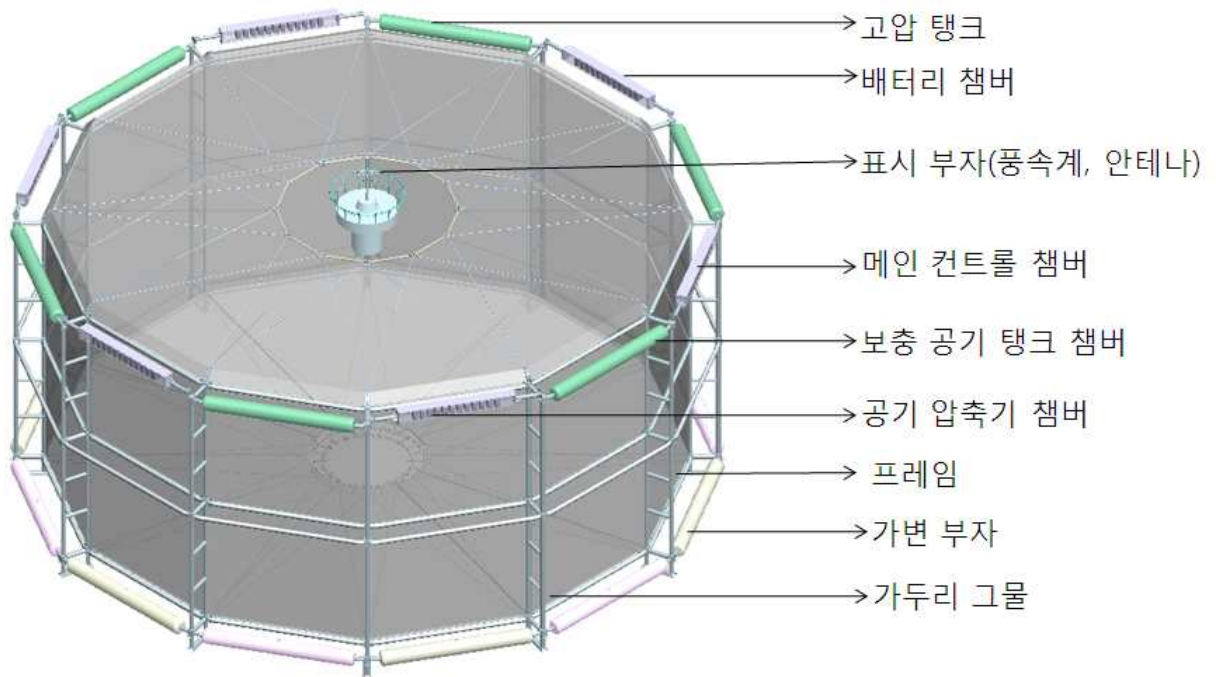
산업화 시작품은 1차년도에 개념 설계한 <그림 3-14>와 같은 형태로 프레임, 12개의 가변(부침) 부자, 12개의 상부 부자, 표시 부자로 구성된다. 특히 12개의 상부 부자 중 4개는 고압 탱크로 사용되고 나머지 8개는 각종 챔버(메인 컨트롤 챔버, 공기 압축기 챔버, 보충 공기 챔버, 배터리 챔버)로 사용된다.

나. 소규모 시작품(2차) 제작 및 구성

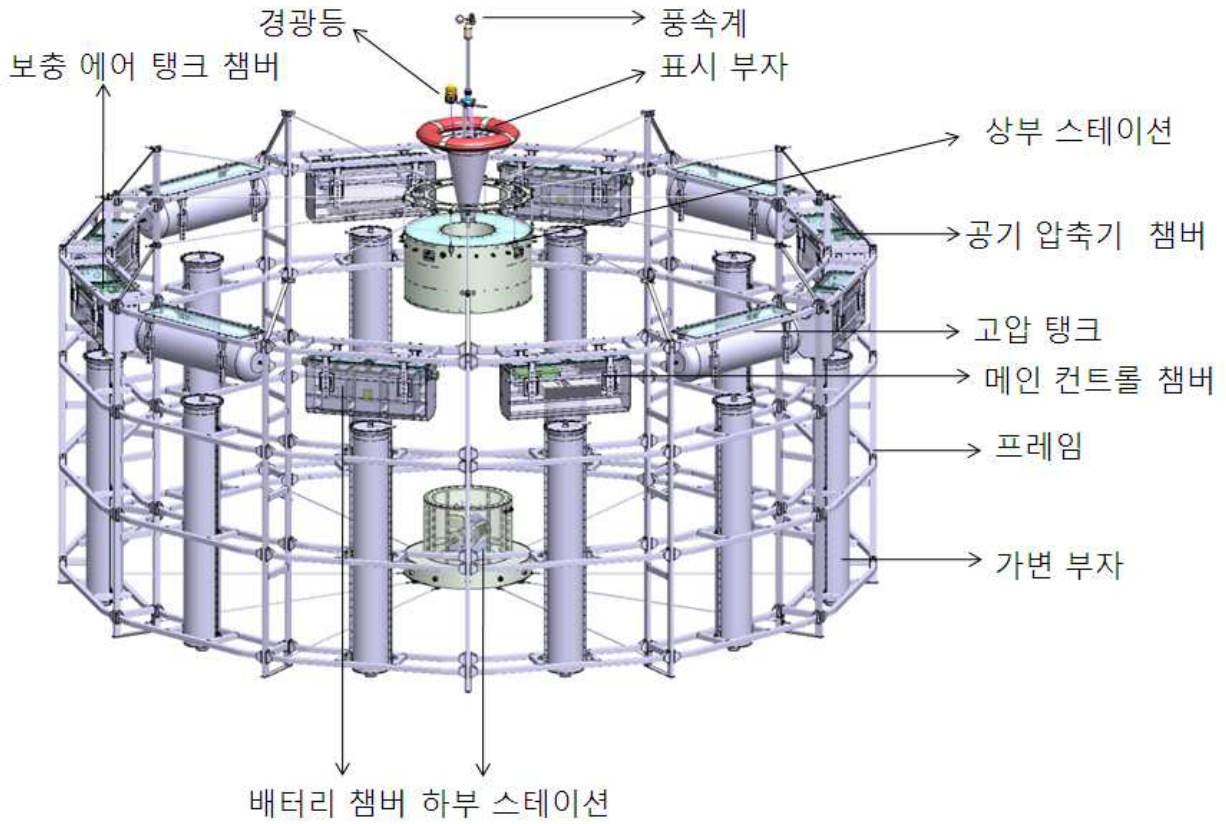
이 연구에서는 <그림 3-52>와 같은 자동 부침 가두리 시설의 소규모 시작품을 제작하였다. 이 가두리는 지름이 약 6m로 크기가 산업화 시작품의 실물에 비해 매우 작아서 12개의 상부 부자에 자동 침하와 부상에 관련되는 각종 모터 밸브와 해수 펌프 및 자동 부침 제어 관련 장치 등을 설치할 수 있는 공간이 부족하기 때문에 부득이 가두리에 상부 스테이션과 하부 스테이션을 별도로 설치하였다. 그러나 이들 상부 및 하부 스테이션의 경우 구조적으로 취약하고 그물 설치 및 관리적인 측면에서 불편하기 때문에 가두리의 지름이 24m 이상인 실제 크기의 산업화 시작품에는 설치되지 않는다.

소규모 시작품은 각종 프레임, 12개의 가변(부침) 부자, 4개의 고압 탱크, 1개의 상부 스테이션, 1개의 하부 스테이션, 8개의 챔버(메인 컨트롤 챔버 1개, 공기 압축기 챔버 2개, 보충 공기 챔버 1개, 배터리 챔버 4개), 표시 부자(경보등, 리모컨 신호 수신 안테나, 풍속계), 수압계, 방수 커넥터(10A용과 30A용), 공기 호스, 니플(nipple) 및 볼밸브 등 각종 피팅류(fittings)와 가두리 그물 등으로 구성된다. 이 가두리의 크기는 <그림 3-53>과 같이 실물의 1/4 정도로 지름이 약 $\varnothing 5.8\text{m}$ 이고 높이가 약 2.9m이며, 해수에서도 부식이 되지 않도록 하기 위하여 시작품의 모든 부품을 스테인리스 스틸(SUS 304L)과 엔지니어링 플라스틱 및 황동으

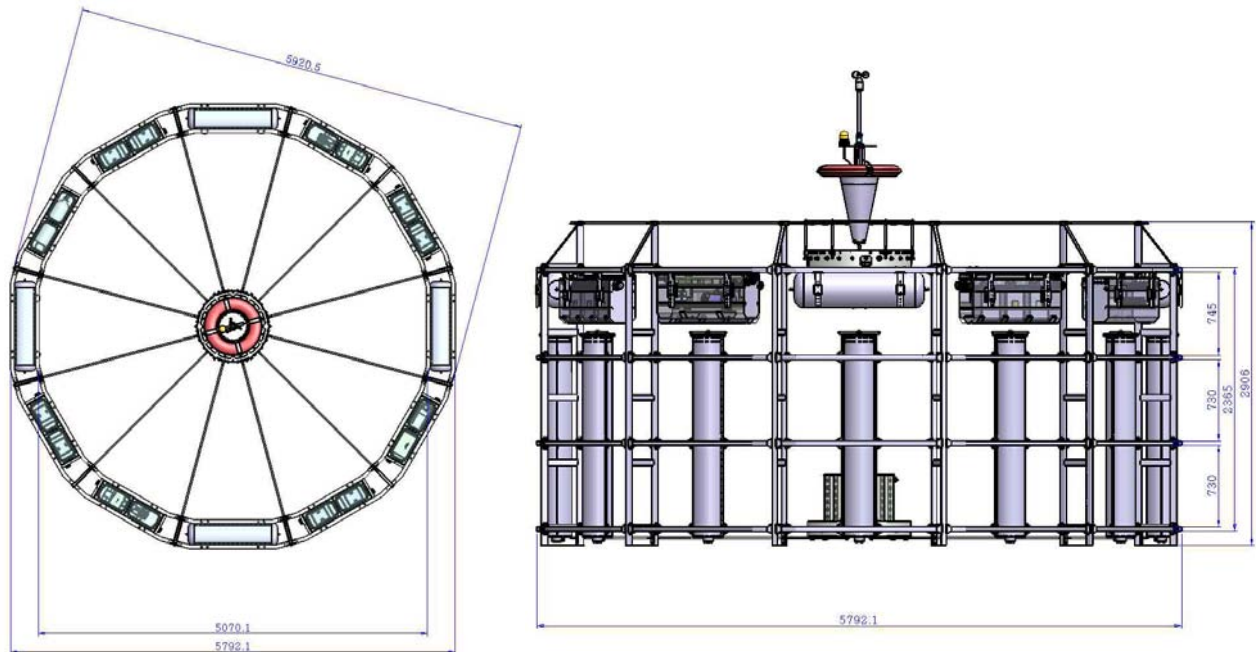
로 제작하였다. 또한 모든 제품은 수밀 및 기밀과 방수가 되도록 특수 제작하였다. 시작품의 프레임과 가변 및 고압 탱크와 각종 챔버의 배치도는 <그림 3-54>와 같다.



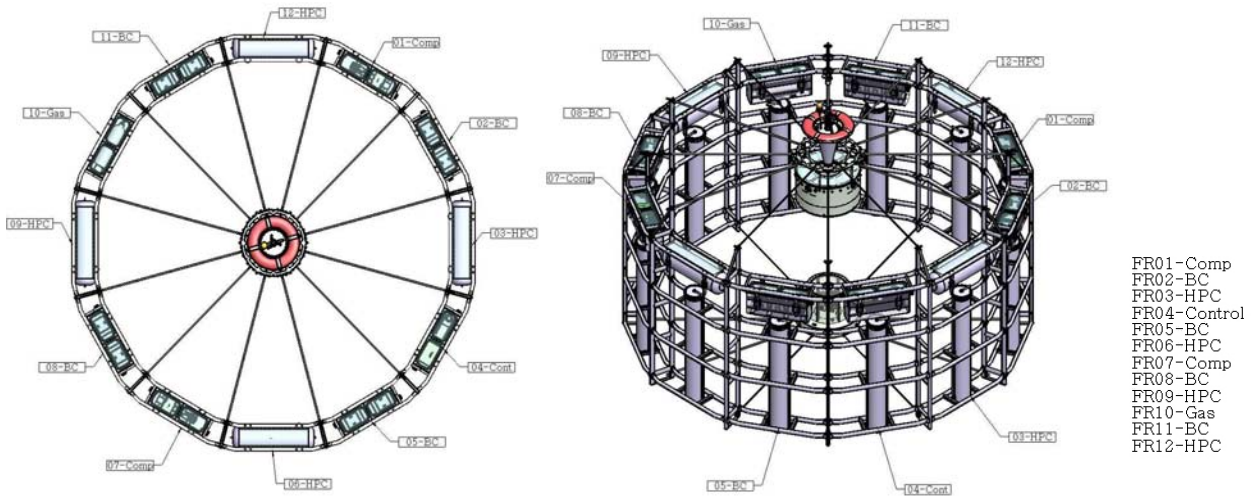
<그림 3-51> 자동 부침 가두리 시설의 산업화 시작품 구성.



<그림 3-52> 자동 부침 가두리 시설 소규모 시작품(2차)의 구성.



<그림 3-53> 자동 부침 가두리시설 2차 시작품의 크기(단위: mm).



<그림 3-54> 자동 부침 가두리시설 2차 시작품의 단위면 배치도.

(1) 프레임

프레임은 가두리 시설의 뼈대 역할을 하는 것으로서 상부에 있는 각종 챔버 및 고압 탱크와 12개의 가변 부자의 고정을 위해 사용된다. 이 프레임은 <그림 3-55>와 같이 길이가 1.47m이고 높이가 2.9m인 12개의 프레임을 플랜지로 연결하여 전체 형상이 12각형이 되도록 하였다. 이 경우 프레임의 한 변은 수평 방향으로 2중 구조이고 수직 방향으로는 3단 구조(상부, 중앙부 및 하부)로 구성되도록 하였다. 이와 같이 프레임을 조립하고 12개의 가변 부자, 4개의 고압 탱크, 8개의 챔버를 부착한 후 프레임의 강도를 증대시키고 변형을 방지하기 위하여 프레임에 보강 장치를 설치하였다. 이 프레임 보강 장치는 길이가 2.3m이고 지름이 12mm인 스테인리스 볼트(SUS 304L) 형태이며, 이 보강 장치를 상부 및 하부에 12개씩 사용하여 상부 스테이션과 하부 스테이션이 프레임과 일체가 되도록 고정하였다.

(2) 가변 부자

가변 부자는 압축 공기의 주입 및 배기와 해수의 주입 및 배수를 통해 부력 조절이 가능하며, 그 구조는 <그림 3-56>과 같다. 이것에서 보면 이 부자는 원통형으로 지름이 Ø312mm, 길이가 약 1.9m이고 프레임의 수직 방향으로 총 12개가 설치된다. 가변 부자의 상부에는 압축 공기의 주배기 밸브가 있고 하부에는 해수 주배수 밸브가 설치되며, 내부에는 압축 공기와 해수의 압력에 의해 상하 방향으로 움직이는 댐퍼(damper)가 설치된다. 즉, 컨트롤 시스템에 의해 가변 부자에 압축 공기가 들어가면 공기의 압력으로 인해 댐퍼가 부자 하부로 이동하여 공기의 압력에 의해 가변 부자 안에 있는 해수가 주배수 밸브를 통해 밖으로 유출된다. 그리고 해수가 완전히 유출되고 댐퍼가 부자의 주배수 밸브 입구까지 이동하면 주배수관이 막혀서 부자의 부력이 증가하게 된다. 반대로 가두리 시설의 침강력을 생성시키기 위해서는 부자 안의 압축 공기가 주배기 밸브를 통해 빠져 나가고 대신에 하부 스테이션에 있는 해수 펌프에 의해 해수가 가변 부자 안으로 유입된다. 이와 같이 공기가 완전히 빠지고 해수가 계속 유입되면 댐퍼가 가

변 부자의 위쪽으로 이동하면서 결국 주배기 밸브가 막히게 된다. 이때 가변 부자 안에 있던 압축 공기는 4개의 고압 탱크로 이동하게 된다. 이와 같은 원리에 의해 가두리 시설의 부력과 침강력이 발생하게 된다.

(3) 상부 스테이션

상부 스테이션은 12개의 모터 밸브로써 12개의 가변 부자의 작동을 제어하며 부침 시 가두리 시설의 경사가 클 경우에는 경사계와 메인 PCB 보드를 통해 경사도 제어할 수 있는 것으로서 실제 산업화 시작품에는 설치되지 않는다. 그리고 상부 스테이션의 아래에는 쿠션 에어 챔버가 있어 가변 부자에서 빠진 공기가 외부로 배출되지 않고 이곳에 저장된다. 이것은 지름이 930mm, 높이가 500mm이고 15개의 모터 밸브(가변 부자 제어용 12개, 고압 탱크용 2개, 공기 압축기 챔버용 1개)와 PCB 보드, 쿠션 에어 챔버, 압력계, 균압 밸브, 레귤레이터 등으로 구성된다. 상부 스테이션의 구성 및 배관도와 계통도는 <그림 3-57>~<그림 3-59>와 같다.

(4) 하부 스테이션

하부 스테이션은 일종의 해수 펌프 룸으로 가변 부자에 해수가 들어가거나 해수가 배출되는 통로로서 실제 산업화 시작품에는 설치되지 않는다. 이것은 지름이 920mm, 높이가 560mm이며, 해수 펌프(1.1kW), 모터 밸브, 누수 감지 센서, 커넥터, 해수 유출입 밸브 및 균압 매니폴더 등으로 구성된다. 하부 스테이션의 구조 및 배관도와 계통도는 <그림 3-60>~<그림 3-62>와 같다.

(5) 고압 탱크

고압 탱크는 가변 부자에서 빠진 공기가 저장되는 축압 탱크로서 가두리의 상부 부자도 겸한다. 이것의 크기는 길이가 1,160mm이고 지름이 370mm이다.

(6) 표시 부자

표시 부자는 상부 스테이션 위에 설치되며 메인 챔버 내에 있는 PCB에 풍속 신호나 리모컨에 의한 침하 및 부상 신호를 전달하는 것으로서 긴급 재해 시 가두리 시설이 수중으로 침하되는 경우에도 항상 수면 위에 위치하여 계속 가두리 시설의 침하와 부상에 관한 임계 정보를 수집한다. 이것의 외부에는 <그림 3-63>과 같이 풍속계, 리모컨 신호 수신 안테나, 경보등이 설치되며, 내부에는 풍속계 제어용과 통신용 PCB 보드가 각각 1개씩 설치된다. 한편, 가두리 시설의 침하와 부상 시 시스템에 이상이 있거나 오작동이 발생하는 경우에는 경보등이 켜지면서 알람이 울리게 된다.

(7) 챔버

챔버는 메인 컨트롤 챔버 1개, 공기 압축기 챔버 1개, 배터리 챔버 4개, 보충 에어 탱크 챔버 1개와 같이 모두 8개로 구성되고 프레임의 상부에 설치된다. 각 챔버의 크기는 900×270×400mm(L×B×D)이고 상부 커버는 투명한 폴리카보나이트로 제작된다.

(가) 메인 컨트롤 챔버

메인 컨트롤 챔버는 표시 부자에서 입력된 정보를 통해 상부 스테이션과 하부 스테이션 및 공기 압축기 챔버를 제어하는 역할을 한다. 이것은 모터 밸브, 인버터(DC 24V-AC 220V), 경사계, 가전류 보호용 마그네틱 컨덕터, 전자파 차폐막, 메인 PCB 보드 등으로 구성된다. 또한 배터리의 잔량, 챔버 내의 압력, 가두리 시설의 경사 등을 표시하는 디스플레이 PCB 보드가 설치된다. <그림 3-64>와 <그림 3-65>는 각각 메인 컨트롤 챔버의 구조와 계통도를 나타낸 것이다.

(나) 공기 압축기 챔버

공기 압축기 챔버는 가두리가 침하하는 경우 상부 스테이션 하부에 있는 쿠션 에어 챔버의 공기압이 약해서 가변 부자 안에 차 있는 해수가 주배수관 밖으로 배수되지 못하는 경우에만 가변 부자내의 공기압을 증가시키기 위해 자동으로 구동된다. 이것은 배터리(DC 24V)용 공기 압축기, PCB 보드, 축압기, 압력계 등으로 구성된다. <그림 3-66>과 <그림 3-67>은 각각 공기 압축기 챔버의 구조와 계통도를 나타낸 것이다.

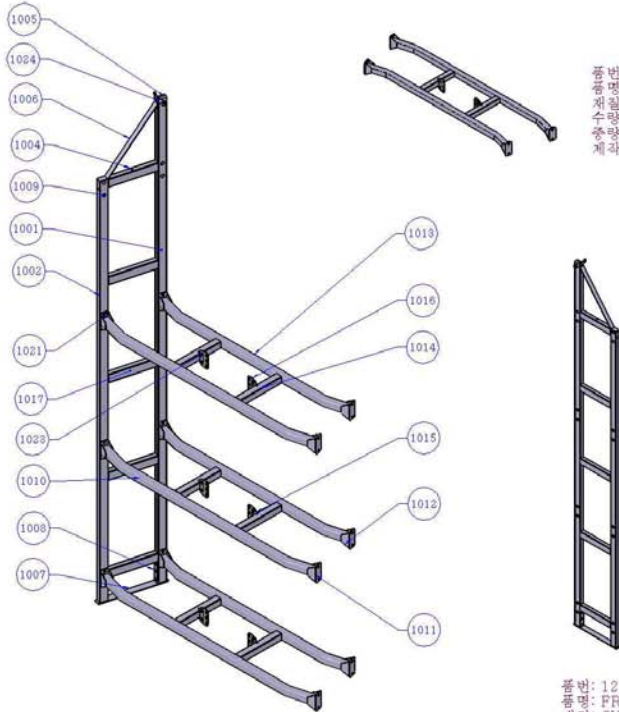
(다) 배터리 챔버

배터리 챔버는 가두리 시설에 사용되는 모든 전자 장치의 동력원으로서 방전 시에도 충전이 가능하다. 이것의 내부에는 DC 2V의 배터리 3개가 직렬로 연결·설치되어 있으며, 총 전압은 24V이다. <그림 3-68>과 <그림 3-69>는 각각 배터리 챔버의 구조와 계통도를 나타낸 것이다.

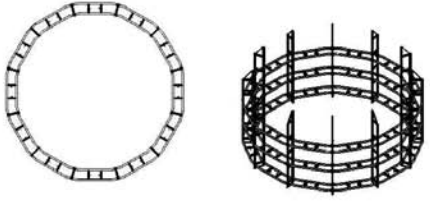
(라) 보충 공기 탱크 챔버

보충 공기 탱크 챔버는 물에 용해되거나 대기로 배출되어 손실된 공기량을 보충해 주는 역할을 한다. 이것은 공기 탱크(11.1L), 감압변, 압력계 등으로 구성된다. <그림 3-70>와 <그림 3-71>은 각각 보충 에어 탱크 챔버의 구조와 계통도를 나타낸 것이다.

품번	품명	재질	수량	1400 추가	1500 추가	제작	비고
1001	FR213050 수직내1	SUS304	12			YW	
1002	FR213050 수직외1	SUS304	12			YW	
1003	FR213050 수평1	SUS304	48			YW	
1004	FR213050 수평중	SUS304	12			YW	
1005	조립 상단볼트홀	SUS304	-			SJ	
1006	FR21-30 보강1	SUS304	12			YW, Laser	
1007	FR213050 4바닥판	SUS304	12			YW, Laser	
1008	FR213050 볼트홀보강바판	SUS304	12			YW, Laser	
1009	볼트홀보강-M14 FR수직	SUS304	192			YW	
1010	FR각d.수평 외측하	SUS304	36	(4)	(8)	YW	
1011	FR각d.수평 플랜지	SUS304	144	16	32	YW, Laser	
1012	FR각d.수평 플랜지보강	SUS304	288	32	64	YW, Laser	
1013	FR각d.수평 내측하	SUS304	36	(4)	(8)	YW	
1014	FR각d.수평 활간하	SUS304	72			YW	
1015	FR212040 FT연결판	SUS304	72			YW, Laser	
1016	FR212040 FT연결고리	SUS304	72			YW, Laser	
1020	니트M08 FR수평중	SUS304	144			구매	
1021	볼트M14-60 수평프레임	SUS304	96			구매	
1022	니트M14 수평프레임	SUS304	96			구매	
1023	볼트M08-20 수평프레임	SUS304	-				
1024	FR각d.수직플랜얼판	SUS304	12			YW, Laser	
1025	조립 볼트홀40L		12				
1026	볼트M08-20 FR수평-HPC		12				



품번: 1300
 품명: FR 수평
 재질: SUS304
 수량: 36개
 중량: 9.755Kg/ea
 제작:



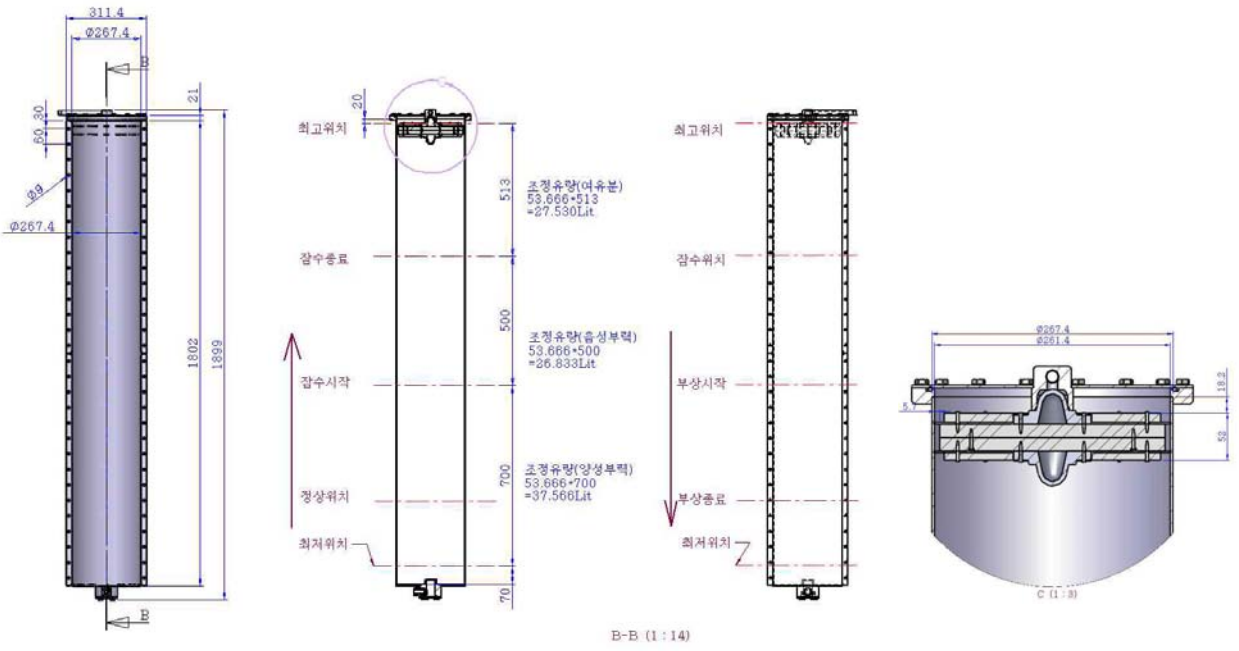
품번: 1000
 품명: FR 12면조립
 재질: SUS304
 수량: 1개
 중량: 563.597Kg/ea
 제작:

품번: 1100
 품명: FR 단위면
 재질: SUS304
 수량: 12개
 중량: 49.966Kg/ea
 제작:

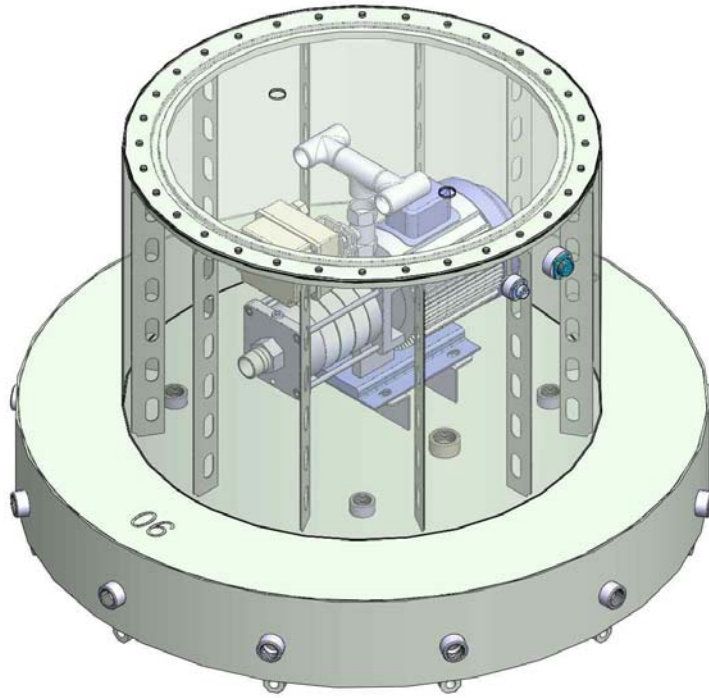
품번: 1200
 품명: FR 수직
 재질: SUS304
 수량: 12개
 중량: 17.700Kg/ea
 제작:

SUNGSHIN 誠信造船(株)		도	HKS	판	판
SUNGSHIN SHIPYARD CO., LTD.		도	HKS	판	판
도면	제작	발주		해당수상특정연구개발	
파일	제작1000 프레임-BOM	일자		2011-12-31 오후 9:27:37	

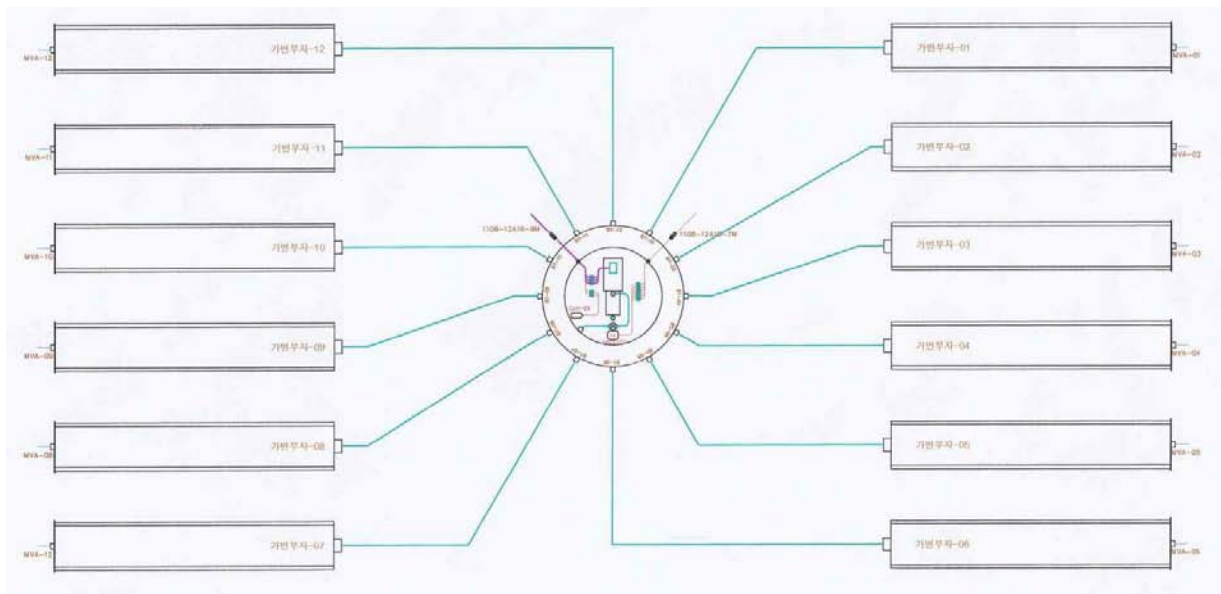
<그림 3-55> 자동 부침 가두리시설 2차 시작품의 프레임.



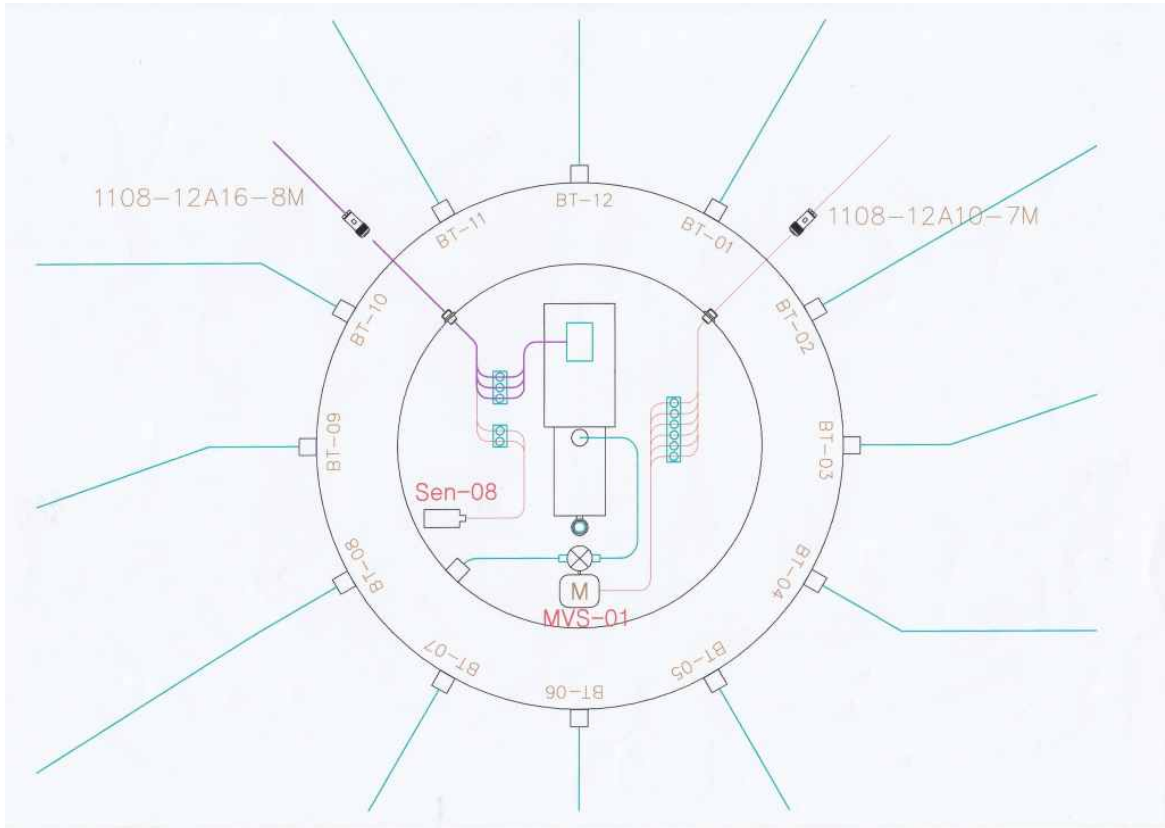
<그림 3-56> 자동 부침 가두리시설 2차 시작품의 가변 부자(단위: mm).



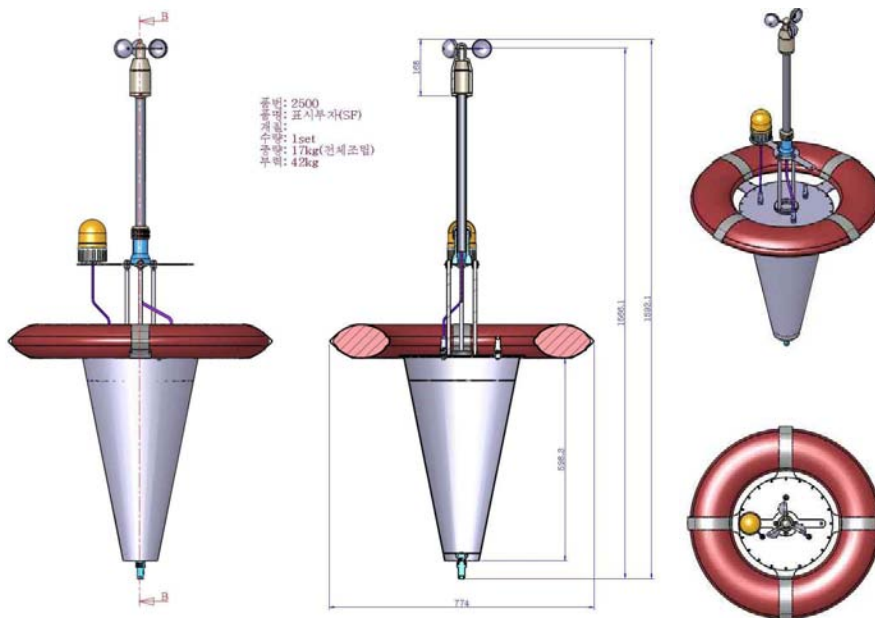
<그림 3-60> 2차 시작품의 하부 챔버의 구조.



<그림 3-61> 2차 시작품의 하부 스테이션 배관도.

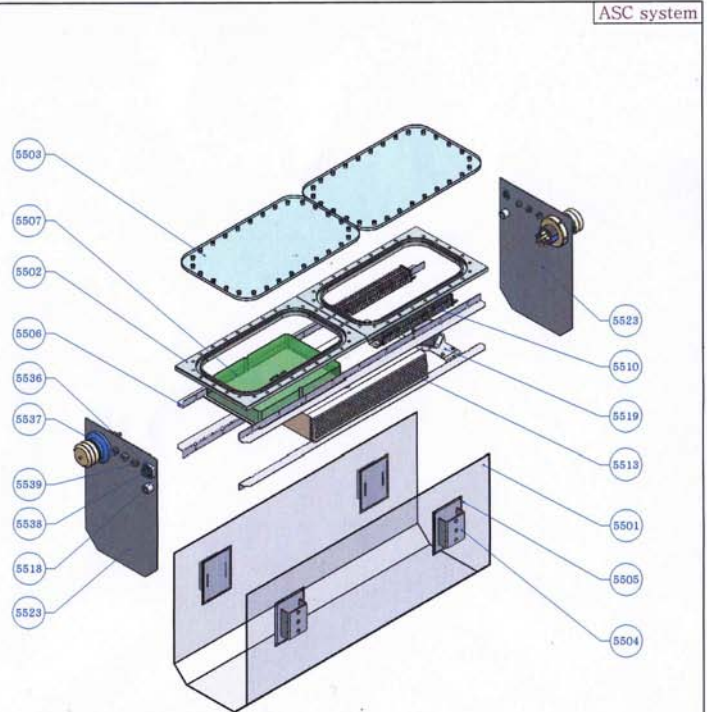
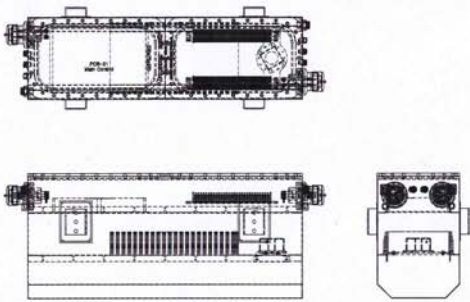


<그림 3-62> 2차 시작품의 하부 스테이션 계통도.



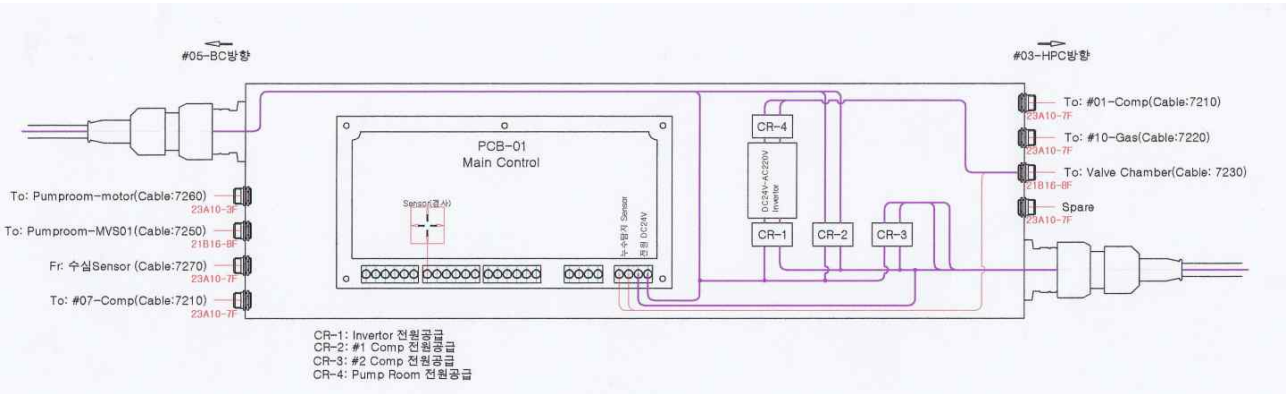
<그림 3-63> 2차 시작품의 표시 부자 구조(단위: mm).

품번	용명	재질	수량	제작	비고
5501	FT-2각 잠금3	SUS304	1		5201 동일
5502	FT-2각 키미Nut동판2	SUS304	2		5202 동일
5503	FT-2각 아크릴판6t	SUS304	2		5204 동일
5504	FT잠비고침 C-볼트홀	SUS304	4		5205 동일
5505	FT잠비고침 C-보강판	SUS304	4		5206 동일
5506	FT-2각 절곡내부보강	SUS304	4		5207 동일
5507	기판_PCB01 메인콘트롤		1	RB	
5508	단자대 레일30p				
5509	터미널		2	구매	
5510	터미널1				
5511	터미널 볼트 고정판				
5513	인버터2000HF		1	RB	
5514	받침-				
5515	Case		1	구매	
5516	Cover				
5517	FT-Cont 측면판	SUS304	-	YW	[50]참조
5518	스켓SUS pt3-측면판	SUS304	2	SJ	5214 동일
5519	FT고침Cont 검사계발침판	SUS304	1	YW	
5520	FT고침Cont 검사계발침고침	SUS304	2	YW	
5521	너트M05 검사계	SUS304	4	구매	
5522	볼트M05_10L 검사계	SUS304	4	구매	
5523	FT-Cont 측면판 수정1	SUS304	2		[50]참조
5535	Piece M04_10키비고리		2		
5536	FT콘택터연결 21B16-1h		2		
5537	Tajmit 108 23A10-7F마운트		4		
5538	Tajmit 108 21B16-8F홀렌지		2		
5539	Tajmit 108 23A10-3F마운트		2		



SUNGSIN 誠信造船(株)		프로	리전	장
SUNGSHIN SHIPYARD CO., LTD.		프로	리전	장
도면	제작	발주	해양수산특정연구개발	
파일	제작5500 고정Cont-BOM	일자	2011-12-19 오전 4:52:45	

<그림 3-64> 2차 시작품의 메인 컨트롤 챔버 구조.



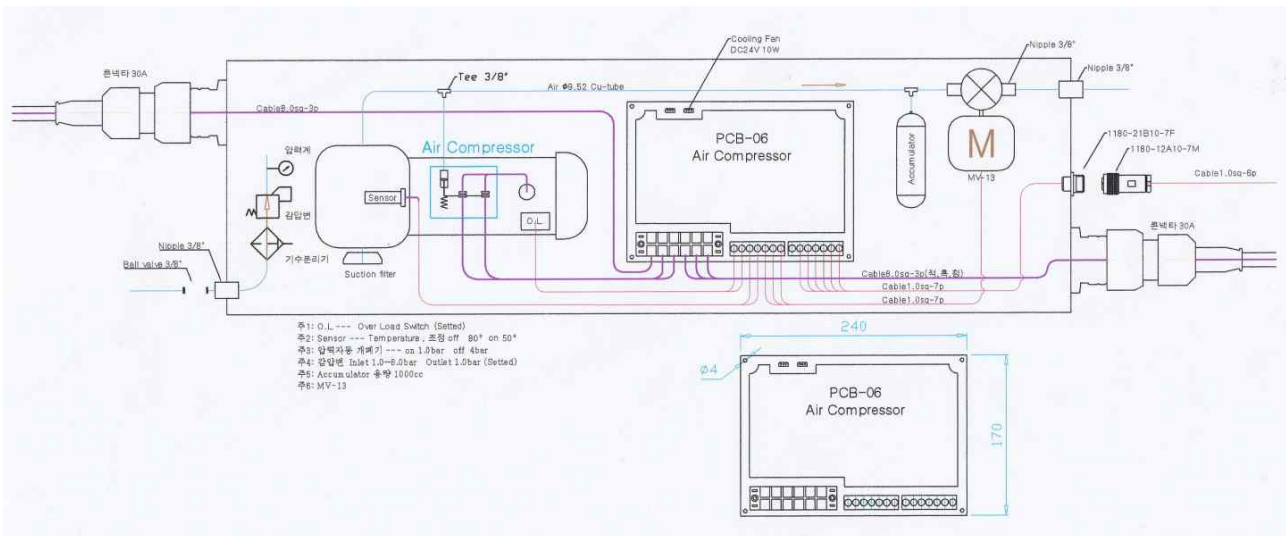
<그림 3-65> 2차 시작품의 메인 컨트롤 패널 계통도.

품번	품명	재료	수량	수량	제약	비고
5301	FT-2각 절곡3	SUS304	(1)	2		5201 동일
5302	FT-2각 카바나이트론판2	SS400	(2)	4		5202 동일
5304	FT-2각 아크릴판	Acrylic	(2)	4		5204 동일
5305	FT합배고정 C-볼트홀	SUS304	(4)	8		5205 동일
5306	FT합배고정 C-보강판	SUS304	(4)	8		5206 동일
5307	FT-2각 절곡내부보강	SUS304	(4)	8		5207 동일
5308	Comp_0모터부재					
5309	Comp_0모터부러쉬					
5310	Comp_0모터커바				구매 코리아 뉴테크	02-855- 9321
5311	Comp_기어박스		(1)			
5312	Comp_0모터다리					
5313	Comp_0실린더					
5314	Comp_0실린더커바					
5315	FT합배구멍 유C, Comp-바닥	SUS304	(2)	4		5212 동일
5318	FT고정대, Comp 배드외결	SUS304	(4)	8	YW	
5320	피스M04_10년비머리					
5321	호신 HMV-04SC 밸브		1			Motor Valve
5322	호신 HMV-03SC 볼록판					
5323	감압밸브 p2					
5324	감압밸브 p1					
5325	AR보통08-pt2		1			
5326	입력케041					
5344	BC볼밸브9A 본체					
5345	BC볼밸브9A 플럭		1			구매
5346	BC볼밸브9A 핸들					
5347	FT고정대, Comp 배드3		(2)	4	YW	
5349	FT고정대 MV거치대		(1)	2	YW	
5350	FT고정대 MV거치대용접		(2)	4	YW	
5351	볼트M06-12 고정부자5300		-	8	구매	
5352	너트M06 고정부자5300		-	8	구매	와사추가
5353	FT-2각 축면판-comp	SUS304	-	4	YW	[50]참조
5366	소켓SUS pt9-24d 관통		(2)	8	SJ	5214 동일
5368	PCB단자대 10A-6P					
5370	하우징커넥터 3P		1	2	RB	
5374	기판, PC606 용기압축기8p					
5375	단자대 30A-6P					
5376	너트M08 FT-comp 거치대	SUS304	(10)	24	구매	
5377	볼트M05 MV거치대		1			
5378	너트M05 MV거치대		1			
5379	FT-2각 콘택트23A10연결	SUS304	2			
5380	FT-2각 축면판-comp2정	SUS304	2			[50]참조

품번: 5300
 품명: FT 고정-Comp
 재료: SUS304
 수량: 2set
 중량: 38.75Kg/set
 제작:

도면	제작	발주	배달수상특정연구개발
파판	제작5300 Comp BOM	일자	2011-12-30 오전 8:12:05

<그림 3-66> 2차 시작품의 공기 압축기 챔버 구조.



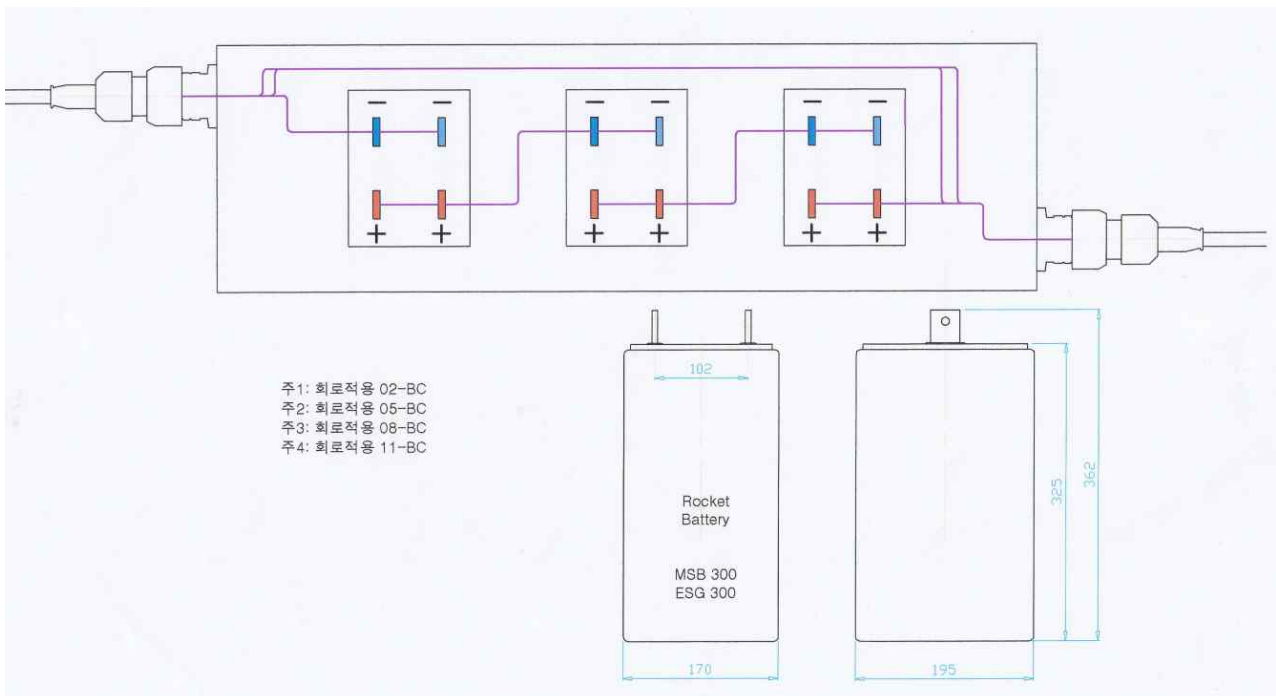
<그림 3-67> 2차 시작품의 공기 압축기 챔버 계통도.

품번	용명	재질	1set	5200 4set	5300 2set	5400 1set	5500 1set	총수량 8set	제작	비고
5201	FT-2각 절곡3	SUS304	(1)	4	2	1	1	8	YW	
5202	FT-2각 카바인틀판2	SUS304	(2)	8	4	2	2	16	SJ	
5204	FT-2각 아크릴판8t	Acrylic	(2)	8	4	2	2	16	우성	
5205	FT합바고경 C-물류홀	SUS304	(4)	16	8	4	4	32	YW	
5206	FT합바고경 C-보강판	SUS304	(4)	16	8	4	4	32	YW	
5207	FT-2각 절곡내부보강	SUS304	(4)	16	8	4	4	32	YW	
5208	세방ESG 300A-02V-21Kg박스							12	세방	세방상사 010-2686-8548 ESG300A
5209	세방ESG 300A-02V-21Kg카바		(3)	12						
5210	세방ESG 500A-12V-32Kg단자									
5211	세방ESG 300A-02V-21Kg동형									
5212	FT합바절곡 B.C.Comp-바닥	SUS304	(4)	16	4			20	YW	
5213	FT-2각 측면판-B/C		(2)	8					YW	[50]참조
5214	소켓SUS p13-24d 관통		(2)	8	8	2	2	20	SJ	
5215	FT-2각 받대리쿠션	Foam nuber	3	12					주문	

ASC system

품번: 5200
 용명: FT고정-BC
 재질: SUS304
 수량: 4set
 총량: 96.5Kg/ea
 제작:

<그림 3-68> 2차 시작품의 배터리 챔버 구조.



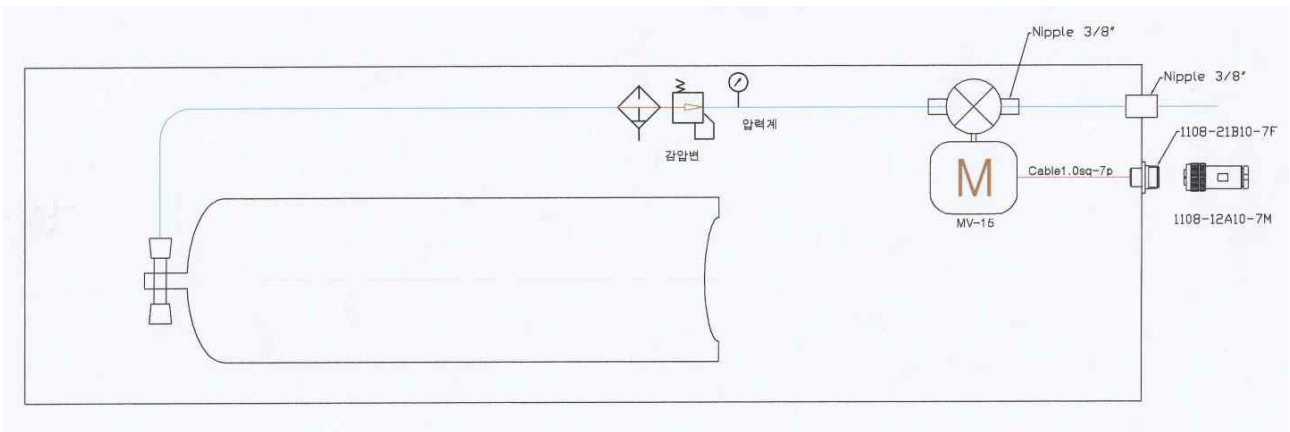
<그림 3-69> 2차 시작품의 배터리 챔버 계통도.

품번	품명	재질	수량	제작	비고
5401	FT-2각 걸곡3	SUS304	1		5201 용실
5402	FT-2각 커비너블판2	SUS304	2		5202 용실
5403	FT-2각 아크릴판4	SUS304	2		5204 용실
5404	FT참바고정 C-플러그	SUS304	4		5205 용실
5405	FT참바고정 C-보강판	SUS304	4		5206 용실
5406	FT-2각 걸곡내부보강	SUS304	4		5207 용실
5407	실린더-Catalina S80-184d-654L		1		
5408	걸소통 마운틴				
5409	FT-Gas 비덕고정판		2	YW	
5410	HMV-03SC 박스				
5411	피스M04_10넬비메리		1		
5412	HMV-03SC-10A 밸브				
5413	HMV-03SC 플러그				
5414	FT-gas 축면판1		-	YW	[50]참조
5415	소켓SUS pt3-축면판		2		5214 용실
5416	FT-gas 축면판10		2		[50]참조

ASC system

SUNGSHIN 誠信造船(株)		FIELD	PROJ	DATE
SUNGSHIN SHIPYARD CO., LTD.				
도면	제작	발주	해양수산특정연구개발	
파일	제작5400 고장Gas-BOM	일자	2011-12-20 오전 11:40:05	

<그림 3-70> 2차 시작품의 공기통 챔버 구조.



<그림 3-71> 2차 시작품의 공기통 챔버 계통도.

(8) 2차 시작품의 자동 부침 작동 제어 시스템

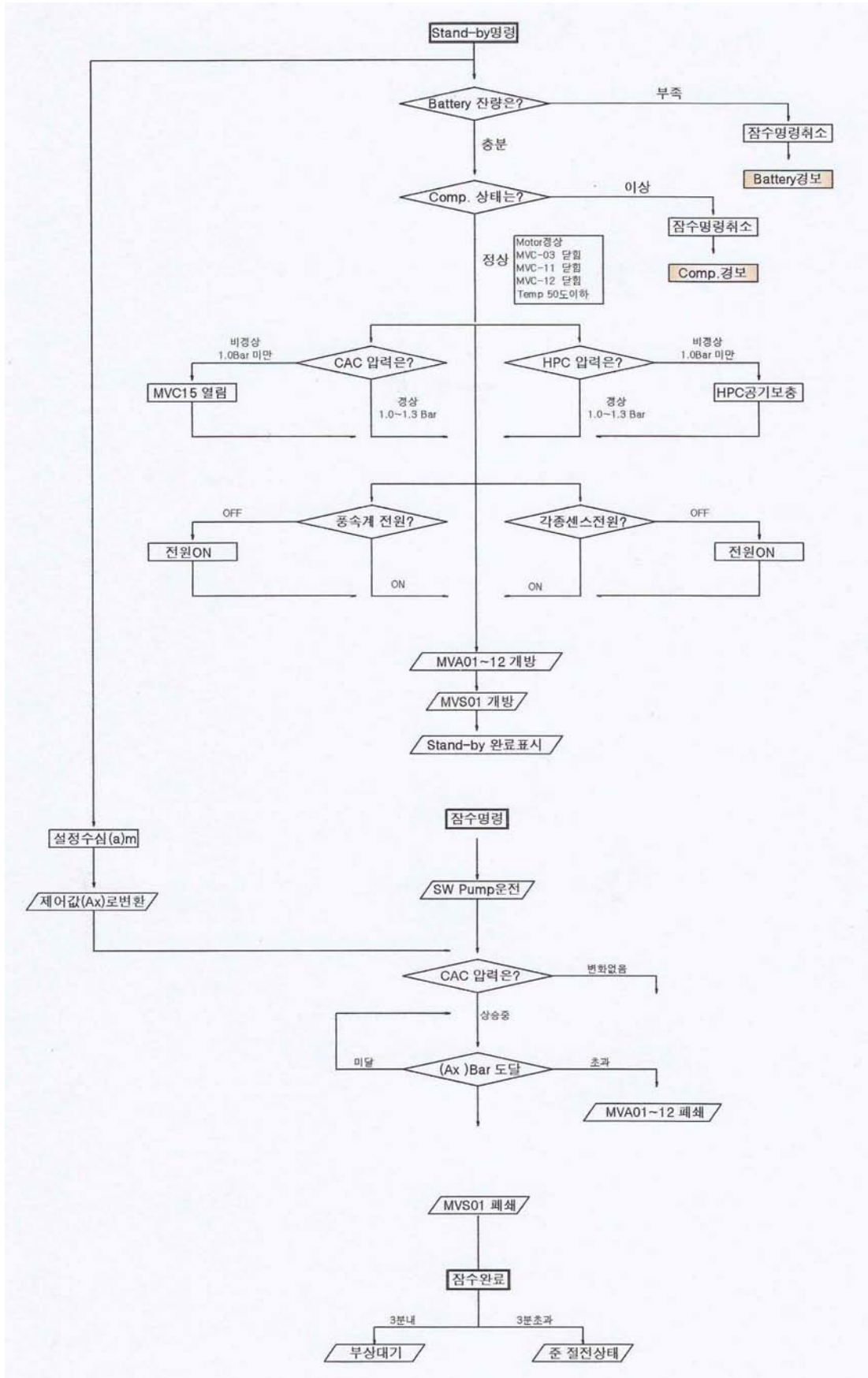
자동 부침 작동 제어 시스템은 가두리가 위치하는 지점의 풍속을 감지하여 감지된 풍속의 수치가 가두리가 파손되거나 그물 내부의 어류를 폐사시키는 임계치라고 판단하면 가두리를 수중으로 하강시킨다. 이 경우 표시 부자의 풍속계와 메인 제어 챔버, 상부 및 하부 스테이션, 공기 압축기 챔버, 6개의 PCB(인쇄 배선 회로 기관), 경사계, 수심계 등으로 구성된다. 가두리의 침하 및 부상 시 각 모터 밸브의 작동 상태는 <표 3-7>과 같다. 그리고 <그림 3-72> ~ <그림 3-80>은 자동 부침 가두리 시설의 제어 계통도, 제어 프로그램 일부, 표시 부자의 전기 결선도와 배선 및 배관도, PCB 보드 회로 등을 나타낸 것이다.

<표 3-7> 2차 시작품의 부상 및 침하 시 각종 시스템의 작동 상태

모드	Stand-by	잠수				잠수완료		부상				부상완료											
		↓ 잠수준비 ↓	잠수동작				완료	장기간 잠수	↓ 부상준비 ↓	부상동작				완료	정상상태								
시간진행	1분	3분(예상)+경사조정				3분	3분후-1day	30sec	4-5분(예상)+경사조정				30sec	30초후-30day									
전원	점검	Full 동작				준 절전상태		점검	Full 동작				완전 절전상태										
경사	평행	3시방향	6시방향	9시방향	12시방향	평행		평행	3시방향	6시방향	9시방향	12시방향	평행										
기기	전원 상태					상태	조정	상태	전원	상태			상태	조정	상태								
BTC-수위	20~0%	0%-----75%				75%	100(최대)	100%-----20%				20~0%											
MVA-01	on/off	열림	단함(35°↑)	열림	열림	단함(20°↑)	열림	단함	on/off	열림	열림	단함(20°↑)	열림	단함(35°↑)	단함	단함							
MVA-02	on/off	열림	단함(20°↑)	열림	열림	단함(35°↑)	열림	단함	on/off	열림	열림	단함(35°↑)	열림	단함(20°↑)	단함	단함							
MVA-03	on/off	열림	단함(10°↑)	열림	열림	열림	열림	단함	on/off	열림	열림	열림	열림	단함(10°↑)	단함	단함							
MVA-04	on/off	열림	단함(20°↑)	단함(35°↑)	열림	열림	열림	단함	on/off	열림	열림	열림	단함(35°↑)	단함(20°↑)	단함	단함							
MVA-05	on/off	열림	단함(35°↑)	단함(20°↑)	열림	열림	열림	단함	on/off	열림	열림	열림	단함(20°↑)	단함(35°↑)	단함	단함							
MVA-06	on/off	열림	열림	단함(10°↑)	열림	열림	열림	단함	on/off	열림	열림	열림	단함(10°↑)	열림	단함	단함							
MVA-07	on/off	열림	열림	단함(20°↑)	단함(35°↑)	열림	열림	단함	on/off	열림	단함(35°↑)	열림	단함(20°↑)	열림	단함	단함							
MVA-08	on/off	열림	열림	단함(35°↑)	단함(20°↑)	열림	열림	단함	on/off	열림	단함(20°↑)	열림	단함(35°↑)	열림	단함	단함							
MVA-09	on/off	열림	열림	열림	단함(10°↑)	열림	열림	단함	on/off	열림	단함(10°↑)	열림	열림	열림	단함	단함							
MVA-10	on/off	열림	열림	열림	단함(20°↑)	단함(35°↑)	열림	단함	on/off	열림	단함(20°↑)	단함(35°↑)	열림	열림	단함	단함							
MVA-11	on/off	열림	열림	열림	단함(35°↑)	단함(20°↑)	열림	단함	on/off	열림	단함(35°↑)	단함(20°↑)	열림	열림	단함	단함							
MVA-12	on/off	열림	열림	열림	열림	단함(10°↑)	열림	단함	on/off	열림	열림	단함(10°↑)	열림	열림	단함	단함							
HPC-사용	HPC tank 는 2-4사용 모드를 선택하여 수중으로 Setting																						
MVC-01	on/off	단함	on	→				on/off	단함	on/off	열림	→			on/off	단함							
MVC-02	잠정 폐쇄																						
Comp-운전	off	→													on	→	정지	조정	정지				
MVC-03	on/off	단함	→													on/off	열림	→	단함	조정	단함		
MVC-11	on/off	단함	→													on/off	열림	→	단함	조정	단함		
MVC-12	on/off	단함	→													on/off	열림	→	단함	조정	단함		
SWP-운전	off	on	→				off	조정	정지	→							→						
MVS-01	on/on	열림	→													단함	조정	단함	→				
Gas-보충	Comp기 구동하고 Sansor-04가 1bar 이하로 떨어질시 MVC-15기 자동으로 열림																						
MVC-15	off	단함	→													자동	열림	→			단함	on/off	단함
표시부자 및 각종 Sansor																							
풍속계	on	작동	→													on	off	선택					
통신기	on	작동	→													on	on	작동					
수심계	on	작동	→													on	off	정지					
압력계 1	on	작동	→													on	off	정지					
압력계 2	on	작동	→													on	off	정지					

모드	Stand-by	잠수				잠수완료		부상				부상완료			
		↓ 잠수준비 ↓	잠수동작				완료	장기간 잠수	↓ 부상준비 ↓	부상동작				완료	정상상태
시간진행	1분	3분(예상)+경사조정				3분	3분후-1day	30sec	4-5분(예상)+경사조정				30sec	30초후-30day	
전원	점검	Full 동작				준 절전상태		점검	Full 동작				완전 절전상태		
경사	평행	3시방향	6시방향	9시방향	12시방향	평행		평행	3시방향	6시방향	9시방향	12시방향	평행		
기기	전원 상태					상태	조정	상태	전원	상태			상태	조정	상태

- Stand-by 모드 변할시 가두리는 자중에 의해 아주 천천히 하강시작하고 HPC내압과 평행이 되는 일정 깊이에서 정지가 예상됨
- MVC-01과 MVS-01 밸브의 열림을 최종으로 하기바라(잠수명령시 펌프 동작전 가동)
- 기울림, 수심 Sansor의 값은 측정5sec 평균값
- ↓ 표는 명령 시작점임
- 1호, 2호 Comp 자동 압력 운전조건 setting 자동정지: 4bar 재가동: 2bar
- Pilot Lamp 표시



<그림 3-72> 자동 부침 가두리 시설의 제어 계통도.


```

#include "include.h"

#ifdef DOUBLE_SPEED
#ifdef CLOCK_11059200
flash const word BaudTable[6] = {0x011F, 0x008F, 0x0047, 0x0023, 0x0017, 0x000B};
#endif
#ifdef CLOCK_16000000
flash const word BaudTable[6] = {0x01A0, 0x00CF, 0x0067, 0x0033, 0x0022, 0x0010};
#endif
#endif

#ifndef DOUBLE_SPEED
#ifdef CLOCK_11059200
flash const word BaudTable[6] = {0x008F, 0x0047, 0x0023, 0x0017, 0x000B, 0x0005};
#endif
#ifdef CLOCK_16000000
flash const word BaudTable[6] = {0x00CF, 0x0067, 0x0033, 0x0022, 0x0010, 0x0008};
#endif
#endif

void UARTInit(byte select, unsigned long int UartBaud)
{
//-----
//          UCSRnB - USART Control and Status Register B
//-----
// | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
// |---|---|---|---|---|---|---|---|
// | RXCIEn|TXCIEn|UDRIEn| RXENn| TXENn|USCZn2| RXB8n| TXB8n|
//-----
// Bit 7 (RXCIEn): RX 수신완료 인터럽터 Enable
// Bit 6 (TXCIEn): TX 송신완료 인터럽터 Enable
// Bit 5 (UDRIEn): 데이터 레지스터 공백 인터럽터 Enable
// Bit 4 (RXENn) : 수신 가능 Enable
// Bit 3 (TXENn) : 송신 가능 Enable
// Bit 2 (USCZn2): Character Size
// Bit 1 (RXB8n) : Receive Data Bit 8
// Bit 0 (TXB8n) : Transmit Data Bit 8
//-----

// enable RxD/TxD, receive complete int
if (select == 0) {
if (UartBaud != 0) {
UCSRA0 = 0x00;
UCSR0B = 0x98;
UBRR0L = LOBYTE(UartBaud);
UBRR0H = HIBYTE(UartBaud);
UCSR0C = 0x06;
}
}
else if (select == 1) {
if (UartBaud != 0) {
UCSR1A = 0x00;
UCSR1B = 0x98;
UBRR1L = LOBYTE(UartBaud);
UBRR1H = HIBYTE(UartBaud);
UCSR1C = 0x06;
}
}
}

// USART0 Receiver buffer
#define RX_BUFFER_SIZE0 255
char rx_buffer0[RX_BUFFER_SIZE0];

#if RX_BUFFER_SIZE0 <= 256
unsigned char rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#else
unsigned int rx_wr_index0,rx_rd_index0,rx_counter0;
#endif

// This flag is set on USART0 Receiver buffer overflow
bit rx_buffer_overflow0;

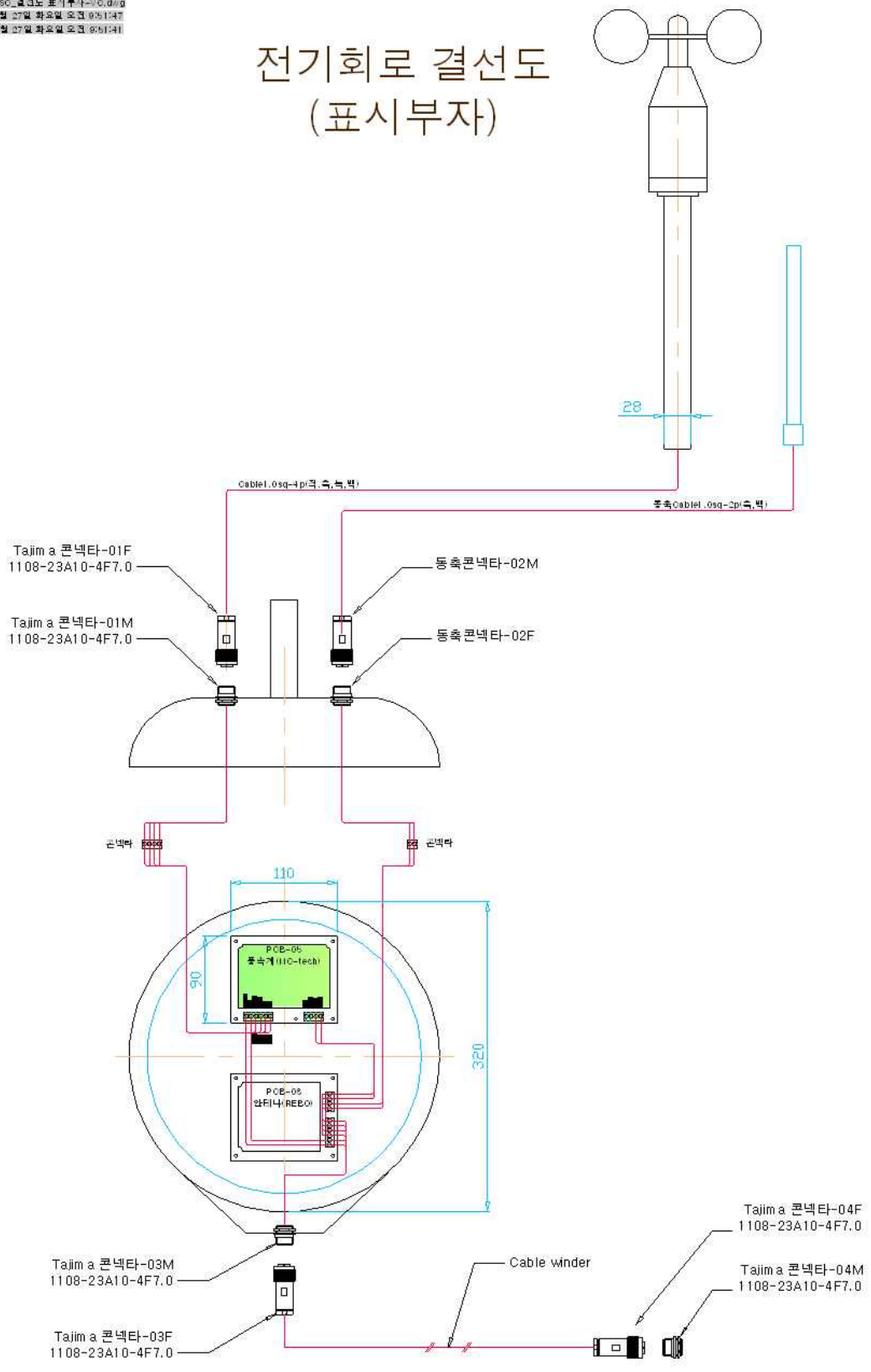
// USART0 Receiver interrupt service routine
interrupt [USART0_RXC] void usart0_rx_isr(void)

```

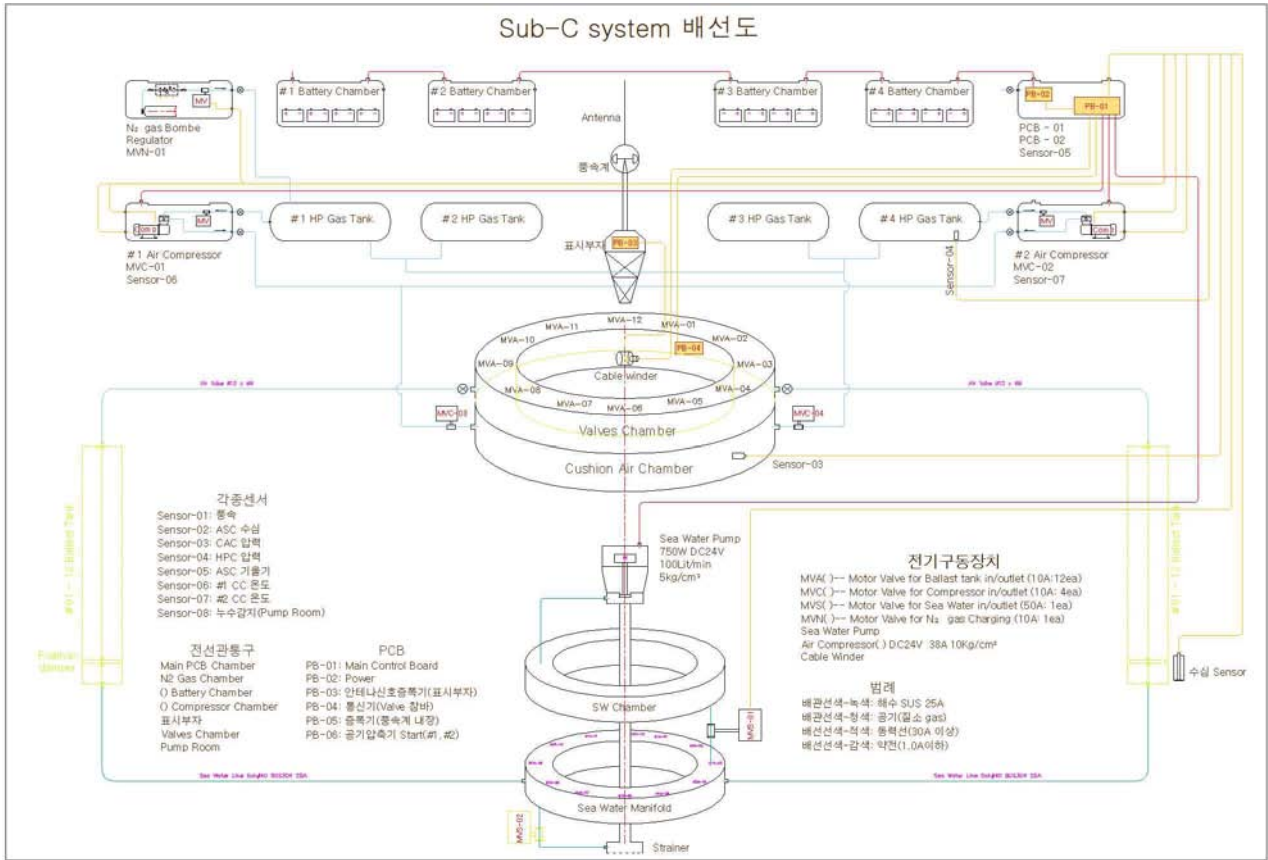
<그림 3-73> 자동 부침 가두리 시설의 제어 프로그램 일부.

문서수정: 박일영 및 김도, 최동석(김일기, 최우진)세일시
 10mm05 수축기재-->50mm도면-->50mm15 수축0611mm70 비만배연도
 10mm05수축도면도 표시 부가-->0.0mm
 2011년 8월 27일 화요일 오전 8:51:47
 2011년 8월 27일 화요일 오전 8:51:47

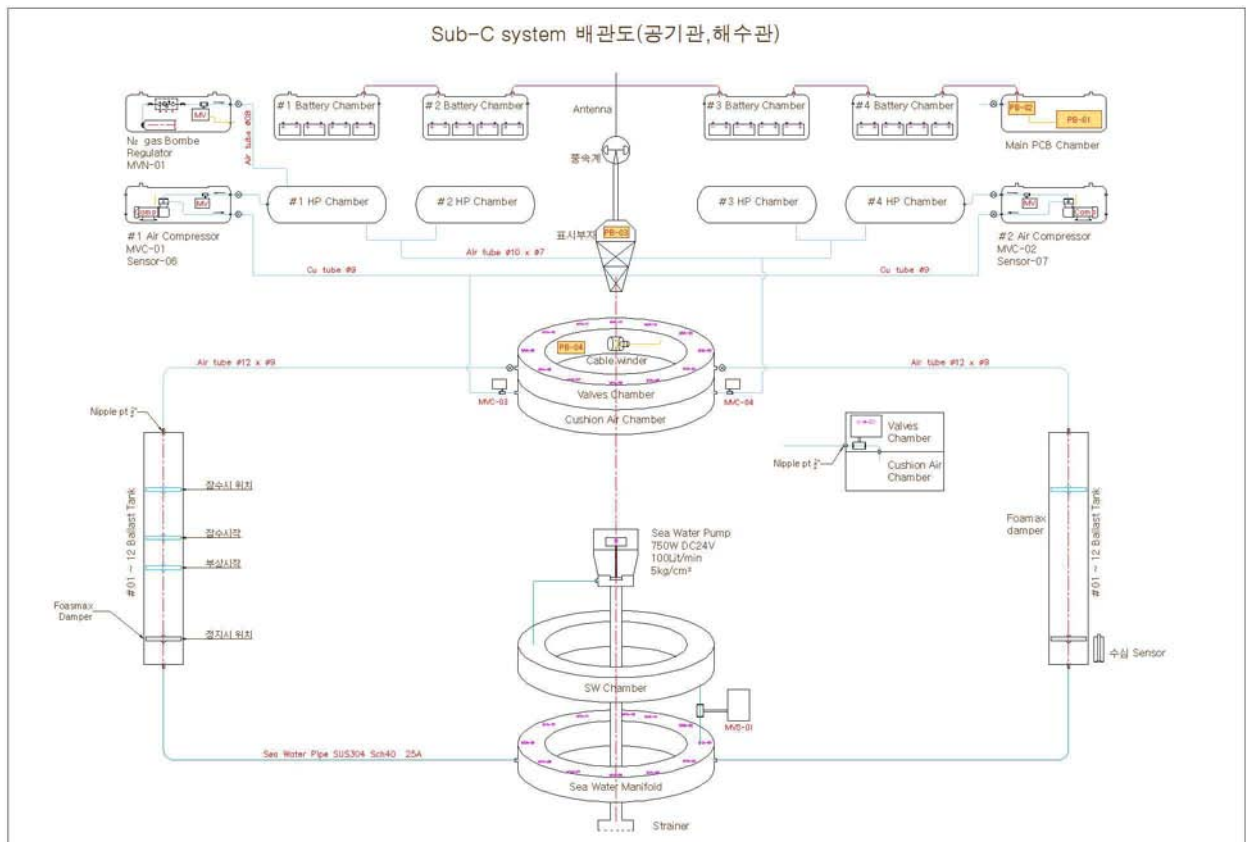
전기회로 결선도 (표시부자)



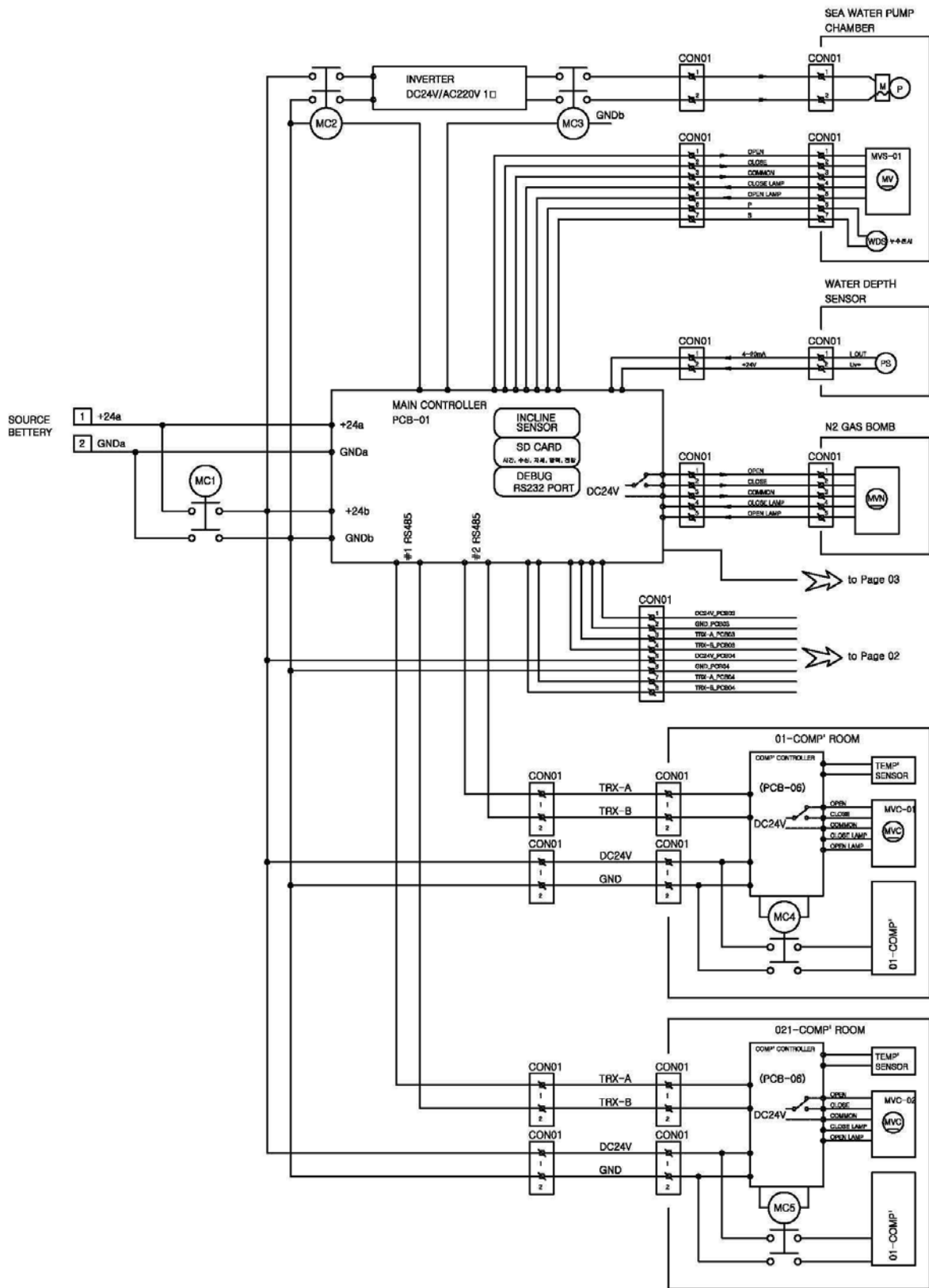
<그림 3-74> 2차 시작품 표시 부자의 전기 회로 결선도.



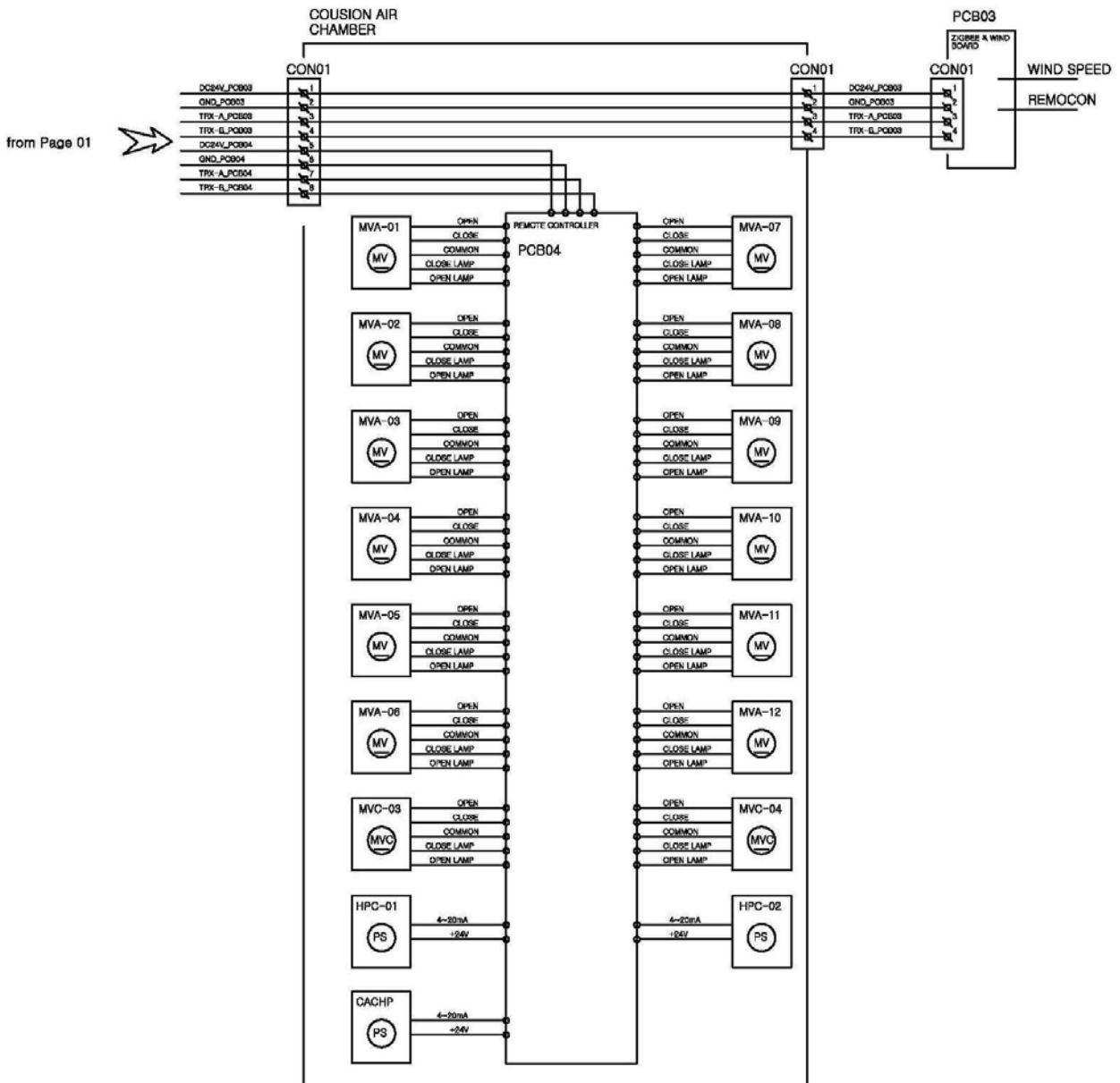
<그림 3-75> 자동 부침 가두리 2차 시작품 배선도.



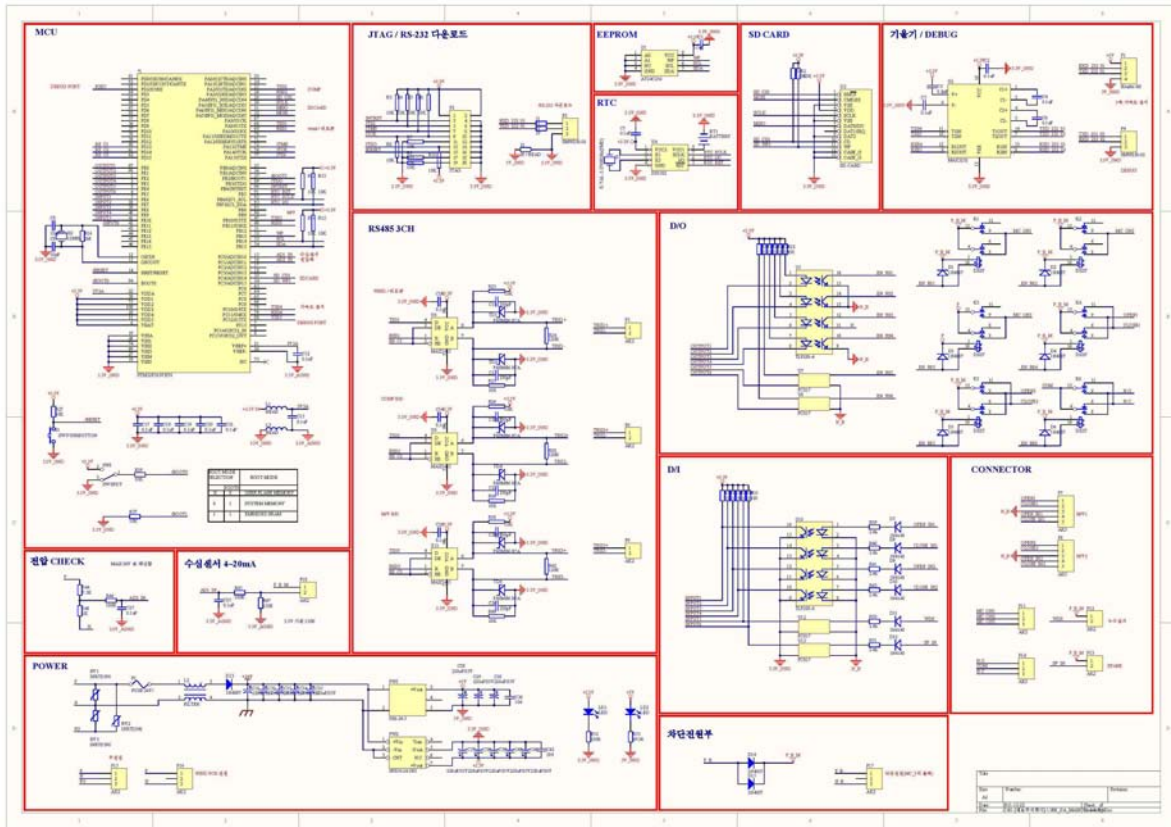
<그림 3-76> 자동 부침 가두리 2차 시작품 배관도.



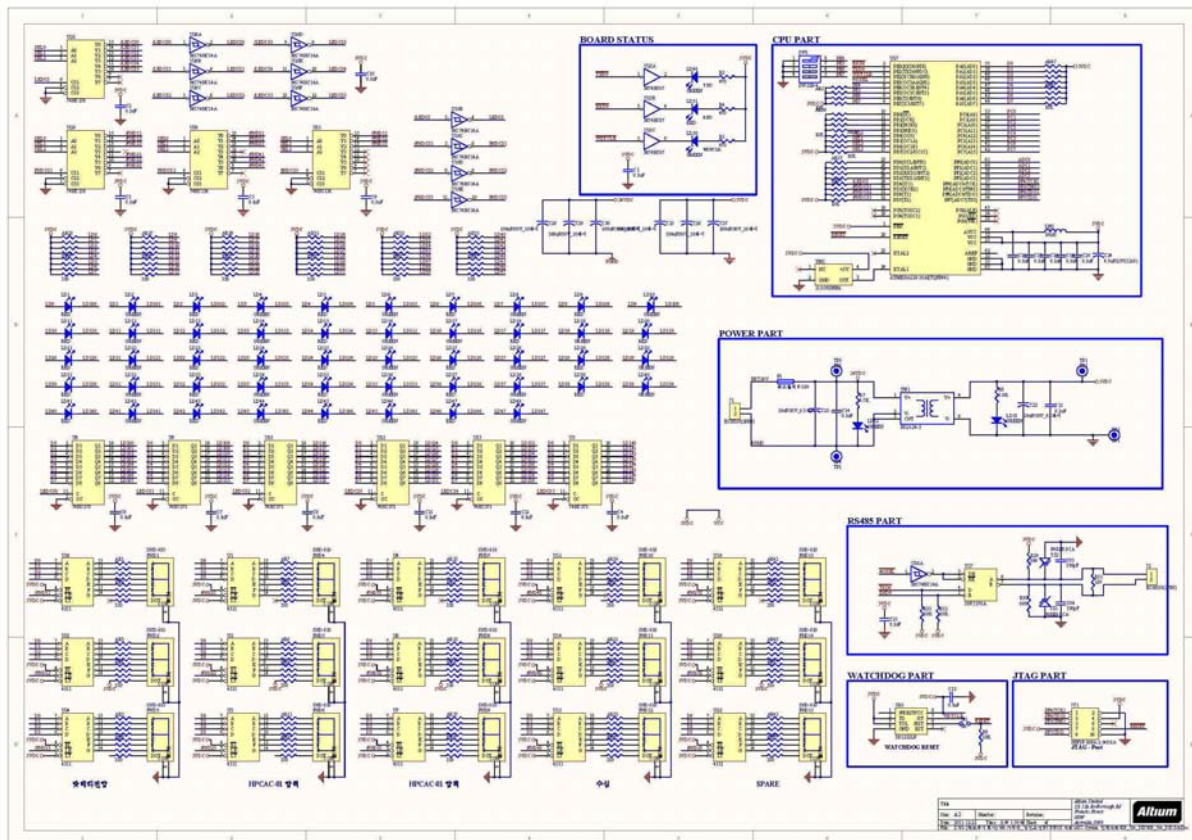
<그림 3-77> 자동 부침 가두리 2차 시작품 메인 및 공기 압축기 전기 결선도.



<그림 3-78> 2차 시작품 컨트롤 보드, 풍속계, 리모트 컨트롤 시스템 전기 결선도.



<그림 3-79> 자동 부침 가두리 2차 시작품 메인 PCB 회로도.



<그림 3-80> 자동 부침 가두리 2차 시작품 디스플레이 보드 회로도.

제 4 절 다중 신호 처리 모듈 개발

1. 신호 처리의 개요

신호 처리를 실현하기 위해서는 처리를 위한 전용 장치를 사용하며, 하드웨어로 하는 방법과 컴퓨터 프로그램 즉 소프트웨어를 이용하는 방법이 있다. 신호 처리를 하드웨어로 하는 경우에는 고속 처리가 가능하지만 아부 복잡한 처리는 대응할 수 없다. 반대로 소프트웨어로 하는 경우에는 상당히 복잡한 처리도 간단히 실행할 수 있지만 상대적으로 실행 속도는 느려진다. 최근에는 컴퓨터의 실행 속도가 상당히 빨라져서 빠른 속도로 실행 가능해지고 있는 실정이다.

아날로그 기술에서 다루는 신호는 일반적으로 시간에 대해 연속이지만, 디지털 신호 처리에서 다루는 신호는 시간에 대해 비연속적이다. 따라서 컴퓨터에서 다루는 신호는 시간에 대해 비연속적이며 신호의 값 자체도 비연속적이다. 이러한 점을 고려하여 각 시스템에서 계측된 신호에 대한 샘플링 시간도 신호 처리에서 매우 중요한 조건이 된다.

2. 대상 제어계에서 신호 필터링의 필요성

제어 대상에 대한 제어를 실현함에 있어 대상의 상태를 계측하는 일은 매우 중요하다. 계측된 신호에 의하여 제어 대상의 제어 출력에 영향을 미치기 때문이다. 보통의 센서에서 나오는 신호는 고주파 성분을 가지고 있으며 이러한 특징 때문에 외부 환경의 영향으로 외란을 포함한 신호가 계측되는 것이 일반적이다. 이 연구에서 제안하고 있는 밸브는 솔레노이드형으로 순간적인 전류가 통합으로 인하여 계측 신호에 영향을 줄 뿐만 아니라 개방된 곳에서 사용되는 제어 대상이므로 외부의 자기장에도 쉽게 영향을 받는다.

이러한 조건들을 해소하기 위하여 수심 센서 및 자이로스코프 출력 신호를 안정되게 하기 위한 필터 사용이 요구되어진다. 아날로그 필터는 하드웨어로 구성되어 장치가 복잡하고 가격이 비싸며, 신호 처리 입장에서도 주파수의 선택폭이 작기 때문에 출력 신호로부터 최적 추정값을 구하기가 쉽지가 않다. 따라서 이 연구에서는 이러한 점들을 감안하여, 제어계 설계 시 소프트웨어로 쉽게 설계하여 사용할 수 있는 디지털 필터를 개발하였다.

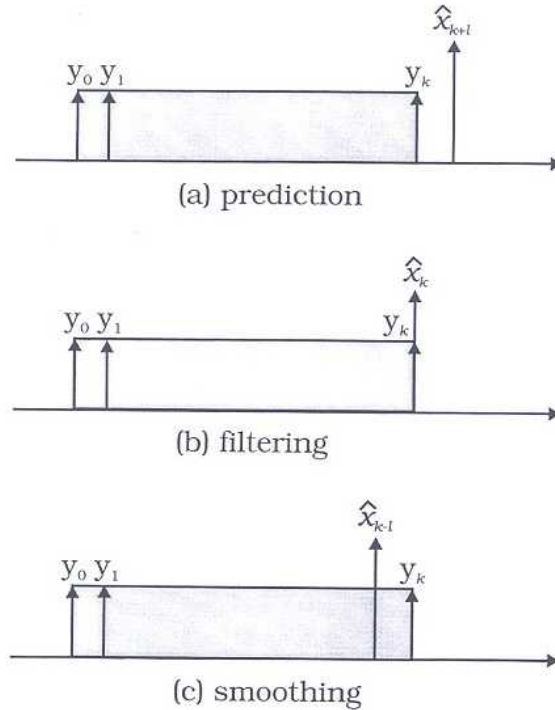
일반적으로 디지털 필터 알고리즘은 <그림 3-81>에 나타낸 바와 같이 세 가지로 나눌 수 있다. 만약 시점 k 를 현재라 간주하고 어떤 과거의 시점으로부터 현재까지의 관측 신호 $\{\dots, y(k-2), y(k-1), y(k)\}$ 를 기초로 하여 나타내면,

- ① 미래의 $x(k+l)$ (여기서, $l \geq 1$ 이다.)의 최적 추정값 $\hat{x}(k+l)$ 을 구하는 것은 최적 예측(prediction)화,
- ② 현재의 $x(k)$ 의 최적 추정값 $\hat{x}(k)$ 를 구하는 것은 필터링(filtering)화,
- ③ 과거의 $x(k-l)$ (여기서, $l \geq 1$ 이다.)의 최적 추정값 $\hat{x}(k-l)$ 을 구하는 것을 평활(smoothing)화라 한다.

위에서 필터링 최적 추정값 $\hat{x}(k)$ 는 일반적으로 측정량 $\{\dots, y(k-2), y(k-1), y(k)\}$ 의 관계로 나타낼 수 있다. 지금 관측 개시 시점을 $k=0$ 로 하면, $x(k)$ 의 추정값은 일반적으로 함수

$$\hat{x}(k) = f_k [y(0), y(1), \dots, y(k)] \quad (3.13)$$

로 표현할 수 있으며, 이 때 적절한 함수형 f_k 를 선정함으로써 관측 값으로부터 추정 값을 얻을 수 있다.



<그림 3-79> 디지털 필터 분류.

3. 선형 최소 분산 필터

이 연구에서는 선형 최소 분산 필터(linear minimum mean square filter)를 사용하여 센서 신호 계측 실험을 하였다,

측정치 y 가 다음과 같이 나타내진다고 가정하다.

$$y = x + f \quad (3.14)$$

여기서 x 는 측정하려는 물리량으로서 계측 신호라 부르기로 하며, f 는 측정 과정에서 나타나는 외란, 잡음, 측정 오차 등이 집적된 것으로 간주하고, 그것을 하나의 확률 변수로 생각하여 잡음이라 지칭한다. 계측 신호와 잡음은 확률적으로 상호 독립적인 관계로서, 각각 평균치는 \bar{x} 로 영(zero)이며, 분산은 σ_x^2 , σ_f^2 의 확률 변수로 둔다. 그러면 측정량 y 의 1차식으로 표시되는 x 의 선형 최소 분산 추정치는 아래와 같다.

$$\hat{x} = ay + \beta \quad (3.15)$$

이때, 평균 2승 오차가 최소가 되도록 (3.15)식의 변수 α, β 를 결정한다. 우선 추정량 \hat{x} 의 오차 $e = x - \hat{x}$ 의 평균치 $E[e]$ 와 분산 σ_e^2 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
E[e] &= E[x - a(x+f) - \beta] \\
&= E_x[(1-a)x] - E_f[af] - \beta \\
&= (1-a)\bar{x} - \beta
\end{aligned} \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_e^2 &= E[(e - \hat{e})^2] \\
&= E\{[(1-a)x - \alpha f - \beta - (1-a)\bar{x} + \beta]^2\} \\
&= E\{[(1-a)(x - \bar{x}) - \alpha f]^2\} \\
&= E[(1-a)^2(x - \bar{x})^2 - 2\alpha f(1-a)(x - \bar{x}) + \alpha^2 f^2] \\
&= (1-a)^2\sigma_x^2 + \alpha^2\sigma_f^2
\end{aligned} \tag{3.17}$$

(3.16)식으로부터 분산 σ_e^2 은 α 에만 관련되며 β 와는 무관함을 알 수 있다. 따라서 β 값으로는 오차의 평균치 $E[e]=0$ 가 되도록, 그리고 α 로서는 분산 σ_e^2 이 최소가 되도록 선정하면 된다. 즉, (3.17)식으로부터 β 는

$$\beta = (1-a)\bar{x} \tag{3.18}$$

이 된다. 또한 (3.17)식의 분산을 추정 오차의 평균 2승 오차로 두면 다음과 같이 α 에 관하여 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
\sigma_e^2 &= (1-a^2)\sigma_x^2 + \alpha^2\sigma_f^2 \\
&= (\sigma_x^2 + \sigma_f^2)\alpha^2 - 2\sigma_x^2\alpha + \sigma_x^2 \\
&= (\sigma_x^2 + \sigma_f^2)[\alpha^2 - 2\sigma_x^2/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2)\alpha] + \sigma_x^2 \\
&= (\sigma_x^2 + \sigma_f^2)\{\alpha^2 - 2\sigma_x^2/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2)\alpha + [\sigma_x^2/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2)]\} - \sigma_x^4/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2) + \sigma_x^2 \\
&= (\sigma_x^2 + \sigma_f^2)[\alpha - \sigma_x^2/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2)]^2 + \sigma_x^2\sigma_f^2/(\sigma_x^2 + \sigma_f^2)
\end{aligned} \tag{3.19}$$

α 를 구하기 위해 (3.19)식의 우변 제 1항을 영으로 하면, 평균 2승 오차 $J=\sigma_e^2$ 를 최소로 하는 α 가 얻어진다. 따라서 α 는 아래와 같은 식을 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_x^2 + \sigma_f^2} \tag{3.20}$$

이상으로부터 x 의 선형 최소 분산 추정치 \hat{x} 는 최종적으로 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned}
\hat{x} &= (1-a)\bar{x} + \alpha y = \bar{x} + \alpha(y - \bar{x}) \\
&= \bar{x} + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_x^2 + \sigma_f^2}(y - \bar{x})
\end{aligned} \tag{3.21}$$

또한 이때의 평균 2승 오차는 (3.19)식에 의하여

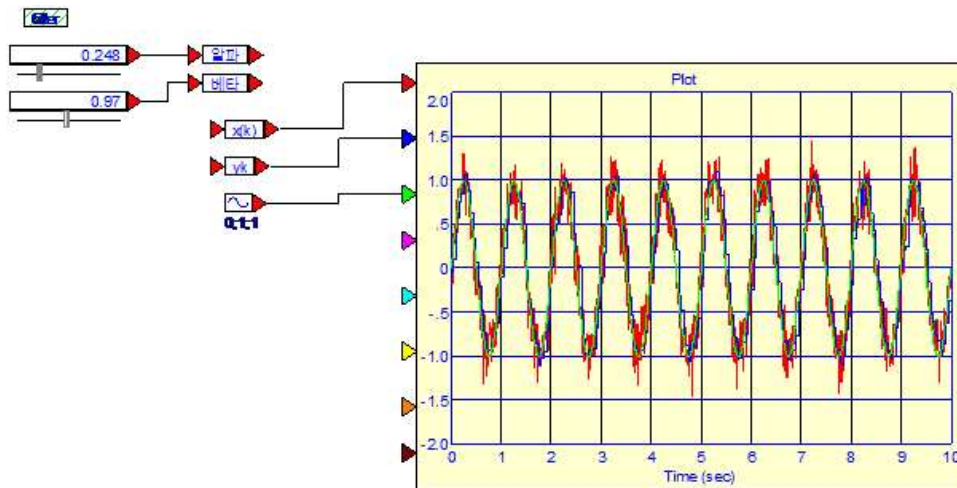
$$\hat{f} = \frac{\sigma_x^2\sigma_f^2}{\sigma_x^2 + \sigma_f^2} \tag{3.22}$$

이 된다.

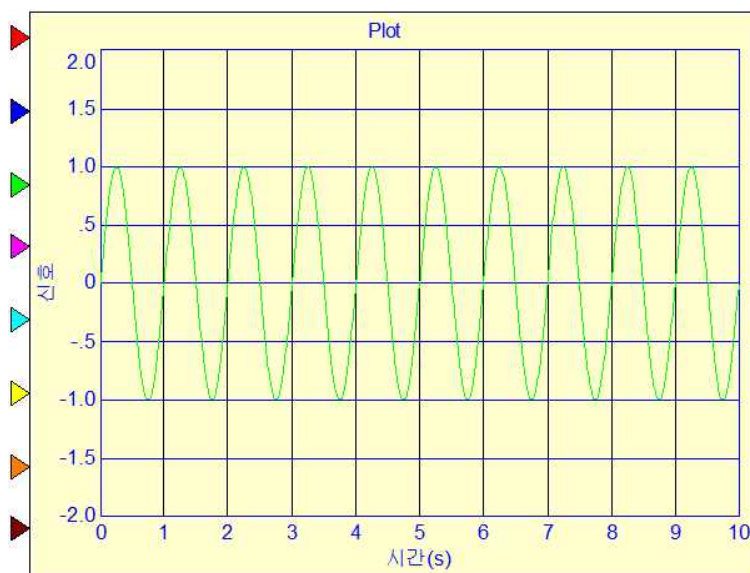
4. 디지털 필터를 이용한 계측 신호 처리 결과

이 연구에서 제안한 디지털 필터의 효과를 검증하였다. <그림 3-82>는 실시간으로 센서에서 들어오는 계측신호를 디지털 필터를 통하여 안정된 계측 신호를 만들 수 있는 프로그램과 실시간으로 계측된 신호를 다중 모니터링 할 수 있는 프로그램을 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 듯이 안정된 결과를 얻을 수 있었다.

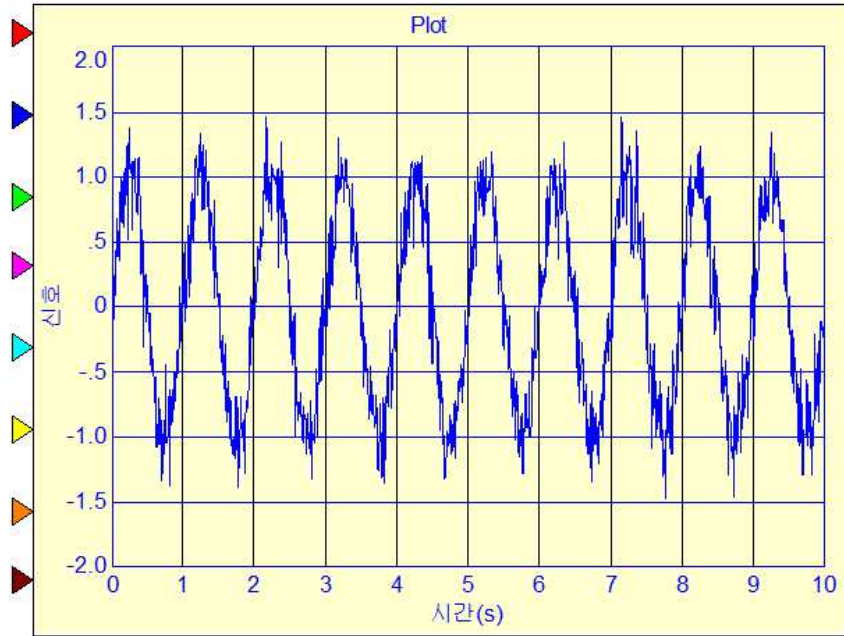
<그림 3-83>에서부터 <그림 3-88>까지는 계측 신호가 제안한 디지털 필터를 통과한 후 그 변화를 표시한 것으로, 사인파와 구형파 계측 신호를 나타내었다. 프로그램 내 변수 α, β 의 변화에 의하여 안정된 계측 신호의 값을 유추할 수 있음을 확인하였다.



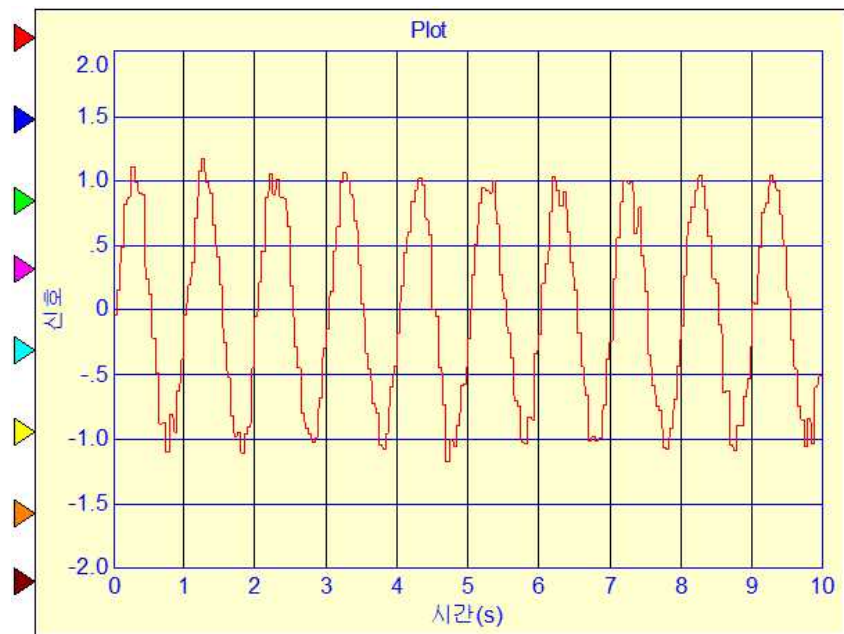
<그림 3-82> 디지털 필터를 이용한 신호 처리 프로그램.



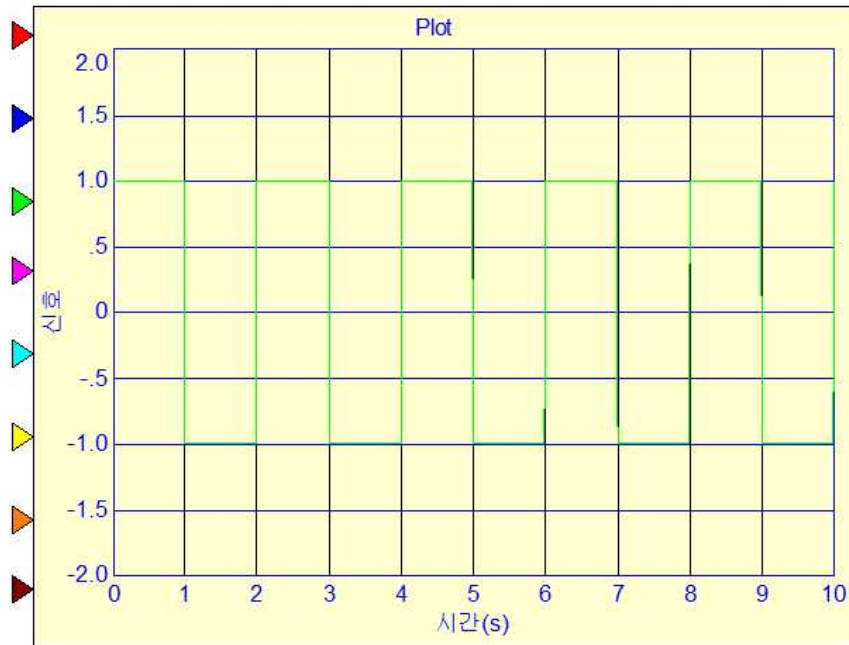
<그림 3-83> 이상적인 사인파 계측 신호.



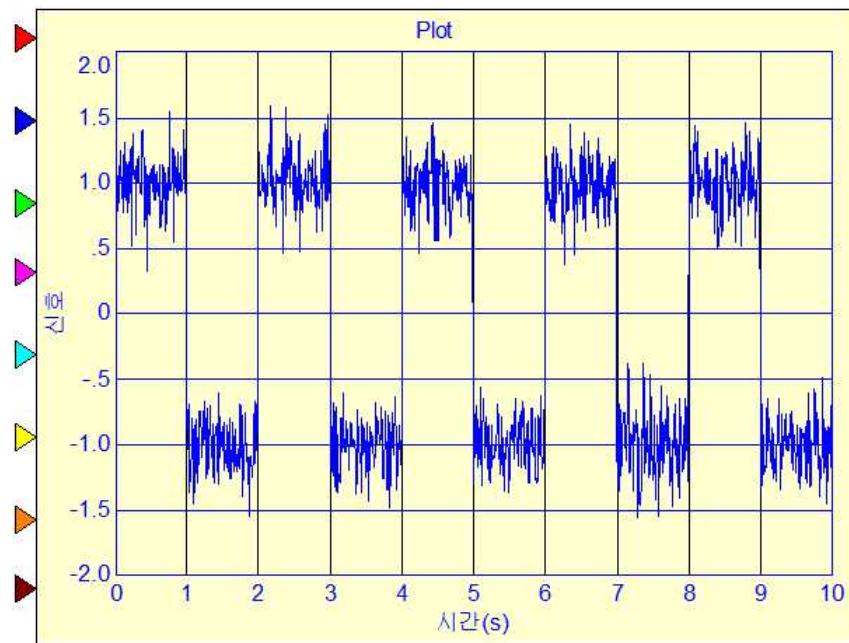
<그림 3-84> 현실적인 사인과 계측 신호.



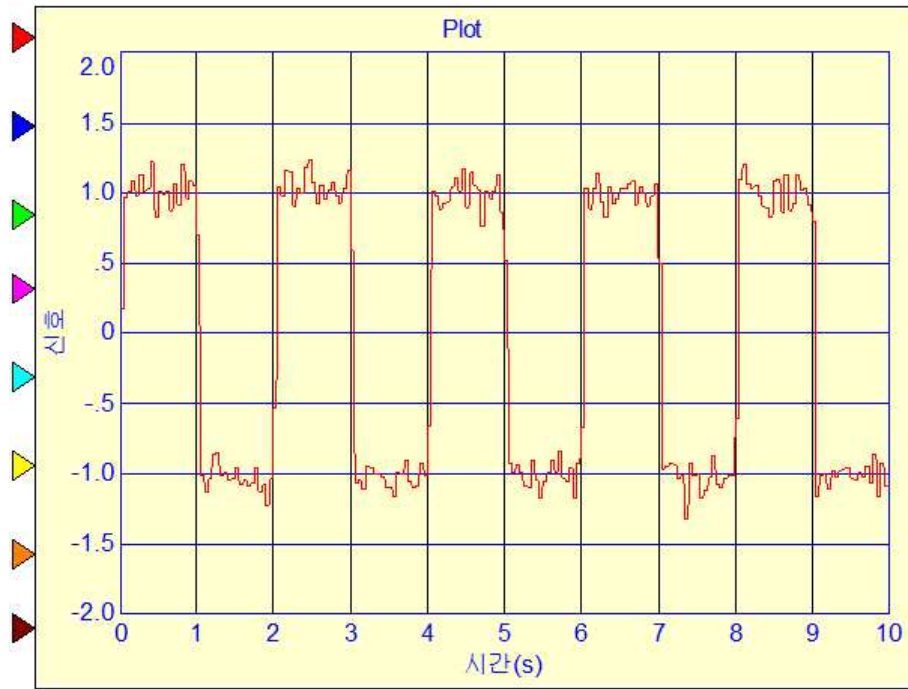
<그림 3-85> 디지털 필터를 통과한 사인과 계측 신호.



<그림 3-86> 이상적인 구형파 계측 신호.



<그림 3-87> 현실적인 구형파 계측 신호.



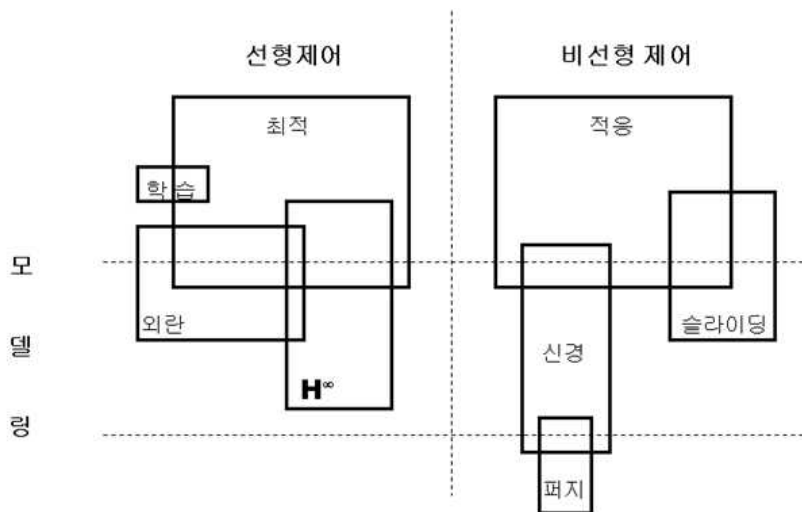
<그림 3-88> 디지털 필터를 통과한 구형파와 계측 신호.

제 5 절 자동 부침 기능 제어 기법 최적 설계 및 알고리즘 선정

1. 구동 방식과 제어 법칙의 결정

자동화 입장에서 구동 방식의 결정은 매우 중요한 것이다. 구동 방식으로 이제까지 이용돼 온 것은 유압, 공기압, 전기 및 기계 방식 등이 있다. 이들 방식의 특성을 보면 각각 일장일단이 있고 요구되는 모든 특성을 만족하는 것은 존재하지 않는다. 그러므로 각 방식의 특징을 잘 파악하여 그들의 조합에 의해서 가장 효율적인 방법을 채용하는 것이 중요하다. 나아가 제어 대상에 대한 구동 방식이 결정되면 이것의 장점을 최대한 발휘할 수 있는 제어 법칙을 찾는 것 또한 매우 중요하다.

현재 산업체에 사용되고 있는 장치를 조종하는 제어 기법은 선형 제어 기법으로, 제어 대상에 대한 모델링의 정확도에 기반을 두고 있다. 비선형 제어 기법은 외부 환경에 적응성이 강하나 섬세한 제어 결과를 얻기에는 다소 무리가 있으며, 하드웨어 제작 경비에 부담을 가지고 있는 실정이다. <그림 3-89>에 일반적으로 산업체에 적용하고 있는 제어 기법을 나타내었다.

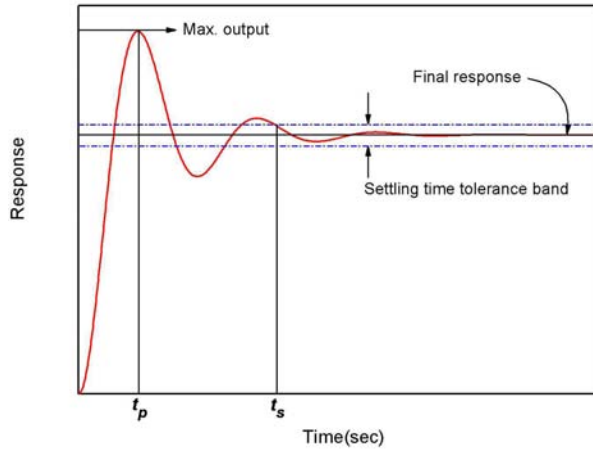


<그림 3-89> 제어 기법.

이 연구에서는 부침 부자에 공급되는 압축 공기를 제어함에 있어 On-Off 밸브를 사용하여 조정하는 전기-공기압 제어 밸브를 사용한다. 전기-공기압 제어 밸브는 전기 신호에 따라 동력을 제어하는 밸브로 릴레이나 스위치 등에 의해서 On-Off적으로 제어하는 방법과 컴퓨터의 제어 신호에 의하여 연속적으로 동력을 제어하는 방법이 있다. 후자의 방법은 전기 인터페이스 장치가 필요하나 제어질에 있어서 전자와 비교할 수 없을 정도의 고정밀도 제어 결과를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으므로, 현장에서 후자의 방법의 선택이 대세이다. 한편, 부침용 부자에 공급되어지는 압축 공기를 단순 솔레노이드 밸브를 이용하여 고정밀도를 수행하기 위해서 펄스폭(PWM) 제어 방식을 채택하는 것도 하나의 방법일 수 있다. 따라서 자동 부침 제어 기법은 이러한 점들을 고려하여 개발하여야 하며, 그 하나의 방법으로 기존 모델 제어 기법을 이용하여 제어 대상을 제어 하였다.

2. 실용적 기준 모델 제어 기법 제안

일반적으로 제어 대상이 선형 시불변 시스템(linear time-invariant system)일 경우, 고차 시스템(higher order system)은 2차계 전달 함수로 선형화시킬 수가 있다. 제안하는 기준 모델은 제어 대상이 2차계인 경우를 대상으로 하였으며 단위 계단 입력에 대한 응답의 표준 형태는 <그림 3-90>과 같다. 그림에서 피크 시간인 t_p 는 제어 대상 응답의 최초 과응답(overshoot)일 때의 시간을 나타내고 정착 시간인 t_s 는 제어 대상의 응답이 정상상태 범위에 들어가는 최초의 시간을 의미한다.



<그림 3-90> 단위 계단 입력에 대한 2차계의 표준 응답.

2차 제어 대상의 전달 함수($G(s)$)는 다음과 같은 표준형으로 나타낸다.

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.23)$$

여기서 ζ 와 ω_n 는 제어 대상의 감쇠비와 고유 주파수이다.

(3.23)식에서 감쇠비의 변화는 단위 계단 입력에 따른 제어 대상의 출력에 영향을 준다. 만약 감쇠비가 부족 감쇠($0 \leq \zeta \leq 1$)일 경우 전달 함수의 극점은 복소 극점(complex-conjugate poles)을 가지게 되므로, (3.23)식은 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2} \quad (3.24)$$

윗식은 s 평면에서 2개의 복소 극점 $s = -\zeta\omega_n \pm j\omega_d$ 을 가지게 된다. $\omega_d (= \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2})$ 는 감쇠 고유 주파수이고, $j (= \sqrt{-1})$ 는 허수를 표시한다. (3.24)식의 전달 함수에 단위 계단 입력을 인가한 결과로부터 피크 시간(t_p)과 정착 시간(t_s)은 아래의 식으로 표현된다.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (3.25)$$

$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad (3.26)$$

(3.25)식과 (3.26)식은 제어 대상의 감쇠비와 고유 주파수의 크기 변화에 의하여 영향을 받

으므로 (3.25)식을 감쇠비와 고유 주파수의 함수로 표시하면 아래의 식으로 표시할 수 있다.

$$\omega_n^2(1-\zeta^2) = \frac{\pi^2}{t_p^2} \quad (3.27)$$

(3.28)식을 (3.27)식에 대입하여 제어 대상의 고유 주파수에 대한 함수로 표시하면 아래와 같다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\pi^2}{t_p^2} + \frac{16}{t_s^2}} \quad (3.28)$$

따라서 (3.26)식과 (3.28)식을 (3.23)식에 대입하여 정리하면 아래와 같은 전달 함수를 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{\frac{\pi^2}{t_p^2} + \frac{16}{t_s^2}}{s^2 + \frac{8}{t_s}s + \left(\frac{\pi^2}{t_p^2} + \frac{16}{t_s^2}\right)} \quad (3.29)$$

결국, 단위 계단 입력에 대한 제어 대상 출력의 피크 시간과 정착 시간으로 표현되는 (3.29)식을 통하여 제어 대상의 전달 함수 (3.23)식의 파라미터(ζ, ω_n)를 쉽게 구할 수 있게 된다.

한편, 제어 대상의 기준 모델이 되는 일반적인 n 차 페루프 전달 함수($G_m(s)$)는

$$G_m(s) = \frac{1}{1 + a_1\sigma^1 s^1 + a_2\sigma^2 s^2 + a_3\sigma^3 s^3 + \dots + a_i\sigma^n s^n} \quad (3.30)$$

와 같이 표현되며, 분모의 각 항에 표시된 $a_i(i=1,2,\dots,n)$ 는 안정된 실근(b_i)과 복소근(c_i)의 합으로 이루어진 계수이다.

2차계 제어 대상의 기준 모델을 구하기 위해 (3.30)식을 (3.31)식과 같이 3차계 전달 함수($G_{3m}(s)$)로 설정하였다. 이때 (4.1)식에 미소 극점이 첨가된다고 간주하고 (3.32)식과 같은 3차 전달 함수로 표현하면

$$G_{3m}(s) = \frac{1}{a_3\sigma^3 s^3 + a_2\sigma^2 s^2 + a_1\sigma^1 s^1 + 1} \quad (3.31)$$

$$G_r(s) = \frac{1}{\left(\frac{s}{\alpha\zeta\omega_n} + 1\right)\left(\left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_n} + 1\right)} \quad (3.32)$$

의 형태로 변형시킬 수 있다. 여기서 α 는 보정계수이다.

윗식을 정리하여 (3.31)식의 형식으로 표현한 기준 모델은

$$G_r(s) = \frac{1}{\frac{1}{\alpha\zeta\omega_n^3} s^3 + \frac{\alpha+2}{\alpha\omega_n^2} s^2 + \frac{2\alpha\zeta^2+1}{\alpha\zeta\omega_n} s^1 + 1} \quad (3.33)$$

이며, (3.26)식과 (3.28)식을 통하여 얻을 수 있는, ζ 및 ω_n 함수로 표현된다.

(3.31)식과 (3.33)식을 계수 비교하여 a_1 , a_2 , a_3 와 σ^n 의 관계식으로 나타내면

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{(2\alpha\zeta^2+1)}{2\alpha\zeta} \\ a_2 &= \frac{\alpha+2}{4\alpha} \\ a_3 &= \frac{1}{8\alpha\zeta} \end{aligned} \quad (3.34)$$

와 같다.

결국, 이 연구에서 제어 대상의 단위 계단 입력에 대한 응답에서 쉽게 얻어지는 피크 시간과 정착 시간만을 이용하고, 감쇠비만 조정하면 (3.27)식에 의해 제어 대상의 모델링 작업을 대폭 간소화시킬 수 있으며 제안한 기준 모델인 (3.33)식을 이용하여 쉽게 원하는 기준 모델을 얻을 수 있다.

3. 제안된 제어기 설계 및 시뮬레이션 고찰

이 연구에서 제안한 기준 모델의 유용성을 검증하기 위하여 수치해석을 수행하였다. 제어 대상은 비례 전자 압력 제어 밸브를 장착한 유압 시스템을 대상으로 하였으며, 이 시스템을 2차 계로 선형화시켜 아래와 같이 설정하였다.

$$G_p(s) = \frac{1691}{s^2 + 23s + 1691} \quad (3.35)$$

PID 제어기의 전달 함수 $G_c(s)$ 는

$$G_c(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \quad (3.36)$$

이며, K_P , K_I 및 K_D 는 비례, 적분 및 미분 게인이다.

예비 필터를 고려하지 않은 상태의 페루프 전달 함수($T_1(s)$)는

$$T_1(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (3.37)$$

와 같이 표현된다.

제안한 기준 모델을 구하기 위해 (3.28)식을 이용하여 구한 고유 주파수(ω_n)값을 (3.34)

식을 통하여 a_1 , a_2 , a_3 및 σ^n 을 구하면 제안된 기준 모델의 특성 방정식($d(s)$)은

$$d(s) = s^3 + 174s^2 + 8968s + 175754 \quad (3.38)$$

로 계산된다.

여기서 PID 제어 게인을 구하기 위해 (3.37)식의 분모 항과 (3.38)식을 차수 비교를 통하여 $K_P=4.304$, $K_I=103.935$ 및 $K_D=0.091$ 을 구할 수 있다.

따라서 (3.37)식은 아래와 같이

$$T_1(s) = \frac{151s^2 + 7277s + 175754}{s^3 + 174s^2 + 8968s + 175754} \quad (3.39)$$

으로 구할 수가 있다.

한편, 예비 필터를 포함한 전체 폐루프 전달 함수($T(s)$)는 기준 모델에 추종해야 하므로

$$T(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_p(s)G_f(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} \quad (3.40)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

여기서 예비 필터 전달 함수($G_f(s)$)는 (3.39)식과 (3.40)식을 통하여 아래와 같이 구해진다.

$$G_f(s) = \frac{1162}{s^2 + 48s + 1162} \quad (3.41)$$

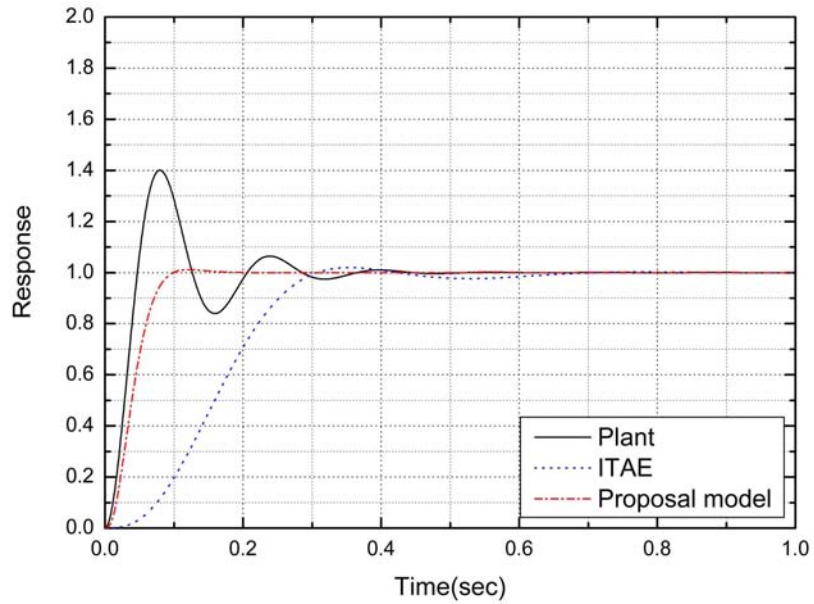
이 연구에서 제안한 기준 모델 특성 방정식에 사용된 고유 주파수(ω_n)는 41.5로 구해졌으며, 보정계수(α)와 감쇠비(ζ)는 3과 0.85로 설정하였다.

4. 시뮬레이션 고찰 및 결론

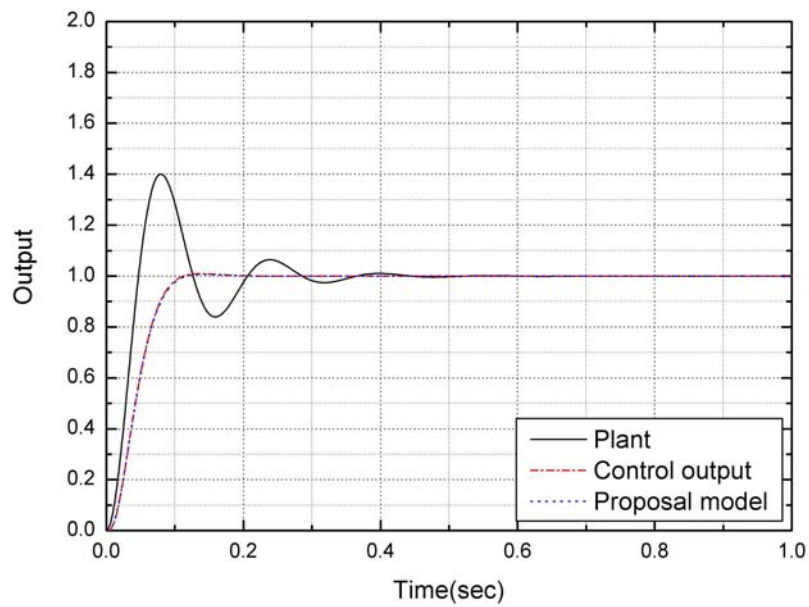
<그림 3-91>은 ITAE 방법과 제안된 방법에 의해 구해진 기준 모델의 응답 결과이다. 제안된 방법에 의한 응답 결과는 제어 대상의 상승 시간에 근접하면서 피크 시간을 기준으로 빠르고 안정한 정착 시간을 가지는 것을 확인할 수 있다. 하지만, ITAE 방법으로 구현한 기준 모델의 응답 결과는 제안된 방법의 정착 시간이 약 0.1초인데 반해 약 0.3초로 상당히 느렸으며, 비록 2% 이내의 정착 시간 범위에서 안정된 결과를 나타냈지만 떨림 현상을 확인할 수 있었다.

<그림 3-92>는 이 연구에서 제안한 기준 모델을 이용하여 PID 제어기를 설계한 후에 단위 계단 응답 결과를 표시한 것으로써, 제어 대상이 제안된 기준 모델에 따라 안정하게 추종하는 것을 확인할 수 있다.

따라서, 제안한 기준 모델 설정 방법은 기존의 ITAE 성능 지수에 의하여 만들어진 기준 모델보다도 우수하다는 것을 확인할 수 있었으며, 제어기 설계에 있어서도 만족할만한 응답 특성을 얻을 수 있었다. 무엇보다도 제어 대상에 대한 모델링의 번거로운 절차를 거치지 않고 설계하고자하는 제어 대상에서 측정 신호의 최초 피크 시간과 정착 시간만을 알고 있으면 안정성과 응답성이 우수한 기준 모델을 구할 수 있고 쉽게 제어기를 설계할 수 있다. 이것은 쉽고 간편한 방법을 선호하는 산업 현장에서 손쉽게 실용적으로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.



<그림 3-91> 제안된 방법과 ITAE 방법에 대한 기준 모델 응답 결과.



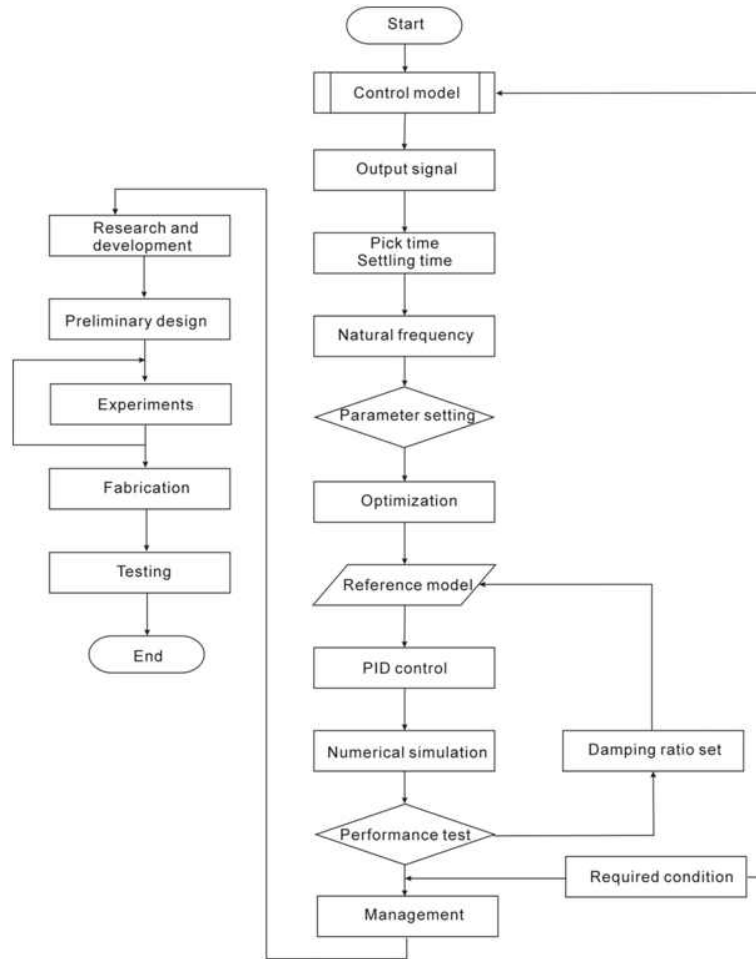
<그림 3-92> 제안한 방법을 이용한 단위 계단 응답 결과.

한편, 제어 하고자 하는 가두리의 특성을 예측하여 파라미터를 도출하고 제안한 알고리즘을 이용하여 제어기를 구성한다. 먼저 가두리의 위치 제어 시스템의 모델식과 단위 계단 응답의 최대 오버슈트량, 최대값 시간 등을 이용하여 미지의 가두리 시스템의 파라미터들을 추정한다. 그리고 이 연구에서 제안한 실용적 기준 모델을 이용한 PID 제어기를 이용하여 가두리 위치 상승과 하강할 수 있는 시스템을 설계하고 그 응답 특성을 평가한다.

제 6 절 수리 모형실험 및 역학적 특성 해석

1. 본드 선도의 개요

자동 부침 가두리의 설계를 완성하기 위해서는 대상에 대한 이론 해석과 실험을 병행하여 최적의 설계 변수를 도출하고, 이것을 근거로 하여 시작품을 제작하는 과정을 거쳐 제작을 하는 것이 일반적이다. 이러한 과정에 대한 순서도를 <그림 3-93>에 나타내었다.



<그림 3-93> 부침 가두리 설계 순서도.

이론 해석은 본드 기법을 이용하여 수행하였다. 본드 선도는 에너지 보존의 법칙에 근간을 두고 시스템간의 상호 작용을 약속된 기호로 표현하는 것에서 시작된다. 어떤 시스템에서 변화하는 모든 물리량은 그 시스템에 대한 에너지 특성에 따라 작력 요소(effort source)와 흐름 요소(flow source)로 표현할 수 있다. 이것은 본드선도의 구성 요소인 기본 요소, 일률 흐름, 인과 관계, 그리고 접합 관계에 따라 적절하게 결정함으로써 전체 시스템에 대한 상호 에너지 관계를 파악할 수 있다. 본드 선도의 구성 요소 중 모델링 대상에 대하여 먼저 지정을 해야 할 작업인 접합 요소는 여러 개의 시스템이 복합적으로 연결되어 있는 복합 시스템에 사용하

는 요소이다. 접합 요소는 전체적으로 하나의 시스템을 함축하여 표현되기도 하고 부분적으로는 변수를 표현하기도 한다. 특히, 접합 요소로 표현된 곳에서는 반듯이 에너지 보존의 법칙이 성립되어야 한다. 접합 관계는 0과 1을 교차적으로 사용하여 표현하고, 0-접합에서는 흐름 변수가 보존되어야 하며, 1-접합에서는 작력 변수가 보존되어야 한다. 즉, $\sum e_i=0$, $\sum f_i=0$ 이 되어야 한다.

최초 공급되는 입력이 작력 요소인가 흐름 요소인가를 결정하여 0-접합을 사용할 것인지 1-접합을 사용할 것인지를 결정해야 한다. 경우에 따라 접합 관계가 길게 나열되는 경우가 발생하지만 변수들의 특성을 파악하여 같은 특성을 가진 요소들의 결합이나 간소화 방법으로 인과 관계에 벗어나지 않은 범위에서 조절이 가능하다.

<표 3-8>과 <표 3-9>는 동적 시스템을 본드선도 모델링할 때 필요한 가장 기본적인 요소와 이 요소의 인과 관계를 요약한 것이다.

<표 3-8> 본드선도에 사용되는 기본 요소

Domain	Element	Form	Causal Relation
Generation	Effort	S_e	$e = e(t)$
	Flow	S_f	$f = f(t)$
Store	Capacitance	$-\frac{e}{f} C$	$e = \Phi_c(q)$ $q(t) = q(t_0) + \int^t f dt$
	Inertance	$-\frac{e}{f} I$	$f = \Phi_f(p)$ $p(t) = p(t_0) + \int^t e dt$
Emission	Resistor	$-\frac{e}{f} R$	$\Phi R(e, f) = 0$
Transfor -mation	Transformer	$\frac{e_1}{f_1} TF \frac{e_2}{f_2}$	$e_2 = m e_1$ $m f_2 = f_1$
	Gyrator	$\frac{e_1}{f_1} GY \frac{e_2}{f_2}$	$e_2 = r f_1$ $r f_2 = e_1$
Junction	Effort junction, 0-Junction	$\frac{1}{3} \begin{array}{c} 2 \\ 0 \\ \end{array}$	$\sum_{i=1}^n f_i = 0$
	Flow junction 1-Junction	$\frac{1}{3} \begin{array}{c} 2 \\ 1 \\ \end{array}$	$\sum_{i=1}^n e_i = 0$

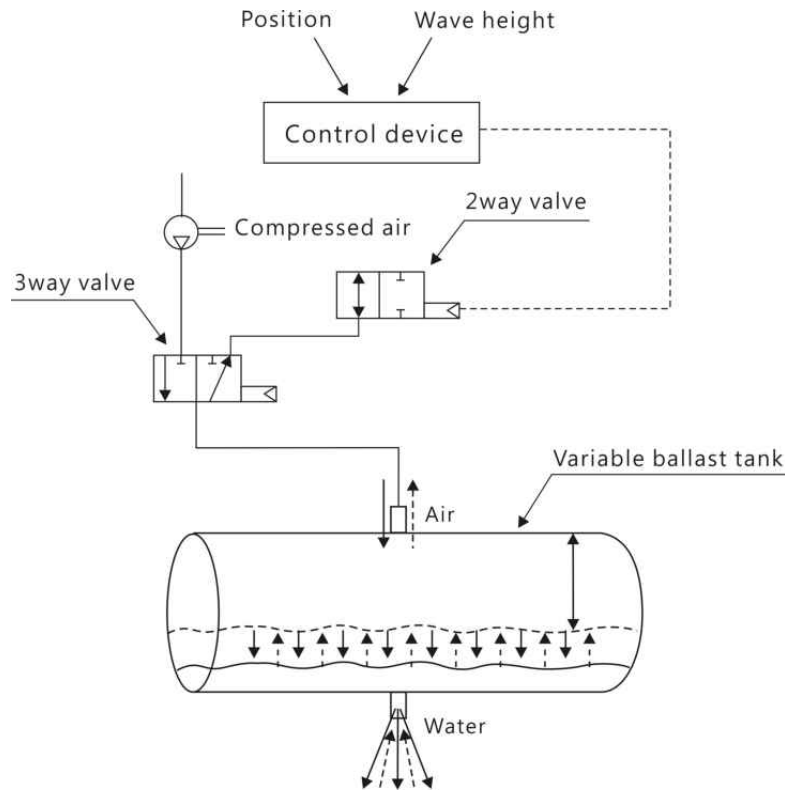
<표 3-9> 본드 선도의 인과 관계

Element	Acausal form	Causal form	Causal relation
Effort source	$S_e \rightarrow$	$S_e \rightarrow $	$e(t) = E(t)$
Flow source	$S_f \rightarrow$	$S_f \rightarrow$	$f(t) = F(t)$
Resistor	$R \leftarrow$	$R \leftarrow $	$e = \Phi_R(f)$
		$R \leftarrow$	$f = \Phi_R^{-1}(e)$
Capacitor	$C \leftarrow$	$C \leftarrow $	$e = \Phi_C^{-1}\left(\int^t f dt\right)$
		$C \leftarrow$	$f = \frac{d}{dt} \Phi_C(e)$
Inertia	$I \leftarrow$	$I \leftarrow$	$f = \Phi_I^{-1}\left(\int^t e dt\right)$
		$I \leftarrow $	$e = \frac{d}{dt} \Phi_I(f)$
Transformer	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{TF} & \rightarrow \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{TF} & \rightarrow \end{matrix}$	$e_1 = m e_2$ $f_2 = m f_1$
		$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{TF} & \rightarrow \end{matrix}$	$f_1 = f_2 / m$ $e_2 = e_1 / m$
Gyrator	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{GY} & \rightarrow \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{GY} & \rightarrow \end{matrix}$	$e_1 = r f_2$ $e_2 = r f_1$
		$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & \text{GY} & \rightarrow \end{matrix}$	$f_1 = f_2 / r$ $e_2 = e_1 / r$
0-Junction	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & 0 & \leftarrow \\ & 3 \uparrow & \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & 0 & \leftarrow \\ & 3 \uparrow & \end{matrix}$	$e_2 = e_1$ $e_3 = e_1$ $f_1 = -(f_2 + f_3)$
1-Junction	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & 1 & \leftarrow \\ & 3 \uparrow & \end{matrix}$	$\begin{matrix} 1 & 2 \\ \rightarrow & 1 & \leftarrow \\ & 3 \uparrow & \end{matrix}$	$f_2 = f_1$ $f_3 = f_1$ $e_1 = -(e_2 + e_3)$

2. 자동 부침용 부자에 대한 수치 해석

이 연구에서 제안한 자동 부침용 부자 구성 장치의 개략도를 <그림 3-94>에 나타내었다. 부침 용 부자에 들어가는 압축 공기는 3-way 밸브를 이용하여 조절하고, 부침 뜸에서 배출되는 압축 공기는 2-way 밸브를 이용하게 된다. 3-way 밸브를 통과한 공기는 부침용 부자내 압력을 형성하고 그 압력의 변화에 따라 부침 뜸으로 들어오고 나가는 해수의 양을 조절하게 된다. 이때, 해수량의 변화로 인하여 부침 뜸의 중량이 변화하게 되어 부침 뜸이 가지고 있는 부력과 상관계에 의해 부침 뜸은 상승과 하강하게 된다. 즉, 부침용 부자의 중량이 증가하여 부력보다 커지게 되면 밑으로 가라앉게 되며, 반대로 부침용 부자의 중량이 가벼워지면 상대적으로 부력이 커져서 위로 올라가게 된다. 따라서 3-way 밸브와 2-way 밸브를 이용하여 부침용 부자내 압축 공기의 압력을 조절함으로써 부침용 부자의 하강과 상승을 하게 한다. 또

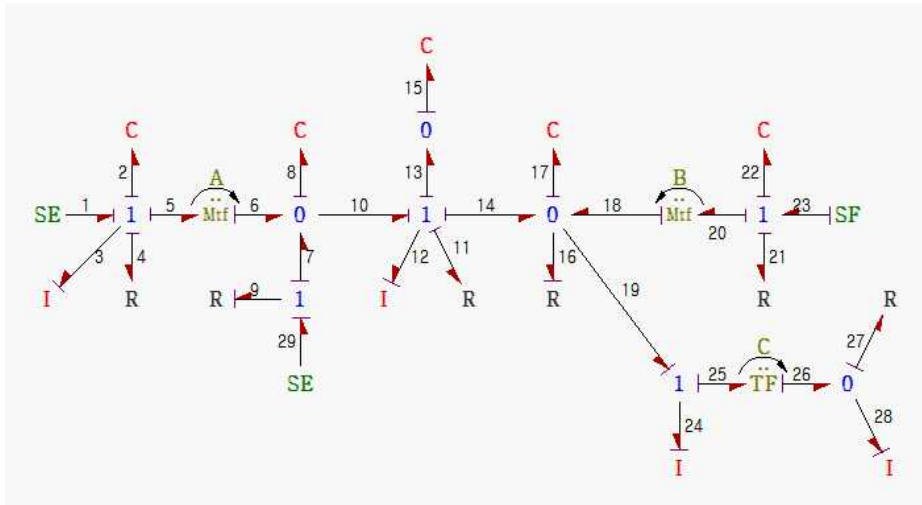
한 밸브의 조절은 펄스폭(PWM) 제어 방식을 사용하여 단순 개-폐 형태로 만들어지는 밸브 관로의 단면적을 변화하는 유효 단면적으로 전환시켜 조정함에 따라 어느 정도 안정된 제어 결과를 얻도록 하였다. 밸브에 인가되는 제어 신호는 외부에서 관측되는 센서(위치, 파고 등) 신호를 이용하여 제어기를 통해서 얻어지게 된다.



<그림 3-94> 구성 장치의 본드 선도.

구성 장치에 대하여 본드 선도로 나타내면 <그림 3-95>와 같이 표현할 수가 있다. 노드 1~5는 제어 밸브 내 역학 관계를 표시하며, 이것의 영향에 의하여 부침용 부자에 공급되어지는 압축 공기의 변화는 노드 6~10으로 표시하였다. 밸브에서 부침용 부자까지 위치한 관로의 영향은 노드 10~14에 나타내었고 노드 15~18은 부침용 부자 내 압축 공기의 변화를 표시한다. 이때, 압축 공기는 부침용 부자로 들어오고 나가는 해수량의 변화에 영향을 받게 되며, 노드 20~23에 표시하였다. 부침용 부자 내 공존하고 있는 압축 공기와 해수의 상호 반응에 의하여 부침용 부자는 하강 또는 상승을 하게 되며 이 관계는 노드 24~28에 나타내었다. 에너지 공급을 표시하는 노드 1, 23 및 29는 밸브에 인가되는 신호, 밸브에 공급되는 압축 공기의 압력 및 부침용 부자에 작용하는 해수의 양을 표시한다.

이 본드 선도를 이용하여 구성 장치의 상태 방정식을 구하게 되면, 시스템 행렬은 (3.42) 식으로 나타낼 수 있으며, 입력 행렬과 입력은 (3.43)식과 같다(Kim et al., 2011).



<그림 3-95> 구성 장치의 본드 선도.

$$\begin{bmatrix}
 R27/M28 & R27*C/M24 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 C*R27/M28 & (-C)*C*R27/M24 & 0 & 0 & 0 & K17 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & (-R11)/M12 & 0 & 0 & (-K17) & (-K15) & K8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & (-R4)/M3 & 0 & 0 & (-A)*K8 & (-K2) \\
 0 & (-1)/M24 & 1/M12 & 0 & 0 & (-1)/R16*K17 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/M12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/M12 & A/M3 & 0 & 0 & 0 & 1/R9*K8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & M13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

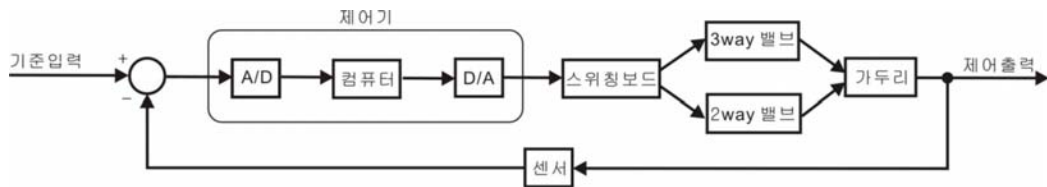
$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 \\
 0 & B & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1/R9 \\
 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 SE1 \\
 SF23 \\
 SE29
 \end{bmatrix} \quad (3.43)$$

3. 제어기 구성

부침용 부자에 대한 기초 실험과 수치 해석을 통하여 제어 하고자 하는 가두리의 특성을 예측하여 파라미터를 도출하고 제안한 알고리즘을 이용하여 제어기를 구성한다. 먼저 가두리의 위치 제어 시스템의 모델식과 단위 계단 응답의 최대 오버슈트량, 최대값 시간 등을 이용하여 미지의 가두리 시스템의 파라미터들을 추정한다. 그리고 이 연구에서 제안한 실용적 기준 모델을 이용한 PID 제어기를 이용하여 가두리 위치 상승과 하강할 수 있는 시스템을 설계하고 그

응답 특성을 평가한다. 나아가 모형 가두리 실험을 통하여 제안한 제어기의 안정성과 유효성을 평가한다.

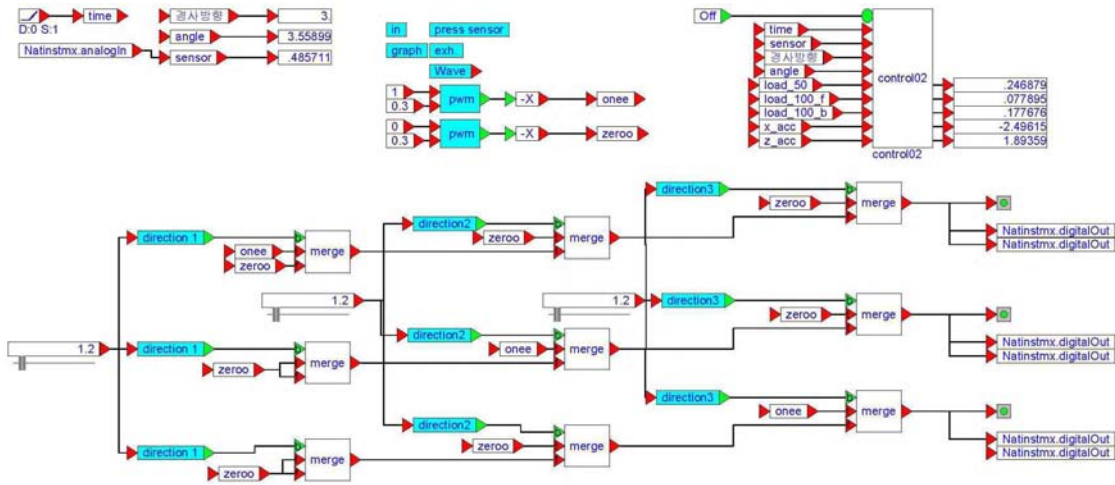
컴퓨터와 가두리 시스템을 유기적으로 결합시키기 위하여 연결 장치(interface, A/D-D/A card)를 설치하였다. 특히 컴퓨터를 이용하여 계측 제어하는 분야에서 연결 장치는 가두리에 설치한 수심 센서(P310A-02, SSK Co., 용량: 19.61kPa)와 자이로스코프(AHRS 4440, CROSSBOW) 및 구동기(3-way 밸브, 2-way 밸브를 조정하는 스위칭 보드)를 컴퓨터와 접속시켜 상호 정보 전달이 되도록 하였다. 여기에서 얻어진 계측량을 가지고 제안한 제어 알고리즘을 이용하여 가두리의 현재 상태를 파악한 후 원하는 제어 입력을 출력하여 기준 입력에 도달하도록 설계하였다. 이러한 점들을 감안하여 제어 시스템을 구성하였으며, <그림 3-96>에 모형 가두리 실험을 하기 위한 제어 시스템 구성도를 나타내었다.



<그림 3-96> 제어 시스템 구성도.

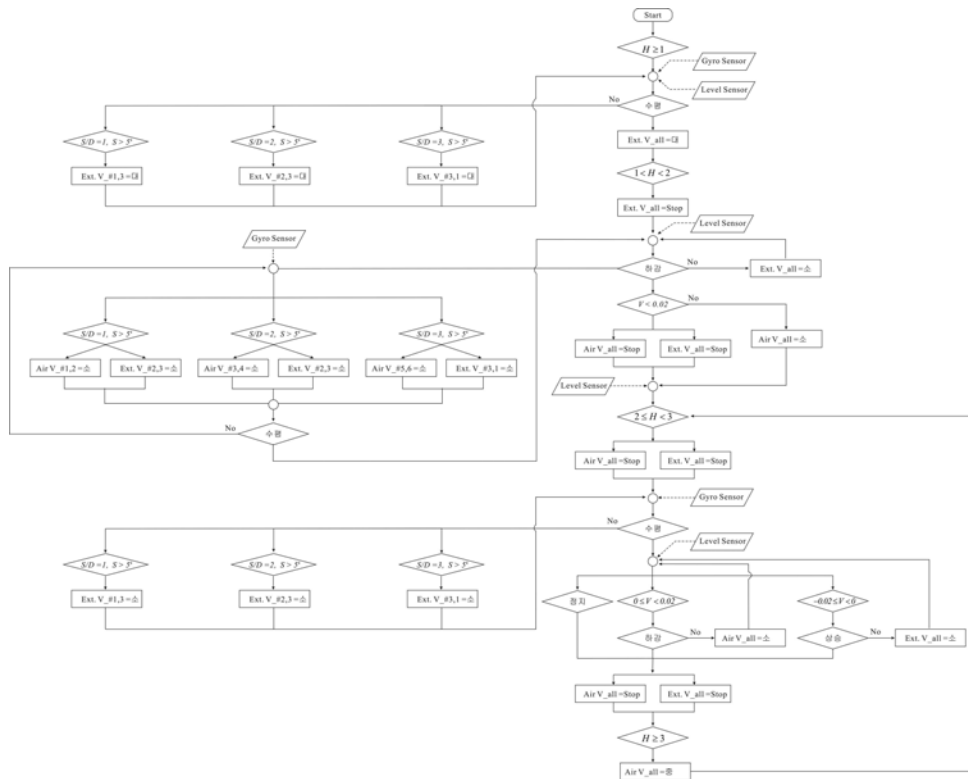
4. 제어 프로그램 작성

이 연구의 목표인 외부 환경 변화에 따라 하강 및 상승을 자동으로 수행하도록 하는 제어 프로그램을 개발하였다. 이 제어 프로그램은 크게 센서에서 나오는 신호를 계측하는 프로그램, 원하는 가두리 위치를 설정하는 프로그램, 설정된 위치에 가두리가 최적으로 위치하도록 계산하는 프로그램, 가두리가 어느 위치에 유지하도록 구동부에 신호를 보내는 프로그램, 제어시 가두리의 상태를 모니터링 및 데이터를 저장할 수 있는 프로그램으로 구성되어있다. <그림 3-97>은 자동 부침식 가두리를 조절하기 위한 전체 제어 프로그램을 나타낸 것이다.



<그림 3-97> 제어 프로그램.

이 연구에서 제안한 가두리의 특징은 부침식 가두리가 하강할 경우에는 부침 뜸 내 공기의 압력을 제거하여 해수가 안으로 들어오게 하고, 상승할 경우에는 반대로 공기가 들어오도록 하는 것이다. 그 결과 부침용 부자에 중량의 변화가 발생하여서 가두리의 위치 변화가 발생하게 된다. 제어 방법은 수심 센서를 이용하여 가두리 위치를 실시간으로 계측하고, 이 신호를 신호 처리한 후 수심 제어 프로그램에서 적절한 제어 입력 신호를 구동부인 밸브에 인가하여 공기의 양을 제어하게 된다. 가두리 외부 환경 변화가 급격히 변화하는 경우에는 원하는 수심 위치로 자동으로 하강 또는 상승하도록 하는 시나리오를 적용하였다. 또한 파랑이 가두리에 영향을 주더라도 가두리 시설이 안정적인 수심을 유지하도록 하였다. 그리고 프로그램 중 설정된 위치에 가두리가 위치하도록 계산하는 로직의 순서도를 <그림 3-98>에 나타내었다.



<그림 3-98> 설정된 위치에 가두리가 위치하도록 계산하는 로직.

5. 정수 중 부침용 부자의 자동 부침 성능 실험

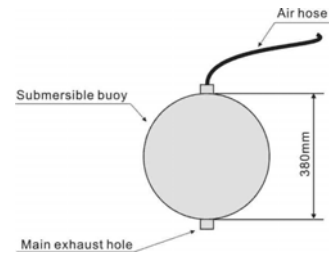
가. 재료 및 실험 방법

자동 부침 가두리 시설의 부침 성능 실험을 수행하기 전에 <그림 3-99>에서와 같이 가두리 시설을 부침용 부자로 단순화하여 실내에 설치된 원통형 수조(Ø0.98m×1.2m)에서 부침용 부자에 대한 자동 부침 기능에 대한 실험을 수행하였다. 이 경우 부침용 부자의 형태는 구형이며 크기는 지름이 0.38m이다. 실험을 하기 전에 부침용 부자의 윗부분은 공기 호스로 연결하였으며, 호스는 3-way 밸브(HDA 032S-3) 출구 측에 연결하고 3-way 밸브 다른 출구 측에는 호스를 통해 2-way 밸브(HDA 032S-2)를 연결하였다. 그리고 3-way 밸브의 입구 측에는 공기 압축기(압력: 0~800kPa, 유량: 130L/min, DARE)를 연결하였다. 한편, 부침용 부자의 아랫부분에는 주배수구가 부착되어 있으며, 부자의 중심에는 침하 수심 측정을 위해 수압계(P310A-02, SSK Co., 용량: 19.61kPa)를 부착하였다.

실험에서는 먼저 제어 프로그램을 통하여 원하는 부침용 부자의 침하 위치를 결정하였으며, 3-way 밸브에 연결된 공기 호스를 통해 부침용 부자내의 공기를 외부로 배출시켰다. 이 경우 공기의 양은 2-way 밸브를 통하여 조절하였다. 그리고 부침용 부자가 원하는 위치에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 조절하여 일정 수심이 유지되도록 하였으며, 부침용 부자가 수직으로 이동하면 실시간으로 수심 센서의 신호를 받아들여 계측하였다.

부침용 부자의 침하 시에는 3-way 밸브의 유로를 2-way 밸브로 연결시켜 2-way 밸브

의 개구면적을 조절하였으며, 부자가 원하는 수심에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 수심 센서의 신호를 이용하여 수심에 알맞은 적절한 개구 면적을 형성하도록 제어 신호를 밸브에 보냈다.

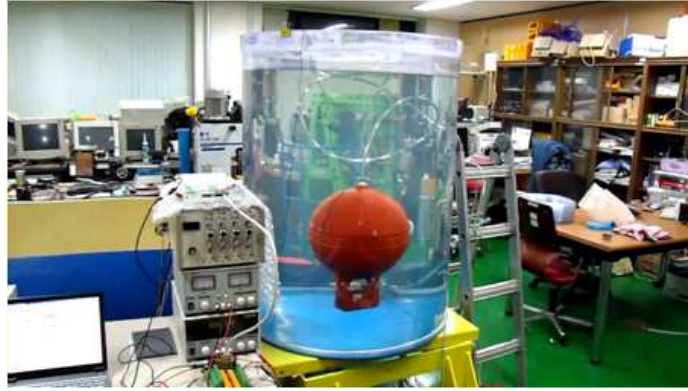


<그림 3-99> 부침용 부자의 자동 부침 실험에 사용된 모델 및 계측 장치.

나. 부침용 부자의 자동 부침 성능 실험 결과

<그림 3-100>은 부침용 부자의 자동 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이것에서 보는 바와 같이 부침용 부자가 일정 위치까지 수직으로 자동 침하되었다가 일정 시간이 경과한 후 원래의 위치까지 부상되고 있다. <그림 3-101>의 (가)는 시간의 경과에 따른 부침용 부자가 자동으로 목표 수심으로 설정한 0.3m까지 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상한 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 부침용 부자는 목표 수심인 0.3m까지 자동으로 침하되는데 약 25초가 소요되었으며, 약 135초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다. 이와 같은 결과는 수치 해석에서 구한 부침용 부자의 부침 특성과도 잘 일치하고 있다. <그림 3-101>의 (나)는 시간의 경과에 따른 부침용 부자가 자동으로 목표 수심으로 설정한 0.8m까지 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상된 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 부침용 부자는 목표 수심인 0.8m까지 자동으로 침하되는데 약 50초가 소요되었으며, 약 125초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다.

이상에서와 같이 부침용 부자에 대한 자동 부침 기능 재현 여부에 대한 실험을 수행한 결과, 부침용 부자가 자동으로 목표 수심까지 침하 및 원래 위치까지 부상이 성공적으로 이루어졌으며, 이 결과는 수치 해석에서 구한 것과 거의 일치하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 자동 부침 관련 알고리즘과 제어가 유용하다는 것을 확인할 수 있었다.

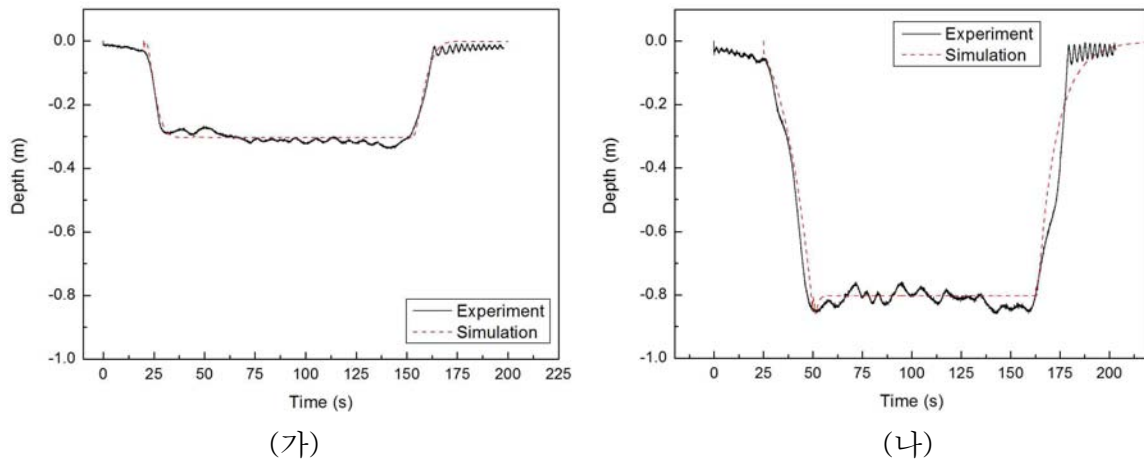


(자동 침하 중)



(자동 부상 중)

<그림 3-100> 부침용 부자의 자동 침하 및 부상 과정(Kim et al., 2010b).



<그림 3-101> 실험 및 수치해석에 의한 부침용 부자의 자동 침하 및 부상 수심(Kim et al., 2010b).

(가) 목표 수심 0.3m, (나) 목표 수심 0.8m

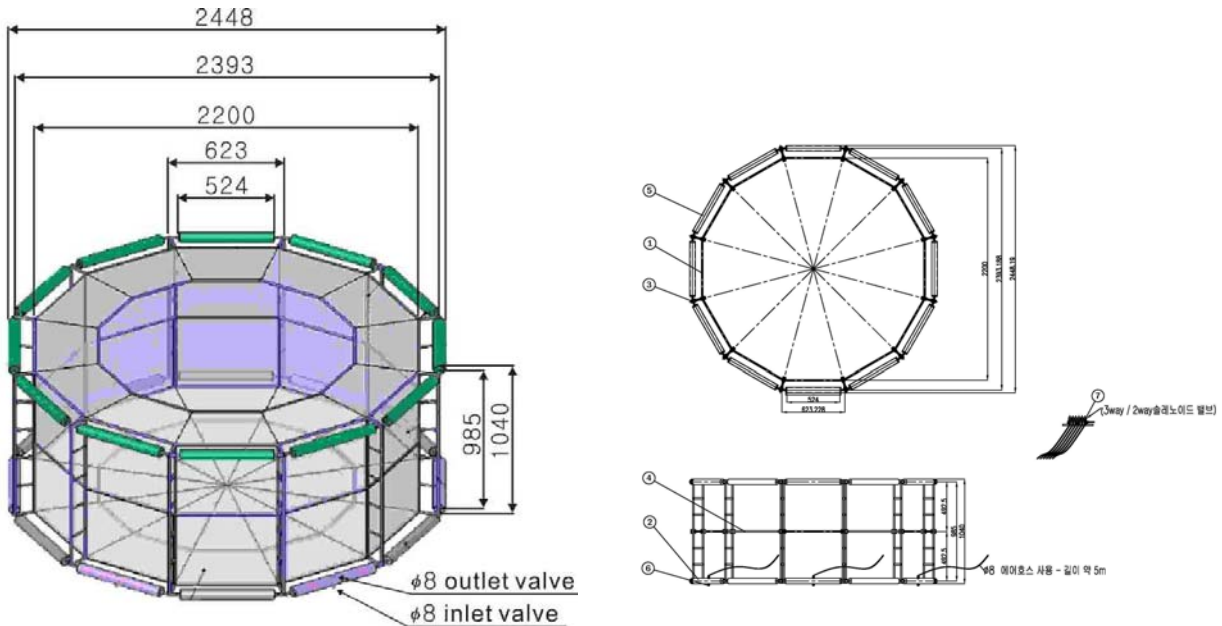
6. 정수 중 자동 부침 가두리 시설의 예비 모형실험

가. 재료 및 실험 방법

앞의 제4절에서 개발한 부침용 부자의 자동 부침 기능 재현 관련 알고리즘 및 제어기를 바

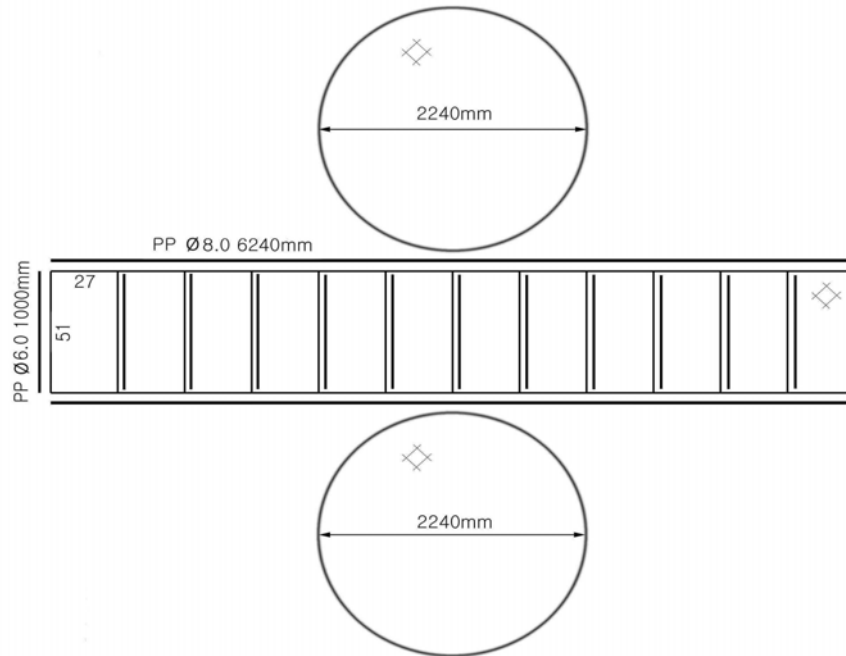
탕으로 자동 부침 가두리 시설의 부침 성능 실험을 수행하기 위하여 정수 중에서 예비 모형 실험을 수행하였다. 이 경우 모형 가두리 시스템은 프레임, 가두리 그물, 부침 조절을 위한 메니폴드와 공기 호스로 구성된다.

모형 가두리는 지름이 20m이고 높이가 10m인 가두리를 실물로 정하고 Froude의 모형 수칙에 따라 <그림 3-102>와 같이 실물의 1/10로 축소하여 제작하였다. 따라서 모형 가두리의 크기는 지름이 2.0m이고 높이가 1.0m이며, 프레임은 알루미늄으로 제작하였다. 또한 모형 가두리 프레임의 총 무게는 약 33kg이고 부력은 47kg이며, 잉여 부력은 약 14kg이다. 한편 상부 프레임에는 12개의 고정 부자가 설치되었고 하부 프레임에는 6개의 절대 부자와 6개의 부침용 부자(가변 부자)가 교호적으로 부착되었다. 이 경우 6개의 부침용 부자 상부에는 공기 주배기 호스가, 하부에는 주배수구가 설치되어 있다. 그리고 프레임에 부착되는 그물의 크기는 <그림 3-103>에서와 같이 지름이 2.0m이고 깊이가 1.0m이며, 그물감의 규격은 그물실의 지름이 0.99mm, 그물코의 크기가 27.5mm되는 나일론 막매듭 그물감 Td 240×15이다. 이 경우 실물 그물과 모형 그물의 상사를 위해서 그물실의 발의 길이(l)에 대한 그물실의 지름(d)의 비, 즉 d/l 값을 0.072로 동일하게 하였다. 그리고 힘줄은 지름이 8mm와 6mm인 PP 밧줄을 사용하였다. <그림 3-104>는 자동 부침 가두리 시설의 모형을 나타낸다.



<그림 3-102> 실험에 사용한 모형.

Material : Knot NY Td 240×15 mesh size 27.5mm



<그림 3-103> 모형 가두리 그물의 설계도.



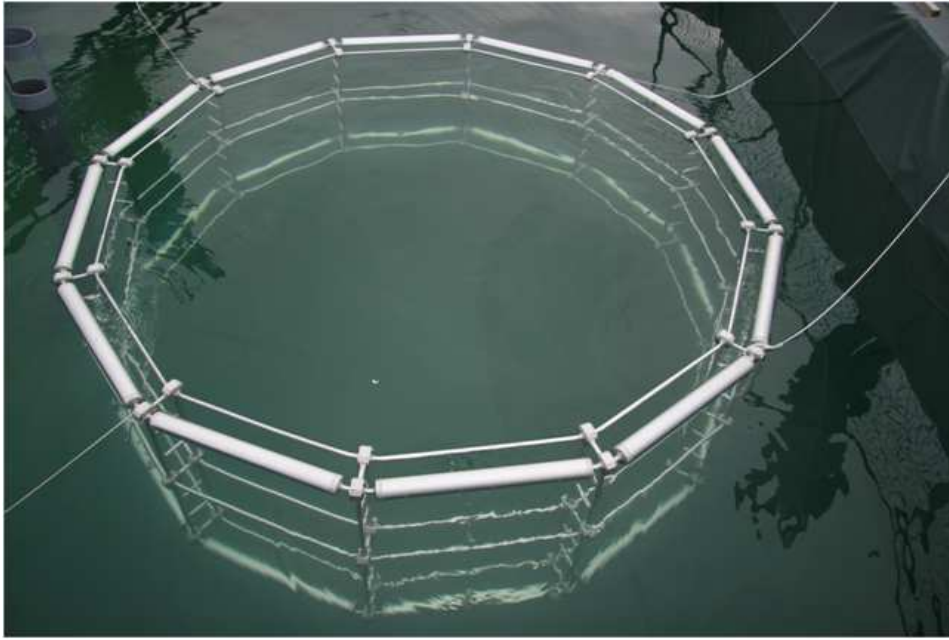
<그림 3-104> 자동 부침 가두리 시설의 모형(축척비: 1/10).

공기 압축기와 주배기 호스를 통해 부침용 부자 안으로 압축 공기를 공급하고 밖으로 배출하는 메니폴드는 <그림 3-105>와 같이 6개의 3-way 밸브(HDA 032S-3)와 3개의 2-way 밸브(HDA 032S-2)로 구성하였다. 먼저 6개의 3-way 밸브 입구 측에는 공기 압축기가 연결되며, 6개의 부침용 부자의 윗부분은 공기 호스가 연결되며, 공기 호스는 3-way 밸브 출구 측에 연결하였다. 그리고 6개의 3-way 밸브 다른 출구 측에는 호스를 통하여 3개의 2-way 밸브에 연결하였으며, 마주보는 가두리 시설의 부침용 부자끼리 연결하였다. 한편, 공기 주배기 호스는 지름이 8mm인 내압 호스를 사용하였으며, 길이는 6m이었다.



<그림 3-105> 3-way(6개) 및 2-way(3개) 밸브로 구성된 자동 부침 가두리 시설의 메니폴드.

실험은 전남대학교 수산 증양식 연구 센터에 위치한 음향 수조(가로: 5m, 세로: 5m, 깊이: 5m)에서 행하였으며, 실험 수조는 야외에 설치되어 있고 사용수는 해수이다. 실험을 수행하기 전에 <그림 3-106>에서와 같이 모형 가두리 시설의 부력과 수밀 시험을 수행하였다. 실험에서는 앞에서 설명한 부침용 부자의 성능 실험에서와 같이 제어 프로그램을 통해 모형 가두리 시설의 목표 침하 수심을 결정하고 3-way 밸브에 연결된 공기 호스를 통해 모형 가두리의 부침용 부자 안에 있던 공기를 외부로 배출시켰으며, 이 경우 공기의 양은 2-way 밸브를 통하여 조절하였다. 이와 같은 제어를 통해 모형 가두리가 목표 수심에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 조절하여 모형 가두리가 일정 수심에 유지되도록 하였다. 모형 가두리 시설의 자동 침하 및 부상 위치는 수압계를 통해 실시간으로 계측된 수심 신호를 증폭기와 노트북 컴퓨터로 받아들여 제어하였다. 제어 방법은 먼저 모형 가두리 시설의 하강시에는 3-way 밸브의 유로를 2-way 밸브로 연결시켜 2-way 밸브의 개구면적을 조절하였으며, 모형 가두리가 원하는 위치에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 수심 센서의 신호를 이용하여 수심 위치에 알맞은 적절한 개구면적을 형성하도록 제어 신호를 밸브에 보냈다. <그림 3-107>은 정수 중 자동 부침 가두리 시설의 예비 모형실험 광경을 나타낸 것이다.



<그림 3-106> 해수 중 모형 가두리의 부력 및 수밀 시험.



<그림 3-107> 정수 중 자동 부침 가두리 시설의 예비 모형실험.

나. 모형 가두리 시설의 자동 부침 성능 실험 결과

<그림 3-108>은 해수 사용 수조에서 예비 모형실험시 촬영한 모형 가두리 시설의 자동 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이것에서 보는 바와 같이 모형 가두리 시설이 일정 위치까지 수직으로 자동 침하되었다가 일정 시간이 경과한 후 원래의 위치까지 부상되고 있다. <그림 3-109>는 시간의 경과에 따른 모형 가두리 시설이 자동으로 목표 수심으로 설정한

0.5m까지 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상한 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 부침용 부자는 목표 수심인 0.5m까지 자동으로 침하되는데 약 75초가 소요되었으며, 약 165초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다. 이와 같은 결과는 수치 해석에서 구한 모형 가두리 시설의 부침 특성과도 잘 일치하고 있다. <그림 3-110>은 시간의 경과에 따른 모형 가두리 시설이 자동으로 목표 수심으로 설정한 1.0m까지 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상된 것을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 부침용 부자는 목표 수심인 1.0m까지 자동으로 침하되는데 약 150초가 소요되었으며, 약 150초 후에 원래의 위치까지 자동으로 부상하였다.

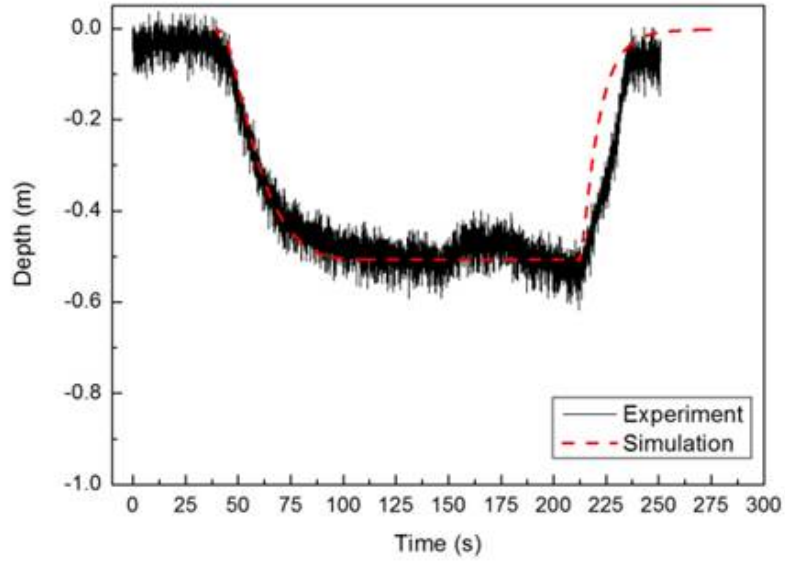


(자동 침하 중)

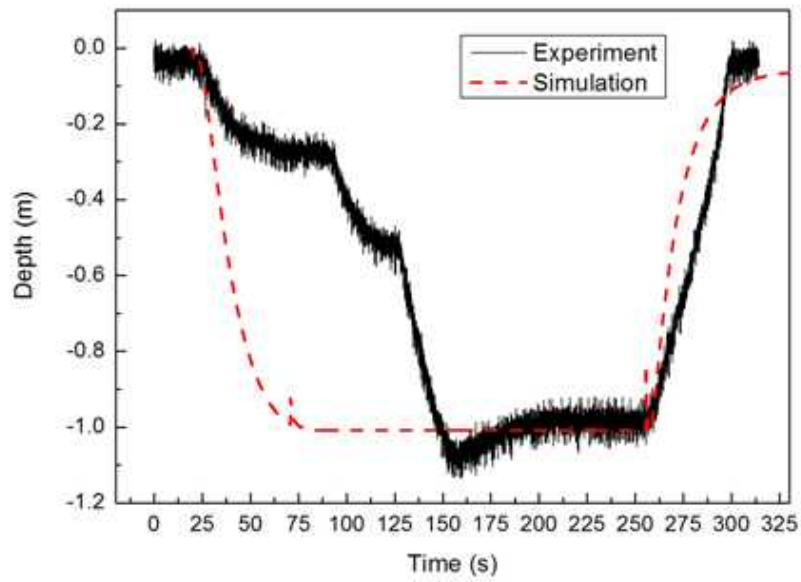


(자동 부상 중)

<그림 3-108> 정수 중 모형 자동 부침 가두리 시설의 성능 시험(Kim et al., 2011).



<그림 3-109> 모형실험에 의한 자동 부침 가두리의 자동 침하 및 부상 수심(목표 수심: 0.5 m).



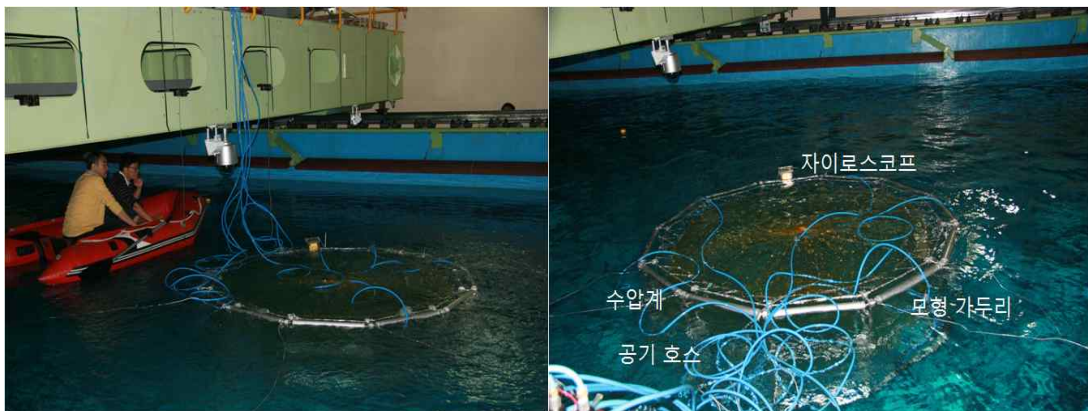
<그림 3-110> 모형실험에 의한 자동 부침 가두리의 자동 침하 및 부상 수심(목표 수심: 1.0m)

3. 파랑 증 모형 가두리 시설의 자동 부침 기능 재현 및 성능 평가 실험

가. 재료 및 실험 방법

파랑 증 모형 가두리 시설의 자동 부침 기능 재현 및 성능 평가 실험에 사용된 모형과 메니폴드 및 공기 호스의 제원은 예비 실험에 사용한 것과 동일하다. 그리고 메니폴드에 부착된 3-way 밸브 및 2-way 밸브와 공기 압축기 및 주배기 호스와의 연결 방법도 앞에서 설명한 방법과 동일하다.

실험은 국립수산과학원의 예인 수조(길이: 85m, 폭: 10m, 깊이: 3.5m)에서 행하였는데, 모형 설치 및 계측 시스템 구성은 <그림 3-111>과 같다. 실험을 할 때는 <그림 3-111>에서 보는 바와 같이 모형 가두리를 조파기로부터 약 30m 떨어진 곳에 계류 시스템으로 고정하고, 모형의 상부 프레임에 자이로스코프(AHRS 4440, CROSSBOW)와 수압계를 부착하였다. 그리고 자이로스코프 및 수압계에서 계측된 신호는 그림 <3-112>에서와 같이 자이로스코프 전용 증폭기와 변형 증폭기를 통해 컴퓨터에 입력되도록 하였으며, 모형 가두리 시설의 자동 부침 위치는 제어 프로그램과 메니폴드를 통해 부침용 부자에 들어가거나 나오는 압축 공기와 물의 양으로써 제어하였다.



<그림 3-111> 자동 부침 가두리 시설의 부침 기능 재현 실험 및 센서.

실험에서는 제어 프로그램을 통하여 원하는 침하 위치와 입사되는 파고의 크기를 결정하고 3-way 밸브에 연결된 공기 호스를 통해 모형 가두리의 하부 프레임에 부착된 부침용 부자안의 공기를 외부로 배출시켰으며, 이 경우 공기의 양은 2-way 밸브를 통하여 조절하였다. 모형 가두리가 원하는 위치에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 조절하여 일정 수심이 유지되도록 하였으며, 모형 가두리가 침하 및 부상 시 수심 센서의 신호를 증폭기와 노트북을 통해 실시간으로 계측하면서 모형 가두리의 위치를 제어하였다.

모형 가두리의 자동 침하시에는 3-way 밸브의 유로를 2-way 밸브로 연결시켜 2-way 밸브의 개구 면적을 조절하면서 모형 가두리가 원하는 침하 위치에 도달하면 3-way 밸브와 2-way 밸브의 개구 면적을 수심 센서의 신호를 이용하여 침하 위치에 알맞은 적절한 개구면적을 형성하도록 제어 신호를 밸브에 보냈다.



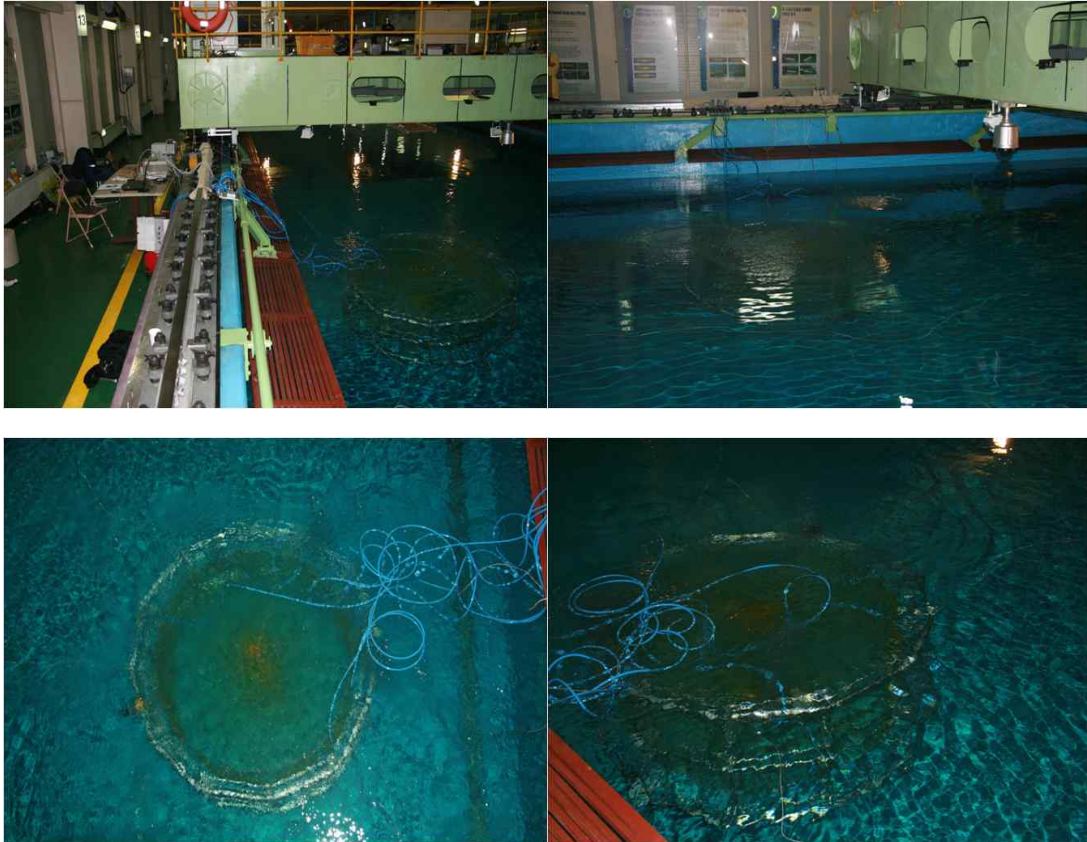
<그림 3-112> 자동 부침 가두리 시설의 부침 기능 재현 실험에 사용된 장치의 구성.

먼저 파랑이 작용하지 않는 상태에서 가두리 시설의 자동 부침 기능 시험을 수행하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수압계와 자이로스코프 및 제어 프로그램에 의해 모형 가두리 시설을 일정 위치까지 수직으로 자동 침하시킨 후 그 수층에서 모형 가두리가 부력의 균형을 맞추면서 유지되도록 하였다. 특히 부력의 차이로 인해 모형 가두리가 기울어지는 경우에는 자이로스코프에서 측정된 모형 가두리 시설의 프레임 각도에 따라 동기 제어를 통해 압축 공기의 주입과 배출량을 조절하였다.

모형 가두리 시설에 파랑이 작용하는 경우 모형의 자동 침하 및 부상에 대한 실험은 다음과 같은 시나리오를 통해 수행하였다. 즉, 파고가 10cm이고 주기가 1.4s인 규칙파를 임계 파고로 설정하고 10cm 이상의 파가 발생하면 가두리가 수중으로 자동 침하되도록 하고, 임계 파고보다 작으면 다시 원래의 위치로 부상되도록 하였다. 먼저 임계 파고인 10cm의 파고가 입사하는 경우 표층 및 일정 위치에 위치하고 있는 모형 가두리 시설의 프레임 상하 각도를 자이로스코프를 통해 측정하였다. 그리고 이 값들보다 크면 모형 가두리가 자동으로 침하되고 작거나 같으면 표층에 그대로 위치하도록 하였다. 또한 자동 침하된 후에는 모형 가두리의 프레임의 상하 각도가 임계 파고가 작용하는 경우보다 작게 되면 원래의 위치까지 자동으로 부상되도록 하였다. 한편, 임계 파고보다 작거나 같은 파고가 모형 가두리 시설에 작용하면 가두리는 수중으로 침하되지 않고 표층에 떠 있도록 하였다.

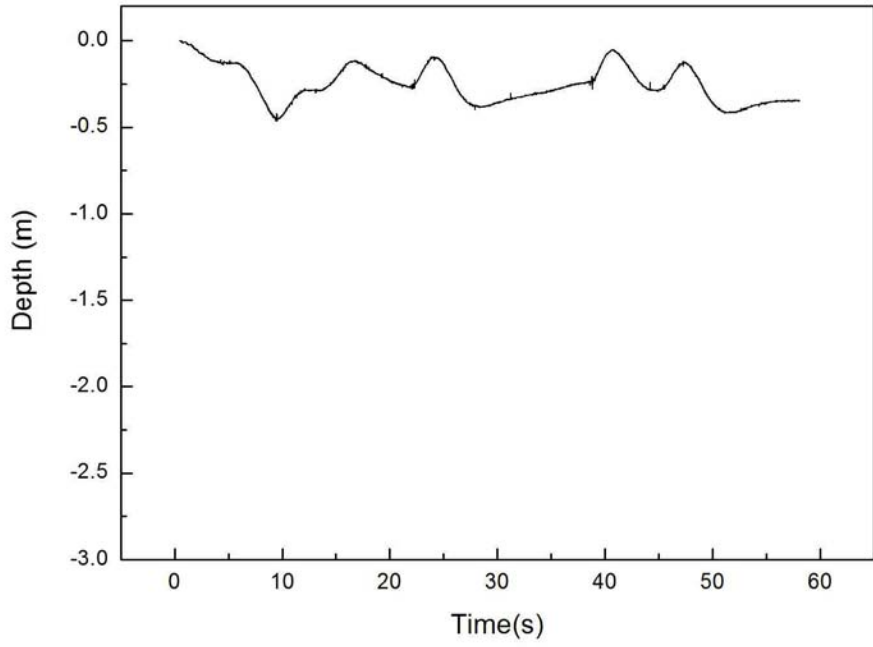
나. 파랑 중 모형 가두리의 자동 부침 기능 재현 및 성능 실험 결과

<그림 3-113>은 파랑이 작용하지 않는 정수 중에서 가두리 시설의 자동 부침 기능 시험을 수행한 실험 광경이다. 이것에서 보면 그림에서 보는 바와 같이 수압계와 자이로스코프 및 제어 프로그램에 의해 모형 가두리가 일정 위치까지 수직으로 자동 침하된 후 그 수층에서 모형 가두리가 부력의 균형을 맞추면서 유지되고 있다.

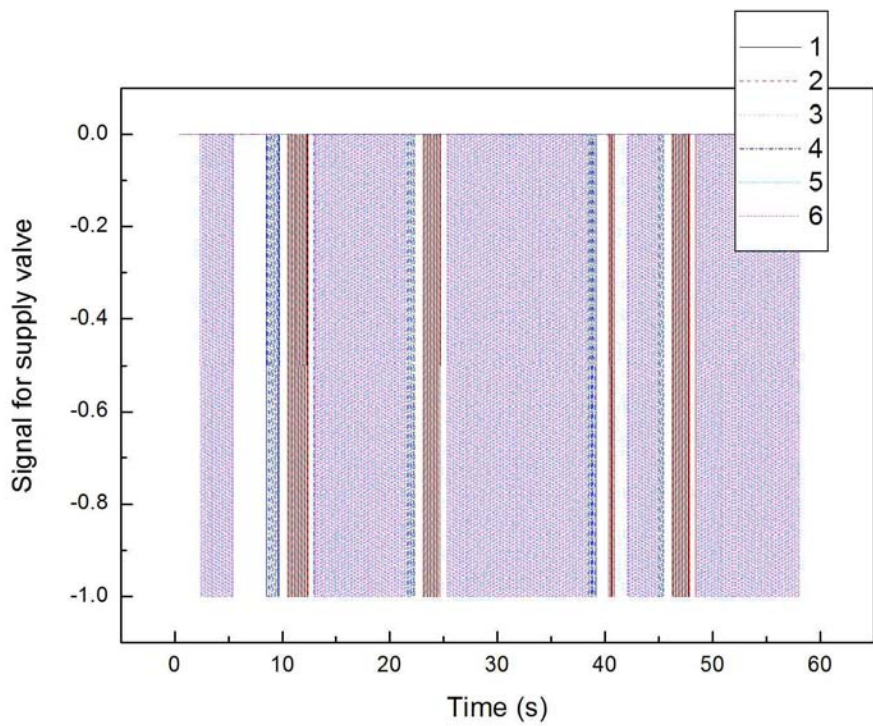


<그림 3-113> 정수 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 침하 위치 제어 실험.

<그림 3-114>는 파랑이 작용하지 않는 정수 중에서 가두리 시설의 자동 부침 실험 결과를 나타낸 것이다. 이것에서 보면 수압계와 자이로스코프 및 제어 프로그램에 의해 모형 가두리가 수심 0.25m까지 수직으로 자동 침하된 후 그 수층에서 모형 가두리가 부력의 균형을 맞추면서 유지되고 있다. 그러나 모형 가두리가 주기적인 반응을 보이는 것은 부침용 부자에 들어가는 압축 공기의 영향으로 인해 반대쪽보다 상대적으로 질량이 감소되어 상승하기 때문이며, 이러한 현상은 부침용 부자의 상대적 관계로 인해 연속적으로 발생하였다고 사료된다. <그림 3-115>는 <그림 3-114>에서의 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값을 표시한 것이다. 이것에서 보면 총 6개의 신호가 나가며, 색의 분포가 클수록 해당되는 밸브에 인가되는 신호가 많은 것을 의미한다.



<그림 3-114> 정수 중 모형 가두리의 자동 부침 실험 결과(목표 수심: 0.25 m).



<그림 3-115> 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값.

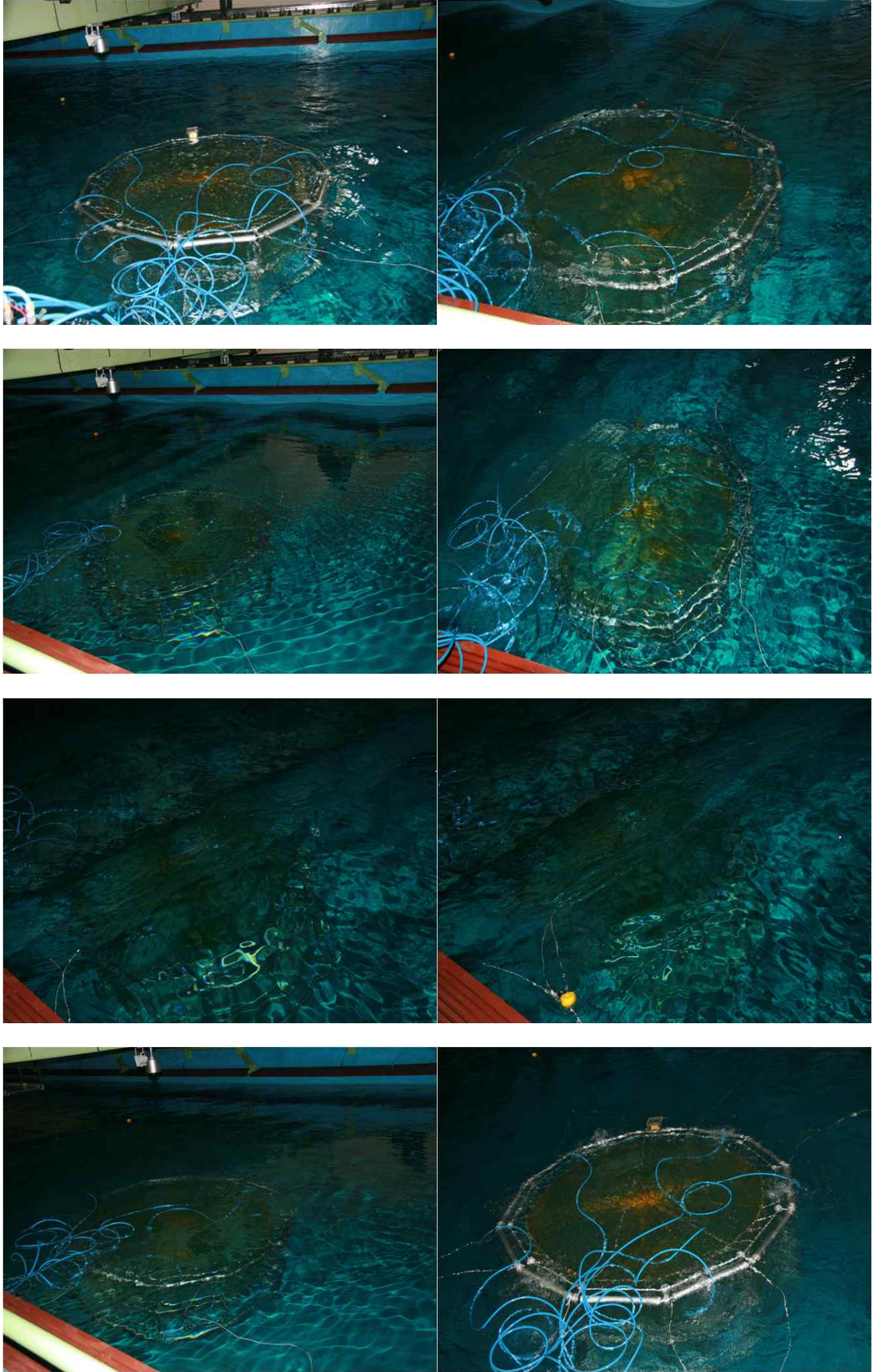
<그림 3-116>은 모형 가두리 시설의 임계값으로 설정한 파랑보다 큰 파랑(입사 파고 20cm, 주기 1.4s)이 모형 가두리 시설에 입사되도록 하고 일정 시간 경과 후 모형 가두리에 파랑이 작용하지 않도록 했을 때의 모형 가두리의 자동 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이것에서 보면 임계 파고보다 큰 파고가 모형 가두리에 입사되면 모형 가두리가 목표 위치까지 자동으로 침하된 후 그 수층에서 일정 시간동안 유지되었다가 파랑의 영향이 없거나 임계 파고보다 작게 되면 원래의 위치까지 자동으로 부상되는 것을 확인할 수 있다. 또한 임계값보다 작은 파고(입사 파고 6cm, 주기 1.4s)와 같은 파고(입사 파고 10cm, 주기 1.4s)가 모형 가두리 시설에 작용하는 경우에는 모형이 침하되지 않고 파랑에 따라 전후 및 상하 운동을 지속적으로 하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이 연구에서 개발한 파랑 중 가두리 시설의 자동 부침 기능을 위한 알고리즘과 제어기의 유용성을 확인할 수 있었다(Kim et al., 2011).

<그림 3-117>은 모형 가두리 시설의 임계값으로 설정한 파랑보다 큰 파랑(입사 파고 20cm, 주기 1.4s)이 모형 가두리 시설에 입사되는 경우 수심 1.0m까지 자동으로 침하되는 실험 결과이다. <그림 3-118>은 <그림 3-117>에서의 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값을 표시한 것이다.

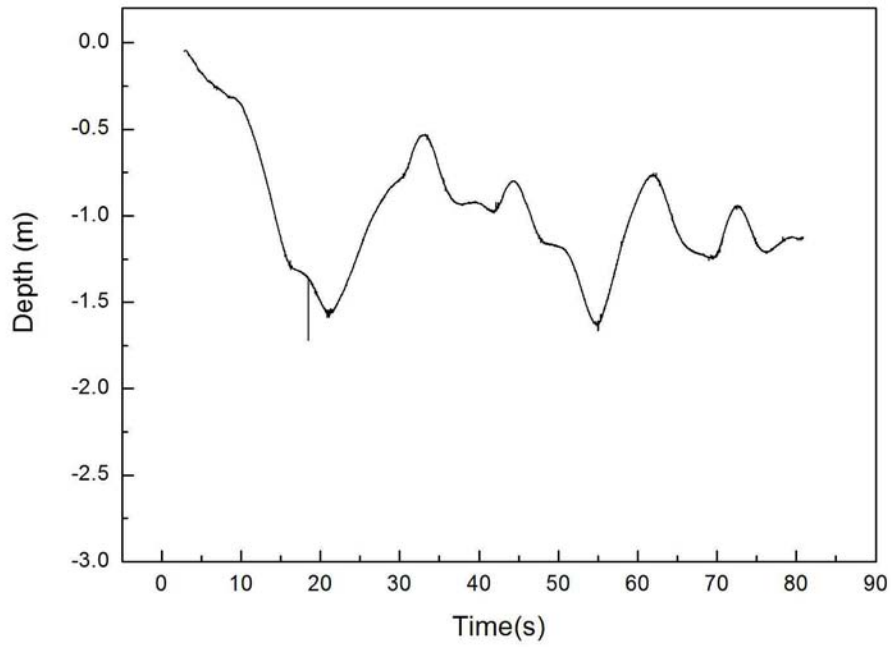
<그림 3-119>는 모형 가두리 시설의 임계값으로 설정한 파랑보다 큰 파랑(입사 파고 20cm, 주기 1.4s)이 모형 가두리 시설에 입사되는 경우 수심 1. m까지 자동으로 침하되는 실험 결과이다. <그림 3-120>은 <그림 3-119>에서의 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값을 표시한 것이다.

<그림 3-121>는 모형 가두리 시설의 임계값으로 설정한 파랑보다 큰 파랑(입사 파고 20cm, 주기 1.4s)이 모형 가두리 시설에 입사되는 경우 수심 2.0m까지 자동으로 침하되는 실험 결과이다. <그림 3-122>는 <그림 3-121>에서의 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값을 표시한 것이다.

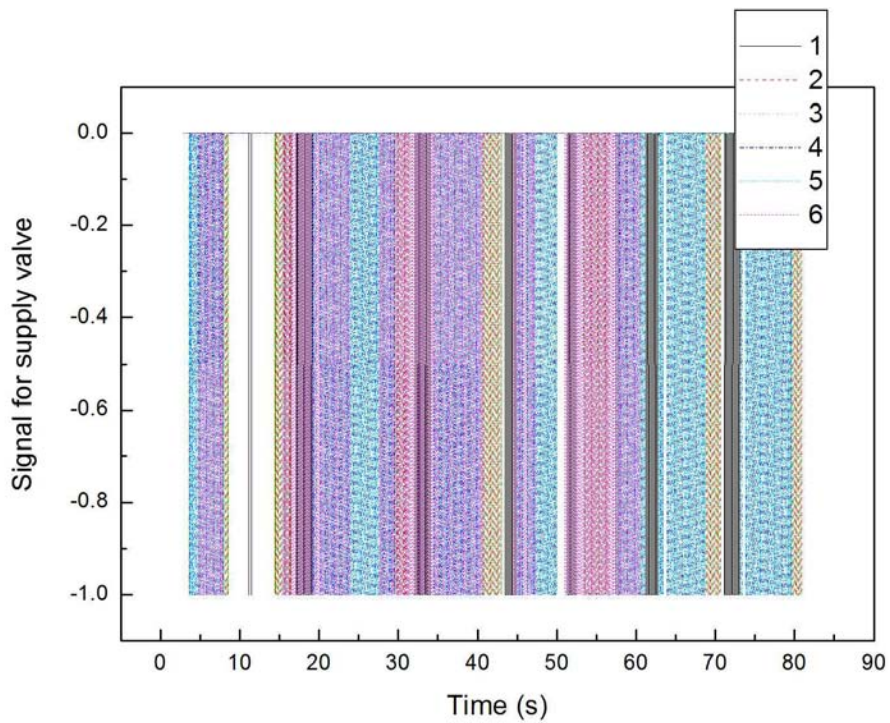
<그림 3-117>, <그림 3-119> 및 <그림 3-121>에서 보면 모형 가두리가 주기적인 반응을 보이는 것은 부침용 부자에 들어가는 압축 공기의 영향으로 인해 반대쪽보다 상대적으로 질량이 감소되어 상승하기 때문이며, 이러한 현상은 부침용 부자의 상대적 관계로 인해 연속적으로 발생하였다고 사료된다. 그리고 <그림 3-118>, <그림 3-120> 및 <그림 3-122>에서 보면 총 6개의 신호가 나가며, 색의 분포가 클수록 해당되는 밸브에 인가되는 신호가 많은 것을 의미한다.



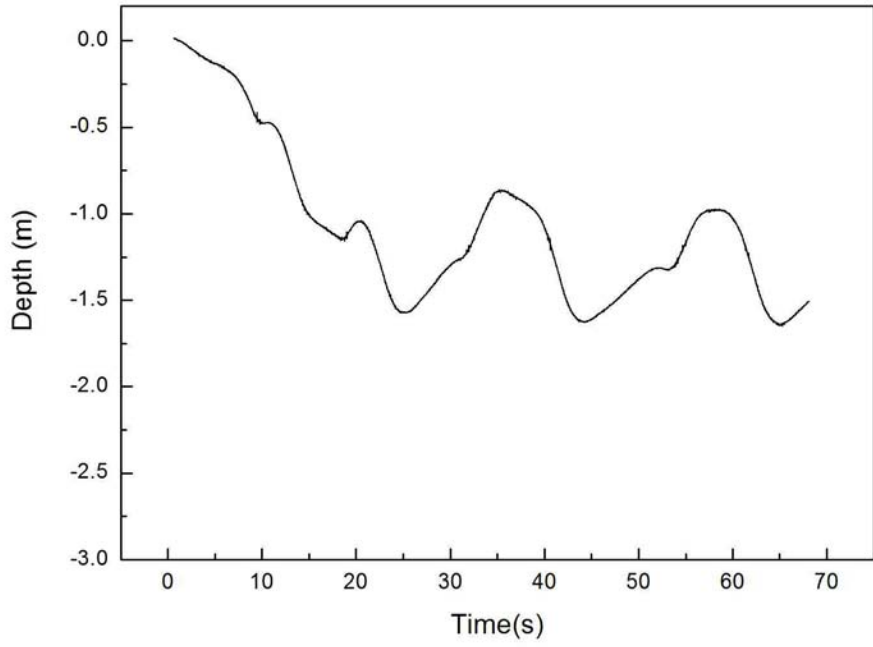
<그림 3-116> 파고 20cm, 주기 1.4s의 파랑 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 침하 및 부상.



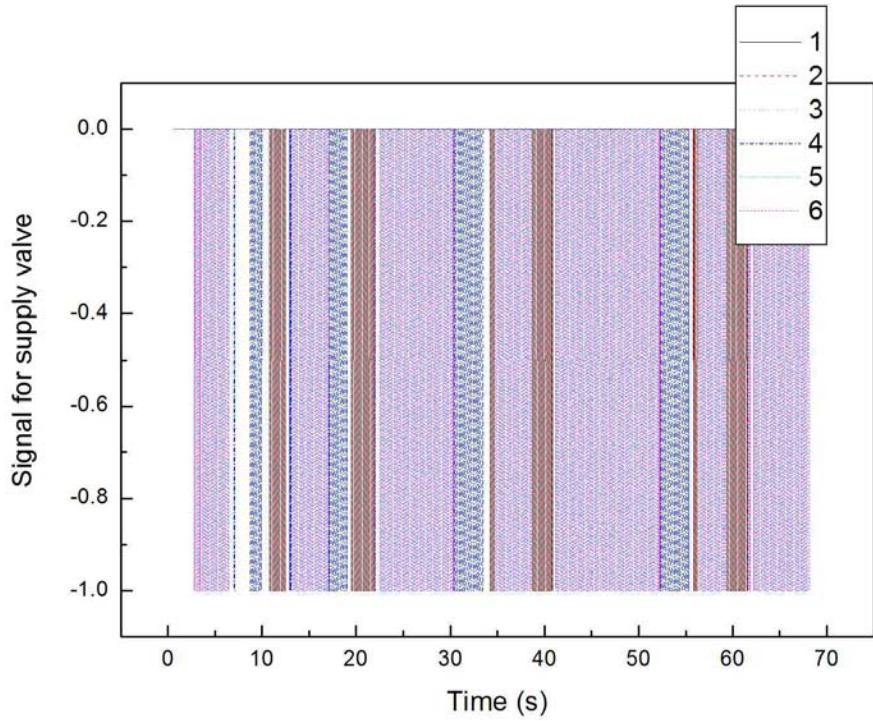
<그림 3-117> 파랑 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 침하 실험(목표 수심: 1.0m).



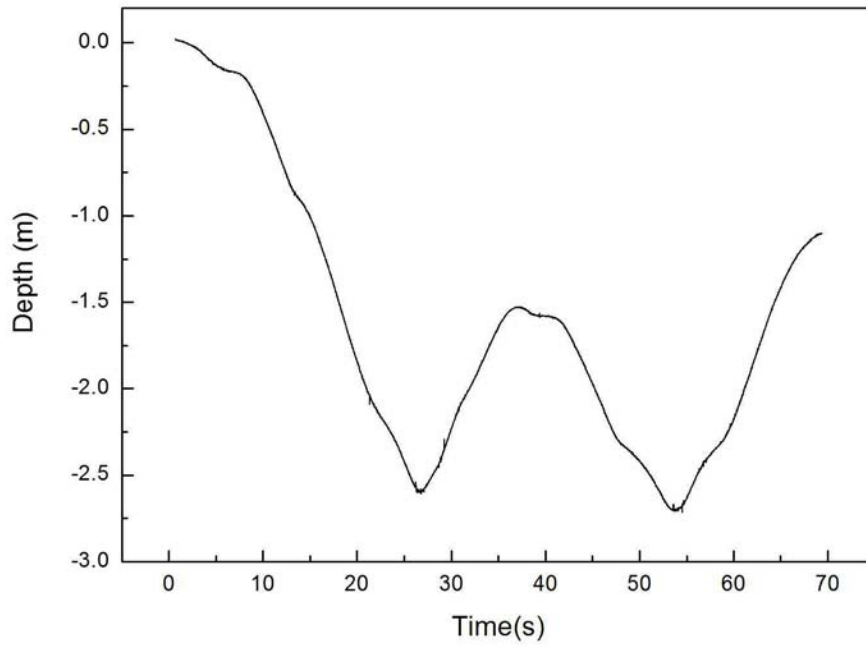
<그림 3-118> 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값.



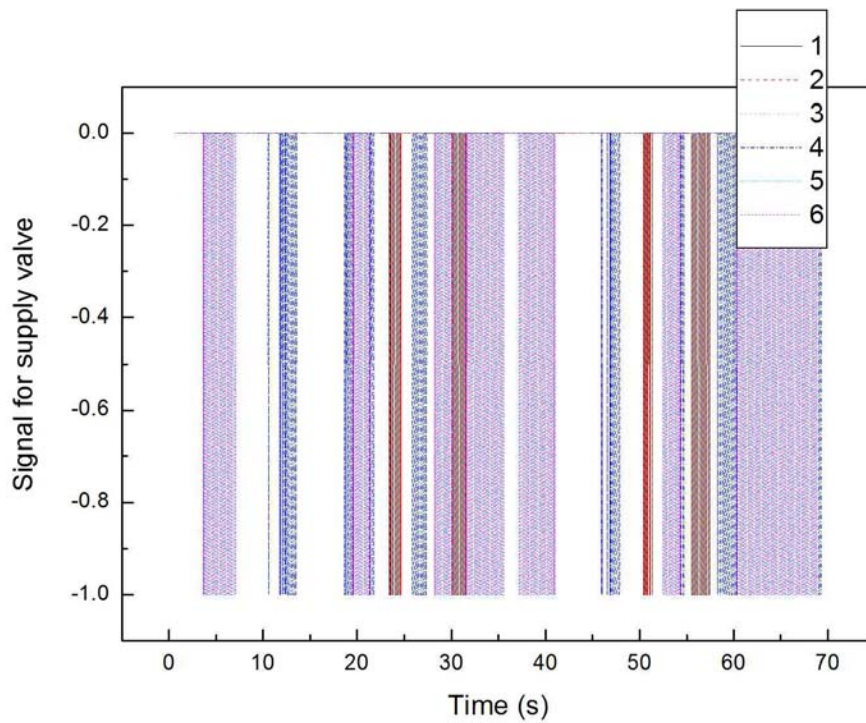
<그림 3-119> 파랑 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 침하 실험(목표 수심: 1.5 m).



<그림 3-120> 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값.



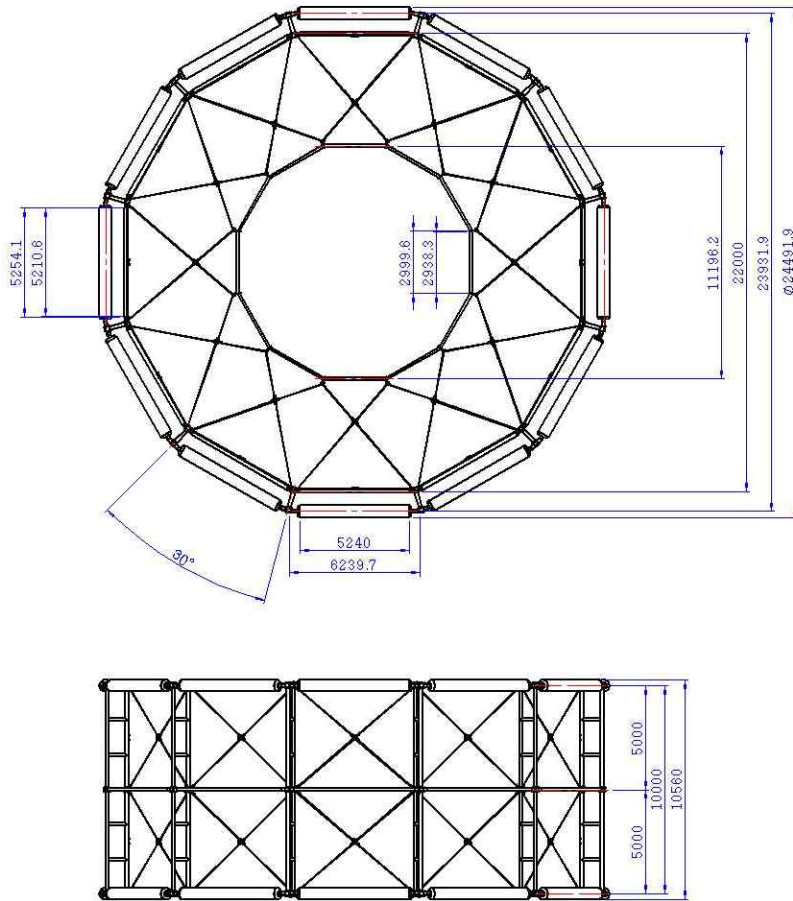
<그림 3-121> 파랑 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 침하 실험(목표 수심: 2.0m).



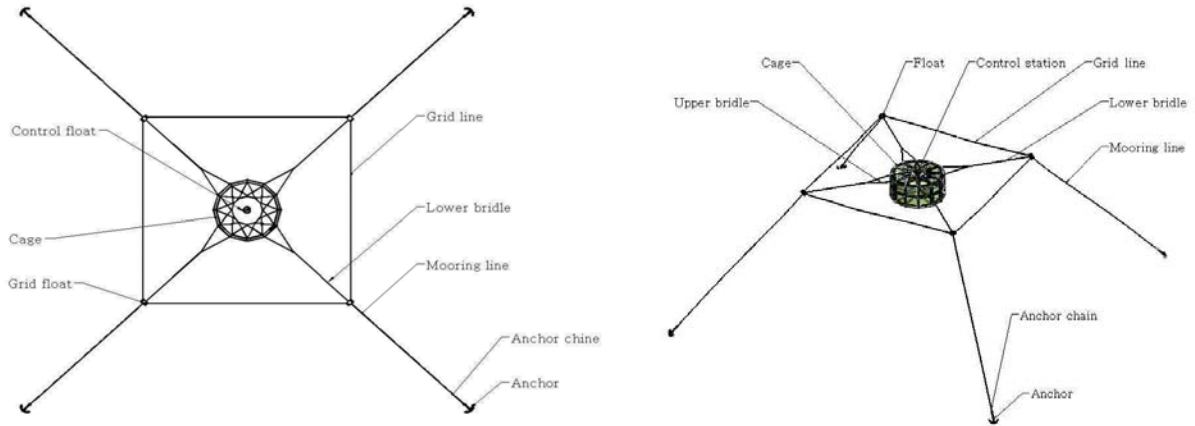
<그림 3-122> 공기의 양을 조절하는 밸브에 인가되는 제어 입력 값.

제 7 절 파랑 및 흐름 중 가두리 시설의 안정성 해석

파랑 및 흐름 중 <그림 3-51>과 같은 자동 부침 가두리 시설의 산업화 시작품에 대한 역학적 특성(유체력과 운동 특성 및 계류삭에 작용하는 장력)을 조사하기 위하여 <그림 3-123>과 같은 실물 가두리 시설을 대상으로 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 이 경우 가두리 시설의 계류 시스템 구성은 <그림 3-124>와 같다.



<그림 3-123> 수치해석에 사용된 가두리 시설.



<그림 3-124> 계류 시스템 구성.

1. 수치 모델의 배경

본 연구에서 사용된 수치 모델은 가두리 시설의 동역학적 특성 해석을 위해 특별히 개발된 상업용 프로그램인 Aqua-FE로서, 이 프로그램의 성능은 이미 기존의 연구 결과(Fredriksson et al., 2003a, 2003b, 2004; Tsukrov et al., 2003; Kim, 2004)에서 검증된 바 있다. 이 수치 모델에서는 고품체인 트러스와 부이 등 구조 요소에 작용하는 유체력과 그물감에 작용하는 항력을 유한 요소법을 사용하여 변형 Morison식으로 계산하였다(Gosz et al., 1996). 또한 이 수치 모델의 알고리즘은 비선형 Lagrangian 방법을 채택하였으며, 파랑과 조류에 의해 가두리 시설의 구조체에 작용하는 항력, 부력, 관성력 및 탄성력을 재현하기 위해 구성된 그물 요소를 사용하여 접근하였다. 즉, 실린더 요소에 작용하는 단위 길이당 유체력은

$$f = C_1 V_{Rn} + C_2 V_{Rt} + C_3 \dot{V}_n + C_4 \dot{V}_{Rn} \quad (3.44)$$

이고(Haritos and He, 1992), 여기서 V_{Rn} 과 V_{Rt} 는 각각 구조 요소에 대한 유체 속도의 수직 및 접선 성분이다. 그리고 \dot{V}_n 은 전체 유체 가속도의 수직성분, \dot{V}_{Rn} 은 구조 요소에 대한 유체 가속도의 수직 성분이며, 진하게 표시된 문자는 Vectors와 Matrices를 나타낸다. 또한 (3.44)식의 각 계수들은

$C_1 = \frac{1}{2} \rho_w D C_n |V_{Rn}|$, $C_2 = C_1$, $C_3 = \rho_w A$ 그리고 $C_4 = \rho_w A C_m$ 이다. 여기서 D 와 A 는 각각 요소의 지름과 단면적, ρ_w 는 물의 밀도, C_n 과 C_t 는 각각 수직 및 접선 항력계수, C_m 은 부가질량계수를 나타내며, 여기서 부가질량계수 C_m 의 경우 1을 대입하였다(Bessonneau and Marichal, 1998). 한편, C_n 과 C_m 는 각각 무차원수인 반면에, C_t 는 점성 차원이다. 일반적으로 (4.44)식은 파장에 비해 지름이 작은 수중에 잠긴 구조체에 작용하는 유체력을 충분히 계산할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 (3.44)식의 레이놀즈수(Re_n)를 토대로 하여 항력계수를 새롭게 계산한 Choo and Casarella(1971)의 방법으로 C_n 과 C_t 를 계산하였다.

$$C_n = \frac{8\pi}{\text{Re}_n s} (1 - 0.87s^{-2}) \quad (0 < \text{Re}_n \leq 1),$$

$$1.45 + 8.55 \text{Re}_n^{-0.90} \quad (1 < \text{Re}_n \leq 30),$$

$$1.1 + 4 \text{Re}_n^{-0.50} \quad (30 < \text{Re}_n \leq 10^5)$$

$$C_i = \pi\mu(0.55 \text{Re}_n^{1/2} + 0.084 \text{Re}_n^{2/3})$$
(3.45)

2. 가두리 시스템의 기하학적 및 재료 특성

이 연구에서 대상으로 한 가두리 시설의 각부 상세는 <표 3-10>과 같다. 그런데 가두리 시설의 계류삭 장력 등에 대한 수치 해석을 수행하기 위해서는 가두리 시설과 계류 시스템의 모든 기하학적 및 재료의 특성이 필요하다. 이와 같은 특성에는 질량 밀도, 영률, 각 부재의 횡단면적 등이 포함된다. 이 연구에서는 <표 3-11> 및 <표 3-12>에 제시된 결과에 의해 각 구성 요소의 모델을 묘사하였다. 이 경우 수치 모델을 만들기 위해 가두리 시설 및 계류 시스템의 재료와 기하학적 특성뿐만 아니라 가두리 시설의 제원과 구성을 사용하였다. 모델 구성도는 <그림 3-125>와 <그림 3-126>과 같다. <그림 3-125>는 가두리 시설에 작용하는 파랑과 조류의 방향을 보여 준다. 그리고 <그림 3-126>은 격자 라인, 계류삭, 앵커 체인, 브라이들(bridle) 라인을 포함해서 계류 시스템의 주요 성분을 나타낸다.

<표 3-10> 자동 부침 가두리 시설의 상세

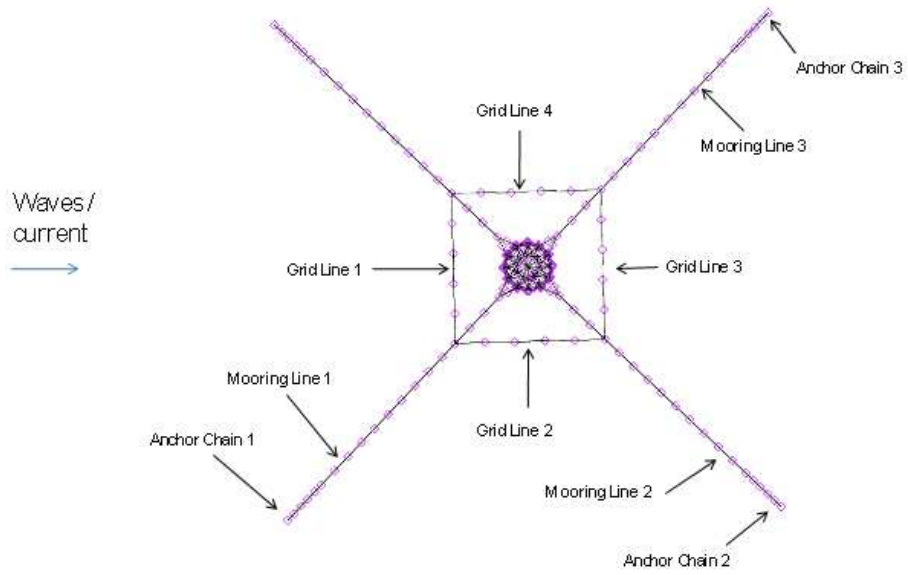
Component	Parameter	Value
	Material	Steel
Upper Floats	Diameter	560mm
101~130	Overall length	6240mm
	Material	Steel
Fixed Floats	Diameter	560mm
131~160	Overall length	6240mm
	Material	Steel
Variable Floats	Diameter	560mm
101~170	Overall length	6240mm
Frame	Material	Steel
101~330	Diameter	150mm
Inner Frame	Material	Steel
101~330	Diameter	150mm
Inner Ring	Material	Steel
251~252, 301~309	Overall diameter	150mm
	Material	Steel
Net	Twine diameter	2.2mm
	Bar length	60mm
Support Line	Material	Dyneema
	Diameter	22mm

<표 3-11> 계류 시스템 구성 모델 상세

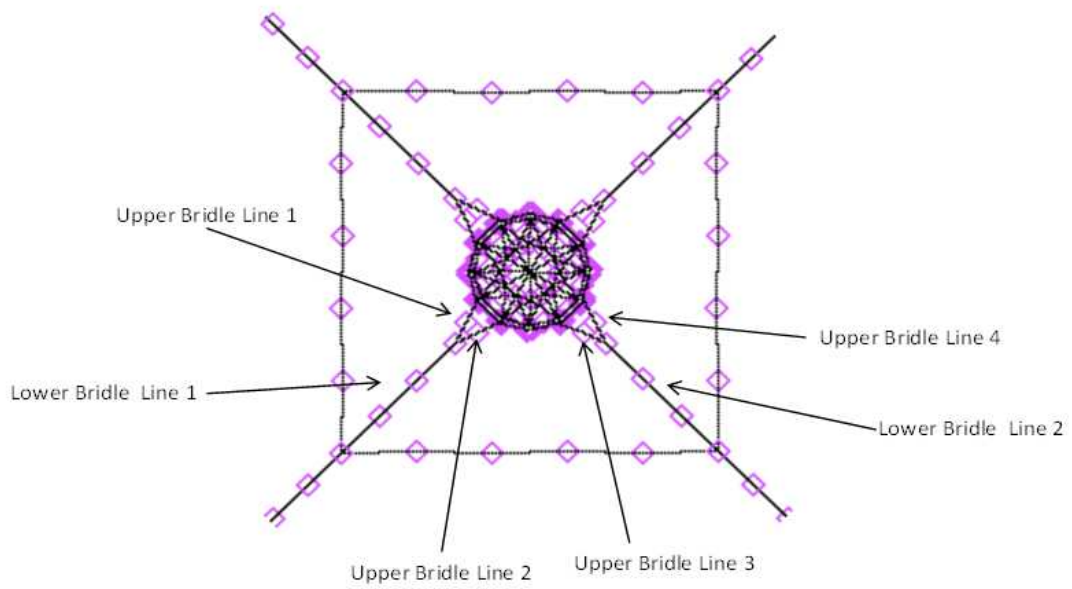
Component	Parameter	Value
Anchor chain	Density	7860kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	8.982×10 ⁻³ m ²
Mooring line	Density	1019kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.11×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	7.069×10 ⁻⁴ m ²
Grid line	Density	1019kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.11×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	8.042×10 ⁻⁴ m ²
Upper bridle	Density	1019kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.11×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	4.524×10 ⁻⁴ m ²
Lower bridle	Density	1019kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.11×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	7.069×10 ⁻⁴ m ²
Float	Density	259.7kg/m ³
	Diameter	1.0m

<표 3-12> 자동 부침 가두리 구성 모델 상세

Component	Parameter	Value
Upper floats	Density	235.2kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.209m ²
Fixed floats	Density	1025kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.209m ²
Variable floats	Density (surface cage)	1481kg/m ³
	Density (submerged cage)	1579kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.209m ²
Frame	Density	1638kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.0202m ²
Inner frame	Density	1534kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.0209m ²
Inner ring	Density	2559kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	0.012m ²
Net	Density	1019kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.0×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	3.801×10 ⁻⁶ m ²
Stiffener	Density	1025kg/m ³
	Modulus of elasticity	2.5×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	5.00×10 ⁻⁶ m ²
Dyneema support line	Density	994kg/m ³
	Modulus of elasticity	1.02×10 ¹¹ Pa
	Cross sectional area	3.801×10 ⁻⁴ m ²



<그림 3-125> 수치 모델의 시스템 성분.



<그림 3-126> 수치 모델 시스템 구성의 Bridle line의 상세.

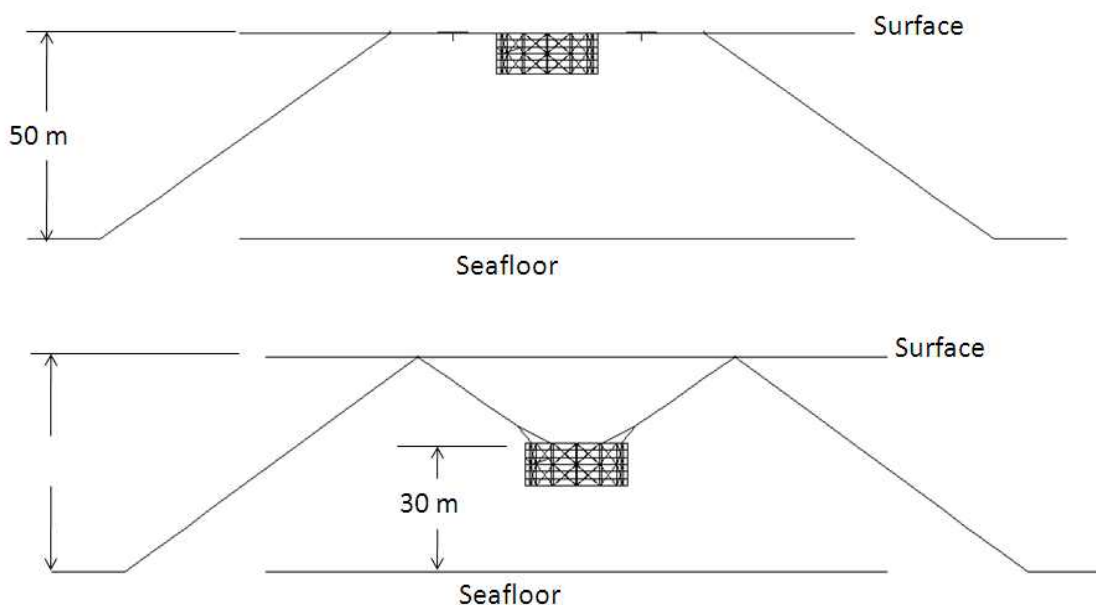
3. 파랑 및 조류 입력 조건

수치 해석을 수행하기 위해서는 환경 하중 파라미터가 필요하다. 먼저 가두리 시설의 정적 조건을 증명하기 위해 파도와 조류가 작용하지 않는 조건에서 수치 해석을 수행하였다. 일단 정적 조건이 증명되면 수치 모델에 대한 하중 입력은 유속이 1.0m/s인 조류가 작용하거나 작용하지 않는 상태에서 규칙파와 불규칙파로 구성하였다. 수치 해석에서는 <표 3-13>과 같이 총 12개의 규칙파 조건을 사용하였다. 그리고 불규칙파의 경우 JONSWAP 스펙트럼을 사용하였으며, 이 경우 유의 파고($H_{1/3}$)는 9.51m이고 주기($T_{1/3}$)는 14.01s이다.

<그림 3-127>과 같이 가두리 시설이 설치될 해역의 수심을 50 m로 정하고 가두리 시설이 표층에 부상되어 있는 경우와 수면으로부터 20m 깊이의 중층에 침하되어 있는 상태에서 서지, 히브, 피칭 등 가두리 시설의 운동 특성과 계류삭에 작용하는 장력을 해석하였다.

<표 3-13> 수치 해석에 사용된 규칙파 및 흐름 조건

Load case	Currents (m/s)	Waves	
		Height (m)	Period (s)
1	-	2.55	6.11
2	1.0	2.55	6.11
3	-	3.53	7.08
4	1.0	3.53	7.08
5	-	4.22	8.75
6	1.0	4.22	8.75
7	-	6.85	11.82
8	1.0	6.85	11.82
9	-	8.66	13.26
10	1.0	8.66	13.26
11	-	10.25	15.11
12	1.0	10.25	15.11



<그림 3-127> 가두리 시설의 부상 및 침하 수심.

4. 데이터 처리 방법

가두리 시설의 설계 시 고려해야 할 가장 중요한 조건 중의 하나는 표면파이다. 이 표면파는 가두리 시설의 하중 및 동적 거동과 계류 시스템의 요소뿐만 아니라 가두리 시설의 조작에도 영향을 미친다. 예를 들면 수립자의 변위, 속도 및 가속도와 같이 파랑의 많은 영향들은 수심이 깊어짐에 따라 감소한다. 이와 같은 영향들은 매우 강력한 파랑 환경에서 시설되는 가두리 시스템과 부침식 가두리 시설을 설계할 때 매우 중요하다.

규칙파의 특성은 Dean and Dalrymple(1991)이 기술한 선형파 이론(Airy)에 의해 근사되어 진다. 이 선형파 이론은 다음과 같은 가정을 토대로 하며, 속도 포텐셜을 사용한다.

- ① 수심에 비해 진폭이 작은 파
- ② 경계층의 영향을 무시할 수 있는 비점성
- ③ 비소용돌이 흐름
- ④ 2차원 형태
- ⑤ 평탄한 저면

속도 포텐셜 $\phi = \phi(x, z, t)$ 는 공간 도함수를 취함으로써 속도 벡터의 수평 성분 u 와 수직 성분 w 는 다음과 같다.

$$u = \frac{-\partial\phi}{\partial x} \quad (3.46)$$

$$w = \frac{-\partial\phi}{\partial z} \quad (3.47)$$

이와 같은 가정을 통해 속도 포텐셜의 해는 2차원 연속 방정식을 반드시 만족시켜야 한다.

따라서

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.48)$$

이고, 그래서

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.49)$$

이다.

(3.49)식은 2차원, 비압축성 라플라스(Laplace) 방정식이다. 일정한 유체의 밀도(ρ)와 압력(P)을 가지고 있는 비점성·비회전 흐름에 대한 운동 방정식은 베르누이(Bernoulli) 방정식으로부터 다음과 같은 형태로 정리될 수 있다.

$$\frac{-\partial\phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) + \frac{P}{\rho} + gz = C(t) \quad (3.50)$$

여기서 g 는 중력 가속도이고 z 는 수직 상승류이다.

만약 적분 상수 $C(t)$ 가 0이고 고차 항을 무시할 수 있다면 선형화된 시간에 의존하는 베르누이 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{-\partial\phi}{\partial t} + \frac{P}{\rho} + gz = 0 \quad (3.51)$$

이것은 라플라스 방정식으로 다음과 같은 경계 조건에 따른다.

- ① 저면 경계 조건: 저면을 통해 흐름이 없다.
- ② 역학적 자유 표면 경계 조건: 표면에서 압력이 0이다.
- ③ 동역학적 자유 표면 경계 조건: 자유 표면을 통해 흐름이 없다.

한편 진행파를 나타내는 해는 2개의 정상파 해를 중첩시키고 다음과 같은 속도 포텐셜(ϕ)와 수면 높이(η) 및 분산 관계식을 적용하여 구한다. 규칙파의 경우 파랑의 특성이 다음과 같은 속도 포텐셜(ϕ)에 의해 선형파 이론을 사용해서 근사된다.

$$\phi = -A \frac{g}{2\pi f} \frac{\cos k(d+z)}{\cos kd} \sin(kx - 2\pi ft) \quad (3.52)$$

$$\eta = A \cos(kx - 2\pi ft) \quad (3.53)$$

$$(2\pi f)^2 = gk \tanh(kd) \quad (3.54)$$

여기서 A 는 파의 진폭, g 는 중력 가속도, f 는 주파수, k 는 파수($2\pi/L$), L 은 파장, d 는 수심, z 는 수직 위치, x 는 수평 위치이다.

한편, 가두리 시설의 설계를 위해서는 그것에 작용하는 정적 하중과 동적 하중이 중요할 뿐만 아니라 가두리 시스템 성분의 응답 특성을 이해하는 것도 필요하다. 파랑 중 가두리 시설의 운동과 하중 응답의 해석은 어류에 대해 최적 환경이 주어지도록 그것의 공진 조건을 밝혀내고 운동 특성을 규명하는 것이다. 이와 같은 가두리 시설의 운동과 하중 응답에 관한 자료는 수치해석, 모형실험 및 현장실험을 통해 얻어진다. 또한 단일 주파수의 파랑 혹은 불규칙파에 대한 스펙트럼 응답을 통해 가두리 시설을 해석할 수 있다. 이 경우 RAOs(response amplitude operators)라고 불리는 규칙파, 단일 주파수 파랑에 대해 계산되는 선형 전달함수의 크기는 응답의 크기를 각 파의 주파수에 대한 힘의 크기로 나누면 얻어진다. 즉, 히브(heave), 서지(surge), 피치(pitch) 및 계류삭의 장력 RAOs는 다음과 같이 정의할 수 있다. 히브 RAO는 히브 진폭/파의 진폭, 서지 RAO는 서지 진폭/파의 진폭, 피치 RAO는 피치 진폭/파 경사의 진폭, 계류삭 장력 RAO는 계류삭 장력 진폭/파의 진폭이다.

파 진폭(ζ)은 해수면에서 수립자 궤도에 의해 형성되는 타원의 수평적인 반축으로 정의된다. x 에 대해 (3.28)식에 편도함수를 취하면 수평적인 속도 성분을 구할 수 있으며, 시간 t 에 대해 이 결과를 적분하고 진동항을 제거하면 파 진폭은 다음과 같다.

$$\zeta = A \frac{\cos kd}{\sin kd} \quad (3.55)$$

파 경사의 진폭(θ)은 x 에 대해 (3.31)식에 편도함수를 취하고 진동항을 제거하면 다음과 같다.

$$\theta = kA \quad (3.56)$$

한편, 이 연구에서 사용된 불규칙파의 스펙트럼은 앞에서 언급한 바와 같이 복해 파랑 관측

계획(JONSWAP)을 사용하였으며, 이 스펙트럼은 (3.57)식과 같이 표현된다.

$$S(f) = \alpha H_s^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25 (T_p f)^{-4}] \gamma^Y, \quad (3.57)$$

여기서

$$Y = e^{[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2]},$$

$$\alpha = \frac{0.0624}{0.23 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}},$$

이고

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_a : f \leq f_p \\ \sigma_b : f \geq f_p \end{cases},$$

이다.

여기서 f_p 는 스펙트럼 피크($1/T_p$)에서의 주파수이다. γ 와 σ 는 각각 곡선 피크의 높이와 폭을 조정하기 위해 사용된다. 이 연구에서는 사용된 불규칙파의 파라미터는 <표 3-14>와 같다.

<표 3-14> 수치 해석에 사용된 JONSWAP 스펙트럼 파라미터

Parameter	Value
H_s (m)	9.51
T_p (s)	14.01
g	3.3
Power off	-5
σ_a	0.07
σ_b	0.09

이 연구에서 불규칙파는 주파수 영역에서 스펙트럼에 의해 표현된다. 일반적으로 수면 파형의 자기 스펙트럼은 유의 파고와 주기에 의해 묘사된다. 통계적인 관점에서 유의파고는 가끔 H_{mo} 로부터 추정되고 스펙트럼의 0번째 모멘트로부터 산정된다.

$$m_j = \int_0^\infty f^j S(f) df \quad \text{여기서 } j=0 \quad (3.58)$$

만약 스펙트럼이 좁은 대역이고 파장이 Rayleigh 확률 분포(Ochi, 1998)를 따른다고 하면, H_{mo} 는 다음 식으로부터 얻어진다.

$$H_{mo} = \sqrt{4m_0} \quad (3.59)$$

불규칙파에 대한 가두리 시설의 응답은 선형 전달 함수를 사용해서 해석될 수 있다. 이 전달 함수는 외력과 가두리 시설의 응답(히브, 서지, 피치, 장력)을 관련시키는 주파수 영역의 실체이고, 전달 함수는 RAO와 유사하지만 복합 주파수에 대해 계산된다.

불규칙파 실험의 경우 선형 전달함수는 자기 스펙트럼 및 교차 스펙트럼 방법을 이용해서 주파수 함수로서 계산될 수 있다. 따라서 주파수 영역에 있어서 가두리 시스템에 작용하는 힘은 에너지 밀도의 견지로서 표현될 수 있다. 즉 $G_{\eta\eta}(f)$ 는 파고의 자기 스펙트럼(m^2/Hz),

$G_{\zeta\zeta}(f)$ 는 파 왕복 운동의 자기 스펙트럼(m^2/Hz), $G_{\theta\theta}(f)$ 는 파 경사의 자기 스펙트럼(rad^2/Hz)이다.

파고의 자기 스펙트럼은 앞에서 설명한 것과 같으며, FFT를 포함하는 처리 기법을 이용해서 측정된 시계열 데이터로부터 계산된다. 파 왕복 운동과 파 경사의 자기 스펙트럼은 다음과 같은 관계를 이용해서 파고 자기 스펙트럼으로부터 계산된다.

$$G_{\zeta\zeta}(f) = G_{\eta\eta}(f) \cdot [\tanh(kd)]^{-2} \quad (3.60)$$

$$G_{\theta\theta}(f) = G_{\eta\eta}(f) \cdot (k)^2 \quad (3.61)$$

여기서 분산 관계식에 따라 $k = k(f)$ 이다.

또한 히브, 서지 및 피치에 있어서 자기 스펙트럼 운동 응답과 계류삭 장력 응답은 수면 파형과 같은 처리 기법을 이용해서 계산된다. 그들은 또한 다음과 같은 주파수의 함수이다. 즉, $G_{hh}(f)$ 는 히브 응답 자기 스펙트럼(m^2/Hz), $G_{ss}(f)$ 는 서지 응답 자기 스펙트럼(m^2/Hz), $G_{pp}(f)$ 는 피치 응답 자기 스펙트럼(rad^2/Hz), $G_{tt}(f)$ 는 계류삭 장력 응답 자기 스펙트럼(kN^2/Hz)이다.

외력과 응답간 자기 스펙트럼 기법을 통해 선형 전달 함수를 얻기 위해서는 다음과 같은 계산이 필요하다.

$$H_{hh}(f) = \frac{G_{hh}(f)}{G_{\eta\eta}(f)}^{\frac{1}{2}} \quad (3.62)$$

$$H_{ss}(f) = \frac{G_{ss}(f)}{G_{\zeta\zeta}(f)}^{\frac{1}{2}} \quad (3.63)$$

$$H_{pp}(f) = \frac{G_{pp}(f)}{G_{\theta\theta}(f)}^{\frac{1}{2}} \quad (3.64)$$

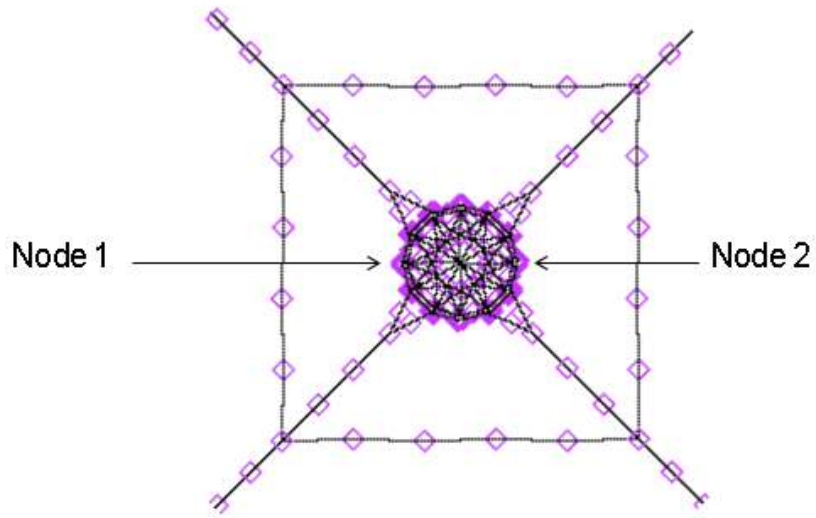
$$H_{tt}(f) = \frac{G_{tt}(f)}{G_{\eta\eta}(f)}^{\frac{1}{2}} \quad (3.65)$$

여기서 $H_{hh}(f)$ 는 히브 전달 함수, $H_{ss}(f)$ 는 서지 전달 함수, $H_{pp}(f)$ 는 피치 전달 함수이고 $H_{tt}(f)$ 는 계류삭 장력의 전달 함수이다. (3.62)식에서 (3.65)식은 항상 그렇지는 않지만 외력과 응답 사이에 선형 관계가 존재한다는 가정을 한 것이다.

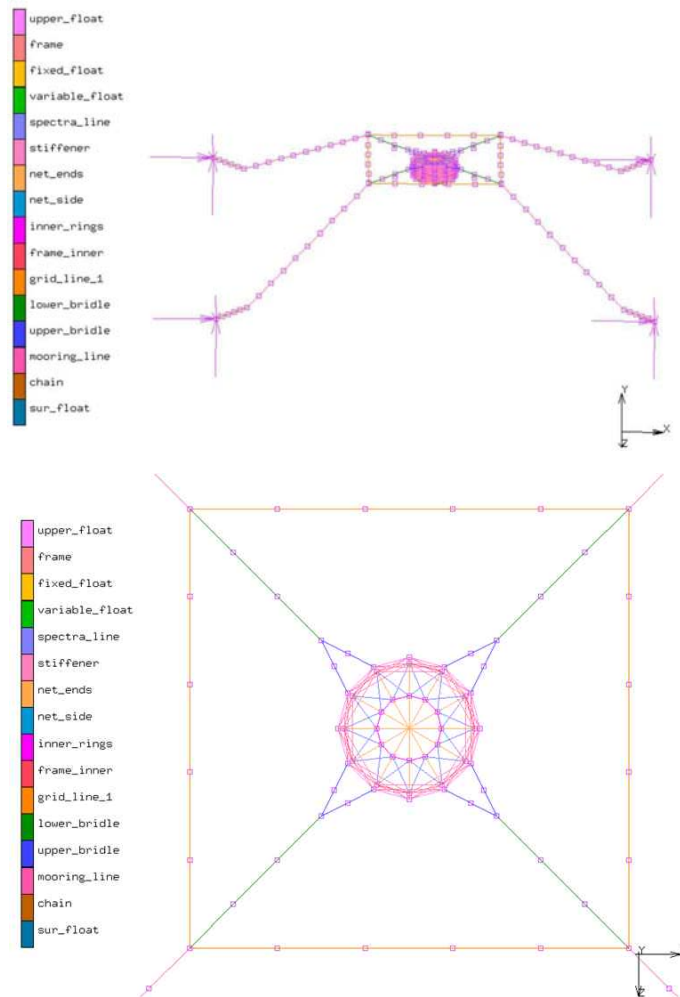
5. 가두리 운동 응답 위치

수치 해석을 수행하기 위해 가두리의 운동을 특성화하기 위한 운동 응답 데이터들을 수집하였다. 가두리 시설의 운동 응답 데이터가 얻어진 절점의 위치는 <그림 3-128>과 같다. 히브 RAO는 2개의 림(rim) 절점의 평균 수직 운동으로 계산하였고 서지 RAO는 2개의 림 절점의 평균 수평 운동으로 계산하였으며, 피치 RAO는 2개 상부 림 사이의 각도로서 계산하였다. 가두리 시설의 운동 특성 외에 계류 시스템의 응답 특성도 계산하였다. 계류 시스템에 작용하는

장력의 경우 계류삭 #1과 #2, 격자 라인 #1 및 lower bridle line에 작용하는 장력을 계산하였다.



<그림 3-128> 수치해석으로부터 운동 응답 특성 자료가 얻어지는 절점(Node)의 위치.

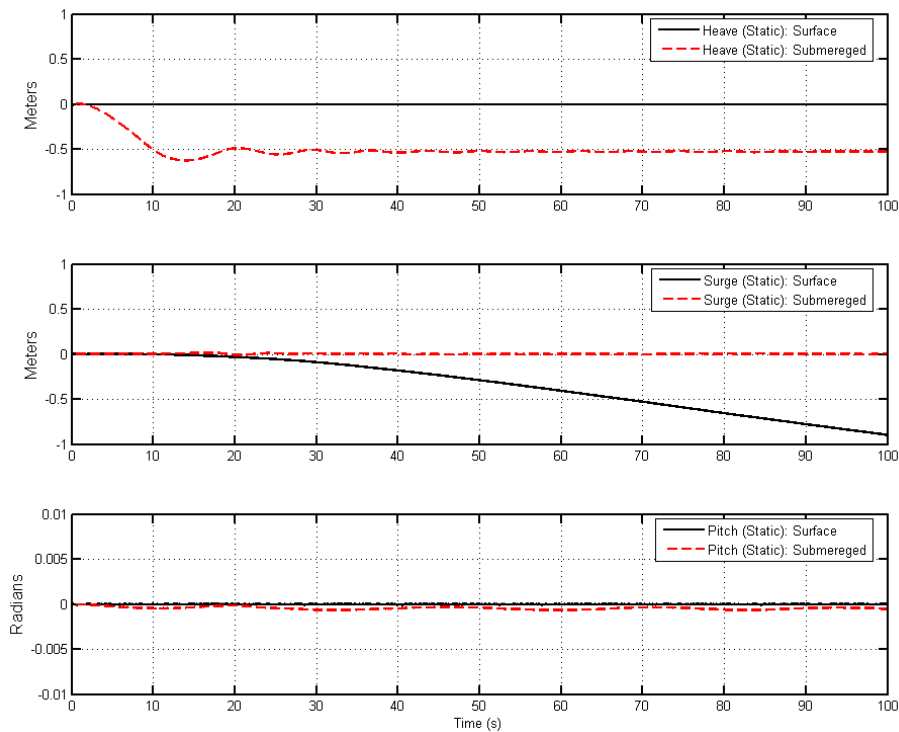


<그림 3-129> 가두리 수치 모델.

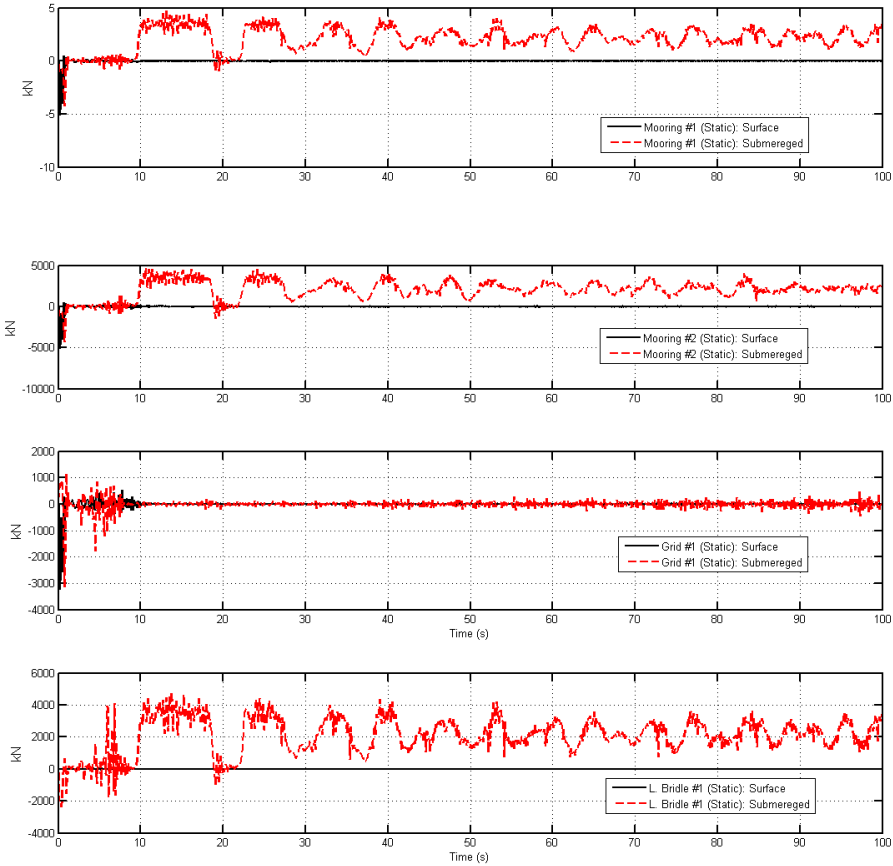
6. 수치 시뮬레이션 결과

가. 정적 해석 결과

먼저 파랑과 조류가 작용하지 않는 상태에서 가두리 시설의 운동 특성과 계류삭에 작용하는 장력에 관한 수치 해석을 수행하였다. 이 경우 계류삭의 각 구성 요소에 전가 장력이 작용할 때 가두리의 부력은 수직 운동을 발생시킨다. 또한 가두리 시설의 프레임이 평상시와 같이 수면 상에 위치하고 있는 경우와 긴급 재해 시 침하되어 20m의 수층에 침하되어 있는 경우로 나누어 정적 해석을 수행하였다. <그림 3-130>은 정적 상태에서 가두리 시설의 히브, 서지 및 피치를 나타낸 것이고 <그림 3-131>은 정적 해석에 의한 가두리 시설의 계류삭에 작용하는 장력을 나타낸 것이다.



<그림 3-130> 정적 해석에 의한 가두리의 운동 특성.



<그림 3-131> 정적 해석에 의한 가두리의 유체력 특성.

나. 규칙파 해석 결과

규칙파 중 자동 부침 가두리 시설의 히브, 서지 및 피치와 같은 운동 특성과 계류삭에 작용하는 장력을 해석하였다. 해석에 사용된 규칙파의 종류는 앞에서 설명한 <표 3-9>와 같으며, 가두리 시설에 파랑만 작용하는 경우와 파랑과 1.0m/s의 흐름이 동시에 작용하는 경우로 나누어 해석을 수행하였다. 먼저 (3.28)~(3.30)식을 사용하여 계산한 파장과 해석에 사용한 파랑의 파장(L)과 파향 경사(θ) 등은 <표 3-15>와 같으며, 파수(k)는 $2\pi/L$ 에 의해 계산하였다.

<표 3-15> 각 하중 조건에서 계산된 파랑의 상세

Load case	A (m)	L (m)	k (rad/m)	ζ (m)	θ (rad)
1, 2	1.2750	58.2870	0.1078	1.2751	0.0845
3, 4	1.7650	78.2198	0.0803	1.7661	0.0455
5, 6	2.1100	118.3716	0.0531	2.1310	0.0252
7, 8	3.4250	200.0661	0.0314	3.7347	0.0092
9, 10	4.3300	237.9838	0.0264	4.9954	0.0061
11, 12	5.1250	285.4565	0.0220	6.4007	0.0043

총 24회의 수치 해석을 수행하여 히브, 서지 및 피치와 같은 가두리 시설의 운동 특성과 계류삭 #1과 #2, grid line #1 및 lower bridle line #1에 작용하는 장력 데이터를 얻었다. 이들 그림에서 특이한 결과는 20m의 수층에 침하된 가두리 시설에 파랑과 1.0m/s 속도의 조류가 동시에 적용하면 가두리 시설의 하부 프레임이 해저에 닿을 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 시작품 설계 시 가두리 시설의 부력 결정, 자동 부력 조절 및 제어 방법 설계 시 이를 고려해야 한다. 한편, 파랑 중 가두리 시설의 운동은 파랑과 조류가 동시에 작용하는 상황에 비해 보다 뚜렷하게 나타났지 않았다. 따라서 파랑 중 가두리 시설의 히브, 서지, 피치의 전달 함수(RAO) 계산은 조류가 작용하지 않는 상태에 대해 수행하였으며, 그 결과는 <표 3-16>과 같다.

가두리 시설의 운동 특성에 대한 전달 함수 계산에 부가하여 위에서 언급한 4개의 계류삭에 작용하는 장력을 해석하였다. 이 경우 계류삭 장력의 시계열 자료는 불규칙적이기 때문에 선형 전달 함수는 비현실적이기 때문에 각각의 계류삭에 작용하는 최대 장력을 해석하였으며, 그 결과는 <표 3-17>과 같다.

<표 3-16> 파랑만 있는 경우 가두리 시설의 운동 특성 전달 함수(RAO)

Load case	Heave RAO (m/m)	Surge RAO (m/m)	Pitch RAO (rad/rad)
1			
Surface	0.1831	0.0663	0.2416
Submerged	0.0256	0.0246	0.0275
3			
Surface	0.2458	0.1363	0.5499
Submerged	0.0491	0.0124	0.1030
5			
Surface	0.3241	0.2418	0.8669
Submerged	0.1055	0.0705	0.2274
7			
Surface	0.3825	0.3452	2.2109
Submerged	0.0980	0.0816	0.8994
9			
Surface	0.3849	0.3683	3.4571
Submerged	0.1740	0.2585	0.8953
11			
Surface	0.3893	0.3879	5.4865
Submerged	0.1820	0.3071	2.2606

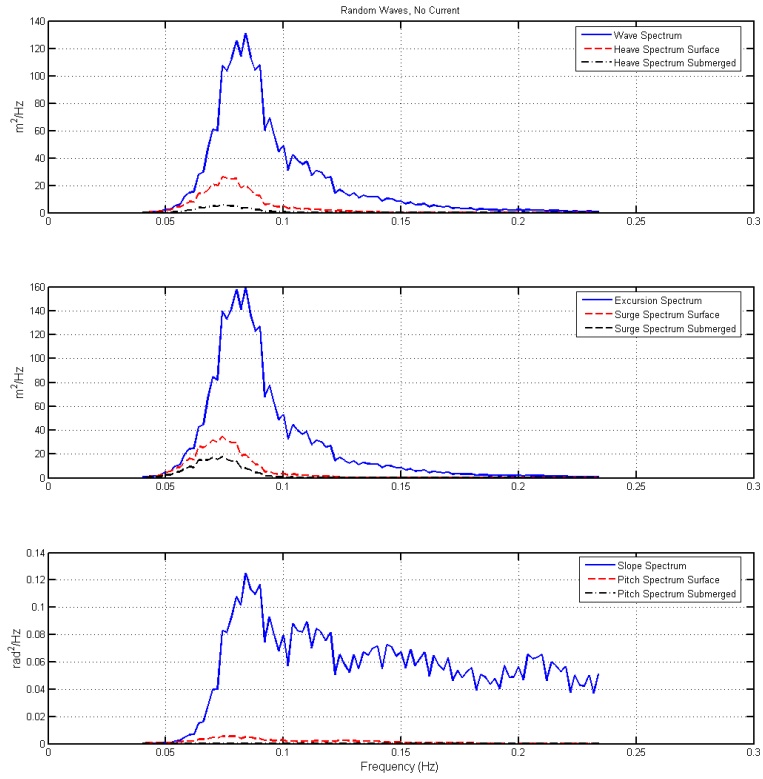
<표 3-17> 파랑과 조류가 있는 경우 가두리 시설의 계류삭에 작용하는 최대 장력(단위: N)

Load case	Position	Mooring #1	Mooring #2	Grid #1	L. Bridle #1
Static	Surf	493	474	516	37
	Sub	4762	4732	1172	4762
1-2.55	Surf	9645	11490	6855	833
	Sub	12884	11523	4791	15161
2-2.55	Surf	69231	8656	15737	64002
	Sub	69488	6518	14215	60910
3-3.53	Surf	19733	9890	12219	13954
	Sub	13980	11914	6060	17773
4-3.53	Surf	87089	8076	14589	76048
	Sub	72035	8078	14056	62606
5-4.22	Surf	12663	9573	7400	5386
	Sub	13819	12082	5762	11197
6-4.22	Surf	108850	9450	16057	95795
	Sub	79116	6861	11467	66918
7-6.85	Surf	9955	12388	5813	10158
	Sub	11139	13358	5879	11502
8-6.85	Surf	183990	8127	13613	169770
	Sub	105370	8105	13224	90989
9-8.66	Surf	13430	9081	6807	11096
	Sub	8263	13902	3721	9047
10-8.66	Surf	238380	6932	17393	222420
	Sub	188050	7888	19706	171630
11-10.25	Surf	14553	8609	6527	16826
	Sub	7490	11987	3390	8711
12-10.25	Surf	289850	7270	24132	271130
	Sub	263570	7700	26362	242060

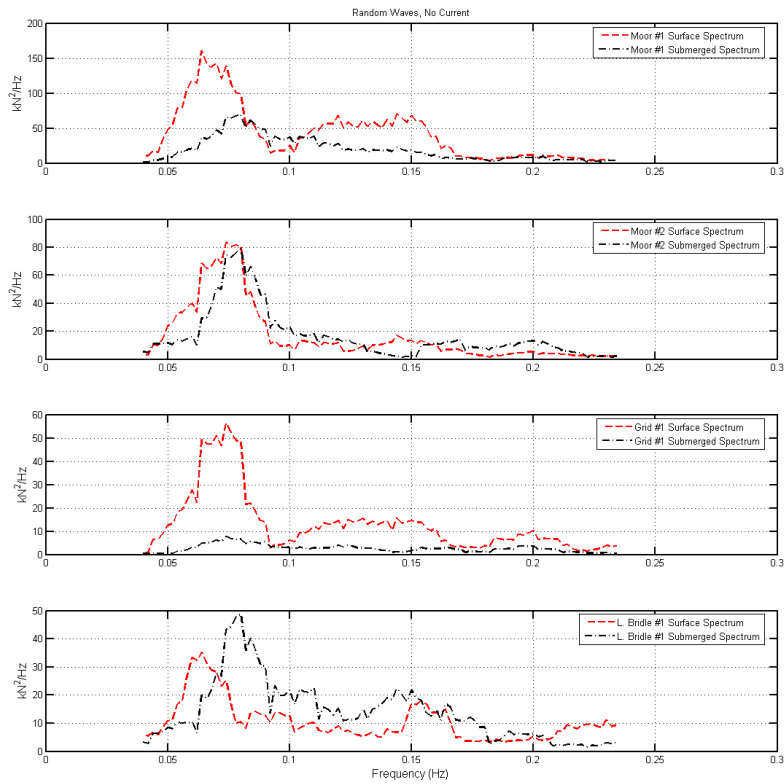
다. 불규칙파 해석 결과

규칙파에 대한 수치 해석을 수행한 후에 불규칙파에 대한 가두리 시설의 운동 특성과 계류삭에 작용하는 장력을 해석하였다. 이 경우 표층에 부상되어 있는 가두리 시설과 20m의 수층에 침하되어 가두리 시설에 불규칙파만 작용하는 경우와 불규칙파와 1.0m/s의 조류가 동시에 작용하는 경우로 나누어 수치 해석을 수행하였다. 수치 해석에 사용된 파랑의 스펙트럼은 앞에서 설명한 바와 같이 북해 파랑 관측 공동 계획(JONSWAP) 스펙트럼이며, 유의 파고($H_{1/3}$)와 주기($T_{1/3}$)는 각각 9.51m와 14.01s이다.

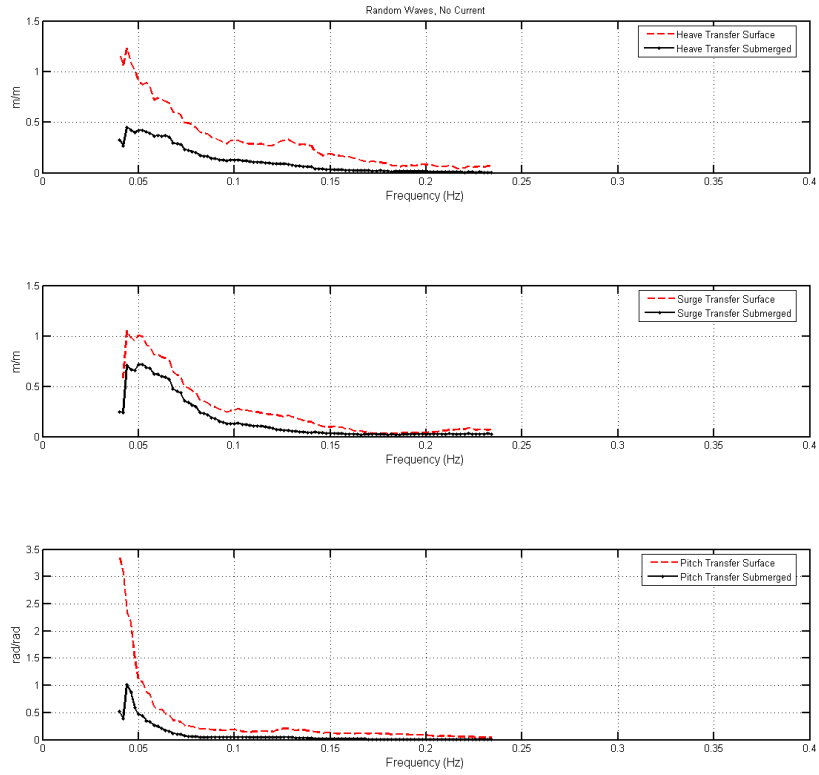
시계열 결과를 사용해서 입사 파고의 주파수에 대한 히브, 서지, 피치와 같은 운동 특성과 계류삭 장력의 스펙트럼을 해석한 결과는 <그림 3-132> 및 <그림 3-133>과 같다. 또한 입사 파고의 주파수에 대한 히브, 서지, 피치와 같은 운동 특성과 계류삭 장력의 전달 함수를 해석한 결과는 <그림 3-133> 및 <그림 3-134>와 같다.



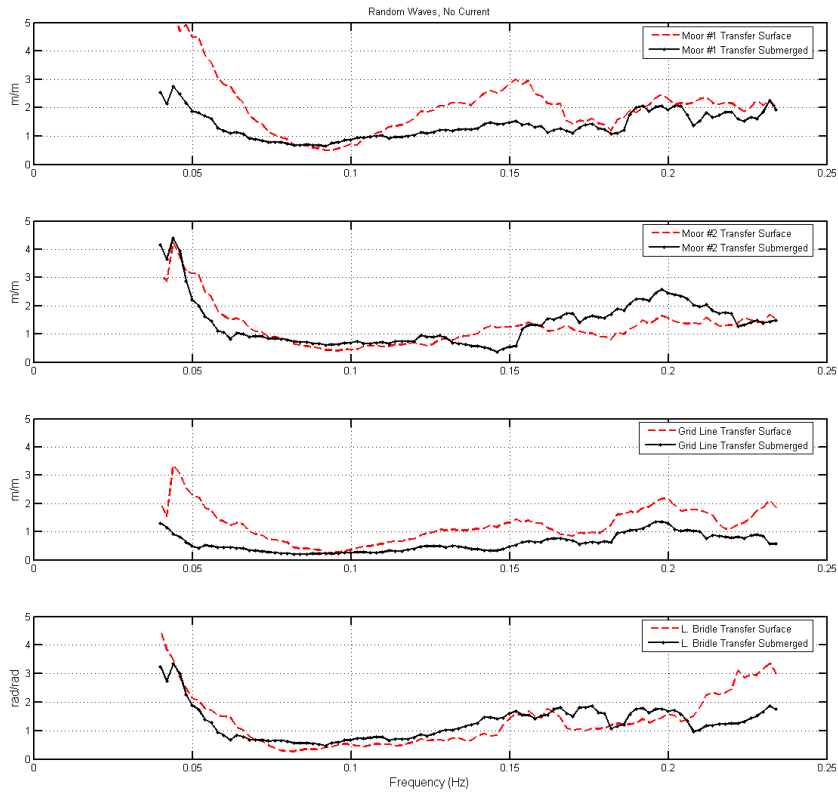
<그림 3-132> 불규칙파가 작용하는 경우 가두리 시설의 운동 스펙트럼 해석 결과(유의파고 9.51m, 주기 14.01s).



<그림 3-133> 불규칙파와 조류(1.0m/s)가 작용하는 경우 가두리 시설의 유체력 스펙트럼 해석 결과 (유의파고 9.51m, 주기 14.01s).



<그림 3-134> 불규칙파가 작용하는 경우 가두리 시설의 운동 전달 함수(유의파고 9.51m, 주기 14.01s).



<그림 3-135> 불규칙파와 조류(1.0m/s)가 작용하는 경우 가두리 시설의 유체력 전달 함수(유의파고 9.51m, 주기 14.01s).

전달 함수 해석에 부가하여 불규칙파 중 가두리 시설의 운동 특성과 각 계류삭에 작용하는 장력을 해석하였으며, 그 결과는 <표 3-18> 및 <표 3-19>와 같다. 또한 불규칙파가 작용하는 경우 표층 및 20m 수층의 가두리 시설의 계류삭에 작용하는 최대 장력은 <표 3-20>과 같다(Kim, 2011; Kim and Hwang, 2011).

<표 3-18> 조류가 없는 상태에서 불규칙파 중 가두리 시설의 운동 특성

Configuration	Heave(m)	Surge(m)	Pitch(rad)
Surface	3.4670	3.8686	0.0707
Submerged	1.5512	2.6817	0.0192

<표 3-19> 조류가 없는 상태에서 불규칙파 중 가두리 시설의 계류삭 장력(단위: kN)

Configuration	Mooring #1	Mooring #2	Grid #1	L. Bridle #1
Surface	11.4235	7.2385	6.3996	5.7412
Submerged	7.7753	7.2041	2.8621	6.6191

<표 3-20> 불규칙파 중 가두리 시설의 계류삭에 작용하는 최대 장력(단위: N)

Load Case	Position	Mooring #1	Mooring #2	Grid #1	L. Bridle #1
Random	Surf.	19779	10586	10629	15020
No current	Sub.	14599	14227	8017	13634
Random	Surf.	286450	8297	21110	267230
1.0m/s current	Sub.	258640	11509	23343	237640

제 8 절 시작품 제작 및 현장 실험

1. 1차 시작품 제작

<그림 3-136>은 시작품에 사용된 프레임, 부자 등 각종 구성 부품의 가공 및 마감 처리 작업 과정을 보여 주는 사진이고, <그림 3-137>은 시작품의 프레임과 부자를 조립 과정을 나타내는 사진이다. 그리고 <그림 3-138>은 피스톤 밸브 조립과 부침 부자의 내부 구조를 나타내는 사진이고 <그림 3-139>는 공기압에 의한 부침 부자의 개폐 작동 시험을 나타내는 사진이며, <그림 3-140>은 절대 부자의 부력 조절용 수동 밸브의 사진이다. 특히 부침 부자에 대한 성능 시험 결과, 압축 공기의 주입 또는 배기에 의해 피스톤 밸브가 열리거나 닫히는 등 정상적으로 작동하였다.



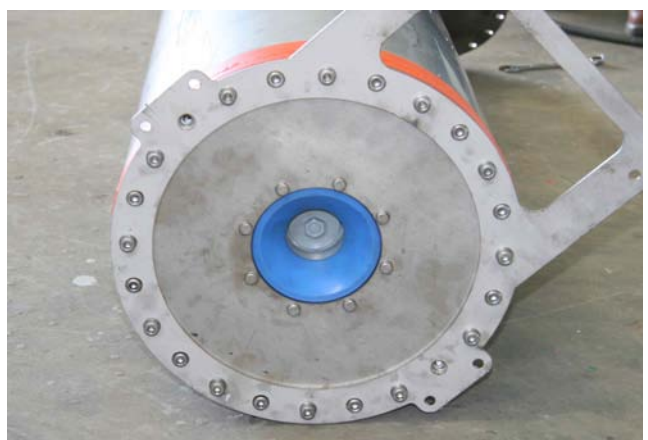
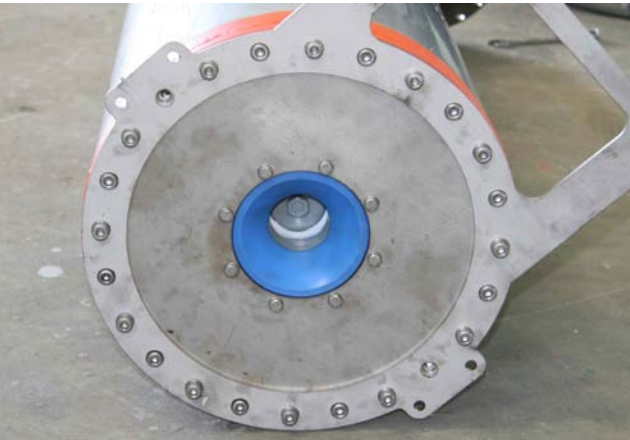
<그림 3-136> 자동 부침 가두리 1차 시작품 구성 부품 가공 및 마감 처리 작업.



<그림 3-137> 자동 부침 가두리 1차 시작품 프레임 및 부자 조립 작업.



<그림 3-138> 피스톤 밸브 조립(좌) 및 부침 부자의 내부 구조(우).



<그림 3-139> 공기압에 의한 부침 부자의 열림(좌) 및 닫힘(우) 작동 시험.



<그림 3-140> 절대 부자의 부력 조절용 수동 밸브.



경사계와 지시기



간극 수압계와 지시기



솔레노이드 모터 밸브(2-way)

<그림 3-141> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션에 사용된 계측 장치와 솔레노이드 밸브.



<그림 3-142> 1차 시작품의 컨트롤 스테이션.



<그림 3-143> 1차 시작품의 부침 제어반(상) 및 작동 시험(하).



<그림 3-144> 1차 시작품의 실내 성능 시험.

2. 2차 시작품 제작

가. 프레임 등 하드웨어

<그림 3-145>~<그림 3-148>은 2차 시작품에 사용된 프레임, 가변 부자, 고압 탱크, 표시 부자, 상부 및 하부 스테이션 및 각종 챔버의 사진이다. 가변 부자, 고압 탱크, 상부 및 하부 스테이션 및 각종 챔버에 대해서는 방수 및 기밀이 되도록 제작하였다. 제작된 각 단품에 대해서는 수밀 및 기밀 시험과 내압 시험을 실시하였다.



프레임



가변 부자



고압 탱크



표시 부자

<그림 3-145> 2차 시작품의 프레임, 가변 부자, 고압 탱크 및 표시 부자.



<그림 3-146> 2차 시작용의 상부 스테이션의 내부(좌) 및 외부(우).



<그림 3-147> 2차 시작용의 하부 스테이션 내부(좌) 및 외부(우).



메인 컨트롤 챔버



공기 압축기 챔버



보충 공기 탱크 챔버



배터리 챔버

<그림 3-148> 2차 시작품의 챔버.

나. 각종 센서 및 장치

본 가두리 시스템에 사용된 풍속계, 압력계, 경사계, 인버터, 모터 밸브, 공기 압축기, 해수 펌프는 <그림 3-149>와 같다.



풍속계

경보등

압력계

경사계

<그림 3-149> 자동 부침 가두리에 사용된 센서 사진.



해수 펌프

공기 압축기



모터 밸브

DC-AC 인버터

<그림 3-150> 자동 부침 가두리에 사용된 장치 사진.

다. 자동 부침 제어 장치(PCB 보드)

자동 부침 가두리 시설에 사용된 PCB 보드는 총 6개로 RF 무선 모듈 PCB, 리모트 컨트롤 PCB(수신 및 송신 보드 각 1개), 메인 컨트롤러 PCB, 컨트롤 PCB, 디스플레이 PCB이다.

(1) 자동 부침 가두리 RF 무선 모듈 PCB

이 보드는 리모컨의 버튼 조작으로 입력받은 업(부상), 다운(침하) 신호를 무선 모뎀을 통해 ZIGBEE/WIND 보드로 전송하며, 표시 부자에 설치된다.

(2) 자동 부침 가두리 무선 모뎀 PCB 보드

이 보드는 무선 모뎀으로 입력받은 리모컨 신호 및 풍속계 신호를 메인 보드로 전송하고 경보등을 제어하며, 표시 부자에 설치된다.

(3) 자동 부침 가두리 메인 컨트롤러 PCB 보드

이 보드는 공기 압축기 제어 신호 출력, 수심 센서 신호 입력, 모터 밸브 2채널 제어, 풍속계 신호 입력, 리모컨 제어 신호 입력, 인버터/모터 제어, 배터리 전압 체크, 누수 센서 신호 입력, 경사계 신호 입력, 디버그 기능, 각종 센서의 상태 값을 SD 카드에 저장하고 디스플레이 보드로 전송한다. 이 보드는 메인 컨트롤 챔버에 설치된다.

(4) 자동 부침 리모트 컨트롤 PCB 보드

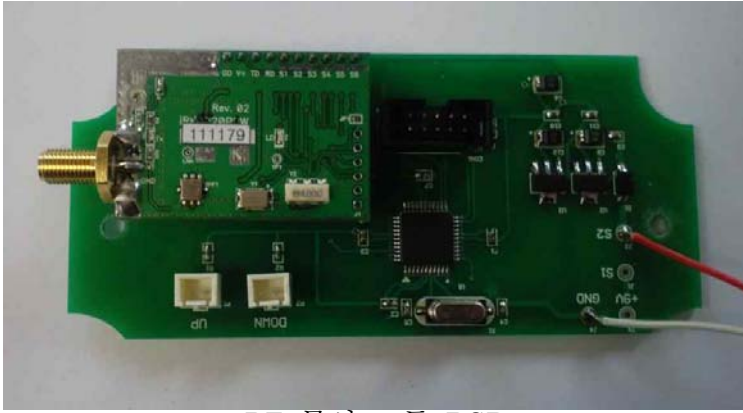
이 보드는 압력계 3채널의 신호를 입력받은 후 메인 보드로 전송하고 메인 보드의 명령에 따라 모터 밸브 15개를 ON/OFF 제어한다. 또한 모터 밸브 15개의 상태를 메인 보드로 전송하며, 상부 스테이션에 설치된다.

(5) 자동 부침 가두리 공기 압축기 PCB 보드

이 보드는 공기 압축기의 온도 센서로부터 신호를 입력받아서 메인 보드로 전송하고 메인보드에서 받은 명령에 따라 모터 밸브를 제어한다. 또한 공기 압축기를 제어하고 모터 밸브의 상태를 메인 보드로 전송하며 공기 압축기 챔버에 설치된다.

(6) 자동 부침 가두리 디스플레이 PCB 보드

이 보드는 15개의 모터 밸브와 해수 펌프 상태와 배터리 전압, 압력계, 수압계(수심 센서), 누수 센서 등의 값을 디스플레이하며, 메인 컨트롤 챔버에 설치된다.



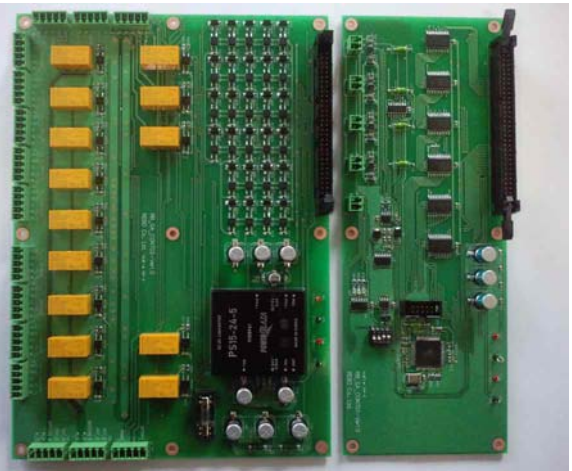
RF 무선 모듈 PCB



무선 모듈 PCB



메인 컨트롤러 PCB



리모트 컨트롤 PCB



공기 압축기 PCB



디스플레이 PCB

<그림 3-151> 자동 부침 가두리에 사용된 PCB 보드 사진.



<그림 3-152> 각종 PCB, 배터리, 모터 밸브, 공기 압축기, 센서 작동 실험(실내).



<그림 3-153> 리모컨에 의한 2차 시작품의 자동 침하 및 부상 작동 실험(실내).

3. 현장 시험을 통한 시작품의 안정성 및 성능 평가

가. 부침 부자 성능 시험

(1) 재료 및 실험 방법

자동 부침 가두리 시설의 시작품에 대한 성능 시험을 수행하기 전에 <그림 3-154>에서와 같이 가두리 시설을 부침 부자로 단순화하여 실내 수조(가로 2.1×세로 1.0×수심 1.1m)와 해상 가두리 양식장에서 부침 부자의 작동 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 부침 부자는 원통형으로 크기는 지름이 0.58m이고 길이는 0.89m이다. 부침 부자는 철제 드럼통을 재활용하여 제작하였으며, 해상 실험 시 시간의 경과에 따른 그것의 부식 상태를 확인하기 위하여 부침 부자의 본체를 아연 용융 도금이나 방청 페인트 도장 등 별도의 부식 방지 처리를 하지 않았다. 그리고 부침 부자 안으로 물이 들어가고 빠져나오는 것을 확인하기 위하여 부침 부자의 양측면에 아크릴판으로 된 관측창을 부착하였다. 한편, 부침 부자에서 가장 중요한 부분인 피스톤 밸브는 <그림 3-155>와 같이 해수에서 작동이 원활하게 이루어지도록 스테인리스 스틸(SUS 304L)로 제작하였다.

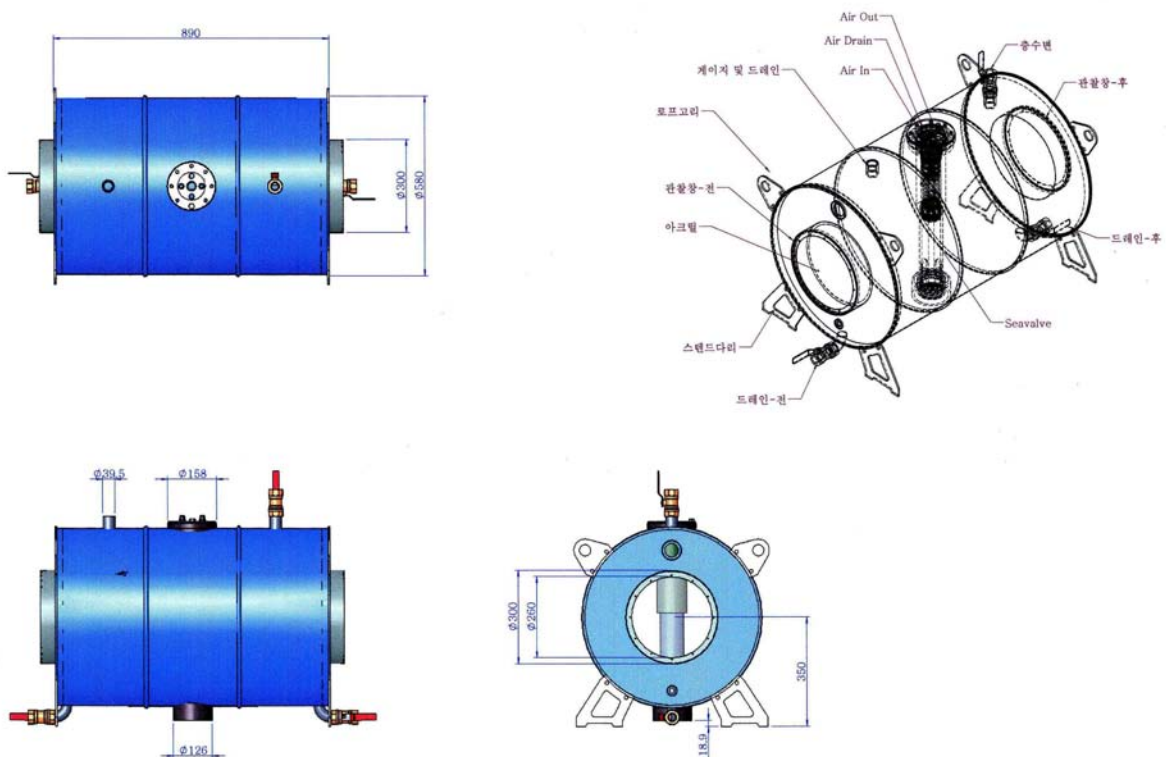
부침 부자의 작동을 제어하기 위해 <그림 3-156> 및 <그림 3-157>과 같이 제어반을 제작하였다. 이 제어반은 제어 패널과 전기 장치 및 3개의 솔레노이드 모터 밸브로 구성하였다. 그리고 제어반은 공기 압축기(압력: 0~800kPa, 유량: 130L/min, DARE)에서 생성된 압축 공기를 부침 부자 안으로 공급하거나 밖으로 배기하고 부침 부자에 부착된 피스톤 밸브의 개폐를 위해 공기의 공급과 배기를 제어하는 역할을 한다. 먼저 피스톤 밸브 개폐용 밸브는 1개의 3-way 밸브(“이하 Sol #1로 칭함”, EA200-TNE-10A)로 구성하였으며, 부침 부자안으로 공기를 주입하거나 배기(부침 부자내 압력 조절)하는 밸브는 1개의 3-way 밸브(이하 Sol #2로 칭함”, EA200-TNE-10A)와 1개의 2-way 밸브(“이하 Sol #3로 칭함”, EA200-UTE -10A)를 연결하여 사용하였다. 그리고 Sol #1 밸브와 Sol #3 밸브를 지름이 10mm인 공기 호스로써 부침 부자 상부에 연결하여 피스톤 밸브와 부침 부자에 공기가 주입되거나 배기되도록 하였다. 또한 피스톤 밸브안의 배압이 대기 중으로 배출되도록 부침 부자 상부에 별도의 배압 호스 1개를 부착하였다(실제 시작품에서는 이 호스는 필요 없음). 한편, 압축 공기의 최대 압력은 196.14 kPa이 되도록 하였다.

실험에서는 <그림 3-157>에서와 같이 부침 부자를 수조에 넣고 2가닥의 공기 호스로써 제어반의 Sol #1 밸브와 Sol #3 밸브에 각각 연결하였다. 그리고 제어반의 전원을 켜고 Sol #1 밸브 조정 스위치를 열림 또는 배기, Sol #2 밸브를 열림 또는 배기 그리고 Sol #3 밸브를 열림 또는 닫힘으로 조정하면 부침 부자에 설치된 피스톤 밸브가 작동되거나 부침 부자 안으로 공기가 주입 또는 배기되도록 하였다. 먼저 부침 부자를 침하시키는 경우에는 Sol #1 밸브 스위치를 열림, Sol #2 밸브 스위치를 배기, 그리고 Sol #3 밸브 스위치를 열림 상태로 조정하면 피스톤 밸브가 열리게 되고 그곳을 통해 물이 부자안으로 들어가고 부자 안의 공기가 밖으로 배출되면 부자의 무게(침강력)가 그것의 부력보다 커지게 되어 물속으로 가라앉게 된다. 이와 반대로 부침 부자를 부상시키는 경우에는 Sol #1 밸브 스위치를 열림, Sol #2 밸

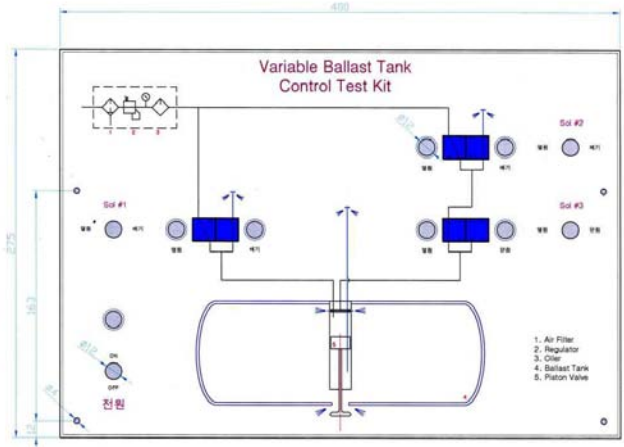
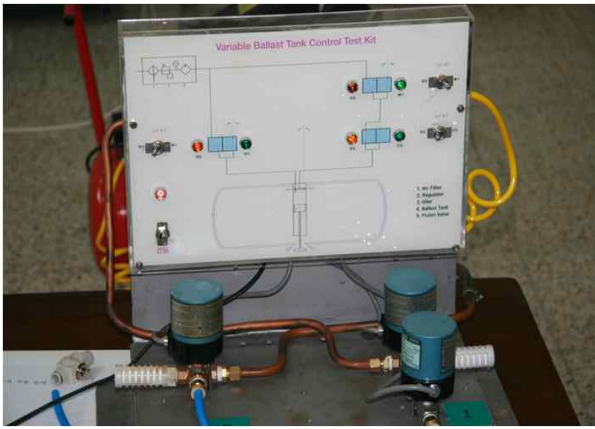
브 스위치를 열림, 그리고 Sol #3 밸브 스위치를 열림 상태로 조정하면 부침 부자 안으로 압축 공기가 들어가서 부자의 부력이 그것의 무게보다 커지게 되어 수면으로 떠오르게 된다. 마지막으로 부침 부자를 일정 수층에 중립 상태로 유지하기 위해서는 Sol #1 밸브 스위치를 배기, Sol #2 밸브 스위치를 배기, 그리고 Sol #3 밸브 스위치를 닫힘 상태로 조정하면 피스톤 밸브가 닫히고 부침 부자 안에 압축 공기가 차 있기 때문에 그것이 일정 수층에 머무르게 된다.

실험 중 부침 부자의 침하 및 부상 속도를 조절하고 부자의 평형을 유지하기 위하여 무게가 10kg인 추 4개를 부자 아래에 부착하였다. 그리고 부침 부자의 부상시 속도를 제어하기 위하여 공기 주입 호스에 속도 제어 밸브(SP30P-10-W)를 부착하여 부침 부자에 공급되는 압축 공기의 양을 제어하였다.

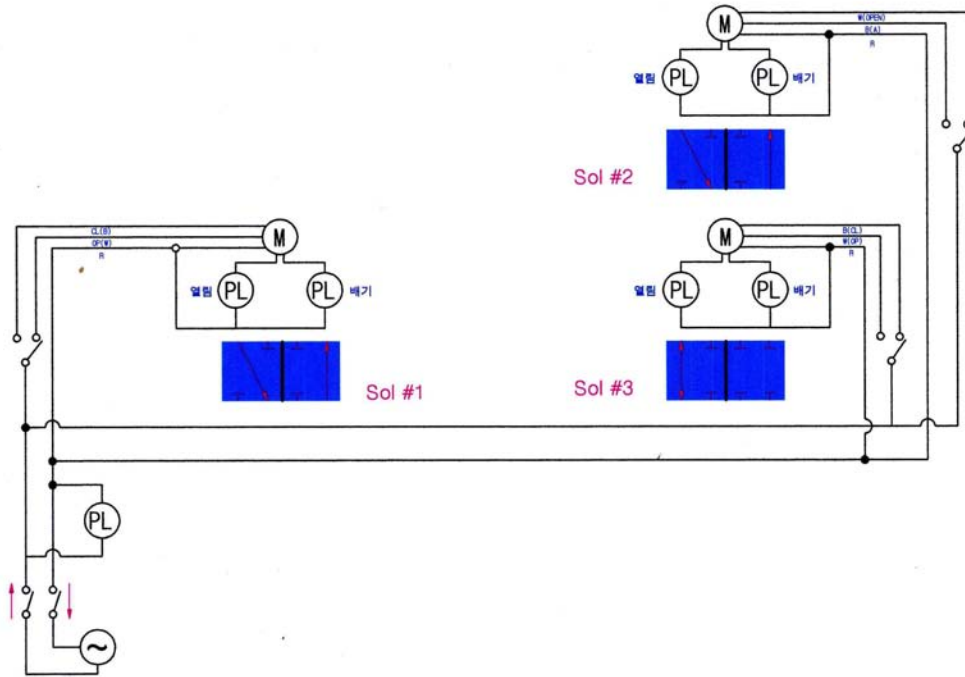
실제 해상에서 부침 부자의 작동 상태를 점검하기 위하여 해상 실험을 실시하였다. 해상 실험은 <그림 3-158>에서와 같이 전남 여수시 신월동 경도 부근 해역(간조시 수심 약 5m)에 위치한 신해양 수산 가두리 양식장에서 실시하였다. 해상 실험을 위해 그물이 없는 목재 가두리 시설의 프레임 안에 부침 부자를 설치하고 흐름 등에 의해 부자가 떠내려가지 않도록 지름이 8mm인 4가닥의 PP 밧줄로 고정하였다. 실험 장치의 구성과 방법은 상기에서 언급한 실내 수조 실험의 경우와 동일하였으며, 침하 수심은 2m로 설정하였다. 해상 실험에서는 부침 부자의 설치 기간에 따른 그것의 부식 상태와 따개비 등 부착 생물에 대한 부침 부자의 성능과 부착 생물의 종류 등을 조사하였다.



<그림 3-154> 피스톤 밸브가 부착된 부침 부자.



<그림 3-155> 부침 부자의 제어반(좌) 및 계통도(우).



<그림 3-156> 부침 부자 제어반의 전기 배선도.



<그림 3-157> 부침 부자의 실내 수조 실험.



<그림 3-158> 부침 부자의 해상 실험.

(2) 부침 부자의 성능 실험 결과

<그림 3-159>는 실내 수조 실험에서 부침 부자에 부착된 피스톤 밸브의 작동 상태를 나타낸 것이다. 이것에서 보면 피스톤 밸브가 열려서 부침 부자 안으로 물이 들어가고 있는 것을 확인할 수 있다. <그림 3-160>은 부침 부자의 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이것에서 보는 바와 같이 본 연구에서 고안한 피스톤 밸브가 부착된 부침 부자를 제어반으로 조작하면 부자가 정상적으로 침하되었다가 다시 원래의 위치로 부상되는 것을 확인할 수 있다.



<그림 3-159> 피스톤 밸브 작동 상태.

<그림 3-161>는 해상에서 부침 부자의 작동 상태를 시험한 결과이다. 해상 실험에서도 실내 수조 시험 결과에서와 같이 부침 부자가 정상적으로 작동하여 설정된 수층까지 침하하였다가 표층으로 부상되는 확인할 수 있다.

<그림 3-162>는 부침 부자를 해상에 설치하여 20일이 경과된 상태이다. 이것에서 보는 바와 같이 부자 표면이 다소 부식되었으며, 따개비 등 부착 생물도 다소 부착된 것을 알 수 있다. <그림 3-163>은 이 부자를 대상으로 피스톤 밸브의 작동 시험을 통한 부침 부자의 침하 및 부상 과정을 나타낸 것이다. 이 시험에서도 앞에서 언급한 실내 수조와 해상 시험 결과에서와 마찬가지로 부침 부자가 정상적으로 작동하였으며, 부자의 부침과 부상도 원활하게 이루어졌다.

<그림 3-164>는 부침 부자를 해상에 설치하여 50일이 경과된 상태이다. 이것에서 보는 바와 같이 부자 표면에 부식이 많이 진행되었으며, 따개비 등 부착 생물의 양의 많이 증가된 것을 알 수 있다. 이들 부착 생물로 인해 피스톤 밸브가 정상적으로 작동되는지를 확인하기 위하여 부침 부자를 목재 프레임 위에 올려놓고 피스톤 밸브의 작동 상태를 확인한 결과, <그림 3-165>에서와 같이 피스톤 밸브 주변에 부착 생물이 많이 부착되었음에도 불구하고 정상적으로 작동하였다. <그림 3-166>은 이 부자에 대해 제어반을 통해 부침과 부상을 제어한 것이다. 이 시험에서도 앞에서 언급한 실내 수조와 해상 시험 결과와 같이 부침 부자가 정상적으로 작동하였으며, 부자의 부침과 부상도 원활하게 이루어졌다.

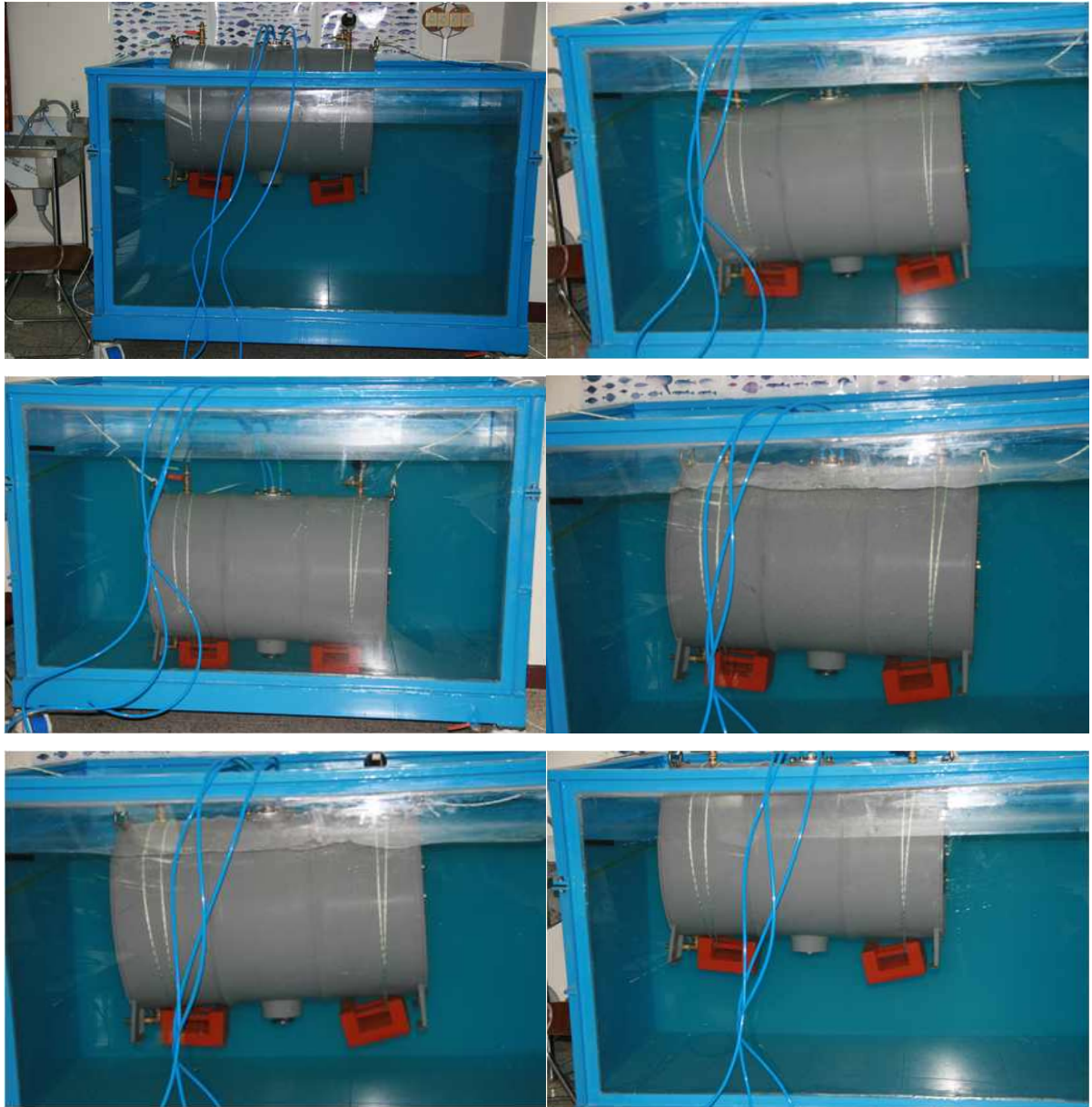
<그림 3-167>은 부침 부자를 해상에 설치하여 5개월이 경과된 상태이다. 이것에서 보는 바와 같이 부자 표면에 부식이 많이 진행되었으며, 따개비 등 부착 생물의 양의 매우 많이 증가된 것을 알 수 있다. 이들 부착 생물로 인해 피스톤 밸브가 정상적으로 작동되는지를 확인하기 위하여 부침 부자를 목재 프레임 위에 올려놓고 피스톤 밸브의 작동 상태를 확인한 결과, <그림 3-168>과 같이 피스톤 밸브 주변에 부착 생물이 많이 부착되었음에도 불구하고 정상적으로 작동하였다. <그림 3-169>는 이 부자에 대해 제어반을 통해 부침과 부상을 제어한 것이다. 이 시험에서도 앞에서 언급한 실내 수조와 해상 시험 결과와 같이 부침 부자가 정상적으로 작동하였으며, 부자의 부침과 부상도 원활하게 이루어졌다.

한편, 부착 생물에 부착된 해중 생물을 채집하여 분석한 결과, <표 3-20>에서와 같이 3종의

따개비류와 해조류로 나타났다. 이들 따개비류는 모두 만각류로 하구별 따개비(*Chirona cristatus*), 삼각 따개비(*Balanus trigonus*) 및 줄 따개비(*Balanus reticulatus*)이었다.

<그림 3-170>은 2010년 8월부터 2010년 12월까지 부침 부자가 수심 2m까지 침하하고 다시 표층까지 부상하는 데 걸리는 시간을 수압계를 통해 측정한 결과이다. 이것에서 보면 부침 부자의 침하시 약 150초 동안에는 표층에서 머물다 피스톤 밸브를 통해 부자 내부로 물이 들어가 그것의 무게가 점차 증가하면 급속도로 가라앉기 시작해서 목표 수심인 2m까지 침하하는 데 1260초가 소요되었다. 반대로 부침 부자를 부상시키기 위해서 공기 압축기를 통해 부침 부자 내부로 공기를 주입하면 부침 부자의 부력과 무게가 평형을 이루는 약 10초 동안은 수심 2m 부근에서 유지하다가 공기량이 많아지면 그것의 부력이 무게보다 커져서 수면으로 급속도로 떠올랐으며, 이 경우 소요 시간은 21초였다. 한편 부침 부자의 설치 기간이 길어짐에 따라 부착 생물의 양도 많아졌다. 이와 같이 부착생물의 영향으로 인해 부침 부자의 침하시 소요시간은 1260초에서 780초로 다소 짧아졌고 부상 시 소요 시간은 21초에서 30초로 다소 길어졌다.

이상에서와 같이 피스톤 밸브가 부착된 부침 부자에 대한 작동 상태를 실험한 결과, 압축 공기와 물의 유입 또는 배출에 의해 피스톤 밸브가 정상적으로 작동하여 부침 부자로서의 기능이 원활하게 이루어졌다. 특히 부자 및 피스톤 밸브 주변에 부착 생물이 다량 부착되었지만 부침 부자가 정상적으로 작동하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 피스톤 밸브 및 제어 시스템이 유용하다는 것을 확인할 수 있었다.



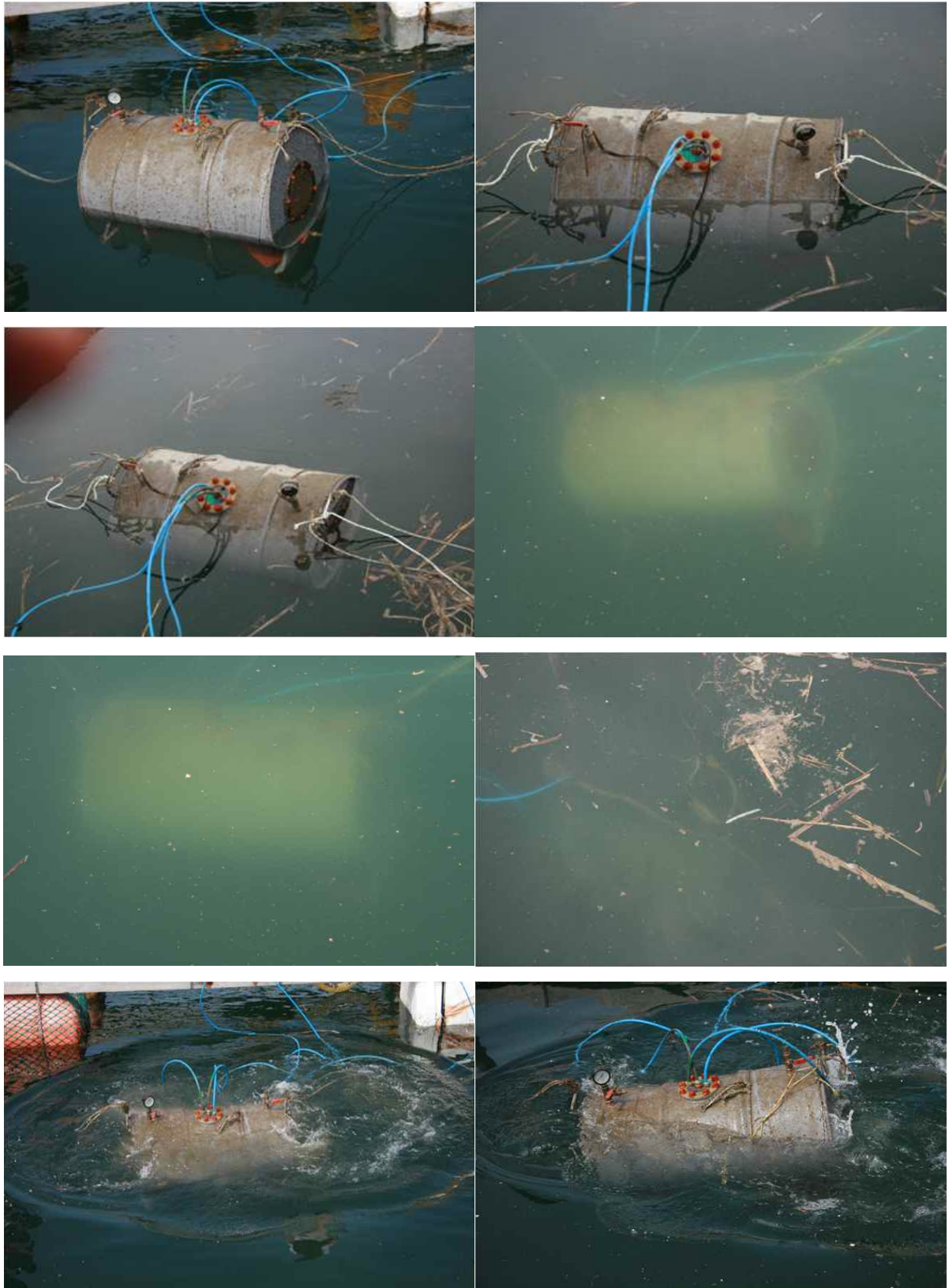
<그림 3-160> 부침 부자의 실내 성능 실험.



<그림 3-161> 해상에서 부침 부자의 침하 및 부상 성능 실험.



<그림 3-162> 해상에 설치한 후 20일이 경과된 부침 부자의 상태.



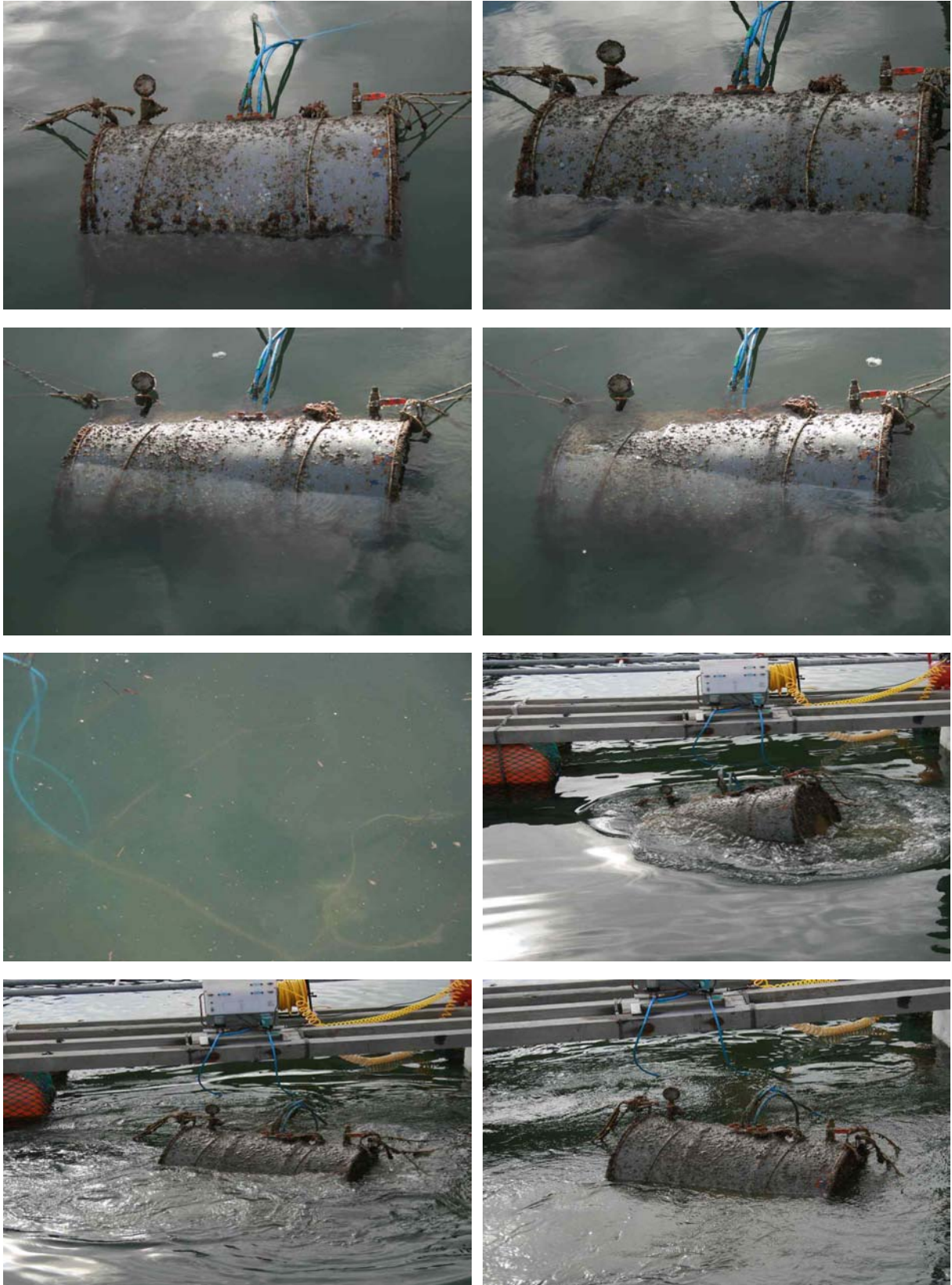
<그림 3-163> 해상에 설치 후 20일이 경과된 부침 부자의 성능 실험.



<그림 3-164> 해상에 설치한 후 50일이 경과된 부침 부자의 상태.



<그림 3-165> 해상에 설치 후 50일이 경과된 부침 부자의 피스톤 밸브 개폐 작동 시험.



<그림 3-166> 해상에 설치 후 50일 경과된 부침 부자의 성능 실험.



<그림 3-167> 해상에 설치 후 5개월이 경과된 부침 부자의 상태.






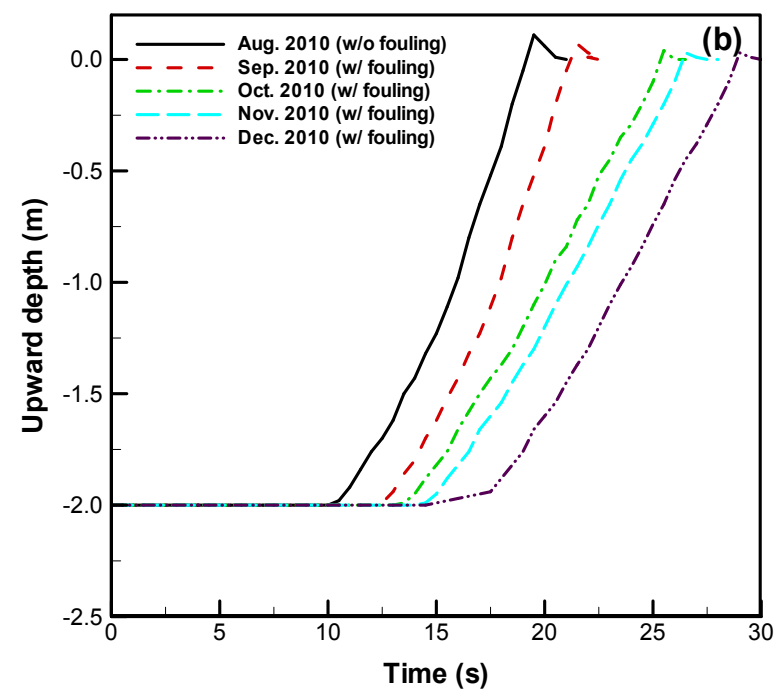
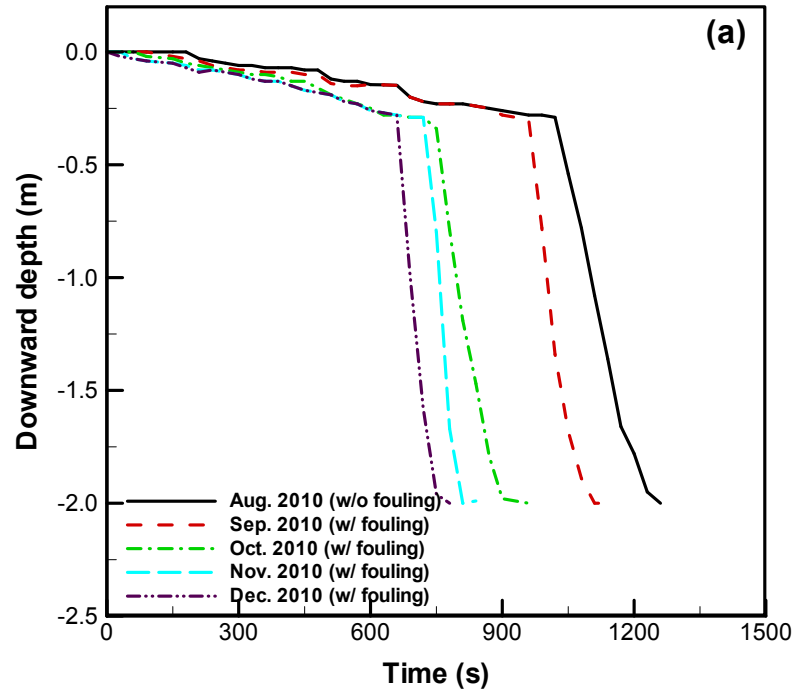
<그림 3-168> 해상에 설치 후 5개월이 경과된 부침 부자의 피스톤 밸브 개폐 작동 시험.



<그림 3-169> 해상에 설치 후 5개월이 경과된 부침 부자의 성능 실험.

<표 3-21> 부침 부자에 부착된 부착 생물의 종류

국명	하구별따개비	학명	<i>Chirona cristatus</i> (Ren and Liu, 1978)
분류학적 위치	갑각강(Crustacea) 완흉목(Thoracica) 옛따개비과(Archaeobalanidae)		
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우리나라 전 연안의 강 하구역에서 흔히 발견는 기수성 따개비류 ▶ 조하대에 주로 분포 ▶ 주로 하구역의 굴 단련장 말뚝이나 가두리 그물 등에서 발견 ▶ 패각직경과 높이는 보통 1cm 전후 ▶ 다른 따개비류에 비해 패각표면이 매끈함 ▶ 기질에 대한 부착력은 비교적 약하여 물리적 힘에 의해 쉽게 탈락 		총출현개체수: 12 평균직경: 9.35mm 평균높이: 5.67mm
국명	삼각따개비	학명	<i>Balanus trigonus</i> (Darwin, 1854)
분류학적 위치	갑각강(Crustacea) 완흉목(Thoracica) 따개비과(Balanidae)		
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우리나라 전 연안에 분포하며 암반 조간대 중부에서부터 수심 5m에 주로 발견됨 ▶ 패각직경 및 높이 1cm 전후 ▶ 전 연안에에서 발견되나 주로 쿠로시오 난류의 영향을 받는 해역에서 주로 발견되며, 부유성 고형 물체의 표면에서도 발견됨 ▶ 패각은 비교적 얇아서 쉽게 부서지며 전체적으로 밝은 선홍색을 띤다. 		총출현개체수: 68 평균직경: 5.44mm 평균높이: 3.57mm
국명	줄따개비	학명	<i>Balanus reticulatus</i> (Utinomi, 1967)
분류학적 위치	갑각강(Crustacea) 완흉목(Thoracica) 따개비과(Balanidae)		
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 우리나라 남해와 서해 연안 해역에 분포 ▶ 수심 5m 전후의 암반 조하대 표면 또는 고형 부유물 및 바닥의 연체 동물류의 빈 패각 표면 등에서 발견 ▶ 패각 직경 1.5cm, 높이 1cm 전후의 중형 따개비류 ▶ 패각은 비교적 단단하고 표면은 매끈하며 색상은 전체적으로 옅은 보라색을 띠고 희미한 격자상의 무늬가 있음 		총출현 개체수: 8 평균직경: 12.14mm 평균높이: 6.94mm



<그림 3-170> 설치 기간에 따른 부침 부자의 침하(a) 및 부상(b) 소요 시간(목표 수심 2m).

나. 1차 시작품의 부침 성능 시험

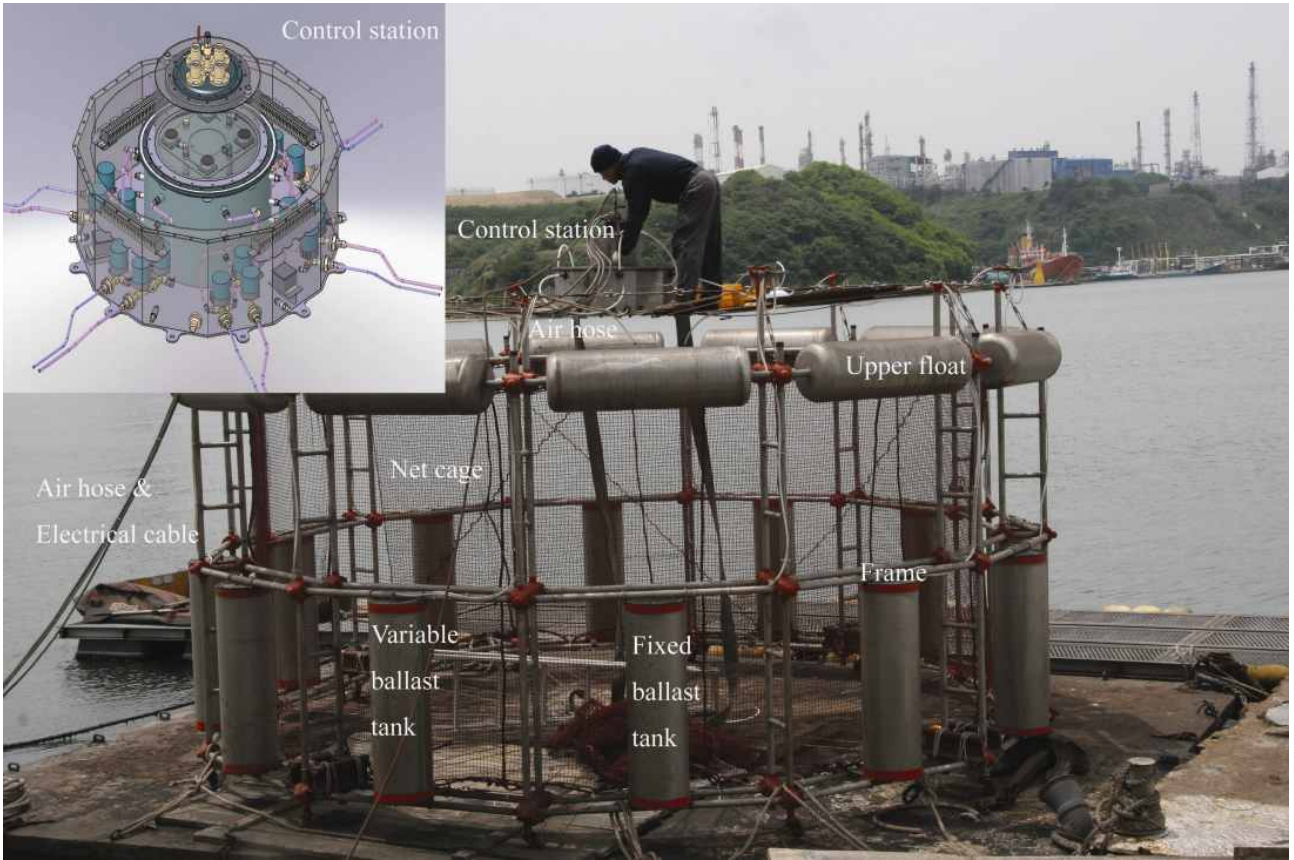
<그림 3-172>에서와 같이 1차 시작품 제작 장소인 성신조선(주)의 해상 바지(수심 7m)에서 성능 시험을 실시하였다. 해상 실험에 사용된 1차 시작품의 구성은 <그림 3-173>과 같고 컨트롤 패널은 <그림 3-174>와 같다.

해상 시험에서는 가두리 시설의 침하와 부상 제어 작동에 대하여 조사하였으며, 이 경우 1차 시작품의 부침 부자 상승, 중립 및 하강 제어 모드는 <그림 3-175>와 같다. 부침 시험 결과 <그림 3-176>과 <그림 3-177>과 같이 부침 제어반의 작동에 의해 가두리 시설의 침하와 부상이 원활하게 이루어졌다. 먼저 시작품을 침하시키기 위하여 부침 제어반의 스위치를 침하(잠수)로 설정하면 컨트롤 스테이션에 있는 모터 밸브가 작동하여 <그림 3-178>과 같이 부침 부자의 피스톤 밸브가 열리고 이곳을 통해 부침 부자 내부로 물이 들어간다. 그리고 부침 부자 내부에 있던 공기가 배기되어 가두리의 부력이 침강력보다 작게 되어 <그림 3-179>와 같이 가두리가 수중으로 침하하였다. 반대로 가두리 시설을 원래의 위치로 부상시키기 위하여 부침 제어반의 스위치를 부상으로 설정하면 컨트롤 스테이션에 있는 모터 밸브가 작동하여 부침 부자의 피스톤이 열리고 부침 부자 내부에 있던 물이 빠져나가게 된다. 또한 부침 부자 내부로 공기가 유입되어 가두리의 부력이 침강력보다 크게 되어 표층으로 부상하였다.

<그림 3-180>은 목표 수심을 6m로 설정하고 컨트롤 패널을 작동하여 시작품을 목표 수심까지 침하시킨 후 다시 원래의 위치까지 부상시켰을 때 걸리는 시간을 수압계를 통해 측정한 결과이다. 이것에서 보면 가두리 시설이 6m까지 침하하는 데 약 100초가 소요되었으며, 표층까지 부상하는 데에는 약 94초가 소요되었다. 한편, 가두리 시설의 침하 및 부상 시 프레임의 최대 경사각은 <그림 3-180>과 같이 각각 5°와 3.8°로 매우 작았다.



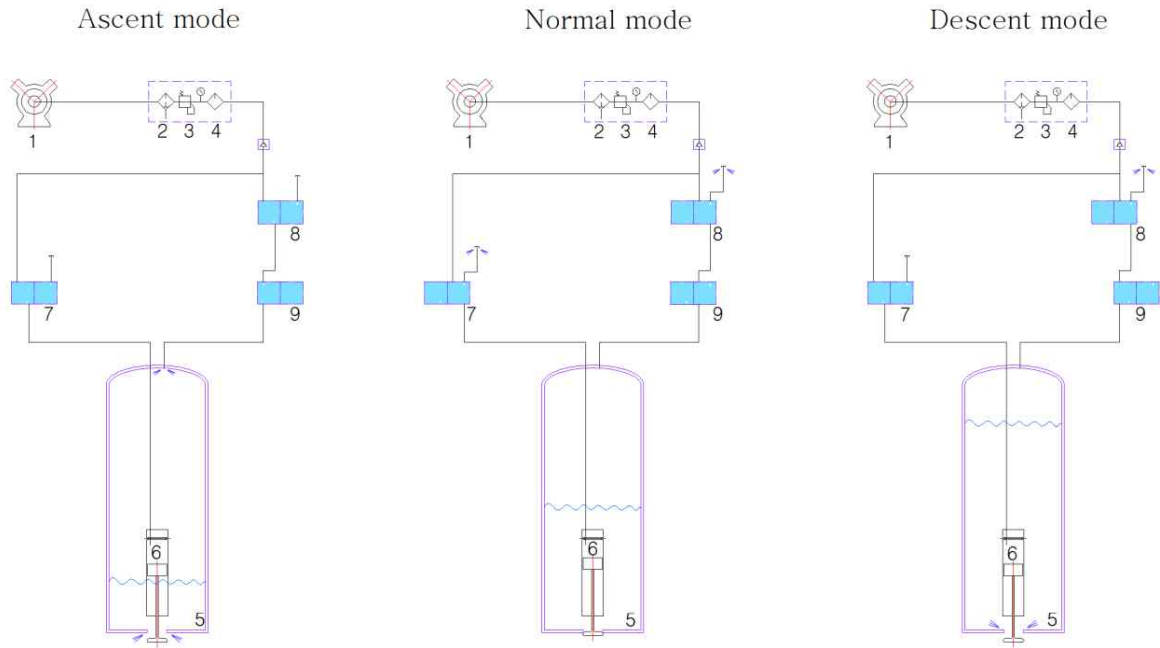
<그림 3-172> 1차 시작품의 현장 실험을 해상 운반 및 설치 모습.



<그림 3-173> 자동 부침 가두리 시설의 1차 시작품의 구성.



<그림 3-174> 1차 시작품의 침하와 부상을 제어하기 위한 컨트롤 패널 작동 사진.



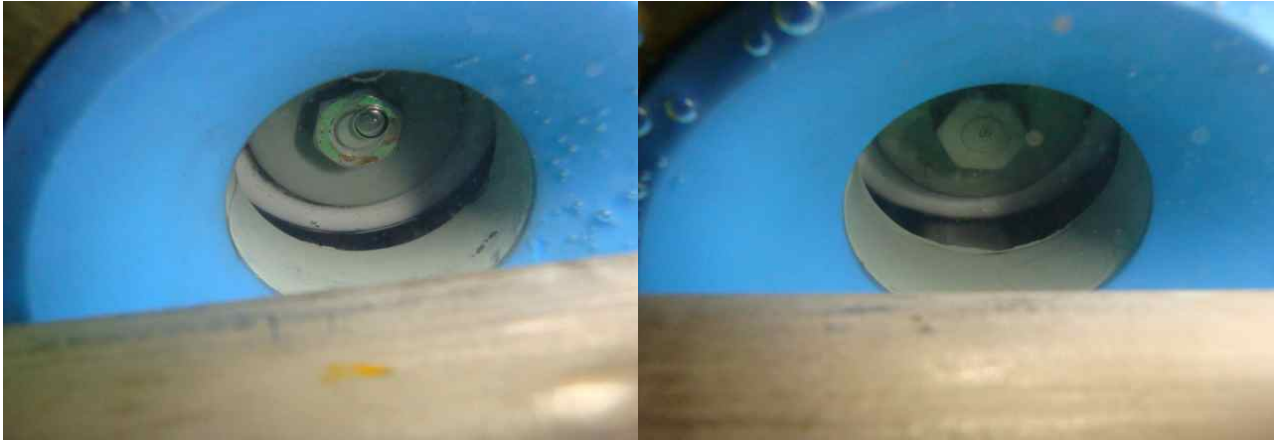
<그림 3-175> 1차 시작품의 부침 부자 상승, 중립 및 하강 제어 모드: 1. 공기 압축기; 2. 공기 필터; 3. 레귤레이터; 4. 오일러; 5. 부침 부자; 6. 피스톤 밸브; 7. 피스톤 밸브 제어용 모터 밸브 (3-way); 8. 모터 밸브 제어용 파이로트 밸브 (3-way); 9. 공기압력 조절용 모터 밸브 (2-way).



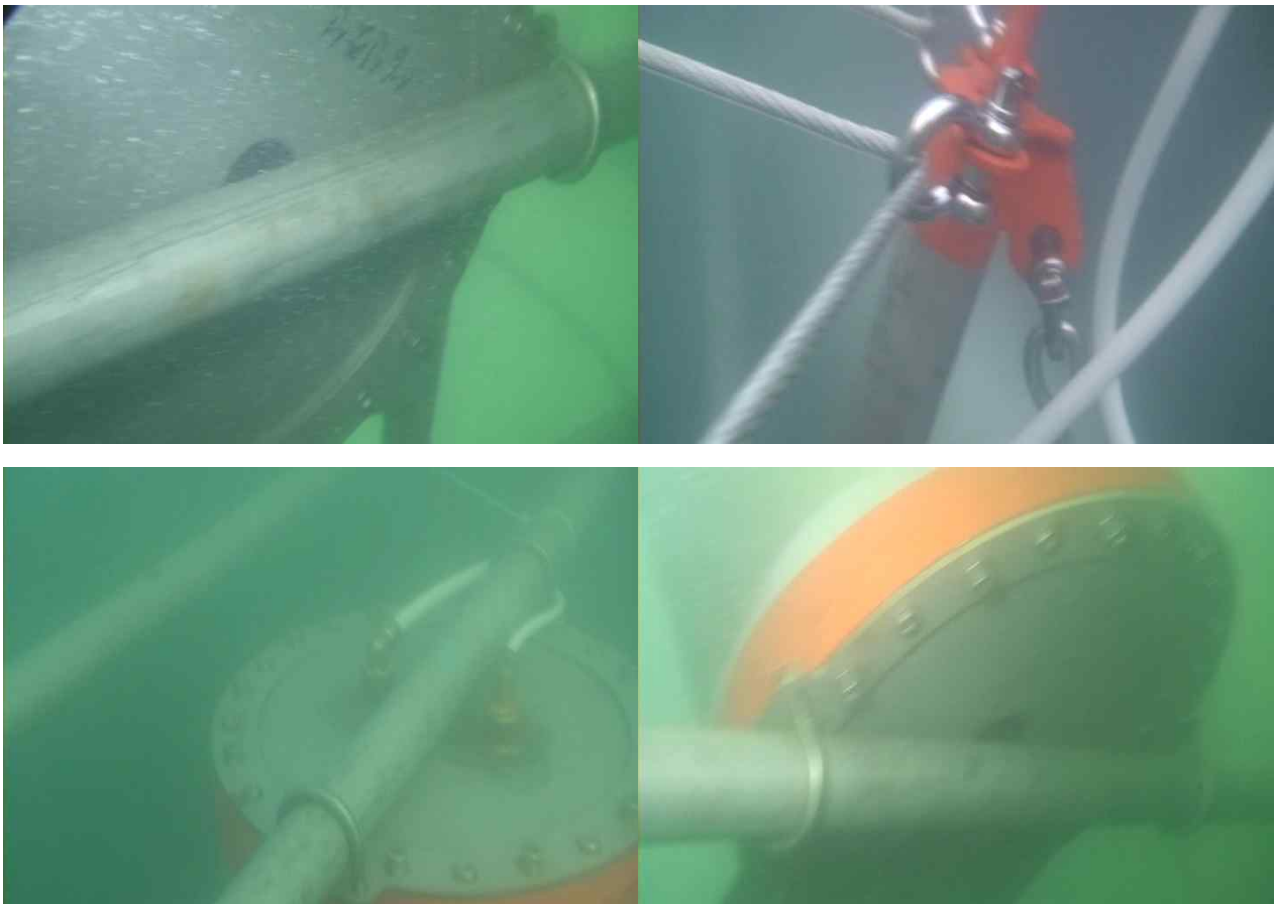
<그림 3-176> 1차 시작품의 침하 과정.



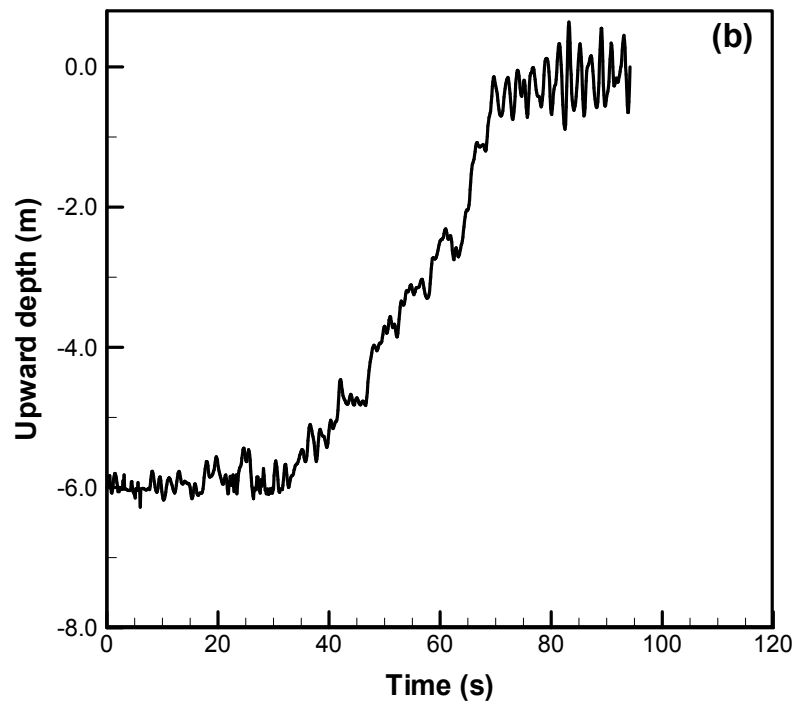
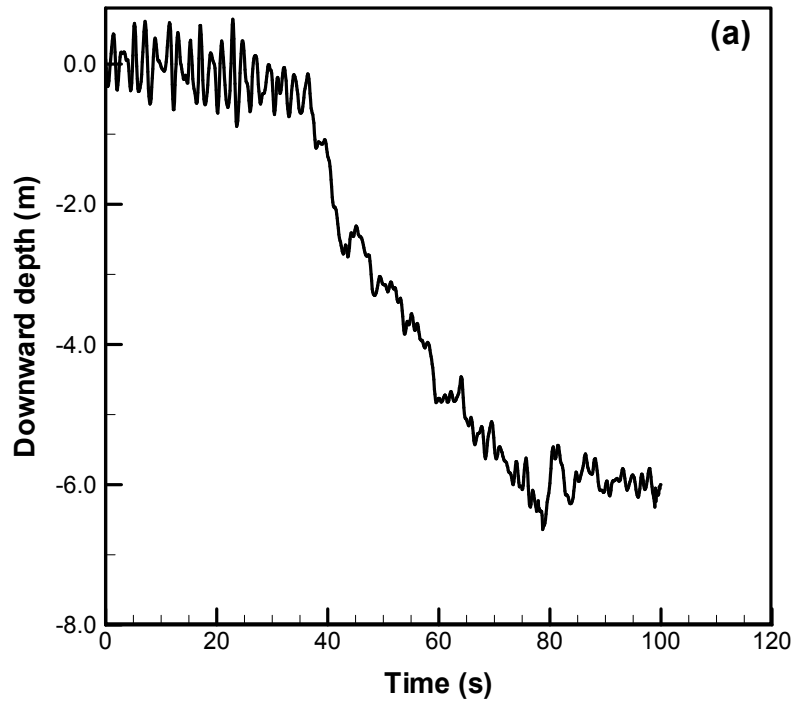
<그림 3-177> 1차 시작품의 부상 과정.



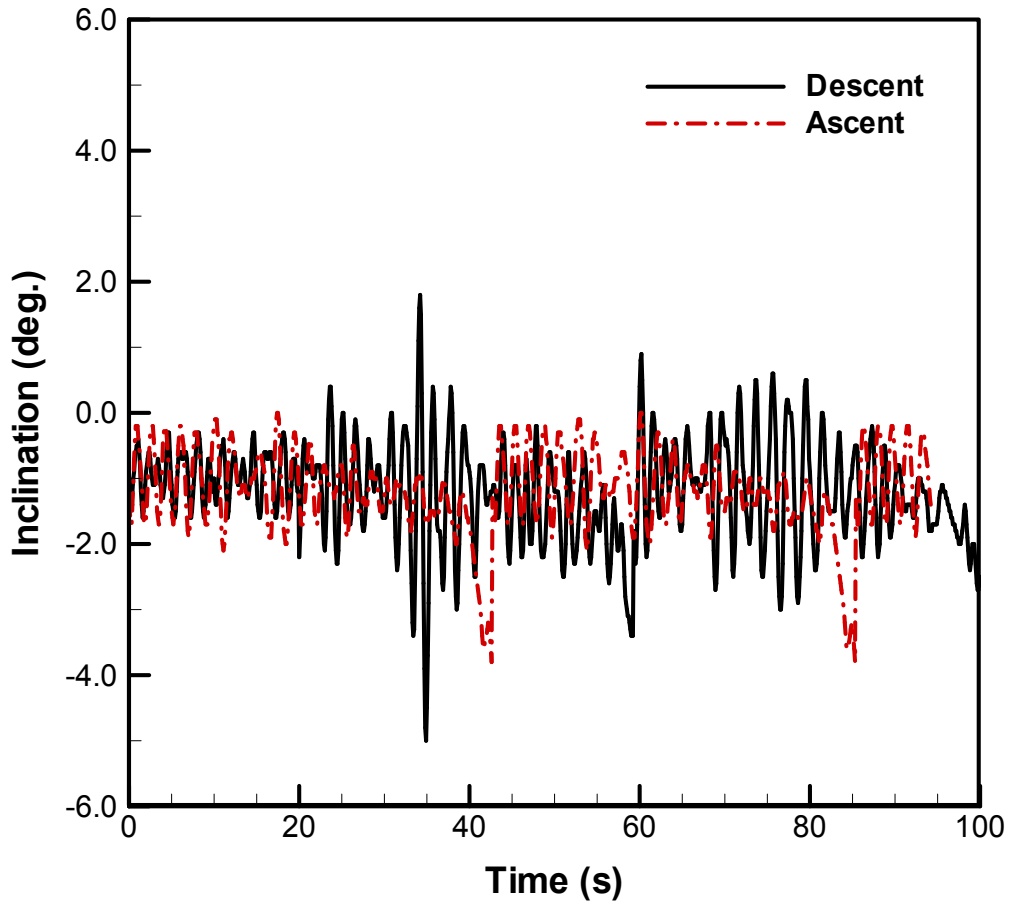
<그림 3-178> 부침 부자의 열림 작동에 대한 수중 촬영 사진.



<그림 3-179> 1차 시작품의 수중 촬영 사진.



<그림 3-180> 1차 시작품의 침하(a) 및 부상(b) 소요 시간(목표 수심: 6m) (Kim et al., 2012).



<그림 3-181> 1차 시작품의 침하 및 부상 시 프레임의 경사(Kim et al., 2012).

다. 소규모 산업화(2차) 시작품의 부침 성능 시험

리모컨 및 풍속계에 의한 소규모 산업화 시작품의 자동 침하 및 부상 성능 시험을 1차 시작품의 성능 시험 장소인 성신조선(주)의 해상 바지(수심 7m)에서 실시하였다. <그림 3-182>는 소규모 시작품의 구성 및 해상 설치 작업 모습을 나타낸 것이고 <그림 3-183>은 해상에 설치된 자동 부침 가두리 소규모 산업화 시작품의 모습을 나타낸 것이다.

먼저 리모컨에 의한 2차 시작품의 자동 침하 및 부상 실험을 수행하였다. 이 경우 리모컨에 있는 침하 버튼을 누르기 전에 정지 버튼을 눌러 자동 침하와 관련되는 모든 시스템에 대한 점검을 실시하였다. 그리고 침하 버튼의 신호를 입력한 결과, 표시 부자의 안테나에 그 신호가 수신된 후 메인 챔버 내의 인버터에 220V 전원이 입력되고 해수 펌프로 전원이 전달되어 펌프가 정상적으로 작동하였다. 그 후 가변 부자에 해수가 유입되기 시작하였고 가변 부자에 있던 공기는 수압에 밀려 고압 탱크로 이동하면서 가두리의 침강력이 부력보다 커짐에 따라 가두리가 점차 수중으로 침하되기 시작하였다. 이 경우 표시 부자의 경보등에서는 경보음이 울렸고 램프가 발광하였다. 가두리가 계속 침하하여 약 5분 후 목표 수층에 도달하였을 때 리모컨의 정지 버튼을 눌러 해수 펌프의 작동을 정지시키고 모터 밸브와 공기 탱크 입구변이 닫히도록 한 결과 가두리가 절전 모드 상태로 목표 수층에서 유지되었다. <그림 3-184>는 리모컨에 의한 소규모 자동 부침 가두리의 자동 침하 모습을 나타낸 것이다.

목표 수층에서 일정 시간이 경과한 후 리모컨의 정지 버튼을 눌러 부상에 관련되는 각종 시스템에 대한 자동 점검을 실시하였다. 그 후 부상 버튼의 신호를 입력한 결과, 펌프 출구변의 모터 밸브와 12개의 가변 부자용 모터 밸브가 작동하면서 고압 탱크에 보관되어 있던 압축 공기가 가변 부자로 이동하였으며, 공기 압축기가 작동되면서 가변 부자에 압축 공기를 공급하였다. 이로 인해 가변 부자 안에 있던 해수가 출구를 통해 빠져 나가면서 가두리의 부력이 침강력보다 크게 되어 가두리가 수면으로 부상하였다. 이 경우에도 표시 부자의 경보등에서는 경보음이 울렸고 램프가 발광하였다. 약 4분 10초 후 가두리 시설이 수면에 완전히 부상되었을 때 정지 버튼을 눌러 공기 압축기와 작동을 정지시키고 고압 탱크의 입구변과 해수 펌프의 출구변이 닫히도록 하였다. 그 결과 가두리는 수면 상에서 일정한 부력을 유지한 채 절전 모드 상태로 유지되었다. <그림 3-185>는 리모컨에 의한 소규모 자동 부침 가두리의 자동 부상 모습을 나타낸 것이다.

다음에는 풍속계의 입력 신호에 의한 자동 부침 가두리 시설의 자동 침하와 부상 성능 시험을 수행하였다. 상기에서도 언급한 바와 같이 본 연구에서 개발한 가두리는 폭풍 주의보 발효 수준인 10분간 평균 풍속이 14m/s 이상이 되면 수중으로 자동 침하되도록 설계하였다. 즉, 해상에서 10분간 평균 풍속이 14m/s 이상이면 가두리 시설이 수중으로 침하하고 10분간 평균 풍속이 14m/s 이하가 되면 원래의 위치로 부상된다. 그러나 이 조건에서 가두리의 자동 부침 실험을 수행하기 위해서는 폭풍 주의보 발효 시기에 해야 하는데, 이때는 해상 여건 상 실험이 어렵기 때문에 본 실험에서는 임계 풍속을 3m/s로 조정하여 가두리 시설의 자동 침하와 부상 실험을 수행하였다. 실험 결과, 10분간 평균 풍속이 3m/s 이상이 되었을 때 가두리

시설이 수중으로 가라앉았으며, 10분간 평균 풍속이 2m/s가 되었을 때 원래의 위치로 부상하였다. 이상과 같이 리모컨 및 풍속계에 의한 가두리 시설의 자동 침하 및 부상 작동이 원활하게 이루어졌으며, 목표 수심인 6m까지 침하하는 데 약 5분이 소요되었으며, 표층까지 부상하는 데에는 약 4분 10초가 소요되었다.

본 연구에서는 지름이 약 5.9m인 소규모 가두리 시설을 제작하여 실험을 수행하였으므로 실제 크기의 가두리 시설과는 침하 및 부상 시 소요 시간과 경사각 등 부침 성능에 다소 차이가 발생할 수 있다. 그러나 지름이 30m 이상인 실제 크기의 가두리 시설을 제작하는 경우에는 <그림 3-51>과 같이 각종 챔버와 상부 부자의 크기도 상대적으로 커지기 때문에 상부 스테이션과 하부 스테이션에 설치된 모터 밸브와 PCB 및 해수 펌프를 각종 챔버 내에 분산 배치가 가능하다. 따라서 구조적으로 취약하고 그물 설치와 관리적인 측면에서 불편한 구조인 상부 및 하부 스테이션을 설치하지 않아도 된다. 또한 공기 호스 및 해수 배관과 각종 전선 등을 프레임 내부에 설치할 수 있으므로 소규모 시제품보다 취급 및 운용적인 측면에서 보다 편리한 구조가 될 수 있다. 그리고 소규모 시제품 제작 시보다는 재료의 활용성이 넓어지기 때문에 경제적이면서 구조적으로도 더 안정적인 가두리 시설의 제작이 가능하므로 자동 침하 및 부상 에 필요한 임계 풍속을 폭풍 경보 발효 조건인 21m/s로 설정하는 것이 바람직하다. 그러나 가두리 시설의 크기가 커지면 파랑 및 흐름에 의한 유체력이 증대되고 각 부재가 동적 피로 하중에 취약할 수 있으므로 설계 시 대상 해역의 외력 조건을 고려하여 구조 해석을 수행해야 한다. 한편, 본 연구에서는 가두리의 자동 침하 및 부상 조건을 결정하는 센서로 풍속계를 사용하였는데, 대상 해역의 풍속이 빨라짐에 따라 파고가 커지면 표시 부자에 설치된 풍속계가 파손될 수도 있다. 따라서 금후 자동 부침 가두리 시설을 제작하는 경우에는 외력 감지 센서로 풍속계보다는 가속도계를 사용하는 것이 더 효율적이라고 판단된다.

<표 3-22> 리모컨에 의한 자동 부침 가두리 침하 및 부상 시 시스템 작동 순서

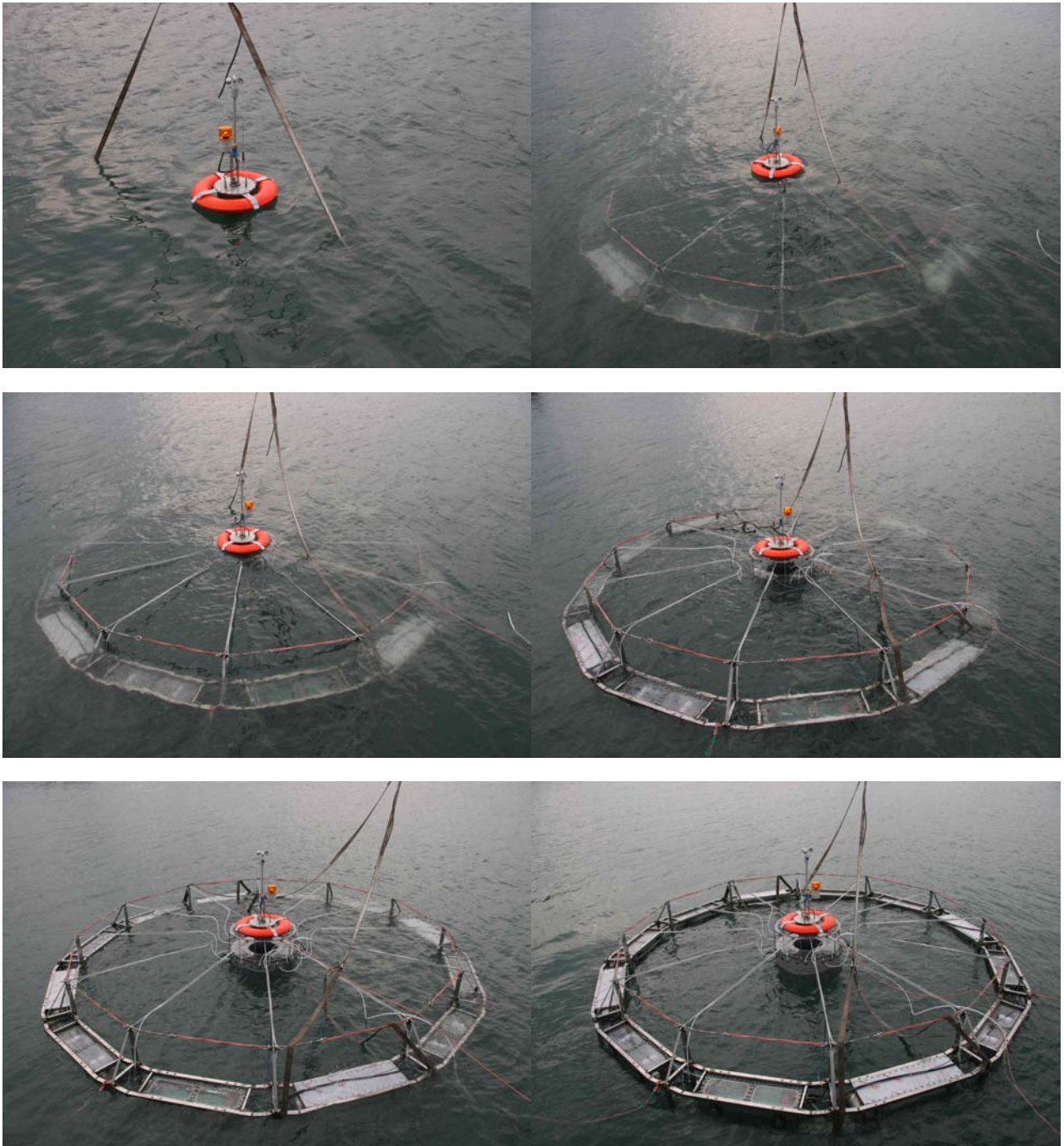
모드	침하	정지	부상	정지
작동 순서	<ol style="list-style-type: none"> 1. 리모컨 침하 신호 입력 2. Black out ON 3. 인버터 전원 입력 4. 펌프 출구변(MVS-01) 열림 5. 밸브 챔버내 모터 밸브(MVA-01~12) 모두 열림 6. 공기 압축기 출구 모터 밸브(MVC-03) 닫힘 확인 7. HPC 공기 탱크 입구변(MVC-01) 열림 8. 표시 부자 침하 준비(경보등) 9. 해수 펌프 작동 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정지 신호 입력 2. 해수 펌프 정지 3. 밸브 챔버내 모터 밸브(MVA-01~12) 모두 닫힘 4. 펌프 출구변(MVS-01) 닫힘 5. HPC 공기 탱크 입구변(MVC-01) 닫힘 6. 인버터 OFF 7. Black out (절전 모드) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 리모컨 부상 신호 입력 2. Black out ON 3. HPC 공기 탱크 입구변(MVC-01) 닫힘 확인 4. 펌프 출구변(MVS-01) 열림 5. 밸브 챔버내 모터 밸브(MVA-01~12) 모두 열림 6. 공기 압축기 출구 변(MVC-03) 열림 7. 표시 부자 부상 준비(경보등) 8. 공기 압축기 작동 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정지 신호 입력 2. 공기 압축기 정지 3. 밸브 챔버내 모터 밸브(MVA-01~12) 모두 닫힘 4. 해수 펌프 출구변(MVS-01) 닫힘 5. HPC 공기 탱크 입구변(MVC-01) 닫힘 6. Black out (절전 모드)



<그림 3-182> 2차 시작품의 현장 실험을 해상 운반 및 설치.



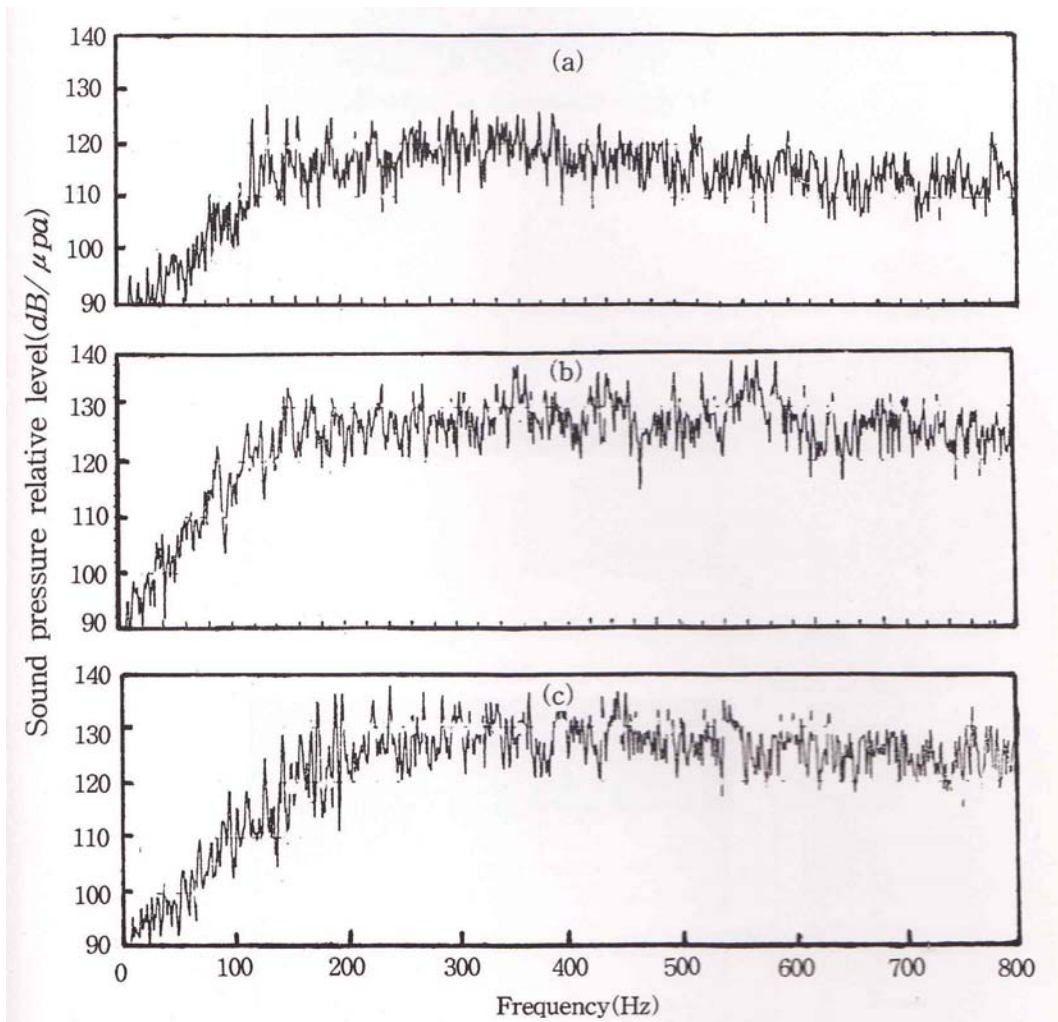
<그림 3-183> 2차 시작품의 자동 침하 과정.



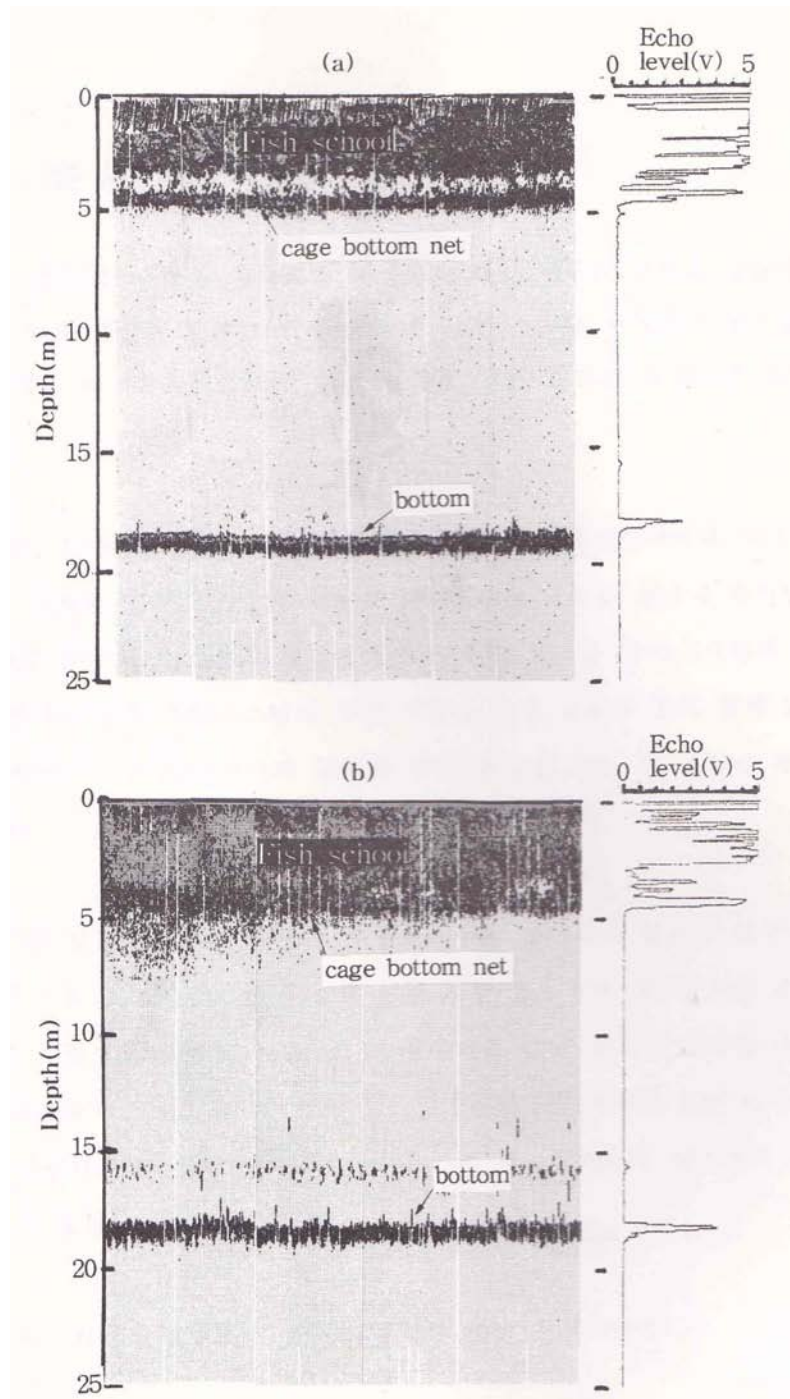
<그림 3-184> 2차 시작품의 부상 과정.

라. 부침으로 인한 소음과 어류의 영향

일반적으로 가두리가 부침 시 발생한 소음 중심부에서의 주파수 스펙트럼은 <그림 3-185>와 같다. 이 경우 부침 시 상대 음압은 125~134dB/ μ Pa로 평상시 상대 음압(120~130dB/ μ Pa)과 큰 차이가 없었으며, 중심 주파수는 600Hz이었다(Kim et al., 1999). 이와 같은 부침 소음을 가두리 내에 있는 방어 어군(체장 15cm, 19,900마리)에 방성한 후 어군의 군집 행동을 어군 탐지기로 측정한 결과는 <그림 3-186>과 같다. 이것에서 보면 부침 소음을 방성한 경우 어군의 군집 수심은 1.6~2.2m이었고, 최다 군집 층은 1.7~2.0m으로 평상시 상태와 큰 차이가 없었다. 그러나 본 연구에서 개발한 자동 부침 가두리 시설의 경우 침하 시에는 가변 부자에 들어있던 압축 공기가 대기로 방출되지 않고 고압 탱크에 보관되며 부상 시에는 고압 탱크에 보관되어 있던 압축 공기를 다시 가변 부자에 주입하는 압축 공기 순환 구조로 제작되었기 때문에 부침 시 대기로 방출되는 압축 공기로 인한 소음이 거의 발생하지 않는다. 따라서 자동 부침 가두리의 침하와 부상 시 소음으로 인한 어류의 영향은 고려할 필요가 없다고 판단된다.



<그림 3-185> 가두리 시설의 부침 시 발생한 소음(Kim et., 1999).
 (a) 배경 소음, (b) 부상 시 소음, (c) 침하 시 소음

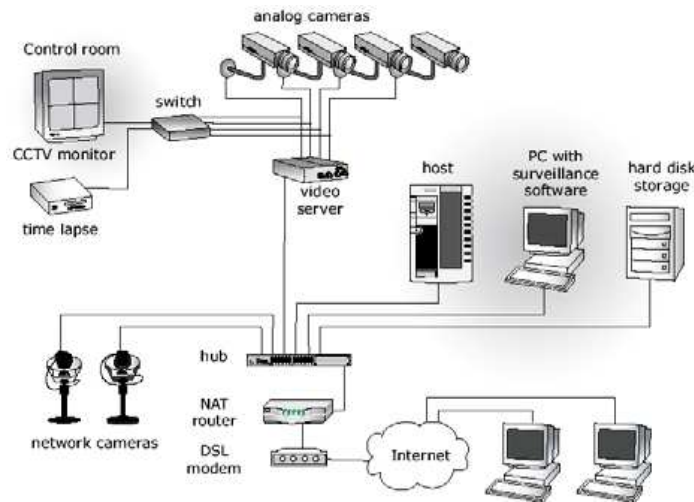


<그림 3-186> 부침 소음의 방성 유무에 따른 가두리 내 어군의 군집 수층(Kim et al., 1998).
 (a) 정상시, (b) 부침 소음 방성 시

제 9 절 데이터 처리 및 원거리 제어 시스템 적용성 검토

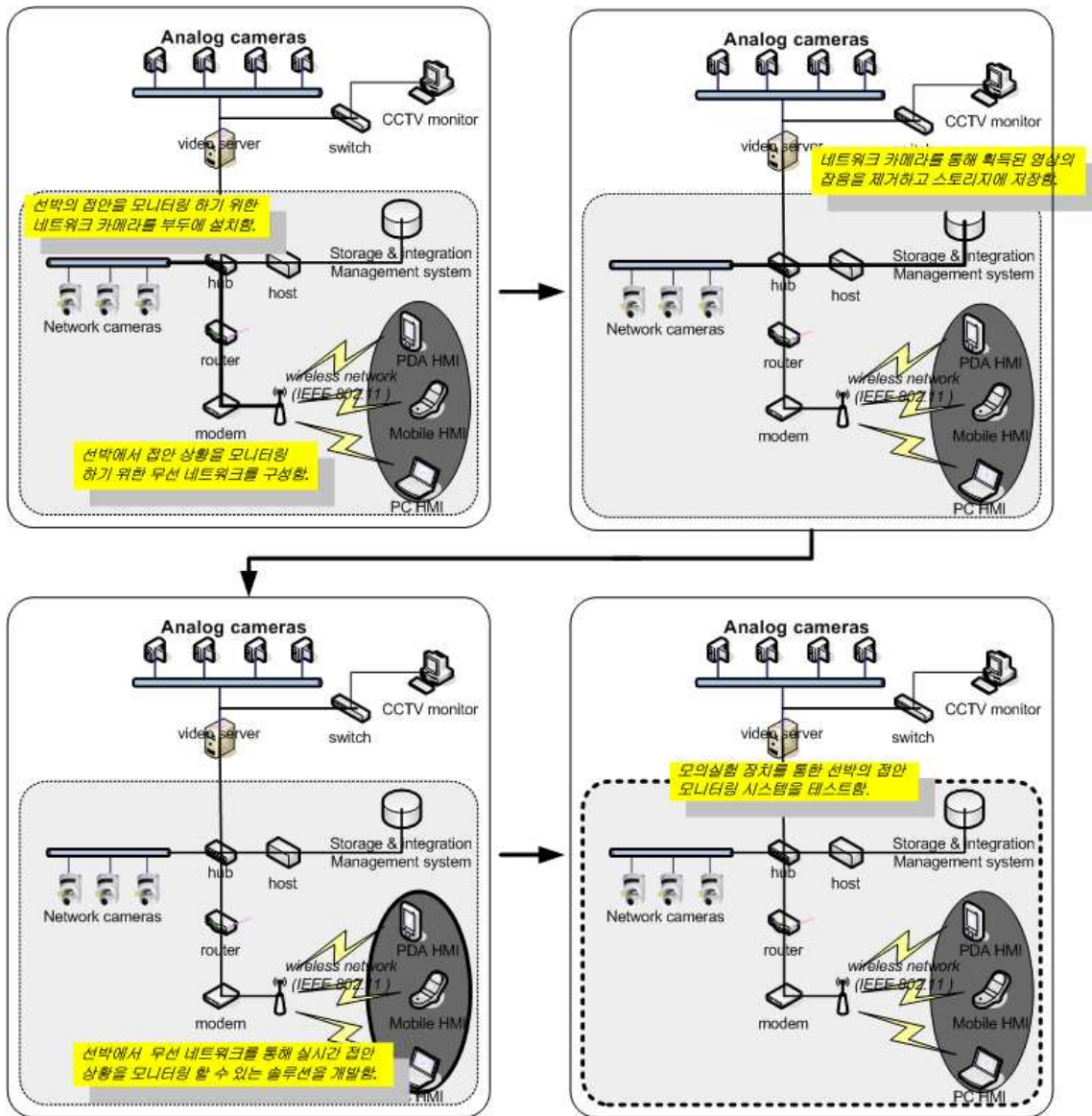
1. 실시간 모니터링 시스템 적용성 검토

실시간 모니터링 통합 관리 시스템에서 고품질의 영상을 획득하기 위해서 고감도 CCTV 및 네트워크 카메라를 IP 무선 네트워크에 직접 연결하여 거리와 장소의 제한 없이 고품질, 고화질의 이미지를 실시간으로 전송한다. 비디오 동영상, 실시간 영상, 녹화 영상은 어디에서라도 액세스가 가능하도록 하며, 인터넷과 인트라넷 상에서의 액세스 향상은 이미지를 보다 빠르고 즉각적인 액세스를 제공한다. IP 기반 실시간 모니터링 시스템이 독립적으로 운영되는 동안 기존에 운영하고 있는 각종 아날로그 시스템과 연동이 될 수 있도록 설계하고, 지능형 카메라를 이용함으로써 PTZ, 모션 디텍션, 이벤트 감지, 시간일자, 해상도, 프레임 속도 등 사용자 원하는 형태로 네트워크상에서 제어 변경 가능하도록 개발한다. 최고의 고감도 CCD 카메라를 선택함으로써 자동 화이트 밸런스 조절은 물론 오토 DC 아이리스 등 카메라 CCD의 특성을 100% 활용하여 어떠한 환경에서도 최상의 이미지 품질을 제공하게 함으로써 실시간 모니터링 통합 관리 시스템을 운영한다.



<그림 3-187> IP 기반 실시간 모니터링 및 감시 시스템 구조.

무선 IP기반 무선 네트워크 시스템을 이용하여 IP기반으로 제어하고 있는 운영 어플리케이션 통합 관리 시스템을 개발함으로써(개발하고자 하는 대상)에 대한 모든 정보를 각종 클라이언트 HMI(PC, PDA, Mobile)와 연동하여 실시간 제어 및 전송하는 실시간 모니터링 시스템을 구축함으로써(개발하고자 하는 대상)를 효과적으로 제어할 수 있다.



<그림 3-188> 실시간 영상획득 및 전송을 위한 무선 IP기반 네트워크 망 설계 및 모니터링 통합 관리 개발 시스템 구조.

실시간 모니터링 통합 관리 시스템에서 고품질의 영상을 획득하기 위해서 IEEE 802.11 무선 네트워크의 프로토콜을 이용한 고감도 CCTV 및 네트워크 카메라의 실시간 영상 전송 시스템을 구축함으로써 거리와 장소의 제한 없이 고품질, 고화질의 이미지를 실시간으로 획득 및 전송할 수 있다. 무선 IP 기반 실시간 모니터링 시스템이 독립적으로 운영되는 동안 기존에 운영하고 있는 각종 아날로그 시스템과 연동이 될 수 있도록 설계하고, 지능형 카메라를 이용함으로써 PTZ, 모션 디텍션, 이벤트 감지, 날짜 및 시간, 해상도, 프레임 속도 등 사용자가 원하는 형태로 네트워크상에서 제어 변경 가능하도록 모듈을 개발한다. 또한 작업 중에 발생하는 파랑, 조류, 바람 등에 의해(해상에서의 대상)의 움직임을 감지하는 실시간 모니터링 시스템 개발과(해상에서 개발하고자 하는 대상) 필요한 파고, 풍속, 유속, 수온 등에 대한 데이터를 제공하는 기상 환경 감지 시스템(Marine Environment monitoring System)을 고려한다.

① 1단계 연구 내용 및 방법: IEEE 802.11 무선 네트워크 프로토콜을 기반으로 실시간 모니터링 시스템의 요구사항 수집 및 분석 과정을 통해 개발을 위한 설계와 시스템의 전체적인 구조를 설계한다.

② 2단계 연구 내용 및 방법: 모의실험 장치의 구조물에 상황을 볼 수 있도록 무선 네트워크 망을 통한 고감도 카메라 및 네트워크 카메라를 설치한다. 카메라에 포착된 영상 데이터가 무선 네트워크를 통해 실시간적으로 정확히 전송될 수 있도록 API 영상 응용 프로그램을 개발하고, 최악의 해양환경 조건하에서도 필요한 최적의 영상 데이터를 얻기 위한 영상획득 알고리즘을 개발한다.

③ 3단계 연구 내용 및 방법: 최악의 외부 환경 조건에서도 영상 데이터의 품질 평가 및 검증에 위한 영상 향상 작업을 수행한다. 영상 향상 작업은 영상의 분석 작업에서 수반되는 요구 사항들을 충족시킬 수 있도록 혼합과정과 영상 잡음을 제거하여 에러율을 최소화함으로써 최적의 상태를 장치 제어 및 상태 표시를 통해 실시간 모니터링 한다.

④ 4단계 연구 내용 및 방법: 해상에서 필요한 풍속, 풍향, 조수의 파고, 풍속, 수온 등에 대한 데이터를 제공하는 기상 환경 감지 시스템(Marine Environment monitoring System)을 개발한다.

⑤ 5단계 연구 내용 및 방법: 실시간 모니터링 통합관리 시스템의 요구사항에 따른 개발을 Visual Studio.Net환경에서 VC++, C#(ASP.net), Visual Basic, MS-Sql Server, Embedded Scripting, Shell Script, Silverlight을 이용하여 개발을 수행한다. 모니터링 시스템은 PC 기반 HMI, 모바일 기반 HMI 및 PDA 기반 HMI 등 각각의 모듈 단위의 시스템 개발과 함께 각각의 모듈 단위의 테스트를 진행하여 테스트 단계에서 발생할 수 있는 시스템의 오류를 최소화 시킨다.

⑥ 6단계 연구 내용 및 방법: 모의실험 장치를 통한 통합 모니터링 시스템의 테스트를 진행한다. 테스트는 모니터링 시스템의 요구 사항 충족과 운영 및 실시간 모니터링 성능을 비롯한 무선 장치, 센서, 각종 클라이언트 통합 관리, 시스템 사용자 관리, 통합 관리 운용 시스템, 비상경보 통보, 모바일 단말기를 이용한 상태 확인 등 여러 항목으로 나누어 진행한다.

제 10 절 자동 부침 가두리 시설의 경제성 분석

1. 경제성 분석의 기본 방향

가. 연구개발(R&D) 과제의 특이성

(1) 본 연구는 수산 실용화 기술 개발 사업(R&D) 과제인 「자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설」의 경제성을 분석하는 것으로 특정 지역에 한정된 도로와 항만 등 기존의 사회간접자본(SOC)에 대한 예비타당성 조사와는 대상 수요의 적용 등에서 다소 차이가 있다.

(2) 예비 타당성 조사의 경우

- 시설의 건설을 필요로 하는 특정 지역의 적정 인프라 수요를 추정하고 이에 대한 투입 예산과 편익의 산정을 통해 건설의 경제적 타당성을 검토하고자 한다.

(3) 연구개발(R&D) 과제의 경우

- 개발된 기술이 양식업의 전반에서 사용되므로 특정 지역의 수요에 제한되지 않는다.

- 기술이 도입될 경우(with case)와 도입되지 않을 경우(without case)에 대해 각각의 경제적 타당성을 분석하고 비교하여 경제적 우위에 있는 기술을 선정한다.

(4) 따라서 본 연구에서는 연구 개발(R&D)을 통해 나타난 시설의 공칭 적정 수요와 투입 비용에 대해 편익과 수익의 산출을 통한 경제성 분석과 민감도 분석을 수행하고자 한다.

나. 수요의 적용

(1) 연구 개발(R&D) 과제의 특성상 본 분석 대상인 가두리 양식장의 경우 정확한 수요 파악이 어렵고 지역별로 양식 어류의 시장 가격 변동이 상이하다.

(2) 특히 본 자동 부침 가두리 양식장에서 생산하는 어류의 공급량은 국내 전체 시장에서 차지하는 비율이 매우 낮기 때문에 시장 수급에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

(3) 따라서 본 연구에서는 분석 대상인 자동 부침 가두리 양식장의 잠재적 생산 능력에 대해 시장에서 충분한 수요가 존재한다는 가정 하에 외해 가두리 양식장 운영에 따른 경제성 분석을 수행하는 것으로 기본 방향을 설정하고자 한다.

다. 분석의 범위 및 자료

(1) 분석의 범위

(가) 공간적 범위

- 자동 부침 가두리 양식 시설이 설치 가능한 곳은 동해안과 남해안(제주 해역 포함)에 해당한다.
- 본 경제성 분석에서는 외해 가두리 양식장으로 거문도 일대를 공간적 범위로 설정한다.

(나) 시간적 범위

- 외해 가두리 양식장의 경제적 타당성 추정을 위한 시간적 범위는 외해 가두리 양식장의 내구연한인 20년을 적용하여 2013년부터 2032년까지로 가정한다.
- 양식장 건설에 1년 소요되며, 개장 후 20년간의 시설 사용 기간을 가정한다.
 - 한국개발연구원(KDI)의 「예비타당성 기본지침(2004)」은 SOC의 경우 30년 분석을 기준으로 하고 있으나, 가두리 양식장과 같이 내구연한이 짧은 품목의 경우 내구연한을 적용하는 것이 타당하다.

(다) 내용적 범위

- 「자동 부침 가두리 시설」의 경제적 타당성 조사를 위한 연구의 범위는 위에서 언급한 공간적 범위와 시간적 범위 안에서 양식어업의 비용 및 수익에 대한 연구를 수행한다.

(2) 분석에 활용된 자료

(가) 본 연구의 비용, 수요 및 편익 등의 추정을 위해 사용된 자료는 1990년부터 2010년까지 농림수산식품부, 국토해양부, 한국개발연구원(KDI), 한국해양수산개발원(KMI) 등에서 발행한 통계 및 연구보고서를 위주로 구성하였다.

(나) 또한 자동 부침 가두리 양식 시설의 건설비와 양식장내 생산단가 등의 경우 제주도 노아 양식 법안에서 운영하고 있는 외해 가두리 등 선행 실측 자료를 활용하였다.

라. 분석의 기본 방향

(1) 연구 방법론

(가) 본 분석에서는 「자동 부침 가두리 가두리 양식 시설」의 경제성 및 사업성을 분석하기 위해 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성 수행 표준 및 일반지침의 방법론의 적용을 원칙으로 하였다.

- KDI, 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구」, 제4판, 2004.12
- KDI 공공투자센터, 「예비타당성조사 제도 및 분석방법론 개요 - 예비타당성조사 착수회의자료」, 2007.12.4

(나) 그러나 본 과업의 경우 사업 규모상 500억 원 미만으로 예비타당성 대상사업이 아니고, 분석 대상도 SOC 부문이 아닌 어업으로 시설의 내구성이 짧아 부분적으로 적용 범위를 수정하였다.

(2) 분석의 주요 내용

(가) 조사대상 사업의 추진배경, 목적, 경위, 계획된 사업내용 파악 등 기초자료를 검토하여 조사의 쟁점을 도출하였다.

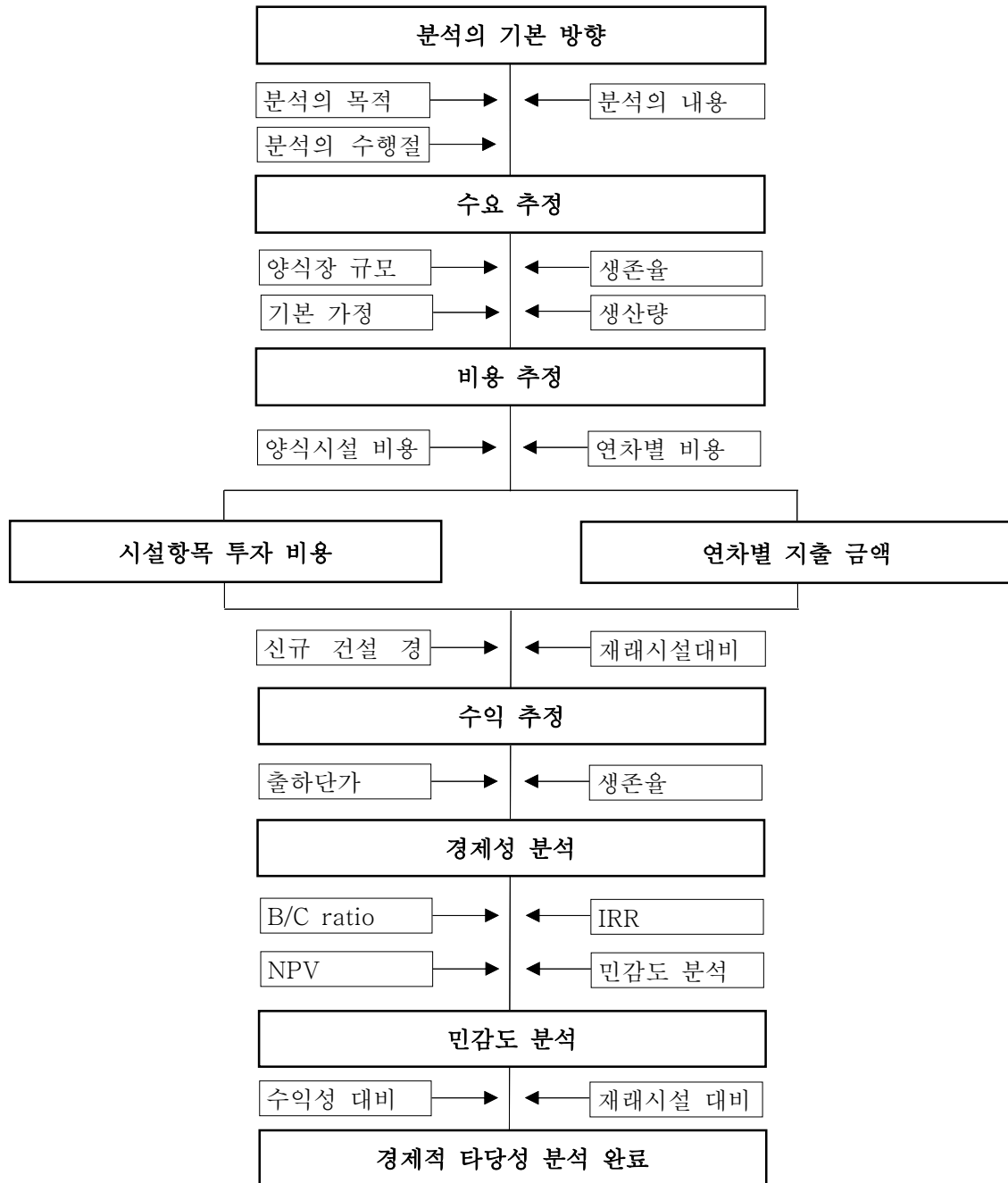
- 사업 목적의 적절성 검토 및 목적 달성을 위한 수단으로서 Do-Nothing, Do-Minimum 대안과 다른 대안을 실질적으로 비교 검토하는 Brainstorming 과정

(나) 주어진 사업에 대한 수요, 비용을 분석하고 수요에서 유발되는 편익과 비용을 바탕으로 경제성 분석을 수행하였다.

- 경제성 분석 조사원칙에 입각하여 수행하고, 여건의 변화를 고려하여 민감도 분석 수행

(3) 분석의 과정

- 본 연구에서는 자동 부침 가두리 양식 시설의 경제성 분석을 위해 KDI의 예비 타당성 기본 지침에 의거하여 다음과 같은 분석 과정을 수행하였다.



<그림 3-181> 자동 부침 가두리 양식 시설 사업의 경제성 분석 수행 과정

2. 자동 부침 가두리 양식 시설의 경제성 및 사업성 분석

가. 비용 추정

- 자동 부침 가두리 양식 사업을 위해서는 고정비용으로 기본 시설에 대한 투자와 가변비용으로 연차별 지출 금액으로 비용이 구분된다.
- 비용의 추정 지표는 제주지역의 자동 부침 가두리의 비용 추정치에 따른다.

(1) 시설 항목 및 투자 계획

- 고정비용에 해당하는 기본 시설은 다음과 같다.
 - 육상시설 : 연면적 1,320㎡의 지상 2층 건물(1층 : 관리 사무실 및 작업실, 2층 : 숙소)
 - 해상시설 : 양식 시설, 관리선 1대, 양식장 표시 부표
- 이에 따른 시설 투자비는 16억 5,800만원에 해당하는 것으로 판단된다.

<표 3-23> 자동 부침 가두리 양식 시설 항목 및 투자 계획

항목		내역	금액(백만원)
육상 시설	관리시설	1,320㎡. 지상 1, 2층 (1층-관리사무실 및 작업실, 2층-숙소)	250
	육상시설 소계		250
해상 시설	양식시설	자동 부침 가두리 3 sets	900
	관리선	1대 - 급이/출하/외해가두리 설치 및 이동	500
	양식장 표시 부표	해상표시 시설	8
	해상시설 소계		1,408
합 계			1,658

※ 자료: 제주 노이양식법인의 수중 가두리 양식시설 실제 투자자료 참조

(2) 연차별 지출 금액

- 연차별 지출 금액은 외해 가두리 양식장에서 어류의 양식을 위해 투자되는 중간 투입물과 이러한 작업을 위한 인건비에 해당한다.
- 치어의 방류로부터 성어까지의 양식 기간은 2년으로 간주한다.
 - 대부분의 양식장에서 성어까지 소요되는 시간을 반영하였다.
- 1년차에 소요되는 총 비용은 14억 2,200만원에 해당한다.
 - 3조의 양식시설에 대해 각 조당 100g 짜리 20만 마리를 마리당 1,000원 구매
 - 생존율은 80%를 가정하였으며, 사료 단가는 kg당 2,000원 가정

<표 3-24> 외해 가두리 양식장의 1년차 지출 내역

항목별	세부내역	금액 (백만원)	비 고
재료비	치어구입비	600	각조당 100g짜리 200,000마리씩 마리당1,000원씩 계산
	사료비	576	$600,000\text{마리} \times (500-100)\text{g} \times 1.5(\text{사료계수}) \times 0.8(\text{생존율}) \times 2,000\text{원}(\text{kg당 사료단가})$
	소계	1,176	
인건비	양식관리팀	10	관리 및 작업인부 3명, 평균 급여 300만원
	선박운영팀	30	선박운영 1명, 평균급여 250만원
	소계	138	
간접비	관리선 운영 관리비	36	매달 300만원
	제세공과금	12	매달 100만원
	기타경비	60	매달 500만원
	소계	108	
1년차 지출 총 금액		1,422	

※자료: 제주 노아양식법인의 수중 가두리 양식장 실제 투자 자료 참조

- 2년차에 소요되는 총 비용은 8억 9,400만원으로 산출되었다.
- 2차년도에는 치어 구입비가 포함되지 않았다.
- 1차년도에 생존한 80%의 치어에 대해 2차년도에 다시 80%의 생존율을 적용하였다.

<표 3-25> 외해 가두리 양식장의 2년차 지출 내역

항목별	세부내역	금액 (백만원)	비 고
재료비	사료비	648	$540,000\text{마리} \times (1,100-100)\text{g} \times 1.5(\text{사료계수}) \times 0.9(\text{생존율}) \times 2,000\text{원}(\text{kg당 사료 단가})$
	소계	648	
인건비	양식관리팀	108	관리직 및 작업 인부 3명, 평균 급여 300만원
	선박운영팀	30	선박운영 1명, 평균급여 250만원
	소계	138	
간접비	관리선 운영 관리비	36	매달 300만원
	제세공과금	12	매달 100만원
	기타경비	60	매달 500만원
	소계	108	
2년차 지출 총 금액		894	

※ 자료: 제주 노아양식법인의 수중 가두리 양식장 실제 투자자료 참조

나. 수익 추정

- 자동 부침 가두리 양식장의 수익은 양식된 어류의 출하를 통하여 이루어지는 것으로 가정하였다.
- 앞서 언급한 바와 같이 현재 가정하고 있는 3기의 양식시설은 우리나라 전체 어류 시장의 수급에 비해 매우 작은 부분이므로 수요 및 가격에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.
- 따라서 본 연구에서는 3조의 양식 시설에서 생산되는 어류의 출하단가를 적용하여 수익을 추정하였다.
- 본 R&D 연구에서는 적정 수익의 규모를 파악하기 위하여 다음과 같이 가정하였다.
 - 각 조당 20만마리의 치어 등 총 60만 마리의 어류를 양식하는 것으로 가정하였다.
 - 성어의 평균 크기는 1.1kg이며, 성어가 되는 과정에서 매년 80%의 생존율을 적용하였다.
 - ※ 제주도 수중 가두리 양식장 등 대부분의 양식장에서는 통상 90%의 생존율을 적용하나 본 연구에서는 보수적 예측치를 적용하기 위하여 80%의 생존율을 적용하였다.
 - 출하 단가는 각 지역마다 상이하나 본 연구에서는 제주 지역의 자동부침 가두리에서 적용한 출하단가인 kg당 10,000원을 적용하였다.
- 위의 가정을 적용할 경우 양식시설 3조에서 매 2년마다 42조 2,400만원의 수익이 발생하였다.
수익 = 600,000마리 × 1.1kg × 0.8(1년차 생존율) × 0.8(2년차 생존율) × 10,000원(kg당 출하 단가)
= 4,224백만원

다. 경제성 평가

- 경제성 평가는 외해 가두리 시설 구축을 위해 소모된 가치(Value)와 동 시설을 통해 신규로 얻어지는 가치의 합을 비교하여 사업의 진행 여부를 결정하는 일을 의미한다.

(1) 경제적 평가의 기본 전제

- 연구 개발 사업에 의한 외해 가두리 양식 연구의 올바른 경제적 평가를 위해 평가를 위한 제반 조건들을 제시하였다.

(가) 기준년도 및 기준가격

- 경제성 평가는 분석을 시행하는 시점의 전년도를 기준년도로 정하여 모든 편익과 비용을 추정하는 것이 일반적이다.
- 본 경제적 타당성 평가에서도 2010년을 기준으로 비용과 편익의 단위가격을 산정하고 환산하였다.
 - 경제적 타당성 평가의 기준 가격은 2010년 말의 불변가격을 기준으로 추정됨을 의미한다.

(나) 경제적 타당성 평가기간

- 경제적 비용과 편익에 대한 추정기간을 선정하는데 있어서 가장 중요한 요소는 주요시설 혹은 장비의 경제적 수명(Economic Life)을 결정하는 일이다.
- 양식시설의 경우 사업별로 투자분석의 목적별로 평가기간을 다르게 적용하고 있으며, 국내 수산업 투자 평가 보고서에서는 통상적으로 양식시설의 경우 20년 기준으로 산정하였다.
- 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성조사에서는 평가기간을 도로와 항만의 경우 30년, 댐 등 수자원 관리시설의 경우 40년 등 다양한 평가기간을 적용한다.
 - 해당년도 이후에는 동 시설에서 발생하는 예상수익의 현재가치가 0에 가깝다고 가정한다.
- 본 분석의 경제성 평가는 공사 완료 후 20년을 기준으로 하였다.

(다) 사회적 할인율의 선정

- 사회적 할인율은 투자사업에 사용된 자본이 다른 투자사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 기회비용(Opportunity Cost)을 의미하며, 사람에 따라 혹은 사회에 따라, 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적 가치를 나타낸다.
- 사회적 할인율의 적용에는 많은 이견이 있으나, 정부에 의해 추진되는 사회간접자본시설에 대해서는 한국개발연구원(KDI)과 기획예산처에서 주기적으로 사회적 할인율을 산정하여 발표하였다.
- 본 분석에서는 KDI의 2011년 상반기 예비타당성 기본지침에 의해 제시된 사회적 할인율 5.5%를 분석에 적용하였다.

(라) 가두리 양식장 건설기간의 산정

- 자동 부침 가두리 양식장의 건설기간은 투입되는 인력과 자본, 공사지역의 지형, 주변 여건의 시급성 등 여러 요인에 의해 매우 가변적인 상황이다.
- 본 분석에서는 3조의 가두리 양식시설을 건설하는데 1년이 소요되는 것으로 가정하여 경제성 분석을 수행하였다.

(2) 평가의 방법

- 공공사업의 경제적 타당성 평가는 기본적으로 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis : B/C)에 의존하고 있다.
- 본 경제적 타당성 평가에서도 다음 3가지의 평가방법에 근거하여 평가를 수행하였다.

(가) 비용편익비율(B/C ratio)과 순현재가치(Net Present Benefit)

○ 비용편익비율 (Benefit-Cost Ratio : B/C)

- 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익의 현재가치를 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값을 의미한다.

$$B_i = \frac{B_{i0}}{(1+r)^0} + \frac{B_{i1}}{(1+r)^1} + \dots + \frac{B_{iT}}{(1+r)^T} = \sum_{t=0}^T \frac{B_{jt}}{(1+r)^t}$$

$$C_j = \frac{C_{j0}}{(1+r)^0} + \frac{C_{j1}}{(1+r)^1} + \dots + \frac{C_{jT}}{(1+r)^T} = \sum_{t=0}^T \frac{C_{jt}}{(1+r)^t}$$

- 비용편익비(B/C ratio)가 1보다 크면 경제성이 있다고 판단하여 정책을 선택한다.

$$B/C \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 1 \Leftrightarrow \begin{cases} \text{정책선택} \\ ? \\ \text{정책기각} \end{cases}$$

○ 순현재가치 (Net Present Benefit : NPV)

- 투자 사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값
- 순현재가치가 0보다 크면 경제성이 있다고 판단하여 정책을 선택한다.

$$B - C \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} 0 \Leftrightarrow \begin{cases} \text{정책선택} \\ ? \\ \text{정책기각} \end{cases}$$

- 단일의 대안이 제시되었을 경우 편익-비용비와 순편익에 의한 결과는 항상 동일하지만, 여러 대안이 제시되었을 경우 둘은 달라질 수 있다.
- 비용의 효율성이나 순편익의 정도에 의해 우선순위를 결정해야 한다.

(나) 내부수익률 (Internal Rate of Return : IRR)

○ 내부수익률이란

- 투자사업이 원만히 진행된다는 전제하에서 기대되는 예상 수익률
- 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 순현재가치를 0이 되게 하는 어떤 할인율로 계산한다.

$$\frac{B_0}{(1+R)^0} + \dots + \frac{B_t}{(1+R)^t} + \dots + \frac{B_T}{(1+R)^T} = \frac{C_0}{(1+R)^0} + \dots + \frac{C_t}{(1+R)^t} + \dots + \frac{C_T}{(1+R)^T}$$

$$\frac{B_0 - C_0}{(1+R)^0} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+R)^t} + \dots + \frac{B_T - C_T}{(1+R)^T} = 0$$

(다) 비용-편익 분석의 결과

- 앞에서 제시한 비용과 편익을 대상으로 추정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.
- 분석 결과 자동 부침 가두리 양식장의 경제적 타당성은 매우 높은 것으로 나타났다.
- 동 시설의 20년간 순현재 가치(NPV)는 85억 1,400만원에 해당한다.

- 비용편익비율(B/C ration)의 경우 1.5765로 기준 수치인 1을 크게 상회하고 있다.
- 내부수익률(IRR)의 경우 단일 해가 발생되지 않아 추정하지 않았다.
- ※ 내부수익률의 경우 순편익의 부호가 음수에서 양수 혹은 양수에서 음수로 변할 때 단일 해가 발생하며, 본 연구와 같이 2년마다 순편익의 부호가 바뀌는 경우 단일 해가 발생하지 않는다.

<표 3-26> 자동 부침 가두리 양식장(3조)의 경제적 타당성 분석 결과

구분	재래식(RMGC)
사회적 할인율	5.5%
비용 현재(백만원)	14,769
편익 현재(백만원)	23,283
NPV(백만원)	8,514
B/C Ratio	1.5765
IRR	-

<표 3-27> 자동 부침 가두리 양식장의 비용-편익 흐름

단위: 백만원

기준	연도	비용				편익		순편익	현재		
		건설비	유지관 리비	연차별 지출	비용계	양식어업 소득	편익계		비용계	편익계	순편익
1	2012	1,658			1,658			-1,658	1,572		-1,572
2	2013		83	1,422	1,422			-1,422	1,278		-1,278
3	2014		83	894	894	4,224	4,224	3,330	761	3,597	2,836
4	2015		83	1,422	1,422			-1,422	1,148		-1,148
5	2016		83	894	894	4,224	4,224	3,330	684	3,232	2,548
6	2017		83	1,422	1,422			-1,422	1,031		-1,031
7	2018		83	894	894	4,224	4,224	3,330	615	2,904	2,289
8	2019		83	1,422	1,422			-1,422	927		-927
9	2020		83	894	894	4,224	4,224	3,330	552	2,609	2,057
10	2021		83	1,422	1,422			-1,422	832		-832
11	2022		83	894	894	4,224	4,224	3,330	496	2,344	1,848
12	2023		83	1,422	1,422			-1,422	748		-748
13	2024		83	894	894	4,224	4,224	3,330	446	2,106	1,660
14	2025		83	1,422	1,422			-1,422	672		-672
15	2026		83	894	894	4,224	4,224	3,330	400	1,892	1,492
16	2027		83	1,422	1,422			-1,422	604		-604
17	2028		83	894	894	4,224	4,224	3,330	360	1,700	1,340
18	2029		83	1,422	1,422			-1,422	542		-542
19	2030		83	894	894	4,224	4,224	3,330	323	1,527	1,204
20	2031		83	1,422	1,422			-1,422	487		-487
21	2032		83	894	894	4,224	4,224	3,330	290	1,372	1,082
	합계	1,658	1,658	23,160	24,818	42,240	42,240	17,422	14,769	23,283	8,514

(라) 민감도 분석

- 본 분석에서는 자동 부침 가두리 양식장을 중심으로 민감도 분석을 실시하였다.
- 민감도 분석은 수요 추정 및 경제성 분석과정에서 발생할 수 있는 예측의 오류 및 불확실성을 반영하기 위해 수행하는 것으로, 공사비용과 수요 및 편익 부문의 변화에 대해 경제성이 변화하는 정도를 나타낸다.
- 본 분석에서는 사회적 할인율, 생산량, 건설비, 생존율, 출하단가의 증감에 따라 외해 가두리 양식장의 경제적 타당성 지표에 미치는 영향을 분석·비교하였다.
 - 각각의 항목에 대해 지표가 -20%에서 20%까지 변화하는 경우에 대해 민감도 분석 수행

<표 3-28> 자동 부침 가두리 양식장 경제성 분석의 민감도 분석

항목	자동 부침 가두리 양식장			
	NPV (백만원)	B/C ratio	IRR	
할인율	6.5%	7,540	1.5534	-
	6.0%	8,010	1.5650	-
	5.5%	8,514	1.5765	-
	5.0%	9,056	1.5881	-
	4.5%	9,638	1.5996	-
양식량	20%	13,171	1.8918	-
	10%	10,843	1.7342	-
	0%	8,514	1.5765	-
	-10%	6,186	1.4189	-
	-20%	3,858	1.2612	-
총 사업비	20%	5,561	1.3138	-
	10%	7,038	1.4332	-
	0%	8,514	1.5765	-
	-10%	9,991	1.7517	-
	-20%	11,468	1.9706	-
치어 생존율	100%	21,611	2.4633	-
	90%	14,699	1.9953	-
	80%	8,514	1.5765	-
	70%	3,057	1.2070	-
	60%	-1,672	0.8868	-
출하단가	20%	13,171	1.8918	-
	10%	10,843	1.7342	-
	0%	8,514	1.5765	-
	-10%	6,186	1.4189	-
	-20%	3,858	1.2612	-

※ 주: 음영 부분은 경제성이 결여되었음을 의미함

- 민감도 분석 결과 외해 가두리 사업의 경우 대부분의 외생적 여건 변화에 대해서도 지속적으로 경제적 타당성이 유지되었다.
 - 치어 생존율이 60%로 떨어지는 경우에만 경제성이 결여되는 것으로 나타났다.

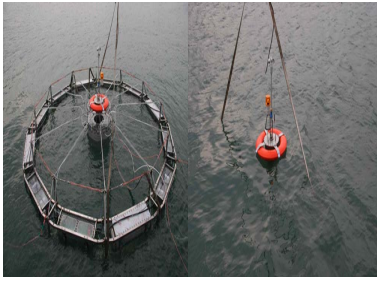

마. 유사 제품과 가격 및 경제성 비교

본 연구에서 개발한 자동 부침 가두리 시설과 유사 제품인 미국 해양 대기청(NOAA)에서 개발하여 제주도 및 거문도에 도입된 수중 가두리인 Sea Station 5400과 주요 특징 및 경제성 평가를 비교한 결과는 <표 3-29>와 같다. 이것에서 보면 자동 부침 가두리(subC)의 경우 가두리 시설이 평상시에는 표층에 서설되어 있으며, 태풍, 폭풍, 적조 등 긴급 재해 발생 시 대상 해역의 임계 풍속과 작업자의 리모컨 작동에 의해 가두리 시설이 일시적으로 침하되었다가 긴급 재해가 끝난 후에 다시 원래의 상태로 부상되는 것을 특징으로 한다. 이 가두리 시설은 태풍 등 긴급 재해 시 시설물의 자동 침하로 피해를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 상부 및 하부에 프레임이 설치되어 조류에 대한 그물의 용적 손실이 없으며, 표층에 설치되기 때문에 시설 수심의 제약이 없다. 그리고 수면에서 먹이 공급과 어류 선별 및 모니터링이 가능하다. 그러나 실해역의 파랑, 조류 등 외력 조건에 대한 시설물의 안전성에 대한 검증이 안 되었으며, 피로에 의한 강 구조물의 파손 발생 가능성 있을 수 있다.

이에 비해 수중 가두리인 Sea Station의 경우 조류에 대한 그물의 용적 손실이 없으며, 파도의 영향이 없는 일정 수층의 수중에 설치되기 때문에 파랑에 대해 비교적 안정된 구조이다. 그러나 수중에 설치되기 때문에 먹이 공급, 어류 선별, 모니터링 등에 잠수부를 동원해야 하므로 운영 경비가 많이 들 뿐만 아니라 잠수 작업의 특성 상 시설 수심의 제약이 따른다. 그리고 잠수 작업 시 잠수부의 인명 사고가 발생할 가능성도 매우 높다.

자동 부침 가두리 시설이 실용화되지 않았고 시설물의 용적이 다르기 때문에 상기 두 가두리 시설의 경제성을 직접 비교하는 것은 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 상기에서 분석한 자동 부침 가두리 시설의 경제성 분석 자료와 거문도 해역에 설치된 수중 가두리 시설의 경제성 분석 자료를 간접적으로 비교해 보았다. <표 3-29>에서와 같이 자동 부침 가두리 시설과 수중 가두리 시설에서 돌돔을 양식하는 경우 편익 비용(B/C)은 자동 부침 가두리와 수중 가두리에서 각각 1.58과 1.72로 두 가두리 모두 기준 수치인 1을 크게 상회하고 있다. 그리고 현재의 투자액과 미래의 수익 흐름을 현재 가치로 환산한 결과 자동 부침 가두리 시설은 향후 10년간 발생할 이익률 5.5%의 할인율로 추정할 경우 시설 물량 3대 기준으로 약 29억 원(약 10억 원/1대 기준)의 순 현재 가치(NPV)가 있는 것으로 나타났으며, 수중 가두리 시설의 순 현재 가치(NPV)는 약 13억 원으로 나타났다. 이상에서와 같이 자동 부침 가두리 시설과 수중 가두리 시설의 경제성을 분석해 본 결과 수중 가두리 시설이 자동 부침 가두리 보다 편익 비용(B/C)과 순현재 가치(NPV) 특면에서 높게 나타났다. 그런데 수중 가두리의 경우 용적이 5,400m³로서 용적이 3,000m³인 자동 부침 가두리보다 용적이 1.8배 더 크므로 상기 두 가두리의 어류 생산 능력에서 많은 차이가 발생하였기 때문에 자동 부침 가두리가 수중 가두리에 비해 경제성이 다소 결여된 것으로 나타났다. 따라서 같은 규모의 가두리에서 어류를 생산하는 경우에는 오히려 자동 부침 가두리의 NPV가 수중 가두리보다 더 높게 나올 수 있으므로 자동 부침 가두리 시설의 경제적 타당성은 매우 높다고 할 수 있으며, 시설비를 포함한 1조당 단가인 3억 원도 적정할 것으로 판단된다.

<표 3-29> 자동 부침 가두리 시설과 미국 Sea Station 양식장 경제성 분석 결과 비교

모델	자동 부침 가두리(subC)	Sea Station 가두리(미국)	비고
구조			
용적(m ³)	3,000	5,400	
주요 특징	임계 풍속 및 리모컨에 의한 자동 침하 및 부상 작동	수중에 설치	
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 태풍 등 긴급 재해 시 시설물의 자동 침하로 피해 예방 - 조류에 대한 그물의 용적 손실이 없음 - 시설 수심의 제약이 없음 - 수면에서 먹이 공급 및 모니터링 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 조류에 대한 그물의 용적 손실이 없음 - 파랑에 대한 안정적 구조 	
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 실해역에서 시설물의 검증이 안됨 - 피로에 의한 강 구조물의 파손 발생 가능성 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 잠수 작업으로 인한 시설 수심 제한 - 잠수부에 의한 먹이 공급, 어류 선별, 모니터링으로 인한 운영 경비 과다 	
단가(백만원)	300	300 (용적 3000m ³ 기준)	설치비 포함
편익 비용(B/C)	1.58	1.72	규모 차이
내부 수익률(IRR)	-	30%	
순현재 가치 (백만원)	970(할인율 5.5% 기준)	1,302(할인율 8% 기준)	규모 차이

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연도별 목표 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2009)	자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설 개발	- 국내·외 선행 연구 및 개발 기술 조사	100	- 우리나라, 미국, 영국, 일본, 노르웨이, 스웨덴의 외해 및 부침식 가두리 설계 기술 조사 및 분석
		- 기존 부침 기능 메커니즘 조사 및 분석	100	- 기존 압축공기, 수중 모터, 기계식 원치를 이용한 부침식 가두리 시설의 부침 기능 메커니즘 조사 및 분석(SCI급 논문 1편 게재, 전문 서적 1편 출판)
		- 대상 해역에 따른 설계 외력 산정	100	- 시설 예정 해역(전남 거문도 서부 해역과 제주 성산 해역)에 대한 설계 파고 및 주기 분석(재현주기 10, 20, 30, 50년)
		- 자동 부침 기능을 갖는 전천후 가두리 시설 기본 시스템 개념 설계	100	- 자동 부침 기능 보유 전천후 가두리 시설 기본 시스템 개념 설계 및 특허 출원 6건 · 대형 가두리용 그물 교환 장치 및 상기 장치를 이용한 그물 교환 방법 · 가두리 양식 장치용 보강 장치 · 부력 조절용 부구 · 부침식 가두리 양식 시스템의 메인 통제 장치 · 가두리 양식 장치 · 자동 부침 가두리 양식 시스템
		- 자동 부침 기능 제어 기법 및 알고리즘 개발	100	- 기존 모델을 이용한 실용적 알고리즘 개발 - 수치해석을 통한 제어기 유용성 확인 - 특허 출원 1건 · 부침형 가두리 양식시스템의 부력 조절 장치
		- 데이터 처리 및 원거리 제어 시스템 개발	100	- 자동 부침 가두리 시설의 데이터 처리 및 원거리 제어 시스템 적용성 검토
		- 다중 신호처리 모듈 개발	100	- 선형 분산 필터 설계 - 프로그램을 통한 디지털 필터 구현 - 외란 신호를 통한 디지털 필터 안정성 검증
		- 수리 모형실험 및 역학적 특성 해석	100	- 정수 중 부침용 부자의 자동 부침 성능 실험 및 수치 해석 - 정수 중(해수 수조) 자동 부침 가두리 시설의 예비 모형실험 - 정수 중 모형 자동 부침 가두리 시설의 성능 실험 및 수치해석 - 파랑 중 모형 부침 가두리 시설의 자동 부침 기능 재현 및 성능 평가 실험 - 수리모형 실험 및 수치해석을 통한 파랑 중 자동 부침 모형 가두리 시설의 운동 특성 및 안정성 해석
		- 적정 계류 시스템 개발 및 해석	100	- 자동 부침용 가두리 시설의 적정 계류 시스템 설계 - 수리 모형실험 및 수치해석을 통한 자동 부침 가두리 시설의 계류 삭 장력 특성 해석

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 연도 (2010)	자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설 개발	- 소규모 자동 부침 가두리 모델 시작품 제작 및 현장 설치	100	- 소규모 자동 부침 가두리 모델 시작품 설계 및 제작(축척비 1/4) - 해외(일본) 특허 출원 1건 - 자동 부침 가두리 시설의 성능에 관한 연구 논문 게재(SCI급 2편)
		- 해상 전력 관리 및 계측 시스템 구축	100	- 해상 전력 관리 및 계측시스템 검토
		- 기계(공압) 시스템 최적 설계 및 제작	100	- 피스톤 밸브 부착용 부침 부자 설계 제작 및 성능 실험 - 피스톤 밸브 자동 개폐를 위한 기계(공압)시스템 설계 및 제작 - 연구 논문 2편 게재(SCI급 및 국내 학회지 각 1편)
		- 외력 및 부착생물에 대한 각 시스템의 안정성 및 성능 평가	100	- 피스톤 밸브 부착용 부침 부자의 부착 생물 부착에 따른 작동 상태 및 안정성 조사
		- 자동 부침 기능 제어 기법 최적 설계 및 알고리즘 선정	100	- 기준 모델을 이용한 실용적 자동 부침 제어 알고리즘 개발
		- 현장 시험을 통한 시설물 안정성 및 성능 평가	100	- 자동 부침 가두리 시설의 해상 성능 실험 수행 - 외력(파랑, 조류)에 대한 가두리시설의 안정성에 대한 수치해석 수행
		- 자동 부침 시스템이 설치된 전천후 가두리 시설 특화 모델 개발	100	- 자동 부침 시스템이 설치된 전천후 가두리 시설 특화 모델 설계 - 3차년도의 산업화 시작품 제작 자료 도출

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2011)	자동 부침 시스템이 설치된 전천후 어류 가두리 시설 개발	- 설계 보완 및 산업화 시작품 제작 및 설치	100	- 2차년도 시작품을 보완하여 산 업화 시작품 제작 - 시작품 현지 어장 설치 및 부침 성능 시험
		- 시설물 안정성 및 성능 평가와 적정 자동 관리 기술 개발	100	- 산업화 시작품 부침 성능 평가 - 자동 부침 관리 기술 개발 - 부착 생물에 대한 영향 평가 - 계류삭에 작용하는 장력 해석
		- 어류 성육 시험 및 부침시 어류 영향 평가	100	- 어류 성육 시험 - 부침 시 소음에 대한 어류의 반응 및 영향 평가
		- 자동 부침 기능 제어기 on-board화	100	- 자동 부침 기능 제어기 완성 - 컨트롤 스테이션 제작 및 제 어기 on-board화(PCB 보드 6 개 제작) - 자동 및 리모트 컨트롤 부침 시 스템 개발 - 자동 부침 제어기 성능 시험
		- 경제성 평가 및 실용화 지침서 작성 - 실용화 보급을 위한 시연회 개최	100	- 자동 부침 가두리 경제성 평가 - 실용화 보급을 위한 지침서 작성

2. 관련 분야에의 기여도

- 자동 부침 가두리 시설은 대상 해역의 외력 조건(10분간 평균 풍속 14m/s 이상)에 따라 가두리가 자동으로 일정 수층까지 침하되고 원래의 위치까지 부상이 이루어 질뿐만 아니라 필요시 사용자가 리모컨을 사용하여 가두리의 침하와 부상을 조정할 수 있도록 설계되었다.
- 이 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 부분은 세계 최초로 개발되었으며, 이를 통해 자동 부침 가두리 시설 관련 원천 기술 창출과 외해 가두리시설 개발 관련 연구 및 기술 수준 향상에 기여하였다.
- 그리고 태풍, 폭풍, 적조 등 긴급재해 발생 시 양식 시설은 물론 양식 생물의 피해 최소화 관련 기술 확보로 외해에서도 고급 어종의 안정적 생산이 가능할 것으로 예상됨에 따라 어업인 소득 증대에 기여할 수 있다.
- 또한 새로운 양식 시스템 개발을 통한 친환경 양식 어업의 실현으로 수산업에 대한 대국민 인식 제고와 내만 양식 어장의 외해 이동으로 연안역의 다기능 종합 해양레저 공간 조성에도 기여할 수 있다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화·산업화 계획

- 관련 어업인을 대상으로 개발 결과 시연회 개최 계획
 - 기간: 2012. 3월 이후
 - 장소: 울산광역시 남구 용잠동 소재 성신조선(주) 및 울주군 서생면 진하 해역 어장
 - 방법: 관련 어업인 등을 대상으로 자동 부침 가두리 시설 관련 동영상 상영 및 자료 제공 후 시작품 성능 시연
- TV, 신문 등 언론 매체를 통한 개발 결과의 대대적 홍보 계획
- 자동 부침 기능 보유 대형 전천후 어류 가두리 시설의 브랜드화(sub-C) 및 기업체에 기술 이전 계획
 - 1차 시작품에 대해 프랑스 IDEE Aquaculture사에서 16개 구매를 위한 견적서, 설계 도면 및 계류 시설 배치도 등 관련 자료 제공 요청
- 전복 등 기타 품종에 대한 개발 가두리 시설의 적용 가능성 검토
- 양질의 단백질원 공급을 위한 참다랑어 축양 및 양식 전용 시설로 활용
- 국내 어류 양식 산업의 구조 조정 및 대형 기업화 추진 관련 정책 자료 제공

2. 교육·지도·홍보 등 기술 확산 계획 등

- 대학원 석, 박사 과정 및 학부생 졸업 논문 작성 시 참고 자료로 활용
- 대학원 수업(수산토목공학, 어업해석학 등) 및 최고수산경영자과정 수업 자료로 활용
- 2012. 6월 세계적 출판사인 blackwell publishing에서 발간 예정인 Cage Aquaculture 에 개발 가두리 내용 소개 예정
- TV, 신문 등 언론 매체를 통한 개발 결과의 대대적 홍보 계획
- 대학원 석, 박사 과정 및 학부생 졸업 논문 작성 시 참고 자료로 활용
- 개발 가두리 시설의 브랜드화(sub-C) 및 업계에 기술 이전 계획
- 개발 가두리 시설의 국외 홍보 및 논문 발표 계획
 - 세계 양식학회(WAS)에서 주최하는 AUSTRALASIAN Aquaculture 2012(2012. 5. 1 ~5. 4, 호주 멜버른) 및 AQUA 2012(2012. 9. 1~9. 4, 체코 프라하)에 참석하여 자동 부침 가두리 개발 관련 논문 발표 계획

3. 논문 게재 성과 및 계획

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2009	어류 가두리 양식시설 설계	김태호			단행본 (전남대 출판부)	ISBN 978-89- 7598-709 -0	국내	
2010	The submerging characteristics of a submersible fish cage system operated by compressed air	김태호	양경욱	장덕종 David W. Fredriksson	Marine Technology Society Journal	44(1)	국외	SCIE
2010	공기 제어에 의한 자동 부침 부자의 성능	김태호	양경욱	허정규	한국마린엔지니어링학회지	34(5)	국내	
2011	Motion characteristics of a Korean designed submersible fish cage system in waves and currents using numerical analysis	김태호	김태호		International Journal of Aquatic Science	2(1)	국외	
2011	Stability analysis of mooring lines of a submersible fish cage system using numerical model	김태호	김태호	황규석	한국마린엔지니어링학회지	35(5)	국내	
2011	Automatic submerging and surfacing performances of model submersible fish cage system operated by air control	김태호	김태호	양경욱 황규석 장덕종 허정규	Aquacultural Engineering	45(2)	국외	SCI (Science Direct의 Top 25 Hottest Article 선정)
2012	Developing of a remotely operated submersible fish cage system	김태호	김태호	황규석 신승식	Sea Technology	53(2)	국외	SCIE
2012	Mooring tension and motion characteristics of a submerged fish reef with net in waves and currents using numerical analysis	김태호	김태호	David W. Fredriksson Judson DeCew	China Ocean Engineering	25(2)	국외	SCIE
2012	Development of an automatic submersible fish cage system	김태호	김태호	황규석 오무환 장덕종	Aquacultural Engineering	투고 예정	국외	SCI

4. 특허 성과 및 계획

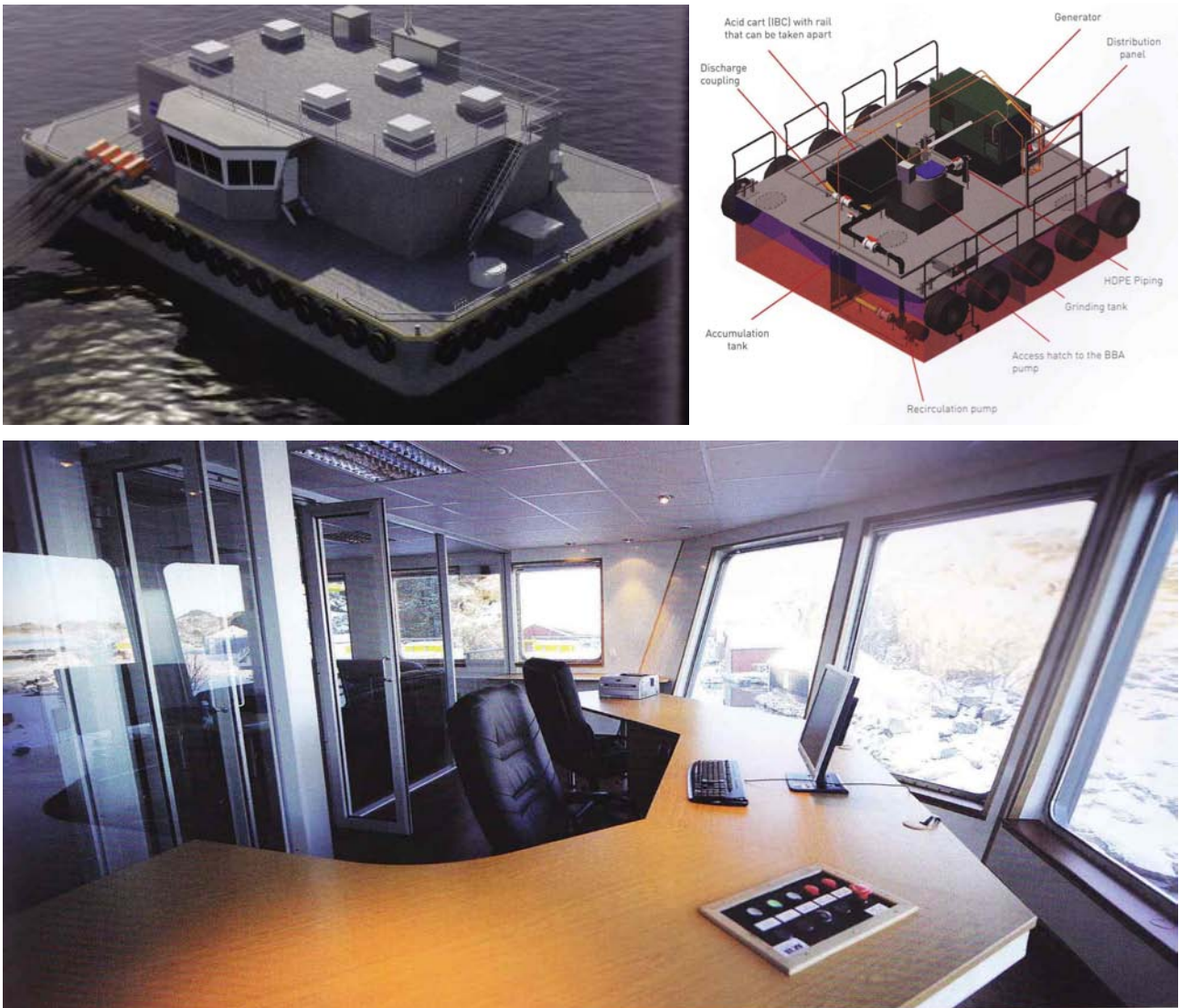
출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2009	대형 가두리용 그물 교환 장치 및 상기 장치를 이용한 그물 교환 방법	전남대학교 산학협력단 / 성신조선(주)	대한민국	10-2009-0103746					
2009	가두리 양식 장치용 보강 장치	"	"	10-2009-0103830					
2009	부력 조절용 부구	"	"	10-2009-0103831					
2009	부침식 가두리 양식 시스템의 메인 통제 장치	"	"	10-2009-0103832					
2009	가두리 양식 장치	"	"	10-2009-0103835					
2009	자동 부침 가두리 양식 시스템	"	"	10-2009-0104109					
2009	부침형 가두리 양식 시스템의 부력 조절 장치	"	"	10-2009-0104635					
2010	自動浮沈式生簀養殖システム	전남대학교 산학협력단	"	2010-129552					
2012	자동 부침 가두리 시설의 자동 침하 및 부상 제어 프로그램	"	"	출원 예정					
2012	자동 부침 가두리 시설	"	"	출원 예정					

5. 추가 연구 계획

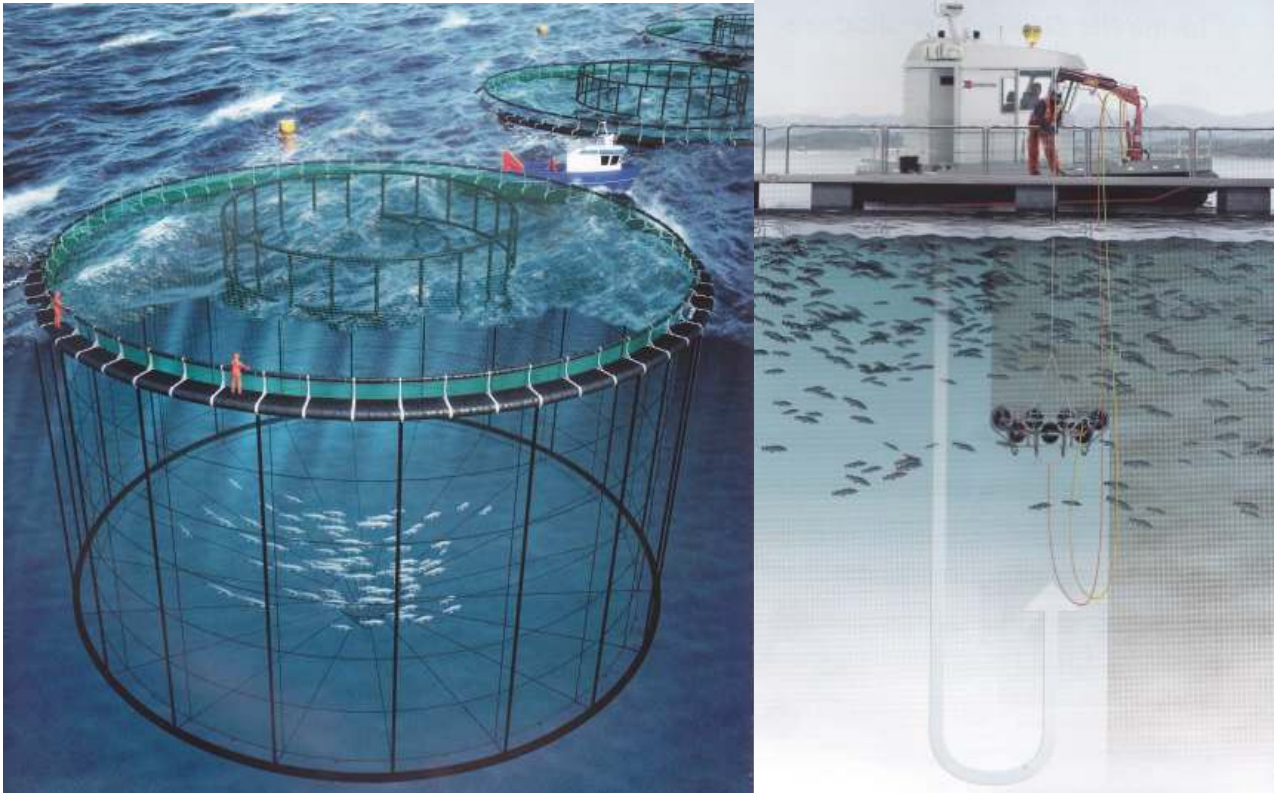
- 이 과제는 세계에서 최초로 수행된 연구이기 때문에 관련 연구 자료와 문헌이 절대적으로 부족하여 시작품용 자동 제어 알고리즘 작성과 시스템 설계에 수많은 시행착오를 겪은 끝에 시작품의 개발을 완료하였음.
- 이 시스템은 대상 해역의 외력 조건(풍속)에 따라 가두리가 자동으로 일정 수층까지 침하되고 다시 원래의 위치까지 부상이 이루어 질뿐만 아니라 필요시 사용자가 리모컨을 사용하여 가두리의 침하와 부상을 조정할 수 있도록 설계되었음.
- 그러나 이 시스템의 실용화 보급화 보급을 위해서는 본 연구에서 개발한 자동 부침 제어 관련 원천 기술과 그물 교환 장치 및 모니터링 시스템이 설치된 대형 가두리 시설(지름 30m)을 제작하여 실제 외해에서 적용 시험과 산업화 이용 기술 개발 시험을 수행할 필요가 있으므로 2단계 후속 연구의 추진이 반드시 필요함(자동 부침 가두리 시설의 산업화 적용 연구).

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- 2011년 8월 16일부터 8월 19일까지 노르웨이 트론하임에서 개최된 양식시설 관련 세계 최대 박람회인 AQUANOR 2011(2년마다 개최)에 참석하여 외해 양식시설 및 기타 양식공학 관련 최신 정보를 수집하였으며, 그 자료는 <그림 6-1>~<그림 6-8>과 같다.



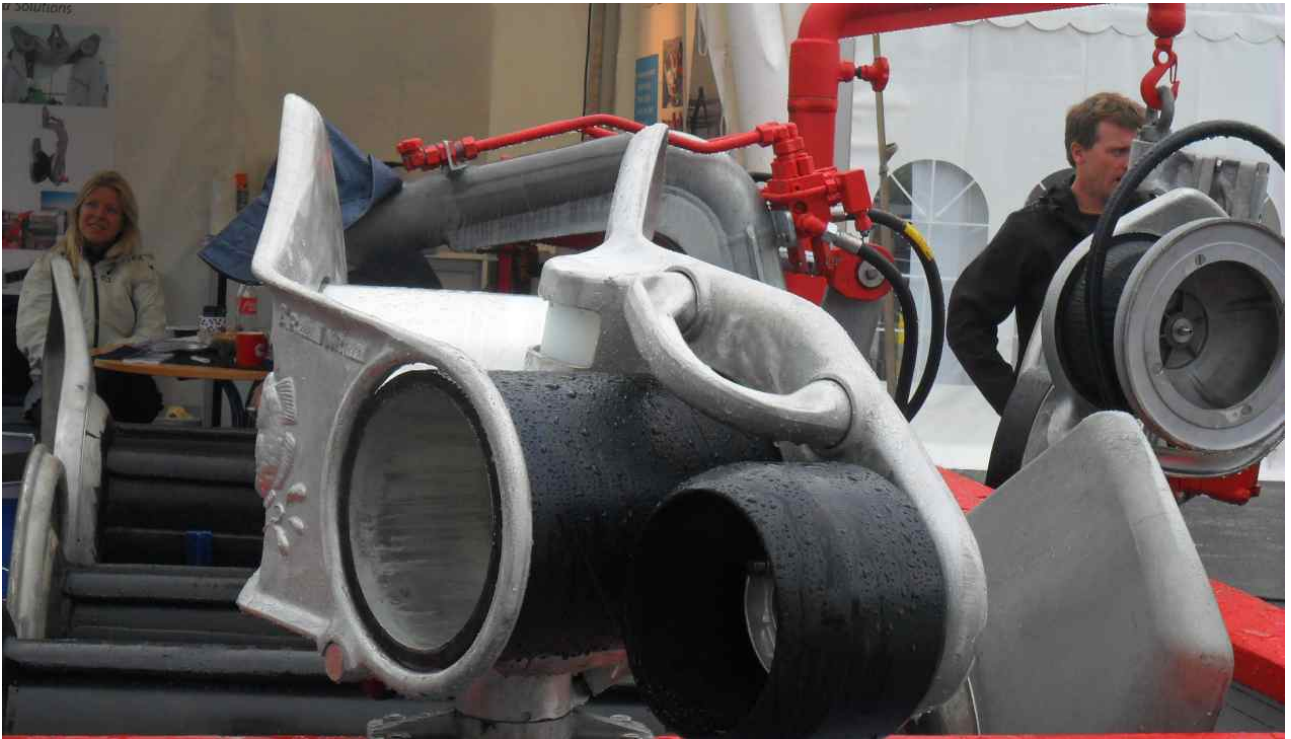
<그림 6-1> 가두리 시설 관리자.



<그림 6-2> 싱커 튜브가 설치된 원형 가두리 시설(좌) 및 그물 세척 장치(우).



<그림 6-3> 자동 급이 시스템.



<그림 6-4> 가두리 그물 교체 장치.



<그림 6-5> 철과 고밀도 PE 파이프로 구성된 가두리 프레임.



Operation Center/Feed Barge or Work Boat

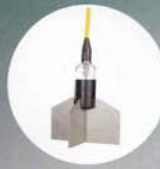


SmartEye Surveillance Camera provides control over unwanted visitors, predators, feed spread or simply added safety when working alone at the farm.



EAP

Environmental Access Point for transmitting environmental data (hardwired or wireless), and a hardwired network for video camera transmission.



Environmental Sensors

Environmental sensors monitor and log water temperature, oxygen and tidal currents. This ensures optimum conditions for the fish. The data can be transmitted via a CSU or an hardwired EAP.

SmartController provides fast and accurate camera and winch controls.



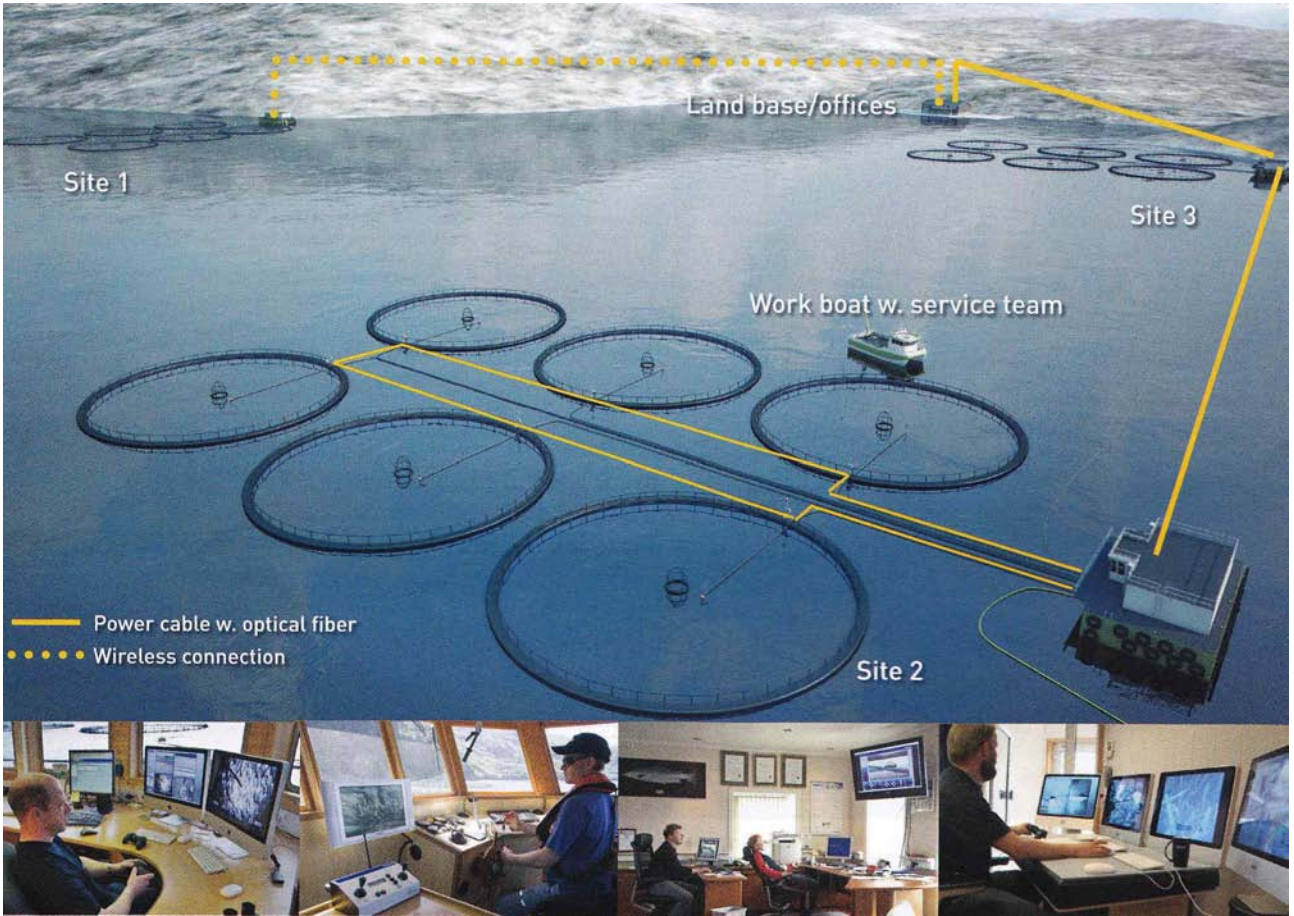
Remote Video



AkvaControl



<그림 6-6> 가두리 시설, 수질 환경 및 어류 상태 모니터링 시스템.



<그림 6-7> 가두리 시설의 모니터링 시스템.



<그림 6-8> 가두리 시설의 급이 시스템.

제 7 장 참고문헌

- Beveridge, M., 2004. Cage aquaculture 3rd edition, Blackwell publishing, pp. 109–110.
- Boshop, D., 1998. Submerged longlines - technology for open ocean shellfish culture. Fukui North America - Technical Article. http://www.fukuina.com/articles/sept_oct98.htm.
- Haritos, N., D.T. He, 1992. Modelling the response of cable elements in an ocean environment. Fin. Elem. In Analysis and Des., 19, 19–32.
- Hasselmann, K., 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project(JONSWAP)", Deutsche Hydrographische Zeitschrift. Reihe, 12.
- Hur, J.G., Yang, K.U., 2007. Proposal of practical reference-model and it's performance improvement for PID control. 11(3), 66–72.
- Karnopp, D.C., Margolis, D.L., Rosenberg, R.C., 2000. System Dynamics. JOHN WILEY & SONS, INC., New York. p. 252.
- Kim, J.O., T.H. Kim, H.K. Oh, E.C. Jeong, 1999. Studies on the development of the submersible fish cage-II. -Submergence unction of cage facility and behaviour response by noise of fisheries farm. Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute, 55, 17–24.
- Kim, T.H., 2009. Fish Cage Design. CNU Press, Gwangju, p. 188.
- Kim, T.H., J.G. Hur, K.U. Yang, 2010a. Submerging performances of automatic submersible buoy operated by air control, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 34(5), 743–749, 2010.
- Kim, T.H., K.U. Yang, D.J. Jang and D.W. Fredriksson, 2010b. The submerging characteristics of a submersible fish cage system operated by compressed air, Marine Technology Society Journal, 44(1). 57–68.
- Kim, T.H. 2011. Motion characteristics of a Korean designed submersible fish cage system in waves and currents using numerical analysis. International Journal of Aquatic Science, 2(1), 48–67.
- Kim, T.H., K.S. Hwang, 2011. Stability analysis of mooring lines of a submersible fish cage system using numerical model, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 35(5).
- Kim, T.H., K.U. Yang, K.S. Hwang, D.J. Jang, J.G. Hur, 2011. Automatic surfacing and submerging performances of model fish cage system operated by air control, Aquacultural Engineering, 45(2), 74–86.

- Kim, T.H., K.S. Hwang, S.S. Shin, 2012. Developing of a remotely operated submersible fish cage system. *Sea Technology*, 53(2).
- Lekang, O.I., 2007. *Aquaculture Engineering*. Blackwell Publishing, Oxford, p. 340.
- Mitrovich, V., 2010. "The wait is over", *Fish Farming International*, 37(2), 20–24.
- Molnar, L., Toal, D., 2007. A control system development for submersible sea cage system. In *Proceedings of Oceans 2007*, 1–11.
- Morison, J.R., J.W. Johnson, M.P. O' Brien and S.A. Schaaf, 1950. The forces exerted by surface waves on piles, *Petroleum Transactions. American Institute Of Mining Engineering*, 149–157.
- Tsukrov, I., O. Eroshkin, W. Paul and B. Celikkol, 2005. Numerical modeling of nonlinear elastic components of mooring systems. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 30(1), 37–46.
- Tsukrov, I., O. Eroshkin, D.W. Fredriksson, M.R. Swift, B. Celikkol, 2003. Finite element modeling of net panels using consistent net elements. *Ocean Engineering*. 30, 251–270.