

2009
0268

항
만
수
중
공
사
용
무
인
다
목
적
기
계
화
시
공
장
비
개
발
최
종
보
고
서

2014

한국해양과학기술진흥원
해양수산부

Oceans and Fisheries R&D Report

보안과제(), 일반과제(○) / 공개(○), 비공개()
첨단항만건설기술개발사업 제5차년도 최종보고서

R&D / 2009-0268

항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비 개발 최종보고서

(0.1cm)

2014. 06.

주관연구기관 / 한국해양과학기술원
협동연구기관 / 창원대학교
위탁연구기관 / 한국로봇융합연구원
참여기업 / (주)KT서브마린
(주)희송지오택
FM전기유압

해 양 수 산 부
한국해양과학기술진흥원

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

이 보고서를 "항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014 . 06.

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원

주관연구책임자 : 장인성

연 구 원 : 권오순, 신창주, 한상훈, 고진환,
백원대, 김기훈, 김우태, 장은이,
나선희, 백승미

협동연구기관명 : 창원대학교

주관연구책임자 : 이민기

연 구 원 : 김태성, 유봉수, 김치효, 이진형,
정중하, 이주영, 김도연

위탁연구기관명 : 한국로봇융합연구원

주관연구책임자 : 서진호

연 구 원 : 이정우, 박정우

참여기업명 : (주)KT서브마린

참여기업명 : (주)희송지오텍

참여기업명 : FM전기유압

보고서 요약서

과제고유번호	2009-0268	해 당 단 계 연 구 기 간	2013.10.01.~ 2014.06.30.	단 계 구 분	1단계/ 1단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	첨단항만건설기술개발사업			
연구과제명	대과제명	항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발			
	세부과제명				
연구책임자	장인성	해당단계 참 여 연구원수	총 : 62명 내부 : 32명 외부 : 20명	해당단계 연 구 비	정부: 334백만원 기업: 120백만원 계: 454백만원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 273명 내부 : 181명 외부 : 92명	총연구비	정부: 2861백만원 기업: 1,030백만원 계: 3,891백만원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국해양과학기술원 수중건설로봇사업단		참여기업명	KT서브마린, 희송지오텍, FM전기유압	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 한국로봇융합연구원		연구책임자 : 서진호		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	수중무인장비, 무인자동화, 항만구조물, 기초사석고르기, 굴삭			
	영 어	Underwater unmanned equipment, Unmanned automation, Harbor facilities, Bubble mounds leveling, Excavation			

요약문

I. 제목

항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

항만 수중공사에 있어 수중 사석 고르기, 굴삭 작업 등을 경제적/효율적/안전적으로 수행할 수 있는 수중 기계화 굴삭 장비의 무인 수중 지반조성 운용 시스템을 개발하고 실용화함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 해저면 이동 시스템 개발
(개발장비가 해저면에서 안정적으로 이동하게 하는 장치)
- 작업 플랫폼 개발
(수중에서 작업을 수행하기 위한 장치)
- 수중 환경 모니터링 시스템 개발
(수중에서 위치 인식, 해저면 및 전후방 모니터링)
- 수중 장비 운영시스템 개발
(장비의 원격작업을 수행하는 장치)

IV. 연구개발결과

- 수심 20m까지 원격조종을 통해 항만 수중작업이 가능한 수중 사석 고르기, 굴삭용 무인 기계화 장비 개발
- 수중 무인 기계화 시공이 가능한 수중환경 모니터링 시스템 및 운영시스템 개발
- 현장 실험역 검증실험을 통한 성능평가 및 실용화/상용화

V. 연구개발결과의 활용계획

- 수중 무인 기계화 장비에 대한 독자적 기술 개발을 토해 기술 자립도 제고
- 항만구조물 건설 시 잠수부 작업 대비 작업안전성 증대, 공기단축 및 시공 효율성 증대.
- 해양플랜트, 초장대해상교량 및 해저터널과 같은 다양한 해양구조물 시장 창출 기여

5. 영문 요약서

SUMMARY

(영문요약문)

I. Title

Development of unmanned automated equipment for underwater construction of ports

II. Purpose

To develop and utilize the underwater unmanned excavator which perform leveling and excavate rubble mounds for underwater construction of ports with low cost, high efficiency and safety.

III. Contents

- Development of sea-bed mobility system
- Development of working platform
- Development of monitoring system for underwater environment
- Development of operating system for underwater equipment

IV. Results

- Unmanned equipment for underwater construction of ports such as leveling and excavation (upto depth 20m)
- Monitoring system for underwater environment and operating systme for unmanned equipment
- Evaluation & utilization through real field test

V. Future plane

- To secure the technology of underwater unmanned mechanics
- Increase the safety, work efficiency and shorten the construction period for the construction of harbor facilities
- To contribute the market creating of offshore structure such as offshore plants, super long span bridges and underwater tunnel etc.

6. 영문 목차

CONTENTS

Submission	i
Report Summary	ii
Summary	iii
Contents	iv
Chapter 1 Synopsis of Research	1
1-1 Purpose	1
1-2 Necessity	1
1-3 Scope	8
Chapter 2 Status of Technology Development	9
2-1 Domestic and International Status	10
2-2 Domestic and International Position by Research Result	16
Chapter 3 Contents and Results of Research	17
Chapter 4 Achievement of Goals and Contributions	17
4-1 Annual Research Goals	10
4-2 Achievement of Goals	12
4-3 Contributions	12
Chapter 5 Future Plan of Research Results	17
5-1 Necessity of Further	10
5-2 Applications to other researches	12
5-3 Promotion Plan to Industrialization	12
Chapter 6 Collected International technology Information under Research	17
Chapter 7 References	17

7. 목차

제출문	i
보고서요약서	ii
요약문	iii
목차	iv
제1장 연구개발과제의 개요	1
1-1 연구개발의 목적	1
1-2 연구개발의 필요성	1
1-2 연구개발의 범위	8
제2장 국내외 기술개발 현황	9
2-1 국내·외 관련분야에 대한 기술개발 현황	10
2-2 연구결과가 국내·외 기술개발현황에 차지하는 위치	16
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	17
제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	17
4-1 연도별 연구목표	12
4-2 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도	12
4-3 관련분야의 기술발전예의 기여도	12
제5장 연구개발결과의 활용계획	17
5-1 추가연구의 필요성	12
5-2 타연구의 응용	12
5-3 기업화 추진 방안	12
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	17
제7장 참고문헌	17

제1장 연구개발과제의 개요

1-1절 연구개발의 목적

1. 비전 및 목표

항만 수중공사에 있어 수중 사석 고르기, 다지기, 굴삭 작업 등을 경제적/효율적/안전적으로 수행할 수 있는 수중 기계화 굴삭 장비 및 무인 수중 기반조성 운용 시스템을 개발하고 실용화 함.

- 수심 20m까지 원격조종을 통해 항만 수중작업이 가능한 수중 사석 고르기, 다지기, 굴삭용 무인 기계화 장비 개발
- 수중 무인 기계화 시공이 가능한 모니터링 시스템 및 운영 시스템 개발
- 현장 실험역 검증을 통한 성능평가 및 실용화/상용화

1-2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면에서의 기술개발 필요성

가. 건설공사 수중 기반조성 시공기술에 대한 관심 고조

- 최근 들어 최신의 정보기술(특히 IT)을 도로, 철도, 댐 및 공항 등 인프라 건설에 도입하여 시공 효율과 시공 품질 향상을 추구하고자 하는 정보화 시공 기술이 실제 현장에 직,간접적으로 활용되고 있으며 현재 건설-IT 융복합기술 중 “건설공사의 수중 기반조성 시공기술”이 가장 중요한 기술로 인식되고 있음.
- 또한, 기계공학이나 전자/전기 공학 그리고 제어공학 등을 접목한 메카트로닉스 기술이 항만건설기술과 융합되어 수중공사를 로봇화하는 연구가 활발히 진행되고 있음.

나. 건설공사 무인 다목적 기계화 장비의 필요성

- 대수심이냐 고파랑, 조류가 큰 해역 등 열악한 외부 환경 조건 하에서 수중에 설치될 다양한 해양구조물의 정밀 시공을 위해서는 기존보다 생산성이나 효율면에서 향상된 무인 기계화 시공장비의 개발이 필요함.
- 무인 다목적 기계화 시공장비는 항만 뿐만 아니라 해양에너지플랜트를 포함한 다양한 목적과 형태의 해상구조물에 대한 정밀 시공에 활용할 수 있음.
- 수중 기계화장비 시장은 향후 지속적으로 성장할 것으로 예상되므로, 해외 시공 분야에서 시장 선점을 위한 체계적 연구개발 및 상용화 전략이 필요.
- 최근 들어 대수심 조건에서의 해양 구조물에 대한 수요가 증대되고 있는 시점에서 열악한 외부 환경을 극복할 수 있는 시공 장비의 개발은 향후 해양 건설 강국의 초석을 다지는데 필수적인 요소가 될 것임.

다. 수중 무인 사석마운드 다짐 및 고르기 시공장비의 필요성

- 중량구조물을 해상에 거치하기 위해서는 사석을 투하하여 마운드를 형성하며, 구조물의 거치를 위해 사석 마운드의 다짐 및 고르기 작업이 필요함.
- 사석마운드나 지반의 다짐 및 고르기 정도가 해양구조물의 정적인 거동 및 동적인 거동에 큰 영향을 미치므로 구조물의 안정성에 직결되는 작업임.
- 수중사석의 고르기, 다지기 작업은 항만공사의 기초 작업으로 현재 잠수부에 의한 수작업으로 이루어지고 있으며, 미니 굴삭기를 개조하여 잠수부가 직접 운전하여 생산성을 높인 사례가 보고되고 있는 실정임.
- 따라서 재래식 수작업을 무인 기계화작업으로 개선하여 작업성 및 안전성을 극대화할 필요성이 있으며, 이는 수중 시공분야에 넓게 적용될 수 있는 범용장비가 개발될 필요가 있음.

2. 경제, 산업적 측면에서의 기술개발 필요성

가. 항만 건설 패러다임 전환

- 최근 들어 물류경쟁력 강화와 Green Port를 지향하는 항만의 친수, 친환경적 활용이 공존하는 방향으로 항만 건설에 대한 패러다임이 전환되고 있음.
- 초대형 컨테이너선의 등장으로 기존 항만의 리모델링과 대형항만의 필요성이 증대되고 있음.

나. 해상구조물의 대형화 추세

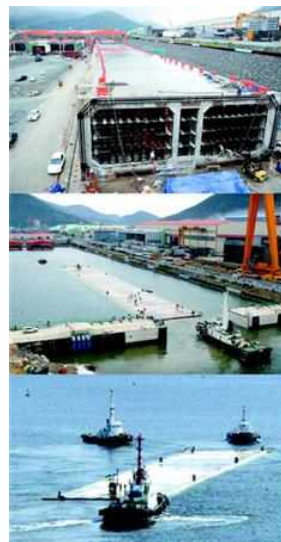
- 최근 초장대해상교량, 해저터널, 인공섬 등과 같은 대형 해상구조물 기술 개발이 활발히 진행되고 있으므로 향후 이들 구조물의 건설 추진이 예상된다.



(a) 항만공사



(b) 석션파일 기초방파제 시공현장



(c) 해저 침매터널 공사 현장

그림 1.1 다양화 되고 있는 항만 및 구조물 공사

다. 해양에너지 플랜트 건설 가시화

- 조력발전, 조류발전, 파력발전, 해상풍력발전 등 해양에너지 개발에 대한 관심이 고조됨에 따라 해양에너지플랜트 건설 수요가 폭발적으로 증대될 것임.
- 조류발전의 경우 2009년 울돌목에 시험조류발전소가 준공되어 실증실험단계에 있으며, 향후 상용조류발전소의 건설이 계획 중임.
- 파력발전 및 해상풍력발전단지에 대해서도 현재 R&D를 추진 중임.



(a) 해상 풍력 발전 시설 (덴마크)



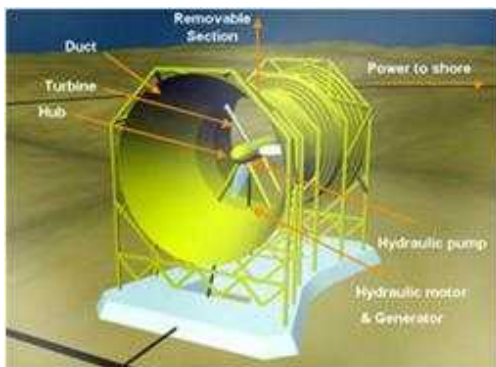
(b) 파력발전 개념도



(c) 가로림 조력발전소 조감도



(d) 인천만 조력발전소 조감도



(e) 해저 착저형 조류발전시스템 개념도 (영국)



(f) 울돌목 시험조류발전소 시공

그림 1.2 해양에너지 플랜트



그림 1.3 이어도 해양 관측기지

라. 해양개발을 위한 다양한 해양구조물의 건설 수요 예상

- 이어도, 가거초 해양관측기지 등의 해양과학기지를 비롯하여 해양자원개발을 위한 다양한 목적과 형태의 해양구조물 수요가 창출될 것으로 예상됨.

3. 사회, 문화적 측면에서의 기술개발 필요성

가. 육상공사 대비 낮은 시공 효율성

- 육상 공사에는 시공 현황을 육안으로 확인하기 용이할 뿐만 아니라 시공 장비 및 측량장비의 첨단화로 인해 시공의 정밀도를 최대한 확보하고 있음.
- 해상 공사의 경우, 탁도로 인해 시계가 떨어지며 수중 영상 및 정밀 위치 파악의 어려움으로 인해 시공의 효율성이 상당히 저하되고 있음.

나. 잠수부 활용 재래식 시공의 작업성 한계

- 지금까지 대부분의 국내 해상 공사의 경우에는 잠수부를 활용한 재래식 시공과 공사 관리가 이루어지고 있음.
- 시공과정에서 잠수부의 허리부상 및 손가락 절단 등 각종 재해의 우려가 있음.
- 잠수병 때문에 작업시간이 극히 제한되고, 대수심 조건이거나 기타 작업여건이 열악할 경우 생산성 및 시공의 정밀도가 떨어짐. 특히, 작업현장이 점점 대수심화 됨에 따라 작업조건이 더욱 악화되고 있음.
- 잠수표에 의하면 수심 20m에서 8시간 근무시간 중 2시간 밖에는 잠수작업을 할 수 없고 나머지 6시간 이상은 잠수병 예방을 위해 휴식을 취해야 하기 때문에 수중 작업의 효율성이 상당히 떨어지는 실정임.
- 미국 Occupational safety and health administration에 따르면 1989년과 1997년 사이에 해상 다이버들의 사망률은 평균 노동자에 비해서 40배에 달하였으며, 매우 위험한 직업군 중의 하나임.



NOAA NO-DECOMPRESSION AIR DIVE TABLE

CHART 1 — DIVE TIMES WITH END-OF-DIVE GROUP LETTER

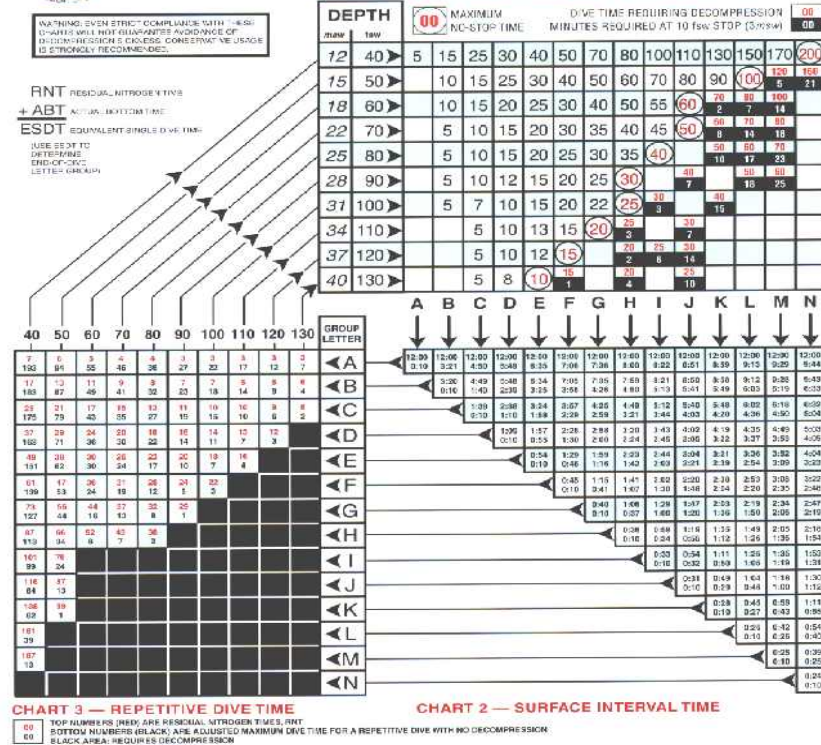


그림 1.4 반복 잠수표 (International Diving Education Association 제공)

다. 잠수부 활용 재래식 시공의 품질관리 한계

- 대수심에서 파랑이나 주류 등으로 인해 해상기초 등 수중에 설치될 다양한 해양구조물의 지반 내 정밀 거치가 어려움.
- 관리, 감독자가 작업과정을 직접 확인하지 못하고 작업자인 잠수부의 처분에만 의존하며 완료된 공사 중 일부만 촬영해 품질을 관리하는 기존 방법에서 탈피해 부실공사를 예방하기 위한 장치가 필요함.
- 국내 해역의 특성상 탁도로 인하여 시야 확보가 어려운 조건이므로 무인 기계화 장비를 통해 고품질 저비용의 시공을 실현해야 함.

표 1.1 산업재해로 인한 사망자 수

구분	2008.1 ~ 12			2007.1 ~ 12			
	계	사고	질병	계	사고	질병	
총계	2,422	1,448	974	2,406	1,383	1,023	
광업	420	14	406	436	22	414	
제조업	602	407	195	605	392	213	
전기가스 및 상수도업	7	4	3	6	4	2	
건설업	669	592	77	630	539	91	
운수창고및통신업	183	114	69	166	107	59	
기타 산업	541	317	224	563	319	244	
	임업	17	15	2	22	18	4
	어업	3	3	0	2	2	0
	농업	12	10	2	8	6	2
	금융및보험업	23	8	15	28	6	22
	기타의사업	486	281	205	503	287	216

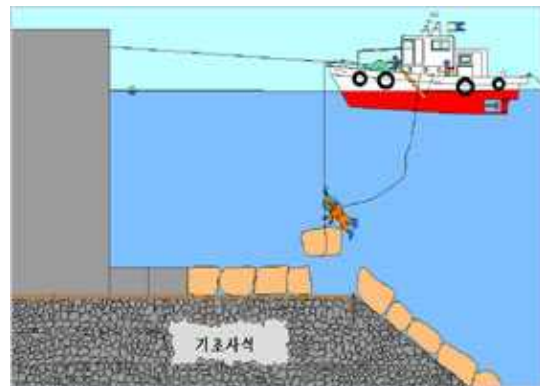
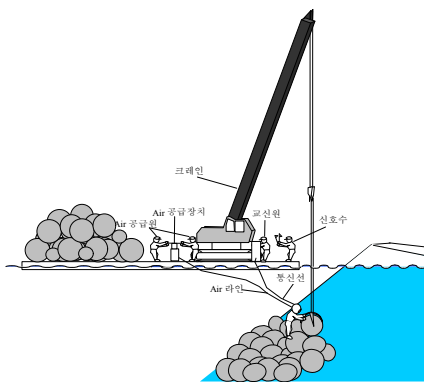


그림 1.5 잠수부를 활용한 기존의 수중 시공 작업

1-3절 연구개발의 범위

기술 1 : 수심 20m까지 원격조종을 통해 작업이 가능한 무인 기계화 장비

○ 정의 : 항만 수중 공사 중 사석고르기 작업을 수행할 수 있는 무인 기계화 장비.

수심 20m 조건에서 원격 조종을 통해 작업이 이루어질 수 있는 장비 기술을 개발하여 설계/제작/현장검증실험을 수행.

○ 내용

- 고강성 수중 유압식 엑추에이터 설계 및 제작 기술
- 수중 해저면 이동 시스템 설계 및 제작기술
- 수중 방수 시스템 기술
- 수중 유압 공급 시스템 기술
- 수중 전력 공급 시스템 기술
- 작업 플랫폼 설계 및 제작 기술
- 다목적 암 설계 및 제작 기술
- 수중 사석 고르기 전용 툴 설계 및 제작 기술
- 현장 검증 실험

: 육상 실험을 통한 이동시스템, 원격조종 시스템 성능실험, 수중실험을 통한 세부핵심모듈 성능실험, 현장 실행역 시공현장 투입



그림 1.6 개발된 수중 사석 고르기 장비

기술 2 : 수중 무인 기계화 시공이 가능한 모니터링 시스템 및 운영 시스템

○ 정의 : 무인 기계화 장비를 활용한 수중 작업이 원활하게 이루어질 수 있도록 수중환경을 인식하고 원격 운영하는 기술이며, 수중 장비 위치 및 물체 인식 시스템과 함께 수중 작업 모니터링 시스템을 포함.

○ 내용

- 수중 환경 인식 시스템

 : 장비 위치 확인 시스템, 수중 물체 인식 시스템

- 수중작업 가시화 통합 시스템 기술

 : 수중 장비 위치/형상 모니터링, 3D 그래픽 모델링을 통한 가시화 시스템

- 무인 수중 장비 원격제어 소프트웨어 기술

- 독립형 통합 운영실 설계 및 제작

- 현장검증실험

 : 수중 환경 인식 시스템, 수중 모니터링 시스템, 수중 운영 시스템

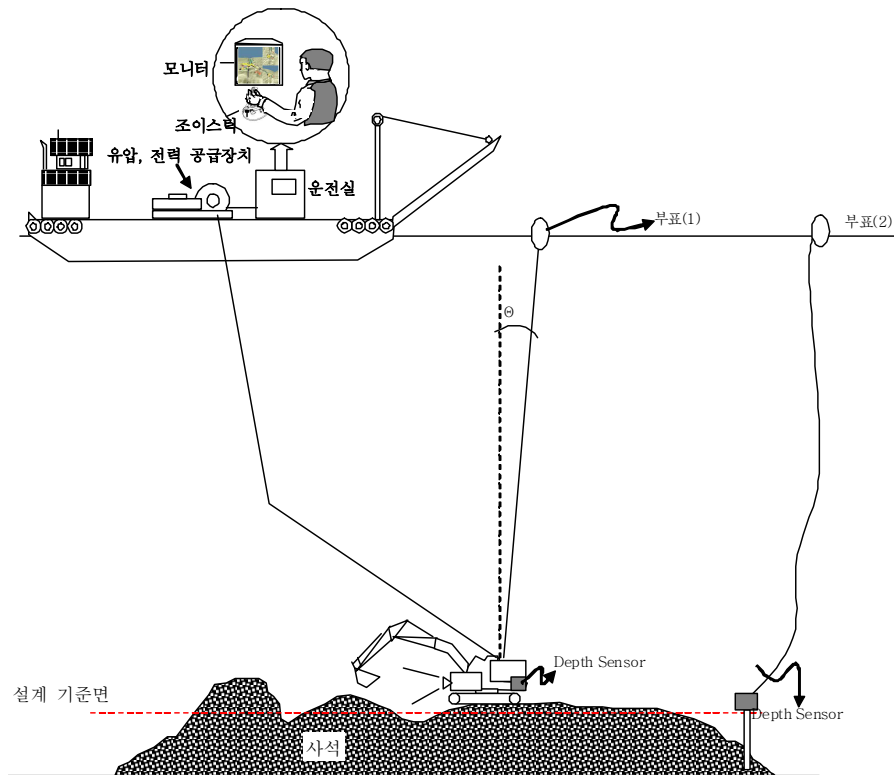


그림 1.7 개발장비 운영 방식

제2장 국내외 기술개발 현황

2-1절 국내·외 관련분야에 대한 기술개발현황

1. 국내 기술개발 현황

- (유)한국해양개발공사에서 유인 수중 미니굴삭기를 개발하여 암석과 자갈 등 사석 제거 작업에 투입(수심 10m)하여 생산성을 50% 이상 높이는 성과를 이루었음.
- (주)초석건설산업은 해상SCP선을 이용한 특허공법의 사석 고르기 장비로 Casing상단에 장착되어 있는 Vibro Hammer의 진동에 의하여 사석 마운드를 다져 단단하게 고르는 공법으로 수중사석다짐 작업을 수행.
- 방파제와 호안에서의 작업은 깊은 수심과 높은 파도와 같이 자연적인 제약조건으로 인해 작업인력의 안전에 많은 문제를 야기함. 특히, 수중작업은 작업 중 발생하는 부유물 등에 의해서 시야확보가 어려워 잠수부의 판단에만 전적으로 의존하고 있어 공사의 품질 관리 및 감독이 불가능함.
- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2001년부터 창원대학 메카트로닉스 연구원에서는 국토해양부의 지원으로 “수중항만공사 기계화 시공장비”에 관한 연구를 수행해 수중방파제 피복작업을 할 수 있는 Stone Diver을 개발했음. 피복석의 면을 정밀하게 맞출 수 있도록 자유자재로 운동하는 병렬기구형 유압 로봇과 탁도가 높은 수중에서도 물체를 촬영할 수 있는 수중촬영장치를 개발해 운전실에서 영상을 보면서 로봇을 조종해 피복석을 짜 맞출 수 있음.
- Stone Diver은 수중공사 중 방파제 피복작업에 국한 된 것으로 수중정밀 정밀시공과 같은 다양한 용도에 적용하기 위해서는 정밀측정기술, 영상기술, 지반조사기술, 보행기술 등에 관한 연구가 필요함.



그림 2.1 수중 유인 미니굴삭기, (유)한국해양개발공사



(a) 수중로봇 (Stone Diver)



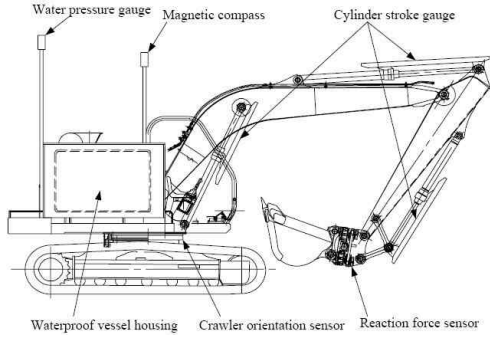
(b) 수중 작업 모니터링 장면

그림 2.2 수중로봇 운용 및 작업 영상

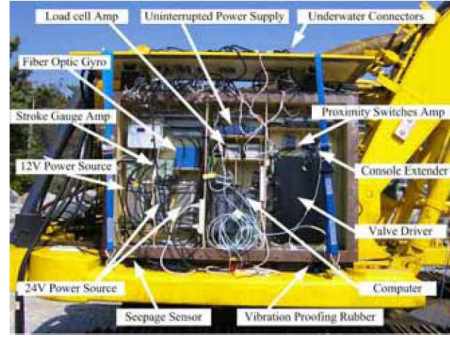
- 육상 시공 로봇개발은 현재 국토해양부 R&D 과제로서 “지능형굴삭시스템 개발”과 “첨단융합건설사업”이란 연구단과제가 진행 중이며, 무인 굴삭기 개발, 지능형 타워크레인, 볼트체결용 로봇, 교량유지관리용 로봇 개발 등의 연구가 포함되어 있음.
- “지능형 굴삭시스템 개발” 과제의 핵심기술은 주변지형의 3차원 변화를 실시간으로 인식, 디지털 유압제어장치를 이용한 실시간 제어이며, 세계 4위의 굴삭기 제조업체인 두산 인프라코아와 함께 15톤급의 중형 무인굴삭기를 2011년까지 개발 할 예정임.



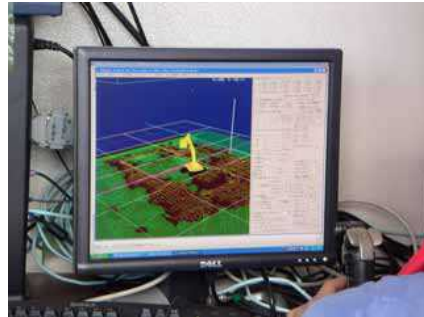
그림 2.3 지능형 굴삭 시스템 개념도



(a) 수중 무인 굴삭기 구성도



(b) 각종 수중 센서부



(c) 지형 데이터베이스 화면

그림 2.4 수중 무인 굴삭기

2. 국외 기술개발 현황

- 일본에서 적용되고 있는 수중공사 장비의 대표적인 사례가 육상에서 가장 널리 사용되고 있는 장비인 굴삭기(back hoe)로, 현재 육상처럼 조종석에 잠수부가 위치하여 장비를 조정하게 되며, 장비의 기동은 상부에서 연결된 케이블과 무한궤도로 이루어짐.
- 아래 그림은 Hirabayashi와 Yamamoto에서 개발 중인 수중 무인 굴삭기로 엔진룸 대신에 방수 센서 룸(Waterproof vessel housing)에 각종 센서와 앰프 등을 갖추고 있고, 수중의 3D 지형 데이터 화면을 제공하여 육상에서 원격 조정하게 됨.
- 프랑스에서도 해저용 원격조정 굴삭기를 개발하여 사용하고 있음. Nexans사에서 개발한 해저용 원격조정 굴삭기인 Spider ROV는 6개의 수중 카메라 시스템과 음파센서, 압력센서, 기압센서, 경사센서 등의 센서 시스템을 구비하고 있으며 해상과의 통신은 케이블을 통해서 이루어짐. 해상의 조종사는 화면을 통해서 100~200mm의 정밀도로 굴삭기를 조작할 수 있음.



그림 2.5 해저용 원격조정 굴삭기(Nexans Spider ROV)

- 일본의 경우 1994년에 KOMATSU사에서 최고수심 30m에서 작업이 가능한 “해저 보행식 수중사석 고르기 장비”를 개발해 실용화 단계에 이르렀음. 개발된 장비는 중량 77ton(수중 58ton), 크기 17m(L) x 10m(D) x 6.2m(H)으로 육상에서 공급되는 유압원으로 구동하며 4개의 수직다리를 가지는 2쌍의 보행시스템으로 25m/h의 속도로 이동 가능.
- 일반적으로 수중 장비는 장비를 해상 선박에서 제어하는 다운홀 방식과 장비를 해저면에 내려서 작업하는 착저 방식이 있는데, 수중 다짐 장비도 두 가지 방식으로 사용됨. 마운드의 편평도를 높이기 위해 사용되기도 하며, 마운드 사면의 다짐에도 적용하는 장비가 있음.
- 또한, 수륙양용 사석다짐 시공장비를 개발하였으며, 수중작업 시에는 육상에서 원격조정할 수 있음.



그림 2.6 해저 보행식 수중사석고르기 장비

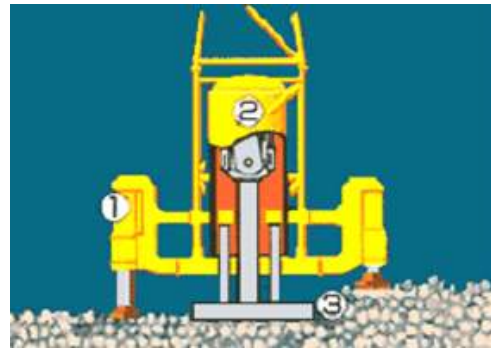


그림 2.7 수중 마운드 다짐 장비



그림 2.8 수륙 양용 사석다짐 시공장비

- 해양유류개발, 저장, 공급설비와 심층수 등 해양자원의 육상연계를 위한 해저파이프 라인을 건설하는데 있어서 필요한 수중 지반 굴삭용 장비의 개발이 진행 중임.



그림 2.9 지반 굴삭장비 - Subsea mining



그림 2.10 지반 굴삭장비 - Scanmaskin1000

2-2절 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치

- 미래의 해양분야에 대한 시장을 예측해 보면 기존의 항만 분야 이외에도 해저 터널이나 인공섬, 조류/조력/해상풍력 에너지, 초장대 교량, 해저케이블, 매설관, 수중 환경조사 및 개선, 친환경 준설, 방재 구조물 등 다양한 해양 구조물이 향후 개발될 것으로 예상되며 이러한 해양구조물의 효율적/안정적/경제적 시공을 위해서는 해양 장비의 기계화 기술의 개발이 필수적임.
- 해양구조물이 점차적으로 대수심, 고파랑, 높은 조류력 등 열악한 환경 아래로 진출함에 따라 기존의 잠수부를 활용하는 수중 공사는 한계가 있을 수 밖에 없으며, 장비와 인력을 효율적으로 연계하여 활용할 수 있는 방안을 도출하여야 함.
- 수중 기계화 장비 기술은 다양한 수중 구조물이나 해양조사 시장에 적용될 것으로 예측되며, 무인화 장비에 첨단기술 (통신, 계측, IT)을 접목해 장비의 기능을 높이고 있음.
- 국가 정책적으로 융, 복합 기술의 확대를 추진하고 있으며, 향후 수중 로봇의 비전이 상당히 밝은 것으로 예측되는 가운데, 수중 기계화 장비의 세계 시장 선점을 위해서는 지금부터 체계적인 연구개발이 필수적이라 할 수 있음.

※ 외국장비 도입 시와 장단점 비교

	외국장비 도입 시	장비 개발 시
적용 시기	- 구매 즉시 적용 가능	- 개발 기간외에도 장비 성능 검증, 개선을 위한 Track record 쌓는 시기가 소요됨.
도입 금액	- 적용대상, 소요되는 파워, 크기 등에 따라 천차만별임.	- 본 연구개발은 5년간 총 38억 원이 소요되었음.
적용 대상지	- 구매시 장비의 스펙에 제시된 대상지로 제한적임.	- 장비 개발 시 적용 대상지를 선정하여 이에 맞게 수정할 수 있음.
장비 운영 교육	- 장비 운영을 위한 교육으로 추가적인 교육비를 국외로 지급하여야 함.	- 장비 개발 시 운영 매뉴얼을 작성함. - 운영에 대한 교육을 국내에서 수행할 수 있음. - 유저가 원하는 작업에 대하여 특화하여 맞춤형 교육이 가능함.

장비 유지 보수	<ul style="list-style-type: none"> - 장비에 주요문제 발생 시 장비 구매업체의 전문가가 와서 해결, 또는 해당 업체로 장비를 보내야 함. - 즉각적인 대응이 어려움. - 부품 단종 후엔 대체품을 구하기 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 문제 발생시 국내업체가 즉각적으로 대응 가능함. - 부품이 단종되면 대체품을 쓸 수 있도록 대처 가능함.
장비 개선	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 해역의 경우 강한 조류, 탁도 등에 의해 해외장비를 바로 사용하기 힘들. - 국내 실정에 맞게 장비 수정이 필요한데, 해외 장비 업체는 이에 막대한 금액을 요구함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 실정에 맞게 개발가능함. - 개발장비를 어느 해역에서 사용하더라도 이에 맞게 국내에서 쉽게 수정가능해짐.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

- 1 ~ 5차년도의 이론적, 실험적 접근방법, 연구내용 및 연구결과는 [별첨 1]에 기입하였음.

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

4-1절 연도별 연구목표

1. 1차년도

해당연도 연구개발 목표	1. 수중 지반조성용 장비의 사양결정 2. 시험용 장비 개발 3. 육상 실험 및 성능 평가
-----------------	--

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용	연구범위	연구비(천원)
수중 지반조성용 장비의 사양결정	착저형 이동 시스템 사양설계		40,000
	작업플랫폼 사양설계		76,200
	수중위치/형상인식 시스템 사양설계		60,000
시험용 장비 개발	착저형 이동 시스템 개발		114,400
	구동용 제어기 개발		41,600
	위치/형상 인식 시스템 요소기술 개발		110,000
육상 실험 및 성능 평가	이동 시스템 구동 및 제어실험		97,800

연구개발내용 및 범위 상세기술
1. 수중고르기 장비 관련 기존 자료 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 수중고르기 작업에 대한 작업공정 분석 - 장비 전반, 이동시스템, 수중환경 모니터링 시스템 포함 세부 기술 관련 동향 분석 - 수중고르기 장비에 대한 특허 분석 - 다양한 지반조건에 대한 장비 이동시스템 분석
2. 수중 다목적 기계화 장비 사양 결정 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 수중시공장비 동향, 수중고르기작업 현장방문, 관련분야 전문가 세미나 등의 착안점 반영 - 원격조종 고르기 작업의 작업성 극대화를 위한 작업플랫폼 수평유지기구 사양결정 - 수중 다목적 작업을 위한 작업플랫폼 및 툴 사양결정 - 유압 및 전력공급시스템의 사양결정-수중고르기 장비의 활용범위 및 향후 개선방향 제시 - 기존 계획 장비에 비해 업그레이드된 장비의 개발방향 제시
3. 수중 사석 고르기 장비 개념설계 <ul style="list-style-type: none"> - 수중 고르기 장비 개념설계 - 작업플랫폼 및 장비 몸체 개념 설계

- 높이 조절용 아웃트리거 및 궤도형 유압 주행장치 개념 설계
- 주행 모터/주행 감속기/유압실린더 방수 개념 설계
- 유압 밸브 블록과 전기장치의 방수 및 밀봉 개념 설계
- 수중 장비의 위치를 확인할 수 있는 기법에 대한 분석 및 개념 설계
- 수중 물체를 인식할 수 있는 다양한 종류의 기법에 대한 분석 및 성능평가, 개념설계

4. 운영시스템 설계

- 선상 원격 제어시스템 분석을 통한 고르기 작업 원격제어 시스템의 사양결정
- 육상 시험용 제어프로그램을 GUI 형태로 개발하여 모델링 화면을 보면서 작업이 가능하도록 구현

5. 시험용 장비 개발

- 개념설계를 바탕으로 착저형 이동시스템 상세설계 및 제작
- 육상 고르기 실험 및 성능평가를 위한 톨 추가개발
- 다축 유압시스템의 구동용 제어기를 Embedded 개념으로 개발
- 육상 시험을 위한 원격조종장치 및 제어시스템 구현

6. 육상실험 및 성능평가

- 사석면을 조성하여 육상실험 수행
- 착저형 이동시스템의 이동성 및 작업에 필요한 제어성, 작업성 등의 실험 수행
- 개발 장비의 사석면 이동실험 및 결과 분석

2. 2차년도

해당연도 연구개발 목표	1. 수중 구동장치 개발 2. 전용 제어시스템 개발 3. 수중 실험 및 성능 평가
-----------------	---

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용	연구범위	연구비(천원)
수중 구동장치 개발	수중 시험용 착저형 이동 시스템 보완		60,000
	전기장치 방수시스템 개발		45,000
	수중 시험용 방식기능		25,000
전용 제어시스템 개발	사석면 높이측정 시스템 개발		95,000
	운영시스템 및 Main 제어기 설계, 제작		30,000
	원격제어실 소프트웨어 설계 및 제작		10,000
수중 실험 및 성능 평가	수중 구동 실험		52,338

연구개발내용 및 범위 상세기술
<p>1. 개발장비 활용 방안 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개발장비 활용성 증대의 필요성에 따라 장비를 업그레이드할 수 있는 방안에 대해 제시 - 일본의 관련 기관을 방문하여 수중장비의 연구현황, 개발내용, 장비 활용현장 등을 통해 활용방안 분석 <p>2. 수중 시험용 이동시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1차년도 육상실험 결과로부터 검토된 장비의 보완사항을 설계·제작함. - 장비의 수중 투입을 위한 전기/유압장치의 방수시스템을 수중 20m 수준으로 개발. - 수중에서 운영실과의 통신, 장비제어, 센서데이터 취득이 가능한 구동용 제어기 방수시스템을 개발. <p>3. 수중환경 모니터링시스템 적용방안 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수중 위치인식시스템의 현장 활용방안 분석 - 수중 장비 및 사석면의 높이 측정시스템에 대한 성능평가 - 국내 연안의 탁도를 측정하여 광학 또는 초음파 센서 등의 활용방안을 분석 <p>4. 운영시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수중 장비의 변경 사항을 바탕으로 하여 메인 제어기를 설계하고 새로 제작 - 새롭게 제작한 PLC 제어패널에 대한 컨트롤 내용을 구현하기 위한 소프트웨어 제작

5. 시험용 장비 개발

- 육상 시험용 장비를 방수, 방진 및 방식 기능을 고려하여 수중 시험용 장비로 제작함.
- 기존 구동용 제어기에 Depth 센서, LBL 센서 등의 데이터 취득, 운영시스템 및 모니터링 시스템과의 통신기능 보완.

6. 수중실험 및 성능평가

- 거제 인근 연안해역을 대상으로 수중 실험 수행
- 착저식 수중 이동시스템에 대한 수중 성능 평가
- 착저형 이동시스템의 이동성 및 작업에 필요한 제어성, 작업성 등의 실험 수행
- 수중 위치인식시스템의 활용방안에 대한 성능평가
- 수중 장비 및 사석면의 높이 측정시스템에 대한 성능평가
- 개발 장비의 사석면 이동실험 및 결과 분석

3. 3차년도

해당연도 연구개발 목표	1. 해저면 이동 시스템 개발 2. 작업플랫폼 개발 3. 수중 환경모니터링 시스템 개발 4. 수중 장비 운영시스템 개발 5. 수중 실험 및 성능 평가
-----------------	---

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용	연구범위	연구비(천원)
해저면 이동 시스템 개발	수중 유압공급시스템 개발		150,000
	실측장비용 착저형 이동시스템 설계, 제작		120,000
	고출력 수중 구동 액추에이터 설계, 제작		45,000
	유압제어 시스템 설계, 제작		47,000
작업플랫폼 개발	실측장비용 상/하부 플랫폼 설계, 제작		39,000
	작업 플랫폼 회전 시스템 설계 및 제작		40,000
	저압 워터젯 설계		80,000
	구동용 전용 제어시스템 개발		55,000
수중 환경모니터링 시스템 개발	장비 위치 인식 시스템 개발		90,000
	수중 장애물 인식시스템 제작		110,000
수중 장비 운영시스템 개발	수중 작업 모니터링 시스템 개발		100,000
	수중 장비 운영 시스템 제작		120,000
수중 실험 및 성능 평가	실측장비의 수중 이동 성능평가		99,000
	고르기 작업 및 모니터링 시스템 성능평가		198,000

연구개발내용 및 범위 상세기술
1. 해저면 이동 시스템 개발 - 해저면 이동시스템의 사양을 수중 작업성을 고려하여 상용 06급 굴삭기 규모에 기준하여 개발 - 유압공급을 위한 시스템을 장비에 탑재시켜 개발하여 유압제어의 효율성 및 신뢰성을 높임. - 06급 규모의 착저형 이동 시스템을 설계·제작하고, 수중의 작업환경을 고려한 고출력 수중 구동 액추에이터를 설계·제작

- 유압 구동방식의 장비제어를 위해 유압제어시스템을 설계·제작

2. 작업 플랫폼 개발

- 좌우에 각각 1개의 트랙을 가지는 시스템을 구상하고, 작업 플랫폼의 수평제어 대신 작업 톨의 수평제어방식으로 하부 플랫폼을 구성
- 상부 플랫폼은 강성이 요구되는 부분을 메인 프레임 개념으로 설계/제작하고, 제작된 메인 프레임을 구조물로 확장시켜 넓은 면적을 확보할 수 있도록 개발함.
- 상부 플랫폼에 탑재되는 기능별 방수모듈, 블레이드 톨 등도 설계/제작
- 사석 분산용 톨로 활용 가능한 저압 워터젯을 활용방안에 대한 개념설계 수행
- 3차년도 개발 장비의 조류 영향을 확인하기 위한 CFD 해석 수행

3. 수중 환경모니터링 시스템 개발

- 수중사석고르기 장비의 수중 위치를 파악할 수 있는 위치 인식시스템을 보완 개발
- 탁도가 높은 수중 조건에서 수중 물체를 인식할 수 있는 기법 개발
- 수중 장비의 위치 및 수중 장애물 분석기법을 가시화할 수 있는 작업 모니터링 시스템 개발

4. 수중 장비 운영시스템 개발

- 장비의 운영시스템 및 수중 환경 모니터링 시스템 등이 설치되고 작업자와 관리자가 운영실 내에서 주위 환경을 파악하고 고르기 장비를 운용할 수 있는 운영실 제작
- 운영시스템의 제어 패널의 조작 신호를 받아서, 장비와의 통신 프로토콜에 맞춰 제어 데이터를 송신하고 장비 상태를 수신하여 디스플레이상에 표시

5. 수중실험 및 성능평가

- 수중환경모니터링 시스템에 대한 수중실험 수행
- 장목 인근 연안해역을 대상으로 개발 장비의 기본적인 수중 성능실험(수밀, 이동시스템, 제어시스템 등) 수행
- 부산 송도해수욕장 전면해상을 대상으로 18.5m 수심 조건에 대한 실험실 실험 수행

4. 4차년도

해당연도 연구개발 목표	1. 수중 다목적 기계화 장비 보완 및 시제품 제작 2. 고르기, 굴삭 전용 툴 제작 3. 수중작업용 통합시스템 개발 4. 육상 및 해상 장비 성능 평가 실험
-----------------	---

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용	연구범위	연구비(천원)
수중 다목적 기계화 장비 보완 및 시제품 제작	작업 플랫폼 보완, 제작		120,000
	유압 서보제어 시스템 성능 보완		75,000
	파랑 또는 조류에 의한 수중 장비 거동 분석		80,000
고르기, 굴삭 전용 툴 제작	다목적 암 설계 제작		135,000
	어태치먼트용 툴 제작		98,000
수중작업용 통합시스템 개발	해저면 분석시스템 개발		120,000
	수중작업 결과 가시화 시스템 개발		95,000
	부분 자동화 공정 및 운영시스템 개발		80,000
	통합시스템 운영실 보완 제작		90,000
육상 및 해상 장비 성능 평가 실험	장비 성능 평가 실험		370,000

연구개발내용 및 범위 상세기술
<p>1. 수중 다목적 기계화 장비의 보완 및 시제품 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3차년도 육상/수중 실험과정을 통해 발견된 작업 플랫폼의 문제점을 보완 제작 - 유압 서보제어 시스템 성능보완을 통한 블레이드 속도향상 및 다목적 암, 툴의 유압제어 구현 - 수중 원격제어에 있어 블레이드 높이, 자세 제어, 주행 제어 등 부분자동화 알고리즘 개발 <p>2. 고르기, 굴삭 전용 툴 제작</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기 개발 장비와 작업공간, 중작업시 강성 등을 고려하여 다목적암 설계 및 제작완료 - 어태치먼트용 툴로 버킷 및 크람셀을 설계하여 다목적 암 끝단에 장착 후 작업가능하도록 개발함 - 툴의 제어 정밀도 향상을 위해 장비 및 툴에 대한 기구학 해석을 수행하고 실시간 3D 모델링 프로그램 개발 및 실제 장비간 형상을 비교함. <p>3. 수중작업용 통합 시스템 개발</p>

- 해저면 분석을 위해 Altimeter 시스템을 개발하여 수조환경에서 높은 정밀도를 얻음.
- Altimeter 시스템을 장비 작업 플랫폼에 설치하여 사석면과의 거리를 실시간으로 측정함.
- 측정데이터를 활용하여 사석면을 실시간 모델링하여 해저면 실시간 분석의 가능성을 보임.
- 소나를 이용하여 장비의 해저면 및 전후방 모니터링 시스템을 구축함.
- LBL을 이용하여 수중위치인식을 함.

4. 수중 장비 통합 운영시스템 개발

- 다중모니터, 조이스틱을 이용하여 장비운용을 할 수 있도록 함.
- 3D 가시화 프로그램을 구현.

5. 장비 성능 평가실험

- 사석고르기 작업을 위해 개발된 블레이드 및 다목적 암(버킷)을 수중 원격제어로 사석고르기 작업 및 굴착작업 수행함.
- 고르기 시공과정에서 블레이드의 높이 추종오차는 $\pm 10\text{Cm}$ 이내이며, 초음파 카메라와 3D 가시화 프로그램을 이용하여 굴착작업을 성공적으로 수행함.

5. 5차년도

해당연도 연구개발 목표	1. 수중장비 통합시스템 성능개선 2. 실제 사석현장 검증실험을 통한 시제품 성능 평가 3. 실용화 방안 구축
-----------------	---

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용	연구범위	연구비(천원)
수중장비 통합시스템 성능개선	통합플랫폼 및 작업 툴 수정/보완 작업		35,000
	통합시스템 운영실 보완/제작		25,000
	3차원 작업 모니터링 시스템 개발		35,000
실제 사석현장 검증실험을 통한 시제품 성능 평가	시공현장 투입을 통한 기계화 가능성 제시		283,350
	장비 최종 수정 보완 제작		52,500
실용화 방안 구축	시제품 도면화		10,500
	장비 운용 및 유지보수 매뉴얼 작성		12,200

연구개발내용 및 범위 상세기술

<p>1. 수중장비 통합시스템 성능개선</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4차년도의 현장실험에서 장비 운용에 대한 운영실의 수정 및 보완사항을 반영하여 제작 - 수중 기초사석 고르기장비의 수중환경 내 정밀 위치 표시 기능 수정 개발 - Pre-survey된 지형데이터를 실시간으로 읽어 화면에 표시하는 기능 개발 - Post-survey된 지형데이터를 실시간으로 읽어 작업량을 계산 및 표시하는 기능 개발 - 고르기장비의 자세 정보 및 구동 펌프 사용량 등의 정보를 가시화하는 추가 기능 개발 - 유압시스템 및 전기/제어부 성능 보완 <p>2. 사석현장 검증 실험 및 시제품 성능평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실제 기초사석고르기 현장을 대상으로 기계화 시공 가능성 제시 - 사석현장에서 장비 프레임 및 구동부의 기능 시험 - 실험결과를 반영하여 최종적인 장비 보완 - 현장 Test 세부 계획 <ul style="list-style-type: none"> ① Pre-survey 수중사석고르기 작업을 수행할 지형상태 및 위험지형 판단, 장비가 착저할 위치 선정. ② 수중에서 지속적인 장비 모니터링 개발장비를 장시간동안 입수시킨 상태, 작동하고 있는 상태에 지속적인 모니터링을 수
--

행하여 피로 저항, 방수, 부식, 강인 제어등을 확인하여 장비의 신뢰성을 확보.

③ 수중환경 모니터링 및 정밀항법

다양한 지형형상에 따른 소나영상 데이터베이스 확보, 정밀 포지셔닝 결과와 소나영상의 상호관계를 파악하여 장비에 대한 조종자의 신뢰감 확보

④ 기초사석고르기 작업 수행

사석고르기 작업영역을 할당받아 해당 영역은 개발장비로만 작업을 수행하도록 함. 개발장비가 다양한 작업을 수행해볼 수 있도록 할 필요가 있음.

⑤ 장비운영이 편안한 운영실 수정

지속적인 현장 Test를 수행하여 조종자가 편안한 환경이 되도록 운영실을 수정.

⑥ Post-survey

개발장비가 수행한 수중기초사석고르기 결과를 확인함.

3. 시제품 모델 확립

- 수중 기초사석 고르기장비의 도면 작업
- 장비 운용 및 유지보수 매뉴얼 작성
- 기술이전을 위한 준비 작업(경제성 검토 등)

4-2절 평가착안점에 입각한 연구개발목표의 달성도

1. 정량적 성과목표 및 평가기준

구분	년도	성과목표	세계최고 수준 ^{주)} (보유국/ 보유기관)	연구전 국내수준 ^{주)}	목표치	가중 치 (%)	평가기준	달성 치 (%)
최종 목표	2009 ~201 4	착저형 수중이동 시스템 확립	/		20m/min	10	현장실험	달성
		작업플랫폼 및 툴 개발	/		3개 이상	6	개	3개
		유압공급시스템 개발	/		300kg/cm ² 180L/min	4	실측	달성
		수중 장비 위치 인식	/		2m 이내	5	실측	0.5m
		장애물 인식 범위	/		5m 이상	5	실측	달성
		고르기 정도 확인	/		30cm 이내	10	실측	50cm
		수중 작업 모니터링 시스 템	/		1식	8	실측	100%
		원격 조종 시스템	/		6축 이상	6	실측	7축
		운영 시스템	/		1식	6	실측	100%
		현장검증실험	/		3회 이상	15	실측	8회
		고르기 성능 실험	/		80%	15	고르기 비율	80%
		시제품 도면	/		1건	3	설계도안	달성
		장비 운용 매뉴얼	/		1건	3	운용 매뉴얼	달성
상용화 제품 보호 특허	/		3건	4	특허건수	6		
1차년도 - 3차년도	2009 ~201 2	착저형 수중이동 시스템 확립	/		20m/min	15	현장실험	달성
		작업플랫폼 및 툴 개발	/		2개	5	개	2개
		유압공급시스템 개발	/		300kg/cm ² 236L/min	10	실측	달성
		수중 장비 위치 인식	/		1m 이내	10	실측	1.0m
		장애물 인식 범위	/		-	-	실측	-
		고르기 정도 확인	/		-	-	실측	-
		수중 작업 모니터링 시스 템	/		70%	20	실측	70%

		원격 조종 시스템	/		5축	12	실측	5축
		운영 시스템	/		70%	8	실측	70%
		현장검증실험	/		2회	10	실측	4회
		고르기 성능 실험	/		-	-	고르기 비율	-
		시제품 도면	/		70%	5	설계도안	70%
		장비 운용 매뉴얼	/		-	-	운용 매뉴얼	-
		상용화 제품 보호 특허	/		2건	5	특허건수	2건
4차년도	2012 ~2013	착저형 수중이동 시스템 확립	/		20m/min	10	현장실험	달성
		작업플랫폼 및 툴 개발	/		1개	13	개	1개
		유압공급시스템 개발	/		-	-	실측	-
		수중 장비 위치 인식	/		1m 이내	8	실측	0.5m
		장애물 인식 범위	/		3m 이상	10	실측	3m
		고르기 정도 확인	/		50cm 이내	8	실측	50cm
		수중 작업 모니터링 시스 템	/		90%	8	실측	90%
		원격 조종 시스템	/		6축	6	실측	7축
		운영 시스템	/		90%	6	실측	90%
		현장검증실험	/		1회 이상	20	실측	2회
		고르기 성능 실험	/		-	-	고르기 비율	-
		시제품 도면	/		90%	5	설계도안	90%
		장비 운용 매뉴얼	/		-	-	운용 매뉴얼	-
상용화 제품 보호 특허	/		1건	6	특허건수	4건		
5차년도	2013 ~2014	착저형 수중이동 시스템 확립	/		20m/min	10	현장실험	달성
		작업플랫폼 및 툴 개발	/		-	6	개	-
		유압공급시스템 개발	/		-	4	실측	-
		수중 장비 위치 인식	/		1m 이내	5	실측	0.5m
		장애물 인식 범위	/		5m 이상	5	실측	달성
		고르기 정도 확인	/		30cm 이내*)	10	실측	50cm

	수중 작업 모니터링 시스템	/		100%	8	실측	100%
	원격 조종 시스템	/		-	6	실측	-
	운영 시스템	/		100%	6	실측	-
	현장검증실험	/		2회 이상	15	실측	2회
	고르기 성능 실험	/		80%	15	고르기 비율	80%
	시제품 도면	/		100%	3	설계도안	100%
	장비 운용 매뉴얼	/		1건	3	운용 매뉴얼	달성
	상용화 제품 보호 특허	/		-	4	특허건수	-

3. 핵심기술 분류 및 달성도, 검증방법

- 본 사업의 경우 3가지 연구목표(핵심기술)로 구분할 수 있음.

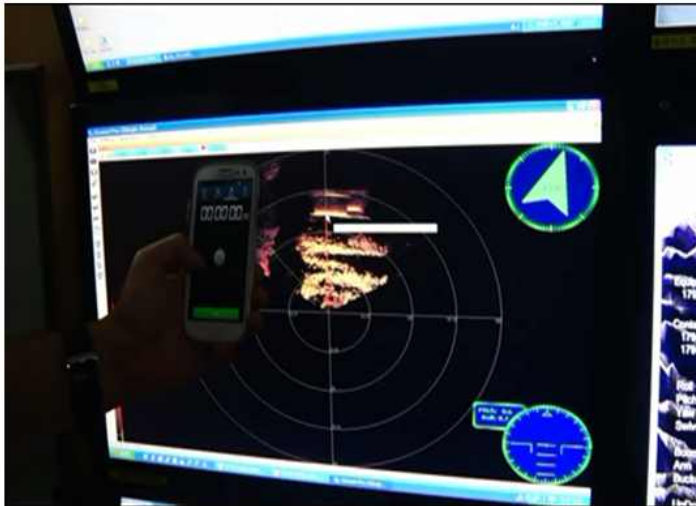
- ① 수중 기초사석고르기장비(H/W) 개발
- ② 수중환경모니터링시스템 개발
- ③ 원격제어용 운영시스템 개발

- 3가지 핵심기술에 대해 세부 목표 및 달성도를 아래와 같이 구분할 수 있음.

년도	성과목표	목표치	검증방법	달성도
수중 기초사석고르 기장비(H/W)	착저형 수중이동 시스템	20m/min	현장 실측	100% (33.7m/min)
	작업플랫폼 및 툴	3개 이상	보고서, 현장실험	100%
	유압공급시스템	300kg/cm ² 180L/min	보고서, 현장실험	100%
	시제품 도면	1건	도면	100%
수중환경모니 터링시스템	수중 장비 위치 인식	2m 이내	현장 실측	100% (0.5m)
	장애물 인식 범위	5m 이상	현장 실측	100%
	고르기 정도 확인	30cm 이내	현장 실측	100%
원격제어용 운영시스템	수중 작업 모니터링 시스템	1식	보고서, 현장시연	100%
	원격 조종 시스템	6축 이상	보고서, 현장시연	100% (7축)
	운영 시스템	1식	보고서, 현장시연	100%

- 각 항목에 대해 정리하여 나타내면 아래와 같음.
- ① 수중 기초사석고르기장비(H/W) 개발

착저형 수중이동 시스템 확립 (목표 20m/min)



10초간 이동거리 측정 동영상

10.43초간 이동
거리 5.87m
⇒ **33.7m/min**

작업플랫폼 및 툴 개발 (목표 3개 이상)



블레이드

작업플랫폼

버킷



크람셀

작업플랫폼 : **완료**
작업툴 : **3개**

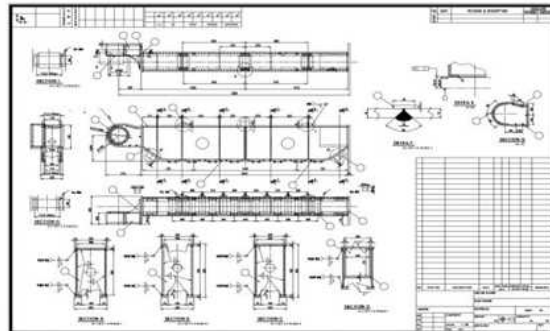
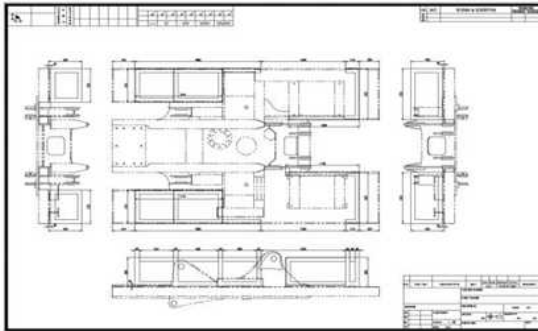
유압공급시스템 (300kg/cm², 180L/min) → 300kg/cm², 236L/min



개발된 유압공급시스템

펌프 생성압력: 300kg/cm²
펌프 생성유량 : 236L/min

시제품 도면 (목표 : 1건)



장비 시제품 도면들

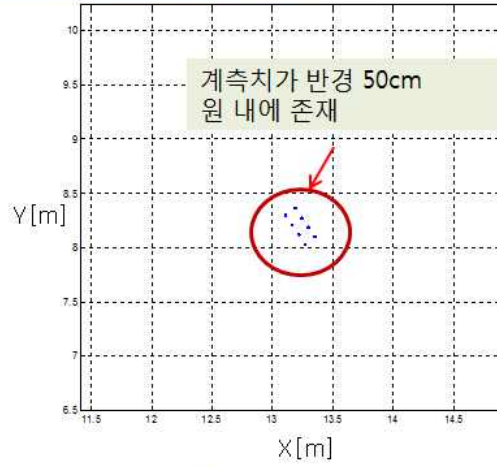
시제품 도면
1건

② 수중환경모니터링시스템 개발

수중 장비 위치 인식 (목표 : 1m 이내)



Long Base Line (LBL)



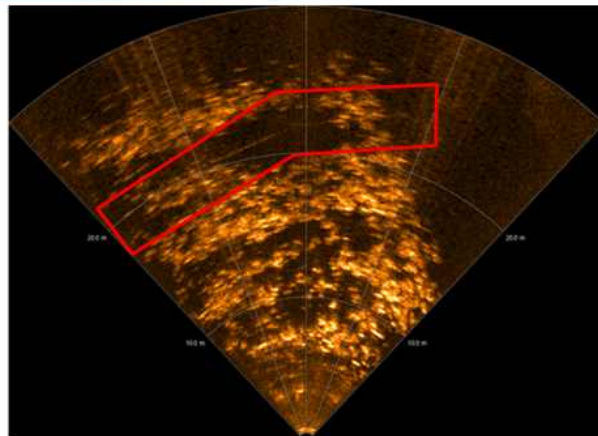
LBL을 이용한 위치 인식

장비 위치 인식
0.5m의 오차범위

장애물 인식 범위 (목표 : 5m 이상)



두께 5cm의 기준선 설치



소나 이미지 : 20m 전방에 있는 기준선 확인

장애물 인식 범위
전방 20m에서 5cm 두께 인식

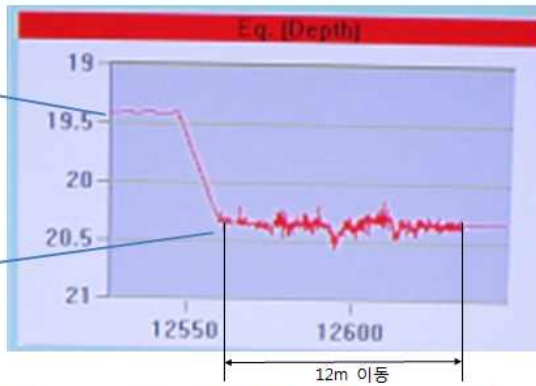
고르기 정도 확인 (목표 : 30cm 이내)



<작업전 블레이드 상태>



<작업중 블레이드 상태>



블레이드 수심센서 값을 통해 고르기 정도 확인

고르기 정도
확인 **30cm**

※ 사석크기 : 30cm 이상

③ 원격제어용 운영시스템 개발

수중 작업 모니터링 시스템 (목표 : 1식)



운영실 내 수중 작업 모니터링 시스템

작업모니터링
시스템 **1건**

| 원격 조종 시스템 (목표 : 6축)



- 조이스틱 3축
 - Thumbwheel 1축
 - 3개 버튼 3축
- 푸쉬 버튼의 조합으로 장비 원격 조종함

원격조종
시스템 7축

| 운영시스템 (목표 : 1식)



운영시스템 (발전기, 윈치&케이블, 운영실)

운영시스템
1건

2. 계량형 성과목표(특허, 논문, 학회발표, 기술실시계약)

구분	년도	성과목표	목표치 (건)	달성치 (건)	비고
성과목표 합계	-	국내특허(출원/등록)	/	7/3	
		국제특허(출원/등록)	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	0/5	
		학회발표(국내/국외)	/	5/2	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	
1차년도	2009~ 2010	국내특허(출원/등록)	/	1/0	
		국제특허(출원/등록)	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	/	
		학회발표(국내/국외)	/	/	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	
2차년도	2010~ 2011	국내특허(출원/등록)	/	/	
		2011	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	/	
		학회발표(국내/국외)	/	1/0	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	
3차년도	2011~ 2012	국내특허(출원/등록)	/	1/0	
		국제특허(출원/등록)	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	0/2	
		학회발표(국내/국외)	/	1/1	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	
4차년도	2012~ 2013	국내특허(출원/등록)	/	5/3	
		국제특허(출원/등록)	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	0/3	
		학회발표(국내/국외)	/	2/1	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	
5차년도	2013~ 2014	국내특허(출원/등록)	/	/	
		국제특허(출원/등록)	/	/	
		논문(SCI/비SCI)	/	/	
		학회발표(국내/국외)	/	1/0	
		기술료(기술실시계약)			(기술실시기관)
		인력양성(학사/석사/박사)	//	//	

4-3절 관련분야의 기술발전예의 기여도

1. 연구결과물이 관련분야에 기여하는 파급효과

가. 기술적 파급효과

- 수중 공사를 위한 다기능 기계화 기술의 국제 경쟁력 확보
- 수중 공사의 품질 신뢰도 향상
- 수중 무인 시공장비의 제작과 구동에 필요한 핵심 기술 확보
 - 수중 센서의 효과적 활용방안 도출
 - 수중 지형 및 구조물의 관측, 측량 시스템의 기반기술 확보
 - 수중 위치 및 형상 인식 기술의 기반 구축
 - 수중 장비의 착저형 이동 및 구동 시스템 기술 기반 구축
 - 수중 작업 모니터링 기술 기반 구축
 - 무인 수중장비의 원격 조종 및 운영 시스템 기반 구축
- 다양한 기능의 수중 조사 및 시공 로봇의 개발에 기여
 - 본 연구에서 개발된 수중 무인 기계화 시공장비에 대해 개발된 요소기술의 응용 및 보완을 통해 다양한 기능의 수중 조사 및 시공 로봇 개발에 기여
- 경제적이면서 효율적인 해양구조물 시공 기반 마련
 - 외부 환경이 열악한 해상 조건에 대해서도 수중 정밀 시공 수행에 기여
- 수중 무인 기계화 장비에 대한 독자적 기술 개발을 통해 기술 자립도 제고
- 수중의 고르기, 다지기 기능의 장비는 수중시공에 있어 기초 작업이므로 그 적용범위가 매우 넓으며, 육상의 굴삭기와 같은 다목적의 기능으로 수중공사에서 필수적인 장비가 될 것으로 기대됨.
- 해외 유사장비와 개발장비 비교평가

장비 명칭	관련사진	비교평가
햅틱 기반 수중 백호우 (일본, PARI)		<ul style="list-style-type: none"> - 햅틱기능이 적용된 조종간 사용 - 다목적암만 장착되어 있음 - 작동유압은 모선 상에서 공급됨 - SBL 적용
Spider (프랑스, Nexans)		<ul style="list-style-type: none"> - 수심 1,000m에서 작동 가능 - 수중카메라를 이용하여 전방 주시 - 해저 케이블 또는 파이프라인 매설을 위해 트랜칭 기능, 준설 기능이 주요 작업임.

PC220LC (일본, KOMATSU)		<ul style="list-style-type: none"> - 굴삭기 다목적암을 길게 연장하여 최대 15m 길이까지 작업 가능 - 해당 장비는 육상에서 운용되어야 함 - 바지선상에 거치하고 수중작업 가능
개발장비 (대한민국, KIOST)		<ul style="list-style-type: none"> - 사석고르기작업에 특화되어 개발되었으며 추가적으로 다목적암 + 어태치먼트를 이용한 작업 가능 - 수중 3차원 작업 가시화 프로그램을 적용하여 작업의 용이하게 함. - 소나를 이용하여 360° 전방위 모니터링 - 작동유압이 수중장비에서 바로 공급.

나. 경제, 산업적 파급효과

○ 항만구조물 건설의 경제성 제고

- 무인 시공장비를 통해 기존의 잠수부 작업 대비 작업시간을 극대화하여 공기 단축에 기여
- 공기단축을 통한 공사비용 절감에 기여
- 수중작업의 기계화로 작업의 복잡성 제거, 장치비용 절감, 시공의 효율성 증대 등 경제적, 시간적 효율 증대에 기여
- 실제현장작업에 적용할 경우 기존 잠수부 활용 대비 개발장비 활용 시 총 비용을 71%의 예산을 절감할 수 있을 것으로 기대됨. (아래의 표 참고)

공종	금액	
	기존 잠수사	기계화
1. 장비	6,900,000	1,983,333
1) Setting barge	600,000	100,000
2) Flat barge	500,000	83,333
3) Tug boat	1,000,000	166,667
4) Anchor boat	1,500,000	250,000
5) Crane	3,000,000	500,000
6) Compressors	300,000	50,000
7) Submarine machine	-	833,333
2. 인력 (잠수조, 해상반장, 운전원, 신호수, 작업인부 등)	1,070,671	286,757
3. 부대공	509,786	84,964
4. 공과잡비	222,731	63,839
1) 돌발공	115,373	14,969
2) 기계손료	107,358	48,870
(1) 탬핑보트	107,358	-
(2) Submarine machine	-	30,977
3) 부대비용	-	83,333
합계	8,703,188	2,514,393

주의) (1) 단가 산출 기준

- a) 사석고르기 100m² 기준
- b) 사석규격 : 5 ~ 200kg/개/1일 100m²
- c) 적용수심 : -10m 내외/투시도 10m/조류 1.0m/s
- d) 수중고르기 장비 단가 : 10억 가정
- e) 잠수사 대비 무인 수중장비 작업효율 6배 정도 (일본 사례 기준)
- f) Submarine machine 1일 임대 : 5백만원 가정

(2) 상기 금액은 실제 적용 대상 조건 및 주변 환경 변화에 따라 달라질 수 있음.

- 수중 로봇 개발 산업의 전반적 성장에 기여
 - 로봇 제작, 운영 및 유지관리 산업의 활성화
 - 연안환경 및 재해와 관련하여 대수심 조건에 대한 조사로봇 장비 개발 활성화를 유도
 - 수중 로봇 제작, 운용 및 활용산업 등 신산업 개발을 통해 고용 창출 기대
- 센서 및 로봇 관련 산업 발전에 기여
 - 무인장비의 센서 관련 산업의 발전과 고용 창출
 - 수중 기계화장비의 제작에 활용되는 부품 및 소재 산업분야의 활성화
- 다양한 해양구조물 시장 창출 기여
 - 경제성과 작업성의 증대로 기존 시공 기술을 개선하여 다양한 해양구조물 건설 시장 창출 기대
 - 잠수부 및 기존 장비로는 작업이 제한되었던 대수심 환경에서 해양구조물 건설을 용이하게 함으로써 대수심 해양구조물 건설 시장의 활성화에 기여
- 수입대체 효과 및 수출상품화
 - 수입에 의존하던 건설장비의 국산화에 기여
 - 고부가가치의 엔지니어링 기술이 복합된 기계화 장비의 수출상품화
- 해외 시장 진출의 경쟁력 확보
 - 해저자원의 육상연계, 다양한 해양 구조물의 수요증대로 인해 수중 건설장비의 수요는 전 세계적으로 증대 되고 있음
 - 해외 수중시공 장비는 매우 고가이기 때문에 경제성을 감안한 상용화 장비가 개발된다면 세계시장, 특히 중동 시장에서 시장 경쟁력을 충분히 확보

다. 전략적 측면의 파급효과

- 수중공사의 안정성 확보
 - 무인 장비를 통해 수중 작업시 발생할 수 있는 잠수부의 산업재해를 최소화
 - 대형사고의 사전예방으로 공공의 안전 도모
- 향후 해양구조물 건설 시장에서 선도적 기술로 활용하여 동남아를 비롯한 해외 시장 수출에 있어서도 유리한 입지를 선점하는 등 국가 경쟁력 제고

제5장 연구개발결과의 활용계획

5-1절 추가연구의 필요성

1. 플랫폼

- HPU 용량 증대

- 개발장비는 06급에 준수하는 HPU를 장착하고 있음.

HPU를 증대하여 작업활용 범위를 넓힐 수 있음.

- 지반과 장비의 동역학적 특성 연구

- 개발장비는 사석 위에서 이동하는 장비로서 개발되었음.

추후 수중에서 다목적 중작업을 수행하려면 단단한 사석 외에도 연약한 지반에서도 이동이 가능한 장비여야 함. 따라서 지반과 장비의 동역학적 특성을 연구하여 다양한 지반에서도 이동 가능할 수 있도록 개발할 필요가 있음.

- 작업 가능 수심 증대

- 개발장비는 수심 20m에서 작업이 가능한 장비임. 작업가능 수심을 증대하여 작업가능 영역을 확대할 수 있음.

2. 툴

- 다양한 툴 개발

- 현재 개발된 툴은 버킷, 블레이드, 크람셸 임. 다목적 암에 다양한 툴을 부착하여 사석고르기 외에도 다양한 작업을 수행할 수 있을 것으로 기대함.

3. 선상지원 시스템

- 수중위치추정 정밀도 업그레이드

- 개발장비는 수중위치추정을 위하여 LBL, DVL 그리고 자세센서를 적용하였음.

- 위치추정 어려움이 발행한 요인 : 고르기 작업시 발생하는 과도한 소음, 철제프레임, 모터 작동에 의해 자기장 오염으로 음향신호 수신 및 선수각 추정이 어려움.

- EMI/EMC 연구를 수행해 계측센서/통신시스템의 안정성 확보 필요.

- 향후 USBL과 같은 음향센서 변경, 센서의 위치 및 FOG와 같은 센서 결과값과 비교검토하여 정밀도 향상에 대한 업그레이드 필요.

- 수중 환경모니터링 시스템 업그레이드

- 전, 후방 소나를 통합하여 하나의 GUI 안에서 소나 영상을 가시화. 그리고 데이터를 확보할 수 있도록 함.

- 수중 작업 모니터링 시스템 업그레이드

- 해당 S/W는 개발장비 외에도 추후 수중에서 중작업을 수행하는 많은 장비에 탑재 가능한 S/W임. 현장의 작업자들이 요구하는 각종 데이터 종류를 확보하여 이를 가시화 할 수 있도록 함

- 엄빌리컬 케이블, 드럼&윈치 업그레이드
 - 작업 수심이 증대하면 이에 맞게 엄빌리컬 케이블, 드럼&윈치도 변경되어야 함. 이들 장비는 단순히 규모만 늘리는 것이 아니라, 장비에 긴급상황 발생 시에는 엄빌리컬 케이블, 드럼&윈치 만으로 장비를 출수해야하는 상황이 발생할 수 있기 때문에 이에 대응할 수 있는 개발이 필요함.

5-2절 타연구에의 응용

- 사석 마운드 고르기 작업을 설계시방의 80% 이상 수준으로 달성할 수 있는 무인기계화 시공장비의 상용화 추진
- 참여기업이 주도가 되어 개발된 장비를 현장에 활용하며, 이를 운용함.
- 수중에서 장비의 고르기, 굴삭 기능은 수중시공에 있어 기초작업이므로 그 적용범위가 매우 넓음. 따라서 육상의 굴삭기와 같은 다목적의 기능으로 수중공사에 필수적인 장비로 활용될 것임.
- 다양한 해양구조물 시공현장에 적용될 수 있으므로 항망공사 뿐만 아니라 향후 건설 추진이 예상되는 조력발전소 등의 해양에너지 플랜트 시설을 비롯한 다양한 해양구조물의 시공 시 수중 사석고르기 및 굴삭 작업에 활용 추진.
- 수중 탁도에 영향을 받지 않는 시공 모니터링 시스템 개발 기술을 기반하여 향후 다양한 기능의 수중 조사 및 시공 로봇의 개발에 기본 기술로 활용
- 수중공사용 무인 시공장비 분야에서 다양한 기능과 형태의 수중 시공로봇 개발을 위한 후속연구에 기반기술로 활용
- 무인 수중 기계화장비의 적용가능한 수심범위를 넓히기 위한 후속연구를 통해 기존 기술로는 수중 시공에 제한이 많았던 대수심 환경에서의 해양구조물 건설 시장에서 활용

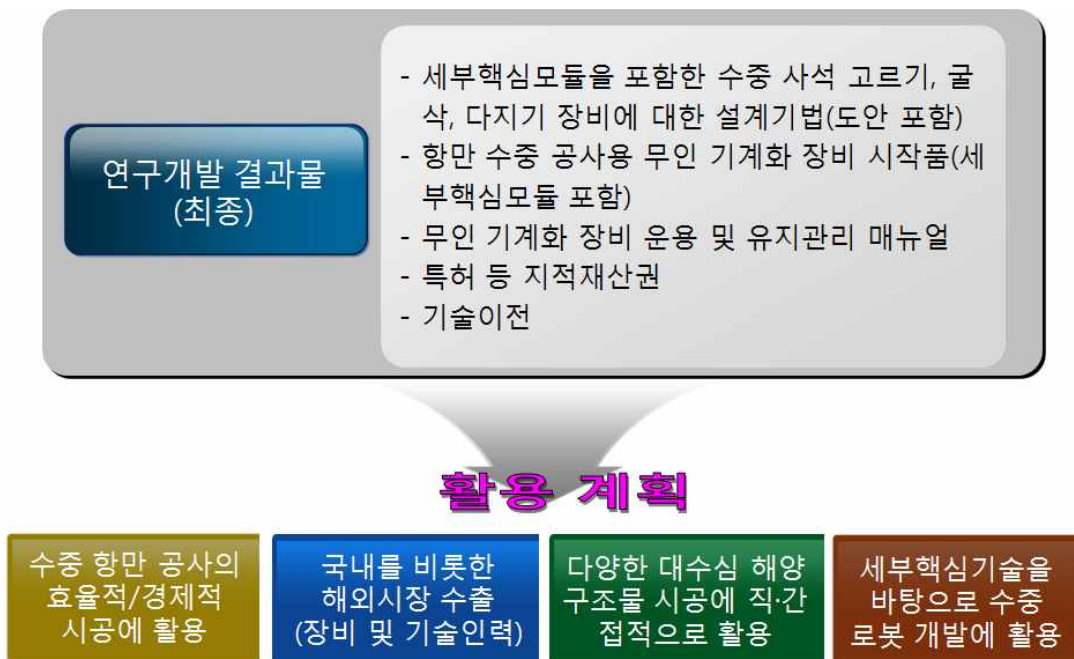


그림 5.1 연구결과 활용계획

5-3절 기업화 추진방안

1. 시장 현황

- 해양 분야의 사업은 국가차원의 장기적 대규모 사업이지만 수중공사의 특수성으로 인해, 지금까지 국내공사의 대부분은 잠수부를 활용한 재래식 시공법과 공사관리가 이루어졌음
- 한국해양과학기술진흥원의 “해양과학기술 기술수준 및 파급효과 분석연구”에 따르면 전체 해양과학기술 및 항만건설장비의 기술수준은 선진국 대비 미흡한 편이나 기술 개발 발전속도는 빠른 것으로 나타남
- 항만건설장비 개발기술 분야의 국내 기술수준은 2030년 세계 최고기술수준을 기준으로 2010년 36.6%로 세계최고기술보유국인 일본(74.9%)보다 매우 낮은 수준이며, 8.2년의 기술격차가 있는 것으로 나타났으나, 기술격차는 점점 좁혀지고 있는 추세이며, 2015년에는 6.7년으로 좁혀질 것으로 예측됨
- 수중건설로봇 사업은 박근혜 정부의 국정과제 키워드인 창조경제에 부합되는 사업으로, 해외 선진국의 경우 지속적인 연구개발 투자로 이미 상용화 단계를 거쳐 현장에 적용하고 있는 반면, 국내는 기술력이 미확보되어 있는 상황임

2. 실용화 전략

- 상용화를 위해 장비를 기능성·현장성을 고려하여 개발하는 것도 중요하나 건설 시공장비의 특성상 관련업체에서 기술을 이전받아 상용화하는 것이 무엇보다 중요함.
- 개발 상품의 활용 및 제작 측면에서 3개 기업이 참여기업으로 포함되었으며, 각 기관 별로 개발 상품에 대한 향후 활용 방안에 대한 계획을 수립하였음.
 - (주)KT서브마린 : 해저 케이블이나 해저 매설관 작업을 위한 장비 활용, 특히 현재 외국 장비에 100% 의존하고 있는 장비의 국산화 대체
 - (주)희송지오텍 : 항만 수중공사 중 사석 고르기 작업에 직접적으로 활용
 - FM전기유압 : 개발 장비의 신규 제작 및 유지관리 측면에서 기술이전 논의
- 기술이전 관련 진행 상황(2014년 8월 현재) 및 향후 일정
 - KIOST 內 해양 R&D 실용화센터를 중심으로 기술이전에 대한 협상 진행 중.
 - 주관기관-참여기업, 참여기업間 미팅을 10여 차례 진행하였으며, 기술이전 방안 및 기술료 등에 대해 정리함.
 - 주요 일정
 - 2014년 9월 : 각 참여기업에 대한 세부 기술 및 기술이전 방안(이전 기술료 포함) 설명
 - 2014년 10월 : 기술이전에 대한 세부 내용 협의(참여기업간 협의 포함)
 - 2014년 11월 : 협약서 검토
 - 2014년 12월 : 기술이전 실시계약 협약

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 일본 항만공항기술연구소(PARI)의 수중 무인 굴삭기 관련 전문가 초청 세미나 개최

(1) 개요

○ 초청 전문가 및 주제명

A. 강연 #1

- 이름 : Dr. Yoshie Muneo (일본항만공항기술연구소, PARI)
- 강연명 : 해양 건설에의 로봇 기술의 적용

B. 강연 #1

- 이름 : Dr. Hirabayashi Taketsugu (일본항만공항기술연구소, PARI)
- 강연명 : 수중 백호의 원격 조작용 인터페이스에 관한 연구

○ 세미나 목적

- 한국과 일본의 수중건설로봇 연구에 관한 개발동향 및 정보 교환
- 수중건설로봇(특히 수중굴착기 시스템)의 국내 및 세계 시장동향 분석
- 수중환경 분석시스템에 대한 기술의견 교환



(a) 초청 세미나 개최



(b) 토론회 모습

그림 6.1 연구결과 활용계획

(2) 토론회 및 세미나 요약정리

○ 과제 종류 및 연구비

- 현재 개발한 장비의 경우 PARI 기본과제로 진행되었음
- 무인 장비의 경우에는 2001년부터 4년간 수행하였음.

○ 무인 장비 vs. 유인 장비

- 유인 장비의 경우에는 잠수부의 작업시간에 한계가 있음.
- 또한, 시계확보가 되지 않을 경우에는 유인 장비를 적용하지 않음.
- 무인 장비는 일본 내에서는 아직까지 선입견이 있는 관계로 많이 활용하지 않는 편

임. 그러나 유인 장비가 보다 경제적인 것으로 알려져 있음.

○ 예상 판매 가격(안)

- 유인 장비는 10억원(약 8천만엔) 정도 => 판매가임.
- 무인 장비는 10억원+1억원(약 9천만엔) 정도로 예상.
=> 1억원은 (단순 촉각 인식형 장비의 센서 및 제어기 등의 순수 재료비임)

- 여기서, 무인 장비는 장비 무게만 약 4톤 정도(본 연구에서 개발하고자 하는 장비의 경우 약 10톤임).

○ 기존 잠수부에 의한 시공 방법과 비교

- 잠수부 활용 : 4.3m²/h.
- 유인 장비 활용 (탁도가 좋은 곳) : 35.4m²/h (잠수부 활용의 8배 정도).
- 무인 장비 활용 (탁도가 좋지 않은 곳, 촉각 활용) : 25.5m²/h (잠수부의 6배 정도).
=> 무인 / 유인 장비의 비교는 작업 시계가 확보되어 있는 조건일 때만을 비교한 것임 (유인굴삭기는 시계가 5m 이하일 때 적용불가).

○ 수중 시공용 장비의 시장성 관련

- 수중 굴삭장비를 비롯하여 기타 수중 시공용 로봇의 시장성은 일본 내 시장 규모를 볼 때, 당장보다는 향후 발전 가능성이 있을 것으로 판단. 특히, 수심이 깊은 경우나 탁도가 심한 경우 등 열악한 해상 조건에 대해서는 필요성이 증대될 것임.
- 수중 굴삭장비의 경우, 다양한 작업에 활용 가능 (브레이커나 커터, 파지용 그리퍼, 워터펌프 및 워터젯트, 사면 고르기 등).

○ 현장 적용성 관련

- 개발 장비의 적용 수심은 50m 이내로 적용.
- 수중 탁도의 경우 전혀 보이지 않는 곳까지 적용 가능. 이 경우, 촉각 센서를 주로 활용.

○ 방수/방식 등 내구성 관련

- 수중장비의 방수를 위해 전기부(센서, 제어Box 등)에 적용한 기법
→ 전기부 Case는 이중 Case 형태로 구현.
→ 외부 Case와 내부 Case 사이에 침수센서 사용.
→ Case는 액체 Type 가스켓을 사용하여 조립 (가공 후 Seal 사용하는 편이 효과적임).
→ 수중전용 커넥터 사용(미국, 인펠스사의 수중커넥터 40만원/1set).
- 방수 Test의 경우, 육상에서 따로 하지 않음 (현장투입 시 방수에 많은 시행착오를 겪음).
- 수중장비의 방식을 위해 기구부, 유압부(장비 Body, 퀘도, Hy'd Cylinder Rod, Hy'd Motor 등)에 적용한 기법은?

- 특별히 적용한 기법은 없음.
 - 다만, 부식방지를 위해, 도색을 두껍게 함, 아연판을 부분적으로 부착함.
 - 사용 후 즉시 민물로 씻음. (배수를 위한 장비외형 설계가 요구됨)
 - 수중장비의 내구성을 증대시키기 위해서 가능한 작업 후 꾸준히 물로 씻어야 함. 이를 위해 물로 씻기 편한 구조로 외형을 제작하였음.
- 유압시스템 관련
 - 유압공급을 장비자체에서 처리함으로써 수중작업 중 유압 누유 등으로 인한 해양환경오염을 방지함.
 - 유압시스템의 H/W 부분은 임대받아 사용.
- 장비 작업용 센싱 및 관련 측정 방법
 - 유압실린더의 길이는 포텐션미터 형태의 센서를 실린더 측면에 부착하여 길이를 직접 측정하거나, 암 등의 핀조인트에 포텐션미터 형태 센서를 부착하여 회전각도를 측정함.
 - 버킷부근의 센서는 Redundancy 개념으로 센서를 추가 설치함.
 - 케도부의 운동량을 직접측정하지는 않았으며, SBL 센서를 이용하여 장비의 X, Y 위치를 검출함 (센서자체의 오차 30cm).
 - 장비의 높이(Z)값은 수심센서를 이용하여 검출함.
 - Swiveling 부의 회전량의 경우, 육상에서는 6개의 근접센서로 측정했으나, 수중에서는 방수문제로 Swiveling 각을 측정하지 않음.
 - 방위각 측정을 위해 자력계 센서 사용 시 장비 몸체에서 가능한 높이 설치함으로써 오차를 최소화함.
- 수중 이동시스템 관련
 - 기존의 장비에 있는 이동시스템(2륜 카터필러 타입)을 그대로 활용
 - 수중 이동시스템의 경우, 해저면 원지반의 기동성에 대한 실험이나 검토를 한 바 없으며, 개발 장비의 경우 원지반이 아닌 사석고르기 현장에 주로 활용하였음.
- 장비 위치 및 지형 인식 관련
 - 수중에서 장비의 위치 인식
 - 육상에서 선박의 위치를 광파 측정기로 측정.
 - 수중 장비에서 초음파 발생하여 3각 측량 기법으로 위치 파악.
 - SBL(Short Base Line) 센서를 활용.
 - 수중 지형인식 방법의 경우
 - 초음파로는 정밀도 및 time lag에 의해 측정이 어려움.
 - 측각 센서를 활용하여 효율 증대.
 - 측각 활용 : 25.5m²/h (측각을 활용하지 않을 때, 27.3m²/h).
 - 장비 위치 및 지형 인식과 관련하여 측각 센서에 대한 실내 및 육상 검증실험을

다수 수행한 사례가 있음.

- 작업하기 이전에 Side Scan Sonar 등을 이용하여 전체적인 형상 파악.

○ 수중 작업 측정 관련

- 수중지면의 높이를 정밀하게 계측하는 방법

→ 처음에 Side Scan Sonar 등을 이용하여 전체적인 형상 파악.

→ 측각 센서를 활용.

- 현장에서 검사 작업을 할 때 편평도 및 위치 확인

→ 측각 센서를 이용한 고르기 작업 후 잠수부가 직접 투입되어 광파기 등으로 측정함 (기존 방법을 그대로 활용).

○ 탁도 개선 작업 관련

- 탁도가 높은 수중에서는 측각 센서 활용.

- 고비용 센서, 4-D Sonar imaging system에 대한 연구도 수행하였으나, 수중 굴삭장비에는 부착하지 않음.

○ 수중 운용 관련

- PARI 장비의 경우 개발 이후 현장 적용이 안되었음. 이는 기존 장비의 외형을 빌어 요소기술개발에만 활용하였기 때문.

- 장비를 활용한 시공시 현장관계자의 반응.

→ 무인 장비에 비해 유인 장비에 대한 선호도가 높은 편임.

→ 일본 내에서는 잠수부가 직접 확인하는 것이 보다 효율적이면서 경제적(무인 장비가 비싸기 때문)이라 판단하는 분위기임.

→ 무인 장비가 유인 장비에 비해 효율이 2배 정도로 높던지, 아니면 상당히 열악한 조건 아래에서만 활용할 수 있을 것임.

→ 탁도가 높은 환경에서는 유인장비를 활용할 수 없다는 것에는 공감.

- 사석고르기 작업을 기계화할 때 작업품질(높이오차)은 현장 검증시험 결과, 30cm 정도로 나타남 (사석 하나의 최대 크기가 50cm 정도일 경우).

- 작업품질을 저해시키는 큰 요인은 수중환경 모니터링임.

○ 현재 우리의 시공대상은 사석 고르기작업으로 수중 20m까지인데, 유·무인 겸용 장비에 대한 필요성은 더욱 증대될 것으로 판단됨. 이 경우, 탁도 및 수심 등 외부 조건과 경제성 등을 파악하여야 할 필요가 있음.

2. 수집된 해외 수중장비 자료

(1) 유럽의 무인굴삭기

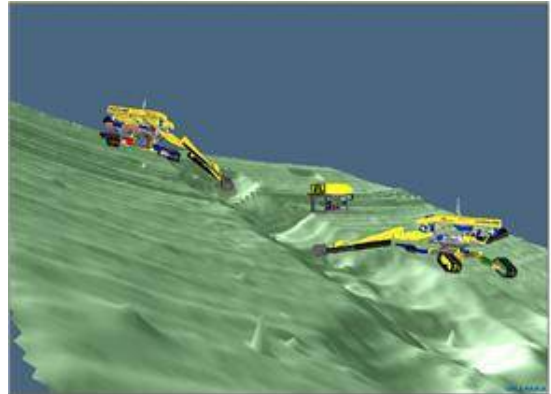
○ 프랑스에서도 해저용 원격조정 굴삭기를 개발하여 사용하고 있음.

○ 노르웨이의 해저면 파이프라인 공사(굴착 및 매설 작업)에 활용

- Nexans사에서 개발한 해저용 원격조정 굴삭기인 Spider ROV는 6개의 수중 카메라 시스템과 음파센서, 압력센서, 기압센서, 경사센서 등의 센서 시스템을 구비하고 있으며 해상과의 통신은 케이블을 통해서 이루어짐.
- 해상의 조종사는 화면을 통해서 100~200mm의 정밀도로 굴삭기를 조작할 수 있음.



(a) SPIDER



(b) 작업 모습

그림 6.2 해저용 원격조정 굴삭기(Nexans Spider ROV)



그림 6.3 수중 무인 굴삭기(innovations-tech Ltd.)

- 영국에서는 육상에서 유압을 공급하는 수중 굴삭기를 개발. 개발된 굴삭기는 총 3개의 수중카메라 시스템과 6개의 조명장치와 작업장치로 버켓, 워터젯 시스템, 흡입 준설 시스템과 ROV parking platform을 갖추고 있음.

(2) 수중환경 모니터링

- 미국 Blueviewtech에서 비교적 저가형 고해상도 멀티빔 소나를 개발하여 멀티빔 이미징 소나 솔루션, 3D Microbathymetry 솔루션, 3D 스캐닝 소나 솔루션 등을 개발하여 탁도가 있는 상황에서도 수중 환경을 정밀하게 모니터링 할 수 있게 해줌. 다만, 3D Microbathymetry 기술과 3D 스캐닝 소나 솔루션의 경우 실시간 영상의 갱신은 이루어지지 않고 우선 스캐닝 작업을 수행한 후 후처리 작업을 거친 후 다시 작업을 수행해야 한다는 단점이 있음.

- 미국 Soundmetrics사의 DIDSON 초음파 카메라(초음파 렌즈 기술)를 사용하여 탁도가 있는 상황에서 전방을 볼 수 있음. 초음파 카메라는 멀티빔 소나와 경쟁 관계에 있으며 멀티빔 소나가 초음파 배열 소나를 사용하여 영상을 취득하는 것과는 달리 초음파 렌즈를 사용하여 영상을 취득. 크기와 무게 면에서 멀티빔 소나보다 크지만 영상 품질이 더 우수하다는 평가가 있음. 가격이 멀티빔 소나에 비하여 고가이고 수출 제한 품목에 해당하여 수입이 어려움.



그림 6.4 멀티빔 2D 이미징 소나 영상

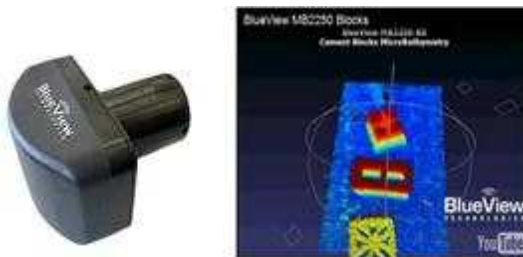


그림 6.5 멀티빔 3D Microbathymetry



그림 6.6 멀티빔 3D 스캐닝소나



그림 6.7 초음파카메라

(3) 기타 기술들

- 일본의 경우 1994년에 KOMATSU사에서 최고수심 30m에서 작업이 가능한 “해저 보행식 수중사석 고르기 장비”를 개발해 실용화 단계에 이르렀음. 개발된 장비는 중량 77ton(수중 58ton), 크기 17m(L) x 10m(D) x 6.2m(H)으로 육상에서 공급되는 유압원으로 구동하며 4개의 수직다리를 가지는 2쌍의 보행시스템으로 25m/h의 속도로 이동 가능.
- 일반적으로 수중 장비는 장비를 해상 선박에서 제어하는 다운홀 방식과 장비를 해저

면에 내려서 작업하는 착저 방식이 있는데, 수중 다짐 장비도 두 가지 방식으로 사용됨. 마운드의 편평도를 높이기 위해 사용되기도 하며, 마운드 사면의 다짐에도 적용하는 장비가 있음.

- 또한, 수륙양용 사석다짐 시공 장비를 개발하였으며, 수중작업 시에는 육상에서 원격 조정할 수 있음.



그림 6.8 해저 보행식 [수중사석고르기 장비]

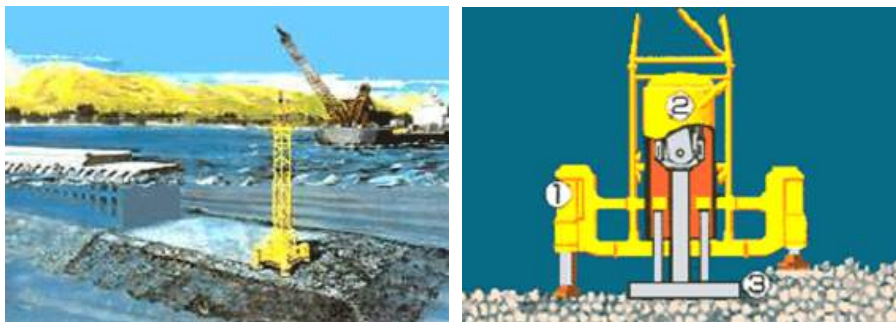


그림 6.9 수중 마운드 다짐 장비



그림 6.10 수륙 양용 사석다짐 시공장비

- 해양유류개발, 저장, 공급설비와 심층수 등 해양자원의 육상연계를 위한 해저파이프라인을 건설하는데 있어서 필요한 수중 지반 굴삭용 장비의 개발이 진행 중임.



그림 6.11 지반 굴삭장비 - Subsea mining



그림 6.12 지반 굴삭장비 - Scanmaskin1000

- 우주개발에 적용되고 있는 무인로봇과 적용 범위 및 세부기술 측면(낮은중력 vs. 부력, Sealing, 자동화기술, Dust 처리 기술, Drilling & Sampling 기술 등)에서 상당부분 유사함 (미국 ASCE에서 주최하는 '12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments'에 참석).
- 우주 탐사 로봇에 대한 연구결과를 직·간접적으로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 반대의 개념으로 수중로봇 분야에 대한 연구결과를 향후 우주로봇 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대됨.



그림 6.13 Special Lecture



그림 6.14 우주 작업용 장비

3. 해외 학술대회에서 수집된 자료

(1) Oceans 2013 Bergen

- Multisensor Aided Inertial Navigation in 6DOF AUVs using a Multiplicative Error State Kalman Filter.

Francisco Font, Joan Beltran, Gabriel Oliver-Codina,

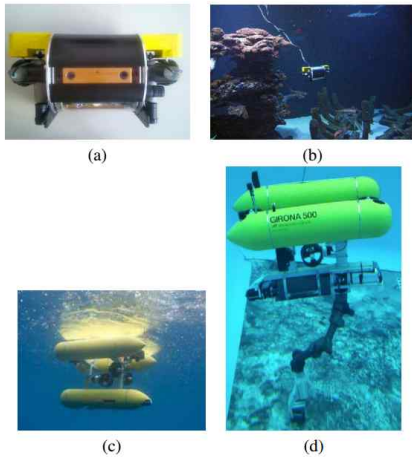


Figure 1. (a) and (b): The Fugu AUV. (c) and (d) The Girona500 AUV.

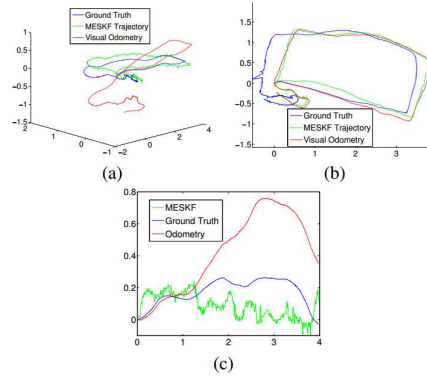


Figure 3. An experiment with Fugu. (a) Robot trajectory in 3D. (b) Robot trajectory in the x-y plane. (c) Depth of the vehicle given by the ground truth, the odometry and the filter.

- 관성센서와 Visual odometry를 이용하여 6자유도 필터 모델을 만들고자 하는 시도를 수행하였으나 아직까지 약간의 오차가 엿보인다. 이는 아마도 비전 기반의 오도미터의 부정확도에 기인할 것으로 보임.
- (d)에 보이는 GIRONA 팀에서는 이보다는 카메라 이미지 간에 서로 특징점을 연결하여 3차원 모자이킹을 만들었는데 여기에도 이 항법 모델이 사용되었음.

- A novel self-locking mechanism to connect two ROVs

Francesco Fornai Gabriele Ferri, Daniel Toal, Gerard Dooly, Gerard Dooly

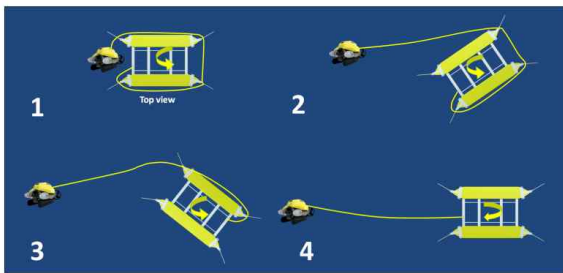


Figure 2. Top view of the ROVs during the flight out procedure. From 1 to 4, the LATIS rotates anticlockwise while the VideoRay fly out.

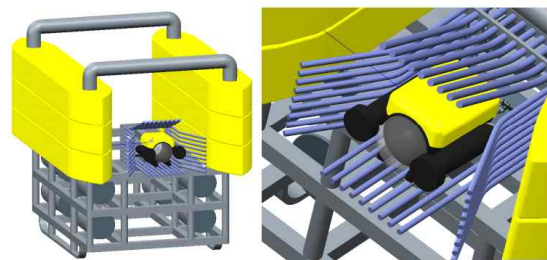


Figure 8. Docking system of the daughter ROV. The docking system is placed between the two groups of LATIS floating and it is mounted on the frame.

- 소형 ROV와 중형 ROV를 동시에 운용할 경우 진수 및 회수 방법에 대한 아이디어에 관한 실용적인 방법론임.
- 왼쪽 그림과 같이 반 시계 방향으로 회전하면서 진수하고 인양할 때는 오른쪽 그림과 같은 도킹시스템에 들어간 다음에 자동으로 락킹되는 구조를 고안하여 사용하고 으

를 이용하여 실험역 시험까지 성공함.

○ Visual Odometry for Autonomous Underwater Vehicles
Stephan Wirth, Pep Lluís Negre Carrasco, Gabriel Oliver-Codina

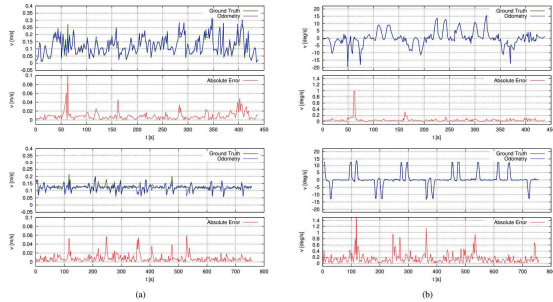


Figure 3. Linear (a) and angular (b) velocity estimates compared to ground truth for the laboratory (top) and the harbour (bottom) experiments for libviso2.

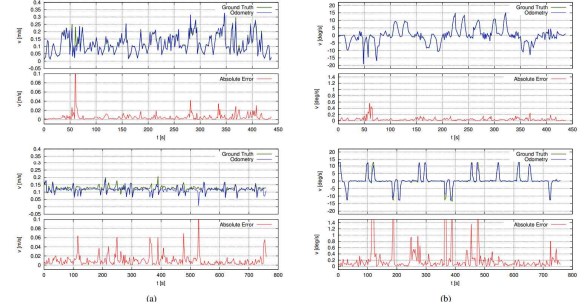
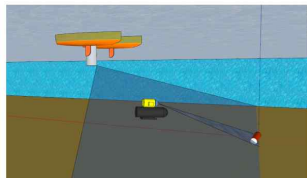


Figure 4. Linear (a) and angular (b) velocity estimates compared to ground truth for the laboratory (top) and the harbour (bottom) experiments for fovis.

- 컴퓨터 비전 분야의 Open Source를 이용하여 고가의 센서를 사용하지 않고 속도와 각속도를 추출하는 시도를 한 논문임.
- 아직은 상용 센서에 비하여 오차가 상당하나 응용 분야에 따라서 다중 센서 융합 등과 엮으면 괜찮은 솔루션이 될 것으로 판단됨.

○ Novel method for underwater navigation aiding using a companion underwater robot as a guiding platform
Vladimir Djapic, Dula Nad, Gabriele Ferri, Edin Omerdic, Dan Toal, Zoran Vukic, Gerard Dooly



(a) Multibeam sonar guiding



(b) Multibeam sonar imagery

Fig. 1. External Guiding System

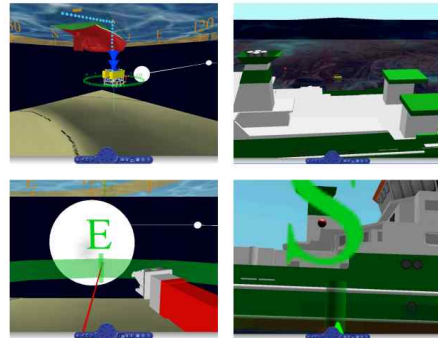


Fig. 5. 3D Real-Time Augmented Reality Displays



- 이 발표는 기뢰 제거용 소형 ROV의 비용 절감을 위해 고민한 결과이다. 자식 ROV

가 임무 도중 소실 될 수 있으므로 센서 비용을 어떻게 줄일까 고민한 결과 이며 중형 ROV에 탑재된 멀티빔 이미징 소나를 활용하여 소형 ROV에 탑재된 SonarReflector를 찍는 것이 핵심임

- 이 외에도 기뢰 제거를 위한 항법 정보 디스플레이와 3차원 증강현실을 구현.

○ Archaeology and Biology in the Deep Sea - The Ormen Lange Marine Archaeology Project

Fredrik Søreide, Torkild Bakken, Marek Jasinski

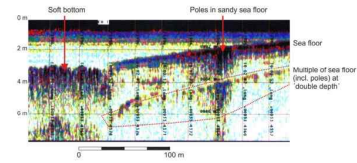
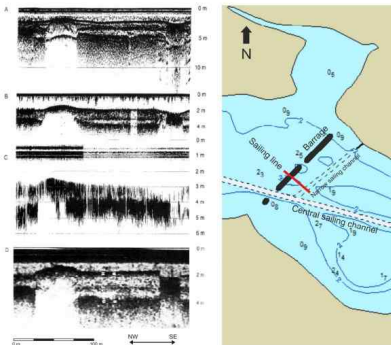


Figure 2 Chirp profile through the outer pier of the Viking Age harbour at Haithabu. The poles of this structure are clearly visible in the sandy bottom. Recording: Gron & Hoffmann 1996.

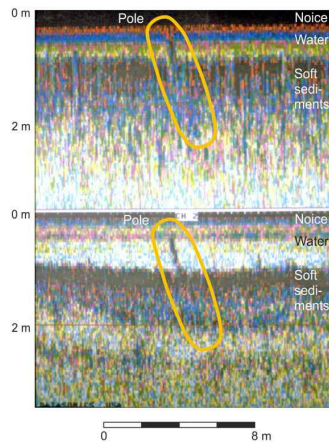
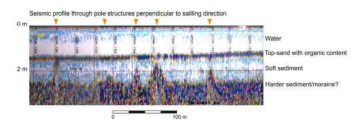


Figure 5 Chirp-recording of a sloping pole, 8 cm in diameter, visible above and within the sea-floor sediments. Upper image 2-7 kHz, lower image 8-23 kHz. Recording: Gron 1995.

- 본 논문은 Sub-bottom profiler를 연약지반 내에 침잠되어 있는 고대선박 발굴에 사용할 수 있다는 예를 보여준 발표임.

- 고대 선박의 경우 사이즈가 어느 정도 되기 때문에 서브 바텀 프로파일러로 보았을 경우 충분히 특이한 영상이 확보되기 때문에 효율적인 탐사가 가능하였음.

○ Mapping the Moon: Using a lightweight AUV to survey the site of the 17th Century ship 'La Lune'

Nuno Gracias, Pere Ridao, Rafael Garcia, Javier Escartin, Miche, L'Hour, Franca Cibecchini, Ricard Campos, Marc Carreras, David Ribas, Narcis Palomeras, Luis Magi

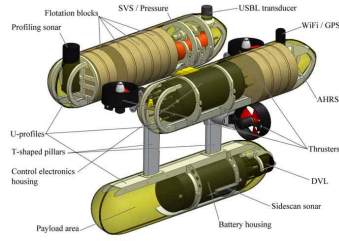


Fig. 2. Schema of the Girona 500 AUV, showing the location of principal components and payload area.



Fig. 3. High resolution stereo imaging system.



Fig. 6. Original survey image containing part of two canons (a) and its illumination corrected, de-hazed version (b).



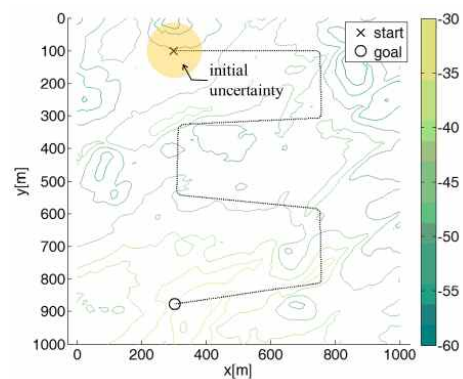
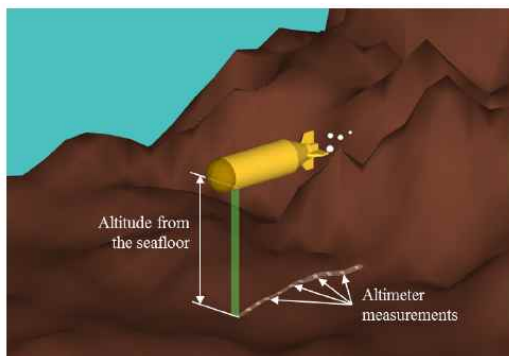
Fig. 10. Basemap photomosaic of the ship wreck rendered at 2.5mm/pixel. The ship centerline is marked by a line deployed during a previous archaeological survey [13]

- 본 논문은 컴퓨터 비전 필드에 기반을 둔 팀이 수중 로봇 고고학 쪽 응용 분야를 위하여 3차원 SLAM 연구 및 스테레오 비디오 이미지 모자이크 및 재구성 등에 관한 연구를 수행하였음.

(2) Oceans 2014 MTS/IEEE Taipei

○ Nonlinear Filtering for Terrain-Referenced Underwater Navigation with an Acoustic Altimeter

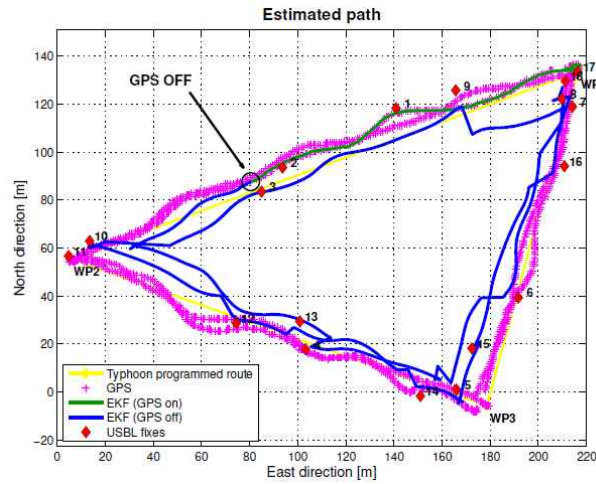
Taeyun Kim, Jinwhan Kim



- Rao-Blackwellized particle filter를 이용하여 terrain-referenced navigation을 시도함. 싱글빔 음향 고도계를 이용하였음. 단, 시뮬레이션 결과만 제시되었음.

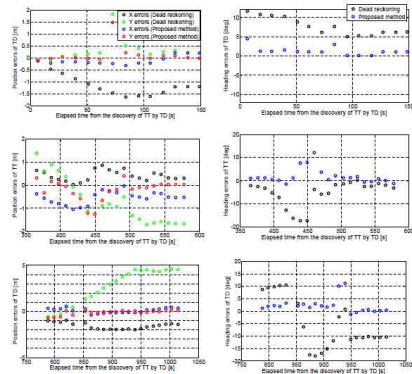
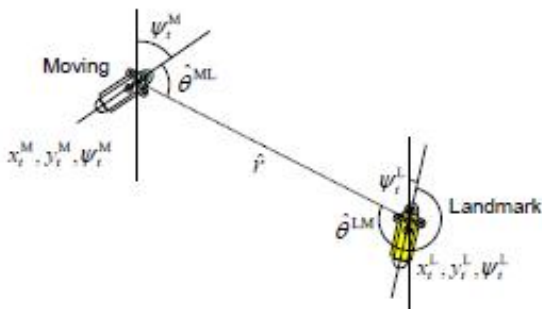
- 고도계 노이즈, wave로 인한 심도계 오차등이 발생할 경우 어떻게 해결하는 것이 좋을지 고민이 필요한 것으로 판단됨.

- Fusing Acoustic Ranges and Inertial Measurement in AUV Navigation : the Typhoon AUV at CommsNet13 Sea Trial
 Andrea Caiti, Francesco Di Corato, Davide Fenucci, etc.



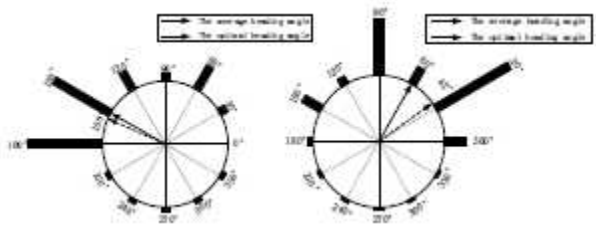
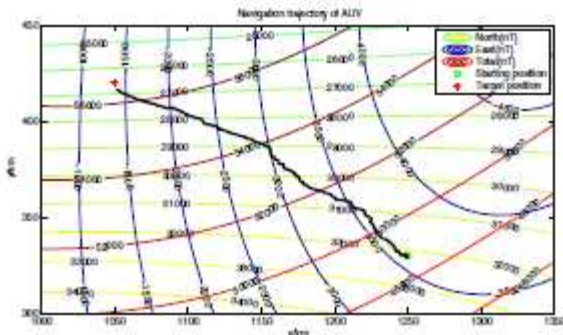
- 저가의 음향 및 관성 센서를 퓨전한 항법시스템이 적용된 AUV를 이용하여 실험함. AUV는 수심 300m에서 운용되었음.
- 음향센서의 경우 USBL, 관성센서의 경우 X-sense에서 상용 중인 inertial sensor를 이용하였음. 저가의 센서들을 이용하였으나 상당히 괄목할만한 항법시스템을 확보할 수 있었음.

- Cooperative Navigation Method of Multiple Autonomous Underwater Vehicles for Wide Seafloor Survey - Sea Experiment with Two AUVs -
 Takumi Matsuda, Toshihiro Maki, Yoshiki Sato, etc.



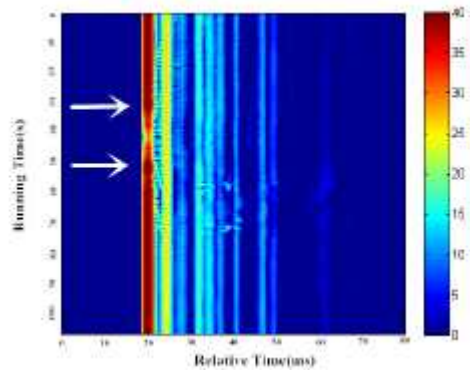
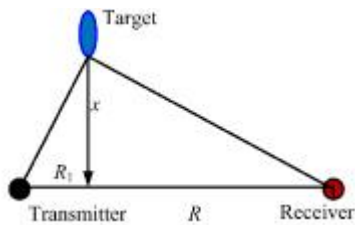
- 2대의 AUV가 동시에 편대유영하며 상대 위치를 이용하여 항법시스템을 수행할 수 있도록 한 논문.
- 1대의 AUV가 해지면 근처에서 랜드마크를 이용하여 자신의 위치를 localization, 이를 기반하여 다른 AUV가 자유유영을 하더라도 자신의 위치를 결정할 수 있고 이를 통해 항법시스템을 구축할 수 있다고 함.

○ Geomagnetic navigation of AUV without a Priori Magnetic Map
Mingyong Liu, Hong Li, Kun Liu



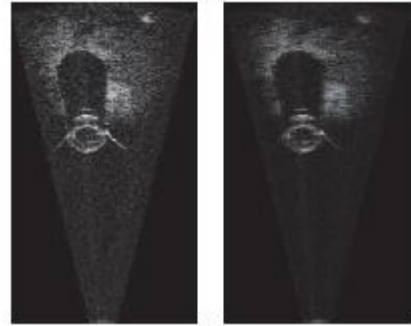
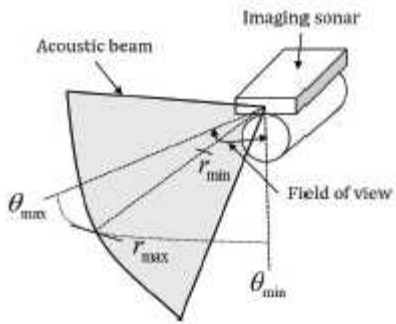
- 중국의 여성과학자가 발표하였음. 새, 물고기 등의 자연생물들이 먼 길을 이동할 때 지구자기장을 이용하여 자신들의 위치 파악하고 항로를 결정하는 것에서 착안, 이것을 AUV에 적용하도록 시도해봄.
- 본 논문에서는 지구자기장을 이용하여 항로를 결정할 수 있는지 조사.

○ Application of Forward Scattering Phenomenon; Speed Estimation for Intruder
Peng Xian, Kunde Yang, Lei Honglei Wang



- Transmitter와 Receiver 사이에 타겟을 움직이며 이를 감지할 수 있도록 시도함. transmitter와 receiver 사이의 거리는 8km로 설정하고 시뮬레이션을 수행하고 이를 디텍트할 수 있음을 확인하였음.
- 실험의 경우 10m 거리를 두었음. 타겟의 경우 외경 10.95cm 중공파이프로 선정하였음.

○ Feasibility Study of Noise Reduction for Imaging Sonar based on Time-Domain Filtering
Hyenwoo Cho



- 상용중인 Diddson의 멀티빔 이미징 소나를 사용하였음. 재귀최소좌승 알고리즘이 이용된 실시간 노이즈 제거 기법을 제안함.
- 하지만 제안된 기법을 통해서 보인 이미지의 경우 그 결과가 좋지 않은 듯한 느낌을 주었음. 사물 식별력을 높이기 위해 계인을 높이는 등의 다른 시도가 필요한 것으로 보임.

제7장 참고문헌

- 국토해양부 (2008), 수중항만공사 기계화시공장비 개발 (최종보고서), 313p.
- 김치효, 박근우, 김태성, 이민기 (2009), 수중로봇의 롤 운동제어를 위한 모델 베이스 제어에 관한연구, 한국항해항만학회지, 제 33권 제 5호, pp. 323~330
- 이민기, 박근우, 김태성, (2009), 수중항만공사 방파제 피복작업용 로봇, 한국항만협회, 항만지, pp. 95-108
- 박근우, 김태성, 정진욱, 김용희, 이민기 (2003), 수중항만공사 기계화 시공을 위한 로봇 개발, 대한기계학회 2003년도 추계학술대회논문집 pp. 1781-1786
- Choi, S. K. and Yuh, J. (1996), Experimental study on a learning control system with bound estimation for underwater robots, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2160-2165
- Goheen, K. G. and Jefferys, E. R. (1990), On the adaptive control of remotely operated underwater vehicles, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, Vol. 4, No. 4, pp. 287-297
- Kim, T. S., Park, K. W., Kim, C. H., Park, J. H., and Lee, M. K. (2005), Development of a Parallel Typed Robot with a Sensorless Observer for Harbor Construction, Int. Conf. on Information Acquisition(IEEE ICIA), pp. 187-192
- Wang, J.-S., Lee, C. and Yuh, J. (2000), Self-adaptive neuro-fuzzy systems with fast parameter learning for autonomous underwater vehicle control, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3861-3866
- Yuh, J., Nie, J. and Lee, C. (1999), Experimental study on adaptive control of underwater robots, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp, 393-398
- Penta-Ocean Website <http://www.penta-ocean.co.jp>
- Nexans Website <http://www.nexans.com>

연차실적계획서 수정·보완 대비표

- 과 제 명 : 항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발
- 주 관 연 구 기 관 : 한국해양과학기술원
- 연구책임자 : 장인성

수정·보완요구사항	수정·보완요구사항 반영내용 요약	관련 페이지	비 고
<p>1</p> <p>* 장비의 개선방향이나 보완될 사항을 구체적으로 언급할 것.</p> <p>- 사석고르기 이외의 활용 방안을 언급, 이 경우 수정 보완 개선될 부분 언급할 것.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 개발 장비는 본 과제의 목적에 맞추어 수중 사석고르기 작업에 맞도록 개발되었음. - 전문가 자문회의 및 기술이전 예정업체의 의견 중 장비활용에 있어 고르기 작업외의 적용 분야에 대한 요구가 있었음. - 지금까지 거론된 분야로 발전소 온배수로 청소작업, 암파쇄 작업, 파쇄암 정리 작업 등이 있음. - 상기 적용 분야의 경우에는 대부분 다목적 암에 Add-on 형태로 작업틀을 부착하는 형태이며, 이의 운용을 위한 기구부, 유압부의 일부 수정이 필요할 수 있음. 이와 같은 시장의 요구에 대응하는 것이 향후 장비의 개선 방향 및 활용방안이 될 것임. - 또한 적용 수심에 있어 현재 수중 30m까지 적용 가능하게 개발되었으나 시장의 요구에 적극적으로 대응하기 위해 수밀부를 개선하여 수중 100m 이내까지는 적용 가능할 것으로 판단됨. 	<p>-[별첨1] 연차별 연구개발 수행 내용 및 결과, p540 ~ 541</p>	
<p>2</p> <p>* 개발될 장비의 기능성, 내구성, 안정성, 유지관리를 확보할 수 있는 매뉴얼 작성 필요함.</p> <p>- 특히, 부식, 방식, 누유에 대한 대책 및 유지보수에 필요한 부품 교체주기등을 언급할 것.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 본 연구에서 장비 사양설계 시 장비의 규모와 구동방식에 있어 본 과제의 개발 장비와 유사한 일본의 온배수로 청소 장비의 유지보수 형태 및 기법을 반영하였음. 일본장비의 경우 기구부, 유압부의 주요 부품에 상용 중장비 부품을 활용하였으며, 경험에 의한 점검 및 교체 주기를 설정하여 운영하고 있음. - 본 과제의 개발 장비에도 주요 부품을 수급 및 교체가 용이한 상용 부품을 사용하였으며, 이에 준하여 일반적인 매뉴얼을 작성하였음. 	<p>-[별첨2] 장비 운영 매뉴얼, p22 ~ 24</p> <p>-[별첨3] 장비 유지보수 매뉴얼, p37 ~ 38</p>	

		<ul style="list-style-type: none"> - 장비의 운영 매뉴얼의 '3절 점검 및 성능 시험'에서 방수, 유압, 주행, 견인력의 성능 실험 및 조치요령을 설명하였음. - 장비의 유지보수 매뉴얼의 '1절 기구부'에 매 10시간, 250시간, 500시간 마다 점검하고 교체할 기구부의 부품들에 대해 설명하였음. - 수중 작업에 적용 시 부품의 내구성, 교체 주기 등 오랜 시간을 두고 필드 테스트가 필요한 부분까지는 본 연구에서 수행할 수 없었으며, 향후 기술이전들을 통해 트랙 레코드(Track record)를 바탕으로 정립해야 할 부분으로 판단됨. 		
3	* 해외유사 장비와 비교평가 및 작업가능 환경에 대한 기술필요	- 해외 유사장비와 개발 장비 비교평가를 최종보고서에 비교표 형태로 기술함.	- 최종 보고서, p37 ~ 38	
4	* 외국장비 도입시와 장단점 비교 검토 필요	- 외국장비 도입시와 장비 개발시 장단점 비교 검토 결과를 최종보고서에 기술함.	- 최종 보고서, p15 ~ 16	
5	* 실제현장작업에 운영시 총비용 대비 잠수부를 이용하는 경우의 비용을 기간, 효율, 유지관리비용까지 포함되는 개략적인 경제성 비교평가 필요(가능할 경우)	- 6번 항목에 답변을 제시함.	-	
6	* 기존 잠수부에 의한 작업장법에 의한 공사비와 개발장비에 의한 공사비를 산출 후 비교분석하여 경제성, 파급효과, 기술적 우수성을 평가하여 보고서에 제시하여야 함.	<ul style="list-style-type: none"> - 실제 현장작업에 적용할 경우 기존 잠수부 활용 대비 개발장비 활용 시 총 비용을 71%의 예산을 절감할 수 있을 것으로 기대됨. 이에 대한 비교표 및 가정 조건 등을 최종보고서에 포함하였음. - 기술적 우수성 및 파급효과는 최종보고서에 포함되어 있음. 	- 최종 보고서, p38 ~ 39	
7	* 핵심기술을 기술적성과(특허 등)와 학술적성과(논문 등)으로 나타내는 부분 보완 필요	<ul style="list-style-type: none"> - 각 기관별 기술적 성과와 학술적 성과를 조사하여 최종보고서에 기입하였음. - 각 성과는 증빙자료로도 제출되었음. 	- 최종 보고서, p36	
8	* 핵심기술분류 및 달성도, 검증방법 등 상세히 보완 필요	- 핵심기술에 대해 각 항목별로 분류하였으며, 각 핵심 지표에 대한 최종 목표 달성도 및 검증방법은 최종보고서에 정리하였음.	- 최종 보고서, p30-35	

9	* 운용개념 및 시나리오 명시하고 운용매뉴얼도 첨가 필요	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 운용 매뉴얼의 '4.1절 운전방법'에서 운전실의 버튼과 조이스틱을 이용해 장비를 운전하는 방법을 설명했음. - 장비 운용 매뉴얼의 '4.2절 시공방법'에서 장비에 의한 고르기 작업 시나리오와 방법에 대하여 설명했음. 	<p>-[별첨2] 장비 운영매뉴얼, p24 ~ 29</p> <p>-[별첨2] 장비 운영매뉴얼, p30 ~ 33</p>	
10	* 기술이전 및 사업화 방안을 구체적으로, 주요 일정별로 작성 실행할 수 있도록 할 것	<ul style="list-style-type: none"> - 상용화를 위해 장비를 기능성.현장성을 고려하여 개발하는 것도 중요하나 건설 시공 장비의 특성상 관련업체에서 기술을 이전받아 상용화하는 것이 무엇보다 중요함. - 개발 상품의 활용 및 제작 측면에서 3개 기업(KT서브마린, 희송지오텍, FM전기유압)이 참여기업으로 포함되었으며, 각 기관별로 개발 상품에 대한 향후 활용 방안에 대한 계획을 수립하였음. - 기술이전과 관련한 주요 일정에 대해서는 계획(안)을 보고서에 포함하였음. 	- 최종 보고서, p43	
11	* 펌프 최대 토출 유량 수정 필요(전동모터와 펌프효율고려)	<ul style="list-style-type: none"> - 본 과제에서 선정한 펌프는 KAWASAKI HYDRAULIC PUMP(TYPE:K3V63DT-120R)로 전동기의 정격 회전수 1780rpm에 비추어 보면 약 236L/min의 최대 유량을 생성할 수 있음. - 선정된 펌프와 모터로 수중 유압공급장치를 개발하였고, 육상 및 수중 실험을 통해 장비의 내구성, 안전성을 고려하여 설정 압력을 250kg/cm²으로 하여 장비를 운영하였음. 장비의 운영시 전동기, 펌프 및 펌프효율(0.93)을 고려하여 펌프의 토출 유량은 180L/min으로 볼 수 있음. 	-[별첨2] 장비 운영매뉴얼, p22	
12	* 연구과정을 통해 얻어진 향후 개선사항을 별도 기재하여, 기술이전시 운영자 및 추후 연구자들을 위한 기초 자료화 필요	<ul style="list-style-type: none"> - 1번 항목과 연동됨. - 시장의 요구에 부합되는 추가 툴 개발 : 온배수로 청소용 툴, 암파쇄 툴 - 수중 사석고르기 작업에 있어 수평부분 외에도 좌우 경사면을 고를 수 있는 기능 요구 - 수중 30m 이상의 작업수심을 확보할 수 있는 수밀 시스템 - 상기의 개선사항들은 자문회의 및 기술이전 	-[별첨1] 연차별 연구개발 수행내용 및 결과, p540 ~ 541	

		<p>예정 업체에서 개발 장비의 활용 측면에서 언급된 내용들로 향후 기술이전이 진행되고 추가 연구개발을 통해 우선순위를 정하여 개선할 예정임.</p>		
13	<p>* 수차례 현장실험을 통하여 지속적인 개선을 수행하여야 장비 및 시공법의 상용화 가능함</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 개발기간동안 총 8회(육상실험 2회, 수중실험 6회)의 현장실험을 수행하였음. 매회 실험을 통하여 장비의 현재 성능 및 개선사항을 도출하였으며 이를 지속적으로 반영하여 수정하였음. - 후속과제 또는 기술이전을 통하여 추가적인 현장실험을 수행 및 장비의 지속적인 개선을 수행할 수 있도록 할 예정임. 	-	
14	<p>* 향후 수중장비 위치인식에 대한 정밀도를 향상시키는 추가적인 연구가 필요</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 개발 장비는 수중위치추정을 위하여 LBL, DVL, 그리고 자세센서를 적용하였음. - 개발 장비는 고르기 작업이라는 특수한 임무를 수행함에 따라 발생하는 과도한 소음, 철제 프레임, 유압모터 구성으로 음향신호 수신 및 선수각 추정이 쉽지 않은 상황임. - 향후 USBL과 같은 센서 변경, 센서위치 변경, FOG 적용 등을 수행하여 위치추정 정밀도 향상에 대한 업그레이드를 기대할 수 있음. 	- 최종 보고서, p40	

[별첨1]

연차별 연구개발 수행 내용 및 결과

1차년도 연구 내용 및 결과

1. 수중고르기 장비 관련 기존 자료 조사

1.1 작업 공정 분석

1.1.1 개요

(1) 기본 사항

- 수중 고르기 작업은 케이슨, 블록 등을 거치하기 위해 주로 이루어짐.
- 기초사석은 상부 구조물을 지지하기 위한 기초 토대로서 사석의 규격, 비중, 중량, 모양 및 치수 등이 균일하고 치밀하여야 하며 선정시험을 통과한 사석만을 사용하여 시공하여야 함.
- 주로 수심 20m 이내에서 작업이 이루어짐.

(2) 상부구조 형식

- 케이슨 구조
 - 그림 1.1.1과 같이 횡격벽과 종격벽으로 구성.
 - 고르기된 사석면에 아래와 같은 케이슨을 올림.
 - 케이슨을 올려 정렬한 후 내부 공간을 골재로 채우고, 덮개를 닫음.
 - 덮개위에 콘크리트 상치를 수행.
- 블록 구조 : 그림 1.1.2와 같이 케이슨에 비해 소형임.

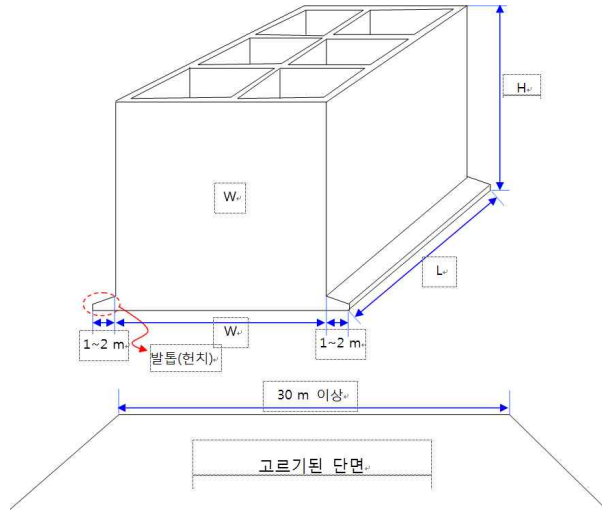


그림 1.1.1 케이스 구조(예)

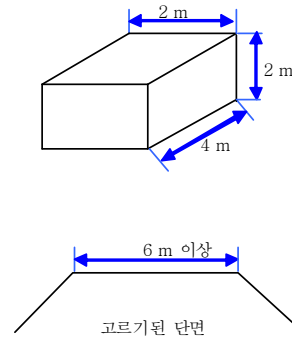


그림 1.1.2 블록 구조(예)

(3) 오차 및 여유폭

○ 허용 오차(항만 및 어항공사 표준시방서)

- 고르기 마무리높이 : $\pm 5\text{cm}$.
- 고르기 두마루폭 : +규정하지 않음, -10cm .
- 고르기 연장(기준선 상) : +규정하지 않음, -10cm .
- 축선간격은 10m 이하로 함.

○ 현장 분석 자료

- 케이스 거치 후 케이스가 맞붙은 면의 간격(그림 1.1.3)을 보고, 감리가 재시공을 판단함.
 - ※ 케이스의 경우 일반적으로 10~15cm의 간격까지 허용함.
- 케이스 거치면 고르기 정도 $\pm 3\text{cm}$
- 침매터널 거치면 고르기 정도 $\pm 1\text{cm}$
 - ※ 고르기면이 30m X 1,000m일 경우, 전체 면적의 오차를 말함.

표 1.1.1 직립부 구조형상에 따른 기초 고르기의 여유 폭 기준
(항만 및 어항공사 표준시방서)

직립부 구조	여유 폭(m)	
	한 쪽	양 쪽
케이스	1.0	2.0
블록 또는 L형 블록	0.5	1.0
현장타설 콘크리트	0.5	1.0

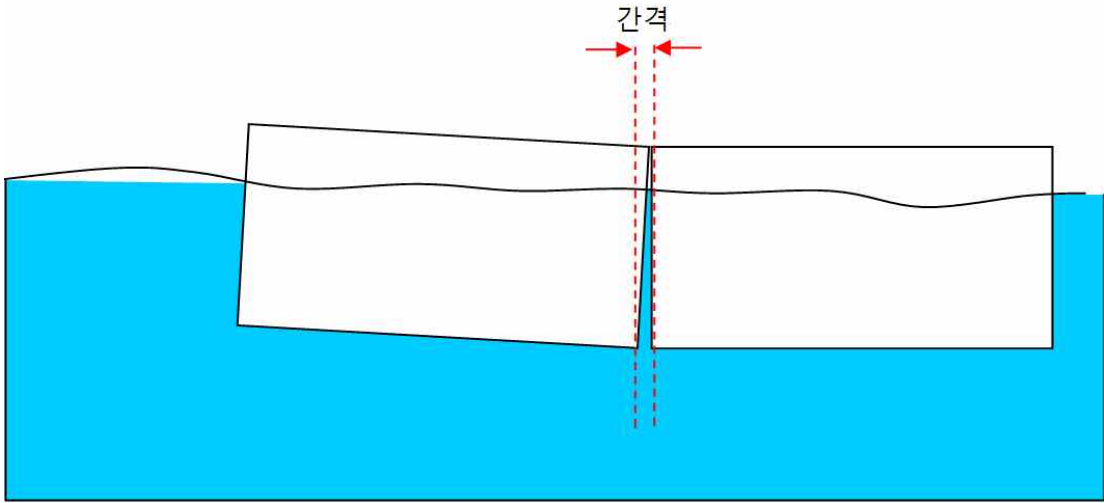


그림 1.1.3 케이스 간격

1.1.2 세부 시공 공정

(1) 준설작업

- 그림 1.1.4와 같이 케이스를 설치하기 위해 해저 지면에서 일정 깊이 이상 준설함.
 - 케이스가 거치되면 만조수위에서 천단고만큼 돌출하게 됨.
 - 케이스의 높이 등을 고려할 때 고르기 작업은 수심 20m 이내에서 이루어짐.

(2) 사석투하

- 사석투하 시 최종적인 고르기면을 고려하여 1, 2차 투하로 구분.
 - 1차 투하 시에는 육상용 백호(굴삭기)를 활용한 투하(그림 1.1.5)를 우선.
 - 사석의 규격에 따라 차이는 있으나 보통 최종 고르기면의 0.5 ~ 1.0m 정도부터는 크레인을 이용한 2차 투하를 실시하는 것이 보통.

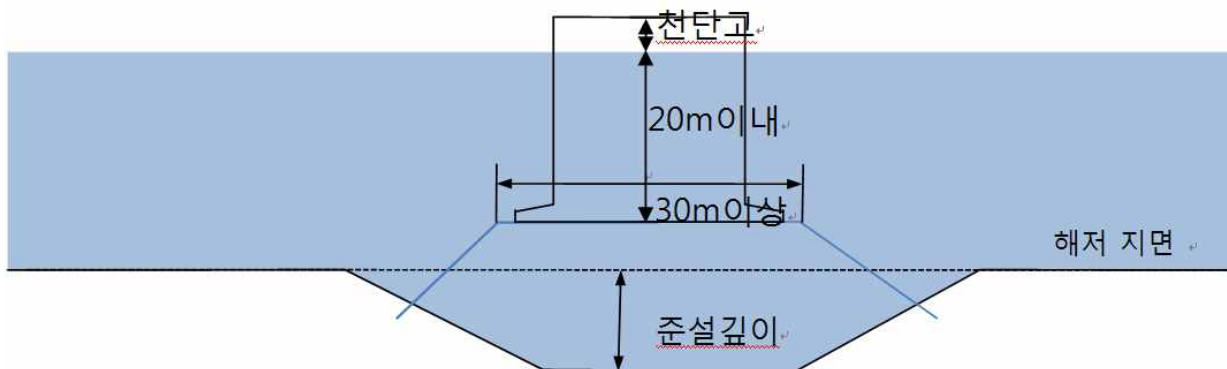


그림 1.1.4 케이스 설치(예)

- 바지선에서 굴삭기가 기초사석(0.02~0.03m³, 약 30cmX30cmX30cm 크기)을 밀어 떨어 뜨리는 방식(그림 1.1.6)
- 사석 투하 시에는 잠수부는 투입되지 않음.
- 전체 준설부위에 1m 정도의 높이가 될 때까지 투하한 후 다짐작업 수행.
- 투하와 다짐작업을 반복적으로 수행하여 필요 높이(케이슨 거치면에서, -300 ~ -500mm 높이) 까지 투하함.
- 사석투하 시 유속에 따라 사석이 떨어지는 위치는 많이 다름.

※ 사석투하 시 다짐작업

- 바지선에 있는 육상 크레인으로 대형 바이브레이터를 권양하여 다짐작업을 수행하는 정도임(그림 1.1.7).
- 잠수부는 투입되지 않음.
- 다짐작업은 대부분의 현장에서 수행한다고 함.

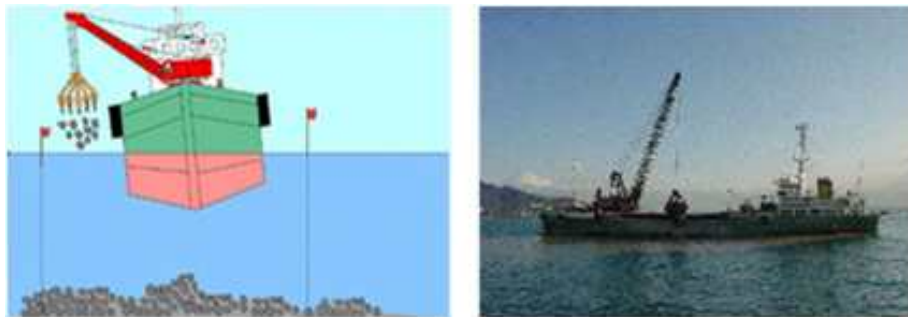


그림 1.1.5 사석 투하 장면



그림 1.1.6 사석고르기 작업선(제주외항 현장)

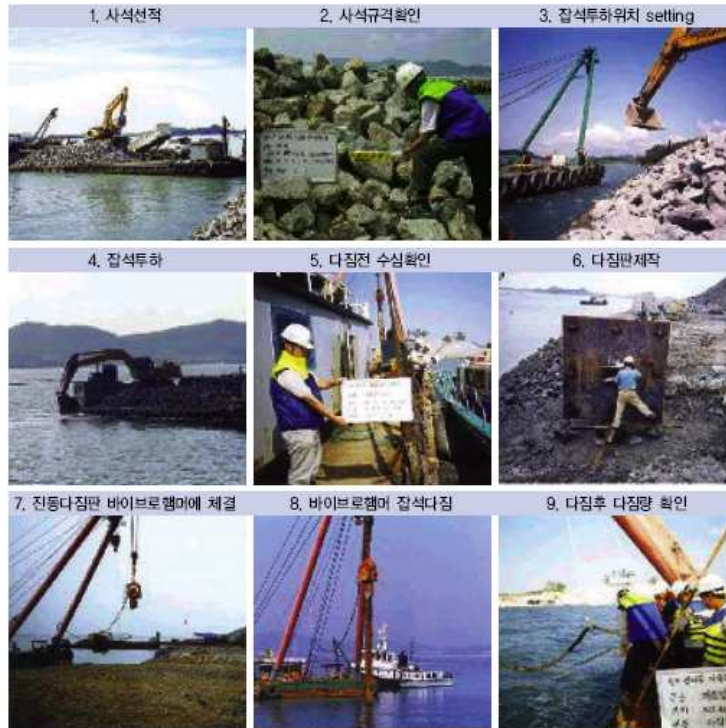


그림 1.1.7 사석 다짐 순서

(3) 측량 및 기준틀 설치

○ 측량을 통한 기준위치 표시

- 그림 1.1.8과 같이 광파기, 무게 추 등을 이용하여 잠수부가 작업.
- 측량을 통해 철근을 박음.
- 30m 이상 되는 폭 방향에는 등 간격으로 3개의 철근을 박아 기준위치를 표시해 둠.
- 길이방향으로는 20m 간격으로 철근을 박아 기준위치를 표시해 둠.
- 측정 후 철근을 기준으로 잠수부는 다시 2m간격으로 말목을 추가 설치.

○ 비개 파이프 설치

- 비개 파이프를 사용하여 고르기 작업시 기준틀로 사용함.(그림 1.1.9, 그림 1.1.10)

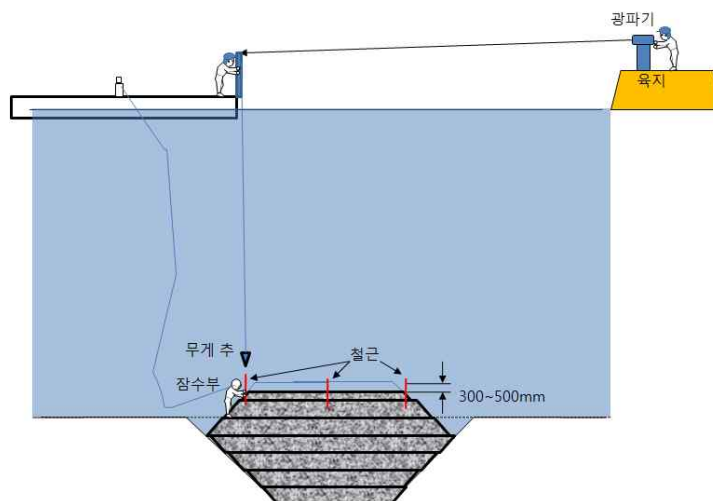


그림 1.1.8 측량 및 기준틀 설치 개념도



그림 1.1.9 측량 모습

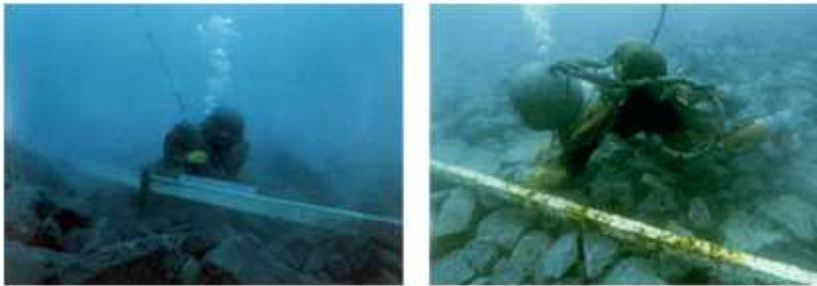


그림 1.1.10 기준틀 작업 모습

- 율석 받기 (잠수부가 수중에서 판단하여 받음)
- ※ 율석 : 약 $\phi 30 \sim 100\text{mm}$ 의 크기로 가공된 돌(그림 1.1.11).
 - 기준틀을 근거로 잠수부가 판단하여 받을 율석의 양과 위치를 결정.
 - 사석투하 공정에서 기준면 300 ~ 500mm 모자라게 투하 했으므로 모자란 높이를 율석으로 채움.
 - 그래플 등으로 바지선에서 율석을 내려줌.
 - 그림 1.1.12는 비개 파이프 설치 및 율석을 받은 후의 모습



그림 1.1.11 사석고르기현장에 활용되는 율석(제주외항 현장)

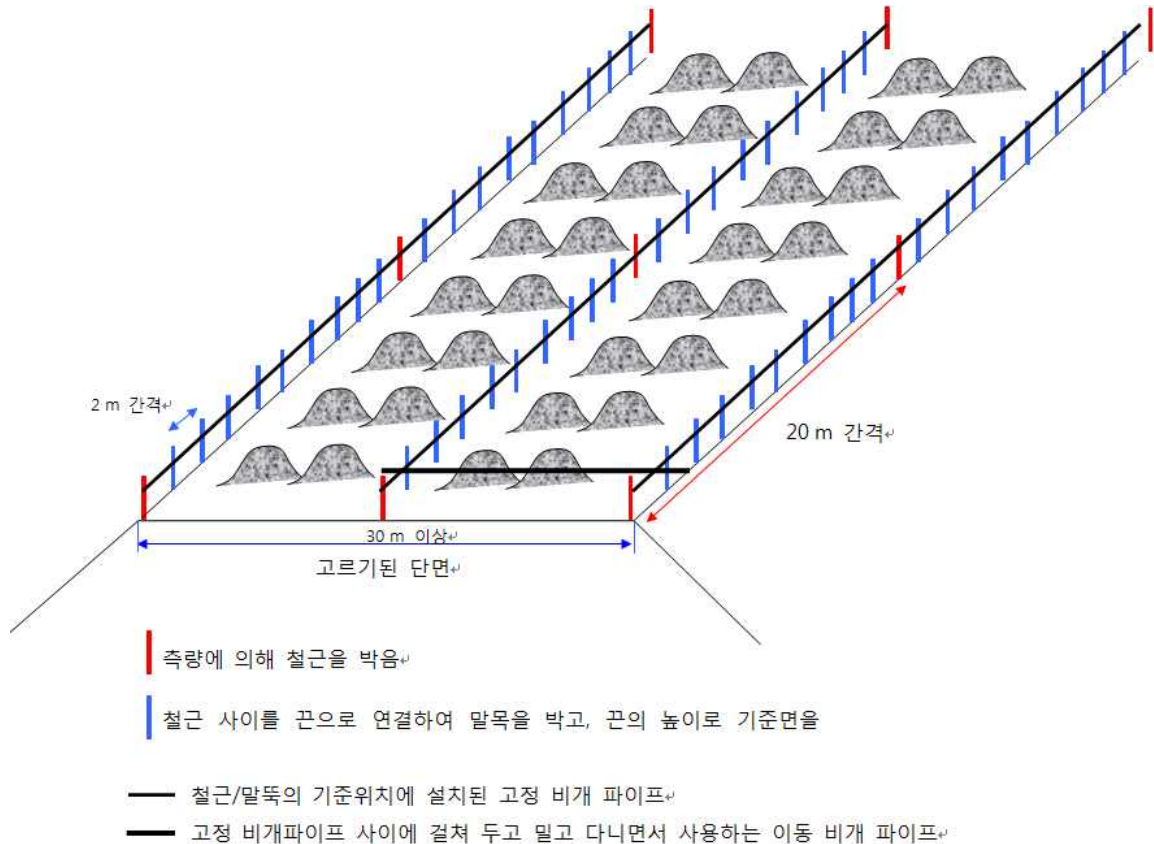


그림 1.1.12 기준틀 설치 간격

(4) 고르기 작업

○ 기초 고르기 작업

- 사석 기초면의 기복이 최소로 되고 직립부 바닥이 균등하게 거치되도록 수평을 유지하여 부등침하가 발생하지 않도록 하여야 함.
- 기초 고르기는 거의가 수중 고르기에 속하며 직립구체를 거치하기 위한 고르기이므로 직립부 전후로 여유폭을 가산하여 고르기를 함.
- 고르기 작업이 완료되면 탬퍼나 수심측량, 다이버에 의해 고르기면을 확인 함.

○ 작업 방식

- A. 울석을 받아 두는 팀과 고르기하는 팀으로 나누어 운영하는 방법.
- B. 울석을 받으면서 고르기하는 방법.

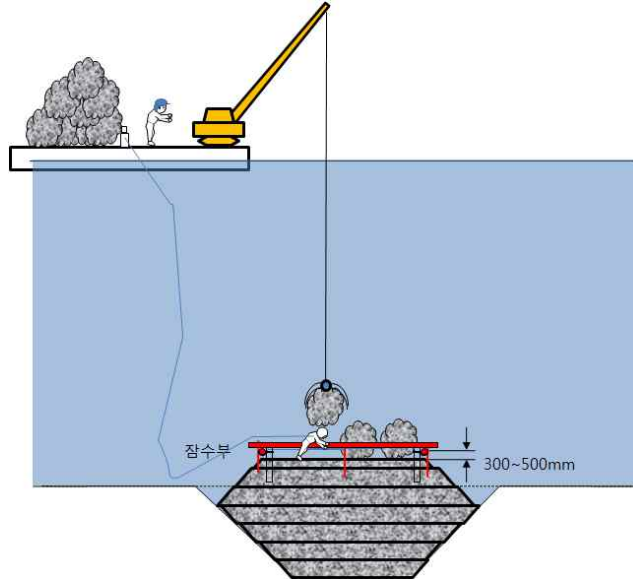


그림 1.1.13 고르기작업 개념도

○ 작업 인원

- 잠수부 6~8명 투입, 산소호스 및 케이블 관리인원 2명, 중장비 운전자 등(그림 1.1.13).
- 그림 1.1.14는 울석을 받으면서, 비개 파이프를 밀고 다니면서, 고르기 작업하는 장면.



그림 1.1.14 잠수부 고르기 작업 모습

1.1.3 잠수부 활용 현황 및 문제점

(1) 재해 가능성

- 지금까지 대부분의 국내 해상 공사의 경우에는 잠수부를 활용한 재래식 시공과 공사 관리가 이루어지고 있음.
- 선박이 많이 오가는 항내에서 작업을 해야 하는 등, 위험의 인지나 회피의 곤란성 때문에 안전성 면에서도 많은 문제를 야기함.
- 시공과정에서 잠수부의 허리부상 및 손가락 절단 등 각종 재해의 우려가 있음.
- 표 1.1.2 : 잠수작업에서 일어난 중대사고(일본 사례)

- 국토교통성의 직할공사에서는 1972년부터 2000년까지 27년간에 38명이 사고를 당하고, 17명이 사망.
- 사망사고에 이르지 않더라도 감압시의 척추경색이나 잠수병 등, 많은 잠수부가 생명과 관련된 사고가 발생.
- 미국 Occupational safety and health administration에 따르면 1989년과 1997년 사이에 해상 다이버들의 사망률은 평균 노동자에 비해서 40배에 달하였으며, 매우 위험한 직업군 중의 하나임.

표 1.1.2 과거 잠수작업 시의 중대 사고 (일본)

	경험	피재부	피재성질	휴업일수	원인	작업
1972		흉부	기타	사망	질병	조사
1975	10년		질식	사망	송기이상	사석 및 고르기
1977	10년		질식	사망	송기이상	기재 등 설치
1977	12년		질식	사망	잠수기구고장	사석 및 고르기
1980			열상		끼임	사석 및 고르기
1983	20년		질식	사망	송기이상	기재 등 설치
1984	09년	흉부	잠수병	8~15	잠수기구고장	조사
1984	13년	두부	잠수병	16~30	호스	조사
1984	18년	두개부	골절	8~15	격돌	사석 및 고르기
1985	04년		질식	사망	송기이상	사석 및 고르기
1985	25년	손가락	절단	31~	끼임	조사
1985	13년		질식	사망	호스	사석 및 고르기
1987	30년		익사	사망	송기이상	조사
1988	20년		익사	사망	호스	사석 및 고르기
1990	30년	상지부	감압증		감압	사석 및 고르기
1990	25년	손가락	절단	16~30	끼임	사석 및 고르기
1991	09년	손가락	절단	16~30	끼임	설치
1992	16년	어깨, 팔꿈치	관절상해		감압	조사
1993	01년	손	칭싱		접촉	조사
1993	16년	흉부 등	내장파열	31~	접촉	조사
1993	05년	경부 등	골절	31~	접촉	조사
1994	40년	두부	질식	4~7	송기이상	설치

1994	10년	흉부	폐포파열	사망	송기이상	사석 및 고르기
1995	10년		익사	사망	송기이상	용접
1995	00년	두부 등	잠수병	8~15	송기이상	조사
1995	01년		익사	사망	송기이상	용접
1996	32년		감압증	16~30	감압	조사
1996	15년	상지부 등	절단	16~30	끼임	설치
1997	07년		질식	사망	조류	사석 및 고르기
1997	24년		익사	사망	송기이상	설치
1998	03년		질식	사망	잠수기구 고장	조사
1999	30년		척추경색	31~	감압	조사
1999		두개부	꿀절	사망	스크류	조사
1999	27년		잠수병		감압	사석 및 고르기
1999	03년	손	열상	0~3	격돌	사석 및 고르기
2000	15년		잠수병	0~3	감압	사석 및 고르기
2000			잠수병	0~3	감압	사석 및 고르기
2001	09년	흉부	내장파열	사망	끼임	사석 및 고르기

(2) 잠수부 활용 재래식 시공의 품질관리 한계

- 대수심에서 파랑이나 조류 등으로 인해 해상기초 등 수중에 설치될 다양한 해양구조물의 기반 내 정밀 거치가 어려움.
- 관리·감독자가 작업과정을 직접 확인하지 못하고 작업자인 잠수부의 처분에만 의존하며 완료된 공사 중 일부만 촬영해 품질을 관리하는 기존 방법에서 탈피해 부실공사를 예방하기 위한 장치가 필요함.
- 국내 해역의 특성상 탁도로 인하여 시야 확보가 어려운 조건이므로 무인 기계화 장비를 통해 고품질 저비용의 시공을 실현해야 함.
- 잠수병 때문에 작업시간이 극히 제한되고, 대수심 조건이거나 기타 작업여건이 열악할 경우 생산성 및 시공의 정밀도가 떨어짐. 특히, 작업현장이 점점 대수심화 됨에 따라 작업조건은 더욱 악화되고 있음.
- 그림 1.1.15의 잠수표에 의하면 수심 20m에서 8시간 근무시간 중 2시간 밖에는 잠수작업을 할 수 없고, 나머지 6시간 이상은 잠수병 예방을 위해 휴식을 취해야하기 때문에 수중 작업의 효율성이 상당히 떨어지는 실정임.



NOAA NO-DECOMPRESSION AIR DIVE TABLE

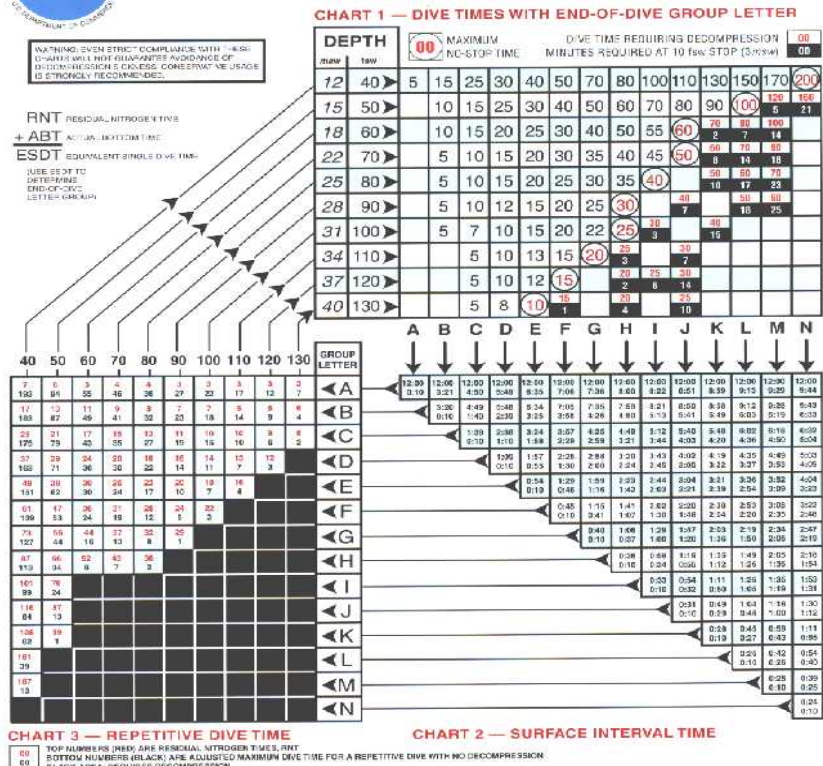


그림 1.1.15 반복 잠수표 (International Diving Educations Association 제공)

1.2 국내외 기술동향 분석 (장비 전반, 이동시스템, 수중환경 모니터링 시스템 포함 세부 기술)

1.2.1 국내 기술 동향 분석

- (유)한국해양개발공사에서 유인 수중 미니굴삭기를 개발하여 암석과 자갈 등 사석 제거 작업에 투입(수심 10m)하여 생산성을 50% 이상 높이는 성과를 이루었음.
- (주)초석건설산업은 해상SCP선을 이용한 특허공법의 사석 고르기 장비로 Casing상단에 장착되어 있는 Vibro Hammer의 진동에 의하여 사석 마운드를 다져 단단하게 고르는 공법으로 수중사석다짐 작업을 수행.
- 방파제와 호안에서의 작업은 깊은 수심과 높은 파도와 같이 자연적인 제약조건으로 인해 작업인력의 안전에 많은 문제를 야기함. 특히, 수중작업은 작업 중 발생하는 부유물 등에 의해서 시야확보가 어려워 잠수부의 판단에만 전적으로 의존하고 있어 공사의 품질 관리 및 감독이 불가능함.



그림 1.2.1 수중 유인 미니굴삭기, (유)한국해양개발공사

- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2001년부터 창원대학 메카트로닉스 연구원에서는 국토해양부의 지원으로 “수중항만공사 기계화 시공장비”에 관한 연구를 수행해 수중방파제 피복작업을 할 수 있는 Stone Diver를 개발했음. 피복석의 면을 정밀하게 맞출 수 있도록 자유자재로 운동하는 병렬기구형 유압 로봇과 탁도가 높은 수중에서도 물체를 촬영할 수 있는 수중촬영장치를 개발해 운전실에서 영상을 보면서 로봇을 조종해 피복석을 짜 맞출 수 있음.
- Stone Diver는 수중공사 중 방파제 피복작업에 국한 된 것으로 수중정밀 정밀시공과 같은 다양한 용도에 적용하기 위해서는 정밀측정기술, 영상기술, 지반조사기술, 보행기술 등에 관한 연구가 필요함.
- 육상 시공 로봇개발은 현재 국토해양부 R&D 과제로서 “지능형굴삭시스템 개발”과 “첨단융합건설사업”이란 연구단과제가 진행 중이며, 무인 굴삭기 개발, 지능형 타워크레인, 볼트체결용 로봇, 교량유지관리용 로봇 개발 등의 연구가 포함되어 있음.
- “지능형 굴삭시스템 개발” 과제의 핵심기술은 주변지형의 3차원 변화를 실시간으로 인식, 디지털 유압제어장치를 이용한 실시간 제어이며, 세계 4위의 굴삭기 제조업체인 두산 인프라코아와 함께 15톤급의 중형 무인굴삭기를 2011년까지 개발 할 예정임.



그림 1.2.2 수중로봇 (Stone Diver)



그림 1.2.3 수중 작업 모니터링 장면



그림 1.2.4 지능형 굴삭 시스템 개념도



그림 1.2.5 미래형 굴삭기-스핑크스(불보건설기계)

- 불보건설기계에서는 친환경 에너지인 수소를 동력원으로 하고 드라이브 바이 와이어 (Drive-by-Wire) 시스템을 채택한 미래형 굴삭기 스텀크스를 연구 개발하고 있으며 2020년에 실제 생산을 계획하고 있음.

1.2.2 일본의 수중 굴삭기

(1) 유인 굴삭기

- 일본에서 적용되고 있는 수중공사 장비의 대표적인 사례가 육상에서 가장 널리 사용되고 있는 장비인 굴삭기(back hoe)로, 현재 육상처럼 조종석에 잠수부가 위치하여 장비를 조정하게 되며, 장비의 기동은 상부에서 연결된 케이블과 무한궤도로 이루어짐 (그림 1.2.6).



그림 1.2.6 수중 유인 굴삭기 (일본 도화건설)

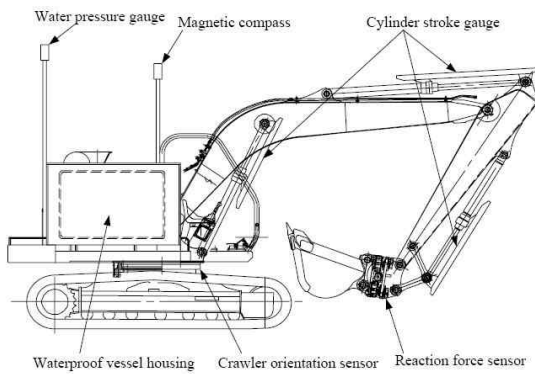


그림 1.2.7 ZX870LCH-3(일본 Hitachi사)

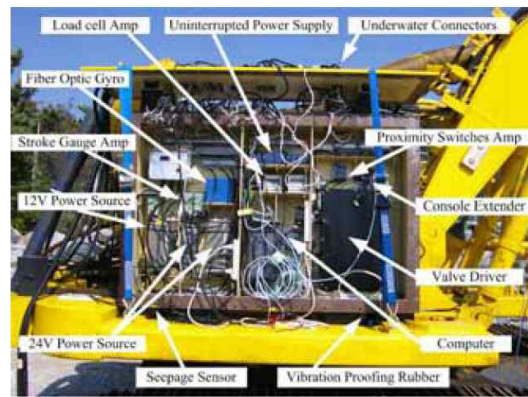
- 일본 Hitachi사의 ZX870LCH-3는 일명 “스타피쉬(The Starfish)”로 불리며 수중 5m까지 작업할 수 있음. 이 장비의 버킷과 암은 수중에서 작업할 수 있으며 운전자와 운전실 등은 수상에 있을 수 있도록 장비를 수정하였음. 최근 더 큰 장비인 EX1200도 개발하고 있다고 함.(그림 1.2.7)

(2) 무인굴삭기

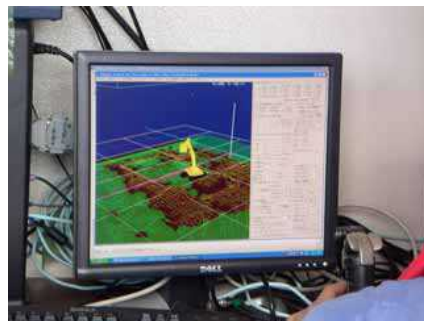
- 일본 항만공학기술연구소(PARI)에서 개발한 수중 무인 굴삭기는 엔진룸 대신에 방수 센서 룸(Waterproof vessel housing)에 각종 센서와 앰프 등을 갖추고 있고, 수중의 3D 지형 데이터 화면을 제공하여 육상에서 원격 조정하게 됨.(그림 1.2.8)



(a) 수중 무인 굴삭기 구성도



(b) 각종 수중 센서부



c) 지형 데이터베이스 화면

그림 1.2.8 수중 무인 굴삭기(일본 PARI)



그림 1.2.9 Yellow Magic (일본 도화건설)

- 일본의 Toa 건설은 Yellow Magic 이라는 수중 무인 굴삭장비를 개발하여 실제 수중 작업에 활용하고 있음(그림 1.2.9). 주로 시야가 확보되지 않는 탁도가 높은 곳이나 조류가 센 지역을 대상으로 함.

1.2.3 전문가 초청 세미나 및 토론회

(1) 개요

- 일본 항만공학기술연구소(PARI)에서 수중 무인 굴삭기 개발 및 제작과 관련한 전문가를 초청하여 세미나 및 토론회를 개최한 바 있음.
- 초청 전문가 및 주제명
 - A. 강연 #1
 - 이름 : Dr. YOSHIE Muneo (일본항만공학기술연구소, PARI)
 - 강연명 : 해양 건설에의 로봇 기술의 적용
 - B. 강연 #2
 - 이름 : Dr. HIRABAYASHI Taketsugu (일본항만공학기술연구소)
 - 강연명 : 수중 백호우의 원격 조작용 인터페이스에 관한 연구
- 세미나 목적
 - 한국과 일본의 수중 건설 로봇(특히 수중 굴삭기)연구에 대한 개발동향 및 정보 교환.
 - 수중 건설 로봇(특히 수중 굴착기 시스템)의 국내 및 세계 시장동향 분석.
 - 수중환경 분석시스템에 대한 기술의견 교환.



(a) 초청 세미나 개최



(b) 토론회 모습

그림 1.2.10 일본 전문가 초청 세미나 및 토론회

(2) 토론회 및 세미나 요약 정리

○ 과제 종류 및 연구비

- 현재 개발한 장비의 경우 PARI 기본과제로 진행되었음
- 무인 장비의 경우에는 2001년부터 4년간 수행하였음.

○ 무인 장비 vs. 유인 장비

- 유인 장비의 경우에는 잠수부의 작업시간에 한계가 있음.
- 또한, 시계확보가 되지 않을 경우에는 유인 장비를 적용하지 않음.
- 무인 장비는 일본 내에서는 아직까지 선입견이 있는 관계로 많이 활용하지 않는 편임.

유인 장비가 보다 경제적인 것으로 알려져 있음.

○ 예상 판매 가격(안)

- 유인 장비는 10억원(약 8천만엔) 정도 => 판매가임.
- 무인 장비는 10억원+1억원(약 9천만엔) 정도로 예상.
=> 1억원은 (단순 촉각 인식형 장비의 센서 및 제어기 등의 순수 재료비임)

- 여기서, 무인 장비는 장비 무게만 약 4톤 정도(본 연구에서 개발하고자 하는 장비의 경우 약 10톤임).

○ 기존 잠수부에 의한 시공 방법과 비교

- 잠수부 활용 : 4.3m²/h.
- 유인 장비 활용 (탁도가 좋은 곳) : 35.4m²/h (잠수부 활용의 8배 정도).
- 무인 장비 활용 (탁도가 좋지 않은 곳, 촉각 활용) : 25.5m²/h (잠수부의 6배 정도).
=> 무인 / 유인 장비의 비교는 작업 시계가 확보되어 있는 조건일 때만을 비교한 것임 (유인굴삭기는 시계가 5m 이하일 때 적용불가).

- 수중 시공용 장비의 시장성 관련
 - 수중 굴삭장비를 비롯하여 기타 수중 시공용 로봇의 시장성은 일본 내 시장 규모를 볼 때, 당장보다는 향후 발전 가능성이 있을 것으로 판단. 특히, 수심이 깊은 경우나 탁도가 심한 경우 등 열악한 해상 조건에 대해서는 필요성이 증대될 것임.
 - 수중 굴삭장비의 경우, 다양한 작업에 활용 가능 (브레이커나 커터, 파지용 그리퍼, 워터펌프 및 워터젯트, 사면 고르기 등).

- 현장 적용성 관련
 - 개발 장비의 적용 수심은 50m 이내로 적용.
 - 수중 탁도의 경우 전혀 보이지 않는 곳까지 적용 가능. 이 경우, 촉각 센서를 주로 활용.

- 방수/방식 등 내구성 관련
 - 수중장비의 방수를 위해 전기부(센서, 제어Box 등)에 적용한 기법
 - 전기부 Case는 이중 Case 형태로 구현.
 - 외부 Case와 내부 Case 사이에 침수센서 사용.
 - Case는 액체 Type 가스켓을 사용하여 조립 (가공 후 Seal 사용하는 편이 효과적임).
 - 수중전용 커넥터 사용(미국, 인필스사의 수중커넥터 40만원/1set).
 - 방수 Test의 경우, 육상에서 따로 하지 않음 (현장투입 시 방수에 많은 시행착오를 겪음).
 - 수중장비의 방식을 위해 기구부, 유압부(장비 Body, 퀘도, Hy'd Cylinder Rod, Hy'd Motor 등)에 적용한 기법은 ?
 - 특별히 적용한 기법은 없음.
 - 다만, 부식방지를 위해, 도색을 두껍게 함, 아연판을 부분적으로 부착함.
 - 사용 후 즉시 민물로 씻음. (배수를 위한 장비외형 설계가 요구됨)
 - 수중장비의 내구성을 증대시키기 위해서 가능한 작업 후 꾸준히 물로 씻어야 함. 이를 위해 물로 씻기 편한 구조로 외형을 제작하였음.

- 유압시스템 관련
 - 유압공급을 장비자체에서 처리함으로써 수중작업 중 유압 누유 등으로 인한 해양환경오염을 방지함.
 - 유압시스템의 H/W 부분은 임대받아 사용.

- 장비 작업용 센싱 및 관련 측정 방법
 - 유압실린더의 길이는 포텐션미터 형태의 센서를 실린더 측면에 부착하여 길이를 직접 측정하거나, 암 등의 핀조인트에 포텐션미터 형태 센서를 부착하여 회전각도를 측정함.
 - 버킷부근의 센서는 Redundancy 개념으로 센서를 추가 설치함.

- 레도부의 운동량을 직접 측정하지는 않았으며, SBL 센서를 이용하여 장비의 X, Y 위치를 검출함 (센서자체의 오차 30cm).
 - 장비의 높이(Z)값은 수심센서를 이용하여 검출함.
 - Swiveling 부의 회전량의 경우, 육상에서는 6개의 근접센서로 측정했으나, 수중에서는 방수문제로 Swiveling 각을 측정하지 않음.
 - 방위각 측정을 위해 자력계 센서 사용 시 장비 몸체에서 가능한 높이 설치함으로써 오차를 최소화함.
- 수중 이동시스템 관련
 - 기존의 장비에 있는 이동시스템(2륜 카터필러 타입)을 그대로 활용
 - 수중 이동시스템의 경우, 해저면 원지반의 기동성에 대한 실험이나 검토를 한 바 없으며, 개발 장비의 경우 원지반이 아닌 사석고르기 현장에 주로 활용하였음.
- 장비 위치 및 지형 인식 관련
 - 수중에서 장비의 위치 인식
 - 육상에서 선박의 위치를 광파 측정기로 측정.
 - 수중 장비에서 초음파 발생하여 3각 측량 기법으로 위치 파악.
 - SBL(Short Base Line) 센서를 활용.
 - 수중 지형인식 방법의 경우
 - 초음파로는 정밀도 및 time lag에 의해 측정이 어려움.
 - 측각 센서를 활용하여 효율 증대.
 - 측각 활용 : 25.5m²/h (측각을 활용하지 않을 때, 27.3m²/h).
 - 장비 위치 및 지형 인식과 관련하여 측각 센서에 대한 실내 및 육상 검증실험을 다수 수행한 사례가 있음.
 - 작업하기 이전에 Side Scan Sonar 등을 이용하여 전체적인 형상 파악.
- 수중 작업 측정 관련
 - 수중지면의 높이를 정밀하게 계측하는 방법
 - 처음에 Side Scan Sonar 등을 이용하여 전체적인 형상 파악.
 - 측각 센서를 활용.
 - 현장에서 검사 작업을 할 때 편평도 및 위치 확인
 - 측각 센서를 이용한 고르기 작업 후 잠수부가 직접 투입되어 광파기 등으로 측정함 (기존 방법을 그대로 활용).
- 탁도 개선 작업 관련
 - 탁도가 높은 수중에서는 측각 센서 활용.
 - 고비용 센서, 4-D Sonar imaging system에 대한 연구도 수행하였으나, 수중 굴삭장비에는 부착하지 않음.

- 수중 운용 관련
 - PARI 장비의 경우 개발 이후 현장 적용이 안되었음. 이는 기존 장비의 외형을 빌어 요소기술개발에만 활용하였기 때문.
 - 장비를 활용한 시공시 현장관계자의 반응.
 - 무인 장비에 비해 유인 장비에 대한 선호도가 높은 편임.
 - 일본 내에서는 잠수부가 직접 확인하는 것이 보다 효율적이면서 경제적(무인 장비가 비싸기 때문)이라 판단하는 분위기임.
 - 무인 장비가 유인 장비에 비해 효율이 2배 정도로 높던지, 아니면 상당히 열악한 조건 아래에서만 활용할 수 있을 것임.
 - 탁도가 높은 환경에서는 유인장비를 활용할 수 없다는 것에는 공감.
 - 사석고르기 작업을 기계화할 때 작업품질(높이오차)은 현장 검증시험 결과, 30cm 정도로 나타남 (사석 하나의 최대 크기가 50cm 정도일 경우).
 - 작업품질을 저해시키는 큰 요인은 수중환경 모니터링임.

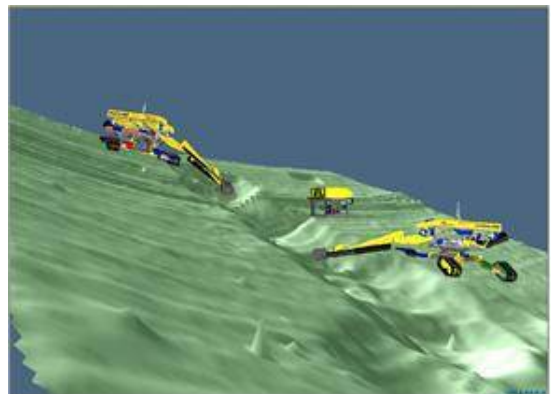
- 현재 우리의 시공대상은 사석 고르기작업으로 수중 20m까지인데, 유·무인 겸용 장비에 대한 필요성은 더욱 증대될 것으로 판단됨. 이 경우, 탁도 및 수심 등 외부 조건과 경제성 등을 파악하여야 할 필요가 있음.

1.2.4 유럽의 무인굴삭기

- 프랑스에서도 해저용 원격조정 굴삭기를 개발하여 사용하고 있음.
- 노르웨이의 해저면 파이프라인 공사(굴착 및 매설 작업)에 활용
- Nexans사에서 개발한 해저용 원격조정 굴삭기인 Spider ROV는 6개의 수중 카메라 시스템과 음파센서, 압력센서, 기압센서, 경사센서 등의 센서 시스템을 구비하고 있으며 해상과의 통신은 케이블을 통해서 이루어짐.
- 해상의 조종사는 화면을 통해서 100~200mm의 정밀도로 굴삭기를 조작할 수 있음.



(a) SPIDER



(b) 작업 모습

그림 1.2.11 해저용 원격조정 굴삭기(Nexans Spider ROV)



그림 1.2.12 수중 무인 굴삭기(innovations-tech Ltd.)

- 영국에서는 육상에서 유압을 공급하는 수중 굴삭기를 개발. 개발된 굴삭기는 총 3개의 수중카메라 시스템과 6개의 조명장치와 작업장치로 버킷, 워터젯 시스템, 흡입 준설 시스템과 ROV parking platform을 갖추고 있음.

1.2.5 수중환경 모니터링

- 미국 Blueviewtech에서 비교적 저가형 고해상도 멀티빔 소나를 개발하여 멀티빔 이미징 소나 솔루션, 3D Microbathymetry 솔루션, 3D 스캐닝 소나 솔루션 등을 개발하여 탁도가 있는 상황에서도 수중 환경을 정밀하게 모니터링 할 수 있게 해줌. 다만, 3D Microbathymetry 기술과 3D 스캐닝 소나 솔루션의 경우 실시간 영상의 갱신은 이루어지지 않고 우선 스캐닝 작업을 수행한 후 후처리 작업을 거친 후 다시 작업을 수행해야 한다는 단점이 있음.



그림 1.2.13 멀티빔 2D 이미징 소나상

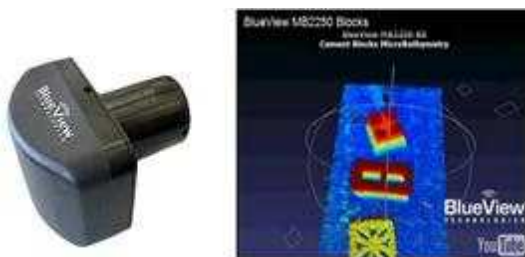


그림 1.2.14 멀티빔 3D Microbathymetry



그림 1.2.15 멀티빔 3D 스캐닝소나

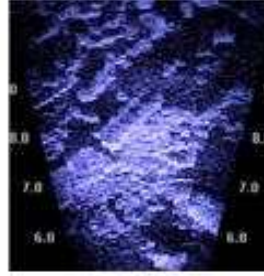


그림 1.2.16 초음파카메라

- 미국 Soundmetrics사의 DIDSON 초음파 카메라(초음파 렌즈 기술)를 사용하여 탁도가 있는 상황에서 전방을 볼 수 있음. 초음파 카메라는 멀티빔 소나와 경쟁 관계에 있으며 멀티빔 소나가 초음파 배열 소나를 사용하여 영상을 취득하는 것과는 달리 초음파 렌즈를 사용하여 영상을 취득. 크기와 무게 면에서 멀티빔 소나보다 크지만 영상 품질이 더 우수하다는 평가가 있음. 가격이 멀티빔 소나에 비하여 고가이고 수출 제한 품목에 해당하여 수입이 어려움.

1.2.6 기타 기술동향

- 일본의 경우 1994년에 KOMATSU사에서 최고수심 30m에서 작업이 가능한 “해저 보행식 수중사석 고르기 장비”를 개발해 실용화 단계에 이르렀음. 개발된 장비는 중량 77ton(수중 58ton), 크기 17m(L) x 10m(D) x 6.2m(H)으로 육상에서 공급되는 유압원으로 구동하며 4개의 수직다리를 가지는 2쌍의 보행시스템으로 25m/h의 속도로 이동 가능.
- 일반적으로 수중 장비는 장비를 해상 선박에서 제어하는 다운홀 방식과 장비를 해저면에 내려서 작업하는 착저 방식이 있는데, 수중 다짐 장비도 두 가지 방식으로 사용됨. 마운드의 편평도를 높이기 위해 사용되기도 하며, 마운드 사면의 다짐에도 적용하는 장비가 있음.
- 또한, 수륙양용 사석다짐 시공 장비를 개발하였으며, 수중작업 시에는 육상에서 원격 조정할 수 있음.



그림 1.2.17 해저 보행식 [수중사석고르기 장비]

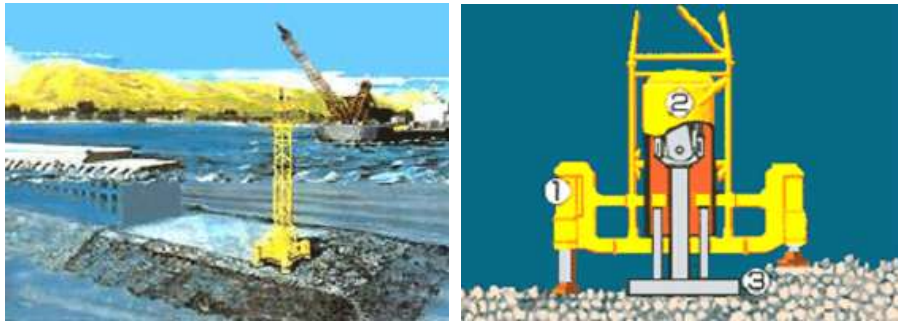


그림 1.2.18 수중 마운드 다짐 장비



그림 1.2.19 수륙 양용 사석다짐 시공장비

- 해양유류개발, 저장, 공급설비와 심층수 등 해양자원의 육상연계를 위한 해저파이프 라인을 건설하는데 있어서 필요한 수중 지반 굴삭용 장비의 개발이 진행 중임.



그림 1.2.20 지반 굴삭장비 - Subsea mining



그림 1.2.21 지반 굴삭장비 - Scanmaskin1000

- 우주개발에 적용되고 있는 무인로봇과 적용 범위 및 세부기술 측면(낮은중력 vs. 부력, Sealing, 자동화기술, Dust 처리 기술, Drilling & Sampling 기술 등)에서 상당부분 유사함 (미국 ASCE에서 주최하는 ‘12th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments’에 참석).
- 우주 탐사 로봇에 대한 연구결과를 직·간접적으로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 반대의 개념으로 수중로봇 분야에 대한 연구결과를 향후 우주로봇 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대됨.



그림 1.2.22 Special Lecture



그림 1.2.23 우주 작업용 장비

1.3 특허 분석

1.3.1. 개요

- 특허분석 목적
 - 해양에서의 수중시공로봇 기술분야에서 국내 및 해외의 세부기술별 특허동향을 파

악함으로써 국내외의 특허출원동향을 분석.

- 현재의 공백기술분야를 도출하여 향후 연구개발결과물의 지적재산권 확보를 위한 기초자료로 활용하기 위한 목적.

○ 세부기술 분류 (3개, 표 1.3.1)

- 수중환경조사/인식
- 수중 장비 구동 및 운용
- 수중 지반 조성 툴

○ 특허분석 대상 (표 1.3.2)

- 2010년 6월까지 출원 공개된 한국 공개특허/실용신안
- 미국 공개/등록특허
- 일본 공개특허/실용신안
- 유럽 공개특허

표 1.3.1 분석대상 기술분류

세부기술	소분류	코드
수중환경조사/인식	수중 위치 인식 및 통신 시스템	AAA
	수중 물체/장애물 인식 로봇 및 시스템	AAB
수중 장비 구동 및 운용	착저형 로봇 이동 기술	ABA
	수중 무선 통신 및 원격 제어 기술	ABB
	수중 구동 장치	ABC
수중 지반 조성 툴	수중 사석/모래 포설 및 굴삭/굴착	ACA
	수중사석/피복석 고르기/다지기 로봇	ACB

표 1.3.2 국가별 사용 DB 및 분석 범위

자료 구분	국 가	사용 DB	전체분석구간	검색범위
공개특허, 실용신안	한국	WIPS	~ 2010.06.30	자유검색, 요약
공개특허, 실용신안	일본	WIPS		자유검색, 요약
공개특허	유럽	WIPS		자유검색, 요약
공개/등록특허	미국	WIPS		자유검색, 요약

1.3.2 국내 세부기술별 특허동향 분석

(1) 수중환경조사/인식

○ 위치인식 기술 분야 (그림 1.3.1)

- 길이측정 분야(G01B)와 위치경로 결정분야(G01C)가 가장 활발하게 출원.
- 이어서 구조물 견인 분야(B66C), 선체 구조물 관련 분야(B63B), 무선위치탐색

(G01S)가 그 뒤를 이어 꾸준하게 출원.

○ 물체 및 장애물 인식 기술 분야 (그림 1.3.2)

- 무선위치탐색(G01S)과 어업 관련 기술(A01K)이 가장 활발하게 출원.
- 이어서 수중 부력 기술(B63B), 원격제어장비(B60R), 무선 로봇 제어(G08G), 로봇 제어 분야(G06F), 구조물 건인 분야(B66C)가 그 뒤를 이어 꾸준하게 출원.

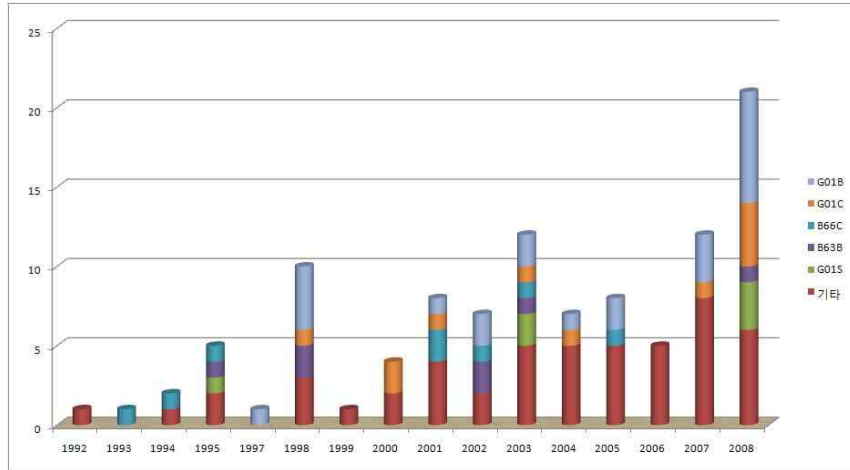


그림 1.3.1 위치인식 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

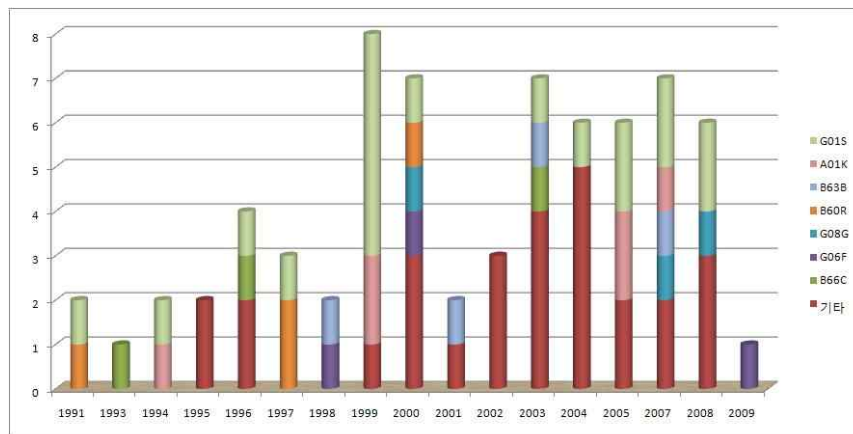


그림 1.3.2 물체/장애물 인식 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

(2) 수중장비 구동 및 운용

○ 착저형 이동기술 분야 (그림 1.3.3)

- 수공 준설 분야(E02B)가 가장 많음.
- 교량 구조물 분야(E01D), 굴착/토사의 이송 분야(E02F), 수중 부력 기술(B63B), 수중 구조물 분야(E02D) 등에서도 소량씩 출원.

○ 원격 조종 및 제어 분야 (그림 1.3.4)

- 로봇 제어 분야(G06F)의 특허출원이 가장 많음.
- 수중 물체 탐지(B63C), 수중 부력 기술(B63B), 수중 위치추적센서(B63G), 로봇이동

제어기술(B25J), 무선통신기술(H04Q), 전신통신기술(H04L), 정보전송기술(H04B), 무선 위치 탐색(G01S) 등이 그 뒤를 잇고 있음.

○ 수중구동장치분야 (그림 1.3.5)

- 수중 부력 기술(B63B)에서 가장 많은 출원이 이루어짐.
- 수중 물체 탐지(B63C), 수중 구조물 분야(E02D), 수공 준설 분야(E02B) 등이 그 뒤를 잇고 있음.

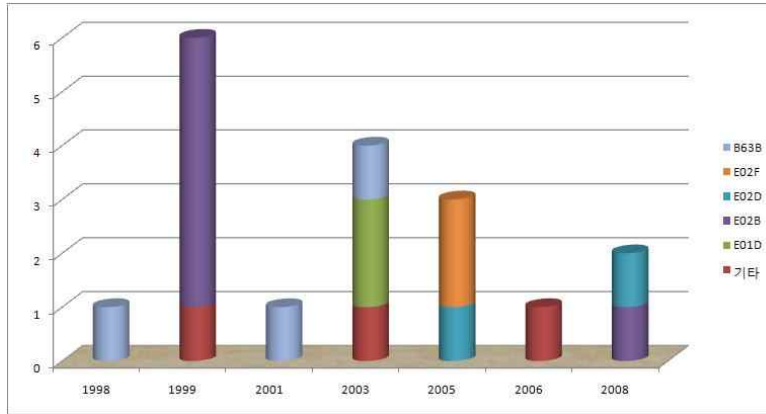


그림 1.3.3 착저형 이동기술 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

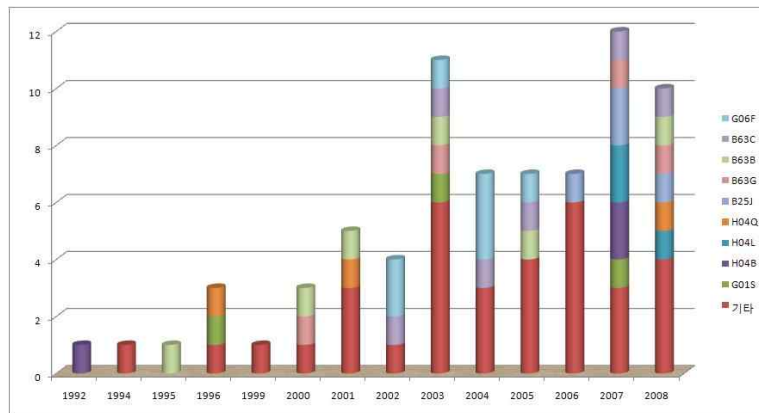


그림 1.3.4 원격 조종/제어 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

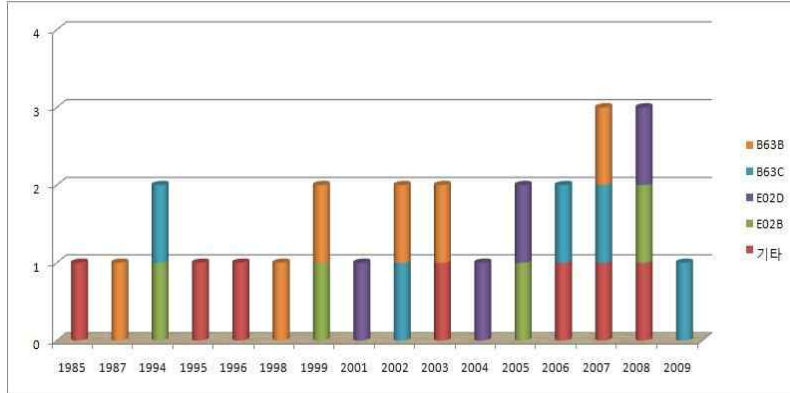


그림 1.3.5 수중 구동 장치 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

(3) 수중 지반 조성 틀

○ 사석/모래 포설 및 굴착/굴삭 기술 분야 (그림 1.3.6)

- 수중 구조물 분야(E02D)가 가장 많이 출원.
- 이어서 수공 준설 분야(E02B), 교량 구조물 분야(E01D), 굴착/토사의 이송 분야(E02F)와 위치경로 결정분야(G01C)가 소량씩 출원.

○ 사석/피복석 고르기/다지기 기술 분야 (그림 1.3.7)

- 수공 준설 분야(E02B)와 수중 구조물 분야(E02D)가 가장 많이 출원.
- 선체 구조물 관련 분야(B63B)도 소량 출원.

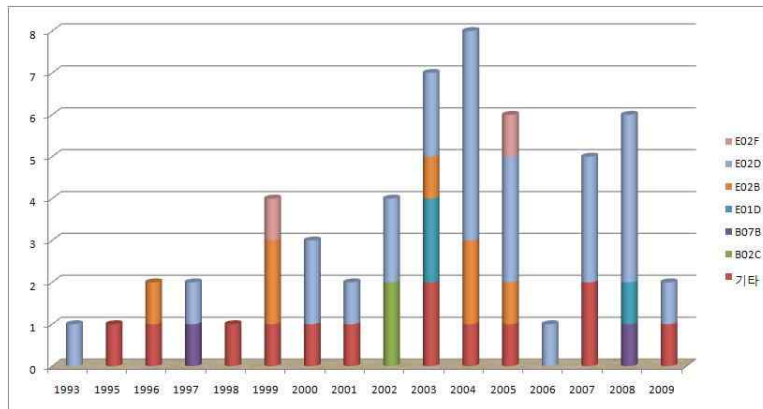


그림 1.3.6 사석/모래 포설 및 굴착/굴삭 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

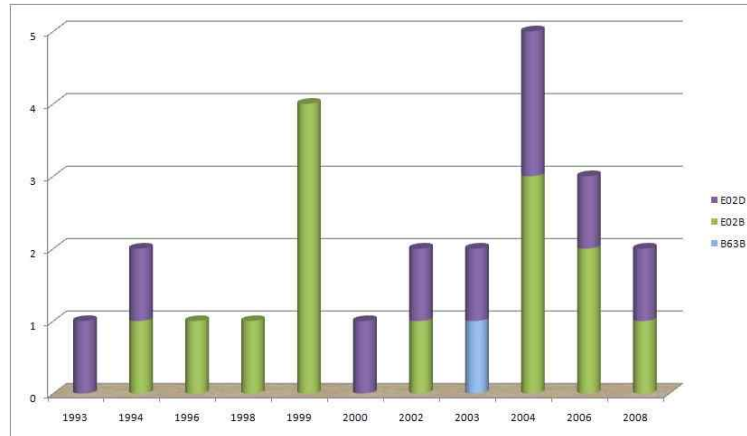


그림 1.3.7 서석/피복석 고르기/다지기 관련 국내 연도별 특허출원 및 IPC 동향

1.3.3. 해외 특허동향

(1) 수중환경조사/인식

○ 위치인식기술 분야 (그림 1.3.8)

- 무선위치탐색(G01S)가 압도적으로 많이 출원.
- 이어서 위치경로 결정분야(G01C), 수중 물체 탐지 분야(B63C) 등이 출원.

○ 물체/장애물 인식 기술 분야 (그림 1.3.9)

- 무선위치탐색(G01S)과 수중 탐지 센서 기술(G01V)가 가장 활발하게 출원.
- 이어서 위치경로 결정분야(G01C), 측정 장치 분야(G01D), 정보전송기술(H04B), 수중 물체 탐지(B63C), 지중굴착분야(E21B) 등이 그 뒤를 이어 꾸준하게 출원.

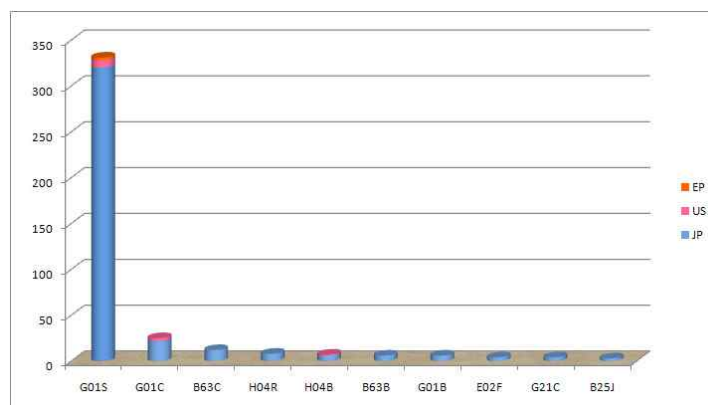


그림 1.3.8 위치인식 관련 해외 IPC별 특허출원동향

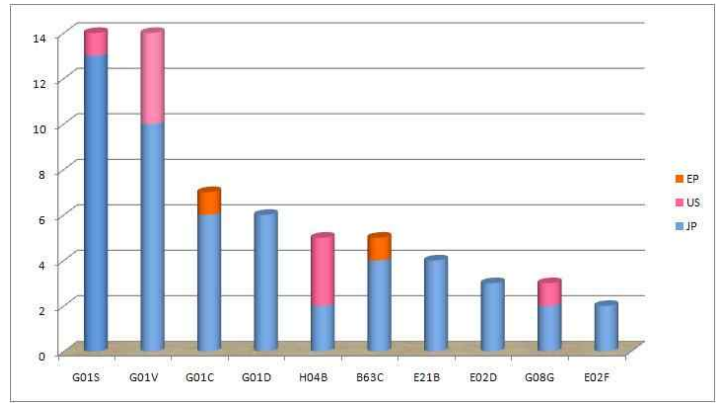


그림 1.3.9 물체/장애물 인식 관련 해외 IPC별 특허출원동향

(2) 수중장비 구동 및 운용

○ 해외 착저형 이동기술 관련 기술 분야 (그림 1.3.10)

- 수중 구조물 분야(E02D)가 가장 활발하게 출원.
- 이어서 수중 부력기술(B63B), 연료 취급 분야(G21C), 수중 위치추적센서(B63G), 굴착/토사의 이송분야(E02F), 교량 구조물 분야(E21D), 수중 물체 탐지(B63C) 등이 그 뒤를 이어 출원.

○ 원격조종/제어 기술 분야 (그림 1.3.11)

- 연료 취급 분야(G21C)가 가장 활발하게 출원.
- 수중 물체 탐지(B63C), 굴착/토사의 이송분야(E02F), 수중 위치추적센서(B63G), 수중 부력기술(B63B), 지중굴착분야(E21B), 정보전송기술(H04B) 등이 그 뒤를 이어서 출원.

○ 수중구동장치 분야 (그림 1.3.12)

- (E021B)가 가장 활발하게 출원.
- 수중 물체 탐지(B63C), 수중 구조물 분야(E02D) 등이 그 뒤를 이어 출원.

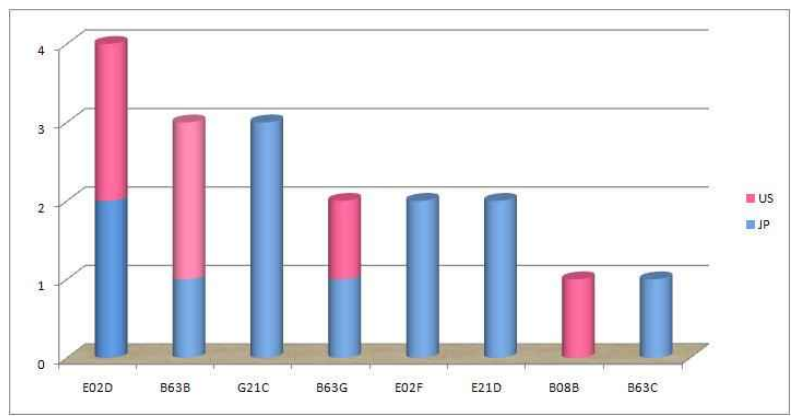


그림 1.3.10 착저형 이동기술 관련 해외 IPC별 특허출원동향

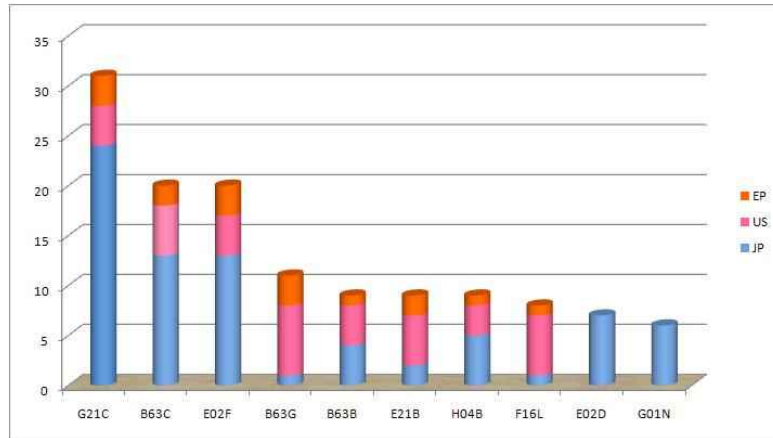


그림 1.3.11 원격 조종/제어 관련 해외 IPC별 특허출원동향

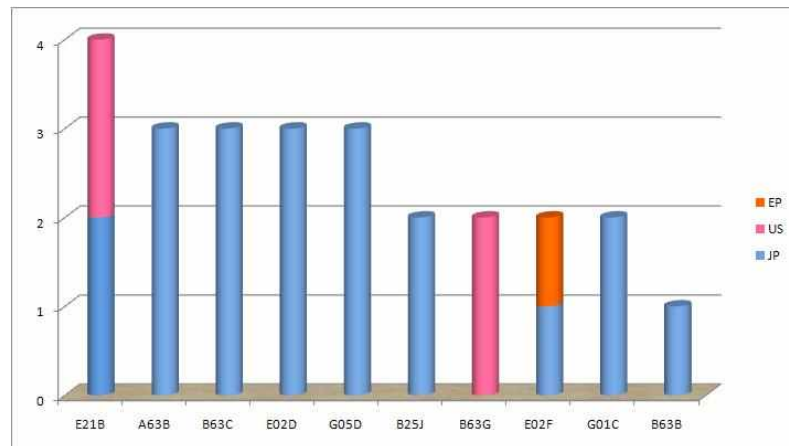


그림 1.3.12 수중 구동장치 관련 해외 IPC별 특허출원동향

(3) 수중 기반 조성 툴

- 사석/모래 포설 및 굴착/굴삭 기술 분야(그림 1.3.13)
 - 굴착/토사의 이송분야(E02F)가 가장 활발하게 출원.
 - 수중 구조물 분야(E02D), 수공 준설 분야(E2B), 지중굴착분야(E21B), 수중 부력기술(B63B) 등이 그 뒤를 이어 출원.
- 사석/피복석 고르기/다지기 기술 분야 (그림 1.3.14)
 - 수중 구조물 분야(E02D)가 가장 활발하게 출원.
 - 지중굴착분야(E21B)가 그 뒤를 이어 출원.

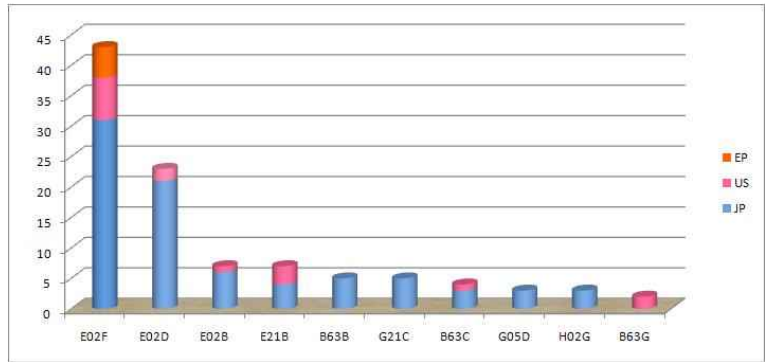


그림 1.3.13 사석/모래 포설 및 굴삭/굴착 관련 해외 IPC별 특허출원동향

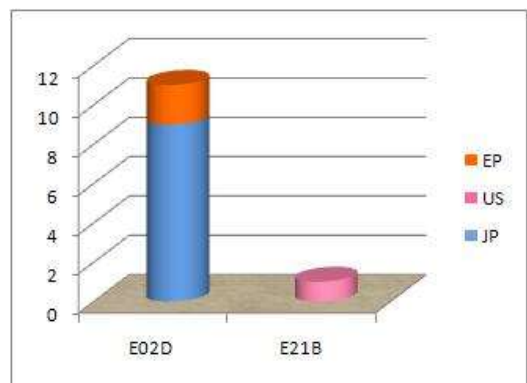
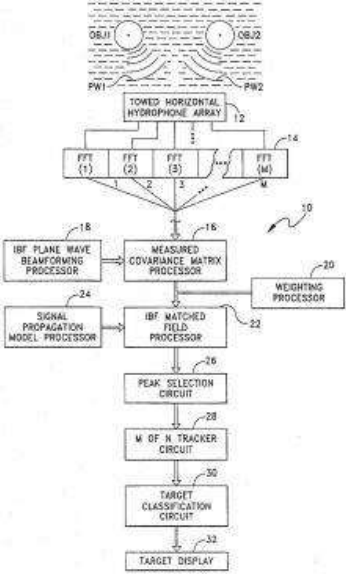


그림 1.3.14 사석/피복석 고르기/다지기 관련 해외 IPC별 특허출원동향

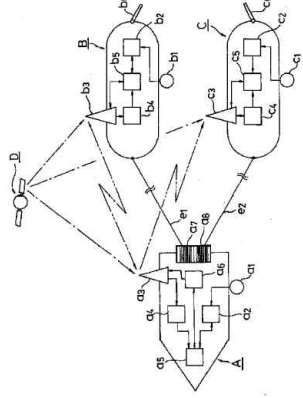
1.3.4. 핵심특허 분석

(1) 수중환경조사/인식

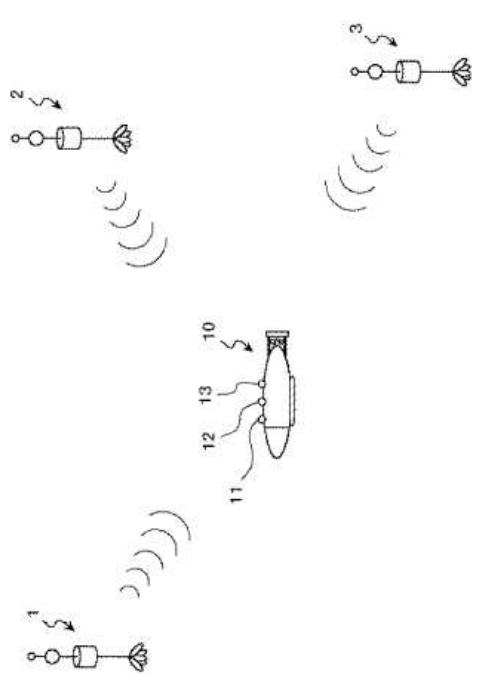
○ Tracking system and method (미국 등록 5,481,505)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>5,481,505</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>1996.01.02</p>
<p>출원번호</p>	<p>1995-446117</p>	<p>출원일</p>	<p>1995.05.15</p>
<p>특허권자</p>	<p>The United States of America as represented by the Secretary of the Navy</p>		
<p>명칭</p>	<p>Tracking system and method</p>		
<p>대표도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>A method for locating, in three-dimensional underwater space and in relation to a predetermined location, an object emitting acoustic signals comprising the steps of: receiving acoustic signals including the acoustic signals from the object at the predetermined location by means of a towed, horizontal array of acoustic transducers; estimating a bearing to the object in response to the received acoustic signals; generating beam values for signals received by said acoustic transducers from different incremental locations at incremental ranges and depths along the estimated bearing; selecting an individual incremental location with a peak beam value; and providing bearing, range and depth information from the predetermined location to the incremental location thereby locating the object in three-dimensional underwater space</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> 본 특허는 해저에 있는 목적물의 위치를 식별하도록 하는 수중 음파 탐지 시스템에 관한 것으로, 수중에서 3차원 입체로 물체의 위치를 파악할 수 있는 소나 시스템을 제공한다. 		

○ 수동 위치 측정 장치(일본 공개 1998-160822)

등록 (공개)번호	일본 공개 1998-160822	등록 일 공 개 일	1998.06.19
출원번호	일본 출원 1996-334782	출 원 일	1996.11.29
특허권자	KAJJO CORP		
명칭	수동 위치 측정 장치		
대표도면			
청구항 (독립항)	<p>음원으로부터의 음파를 수신하는 수파기, 자기의 위치를 측정하는 GPS 수신기, 트리거 신호를 송신하는 송신기, 상기 트리거 신호의 발생 타이밍과 상기 수파기에 의한 음원의 수신 타이밍에 의해 도달시간을 연산하는 수파 신호 처리부를 탑재한 측정선과, 상기 음원으로부터의 음파를 수신하는 수파기, 자기의 위치를 측정하는 GPS 수신기, 상기 측정선부터 송신 되는 트리거 신호를 받고 트리거 신호의 발생 타이밍과 상기 수파기에 의한 음원의 수신 타이밍에 의해 도달시간을 연산하는 수파 신호 처리부, 상기 수파 신호 처리부에 의해 얻을 수 있던 데이터와 GPS 수신기에 의한 자기 위치 데이터를 송신하는 데이터 송신기가 탑재되고, 상기 측정선에 의해 선행 로프를 이용하고 항해하게 되는 제1선행체와, 상기 음원으로부터의 음파를 수신하는 수파기, 자기의 위치를 측정하는 GPS 수신기, 상기 측정선부터 송신 되는 트리거 신호를 받고 트리거 신호의 발생 타이밍과 상기 수파기에 의한 음원의 수신 타이밍에 의해 도달시간을 연산하는 수파 신호 처리부, 상기 수파 신호 처리부에 의해 얻을 수 있던 데이터와 GPS 수신기에 의한 자기 위치 데이터를 송신하는 데이터 송신기가 탑재되고, 상기 측정선에 의해 선행 로프를 이용하고 항해하게 되는 제2선행체를 구비하고, 상기 측정선에는, 측정선에 탑재되는 수파 신호 처리부에 의해 얻을 수 있는 시간 데이터와 GPS 수신기에 의한 자기 위치 데이터, 상기 제1선행체에 탑재되는 수파 신호 처리부에 의해 얻을 수 있는 시간 데이터와 GPS 수신기에 의한 자기 위치 데이터, 상기 제2선행체에 탑재되는 수파 신호 처리부에 의해 얻을 수 있는 시간 데이터와 GPS 수신기에 의한 자기 위치 데이터로부터 음원의 위치를 측정하는 연산 수단이 탑재 되어 있는 것을 특징으로 하는 수중 위치 측정 장치.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 수중에서 위치를 정확하게 인식하기 위한 위치 측정 장치에 관한 것으로, 베이스 라인을 확대함으로써, 음원의 심도가 깊거나, 음원과의 거리가 상당히 떨어진 경우에도 음원의 위치를 정확하게 측정하도록 하는 특징이 있다. 		

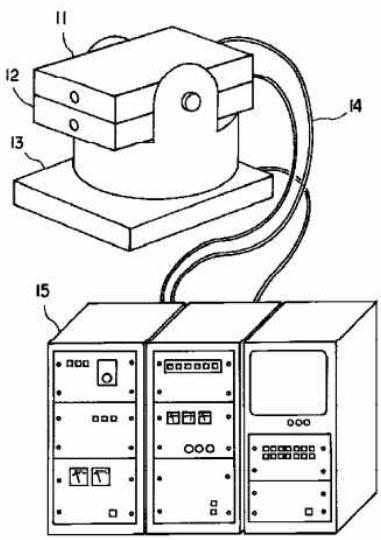
○ 위치 계측 시스템 및 위치 계측 방법 (일본공개 2004-061178)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2004-061178</p>	<p>등록 일 공개 일</p>	<p>2004.02.26</p>
<p>출원번호</p>	<p>2002-216944</p>	<p>출원 일</p>	<p>2002.07.25</p>
<p>특허권자</p>	<p>MITSUBISHI HEAVY IND LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>위치 계측 시스템 및 위치 계측 방법</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>수중에 있어서 측위법에 의하여 위치의 계측을 행하는 광역 위치 계측 시스템에 있어서, 수중에 극저주파의 음파 신호를 송신하고, 상기 음파신호를 수신하는 것으로 위치 계측을 행하는 것을 특징으로 하는 위치 계측 시스템.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 음향을 이용하여 수중의 물체의 위치를 측정하는 광역 위치 계측 시스템 및 위치 계측 방법에 관한 것으로, 20~300Hz의 주파수대의 극저주파의 음파 신호를 이용함으로써, 노이즈의 영향을 최소화 하기 위한 것이다. 		

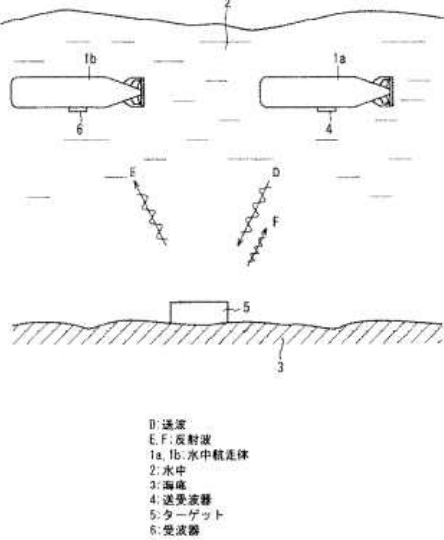
○ 수중 탐지기 (일본공개 1998-039018)

등록 (공개)번호	1998-039018	등록일 공개일	1998.02.13
출원번호	1996-211898	출원일	1996.07.22
특허권자	FUJI ROYAL		
명칭	수중 탐지기		
도면			
청구항 (독립항)	<p>가이드 장대의 바로 옆부에 고정되는 탐지기 본체와, 상기 가이드 장대에 의하여 안내되는 실을 감아 돌리는 탐지기 본체에 설치되는 실 감기 릴과, 상기 실에 설치되고, 초음파를 수중에 방사하고, 그 반사파를 포착하는 초음파 송수파기와, 상기 초음파 송수파기의 기준 탐지 위치를 설정하는 기준 설정 수단과, 상기 실 감기 릴의 회전수를 알아내는 회전수 검지 수단과, 그 회전 수에 의하여 초음파 송수파기의 기준 탐지 위치로부터 가이드 장대에 따르는 이동 위치를 연산하는 연산 수단을 구비하게 되는 탐지 위치 검출 수단과, 탐지 위치와, 심도를 종횡의 축에서 나타내고, 그 탐지 위치와 수중 심도에 의해 위치를 특정하고 수중 화상을 표시하는 디스플레이 화면을 가진 디스플레이 장치와, 상기 초음파 송수파기로부터의 수파 신호를, 상기 탐지기 본체에 전달하는 유선 또는 무선에 의한 신호 전달 수단과, 상기 초음파 송수파기로부터의 수파 신호와, 상기 탐지 위치 검지 수단으로부터의 탐지 위치 정보에 의하여 디스플레이 화면에 표시되는 수중 화상을 생성하는 화상 형성 수단을 구비한 것을 특징으로 하는 수중 탐지기.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 초음파를 사용하여 수중 정보를 탐지하고, 디스플레이 화면상에 해저 화상을 표시하는 수중 탐지기에 관한 것으로, 실에 초음파 송수파기를 설치하고, 실이 감겨진 릴의 회전수를 탐지하여 초음파 송수파기의 이동거리를 산출하여 수중화상을 생성하도록 한다. 		

○ 수면 아래 장애물 탐지 장치 (일본공개 1999-295423)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>1999-295423</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>1999.10.29</p>
<p>출원번호</p>	<p>1998-099148</p>	<p>출원일</p>	<p>1998.04.10</p>
<p>특허권자</p>	<p>MITSUBISHI HEAVY IND LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>수면 아래 장애물 탐지 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>수면에 대하여 경사 방향으로부터 빛을 조사하는 광원과, 상기 광원으로부터 조사되는 입사광이 수중의 장애물에 반사되고, 그 입사광의 경로와 거의 동일 경로를 탐침하는 반사광을 검출하는 반사광 검출부와, 상기 광원으로부터 조사되는 빛이 수면에 입사한 위치를 산출하는 위치 산출부와, 상기 반사광 검출부의 검출 신호와, 상기 위치 산출부에서 산출되는 위치 정보로 근거하고, 수면 아래의 장애물의 유무를 판정하는 장애물 판정부를 구비하게 되는 것을 특징으로 하는 수면 아래 장애물 탐지 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 얇은 수심의 해저에 존재하는 장애물을 탐지하기 위한 것으로, 물에 대하여 감쇠가 적은 해감 레이저광을 수중에 대하여 조사하고, 장애물로부터의 반사광을 검출함으로써, 얇은 수심에서 발생하는 주변 노이즈의 영향을 덜 받도록 하는 특징이 있다. 		

○ 수중 음향 탐사 방법 및 수중 음향 탐사 시스템 (일본등록 3,546,201)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>3,546,201</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2004.04.16</p>
<p>출원번호</p>	<p>2002-021420</p>	<p>출원일</p>	<p>2002.01.30</p>
<p>특허권자</p>	<p>MITSUBISHI HEAVY IND LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 음향 탐사 방법 및 수중 음향 탐사 시스템</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>수중을 향해하는 수중 항해체에 탑재한 송파기부터 해저 등의 탐사 대상으로 향하고 음파를 발사하고, 탐사 대상으로 반사한 반사파를 수파하고 처리하는 것에 따라 탐사 대상의 형상 등을 탐사하는 수중 음향 탐사 방법에 있어서, 상호의 위치 관계를 파악하면서 수중을 향해하는 복수 대의 수중 항해체의 하나에 송수파기들의 수중 항해체에 수파기를 각각 탑재하고, 상기 송수파기로부터 발사한 음파에 근거하는 반사파를 해당 송수파기와 동시에 다른 수파기로 수파 타이밍을 동시에 일어나게 하고, 각각의 송수파기 마다 반사파에 근거하는 신호를 처리하는 것에 의해, 상기 복수 대의 수중 항해체로 중복하는 영역의 각 탐사 정보를 수집하는 것을 특징으로 하는 수중 음향 탐사 방법.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 수중 항해체의 송파기부터 음파를 발사하고, 탐사 대상의 타겟으로부터 반사되어 돌아오는 음파를 수파하여, 탐사 대상을 모니터 상에 재생하는 음향 탐사 방법에 관한 것으로, 수중 항해체를 복수 개 구비함으로써, 탐사하는 타겟의 형상과 관계없이, 해당 타겟으로부터의 반사파가 양호하게 수파되도록 하여, 탐사 정밀도가 향상되도록 하는 특징이 있다. 		

- Acoustical imaging interferometer for detection of buried underwater objects (미국 등록 6,829,197)

등록 (공개)번호	6829197	등록일 공개일	2004.12.07
출원번호	2003-630079	출원일	2003.07.30
특허권자	BAE Systems Information and Electronic Systems Integration INC		
명칭	Acoustical imaging interferometer for detection of buried underwater objects		
도면			
청구항 (독립항)	<p>A system for detecting underwater buried objects comprising: an acoustical camera adapted to produce three dimensional volumetric images of an underwater target area volume of an underwater floor; an acoustic transducer adapted to apply an acoustic pulse to the target area volume so as to cause displacement of materials included in the target area volume; and a controller adapted to coordinate operation of the camera and the acoustic transducer, wherein a first volumetric image of the target area volume is produced before the acoustic pulse is applied, and a second volumetric image of the target area volume is produced while the acoustic pulse is present in the target area volume.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 해저에 있는 물체를 수중 탐지하기 위한 기술로, 수중층의 목표 지역 부피의 3차원 이미지를 만들어내는 음향카메라를 구비하며, 음향트랜스듀서 파동을 통하여 첫번째 이미지와 두번째 이미지를 만들고, 상기 이미지들은 실시간 프레임 비율로 측정되어 가시화 된다. 		

○ 해저 지형을 3차원적으로 가시화하는 시스템 및 이의 방법(국내등록 890,962)

등록 (공개)번호	890,962	등록일 공개일	2009.03.23
출원번호	2006-0103300	출원일	2006.10.24
특허권자	(주)한국해양과학기술		
명칭	해저 지형을 3차원적으로 가시화하는 시스템 및 이의 방법		
도면			
청구항 (독립항)	<p>해양 및 대기에서 관측 및 조사되어 수집된 측량자료 중 위성영상, 항공사진, 멀티빔, 싱글빔, 자력탐사 자료, 지층탐사 자료, 수치지도, 수치해도 및 설계도면 자료의 유형에 맞는 가시화 방식이 채택되고, 상기 가시화방식이 채택된 상기 측량자료를 DB화하는 DB서버; 및 상기 DB서버에 DB화 된 상기 가시화 방식이 채택된 측량자료를 UTM(Universal Transverse Mercator)좌표계로 일괄적으로 변환 후 상기 가시화 방식이 채택된 자료를 이용하여 가시화할 때에는 다시 3차원 구형좌표로 변환하고, 상기 변환된 자료와 위성화면, 항공사진 및 DEM(Digital Elevation Model)데이터를 토대로 생성된 기본 배경이 되는 기본도를 각각 또는 서로 연계하여 상호 연계되어 있는 웹 사이트를 통해 3D 화면으로 구현하는 웹서버; 를 포함하고, 상기 측량자료는, 위성화면, 항공사진, 멀티빔, 싱글빔, 자력탐사 자료, 지층탐사 자료, 수치지도, 수치해도 및 설계도면(CAD)의 자료는 2차원적 형태로 구현되도록 가시화되되, 상기 2차원적 형태로 구현되는 가시화 방식은, 콘투어(Contour), 서피스 맵(Surface maps), 포스트(Post), 벡터 맵(Vector maps), 그리드 맵(Grid maps) 및 그리딩 메소드(Gridding methods) 중 적어도 어느 하나의 방식으로 가시화되는 것을 특징으로 하고, 상기 웹 서버는, 상기 각각의 가시화방식이 채택된 상기 측량자료를 UTM(Universal Transverse Mercator)좌표계로 일괄적으로 변환한 후 DB서버에 전달하고, 상기 DB서버에 DB화 된 상기 가시화방식이 채택된 측량자료를 구형좌표로 표현하기 위해 3차원 구형좌표로 변환하고, 상기 UTM(Universal Transverse Mercator)좌표계로 일괄적으로 변환된 후 DB 서버에 DB화 된 상기 측량자료를 3차원 구형좌표로 변환하여, 상기 변환된 측량자료 중 위성화면, 항공사진 DEM(Digital Elevation Model) 및 벡터 데이터를 각각 분석하여 각각의 메이커를 통해 타일화 또는 피라미드화 되도록 전처리하여 기본 배경이되는 기본도를 생성하는 전처리 통합 모듈; 및 상기 전처리 통합 모듈에서 상기 전처리 되어 생성된 기본도와 상기 DB 서버에 DB화 된 가시화방식이 채택된 자료들을 각각 또는 서로 연계하여 디스플레이하는 3D 웹 뷰어; 를 포함하는 해저 지형을 3차원적으로 가시화하는 시스템.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 해저지형과 더불어 해당 관측정보를 3차원적으로 가시화하기 위한 것으로, 2차원적 형태로 구현된 측량자료를 UTM(Universal Transverse Mercator)좌표계로 일괄적으로 변환하여 해저 지형을 3차원적으로 가시화 하도록 하는 특징이 있다. 		

(2) 수중 장비 구동 및 운용

○ Underwater vehicle(미국등록 6,167,831)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>6,167,831</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2001.01.02</p>
<p>출원번호</p>	<p>1999-399493</p>	<p>출원일</p>	<p>1999.09.20</p>
<p>특허권자</p>	<p>Coflexip S.A.</p>		
<p>명칭</p>	<p>Underwater vehicle</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>A self-propelled submersible vehicle for connecting to and utilizing a subsurface power supply module, said submersible vehicle comprising: a body having an input port, said input port configured for connecting to said subsurface power supply module and for communicating at least one of power and data with said subsurface power supply module; a tether management system attached to said input port by a cable configured for communicating said at least one of power and data with said input port; and a work craft for performing an underwater operation, said craft being connected to a tether connected to said tether management system, said tether being configured for communicating said at least one of power and data with said work craft.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 깊은 물에서 이동하는 장비 또는 차량에 전력을 안정적으로 공급하기 위한 것으로, 외부로부터 전력을 안정적으로 공급받는 테더관리시스템과, 상기 테더관리시스템에서 전력을 공급받아 작업을 수행하는 워크 크래프트를 포함한다. 		

○ 수중 로봇(일본공개 2003-011888)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2003-011888</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2003.01.15</p>
<p>출원번호</p>	<p>2001-204220</p>	<p>출원일</p>	<p>2001.07.05</p>
<p>특허권자</p>	<p>MITSUBISHI HEAVY IND LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 로봇</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>추력 발생 수단과 회전각 계측 수단과 거리계측 수단과 제어 수단을 구비하고, 구형 수로에 있어 부상 동작, 회전 움직임 작, 착지 동작이 순서대로 반복되는 수중 로봇에 있어서, 상기 제어 수단으로는, 상기 회전각 계측 수단으로 계측한 수중 로봇의 롤각 계측치를 피드백하고, 이 롤각 계측치와 롤각 계획치와의 편차를 구하고, 이 편차에 비례 게인을 걸었던 값과, 동 편차를 적분해 이 적분치에 적분 게인을 걸었던 값을 가산하고, 또한, 상기 롤각 계측치를 시간 미분 하여 이 미분치와 롤 각속도 계획치와의 편차를 구하고, 이 편차에 미분 게인을 걸었던 값은, 상기의 비례 게인을 걸었던 값과 적분 게인을 걸었던 값에 가산한 것에 의하고, 상기 추력 발생 수단에 대한 추력 지령치를 구한 롤 PID 제어를 행한 것을 특징으로 한 수중 로봇.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> 본 특허는 로봇의 동작을 용이하게 제어하기 위한 것으로, 부상 동작, 회전 동작 및 착지 동작을 자동화함으로써, 조작이 간단하고, 이에 따라 로봇 조작성의 적응기간이 단축되는 효과가 있다. 		

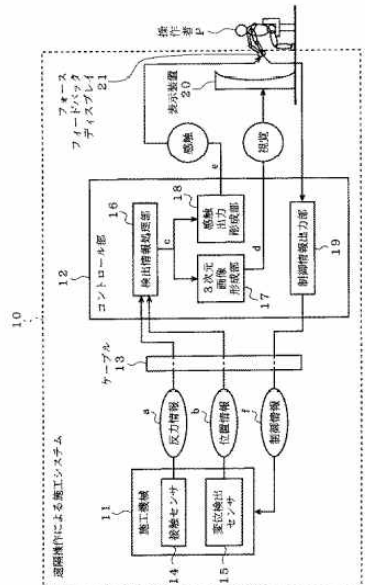
- 수심측량조사 장치가 탑재된 무선인터넷과 디지털피에스를 이용한 원격 측정 로봇선(국내등록 805,358)

등록 (공개)번호	805,358	등록일 공개일	2008.02.13
출원번호	2004-0100573	출원일	2004.12.02
특허권자	인천대학교 산학협력단		
명칭	수심측량조사 장치가 탑재된 무선인터넷과 디지털피에스를 이용한 원격 측정 로봇선		
도면			
청구항 (독립항)	<p>해저의 수심을 측정하기 위한 수심측량조사장치가 탑재 된 무선인터넷과 디지털피에스를 이용한 원격 측정 로봇선에 있어서, 해저의 수심을 측정하기 위한 수심측량조사장치가 탑재 된 무인선박을 이용한 해상측량 장치에 있어서, 로봇선(10)은 선수에는 속도제어모터 및 방향제어 모터와 엔진부가 내장되도록 수납부를 형성하고 수납부 상부에 내부의 엔진부를 확인할 수 있도록 덮개(12)를 구비하며, 선미에는 일측이 개방된 공간부(13)가 형성되어 해저의 수심을 측정하는 음향측심기(Echounder)(14)와, 속도와 방향을 제어하는 속도제어모터(15) 및 방향제어 모터(16)와, 위성정보를 수신할 수 있도록 안테나로 이루어진 GPS 수신부(17)가 구성된 선체(11)와; 선체의 공간부(13) 선미 저면에는 로봇선(10)을 전진과 조타할 수 있도록 형성된 다수의 방향키(21)(21') 및 스크류(22)(22')와; 음향측심기, 속도제어모터 및 방향제어 모터, GPS 수신부(17)의 입출력신호를 제어하는 중앙제어부(18)와; 중앙제어부(18)의 신호를 외부로 입출력할 수 있도록 PDA(19)를 구비하여 무인 원격제어할 수 있도록 로봇선(10)이 구성된 것을 특징으로 수심측량조사장치가 탑재된 무선인터넷과 디지털피에스를 이용한 원격 측정 로봇선.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 지역이나 환경 조건에 제약을 받지 않고 필요한 정보를 취득할 수 있도록 한 원격측정 로봇선에 관한 것으로, 무선 인터넷을 이용하여 로봇선의 위치를 원격으로 제어하고 이에 장착된 GPS 및 음향측심기 등의 센서를 이용하여 저수지, 댐, 해양의 수심 및 해저 지형정보를 취득할 수 있도록 하며, DGPS(Differential GPS, 상대측위)를 이용하여 정형화된 정보를 취득하여 신뢰도를 향상시키는 특징이 있다. 		

○ 수중 초음파 원격이탈 제어 시스템 (국내등록 821,264)

등록 (공개)번호	821,264	등록일 공개일	2008.04.03
출원번호	2006-0046487	출원일	2006.05.24
특허권자	단국대학교 산학협력단		
명칭	수중 초음파 원격이탈 제어 시스템		
도면			
청구항 (독립항)	<p>초음파 신호가 입력되는 음파신호 입력부(300)와, 수신된 미약한 신호를 충분한 크기로 증폭하기 위한 신호 증폭부(301)와, 대역통과 필터부(302)와, 진폭을 디지털신호로 변환하기 위한 리미터 증폭부(303)와, 이탈장치 구동 및 응답신호를 생성하기 위한 이탈 및 응답신호 생성부(309)를 구비하여서 된 공지의 수중 초음파 원격제어 이탈 시스템에 있어서, 상기 리미터 증폭부(303)의 출력이 공진 주파수가 다른 3개의 RLC 병렬공진회로(305)에 인가되게 하고, 이들 RLC 병렬공진회로(305)의 출력이 스위칭 수단인 필요 주파수 출력부(306)에 인가되도록 하여 필요 주파수 출력부(306)에서 필요 주파수 선택부(304)의 최종 출력 신호가 출력되도록 하여 기준전압 가변형 비교부(308) 양단에 인가되도록 하되 그 중 어느 하나의 신호 성분 출력이 적분부(307)를 거쳐서 인가되도록 하며, 기준전압 가변형 비교부(308)의 출력이 이탈 및 응답신호 생성부(309)에 인가되도록 하는 것을 특징으로 하는 수중 초음파 원격제어 이탈 시스템.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 계측장비를 장시간 해저에 위치시키고 필요시 부상을 위하여 고정된 추로부터 이탈을 제어하는 수중 초음파 원격제어 이탈 시스템에 관한 것으로, 대역폭과 주파수 선택성이 향상된 대역통과 필터를 설계하여 필요주파수 대역의 신호성분만을 통과하도록 하여, 초음파를 이용한 발신부와 수신부 간의 통신과정에서 혼입되는 환경잡음 및 외란에 대한 영향을 최소화하도록 한다. 		

○ 원격 조정에 의한 시공 시스템(일본 3,809,542)

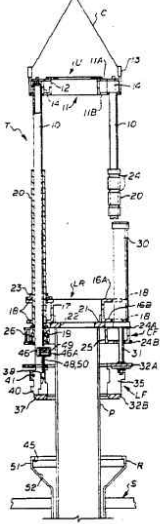
<p>등록 (공개)번호</p>	<p>3,809,542</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2006.06.02</p>
<p>출원번호</p>	<p>2005-220760</p>	<p>출원일</p>	<p>2005.07.29</p>
<p>특허권자</p>	<p>SAEKI KENSETSU KOGYO</p>		
<p>명칭</p>	<p>원격 조정에 의한 시공 시스템</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>물밀의 사색을 시공 대상과 한 사색 평균 또는 물밀을 시공 대상과 한 토공 평균을 행하는 수중 백 호의 버킷과 암의 사이에 설치한 접촉 센서로부터 얻어지는 상기 시공 대상에 대한 상기 버킷의 접촉 정보와, 상기 물중 백 호의 연결 가동부에 설치한 변위 검출 센서로부터 얻어지는 상기 물중 백 호에 있어서 변위 검출 정보로 근거하고, 상기 버킷의 접촉 위치의 계측 데이터를 연산하고 취득한 상기 버킷의 접촉 지점의 형상의 3차 기초 위치 좌표 정보가 표시 되는, 수상 또는 육상의 조작자에게 시인 가능하게 배치되는 표시 장치와, 상기 표시 장치에 표시 되는 상기 3차 기초 위치 좌표 정보에 근거하는 시공 상황에 따라, 상기 조작자에 의하여 입력 조작 되고, 상기 물중 백 호의 원격 조정 정보를 출력하는 포스 피드백 디스플레이를 가지는 것을 특징으로 하는 원격 조정에 의한 시공 시스템.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 시공 상황을 직접 볼 수 없는 시공 장소에서 원격조정으로 시공 하기 위한 시스템에 있어서, 시공 대상과의 접촉 정보를 검출하는 접촉 센서가 설치되는 시공 기계와, 시공 기계에 대해 원격 배치되고, 검출한 접촉 정보에 근거하여 화상이 표시되는 표시장치와, 표시장치의 화상을 참조하여 시공기계를 원격으로 제어하는 컨트롤부를 포함한다. 		

(3) 수중 지반 조성 툴

○ 원격제어 수중준설로봇 (국내공개 2009-0052923)

등록 (공개)번호	2009-0052923	등록일 공개일	2009.05.27
출원번호	2007-0119488	출원일	2007.11.22
특허권자	(주)포스코		
명칭	원격제어 수중준설로봇		
도면			
청구항 (독립항)	<p>모션에서 원격 제어하는 수중준설로봇에 있어서, 수중준설 로봇의 전면에 위치하며, 흡입을 용이하게 하기 위하여 침전물을 흡입구로 끌어들이기 위한 흡입호퍼; 상기 흡입호퍼의 내부에 고정 설치되며, 유압을 이용한 흡입펌프의 임펠라의 손상을 방지하고 흡입구의 막힘을 방지하기 위하여 침전물에 포함된 패각, 나무 및 돌맹이를 파쇄하는 회전로터; 상기 흡입호퍼의 중앙에 위치하며, 침전물 흡입구를 통해서 침전물을 흡입하는 유압을 이용한 흡입펌프; 상기 유압을 이용한 흡입펌프에 의하여 흡입된 침전물을 모션으로 송출하기 위한 송출관; 상기 송출관의 가장자리에 위치하며, 모션으로부터 나오는 흡입호스 측에는 암나사 또는 수나사를 형성하고 송출관 측은 수나사 또는 암나사를 형성하여 흡입호스와 송출관이 서로 체결되며, 수중준설로봇의 좌우측에 설치되어 수중준설로봇의 전진 및 후진을 하기 위하여 유압모터로 구동되는 무한궤도; 및</p> <p>수중준설로봇의 상단에는 모션의 DGPS와 연동하며, 모션의 일측에 설치된 초음파 송수신기와 데이터를 주고받으면서 수중에서 이동하는 수중준설로봇의 위치를 추적하는 수중초음파 위치추적장치를 구비한 원격제어 수중준설로봇.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 유압에 의하여 동작하며 준설을 위하여 흡입호퍼 내부에 패각 등의 이물질을 분쇄하는 회전로터와 분쇄된 물질 및 침전물을 흡입하는 수중유압펌프를 구비하고, 전방감시용 수중 카메라와 조명장치를 구비하며, 현재의 준설위치를 정확하게 파악하도록 수중초음파 위치추적장치(USBL)가 부착된 구성을 구비함으로써 정확하고 효율적인 준설이 가능한 특징이 있다. 		

○ Apparatus for leveling subsea structures (US1991-791553)

등록 (공개)번호	5,163,783	등록일 공개일	1992.11.17
출원번호	1991-791553	출원일	1991.11.14
특허권자	Marine Contractor Services, Inc.		
명칭	Apparatus for leveling subsea structures		
도면			
청구항 (독립항)	<p>A leveling tool for leveling a subsea structure on a plurality of piles slidably received through receptacles secured to the structure and implanted in the floor of a body of water, comprising; a tool receptacle secured to the structure to be leveled and having a load shoulder positioned a vertical distance relative to the top end of the pile which is received therethrough, a lift frame having a top end adapted for connection to support rigging from a support vessel and a plurality of elongate tubular members extending downwardly therefrom, a latch frame slidably mounted at the lower ends of said tubular members and having latch members pivotally mounted thereon and adapted to be releasably engaged with said receptacle load shoulder for locking to the structure to be leveled, a landing frame slidably mounted on said tubular members above said latch frame and adapted to be received and supported on the top end of the pile, a cylinder frame connected to said landing frame and having hydraulic cylinders secured thereon with their rod ends secured to said latch frame for extending and retracting said latch frame relative to said landing frame, and latch pivoting means operatively connected between said tubular members and said latch members for moving said latch members between an unlocked position when said lift frame is supported by the support rigging and a pivotally movable latching position when said landing frame is supported on said pile and between a locked position and an unlocked position upon relative movement between said latch frame and said tubular members</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 해저의 구조물을 레벨링시키기 위한 수평유지장치에 관한 것으로, 파일을 향타시켜서 울퉁불퉁한 해저 구조물을 레벨링시키도록 하는 특징이 있다. 		

○ 수중 사석 마운드의 다지기 장치(일본공개 1998-237869)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>1998-237869</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>1998.09.08</p>
<p>출원번호</p>	<p>1997-052549</p>	<p>출원일</p>	<p>1997.02.21</p>
<p>특허권자</p>	<p>TETRA CO LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 사석 마운드의 다지기 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>중추저판부의 윗면에 설치한 장편인 강철관 부내를 유체의 저장 용기로서 구성하고, 상기 강철관부의 내외를 주 배출 기구에 의하여 접속하고, 강철관 부내에 주입하는 상기 유체의 용량을 가변 제어하는 것으로, 중추저판부를 이용하고 고르게 하고 면에 전하게 되는 부가 중량을 증감 조정하는 수중 사석 마운드(mound)의 고르기 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 수중에 구축되는 수중 사석 마운드(mound)의 표면을 균일히 정리하기 위한 고르기 장치에 관한 것으로, 강철관 부내에 주입하는 유체의 용량을 조절함으로써, 마운드를 고르게 하는 중추저판부의 중량을 수시로 조정하도록 하는 특징이 있다. 		

○ 해저 지반의 마운드 다지기 장치(일본공개 2002-004283)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2002-004283</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2002.01.09</p>
<p>출원번호</p>	<p>2000-182587</p>	<p>출원일</p>	<p>2000.06.19</p>
<p>특허권자</p>	<p>PENTA OCEAN CONSTR CO LTD</p>		
<p>명칭</p>	<p>해저 지반의 마운드 다지기 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>대선상을 자유롭게 주행하는 선회식 크롤러 크레인(crawler crane)과, 상기 크롤러 크레인에 장착되는 리더와, 상기 리더에 설치되는 고르기 부재를 포함하는 것을 특징으로 하는 해저 지반의 마운드 고르기 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 연약지반상에 항만 구조물을 구축할 때 조성되는 마운드를 고르게 하기 위한 것으로, 대선상을 자유롭게 주행하는 선회식 크롤러크레인(crawler crane)을 따라 이동되는 고르기 부재를 사용하여, 광범위한 면적을 신속하게 다지도록 한다. 		

○ 수중 사석다짐 및 고르기 시공 방법 및 그 장치 (국내등록 651,697)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>651,697</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2006.11.23</p>
<p>출원번호</p>	<p>2003-0062926</p>	<p>출원일</p>	<p>2003.09.09</p>
<p>특허권자</p>	<p>은성기초건설(주)</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 사석다짐 및 고르기 시공 방법 및 그 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>선체상에 수직으로 세워진 지주와, 상기 지주의 상단에 승하강 가능하게 매달림설치되는 바이브로 햄머와, 상기 바이브로 햄머의 하부에 수직으로 연결되는 강관과, 상기 강관의 하단부에 결합되며 판체형상으로 되어 수중의 기초사석을 다지고 고르는 탬퍼와, 상기 선체에 설치되며 상기 바이브로 햄머를 하강시켜 탬퍼가 기초사석면에 닿아 가변되는 무게중심 변화에 의한 선체의 상·하승하강 높이 변위를 센싱하는 흡수검출장치와, 상기 탬퍼의 높이 변위량을 측정하는 탬퍼이동량측정장치와, 육지에 설치되어 해수면의 조위를 실시간으로 측정하여 송신하는 조위계 및 상기 선체에 설치되어 상기 조위계의 신호를 전달받는 조위수신계로 구비된 조위측정장치와, 상기 흡수검출장치와, 조위측정장치와, 탬퍼이동량 측정장치로부터 검출되어 실시간으로 보내진 정보와 더불어 GPS를 이용하여 정확한 탬퍼의 다짐 및 고르기 위치 정보를 송신받아 그 정보를 비교판단하여 처리하고 이를 디스플레이 해주는 제어부를 구비한 수중 연약지반 개량공사 작업선을 구비하고, 시공될 기초사석면에 상기 바이브로 햄머를 하강시켜 상기 탬퍼를 기초사석면에 안착시켜 다짐작업을 실시하되, GPS로 정확한 작업위치의 정보를 실시간으로 전달받아 그 정보에 따라 정확한 다짐 및 고르기 위치로 이동 가능하도록 하고, 상기 흡수검출장치를 통해 탬퍼가 기초사석면에 안착됨에 따른 하중변화에 따른 선박의 승·하강 변위를 검출하여 제어부로 송신하면 상기 제어부는 그 정보에 따라 탬퍼의 위치를 정확하게 파악함과 동시에 수정할 수 있도록 하고, 상기 조위측정장치에 의해 측정된 해수면의 조위를 실시간으로 전달받아 설계 값과 해수 조위값과 비교하여 그 변위량에 따라 현재의 기초사석면의 높낮이를 정확히알 수 있도록 하여 기초사석의 다짐 및 고르기 상태를 파악할 수 있도록 하는 수중 사석 다짐 및 고르기 시공방법.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<p>■ 본 특허는 수중에서 지반을 강화하기 위해 사석 기초 상단면을 다지고 고르는 것에 있어서, SCP (SAND-COMPACTION)선을 사용하여 사석 기초 상단면의 다지기 및 고르기의 2가지를 동시에 정밀하게 실시하도록 하는 수중 사석 다짐 및 고르기 시공방법에 관한 것이다.</p>		

○ 수중 사석 고르기 장치와 수중 사석 고르기 공법 (JP1997-260656)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2856205</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>1998.11.27</p>
<p>출원번호</p>	<p>1997-260656</p>	<p>출원일</p>	<p>1997.09.25</p>
<p>특허권자</p>	<p>HONMAGUMI</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 사석 고르기 장치와 수중 사석 고르기 공법</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>전측에 기중기를 설치한 선체와, 상기 기중기에 매다는 중방추와, 상기 선체의 전측에 연결되는 중방추용 가이드 띠들과, 상기 가이드 띠들의 전측에 개구하고 설치되는 좌우방향의 중방추 안내부를 구비하고, 상기 중방추의 샤프트와 상기 선체와의 사이에 와이어를 설치하고, 상기 와이어에 텐션을 부여하고 상기 샤프트를 상기 중방추 안내부에 따르게 하는 텐션 수단을 설치한 것을 특징으로 하는 수중 사석 고르기 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본 특허는 수중에 투여한 사석을 고르게 하는 수중 사석 고르기 장치에 관한 것으로, 와이어에 텐션을 부여하여, 중방추가 수평을 유지하도록 함으로써, 중방추의 정밀도를 향상시키도록 하는 특징이 있다. 		

○ 수중 사석 평균 공법 및 장치 (JP1998-291887)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>3060106</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2000.04.28</p>
<p>출원번호</p>	<p>1998-291887</p>	<p>출원일</p>	<p>1998.10.14</p>
<p>특허권자</p>	<p>UNYUSHO DAINI KOWAN KENSETSU KYOKU 외 3인</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 사석 평균 공법 및 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>고르게 하는 대상인 사석에 평균 면과 평행하게 가이드 프레임을 설치하고, 이동체가 상기 가이드 프레임에 가이드되며 주행하도록 하며, 상기 이동체에 구비되는 평균 수단에 의하여 사석층이 평평해지도록 하고, 상기 가이드 프레임을 횡이동 시켜서 상기 평균수단이 상기 사석을 평평해지도록 하는 것을 특징으로 하는 수중 사석 평균 공법.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 수중 사석을 고르게 하도록 하기 위한 공법에 관한 것으로, 평균 수단이 구비된 이동체가 가이드 프레임에 의하여 안내되므로, 가이드 프레임의 높이를 조정하는 것만으로 평균수단이 일정한 자세로 이동되도록 하는 특징이 있다. 		

○ 수중 먼고르기 장치 (국내등록 2009-0108197)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2009-0108197</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2009.10.15</p>
<p>출원번호</p>	<p>2008-0033494</p>	<p>출원일</p>	<p>2008.04.11</p>
<p>특허권자</p>	<p>홍기표</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 먼고르기 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>전체적인 외관을 구성하며 기본적인 뼈대를 이루는 본체(110); 상기 본체의 좌·우 측면에 상기 본체의 길이 방향으로 고정 설치되는 랙기어(134); 중심의 회전축(131)에 다수의 회전 날개(132)가 형성되며, 상기 회전축의 양 단에 피니언 기어(133)가 회전가능하게 결합하는 회전익 장치(130); 상기 회전축의 피니언 기어에 회전력을 부여하는 구동모터(210); 상기 본체의 좌·우 측을 경사지게 가로지르며, 하단부에 삽날(142)이 형성되는 셔블 장치(140); 상기 본체의 좌·우 측면에 상기 본체의 길이방향을 따라 설치되는 폰툰(120); 및 상기 본체의 전·후의 좌·우 측에 상기 본체에 고정되어 마련되는 높낮이 조절수단(150)을 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 수중 먼고르기 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 수중 투입 및 제거가 용이하며, 수중의 바닥면에 존재하는 장애물을 효율적으로 제거할 수 있도록 하는 것으로, 바닥면에 안정적으로 착지시켜 작업을 수행하도록 하는 높낮이 조절수단과, 회전익 장치에 의하여 골라진 암석이나 돌 등을 불도저식으로 모아서 배출시키는 셔블 장치를 포함한다. 		

○ 수중 굴착 장치 (JP2001-400386)

<p>등록 (공개)번호</p>	<p>2003-193478</p>	<p>등록일 공개일</p>	<p>2003.07.09</p>
<p>출원번호</p>	<p>2001-400386</p>	<p>출원일</p>	<p>2001.12.28</p>
<p>특허권자</p>	<p>OCHIAI KOICHI</p>		
<p>명칭</p>	<p>수중 굴착 장치</p>		
<p>도면</p>			
<p>청구항 (독립항)</p>	<p>케이슨(caisson)의 벽체의 내측으로부터 그 케이슨(caisson)의 날 입에 관계되는 지반의 굴착하는 수중 굴착 장치에 있어서, 크레인(crane)에 의하여 매달리는 적하 부재와, 상기 적하 부재에 있어서 상하 방향에 요동 자유롭게 지지받고, 노즐(nozzle)로부터의 수압에 의하여 상기 지반을 굴착하는 굴착 수단과, 상기 적하 부재의 상부를 상기 벽체의 내측면에 따르게 한 것에 의해, 수압 반력에 의한 그 적하 부재의 이동 및 회전을 방지하는 이동 회전 방지 수단을 포함하고, 상기 굴착 수단에 의한 수압은 상기 노즐(nozzle)으로부터 상호 간격이 좁아짐에 따라 상기 지반을 단면이 평평하게 또는 사다리꼴 또는 삼각형 형상으로 잘라내도록 하는 것을 특징으로 하는 수중 굴착 장치.</p>		
<p>본 특허의 특징</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 노즐을 통하여 지반을 굴착하는 수중 굴착 장치에 관한 것으로, 적하 부재의 이동 및 회전을 방지하는 이동 회전 방지 수단을 구비하여, 노즐이 수압에 의한 반력에 의하여 회전되지 않고 견고하게 지지되도록 하는 특징이 있다. 		

○ 항만공사를 위한 기초사석 정리 장치 (국내등록 1996-0014543)

등록 (공개)번호	10-1996-0014543	등록일 공개일	1996.05.22
출원번호	10-1994-0026446	출원일	1994.10.15
특허권자	동아건설산업 주식회사 유성용		
명칭	항만공사를 위한 기초사석 정리 장치		
도면			
청구항 (독립항)	<p>지면과 수직방향에 소정의 간격을 두고 평행하게 배치된 2쌍의 직립지주(1,1,1,1)와, 이 각 직립지주 사이에 소정의 간격으로 배치되어 각 직립지주를 연결고정하고 있는 횡지주(2) 및 종지주(3)와, 상기 직립지주에서 쌍을 이루는 직립지주(1,1)의 상, 하둘레에 걸쳐 회동 가능하게 설치되고 구동모터(9)에 의해 회전되는 견인수단(7)과, 이 견인수단의 이동과 함께 지면에 대하여 수평으로 이동할 수 있도록 견인수단의 하부 적소에 설치된 스크레이퍼(10)로 되어, 상기 구동 모터에 의한 견인수단의 왕복 이동에 의하여 이와 함께 스크레이퍼를 지면에 대하여 수평으로 왕복 이동시킬 수 있도록 한 것을 특징으로 하는 항만공사를 위한 기초사석 정리장치.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 해저면에 설치하는 기초사석 고르기용 스크레이퍼를 해수면위에서 왕복 제어하여 기초사석을 정리하는 것에 관한 것으로, 구동모터에 의한 견인수단의 왕복 이동에 의하여, 스크레이퍼를 지면에서 수평으로 왕복 이동시킬 수 있도록 하는 특징이 있다. 		

○ 수중 기초사석 고르기 장치 및 그 공법 (국내등록 339036)

등록 (공개)번호	10-339036	등록일 공개일	2002.05.20
출원번호	10-1999-0043658	출원일	1999.10.09
특허권자	쌍용건설 주식회사 장동립		
명칭	수중 기초사석 고르기 장치 및 그 공법		
도면			
청구항 (독립항)	<p>소정의 두께를 갖는 직사각형 형상의 판재, 상기 판재와 연속하여 형성되며 반원형으로 굴곡된 삽날 및 상기 판재의 표면에 원형구멍(13a)이 형성된 그레이더(13); 상기 그레이더(13) 전방부에, 상기 그레이더(13)의 양쪽 끝에 설치된 직사각형의 연결판(18)과 중앙연결재(19)에 의하여 고정되며, 수중모터가 양 단부의 내부에 설치된 원통형상이며 표면에 연속날개가 수평으로 형성된 오거(12); 상기 그레이더(13)와 오거(12)가 설치된 사각형 입체 트러스 형상인 상부 트러스(2); 그리고 상기 상부 트러스(2)를 지지하는 사각형 입체 트러스 형상인 하부 트러스(3);로 구성되고, 상기 상부 트러스(2)와 상기 하부 트러스(3)가 서로 결합되어 형성되는 것을 특징으로 하는 수중 기초사석 고르기 장치.</p>		
본 특허의 특징	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 특허는 해양항만 기초공사의 기초사석 고르기 장치에 관한 것으로, 오거와 그레이더에 의한 이중 고르기가 가능하여 균질한 고르기 품질의 확보가 가능하고 수심 및 시계에 관계없이 연속적인 작업이 가능한 특징이 있다. 		

1.4 장비 이동시스템 주행성 분석

1.4.1 개요

- 수중 사석 고르기 장비의 해저면 이동 시스템 개발 연구의 일환으로 해저면에서 궤도 식 고르기 장비의 주행 가능 또는 불가능 여부를 판단하고, 주행이 가능한 경우에는 주행할 수 있는 최고속도를 예측하고자 함.
- 이를 위해서는 건설기계 차량의 지반지지력인 차량콘지수(VCI, Vehicle Cone Index)와 현장 지반의 지지력인 콘지수(CI, Cone Index)로 주행성을 판단하고 지반-주행장치의 상호 접촉면에서 일어나는 문제를 역학적으로 규명하는 주행성 평가를 수행해야 함.
- 주행능력은 토양 주행성과 차량의 주행성에 의하여 결정됨. 토양 주행성은 차량의 주행을 지지할 수 있는 토양의 능력으로 정의되며, 차량의 주행성은 차량이 특정 경로를 주행할 수 있는 능력으로 정의.
- 당해연도에서는 해저면에서 수중 사석 고르기 장비의 주행 가능 또는 불가능 여부를 판단하기 위하여 필요한 토양 주행성 및 차량 주행성의 변수 조사, 그리고 주행성 판단 방법까지 설명. 이를 위한 주행성 판단 순서도는 그림 1.4.1과 같음.

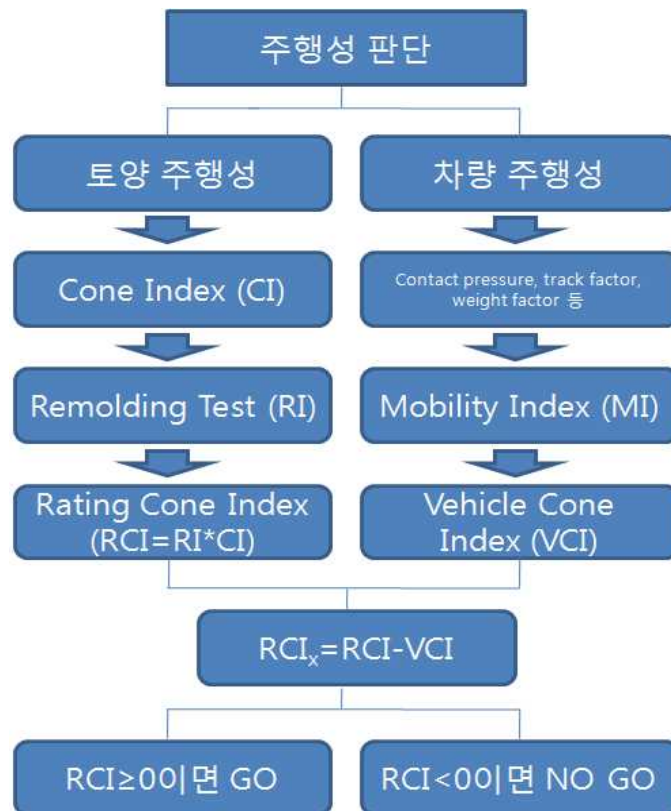


그림 1.4.1 주행성 판단 순서도

1.4.2. 주행성 판단에 필요한 변수

- 서론에서 언급한 것처럼 주행성 판단에 필요한 변수에 대해 토양 주행성과 차량 주행성으로 구분.

(1) 토양 주행성

- 임계층 (Critical Layer) : 이동 차량하중을 지지하는 흙의 수직 깊이를 말하며, 깊이는 흙의 종류와 강도, 차량의 종류와 중량 그리고 요구되는 통과 횟수에 따라 변함. 일반적인 미 육군 차량에 적용할 수 있는 임계층의 깊이를 표 1.4.1에 정리.
- 토양분류 : 토양의 주행성을 예측하는데 가장 널리 사용되는 토양 분류법은 통일 분류법임. 이는 크게 조립토와 세립토로 구분할 수 있으며, 세립토는 다시 사질토와 점성토로 구분할 수 있음. 일반적으로 궤도형 차량이 평지의 조립토에서 주행할 수 없는 경우는 거의 없음. 또한, 조립토에서는 첫 번째 통과가 가장 중요하며 첫 번째 통과가 성공하면 다음은 대부분 통과가 가능함.
- 점착성(Stickiness) : 특히 습한 상태에서의 세립토에서 문제가 되며 차량의 주행을 방해함. 심한 경우에는 차량의 주행 장치에 흙이 달라붙어 주행과 조향이 불가능한 상태에 이침.

표 1.4.1 차량의 크기와 토양 조건에 따른 임계층의 깊이 (김경욱, 2009)

차량의 크기	1회 통과		50회 통과	
	세립토, mm	조립토, mm	세립토, mm	조립토, mm
궤도형 차량 : 접지압 28kPa 이하	76.2-228.6	0-152.4	76.2-228.6	0-152.4
차륜하중 : 8.9kN 미만	76.2-228.6	0-152.4	76.2-228.6	0-152.4
차륜하중 : 8.9-44.5kN	152.4-304.8	0-152.4	152.4-304.8	0-152.4
차륜하중 : 44.5kN 이상	228.6-381.0	0-152.4	228.6-381.0	0-152.4
궤도하중 : 44.8kN 미만	152.4-304.8	0-152.4	152.4-304.8	0-152.4
궤도하중 : 44.8kN 이상	228.6-381.0	0-152.4	228.6-381.0	0-152.4

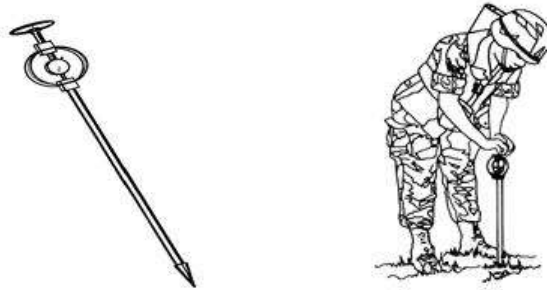


그림 1.4.2 콘관입시험기 및 측정 방법 (Field Manual 5-430-00-1, 1994)

- 콘지수(CI, Cone Index) : 지반강도를 평가하기 위한 하나의 지표로써 WES 표준콘관입시험기를 이용하여 측정하며 장비의 모식도는 그림 1.4.2와 같음. 표 1.4.2는 차량의 주행에 필요한 콘관입지수를 나타낸 것이고, 표 1.4.3은 콘관입지수에 따른 토양 지지력, 전단강도, 탄성범위를 나타냄 (Owende et al., 2002).

표 1.4.2 토양의 콘관입지수와 차량의 주행특성

Penetration resistance, kPa	Bearing description
0-21	Approximately at the liquid limit, No practical bearing value.
40-62	A man has difficulty walking on the soil without sinking.
103-165	A special tracked vehicle can travel about 50 passes.
186-228	D4 tractor can travel for about 50 passes.
276-352	D7 tractor can travel for about 50 passes.
372-497	Jeep can travel about 50 passes.
517-662	Track mounted heavy bulldozers.
683-935	Passenger cars.
1034+	No trafficability problems

표 1.4.3 콘관입지수에 따른 토양 지지력, 전단강도, 탄성

Cone index, kPa	Bearing capacity category	Elasticity	Shear strength, kPa
<300	Low(<40kPa)	<20	<20
300-500	Medium(40-80kPa)	20-60	20-60
>500	High(>80kPa)	>60	>60

- 재성형 지수(RI, Remodeling Index) : 차량의 이동하중과 반복하중에 의해 야기되는

지반 교란효과를 반영하기 위하여 재성형시험으로 재성형지수를 결정.

- 평가콘지수(RCI, Rating Cone Index) : 지반강도는 하중이 작용하는 방식이나 지반의 교란 등으로 인해 증감되기 때문에 예상 교통량에 대한 지반강도의 증감을 측정할 필요가 있으며 이를 위해 앞서 구한 재성형지수와 원지반에서 구한 콘지수를 곱하여 산정하며 식 1과 같이 나타낼 수 있음.

$$RCI = RI \times CI \quad (1)$$

(2) 차량 주행성

- 평균최대접지압(MMP, Mean Maximum Pressure) : 차량의 무게중심을 받고 있는 로드휠 아래에서 일어나는 최대접지압을 평균한 것으로서 궤도형 차량의 모형은 식 2와 같이 나타낼 수 있음.

$$MMP = \frac{1.26 W}{2\eta_r A_t b \sqrt{t_t D}} \quad (KN/m^2) \quad (2)$$

- 주행성지수(MI, Mobility Index) : 차량 특성의 조합 즉, 각종 설계상수와 동력전달 방식의 향으로 표현되는 무차원 함수이며, 차량의 중량, 접지압, 기계적 특성 등을 차량콘지수에 반영하기 위한 것으로서 주행장치의 형태에 따라 다르게 산정. 미육군공병단 자료에 의하면 주행성지수는 식 3과 같이 나타낼 수 있음.

$$MI = \left[\frac{\text{contact pressure factor} \times \text{weight factor}}{\text{track factor} \times \text{grouser factor}} + \text{bogie factor} - \text{clearance factor} \right] \times \text{engine factor} \times \text{transmission factor} \quad (3)$$

- 차량콘지수(VCI, Vehicle Cone Index) : 차량이 주행하는데 필요한 최소한의 지반강도로써, 차량이 1회 통과하는데 필요한 최소한의 차량콘지수를 VCI_1 이라고 하고, 50회 통과하는데 필요한 최소한의 차량콘지수를 VCI_{50} 이라고 함. 그리고 군용차량은 최소 차량콘지수 요구값에 따라서 7개의 영역으로 구분할 수 있으며 각 범위에 속해 있는 차량의 형태는 표 1.4.4와 같음. 표 1.4.4에서 특정 차량에 요구되는 차량콘지수는 임의의 차량이 임의의 지반을 통과하기 위해 필요한 최소한의 지반강도를 나타냄으로 대상 지반의 콘지수는 이 이상의 값이 확보되어야 차량이 통과하기에 양호한 지반으로 판정. 또한 주요 군용 차량의 차량콘지수 값을 표 1.4.5에 나타냄.

표 1.4.4 차량콘지수에 의한 차량 분류

구분	범위		차량의 특징
	VCI ₁	VCI ₅₀	
1	12≥	23≥	접지압이 2 psi 이하인 경량 차량
2	12-21	30-49	궤도의 폭이 넓고 접지압이 낮은 고속 트랙터
3	21-26	50-59	접지압이 평균 정도의 트랙터 접지압이 낮은 탱크 접지압이 아주 낮은 피견인 차량
4	26-30	60-69	중급 탱크 접지압이 높은 트랙터 4륜 구동 트럭 접지압이 낮은 피견인 차량
5	31-35	70-79	대부분의 4륜 구동 트럭 대부분의 피견인 차량 중량 탱크
6	35-44	80-99	대부분의 4륜 구동 및 후륜 구동 트럭 고속 도로용 피견인 차량
7	45≤	100≤	후륜 구동 차량 야지 특히 습지에서 사용되지 않는 차량

표 1.4.5 주요 군용차량에 대한 차량콘지수 값

차량	특징	VCI ₁	VCI ₅₀
M29C weasel	중량 24kN, 궤도형 수륙 양용 화물 차량	20	25
M48 Tank	중량 400kN, 중형 탱크	40	50
M37 3/4 ton weapons carrier	중량 40kN, 4*4 트럭	50	65
M135 21/2 ton cargo	중량 95kN, 6*6 트럭	45	60
D7 Engineer tractor	중량 156kN, 궤도형 건설 트랙터	30	40
Farmall 560 tractor	중량 32kN, 3륜 트랙터	36	48

(3) 주행성 판단

- 실제 춘천지역의 사례를 적용한 결과 검토(박영호, 1996).
- 세립토와 재성형 가능한 사질토지반 및 재성형이 불가능한 조립토 지반에서는 각각 평가콘지수와 콘지수를 사용.
- 조립토 지반에서는 콘지수가 차량콘지수보다 더 크면 차량의 주행이 가능하고, 반면에 차량콘지수가 더 크면 차량주행은 불가능한 것으로 판단. 잉여콘지수는 식 4와 같이 나타낼 수 있음.

$$RCI_x = RCI - VCI \quad (4)$$

표 1.4.6 지반 및 차량 관점에서의 주행성 판단

관점 및 지수			지반관점		차량관점
			세립토 및 재성형 가능한 조립토	재성형 불가능한 조립토	VCI
주행성 판단	세립토 및 재성형 가능한 조립토	주행 가	$RCI_x = RCI - VCI \geq 0$		
		주행 불가	$RCI_x = RCI - VCI < 0$		
	재성형 불가능한 조립토	주행 가	$RCI_x = CI - VCI \geq 0$		
		주행 불가	$RCI_x = CI - VCI < 0$		

표 1.4.7 춘천 A 지역의 주행성 평가 예

흙 분류			CI	RI	지반관점	차량관점	RCI _x	평가
					RCI	VCI		
세립토	논 2		246.74	0.8	197.39	63.25	134.14	GO
	논 1		173.79	0.8	139.03		75.78	
조립토	재성형 가능한 흙	과수원	205.14	0.8	164.11		100.86	
		재성형 불가능한 흙	임야	93.31	1		93.31	
	밭		80.91	80.91			17.66	
	test 1		172.48	172.48			109.23	
	test 2		140.62	140.62			77.37	
	test 3		192.60	192.60			129.35	
	비포장도로 1		257.62	257.62			194.37	
	비포장도로 2	250.13	250.13	186.88				

- 주행성 판단에 필요한 인자들을 이용하여, 실제 춘천 지역 현장에 적용(50회 통과 판단 결과)하였으며 모든 현장에서 주행 가능한 것으로 나타남.
- 잉여콘지수를 산정한 후 그림을 이용하여 최대 견인력 및 최대 경사도를 제안(Field Manual 5-430-00-1, 1994).
- 하나의 평가콘지수에서는 최대 경사도와 최대 견인력은 동일함.
- 1회 통과에서의 자가 추진 차량 (Self-propelled vehicles)은 아래 그림 3의 RCI_x 값을 산정한 후 해당되는 차량의 그래프 값을 읽으면 최대 견인력 및 최대 경사도 평가. 예를 들어, 1회 통과에 필요한 차량콘지수가 30인 웨도형 탱크가 콘지수가 93이고 리몰딩지수가 0.4인 지면을 등판할 수 있는 최대 경사도를 구하는 경우, 잉여콘지수는 $RCI_x = RCI - VCI_1 = 93 \times 0.4 - 30 = 7$ 이므로 그림 1.4.3에서 최대 경사도는 약 30%임을 알 수 있음.

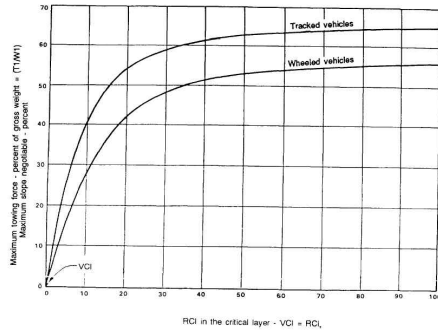


그림 1.4.3. 1회 통과에서의 자가 추진 차량 (Self-propelled vehicles)의 거동 곡선

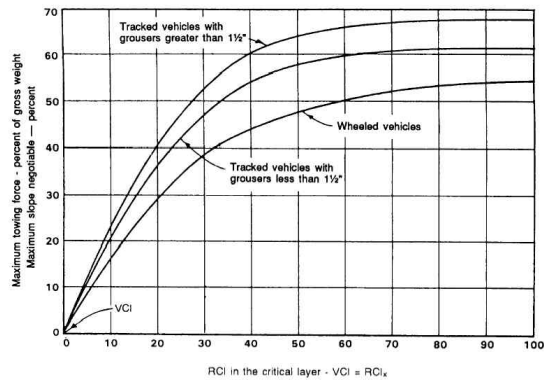


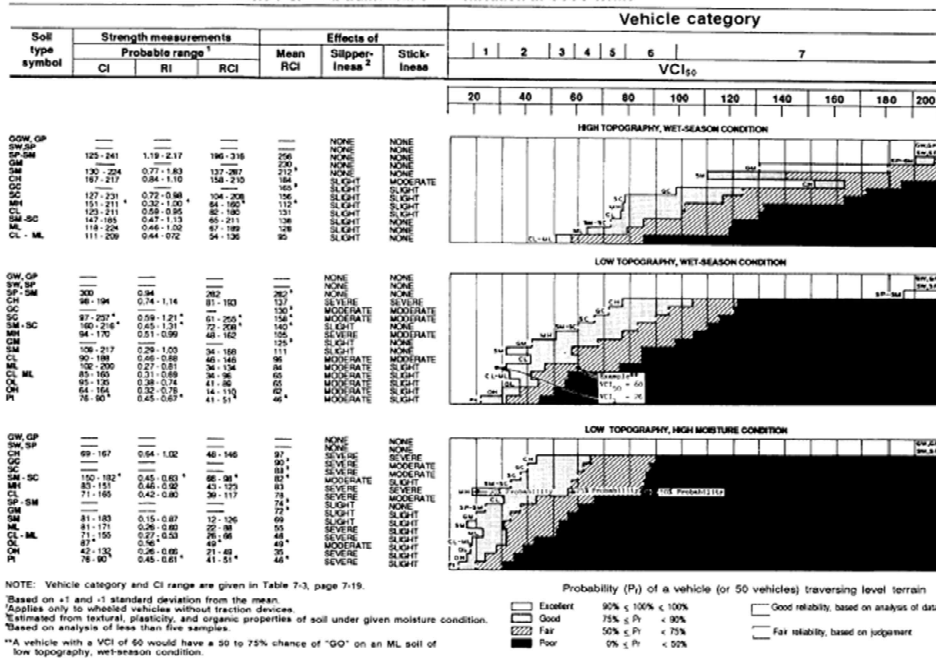
그림 1.4.4 50회 통과에서의 자가 추진 차량 (Self-propelled vehicles)의 거동 곡선

- 50회 통과에서의 자가 추진 차량 (Self-propelled vehicles)은 그림 1.4.4의 RCI_x 값을 산정한 후 해당되는 차량의 그래프 값을 읽으면 최대 견인력 및 최대 경사도 평가.
- 주어진 토양 상태에서 차량이 통과할 수 있는 횟수는 토양의 평가콘지수, 1회 통과 및 50회 통과에 필요한 차량콘지수를 이용하여 식 3으로 산정이 가능.

$$n = \frac{50(RCI - VCI_1)}{VCI_{50} - VCI_1} \quad (3)$$

- 통일분류법에 따른 주행성 분류는 표 1.4.8과 같이 예측이 가능 (예를 들어, 낮은 지형, 높은 수분을 가지는 조건에서 MH의 주행성은 VCI_{50} 이 84이상인 차량은 지역을 통과할 확률이 50% 이하이며, VCI_{50} 이 56이상이고 84미만인 차량은 이 지역을 통과할 확률이 50-75%임).

표 1.4.8 세립토의 주행성 예측



(4) 결론 및 향후 연구

- 해저면에서 수중 사석 웨도식 고르기 장비의 주행 가능 또는 불가능 여부를 판단하기 위하여 필요한 토양 및 차량 주행의 변수를 규명하고 주행성 판단 적용 예를 설명.
- 토양주행의 변수로서 콘관입지수, 재성형지수, 평균콘지수로 하였으며, 차량주행의 변수로서 주행성지수, 차량콘지수로 규명.
- 차량 주행의 가능 또는 불가능 여부를 판단하는 방법으로서 잉여콘지수를 이용하는 방법은 실제 춘천지역에서 실험으로 증명되었으므로 유용한 것으로 판단됨.
- 지반-주행장치의 상호 접촉면 각각의 중요 인자들을 이용한 주행속도 및 등판각 평가 기법 (식 또는 도표)이 필요함.
- 개발 예정인 사석 고르기 장비를 고려하여 여러 지반 및 차량변수 사례에 따른 결과 산출이 필요함.

2. 수중 다목적 기계화 장비 사양결정

2.1 장비 활용방안 도출

2.1.1 항만건설 분야 및 기계화 장비에 대한 전망

- 최근 초장대해상교량, 해저터널, 인공섬, 해양에너지 플랜트 등과 같은 대형 해상구조물 기술 개발이 활발히 진행.
- 또한 항만시설의 평균수명은 접안시설의 경우 25년(UNCTAD 기준)인데, 우리나라는 전체항만의 25%가 60~70년대 건설되어 현재 노후화로 인한 항만경쟁력이 저하되는 것으로 평가.
- 이에 따라 대형 수중구조물의 신규건설 및 노후·유휴항만을 배후도심과 연계한 친환경·고부가가치의 항만 재개발 등 항만건설이 활발히 진행될 것으로 예상.



해저 침매터널 공사



항만공사



인천만 조력발전소 조감도

그림 2.1.1 대형 항만 구조물

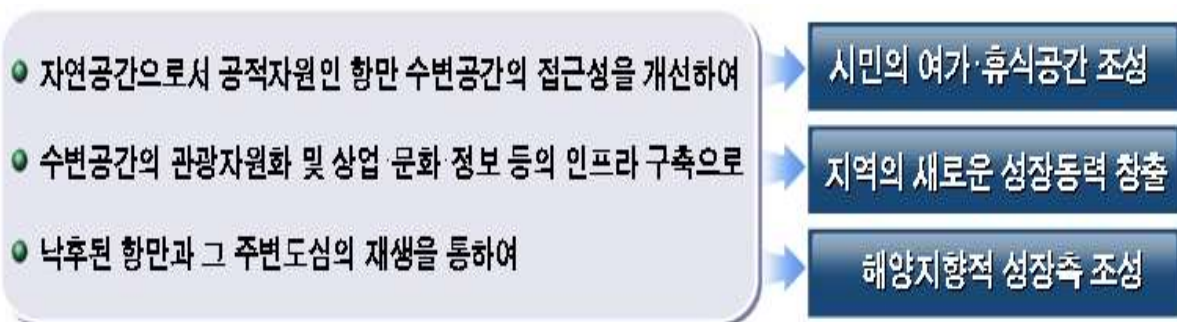


그림 2.1.2 전국 항만재개발 기본계획(안) [한국항만물류협회 자료]

2.1.2 개발 사양 - 적용 범위 및 활용 방안

(1) 항만건설에서 기계화 시공이 적용되거나 필요한 분야

- 수중 조사/관리 분야
 - 수중조사 및 탐사
 - 수중관리 및 모니터링
 - 해저광물 채취
 - 연안해역 감시 등의 기능
- 수중 시공 분야
 - 항만 구조물 시공
 - 준설 및 매립
 - 해저지반 조성
 - 수중 중량물 이동 및 조립 등의 기능

(2) 본 연구에서 개발되는 시공장비의 세부기능

- 수중원격제어를 통해 운영되는 시스템
 - 수상의 운전실에서 작업자가 수중의 작업정보를 보면서 원격조종을 통해 장비를 구동
 - 수중 시공/관리, 수중 시공 분야에 대한 기본적인 운영시스템을 구비.
- 유압구동 시스템
 - 고압의 유압을 이용하여 유압구동장치를 통해 운용.
 - 중량물을 다루거나 중 작업에 필요한 큰 부하를 낼 수 있음.
- 수중이동을 위한 착저형 이동시스템을 확보
 - 4개의 궤도를 이용하여 해저면을 이동.
 - 주행력이 높을 뿐 아니라 사석면과 같은 험지를 효율적으로 주행 가능.
 - 즉, 준설, 매립, 지반조성 및 중량물 이동, 조립의 기본 기능을 확보.
- 수중지형인식 및 장비 위치 모니터링 시스템을 갖추.
- 작업용 툴이 구비
 - 다목적 암은 그 끝단이 4자유도의 운동성을 가지고 있어 끝단에 다양한 툴을 장착하여 활용이 가능.

(2) 가능한 수중작업

- 수중 사석면 고르기 작업 : 장비개발의 궁극적 목적으로, 잠수부에 의한 작업의 80% 수준까지 기계화하는 것이 목표.
- 수중 중량물 이동 및 조립 작업 : 다목적 암에 중량물을 파지할 수 있는 어태치먼트형 툴을 장착한다면, 중량물(1Ton, 장비 규모 05급일 경우)의 파지, 이동, 조립, 철거 등의 작업에 활용 가능.
- 해저면 지반조성 작업 : 착저형 이동시스템을 활용하고, 목적에 맞는 툴을 구비한다면, 준설, 매립, 지반조성 등의 작업에 활용 가능.

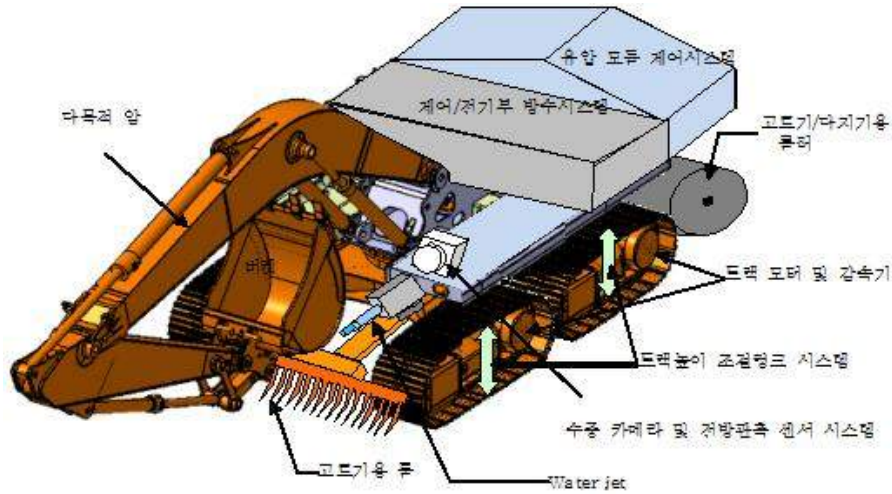


그림 2.1.3 수중 무인 기계화 장비 개발(안)

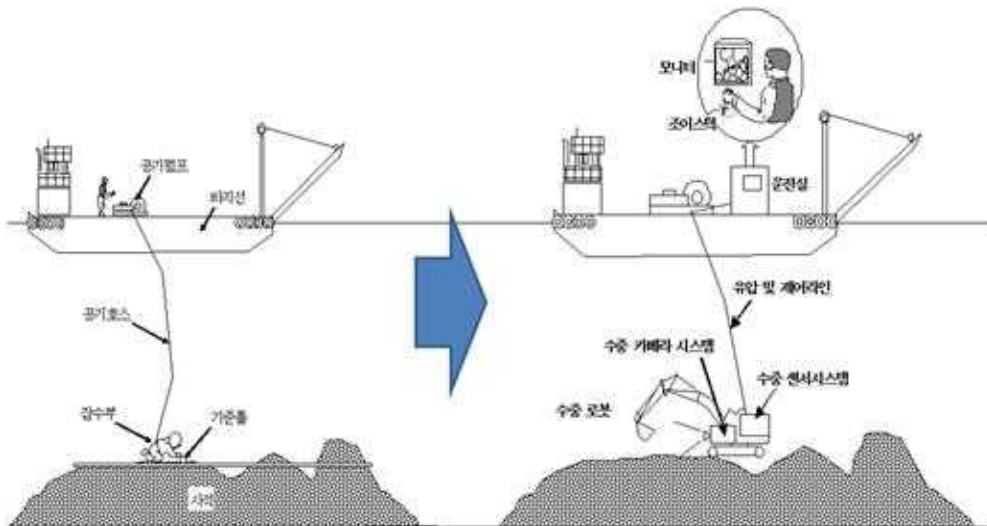


그림 2.1.4 수중 굴삭 장비 활용(안)

- 다양한 수중작업의 작업플랫폼으로 활용 : 수중 브레이커, 고압 워터젯, 표층시료 채취용 장치, 수중 브러시, 절단용 톨 등을 쉽게 장착하고 활용할 수 있으므로 다양한 수중 작업에 활용 가능.

2.1.3 개발장비 활용 기반조성 작업순서

- (1) 고르기 작업 전 사석이 투하된 영역을 스캔
 - 스캔전용 보트[GPS + 소나(어탐기, Forward looking Sonar 등)]로 사석 투하영역을 스캔함.
 - 스캔 데이터를 3D 모델링하여 화면에 나타내고, 이를 기준으로 고르기 작업순서를 결정함. (장비 투입위치, 작업 이동방향/순서 등)

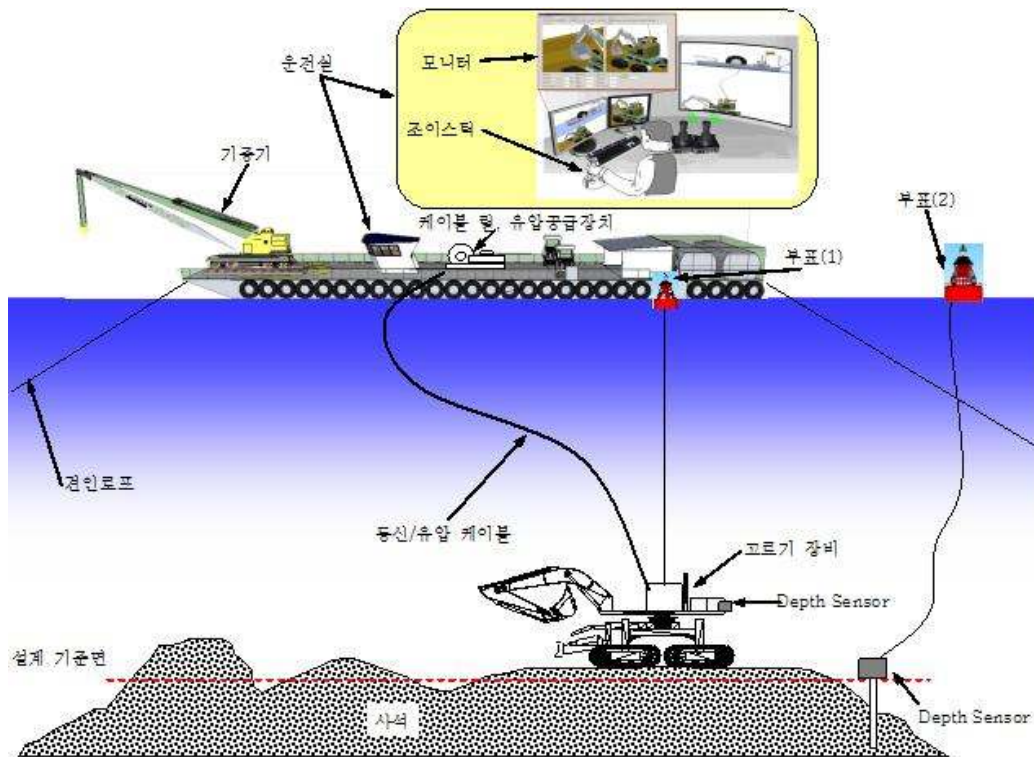


그림 2.1.5 수중 사석고르기 작업 공정(안)

- (2) 설계기준면을 측량하여 결정하고, Depth Sensor를 잠수부가 설치.(그림 2.1.5 참조)
 - Depth Sensor의 데이터를 운영실로 직접 송출하여 시스템을 간소(통신/전원 케이블 제거)화시키기 위해 부표(2) 내부에 무선통신모듈과 배터리를 구비함.
- (3) 개발된 장비를 견인하여 사석면에 내림
- (4) 수중 작업용 장비의 위치측정
 - 부표(1)에 GPS 시스템을 두고, 부표연결 케이블(통신케이블 자체를 사용)이 기울어진 각도, θ (Yaw, Pitch, Roll-자기장N극 기준)를 측정.
 - 부표연결 케이블의 길이를 측정.
 - GPS 데이터, 각도와 길이 데이터를 조합하여 로봇의 수중위치를 계산.
- (5) 사석면을 주행하면서 고르기 작업을 수행
 - 장비가 있는 곳의 사석높이 측정은 Depth Sensor로 수행.
 - 1)의 공정에서 3D 모델링된 데이터에 장비의 위치 및 사석높이 데이터를 반영하여 리모델링하여 작업 공정율을 정량적으로 분석.
- (6) 사석고르기 작업
 - 다량의 마운드 : 워터제트로 노즐 분사압력 및 방향을 조절하여 해결(대량의 기초적인 고르기).
 - 소량의 마운드 : 고르기용 툴로 해결 (툴을 롤러처럼 회전시키는 방법도 고려 중).
 - 마무리 작업 : 롤러로 다지면서 주행하여 해결

2.2 수중 다목적 기계화 장비 사양결정

2.2.1 개요

수중 다목적 기계화 장비는 수심 20m에서 사석위에 투하된 울석을 설계기준면에 맞도록 고르는 작업, 다지는 작업 등을 수행하는 시공공정에 적용. 개발동향에서 보였듯이 고르기 작업을 위한 수중 기계화 시스템은 크게 3가지 형태로 구분.

- (1) 수중 유인 굴삭기로 육상에서 가장 널리 사용되고 있는 장비인 굴삭기(back hoe)를 수중에서 구동될 수 있도록 개조한 형태. 육상처럼 조종석에 잠수부가 위치하여 장비를 조정하게 되며, 장비의 기동은 상부에서 연결된 케이블과 무한과도로 이루어지고 버킷을 이용하여 작업 수행.
- (2) 수중 무인 굴삭기로 엔진룸 대신에 방수 센서 룸(Waterproof vessel housing)에 각종 센서와 앰프 등을 갖추고 있고, 수중의 3D 지형 데이터 화면을 제공하여 육상에서 원격 조정을 하는 형태로 버킷을 이용하여 작업 수행(Taketsugu HIRABAYASHI, 2005; Hirabayashi, Yamamoto, Yano, and Iwata 2006).
- (3) 전용장비의 형태로 PENTA-OCEAN 사의 Underwater Rubble Leveling Robot 등이 있음. 이는 고르기 작업을 위한 전용 툴을 구비하고, 77Ton의 자중을 가지고, 25m/h의 이동속도로 스스로 이동하면서 작업 수행.

본 연구에서는 수중 사석면에서 효율적 이동성을 가지며, 작업의 목적에 맞는 툴을 구비하고, 현장 접근성이 높은 시스템으로 그림 2.2.1과 같이 수중 다목적 기계화 장비를 구성하고자 함. 이를 위해 수중 사석면 이동을 위한 착저형 이동시스템, 수중 다목적 작업을 위한 툴 시스템, 유압 및 전력 공급을 위한 시스템, 장비구동을 위한 구동용 제어시스템의 사양을 결정.

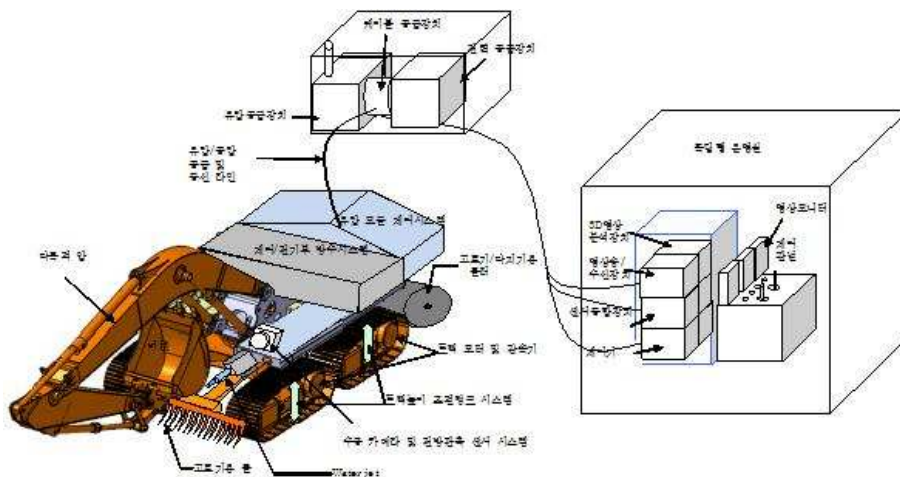


그림 2.2.1 수중 다목적 기계화 장비 구성

2.2.2 착저형 이동시스템 사양결정

(1) 주행부

수중 사석고르기 작업을 위해 장비는 사석면을 이동할 수 있는 시스템을 구비. 대표적인 이동시스템으로 휠형, 궤도형, 보행형 등이 있음. 일반적으로 궤도 시스템은 주행부의 접지면이 넓고, 그라우저의 모양에 따라 접지력을 높일 수 있고, 사석과 같은 마찰부하에도 마모가 적어 내구성이 높고, 유지보수가 간단하며, 안전성이 높은 특징. 본 연구에서는 적용분야의 특성상 궤도형 이동시스템이 가장 적합하므로 그림 2.2.2와 같은 궤도형을 채택.

일반 굴삭기의 궤도는 좌/우 각각 한쌍이 장착되어 주행. 사석으로 구성된 지형을 주행하는 경우 궤도의 접지력을 떨어뜨리게 되고 사석의 높낮이가 불규칙할 경우 접지면을 줄이는 결과를 초래. 결국 사석으로 구성된 험지에서는 주행력이 떨어짐. 이를 보완하기 위해 좌/우 각각을 두 쌍의 궤도로 구성. 궤도는 주행모터 및 감속기에 의해 회전되는데, 이때 주행력은 주행모터로부터 환산될 수 있음. 주행모터의 출력토크 TM 은

$$TM = \frac{P \cdot q \cdot \eta}{200 \cdot \pi} \text{ [kg} \cdot \text{m]} \quad (4)$$

여기서

P : 압력 (kg/cm^2)
 q : 주행모터 용량 (cc/rev)
 η : 주행모터 효율 (=0.945)

로 구해지며, 주행력 F 는

$$F = \frac{2 \cdot TM \cdot i \cdot \eta_g}{D/2} \text{ [kg]} \quad (5)$$

여기서

TM : 주행모터의 출력토크 ($kg \cdot m$)
 i : 감속비
 η_g : 기계 효율 (=0.86)

으로 얻어짐. 당해 연도에는 굴삭기 02급 용량의 착저형 이동시스템을 고려하므로 02급의 경우 주행모터 용량(q), 감속비(i) 등은 정해져 있으며, 일반적으로 210bar의 압력을 공급하므로, 착저형 이동시스템의 견이력은 상용 02급 굴삭기 주행력의 2배인 약 7,200kg으로 사양을 결정.

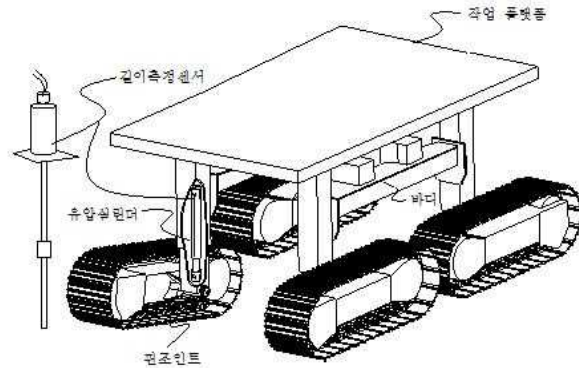


그림 2.2.2 착저형 이동시스템 사양 구성도

(2) 주행부의 회전조인트

각 궤도가 장비의 바디에 고정 부착된다면 험지에 대한 대응력이 떨어짐. 즉, 각 궤도의 바닥면이 사석면이 이루는 각도에 맞도록 조절된다면 접지면이 넓어지고, 주행력을 효율적으로 전달할 수 있음. 그러므로 각 궤도는 핀조인트를 통해 장비의 바디에 연결되어 주행의 수직방향으로 자율선회 될 수 있도록 사양을 결정. 장비의 무게는 약 6톤으로 가정하며, 핀조인트는 장비무게, 주행진동, 안전을 등을 고려하여 설치위치 및 크기를 결정.

(3) 아웃트리거

장비의 바디가 궤도에 의해 사석면을 이동하게 되면, 바디 및 작업플랫폼은 사석면에 따라 수평을 기준으로 임의의 각을 갖게 됨. 작업플랫폼에는 고르기 작업을 위한 툴이 장착되며, 툴의 기능은 사석면을 설계 기준면에 맞추어 수평하게 만드는 것이므로 작업플랫폼이 항상 수평을 유지할 수 있다면 작업의 효율성을 극대화 시킴. 이를 위해 작업플랫폼의 각도를 자율 조절할 수 있는 아웃트리거 시스템을 고려. 즉, 네 개의 궤도가 핀조인트를 통해 장비의 바디에 연결될 때, 핀조인트와 바디의 연결부 사이에 길이 가변제어가 용이한 아웃트리거를 장착. 아웃트리거의 스트로크는 궤도 높이 (600mm)의 약 80%수준인 500mm로 설정. 또한 아웃트리거는 정밀제어를 통해 작업플랫폼을 항상 수평이 되도록 그 길이를 신축해야 하므로, 길이측정센서가 부착된 서보 시스템으로 구성. 아웃트리거 내부의 유압실린더는 장비중량과 제작의 용이성을 고려하여 가반중량이 약 6Ton이 되도록 함.

- 결론적으로, 착저형 이동시스템은 그림 2.2.2와 같이 네 개의 궤도로 주행을 하면서 네 개의 아웃트리거로 항상 작업플랫폼을 수평하게 만드는 유압 시스템으로 사양을 결정.

2.2.3 수중 사석고르기 작업을 위한 툴 사양결정

고르기 작업을 위한 툴로서 그림 2.2.3과 같이 고르기용 블레이드, 워터젯, 다목적 암, 다짐롤러를 작업 플랫폼에 장착.

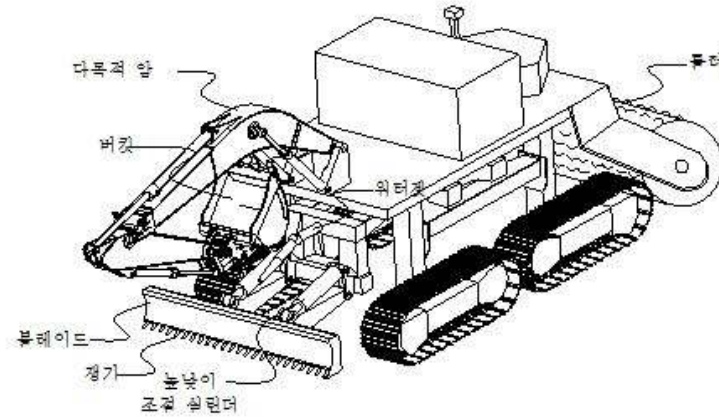


그림 2.2.3 고르기 작업용 툴 사양 구성도

(1) 고르기용 블레이드

수중 작업을 위해 다양한 툴을 생각할 수 있으나, 본 연구에서는 수중 고르기 작업을 위한 툴만을 고려. 고르기 작업의 대상인 울석은 지름 약 100mm 정도의 크기를 가지는 것으로 착저형 이동시스템에 블레이드를 장착한다면 울석을 밀면서 주행이 가능할 것으로 판단. 또한 블레이드의 모양에 따라 작업성이 달라 질 것으로 판단되며, 울석의 크기에 따라 모양도 달라지는 것이 유리. 블레이드는 메인 블레이드와 쟁기모양의 블레이드를 결합하여 구성하고 쟁기의 크기는 대상 울석에 따라 교체할 수 있도록 함. 또한 폭은 장비 좌우 궤도의 전체폭과 동일하게 설정하고, 유압실린더를 부착하여 블레이드 자체의 높낮이를 조절할 수 있도록 함.

(2) 워터젯

고르기 작업과정에서 큰 울석마운드를 블레이드로 처리할 경우 작업성이 떨어짐. 이 때는 워터젯으로 마운드를 분산시키고 블레이드로 작업. 워터젯은 분사방향이 상하/좌우로 조절될 수 있도록 2자유도 구동시스템으로 구성. 또한 블레이드 전방 5m에 있는 울석마운드를 분산시킬 수 있는 용량으로 선정.

(3) 다목적 암

고르기 작업과정은 사석, 울석 등을 채워 넣는 공정 필요. 이는 블레이드나 워터젯으로 수행할 수 없으므로, 다목적 암을 고르기용 툴로 장착. 다목적 암은 3개의 유압실린더로 구동되고, 작업플랫폼이 선회되는 동작을 포함하면, 4자유도로 작업을 수행할 수 있음. 우선 다목적 암 끝단에 버킷을 장착하여 고르기 작업을 수행할 수 있고, 향후 다양한 수중 작업용 툴을 부착(Add-On)하는 형태의 확장도 가능.

(4) 다지기 롤러

블레이드, 워터젯, 다목적 암 등으로 고르기 작업을 수행한 후 다짐작업을 위해 롤러를 장착. 롤러의 표면은 돌기모양을 갖추고 구동원으로 롤러가 회전하여 주행하면서 장비와 롤러의 무게로 사석면을 다질 수 있도록 함.

2.2.4 유압 및 전력 공급시스템 사양결정

수중 다목적 기계화 장비는 유압원으로 구동. 유압의 공급을 위해 장비에 유압공급 시스템을 탑재하는 방법과 수상에 유압공급 시스템을 구비하여 유압호스를 통해 장비에 공급하는 방법이 있음. 고르기 작업의 특성상 장비는 수중 20m 이내에서 작업하며, 작업중 울석공급을 위해 작업용 선박은 항상 장비 상부에 위치. 그러므로 유압호스의 길이는 약 50m가 필요할 것으로 예상되며, 유압공급 시스템이 선상에 있는 것이 시스템의 내구성이나 관리측면에서 볼 때 유리하다고 판단.

본 연구에서는 선상에 유압공급 시스템을 두고 장비에 유압을 공급하는 형태를 선택. 당해 연도는 02급에 준하는 기계화 시스템을 개발할 것이나, 가장 유량의 소모가 큰 주행 웨도가 4개이므로 이를 고려하여 사양을 결정. 즉, 1개의 주행모터가 소비하는 최대 유량은 약 60L/Min이므로 이에 준하는 유압공급 시스템 사양을 표 2.2.1과 같이 선정.

토출 압력이 350kg/cm² 이나 릴리프 밸브를 통해 원하는 압력을 설정할 수 있도록 하고, 펌프 2개를 동기 구동하여 유압원을 2개로 구성.

표 2.2.1 유압공급 시스템 사양

엔진	형식	디젤엔진
	마력	170마력
	정격회전수	2500rpm
	최고회전수	4500rpm
최고토출압력	350kg/cm ²	
토출량	240L/min	
유압탱크	600 L	
배터리	24VDC	
발전용량	24VDC*2EA	

유압시스템에 있어 T 라인(배압라인)의 압력은 매우 중요. 특히 유압모터의 리크유압, 파일럿 제어용 서보밸브의 배압 등은 장비의 수명 및 제어성에 큰 영향 줌. 그러므로 독립형 배압탱크를 장비상부에 구성. 배압탱크란, 배압라인의 유체를 배압탱크에 직접수용하고, 유압펌프를 구동하여 유압공급 시스템으로 유체를 보내는 기능. 이 경우 배압탱크로 연결된 배압라인의 내압은 3Bar 이하로 관리. 배압탱크 사양은 표 2.2.2와 같이 설정.

표 2.2.2 배압탱크 사양

유압모터	용량	10KW
	회전수	1200rpm
	입력 유압	210 kg/cm ²
유압펌프	최대토출압	175kg/cm ²
	토출유량	200 L/min
토출압	20 kg/cm ²	
배압탱크	160 L	

장비에 공급되는 전원은 수중임을 감안하여 24VDC로 공급하며, 구동용 제어시스템, 센서시스템, 파일럿 제어용 서보밸브 등의 소비 전력이 표 2.2.3과 같으므로 20A를 공급하도록 함. 유압공급 시스템의 배터리를 전원으로 하며, 배터리는 제너레이터에 의해 자동 충전.

2.2.5 구동용 제어기 사양결정

기계화 장비는 수중시공 작업에 적용되므로 진동, 충격 등이 발생하며, 주행제어, 작업플랫폼 수평유지제어 등 복잡한 제어 신호들이 필요. 이러한 요소들을 만족하고 수중 건설장비의 작업환경에 적합한 내구성, 신뢰성을 갖추기 위해 구동용 제어기를 개발하여 장비에 탑재. 구동용 제어기는 다음과 같은 기능을 갖추도록 함.

- 사용자의 구동입력에 따른 제어알고리즘 해석을 수행.
 - 기구학 해석 프로그램 코드와 사용자의 매크로 기능을 탑재.
 - 해석에 따른 제어 명령 값을 아날로그 출력값 (전압 ±10VDC 또는 전류 4~20mA 값)으로 변환.
 - 유압 솔레노이드 밸브 제어를 위한 Digital OUT On/Off 제어신호를 출력.
 - 안정적인 전원공급 장치가 내장되어 배터리의 가변되는 전압을 대처.
- 위의 요구조건을 만족시키는 구동용 제어기의 사양을 표 2.2.4와 같이 결정.

표 2.2.3 전기, 유압 시스템의 소비전력

Main Power	Converter	Device	예상 소비 용량	비고
24VDC (From Battery)	-	Pilot V/V 12Set	7.2A	허용입력 24VDC±10%
	-	Sol V/V Relay 1Set	1.2A	허용입력 24VDC±10%
	Input 24V 3.8A Output 24V 2.5A	MTS Power 4Set	0.4A	
		구동용 제어기 I	0.5A	
		전류제어 모듈	0.5A	
	Input 24V Output +-15V 0.85A	구동용 제어기 II	1A	
	Input 24V Output 12V 0.25A	기타 센서류	65mA	
	Input 24V Output 5V 3A	구동용 제어기 III	2.5A	
총 용량			14 A	

표 2.2.4 구동용 제어기 사양

구성	사양	
CPU	TMS320F28335, 32-Bit High Performance CPU	
ROM	256K	
RAM	34K	
Output Port	D/A	Output Range : 4 ~ 20mA Resolution : 12 bits Channel Number : 12 Ch
	Digital	Output Module : 24DCV, 2A Protection : Software / Hardware Protection Channel Number : 8 CH
Input Port	A/D	Input Range : 0 ~ 10V Resolution : 16 bits Channel Number : 8 Ch
	Digital	Input Level : TTL Level Channel Number : 8 Ch
Serial Communication Port	TCP/IP 1CH SERIAL : RS-232 3Port : RS-422 1Port	

2.2.6 참고문헌

김운영, (1996). 화강풍화토 지반에서 궤도차량의 주행성에 관한 연구. 한국과학재단 연

구보고서

Taketsugu HIRABAYASHI, (2005). Construction of Teleoperation System with Bilateral Control for Underwater Construction Machine. Report of The Port And Airport Research Institute Vol.44, No.4

Hirabayashi, Yamamoto, Yano, and Iwata (2006). Experiment on Teleoperation of Underwater Backhoe with haptic Information. International symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.36-41

Herbert E. Merritt, Hydraulic Control System, John Wiley & Sons, Inc.

Oil Hydraulic Equipment Catalog, (주)세원중공업

EC55 사용자지침서, 정비지침서, VOLVO

굴삭기 교육교재 (HE 50) 한라중공업주식회사

<http://www.toa-const.co.jp/>

<http://www.penta-ocean.co.jp/>

<http://www.nexans.com/>

2.3 업그레이드 방안

2.3.1 업그레이드 방안 - 1 (유·무인 겸용 장비)

(1) 개요

- 무인 장비 ➡ 유·무인 겸용 장비

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 외부 여건에 따라 유동적으로 활용 가능한 유·무인 겸용 장비.
- 수중 조건에 따라 작업의 효율을 증대시킬 수 있음.
 - 수심이 20m 내외이면서 탁도가 좋은 환경일 경우, 유인 장비로 활용하는 것이 훨씬 효율적임.
 - 탁도가 높거나 고위험도 지역의 경우에는 무인 장비가 보다 적합함.
- 유인 장비와 무인 장비의 장점을 최대한 활용 가능.

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 없음. (당초 계획 기간 내에 업그레이드 가능)
- 추가 연구비 : 300 백만원 (정부출연금 기준).
 - 잠수부 운전실 및 작업 H/W (작업용 모니터 포함) : 130 백만원
 - 유인 운용시스템 : 70 백만원
 - 현장검증실험 : 100 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 04)부터.

(4) 관련 자료

- 일본항공항공기술연구소(PARI) 전문가 초청 세미나
 - PARI와 동아건설을 주축으로 다년간 수중굴삭기 연구 및 시공이 이루어짐.
 - 일본 내에서는 작업시야가 확보되는 조건에서 유인 굴삭기를 선호함.
- 탁도 및 수심 등 외부 조건과 경제성 등을 고려하여 유인 또는 무인 장비로 활용 가능.



그림 2.3.1 일본 유인 수중굴삭기

2.3.2 업그레이드 방안 - 2 (대상 수심 확대)

(1) 개요

- 대상 수심 : 20m ➔ 50m 범위 확대

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 잠수부 작업이 어려운 공사를 대신할 수 있는 장비.
- 장비 적용 범위가 항만공사에서 연안구조물 공사로 확대될 수 있음.
 - 수심 50m 이내 지역에 대한 해저파이프라인 공사 등에 적용
 - 해상풍력기초 등의 해저면 고르기 작업
 - 침매터널 등과 같은 연계교통시설망 확충에 활용
- 향후 대수심 조건용 장비 개발 확대를 위한 기초기술 자료 확보.

(3) 추가 연구기간 및 연구비

- 추가 소요 연구기간 : 없음. (당초 계획 기간 내에 업그레이드 가능).
- 추가 연구비(안) : 1,000 백만원 (정부출연금 기준)
 - 수중 전동식 유압공급시스템 : 500 백만원
 - 대수심 방수 기술 확보 및 설계/제작 : 200 백만원
 - 대수심용 전력/통신 케이블 및 자동 릴 시스템 : 200 백만원
 - 현장검증실험 : 100 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터.

(4) 관련 자료



(a) 해저 침매터널 공사



(b) 해상 풍력 발전 시설

그림 2.3.2 연안구조물 및 해양에너지 플랜트 수요 증대

2.3.3 업그레이드 방안 - 3 (부착 장치 범위 확대)

(1) 개요

- 굴삭시스템 ➡ 굴삭시스템 + 다양한 장치 Add-on 기법.

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 수중 작업 용 다양한 툴 (tool) 부착 장비.
- 다양한 항만 작업에 활용 가능.
 - 이형블록 포함 고중량 (2ton 내외) 대상물 핸들링 장치
 - 브레이커 장치
- 항만 이외에 다양한 수중 작업에 활용하여 적용 범위를 확대.
 - 고압 워터젯 장치
 - 표층시료 채취용 장치

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 없음. (당초 계획 기간 내에 업그레이드 가능)
- 추가 연구비 : 항목에 따라 달라짐 (정부출연금 기준).
 - 고중량 물체 핸들링 장치 (H/W 및 S/W 포함) : 40백만원
 - 고압 워터젯 장치 : 400백만원
 - 추가 장치
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터.

(4) 관련 자료 (그림 또는 도표)

- 다목적 암 끝단에 수중 작업용 툴(tool) 장착 가능

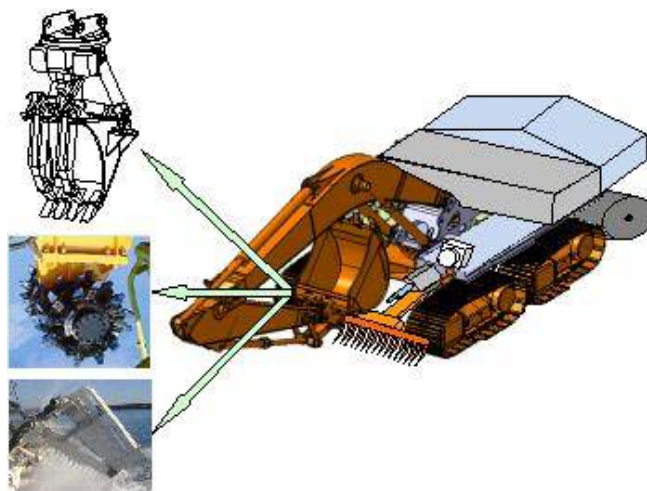


그림 2.3.3 추가 가능 부착 툴



그림 2.3.4 이형블록작업용 툴 부착 장비 (일본 PARI)

- 추가 가능 부착 장치
 - 와이어브러쉬
 - 파쇄장치
 - 트윈헤더
 - 수중 차단기
 - 배출장치



(a) 와이어 브러쉬



(b) 파쇄장치



(c) 트윈헤더



(d) 배출



(e) 수중 차단기

그림 2.3.5 부착 가능 장치 (일본 Toa 건설)

2.3.4 업그레이드 방안 - 4 (장비 규모 확대)

(1) 개요

- 장비 규모 : 05급 ➡ 08급

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 유압시스템, 이동시스템 등의 중량화.
- 05급에 비해 적용 사석 작업 효율을 극대화할 수 있음.
 - 작업 대상 사석의 크기를 확대할 수 있음.
 - 시간당 작업량을 증대시킬 수 있음.
- 수중 중량 확보를 통한 적용 범위 증대.

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 없음. (당초 계획 기간 내에 업그레이드 가능)
- 추가 연구비 : 500 백만원 (정부출연금 기준).
 - 수중 유압공급시스템 : 100 백만원
 - 수중 착저형 이동시스템 : 250 백만원
 - 작업용 툴 : 50 백만원
 - 수중 구동 액추에이터 : 50 백만원
 - 현장검증실험 : 50 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터.

3. 수중 사석 고르기 장비 개념설계

3.1 수중 지반조성 장비 이동시스템 및 작업 플랫폼의 개념설계

본 연구에서 개발하고자 하는 장비는 최종적으로 수중에서 무인으로 운용되는 장비로 기본적으로 지형의 변화에 적응하여 작업 플랫폼의 자세가 수평하게 유지되는 기능이 필수적. 따라서 수중 지반 조성 장비는 그림 3.1.1과 같이 크게 작업 플랫폼과 착저형 이동 시스템으로 구성.

작업 플랫폼은 구동용 제어기, 배압 탱크 및 각종 센서 등이 설치되고 향후 다목적 압 등의 틀이 설치. 구동용 제어기는 장비의 모든 유압 액추에이터(주행용 유압 모터, 아웃트리거용 서보 유압 실린더 등)를 통합 제어할 수 있도록 유압 서보밸브 제어, 솔레노이드 밸브제어, 센서데이터 획득 및 해석, 외부 통신기능, 제어알고리즘 등이 내장. 구동용 제어기는 운영시스템에서 내려지는 명령을 받아 해석하고 구동명령을 유압 밸브를 통해서 액추에이터로 지령. 유압 밸브는 운동제어기의 명령을 받아 각각의 유압 액추에이터에 유압을 제공함으로써 운동을 생성. 제공된 유압은 유압 액추에이터를 구동하고 다시 유압 탱크로 복귀되는데 이 과정에서 다수의 유압라인, 유압호스의 길이 등에 의한 배압이 발생할 수 있으므로 작업 플랫폼 상부에 배압 탱크를 설치하여 유압 복귀라인(T라인)의 길이를 최소화하여 배압 발생을 최소화한다. 자세 센서는 작업 플랫폼 상부에 설치되어 지면에 대해 장비의 자세, 즉, 전후좌우 수평도 및 heading각도를 측정. 측정된 각도는 운동 제어기에 입력되고 제어기는 높이 조절용 지지다리의 길이를 제어하여 작업 플랫폼이 항상 수평을 유지.

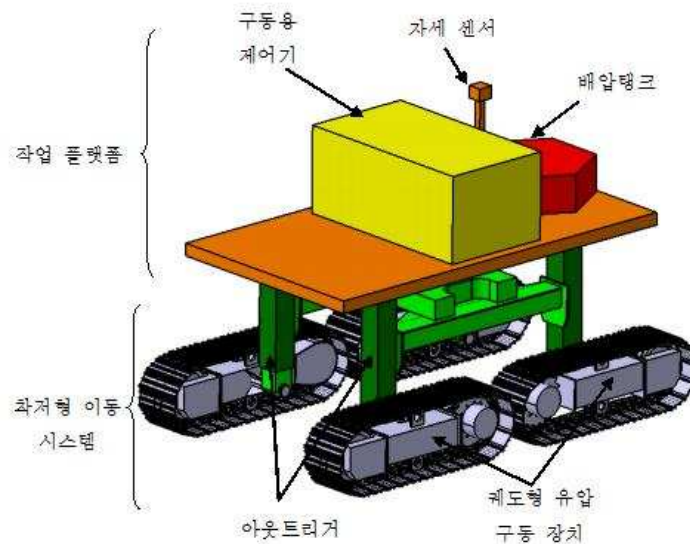


그림 3.1.1 수중 지반 조성 장비 구성도

이동 시스템은 각각 4개의 높이 조절용 아웃트리거와 궤도형 유압 구동 장치로 구성. 높이 조절용 아웃트리거는 주행 중 지형에 따라서 길이를 제어함으로써 작업 플랫폼의 수평을 유지하는 역할. 아웃트리거 내부에 유압 서보 실린더가 장착되어 있으며 구동시 실린더 로드와 회전과 강성을 확보할 수 있도록 내/외부에 사각형의 관으로 설계하고 궤도형 유압구동장치와 회전 조인트로 연결되어 지형에 잘 적응될 수 있도록 설계.

궤도형 유압 구동장치는 유압 모터 및 감속기, 아이들 롤러, 상부하부 롤러, 텐션 장치 그리고 그라우저 및 링크 등으로 구성. 구동용 제어기에서 전후진 명령을 지령하면 유압 모터에 유압을 공급하여 전후진 이동이 생성.

3.2 수중 방수 및 밀봉시스템 개념설계

(1) 유압 액추에이터의 방수 개념 설계

주행 감속기는 크게 1단 감속기, 2단 감속기, 하우징으로 그림 3.2.1과 같은 구성. 감속기의 방수는 양쪽의 오링과 플로팅 씰이 담당하는 것으로 오링과 플로팅 씰을 해수에 강한 재료로 적용함으로써 해결. 또한 외부의 부식 방지는 근본적으로 해수에 강하며 강성을 확보할 수 있는 스테인레스 스틸로 제작.

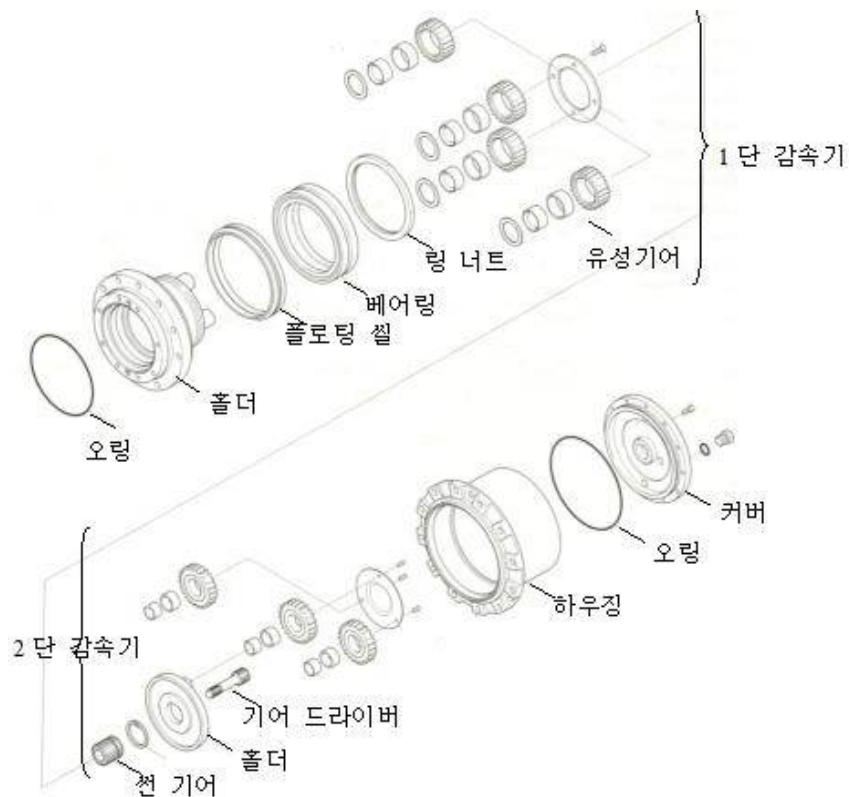


그림 3.2.1 주행 감속기 방수 개념 설계

주행 모터는 크게 리어 커버, 팩킹부, 피스톤 구동부, 케이싱 등으로 그림 3.2.2과 같은 구성. 주행 모터의 방수는 팩킹부와 오일 셸 및 오링부가 담당하는 것으로 이을 해수에 강한 재료로 적용함으로써 해결.

유압 실린더는 로드부, 하우징 부, 팩킹부로 그림 3.2.3과 같은 구성. 유압실린더는 작동부인 로드부와 팩킹부의 방수 처리 설계. 본 연구에서는 오링과 백업링을 3중으로 고려하며 해수용 오링과 백업링을 적용. 또한 로드와 하우징은 스테인레스 스틸을 적용.

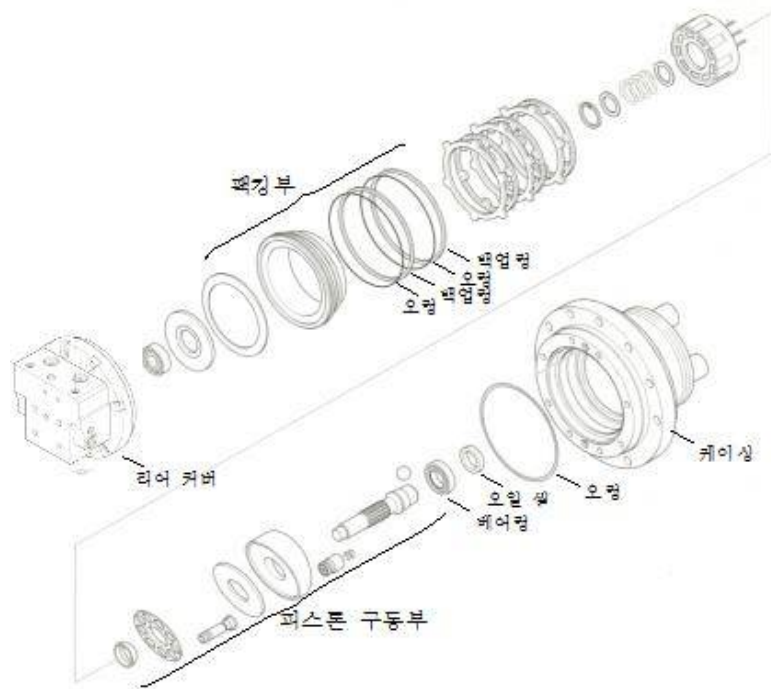


그림 3.2.2 주행 모터 방수 개념 설계

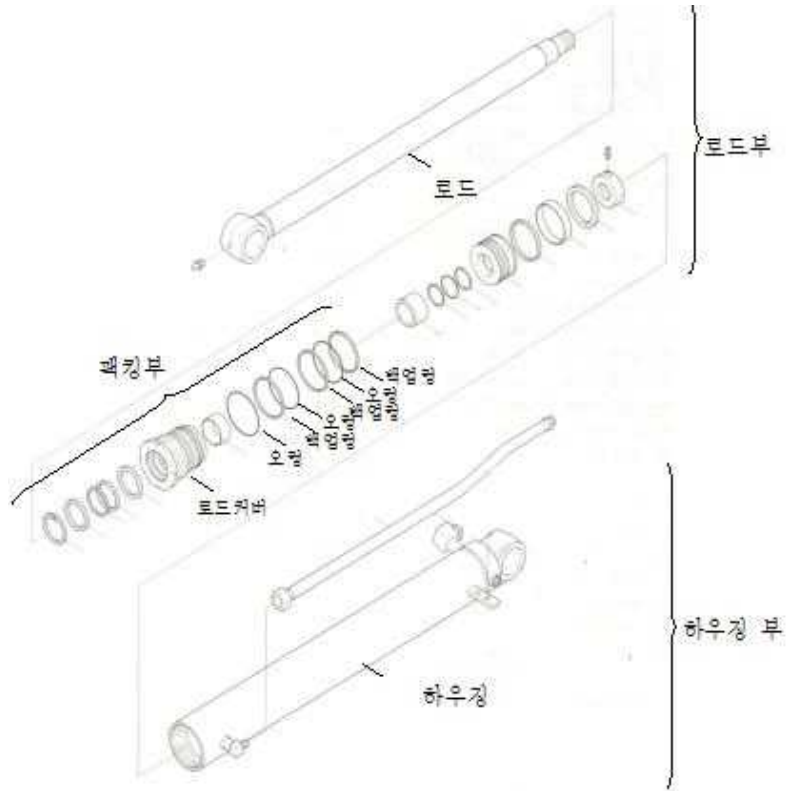


그림 3.2.3 유압 실린더 방수 개념 설계

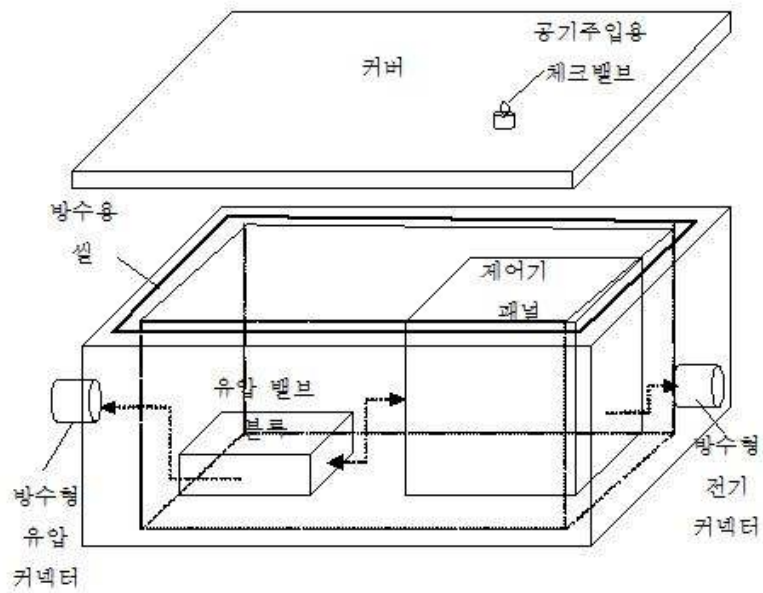


그림 3.2.4 유압 밸브 블록과 전기장치의 방수 및 밀봉 개념 설계

3.3 수중 위치 인식시스템 개념설계

3.3.1 설계안 I

- LBL의 경우 최소 3개의 트랜스폰더를 요구하는데 본 연구의 응용 사례와 같이 심도 계측이 가능한 경우 갱신 주기를 빠르게 하기 위해 두 개의 트랜스폰더만을 사용하여 수평면 위치를 추정할 수 있음.
- 설계안 I의 경우에 있어 수중체의 위치를 추적하기 위해서 트랜스폰더의 위치를 특정하고 수중체에 탑재된 트랜시버와 트랜스폰더의 통신을 통하여 각 트랜스폰더와의 거리 계측이 가능하고 계측된 두 개의 거리 정보로부터 수평면 위치 추정이 가능.
- 트랜스폰더의 위치를 특정하기 위해서는 정밀도 1.5m 정도의 저가형 DGPS가 적용 가능.
- 위의 시스템을 구성할 경우 정밀도 30~40cm 정도의 갱신주기 2초의 위치 추적 성능을 확보할 수 있음.

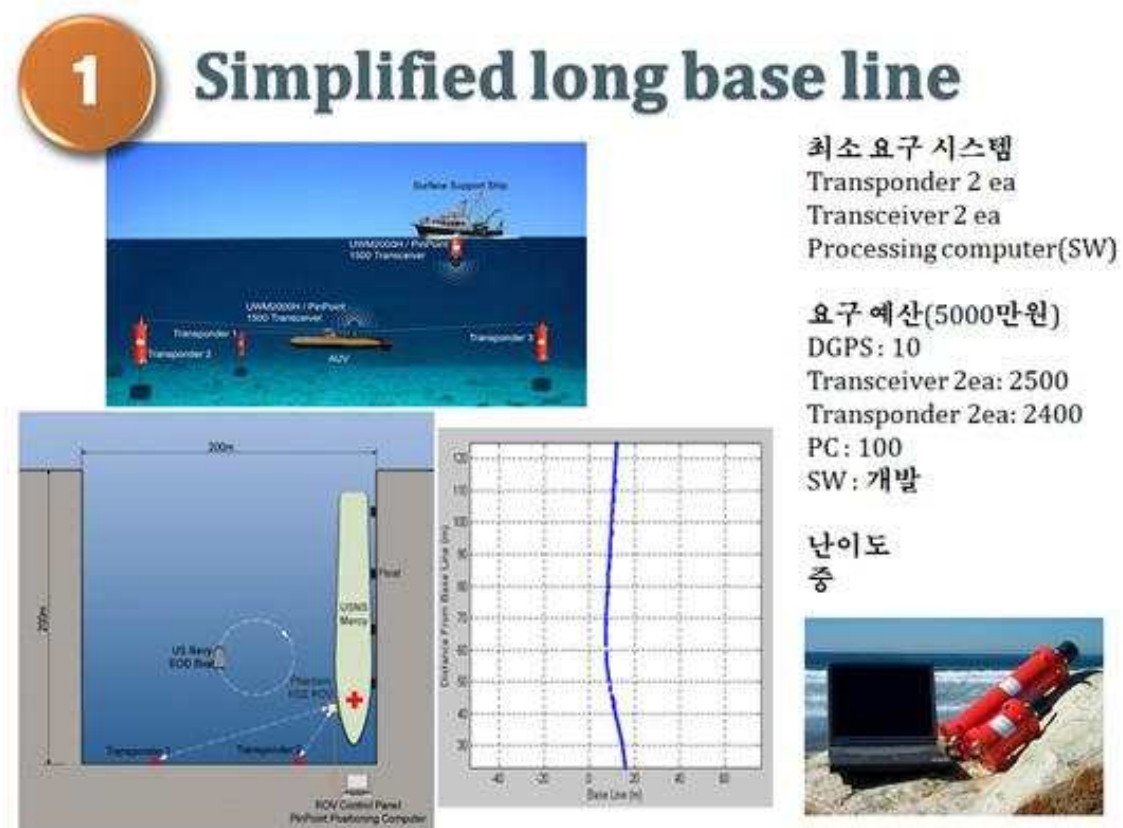


그림 3.3.1 수중위치 인식시스템 설계안 I

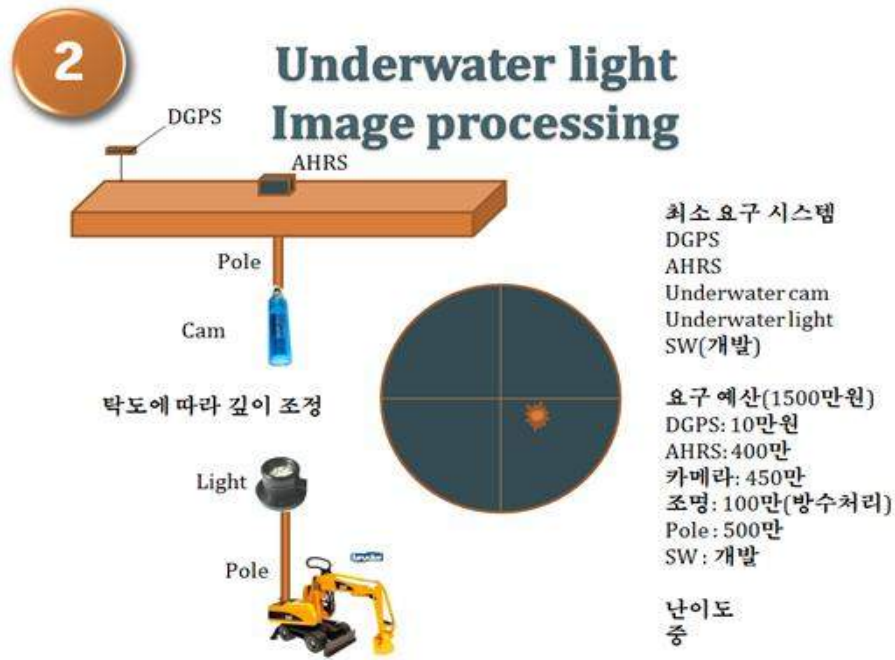


그림 3.3.2 수중위치 인식시스템 설계안 II

3.3.2 설계안 II

- 수중의 비교적 탁도가 적은 상황에서 밝은 조명은 보다 먼 거리에서도 카메라 화면에 점으로 추적 가능하다는 아이디어에서 구상된 솔루션.
- 본 솔루션을 개발하기 위해서는 이미지 프로세싱을 수행할 필요가 있으며 동시에 관측하고 있는 바지의 위치와 자세도 계측할 필요가 있음.
- 수중초음파 솔루션이 노이즈가 많은 반면 시계만 확보된다면 안정적인 솔루션이 될 수 있음.
- 아래의 조명은 분수 조명에 쓰이는 것을 방수처리하여 사용하면 되고 비교적 얇은 수심에서 카메라 영상에서 조명이 보일 때까지 바지에 탑재된 폴대의 길이를 조절할 필요가 있음.

3.3.3 설계안 III

- 본 연구에서 제안하는 사석다지기용 장비의 위치추적을 위한 세 번째 솔루션은 전방 탐지소나 혹은 멀티빔소나에 탐지된 사석다지기 장비의 초음파 영상을 사용하는 것임.
- 사석다지기 장비의 바지로부터의 상대 거리와 각도를 알아낸 후 바지의 위치(DGPS 계측) 및 자세(AHRS 계측) 정보와 연동하여 사석 다지기 장비의 절대 위치를 추적하는 시스템.

3.3.4 설계안 IV

- 본 연구에서 제안하는 사석다지기용 장비의 위치추적을 위한 네 번째 솔루션은 수중용 글로벌 위치 추적 시스템이라는 가제를 가지고 있는데 우리가 육상에서 사용하는 GPS와 유사한 개념.

3

FLS or Multi-beam Sonar

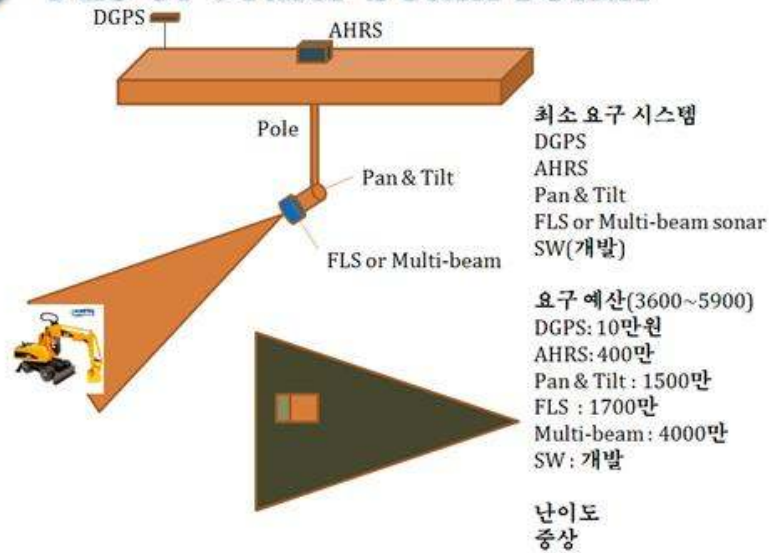


그림 3.3.3 수중위치 인식시스템 설계안 III

- 각 위성에 해당하는 부이에 PPS(Pulse per seconds) 기능을 가지는 저가형 DGPS가 탑재되어 부이의 위치를 1.5m 정도의 정밀도로 알 수 있으며 PPS 신호를 사용하여 시각 동기가 가능.
- 동기된 때 초마다 각 위성 부이에서는 약속된 프로토콜(부이 ID, 쏜 시각, 부이 위치)로 CDMA로 송출하게 되며, 이렇게 할 경우 초음파 하이드로폰을 가진 수중체는 자신의 위치를 우리가 GPS를 가지고 알 듯이 알 수 있게 됨.
- 본 솔루션의 장점은 다수체가 있어도 위치 추적성능이나 갱신 주기의 저하가 전혀 일어나지 않는다는 점이지만 기술적 난이도가 상에 해당하는 솔루션임.

3.3.5 설계안 V

- 수심 10m 근처의 천해에서 작업 시에는 5번과 같은 솔루션이 가능함.
- 안테나와 같이 가느다란 폴대 끝단에 상용 DGPS를 장착하는 솔루션인데 수중체가 저속으로 움직여 유체와의 상대 속도가 그다지 크지 않거나 조류의 속도가 비교적 작은 곳에서 적용하면 편리하고 안정적으로 위치추적이 가능할 것으로 예상.
- 안테나가 휘어서 발생하는 오차를 보정하면 좀더 정밀한 위치 추적이 가능.

4

Underwater GPS

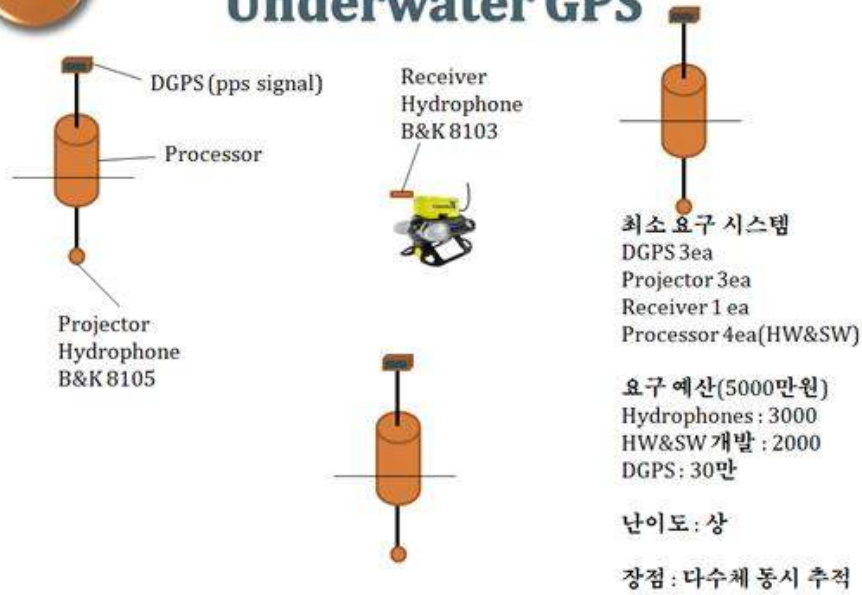


그림 3.3.4 수중위치 인식시스템 설계안 IV

5

Very shallow water

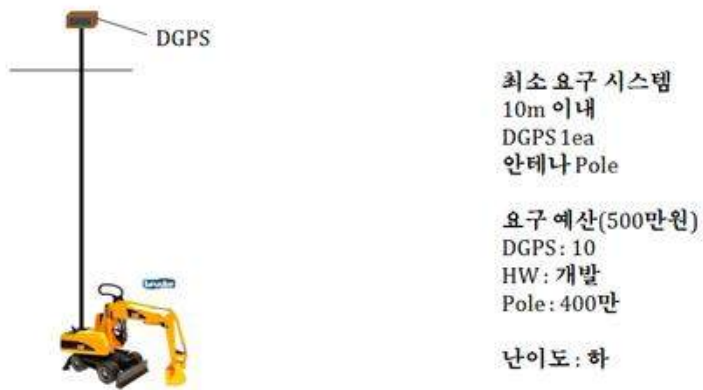


그림 3.3.5 수중위치 인식시스템 설계안 V

3.4 수중 물체 인식 시스템 개념설계

3.4.1 실내 탁도모형실험을 이용한 수중 카메라 광원의 위치 결정

(1) 서론

- 항만에서 사용되는 수중 건설장비를 안전하고 효율적으로 운전하기 위해서는 충분한 시계확보가 필수적임.
- 비교적 바닷물이 맑은 남해나 동해와 비교하여 서해는 30cm 앞의 사물도 분간하기 어려울 정도로 혼탁함.
- 해상 공사의 경우에는 탁도로 인해 시계가 떨어지며, 사물위치 파악 등의 어려움으로 인해 작업의 효율성이 떨어짐.
- 본 모형 실험에서는 개발 예정인 사색 고르기 장비를 고려하여 발생 탁도 별 식별력 향상을 위한 최적의 광원 위치를 확인해 보고자 함.

(2) 모형실험

1) 실험장치

- 모형실험을 위한 수조의 크기는 7m(L)x1.0m(W)x1.25m(H), 여기에 물을 0.8m까지 채운 후 실험을 수행. 실험장치의 단면도 및 현장 사진은 그림 3.4.1과 같음.



그림 3.4.1 실험장치 단면도 및 현장 사진



그림 3.4.2 실험에 사용된 테트라포드

- 수조의 왼쪽 끝면에 카메라를 설치하고 오른쪽 끝면에는 테트라포드를 위치. 카메라로부터 전송되는 영상정보는 정보수집장치로 이송되어 저장되도록 하였으며, 광원이 수조의 벽면과 수면에 반사되는 점을 고려하여 사물과 카메라의 위치는 영향이 가장 적은 가운데 (높이 30cm, 중간)에 위치시켜 실험 수행.
- 인식에 필요한 사물로서 항만 공사 시 사용되는 테트라포드(tetrapod)의 모형 (0.12m(L)x0.10m(H))을 사용 (그림 3.4.2).
- 실험변수는 탁도, 광원의 위치, 그리고 광원의 종류(3종류 파장의 적외선 램프 730nm, 840nm, 940nm와 LED램프) 등의 운용변수로 결정.

2) 예비실험

- 본 실험에 앞서 실험의 정밀도를 높이고자 예비실험 수행. 실험 결과, 그림 3.4.3과 같이 적외선 및 LED 램프의 크기가 너무 작아 큰 광원을 발생하지 못해 광원의 종류에 따른 변수 실험이 불가능함.
- 탁도는 서해의 경우와 유사하게 30cm 거리에서 사물을 인식할 수 없는 30 NTU 범위 내에서 카울린으로 탁도를 발생 시키고, 탁도값에 대한 오차를 줄이기 위해 한 탁도에서 탁도측정기(그림 3.4.4)로 3번 측정 후 평균값을 사용함.



그림 3.4.3 적외선 및 LED 램프와 카메라



그림 3.4.4 탁도 측정기

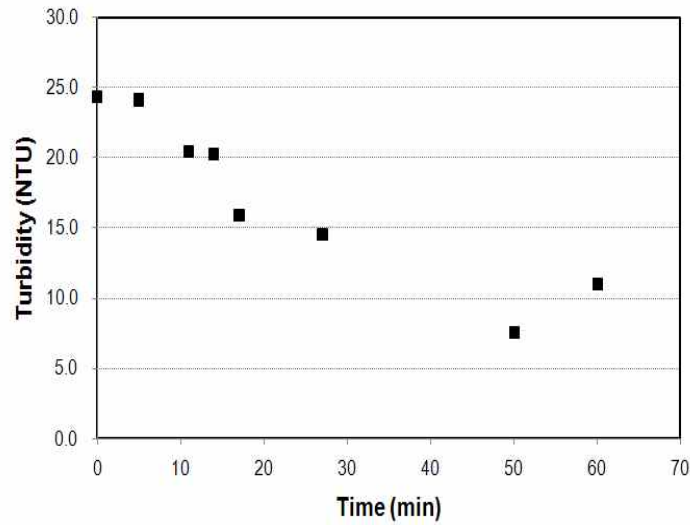


그림 3.4.5 시간에 따른 탁도 변화

- 수조에 카올리나이트를 첨가해서 탁도를 조성한 후, 얼마나 오랫동안 탁도가 유지되는지 알아보고자 시간에 따른 탁도의 변화를 측정. 그림 3.4.5에서 보듯이 탁도는 대략 4-5분 가량 유지되는 것으로 나타났으며, 따라서 최대 5분 이상 실험이 지속될 경우에 물을 혼합해 주기로 결정.

3) 본실험

- 수중에서 물체 식별은 사물과 그 배경의 밝기 차이 등에서 오는 대비(contrast)와 물체의 반사광이 관찰자로부터 오는 도중 발생하는 감쇠현상에 의해 좌우된다고 알려져 있음. 또한 감쇠현상은 수중을 혼탁하게 만드는 부유체나 용해물질 등에 의해 영향을 받게 되며 탁도(turbidity)나 입자상물질(particulate matter)에 의해 영향을 받음.



그림 3.4.6. Acuity와 contrast sensitivity 식별판

- 자체 제작한 식별판을 이용하여 vision acuity와 contrast sensitivity를 측정하고자 함. 수중에서 물체의 식별을 위해 가장 필요한 것은 contrast인 것으로 알려져 있어 투명도를 0에서 90까지 변화, 사이즈는 최소 2.5cm에서 최대 15cm까지의 범위를 측정 (그림 3.4.6). 그러나 물속에서는 식별판의 대비 현상이 뚜렷하지 못하여 비교 연구 실험이 불가능함.
- 광원을 실제 수중 고르기 장비 팔에 장착 시, 시야 확보에 효과적인 위치를 확인해 보고자 표 3.4.1과 같이 탁도별 광원의 위치를 크게 사물과 카메라에 인접한 경우로 구분하여 사물 인식 최대 거리를 확인.

표 3.4.1 Case에 따른 광원의 위치

	Case 1	Case 2	Case 3
광원의 위치 (사물에 인접)			
	Case 4	Case 5	Case 6
광원의 위치 (카메라에 인접)			

4) 실험순서

- 수조에 광원과 테트라포드를 원하는 위치에 고정시킨 후, 탁도를 발생시키기 위해 카울리나이트를 수조에 첨가, 이때 물의 탁도는 수조의 위치에 따라 다르게 측정될 가능성이 있으므로 항상 수조의 한가운데에서 채취하여 측정.
- 탁도 발생 후, 각 Case별로 카메라를 이동 시키면서 테트라포드 식별 가능한 최대거리를 영상정보를 통해 확인 및 기록.
- 카울리나이트를 첨가하여 위의 과정을 반복 (그림 3.4.7).

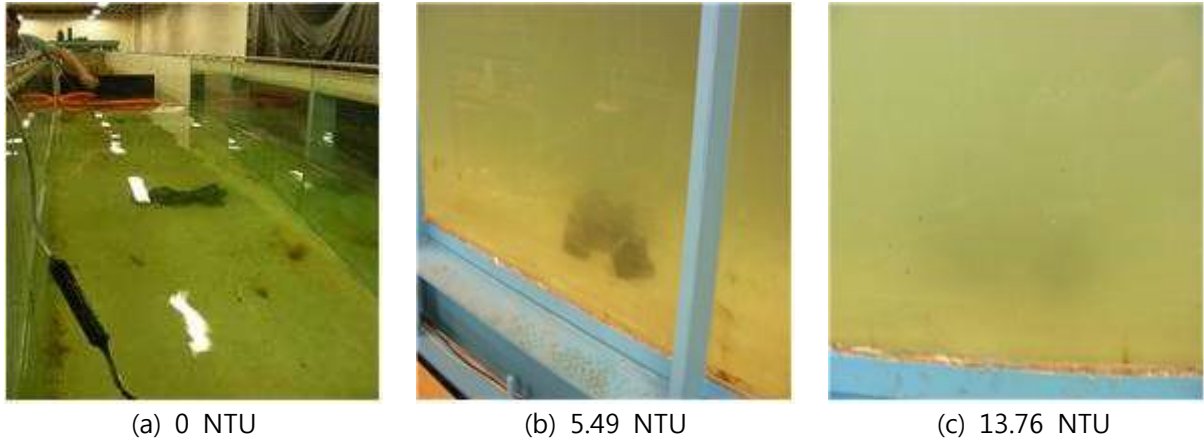


그림 3.4.7. 탁도 상태에 따른 물의 변화

(3) 실험결과

- 실험변수인 탁도 및 광원 위치에 따른 실험결과를 표 3.4.2에 정리.

표 3.4.2. 실험 결과

탁도 측정값							
2.08 NTU		3.84 NTU		5.49 NTU		7.25 NTU	
case	최대거리, m	case	최대거리, m	case	최대거리, m	case	최대거리, m
1	3.58	1	2.93	1	1.80	1	1.51*
2	3.76	2	3.50*	2	2.08*	2	1.55*
3	3.91*	3	2.66	3	1.81	3	1.56*
4	3.61	4	2.01	4	1.55	4	1.23
5	3.73	5	1.96	5	1.46	5	1.24
6	3.97*	6	1.86	6	1.34	6	1.11
탁도 측정값							
8.60 NTU		9.54 NTU		11.22 NTU		13.76 NTU	
case	최대거리, m	case	최대거리, m	case	최대거리, m	case	최대거리, m
1	1.27	1	1.03*	1	0.86*	1	0.51
2	1.33*	2	NG**	2	NG	2	NG
3	1.31*	3	1.08*	3	0.83*	3	0.64*
4	0.97	4	0.93	4	0.80*	4	0.57
5	1.01	5	0.97	5	0.78	5	0.65*
6	0.94	6	0.72	6	0.62	6	0.51

* 각 탁도별 시야 확보가 큰 경우

** 빛의 산란으로 인한 측정 불가능

- 분석 결과, 광원의 위치를 Case 3처럼 사물의 양방향 45°에서 빛을 비추는 경우가 대부분의 탁도에서 시야 확보 능력이 큰 것을 확인하였으며, 다른 경우와 비교하여 25~50% 정도 최대 거리가 개선됨을 확인. 그러나 빛의 산란현상으로 인하여 Case 2에서는 탁도 약 10NTU 부터 측정이 불가능하므로, 추가실험을 수행하여 Case 2와 3에 대한 비교 연구가 필요함.
- 실험에서 사용한 광량은 20W이며, 비교 연구를 위해 40W, 60W의 광량을 사용하였으나 Case 2와 경우와 동일하게 빛의 산란현상이 발생하여 분석이 불가능.

(4) 결론 및 향후연구

- 탁도가 심한 현장에서 수중 건설장비의 안전하고 효율적인 운전을 위해서는 시계 확보가 필수적이며, 현장에서 사물의 식별력 향상을 위한 광원의 위치를 확인해 보고자 모형 실험을 수행.
- 광원의 위치를 Case 3처럼 사물의 양방향 45°에서 빛을 비추는 경우가 대부분의 탁도에서 시야 확보 능력이 큰 것을 확인하였으며, 다른 경우와 비교하여 25~50% 정도 최대 거리가 개선됨을 확인.
- 본 실험에 사용된 테트라포드가 실제 현장에서 사용될 사석에 비해 너무 작으므로 사물의 크기효과 및 빛의 산란현상에 대한 추가 연구가 필요함.



그림 3.4.8 탁도 0.81 NTU 카메라 이미지



그림 3.4.9 탁도 3.17 NTU 카메라 이미지



그림 3.4.10 탁도 6.55 NTU에서의 소형 테트라포드 모형

3.4.2 탁도에 따른 카메라와 멀티빔 이미징 소나의 수중물체인식성능 정량적 평가

(1) 탁도에 따른 카메라의 영상비교

- 탁도에 따른 가시거리 예 (약 10cm 정도 크기 물체를 1m 앞에 위치함).

(2) 탁도에 따른 멀티빔 이미징 소나의 영상비교 (수조실험)

- 카울린을 증가시켜가면서 탁도 센서를 이용 탁도 계측 후 멀티빔 이미징 소나의 영상을 기록함. 일정 레벨 이상 지나면서 카울린이 가라 앉아서 탁도 유지의 어려움이 있었음.
- 대상 물체는 실제 사용되는 사석5개와 미니 테트라 모형 1개와 뒤쪽에 여러개를 동시에 기록하였음.

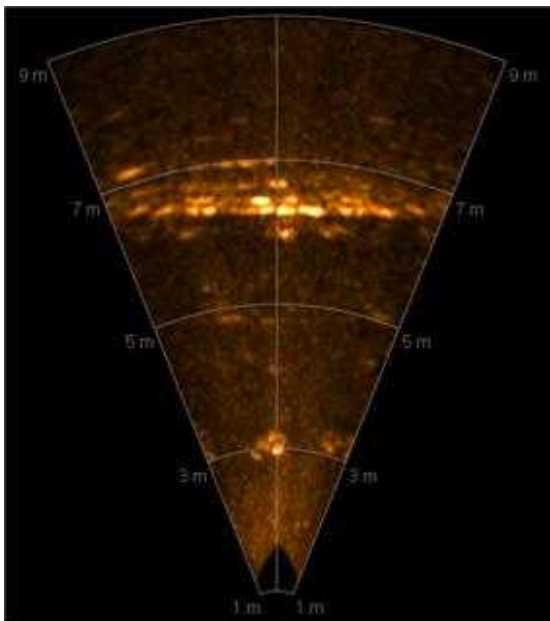


그림 3.4.11 탁도 3.58NTU, 사석 5개, 전방3m

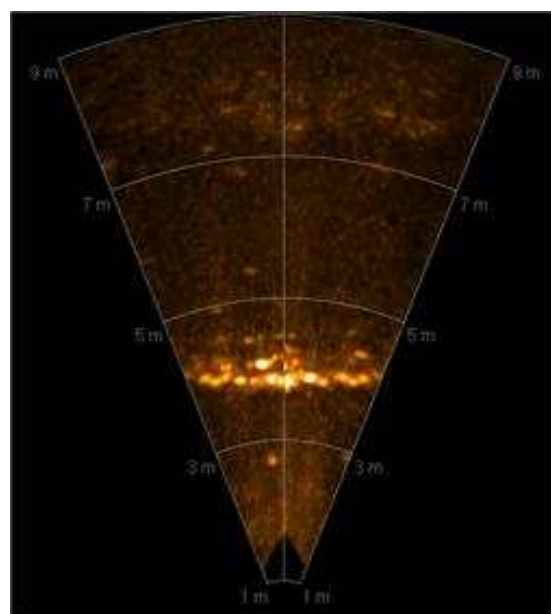


그림 3.4.12 탁도 3.58NTU
테트라포트 1개: 전방2.8m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

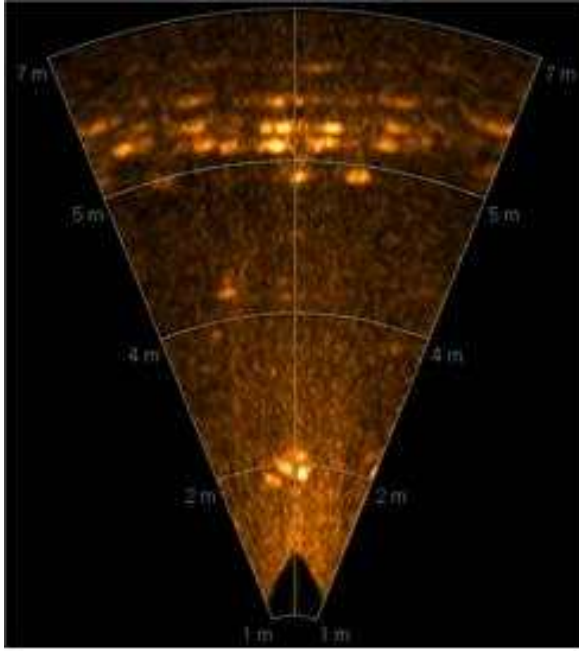


그림 3.4.13 탁도 6.20NTU, 사석 5개, 전방2m

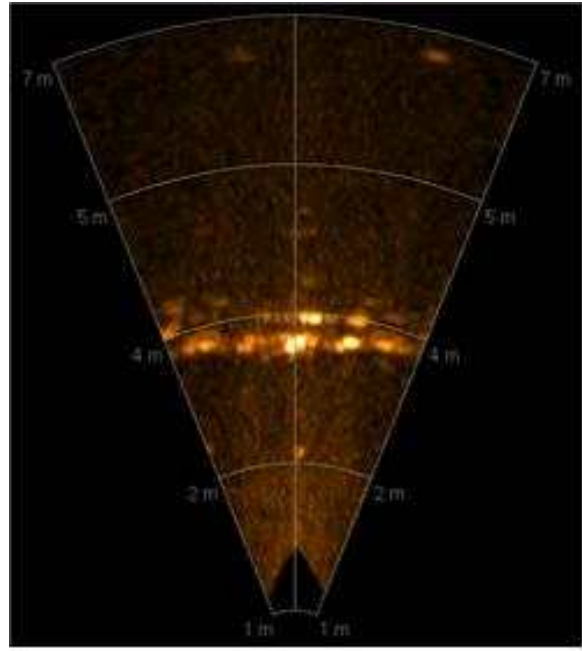


그림 3.4.14 탁도 6.20NTU
테트라포트 1개: 전방2.2m, 테트라포트 무더기:
전방 3.8m

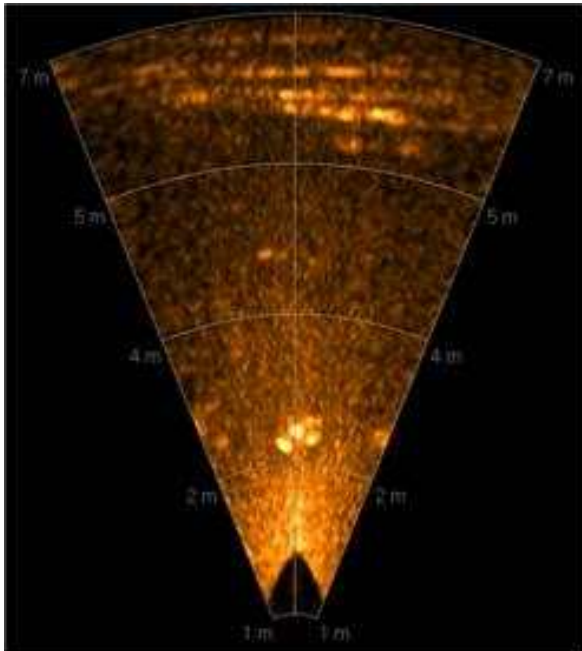


그림 3.4.15 탁도 8.47NTU, 사석 5개, 전방2.3m

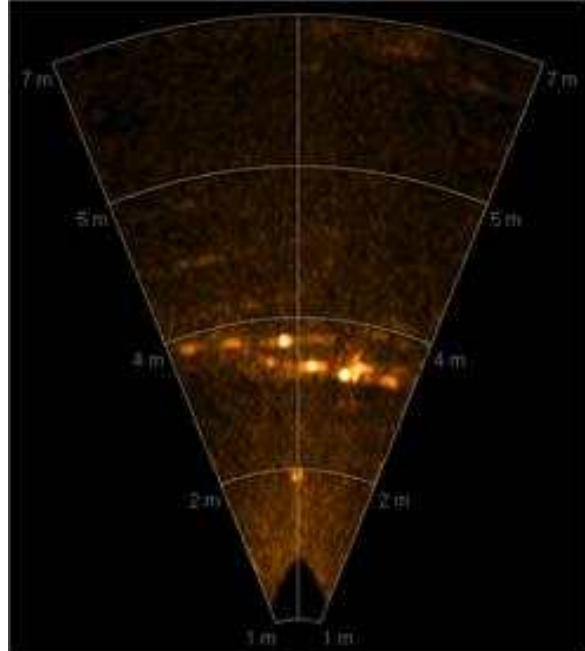


그림 3.4.16 탁도 8.47NTU
테트라포트 1개: 전방2m, 테트라포트 무더기:
전방 3.6m

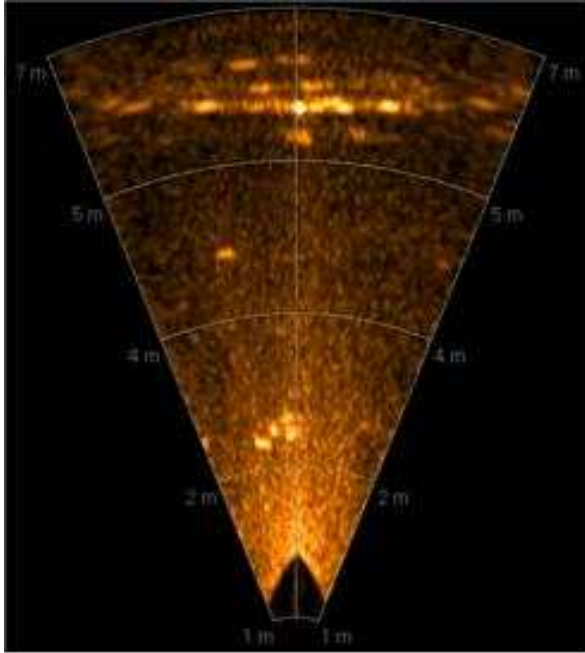


그림 3.4.17 탁도 12.21NTU, 사석 5개,
전방2.5m

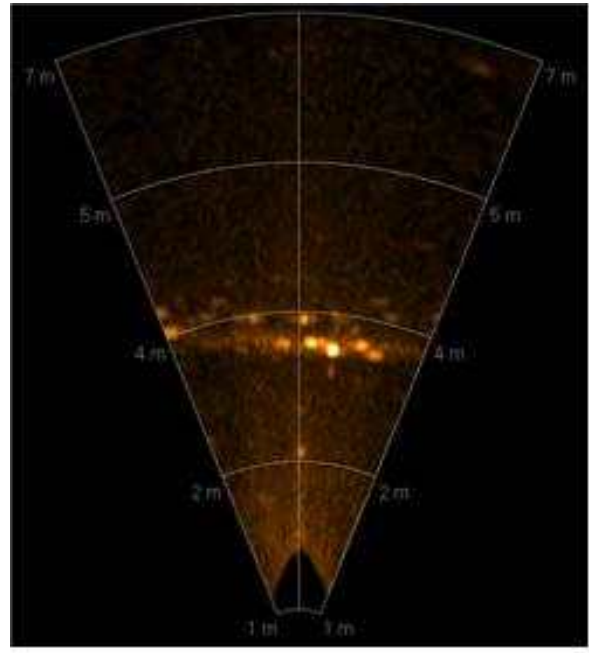


그림 3.4.18 탁도 12.21NTU
테트라포트 1개: 전방2.2m, 테트라포트 무더기:
전방 3.5m

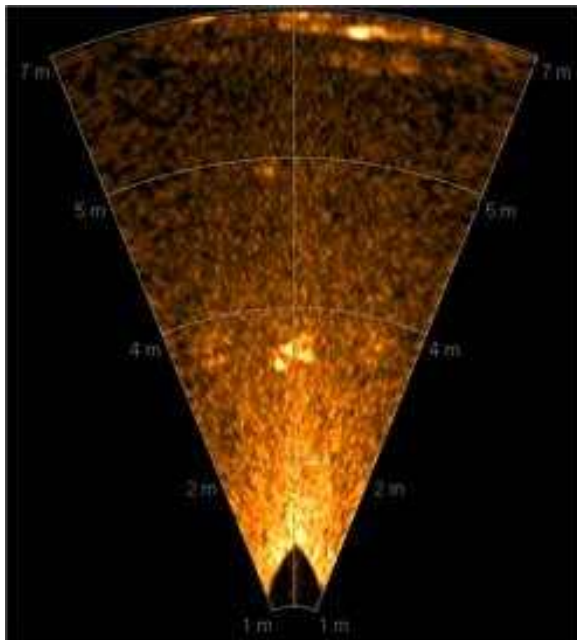


그림 3.4.19 탁도 13.29NTU, 사석 5개,
전방3.5m

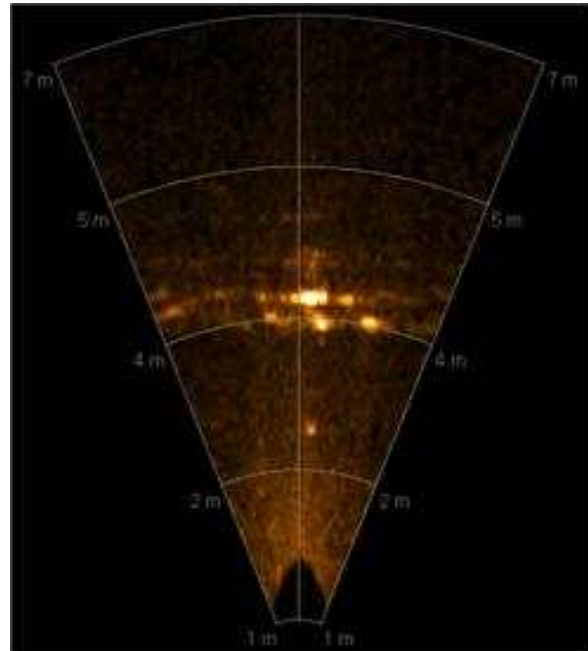


그림 3.4.20 탁도 13.29NTU
테트라포트 1개: 전방2.5m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

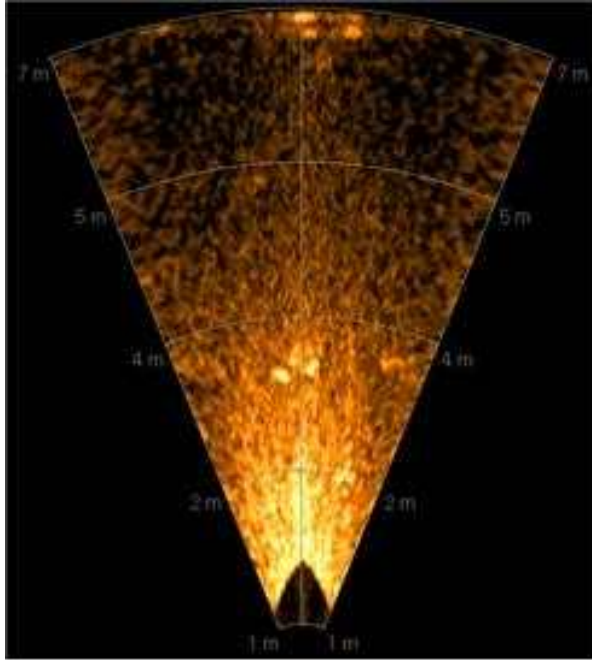


그림 3.4.21 탁도 16.65NTU, 사석 5개,
전방3.4m

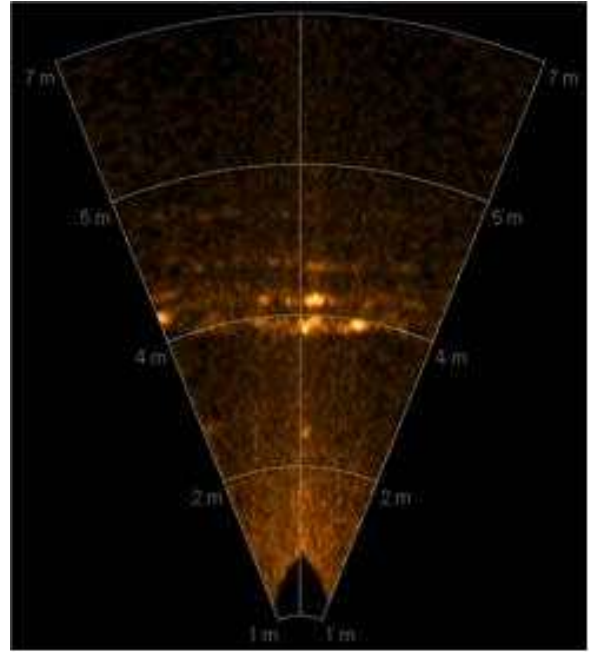


그림 3.4.22 탁도 16.65NTU
테트라포트 1개: 전방2.5m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

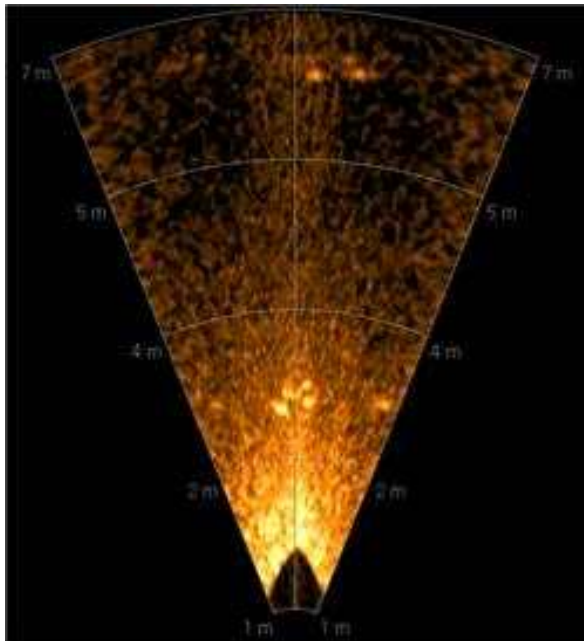


그림 3.4.23 탁도 19.36NTU, 사석 5개, 전방3m

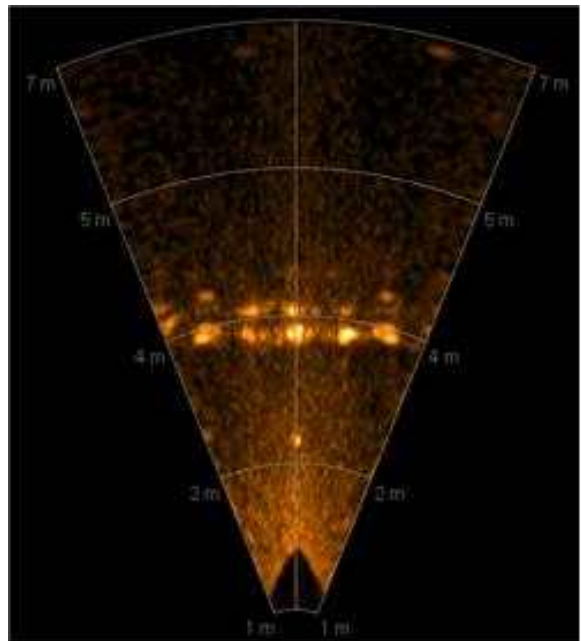


그림 3.4.24 탁도 19.36NTU
테트라포트 1개: 전방2.5m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

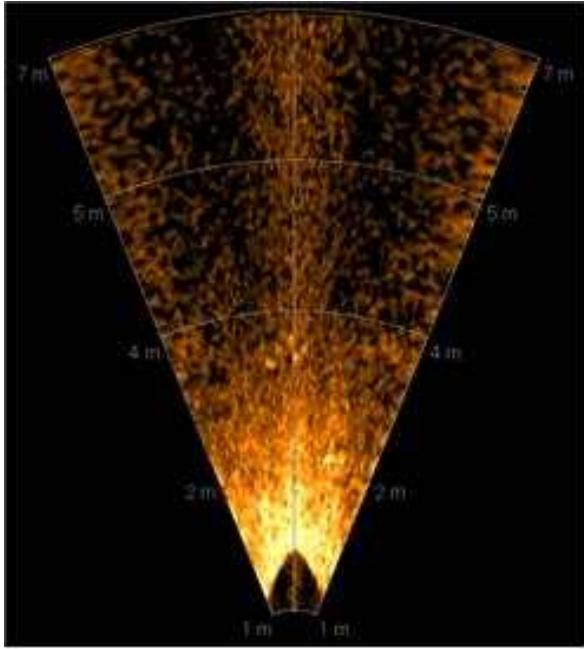


그림 3.4.25 탁도 27.15NTU, 사석 5개,
전방3.5m

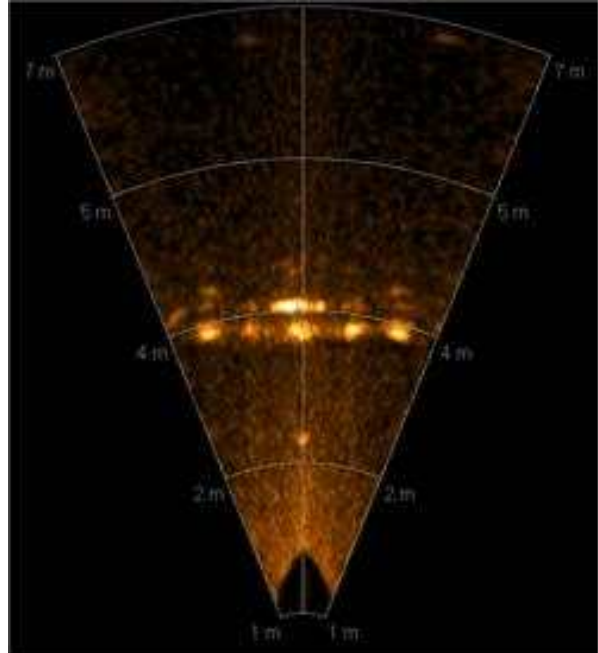


그림 3.4.26 탁도 27.15NTU
테트라포트 1개: 전방2.5m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

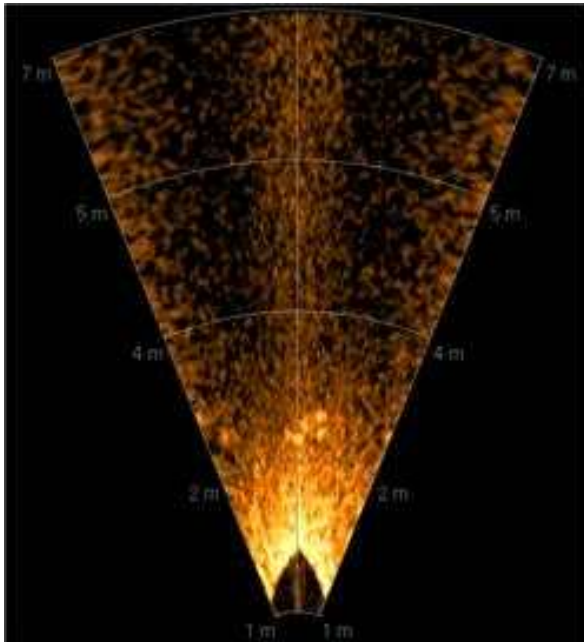


그림 3.4.27 탁도 31.1NTU, 사석 5개, 전방2.5m

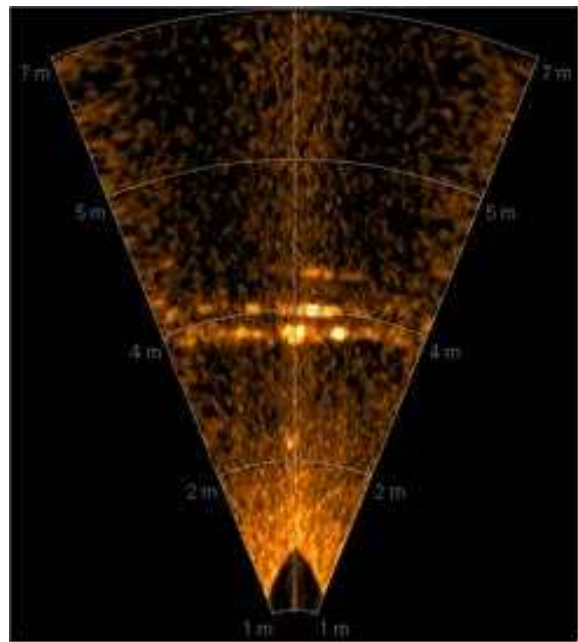


그림 3.4.28 탁도 31.1NTU
테트라포트 1개: 전방2.4m, 테트라포트 무더기:
전방 4m

- 탁도 31.1NTU는 서해의 탁도인 30.0NTU정도에 해당함. 정지 영상에서는 인식이 조금 힘들지만 동적 영상 하에서는 인식이 가능함.

3.4.3 수중 물체 인식시스템에 대한 개념설계

- 수중 물체의 경우 탁도만 심하지 않다면 수중 카메라를 활용하여 전방의 물체를 인식하는 것이 가장 확실하면서 효율적인 솔루션이 될 수 있음.
- 본 연구에서 고해상도 수중용 카메라를 실제 사석 현장에 적용한 결과, 수중 카메라의 경우 먼 거리까지는 볼 수 없지만 비교적 가까운 거리에 대해서는 선명한 영상을 확보할 수 있음.
- 어느 정도의 탁도가 있는 실해역 상황이나 사석 다지기 현장에서 수중의 환경을 안정적으로 인식하기 위한 가장 좋은 솔루션은 역시 멀티빔 이미징 소나를 활용하는 것임.



그림 3.4.29 수중 카메라 장치



그림 3.4.30 수중 카메라 활용 물체 인식 영상



그림 3.4.31 멀티빔이미징 소나(Blueview)

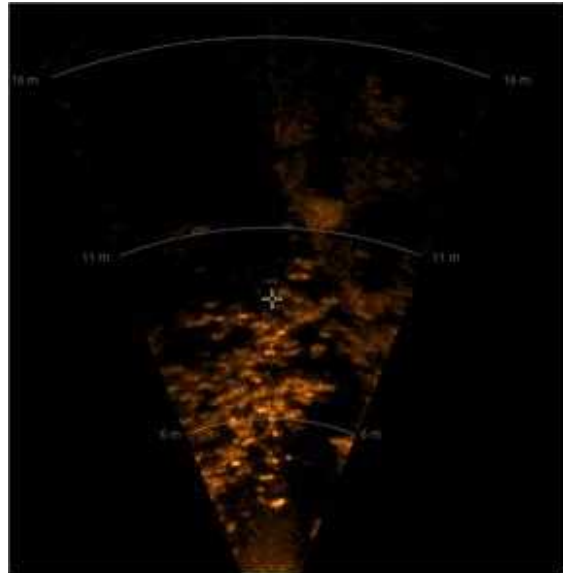


그림 3.4.32 멀티빔 이미징 소나 활용 물체 인식 영상

- 멀티빔 이미징 소나의 경우 실시간으로 전방의 해저 지형과 장애물 등을 탁도가 있는 상황(서해와 동일한 30NTU에서도 가능)에서도 이미지의 밝은 면과 그림자 정보

등을 이용하여 확인할 수 있는 장점이 있음.

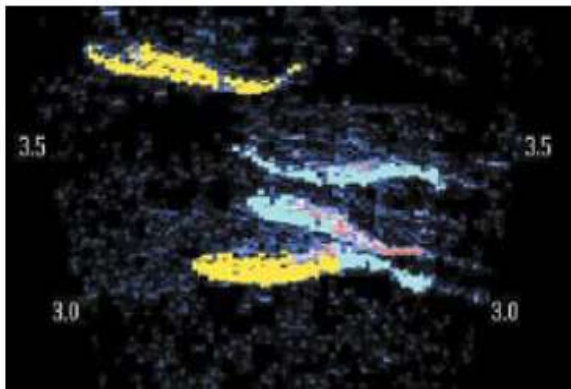
- 본 사업을 통해 개발되는 장비의 경우, 최적 탐지 거리가 10~20m 정도인 블루뷰 소나를 사석다지기 장비의 전방부에 장착하거나 천해의 경우 바지의 하단 폴대에 팬틸트와 함께 장착함으로써 수중환경을 실시간으로 인식하는 것이 가장 효율적인 방법임.
- 전방탐지소나를 멀티빔 소나 대신에 적용할 수도 있는데 전방탐지소나의 경우 레이더처럼 움직이기 때문에 수중체가 움직이는 동안에는 다소 인지가 어려울 수 있음.
- 하지만 수중용 작업 장비가 저속이고 탐지하는 동안 이동하지 않는다면 멀티빔의 대안으로 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 3.4.2절에서 수행했던 탁도에 따른 카메라의 영상비교 실험에서 알 수 있듯이 탁도가 6.5 NTU 이상에서는 일반 카메라를 이용하여 수중에서 물체를 인식할 수 없음.
- 또 다른 대안으로서의 DIDSON(Dual-frequency IDentification SONar)
 - 굉장히 높은 선명도를 가지고 있는 수중음파탐지기로서 광학적인 시스템으로 비효율적인 장소 즉, 어둡거나 탁도가 심한 물에서 사진과 유사한 이미지를 만들기 위해 음향 렌즈를 사용
 - 수중감시, 어장 관리, 군 및 민간 안전 관리, 수중 구조물 조사 등 다양한 방면에서 사용
 - DIDSON은 두 개의 종류로 구분 (standard 또는 split-body).
 - Split-body DIDSON은 작은 AUVs 또는 ROVs에 쉽게 부착되며, 700kHz~1.2MHz의 주파수로 낮은 분해능을 가지고 있으나 90m의 사정 범위를 가짐.
 - Standard DIDSON은 큰 잠수정, 댐 위, 강둑에 부착되거나 잠수 다이버가 직접 들고 다닐 수 있음. 이는 1.1~1.8MHz의 주파수로 가장 높은 분해능을 가지고 있으며 30m의 사정 범위를 가지고 있음.
 - 그림 3.4.33은 DIDSON 장비 및 영상 결과를 나타내며 이 제품의 가격은 93,000(USD).
- 이 외에도 일본 PARI에서도 활용한 바 있는 촉각센서를 이용한 지형분석 기법을 본 장비에 부착할 수 있음.



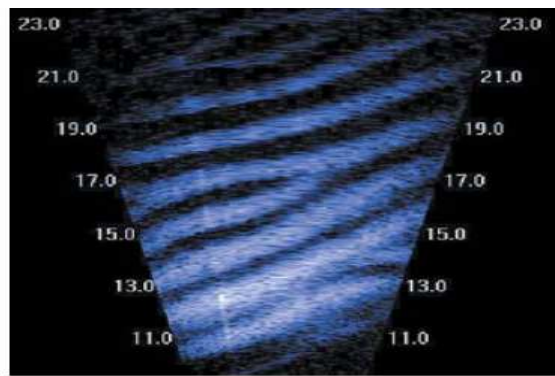
(a) standard DIDSON



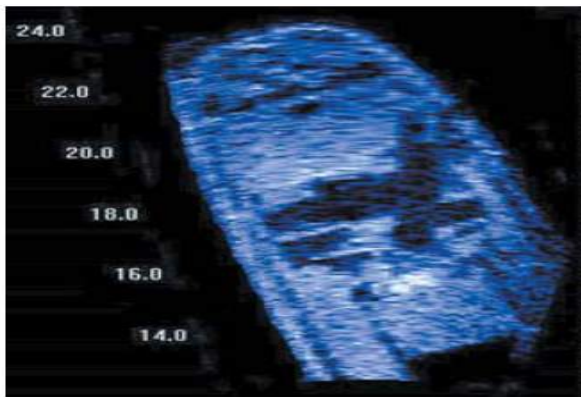
(b) Diver-held DIDSON



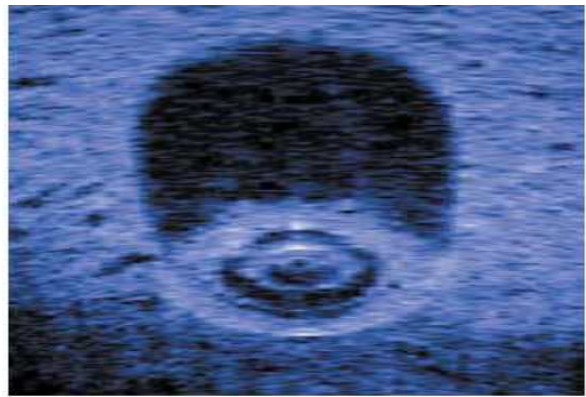
(c) King Salmon



(d) Sand ripples



(e) Lake Union wreck



(f) Automobile wheel

그림 3.4.33 DIDSON 장비 및 영상 모습

4. 운영시스템 설계

4.1 원격제어 H/W 및 S/W 사양 결정

4.1.1 원격제어 H/W 시스템 설계

- 선상 원격 제어시스템 개념 설계

- 카메라 및 소나장비를 이용한 수중 수공장비에 대한 실시간 모니터링
- HMI를 이용한 실시간 원격제어
- 작업관련 정보 실시간 저장

- 시스템 결정 사양

- 컴퓨터시스템 사양 결정
- 비디오시스템 사양 결정
- 주변기기시스템 사양 결정



그림 4.1.1 선상 원격 제어시스템 구성도

표 4.1.1 H/W 시스템 중요 결정 사항

구 분		개발 사양	비 고
컴퓨터 시스템	CPU	<ul style="list-style-type: none"> • Intel(R) Core Duo CPU, 3.16GHz 이상 • 메인 메모리: 2GB DDR2 SDRAM 급 이상 • 그래픽카드: Intel 945GMCH (GMA900)급 이상, 비디오 메모리-256MB 이상 	선박용 컴퓨터
	운영체제	<ul style="list-style-type: none"> • Windows 2000, XP 	
	주변기기	<ul style="list-style-type: none"> • USB, RS232/485 지원 • AD/DA 보드 탑재 • 마이컴, 스피커 • Ethernet 10/100, 무선LAN 지원 • 19인치 LCD모니터 3대 	
비디오 시스템	영상신호 선택기	<ul style="list-style-type: none"> • 입력 8채널 이상 • 화면분할기능 지원 	19인치 랙 규격
	무선 영상신호 수신기	<ul style="list-style-type: none"> • Stream 전송속도 10Mbps 이상 • 1:N 방식 지원 • 영상 지연시간 < 200ms 	
	비디오저장장비	<ul style="list-style-type: none"> • HDD 320G 이상 • RAM 1G 이상 • DVD-RW 기능 내장 	19인치 랙 규격
주변기 기 시스템	제어패널	<ul style="list-style-type: none"> • 전원 on/off를 포함한 다양한 스위치 기능 • 긴급상황 대응 보호회로 지원 • 조이스틱을 이용한 수중 시공장비 실시간 제어 	
	시리얼서버	<ul style="list-style-type: none"> • Auto-detecting 10/100 Mbps Ethernet • TCP/IP, UDP, 시리얼 모드 지원 • RS232/422/485 지원 • 16채널 이상 • ADDC(Automatic Data Direction Control) 기능 지원 	19인치 랙 규격
	통신모뎀	<ul style="list-style-type: none"> • 비디오 1채널 • 멀티빔 Ethernet 1채널 • 시리얼 MUX용 이더넷 1채널 혹은 시리얼 다채널 	

4.1.2 S/W 시스템 설계

- 운영소프트웨어 제어아키텍처 설계

- 계층구조(hierarchical architecture)와 행위기반구조(behavioral architecture)의 복합체인 복합제어구조(hybrid architecture)

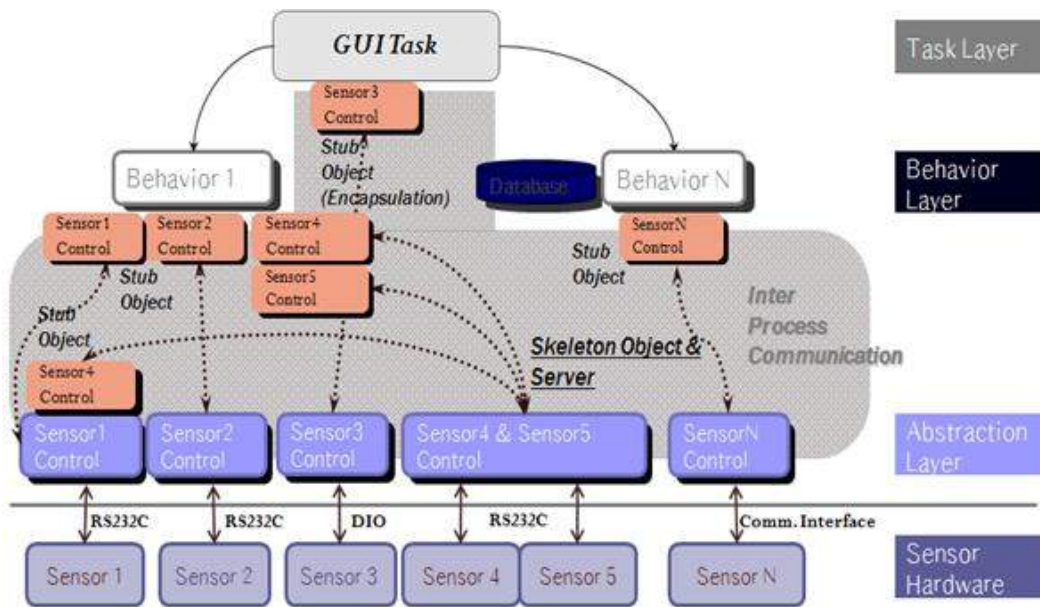


그림 4.1.2 운영 S/W 제어 아키텍처 구성도

4.2 시험용 원격제어 소프트웨어 개발

4.2.1 H/W 개발

수중 사석고르기 장비의 시험용 원격제어 운영시스템은, 수상에서 작업자가 원격으로 장비를 조작하고 그 결과를 모니터링 할 수 있도록 구성하였음

- 시스템 구성

- 1) 원격제어 운영시스템의 화면은 크게 2개로 구성되어 있음
 - 하나는, 모니터링 GUI(Graphic User Interface) 프로그램을 보여줌
 - 다른 하나에는 수중 사석 고르기 장비에 부착된 카메라 영상들이 영상신호 선택기를 통해 보여짐



그림 4.2.1 시험용 원격제어 운영시스템 구성도

- 2) 사석 고르기 장비에 장착되는 카메라는 최소 2대 이상이며, 카메라의 컬러 영상 신호가 RCA 단자를 통해 아날로그 형식으로 출력됨
- 이 신호를 컨버터를 통해 RGB 영상 신호로 변환하여 영상 신호 선택기의 입력으로 연결함
 - 영상 신호 선택기는 최대 8채널의 입력을 받아 출력할 수 있으며, 모니터를 연결하여 카메라 영상을 선택하여 볼 수 있도록 함

- 3) 모니터링 GUI 프로그램에서는, 수중 사석 고르기 장비의 자세 정보(Roll, Pitch, Yaw), 위치 정보(X, Y, Z) 및 각종 센서 값을 표시하여 작업자가 알 수 있도록 해줌
- 제어 패널 또는 PC 상에 연결된 조이스틱을 통하여 작업자의 조작 제어 입력을 받아 통신 프로토콜로 변환하여 사석 고르기 장비로 송신을 함
 - 또한, 장비로부터의 수신된 데이터를 분석한 후 장비의 상태를 화면상에 표시하는 기능을 가짐

○ 제어패널 제작

- 1) 제어 패널은 사석 고르기 장비가 가질 수 있는 기능을 모두 표현하고 있으며, 작업자가 이 제어 패널을 조작하게 되면 PC 상에 연결되는 디지털/아날로그 입출력 모듈을 통해 모니터링 GUI 프로그램에서 데이터를 받아 처리하도록 하고 있음

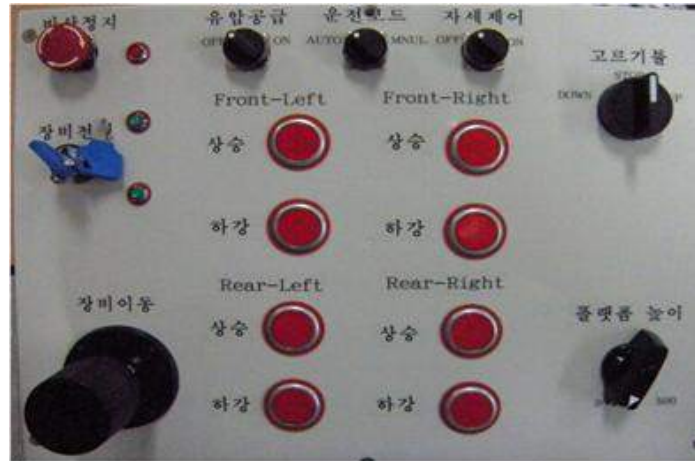


그림 4.2.2 제어 패널 구성도

2) 제어 패널의 구성은 다음과 같음

- 제어 패널은 크게 사석 고르기 장비를 이동시키고 궤도 높이를 조절하는 부분과, 장비의 상태를 제어하는 부분, 그리고 고르기 틀을 조작하는 부분으로 구성됨
- 장비의 이동은 산업용 조이스틱을 적용하여 전진과 후진, 좌우회전의 기능을 갖도록 하였음
- 또한, 장비를 이동시키는 3개의 궤도의 높이를 상하로 조절할 수 있는 버튼이 있음
- 장비의 상태를 제어하기 위한 2단 스위치는 각각 유압 공급 유무, 자동 및 수동 운전 모드 선택, 자동 자세 제어 유무를 선택할 수 있도록 하고 있음
- 사석 고르기 틀의 제어는 기본 정지 상태에서 위로 들어 올리거나 아래로 내리는 기능을 갖도록 하였음
- 그 이외에는, 제어 패널의 전원을 공급하는 스위치와 비상 정지를 위한 푸시 스위치로 구성됨

3) 제어 패널의 기능을 구현하는 스위치 및 조이스틱 등과 입/출력 인터페이스 모듈과의 결선도는 다음과 같음

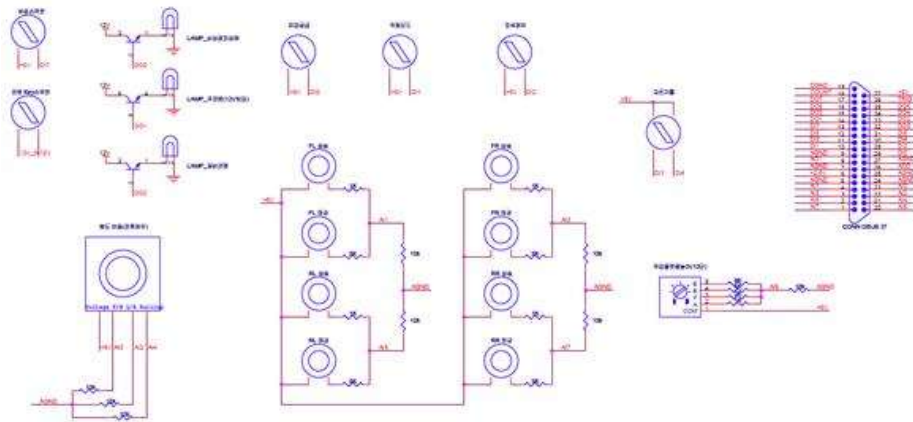


그림 4.2.3 제어 패널 결선도

- 입/출력 인터페이스 모듈은 각각 8채널의 디지털 입력과 8채널의 디지털 출력, 8채널의 아날로그 입력과 2채널의 아날로그 출력이 가능함
- 사석 고르기 장비의 상태를 제어하는 스위치는 디지털 입력으로 받아 처리를 하고 있으며, 장비를 이동하고 제도의 높이를 조절하는 부분은 아날로그 입력으로 변환하여 처리하고 있음

4) 제어 패널의 내부 배선은 다음과 같이 구성되어짐

- 제어 패널은 외부로부터 24V의 전원을 입력으로 받고 있으며, PC와의 통신은 USB로 연결됨
- 24V 전원은 내부에서 12V로 변환되어 사용되며, 수중 사석 고르기 장비의 유압 배압 펌프를 제어하기 위한 2개의 릴레이가 장착되어 펌프를 수동 및 자동으로 조절하는 기능을 가짐



그림 4.2.4 제어 패널 스위치 결선도



그림 4.2.5 제어 패널 인터페이스 모듈 연결

4.2.2 S/W 개발

○ GUI 프로그램 개발

모니터링 GUI 프로그램은 내부에 수중 사석 고르기 장비를 제어하는 프로토콜을 송수신하는 기능을 내장하고 있음

시험용 원격제어 모니터링 GUI 프로그램의 화면 구성은 다음과 같이 구성되어짐

- S/W 구조는 Model-View-Controller 패턴을 구현하여 개발하였으며, Model 부분에서는 3D 모델의 정보 구조체와 통신 프로토콜을 정의하였음
- View에는 화면상의 GUI에 해당하는 버튼 및 3D 그래픽을 구현하고 있음
- Controller에는 작업자로부터의 입력을 받는 화면상의 버튼 컨트롤과 조이스틱 입력, 제어 패널의 입력 및 통신 컨트롤을 구현하였음



그림 4.2.6 시험용 원격제어 모니터링 GUI 프로그램 화면 구성도

```

public class TransmitPacketInfo
{
    public byte TravelForward; // [0~255] level
    public byte TravelBackward; // [0~255] level
    public byte TravelLeft; // [0~255] level
    public byte TravelRight; // [0~255] level
    public byte OutTrackerState_FL; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_FR; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_RL; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_RR; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public short PlatformHeight; // 0~500 [mm]
    public bool Command_MaintainLevel; // On:1, Off:0
    public bool Command_SupplyOilPressure; // On:1, Off:0
    public bool Command_OperationMode; // Manual:1, Auto:0
    public byte Command_ShovelToolState; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
}

public class ReceivePacketInfo
{
    public short AngleRollDegree;
    public short AnglePitchDegree;
    public short AngleYawDegree;
    public float Length_FL;
    public float Length_FR;
    public float Length_RL;
    public float Length_RR;
    public float TankOilLevel;
    public bool Flag_Fault;
    public bool Flag_PumpRunning;
}

```

그림 4.2.7 송수신 패킷 프로토콜 구조체

통신 프로토콜은 참여기관(창원대학교)에서 제공한 사석 고르기 장비에서 사용하는 프로토콜을 기본으로 하고 있음

- GUI 프로그램과 장비와의 통신은 RS-422 규격으로 하며, RS-232 to RS-422 컨버터를 사용하여 19200bps의 속도로 PC와 연결됨
- GUI 프로그램으로부터 사석 고르기 장비로의 제어 송신 프로토콜에는 장비의 이동 및 궤도 높이 조절 명령과 유압 공급 여부, 수동/자동 운전 모드, 자동 수평 자세 유지 기능 등의 상태 제어 명령이 하나의 패킷으로 구성되어 전달되어짐
- 또한, 이러한 제어 명령에 대한 응답도 하나의 패킷으로 수신되며 이 패킷에는 장비의 위치, 자세 정보, 각종 상태 데이터 등이 포함되어 있음
- 이렇게 제어할 수 있는 최대 통신 주기는 10Hz임
- 통신 프로토콜에 의해 데이터를 주고받는 메커니즘은 타이머에 의해 주기적으로 실행되어 현재 제어 명령 상태 및 사석 고르기 장비의 상태를 저장하고 있음
- 이러한 구조는 타이머 단위만큼의 상태 정보가 지연될 수 있지만 View 부분에서 장비의 상태를 즉시 가져올 수 있는 장점이 있으며, 타이머를 빠르게 실행시키고 장비의 반응속도가 높지 않으면 실시간에 가까운 상태 정보 갱신이 이루어질 수 있음
- 이러한 구조와는 달리 작업자의 명령이 이루어질 때 통신을 개시하여 상태 정보를 수신 받아 처리하는 구조도 가능하나 이는 통신 지연이나 기타 실패가 발생했을 때 적절한 응답성을 제공하지 못하는 단점이 있음

화면 GUI를 표현하기 위하여 프로그램 개발은 C# 언어로 하였으며, 장비의 상태를 나타내기 위하여 Data Visualization 컴포넌트를 사용하여 표현하였음

- 사석고르기 장비의 3D 모델은 3DS 파일 포맷으로 생성되었으며, 장비의 각 파트별로 구분되어 표현되어 있고, OpenGL 컴포넌트를 사용하여 화면에 보여주도록 하였음
- 이러한 3D 모델은 장비로부터 수신 받은 현재의 상태 정보를 반영하여, 장비의 위치(X, Y, Z) 및 자세 정보(Roll, Pitch, Yaw), 궤도의 높이에 따라 움직임을 표현해주고 있음

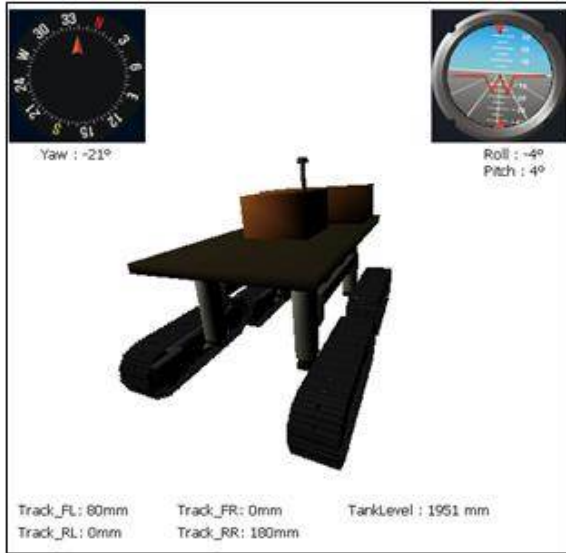


그림 4.2.8 수중 사석 고르기 장비의 3D 모델 디스플레이부



그림 4.2.9 장비 제어 버튼 컨트롤러

- 위 그림은 3D 모델을 디스플레이하는 화면을 나타내고 있음

운영시스템 프로그램의 컨트롤러로는 크게 3가지를 지원하고 있으며, 화면상의 버튼 컨트롤을 통한 제어 및 조이스틱 입력, 제어 패널에의 입력이 있음

- 화면상의 버튼 컨트롤은 사석 고르기 장비의 현재 상태를 나타냄과 동시에 제어 명령을 내릴 수 있도록 하였음

조이스틱에 의한 입력은 작업자가 직관적으로 제어할 수 있도록 기능을 할당하였으며, 스틱을 움직여서 장비를 이동시키고 주변 버튼으로는 장비의 상태를 제어할 수 있도록 하였음

제어 패널을 통한 입력은 PC와 연결되는 USB 타입의 입출력 인터페이스 모듈을 통해 이루어짐

- 제어 패널의 조이스틱 및 각종 스위치의 눌림을 전자적으로 변환하여 인터페이스 모듈의 디지털 또는 아날로그 입력으로 받아 PC로 전달하면, 운영시스템 프로그램에서는 전용의 드라이버를 경유하여 데이터를 전송받아 사용하게 됨

- 이러한 입출력 인터페이스 모듈의 디지털 입력 단은 전기적으로 풀업(Pull-Up) 상태이므로 스위치를 연결할 때 그라운드가 연결되게 하여 스위치 접속시 반전 입력으로 들어가게 됨

- 아날로그 입력의 경우에는, 기본적으로 전압이 플로팅(Floating) 된 상태이므로 조이스틱과 코드 스위치를 연결할 때 전기적으로 풀다운(Pull-Down) 상태를 만들어주어야 정상적인 신호 입력이 가능함



그림 4.2.10 조이스틱 조작에 대한 기능 할당

AI7	1	20	AI6
AI5	2	21	AI4
AI3	3	22	AI2
AI1	4	23	AI0
AGND	5	24	AGND
+2.5V	6	25	AGND
AGND	7	26	A00
AO1	8	27	AGND
AGND	9	28	DI0
DI1	10	29	DI2
DI3	11	30	DI4
DI5	12	31	DI6
DI7	13	32	DO0
DO1	14	33	DO2
DO3	15	34	DO4
DO5	16	35	DO6
DO7	17	36	TRIG
COUNT	18	37	+5V
DGND	19		

Signal Name	Reference	Direction	Description
AI<0...7>	AGND	Input	Analog Input Channels 0 through 7.
AO0, AO1	AGND	Output	Analog Input Channels 0 and 1.
AGND	-	-	Analog Ground.
DI<0...7>	DGND	Input	Digital Input Channels 0 through 7.
DO<0...7>	DGND	Output	Digital Output Channels 0 through 7.
DGND	-	-	Digital Ground.
COUNT	DGND	Input	Counter Input.
TRIG	DGND	Input	A/D External Trigger.
+2.5V	AGND	Output	2.5V DC Voltage Output.
+5V	AGND	Output	5V DC Voltage Output.

그림 4.2.11 입출력 인터페이스 모듈 사양

운영시스템 프로그램의 컨트롤러 부분은, 제어 패널 입력이 우선되며 만약 제어 패널이 없을 경우에는 조이스틱에 의한 입력을 사용하게 되며, 가장 하위 순위로 화면상의 컨트롤 입력이 있게 됨

- 이러한 여러 입력 방법에 의해 작업자가 조작 명령을 내리면 통신을 컨트롤하는 파트에서 데이터를 우선순위에 의해 취합하여 통신 프로토콜 상의 전송패킷으로 변환하여 사석 고르기 장비에 전달하게 됨

5. 시험용 장비 개발

3D CAD 프로그램을 이용하여 시험용 장비를 설계함.

- 시험용 장비 제작을 위한 2차원 도면 생성

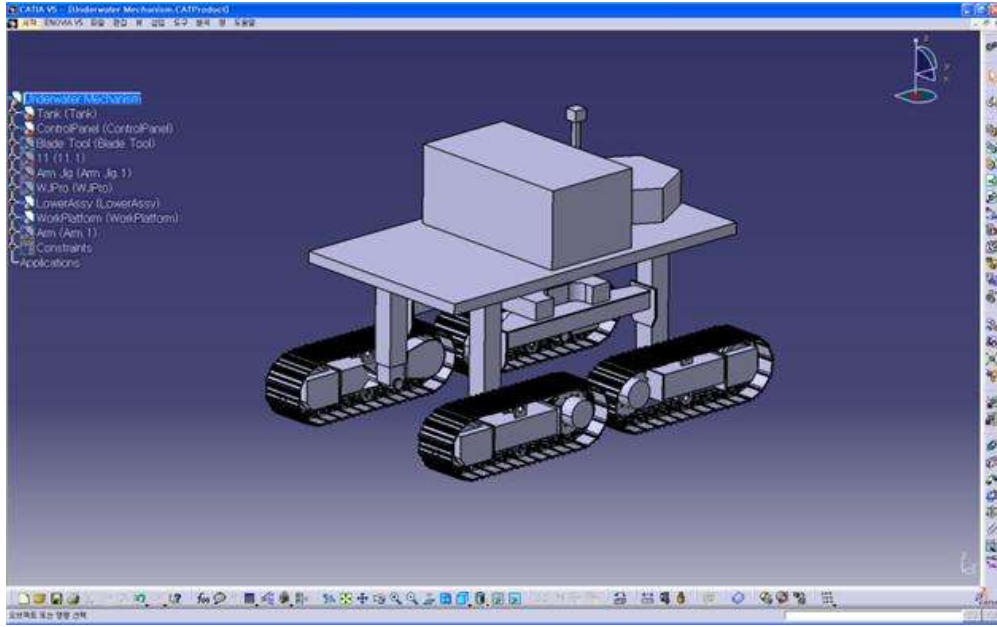


그림 5.1.1 3D CAD 프로그램을 이용한 시험용 장비 설계

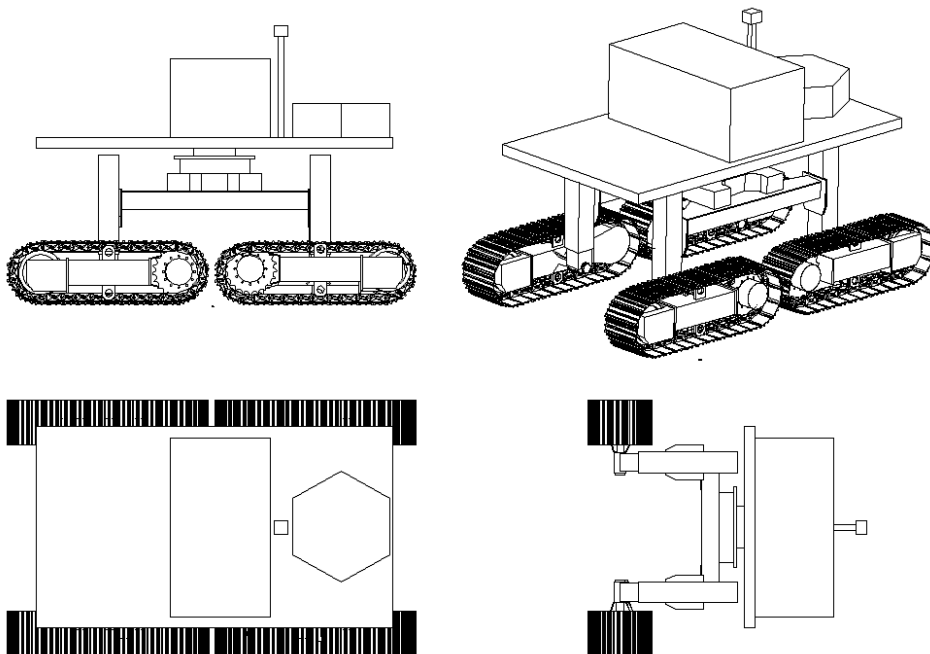


그림 5.1.2 전체 제작도

당해연도 개발 장비는 본격적인 수중장비 개발 전 성능을 검증하기 위한 육상용 시험장비로 육상 시험 작업에 적용되므로 상용 굴삭기 중 02급의 규모를 가지도록 장비 설계 사양을 결정함. 주 시험 작업은 블레이드를 이용한 지면 고르기 작업으로 다음과 같은 기능을 갖추도록 함.

- 트럭에 실어서 옮길 수 있는 외형 치수와 중량
- 지면의 다량의 사석을 충분히 밀고 갈 수 있는 주행 능력
- 지면의 굴곡에도 작업 플랫폼의 자세를 일정하게 유지할 수 있는 서보 지지다리 위의 조건을 만족할 수 있는 장비 설계 사양을 표 5.1.1과 같이 결정.

표 5.1.1 장비 설계 사양

번호	항목	규격		비고	
		가로	세로		
1	외형치수	가로	3,692mm		
		세로	2,220mm		
		높이	1,800mm		
2	유압액추에이터	주행 모터	TYPE	AXIAL PISTON	
			DISPLACEMENT	37.2 cc/rev	
			MAX. SUPPLY FLOW	50.4 l/min	
			MAX. OUTPUT SPEED	25 rpm	
			MAX. OUTPUT TORQUE	668 kg.m	
		지지다리용 실린더	ROD DIA.	50mm	
			TUBE DIA.	65mm	
			MAX. SUPPLY PRESSURE	210 kg/cm ²	
			stroke	500mm	
		블레이드용 실린더	ROD DIA.	60mm	
			TUBE DIA.	90mm	
			MAX. SUPPLY PRESSURE	210 kg/cm ²	
			stroke	200mm	
3	중량	5.5ton			

5.1 착저형 이동 시스템 설계 및 개발

5.1.1 착저형 이동 시스템 설계

착저형 이동 시스템은 지형의 굴곡에 능동적으로 적응할 수 있도록 4개의 궤도형 유압 주행 장치로 구성함. 또한 외부의 충격이 유압 모터에 직접적으로 전달되지 않게 하기 위해 주행 모터를 안쪽으로 배치함.

지형 굴곡에 적응을 위해 각각의 높이 조절이 가능한 서보 지지다리를 가지고 있으며 아웃트리거형 지지다리와 궤도형 유압 주행장치는 회전 조인트로 연결됨.

궤도형 주행 장치는 지형을 굴곡에도 많은 지지 면적을 확보할 수 있도록 설계됨.

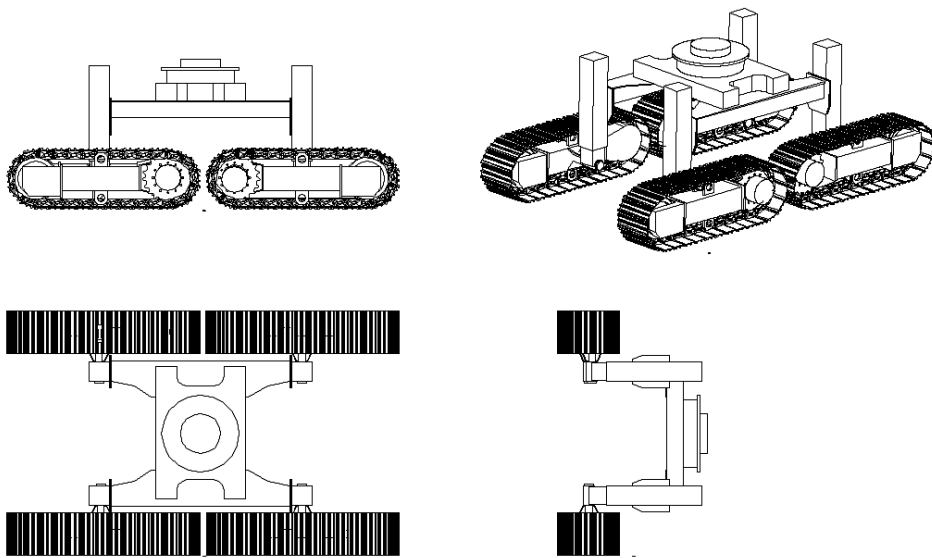


그림 5.1.3 착저형 이동 시스템 설계

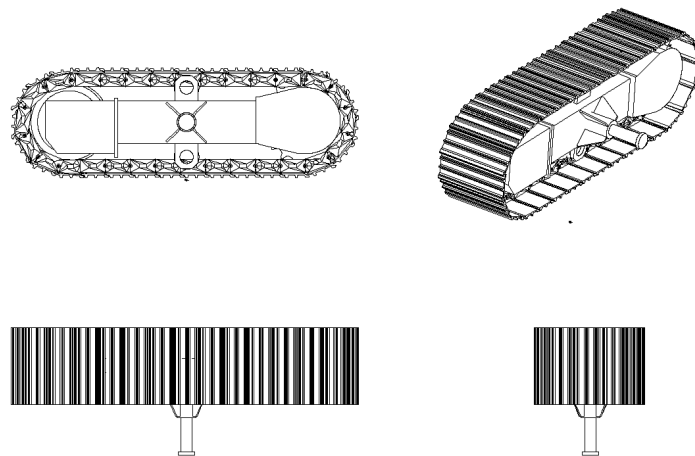


그림 5.1.4 궤도형 유압 주행 장치 설계도

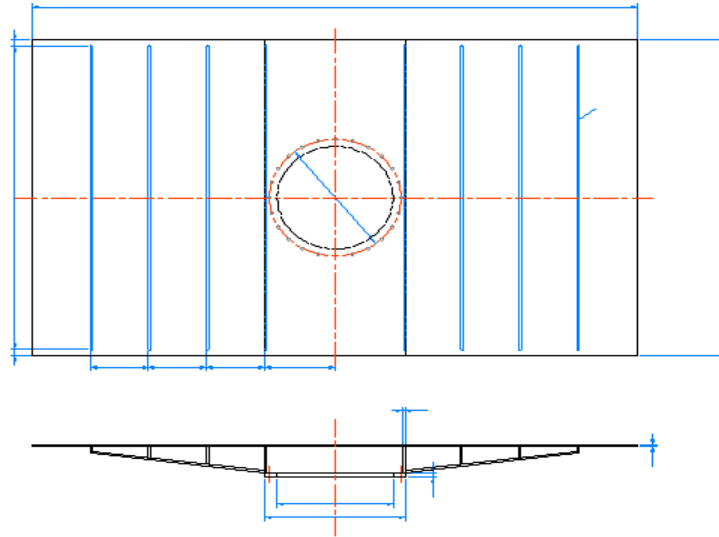


그림 5.1.7 작업 플랫폼 설계도

작업 플랫폼은 그림 5.1.7과 같이 3200(L) x 1800(D) x 150(H)mm의 용접 구조물로 작업시 발생하는 부하를 견딜 수 있도록 내부에 힘살을 설치하여 강성은 크게 하면서 중량을 최소화하도록 설계. 작업 플랫폼은 하부에 장비 몸체부와 조립될 수 있도록 설계되었으며, 상부에는 구동용 제어기, 센서, 배압 탱크 등이 설치됨.

5.1.2 착저형 이동 시스템 개발

- 장비를 그림 5.1.8과 같이 개발함.
- 장비 구동을 위한 유압 배선 연결.
- 작업 플랫폼 상부에 구동용 제어기 및 유압 구동 밸브 박스를 설치.
- 육상 시험을 위해 블레이드 추가 개발.



그림 5.1.8 제작된 장비



그림 5.1.9 궤도형 유압 주행장치 몸체

- 4개의 궤도형 유압 주행장치를 그림 5.1.9와 같은 형태로 제작
- 주행 모터와 감속기, 주행장치 몸체 등으로 구성.
- 높이 조절용 아웃트리거형 지지다리는 중량의 장비를 지지할 수 있도록 그림 5.1.10과 같이 제작됨.
- 지지다리 내부에는 유압 실린더 전문업체에서 유압 서보 실린더를 설계/제작하여 조립함.
- 유압 서보 실린더는 내부에 실린더의 길이를 실시간으로 측정한 전기신호를 구동제어기로 입력함.



그림 5.1.10 높이 조절용 아웃트리거형 지지다리



그림 5.1.11 지지다리와 궤도형 유압 주행장치 연결 조인트

- 지지다리와 궤도형 유압 주행장치 사이의 연결 회전 조인트는 그림 5.1.11과 같이 제작함.
- 회전운동이 원활히 이루어질 수 있도록 회전조인트 내부에는 MC 베어링을 제작/조립함.
- 궤도형 유압 주행장치가 지형 변화에 잘 적응하도록 제작함.
- 장비 몸체는 주행 또는 작업할 때 발생하는 부하를 견딜 수 있도록 용접구조물로 그림 5.1.12와 같이 제작됨.
- 작업플랫폼 및 지지다리과의 조립성을 고려하여 제작됨.

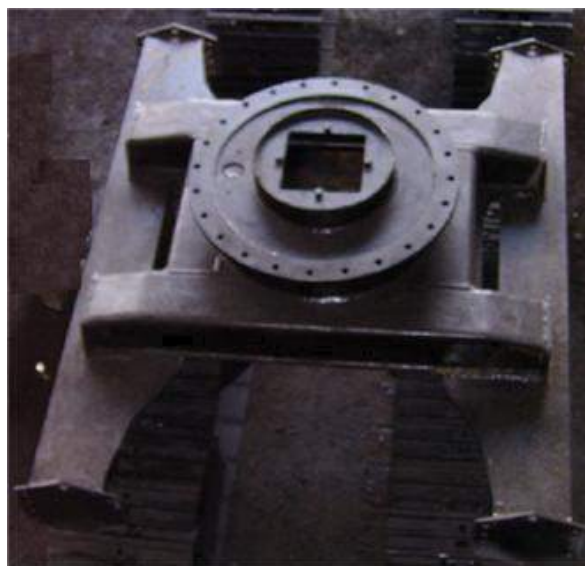


그림 5.1.12 장비 몸체



그림 5.1.13 작업플랫폼

- 작업 플랫폼은 강성을 고려해서 내부 보강살을 설치하였으며 중량을 최소화할 수 있도록 그림 5.1.13과 같이 제작됨.

5.1.3 유압시스템 개발

- 육상 시험용 고르기 장비의 유압시스템은 주행 모터 제어를 위한 서보 4축, 아웃트리거 제어를 위한 서보 4축, 블레이드 및 배압탱크 제어를 위한 시퀀스제어 2축 으로 구성됨.
- 유압서보제어를 위해서는 고가의 유압서보밸브가 요구되나, 본 연구에서는 주행 모터의 제어 시 요구되는 주행동기 회로, 액추에이터의 완만한 시작/정지 기능(Soft Start/Stop)이 내장된 범용 메인콘트롤 밸브(MCV)를 사용하며, MCV의 제어는 파일럿 압력으로 제어가 가능한 모델로 선정함(그림 5.1.14(a)).
- MCV의 제어입력인 파일럿 압력 공급은 SUN hydraulic사의 PRDP-MEN 서보 밸브(그림 5.1.14(b))를 사용하고 이에 맞는 유압배선을 수행하였음.



(a) 메인콘트롤 밸브(MCV)



(b) 파일럿 제어용 서보 밸브

그림 5.1.14 유압서보 제어를 위한 밸브

- 일반적인 굴삭기는 유압펌프에서 토출되는 두 개의 유압(P1, P2)을 공급받아 하나의 메인콘트롤 밸브(MCV)에 공급되고, MCV내부 두개의 주행밸브 및 주행 동조회로를 통해 2개의 궤도를 구동시키도록 구성됨.
- 본 연구에서는 두개의 공급유압과 두개의 MCV로 네 개의 궤도를 구동시키기 위해 그림 5.1.15와 같은 유압회로를 구성.
- 두 개의 유압원(P1, P2)은 각각 하나의 MCV로 분기되어 결선되며, MCV에 포함된 각각의 주행밸브는 하나의 궤도에 연결. 즉, MCV의 출력인 A1, B1, A2, B2, A3, B3, A4, B4를 유압모터의 입력 a1, b1, a4, b4, a2, b2, a3, b3에 각각 연결.
- 유압을 분기시켜 사용하는 경우 분기된 유압은 부하가 적은 쪽의 액추에이터만을 구동시키는 현상을 발생시킴. 즉, 지면에 닿아있지 않는 등의 이유로 부하가 적은 궤도를 우선적으로 구동시키는 상태가 되어 지면에 닿은 궤도는 주행력을 얻지 못하는 조건이 발생. 고르기 장비와 같이 4개의 궤도를 구비한 장비에 있어 적어도 3개의 궤도는 지면에 닿아있으며, 지면에 닿지 않는 궤도와 분기 연결된 궤도는 구동되지 않을 수 있음. 그러나 도4의 구성은 좌측 두 개의 궤도 중 적어도 지면에 닿은 하나이상의 궤도가 구동되며, 우측 두 개의 궤도 중 적어도 지면에 닿은 하나이상의 궤도가 구동되도록 회로를 구성함. 그러므로 지면에 닿지 않은 궤도가 있더라도 주행이 가능함.
- 또한 주행 모터의 드레인 라인과 파일럿 제어용 서보밸브의 리턴라인(T)라인 등은 압력이 거의 0Bar에 가까워야 함. 만약 압력이 높아진다면, 모터의 내구성에 영향을 줄 수 있고, 제어용 서보밸브의 오동작을 초래함. 이를 방지하기 위해 배압탱크를 개발함.

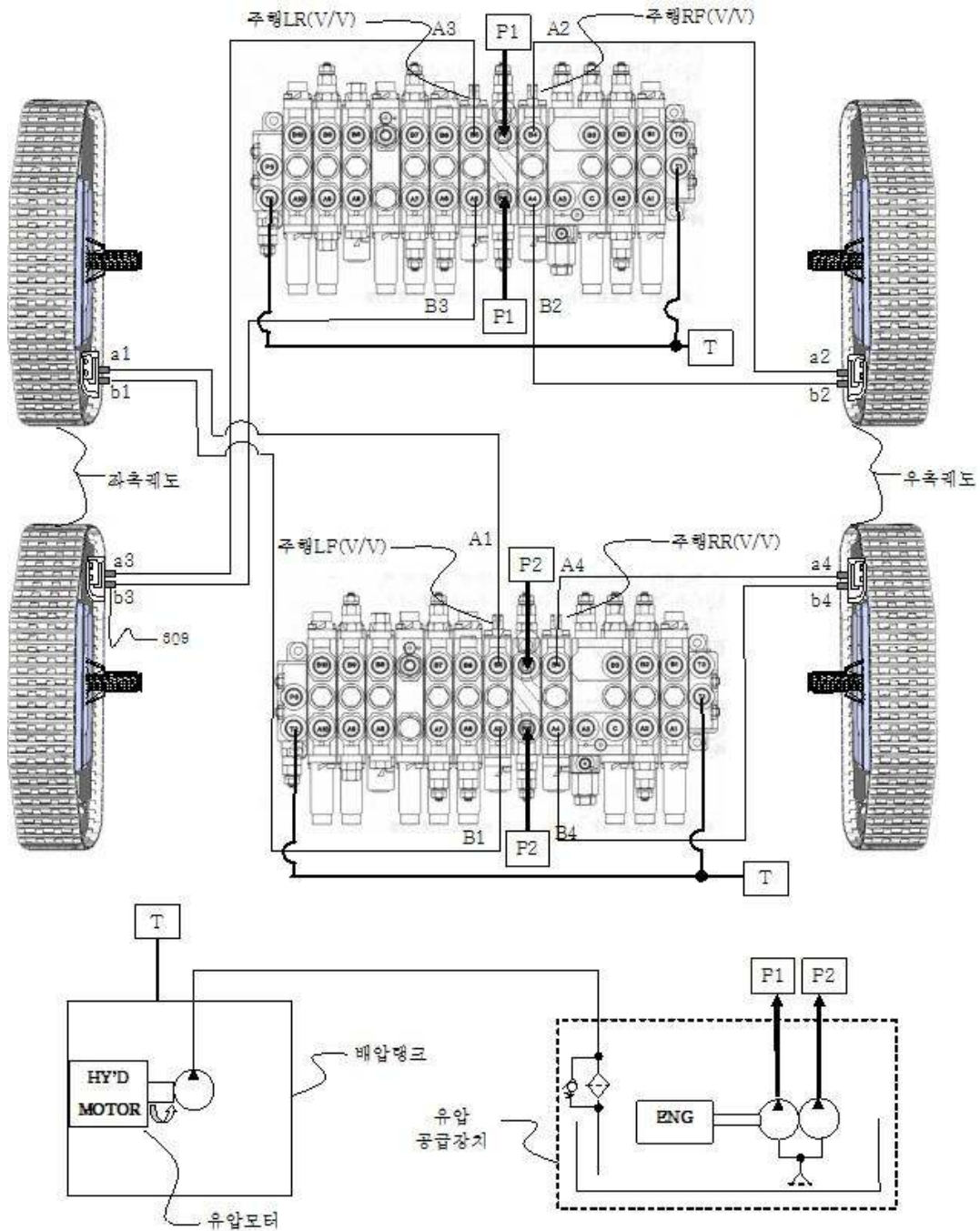


그림 5.1.15 주행게도의 유압회로 구성도

- 배압 탱크를 그림 5.1.16과 같이 제작함.
- 배압 탱크는 유압밸브 블록의 개수를 고려하여 T입력 포트는 4개까지 연결할 수 있도록 제작함.
- 복귀라인으로부터 유체가 탱크에 들어오면 이를 유압공급장치로 다시 보내기 위한 내부 구성은 (b)와 같음. 이는 오일필터, 유압펌프, 유압모터로 구성되는데 유량, 유압 및 설치공간을 고려하여 탱크 내부에 설치되는 형태로 구성함.



(a) 배압 탱크



(b) 배압탱크 내부구성

그림 5.1.16 배압탱크

- 장비에 유압을 공급하는 유압공급장치는 공동연구기관에서 보유하고 있는 것을 활용함.
- 보유중인 유압공급장치는 그림 5.1.17와 같으며, 08급 펌프를 장착하고 있어, 유압공급 시스템의 사양에서 제시한 압력($350\text{kg}/\text{cm}^2$), 토출량($240\text{L}/\text{min}$)을 만족함.



그림 5.1.17 유압공급장치

5.2 장비 구동용 제어기 및 원격 조종 장치 개발

5.2.1 개요

육상의 원격 조종 장치와 고르기 장비는 약 30m이상의 원거리에 위치. 구동용 제어기는 액추에이터 구동을 하는 유압 밸브에 제어신호를 공급하고, 유압 밸브와 액추에이터는 유압 라인으로 연결. 따라서 제어기와 장비가 원거리에 놓이게 될 경우 많은 신호선이 필요하며 유압 라인이 길어져야 하므로 노이즈에 취약해지고 유압 회로가 복잡해지며 응답시간이 길어 짐. 본 과제에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 구동용 제어기를 그림 5.2.1과 같이 개발하여 장비에 탑재. 구동용 제어기의 주요 기능은 다음과 같음.

- 1) 조종 장치의 구동신호를 통신으로 수신하여 각 액추에이터 구동
- 2) 장비에 장착된 각 센서 신호를 입력받아 제어입력으로 사용하고, 모니터링을 위해 조종 장치로 송신
- 3) 사석면의 높낮이에 대응하여 고르기 틀을 항상 수평으로 유지하기 위한 수평자세 유지제어
- 4) 장비의 이동시스템이 직선주행 또는 명령에 따른 선회가 가능하도록 하는 주행 방향 제어
- 5) 배압 탱크의 유위 조절제어



(a) 구동용 제어기



(b) 구동 전장 내부



(c) 구동 전장 외부

그림 5.2.1 고르기 장비 구동 전장

5.2.2 장비 구동용 제어기 개발

(1) 제어시스템 구성도

구동용 제어기는 그림 5.2.2와 같이 원격 조종 장치의 구동명령을 RS422 통신으로 입력 받아 아웃트리거 및 주행궤도를 제어하기 위한 서보 제어기, 고르기 툴 및 배압용 유압 모터를 구동하기 위한 시퀀스 제어기와 각 센서 값을 입력받는 센서 입력부로 구성. 원격 조종 장치는 패넌의 조이스틱, 버튼 및 셀렉터 등의 명령을 정해진 프로토콜로 패킷화하여 구동용 제어기에 전송. 구동용 제어기는 수신된 구동 명령을 해석하여 각 액추에이터를 제어. 서보 제어기는 프로포셔널 밸브의 출력 압력을 가변적으로 제어하여 아웃트리거 및 주행궤도의 속도를 조절. 이때 수평유지제어는 지형이 고르지 못하더라도 항상 고르기 툴이 수평을 유지할 수 있도록 4개의 아웃트리거 길이를 적절히 조절. 주행 컨트롤러는 장비가 직선주행 및 선회동작을 할 수 있도록 좌/우 4개의 궤도를 제어. 센서 입력부는 장비의 위치, 자세 및 액추에이터의 길이 값들을 입력받아 장비의 형상값을 원격 조종장치에 전송하고 수평유지제어, 주행제어를 위한 제어입력으로 사용.

(2) 프로세스부

프로세스부는 CPU, Analog I/O, Digital I/O, Communication, Memory 등으로 그림 5.2.3과 같이 구성되며 CPU는 TMS320F28335를 사용하여 장비의 서보/시퀀스 제어 및 통신 등을 60Hz 이상으로 수행할 수 있는 성능을 가지고 있음. 각 사양은 표 5.2.1과 같으며 다음의 기능을 수행.

- 1) 프로세스는 장비 제어 알고리즘 수행을 위한 산술 연산과 삼각함수 연산 등을 수행. TMS320F28335는 이를 60Hz 이상으로 연산할 수 있는 성능을 가지고 있음.
- 2) Analog I/O는 MTS 센서, LVDT 센서 및 레벨 센서의 아날로그 시그널을 디지털화하여 제어 알고리즘에 사용할 수 있도록 함.
- 3) Digital I/O는 Relay 출력을 이용하여 Tool 및 배압용 유압 모터 구동을 위한 솔레노이드 밸브를 구동함.
- 4) Communication은 각도센서, 위치센서, 전류 출력 모듈 및 조종 장치와의 데이터를 송수신을 함.

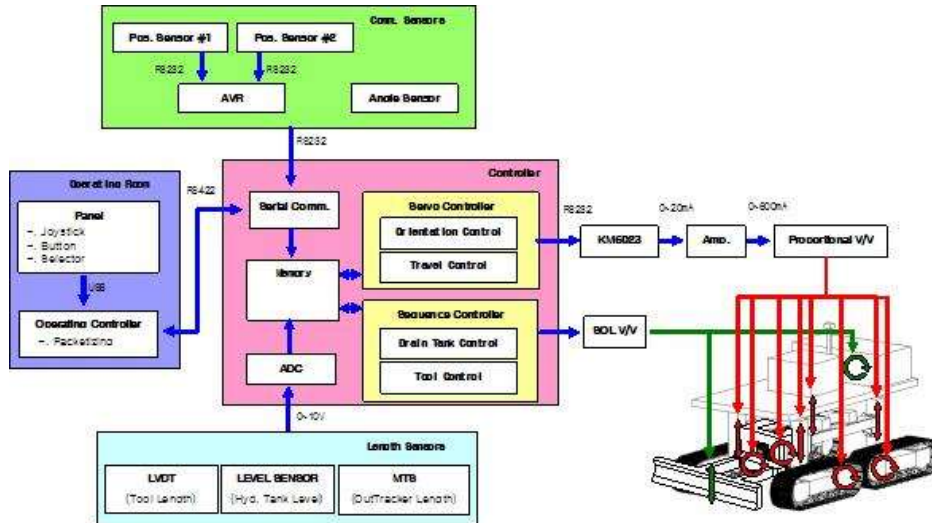


그림 5.2.2 제어 시스템 구성도

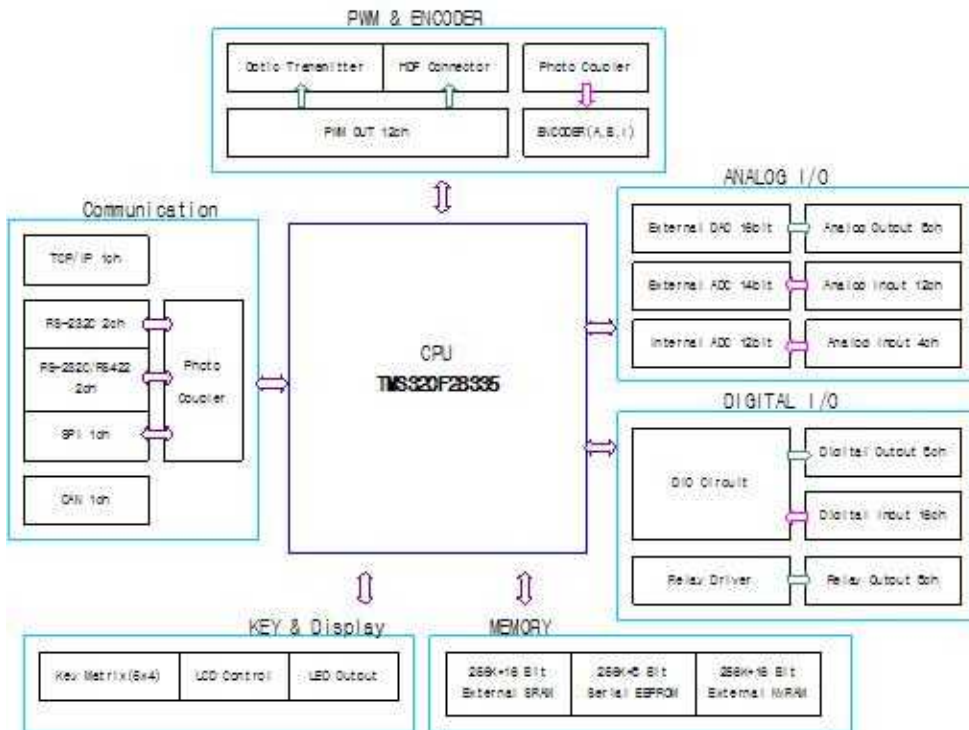


그림 5.2.3 구동용 제어기 프로세서부

표 5.2.1 프로세스부 사양

구성		사양
DSP		TMS320F28335 <ul style="list-style-type: none"> • 32-Bit High Performance CPU • Floating-Point Operations
Memory		<ul style="list-style-type: none"> • 256K*16 Bit External SRAM • 256K*8 Bit Serial EEPROM • 256K*16 Bit External NVRAM
Analog I/O	Input	<ul style="list-style-type: none"> • Input Range : 0 ~ ±10V • Resolution : 14 bits • Channel Number : 16Ch
	Output	<ul style="list-style-type: none"> • Output Range : 0 ~ ±10V • Resolution : 16 bits • Channel Number : 8Ch
Digital I/O	Input	<ul style="list-style-type: none"> • Port Number : 16 Ports
	Output	<ul style="list-style-type: none"> • Digital Output : 8 ports(TTL Level) • Relay Output : 8 ports
Communications		<ul style="list-style-type: none"> • TCP/IP : TCP Server/client • SERIAL : RS-232 2ports & RS-232/422 2ports

그림 5.2.4는 이러한 기능들을 수행할 수 있도록 제작된 프로세스 부를 나타냄.

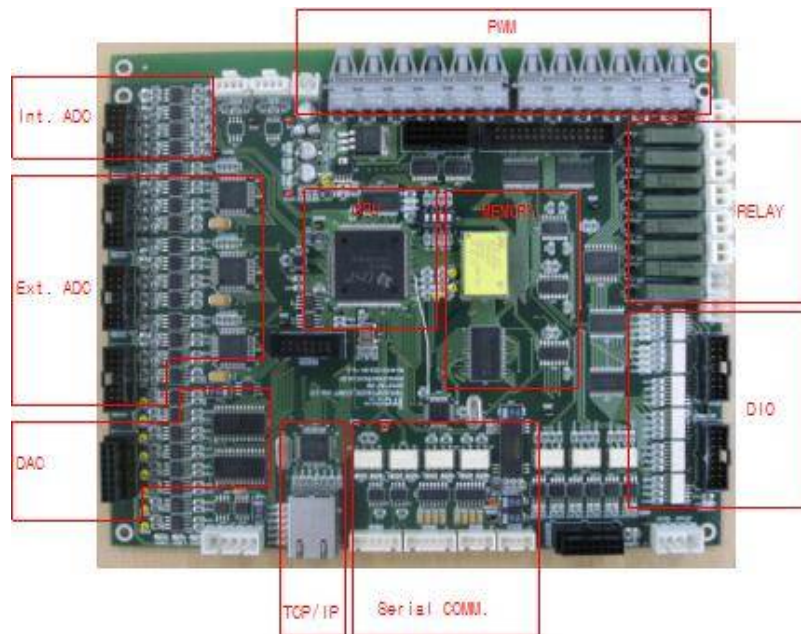


그림 5.2.4 제작된 프로세스 부

(3) 유압 서보 제어기

아웃트리거 및 주행궤도의 서보 제어를 위해 제어기는 액추에이터의 속도를 가변시킬 수 있어야 함. 유압 서보 제어기는 원격 조종 장치의 구동 명령으로부터 장비의 수평자세 유지 및 주행방향 제어를 위한 제어 알고리즘 연산을 수행하고 전류출력부로 제어 전류 값을 송신. 전류 출력부는 0~20mA의 전류를 출력할 수 있고, 이 신호를 받은 증폭기는 프로포셔널 밸브를 직접 구동할 수 있는 0~600mA의 전류로 증폭. 프로포셔널 밸브는 입력된 전류에 따라 출력 압력을 가변시켜 메인컨트롤 밸브의 스톱 변위를 가변시키게 됨. 유압 서보 제어를 위해 각 아웃트리거의 길이 값을 측정하는 MTS 센서와 장비의 자세를 측정하는 각도 센서가 있음.

1) MTS 센서

MTS 센서는 변위를 측정하고자 하는 물체에 부착된 영구 자석의 자장과 센서 로드 에 들어 있는 웨이브 가이드 속을 흐르는 전류 펄스에 의해 유도되는 비틀림 스트레인 펄스를 감지하여 아웃트리거의 길이를 측정. 그림 5.2.5와 같이 MTS 센서를 아웃트리거용 유압실린더 내부에 설치. 센서가 실린더 내부에 직접 설치되므로 충격, 진동에 강하고 추후 방수처리 측면에서도 이점을 가짐.



(a) MTS 센서



(b) 제작된 아웃트리거용 유압 실린더

그림 5.2.5 MTS센서 내장 아웃트리거 유압 실린더

2) 각도 센서

각도 센서는 장비가 중력에 수직한 면에 대해 기울어진 각도와 지구의 자북위치를 측정하여 장비의 자세 유지 및 주행방향 제어를 할 수 있도록 하는 계측 센서. MicroStrain 사의 3DM-GX1 모델을 사용하였으며 자이로센서, 가속도센서 및 자속센서가 내장되어 있어 0.1도 단위로 장비의 자세를 측정할 수 있으며, 진동 등의 조건에서도 누적오차가 거의 없음. 그림 5.2.6은 제작된 각도센서 모듈이며 사양은 표 5.2.2와 같음.



그림 5.2.6 각도 센서

표 5.2.2 각도 센서 사양

Orientation range (pitch, roll, yaw)	$\pm 90^\circ$, $\pm 180^\circ$, $\pm 180^\circ$ (Euler Angles)
Sensor range	gyros: $\pm 300^\circ$ /sec FS accelerometers: $\pm 5g$ FS magnetometers: $\pm 1.2Gauss$ FS
A/D resolution	16 bits
Orientation resolution	$<0.1^\circ$ minimum
Repeatability	0.20°
Accuracy	$\pm 0.5^\circ$ typical for static $\pm 2.0^\circ$ typical for dynamic
Digital outputs	serial RS-232
Serial data rate	19.2/38.4/115.2 kbaud
Supply voltage	5.2 ~ 12.0 VDC



그림 5.2.7 전류출력 모듈

표 5.2.3 전류출력 모듈 사양

사용 전원	+9~+30VDC
소비 전력	최대 3W[200mA/15V]
사용 온도	-20~+80°C
절연 전압	1kV
분 해 능	12bit DAC
전류 출력 레벨	0~20mA
채널수	4ch(A/B/C/D)

3) 전류출력부

장비의 서보 제어는 DSP에 의해서 계산된 Digital 명령 값을 Analog 값으로 변환하고 이 값을 프로포셔널 밸브에 입력함으로써 이루어 짐. 이를 구현하기 위해 그림 5.2.7과 같이 전류출력 모듈을 사용하였으며 사양은 표 5.2.3과 같음. 전류출력 모듈은 제어기의 제어 신호를 RS232통신으로 입력 받아 0~20mA의 전류출력을 4채널까지 낼 수 있음. 또 감시(Watchdog) 기능이 있어 제어기로부터 지정된 시간 내에 응답이 없을 경우 출력을 0으로 하여 통신 불능 상태에서 장비의 오동작을 예방. 전진/후진 주행 신호 및 4개의 아웃트리거 상승/하강 신호를 내기 위해 총 12개의 전류 출력으로 구성.

4) 프로포셔널 밸브용 증폭기

전류출력 모듈의 출력신호 0~20mA를 프로포셔널 밸브를 구동할 수 있는 전류 0~600mA로 증폭하는 증폭기를 그림 5.2.8와 같이 SUN hydraulic사의 790-2B24A 모델을 사용. 790-2B24A 모델의 사양은 표 5.2.4와 같음.



그림 5.2.8 790-2B24A 증폭기

표 5.2.4 790-2B24A 증폭기 사양

Supply Voltage	24VDC \pm 10%
Output Current	0~600mA
Dither Settings	80~300Hz(20Hz increments)
Analog Input Range	0~20mA
Analog Input Impedance	250 Ω
Operating Temperature Range	-20°C~+70°C
Ramp Up/Down Time	0~120.0s(0.5s increments)

5) 프로포셔널 밸브

프로포셔널 밸브는 메인 컨트롤 밸브의 스톱 변위를 가변시키기 위한 압력 제어 밸브로 그림 5.2.9과 같이 SUN hydraulic사의 PRDP-MEN 모델을 사용. 밸브는 유압펌프에서 제공되는 210bar의 압력을 입력 신호에 따라 0~18bar의 압력을 생성. 사양은 표 5.2.5와 같음.



그림 5.2.9 프로포셔널 밸브

표 5.2.5 프로포셔널 밸브 사양

Capacity	20 L/min.
Hysteresis with DC input	<8%
Linearity	<2%
Recommended dither frequency	140 Hz
Maximum Operating Pressure	350 bar
Maximum Valve Leakage	41 cc/min.

(4) 유압 솔레노이드 제어기 설계

고르기 장비는 고르기 툴 구동을 위한 유압 실린더 및 드레인 탱크내의 유압펌프를 구동하기 위한 유압 모터가 있음. 고르기 툴 구동명령을 입력받아 제어기의 릴레이 출력으로 유압 솔레노이드 밸브를 On/Off시킴. 그리고 고르기 툴 구동용 실린더에 LVDT 센서를 장착하여 지면에 대한 고르기 툴의 높이를 계산할 수 있도록 하여 더 정밀한 고르기 작업. 그림 5.2.10은 실린더에 장착된 LVDT 센서.

또한 유압 솔레노이드 제어기는 드레인 탱크내의 유위제어를 위해 유압모터를 구동. 탱크내의 유위를 계측할 수 있는 그림 5.22의 레벨 센서를 사용하였으며 센서는 부위(float)가 유면 높이에 따라 상하운동을 하면 부위에 내장된 자석이 가이드(guide pipe) 내부의 저항 값을 변화시키게 되어 유위를 검출.



그림 5.2.10 고르기 툴에 장착된 LVDT 센서



그림 5.2.11 레벨 센서

5.2.3 원격조종 장치 개발

(1) 원격 조종 장치 구성

수중 사석고르기 장비의 시험용 원격제어 운영시스템은 수상에서 작업자가 원격으로 장비를 조작하고 그 결과를 모니터링 할 수 있도록 그림 5.2.12와 같이 운영시스템을 구성.

원격제어 운영시스템의 화면은 크게 다음과 같이 2개로 구성.

- 1) 모니터링 GUI(Graphic User Interface) 프로그램을 보여줌.
- 2) 수중 사석 고르기 장비에 부착된 카메라 영상들이 영상신호 선택기를 통해 보여줌.

가. 카메라 영상 모니터

사석 고르기 장비에 장착되는 카메라는 최소 2대 이상이며, 카메라의 컬러 영상 신호가 RCA 단자를 통해 아날로그 형식으로 출력. 따라서 카메라 RCA 영상 신호를 컨버터를 통해 RGB 영상 신호로 변환하여 영상 신호 선택기의 입력으로 연결. 영상 신호 선택기는 최대 8채널의 입력을 받아 카메라 영상 선택적으로 보여 줌.

나. GUI 모니터

모니터링 GUI 프로그램에서는, 수중 사석 고르기 장비의 자세 정보(Roll, Pitch, Yaw), 위치 정보(X, Y, Z) 및 각종 센서 값을 표시하여 작업자가 알 수 있도록 함. 제어 패널 또는 PC 상에 연결된 조이스틱을 통하여 작업자의 조작 제어 입력을 받아 통신 프로토콜로 변환하여 사석 고르기 장비로 송신하며 장비로부터 수신된 데이터를 분석한 후 장비의 상태를 화면상에 표시.



그림 5.2.12 시험용 원격제어 운영시스템 구성도

(2) 제어패널 제작

제어 패널은 사석 고르기 장비가 가질 수 있는 기능을 모두 표현하고 있으며, 작업자가 이 제어 패널을 조작하게 되면 PC 상에 연결되는 디지털/아날로그 입출력 모듈을 통해 모니터링 GUI 프로그램에서 데이터를 받아 처리. 제어 패널 구성은 다음 그림 5.2.13과 같음. 제어 패널은 크게 사석 고르기 장비를 이동시키고 궤도 높이를 조절하는 부분과, 장비의 상태를 제어하는 부분, 그리고 고르기 툴을 조작하는 부분으로 구성. 장비의 이동은 산업용 조이스틱을 적용하여 전진과 후진, 좌우회전의 기능을 하며 장비의 높이를 변화시키는 4개의 궤도를 상하로 조절할 수 있는 버튼이 있음. 장비의 상태를 제어하기 위한 2단 스위치는 각각 유압 공급 유무, 자동 및 수동 운전 모드 선택, 자동 자세 제어 유무를 선택. 사석 고르기 툴의 제어는 기본 정지 상태에서 위로 들어 올리거나 아래로 내리는 기능을 갖도록 하였으며 제어 패널의 전원을 공급하는 스위치와 비상 정지를 위한 푸시 스위치로 구성.

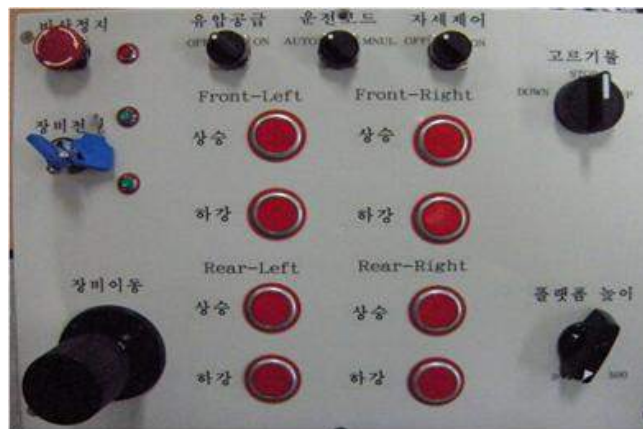


그림 5.2.13 제어 패널 구성도

제어 패널의 기능을 구현하는 스위치 및 조이스틱 등과 입/출력 인터페이스 모듈과의 결선도는 다음 그림 5.2.14와 같음.

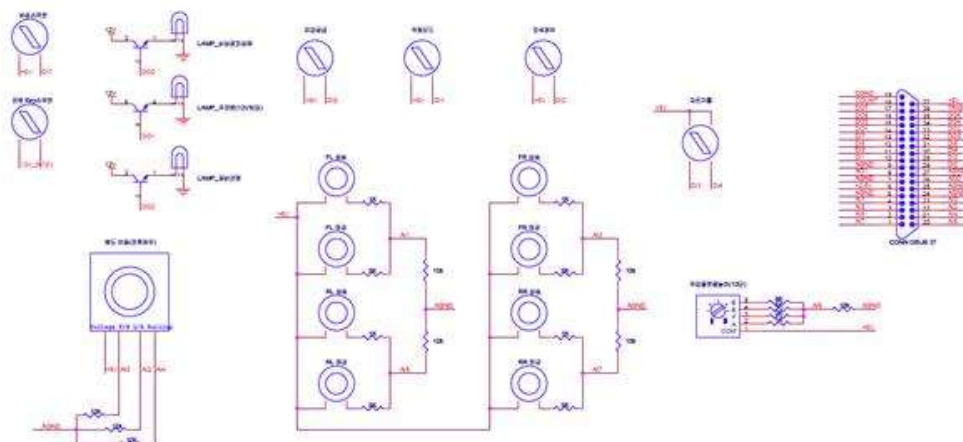
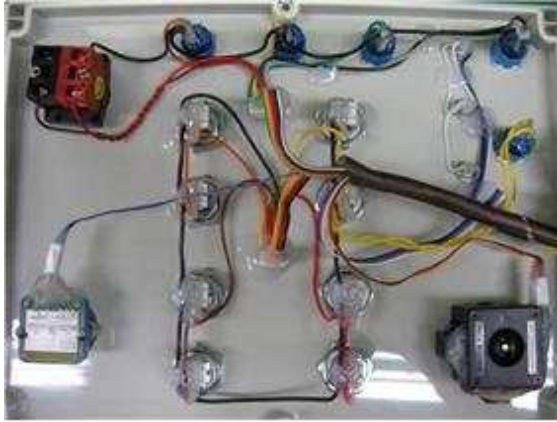


그림 5.2.14 제어 패널 결선도



(a) 제어 패널 스위치 결선도



(b) 제어 패널 인터페이스 모듈 연결

그림 5.2.15 제어 패널 배선

입/출력 인터페이스 모듈은 각각 8채널의 디지털 입력과 8채널의 디지털 출력, 8채널의 아날로그 입력과 2채널의 아날로그 출력이 가능. 사석 고르기 장비의 상태를 제어하는 스위치는 디지털 입력으로 받아 처리하고 장비를 이동하고 아웃트리거의 높이를 조절하는 부분은 아날로그 입력으로 변환하여 처리. 제작된 제어 패널의 내부 배선은 그림 5.2.15과 같이 구성. 제어 패널은 외부로부터 24V의 전원을 입력으로 받고 있으며, PC와의 통신은 USB로 연결. 24V 전원은 내부에서 12V로 변환되어 사용되며, 수중 사석 고르기 장비의 유압 펌프를 제어하기 위한 2개의 릴레이가 장착되어 펌프를 수동 및 자동으로 조절하는 기능.

(3) 실험용 조이스틱 구성

조이스틱에 의한 입력은 작업자가 직관적으로 제어할 수 있도록 기능을 할당하였으며, 스틱을 움직여서 장비를 이동시키고 주변 버튼으로는 장비의 상태를 제어할 수 있도록 그림 5.2.16과 같이 구성.



그림 5.2.16 조이스틱 조작에 대한 기능 할당

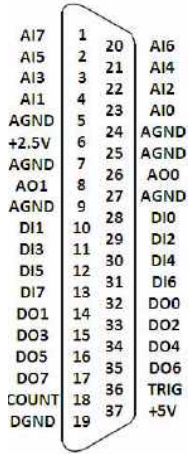


Table 3.1: I/O Connector Signal Description

Signal Name	Reference	Direction	Description
AI<0...7>	AGND	Input	Analog Input Channels 0 through 7.
AO0, AO1	AGND	Output	Analog Input Channels 0 and 1.
AGND	-	-	Analog Ground.
DI<0...7>	DGND	Input	Digital Input Channels 0 through 7.
DO<0...7>	DGND	Output	Digital Output Channels 0 through 7.
DGND	-	-	Digital Ground.
COUNT	DGND	Input	Counter Input.
TRIG	DGND	Input	A/D External Trigger.
+2.5V	AGND	Output	2.5V DC Voltage Output.
+5V	AGND	Output	5V DC Voltage Output.

그림 5.2.17 입출력 인터페이스 모듈 사양

제어 패널을 통한 입력은 PC와 연결되는 USB 타입의 입출력 인터페이스 모듈을 통해 이루어 짐. 모듈의 사양은 그림 5.2.17과 같음. 제어 패널의 조이스틱 및 각종 스위치의 눌림을 전자적으로 변환하여 인터페이스 모듈의 디지털 또는 아날로그 입력으로 받아 PC로 전달하면, 운영시스템 프로그램에서는 전용의 드라이버를 경유하여 데이터를 전송받아 사용. 이러한 입출력 인터페이스 모듈의 디지털 입력 단은 전기적으로 풀업(Pull-Up) 상태이므로 스위치를 연결할 때 그라운드가 연결되게 하여 스위치 접속시 반전 입력으로 들어 감. 아날로그 입력의 경우에는, 기본적으로 전압이 플로팅(Floating) 된 상태이므로 조이스틱과 코드 스위치를 연결할 때 전기적으로 풀다운(Pull-Down) 상태를 만들어주어야 정상적인 신호 입력이 가능.

운영시스템 프로그램의 컨트롤러 부분은, 제어 패널 입력이 우선되며 만약 제어 패널이 없을 경우에는 조이스틱에 의한 입력을 사용하게 되며, 가장 하위 순위로 화면상의 컨트롤 입력. 이러한 여러 입력 방법에 의해 작업자가 조작 명령을 내리면 통신을 컨트롤하는 파트에서 데이터를 우선순위에 의해 취합하여 통신 프로토콜 상의 전송패킷으로 변환하여 사석 고르기 장비에 전달.

5.2.4 통신시스템 개발

장비의 통신시스템은 표5.2.6와 같이 구성되며 총 4개(Com1~4)의 직렬 통신을 사용. Com1~3은 장비에 장착된 장치와 연결되고 송/수신 거리가 약 5m 이내이므로 RS232 통신을 사용하였으며 Com4는 원격 조종장치와 연결되고 송/수신 거리가 20m 이상이므로 RS422통신을 사용. 일반적으로 RS232통신은 15m, RS422통신은 1200m 까지 통신이 가능. Com1과 Com2는 송/수신이 falling 방식으로 프로그램 내에서 송/수신 하고자 할 경우 수행하며 Com3와 Com4는 송/수신이 interrupt 방식으로 FIFO에 데이터가 수신될 때 데이터를 송수신.

(1) 통신시스템 결선

통신시스템 결선도는 그림 5.2.18과 같이 Com1은 최종적으로 장비의 자세제어를 위한 아웃트리거 및 주행을 위한 계도를 구동. Com1은 KM6023 모듈 3개와 multy-drop 방식으로 연결. 각 KM6023 모듈은 4개의 0~20mA 전류 출력을 할 수 있어 총 12개의 전류를 출력 함. KM6023의 작은 전류를 파일럿 밸브를 동작시킬 수 있는 0~600mA로 증폭하는 790-2B24A Amp가 총 12개 있으며 각 Amp의 전류크기에 따라 파일럿 압력이 가변되어 아웃트리거 및 계도의 유량을 제어. Com2는 Avr과 통신을 하며 Avr은 위치센서 #1, #2와 각각 통신하여 수신된 위치를 선택적으로 Avr로 보냄. Com3은 각도센서와 통신하여 장비의 자세를 획득. Com4는 원격 조종 장치와 통신하여 구동 명령을 수신하고 각 센서값 및 장비의 상태 등을 송신.

표 5.2.6 통신시스템의 구성

	Com1	Com2	Com3	Com4
protocol	RS232	RS232	RS232	RS422
송/수신 방식	Falling		Interrupt	
접속 장비	전류출력(KM6023)	위치센서(AVR)	각도 센서	원격 조종 장치
통신baud rate	115200	115200	38400	115200

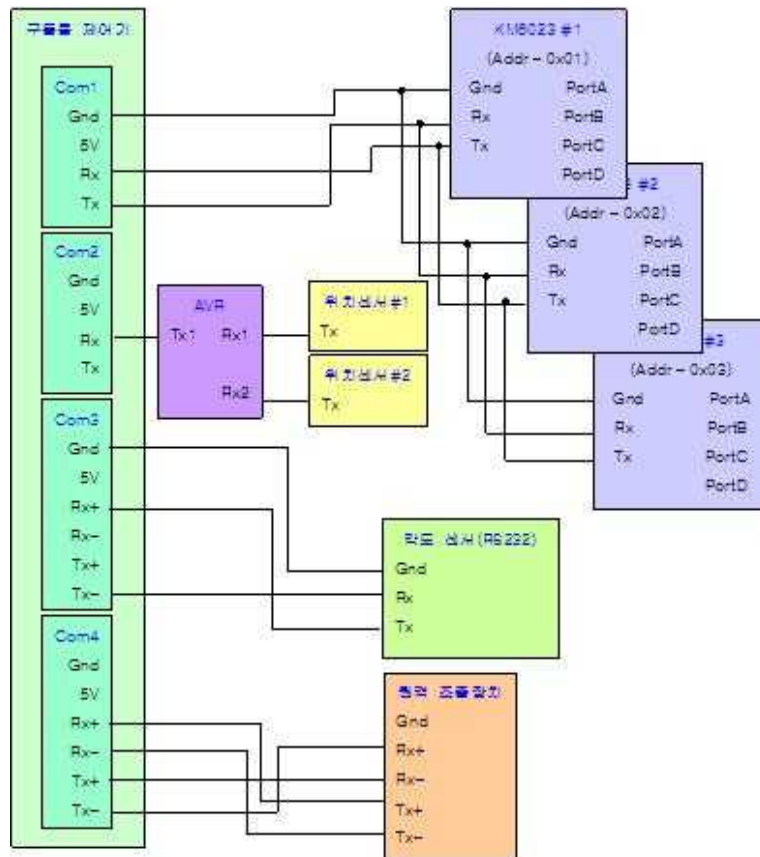


그림 5.2.18 통신 장치 결선도

(2) 통신 프로토콜

1) KM6023 통신 프로토콜

전류 출력모듈 KM6023의 통신 프로토콜은 다음 표 5.2.7와 같이 구성. LeadingCode는 프로토콜의 시작을 알리는 문자로서 전류 출력 Command의 경우는 '#', watchdog 응답의 경우 '~'를 사용. Addr은 여러 대의 장치를 연결하여 사용할 경우 각 모듈에 Addr를 부여하여 부여된 Addr에 Command를 전송하는 역할을 하며 Command는 장치의 설정, 출력, 응답 등의 명령을 나타 냄. Data는 Command에 따라 설정값, 출력값 등을 나타냄. Checksum은 노이즈나 통신상의 문제로 인해 데이터가 유실 또는 변경되었을 때 이를 확인하여 장비의 오작동을 방지. Leading code부터 Data까지의 비트를 (+)한 결과가 된다. CR은 프로토콜의 끝을 알리는 문자.

표 5.2.7 KM6023 통신 프로토콜

Leading Code	Addr	Command	Data	Checksum	<CR>
--------------	------	---------	------	----------	------

2) 각도센서 통신 프로토콜

표 5.2.8은 각도센서의 통신 프로토콜을 나타내는데 각도센서는 구동용 제어기로부터 Command(0x0e)가 수신될 경우 Euler Angle(Yaw, Pitch, Roll)을 송신하도록 설정. 각 Euler Angle은 2byte로 구성되어 장비의 자세를 0.1도 이내의 분해능으로 표현. 따라서 구동용 제어기는 매 제어주기 마다 각도를 수신하여 수평유지제어, 주행제어를 수행.

표 5.2.8 각도센서 통신 프로토콜

Command Byte		0x0E
Response	Byte 1	Header Byte = 0x0E
	Byte 2	Roll MSB
	Byte 3	Roll LSB
	Byte 4	Pitch MSB
	Byte 5	Pitch LSB
	Byte 6	Yaw MSB
	Byte 7	Yaw LSB
	Byte 8	TimerTicks MSB
	Byte 9	TimerTicks LSB
	Byte 10	Checksum MSB
	Byte 11	Checksum LSB

표 5.2.9 AVR 통신 프로토콜

Hex	53	54	X_MSB	X_LSB	X_MSB	X_LSB	X_MSB	X_LSB	CheckSum	OD
ascii	S	T	-	-	-	-	-	-	-	<CR>
mean	Header		X distance (MSB*255 + LSB)		Y distance (MSB*255 + LSB)		Z distance (MSB*255 + LSB)		CheckSum (XOR)	

표 5.2.8 위성 센서 프로토콜

Hex		2C		2C		2C		2C		2C		2C		OD	0A
ascii		,		,		,		,		,		,		<CR>	<LF>
mean	Dist 1	Dist 2	Dist 3	Dist 4	X	Y	Z	Res. time	tail						

3) AVR 통신 프로토콜

AVR은 2개의 위성 센서로부터 장비의 위치 데이터를 각각 입력받아 그 중 유효한 데이터를 다음 표 5.2.9의 프로토콜로 구동용 제어기로 보냄. 각 위치데이터는 2byte로 구성되어 ± 32m까지 표현.

4) 위성 센서 통신 프로토콜

위성 센서는 4개의 초음파 발신기가 발신한 초음파를 수신기가 수신한 시간을 계산하여 이를 거리로 환산하고 환산된 거리를 이용하여 1번 발신기에서 수신기까지의 X, Y, Z 거리를 계산. 위성 센서의 송신 프로토콜은 표 5.2.8과 같다. 프로토콜을 Dist1~4, X, Y, Z, Time, tail 형태로 구성되며, Distance 및 X, Y, Z 데이터는 각각 8byte, Time은 응답시간으로 4byte이다. tail은 <CR> & <LF> 임.

5) 원격 조종 장치 송신 프로토콜

원격 조종 장치는 판넬의 구동명령을 표 5.2.9의 프로토콜로 취합하여 구동용 제어기로 10Hz의 통신 주기로 전송. 프로토콜은 총 15byte의 크기를 가지며 Checksum은 Byte(1~14) 까지를 Xor 한 값으로 정의.

표 5.2.9 원격 조종 장치 송신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Travel				Out Tracker	Platform height		Etc command
value	S	T	forward	backward	left	right	FL/FR/RL/RR	MSB	LSB	0x00
11	12	13	14	15						
Spare #1	Spare #2	Spare #3	Spare #4	Checksum						
0x00	0x00	0x00	0x00	0x00						

표 5.2.10 Etc. Command 세부 프로토콜 및 상태

bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Description	수평자세유지	유압공급	작업모드	삼날		EMG	spare	spare

	상태	값	
작업플랫폼 자세유지	On	1	
	Off	0	
유압공급	On	1	
	Off	0	
작업모드	Manual	1	
	Auto	0	
고르기틀	Up	1	0
	Stop	0	0
	Down	0	1
EMG	On	1	
	Off	0	

여기서, Travel은 장비이동 명령을 4byte(forward, backward, left, right)로 나타낸 값으로 레버 입력에 따라 0~255 값을 가짐. Out Tracker는 1byte(FL(2bit), FR(2bit), RL(2bit), RR(2bit))로 버튼의 입력에 따라 정지:00, 상승:10, 하강 01 값을 나타내며 작업 플랫폼의 높이는 2byte 크기로 0~500의 값을 mm로 표현한 값임. Etc command는 표 5.13과 같이 세부적으로 구성되며 작업플랫폼 자세유지, 유압공급, 작업 모드, 고르기틀 UP/DOWN을 나타냄.

6) 원격 조종 장치 수신 프로토콜

구동용 제어기는 장비의 위치, 자세, 각 아웃트리거의 길이, 드레인 탱크 유위, 고르기틀 길이 및 장비 상태 등을 표 5.2.11의 프로토콜로 원격 조종 장치로 전송. 프로토콜은 총 27byte이며 Checksum은 Byte(1 ~ 16)까지 데이터를 Xor 한 값으로 정의.

표 5.2.11 원격 조종 장치 수신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Angle Data						Length Data	
value	S	T	Roll MSB	Roll LSB	Pitch MSB	Pitch LSB	Yaw MSB	Yaw LSB	FL MSB	FL LSB

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Length Data						Tank oil level		Etc command	Tool Length
FR MSB	FR LSB	RL MSB	RL LSB	RR MSB	RR LSB	Level MSB	Level LSB	0x00	0x00

21	22	23	24	25	26	27
Pos Data						Checksum
X MSB	X LSB	Y MSB	Y LSB	Z MSB	Z LSB	0x00

Angle Data는 Yaw, Pitch, Roll 값을 $-180.0 \sim +180.0$ 도로 표현하며 Length Data 0.0 ~ 500.0mm, Tank oil level은 0.0 ~ 320.0mm로 표현. Etc command는 장비 Fault, 배압 펌프 구동 신호, Oil level Fault 및 Pump 1&2 On/Off 신호로 표 5.2.12와 같이 구성. 장비 Fault는 원격 조종 장치로 부터 통신데이터를 받지 못하고 있는 경우 fault 신호 보내고 배압펌프 구동신호는 구동용 제어기가 배압 탱크내의 유위를 판단하여 배압펌프가 구동중인지 아닌지를 나타내는 상태 신호. Oil level Fault는 배압 탱크내의 유위가 최고 유위일 경우 Fault 신호를 보냄. Pump1&2 On 신호는 장비 운전이 없을 경우 유압펌프의 압유를 장비로 보내지 않도록 원격 조종 장치의 릴레이를 작동시키는 신호.

표 5.2.12 Etc. Command 세부 프로토콜 및 상태

bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Description	장비 Fault	배압 펌프	Oil Level Fault	Pump1 On	Pump2 On	spare	spare	spare

	상태	value
장비 Fault	Fault	1
	Normal	0
배압 펌프	On	1
	Off	0
Oil Level Fault	On	1
	Off	0
Pump1 On	On	1
	Off	0
Pump2 On	On	1
	Off	0

5.2.5 제어프로그램 개발

(1) 수평유지제어

각도센서의 자세로부터 고르기 틀을 지면에 대해 항상 수평하게 유지하도록 각 아웃트리거의 길이를 제어. 또한 스트로크가 가장 짧은 아웃트리거의 길이가 원격 조종 장치에서 설정한 플랫폼 높이가 되어야 함. 수평 유지 제어를 목적으로 각 아웃트리거의 제어 길이를 구하기 위해 좌표계를 그림 5.2.19와 같이 부여. 좌표계의 의미는 다음과 같음.

{P} - 작업 플랫폼의 중심 위치에 정의된 좌표계로 x축은 고르기 틀 방향, z축은 바닥 방향으로 정의하고 y축은 오른손 법칙에 의해 정의.

{P_i} - 각 아웃트리거의 중심위치에 놓인 좌표계

{W_i} - 각 아웃트리거가 각 궤도와 연결되는 핀 조인트의 중심위치에 놓인 좌표계

{G_i} - {W_i}를 각 궤도의 최하단 위치로 연장한 좌표계

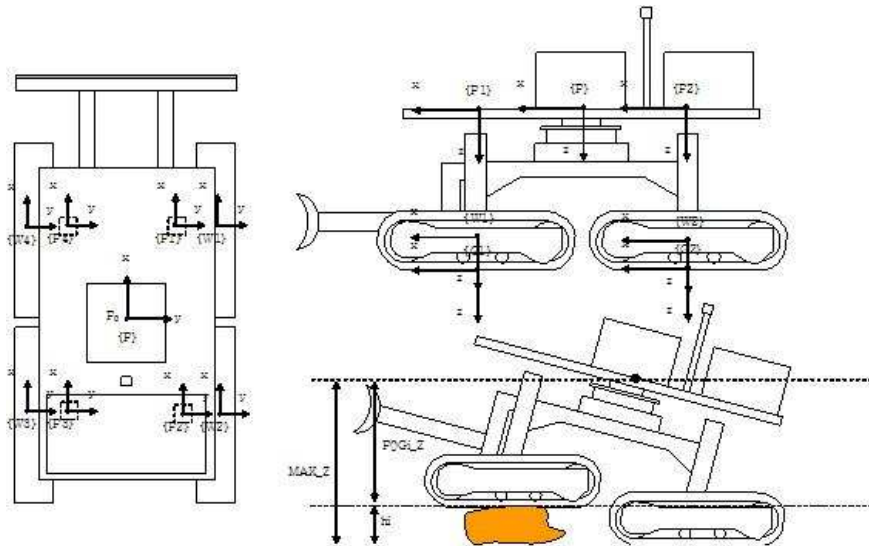


그림 5.2.19 자세제어를 위한 기구 좌표계

부여된 좌표계로부터 아웃트리거의 제어길이를 다음과 같이 구한다. 각도 센서로부터 장비의 Euler 각도(Yaw, Pitch, Roll)를 알 수 있고 이로부터 지면에 대한 {P}의 회전 행렬은 다음과 같음.

$${}^G R_P = R_x(\text{roll}) R_y(\text{pitch}) R_z(\text{yaw}) \quad (5.1)$$

여기서,

$$R_x(roll) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(roll) & -\sin(roll) \\ 0 & \sin(roll) & \cos(roll) \end{bmatrix}$$

$$R_y(pitch) = \begin{bmatrix} \cos(pitch) & 0 & \sin(pitch) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(pitch) & 0 & \cos(pitch) \end{bmatrix}$$

$$R_z(yaw) = \begin{bmatrix} \cos(yaw) & -\sin(yaw) & 0 \\ \sin(yaw) & \cos(yaw) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이다.

{P}에 대한 {W_i}의 위치벡터 $\overrightarrow{P_0W_i}$ 는 벡터 연산으로부터

$$\overrightarrow{P_0W_i} = {}^G R_{P_0}(\overrightarrow{P_0P_i} + \overrightarrow{P_iW_i}) \quad (5.2)$$

이 됨. 레도는 아웃트리거와 핀 조인트로 연결되어 장비의 자세와 상관없이 항상 지면과 나란하게 놓이므로 $\overrightarrow{P_0G_i}$ 는

$$\overrightarrow{P_0G_i} = \overrightarrow{P_0W_i} + \overrightarrow{W_iG_i} \quad (5.3)$$

와 같음. 그러므로 장애물에 의한 높이 h_i 는

$$h_i = MAX_Z - \overrightarrow{P_0G_i} \quad (5.4)$$

임. 여기서 MAX_Z 는 현재 장비 형상에서 $\overrightarrow{P_0G_i}$ 중 가장 큰 Z값을 의미한다. 따라서 각 아웃트래커의 제어길이 S_i 는

$$S_i = L_i - h_i \quad (5.5)$$

임. 여기서 L_i 는 MTS 센서로부터 측정된 각 액추에이터의 스트로크이다. 플랫폼의 설정 높이(P_h)에 따른 제어길이 CL_i 는

$$CL_i = S_i + P_h - MIN_S \quad (5.6)$$

이 됨. 여기서 MIN_S 는 S_i 중 최소값이다. 따라서 장비의 자세에 따라 식 (5.6)을 이용하여 각 아웃트리거의 길이를 제어하면 장비의 수평유지 제어가 가능.

(2) 주행제어

구동용 제어기의 주행제어는 주행명령(θ_d)이 있을 경우 지면의 조건에 따라 장비의 주행 방향이 변하는지 않도록 PID 제어기를 이용하여 제어. 궤적 생성기는 주행의 시작과 끝시점에서 주행 모터에 큰 가속도가 발생하지 않도록 구동명령을 'S' 커브를 이용하여 재생성하고 PID 컨트롤러는 주행명령과 각도센서로부터 측정된 실제 장비의 주행 방향(θ_a)을 비교하여 제어출력을 다음과 같이 생성.

$$y(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \dot{e}(t) \quad (5.7)$$

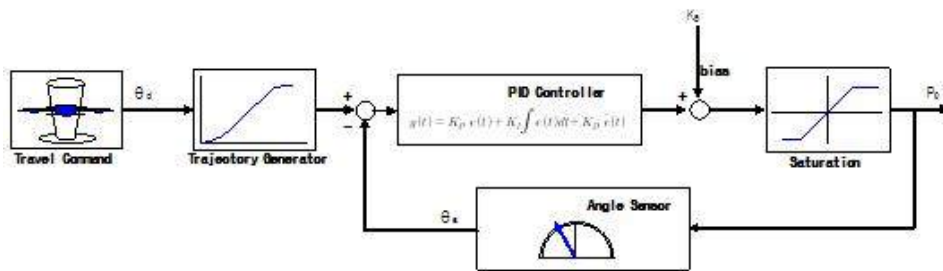


그림 5.2.20 주행 제어기 구성

여기서, $e(t) = \theta_a - \theta_d$, K_P 는 비례제어 게인, K_I 는 누적제어 게인 그리고 K_D 는 미분제어 게인임. 주행모터는 제어출력이 바이어스(K_B) 이상부터 동작하므로 제어 출력에 이를 더해주고 출력 결과가 제어기가 낼 수 있는 출력 이상으로 높아지지 않도록 포화(saturation) 시켜 최종적으로 메인컨트롤 밸브의 파일럿 압력(P_C)를 제어한다. 주행 제어기의 구성은 그림 5.2.20과 같음.

(3) 제어 흐름도

수평유지제어, 주행제어 등을 위한 제어 프로그램의 흐름도는 그림 5.2.21과 같다. 구동용 제어기에 전원을 인가하면 각 하드웨어 및 소프트웨어의 초기화 작업을 수행하고 통신 및 ADC를 통하여 각 센서들의 센서 정보를 읽어 음. 드레인 탱크의 유위 Fault, 또는 기타 장비 Fault 신호가 없을 경우 원격 조종 장치의 구동명령으로부터 수평유지 제어, 주행제어 등의 제어 알고리즘을 수행하고 연산된 제어값을 아날로그로 값으로 출력. 이러한 제어관련 부분의 제어주기는 50Hz로 설정하여 유압시스템을 제어. GUI 모델링을 위한 센서 데이터는 프로세스의 부하를 줄이기 위해 10Hz의 주기로 원격 조종장치로 전송.

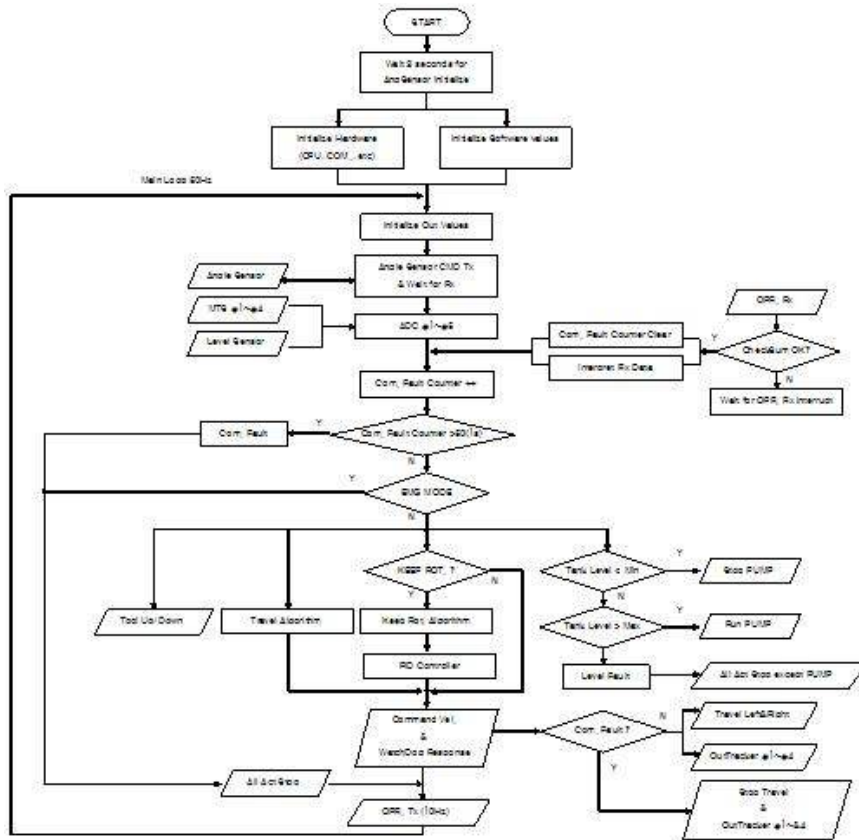


그림 5.2.21 제어 흐름도

6. 육상실험 및 성능평가

6.1 육상 사석면 이동실험 및 성능평가

6.1.1 실험 계획 수립

(1) 개요

- 목적 : 사석면 이동시스템 및 무인 운영시스템에 대한 육상 검증실험
- 현장 위치 : 창원대학교 or KT 서브마린 or 외부 현장
- 실험 기간
- 1차 : 2010년 9월 30일(목) ~ 10월 6일(수)
- 2차 : 2010년 10월 11일(월) ~ 15일(금)

(2) 세부 일정(안)

- 현장 섭외 및 관련 서류 준비 : 2010년 8월 15일 경
- 사석 구매 신청 : 2010년 8월 15일 경
- 사석을 포함한 현장 준비 : 2010년 9월 10일까지

(육상시험을 위한 시험장은 창원대학교 내부공간을 활용하여 현장을 준비하였으며, 고르기 시험을 위한 사석면은 120m² (8m X 15m)의 크기로 조성하였고, 테스트용 지형 조성을 위해 두 종류의 사석을 준비함.)



그림 6.1.1 사석 포설 현장

- H/W 및 S/W 개발 : 2010년 9월 15일까지
- 시연회 관련 세부일정 협의 및 대외 공문 : 2010년 9월 25일 경
- 실험기간 : 2010년 9월 30일(목) ~ 10월 15일(금)

(3) 장비(H/W) 성능 실험

o 궤도부 회전 속도 실험

착저형 이동시스템 궤도부의 무부하 회전 실험을 그림 6.1.2와 같이 수행함. 블레이드를 이용하여 궤도를 지면에서 띄운 후 제어입력에 따른 회전 속도를 측정된 결과 그림 6.1.3을 얻음. 무부하 상태에서 궤도의 최대 속도는 약 2.2 Km/h 였으며, 이는 일반 02급 굴삭기의 속도인 2.5 km/h에 준하는 속도임. 유압적 특성은 Dead Band영역이 있으며, 이는 파일럿 압력 제어밸브의 Offset 영역과 실제 MCV의 Dead Band 영역이 중첩되어 나타나는 현상임. 또한 Dead Band 영역을 제외하고는 거의 선형적인 특성을 가지므로 실제 구동 제어 시 Dead Band 영역을 고려하여 제어출력을 생성함.

o 궤도부 주행 속도 실험

착저형 이동시스템의 주행실험을 그림 6.1.4와 같이 수행함. 파일럿 압력제어 밸브의 제어입력 (X축)이 약 69% 수준에서 주행이 시작되고 있으며, 이는 Dead Band로 인한 영향임. 파일럿 압력제어 밸브의 제어입력값 90%이상에서는 주행 속도의 변화가 현저히 떨어짐. 이는 드레인 라인의 길이 및 내경의 제한으로 인한 현상임. 이를 감한한 주행 최대 속도는 약 2Km/h 정도이며, 실제 고르기 작업은 주행속도 약 0.8km/h(실험치) 전후에서 이루어 질 것이므로 주행 속도는 2배 이상의 용량 여유가 있음.



그림 6.1.2 회전 속도 실험 장면

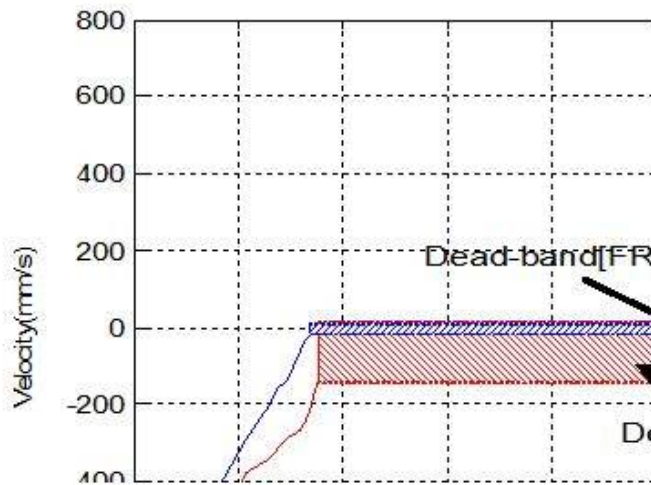


그림 6.1.3 지령치 Vs. 궤도 선속도

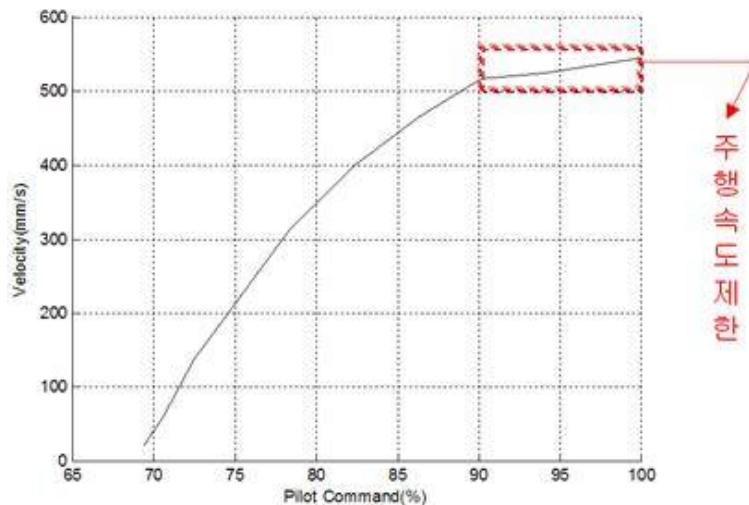


그림 6.1.4 지령치 Vs. 궤도 선속도

○ 견인력 실험

착저형 이동시스템의 견인력을 측정하였음. 견인력의 측정은 그림 6.1.5와 같이 블레이크에 와이어 및 로드셀을 연결하고, 반대편은 굴삭기 암에 연결하여 이루어짐. 이 조건에서 이동시스템이 로드셀에서 멀어지는 방향으로 주행을 할 때 주행 제어 입력에 대한 로드셀에 측정되는 견인력을 측정함. 로드셀의 데이터는 데이터 수집 장치로 입력되고, 이는 다시 그림 6.1.5의 모니터링 프로그램으로 기록된다. 그림 6.1.6은 아스팔트 조건에서 견인력을 측정했을 때의 결과이며, 구동을 시작하면서 견인력이 서서히 커지며 제어입력 75%수준에서 견인력의 최대값(3.1Ton)을 보임. 제어입력 75%이상에서는 견인력 변동이 거의 없으며, 이는 궤도가 아스팔트에서 미끄러지기 시작하는 부분이므로 나타나는 현상임. 그림 6.1.7에는 토사 및 울석에서 견인력을 측정하는 장면이며, 측정된 견인력은 각각 3.0Ton과 2.5Ton임. 울석에서는 궤도와 울석간의 미끄러

짐 현상이 현저히 커져서 견인력 또한 작게 나타남. 결국, 견인력은 지면과 접지력에 큰영향을 받아 아스팔트와 토사는 견인력이 비슷하나 율석은 접지력 저하로 견인력이 떨어졌음. 접지력을 향상시키는 방법으로 장비 중량을 높이거나, 그라우저의 형태를 변경시키는 방법을 고려할 수 있음.

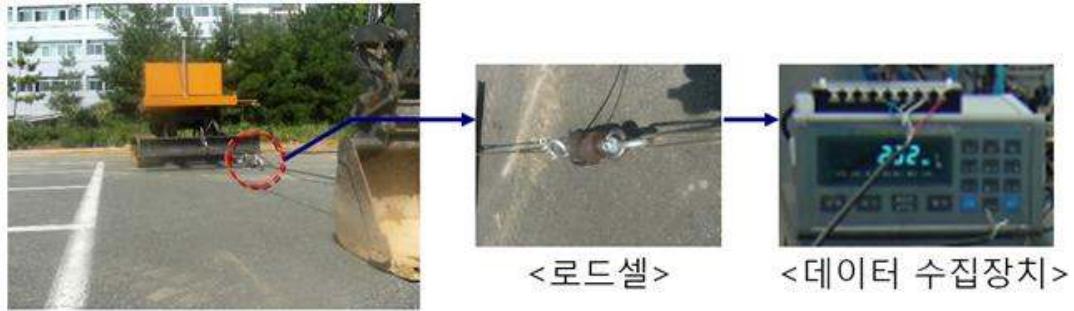


그림 6.1.5 견인력 실험장치 (지면조건 : 아스팔트)

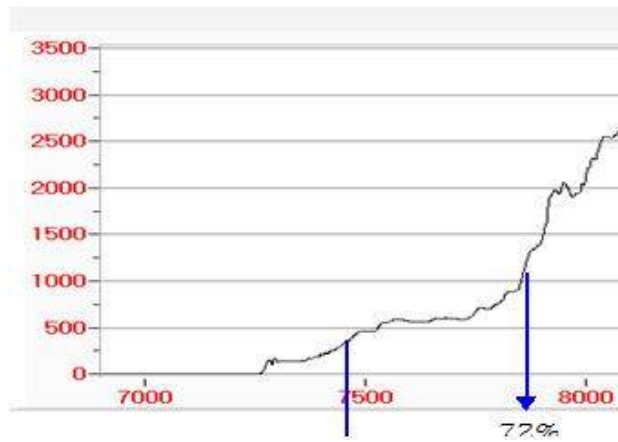


그림 6.1.6 견인력 측정 결과 (지면조건 : 아스팔트)



(a) 토사조건



(b) 율석조건

그림 6.1.7 견인력 측정 장면

○ 작업 플랫폼 수평유지 제어 실험 (각도 센서 적용)

작업 플랫폼은 착저형 이동시스템의 상부에 설치된 평판구조물로 이 부분에 작업용 툴(블레이드, 다목적 압, 워터 젯)이 부착됨. 그러므로 작업 플랫폼은 작업용 툴 제어에 있어 기구적 기준 평면이 됨. 그러므로 툴의 기준평면이 사석 고르기 면과 항상 수평을 유지해 준다면, 수중 원격제어를 통한 작업에 있어 효율성을 극대화 시킬 수 있음. 본 연구에서는 작업 효율성의 극대화를 위해 작업 플랫폼 수평유지 제어를 수행하였음. 수평유지 제어는 작업 플랫폼 상부에 설치된 각도센서를 통해 작업 플랫폼이 평면에 대해 기울어진 각도를 측정하고, 기울어진 각도의 보상 제어를 위해 작업 플랫폼과 궤도 사이에 설치된 4개의 아웃트리거를 이용함. 보상을 위한 아웃트리거의 제어 길이는 역방향 기구학을 통해 연산될 수 있으며, 연산결과 값과 아웃트리거에 내장된 MTS 길이측정센서의 실측값의 오차를 줄이는 PID제어를 구동용 제어기에서 수행함. 역방향 기구학 해석에서 연산되는 4개의 아웃트리거 길이 값은 무수히 많은 해를 가질 수 있음. 그러나 수평유지 제어의 목적을 작업플랫폼이 수평을 유지하면서, 아웃트리거의 최소길이 값을 만족하도록 설계함으로서 유일한 해를 찾을 수 있다.

- 그림 6.1.8은 작업플랫폼의 수평유지제어를 수행하면서 아웃트리거의 최소 길이 설정값을 변화시켜 작업플랫폼의 높이제어를 하는 장면임. 아웃트리거의 변화가능 길이는 0~500mm이므로, 작업플랫폼이 500mm 높이로 제어됨을 볼 수 있음.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6.1.8 작업플랫폼 높이제어 (수평유지)



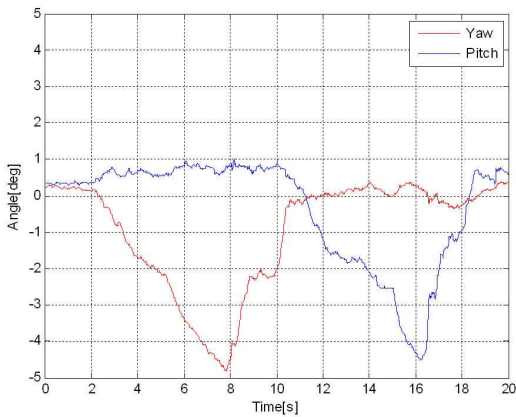
(a) 수평유지 제어 없이 장애물 통과 장면



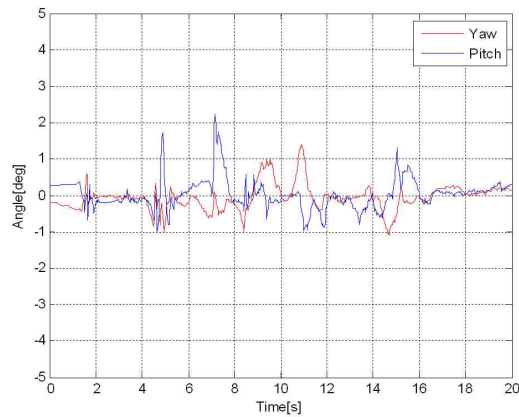
(a) 수평유지 제어 시 장애물 통과 장면
그림 6.1.9 작업플랫폼 높이제어 (수평유지)

- 그림 6.1.9는 높이 180mm의 장애물을 우측 궤도부에 설치하여 주행실험을 하는 장면임. (a)의 경우 수평유지 제어 없이 장애물을 통과하는 장면이며, (b)의 경우 수평유지 제어를 하면서 장애물을 통과하는 장면임. (b)의 경우 작업 플랫폼의 각도가 거의 수평을 유지하고 있으며, 이와 같이 작업 툴(블레이드)또한 수평을 유지함을 확인할 수 있음.

- 그림 6.1.10은 각 경우에 대해 작업플랫폼의 각도를 측정해 준 것임. (a)의 경우 4도 이상의 기울어짐 현상이 생기나, (b)의 경우 1도 이내의 기울어짐이 생김. 특히 그래프의 형상을 보면, (a)의 경우는 4도의 각도가 서서히 증감하는 형태이나, (b)의 경우는 장애물과의 충돌로 인해 각도센서의 값이 순간적으로 변하는 영향이 큰 것으로 나타남.

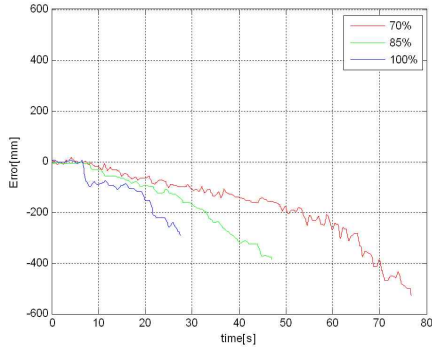


(a) 수평유지제어를 수행하지 않은 경우

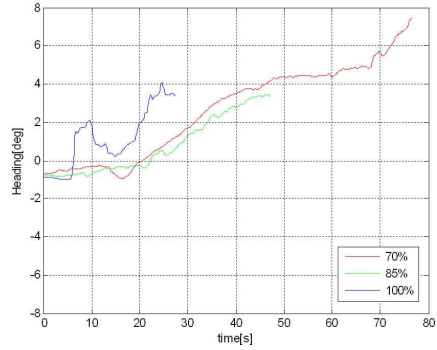


(b) 수평유지제어를 수행한 경우

그림 6.1.10 장애물 통과 시 작업플랫폼의 각도



(a) 주행편차량



(b) 주행중 헤딩 각도

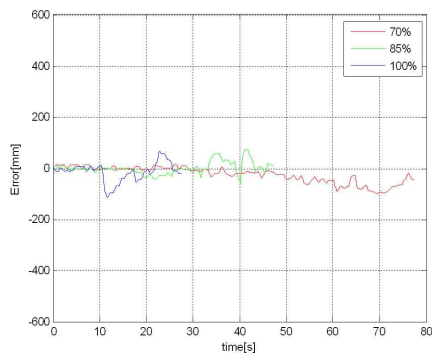
그림 6.1.11 직진 주행 유지제어 없이 주행한 결과

○ 직진 주행 유지 제어 실험 (각도 센서 적용)

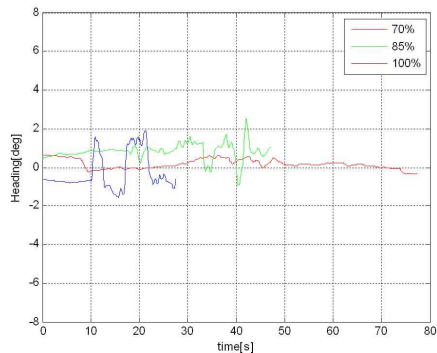
- 수중 사석 고르기 작업에 있어 작업 플랫폼은 원하는 방향으로 직선주행을 하는 것이 조작적 측면에서 중요함. 이를 위해 직진 주행 유지제어를 각도 센서를 사용하여 수행함. 즉, 주행 직진 명령이 구동용 제어기에 입력되면 각 주행궤도는 동일한 제어입력값으로 주행을 시작함. 주행 중 각도센서의 헤딩값이 주행편차에 의해 오차를 가지게 되면 구동용 제어기에서 헤딩값의 오차를 줄이기 위해 주행궤도를 제어하여 헤딩각도를 일정하게 유지 함.

- 그림 6.1.11은 직진 주행 유지제어 없이 주행을 수행한 그래프이며, 15m 주행을 수행하였고 주행 속도값은 최고속도(2,0km/h)의 70%, 85%, 100%일 때를 각각 실험함. 주행 중 직진방향에 대한 편차량은 각각 280mm, 390mm 520mm 였으며, 주행속도가 낮을 수록 15m 주행시 시간이 오래걸려 편차량이 점점 커짐을 알 수 있다.

- 그림 6.1.12는 직진 주행 유지제어 시 없이 주행을 수행한 그래프이며, 15m 주행 시 주행편차량은 +-100mm 이내에서 직진방향에 대한 편차량을 만족하면서 주행됨을 확인할 수 있음. 헤딩 각도 또한 +- 2도 범위에서 수렴함하며, 주행속도가 빠를 경우 궤도와 지면의 진동으로 인해 편차가 크며, 저속일 경우 진동의 영향이 적어 편차가 적음을 볼 수 있음.



(a) 주행편차량



(b) 주행중 헤딩 각도

그림 6.1.12 직진 주행 유지제어 시 주행한 결과

(4) 운영시스템 관련

1) 전반적인 사항

- 연구내용(항목) : 원격조종 S/W, H/W, 개발
: 위치/형상 인식 시스템 요소기술 개발
- 운용 전장부 구성(구동 레버, 버튼 등)
: 장비에 구동명령을 주기 위한 레버, 스위치, 버튼 등
: Visual한 표현을 위해 모니터 2 Set

- 구성 안

		내용	비고
전원	스위치	전장 전원 공급/차단	
비상 정지	EMG 버튼	- 유압공급 차단 - 비상동작 Sequence 수행	
유압 공급 스위치	자동 스위치	On : 수동 스위치로 인한 유압공급 V/V 조작차단 : 장비 구동명령이 없고, 배압탱크의 Min Level, Sig On이면 유압공급 V/V off : 나머지 경우는 유압공급 V/V On	- 유압공급 V/V : 유압 공급장치에서 장비로 유압을 공급/차단 하는 밸브. : DC 24V 공급 및 차단으로 구현 (전장-유압공급장치 : 7m 배선)
		Off : 수동 스위치로 인한 유압공급 V/V 조작 허용	
	수동 스위치	On : 유압유니트의 유압공급 V/V On	
		Off : 유압유니트의 유압공급 V/V Off	
주행 레버	전/후진	볼륨 조이스틱 (상/하 1자유도)	
	방향조절	볼륨 조이스틱 (좌/우 2자유도)	
높이 조절 버튼	1번 링크	상승버튼, 하강버튼 2개로 구성	
	2번 링크	상승버튼, 하강버튼 2개로 구성	
	3번 링크	상승버튼, 하강버튼 2개로 구성	
	4번 링크	상승버튼, 하강버튼 2개로 구성	
모니터	#1	장비의 형상 및 위치의 그래픽 표현	
	#2	Optical Camera 영상 출력	장비 전방/후방에 카메라를 설치하여 수신된 영상을 화면에 보여줌.

○ 운용 제어기

- : 구동명령을 구동용제어기로 송신
- : 장비센서 데이터를 수신

○ Visualization (모니터 #1에 나타냄)

가. 장비의 형상 및 주행표현

- 원격조종장치에서 수신한 데이터(높이조절용 액추에이터의 값, 작업플랫폼의 각도, 주행 방향각도 등) 및 원격조종장치에서 명령된 주행명령 등을 조합하여 장비의 형상을 그래픽으로 표현

(수중작업 시 에도 장비의 형상을 그래픽으로 나타내는 기법이 필요함)

나. 장비의 위치 표현

- Optical Camera를 지상에 설치(ex, 3m)하여 장비를 촬영함.
- 2차원 영상으로부터 장비의 X, Y 위치와 카메라 설치높이를 이용하여 3차원 공간에 장비위치로 환산
- 가상공간에 장비의 위치를 표현 (Blue View 사용 시 가용한 방법 재현 목적)

다. 지형 모니터링 3D 표현

- : 가상공간을 미리 모델링하여 표현
- : 실제 수중에서는 수중 스캔 및 장비의 수심 값 등으로 표현할 것이나 육상에서 시연할 수 없으므로 대체함.

2) 1차년도 운영시스템 구성

가. 운영시스템(Visualization 포함) 관련

- 운전실은 제외
- 전장
 - : 조작반
 - : 운용 제어기 (원격조종 S/W, H/W 개발에 해당)
(구동용 제어기와 통신기능 요구됨.)
 - : 모니터 1 (위치/형상 인식 시스템 요소기술 개발에 해당)
 - > 구동용 제어기로부터 수신된 센서값으로 장비 형상표현
 - > 모델링된 3D 가상공간에 장비 위치 표현
 - : 모니터 2 : 장비 전방/후방 카메라 영상 출력
- Optical Camera : 장비 전방 1Set 설치
 - : 장비 후방 1Set 설치
 - : 작업장 상부에 1Set 설치

나. 통신 관련 (운용제어기 - 구동용제어기)

○ 운용제어기 -> 구동용제어기

- 액추에이터별 구동명령
 - : 주행명령(방향, 속도)

- 수평조절링크 높이조절 명령(4개의 링크에 각각 상승/하강 명령 입력)
- 수평유지하면서 주행하는 명령
 - : 주행명령(방향, 속도)

- 구동용제어기 -> 운용제어기
 - 장비의 수평관련 측정값 (X,Y 각도 (2축) 센서)
 - 장비 주행방향 측정값 (헤딩 각도 (1축) 센서)
 - 장비 수평조절링크 측정값 (MTS 센서 X 4EA)
 - 유압배기 탱크 수위측정 센서

다. 상기 시나리오 설정 전 필요사항.

- 장비 위치 및 수중 환경 인식 최종방안 설정
- 이로부터 1차년도 모니터#1, #2를 구현한 논리를 설명할 수 있음
(수중에서는 A와 같이 구현할 것이나 육상이므로 이를 A'와 같이 시연한 것)

6.1.2 시연회

(1) 개요

- 목적 : 사석면 이동시스템 및 무인 운영시스템에 대한 육상 검증실험
- 현장 위치 : 창원대학교
- 시연회 날짜 : 2010년 10월 15일(금) 14:00 ~ 15:00
- 시연회 참석 범위 : 연구팀, 국토해양부(항만개발과장, 사무관, 주무관), KIMST(산업 전략팀장, 담당관), 기타 관계자 다수

(2) 현장 시연회 준비사항

- 실험 관련 : 장비, 운영시스템, 구동기(리모콘? or 조이스틱? or 햅틱?), 사석, 경사면 조성
- 영상 관련 : 촬영 비디오(연결선), 마이크, 모니터(화면 보호기 포함)
- 기타 : 향후 소개 자료 관련 동영상 업체 섭외(?)
- 소개 자료 : 개요, 현장 방문 동영상 포함, 총괄 준비

(3) 세부 시나리오

- 14:00 ~ 14:05 : 연구팀 및 내외빈 소개 (실내) - 연구책임자
- 14:05 ~ 14:20 : 과제 개요 및 현황 보고 (실내) - 연구책임자
- 14:20 ~ 14:30 : 이동 (실내 --> 실외)
- 14:30 ~ 14:50 : 시연회
 - 무인 사석면(울석 대상) 이동 시스템 시연 (10')
 - 평탄 사석면 이동 (5')
 - 경사면 이동 (5')

- 운영시스템 화면 및 영상 시연 (10')
 - 유압 모듈에 대한 센서값
 - 장비 경사각(2방향)
 - 전체 도면 (바지선 촬영 모습) - Grid 작업
 - 장비 위치 표시 (Grid + GPS 좌표)
 - 카메라 화면
 - 멀티빔 소나(Blueview) 화면
- 14:50 ~ 15:00 : 질의 및 응답

6.1.3 사석면 이동실험

- 울석면 주행 실험 (초음파 센서 적용)
 - 주행 실험을 위해 조성된 실험장의 배치를 그림 6.1.13과 같이 하였음. 전체 울석면은 120m² (8.0m X 15.0m)의 면적을 가지며, 울석면 외부에는 장비에 유압을 공급하기 위한 유압공급장치, 장비의 원격제어를 위한 운전실 그리고 유압 및 통신 케이블을 구비하였음.
 - 그림 6.1.14는 운전실 내부의 구성으로 장비조종을 위한 조작판넬, 장비의 상태 및 모델링 데이터를 가시화시키기 위한 모니터링 모니터 그리고 고르기 작업에 있어 장비 주변의 상황을 확인할 수 있는 2개의 카메라 모니터로 이루어짐.
 - 육상실험에 있어 작업 공간에 대한 장비의 위치인식을 위해 초음파센서를 활용함. 그림 6.1.15(a)는 장비 위치 인식을 위해 초음파센서를 설치한 장면이며, 작업영역의 후미부에 센서 설치용 기둥을 5.5m 간격으로 2개 설치하고 각 기둥에는 2개의 초음파 발신기를 설치함. 장비 후미부에는 초음파 수신기를 설치하여 초음파 발신기로부터 장비의 위치를 인식함. 그림 6.1.15(b)는 모니터링 프로그램 상에 3D로 모델링된 작업공간 및 장비의 모습임. 붉은색 테두리는 초음파 센서를 기준으로 고르기 작업 영역을 표현한 것으로, 초음파 센서의 송수신 영역제한으로 인해 실제 작업 공간은 5.5m X 9.0m로 약 50m² 면적의 영역을 모니터링할 수 있음. 작업 공간상에서 장비의 위치 표현은 초음파센서를 통한 값으로, 장비의 자세 표현은 각도센서를 통한 값으로 모델링함.



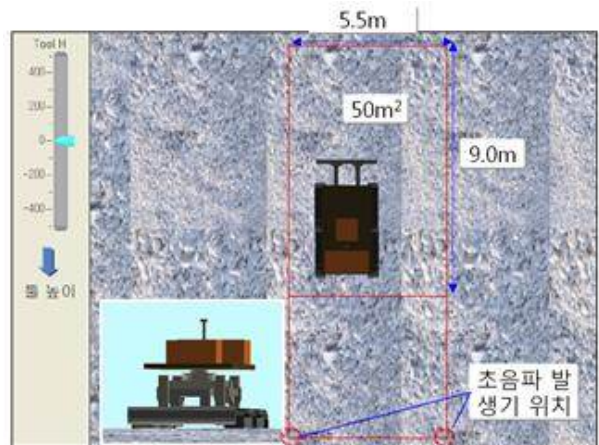
그림 6.1.13 초음파 센서를 활용한 작업공간 모델링



그림 6.1.14 운전실 내부 구성



(a) 설치된 초음파 센서



(b) 3D로 모델링된 작업 공간

그림 6.1.15 초음파 센서를 활용한 작업공간 모델링

- 육상 고르기 실험에 앞서 장비 위치 모니터링 실험을 수행함. 그림 6.1.16과 같이 고르기 장비를 울석면에서 주행할 때 실제 장비의 위치와 장비 위치 모델링 화면을 비교함. 그림 6.1.17은 주행에 따른 모델링 값을 3D 그래픽으로 나타낸 것임. 모델링 데이터는 약 1.5초 정도의 시간지연(Time Lag)을 가졌으며, 이는 수신된 초음파센서 값의 디지털 필터 영향임. 그림 6.1.16과 17을 비교했을 때 장비 위치 모델링 화면만으로 장비의 위치 및 자세를 명확히 확인할 수 있으며, 이로부터 원격제어를 통한 작업이 가능함을 확인할 수 있음.

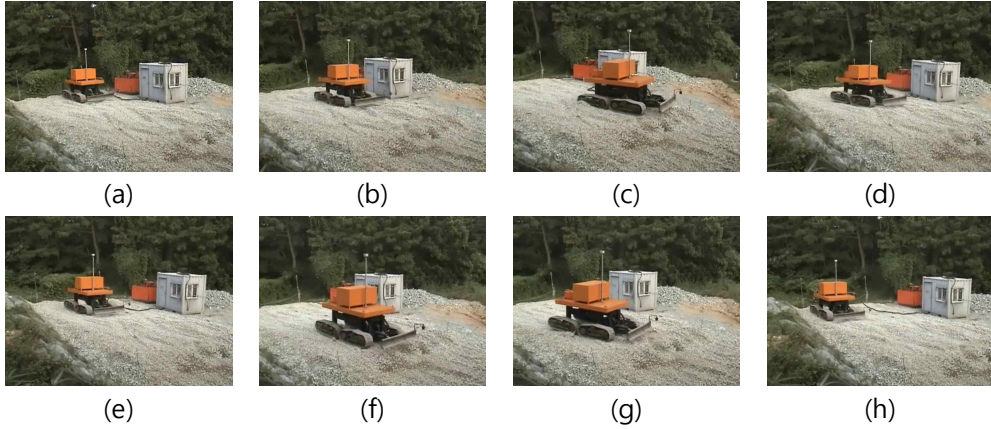


그림 6.1.16 울석 주행 장면

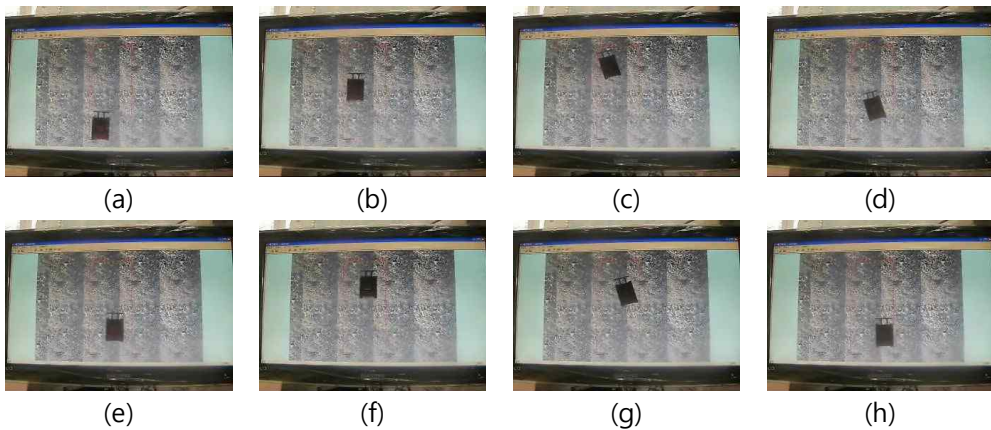


그림 6.1.17 주행시 장비 위치 모델링 화면

6.2 원격 조종 및 육상 고르기실험 성능 평가 및 보완사항 점검

○ 울석 고르기 작업 실험 (육안 작업)

- 육안으로 장비 및 울석면을 직접 보면서 고르기 작업을 수행함. 그림 6.2.1은 고르기 작업과정을 보이고 있으며, (a)와 (f)를 비교하면, 고르기 작업 전,후의 울석면이 확연히 차이가 남을 확인 할 수 있음. 작업 소요 시간은 4분/50m² 이 소요됨.

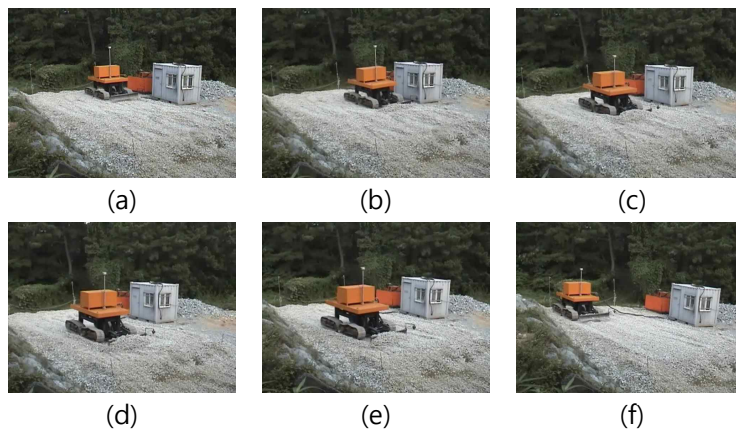


그림 6.2.1 울석 고르기 작업(육안)

○ 울석 고르기 작업 실험 (모니터링 화면을 통한 작업)

- 운전자는 운전실 안에 위치하고, 운전실의 창문을 커튼으로 모두 가린 후 모니터링 화면, 카메라 화면만의 정보를 활용하여 고르기 작업을 수행함. 그림 6.2.2는 실험 시 실제 장비의 작업 장면과 그때의 모니터링 화면을 조합하여 나타낸 것임. 실험동안 장비의 위치인식은 시간지연현상이 있지만 원활히 진행되었음. 고르기 작업에서 블레이드의 높이를 울석 기준면의 높이에 맞추는 작업이 필요한데, 이는 장비 주행 중 초음파센서의 높낮이 인식값의 오차가 $\pm 150\text{mm}$ 의 정밀도를 나타내므로 블레이드의 높이를 모니터링 데이터로 제어하기에는 불가능했음. 그러므로 실험 시 블레이드의 높이조절은 카메라 모니터를 통해 운전자의 감각으로 수행되었음. 실제 수중작업에서는 수심센서(Depth Sensor)를 블레이드에 직접 부착 시키면 1~3Cm 정밀도로 측정이 가능하므로 오히려 수중조건에서 블레이드의 높이제어가 유리할 것으로 판단됨. 모니터링 화면을 통한 고르기 작업 수행 시간은 7분/50m² 이 소요됨. 이는 센서의 시간지연현상, 모니터링 데이터를 통한 운전자의 작업공정 판단 등의 지연요소로 유발된 것이며, 센서 문제와 운전자의 숙련도 문제의 해결 정도에 따라 육안작업의 작업시간에 가까워질 것으로 예상됨.

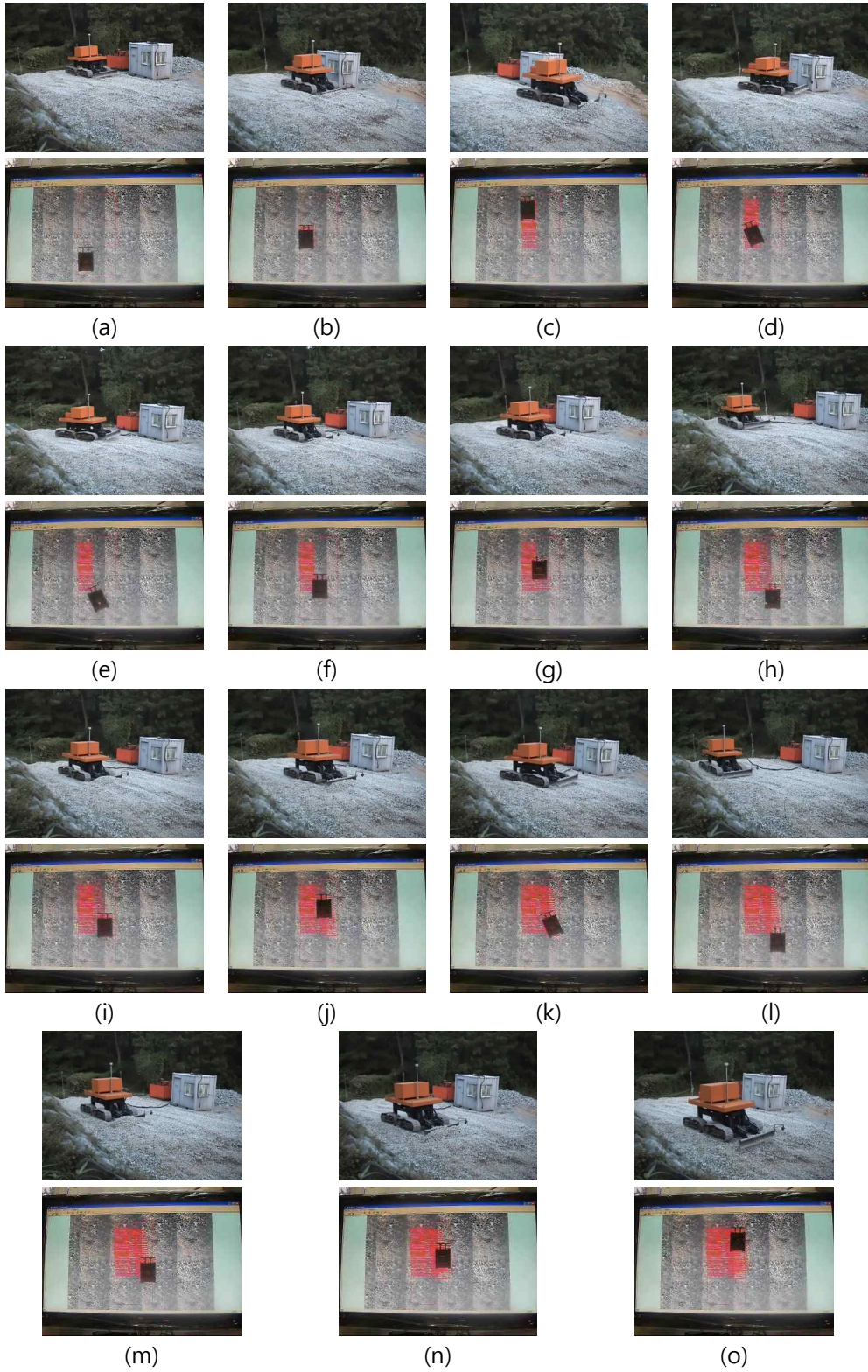


그림 6.2.2 모니터링 화면을 통한 고르기 실험 장면

- 육상 고르기 실험 성능 평가
 - 고르기 작업을 목적으로 시험용장비의
 - : 주행부 속도실험

- : 기반조건에 따른 견인력실험
 - : 작업 플랫폼 수평유지 제어실험
 - : 직진 주행 유지 제어 실험
 - : 작업공간 상의 장비 위치 및 자세 모델링 실험
 - : 울석면 주행실험
 - : 육안 장비 조정을 통한 울석 고르기 실험
 - : 모니터링 화면을 통한 울석 고르기 실험
- 등을 수행함.

- 실험 결과를 볼 때 개발된 착저형 이동시스템은 40mm² 크기의 울석면을 자유롭게 주행하고, 울석 마운드를 밀어 평탄화 시키는 주행성과 주행력을 갖추고 있음.
- 제시한 초음파센서를 통한 장비 위치 및 자세 모델링을 통해 장비를 보지 않고 완전한 원격제어만으로 고르기 작업의 가능성을 보였음.
- 또한 수평유지제어 및 직진 주행 유지 제어를 구현하여 원격제어시 작업자가 쉽게 장비를 조작할 수 있는 기능을 구현하였음.
- 기존의 잠수부 작업과 시공장비를 이용한 기계화 작업의 특성은 표 6.2.1과 같이 잠수부의 25배 이상의 작업성과 이로부터 파생되는 경제성 및 실용성을 가질 것으로 판단됨.

표 6.2.1 잠수부와 시공장비의 특성비교

	잠수부 작업	기계화 작업	비고
작업성	30m ² /일	800m ² /일 (육상실험을 통한 추정치)	· 잠수부의 80%수준의 기계화 작업 · 잠수부의 25배 이상 작업성
장점	· 수작업으로 시공오차 범위까지 작업 가능	· 기계화 시공으로 작업성 증대 · 기계화 작업으로 수심 및 작업시간의 제한이 없음. · 공비 및 공기절감 · 산재절감 효과	
단점	· 수심으로 인한 작업시간 제한 · 산재에 직접 노출 · 열악한 작업환경으로 인한 인력난	· 기계화 작업을 위한 Know-How 습득 필요	
기계화의 경제성	· 고르기 작업의 직접 인건비 절감 · 공기절감에 따른 부대비용(바지선/크레인 임대료, 관리비 등) 절감		
기계화의 실용성	· 기계화 작업을 통한 관리감독의 효율화 · 고르기 작업 뿐 아니라 수중 중작업에 응용가능		

- 보완사항 점검

- 아웃트리거 외부 프레임과 내부 프레임의 회전없는 섭동부 설계
 - : 외부 프레임과 내부 프레임은 아웃트리거 내부의 유압실린더에 의해 서로 신축방향으로 움직임. 이때 섭동부의 공차로 인해 회전운동이 발생하게 되며, 이는 궤도를 진행방향의 좌우로 회전시키게 됨. 공차를 줄이고 불필요한 회전운동을 방지하는 구조설계가 요구됨.

- 장비 주행 중 궤도의 아이들 휠 및 스프라킷에 윤석이 끼임으로서 주行的 방해가 되며, 기구부의 내구성에도 영향을 줌. 그러므로 윤석이 궤도 내부로 들어가지 않도록 하는 설계가 요구됨.

- 장비의 원격제어에 있어 센서값 취득 시 시간지연(Time lag) 문제 해결하여, 운전자의 작업상황 판단 및 원격제어가 용이하도록 보완할 필요성이 있음.

- 당해연도 운영프로그램 개발에 있어 기본구동 프로그램과 장비 위치 모델링 프로그램이 이분화 되어 개발되었음. 차기년도에는 이를 하나의 운영프로그램으로 통합 개발할 필요가 있음.

- 육상실험 과정에서 유압 및 통신케이블이 윤석면에 끌리는 상황에서 지속적인 장력을 받아 카메라 케이블이 단선되는 등 문제가 발견됨. 수중에서는 육상보다 유리한 상황일 것으로 생각되나 장력의 영향을 최소화 시키는 설계가 요구됨.

- 수중 장비에 있어 유압 구동을 위한 작동유의 누유는 환경오염을 야기 시킴. 실제 수중현장에 적용 시 생분해성 작동유(누유시 95%이상 분해됨)를 사용함으로써 환경오염문제를 최소화 시킬 필요가 있음.

3-3절 2차년도 연구 내용 및 결과

I. 수중고르기 장비 활용방안 분석

1.1 개발 장비 활용성 증대 방안 (업그레이드 방안) 분석

1.1.1 개요

- 본 연구사업의 목적은 항만 수중공사에 있어 수중 사석 고르기, 굴삭 작업 등을 경제적/효율적/안전적으로 수행할 수 있는 수중 기계화 굴삭 장비 및 무인 수중 기반조성 운용 시스템을 개발하고 실용화하는 것임.
- 연구사업의 주 내용을 다시 정리하면 아래와 같음.
 - 수심 20m까지 원격조종을 통해 항만 수중작업이 가능한 수중 사석 고르기, 굴삭용 무인 기계화 장비 개발 (05급)
 - 수중 무인 기계화 시공이 가능한 모니터링 시스템 및 운영 시스템 개발
 - 현장 실험역 검증실험을 통한 성능평가
- 개발장비 활용성 증대 방안 분석의 필요성
 - 항만개발 패러다임의 변화에 따른 장비 개발의 활용방안 검토
 - 고효율, 저비용의 장비 활용을 위한 업그레이드 방안 검토
 - 연구비 현실화에 따른 사업 성공 가능성 증대
- 개발장비 활용성 증대 방안 제시
 - 총 4가지 방안에 대하여 정리함.
 - 대상 수심을 50m로 증대하여 장비 적용범위를 확대
 - 목적 및 활용 범위에 따라 다양한 톨을 부착하여 다목적 장비 구현
 - 외부 여건에 따라 유동적으로 활용 가능한 유·무인 겸용 장비
 - 대용량 작업을 하기 위한 장비 규모 확대
 - 각 방안에 대하여 필요성 및 추가 연구비(정부출연금 기준, 직접비+간접비), 연구기간 등을 나타냄.

1.1.2 항만개발 관련 정책의 변화

- 저탄소 GREEN PORT를 지향하는 항만의 친수·친환경적 활용이 공존하는 방향으로 패러다임 전환이 이루어지고 있음.
- 녹색기술의 새로운 시대변화에 부응하는 항만정책 패러다임의 변화에 따라 항만의 역할 및 기능을 재정립할 필요성이 대두됨

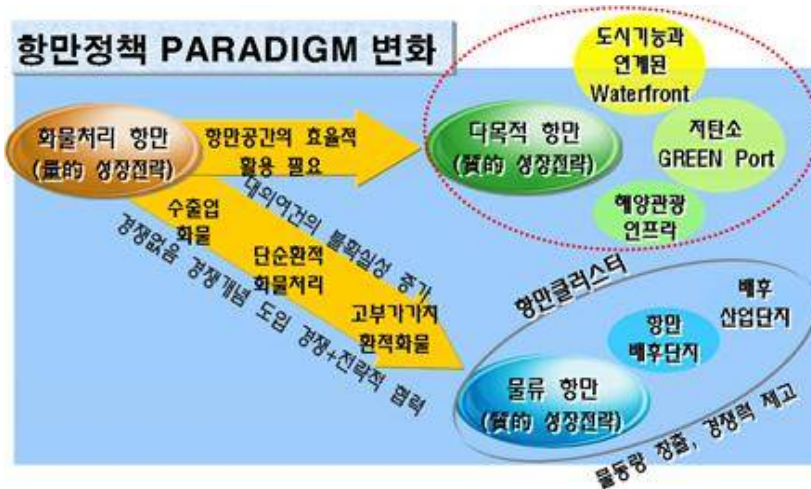


그림 1.1.1 항만정책 패러다임의 변화

- “저탄소 녹색성장전략”을 구현하기 위한 Green-Port 기술개발의 필요성
 - 지구환경변화 문제에 대한 인식이 높아지면서 항만을 중심으로 한 환경오염에 대한 각종 규제가 점차 확대·강화되고 있는 추세 속에서 항만권역에서도 녹색성장을 지향하는 그린포트(Green Port) 개발전략이 도입되기 시작
 - 최근까지 국내에서는 대체에너지 활용, 리사이클링 항만개발, 하역장비 동력 하이브리드화, 준설토/퇴적물 처리를 위한 해상처분장 단지조성 등 친환경 항만체계 구축을 위한 개별 정책은 검토 또는 실시되고 있으나, 친환경 항만 구축을 위한 종합 계획이 구축되어 있지 않은 상황이어서 2013년부터 적용되는 포스트 교토의정서의 규정에 의해 항만권역에서도 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축하여야 하는 점을 감안 할 때 녹색 항만 구축을 위한 정책 수립은 시급한 과제임
 - 이를 위해서 해양온도차에너지, 해상풍력 및 파력에너지 개발 등 청정에너지 활용을 높이고, 기존항만시설을 친수·친환경적인 저탄소 에너지 고효율 녹색항만으로의 전환을 위한 목표 설정 및 실천 전략 수립 및 Green-Port의 체계적인 추진을 위한 Action Plan 수립이 필요함

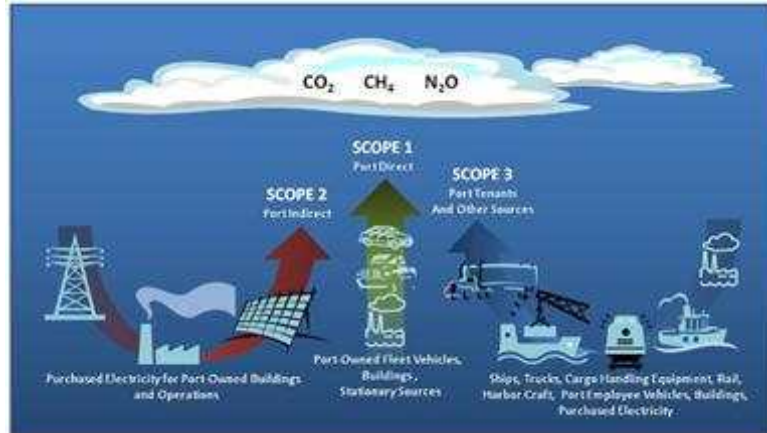


그림 1.1.2 항만관련 온실가스 배출원

- 첨단 융·복합 장비(로봇 등)개발 등 Smart-Port 기술개발의 필요성
 - 저탄소 녹색성장을 지향하는 항만 개발과 아울러 항만 건설 및 운영의 효율성을 높이고 IT, 바이오 및 첨단 장비기술을 복합적으로 접목시켜 활용하는 Smart-Port기술 개발로 항만 건설에 대한 패러다임이 전환되고 있음
 - 특히, 장대 해상 교량, 조력/조류 발전, 해저 터널 등과 같이 녹색 성장 정책기조에 부합하며 복합 해양 공간개발에 적합한 다양한 대형 해양 구조물에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 대수심 조건에서의 열악한 외부 환경을 극복할 수 있는 첨단융합형 시공 장비(수중로봇 등)의 개발은 향후 해양 건설 강국의 초석을 다지는데 필수적인 요소가 됨
 - 현재 일반 시공장비가 사용 가능한 육상공사에 비해 해상 공사의 경우에는 탁도로 인해 시계가 떨어지며 수중 영상 및 정밀 위치 파악의 어려움으로 인해 시공의 효율성이 상당히 저하되어 있으며, 잠수부를 활용한 재래식 시공과정에서 각종 안전사고 및 재해의 우려가 있을 뿐 아니라 작업시간이 극히 제한되고 있음
 - 대수심에서 파랑이나 조류 등으로 인해 해상기초 등 수중에 설치될 다양한 해양구조물의 지반 내 정밀 거치가 어렵다는 사실을 감안할 때 정밀 시공 및 안정성 증대를 위해 무인시공장비 및 로봇을 이용한 첨단 융복합 시공장비 개발이 필요
 - 또한 항만의 효율성을 높이고 쾌적한 친수·친환경 항만환경 조성을 위해 최신 IT기술을 이용한 항만 센싱 및 시뮬레이션, 바이오 기술을 이용한 항만 수질개선 및 환경정화 기술 등 신개념의 항만 건설 및 유지관리 기술개발을 위한 종합적인 투자전략체계 수립이 필요함



그림 1.1.3 다양한 형태의 수중 무인 기계화 장비

1.1.3 장비 활용성 증대 세부 방안 (#1)

(1) 개요

- 무인 장비 ➡ 유·무인 겸용 장비

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 외부 여건에 따라 유동적으로 활용 가능한 유·무인 겸용 장비.
- 수중 조건에 따라 작업의 효율을 증대시킬 수 있음.
 - 수심이 20m 내외이면서 탁도가 좋은 환경일 경우, 유인 장비로 활용하는 것이 훨씬 효율적임.
 - 탁도가 높거나 고위험도 지역의 경우에는 무인 장비가 보다 적합함.
- 유인 장비와 무인 장비의 장점을 최대한 활용 가능.

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 없음. (당초 계획 기간 내에 업그레이드 가능)
- 추가 연구비 : 500 백만원 (정부출연금 기준)
 - 잠수부 운전실 및 작업 H/W (작업용 모니터 포함) : 250 백만원
 - 유인 운용시스템 : 100 백만원
 - 현장검증실험 : 150 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터 가능.

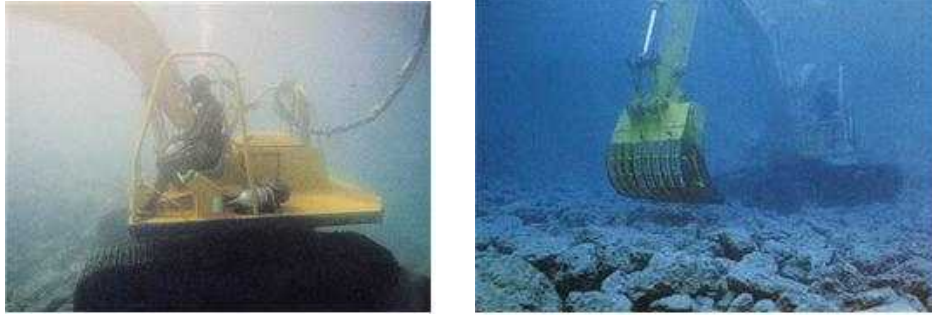


그림 1.1.4 일본 유인 수중굴삭기

(4) 관련 자료

- 일본항공항공기술연구소(PARI) 전문가 초청 세미나
 - PARI와 동아건설을 주축으로 다년간 수중굴삭기 연구 및 시공이 이루어짐.
 - 일본 내에서는 작업시야가 확보되는 조건에서 유인 굴삭기를 선호함.
- 탁도 및 수심 등 외부 조건과 경제성 등을 고려하여 유인 또는 무인 장비로 활용.
- 시공장비의 상용화에 있어 활용 및 성공가능성 증대.

1.1.4 업그레이드 방안 (#2)

(1) 개요

- 대상 수심 : 20m ➡ 50m 범위 확대

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 잠수부 작업이 어려운 공사를 대신할 수 있는 장비.
- 장비 적용 범위가 항만공사에서 연안구조물 공사로 확대될 수 있음.
 - 수심 50m 이내 지역에 대한 해저파이프라인 공사 등에 적용
 - 해상풍력기초 등의 해저면 고르기 작업
 - 침매터널 등과 같은 연계교통시설망 확충에 활용
- 향후 대수심 조건용 장비 개발 확대를 위한 기초기술 자료 확보.

(3) 추가 연구기간 및 연구비

- 추가 소요 연구기간 : 1년~2년(연구비 배정에 따라 차이)
- 추가 연구비(안) : 1,900 백만원 (정부출연금 기준).
 - 수중 전동식 유압공급시스템/전력공급시스템 : 800 백만원
 - 대수심 모니터링 시스템 : 200 백만원
 - 대수심 방수 기술 확보 및 설계/제작 : 200 백만원
 - 대수심용 전력/통신 케이블 및 자동 릴 시스템 : 400 백만원
 - 현장검증실험 : 300 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터 가능

(4) 관련 자료



(a) 해저 침매터널 공사



(b) 해상 풍력 발전 시설

그림 1.1.5 연안구조물 및 해양에너지 플랜트 수요 증대

1.1.5 업그레이드 방안 (#3)

(1) 개요

- 굴삭시스템 ➡ 굴삭시스템 + 다양한 장치 Add-on 기법.

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 수중 작업 용 다양한 툴 (tool) 부착 장비.
- 다양한 항만 작업에 활용 가능.
 - 이형블록 포함 고중량 (2ton 내외) 대상물 핸들링 장치
 - 브레이크 장치
- 항만 이외에 다양한 수중 작업에 활용하여 적용 범위를 확대.
 - 고압 워터젯 장치
 - 표층시료 채취용 장치

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 1년~2년(연구비 배정에 따라 차이)
- 추가 연구비 : 1,600~2,200백만원 (정부출연금 기준, 추가되는 항목에 따라 달라짐).
 - 고중량 물체 핸들링 장치 (H/W 및 S/W 포함) : 200백만원
 - 고압 워터젯 장치 : 1,000백만원
 - 추가 장치 : 각 장치별 200백만원 정도 (전체 약 1,000백만원)
 - 현장검증실험 : 200 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터 가능

(4) 관련 자료

- 다목적 암 끝단에 수중 작업용 툴(tool) 장착 가능

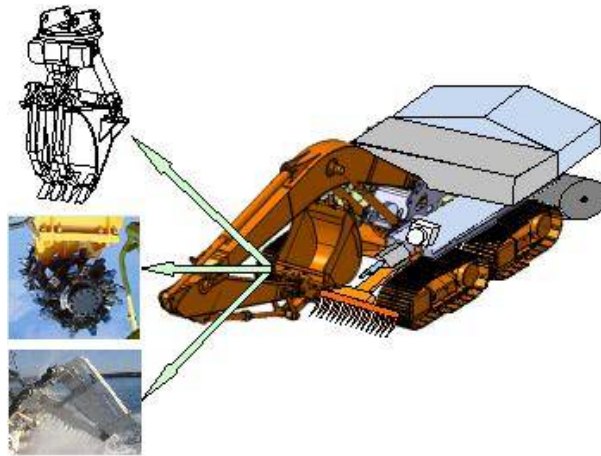


그림 1.1.6 추가 가능 부착 틀



그림 1.1.7 이형블록작업용 틀 부착 장비 (일본 PARI)

- 추가 가능 부착 장치
 - 와이어브러쉬
 - 파쇄장치
 - 트윈헤더
 - 수중 차단기
 - 배출장치



(a) 와이어 브러쉬



(b) 파쇄장치



(c) 트윈헤더



(d) 배출



(e) 수중 차단기

그림 1.1.8 부착 가능 장치 (일본 동아건설공업)



(a) Scanmaskin1000



(b) CTC (Water Jetting Track type)

그림 1.1.9 워터젯트 type 해저매설장비

1.1.6 업그레이드 방안 (#4)

(1) 개요

- 장비 규모 : 05급 ➔ 08급

(2) 산출 성과물 및 기대효과

- 산출 성과물 : 유압시스템, 이동시스템 등의 중량화.
- 05급에 비해 적용 사석 작업 효율을 극대화할 수 있음.
 - 작업 대상 사석의 크기를 확대할 수 있음.
 - 가반중량을 높여 수중 중작업의 범위 확대
 - 시간당 작업량을 증대시킬 수 있음.
- 수중 중량 확보를 통한 적용 범위 증대.

(3) 추가 연구기간 및 연구비 (항목별)

- 추가 소요 연구기간 : 1년~2년(연구비 배정에 따라 차이)
- 추가 연구비 : 800 백만원 (정부출연금 기준).
 - 수중 착저형 이동시스템 : 400 백만원
 - 작업용 툴 : 100 백만원
 - 수중 구동 액추에이터 : 100 백만원
 - 현장검증실험 : 200 백만원
- 연구개발 시점 : 3차년도(2011. 05)부터 가능

1.2 해외(일본) 선진기관 방문을 통한 활용방안 분석

1.2.1 개요

(1) 방문 취지

- 1차년도 연구기간 중 일본 항만공항기술연구소(PARI)에서 수중 무인 굴삭기 개발 및 제작과 관련한 전문가를 초청하여 세미나 및 토론회를 개최한 바 있음.
- 2차년도 에는 해외(일본) 선진기관을 방문하여 수중 무인 굴삭기 개발, 제작 및 활용 방안에 대해 분석하였음.

(2) 방문 기관

- Port and Airport Research Institute (Yokosuka 소재)
 - PARI의 관련 연구결과 및 연구시설에 관한 견학 및 논의
 - 일본의 수중 무인 굴삭기 개발, 제작 및 활용방안에 대한 전반적인 의견교환
- HITACHI 건기 (Bunkyo-ku, Tokyo 소재)
 - 건설장비 생산 관련 상위 클래스에 있는 기업을 방문하여 신 개념 장비에 대한 시장성, 사용자의 성향, 개발시 착안점 등의 의견교환
- TOA CORPORATION 준설공사 현장사무소
 - 실제 수중 준설용 굴삭기를 사용 중인 시공현장을 방문
 - 실제 현장의 적용방안, 문제점, 장비 운영시 고려사항 등의 의견교환

1.2.2 방문 기관별 시공장비의 연구/개발/활용 내역

(1) 항만공항연구소(PARI, Port and Airport Research Institute)

- 장소 : PARI 회의실
- 일시 : 2011년 1월 24일
- 참석자 :
 - Tetsuya SHIRAISHI (Director Construction and Control System Department)
 - YOSHIE Muneo, Ph.D. (HEAD Construction and Control System Department)
 - Taketsugu HIRABAYASHI, Dr. ENG (Construction and Control System Department)
 - 장인성 박사, 김우태 박사 (한국해양연구원)
 - 박근우 박사, 김태성 박사 (창원대학교)

1) 일본의 수중 건설 장비 전반

- 일본의 수중시공 장비 현황
 - 대부분 수중굴삭기 형태임.
 - 약 20대가 현장에서 활용되고 있음.
 - : 이중 동아건설이 7대 보유
 - 20대 중 1대는 무인장비로 동아건설에서 준설작업에 활용중임
 - 나머지는 유인장비로써, 유인장비에는 어떠한 수중센서도 사용되고 있지 않음.
 - : 유인장비이므로 수심이 깊거나 시야가 나쁜 곳에서는 적용 불가함
 - : 즉, 오키나와 부근 시야가 잘 나오는 곳에서 대부분의 유인장비가 활용되고 있음
- 수중 시공장비 활용 사례
 - 일본 침매터널 사석고르기 사례 : Penta Ocean사에서 전용 고르기 장비를 개발하여 수행.
 - : ±5Cm 정밀도 까지 작업가능.
 - 일본 수중 백호(작업 툴 : 버킷, 수심 50m 급) 판매가 : 약 8천만 ~ 1억円
 - 일본 항만 수중작업은 수심 10~20m 작업이 대부분임. 즉, 20m 정도까지 수중 장비를 활용한 바 있음.
- 수중 시공장비 개발 관련
 - PARI 무인 수중장비의 운영시스템 개발
 - : R&D로 개발되었음
 - : 연구비, 3천만円 (기구 개발 없이 운영시스템만 개발한 사례)
 - 일본의 수중건설장비 개발은 건설사의 필요에 따라 주문 제작함.
 - ex) 동아건설은 극동건설에 장비제작을 의뢰

: 기본적인 수중시공장비로 사석고르기 장비가 있음.

: 준설용/파쇄용 백호

- 장비는 육상에 있고 롱암을 사용하여 수중지반 준설작업 수행

- 스캔소나를 활용하여 수중지형인식

- CG(Compter Graphic)를 이용하여 준설위치 및 장비를 그래픽화하여 운영, 작업된 곳은 붉은색으로 표현



그림 1.2.1 준설용 백호 및 파쇄용 백호의 CG 영상

: 또한 작업목적에 따라 툴(수중 브레이커, 와이어브러시 등)을 교체하여 작업(ex) 준설, 구조물에 붙은 어패류 제거 등.



그림 1.2.2 수중시공장비의 기본이 되는 사석고르기 장비

<p>ワイヤブラシ</p> <p>磯焼け対策工事や藻場造成工事で、岩や構造物についた海藻類やカキなどを掻き落とす。</p>		<p>リッパ</p> <p>岩盤の切削や筋掘、硬岩の筋掘に使用する。</p>	
<p>ツインヘッド</p> <p>岩盤の切削や軟岩の筋掘で回転式掘削機として使用する。</p>		<p>エジェクタ</p> <p>砂地盤へのケーブル埋設時の筋掘や、構造物の露出工事で砂層掘削の際に、砂や小石を吸引し別の場所に移動させる。</p>	
<p>水中ブレーカ</p> <p>油圧式ブレーカで岩盤の硬岩の筋掘に使用する。</p>		<p>ドリフタ</p> <p>岩石・岩盤・コンクリートに短時間で穿孔を行う。65mm～120mmに対応する。</p>	

그림 1.2.3 수중시공작업 목적에 따른 작업용 툴

- 수중환경인식 및 수중 위치정보 관련
 - 수중환경인식을 위해 수중 초음파 센서가 주류임.
 - : 측각센서를 활용하여 수중환경 인식하는 기법도 있음 (PARI에서 연구)
 - 수중 위치정보인식
 - : SBL, LBL 등을 활용
 - : SBL은 선박에 발신기를 설치하므로 적용하기 편리함
 - : 그러나 정밀도가 낮음 $\pm 50\text{Cm} \sim \pm 1\text{m}$ 수준 (수심 16m 측정시), 측정 Response 1Hz
 - : 정밀도 측면에서 LBL이 유리함 (다만, 발신기 설치, 케이블처리 등 적용의 어려움이 있음)
 - : 장비의 X,Y 위치만 파악한다면 SBL도 큰 문제는 없을 것임.
 - : 수압계활용 (0.1%오차, 수심 20m에서 2Cm 오차)
 - : 수압계의 과량오차를 극복하는 방법
 - 10~20초 정도 수압계의 데이터 정보를 활용, 평균값 처리등을 통해 필터링함.
 - 수압계를 2개 활용하는 방법은 좋은 아이디어임.
- 수중 건설장비를 활용하여 작업 후 작업결과 확인 방법
 - 실제현장에서와 같이 추/봉 등으로 10m 간격으로 측정하였음.
 - PARI에서는 18축 보행로봇으로 측량에 활용한 시도가 있었음.
- 수중장비의 운영시 주의점
 - 기존 수중장비의 취약점
 - : 궤도부의 주행모터
 - : 대부분의 수중장비가 해수용 액추에이터 개념으로 개발하지 않음. 그 중에서도 특히 주행모터 부분이 가장 문제점이 많이 발생한 부분
 - 장비를 운영할 수 있는 적합한 선박이 요구됨.
 - : 크레인 전용선박은 고가이므로, 일반 바지선에 크레인을 장착하는 방법으로 활용
 - : 장비를 핸들링 할 수 있는 진수장치가 요구됨.
 - 전력선 및 통신 케이블만 연결하여 장비의 이동성을 확보함.
 - 장비 진수 작업 시 언베리컬 케이블의 꼬임문제
 - : 장비 측면에 로프를 묶어 장비가 회전되는 현상을 방지함.



그림 1.2.4 PARI에서 개발된 수중측량용 18축 보행로봇

多機能水中施工機械「水中バックホウ・ビッグクラブ」の開発によって、水中作業での大幅な効率の向上、急速施工による工期短縮および安全性の向上を実現しました。

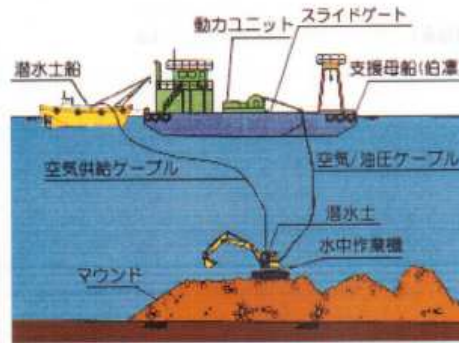


그림 1.2.5 작업선박, 진수장치, 작업보조선박

- 수중장비 성능에 있어 아래의 사항이 주요함.
- : 장비의 성능에 있어 운전자의 숙련도가 중요함.
- : 육상과 같은 수중 모니터링 정보가 필요함.
- : 햅틱기능과 같은 운전자에 정보전달 기능이 요구

2) 수중 백호에 관한 기술 교류

○ 수중백호 미니어처

- 실제 크기의 수중백호를 제작하기 전에 소형 미니어처 형태로 설계하여 원격제어에 관한 연구수행.



그림 1.2.6 무인 백호 미니어처



그림 1.2.7 연안 및 사석고르기 면 높이 측정용 보행 로봇

- 수중측량용 보행로봇
 - 수중 지반, 사석, 해변의 모래높이 등을 측량하기 위해 보행로봇 개발
 - 18축 형태의 보행로봇으로 보행을 통한 위치이동
 - 이동 중 로봇 베이스의 절대위치, 절대위치로부터 Foot까지의 상대위치 등을 연산하여 한번에 6개 지점(6개 Foot의 지점)에 대한 위치 좌표값을 산출함.
- 수중 무인원격조종 백호 개발
 - 작업현장에 투입하기 전에 수조 실험용으로 개발된 장비.
 - : 장비는 02급 크기이며, 유도전동기(22KW급)로 1개의 펌프를 구동
[기존 굴삭기를 개조하여 H/W 제작, 제작비 2천 5백만 원]
 - : 유압부와 제어부를 분리하여 방수 처리(방수 Case 크기에 대한 부담 절감)
 - : 유압실린더 내부에 MTS 센서 부착 및 Redundancy 개념으로 외부에 마그네틱형 LVDT 센서 부착
 - : 암 끝단에 그래플을 장착하여 비전을 통한 물체 위치 및 자세를 인식(AR 기법 활용)
 - [탁도가 있어도 1m 이내는 물체인식이 될 것이라는 개념]
 - : 영상인식을 통한 H빔 이동/적재 등 시연



그림 1.2.8 수중 무인원격조종 백호 (수조 실험용)



그림 1.2.9 수중 백호에 탑재된 전동모터 및 전동모터 Panel



그림 1.2.10 촉각인식을 이용한 백호 / 원격조종장치

- 촉각인식을 이용한 수중 백호
 - 암끝단과 버킷 사이에 4개의 Strain gauge 장착
 - : 이로부터 버킷이 지면에 닿은 것을 인식하여 지형을 모델링 함.
 - : 지형 모델링 데이터를 이용하여 원격조종으로 고르기 작업 수행.
 - : 단점, 촉각에 의해 지형을 인식하므로 작업시간이 오래걸림.

- 수중장비 실험용 전용 수조
 - 개발된 수중장비를 작업현장에 투입 전 구동 및 제어실험을 수행할 수 있는 수조시설 제작
 - : 30M X 10M X 6M(깊이)
 - : 수조 제작 비용 약 6억円 (주변 시설 포함)
 - : 2005 ~ 2006년도에 제작됨.



그림 1.2.11 수중장비 실험용 수조

(2) HITACHI 건기

- 장소 : HITACHI 건기(Bunkyo-ku, Tokyo 소재)
- 일시 : 2011년 1월 25일 (오전)
- 참석자 :
 - Takayuki Omata (Assistant Manager, Engineering Dept. Application, New Product & Construction Equipment Div.) 외 1명
 - 장인성 박사, 김우태 박사 (한국해양연구원)
 - 박근우 박사, 김태성 박사 (창원대학교)

1) Double Arm Working Machine

- 개발 배경
 - : 구조물 철거 작업, 인명구조 작업에 활용 목적
 - : Arm 이 2개이므로 철거시 구조물을 한쪽으로 잡고 나머지 한쪽으로 자르는 작업가능
 - : 인명구조시에도 활용가능.
 - : 철거작업 후 폐기물 재활용 목적 (콘크리트와 철근 분해 가능)
 - : 중앙의 큰 암 10~13Ton 급 백호 Arm의 크기
(기존 제품의 작업성을 가짐.)
 - : 측면의 작은 암
(작지만 정밀작업에 적합.)

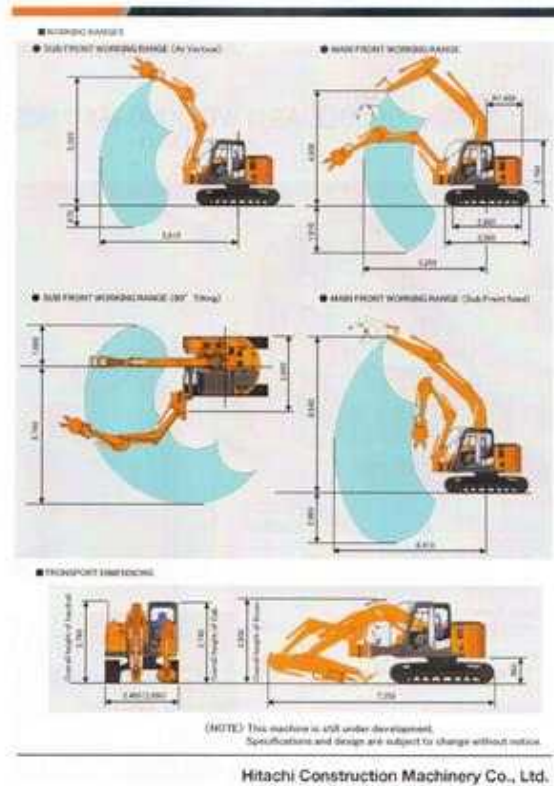


그림 1.2.12 Double Arm Working Machine(카다로그)

- 개발시기
- ： 2005년도 최초 개발 (국가자금을 일부 지원받아 개발됨)
- ： 2008년도 1차 Revision
- ： 2010년도 현재의 모델 개발완료 (상품화 직전 단계)
- ： 향후 상품화 예정



그림 1.2.13 2010년도 개발완료 모델

2) 장비 운전실 및 원격조종 운전실

○ 운전실에는 조종레버가 아래 그림과 같이 팔걸이 측면에 수평방향으로 부착

: 레버를 상하, 전후, 앞뒤회전 함에 따라 Main Boom, Two Boom, Three Boom이 구동됨.

: 동일한 레버가 좌우측에 하나씩있어 double Arm 을 조종함.

○ 철거 및 재난지역에서 인명구조 작업은 위험하므로 원격조종실을 구비함.

: 원격조종을 위해 장비에 3D 카메라 부착됨.

[암 끝단을 고정 응시하여 거리감을 느끼며 작업가능]

: 2D 카메라 : 현장 감시카메라 개념으로 장비전체 및 주변 환경이 2D 영상으로 나타남.

: 원격조종실과 장비는 무선통신으로 연개됨.

: 원격조종실 내부는 장비운전실과 동일한 구조이며, 조종을 위한 3D 영상모니터, 2D 영상 모니터 등이 구비되어 있어, 작업자는 영상모니터 만으로 작업을 수행



그림 1.2.14 장비 운전실 조종레버



그림 1.2.15 원격 운전실

3) 향후 전망

- 시장전망 : 장비의 신뢰성을 얻어야 상품화가 될 수 있다. [현재는 신뢰성 확보의 단계임]

 : 해외 수출까지 고려하고 있음 [외국유사장비는 거의 없는 상황]

- 판매비용 : 현재 1암의 2배 이상의 가격이며, 향후 2배 이내로 줄이는 것이 목표임.

(3) TOA CORPORATION 준설공사 현장

- 장소 : TOA CORPORATION 준설공사 현장

- 일시 : 2011년 1월 25일 (오후)

- 참석자 :

- Minoru MASUDA (General Manager Machinery & Electric Department)외 2명
- 장인성 박사, 김우태 박사 (한국해양연구원)
- 박근우 박사, 김태성 박사 (창원대학교)

1) 수중시공장비 투입현장

- 발주처 : 동경전력

- 작업내역 : 작업 공구 도면과 같이 배출수 터널 내부에 퇴적물(토사, 조개, 혼합 이물질 등)이 쌓여 배출수의 흐름을 막으므로 퇴적물을 제거하는 수중작업

 : 수로 규격 : 6m(W) X 6m(H) X 길이(약 14m)

 : 수로 진입부 규격 : 6m(W) X 2m(H) → 장비높이에 제약이 됨.

- 작업 주기 : 일반 발전소 수로의 경우 보통 4~6년 주기로 준설작업수행.

 : 본 공구는 6년전 준설작업 수행 후 현재 재 준설 중



그림 1.2.16 장비 소개 및 시연

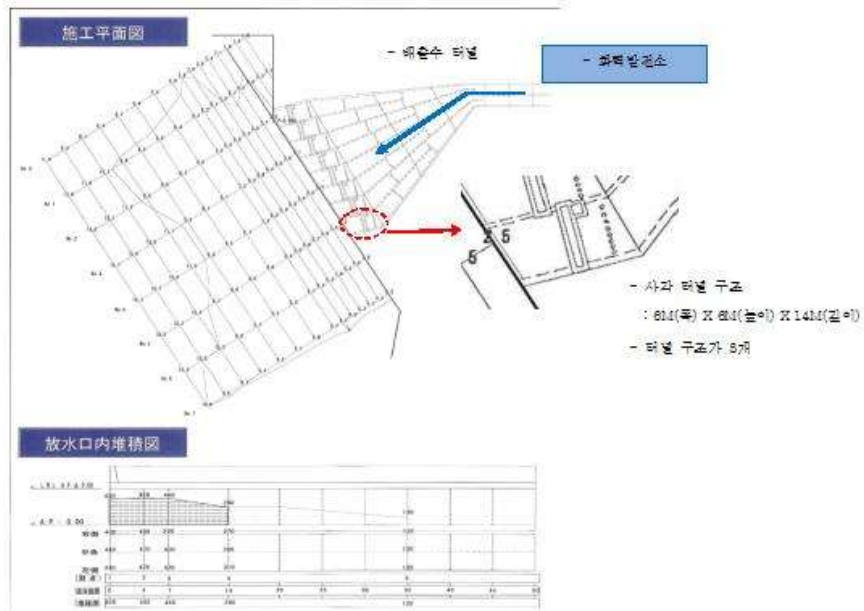


그림 1.2.17 작업 공구 도면

2) 수중시공장비 구성

○ 장비 Spec.

- 외형 : 상용백호 형태
- 장비크기 : 4,580(L) X 2,320(W) X 2,260(H) [최소 높이는 1960으로 수로입구 통과 가능]
- 최대회전반경 (5330mm), 중량 (8,500Kg)
- 작업가능 수심 : -2m ~ -30m
- 메인 출력 : 45KW / 1,800rpm(정격)
- 주행능력 : 3.2km/h
- 등판각 : 35도
- 발전소 집수장치 준설 전용장비로 제작됨. 이전에는 다이버가 수작업으로 수행



그림 1.2.18 수로준설용 수중장비



그림 1.2.19 수로준설용 틀

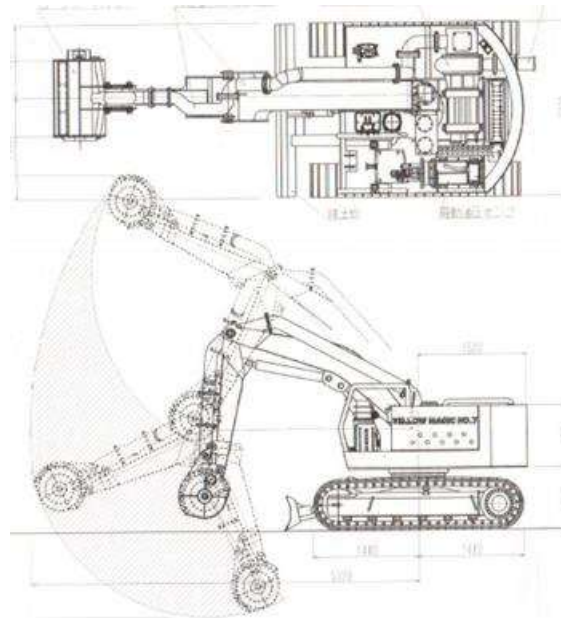


그림 1.2.20 장비 크기 및 운동반경

- 툰설 틀은 노란색 부분은 고정, 붉은색 부분이 회전하여 준설작업수행
 - : 틀 내부에 Suction 관로가 있어 준설물을 외부로 배출함.
- 방식 및 수중용 액추에이터
 - : 방식을 위해 아연개 대체부식재를 장비 곳곳에 부착함.
 - : 수중용 액추에이터의 개념은 섭동부의 썰부분만 경화방지를 위한 소재사용
- 전원공급
 - : 바지선 발전기-인버터로부터 400VAC를 장비에 전력케이블을 통해 공급
 - : 장비측에는 전압변환기 등이 없음.
 - : 인버터에서 장비의 유도전동기 회전속도 조절
- 장비관리
 - : 현재 사용중인 장비는 2번째 제작된 것으로 2003년에 제작됨
 - : 2년에 한번 의무적으로 도장, 고장 예상부 교체 등을 수행.

3) 수중시공장비 운영관련

○ 수중센서 시스템

- DIDSON : 전방 작업 툴을 주시하도록 장비몸체 상부에 고정설치

: 영상은 아래 사진과 같이 나타나며, 영상 중앙 우측에 작업용 툴이 보임

: 약 0.5초 마다 화면이 갱신됨.

- Forward looking Sonar

: 사진의 좌측은 센서가 좌우회전을 하며 물체와의 거리를 측정,

: 우측센서는 상하회전을 하며 물체와의 거리를 측정

: 센서데이터는 아래 사진과 같이 나타나며, 사진의 외부 녹색라인 2줄은 센서의 회전범위를 나타내며, 그사이의 녹색선은 현재 센서가 지향하는 방향을 나타냄.

: 센서회전각은 약 120도 정도, 회전속도는 약 120도/6초

: 사진에서 보이듯이 센서지향선(녹색선)이 하나의 점(물체)을 그려주고 있음

- 기타 센서

: 장비의 자세측정을 위한 모션센서, 유압 실린더 내부에 MTS센서를 활용, Swiveling 시스템의 회전각도는 수중센서를 사용하는 방법과, 회전부와 고정부 사이에 눈금을 표시하고 이를 Optical camera로 촬영하여 확인하는 방법 활용



그림 1.2.21 DIDSON



그림 1.2.22 Forward looking Sonar 2Set

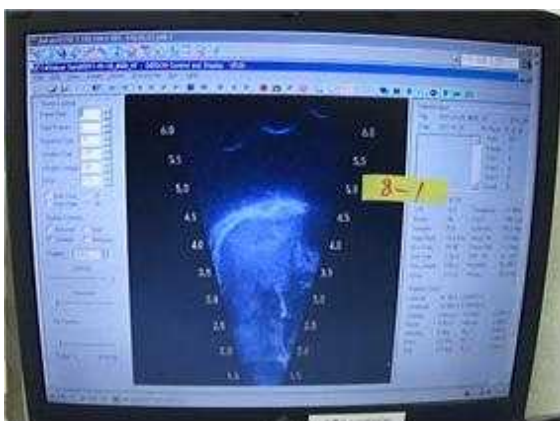


그림 1.2.23 현장 사무실에서 보이는 DIDSON 영상

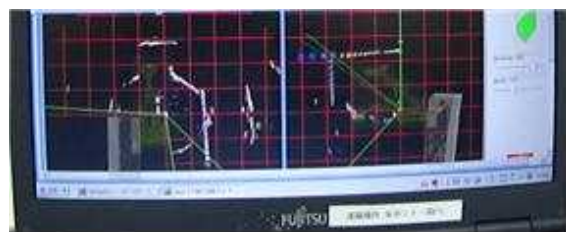


그림 1.2.24 현장 사무실에서 보이는 Forward looking Sonar 2Set 영상



그림 1.2.25 바지선 구조

○ 바지선의 구조

- : 아래 사진과 같이 Setting Barge를 활용
- : 장비 진수를 위해 120Ton 크레인 활용
- : 바지선 중앙에 운전실이 있어 장비를 원격조종
- : 발전기 및 인버터에서 수중 장비에 전력공급
- : 바지선과 수중장비 사이에는 전력 Cable, 통신 Cable, Suction Pipe 가 연결됨.

○ 운전실

- : 운전실 조종레버 판넬이 있으며, 그 상부에는 장비형상 모니터링 화면, DIDSON 영상 화면, Forward looking Sonar 화면이 있어, 작업자는 이를 보고 작업 수행
- : 수중장비가 착저된 각도, 진동 등의 신호를 운전실에서 받아 Reaction Chair (체감장치) 개념 활용



그림 1.2.26 운전실 내부



그림 1.27 운전실과 장비 사이의 시스템 계통도



그림 1.28 장비형상 모니터링 화면

4) 작업성

- 작업 수심 6m, 원격조종을 통한 작업 수행시, 현 공구에서의 작업속도
 - : 터널 진입작업 (잠수부가 장비와 동반 입수하여 진입작업 수행) 1.5 ~ 2일 소요
 - 잠수부가 Water jet으로 입구측 일부 작업 수행
 - : 진입 후 14m 준설작업 1~2일 소요
 - : 하나의 수로 작업 후 장비를 철 수 하여 옆 수로로 이동하는 방식이므로
 - 수로 하나 작업 시 : 3.5~4일 소요
 - 전체 8개 수로 작업시 : 28 ~ 32일 소요
 - : 장비는 일주일에 한번정도 바지선 위로 올라옴.

5) 기타사항

- 유인으로 작업하지 않는 이유
 - : 시야가 보이지 않아 유인작업이 어려움.
 - : 작업 시 전방 더미가 무너져 내리므로 유인의 경우 위협을 느껴 작업속도가 느려짐.

: 잠수부 교대 시 비효율적이며, 안전문제도 있음.

- 동아건설에서도 8년전 사석고르기 작업을 유인 시공장비로 시도했으나 아무것도 보이지 않아 어려움이 있었음. (보조 센서가 없었을 것임)
- 무인장비의 경우 센서 측정오차가 크므로 정밀작업이 어려웠음.
(운전석에서 초음파센서로 버킷을 보면서 작업시 1m 이내로 오차를 줄이기 어려웠음.)

1.2.3 수중고르기 장비 활용방안

- 해양 엔지니어링의 선진국인 일본의 관련 기관을 방문하여 수중장비의 연구현황, 개발내용, 장비 활용현장 등을 보고 의견을 나눔.
- 일본에서 활용되고 있는 수중시공 장비는 본 과제에서 개발하고 있는 수중굴삭기 형태가 대부분임.
- 특히 일본에서 수중 사석고르기 장비는 수중 시공작업의 근간이 되고 있음.
- 또한 수중 작업의 목적에 맞는 툴을 개발 적용하여 HITACHI 건기와 같은 새로운 형태의 장비개발을 통한 고부가 가치의 사장창출, TOA 건설과 같이 발전소 수로 정비사업 등의 새로운 적용분야의 확대가 지속적으로 이루어지고 있음.
- 본 연구의 개발결과로 상용화 하고자 하는 수중 고르기 장비의 경우,
 - 시공환경에 따라 유/무인으로 작업이 가능한 형태의 장비개발
 - 적용 수심확대를 통한 활용분야의 확대
 - 작업 목적에 맞는 툴 개발을 통한 장비 기능의 확대
 - 장비 규모의 증량화를 통한 작업효율성의 증대등의 현장 요구조건을 갖춘다면 수중고르기 시공작업 뿐 아니라 다양한 분야의 수중 시공분야에 활용가능 할 것으로 판단됨.

2. 수중 시험용 이동시스템 개발

- 1차년도에 고르기 장비의 사양결정, 개념설계를 통하여 육상용 시험장비를 개발하였음. 당해연도에는 기 개발된 장비를 수중에 투입하여 성능을 검증 할 수 있도록 설계 보완, 전기/유압장치 방수시스템 개발, 제어장치 방수시스템 개발 등을 수행하였음.

2.1 수중 착저형 이동시스템 보완 설계 및 제작

- 기 개발된 장비의 육상시험 결과로부터 보완사항을 점검하고 이를 설계에 반영 하여 수중 시험용 장비를 개발함.

2.1.1 아우트리거 섭동부 유격 보완

- 아우트리거는 그림 2.1.1과 같이 주행 궤도의 높이를 조절해주는 장치로 500mm 가변이 가능한 구조로 설계·제작 됨.
- 기 제작된 장비의 경우 아우트리거 섭동부의 유격이 있어 고정된 외부 Case에 대해 내부 Case가 섭동축 방향으로 회전되어 궤도가 좌우로 회전되는 문제점이 있었음. 이는 아우트리거의 내구성 및 주행의 효율성을 떨어뜨리게 되므로 문제점을 보완함.

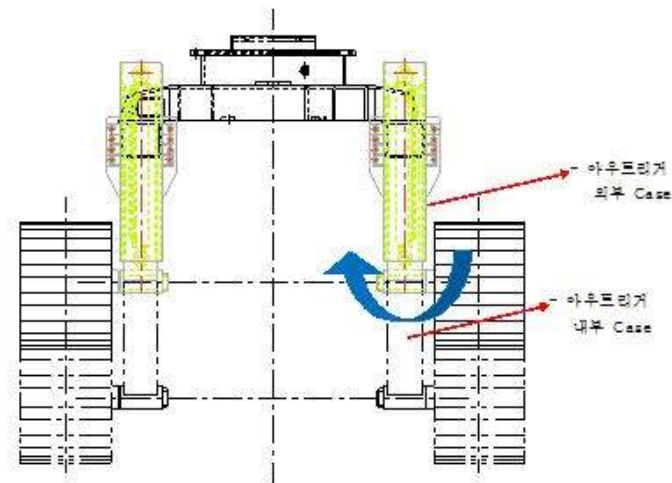


그림 2.1.1 아우트리거 도면(섭동부)



(a) 섭동판 제작 (황동)



(b) 섭동판 설치

그림 2.1.2 아우트리거 섭동부 보완

- 그림 2.1.2는 황동재질의 섭동판과 이를 아우트리거 섭동부에 설치한 장면을 나타냄. 황동재질은 아우트리거의 재질보다 경도가 낮아 먼저 마모되며, 마모량 만큼 고정볼트를 이용하여 높낮이를 조절할 수 있음. 또한 그림tm 주유구를 이용하여 섭동마찰을 줄일 수 있도록 함.

2.1.2 주행궤도 높이조절 시스템 보완

- 4개의 주행궤도는 아우트리거에 의해 높이가 조절되어 수중 사석면과 같은 험지에서 일정한 접지력을 확보하고, 작업플랫폼을 항상 수평으로 유지할 수 있도록 제작되었음.
- 1차년도 육상실험에서 그림 2.1.3과 같이 수평유지 제어 도중 주행궤도가 지면에서 떨어졌으나 이를 인지하지 못해 제어의 응답성이 늦어지고 제어상 특이형상이 되는 문제점이 발생.
- 주행궤도가 지면에 접지하지 않을 경우 궤도하부는 무게에 의해 아래로 처지는 현상이 발생하며, 처짐의 유무를 확인하여 궤도의 접지 유무를 판단하도록 보완하였음. 그림 2.1.4는 궤도하부에 설치된 근접센서를 나타내는 것으로 슈판을 연결하는 링크 측면을 측정하여 접지 유무를 판단할 수 있게 보완하고, 접지 유무를 수평유지 제어 알고리즘에 추가함.



그림 2.1.3 접지공차 발생

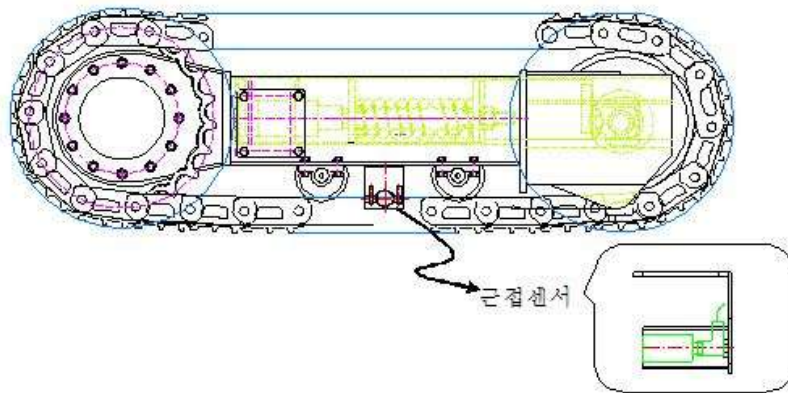


그림 2.1.4 궤도 하부 접지확인용 근접센서

2.2 전기/유압장치 방수 시스템 개발

- 육상용 시험장비가 수중에 투입되기 위해 전원 및 제어신호가 공급되는 모든 장치에 방수시스템이 요구됨.

2.2.1 아우트리거 MTS 센서 방수 시스템

- 4개의 아우트리거는 작업 플랫폼의 높이/수평 제어에 사용되는 서보 액추에이터로 내부에는 길이 측정용 MTS 센서가 내장되어 있음. 실린더에 내장된 부분은 방수처리가 필요 없으나하우징 상부에 돌출된 케이블 부분은 방수처리가 필요함.
- 그림 2.2.1과 같이 아우트리거 서보 실린더 부 방수 보완 설계함.

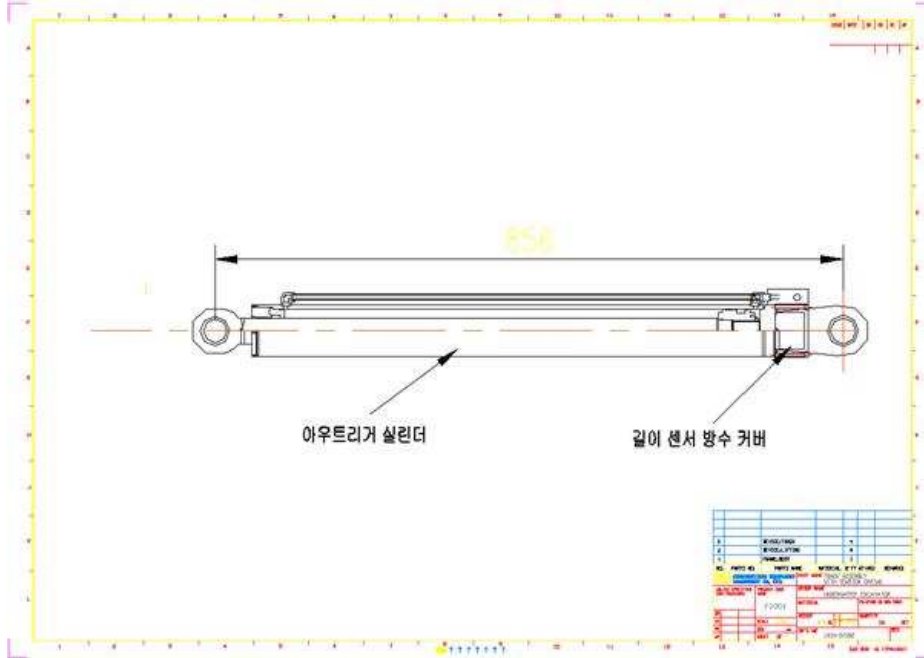


그림 2.2.1 아우트리거 실린더 방수 설계도

- 해수에 대한 아우트리거 실린더 부의 방수는 해수용 씰을 적용하고, 그림 2.2.2와 같이 센서 방수 커버를 설계하여 방수를 구현함.
- 센서 방수 커버는 내부의 센서부에 연결되어 있는 전기케이블을 외부의 방수 커넥터와 연결할 수 있도록 설계함. 선정된 외부 방수 커넥터의 사양은 표 2.2.1과 같이 수중 30m급 방수기능의 제품을 선정하였으며, 외형은 그림 2.2.3과 같음.

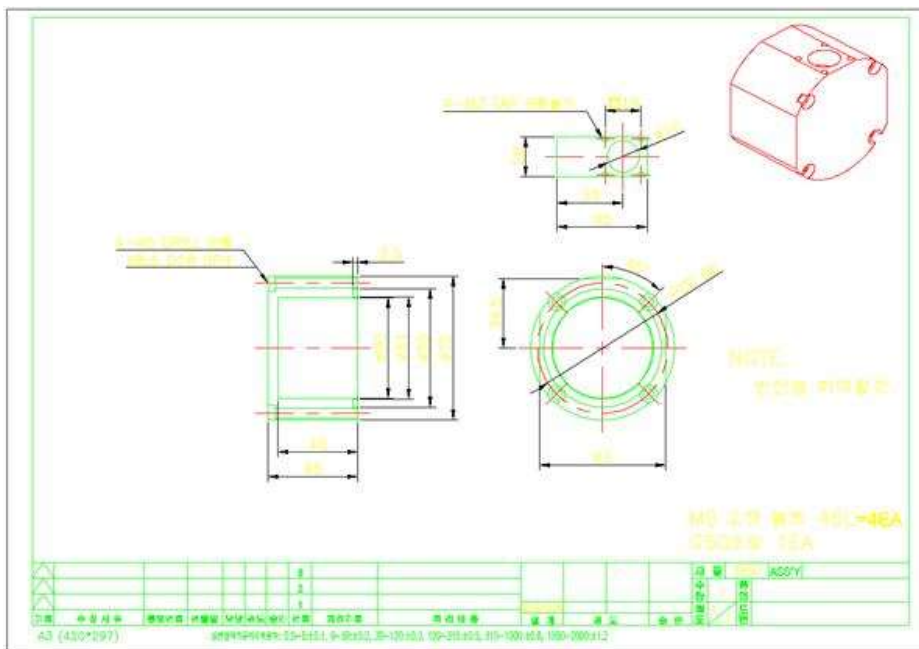


그림 2.2.2 센서 방수 커버 상세 설계도

표 2.2.1 선정된 방수커넥터 사양

Connections	Screw Coupling
Termination	Solder
Temperature and Humidity	-25°C to +85°C 85%Max
Number of Pins	2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 14, 19, 21, 37
Shell Material/Finish	Brass/Nickel
Contact Material/Finish	Copper Alloy/Gold over Nickel
Water Proof(Connected State)	300kPa (3kgf/cm ²)
Hermetic Seal (Hermetically sealed recep. only))	Helium leak rate 1 ATM. 1*10 ⁻⁹ cc/sec Max.



Plug / Double Clamp Type
1108-12B10-7M()



Flange Mount Receptacle
1108-21B10-7F

그림 2.2.3 선정된 방수커넥터

- 그림 2.2.4는 방수커버를 설치하기 전/후의 장면을 나타내는 것으로 쉘링부, 커넥터부, 방수 테스트용 플러그로 구성하였으며, 테스트용 플러그를 통해 필요시 방수기능을 테스트 할 수 있도록 함.



(a) 방수처리 전



실린더

(b) 제작된 방수 커버



커넥터부

테스트용 플러그

(c) 조립 완료된 방수 커버와 커넥터

그림 2.2.4 제작된 방수 커버

- 그림 2.2.5와 같이 방수형 아웃리거 서보 실린더를 제작하였음.



그림 2.2.5 제작된 방수형 아웃리거 서보 실린더



그림 2.2.6 아우트리거 서보 실린더의 방수 성능 시험

- 제작된 방수형 아우트리거 서보 실린더의 방수 성능 점검을 위해 그림 2.2.6과 같이 공압을 테스트용 플러그에 인가하여 성능시험을 실시하였음.
- 방수 성능 시험은 그림 2.2.7과 같이 가압 시험과 감압 시험을 실시하였음. 가압 시험은 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가하였으며 감압 시험의 경우는 0.2cmHg 로 감압하였음. 시험을 통해 가압 및 감압 상황에서도 방수커버 내부의 압력을 잘 유지하였으며, 또한 수조 시험에서도 기포발생없이 성능을 유지하였음.

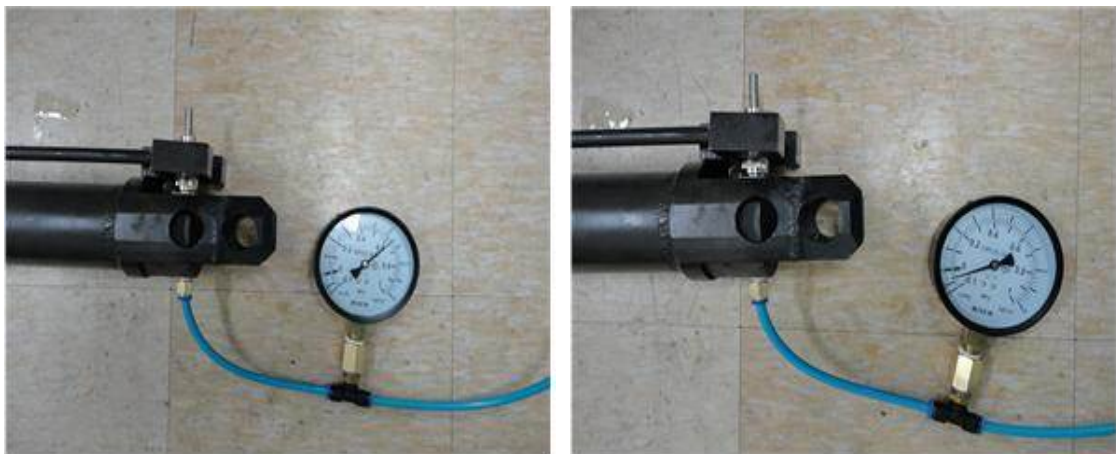


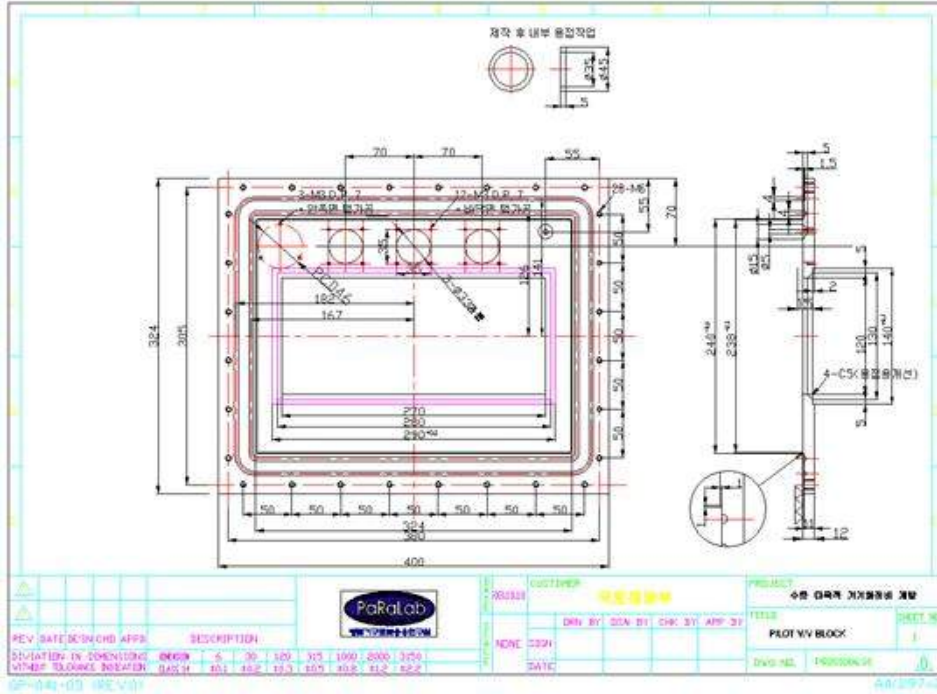
그림 2.2.7 아우트리거 서보 실린더의 방수 성능 결과

2.2.2 전기/유압장치 방수 시스템 개발

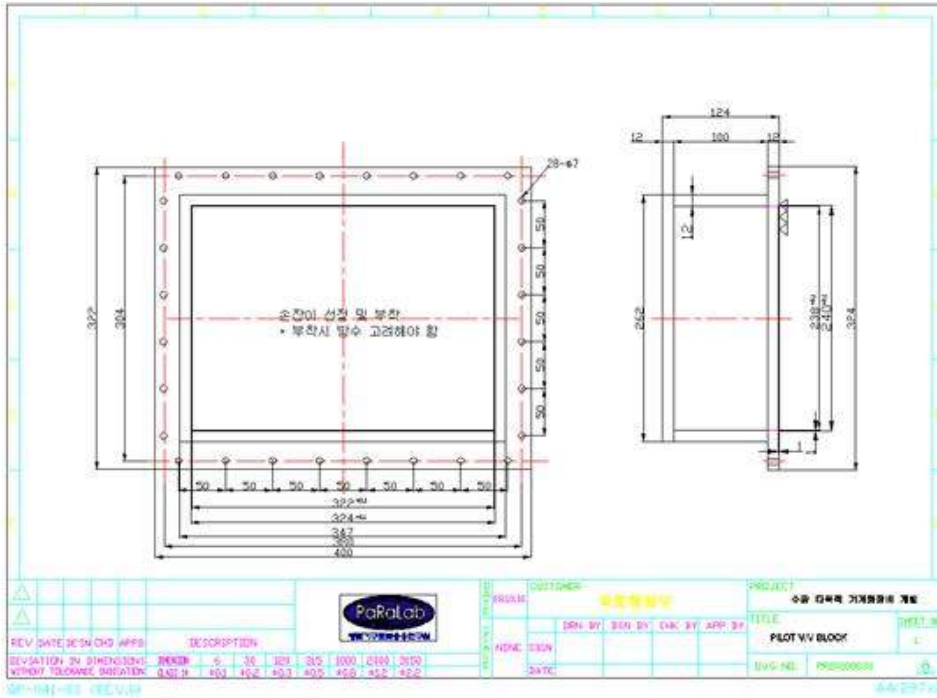
- 1차년도에 개발된 유압제어 시스템은 크게 MCV, 파일럿 제어용 밸브, 솔 제어 밸브로 나눌 수 있음. 이 모듈들을 하나의 방수시스템으로 구성할 수도 있으나, 이 경우 방수 케이스가 커져 제작 및 운용에 어려움이 있음. 그러므로 본 연구에서는 전기가 공급되는 제어 코일부분만 방수시스템으로 구현하였음.

(1) 파일럿 제어용 방수 시스템

- 파일럿 제어용 밸브는 유압호스가 배선되는 블록과 제어용 코일이 연결되는 블록 상부로 구분할 수 있으며, 블록상부의 코일 부분만 방수시스템으로 구성함.
- 그림 2.2.8은 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스의 설계도를 나타낸 것으로, 방수 케이스 하부에는 센서 신호용 방수 커넥터를 설치하여 내부와 연결할 수 있도록 하고, 방수 케이스 내부에는 Leak 센서를 설치하여 누수를 확인할 수 있도록 설계함. 방수 케이스 하부에는 블록이 외부로 노출되어있어 유압배선 작업이 용이하도록 하였음.

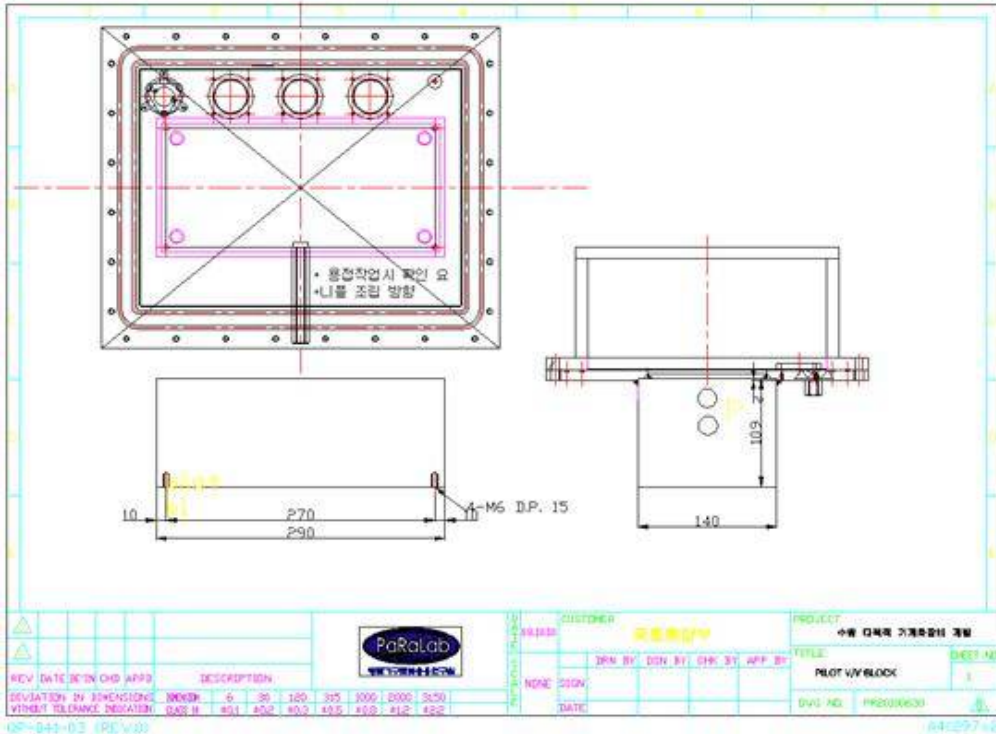


a) 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스



b) 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스 커버

그림 2.2.8 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스 설계 (계속)



c) 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스 조립도
그림 2.2.8 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스 설계

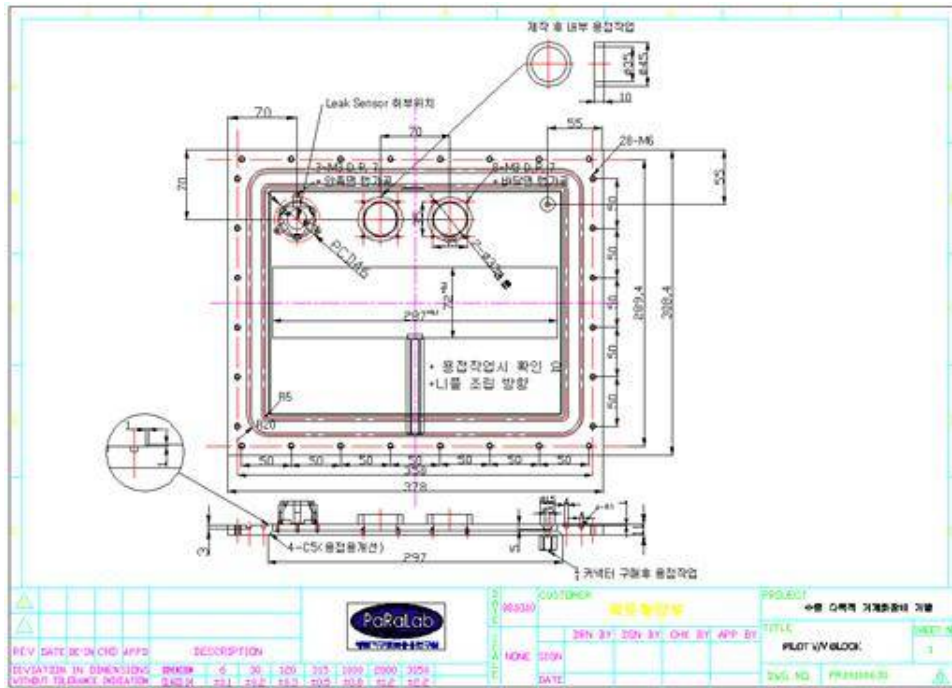
○ 그림 2.2.9는 도면에 따라 제작된 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스를 보임.



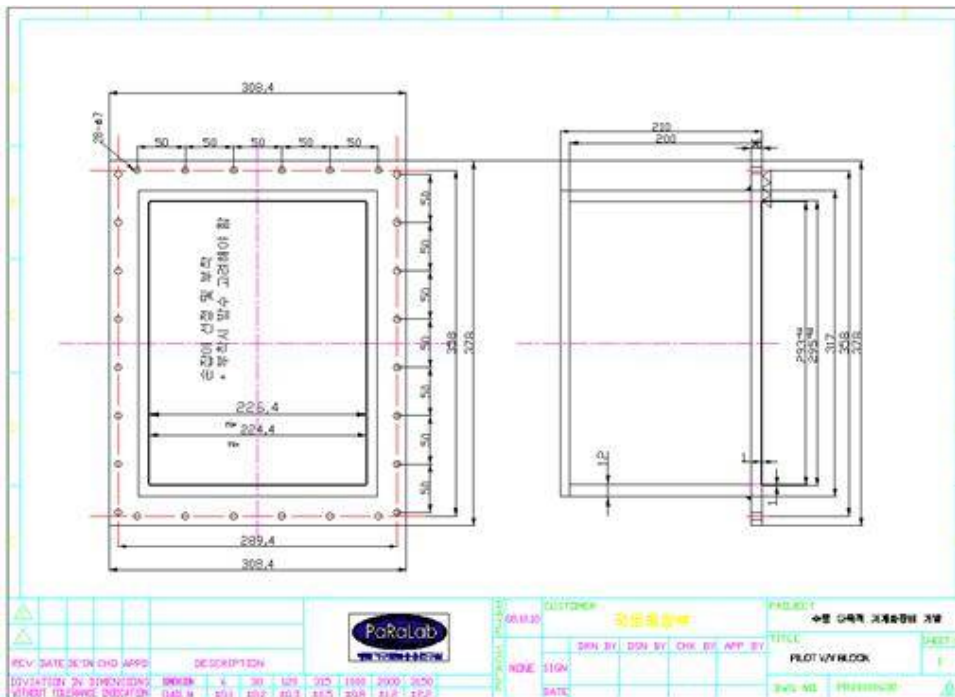
그림 2.2.9 제작된 파일럿 제어용 서보 밸브 방수 케이스

(2) 솔 제어 밸브 방수 시스템

- 슬 제어 밸브는 파일럿 제어 밸브와 같은 개념으로 그림 2.2.10과 같이 설계함.

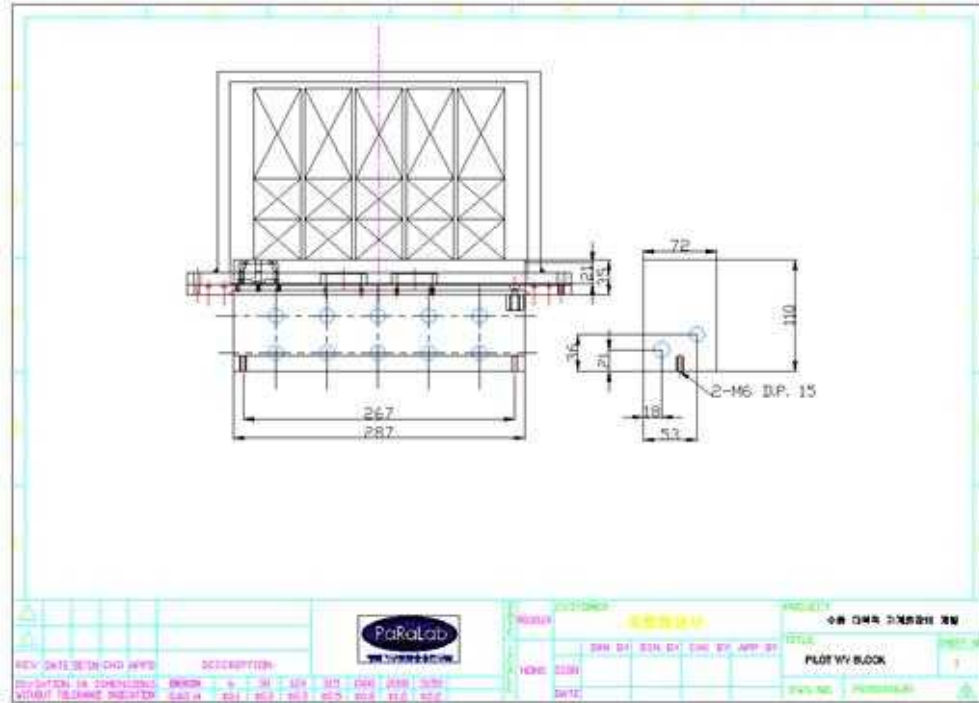


a) 슬 밸브 방수 케이스



b) 슬 밸브 방수 케이스 커버

그림 2.2.10 슬 밸브 방수 케이스 설계 (계속)



c) 솔 밸브 방수 케이스 조립도
 그림 2.2.10 솔 밸브 방수 케이스 설계

○ 그림 2.2.11은 제작된 솔 밸브 방수 케이스를 보임.



그림 2.2.11 제작된 솔 밸브 방수 케이스



그림 2.2.12 방수 처리된 배압탱크

(3) 배압 탱크 방수 시스템

- 배압탱크는 작동유가 모이는 곳으로 해수가 유입될 경우 작동유의 변질이 발생하고 유압 시스템에 고장을 유발 시키게 됨. 그림 2.2.12는 방수 처리된 배압 탱크로 레벨센서 및 작동유 투입구를 각각 방수캡으로 처리하고, 배압탱크 커버를 씰링으로 처리함.

(4) 기타 전기 시스템의 방수 처리

- 그림 2.2.13은 경사센서용 방수케이스의 설계를 나타내며, 그림 2.2.14는 제작된 방수 케이스를 보임.

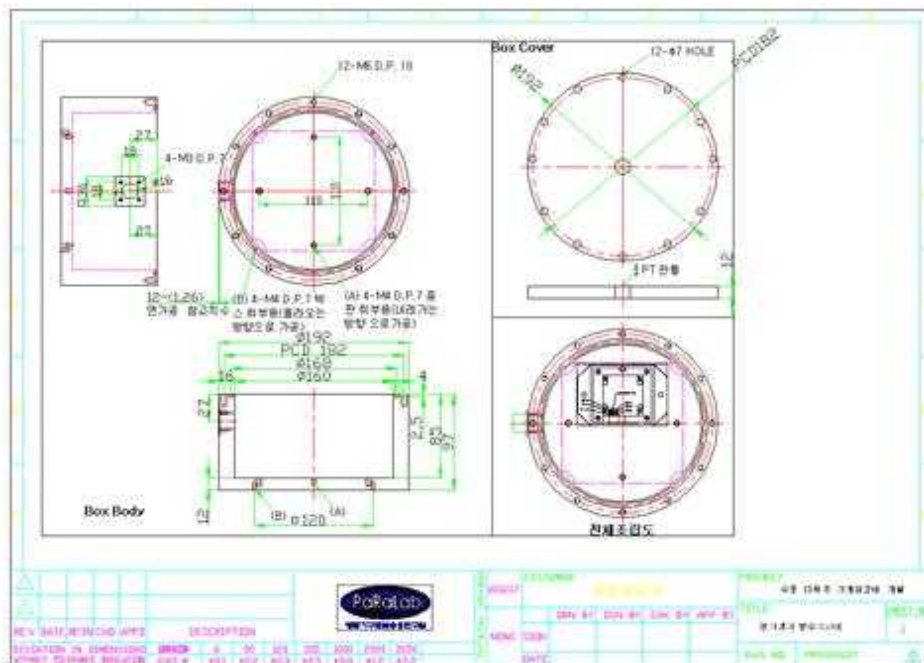


그림 2.2.13 레벨센서 방수 케이스 설계



그림 2.2.14 제작된 레벨센서 방수 케이스

- 그림 2.2.15는 카메라 및 조명의 방수형 정선박스 제작도면을 나타내며, 수중카메라 3Set과 수중 조명 3Set이 연결될 수 있음. 그림 2.2.16은 제작된 케이스를 보임.

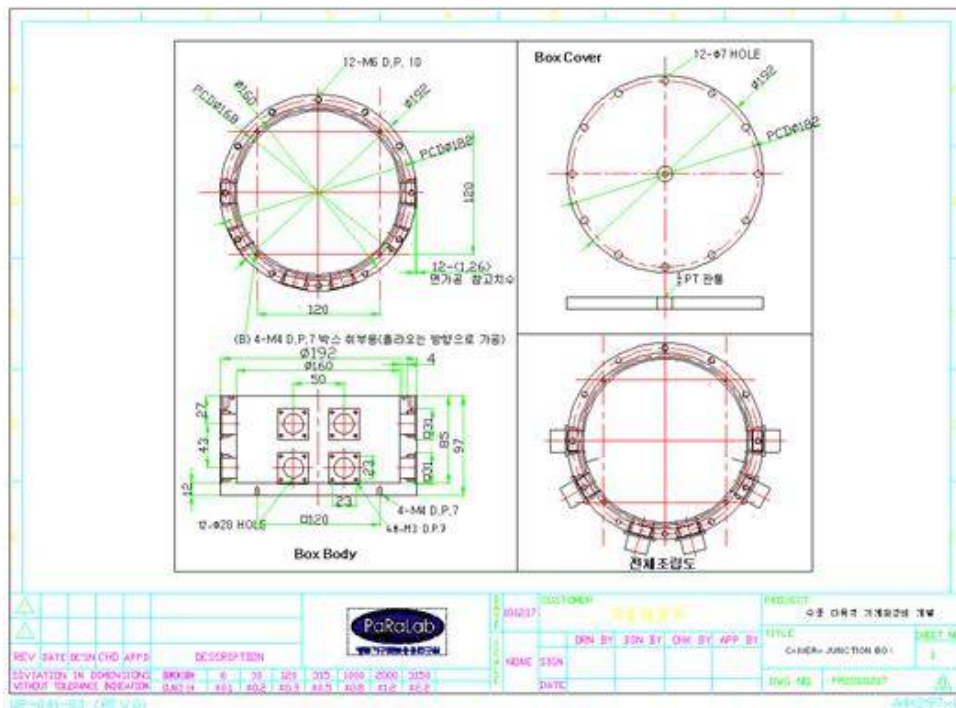


그림 2.2.15 카메라 정선 방수 케이스 설계



그림 2.2.16 제작된 카메라 정션 방수 케이스



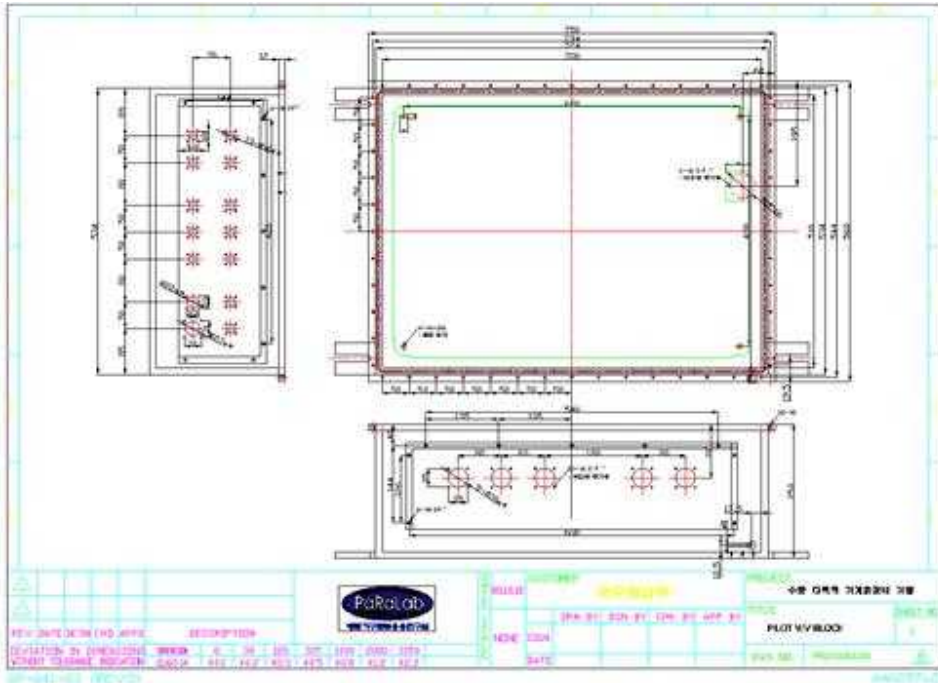
그림 2.2.17 제작된 Depth 센서 방수시스템

- 사석높이 측정을 위해 2개의 Depth 센서를 활용함. 그림 2.2.17은 센서에 방수시스템을 적용한 것으로 하나는 장비에 부착되며, 나머지 하나는 설계기준 사석면 상에 설치됨.

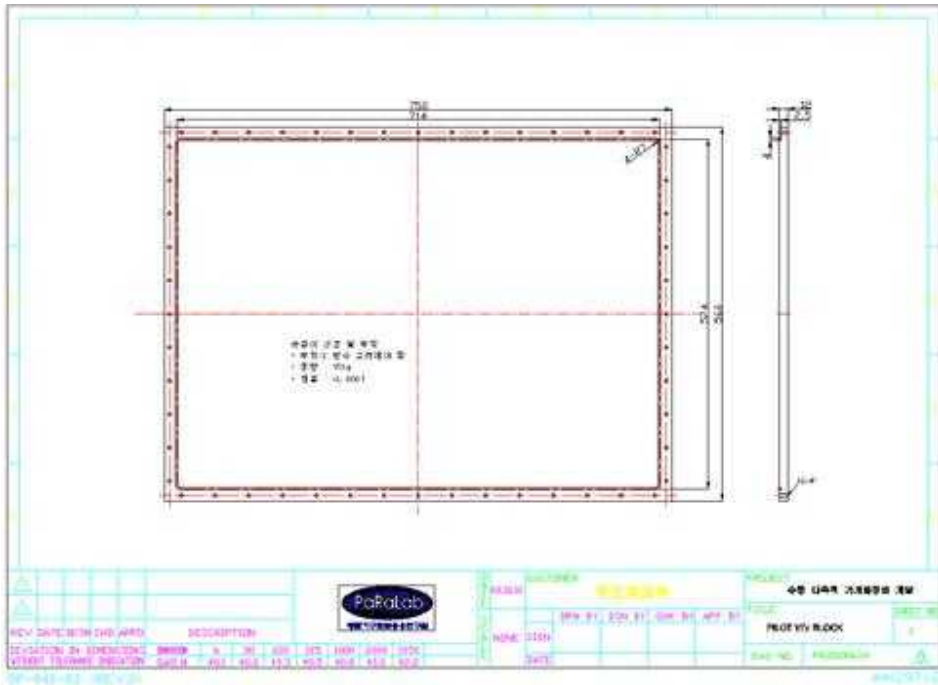
2.3 제어장치 방수시스템 개발

- 1차년도 육상 실험용 구동용 제어기를 수중에 적용할 수 있도록 그림 2.2.18과 같이 구동용 제어기 방수 케이스를 설계함. 구동용 제어기 외부에는 파일럿 서보밸브 블록 및 솔밸브 블록으로 연결되는 21Pin 방수 커넥터가 각각 3Set, 2Set이 있고, 장비 주변의 센서 데이터 취득을 위해 5Pin 방수 커넥터, 주 전원 및 운영실과의 통신을 위한 커넥터가 구성됨. 방수 케이스 내부에는 Leak 센서를 설치하여 사용 중 누수 여부를 확인할 수 있고, 테스트용 플러그를 설치, 사용 전 방수 상태를 점검할 수 있도록 함.

- 구동용 제어기를 위한 방수시스템은 그림 2.2.18, 19와 같이 제작됨.



a) 구동용 제어기 방수 케이스



b) 구동용 제어기 방수 케이스 커버
그림 2.2.18 구동용 제어기 방수 케이스 설계



그림 2.2.19 제작된 구동용 제어기 방수 케이스

3. 수중환경 모니터링시스템 적용방안 분석

3.1 개요

- 본 사업에서 수중환경 분석시스템은 크게 3가지로 구분됨.
 - 수중 장비의 위치를 파악하는 수중 위치인식 시스템
 - 수중물체를 인식하여 작업에 활용하는 수중 물체인식 시스템
 - 수중 사석 작업을 위한 높이 측정 시스템
- 2차년도에는 높이 측정시스템만 연구내용에 포함되어 있으나, 현장검증실험을 위한 목적으로 수중 위치인식시스템의 적용방안을 분석하고 이를 통해 실제 현장에서 장비의 위치 파악에 대한 검증실험도 수행함.
- 높이 측정시스템의 경우, 수중 압력센서를 이용하는 방식을 제안하고 이를 기반으로 실내 및 현장에서 검증실험을 수행함.
- 수중 물체인식시스템의 경우, 국내 연안의 탁도를 측정하여 광학 또는 초음파 센서 등의 활용방안을 분석하고자 함.

3.2 수중 위치인식시스템 적용방안 분석

3.2.1 LBL(Long base line)기반 위치추적 시스템

그림 3.2.1은 본 연구에서 설계한 LBL 기반 수중위치추적 시스템의 모식도를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 트랜스폰더를 2개 이상 추적 성능이 양호하도록 기하학적 배치를 고려하여 작동 범위 주변에 배치한 후 수중 고르기 장비에 탑재된 트랜스시버를 통하여 수중 고르기 장비의 수평 위치를 추적하는 시스템이다.

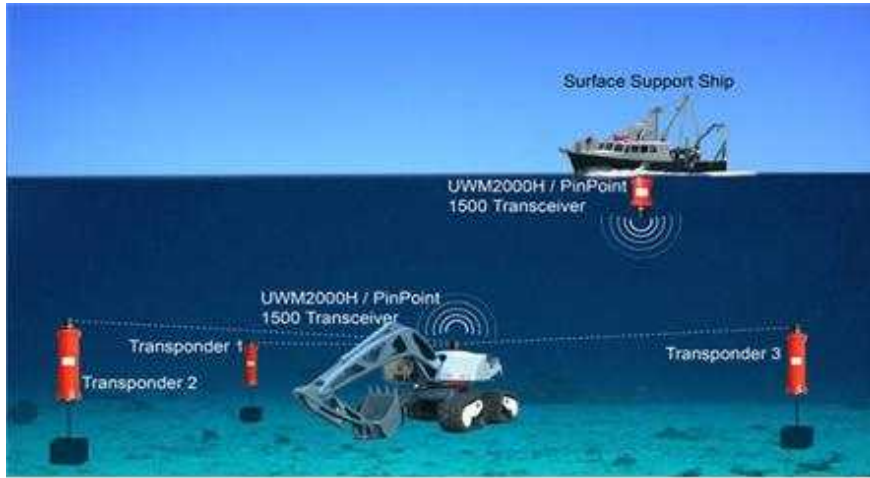


그림 3.2.1 Conceptual diagram of LBL based positioning system

이때 트랜스폰더의 지구 고정 좌표계에서의 위치는 트랜스폰더 고정위치 캘리브레이션 과정을 통하여 특정한 후 사용할 수 있다. 트랜스 폰더 캘리브레이션을 수행하기 위해서는 보트에 GPS와 트랜스시버를 탑재한 상태로 트랜스폰더 주위를 원형으로 회전하면서 트랜스시버와 트랜스폰더 간 거리를 측정하고 그때의 모선의 GPS 좌표를 이용하여 최소자승법으로 구할 수 있다.

그림 3.2.2는 본 연구에서 구성한 LBL 하드웨어 시스템 구성이다. 전체 구성은 트랜스시버가 수중고르기 장비 탑재용 수중용 1기, 트랜스폰더 캘리브레이션과 명령 전달을 위한 표면용 1기, 트랜스 폰더 4기로 구성되어 있으며, 구현하고자 하는 임무에 따라 구성을 다르게 가져갈 수 있다.

본 연구에서는 향후 장비 구매 단가를 낮추고 갱신 주기의 향상, 신호처리 알고리즘을 통한 추적 성능의 향상을 위하여 트랜스폰더 2기와 트랜시버 1기 구성으로 전체 시스템을 구성하였다.



그림 3.2.2 System configuration

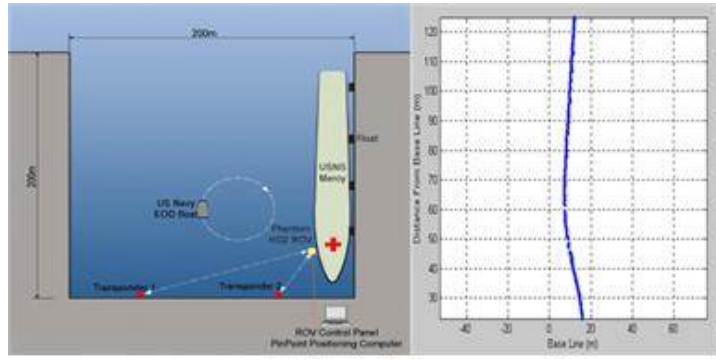


그림 3.2.3 LBL positioning system implementation example

3.1.2 FLS(or MBS) 기반 위치모니터링 시스템

그림 3.2.4는 본 연구에서 구성 중인 FLS(Forward looking sonar)와 Pan&Tilt 기반 수중고르기장비 위치 모니터링 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

작동 운용 환경이나 주파수에 따른 최대 계측 범위, 수중 고르기 장비 등의 크기 등의 문제가 다양해서 본 연구에서는 기 보유 장비를 활용하여 실험을 통하여 주파수와 계측 범위 등을 확정할 계획이다.

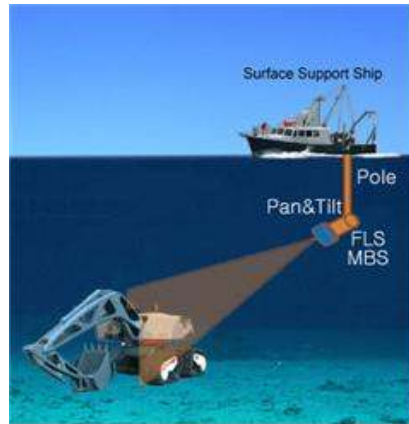


그림 3.2.4 Conceptual diagram



그림 3.2.5 Micron FLS system

표 3.2.1 Specifications of FLS

Item	Specification
Operating frequency	Tuneable through 650kHz to 950kHz
Beamwidth, vertical	38° (at 650kHz) 30° (at 800kHz) 26° (at 950kHz)
Beamwidth, horizontal	3.3° (at 650kHz) 2.6° (at 800kHz) 2.2° (at 950kHz)
Range settings	From 2m (6ft) to 75m (250ft)
Scan sectors	User selectable up to 360° continuous
Power requirements	12V - 50V @ 4.5 VA
Data communication	RS 485 (twisted pair), RS 232 (via modem up to 115kb/s)
Maximum diameter	56mm
Maximum height	78.5mm
Weight in air(water)	290g(145g)
Max. operation depth	500m

그림 3.2.6-7은 본 연구에서 설계하고 제작한 수중용 팬틸트 시스템이다. 표 3.2.2에 사양을 간단하게 정리하였다. 본 팬틸트 시스템의 경우 서보모터를 사용하였기 때문에 각도 정보를 정확하게 피드백 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.



그림 3.2.6 Designed pan&tilt system

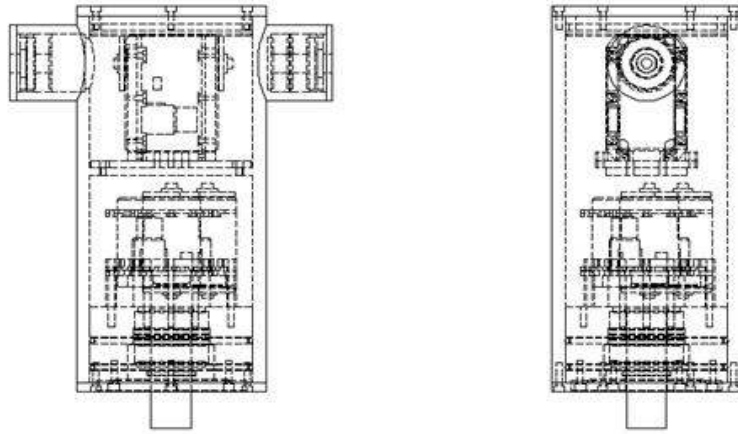


그림 3.2.7 Pan&tilt system CAD

그림 3.2.8은 본 연구에서 제안하는 FLS와 Pan&Tilt를 사용한 수중 고르기 장비의 위치 모니터링 시스템의 데모 화면의 예이다. 10시 방향 약 43m에 타겟의 위치가 모니터링 되는 것을 확인할 수 있다. 본 시스템에서는 해저 주변 환경도 동시에 모니터링이 가능하다.

표 3.2.2 Specifications of designed pan&tilt

Item	Spec.
Size	218mm×94.2mm Including both end side 218mm×160mm
Weight	2kg
Feedback fn.	possible
Rotation range	360 deg.
Input power	12~18.5v
Torque	107kgf·cm at 18.5v/7A
Comm.	rs232

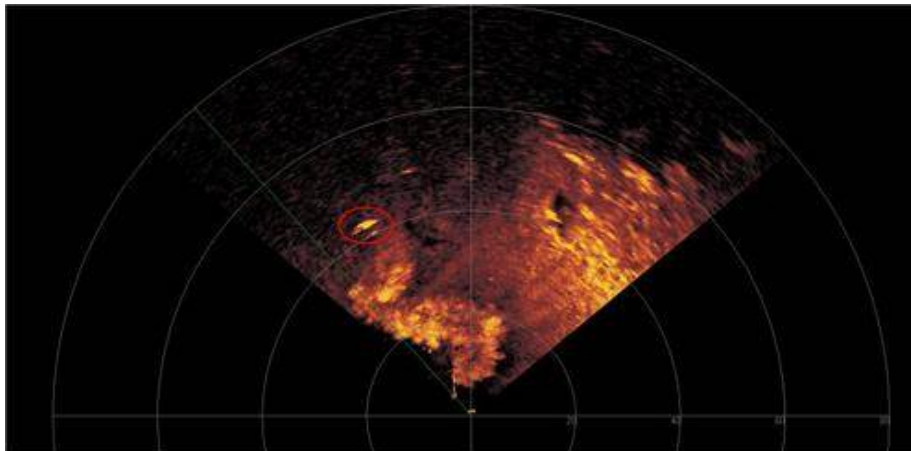


그림 3.2.8 Position monitoring example using proposed system

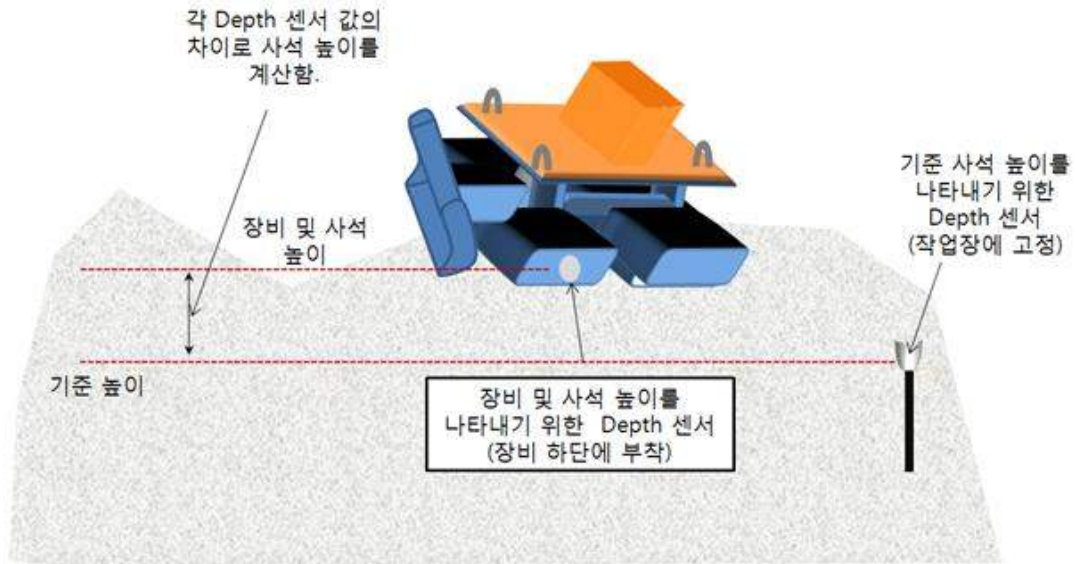


그림 3.3.1 사석면 높이 시스템 개념도

3.3 사석면 높이 측정시스템 개발

3.3.1 개요

- 사석 높이 측정을 위해 2개의 Depth 센서를 활용함. 그림 3.3.1과 같이 1개의 Depth 센서는 사석면에 고정하여 Reference로 활용하였으며, 다른 1개의 Depth 센서는 장비의 궤도 중앙에 부착하여 장비의 위치를 측정, 측정된 각 센서의 출력 값 차이로 사석면 높이를 측정.

3.3.2 사석면 높이 측정 시스템 Depth 센서

- Depth Sensor는 그림 3.3.2와 같음



그림 3.3.2 Depth Sensor



그림 3.3.3 RS-232 통신 구성

표 3.3.1 Command Set

Command	Command String	Return String	Description
?	#X?<cr>	X<sp>nnnnnnnnnn<cr><lf>	센싱한 압력을 송신
A	#XA<sp>n<cr>	R	센서의 address 설정
FS?	#XFS?<cr>	X<sp>FS<sp>nnnn<cr><lf>	센서의 정밀도 %FS 송신
R-?	#XR-?<cr>	X<sp>R-<sp>n...n<cr><lf>	최소값 송신
R+?	#XR+?<cr>	X<sp>R+<sp>n...n<cr><lf>	최대값 송신
U?	#XU?<cr>	X<sp>U<sp>n<cr><lf>	압력 단위 송신

- 통신 설정은 다음과 같음
 - : RS-232 통신함.
 - : Baud Rate 는 19200bit/s로 통신함.
 - : Data Bits 는 8로 설정.
 - : Parity 는 none으로 설정.
 - : Stop Bits는 1로 설정.

- 통신 핀 구성은 그림 3.3.3과 같음
 - : 센서로부터 출력 Data를 수신받기 위해 필요한 Command를 송신 하여야 함.
 - : Command Set는 표 3.3.1과 같음
- 측정 단위 구성은 표 3.3.2와 같음
 - : 센서 측정값은 14 code인 Bars로 출력 받음.
 - : Bars 0.01은 1m 차이를 나타냄.

표 3.3.2 Pressure Unit Codes and Conversions

Code	Units	Psi Conversion Factor
1	psi	1
14	Bars	0.06894757
22	Kpa	6.894757



그림 3.3.4 방수 처리된 Depth Sensor

- 방수 처리된 Depth Sensor 외관은 그림 3.3.4와 같음
- 방수 처리된 Depth Sensor 배선도는 그림 3.3.5와 같음

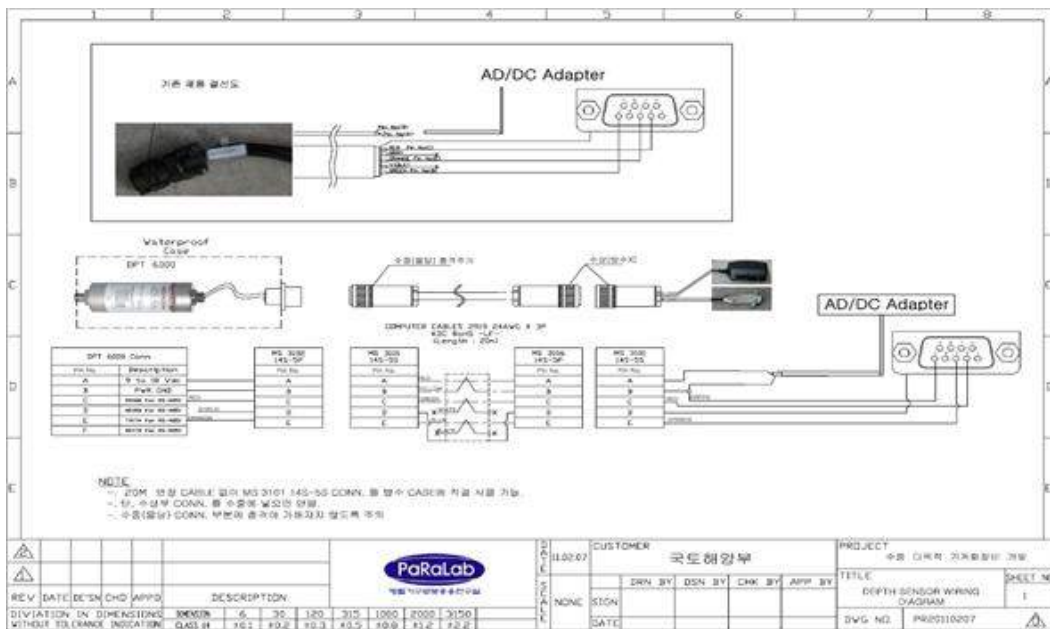


그림 3.3.5 방수 처리된 Depth 센서

- 수중 측정 Data는 표 3.3.2와 같음
- : 각 센서가 물의 높이에 따라 정확한 Data를 출력하는가를 위한 실험임.
- : 수조에 10cm ~ 25cm 높이의 물을 채우고 각 센서 Data 출력하여 오차 범위를 확인.
- : 물의 높이는 5cm씩 가변.

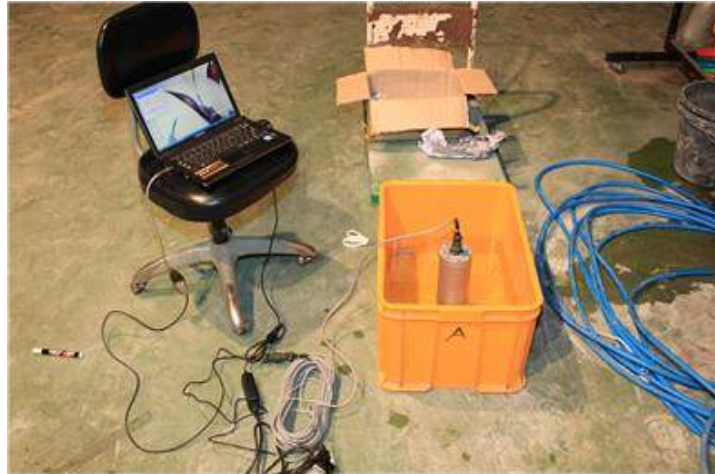


그림 3.3.6 수중에서의 Depth 센서 측정

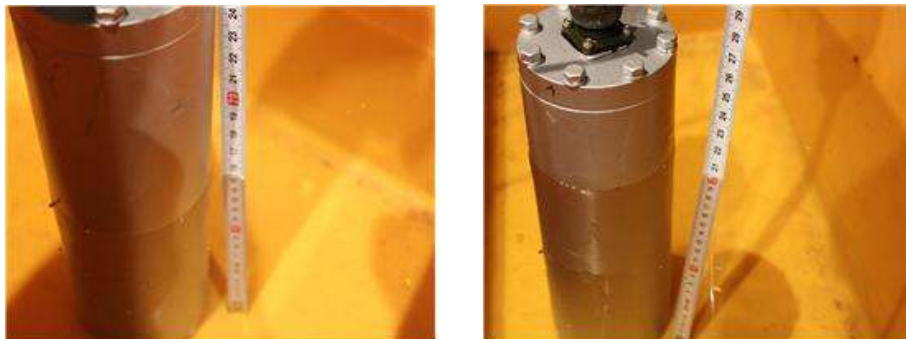


그림 3.3.7 Depth 센서 측정을 위한 수중 높이 가변

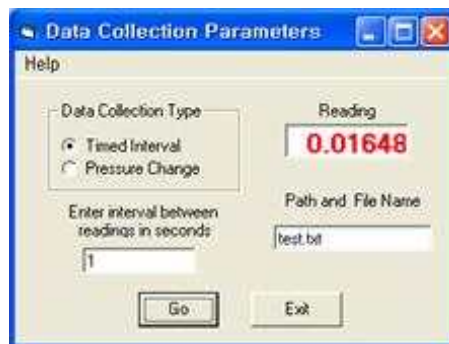


그림 3.3.8 Depth 센서 측정 Data 값

표 3.3.2 수중 측정 Data

물 높이	센서_1	센서_2
공 기 중	약 0.02788	약 0.02345
10cm	약 0.03944	약 0.03609
15cm	약 0.04388	약 0.04151
20cm	약 0.04864	약 0.04629
25cm	약 0.05557	약 0.05304

: 각각 센서의 초기값을 기준으로 변화된 값의 차이로 높이를 나타냄.

: 더 정확한 실험 Data 측정을 위하여 바다 환경과 비슷한 수조에서 실험 계획함.

3.4 국내 연근해 탁도 측정 분석 (수중 물체 인식시스템 분석)

3.4.1 개요

- 1차년도 연구사업을 통해 아래와 같은 연구결과를 얻음.
 - 수중 물체의 경우 탁도만 심하지 않다면 수중 카메라를 활용하여 전방의 물체를 인식하는 것이 가장 확실하면서 효율적인 솔루션이 될 수 있음. 하지만, 탁도가 6.5 NTU 이상에서는 일반 카메라를 이용하여 수중에서 물체를 인식할 수 없음.
 - 어느 정도의 탁도가 있는 실해역 상황이나 사석 다지기 현장에서 수중의 환경을 안정적으로 인식하기 위한 좋은 솔루션 중 하나는 멀티빔 이미징소나를 활용하는 것임.
 - 멀티빔 이미징 소나의 경우 실시간으로 전방의 해저 지형과 장애물 등을 탁도가 있는 상황(서해와 동일한 30NTU에서도 가능)에서도 이미지의 밝은 면과 그림자 정보 등을 이용하여 확인할 수 있는 장점이 있음.
 - 또 다른 대안으로서의 DIDSON(Dual-frequency IDentification SONar)과 같은 수중 음파탐지기를 활용할 수 있음.



그림 3.4.1 국내 무역항 및 연안항

- 국내 항만 공사 현장에서 본 개발장비를 활용하기 위해서는 국내 연근해의 탁도 상태에 대한 분석이 필요함. 그림 3.4.1은 국내 52개 무역항 및 연안항의 위치를 나타낸 것임.
- 본 연구에서는 동해, 남해, 서해의 대표적인 항만이 위치하는 연근해 해역의 탁도를 직접 측정하여 위치별 수중환경모니터링 시스템 활용 방안에 대해 분석하고자 함.

4. 운영시스템 개발

4.1 운영시스템 Main 제어기 설계 및 제작

수중 사석고르기 장비의 운영시스템은 1차년도에 기 개발한 내용을 바탕으로, 수중 장비의 변경 사항을 바탕으로 하여 메인 제어기를 설계하고 새로 제작하였다. 전체 운영시스템 구조는 다음과 같다.



그림 4.1.1 운영시스템 구성

운영시스템은 제어용 PC와 디스플레이 하나, 메인 제어기 패널로 구성된다. 그 이외에 수중 사석고르기 장비의 카메라 영상 출력을 위한 디스플레이가 있다.

운영시스템의 메인 제어기는 사석고르기 장비의 조작을 할 수 있는 스위치 및 조이스틱으로 구성되어 있으며 장비 내의 펌프 등을 제어하는 릴레이를 내장하고 있다. 기존 1차년도에는 PC 인터페이스 모듈을 사용하여 제어용 PC에서 바로 연결하여 GUI 프로그램과 통신하여 사용하였으나, 메인 제어기 패널의 동작 안정성을 향상하고 스위치 확장 및 릴레이 제어의 편의성을 위해, 2차년도에는 PLC를 사용하여 제어 패널을 그림 4.1.2와 같이 구성하였다.

메인 제어기 패널은 수중 사석고르기 장비를 조작하기 위한 스위치 및 아웃트랙커 상하 이동 버튼, 장비 이동을 위한 조이스틱 및 비상스위치로 구성되어 있다. 내부에서는 PLC를 사용하여 각종 스위치 신호를 읽고 릴레이 출력을 제어하도록 하고 있다. 내부 결선은 다음 그림 4.1.3과 같다.

제어 패널의 내구성 및 조작의 신뢰성을 위해 산업용 스위치를 사용하고 있으며, PLC의 입력 포트에 결선되어 있다. 일반적인 제어 모드 선택을 위해 셀렉터 스위치를 사용하고, 아웃트랙커의 상하 이동을 위해 푸시 버튼 스위치를 사용하였다. 또한 아웃트랙커 동작 속도와 플랫폼 높이 제어 속도의 조절을 위해 코드 스위치를 사용하여 20단 조절이 가능하도록 설계하였다. 장비 자체의 전후좌우 이동을 위해서는 조이스틱을 연결하여 조작이 편리하고 직관적이 되도록 하였다.



그림 4.1.2 메인 제어기 패널 전면 구성



그림 4.1.3 메인 제어기 패널 스위치 결선

PLC는 LS산전의 제품을 사용하였으며, 기본 16bit 입력과 16bit 출력을 가지는 CPU 모듈과 추가적인 디지털 입력 모듈, 아날로그 입력 모듈로 구성된다. 제어용 PC와는 시리얼 인터페이스로 연결하여 전용 프로토콜을 통해 각 입출력을 제어하게 된다.

제어 패널 내부에는 펌프와 주제어 단자를 단락 및 접속하기 위한 릴레이를 장착하고 있다. 수중 사석고르기 장비로부터 펌프의 제어 및 누수 감지 센서의 신호가 오게 되면, 운영시스템 프로그램에서 이를 감지하여 펌프와 주제어 단자를 차단하게 된다. 제어 패널 내에서 사용한 모든 부품은 일반적인 산업용 부품을 사용하여 추후 고장 등의 상황에서 쉽게 교체가 가능하도록 설계하였다.



그림 4.1.4 PLC 및 결선 상태

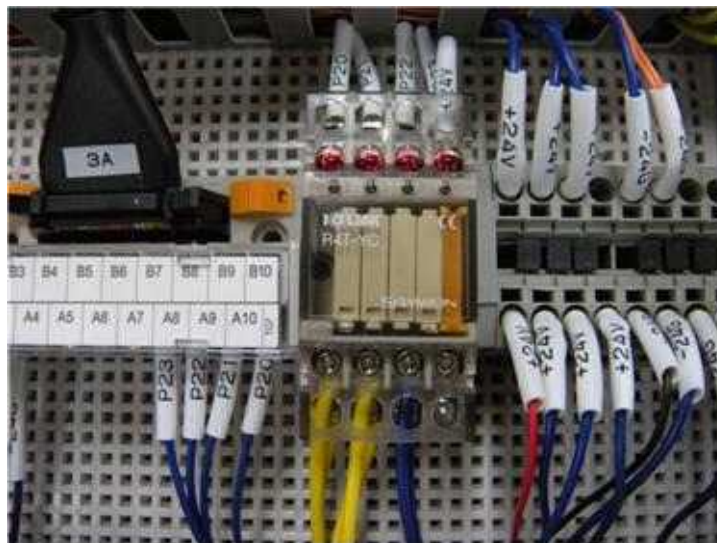


그림 4.1.5 릴레이 제어단

4.2 원격제어실 소프트웨어 설계 및 제작

운영시스템 소프트웨어 프로그램은 수중 사석고르기 장비와 통신하여 상태를 수신 받고, 메인 제어기 패널의 조작 내용을 장비로 송신하는 역할을 한다. 그리고 수신 받은 상태 및 제어 패널 조작 상태를 조작자가 알아보기 쉽도록 화면에 표현하는 기능을 한다.



그림 4.1.6 운영시스템 소프트웨어 GUI 프로그램 구성

소프트웨어 프로그램의 구조는 기존 1차년도와 마찬가지로 Model-View-Controller 패턴에 의한 개발론을 적용하였으며, Model 부분에서는 3D 모델의 정보와 장비와의 송수신 프로토콜 형태를 정의하였고, View 부분에서는 GUI 입력 및 출력부와 3D 그래픽부를 구현하였다. 그리고 Controller 부분에서는 기존 제어패널 및 조이스틱, GUI 버튼, 그리고 2차년도에 새롭게 제작한 PLC 제어패널에 대한 컨트롤 내용을 구현하고 있다. 전체 프로그램 GUI 구성은 그림 4.1.6과 같다.

통신 프로토콜은 창원대학교에서 새로 제작하는 사석고르기 장비에서 사용하는 프로토콜을 기반으로 작성되었다. 운영시스템 소프트웨어 프로그램과 장비와의 통신은 RS-422 규격을 사용하게 되며 115200bps의 속도로 데이터를 송수신한다. 송수신 프로토콜은 각각 하나의 패킷으로 구성되며 이는 다음 그림 4.1.7과 같다.

운영시스템 소프트웨어 프로그램의 개발에는 C# 언어를 사용하였으며, 장비 상태를 작업자에게 쉽게 나타낼 수 있도록 전문 Data Visualization 컴포넌트를 사용하여 구현하였다. 수중 사석고르기 장비의 3D 모델은 3DS 파일 포맷으로 작성되었으며 각 파트별 모델을 읽어 화면 상에서 조작 내용에 따라 이동 및 움직임을 표현하도록 하고 있다. 그림 4.1.6은 장비 형상의 3D 모델을 보여주는 화면 부분이다.

이 화면에서는 전체 장비의 형상을 보여주고 있으며, 아웃트래커 및 고르기 툴의 움직임 상태를 반영하여 실제 형상의 움직임을 따라 구현하여 주므로 작업자가 현재 조작 내용을 확인할 수 있도록 하고 있다. 장비 내에 장착된 센서로부터 나오는 Roll-Pitch-Yaw 각도를 반영하여 장비 전체 형상을 움직여주고 있으며, 각각의 각도 정보에 따른 디스플레이는 그림 4.1.9와 같다.

운영시스템 소프트웨어 프로그램의 GUI를 통한 장비 제어 입력부는 버튼 컨트롤을 통해 메인 제어기에서 제공하는 모든 기능을 구현하고 있다. 화면 상의 컨트롤을 마우스로 누르면 해당하는 기능을 제어할 수 있고, 또 그 제어 입력 상태를 그대로 화면에

나타내도록 하고 있다.

수중 사색고르기 장비로부터 수신받은 상태 정보를 분석하여 아래의 그림 4.1.11과 같이 표현하고 있다. 통신 상태 지연을 감시하여 만약 송수신이 원활하지 않으면 붉은 점멸이 버튼에서 일어나도록 하고 있다. 또한 펌프의 상태 및 누수 센서 감지 상태를 직관적으로 표현하기 위하여 이상 상황 발생 시에는 화면 상에서 붉은 점멸이 일어나도록 구현하였다.

```

public class TransmitPacketInfo
{
    public byte TravelForward; // [0-255] level
    public byte TravelBackward; // [0-255] level
    public byte TravelLeft; // [0-255] level
    public byte TravelRight; // [0-255] level
    public byte OutTrackerState_FL; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_FR; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_RL; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public byte OutTrackerState_RR; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public short PlatformHeight; // 0-500 [mm]
    public bool Command_MaintainLevel; // On:1, Off:0
    public bool Command_SupplyOilPressure; // On:1, Off:0
    public bool Command_OperationMode; // Manual:1, Auto:0
    public byte Command_ShovelToolState; // 정지:00, 상승:10, 하강:01
    public bool Command_Emergency; // On:1, Off:0 (수동조작시 배압펌프 relay on 연동)
    public bool Command_StraightControl; // On:1, Off:0
    public byte OutTrackerVelocity; // 0-255
    public bool Underwater_Light1; // On:1, Off:0
    public bool Underwater_Light2; // On:1, Off:0
}

public class ReceivePacketInfo
{
    public short AngleRollDegree; // [-180~180deg] / 2's complement x scaleFactor(360/65536)
    public short AnglePitchDegree; // [-180~180deg] / 2's complement x scaleFactor(360/65536)
    public short AngleYawDegree; // [-180~180deg] / 2's complement x scaleFactor(360/65536)
    public float Length_FL; // [0-500.0mm] / data x scaleFactor(1/10)
    public float Length_FR; // [0-500.0mm] / data x scaleFactor(1/10)
    public float Length_RL; // [0-500.0mm] / data x scaleFactor(1/10)
    public float Length_RR; // [0-500.0mm] / data x scaleFactor(1/10)
    public float TankOilLevel; // [0-1000.0mm] / data x scaleFactor(1/10)
    public bool Flag_Fault; // Fault:1, Normal:0
    public bool Flag_PumpRunning; // On:1, Off:0
    public bool Flag_OilLevelFault; // On:1, Off:0
    public bool Flag_Pump1On; // On:1(동작), Off:0
    public bool Flag_Pump2On; // On:1(동작), Off:0
    public bool Flag_Leak1On; // On(누수):1, Off:0
    public bool Flag_Leak2On; // On(누수):1, Off:0
    public bool Flag_Leak3On; // On(누수):1, Off:0
    public byte ToolLength; // [0-255mm]
    //public short Position_X;
    //public short Position_Y;
    //public short Position_Z;
}

```

그림 4.1.7 송수신 프로토콜 정의

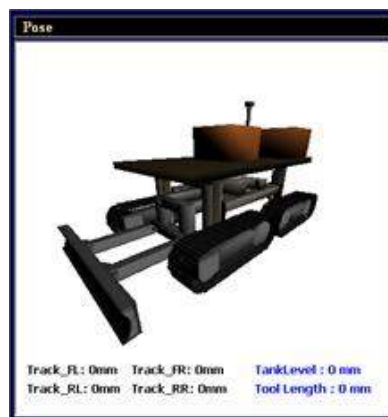


그림 4.1.8 전체 장비 형상 3D 디스플레이부



그림 4.1.9 Roll/Pitch/Yaw에 따른 장비 형상 표현



그림 4.1.10 GUI 제어 입력 컨트롤부



그림 4.1.11 장비 상태 디스플레이부

5. 시험용 장비 개발

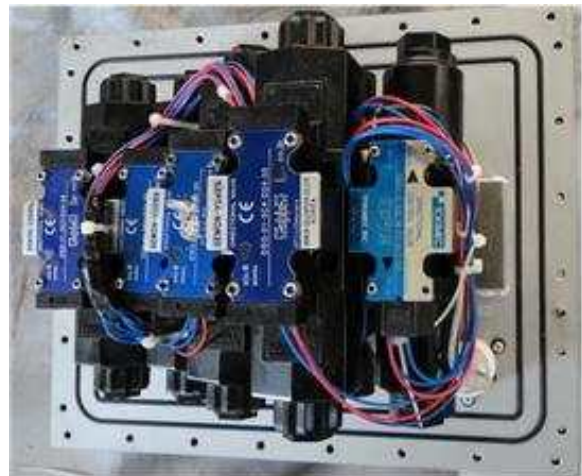
5.1 수중 시험용 장비 제작

5.1.1 방수 시스템 제작

- 설계 제작된 방수 시스템을 적용하여 수중 시험용장비를 제작함. 그림 5.1.1은 밸브가 조립된 수중용 파일럿 서보 밸브 메니블록과 솔 밸브 블록을 보이고 있으며, 방수의 효율성, 수압의 내구성을 높이기 위해 컴팩트한 크기로 제작되었음.
- 그림 5.1.2는 제작된 방수형 밸브 블록이 유압회로에 결선된 장면을 나타내고 있으며, 블록, 유압 호스 및 방수기능이 불필요한 부분은 외부에 노출시켜 부력 및 방수 케이스의 크기를 최소화 할 수 있도록 함.



(a) 파일럿 서보 밸브 메니블록



(b) 솔 밸브 메니블록

그림 5.1.1 제작된 방수형 밸브 메니블록



그림 5.1.2 설치된 파일럿 서보 밸브 및 솔 밸브 방수 케이스



(a) 선정된 방진구



(b) 방진구 설치

그림 5.1.3 유압시스템 전체 블록 설치

- 유압시스템이 탑재되는 부분의 하부에는 그림 5.1.3과 같이 방진구를 설치하여 사석면 주행시 발생하는 진동등으로부터 유압호스, 방수커넥터 및 조립용 볼트의 풀림현상을 방지하였음.
- 구동용 제어기는 1차년도 개념을 바탕으로 컴팩트한 사이즈로 새로 제작하였으며, 그림 5.1.4는 구동용 제어기 및 설치된 제어기의 모습을 나타냄.



(a) 구동용 제어기



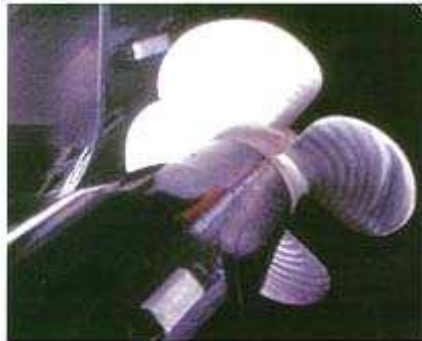
(b) 설치된 구동용 제어기
그림 5.1.4 제작된 방수형 구동용 제어기

5.1.2 방식 시스템 제작

- 부식이란 일반적으로 금속이 주위환경에 대하여 화학적 또는 전기화학적으로 반응하여 소손되는 현상으로 수중용 장비의 필수적 고려요소중의 하나임. 수중 고르기 장비는 해수용 방식기법인 아연계 대체부식재를 사용하여 방식처리를 하였음.

TYPE	Nominal Dimension H×W×L(mm)	Nominal Weight(kg)	Hole Distance & Core Size	Type of installation
Z-11	20×70×150	1.1	75	Bolt-on Type
Z-25	25×100×200	2.5	105	"
Z-36	30×100×200	3.6	105	"
Z-55	20×150×300	5.5	160	"
Z-71	25×150×300	7.1	160	"
Z-85	30×150×300	8.5	160	"
Z-113	40×150×300	11.3	160	"
Z-150	45×180×360	15.0	170	"
Z-145	50×150×300	14.5	160	"
Z-141	40×200×300	14.1	160	"
Z-226	65×200×300	22.6	160	"
Z-201	53×130×540	20.1	340	"
Z-250	64×140×540	25.0	340	"
Z-308	64×200×460	30.8	260	"
Z-400	65×200×540	40.0	340	"
ZW-30	20×100×200	3.0	31×30	Weld-on Type
ZW-42	30×100×200	4.2	"	"
ZW-65	20×150×300	6.5	"	"
ZW-96	30×150×300	9.6	"	"
ZW-128	40×150×300	12.8	"	"

Note : Other dimensions are also available on request



Ships stern parts protected by Zn-ANODE



Typical bolt-on Zn-ANODE for ships hull

그림 5.1.5 해수용 방식 Zn-Anode

- 그림. 5.1.5는 가장 일반적으로 사용되는 해수용 방식 Zn-Anode를 나타낸 것으로 본 연구에서는 Z-11 Type을 선정하였음. 또한 US-MIL-18001-H에 의한 선정 소재의 방식 유효 면적을 계산하면 반경을 계산하면 15.44 m^2 으로 이는 반경 2.2m의 원에 해당하는 면적임. 따라서 Zn-anode를 2m간격으로 설치하면 방식을 충분히 예방할 수 있음. 또한 선정된 Zn-anode는 수명이 약 6개월로 예상되며 그 기간이 지나면 교체해야 함.

5.1.3 제작된 수중 시험용 장비

- 수중 시험용 장비는 그림 5.1.6과 같이 방수, 방식, 방진의 개념을 고려하여 제작됨.
 - (A) : 방수용 Case에 설치된 모션센서

- (B) : 유압시스템이 내장된 블록으로 내부에는 유압액추에이터를 직접 제어하는 MCV, 이를 제어하는 Pilot 밸브 방수블록, 솔레노이드 방수블록 및 유압배선등의 처리가 되어 있음. 또한 블록 하부에는 방진구를 설치하여 주행 중 진동으로부터 발생할 수 있는 충격, 볼트등의 풀림현상 등을 방지 함.
- (C) : 방수처리된 배압탱크로 유압탱크 자체의 방수처리 레벨센서의 방수처리 등을 수행함.
- (D) : 방수처리된 구동용제어기로 (B) 유압제어시스템에 제어신호를 공급하고, 아웃트리거 MTS센서 및 Depth 센서, 모션센서, 블레이드 LVDT센서 등의 정보를 취득하여 운영시스템에 통신으로 연결되며, 운영시스템의 제어명령을 받아 장비를 직접 구동시킴. 하부에는 방진구를 설치하여 주행 진동을 방지하였음.
- (E) : 방식용 아연계 대체부식재로 아웃트리거 부에 4Set, 장비 플랫폼부에 4Set을 설치하여 부식을 방지함.
- (F) : 방수처리된 아웃트리거로 하우징 내부의 MTS 센서를 방수기능으로 처리함.
- (G) : 방수처리된 블레이드 실린더 길이 측정용 LVDT로서 이는 수중용 LVDT를 직접 구매하여 장착함.
- (H) : 고르기 작업 시험용 블레이드로 수중 평탄화 작업을 수행함.

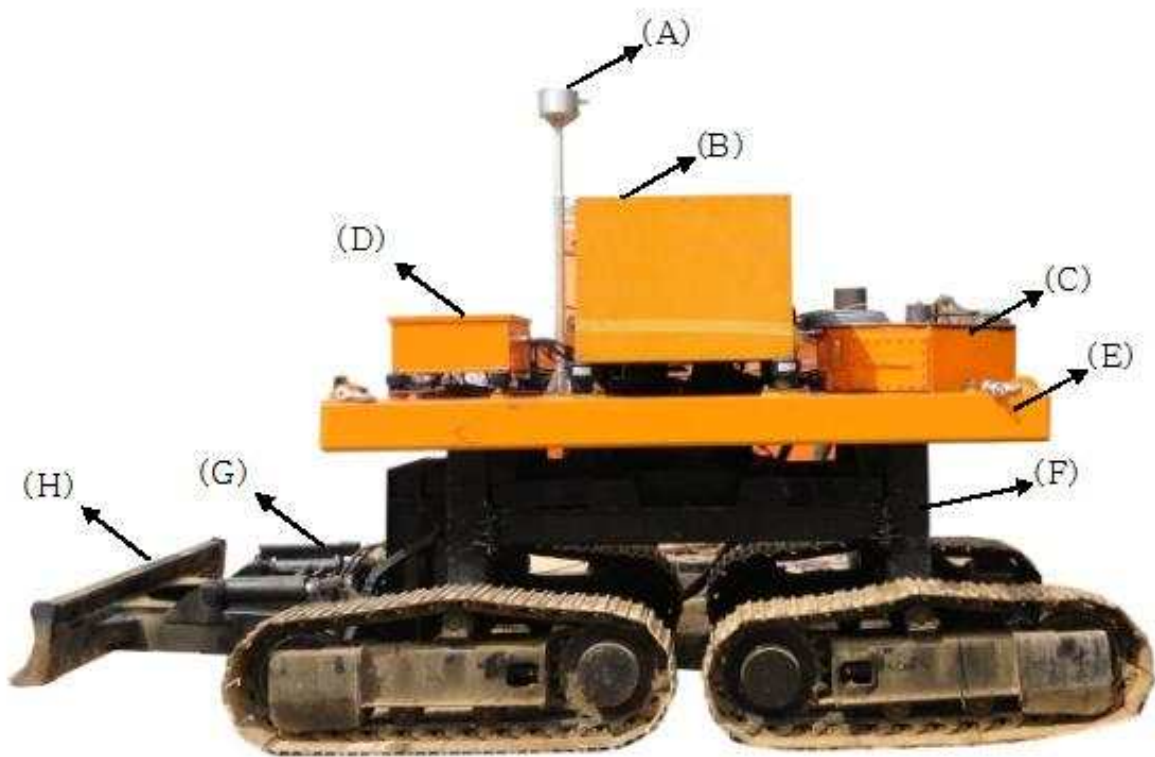


그림 5.1.6 제작된 수중 시험용 장비



그림 5.1.7 장비 권양용 로프

- 수중 시험용 장비를 이용하여 수중 투입 시험시 장비를 권양할 수 있는 로프가 필요함.

그림 5.1.7은 제작된 장비 권양용 로프로 장비의 각 모퉁이에 견인고리로 연결되며 로프 전체의 길이는 16m로 제작됨. (수중시험장소 답사 시 평균 수심이 10m 수준임)

5.2 수중 구동용 제어기 보완

5.2.1 통신 프로토콜

- 구동용 제어기와 운전실간의 통신 설정은 표 5.2.1과 같이 정의함.

표 5.2.1 구동용 제어기 통신 설정

항목	값
통신 형태	RS-485
통신 속도	115200bit/s
데이터 비트	8
패러티	None
스톱 비트	1
통신 주기	10Hz
수신 크기	15Byte
송신 크기	30Byte

- 수신 프로토콜 (운영실 → 구동용 제어기)
 - : 수신 프로토콜은 표 5.2.2와 같음
 - : Travel - 레버 입력에 따라 전, 후, 좌, 우 각각 0~255 값으로 정의
 - : Out Trigger - 버튼의 입력에 따라 정지:00, 상승:10, 하강 01으로 정의
 - : 작업 플랫폼의 높이 - 0~500의 값을 mm 로 표현
 - : Etc command - 표 5.2.3과 같이 제어모드 및 툴 구동등의 버튼입력에 따라 표 5.2.4와 같이 값을 정의
 - : Vel O.T - OutTracker 속도 설정으로 0~255의 값을 정의
 - : Light - 수중 조명의 On/Off 버튼 입력에 따라 On:1 Off:0을 정의

표 5.2.2 수신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Travel			OutTrigger	Platform Height		Etc cmd	
Value	'S'	'T'	forward	backward	left	right	FL/FR/RL/RR	MSB	LSB	0x00
Byte	11	12	13	14	15					
Description	Vel O.T	Light	Spare# 1	Spare# 2	Checksum					
Value	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00					

표 5.2.3 Etc command 비트

bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Description	수평자세 유지	유압공급	작업모드	고르기툴		EMG	직진제어	spare

표 5.2.4 장치 상태에 따른 비트값

	상태	값	
수평자세유지	On	1	
	Off	0	
유압공급	On	1	
	Off	0	
작업모드	Manual	1	
	Auto	0	
고르기툴	Up	1	0
	Stop	0	0
	Down	0	1
EMG	On	1	
	Off	0	
직진제어	On	1	
	Off	0	

- 송신 프로토콜 (구동용 제어기 → 운영실)

- : 수신 프로토콜은 표 5.2.5와 같음
- : Angle Data, Length Data, Tank Oil Level, Tool Length는 1차년도와 동일
- : Etc command bit는 표 5.2.6과 같으며 Leak 센서 #1~#3 신호가 2차년도에 추가됨
- : Etc command의 장치 상태에 따른 비트값은 표 5.2.7과 같음

표 5.2.5 송신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Angle Data						Length Data	
Value	'S'	'T'	Roll MSB	Roll LSB	Pitch MSB	Pitch LSB	Yaw MSB	Yaw LSB	FL MSB	FL LSB
Byte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Description	Length Data						Tank Oil Level		Etc cmd	Tool Leng
Value	FR MSB	FR LSB	RL MSB	RL LSB	RR MSB	RR LSB	MSB	LSB	0x00	0x00
Byte	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Description	Spare1	Spare2	Spare3	Spare4	Spare5	Spare6	Spare7	Spare8	Spare9	Checksum
Value	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00

표 5.2.6 Etc command bit

bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Description	통신수신 Fault	배압펌프	Oil lev Fault	Pump1 On	Pump2 On	Leak 1	Leak 2	Leak 3

표 5.2.7 장치 상태에 따른 비트값

	상태	값
통신수신 Fault	Fault	1
	Normal	0
배압펌프	On	1
	Off	0
Oil Level Fault	On	1
	Off	0
Pump1 On	On	1
	Off	0
Pump2 On	On	1
	Off	0
Leak1 On	On(누수)	1
	Off(normal)	0
Leak2 On	On(누수)	1
	Off(normal)	0
Leak3 On	On(누수)	1
	Off(normal)	0

5.2.2 제어 흐름도

○ 제어 흐름도는 그림 5.2.1과 같음

- 구동용 제어기에 전원을 인가하면 각 하드웨어 및 소프트웨어의 초기화 작업을 수행함.
- 통신 2번은 각도센서로부터 장비의 각도를, 통신 3번은 수심센서로부터 장비(튠)의 수심을 읽음.
- ADC는 4개의 MTS로부터 각 아웃트리거의 길이를, Level 센서로부터 드레인 탱크의 유위를 계산.
- DI는 Leak 센서로부터 방수 케이스에 누수가 있는지 판단하고 누수가 있을 경우 장비는 비상정지를 하고 운영실에 이를 알림.
- 통신 4번은 운영실에서 보내는 장비 및 장치등의 구동신호를 분석
- 주행명령이 있을 경우 주행알고리즘에 의해 직진제어 및 선회를 수행
- 자세유지명령이 있을 경우 항상 작업 플랫폼이 사석면에 수평하도록 각 아웃트리거를 제어
- Level 센서로부터 드레인 탱크의 유위가 50%가 되면 자동으로 드레인 펌프를 구동하여 유위가 20%가 되도록 함
- 튠 및 라이트 구동 명령이 있을 경우 이를 구동

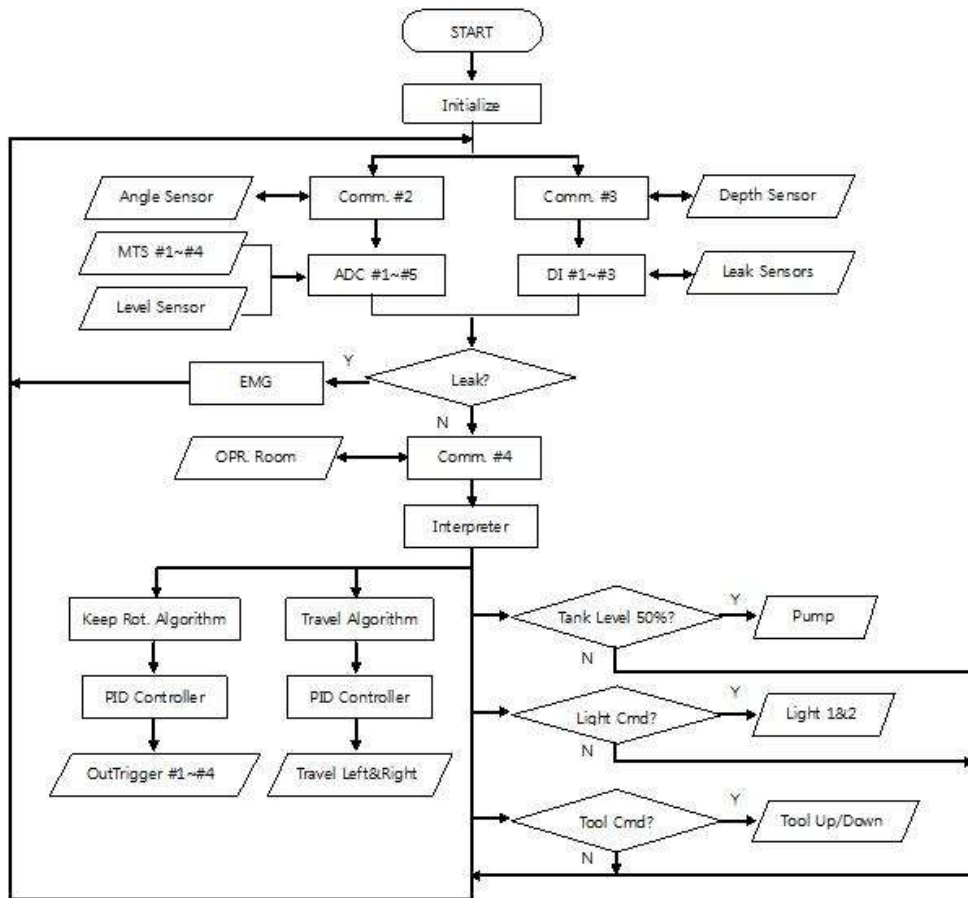


그림 5.2.1 제어 흐름도



그림 5.2.2 Depth Sensor

5.2.3 수중 작업용 센서의 통신시스템 개발

- Depth Sensor는 그림 5.2.2와 같음
- 통신 설정은 표 5.2.8과 같음
 - : RS-232 통신을 이용하여 압력, 압력보정 및 기타 정보를 송.수신
 - : Address 는 여러개의 압력센서를 하나의 통신으로 사용할 경우 각 센서의 주소를 나타내며 1개를 사용할 경우 1로 사용
 - : Baud 는 통신속도로 9600bit/s

표 5.2.8 RS-232 통신 설정

ITEM	VALUE
Type	RS-232
Address	1
Baud	9600
Data Bits	8
Parity	None
Stop Bits	1



그림 5.2.3 RS-232 통신 구성

○ 통신 핀 구성은 그림 5.2.3과 같음

- 센서로부터 압력 및 기타 정보를 수신하기 위해서는 센서로 Command를 보아야 함
- Command에 따른 센서의 송신 데이터는 표 5.2.9와 같음
- X는 센서의 Address를 나타냄
- A는 센서의 Address 설정값으로 0~9 또는 A~Z로 설정

표 5.2.9 Command Set

Command	Command String	Return String	Description
?	#X?<cr>	X<sp>nnnnnnnnn<cr><lf>	센싱한 압력을 송신
A	#XA<sp>n<cr>	R	센서의 address 설정
FS?	#XFS?<cr>	X<sp>FS<sp>nnnnn<cr><lf>	센서의 정밀도 %FS 송신
R-?	#XR-?<cr>	X<sp>R-<sp>n...n<cr><lf>	최소값 송신
R+?	#XR+?<cr>	X<sp>R+<sp>n...n<cr><lf>	최대값 송신
U?	#XU?<cr>	X<sp>U<sp>n<cr><lf>	압력 단위 송신

6. 수중실험 및 성능평가

6.1 수중 착저형 이동시스템

6.1.1 실험 계획 수립

(1) 개요

- 목적 : 수중 시험용으로 보완 제작된 착저형 이동시스템의 기본 구동장치의 기능, 착저형 이동 시스템의 성능 및 제어성능을 육상 및 수중환경에서 검증
- 현장 위치 : 창원대학교 실험장 및 KT 서브마린 전용 부두 주변해안
- 실험 기간
 - 1차(육상실험) : 2011년 3월 14일(월) ~ 3월 18일(금)
 - 2차(수중실험) : 2011년 3월 28일(월) ~ 4월 1일(금) (계획)
 - 3차(수중실험) : 2011년 4월 11일(월) ~ 4월 15일(금) (계획)

(2) 세부 일정(안)

1) 육상실험

- 창원대학교에 본 과제의 실험을 위해 조성된 현장에서 실험
 - : 육상시험을 위한 시험장은 창원대학교 내부공간을 활용하여 현장이 준비 되었으며, 고르기 시험을 위한 사석면은 120m² (8m X 15m)의 크기로 조성되었고, 테스트용 지형 조성을 위해 두 종류의 사석을 준비함.
- H/W 및 S/W 보완/개발 : 2011년 3월 10일까지
- 실험기간 : 2011년 3월 14일(월) ~ 3월 18일(금)



그림 6.1.1 사석 포설 현장

2) 수중실험

- KT 서브마린의 거제현장 소재의 전용 부두 주변지역을 실험장소로 선정함.
 - 실험 전 사전조사를 위해 수중지형조사 수행 [2011년 1월 24일(월)]
- 수중실험 일정 설정 : 2011년 3월 14일까지
- 실험기간 : 2011년 3월 28일(월) ~ 4월 15일(금) [2차례 이상 실험예정]

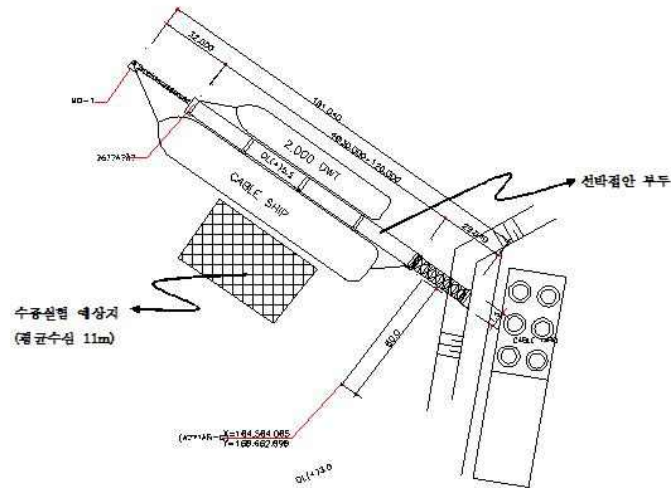


그림 6.1.2 수중실험 현장 도면

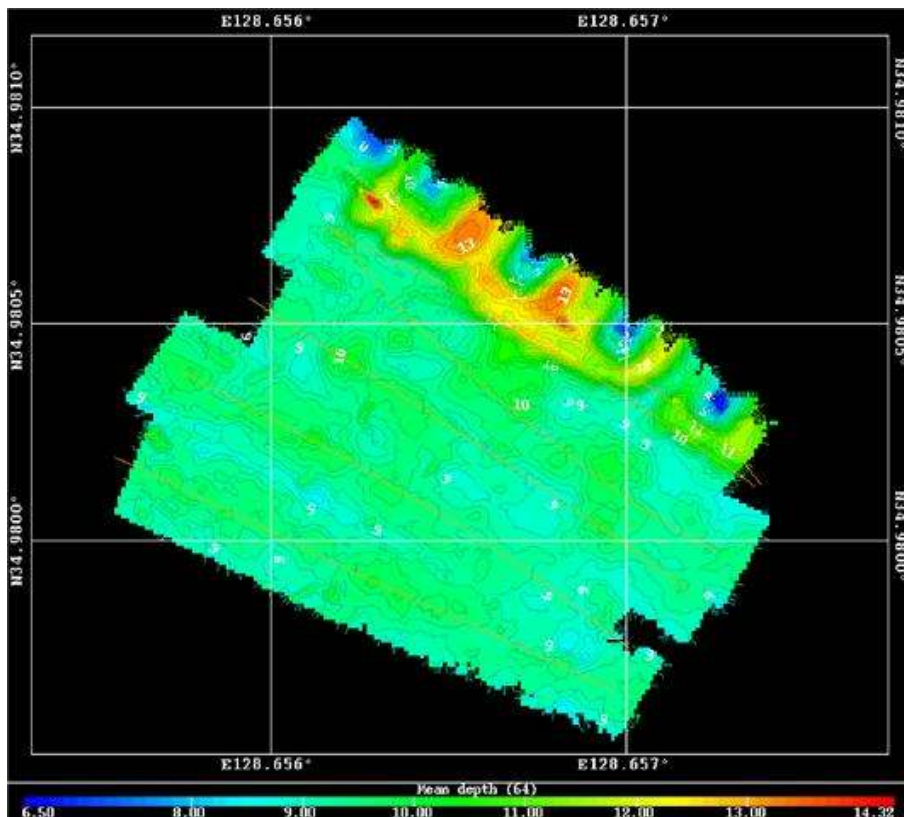


그림 6.1.3 수중실험장소의 지형조사 결과 (Contour Map)

(3) 착저형 이동시스템 성능 실험

1) 육상실험

- 운영시스템의 Main 제어기와 구동용제어기의 통신 실험
- 원격제어용 운영 소프트웨어/원격조종 시스템과 장비구동 실험
- 수평유지 및 주행방향 제어 실험
- 수중 카메라 및 조명 시스템 실험

2) 수중실험

- 수중환경에서 유압시스템 구동실험
- 수중 수평유지, 주행방향 제어 실험
- 수중 사석면 이동시스템 실험
- 성능평가를 통한 수중장비 설계보완점 분석

6.2 수중 위치인식시스템 및 높이측정시스템 실험

그림 6.2.1은 Hypack 프로그램 상에서 LBL 시스템을 사용하여 수중 위치 추적을 수행하는 예를 보여주고 있다. 대상 해역은 장목에 소재한 남해연구소이다. 초록색으로 표시된 동그란 형태의 점이 각 트랜스폰더가 설치된 위치이고 빨간 점이 LBL 시스템의 실시간 위치 추적 결과를 나타낸다.



Fig. 6.2.1 Tracking results in Hypack monitoring program

3차년도 연구 내용 및 결과

1. 해저면 이동 시스템 개발

- 본연구의 개발목표는 수중 20m에 포설되어 있는 사석을 설계기준면에 만족(시공허용 오차의 80% 수준)되도록 사석면을 고르는 것을 목적으로 함.
- 또한, 장비는 수중 원격제어의 개념에서 운용되어 사석고르기의 중작업을 위해 포설된 사석면을 원활히 주행할 수 있어야하고, 작업부하를 만족할 수 있는 주행능력을 갖추어야하고, 조류와 같은 수중환경을 극복하면서 운용되어야 함.
- 이러한 배경을 고려할 때 해저면 이동 시스템은 본 연구에 있어 핵심기술이며, 당해 연도에는 시스템의 사양을 수중 작업성을 고려하여 상용 06급 굴삭기 규모에 기준하여 개발하는 것이 목표임.
- 이를 위해 유압공급을 위한 시스템을 장비에 탑재시켜 개발함으로써, 유압제어의 효율성 및 신뢰성을 높이고, 06급 규모의 착저형 이동 시스템을 설계·제작하고, 수중의 작업환경을 고려한 고 출력 수중 구동 액추에이터를 설계·제작하고, 유압 구동방식의 장비제어를 위해 유압제어시스템을 설계·제작하였음.

1.1 수중 유압공급 시스템 개발

1.1.1 개요

- 수중 다목적 기계화 시공장비는 수중 사석고르기와 같은 중작업을 위한 작업부하, 수중환경에서 구동시스템의 활용성 등을 볼 때 유압구동 시스템으로 개발되어야함.
- 유압구동을 위한 유압공급 시스템은 장비에 탑재되어 운용되는 방법과 선상에 시스템을 설치하고 유압호스를 수중의 장비까지 연결하여 유압을 공급하는 방법을 고려할 수 있음.
- 본 연구의 목적은 수중 20m의 사석 고르기 작업이며, 현재 시공방법에서 보이듯이 작업선은 항상 시공 중인 장비 인근에 있게 됨. 이 경우 선상시스템과 수중의 장비까지 유압호스 등의 길이는 최소 50m 이상이 필요하게 되므로 유압공급 시스템을 선상에 설치할 경우 연결호스가 길어져 유압 공급 시 시간지연으로 인해 제어성이 떨어지고, 호스 관로상의 저항, 드레인라인의 내압 증가 등의 원인으로 유압적 특성이 현저히 떨어지게 됨.
- 본 연구에서는 상용 06급 굴삭기가 수중 20m 수준의 환경에서 중 작업이 가능할 수 있도록 유압공급 시스템(HPU, Hydraulic Power Pack)을 장비에 탑재시켜 운용하고자 함.
- 수중용 HPU 시스템은 상용화된 해외 제품이 있으나 가격이 고가이며, 유지보수 및 추후 상용화를 고려하여 본 연구에서는 이를 설계 제작하여 활용하고자 함.

1.1.2 수중 유압공급 시스템 사양선정

- 상용 06급 굴삭기의 유압시스템의 사양을 분석하고 본 과제의 장비사양에 맞는 수중 유압공급 시스템을 선정하고자함.
- 표 1.1.1은 상용 06급 굴삭기의 유압시스템 사양을 보이고 있음. 본 개발에서 유압생성을 위한 펌프는 상용 06급 기성품을 사용하기로 하며, 펌프구동을 위해 06급 엔진 정격출력 95ps (약 69.8 Kw)에 준하는 전동기를 선정하기로 함.
- 국내 전동기 생산업체 중 현대중공업 제품을 선정함에 있어 생산되는 출력사양 중 75kW급 전동기를 선정함. 선정된 전동기의 세부 사양은 아래 표 1.1.2와 같이 75Kw (100Hp)용량이며, 440VAC(60Hz) 3상 전원을 사용하고, 1780 rpm(4 Pole)의 회전속도를 가지며, IP56등급의 규격으로 우천시 야외에서 직접 사용가능한 정도의 방수에 대한 보호성을 기짐. 전동기의 기동 방식은 Y- Δ 기동방식을 채택하였으며, 전동기의 적용시 주변환경의 온도가 40 deg. C(Max)로서 전동기가 방수 Case에 조립되었을 때 방수 Case 내부의 온도가 40deg. C를 넘지 말아야 함. 또한 상대습도는 80% 이하의 환경이며, 방수 Case 내부에서 사용될 경우 상황에 따라 상대습도가 높아질 수 있으므로 권선 등의 성능이 저하될 수 있으므로 모터 권선에 스페이스 히터(Space Heater, 1ph, 220VAC 100W)를 설치함.

표 1.1.1 상용 05급 굴삭기 (EC140C) 주요 재원

●운전중량	kg	13,450 ~ 14,500
●버킷용량(산적, ISO)	m ³	0.57(표준)
●엔진		
모 델		VOLVO D4E
형 식		수냉식 디젤 4기통
정격출력	ps/rpm	95 / 2,000(Net)
		109 / 2,000(Gross)
연료탱크용량	ℓ	260
●유압		
형 식		가변용량형 피스톤 펌프×2, 기어펌프×1
토출압 (보통/승압)	kg/cm ²	330 / 350
펌프토출유량	ℓ /min	2×118
●성능		
선회속도	rpm	12.0
주행속도 (1단/2단)	km/h	3.2 / 5.5
굴삭력 (버킷/암)	ton	8.4(8.9) / 6.3(6.7) *1 는 승압시 제원임
등판능력	도	35(무부하)
견인력	ton	11.3
접지압	kg/cm ²	0.35
도자브레이드(선택사양)	mm	2590×580

표 1.1.2 전동기 주요 재원

GENERAL SPECIFICATION		PERFORMANCE DATA		
Frame Size	250S	Rated Output	75 kW 100 HP	
Type	HS	Number of Poles	4	
Enclosure(Protection)	Totally Enclose (IP 56)	Rotor Type	Squirrel Cage	
Method of Cooling	IC411(FC)	Starting Method*	<input checked="" type="checkbox"/> D.O.L <input type="checkbox"/> Y-Δ	
Rated Frequency	60 Hz	Rated Voltage	440 V	
Number of Phases	3	Current	Full Load 120.4 A	
Insulation Class	<input checked="" type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> H	Locked-rotor**	670 %	
Temp. Rise at full load (by resistance method)		Efficiency		
at 1.0 S.F	80 deg. C	50% Load	%	
Motor Location	<input checked="" type="checkbox"/> Indoor <input type="checkbox"/> Outdoor	75% Load	%	
Altitude	Less than 1000 meter	100% Load	94.5 %	
Relative Humidity	Less than 80 %	Power Factor(p.u)		
Ambient Temp.	40 deg. C (Max.)	50% Load		
Duty Type	Continuous (S1)	75% Load		
Service Factor	1.15	100% Load	0.865	
Mounting	<input type="checkbox"/> B3 <input type="checkbox"/> B5 <input type="checkbox"/> V1 <input checked="" type="checkbox"/> B3/B5	Speed at Full Load	1780 r.p.m	
Bearing	Type	Anti-Friction	Torque	
	DE/N-DE	6316C3 / 6313C3	Full Load	41.0 kg-m
	Lubricant	Grease(Gadus S2 V 100 2)	Locked-rotor**	150 %
External Thrust	Not applicable		Breakdown**	250 %
Coupling Method	<input checked="" type="checkbox"/> Direct <input type="checkbox"/> V-Belt		Moment of Inertia (J)	
Shaft Extension	<input checked="" type="checkbox"/> Single <input type="checkbox"/> Double		Load(Max.)	56.350 kg-m ²
Terminal Box	Main	<input type="checkbox"/> Steel <input checked="" type="checkbox"/> Cast Iron	Motor	1.723 kg-m ²
	Aux.	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	Sound Pressure Level (No-load & mean value at 1m from motor)	82 dB(A)
	Location	Refer to Outline Drawing	Vibration	2.2 mm/sec (r.m.s)
Application			Permissible number of consecutive starts	Cold 3 times Hot 2 times
Area classification	Non-Hazardous		Paint	Munsell No. 4-0PB5.4/5.5(VL-451)
Type of Ex-Protection	Not applicable			
Applicable Standard	KS,IEC,NEMA MG1 Part30			

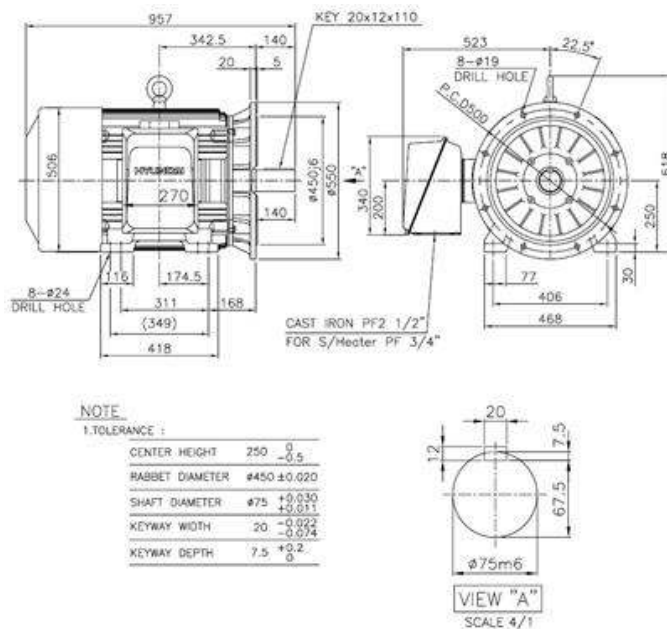


그림 1.1.1 선정된 전동기 외형도

- 그림 1.1.1은 선정된 전동기 외형도로 전체 외형 크기는 약 618 X 757 X 957[mm]의 크기를 가지며, 중량은 약 520kg이며, 출력 샤프트는 키 타입으로 되어있음.
- 선정된 75kW 전동기와 상용 06급 유압펌프 (가변용량형 피스톤 펌프, 330kg/cm², 2X118 l/min) 를 이용하여 수중 유압공급시스템을 개발 함.

1.1.3 수중 유압공급 시스템의 설계

- 수중 유압공급 시스템은 크게 전동기/펌프를 포함하는 유압공급 시스템과 유체를 포함하는 작동유 탱크 그리고 전동기에 전력을 공급하는 발전기로 구성 될 수 있음. 본 설계에서는 상기 3가지 부분에 대한 세부설계를 수행하고 이를 근거로 제작을 하고자 함.

(1) 수중 유압공급 시스템 설계 개념

- 그림 1.1.2는 수상 HPU 시스템의 구성을 나타내는 예로서 준서선 선박내부의 시스템을 보이고 있음. 그림에서와 같이 회전력을 발생시키는 전동기(Motor), 회전력을 전달하는 커플링(Coupling), 회전력을 전달받아 유압을 생성시키는 펌프(Pump) 그리고 펌프 상하부에 작동유를 흡입하고 토출하는 유압호스들이 구비되어 있음.
- 본 설계에서는 그림 1.1.2와 같이 현장에서 가장 많이 활용어 검증되어진 구성으로 수중 HPU 시스템을 제작을 하고자 함.

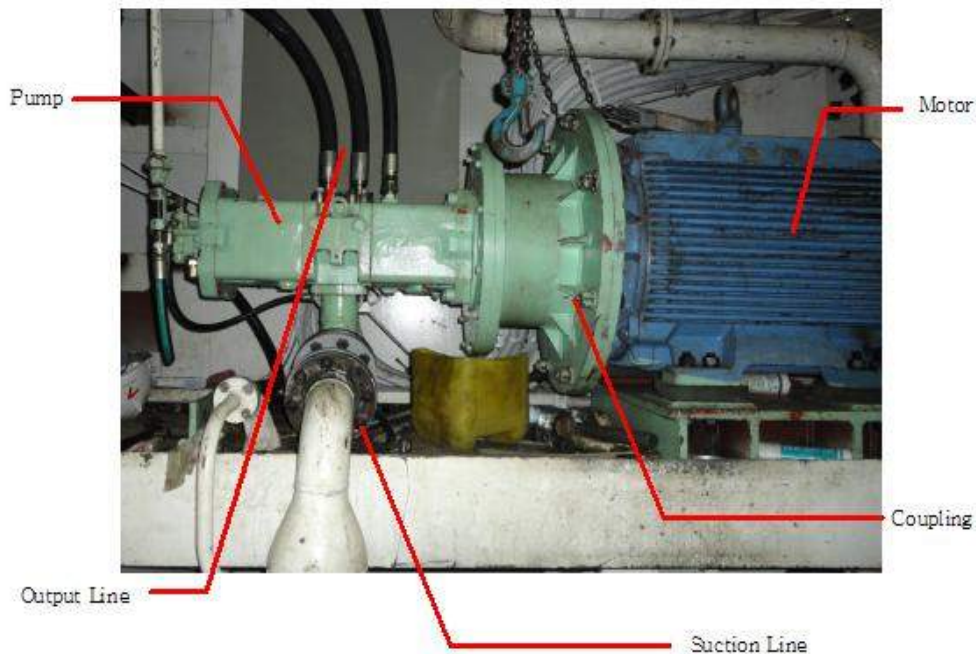


그림 1.1.2 수상 HPU 시스템의 구성

- 수중 유압공급 시스템의 설계에 있어 가장 핵심적인 부분은 상기 HPU시스템의 구성을 수중에 적용하기 위한 방수 케이스부분임. 그림 1.1.3과 같이 일반적인 직육면체 형태의 방수 케이스의 경우 전동기 크기를 고려했을 때 방수 케이스 커버 단면에 인가되는 힘이 수중 20m에서 약 14Ton의 수준으로 재질 및 두께에 있어 매우 불리해 짐. 또한 모터 플랜지, 커플링, 방수 케이스의 가공 및 조립성을 볼 때 조립오차가 매우 커질 것으로 판단됨.
- 그림 1.1.4와 같이 원통구조물의 경우 케이스 외부에 받는 수압을 크게 개선할 수 있으나 모터 바닥 취부 및 샤프트, 플랜지 취부 등의 가공이 직육면체의 경우보다 어려움.
- 원통형 구조물의 경우 취부를 위한 가공이 어렵다는 것이 단점이므로, 이를 해결하기 위해 회전체들의 회전축을 맞추기위해 취부에 프랙시블 조인트(벨로우저) 개념을 적용하여 설계함.
- 그림 1.1.5는 프랙시블 조인트 일반 사양으로 수심 20m 이내의 방수 케이스 목적으로 충분히 활용가능하며, 양측 플랜지 사이가 벨로우저의 구조를 가지고 있어 조립을 위한 충분한 유동성을 가짐. 그러므로 본 설계에서는 원통형 구조물에 프랙시블 조인트의 개념을 적용하여 유압 공급시스템의 방수 케이스를 제작하고자 함.

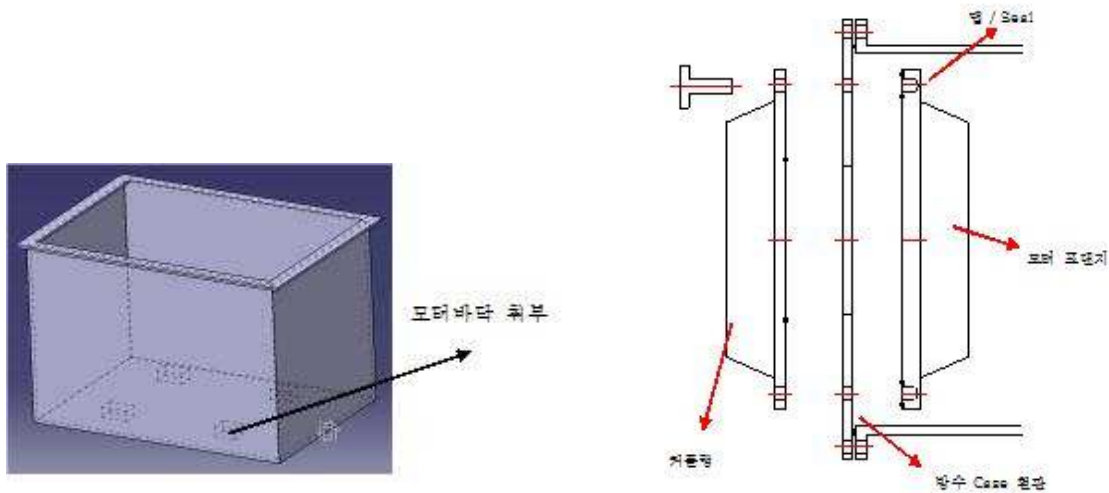


그림 1.1.3 직육면체 형태의 방수 케이스

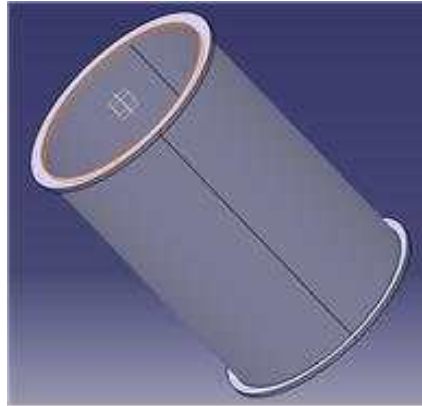


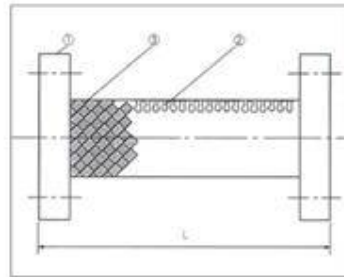
그림 1.1.4 원통구조물 형태의 방수 케이스

좁은 공간의 배관설비에 적합한 극히 얇은 구조로 되어 있으면서도 진동을 효과적으로 흡수하며 고온 고압에 견딜 수 있는 특성의 제품입니다.

- 사용압력 : 0kg/cm² ~ 30kg/cm²
- 최고사용온도 : 220℃
- FLANGE : KS 10K, KS 20K, 150LB
- 유체 : 공기, 물, 증기, 가스, 기름

부품명칭 및 재질

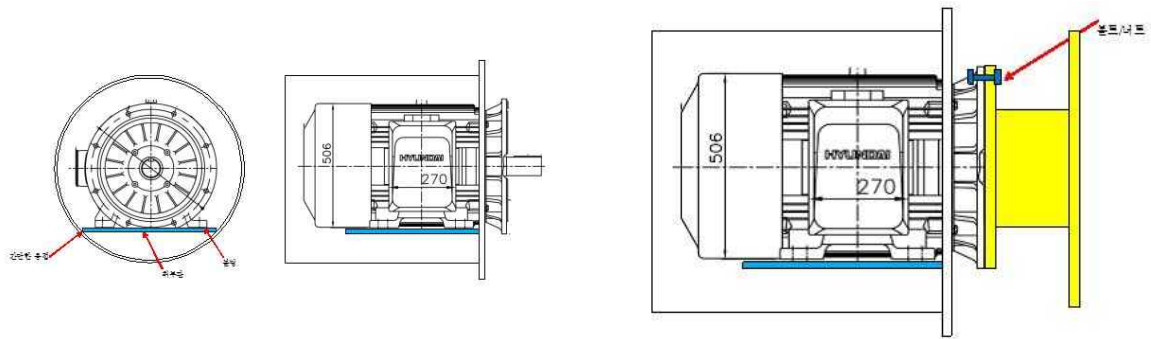
NO	부품명	재질
1	FLANGE	SS400, STS304
2	BELLOWS	STS304, STS316L
3	BRAID	STS304



구경	길이[mm]	브레이드종류	최고사용압력[상온일 경우]kg/cm ²		중량[kg]
			1층Braid	2층Braid	
25A	200	WFE	24.0	48.0	4
32A	200	WFE	24.0	48.0	5
40A	230	WFE	21.0	42.0	5
50A	230	WFE	21.0	42.0	6

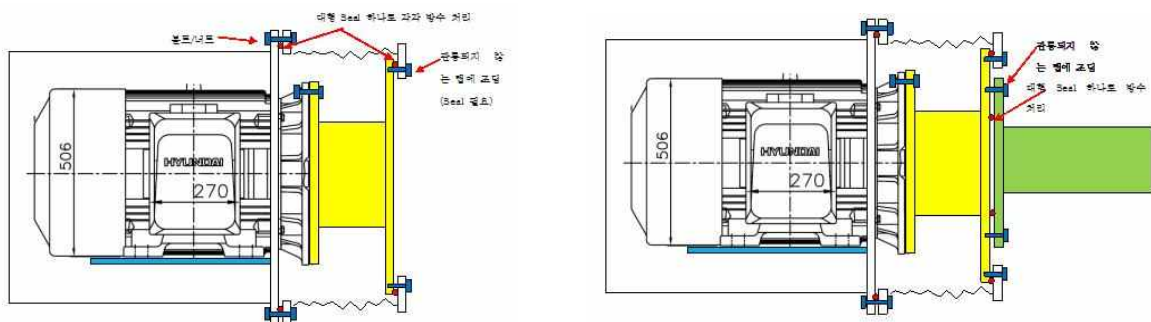
그림 1.1.5 프랙시블 조인트 일반 사양

- 그림 1.1.6은 상기 개념을 적용했을 때 수중 유압공급 시스템의 방수 케이스 및 조립 순서를 나타내는 것으로 (a) 취부판을 제작하여 원통 구조물 내부에 고정된 후 전동기를 볼팅으로 체결함. (b) 전동기 플랜지와 펌프 플랜지를 감안하여 제작된 커플링을 전동기 플랜지에 볼트로 조립함. (c) 프랙시블 조인트를 펌프 우측에서 좌측으로 끼우면서 원통케이스와 커플링 우측면과 볼트로 조립함. 이때 방수를 위한 씰(Seal)의 위치 및 조립순서를 충분히 고려해야 함. 조립시 조립오차는 프랙시블 조인트의 유동성으로 해결함. (d) 마지막으로 펌프를 조립하며, 방수 케이스 내부가 수밀이 될수 있도록 그립과 같이 씰을 고려하여 처리함.



(a) 전동기 조립

(b) 커플링 조립



(c) 프랙시블 조인트 조립

(d) 펌프 조립

그림 1.1.6 수중 유압공급 시스템의 방수 케이스 및 조립 순서

(2) 수중 유압공급 시스템 설계

- 그림 1.1.7은 선정된 유압 펌프로 KAWASAKI HYDRAULIC PUMP (TYPE : K3V63DT-120R)의 외형도임.

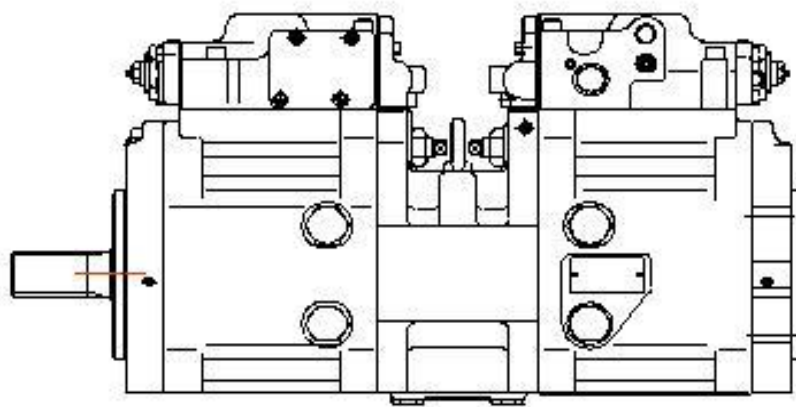


그림 1.1.7 선정된 유압 펌프 외형도

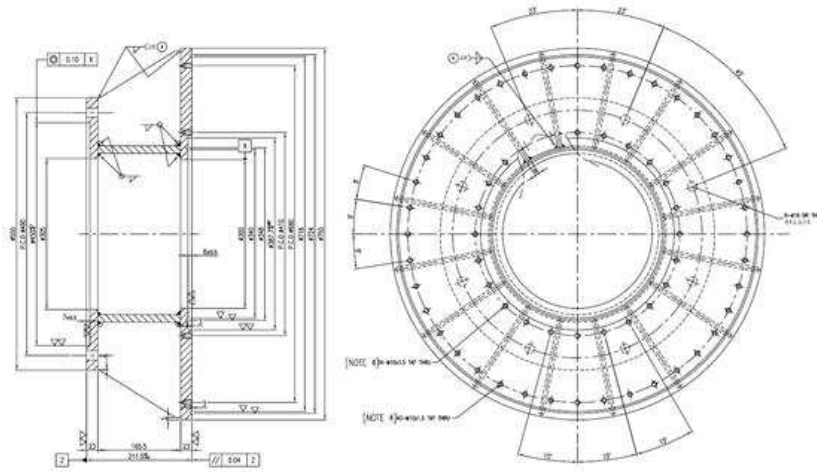


그림 1.1.8 커플링 가공도

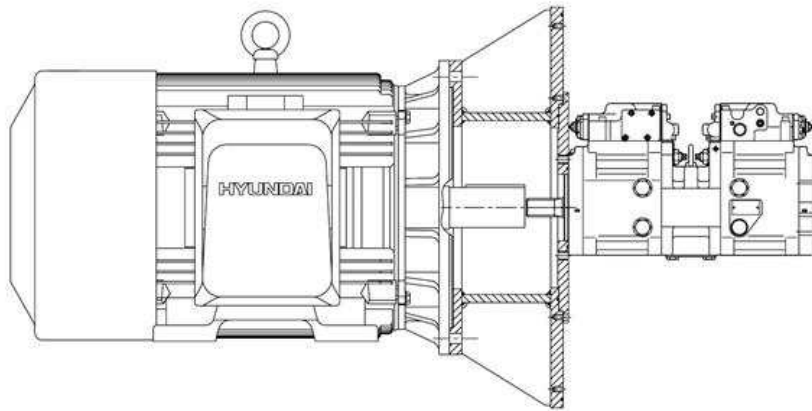


그림 1.1.9 조립도

- 그림 1.1.8은 전동기와 유압펌프를 연결하는 커플링 제작 도면으로, 제작 시 조립순서와 수밀 개념을 적용하여 씰의 취부위치를 포함하여 가공 제작 함.
- 그림 1.1.9는 전동기, 커플링 유압펌프의 전체 조립모습을 나타내는 조립도임.
- 그림 1.1.10은 그림 1.1.9의 구성품이 조립되기 위한 원통형 방수 케이스의 설계도면으로 전동기가 내부 취부판에 고정 조립되며, 원통 케이스의 좌측은 유지보수 및 결선을 위한 반구형 커버부분이 볼트로 장착되며 우측면은 커플링, 플렉시블조인트, 펌프 등이 순차적으로 조립되는 부분임. 외부와 전력케이블, 제어케이블, 센서 케이블 등의 연결되는데 이는 케이블 글랜드를 적용하는 것으로 설계하였으며, 케이블 글랜드의 사양은 그림 1.1.11 에 나타난 것과 같이 수중 10m 수압에서 방수가 가능한 제품을 선정하였음.

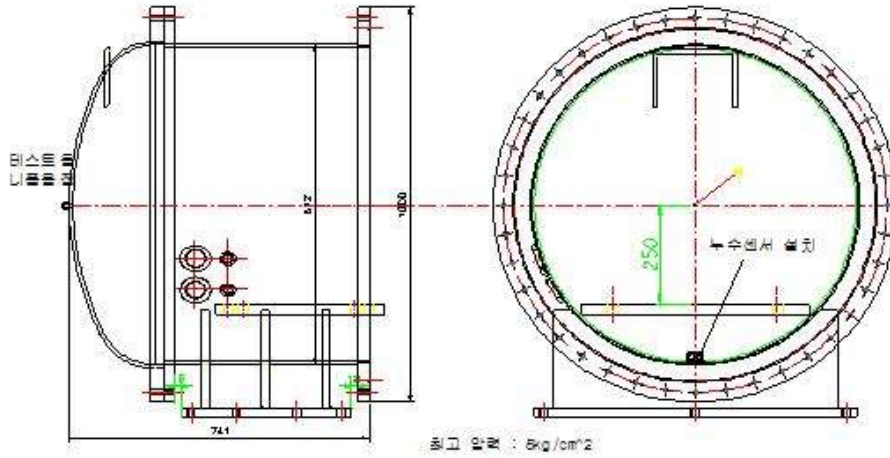
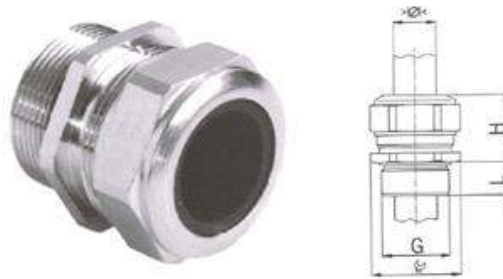


그림 1.1.10 원통형 방수 케이스 설계도

- 그림 1.1.12는 수중 유압공급 시스템의 전체 조립도를 나타낸 것으로 앞 절에서 언급한 조립순서 및 방수 개념을 적용하였으며, 고압의 전력이 공급되어 동력을 발생시키는 주요한 시스템이므로 케이스의 수밀 성능은 5Bar (수중 50m)에 맞추어 설계하였음.



- Progress MS
- Long entry thread metric
- One-piece sealing insert
- not overall length insulated

- Material: Nickel-plated brass
- Seal: TPE
- O-ring: NBR
- Strain relief: According to EN 50262 version A
- minimal operation temperature: -40°C
- maximum operation temperature: +100°C
- Protection class: IP 68 (up to 10 bar)
- Protection type addition: IP 69K

그림 1.1.11 케이블 글랜드 사양 (AGRO 제품)

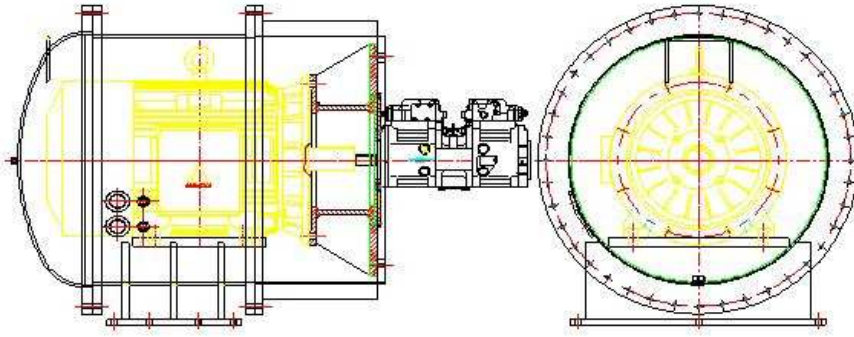


그림 1.1.12 수중 유압공급 시스템 전체 조립도

(2) 작동유 탱크 설계

- 상용 06급 굴삭기의 경우 작동유 탱크의 크기는 약 500*700*700 [mm]이며, 내부에 수용할 수 있는 유체의 체적은 약 250L임. 본 과제에서 개발하는 장비의 주요 구성이 주행 궤도, 다목적 암, 블레이드 등으로 상용 굴삭기의 주요 구성과 유사하므로 작동유 탱크의 크기를 상용 06급 굴삭기에 준하여 설계 함.
- 그림 1.1.13은 작동유 탱크 제작 도면으로 전체적으로 원통구조를 갖추고 있어 외압에 견디기 용이한 구조이며, 상부 반구형 커버를 제외한 부분은 용접구조물의 형태임. 상부 반구형 커버는 작동유를 주유할 수 있는 주유구, 탱크 내부의 작동유 온도를 측정할 수 있는 온도센서, 탱크 내부 압력측정을 위한 압력센서, 유위를 측정할 수 있는 유위센서를 취부할 수 있는 구조로 설계하였으며, 작동유 탱크의 기능을 위해 필터, 드레인 라인의 압력으로 인한 기포의 영향을 최소화 하기위한 격벽 구조로 설계하였음.
- 표 1.1.3은 탱크 외부와 연결을 위한 배관/배선 재원표로 펌프, 메인 콘트롤 밸브 (MCV) 그리고 파일럿 압력 제어 밸브 및 기타 서보 밸브 등과 연결됨.

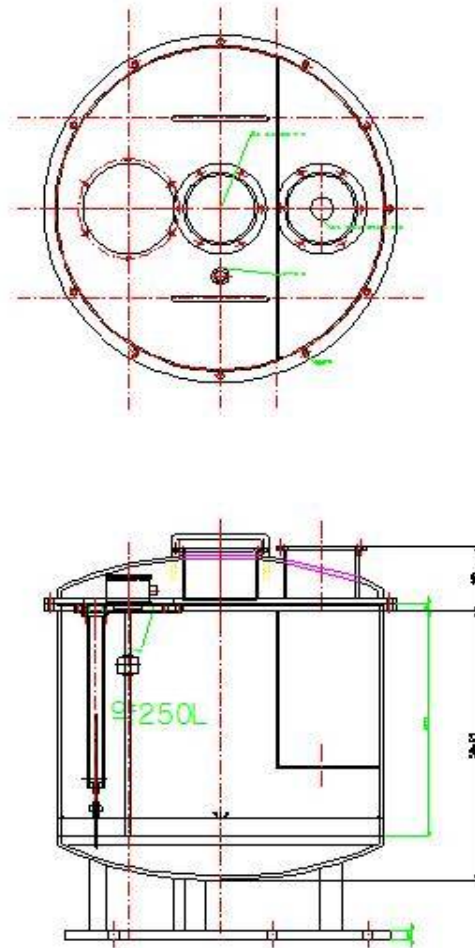


그림 1.1.13 작동유 탱크 도면

표 1.1.3 탱크 외부 배관/배선 재원표

외부 배관/배선	연결 치수	기타
탱크하부 배관	- 배관 내경 60mm - 개수 1EA	
탱크 측면 호스	- 내경 48mm (MCV측 드레인 라인과 연결) - 개수 2EA	- 상하방향 설치 - 설치간격 100mm
기타 호스	- 1/2" Port : 4EA - 3/4" Port : 2EA - 3/8" Port : 2EA	- 설치 간격 100mm

(3) 발전기 설계

- 수중 유압공급 시스템은 전동기의 동력으로 유압을 발생시키는 것으로 전동기의 구동을 위해 전력을 공급하는 장치가 필요하며, 또한 제어기 및 주변 전기장치에도 요구 전력을 제공할 필요가 있음.

- 표 1.1.4는 전동기 사양선정을 위한 검토사항으로, 전동기, 주변장치(제어기, 운영실 전원 등)를 고려했을 때 160kW 용량의 발전기를 선정함.

표 1.1.4 전동기 사양선정을 위한 검토 사항

사양		비고
사용환경	해상작업선상 발전기 배치	옥외형 외함 필요
부하	전동기 75kW(440V, 60Hz, 3상)	유압펌프 구동용 Y-Delta 결선 기동
	주변장치(PC, 전등, 에어컨 등)	에어컨 3KW(3mX6m, 컨테이너용) 기타 3kW(PC, 전등 등) 소결 : 8kW 예상 (ARC용접기 전원으로라도 활용가능)
	※ 440VAC의 경우 220VAC 전원을 자체적으로 만들 수 없으므로 440VAC를 220VAC로 변환하는 변압기 (Transformer) 가 필요.	
발전기 예상용량	발전기 용량 = 전동기(75kW) X1.5배 X 30% (케이블 온도상승 전압강하 등에의한 여유치 30%) = 약 150kW 예상	
※ Option - TR 8kW - EMG 상황에서 전동기 전원출력(440VAC 부분만) 차단기능 필요 - 누전 차단기능 및 과전류 차단기능 그리고 실시간 전력 모니터링 기능 필요		

- 표 1.1.5는 발전기 제작을 위한 주요 사양표로, 440VAC 3tkd, 106kW 용량을 선정함.

표 1.1.5 전동기 사양선정을 위한 검토 사항

구분	내용
Type	옥외,방음형
용량	Prime (연속출력) 160kW/200kVA at ISO std conditions Standby(최대출력) 175kW/219kVA
주파수	60Hz, 1800rpm
전압	254/440
Phase&Wire	3 Phase, 4Wire
디젤엔진	Doosan-Korea
발전기동체	Royal-Anns-Korea
연료탱크	Built-In Type, 200L
발전기운전반	Manual start/stop with protection
Remote 비상정지 시그널 및 스위치	발전기 작동 정지
변압기	15kVA, 440-220V 단상

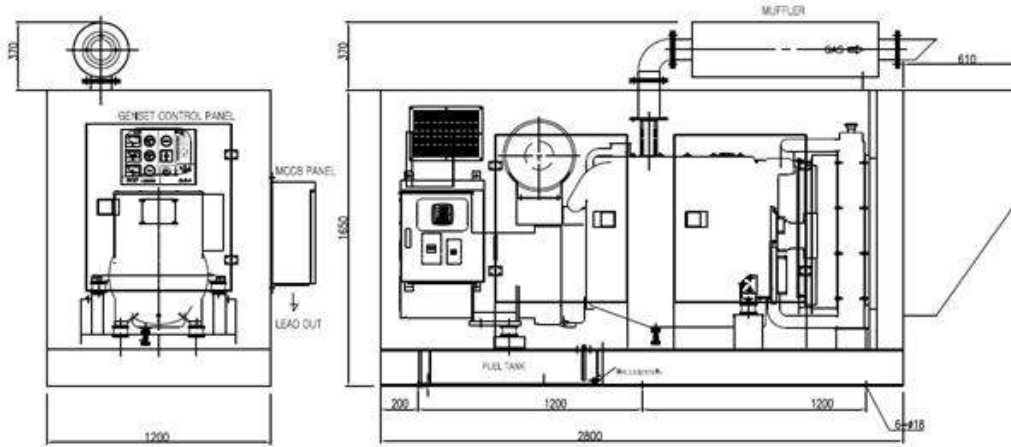


그림 1.1.14 발전기 외형도

- 그림 1.1.14는 상기 사양을 만족하는 발전기의 외형도로 1200(W) X 1650(H) X 2800(L) 의 크기를 가지며, 옥외 방음형 구조로 중량은 약 2Ton 정도임.
- 그림 1.1.15는 발전기의 전력 계통도로 주 전원은 MCCB(Molded Case Circuit Breaker)를 거쳐 부하에 전력을 공급하는데, 부하 전기계통에 이상전류/과전류/단락 등의 사고로부터 전력을 차단시켜 시스템을 보호하는 역할을 함. 부하 전력은 수중 장비용 MCCB와 운영실 전력을 위한 MCCB를 통해 외부로 전달되며, 이머전시 스위치 (EMG S/W)를 외부에 제공하여 위험상황에서 즉각 발전기 전체를 차단하도록 구성하였음. 또한 전력 미터를 이용하여 운전실에 전압/전류/전력 등의 정보를 통신으로 전달하는 기능을 가지고 있음.

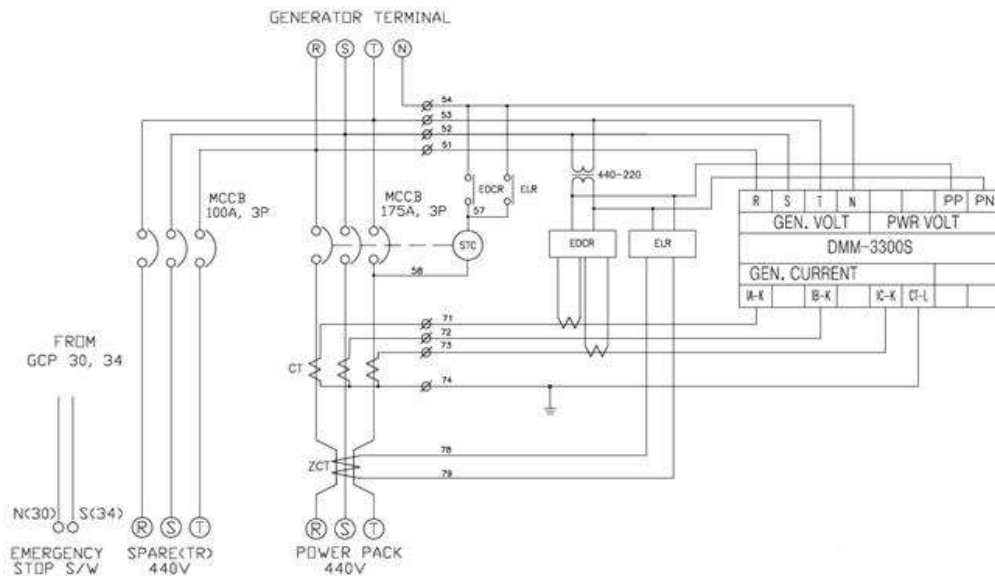


그림 1.1.15 발전기 전력 계통도

1.1.4 수중 유압공급 시스템의 제작

- 1.1.2절의 설계 내용으로 수중 유압공급 시스템, 작동유 탱크 그리고 전동기를 아래와 같이 제작하였음.

(1) 수중 유압공급 시스템 제작

- 그림 1.1.16은 유압공급 시스템의 제작을 위한 부분품으로 (a)는 75kw 3상 유도 전동기로 샤프트부분이 키타입으로 되어 있어 (b)의 커플링과 열박음으로 조립됨. 또한 전동기 전단부는 프랜지타입으로 되어 있어 (c)의 커플링 하우스와 조립됨. (d)는 프렉시블 조인트, (e)는 펌프를 나타내고 있음.
- 그림 1.1.17은 제작된 전동기 방수 케이스를 나타내며, 프렉시블 조인트 및 후면 커버와 볼트 및 방수 씰로 조립된 상태를 보이고 있음.



(a) 75kw 유도전동기



(b) 커플링



(c) 커플링 하우스



(d) 프렉시블 조인트



(e) 펌프

그림 1.1.16 유압공급 시스템의 부분품

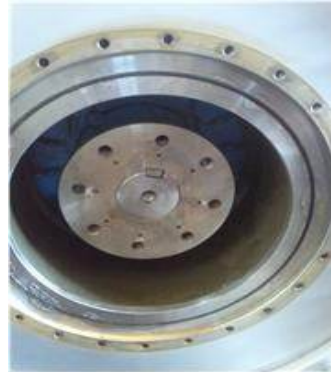


그림 1.1.17 전동기 방수 케이스

- 전동기 방수 케이스에 조립은 그림 1.1.18과 같은 순서로 진행하였음. (a)는 방수 케이스의 취부판에 전동기를 볼트로 조립한 후 커플링 하우징을 모터 프랜지 부분과 조립한 상태임. (b)는 커플링의 일측을 모터 샤프트에 열박음한 상태이며, 추후 커플링의 반대편은 펌프와 조립되어 동력이 전달됨. 방수 케이스, 전동기 및 하우징의 조립을 가 공작업으로 고정된 구조물들을 조립할 경우 모터취부의 위치를 정확히 맞출 수 없어 조립에 어려움이 예상되어 본 연구에서는 (c)와 같이 프랙시블 조인트 개념을 적용함. 즉, 전동기 방수 케이스의 탭가공 위치와 커플링 하우징의 탭가공 위치가 조립과정에서 이격되어 있더라도 프랙시블 조인트의 유동성으로 조립이 쉽게 가능해짐. (d)는 유압펌프를 조립한 상태이며, 이로서 전체 조립이 완료됨.



(a) 전동기 및 커플링하우징 조립



(b) 커플링 조립



(c) 프랙시블 조인트 조립



(d) 펌프 조립

그림 1.1.18 전동기 방수 케이스 조립



그림 1.1.19 전동기 방수 케이스의 방수성 실험

- 조립된 전동기 방수 케이스는 수중 20m에서 방수기능이 만족되어야 하므로 그림 1.1.19와 같이 수조에 조립된 상태의 방수케이스를 잠기계 하고 후방 커버부분의 테스트용 플러그를 통해 약 2bar의 공기압을 주입하였음. 이는 내압을 가하긴 했으나 수중 20m에서 발생할 수 있는 구조물의 변형, 누수 등을 면밀히 관찰할 수 있는 방법으로 수조 실험 결과 육안확인으로 구조물의 외형변형은 전혀 없었으며, 기포의 발생 또한 일어나지 않았음.

(2) 작동유 탱크 제작

- 그림 1.1.20은 제작된 방수형 작동유 탱크로 용기 내부의 체적은 약 250L의 작동유를 내포할 수 있으며, 배관 및 배선 그리고 작업플랫폼에 취부가 용이하도록 프랜지 판 형태로 제작하였음.
- 그림 1.1.21은 제작된 탱크의 구성을 나타내며, (a)는 탱크 내부로 유체가 유입될 때 사용되는 필터 3개, 유체가 유출될 때 사용되는 필터 1개 그리고 유체 유입시 발생하는 기포를 차단하기 위한 격벽으로 구성되어 있음. (b)는 탱크 외부의 포트에 MCV 및 유압밸브 블록의 드레인 라인 등과 연결을 목적으로 제작되었음. (c)는 탱크 내부에 설치된 센서로 유위센서, 작동유 온도 측정을 위한 온도센서, 탱크 내부의 압력측정을 위한 압력센서를 설치하였음.
- 조립된 수중 작동유 탱크의 방수 실험을 그림 1.1.22와 같이 수행하였으며, 이 과정에서 육안확인으로 구조물의 외형변형은 전혀 없었고, 기포의 발생 또한 일어나지 않았음.



그림 1.1.20 제작된 수중 작동유 탱크



(a) 탱크 내부



(b) 외부 포트



(c) 설치된 센서류

그림 1.1.21 제작된 탱크 구성



그림 1.1.22 수중 작동유 탱크 방수 실험

(3) 발전기 제작

- 개발 장비 및 운영시스템에 전력을 공급하기 위한 발전기의 내부 구조는 그림 1.1.23 과 같이 엔진, 연료탱크, 발전기동체(제너레이터), 배터리, 냉각팬 등으로 구성되었음.
- 그림 1.1.24는 발전기의 옥외 방음형 프레임 및 변압기를 나타내는 것으로 해상 작업 선상에서 사용되는 환경을 고려하여 도장, 방수, 방음 등을 고려하여 프레임을 제작하였으며, 변압기는 15kVA 용량으로 운영시스템의 전력을 공급하는 역할을 함.



그림 1.1.23 발전기 내부 구성



그림 1.1.24 발전기 옥외 방음형 프레임 및 변압기

1.2 실측장비용 착저형 이동 시스템 설계 · 제작

1.2.1 개요

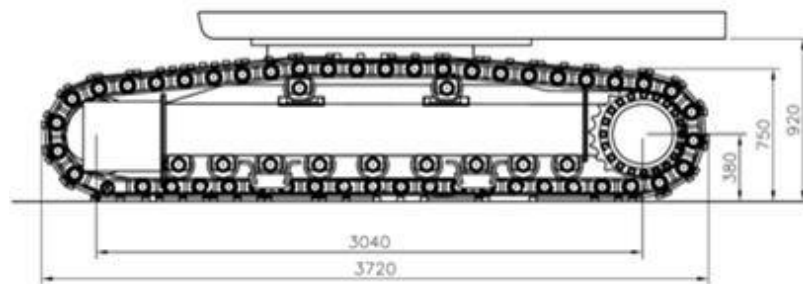
- 본 연구에서 개발되는 장비는 사석면에 착지하여 주행이동 하면서 사석면을 고르는 작업을 수행하는 것이 목적이므로 착저형 이동 시스템이 무엇보다 중요함. 이동하는 방법은 1, 2차년도의 연구를 통해 유압 구동형 트랙 시스템을 개발하였으며, 당해 연도에는 상용 굴삭기 06급에 해당하는 착저형 이동 시스템을 개발하고자 함.
- 2차년도에 제작된 장비는 그림 1.2.1과 같이 좌우에 각각 2개의 트랙을 가지며, 트랙과 작업 플랫폼 사이에 아우트리거를 설치하여 작업 플랫폼을 항상 수평하게 유지하도록 제작하였음. 이 경우 작업 플랫폼을 수중 작업에 유리하도록 수평으로 제어할 수 있는 장점이 있으나 이동 시스템이 다소 복잡해지고, 유지관리에 있어서 내구성 확보가 어려울 수 있으므로 실측장비 개발에서는 좌우에 각각 1개의 트랙을 가지는 시스템을 구상하고, 작업 플랫폼의 수평제어 대신 작업 톨의 수평제어방식을 채택하였음.
- 본 절에서는 실측장비의 착저형 이동 시스템 설계 · 제작함.



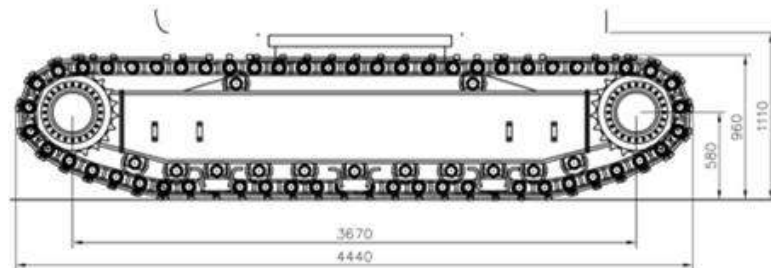
그림 1.2.1 제작된 장비 (2차년도)

1.2.2 실측장비용 착저형 이동 시스템 설계

- 이동 시스템의 핵심 기술은 수중 작업환경에 적합한 트랙시스템의 설계에 있으며, 고르기 작업 전의 사석면 상태에 대한 고려, 작업부하에 대한고려 등이 이루어 져야함.
그림 1.2.2의 (a)는 상용 06급 굴삭기의 트랙 시스템으로 트랙의 길이는 3720mm, 높이는 750mm, 폭은 600mm 정도의 크기를 가지고 있음. 작업환경을 고려할 때 문제점은 트랙의 중심까지의 높이가 380mm 이므로 난적된 사석 더미의 협곡부분에서 주행하기 어려우며 양측 트랙을 연결하는 하부 프레임의 저면과 지면의 높이는 430mm로 낮아 사석더미의 간섭을 받기 쉬움.
- (b)의 경우 트랙의 회전축 중심의 높이를 200mm 높인 구조로 험준한 수중지형에 대응하기 유리하며, 하나의 트랙이 하나의 주행모터와 하나의 아이들 휠로 구성된 (a)에 비해 (b)의 경우 두 개의 주행모터를 장착함으로써 주행속도는 저감되나 견인력이 증대 되어 사석면의 고르기 작업에 유리한 구조를 가짐. 또한 하부 프레임저면과 지면의 높이를 630mm 이상 이격시킬 수 있어 지형의 간섭이 줄어드는 구조로 설계할 수 있음.

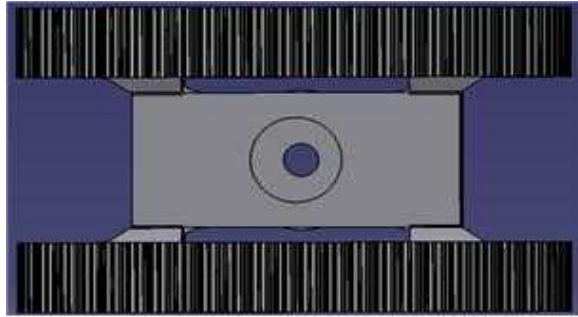


(a) 상용 06급 굴삭기

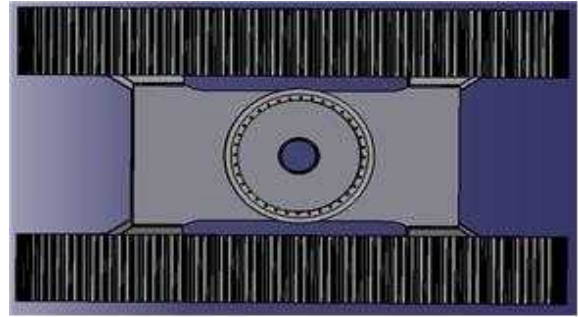


(b) 고르기 장비

그림 1.2.2 트랙 시스템



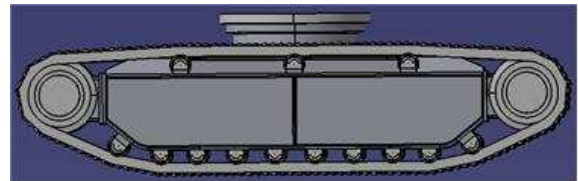
(a) 하부면



(b) 상부면



(c) 정면



(d) 측면

그림 1.2.3 착저형 이동 시스템의 3D 설계

- 그림 1.2.3은 착저형 이동 시스템의 3차원 설계도면으로 상용 트랙의 단점을 보완하여 설계되어, 지면과 하부 프레임 저면의 높이는 700mm로 설계하고 험지조건에 대한 트랙링크의 부하를 감안하여 하부 및 상부면에 아이들 링크를 설치하였으며, 상부 작업프레임과 연결을 위한 스위블링 시스템 등을 고려하였음.

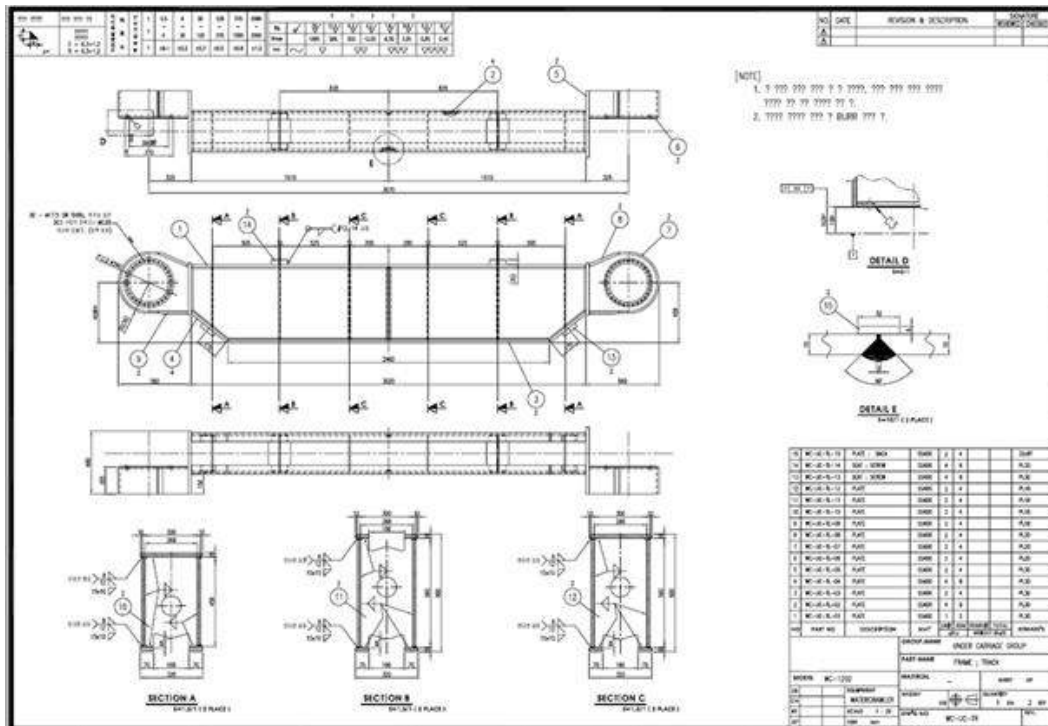


그림 1.2.4 트랙 프레임 도면

- 그림 1.2.4는 트랙 프레임의 제작을 위한 도면으로 2개의 주행모터/감속기를 체결할 수 있는 취부, 주행모터를 연결하고 그라우저 링크를 지지할 수 있는 프레임, 그라우저의 텐션을 조절할 수 있는 이격구조를 감안하여 설계하였음.
- 그림 1.2.5는 좌우 트랙 프레임을 연결하는 하부 프레임의 제작을 위한 도면으로, 하부 프레임과 트랙 프레임의 연결은 용접구조로 설계하고, 하부 프레임의 저면과 지면의 간격을 높일 수 있도록 구조설계를 하였음. 하부 프레임의 센터부분과 프레임 내부 공간은 추후 유압배선을 고려한 공간설계를 하였음. 또한 모든 설계치수는 상용 중장비 부품의 치수를 감안하여 향후 조립성 및 유지보수 개념을 고려하여 설계에 반영함.

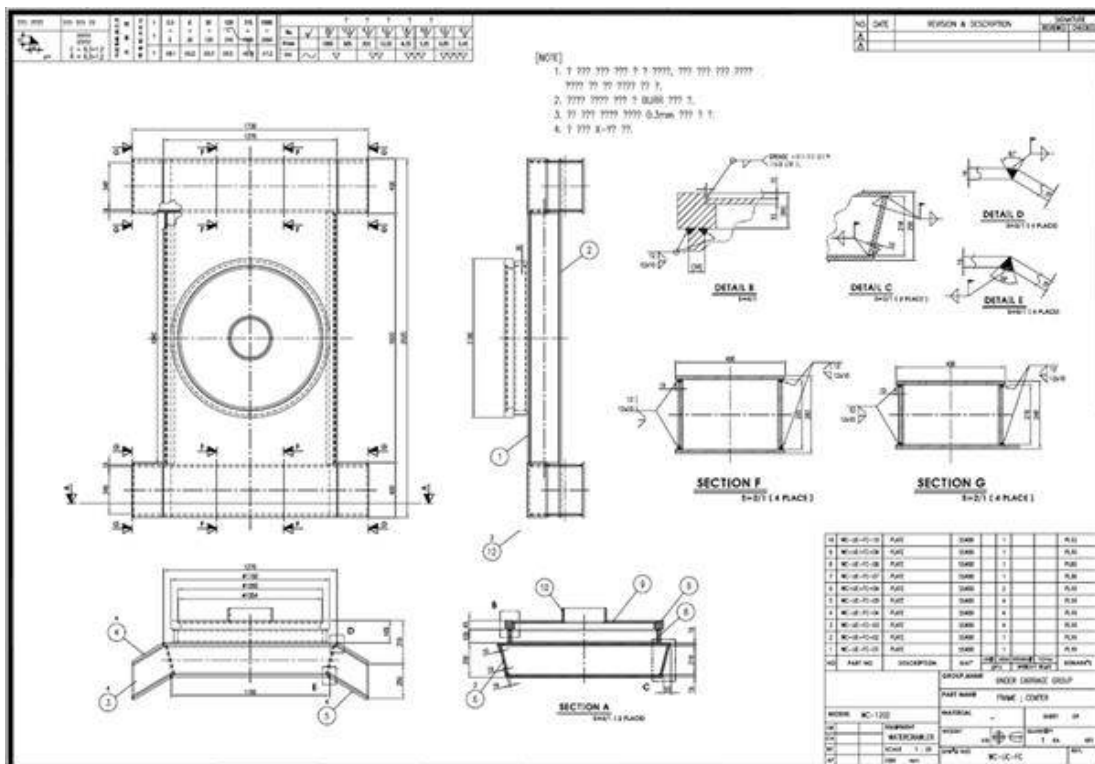


그림 1.2.5 하부 프레임 도면

1.2.3 실측장비용 착저형 이동 시스템 제작

- 그림 1.2.6은 설계시 고려되었던 상용 중장비 부품으로 (a) 주행모터 및 감속기, (b) 주행모터에 장착되는 스프라킷 및 그라우저에 조립되는 링크, (c) 그라우저 및 아이들 링크 등과 같은 소모성 부품들은 06급 상용 중장비 부품을 구매하여 활용하였음. 이는 규격화 되어있어 쉽게 유지 보수가 가능함.
- 1.2.2절의 제작도면을 이용하여 그림 1.2.7과 같이 착저형 이동 시스템의 구조물을 제작하였음. (a)는 트랙 프레임으로 주행모터 및 그라우저가 취부될 부분이며, (b)는 주행모터 취부로 트랙 프레임에 체결되어 조립되면서 그라우저의 텐션을 조절하는 기능을 수행하며, (c)는 하부 프레임 구조물로 트랙 프레임과 용접구조를 이룰 부분이며, (d)는 하부 프레임 센터에 장착되어 상부 작업 플랫폼과 연결되는 취부 구조물 임.



(a) 주행모터 및 감속기



(b) 스프리킷, 트랙링크



(c) 그라우저, 아이들 링크

그림 1.2.6 상용 중장비 부품



(a) 트랙 프레임



(b) 주행모터 취부



(c) 하부 프레임



(d) 작업 플랫폼 취부

그림 1.2.7 착저형 이동 시스템 구조물 제작

- 그림 1.2.8은 그림 1.2.7에서 제작된 구조물의 부분품을 용접구조로 조립한 형태로, 상용 부품의 조립을 위한 취부 가공을 수행하고, 트랙 프레임 및 하부 프레임에는 수중 조류 및 장비 입수/출수시 해수로부터 발생하는 저항을 줄이기 위한 홀이 관통되어 있음.



그림 1.2.8 제작된 이동 시스템의 전체 구조물



(a)



(b)



(c)

그림 1.2.9 착저형 이동 시스템의 조립

- 그림 1.2.9는 제작된 구조물과 부품을 조립하는 장면으로 (a)는 주행모터/주행감속기/스프라킷을 트랙 프레임 전/후에 각각 조립하고 트랙 프레임에 아이들 링크를 설치한 장면이며, (b)는 트랙 프레임 하부 아이들링크 측면에 링크가이드를 설치한 장면으로 일반적으로 트랙형 주행 장치는 콘크리트 바닥 등과 같이 굳은 바닥에서 작업시 트랙 링크가 이탈하여 빠져 버리는 현상이 있어 이를 방지하기 위해 링크 가이드를 제작하였음. (c)는 트랙 프레임에 그라우저를 조립하는 장면임.
- 그림 1.2.10은 제작된 착저형 이동 시스템으로 중량은 7.6 Ton(dry weight)으로 설계된 바와 같이 제작되었음.



그림 1.2.10 제작된 착저형 이동 시스템

1.3 고 출력 수중 구동 액추에이터 설계·제작

1.3.1 개요

- 개발 장비는 수중에서 다목적 시공작업을 수행하기 위한 기능을 갖추고 있으며 본 과제에서는 수중 20m에서 사석 고르기 작업을 적용 목표로 하고 있으며, 이를 위해 수중 중작업용 고출력 액추에이터 설계가 필수적임.
- 본 과제에서 액추에이터는 유압구동 방식으로 개발하고 있으며, 수중 환경에 유압식 액추에이터를 적용하기위해 1) 액추에이터 구조물/하우징 등의 재질을 방식 및 강성을 고려하여 개발하고 2) 유압 실린더, 주행 모터, 주행 감속기 등에서 오링, 플로팅 씰, 백업링 등을 해수에 내구성이 강한 재질을 사용하여 해결하는 것으로 알려져 있음.
- 해외(일본) 선진기관 및 수중장비 활용 업체의 방문 및 기술교류를 통해 분석된 결과

는 해수의 환경을 고려하여 재질을 변경하기는 여러 가지 어려운 점(제작시 가공성, 제작비용, 강성 등)이 있으며 현실적으로는 액추에이터의 경우 소모품으로 인식하고 주기적 점검을 통해 교체하는 방식을 사용하고 있음.

- 본 연구에서도 특수 재질을 활용하기 보다는 강성 및 내구성이 검증된 상용 재질을 활용하고 액추에이터의 경우 오링, 백업링 등을 해수에 내구성을 가지는 제품으로 제작하는 방식을 채택함.

1.3.2 유압 실린더 설계

- 본 과제에서 주행모터는 상용 중장비 제품을 구매하여 사용하였으나, 유압 실린더의 경우 활용 목적에 맞도록 설계 제작하였음. 유압 실린더는 블레이드 부에 적용되므로 블레이드 사양에 맞추어 설계되어야 함.
- 블레이드는 블레이드면의 높이와 수평 자세를 동시에 제어할 수 있도록 할 뿐 아니라 사석고르기 작업에서 작업 중인 사석을 한쪽 방향으로 이동시키며 작업할 수 있는 기능이 필요하므로 3자유도의 운동이 가능하도록 설계하였음.

- 블레이드의 구조

- 블레이드 상하 운동 구성

- : 블레이드 높이제어를 위해 필요함.
- : 트랙의 접지면 높이를 기준으로 아래 방향으로 300mm 까지 구동할 것
- : 트랙의 접지면 높이를 기준으로 위 방향으로 트랙의 상부면 높이 까지 구동할 것

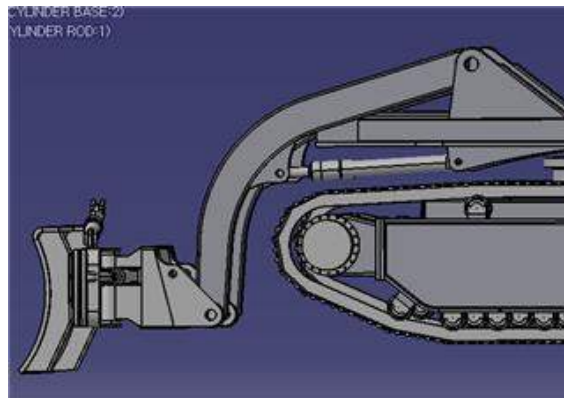
- 블레이드 좌우 회전운동 구성

- : 블레이드 작업에서 사석을 한쪽측면으로 이동시키며 작업하는 것이 요구됨.
- : 좌우 회전 범위는 +- 20도로 설정
- : 블레이드가 25도 회전 되었을 때 트랙 폭 보다 넓어야 함
- : 블레이드와 트랙의 간섭이 없어야 함.
- : 중앙축을 두고 좌우에 Cylinder를 설치하여 회전각을 생성

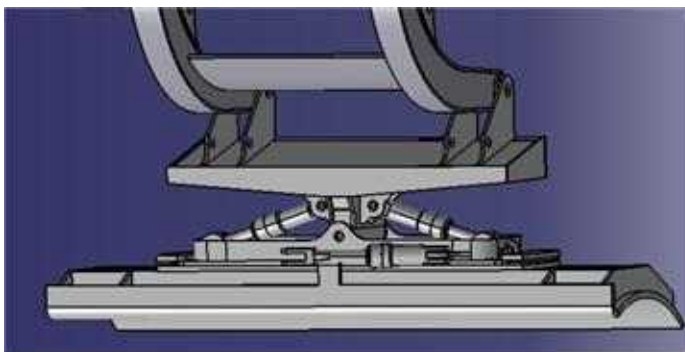
- 블레이드 상하 회전 운동 구성

- : 블레이드 면을 수평으로 제어하는 기능을 수행
- : 상하 회전 각도는 +- 15도로 설정
- : 회전 구조는 고정프레임과 회전 프레임을 핀 구조로 연결하여 회전 프레임을 회전 시켜 회전각을 생성

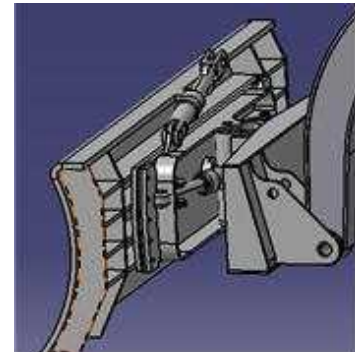
- 상기와 같은 설계 조건을 바탕으로 블레이드는 그림 1.3.1과 같은 개념으로 설계함. 각 실린더는 상기의 구속운동 조건을 만족하기 위한 기구학해석 및 간섭해석을 통해 표 1.3.1과 같이 설계치수를 선정하였음. 고출력 특성을 위해 테스트 압력을 400kgf/cm²으로 사용 압력을 320kgf/cm²으로 설계하였음.



(a) 상하 운동 실린더



(b) 좌우 회전운동 실린더

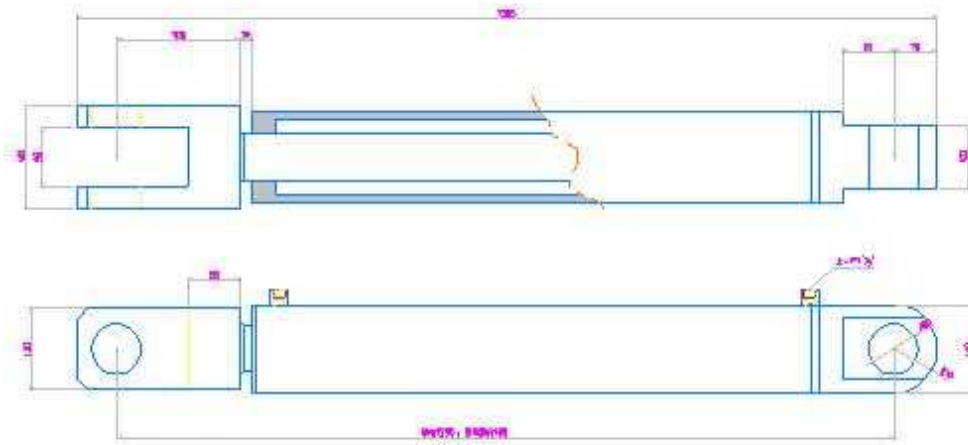


(c) 상하 회전운동 실린더

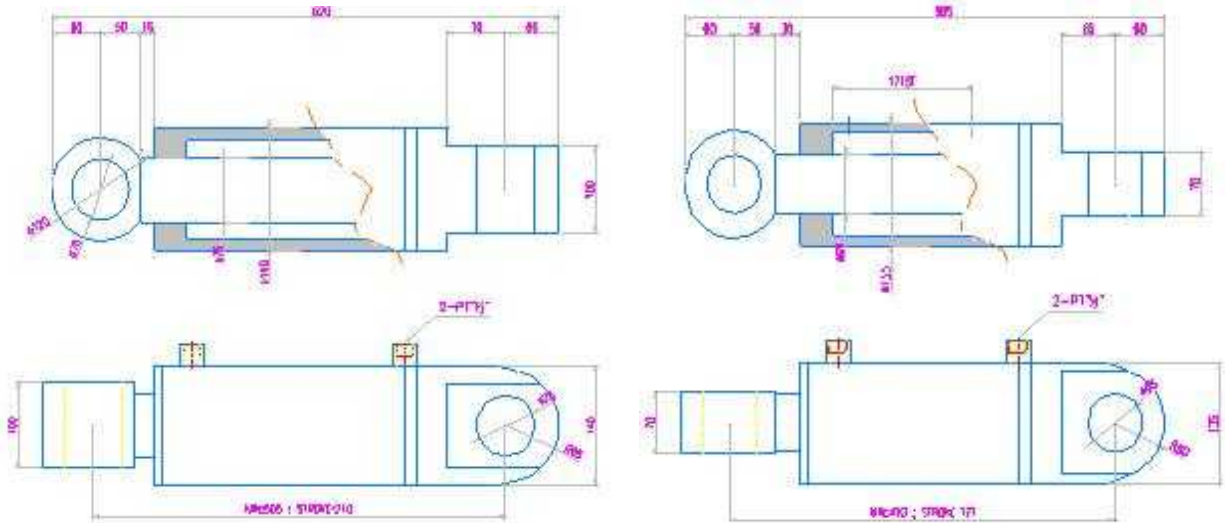
그림 1.3.1 블레이드의 실린더 구성

표 1.3.1 실린더 설계 치수

사양	실린더 (a)	실린더 (b)	실린더 (c)
Stroke (mm)	330	210	171
Min. length (mm)	1250	505	470
Bore size (mm)	Φ 110	Φ 110	Φ 110
Tube size (mm)	Φ 140	Φ 140	Φ 140
Proof test Pressure (kgf/cm ²)	400	400	400
Operation Pressure (kgf/cm ²)	320	320	320
Min. operation Pressure (kgf/cm ²)	3	3	3
Pin size (mm)	Φ 80	Φ 70	Φ 70



실린더 (a)



실린더 (b)

실린더 (c)

그림 1.3.2 유압 실린더 도면

- 그림 1.3.2는 상기 설계 기준을 근거로 설계된 유압 실린더 도면으로 취부용 핀의 부싱은 수중용 오일레스 부싱을 사용하고, 실린더의 늘어난 거리를 인식하기 위해 실린더 내부에 마그네틱센서를 조립할 수 있도록 로드 및 하우징 끝단 부분을 고려하였음.

1.3.3 유압 실린더 제작

- 그림 1.3.3은 설계도면에 준하여 제작된 유압실린더로 블레이드 상하운동을 구현하는 실린더(a)의 경우 작업부하 및 설계 구조를 고려하여 2Set으로 제작, 좌우 회전운동을 구현하는 실린더(b)는 좌우 대칭의 회전구조로 2Set으로 제작, 상하 회전운동을 구현하는 실린더(c)는 설치 공간을 고려하여 1Set으로 제작하였음.



(a) 실린더



(b) 실린더



(c) 실린더

그림 1.3.3 제작된 유압 실린더

1.4 유압제어시스템 설계 · 제작

1.4.1 개요

- 개발 장비는 유압을 이용하여 트랙, 블레이드, 다목적 암, 기타 툴 등을 구동하는 유압시스템으로 구성됨. 각 구동부는 주행제어, 블레이드 각도제어, 암 위치제어 등의 모션제어기능이 되어야 하며, 특히 원격제어로 운용되는 장비이므로 제어지령에 따른 서보제어가 구현되어야 함.
- 유압 서보제어를 위해 중장비용 메인컨트롤 밸브(MCV), 파일럿 압력 제어밸브, 범용 비례제어밸브, 솔레노이드 밸브 등으로 제어시스템을 구성하였음.

1.4.2 유압 제어시스템 설계

(1) 트랙부 유압 제어시스템 설계

- 트랙부는 좌/우 각각 1개의 트랙시스템을 가지며 1개의 트랙시스템은 전/후 각 1개의 주행모터에 의해 구동되므로 총 4개의 주행모터를 제어하여야 함. 그림 1.4.1은 트랙부의 유압 제어시스템의 개념도로 메인펌프에서 액추에이터 구동을 위한 유압원인 P1과 P2를 280kgf/cm^2 의 압력으로 생성하고, 기어펌프에서 파일럿 압력원으로 40kgf/cm^2 를 생성.

메인펌프는 사판제어방식으로 메인컨트롤 밸브의 소모압력에 따라 토출 압력이 조절 되도록 시스템을 구성하여 최초 제어명령이 없을 경우 P1과 P2의 압력은 약 30kgf/cm^2 정도가 생성되도록 설계하고, 기어펌프는 항상 40kgf/cm^2 가 생성되도록 구성함.

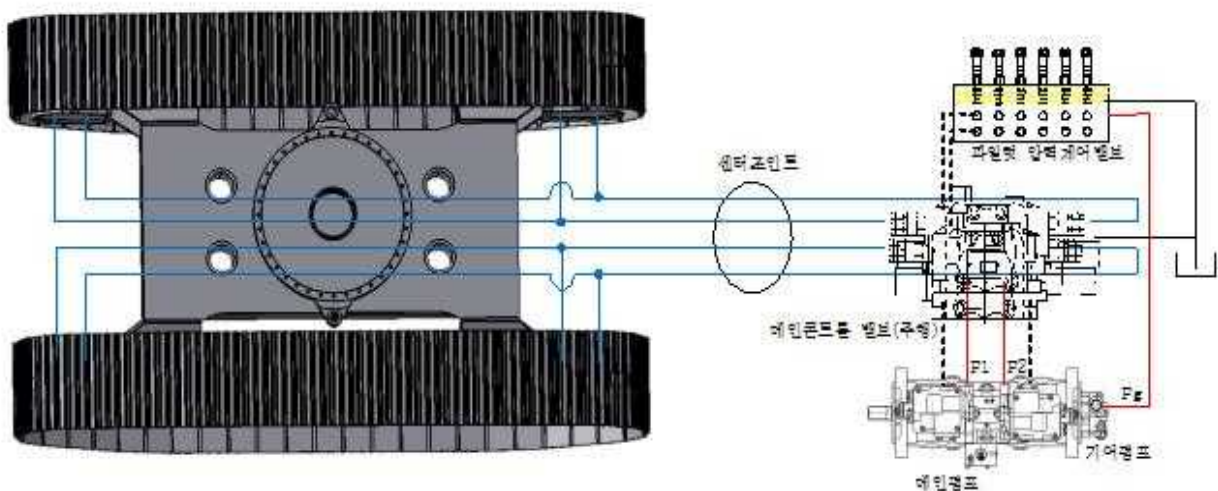


그림 1.4.1 트랙부 유압 제어시스템 개념도

- 트랙의 구동을 위해 파일럿 압력제어밸브로부터 제어압력을 메인컨트롤 밸브 주행부

에 인가하면 주행부의 스플이 파일럿 압력에 따라 개방되면서 작동유가 트랙 포트를 통해 흐르기 시작. 트랙 포트의 작동유는 센터조인트를 통해 트랙부의 주행모터로 인가되는데 동일 트랙에 있는 2개의 주행모터는 항상 동기가 되어 회전운동을 생성해야 하므로 유압배선을 병렬로 연결하여 회로를 구성함으로써 유압적으로 항상 동기운동이 가능해짐.

(2) 회전부 유압 제어시스템 설계

- 개발 장비는 크게 상부 플랫폼과 하부 플랫폼으로 나누어져 있으며 지면에 착지된 조건에서 하부 플랫폼을 기준으로 상부 플랫폼이 회전운동을 생성하게 됨. 회전운동은 스윙모터에 의해 이루어지며 유압 제어를 위한 시스템의 개념도는 그림 1.4.2와 같음. 스윙제어를 위해 파일럿 압력제어밸브에서 제어압력을 인가하면 메인콘트롤 밸브의 스윙 스플이 파일럿 압력에 비례하여 이동하고, 이동량에 따라 작동유가 스윙모터 측으로 흘러감.
- 차기년도에는 다목적암 등의 틀이 개발되어 장비에 장착될 경우를 대비하여 이에 해당하는 메인콘트롤 밸브와 파일럿 압력제어밸브를 당해연도에 구축할 수 있도록 밸브 모듈을 설계하기로 함.

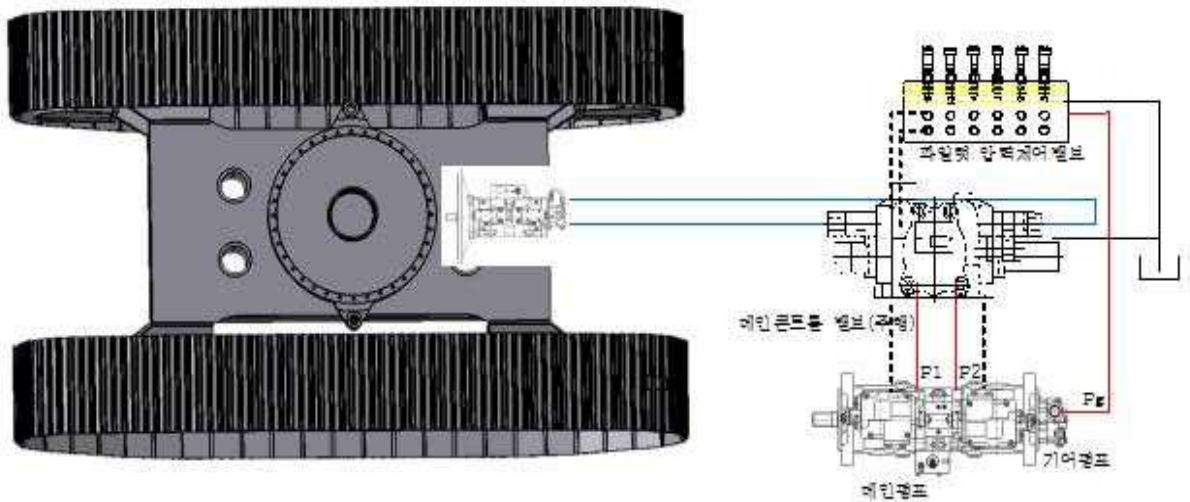


그림 1.4.2 플랫폼 회전 유압 제어시스템 개념도

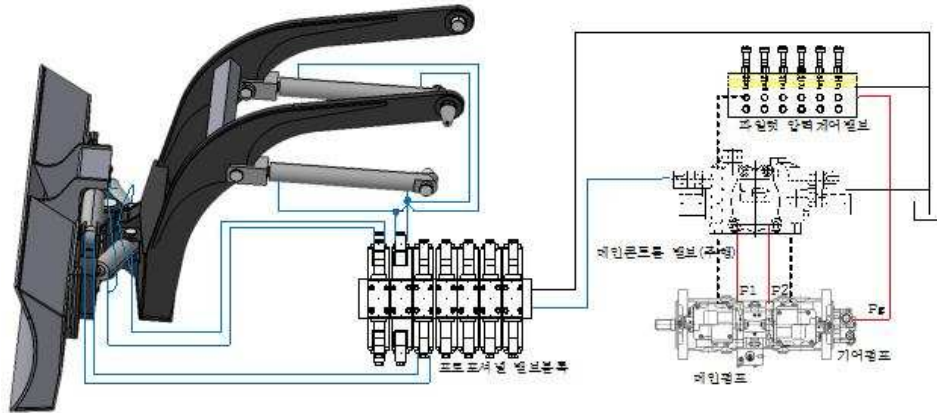


그림 1.4.3 블레이드부 유압 제어시스템 개념도

(3) 블레이드부 유압 제어시스템 설계

- 블레이드는 3자유도 운동을 위해 5개의 유압실린더를 가짐. 블레이드 상하운동을 위한 2개의 실린더는 사석면의 높이와 관련되어 있으므로 서보제어가 되어야 하며, 블레이드의 좌우 회전을 위한 2개의 실린더는 좌 또는 우측방향에 고정되어 고르기작업을 수행하므로 On/Off 제어로 구현되고, 블레이드의 상하회전을 위한 1개의 실린더는 블레이드를 수평으로 유지할 수 있는 제어가 필요하므로 서보제어가 요구됨.
- 블레이드 유압제어는 제어대상이 많으므로 메인콘트롤 밸브에서 제어하지 않고 별도의 밸브블록(프로포셔널 밸브블록)을 만들어 제어하며, 서보제어는 프로포셔널 밸브로 설계하고, On/Off 제어는 솔레노이드 밸브로 설계함.
- 블레이드 제어시 실린더를 구동시키는 유량의 변화가 트랙의 주행 운동에 영향을 주게 되는데 이를 최소화 하기위해 메인콘트롤 밸브의 브레이크포트를 이용함. 즉, 블레이드를 구동할 때는 파일럿 압력제어 밸브에서 브레이커 블록에 파일럿 압력을 인가하고, 이때 브레이커 포트에서 토출되는 유압을 프로포셔널 밸브 블록의 메인 압력원으로 사용함. 메인 압력이 인가되면 프로포셔널 밸브 또는 솔레노이드 밸브를 제어하여 블레이드 실린더를 구동시키는 원리를 취함.

1.4.3 유압 제어시스템 제작

(1) 메인펌프

- 그림 1.4.4는 메인펌프로 상용 06급에 해당하는 KAWASAKI HYDRAULIC PUMP (TYPE : K3V63DT-120R)를 사용하였음.

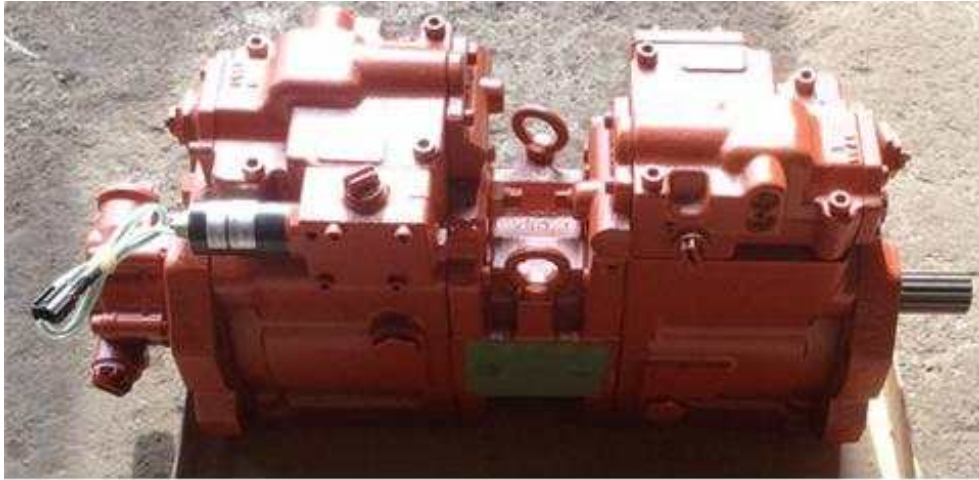


그림 1.4.4 메인펌프



그림 1.4.5 메인 콘트롤밸브

(2) 메인 콘트롤 밸브

- 그림 1.4.5는 메인 콘트롤밸브로 상용 06급에 해당하는 DX06 모델을 선택하였으며, 밸브블록에는 트랙 주행을 위한 모듈, 회전제어를 위한 모듈, 압제어 모듈, 브레이크 모듈 등이 포함되어 있으며, 밸브 스펴의 동작은 0~40kgf/cm²의 파일럿 압력을 인가함에 따라 인가된 압력에 비례하여 0~100% 스펴이 이동됨.

(3) 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브

- 그림 1.4.6은 제어용 밸브로 블레이드 3축 제어를 위한 프로포셔널 밸브 2Set, 솔레노이드 밸브 1Set과 기타 액추에이터의 제어를 위한 스펴어 개념의 솔레노이드 밸브 및 모듈러 밸브를 구성하였음. 프로포셔널 밸브는 구동용 제어기의 DA 출력값 0~10VDC를 이용하여 유량을 제어하며, 솔레노이드 밸브는 제어기의 디지털 제어출력값 24VDC로 유량의 On/Off제어를 수행 할 수 있음.



(a) 프로포셔널 밸브



(a) 솔레노이드 밸브 및 모듈러 밸브
그림 1.4.6 제어용 밸브

(4) 파일럿 압력제어 밸브

- 그림 1.4.7은 파일럿 압력제어 밸브이며 메인컨트롤 밸브의 스푼위치제어를 위해 $0\sim 40\text{kgf/cm}^2$ 의 압력을 가변적으로 출력할 수 있으며, 파일럿 밸브의 출력압력은 구동용 제어기의 DA 모듈의 출력값 $0\sim 20\text{mA}$ 로 제어됨.



그림 1.4.7 파일럿 압력제어 밸브

(5) 유압 구동을 위한 모듈

- 그림 1.4.8은 센터 조인트로 상부 플랫폼과 하부 플랫폼 사이에 설치하여 플랫폼간의 회전운동으로부터 유압호스가 꼬이는 현상을 방지하는 목적으로 활용되며, 트랙부의 주행모터로 연결되는 유압호스를 위해 사용됨.
- 그림 1.4.9는 06급 상용 중장비용 스윙모터 및 감속기이며 회전부 유압제어 및 동력 전달을 위해 사용됨.



그림 1.4.8 센터 조인트



(a) 스윙 모터



(b) 스윙 모터 감속기

그림 1.4.9 스윙 모터 및 감속기



(a) 메인펌프 설치



(b) 메인컨트롤 밸브 설치

그림 1.4.10 메인펌프 및 메인컨트롤 밸브 설치

(6) 유압 제어시스템 제작

- 메인펌프는 전동기 커플링에 결속시켜 설치하고, 메인콘트롤 밸브는 유압배선을 고려하여 메인 펌프 앞단에 그림 1.4.10과 같이 설치하였음.
- 센터조인트는 상부 플랫폼 회전 중심에 설치되어 트랙부 유압배선을 중계해 주는 기능을 하도록 하였으며, 스윙모터는 스윙감속기와 조립하여 상부 플랫폼의 회전 링기어 측면에 설치하여 회전 제어가 되도록 하였음.



(a) 센터조인트 설치



(b) 스윙 모터 및 감속기 설치

그림 1.4.11 센터조인트 및 스윙모터 설치



(a) 파일럿 압력제어밸브 모듈 제작



(b) 프로포셔널 및 솔레노이드 밸브 블록 제작

그림 1.4.12 파일럿 압력제어밸브 및 프로포셔널/솔레노이드 밸브 블록 제작

- 그림 1.4.12는 파일럿 압력제어밸브 및 프로포셔널/솔레노이드 밸브의 제작 사진이며 각각은 모듈화 하여 유압제어 및 전기제어 케이블 배선이 용이하도록 처리하였음.

2. 작업 플랫폼 개발

- 본 장에서는 06급 규모에 해당하는 실측장비용 작업플랫폼을 개발함. 플랫폼은 크게 상부와 하부로 나뉘어 개발하였으며 상부 플랫폼은 슬립링, 전동기모듈, 유압밸브 모듈, 제어기 모듈, 구동판넬 모듈, 작동유 탱크 및 작업용 툴이 장착될 수 있도록 개발하였음. 또한, 하부 플랫폼은 상부 플랫폼과 회전운동 시스템을 통해 연결되며 착저 주행을 위한 트랙시스템이 장착됨.
- 각 플랫폼은 기구적으로 조립되고 유압/전기적으로 연결되어 원활한 수중 사석고르기 작업이 될 수 있도록 개발하였음.

2.1 작업 플랫폼 회전 시스템 설계 및 제작

- 1, 2차년도의 경우 작업 플랫폼은 착저형 이동시스템에 고정되어 있는 형태였으나 당해 연도에는 플랫폼 회전 시스템을 개발하여, 착저형 이동 시스템에 대해 작업 플랫폼이 회전될 수 있도록 개발함.
- 작업 플랫폼에는 고르기 작업을 위한 블레이드, 다목적 암 등 툴이 장착될 것이므로 회전운동이 가능할 경우 툴의 활용도를 극대화 시킬 수 있음.
- 회전 시스템은 스윙모터가 스윙감속기 및 기어를 회전시키면, 기어와 연결된 링기어가 맞물려 돌아가며 회전운동을 생성하는데, 그림 2.1.1은 이를 위한 구동 모듈을 나타내었음.
- 상기 구동 모듈이 설치될 수 있도록 그림 2.1.2과 같이 상부 플랫폼에 스윙모터 설치부를 설계하고 하부 플랫폼에 링기어부 설치부를 설계하였음.



(a) 스윙 모터

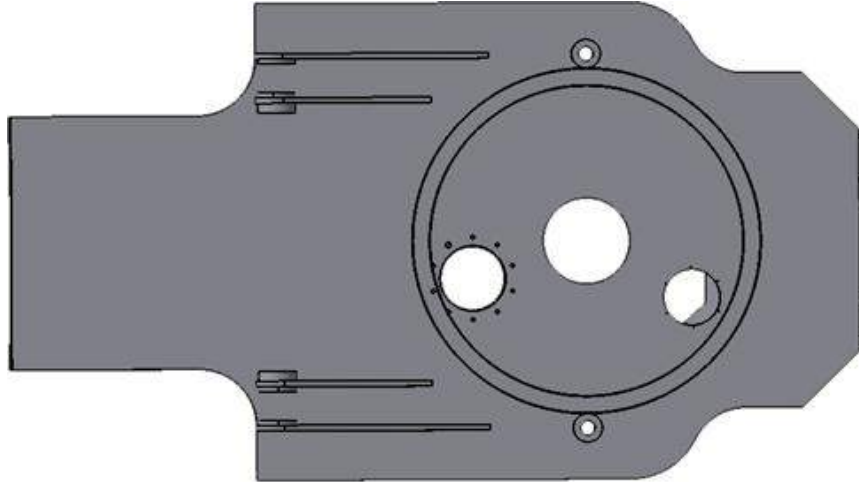


(b) 스윙 모터 감속기

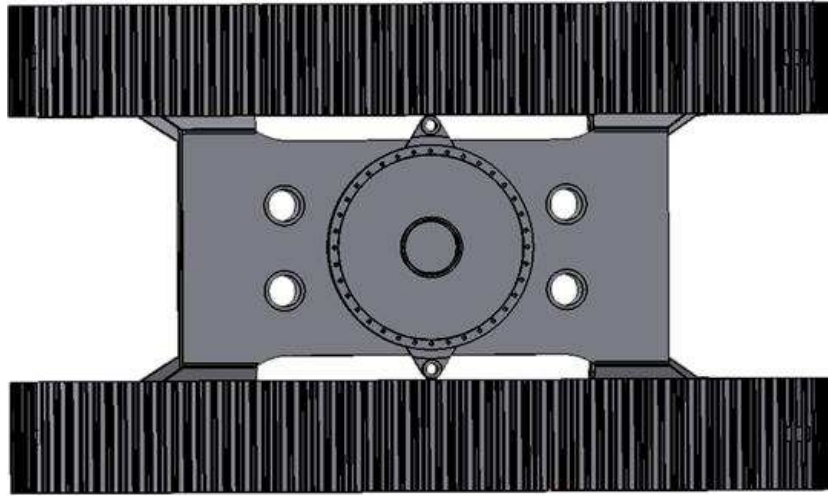


(c) 링기어

그림 2.1.1 회전 시스템을 위한 구동 모듈



(a) 상부 플랫폼 스윙모터부 설계



(b) 하부 플랫폼 링기어부 설계

그림 2.1.2 회전 시스템을 위한 상부/하부 플랫폼 설계

- 그림 2.1.3은 설계도면과 같이 회전 시스템을 위한 상부/하부 플랫폼을 가공하여 제작한 장면임. 상부 플랫폼에는 링기어가 볼트로 조립되기 위한 탭 및 취부면 가공이 되었으며, 센터조인트 및 스윙엔코더 설치를 위한 가공작업도 병행하여 진행되었음. 하부 플랫폼에도 링기어가 조립되기 위한 탭 및 취부면 가공, 센터조인트가 취부 되기 위한 플레이트가 설치되었으며, 플레이트에는 홀을 뚫어 수중작업시 회전시스템에 빨, 모래 등이 누적되어 기구부를 마모 시키는 경우를 방지하였음.



(a) 상부 플랫폼 가공



(b) 하부 플랫폼 가공

그림 2.1.3 회전 시스템을 위한 상부/하부 플랫폼 가공제작

2.2 실측장비용 상/하부 플랫폼 설계·제작

2.2.1 개요

- 하부 플랫폼의 경우 1.2절의 착저형 이동시스템 개발내용에서 설계 및 제작과정에 대해 기술하였으므로 본 절에서는 상부 플랫폼의 설계·제작 및 전체 시스템의 조립에 관하여 기술함.
- 상부 플랫폼은 작업용 툴이 장착되어 작업부하를 직접적으로 받는 부분으로 강성이 요구되며, 장비의 구동 및 제어를 수행하는 모듈들이 탑재되어 운용되어야 하므로 넓은 면적을 가져야하는 상충된 설계조건이 됨. 그러므로 강성이 요구되는 부분을 메인 프레임 개념으로 설계/제작하고, 제작된 메인 프레임을 구조물로 확장시켜 넓은 면적

- 을 확보할 수 있도록 개발함.
- 또한 상부 플랫폼에 탑재되는 기능별 방수모듈, 블레이드 툴 등도 설계/제작하였음.

2.2.2 상부 플랫폼 설계 · 제작

(1) 상부 메인 프레임

- 상부 메인 프레임은 그림 2.2.1과 같이 설계하였으며, 우측의 핀연결 부위는 차기년도를 고려하여 다목적 암이 설치될 수 있도록 설계하였으며 암의 작업부하를 분산하기 위해 늑골 형태의 구조가 프레임을 가로 지르고 있음. 중앙 부위는 하부 플랫폼과 연결을 위해 센터조인트, 스윙모터/감속기, 회전량 측정 엔코더 모듈의 설치를 위한 가공이며, 좌측의 핀연결 부위는 블레이드 툴의 취부를 위해 설계하였고, 부하의 영향을 최소화 하기위해 회전 중심축에 밀착시키는 구조로 설계되었음. 또한 설치될 모듈 중 전 동기 모듈은 자체 중량이 1.2Ton으로 예상되어 메인 프레임 끝단에 직접 설치할 수 있도록 설계하였음.

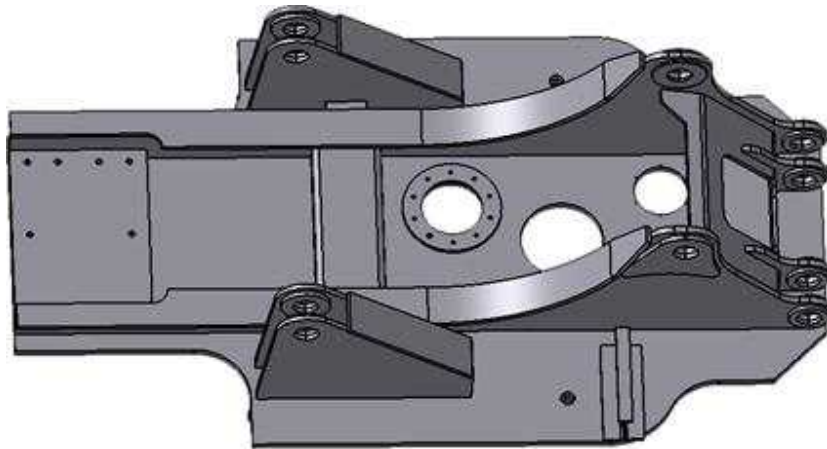


그림 2.2.1 상부 메인 프레임 설계



그림 2.2.2 상부 메인 프레임 제작

○ 그림 2.2.2는 제작된 상부 메인 프레임을 보이고 있음.

(2) 상부 플랫폼

○ 상부 플랫폼은 기능별 모듈을 탑재할 수 있으면서 작업틀의 운동에 간섭을 고려하여 그림 2.2.3과 같이 프레임 구조물 형태로 설계하였음. 플랫폼의 프레임은 중량물이 탑재될 부위의 힘살개념으로 배치하였으며, 장비의 입수/출수시 물의 저항을 최소화 하기위해 플레이트 사용을 배제하였음.

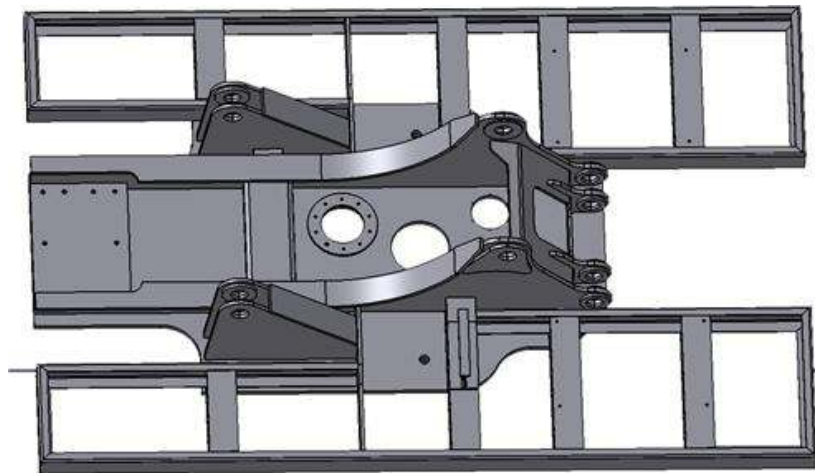


그림 2.2.3 상부 플랫폼



그림 2.2.4 상부 플랫폼 제작



그림 2.2.5 수중용 도장

- 그림 2.2.4는 설계와 같이 제작된 상부 플랫폼이며 그림 2.2.5는 수중용 도장처리를 한 것으로 제작품에 쇼트작업 후 수중용 에폭시 중방식 도장처리를 하여 도막 두께를 $120\mu\text{m}$ 까지 올려 도장되었음.

(3) 방수 모듈 설계·제작

- 장비의 유압제어, 전기제어 시스템을 위한 방수 케이스를 수중 20m 급으로 설계·제작 하고 내부에 제어모듈을 탑재함. 방수 케이스의 설계는 재질에 따른 응력해석을 통해 케이스의 구조 및 자재의 두께를 선정함.



그림 2.2.6 슬립링

1) 슬립링

- 슬립링은 케이블 릴로 부터 장비로 연결되는 전력, 통신, 영상 케이블의 꼬임방지를 위해 설계되며, 이를 위해 3가지 종류의 슬립링이 요구됨. 그림 2.2.6은 이를 위한 슬립링임.
- 슬립링은 장비에 장착되어 수중에서 사용되므로 방수를 위한 케이스가 필요하며, 그림 2.2.7는 슬립링 방수 케이스 설계도면으로 원통 내부에는 3가지 종류의 슬립링이 장착되며 외부의 케이블은 원통 상부의 그림을 통해 좌측의 단자박스에 케이블 글랜드를 통해 삽입됨.

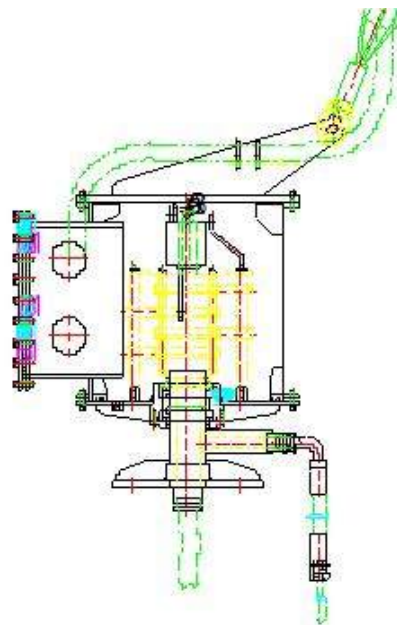


그림 2.2.7 슬립링 방수 케이스 설계

- 슬립링 케이스의 하부는 장비에 고정 장착되며 상부의 원통부는 회전운동이 되는 형태임. 회전운동 부분에는 오일셀을 통해 방수처리가 되며, 나머지 조립 부분은 커버에 오링을 넣어 볼트로 조립하는 구조로 방수 처리됨.
- 그림 2.2.8은 케이스에 대한 응력해석의 결과로서, 3kgf/cm^2 (수중 30m 수준)의 힘을 인가했을 때 각 부분의 변형량(mm)을 나타낸 그림임. 그림에서 보듯이 최대 변형은 케이스 중앙부위에서 발생하며 변형량은 0.124mm로 거의 변형이 발생하지 않음. 케이스의 재질은 SS400으로 최대허용응력이 $1,500\text{kgf/cm}^2$ 인데 반해 케이스가 받는 최대 응력은 554kgf/cm^2 으로 최대허용 응력의 1/3수준으로 설계되어 내압용기로서 적합하였음.
- 그림 2.2.9은 제작된 슬립링 케이스임.

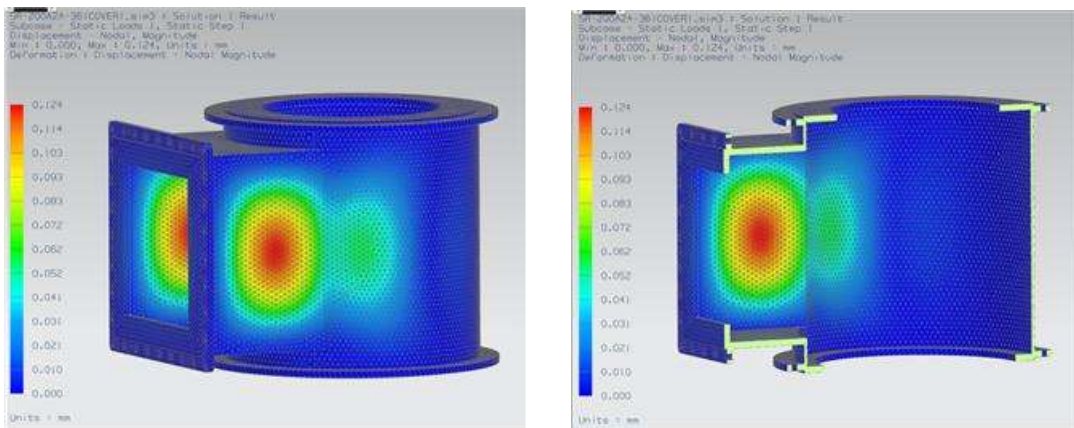


그림 2.2.8 응력해석



그림 2.2.9 제작된 슬립링 케이스

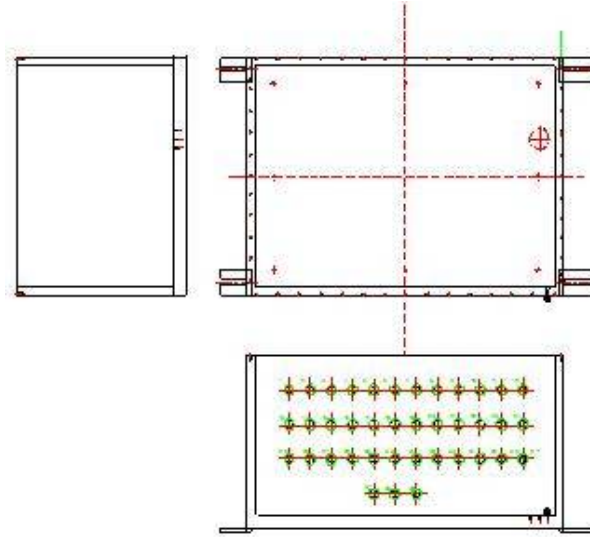


그림 2.2.10 제어기 방수 케이스 설계

2) 제어기 방수 케이스

- 제어기 방수 케이스는 내부에 카메라 영상 전송을 위한 모듈레이터와 구동용 제어기가 탑재됨. 그림 2.2.10은 제어기 방수 케이스 설계도면을 나타냄. 케이스의 크기는 740(W)X550(L)X400(H)이며 측면에 영상, 통신, 센서, 제어 입출력을 위한 케이블 인입을 위해 케이블 글랜드가 배치되어 있고, 누수확인을 위한 리크센서 취부 및 방수 테스트를 위한 플러그 등이 가공설계 되었음.
- 그림 2.2.11은 제작된 제어기 방수케이스를 나타내며, 그림 2.2.12는 방수 케이스 내부에 제작된 구동용 제어시스템을 보이고 있음.



그림 2.2.11 제작된 제어기 방수 케이스

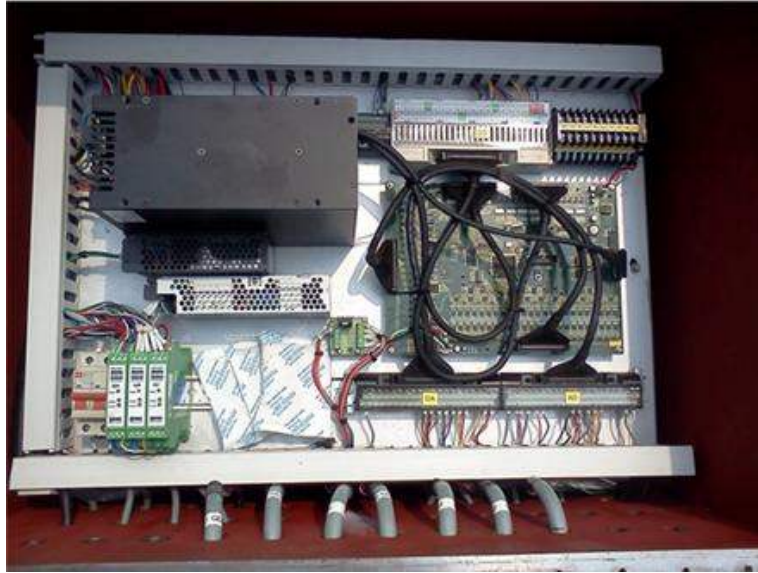


그림 2.2.12 제작된 구동용 제어 시스템

3) 구동판넬 방수 케이스

- 구동판넬 케이스는 외부에서 전력케이블이 입력되어 전동기를 직접 구동할 수 있는 Y- Δ 기동 회로, 장비의 전기제어부에 전력공급을 위한 변압기, 통신처리를 위한 PLC 시스템이 내장됨. 그림 2.2.13은 구동판넬 케이스 설계도면을 나타내며, 그림 2.2.14는 제작된 구동판넬 방수 케이스를 보이고 있음.

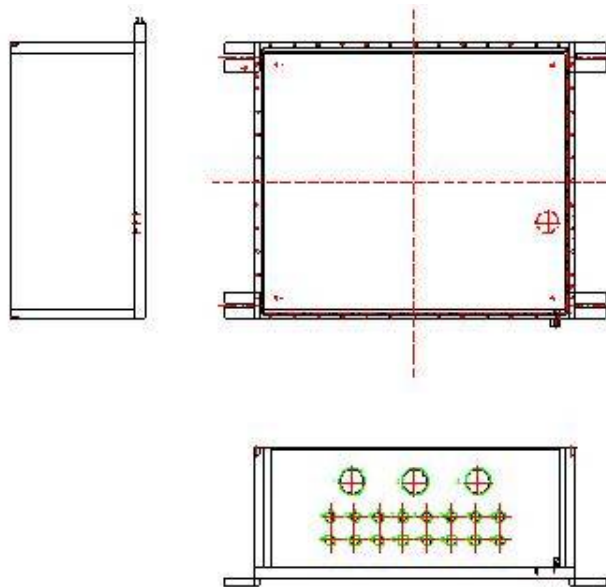
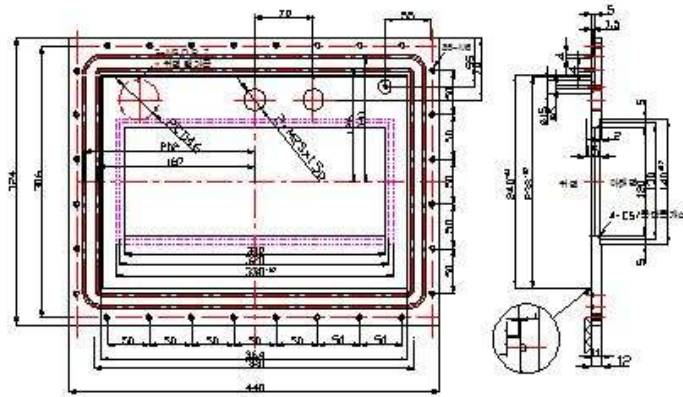


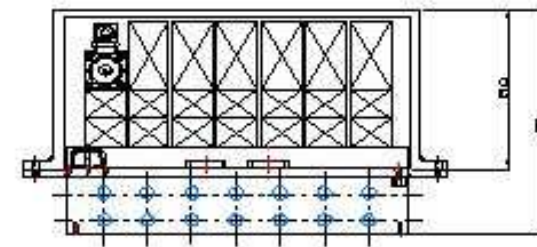
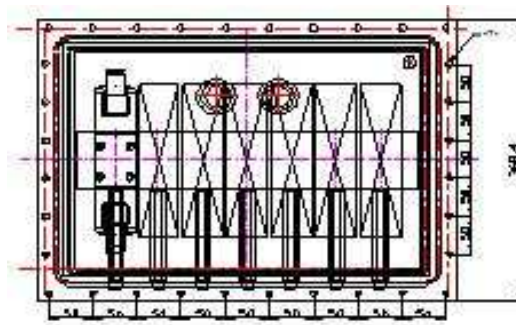
그림 2.2.13 구동판넬 방수 케이스 설계



그림 2.2.14 제작된 구동판넬 방수 케이스



(a) 파일럿 압력제어 밸브 블록



(b) 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브 블록

그림 2.2.15 밸브 블록 방수 케이스 설계

4) 밸브 블록 방수 케이스

- 밸브 블록은 크게 두가지로 파일럿 압력제어 밸브 블록과 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브 블록이 있으며 그림 2.2.15는 방수 케이스 설계도면이며 그림 2.2.16는 제작된 방수 케이스를 나타낸다.
- 모든 방수 케이스는 제작 후 수조에서 가압테스트를 하여 방수기능을 점검하고, 압력에 대한 케이스의 변형을 측정하여 검증하였음.



(a) 파일럿 압력제어 밸브 블록



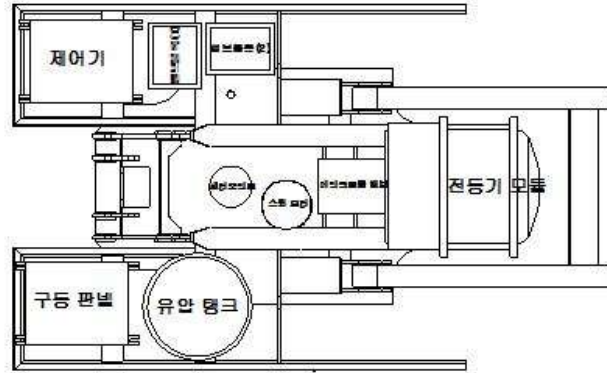
(b) 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브 블록
그림 2.2.16 제작된 밸브 블록 방수 케이스 설계

2.1.3 상부/하부 플랫폼 통합

- 설계 제작된 모듈들을 플랫폼에 장착하고 상부/하부 플랫폼을 조립하여 전체 장비를 구성하고, 유압 및 전기부의 배선을 수행함.

(1) 상부 플랫폼 조립

- 그림 2.2.17의 (a)는 상부 플랫폼에 전동기 모듈, 작동유 탱크 모듈, 밸브 모듈 등의 설치를 위한 배치도로서 유압 및 전기배선을 고려하고 좌우 무게중심을 맞출 수 있도록 배치를 하였음. (b)는 배치도에 따라 조립 설치된 장면을 나타냄.



(a) 모듈 배치도



(b) 모듈 조립

그림 2.2.17 상부 플랫폼 조립

(2) 상부/하부 플랫폼 조립

- 그림 2.2.18은 상부 플랫폼과 하부 플랫폼을 조립하는 장면으로 플랫폼 회전시스템에 고장력 볼트로 조립하였음.
- 그림 2.2.19는 상부 플랫폼과 블레이드부가 조립된 장면이며 블레이드는 회전 핀을 통해 상부 플랫폼과 연결됨.



그림 2.2.18 상부/하부 플랫폼 조립



그림 2.2.19 상부 플랫폼과 블레이드 조립



그림 2.2.20 상부 플랫폼 외벽설치

- 그림 2.2.20은 상부 플랫폼의 외부면에 외벽을 설치하는 장면으로 외벽은 조류 등의 영향을 최소화 하기위해 holes를 뚫어 구성하였음.

(3) 유압 배선

- 그림 2.2.21은 작동유 탱크 배출구의 유압배선이며, 그림 2.2.22는 트랙부의 유압배선으로 센터조인트까지는 유압호스를 사용하고 센터조인트에서 주행모터 부근까지는 유압배관으로 연결하여 외부 충격이 배선에 영향을 주지 않도록 구성하였음. 그림 2.1.23은 펌프 및 메인 콘트롤밸브를 유압호스를 통해 배선한 장면임.



그림 2.2.21 작동유 탱크 배출구 유압 배선



그림 2.2.22 트랙부의 유압 배선



그림 2.2.23 펌프 및 메인 콘트롤밸브의 유압 배선

(4) 제작된 수중 시공장비

- 장비는 그림 2.2.24과 같이 제작되었음.
- 개발 장비의 세부 구성은 표 2.2.1과 같음.

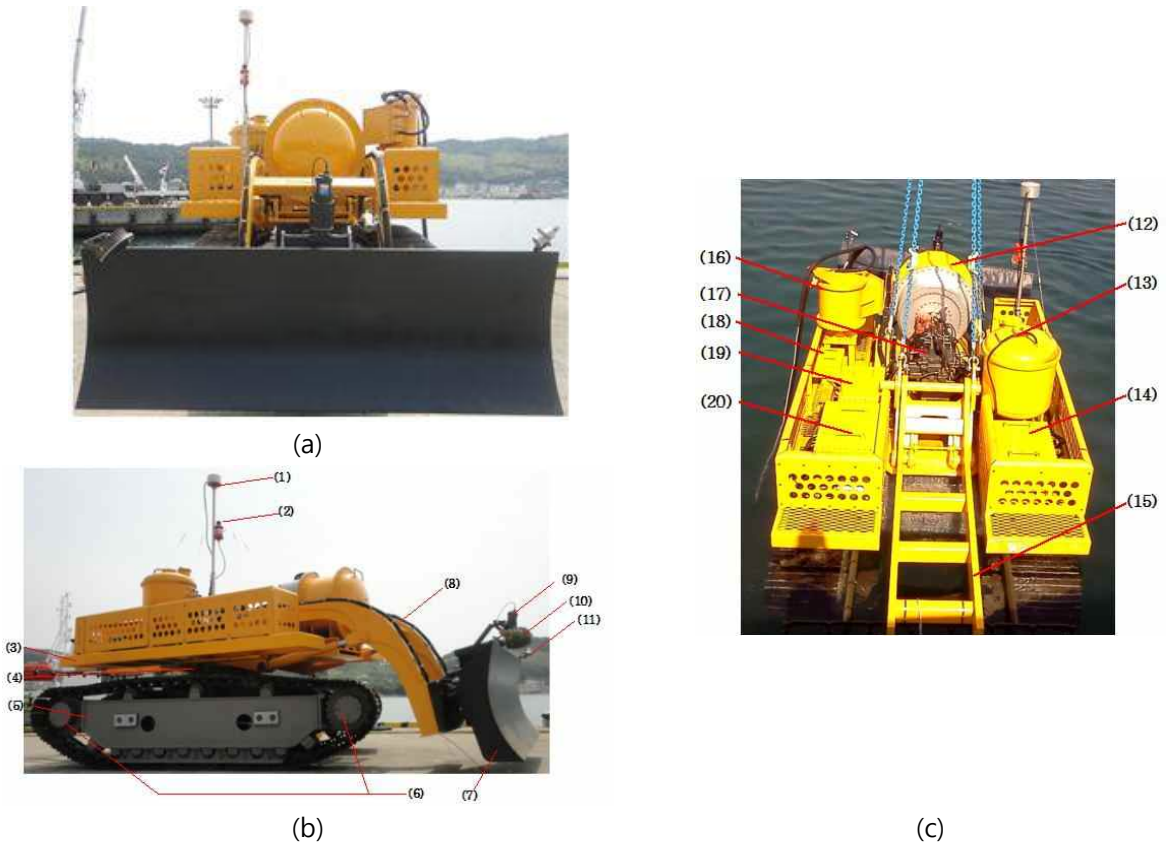


그림 2.2.24 제작된 수중 시공장비

표 2.2.1 개발 장비의 세부 구성

번호	내용
1	모션센서 모듈
2	LBL센서 (Tranceiver)
3	작업 플랫폼
4	회전 시스템
5	착저형 이동 시스템
6	주행 모터
7	블레이드
8	블레이드 암
9	Forward looking sonar
10	조명 시스템
11	카메라 시스템
12	HPU 시스템
13	작동유 탱크
14	구동 판넬
15	웨이트 밸런스
16	슬립링
17	메인컨트롤 밸브
18	파일럿 압력제어밸브 블록
19	프로포셔널제어밸브 블록
20	구동용 제어기 케이스

2.3 워터젯 설계

2.3.1 개요

- 해수 펌프를 활용하여 사석고르기 작업을 수행할 수 있는 방안에 대해 검토
- 일반적인 워터젯 활용 현황을 비롯하여 케이블이나 매설관 작업을 위한 워터젯 장치를 정리
- 본 개발 장비와 연계하여 수중 사석고르기 작업에 활용할 수 있는 개념설계 수행

2.3.2 워터젯 활용 현황

- 특수한 펌프로 굴착 작용력, 썰기 효과, 파괴력 등 다양한 용도로 활용하는 방법.
- 구성: 고압펌프(HPP), 믹싱유닛(AMU), 고압호스, 노즐
- 일반적으로 워터젯 장비는 따로 존재하지 않으며, 워터젯 공법을 활용하는 장비가 존재하는 것임. 절삭 및 절단 장비(유리 및 금속 가공 선반, 절단기 등) 또는 추진 장치에 활용됨.
- 산업잠수사의 활용:
산업잠수사의 인력 투입시 워터젯을 사용한다는 것은 특정 장비를 사용하는 것이 아니라, 컴프레셔 등의 펌프 장비를 육상에 설치하고 이를 호스 및 노즐(관창, 소방호스 노즐)에 연결하여 간이 장비로 활용하는 것임. 기타 수중에서 활용할 수 있는 장비는 수중해머, 수중커팅기, 수중착암기, 수중 렌치, 수중 브러쉬, 수중드릴 등이 있음.



그림 2.3.1 워터젯 활용 현황

2.3.3 케이블 매설 작업용 워터젯 장치

(1) 워터젯 작동원리 및 주요 구성요소

케이블 매설 작업용 워터젯 장치는 단순한 프레임 형태의 구조체에 부착되기도 하지만 일반적으로 다양한 센서 및 부대장치들이 갖추어져 있는 수중무인작업장비(ROV, Remotely Operated Vehicle)에 부착되어 사용된다.

수중무인작업장비의 총칭이기도 한 ROV는 특히 자유유영이 가능한 경우에 국한된 장비를 지칭할 때 쓰이기도 하며, 하단부에 트랙이 달린 형태로 해저면에서 주행하는 방식 또는 썰매판(skid)을 이용해 선박으로 끌어서 미끌어지는 방식으로 워터젯 작업을 수행하기도 한다. 아래의 그림은 자유유영이 가능한 다수의 수중추진체(thruster)를 가지고 있으면서 하단부 썰매판(skid)을 가진 국내 최대급 매설용 워터젯 ROV 장비의 예이다(장비명 : T-800, ktsubmarine co. ltd 보유).

수중장비에 장착되어 있는 워터젯 시스템만을 장비로부터 별도로 떼어낸 경우의 예가 아래 그림 2.3.3과 같다. 워터젯 시스템은 펌프와 노즐, 그리고 둘을 연결하는 연결관 세 부분으로 크게 구성된다.

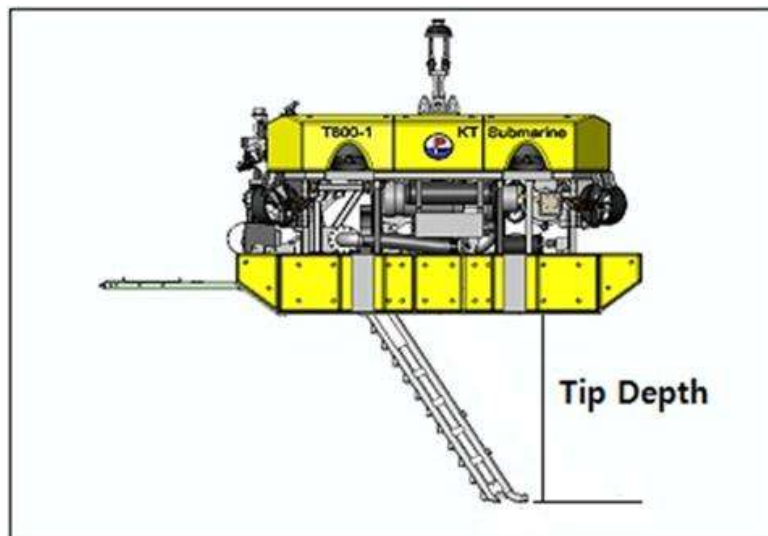


그림 2.3.2 케이블 매설용 워터젯 ROV 부착(예)

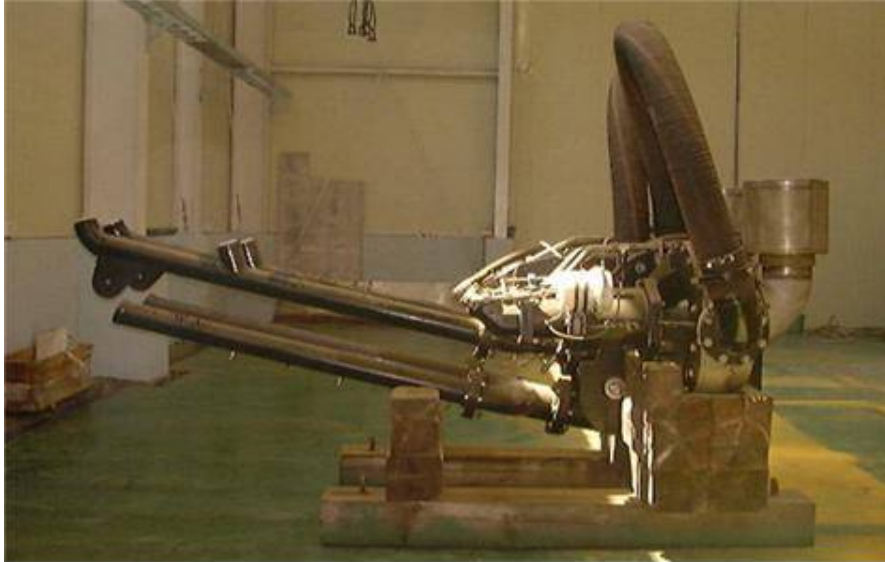


그림 2.3.3 케이블 매설용 워터젯

펌프는 장비 종류에 따라 장비에 부착시켜 운용하는 경우에는 수중펌프, 선상에 설치하여 수중장비로 해수를 공급하는 일반펌프가 있다. 수중펌프는 동력원에 따라 다시 Hydraulic Motor 펌프 및 Electric Motor 펌프로 나뉜다. 아래 그림 2.3.4은 T-800의 워터젯 시스템을 구성하고 있는 Electric Motor 펌프의 예를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 펌프의 수차가 해수를 유입하여 노즐방향의 유출구로 해수를 강력히 송출하여 워터젯 기능을 발휘하게 된다.

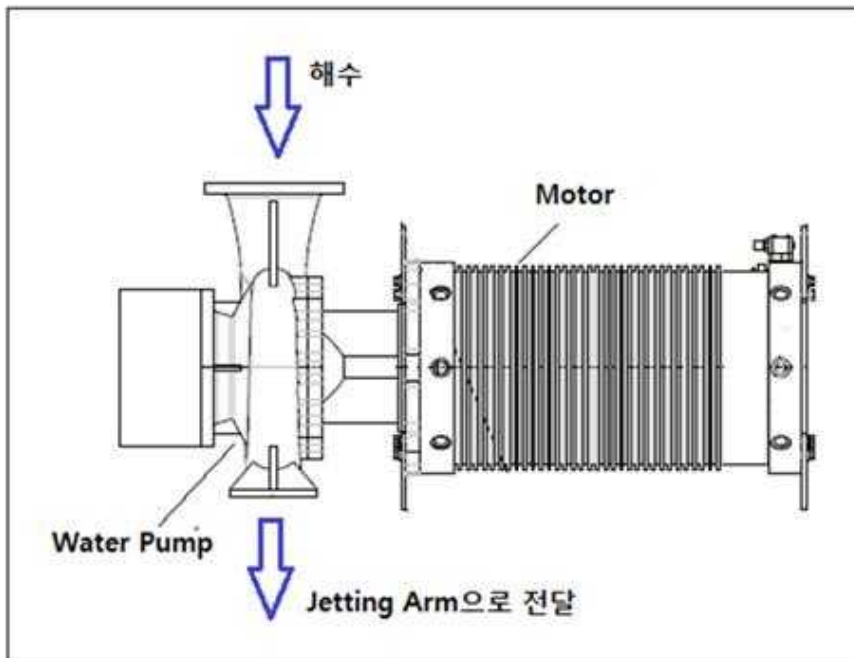


그림 2.3.4 워터젯 시스템을 구성하고 있는 Electric Motor 펌프 예

이러한 해수펌프는 수중펌프의 경우 일반펌프에 비해 매우 고가이나, 심해의 해저면 굴착작업인 경우 펌프로부터 노즐까지 연결관에서 발생할 수 있는 저항으로 인한 유속 감속을 피하고, 수중장비의 운전을 원활히 하기 위해 필수적으로 요구된다.

만약 작업 수심이 충분히 낮고 조류나 파도 등의 해양 외력으로부터 연결관을 충분히 수월하게 다룰 수 있고 수중장비의 운전이 원활하게 이루어질 수 있는 경우 일반펌프를 사용할 수 있다.

노즐은 고압의 해수를 원하는 지점에 정확히 분사하거나 분출압력을 증대하기 위해 정밀하게 설계되어야 한다. 이러한 노즐의 설계는 최근 발달된 CFD 기술을 활용하여 매우 유용하게 설계할 수 있다. 특히 노즐은 다수의 분출점을 만들기 위해 제팅암 (Jetting Arm 또는 Jetting Sword)라는 보통 길다란 관 모양 또는 기타 다양한 형태의 말단구조물의 외벽에 적절히 배치된다. 말단구조물은 유효한 해저면 굴삭기능을 발휘하기 위하여 적절히 회전, 교체될 수 있는 것도 있다. 아래 그림 2.3.5는 T-800이 사용하고 있는 노즐의 예를 나타낸다.

연결관은 펌프와 노즐을 연결하는 해수공급관으로서 높은 수압을 견딜 수 있는 강도의 재질과 구조를 요구한다. 이러한 연결관은 장비에 따라 유연관 형식 및 강관 형식으로 나눌 수 있다. 보통의 경우 유연관 형식은 선상 펌프를 이용하여 수중장비에 해수를 공급할 때 많이 사용되고 있으며, 강관 형태는 펌프가 수중장비에 부착되는 경우에 사용되고 있다.

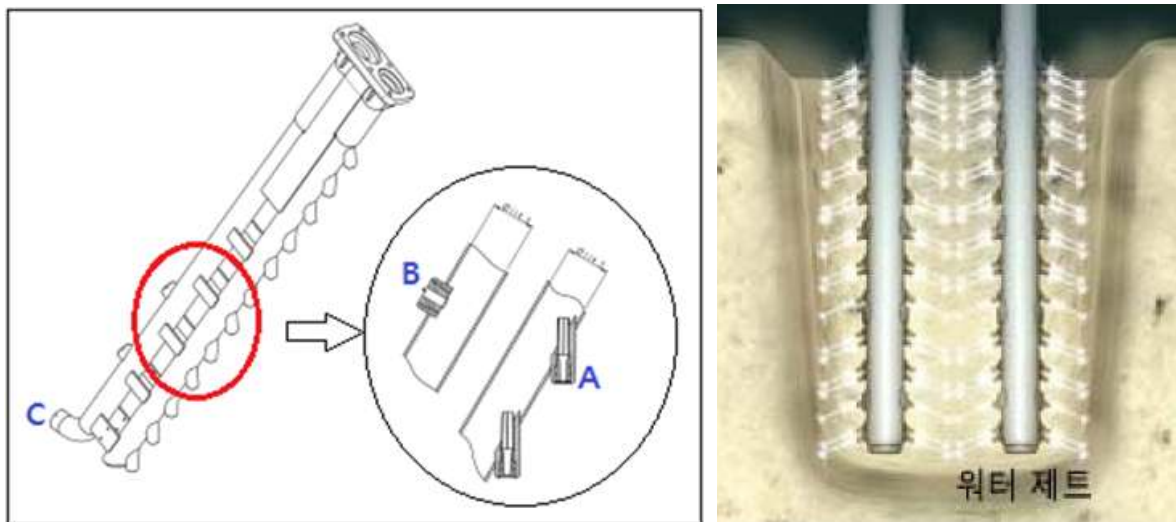


그림 2.3.5 워터젯 시스템을 구성하고 있는 노즐 예

(2) 워터젯 장비 부착 사례 및 사양 요약

- 1) T-800 (ktsubmarine co. ltd.)



그림 2.3.6 워터젯 부착 장비 사례(T-800)

표 2.3.1 T-800 부착 워터젯 사양

구분	Specification
Dimension	2.98 m x 4.18 m x 5.32 m
Weight	18 ton
Weight (in water)	3 ton
Operation Depth	Up to 2,500 m
Burial Depth	Max. 3.0 m
Electric Pump Voltage	4,160 V, 60 Hz, 3 Phase
Electric Pump Current	45 A (full power), 25 A (no load)
Max Water Pressure	9 bar (116 psi), 7 bar (typical)
Max Water Flow	18 ton/min
Vehicle Power	800 HP
Burial Width	Up to 600 mm
Soil Type & strength	Up to 25 kPa

2) ST209 (ktsubmarine co. ltd.)



그림 2.3.7 워터젯 부착 장비 사례(ST209)

표 2.3.2 ST209 부착 워터젯 사양

구분	Specification
Dimension	2.92 m x 3.2 m x 3.3 m
Weight	6.55 ton
Weight (in water)	3 ton
Operation Depth	Up to 2,500 m
Burial Depth	Max. 1.5 m
Vehicle Power	200 HP
Burial Width	Up to 360 mm
Soil Type & strength	Up to 50 kPa

3) T-Type Trencher (Tianjin Offshore Engineering)



그림 2.3.8 워터젯 부착 장비 사례(T Type Trencher)

표 2.3.3 T Type Trencher 부착 워터젯 사양

구분	Specification
1. Mass Flow	
1.1. Jetting Flow	0 ~ 12 m ³ /s
1.2. Jetting Speed	0 ~ 15 m/s
1.3. Jetting Pressure	3 ~ 5 bar
1.4. Jetting Impact	3~4 ton/m ²
1.5. Water Depth	3.0 ~ 150 m
1.6. Trenching Speed	5000 m ³ /h
2. High Pressure Pump	
2.1. Pressure	60 bar
2.2. Jetting Flow	400 m ³ /h
3. Trencher Size	
3.1. L x W x H	L 9.0 m x W 9.2 m x H 4.5 m
3.2. Weight	24 ton (in air)

다음 그림 2.3.9는 위 워터젯 시스템의 운영방법을 간략히 보여주는 그림이다. 자가 구동장치가 없는 썰매형태의 프레임에 장착되어 있는 초대형 워터젯 시스템으로 선박이 장비를 해저면에 끌면서 이동하고, 엄빌리컬(Umbilical) 컨트롤케이블을 이용하여 선상에서 장비를 원격 조종한다.

보통 이러한 장비는 정해진 굴착구간을 반복해서 이동, 작업함으로써 필요한 깊이의 굴착효과를 얻어낸다.

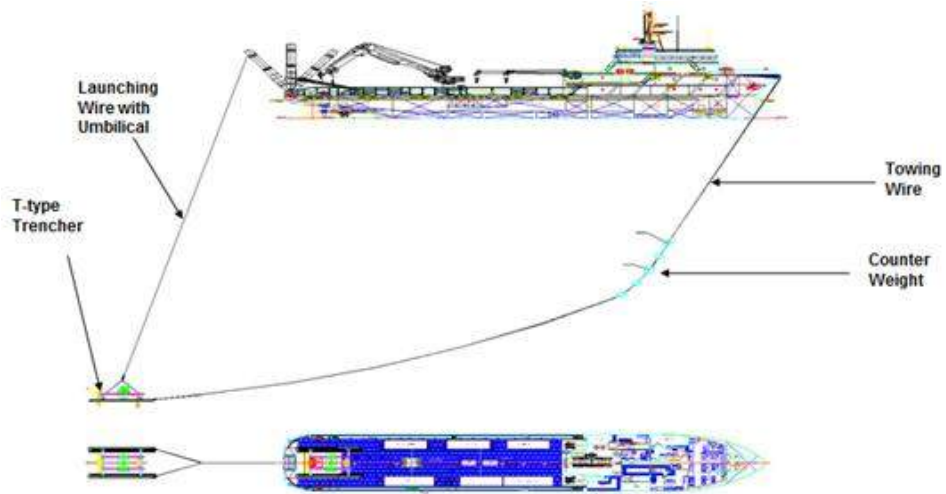


그림 2.3.9 워터젯 시스템 운영방안(예)

4) Subtrencher-2 (Tang Seng Engineering Pte Ltd)



그림 2.3.10 워터젯 부착 장비 사례(Subtrencher-2)

표 2.3.4 Subtrencher-2 부착 워터젯 사양

구분	Specification
Trenching Method	Water Jetting
Operation water depth	180m
Weight (in air)	27~42 ton
Jetting Water(m³/hr)	1,100 @ 11bar
Cable Tracking System	TSS-350
Jetting Tool	no cable loading to Machine &no diver assistance
HPU	250KW x 2, Electric Motor
track records	3m trenching for power cabel in wind farm at WD 12m, 28m
Ejecting System	using with Jetting tool
cable detect on jetting tool	3 x magnet sensor
Depressor	combine with jetting tool

5) PT-1 (CTC Marine)

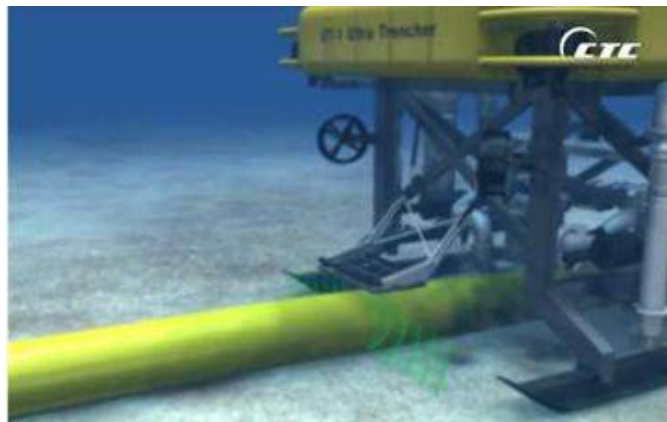


그림 2.3.11 워터젯 부착 장비 사례(PT-1)

표 2.3.5 PT-1 부착 워터젯 사양

구분	Specification
Trenching Method	Water Jetting with Free Swimming
Dimension	L 5.6 x W 3.5 x H 3.4 m
Operation water depth	2000 m
Total Power	1,500 kw
Max. Trench Depth	2 m
Weight (in air)	15 ton
Jetting Water(m³/hr)	2,000 m³/h at 14 bar
Eductors	2 pumps educt material from trench
Thruster	8 x 35kw electrical 14" Dual counter rotating propeller
Sonar	Kongsberg Simrad MS 1000

2.3.4 워터젯 부착 개념설계(안)

(1) 수중 사석고르기 작업용

- 1안 : 워터젯을 다목적 암(버킷 상부)에 부착하여 사석 고르기 작업을 수행하는 방식으로, 워터펌프는 상부플랫폼에 위치
- 2안 : 블레이드 상부에 워터젯을 부착하고, 블레이드의 위치에 따라 다양한 조건에서 워터젯 활용 사석고르기 작업을 수행 가능. 워터펌프는 상부플랫폼에 설치

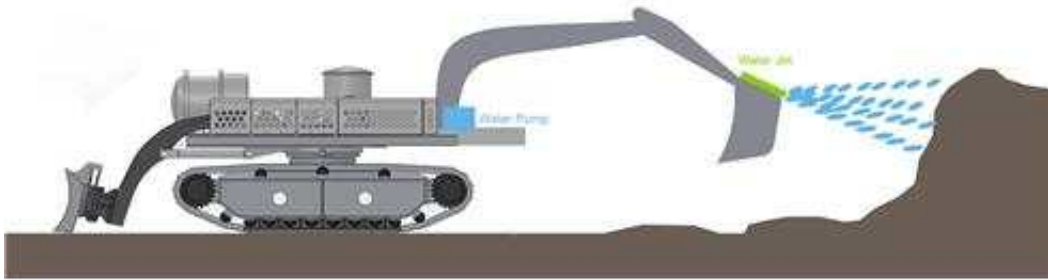


그림 2.3.12 워터젯 부착 개념도(1안)

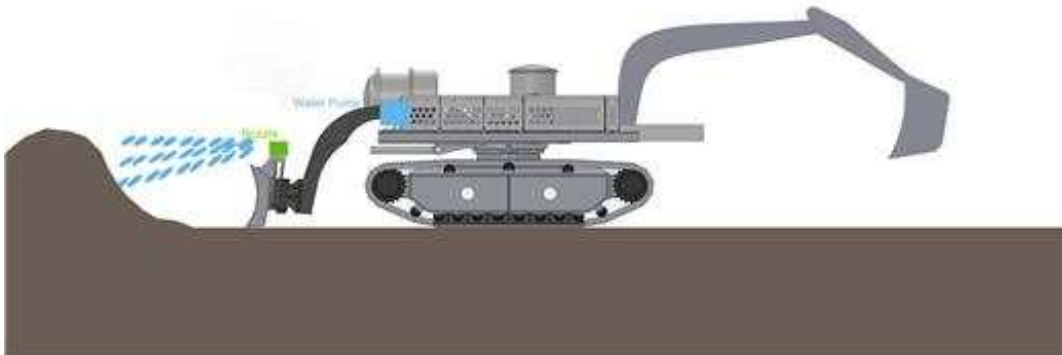


그림 2.3.13 워터젯 부착 개념도(2안)

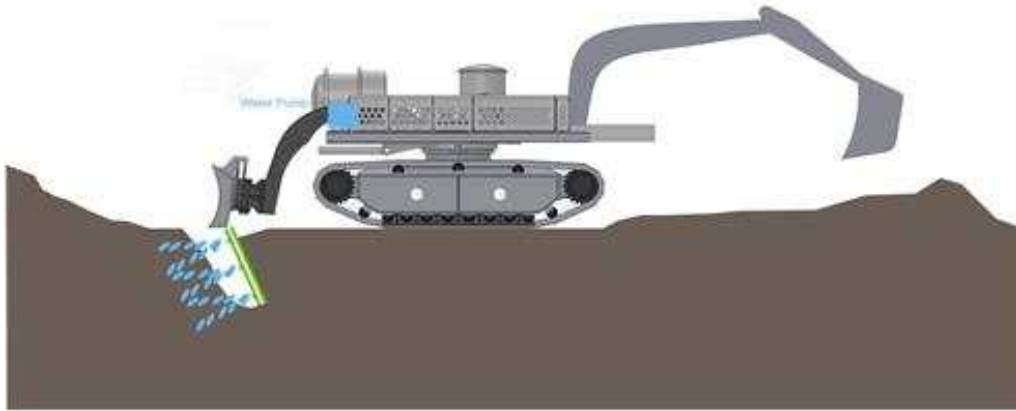


그림 2.3.14 워터젯 부착 개념도(3안)

(2) 케이블 매설 작업용

- 3안 : 케이블 매설 작업을 위한 목적으로 워터젯을 부착하는 방식이며, 매설심도 50cm ~100cm 정도를 대상.

2.4 조류 영향을 고려한 장비 거동 분석 (CFD 해석)

2.4.1 수치실험의 개요

- 수중 기계화 사석 고르기 및 굴삭 장비는 해저면에서 작업이 진행되므로 파랑, 조류 속 등 해양 환경을 고려한 해석이 필요하다.
- 당해연도에는 개발 중인 사석 고르기 및 굴삭 장비의 설계 과정 중에 조류에 의한 전복, 밀림 가능성과 함께, 구조적 안전성을 보고자 한다.
- 조류 영향에 대한 외력 산정은 CFD 해석을 통해 진행하고 전복, 밀림 가능성과 구조적 안전성은 산정된 외력에 대해서 구조해석을 통해 예측한다.
- 해석에 앞서 수치 모형은 기존 육상 및 해상용 굴삭 장비의 형상이 일차적으로 활용이 되었고, 현재 설계 중인 굴삭 장비의 간소화 한 형상이 이용되었다.
- CFD 해석은 상용프로그램인 FLUENT에서, 구조해석은 ANSYS 버전 13이 이용되었다.

2.4.2 기존 굴삭기 모형

(1) 수치모형과 수치해석 정의

- 육상 장비 중에 해중 이용을 고려해서 설계한 장비로는 Volve의 SfinX가 있으며, 일본의 사석고르기 장치를 참조해 형상 모형을 제작하였다.

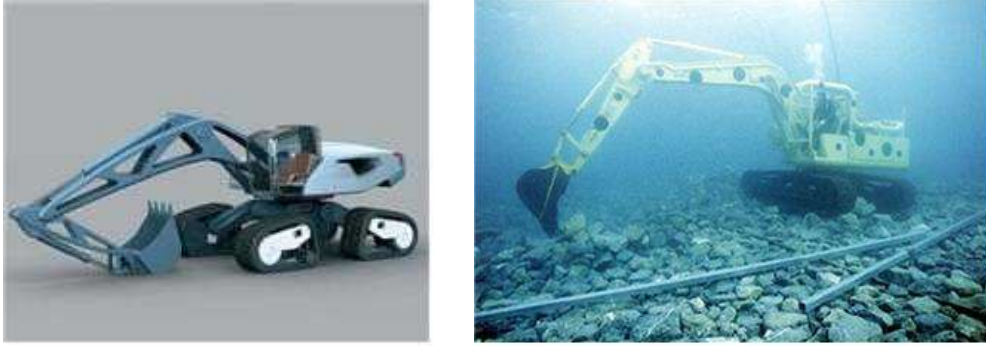


그림 2.4.1 Volvo의 Sfinx와 일본의 사석고르기 장비

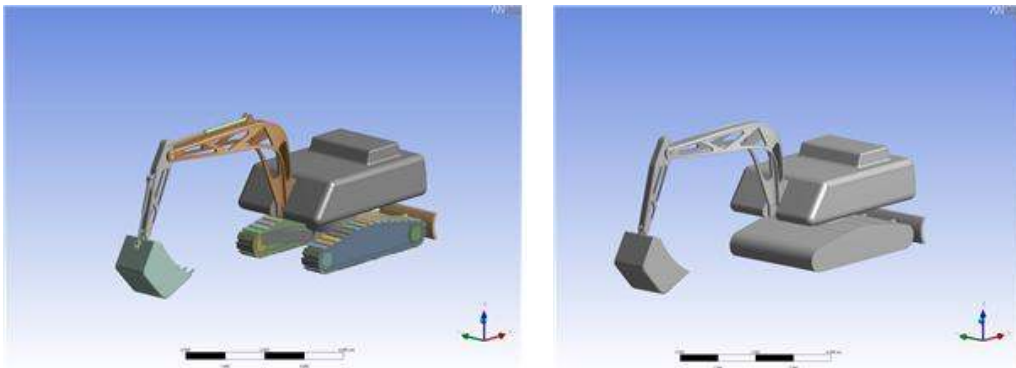


그림 2.4.2 원 CAD 모형과 단순화 형상 (scale bar 크기: 4m)

- 굴삭기의 형상은 유선형은 아니고, 세부적으로 복잡한 부분이 있어, CFD 해석을 위해서는 형상 단순화를 수행하였다.
 - 기존 수중 굴삭기를 참조하였고, 블레이드를 장착한 CAD를 먼저 위의 그림 2.4.2와 같이 제작해 보았다.

- 유체 해석 정의는 다음과 같다.
 - Flow direction: +y; Flow velocity: 1m/s
 - base와 vehicle 표면은 wall 조건이 주어지고 y축에서 왼쪽 zx 경계면에서는 velocity-inlet 조건이, 오른쪽 zx 경계면에서는 pressure-outlet 조건이 주어졌다. 나머지 경계면은 symmetry 조건이 주어졌다.
 - 주어진 유속 조건에 의해 와류 유동으로 간주되었고, 와류 모델은 $k-\epsilon$ 이 사용되었다.
 - 특성 길이(c)는 굴삭기 하부구조의 너비로 2,889.54mm이다.

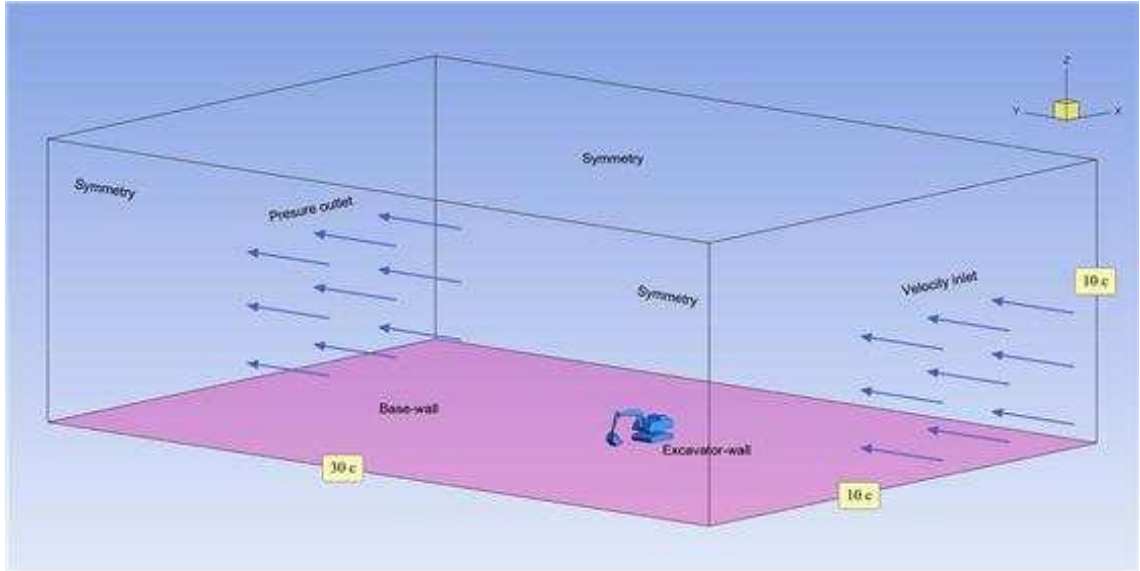


그림 2.4.3 경계조건

- 유체 격자는 다음의 기준으로 생성되었다.
 - Global min size: 0.005m
 - Global grow rate: 1.2
 - Vehicle face size: 0.03m
 - Fluid bottom face size: 0.75m
 - 위의 조건에서 생성된 유체격자에서 셀의 개수는 6,786,464이다.
 - 성긴 격자와 세밀 격자의 경우 비교를 통해 격자의 수렴성을 확인하였다.

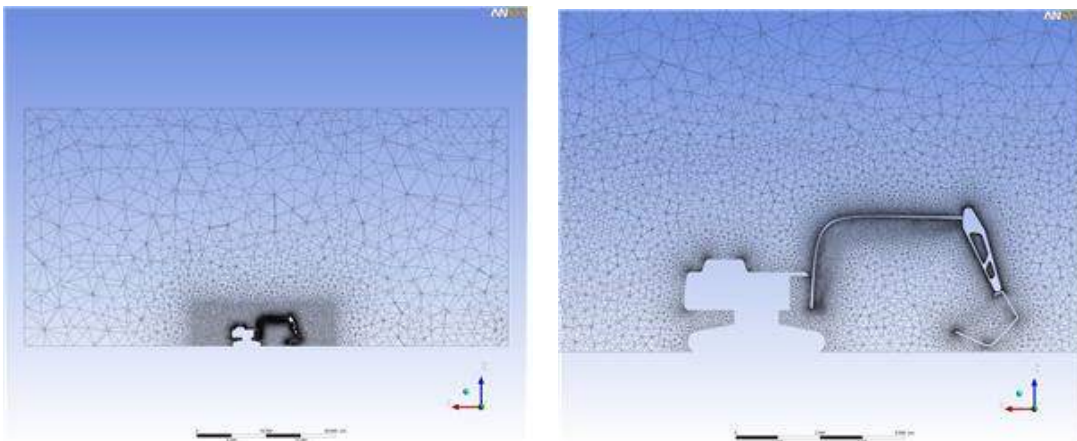


그림 2.4.4 유체 격자 시스템 (좌: 전체, 우: 줌인)

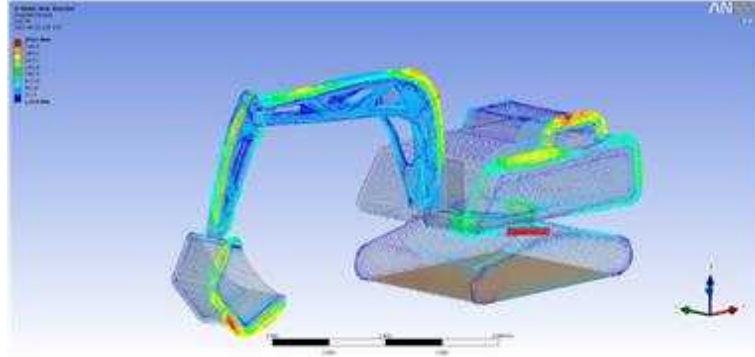


그림 2.4.5 CFD의 산정 외력 및 경계조건

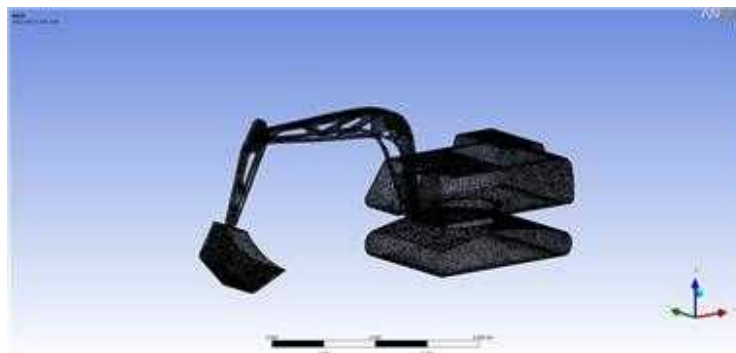


그림 2.4.6 구조격자

- 구조해석 정의는 다음과 같다.
 - 외력은 CFD 해석에서 계산된 압력 데이터를 이용한다. 그림 2.4.5는 CFD 압력 데이터를 구조 격자에 맞추어 변환된 예를 보여준다.
 - 굴삭기의 바닥면은 고정된 것으로 가정한다.
- 구조격자는 다음의 기준으로 자동으로 생성되었다.
 - 전체 구조격자 크기를 0.05m로 주었으며 트랙 부분의 면에 국부적으로 0.05m로 주어 격자 크기를 비슷한 수준으로 자동 생성하였다.
 - ANSYS 쉘 요소가 이용되었으며 개수는 497,960이고 절점 개수는 734,208이다.
- 형상 변경에 의한 영향 연구
 - 홀이 없는 굴삭 압 조건: 보통의 육상장비의 경우는 압에 홀이 없는 것이 대부분이다.
 - 블레이드 장착: 사석 고르기 작업에 활용되는 블레이드 장착시의 영향을 보고자 한다.
 - bottom hole: 트랙 내부의 홀 유무에 대한 영향을 보고자 한다.

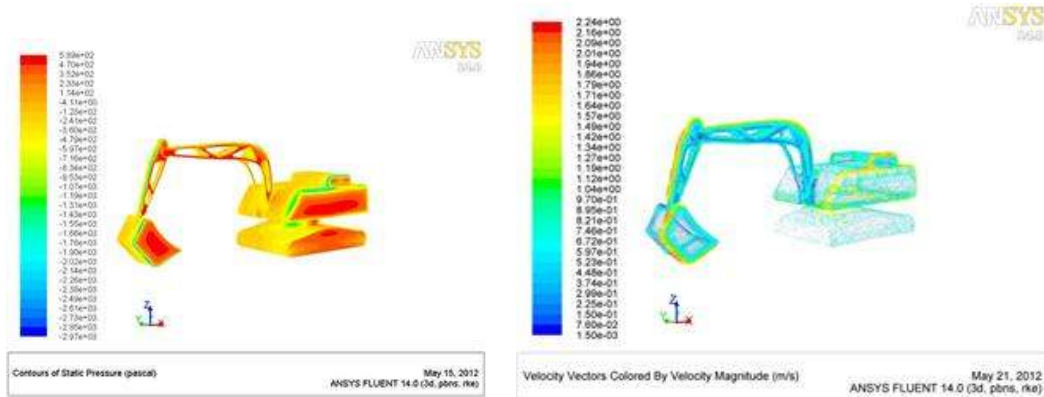


그림 2.4.7 압력과 속도분포

(2) 수치실험결과 및 고찰

○ CFD 해석을 통한 결과

- 최대 압축 압력은 조류를 받는 면 중앙에서 나타났으며, 그 값은 589Pa이다.
- 최대 인장 압력은 조류를 받는 면 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 2.97KPa이다.
- 최대 속도는 조류를 받는 면 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 2.24m/s로 2배 이상 가속되는 것을 확인할 수 있다.
- 가장자리에서 유동 특성을 보기 위해 그림과 같이 streamline을 도식하였고, 가장자리에서 와류발생을 확인할 수 있었다. 이 와류에 의해 유속이 증가하게 되는 것으로 해석된다. 이런 현상은 홀의 가장자리에서도 확인 할 수 있다. 따라서 발생하는 와류 등의 유동 특성과 그에 파생되는 압력을 조절하기 위해서 가장자리 형상이나 홀의 유무 혹은 형상을 조절할 필요가 있으며 수치 해석 기법 활용이 요구된다.

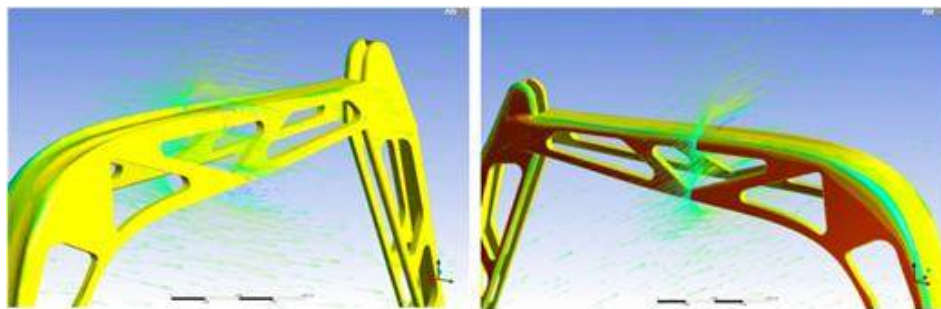


그림 2.4.8 굴삭암 주의 유선(streamline)

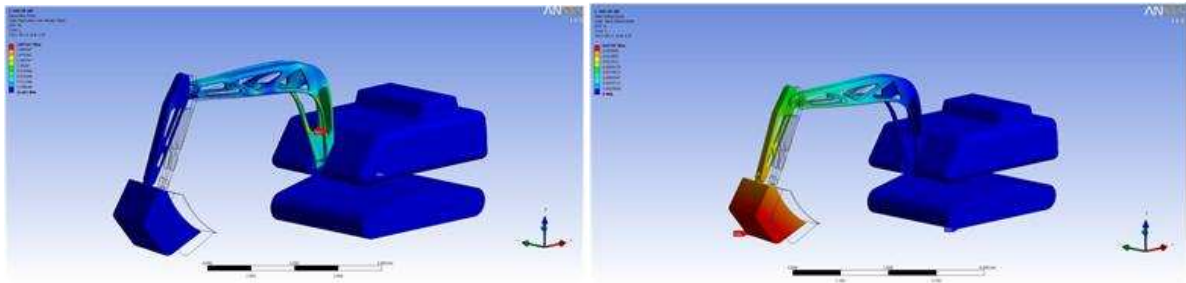


그림 2.4.9 응력과 변위 분포

○ 구조해석 결과

- 상대적으로 높은 응력은 vehicle 상부에 가까운 굴삭암 부분에서 나타났으며, 최대 응력 역시 상부 기준 첫 번째 홈의 가장자리에서 나타났다. 그 값은 18 MPa로 steel(ASTM A36)의 항복응력 250 Mpa에 비해 1/13.9 정도 작아 구조적으로 안정하다고 판단된다.
- 최대 변위는 예상대로 버킷 부분에서 나타났으며, 그 값은 17.9mm로 허용할 수 있는 수준으로 판단된다.

○ 전복 및 밀림 가능성 해석

- Vehicle의 바닥면이 고정된 조건에서 바닥 중앙면의 반력과 모멘트 반력을 계산하여 아래 그림에 도식하였다.
- 전복을 판단하는 rolling 모멘트는 x축 방향의 모멘트로 조류 방향의 반대쪽 트랙의 바깥쪽 가장자리에서 다음과 같이 계산된다.

$$M_{rolling} = M_x + (w/2) \cdot F_z = 8830.9 + 3340.9 \cdot 1.44 = 1.36 \times 10^4 N \cdot m = 1.4 tonf \cdot m$$

여기서 w 는 굴삭기 하부구조의 너비이다.

수중 무게가 15톤 이상으로 예측되며 이 때 저항 모멘트가 21.6 $tonf \cdot m$ 이상으로써 1m/s 조류 조건에서는 전복 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

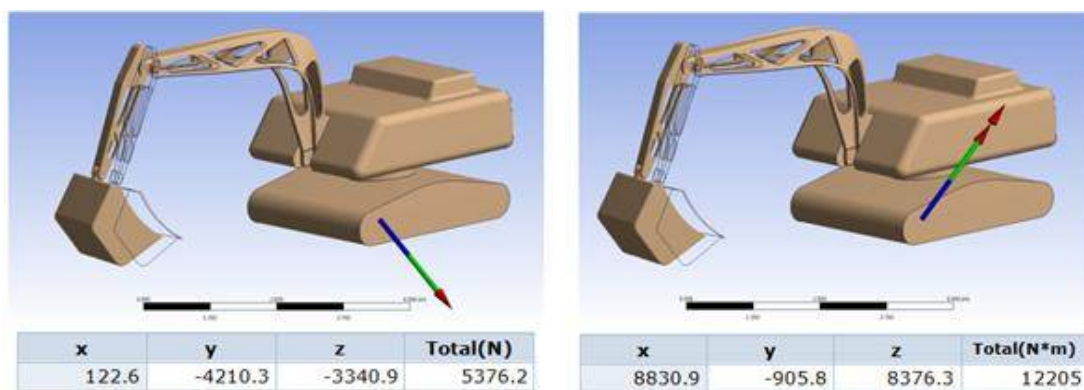


그림 2.4.10 반력과 모멘트 반력

- x, y 축 방향의 힘은 각각 12.5, 430.0 kgf 이며 15톤 기준 정지마찰계수 0.5 가정하의 밀림 저항력인 7.5 tonf 보다 매우 작으므로 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

○ 형상변경에 대한 영향

- 육상장비와 같이 홀을 막았을 때 z 방향 힘의 증가로 인해 전체 힘이 5% 정도 증가하는 것을 확인하였다.

- 사석고르기 작업을 위한 블레이드 장착 시에는 조류 방향인 Y축 힘이 증가하여 전체 힘이 NHA에 비해 17% 정도 증가하였다.

- 트랙내부의 홀을 고려했을 때 Y축 힘은 커지고, z축 힘은 작아져서, 전체 힘은 NHA과 거의 비슷하게 나타났다.

- 형상에 따라 변화 폭은 크지 않으므로 전복이나 밀림 가능성은 적은 것으로 판단된다.

표 2.4.1 형상 변경에 따른 유체력 영향

FORCE	X	Y	Z	TOTAL FORCE(N)
Hole in arm	-135.47	4331.47	3550.23	5602.16
No hole in arm(NHA)	-301.18	4312.38	4020.64	5903.63
Blade + NHA	-820.46	5715.52	3836.87	6932.67
Bottom hole + NHA	-698.47	5421.60	2085.06	5850.56

* 그림 2.4.10에서의 구조해석의 반력과 유체력의 차이는 5%로 이하임.

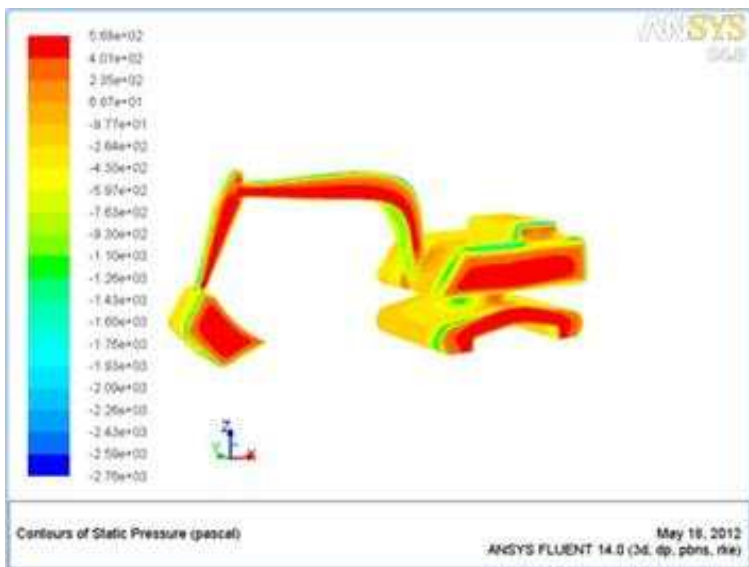
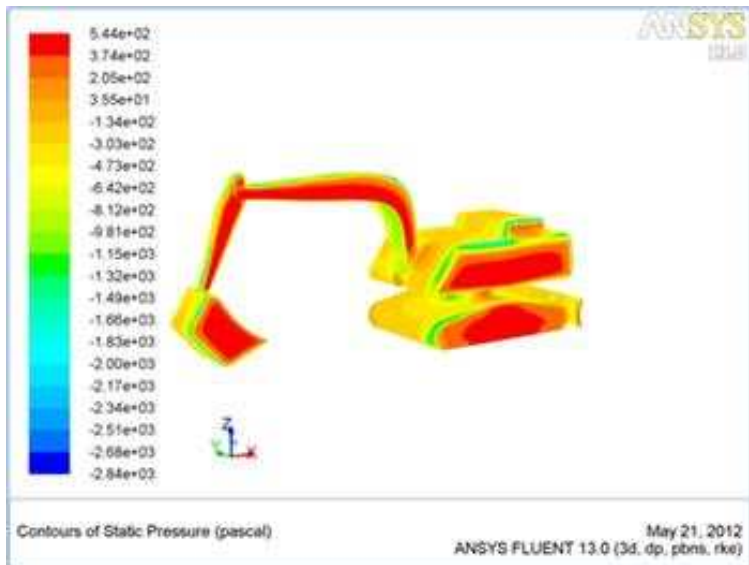
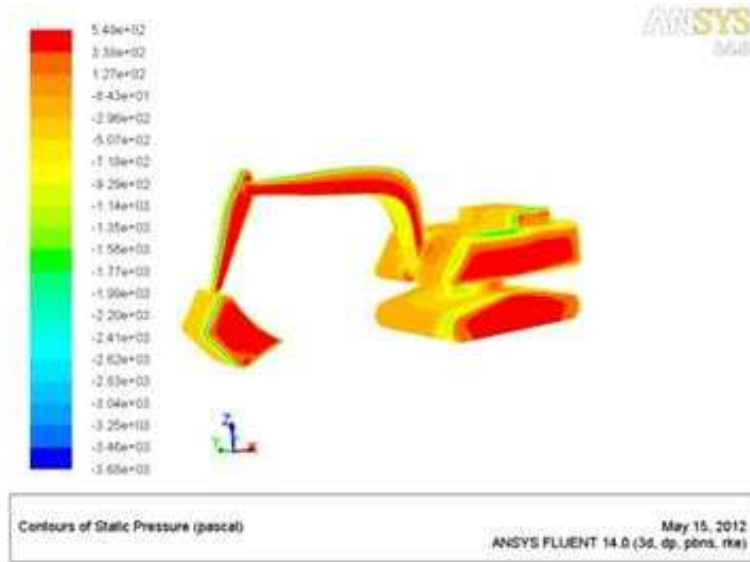


그림 2.4.11 NHA, blade+NHA, bottom hole+NHA의 압력 분포

2.4.3 설계 중인 수중 굴삭기 모형

(1) 수치모형과 수치해석 정의

- 본 연구에서 설계된 05급 수중굴삭기의 형상 역시 유선형은 아니며, 세부적으로 복잡한 부분이 있어, CFD 해석을 위해서는 형상 단순화를 수행하였다.
- 유체 해석 정의는 다음과 같다.
 - Flow direction: +x; Flow velocity: 1m/s
 - base와 vehicle 표면은 wall 조건이 주어지고 x축에서 왼쪽 yz 경계면에서는 velocity-inlet 조건이, 오른쪽 yz 경계면에서는 pressure-outlet 조건이 주어졌다. 나머지 경계면은 symmetry 조건이 주어졌다.
 - 주어진 유속 조건에 의해 와류 유동으로 간주되었고, 와류 모델은 $k-\epsilon$ 이 사용되었다.
 - 특성 길이(c)는 굴삭기 하부구조의 너비로 2600mm이다.

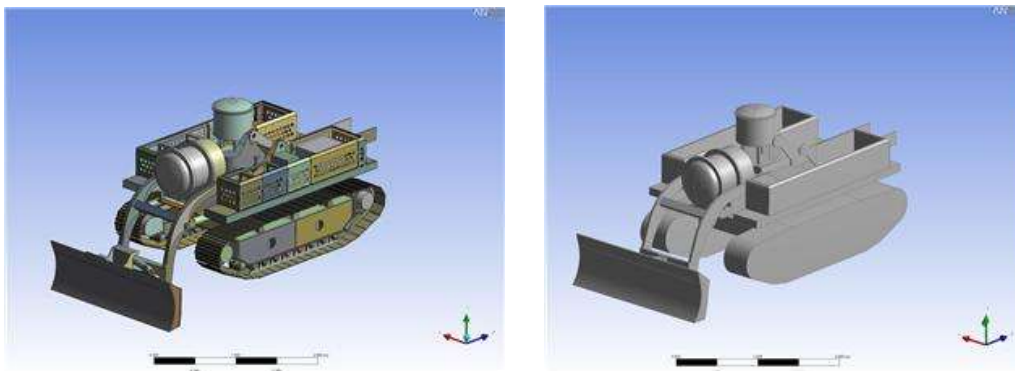


그림 2.4.12 원 CAD 모형과 단순화 형상 (scale bar 크기: 4m)

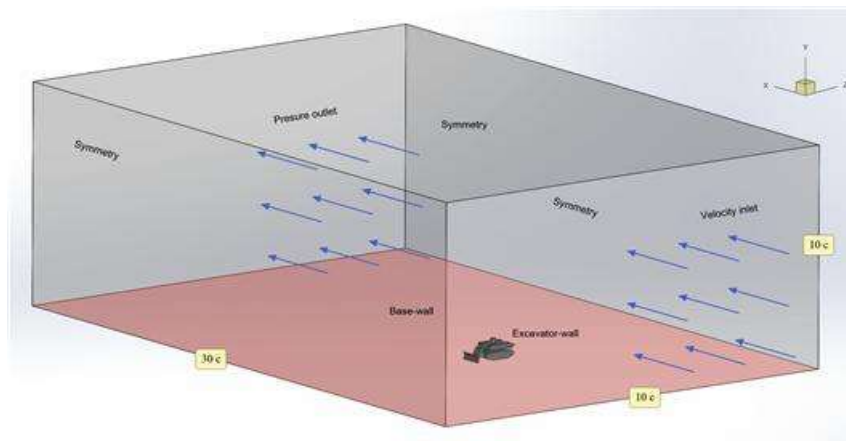


그림 2.4.13 경계조건

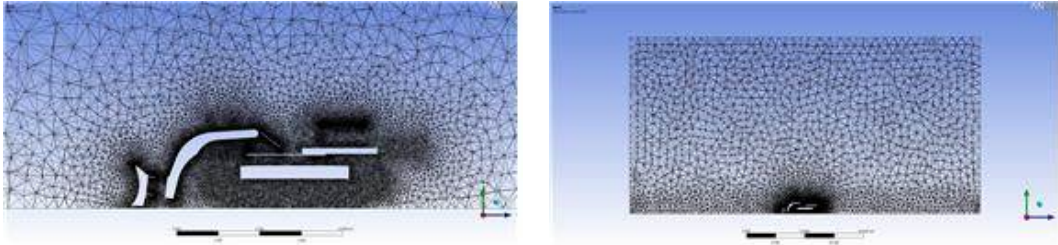


그림 2.4.14 유체 격자 시스템 (좌: 전체, 우: 줌인)

- 유체 격자은 다음의 기준으로 생성되었다.
 - Global min size: 0.005m
 - Global grow rate: 1.2
 - Vehicle face size: 0.03m
 - Fluid bottom face size: 0.75m
 - 위의 조건에서 생성된 유체격자에서 셀의 개수는 10,359,826이다.
 - 성긴 격자와 세밀 격자의 경우 비교를 통해 격자의 수렴성을 확인하였다.
- 구조해석 정의는 다음과 같다.
 - 외력은 CFD 해석에서 계산된 압력 데이터를 이용한다. 그림 2.4.15는 CFD 압력 데이터를 구조 격자에 맞추어 변환된 예를 보여준다.
 - 굴삭기의 트랙의 밑면은 고정된 것으로 가정한다.
- 구조격자는 다음의 기준으로 자동으로 생성되었다.
 - 전체 구조격자 크기를 0.05m로 주었으며 트랙 부분의 면에 국부적으로 0.05m로 주어 격자 크기를 비슷한 수준으로 자동생성하였다.
 - ANSYS 셀 요소가 이용되었으며 개수는 421,540이고 절점 개수는 647,504이다.

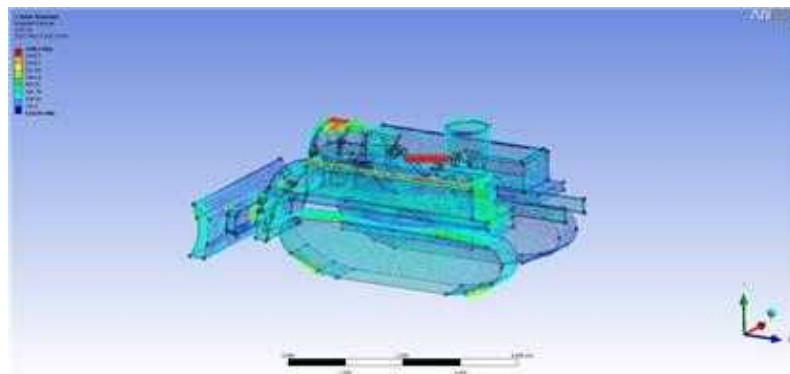


그림 2.4.15 CFD의 산정 외력 및 경계조건

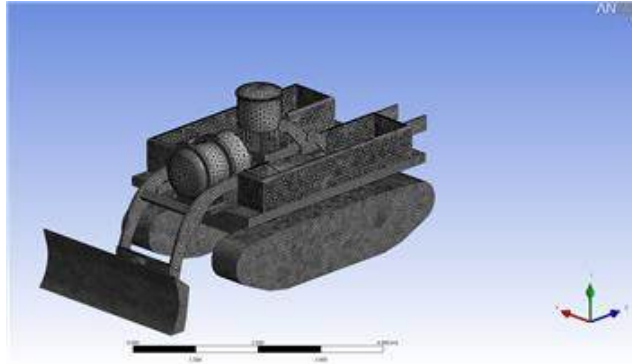


그림 2.4.16 구조격자

○ 형상 변경에 의한 영향 연구

- 블레이드 최고 위치: 최저 위치 기준으로 블레이드가 33도 정도 회전하게 된다.

(2) 수치실험결과 및 고찰

○ CFD 해석을 통한 결과

- 최대 압축 압력은 조류를 받는 면 중앙에서 나타났으며, 그 값은 683Pa이다.
- 최대 인장 압력은 조류를 받는 면 상부 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 1.81KPa이다.
- 최대 속도는 조류를 받는 면 상부 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 1.91m/s로 2배 정도 가속되는 것을 확인할 수 있다.

○ 구조해석 결과

- 상대적으로 높은 응력은 굴삭기 상부 구조와 블레이드에서 조류를 받는 면에서 나타났으며, 최대 응력 역시 상부 구조 오른쪽 위 가장자리에서 나타났다. 그 값은 12.4 MPa로 steel(ASM A36)의 항복응력 250 Mpa에 비해 1/20.2 정도 작아 구조적으로 안정하다 판단된다.
- 최대 변위는 예상대로 상부 뒤쪽 센서 장착 부분에서 나타났으며, 그 값은 3.0mm로 허용할 수 있는 수준으로 판단된다.

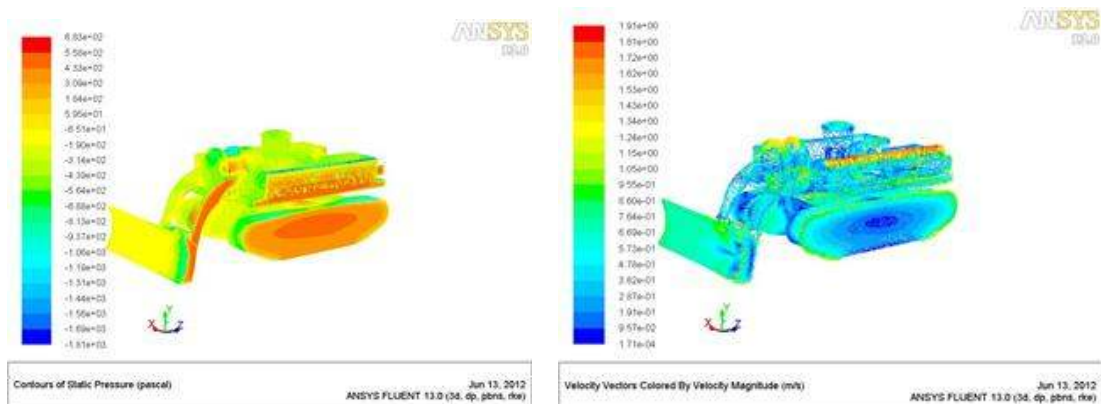


그림 2.4.17 압력과 속도분포

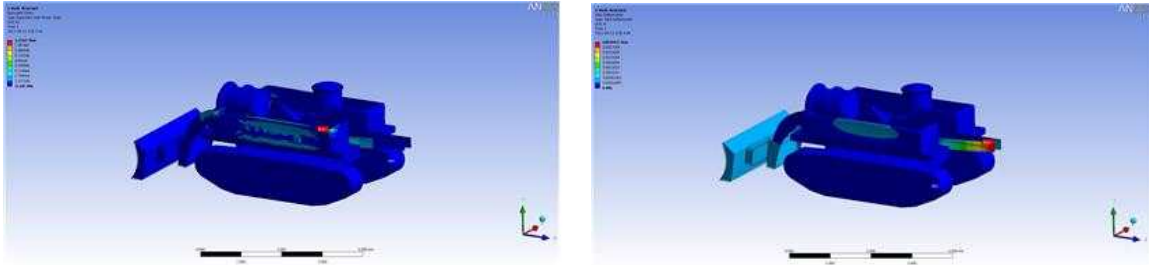


그림 2.4.18 응력과 변위 분포

○ 전복 및 밀림 가능성 해석

- 굴삭기의 트랙 바닥면이 고정된 조건에서 바닥 중앙면의 반력과 모멘트 반력을 계산하여 아래 그림에 도식하였다.
- 전복을 판단하는 rolling 모멘트는 z축 방향의 모멘트로 조류 방향의 반대쪽 트랙의 바깥쪽 가장자리에서 다음과 같이 계산된다.

$$M_{rolling} = M_z + (w/2) \cdot F_y = 4942.3 + 2167 \cdot 1.3 = 7.76 \times 10^3 N \cdot m = 0.8 tonf \cdot m$$

여기서 w 는 굴삭기 하부구조의 너비이다.

수중 무게가 15톤 이상으로 예측되며 이 때 저항 모멘트가 19.5 $tonf \cdot m$ 이상으로써 1m/s 조류 조건에서는 전복 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

- z, x 축 방향의 힘은 각각 4.9, 432.9 kgf 이며 15톤 기준 정지마찰계수 0.5 가정하의 밀림 저항력인 7.5 tonf 보다 매우 작으므로 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

○ 형상변경에 대한 영향

- 블레이드가 최상위에 있는 경우 최하위의 경우에 비해 모든 방향이 힘이 감소하였고 그로 인해 전체 힘이 8.7% 정도 감소하는 것을 확인하였다
- 형상에 따라 변화 폭은 크지 않으므로 전복이나 밀림 가능성은 적은 것으로 판단된다.

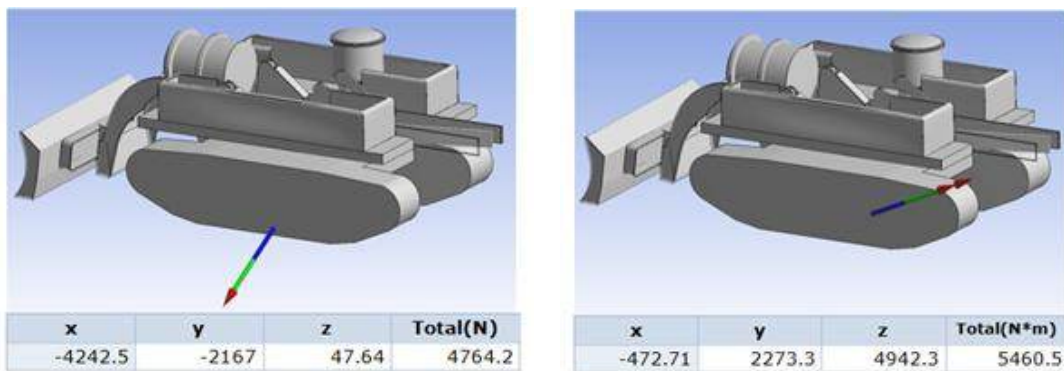


그림 2.4.19 반력과 모멘트 반력

표 2.4.2 형상 변경에 따른 유체력 영향

FORCE	X	Y	Z	TOTAL FORCE(N)
Low position of blade	4612.8	2152.7	-71.38	5090.9
Upper position of blade	4392.2	1621.3	5.51	4681.9

* 그림 2.4.19에서의 구조해석의 반력과 유체력의 차이는 7%로 이하임.

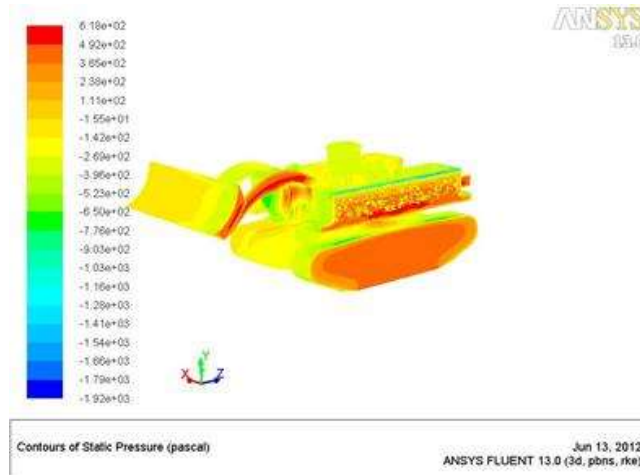


그림 2.4.20 블레이드가 최상위에 있는 경우 압력 분포

2.4.4 요약

- 당해연도 개발 중인 사석 고르기 및 굴삭 장비의 설계안에 대해 조류에 의한 전복, 밀림 가능성과 함께, 구조적 안전성을 보기 위해 두 가지 모형에 대해 수치해석을 수행하였다.
- 조류 영향에 대한 외력 산정은 CFD 해석을 통해 진행하였고 전복, 밀림 가능성과 구조적 안전성은 산정된 외력에 대해서 구조해석을 수행하였다.
 - 두 가지 모형과 각각의 형상 변경 경우들에 대해서 전복 및 밀림 가능성은 낮은 것으로 판단된다.
 - 두 가지 모형의 구조해석 결과 steel(ASTM A36) 계통의 재료를 사용하는 경우 구조 안전성을 확인하였다.
- 해석에 앞서 CAD 모형은 CFD 해석을 위해 단순화 되었으며, CFD 격자와 구조 격자의 불일치성에 의한 오차가 존재한다.
 - 각 CAD 모형에서 세부적인 형상을 곡선화 하였고, 영향이 클 것으로 예상되는 부분들은 그대로 두었다. 단순화에 의한 오차 범위는 정량화하기에는 어려움이 있으나 전체 해석의 경향성을 보기에는 무리가 없어 보인다.
 - CFD와 구조 격자 불일치성에 의한 오차는 7% 이하로 나타났다.
- 본 장에서 수행된 수치해석의 결과로 미루어 보면 진행 중인 설계안에 대한 구조 안전성은 물론 전복 및 밀림에 대한 안전성도 높은 것으로 판단된다.

2.5 구동용 전용 제어시스템 개발

2.5.1 구동용 제어기

구동용 제어기는 많은 센서 입력과 출력을 필요로 하고 복잡한 제어 알고리즘을 수행하기 위해 고성능의 프로세서가 요구됨. 그러므로 산업용 범용 제어기를 적용할 경우 적용이 제한적이고 프로그램 개발이 어려움. 따라서 전용 제어기 개발이 필요함. 구동용 제어기의 주요 기능은 다음과 같음.

- ① 통신 시스템(Serial COMM.) : 운영실의 구동 및 제어신호를 통신으로 수신하고 장비의 각종 센서 및 제어 정보를 운영실에 전송
- ② 아날로그 출력(DAC) : 주행 모터, 유압 실린더 등의 액추에이터 구동을 위한 서보제어
- ③ 아날로그 입력(ADC) : 온도센서, 압력센서, 유위 센서, MTS 등의 센서 정보 입력
- ④ 디지털 출력(DO) : 수중 조명, 유압 밸브등의 On/Off 제어
- ⑤ 디지털 입력(DI) : 각 방수케이스의 누수 감지를 위한 누수센서 입력
- ⑥ 프로세서(CPU) : 제어 알고리즘 및 연산 수행

(1) 설계

- 2차년도 장비에서 제어기외의 제어관련 장치들의 기능을 포함하도록 설계
- 제어기와 결선되는 장치와의 배선의 간결성·용이성을 위해 커넥터로 설계
- 구동용 제어기의 주요 사양은 표 2.5.1과 같음

1) 프로세서부

- 프로세서부의 CPU는 TMS320F28335를 사용
- 장비의 서보/시퀀스 제어등의 제어알고리즘을 위한 산술/논리 연산등 수행
- 150MHz 클럭으로 제어루프를 50Hz 이상으로 수행할 수 있는 성능
- 프로세서부의 회로는 그림 2.5.1와 같음

표 2.5.1 제어기 주요 사양

항목	사양
CPU	TMS320F28335 <ul style="list-style-type: none"> • 32-Bit High Performance CPU • Floating-Point Operations
ADC	<ul style="list-style-type: none"> • Input Range : 0 ~ ±10V or 0~20mA • Resolution : 14 bits • Channel Number : 24Ch
DAC	<ul style="list-style-type: none"> • Output Range : 0 ~ ±10V or 0~20mA(Dip S/W 선택형) • Resolution : 12 bits • Channel Number : 24Ch
Digital Input	<ul style="list-style-type: none"> • Port Number : 16 Ports • Photo-coupler Isolation
Digital Output	<ul style="list-style-type: none"> • Port Number : 32 Ports
Communications	<ul style="list-style-type: none"> • SERIAL : RS-232 1ports & RS-422 1ports

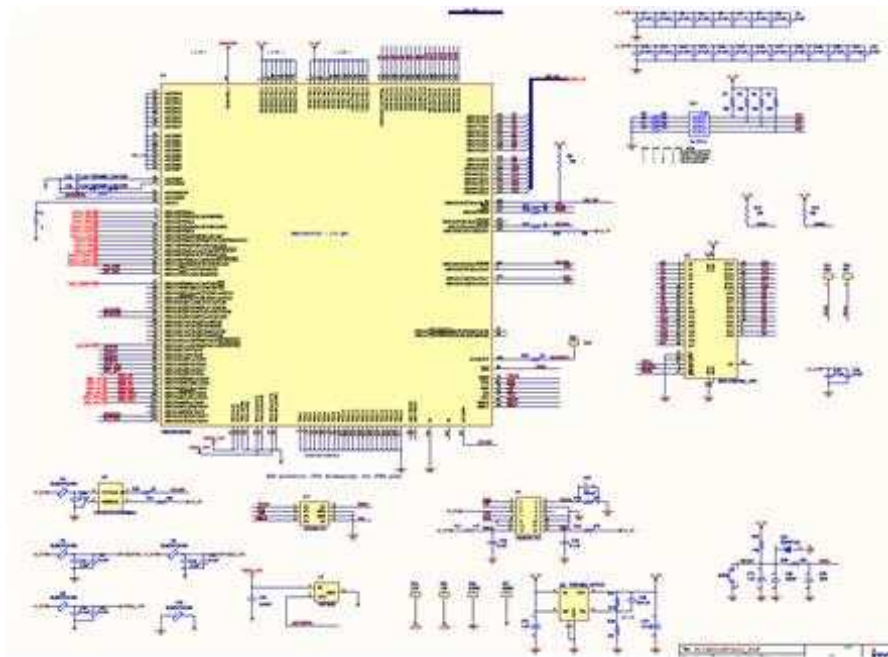


그림 2.5.1 프로세서부 회로

2) ADC

- ADC는 온도센서, 유위센서, 압력센서 등의 아날로그 신호를 디지털화 함
- 전류출력형과 전압출력형을 공용으로 사용할 수 있음
- 14bit 분해능을 가지는 24채널로 구성
- ADC 회로는 그림 2.5.2와 같음

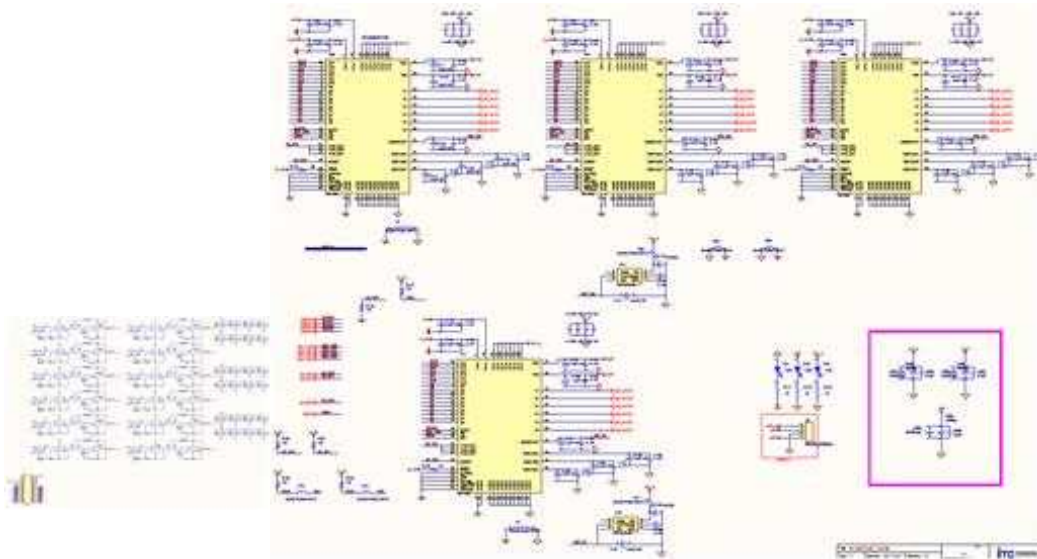


그림 2.5.2 ADC 회로

3) DAC

- DAC는 제어 알고리즘에 의해 계산된 디지털 값을 아날로그 전압/전류로 출력
- 출력된 아날로그 전압은 유압밸브 구동을 위한 앰프 동작
- 전류출력형 앰프와 전압출력형 앰프를 공용으로 사용할 수 있도록 선택 스위치가 있음
- 12bit 분해능을 가지는 24채널로 구성하여 12개의 액추에이터를 정/역 구동 가능
- DAC 회로는 그림 2.5.3와 같음

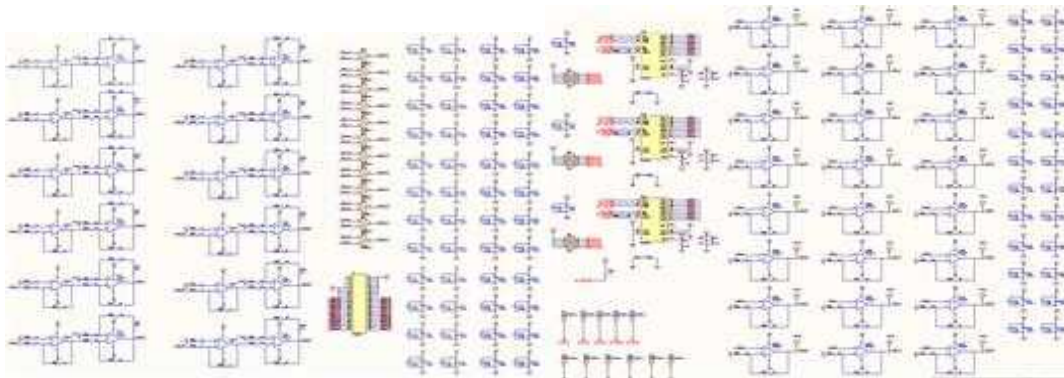


그림 2.5.3 DAC 회로

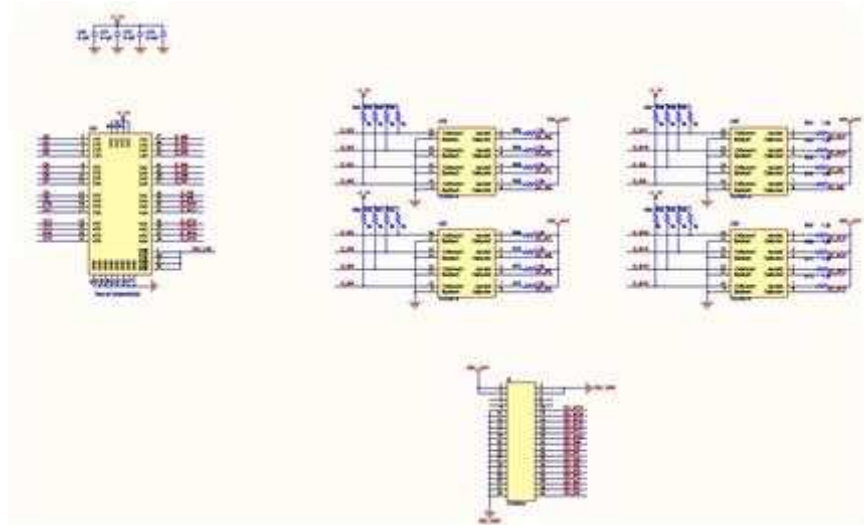


그림 2.5.4 DI 회로

4) DI

- DI는 리크센서, 근접센서 등의 On/Off 출력형 센서 신호를 입력 받음
- 포토커플러를 이용하여 센서와의 전기적 절연을 하였음
- 16채널로 구성
- DI 회로는 그림 2.5.4와 같음

5) DO

- DO는 구동용 제어기의 시퀀스 제어 신호를 On/Off의 아날로그 전압 출력
- 출력된 전압은 릴레이를 구동하여 유압 솔레노이드 밸브, 조명등을 구동함
- 32채널로 구성
- DO 회로는 그림 2.5.5와 같음

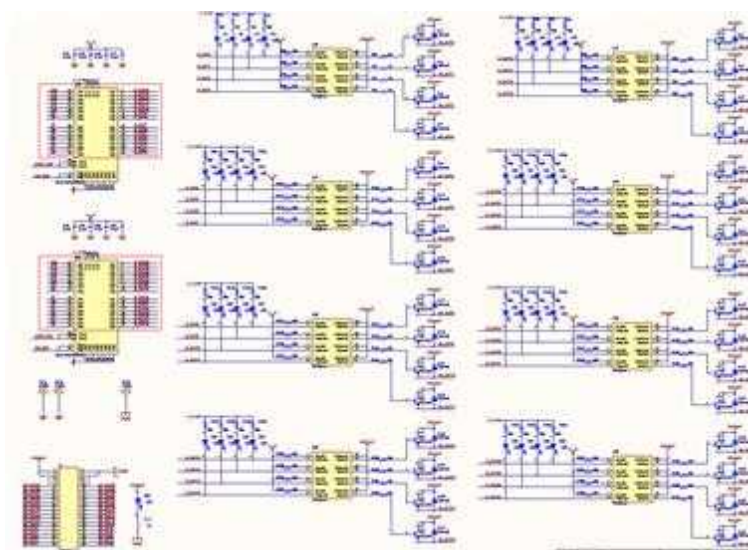


그림 2.5.5 DO 회로

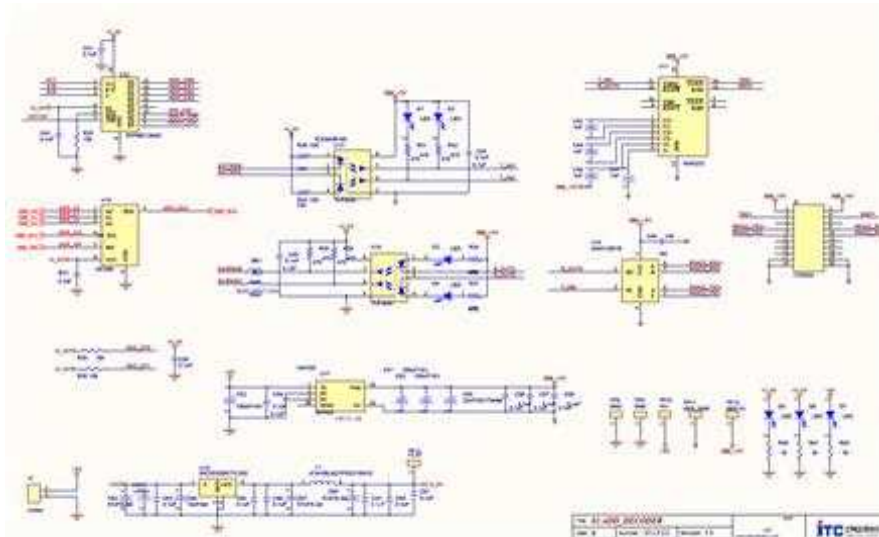


그림 2.5.6 통신 회로

6) 통신

- 통신부는 장거리 직렬 통신을 위한 RS-422 1채널, 근거리 직렬 통신을 위한 RS-232 1채널로 구성
- RS-422은 운영실과 통신을 하며 운영실의 구동 및 제어 명령을 입력 받고 고르기 장비의 주요 센서값들을 운영실에 전송 함
- 통신회로는 그림 2.5.6와 같음

(2) 제작

- 구동용 제어기를 그림 2.5.7과 같이 제작함



그림 2.5.7 구동용 제어기



그림 2.5.8 방수케이스에 설치된 구동용 제어기

- 구동용 제어기를 그림 2.5.8과 같이 배선 및 방수케이스에 설치함
- 설치된 주요 장치는 다음과 같음
 - 제어기, 센서, 유압 밸브 앰프등의 DC 전원 공급을 위한 SMPS ----- ①
 - 유체의 온도에 따라 저항값이 변하는 열전대 센서값을 제어기가 ADC할 수 있도록 하는 드라이버 ----- ②
 - 구동용 제어기----- ③
 - 외부 장치와 구동용 제어기의 결선을 위한 단자대 ----- ④

2.5.2 전기 시스템

(1) 전원 장치

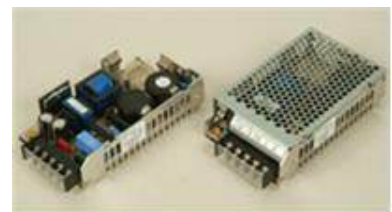
- 육상의 발전기의 440VAC 전원은 전동기를 제외한 전기장치의 전원을 공급하기 위해 고르기 장비의 구동 판넬에 설치된 트랜스포머에 의해 220VAC로 변환됨
- 각 제어장치가 필요로 하는 24VDC, 15VDC, 12VDC, 5VDC 등으로 변환하기 위해 그림 2.5.9와 같이 SMPS를 제어기 판넬에 설치함.
- 24VDC 변환용 SMPS는 유압밸브 및 조명등의 전원을 공급하며 각 장치의 소모 전류 20A보다 여유를 두어 25A용량을 사용
- 15VDC, 12VDC, 5VDC 변환용 SMPS는 제어기의 전원 및 온/습도 센서등에 사용 됨



(a)ESF600-24



(b)VSF50-EEW



(c)CSF75-BDW

그림 2.5.9 제어장치 전원 공급을 위한 SMPS

(2) 유압밸브 제어용 장치

1) 파일럿 밸브

- MCV의 파일럿 압력을 생성하는 파일럿 밸브의 앰프는 Sun Hydraulics사의 790-2B24A모델로 그림 2.5.10과 같음
- 앰프는 제어기에서 출력하는 4~20mA의 제어신호를 입력받아 파일럿 밸브를 구동하기 위한 0~600mA 로 전류를 증폭함. 주요 사양은 표 2.5.2와 같음



그림 2.5.10 파일럿 밸브 제어를 위한 앰프

표 2.5.2 790-2B24A 주요 사양

항목	사양
Output Current	600 mA
Analog Input Impedance	250 ohms
Analog Input Range	0-20 mA
Dither Settings	Off, 80-300 Hz, in 20 Hz increments
Ramp Time	0-120.0 s, 0.5 s increments
Supply Current	I(sol) + 20mA
Voltage/Frequency	24 VDC
Supply Voltage	Equals coil voltage within +/-10%
Operating Temperature	Range -4 - 158 °F -20 - 70 °C
Connector	ISO/DIN 43650A, Form A



그림 2.5.11 블레이드 구동용 프로포셔널 밸브

2) 프로포셔널 밸브

- 블레이드의 가변속도 제어를 위한 프로포셔널 밸브는 그림 2.5.11과 같으며 앰프를 내장하고 있음
- 제어기에서 출력하는 0~10V의 제어신호를 입력받아 블레이드의 1번축과 2번축을 구동함
- 프로포셔널 밸브의 주요 사양은 표 2.5.3과 같음

표 2.5.3 프로포셔널 밸브 Amp. 주요 사양

항목	사양
Supply voltage	24 VDC tolerance: 22...36 VDC
Preset value input	0...+10 VDC (0...+ 8 VDC)
Input resistance	≥ 100 KOhm
Stabilized output voltage	10 VDC, max. load 2 mA
Dither	frequency adjustable 60...250 Hz
No load-power	24 VDC: 0,3 W
Solenoid current	<ul style="list-style-type: none"> • min. current Imin adjustable 30..400 mA • works setting 150 mA • max. current Imax adjustable Imin..1200 mA • works setting 700 mA



그림 2.5.12 블레이드 좌/우 틸팅용 솔레노이드 밸브

3) 솔레노이드 밸브

- 블레이드의 좌/우 틸팅 운동을 제어하기 위한 방향전환밸브(솔레노이드 밸브)는 그림 2.5.12와 같음
- 제어기의 DO에서 출력하는 On/Off 신호에 따라 릴레이(전자접촉기)가 동작하고 솔레노이드 밸브에 구동 신호를 생성함.

(3) 센서류

1) MTS 센서

- MTS 센서는 마그네틱 변위 센서로 전기펄스를 발신하여 마그넷까지 반사되어 수신된 시간을 측정하여 유압 실린더의 길이측정에 사용
- MTS 센서는 블레이드의 1번축, 2번축, 3번축에 각각 설치되어 실린더의 길이를 측정하여 블레이드의 자세제어에 사용됨
- 그림 2.5.13은 이러한 MTS 센서를 구동하기 위한 센서 제어기



그림 2.5.13 MTS 센서 제어기



그림 2.5.14 오일탱크 공기압력 측정을 위한 압력센서

2) 압력센서

- 압력 센서는 -1bar~9bar 까지의 압력을 4~20mA의 아날로그 전류로 변환함
- 오일탱크 내부 공기층 압력이 높아지면 유압 밸브류의 동작이 원활하지 못하므로 이를 감시하기 위해 그림 2.5.14와 같이 압력센서를 설치함
- 제어기는 센서출력 전류로부터 오일탱크 내부 압력을 계산하고 압력이 적정값 이상이 될 경우 장비 구동을 정지시킴

3) 유위 센서

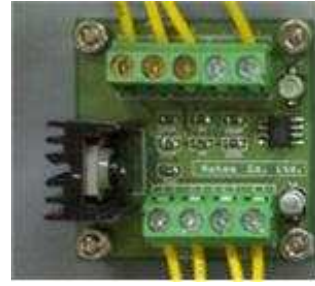
- 유위 센서 중심부에는 플로트가 있어 오일탱크 내부 오일의 유면 높이에 따라 상하로 움직임
- 플로트의 높이에 따라 4~20mA의 아날로그 전류를 출력하며 제어기는 이 전류값으로부터 유위를 산출함
- 그림 2.5.15는 사용된 유위센서이며 유위가 적정수준 이하로 내려갈 경우 오일의 누유가 있음을 판별할 수 있음



그림 2.5.15 유위 센서



(a) 열전대 센서 PT1000



(b) 온도 드라이버

그림 2.5.16 유체 온도 측정 센서

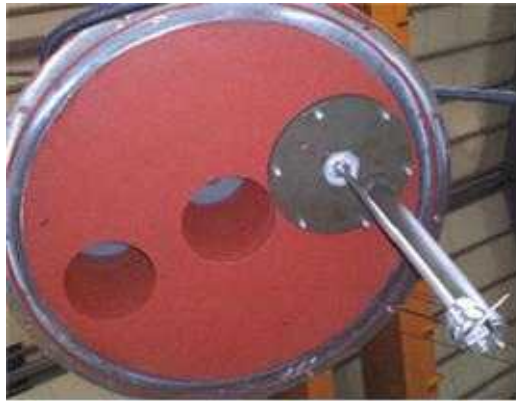


그림 2.5.17 오일탱크에 설치된 센서

4) 열전대 센서

- 열전대 센서는 온도에 따라 저항값이 변함으로 유체의 온도를 알 수 있음
- 오일탱크 내부 유체에 담기도록 설치되며 자작한 드라이버에 의해 0~10V의 전압을 생성하여 제어기는 이 전압으로부터 유체의 온도를 계산함
- 그림 2.5.16(a)은 사용된 열전대 센서 PT1000이며 그림 2.5.16(b)는 온도 드라이버 임. 유체의 온도는 정상 운전시에 약 80℃이며 이 이상으로 온도가 올라갈 경우 유압 장치의 고장등을 생각할 수 있음
- 그림. 2.5.17은 오일탱크에 2)온도센서 3)유위센서 4)열전대센서가 설치된 모습임

5) 온/습도 센서

- 온/습도 센서는 각 방수케이스 내부에 설치하여 방수케이스 내부장치의 발열, 온도변화에 따른 결로현상 등을 판단함
- 그림 2.5.18은 사용된 온/습도 센서이며 전원은 5VDC, 출력은 0~5VDC 임
- 온/습도 센서의 주요 사양은 다음과 같음
 - 전원(V_s) : 3.0~5.5V
 - 출력(V_{out}) : 0.5~4.5V
 - 상대습도 $RH = ((V_{out} - (0.1 \times V_s)) / (0.8 \times V_s)) * 100$
 - 온도(도씨) $TC = ((V_{out} - (0.1 \times V_s)) / (0.8 \times V_s)) * 200 - 50$



그림 2.5.18 온/습도 센서

6) 리크센서

- 수중 장비에 있어 가장 중요한 부분중 하나가 방수이며 이러한 방수가 제대로 되지 않을 경우 전기 장치가 파손 될 수 있음
- 리크센서는 적외선을 이용하여 물의 유무를 On/Off 신호로 출력하여 방수케이스 내부 누수를 감지함
- 그림 2.5.19는 사용된 리크센서이며 각 방수케이스 바닥면에 설치함



그림 2.5.19 리크센서



(a)전동기 방수케이스



(b)파일럿밸브 방수케이스



(c)솔밸브 방수케이스



(d)구동판넬 방수케이스



(e)제어기 방수케이스



(f)슬립링 방수케이스

그림 2.5.20 방수 케이스에 설치된 리크센서

- 그림 2.5.20은 각 방수케이스에 설치된 리크센서 임.

(4) 조명

- 수중은 태양광이 잘 투과하지 못하므로 블레이드에 의한 고르기 작업 영상을 카메라로 획득하기 위해서는 조명이 필수임
- 그림 2.5.21은 사용된 조명으로 LED를 이용하여 소모전류를 낮추고 조도를 높임
- 수중 조명의 주요 사양은 표 2.5.4 와 같음



그림 2.5.21 수중 조명

표 2.5.4 수중 조명 주요 사양

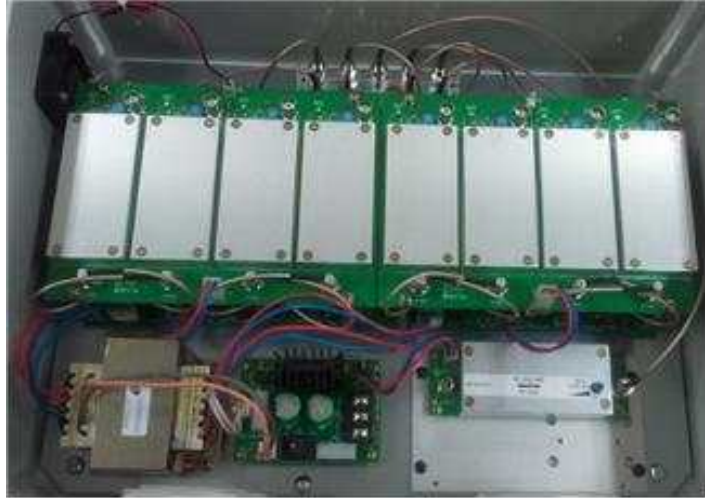
항목	사양
전원	24VDC 72W
색상	백색
렌즈	45도
케이스 재질	알루미늄
방수 방법	유리 덮개 : 씰 케이블 : 글랜드

(5) 영상

- 수중 카메라는 작업 장면을 직관적으로 볼 수 있으며 그림 2.5.22 와 같이 방수를 하여 제작
- 카메라는 블레이드 작업부, 장비 정면, 장비 후면, 슬립링부에 각각 설치
- 카메라의 개수가 많아지면 육상까지 영상을 전송하기 위한 배선이 많아지며 복잡해 지므로 그림 2.5.23과 같이 영상 모듈레이터/디모듈레이터를 사용
- 모듈레이터는 최대 8개의 카메라 영상을 입력받아 이를 하나의 RF신호로 변환하여 육상에 설치된 디모듈레이터까지 2가닥의 영상 신호만 필요
- 디모듈레이터는 모듈레이터의 반대 기능을 하며 모듈레이터에서 전송되어 온 RF영상 신호를 일반 모니터에서 카메라 영상을 볼 수 있도록 각 영상을 분리 함



그림 2.5.22 수중 카메라



(a)모듈레이터



(b)디모듈레이터

그림 2.5.23 영상 장치

(6) 전기 시스템 구성

- 전기 시스템의 구성은 그림 2.5.24와 같이 같음
- 육상 발전기는 운전실 및 고르기 장비의 전원 공급
- 운전실의 조종패널 신호는 통신으로, 영상신호는 동축케이블로 전달됨
- 케이블릴에 의해 육상의 전력, 통신, 영상이 수중의 고르기 장비의 슬립링과 연결됨
- 고르기 장비는 상부가 회전운동을 하므로 케이블의 꼬임을 방지하기 위해 슬립링이 있음

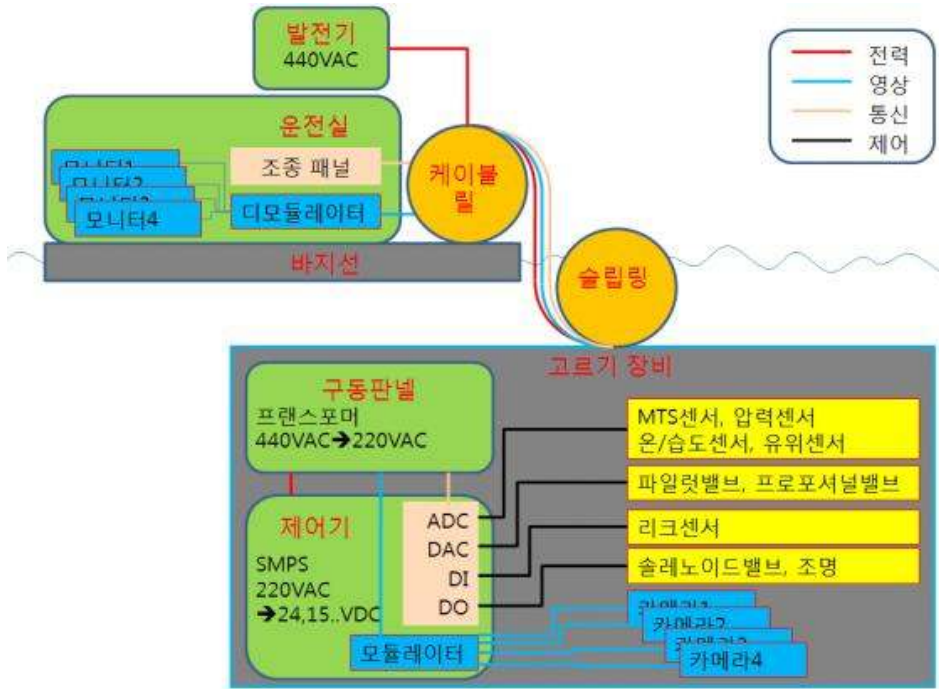


그림 2.5.24 전기시스템 구성

2.5.3 제어 시스템

- 제어 시스템의 구성은 그림 2.5.25와 같이 크게 직진유지 제어와 블레이드 자세 제어 임
- 직진 유지 제어는 고르기 작업시 장비의 주행이 작업면에 대해 항상 나란하게 되도록 함
- MCV에서 좌/우 주행 모터의 유량이 동일하도록 제어를 유압적으로 하지만 지형의 경사, 높낮이 및 주행 부하 등에 의해 직진이 유지되지 못함
- 직진 유지 제어를 Set한 시점의 모션센서 Heading 값이 제어의 Target이 되며 주행 시 좌/우 주행 모터를 PID 제어 함
- 블레이드는 장비의 형상, 지형 조건에 상관없이 항상 작업면과 나란하게 유지되어야 함
- MTS 센서를 이용하여 블레이드의 기구학 해석을 하면 작업면에 대한 블레이드 바닥면의 자세를 계산할 수 있음
- (블레이드 Yaw 자세 - 모션 센서에 의한 장비의 Yaw 자세) = 0 이 되도록 PID 제어를 통해 블레이드의 상/하 틸팅을 구동 함

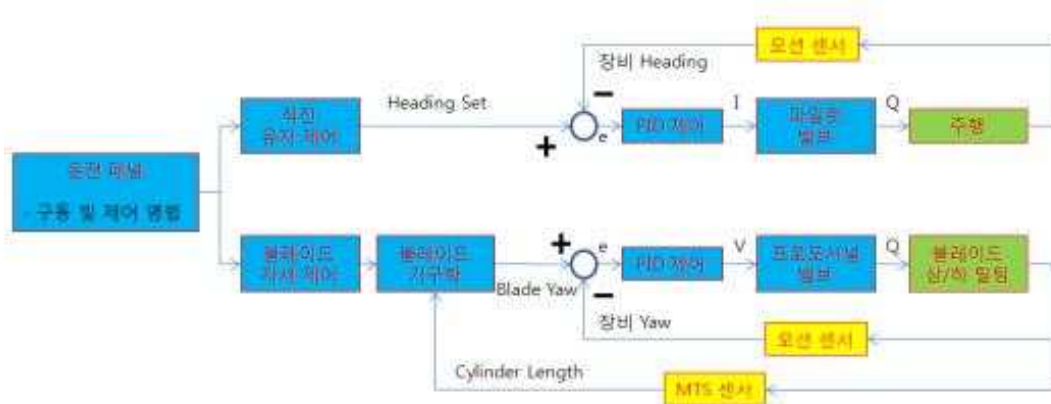


그림 2.5.25 제어시스템 구성

2.5.4 통신 시스템

(1) 통신 시스템 구성

- 통신 시스템은 그림 2.5.26와 같이 구성되며 제어기와 중계 PC의 통신 부하를 줄이기 위해 산업용 PLC를 사용하였음
- 운전실 조종패널 - 운전실 PLC - 케이블릴 - 전동기 구동 PLC - 제어기로 제어 명령 및 장비의 센서값들이 전달 됨
- 운전실 PLC는 Ref. Depth 센서와 Accura, 중계 PC와 통신함
- 전동기 구동 PLC는 모션센서, Eq. Depth 센서, Altimeter와 통신함
- 중계 PC는 운전실 PLC, LBL PC로부터 수신한 장비의 위치, 자세, 수심등의 값들을 Hi-Pack, Hi-Sweep 으로 전송 함

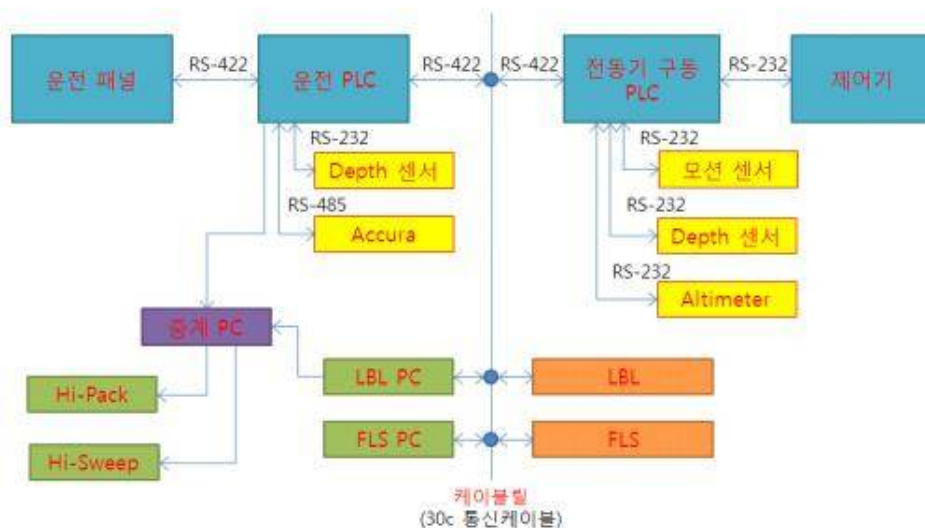


그림 2.5.26 통신시스템 구성

(2) 통신 프로토콜

1) 운전실 패널 ↔ 운전실 PLC

- 운전실 패널과 운전실 PLC 간의 통신 설정은 표 2.5.5와 같음
- 운전실 패널이 운전실 PLC로 송신하는 프로토콜은 표 2.5.6와 같음

표 2.5.5 통신 설정

항목	값
통신 형태	RS-422
통신 속도	115200bit/s
데이터 비트	8
패리티	None
스톱 비트	1
통신 주기	10Hz
송신 크기	25Byte
수신 크기	57Byte

표 2.5.6 송신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Travel				Swing		Arm1	
Value	'S'	'T'	forward	backward	left	right	CW	CCW	up	down

Byte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Description	Arm2		Bucket		Blade					
Value	open	close	open	close	up	down	Left tilt	Right tilt	Up tilt	Down tilt

Byte	21	22	23	24	25
Description	command	light	spare1	spare2	checksum
Value	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00

표 2.5.7 수신 프로토콜

Byte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Description	Header		Depth		Angle Data					
Value	'S'	'T'	MSB	LSB	Roll MSB	Roll LSB	Pitch MSB	Pitch LSB	Yaw MSB	Yaw LSB

Byte	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Description	Swiveling Angle		Ang_A(Arm1)		Ang_B(Arm2)		Ang_C(Arm3)		Blade Ang1	
Value	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Byte	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Description	Blade Ang2		Blade Ang3		Oil Tank Level		Oil Tank Temperature		Oil Tank Pressure	
Value	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Byte	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Description	Controller Temp.		Controller Humidity		Motor Panel Temp.		Motor Panel Humidity		Motor Case Temp.	
Value	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Byte	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Description	Motor Case Humidity		Pump#1 Pressure		Pump#2 Pressure		Leak Sensor	Command	Accura Voltage	
Value	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	0x00	0x00	MSB	LSB

Byte	51	52	53	54	55	56	57
Description	Accura Current		spare1	spare2	Spare3	Spare4	checksum
Value	MSB	LSB	0x00	0x00	0x00	0x00	0x00

- 운전실 패널이 운전실 PLC로 부터 수신하는 프로토콜은 표 2.5.7와 같음

2) 중계 PC → Hi-Pack

- Protocol
 - 통신 : TCP/IP, 통신 주기 5Hz
 - Server : 중계 PC, Client : Hi-Pack
- TCP/IP 접속 방법
 - 다이렉트 케이블을 두 PC간 연결
 - IP 설정
 - 중계 프로그램 PC : 192.168.1.1
 - HI-Pack PC : 192.168.1.2
 - Port 설정 : 2000
- 송신 Data는 표 2.5.8과 같음

표 2.5.8 프로토콜

Order	Description	Value
1	HEADER	'ST'
2	Space	
3	LBL X Data	UTM 좌표계 X(East) 예: 463156.089
4	Space	
5	LBL Y Data	UTM 좌표계 Y(North) 예 : 3876929.120
6	Space	
7	Depth Data	표현 : 0.00 ~ 99.99 [m]
14	Space	
15	Carriage Return	CR [0x0d]
16	Line Feed	LF [0x0a]

3) 중계 PC → Hi-Sweep(1)

- 통신 : RS232C, Baud rate - 115200, 통신 주기 10Hz
- 송신 Data Protocol Format (ASCII 코드)
 - \$SDRSW,cc,xx.xx,xx.xx,xx.xx,xx.xx,xx.xx,xx.xx,xx.xx,f[CR][LF]
 - Altimeter의 값은 XX.XX[m] 로 표현
- 프로토콜은 표 2.5.9와 같음

4) 중계 PC → Hi-Sweep(2)

- 통신 : RS232C, Baud rate - 115200, 통신 주기 10Hz
- 프로토콜은 표 2.5.10와 같음

표 2.5.9 프로토콜

Order	Description	Value
1	HEADER	'\$SDRSW'
2	Delimiter	','
3	Channel Count	'8'
4	Delimiter	','
5	Altimeter #1	XX.XX [m]
6	Delimiter	','
7	Altimeter #2	XX.XX [m]
8	Delimiter	','
9	Altimeter #3	XX.XX [m]
10	Delimiter	','
11	Altimeter #4	XX.XX [m]
12	Delimiter	','
13	Altimeter #5	XX.XX [m]
14	Delimiter	','
15	Altimeter #6	XX.XX [m]
16	Delimiter	','
17	Altimeter #7	XX.XX [m]
18	Delimiter	','
19	Altimeter #8	XX.XX [m]
20	Delimiter	','
21	Unit	'M'
22	Carriage Return	CR [0x0d]
23	Line Feed	LF [0x0a]

표 2.5.10 프로토콜

Order	Description	Value
1	HEADER	'ST'
2	Motion Sensor (Roll)	표현 : -180.00 ~ +180.00 [도]
3	Space	
4	Motion Sensor (Pitch)	표현 : -180.00 ~ +180.00 [도]
5	Space	
6	Motion Sensor (Yaw)	표현 : -180.00 ~ +180.00 [도]
7	Space	
8	Carriage Return	CR [0x0d]
9	Line Feed	LF [0x0a]

2.5.5 Altimeter

- Altimeter는 그림 2.5.27과 같이 장비의 후방에 설치하여 블레이드에 의한 작업면의 고도를 측정함
- 측정값을 Hi-Sweep에 전송하여 작업 결과를 3D 이미지화 함



그림 2.5.27 Altimeter

(1) 초음파 센서

- Altimeter에 사용된 초음파 센서는 그림 2.5.28이며 주요 사양은 표 2.5.11과 같음



그림 2.5.28 초음파 센서(200LM450)

표 2.5.11 초음파 센서 주요 사양

항목	사양
Center Frequency	200±10.0Khz
Bandwidth (FOM -6dB)	25Khz
Transmitting Sound Pressure Level	160dB min.
Receiving Sensitivity	0dB = 1 volt/μPa -180dB min.
Submerged Impedance (Ohm)	200
Capacitance at 1Khz ±20%	2000 pF
Input Power (Pulse Drive)	50 Watts
Total Beam Angle -6dB	20°
Total Beam Angle -6dB	20°

(2) 초음파 구동드라이버

- 초음파 센서를 구동하고 수신된 echo파형을 검출하여 거리를 계산하기 위한 초음파 구동 드라이버를 그림 2.5.29와 같이 제작하였음
- 총 16채널의 초음파 센서를 구동할 수 있음
- 그림 2.5.30는 방수케이스에 설치된 초음파 센서와 구동 드라이버임

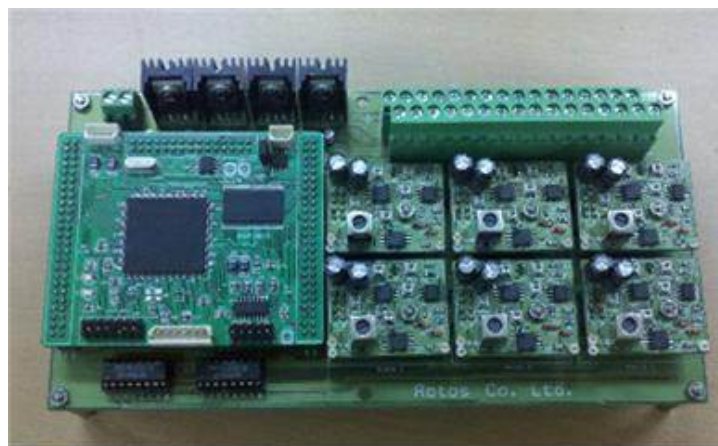


그림 2.5.29 초음파 구동 드라이버



그림 2.5.30 방수케이스에 설치된 Altimeter

(3) 모의 실험

- Altimeter의 측정된 고도로부터 지형을 모델링하기 위해 그림 2.5.31과 같이 2[m]X3[m]의 수조에서 모의 실험을 하였음.
- 바닥 지형을 모델링하기 위해 그림 2.5.32와 같이 모니터링 프로그램을 VC++을 이용하여 개발. 프로그램은 1)통신 설정 2)데이터 저장 3)송/수신 데이터 출력 4)거리 정보 출력 5)거리 그래프 6)지형 그래프로 구성되며 RS232 직렬통신을 함

- 통신 설정 - 통신 포트, 보레이트 등의 통신 설정
- 데이터 저장 - 각 센서의 거리정보를 실시간으로 저장
- 송/수신 데이터 출력 - 통신으로 수신된 raw data 를 화면에 출력
- 거리 정보 출력 - 수신된 각 센서의 T.O.F 로부터 거리를 계산하여 화면에 출력
- 거리 그래프 - 각 센서의 거리 정보를 그래프로 표현
- 지형 그래프 - 거리 정보로부터 바닥 지형 모델링



그림 2.5.31 실험 수조

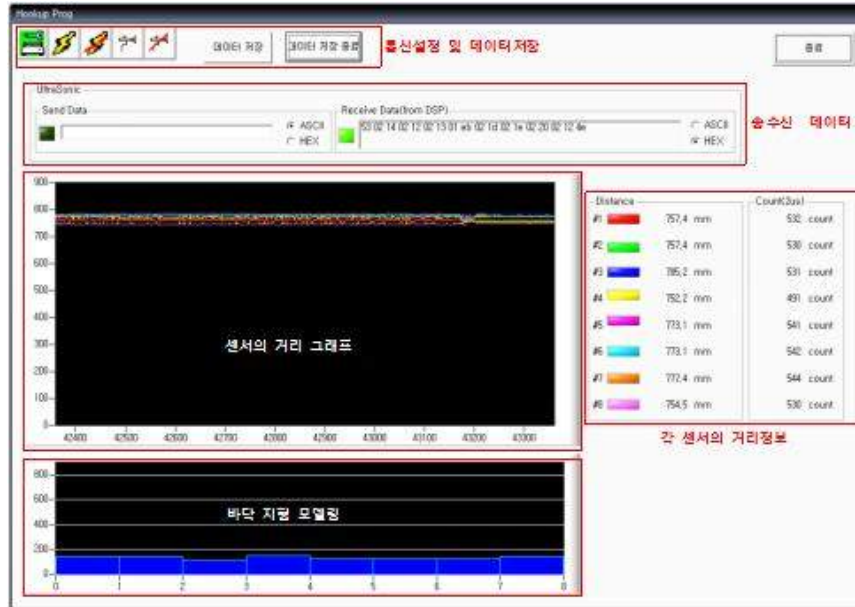


그림 2.5.32 모니터링 프로그램

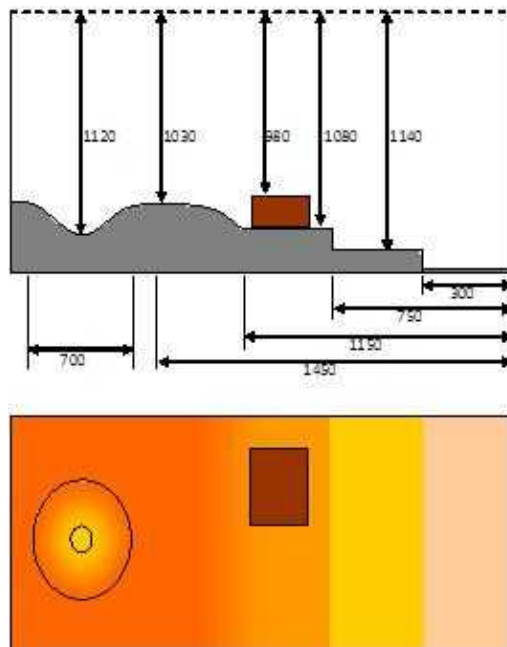
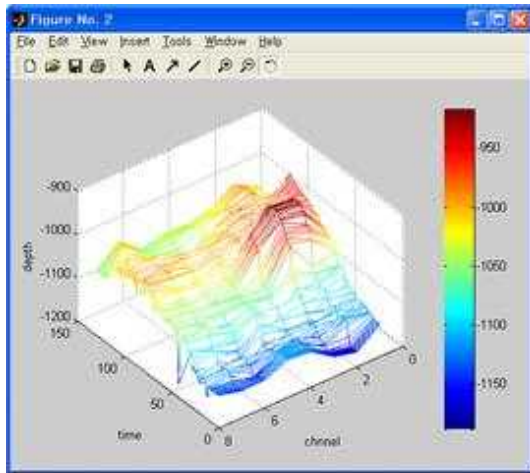
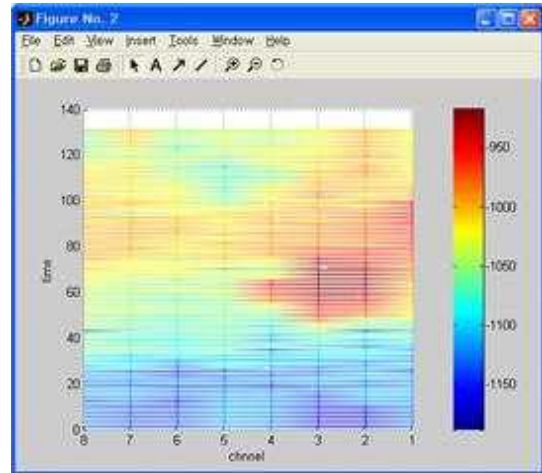


그림 2.5.33 바닥 지형

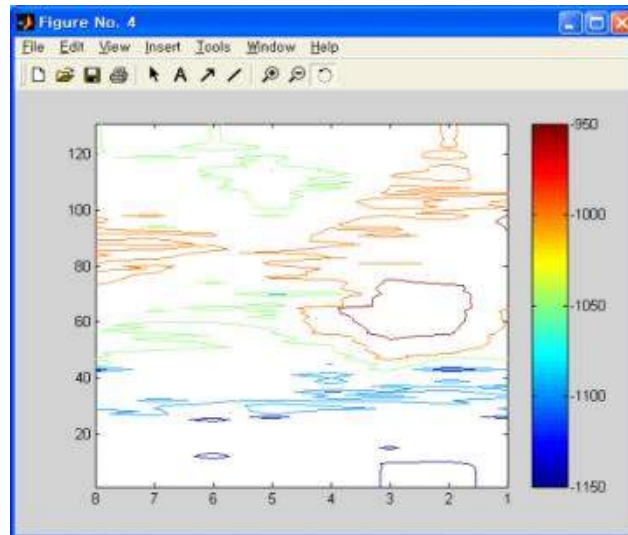
- 센서 성능을 실험하기 위해 수조에 사석을 투하하여 임의의 지형을 그림 2.5.33과 같이 생성함
- 고르기 장비가 사석면을 이동하듯이 센서를 수조 시작점에서부터 끝점까지 이동하면서 Altimeter의 고도값을 모니터링 프로그램을 이용하여 저장. 그 결과를 이미지화 하면 그림 2.5.34와 같음



(a) 3D 이미지



(b) 평면도



(c) Contour

그림 2.5.34 모의 실험 결과

3. 수중환경모니터링 시스템 개발

3.1 장비 위치 인식 시스템 개발 (확장형)

- 트랜스폰더의 위치를 임의로 놓더라도 천해에서도 수중위치추적을 수행할 수 있는 천해용 확장형 수중위치추적 솔루션 개발

표 3.1.1은 본 연구에서 개발한 수중 음향 측위 솔루션의 성능에 관한 지표이다. 현재 저속 운항 ROV에 대하여 적용이 적합하도록 개발된 상태이며 약간의 변경을 통하여 고속 운항 ROV와 AUV 형태의 운항체에 대해서도 적용이 가능하다. 운용 가능 심도는 아주 얇은 심도인 0.5m의 수심에서도 운용이 가능하며 트랜스듀서와 트랜스폰더 및 트랜시버의 압력용기 내압 심도를 감안하면 1,500m의 수심에서까지 운용이 가능하다. 정밀도는 약 30-40cm 정도의 정밀도로 추적이 가능하다. 갱신 주기는 운용 거리에 따라 달라지는 데 근거리에서는 0.7초가 소요되며 원거리에서는 2초 주기로 갱신 가능하다. 최대 계측 범위는 초음파 센서의 신호 도달 거리와 관련이 있는데 현재 상태로 천해에서 약 800m 심해에서 1,000m까지 운용이 가능함을 실험을 통하여 파악하였다.

수중 측위 솔루션을 사용하기 위해서 트랜스폰더 절대 위치 특정이 중요한데 본 연구에서는 트랜스폰더의 위치를 DGPS를 사용하여 특정하고 그림 3.1.1과 같이 거꾸로 매달아서 설치하여 사용함으로써 사용 편의성과 트랜스폰더 위치 특정 오차를 감소시킬 수 있었다. 트랜스폰더의 수심 역시 설치 로프의 길이를 정확하게 측정함으로써 특정할 수 있다.

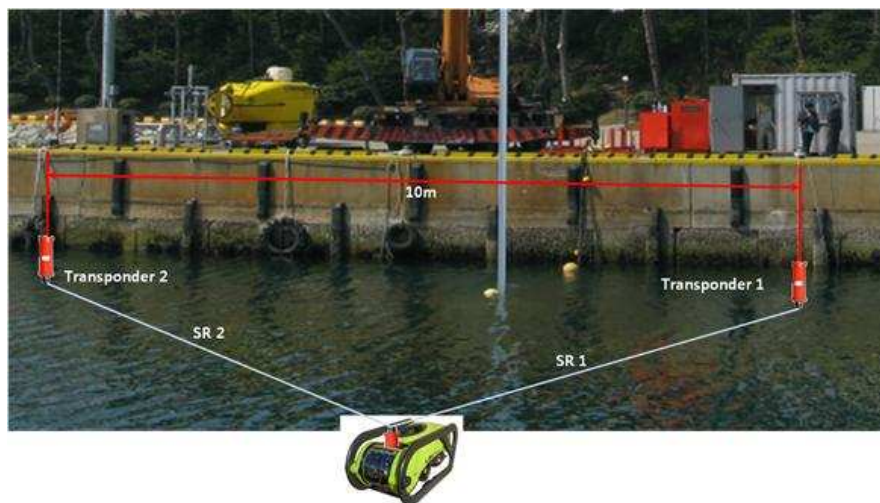


그림 3.1.1 Developed shallow water acoustic positioning solution

표 3.1.1 Specification of acoustic positioning solution

운용 대상	저속운항 ROV
운용 가능 심도	0.5m~1,500m
정밀도	30~40cm
갱신주기	운용 거리에 따라 0.7초~2초 주기
최대계측범위	800m(천해), 1,000m(심해)

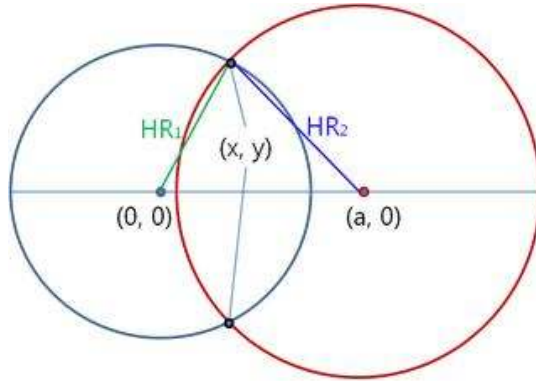


그림 3.1.2 Geographic relation of positions

트랜시버의 수심은 운항체에 달려 있는 심도계의 정보를 사용하여 계측 가능하다. 트랜시버에서 보낸 문의 신호가 트랜스폰더에 반향되어 돌아온 시간 차를 계측함으로써 SR(Slant range) 1과 SR 2를 계측할 수 있다. 피타고라스의 정리를 사용하여 SR 1과 D(Depth offset) 1으로부터 수평거리 HR 1, SR 2와 DO 2로부터 HR 2를 계산할 수 있다.

$$HR_1 = \sqrt{SR_1^2 - DO_1^2}, HR_2 = \sqrt{SR_2^2 - DO_2^2} \quad (3.1)$$

트랜스폰더 1의 위치를 (0, 0)으로 놓고 트랜스폰더 2의 x 축 상의 (a, 0)이라고 생각하면 트랜시버의 위치는 중심 좌표가 (0, 0)이며 반지름이 HR 1인 원과 중심 좌표가 (a, 0)이며 반지름이 HR 2인 원의 두 교점 중에 한 점이라는 것을 알 수 있다.

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = HR_1^2 \\ (x-a)^2 + y^2 = HR_2^2 \end{cases} \quad (3.2)$$

식 (3.2)로부터

$$x = \frac{a^2 + HR_1^2 - HR_2^2}{2a} \quad (3.3)$$

$$y = \pm \sqrt{HR_1^2 - x^2}$$

여기서 식 (3.3)의 y 좌표의 부호는 운용 영역을 고려하여 사전에 결정 가능하다. 트랜스 폰더를 하나 더 사용하여 특정 가능하나 갱신 주기의 단축을 위하여 본 연구에서는 운용 영역을 고려하여 사전에 결정하는 방식으로 사용하였다.

식(3.3)에서 구한 트랜시버의 교점 즉 수중체의 위치 좌표는 트랜스폰더의 위치에 해당하는 $(0, 0)$, $(a, 0)$, 그리고 수중체 위치 좌표 (x, y) 로 구성되는 삼각형을 그림 3.1.3 과 같이 평행변환과 회전변환을 사용함으로써 식 (3.4)-(3.6)과 같이 2차원의 임의 평면상의 좌표 (x'', y'') 으로 확장할 수 있다.

$$\begin{aligned} x' &= x + b \\ y' &= y + c \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{e - c}{d - b} \right) \quad (3.6)$$

그림 3.1.4는 수중 고르기 장비의 상부 폴대에 LBL 트랜시버가 장착된 사진이다. 본 연구에서는 Inverse 방식의 기하학적 구조를 가지는 변형된 형태의 LBL 구조를 사용하기 때문에 트랜시버의 부착 위치가 소음 노이즈원인 본체와 되도록 이격되도록 하였으며 또한 위 쪽에 장착함으로써 고르기 본체를 맞고 들어오는 다중 경로의 오차를 감소시킬 수 있었다.

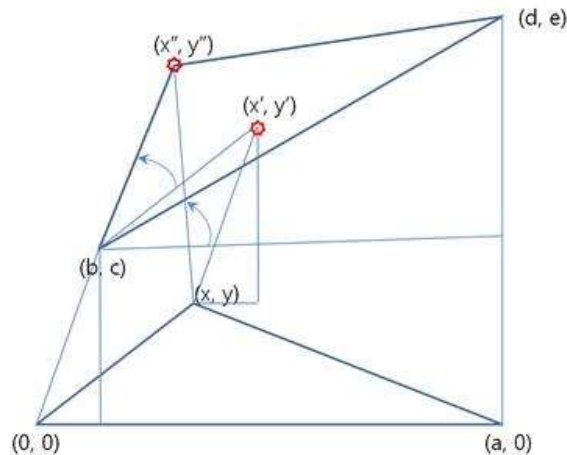


그림 3.1.3 Expanded geographic relation of positions



그림 3.1.4 LBL transceiver installed on rock paver

3.2 수중 장애물 인식시스템 설계·제작

- 전방 장애물 및 해저지형 인식을 위한 Hammer Head DST 정밀 Forward looking sonar 도입
- 소나 헤드의 정밀 자세 제어를 위한 ROS PT10fb Pan&Tilt 시스템 도입
- 삼각대 형태의 연동 치구 제작

그림 3.2.1은 본 연구에서 해저 지형 및 장애물 인식을 위해 도입한 Seaking Hammer Head DST Sonar의 외형과 주요 치수이다. 본 장비는 유사한 이미징 센서 중에서 가장 고해상도를 지닌 장비이다. 본 장비를 선택한 이유는 탁도 등의 이유로 카메라를 이용한 수중 작업이 힘든 상황에서 해저의 사석면과 주변 장애물을 보다 정교하게 모니터링 하면서 작업하기 위해서이다. 소형 ROV와 AUV에 탑재하기에는 다소 크고 무거운 것이 단점이지만 수중 고르기 장비에는 충분히 탑재 가능하다.

표 3.2.1은 Seaking Hammer Head DST Sonar의 음향 특성을 정리하여 표로 나타낸 것이다. Seaking Hammer Head DST Sonar는 두 개의 중심 주파수를 가지고 있다. 저주파로는 675kHz를 사용하고 고주파로는 935kHz를 중심 주파수로 하는 Chirp 신호를 사용하고 있다. 빔폭은 수직의 경우 저주파(675kHz)는 30도 범위가 인지되고, 고주파(935kHz)는 20도 범위가 인지된다. 수평 빔폭은 저주파의 경우 0.9°의 범위로 인지가 되며, 고주파는 0.6°의 범위로 인지된다. 최대 계측 범위는 저주파의 경우 100m까지 스캔이 가능하며 고주파의 경우 40m까지 영상 취득이 가능하다. 최소 계측 범위는 0.4m로서 그 이상의 영역에서 영상 취득이 가능하다. 음향 거리 분해능은 15mm인데 이는 화면 표시를 하는 방식에 따라 약간 변동이 있을 수 있다.



그림 3.2.1 Seaking Hammer Head DST sonar

표 3.2.2와 표 3.2.3은 Hammer Head DST Sonar의 화면 표시 특성과 전기 및 통신 특성에 대하여 정리한 표이다. 화면에 표시 가능한 계측 범위는 2m부터 100m 까지 이다. 스캔 해상도는 Ult, High, Fast, Fastest의 4가지 선택이 가능한 데 해당 모드 선택 시 각각 0.225°, 0.45°, 0.9°, 1.8°의 속도로 스캔을 수행한다. Ult의 경우 가장 고해상도의 정밀한 이미지를 얻을 수 있는 반면 한 번의 스캔 이미지를 얻는 데 많은 시간이 소요되어 약간 답답할 수 있다. 운용 조건과 취득해야 하는 정밀도 조건에 따라 운용자가 속도와 해상도를 고려하여 선택하여 운용하여야 한다. 또한 Hammer Head Sonar는 자세 센서가 내부에 내장되어 있어 Sonar의 roll, pitch 자세와 heading이 모니터링 가능하다. 이는 운용시 주변 해저 지형을 이해하는 데 많은 도움이 된다. 전압은 36V부터 72V까지 가능하며 소요 전력은 약 30W이다. 통신 방식은 RS232, RS485 그리고 ARCNET이 가능한데 구매 시 선택하면 된다. 본 연구에서는 가장 보편적인 RS232 방식을 선택하였다.

표 3.2.1 Acoustic characteristics of Hammer Head sonar

	Low frequency channel	High frequency channel
Operating frequency (CHIRP center freq.)	675kHz	935kHz
Beamwidth, vertical	30°	20°
Beamwidth, horizontal	0.9°	0.6°
Maximum range	100 m	40 m
Minimum range	0.4m	
Acoustic range resolution	15 mm (above range resolution may be limited by the available display resolution)	

표 3.2.2 Display characteristics of Hammer Head DST sonar

Range selections	2m to 100m
Scan resolutions	0.225°, 0.45°, 0.9°, 1.8°
Scanned sector	Variable to 360° and bidirectional
Continuous 360° scan	Yes
Offset sector scan	Yes
Attitude information	Angle sonar body to vertical (2 axes)
Heading information	Sonar heading with transducer in straight head position

표 3.2.3 Electrical and communication characteristics

Operating voltage	36V to 72V DC
Power requirement	30W
Communication protocols	RS232 RS485 ARCNET

그림 3.2.2는 본 연구에서 개발한 수중 고르기 장비에 부착한 모습이다. Hammer Head Sonar의 경우 탑재 pitch 경사 각도와 센서 헤드의 고도에 따라 스캔 되는 영상의 질이 좌우된다. 작업되는 돌로부터 센서가 다칠 수 있으므로 안전한 영역에서 고도를 최대한 낮추기 위해서 주삼 구조물의 바로 위쪽 부분에 센서 헤드를 장착하였다. 또한 수중 고르기 장비의 작업 중 자세 각도와 주삼의 각도를 고려해서 약간 기울어지게 설치하였다. 센서 치구의 경우 나사를 풀면 미세 조정이 가능하도록 제작하였다.



그림 3.2.2 Hammer Head Sonar entrained on rock paver

- 부두에서 Hammer Head DST Sonar 삼각대 단독 운용 해저지형 인식 화면

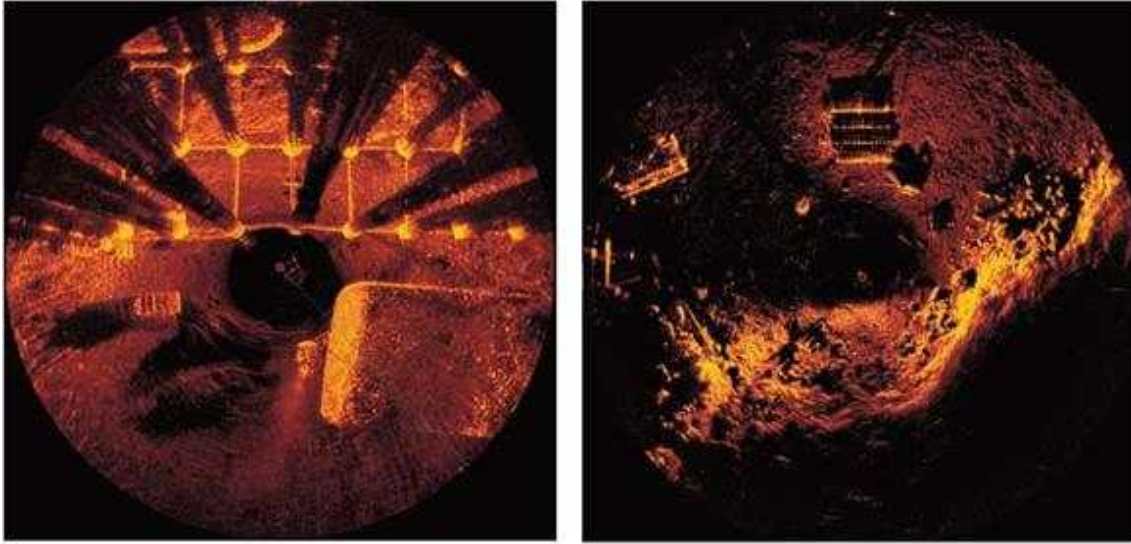


그림 3.2.3 Hammer Head Seaking Sonar 영상(675, 935kHz Dual freq.)

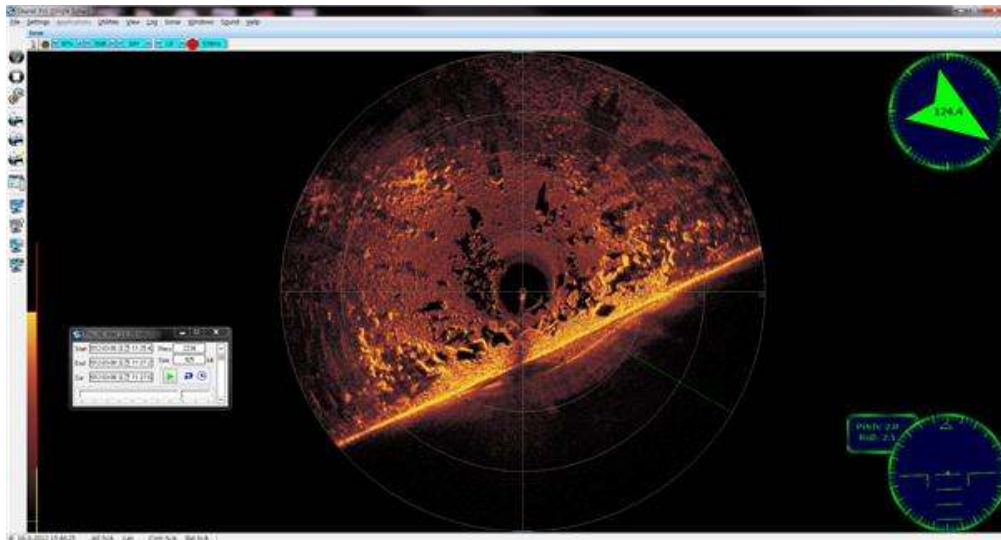


그림 3.2.4 Peer sea bed mapping image using Hammer Head Sonar(range 20m)

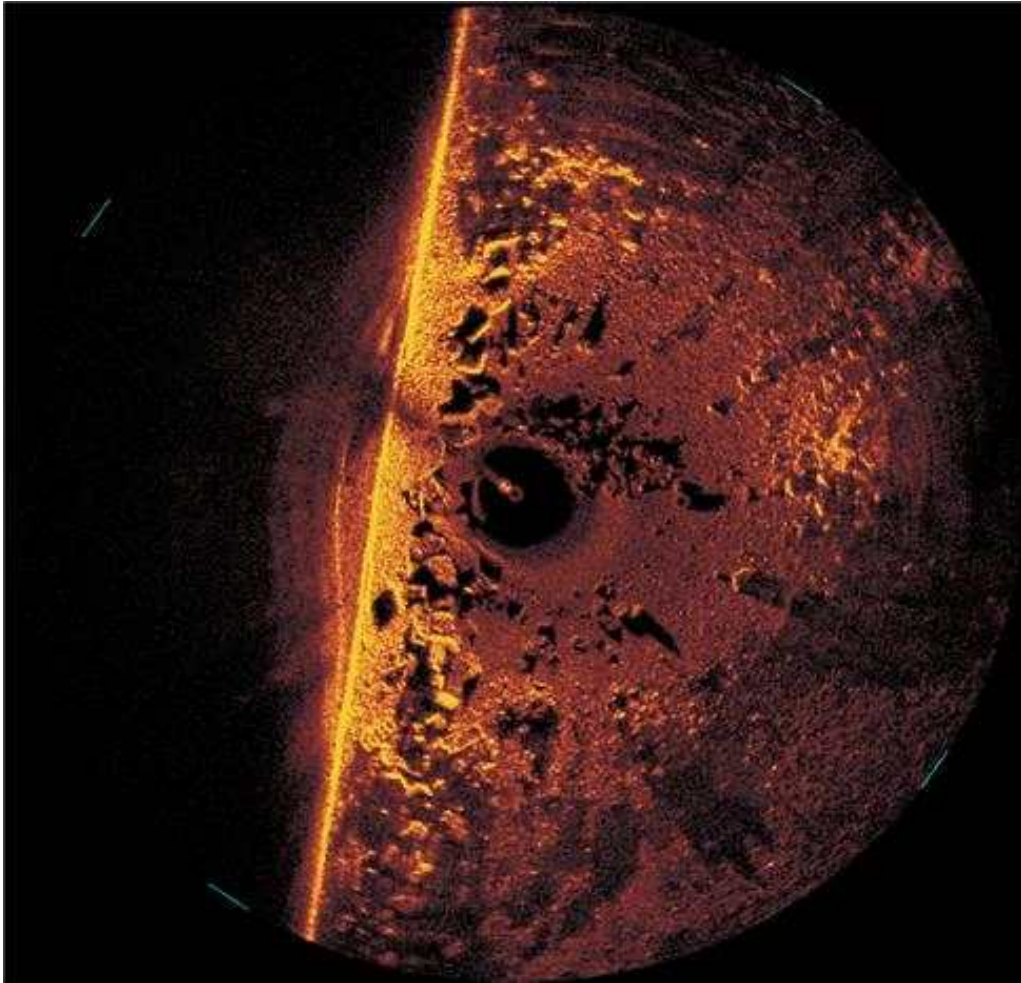


그림 3.2.5 Mosaic tile image of 20m range peer seabed by Hammer Head Sonar

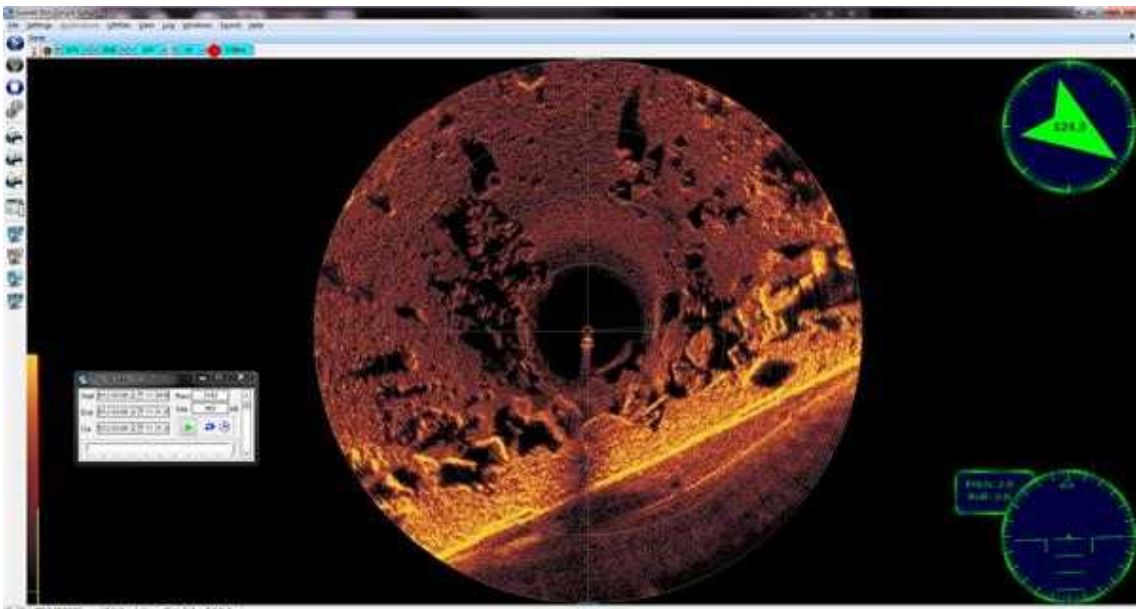


그림 3.2.6 Peer sea bed mapping image using Hammer Head Sonar(Range 10m)

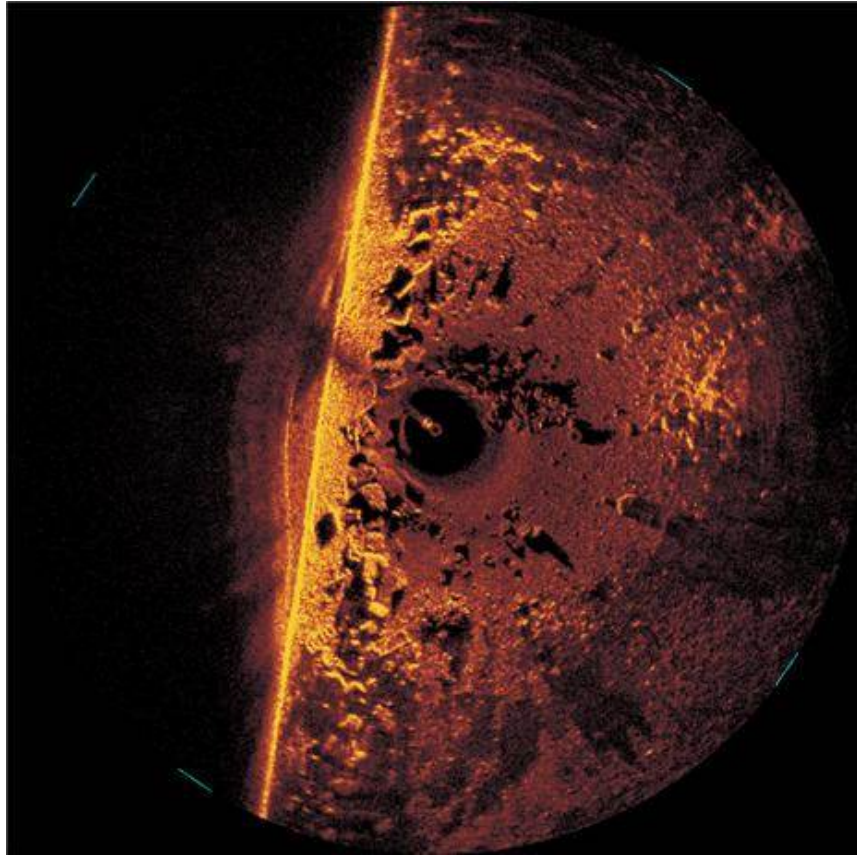


그림 3.2.7 Mosaic tile image of 10m range peer seabed by Hammer Head Sonar

Fig. 3.2.8는 수중 고르기 장비에 탑재된 Hammer Head Sonar를 사용하여 부두 근처의 해저 지형을 인식한 영상이다. 영상으로부터 바위 무더기를 관측할 수 있으며 근처에 금속 파이프형으로 된 폴대가 있는 것이 관측된다. 영상으로부터 전방 좌측은 평탄한 지형인 반면 우측은 바위가 많아 수중 고르기 장비를 착륙 시킬 수 없음을 확인할 수 있었다.

실제 운용에서도 Hammer Head Sonar를 사용하여 주변 해저 장애물과 사석 면의 형태를 인지할 수 있음을 확인하였다.

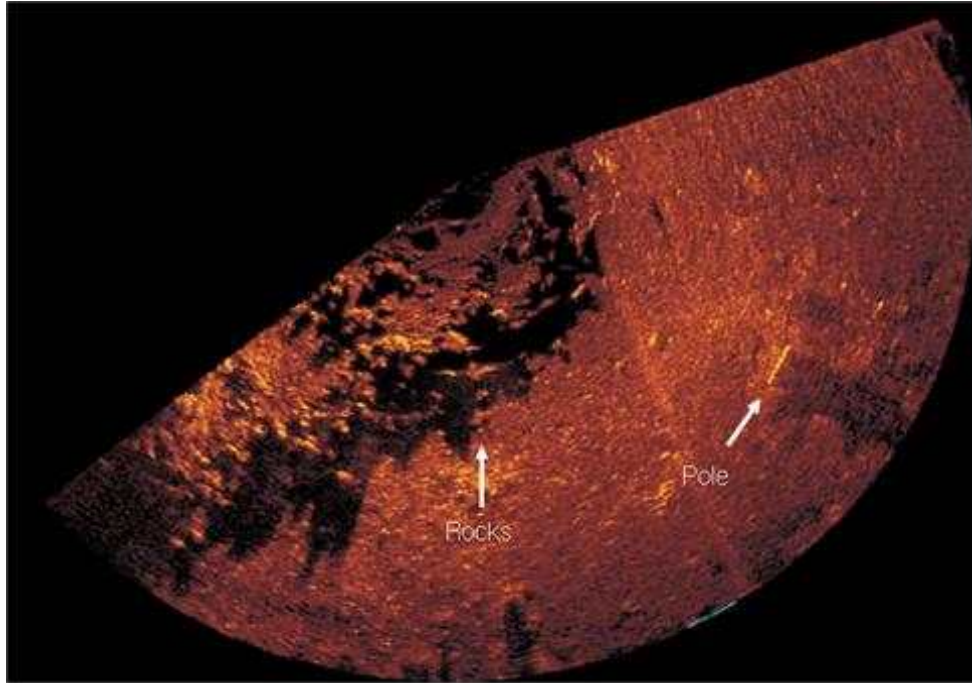
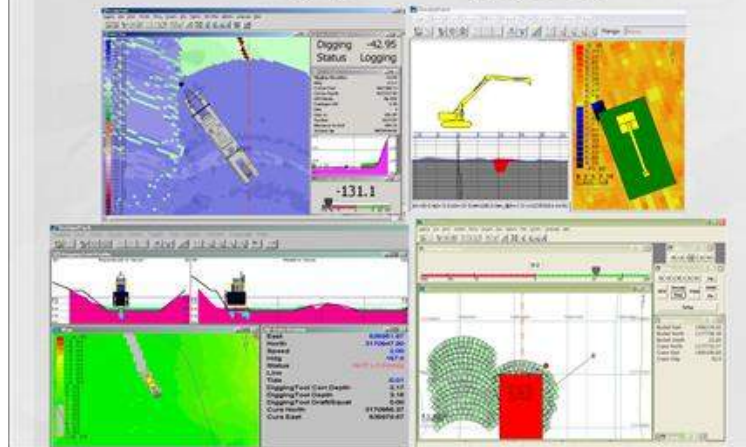


그림 3.2.8 Mosaic tile image of 10m range by Hammer Head Sonar entrained in rock paver

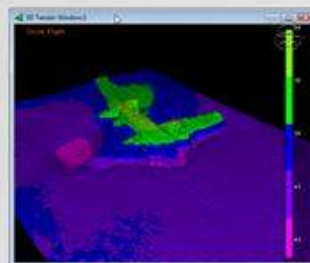
3.3 수중 작업 모니터링 시스템 개발

- 상용 프로그램인 Hypack Dredge Pack을 사용하는 방법에서 Hypack Hysweep을 사용하는 솔루션으로 변경
- 3D 해저 지형의 변화(사석면 작업 전후 비교)를 정밀 계측하여 변화량을 정밀하게 모니터링 할 수 있는 솔루션 개발

사석면 실시간 모니터링 Dredgepack 도입 (원안)



사석면 실시간 모니터링 Hysweep 도입 (변경안)



Multiple Transducer Systems:
 •Widely spaced transducers pointing down.



Ex) Ross Sweep System

멀티빔 데이터 이용 실시간 해저면형상 모니터링
 자세센서 => Pseudo protocol 생성(TSS, SimradEM3000 등)
 빔센서 => Multiple transducer(고르기장비 탑재)

그림 3.3.1 Hysweep 도입(안)

4. 수중 장비 운영시스템 개발

4.1. 운영실 설계 및 제작

수중 고르기 장비의 운영실은 장비의 운영시스템 및 수중 환경 모니터링 시스템 등이 설치되고 오퍼레이터와 관리자가 운영실 내에서 주위 환경을 파악하고 고르기 장비를 운용할 수 있도록 하는 역할을 한다. 이를 위해 개발되는 수중 고르기 장비의 육상 테스트 운용 및 해상에서의 실질 운용을 위한 사양을 파악하여 설계 및 제작하도록 하였다.

수중 고르기 장비의 개발과 함께 다양한 환경에서의 운용이 필요하므로 운영실의 기본 형태는 상용 컨테이너 형식으로 제작하되, 운영실에 필요한 사양 요소들을 설계 시에 고려하여 제작하였다.

수중 고르기 장비 운영실의 설계에서는, 장비 개발 시의 육상 환경 실험에서 장비의 조작 및 제어 상황을 확인하고 작업을 용이하게 하기 위해서 운영실 정면에 창문을 설치하였으며, 실제 해상 환경에서의 장비 운용 시에는 창문에 암막 커튼을 사용하여 외부 광을 차단하고 사용할 수 있도록 하였다. 통상적인 수중 장비의 운영실에서는 장비를 원격으로 조종하기 때문에 외부를 볼 수 있는 창문이 필요하지 않지만, 개발 단계의 장비를 육상에서 테스트하고 확인하는 과정이 필요하기 때문에 창문을 설치하도록 하였으며, 대신 외광 차단용의 암막을 설치하여 실제 해상 운용 시에는 이를 사용하도록 하였다.

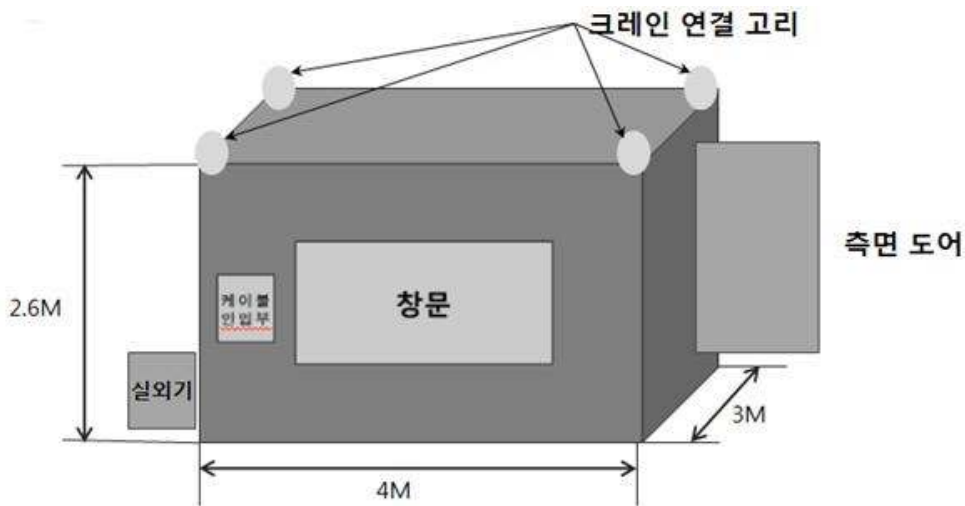


그림 4.1.1 운영실용 컨테이너 요구 사양 및 설계 안



그림 4.1.2 운영실 내부 및 창문 암막스크린 설치

운영실 바닥은 여러 시스템과 장비가 내장되기 때문에 5mm의 체크 철판을 사용하여 바닥을 보강하고 또한 미끄러짐을 방지할 수 있도록 하였다. 여기에 미끄럼 방지 테이프를 시공하여 해상에서 운용 시 발생할 수 있는 문제를 고려하였다. 또한 크기가 큰 장비의 입출고를 쉽게 하기 위해서 측면에 대형 문을 설치하여 측면 전체를 개방하는 것이 가능하도록 설계하였다. 반대쪽 측면부에는 운영실 내부의 공조기를 위한 실외기를 거치할 수 있는 고정 받침대를 배치하도록 설계하였다.

장비와 운영실 간의 통신 케이블 및 모선과의 전기와 통신 케이블을 운영실 내부로 연결하기 위해서 창문 옆의 공간을 천공하여 케이블을 인입할 수 있는 연결부를 설계하였다. 1차 설계 시에는 박스 형태로 제작하여 케이블 연결 단자를 내부에 설치하여, 운영실을 운용 시에 박스 내의 커넥터를 연결하여 사용하는 형태로 설계하였다. 통신 케이블 연결 단자로는 하팅 사의 IP40 등급을 가지는 산업용 방수 커넥터를 선정하였고, 운영실 전원 인입용 커넥터는 방수 타입의 6mm 4선 타입을 선정하였다.



그림 4.1.3 전원 및 통신케이블 인입부 설계 1차 안



그림 4.1.4 전원 및 통신케이블 인입부 2차 설계 기구부

그러나 1차 설계 안에서 발생할 수 있는 문제점들이 제기되었으며, 강우 및 해상에서의 물이 튈 때 박스 내에 물고임이 생길 수 있고, 장비에서의 연결 시 더 많은 커넥터가 필요하나 확장이 어려운 사항에 대해, 이를 보완하여 2차 설계를 진행하였다. 우선 커넥터 인입부의 방수를 위해서 아래와 같은 구조를 설계하였으며, 두 개의 산과 하나의 골의 형태를 가지며 위쪽에서의 강우 시에는 빗물이 구조물의 윗면을 타고 흐르고, 아래쪽으로부터의 물 튀김 시에는 구조물의 커넥터부에 튀더라도 바로 구조물을 타고 흘러내리도록 하여, 구조물 내에서 물이 고이지 않는 형태로 설계 및 제작하였다. 그리고 커넥터의 확장 사항을 설계에 포함시켰으며, 장비에서 실제 소요하는 커넥터 수를 파악하여 설계 시에 반영하였으며, 핀 수가 많은 원형 MS 방수 커넥터를 상단에 3조 배치하고, 하팅 방수 커넥터와 전원 커넥터를 하단에 배치하여 설계 및 제작하였다.

커넥터 인입부는 해상 환경에서의 운용을 고려하여 선박용 코팅제와 에폭시 표면 처리제로 기구물 외부를 처리하여 내식성을 가지도록 제작하였다. 운영실과의 고정 시에는 기구물과 운영실 천공 사이에 인슐레이션 테이프를 부착하고 실리콘을 사용하여 방수 처리를 하였다.



그림 4.1.5 전원 및 통신케이블 인입부의 운영실 설치



그림 4.1.6 전원 배전용 분전함 및 차단기 배치

커넥터 인입부를 통해 연결된 주전원은 운영실 내부의 분전함을 통해 배전하였으며, 내부 시스템 및 장비가 추후 확장되어도 사용이 가능하도록 분전함의 차단기 용량을 최대 20A로 설계하여 제작하였다. 주 차단기를 거쳐 5단의 이중 차단기를 달아 전기적으로 안전하게 사용가능하도록 하였으며, 배전용 전원 케이블 또한 차단기 용량에 맞는 굵기의 제품을 사용하였다.

운영시스템의 제어 콘솔랙 및 지원 콘솔랙 2조는 운영실 내에서 창문 방향으로 배치하였으며, 이는 육상에서의 장비 테스트 시에 조작 상황을 쉽게 확인하기 위함으로 해상에서의 운용 시에는 암막 스크린을 내려 운영할 수 있도록 하였다. 그리고 수중환경 모니터링 시스템을 위한 하이팩 시스템 장비를 운용할 제어 컴퓨터 및 다중 디스플레이 장치는 운영실의 측면으로 배치하였다.



그림 4.1.7 운영시스템 콘솔 랙 및 수중환경 모니터링 시스템 배치



그림 4.1.8 수중 고르기 장비와 운영시스템 간 연결 및 조작 제어 테스트

수중 고르기 장비와 제어 콘솔랙을 연결하고, 수중환경 모니터링 시스템과도 통신을 연결하여 실제 실증실험에서 테스트를 진행하였으며, 콘솔랙에 장착된 제어 패널과 영상 매트릭스 장치의 디스플레이를 보면서 장비의 조작과 통신 상태를 점검하였다.

또한 수중환경 모니터링 시스템을 운용하여, 장비와 작업 환경 내에 장착된 센서 데이터를 사용하여 하이팩 시스템을 구동하여 장비의 운용 상황을 모니터링 하였으며, 전방 방향의 물체 및 작업 내용을 확인하기 위한 이미지 소나 측정도 가능하도록 지원 콘솔랙에 관련 시스템을 설치하여 운용하였다.



그림 4.1.9 수중환경 모니터링 시스템 및 이미지 소나 시스템 운용

4.2. 06급 장비용 운영시스템 개발

4.2.1. 운영시스템 콘솔 개발

수중 고르기 장비의 운영시스템을 위해서, 장비 조작 및 상태 확인을 위한 제어 패널 등을 구현하기 위해 테이블 타입의 콘솔 시스템을 구현하였다. 당초 설계 상에서는 각 콘솔 시스템의 파트를 구성하는데 편리한 독일 Rittal 사의 콘솔 하드웨어를 고려하였으나, 장시간이 소요되는 납기 일정과 콘솔 한 조를 구성하는데 필요한 비용 문제로 인하여 국내 업체의 유사 제품으로 선정하였다.



그림 4.2.1 운영시스템용 테이블 타입 콘솔 랙

선정한 국내 업체의 콘솔랙 시스템은 산업용 랙 시스템에서 제어를 위한 테이블 및 디스플레이를 부착할 수 있도록 된 제품이며, 24인치 형 랙과 같은 내부 공간을 가지고 있다. 전체 크기는 폭 727mm, 깊이 750mm, 높이 1510mm이며 국제 규격인 EIA-RS310-C, IEC-297-1, DIN-41494를 준수하여 설계 및 제작되었다. 제품의 재질은 1.2mm 두께를 가지는 고강도 알루미늄 압출재 프레임으로 제작되었으며, 에폭시 분체 도장으로 처리되어 내식성을 가지도록 하였다.

콘솔랙은 제어 콘솔과 지원 콘솔의 2조를 제작하였으며, 제어 콘솔랙에는 수중 고르기 장비를 조작하고 상태를 표시하는 제어 패널 하드웨어가 설계 및 제작되어 내장되었다. 또한 제어 패널을 운용하고 장비와의 통신 및 데이터를 표현하기 위한 제어용 컴퓨터 및 디스플레이 장치를 설치하고, 장비의 카메라 영상들을 입력으로 받아 매트릭스화하여 한 화면에 보이기 위한 영상 처리 장치와 이에 해당하는 디스플레이 장치 또한 내장하여, 고르기 장비를 운용함에 있어 여러 정보들을 한꺼번에 보면서 조작 제어할 수 있도록 구성하였다. 이 외에도 장비 운용 시 안정성 및 유지보수성을 증강시키기 위해서 내부에 전원용 UPS를 장착하였고, 작업용 램프를 설치하여 수시로 내부 장비들과의 외부 연결 시 작업이 편리하도록 하였다.



그림 4.2.2 콘솔 랙 내부 장비 배치

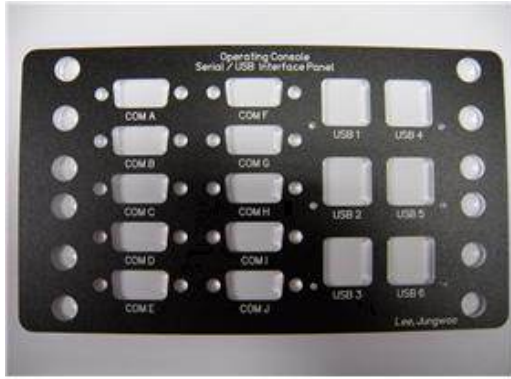


그림 4.2.3 RS232 시리얼 통신 포트 패널 1차 및 2차 제작

제어용 컴퓨터와 장비 또는 센서 데이터의 통신 시에는 주로 시리얼 방식을 사용하게 되며, 다수의 시리얼 포트를 필요로 한다. 이를 쉽게 할 수 있도록 제어용 컴퓨터의 통신 단자들을 확장하였고, 콘솔랙 전면으로 배치하도록 하는 패널을 추가로 부착하였으며, 추후 콘솔랙 내 장비들의 배치가 바뀌면서 통신 포트 패널을 2차에 걸쳐 제작 및 설치하였다.

제어 콘솔 랙은 제어용 컴퓨터 및 이와 연결되는 디스플레이를 내장하고 있으며, 장비의 카메라 영상을 보이기 위한 디스플레이가 따로 장착되어 있다. 제어용 컴퓨터의 디스플레이는 콘솔 랙 중단부에 설치되어 슬라이딩 방식으로 사용 시에만 꺼내어 사용하도록 설치하였으며, 고르기 장비 외부에 장착된 카메라 영상을 보이기 위한 디스플레이는 콘솔 랙 상단부에 고정되어, 장비를 조작하는 오퍼레이터가 장비로부터의 영상을 보면서 조작 제어를 할 수 있도록 구성하였다.



그림 4.2.4 제어 콘솔 랙 내 슬라이딩 방식의 디스플레이 설치



그림 4.2.5 제어 콘솔 및 지원 콘솔랙 제작

지원 콘솔 랙은 장비의 주위 환경을 모니터링하는 시스템 또는 전방을 향하는 이미지 소나 센서의 모니터링 운용을 위해 제어용 컴퓨터 및 디스플레이를 내장하였고, 제어 콘솔랙과 마찬가지로 장비 운용의 안정성을 위해 전원용 UPS를 설치하였다.

수중 고르기 장비를 제어하는 제어 패널 설계는, 장비 통신 프로토콜을 우선 분석하여 기능을 정의하고 그에 해당하는 스위치 타입 및 조이스틱 수량 등을 파악하여 설계를 진행하였다. 지난 차년도에서 장비의 구조 및 기능이 상당 부분 변경되었기 때문에 조작을 위한 스위치 및 조이스틱 수가 증가하였으며, 기능에 대해 푸시스위치로 할 것인지, 또는 1단/2단 선택 스위치로 할 것인지를 정의하였고, 주행 및 장비의 선회와 굴삭 버킷 제어를 위한 조이스틱을 3조 배치하여 설계를 진행하였다.

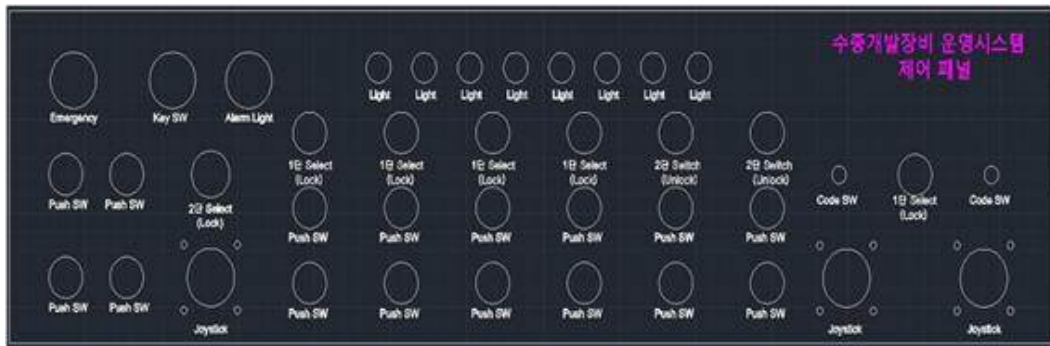


그림 4.2.6 운영시스템 제어 패널 CAD 설계



그림 4.2.7 제어 패널 설계 및 가공 제작

설계된 사양으로 콘솔 랙 테이블의 부품을 가공하여, 제어 패널의 스위치 및 조이스틱, 램프 등을 삽입하여 배치하고, 실제 구성에서 발생하는 부품 간 간섭 부위를 추가 가공하여 제어 콘솔랙 테이블에 장착하였다.

제어 패널에는, 장비의 비상 정지를 위한 스위치 및 장비 운전을 시작하는 키스위치와 메인 램프가 좌측에 배치되고, 주행 조작을 위한 조이스틱과 케이블 릴 장치를 제어하는 2단 셀렉트 스위치를 그 아래에 배치하였다. 제어 패널의 중간부에는 장비의 운전 모드와 직진 제어, 굴삭 모드를 제어하는 스위치 및 4개의 조명을 켜고 끄는 스위치를 배치하고, 제어 패널의 오른쪽에는 장비 상단부의 선회를 제어하는 조이스틱 및 굴삭 모드에서 버킷의 움직임을 제어하는 조이스틱을 배치하여 패널을 구성하였다. 그리고 제어 패널의 상단부에는 기능의 상태를 표시하는 총 8개의 램프를 배치하여, 장비의 제어 조작과 함께 상태를 바로 확인 가능하도록 하였다.

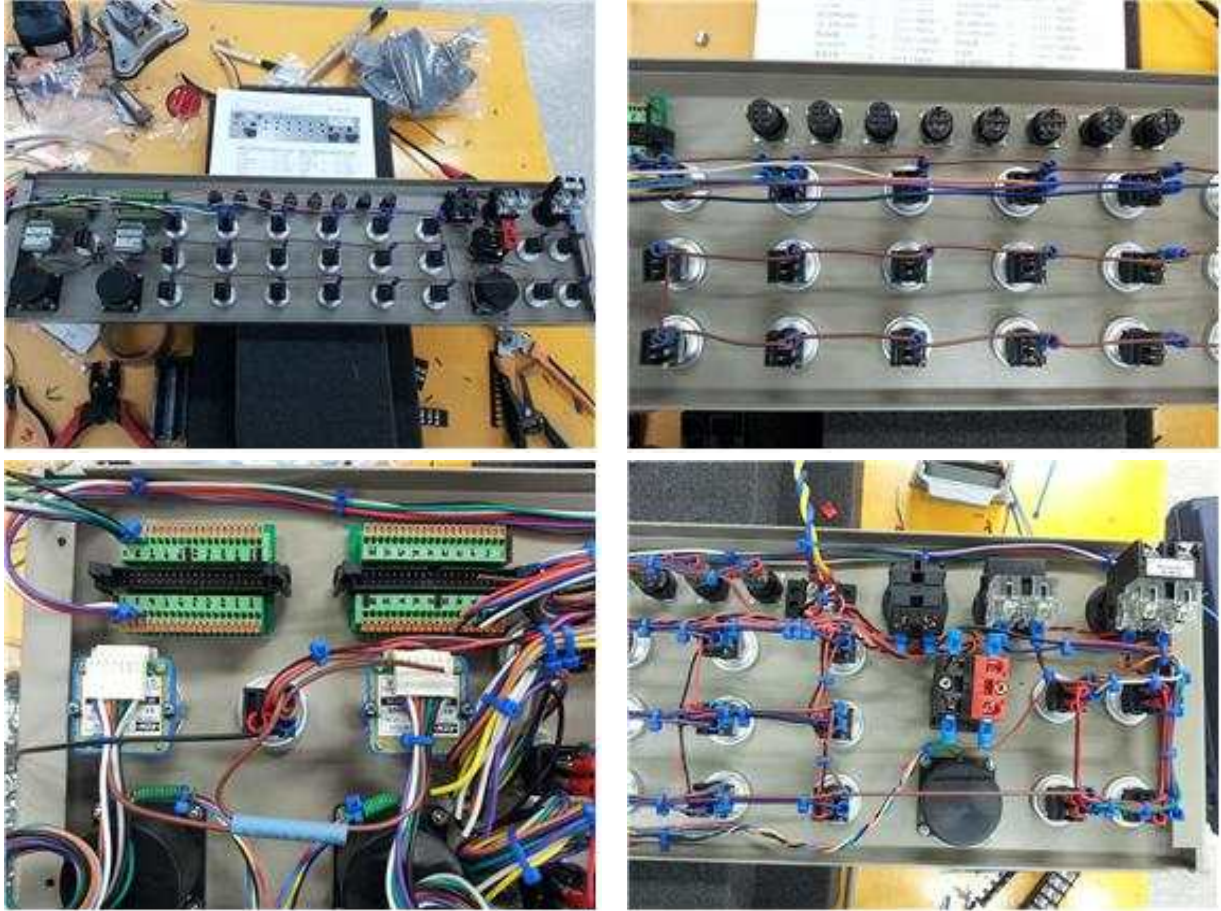


그림 4.2.8 제어패널 스위치 및 조이스틱 배선 제작

고르기 장비를 조작하는 제어 패널은, 크게 스위치 및 조이스틱을 배치하여 실조작이 이루어지는 스위치 패널부와, 이 신호를 받아서 내부 처리 후에 그 결과를 시리얼 통신으로 주고받는 PLC 제어부로 나뉘어 진다. 스위치 패널부는 제어 콘솔랙의 테이블 상단에 위치하며, PLC 제어부는 콘솔랙 내부에 배치하여 제어용 컴퓨터와 시리얼 통신 포트를 통해 연결되어 있다.



그림 4.2.9 제어패널의 PLC 제어부 제작 및 배선작업

제작된 스위치 패널부와 PLC 제어부를 연결하여 각 기능별로 정상 동작 여부를 테스트 하였으며, PLC 내부의 프로그램을 디버깅 작업을 통해 안정적으로 동작하도록 수정하였다. PLC에서는 각 입력과 출력에 대해 사전에 정의된 레지스터 맵을 바탕으로 프로그램을 작성하였으며, 이를 기반으로 스위치 패널의 기능을 테스트하고 디버깅 작업을 수행하였다.

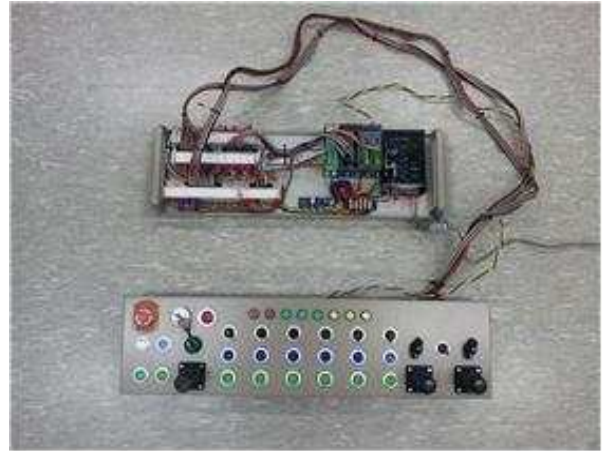


그림 4.2.10 제어패널 통합 테스트 및 기능 동작 확인

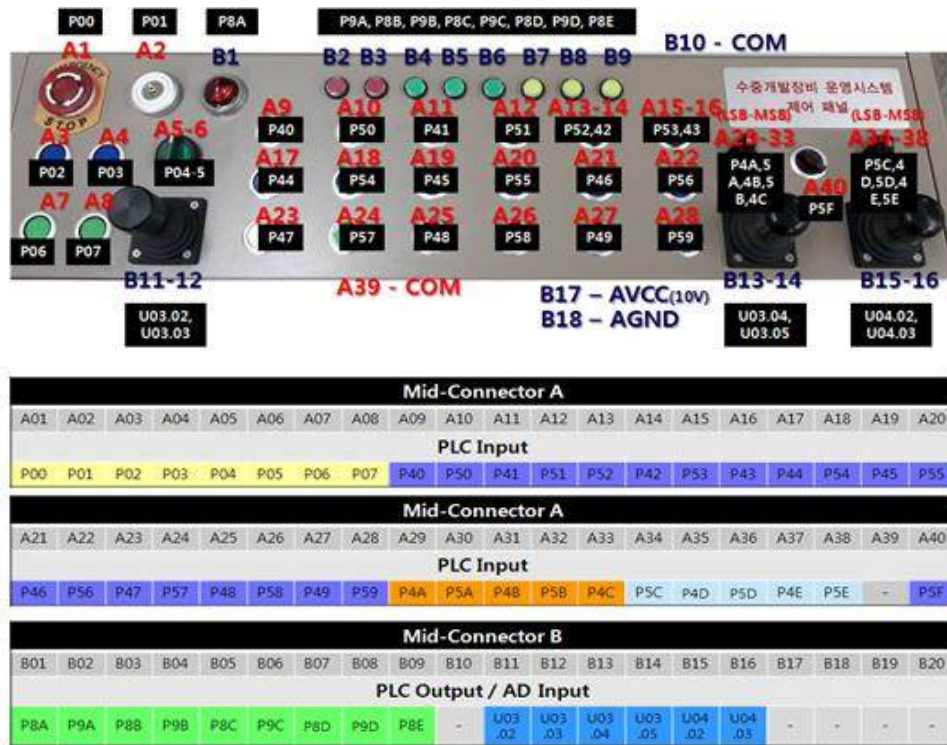


그림 4.2.11 PLC 레지스터 맵 및 스위치별 번호 할당

4.2.2. 운영시스템 제어 소프트웨어 개발

운영시스템의 제어 패널의 조작 신호를 받아서, 장비와의 통신 프로토콜에 맞춰 제어 데이터를 송신하고 장비 상태를 수신하여 디스플레이상에 표시하는 소프트웨어는, 소프트웨어 아키텍처 패턴을 적용하여 'Model-View-Controller(MVC)' 패턴으로 작성되었다. 이 MVC 패턴의 적용으로 제어 구조 및 화면 UI를 체계적으로 분류하여 프로그램을 작성하였고, 장비와의 통신 및 제어 패널 PLC와의 통신에 대한 각 상태를 모델화(Model)하여 제어 패널 하드웨어의 제어 신호에 따라(Controller), 데이터를 송수신

하고 그 결과를 화면 UI로 표현하였다(View).

장비의 X·Y·Z축 회전 각도 및 내부 오일탱크의 온도·습도, 모터 구동기의 온도·습도, 펌프 압력, 누수센서 상태 등 장비의 상태를 표현하는 구조체를 정의하여, 이 구조체의 정보를 업데이트하기 위한 송수신 프로토콜 패킷을 정의하여 일정 주기를 가지고 장비와의 통신을 통해 상태값을 갱신하게 된다.

제어패널의 상태는 Controller로서 따로 구조체를 정의하여 관리하게 되며, 이는 실질적으로 물리적인 통신 매체가 다르기 때문에 Model과 Controller를 분리하여 구현하였다. Model부에서는 수중 고르기 장비의 제어 PLC와 통신을 하게 되며, Controller부는 운영시스템의 제어패널 PLC와 통신을 하여 각 상태를 따로 관리하게 되고, Controller의 상태 변화를 Model 내부의 상태로 업데이트하고, 또한 화면 UI 표시도 바꾸도록 되어 있다. 그리고 Model부에서 장비로부터 수신된 현재 상태를 분석하여, View부분에 해당하는 화면 UI의 표현을 변경하여 표시하도록 구현하였다.

```

float Depth; // 지면부터 장비까지의 수심 (0.0 ~ 99.9m)
float Roll_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Pitch_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Yaw_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Swiveling_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Arm1_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Arm2_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Arm3_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Blade1_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Blade2_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float Blade3_Angle; // (-180.00 ~ +180.00)
float OilTankLevel; // (0.0 ~ 2000.0mm)
float OilTankTemperature; // (-50.0 ~ +150.0)
float OilTankPressure; // (0.00 ~ 10.00bar)
float ControllerTemperature; // (-50.0 ~ +150.0)
float ControllerHumidity; // (0.0 ~ 100.0%)
float MotorPanelTemperature; // (-50.0 ~ +150.0)
float MotorPanelHumidity; // (0.0 ~ 100.0%)
float MotorCaseTemperature; // (-50.0 ~ +150.0)
float MotorCaseHumidity; // (0.0 ~ 100.0%)
float Pump1_Pressure; // (0.0 ~ 500.0bar)
float Pump2_Pressure; // (0.0 ~ 500.0bar)
bool LeakSensor1; // 구동용제어기(leak(1), Normal(0))
bool LeakSensor2; // 전동기구동판넬(leak(1), Normal(0))
bool LeakSensor3; // 전동기(leak(1), Normal(0))
bool LeakSensor4; // V/V#1(leak(1), Normal(0))
bool LeakSensor5; // V/V#2(leak(1), Normal(0))
bool LeakSensor6; // Slip ring
bool Command_CruiseControl; // (On(1), Off(0))
bool Command_CommFault; // (Fault(1), Normal(0))
float AccuraVoltage; // (0.0 ~ 500.0V)
float AccuraCurrent; // (0.00 ~ 200.00A)

```

그림 4.2.12 수중 고르기 장비 상태 표현 구조체 정의



그림 4.2.13 운영시스템 제어 프로그램 화면 UI 구성

하드웨어로 구현한 제어패널과 프로그램의 화면 UI를 가능한 비슷하게 배치하여 장비를 조작하는 오퍼레이터가 일치감을 가질 수 있도록 개발하였으며, 화면 좌측에는 비상정지 버튼 및 시동과 알람을 나타내는 객체가 위치하고 그 아래에는 케이블 릴을 제어하는 버튼 및 장비의 주행을 제어하는 원형 객체가 위치하고 있다. 각 객체는 기본적으로 제어패널의 신호를 받아 그 상태를 표현하도록 하고 있으며, 만약 제어패널이 동작하지 않을 때에는 버튼을 직접 눌러 제어 가능하도록 개발하였다. 화면의 가운데에는 제어패널과 마찬가지로 장비의 제어 상태를 변경하는 버튼 및 조명 제어 버튼을 위치시켰으며, 오른쪽에는 장비 상단부의 선회와 굴삭 제어 조이스틱의 상태를 표현하도록 하고 있다. 이렇게 개발된 제어 프로그램을 수중 고르기 장비와 연결하여 통합 실증 실험을 수행하였으며, 장비에 맞게 세부적인 조작 내용을 수정하는 디버깅 작업을 통해 장비에 최적화하는 과정을 진행하였다.



그림 4.2.14 수중 고르기 장비와 운영시스템의 통합 실증 실험

5. 장비 성능검증실험

- 장비는 수중 20m 환경에서 사석고르기 작업을 목적으로 설계·제작되었음. 제작된 수중 유압공급 시스템, 착저형 이동시스템, 구동 액추에이터, 작업플랫폼 및 유압/전기 제어시스템의 성능을 육상실험을 통해 평가함. 육상실험에서 검증된 시공장비를 수중에 투입하여 방수 및 구동실험을 수행하고, 원격제어, 장비형상 모니터링, 수중 장비의 위치인식, 장애물인식 등 운영시스템 전반에 대한 실험을 수행.

5.1 육상 검증 실험

- 개발된 장비의 모듈별 기능 및 성능을 육상조건에서 실험을 통해 정성적 또는 정량적으로 평가하였음. 실험은 그림 5.1.1과 같이 창원대학교에 조성한 사석 고르기 작업 실험장에서 수행하였음.



그림 5.1.1 사석 고르기 작업 실험장

(1) 수중 유압공급 시스템

- 수중 20m환경에서 유압원을 제공할 수 있는 수중 유압 공급장치(HPP)를 75kw 전동기를 이용하여 개발하였으며, 성능평가를 위해 장비의 구동 조건에 따른 전동기의 소비전류를 측정하였음. 펌프에서 생성되는 압력 및 유량은 각각 320kgf/cm^2 및 236l/min 이며, 구동 실험을 통해 압력은 280kgf/cm^2 으로 설정하고 유량을 조금더 높였음. 사용된 전동기의 정격 전류는 120A로 장비의 구동이 원활히 이루어지고, 구동 시 부하 및 작업시 부하에 따른 소비전류가 120A 이내이고 최대 부하에서 120A에 가깝다면 전체 시스템에 적합한 HPP가 개발된 것으로 판단할 수 있음.
- 표 5.1.1은 부하조건에 따른 소비 전류값을 측정한 결과로서, 소비전류값은 발전기 부하 출력단에 설치된 전력계측장비로부터 획득하였음. 무부하시 펌프의 토출압력은 약 29kgf/cm^2 으로 유지되며 전동기 소비전류는 51A 였음. 최대부하는 4개의 주행모터에 최대 회전속도를 인가하고, 부하에 의해 주행운동은 이루어 지지 않는 상황이며 이때 소비전류는 약 108A 로 측정되었음. 그러므로 HPP 시스템은 개발된 장비에 적합한 규모로 설계 제작되었음을 알 수 있음.

(2) 착저형 이동시스템

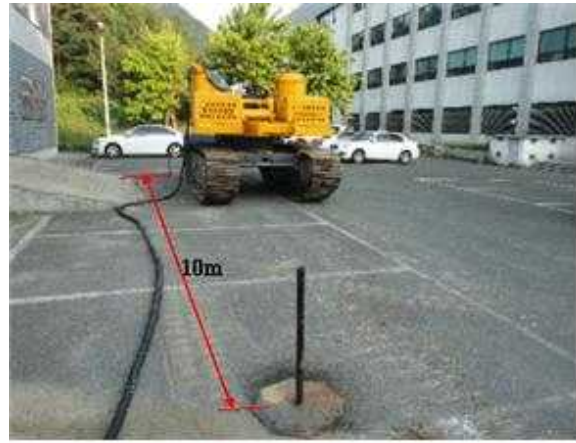
- 착저형 이동시스템은 좌우 각 1개의 트랙구조와 트랙당 2개의 주행모터를 구비하여 개발되었음. 이동시스템은 전/후 주행, 선회 주행, 주행방향 전환 등이 가능하였음. 그림 5.1.2는 주행속도를 측정하는 장면으로 10m 거리를 최대 속도로 주행했을 시 시간을 측정하였음. 측정된 시간은 27.1초로 이는 1.33km/h의 속도임. 견인력을 높이기 위해 주행모터를 4개 사용하였으나 연구목표인 1.2km/h를 만족하였음.

표 5.1.1 구동조건에 따른 전동기 소비전류 (실험값)

구동 조건	소비전류(A)	펌프압력 (kgf/cm^2)		비고
		P1	P2	
무부하	51	29	29	
선회 운동	52	54	30	
블레이드 구동시	94	29	268	부하에 의한 최대 소비전류 값
저속 주행시	57	73	53	
중속 주행시	87	136	71	
최고 주행속도 지령시	108	163	105	부하에 의해 주행이 안되는 조건



(a)



(b)

그림 5.1.2 주행속도 측정 장면

(3) 구동 액추에이터

- 당해연도에는 수중용 고풍력 액추에이터로 주행모터/주행감속기와 블레이드의 유압 실린더를 제작하였음. 주행모터/주행감속기의 경우는 주행속도 뿐만아니라 견인력 등이 주요한 요소임. 그림 5.1.3은 30Ton 급 로드셀 및 데이터 수집장치를 이용하여 아스팔트위에서 견인력을 측정하는 장면으로 견인력은 약 9.2Ton으로 측정되었음.



(a) 측정장면



(b) 측정값

그림 5.1.3 견인력 측정(지면조건 : 아스팔트)



(a) 측정장면



(b) 측정값

그림 5.1.4 견인력 측정(지면조건 : 사석면)

- 그림 5.1.4는 사석면에서 견인력을 측정하는 장면으로 측정된 값은 약 10.2Ton 임. 최대 견인력이 측정될 때 궤도가 회전을 못하는 상태가 아니라 사석면위를 회전하고 있는 상황이므로 접지력만 높이면 더 큰 견인력을 얻을 수 있는 상태임을 알수 있음
- 그림 5.1.5는 블레이드를 최대한 내렸을 때 지면 아래로 약 300mm 내려가며 이때 장비 전체가 들려 기울어지는 장면으로 블레이드 유압실린더는 장비의 중량을 사석고르기 작업에 충분히 전달할 수 있도록 제작되었음을 알수 있음.



그림 5.1.5 블레이드 구동력



그림 5.1.6 블레이드 구동력

- 그림 5.1.6은 육상에 조성된 사석작업 실험장에서 블레이드를 이용하여 사석고르기를 하는 장면으로 견인력 실험에서 보듯이 최대 10Ton은 힘으로 3m폭의 면을 한번에 평탄화 시키는 작업을 수행할 수 있음.

(4) 작업 플랫폼 회전 시스템

- 작업 플랫폼 회전 시스템은 하부와 상부 플랫폼 사이에 설치되어 회전운동을 생성시키는 것으로 그림 5.1.7과 같이 회전운동을 가능하게 해줌. 최대 회전 속도는 약 8rpm 정도로 측정 되었으나 안전상의 이유로 3rpm정도로 설정해 두었음.



그림 5.1.7 작업 플랫폼 회전운동



(a) 높이 : 0mm



(b) 높이 : 1000mm

그림 5.1.8 블레이드 높이 제어



(a) 회전각 : 15도



(b) 회전각 : -15도

그림 5.1.9 블레이드 상하 회전 제어



(a) 회전각 : 20도



(b) 회전각 : -20도

그림 5.1.10 블레이드 좌우 회전 제어

(4) 유압/전기 제어시스템

- 개발된 장비에는 전동기 구동을 위한 수중 구동 패널과 장비모션 제어, 센서 및 통신 데이터처리를 위한 수중 구동용 제어기가 내장되어 있음.

그림 5.1.8~10은 블레이드의 높이, 상하회전 그리고 좌우 회전 제어를 수행하는 장면으로 수중에서 고르기 작업시 사석석면의 높이제어, 사석면 각도 제어, 제거된 사석을 일측으로 밀어주는 등의 기능을 수행하게 됨.



그림 5.1.11 주행방향 전환 제어

- 그림 5.1.11은 장비가 현 위치를 유지하면서 주행방향을 변경하는 장면으로 주행시스템의 기능중 하나이며, 이는 직진 주행제어에 접목되어 장비가 heading각도를 유지하면서 주행할 수 있도록 해줌.
- 그림 5.1.12는 원격제어를 통해 운전실에서 장비를 제어하고 있는 장면으로 수중 20m의 사석 고르기 작업을 목적으로 운전실에서 장비까지의 케이블 길이는 100m로 구축하였음.



(a) 원격조종 장면



(b) 원격조종 패널구성
그림 5.1.12 원격제어 장면



(c) 카메라 영상

5.2 수중 검증 실험

- 육상 실험을 통해 장비의 기본적 동작, 유압제어, 원격제어 시스템 등의 실험을 수행한 후 수중에서 검증실험을 수행하였음.
- 실험 일정 및 실험내용은 아래와 같음.

- 1차 실험

기간 : 2012년 5월 21(월) ~ 5월 23일(수)

장소 : 한국해양연구원 남해연구소

실험 내용 : 수중 방수 실험

 : 수중 구동 실험

 : 수중 원격제어 실험

- 2차 실험

기간 : 2012년 5월 30(수) ~ 6월 1일(금)

장소 : 한국해양연구원 남해연구소

실험 내용 : 수중 원격제어 실험

 : 수중 모니터링 시스템 실험

- 3차 실험 및 시연회 (예정)

기간 : 2012년 6월 25(월) ~ 6월 28일(목)

장소 : 부산 송도해수욕장 전면해상

실험 내용 : 수중 방수 실험(심도 20m)

 : 수중 구동 및 원격제어 실험

 : 수중 모니터링 시스템 실험

시연회 (2012년 6월 28일) : 개발 장비(06급 규모)의 수중 이동시스템 및 원격제어시스템, 수중환경 모니터링 시스템 성능평가(수심 15m~20m 조건)

(1) 장비 및 부대시설 이동

- 개발된 장비는 3000(W) X 6220(L) X 2520(H)의 크기에 중량이 18Ton으로 이동을 위해 그림 5.2.1과 같이 추레라를 이용하여 이동이 가능함. 일반 상용 굴삭기처럼 개발된 장비가 주행기능으로 추레라 장비에 올라갈 수 있어 이동이 용이함.
나머지 운전실, 발전기, 케이블릴 그리고 기타 장치들은 5톤 트럭에 나누어 실었고, 총 3대의 차량이 동원하여 한번에 이동 가능하였음.



그림 5.2.1 개발장비 이동 장면

(2) 수중실험장 구성

- 그림 5.2.2는 수중실험을 위해 장비를 배치한 장면으로 수중 사석고르기 장비의 권양을 위해 100 Ton 크레인과 견인시스템(체인)을 사용하였고, 고르기장비, 발전기, 케이블 릴, 운전실 순으로 배치하였음.



그림 5.2.2 수중실험을 위한 장비배치

(3) 수중 실험

- 그림 5.2.3은 수중 고르기장비를 권양하여 입수하는 장면으로 장비와 수상부와는 케이블(전력, 통신, 영상)로 연결되어 있으며, 권양시 중량은 18Ton, 수중 중량은 13Ton으로 약 5톤의 부력이 측정되었음. 수중의 탁도가 심하여 수중 구동장면을 촬영할 수는 없었으나 필요시 잠수부를 투입하여 서로 확인하면서 구동 및 제어실험을 하였으며, 구동 및 제어 결과는 육상과 유사하였음. 즉 구동시 해수가 장비에 미치는 영향은 크지 않았으며, 수중 주행의 경우 10m이동시 28초가 소요되어 1.28km/h로 측정되었으며, 육상의 주행속도 1.33km/h와 비교시 약 96%의 수준에서 구동되었음을 알 수있음.



그림 5.2.3 수중장비 권양/입수

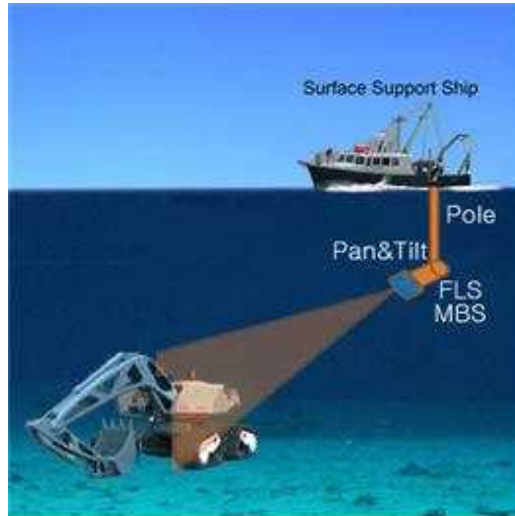


그림 5.2.4 Conceptual diagram

(4) FLS(Forward looking sonar) 기반 수중모니터링 시스템

그림 5.2.4는 본 연구에서 구성 중인 FLS 기반 수중모니터링 시스템의 개념도를 나타낸 것이다.

기 보유 소나(Sonar) 시스템을 활용하여 수중 고르기 장비의 수중 작업 환경을 모니터링 하였고, 사용된 소나시스템은 Tritech 사의 Seaking Hammerhead Survey Sonar System 이다. 본 시스템은 수중 고르기 장비의 블레이드 상단에 장착하여 전면부 작업 환경을 확인할 수 있을 뿐 아니라, 해저 주변 환경을 동시에 모니터링하고 나아가 주변 지형·지물을 통해 수중고르기장비의 위치 파악을 위한 보조적인 역할을 할 수 있다.

그림 5.2.5는 본 연구에서 사용한 소나 스캐닝 장비이다. 표 5.2.1에 사양을 간단하게 정리하였다. 본 소나시스템은 기본적으로 360° 스캐닝이 가능하여 수중고르기 장비를 중심으로 한 해저 주변 환경을 파악할 수 있고, 각도를 좁혀 특정 영역을 지정하여 스캐닝 할 수도 있다.

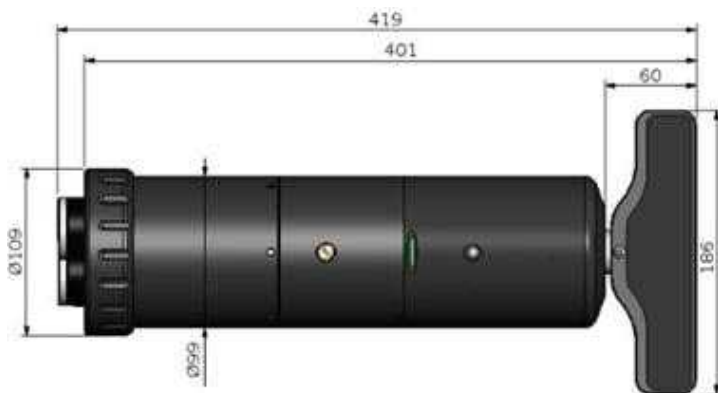


그림 5.2.5 Dimensions Diagram of Sonar System (Unit: mm)

표 5.2.1 Specifications of Tritech Seaking Hammerhead Survey Sonar System

Item	Specification	
Operating frequency	675kHz	935kHz
Beamwidth, vertical	30°	20°
Beamwidth, horizontal	0.9°	0.6°
Maximum Range	100m	40m
Minimum Range	0.4m	
Acoustic range resolution	15mm (above range resolution may be limited by the available display resolution)	
Scanned sector	Variable to 360° and bidirectional (Continuous 360° scan)	
Operating voltage	20V to 72V DC	
Operating temperature range	-10C to 35C	
Materials	Body: aluminum alloy, 6082/HE30	
Power requirements	30W	
Communications protocols	RS232 RS485 ARCNET	
Connector	Standard MAIN & AUX connector: Tritech 6pin with waterblock	
Maximum operational depth rating	700m, optional 4,000	
Weight in air	6.75kg	
Weight in water	3.76kg	

그림 5.2.6은 수중 고르기 장비의 천해조건 현장실험이 테스트가 수행된 한국해양연구원 남해분원의 위성사진 및 장비의 위치가 표시된 그림이다. 위성사진에서 나타난 안벽은 수중 고르기 장비에 장착된 소나 스캐닝 시스템을 통해서 파악할 수 있으며, 이는 그림 5.2.3에서 확인할 수 있다. 좌측으로 인접한 안벽과 우측으로 약 37.5m 떨어진 위치에 있는 안벽이 쉽게 확인이 가능하다.



그림 5.2.6 천해조건 현장실험 위치
(한국해양연구원 남해분원, 장목항)

그림 5.2.7은 장비에 장착된 소나 스캐닝 시스템을 중심으로 반경 50m를 360° 스캐닝 하여 고르기 장비 주변 해저 환경을 나타낸 그림이다. 장비의 좌측 및 우측에 위치하고 있는 안벽을 확인할 수 있다.

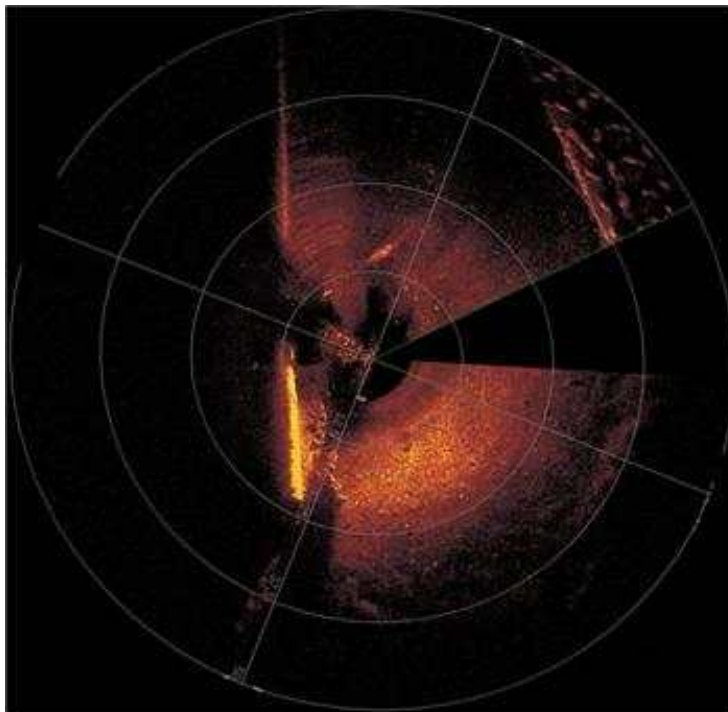


그림 5.2.7 천해조건 현장실험 소나 스캐닝 이미지

더불어, 그림 5.2.8은 스캐닝 반경을 20m, 스캐닝 각도를 360°로 하여 고르기 장비 주

변의 해저 환경을 확인할 수 있도록 한 그림이며, 그림 5.2.9는 반경은 20m로 유지하고 각도를 90°로 좁혀 고르기 장비 전면부의 해저 환경을 모니터링 한 것이다.

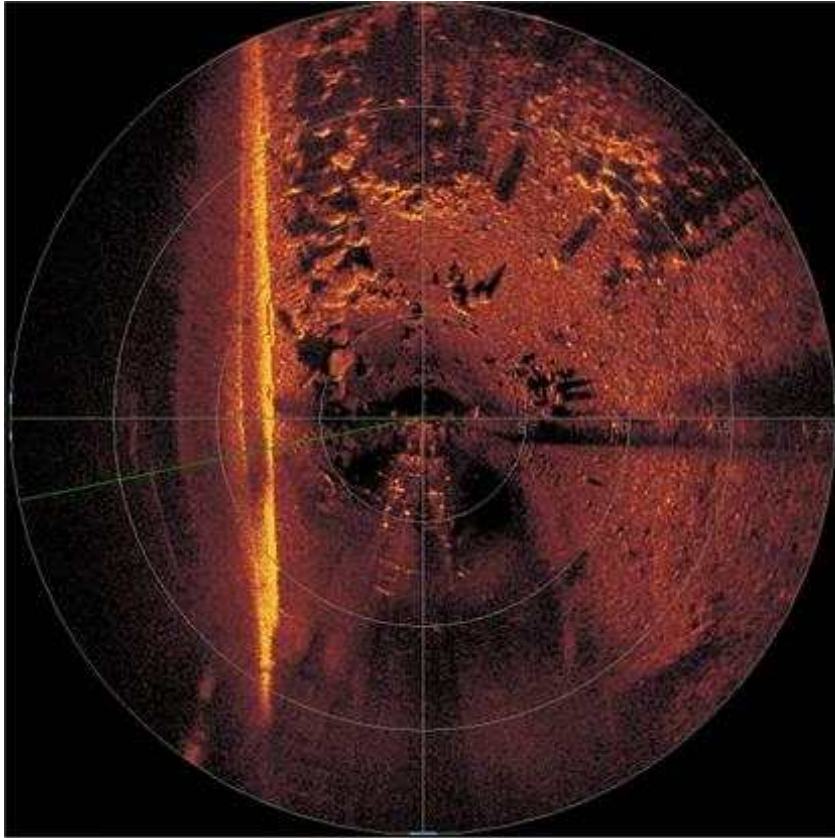


그림 5.2.8 소나 스캐닝 이미지(반경 20m, 각도 360°)

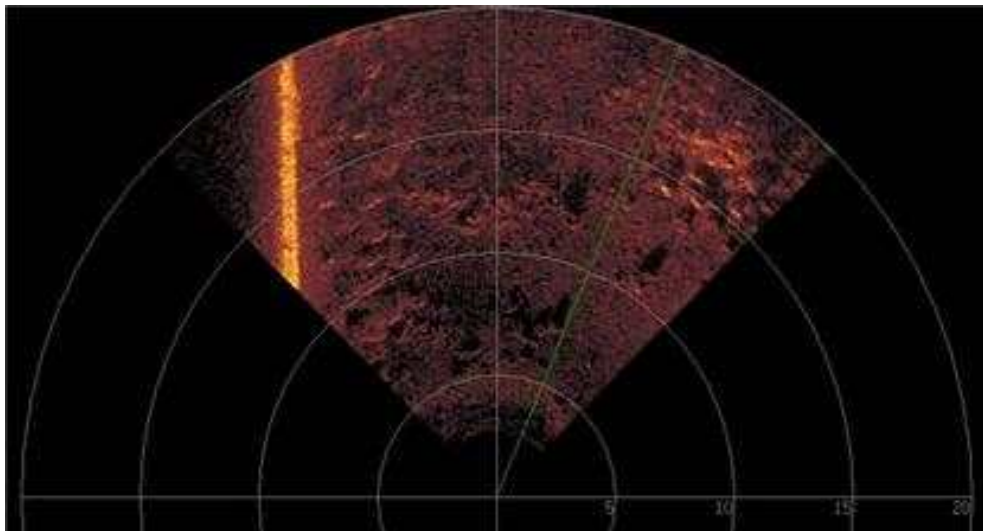


그림 5.2.9 소나 스캐닝 이미지 (반경 20m, 각도 90°)

(5) 실효역 실험

- 테스트 목적 : 개발 장비의 수중 이동시스템 및 원격제어시스템, 수중환경 모니터링 시스템 성능평가 (당초 계획에 없음)
- 장소 : 송도해수욕장 전면 해상 (N-2 대기정박지)
- 작업 방법
 - 해상 부선을 활용한 수중장비 진수 및 원격 테스트 (해상 부선을 기준으로 반경 20m 이내에서 수중장비 이동 예정)
 - 수심 15m~20m 정도
- 수중 작업 내용
 - 06급 장비에 대한 유압시스템 수중 구동실험
 - 06급 장비에 대한 수중 수평유지, 주행 실험
 - 수중 운영시스템 및 수중환경모니터링 시스템 검증실험
 - 성능평가를 통한 수중장비 설계보완점 분석
- 개발장비를 활용한 3차년도 시연회 개최 : 2012년 6월 28일(목) 15:00 ~ 20:00



(a) 3차 수중실험(부산 송도해수욕장 전면 해상)



(b) 장비 수중 진수 모습

그림 5.2.10 실해역 실험



(a) 현장시연회 기념사진



(b) 현장시연회 기념사진(수중 진수 전)

그림 5.2.11 현장 시연회

5.3 실험 결과 고찰

- 3차년도 연구에서는 실측용 장비를 제작하여 다수의 육상 구동 및 검증실험 그리고 3차에 걸친 수중 구동 및 검증실험을 수행함.
- 실측용 06급 장비는 당해년도 처음 제작되었고, 4차년도 이후에 보완 및 톨 제작을 거쳐 시제품을 완료할 계획임.
- 본 절에서는 3차년도의 실험결과를 통해 도출된 개발 단계의 문제점을 확인하고, 이를 4차년도 이후의 보완사항으로 반영하고자 함.

5.3.1 기구부 관련

(1) 장비 중량

- 개요 : 3차년도의 장비는 구조적으로 블레이드 부가 후미에 비해 무겁게 설계되었으며, 이를 보완하기 위해 후미부에 반력하중(weight)을 일부 장착하였음.
- 문제점 : 3차년도의 연구개발 내용으로 볼 때 발생할 수밖에 없는 일이지는 하지만, 반력하중에 따른 무게중심의 차이로 인해 장비가 경사지에서 주행할 경우 상대적으로 무거운 블레이드 방향으로 기울어지는 현상이 나타남.
- 해결방안 : 차기년도에는 블레이드부와 후미에 장착될 다목적 암의 중량 비율을 설계에 반영하여 주행시 장비의 안정성을 높일 필요가 있음.

(2) 방식 관련

- 개요 : 수중실험 후 장비는 해수 및 민물로 수중실험 현장에서 1차 클리닝을 수행하고, 공동기관인 창원대학교로 옮겨와 재차 민물로 클리닝 후 방청액을 도포하는 절차로 관리하고 있음.
- 문제점 : 3차년도의 종료시점까지는 전반적으로 방식상태가 양호한 편임. 단, 유압호

스를 연결하는 니플(Nipple)부분과 케도부의 그라우저 부분이 방식에 취약한 것으로 나타났음.

- 해결방안 : 차기년도에는 니플 부분을 스테인레스(SUS) 재질을 적용하여 개발할 필요성이 있으며, 그라우저와 같은 전반적 부분에 대한 방식을 위해 방식을 위한 관리 절차 및 해수용 방청액의 활용에 관한 검토가 필요할 것임.

5.3.2 유압/제어부 관련

(1) 블레이드 제어속도

- 개요 : 블레이드 제어는 메인 콘트롤 밸브 및 비례제어 밸브를 이용하여 블레이드 실린더 5개의 길이를 조절하여 이루어지고 있음.
- 문제점 : 실험과정에서 블레이드의 제어속도가 운영자 입장에서 다소 느리게 느껴질 수 있을 것이란 자체평가를 하였으며, 이 원인은 유압 제어부 설계단계에서 결정된 밸브의 사양이 블레이드 설계 보완 재 검토 단계에서 커진 실린더 용량을 충분히 반영하지 못했던 것에 기인함.
- 해결방안 : 3차년도에는 블레이드의 힘 및 강성 측면에서는 문제점이 발견되지 않았으나, 4차년도에는 블레이드 속도를 높일 수 있는 유압시스템의 보완이 필요한 것으로 판단됨.

(2) 방수 검증 기법

- 개요 : 3차년도에 방수 케이스를 설계할 때 케이스 내부 저단면에 누수센서를 설치하여 고가의 전자장치가 파손되기 전 운전실에 알람으로 누수상황을 알려줄 수 있는 시스템을 구축하였음.
- 문제점 : 상기 시스템은 방수 케이스의 크기가 충분히 큰 부분에만 적용하였는데, 수중실험 과정에서 모션센서의 방수 케이스에는 누수센서가 반영되어 있지 않아 발생한 누수를 운전실에서 알지 못한 채 운영한 부분이 있었음.
- 해결방안 : 누수의 원인은 외부 충격으로 인해 발생한 것으로 규명하였으나, 차기년도에는 누수 알람 시스템을 전반적인 장치에 적용하여 개발할 필요성이 있음.

(3) 구동프로그램 보완

- 개요 : 고르기용 장비에는 구동용 제어기가 탑재되어 운전실로부터 받은 지령을 해석하여 장비를 직접 제어하고, 장비 상태 및 센서들의 정보를 운전실로 전송하는 기능을 수행하고 있음.
- 문제점 : 향후 개발장비 확장에 따른 연계 용이 필요
- 해결방안 : 구동용 제어기의 내부 프로그램 관련하여, 추후 확장성이 용이하도록 프로그램 구조를 개선하고, 유압제어 알고리즘, 데이터 획득 및 통신 알고리즘 등을 보완하여 프로그램의 완성도를 높일 필요가 있음.

5.3.3 운영 관련

(1) 장비 이동시 운영

- 개요 : 수중고르기 장비 및 부대시설은 실험 및 현장투입을 위해 추레라 및 트럭에 실어 운반되어지며, 운반 장비에 실어야 하는 부분은 고르기 장비, 발전기, 케이블 릴, 운전실 등을 대표적으로 들 수 있음.
- 문제점 : 부대시설은 5Ton 지게차로 모두 상/하차가 가능하지만, 고르기 장비의 상/하차를 위해서는 최소 50Ton 크레인이 있어야 가능하기 때문에 경제적 부담이 있음.
- 해결방안 : 장비를 크레인 없이 그리고 운전실 없이도 상/하차가 가능하다면, 편의성이 확대되며 운반 비용을 절감할 수 있으므로 이를 목적으로 하는 이동식 운영장치(portable panel) 등의 추가 개발이 필요함.

(2) 장비이동시 운영

- 개요 : 개발 장비는 1,2차 수중실험을 거쳐 한국해양연구원 장목분원에서 수행하였고, 3차 수중실험을 부산 송도해수욕장 전면해상에서 수행하였음.
- 문제점 : 2차년도 및 3차년도 1, 2차 수중실험에서는 전혀 발생하지 않았던 견인 시스템에 대한 문제가 3차 실험에서 나타났음. 이는 파도 및 파랑으로 인해 크레인에 연결된 체인이 심하게 출렁이는데 기인하며, 이로 인해 체인이 체인 연결부위 부근의 유압시스템 및 제어시스템과 부딪혀 파손 내지는 사고를 발생시킬 수 있음.
- 해결방안 : 차기년도에는 3차년도의 경험을 바탕으로 견인시스템을 재설계하여 실험역에서 발생할 수 있는 문제점들을 보완할 필요가 있음.

(3) 케이블 운영

- 개요 : 3차년도에는 케이블 릴 시스템을 구축하여 케이블의 관리 및 운영에 편의성을 이룩하였음.
- 문제점 : 장비를 입수/출수 할 때 바지선에 케이블이 꺾여 내려가는 부분에서 작업자가 직접 케이블을 잡아야 하는 등의 수작업이 필요함.
- 해결방안 : 차기년도에는 이 문제점을 반영하여 케이블 가이드를 설치하고 작업자의 수작업을 최소화할 필요가 있음.

5.3.4 수중 환경 모니터링 시스템 관련

(1) 수중 위치인식 모니터링 관련

- 개요 : 현재 Inverse 방식의 LBL(Long base line)을 변형한 형태의 수중 위치 추적 솔루션을 개발하여 수중 장비의 위치 추적에 사용하고 있음.
- 문제점 : 3차년도 실험에서 바지에서 운용할 때 트랜스 폰더의 기준 위치가 세기가 강한 파랑과 바람에 의한 환경 하중에 의하여 cycle을 형성하면서 움직여서 위치 추적의 정확도가 떨어지는 문제점이 있었음.
- 해결방안 : 4차년도에는 트랜스 폰더를 고정하고 있는 바지가 움직일 때에도 정확한

위치 추적을 수행하기 위하여 DGPS, 자세센서 등을 이용하여 지구 좌표계에서 실시간 트랜스폰더의 위치 추적을 수행하는 기법에 대해 검토 후 개발할 필요가 있음.

(2) 수중 물체 확인시스템 관련

- 개요 : 3차년도에는 Hammer Head 스캐닝 소나를 사용하여 전방 환경을 모니터링 하는 방식을 사용하고 있음.
- 문제점 : 작업 전후로 해서 주변 환경을 모니터링 하는 것에는 만족할 만한 성능을 보이고 있으나, 현재 툴 앞 쪽에서 작업되고 있는 상황이 실시간으로 모니터링 되는 부분에 한계가 있음.
- 해결방안 : 차기년도에는 멀티빔 이미징 소나를 장착 운용함으로써 현재 작업되고 있는 상황에 대한 실시간 모니터링 기능을 추가로 확보하고자 함.

4차년도 연구 내용 및 결과

1. 수중 다목적 기계화 장비의 보완 및 시제품 제작

- 본 연구의 개발목표는 수중 20m에 포설되어 있는 사석을 설계기준면에 만족(시공허용 오차의 80% 수준)되도록 사석면을 고르는 것을 목적으로 함.
- 3차년도까지 상용 06급 굴삭기 규모에 준하는 장비를 개발하여 육상실험, 수중실험을 진행하였음.
- 당해연도는 육상 및 수중실험을 통해 발견된 장비의 문제점을 보완하고, 다목적암 및 작업 툴을 설계 제작하여 시제품을 제작하는 것을 목표로 함.

1.1 작업 플랫폼 보완 · 제작

1.1.1 착저형 이동 시스템 성능 보완

- 3차년도에 발견된 문제점으로 트랙부의 구조가 역삼각형 구조이며, 접지 면적이 좁아 작업 부하에 대해 장비 하부의 안정성이 떨어짐을 발견하였음.
- 장비 하부의 안정성은 상부의 중량 밸런스와 밀접한 관계가 있을 뿐아니라, 트랙의 접지면과 직접적인 관계가 있음. 장비 상부의 중량 밸런스는 다목적암을 규모에 맞게 개발하여 설치하면, 블레이드와 밸런스를 맞출 수 있어 안정적인 것으로 판단되므로, 트랙의 접지면적을 충분히 넓히고자 하였음.
- 그림 1.1.1은 트랙부 접지면의 보완 전후를 비교하는 것으로 보완 전 접지면의 거리는 2200mm였고, 보완 후 2880mm로 접지면의 길이가 680mm증가되어 약 30% 접지면적이 향상되었음.
- 또한, 접지면적이 넓으므로 주행력이 향상되는 효과를 확인하였음. 3차년도의 주행력이 약 9.2Ton이었던 것에 비해 접지면을 넓히고 장비 자중이 증가되어, 약 13Ton으로 향상되었음. 이는 블레이드를 이용한 수중 고르기 작업 시 작업성능을 높일 수 있을 것으로 판단되었으며, 그림 1.1.2는 주행력 측정 장면을 나타내고 있음.



그림 1.1.1 트랙의 접지부를 넓힌 제작결과

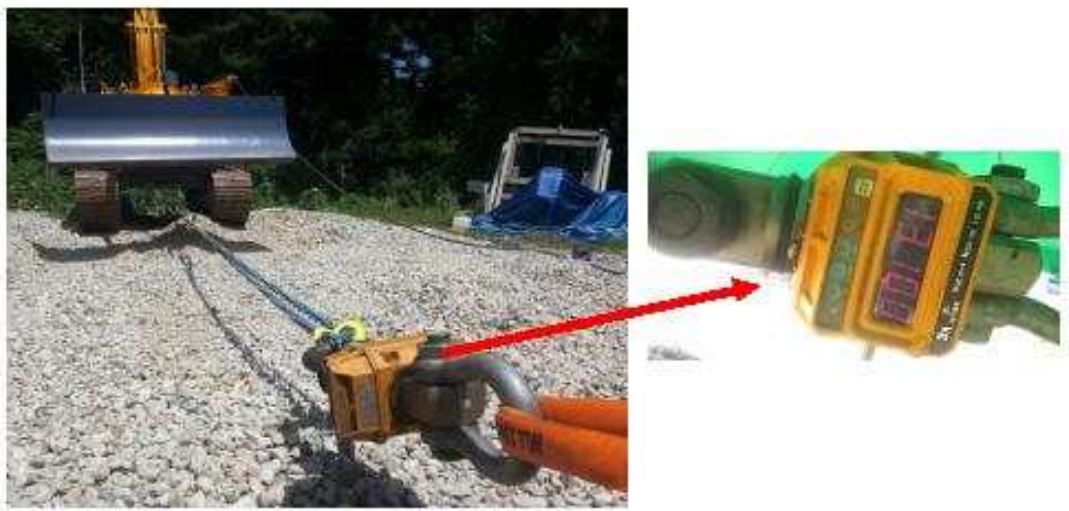


그림 1.1.2 육상 주행력 실험 결과

1.1.2 트랙 높이조절 링크 성능 보완

- o 3차년도 실험과정에서 트랙의 상부면과 블레이드 지그와 간격이 좁아 상부 플랫폼 회전운동시 간섭이 우려되었음(그림 1.1.3). 그림 1.1.4에서 보이는 것과 같이 보완을 통해 블레이드 실린더 지그와 트랙 상부 면과의 거리를 20mm 추가 확보하여 간섭 소지를 제거하였음.



회전 운동시
간섭우려

그림 1.1.3 트랙의 상부면과 블레이드 상하회전 프레임의 간격



(a) 보완 전



(b) 보완 후

그림 1.1.4 트랙의 상부면과 블레이드 상하회전 프레임의 간격 증가 결과

1.1.3 상부 플랫폼 보완

- 3차년도 수중 실험과정에서 발견된 상부 플랫폼의 문제점은 그림 1.1.5에 보이는 것과 같이 첫째, 견인 러그의 위치가 낮아 체인으로 진/회수시 체인과 상부플랫폼의 모듈간의 간섭 발생. 둘째, 상부플랫폼의 핵심 모듈들이 노출되어 있어 체인 등과 간섭 발생.
- 상기 문제점은 육상장비라면 주요한 부분이 아닐 수 있으나 수중장비의 경우 작업 시야가 확보되지 않는다는 점에서 매우 중요한 부분임.
- 그림 1.1.6은 기존 견인 러그를 제거하고 상부로 약 560mm 높여 보완제작한 장면으로 견인 러그 사이를 보강재로 연결하여 강성 또한 보완하였음.
- 그림 1.1.7은 상부 플랫폼의 핵심모듈의 보호를 위한 보완 과정 및 결과를 보여주고 있음. 기존 플랫폼의 구조는 측면에만 프레임이 있었던 것에 반해 상면 및 중간 부분을 프레임 구조로 개선하고 프레임 사이를 철망 구조로 모두 연결하여 핵심 모듈이 보호 될 수 있도록 보완하였음.



그림 1.1.5 기존 견인 러그 및 상부 플랫폼

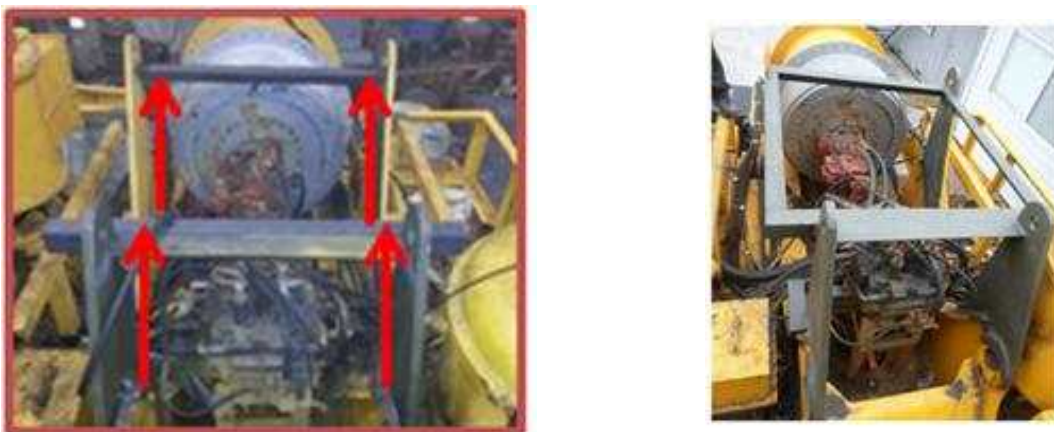


그림 1.1.6 견인 러그 보완



(a) 보완 과정



(b) 보완된 장면

그림 1.1.7 상부 플랫폼 구조 보완

1.1.4 수중 고르기 장비의 시제품 제작

- o 3차년도에 개발한 장비를 위와 같이 보완하고 다목적 암 및 툴을 개발 장착하여 시제품 제작을 완료했음.
- o 그림 1.1.8은 개발된 시제품의 외형으로 착저형 이동시스템, 상부 플랫폼, 작업용 툴(블레이드, 다목적암, 버킷 등), 유압 전기 제어용 핵심 모듈 등으로 구성 되어있음.
- o 개발 시제품의 주요 구성은 표 1.1.1과 같음.



그림 1.1.8 수중 사석고르기 장비 시제품

표 1.1.1 개발 장비의 세부 구성

번호	내용
1	자세센서 모듈
2	수중 위치 추적 장치
3	슬립링
4	전동기 수밀 모듈
5	수중 카메라/조명
6	라인 스케닝 소나
7	블레이드
8	견인 체인 시스템
9	다목적 암(Arm)
10	다목적 암(Boom)
11	유압 서보 실린더
12	수중 카메라/조명
13	작업용 틀(버킷)
14	작업 플랫폼
15	Altimeter 시스템
16	착저형 주행 시스템
17	복합 케이블

1.2 유압제어 시스템 성능 보완 및 부분 자동화 공정 제어알고리즘 개발

1.2.1 유압 시스템 구성

- 개발된 로봇은 수중 사석 고르기와 같은 중작업을 해야 하므로 유압으로 구동된다. 유압 시스템은 그림 1.2.1과 같이 유압공급장치, 유압밸브, 유압실린더, 유압스윙모터와 실린더의 길이를 측정하는 자기 스트로크 센서와 스윙모터의 각도를 측정하는 엔코더로 구성된다.
- 유압 공급장치를 선상에 설치할 경우 연결호스가 길어져 제어성이 떨어지고, 호스 관로상의 저항, 드레인라인의 내압 증가 등의 원인이 된다. 따라서 수중 20m 수준의 환경에서 중 작업이 가능할 수 있도록 유압공급 시스템(HPU, Hydraulic Power Pack)을 개발해 로봇에 탑재했다. HPU는 유압펌프, 이를 구동하는 전동기 모터, 유압탱크로 구성되며 방수 처리된 용기 속에 내장된다.



(a) 스윙 엔코더



(b) 주행 모터



(c) MCV



(d) 유압공급장치



(e) 유압실린더



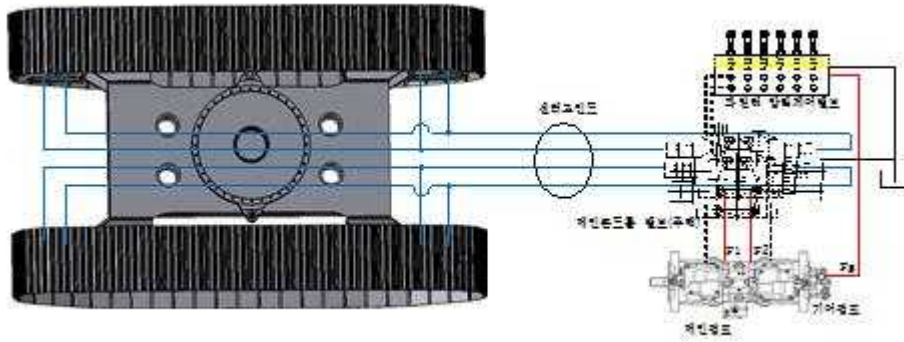
(f) 유압밸브



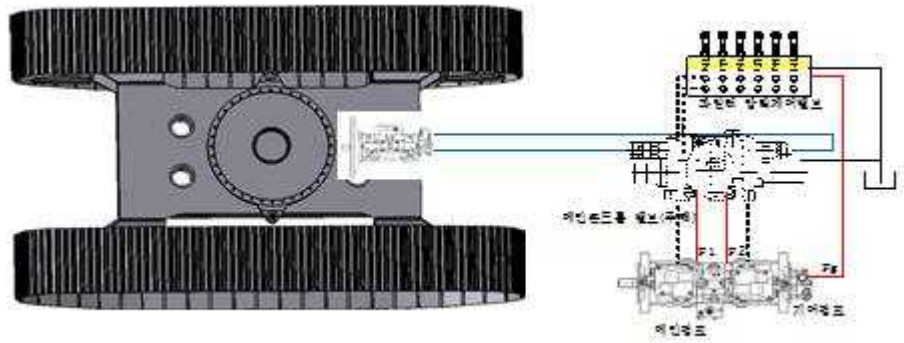
(g) 스윙 모터

그림 1.2.1 유압 시스템의 구성요소

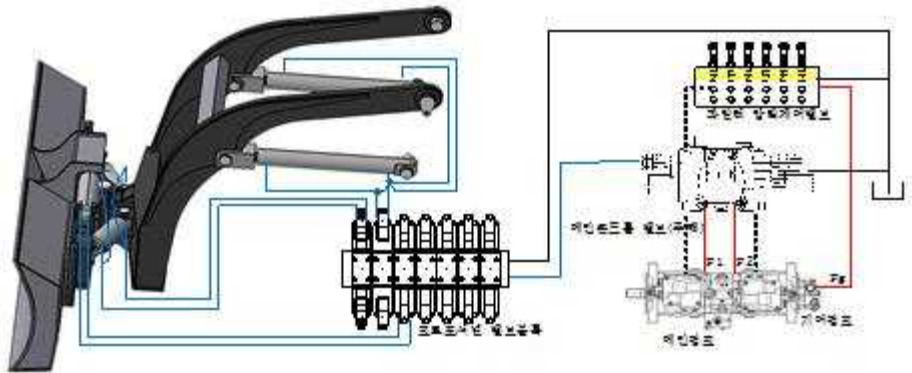
- 유압제어를 위해 중장비용 메인컨트롤 밸브(MCV), 파일럿 압력 제어밸브, 범용 비례 제어밸브, 솔레노이드 밸브 등으로 제어시스템을 구성하였다. MCV는 스펙의 이동량에 따라 유압을 공급하는 밸브로 밸브블록에는 트랙 주행을 위한 모듈, 회전제어를 위한 모듈, 다목적압 제어 모듈, 브레이크 모듈 등이 포함되어 있다.
- 밸브 스펙의 동작은 0-40kgf/cm²의 파일럿 압력을 인가함에 따라 압력에 비례하여 0-100% 스펙이 이동되어 유량이 조절된다. 파일럿 압력 제어밸브는 로봇 제어기의 DA 모듈의 출력 값 0-20mA에 따라 0-40kgf/cm²의 압력을 가변적으로 출력하여 MCV의 스펙위치를 제어한다.
- 비례제어 밸브는 로봇 제어기의 DA 출력값 (0-10VDC)에 따라 실린더에 제공되는 유량을 제어해 운동을 제어하고, 솔레노이드 밸브는 로봇 제어기의 디지털 출력값의 On/Off 신호에 따라 실린더에 제공되는 유량의 방향을 조절한다. 자기스트로크 센서가 각 실린더의 하우징 속에 내장되어 실린더의 길이를 측정하고, 엔코더가 스윙모터의 축에 설치되어 회전 각도를 측정한다.
- 그림 1.2.2는 장비의 유압시스템 구성을 나타내며 그림 1.2.1의 배치 및 역할을 확인할 수 있다.
- 유압 시스템의 핵심은 유압 펌프에서 생성된 P1, P2의 압력이 메인컨트롤 밸브(MCV), 파일럿 제어밸브, 프로포셔널 밸브를 통해 유압 모터 및 실린더에 유압을 공급함으로써 액추에이터가 구동됨을 나타내고 있음.



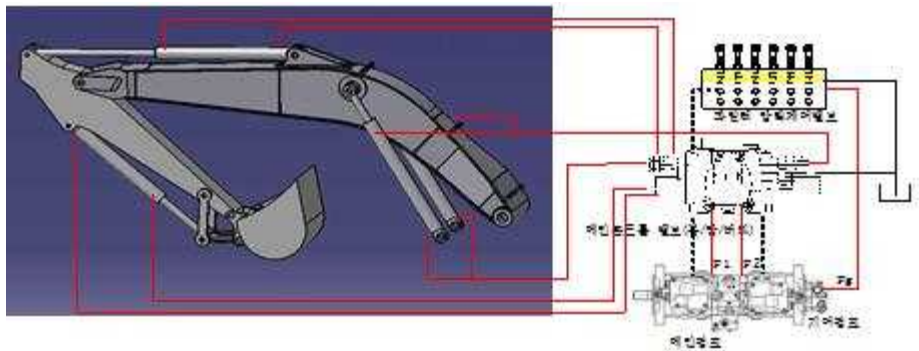
(a) 주행 시스템 유압 회로



(b) 스윙 시스템 유압 회로



(c) 블레이드 유압 회로



(d) 다목적 암 유압 회로

그림 1.2.2 장비의 유압시스템 구성

1.2.2 장비의 유압 제어

(1) 개요

- 장비 제어기는 8축 이상의 관절을 기하학적 구속조건에 따라 제어해야할 뿐 아니라 외부로부터 전달되는 각종 센서의 정보를 분석해야하므로 고성능의 제어가 필요함. 본 연구는 통신, 아날로그 입/출력, 디지털 입/출력, 프로세서로 구성된 전용 제어기를 개발해 사용함.
- 장비의 블레이드는 해저면의 굴곡에 무관하게 항상 작업면과 나란하도록 제어되어야 하며 좌/우 궤도의 접지력 불균형에 의한 장비 선회가 되지 않도록 제어되어야 함.
- 유압 제어는 그림 3.2.1과 같이 주행, 블레이드, 암 제어로 구성 됨. 제어기는 자이로, 수심, LBL 센서로부터 로봇의 위치와 방위에 대한 정보를 얻어 설정한 방향으로 주행하고, 블레이드가 월드좌표와 나란하게 하며, 버킷으로 원하는 굴착작업을 수행함.

(2) 주행 제어

- 지형의 경사, 높낮이 및 주행부하 등에 의해 진행방향이 틀어지면 주행제어기가 바로 잡음. 자이로센서에서 측정된 각도가 설정한 주행방향에서 벗어나면 이를 교정하기 위해 좌우주행 모터에 다른 유량을 제공함.
- 주행 제어기가 벗어난 정도에 따라 좌우 파일럿 제어밸브에 전류 I_L 과 I_R 를 제공하고, 파일럿 밸브는 전류량에 비례하여 MCV에 압력 P_L 과 P_R 를 인가함. MCV는 인가된 압력에 비례해 주행부의 스폴을 열어 유량 Q_L 과 Q_R 를 흘려보내 좌우 주행모터의 회전속도를 조절해 주행방향을 교정함.
- 그림 1.2.4는 장비가 사석위를 고속(1.2 Km/h)과 중속(0.6 Km/h)으로 주행할 때 주행 제어의 결과임. 고속에서도 설정한 각도에서 0.5° 이상 벗어나지 않으면서 주행이 됨.

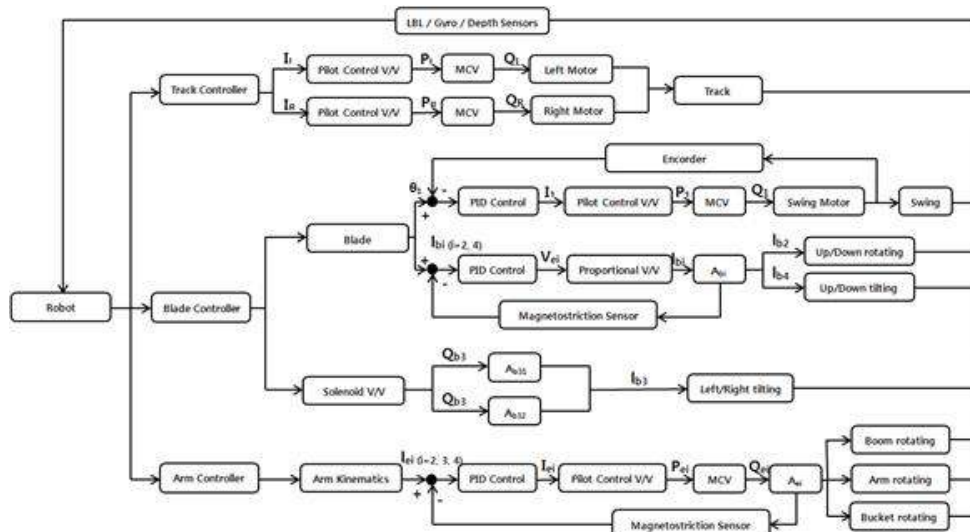
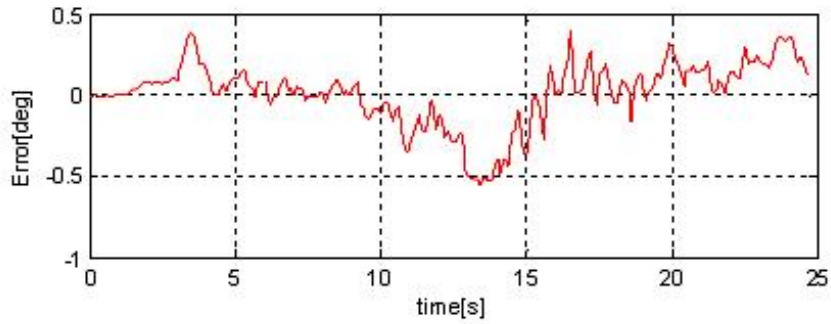
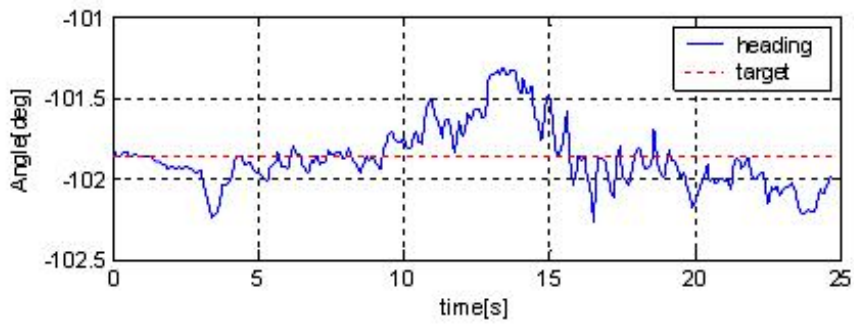
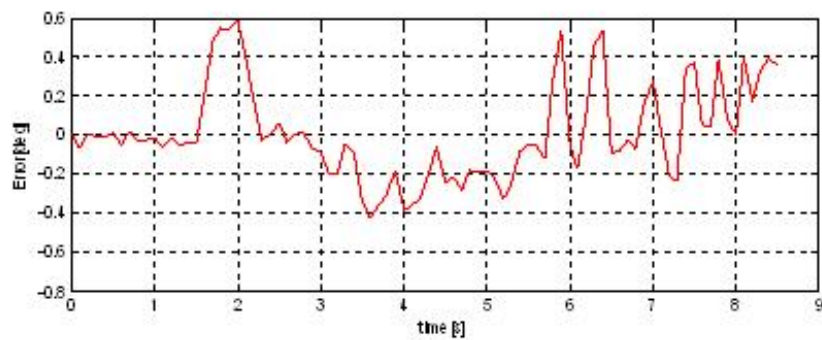
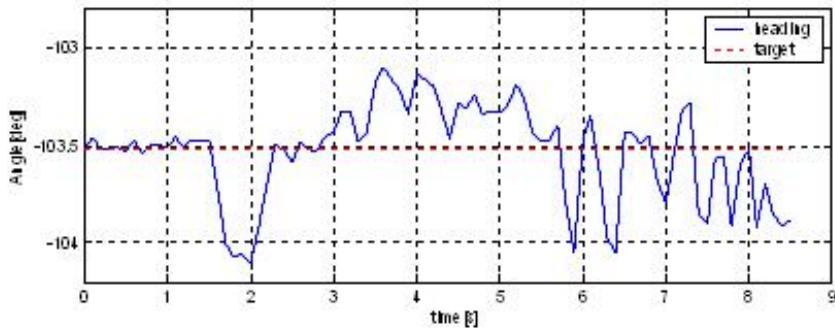


그림 1.2.3 장비의 유압제어 구조



(a) 중속(0.6 Km/h)



(b) 고속(1.2 Km/h)

그림 1.2.4 주행제어 결과

(3) 블레이드 제어

- 블레이드 제어는 상부플랫폼을 회전시키고, 블레이드의 상하회전, 좌우 틸팅, 상하 틸팅 작업을 수행함.
- 사석을 밀면서 로봇이 전진할 때 회전부하를 받아 상부 플랫폼이 회전하게 되며 이를 방지하기 위해 그림 1.2.5와 같이 상부 플랫폼에 유압 핀을 설치함. 하부 플랫폼의 흡속에 고정 핀을 밀어 내려 상부플랫폼을 고정시키는 잠근 장치가 있음. 잠근 작업은 두 플랫폼이 일직선이 되면 명령에 의해 자동으로 이뤄짐. 상부 플랫폼을 회전하는 스윙모터의 각도를 엔코더로부터 읽고 원하는 각도를 생성하기 위해 PID 제어기가 파일럿 제어 밸브에 전류 I_1 을 제공함. 파일럿 밸브의 압력에 따라 MCV 밸브가 스펴을 열어 유량 Q_1 을 제공하면 스윙모터의 회전하고, 상부플랫폼이 하부플랫폼과 나란하면 잠근 핀을 밀어 내려 고정시킴.
- 모션센서가 측정한 각도는 지형의 경사에 의해 장비가 기울어져 있음을 나타냄. 지형이 경사져있을 지라도 고르기 작업은 평탄하게 이뤄져야하므로 블레이드의 자세가 항상 좌표 {W}와 나란하도록 제어함. 블레이드 기구학이 기울어진 각도를 보상할 실린더의 길이 $l_{bi}(i=2,4)$ 를 결정함. 실린더에 장착된 자기 스트로크 센서로부터 길이를 읽고 원하는 길이와 비교해 오차를 줄일 전압을 비례 밸브에 제공하면 밸브는 전압에 따라 스펴을 열어 실린더 $A_{bi}(i=2,4)$ 에 유량을 흘려보내 길이를 조절함.



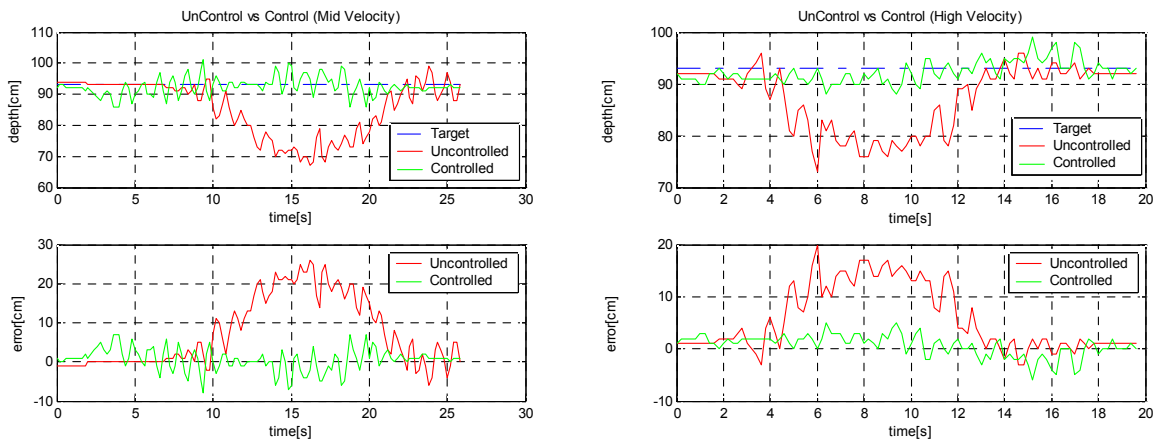
(a) 잠근 장치의 유압 실린더 및 고정 핀



(b) 설치된 잠근 장치

그림 1.2.5 상부 플랫폼과 하부 플랫폼의 잠근 장치

- 실린더 A_{b2} 는 블레이드를 상하로 회전시켜 사석높낮이에 따라 높이를 조절하고, A_{b4} 는 블레이드를 상하로 틸팅시켜 틀어진 각도를 바로 잡음. 블레이드 높이 조절 및 상하 틸팅은 서보제어를 위해 프로포셔널 밸브로 유량이 조절됨.
- 두 개의 실린더 A_{b31} 과 A_{b32} 는 사석을 한 쪽 방향으로 밀어낼 때 사용하는 것으로 서로 반대방향으로 길이를 조절해 블레이드를 회전시킴. 제어기의 on/off 신호에 의해 솔레노이드 밸브가 스프링을 열어 유량을 해당 실린더에 보내 좌우로 회전시킴. 따라서 위 두 개의 실린더는 운전자의 지령에 의해 구동됨.
- 블레이드 제어 시 실린더를 구동시키는 유량의 변화가 트랙의 주행 운동에 영향을 주므로 MCV의 브레이크포트를 이용함. 블레이드를 구동할 때는 파일럿 압력제어 밸브가 브레이크 블록에 파일럿 압력을 인가하고, 브레이크 포트에서 토출되는 유압을 비례 밸브 블록의 메인 압력 원으로 사용함.
- 장비가 험지를 주행할 때 블레이드의 자세제어에 대한 실험결과를 그림 1.2.6에 나타냄. 모션 센서가 장비의 경사각을 측정하고 이를 보상해 블레이드 제어를 실시한 경우 오차는 10cm 내외였으나 제어를 하지 않은 경우 오차는 20cm 이상이었음.
- 그림 1.2.7은 육상실험에서 자세 제어에 의해 블레이드가 사석면과 나란히 자세를 맞추는 과정을 나타냄.



(a) 중속(0.6 Km/h)

(b) 고속(1.2 Km/h)

그림 1.2.6 블레이드 자세 제어의 오차 비교



(a) 블레이드 제어 전



(b) 블레이드 제어 중



(c) 블레이드 제어 완료

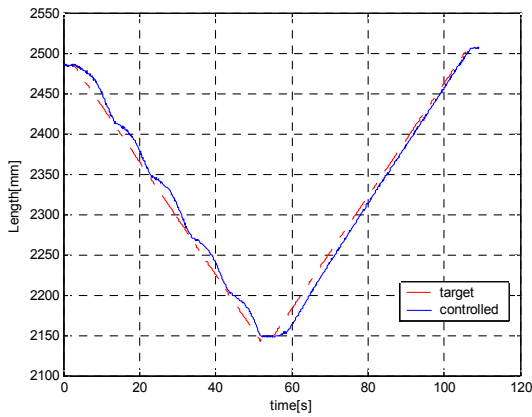
그림 1.2.7 블레이드 자세 제어의 공정

(4) 압 제어

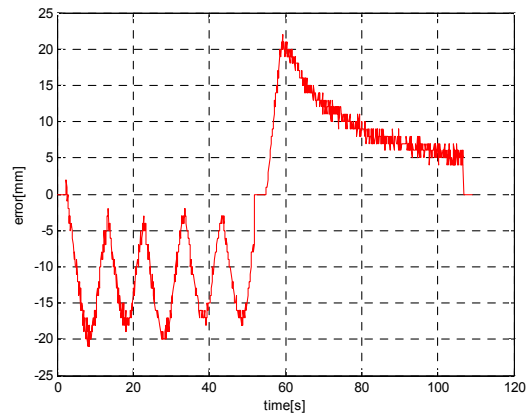
- o 다목적 암은 MCV의 암 블록에 파일럿 제어 밸브가 압력을 인가해 제어함. 조이스틱으로 원하는 실린더의 길이가 전달되면 자기 스트로크 센서가 측정된 길이와 비교해 오차를 계산함. 오차를 줄이기 위한 전류를 PID 제어기가 파일럿 제어 밸브에 제공하면 스윙모터와 같이 MCV가 스톱을 열어 유량을 실린더에 제공해 길이를 조절함. 실린더 A_{e2} 는 붐을 전후로 회전시키고, A_{e3} 는 암을 상하로 회전시키며, A_{e4} 는 버킷의 각도를 조절함. 실린더의 길이대신 버킷의 위치와 자세를 명령으로 주면 암의 역기구학에 의

해 실린더의 길이를 찾아 위와 같이 제어 실시함.

- o 그림 1.2.8은 봄 실린더의 위치제어 결과를 나타내며 제어 오차는 최대 22mm 임.
- o 그림 1.2.9은 암 실린더의 위치제어 결과를 나타내며 제어 오차는 최대 60mm 임.
- o 그림 1.2.10 버켓 실린더의 위치제어 결과를 나타내며 제어 오차는 최대 32mm 임.

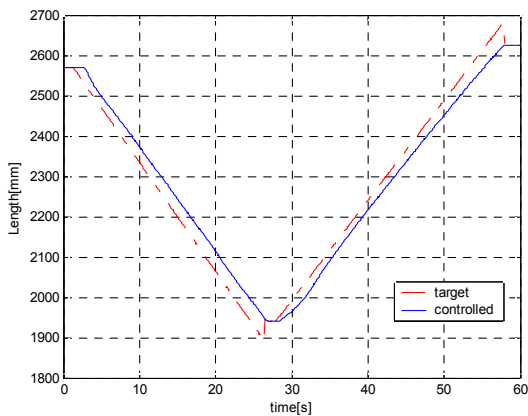


(a) 봄 실린더 위치 제어 결과

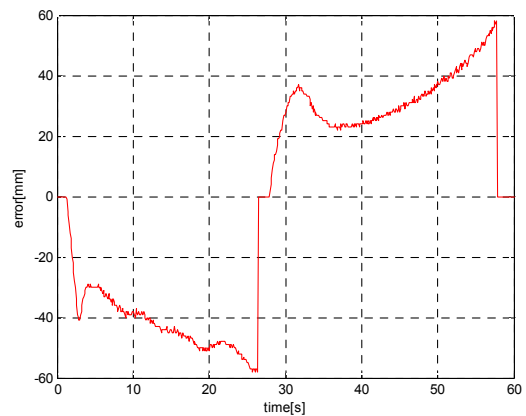


(b) 봄 실린더 위치 제어 오차

그림 1.2.8 봄 실린더 위치 제어

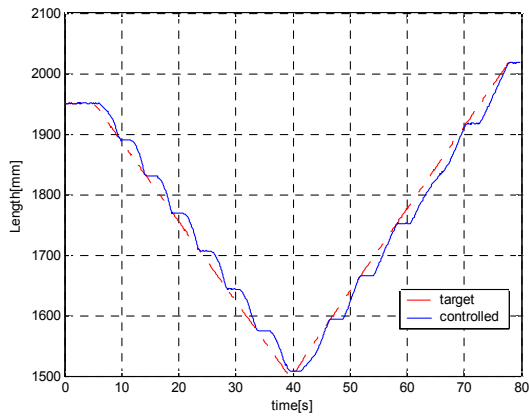


(a) 암 실린더 위치 제어 결과

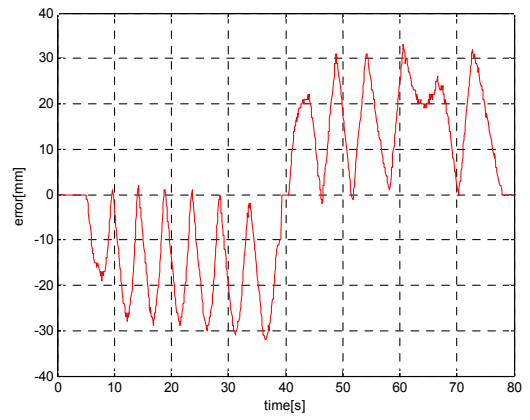


(b) 암 실린더 위치 제어 오차

그림 1.2.9 암 실린더 위치 제어



(a) 버킷 실린더 위치 제어 결과



(b) 버킷 실린더 위치 제어 오차

그림 1.2.10 버킷 실린더 위치 제어

1.3 작업 조건에 따른 장비 거동 및 안정성 분석

1.3.1 수치해석의 개요

- 수중 사석 고르기 및 굴삭 작업을 수행하는 장비는 해저면에서 작업이 진행되고 진출수 과정에서 조류속 및 파랑 등 다양한 해양 환경을 고려한 해석이 필요하다.
- 당해연도에는 개발 중인 사석 고르기 및 굴삭 장비의 조류에 의한 전복, 밀림 가능성과 함께, 구조적 안전성을 확인한다.
- 조류 영향에 대한 외력 산정은 CFD 해석을 통해 진행하고 전복, 밀림 가능성과 구조적 안전성은 산정된 외력에 대해서 구조해석을 통해 예측한다.
- 진출수 과정에서 발생할 수 있는 회전 및 밀림 하중을 예측하기 위해 파랑해석을 하였고, 이에 대한 영향을 파악한다.
- 수치 모델은 굴삭 장비를 간소화하여 모델링 하였다.
- CFD 해석 및 파랑해석은 상용프로그램인 FLUENT에서, 구조해석은 ANSYS 버전 14이 이용되었다.

1.3.2 수중 고르기 장비 수치해석

(1) 수치모델과 수치해석 정의

- CFD 해석을 위하여 굴삭기의 형상을 그림 1.3.1과 같이 단순화하였다.
 - 굴삭기는 블레이드, 다목적 암, 버킷을 장착하였다.
 - 단순화된 모델로 인하여 유체력은 증가할 것으로 예측할 수 있다. 그 결과, 장비 거동 예측에 대하여 보수적 접근이 가능하다.

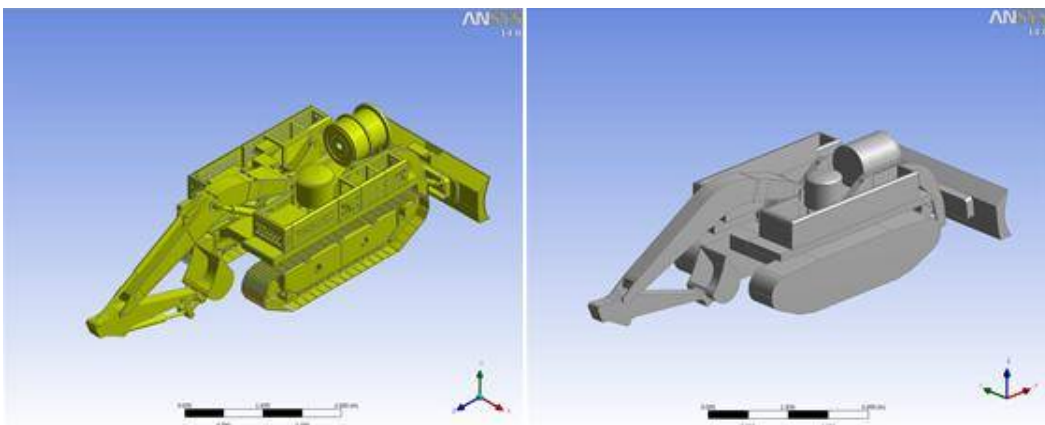


그림 1.3.1 원 장비 모형과 단순화 형상 (scale bar 크기: 3m)

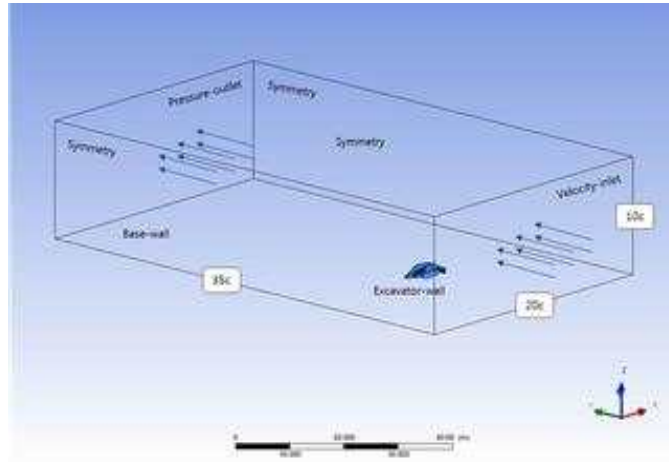


그림 1.3.2 경계조건

- o 수치 해석 시 해석 모델은 다음과 같이 정의하였다.
 - Flow direction: +y; Flow velocity: 1m/s
 - base와 vehicle 표면은 wall 조건이 주어지고 y축에서 왼쪽 zx 경계면에서는 velocity-inlet 조건이, 오른쪽 zx 경계면에서는 pressure-outlet 조건이 주어졌다. 나머지 경계면은 symmetry 조건이 주어졌다.
 - 주어진 유속 조건에 의해 와류 유동으로 간주되었고, 와류 모델은 $k-\epsilon$ 이 사용되었다.
 - 특성 길이 c 는 굴삭기 하부구조의 너비로 2.6m이다.
- o 유체 격자는 다음의 기준으로 생성되었다.
 - Global min size: 0.025m
 - Global grow rate: 1.3
 - Vehicle face size: 0.005m
 - Fluid bottom face size: 0.02m
 - 위의 조건에서 생성된 유체격자에서 셀의 개수는 10,765,203이다.
 - 성긴 격자와 세밀 격자의 경우 비교를 통해 격자의 수렴성을 확인하였다.

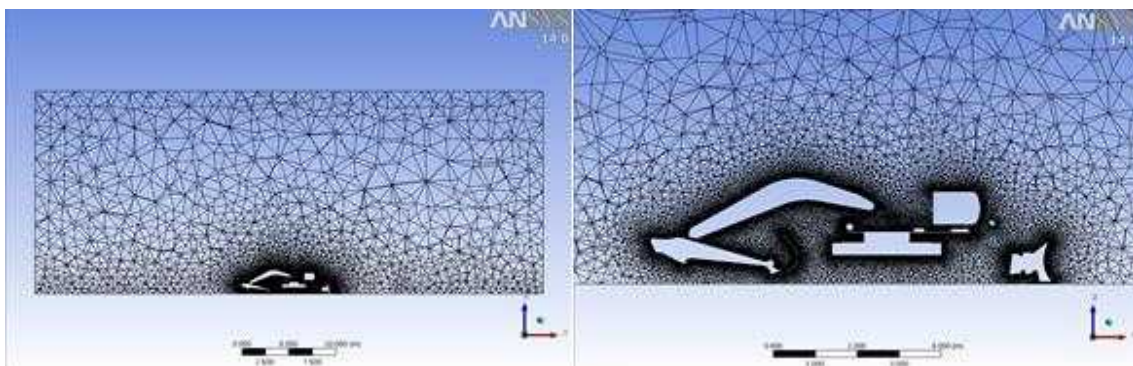


그림 1.3.3 유체 격자 시스템 (좌: 전체, 우: 줌인)

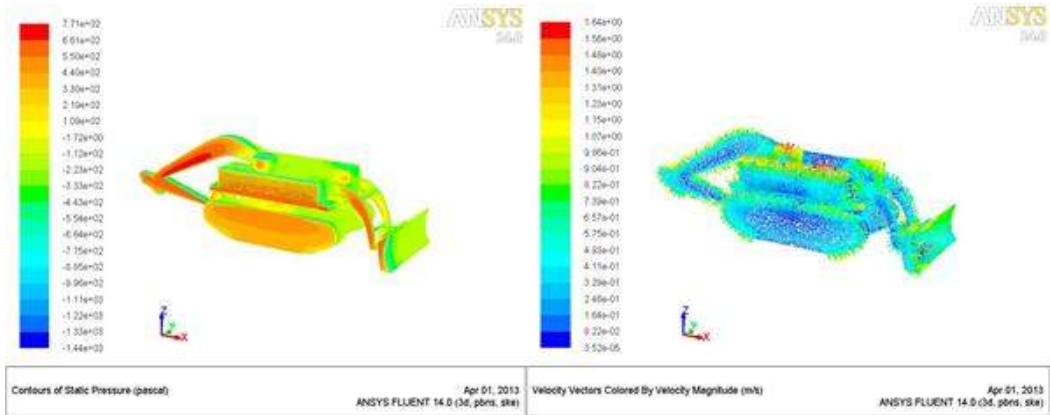


그림 1.3.4 압력과 속도분포

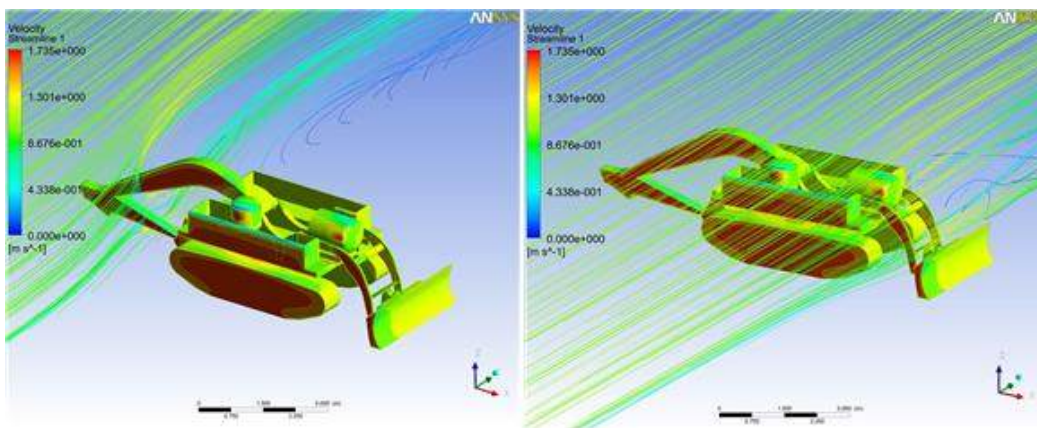


그림 1.3.5 다목적 암과 블레이드 주변 유선(streamline)

(2) 수치실험결과 및 고찰

o CFD 해석을 통한 결과

- 최대 압축 압력은 조류를 받는 면 중앙에서 나타났으며, 그 값은 771Pa이다.
- 최대 인장 압력은 조류를 받는 면 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 1.44KPa이다.
- 최대 속도는 조류를 받는 면 가장자리에서 나타났으며, 그 값은 1.64m/s 확인할 수 있다.

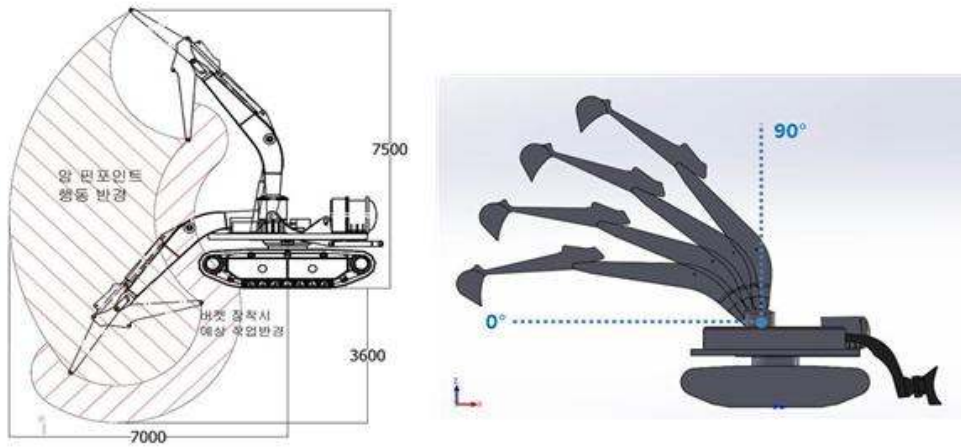


그림 1.3.6 다목적 암의 작동반경과 해석 CAD 모형

1.3.3 작동 조건 중 거동 해석

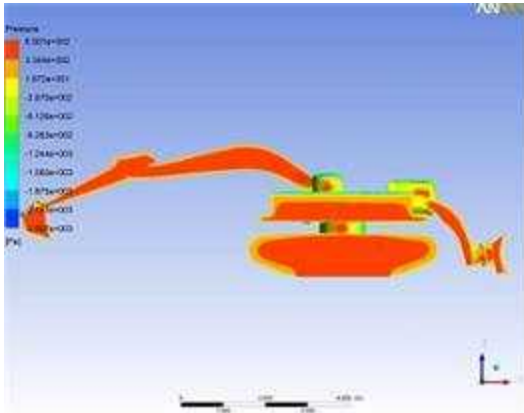
o 조류에 의한 작동 중 해석

- 다목적 암 부분의 각도 변경에 의한 영향과 장비의 상체 부분과 트랙 사이의 각도 변경에 의한 영향을 보고자 한다.
- Flow direction : + y, Flow velocity : 1m/s, 와류 모델은 $k-\epsilon$ 이 사용되었다.
- 유동해석의 경계조건과 MESH 생성 조건은 다목적 암 초기 상태일 때 조건과 모두 동일하다.
- 본 작업들은 느린 속도로 이루어지므로 관성력이 유체력에 비해 무시할 만 하다고 가정하여 준정적해석(Quasi-static analysis)으로 진행한다.

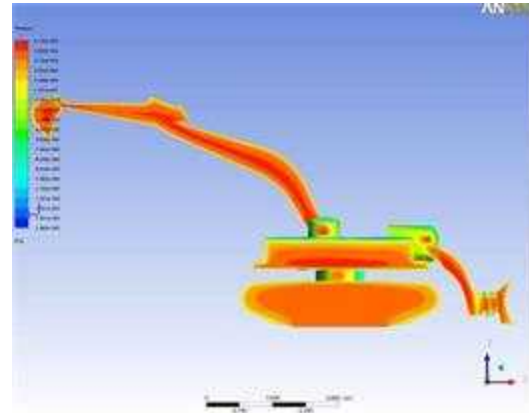
(1) 다목적 암 각도 변경에 의한 영향

o 유동해석 결과

- 다목적 암의 행동반경을 고려하여, 기본모델에서 다목적 암의 각도를 15도씩 변경하여 해석 CASE를 선정하였다.
- 총 4가지 CASE로, 45도, 60도, 75도, 90도로 각도를 변경하여 유동해석을 진행하였다.
- Flow direction : + y, Velocity : 1m/s
- 유동해석 후 각 CASE에 대한 압력분포는 그림 1.3.7 에서 보는 것과 같다.
- 각 CASE에 대한 FORCE를 구해보면 다목적 암의 각도가 45도일 때, 7915N으로 제일 큰 값을 나타냈다. 추후 CASE 1(45도)에 대한 구조해석을 진행하였다. 45도의 경우 다목적 암 아래 쪽으로 유동이 빠져나가면서 가속되고, 그에 따라 다목적 암과 본체에 상대적으로 큰 압력이 부가된 것으로 예측된다. 따라서 다목적 암을 펼치고 하부 작업을 진행 시에 유체력의 증가를 감안해야 할 것으로 보인다.

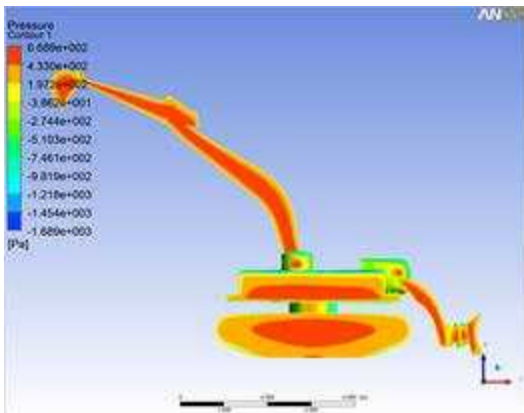


(a) Case 1 : 45°

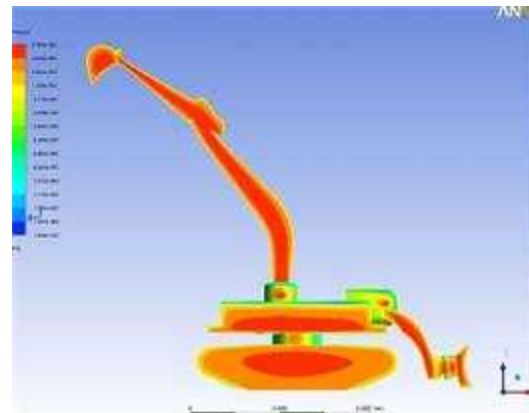


(b) Case 2 : 60°

그림 1.3.7 다목적 암 각도 변경 해석 CASE의 압력 분포 (계속)



(c) Case 3 : 75°



(d) Case 4 : 90°

그림 1.3.7 다목적 암 각도 변경 해석 CASE의 압력 분포

표 1.3.1 ARM 각도 변경 해석 CASE의 FORCE 비교

Fluent Force(Flow direction +y)		Force			Total Force(N)
		x	y	z	
90	18,094,031	223.58	6902.83	1412.97	7049.51
75	15,889,219	315.74	6986.89	1567.74	7167.57
60	18,289,568	352.58	7075.99	1511.93	7244.30
45	18,918,794	214.14	7734.16	1670.92	7915.50

- 다목적 암 각도 변경에 따른 각 CASE에서 FORCE와 전복모멘트를 구하여 비교하면 그림 1.3.8과 같은 차이를 보인다.
- 전복을 판단하는 rolling 모멘트는 x축 방향의 모멘트로 조류 방향의 반대쪽 트랙의

바깥쪽 가장자리에서 다음과 같이 계산된다.

$$M_{rolling} = M_x + (w/2) \cdot F_z$$

여기서 w 는 굴삭기 하부구조의 너비이다.

- 수중 무게가 15톤 이상으로 예측되며 이 때 저항 모멘트가 21.6 tonf · m 이상임
- 15톤 기준 정지마찰계수 0.5 가정하의 밀림 저항력인 7.5 tonf 임
- 다목적 암의 각도가 줄어들수록 전복모멘트는 작아지나, 밀림 하중은 커지는 것을 알 수 있다.

: 최대 전복 모멘트는 1.3톤중-m로 전복 가능성이 상당히 낮음.

: 최대 밀림 하중은 0.76톤중으로 밀림 가능성도 상당히 낮음.

o 구조해석 결과 (CASE 1 : 45도)

- 다른 CASE에 비해 상대적으로 큰 유체력을 받는 CASE 1의 구조해석을 진행하였다. 구조해석 시 사용한 CAD는 유동해석에서 사용한 모델과 동일하다.
- 구조 MESH는 Tetra mesh를 이용하였고 Grobal min size는 0.02m, Grobal max size 0.05m, Growth rate는 1.2으로 MESH를 생성하였다. 구조 MESH의 Element 개수는 241,784개이다.
- 구조해석 시, 굴삭기의 트랙의 밑면에 FIXED 조건을 주어 바퀴 부분을 고정하였다.
- 외력은 CFD 해석에서 계산된 압력 데이터를 이용한다. 그림 1.3.11(좌)는 CFD 압력 데이터를 구조 격자에 맞추어 변환된 예를 보여준다.

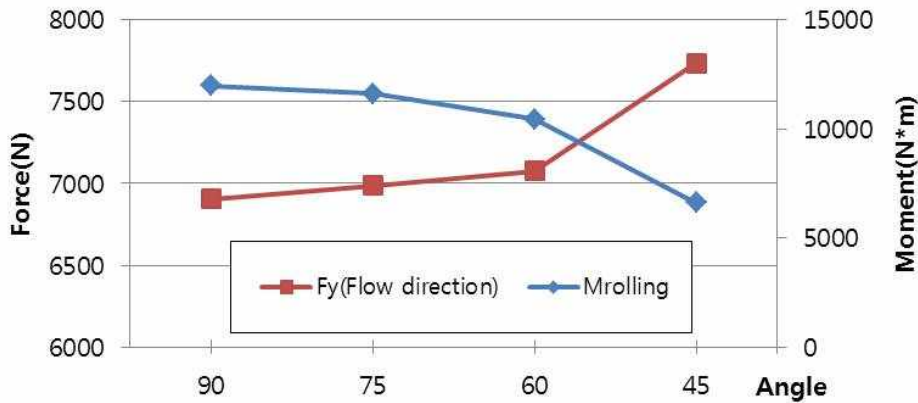


그림 1.3.8 다목적 암 각도 변경 CASE의 FORCE와 전복모멘트 비교

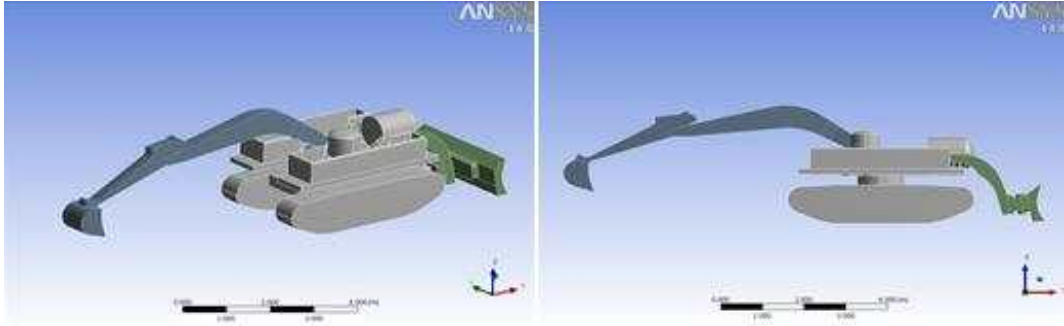


그림 1.3.9 각도 45도 CASE의 구조해석 CAD 형상

- 상대적으로 높은 응력은 vehicle 상부와 다목적 암 부분에서 나타났으며, 최대 응력은 상부의 얇은 판재 가장자리에서 나타났다. 그 값은 9.34 MPa로 Steel의 Yield Strength 250 MPa을 고려했을 때 안전율은 26.77로 구조적으로 안정하다고 볼 수 있다. (그림1.3.11 (우))
- 최대 변위는 블레이드 부분에서 나타났으며, 그 값은 0.5mm로 허용할 수 있는 수준으로 판단된다. (그림 1.3.12)

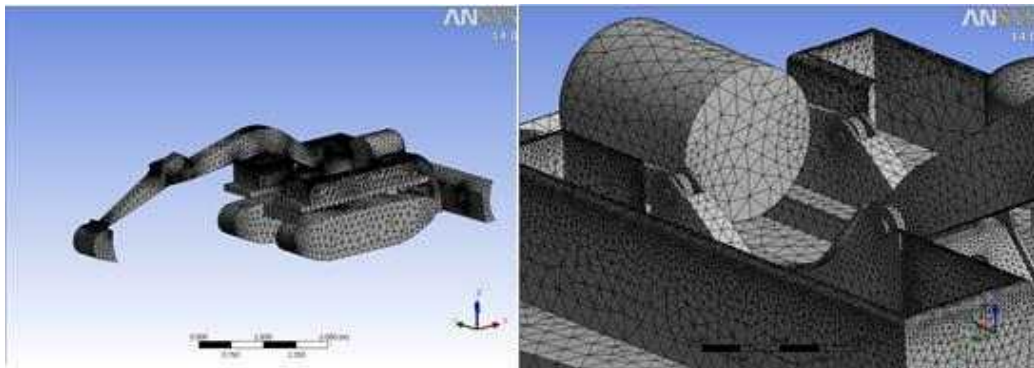


그림 1.3.10 (좌)구조 MESH의 Entire view (우) 구조 MESH의 Detail view

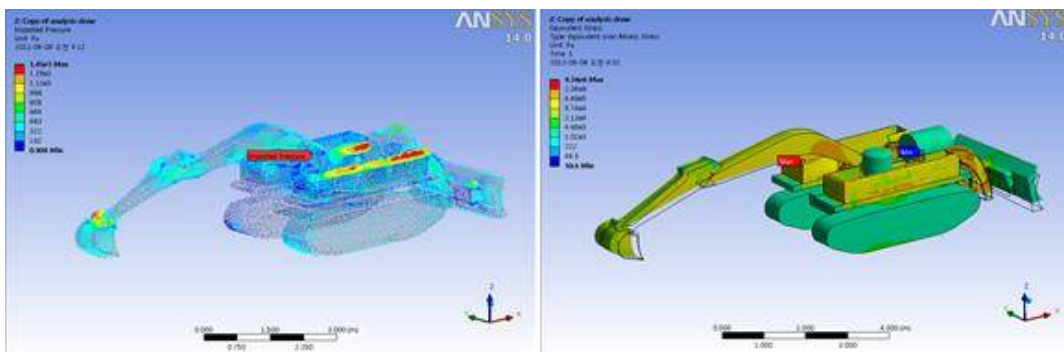


그림 1.3.11 (좌) Fluent 압력 데이터 (우) Equivalent stress

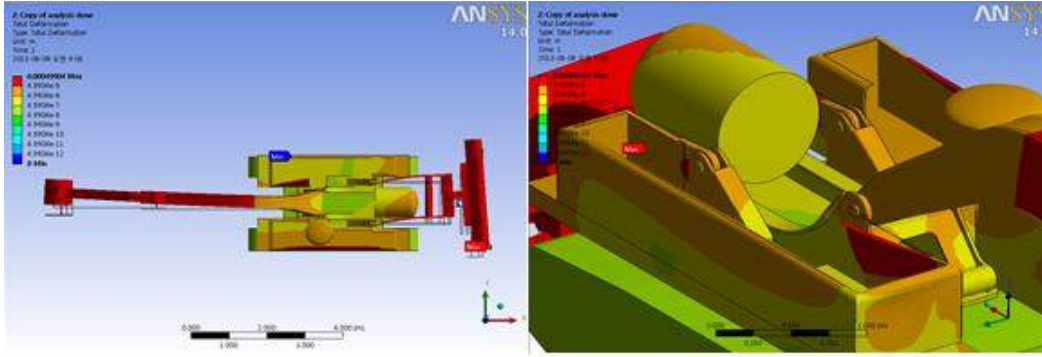


그림 1.3.12 Total deformation

(2) 몸체와 트랙 부분 간의 각도 변경에 의한 영향

- 몸체와 트랙 간의 각도가 50도, 90도일 때를 고려하여 해석모델을 생성하였다.
- MESH 생성 정보는 다목적 암 각도 변경 CASE와 동일하며 경계조건 역시 동일하다.
- Flow direction : + y, Flow velocity : 1m/s
- 상부구조가 회전하게 되면 하중을 줄어들며 F_y 의 경우는 0.32ton • 중까지 작아진다.
- 따라서, 상부 구조가 0도 위치일 때 F_y 와 F_z 가 가장 크게 나타난다.

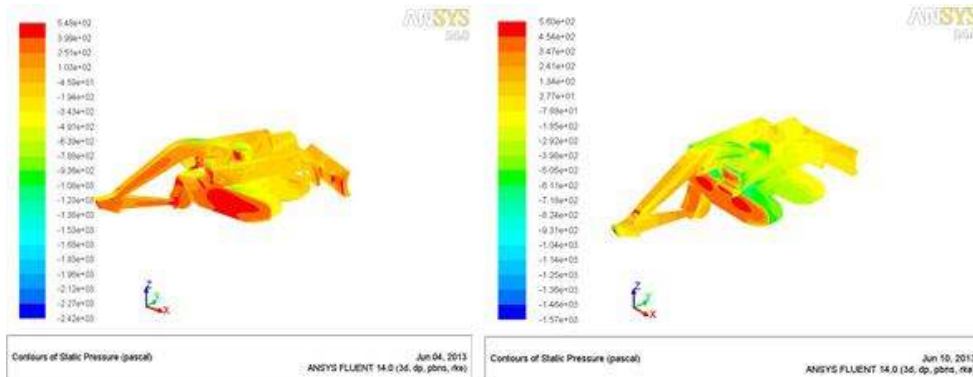


그림 1.3.13 (좌) 몸체와 트랙 간의 각도 50도 변경 (우) 각도 90도 변경

표 1.3.2 몸체와 트랙 간의 각도 변경 CASE의 FORCE 비교

	Element	Force			Total Force(N)
		x	y	z	
0	17,408,801	543.65	6701.46	1647.30	6922.33
50	19,274,448	-1166.23	4768.56	932.40	4996.86
90	20,086,365	122.01	3205.48	971.80	3351.77

1.3.4. 파랑 조건 하 입수 해석(Quasi-static analysis)

(1) 수치해석 조건

- o 파랑 조건을 이용하여 장비가 바다에 입수 시 시간별 위치를 CASE로 분리하여 정적 해석을 진행하였다.
- o 관성력이 유체력보다 작은 경우로 Quasi-static 해석으로 동적 특성 해석 예측이 가능하다.
- o 장비 위치에 따른 해석 CASE 선정은 그림 1.3.14와 같다. 붉은 선은 free surface의 위치를 나타낸다.
 - A. S-1/4 (수면을 기준으로 장비의 1/4만큼 잠긴 경우)
 - B. S-2/4 (수면을 기준으로 장비의 2/4만큼 잠긴 경우)
 - C. S-3/4 (수면을 기준으로 장비의 3/4만큼 잠긴 경우)
 - D. S-1 (수면을 기준으로 장비의 1만큼 잠긴 경우)
 - E. S-2 (수면을 기준으로 장비의 2만큼 잠긴 경우)
 - F. S-4 (수면을 기준으로 장비의 4만큼 잠긴 경우)
 - G. S-modified (S-4이면서, ARM과 BLADE 각도가 다른 경우)
- o 특히, CASE G는 입수 시 다목적 암과 블레이드의 각도 변경에 따른 파랑 영향을 파악하기 위한 CASE이다.
- o 이번 해석에서 파랑 조건을 입력하기 위해 Fluent의 Numerical Beach function과 Open channel flow 조건을 이용하였다.
- o WAVE가 만들어지는 free surface 구간의 MESH는 보통 Quad type을 많이 사용하지 만 장비가 위치해 있는 구간만 Tetra type의 mesh를 사용하였다.
- o MESH 정보는 다음과 같다.
 - Grobal min size : 0.03m
 - Grobal max size : 1.0m
 - Growth rate : 1.2

표 1.3.3 파랑 정보

WAVE LENGTH	WATER DEPTH	WAVE HEIGHT	PERIOD
80m	25m	2m	8 sec

- o Flow direction : + x

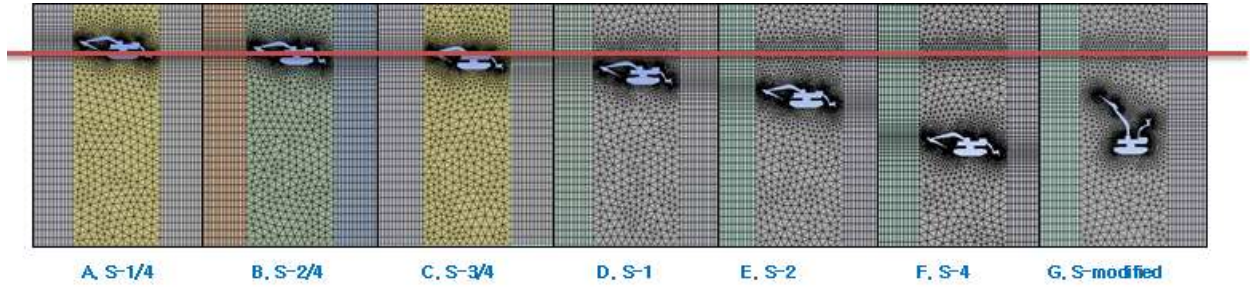


그림 1.3.14 장비 위치에 따른 파랑 해석 CASE 분류

(2) 파랑 해석 결과

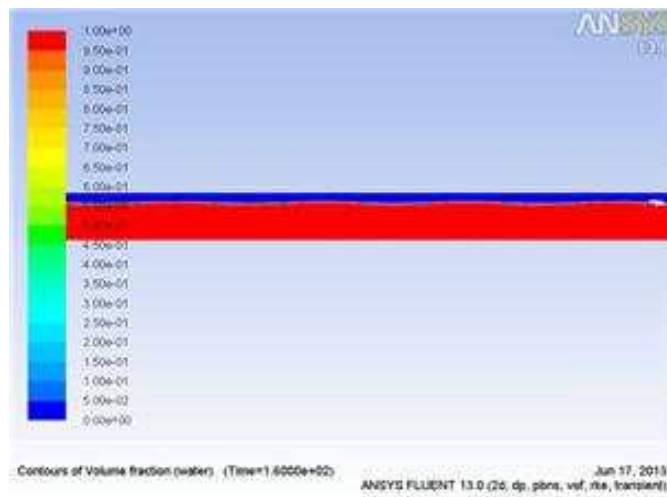


그림 1.3.15 CASE C(S-3/4)의 파랑 이미지

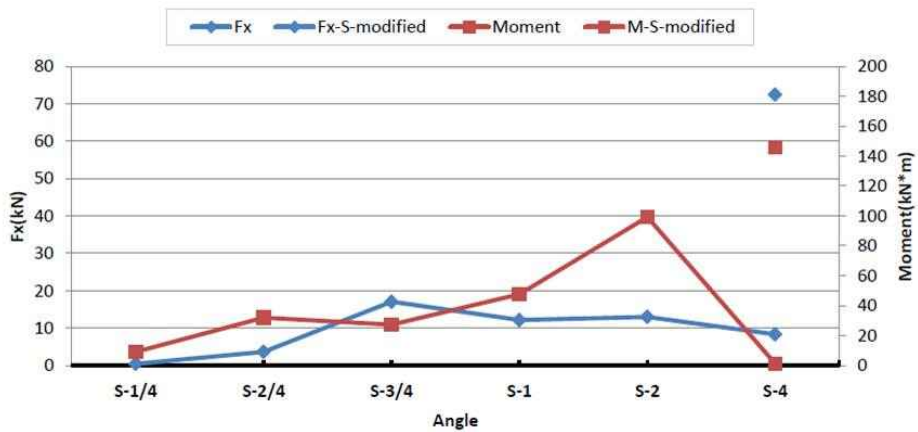


그림 1.3.16 각 CASE의 FORCE와 MOMENT 비교

표 1.3.3 각 CASE의 FORCE와 MOMEN

PERIOD	CASE	X	Y	FORCE(N)	Z-MOMENT (N*m)
8S	S-1/4	440.0	10394.3	10403.6	9004.6
	S-2/4	3651.9	46504.5	46647.7	32021.6
	S-3/4	17030.9	91524.3	93095.3	27280.3
	S-1	12158.8	179063.4	179475.7	47603.7
	S-2	12993.9	163973.9	164488.0	99245.8
	S-4	8349.1	137847.1	138099.7	1243.2
	S-modified	72442.3	154618.4	170747.6	145929.5

- 장비의 3/2-2배 정도 잠긴 상태에서 Fx와 Mz가 상대적으로 크다
- Fx는 1.7ton 정도로, 수중고르기 장비의 밀림과 진수장비에 부담을 줄 수 있다.
- Mz는 진수 시, 수중고르기 장비의 회전을 야기하니, 모멘트를 최소화하는 위치에 진수장비와의 연결이 필요하다.
- CASE G에서 보듯이, 다목적 암과 블레이드 위치에 따라 Fx와 Mz가 크게 달라짐을 알 수 있다.
- 하지만, 해석의 정확성 향상을 위해서는 추후에 3차원 해석이 진행되어야 한다.

1.3.4 요약

- o 개발 중인 사석 고르기 및 굴삭 장비에 대해 조류에 의한 전복, 밀림 가능성과 함께, 구조적 안전성에 대하여 준정적해석을 통해 예측하였다.
- o 조류 영향에 대한 외력 산정은 CFD 해석을 통해 진행하였고 전복, 밀림 가능성과 구조적 안전성은 산정된 외력에 대해서 구조해석을 수행하였다.
 - 작동 조건을 고려한 경우들에 대해서 전복 및 밀림 가능성은 낮은 것으로 판단된다.
 - 구조해석 결과 steel(ASTM A36) 계통의 재료를 사용하는 경우 구조 안전성을 확인하였다.
- o 해석에 앞서 CAD 모형은 CFD 해석을 위해 단순화 되었으며, 이에 의해 보수적인 수치들을 얻을 수 있었다.
 - 각 CAD 모형에서 세부적인 형상을 곡선화 하였고, 영향이 클 것으로 예상되는 부분들은 그대로 두었다. 단순화에 의한 오차 범위는 정량화하기에는 어려움이 있으나 전체 해석의 경향성을 보기에는 무리가 없어 보인다.
- o 진수 시 파랑에 의한 영향을 2차원 파랑해석을 통해 예측하였고, 밀림과 회전력을 추정하였다. 실제 진수 시에 도움을 주기 위해서는 3차원 해석이 요구된다.
- o 본 장에서 수행된 수치해석의 결과로 미루어 보면 진행 중인 설계안에 대한 구조 안정성은 물론 전복 및 밀림에 대한 안전성도 높은 것으로 판단된다. 또한 진수 조건 해석을 통해 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 고르기, 굴삭용 툴 제작

- 당해 연도에는 다목적 암을 설계, 제작하고 다목적 암 끝단에 장착할 수 있는 툴을 개발하여 시제품을 제작하는 것이 주요한 부분임.
- 다목적 암은 기 개발된 블레이드가 수행하지 못하는 사석 고르기 작업과 다관절 구조를 이용한 다양한 수중 작업을 수행할 수 있도록 설계하였고, 장착 되는 툴은 버킷과 크랩셀로 한정하여 개발하였음. 추후 다양한 시공분야의 목적에 맞는 툴을 개발 장착한다면, 개발 장비의 적용 분야를 보다 더 넓힐 수 있을 것임.

2.1 다목적 암 설계·제작

2.1.1 다목적 암의 구조

- 다목적 암은 사석을 긁고, 굴삭하여 옮기는데 사용하는데 붐, 암, 툴로 이뤄져있다. 붐 프레임과 상부 플랫폼에 연결된 두 개의 유압실린더가 붐을 전후로 이동시키고, 붐 프레임과 암 프레임 사이에 연결된 한 개의 실린더가 암을 상하로 회전시킨다. 툴은 4관절의 출력링크에 장착되어 암 프레임에 연결된 실린더의 구동에 의해 사석을 퍼 담거나 쏟아낼 수 있도록 회전된다.
- 다목적 암은 그림 2.1.1과 같이 장비에 설치 되었을때 작업공간을 고려한 회전반경, 툴을 장착했을 때 작업반경 및 트랙과의 중첩거리를 고려하여 설계하였음. 이를 위해 다목적암의 설계 재원은 표와 같이 설정되었음.

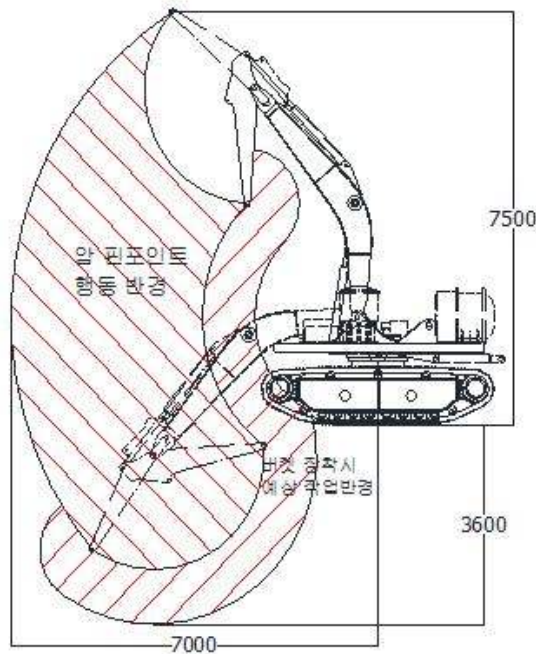


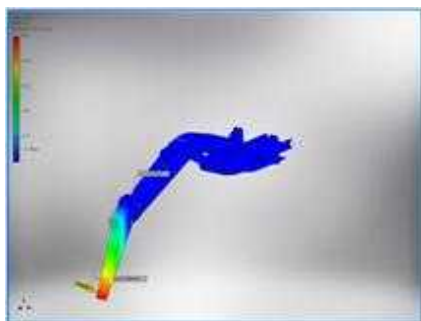
그림 2.1.1 다목적 암의 작업 반경

표 2.1.1 다목적암 설계 자원

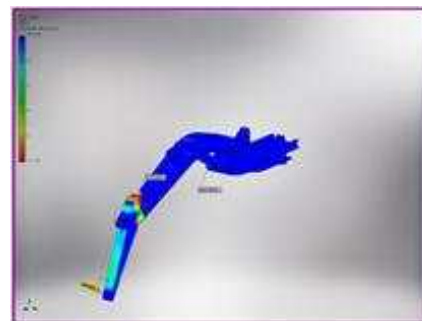
Item	Sub-Item	Spec.
Boom	회전핀 간 거리	4600mm
Arm	회전핀 간 거리	2100mm
버킷	회전핀-Teeth 간 거리 (상용 06급 버킷 활용)	890mm
운동반경	회전반경	7800mm
	최대 접근 깊이	3600mm
	최대 접근 높이	7500mm

2.1.2 다목적 암의 설계

- 다목적 암은 버킷이나 크랩셀 등의 툴을 장착하여 중작업을 하는 것으로 그림 2.1.2와 같이 부하에 따른 변위 분석, 안전계수 분석 등을 통해 설계하였음.
- 상기 분석을 통해 설정된 재질 및 두께를 결정하여 상세설계를 수행하였으며, 그림 2.1.3은 붐(Boom) 및 암(Arm) 에 대한 상세설계의 결과이고, 그림 2.1.4는 다목적 암 제작을 위한 제작도면임.

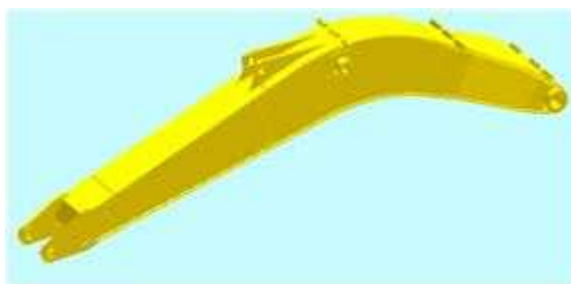


(a) 변위분석

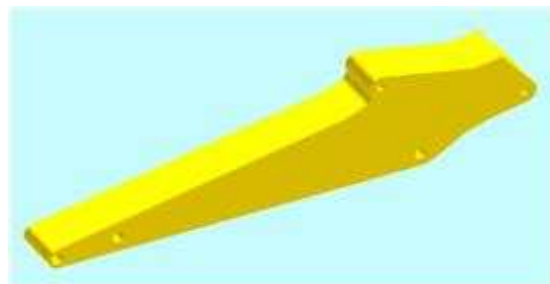


(b) 안전계수분석

그림 2.1.2 다목적 암의 변위 및 안전계수 분석



(a) Boom 설계



(b) Arm 설계

그림 2.1.3 붐과 암의 상세설계

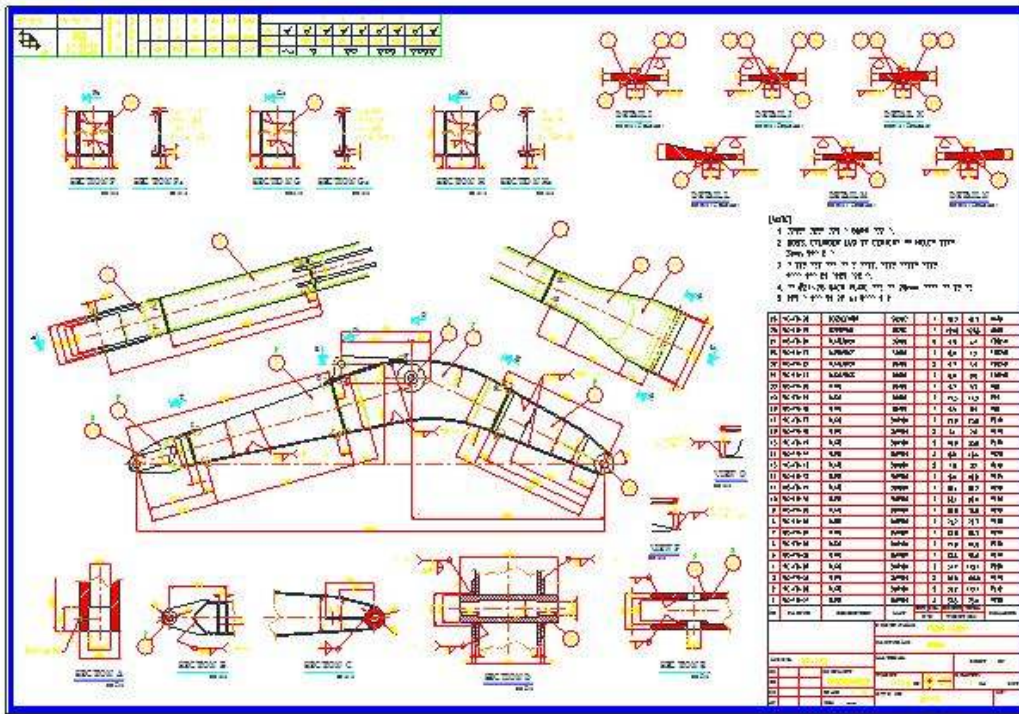


그림 2.1.4 붐과 암의 제작도면

2.1.3 다목적 암의 제작

o 상세설계도면을 기반으로 제작된 다목적 암은 그림 2.1.5와 같으며, 3차원 설계모형과 동일하게 제작되었음. 또한 제작과정에서 실린더, 톨, 유압밸브 등과 연결을 위해 그림 2.1.6과 같이 유압배관을 진행하여 수중 중작업 조건에서도 안정적인 유압라인을 설치 하였음.



(a) 제작된 Boom

(b) 제작된 Arm

그림 2.1.5 붐과 암의 제작 결과

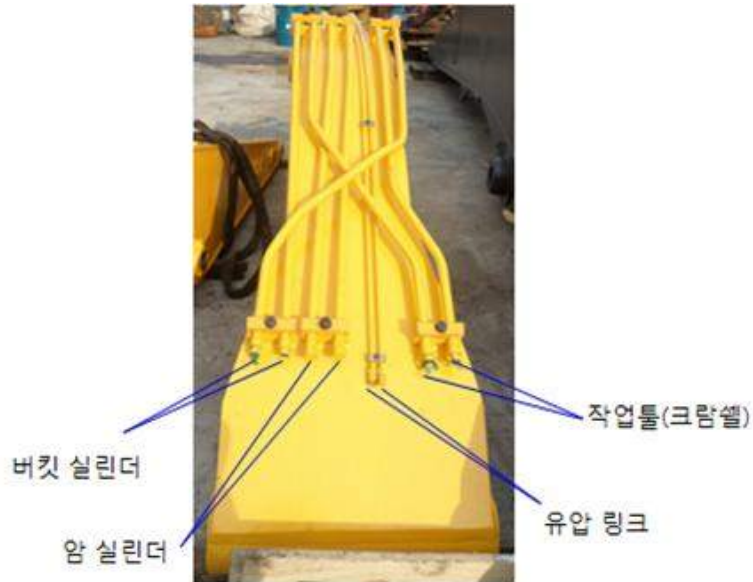


그림 2.1.6 붐에 설치된 유압 배관

- o 다목적 암 구동을 위해 중작업용 실린더가 필요함. 본 과제에서는 중작업용 실린더를 설계 제작하지 않고, 산업현장에서 검증된 중장비용 실린더를 구매 후 보완하여 적용하였음. 실린더의 선정은 다목적암의 작업 반경을 고려하여 두산 중공업의 06급 중장비인 DX-140W의 실린더를 선택하였음.
- o 그림 2.1.8은 실린더의 길이를 측정하기 위해 실린더 내부에 길이측정센서(MTS)를 설치하기 위해 수행한 공정을 보이고 있음. 실린더를 절개한 후 하우징 상부에 MTS 센서를 고정하고, 로드 측에 드릴 건 작업을 하여 길이측정센서의 로드부가 삽입될 수 있도록 설치함. 설치 후에는 절개된 부분을 용접하여 누유, 방수, 기계적 강성을 만족시키도록 복원함.



그림 2.1.7 중작업용 DX-140W 실린더



그림 2.1.8 실린더 길이 측정 센서 (MTS) 설치공정

2.2 작업용 툴 설계·제작

2.2.1 버킷

- 버킷의 기능은 수중 사석 고르기 작업에 있어 사석 무더기를 퍼내거나 사석이 기준높이 보다 낮아 보충할 필요가 있을 때 채워 넣는 용도로 사용함.
- 버킷은 특수한 기능을 가지는 구조가 아니므로 그림 2.2.1과 같이 상용 06급 굴삭기의 버킷을 구매하여 활용하였음.

2.2.2 크람셀

- 크람셀은 버킷으로 작업하기 어려운 크기의 사석을 파지하여 이동하기 위한 목적으로 활용됨.
- 크람셀은 그림 2.2.2와 같이 상부에 두 개의 핀을 가지며, 다목적 암의 말단부와 기계적으로 연결되도록 되어 있으며, 좌우 측면에 2개의 실린더를 설치하여 실린더의 길이 변화에 따라 파지부를 닫았다 폈다할 수 있는 구조이며, 파지부의 폭은 약 1200mm로 제작되었음.



그림 2.2.1 굴삭용 버킷



그림 2.2.2 붐과 암의 제작 결과

2.3 작업용 툴의 제어 정밀도 향상을 위한 제어기법 개발

2.3.1 수중고르기 장비의 모델링을 위한 링크 및 조인트의 정의

- 운영실에서 컴퓨터 그래픽을 보면서 원격제어하기 위해서는 장비의 3차원 모델링이 필요하다. 장비의 모델링을 위해 링크와 조인트를 그림 2.3.1과 같이 정의한다. 하부 플랫폼을 링크 $link_0$, 상부 플랫폼을 $link_1$ 으로 정의하고, 블레이드와 다목적 암의 링크를 각각 $link_{bi}$ 와 $link_{ei}$ ($i=2,3,4$)로 나타낸다. 여기서 아래첨자 b는 블레이드의 링크를 나타내고, e는 다목적암의 링크를 나타내며 변수 $i=2,3,4$ 는 직렬로 연결된 링크의 순서를 표시한다.
- 블레이드의 링크는 실린더 A_{bi} 의 길이조절에 따라 조인트 $joint_{bi}$ 을 중심으로 회전하고, 다목적암의 링크는 실린더 A_{ei} 의 길이조절에 따라 조인트 $joint_{ei}$ 을 중심으로 회전한다. 실린더의 길이에 따른 기하학적 구속 조건을 구하기 위해 조인트 $joint_{bi}$ 와 $joint_{ei}$ 의 중심에 각각 점 B_i 와 E_i 를 부여하고, 실린더 A_{bi} 를 점 B_{i1} 과 B_{i2} 로 연결하고, 실린더 A_{ei} 를 점 E_{i1} 과 E_{i2} 로 연결한다.
- 블레이드 링크 $link_{b2}$ 는 블레이드의 상하회전 프레임이고, $link_{b3}$ 는 좌우틸팅 프레임이

며 $link_{b4}$ 는 상하틸팅 프레임이다. 링크 $link_{b2}$ 는 사석의 레벨에 따라 블레이드의 높이를 조절하는 링크로 두 개의 실린더가 양쪽에서 지지하면서 동기제어를 한다. 두 개의 실린더가 하나같이 운동하므로 모델링에서는 실린더를 A_{b2} 로 나타내고 상부 플랫폼에 연결하는 점을 B_{21} , 상하회전 프레임에 연결하는 점을 B_{22} 으로 한다. 실린더 A_{b2} 의 길이가 변하면 삼각형 B2, B21, B22의 기하학적 구속에 의해 $joint_{b2}$ 가 회전하게 된다. 나머지 피동 조인트들도 이와 같은 방법으로 구동된다.

- o 블레이드 작업에서 사석을 한쪽으로 밀면서 작업할 필요가 있다. 따라서 상하플랫폼 전면에 조인트 $jjoint_{b3}$ 를 설치하고 양쪽에서 두 개의 실린더 A_{b31} 과 A_{b32} 가 서로 반대 방향으로 길이를 조절해 $link_{b3}$ 를 좌우방향으로 틸팅한다. 실린더 A_{b31} 는 점 B_{31} 과 점 B_{32} 와 연결되고, 실린더 A_{b32} 는 점 B_{33} 와 점 B_{34} 에 연결되어있다. 마지막으로 실린더 A_{b4} 가 기준면에 대해 틀어진 블레이드의 각도를 상하 틸팅하여 어떤 지형에서도 블레이드를 기준면에 대해 항상 나란하게 맞춘다.
- o 다목적 암은 사석을 굽고, 펴 담고, 쏟아내는데 사용한다. 링크 $link_{e2}$ 는 붐이고, $link_{e3}$ 는 암이며, $link_{e4}$ 는 버킷이다. $link_{e2}$ 는 두 개의 실린더가 동기제어 하여 전후로 회전된다. 두 개의 실린더가 하나같이 운동하므로 모델링에서는 실린더를 A_{e2} 로 나타내고 연결하는 점을 두 점을 A_{21} 과 A_{22} 으로 나타낸다. $link_{e3}$ 는 실린더 A_{e3} 가 길이를 조절해 점 A_{32} 를 밀고 당겨 $joint_{e3}$ 를 중심으로 회전시킨다. 마지막으로 실린더 A_{e4} 가 점 $A_4, A_{42}, A_{43}, A_{44}$ 으로 이뤄진 평면 4관절기구의 입력링크 $\overline{A_{42} A_{44}}$ 를 회전시키면 출력링크 $\overline{A_4 A_{43}}$ 가 회전되고 출력링크에 장착된 $link_{e4}$ 가 회전하게 된다.

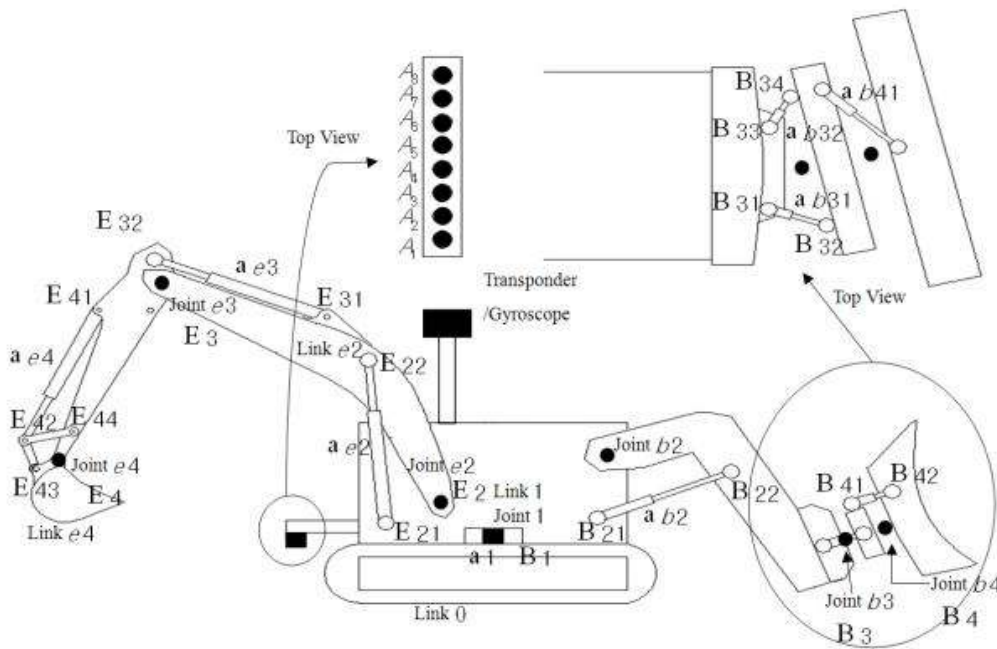


그림 2.3.1 장비의 링크와 조인트 정의

2.3.2 좌표 정의

- o 위에서 정의한 링크에 직각좌표를 부여한다. Denavit and Hartenberg 원리를 따라 회전축을 Z-축으로 하고, 링크 사이의 거리를 X-축하며 Y-축은 오른나사의 법칙에 따라 결정한다.
- o 우선 사석 고르기 작업의 기준이 되는 월드좌표 {W}를 작업공간 내에 정의한다. 이동 트랙 플랫폼에 {0}좌표를 부여하고, 좌표 {0}과 원점은 같고 스윙모터 A1에 의해 같이 회전하는 좌표 {1}을 정의한다. 좌표 {1}은 좌표 {0}에 대해 θ_1 만큼 회전한다. 점 $B_i(i=2,3,4)$ 를 원점으로 링크 $link_{bi}$ 에 부여된 좌표 $\{B_i\}$ 를 정의한다. 좌표 $\{B_2\}$ 는 좌표 {1}의 X-축에 대해 θ_{b2} 만큼 회전하고, 좌표 $\{B_i\}(i=3,4)$ 는 좌표 $\{B_{i-1}\}$ 에 대해 θ_{bi} 만큼 회전한다.
- o 다목적 암에도 블레이드와 같이 점 $E_i(i=2,3,4)$ 를 원점으로 링크 $link_{ei}$ 에 부여된 좌표 $\{E_i\}$ 를 정의한다. 좌표 $\{E_2\}$ 는 좌표 {1}의 X-축과 θ_{e2} 의 각도로 이루며, 좌표 $\{E_i\}(i=3,4)$ 는 좌표 $\{E_{i-1}\}$ 에 대해 θ_{ei} 만큼 회전한다. 마지막으로 블레이드와 다목적암의 끝단에 각각 좌표 {B}와 {E}를 부여한다.

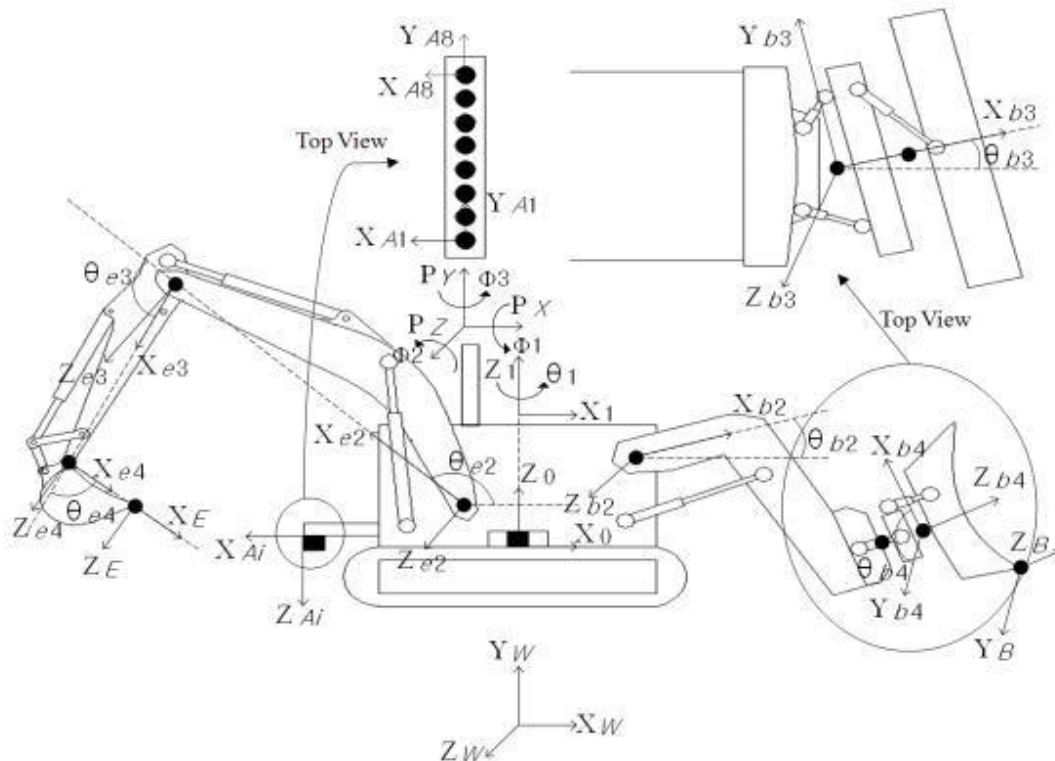


그림 2.3.2 장비의 좌표 정의

2.3.3 장비의 기구학 해석

o 정의된 좌표에 대한 위치벡터가 변환행렬에 의해 변환된다. 즉, (i+1)좌표계의 위치 벡터 ${}^{i+1}P$ 가 (i)좌표의 위치벡터 iP 로 아래와 같이 변환된다.

$${}^iP = {}^iT_{i+1} {}^{i+1}P \quad (2-1)$$

여기서 ${}^iT_{i+1}$ 는 (i)좌표와 (i+1)좌표의 변환행렬이다.

이런 관계를 이용해 버킷과 블레이드의 위치벡터를 기준좌표 {W}로 나타낼 수 있다.

$${}^WP = {}^WT_{E4} {}^{B4}P \quad (2-2a)$$

$${}^WP = {}^WT_{E4} {}^{E4}P \quad (2-2b)$$

여기서

$${}^WT_{E4} = {}^WT_0 {}^0T_1 {}^1T_{E2} {}^{E2}T_{E3} {}^{E3}T_{E4}$$

$${}^WT_{E4} = {}^WT_0 {}^0T_1 {}^1T_{E2} {}^{E2}T_{E3} {}^{E3}T_{E4}$$

각도 θ_1 만 능동 조인트이고, θ_{bi} 와 θ_{ei} (i=2,3,4)는 수동 조인트로 각 실린더가 연결된 점과 길이가 이루는 기구학적 구속에 의해 각도가 결정된다.

$$\Theta_{bi} = f_{bi} (l_{bi}) \quad (2-3a)$$

$$\Theta_{ei} = f_{ei} (l_{ei}) \quad (2-3b)$$

여기서 f_{bi} 와 f_{ei} 는 각각 블레이드와 다목적암의 피동조인트를 생성하는 구속식이며 l_{bi} 와 l_{ei} 는 실린더의 길이이다.

역으로 피동 조인트 값을 생성하기 위한 실린더의 길이를

$$l_{bi} = f_{bi}^{-1} (\Theta_{bi}) \quad (2-4a)$$

$$l_{ei} = f_{ei}^{-1} (\Theta_{ei}) \quad (2-4b)$$

으로 구할 수 있다. 여기서 f_{bi}^{-1} 와 f_{ei}^{-1} 는 역구속식이다.

조인트의 값에 의해 블레이드의 위치와 방위가 계산되며 역으로 블레이드의 위치와 방위를 생성할 수 있는 조인트의 값이 계산된다.

$$({}^WP_B, {}^0Y_B) = \text{Forward_blade}(\Theta_1, \Theta_{b2}, \Theta_{b3}, \Theta_{b4}) \quad (2-5)$$

$$(\Theta_1, \Theta_{b2}, \Theta_{b3}, \Theta_{b4}) = \text{Inverse_blade}({}^WP_B, {}^0Y_B) \quad (2-6)$$

여기서 ${}^W P_B$ 와 ${}^0 \mathcal{Y}_B$ 블레이드 끝단에 부여한 좌표 {B}의 위치와 방위이며, Forward_blade(.)는 블레이드의 순방향 기구학 식이고, Inverse_blade(.)는 역방향 기구학 식이다. 같은 방법으로 다목적 암의 기구학 해석이 이뤄진다.

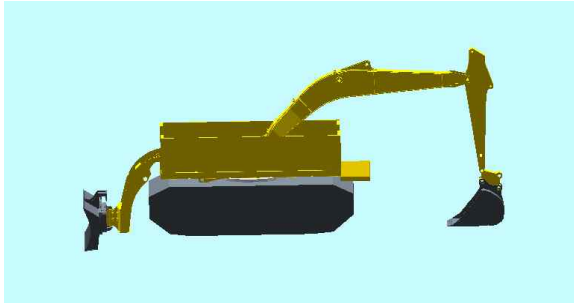
$$({}^W P_E, {}^0 \mathcal{Y}_E) = \text{Forward_arm}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \quad (2-7)$$

$$(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) = \text{Inverse_arm}({}^W P_E, {}^0 \mathcal{Y}_E) \quad (2-8)$$

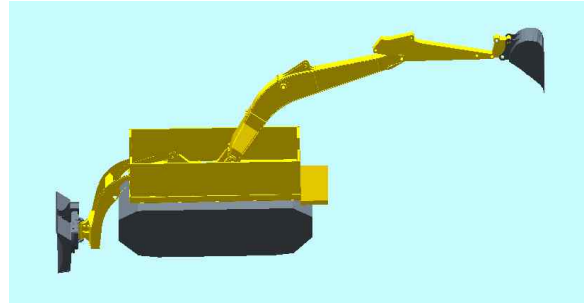
여기서 ${}^W P_E$ 와 ${}^0 \mathcal{Y}_E$ 버킷 끝단에 부여한 좌표 {E}의 위치와 방위이며, Forward_arm(.)는 블레이드의 순방향 기구학 식이고, Inverse_arm(.)는 역방향 기구학 식이다.

2.3.4 장비의 그래픽 모델링

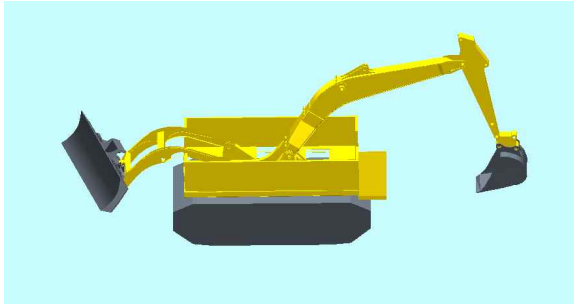
- o 장비의 기구학 해석에 의해 실린더 길이와 스윙모터의 각도에 따라 로봇의 형상을 모델링할 수 있다. 실린더의 길이에 따라 피동조인트 값을 구하고 피동조인트에 부여된 좌표의 위치벡터를 바탕으로 로봇을 3차원 모델링한다.
- o 설계치수와 실제치수가 달라 보정작업이 필요하다. 개발되는 로봇은 건설용으로 정밀한 보정작업은 어려우므로 블레이드와 버킷이 지면과 떨어진 정도, 로봇몸체와 거리를 기준으로 보정작업을 실시한다.
- o 그림 2.3.3은 로봇모델과 실제로봇의 관계를 나타낸다. 로봇 모델의 블레이드와 버킷이 지면과 닿은 상태로 실제로봇도 똑같은 형상을 보이고 있다.



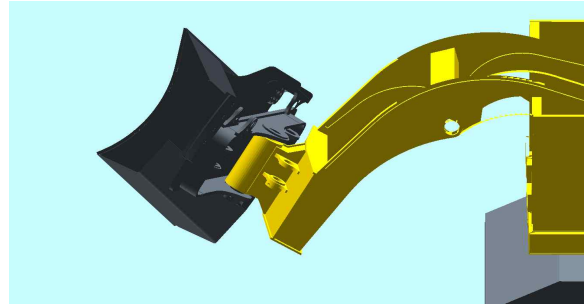
(a) Bucket이 땅에 닿은 형상



(b) Boom 전개 형상



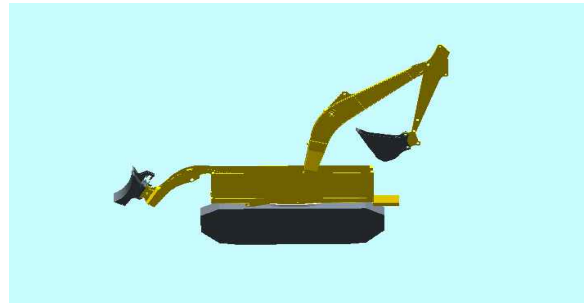
(c) Blade 좌우 tilting 형상



(d) Blade 좌우, 상하 tilting 형상



(e) Swing 형상



(f) 그래픽 모델링 형상



(g) 실제 형상

그림 2.3.3 로봇 모델과 실제 로봇의 관계

3. 수중작업용 통합 시스템 개발

3.1 3차원 작업 모니터링 시스템 개발

3.1.1 개요

- 수중작업은 3차원으로 모니터링되며 작업자는 가상현실 시스템을 이용해 운전실에서 로봇을 조종해 고르기 작업을 수행됨. 가상현실 (VR, Virtual Reality) 시스템에 기반을 둔 원격조종 시스템은 그림 3.1.1과 같이 운영실과 작업현장으로 나뉘지며 육상의 운영실과 수중 20m의 작업현장은 수중케이블에 의해 연결되어있음.
- 로봇은 수중에 투입되어 작업을 수행하고, VR 시스템이 작업 장면을 이미지화해 모니터에 실시간으로 나타냄. VR 시스템은 로봇 실린더의 변위에 따른 로봇의 형상과 작업에 따른 작업환경의 지형을 컴퓨터 그래픽으로 (Computer Graphic, CG)으로 나타내며 작업은 운전자가 운영실에서 CG의 이미지를 보면서 원격으로 로봇을 조종해 수행함.

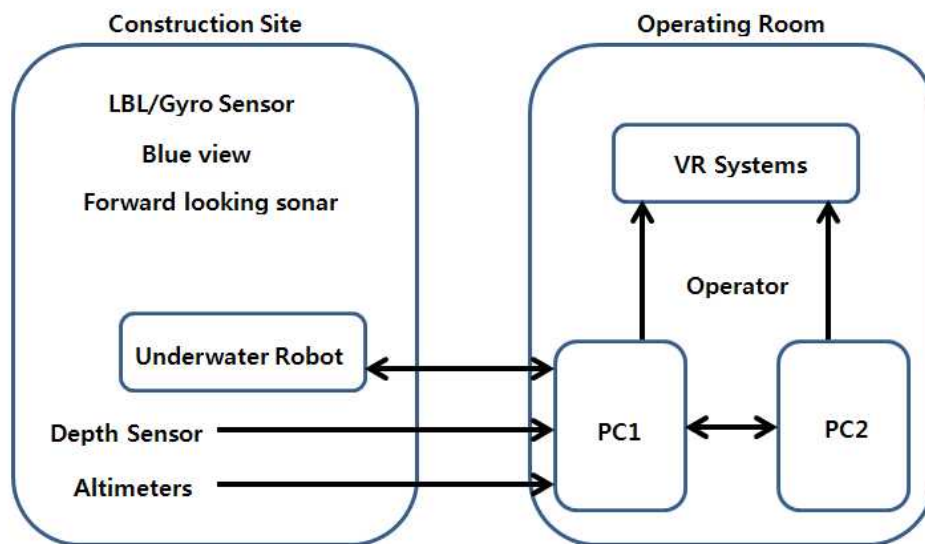


그림 3.1.1 원격조종 시스템의 구성

3.1.2 시스템 구성

- 운영실은 VR를 시각화한 대형 모니터와 수중카메라 및 소나 센서로부터 오는 영상을 보여주는 모니터들이 설치되어있고, 로봇에게 명령을 주는 두 개의 조이스틱과 작업현장으로부터 전달되는 신호를 분리해 처리하는 PC1과 로봇과 작업지형을 그래픽화하는 PC2로 구성됨. 이외에도 운영시스템을 지원하는 전원, 통신, 제어콘솔 등이 있음.
- 작업현장은 수중건설로봇과 로봇의 위치와 방위를 측정하는 LBL 센서 및 자이로센서가 있고, 로봇의 전후방 지형과 장애물을 촬영하는 Blue View와 Forward Looking

Sonar가 있으며 로봇의 측면에 작업과정을 촬영하는 수중카메라가 구비되어있음.

- 운전자가 로봇을 조이스틱으로 조종하면 조종된 정보가 PC1에 입력되고 PC1는 로봇에 탑재된 제어기에 입력된 명령을 내보내면 제어기는 서보 밸브에 제공할 신호를 계산하고, 계산된 신호를 로봇의 서보 앰프에 출력하여 각 실린더를 구동함. 동시에 로봇의 실린더 변위와 LBL이 측정한 로봇의 위치정보, Altimeter가 측정한 깊이정보들이 PC1에 전달됨. PC1은 정보를 분리해 작업환경의 지형과 로봇의 컴퓨터 그래픽에 필요한 데이터를 PC2에 제공함. PC2는 LBL 센서와 자이로 센서가 제공하는 위치와 방위에 따라 로봇을 위치시키고, 블레이드 밑에 장착된 수심센서와 Altimeter에서 제공한 데이터를 종합해 현재의 지형을 리모델링함. 로봇의 실린더 변위에 따라 로봇의 형상을 그래픽 모델링하고 지형과 함께 로봇의 이미지를 실시간으로 모니터에 나타냄.
- 운전자는 모니터에 나타난 지형과 로봇의 형상에 따라 블레이드의 깊이를 조종하고, 로봇을 전진시켜 사석을 밀거나 다목적 암으로 사석을 굴착해 뿌리면서 고르기 작업을 수행.
- 가상현실시스템은 작업자에게 실제 작업현장에 있는 느낌을 줌으로써 업무의 효율성을 높이거나 실제상황을 전혀 모른 채 로봇을 원격조종하는 것을 매우 위험함. 로봇이 전복될 수 있는 불안한 상황인지, 장애물과 접촉했는지를 알기 위해 로봇 전면과 후면에 각각 Blue View 센서와 Forward Looking Sonar를 설치해 실시간 정보를 제공함. 또한, 블레이드와 버킷 주위에 수중카메라를 설치되어 시야가 좋은 경우 작업과정을 촬영해 보내기 때문에 운전자는 VR의 이미지 뿐 아니라 실제 현장의 영상을 보면서 작업을 실시함.
- 그림 3.1.2는 VR 시스템이 로봇과 작업지형을 모델링해 CG화 한 것임. 작업지형은 소나센서가 스캔한 데이터를 3차원으로 모델링해 시각화한 것이며 로봇의 형상은 실린더의 길이에 따라 기구학적 형상을 모델링하여 지형 모델링과 통합해 나타낸 것임. 트랙 주행, 스윙모터, 실린더 등의 길이 변화에 따라 몸체, 다목적암, 블레이드의 위치와 형상이 모델링 되었음.

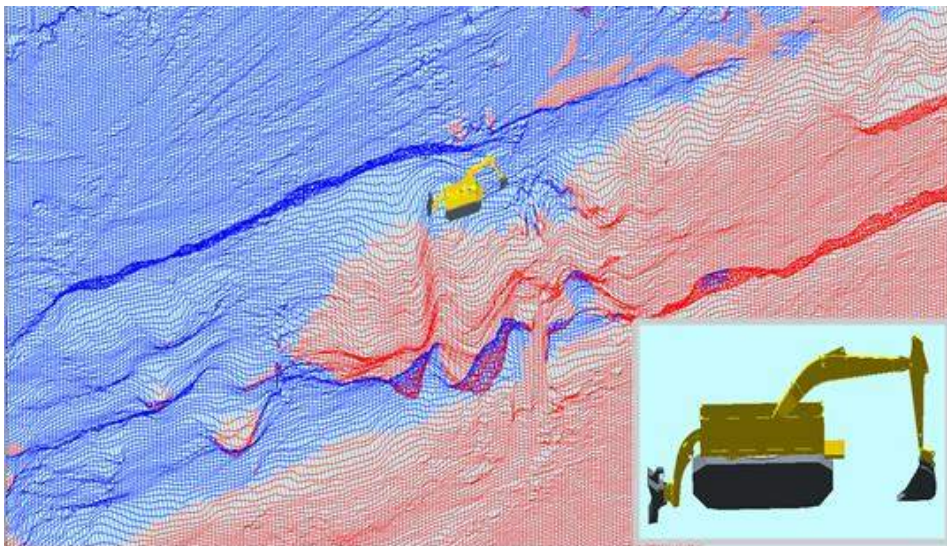


그림 3.1.2 지형과 로봇을 시각화한 VR 시스템



그림 3.1.3 VR 기반 원격조종 시스템

- 운전자는 그림 3.1.3와 같이 광학카메라와 소나 센서가 보내온 영상과 그래픽으로 모델링된 로봇과 지형을 보면서 원격조종해 고르기 작업을 수행함.

3.1.3 수중 장비 위치 인식 시스템 통합

- 수중 장비 위치 인식 시스템은 로봇의 절대 위치 및 방위를 측정하는 것으로 로봇은 육상의 운영실에서 원격으로 조종되므로 위치 인식이 되지 않을 경우 원활한 작업을 수행 할 수 없음.
- 로봇에는 그림 3.1.4와 같이 수평면의 위치를 측정하기 위한 LBL 센서, 수직면의 위치를 측정하기 위한 수심센서 및 방위를 측정하기 위한 자이로 센서가 부착되어 있음.
- LBL 센서는 2개의 트랜스폰더와 1개의 트랜시버로 구성되며 트랜스폰더는 해저면에 고정시키고 트랜시버는 장비에 부착됨. 트랜시버는 초음파를 이용하여 각 트랜스폰더까지 거리를 측정하여 육상의 운영실로 전송. 삼각법을 이용하여 측정된 거리로부터 기준 트랜스폰더 위치에 대한 트랜시버의 상대 위치를 구함.
- 장비의 수직면의 위치는 궤도 하부면으로 정의되며 블레이드에 부착된 수심센서를 이용하여 간접적으로 측정. 수심센서에서부터 궤도 하부면까지 위치를 기구학을 통해 계산함.

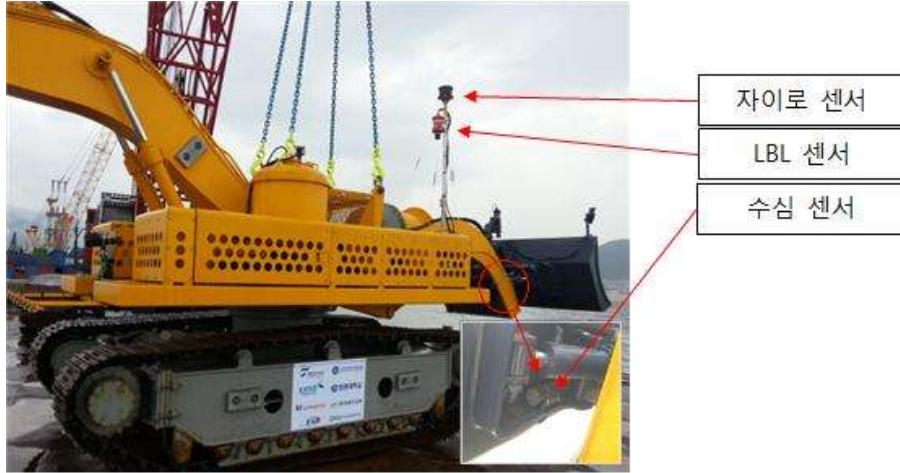


그림 3.1.4 장비에 장착된 트랜시버와 자이로센서

3.1.4 장비의 위치인식 알고리즘

- 로봇이 이동하면 {0}좌표가 {W}좌표에 대해 위치와 방위가 변함. 그림 3.1.4와 같이 센서의 위치에 좌표 {P}를 부여하면 좌표 {W}에 대한 {P}의 위치와 방위를 동차변환 행렬 (homogeneous transform matrix)로 다음과 같이 나타냄.

$${}^W T_P = \begin{bmatrix} & & & W P_{px} \\ & {}^W R_P(\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3) & & W P_{py} \\ & & & W P_{pz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(4-1)

여기서 $\Phi_i (i=1,2,3)$ 은 자이로센서가 측정한 3방향의 방위로 Φ_1 은 주행방향, Φ_2 는 주행방향에 대한 기울기, Φ_3 은 등판각도를 나타냄. 좌표 값 $W P_{px}$ 와 $W P_{py}$ 은 트랜스폰더와 리시버 사이의 거리를 조합해 계산하고, $W P_{pz}$ 수심센서에 의해 측정됨.

- 좌표 {P}의 위치와 방위가 측정되면 좌표 {0}에 대한 {P}의 관계로부터 {W}에 대한 {0}의 위치와 방위를 다음과 같이 계산할 수 있음.

$${}^W T_0 = {}^W T_P {}^0 T_P^{-1}$$

(4-2)

여기서 ${}^0 T_P = {}^0 T_1 {}^1 T_P$ 임.

- 좌표 {W}에 대한 {0}좌표의 관계가 구해지면 장비의 모든 위치를 {W} 좌표로 나타낼 수 있어 장비를 좌표 {W}에 대해 모델링할 수 있음. 따라서 지형모델과 장비모델을 합쳐 수중에서 작업하는 상황과 같은 이미지를 컴퓨터 그래픽화하는 VR 시스템이 개

발됨.

3.1.5 VR 시스템의 기능

- o 그래픽 작업지형은 Imagenex를 이용한 pre-survey로 얻은 지형의 X,Y,Z 값을 이용해 그려짐. 지형의 X,Y값은 지구방위 UTM좌표계 정보이며 Z값은 수심을 나타냄. 작업지형 상에 3D로 모델링된 장비를 위치시킨 후 각 센서들의 값을 이용하여 장비의 형상이 표현이 되며 작업자는 VR을 바탕으로 실제와 같이 장비를 구동 함. 장비 톨 끝단과 지형의 수심값을 비교해서 실제 지형이 고르게 되는 정도를 그래픽에 표현하여 작업자가 실감나는 작업을 할 수 있도록 함.
- o 작업자가 장비 구동시 인가되는 전압과 전류를 모니터링 하며 블레이드 쪽에 부착된 수심 센서 값을 이용해 장비의 수심을 나타내며 유압 작동유의 온도와 각 주요 방수케이스의 온도 및 습도를 표현함. 장비에 부착된 4개의 조명을 ON/OFF 할 수 있으며 dimming값 조절이 가능함. 유압펌프에 연결된 압력센서 값을 이용해 장비 구동 시 가해지는 압력의 변화를 수치 및 그래프로 관찰이 가능하며 장비에 부착된 LBL 센서, 자이로 센서 등으로 장비의 위치 및 방향을 수치로 나타내어 관찰함.

3.1.6 수중카메라

- o 수중카메라는 그림 3.1.5와 같이 블레이드 측방, 블레이드 후방, 버켓, 플랫폼 후방, 궤도, 체인 연결부의 총 6개의 카메라들로 구성됨. 블레이드 측방 및 후방 카메라로 사석을 고르는 장면이나 사석의 크기를 알 수 있으며 버켓 및 플랫폼 후방 카메라는 다목적 암의 운동 및 작업 장면을 볼 수 있음. 캐터필러 카메라로 궤도가 구동되는지 알 수 있음.
- o 그림 3.1.6은 수심 20m에서 수중 카메라 영상을 나타냄.



(a) 블레이드 측방 카메라



(b) 블레이드 후방 카메라



(c) 궤도 카메라



(d) 플랫폼 후방 카메라



(e) 체인 연결부 카메라



(f) 버켓 카메라

그림 3.1.5 설치된 수중카메라



그림 3.1.6 수중 영상

3.2 사석의 레벨 측정 Altimeter 개발

3.2.1 하드웨어 구성

- o 사석의 레벨을 측정하기 위해 8개의 Altimeter를 로봇 후면에 등 간격으로 그림 3.2.1과 같이 설치됨. Altimeter는 초음파센서로 초음파를 사석면에 발사해 왕복비행시간을 측정하고, 음속을 곱해 왕복거리를 계산함. 왕복거리의 절반이 Altimeter로부터 사석의 깊이로 8개의 깊이를 종합하여 사석면의 지형을 3차원으로 모델링 함.
- o 제작된 Altimeter의 초음파 구동 드라이버 사양은 표 3.2.1과 같음. 그림 3.2.2와 같이 송·수신 모듈이 앞면 6채널, 뒷면 10채널로 구성되어 총 16개의 초음파 센서를 구동할 수 있음. 드라이버는 각 초음파 센서의 수신 거리를 산출하여 RS232 통신으로 전송함.



그림 3.2.1 장비 후미에 설치된 8-Altimeters

표 3.2.1 초음파 센서의 사양

power	DC24V 15W
channel	16
process	TMS320F2812
transmitter freq.(max)	programable(400Khz)
filter center freq.(max)	adjustable by potentiometer(1Mhz)
amplifier	transistor & op-amp
amplifier ratio(max)	adjustable by potentiometer(50dB)



(a) 초음파 송/수신 드라이버 모듈



(b) 연산을 위한 프로세서



(c) 드라이버 외형(상부)



(d) 드라이버 외형(측면)

그림 3.2.2 Altimeter 드라이버

3.2.2 에코 신호 검출 방법

- o 에코 신호는 가장 간단한 스톱스 홀드 방법으로 검출할 수 있음. 즉, 수신신호가 설정한 문턱값을 넘으면 에코 신호로 간주하고 발신과 수신사이의 샘플링 수를 찾아 샘플링 간격을 곱하면 비행시간을 결정할 수 있음. 그러나 실해역에서는 해저 면이 진흙 등으로 반사파 신호가 미약하고, 수중 부유물에 의해 신호가 크게 감쇄하며, 노이즈로 오염되므로 에코 파를 원활히 검출 할 수 없음.
- o 본 연구에서는 노이즈로 오염된 미약한 에코신호를 검출하기 위한 Lock In Amplifier (LIA) 필터링 방법과 Cross Correlation(CC) 방법을 적용함.
 - o LIA는 특정 주파수만 통과시켜 잡음에 묻힌 미소 신호를 검출하는 방법으로 그림 3.2.3과 같음.

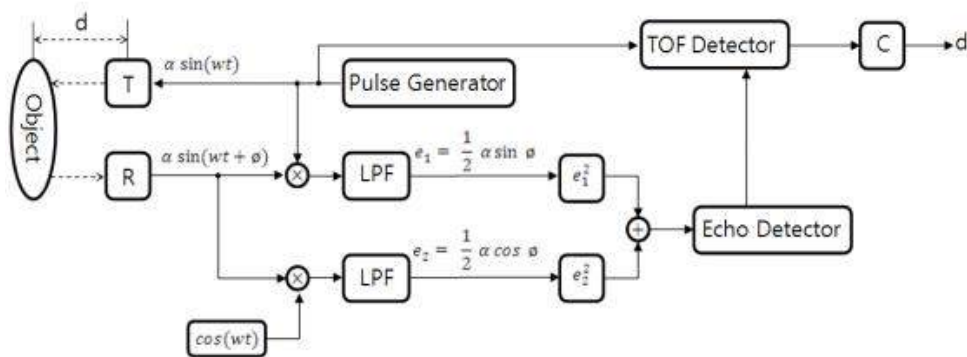


그림 3.2.3 Lock in amplifier

- o 에코신호는 발신신호와 주파수는 같고, 진폭은 α 로 줄어들고, 위상차가 ϕ 인 함수 $\alpha \sin(\omega t + \phi)$ 로 나타냄. 공진주파수 이외의 신호를 제거하기 위해 발신신호와 위상차가 90° 인 $\cos(\omega t)$ 호를 각각 곱하고 아래와 같은 2차 디지털 Low Pass Filter (LPF)을 적용함.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

(6-1)

- o 필터를 거친 신호를 제공하여 더하면 주파수 성분이 없는 $\alpha^2/4$ 를 얻게 되며 이 신호를 Echo detector가 검출하여 TOF detector에 보내면 TOF detector는 발신신호와 에코신호 사이의 시간지연을 구해 TOF를 결정함. 이 방법은 디지털 신호처리로 발신주파수 이외의 신호를 제거하고 에코신호가 도달한 시간을 찾는 데 역점을 두고 있으므로 신호를 샘플링하는 동안 도달한 첫 에코신호의 크기가 TOF를 결정하는데 주요요인이 됨. 첫 신호에만 의존하지 않고 신호의 형태를 비교해 에코가 도달한 시간을 결정하는 CC 방법을 적용함. 이 방법은 여러 신호를 취득해 에코신호와 발신신호의 유사성을 비교해 TOF를 결정.
- o 음파가 지나가는 수중매개체는 주파수가 증가할수록 신호를 감쇄시키며 반사파의 파장을 왜곡시키나 음파가 좁은 범위 내에서 일정한 값 α 로 감쇄됨. 따라서 디지털 측정 시스템에서 발신신호 ($x(nT)$)와 수신신호 ($y(nT)$)를 아래와 같이 나타낼 수 있음.

$$X(nT) = S(nT) + v(nT)$$

(6-2)

$$Y(nT) = \alpha S(nT) + n(nT)$$

(6-3)

여기서 $v(nT)$ 는 이상적인 모델과 불일치한 것을 고려한 함수이고 $v(nT)$ 와 $n(nT)$ 의 평균값은 0이고, 서로 관계가 없는 랜덤 프로세스 임. 발신과 수신신호의 CC를 구하면

$$\gamma_{XY}(kT) = \frac{\sum_{i=1}^N [(X(iT) - \hat{X}) * (Y(iT + kT) - \hat{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [(X(iT) - \hat{X})^2]} \sqrt{\sum_{i=1}^N [(Y(iT + kT) - \hat{Y})^2]}} \quad (6-4)$$

이고 통계적 기대치는

$$E[\gamma_{XY}(kT)] = \alpha \gamma_{XY}(\tau - D)|_{\tau = kT}$$

(6-5)

임. 여기서 $\gamma_{XY}(\tau)$ 는 연속신호 X(t)와 Y(t)의 CC으로 $\tau=D$ 일 때 가장 큰 값을 가짐. 즉, Y가 D만큼 지연되었을 때 X와 유사성이 가장 높으므로 X의 에코신호로 간주할 수 있음. 따라서 딜레이가 샘플링 간격의 정수배이고, k_D 가 $E[\gamma_{TE}(kT)]$ 의 최대값을 가지는 인덱스라면 딜레이는 $D=k_D T$ 가 됨. 그러나 딜레이가 정수배가 아니면

$$D = (k_D + \epsilon)T, | \epsilon | \leq 0.5$$

(6-6)

으로 샘플링 간격보다 더 높은 TOF를 구할 수 없음.

- o 본 연구는 초음파 센서를 해저 고르기 장비의 레벨링 측정 장치로 사용. 샘플링 시간은 $2\mu s$ 으로 음속이 $1400m/sec$ 일 때 해상도는 $1.4 mm$ 이어서 항만공사 레벨링 측정 센서로는 충분한 해상도를 가지므로 TOF는 샘플링 간격의 정수배로 나타냄. 실제 측정을 시작하기 전에 초기화 작업으로 트랜스듀서, 측정환경에 따라 에코신호를 받아 기준신호로 사용하였음. 그림 6.2.2와 같이 각 Altimeter에 좌표 $\{A_i\}(i=1,..,8)$ 를 부여하고, Altimeter가 측정한 깊이를 ${}^{A_i}P_{di}$ 으로 하면 측정한 점의 위치를 아래와 같이 월드좌표로 나타낼 수 있음.

$${}^W P_{di} = {}^W T_{A_i} {}^{A_i} P_{di}$$

(6-7)

여기서 ${}^W T_{A_i}$ 는 좌표{W}와 좌표 $\{A_i\}$ 사이의 변환행렬을 나타냄.

- o 장비가 전진하여 이동한 거리에 따라 8개의 점을 구하고 3차원으로 나타내 사석을 레벨을 모델링 함. 그림 3.2.4는 8개의 에코신호이며 그림 3.2.5는 CC 방법을 적용한 결과임. 최대값이 나타난 시간이 에코가 도달한 시간으로 송수신 사이의 시간으로부터 TOF를 찾고 음속을 곱해 왕복거리를 구한 후 반으로 나눠 Altimeter로부터 사석면까지의 깊이를 그림 3.2.6과 같이 구하였음. 로봇의 전진거리와 Altimeter의 깊이에 따라 사석면을 3차원 모델링하면 그림 3.2.7과 같으며 모델링으로부터 사석작업이 이뤄진 형상을 확인할 수 있음.

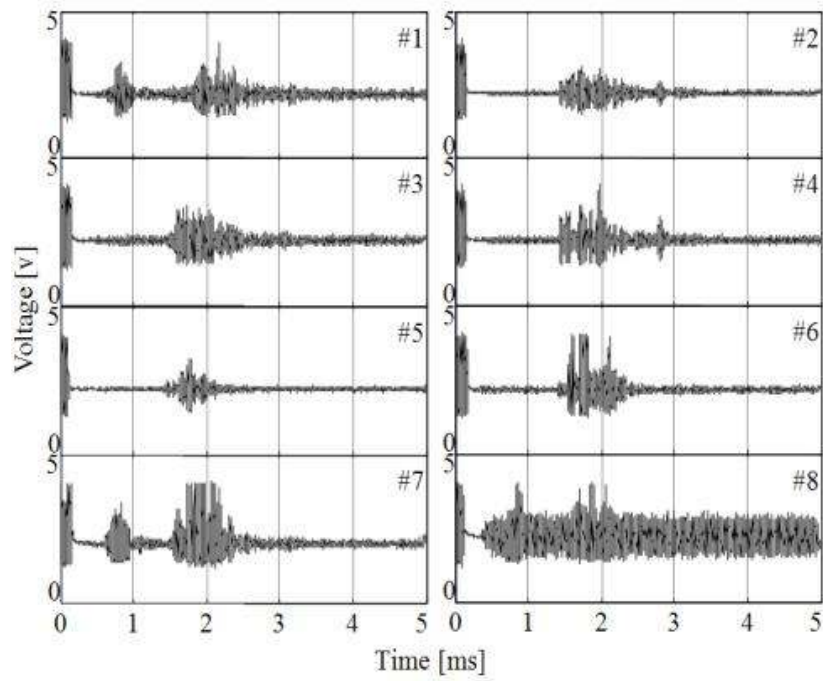


그림 3.2.4 Altimeter의 에코 신호

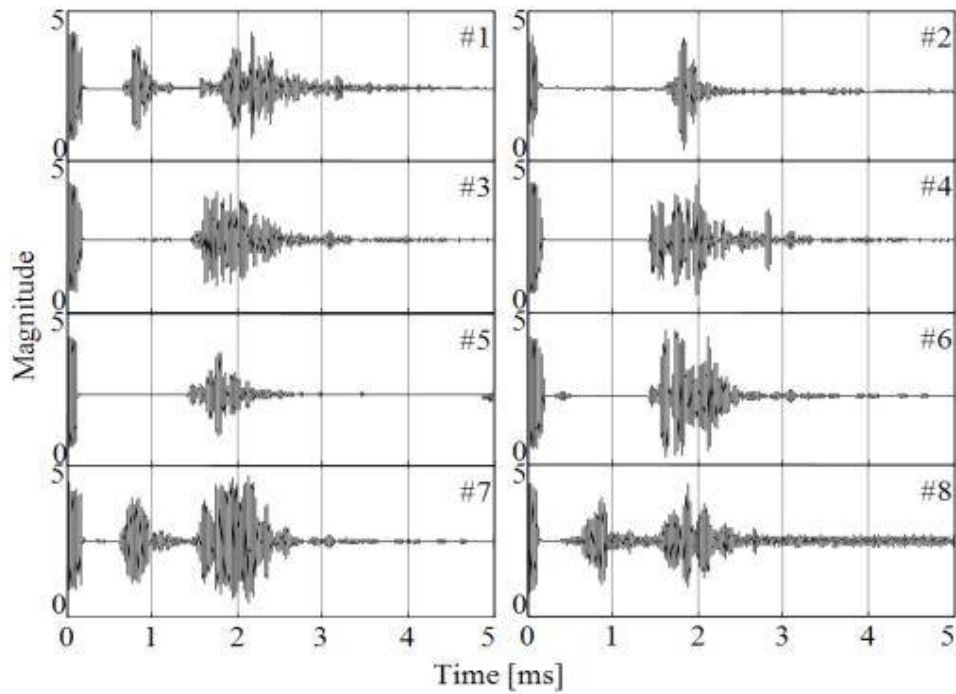


그림 3.2.5 에코 신호의 Cross Correlation

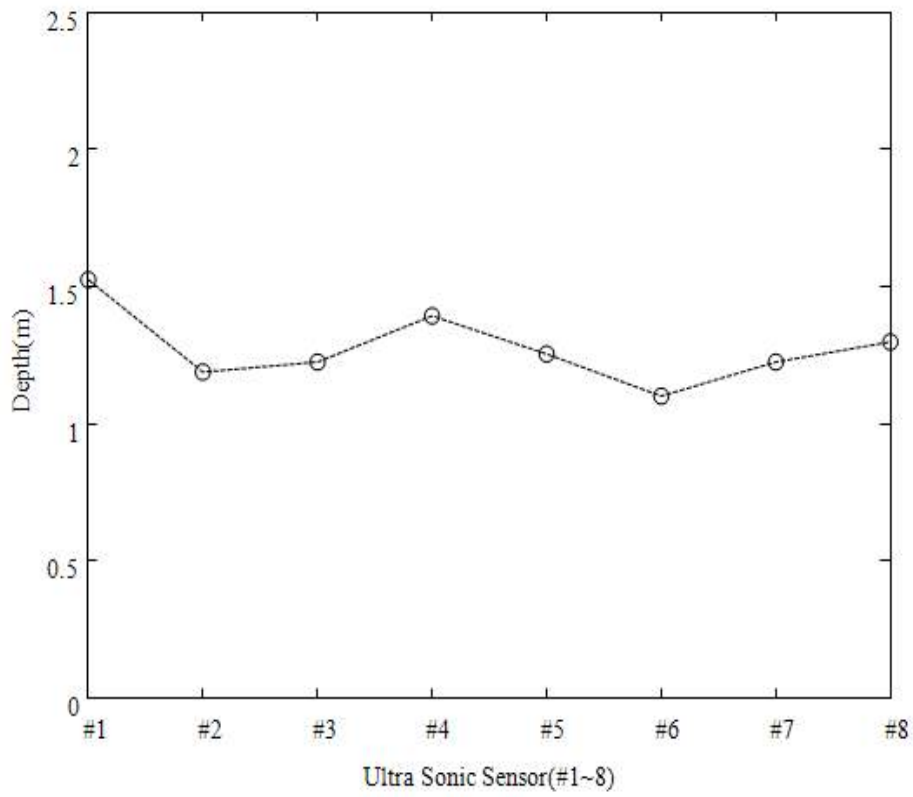


그림 3.2.6 각 Altimeter의 거리

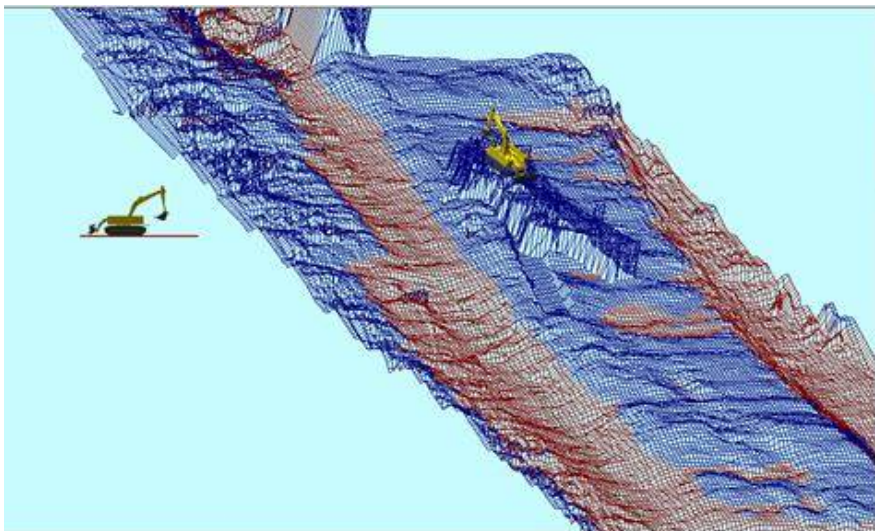


그림 3.2.7 Altimeter에 의한 지형 모델링

3.3 수중 환경 인식시스템 분석

3.3.1 Hammerhead 소나를 이용한 주변 모니터링 성능분석

(1) 제주 강정항 실험

그림 3.3.1은 제주 강정항 사석 현장에서 Hammer Head 스캐닝 소나를 이용하여 사석면이 어떻게 관찰되는지 살펴본 것이다. 왼쪽 그림이 20m 최대 반경에 대한 것이고 오른쪽 그림이 10m 반경으로 확대한 그림이다. 왼쪽 그림에서는 전체적인 돌 무더기의 형상과 경사를 관찰 할 수 있으며 오른쪽 그림에서는 돌 하나하나의 크기와 9시 방향의 해저 지형의 균열을 확인할 수 있었다. 대부분이 돌인데 반해 9시 방향은 돌이 덜 깔려서 원지반의 해저면의 균열이 모니터링 되는 것으로 파악된다.

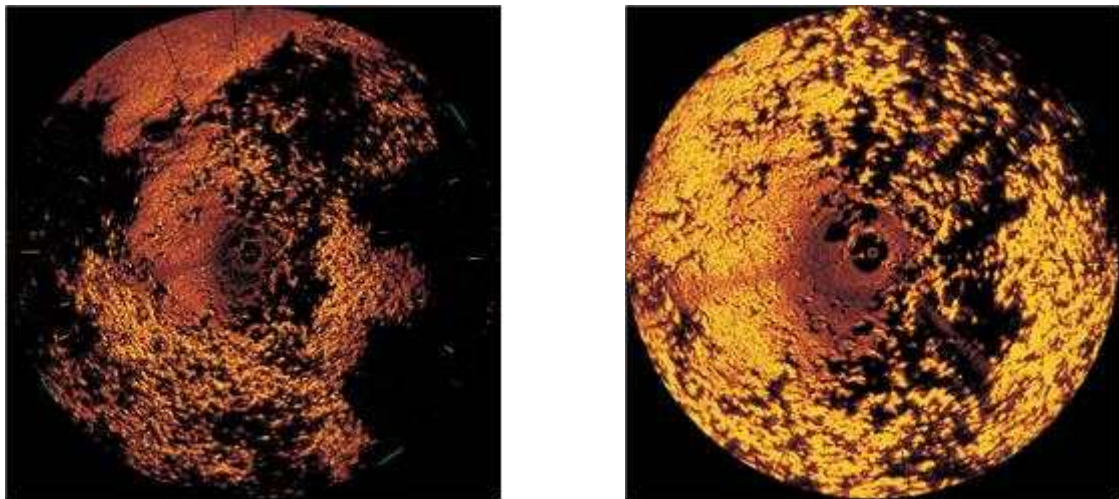


그림 3.3.1 Bottom stone monitoring using Hammer Head scanning sonar (20m max. range left, 10m max. range right, 935kHz center freq.)

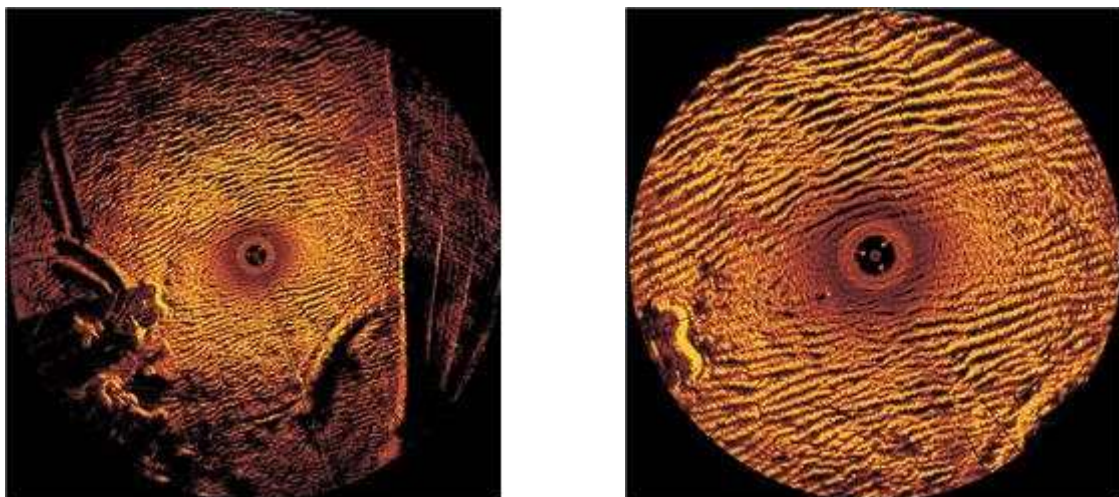


그림 3.3.2 Very large anchor on sand sea bed

(2) 장목 거제 실험

그림 3.3.3은 2013년 8월 5일 수행한 거제 사전 실험에서 Hammerhead 스캐닝 소나를 이용한 해저면 관찰 영상이다. 아래 쪽 그림에 나타난 이미지넥스 멀티빔 소나를 이용하여 해저맵과 동일한 위치에 암초가 관측되는 것을 확인할 수 있다. 위쪽 그림에서는 밝게 하이라이트 된 부분이 암초이고 아래 그림에서는 장비에서 2시 방향으로 빨강계 돌출된 부분이 바로 동일한 암초이다. 이처럼 Hammer Head 스캐닝 소나를 이용하여 해저면의 영상을 정밀하게 모니터링 할 수 있다는 점이 소나의 해저면 모니터링에 있어 활용도 측면에서 유용한 것으로 판단된다.

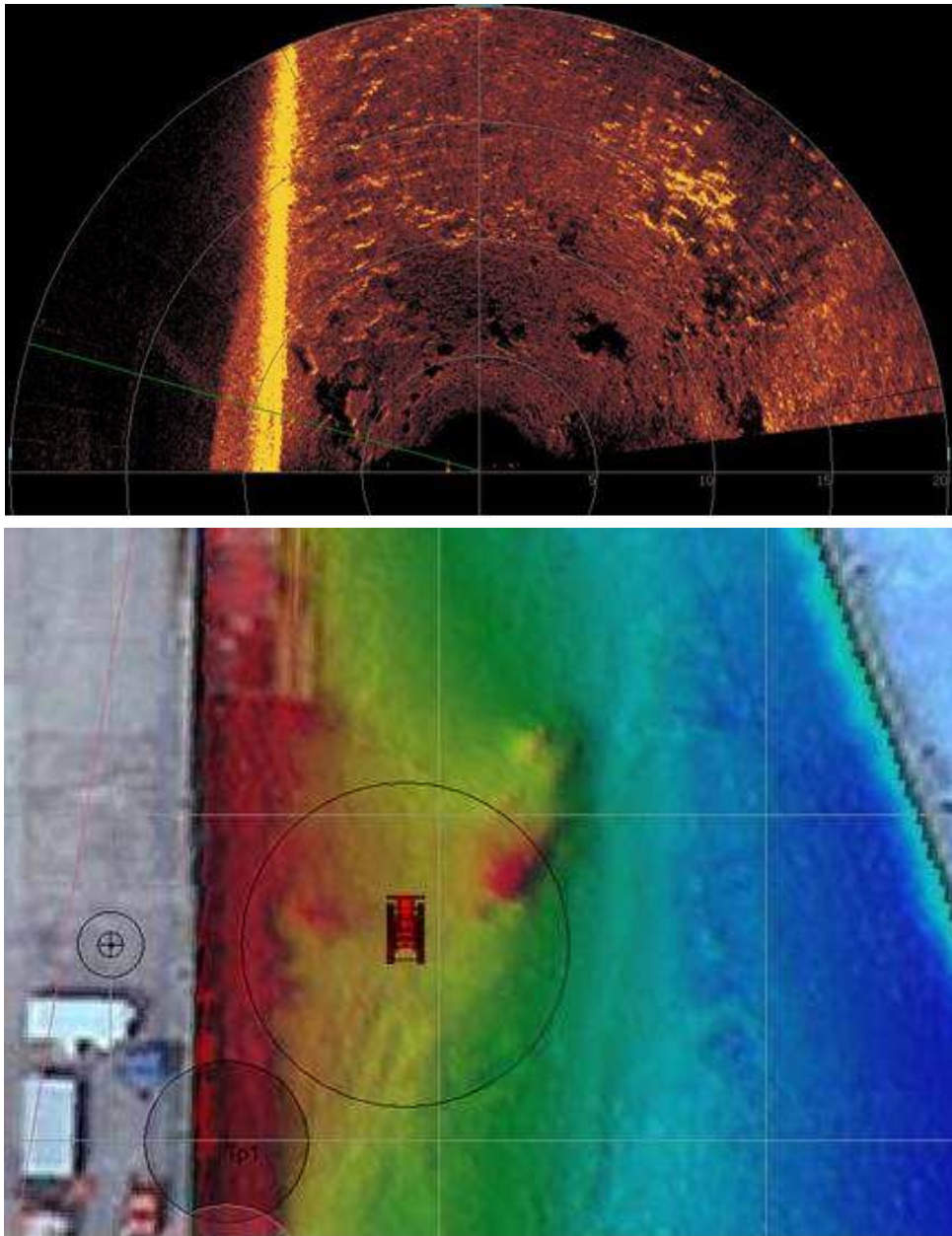


그림 3.3.3 Sea bed monitoring using Hammer head sonar(upper) and sea bed scan data using imagenex(below)

(3) 부산 실험

그림 3.3.4는 2013년 8월 16일 스캔한 부산 신항 사석면의 형상이다. 아직 장비가 고르기 전의 사석이 부어진 상태로 돌 무더기가 쌓여 있는 형상이 마치 밭의 고랑과 이랑과 같이 관찰되는 것을 확인할 수 있다. 그림에서 밝은 면은 이랑, 어두운 면이 고랑이다.

그림 3.3.5는 중심주파수를 675kHz로 하고 반경을 50m로 놓고 스캐닝 속도를 매우 빠르게 한 상태에서 촬영된 해저면 영상이다. 이번 실험에서 굉장히 유용하게 사용한 모드인데 해저 사석면 형상을 하나의 랜드마크로 사용하여 장비의 자세각 정렬 LBL 수중위치추적 값의 오프셋 보정 등에 유용하게 사용할 수 있었다. 랜드마크로 활용할 때는 해저면의 특징점으로부터 남북방향 상대거리 얼마, 동서 방향 상대거리 얼마의 식으로 활용할 수 있었다.

그림 3.3.5는 장비가 남쪽을 향할 때의 형상이다. 전방으로 사석면이 꺼져서 어두워지는 형상을 관찰할 수 있다.

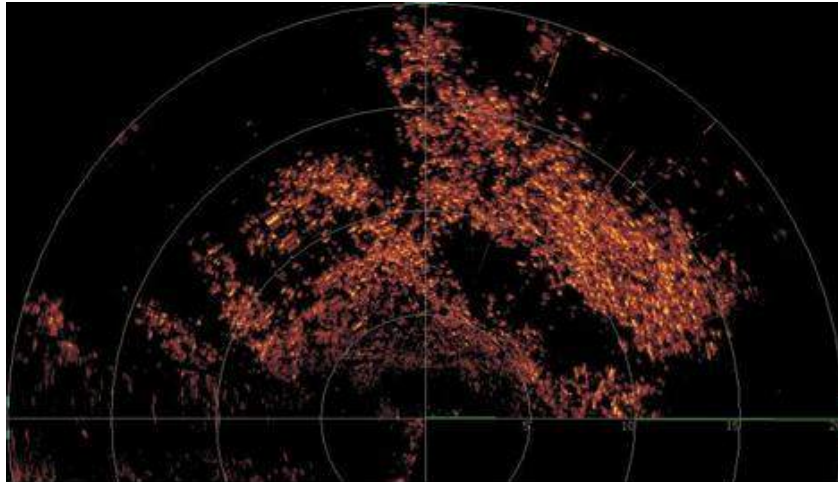


그림 3.3.4 Original sea bed image using Hammer Head scanning sonar (20m max. range, 670kHz)

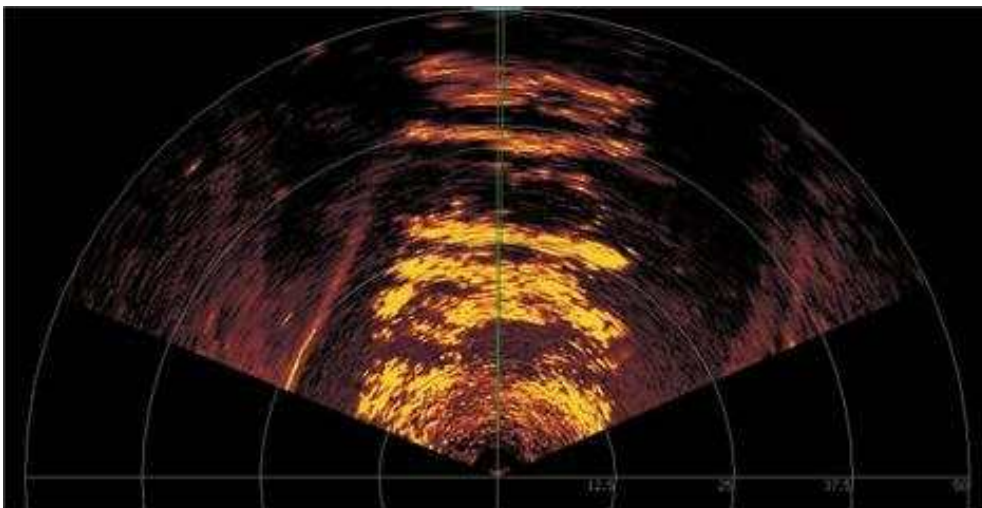


그림 3.3.5 Scanning sonar image(50m max. range, low, 675kHz freq.)

그림 3.3.6은 고르기 장비를 기준으로 20m 정도 최대 범위, 935kHz로 주변 사석면 형

상을 모니터링 한 것이다. 앞서 설명한 그림 3.3.5와 비슷하게 장비가 북쪽을 향하고 있을 때의 영상이다. 위쪽에 직선으로 밝게 하이라이트 된 부분이 이미 놓인 케이스 블록이다. 장비가 정북으로 향하고 있음을 소나 영상을 통하여 확인할 수 있다. 사석면 양쪽에 깊은 골짜기가 이미지넥스를 통한 3D 영상과 동일하게 모니터링 된다는 것을 확인할 수 있다. 앞서 언급했던 이랑과 고랑의 이미지도 관찰할 수 있다.

그림 3.3.7은 Hammer Head 섹터 스캐닝 소나의 장점을 가장 잘 보여주는 그림이다. 중심 주파수 935kHz, 20m 최대반경, 가장 최상의 이미지 조건으로 스캔한 결과로 고르기 작업 전과 후를 비교한 소나 영상이다. 확실한 비교를 위하여 작업 전 이미지는 고르기 장비에 부착된 포크를 사용하여 인위적으로 3개의 구덩이를 판 상태의 이미지이다. 고르기 장비를 이용하여 앞 뒤로 고르기 작업 후에 영상이 우측의 이미지이다. 인위적으로 만들었던 세 개의 구덩이가 깔끔하게 제거된 것을 확인할 수 있다. 고르기 장비의 폭이 3m이므로 3m 짜리 평탄한 길이 생겼다고 보면 이해가 쉬울 것이다.

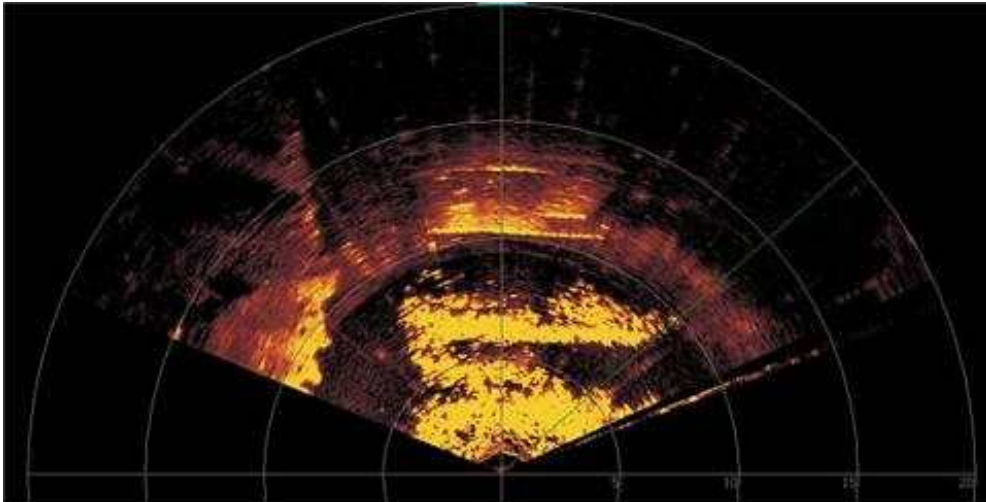
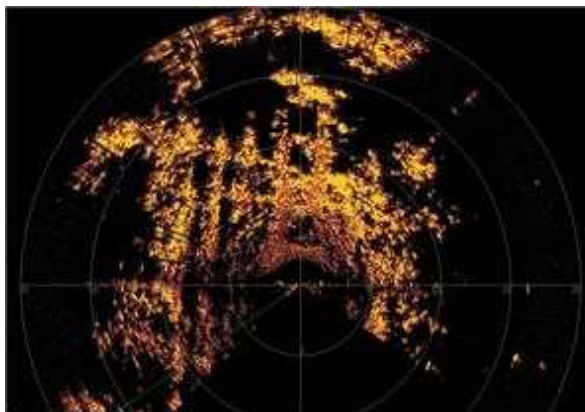


그림 3.3.6 Scanning sonar image(20m max. range, med, 935kHz freq.)



(a) Before



(b) After

그림 3.3.7 Scanning sonar image(20m max. range, Ult, 935kHz freq.)

3.3.2 P900-90 소나를 이용한 주변 모니터링 성능분석

- 수중고르기 작업 시 급변하는 해저지형 및 전방 장애물 인식을 위해 2D 멀티빔 이미징 센서 Blueview P900-90 소나 도입
- 소나 헤드의 정밀 자세 제어를 위한 ROS PT10fb Pan&Tilt 시스템 도입

그림 3.3.8은 해저 지형 및 전방 장애물 인식을 위해 적용한 Blueview P900-90이다. 본 장비는 2D 멀티빔 이미징 센서로서 싱글빔 이미징 센서 대비 이미징 프로세스 처리속도가 매우 빠르다. 따라서 수중고르기 작업 시 급변하는 상황에 적합한 소나이다. Pan&Tilt에 소나를 장착함으로써 수중에서 원격으로 소나헤드를 제어할 수 있도록 하였다.



그림 3.3.8 Blueview P900-90

표 3.3.1 Acoustic characteristics of P900-90

Operating frequency	900 kHz
Angle of view	90°
Beamwidth, vertical	20°
Beamwidth, horizontal	1°
Maximum range	100 m
Minimum range	0.6m
Acoustic range resolution	25.4 mm (1 in.)

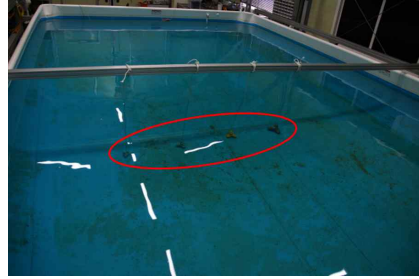
P900-90 소나의 음향 특성은 표 3.3.1과 같다. 900kHz의 중심주파수를 사용하는 해당 소나는 90°의 조사각을 가진다. 빔폭의 경우 수직 20° 그리고 수평 1° 범위로 인지한다. 소나의 최대 계측 범위는 100m, 최소 계측 범위는 0.6m이다. 거리분해능은 25.4mm로 제조사는 제시하고 있으나 소나의 조사각, 거리, 대상물에 따라 약간의 변동이 있는 것으로 실험 결과 확인되었다.

수중 고르기 장비에 장착된 Blueview P900-90과 Pan&Tilt는 그림 3.3.9와 같다. 해당 세트는 다목적 암을 바라보는 위치에 설치되었다. 버킷, 크랩셸 등 작업 목적에 부합되는 각종 작업툴과 해저면 상태를 즉각적으로 모니터링하기 위해 해당 위치에 설치하였다. 그리고 소나영상은 소나헤드와 스캐닝을 원하는 영역이 이루는 조사각에 따라 달라진다. 수중 사석고르기 작업을 수행 중 고르기 장비는 roll, pitch, yaw 등에 의하며 불규칙한 자세를 가지게 된다. 따라서 Pan&Tilt를 제어함으로서 운영자가 원하는 소나 영상을 확보할 수 있도록 하였다.

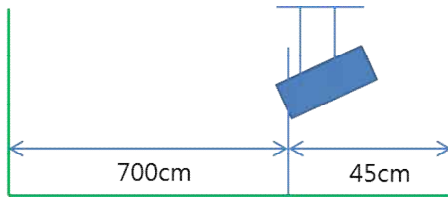
소나의 특성을 확인하기 위하여 그림 3.3.10(a)에서 보인 간이수조 (400cm*745cm*98.5cm : 가로*세로*깊이)에서 소나실험을 수행하였다. 당시 물의 탁도는 0.54NTU였다. 주어진 수조 크기 내에서 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 그림 3.3.10(b)과 같은 위치에 소나를 설치하였으며, 또한 그림 3.3.10(c)과 같이 고정하였다.



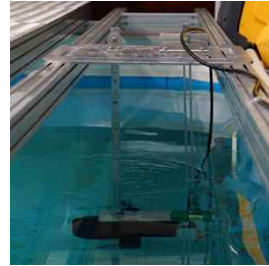
그림 3.3.9 Attached P900-90 and Pan&Tilt on the equipment



(a) Lab water tank with different size of TTPs



(b) Location of Sonar



(c) Layout of Sonar & jig

그림 3.3.10 Lab water tank and Installation of Sonar

그림 3.3.10(a)의 빨간색 실선 원안의 모습과 같이 소나전방 3m 거리에 TTP 4종류 (가로크기 : 7cm, 9.5cm, 11cm, 15cm)를 서로 간에 50cm의 간격을 가지도록 하여 수조 바닥에 두었다. 그림 3.3.11는 서로 다른 크기의 TTP들을 관찰한 소나이미지이다. 4개의 TTP를 소나 전방에 두고 관찰하였으나 소나영상을 통해 확인할 수 있는 TTP는 3개(가로크기 : 9.5cm, 11cm, 15cm)였다. 반사강도가 강하게 나타난 3개의 TTP 이미지, 그리고 이미지 뒤로 나타나는 그들의 음영을 통하여 TTP의 자세를 추정할 수 있다. 수조의 벽은 소나영상 좌우로 희미한 세로선 형태로 나타났다.

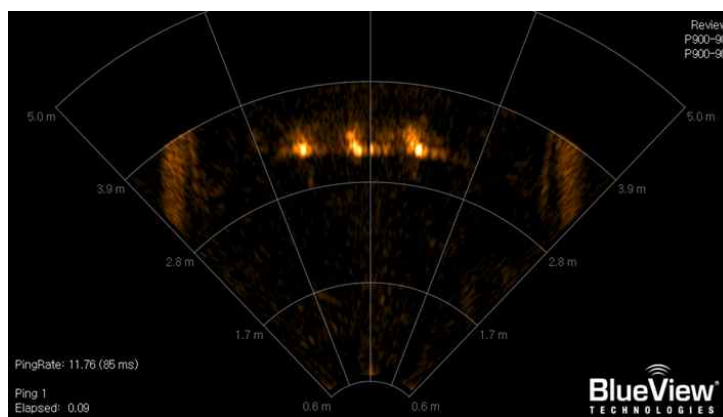


그림 3.3.11 Sonar image for TTPs

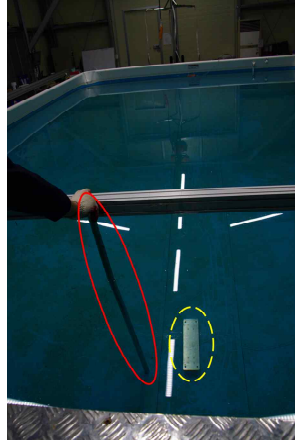


그림 3.3.12 Aluminum plate in lab water tank

7cm 크기의 TTP가 나타나지 않은 이유를 확인하기 위하여 그림 3.3.12와 같이 알루미늄판(노란색 점선 원, 3cm*30cm*8mm : 가로*세로*두께)을 이용하였다. 그리고 파이프(빨간색 실선 원)를 알루미늄판 가까이 다가가며 두 물체를 식별할 수 있는지 소나의 분해능을 확인해보았다. 파이프 위치 이동의 용이함을 위하여 알루미늄판은 소나전방 1.5m 거리의 수조 바닥에 내려놓았다.

그림 3.3.13은 알루미늄 판만을 관찰한 소나이미지이다. 두 개의 점과 같은 강한 반사 이미지가 보이는데 이것은 소나의 전면과 마주보고 있는 알루미늄판의 두 모서리 부분이다. 그리고 해당 두 개의 점 바로 뒷부분에서 또 다른 두 개의 점이 보이는데 이것은 알루미늄판 뒷부분의 두 모서리이다. 그림 3.3.13을 통하여 같은 관찰대상물이더라도 광학적 이미지와 소나이미지는 서로 다르게 보일 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 다양한 대상물에 대한 소나이미지의 데이터베이스 구축이 필요할 것으로 보인다.

그림 3.3.14는 알루미늄판과 파이프 사이의 거리를 변화함에 따라 관찰한 소나 이미지이다.

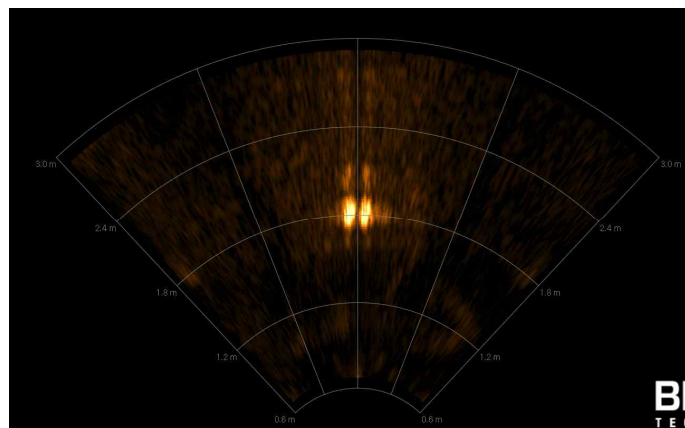


그림 3.3.13 Sonar image for aluminum plate only

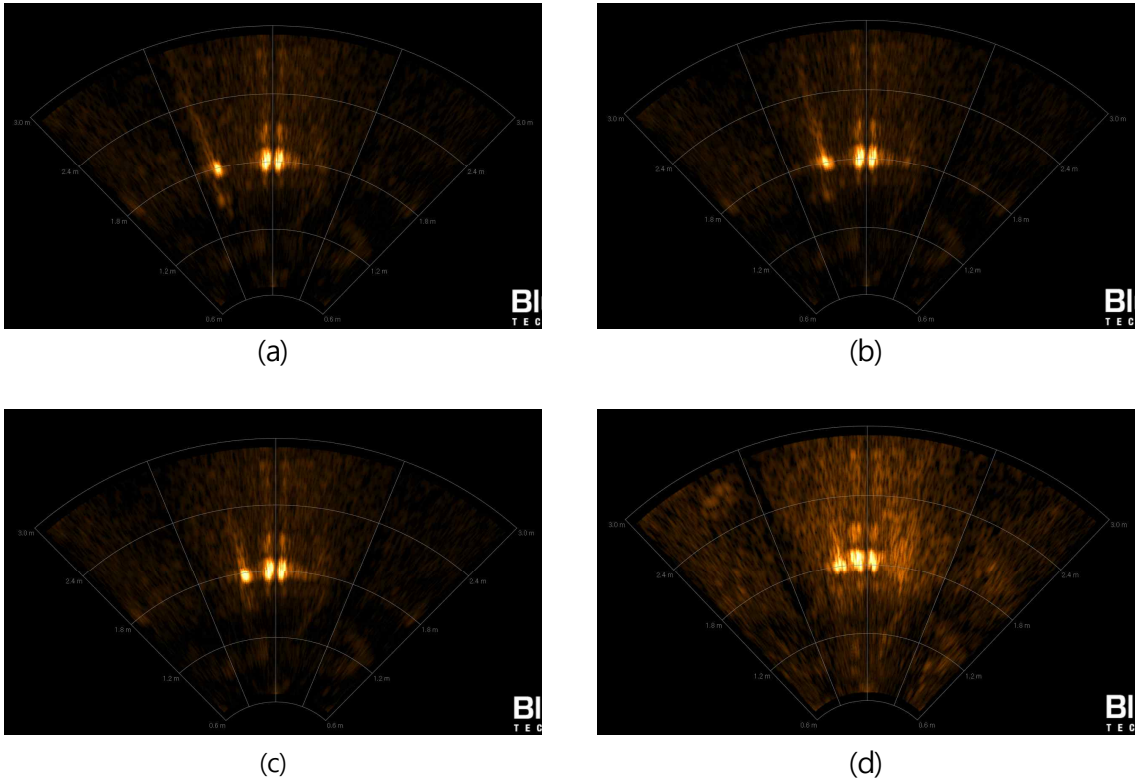


그림 3.3.14 Sonar images for variation of the distance between aluminum plate and pipe
(a)30cm (b)20cm (c)10cm (d)7cm

알루미늄판과 파이프 사이의 거리가 30cm, 20cm 그리고 10cm일 경우 두 물체의 강한 반사이미지를 얻을 수 있었고, 또한 두 물체 사이에 음영이 존재하여 각각의 물체가 서로 떨어져 있음을 확인할 수 있다. 반면 두 물체 사이가 7cm 떨어져 있을 경우 해당 물체가 떨어져 있는지 또는 붙어있는지 구분하기 매우 힘들다. 즉, 분해능의 한계로 인해 7cm 이하 대상물을 구분하기 힘들 것으로 판단할 수 있다. 따라서 그림 3.3.11의 소나이미지에서 7cm 크기의 TTP가 나타나지 않은 것은 해당 소나의 분해능 한계 때문인 것으로 판단할 수 있다.

실제 수중사석고르기 작업을 수행할 경우 고려하여 그림 3.3.15과 같이 카울리나이트를 투입하여 수조 속의 물 탁도를 26.4NTU로 만들고 동일한 실험을 수행하였다.

그림 3.3.16은 수조 내의 물의 탁도 26.4NTU 조건에서 관찰한 소나이미지이다. 물 속의 부유물로 인하여 전반적으로 소나이미지 배경에 노이즈가 많은 것을 확인할 수 있다. 그림 3.3.15와 같이 광학이미지로서는 물속의 상황을 전혀 관찰할 수 없는 탁도 조건을 가진 환경이었지만 소나이미지를 통해서만 센서 전방의 물체를 인식할 수 있음을 알 수 있다. 탁도조건 0.54NTU에서 확인한 그림 3.3.14의 소나이미지와 비교 시 배경 노이즈를 제외하면 동일한 결과를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있었다.



그림 3.3.15 Lab water tank under turbidity of 26.4NTU

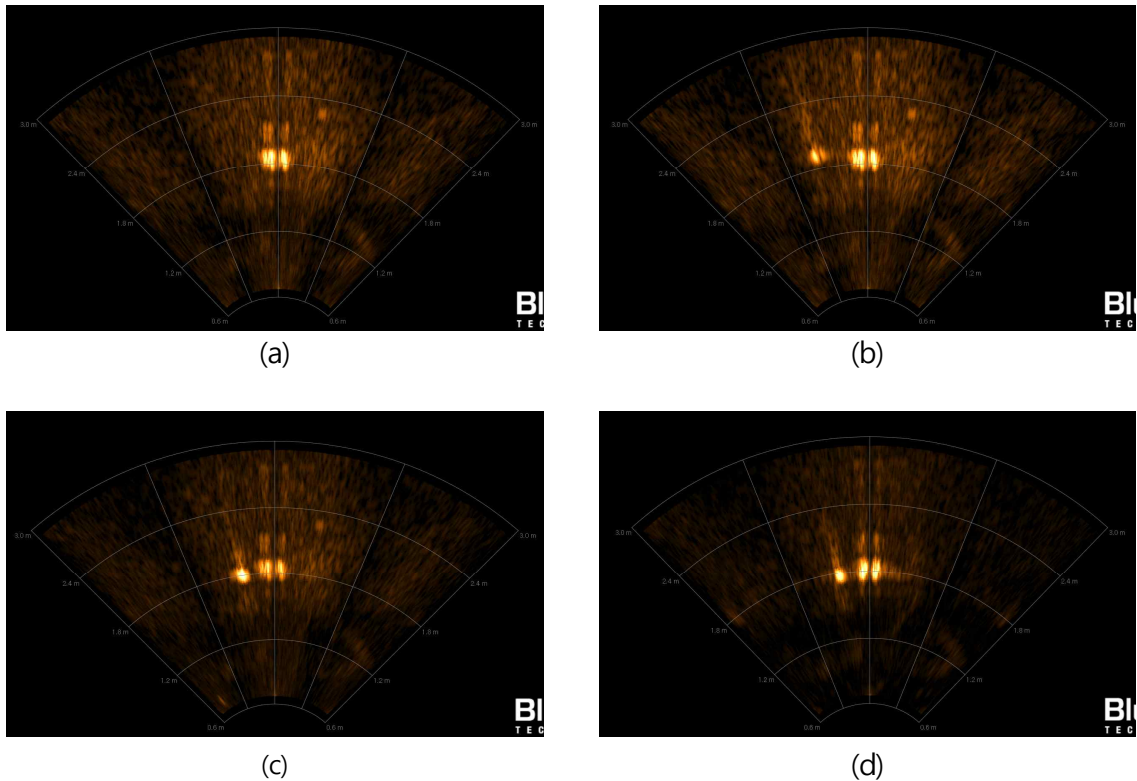


그림 3.3.16 Sonar images for variation of the distance between aluminum plate and pipe under turbidity of 26.4NTU condition
(a)aluminum plate only (b)30cm (c)20cm (d)10cm

3.4 수중 위치 인식 시스템 개발

3.4.1 수중체 위치추적 시스템 실험역 시험 및 성능분석

그림 3.4.1은 본 연구에서 구현한 장기선(Long base line) 방식의 수중 위치 추적 솔

루선에 대한 운용 개념도이다. 위 개념도는 고가의 시스템으로 유명한 Sonardyne 사의 것이다. 본 연구에서는 저가의 시스템(Link-quest사)에 본 연구에서 개발한 여러 가지 알고리즘을 적용하여 고가의 솔루션과 비슷한 성능을 구현하는데 초점을 맞추고 있다.

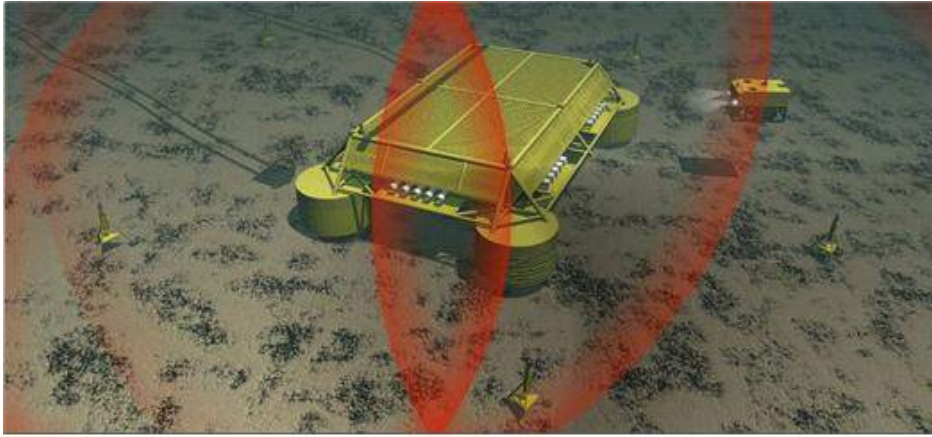


그림 3.4.1 Operation concept of commercial LBL system(Sonardyne)

그림 3.4.2는 해저면에 설치하는 트랜스폰더의 사진으로서 트랜스 폰더는 약속된 코드를 가진 음향 신호가 오면 바로 응답하는 기능을 가지는 장비이다. 그림과 같이 삼각대에 설치하여 정밀하게 위치를 추적하고자 하는 영역의 외곽부에 설치하면 안쪽 영역의 위치를 정밀하게 계측할 수 있게 된다.



그림 3.4.2 Transponders for precise positioning(Sonardyne)

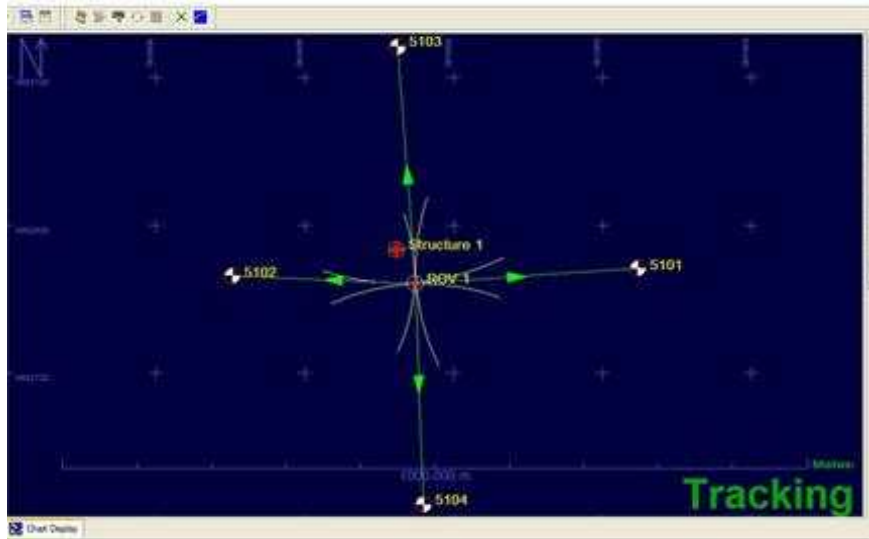


그림 3.4.3 Operation SW screen of LBL system(Sonardyne)

그림 3.4.3은 LBL 시스템의 원리를 설명하기 위한 화면으로 소나다인사의 LBL 프로그램 운용화면이다. 그림에서 보이듯이 트랜스폰더로부터 거리를 측정할 수 있으므로 ROV의 위치는 거리를 반지름으로 하는 원의 접점이 된다. 예제에서는 4개의 트랜스폰더를 사용하였기 때문에 4개의 원의 접점이 현재 ROV의 위치가 되는 것이다.

본 연구에서는 저가형 트랜스폰더의 단점을 상쇄시키고자 2개의 트랜스폰더를 사용(저가형은 주파수가 동일하여 동시에 발신 수신을 수행하지 못하여 개수만큼 업데이트 속도의 지연이 발생)하였으며 위치 추적 성능을 향상시키기 위하여 특이점(Outlier) 제거 알고리즘을 적용하였다. 고가의 LBL의 경우 다수개의 트랜스폰더를 사용함으로써 최소 자승법에 의하여 위치 정밀도를 향상 시키는데 저가형 LBL의 경우 그렇게 할 경우 갱신 속도가 느려지는 단점이 있어서 두 개의 LBL 트랜스폰더만을 사용하고 대신 하나 하나의 측정에 대해 알고리즘을 사용하여 정밀도를 개선하는 노력을 기울였다.

표 3.4.1은 본 연구에서 개발한 수중 음향 측위 솔루션의 성능에 관한 지표이다. 현재 저속 운항 ROV 혹은 트랙형 Vehicle에 대하여 적용이 적합하도록 개발된 상태이며 약간의 변경을 통하여 고속 운항 ROV와 AUV 형태의 운항체에 대해서도 적용이 가능하다. 운용 가능 심도는 아주 얇은 심도인 0.5m의 수심에서도 운용이 가능하다는 장점을 가지며 트랜스듀서와 트랜스폰더 및 트랜시버의 압력 용기 내압 심도를 감안하면 1,500m의 수심에서까지 운용이 가능하다. 정밀도는 트랜스폰더의 캘리브레이션을 정확하게 수행하였다는 가정 하에 약 30-40cm 정도의 정밀도로 추적이 가능하다. 갱신 주기는 운용 거리에 따라 달라지는 데 근거리에서는 약 0.7초가 소요되며 원거리에서는 2초 주기로 갱신 가능하다. 최대 측정 범위는 초음파 센서의 신호 도달 거리와 관련이 있는데 현재 상태로는 천해에서 약 800m 심해에서 1,000m까지 운용이 가능함을 실험을 통하여 파악하였다.

표 3.4.1 수중 음향 측위 솔루션의 성능지표

적용 대상	저속운항 ROV 혹은 트랙형 Vehicle
운용 가능 심도	0.5m~1,500m
정밀도	30~40cm (트랜스폰더 정밀 정렬을 수행한 경우)
갱신주기	0.7~2 sec(운용 범위에 따른 계측 거리에 따라)
최대 계측 범위	800m(천해), 1000m(심해)

수중 측위 솔루션을 사용하기 위해서 트랜스폰더 절대 위치 특정이 중요한데 본 연구에서는 4차년도 연구소리 바닥에 고정된 트랜스폰더의 위치를 특정하기 위하여 두 명의 잠수사를 사용하여 직접 기선의 길이를 재고 잠수사가 보유한 압력 센서를 사용하여 설치 수심을 정확하게 계측하였다. 또한 기선의 설치 각도를 정밀하게 계측하기 위하여 남북으로 정렬된 바지 위에서 수상 크레인을 남북으로 기선 거리만큼 이동 시키면서 정상 상태에서 LBL 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 가지고 편향된 각도를 계산하고 이를 보정함으로써 기선의 회전각을 진북 방향을 기준으로 계산할 수 있었다. 또한 위치 Offset을 보정하기 위하여 주변 인지가 가능한 두 개의 이미징 소나를 사용하였다. 현장에서 Caisson이라는 뚜렷한 Landmark가 있었기 때문에 수중체의 계측 위치와 비교함으로써 이미징 소나, LBL 계측 위치, Hypack 그래픽 상의 위치 이 세 가지를 Offset 조정을 통하여 일치시킬 수 있었다.

그림 3.4.4는 정지 상태에서 구현된 솔루션의 정밀도를 분석하기 위한 것으로 정지 상태에서 50초 동안 계측한 결과이다. 참값으로 도시된 (13.2, 8.25) 정도의 값이 대부분이고 가끔씩 특이점이 계측되는 것을 관측할 수 있다. 이 정도의 성능은 기존의 USBL과 비교할 때 엄청나게 정밀한 수준이다. USBL은 성능이 가장 안정적으로 잘 되는 천해용 USBL의 경우에도 기본적으로 2m 정도의 분산도를 지니며 특이점의 크기도 훨씬 큰 경우를 볼 수 있다. 심해용 USBL의 경우 경사거리의 1% 정도가 정밀도이다. 예를 들어 1000m 수심에서 작업할 경우 평균 10m 분산도를 보인다.

특이점은 수중음향을 이용하는 센서에서는 본질상 나타날 수 밖에 없는 현상으로 본 연구에서는 이전값과 비교하는 방법을 통하여 수중체의 동역학적 특성상 위치 차이와 속도 차이가 도저히 그렇게 발생할 수 없는 경우의 값을 제거하는 방법으로 특이점을 제거하는 알고리즘을 적용하였다.

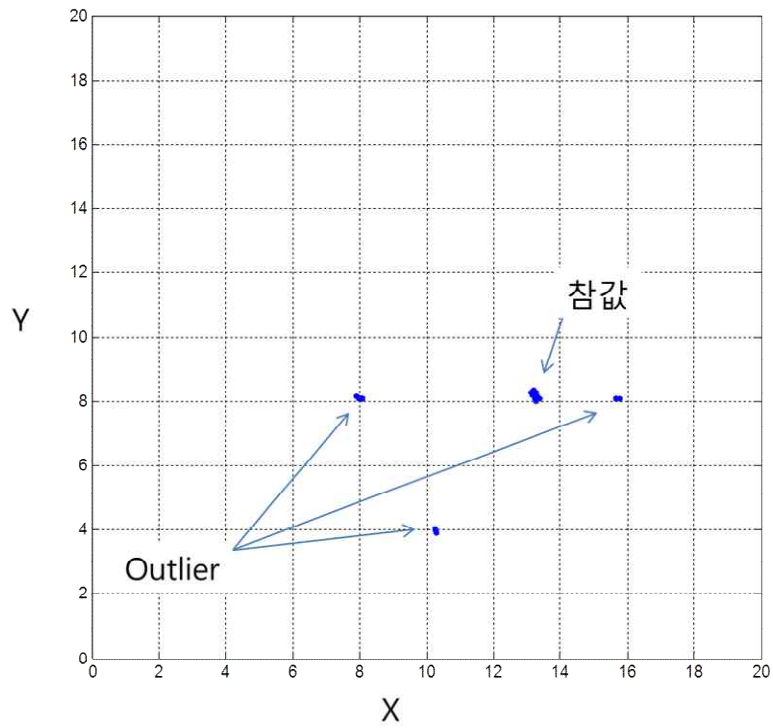


그림 3.4.4 LBL positioning precision

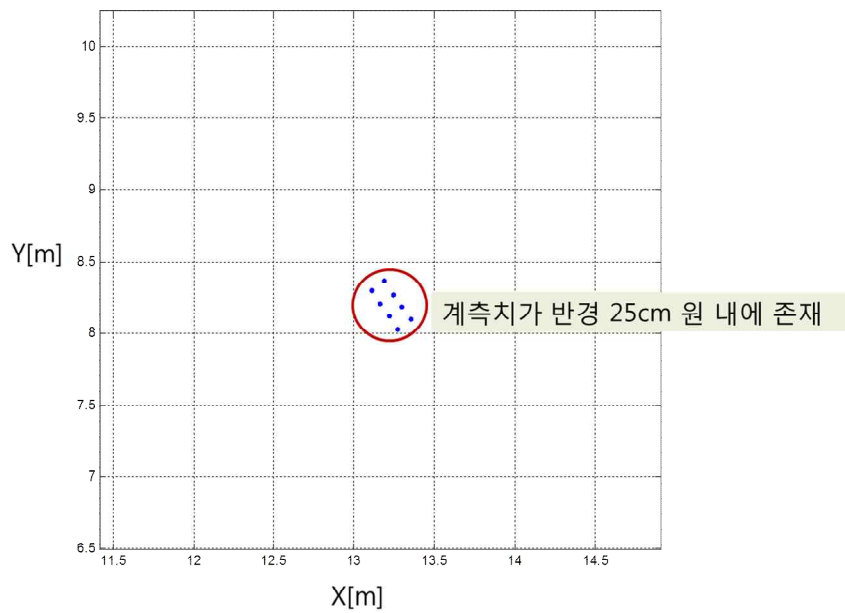


그림 3.4.5 LBL positioning precision(Magnified)

그림 3.4.5는 Fig. 3.4.4의 계측 결과를 확대한 그림이다. 정지 상태에서 구현된 솔루션의 정밀도를 분석하기 위한 것으로 모든 계측치가 반경 25cm 원 안에 수렴되어 있는 것을 확인할 수 있다. 본 솔루션에서 사용된 거리계측 소나의 성능은 10cm 정밀도

이다. 여기에 기선 거리 측정 오차, 음속도 오차, 기하학적 형상에 의한 오차 등이 더해져 위치 오차가 증가되게 되는데 본 연구에서는 이를 최소화하려 노력하여서 이 정도의 정밀도를 구현하였다.

그림 3.4.6은 시계열에서 성능을 분석한 것이다. X와 Y 측정치가 모두 잘 이루어져야 정확한 값이 측정되는데 가끔씩 튀는 값이 발생하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 본 연구에서 개발한 특이점 제거 알고리즘을 통하여 제거할 수 있다. 노이즈, 다중 경로 등에 의한 물리 현상을 보여주기 위하여 도시한 것이다.

그림 3.4.7은 2013년 8월 5일부터 9일까지 거제도 남해연구소에서 수행한 실험역 시험 시 구현된 Hypack 영상을 보여주는 것으로 2D 서베이 화면이다. 본 화면에서 수중체의 위치는 본 연구에서 구현된 LBL 솔루션을 통하여 실시간으로 업데이트 된다. 바닥에 깔린 고정밀 3D 멀티빔 데이터는 4차년도에 구매한 이미지 넥스를 통하여 측정된 것이다. 670kHz의 중심 주파수를 가지고 있어서 기존에 보지 못했던 고해상도의 해저면 데이터를 미리 획득하고 운용에 사용할 수 있었다. 그림 3.4.8은 3D 카메라 뷰에서 본 화면이다. 장비의 위치와 3차원 해저면 형상이 동시에 도시되어서 주변에 암초라든지 경사면이 있다면 지하는 것을 확인하면서 운용할 수 있다.

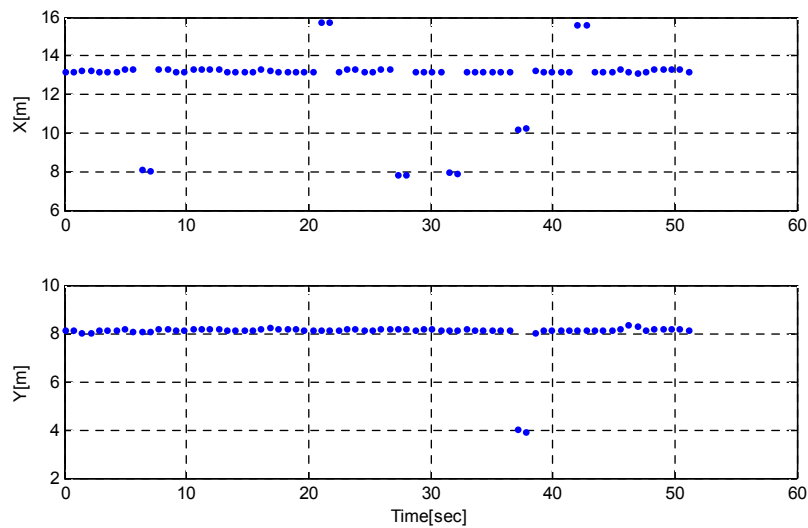


그림 3.4.6 LBL positioning performance(Time series)

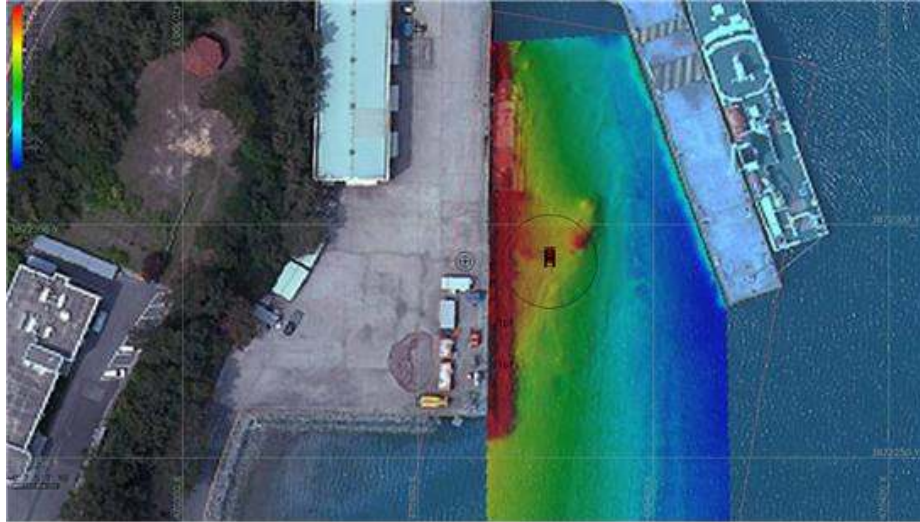


그림 3.4.7 2D survey using Hypack and developed positioning solution
(At the pier of South Sea Research Institute)

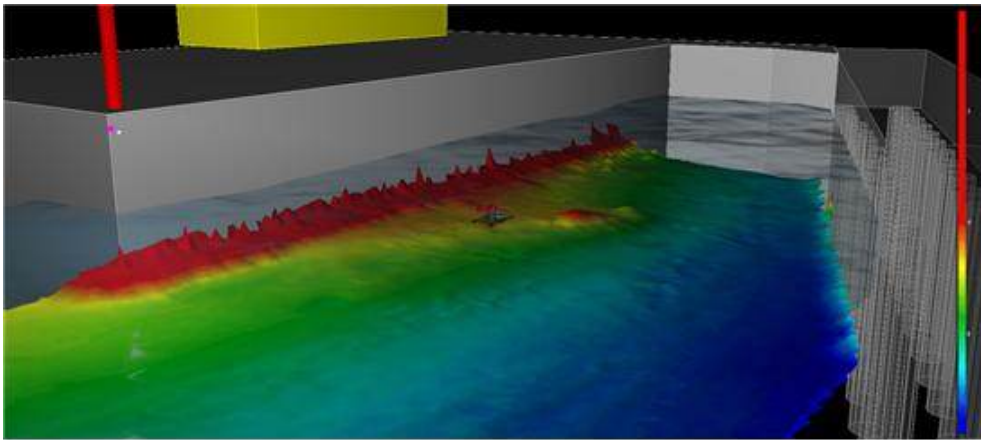


그림 3.4.8 3D camera view using multibeam data scanned by Imagenex

그림 3.4.9와 3.4.10은 2013년 8월 12일부터 22일까지 부산 신항에 소재한 대림 건설의 사석현장에서 수행한 수중 고르기 장비 성능시험 중 구현된 Hypack 운용 화면이다. 사석 바닥면 바지 그리고 케이슨의 상대적인 위치가 실시간으로 확인되고 장비의 현재 위치는 본 연구를 통하여 개발된 LBL을 통하여 실시간으로 맵 상에서 추적할 수 있었다. 이 때 해저면 데이터는 이미지넥스 멀티빔 소나를 통하여 미리 스캔한 것이다.

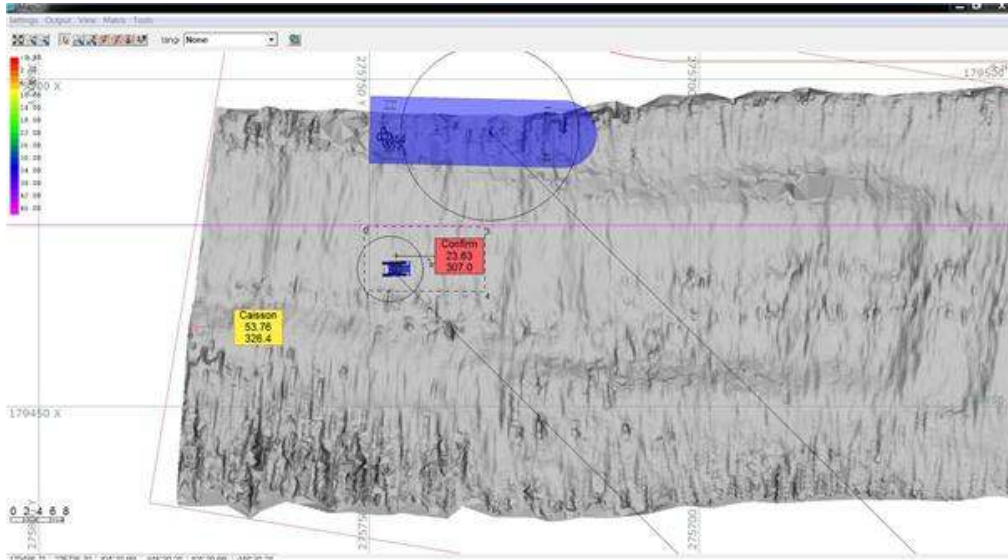


그림 3.4.9 2D survey in Pusan Newport

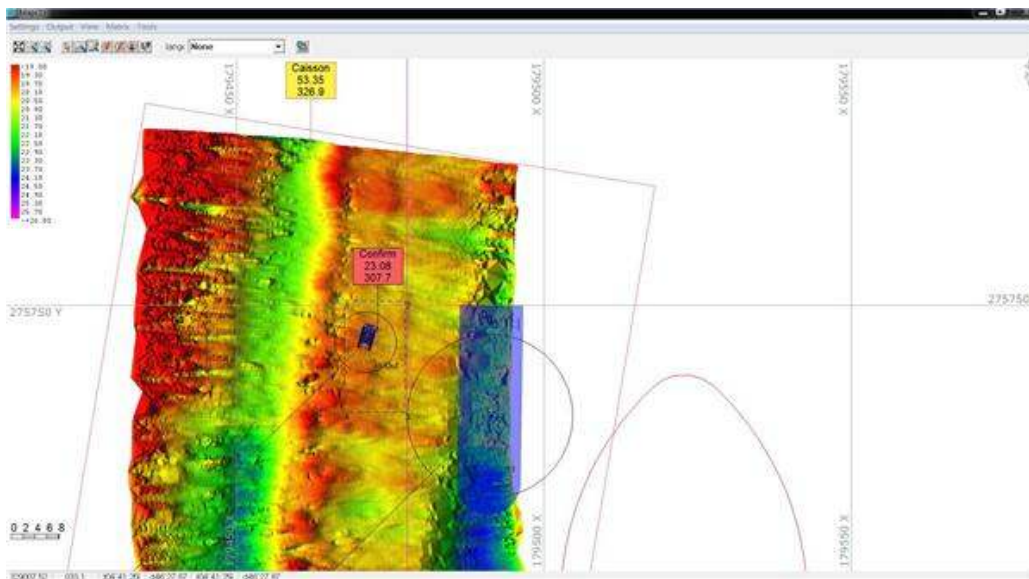


그림 3.4.10 2D survey in Pusan Newport

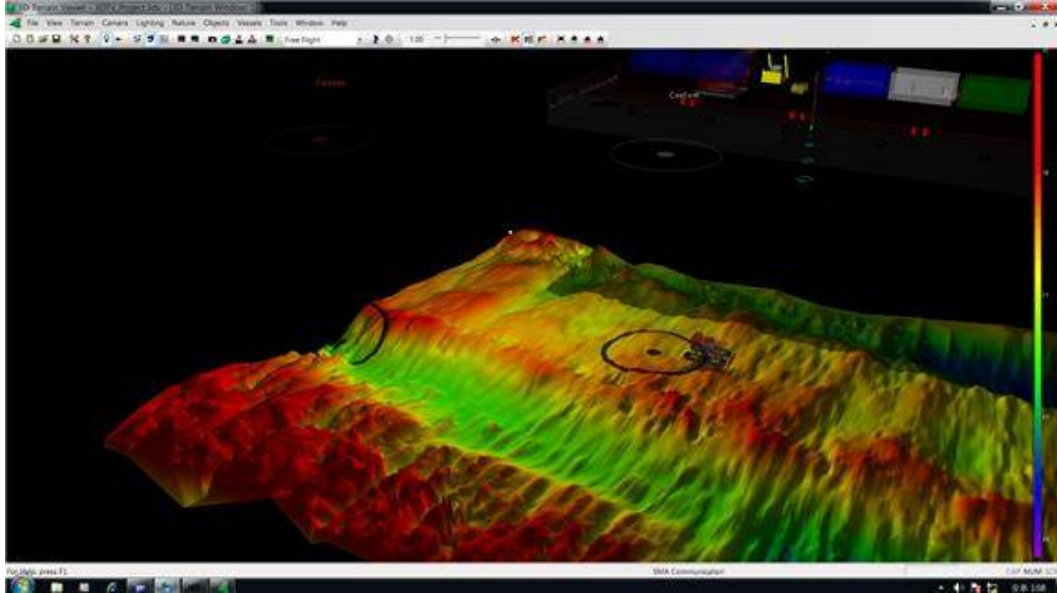


그림 3.4.11 3D camera view in Pusan Newport sea trial

그림 3.4.11은 부산 신행 실험 중 Hypack의 3D 화면이다. 그림에서 볼 수 있듯이 사석 고르기 면 상에 놓인 장비의 위치 주변 지형, 해저면의 굴곡을 3D 가시화면을 통하여 안전하게 관찰할 수 있다. 본 연구에서는 해저면의 굴곡과 이미지 소나 상의 영상, LBL 위치 이 세가지를 일치 시키기 위하여 노력을 기울였다. 소위 말하는 맵 기반 항법을 일부 구현한 셈이다. 이는 장비의 전복을 방지하기 위하여 필수적인 요소였다.

그림 3.4.12는 부산 신행 실험시 Hypack을 통하여 각종 센서 정보가 모니터링되고 로깅되는 것을 나타낸 그림이다. 여기서는 모선의 위치, 선수각, 장비의 X, Y, Z 위치 선수각, 속도 등이 실시간 모니터링되고 저장된다.

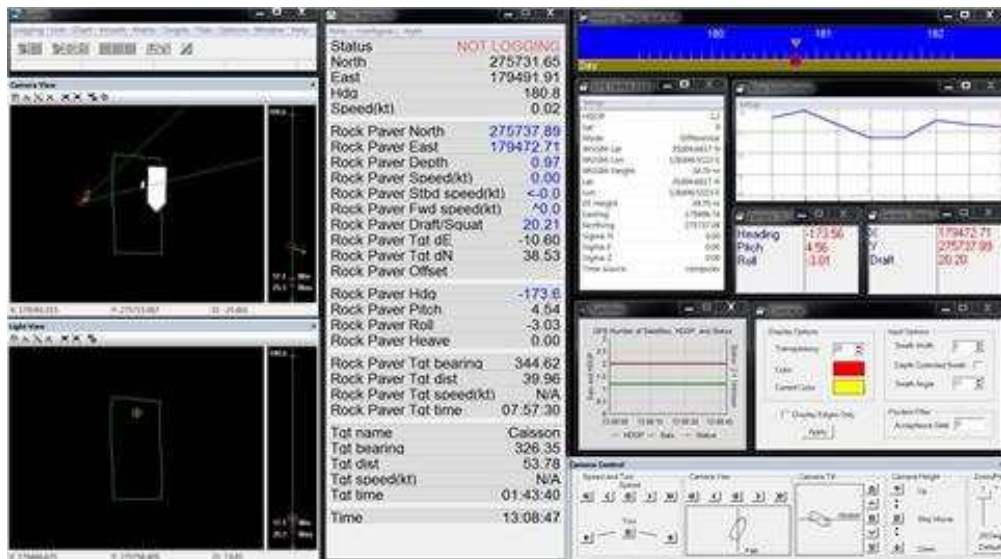


그림 3.4.12 Various sensor information for Hypack survey

4. 수중 장비 통합 운영 시스템 개발

4.1. 운영실 보완 설계 및 제작

수중 고르기 장비 운영실은 오퍼레이터가 장비를 원격으로 운영하기 위한 시스템이다. 이때 오퍼레이터가 장비를 운영하기 위해 GPS, 광학, Sonar, 수중위치, 수심, 작업 상태 등 수많은 정보를 수시로 확인해야만 한다. 그래서 운영실에서는 장비를 운영하기 위한 부수적인 장비를 장착하고 다중 모니터링 시스템을 갖추어 오퍼레이터가 장비의 상태 및 작업환경 정보를 한눈에 파악하기 적합한 구조를 갖추어야 한다.

기존 수중 고르기 장비의 운영실은 상용 컨테이너를 기반으로 외형을 갖추었고, 내부적으로는 창문, 전원장치, 에어컨 등을 설치하였고 2세트의 콘솔과 여러 대의 모니터를 기반으로 다중 모니터링 시스템을 개발하여 장비 오퍼레이터의 작업환경을 구축하였다. 하지만 오퍼레이터가 수중 고르기 장비를 운영하기 위한 기존의 다중 모니터링 시스템은 장비의 정보를 표시하기 위한 모니터의 수가 부족하였고, 컨테이너에 완벽히 고정되어 있지 않아 운영실 이동 중 파손의 가능성이 존재하였다. 그리고 두 대의 콘솔 랙에 운영 장비들이 별도 위치되다보니 운영실 내부의 공간이 좁아지게 되는 단점이 존재하였다. 그래서 이러한 단점을 보완하기 위해 수중 고르기 장비용으로 최적화된 다중 모니터링 시스템 하드웨어 제작을 중심으로 기존의 수중 고르기 장비 운영실 수정제작을 하였다.

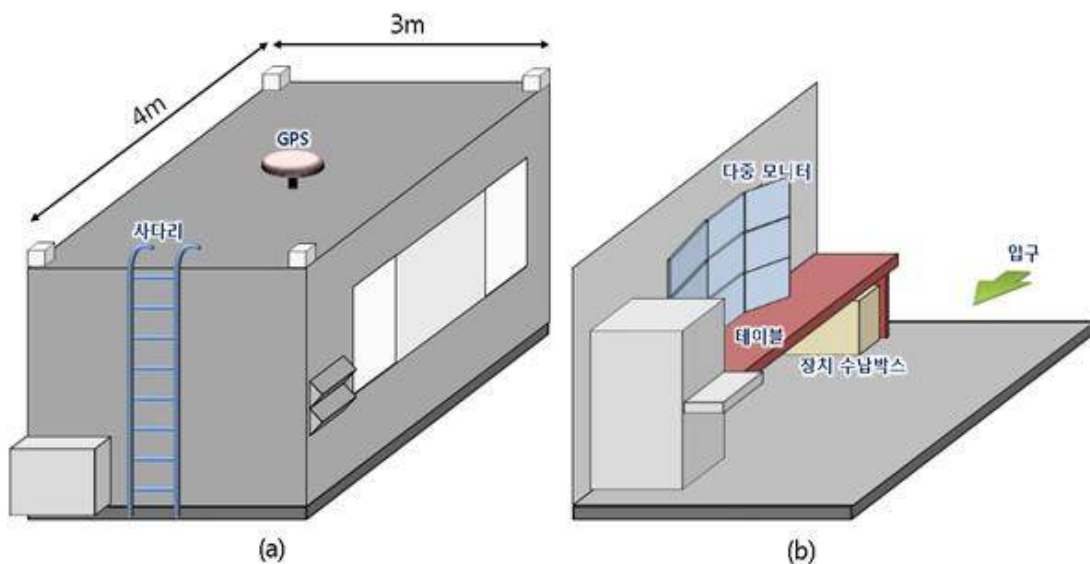


그림 4.1.1 운영실용 컨테이너 수정 설계 안 (a) 외부, (b) 내부

4.1.1. 다중 모니터링 시스템 설계

다중모니터링 시스템은 아래의 내용에 초점을 맞추어 컨셉을 설계하였다.

- 기능별 모니터 할당: Main, Hypack(x4), Blueview, Hammer Head, LBL, 광학
- 모니터 배치 및 오퍼레이터를 향한 층별 모니터 기울임
- 테이블 상단 수중 고르기 장비 조종용 조이스틱 판넬
- 테이블 하단 장치 수납박스

그림 4.1.2와 같이 Main으로 대형 모니터를 할당하여 다중 모니터의 중심에 배치하였다. 모니터의 최저 높이는 일반적인 상용 테이블 높이(800mm)에 근접하도록 하였고 3개 층의 구조를 가지도록 소형 모니터를 Main모니터 주변으로 배치하였다. 지속적인 모니터링이 필요한 Sonar 센서용 모니터들은 아래층에 배치하였다. 그리고 오퍼레이터들이 데이터 정보들을 화면왜곡 없이 한눈에 볼 수 있도록 하기위해 각 층별 모니터는 오퍼레이터를 향하도록 기울이는 컨셉을 적용하였다.

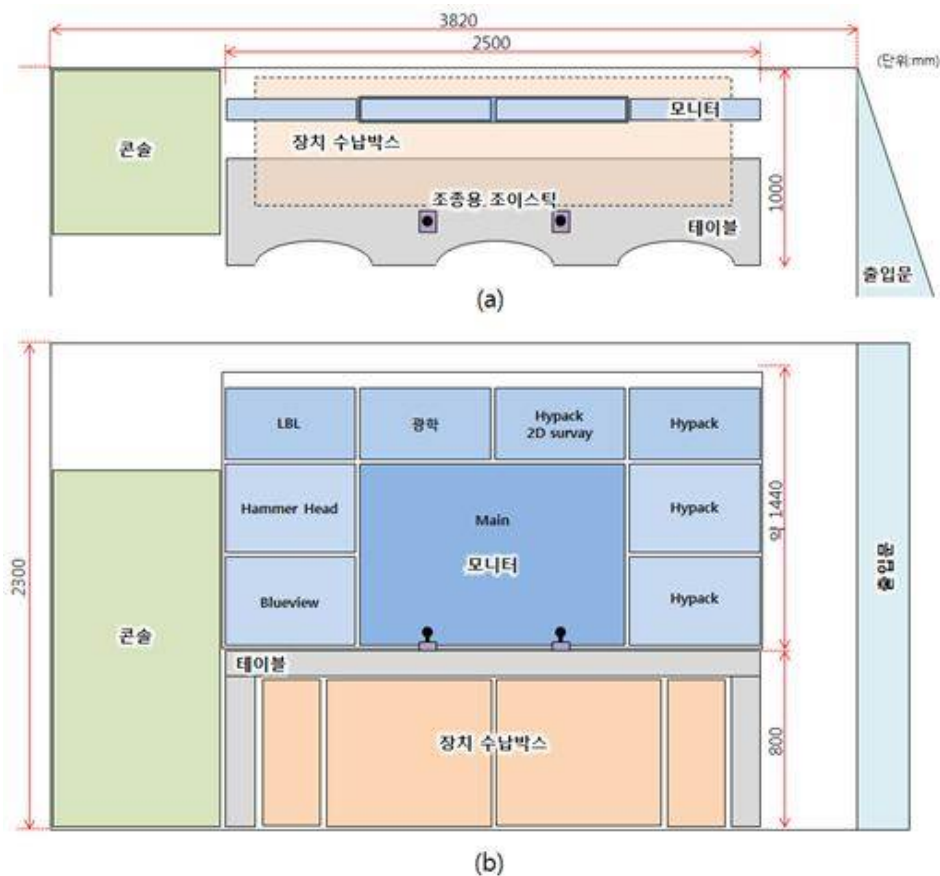


그림 4.1.2 다중 모니터링 시스템 컨셉 안. (a) 윗면, (b) 정면

장비 조종용 조이스틱 패널은 테이블 위에 위치하며 총 2세트의 조이스틱 기반에 각종 기능별 버튼을 배치하였다. 그리고 장치 수납박스는 테이블 하단에 위치하며 다중 모니터를 구동하기 위한 PC, 영상녹화용 DVR 및 UPS가 위치하여 기존 콘솔의 역할을 대신하도록 하였다.

위의 컨셉을 기반으로 3D 도면을 설계한 결과는 그림 4.1.3과 같다. 다중 모니터에서 모니터는 총 9대를 적용하였으며 4x3의 구조를 가진다. 2층의 모니터가 오퍼레이터의 정면에 오도록 기준위치로 설정하였으며 1층의 모니터는 약 12도, 3층의 모니터는 약 30도를 기울이며 오퍼레이터를 향하도록 설계하였다. 모니터 거치대는 8080계열의 알루미늄 프로파일 기반으로 설계하였다. 모니터와 거치대는 베사 규격의 나사 홀을 통해 고정되도록 하였다. 단, 대형 모니터는 상용으로 판매중인 거치대를 활용하여 고정되도록 설계하였다. 이동이 잦은 컨테이너에 거치대가 완벽히 고정되도록 바닥면과 벽면에 거치대 전용 고정부를 따로 설계하였다.

조이스틱 판넬은 2 세트의 조이스틱과 17개의 버튼이 고정될 수 있도록 설계하였다. 그리고 오퍼레이터의 손목 피로감을 줄여주기 위해 테이블에서 약 10도를 기울여주었다. 그리고 판넬 하단에 PLC 고정부를 두어 조이스틱 및 스위치 작동제어를 위한 전장부가 위치할 수 있도록 하였다. 장치 수납박스는 PC 및 각종 전자 장치까지 쉽게 설치가 가능하도록 설계하였다. 특히 소형 박스에는 콘솔 규격의 UPS, DVR 등이 위치할 수 있도록 설계하였다. 대형 박스에는 PC 등이 위치할 수 있도록 내부를 넓게 설계하였다. 그리고 각 박스에 문을 두어 먼지나 이물질이 쉽게 유입될 수 없도록 하였다. 그리고 이 박스들은 모니터 거치대 전용 고정부를 활용하여 컨테이너에 고정되도록 하였다.

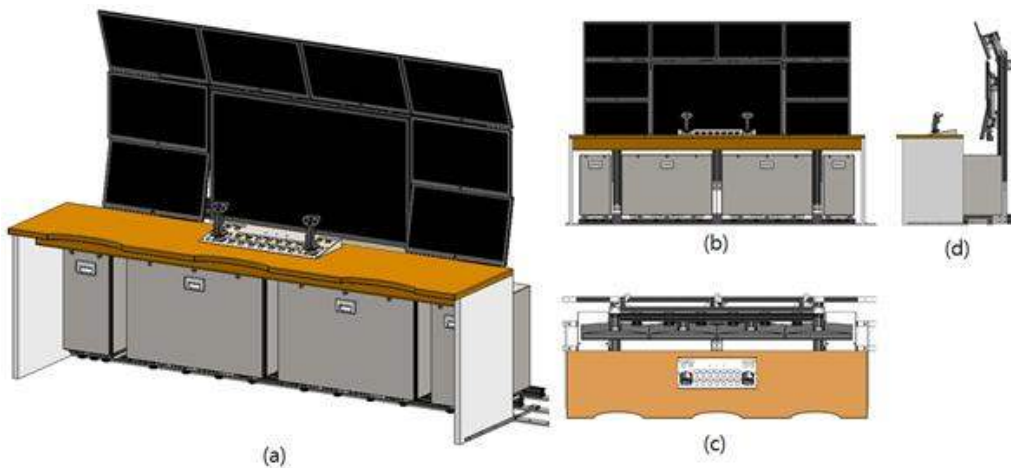


그림 4.1.3 다중 모니터링 시스템 설계 도면
(a) 전체, (b) 정면, (c) 윗면, (d) 측면

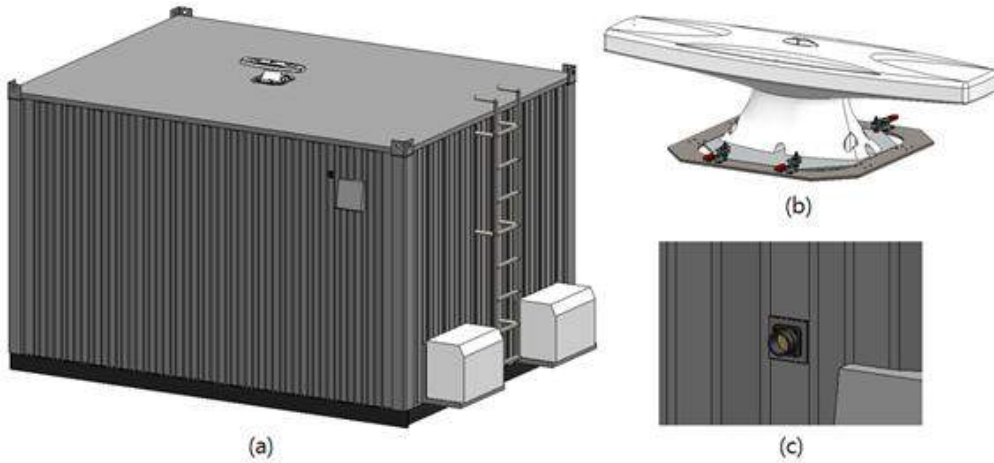


그림 4.1.4 운영실 컨테이너 외부 설계 도면
(a) 전체, (b) GPS 고정부, (c) GPS용 외부 커넥터

4.1.2. 운영실 컨테이너 외부 설계

운영실 컨테이너는 GPS 장치관련 시설을 추가하는 설계를 하였다. 먼저 컨테이너 상판에 탈부착이 가능한 GPS 고정부를 설계하였다. 그리고 GPS 설치를 위한 상판접근이 용이하도록 사다리를 설계하였고, GPS가 연결을 위한 외부 돌출 커넥터 단자를 추가하였다. 이 내용으로 3D 도면을 설계한 결과는 위의 그림 4.1.4와 같다.

GPS 장치는 탈부착이 쉽도록 4개의 토글 클램프를 통해 컨테이너 상판에 고정되도록 설계하였다. 그리고 상판에 접근이 쉽도록 컨테이너 뒤에 폭 400mm의 사다리를 두었다. 그리고 GPS와 컨테이너 내 PC와의 연결을 위해 외부 커넥터를 측면 외벽에 위치하도록 하였다. 이때 외부 커넥터는 수상에서 사용됨을 고려하여 IP67 등급의 방수가 되는 제품으로 선정하였다.

4.1.3. 운영 시스템 하드웨어 제작

수중 고르기 장비 운영실의 다중모니터링 시스템 하드웨어는 아래 그림 4.1.5와 같이 제작 되었다. 모니터는 설계와 그대로 배치하였다. 모니터 거치대는 8080 알루미늄 프로파일 기반으로 하되 컨테이너가 이동이 잦고 해상에서 작업함을 감안하여 고강성 프로파일에 흑착색을 하여 제작하였다. 조종용 조이스틱 판넬은 알루미늄 기반에 흑착색을 하여 제작하였고 테이블 가운데에 조립하였다. 장치 수납박스는 S45C 재질의 철판을 절곡하고 흑착색을 하여 제작하였다. 각 수납박스 가운데에는 박스의 문을 여닫기 위한 손잡이와 그 상단에는 문 고정 볼트가 위치하도록 제작하였다. 박스와 문 사이에는 고무 씰링을 하여 박스의 정면으로부터 먼지 등의 이물질이 유입되지 않도록 하였다. 거치대 전용 고정부는 그림 4.1.6처럼 컨테이너와 용접을 통해 완벽히 고정하여 거치대와 조립하였다.



다중 모니터링 시스템



조종 판넬



장치(PC 등) 수납박스



장치(콘솔) 수납박스

그림 4.1.5 다중 모니터링 시스템 제작 사진



그림 4.1.6 다중 모니터링 시스템의 컨테이너 고정부 사진

GPS 장치 관련 시설들은 그림 4.1.7과 같이 제작하였다. GPS 고정부는 S45C 재질의 철판에 흑작색을 하여 컨테이너 상단에 용접을 통해 고정하였다. 그리고 GPS를 탈부착할 수 있도록 스테인레스 스틸 재질의 토글 클램프를 조립하였다. GPS용 외부 커넥터는 방수등급 IP 67을 만족하며 바요넷 잠금 방식의 원형 커넥터 제품을 선정하여 컨테이너 벽면에 고정하였다. 사다리는 컨테이너 뒤에 용접을 통해 고정하였다. 그리고 컨테이너 상단 및 기타 외부 용접 부위를 다시 도색하여 쉽게 산화되지 않도록 하였다.

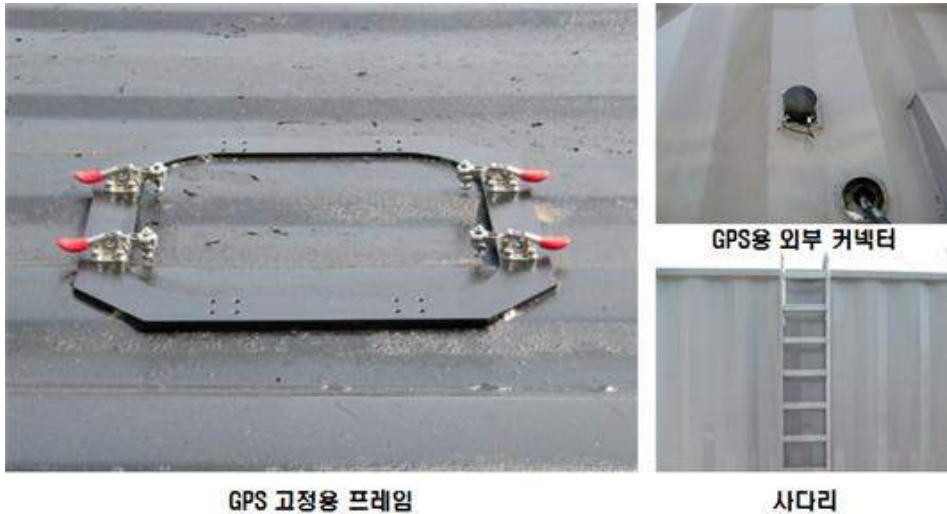


그림 4.1.7 GPS 장치 관련 시설 제작 사진

4.1.4. 다축 장비용 제어 패널 제작

수중고르기장비의 조작을 위한 패널은 장비의 블레이드와 암의 다축 제어를 반영하여 제작되었다. 주요 장비 조작에 소요되는 축 수는, 장비 이동을 위한 좌우 2축 및 상판 회전을 위한 1축, 블레이드 상하 이동과 좌우 틸트, 상하 틸트를 위한 3축, 버킷 톨의 조작을 위한 암 부분의 3축이 있다. 이러한 다축의 제어를 위해 기본 3축의 선형적인 가변 값을 가지는 조이스틱을 선정하였으며, 추가적으로 손잡이 부분에는 썸브휠 1축과 3개의 버튼을 장착하여 다축제어의 기능을 할 수 있도록 하였다.

수중고르기장비의 사양을 반영하여 1차 버전의 제어 패널을 제작하였으며, 이 패널에는 2개의 조이스틱과 8개의 푸쉬 스위치, 7개의 셀렉트 스위치, 그리고 비상스위치의 입력반을 가지고 있으며 각 스위치와 조이스틱의 조작값을 읽어 장비의 중계용 PLC와 연결하기 위한 소형 PLC를 장착하고 프로그램되어 있다. 모든 스위치는 산업용 제품을 적용하여 고장이나 수리가 필요할 때 즉시 바꿀 수 있도록 되어 있으며 동작에 대한 신뢰성을 가지고 있고, 신호 입력과 중계기와의 통신을 위한 소형 PLC 또한 LS산전의 산업용 제품을 적용하여 동작의 안정성과 신뢰성을 가질 수 있도록 하였다. 전장부의 동작을 위해 독립된 전압변환기를 사용하여 12V와 5V의 직류 전압을 생성하여 사용하고 있으며, 이 전압변환기는 의료기기 등에서 사용하는 제품을 적용하여 해상에서의 불규칙한 전압 입력에 의한 전원 노이즈를 효과적으로 차단하여 제어 패널의 동작을 항상 안정적으로 유지하도록 해주는 역할을 한다.

이 제어패널은 기존 차년도와 달리 제어용 컴퓨터와의 동작과 관계없이 바로 장비측으로 직결로 연결되어 통신을 하도록 하고 있으며, 수중고르기장비의 상태 값을 바로 받아 내부에 저장하고, 이 데이터를 제어용 컴퓨터에 전달하는 역할을 하게 된다.



그림 4.1.8 수중고르기장비 사양을 반영한 제어 패널 (1차 버전)

제어 패널을 운영실 내부의 테이블에 장착하여 장비 조작에 대한 테스트를 하였으며, 운용자의 관점에서 스위치 배열의 변경 사항과, 운용자가 편하게 사용할 수 있도록 하기 위한 패널의 경사면 설치 등에 대한 사항을 반영한 2차 버전의 제어 패널을 제작하였다. 새로운 제어 패널에는 2개의 조이스틱과 7개의 장비 조작용 푸시 스위치 및 7개의 셀렉트 스위치가 있으며, 추가적으로 발전기를 기동하는 1개의 스위치와 장비를 바로 셧다운 시키는 Quick Link 스위치를 장착하였다. 제어 패널 자체는 경사를 두어 테이블에 장착하도록 하여 제어 패널을 사용하는 운용자가 편한 팔 자세를 취할 수 있도록 하고 있으며, 조이스틱은 기존에는 손목의 높이보다 높아서 불편했던 점을 개선하여 조이스틱의 동작 축이 제어 패널의 판 아래로 위치하도록 기구부를 설계하여 제작되었다.

제어패널 내의 PLC에서는 조이스틱의 가변값을 장비 조작에 적합하도록 비선형적으로 변환하고, 운전모드와 굴삭모드, 속도선택모드, 크루즈컨트롤모드 등의 여러 상태 모드와의 조합에 의한 조작 신호의 선택과 변환 기능이 프로그램 되어 있으며, 이 입력된 조작 신호 값을 장비의 중계기 PLC와 시리얼 통신으로 연결되어 데이터를 송수신하도록 하고 있다.

4.2. 작업 가시화 운영시스템 개발

4.2.1. 수중고르기장비 상태패널 소프트웨어 개발

수중고르기장비의 수중 위치 좌표 값 및 각 축에 대한 상태 및 자세 상태, 내부 전장부 박스의 압력과 습도 등에 대한 여러 상태 값들은 중계기 PLC에서 제어패널의 PLC로 송신되며, 이를 제어용 컴퓨터의 화면에 표시하여 주는 상태패널 소프트웨어는 이 제어패널의 PLC와 시리얼 통신으로 연결되어 데이터를 수신받아 표시하게 된다. 또한 비교적 중요성이 덜하여 하드웨어의 제어 패널에 포함되지 않았지만 제어가 필요한 수중고르기장비의 조명들과 스윙 엔코더 리셋 등의 기능을 프로그램 내에 포함하여, 제어에 대한 역할을 수행하는 제어패널의 PLC로 이에 대한 조작 신호값을 전송하여 취합하도록 하여, 제어 신호를 중계기 PLC로 함께 전달하도록 하고 있다.

상태패널 소프트웨어는 제어용 컴퓨터의 화면상에 위치하여 장비의 여러 상태 값들을 시각적으로 인지하도록 데이터를 표시하고 있으며, 수치 데이터와 함께 게이지 형태의 소프트웨어 컴포넌트를 적용하고 있다. 이 상태패널 소프트웨어는 MVC (Model - View - Controller) 패턴을 적용하는 아키텍처 구조를 적용하여 설계되었으며, 장비 상태 데이터값과 통신의 송수신 패킷을 모델화 하여 다루고 있고, 이러한 모델을 화면에 보여주는 View의 역할에는 게이지 컴포넌트와 기존 윈도우 컴포넌트를 사용하고 있으며 이 UI에서는 Delegate 디자인 패턴을 적용하여 내부 데이터 및 통신 처리가 UI 처리 때문에 발생할 수 있는 지연 현상을 방지하도록 설계되어 적용되었다. 모델을 변화시키는 Controller의 역할은 하드웨어 제어패널이 담당하며 일부의 조명 스위치 등은 UI 상의 버튼으로 구현되어 있다.

모델로 구현되는 장비 상태와 통신의 송수신 패킷은 구조화된 형태를 나타내며, 이에 대한 장비 운용에서의 실제 상태값은 상태패널 프로그램 외부에 위치하는 저장소 (Repository)에 저장하여, 모델의 코드와 상태값의 데이터를 분리하고 있다. 이렇게 코드와 데이터를 분리하는 구조는, 데이터의 완전성을 보장하고, 데이터를 분류하여 재활용하는데 사용할 수 있으며 여러 Viewer에 대한 데이터 전달을 용이하게 하고 구성을 용이하도록 하기 위함이다.

상태패널 프로그램에서의 모델 부분 구현에서는, 수중고르기장비의 상태값을 수신받아 데이터 형태별로 구분하고 이를 외부 저장소에 CRUD(Create-Read-Update-Delete) 기능을 수행한다. 외부 저장소로는 여러 가지 종류 중에서 범용 데이터베이스를 선택하여 사용하고 있으며, 장비의 상태값이 정형화되고 구조화된 데이터 모델이므로 기존에 많이 사용되는 SQL 데이터베이스를 적용하고 있다. 상태패널 프로그램에서는 PLC로부터 현재 장비 데이터를 약 10Hz의 갱신주기로 수신 받아 외부 저장소에 시간대별로 데이터 행을 생성 및 업데이트하며, 장비 데이터가 올라오지 않을 때 발생하는 NULL값이 저장소에 쓰여지게 될 때에는 이를 제거하도록 하고 있다.

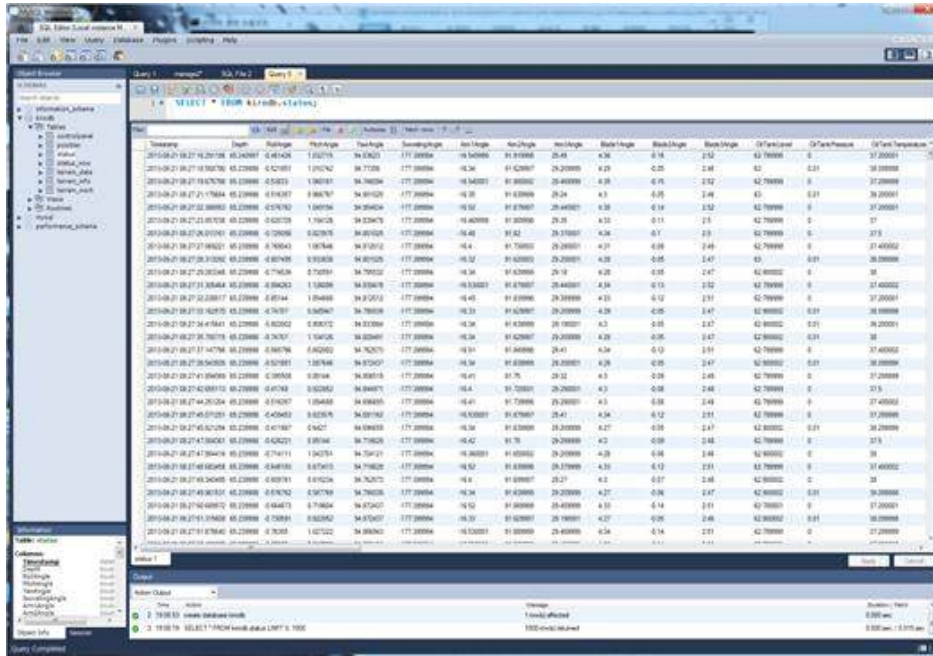


그림 4.2.1 외부 저장소의 데이터 저장 화면

외부 저장소로 사용되는 SQL 데이터베이스에는 3D 작업 가시화 프로그램에서 사용하는 지형데이터 테이블과 지형에 대한 정보를 담은 테이블, 장비 상태값을 저장하는 테이블, 제어패널의 조작값을 저장하는 테이블로 구성이 되며, 상태패널 프로그램에서는 이 테이블 중에 장비 상태값 저장과 제어패널 조작값을 저장하는 테이블에 연계되어 있다.

상태패널 프로그램의 UI 배치는 아래 화면과 같으며, 3D 작업가시화 프로그램과의 동시성을 위해서 상태값 표시를 테두리 방향에 위치하도록 하여, 두 가지의 프로그램을 겹쳐서 함께 보일 수 있도록 하였다. 프로그램 하단에는 주로 장비 자세의 Roll/Pitch/Yaw 각도를 게이지 컴포넌트를 사용하여 시각화하였고, 블레이드의 3축과 암의 3축에 대한 각도를 숫자형 게이지를 사용하여 시각화하였다.

또한 장비 구동 시 유압 펌프에 걸리는 압력이 장비 동작과 연계되는 중요한 지표로 운용이 되고 있으므로 이를 따로 게이지 형태로 표시하고 있다. 이러한 게이지 컴포넌트는 최대 30Hz의 갱신주기로 데이터를 보여주게 되며, 장비의 실시간적인 상태를 장비 운용자가 쉽게 인지할 수 있도록 하고 있다.



그림 4.2.2 장비 자세 및 블레이드, 암 각도 표시부

장비에 인입되는 발전기 전압과 사용 전류에 대한 게이지 표시 및 수심값, 유압탱크 레벨과 내부 압력, 습도값, 전장부 패널 내부 압력 및 습도값 등을 표시하는 부는 오른쪽에 위치하도록 하고 있으며, 또한 구동기 박스 및 슬립링 내부, 전동기 박스 내부 등의 전장부에 있는 수밀센서의 감지값도 표시하도록 하고 있다. 가장 하단에는 해저에서의 장비의 절대 위치 값과 장비 툴 끝단의 위치 값을 표시하고 있다.

우측 하단에는 수중고르기장비의 4개의 조명을 제어하는 버튼이 구현되어 있으며, 세 개의 조명은 On/Off 제어되고, 블레이드 측면의 조명은 Dimming이 되도록 하였다. 또한 장비 상판의 Swiveling에 대한 엔코더 값을 리셋하는 기능을 하는 버튼도 구현이 되어 있다. 전체 프로그램의 형태는 아래 그림과 같다.



그림 4.2.3 장비 유압 펌프 압력 표시부



그림 4.2.4 상태패널 프로그램 구성

4.2.2. 수중고르기장비 작업 가시화 소프트웨어 개발

수중고르기장비의 작업 가시화 소프트웨어는, 작업 영역에 대한 Pre-Survey에 의해 얻어진 해저 지형의 데이터를 바탕으로 3차원 형상을 그려주고, 장비의 위치와 맵 상의 위치를 정합하여 현재 장비가 어디에 위치해 있는지, 장비가 어떠한 작업을 하고 있는지를 운용자에게 시각적으로 보여주는 역할을 하는 소프트웨어이다.

작업 가시화 소프트웨어는 외부 저장소에 있는 장비의 상태 데이터를 읽어와 3차원 형상의 맵 상에서 장비를 표현하여 주며, 장비의 작업 상황을 가시화하여 운용자에게 보여준다. 또한 해저에서의 장비 위치에 대한 필터를 내부적으로 가지고 있어 센서에 의한 순간적인 오차를 보정하는 역할을 수행한다.

작업 전의 해저면에 대한 Pre-Survey된 데이터는 변환 프로그램을 통해 외부 저장소에 저장되며, 3차원 작업 가시화 소프트웨어에서는 이 저장소로부터 맵 데이터를 읽어 지형을 표현한다. 지형 데이터는 장비의 이동과 작업 툴의 움직임에 의해 변화된 지형을 반영하여 외부 저장소에 다시 저장하는 것이 가능하며, 작업 후 Post-Survey된 데이터와의 비교가 가능하다. 해저면에 대한 Pre-Survey된 데이터는 XYZ 형태의 여러 포인트에 대한 텍스트 파일을 입력받아, 최소와 최대의 X방향과 Y방향의 좌표 범위를 구하고, 높이에 대한 최소 및 최대 수치를 구하여 맵 좌표계로 변환을 수행한다. 이 때 최소와 최대의 차가 큰 축방향의 값을 양 축에 적용하여 지형의 왜곡없이 일정 비율로 변환하여 맵 좌표계로 매핑하게 되며, 지형의 높이는 시각적으로 인지하기 편한 비율로 변환하게 된다. 지형 데이터는 외부 저장소로 들어가게 되므로, 작업 가시화 프로그램의 실행 중에도 지형을 바꾸는 것이 가능하며, 바뀐 지형에서의 기준 좌표값 또한 외부 저장소의 테이블로 존재하기 때문에 지형을 바꾼 후 이 기준 좌표를 바꾸어주면 장비 위치가 정상적으로 표시된다. 프로그램의 변경 없이 외부 저장소의 데이터만을 바꾸어 줌으로써 작업의 연속성을 보장할 수 있다.

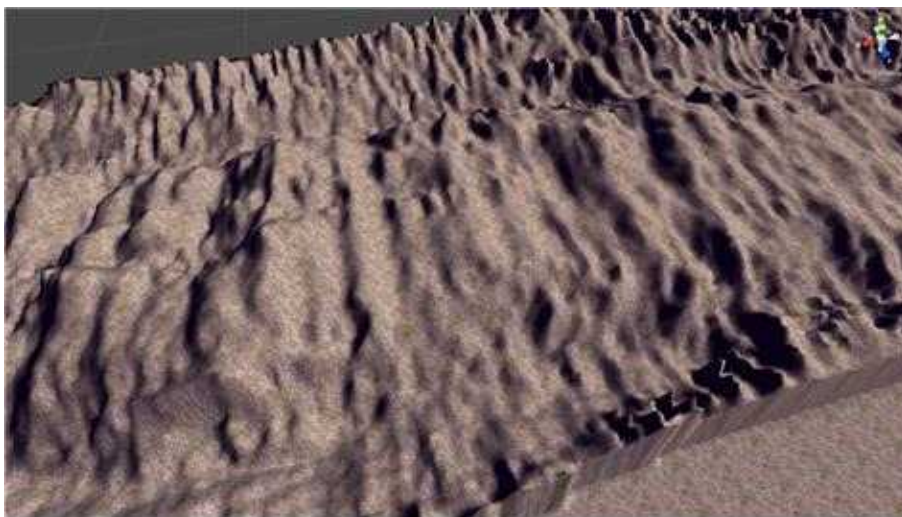


그림 4.2.5 변환된 지형 데이터 모습

변환된 지형 데이터는 작업 가시화 소프트웨어에서 импорт하여 화면 상에 보여주게 되며, 해저에서의 장비 위치 값을 받아 해저 지형 상에 위치시켜 보여준다. 화면 오른쪽 하단에는 장비의 측면과 정면에서의 장비 자세를 표현하여 운용자가 작업 내용을 쉽게 인지할 수 있도록 하며, 화면 왼쪽에는 장비 자세와 작업 톨 각도에 대해 수치적으로 표현을 하여 준다. 장비 측면을 표시하는 화면에서는 현재 장비 위치에서의 지형 데이터를 읽어 장비 전후의 지형 높이를 시각화해주고 있다.

작업 가시화 소프트웨어를 실행 후에는 작업 영역에 대한 네 개의 코너점 위치를 입력하게 되고, 이 작업 영역 내에서 작업할 지형 높이를 입력하게 되면 색상별로 지형을 그려주게 된다. 작업할 지형 높이는 녹색으로 표시하고 이 높이보다 높은 지형은 적색으로, 낮은 지형은 청색으로 표시하여 장비 운용자의 작업을 시각화하여 보여주도록 하고 있다.

사석 현장에서의 운영실 내부에 상태패널 소프트웨어 및 작업 가시화 소프트웨어를 설치하여 장비 작업을 운영하고 있는 모습은 그림 4.2.7과 같다.

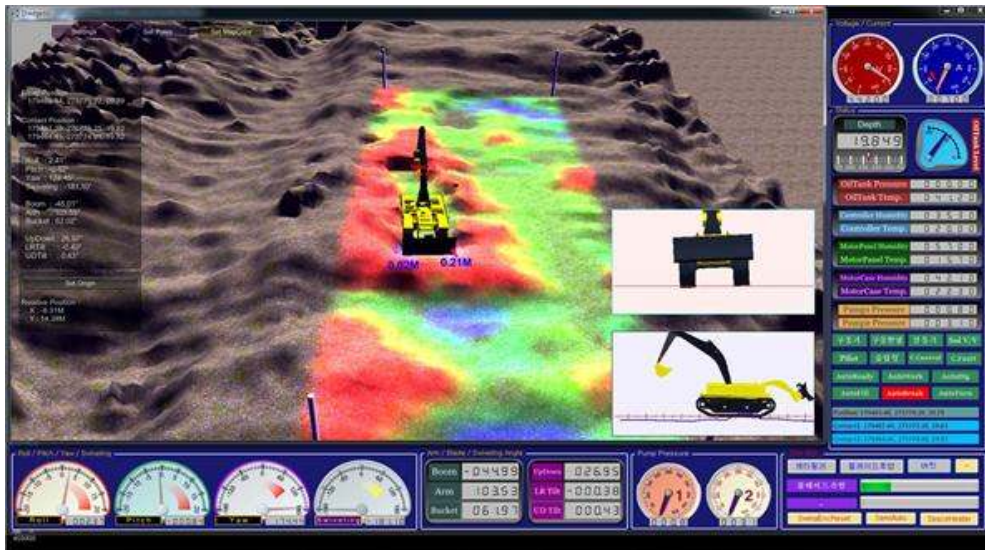


그림 4.2.6 3차원 작업 가시화 소프트웨어 화면



그림 4.2.7 작업 가시화 소프트웨어 운용 모습

5. 장비 실험 및 성능평가

5.1 육상 작업 성능평가

5.1.1 다목적 암 동작 테스트

- 4차년도에 추가된 다목적 암은 그림 5.1.1과 같이 붐/암/버킷의 3축 운동을 하며 버킷 또는 크람셀을 부착하여 굴삭 및 고르기 작업을 수행 함.
- 다목적암 끝 부분에 킥 링크를 그림 5.1.2와 같이 부착하여 툴(버킷/크람셀)의 교체가 용이하도록 하였음.



(a) 붐 하강



(b) 붐 상승



(c) 암 펴



(d) 암 오므림



(e) 버킷 펴



(f) 버킷 오므림

그림 5.1.1 다목적 암의 운동



(a) 퀵 링크 및 툴



(b) 버킷 장착



(c) 크람셸 장착

그림 5.1.2 퀵 링크

5.1.2 모의 고르기 작업

- 수중에서는 시야 문제로 고르기 작업 과정을 육안으로 확인할 수 없으므로 육상에서 블레이드를 이용한 고르기 및 버킷을 이용한 굴삭 작업을 수행함.
- 육상에서는 수심센서가 동작하지 않으므로 기존 수심센서는 고정값을 사용하고 장비 수심센서는 기구학에 의해 계산된 블레이드의 높이로 대체하여 실험 수행.
- 헤머헤드 및 블루뷰 또한 육상에서 동작하지 않으므로 카메라 영상만 이용 함.



(a) 작업 전



(b) 작업 중



(c) 작업 후

그림 5.1.3 블레이드를 이용한 육상 고르기 모의 실험(울석)

(1) 블레이드 작업

- o 블레이드를 이용한 고르기 작업은 울석(5cmx5cmx5cm)과 사석(15cmx15cmx15cm) 환경에서 그림 5.1.3, 그림 5.1.4와 같이 수행하였음.



(a) 작업 전



(b) 작업 중



(c) 작업 후

그림 5.1.4 블레이드를 이용한 육상 고르기 모의 실험(사석)

(2) 버킷 작업

- o 버킷 작업은 3차원 작업 모니터링에 표현되는 장비 형상을 이용하여 수행하였음.
- o 실험은 굴삭 및 고르기 작업의 두 경우를 그림 5.1.5, 그림 5.1.6과 같이 수행함.



그림 5.1.5 굴삭 작업



그림 5.1.6 버킷 이용 고르기 작업

(3) 블레이드 부하 시험

- o 고르기 작업 중 주행 견인력에 의해 블레이드 실린더가 받는 부하를 압력으로 확인.
- o 블레이드 유압 실린더에 압력계 부착. 실린더 허용 압력을 오버하는지 압력 관찰 및 육안 검사
- o 압력센서는 그림 5.1.7과 같이 블레이드 상승 실린더에 P1을 설치하여 부하에 의해 실린더가 수축되는 압력 측정. 또 블레이드 앞/뒤 틸팅 실린더에 각각 P2, P3를 설치하여 실린더가 수축 또는 인장되는 압력을 측정 함.
- o 그림 5.1.8과 같이 주행시 블레이드가 구조물에 정면으로 부딪힐 경우 압력을 관찰함.

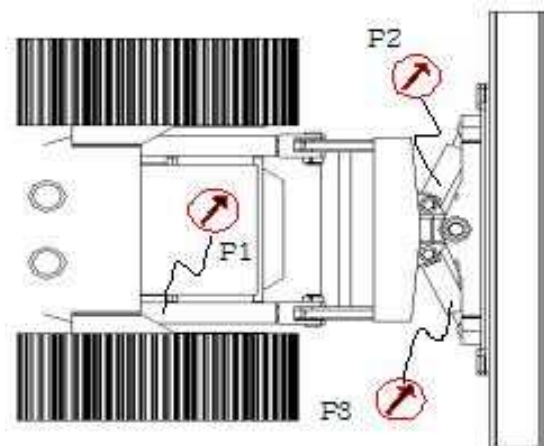


그림 5.1.7 압력센서 설치



그림 5.1.8 블레이드 중앙에 부하가 작용할 경우

- 이때 각 압력은 그림 5.1.9와 같이 P1은 150bar, P2 & P3 140bar로 측정되었음. P1의 경우 구조물에 부딪히는 순간 충격으로 인해 약 200bar 까지 상승함. 블레이드 중앙에 부하가 작용하므로 P2 & P3는 동일한 압력이 측정 됨. 실린더의 허용압력은 350bar이므로 문제가 되지 않음.
- 그림 5.1.10과 같이 블레이드 앞/뒤 틸팅을 20도로 하여 편부하가 작용할 경우 압력을 관찰함.
- 이때 각 압력은 그림 5.1.11과 같이 P1은 130bar, P2 & P3 300bar로 측정되었음. 편부하가 작용하여 정면 부하일 때 보다 틸팅 실린더에 더 큰 압력이 작용함.
- 부하 시험 결과 주행력에 의해서는 블레이드 실린더가 파손되지 않으며 블레이드의 기구적 강성은 충분한 것으로 육안 판단함. 따라서 Blade가 받을 수 있는 최대 부하에서 기구부 및 유압부가 안정적임을 확인함.



그림 5.1.9 압력

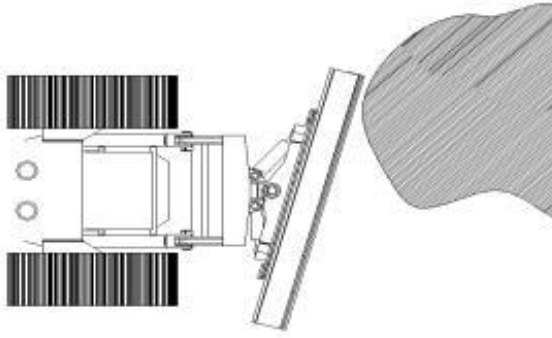


그림 5.1.10 블레이드에 편부하가 작용할 경우



그림 5.1.11 압력

5.2 수중 작업 성능평가

o 육상 실험을 통해 장비의 기본적 동작, 유압제어, 원격제어 시스템 등의 실험을 수행한 후 수중에서 검증실험을 수행하였음.

o 실험 일정 및 실험내용은 아래와 같음.

- 천해 실험

기간 : 2013년 8월 5(월) ~ 8월 9일(금)

장소 : 한국해양연구원 남해연구소

실험 내용 : 수중 방수 실험

: 수중 원격제어 및 구동 실험

: 수중 환경 모니터링 시스템 실험

- 실제 사석고르기 현장 조건에서 실험

기간 : 2013년 8월 13(화) ~ 8월 23일(금)

장소 : 부산항 신항 서컨테이너터미널(2-5단계) 축조공사 현장

실험 내용 : 수중 방수 실험(심도 20m)

: 수중 원격제어 및 구동 실험

: 수중 환경 모니터링 시스템 실험

: 수중 작업 성능평가 실험

시연회 (2013년 8월 22일) : 실제 항만 기초사석 고르기 현장을 대상으로 개발장비 (06급 수중 기초사석 고르기장비)의 수중 이동시스템 및 원격제어시스템, 수중환경모니터링시스템, 작업 성능평가(수심 20m 조건)

5.2.1 장비 및 부대시설 이동

o 개발된 장비는 3m(W) X 9.4m(L) X 2.7m(H)의 크기에 중량이 20.8Ton으로 그림 5.2.1과 같이 추레라를 상차하여 이동이 가능함. 개발장비는 일반 상용 굴삭기처럼 주행기능이 있기 때문에 추레라 장비에 상차가 쉬워 이동이 용이함.

나머지 운전실, 발전기, 케이블릴 그리고 기타 장치들은 5톤 트럭에 나누어 실었고, 총 3대의 차량이 동원하여 한번에 이동 가능하였음.



그림 5.2.1 개발장비 이동 방법

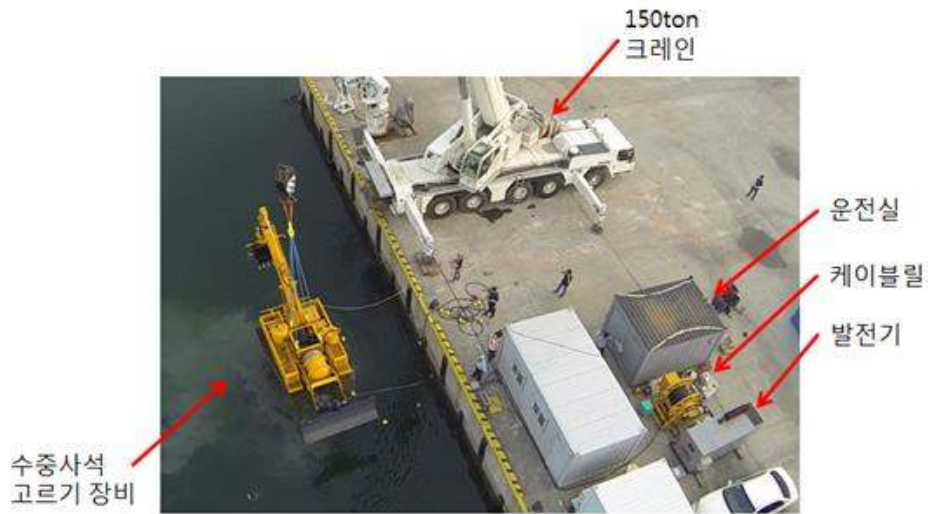


그림 5.2.2 출수 중인 개발장비 및 부대장비들

5.2.2 천해 실험 구성

o 그림 5.2.2는 수중실험을 수행 후 개발장비를 출수 중인 장면임. 개발장비를 운용하기 위하여 사용된 부대장비들은 운전실, 케이블릴, 발전기이다. 그리고 장비를 진출수하기 위하여 150ton 크레인을 이용하였음.

(1) 수중 7m 방수 성능 실험

o 그림 5.2.3과 같이 남해연구소 작업부두 전면의 수심은 약 7m 정도로 당해연도 개발된 장비의 수중 방수 실험을 수행하였음.
o 방수 성능에는 아무런 문제가 발생하지 않았음.



그림 5.2.3 천해 방수 성능실험 장면

- 단지 블레이드 실린더에 설치된 길이측정센서의 커넥터 내부측에 습기로 인한 물방울 매침 현상으로 아날로그 전압값이 측정되지 않는 현상이 발견되었으며, 관련 부위를 그리스 등으로 도포하여 예방책을 마련하였음.

(2) 수중 구동 실험

- 방수 실험 후 주행부, 작업용 툴 등의 구동 실험을 수행하였으며, 육상에서와 같이 원활히 구동하였고, 구동되는 형상은 3D 가상화 프로그램을 통해 확인할 수 있었음.
- 또한, 운전실에서 수중 원격제어를 통해 장비를 제어하고 장비의 상태, 형상, 제어 결과등을 실시간으로 확인할 수 있었음.

1) 블레이드 높이 제어 실험

- 블레이드 높이 제어실험을 수행하였음. 크레인으로 장비를 1m정도 올렸다 내렸다 할 경우 블레이드에 장착된 수심센서의 값 변화가 발생되고 블레이드는 수심센서의 값 변화가 '0'이 되도록 높이 제어를 수행하였음.
- 그림 5.2.4는 블레이드의 높이 제어 결과를 보이고 있으며, Ref. Depth는 수중 바닥면에 설치되어 있는 기준 수심센서이며, Eq. Depth는 블레이드에 설치되어있는 수심센서를 의미함.
- 수심유지를 위한 높이제어 결과는 Error 그래프에서 명확히볼 수 있으며, Error의 범위는 +-5Cm 이내로 보이며, 이는 블레이드 높이 조절 실린더 구동시 발생하는 진동으로 인해 수심센서의 값이 떨리는 부분이 크게 나타난 것이며, 추종오차는 약 +- 2Cm 이내로 판단할 수 있음.

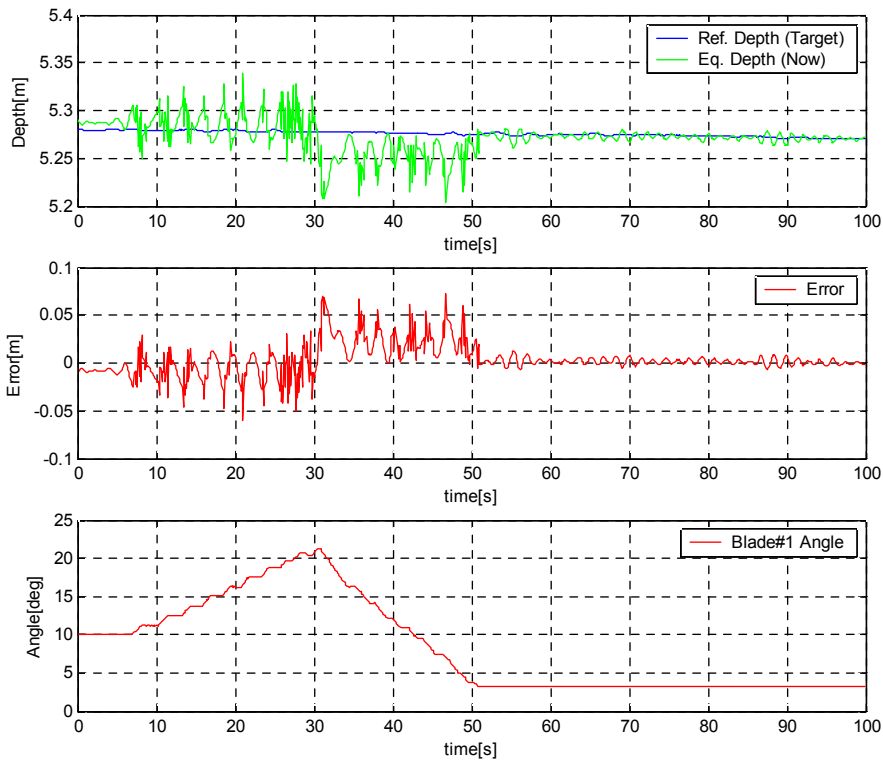


그림 5.2.4 블레이드 높이 제어 결과

2) 블레이드 자세 제어 실험

- o 블레이드는 높이 제어 뿐만 아니라 설계 사석면과 나란하게 유지할 수 있는 자세제어의 기능이 포함되어 있음. 이는 블레이드 상하 틸팅 실린더의 길이 조절을 통해 이루어짐.
- o 그림 5.2.5는 블레이드 자세를 수평하게 유지하도록 지령한 상태에서 장비를 주행 했을 때 제어 결과를 보이고 있음. 장비가 주행하는 경우 착저면의 경사나 험준한 정도에 따라 장비의 자세가 변화되고 이는 블레이드의 자세 변화를 유발시킴. 블레이드는 장비의 자세변화와 반대 방향으로 제어하면서 블레이드의 자세를 일정하게 유지하는 제어를 수행하고 있음. 장비의 자세는 작업플랫폼 상부에 설치된 자세센서를 통해 인식되며 주행동안 약 5도의 자세변화를 보이고 있음. 블레이드는 자세가 급격히 변하는 구간을 제외하면 ± 0.3 도의 추종 오차를 보이고 있음.

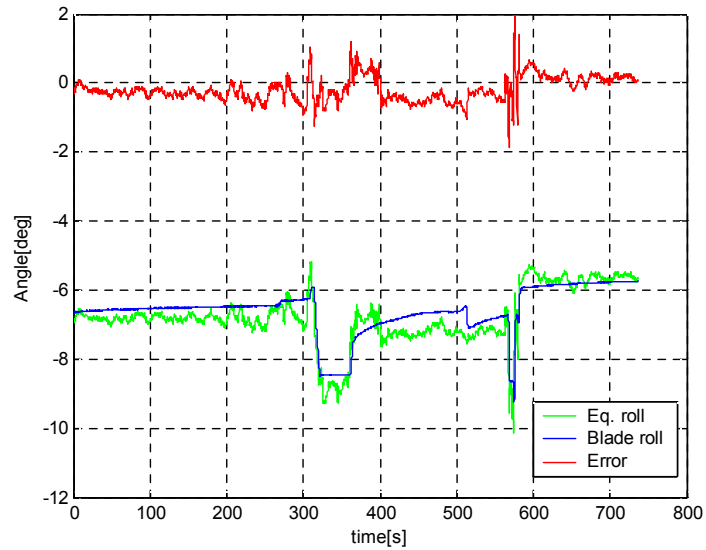


그림 5.2.5 블레이드 자세 제어 결과 (주행 중)

3) Altimeter 거리 측정 실험

- o Altimeter는 장비의 작업 플랫폼에 300mm 간격으로 8개가 설치되어 수중 지형과의 거리를 실시간으로 측정하는 시스템임.
- o 그림 5.2.6은 장비가 정지하고 있는 동안 Altimeter의 측정거리를 도식화한 것으로 2mm ~ 20mm 정도의 정밀도(Precision)을 나타내었음. 그림 5.2.7(a)는 측정값의 범위 (최대값과 최소값의 차) 및 표준오차를 구한 것임. 수조환경에서는 약 $\pm 2\text{mm}$ 의 성능임을 감안하면, 지형이 빨충인 것과, 해양환경인 것의 원인으로 정밀도가 떨어진 것으로 판단되며, 이의 보안을 위해 Altimeter 드라이버의 게인등을 작업환경에 맞추어 변경 해야함을 발견하였음.

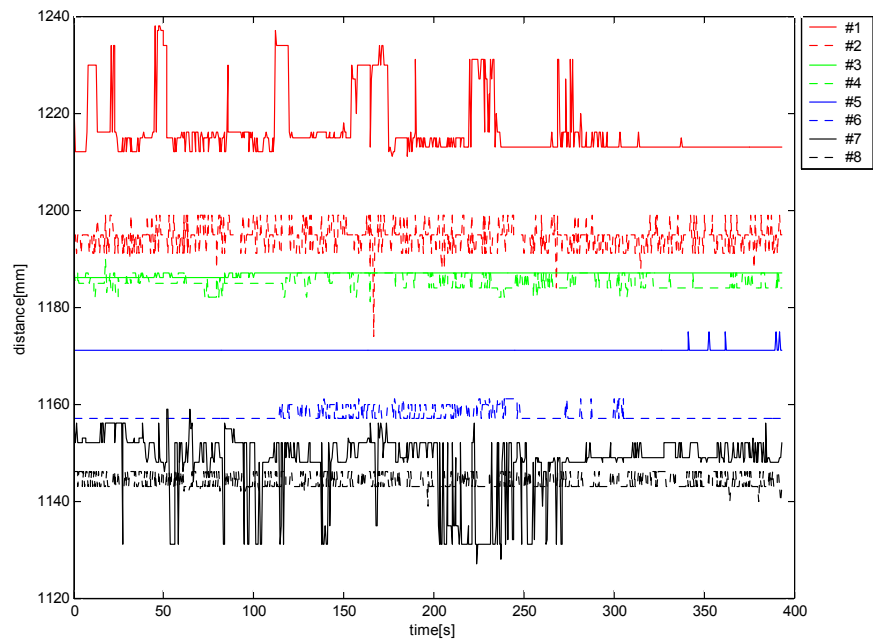


그림 5.2.6 Altimeter의 측정거리

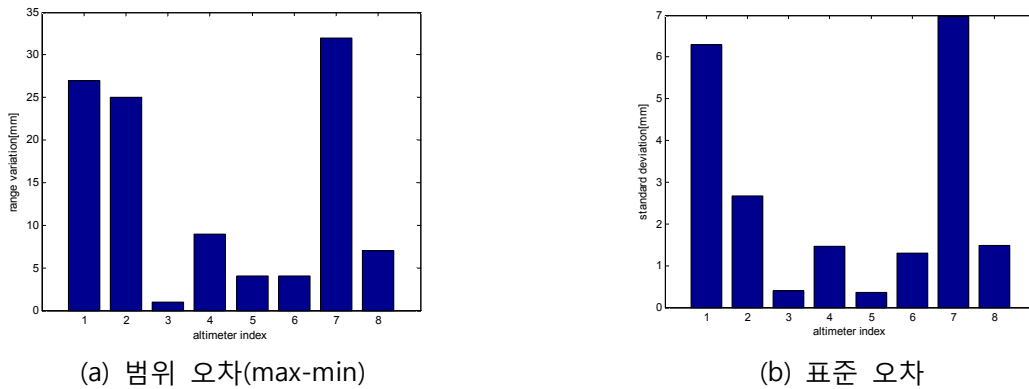


그림 5.2.7 Altimeter의 측정오차 분석

4) 수중 환경 모니터링 시스템

o 수중 환경 모니터링 시스템을 구현하기 위하여 소나를 사용하였음. 해당 소나를 이용하여 해저면 및 전방을 탐지하는 개념도는 그림 5.2.8과 같음. Hammerhead 소나의 경우 블레이드 상단에 장착하여 전면부 작업환경을 확인, P900-90의 경우 개발장비의 본체 후면에 장착하여 다목적 암을 바라볼 수 있도록 하여 주변 지형, 지물의 변화를 즉각적으로 확인할 수 있도록 함. 한국해양과학기술원 남해분원에서 수중 고르기 장비의 천해조건 현장실험 위치는 그림 5.2.9와 같음. 해당 장소 주변의 안벽, 해저면은 수중 고르기 장비에 장착된 소나 스캐닝 시스템을 통해서 파악할 수 있으며, 이는 그림 5.2.10에서 확인할 수 있음. 좌측으로 인접한 안벽과 해저면에 놓여있는 다양한 돌들을 확인할 수 있었음.

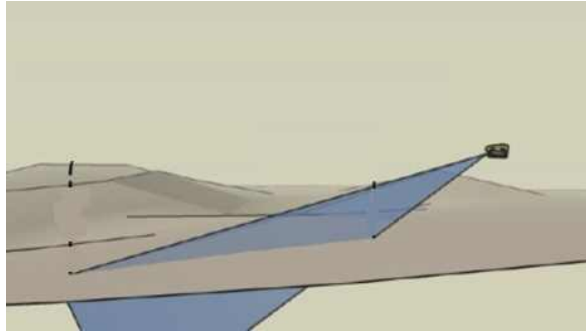


그림 5.2.8 소나를 이용한 해저면, 전방 탐지 개념도



그림 5.2.9 천해조건 현장실험 위치

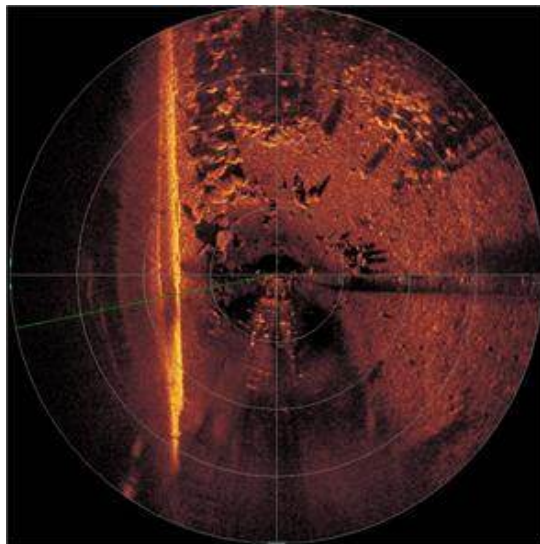


그림 5.2.10 Hammerhead를 이용한 안벽면, 해저면 스캐닝

5.2.3 실제 사석고르기 현장 조건에서 실험

- o 테스트 목적 : 실제 항만 기초사석 고르기 현장을 대상으로 개발장비(06급 수중 기초 사석 고르기장비의 수중 이동시스템 및 원격제어시스템, 수중환경모니터링시스템, 작업 성능평가(수심 20m 조건)
- o 장소 : 부산항 신항 서컨테이너터미널(2-5단계) 축조공사 현장
- o 수중 작업 내용
 - 수중 방수 실험(심도 20m)
 - 수중 원격제어 및 구동 실험
 - 수중 환경 모니터링 시스템 실험
 - 수중 작업 성능평가 실험
- o 개발장비를 활용한 4차년도 시연회 개최 : 2013년 8월 13일(목)



그림 5.2.11 실제 사석고르기 현장에서 실험을 수행한 위치

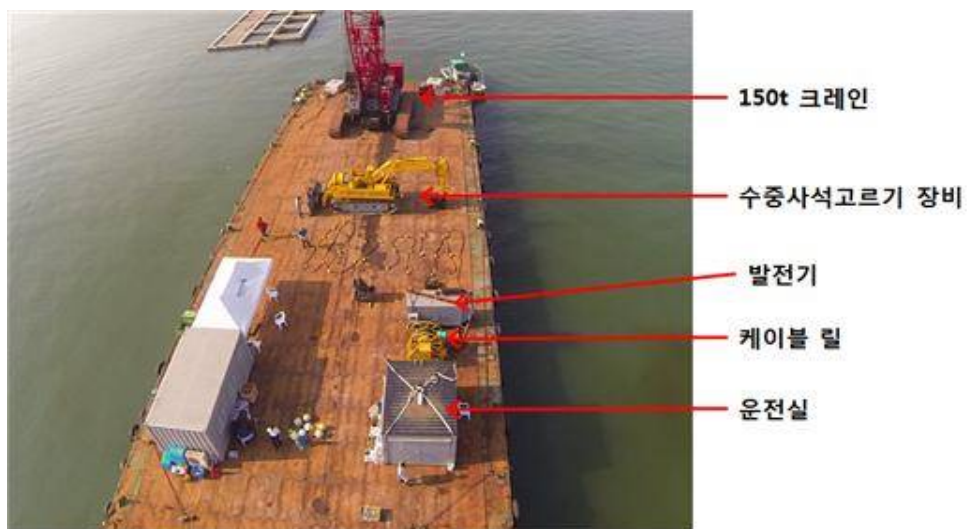


그림 5.2.12 바지선 위에 선적되어 있는 수중사석고르기 장비 시스템



그림 5.2.13 실제 사석고르기 현장에서 수중실험 후 출수하는 장비



그림 5.2.14 시연회 기념사진

(1) 주행속도 측정

○ 수중 20m 사석면 조건에서 장비의 주행속도를 측정하였음. 주행은 최대 속도로 10초간 진행하였으며, 이동거리는 초음파 카메라에 촬영된 케이슨벽면과의 거리변화로 예측하였음. 10초간 주행시 케이슨 블록과의 거리 변화는 25.5m에서 29m로 변화되었으므로, 장비의 주행 속도는 약 21m/min (1.26km/h)로 나타났음. 이는 가감속 구간까지 포함된 속도이므로 연구개발 목표인 20m/min은 충분히 만족됨을 확인하였음. [3차년도에는 약 1.28km/h로 속도가 측정되었음.]

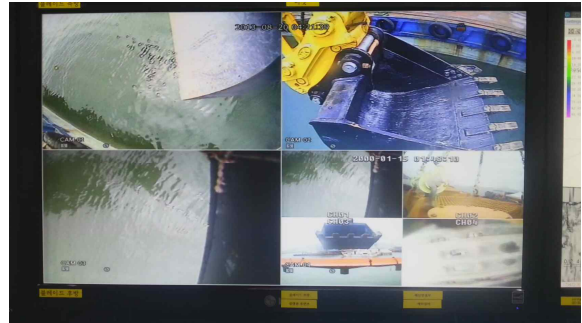
(2) 광학 카메라 영상

- 장비 주요 부위의 관찰, 작업 부위의 모니터링 등을 위해 6개의 광학 카메라를 장비의 주요부위에 설치하였으며, 그림 5.2.15는 크레인으로 장비가 권양되어 입수 및 사석면에 착저될 때 광학카메라 영상을 보이고 있음.
- 광학 카메라는 수중 탁도에 따라 전혀 볼수 없는 상황이 될 수도 있으나 광학카메라를 최대한 활용할 수 있다면, 원격작업의 효율을 높일 수 있음.

o 그림 5.2.16은 사석 고르기 과정에서 광학 카메라에 모니터링 되는 장면으로 수중환경 조건이 좋을 경우 사석이 블레이드에 의해 작업되는 모습, 트랙회전 동작 등을 보면서 원격조종 할 수 있음. 그러나 고르기 작업을 진행하면 곧 부유물 등으로 영상을 거의 확인할 수 없는 상황이 되어 제한적으로 영상을 확인할 수 있었음.



(a) 권양 시작



(a) 권양 중



(a) 입수 시작



(a) 사석면 착지

그림 5.2.15 광학 카메라 영상

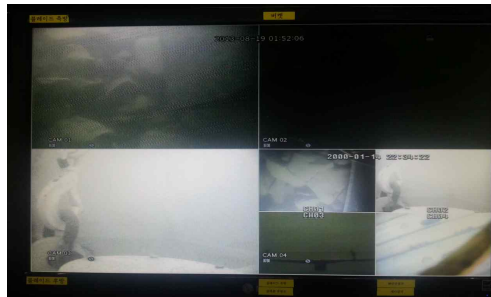


그림 5.2.16 광학 카메라 영상(작업 직전)

(3) 수중 사석 고르기 작업

- 수중 사석 고르기 작업을 수행하였음. 그림 5.2.17은 장비 착저 후 작업전의 3D 가시화 프로그램 장면임. 장비는 남북 방향으로 놓여져 있으며 장비형상, 장비 수심센서의 값 그리고 장비의 상태정보등이 모니터링 되고 있음을 알 수 있음.
- 그림 5.2.18은 상기와 동일 상황에서 수중 초음파센서 (BlueView, HammerHead)의 장면으로 사석면의 전반적인 형태, 좌우 경계부의 윤곽 등을 판단할 수 있음.
- 그림 5.2.19는 작업 중 3D 가시화 프로그램 장면으로 (a)블레이드가 제어되기 전의 장면이며, (b) 블레이드 제어 시작 후 블레이드가 수평을 유지하는 모습, (c) 블레이드 제어에 의해 블레이드가 사석면과 맞닿은 모습 (d) 주행 중 블레이드 제어가 되는 장면을 보이고 있음. 작업자는 장비의 형상 및 장비 주행방향 등을 확인하면서 조종판넬의 조이스틱으로 장비를 원격조종 하고 있는 상황임.
- 그림 5.2.20은 블레이드 제어를 자동으로 수행하면서 주행시 (즉, 사석 고르기 작업 시) 블레이드에 장착된 수심센서 값을 변화 장면을 보이고 있음. 주행은 약 1분간 이루어 졌으며, 그 동안 수심센서는 약 +-15Cm의 변화를 보이고 있음. 이는 블레이드 높이제어 오차로서 주행도중 급격히 튀는 부분을 제외하면 +-10Cm 이하로 판단할 수 있음. 측정된 오차량은 사석의 크기 정도와 사석면 고르기 작업을 반복 수행함에 따라 사석면이 점점 평탄해 지는것에 따라 오차 또한 동일 개념으로 줄어들 것으로 예상함. 실제 잠수부가 투입되는 정도의 사석규모에서는 오차를 충분히 줄일 수 있을 것으로 판단하고 있음.

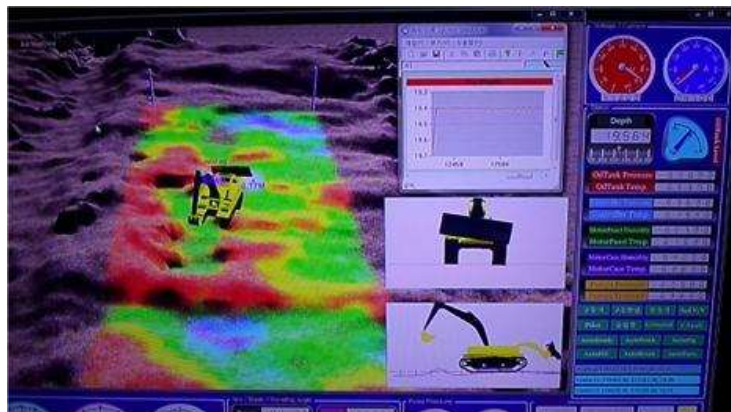


그림 5.2.17 작업 전 3D 가시화 프로그램 장면

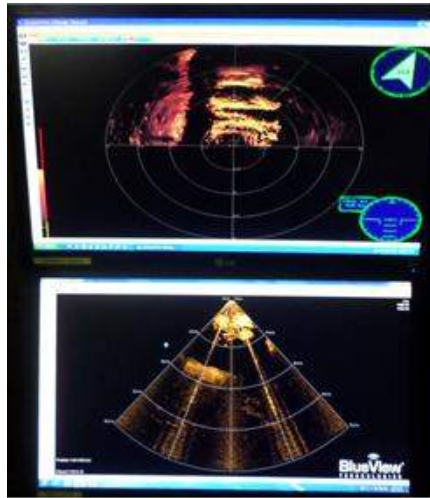
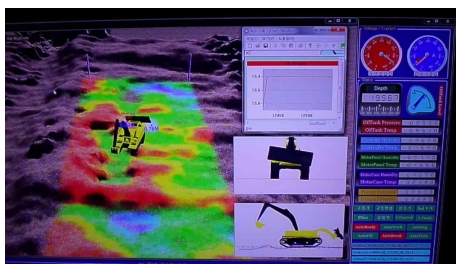
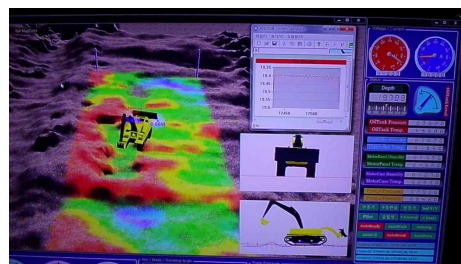


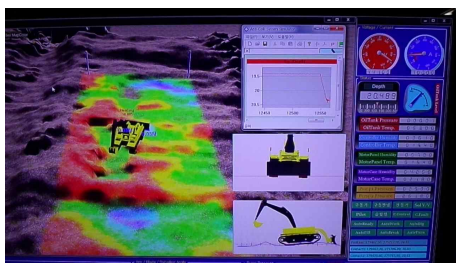
그림 5.2.18 작업 전 수중 초음파센서 장면



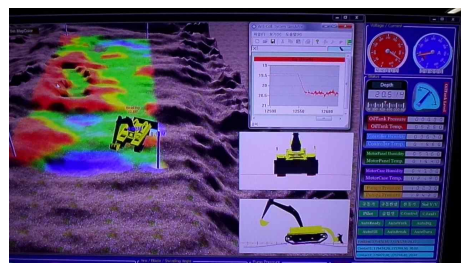
(a) 블레이드 제어 전



(b) 블레이드 수평제어



(c) 블레이드 높이제어



(d) 블레이드 고르기 작업 중

그림 5.2.19 작업 중 3D 가시화 프로그램 장면

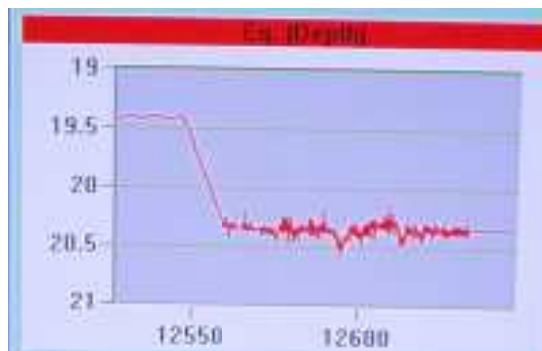
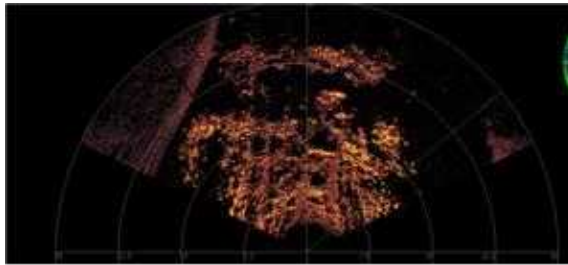


그림 5.2.20 작업 중 블레이드 수심센서 값 변화 장면



(a) 작업 전 사석면



(b) 작업 후 사석면

그림 5.2.21 사석고르기 작업 전후 소나(Hammerhead)영상 이미지 비교

- o 그림 5.2.21은 소나(HammerHead)를 이용하여 고르기 작업 전/후를 촬영한 장면으로 작업 전 사석면 중앙을 보면 사석 더미 등이 확인 되며, 작업 후 사석면의 경우 중앙부위의 사석 더미들이 제거되어 균일한 영상이 확인됨. 즉, 사석고르기 결과를 간접적으로 실시간 확인 할 수 있을 것으로 판단됨.

(4) 소나(Blueview P900-90)를 통한 버킷 작업

- o 소나(Blueview P900-90)는 작업플랫폼의 다목적 암 뒤에 설치되어 다목적 암 및 전방 수중환경을 실시간 영상으로 관찰 할 수 있음.
- o 그림 5.2.22는 소나영상에 나타난 버킷과 수중 지형임. 버킷은 지면에 닿은 것처럼 나타나며, 지면의 상황이 음영으로 보이고 있음. 그러므로 초음파 카메라의 실시간 영상을 참조하여 주변 지형과 버킷을 모니터링 하면서 굴삭 및 투하 작업이 가능할 것으로 판단됨.
- o 그림 5.2.23은 3D 실시간 모델링 화면과 소나영상을 통한 버킷 굴착/투하 작업 과정을 보이고 있음. 3D 실시간 모델링 화면으로 버킷의 형상 및 궤적을 예측할 수 있으며, 소나영상을 통해서 수중지형과 버킷의 상태위치를 확인 할 수 있어 버킷 작업이 가능함.
- o (a)는 굴착 시 소나영상의 중앙위치에 구덩이가 생기는 모습을 보이고 있으며, (b)는 투하작업을 통해 구덩이가 매워지는 모습을 보이고 있음.
- o 본 실험을 통해 구축된 모델링 영상 및 소나영상을 통해 굴착 및 투하 작업이 가능함을 입증하였으며, 작업의 정확도 및 효율성의 정도는 제공된 영상에 대한 작업자의 판단 및 인식 능력에 따라 달라 질 수 있을 것으로 보임.

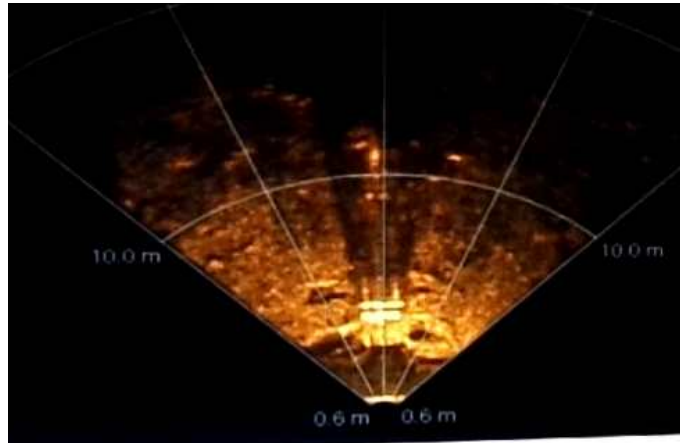
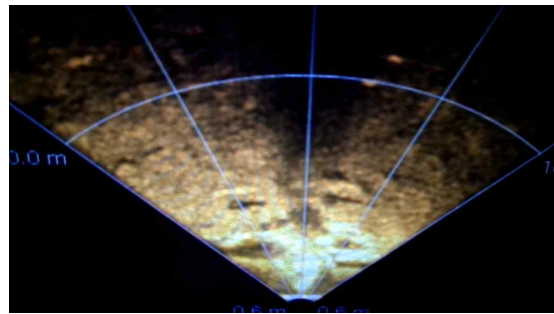
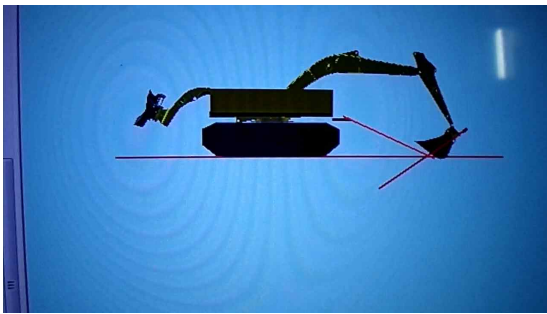
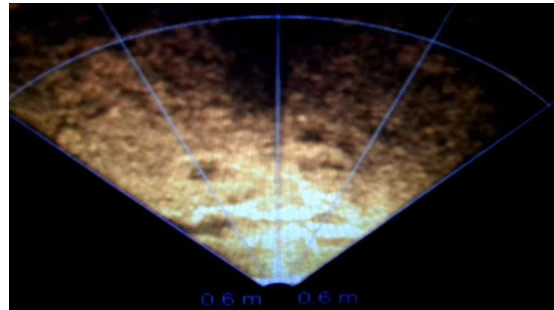
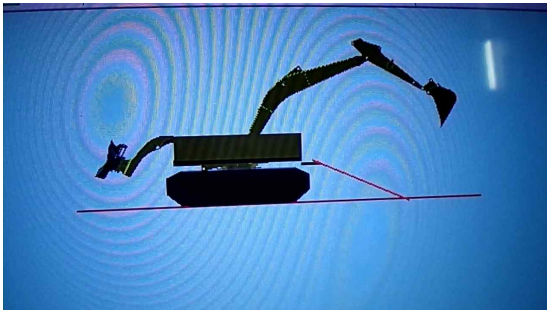


그림 5.2.22 초음파 카메라 영상



(a) 굴착 장면



(b) 투하 장면

그림 5.2.23 버킷 작업 장면

(5) Altimeter를 이용한 수중지형 모델링

- o 개발된 Altimeter 시스템을 이용하여 장비 상부 플랫폼으로부터 사석면까지 높이를 측정하고, 장비의 위치 및 자세를 고려하여 실시간 연산하면, 수중지형을 실시간으로 모델링할 수 있을 것임.
- o 그림 5.2.24는 장비가 수중에서 고르기 작업 중 또는 이동 중일 때 Altimeter 시스템으로부터 획득된 데이터로 지형을 모델링하고 있는 장면임. 기존 지형과 구분을 위해 장비의 위치값을 2m 높여 표현하였음. 그림에서 보듯이 Altimeter 값으로부터 지형이 모델링됨을 확인할 수 있음. 그러나 모델링된 지형과 실제 지형간의 오차 등을 확인할 수 없어 당해연도에는 지형 모델링에 대한 가능성만 확인하였음. 차기년도에는 오차모델을 확보한다면, 실시간 지형모델링을 통해 고르기 작업 결과를 실시간으로 확인하면서 작업이 가능할 것으로 판단하고 있음.

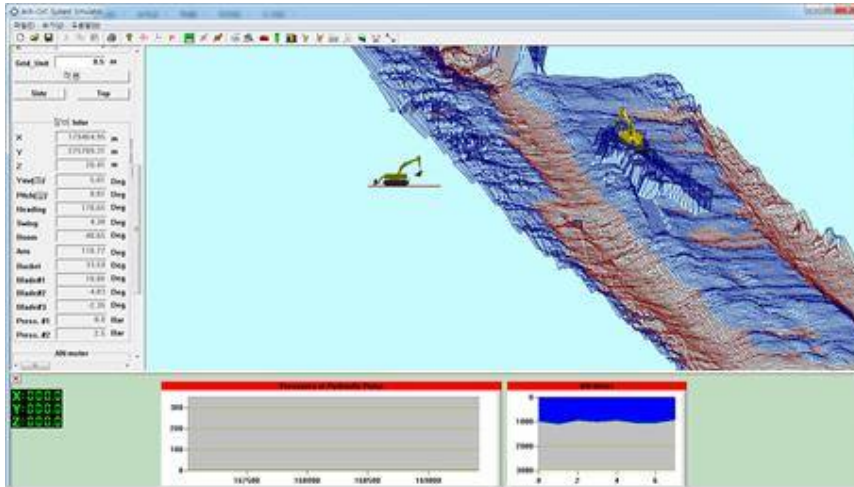


그림 5.2.24 Altimeter 시스템을 이용한 지형모델링

5차년도 연구 내용 및 결과

1. 수중장비 통합시스템 성능개선

- 본연구의 개발목표는 수중 20m에 포설되어 있는 사석을 설계기준면에 준하여 30Cm이 내의 오차를 만족하도록 사석면을 고르는 것을 목적으로 함.
- 4차년도까지는 상용 06급 굴삭기 규모에 준하는 장비를 개발하여 육상실험, 수중실험을 진행하였음.
- 당해연도에는 기존 실험을 통해 발견된 장비의 문제점을 보완하고, 육상 및 수중실험을 통해 장비의 성능을 입증하는 것일 목표로 함.

1.1 통합플랫폼 및 작업 툴 수정/보완

- 수중 고르기 작업에서 가장 많이 활용되는 블레이드 툴에 대해 사석과의 간섭, 광학카메라의 영상확보 등을 위해 관련 부위를 수정함.
- 장비 운영시 장비의 자세를 측정하는 기존 센서는 수중 작업 시 자기장(Magnetic Field)의 왜곡으로 진북에 대한 오차 및 헤딩(Heading)각도 변화량에 대해 정확한 측정이 어려워 운영에 어려움이 있었음. 이를 개선하기 위해 광 섬유 자이로 (Fiber optic gyro)를 적용하였음.

1.1.1 블레이드 부와 카메라 및 조명기의 보완

- 4차년도 수중 실험을 통해 블레이드 부에 아래와 같은 문제점이 제기되었음 (그림 1.1.1).
- 1) 고르기 작업 중 블레이드 상부로 밀려올라오는 사석에 의해 블레이드 상부 중앙에 설치된 헤머헤드의 파손 가능
 - 2) 높은 수중 탁도 및 주행 시 발생하는 부유물에 의해 블레이드 측면에 설치된 카메라의 시야확보 불가능
 - 3) 조명과 카메라가 인접하여 난반사로 인해 조명의 효과가 줄어듦.



그림 1.1.1 블레이드 부 문제점

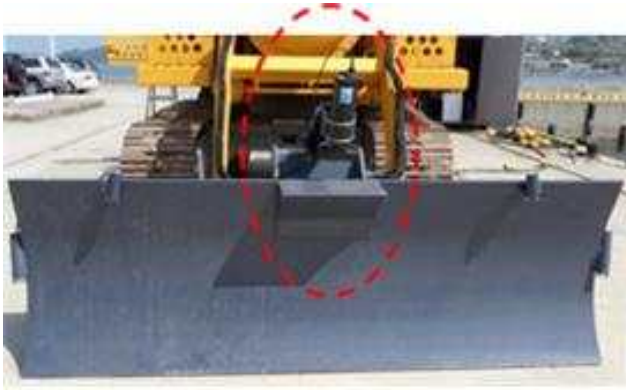


그림 1.1.2 헤머헤드 보호 커버

- 스캔 소나(Hammer Head)는 전방의 장애물을 감지하고 고르기 지형을 판단하는 필수 장비이므로 파손 시 장비 운영을 하지 못하는 문제가 발생할 수 있음. 헤머헤드를 블레이드 후방으로 이동시켜 부착하면 파손을 피할 수 할 수 있으나 초음파 빔 각도에 간섭이 일어나 음영 구간이 발생함. 그림 1.1.2와 같이 블레이드 전면 상부에 헤머헤드 보호 커버를 초음파 빔 각도를 간섭하지 않도록 부착하여 헤머헤드를 보호하도록 하였음.
- 블레이드에 부착된 카메라는 실제 작업되는 사석을 촬영하여 사석의 크기, 작업 상황 등을 확인하기 위한 것임. 4차년도 수중 실험 시(부산 신항) 블레이드 작업 중 카메라와 사석면과의 거리는 약 1m로 주행 중이거나 작업 중일 때 부유물로 인해 영상이 확보되지 않았음. 실험을 통해 50cm 이내로 카메라가 설치되면 영상확보가 용이한 것을 확인하고 당해연도이는 이를 반영함. 그림 1.1.3과 같이 사석면과의 거리가 40cm가 되도록 블레이드 양 측면에 각각 카메라를 부착 함. 사석으로부터 카메라를 보호하기 위해 보호용 케이스 내부에 카메라를 삽입하고, 케이스 전면에는 투명 강화플라스틱 덮개를 부착하여 카메라를 보호하고 시야를 확보 함.



(a)설치된 카메라



(b) 보호 커버

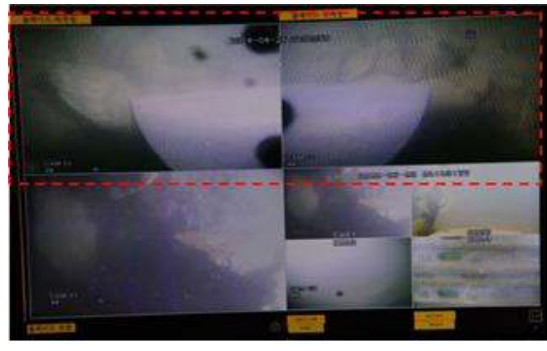


(c)전면 투명 커버

그림 1.1.3 블레이드 부 카메라



(a) 4차년도



(b) 5차년도

그림 1.1.4 카메라 영상 비교

- 그림 1.1.4는 수정 된 카메라 영상을 4차년도와 비교한 것으로 4차년도 카메라 영상은 주행 시 부유물에 의해 영상확보가 거의 어렵지만 당해년도 영상은 더 선명하게 영상을 확보할 수 있었음. 또한 카메라를 하나 더 추가함으로써 좌우의 영상을 획득할 수 있었음.
- 블레이드부 조명은 태양광이 전달되지 않는 수중에서 사물을 비추기 위한 용도임. 조명이 강할수록 수중 부유물에 의해 빛이 난반사되며 카메라와 조명의 배치가 영상확보에 큰 영향을 줌. 4차년도에 사용한 조명은 기성 제품으로 크기가 너무 커 조명 보호 케이스를 적용하기 어려움이 있어 디밍기능을 가진 컴팩트한 조명 개발이 필요하였음. 조명은 그림 1.1.5와 같이 40W LED와 45도 렌즈를 이용하여 개발하고 방수 처리를 하였음. 개발한 조명은 블레이드 상부의 좌우측에 각각 설치하여 간접조명이 될 수 있도록 하고 카메라와 같은 방법으로 원통형 케이스 및 강화 플라스틱 덮개를 이용하여 사석으로부터 조명을 보호하도록 하였음.



(a) 40W LED & 렌즈



(b) 방수 케이스



(c) 설치된 조명

그림 1.1.5 블레이드 조명 보호용 케이스



(a) PHINS 센서

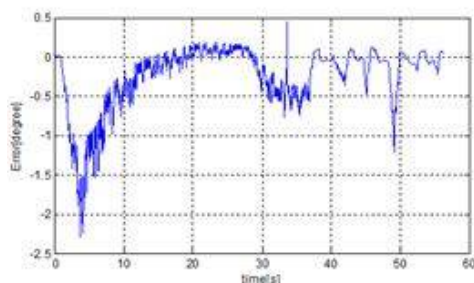
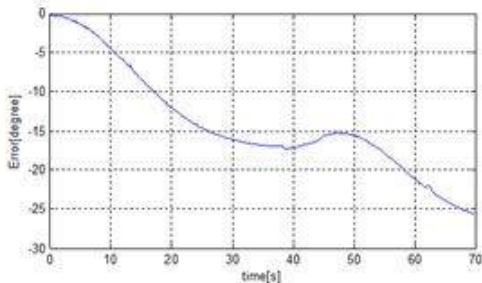
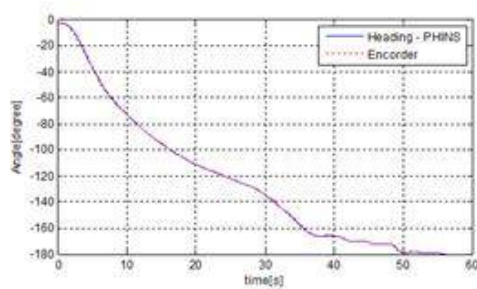
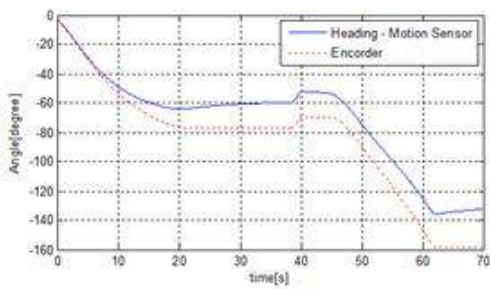


(b) PHINS 센서 설치

그림 1.1.6 PHINS

1.1.2 Heading 각도 측정 센서 보완

- 4차년도 장비에 부착된 장비 헤딩(Heading) 각도 측정용 센서는 지자기를 이용하여 진북을 찾음. 수중 작업시 고르기 장비는 주변 환경 및 철 구조물(바지선 등)로 자기장 왜곡이 심함. 이러한 불규칙한 자기장 변화에 의해 센서는 정확한 진북을 찾기 어려울 뿐 아니라 각도의 변화량에 대한 정보도 왜곡됨.
- 광섬유 자이로(Fiber Optic Gyro)인 PHINS는 지자기를 이용하지 않고 지구 중력 가속도를 이용하므로 주변 자기장의 영향을 받지 않고 장비의 정확한 Heading 각도를 측정할 수 있음. PHINS을 그림 1.1.6과 같이 수밀 케이스 내부에 부착하여 설치하였음.
- 그림 1.1.7은 엔코더가 부착된 상부 플랫폼이 회전할 때 4차년도 Heading 센서와 5차년도 PHINS의 각도를 나타내어 비교한 것임. Heading 센서의 오차가 없다면 엔코더와 동일한 각도로 변화되어야 하나 4차년도 센서는 최대 25°, PHINS는 최대 2°의 오차를 나타냈음. 이 오차는 각도의 변화가 센서(엔코더 및 PHINS)에 반영되는 시간차, 센서 간의 통신 시간차 등이 포함된 오차로 판단되며, Fiber Optic Gyro는 고르기 작업을 위해 충분한 정밀도를 제공하고 있음.



(a) 지자기 센서

(b) PHINS

그림 1.1.7 Heading 각도 비교

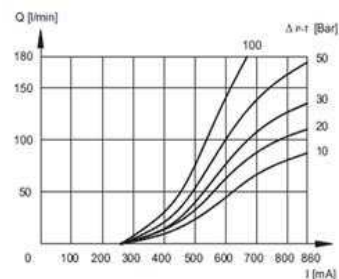
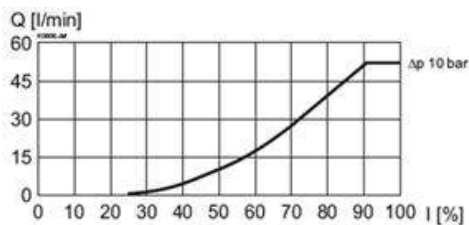
1.2 유압시스템 및 전기/제어부 성능 보완

1.2.1 블레이드 상하 제어 성능 보완

- 4차년도에 사용된 블레이드 상하 제어용 비례 밸브는 직접구동식 밸브(Direct Operated Valve)로 최대 유량 60 l/min의 사양 임. 이는 2개의 블레이드 상하 실린더를 구동하기에 통과유량이 적어 속도가 느리고 고르기 작업 시 블레이드의 제어성능이 떨어져 고르기 작업에 영향을 줄 수 있음. 이를 보완하기 위해 그림 1.2.1의 파일럿 작동식 밸브(Pilot Operated Valve)를 사용하였으며 최대 유량 180 l/min의 사양임. 밸브의 변경과 함께 밸브 블록과 실린더 간 배선을 키움으로서, 블레이드 상하(1m) 구동시간이 상승 시 약 2.5초, 하강 시 약 2초로 기존의 3배 이상의 블레이드 상하 제어 속도가 개선되었음.

1.2.2 운영실과 장비간 통신방법 변경

- 장비의 구동은 운영실 PLC와 장비의 PLC간 통신으로 이루어지며, 장비의 PLC는 주변 센서의 정보를 통신으로 송수신하여 운영실까지 그 정보를 전송하고, 장비 구동을 위한 기본인 알고리즘을 연산 수행함.
- 기존에는 장비 PLC의 알고리즘을 수정하거나 PLC의 상태를 직접 모니터링하기 위해서는 내압용기를 열어서 PLC에 직접 통신 케이블을 연결해야하는 불편함이 있었음. 이를 개선하기 위해 장비측 PLC에 랜 모듈을 설치하여 운영실에서 직접 접근 가능하도록 수정함. 이를 통해 장비가 수중에서 운영 중이더라도 운영실에서 알고리즘의 수정 또는 모니터링이 가능하여 운영의 효율성을 높임.



(a) 4차년도

(b) 5차년도

그림 1.2.1 블레이드 상하 제어용 프로포셔널 밸브

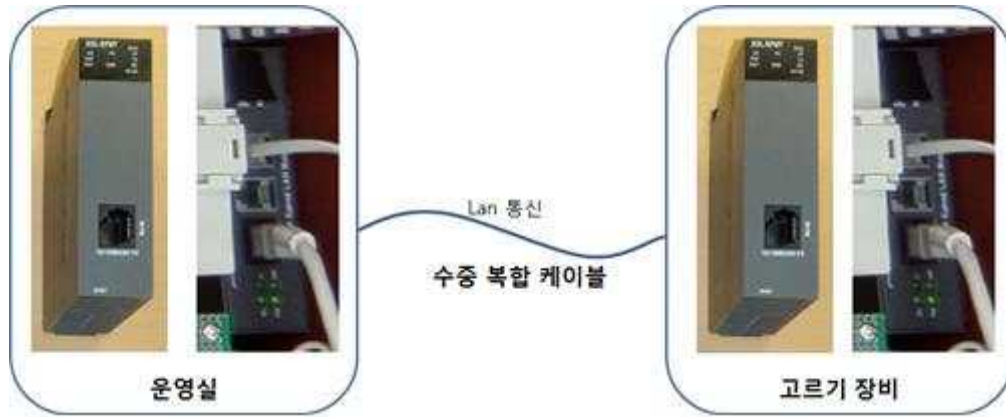


그림 1.2.2 운영실, 장비간 Lan 통신

1.2.3 트랙 회전 검출시스템 설치

- 고르기 장비가 정상적으로 이동시에는 초음파 위치인식 시스템(LBL 시스템)에 의해 트랙이 정상적으로 구동되고 있는지를 알 수 있으나 급격한 경사의 사석 마운드가 주행 경로에 있거나 아주 큰 사석 부하가 블레이드에 인가되었을 때는 장비가 이동되지 못하는 경우가 발생함. 이때 카메라를 이용한 상황 판단은 한계가 있으며 실제 트랙이 정상적으로 구동을 하고 있는지, 장비에 문제가 있는지 판단을 위한 센서가 필요함. 이를 구현하기 위해 좌/우트랙 상부에 그림 1.2.3과 같이 근접센서를 수밀 처리하여 각각 부착하여 트랙의 이동량을 검출, 수치화 함.
- 근접센서는 트랙 슈의 돌출된 잇날을 카운트하고 구동방향에 따라 이동량을 가감함으로써 이동거리를 측정함. 한 개의 슈에는 3개의 잇날이 있으며 슈의 폭은 120mm 이므로 근접센서 신호가 1번 Trig(On/Off) 되며 트랙의 이동거리는 40mm가 됨. 트랙에 끼어있는 사석 및 이물질로부터 센서를 보호하기 위해 유연한(Flexible) 막대를 이용하여 센서를 고정 하였음.

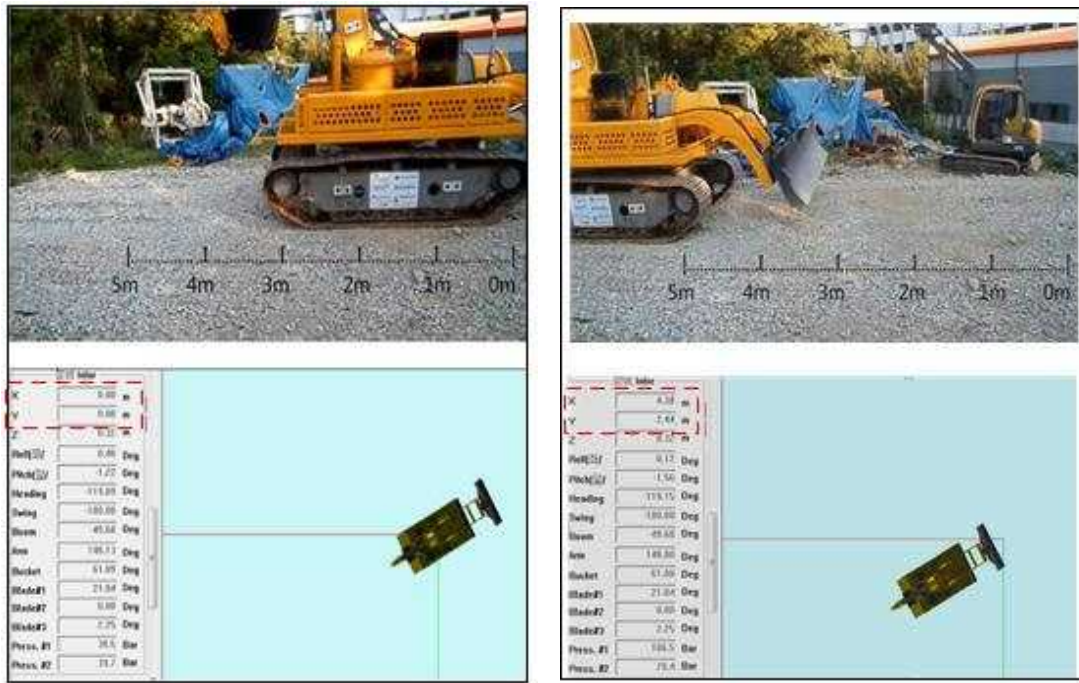


(a) 좌 트랙



(b) 우 트랙

그림 1.2.3 트랙 회전량 검출을 위한 근접센서



(a) 주행 전(위치 [0, 0])

(b) 5m 주행 후(위치 [4.38, 2.44])

그림 1.2.4 근접센서를 이용한 장비 위치 인식

- 근접센서에 의해 검출되는 장비의 이동거리를 검증하기 위해 육상에서 그림 1.2.4와 같이 5m를 주행하였을 때 근접센서에 의한 장비의 위치를 확인하였음. 주행 전 장비의 위치를 (0, 0)으로 설정하였을 때 5m 주행 후 장비의 위치는 (x=4.38m, y=2.44m) 였음. 이는 Heading 각도에 의해 환산된 위치이며 이때 주행 거리는 5.01m 임. 트랙의 잇날 간격만큼 오차가 발생되나 트랙의 구동여부 판단 및 위치인식 시스템의 보조 기능을 위한 센서로 적용 가능한 것으로 판단됨.

1.2.4 블레이드 작업 부하 측정 센서

- 블레이드 작업 시 카메라 영상만으로 블레이드가 사석면에 접촉했는지 또는 블레이드가 사석을 미는지 판단하기 어려움. 이를 보완하기 위해 블레이드 측면에 로드셀을 그림 1.2.5와 같이 부착하여 작업 부하를 측정하였음. 로드셀은 작업 부하의 방향 및 정도에 따라 측정값이 변화되어 운전자에게 작업 상황을 그림 1.2.6과 같이 제시 함. 무부하는 약 45% 부하로 로드셀 값이 측정 되도록 설치하였으며 블레이드가 바닥에 접촉하였을 경우 블레이드가 인장력을 받아 로드셀은 값이 80%로 커지며 고르기 작업 시는 압축력을 받아 값이 약 30~45% 범위에서 작업부하에 따라 나타남.
- 따라서 작업자는 위 3-종류의 부하 프로파일로부터 블레이드가 무부하, 접촉, 미는 상태인지 파악할 수 있으며 요동하는 값의 크기에 따라 부하의 량도 비교할 수 있음.

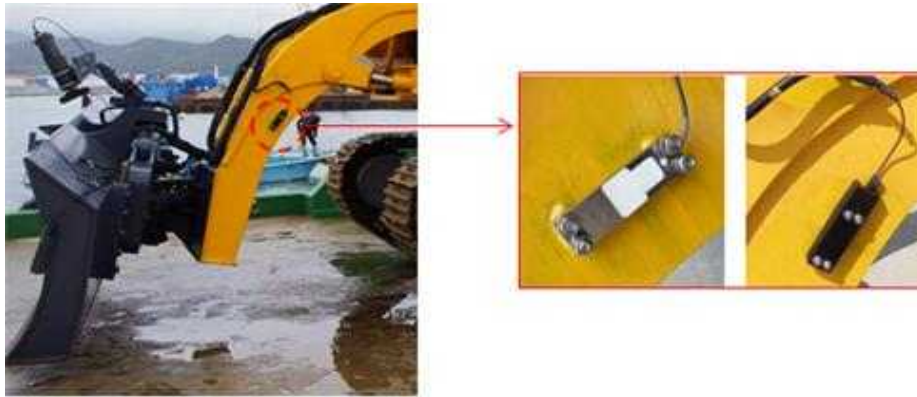


그림 1.2.5 작업 부하 검출을 위한 로드셀

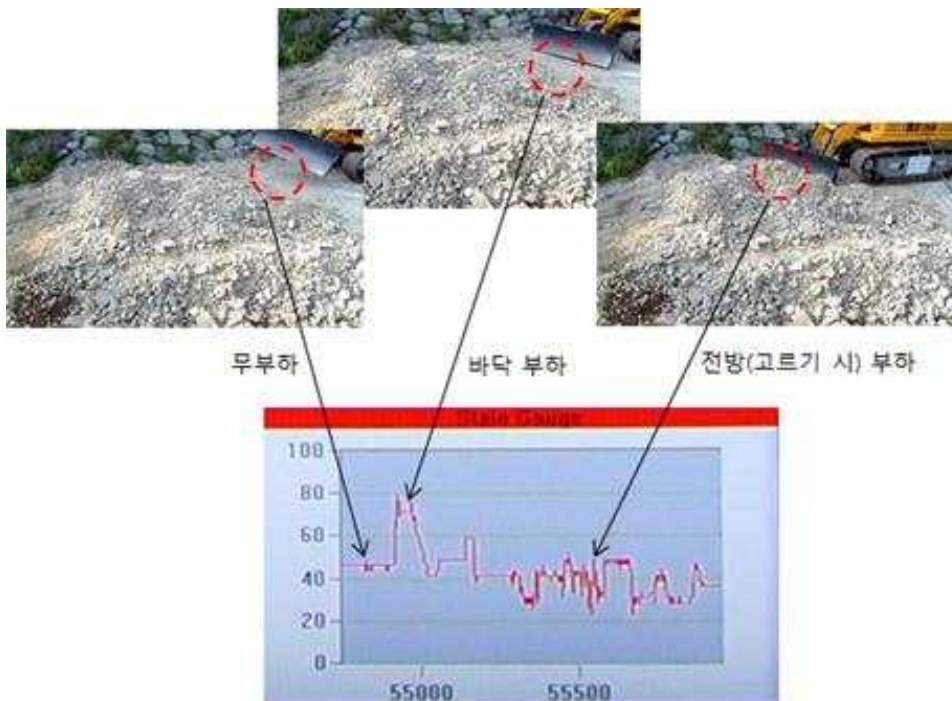


그림 1.2.6 작업 상황별 로드셀 값 변화

1.2.5 Heading 제어 보완

- 헤딩제어는 장비에 부착된 Heading 센서에 의해 제어 됨. 제어의 Target은 주행 명령이 최초 입력될 때의 Heading 센서 각도이며 주행 중에는 지형 및 외부요인에 의해 변화되는 Heading 센서의 값이 Target값을 추종하도록 양쪽 궤도의 속도를 제어 함.
- 제어성능 향상을 위해 장비의 구동용 제어기의 PID 제어 구성과 계인을 수정하고, 트랙 하부에 설치된 트랙 이탈방지 가이드의 유격을 조절하여 트랙의 기계적 간섭을 줄였음.
- 그림 1.2.7은 대체로 평탄한 아스팔트 위에서 장비가 약 25초 동안 직진제어 없이 주행할 때 Heading 각도 변화를 나타낸 것임. 이때 Heading 각도 변화는 약 0.25°로 MCV의 차동 밸브에 의해 각도 변화가 크지 않음.

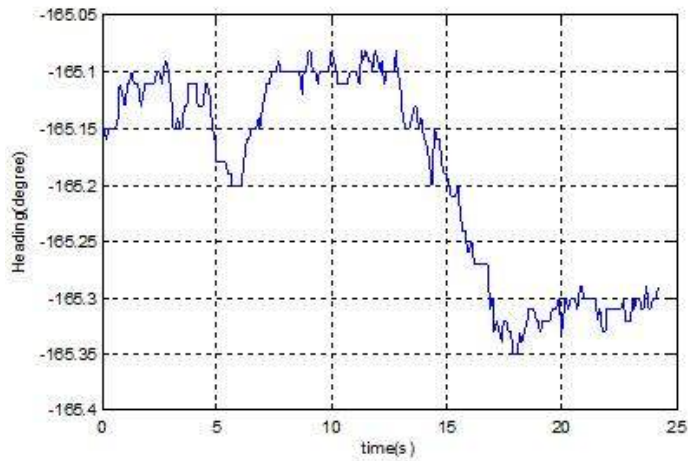
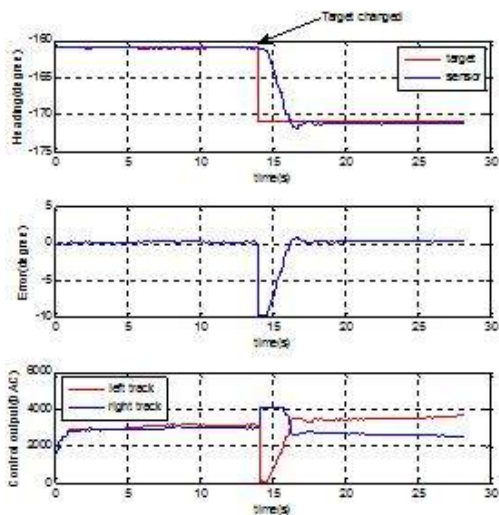
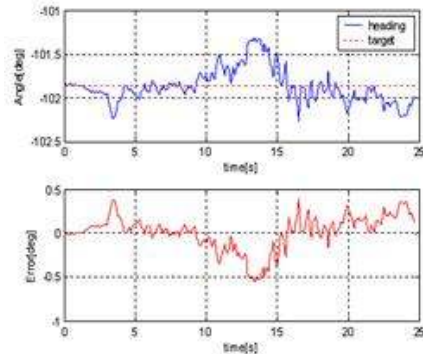


그림 1.2.7 아스팔트위 주행시 Heading(제어하지않음)



(a) 5차년도



(b) 4차년도

그림 1.2.8 Heading 제어

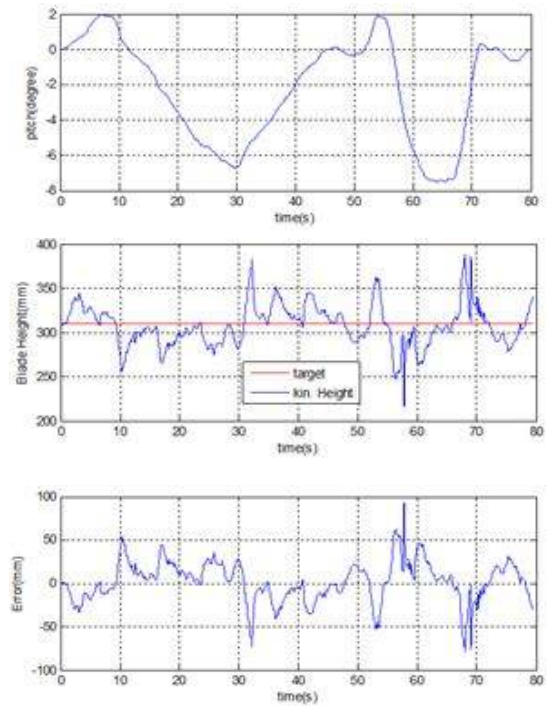
- 평편한 아스팔트위에서는 주행시 Heading 변화가 거의 없으므로 제어 성능을 검증하기 위해 임의로 제어 Target을 10도 변경시켜(Step Response) 결과를 확인 함(그림 1.2.8(a)). 약 14초 시점에 제어 Target을 -161도에서 -171도로 변경시켰으며 제어에 의해 좌 트랙은 속도를 증가되고 우 트랙은 속도가 감소되어 변경된 target 각도를 추종함. 2.5초 이내에 변화된 Target에 수렴하며 정상상태 오차는 약 0.2도 임. 이는 4차년도 정상상태 오차 약 0.5도 보다 향상되었음(그림 1.2.8(b)).

1.2.6 블레이드 수평제어

- 블레이드 수평제어는
 - 1) 수심센서를 이용한 사석면의 고르기 높이제어
 - 2) 각도센서를 이용한 상하틸팅 제어로 나눌 수 있음.



(a) 높이제어 실험방법



(b) 제어 결과

그림 1.2.9 높이제어

○ 블레이드 높이제어

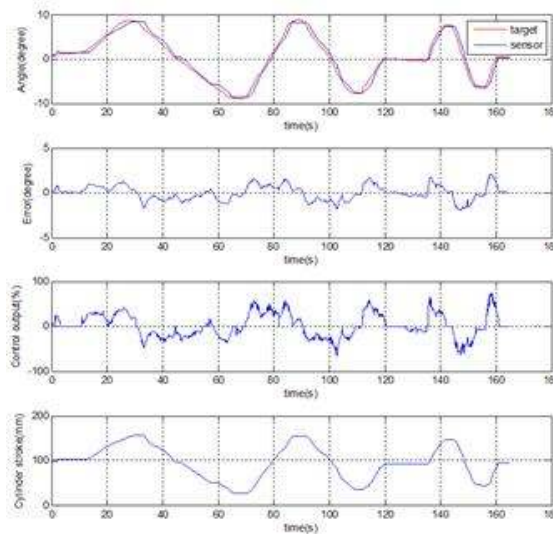
육상에서는 수심센서가 동작을 하지 않으므로 고르기 높이제어의 성능을 검증하기 위해 각도센서의 Pitch 각도를 기구학으로 부터 지면에 대한 블레이드의 높이로 환산하고 이를 이용하여 제어를 수행 함. 각도센서를 그림 1.2.9(a)와 같이 탈착하여 앞/뒤(pitch 각도 변화)방향으로 움직일 때 제어 결과는 그림 1.2.9(b)와 같음. 그래프의 Target은 블레이드 높이 값이며, kin Height는 Pitch각도 변화에 따른 기구학적 블레이드의 높이임. 이 두 값의 차가 제어 오차이며 최대 오차는 $\pm 80\text{mm}$ 로 유압 시스템의 응답성이 전기 시스템의 응답성 보다 느리기 때문에 발생하는 것임.

○ 상하 틸팅 제어

상하 틸팅 제어의 성능검증은 높이제어와 동일한 방법으로 각도센서를 그림 1.2.10(a)와 같이 좌/우(roll 각도변화)방향으로 움직일 때 제어 결과를 확인하였음(그림 1.2.10(b)). Target은 모션 센서에 의한 장비의 roll 각도이며 Sensor는 실린더 길이센서(MTS)의 정보로 기구학 해석에 의한 roll 각도임. 최대 추종 오차는 ± 2 도이며 정상상태 오차는 ± 0.3 도 임.



(a) 높이제어 실험방법



(b) 제어 결과

그림 1.2.10 상하틸팅제어

2. 사석현장 검증 실험 및 시제품 성능평가

- 본 연구개발의 목적은 수중 20m에 포설되어 있는 사석을 설계기준면에 만족하도록 사석면을 고르는 것을 목적으로 함. 허용 오차는 $\pm 10\text{cm}$ 로 전체 작업의 80%를 시공장비가 수행하도록 함.

2.1 육상 작업을 통한 기계화 시공 가능성 제시

- 육상 성능 실험
 - 수중 고르기 작업은 운전자가 운전실에서 VR 시스템에서 제공하는 그래픽과 이미지 소나, 스캔 소나, 카메라 등의 영상을 보면서 원격으로 조종해 행해짐. 장비에 설치된 소나와 카메라로는 장비의 이동상황, 블레이드, 다목적 암의 구동여부, 주위 환경 및 블레이드가 지나간 자국을 보여주는 정도로 허용 오차 $\pm 10\text{ cm}$ 를 측정은 불가능함.
 - 따라서 육상실험을 통해 장비의 고르기 작업 성향을 육안으로 확인하고, 시공오차를 정확히 측정하고자 함. 즉, 블레이드가 사석을 밀어 고르기 작업을 수행하여 작업 전/후의 상태를 측정하여 고르기 작업정도를 육상에서 확인하고, 정밀도를 측정해 수중작업 시 작업 상황을 예측하고자함.
 - 수중과 육상의 작업환경이 다를 지라도 블레이드가 사석면을 밀고 작업하는 내용은 유사하다고 판단됨.
- 육상의 지형 측량 방법
 - 표척에 물 호스를 부착하여 기준 수위에 대한 표척 높이 변화를 측정 (즉, 표척 높이 변화가 고저 차임)
 - 기준 표척은 기준점에 고정시키고 측량 표척을 사석면에 올려놓고 눈금을 읽어 기준 표척과의 수위 차를 측정 (그림 2.1.1).
 - 그림 2.1.2와 같이 작업장 (6m X 6m)에 1m 간격으로 붉은 끈으로 격자를 만들고 그림 2.1.3과 같이 0.5m의 간격으로 사석면의 높이를 측정.

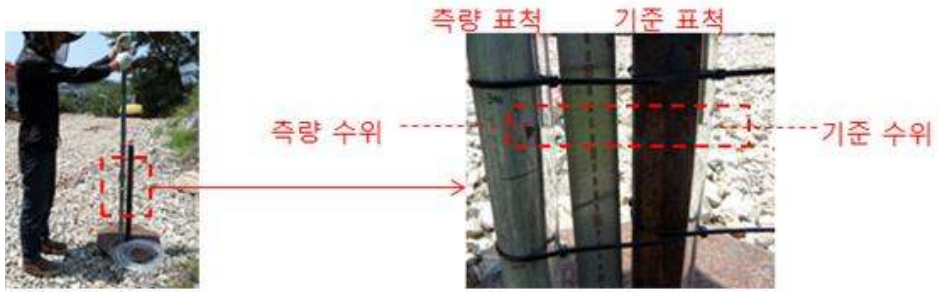


그림 2.1.1 지형 측량 방법



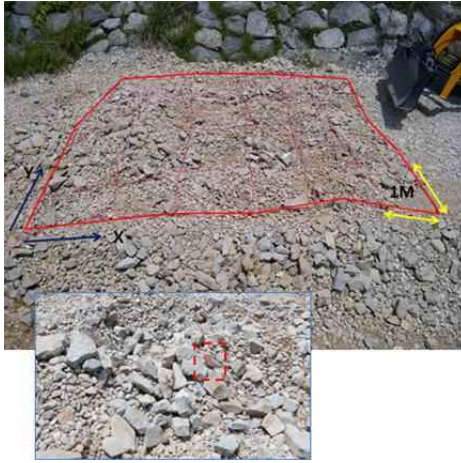
그림 2.1.2 측정 그리드 설치



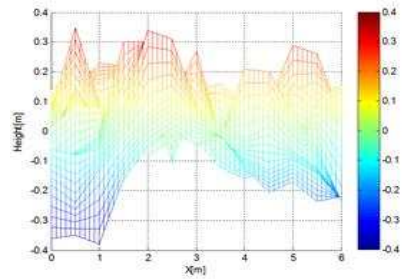
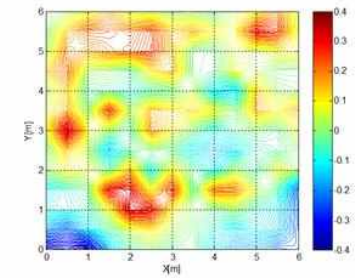
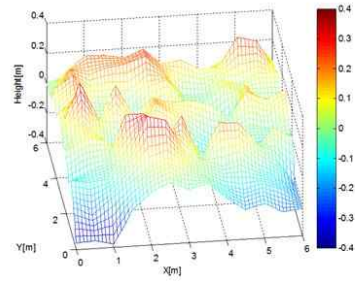
그림 2.1.3 측량 장면

○ 작업 전 지형 측량

- 그림 2.1.4(a)는 작업 전 지형으로 사석은 크기는 10cm 이하의 율석과 중간 크기의 사석(20x20x15cm)으로 구성되어 있음.
- 지형의 고저차는 최대 73cm으로 기준면에 대해서는 -38cm~+35cm 높이차를 보인다.
- 그림 2.1.4(b)는 작업 전 지형을 3D 모델링한 것으로 대략적으로 5개의 봉우리가 있는 지형임.



(a) 작업장의 좌표축 정의



(b) 작업장 모델링

그림 2.1.4 작업 전 지형

○ 블레이드를 이용한 고르기 작업

- 블레이드가 좌표 (6,6)에서 (0,6)로 X축 방향으로 진행하면서 사석을 밀어 고르기 작업을 실시하고, 후진해 블레이드 폭 만큼 Y축 방향으로 내려와 좌표 (6,4)에서 (0,4) 방향으로 진행해 작업을 실시함. 그림 2.1.5와 같이 3번 반복해 작업장 전 영역을 주행하였음.
- 수중에서는 블레이드 밑에 설치된 수심센서로부터 사석면의 수심을 측정해 작업면과 기준 면의 차이로부터 작업량을 판단함. 그러나 육상실험에서 사석면의 시공오차를 측정하는데 목적이 있으므로 블레이드의 높이를 트랙접지면의 높이와 동일하게 일정하고 사석 고르기 작업을 수행했음.



(a) 고르기 작업 시작



(b) 고르기 1번 수행



(a) 고르기 2번 수행



(b) 고르기 3번 수행

그림 2.1.5 고르기 작업 장면

- 블레이드 작업 시 heading제어는 그림 2.1.6과 같은 결과가 나타났음. 그림의 붉은 원부분이 3번의 고르기 작업시 heading제어를 수행하면서 블레이드 작업을 하는 구간이며, ± 1 도 이내의 오차를 가지며 작업하고 있는 것을 확인 할 수 있음. 아스팔트의 조건과 비교해보면 사석면에서는 좌우 트랙의 접지력 차이가 발생하고, 이로 인해 heading제어 오차가 더 커짐을 알 수 있음.

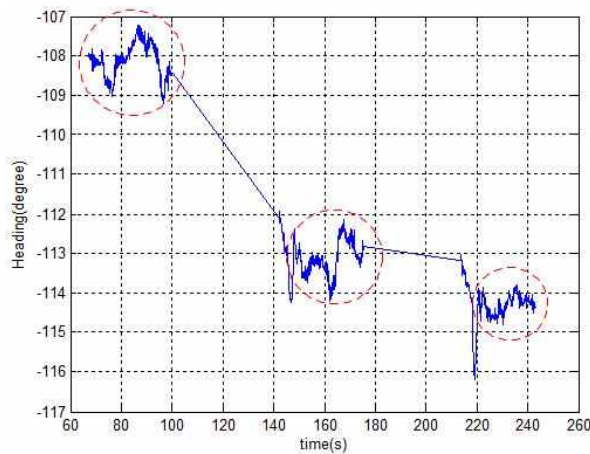
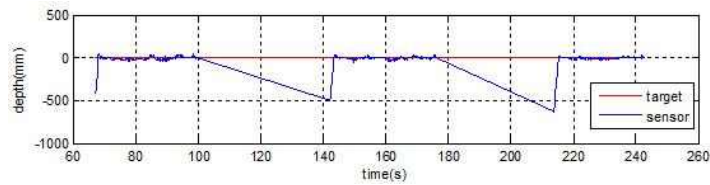
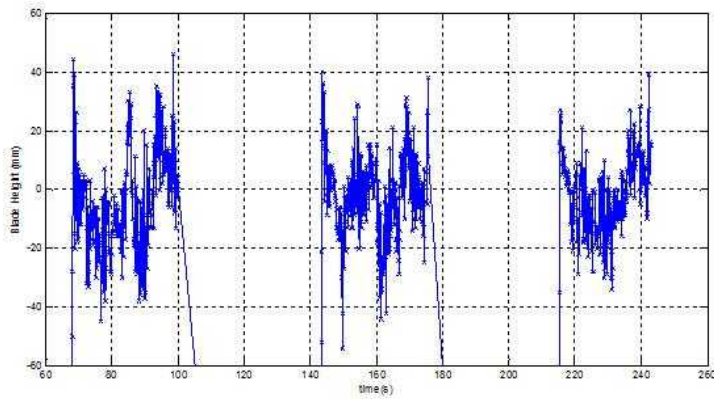


그림 2.1.6 고르기 작업시 heading 제어 결과



(a) 제어 결과 그래프



(a) 제어 구간(Y축) 확대 그래프

그림 2.1.7 고르기 작업시 높이제어

- 그림 2.1.7(a)는 작업 시 블레이드 높이 제어의 결과를 보이고 있으며, (b)는 제어구간에 대해 Y축을 확대한 그래프로 $\pm 40\text{mm}$ 이내의 범위에서 제어가 되고 있음을 확인 할 수 있음. 제어 목표 높이는 접지면과 동일한 0mm 으로 설정하여 작업되었음.
- 그림 2.1.8은 작업시 상하 틸팅 제어의 결과를 도식화한 것임. 그래프상의 Target은 자세센서의 Roll 각도이며, Sensor값은 블레이드 상하 실린더의 길이센서(MTS)로 환산된 각도를 나타내고 있음. 전후 틸팅 각도가 약 20도인 상태에서 고르기 작업을 수행하므로 자세센서의 각도가 0도 일 때 상하 틸팅 실린더의 각도가 3.5도 이면 블레이드는 수평상태가 되므로 그래프상의 Sensor 값은 Target 값과 오프셋(Offset)을 가지는 형태가 됨. 제어 오차는 전반적으로 ± 0.5 도 이내에서 작업이 수행됨을 확인 할 수 있음.

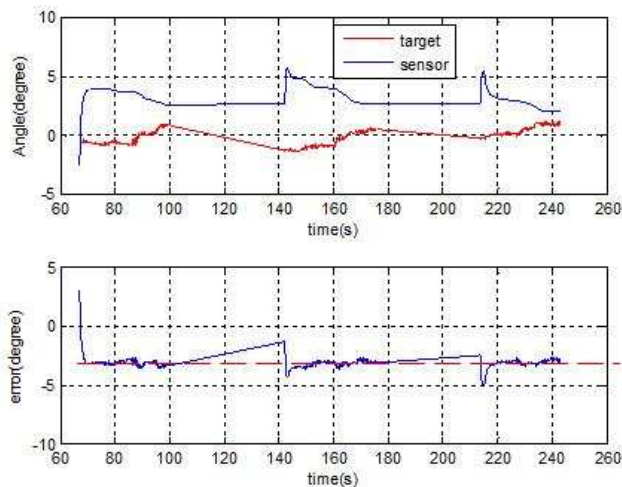


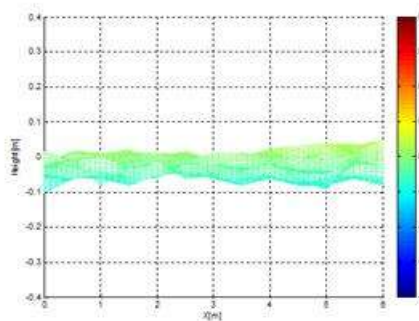
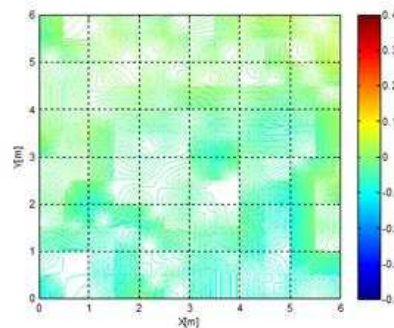
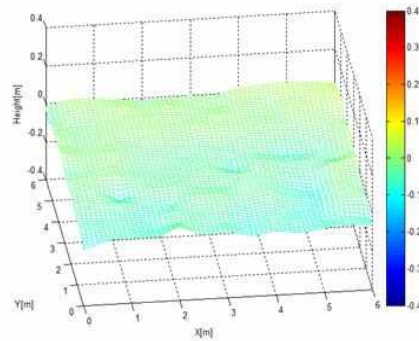
그림 2.1.8 고르기 작업시 상하틸팅 제어

○ 고르기 작업 후 작업장 실측

- 그림 2.1.9(a)는 작업 후 작업장 장면이며 그림 2.1.9(b)는 실측 데이터를 이용하여 3D 모델링한 것임. 최대 고저차는 15cm로 기준면에 대해 -10cm~ +5cm의 오차를 가짐.
- 육상실험을 통해 20cm 크기의 사석이 블레이드에 밀려 10cm 이하로 평탄해짐을 알 수 있음. 블레이드에 의해 사석이 밀리면 높이차 -38cm~+35cm는 중요하지 않으며 사석의 크기가 시공오차를 좌우함. 즉, 크기 작은 사석의 경우 시공오차는 더 줄일 수 있음. 사석의 높이차가 커서 가파른 경사가 있거나 사석이 클 경우 블레이드에 무리한 부하가 작용해 장비가 전진하지 못하는 경우 육상실험과 같이 작업이 안 될 수 있음. 그러나 이러한 작업상황은 이미지 소나로도 감지할 수 있어 적절한 블레이드 높이 제어, 궤도 변경 등으로 해결할 수 있음.
- 수중작업에서도 사석의 크기가 10cm 이하인 경우 육상실험과 같은 작업이 이뤄지며 시공오차는 $\pm 10\text{cm}$ 을 만족할 수 있음.



(a) 작업 후 측정 그리드 설치



(b) 실측 결과 모델링

그림 2.1.9 고르기 작업 후

2.2 수중 사석현장 투입 시험

- 당해연도 개발 장비의 수중 실험은 2차례 진행되었으며, 1차 실험은 항만 부두에서 장비를 권양하고 수중에 투입하였음. 주요 목적은 장비의 수밀상태 점검, 수중 조건에서 유압 구동상태, 센서류 작동 확인, 통신 신뢰성 확인 등으로 설정 하였음.
- 2차 수중실험은 실제 케이슨 거치를 위한 사석 고르기 작업 현장에 장비를 투입하고, 사석 고르기 작업을 수행하는 것이 목적임. 이 과정을 통해 수중 20m환경에서 장비 운용성, 작업성 등을 확인하였음.

2.2.1 수중 1차 실험(한국해양과학기술원 남해연구소/작업부두)

- 수중 1차 실험은 거제 한국해양과학기술원 남해연구소의 작업부두에서 수행하였으며 그림 2.2.1은 작업부두에서 장비를 내리는 장면임. 작업부두 앞의 수심은 최대 7m로 수밀상태 점검, 수중 조건에서 유압 구동상태, 센서류 작동 확인, 통신 신뢰성 확인 등이 주요 실험 목적임.
- 실험을 위해 발전기, 케이블 릴, 운영실, 고르기 장비, 200Ton 크레인 순으로 항만부두에 배치하였음.



그림 2.2.1 고르기 장비 하차



그림 2.2.2 장비 배치



그림 2.2.3 장비 수밀 테스트



그림 2.2.4 수중환경 모니터링 테스트

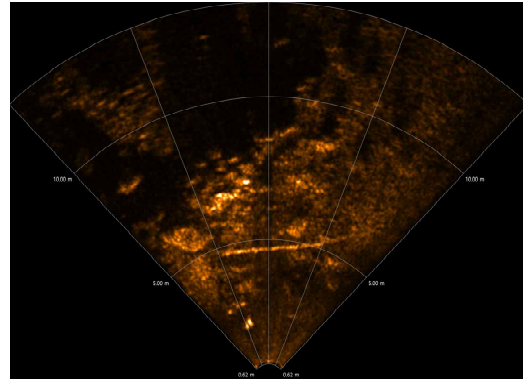
- 장비 및 주변 시스템 배치 후 상호간 배선을 완료하고, 통신 테스트, 장비 구동 테스트 등을 수행함. 모든 시운전을 마치고 장비의 수밀 테스트를 위해 200Ton 크레인으로 장비를 권양하여 장비를 그림 2.2.3와 같이 입수하였음. 수밀 테스트와 함께 그림 2.2.4와 같이 모니터링을 위한 센서 값, 전반적인 통신상태, 장비 구동 테스트 등을 통해 개발 장비가 정상 작동함을 확인함.
- 수중에서 개발장비의 전방위 관찰을 위하여 블레이드 전방에 Tritech Hammerhead 소나를 설치하였으며 후방에는 다목적암의 작업을 감안하여 블루뷰 P900-90을 설치하였음.



그림 2.2.5 헤머헤드 및 블루뷰 영상



(a) 적용한 노끈



(b) 소나 영상

그림 2.2.6 경계면 인식을 위하여 노끈 이용

- 실효역 실험을 대비하여 기준선 표식 방법을 확인함. 그림 2.2.6 (a)와 같이 두께 4cm, 길이 4.5m의 노끈을 지면에서 1m 위, 소나로부터 5m 떨어진 거리에 설치한 후 블루뷰 P900-90 소나로 관찰함. 그림 2.2.6(b)와 같이 노끈을 명확히 인식할 수 있었음.

2.2.2 수중 2차 실험(부산 신항 시공 현장)

- 수중 2차 실험은 부산신항 서측컨테이너터미널 현장에서 이루어 졌음. 시공현장에서는 바지선에 모든 장비를 설치하였고, 그림 2.2.7와 같이 1차 실험과 유사하게 배치하였음.
- 바지선 앵커링
 - 기간 : 2014년 4월 22일 ~ 30일
 - 장소 : 부산신항 서측컨테이너터미널 현장 (평균 작업수심 22m, 최대수심 23m)
 - 해당 지역에 바지선을 4점 앵커링 후 실험을 수행함.



(a) 바지선 이동



(b) 장비 세팅

그림 2.2.7 작업 바지선 및 시험 장비 설치



그림 2.2.8 실험역 실험 영역

- 작업장 표식
- 작업장 크기 : 15m(W) X 20m(L)
- 고르기 작업할 영역을 부표로 표시하여 선상에서 작업장을 인식할 수 있도록 하였음.
- 작업장을 소나로 확인한 결과는 그림 2.2.10과 같음. 블레이드 상단에 달려있는 Hammerhead를 이용하여 전방 270°, 후방의 P900-90을 이용하여 후방 90°를 확인함으로써 360° 전방위 모니터링하였음.



그림 2.2.9 작업 영역 표식

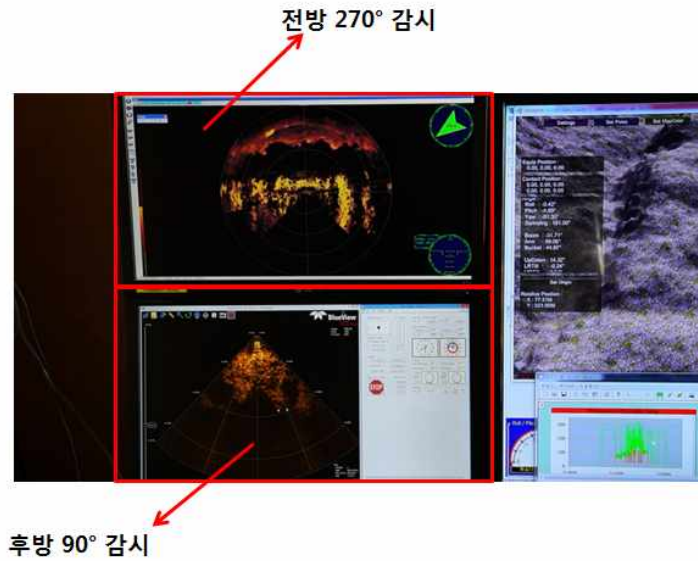


그림 2.2.10 작업장을 소나로 확인한 영상

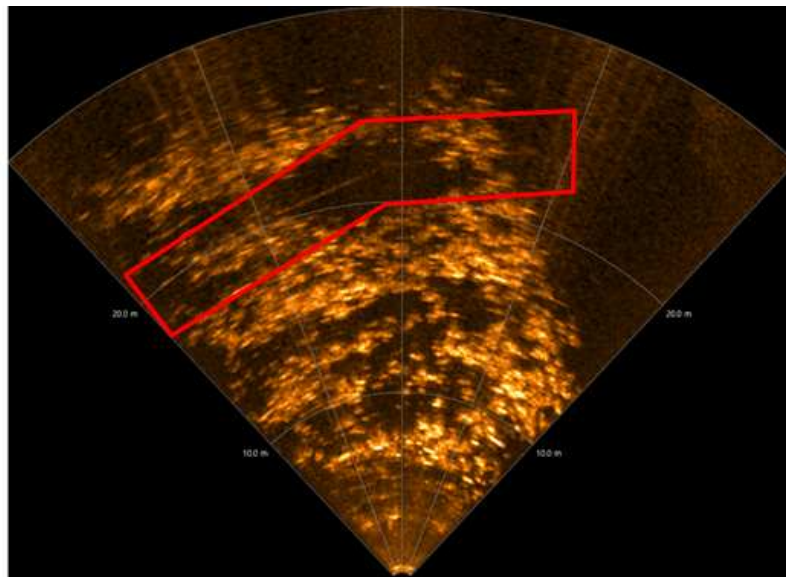


그림 2.2.11 노끈을 이용하여 작업장에 설치한 기준선
(20m 전방에 있는 두께 5cm의 기준선을 확인함)

- 정밀한 작업을 위한 기준선 설치
 - 작업장 남쪽 끝선에서부터 남쪽으로 10m 떨어진 위치에 두께 5cm의 노끈을 1m 높이 설치하였음.
 - 노끈을 기준선으로 설정하고 작업장 내에서 작업을 수행함.

- LBL 트랜스 폰더 설치
 - 트랜시버와 트랜스폰더 간의 통신에 간섭을 최소화 하기 위하여 지면에서 2m 높이에 트랜스폰더가 자리잡도록 지그를 제작함.
 - 해저면에 설치한 트랜스폰더 수를 최소화하기 위하여 2개를 설치함.



그림 2.2.12 LBL 트랜스 폰더 설치



그림 2.2.13 3D 가시화 프로그램을 통한 장비 상태 확인

○ 수중 입수 전 그림 2.2.13과 같이 3D 가시화 모니터를 이용하여 다음의 순서로 센서류 및 통신상태를 확인하였음.

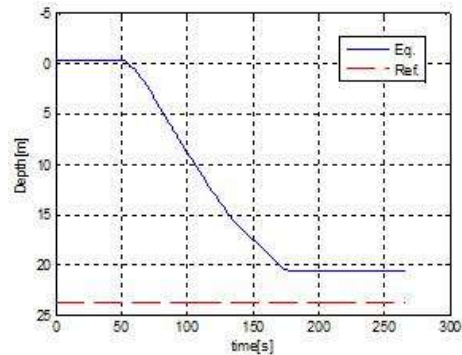
- 1) 액추에이터 구동으로 블레이드 및 다목적 암 길이 센서 확인
- 2) 주행으로 근접센서 확인
- 3) 상부 플랫폼 회전으로 엔코더 확인
- 4) 스윙 락 기능 확인
- 5) 카메라 영상 확인
- 6) 조명 작동 확인
- 7) 스트레인게이지 확인
- 8) 헤머헤드, 블루뷰, 팬틸트, DVL, LBL 통신 테스트
- 9) 유위, 온도, 압력 센서값 확인

○ 그림 2.2.14는 시공 현장에서 작업 전 수밀 테스트를 수행하는 장면임. (a)는 크레인으 로 권양하는 장면이며, (b)는 장비가 착저할때 까지의 수심변화를 나타낸 것임. 그래프의 점선은 기준 수심센서(Ref. depth sensor)의 수심값으로 사석 경계면에 고정되어 설치되어 있으므로 값의 변화가 없음. 실선은 장비의 블레이드 아래 부분에 부착된 수심센서 (Eq. depth sensor) 값으로 장비가 수중으로 내려감에 따라 수심이 깊어짐을 알 수 있음. 장비가 사석면에 착저 했을때 수심은 약 21m로 나타남. Ref. 수심센서와 장비의 수심센서 간의 수심차이는 약 3m로 이는 착저를 위해 블레이드를 상승한 상태 및 장비가 기준면 보다 높은 지형에 착저 되어서 임. 크레인으로 장비를 권양하여 작업면까지 내려놓

고 수밀이 되지 않을 경우 장비를 바로 육상 바지선으로 옮길 수 있도록 권양 체인은 분리하지 않고 대기를 함. 이때 각 수밀케이스에 부착된 누수 센서의 작동 여부를 관찰하면서 수밀 테스트를 수행하였음.



(a) 장비 입수



(b) 수심센서의 변화



(b) 수중 대기

그림 2.2.14 수밀 테스트 (수심 22m)

- 수중 20m 환경에서 장비 유압시스템의 구동은 정상적으로 이루어 졌음. 수중에서는 탁도로 인해 장비의 구동 장면을 촬영할 수 없으므로 수면에서의 장비구동장면을 대신 나타내었음. 운전자는 3D 가상화 모니터를 보면서 장비를 구동하고 실제 장비의 형상과 동일하게 표현되는지를 점검하였음.
- 그림2.2.8은 블레이드 상하 구동 장면으로 블레이드 연결빔의 좌우측 유압실린더가 신축운동을 하여 상하제어 동작을 수행하고 있음.



그림 2.2.15 블레이드 상하 구동 장면



그림 2.2.16 블레이드 앞뒤 틸팅 장면



그림 2.2.17 블레이드 상하 틸팅 장면

- 그림2.2.16은 블레이드 앞뒤 틸팅 장면으로 블레이드 뒷면에 부착된 두 실린더의 신축운동으로 틸팅 동작이 이루어지고 있으며, 블레이드 작업시 작업된 사석을 일측으로 밀어주는 작용을 하게 됨.
- 그림2.2.17은 블레이드 상하 틸팅 장면으로 블레이드 상부에 부착된 실린더의 신축운동으로 틸팅 동작이 이루어지고 있으며, 작업시 블레이드가 항상 수평으로 유지될 수 있도록 제어해주는 동작을 하게 됨
- 그림2.2.18은 하부 트랙을 이용하여 장비가 주행하는 장면으로 트랙이 움직이면 트랙상부의 근접센서가 그라우저의 잇날을 카운트하여 이동량을 산출할 수 있음.
- 그림2.2.19는 상부 플랫폼과 하부 플랫폼 사이에 있는 회전 메카니즘을 이용하여 상부 플랫폼을 회전하고 있는 장면으로 수중 작업시 주행 방향과 툴의 방향을 조종하는 기능 및 툴의 활용을 극대화 시키는 동작을 구현 하게 됨.



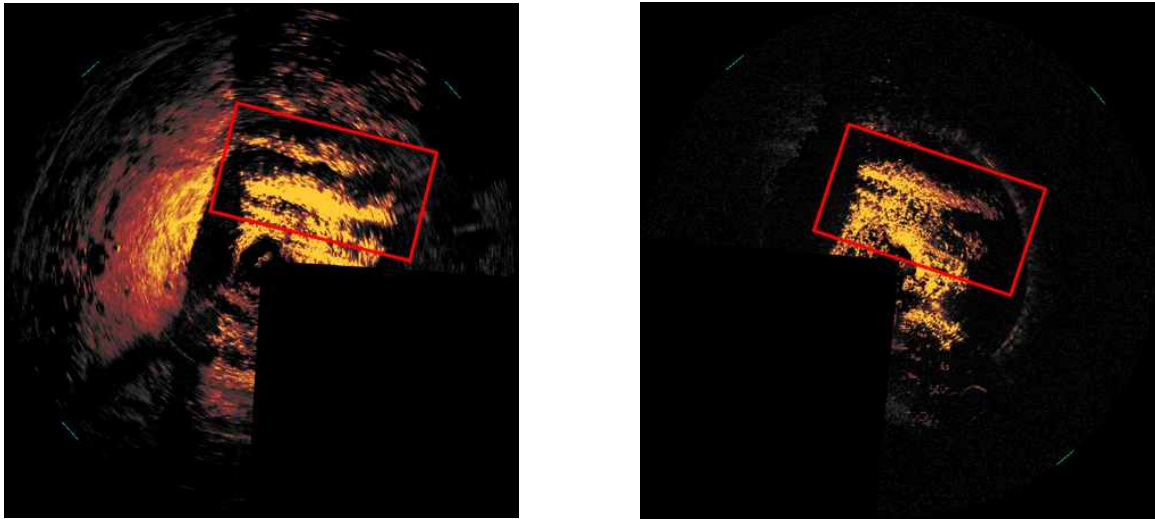
그림 2.2.18 장비 주행 장면



그림 2.2.19 상부 플랫폼 회전 장면



그림 2.2.20 다목적 암 구동 장면



(a) 작업 전

(b) 작업 후

그림 2.2.21 사석고르기 작업 전후 소나영상

- 그림2.2.20은 다목적 암의 구동 장면으로 3축(붐, 암, 버킷)의 구동을 조합하여 굴삭작업을 모사하고 있음.
- 소나영상을 통한 사석고르기 작업 전후 비교
 - 소나영상을 이용한 사석고르기 작업 전후를 비교함.
 - 그림 2.2.21(a)와 같이 사석에 의해 두 개의 산 사이에 깊은 골이 패여 있음. 고르기 작업을 수행 후 그림 2.2.21(b)와 같이 골이 대부분 평탄화 된 것을 확인할 수 있음.
- 수중 22m 위치에 착저 후 장비가 정지해 있는 상태에서 Depth센서의 값 변화 추이를 그림 2.2.22와 같이 그래프로비교하여 나타내었음. 붉은색 그래프는 장비의 블레이드 하부에 부착된 수심센서의 값, 녹색 그래프는 기준 수심센서의 값을 나타내었음. 단, 기준 수심센서 값은 약 24m이고, 장비 수심센서 값은 약 21m이므로, 미소변화에 대해 나타내기 위해 각 센서 값에 23.95m 및 20.97m를 감산하여 표현하고 약 7분간 관찰하였음. 수심값의 고주파 성분은 파도에 의해 수위가 변하기 때문이며, 조위차에 의해 저주파 성분이 나타나고 있음. 파란색 그래프는 “장비 수심 - 기준 수심” 값으로 파도나 조위의 변화 조건에서도 두 센서의 차이 값은 10mm 이내의 오차범위에서 변화되고 있음을 확인할 수 있음. 그러므로 블레이드를 이용한 고르기 작업에 있어 수심 센서의 정밀도는 10mm 이내를 만족함을 확인 할 수 있음.

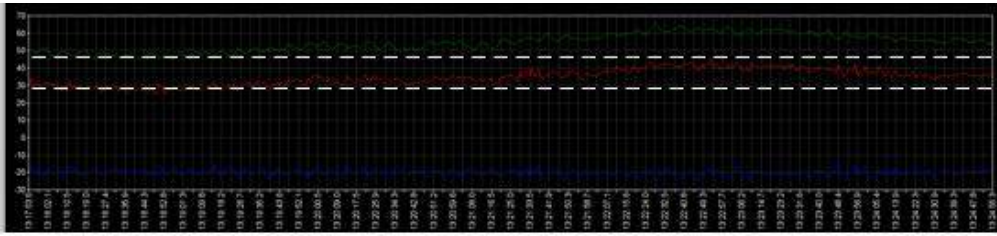


그림 2.2.22 정지 중 수심 센서값의 트렌드

- 블레이드를 이용한 고르기 작업 중 사석 마운드가 높거나 큰 사석들이 서로 끼여서 (Interlocking) 트랙부의 주행이 원활히 이루어지지 않을 때가 있음. 이때 트랙과 사석면 사이에 슬립이 발생하고 주행이 되지 않음. 이 경우 다목적 암을 이용하여 그림 2.2.23과 같이 사석 마운드나 끼임 상태를 제거함. 3D 작업 모니터의 큰 눈금은 장비 중심에서 6.7m 거리 표식이며 작은 눈금은 블레이드까지의 위치 표식 임.
- 수중 원격제어에서의 작업은 아래와 같이 이루어짐.
 - (a) 사석의 부하로 주행이 되지 않아 블레이드 작업이 되지 않을 경우.
 - (b) 다목적 암 작업을 위해 상부 플랫폼을 180도 회전 시킴.
 - (c)~(f) 작업 모니터를 보면서 다목적 암을 구동하여 6.7m 거리에서부터 블레이드가 있던 위치까지 버킷 작업을 수행하여 사석 부하를 제거함.

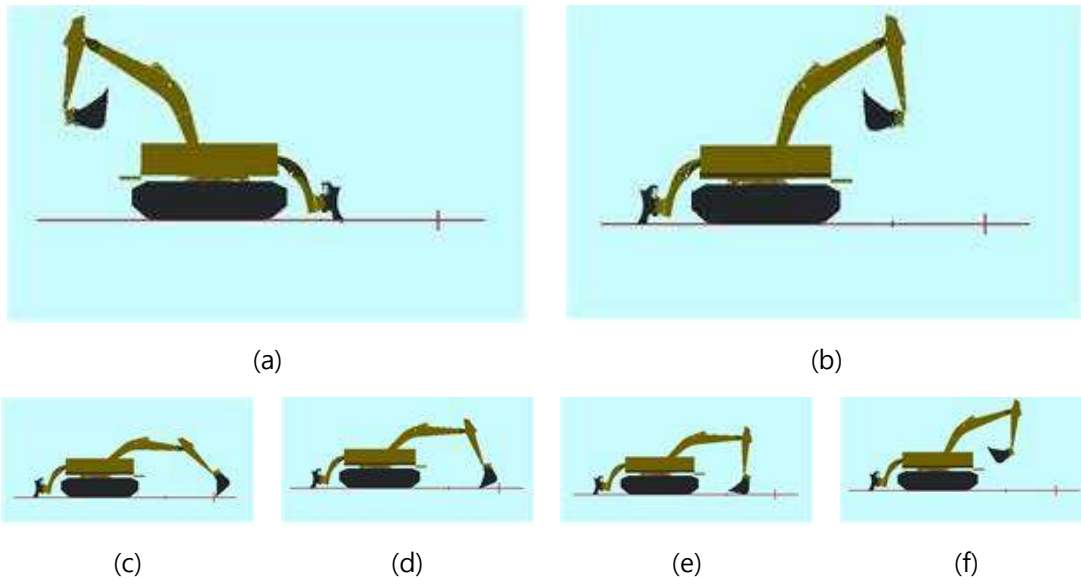


그림 2.2.23 다목적 암을 이용한 사석 마운드 제거



그림 2.2.24 남북 방향 고르기 작업

- 수중 고르기 작업은 작업장 표식 (부표 : 20m X 20m) 범위 내부에서 수행하였음. 사석이 남북 방향으로 놓여져 있으므로 장비를 남북으로 주행하면서 블레이드를 이용한 고르기 작업을 수행하였음. 그림 2.2.24는 모니터링 시스템에 나타난 작업 장면을 보이고 있음.
- 작업시 블레이드의 높이 및 자세 제어를 자동으로 수행하면서 남북으로 고르기 작업을 반복수행 하였음. 앞서 수심센서에 대해 언급했듯이 블레이드 하부에 부착된 수심센서의 값이 일정높이를 유지하면서 사석작업이 이루어지면 작업된 사석면의 굴곡을 예측할 수 있고 이를 3D 가시화 지형에 표시할 수 있음.
- 수심센서를 이용하여 작업 전후를 비교해 보기 위해 작업 전 블레이드를 최대로 들어서 남북 주행을 수행하였음. 이때의 수심 센서값의 변화를 그림 2.2.25에 나타내었음. 지형의 굴곡에 따라 장비의 높낮이가 변화되어 수심 센서값의 변화가 발생 하며 주행한 지형의 최대 고저차는 약 1m($\Delta 0.6$, $\nabla 0.4$)임을 확인 할 수 있음.
- 동일 영역을 블레이드 제어를 수행하면서 주행하였고 그림 2.2.26에 나타내었음. 주행 전 수심이 그림2.2.25와 다른 것은 블레이드 높이를 고르기 면까지 낮추어 제어를 하고 있기 때문임. 고르기 작업 전 1m 고저차가 작업 중에는 0.4m($\Delta 0.25$, $\nabla 0.15$)로 변화되었음.

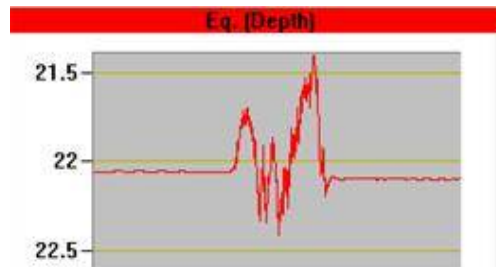


그림 2.2.25 작업 전 남북방향 주행 시 수심 센서값의 변화

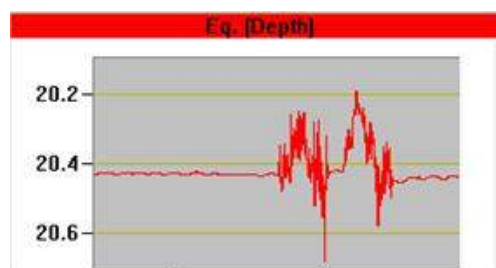


그림 2.2.26 고르기 작업 중 수심 변화

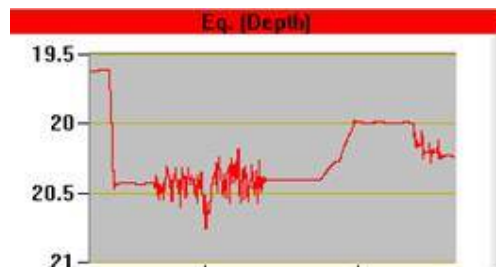


그림 2.2.27 고르기 작업 중 수심 변화

- 그림 2.2.28은 동일 영역을 한번 더 블레이드 제어를 하면서 주행한 과정을 나타내고 있으며 그 결과는 그림 2.2.27과 유사하게 나타났다. 두 번째 작업이 첫 번째 작업과 유사한 것은 수중 사석의 크기가 20Cm 이상이기 때문이다. 즉, 사석 크기 이하로는 고르기 작업을 수행하기 어렵다는 것을 확인 할 수 있음.
- 그림 2.2.28은 남/북 방향을 왕복하며 고르기 작업을 수행하였을 때 작업 중 수심변화를 나타낸 것임. 장비 상부플랫폼의 스윙각도를 보면 남->북으로 2번, 북->남으로 2번 고르기 작업을 수행하였음. 그래프상의 점선 원은 북->남으로 작업시를 표시하였음. 에러(Error)는 “기준 수심센서(Ref. Depth) - 블레이드 수심센서(Rq. Depth)“를 나타낸 것으로 작업이 진행됨에 따라 블레이드의 작업 수심이 점점 기준 수심과 비슷해지고 있고, 약 0.5m 높이의 사석을 제거하면서 고르기 작업이 수행되었음.

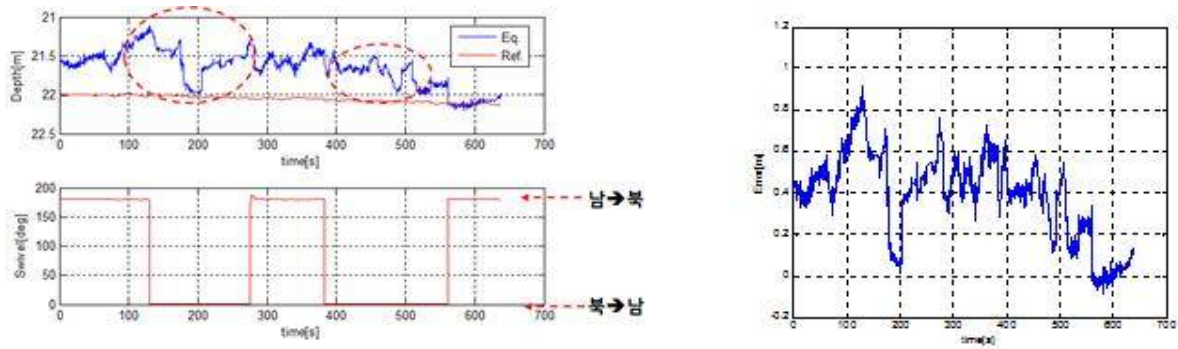


그림 2.2.28 남북방향 고르기 작업시 블레이드 제어 높이

3. 시제품 모델 확립

- 당해년도는 본 연구개발 과제의 최종 년도로 개발된 시제품에 대해 도면화하고 장비의 운용 및 유지보수 매뉴얼을 작성하여 과제 결과의 정리 및 향후 기술이전을 준비함.

3.1 시제품 모델의 도면화

- 개발 장비의 도면은 기구부, 유압부 전기부로 나누어 정리하고 도면의 내용 중 민감한 수치사양은 본 보고서에서는 제외함.

3.1.1 개발 장비의 기구부 도면

- 장비 기구부의 도면은 주요 부분별 2D 제작도면과 3D 형상 도면을 나타내었음.

(1) 하부 플랫폼

- 하부플랫폼은 좌/우 트랙 구조물과 트랙 연결 프레임으로 구성됨.
- 그림 3.1.1은 트랙 모터 취부 도면으로 트랙 모터가 연결되는 구조물을 나타내고 있음.

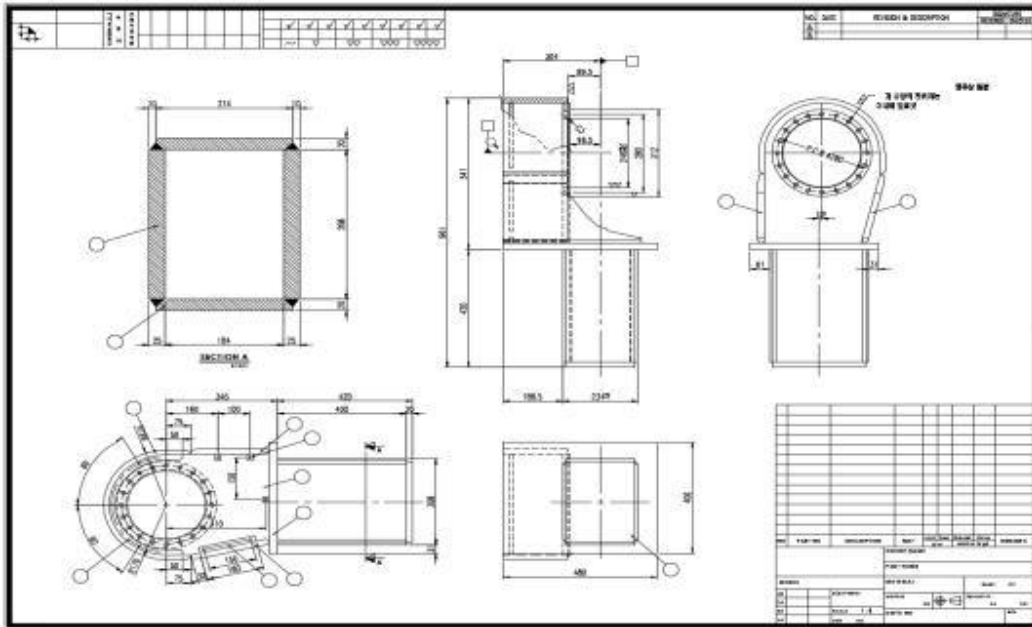


그림 3.1.1 트랙 모터 취부 도면

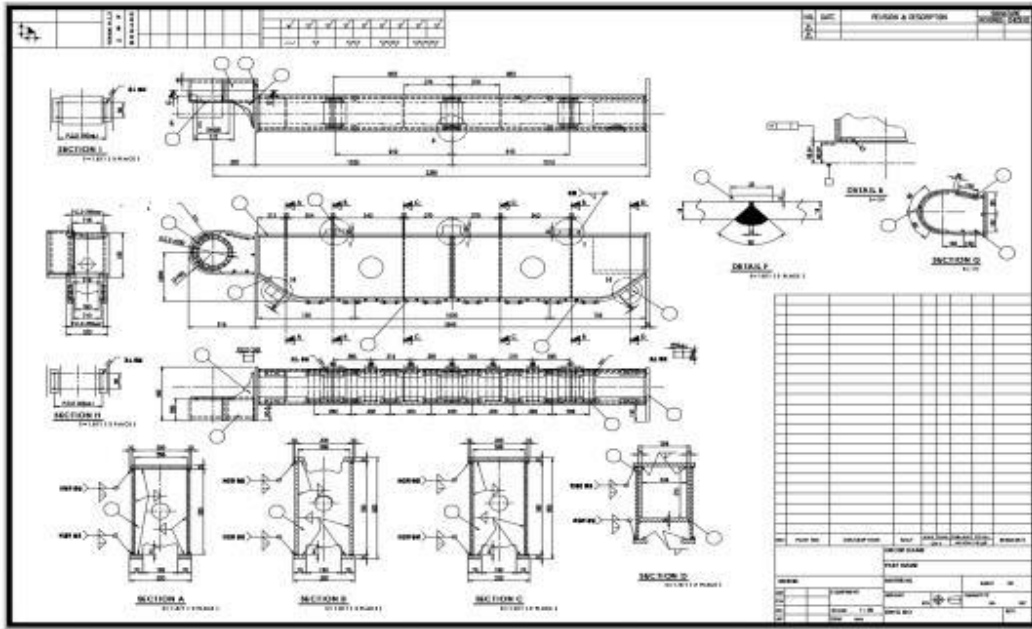


그림 3.1.2 트랙 그라우저 구조물 도면

- 그림 3.1.2는 트랙 그라우저 구조물 도면으로 트랙 모터가 좌우에 취부되고 2개의 트랙 모터를 그라우저를 연결하여 구성할 수 있는 구조물임.
- 그림 3.1.3은 그라우저 이탈 방지 가이드 도면으로 그림 3.1.2의 하부 양측에 조립되어 협지 주행시 그라우저가 아이들 및 스프라킷에서 이탈 되는 것을 방지하는 기능을 함.

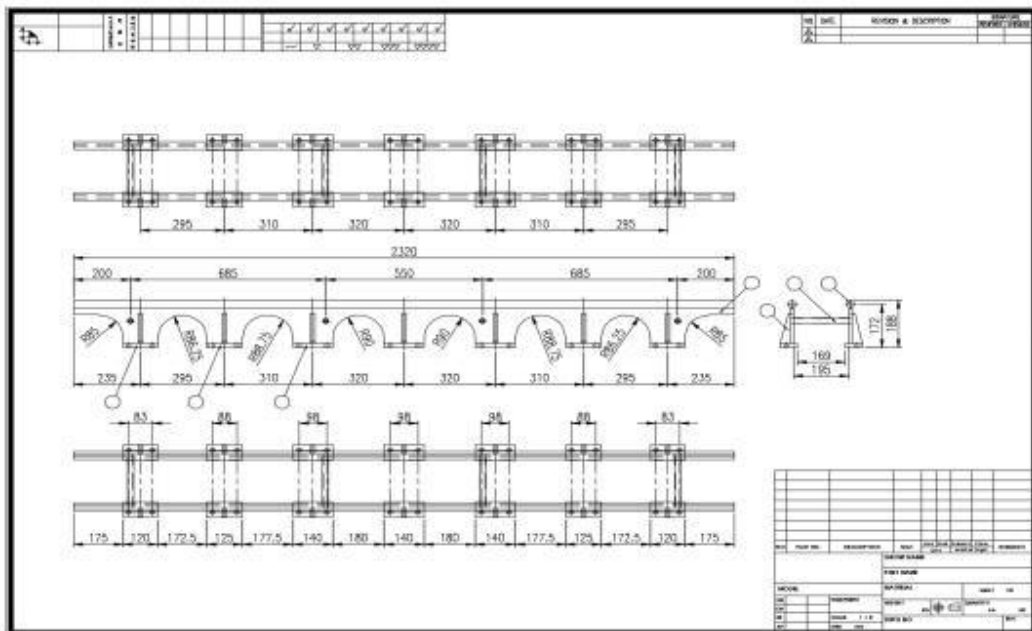


그림 3.1.3 그라우저 이탈 방지 가이드 도면

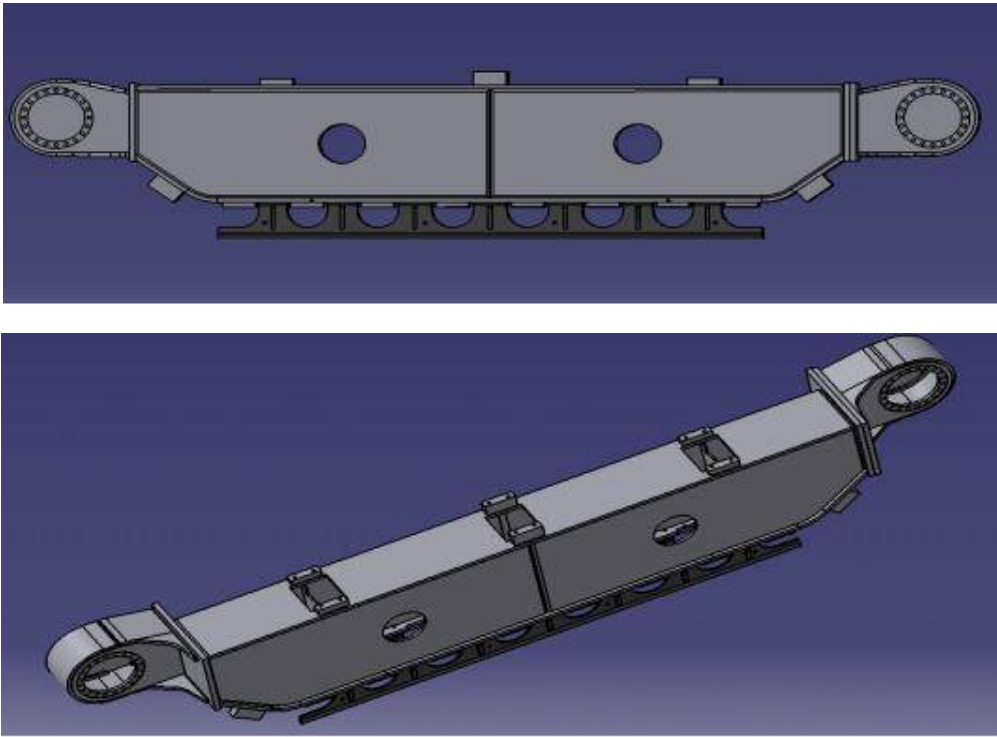


그림 3.1.4 3D 트랙부 제작 도면

- 그림 3.1.4는 트랙부의 3D 제작 도면으로 좌우측 주행모터 취부, 구조물 하부에 그라우저 이탈 방지 가이드, 그리고 주요 부위에 아이틀 취부 등으로 구성됨.
- 그림 3.1.5는 트랙 하부 프레임 제작 도면으로 좌우 굴절부에는 그림 3.1.4에서 제작된 투랙부가 용접 부착됨. 플랫폼에는 4개의 홀을 관통하여, 진수/회수시 해수의 저항을 줄일 수 있는 구조를 가지고 있으며, 중앙부에는 상부플랫폼과 연결되는 스윙연결부가 가공부착 됨.

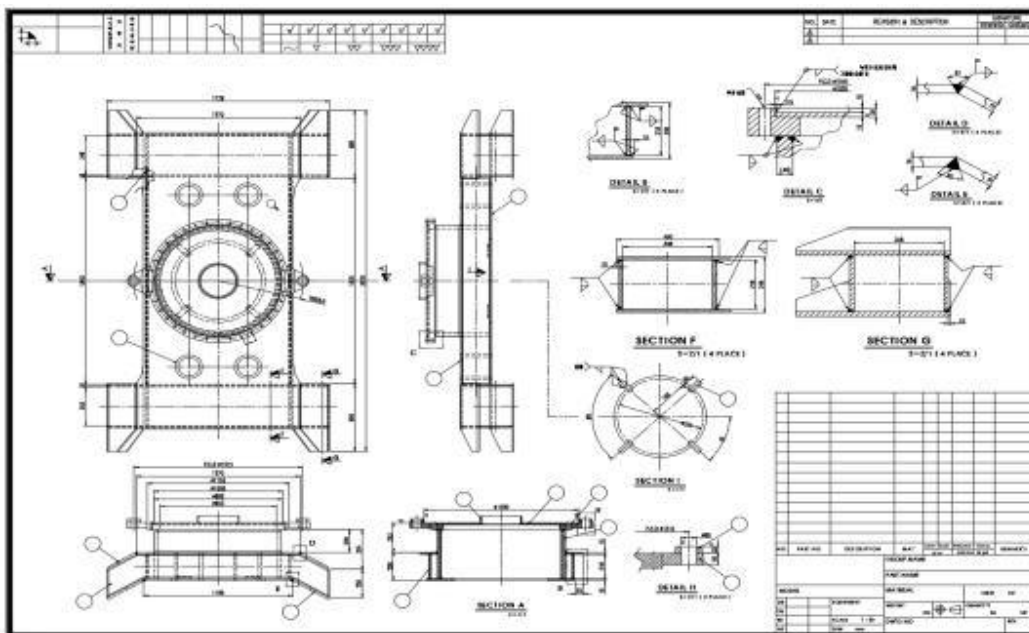


그림 3.1.5 트랙 하부 프레임 제작 도면

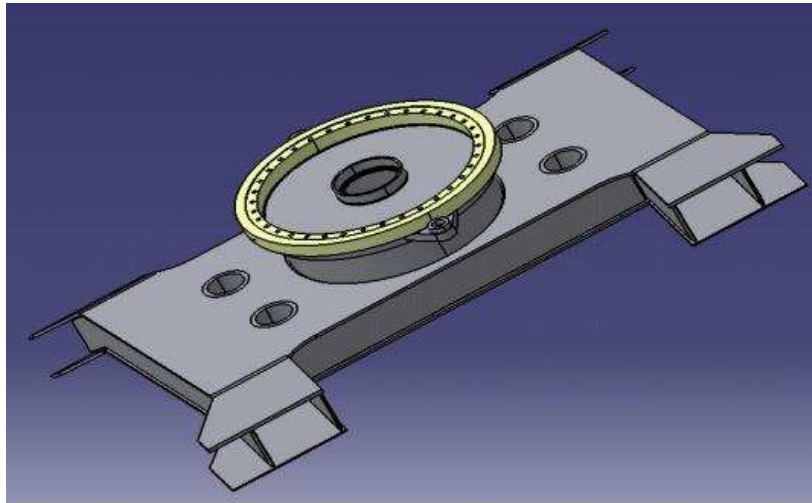
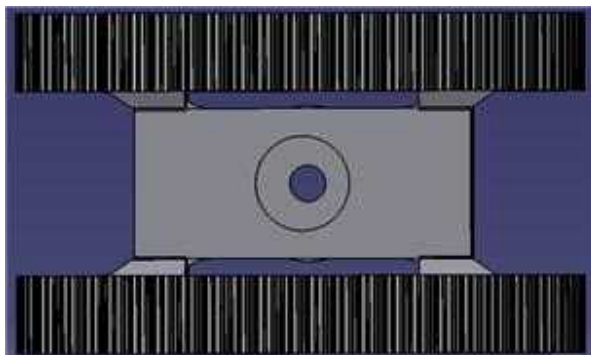
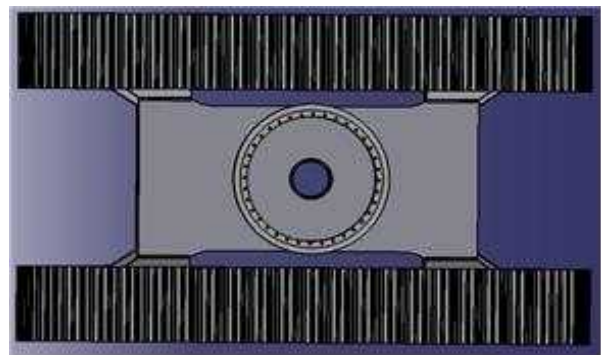


그림 3.1.6 하부 프레임 제작 도면

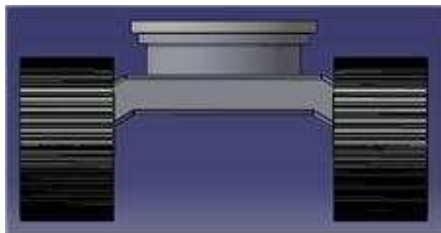
- 그림 3.1.6는 3D로 제작된 하부 프레임 도면을 보이고 있음.
- 그림 3.1.7은 하부 프레임의 전체 조립도면을 보이고 있음.



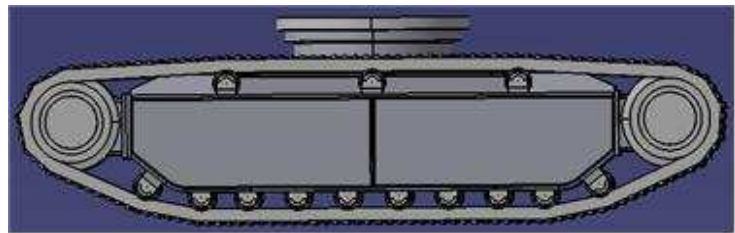
(a) 하부면



(b) 상부면



(c) 정면



(d) 측면

그림 3.1.7 하부 프레임 조립 도면

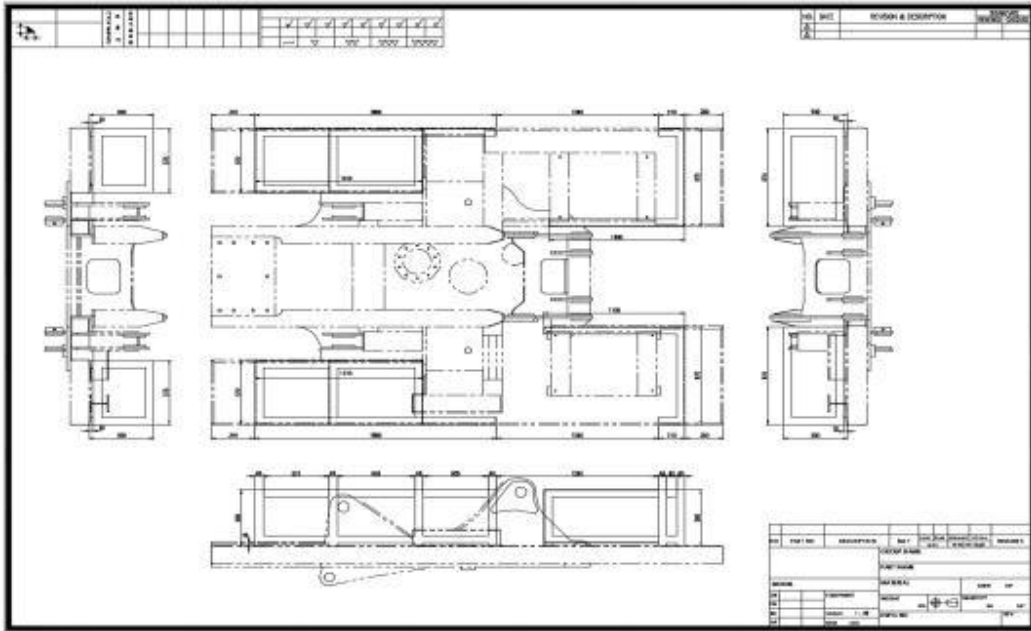


그림 3.1.8 상부 프레임 조립 도면

(2) 상부 플랫폼

- 상부 플랫폼은 상부 메인 프레임, 내압용기 등으로 구성됨.
- 그림 3.1.8은 상부 프레임 조립도면을 나타냄.
- 그림 3.1.8은 3D으로 제작된 상부 메인 프레임 도면을 나타냄. 작업용 툴이 부착될 브라킷, 하부 프레임과 연결되는 스윙부 등이 설계되어 있음.

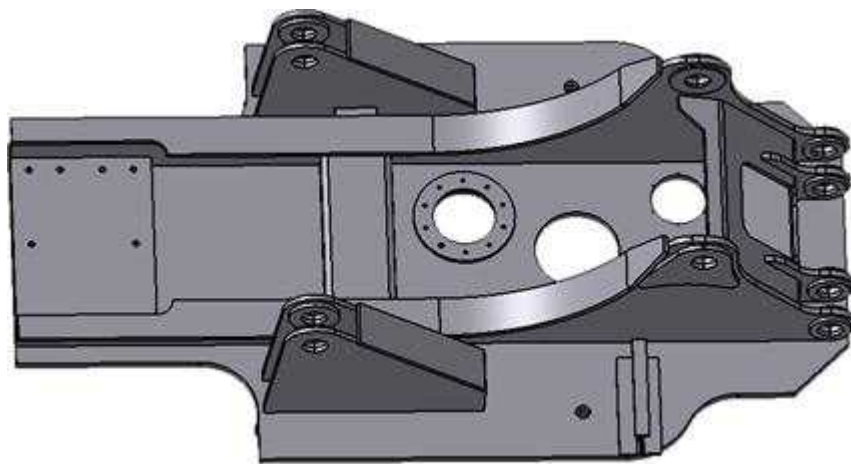


그림 3.1.9 상부 메인 프레임 제작 도면

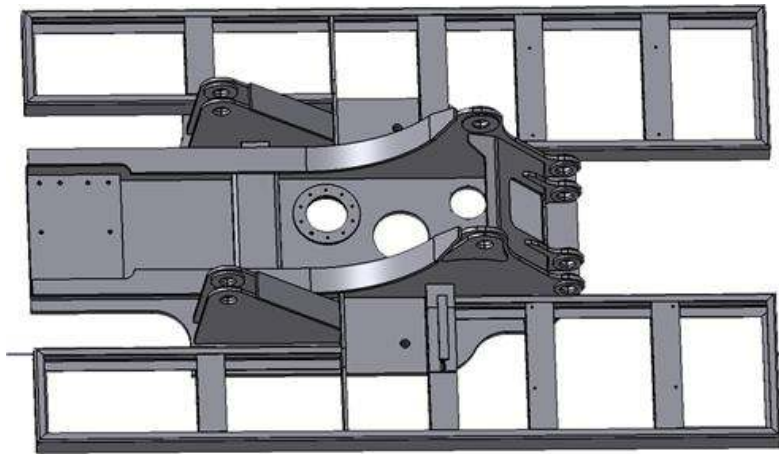


그림 3.1.10 상부 플랫폼 구조물 도면

- 그림 3.1.10은 상부 메인 프레임에 상부 모듈(내압용기 등)을 부착할 수 있도록 구조물을 구성한 도면임.
- 그림 3.1.11은 구조물에 플레이트를 배치하여 완성된 3D 도면을 보이고 있음.

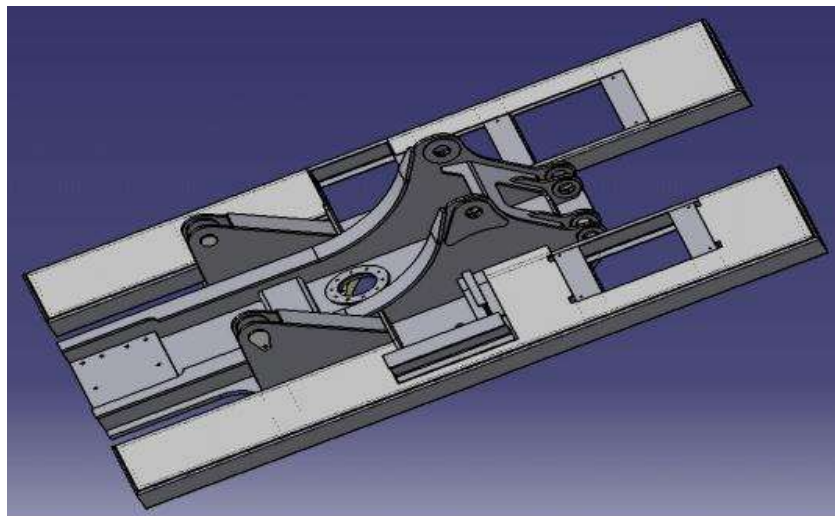


그림 3.1.11 상부 플랫폼 완성 도면

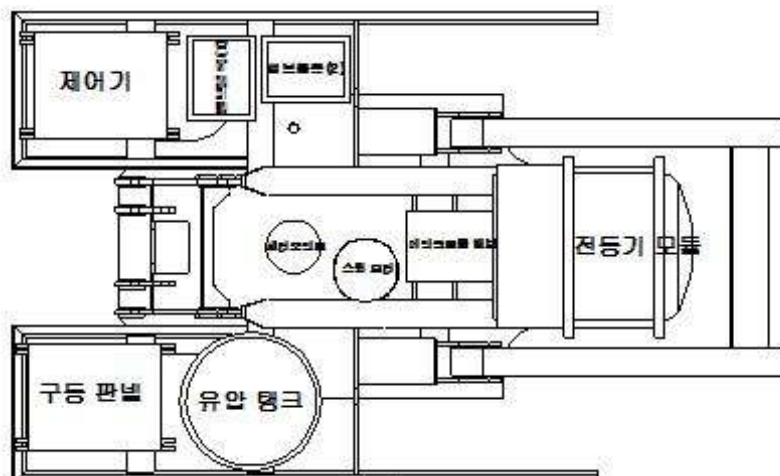


그림 3.1.12 상부 플랫폼 모듈 배치도

- 그림 3.1.12는 상부 플랫폼에 부착될 모듈의 배치도를 보이고 있음.
- 그림 3.1.13 ~ 17은 수중 유압공급 시스템의 전동기, 커플링, 방수케이스에 대한 도면을 차례대로 보이고 있음.

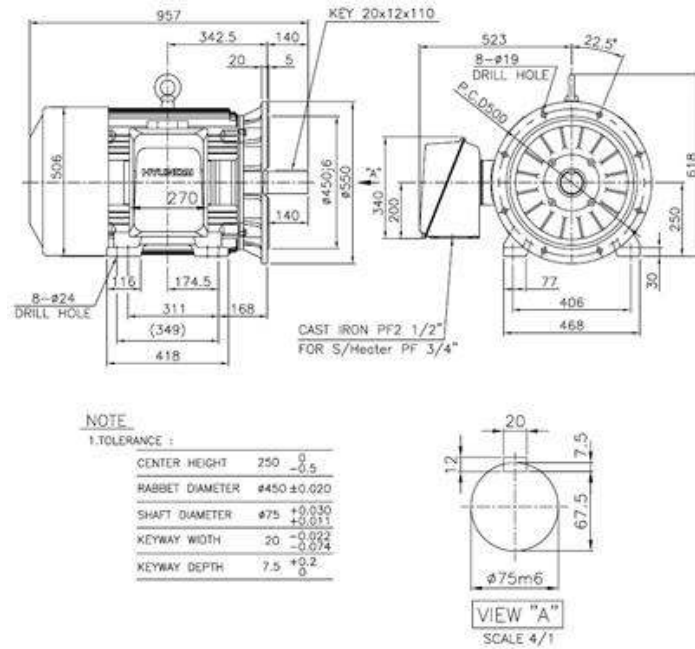


그림 3.1.13 100마력 전동기 외형도

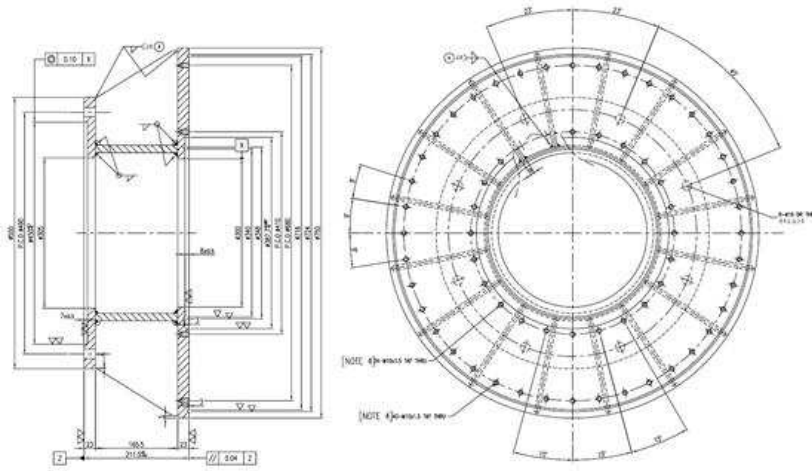


그림 3.1.14 전동기 동력전달 커플링 가공도

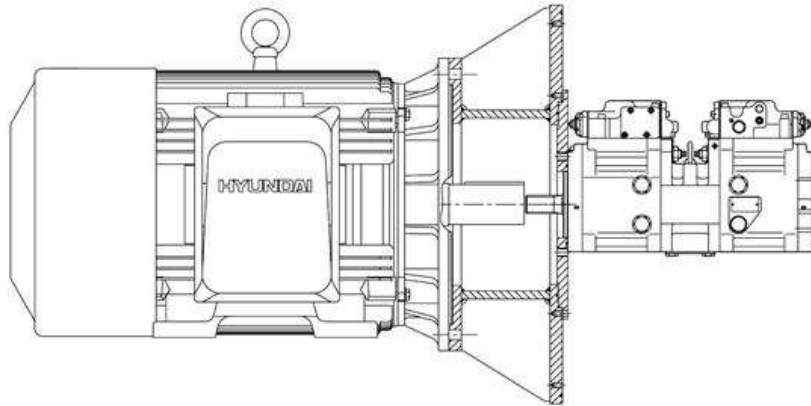


그림 3.1.15 전동기, 커플링, 유압펌프 조립도

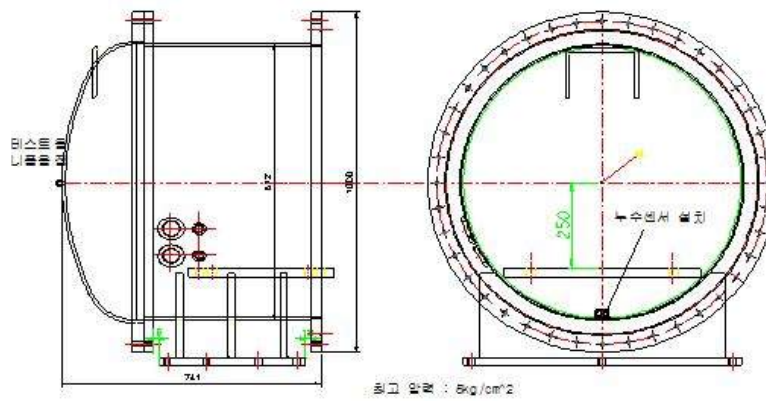


그림 3.1.16 전동기 방수케이스 제작도

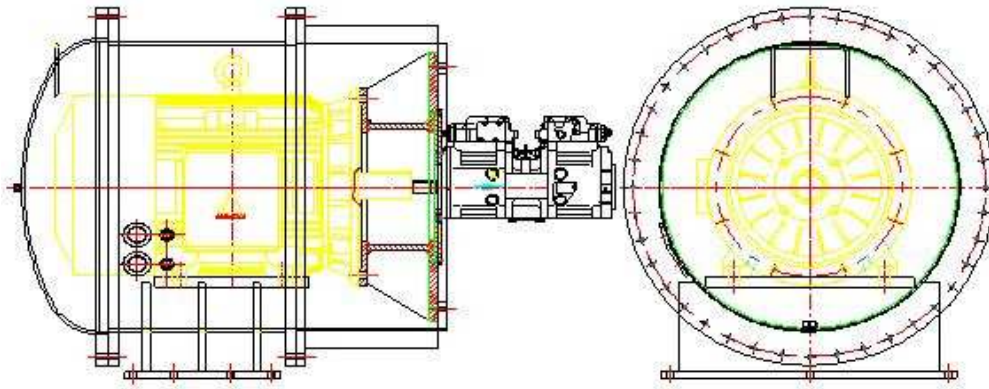


그림 3.1.17 수중 유압공급 시스템 전체 조립도

○ 그림 3.1.18은 작동유 탱크 제작 도면으로 250L 용량으로 제작되었음.

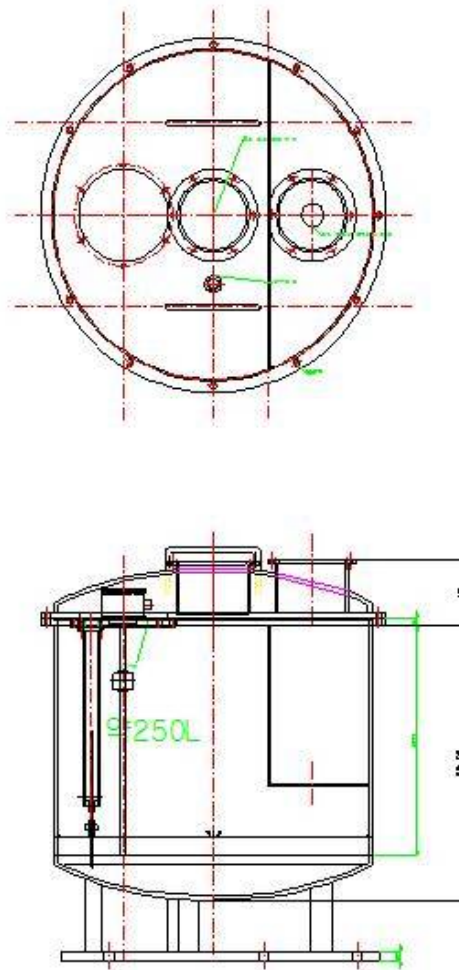


그림 3.1.18 작동유 탱크 제작 도면

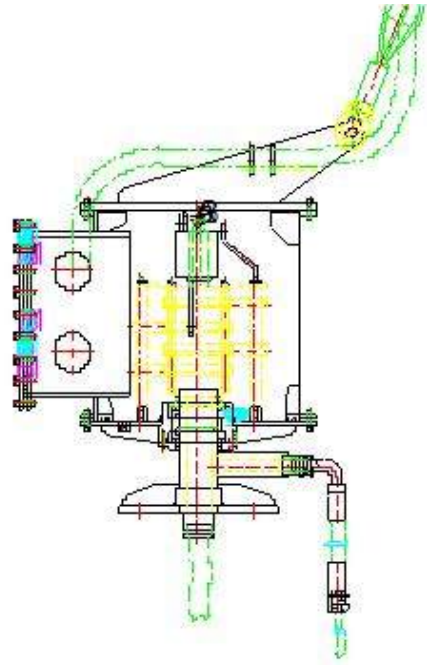


그림 3.1.19 슬립링 방수 케이스 도면

- 그림 3.1.19는 전력, 통신, 영상 케이블의 연결을 위한 슬립링 방수 케이스 도면을 보이고 있음.
- 그림 3.1.20 ~ 23은 제어기 방수 케이스, 구동판넬 방수 케이스, 파일럿 압력제어 밸브 블록, 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브 블록 도면을 보이고 있음.

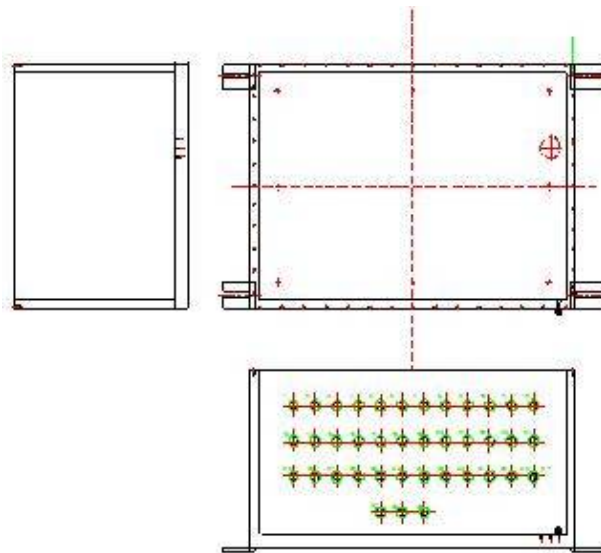


그림 3.1.20 제어기 방수 케이스 도면

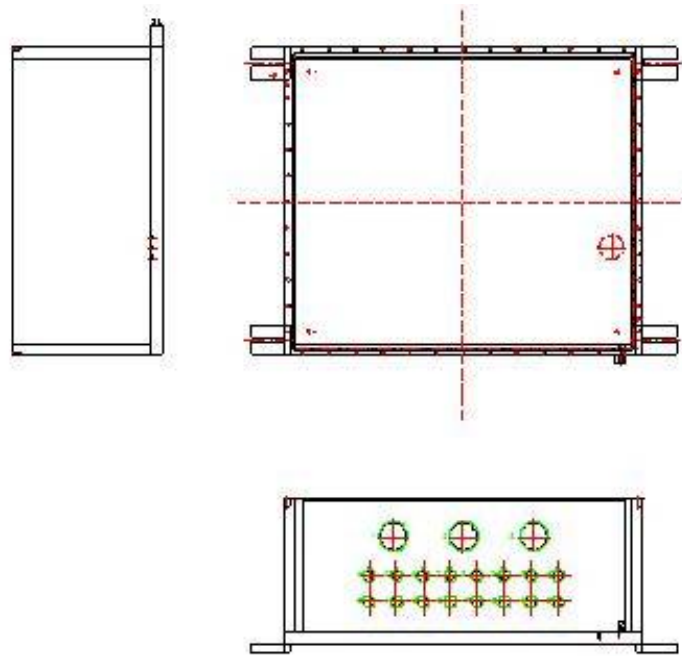


그림 3.1.21 구동판넬 방수 케이스 도면

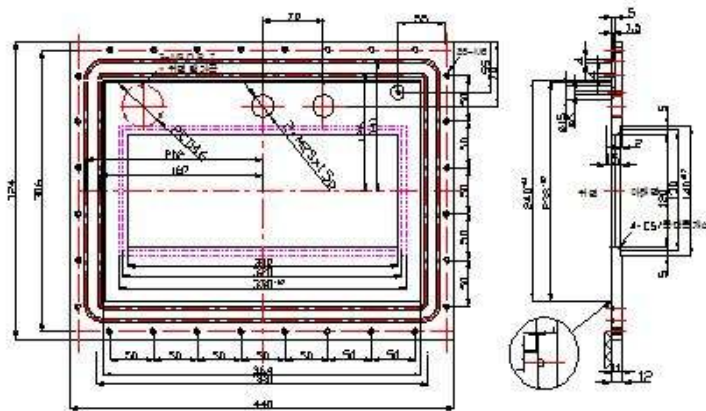


그림 3.1.22 파일럿 압력제어 밸브 블록 도면

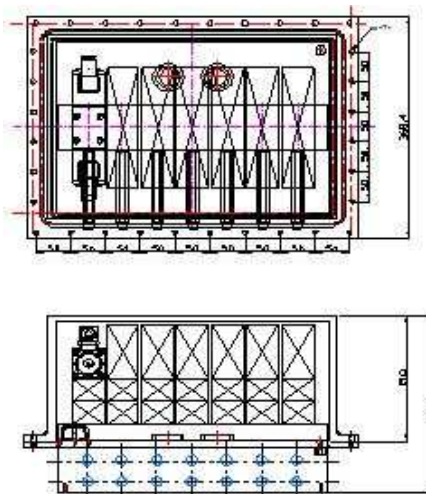


그림 3.1.23 프로포셔널 밸브 및 솔레노이드 밸브 블록 도면

(3) 작업용 툴

- 작업용 툴은 블레이드와 다목적암으로 구분되어 설계제작 됨.
- 그림 3.1.24 ~ 26은 블레이드 제작을 위한 도면으로 프레임, 블레이드, 블레이드 회전부의 도면을 나타내고, 그림 3.1.27은 블레이드 조립도면을 3D로 나타냄.

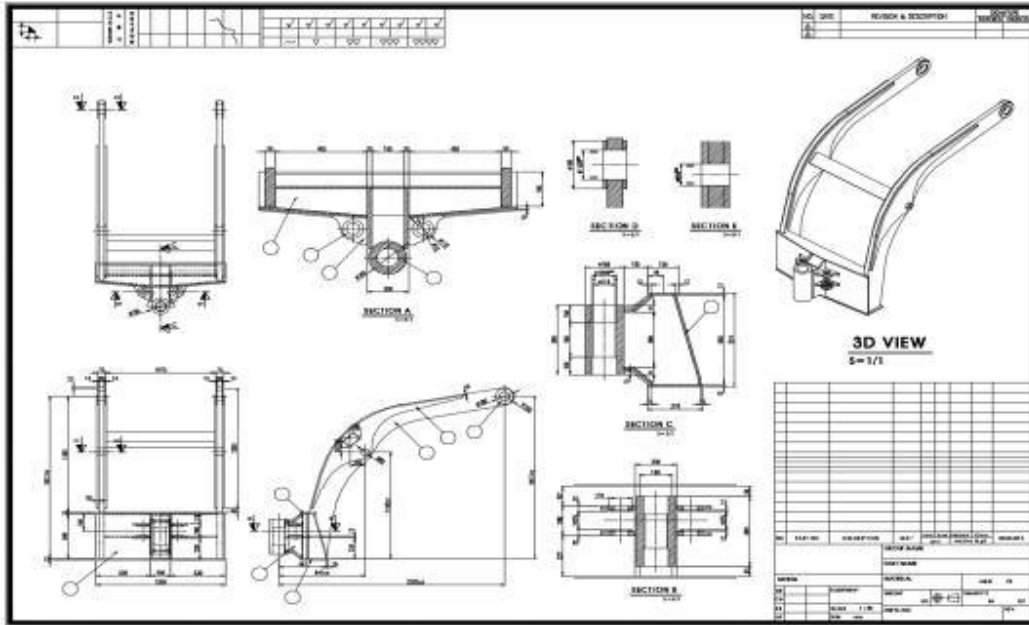


그림 3.1.24 블레이드 프레임 구조물 도면

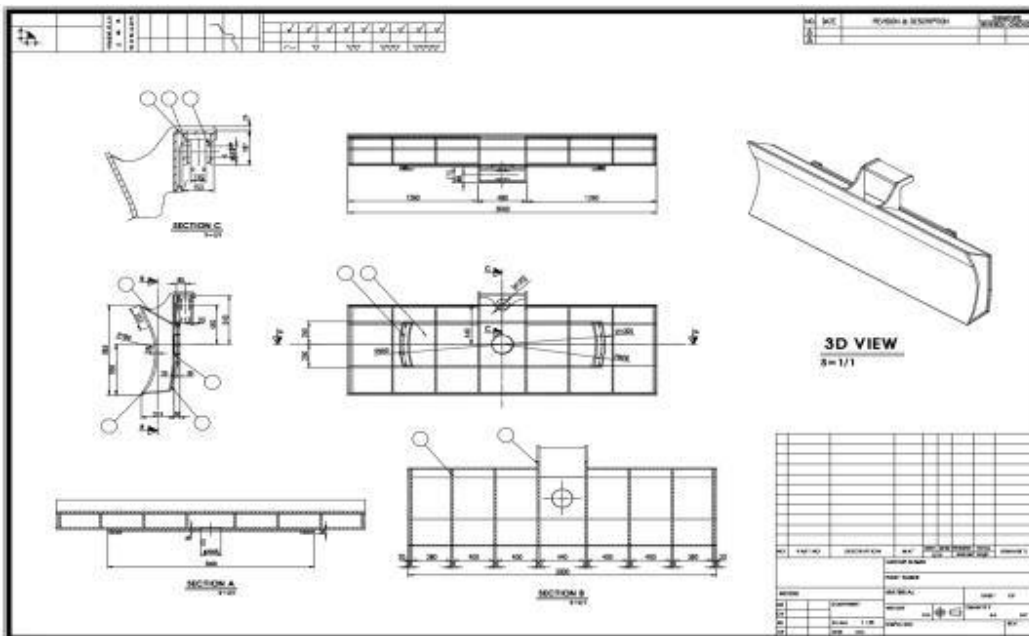


그림 3.1.25 블레이드 구조물 도면

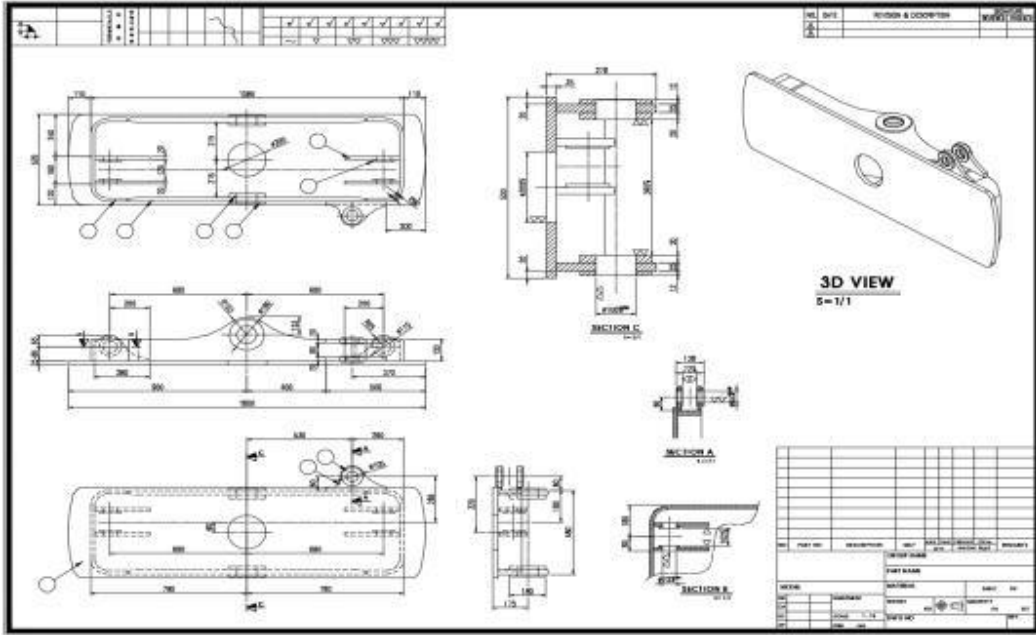


그림 3.1.26 블레이드 회전부 구조물 도면

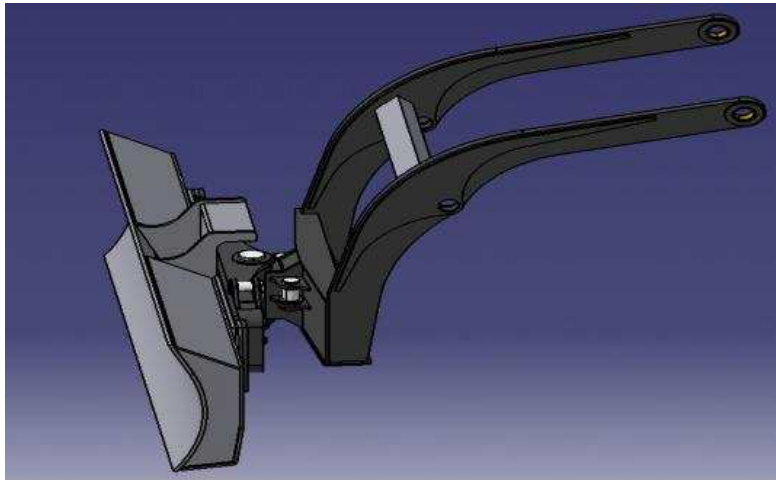


그림 3.1.27 블레이드 조립 도면

○ 그림 3.1.28은 다목적암의 제작도면을, 29는 다목적암의 조립도면을 나타내고 있음.

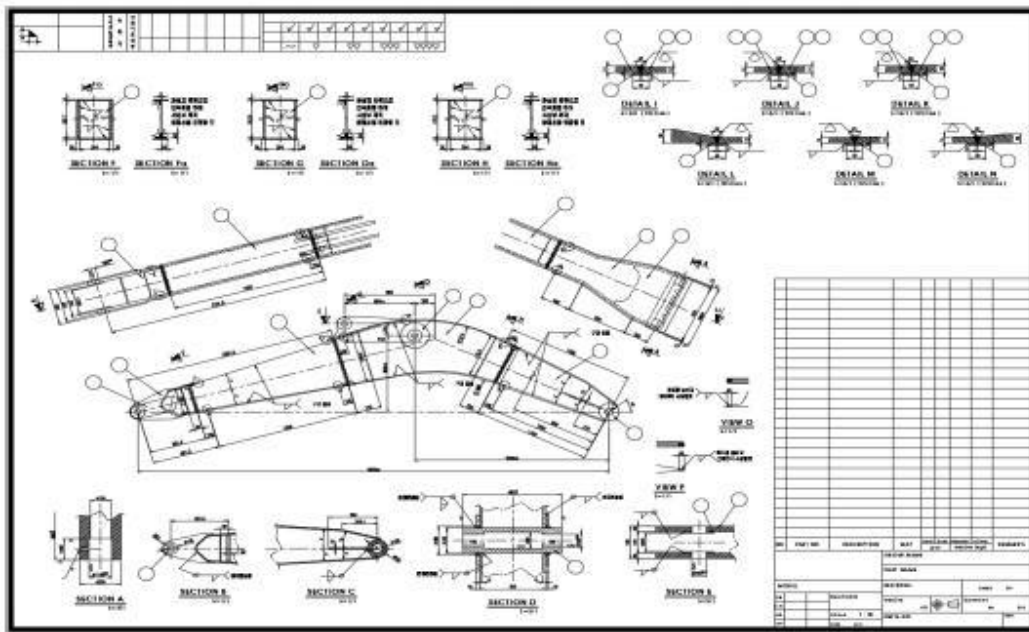


그림 3.1.28 다목적암 제작 도면

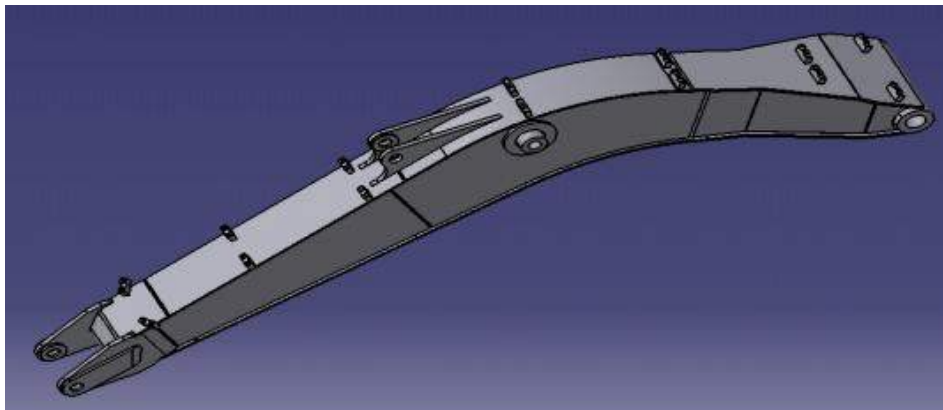


그림 3.1.29 다목적암 조립 도면

- 그림 3.1.30은 장비의 전체 조립도면을 나타내고 있음.

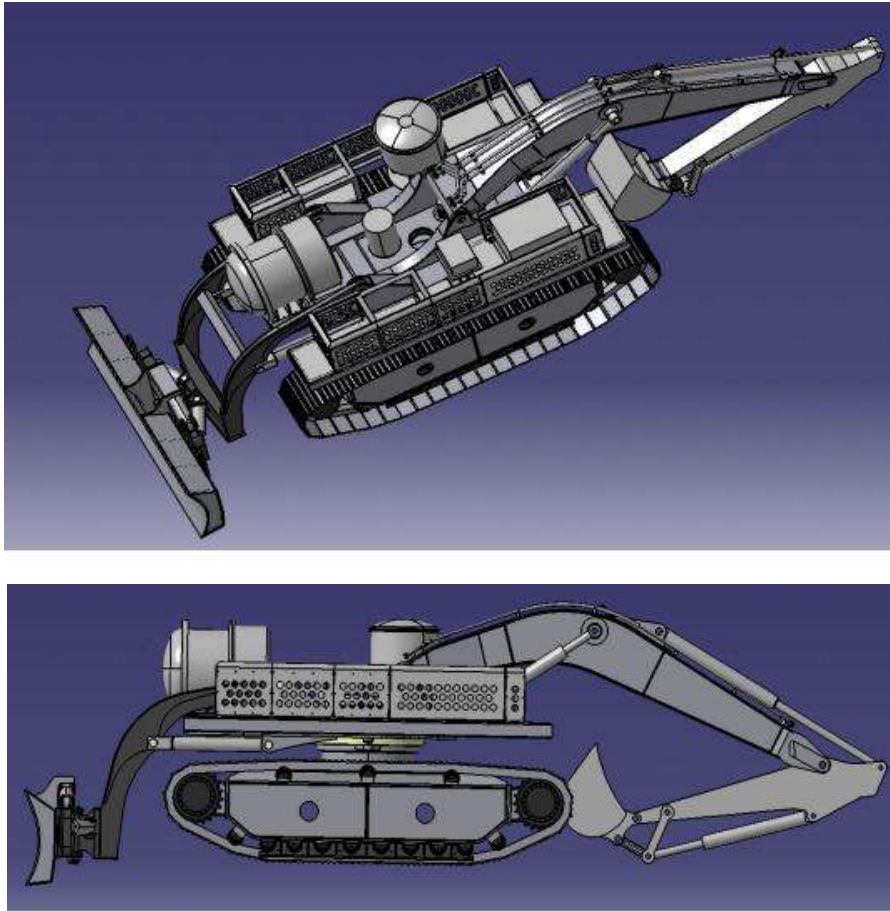


그림 3.1.30 장비 전체 조립 도면

3.1.2 개발 장비의 유압부 도면

- 장비의 유압부는 주행, 선회, 다목적 암, 블레이드부로 크게 구성되며 이를 도면으로 나타내었음.

(1) 주행

- 메인펌프의 P1은 좌트랙, P2는 우트랙의 압력을 공급하며 파일럿 압력제어밸브의 제어 압력에 따라 메인콘트롤 밸브의 좌/우 주행 스펴변위가 가변되어 주행 모터의 속도를 변경시킴. 주행 유압 도면은 그림 3.1.31과 같음.

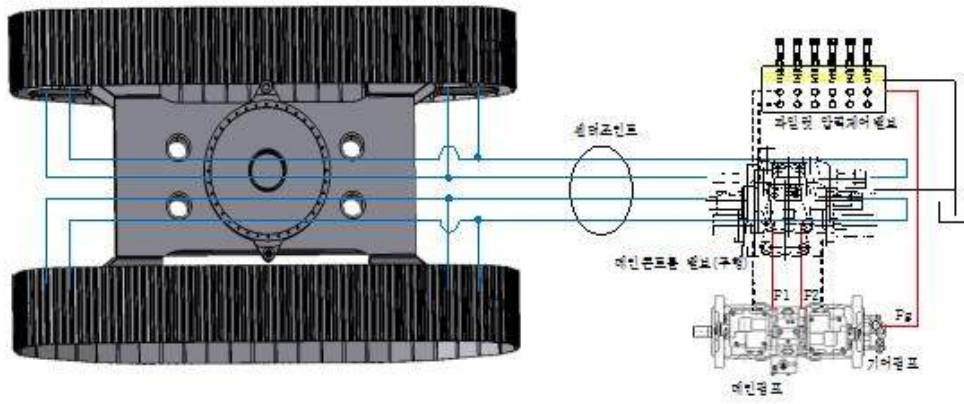


그림 3.1.31 주행 유압 도면

(2) 선회

- 파일럿 압력제어밸브의 제어압력에 따라 메인콘트롤 밸브의 선회 스폴변위가 가변되어 선회 모터의 속도를 변경시킴. 선회 유압 도면은 그림 3.1.32와 같음.

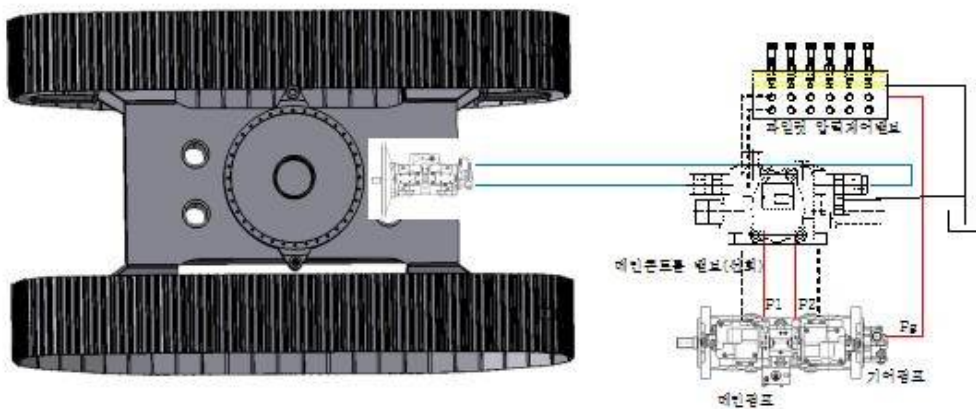


그림 3.1.32 선회 유압 도면

(3) 다목적 압

- 파일럿 압력제어밸브의 제어압력에 따라 메인컨트롤 밸브의 붐/암/버킷 스폴변위가 가변되어 실린더의 속도를 변경시킴. 다목적 압 유압 도면은 그림 3.1.33과 같음.

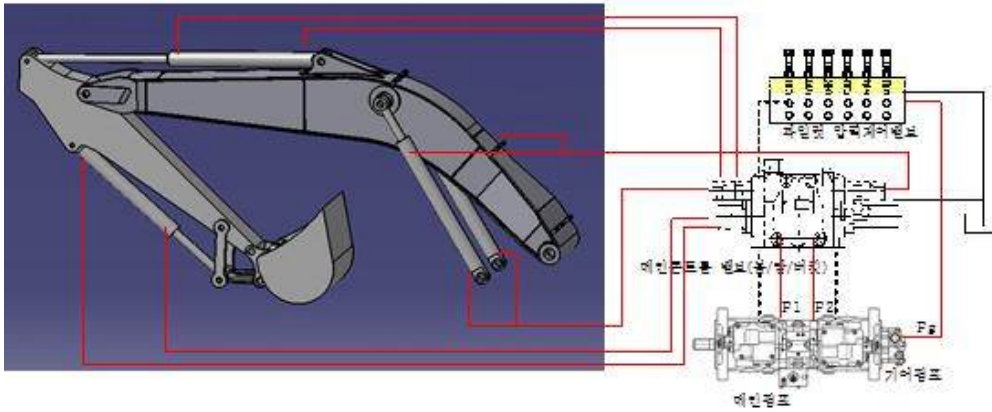


그림 3.1.33 다목적 압 유압 도면

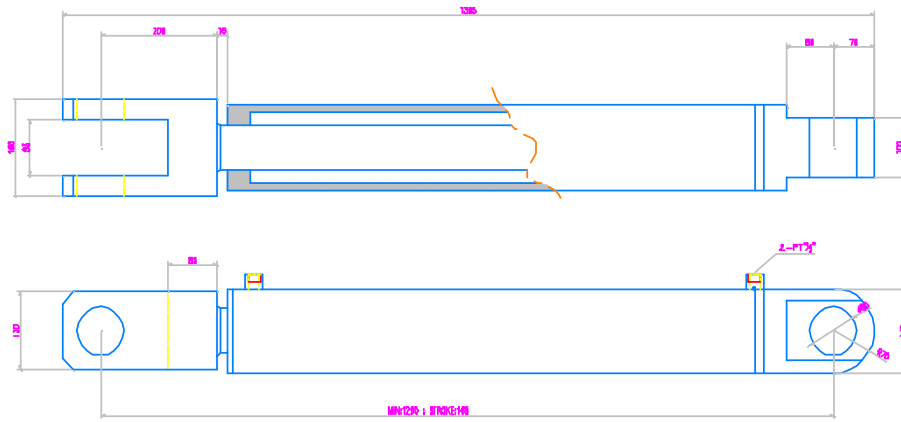
(4) 블레이드부

- 블레이드부는 3축 운동을 하며 3종류의 유압 실린더로 구동됨. 각 실린더의 설계 치수는 표 3.1.1과 같으며 실린더 (a)는 상하 운동, 실린더 (b)는 앞뒤 틸팅 운동, 실린더 (c)는 상하 틸팅 운동을 생성함.

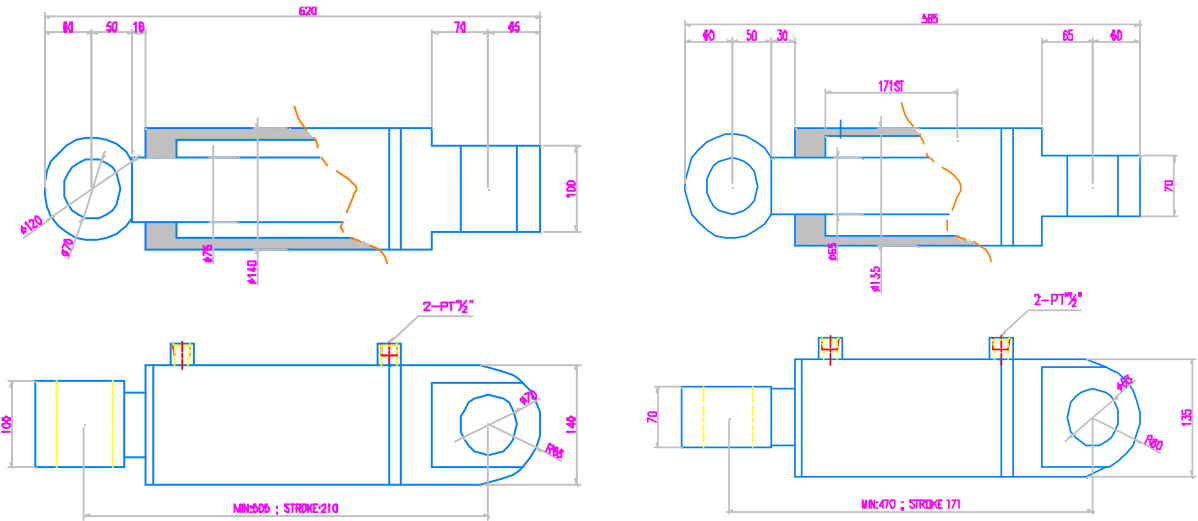
표 3.1.1 실린더 설계 치수

사양	실린더 (a)	실린더 (b)	실린더 (c)
Stroke (mm)	330	210	171
Min. length (mm)	1250	505	470
Bore size (mm)	Φ 110	Φ 110	Φ 110
Tube size (mm)	Φ 140	Φ 140	Φ 140
Proof test Pressure (kgf/cm ²)	400	400	400
Operation Pressure (kgf/cm ²)	320	320	320
Min. operation Pressure (kgf/cm ²)	3	3	3
Pin size (mm)	Φ 80	Φ 70	Φ 70

○ 각 실린더의 도면은 그림 3.1.34, 유압 도면은 그림 3.1.35와 같음.



실린더 (a)



실린더 (b)

실린더 (c)

그림 3.1.34 블레이드부 유압 실린더 도면

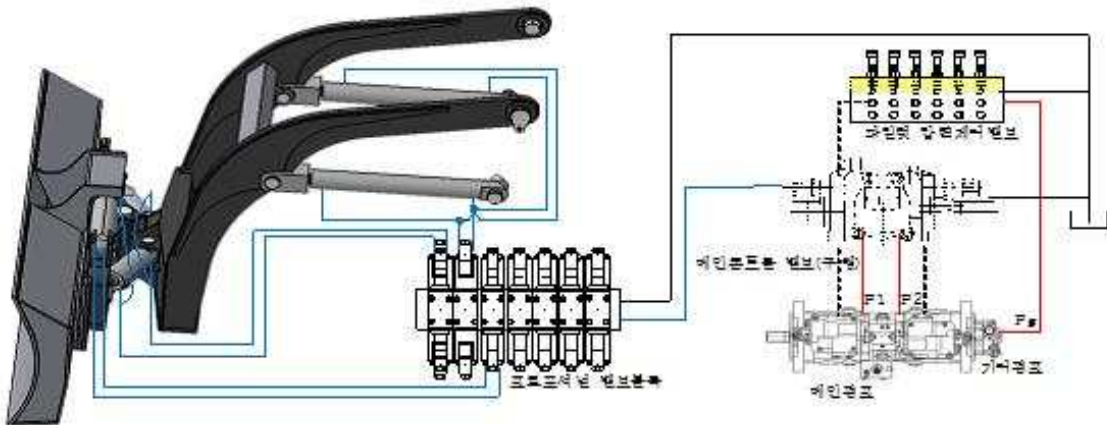


그림 3.1.35 블레이드부 유압 도면

3.1.3 개발 장비의 전기부 도면

- 전기부 도면은 주제어기, 전력부, 장치부 및 통신부로 구성됨.

(1) 주제어기

- 그림 3.1.36-41은 주제어기의 프로세서부, ADC, DAC, DI, DO 및 통신회로도를 나타냄.

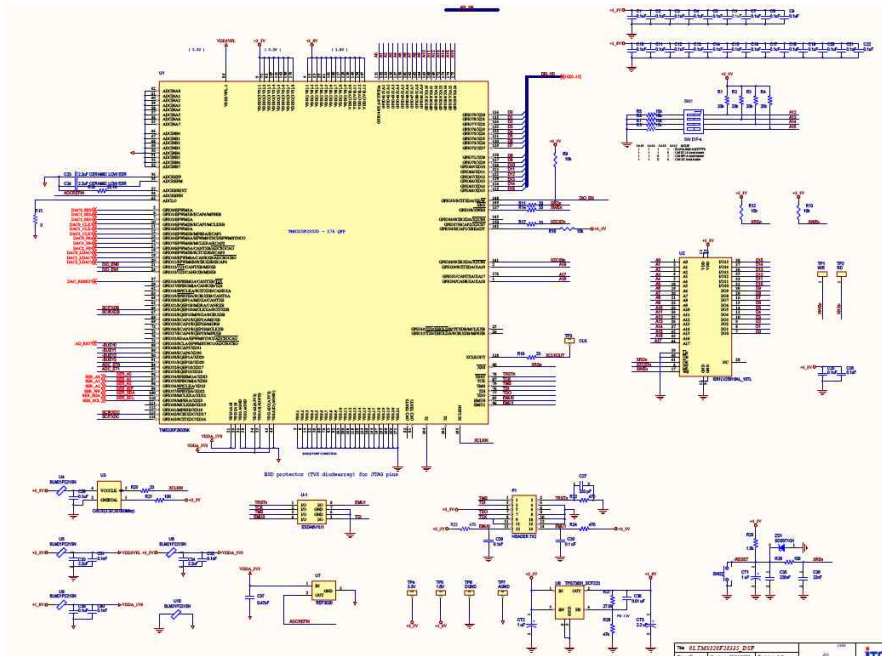


그림 3.1.36 프로세서부 회로

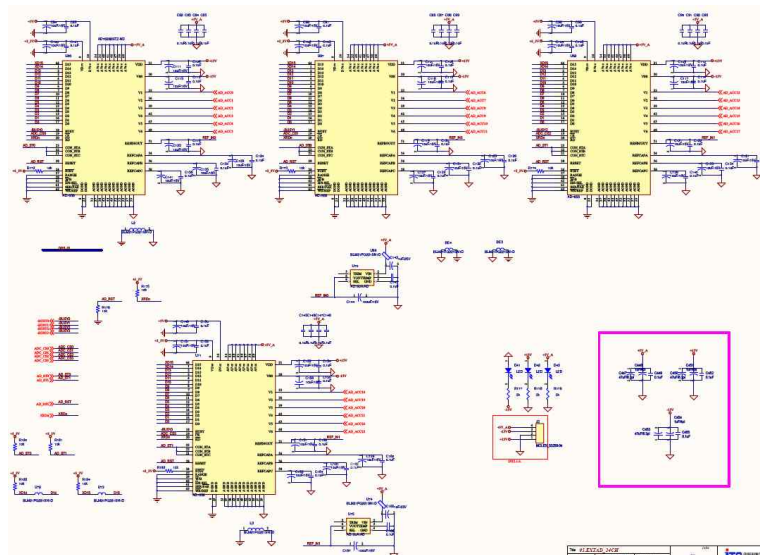


그림 3.1.37 ADC 회로

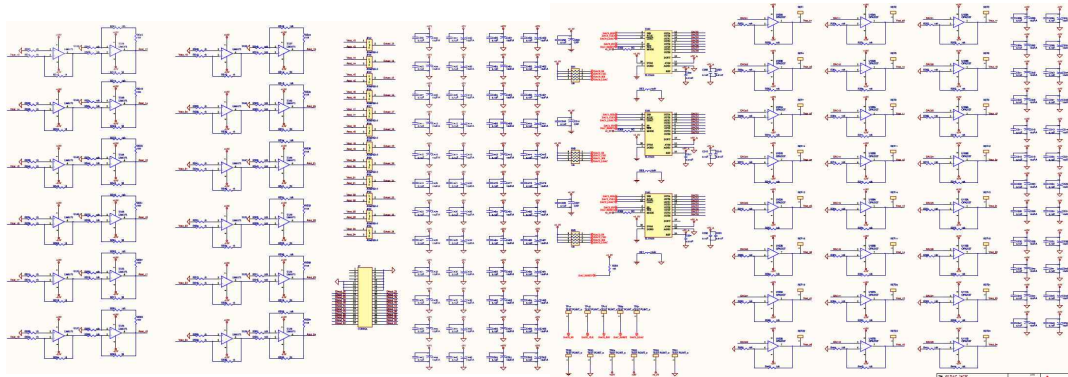


그림 3.1.38 DAC 회로

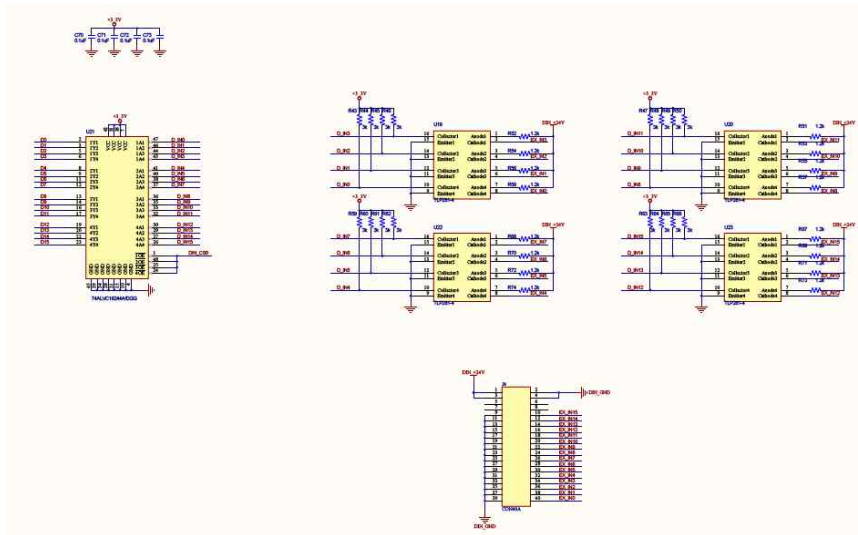


그림 3.1.39 DI 회로

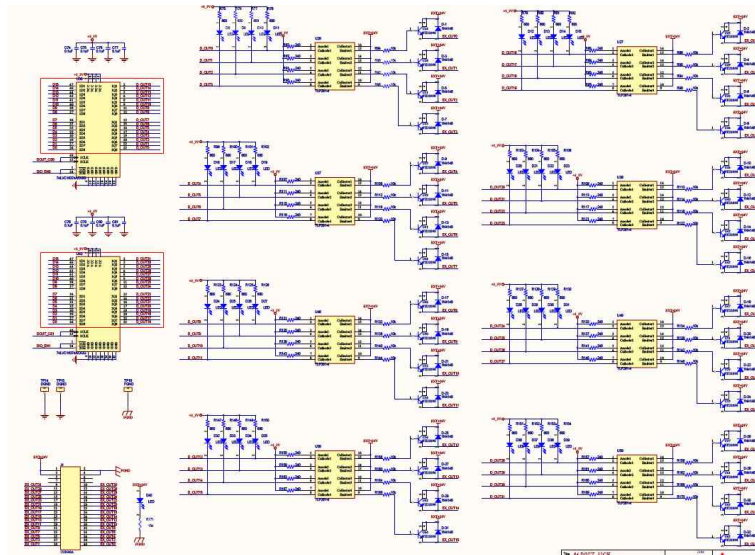


그림 3.1.40 DO 회로

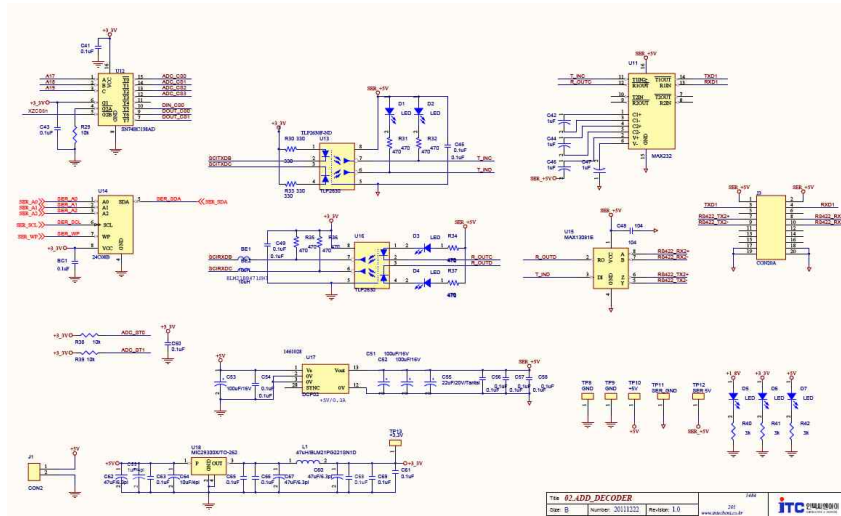


그림 3.141 통신 회로

(2) 전력부

- 전력부는 장비의 메인 전원을 공급하기 위한 것으로 그림 3.142는 발전기의 외형 도면을 나타냄. 그림 3.143은 발전기의 전력 계통도를 나타냄.

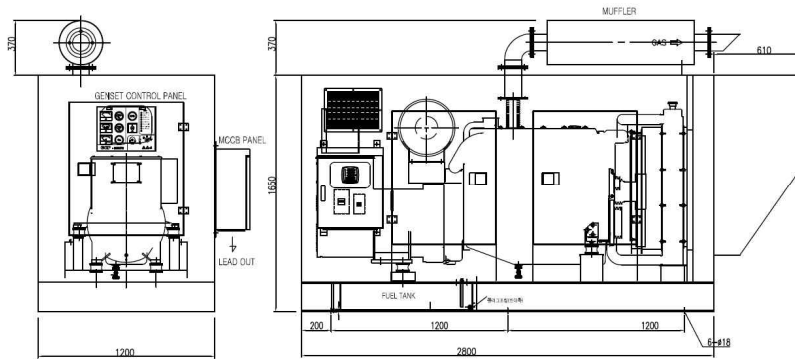


그림 3.142 발전기 외형도

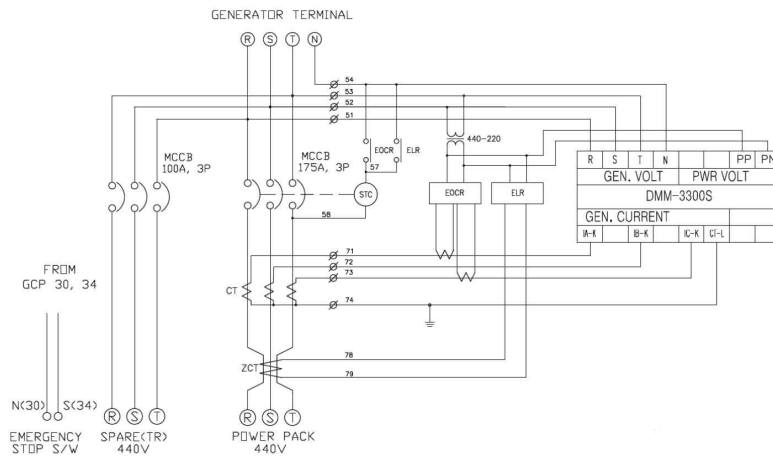


그림 3.143 발전기 전력 계통도

(3) 장치부

- 액추에이터의 길이측정을 위한 MTS 센서의 전기 도면은 그림 3.1.44와 같음.
- 온/습도, 압력 및 유위 측정을 위한 ADC부 도면은 그림 3.1.45와 같음.

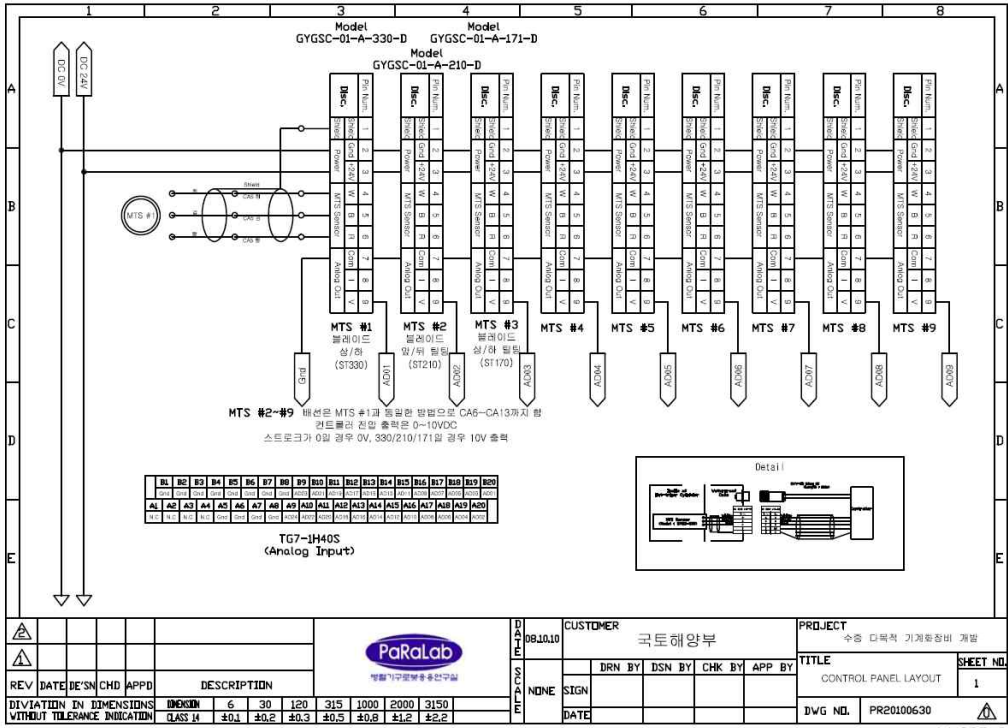


그림 3.1.44 MTS 전기 도면

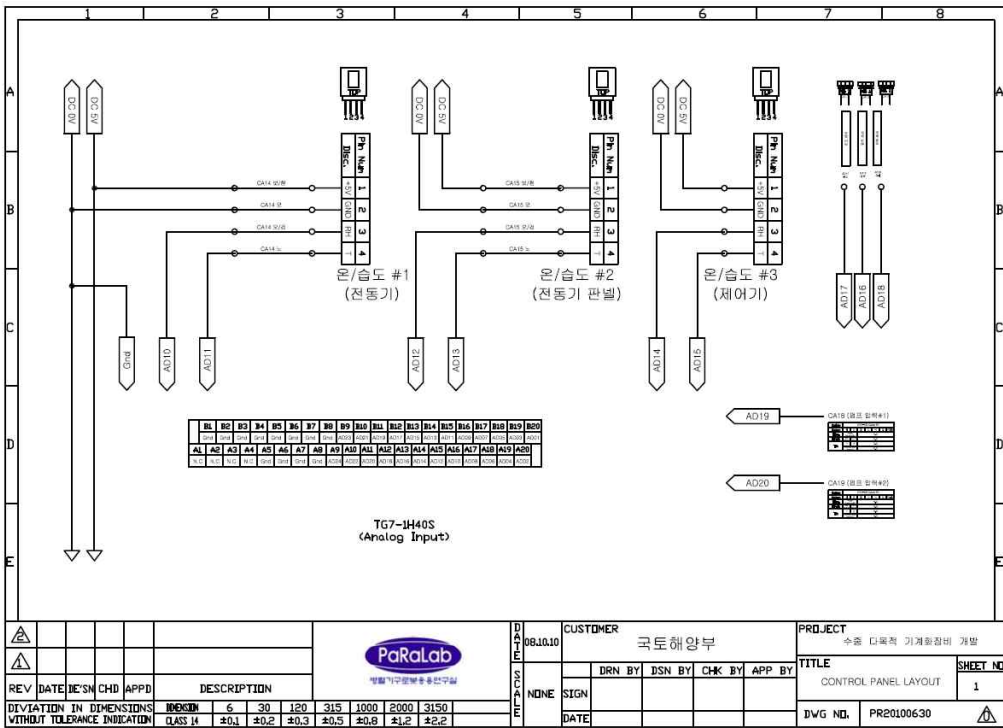


그림 3.1.45 기타 AD부 전기 도면

- 프로포셔널 밸브 구동을 위한 전압 출력부 전기 도면은 그림 3.1.46과 같음.
- 파일럿 밸브 구동을 위한 전류 출력부 전기 도면은 그림 3.1.47과 같음.

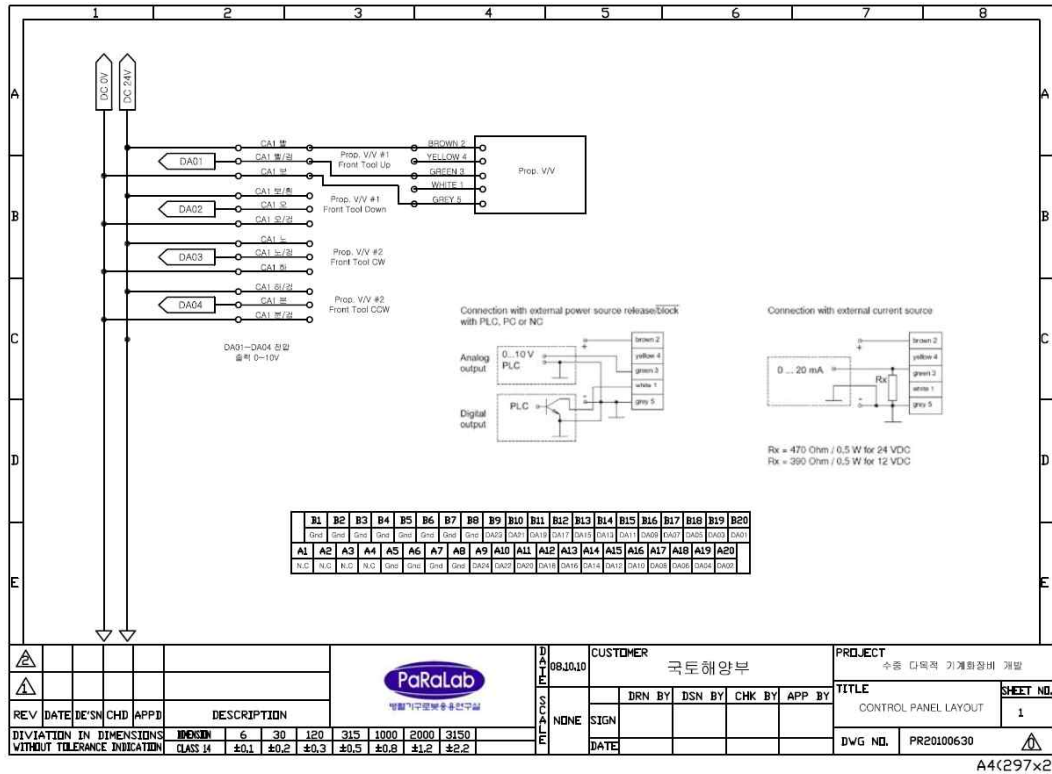


그림 3.1.46 프로포셔널 V/V 전기 도면

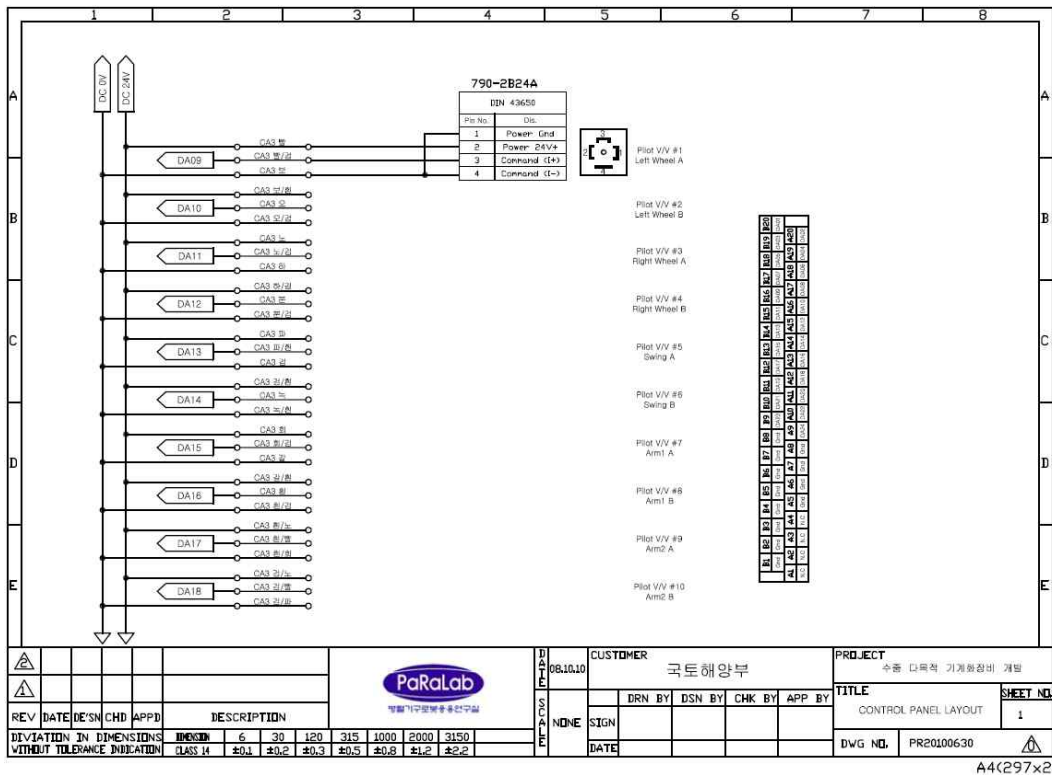


그림 3.1.47 파일럿 V/V 전기 도면

- 누수센서 감지를 위한 디지털 입력부 전기 도면은 그림 3.1.48과 같음.
- 솔레노이드 밸브 구동 및 라이트 On/Off를 위한 디지털 출력부 전기 도면은 그림 3.1.49와 같음.

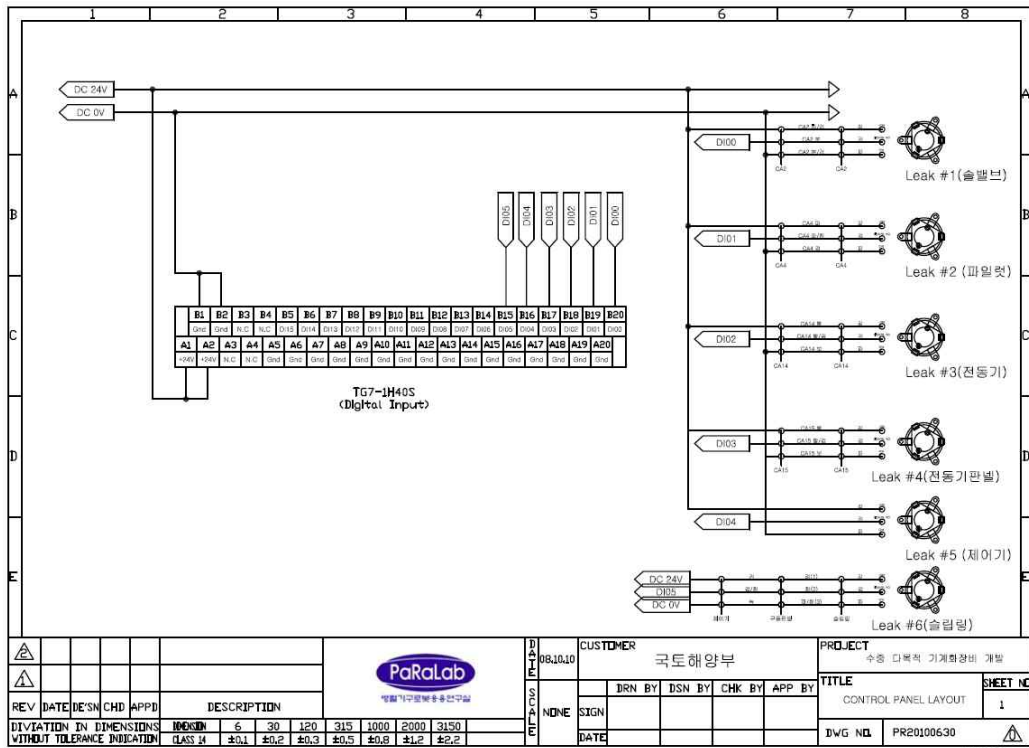


그림 3.1.48 누수센서부 전기 도면

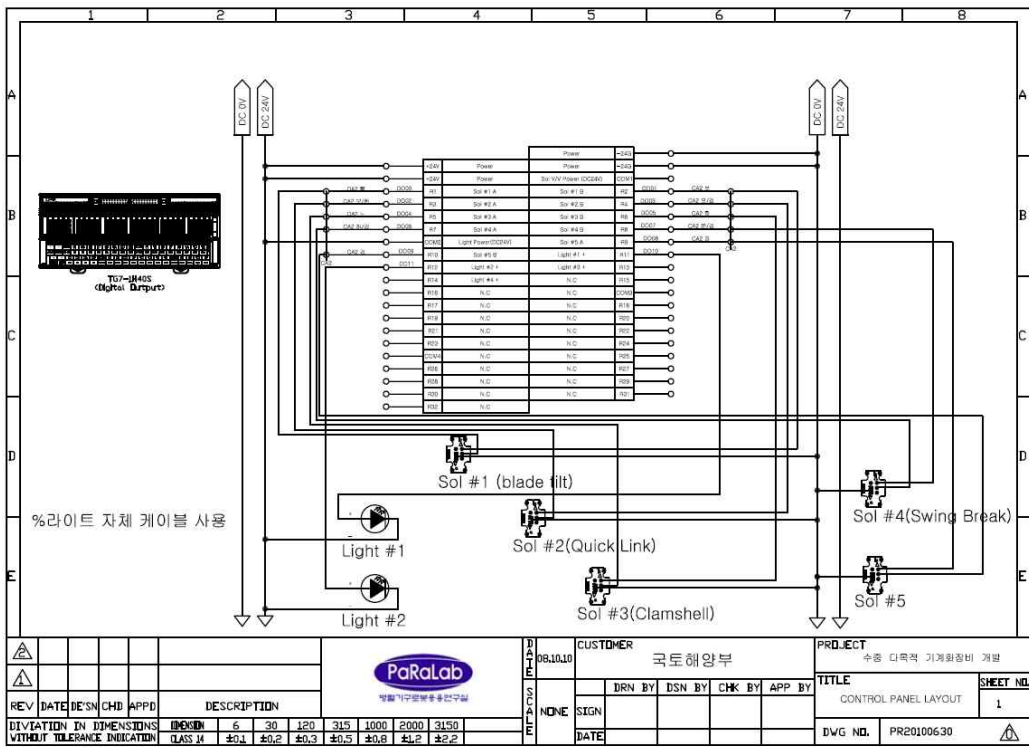


그림 3.1.49 솔레노이드 V/V 및 조명부 전기 도면

(4) 통신부

- 운영실과 고르기 장비와의 통신 계통도는 그림 3.1.50과 같음.

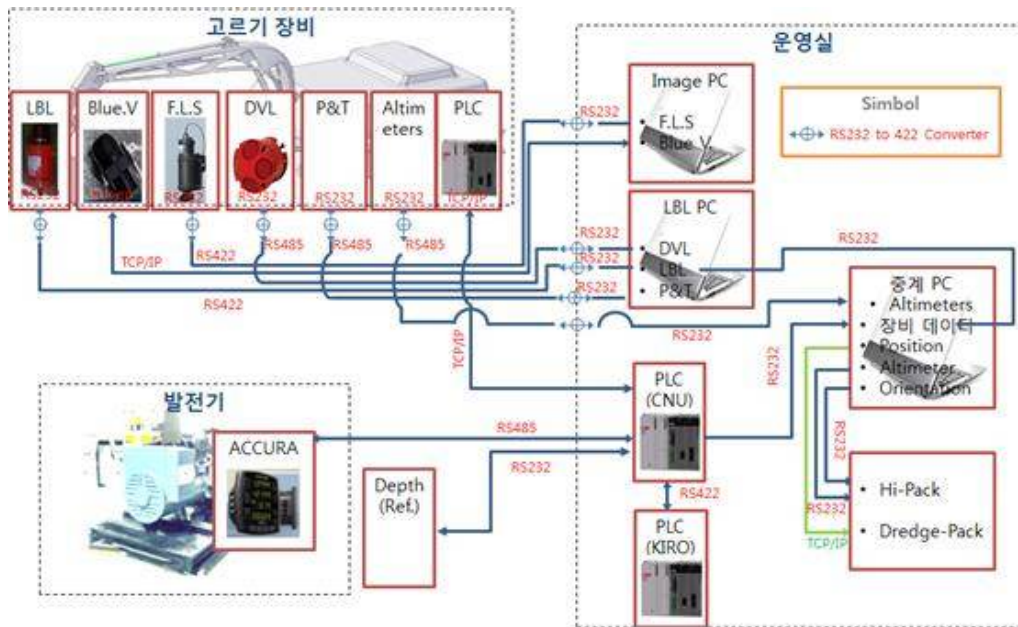


그림 3.1.50 통신 계통도

3.2 장비 운용 및 유지보수 매뉴얼 작성

- 장비 운용 매뉴얼은 별첨 2, 장비 유지보수 매뉴얼은 별첨 3 에 첨부하였음.

3.3 개발 장비의 개선방향

- 본 연구를 통해 수중 사석고르기 장비를 개발하였으며, 개발과정에서 6회의 육상 및 천해 실험과 2회의 현장검증 실험을 수행하여 장비의 성능을 검증하였음. 이 과정을 통해 성과 목표는 이미 검증되었음.
- 개발장비의 실용화, 상용화를 위해 당해연도에 전문가 자문회의(2014년 4월 14일)를 개최하였고, 기술이전을 위해 (주)KT서브마린, (주)희송지오테크, FM전기유압과 수차례의 협의를 진행하고 있음. 이 과정을 통해 장비의 개선방향은 주로 시장확보를 위한 적용분야에 있으며 거론된 적용분야는 아래와 같음.
 - 운배수로 청소작업
 - 수중 암파쇄 작업
 - 파쇄암 정리 및 수거 작업
 - 수중 청소 작업
 - 30m 이상의 작업환경에 대응할 수 있을 것
- 거론된 적용분야의 대부분은 다목적 암에 Add-on 형태로 작업 툴을 부착하는 형태이며, 이의 운용을 위한 기구부, 유압부의 일부 개선이 필요할 수 있음. 본 과제에서 버킷, 크람셸 툴을 Add-on 형태로 개발한 것과 같이 향후 접목이 가능할 것으로 판단됨.

- 적용 수심에 있어 현재는 수중 30m까지 적용 가능하도록 개발되었으나, 시장의 요구에 대응하기 위해 수밀부를 개선하여 수중 100m이내 까지는 적용가능할 것으로 판단됨.

4. 수중환경 내 정밀위치 표시 기능 수정 개발

4.1 수중 고르기 장비의 수중정밀 항법 알고리즘 고도화

(1) 트랜스폰더 위치 캘리브레이션 기법 개발

본 연구에서는 수중 위치 추적 정밀도의 향상을 위하여 트랜스폰더의 위치를 캘리브레이션 하는 기법을 개발하였다. 기존의 Box-In 방법은 모선의 DGPS를 기록하면서 해저에 고정된 트랜스폰더와 선상의 트랜시버 사이의 거리를 연속적으로 계측 및 저장하여 최소 자승법으로 오차가 최소가 되는 트랜스폰더의 위치를 추정하는 방법인데, DGPS의 오차가 상당하고 선박의 운동 역시 오차 요인으로 작용하기 때문에 요즘에는 미리 RTK-GPS를 사용하여 멀티빔 소나로 계측한 해저 지형의 특징점을 매칭 시키는 연구가 활발하게 수행되고 있다. 유사한 연구로 스탠포드 대학의 Jose Padiol의 연구가 있다.

본 연구에서는 멀티빔 소나를 사용하여 계측한 해저지형과 스캐닝 소나를 사용하여 생성된 이미지의 특징점을 비교 함으로써 트랜스폰더의 위치를 특정하였다.

그림 4.1.1은 RTK-GPS와 고정밀 자이로, 멀티빔 소나를 이용하여 생성한 해저지형도와 수중 고르기 장비에 탑재되어 주변을 인지하는 스캐닝 소나의 영상을 비교하고 동일 특징점을 찾아내는 과정을 나타낸 예제이다. 위 그림과 같이 동일한 특징점과의 상대 거리 방위각을 이용하면 현재 수중 고르기 장비의 위치를 추정해주는 기준점이 되는 트랜스폰더의 위치 오차를 제거하여 수중 위치 추적 정확도를 향상 시킬 수 있다.

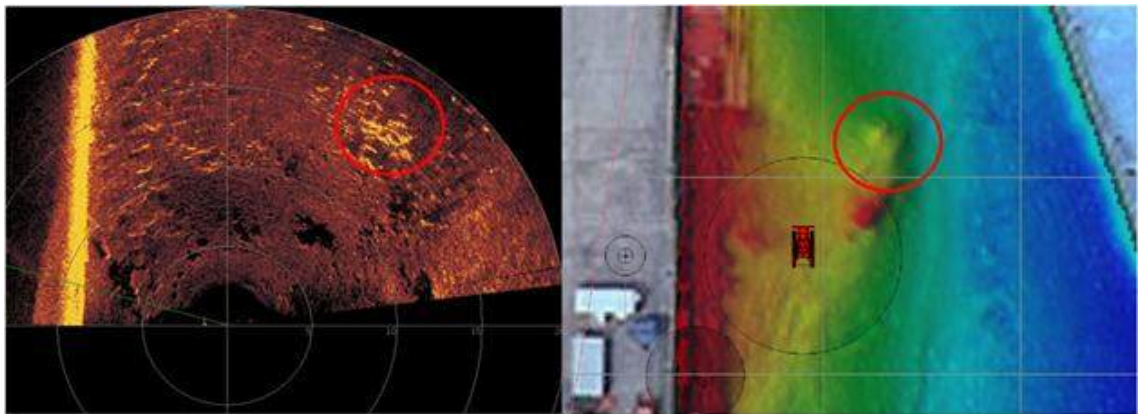


그림 4.1.1 스캐닝 소나 이미지와 3차원 해저지형도의 동일한 특징점 비교 예

(2) 음속도 보정 알고리즘 추가

본 연구에서는 또한 천해용 수중 위치추적 장비의 추적 정밀도를 향상시키기 위하여 음속도 보정 알고리즘을 추가하였다. Sonar 장비는 기본적으로 음속과 시간 차이를 이용하여 거리를 계측하는데 음속에 오차가 있으면 작은 양이기는 하지만 계측되는 거리에 있어서도 오차가 있으므로 이를 보정하기 위한 알고리즘을 추가 하였다. 상용 LBL 장비의 내부 알고리즘을 바꿀 수는 없으므로 개발한 소프트웨어 알고리즘에서 다음과 같이 음속도 보정을 수행하였다. 이때 음속도의 계측은 음속 계측 센서를 사용하면 되는데 본 연구에서는 수중 고르기 장비에 탑재된 DVL 센서의 음속 계측치를 사용하였다. 음속 센서가 없을 경우에는 음속에 영향을 미치는 온도, 염분도, 압력값을 가지고 추정하면 된다. 여기서 주요 변인은 해수의 온도가 된다.

$$r_n : r = V_n : V \quad (1)$$

여기서 r_n , r 은 각각 보정된 거리와 음속도 보정 전(1,500m/s 기준)의 거리이고 V_n , V 는 각각 계측된 정확한 음속도와 단순 추정치인 1,500m/s의 기준 음속이다.

위의 식(1)을 통하여 계산된 새로운 계측 거리는 수중체의 위치 추적 정밀도를 좀더 정밀하게 향상 시킬 수 있다.

(3) 과도한 자속 외란 내에서 선수각 추정을 위한 FOG 센서 도입

본 연구에서는 4차년도에 이미 DVL을 탑재하여 수중 정밀항법을 구현하고자 하였는데 강구조물로 이루어져 자성이 강한 수중 고르기 장비의 특성상 자속 외란이 심각하였다. 때문에 장비에 가깝게 부착된 DVL 센서에 정렬되어 있는 자세센서의 선수각 값이 장비가 어떤 선수각을 가질 때에도 항상 정북 방향을 가지는 문제를 가지고 있어 다중센서융합 기반 수중정밀항법을 구현하지 못했다.

본 연구는 5차년도 연구로 해당 문제를 극복하고자 센서의 감도가 뛰어나서 지구 회전축의 각속도를 감지하여 진북을 추정하는 고정밀 FOG 센서를 임차하여 도입함으로써 해당 문제를 극복하였다.

그림 4.1.2의 PHINS는 수중 위치의 보정이 이루어질 경우 0.02Deg의 선수각 정확도와 0.01Deg의 종동요각, 횡동요각 정밀도를 가지고 있으며 Heave 정밀도는 2.5cm 정도이다. 하지만 센서의 가격이 1억 5천만원 정도로 아주 고가라서 임차 형태로 사용해야 한다는 제한점을 가지고 있다.

따라서 전용 솔루션을 위해서는 저가의 FOG 솔루션을 사용하여 유사한 성능을 보이는 것과 관련된 추가 연구가 필수적인 실정이다.



그림 4.1.2 PHINS INS

(4) LBL, FOG, DVL을 이용한 수중정밀 항법 알고리즘 개발

본 연구에서는 5차년도에 강한 자속 외란 하에서 FOG를 사용하여 선수각 추정 문제를 해결한 후 천해용 LBL 응용 위치추적 솔루션과 DVL 센서 융합 알고리즘을 구현하였다.

그림 4.1.3은 본 연구에서 개발한 천해용 수중 위치추적 프로그램의 실행화면으로서 본 프로그램은 항법 좌표계 내의 트랜스 폰더의 위치를 입력하면 계측 range 두 개의 값을 이용하여 현재의 수중 고르기 장비의 절대 위치를 계측할 수 있는 프로그램이다. 본 프로그램은 UTM 좌표계와 TM 좌표계를 선택적으로 사용할 수 있으며, 선상 제어실 내의 서버와 Hypack 운용부와 연동하여 수중 고르기 장비의 수중 절대 위치를 공급하는 아주 중요한 역할을 하는 프로그램이다.

수중 고르기 장비가 작업할 때 나오는 굉음에 가까운 소음으로 인해 초음파 기반 센서가 소리를 듣지 못해 Black Out이 되는 문제가 발생하는데 이를 보완하기 위하여 DVL 융합 항법의 지원이 요구되었다.

그림 4는 DVL-FOG 연동 다중센서융합기반 수중정밀항법 프로그램의 스크린 샷이다. 본 프로그램은 DVL 센서의 모든 계측치와 FOG의 자세값을 실시간으로 수신 할 수 있으며 본 연구를 통하여 개발된 수중정밀항법 프로그램의 연산을 수행할 수 있는 프로그램이다. DVL과 FOG 센서 계측치는 5Hz의 주기로 저장과 획득이 되며, LBL 센서 계산치는 계산이 될 때마다 바로 업데이트 되도록 되어 있는 구조를 가지고 있다.

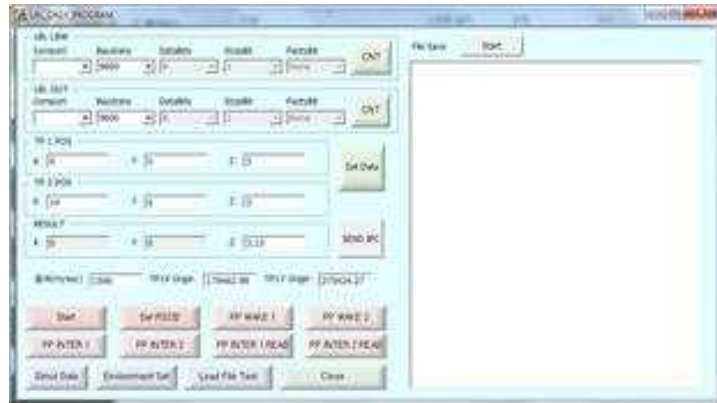


그림 4.1.3 천해용 수중 위치추적 프로그램 (LBL 단독 운영 가능)

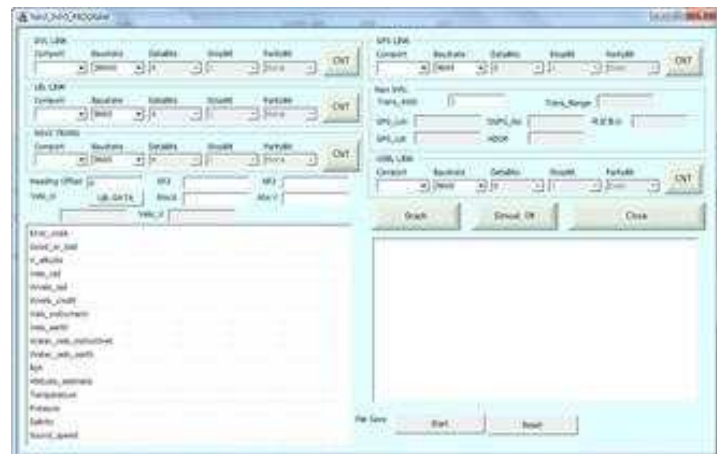


그림 4.1.4 DVL-FOG 연동 다중센서융합 프로그램

4.2 사석현장 검증 실험 시 수중정밀항법

그림 4.2.1과 4.2.2는 각각 UTM 좌표계에서 본 과제에서 개발한 천해용 LBL 솔루션을 사용하여 구한 North와 East값을 도시한 것이다. 초음파 센서의 특성상 Outlier가 발생하는데 Gate를 적용함으로써 과도하게 튀는 값은 제거하여 사용하였다.

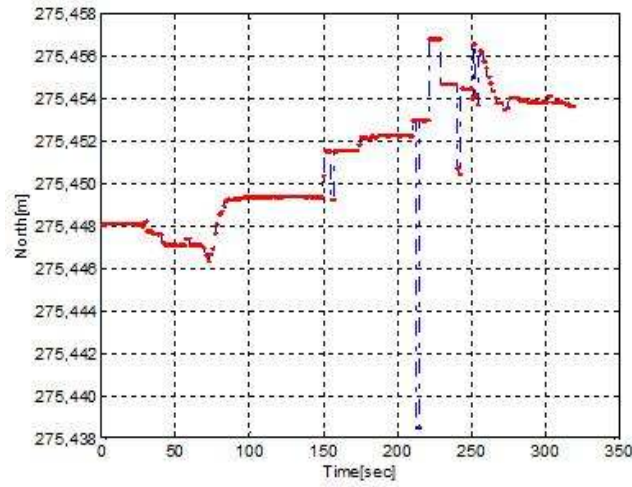


그림 4.2.1 LBL을 사용하여 측정한 UTM 좌표계에서의 North

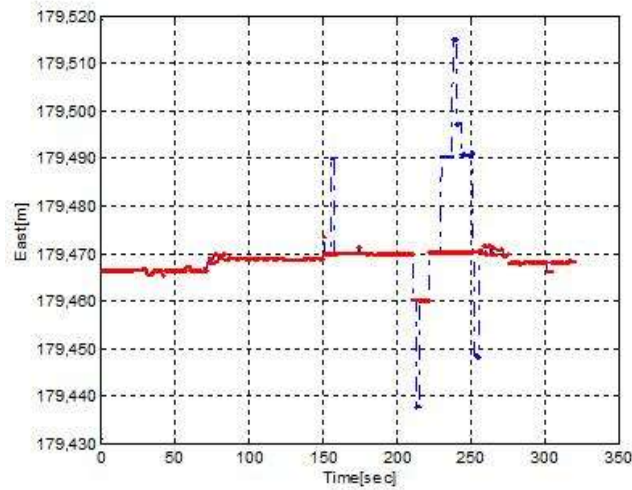


그림 4.2.2 LBL을 사용하여 측정한 UTM 좌표계에서의 East

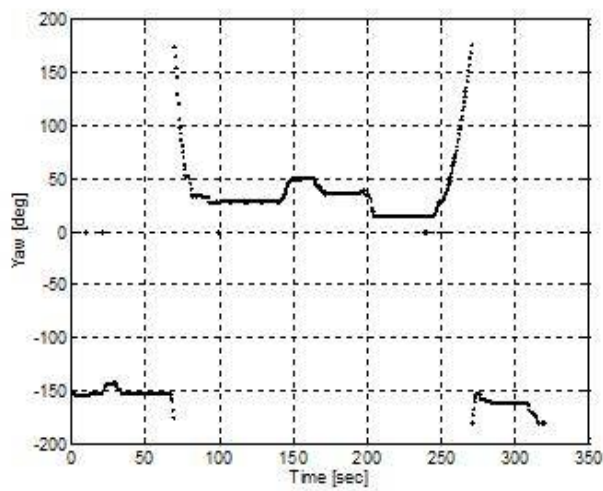


그림 4.2.3 FOG 타입의 AHRS를 사용하여 취득한 선수각 정보

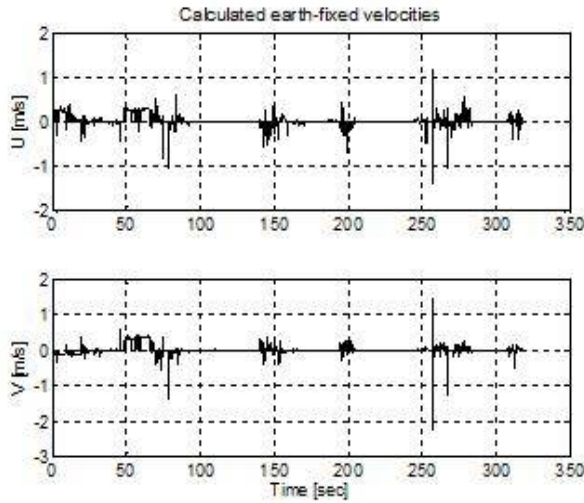


그림 4.2.4 지구고정좌표계에서의 항체 속도 U, V [m/s]

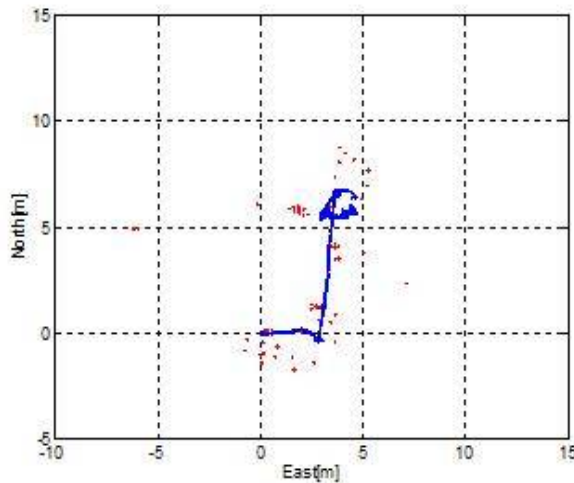


그림 4.2.5 수중정밀항법 결과

그림 4.2.3은 FOG 형태의 Octan센서를 사용하여 계측한 선수각이다. 수중 고르기 장비에서 발생하는 심각한 자기장 외란에 영향을 받지 않으면서 지구 회전축을 감지하여 진북을 추정하는 Octan 센서를 통하여 절대 선수각을 계측할 수 있었다. 원래는 저가형 AHRS와 DVL 만으로도 수중정밀항법 솔루션을 구현할 수 있으나 심각한 자기장 외란이 존재하는 상황에서는 고가의 FOG 솔루션을 탑재하여야지만 해결이 가능하다. 요즘은 저가의 Mems 형태의 AHRS 센서 중에도 자기장 매핑을 통하여 항체의 자기장 외란을 추출해내는 기능이 있다고 보고되고 있는데 이 역시 가능한지 임차하여 실험해볼 필요가 있다고 판단된다.

그림 4.2.5에는 본 연구에서 개발한 수중정밀항법 결과를 도시하였다. 붉은색 점이 LBL 결과이고 파란색 점이 정밀항법 결과이다. 본 연구에서 개발한 기존의 수중 정밀항법 결과에 비하여 데이터의 상관도가 다소 떨어지는 데 이는 수중 고르기 장비 실험 중 발생한 LBL 센서의 Black Out 현상과 DVL 센서의 원인 불명(EMI에 의한 것으로 추정됨)의 Drift에 의한 것이다. 다시 말해 계측된 데이터가 오차를 많이 가지고 있어서 정밀항법 알고리즘의 장점이 정확히 표현되지 못하였다. 그림에도 불구하고 수중 고르기 장비

의 전반적인 운동은 보여 주고 있는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서 개발한 수중정밀항법 알고리즘의 수중 고르기 장비에의 적용을 검증하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다. 우선은 DVL에 발생하는 EMI를 제거하고 깨끗한 데이터를 취득할 필요가 있다. 트랙의 바퀴에 DVL 속도 계측 빔이 걸릴 때가 있는데 치구를 설계하여 바깥으로 빼서 트랙 바퀴와 간섭이 생기지 않도록 수정할 필요가 있다.

또한 LBL 센서의 Black Out에 대해서도 엄밀하게 시간을 기록함으로써 정밀 분석을 할 필요가 있다. 작업 중 주변 소음으로 인하여 고르기 장비 주변에서 Ranging 소나의 사용이 어렵다고 판단되면 USBL 센서를 절대 위치용 센서로 사용하는 것도 한 가지 대안이 될 수 있다. USBL 센서를 Responder 모드로 사용한다면 고르기 장비 주변 소음은 Tracking을 하는 데 아무런 문제가 되지 않아 양질의 데이터를 취득할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 Hypack 연동 수중환경모니터링 운용

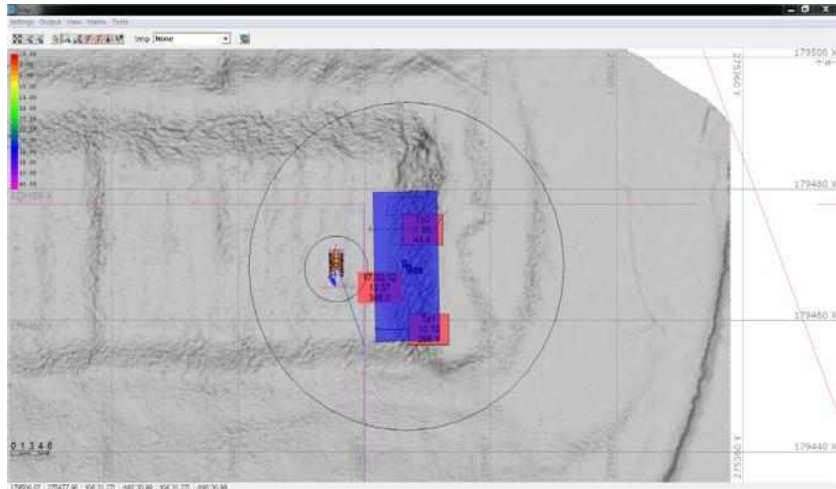


그림 4.3.1 2D 운용화면 (Gray모드)

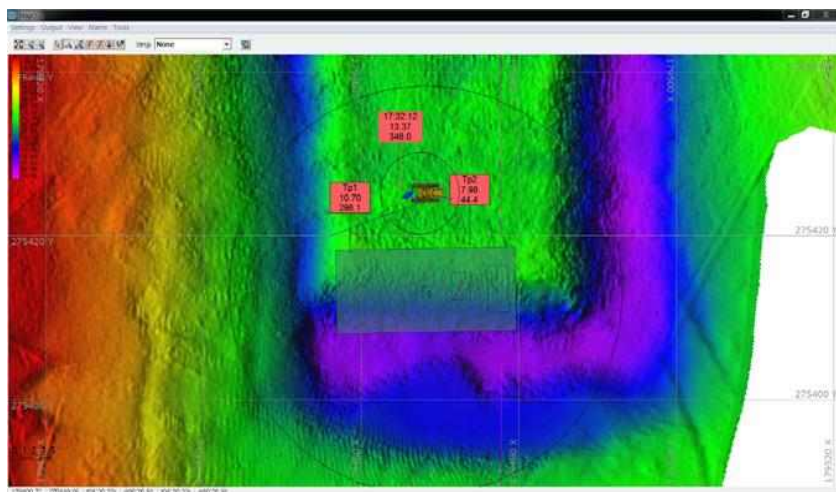


그림 4.3.2 멀티빔 컬러맵 위에서의 2D 운용화면

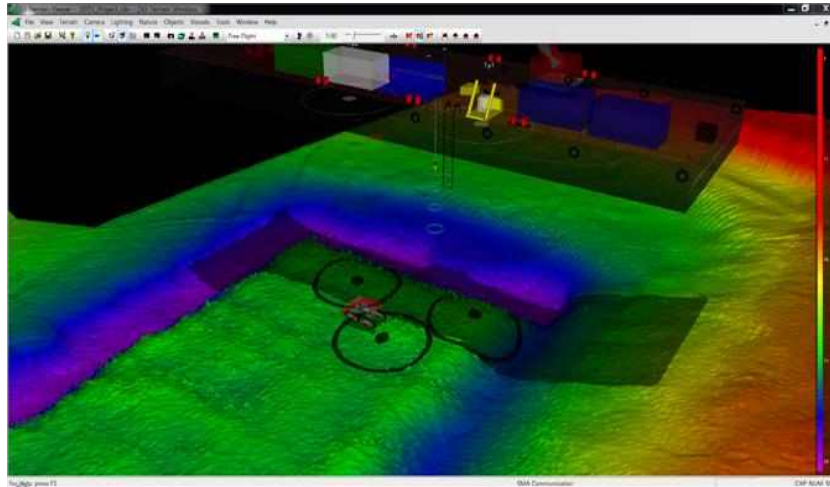


그림 4.3.3 3차원 가시화 결과

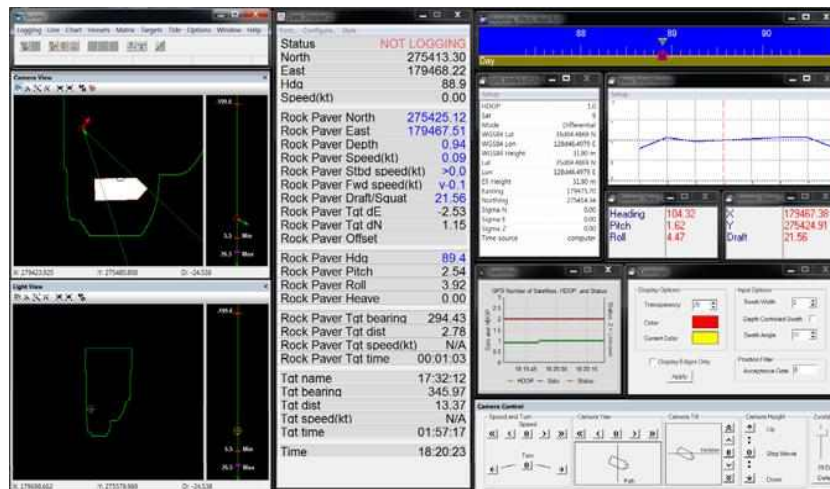


그림 4.3.4 Hypack에 도시되는 각종 센서 결과

그림 4.3.1 ~ 4.3.4는 미리 스캔한 해저 지형데이터를 Hypack을 사용하여 가시화 한 후 각종 센서 정보와 연동하여 수중 고르기 작업에 적용하는 화면을 캡처한 결과이다. 그림 10-11은 2D 화면으로 모선의 위치와 자세, 수중 고르기 장비의 위치와 자세를 실시간으로 모니터링하면서 작업할 수 있다.

그림 4.3.5 ~ 4.3.6은 수중고르기 장비에서 구현된 수중항법 성능을 보여주는 결과이다. 아직까지 보완할 점이 있기는 하지만 좀더 다듬는다면 안정적으로 수중 고르기 장비의 위치를 추적하여 줄 것이라고 예상된다.



그림 4.3.5 수중항법 성능을 보여주는 결과

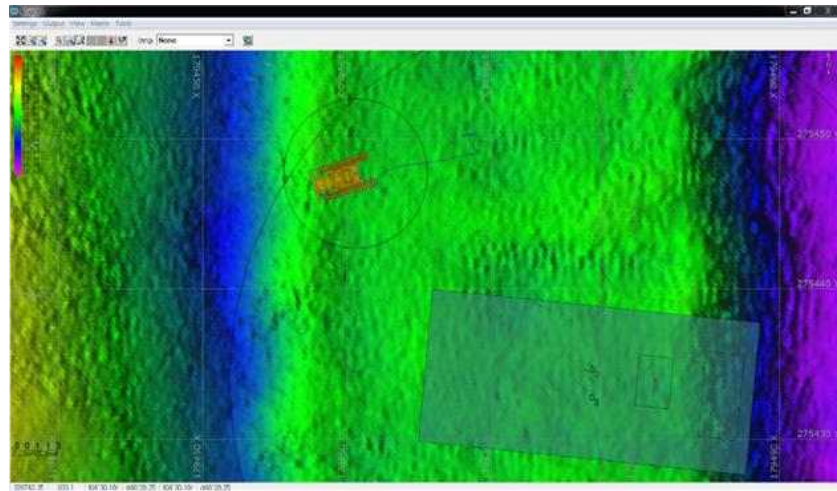


그림 4.3.6 수중항법 성능을 보여주는 결과

5. 오퍼레이팅 시트 설계 및 제작

수중 고르기 장비 운영실 내에는 장비를 원격으로 조종하기 위한 다중 모니터링 시스템이 있다. 오퍼레이터는 이 시스템을 통해 장비의 상태 및 작업환경 정보를 한눈에 파악하면서 장비를 조종하게 된다. 하지만 여기서 한 가지 부족한 부분이 있었는데, 장시간 동안 장비를 운영해야만 하는 오퍼레이터를 위한 편의 장치가 없다는 것이다. 다중 모니터링 시스템은 단순히 모니터링만을 위한 시스템이다. 그렇다 보니 오퍼레이터는 단순히 시트에 앉아 테이블에 기대 테이블 위에 위치한 조이스틱 패널로 장비를 조작하였다. 그래서 오퍼레이터의 컨디션을 최대한 유지시킬 수 있는 시트에 장비를 원활하게 조작하기 위한 조이스틱 패널이 장착된 전용 오퍼레이팅 시트가 필요하게 되었다.

기존 오퍼레이터의 조작방식을 전용 오퍼레이팅 시트 방식으로 전환하기 위해 먼저 상용 오퍼레이팅 시트를 알아보게 되면 대부분 중장비용 시트를 보여준다. 이 중장비용 시트는 등받이, 전후상하, 서스펜션, 팔걸이 등의 조절이 가능하다. 하지만 조이스틱 패널 등의 조작 장치는 별도로 배치되어있고 수중 고르기 장비를 조작하는데 필요한 만큼의 버튼이 장착되어있지 않아 이를 그대로 채용하기에는 큰 무리가 있었다. 그렇다고 전용 오퍼레이팅 시트를 전체적으로 새로 개발하는 것 또한 개발 난이도가 크게 올라갈 여지가 있다. 그렇기 때문에 수중 고르기 장비용 오퍼레이팅 시트는 기존의 중장비에 들어간 상용 오퍼레이팅 시트를 기반으로 두고 전용 패널을 별도 설계 및 제작하여 이를 시트에 장착시키는 방법으로 개발하였다.

오퍼레이팅 시트는 아래의 세 가지 항목에 초점을 맞추어 개발하였다.

- (1) 작업자의 편안한 운전을 위한 상용 중장비 시트 사용
- (2) 중장비 시트에 적용이 가능한 시트 전용 조이스틱 패널 설계 및 제작
- (3) 오퍼레이터의 조이스틱 접근성 조절이 가능하도록 각종 자세조절 기구장치 추가

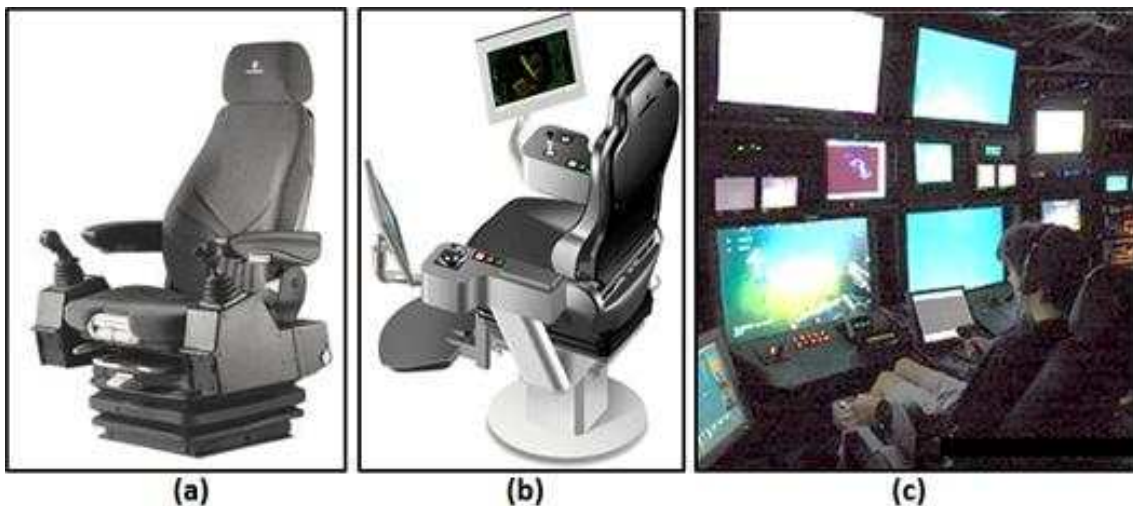


그림 5.1.1 상용 운영 시트 및 실제 적용 사진

- (a) GRAMMER seat[2], (b) Helm seat with built-in control stand for ships,
(c) MBARI ROV's operating system (USA)



그림 5.1.2 오퍼레이팅 시트 개발 컨셉



그림 5.1.3 오퍼레이팅 시트 설계결과 및 기능구성

그림 5.1.3과 같이 오퍼레이팅 시트는 중장비 시트를 기반으로 양 옆에 조이스틱 패널이 장착된 형태를 가진다. 상용 시트는 기본적으로 등받이, 높이, 팔걸이, 서스펜션 강도 조절 기능을 가지고 있다. 그리고 추가적으로 조이스틱 접근성 조절을 위해 기구 설계를 통해 1차, 2차 슬라이드 기능을 넣었다. 시트 옆 각 패널에는 조이스틱 1 set와 다수의 버튼이 장착되어 있는데 총 2 set의 조이스틱과 16개의 버튼이 있다. 그리고 오퍼레이터의 발이 닿는 바닥 부위에 2 set의 페달이 있다. 위 그림의 설계에 대해서 하드웨어를 제작한 결과는 그림 5.1.4와 같다.

표 5.1.1 오퍼레이팅 시트 스펙

기능	내용
등받이 조절	앞으로 젖힌 상태 ~ 약 90 °
높이 조절	최대한 내린 상태 ~ 약 50 mm
팔걸이 조절	최대한 내린 상태 ~ 약 90 °
서스펜션 강도 조절	40 ~ 130 kg
1차 슬라이드 조절	-75 ~ 142 mm
2차 슬라이드 조절	± 47.5 mm
조이스틱 수	2 set
버튼 수	최대 17 ea
페달 수	2 set



그림 5.1.4 오퍼레이팅 시트 제작

5.2. 오퍼레이팅 시트 전장부 개발

오퍼레이팅 시트에는 좌우로 오퍼레이터가 앉아 조종할 수 있도록 하는 제어 패널이 설치되어 있다. 오퍼레이터의 손이 닿는 부분에는 기존 제어 패널과 마찬가지로 두 개의 복합 기능을 포함하는 조이스틱이 위치하고 있고, 아래쪽으로는 수중고르기 장비의 제어를 위한 여러 스위치가 배치되어 있다.

좌우측의 조이스틱은 기본적으로 3축의 아날로그 신호를 신뢰성있게 받을 수 있도록 되어 있으며, 추가적으로 한 손으로 조작이 가능한 3개의 디지털 버튼과 엄지손가락으로 움직이는 하나의 아날로그 휠 버튼이 있다.



그림 5.2.1 APEM사 HG-432IS000-T-U 조이스틱

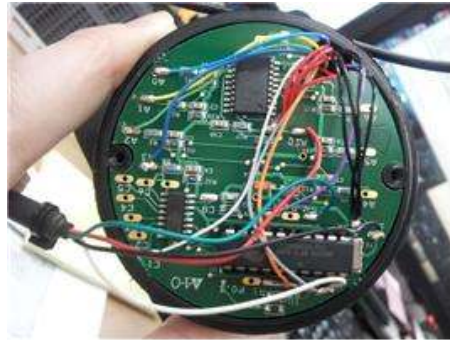


그림 5.2.2 조이스틱 입출력 회로 수정 작업

이 조이스틱은 입출력 인터페이스가 USB로 되어 있어, 오퍼레이팅 시트 제어패널의 전장부 제어를 위한 PLC와의 인터페이스가 따로 마련되어 있지 않다. 그래서 조이스틱의 입출력 회로를 개방하여 수정하여 사용을 하고 있다.

오퍼레이팅 시트의 좌우로 제어패널을 실장하였으며, 총 2개의 다기능 조이스틱과 2개의 셀렉터 스위치, 1개의 비상스위치, 2개의 램프, 13개의 푸시스위치를 배치하여 수중고르기 장비의 다양한 작업에 대응할 수 있도록 개발하였다. 아래 그림 5.2.3은 제어패널의 배치를 나타낸다.



그림 5.2.3 오퍼레이팅 시트 제어패널 기능 배치도

볼보사의 오퍼레이팅 시트에 기본 부속품인 측면 통의 상부를 들어내고 수중고르기 장

비에 적합하도록 설계된 제어패널을 실장하였으며, 각종 스위치 및 조이스틱을 배치하고 배선작업을 하여 PLC와 연결하였다. PLC에서는 조이스틱의 아날로그 신호와 각종 스위치의 디지털 신호를 수신하여 상위의 시스템으로 데이터를 전달하는 역할을 수행한다.



그림 5.2.4 제어패널 전장부품 배치 및 실장

PLC는 LS산전의 제품을 적용하였으며, 제어패널의 다양한 신호 획득과 상위의 시스템과의 통신을 위해 증설 모듈을 사용하였다. 한 조이스틱에서 X, Y, Z, Thumb축의 4개의 아날로그 신호가 입력되어 총 8개의 아날로그 입력을 받을 수 있도록 2개의 전용 아날로그 입력 모듈이 사용되었으며, 2개의 발판 페달 입력을 위해 1개의 아날로그 복합형 모듈을 적용하였다. 그리고 조이스틱의 버튼과 여러 스위치 입력을 위해 디지털 입력 모듈을 본체와 증설 1개의 모듈을 사용하여 구현하고 있다.

제어 PLC와 상위의 시스템 간의 데이터 전송을 위한 인터페이스로는 이더넷 방식을 선정하였으며, 데스크 측의 추가 신호도 기존 시리얼에서 이더넷으로 변환하여 수집한 후 수중고르기 장비의 중계용 PLC로 전송하게 된다. 이를 위해 이더넷 통신 모듈을 증설하여 적용하였다.



그림 5.2.5 오퍼레이팅 시트 제어판넬 제어용 PLC



그림 5.2.6 오퍼레이팅 시트와 제어패널 통합 및 운용

개발된 제어패널과 제어용 PLC 전장부를 오퍼레이팅 시트에 실장하였고, 좌측과 우측의 패널 사이에는 산업용 커넥터를 채택하여 케이블을 연결하고 있다. 배치 과정 중에 시트의 팔걸이 부분과 제어패널이 중첩되어 오퍼레이터가 버튼을 잘 누르기 힘든 부분이 있어, 이를 해결하기 위해 오퍼레이팅 시트의 좌우측 통을 지지하는 기계부품을 새로 가공 제작하여 설치하였다. 최종적으로 운영실의 오퍼레이팅 시트에서 운용 테스트를 진행하였다.

제어 PLC 프로그램은 기존의 데스크패널의 PLC와 유사하게 작성되었으며, 기존에 구현된 버튼 간 조합에 의한 모드 설정도 동일하게 구현하고 있다. 변경된 사항으로는 신규 스위치 추가에 대한 새로운 또는 변경된 기능의 할당이 있었으며, 오퍼레이팅 시트의 패널과 데스크에 위치하는 패널 간의 데이터 송수신이 추가되었다.

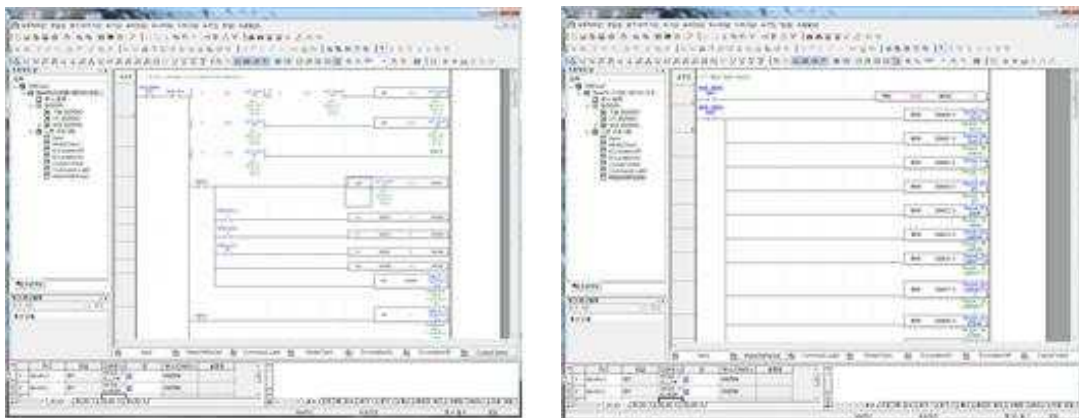


그림 5.2.7 제어 PLC 프로그램 구현

5.3. 작업 가시화 소프트웨어 개발

- 작업 가시화 소프트웨어는 지난 년도에 개발된 장비를 3차원으로 형상화하고 현재의 장비 상태와 작업 내용을 오퍼레이터가 시각적으로 쉽게 인지하도록 그래픽 엔진을 사용하여 표현하고 있다.
- 당해연도에 외형적으로 장비의 변화된 부분이 없으므로 가시화 소프트웨어 상의 장비 표현은 그대로이며, 가시화 소프트웨어의 실행 중 데이터 변환 이상이나 표시 오류가 있었던 부분에 대해서 수정작업을 실시하였다. 또한 소프트웨어 개발 플랫폼인 Unity에서

데이터를 처리하기 위해 사용하는 C# 스크립트를 내부 에디터를 사용하여 개발하고 프로젝트 내에 포함이 되어 있었는데, 이를 외부로 분리하여 C# Managed Code화하여 DLL로 사용하도록 수정하였다. 따라서 가시화 부분을 담당하는 Unity 그래픽 엔진 및 프로젝트와 데이터 처리 및 동작 등을 구현하고 연산하는 Core DLL로 분리하여 개발 및 관리하도록 하여 개발의 효율성을 높였다.

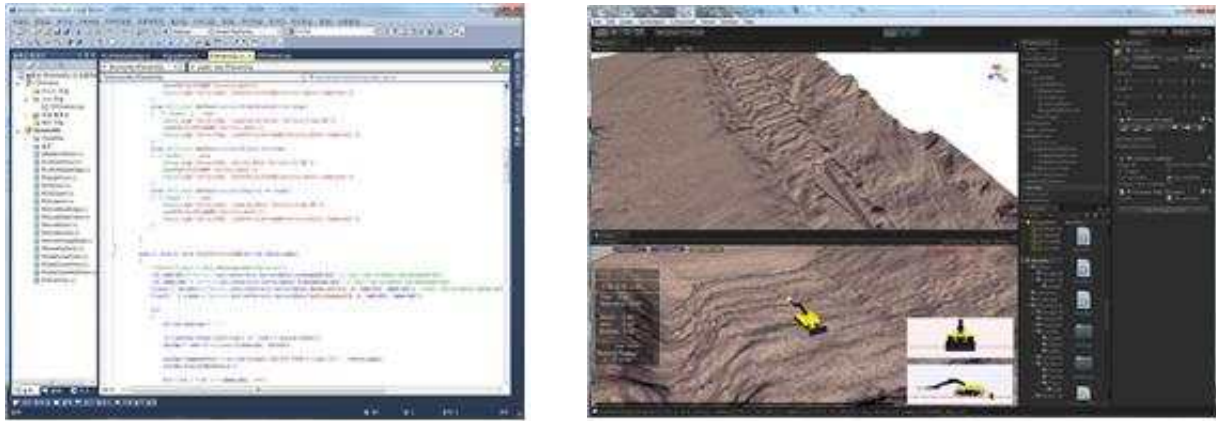


그림 5.3.1 3차원 가시화 개발 플랫폼과 Core DLL 개발 환경 분리

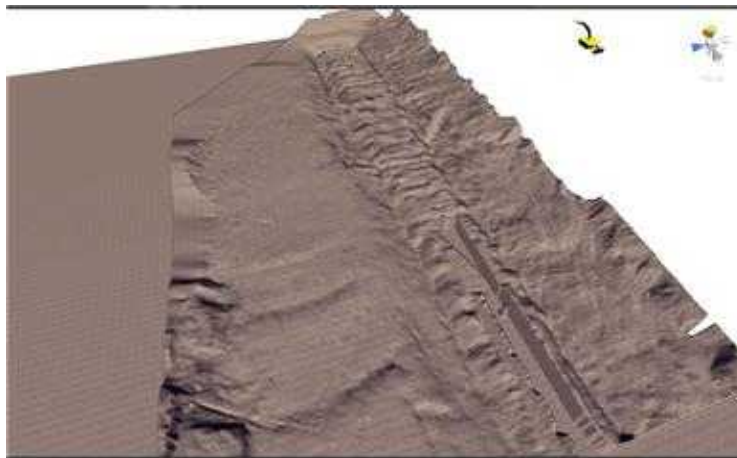


그림 5.3.2 Pre-Survey 지형데이터를 3차원 가시화 소프트웨어에서 표현한 모습

새로운 실험 현장에 대한 데이터는 Pre-Survey를 통해 획득하였으며, 위경도로 획득된 지형에 대한 신규 데이터를 2차원 가시화 소프트웨어 내의 UTM 좌표계로의 변환이 필요하여, 추가적인 변환 스크립트를 작성하였다. 스크립트는 Perl 언어를 사용하여 개발되었으며, 국토지리원에서 배포하는 'NGI Pro' 프로그램을 통해 위경도 좌표를 UTM 좌표계로 변환하기 위한 중간 데이터를 만드는데 이용되었다. 이렇게 변환된 UTM 좌표계의 지형 데이터는 3차원 가시화 소프트웨어에서 인식 가능한 지형 값으로 계산하여 데이터 베이스에 저장된다.

3차원 작업 가시화 소프트웨어에는 수중고르기 장비의 위치 좌표를 수신받아 지형 상에 표시하게 되는데, 이 때 위치 좌표가 고르게 들어오지 않아 가시화된 화면 상으로 봤을 때 장비가 여러 곳으로 튀듯이 움직이는 결과로 나타나게 된다. 이렇게 보이는 것은 오퍼레이터가 작업할 때 어려움을 겪게 되므로, 필터를 적용하여 수중고르기 장비의 위치를 보간하는 알고리즘을 추가 구현하게 되었으며, 지정된 일정 시간 간격 동안의 위치

좌표 데이터를 기반으로 하여 일정 범위 이상의 좌표 상의 이동이 발생하면 데이터가 잘못 된 것으로 판단하고 이를 보간하여 천천히 부드럽게 장비가 이동하여 보여지도록 하였다. 이러한 필터에는 장비 자체의 최대 이동 속도에 대한 범위를 정확히 설정하여야 보간이 잘 이루어지게 되며, 장비를 조작하여 이동하는 간격에 따라서 필터링하는 시간의 범위를 설정하여야 한다.



그림 5.3.3 위치 보간 필터 알고리즘이 실행되어 장비 위치를 표시

Pre-survey된 지형데이터는 데이터베이스에 저장되어 있으며, 작업 가시화 소프트웨어는 오퍼레이터가 작업을 진행하면서 장비와 툴의 이동에 의해 작업된 영역의 지형 변화를 데이터베이스의 다른 영역에 저장하는 기능을 가지고 있다. 이 기능을 활용하여, 일별로 반복되는 작업을 연속적으로 하기 위해 전날까지 작업한 지형을 데이터베이스에 저장하고 다음 날 이전까지 진행하였던 작업 내용을 불러와 작업을 속행하는 것이 가능하다. 또한 전체 작업의 시작 전에 저장된 지형 데이터와 작업이 모두 완료된 후의 지형 데이터 간의 각 위치 좌표 별 높이값을 계산하여, 작업 기간 동안의 작업량을 도출하여 표시하는 것 또한 가능하다. 당해연도에는 작업량을 데이터베이스의 SQL 쿼리를 통해 수동으로 계산하여 표시하도록 하였다.

수중고르기 장비의 작업 수행 현장에 맞도록 구현한 운영실의 사진은 다음그림 5.3.5와 같다.

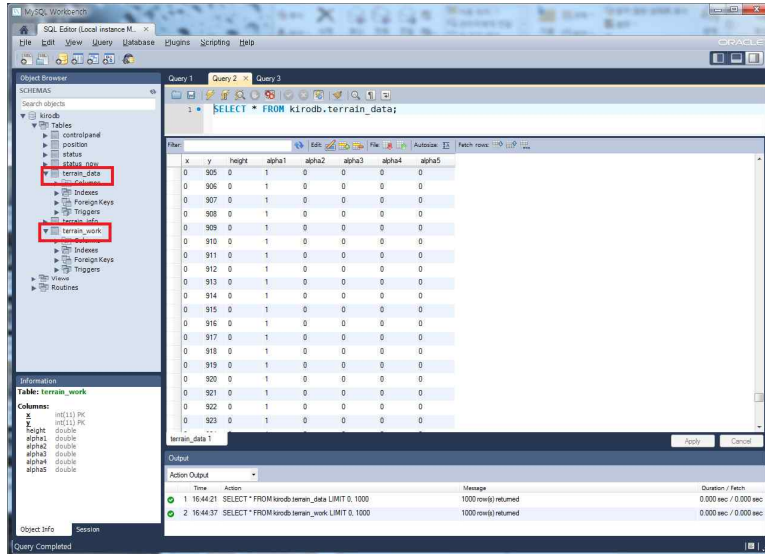
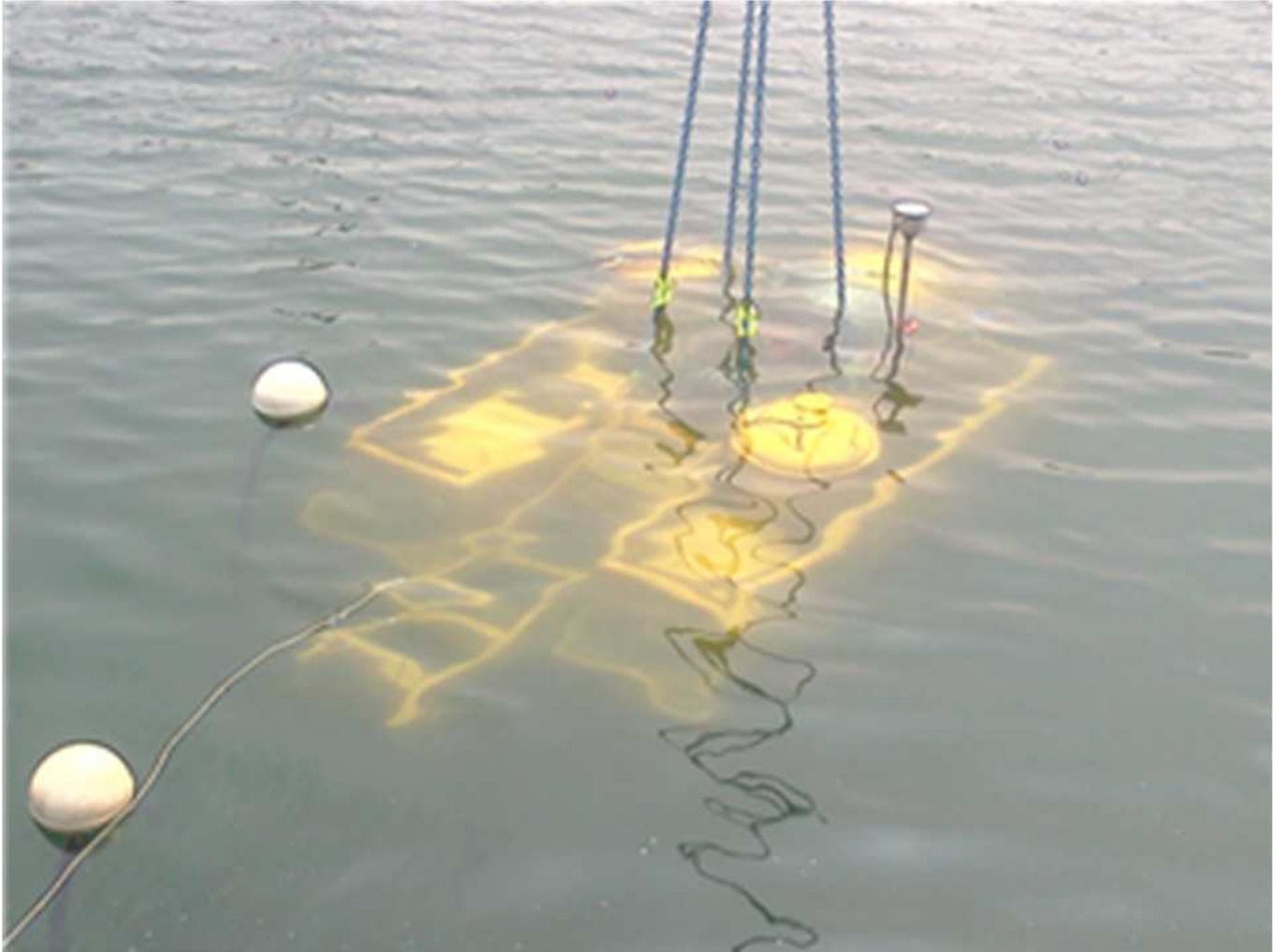


그림 5.3.4 지형데이터를 분리 보관하여 연속 작업 및 작업량 산출 진행



그림 5.3.5 운영실 내 오퍼레이팅 시트 및 작업 가시화 소프트웨어 통합

항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비
매뉴얼



항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비
운영 매뉴얼
유지보수 매뉴얼

서론

본 매뉴얼은 해양수신부의 첨단항만건설기술개발사업 중 “항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발”과제로 개발된 장비 매뉴얼입니다. 개발 장비의 제원사항, 장비의 개요와 기능, 점검 방법 등을 설명하고 있는 **운영 매뉴얼**과 기구부, 유압부 등에 관한 **유지보수 매뉴얼**로 구성되어 있습니다.

작업시 안전을 위하여 안전수칙편에 수록된 내용을 숙지후 장비를 조작하십시오. 특히 ▲ 표시부분은 각별한 주의를 요합니다.

정비에 필요한 특수공구 및 일반공구는 규격에 맞는 것을 사용해야 하며, 부적합한 공구의 사용은 사고의 원인이 됩니다.

본 매뉴얼은 다음과 같이 구성되어 있습니다.

PART A. 장비 운영 매뉴얼

1. 안전수칙	2
2. 일반사항	11
3. 점검 및 성능시험	22
4 사석 고르기 장비를 이용한 시공방법	25

PART B. 장비 유지보수 매뉴얼

1 기구부	36
2 유압부	39

PART A. 장비 운영 매뉴얼

<세부 목차>

1. 안전수칙	2
1.1 일반 주의 사항	2
1.2 작업 준비	5
1.3 작업 중 주의 사항	6
2. 일반사항	11
2.1 제 원	11
2.2 도량형 환산표	17
3. 점검 및 성능시험	22
3.1 장비 기구부	22
3.2 발전기	24
4 사석 고르기 장비를 이용한 시공방법	25
4.1 운전방법	25
4.2 시공방법	31

1. 안전수칙

1.1 일반 주의 사항



경고!

안전을 위하여 다음의 안전수칙을 준수하십시오.

안전 규칙 준수

- 본 장비의 운전 또는 정비하고자 할 때에는 장비 운영 매뉴얼과 장비 유지보수 매뉴얼을 읽고 숙지한 다음 실시하십시오.
- 본 장비의 운전 또는 정비는 훈련을 받고 자격을 보유한 사람이 하여야 합니다.
- 모든 가드(GUARD) 및 커버(COVER)가 정위치에 장착되어 있는지 확인하고 손상된 것이 있으면 즉시 정비 또는 교환하십시오.

복장 및 보호구

- 복장은 몸에 꼭 맞아야 하며 조이스틱 레버 및 장비 부품에 걸릴 가능성이 있는 장식품 또는 인화되기 쉬운 기름이 묻은 작업복은 착용하지 마십시오.
- 작업에 따라 안전모, 보호안경, 안전화, 마스크, 장갑 등을 반드시 착용하십시오.
- 핀을 해머로 박아 넣을 때나 압축공기로 청소할 경우 등과 같이 금속조각이나 이물질이 비산할 가능성이 있을 때는 안전모, 장갑 등의 보호구를 반드시 착용하십시오. 특히, 용접수리가 필요할 때는 경력이 있는 용접공이 이를 수행토록 하고 용접 혹은 그라인더로 부품을 연삭할 때는 항상 장갑, 앞치마, 보안경, 모자 등의 보호구를 착용하여야 합니다.

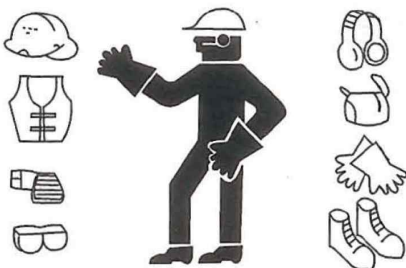


그림. A1-1 용접작업에 적합한 보호구 착용

소화기 및 구급상자의 준비

- 화재에 대비하여 소화기를 비치하고, 그 사용방법에 대하여 첨부되어 있는 내용을 읽어 두십시오.
- 구급상자의 보관장소를 정해서 비치하십시오.
- 비상시를 대비하여 소방서, 병원 등의 연락처를 확인하여 표기해 두십시오.

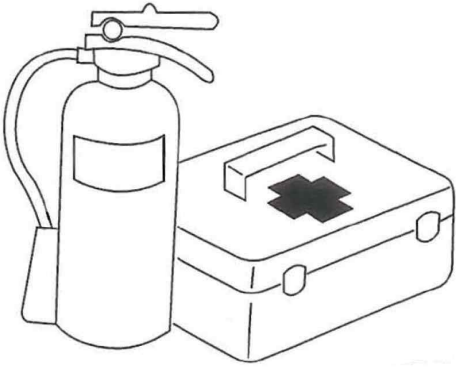


그림. A1-2 비상사태에 대비

화재 예방

- 연료, 윤활유, 부동액 등에 화기를 가까이 하면 인화의 우려가 있습니다. 특히 연료는 대단히 연소하기 쉬우므로 주의하십시오.
- 담배나 성냥 등의 인화물질은 근처에 보관하지 마십시오.
- 특히 작업장에는 금연을 해야 하며 지정된 장소에서만 흡연하십시오.



그림. A1-3 화재예방

환경 보호

- 윤활유, 배터리액 등은 환경 및 생태계를 해칠 수 있습니다.
작업중 누유가 예상되는 곳을 정비할 때 오일받이 통을 설치하여 토양으로 윤활유가 스며들지 않게 하여 주십시오.
- 오일받이 통을 식품이나 음료수의 통으로 사용하지 마십시오.

누군가가 오인하고 마실 우려가 있습니다.

- 페유나 윤활유의 통에는 항상 표식을 하여 다른 사람이 잘못 사용치 않도록 예방하여 주십시오.
- 윤활유, 부동액, 배터리액이나 이를 닦아 낸 걸레는 법규에 정해진 절차에 따라 인가된 폐기업자에 위탁하여 폐기하여 주십시오.

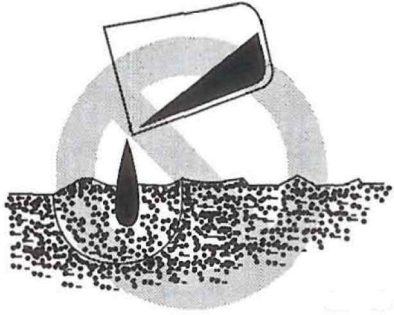


그림. A1-4 환경보호

1.2 작업 준비

작업 표시

- 점검, 정비중에 작업자 이외의 사람이 부주의하게 장비를 조작하여 사고를 일으킬 위험이 있으므로 전장 레버에 “작업중” 또는 “운전금지” 팻말을 표시해 두십시오.
- 필요한 경우에는 장비 주위에도 표시해 두십시오.
- 2인 이상이 작업을 수행할 때는, 작업 시작전에 작업순서에 대해 상의한 상태에서 실시토록 하여 각 단계마다 동료 작업자에게 알리고 나서 작업을 수행하십시오.
- 특히 장비에 유압을 인가할 경우에는 “T” 라인의 개폐여부를 확인한 후 실시하십시오.
- 작업장에는 적합한 조명기구를 설치하여 주십시오.
이동용 조명장치를 사용할 때에는 방폭 사양의 것을 사용하여 주십시오. 특히 배터리 전해액을 점검할 경우에는 유의하여 주십시오.



그림. A1-5 뜨거운 전구는 화재를 유발할 수 있습니다.

작업장의 안전 확인

- 모든 공구들은 양호한 상태의 것을 사용토록 하며, 올바른 사용법을 숙지하여 주십시오.
- 정비 장소에 공구와 탈거된 부품을 보관할 장소를 마련하십시오.
- 기름을 닦을 걸레와 오일받이 통도 준비토록 하십시오.



그림. A1-6 공구의 안전한 사용

- 작업장은 항상 깨끗이 유지하여야 하며 바닥에 먼지나 기름이 없도록 하여 주십시오.
- 작업 시작전에 모든 작업장치는 지면에 착지시킵니다. 만일 이것이 불가능할 시에는 안전핀을 이용하거나 블록을 사용하여 작업장치 또는 장착된 부품이 떨어지지 않도록 하여 주십시오.



그림. A1-7 장비를 안전하게 지지한다.

1.3 작업중 주의 사항

화상 주의

- 윤활유나 냉각계통의 작업을 할 때에는 충분히 냉각된 후에 하여 주십시오.
- 라디에이터 캡을 열 때에는 캡을 조금 돌려 내압을 제거한 후에 완전히 풀어내십시오. 충분히 냉각되지 않았을 때는 급격한 분출로 화상의 위험이 있습니다.

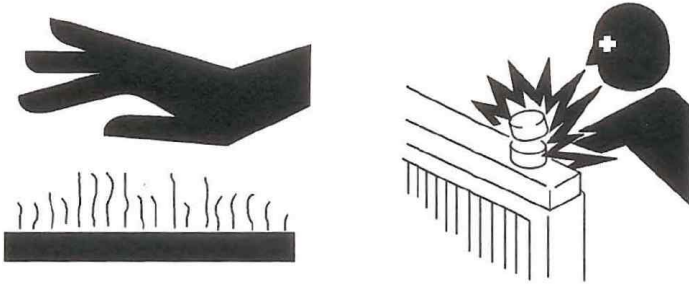


그림. A1-8 화상 주의

고압 주의

- 유압 회로에는 항상 내압이 있습니다. 내압이 제거되기 전에 급유, 배유 또는 정비작업을 하지 마십시오.
- 작은 구멍에서 분출되는 유압유는 심한 부상을 일으킬 수 있습니다. 그러므로 점검시는 두꺼운 장갑을 착용하고 두꺼운 종이나 합판을 이용하여 점검하십시오.
- 고압호스를 굽히거나 딱딱한 물체로 때리지 마십시오.
- 고압 배관을 설치시에는 꼬이지 않도록 주의하십시오.
손상된 호스나 튜브는 매우 위험하므로 반드시 교환하십시오.

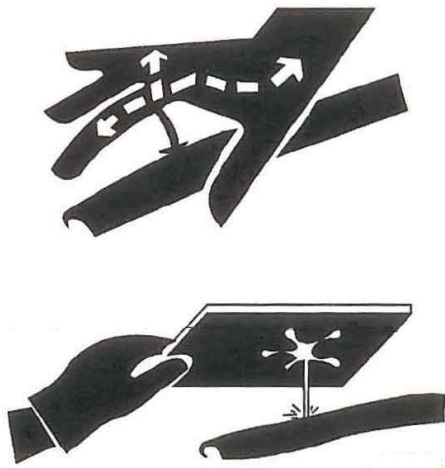


그림. A1-9 유압유 주의

중량물의 취급

- 무거운 부품을 들어 올릴 때는 호이스트(Hoist)나 크레인을 사용하십시오.
- 와이어 로프, 체인, 후크 고리가 손상된 곳이 없는지 확인하십시오.
- 인양장비는 충분히 여유있는 용량으로 준비하고, 알맞은 장소에 안전하게 설치하여 주십시오.
- 인양중에는 다른 물건과 부딪히지 않도록 주의하고, 다른 작업을 동시에 실시하지 마십시오.
- 작업장치를 탈거할 때나 장착할 때는 작업장치가 넘어지지 않도록 유의 하십시오.
- 장비 밑에서 점검 또는 정비하기 전에 작동하는 모든 작업장치가 지면에 착지되어 있는지 확인하여 주십시오.
- 장비의 지지가 충분하지 않을 때는 절대로 장비 밑에서 작업하지 마십시오.

전기장치 취급

- 전기계통의 정비나 용접 작업시에는 작업전에 전원스위치를 끄고 전원 케이블을 분리하여 주십시오.
- 부품을 분해할 때는 전기배선이 손상되지 않도록 주의하십시오.
손상된 전기 배선은 화재의 원인이 될 수도 있습니다.
- 배터리 전해액은 묽은 황산이 포함되어 있어 의류나 피부를 상하게 합니다.
옷이나 피부에 묻으면 신속히 물로 씻어 내십시오.
- 배터리를 취급하는 경우에는 보호안경을 착용해 주십시오. 만약 전해액이 눈에 들어간 때는 물로 씻고 신속하게 의사의 치료를 받으십시오.
- 배터리는 수소가스가 발생하므로 폭발의 우려가 있습니다. 담배나 화기를 가까이 한다든가 스파크를 일으킬 수 있는 행위는 삼가하십시오.

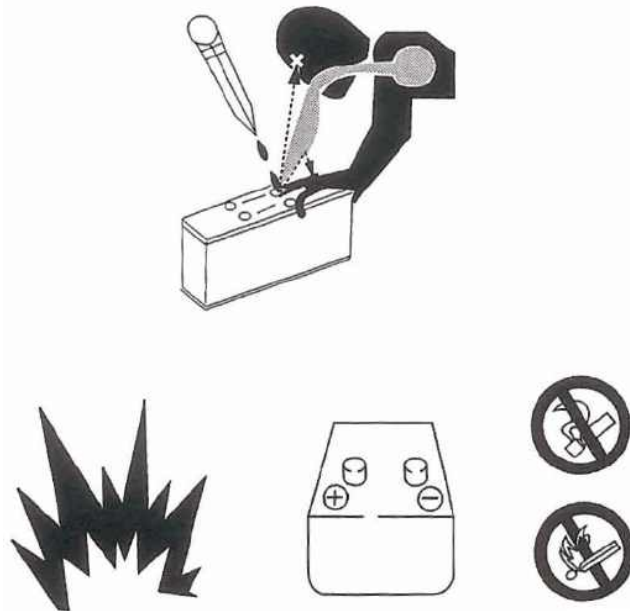


그림. A1-10 배터리 취급 주의

- 배터리 양극간에 공구 등의 금속물을 접촉시키지 않도록 주의 하여 주십시오.
- 배터리 단자가 느슨하게 되지 않도록 단단히 취부해 주십시오.
화재발생 및 폭발의 위험이 있습니다.
- 해체, 취부시에는 +단자와 -단자를 확인해 올바른 위치에 연결하여 주십시오.



그림. A1-11 배터리 단자 접촉 주의

- 전기계통에 물이 침입하면 작동불량 및 오동작의 원인이 될 수 있습니다. 각종 센서, 커넥터류 및 운전실 내부는 물세척 또는 스팀 세척을 하지 마십시오.

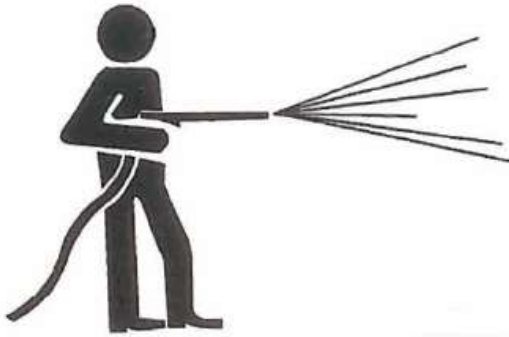


그림. A1-12 물 또는 스팀 세척 주의

작업 주의 사항

- 내압을 받고 있거나 스프링의 힘이 작용하고 있는 커버류의 부품을 분해할 때는 항상 천천히 압력을 제거한 후에 벗겨내십시오. 압력이 제거될 때까지 대각선으로 2개의 볼트를 남겨 두십시오.

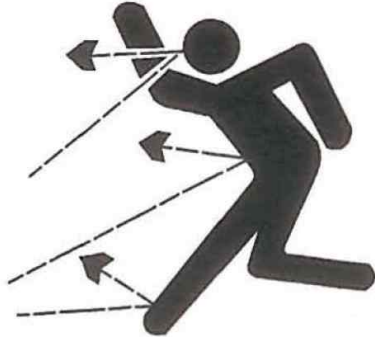


그림. A1-13 커버 제거시 작업주의

- 리코일 스프링 조정장치 내부에는 고압 그리스가 봉입되어 있으므로 그리스 밸브를 풀 때에는 얼굴, 손, 발, 신체를 밸브 방향으로 하지 마십시오. 그리스 배출용 플러그는 압력이 제거되기 전에는 1회전 이상 풀지 마십시오.
- 부품을 조립, 장착시에는 규정된 조임 토크로 조여 주십시오.
- 가드와 같은 보호용 부품 또는 심하게 진동하는 부품, 고속 회전하는 부품을 조립한 후에는 제대로 조립이 되었는지 반드시 재확인하여 주십시오.
- 엔진 팬과 같은 회전장치 부위에는 감겨 들어가기 쉬운 물건을 놓지 마십시오.

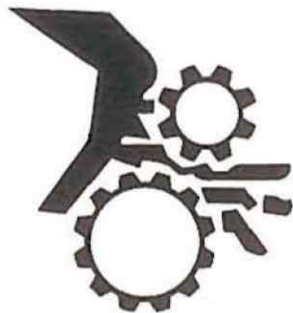


그림. A1-14 회전부위 주의

- 두 개의 구멍을 맞출 때는 손가락이나 손을 절대 넣지 마십시오. 구멍에 손이 끼일 수 있습니다.

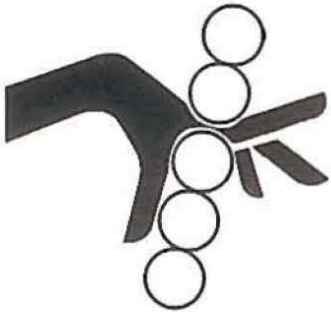


그림. A1-15 손가락 주의 (1)

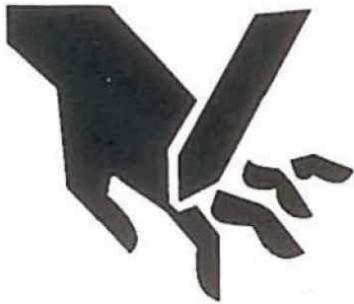


그림. A1-16 손가락 주의 (2)

- 핀 블레이드나 팬 밸트 등과 같은 회전장치에 신체나 공구를 접촉하면 절단되거나 심각한 부상의 위험이 있으므로 절대로 접촉되지 않도록 주의하십시오.

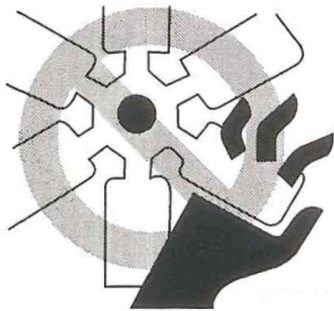


그림. A1-17 회전부 접촉 주의

2. 일반사항

2.1 제 원

■ 장비 주요 구성

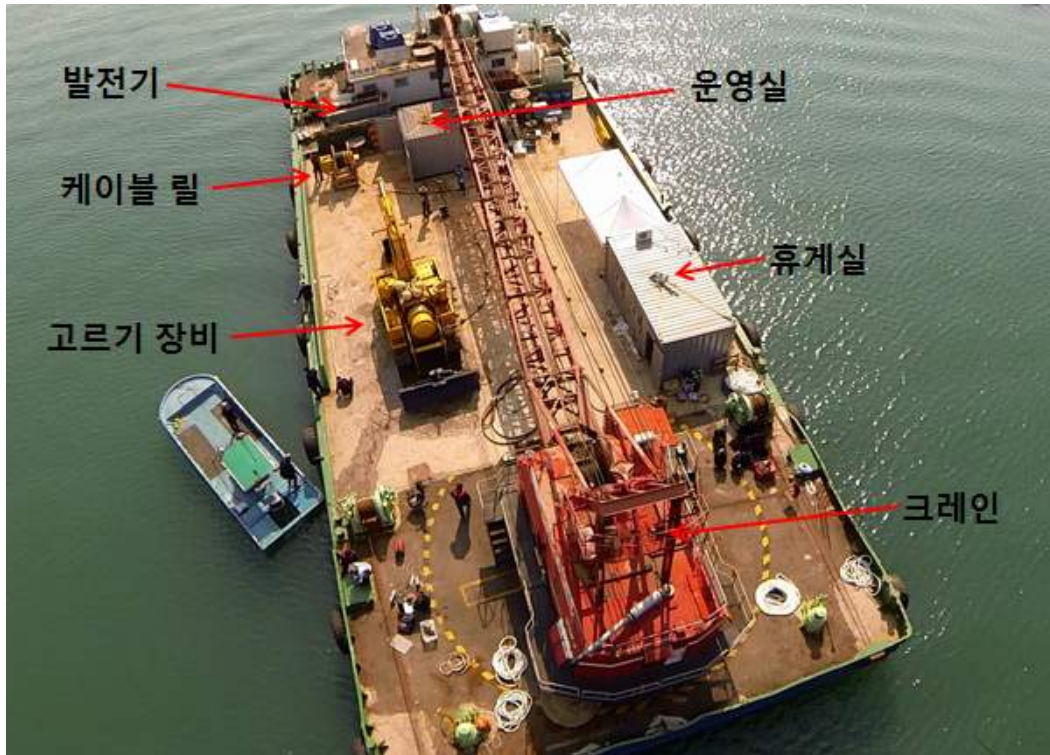


그림. A2-1 전체 시스템의 주요 구성도

No.	명칭	기능
1	고르기 장비	수중 항만공사 작업을 수행
2	케이블 릴	선상에서 장비까지 전력, 통신, 영상 케이블을 공급
3	발전기	선상에서 설치되어 장비에 전원 공급
4	운영실	선상에서 수중장비를 모니터링 하면서 장비를 조종하는 공간
5	크레인	고르기 장비를 진수/회수를 수행하는 장치



그림. A2-2 장비의 주요 구성

No.	명칭
1	자세센서 모듈
2	수중 위치 추적 장치
3	슬립링
4	전동기 수밀 모듈
5	수중 카메라/조명
6	라인 스캐닝 소나
7	블레이드
8	견인 체인 시스템
9	다목적 암(Arm)
10	다목적 암(Boom)
11	유압 서보 실린더
12	수중 카메라/조명
13	작업용 툴(버킷)
14	작업 플랫폼
15	Altimeter 시스템
16	착저형 주행 시스템
17	복합 케이블

■ 수중 고르기 장비의 기본 치수

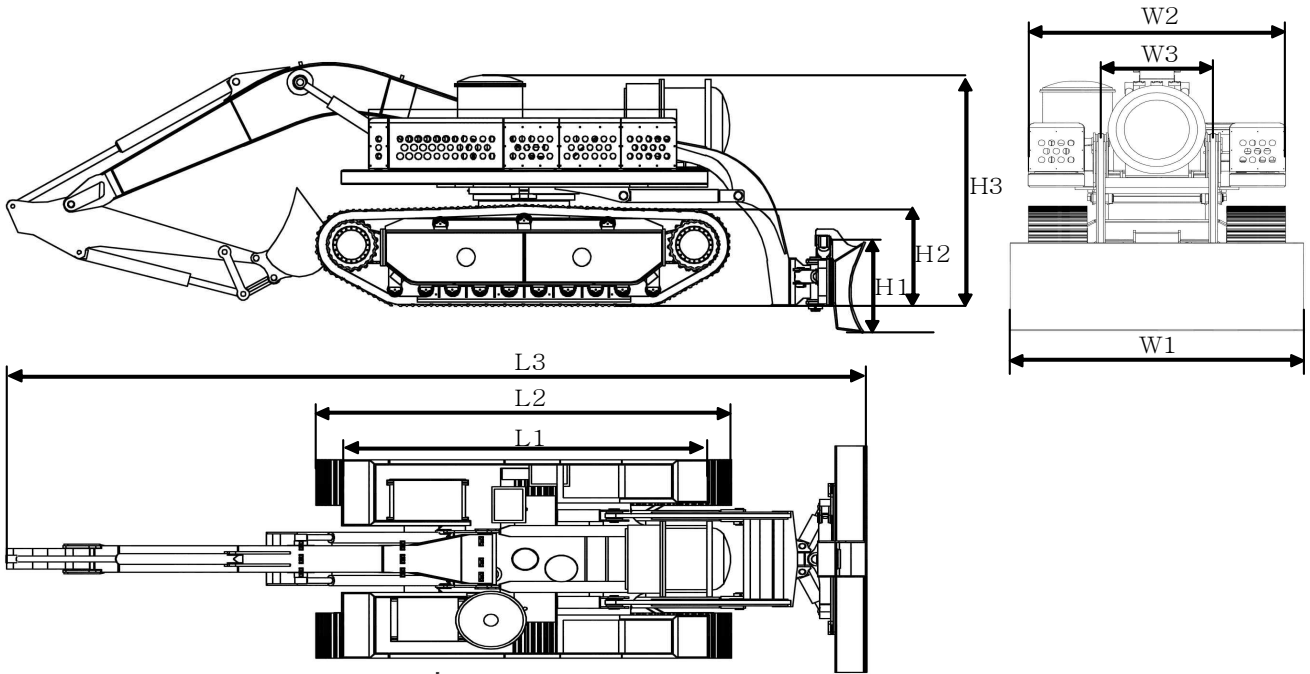


그림. A2-2 고르기 장비 기본 치수

명칭	기호	단위	표준
블레이드 폭	W1	mm	300
상부 플랫폼 폭	W2		2630
블레이드 구동빔 폭	W3		1150
블레이드 높이	H1		990
트랙 높이	H2		1060
기구전체 높이	H3		2520
상부프레임 길이	L1		9350
트랙 길이	L2		4450
장비 전체 길이	L3		3990

■ 발전기 기본 치수

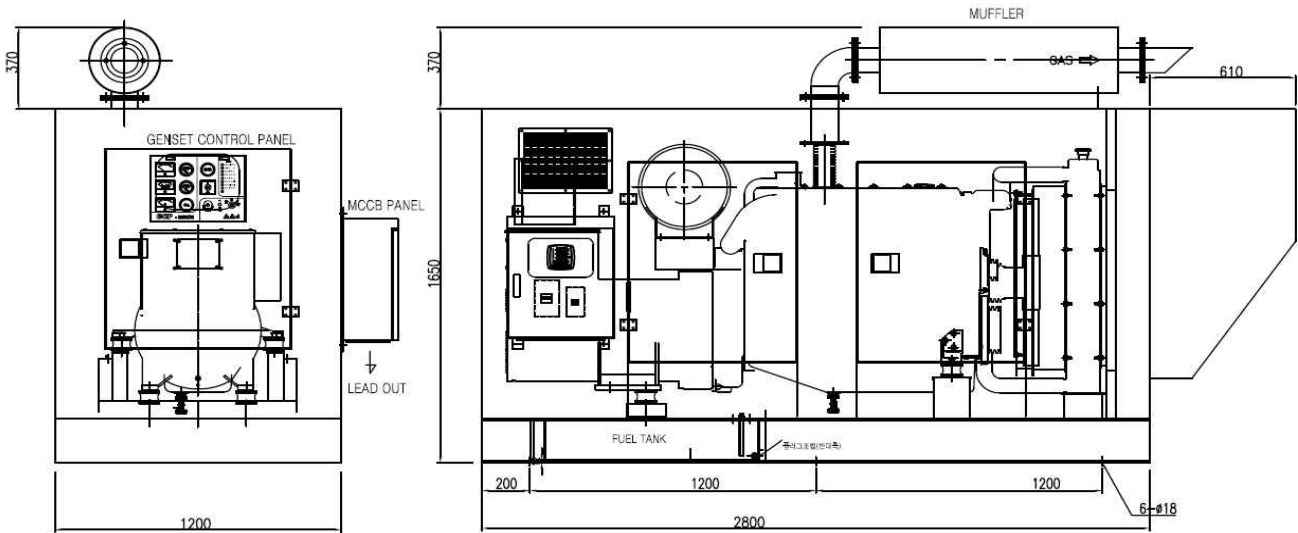


그림. A2-3 발전기 기본 치수

구분 Type	내용 옥외, 방음형
용량	Prime (연속출력) 160kW/200kVA at ISO std conditions Standby(최대출력) 175kW/219kVA
주파수	60Hz, 1800rpm
전압	254/440
Phase&Wire	3 Phase, 4Wire
디젤엔진	Doosan-Korea
발전기동체	Royal-Anns-Korea
연료탱크	Built-In Type, 200L
발전기운전반	Manual start/stop with protection
Remote 비상정지 시그널 및 스위치	발전기 작동 정지
변압기	15kVA, 440-220V 단상

■ 케이블 릴 기본 치수

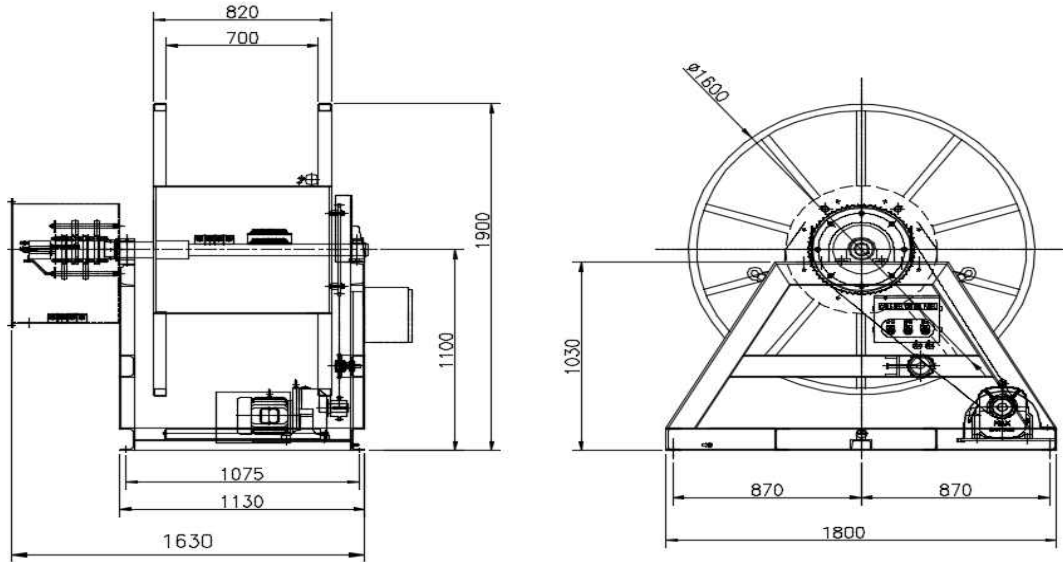


그림. A2-4 케이블 릴 기본 치수

구분	내용
Cable	<ul style="list-style-type: none"> o PNCT : 50 sq X 4c + 0.5sq X 30c + 0.75 X 2c o Size : approx. 11138.2 mm+14.2mm+10mm o Weight : approx. about 5 kg/m o Length : 100m
Winding Length	100m
Winding Speed	15~20 m/min
Winding Torque	95 kg.m (부력포함)
Power Source	AC380V, 3ph, 60Hz
Slip Ring	200Ax 4P + 2Ax 30P + 2Ax2P
Paint Color	아연도금 + YELLOW - 120um
Setting Height	Max. 2 m from G.L

■ 운전실 및 제어전장 기본 치수

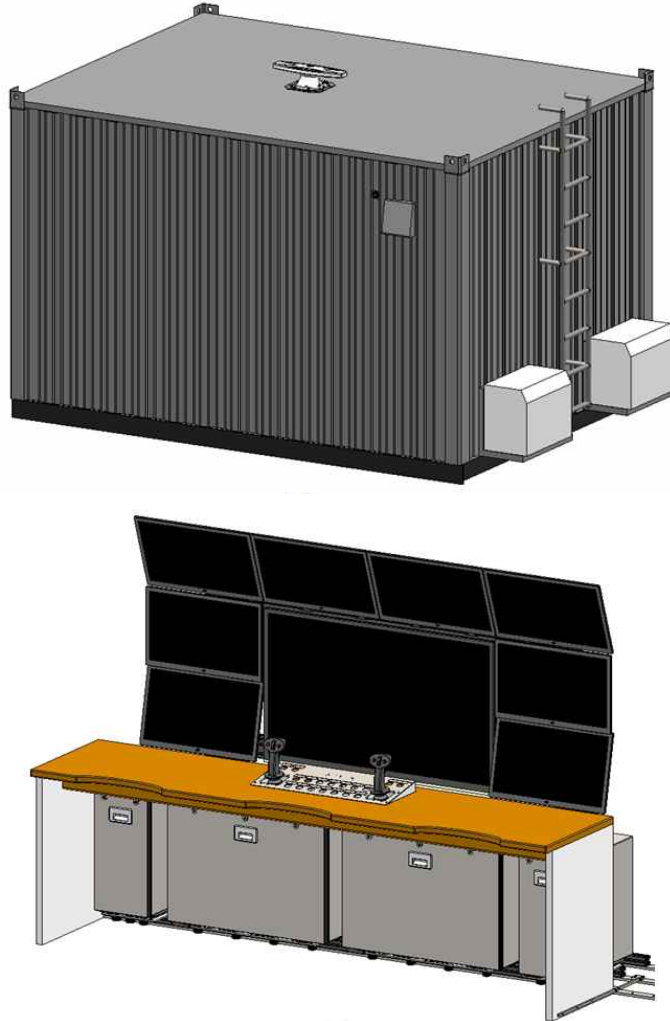


그림. A2-5 운영실 및 조종관 기본 구성

명칭	기호	단위	표준
운영실 폭	W	mm	3000
운영실 높이	H		2600
운영실 길이	D		4000
조종관 폭	W		2500
조종관 높이	H		2240
조종관 깊이	D		1000

2.2 도량형 환산표

표. A2-5 길이

단위	센티미터 cm	미터 m	킬로미터 km	인치 In	피이트 ft	야아드 yd	마일 mile
cm	1	0.01	0.00001	0.3937	0.03281	0.01094	0.000006
m	100	1	0.001	39.37	3.2808	1.0936	0.00062
km	100000	1000	1	39370.7	3280.8	1093.6	0.62137
in	2.54	0.0254	0.000025	1	0.08333	0.02777	0.000015
ft	30.48	0.3048	0.000304	12	1	0.3333	0.000189
yd	91.44	0.9144	0.000914	36	3	1	0.000568
mile	160930	1609.3	1.6093	63360	5280	1760	1

1 mm = 0.1cm, 1mm = 0.001m

표. A2-6 넓이

단위	평방센티 cm^2	평방미터 m^2	평방킬로 km^2	아아르 a	평방피트 ft^2	평방야드 yd^2	평방인치 in^2
cm^2	1	0.0001	-	0.000001	0.001076	0.000012	0.155000
m^2	10000	1	0.000001	0.01	10.764	1.1958	1550.000
km^2	-	1000000	1	10000	1076400	1195800	-
a	0.01	100	0.0001	1	1076.4	119.58	-
ft^2	-	0.092903	-	0.000929	1	0.1111	144.000
yd^2	-	0.83613	-	0.008361	9	1	1296.000
in^2	6.4516	0.000645	-	-	0.006943	0.000771	1

1ha = 100a, 1mile² = 259 ha = 2.59km²

표. A2-7 부피

단위	입방센티 $cm^3 = cc$	입방미터 m^3	리터 Liter	입방인치 in^3	입방피트 ft^3	입방야드 vd^3
$cm^3 = m$ liter	1	0.000001	0.001	0.061024	0.000035	0.000001
m^3	1000000	1	1000	61024	35.315	1.30796
Liter	1000	0.001	1	61.024	0.035315	0.001308
in^3	16.387	0.000016	0.01638	1	0.000578	0.000021
ft^3	28316.8	0.028317	28.317	1728	1	0.03704
vd^3	764529.8	0.76453	764.53	46656	27	1

1 gal(US) = 3785.41cm³ = 231in³ = 0.83267 gal(US)

표. A2-8 무게

단위	그램 g	킬로그램 kg	톤 t	온스 oz	파운드 lb
g	1	0.001	0.0000001	0.03527	0.0022
kg	1000	1	0.001	35.273	2.20459
t	1000000	1000	1	35273	2204.59
oz	28.3495	0.02835	0.000028	1	0.0625
lb	453.592	0.45359	0.000454	16	1

1tonne (metric) = 1.1023 ton(US) = 0.9842 ton(UK)

표. A2-9 압력

단위	- kgf/cm^2	바 bar	파스칼 $Pa=N/m^2$	킬로파스칼 kPa	psi lbf/in^2	파운드 lbf/ft^2
kgf/cm^2	1	0.98067	98065.5	98.0665	14.2233	2048.16
bar	1.01972	1	100000	100	14.5037	2088.6
$Pa=N/m^2$	0.00001	0.001	1	0.001	0.00015	0.02086
kPa	0.01020	0.01	1000	1	0.14504	20.886
lbf/in^2	0.07032	0.0689	6894.76	6.89476	1	144
lbf/ft^2	0.00047	0.00047	47.88028	0.04788	0.00694	1

$1kgf/cm^2 = 735.56 Torr(mmHg) = 0.96784 atm$

표. A2-10 기타 단위

SI 단위	환산 계수	Non-SI 단위	환산 계수	SI 단위
토오크				
뉴턴 미터 (N·m)	x 10.2	=kgf·cm	x 0.8664	=(lbf·in)
뉴턴 미터 (N·m)	x 0.74	=lb·ft	x 1.36	= N·m
뉴턴 미터 (N·m)	x 0.102	=kgf·m	x 7.22	=(lbf·ft)
압력(Pa = N/m²)				
킬로파스칼(kPa)	x 4.0	= in.H ₂ O	x 0.249	= kPa
킬로파스칼(kPa)	x 0.30	= in.Hg	x 3.38	= kPa
킬로파스칼(kPa)	x 0.145	= psi	x 6.89	= kPa
바(bar)	x 14.5	= psi	x 0.069	= (bar)
킬로퍼 제곱센티(kgf/ cm ²)	x 14.22	= psi	x 0.070	= (kgf/cm ²)
뉴턴퍼 제곱밀리(N/mm ²)	x 145.04	= psi	x 0.069	= (bar)
메가 파스칼(MPa)	x 145	= psi	x 0.00689	= MPa
동력(w=J/s)				
킬로와트(kW)	x 1.36	= PS(cv)	x 0.736	= kW
킬로와트(kW)	x 1.34	= HP	x 0.746	= kW
킬로와트(kW)	x 0.948	= Btu/s	x 1.066	= kW
와 트 (W)	x 0.74	= ft.lb/s	x 1.36	= W
에너지 (J = N·m)				
킬로줄(kJ)	x 0.948	= Btu	x 1.055	= kJ
줄 (J)	x 0.239	= calorie	x 4.19	= J
속도 및 가속도				
초속미터(m/s ²)	x 3.28	= ft/s ²	x 0.305	= m/s ²
초속미터(m/s)	x 3.28	= ft/s	x 0.305	= m/s
시속 킬로미터(km/h)	x 0.62	= mph	x 1.61	= km/h
마력/토오크				
BHP x 5252rpm = TQ(lb·ft)			TQ x rpm 5252 = B.H.P	
온도				
섭씨 =°C = (°F - 32)/1.8			화씨 °F = (°C x 1.8) + 3 2	
유량				
liter/min (dm ³ /min)	x 0.264	= US gal/min	x 3.785	= liter/min

주 : () Non-si 단위

표준 토오크

다음의 표는 볼트와 너트의 조합 조임 토오크에 대한 표준값입니다.

표. A2-11 미터 테이블

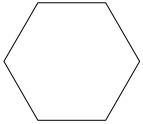

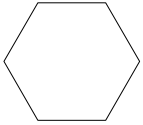
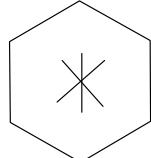
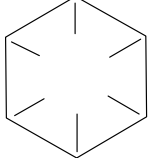
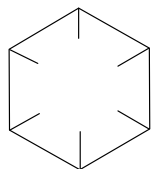
구분	4T	10T
볼트타입		
볼트사이즈	토오크 kgf·m(lbf·ft)	토오크 kgf·m(lbf·ft)
M4	0.2±0.02 (1.4±0.1)	0.4±0.04 (2.9±0.3)
M5	0.3±0.003 (2.2±0.2)	0.8±0.08 (5.8±0.6)
M6	0.5±0.05 (3.6±0.4)	1.4±0.14 (10.1±1.0)
M8	1.2±0.12 (8.7±0.9)	3.3±0.3 (23.8±2.2)
M10	2.3±0.23 (16.6±1.7)	6.5±0.7 (47±5)
M12	4.0±0.4 (29±3)	11.3±1.1 (82±8)
<M14>	6.4±0.6 (46±4)	17.9±1.8 (129±13)
M16	9.5±0.9 (69±6)	26.7±2.7 (193±19)
<M18>	13.5±1.4 (97±10)	38.0±3.8 (274±27)
M20	18.6±1.9 (134±14)	52.2±5.2 (377±38)
<M22>	24.7±2.5 (178±18)	69.4±6.9 (500±50)
M24	32.1±3.2 (232±23)	90.2±9.0 (650±65)
M30	62.6±6.3 (452±45)	176.1±17.6 (1270±127)
M36	108.2±10.8 (781±0.1)	304.3±30.4 (2200±220)
M42	171.8±17.2 (1240±124)	483.2±48.3 (3500±350)
M45	211.3±21.1 (1525±152)	594.3±50.4 (4300±430)

표. A2-12 인치 테이블

구분	4T,5tT	10T
볼트타입		  
볼트사이즈	토크 kgf·m(lbf·ft)	토크 kgf·m(lbf·ft)
1/4	0.6±0.06 (4.3±0.4)	1.7±0.2 (12.2±1.2)
5/16	1.2±0.12 (8.7±0.8)	3.0±0.3 (21.7±2.2)
3/8	2.0±0.20 (14.4±1.4)	5.6±0.5 (40±4)
7/16	3.2±0.32 (23±2)	8.9±0.9 (64±6)
1/2	4.7±0.47 (34±3)	13.4±1.3 (97±10)
9/16	6.8±0.68 (50±5)	19.0±1.9 (137±14)
5/8	9.3±0.93 (67±7)	26.1±2.6 (190±19)
3/4	16.0±1.60 (115±15)	45.1±4.5 (325±33)
7/8	25.5±2.55 (185±19)	71.6±7.2 (520±52)
1	38.0±3.80 (275±27)	106.9±10.7 (770±77)
1-1/8	54.1±5.41(390±39)	152.2±15.2 (1100±110)
1-1/4	74.2±7.42 (535±54)	208.9±20.9 (1510±151)
1-3/4	98.8±9.88 (710±70)	277.8±27.8 (2000±200)
1-1/2	128.2±12.82 (925±93)	360.7±36.1 (2600±260)

중요! 이 토크 테이블은 나일론 패킹, 비철금속계 와셔가 사용되는 볼트 또는 별도의 토크 및 조임 규정이 있는 볼트에는 적용되지 않습니다.

중요! $N\cdot m (\neq \text{wton meter}) : 1 N\cdot m = 0.1 \text{ kgf}\cdot m$

3. 점검 및 성능시험

3.1 장비 기구부

(1) 방수 상태 점검

- 장비의 전기부, 센서부 등은 블록에 내장되어있어 수심 30m까지 방수를 보장합니다.
- 내압용기는 7Set(슬립링, 전동기, 제어기, 구동판넬, 밸브블록I, 밸브블록II, 유압탱크)으로 구성되어 있으며 각 블록에는 통신/전원 등을 위한 커넥터가 연결됩니다.
- 블록의 조립용 볼트는 M6이며 토크환산표에 나타난 조임토크의 80%까지 조여 주십시오.
- 커넥터는 손으로 충분히 조인 후 플라이어 등으로 2/3바퀴 더 조여 주십시오.
- 케이블 글랜드는 규격 스패너를 이용하여 조이되 씬(Seal) 패킹부가 글랜드 캡위로 2mm정도 돌출될 때 까지 조여 주십시오.
- 방수 확인용 플러그를 기밀테이프를 이용하여 조여 주십시오.
- 수상에서 방수 상태의 점검은 테스트를 원하는 내압용기의 방수 확인용 플러그를 통해 공기압을 주입하고 점검합니다. (단, 공기압은 2.0kgf/cm^2 을 초과하지 마십시오)
- 가압을 수행한 후 압력이 떨어지는 정도를 관찰하거나, 수밀의심 부위에 거품을 분사하여 관찰하면 됩니다.
- 수중의 경우 30분간 대기 합니다. 각 내압용기 내부에는 누수센서가 내장되어 있어 누수가 발생할 경우 운영실에 누수 알람으로 확인이 가능합니다.

(2) 유압부 성능 시험

- 유압 및 통신케이블이 정상인 상태에서 시험합니다.
- 장비를 평평한 지면에 거치시켜 주십시오.
- 발전기를 통해 장비에 전원을 인가합니다.
- 장비에 시동을 키고 운영실 내부의 압력게이지를 모니터링 합니다.
장비의 내구성 및 안정성을 고려하여 사용압력은 릴리프 밸브를 조절하여 250kgf/cm^2 에 맞추어 사용할 것을 권장합니다. 이때의 펌프의 토출 유량은 180L/min으로 장비를 운영할 때 가장 효율적으로 활용할 수 있습니다.

(3) 주행부 성능 시험

- 유압 및 통신케이블이 정상인 상태에서 시험합니다.
- 장비를 평평한 지면에 거치시켜 주십시오.

- 발전기를 통해 장비에 전원을 인가합니다.
- 장비에 시동을 키고 각 주행 조이스틱을 100%작동하여 주행속도를 측정합니다.
- 측정된 주행속도가 1.33km/h ($\pm 10\%$ 이내) 이면 정상상태입니다.

(4) 견인력 시험

- 유압 및 통신케이블이 정상인 상태에서 시험합니다.
- 장비를 평평한 지면에 거치시켜 주십시오.
- 발전기를 통해 장비에 전원을 인가합니다.
- 사진과 같이 로드셀을 설치 합니다. (단, 로드셀은 20Ton이상의 사양을 사용합니다.)
- 장비에 시동을 키고 각 주행 조이스틱을 100%작동하여 로드셀에 인가되는 견인력을 측정합니다.
- 측정된 견인력이 13Ton ($\pm 10\%$ 이내) 이면 정상상태입니다.

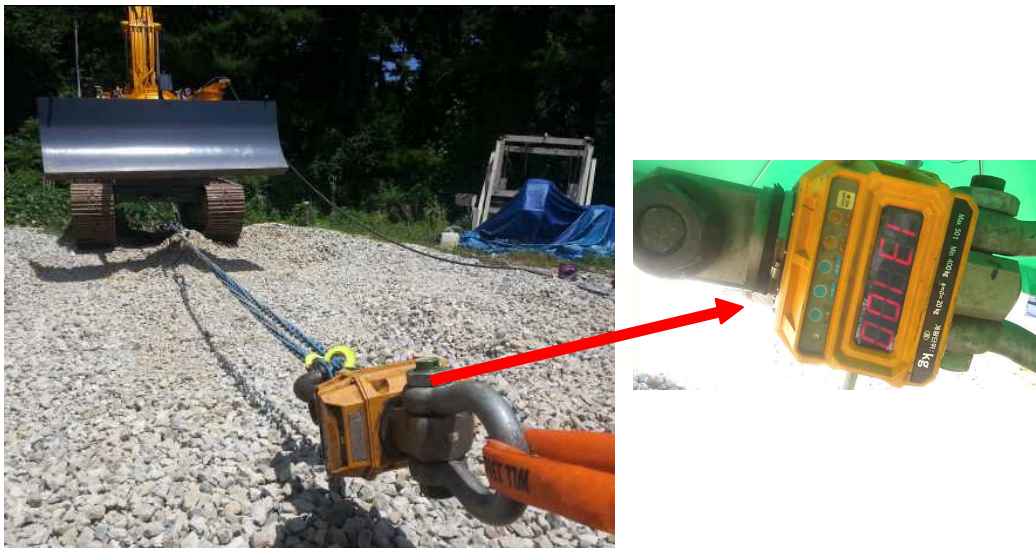


그림. A3-1 견인력 시험

3.2 발전기

- 발전기는 별첨된 “발전기세트 취급설명서”에 준하여 점검합니다.

4 사석 고르기 장비를 이용한 시공방법

4.1 운전방법

(1) 운전실의 조작

■ 고르기 장비 기능 선택

- 운전실에서는 그림. A4-1과 같이 테이블에 설치된 제어전장에서 관련된 버튼 및 스위치등을 이용하여 표 A4-1과 같이 쉽게 수중 고르기 장비의 기능을 선택 및 활성화할 수 있습니다.

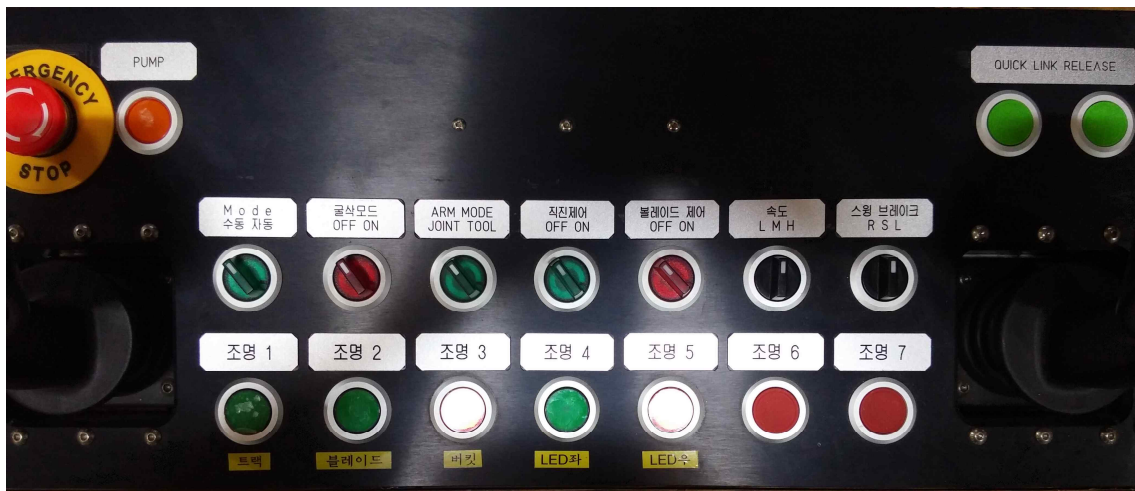


그림. A4-1 제어전장

표. 1 제어전장 기본기능 설명

구분	기능	비고
EMERGENCY STOP	ON/OFF	장비 전체 전원 차단
PUMP	ON/OFF	유압펌프 구동용 전동기 시동
QUICK LINK RELEASE	ON/OFF	QUICK LINK
MODE	수동/자동 (제어 Select)	제어 작업시 자동으로 선택
굴삭모드	ON/OFF (Boom/Blade)	편의를 위해 전용시트로 위치 변경
ARM MODE	JOINT/TOOL	ARM 구동시 좌표계 변경
직진제어	ON/OFF	장비 진행방향 제어 역할
블레이드 제어	ON/OFF (Boom/Blade)	편의를 위해 전용시트로 위치 변경
속도	L/M/H	유량제어
스윙 브레이크	R/S/L (스윙브레이크 구동용)	편의를 위해 전용시트로 위치 변경
조명 1	ON/OFF	피사체 (Track 캐터필러)
조명 2	ON/OFF	피사체 (Blade 후방)
조명 3	ON/OFF	피사체 (Bucket)
조명 4	ON/OFF	피사체 (Blade 좌측전방)
조명 5	ON/OFF	피사체 (Blade 우측전방)

■ 고르기 장비 조종

- 운전실에서는 그림. A4-2와 같이 관련 버튼 및 조이스틱으로 쉽게 고르기 장비 구동을 할 수 있으며 굴삭모드 여부에 따라 조이스틱의 역할이 달라지게 됩니다.

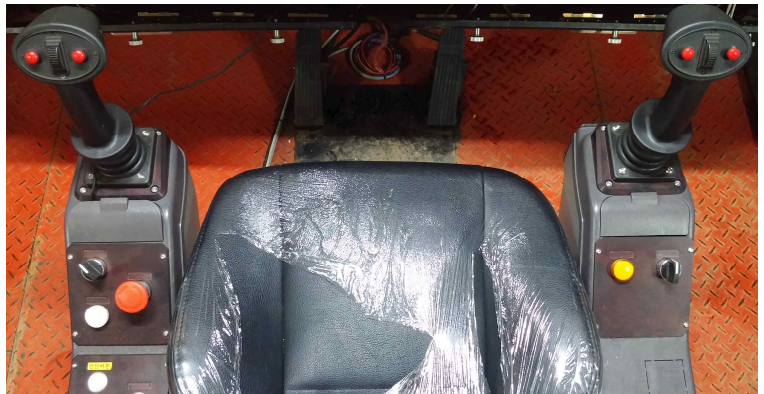


그림. A4-2 Operating 전용 시트

▶ 굴삭모드 OFF 시

그림 A4-3과 같이 우-조이스틱 앞뒤 조종시 장비 Blade의 상/하운동이 이루어집니다.

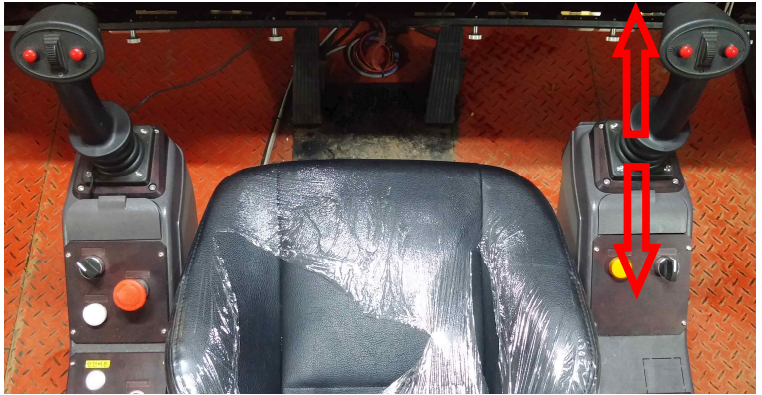
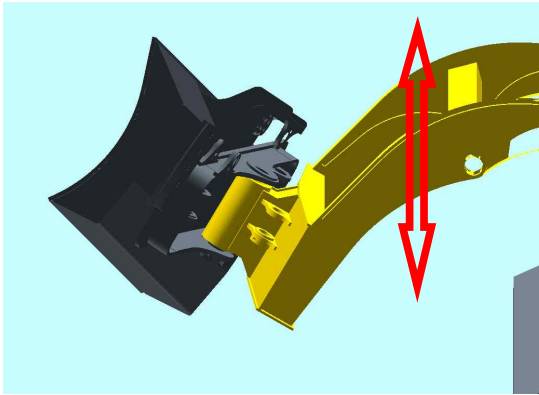


그림. A4-3 고르기 장비의 Blade 상/하 조종

그림 A4-4와 같이 우-조이스틱 좌우 조종시 장비 Blade의 상/하틸팅 운동이 이루어집니다.

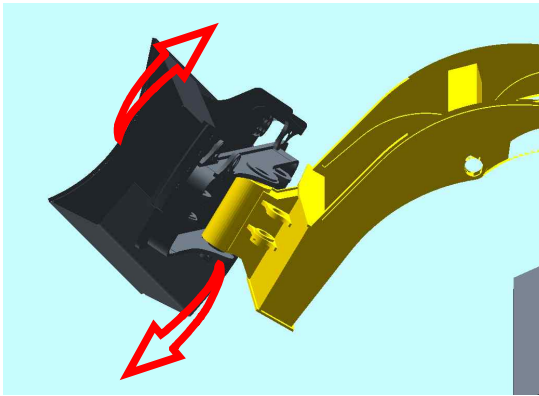


그림. A4-4 고르기 장비의 Blade 상/하틸팅 조종

그림 A4-5와 같이 우-조이스틱 버튼을 누를시 장비 Blade의 좌/우틸팅 운동이 이루어집니다.

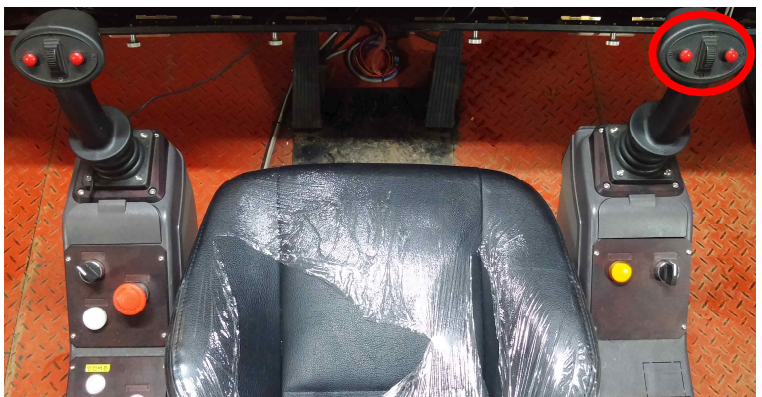
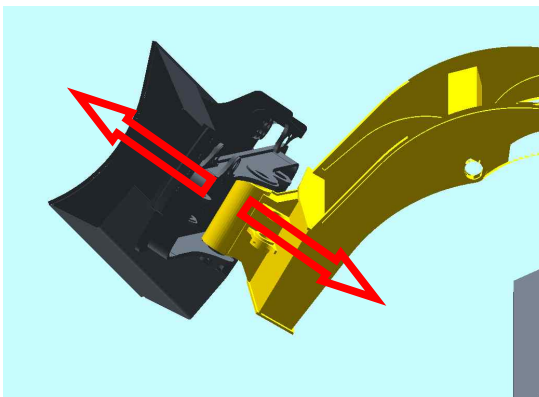


그림. A4-5 고르기 장비의 Blade 좌/우틸팅 조종

그림 A4-6과 같이 좌-조이스틱 앞뒤 조종시 장비 전/후주행이 이루어집니다.



그림. A4-6 고르기 장비의 전/후주행 조종

그림 A4-7과 같이 좌-조이스틱 좌우 조종시 장비 좌/우회전주행이 이루어집니다.



그림. A4-7 고르기 장비의 좌/우회전주행 조종

▶ 굴삭모드 ON 시

그림 A4-8과 같이 우-조이스틱 앞뒤 조종시 장비 Boom 상/하 운동이 이루어집니다.

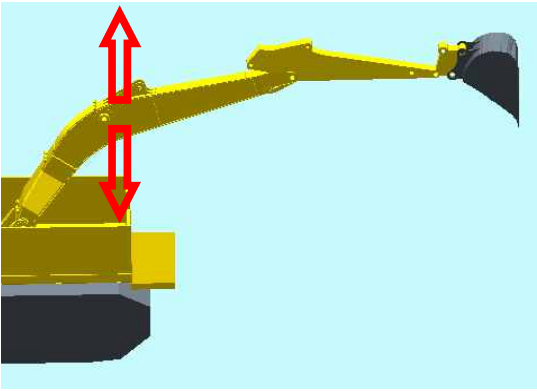


그림. A4-8 고르기 장비의 Boom 상/하 조종

그림 A4-9와 같이 우-조이스틱 좌우 조종시 장비 Bucket 퍼짐/오므라짐 운동이 이루어집니다.

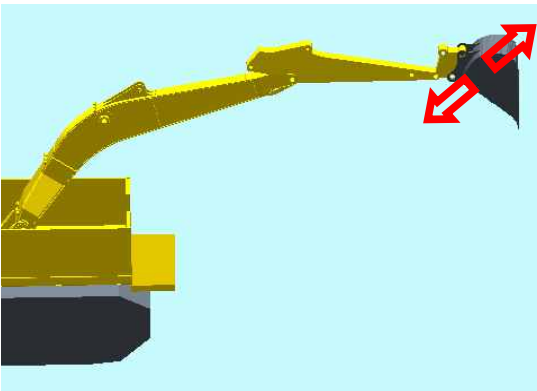


그림. A4-9 고르기 장비의 Bucket 퍼짐/오므라짐 조종

그림 A4-10과 같이 좌-조이스틱 앞뒤 조종시 장비 Arm 퍼짐/오므라짐 운동이 이루어집니다.

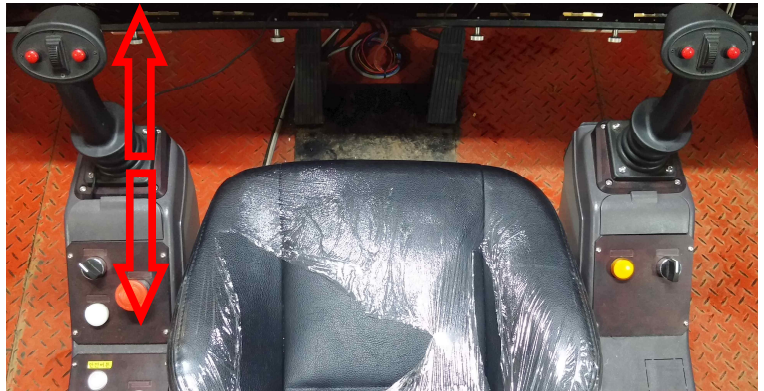
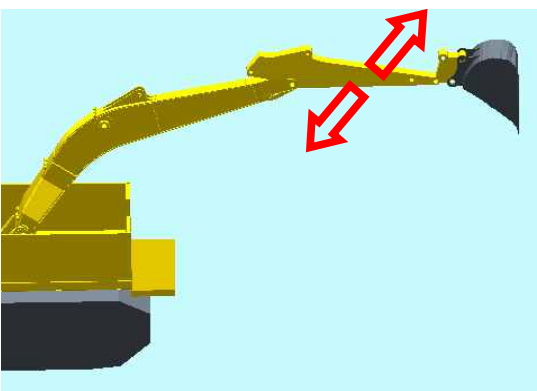


그림. A4-10 고르기 장비의 Arm 퍼짐/오므라짐 조종

그림 A4-11과 같이 좌-조이스틱 좌우 조종시 장비 Swing 운동이 이루어집니다.



그림. A4-11 고르기 장비의 Swing 조종

▶ 기타

그림. A4-12와 표 A4-2는 장비 구동 명령 이외에 작업시 사용되는 주요 기능을 나타냅니다.

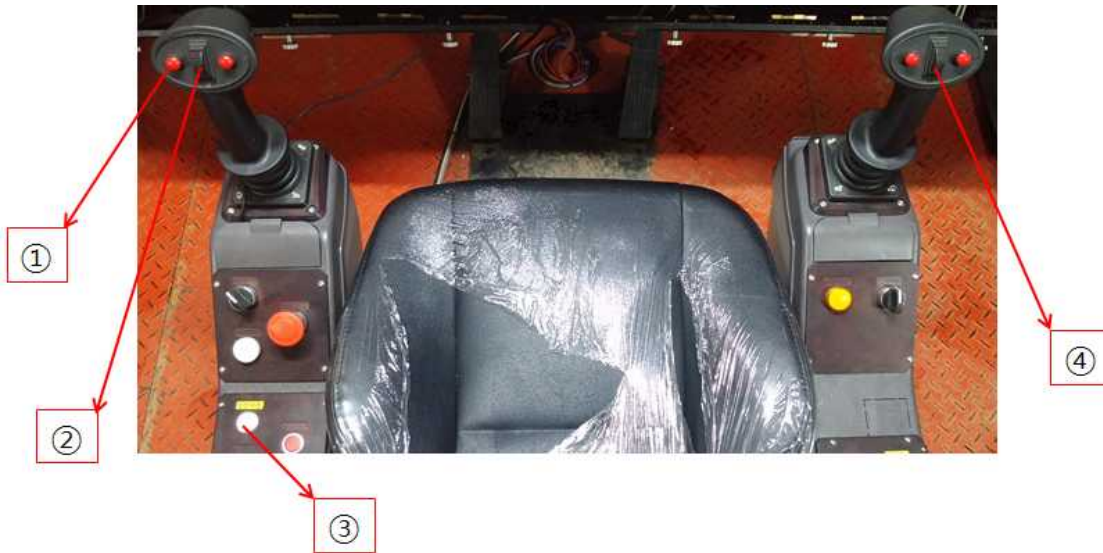


그림. A4-12 기타 조종 기능

표. A4-2 작업시 사용되는 전용시트 상의 주요기능

구분	기능	비고
①	굴삭모드 ON/OFF	굴삭모드 여부에 따라 다른구동
②	블레이드 제어 ON/OFF	설정된 높이로 블레이드 제어
③	전용시트 구동 ON/OFF	시트 안전스위치
④	스윙브레이크 R/S/L	스윙 후 작업시 플랫폼 고정용

4.2 시공방법

■ 장비의 배치

수중작업을 위해 고르기 장비, 케이블 릴, 발전기, 운영실 등을 바지선상에 그림. A4-14와 같이 배치합니다.

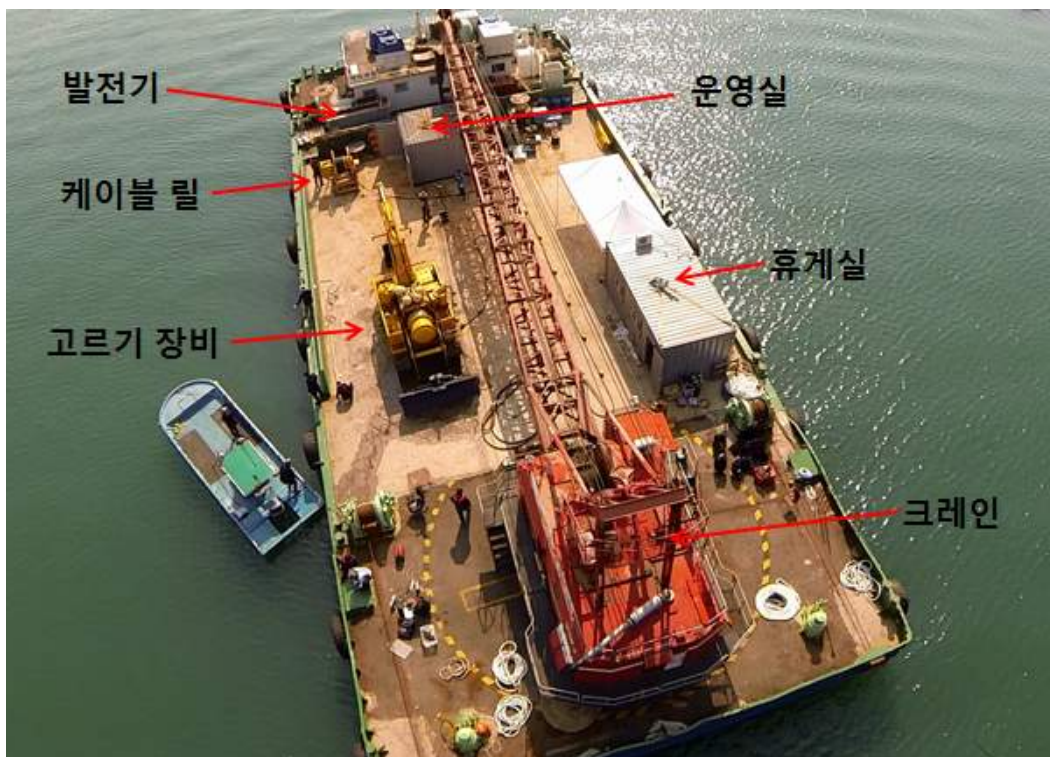


그림. A4-14 바지선상의 장비 배치도

■ 수중 작업 전 확인 사항

1. 장비 커넥터 등의 방수 상황을 점검합니다.
2. 유압배선, 전기 배선 등의 간섭여부를 육안 점검합니다.
3. 액추에이터 구동으로 블레이드 및 다목적 암 길이 센서값 변화를 확인합니다.
4. 주행으로 근접센서 신호를 확인합니다.
5. 상부 플랫폼 회전으로 엔코더 변화량을 확인합니다.
6. 스윙 락 기능 확인합니다.
7. 카메라 영상을 확인합니다.

8. 조명 작동을 확인합니다.
9. 스트레인게이지 작동 유무를 확인합니다.
10. 헤머헤드, 블루뷰, 팬틸트, DVL, LBL 통신 상태를 점검합니다.
11. 유위, 온도, 압력 센서값 등을 확인합니다.

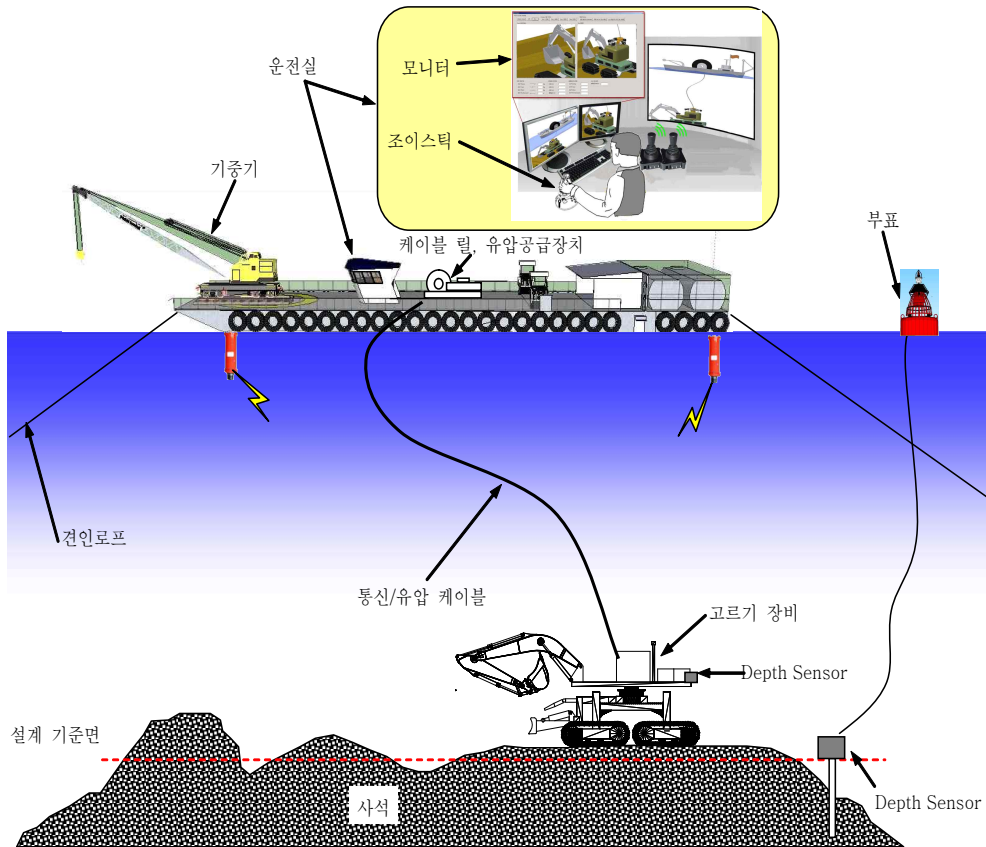
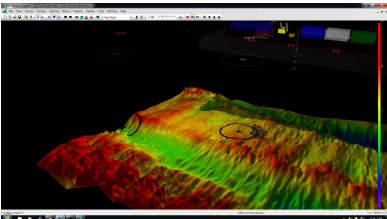



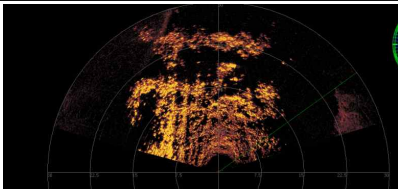


그림. A4-15 수중 사석고르기 기계화 시공 시공방법

■ 수중 사석고르기 기계화 시공 공정

수중 사석고르기 기계화 시공 공정은 그림. A4-15에서 보이듯이 아래의 순서에 따라 행해집니다.

 <p>1. Pre-survey</p>	<p>작업할 영역에 대해 멀티빔 소나등을 이용하여 Pre-survey를 수행한다. Pre-survey결과는 작업할 영역에 대한 상황판단, 시공 순서 및 시공방향 등을 판단하는 데 사용된다. 또한 3차원 가시화 시스템의 수중 지형도로 활용된다.</p>
 <p>2. 장비 권양/진수</p>	<p>크레인으로 장비를 권양하여 작업을 수행할 위치까지 장비를 내린다. 장비가 사석면에 안정적으로 착저되면 잠수부는 장비에 부착된 체인고리를 모두 풀어 준다.</p>
 <p>3. 사석고르기 작업 (블레이드)</p>	<p>사석고르기 작업은 기본적으로 블레이드를 제어한 상태에서 주행으로 작업 영역의 사석 마운드를 작업 기준높이에 맞도록 고르기 작업을 수행한다.</p>
 <p>4. 사석고르기 작업 (다목적 암)</p>	<p>블레이드 작업으로 수행되지 못하는 마운드 등은 다목적 암으로 파기 또는 매우기 형태로 작업을 수행한다. 모든 수중 작업은 3차원 가시화 시스템을 통해 실시간 모니터링 되어 조이스틱을 통해 이루어진다.</p>



5. 작업면 확인

실시간 작업 중 작업결과는 블레이드 전방에 부착된 스캔 소나(Hammer Head)를 통해 전반적 성향을 확인하거나, 블레이드 작업 중 블레이드 수심 센서의 절대값을 확인하여 고르기 작업의 정도를 간접적으로 확인할 수 있다.

6. 작업결과 확인

설정된 작업영역의 공정이 완료되면, 장비를 크레인으로 회수하고 작업된 영역에 대해 멀티빔 소나 등을 이용하여 Post-survey를 수행한다. Post-survey의 결과로부터 작업 결과를 정량화하여 판단한다.

또는 시공현장에서 사용하는 표척을 이용한 수중 측량 방법을 병행사용할 수도 있다.

PART B. 사석 고르기 장비의 유지보수 매뉴얼

<세부 목차>

1 기구부	36
1.1 사석 고르기 장비의 기구부 사양	36
1.2 기구부 유지보수	37
2 유압부	39
2.1 유압부 구성	39
2.2 유압부 유지보수	43

1 기구부

1.1 사석 고르기 장비의 기구부 사양

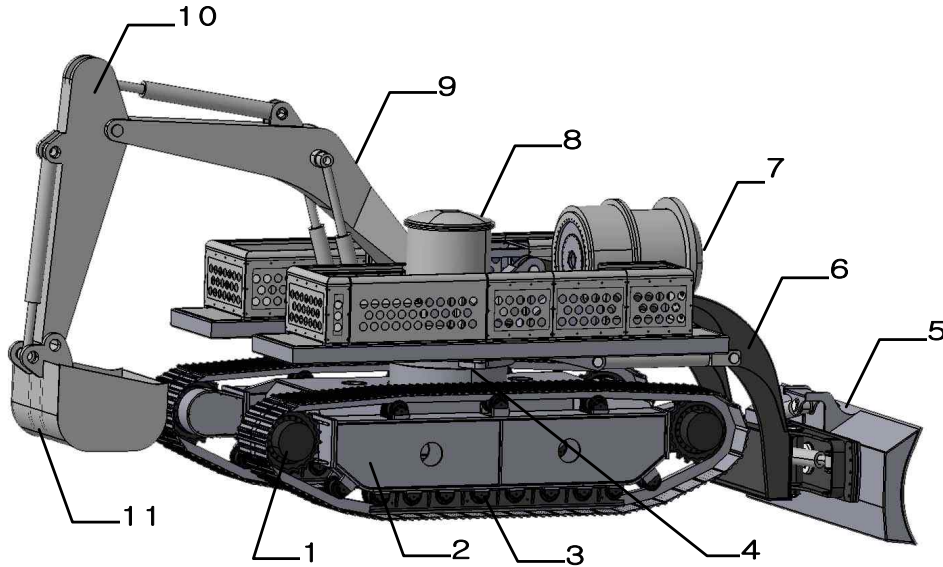


그림. B1-1 장비의 구성

No.	명칭	기능
1	주행모터	트랙을 구동시키는 기능
2	하부 프레임	주행모터 그라우저 등이 부착되는 프레임
3	그라우저	사석면과 밀착되어 이동되는 기능
4	스윙부	하부프레임을 기준으로 상부프레임을 회전시키는 기능
5	블레이드	사석을 밀어 고르기 작업을 수행하는 기능
6	블레이드 프레임	블레이드를 상하로 이동시키는 기능
7	유압공급장치	전동기, 유압펌프 등으로 구성되어 전기에너지로 유압을 생성하는 기능
8	작동유 탱크	유압구동을 위해 작동유를 저장하는 공간
9	메인몸	다목적암 전체를 상하운동 시키는 기능
10	투붐	툴(버킷)을 상하운동 시키는 기능
11	버킷	사석을 퍼내거나 매우는 기능

- 기구부의 구조 및 구성은 기구도면을 참조하여 주십시오.

1.2 기구부 유지보수

점검/정비 일람표

중요! 정기 점검은 장비의 성능을 최적 조건으로 유지시키고, 고장을 조기에 발견할 수 있도록 하여줌으로 항상 기준에 따라 실시하여 주십시오.

매 10시간(매일 작업 전)

- 장비 외관 점검
 - 볼트, 너트의 풀림.
 - 기구의 간섭(끼임) 상태.
 - 유압, 전기 배선 상태 육안 점검.
- 그라우저 잇날 점검 및 교환
잇날의 마모 정도 및 잇날 핀의 장착 상태를 점검하여 필요시 신품과 교환하여 주십시오.
- 그리스 주입
회전부 및 조인트의 그리스 주입구에 그리스를 주입하여 주십시오.

매 250시간 정비

- 스윙모터 감속기 기어오일 수준 점검 및 보충
기어오일 수준을 점검하고 부족 시에는 보충하여 주십시오.
오일이 현저히 줄어 있을 경우에는 오일 씰의 누유 여부를 점검하고 필요시에는 수리하여 주십시오.
- 주행모터 감속기 기어오일 수준 점검 및 보충
기어오일 수준을 점검하고 부족 시에는 보충하여 주십시오.
오일이 현저히 줄어 있을 경우에는 오일 씰의 누유 여부를 점검하고 필요시에는 수리하여 주십시오.
- 용접부 크랙상태 점검
장비의 견인러그, 견인체인, 작업 톨(블레이드, 다목적 암) 등의 주요부위를 육안검사를 통해 크랙 유무를 확인해 주십시오. 크랙이나 이상이 발견되면, 운전을 중지하고 작업 절차에 따라 보수해 주십시오.

최소 500시간 정비

- 스윙모터 감속기 기어오일 교환
규정된 기어오일을 사용하여 교환하여 주십시오.
- 주행모터 감속기 기어오일 교환
규정된 기어오일을 사용하여 교환하여 주십시오.

2 유압부

2.1 유압부 구성

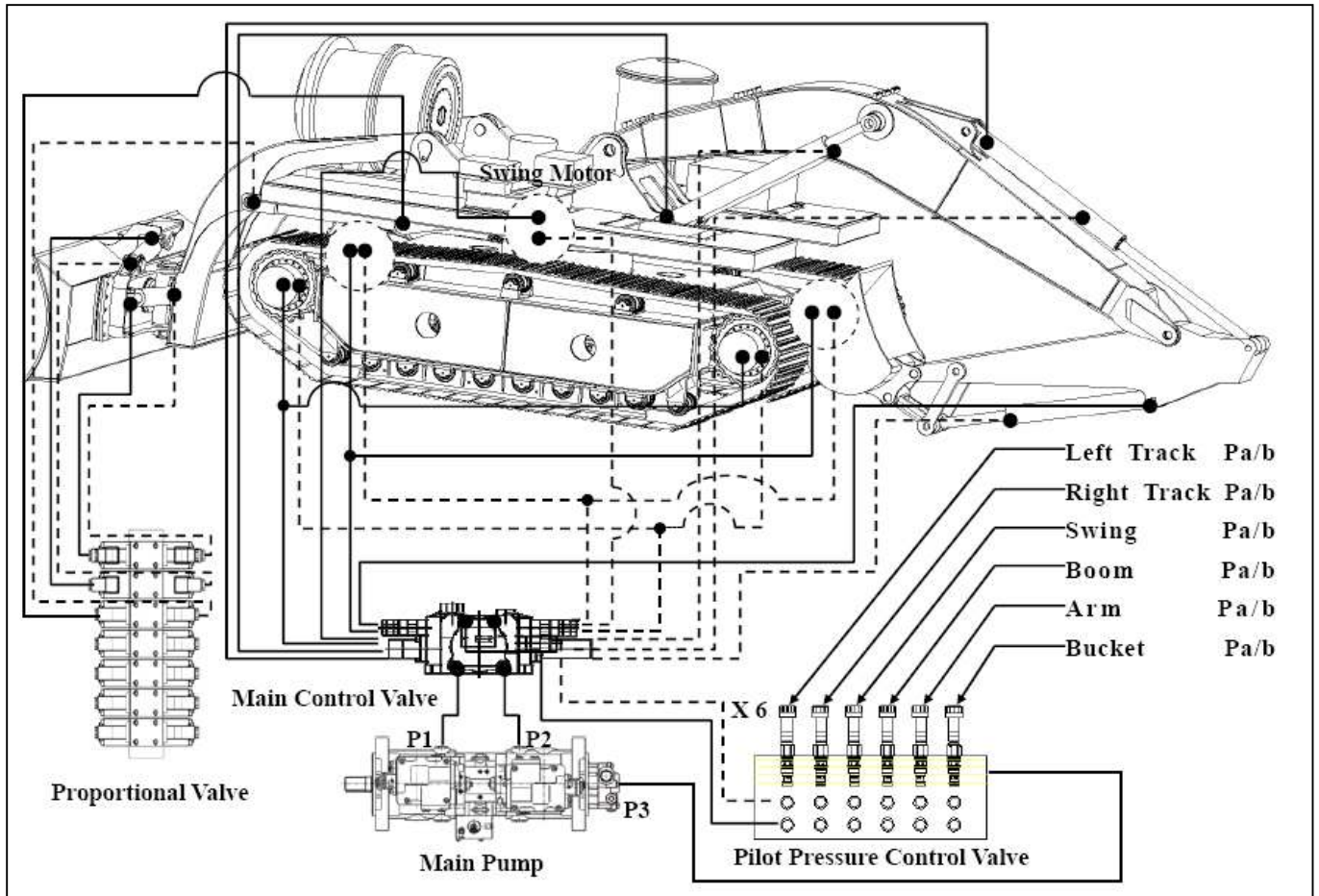


그림. B2-1 유압 시스템의 전체 구성

- 장비의 유압회로는 그림. B2-1과 같이 메인펌프(Main Pump)가 유압탱크로부터 작동유를 펌핑하여 유압원을 생성한다. 생성된 유압원은 파일럿 압력제어밸브(Pilot Pressure Control Valve), MCV(Main Control Valve), 비례제어밸브(Proportional Valve)를 이용하여 장비의 유압실린더 및 유압모터를 구동시키게 됩니다.
- 단, 블레이드를 제어하는 비례제어밸브의 유압원은 MCV의 외부포트(External Port)를 통해 유압이 공급되며, 나머지 액추에이터는 모두 MCV에 의해 제어됩니다.

(1) 주행 시스템의 유압회로 구성

- 주행 시스템의 유압회로는 그림. B2-2와 같습니다.
- 주행을 위해 파일럿 압력제어밸브가 MCV의 주행부 스펴에 파일럿 압력을 제어하면, MCV의 스펴이 파일럿 압력에 비례하여 구동하고, 주행모터에 유압이 인가됩니다.
- 주행모터는 좌/우 트랙에 각 2개의 모터가 장착되어 있으며, 유압결선은 구조상 상호 반대 포트를 사용하여 결선됩니다.

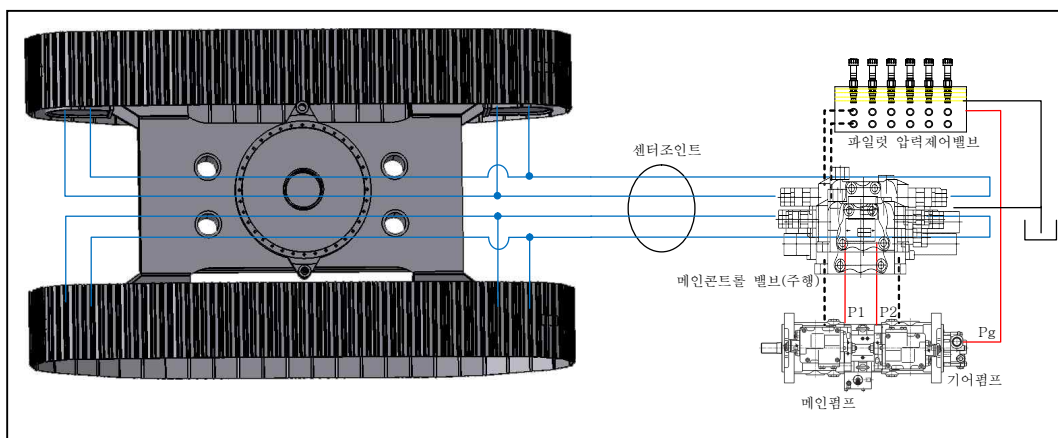


그림. B2-2 주행 시스템의 유압회로

(2) 플랫폼 회전 시스템의 유압회로 구성

- 플랫폼 회전 시스템의 유압회로는 그림. B2-3과 같습니다.
- 플랫폼 회전을 위해 파일럿 압력제어밸브가 MCV의 스윙부 스펴에 파일럿 압력을 제어하면, MCV의 스펴이 파일럿 압력에 비례하여 구동하고, 스윙모터에 유압이 인가됩니다.
- 스윙모터의 회전은 스윙모터감속기를 회전시키고 감속기의 출력은 스윙데스를 회전시켜 상부 플랫폼 전체가 회전됩니다.

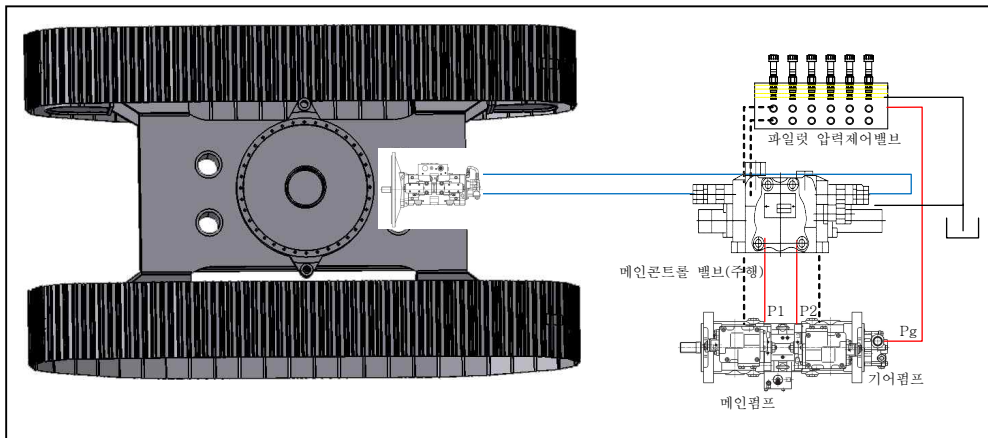


그림. B2-3 플랫폼 회전 시스템의 유압회로

(3) 블레이드 시스템의 유압회로 구성

- 블레이드의 유압회로는 그림. B2-4와 같습니다.
- 블레이드 구동을 위해 MCV의 외부포트(External Port)에 파일럿 압력이 인가되며, 이때 외부포트로 유압원이 토출되어 프로포셔널 밸브 블록에 유압원이 입력됩니다. 인가된 유압원을 프로포셔널 밸브가 조절하여 블레이드의 3자유 운동을 생성합니다.

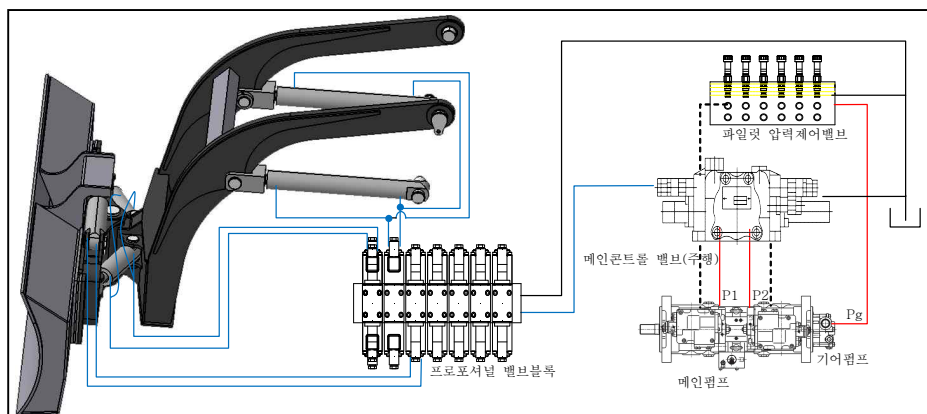


그림. B2-4 블레이드 시스템의 유압회로

(4) 다목적 암의 유압회로 구성

- 다목적 암의 유압회로는 그림. B2-5와 같습니다.
- 다목적암 구동을 위해 구동지령에 비례하는 파일럿 압력이 MCV에 인가되며, MCV는 파일럿 압력에 비례하여 스톱을 이동시킴으로서 다목적 암을 구동하게 됩니다.

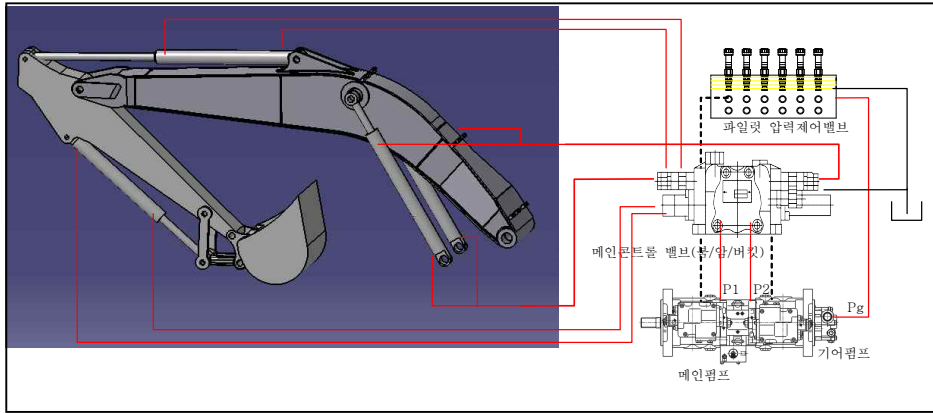


그림. B2-5 다목적 암의 유압회로

(4) 비례제어밸브 블록

비례제어밸브 블록 내부에 사용된 밸브는 표. B2-1과 같습니다.

표. B2-1 비례제어밸브 블록의 밸브 구성

NO.	명칭	Model	갯수	비고
1	블레이드 상하	DSPE5-C80/11N-IE/D24K1	1EA	
2	블레이드 상하틸팅	A PW 4D101-50-G24	1EA	
3	블레이드 좌우틸팅	DSG-01-3C4-D24-80	1EA	
4	스윙 고정	DSG-01-3C4-D24-80	1EA	
5	크람셀	DSG-03-3C4-D24	1EA	
6	Spare 밸브	DSG-03-3C4-D24	1EA	
7	퀵 링크	DSG-01-2B2-D24	1EA	

2.2 유압부 유지보수

(1) 점검/정비 일람표

중요! 정기 점검은 장비의 성능을 최적 조건으로 유지시키고, 고장을 조기에 발견할 수 있도록 하여줌으로 항상 기준에 따라 실시하여 주십시오.

유압부와 발전기부는 아래 일람에 의거 함께 점검해 주십시오.

매 10시간(매일 작업 전)

- 장비 외관 점검
 - 볼트, 너트의 풀림.
 - 윤활유 누출.
 - 유압, 전기 배선 상태 육안 점검.
- 작동유 수준 점검

작동유 레벨 게이지의 작동상태를 점검하고 작동유 탱크의 레벨을 체크하십시오.
약 70%의 작동 레벨을 유지하십시오.
- 엔진오일 수준 점검

엔진오일 레벨을 디스틱을 이용하여 확인하고 필요시 보충하여 주십시오.
- 연료 수준 점검

연료 탱크는 매일 작업 후에 충전시켜야 합니다.
- 에어 크리너 엘레먼트 점검, 청소 및 교환

먼지가 많은 작업장에서는 시동 전에 엘레먼트의 상태를 점검하여 청소하거나 필요시 교환하여 주십시오.
- 유압탱크 크리너 점검

브리더가 정확한 상태에 조립되어 있는지 점검하여 주십시오.
먼지가 많은 작업장에서 작업시에는 브리더 내부 필터를 점검하여 청소 혹은 필요시 교체하여 주십시오.

- **흰 벨트 장력 점검**

흰 벨트의 장력을 점검하고 손상 여부를 확인하여 필요시 교환하십시오.

최소 50시간 정비

- **엔진오일 및 필터 교환**

엔진오일은 규정된 규격의 제품으로 교환하고, 엔진오일 필터는 반드시 순정부품만을 사용하여 교환하여 주십시오.

- **흰 벨트 장력점검**

흰 벨트의 상태를 점검하고 장력을 조정하여 주십시오.

중요! 비순정 필터를 사용하여 엔진오일을 교환하게 되면 엔진오일의 열화에 따라 엔진 윤활 계통에 치명적인 이상을 초래하게 됩니다.

매 50시간 정비

- **연료 탱크 침전물 배출**

연료 탱크 바닥에 고인 수분 및 침전물을 배출하여 주십시오.

매 200시간 정비

- **연료 필터 교환**

연료 필터를 순정부품을 사용하여 교환하여 주십시오.

- **에어크리너 엘리먼트**

에어크리너 엘리먼트를 순정부품을 사용하여 교환하여 주십시오.

최고 250시간 정비

- **유압오일 흡입 필터 교환**

유압탱크로부터 공기를 배출하여 주십시오.

조립시에는 O-링이 손상되지 않도록 주의하십시오.

- 파일럿 유압 필터 교환
순정부품을 사용하여 주십시오.

매 400시간 정비

- 엔진오일 및 필터 교환
엔진오일은 규정된 규격의 제품으로 교환하고, 엔진오일 필터는 반드시 순정부품을 사용하여 교환하여 주십시오.

중요! 비순정 필터를 사용하여 엔진오일을 교환하게 되면 엔진오일의 열화에 따라 엔진 열화에 따라 엔진 윤활 계통에 치명적인 이상을 초래 하게 됩니다.

- 연료 필터 교환
연료 1, 2차 필터를 동시에 순정 부품을 사용하여 교환하여 주십시오.

매 500시간 정비

- 냉각수 농도 점검
냉각수 농도를 점검하고 사용온도 범위로 조절하여 주십시오.
(부동액과 물의 비율은 50:50임)

중요! 부동액은 부식 방지 기능도 갖고 있으므로 사계절 계속 사용토록 하여 주십시오.

- 유압 오일 리턴 필터 교환
유압 오일 리턴 필터를 순정 부품을 사용하여 교환하여 주십시오.
- 라디에이터, 오일쿨러 점검 및 세척
냉각 팬에 오물이 끼어 있는지 점검하고 필요시 압축 공기나 수압으로 세척하여 주십시오.

매 1000시간 정비

- 파일럿 휠터를 교환
파일럿 휠터 엘레먼트를 순정 부품으로 교환하여 주십시오.
- 엔진 밸브 간극 점검 및 조정.
엔진 흡기, 배기 밸브 간극을 측정하여 필요시 조정하여 주십시오.

매 2000시간 정비

- 유압오일 및 흡입 휠터 세척 또는 교환
- 냉각 계통 세척 및 냉각수 교환
- 라디에이터, 오일쿨러 냉각 팬을 세척하고 냉각수를 교환하여 주십시오. 냉각수는 적정 사용 온도 범위에 맞도록 부동액의 혼합 비율을 조정하여 주십시오.
- 엔진 기능 부품 점검
시동모터 , 알터네이터의 작동 상태, 터보차저의 임펠러 회전상태, 엔진 진동 댐퍼 풀림 상태 등을 점검하고 필요시 수리 또는 교체하여 주십시오.

(2) 정기 점검표

중요! 정기 점검을 실시하지 않을 경우 심각한 고장을 초래할 수 있습니다.

정기점검은 아래 표와 같이 실시하여 주십시오.

중요! "S" 표가 된 것은 특수 공구와 서비스 인력이 있는 지정 정비공장에서 수행하십시오.

	항목	매일	매월 또는 50시 간	매 3개월 또는 200시간	매 6개월 또는 매 400시간	매년 또는 매 1000시 간	
연료 시스템	연료 수준 점검 및 보충	○ 작업전					
	탱크 드레인		매월 1회				
	연료 필터 청소			○			
	연료 필터 엘리먼트 교체				○		
	수분 분리기 드레인			○			
	연료 누유 검사	○ 작업후					
	연료분사타 이밍	분사상태 점검				S	
	연료분사 타이밍 연료분사 펌프					S S	
엔진오 일 시스템	엔진오일 수준 점검 및 보충	○ 작업전					
	엔진오일 교환		○ 최초		○ 2번째 교환시부터		
	엔진오일 필터 엘리먼트 교환		○ 최초		○ 2번째 교환시부터		
	엔진오일 누유 점검	○ 작업후					
냉각수 시스템	냉각수수준 점검 및 보충	○ 작업전					
	냉각 시스템 청소					○	
	냉각수 교체					○ 매년	
	냉각수 누수 점검	○ 작업후					
	라디에이터 냉각핀	막힘 점검	○ 작업전				
		청소			○		
휀벨트 장력 조정		○ 최초		○ 2번째 조정시부터			
흡기 시스템	에어클리너 엘리먼트 점검		○				
	에어클리너 엘리먼트 교체			○			
전기 시스템	배터리액 수준 점검 및 보충	○ 작업전					
	경고 등 점검	○시동시					
엔진몸 체	흡기, 배기밸브 간극 조정					S	

(3) 정기 점검 및 조정

정기점검 후에 다음 조정 작업을 실시하십시오.

- 연료, 엔진오일, 냉각수 수준을 점검하고 필요시 보충하십시오.
중요! 5분정도 엔진을 시험가동한 후 엔진오일과 냉각수 수준을 다시 한번 점검하고 필요시 보충하십시오.
- 엔진을 시동시키고 몇 분간 저속 무부하 상태로 회전시키십시오.
- 엔진을 저속 무부하 상태에서 작동시키면서 냉각수, 연료, 엔진 오일 등이 새지 않는지 점검하고 비정상적인 진동이나 소음이 있는지 확인하십시오. 또한 엔진오일 압력, 냉각수 온도, 배기가스 색깔 등이 정상인지 확인하십시오.
- 무부하 최소, 최대 회전수를 기준치로 조정하십시오.

장기간 보관시

엔진을 작동시키지 않고 장기간 보관할 때 다음 지시사항을 따르십시오.
부동액을 사용하지 않은 경우 겨울에는 냉각수를 빼고 보관하여야 합니다.

중요! 냉각수가 엔진 내부에서 얼게 되는 경우 부피가 팽창되어 손상시키게 됩니다.

- 냉각수 빼는 절차
 1. 라디에이터 캡을 푸십시오.
 2. 라디에이터 아래에 있는 드레인 코크를 풀어 라디에이터 내부의 냉각수를 빼십시오.
 3. 실린더 옆쪽에 있는 드레인 코크를 풀어 실린더 블록 내부에 있는 냉각수를 빼십시오.
 4. 냉각수를 빼낸 후 라디에이터 캡과 드레인 코크들을 잠구어 주십시오.
- 엔진 외부에 붙은 진흙, 먼지, 오일 등을 제거하여 주십시오.
- 장기간 보관하기 전에 보관 후 실시해야 할 최초의 정기점검을 실시하여 주십시오.
- 연료탱크 안에 수분이 응축되는 것을 막기 위하여 연료를 완전히 채우거나 완전히 빼 주십시오.

- 배터리 케이블의 (-) 단자부터 제거하십시오.
- 에어크리너, 전기장치 등은 먼지나 수분이 침투하지 않도록 PVC커버로 덮어 두십시오.
- 습기나 먼지가 없고 통풍이 잘 되는 곳에 보관하십시오.
- 매달 한 번씩 배터리를 재충전해 주십시오.

(4) 고장의 원인과 대책

어떤 경우라도 이상이 발견되었을 때는 즉시 조치하지 않으면 안 됩니다. 원인을 확인하고, 정비 조정하여 고장을 미연에 방지하여 주십시오. 고장은 여러 가지의 원인이 중복되는 경우도 있으므로 반드시 원리에 의거하여 계통적으로 조정하는 것이 필요합니다. 만일 고장이 발생한 경우에는 다음의 항목에 대해서 원인을 조사하여 조정·수리 등의 대책을 실시해 주십시오.

스타터 모터가 회전하지 않는다.	{	бат테리 전압저하	бат테리 충전, 교환
		시동회로의 저항증대	бат테리 터미널, 스타터 모터 터미널 청소 및 재조립
		시동 스위치의 손상	교 환
		스타터 릴레이의 손상	교 환
		스타터 컨트롤러의 손상	교 환
		하네스의 손상	수리, 교환
		бат테리 릴레이의 손상	수리, 교환
		휴즈블 링크의 절손	교 환
휴즈의 단선	교 환		
스타터 모터는 회전하나 시동이 되지 않는다.	{	연료불량	연료교환
		노즐 또는 회로막힘	세척 또는 교환
		연료 계통에 물, 공기, 먼지등 침입	세척, 에어빼기
		엔진 스톱모터 작동불량	교 환
		엔진 스톱릴레이 작동 불량	교 환
		휴즈의 단선	교 환

시동은 되나 엔진 회전속도가 낮거나 자주 시동이 꺼진다.	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 오일 노화 ————— 교환 인젝션 노즐의 막힘 ————— 세척 또는 교환 연료필터의 막힘 ————— 교환 엔진 스톱모터 케이블 조정불량 — 조정 엔진 컨트롤 케이블 조정불량 — 조정
엔진충격음, 불규칙한 운전, 정지	<ul style="list-style-type: none"> 엔진 오일 부족 ————— 보충 공기 흡입계통 막힘 ————— 필터교환 및 계통세척 인젝션펌프 연료공급불량 ————— 지정 정비공장 문의 연료 필터 막힘 ————— 교환 연료계통의 물, 공기, 먼지 침입 — 연료계통 이물질 제거, 연료탱크 세척 노즐 또는 회로의 막힘 —————
엔진 출력 부족	<ul style="list-style-type: none"> 공기 흡입계통 막힘 ————— 공기 흡입계통 점검 연료 필터 막힘 ————— 필터 교환 인젝션 노즐 오염 또는 불량 — 지정 정비공장 문의 속도 제어계통 조정 불량 — 지정 정비공장 문의 인젝션펌프 연료공급 불량 — 점검 및 조정 밸브 간극 불량 ————— 점검 및 조정
냉각수 온도가 너무 높다	<ul style="list-style-type: none"> 냉각수 부족 ————— 냉각수량 부족 서모스타트 불량 ————— 교환 라디에이터 캡 불량 ————— 교환 라디에이터, 오일쿨러 코어 막힘 — 코어 세척 휠벨트 늘어짐 또는 불량 — 조정 또는 교환 온도계기 불량 ————— 신품교환 냉각계통 통로오염 ————— 냉각계통 세척
엔진 출력 부족	<ul style="list-style-type: none"> 공기 흡입계통 막힘 ————— 공기 흡입계통 점검 연료 필터 막힘 ————— 필터 교환 인젝션 노즐 오염 또는 불량 — 지정 정비공장 문의 속도 제어계통 조정 불량 — 지정 정비공장 문의 인젝션펌프 연료공급 불량 — 점검 및 조정 밸브 간극 불량 ————— 점검 및 조정
냉각수 온도가 너무 높다	<ul style="list-style-type: none"> 냉각수 부족 ————— 냉각수량 부족 서모스타트 불량 ————— 교환 라디에이터 캡 불량 ————— 교환 라디에이터, 오일쿨러 코어 막힘 — 코어 세척 휠벨트 늘어짐 또는 불량 — 조정 또는 교환 온도계기 불량 ————— 신품교환 냉각계통 통로오염 ————— 냉각계통 세척