



보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
 해양개발용 수중건설로봇 사업단 최종 보고서

R&D / 20130197

해양개발용 수중건설로봇 사업단 최종보고서

2019. 6. 20.

주관연구기관: 한국해양과학기술원
 핵심연구기관: 한국로봇융합연구원
 한국해양과학기술원
 선박해양플랜트연구소
 대양전기공업
 레드원테크놀러지
 아쿠아드론
 케이엔알시스템즈
 공동연구기관: 대한시스텍
 레베산업
 레보
 삼연기술
 소나테크
 솔탑
 케이오씨
 창원대학교
 KT서브마린
 한국도기멕
 한국로봇융합연구원
 한국해양대학교
 위탁연구기관: 서울과학기술대학교
 서울대학교
 울산대 산학협력단
 한국기술교육대학교
 중국심양자동화연구소

해양수산부
해양수산과학기술진흥원

R&D /
20130197

해양개발용 수중건설로봇 사업단 최종보고서

R&D center for underwater construction robotics Report

2019

해양수산과학기술진흥원

주의

1. 이 최종보고서는 해양수산부에서 시행한 해양수산환경기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 해양수산부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
해양개발용 수중건설로봇 사업단 최종 보고서

R&D / 20130197

해양개발용 수중건설로봇 사업단 최종보고서

2019. 6. 20.

주관연구기관: 한국해양과학기술원
핵심연구기관: 한국로봇융합연구원
한국해양과학기술원
선박해양플랜트연구소
대양전기공업
레드원테크놀러지
아쿠아드론
케이엔알시스템즈
공동연구기관: 대한시스텍
레베산업
레보
삼연기술
소나테크
솔탑
케이오씨
창원대학교
KT서브마린
한국도기맥
한국로봇융합연구원
한국해양대학교
위탁연구기관: 서울과학기술대학교
서울대학교
울산대 산학협력단
한국기술교육대학교
중국심양자동화연구소

해양수산부
해양수산과학기술진흥원

제 출 문

해양수산과학기술진흥원장 귀하

‘해양개발용 수중건설로봇 사업단’(연구개발 기간 : 2014. 10. 24 ~ 2019. 03.31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2019. 04. .

주관연구기관명	: 한국해양과학기술원	(대표자)	김 응 서
협동연구기관명	: 선박해양플랜트연구소	(대표자)	홍 사 영
	레드윌테크놀로지(주)	(대표자)	박 경 희
	케이엔알시스템즈(주)	(대표자)	김 철 한
	아쿠아드론	(대표자)	임 흥 현
	한국로봇융합연구원	(대표자)	박 철 휴
	대양전기공업(주)	(대표자)	서 영 우
공동연구기관명	: (주)KT서브마린	(대표자)	이 철 규
	(주)레베산업	(대표자)	이 상 수
	(주)솔탑	(대표자)	사공영보
	한국도키멕(주)	(대표자)	조 홍 래
	레보(주)	(대표자)	이 봉 규
	대한시스텍	(대표자)	차 순 용
	한국로봇융합연구원	(대표자)	박 철 휴
	소나테크	(대표자)	박 승 수
	창원대학교	(대표자)	박 경 훈
	해양대학교	(대표자)	김 정 렬
	삼연기술	(대표자)	박 지 원
	케이오씨	(대표자)	정 소 현

주관연구기관책임자 : 장인성

협동연구기관책임자 : 이종무, 문용선, 김철한, 임흥현,
이계홍, 한상철, 권오순

공동연구기관책임자 : 곽한완, 김전하, 방상호, 조재문,
이봉규, 최일영, 최영호, 박동진,
이민기, 최형식, 김도승, 이재택,
정충기, 전석원

국가연구개발사업의 관리 등에 대한 규정 제18조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호		해당 단계 연구 기간	2013. 10. 24 - 2019. 03. 31	단계구분	1단계/1단계
연구사업명	해양장비 개발 및 인프라 구축 사업				
연구과제명	대과제명	해양개발용 수중건설로봇사업단			
	세부과제명				
연구책임자	장인성	해당단계 참여 연구원 수	총: 167명 내부: 164명 외부: 3명	해당단계 연구개발비	정부:48,866,000천원 기업:13,185,086천원 정부 외:17,000,000천원 계: 79,071,086천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 167명 내부: 164명 외부: 3명	총 연구개발비	정부:48,866,000천원 기업:13,185,086천원 정부 외:17,000,000천원 계: 79,071,086천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국해양과학기술원 수중건설로봇사업단			참여기업명 레드윈테크놀로지, 아쿠아드론, KnR, 대양전기, KT서브마린, 레보, 레베, 솔탑, 도키맥, 대한시스템, 소나테크, 케이오씨, 삼연기술	
국제공동연구	-			-	
위탁연구	연구기관명: 서울대학교			연구책임자: 정충기, 전석원	
요약	<p>목표 수심 500m~2,500m 내외의 해양 구조물 설치 및 유지관리를 위한 수중건설로봇 3종에 대한 기술개발, 설계 및 제작을 완료였으며, 각 수중건설로봇 기술 개발 항목은 아래와 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수중건설로봇공통기술 및 경작업용 ROV 기술개발 - ROV 기반 수중 중작업용 로봇 기술 개발 - 트랙 기반 해저 중작업용 로봇기술 개발 <p>개발된 로봇에 대해 수조, 육상, 천해, 100m, 500m 이상 수심에서 단계적으로 기본기능실험, 통합성능실험, 작업성능실험을 수행하였으며, 그 결과 성과지표 및 목표값을 만족하였다.</p>			<p>보고서 면수 273쪽</p>	

국문요약문

연구개발 목표	목표 수심 500m~2,500m 내외의 해양 구조물 건설을 위한 수중건설로봇(장비) 개발과 성능 검증을 위한 인프라 구축				
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중건설로봇 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 수중건설로봇 공통 기술 및 경작업용 ROV 기술개발 - ROV 기반 중작업용 로봇 기술개발 - 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 기술개발 - 현장실증실험 지원시스템 구축 ○ 연구지원 및 인프라구축 <ul style="list-style-type: none"> - 연구 인프라 구축 - 사업단 운영 및 총괄 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술적 기대성과 <ul style="list-style-type: none"> - 수중건설장비 기술력 확보 - 국산장비 개발로 기술자립도 제고 - 전문인력의 재교육 및 신규 인력 공급 ○ 사회적 기대성과 <ul style="list-style-type: none"> - 해양구조물 건설 공공수요 충족 - 대기업과 중소기업 동반성장에 기여 - 해양구조물 관리 및 유지보수 비용 절감 ○ 기술적 기대성과 <ul style="list-style-type: none"> - 수중건설장비 해외 임대 비중 감소 - 국내 개발 장비 실용화 활용도 제고 - 신규 고용 창출 				
활용계획 및 기대효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 100% 해외 임대에 의존하고 있는 수중건설장비의 국산화를 통하여 수입 대체효과를 기대할 수 있음 ○ 개발된 핵심기술인 수중플랫폼 설계/제작기술, 센서, 핵심부품 및 알고리즘은 우주/항공/육상/해양 어느 분야에서도 접목이 가능하므로 관련 분야에서 파급효과가 매우 큼 ○ 정부가 추진 중인 해상풍력, 파력발전, CCS, 해양플랜트 등 다양한 수중건설 작업에 개발 기술을 활용하여 건설비용 절감 가능 ○ 대기업, 중소기업 등의 다양한 산업체와 함께 공동연구개발을 통해 기술교류, 인력양성, 관련 노하우 교류 등으로 해당분야의 저변확대를 통한 대형 산업시장의 확장과 일자리 창출의 기회 증대 ○ 수중건설시장은 건설당시뿐만 아니라 유지/보수시장도 동일한 비중을 차지하기 때문에, 다양한 톨 기반의 장비개발로 새로운 시장의 창출과 해외시장 진출 가능 				
핵심어 (5개 이내)	수중건설로봇	사업단	해양 구조물	연구 인프라	현장실증실험

Summary

<p>Purpose</p>	<p>To develop underwater construction robots (equipment) for building marine structures at a target water depth of around 500m~2,500m, and to establish an infrastructure for the verification of robot performances.</p>				
<p>Contents</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development of Underwater construction robot <ul style="list-style-type: none"> - Development of core technologies for underwater construction robots including a light work class ROV - Development of heavy-duty ROV technologies - Development of track based ROV technologies - Development of supporting system for practical use ○ Research support and infrastructure construction <ul style="list-style-type: none"> - Establish research infrastructure - R&D center operation and sec. 				
<p>Development Results</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Expected effects in terms of technology <ul style="list-style-type: none"> - To secure technical power relating to underground construction equipment - To increase the level of technical independence through our own technology - To provide re-education for specialized manpower and to supply new manpower ○ Expected effects in terms of society <ul style="list-style-type: none"> - To reduce the dependent of overseas underwater construction equipment - To increase the level of commercialization of equipment developed with our own tech - To reduce cost of management and maintenance of marine structures ○ Expected effects in terms of economy <ul style="list-style-type: none"> - To reduce the ratio of hiring underground construction equipment from overseas - To increase the level of commercialization of equipment developed domestically - To increase new employment 				
<p>Expected Contribution</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Import-substituting effect of underwater construction ROV design and manufacturing technology as well as component parts ○ Great ripple effects on space/airplane/onshore/offshore fields through developments of platform, sensors, compartments and algorithms ○ Construction cost reduction to offshore wind farm market, wave energy market, CCS market and sub-sea market by using ROV machine ○ Job creation and market extension due to establish the partnership with collaborated company and research team ○ Entering oversea offshore maintenance market and creation of new domestic maintenance market of offshore business 				
<p>Keywords</p>	<p>Underwater construction robotics</p>	<p>R&D center</p>	<p>offshore structures</p>	<p>R&D infra-structure</p>	<p>field verification tests</p>

목차

1. 연구개발과제의 개요	1
1. 연구개발 목적	3
2. 연구개발의 필요성	8
3. 연구개발 범위	12
가. 최종 목표	12
나. 단계별 개발 목표	25
다. 연차별 연구개발 로드맵	26
2. 국내외 기술 개발 현황	27
1. 국내 정책	29
2. 해외 정책	32
3. 시장 동향	34
4. 국내시장 동향	35
5. 국외시장 동향	41
6. 국내 기술개발 동향	54
7. 해외 기술개발 동향	56
3. 연구 수행 내용 및 성과	61
1. 1차년도(2013년)	63
2. 2차년도(2014년)	68
3. 3차년도(2015년)	74
4. 4차년도(2016년)	82
5. 5차년도(2017년)	95
6. 6차년도(2018년)	107

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	123
1. 목표달성도	125
가. 1차년도(2013년)	125
나. 2차년도(2014년)	156
다. 3차년도(2015년)	219
라. 4차년도(2016년)	278
마. 5차년도(2017년)	326
바. 6차년도(2018년)	379
2. 관련 분야 기여도	418
가. 기술적 기대효과	418
나. 사회적 기대효과	418
다. 경제적 기대효과	420
라. 경제적 파급효과	421
3. 개발기술의 우수성	422
가. 개발 로봇 spec.	422
나. 해외 기술과 비교	425
4. 개선사항 및 보완 계획	430
5. 연구개발성과의 활용계획	437
1. 개요	439
2. 2단계 사업(수중건설로봇 실증 및 확산사업)을 통한 실용화 추진	439
가. 개요	439
나. 추진 전략 및 방법	441
다. 각 핵심별 성과지표	454
3. 연구개발 결과물의 Track-record 확보 방안	471
가. URI-L	471
나. URI-T	472
다. URI-R	476

목차

4. 수중로봇복합실증센터 활용 계획	478
가. 수중로봇복합실증센터 활용 방안	478
나. 기대효과	479
6. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	481
1. 핵심과제별 정보 수집	483
2. 학술대회 및 전시회를 통한 정보 수집	483
3. 기타 활동을 통한 정보 수집	511
7. 연구개발성과의 보안등급	523
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	527
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적 ...	531
1. 1핵심	533
가. 한국기술교육대학교	533
나. 서울과학기술대학교	533
2. 2핵심	535
가. 한국로봇융합연구원	535
3. 3핵심	536
4. 사업단	537
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	539
11. 참고문헌	559

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Unit 1. Purpose of R&D	3
Unit 2. Purpose of R&D	8
Unit 3. Range of R&D	12
Chapter 2. Technologies of domestic and overseas	27
Unit 1. domestic policy	29
Unit 2. foreign policy	32
Unit 3. Market Trends	34
Unit 4. Domestic Market Trends	35
Unit 5. Foreign Market Trends	41
Unit 6. Domestic Technology Development Trends	54
Unit 7. Trends in overseas technology development	56
Chapter 3. Research contents and achievement	61
Unit 1. 1st year(2013)	63
Unit 2. 2nd year(2014)	68
Unit 3. 3rd year(2015)	74
Unit 4. 4th year(2016)	82
Unit 5. 5th year(2017)	95
Unit 6. 6th year(2018)	107
Chapter 4. Accomplishments and contributions	123
Section 1. achievement of goal	125
Unit 1. 1st year(2013)	125
Unit 2. 2nd year(2014)	156

CONTENTS

Unit 3. 3rd year(2015)	219
Unit 4. 4th year(2016)	278
Unit 5. 5th year(2017)	326
Unit 6. 6th year(2018)	379
Section 2. contribution to relevant areas	418
Unit 1. technical expectation effect	418
Unit 2. social expectation effect	418
Unit 3. economic expected effect	420
Unit 4. economic ripple effect	421
Section 3. Excellence of developed technologies	422
Unit 1. specification of developed robots	422
Unit 2. social expectation effect	425
Section 4. Improvement and supplement plan	430
Chapter 5. Utilization plan	437
Unit 1. Introduction	439
Unit 2. Push forward business through 2nd stage project	439
Unit 3. Acquirement plan of track-record of R&D results	471
Unit 4. Utilization plan of UTEC	478
Chapter 6. Collecting science technologic information	481
Unit 1. Collect information by core task	483
Unit 2. Gathering information through academic conferences and exhibitions	483
Unit 3. Gathering information through other activities	511
Chapter 7. Securities	523

CONTENTS

Chapter 8. Facilities and equipments 527

Chapter 9. Performance of safety measures 531

Unit 1. the first core 533

Unit 2. the second core 535

Unit 3. three core 536

Unit 4. a business group 537

Chapter 10. Representative research results 539

Chapter 11. Reference 559

Appendix

- Appedix #1 : Final report of Task #1
- Appedix #2 : Final report of Task #2
- Appedix #3 : Final report of Task #3
- Appedix #4 : Final report of Managing task

표목차

[표 2-1] 무인이동체 산업 글로벌 시장전망 및 점유율 확대 전략	31
[표 2-2] 수중건설로봇 관련 국내 시장-로봇 생산현황	35
[표 2-3] 국내 해상풍력 유망 후보단지	37
[표 2-4] 국내 해저 전력케이블 프로젝트 현황	38
[표 2-5] 해저 전력케이블 프로젝트 현황	46
[표 2-6] 해저 통신케이블 프로젝트 현황	46
[표 2-7] 국내 수중건설로봇 기술 수준	55
[표 5-1] 대상 선박 비교	447
[표 5-2] 활용 가능 프로젝트 후보 (안) - 해양 구조물 시장에 진출한 국내 주요기업 프로젝트 현황	451
[표 6-1] DEEPSEA 압력챔버 상세정보	484
[표 6-2] SEADRONE 제품군 상세정보	485
[표 6-3] L-3 ROV 상세정보	486
[표 6-4] 교육용 ROV 비교	503
[표 6-5] WHOI HOV & ROV 개발현황	517
[표 6-6] Jason II의 사양	518
[표 7-1] 연구개발성과의 보안등급	525
[표 8-1] NTIS 장비등록 연구시설 및 장비 현황	529

그림목차

[그림 1-1] 수중건설로봇 개발의 필요성	3
[그림 1-2] 사업 추진 체계	5
[그림 1-3] 수중건설로봇 활용 전·후	5
[그림 1-4] 수중건설로봇 개발 개념도 및 핵심과제 구분	6
[그림 1-5] 2020 해양수산 미래상	8
[그림 1-6] 해외 수중건설 로봇 상용화 사례	10
[그림 1-7] 대표적인 수중건설용 ROV	10
[그림 1-8] 해양구조물 공정 및 공정별 수중로봇 적용 분야	11
[그림 1-9] 해양 구조물의 건설	11
[그림 1-10] 수중건설로봇 개발 비전 및 목표	13
[그림 1-11] 총괄과제 최종목표 및 설정근거	13
[그림 1-12] 수중건설로봇 개발 단계 구분	25
[그림 1-13] 연차별 연구개발 로드맵	26
[그림 2-1] 해양수산 R&D 중장기 계획	30
[그림 2-2] 해양수산 R&D 산업화 3대 추진전략 및 15개 중점 과제	31
[그림 2-3] 무인이동체 미래 통합운영 환경 및 협업 방안	32
[그림 2-4] OOI 프로젝트 구성체계 및 AUV 운영 모식도	33
[그림 2-5] 수중로봇 산업구조	34
[그림 2-6] 수중로봇 시장 Value chain	35
[그림 2-7] 서남해 해상풍력 개발사업 개요	36
[그림 2-8] 육지~제주 해저 전력 케이블	38
[그림 2-9] 실해역 시험장 배치(안)	39
[그림 2-10] 파력발전 실해역 시험장 개념도	39
[그림 2-11] 동해가스전 개발 현황	40
[그림 2-12] 프랑스 실용인증을 받은 실증용 1MW급 해수온도차발전소 개념도	40
[그림 2-13] 국내 항만건설 및 유지보수 투자 현황	41
[그림 2-14] 세계 UUV 시장 전망, 2015-2022	42
[그림 2-15] 지역별 ROV 시장 성장률, 2017-2022	42
[그림 2-16] 아시아 태평양 지역의 ROV 시장 규모, 2017-2022	43
[그림 2-17] ROV 신규 제조 시장 규모	43

그림목차

[그림 2-18] 2016년 전 세계 해상풍력 설치 용량	44
[그림 2-19] 세계 해상풍력 자본지출 규모 전망	45
[그림 2-20] 해저 전력 케이블 시장 규모	45
[그림 2-21] 해저파이프라인 시장	47
[그림 2-22] 해저자원 생산 및 이송 설비의 투자현황 및 전망	47
[그림 2-23] 해양플랜트 해체시장	48
[그림 2-24] 세계 수중무인이동체 시장의 업체별 점유율('14년 기준)	49
[그림 2-25] Oceaneering International 기업 현황	50
[그림 2-26] Fugro 기업 현황	50
[그림 2-27] Subsea7 기업 현황	51
[그림 2-28] Forum 기업 현황	51
[그림 2-29] Saab Seaeye 기업 현황	52
[그림 2-30] FMC 기업 현황	53
[그림 2-31] SMD 기업 현황	53
[그림 2-32] WHOI의 주요 수중로봇 개발 현황	54
[그림 2-33] WHOI의 주요 수중로봇 개발 현황	56
[그림 2-34] ROV 기술 동향	57
[그림 2-35] 영국의 대표적 ROV	57
[그림 2-36] 노르웨이 Kongsberg社의 HUGIN 시리즈	59
[그림 2-37] 일본의 주요 수중로봇 개발 현황	60
[그림 4-1] 국내 수중 무인장비 기술 동향	419
[그림 4-2] 고용창출 및 기업체 증가 기대효과	420
[그림 4-3] 수중로봇산업의 경제적 파급효과	421
[그림 4-4] 수중로봇산업 생산유발효과 및 부가기치 유발효과	421
[그림 5-1] 수중건설로봇사업의 단계별 목표 및 내용	440
[그림 5-2] 사업 내용	440
[그림 5-3] 사업추진체계	441
[그림 5-4] 경 작업용 ROV 사업 추진 전략 및 방법	441
[그림 5-5] KIRO 공학수조 및 수조환경에서 자율주행하는 P-SURO	443

그림목차

[그림 5-6] P-SURO II 하이브리드 자율무인잠수정	443
[그림 5-7] 수중건설로봇사업단 2핵심과제 로봇 플랫폼 및 실험역 시험	444
[그림 5-8] 서남해 해상풍력 개발사업 개요	445
[그림 5-9] 트랙션 윈치와 케이블	449
[그림 5-10] 공통 인양고리	449
[그림 5-11] USBL Launcher	449
[그림 5-12] 조류발전 실험역 시험장 배치(안)	450
[그림 5-13] 파력발전 실험역 시험장 개념도	450
[그림 5-14] 시험 계획서 및 시험 결과서 작성 양식(예)	452
[그림 5-15] 세부과제 및 총괄과제 간 연계	453
[그림 5-16] 2019년 수주 가능 프로젝트	473
[그림 5-17] 2020년 수주 가능 프로젝트	474
[그림 5-18] ROV를 활용한 해저 케이블 매설작업	475
[그림 5-19] URI-R의 적용 가능 시장	476
[그림 5-20] 수중건설로봇 3종 활용 개념도	477
[그림 5-21] 구축 인프라 활용분야	479
[그림 5-22] 인프라 구축 기대효과	480
[그림 5-23] 영일만 3산업단지의 극한 연구단지 구축 미래 비전	480
[그림 6-1] DEEPSEA 전시부스	483
[그림 6-2] SEADRONE 전시부스	484
[그림 6-3] L3 w-class ROV 전시	486
[그림 6-4] Crawler type ROV 모형	487
[그림 6-5] Main ROV 및 Sub-ROV	488
[그림 6-6] Pipe survey용 ROV	488
[그림 6-7] Marine Drill 5000m Trident	489
[그림 6-8] 360°가시화 기술 개발 전시	489
[그림 6-9] 360°가시화 기술 개발 전시	490
[그림 6-10] 미션 수행 Field 및 미션 개요도	494
[그림 6-11] 수중 구조물 외	495
[그림 6-12] AUV 진수 및 수중 게이트 통과	495

그림목차

[그림 6-13] 수공드론 시연	495
[그림 6-14] Crawler 타입 수중로봇과 수상선 타입 로봇	496
[그림 6-15] OI 2018 전시장	497
[그림 6-16] ROV 테더/엄빌리컬 및 윈치	498
[그림 6-17] work class ROV 전시	499
[그림 6-18] OINA 2017 전시관	499
[그림 6-19] SAAB ROV	500
[그림 6-20] Teledyne Seabotix 전시	500
[그림 6-21] Shark Marine ROV 및 다이버 장비 전시	501
[그림 6-22] OCEAN AERO 무인선	502
[그림 6-23] 멀티빔 데이터 비교	504
[그림 6-24] 멀티빔 측정 범위 비교	505
[그림 6-25] FMC사의 UHD-III ROV	506
[그림 6-26] Oceaneering사의 eNovus	507
[그림 6-27] Teledyne에서 생산중인 트랙 기반 vLBC 모델	508
[그림 6-28] TRELLEBORG의 수중 모니터링을 위한 소형 ROV	508
[그림 6-29] Catchhead 및 LARS 개념도	509
[그림 6-30] KONGSBERG사의 오퍼레이터 시트 및 시뮬레이터	509
[그림 6-31] ROV 엄빌리컬 케이블의 실제 적용 사례와 수중건설로봇사업단 예상 모델 비교	510
[그림 6-32] 윈치 관련 미팅 및 용도별 사진	510
[그림 6-33] FORUM 직원과 수중건설로봇사업단 연구원 단체사진	511
[그림 6-34] ROV, TMS 실내 수조 점검	512
[그림 6-35] XT-1200사진(왼쪽)과 XLX-150사진(오른쪽)	512
[그림 6-36] 회의 사진(왼쪽)과 개발 중인 장비 사진(오른쪽)	513
[그림 6-37] Mining 장비(왼쪽)와 CBT1100 Hard ground Trencher (오른쪽)	513
[그림 6-38] Hybrid Q-trencher 1400	514
[그림 6-39] 시뮬레이터 컨트롤러	514
[그림 6-40] QT-1400사진(왼쪽)과 ATOM사진(오른쪽)	515
[그림 6-41] 회의 사진(왼쪽)과 회의 후 사진(오른쪽)	516
[그림 6-42] 제작 중인 ROV 현장	516

그림목차

[그림 6-43] 제작 중인 LARS 사진	516
[그림 6-44] Falcon사진(왼쪽)과 Congar-XT Compact사진(오른쪽)	517
[그림 6-45] Jason 프로젝트 발표	518
[그림 6-46] Jason 운용 모습	519
[그림 6-47] 심해과학공정연구소 및 참석자 단체사진	519
[그림 6-48] 발표회장	521
[그림 6-49] SIA의 수중로봇 역사와 향후 개발 방향	521
[그림 6-50] CRIMM의 역사 및 보유 선박	521
[그림 6-51] 심해과학공정연구소 수조 및 개발 장비	522
[그림 6-52] 심해과학공정연구소 가상 현실 체험관 및 시설 투어	522

1

연구개발과제의 개요



1 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

※ 수중건설로봇의 정의

- 점차적으로 증대되고 있는 해양 구조물의 시공 및 유지관리를 위한 목적으로 수중에서 활용 가능한 건설 장비 개념의 수중로봇
- 미래 해양 구조물(해양에너지, 해양플랜트 등) 건설 시장에 직접적으로 활용

□ 본 사업은 세계적으로 해양 신산업 가치 확대를 위해 투자가 가속화되고 있는 해양에너지 (해상풍력 등), 플랜트 등의 다양한 수중건설 분야에 수중건설로봇 적용으로 수중장비의 국산화, 수중공사의 안전성(무인화) 확보 그리고 시공능력 향상으로 국토해양 경쟁력을 확보하기 위한 사업임.

○ 정부는 해양영토 강국을 위해 해양산업에 투자를 가속화 하고 있지만, 수중건설관련 핵심 장비의 경우 100% 외산에 의존하여 기술의 종속성과 해양산업 발전의 한계를 나타내고 있음.

“해양 개발의 새로운 도전과 시작”

수중건설로봇은 미래 해양개발을 위한 기초입니다.



[그림 1-1] 수중건설로봇 개발의 필요성

□ 사업 개요

- 사업기간 : 2013년 ~ 2018년 (6년간)
- 총사업비 : 790.7억원 (국비 488.86, 지방비 170, 민자 131.84)
- 사업목표 : 목표 수심 500m~2,500m 내외의 해양 구조물 건설을 위한 수중건설로봇(장비) 개발과 성능 검증을 위한 인프라 구축

□ 연차별 예산 투자

(단위: 억원)

재원/연도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	합계
계	33.5	125.43	213.21	201.64	132.05	84.87	790.7
국비	19.05	66.73	120.2	104.69	104.62	73.57	488.86
지방비	10.0	39.0	54.0	65.0	1.0	1.0	170.0
민자	4.45	19.7	39.01	31.95	26.43	10.3	131.84

※ 국비는 전담기관(KIMST) 관리비 제외 금액

□ 사업 추진 체계

- 사업 구성 (예산은 정부출연금 외 민간 및 지방비 포함)

◆ 수중건설로봇 기술 개발

- 수중건설로봇 공통 기술 및 경작업용 ROV 기술 개발(151.2억원)
- ROV 기반 수중 중작업용 로봇 기술 개발(168억원)
- 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 기술 개발(192억원)
- 현장실증실험 지원시스템 구축(60억원)

※ ROV : Remotely Operated Vehicle

◆ 연구지원 및 인프라 구축

- 연구 인프라 구축(170억원) - 전액 지방비
- 사업단 운영 및 총괄(46억원)

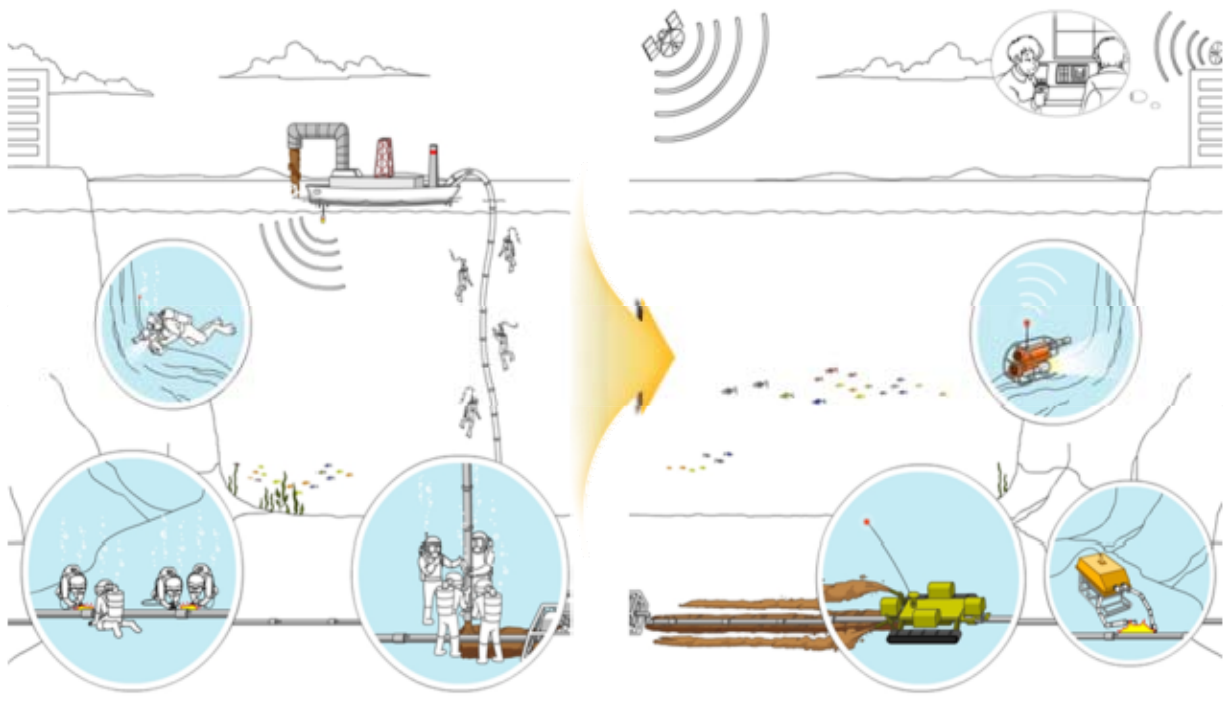
※ 전담기관[KIMST] (26.2억원)

○ 사업 추진 체계



[그림 1-2] 사업 추진 체계

□ 수중건설로봇 활용 전·후



[그림 1-3] 수중건설로봇 활용 전·후

□ 수중건설로봇 개발 개념도



[그림 1-4] 수중건설로봇 개발 개념도 및 핵심과제 구분

수중건설로봇의 특징

① 유선(Tethering) 연결

- 수중건설로봇과 모선(또는 작업선) 사이의 유선 연결(신호케이블 및 전기 케이블 등)을 통한 전력 연계 및 통신이 필수적임.
- 무선 통신을 이용한 제어방식의 활용은 해당되지 않음.

② 자율형 로봇보다는 무인원격 장비에 가까움

- 수중건설로봇(장비)은 자율식 인공지능형 로봇이라기보다는 무인 원격제어(운영) 장비에 더 가까움.
- 무인 운영시스템 및 신호케이블 등을 이용하여 장비를 운용하게 됨.(기존 해외 건설장비도 모두 같은 방법을 활용)

③ System Integration의 중요성

- 수중건설로봇(장비)은 기존 기술(장치)을 최대한 개발 로봇에 맞게 활용하는 System Engineering의 개념임.
- 즉, 수중건설로봇(장비)의 목적 및 활용방안에 부합되면서도 필수적인 기존 기술을 최대한 효율적으로 활용하는 접근방법이 필요함.

④ 민간기업 참여 관련

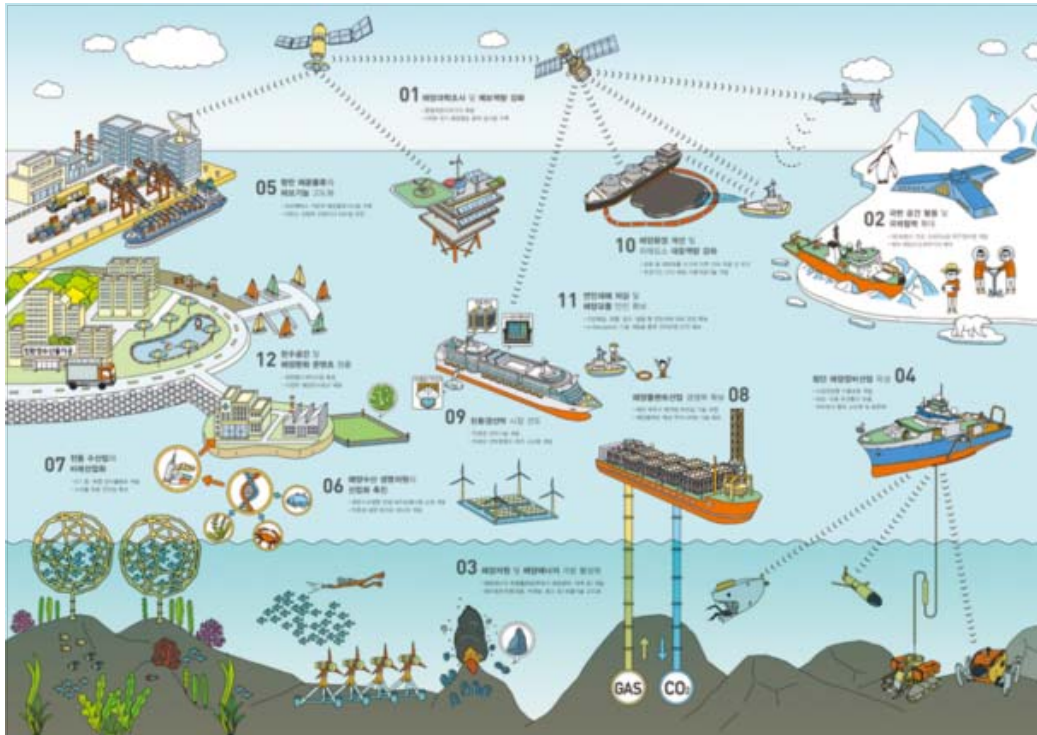
- 본 사업의 경우, 미래 해양 구조물 시장에 근거하여 핵심과제 및 개발 로봇을 구성하였으며, 실용화 사업이므로 민간기업의 참여가 필수적인 부분임.
- 개발 로봇(장비)의 특성상 향후 10여년 이내에 대량(연간 1,000대 이상) 생산이 어려울 것으로 예상되고 있으며, 이에 따라 제작을 위주로 하는 전문 업체와 함께 해양 구조물 개발 활용을 목적으로 하는 중공업사나 건설 전문회사가 주도적이면서도 적극적으로 참여할 것으로 예상됨.

⑤ 건설용 로봇의 특징

- 해양 구조물 건설용 로봇과 탐사로봇은 목적 및 기능에 따라 개발접근 방법 등 상이함.
- 급성장하고 있는 해양 구조물을 고려할 경우, 건설로봇의 활용성은 지대할 것이며, 이에 따라 실용화 가능성이 높다 할 수 있음.

2. 연구개발의 필요성

- 수중건설로봇 연구개발사업은 다양한 수중건설 분야에 첨단 수중건설로봇 적용으로 수중 장비의 국산화, 수중공사의 안전성(무인화) 확보 그리고 시공능력 향상으로 우리의 미래 해양수산 분야 경쟁력을 확보하는데 핵심적인 사업임.
- 해양과학조사 및 예보 역량강화 : 해양과학조사를 위한 Ocean Observatory 건설 및 관련 기술 적용 가능
- 극한 공간 활용 : 극지의 빙하 탐사 및 극지과학조사 부문에 ROV 기술 적용으로 극한 공간 활용이 극대화 될 수 있음
- 해양자원 및 해양에너지 기술 활성화 : Oil&Gas 및 해저지질자원 등의 개발을 위해서는 수중건설로봇 장비가 필수 요건임.
- 첨단해양장비산업 육성 : 수중건설로봇 사업을 통한 관련 해양장비 국산화 및 경쟁력 확보 가능
- 전통 수산업의 미래 산업화 : 가두리 양식 원격 모니터링 및 조작 부문에 ROV 장비 활용으로 수산 경쟁력 확보 가능
- 해양플랜트산업 경쟁력 확보 : 해양플랜트 건설부문에 수중건설로봇 활용으로 상호 경쟁력 확보 가능
- 해양환경 개선 및 위해요소 대응역량 강화 : 해양사고 시 위해환경 요소 제거 및 구조 활동에 ROV 제품 적용으로 대응역량 강화 가능



[그림 1-5] 2020 해양수산 미래상

□ 정책적 중요성

- “2030 해양수산 미래비전” 실현의 핵심은 해양수산 분야의 가치를 확대하는 것임. 해양수산 분야의 가치 확대를 위해서는 해양분야의 도전과 창조적 기술을 기반으로 하는 무한 가치를 실현하는 것임.
- 수중건설로봇사업은 타 해양수산분야의 가치창조에 핵심이 되는 장비사업으로 정책적 중요성이 높음.

<2030 해양수산 미래비전(2015. 5)>

비전	<p>“상상을 뛰어넘는 가치의 바다 창조”</p> <p>- 해양수산업의 GDP 기여율을 현재 6%에서 2030년 10%로 제고 -</p>
3대 가치	<p>① 행복과 풍요의 바다 ② 도전과 창조의 바다 ③ 평화와 공존의 바다</p>
9대 지향점	<p>< 행복과 풍요의 바다 ></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 대한민국이 세계 물류의 중심으로 우뚝 섭니다. 2. 어식백세, 수산업이 국민건강을 책임집니다. 3. 연안과 어촌에 새로운 활력이 넘칩니다. <p>< 도전과 창조의 바다 ></p> <ol style="list-style-type: none"> 4. 해양수산 과학기술이 바다의 무한가치를 실현합니다. 5. 대양에서 더 큰 대한민국의 꿈이 이루어집니다. 6. 해양한류, 해양문화의 르네상스 시대가 열립니다. <p>< 평화와 공존의 바다 ></p> <ol style="list-style-type: none"> 7. 우리 해역이 사고 없는 안전한 바다로 다시 태어납니다. 8. 다음 세대는 보다 건강하고 깨끗한 바다를 향유합니다. 9. 한반도 시대를 대비한 해양영토관리가 이루어집니다.

□ 기술적 중요성

- 해외 선진국의 경우 지속적인 연구개발 투자로 이미 상용화 단계를 거쳐 현장에 적용하고 있는 반면, 국내는 수중건설로봇에 관한 기술력이 미확보되어 있는 상황임. 따라서 100% 해외 임차를 통한 해양 공사가 진행되고 있어 국외 기술의 종속뿐만 아니라 막대한 기술료를 지급하고 있는 실태이기 때문에 본 사업의 시급성과 중요성이 있음.
- 수중건설 관련 핵심기술 및 첨단 장비 자력확보를 통하여 장비 임대 수입대체 효과 및 해당 분야 산업경쟁력 확보 가능
- 시험평가 시설 및 실해역 검증을 통하여 개발 장비의 신뢰도 제고가 가능하여 향후 국내외 수중건설장비 임대시장 진출에 기여할 수 있으며, 현재 100% 해외 임대에 의존하고 있는 수중건설 장비 분야의 자립도를 확보할 수 있음.



[그림 1-6] 해외 수중건설 로봇 상용화 사례

- 해외 선진장비를 국내에 활용하려 하여도 국내 해양의 특수 환경인 조류, 탁도, 조수간만 등에 적응하기 위해서는 장비의 성능 및 기능개선이 추가적으로 필요함



(a) 자유유영식 ROV



(b) 착저식 트랜칭 ROV

[그림 1-7] 대표적인 수중건설용 ROV

□ 경제·산업적 중요성

- 수중건설로봇은 해양구조물 관련 산업의 설치를 위해서는 전 분야에 필수적으로 사용되기 때문에 후방산업 발전에 중요성이 높음.
- 해상풍력발전, CCS(이산화탄소 포집 및 저장장치), 조력/조류 발전 등과 같이 녹색 성장과 해양 개발에 부합하는 다양한 목적의 해양 구조물이 계획 또는 시공되고 있음.
- 이처럼 급증하는 시장 환경에 대응하기 위한 제품 및 기술 개발 필요



[그림 1-8] 해양구조물 공정 및 공정별 수중로봇 적용 분야

○ 결국 국내에서 개발된 적이 없는 수중건설로봇을 개발함으로써 국내 수중건설 산업시장을 확대시키고, 해양산업에 의한 경제 활성화를 유도할 수 있음.



[항만 공사]



[석선파일 기초방파제 시공현장]



[해저 침매터널 공사 현장]

[그림 1-9] 해양 구조물의 건설

3. 연구개발 범위

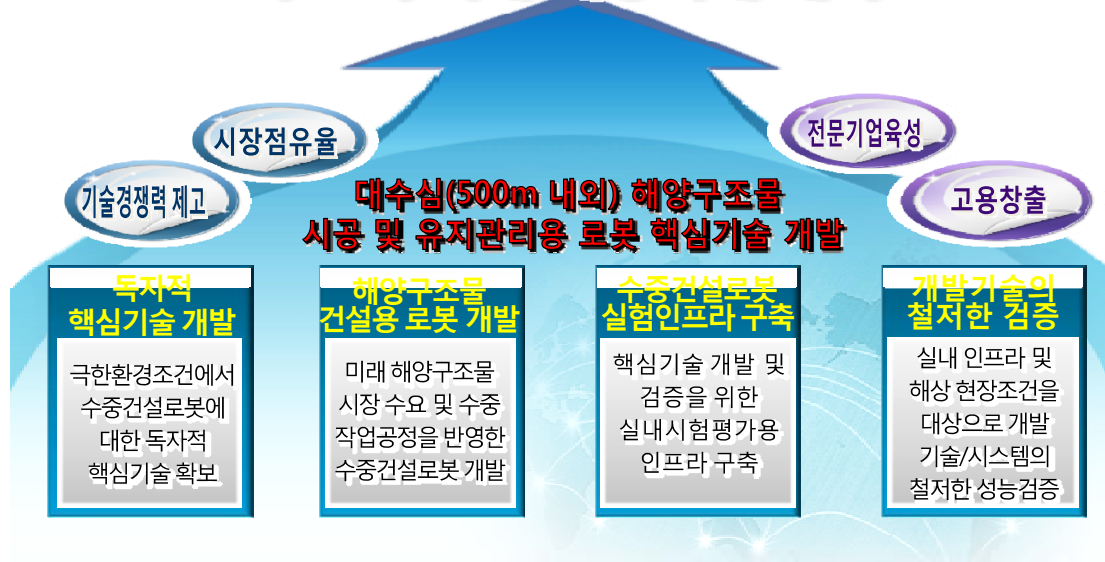
가. 최종 목표

□ 수중건설로봇사업단 최종 목표

- 사업 비전 : 21세기 미래 해양시대를 주도적으로 개척하고, 녹색성장 강국으로 발전하기 위한 수중건설로봇의 독자 기술을 확보하고 실용화 기반을 마련
- 최종 목표 : 목표 심도 500m 이내의 해양 구조물 건설을 위한 수중건설로봇(장비) 개발과 성능 검증을 위한 인프라 구축
- 최종 목표 달성을 위한 미래 대응전략
 - 극한환경 조건에 대한 수중건설로봇 핵심기술 개발
 - 해양 구조물 시공 및 유지관리를 위한 수중로봇 개발
 - 수중건설로봇 실내시험 평가용 인프라 구축
 - 수중건설로봇 핵심기술 및 시스템에 대한 철저한 검증

구분	년도	성과목표	목표치	가중치 (%)	평가기준
최종목표	2019	PERT/CPM 기반 과제관리시스템 구축	100%	10	WBS
		최적공정시스템 개발	100%	25	S/W
		원치시스템 제작	30tf	15	설계도면/ 시제품
		umbilical cable 제작	700m	10	설계도면/ 시제품
		실증실험수행 및 관련 매뉴얼 작성	100%	10	매뉴얼
		실용화/사업화추진 전략 수립	100%	30	보고서

수중건설로봇 개발을 통한 주도적 미래 해양시대 개척



[그림 1-10] 수중건설로봇 개발 비전 및 목표



[그림 1-11] 총괄과제 최종목표 및 설정근거

(1) 성과지표

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
최종목표	고화질 영상 전송 시스템	channel	3 ch	10	2ch(일본)	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	가상입체음향구현	15	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서 기반 햅틱	햅틱구현	통합 1조	10	햅틱기술	시연	100
	ROV의 경작업용툴 (워터 제트)	작업툴	1대	5	작업목록	시연	100
	ROV의 수중 환경 맵핑	해상도	해상도 5cm	10	미국/WHOI	실측	100
	유압 매니플레이터	자유도	5, 7 축	15	7축(미국)	설계 결과 및 시연	100
	작업 심도	최대수심	2,500m	5	작업수심	실측	100
	작업 속도	최대속도	2.5knot	5	전진속도	실측	100
	이동 추종 오차 (정수중)	정밀도	0.1m	10	작업정밀도	실측	100
	Visual Servoing	추종성공률	팬필트 추종	5	FMC	시연	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도/ 위치/고도	5	미국/일본	시연	100
	항법 성능 오차 (USBL 단독 사용 시 오차 대비)	정밀도	오차율 90% 이내	5	USBL 오차	시연	100
1차년도 (2013년)	고화질 영상 전송 시스템	channel	1 ch	25	2ch(일본)	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	2 ch 프로토타입	25	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서 기반 햅틱	햅틱구현기술	데이터처리구조	20	햅틱기술	설계 결과	100
	유압 매니플레이터	자유도	5축급 설계	30	5축(미국)	설계 결과	100
2차년도 (2014년)	고화질 영상 전송/저장 시스템	channel	1 ch	25	2ch(일본)	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	2 ch 시작품제작	25	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서기반 햅틱	햅틱구현	프로토타입	20	햅틱기술	설계 결과 및 시연	100
	유압 매니플레이터	자유도	7축 설계 및 구동기 개발	30	7축(미국)	기능 시연	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
3차년도 (2015년)	작업 심도	최대수심	2,500m	20	작업수심	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	입체 음향	20	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서 기반 햅틱	햅틱구현	시제품	30	햅틱기술	시연	100
	유압 매니퓰레이터	자유도	7축급 개발	10	7축(미국)	설계 결과 및 시연	100
	유압 매니퓰레이터용 액추에이터	자유도	5축 설계 및 구동기 개발	10	5축(미국)	기능 시연	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도	10	미국/일본	설계 결과 및 시연	100
4차년도 (2016년)	작업 속도	최대속도	2.5knot	10	전진속도	실측(DVL)	100
	ROV의 수중 환경 맵핑	해상도	최저 2m에서 구현, 10cm	15	미국/WHOI	실측/10cm 인공Target detecting, 수행 절차에 따른 Protocol구축	100
	Visual Servoing	추종여부	속도 : 5fps 오차 : 30cm/3m이내	5	FMC	시연	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도	10	미국/일본	선수각 $\pm 5^\circ$ 심도 ± 10 cm 설계 결과 및 시연	100
	ROV 부력 (수조시험)	양성부력	3%이내 양성부력	5	부력	실측데이터	100
	모션제어주행성	6자유도운동	6DOF	5	제어성	시연	100
	작업전문 카메라 측정범위	측정범위	폭 : 3.5m 높이: 2.5m	5	작업범위	실측 시험데이터	100
	전장모듈 상용화 제품인증	인증	1건	10	등록	제품인증서	100
	탑재용 5DOF 매니퓰레이터 개발	제작	매니퓰레이터 제작 : 1식	5	5축(미국)	시스템 구성	100
	탑재용 7DOF 매니퓰레이터 성능평가 및 개선	Lifting 성능	Full reach lift : 120kgf at 210bar	10	7축(미국)	성능검증	100
	구성품 내압성능평가	내압성능	구동기, 제어기, 센서 내압시험 50bar	5	5축(미국) 7축(미국)	모듈단위별 내압 성능검증	100
	탑재용 양팔 매니퓰레이터 내압성능평가	내압성능	매니퓰레이터 내압시험 : 50bar	10	5축(미국) 7축(미국)	내압성능검증	100
	항법(자세추정) 성능 오차(MEMS IMU 단독 자세추정 오차 FOG IMU대비)	정밀도	오차율 90% 이내	5	FOG IMU	실험 연구 논문 (시험결과)	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
5차년도 (2017년)	이동 추종 오차	정밀도	0.1m	5	작업정밀도	indoor GPS로 수면에 연장된 안테나 설치 실측	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도/위치/고도	5	미국/일본	선수각 $\pm 5^\circ$ 심도 $\pm 10\text{cm}$ 고도 $\pm 10\text{cm}$ 위치 1m이하 (허용 외란 내) 설계 결과 및 시연	100
	ROV DP 기능	정밀도	센서 성능 범위내 위치 유지	5	작업정밀도	위치유지	100
	Way-point tracking	추종오차	ROV 폭 이내 오차	5	이동정밀도	각 way-point의 반경 1미터 이내	100
	ROV의 경작업용 툴(워터젯 등)	작업툴	1대	5	작업목록	시연	100
	ROV의 수중 환경 맵핑	해상도	최저2m에서 구현 5cm	10	미국/WHOI	실측/5cm 인공Target detecting 작업Tool요구 조건분석	100
	작업 툴 연동시스템 구현	인터페이스	인터페이스 3종 이상	10	작업목록	개발 보고서	100
	작업전문카메라 연동 (타겟트래킹)	추종성공률	수조 80% 실패역 60% 이상 (20회 수행)	10	FMC	시연	100
	수중복합 센서데이터 처리 모듈 제품인증	인증	1건	10	등록	제품 인증서	100
	탑재용 5DOF 매니플레이터 성능평가 및 개선	Lifting 성능	Full reach lift : 181kgf at 210bar	10	5축(미국)	성능검증	100
ROV 장착 성능평가	Lifting 성능	7DOF manipulator Full reach lift 120kgf at 210 bar 5DOF manipulator Full reach lift 181kgf at 210 bar	10	5축(미국) 7축(미국)	통합성능검증	100	

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
	통합 성능평가 및 개선	종합평가	ROV 장착 수중 7,5DOF manipulator 구동	5	5축(미국) 7축(미국)	통합성능평가	100
	구성품 고내압성능평가	내압성능	구동기, 제어기, 센서 내압시험 250bar	5	5축(미국) 7축(미국)	구성품 성능평가	100
	근해역 항법 성능 오차(USBL 단독 사용 시 오차 대비)	정밀도	1m 이내	5	USBL 오차	시연	100
6차년도 (2018년)	작업 심도	최대수심	2,500m	15	작업수심	시연	100
	시나리오에 의한 공동작업	시나리오 수행	작업 시나리오 도출 및 수행	25	작업 시나리오	매핑 및 파이프 조사 시나리오	100
	통합 실해역 성능 실험 지원	시나리오 수행	운용 시나리오 도출 및 수행	10	운용 시나리오	5cm해상도 Mapping/시연	100
	작업툴 (위터젯, 커팅, 드릴링)	작업툴 구동	3종이상 연동 및 구동(DC 300V 이내 전원)	15	작업목록	시연	100
	고장진단	실시간성	5종이상 실시간 모니터링 및 고장검출	15	실시간 고장진단	실측 및 시연	100
	실해역 항법 성능 오차(USBL 단독 사용 시 오차 대비)	정밀도	1m 이내	5	USBL 오차	시연	100
	매니퓰레이터 고내압성능평가	내압성능	매니퓰레이터 내압시험 250bar	15	5축(미국) 7축(미국)	성능평가	100

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
최종목표	작업 수심	작업 수심	2,500m	15	과제 최종목표	실측 (자체평가)	100
	매설 심도	매설 심도	3m	35	과제 최종목표	실측 (자체평가)	100
	매설 속도	매설 속도	2km/hr	25	과제 최종목표	실측 (자체평가)	100
	전진 속도	전진 속도	3knots	15	과제 최종목표	실측 (자체평가)	100
	작업 하중	작업 하중	500kg	10	과제 최종목표	실측 (자체평가)	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
1차년도 (2013년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	설계기준 도출 1차 설계 시안	25	플랫폼 설계	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	수중 유압 기술	유압회로	설계기준 도출 부품별 사양선정	10	유압회로 사양 선정	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
		HPU	사양 및 설계기준 도출	10	HPU 사양 도출	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	설계기준 도출. 실물대비 1:5 시작품 제작	15	워터젯 가능성 확인	자체평가 (설계도면 및 수조테스트)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	설계기준 도출 1차 설계 시안	7.5	사양 선정	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		케이블 커터	설계기준 도출 1차 설계 시안	7.5	사양 선정	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	설계기준 도출 1차 S/W 프레임웍	10	S/W 프레임웍 확보	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	핵심기술	유압매니플레이 터 정밀 제어	기구학 분석 제어시뮬레이션 구축	7.5	알고리즘 개발 기반 구축	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
수중 정밀 복합항법		S/W 프레임웍 항법센서 사양선정	7.5	알고리즘 개발 기반 구축	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100	
2차년도 (2014년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	심도 2,500m급 프레임 최종설계, 부력재 재질 및 외형 설계	25	프레임/부력재 설계도면 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 유압 기술	유압회로	225kW 유압회로 및 부품 최종 설계, 부품별 1차 시작품 제작	20	유압최종 목표성능 확보 가능성 확인	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	1차 시작품 (12m3/hr@5bar)	15	가능성 확인을 위한 축소모형 제작	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	1차 시작품 최종 설계	7.5	시작품 설계	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		케이블 커터	1차 시작품 최종 설계	7.5	시작품 설계	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	S/W 엔진 1차 시안 구축	10	S/W 구축 기초 작업	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치	
	핵심기술	유압매니플레이터 정밀 제어	시뮬레이션 기반 7자유도 서보잉 제어 구현	5	로봇팔 자체 제어 알고리즘 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100	
		수중 정밀 복합항법	2% of range (S/W 보정)	5	항법 기초 알고리즘 확보	자체평가 (수조테스트)	100	
		수중작업 실시간 3D 구현	설계기준 및 최종 목표사양 도출	5	설계 기준 및 목표 사양 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	95	
3차년도 (2015년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	내압용기 제작 및 300bar 방수테스트	5	내압용기 제작	전문기관 실험평가(e)	100	
			프레임 제작완료	15	프레임 제작	시방서 및 자체평가		
			부력재 설계 및 주문발주	5	부력재 제작 준비	시방서 및 매뉴얼		
	수중 유압 기술	수중 유압 기술	225kW/210bar (1차 시작품)	20	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100	
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	800m3/hr@10bar (젯팅암 1차 시작품)	15	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100	
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	12톤 (1차 시작품 수정보완)	5	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100	
			400bar (1차 시작품)	5	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100	
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	1차 시작품 및 센서장비 연동	10	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100	
	핵심기술	유압매니플레이터 Visual Assistant 기술	비전 기반 사용자 지시 위치 이동	5	비전 알고리즘 확보	실측 (자체평가)	100	
			수중 정밀 복합항법	1.5% of range	5	항법 성능 향상	실측 (자체평가)	100
			수중작업 실시간 3D 구현	프레임웍 구축	5	개발 기반 구축	시뮬레이션 자체평가	100
			ROV 고장 검출	모델 및 프레임웍 구축	5	개발 기반 구축	시뮬레이션 자체평가	100
	4차년도 (2016년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	선상 전원공급실 제작	10	통합용 전원공급실 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
전기/전자/통신 시스템 제작 완료				5	전기/전자/통신 모듈 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100	
플랫폼 통합				10	통합 플랫폼 확보	운용 시나리오 기반 수조 시험 성능 검증 (자체평가)	100	

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
	수중 유압 기술	수중 유압 기술	1차 시제품 (225kW/210bar)	20	통합용 시제품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	1차 시제품 (986m ³ /hr@9bar)	15	통합용 시제품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	17톤 (2차 시제품)	5	통합용 시제품 확보	실측 (자체평가)	100
		케이블 커터	550bar (2차 시제품)	5	통합용 시제품 확보	실측 (자체평가)	100
	선상 관제체계 기술	시스템 통합	2차 시제품 및 연동	10	통합용 2차 시제품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	핵심기술	유압매니플레이터 Visual Assistant 기술	영상 이미지 매칭률g): 70%	5	알고리즘 성능 개선	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
		수중 정밀 복합항법	1.2% of traveled distance	5	알고리즘 성능 개선	연근해 성능 검증 (자체평가)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	맵 해상도h): 15x15x15mm	5	기본 알고리즘 확보	현장데이터를 활용한 시뮬레이션 (자체평가)	95
		ROV 고장검출	검출율i): 50%	5	기본 알고리즘 확보	시뮬레이션 (자체평가)	100
	5차년도 (2017년)	매설 심도	매설 심도	3m	35	과제 최종목표	실측 (자체평가b))
매설 속도		매설 속도	2km/hr	20	과제 최종목표	실측 (자체평가b))	100
전진 속도		전진 속도	3knots	15	과제 최종목표	실측 (자체평가b))	100
수중 작업공구 기술		케이블 그리퍼	25톤 Ø17~110mm	5	과제 세부목표	실측 (자체평가)	100
		케이블 커터	690bar 최대 Ø110mm	5	과제 세부목표	실측 (자체평가)	100
핵심기술		유압매니플레이터 Visual Assistant 기술	영상 이미지 매칭률: 80%	5	과제 세부목표	연근해 검증 (자체평가)	100
		수중 정밀 복합항법	1% of traveled distance	5	과제 세부목표	연근해 검증 (자체평가)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	맵 해상도: 10x10x10mm	5	과제 세부목표	현장검증 (자체평가)	95
	ROV 고장검출	검출율: 80%	5	과제 세부목표	현장검증 (자체평가)	100	
6차년도 (2018년)	운용 시나리오 기반 케이블 매설 및 유지보수	운용 시나리오 기반 케이블 매설 및 유지보수	최종목표 달성	100	과제 최종목표	실측 (연근해)	100

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
최종목표	플랫폼 작동성능	작업수심	500m	5	국내적용조건 고려(세계 통계기준 76% 수준)	실측	100
		이동가능 지반	25kPa	10	서남해 해저 퇴적토층 최소기준	실측 (육상/해상)	100
		작업가능 지반	20MPa	20	제주인근 해저표층 압축강도 기준으로 조정	실측 (육상/해상)	100
		주행 속도	2km/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준 (토사조건, 매설깊이 1.5m 기준)	실측 (육상/해상)	100
		등판각	30°	5	유사장비 기준없음	실측(육상)	100
	틀작업성능	매설심도	2m	20	Carbon trust BPI 1.5m이상 조건	실측 (육상/해상)	100
		매설폭	0.5m	20	최대 22인치 매설조건(세계 통계기준 99% 이상)	실측 (육상/해상)	100
		트랜칭 속도	300m/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측 (육상/해상)	100
2차년도 (2014년)	기성 틀 성능평가	커터/암파쇄기 기성제품 성능 보고서	2건	10	-	보고서	100
	시험용 플랫폼 설계	설계도면	1건	70	-	설계도면	100
	모형 트랜처 원격 조종 시스템 개발	원격조종 테스트베드 설계도면	1건	10	-	설계도면	100
	운영시스템 개념설계	운영실 설계도면	1건	10	-	설계도면	100
3차년도 (2015년)	테스트 플랫폼	시작품	1건	30	-	시작품	100
	다목적 암 제작	암 시작품	1건	10	-	시작품	100
	암파쇄기 틀 제작	암파쇄기 시작품	1건	20	-	시작품	100
	플랫폼 원격 조종 시스템 개발	시작품	1건	20	-	시작품	100
	암파쇄기 원격 조종 시스템 개발	시작품	1건	5	-	시작품	100
	선상 운영실 설계, 제작	운영실	1건	15	-	시작품	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
4차년도 (2016년)	FFCPT	관입깊이	2m	5	개발ROV운용조건	실해역실험 결과	80
		내압실험	50bar	5	개발ROV운용조건	실해역실험 결과	100
	항법성능	포지셔닝 오차	30m/km 이내	20	해저파이프라인 설치 허용 오차의 1.5배	실측 (수조 및 실해역 실험)	100
	작업지능제어	정속유지성능	오차 10rpm 이내	10	최적 작업 속도의 10% 이내	실측	100
		정압유지성능	오차 10bar 이내	10	최적 작업 속도의 10% 이내	실측	100
	전방가시화소나	탐지거리	20m	5	전방의 타겟을 인식할 수 있는 거리로 선정	실측 (수중 또는 천해실험)	100
		분해능	0.5도	5	전방 5m거리에 있는 13cm 간격의 세점들을 구분할 수 있는 사양으로 선정	실측 (수중 또는 천해실험)	100
	굴착깊이 측정장치 설계	도면	1건	10	-	설계도면	100
	수중 작업환경 시각화 플랫폼 개발	수중 지형/장비 3D 모델링 및 실시간 영상 연동 시각화 S/W	1건	20	-	S/W제작(실측)	100
	운영자 편의 조종 시스템 설계, 제작	Operating Seat 시스템 H/W	1건	10	-	H/W구축 (실측/도면)	100
5차년도 (2017년)	플랫폼 작동성능	작업가능 지반	압축강도 10MPa 이하	10	제주인근 해저표층 압축강도 기준으로 조정	실측(육상)	100
		주행 속도	1km/h	5	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상/천해)	100
		등판각	30°	10	유사장비 기준없음	실측(육상)	100
	틀작업성능	매설심도	매설심도 2m 이내	10	Carbon trust BPI 1.5m이상 조건	실측(육상)	100
		매설폭	매설폭 0.6m 이내	10	최대 22인치 매설조건(세계 통계기준 99% 이상)	실측(육상)	100
		트랜칭 속도	150m/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상)	100
		트랜칭시 직진유지성능	5°	10	유사장비 기준없음	실측(육상)	100
	항법성능	포지셔닝 오차	20m/km	5	해저파이프라인 설치 허용 오차 기준	실측 (해상/천해)	100
	작업지능제어	정속유지성능	오차 5rpm 이내	5	최적 작업 압력의 5% 이내	실측	100
		정압유지성능	오차 5bar 이내	5	최적 작업 압력의 5% 이내	실측	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
	굴착깊이 측정장치	탐지거리	10m	5	실제 측정 깊이 2m이고 이를 고려하여 Overspec.으로 선정	실측확인	100
		분해능	0.5도	5	플랫폼에 장착할 수 있도록 장비 사이즈를 고려하여 센서 설계하고 센서 성능에 따른 사양으로 선정	실측확인	100
		S/W개발	1건	10	-	S/W제작 (실측)	100
6차년도 (2018년)	플랫폼 작동성능	작업수심	500m	10	국내적용조건 고려(세계 통계기준 76% 수준)	실측	100
		이동가능 지반	25kPa	10	서남해 해저 퇴적토층 최소기준	실측 (육상/해상)	100
		작업가능 지반	20MPa	10	제주인근 해저표층 압축강도 기준으로 조정	실측 (육상/해상)	100
		주행 속도	2km/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측 (육상/해상)	100
	툴작업성능	매설심도	2m	20	Carbon trust BPI 1.5m이상 조건	실측 (육상/해상)	100
		매설폭	0.5m	20	최대 22인치 매설조건 (세계 통계기준 99% 이상)	실측 (육상/해상)	100
		트랜칭 속도	300m/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측 (육상/해상)	100
		트랜칭시 직진유지성능	3°	5	유사장비 기준없음	실측(해상)	100
		운영실	설계도면	도면 1건	5	-	실측(도면)

□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
최종목표	과제관리시스템 구축	PERT/CPM 기반	100%	10	3개 핵심과제 효율적 관리	WBS	100
	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	100%	25	수중로봇 효율적 적용 방안 기준	S/W	100
	원치시스템 제작	2, 3핵심용 공용 원치시스템	30tf	15	2, 3핵심 ROV의 효율적 선상 운용	설계도면/ 시제품	100
	umbilical cable 제작	2, 3핵심용 공용 케이블	700m	10	2, 3핵심 ROV의 효율적 선상 운용	설계도면/ 시제품	100
	실증실험수행 및 관련 매뉴얼 작성	선상 실험 매뉴얼 작성	100%	10	체계적 실험역 실험 및 연속성	매뉴얼	100
	실용화/사업화추진 전략 수립	실용화 추진 전략	100%	30	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
1차년도 (2013년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	15%	50	작업공정 분석	보고서	100
	실증실험 후보지 검토	실증 후보지 문헌 및 자료 조사	15%	5	실해역 실험의 효율적 진행	보고서	100
	실용화 전략 실행계획 수립	특허/사업화 가능성 분석	15%	45	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100
2차년도 (2014년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	35%	30	해상 작업일수 추정기법 개발	보고서	100
	원치시스템 설계	2, 3핵심용 원치 시스템 사양설계	25%	20	2, 3핵심용 원치 시스템 구축 단계	설계도면	100
	umbilical cable 설계	2, 3핵심용 케이블 사양설계	30%	10	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	설계도면	100
	실증실험 후보지 조사	실증 후보지 현장 예비 조사	50%	10	체계적 실해역 실험 준비 단계	보고서	100
	핵심과제별 사업성 분석	핵심과제별 기술성 /시장성 분석	30%	30	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100
3차년도 (2015년)	과제관리시스템 구축	PERT/CPM 기반 관리시스템 구축(I)	70%	20	3개 핵심과제 효율적/단계별 관리	WBS	100
	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	60%	20	해상 작업일수 추정	보고서	100
	원치시스템 설계	2, 3핵심용 원치 시스템 기본설계	100%	10	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	설계도면	100
	umbilical cable 설계	2, 3핵심용 케이블 기본설계	100%	10	체계적 실해역 실험 준비 단계	설계도면	100
	실증실험 후보지 조사	실증후보지 현장 조사	90%	10	체계적 실해역 실험 준비 단계	보고서	100
	핵심아이템 사업모델 분석	유망아이템에 대한 사업모델	30%	30	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100
4차년도 (2016년)	PERT/CPM 기반 과제관리시스템 구축	PERT/CPM 기반 관리시스템 구축(II)	100%	15	3개 핵심과제 효율적/단계별 관리	WBS	100
	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	80%	15	최적공정프로그램 개발	보고서	100
	원치시스템 제작	2, 3핵심용 원치 상세설계/제작	30tf	25	2, 3핵심용 원치 시스템 구축 단계	시제품	70
	umbilical cable 제작	2, 3핵심용 케이블 상세설계/제작	700m	20	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	시제품	70
	실증실험 세부계획 수립	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	50%	10	실험계획 수립	보고서	100
	핵심아이템 사업모델 분석	유망아이템에 대한 사업성 심화 분석	100%	15	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100
5차년도 (2017년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	100%	30	최적공정프로그램 최종 개발	보고서	100
	실증실험 계획 수립 및 수행	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	80%	40	성능실험계획에 따른 실험 수행	실험 결과	100
	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련	50%	30	내부 역량 분석 및 기술이전 세부 지침 마련	보고서	100
6차년도 (2018년)	실증실험 수행 및 관련 매뉴얼 작성	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	100%	80	실해역 실험 수행 및 매뉴얼 작성	매뉴얼	100
	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련	100%	20	기술이전 추진 계획 수립	보고서	100

나. 단계별 개발 목표

- 1단계 : 수중건설로봇 기반 구축 및 핵심요소 기술 개발 단계
 - 수중건설로봇 기반 구축 및 전문기업 참여 확대
 - 수중건설로봇 관련 전략추진 과제별 핵심기술 개발
 - 수중건설로봇 성능실험을 위한 최적의 인프라 시설 구축 및 운영지원 체계 구축

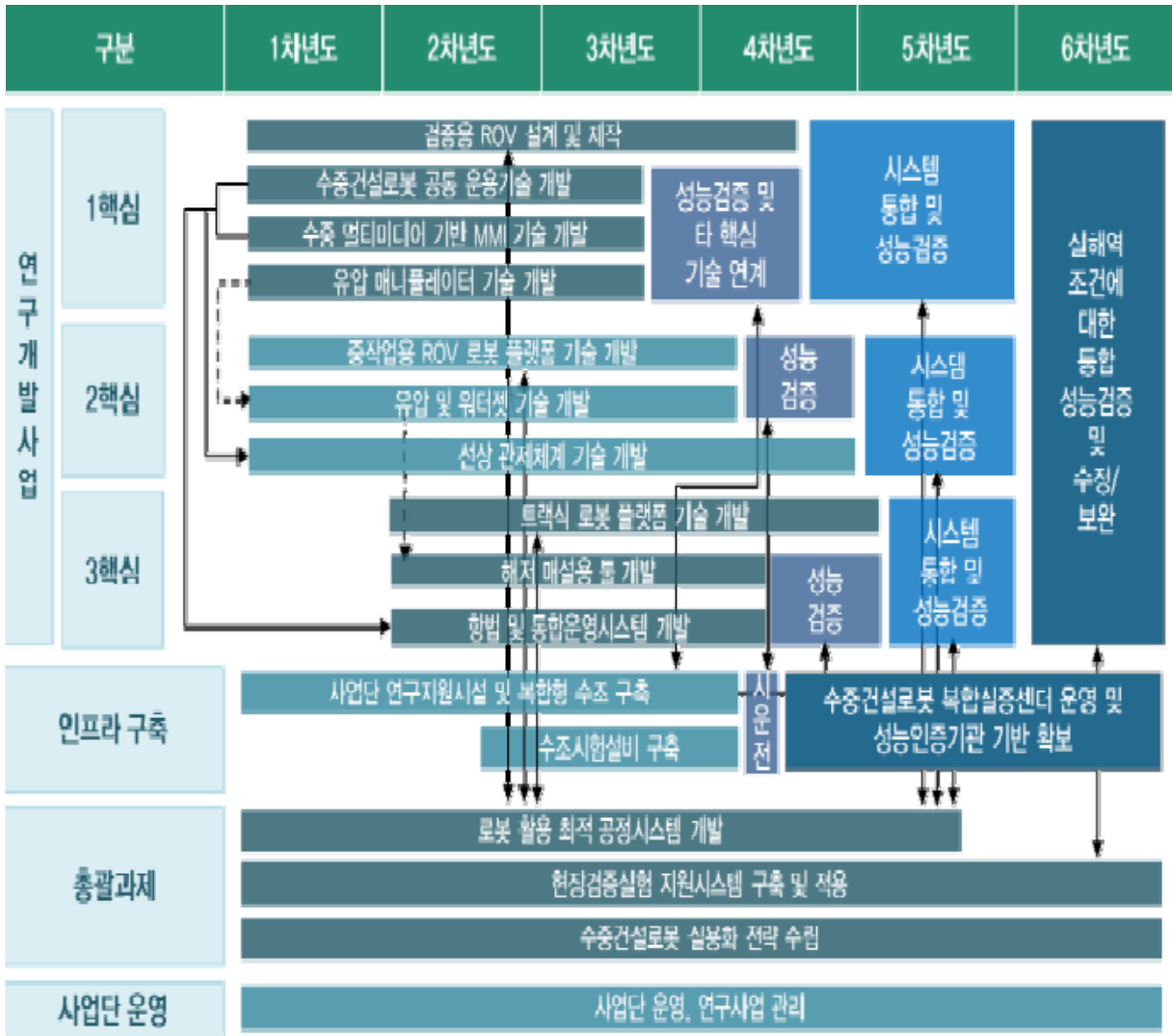
- 2단계 : 기술통합 및 시스템 제작, 검증실험 단계
 - 개발된 핵심기술 통합시스템 제작
 - 개발 제품의 실증 검증을 통한 성능 신뢰도 향상
 - 수중건설로봇 발전의 획기적 도약 및 글로벌 실증 메카로 성장할 수 있는 기반 확보

- 3단계 : 통합검증을 통한 실용화 기반 구축
 - 1~2단계를 통해 확보된 핵심 기술의 실용화
 - 기술이전 기업 주도로 실제 Field 적용



[그림 1-12] 수중건설로봇 개발 단계 구분

다. 연차별 연구개발 로드맵



[그림 1-13] 연차별 연구개발 로드맵

2

국내외 기술 개발 현황



2 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 정책

□ 100대 국정과제

- 문재인 정부는 '17년 7월 국정기획자문위원회를 통해 국정운영 5개년 계획을 발표하고 '더불어 잘사는 경제' 목표 하에 "과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명" 전략에 주요 과학기술정책을 제시
- '국정과제 34. 고부가가치형 미래형 신산업 발굴·육성'의 지능형 로봇 등 첨단기술 산업 육성을 위한 R&D 및 실증·인프라 구축 지원과 '국정과제 37. 친환경 미래 에너지 발굴·육성'에 연계성이 있음.

□ 2019년도 정부 R&D 투자방향(안)

- 지능형로봇을 포함한 4차 산업혁명 대응 8개 분야에 '기술-인력-정책-제도개선' 패키지형 투자플랫폼을 우선 추진
- 공공·범용성 기술개발 및 사업화 지원을 강화
- 에너지·자원, 우주·항공·해양 등 11개 기술분야 투자전략 제시
- 신재생에너지 발전 및 전력 수요관리 기술개발 분야에 대한 투자를 확대하고, 항공·해양 분야 고부가가치 핵심기술 및 산업기반기술 투자 강화

□ 제4차 과학기술기본계획('18~'22)

- '과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여'를 비전으로 이를 달성하기 위한 핵심적인 4대 전략을 제시
- 지능형로봇 등 13대 혁신성장동력을 육성하고 건강, 재난·안전, 환경 등 국민 생활과 밀접한 분야의 연구개발(R&D)을 강화
- 친환경 해양플랜트 등 미래유망산업의 성장동력화를 촉진하고 신재생에너지 및 에너지 저장기술을 고도화

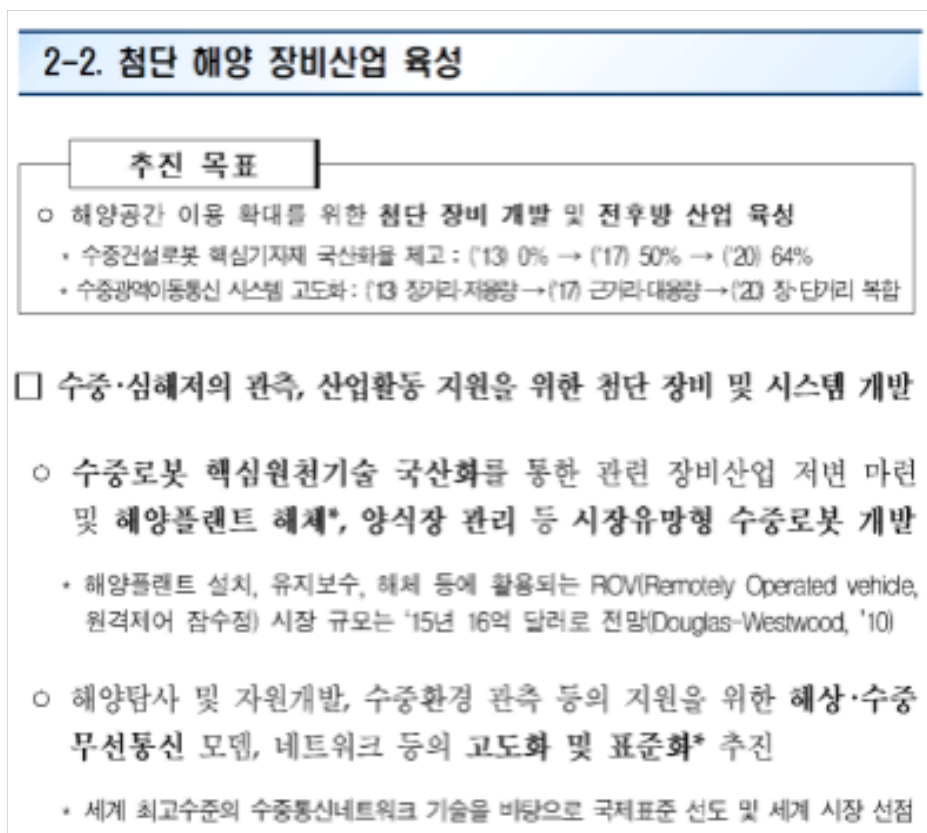
□ 해양수산 R&D 중장기 계획('14~'20)

- '국민의 꿈과 행복을 실현하는 창조형 해양과학기술'을 비전으로 3대 R&D 전략 및 12대 실행전략을 제시

- ‘전략2. 창조형 해양수산 산업 육성’에 첨단 해양 장비산업 육성 부문에 수중로봇의 중요성을 부각

□ 해양수산 R&D 산업화 촉진전략

- (2-6-① 수중건설장비 핵심기술 개발·국산화) 수중 건설용 로봇·센서 등 국산 핵심기술 개발을 통한 2020년까지 기술 자립도 80%까지 확보 및 상용화 추진
- (2-6-③ 수중건설장비 사업화 촉진) 핵심기술 개발기간 사업화 전략을 수립하여 기술개발 후 민간기업 주관 수중건설 장비 및 부품에 대한 사업화 성공률 제고



[그림 2-1] 해양수산 R&D 중장기 계획





비 전	창조형 해양수산 과학기술을 통한 산업육성 견인		
목 표	(단 기) '20년 시장창출 3.4조원, 고용창출 3.6만명, 글로벌 강소기업 4개 (중·장기) '25년 시장창출 14조원, 고용창출 12.3만명, 글로벌 강소기업 10개		
3대 추진전략 및 15개 중점과제	(전략 1) R&D 시스템 혁신	(1-1) 시장지향형 R&D 강화	
		(1-2) 산업수요를 반영한 기획체계 개선	
		(1-3) 親 기업형 관리체계 마련	
		(1-4) 사후지원 및 성과활용 내실화	
	(전략 2) 7대 핵심산업 분야 R&D 강화	(2-1) 해양청정에너지 조기 상용화	
		(2-2) 국제규제 강화를 기회로 해사산업 육성	
		(2-3) 수산양식·식품기술의 첨단산업화	
		(2-4) 극한환경 극복을 통한 심해저 자원 확보	
		(2-5) 해양수산생명공학기술 세계시장 개척	
		(2-6) 수중건설용 첨단장비 실용화	
		(2-7) 융·복합 혁신을 통한 신산업 창출	
	(전략 3) 산업화 촉진 인프라 강화	(3-1) 법·제도 기반 강화	
		(3-2) 기술금융·펀드 활성화	
		(3-3) 산업현장 전문인력 양성 및 창업지원	
		(3-4) 산업화 촉진체계 및 지원조직 강화	

[그림 2-2] 해양수산 R&D 산업화 3대 추진전략 및 15개 중점 과제

□ 범부처 무인이동체 발전 계획

- 부처별로 담당하고 있는 공간적 칸막이를 배제하고 무인이동체 기술간 융합을 활성화하고 산업경쟁력 확보를 위한 범부처 ‘무인이동체 발전 5개년 계획(‘16~‘20)’수립
- 중점추진 분야에 무인해양 수중로봇 및 무인선 기술개발 포함

[표 2-1] 무인이동체 산업 글로벌 시장전망 및 점유율 확대 전략

구 분	무인기	자율주행 자동차	무인농기계	무인해양
				
시장규모 '15→'20년 (연평균 증가율)	123 → 222억불 (13%)	78 → 280억불 (29%)	19 → 108억불 (42%)	27 → 63억불 (18%)
'20년 시장점유율(%)	33%	42%	16%	9%

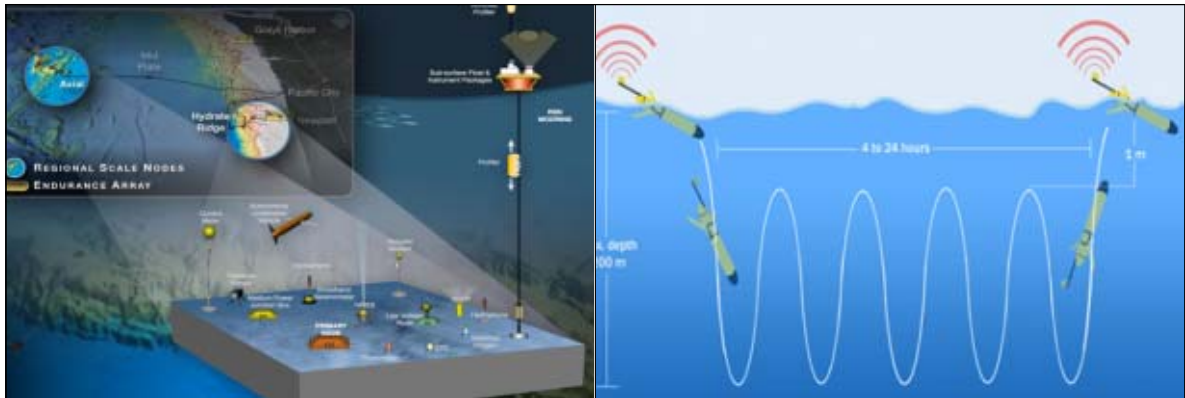


[그림 2-3] 무인이동체 미래 통합운영 환경 및 협업 방안

2. 해외 정책

- (미국) 해양법(Ocean Act) 제정과 해양분야 청사진 수립을 통해 국제사회에서의 해양과학 기술분야 위상강화 및 해양과학기술력 향상을 지속 추진
 - 첨단해양(연구)장비 개발과 관련해서는 자국내 주요 연구기관(스크립스해양연구소, 우즈홀해양연구소 등)을 통해 지속적인 기술력 확보를 추진
 - 스크립스해양연구소는 해양관측연구개발부(CORDC, Castal Observing Research and Development)를 통해 연안해역의 원격탐사 등에 대한 원천기술 확보 추진

- 우즈홀해양연구소는 AOPE(Applied Ocean Physics & Engineering)에서 해양음향, 수중이동장비 및 잠수정에 대한 기반기술 확보를 추진
- 심해과학기술연구소(STRC, Seabed Technology Research Center)에서는 해저차량과 센서 기술, AUV, ROV 관련 기술개발을 추진



[그림 2-4] OOI 프로젝트 구성체계 및 AUV 운영 모식도

- (EU) 통합 장기프로젝트인 Horizon 2020 프로그램이 '14년부터 진행되고 있으며, 해양의 개발을 통한 사회적 과제 해결 목표 달성을 위한 다양한 지원 확대
 - 해양장비와 관련된 해양공학기술분야는 영국, 프랑스, 노르웨이의 주요 국가연구소를 중심으로 높은 기술력을 보유하고 있으며, 지속적인 기술개발 지원 정책을 바탕으로 국가의 해양력은 물론 관련 산업의 파급효과를 극대화
 - 노르웨이 해양기술연구소(MARINEX)는 해양에너지발전시설 등 해양구조물의 유체역학, 관련장비에 대한 연구개발을 수행
 - 영국 사우스햄튼 국립해양과학센터는 USL(Underwater Systems Laboratory)를 통해 AUV의 설계 및 건조, 수중데이터 통신 기술개발 등을 추진
 - 프랑스 해양연구소(IFREMER)는 해양학분야의 종합연구기관으로 해저탐사장비 및 해양관측장비의 개발 등의 연구개발도 수행
- (일본) 해양안전, 관할권 확보 및 자국적 해양위협 대비 등에 우선순위를 부여하고 있으며 해양 영토 관리, 해양 물류 수송 확보, 해양 에너지 및 생물자원 확보 등의 종합 정책을 추진
 - 해양공학 관련 대표적인 연구기관으로는 국토교통성 산하 해양연구개발기구(JAMSTEC)와 문부과학성 산하 해상기술안전연구소(NMRI) 등이 대표적이며, 정부의 지원을 받아 활발한 연구 활동을 전개
 - JAMSTEC는 해상종합연구소로 불리는 치큐(地球)호를 비롯해 모두 8척의 탐사선과 유·무인 심해잠수정 5척을 보유하고 심도 깊은 연구 활동을 전개하고 있으며, 에스시플레

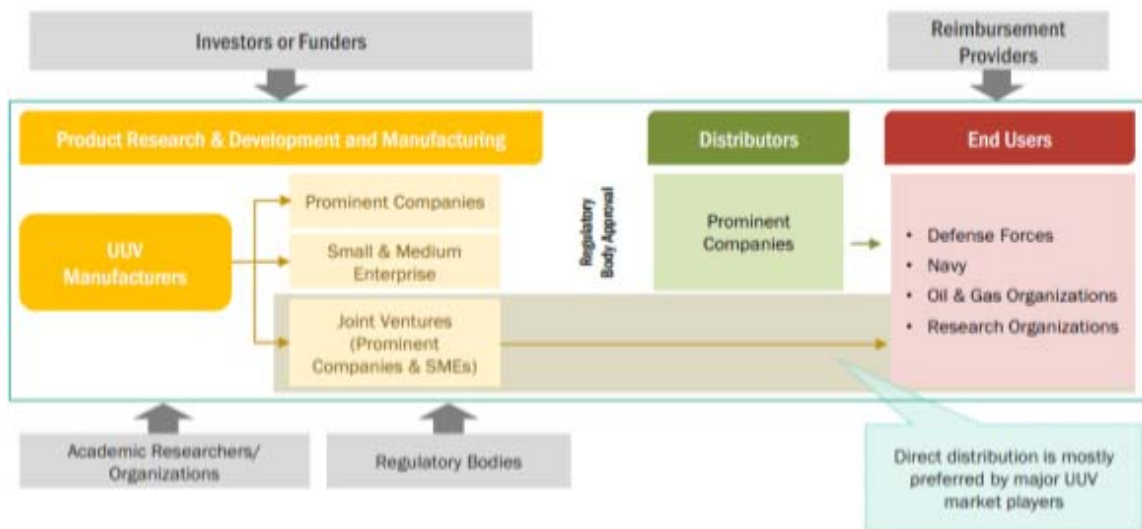
이터(Earth Simulator)를 활용해 기상요소들의 변화를 예측하는 시스템 개발 연구를 진행 중임. 또한 지구온난화, 지진방재, 이상기후 대처 등 국민생활 안전을 실현하기 위한 연구를 수행

- JAMSTEC의 해양공학센터(MTC)는 자율무인탐사선 연구그룹, 고성능 무인해저탐사기술 연구그룹, 해양관측기술 연구그룹에서 해양공학에 초점을 둔 연구개발을 진행

3. 시장 동향

□ 개요

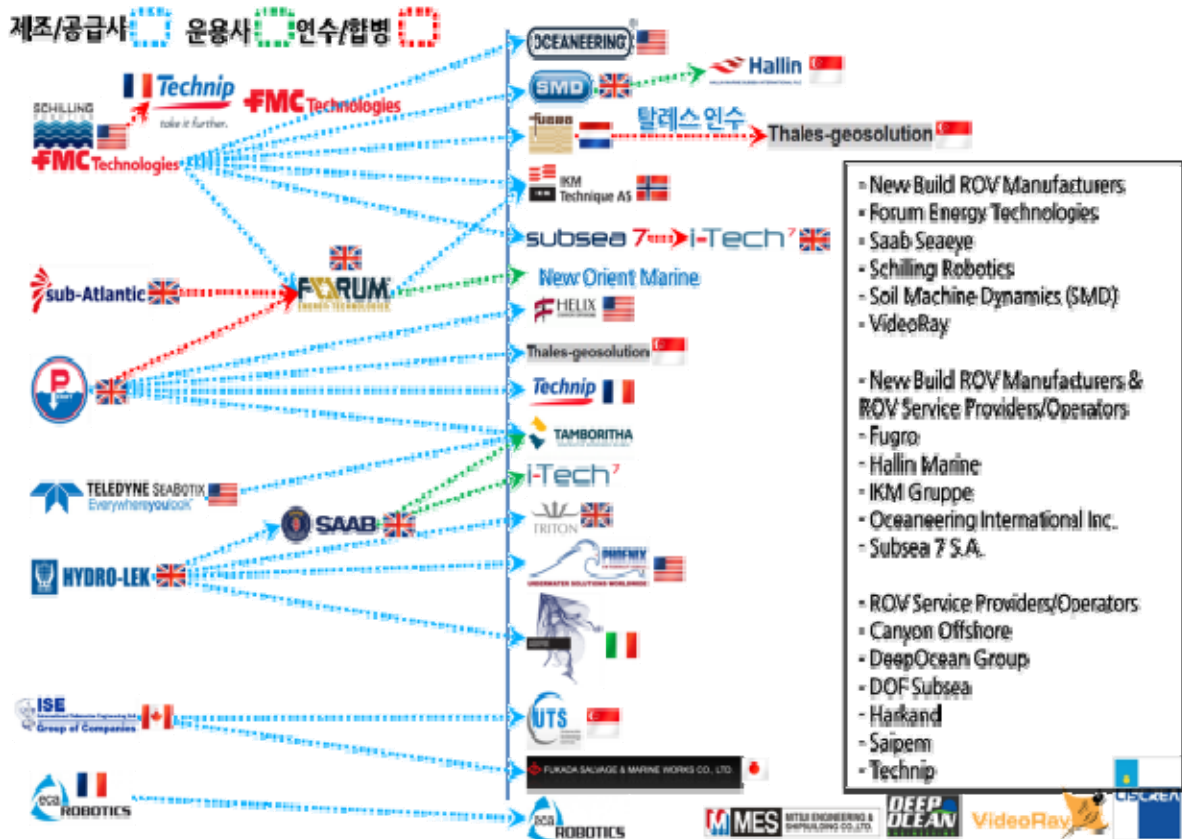
- 수중건설로봇은 ROV(Remotely Operated Vehicles)의 형태이며 수중로봇에 대한 산업구조는 아래와 같으며 수요가 되는 전방산업은 오일&가스에서부터 국방 그리고 다양한 수중 구조물 까지 넓게 활용이 되고 있음.



※ 자료 : Press Releases and MarketsandMarkets Analysis

[그림 2-5] 수중로봇 산업구조

- 수중건설로봇 관련 시장은 크게 수중건설로봇 자체 시장과 함께 수중건설로봇이 적용될 수 있는 운용 및 활용 시장 등으로 구분할 수 있음.
- 주요 관련 기업은 수중건설로봇의 제작 및 부품 기업과 시스템 제조 위주인 기업, 운용 및 활용 위주로 하는 기업, 설치/탐사를 하는 기업으로 구분할 수 있음.
- 수중건설로봇 제조업체는 전·후방 산업의 경쟁력 있는 업체에 인수되어 모기업의 수직계열화 또는 해양 분야 진출의 기반이 되는 특징을 보임.



[그림 2-6] 수중로봇 시장 Value chain

4. 국내시장 동향

□ 수중건설로봇 자체 시장

- 국내 수중로봇 제조 시장은 초기단계에서 점차 시장이 증가하는 단계로 진입하고 있음. 수중로봇과 관련된 통계 분류에서 ‘사회안전 및 극한작업 로봇’과 ‘농림 어업용 로봇’의 최근 국내 시장 현황을 분석해 보면 2014년 대비 2016년 연평균 각 274%, 760% 성장률을 보임.

[표 2-2] 수중건설로봇 관련 국내 시장-로봇 생산현황

(단위 : 백만원)

품목명	2014년	2015년	2016년	연평균 성장률
사회안전 및 극한작업 로봇	3,940	52,549	29,624	274%
농림어업용 로봇	600	1,319	34,712	760%

※ 자료 : 2014, 2015, 2016 기준 로봇산업 실태조사 결과보고서, 산업통상자원부

□ 해양 구조물 관련 국내 시장 현황

○ 해상풍력발전

- 2017년 4.7%인 신재생에너지 발전비중을 2030년까지 20%로 확대할 방침(‘신재생 3020’)을 발표(2017년), 우리나라의 풍력발전 산업은 경제성을 갖는 육상풍력발전단지가 극히 제한되어 있고 민원의 증가에 따라 입지확보에 어려움을 겪고 있어 해상풍력 개발에 관심이 집중
- 2017년 기준 해상풍력 사업계획을 수립했거나 시행 중인 곳은 약 18개(3,337MW)
- 산업통상자원부에서 『서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획』을 발표(2011. 11)하여 부안군 위도~영광군 안마도 사이에 60MW 규모의 서남해 해상풍력 1단계 실증사업 건설 공사를 2016년 5월 착공, 2017년 풍력발전기 2기 건설 완료, 기초공사 총 7기 시공 완료, 2018년 3월부터 공사를 재개해 2019년 11월 풍력발전기 20기(60MW)를 준공할 계획



[그림 2-7] 서남해 해상풍력 개발사업 개요

- 2015년 착공하여 2016년 부분가동을 시작한 제주 탐라해상풍력발전단지가 완공되었고, 제주 대정읍('18~'20), 충남 안면도('18~'21), 전남 신안군('18~'22)에서도 각각 100 MW, 100 MW, 400 MW 규모로 건설될 예정
- 최근 경상북도는 2027년까지 경주 앞바다에 500MW 규모의 부유식 해상풍력발전단지를 구축하기 위한 준비를 하고 있다고 발표

[표 2-3] 국내 해상풍력 유망 후보단지

No.	지역	발전소명	사업자	용량(MW)	기상탑	진행현황
1	전북	서남해실증사업	한국해상풍력	60	해상	공사중
2	제주	한림해상풍력	한전, 대림산업, 한전기술	100	해상	인·허가중
3	전남	전남해상풍력	포스코에너지	300	해상	본타당성평가추진중
4	전남	전남신안해상풍력	한화건설, 남동발전	400	해상	본타당성평가추진중
5	제주	대정해상풍력	남부발전	100	해상	예비타당성조사완료
(1)	전북	서남해시범사업	한국해상풍력	400	해상	예비타당성조사완료
6	울산	강동해상풍력	SK건설, 한국전력기술	99	육상	예비타당성조사중
7	전남	전남완도해상풍력	남동발전, 코오롱글로벌	200	육상	예비타당성조사중
8	부산	해기해상풍력	지원드스카이	540	육상	예비타당성조사중
9	제주	제주동부해상풍력	평대·한동리	105	-	지구지정심의중
10	제주	월정해상풍력	월정·행원리	125	-	지구지정심의중
11	제주	표선세화해상풍력	표선·세화2리·하천리	135	-	지구지정심의중
12	인천	영흥해상풍력	남동발전	150	육상	-
13	충남	안면도해상풍력	서부발전	100	-	-
14	전남	전남안마도해상풍력	전남개발공사, 한수원, 풍력협회	200	-	-
15	경남	삼천포해상풍력	남동발전	60	-	-
16	부산	고리해상풍력	한국수력원자력	300	육상	정부정책과제('16 12)
17	경북	포항해상풍력	GS E&R	160	육상	-
18	전북	새만금해상풍력	새만금해상풍력	99.2	육상	예비타당성조사중

※ 자료 : 해상풍력개발 현황과 미래 발표자료, 한국에너지기술평가원, 2017

○ 해저 케이블

- 해저 케이블 시장은 해상풍력 수요를 통해 수천억원 규모로 성장할 것으로 전망되고 있으며, 특히 서남해 해상풍력 단지가 주요 수요 지역으로 부상할 전망
- 제주도내 전력의 36%인 40만kW는 제주-해남을 잇는 제1해저 케이블(15만kW), 제주-진도를 잇는 제2해저 케이블(25만kW)을 통해 전력을 공급되고 있으며, 제주~완도간 제3해저 케이블 사업(설비 용량 150kV 200MW, 선로 길이 약 100km)이 3,500억원 내외 규모로 2021년까지 구축 예정



[그림 2-8] 육지~제주 해저 전력 케이블

[표 2-4] 국내 해저 전력케이블 프로젝트 현황

프로젝트	발주처	공사내용 요약	발주시기
서남해 해상풍력_실증 (내부망)	한국해상풍력	약 60MW 3MW급 17기, 내부망 약 17.4km	2018년
전남 진도-하조도	한국전력	22.9kV 100mm ² , 3km x 1 Line	
월정 해상풍력	제주에너지공사	약 125MW, 지구공모 및 지정	
행원 해상풍력	제주에너지공사	약 125MW, 지구공모 및 지정	
전남 흑산도-대둔도	한국전력	22.9kV 100mm ² , 4km x 1 Line	2019년
HVDC#3 (완도-제주)	한국전력	150kV 200MW 90km (전력 2+통신 1회선)	
제주 한동 해상풍력	제주에너지공사	약 105MW, 지구공모 및 지정	
제주 평대 해상풍력	제주에너지공사	약 105MW, 지구공모 및 지정	
제주 표선 해상풍력	제주에너지공사	약 135MW, 지구공모 및 지정	2020년
서남해 해상풍력 시범	한국해상풍력	400MW, 내부망 설치, 실증단지 계통연계	
신안 해상풍력	한화건설	약 400MW, 내부망 60km, 외부망 25km	

※ 자료 : 수중로봇 시장 소개 발표자료, KT서브마린

○ 조류발전

- 국내 연안에는 약 6GW이상의 조류에너지가 부존돼 있는 것으로 추정, 특히 우리나라의 서남해안은 조류에너지 여건이 아주 좋은 것으로 평가되고 있고, 부존량도 많아 대체에너지로서의 개발가치가 높음.
- 울돌목, 장죽수도, 맹골수도, 횡간수도 등 다도해의 빠른 조류 자원 세계적인 조류발전 최적지
- 2003년 국내 최초로 100kW급 수직형 조류발전장치를 개발해 울돌목에 설치, 2009년에는 500kW급 수직형 조류발전장치를 개발해 같은 해역에서 시험운전에 성공하여 현재 가동 중이며, 능동제어형 조류발전 기술도 개발하고 있음.

- 2017년부터 2021년까지 조류발전시스템과 부품의 성능시험/평가가 가능한 조류발전 실험해역 시험장 구축 사업이 진행 중



[그림 2-9] 실험해역 시험장 배치(안)

○ 파력발전

- 2003년부터 250억 원의 국비를 투자해 국내에서는 처음으로 제주도 해상에 파력발전 시스템 설치를 추진해 2016년 7월 제주 시험파력발전소 준공
- 2016년부터 2019년까지 파력발전장치의 성능평가, 설치·회수기술 검증, 운용기술 최적화, 계통 안정성 시험 등이 가능한 5MW급 실증 인프라를 구축하는 파력발전 실험해역 시험장 구축 사업이 진행 중



[그림 2-10] 파력발전 실험해역 시험장 개념도

○ 해저 가스전

- 2004년 한국석유공사가 동해-1 가스전에서 생산을 개시하여 2018년 10월 생산 종료 예정이며, 2016년 한국석유공사와 포스코대우에서 동해-2 가스전에서 생산 개시하여 2019년 6월까지 생산 종료 예정
- 산유국 지위 유지를 위해 석유 발견이 유망한 8광구와 6-1광구 북부지역에 대한 탐사권을 재설정해 추가 탐사를 추진하는 등 국내 대륙붕 개발을 강화할 계획

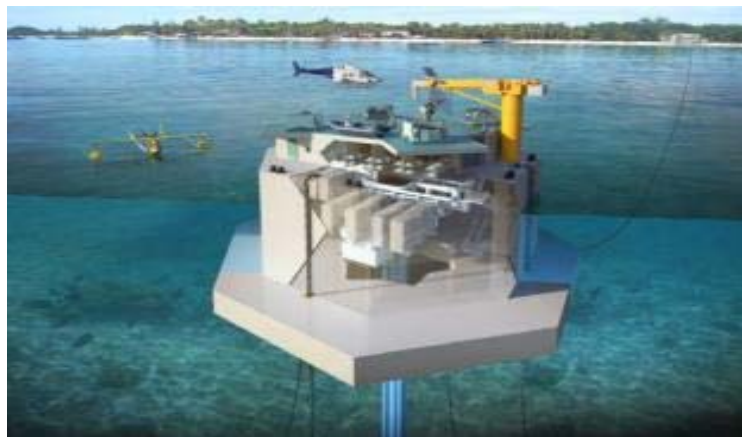
	동해-1	동해-2
위 치	동해 6-1광구 중부지역	동해-1가스전 남서쪽 5.4km 지점
생산기간	2004.7~2018.10	2016.7~2019.6
생산수량	천연가스 381만 5000톤, 컨덴세이트 322만 배럴	천연가스 5만 2000톤, 컨덴세이트 4만1000배럴
투자비	8억2600만 달러	1억4200만 달러
매출액	18억5500만 달러	3100만 달러
조광권자	석유공사(100%)	석유공사(70%), 포스코대우(30%)

※ 자료 : 금융감독원 전자공시 시스템

[그림 2-11] 동해가스전 개발 현황

○ 해수온도차발전

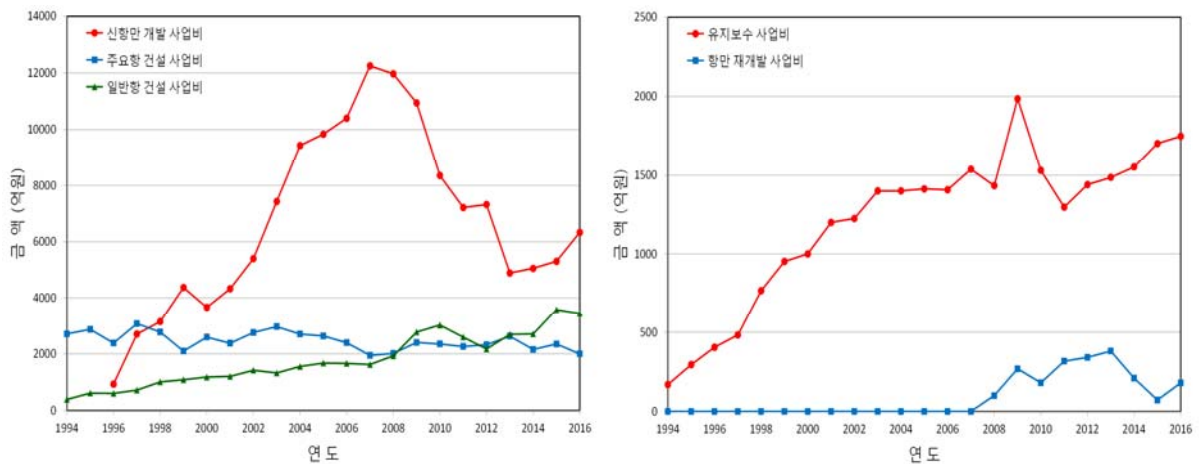
- 해수온도차 발전은 현재 꾸준히 증가하고 있으며, 2014년에 강원도 고성군에 200kW급 고온도차발전 플랜트를 제작하여, '16년~'17년동안 1MW급 해수온도차 발전 설비를 제작 후 적도로 운반하여 운전 실증('17~'18)을 통해 해외시장 진출예정임.
- 2016년 2월 1MW급 해수온도차발전 상세설계가 프랑스 선급(BV: Bureau Veritas)의 실용인증(AIP)을 획득, 국내의 온도차 발전이 세계적인 수준을 향하고 있음.



[그림 2-12] 프랑스 실용인증을 받은 실증용 1MW급 해수온도차발전소 개념도

○ 항만 건설시장

- 해양수산부 발간 2016년 항만업무편람에 의하면 2016년 현재 항만개발 투자비는 15,257 억원임.
- 항만건설 투자비는 1993년 이후 지속적으로 증가하다 2009년 19,770억원으로 정점을 찍은 후 조금씩 감소하고 있는 추세임. 그러나 2015년부터 약간 증가하였으며, 이는 신항만 개발비, 항만 건설비 및 유지관리비의 소폭 증가에 따른 것임.
- 항만 유지관리비용은 꾸준히 증가하여 2016년 유지관리 비용이 1,749억원에 달하였으며, 항만노후화 등으로 인해 유지관리 비용은 지속적으로 증가할 것으로 예상



※ 자료 : 차세대 항만건설기술 개발사업 기획연구 최종 보고서

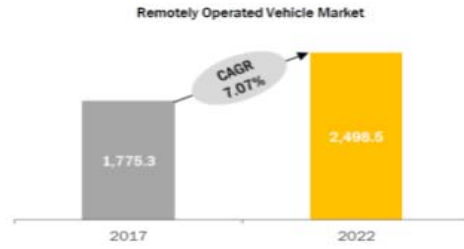
[그림 2-13] 국내 항만건설 및 유지보수 투자 현황

5. 국외시장 동향

□ ROV 시장의 증가

- 시장조사기관 MarketsandMarkets의 조사결과에 따르면 전 세계 무인수중로봇(UUV) 시장은 2017년 26억 9,000만 달러에서 2022년 51억 9,000만 달러로 연평균 14.07% 성장할 것으로 전망, 이 중 ROV 시장은 2017년 17억 7,000만 달러에서 2022년 24억 9,000만 달러로 연평균 7.07% 성장할 것으로 전망
- 시장의 성장은 심해 석유·가스 탐사 증가와 국방 분야의 증가에 기인한 것으로 보임

(단위 : 백만달러)

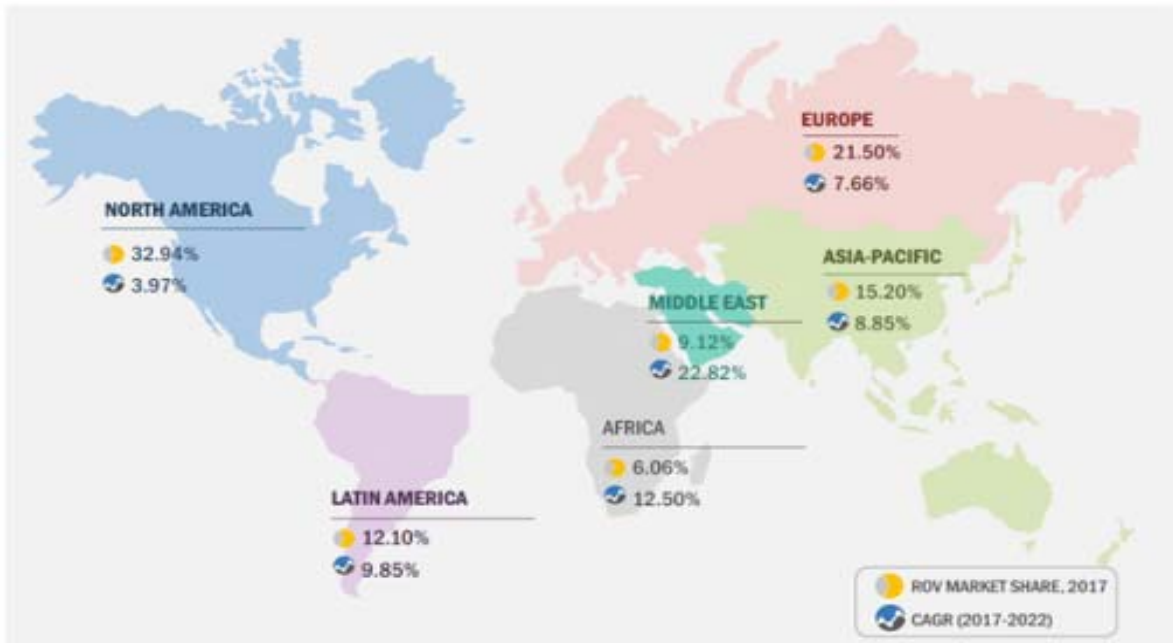


Type	2015	2016	2017-e	2022-p	CAGR (2017-2022)
Remotely Operated Vehicle	1,642.2	1,712.6	1,775.3	2,498.5	7.07%
Autonomous Underwater Vehicle	642.8	759.1	916.0	2,698.9	24.13%
Total	2,285.0	2,471.7	2,691.3	5,197.4	14.07%

※ 자료 : Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 2-14] 세계 UUV 시장 전망, 2015-2022

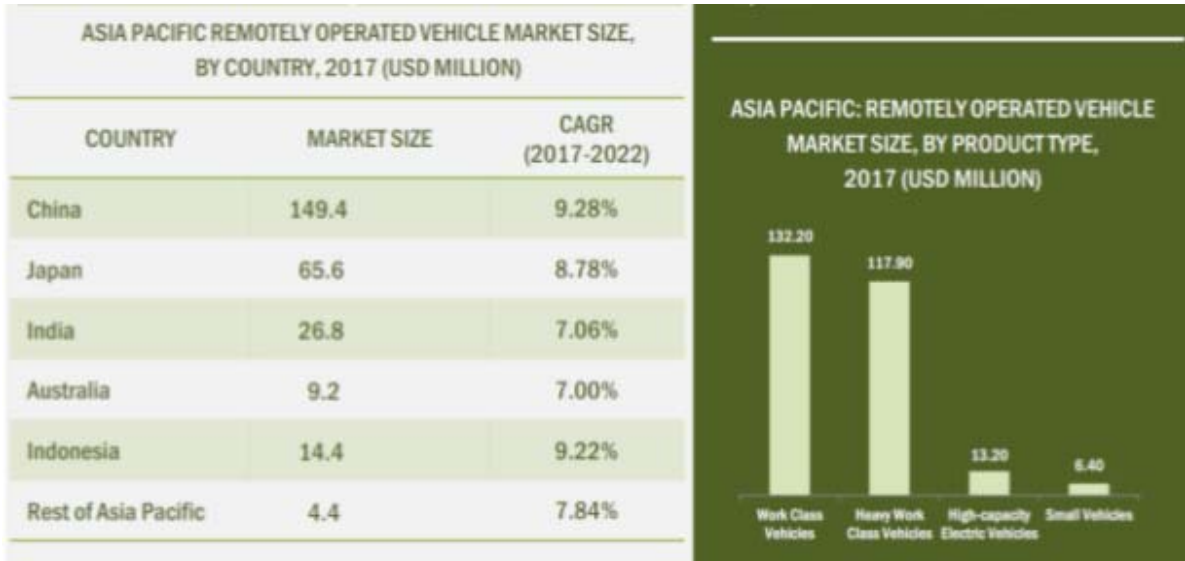
- 지역별 ROV 시장은 북미와 유럽이 50% 이상을 차지하지만, 연평균 성장성에서는 중동과 아프리카가 높을 것으로 예측됨.



※ 자료 : Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 2-15] 지역별 ROV 시장 성장률, 2017-2022

- 아시아 태평양의 ROV 시장은 중국이 연평균 9.28%로 가장 크게 성장할 것으로 예측되며, Work Class ROV가 시장을 선도할 것으로 예상됨.



※ 자료 : Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 2-16] 아시아 태평양 지역의 ROV 시장 규모, 2017-2022

- 시장조사기관 visiongain의 2015년 보고서에 따르면 신규 ROV 제조 시장은 2016년에 1억 1,190만 달러에서 2019년에는 2억 1,490만 달러로 성장하다가 2020년에는 다시 1억 5,630만 달러로 마이너스 성장을 하고, 이후 다시 성장하다가 2025년에는 2억 2,850만 달러를 달성하여 2020년부터 2025년에는 연 평균 7.9% 성장할 것으로 예측
- 시장조사기관 visiongain의 2015년 보고서에 따르면 신규 ROV 제조 시장은 2016년에 1억 1,190만 달러에서 2019년에는 2억 1,490만 달러로 성장하다가 2020년에는 다시 1억 5,630만 달러로 마이너스 성장을 하고, 이후 다시 성장하다가 2025년에는 2억 2,850만 달러를 달성하여 2020년부터 2025년에는 연 평균 7.9% 성장할 것으로 예측

CAPEX (\$m)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2015-2025
ROV New Build	196.6	157.5	111.9	136.3	203.4	214.9	156.3	200.2	212.3	233.0	231.7	228.5	2086.1
AGR (%)		-19.9	-28.9	21.8	49.3	5.6	-27.3	28.1	6.0	9.8	-0.6	-1.4	
CAGR (%) 2015-2020				-0.2			2020-25			7.9			
CAGR (%) 2015-2025							3.8						

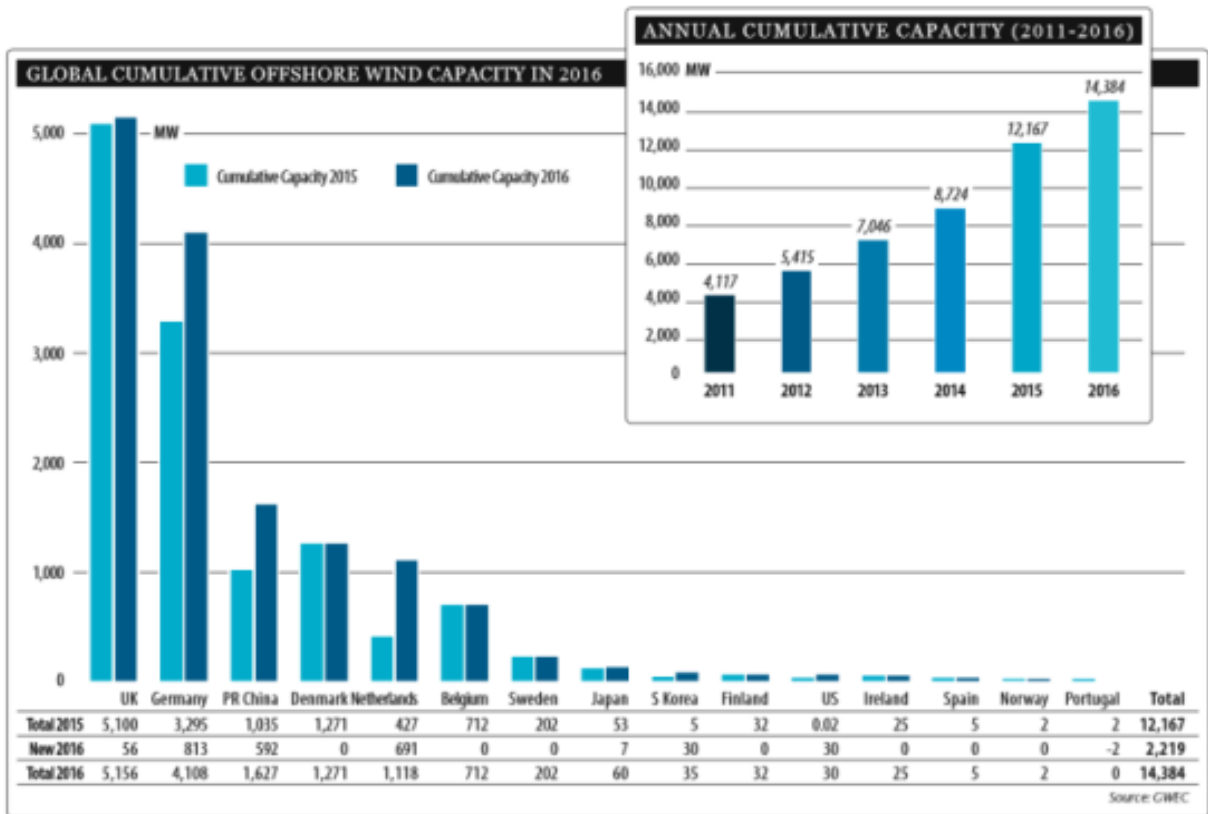
Source: Visiongain 2015

[그림 2-17] ROV 신규 제조 시장 규모

□ 해양 구조물 국외시장 현황

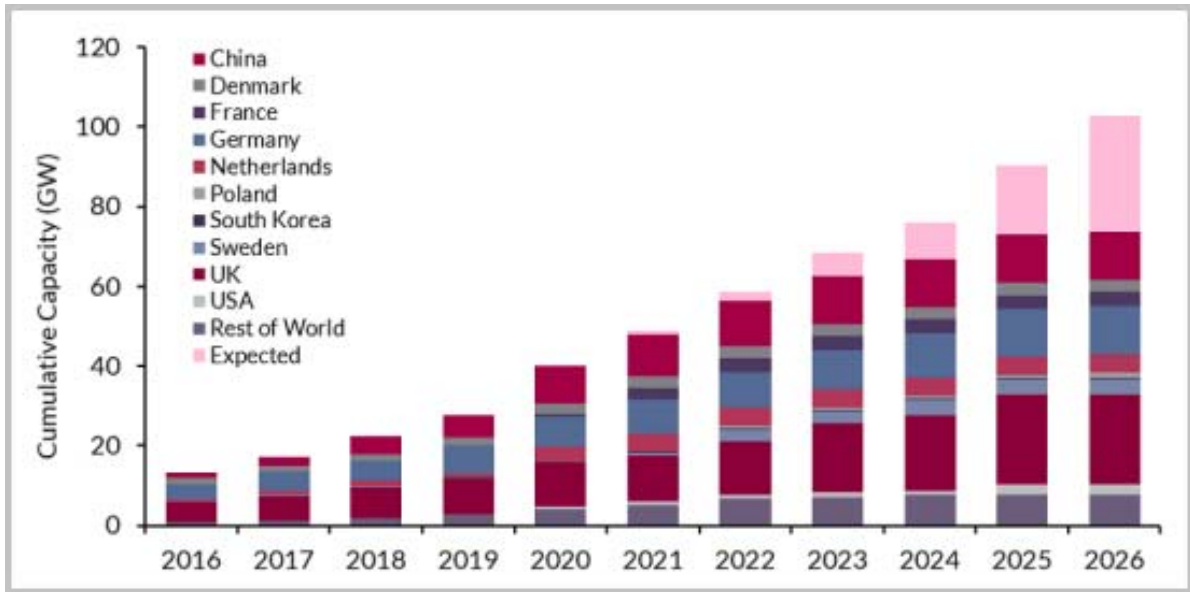
○ 해상풍력

- Douglas-Westwood사의 보고서에 따르면, 2017년부터 향후 10년 동안 해상풍력시장 시장 규모가 총 4,700억 유로(약 625.7조 원)에 달할 것으로 전망
- 자본지출(Capex) 규모는 4,020억 유로(약535.2조 원)에 달할 전망이며, 누적설치용량은 2017년 16.4GW에서 2026년 94.0GW로 증가할 것으로 전망
- 영국, 중국, 독일이 시장을 선도할 예정이며, 이들 3개국의 자본지출 규모가 전 세계의 54%인 2,170억 유로(약 288.9조 원)에 달할 전망, 운영지출(Opex)은 680억 유로(약90.5조 원)로 전망되는 가운데, 3개국이 70%를 점유할 것으로 전망
- Global Wind Report에서는 전 세계 해상풍력 설비가 2016년 14.4GW로 최근 5년간 연평균 29% 증가한 것으로 분석



※ 자료 : Global Wind Report 2016, GWEC

[그림 2-18] 2016년 전 세계 해상풍력 설치 용량

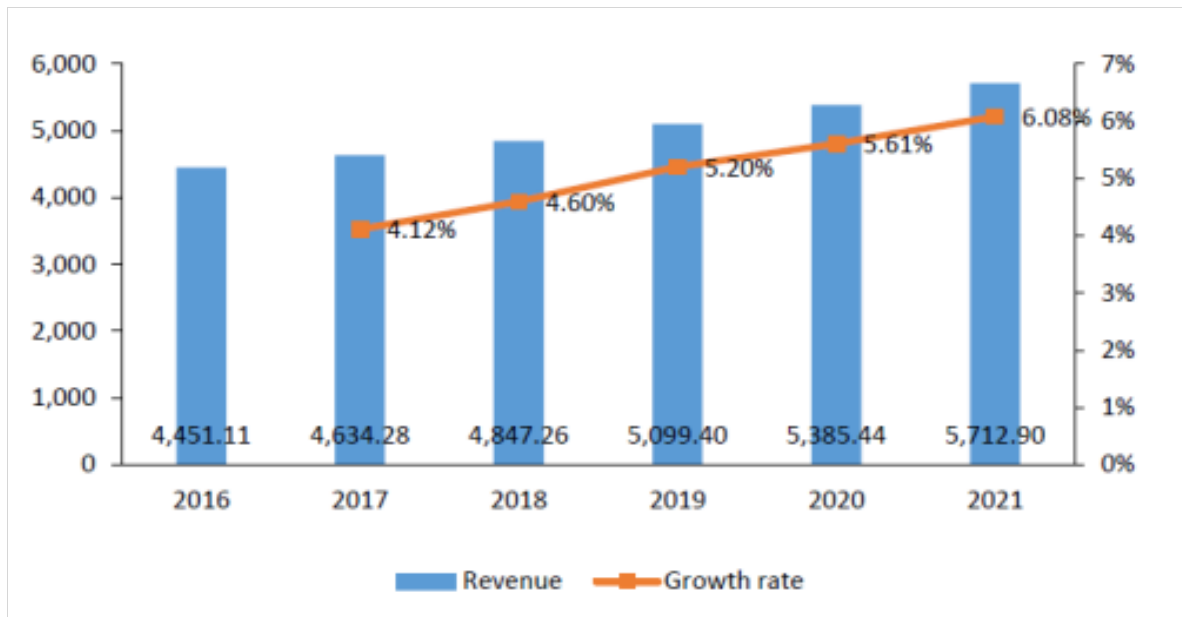


※ 자료 : Douglas-Westwood, World Offshore Wind Market Forecast 2017-2026

[그림 2-19] 세계 해상풍력 자본지출 규모 전망

○ 해저 전력 케이블

- 전 세계 해저 전력 케이블 시장은 2016년까지 44억 5,100만 달러로 평가되었으며 2021년까지 57억 1,200만 달러에 이를 것으로 연평균 5.12%의 성장률이 전망되어 꾸준한 성장세를 보일 것으로 예상



※ 자료 : TECHNAVIO, GLOBAL SUBMARINE POWER CABLE MARKET, 2017-2021

[그림 2-20] 해저 전력 케이블 시장 규모

[표 2-5] 해저 전력케이블 프로젝트 현황

프로젝트	발주처	공사내용 요약	발주시기
대만 Peng Hu PLIB #3	NTT WEM	161kV Power Cable Trenching 약 60km	2018년
Sole Trenching	Subsea 7	호주 Sole Gas Field Umbilical 매설	2019년
대만 TGC Fuhai OWF Phase II	CIP/TGC	112MW, 내부망 24km, 외부망 48km	
대만 TGC Fuhai OWF Phase III	CIP/TGC	112MW, 내부망 24km, 외부망 48km	2020년
대만 Yushan Hai Long Phase II	Yushan/NPI	612~696MW (87~102기)	
대만 Swancor OWF – Phase III	DONG/ SWANCOR	120MW, 내부망 약 30km, 외부망 약 15km	
대만 Taoyuan OWF–Phase I	WPD/Infra-vest	150MW, 단지 개발 계획 수립 중	

※ 자료 : 수중로봇 시장 소개, KT서브마린

[표 2-6] 해저 통신케이블 프로젝트 현황

프로젝트	공사내용	공사수행
IGG – M/L	인도네시아 지역 해저 케이블 건설	2018년
PNG	파푸아뉴기니 지역 해저 케이블 건설	2018년
SJC2	싱가폴-한국/일본 (Fishbone) 해저 케이블 건설	2019년
APNG-3	파푸아뉴기니 – 호주 해저케이블 건설 (3,400km)	2019년
한-코스타리카	파푸아뉴기니 – 호주 해저케이블 건설 (3,400km)	2019년
FOA Chile	칠레 환형망 해저 케이블 건설 3,000km	2019년
SISCC	솔로몬-인도네시아 지역 해저케이블 설치 (3,000km)	2020년
CDSCN	필리핀-바탕가스 지역 건설 450km(기존 1,800km 조정)	2019년
NCP - PLIB	미국-일본-대만-한국-중국 간 해저케이블 건설	2018년
PLCN	홍콩-대만-괌-하와이-미국 해저 케이블 건설	2019년
ASC PLIB	인도네시아 – 호주 해역 해저케이블 매설작업	2018년
INDOGO PLIB	인도네시아 – 호주 해역 해저케이블 매설작업	2018년
HKG	홍콩-필리핀/ 대만-괌 해저 케이블 건설	2019년
HK-Philippines	홍콩-필리핀 간 해저 케이블 건설 1,200km	2019년
HK-Thailand	홍콩-캄보디아-태국 해저 케이블 건설 1,900km	2020년
METISS	남아공-마다가스카르 지역 건설 3,000km	2019년

※ 자료 : 수중로봇 시장 소개, KT서브마린

○ 해저 파이프라인

- 2006~2010년 동안 설치된 해저 파이프라인은 총 38,108km
- 아시아가 8,948km로 23.5% 차지, 북미와 유럽이 각각 17.7%, 16.0% 차지
- 세계 해저 파이프라인은 2011~2015년 동안 직전 5년 대비 58.9% 증가한 60,553km 설치 전망

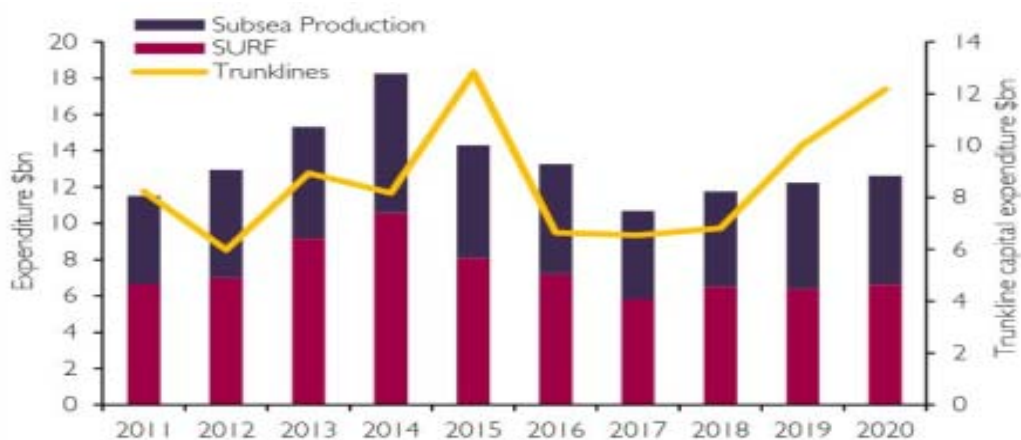
	2011	2012	2013	2014	2015	합계	2005-2009년 대비
아프리카	1,265	1,689	2,104	1,710	2,161	8,930	75.3%
아시아	2,026	2,895	3,126	2,771	2,594	13,410	49.9%
오스트레일리아	276	1,065	346	1,949	1,681	5,317	321.0%
유럽	2,322	2,677	2,323	3,450	3,903	14,675	140.1%
라틴아메리카	1,096	657	1,084	873	1,248	4,958	10.8%
중동-카스피해	1,482	1,128	1,473	1,329	1,516	6,928	26.3%
북아메리카	412	1,302	1,504	1,264	1,353	5,835	-13.3%
합계	8,878	11,412	12,460	13,347	14,456	60,553	58.9%

※ 자료 : KMI, 동남아 해양플랜트 해체시장 진출 타당성 연구, 2015

[그림 2-21] 해저파이프라인 시장

○ 해양플랜트

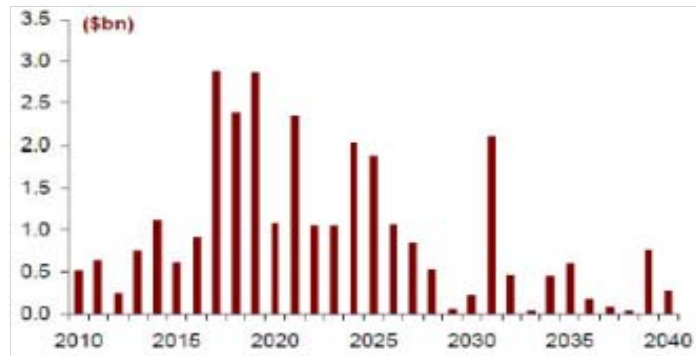
- 에너지시장 조사기관 더글라스 웨스트우드(Douglas-Westwood)사의 전망에 따르면, 해양플랜트 운영 및 유지보수 시장은 2020년에 약 1,500억 달러 규모로 확대될 전망이며 연평균 성장률은 3.6%로 예측
- 해저자원 생산 및 이송 설비의 최근 투자현황 및 전망에 따르면 '14년 생산설비투자가 가장 높았으며 '17년까지 지속 감소 후 다소 반등할 것으로 예상
- 생산된 석유의 이송을 위한 파이프라인 투자비는 '18년 이후 반등하여 최대치의 투자가 이루어진 '15년에 근접할 것으로 예측



※ 자료 : Douglas-Westwood(2016). World Deepwater Market Forecast

[그림 2-22] 해저자원 생산 및 이송 설비의 투자현황 및 전망

- 해양플랜트 해체시장은 북해의 경우, 영국에서만 2023년까지 140기의 해양 설비들이 해체되어야 하고, 이 분야의 가장 많은 실적 보유사중 하나인 Shell사는 Brent Delta 플랫폼 해체 사례를 근거로 유정 당 해체비용이 270만 파운드가 될 것으로 추정, 이를 토대로 영국의 향후 30년간 해체시장 규모를 350억 파운드로 평가
- Douglas-Westwood 사에서도 영국에서 향후 30년간 Platform 260개, Steel 2,400만 톤, Well 5,000개 등이 해체될 것으로 예측하며 2017~2019년 동안에는 시장규모가 연간 25억 달러 이상일 것으로 전망



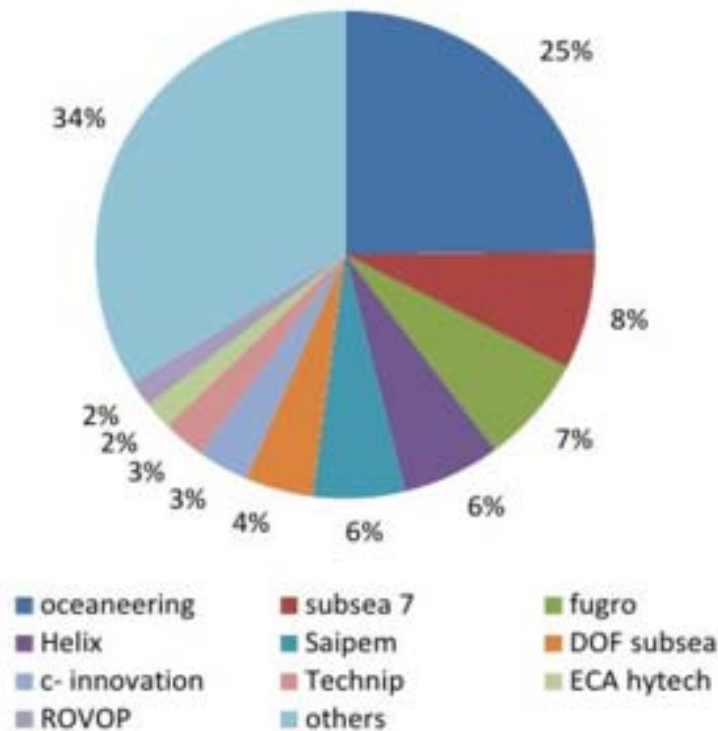
※ 자료 : Douglas-Westwood, 2015

[그림 2-23] 해양플랜트 해체시장

- 미국 내무부(DOI)령에 따르면, 향후 5년 동안 매년 Platform 150개, Well 1,200개, Structure 130개 등을 철거하도록 하였으며, 이에 따라 향후 5년간 해체시장 규모가 350억 달러에 달할 것으로 전망
 - 동남아 지역의 해체 실적은 설치 물량의 5퍼센트 수준으로 평가되고 있으며, 2017년 기준으로 35,000개의 유정에서 운영되고 있는 2,600기의 아시아 태평양 해양 설비의 해체에 1,000억 달러 이상의 투자가 필요할 것으로 예상
- 조류 및 파력에너지
- 미국의 시장조사기관인 Transparency Market Research사는 ‘파력 및 조력에너지 시장 2016-2024’ 보고서를 통해 전 세계 파력 및 조류 에너지의 시장규모가 2014년 4억 9,700만 달러에서 2024년 113억 4,500만 달러로 연평균 23.2%씩 성장할 것이라고 전망
 - 전 세계 전기 수요의 증가가 석탄과 석유와 같은 화석 연료 에너지원의 고갈과 환경오염을 야기하였고, 이에 따라 화석 연료의 대안으로 파력, 조력 및 조력에너지 등의 해양신재생에너지가 떠오르고 있기 때문
 - 현재 세계적으로 200개 이상의 파력 및 조류에너지 회사가 있으며, 이들 대부분 회사들은 에너지 전환기술 개발에 적극적으로 나서고 있으며, 대규모 개발은 주로 유럽에서 이루어질 것으로 분석

□ ROV의 제작 및 운용 대표기업

- 수중무인이동체 시장은 심해자원개발에 참여하는 주요 기업체들이 세계 시장을 독점적으로 분할하고 있는 특성
 - 전세계 시장의 25%는 심해석유개발 관련 엔지니어링업체인 Oceaneering사가 점유하고 있으며, 해양플랜트 엔지니어링업체인 Subsea 7사와 Fugro사가 각각 8%, 7%를 점유



※ 자료 : IndustryARC(2015). UUV MARKET(2015-2020)

[그림 2-24] 세계 수중무인이동체 시장의 업체별 점유율('14년 기준)

○ Oceaneering International

- Oceaneering International은 ROV 제조 및 운용 시장에서 시장을 주도하고 있는 기업으로, 2013년 304대의 ROV를 보유하고 있는데 이는 세계 산업용 ROV 대수의 약 31%를 차지하고 있으며, 드릴링 서포팅 시장 규모의 약 57% 정도의 매출을 점유하고 있음.
- 작업용 ROV 뿐만 아니라 조사용 ROV, ROV용 부품을 자체 제조하여 외부에 판매하지 않고 자체 조달하고 있으며, 매니플레이터는 Schilling Robotics사 제품을 구매하여 사용하고 있음.
- Oceaneering International은 2013년에 ROV 사업을 통해 1조원 정도의 매출을 달성하였으며, ROV 유효 사용일수 대비 실제 활용율은 85% 수준으로, ROV 보유수에 있어 여유분을 확보하고 있는 것으로 판단됨.

설립연도	1964년 (Boeing and Fugro teamed up with Oceaneering in 2001 to begin integration of their advanced technology solutions into deep sea exploration)			
제품	ROV 5종	Millennium Plus, Magnum Plus, Maxdium, Spectrum, Sea Maxx	Other Product	Ocean ProHD
	Manipulator	Schilling Robotics (FMC)社 Atlas Hybrid 제품 사용		

For 2013 Oceaneering reported record earnings and EPS. These results were achieved due to our global focus on deepwater and subsea completion activity, the business expansion strategy we have in place, and our solid operational execution.

(\$ in thousands, except per share amounts)

	2013	2012	% Increase
Revenue	\$3,287,019	\$2,782,604	18%
Gross Margin	765,536	622,858	22%
Operating Income	545,116	428,507	27%
Net Income	371,500	289,017	29%
Diluted Earnings Per Share	\$3.42	\$2.66	29%



Oceaneering은 ROV 5종을 제조하고 있으며, ROV 운용사로 280대의 ROV를 보유하고 있으며, ROV 운용을 통해 2013년에 2조 2천억원의 매출을 달성하였음. Oceaneering의 뉴스 검색 결과, 타 회사에 ROV를 판매한 기록이 없으며, 에너지 개발사로부터 해양 플랫폼을 수주한 경우, 현장에 필요한 ROV를 자체 조달하여 건설 현장에 투입하는 비즈니스를 가지고 있음

※ 자료 : 특허청(2014), 해양 구조물 건설 및 유지관리용 수중로봇 기술개발 과제의 사업화 전략 보고서
[그림 2-25] Oceaneering International 기업 현황

○ Fugro

- Fugro는 산하 기관 Fugro Subsea Services Limited를 통해 유럽과 서 아프리카 지역에서 글로벌 해상 서비스를 제공하는 기업으로 151대의 work-class ROV와 10대의 AUV를 포함한 함선을 보유하고 있으며, 해상 오일과 가스 분야에서의 주요ROV 제조사이자 ROV 서비스 제공
- Fugro는78%의 수익을 오일과 가스 산업에서 내고 있지만, ROV 분야에서 직접적으로 수익을 얻는 부분은 전체 수익에서 볼 때 매우 적음.

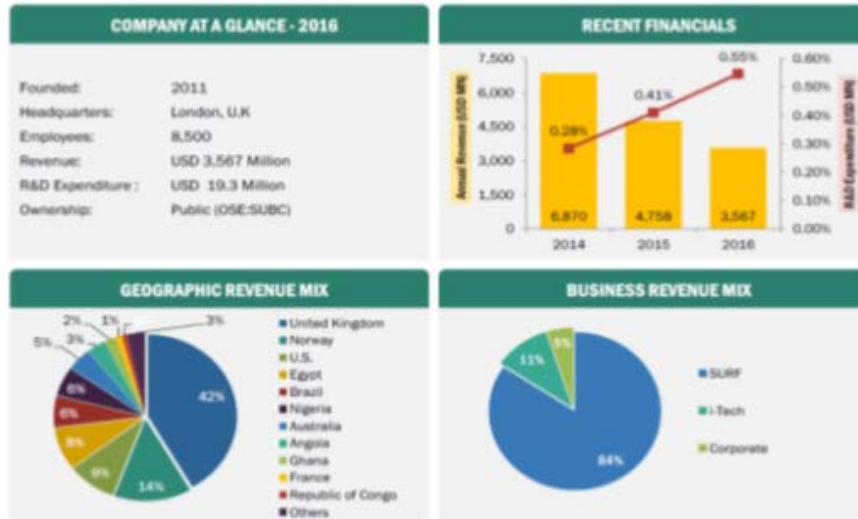
Table 9.12 Fugro Overview (Revenue, Number of ROVs, Submarket, HQ, Ticker, Website)	
Total Company Revenue, EUR billion 2014	2.5
Estimated Total Number of Work Class ROVs (at time of publication)	150
Submarket	ROV New Builds, ROV Services/Operations
Headquarters	Leidschendam, Netherlands
Ticker	NL:FUR
Website	http://www.fugro.com/

Source: Visiongain 2015

[그림 2-26] Fugro 기업 현황

○ Subsea7

- 100여대의 ROV를 보유하고 있으며, FMC(Schilling), FORUM, SMD 사의 ROV를 구매하여 사용



※ 자료 : Company Website, Annual Reports, and SEC Filings
 [그림 2-27] Subsea7 기업 현황

○ FORUM

- FORUM은 해양 건설 분야를 위해 ROV 제조사인 Perry™ 및 Sub-Atlantic™을 인수하고, LARS 및 윈치(winches) 기업인 Dynacon을 인수하였음.
- 트랜칭 ROV, 중작업용 ROV 뿐만 아니라 조사용 ROV(전기식 ROV)를 제조 판매하고 있어 현재 시장에서 요구되는 ROV 종류 대부분을 제조 판매하고 있음.

설립연도	Forum Energy Technologies (FET) was formed in the summer of 2010 in a five-way merger among Forum Oilfield Technologies, Triton Group, Subsea Services International, Global Flow Technologies and Allied Technology.										
제품	ROV 8종	Mojave, mohawk, mohican, super mohawk, tomahawk, comanche, XLX 150HP, XLX 200HP									
	TRENCHER 4종	XT300, XT600, XT750, XT1200									
제품 판매 현황	모델	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
	comanche	-	-	1	-	1	-	-	-	-	2
	Mohawk	-	-	1	-	1	1	-	-	-	3
	Mohican	-	4	1	2	-	-	-	-	-	7
	Triton XLX	-	5	22	5	1	4	-	-	-	37
Triton XLS	-	3	-	1	-	-	-	-	-	4	
주요 판매처	SOI, Oceanteam Power & Umbilical, DMT, Australian engineering group Clough, Oceanteam, Integrated Subsea Services, DOF Subsea, Canyon, Technip, Submec, Dubai-based Dulam International, GSP Titan, Mako Technologies, Noordhoek, Sistac, Lewek, MMT AB, Total Marine Technologies, Coretech, Subsea 7, Abyss										
FORUM은 Perry와 Sub-Atlantic을 인수하여 ROV 시장에 진입하였으며, 조사용 ROV, 작업용 ROV 및 트랜칭 ROV 제품을 판매하고 있음 현재 판매 이력을 살펴보면, 작업용 ROV 모델인 XLX 모델이 많이 판매되고 있는 것으로 파악됨											

※ 자료 : 특허청(2014), 해양 구조물 건설 및 유지관리용 수중로봇 기술개발 과제의 사업화 전략 보고서
 [그림 2-28] Forum 기업 현황

○ Saab Seaeye

- Saab는 전기식 ROV 시장의 새로운 강자로 부상 중이던 Seaeye를 인수하여 ROV 시장에 진입하였으며, Forum과 함께 전기식 ROV 시장을 주도하고 있음.
- Saab Seaeye는 2013년 600대의 전기식 ROV를 판매하였음.

설립연도	1986년										
제품	ROV 11종	Falcon, Falcon DR, Tiger, Lynx, Cougar XT Compact, Cougar XT, Cougar Xti, Panther XT, Panther XT Plus, Leopard, Jaguar, 600DT, Puma, Surveyor Plus,									
	AUV/ROV	Sabertooth									
	LARS	'A' Frame Systems, Crane Based Systems									
	Manipulator 3종	E425, E850, E1600									
	TMS 3종	Bale Arm TMS Systems Type 2, Type 8, Type 10									
제품 판매 현황	모델	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
	falcon	-	3	1	3	-	-	-	-	2	9
	Lynx	-	4	-	-	-	4	-	2	2	12
	Panther XT	-	-	4	-	1	3	-	3	-	11
	Panther XT plus	-	-	-	-	-	2	1	3	-	6
	Cougar XT	3	-	-	-	1	3	1	1	-	9
	Cougar XTi	-	-	-	1	-	-	1	-	-	2
주요 판매처	DNT Offshore, Hallin Marine, Mako Technologies, DOF Subsea, Shark SRL, SOCAR, OTS Ltd, Bluestream Offshore, Kreuz Subsea, Fugro, Kreuz Subsea, Cal Dive International, Subsea Vision, CCC, Belov Engenharia, Zamil Mermaid Offshore Services, Oceanica										
<p>Seaeye는 falcon 및 Lynx의 인기로 Saab에 인수되었지만, 인수 후에도 중직업용 ROV 시장에 진입하지 못하고, 중직업용 ROV의 작업을 지원하는 보조 ROV 시장에서 활동 중</p>											

※ 자료 : 특허청(2014), 해양 구조물 건설 및 유지관리용 수중로봇 기술개발 과제의 사업화 전략 보고서

[그림 2-29] Saab Seaeye 기업 현황

○ TechnipFMC

- FMC는 기업 인수합병을 통해 사업 영역을 확장하는 기업으로 2008년에는 매니플레이터 시장의 90% 이상을 장악하고 ROV 제조 기업으로 부상하던 Schilling Robotics를 인수하여 ROV 제조 시장에 진입.
- Schilling사는 매니플레이터 시장의 지배력과 기술력을 바탕으로 ROV 운용사가 요구하는 고장 시 신속한 교체가 가능하도록 하는 모듈 기반 ROV 개발을 통해 시장 지배력을 향상시켜 현재에는 작업용 ROV 시장에서 FORUM, SMD와 함께 시장을 주도하고 있음.
- Technip과 FMC Technologies 양 사의 합병(2016년)으로 공정 및 비용이 간소화되고 사업범위가 확장

설립연도	1985년 (In 2008, FMC Technologies acquired a 45% interest in Schilling Robotics LLC)			
제품	ROV 2종	HD™ ROV UHD-III ROV	Manipulator 6종	TITAN 4, ATLAS 7R, CONAN 7P, ORION 7P/7R, RigMaster, ORION 4R
	TMS 3종	E425, E850, E1600		Other Product Pan and Tilt Unit, Rate Hand Controller, TITAN Wrist Camera, Master Controller
매출 (\$B)	2011	2012	2013	
	\$5.1	\$6.2	\$7.1	

제품 판매 현황	모델	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
	HD	2	9	2	2	2	4	2	-	12	35
	UHD	2	3	4	-	4	3	-	-	2	18
	UHD III									10	10

주요 판매처 Subsea 7, Phoenix International, Allseas Group SA, Bourbon, Global Industries, OceanWorks International, TS Marine, DOF Subsea, C-Innovation, RRC Robotics Submarina, DSS(Delta SubSea), ROVOP, Modus Seabed Intervention, Tidewater Subsea

Schilling사는 매니플레이터를 전문으로 생산하던 기업이었지만, ROV 완제품 시장에 진입하여 2014년에는 시장 점유율을 급속히 증대함. Schilling사는 초기 ROV를 유럽 과학자들에게 제공하여 제품 신뢰성에 대한 인정을 받아 시장 진입에 성공할 수 있었음

※ 자료 : 특허청(2014), 해양 구조물 건설 및 유지관리용 수중로봇 기술개발 과제의 사업화 전략 보고서
[그림 2-30] FMC 기업 현황

○ SMD

- SMD는 기업 설립 당시부터 케이블 매설 시장에 특화된 기업으로 2015년 중국 CSR사 (중국철도회사)에 인수, 심해 장비 사업부의 글로벌 본부 역할을 함. 동시에 SMD의 중국 자회사가 중국 해양 시장에서의 입지를 구축하기 위해 설립됨.

설립연도	1971년 (ROV 시장 진입 : 2003)										
제품	ROV 3종	ATOM, QUASAR, QUANTUM									
	TRENCHER 6종	QTRENCHER 400, QTRENCHER 600, QTRENCHER 800, QTRENCHER 1000, QTRENCHER 1400, QTRENCHER 2800,									
제품 판매 현황	모델	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	합계
	Quasar	2	1	2					1	2	8
	Quantum	1		2	22						25
주요 판매처	Hallin Marine UK Ltd, i-Tech, Mermaid, Subsea 7, COOEC, Francis Brown Ltd, Trelleborg Offshore, Bibby Offshore										

SMD는 2003년에 ROV 시장에 진입하여 3종의 ROV 및 6종의 트랜칭 장비를 제조 판매하고 있음. SMD는 주로 Subsea 7과 같은 유럽계 ROV 운용사에 제품을 판매하고 있는 것으로 판단됨. SMD는 다양한 트랜칭 장비를 제조하고 있지만, 뉴스 검색 결과 트랜칭 장비의 판매 이력은 확인되지 않고 있음

※ 자료 : 특허청(2014), 해양 구조물 건설 및 유지관리용 수중로봇 기술개발 과제의 사업화 전략 보고서
[그림 2-31] SMD 기업 현황

6. 국내 기술개발 동향

□ 기술개발 현황

- 국내 수중로봇 관련 연구 및 개발은 다양한 선박 건조경험을 바탕으로 해양 선진국들에 비해 늦게 출발하였으나 수중로봇 관련 기초 및 핵심기술이 비교적 신속하게 축적
- 1992년 자체 개발된 초음파 고도계와 방위각 센서 및 수심 센서를 내장한 국내 최초로 300m급 무인잠수정 CROV300을 개발, 1997년에는 SSBL과 자세센서를 융합하고 유속계 신호를 이용하여 항법 필터를 구현한 Hybrid 항법 시스템으로 운용되는 200m급 자율무인잠수정 VORAM호를 개발
- 이 외에 6,000m급 심해탐사용 무인잠수정 해미래를 개발, 서태평양 수심 5,775m 시험탐사와 울릉분지 자원탐사 및 천안함 파편 수거 작업 등의 임무를 수행하였고, 2017년 상용화를 위해 연구소기업 설립, 5,000m급 광물채취로봇 미내로는 포항 인근 해역 수심 1,370m 광물 채광을 완료, 다관절 복합이동 해저로봇 크랩스터는 북태평양 필리핀해 수심 4,743m 탐사를 수행, 천해용 수중 굴삭기 UX-100 등 ROV를 비롯한 AUV를 개발
- 다양한 수중로봇 관련 연구개발이 대학 및 연구소 중심으로 활발히 수행되고 있으나, 아직은 연구개발 차원으로 확보기술을 통한 상용화가 적극적으로 이루어지지 않고 있음.

□ 기술개발 수준

- 본 과제의 연구개발이 시작된 2013년 11월 1일을 기점으로 출원된 특허를 대상으로 한국의 기술수준을 분석한 결과 연구개발 이후 한국의 기술수준은 대체적으로 상승하는 결과가 나타났으며, 특히 로봇 제어 기술, 진회수 운영 기술 및 통신 기술의 경우 연구개발 이전에 비하여 비약적인 수준 향상이 이루어진 것으로 분석



[그림 2-32] WHOI의 주요 수중로봇 개발 현황

[표 2-7] 국내 수중건설로봇 기술 수준

중분류	소분류	세부 기술	1단계사업 이전		1단계사업 이후	
			국내 수준(%)	최고 선진국	국내 수준(%)	최고 선진국
수중건설로봇 제작 기술	내압 선체	설계 및 구조 해석 기술	69.7	미국	73.8	미국
		기계 가공 및 검증 기술				
	이동	추진기 및 수중 구동기 기술	66.7	유럽	74.0	미국
		해저 지반 이동 기술				
	작업툴	전동 매니퓰레이터 기술	60.9	유럽	55.7	미국
		유압 매니퓰레이터 기술				
		수중 건설작업용 툴 기술				
	선상 공급	수중 전원 공급 장치 기술	59.8	유럽	66.2	미국
umbilical cable 및 tether cable 기술						
수중건설로봇 제어 기술	로봇 제어	수중로봇 정밀 제어 기술	65.3	유럽	80.7	미국
		작업/조작 기반 기술(햅틱 등)				
		운동성 제어 기술				
	진회수 운영	LARS	47.9	유럽	72.4	미국
		TMS				
		케이블 윈치/드럼 관리 및 제어 기술				
	통신	유선통신(광통신) 기술	59.4	유럽	70.3	미국
		광통신 접속 및 관리 기술				
수중 환경 인식 및 모니터링 기술	센서	초음파 수중 센서 기술	71.3	유럽	66.9	미국
		비초음파(수중카메라 및 수중레이저, 수중음향기술 등)				
		수중 위치 측정/추종/평가 기술				
	항법	센서융합 처리 기술	57.9	유럽	60.5	미국
		기타 측정 기술(거리, 비파괴 검사 등)				
	가시화	해저지형 맵핑기술 (광대역, 수중작업 실시간 맵핑)	67.8	미국	68.5	미국
		수중환경 가시화 기술 (VR, AR 포함)				
	수중 시공 과정/결과 가시화 기술 (데이터 저장 및 재연 기술 포함)					

7. 해외 기술개발 동향

□ 국가별 수중로봇 기술 동향

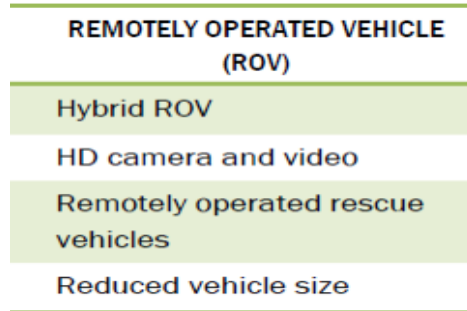
○ 미국

- 다양한 형태의 수중로봇의 연구와 개발 및 활용이 가장 활발한 국가
- 상업적 또는 과학 연구에 수중로봇의 활용이 두드러지지만 군사적 목적에 의한 연구 개발 및 이의 활용 계획이 매우 체계적이며 조직적으로 이루어지고 있음.
- 1994년 최초로 군사용 무인잠수정 개발계획을 발표, 1차 계획인 UUV 종합계획을 2000년에 최초 수립, 2005년 새로운 UUV 종합계획을 공개하였으며 여기에는 9가지의 미 해군의 UUV 최우선 임무로 발표하였고 2004년에 70척의 여러 가지 수단을 포함하는 UUV 전단과 신 계획은 공통성, 모듈화 그리고 개방-구조 설계에 대한 요구가 강조
- 미국에서 해양과학 조사용으로 제작된 최초의 ROV는 WHOI(Woods Hole Oceanographic Institute)의 Jason으로 6,000m급 ROV로서 고도의 조종성을 요구하는 정밀한 조사와 샘플 채취가 가능하도록 설계되어 열수광상 및 그 주변의 해양조사 침몰선탐사 등을 포함한 많은 해양과학 조사임무를 수행
- 이외에도 많은 연구기관과 기업체 등에서 다양한 ROV를 개발 및 운용하고 있음.

 <p>Alvin (HOV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 건조년도 : 1964년 ● 길이×폭×높이 : 7×2.6×3.7m ● 무게 : 20.4톤 ● 최대잠항수심 : 4,500m ● 잠수시간 : 6~10시간 ● 탑승인원 : 3명 (파일럿 1명, 연구원 2명) 	 <p>Deep Challenger (HOV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 건조년도 : 2012년 ● 길이×폭×높이 : 2.3×1.7×8.1m ● 무게 : 20.4톤 ● 최대잠항수심 : 11,500m ● 탑승인원 : 1명
 <p>Jason II/Medea (ROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 건조년도 : 2002년 ● 길이×폭×높이 : 3.4×2.2×2.4m ● 무게 : 4.1톤 ● 최대잠항수심 : 6,500m 	 <p>Nereus (Hybrid ROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 건조년도 : 2007년 ● 무게 : 2.6톤 ● 최대잠항수심 : 11,000m ● 2014년 뉴질랜드 북동부 케르마데크해구에서의 잠행조사 중 유실
 <p>Nereid Under Ice (HROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 무게 : 1,800~2,000kg ● 최대잠항수심 : 2,000m 		

[그림 2-33] WHOI의 주요 수중로봇 개발 현황

- 최근에는 NASA, 미해군은 해양열 에너지로 동작되는 하이브리드 ROV 출시하였고, HD 카메라가 요구되면서 광케이블 전송 방식이 사용되고 있으며, ROV의 사이즈를 소형화하여 이동성, 효율성, 추진력이 향상됨.



※ 자료 : Secondary Research, Expert Interviews, and MarketsandMarkets Analysis

[그림 2-34] ROV 기술 동향

○ 영국

- 해양강국인 영국은 수중로봇에 대한 연구개발 및 운용이 EU 국가들 중 가장 활발
- 영국은 Saab Seaeye와 Hydrovision에서 운용수심 300~2,000m급의 다양한 형태의 수중로봇을 개발하여 운용해 오고 있고, 이러한 수중로봇은 1개 혹은 2개의 4~6자유도 매니퓰레이터와 카메라 및 비디오를 장착하여 해저 탐사와 해양작업을 수행하도록 설계되어 있음

모델		Cougar-XT	Jaguar	Slingsby	Aquajack	Venon
제원	L×W×H(m)	1.5×1.0×0.79	2.2×1.3×1.5	4.6×3.9×3.4	-	3.0×1.7×1.9
	중량(kg)	344	1,500	11,900	-	3,500
운용수심(m)		2,000	3,000	2,500	200	3,000

[그림 2-35] 영국의 대표적 ROV

- 영국의 AUV은 NERC(Natural Environmental Research Council) 주관 하에 Southampton 대학이 해양탐사용 AUV인 Autosub 개발 프로젝트 수행
- 영국의 NOC(National Oceanography Center)에서는 Autosub로 2005년 2월에 남극의 Fimbul 빙하 밑을 약 25km 걸쳐 탐사

○ 프랑스

- 프랑스는 해양연구소(IFREMER)가 과학 및 산업용 수중로봇을 주관하고 있으며, 군사용 수중로봇의 연구개발은 DCN 및 ECA社가 주도하고 있음.
- ECA社는 1981년 최초로 음향으로 제어하는 6,000m급 AUV Epaulard를 개발하였고, ROV 소형 기뢰제거정인 PAP-104를 1982년 200여기 생산, IFREMER는 SINERE와 Hybrid AUV인 SWIMMER를 개발하였고, 해저구조물의 검사와 수리 및 정비용 복합 무인잠수정의 상업용 SWIMMER는 Cynerentrix社가 개발하고 있음.
- 군사용 UUV로는 DCN-GESMA 주관으로 1996년 기뢰대항전용 무인잠수정 Redermor을 개발한 바 있으며, 미국과 같이 무인화 된 해양전장 환경을 고려하여 2020년을 목표로 약 40여개의 핵심기술 과제를 포함하여 UUV 체계 개발을 추진하고 있음.

○ 독일




- 독일은 HERION Systemtechink GmbH에 의해 개발된 DAVID와 같이 수중 구조물 작업용 복합 무인잠수정 시스템 등 다양한 형태의 수중로봇들이 개발 및 운용되고 있음.
- QUEST 4000은 심해 작업용으로 개발된 ROV로 최대심도 4,000m에서 운용 가능함
- 독일의 군사용 수중로봇은 STN-ATRAS Electronics가 기뢰무력화용 소모성 기뢰제거정인 SeaFox를 세계 최초로 개발하였으며, 다양한 무인잠수정을 독자적으로 또는 EC 역내 국가들과 컨소시움 형태로 개발 및 운용하고 있음.

○ 스웨덴

- 스웨덴의 Saab Underwater Systems는 우수한 Double Eagle을 비롯하여 TSM 2022 Mk 소행용 소나(Sonar) 등의 여러 형태의 민수용 및 군사용 수중로봇 시스템과 관련 기술들을 개발하고 있음.
- 2000년 초에 어뢰모양 잠수함 진수 및 회수 가능한 자율무인잠수정 모델인 AUV-62F UUV을 스웨덴 해군에 인도하여 잠수함을 통하여 광범위한 시험을 수행하였으며 또한, 탐색된 기뢰를 제거하기 위하여 폭약을 탑재한 소모형 MDV인 소형 Minesniper 실용 개발, SAS를 세계 최초로 실용화하여 UUV에 적용한 바 있음.
- 2006년에는 SUVROV로 UUV를 도킹 및 어뢰발사관 회수에 성공하였음

○ 노르웨이

- 노르웨이는 Kongsber社에서 Hugin 시스템과 소모용 MDV인 Minesniper 등 다양한 수중로봇을 독자적으로 혹은 독일 등의 EU 내 국가들과 컨소시움 형태로 개발하여 운용하고 있음.
- 노르웨이의 대표적 AUV는 Hugin 시리즈로 처음에는 기뢰 제거와 잠수함 외부 센서, 대잠전, 감시정찰 등의 군사용으로 개발되었지만 상업용으로도 널리 활용되고 있고 파이파라인 루트 조사 등의 100가지 이상의 임무를 수행하였음

	Hugin 1000 MR	Hugin 3000	Hugin 4500
모델			
제원	<ul style="list-style-type: none"> · 4.5m(L)×0.75m(d) · 650kg in air 	<ul style="list-style-type: none"> · 5.5m(L)×1m(d) · 1,400kg in air 	<ul style="list-style-type: none"> · 6.0m(L)×1m(d) · 1,900kg in air
성능	<ul style="list-style-type: none"> · 운용속도: 2~6kts · 운용시간: 24시간@4kts · 최대수심: 1,000m 	<ul style="list-style-type: none"> · 운용속도: 2~4kts · 운용시간: 60시간@4kts · 최대수심: 3,000m 	<ul style="list-style-type: none"> · 운용속도: 2~4kts · 운용시간: 60시간@4kts · 최대수심: 4,500m
특징 및 임무	<ul style="list-style-type: none"> · 동력: 리튬/폴리머 배터리(15kWh) · 항법: IMU, DVL, Depth, USBL, GPS, TerrNav · 센서: MBE, SSS, SBP, SAS, CTD, ADCP, Camera, Turbidity sonar · MCM, Hydrography, Offshore, Research 	<ul style="list-style-type: none"> · 동력: 알루미늄-산소준-연료전지 (45kWh) · 항법: IMU, DVL, Depth, USBL, GPS, TerrNav · 센서: MBE, SSS, SBP, ADCP, Camera · Offshore, Research 	<ul style="list-style-type: none"> · 동력: 알루미늄-산소준-연료전지 (60kWh) · 항법: IMU, DVL, Depth, USBL, GPS, TerrNav · 센서: MBE, SSS, SBP, CTD, ADCP · Offshore, Research

[그림 2-36] 노르웨이 Kongsberg社의 HUGIN 시리즈

- 노르웨이에서는 Hugin 시리즈 이외에 군사용으로 MCM 기능을 보유한 무인잠수정을 산업용으로는 해저유전 및 심해저 해양탐사용 무인잠수정에 대한 연구개발이 진행되고 있으며, 수중로봇을 활용한 수산학 연구가 가장 활발한 국가 중의 하나임.

○ 일본

- 일본은 아시아의 해양강국으로서 일찍부터 미국과 유럽에 못지않은 해양기술력을 바탕으로 지구의 가장 심해저인 Mariana 해구에 ROV KAIKO 시스템을 도달시키는 등 여러 가지 기록을 남긴 바 있음.
- 일본의 JAMSTEC에서는 1991년 3,300m급 심해 ROV 수중로봇 Dolphin 3K를 개발하여 심해 해저의 해양조사를 수행하면서 열수광성 및 광합성에 의존하지 않는 생물군락 및 새 지각관 등의 심해저 관측을 수행하였음.
- 이후 지구의 모든 해저면 탐사가 가능한 6,500m급 KAIKO 시스템을 개발하여 가장 심해인 10,909m의 Mariana 해구에 도달하는 기록을 남김.
- 1996년에 폐회로 디젤엔진을 탑재한 R1-수중로봇을 개발하였으며, 1998년에는 연료전지를 동력원으로 하는 장거리 무인잠수정 Urashima를 개발하였고 2000년부터는 JAMSTECH에서 4,200m급의 심해저 탐사용 MR-X1 AUV를 개발, Biomimetic 추진방식의 AUV인 Flatfish를 개발
- 또한, 수중에서 장기 체재할 수 있는 심해잠수정용 소형 연구용 원자로 DRX를 연구개발을 진행하는 등의 매우 다양한 수중로봇 연구를 수행중이고 약 60억 엔의 예산을 투입하여 감시 정찰 및 다양한 수중작전을 위한 UUV/USV 체계 개발도 진행

	 Manned submersible SHINKAI 6500	 AUV URASHIMA	 AUV JINBEI	 AUV OTOHIME	 AUV YUMEIRUKA
Length×Beam×Height (m)	9.7 × 2.7 × 4.1	10.6 × 1.3 × 1.5	4.0 × 1.1 × 1.0	2.5 × 2.1 × 1.4	5.0 × 1.2 × 1.2
Weight in air (t)	27.0	7.0	1.7	0.85	2.7
Depth (m)	6,500	3,500	3,000	3,000	3,000
Speed (knots)	2.7	3.0	3.0	1.5	3.0
Accommodation	3	—	—	—	—
Major equipment	<ul style="list-style-type: none"> • HDTV camera • Still camera • Acoustic image transmission system • Manipulators 	<ul style="list-style-type: none"> • Side scan sonar • MBES • SBP • CTD-DO 	<ul style="list-style-type: none"> • CTD • Fluorescent turbidimeter • pH-CO₂ hybrid sensor One of the following two instruments is selected and mounted; • Side scan sonar • MBES 	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulators • CTD • All-around pan tilt camera • Stereo camera • pH-CO₂ hybrid sensor • Side scan sonar • Laser scanner 	<ul style="list-style-type: none"> • Synthetic aperture sonar • SBP • CTD • pH sensor • Interferometric sonar • Fluorescent turbidimeter
Control method	Manned submersible	Untethered autonomous control	Untethered autonomous control	Untethered autonomous control	Untethered autonomous control
Operation status	Operational	Operational	Sea trial phase toward operational use	Under development	Sea trial phase toward operational use

	 ROV KAICO system	 Vehicle KAICO 7000II	 Vehicle KAICO Mk-IV	 ROV HYPER-DOLPHIN	 Towed system DEEP TOW
Length×Beam×Height (m)	5.2 × 2.6 × 3.2 <small>(utilized for both 7000II and Mk-IV)</small>	3.0 × 2.0 × 2.1	3.0 × 2.0 × 2.6	3.0 × 2.0 × 2.3	3.5 × 1.0 × 1.5
Weight in air (t)	5.8	4.0	6.0	3.8	1.0
Depth (m)	11,000	7,000	7,000	3,000	4,000 / 6,000
Major equipment	<ul style="list-style-type: none"> • Docking apparatus • Side scan sonar • SBP 	<ul style="list-style-type: none"> • Camera (HDTV,SDTV,Still camera) • Manipulators 	<ul style="list-style-type: none"> • Camera (HDTV,SDTV,Still camera) • Manipulators 	<ul style="list-style-type: none"> • Camera (HDTV,SDTV,Still camera) • Light boom • Manipulators 	<ul style="list-style-type: none"> • Camera (HDTV,SDTV,Still camera) • Side scan sonar
Control method	—	Tethered remote operation	Tethered remote operation	Tethered remote operation	Tethered towed type
Operation status	—	Operational	Sea trial phase toward operational use	Operational	Operational

[그림 2-37] 일본의 주요 수중로봇 개발 현황

○ 중국

- 중국 선박과학연구센터 주도로 수중로봇에 관련된 전 분야에 적극적인 개발을 한 결과 2012년 유인잠수정 ‘자오룽’호가 심해 7,000m 잠수 성공, 2017년 5년 간 시범운영 사업이 완료, 152번의 잠수작업을 수행
- 최대 잠수깊이 11,000m가 가능한 차세대 유인 잠수정 개발 착수
- 중국 심양자동화연구소(SIA)는 8개의 연구부서로 구성되어 있으며 현재 우주로봇부분이 가장 많은 투자와 연구 수행하고 다음으로 수중로봇부문에 많은 연구실적을 보유하고 있음.
- 중국 국영업체인 CSR(중국사우스레일)의 자회사인 CSR 타임즈 일렉트릭사에서 영국의 ROV 및 해양 분야 로봇 업체인 ‘SMD’를 인수하여 빠른 시일내 ROV

3

연구 수행 내용 및 성과



3 연구 수행 내용 및 성과

※ 각 핵심 및 총괄과제 세부 수행 내용은 부록 참조

1. 1차년도(2013년)

해당연도 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공통 핵심 기술 요구 사항 분석, 설계와 부분 검증 ○ ROV 기반 수중 중작업용 로봇 시스템 상세 목표사항 선정, 시스템 설계 및 평가 항목 성능검증 요소 기술 도출 ○ 수중건설공정관련 사례 분석 및 수중건설로봇 실용화 방법론 도출 ○ 사업단 운영기반 구축 ○ 사업단 인프라 부지선정 및 설계 발주
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 멀티미디어 데이터 처리 시스템 설계	• 고화질 영상 전송/처리/저장 계통 설계 및 프로토타입 타입 구현	100,000	KRISO/레드윈테크놀로지
	• 수중 음향 전송 계통 설계 및 프로토타입 타입 구현	100,000	KRISO
	• 수중 복합 센서 데이터처리 계통 설계 및 전용 모듈개발	21,000	레드윈테크놀로지/KRISO
경작업용 ROV 기본 설계	<ul style="list-style-type: none"> • ROV의 운영 개념 설계 및 • MMI 기술의 타당성 검증 • 기계, 전기, 통신 개념/기본 설계 	462,000	레드윈테크놀로지/KRISO
수중 건설 작업 요구 사항 분석	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 건설 작업 분석 • 수중건설환경에 대한 모의실험 환경 구축 	75,000	아쿠아드론
유압 매니퓰레이터 설계 및 부분 검증(5 DOF)	<ul style="list-style-type: none"> • 기능 및 성능 요구조건 분석 • 설계 및 부품별 성능 검증 	187,000	KnR시스템즈

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 멀티미디어 데이터 처리 계통 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 고화질 영상 처리 시스템의 계통 설계 및 프로토타입 구현 (HD급 영상 1 ch 전송) - 수중 음향 전송 시스템의 계통 설계 및 프로토타입 구현 (2 ch 스테레오 음향 전송) - 수중 복합 센서 데이터처리 시스템의 계통 설계 및 전용 모듈개발 ○ 경작업용 ROV 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> - ROV의 운영 개념 정립 (MMI 기술의 타당성 검증 포함) - 경작업용 ROV를 구현하기위한 기계, 전기, 통신 시스템의 체계 설계 ○ 수중 건설 작업 요구 사항 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 실제 환경 및 ROV 작업공정을 분석 - 최적의 ROV 작업 시나리오 및 모의실험 환경 구축 ○ 유압 매니플레이터 설계 및 부분 검증(5 DOF) <ul style="list-style-type: none"> - 기능 및 성능 요구 조건 분석, 벤치마킹 - 5 DOF 급 설계 및 부품별 성능 검증 - 마스터 조작 장치 개념 설계 및 매니플레이터 기구학을 포함한 상위제어기 설계

□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
시스템 상세 목표사양 설정	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 최종 목표사양 확정 • 시스템 최종 목표사양을 만족하기 위한 부품/기술별 목표사양 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 수중 유압공급장치 상세 사양 도출 - 수중 워터젯 기술 상세 사양 도출 - 로봇 플랫폼 상세 사양 도출 - 수중 작업공구 상세 사양 도출 • 핵심 요소 기술 사양 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 수중 작업환경에 따른 수중 정밀 항법시스템의 목표사양 도출 - 수중 유압매니플레이터 제어 기술 목표사양 도출 	315,000	KIRO/대양전기
시스템 상세 설계	<ul style="list-style-type: none"> • 로봇 플랫폼 상세 설계 • 수중 유압공급장치 상세 설계 • 워터젯 기술 상세 설계 • 수중 작업공구 상세 설계 	270,000	대양전기/KIRO
평가항목 성능검증 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 평가항목 상세 도출 • 평가항목 성능검증을 위한 요소 기술 도출 	85,000	KIRO/대양전기
핵심 요소 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 정밀 항법 기술 개발 • 수중 비선형 운동체 정밀 제어 기술 개발 • 유압매니플레이터 제어 기술 	60,000	KIRO
센서장비 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 센서장비 최종 사양 선정 	33,000	KIRO
선상 관제체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 선상 관제체계 개념설계 및 프레임 구축 	37,000	KIRO

연구개발결과 요약 기술

- 시스템 최종 목표사양 확정 및 이를 만족하기 위한 시스템 요소별 목표사양 설계
 - 로봇 플랫폼 상세 사양 설계 (대양전기공업(주)/한국로봇융합연구원)
 - 기구부 상세 사양 설계
 - 전기/전자/통신 시스템 상세 사양 설계
 - 수중 유압공급장치 상세 사양 설계 ((주)레베산업/대양전기공업(주)/울산대 안경관교수/한국로봇융합연구원)
 - 로봇 플랫폼에 부착될 모든 유압장비 사양 검토 및 이에 기초한 유압공급장치 최종 출력사양 설계
 - 폐회로 유압회로 개념정립 및 이와 유압공급장치 최종 출력사양을 만족하는 power pack 사양 선정
 - 워터젯 기술 상세 사양 설계 (KT서브마린/한국로봇융합연구원)
 - 최종 3m 매설심도 목표사양을 만족하는 수압노즐(jetting 툴) 개념정립 및 이에 기초한 모터 및 수압펌프 사양 선정
 - 수중 작업공구 기술 상세 사양 설계 (한국도키멕(주)/한국로봇융합연구원)
 - 작업공구 설계 개념 정립
 - 유압 기반 수중 케이블 그리퍼, 커터 최종 출력 사양 설정 및 필요한 유압공급 사양 산출
 - 작업공구 기본 작동 시험 목적의 소형 유니트 기본 사양 설계
- 핵심 요소 기술 목표사양 설계
 - 수중 작업환경에 따른 수중 정밀 항법시스템의 목표사양 도출 (한국로봇융합연구원)
 - 작업 및 운용 환경에 따른 항법 정밀도 목표사양
 - 0.3m/min의 최종 항법 정밀도를 만족하기 위한 작업 및 운용 환경에 따른 수중 위치보정 방안 도출
 - 7자유도 수중 유압매니퓰레이터 제어 기술 목표사양 도출 (포스텍 정완균교수)
 - 7자유도 유압매니퓰레이터 끝단 정밀 제어 목표사양 도출
 - 7자유도 유압매니퓰레이터 제어 효율 정량화
- 시스템 상세 설계
 - 로봇 플랫폼 개념정립 및 상세 설계 (대양전기공업(주)/레보(주)/한국로봇융합연구원)
 - 워터젯 장비와 유압공급장치의 최적화 수중작업을 위한 로봇 플랫폼 개념정립 및 이에 기초한 플랫폼 상세 설계
 - 프레임, 부력재, 전기/전자/통신 시스템 1차 설계
 - 수중 유압공급장치 상세 설계 ((주)레베산업/대양전기공업(주)/울산대 안경관교수/한국로봇융합연구원)
 - 로봇의 최종 목표사양을 만족하기 위한 필요한 유압장비 및 이들의 최적화 작동에 필요한 수중 유압공급장치 개념정립 및 펌프 유압회로 1차 설계
 - 고효율 수중 유압공급장치 유압 해석 모델 개발
 - 수중 워터젯 기술 상세 설계 (KT서브마린/한국로봇융합연구원)
 - 고성능 수중 워터젯 기술 개념정립
 - 최종 매설심도 목표사양을 만족하는 수압 및 필요한 수압노즐 개념정립 및 시스템 1차 설계
 - 유압 기반 수중 작업공구 기술 상세 설계 (한국도키멕(주)/한국로봇융합연구원)
 - 설계/특허 자료 수집 및 분석
 - 기구부 및 유압실린더 1차 설계
 - 기본 작동 시험 목적의 소형 유니트 설계/제작

- 평가항목 성능검증 기술 개발 (한국로봇융합연구원/(주)KT서브마린)
 - 시스템 최종 목표사양 및 연차별 연구목표를 위한 평가항목 상세 정립
 - 평가항목에 대한 평가방법 검토 및 필요한 성능검증 요소 기술 도출
- 핵심 요소 기술 개발
 - 수중 정밀 항법시스템 설계 (한국로봇융합연구원)
 - 수중 정밀 관성항법 설계
 - USBL(Ultra-Short Baseline)를 포함한 다양한 수중 위치 보정 방안 검토 및 수중 작업환경에 따른 최적의 위치 보정 방법 설계
 - 7자유도 수중 유압매니퓰레이터 제어 기술 개발 (포스텍 정완균교수)
 - 다중 카메라 기반 다 자유도 원격 유압매니퓰레이터 제어 기술 조사 연구
 - 7자유도 매니퓰레이터 운동특성 해석
 - 7자유도 매니퓰레이터 자코비안(Jacobian) 해석
 - 시뮬레이션을 통한 매니퓰레이터 제어 기술 구현
- 센서장비 선정 (한국로봇융합연구원)
 - 로봇 플랫폼의 최종 목표사양을 만족하기 위한 필요한 센서장비 품목 도출
 - 센서장비별 요구사항 검토 및 최종확정
 - 수중 시각장비(pan/tilt 포함) 시스템 상세 설계
 - 수중 매설물 정밀 추정시스템 상세 설계
 - 수중 소나장비 시스템 상세 설계
- 선상 관제체계 구축 ((주)솔탑/한국로봇융합연구원)
 - 선상 관제체계 최종 목표사양 설계
 - ROV 기반 수중 중작업용 로봇 운용개념 정립
 - 중작업용 로봇의 수중 작업환경, 작업임무 분석
 - 로봇 플랫폼 및 선상에 설치된 센서장비 사양 및 인터페이스 사양 분석

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 건설공정관리 기법 분석 • 수중건설공정관련 사례 분석 • 수중건설로봇 사례 분석 	50,000	사업단
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 해양환경 관련 자료 분석 	10,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 실용화전략 실행계획 수립 	45,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 사무국 구성 • 사업단 차년도 예산확보 • 평가시스템 구축 • 핵심과제 성과관리 체계 구축 • 사업단 홍보기반 구축 • 대외 네트워크 구축 	500,000	사업단

연구개발결과 요약 기술

- 최적공정시스템 개발
 - 수중건설공정 관련 필요 연구내용의 기획
 - 건설공정관리 관련 선행 연구기법 분석
 - 수중건설공정관련 사례 분석
 - 수중건설공정 분석 기법 선정
 - 사업비 산출 시스템 관련 사례 분석
- 현장실증실험 지원시스템 구축
 - 국내 해양환경 자료(수심, 조류, 파랑, 바람 등) 분석
 - 실증실험용 선박 활용 자료 분석
- 실용화 전략 수립
 - 실용화전략 관련 기초자료 조사 및 분석
 - 수중건설로봇 실용화 방법론 도출
 - 기술성 분석을 위한 특허전략지원사업 추진
- 사업단 운영
 - 사무국 구성
 - 수중건설로봇사업단 연구실 확보(안산 - 141.9/m², 포항 - 141/m²)
 - 사업단 전담인력 확보(7명)
 - 사업단 차년도 예산 확보
 - 핵심과제의 연차별 성공적 수행을 위한 차년도 예산 확보
 - 예산확보를 위한 대외 활동
 - 평가시스템 구축
 - 사업단 관리지침 전문 작성
 - 사업단운영기준 작성
 - 사업단 과제관리 매뉴얼 작성
 - 사업성과평가, 진도(마일스톤) 및 성과관리 시스템 구축
 - 핵심과제 성과관리 체계 구축
 - 평가관리 위원 전문가 pool 구성
 - 전문위원제도 구축
 - 핵심과제 총괄책임자회의 정례화
 - 사업단 홍보 기반 구축
 - 수중건설로봇사업단 홍보 브로슈어 제작 추진
 - 수중건설로봇사업단 홍보 동영상 제작 추진
 - 수중건설로봇사업단 홈페이지 제작 추진
 - 수중건설로봇사업단 기념품 제작
 - 대외 네트워크 구축
 - 서브스플랜트 사업단 등 유관기관 협력 구축

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
인프라 부지확보	• 건축면적 2,940m ² 가능 부지 선정	900,000	사업단
복합형 수조시험설비 구축	• 건축 실시설계	100,000	사업단
사업단 연구지원시설 구축	• 건축 실시설계		

연구개발결과 요약 기술	
○ 인프라 부지확보	<ul style="list-style-type: none"> • 최적 입지조건 분석 • 대수심 접근 및 건축면적 2,940m²가 가능한 부지 협의 및 선정
○ 복합형 수조시험설비 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 인프라 구축 타당성 조사 • 수조시험설비 구축 방안 수립 • 실시설계 용역 발주
○ 사업단 연구지원시설 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 연구지원시설 구축 방안 수립 • 실시설계 용역 발주

2. 2차년도(2014년)

해당연도 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공통 핵심 기술의 구현과 검증을 위한 경작업용 ROV 개발 ○ ROV 기반 수중 중작업용 로봇 시스템 상세 설계 및 제작 ○ 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 사양설계 및 요소기술 개발 ○ 실증실험 후보지 현장 조사 및 핵심과제별 사업성 분석 ○ 사업단 운영 강화 및 사업성과 관리 체계 완성 ○ 사업단 건축설계 및 건설공사 발주
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 멀티미디어 데이터 처리 시스템 구현	• 고화질 영상 전송/처리/저장 시스템 구현	75,000	KRISO/레드원테크놀로지
	• 수중 음향 전송 시스템 구현	120,000	KRISO
	• 수중 복합 센서 기반 햅틱 프로토타입 시스템	120,000	KRISO
경작업용 ROV 상세설계 및 제작	• ROV의 상세 설계	1,820,000	레드원테크놀로지/KRISO
	• 전기, 통신 시스템 설계, 구현		
수중 작업 환경 설계 및 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 시스템 기능/운용 조건 최적화 • 수중 정보 가시화 기술 개발 	210,000	아쿠아드론
7 DOF 유압 매니퓰레이터 설계 및 구동기 개발	• 7 DOF 유압 매니퓰레이터 설계	500,000	KnR시스템즈
	• 7 DOF 유압 매니퓰레이터용 구동기 개발		

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 멀티미디어 데이터 처리 계통 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 고화질 영상 전송/처리/저장 시스템 설계 및 구현 (HD급 영상 1 ch 전송) - 수중 음향 전송 시스템 설계 및 구현 (2 ch 음향 전송) - 수중 복합 센서 데이터 기반 햅틱 프로토타입 시스템 제작 - 2차년도까지 설계 및 검증된 기술에 대한 2, 3핵심과제로 이전 (기술 문서) ○ 경작업용 ROV 상세설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> - ROV의 상세 설계 - 전기, 통신 시스템 기능 구현 (공기 중에서 기능 검증) ○ 수중 작업 환경 설계 및 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 기능 및 운용 조건 최적화 - 수중 정보 가시화 시스템 프로토타입 개발 ○ 7 DOF 유압 매니퓰레이터 설계 및 구동기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 7 DOF 유압 매니퓰레이터 설계 - 7 DOF 유압 매니퓰레이터용 구동기 개발 - 마스터 조작 장치 제작 및 상위 제어기 개발

□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
시스템 상세 목표사양 최종 확정	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 최종 목표사양을 만족하기 위한 시스템 부품/기술별 목표사양 설계 및 최종 확정 <ul style="list-style-type: none"> - 수중 유압공급장치 상세사양 도출 - 수중 워터젯 기술 상세사양 도출 - 로봇 플랫폼 상세사양 도출 - 수중 작업공구 상세사양 도출 • 핵심 요소 기술 사양 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 수중 정밀 항법시스템의 목표사양 최종 확정 - 수중 유압매니퓰레이터 정밀 원격제어 기술 목표사양 최종 확정 - 수중 중작업을 위한 실시간 매핑 기술 목표사양 최종 확정 	400,000	KIRO/ 대양전기
시스템 상세 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 로봇 플랫폼 상세 설계 • 수중 유압공급장치 상세 설계 • 워터젯 기술 상세 설계/제작 • 수중 유압 작업공구 상세 설계 • 선상제어시스템 상세 설계 	1,500,000	KIRO/ 대양전기
평가항목 성능검증 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 평가항목 성능검증을 위한 요소 기술 도출 및 개발 	90,000	KIRO
핵심 요소 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 정밀 항법 기술 개발 • 수중 유압매니퓰레이터 제어 기술 개발 • 해저 매설물 정밀 추적 기술 개발 • 수중 중작업을 위한 실시간 매핑 기술 개발 	160,000	KIRO
센서장비 선정	<ul style="list-style-type: none"> • 센서장비 최종 선정 및 구매발주 ※ 일부 센서장비 구매 3차년도로 이동 	450,000	KIRO/ 대양전기
선상 관제체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 선상 과제체계 프레임 구축 	87,200	KIRO

연구개발결과 요약 기술

- 시스템 최종 목표사양을 만족하기 위한 시스템 요소별 목표사양 최종 설계
 - 로봇 플랫폼 상세 사양 설계 완료 - 대양전기공업(주)/한국로봇융합연구원
 - 기구부 최종 상세 사양 도출
 - 전기/전자/통신 시스템 상세 최종 사양 도출
 - 수중 유압공급장치 상세 사양 최종 확정 - (주)레베산업/대양전기공업(주)/울산대/한국로봇융합연구원
 - 폐회로 유압회로 부품별(벨브팩, 매니폴드, 비례제어 구성 등) 최종 사양 도출
 - 유압공급장치 power pack 최종 사양 확정
 - 워터젯 기술 최종 상세 사양 확정 및 설계 - (주)KT서브마린/한국로봇융합연구원
 - 수중 작업공구 기술 상세 사양 확정 및 설계 완료 - 한국도키멕(주)/한국로봇융합연구원
 - 케이블 커터 및 그리퍼의 최종 출력 사양을 만족하기 위한 유압실린더 및 기구부 최종 설계 사양 확정
- 핵심 요소 기술 사양 설계
 - 수중 정밀 항법시스템의 목표사양 최종 확정 - 한국로봇융합연구원
 - 수중 비선형 운동체 정밀 운동 제어 기술 목표사양 최종 확정 - 한국로봇융합연구원
 - 수중 유압매니플레이터 제어 기술 목표사양 최종 확정 - 포스텍
 - 수중 중작업을 위한 실시간 매핑 기술 목표사양 최종 확정 - KAIST
- 시스템 상세 설계
 - 로봇 플랫폼 개념정립 및 상세 설계/제작 - 대양전기공업(주)/레보(주)/한국로봇융합연구원
 - 수중 유압공급장치 상세 설계/제작 - (주)레베산업/대양전기공업(주)/울산대/한국로봇융합연구원
 - 수중 워터젯 기술 상세 설계/제작 - (주)케이티서브마린/한국로봇융합연구원
 - 수중 작업공구 기술 상세 설계/제작 - 한국도키멕(주)/한국로봇융합연구원
- 평가항목 성능검증 기술 개발 - 한국로봇융합연구원/(주)케이티서브마린
 - 시스템 최종 목표사양 및 연차별 연구목표를 위한 평가항목 상세 정립 완료
 - 평가항목에 대한 평가방법 검토 및 필요한 성능검증 요소 기술 도출
 - 도출된 성능검증 요소 기술 개발
- 센서장비 선정 및 구매발주 - 한국로봇융합연구원
 - 로봇 플랫폼의 최종 목표사양을 만족하기 위한 필요한 센서장비 품목 도출 완료
 - 센서장비 구매발주
- 선상 관제체계 구축 - (주)솔탑/한국로봇융합연구원
 - 선상 관제체계 S/W 프레임워크 연구
 - 사용자 요구사항 분석
 - 시스템 아키텍처 설계

□ 3핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 플랫폼 설계 • 유압라인/유압제어 설계 • 전기/제어 설계 	533,000	KIOST
툴	<ul style="list-style-type: none"> • 기성 툴 장비 성능 평가 • 테스트 툴 설계 	867,000	KIOST
운영실	<ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집 • 항법/포지셔닝 알고리즘 개발 • 통합제어시스템 H/W 제작 • 소나 기반 전후방 가시화 테스트 모듈 개발 • 운영실 개념설계 및 제작 	867,000	삼성중공업

연구개발결과 요약 기술
<p>○ 플랫폼</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집 : 플랫폼, 유압 관련, 전기제어 관련 각종 자료 수집 • 테스트 플랫폼, 유압라인/유압제어, 전기/제어 설계 : 최종 플랫폼에 적용하기에 앞서 기능을 검증하기 위한 테스트 플랫폼 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 ROV 개념 설계 - 테스트 플랫폼 기본설계 - 테스트 플랫폼 제작도면 - 유압회로 컨셉 및 상세 설계 - 유압회로 구동 시뮬레이션 - 유압밸브 제어 회로 설계 - 전력공급회로 설계 - 유압회로 관련 제어 알고리즘 컨셉 및 상세설계 <p>○ 툴</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집 : 파이프라인 매설 관련, 수중 중작업 툴 관련 자료 수집 • 기성 툴 장비 성능 평가 : 기성 툴 장비의 성능을 비교분석 • 테스트 툴 설계 : 기성 툴 성능 분석을 바탕으로 테스트 툴 설계 <p>○ 운영실</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자료 수집 : 운영실에 탑재될 각종 H/W, S/W 관련 자료 수집 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 ROV 작동을 위해 활용되고 있는 운영실 관련 자료 수집

<ul style="list-style-type: none"> • 항법/포지셔닝 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 수중에서 이동 중인 플랫폼의 항법/포지셔닝을 위한 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 센서 및 구성품 선정 - 항법/포지셔닝 알고리즘 개발 <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 수중에서 작업하는 로봇의 자세오차 (롤, 피치, 요 : ±1°) ⇒ 작업심도 100M 미만에 대한 포지셔닝 테스트 및 가시화 테스트 플랫폼 모듈 개발 - 포지셔닝/가시화 수중 실험 (20m) <ul style="list-style-type: none"> ⇒ 기존 USBL 방식의 위치 인식 성능 검증 ⇒ 상용소나 기반 수중 작업 환경 특성 파악 • 통합제어시스템 H/W 제작 <ul style="list-style-type: none"> : 운영실 통합제어시스템 H/W 기반구축 • 소나 기반 전방 가시화 테스트 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> : 수중 중작업 시 전방을 가시화하기 위한 테스트 모듈 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 플랫폼에 장착될 형태 도출 - 모듈단위 성능시험 - 인터페이스 규칙제정 • 운영실 개념설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> : 트랙기반 ROV 운영시스템 사양설계 및 운영실 초기 모델 제작

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 대상 건설 사례 분석 • 대상 수중건설로봇 분석 • 대상현장의 해상 작업 일수 추정 기법 분석 	70,000	사업단
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 실증실험 후보지 조사 • 현장검증실험용 선박용선 방안 분석 • 원치 & cable 설계 	100,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심과제별 사업성 분석 	70,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 사업단 차년도 예산확보 • 핵심과제 사업관리 강화 및 연구성과관리 전문성 고도화 • 핵심과제간 조정역할 및 네트워크 강화 • 사업단 기획 및 대외정책 기능 강화 • 국내·외 유관기관 네트워크 구축 및 홍보강화 	603,000	사업단

연구개발결과 요약 기술	
○ 최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수중건설로봇 적용 건설 사례 분석 및 투입 로봇 Task Activity 분석 • 대상현장의 해상 작업 일수 추정 기법 분석 • 수중건설로봇의 최적공정시스템 구현 기법(S/W) 초안 작성
○ 현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 실증실험 후보지 현장 예비 조사(파랑 및 지질 조건 등) • 실험역 현장검증실험용 가용 선박 분석 • 원치 & cable 기본 설계
○ 실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 특허전략지원사업을 통한 핵심과제별 기술성 분석 • 핵심과제별 시장성 분석 • 핵심과제별 사업화 타당성 분석
○ 사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 사업단 차년도 예산확보 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심과제의 연차별 성공적 수행을 위한 차년도 예산 확보 - 예산확보를 위한 대외 활동 • 핵심과제 사업관리 강화 및 연구성과관리 전문성 고도화 <ul style="list-style-type: none"> - 선진화된 성과관리를 위한 과제관리 시스템 구축 - PM전문성 강화 및 전문위원 제도를 통한 성과관리 고도화 • 핵심과제간 조정역할 및 네트워크 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심과제 총괄책임자 교류 및 핵심과제 통합워크숍 개최 - 핵심과제간 유사 기술 연계 활성화를 위한 분과위원회(5개 분과) 신설 및 운영 • 사업단 대외정책 지원 및 기획 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 부처 및 전담기관의 수중건설로봇 대외정책 지원강화 및 기획 지원 • 국내·외 유관기관 네트워크 구축 및 홍보강화 <ul style="list-style-type: none"> - 국내 수중건설 유관기관 3개 및 해외 유관기관 2개 사업협력 네트워크 구축 - 사업단 관련 학회 내 세션 확보 및 on/off 라인 홍보 강화

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
인프라 부지확보	• 건축면적 2,940㎡ 가능 부지 매입	900,000	사업단
복합형 수조시험설비 구축	• L35×W20×D9.6m, L20×W5×D6.2m 규모 건축 설계 및 건설공사, 수조시험설비 구축	3,000,000	사업단
사업단 연구지원시설 구축	• 연면적 2,000㎡ 규모 건축설계 및 건설공사		

연구개발결과 요약 기술	
○ 인프라 부지확보	<ul style="list-style-type: none"> • 분할측량 • 부지 매입 • 지반조사
○ 복합형 수조시험설비 구축	<ul style="list-style-type: none"> • L35×W20×D9.6m, L20×W5×D6.2m 규모 복합형 수조 건축설계 • 수조시험설비 3종(조류발생장치, 작업대차시스템, 레일&체어 시스템) 제작 및 설치 용역 발주 및 계약, 일부 설계 수행 • 건설공사 발주 • 건설사업 관리용역 발주
○ 사업단 연구지원시설 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 연면적 2,000㎡ 규모 건축설계 • 건설공사 발주 • 건설사업 관리용역 발주

3. 3차년도(2015년)

<p>해당연도 연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 검증용 ROV를 통한 공통 핵심 기술의 검증 ○ ROV 기반 수중 중작업용 로봇 시스템 제작 및 핵심 부품/요소 기술 개발 ○ 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 핵심모듈 설계 및 운영시스템 개발 ○ 2, 3핵심과제용 원치/케이블 상세설계 및 유망아이템별 사업모델 수립 ○ 사업단 운영 및 사업성과 관리 고도화 ○ 사업단 인프라 구축 공정률 30%
---------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 멀티미디어 기반 MMI 구현	• 수중 입체 음향 전송 시스템	264,000	KRISO
	• 가상 음성 정보 전달 기능 실험		
	• 수중 복합 센서 데이터 처리 시스템 개발	418,000	KRISO
	• 햅틱 시스템 성능 분석 및 보완 설계		
경작업용 ROV 상세설계 및 제작	• 기계, 전기, 전자 시스템 개발	2,730,000	KRISO/레드윈 테크놀로지
	• TMS, 케이블 및 원치, 진수 인양 시스템		
	• ROV 운동 제어 시스템 개발		
	• 작업 감시카메라의 영상 추종 제어 시스템 개발		
	• 통합 제어 및 연동 체계 구축		
수중 작업 기법 개발 및 구현	• 다중 센서 운용조건 최적화	565,000	아쿠아드론
	• 임무 정보 처리 기술 개발		
7, 5 DOF 유압 매니퓰레이터 개발	• 7축 유압 매니퓰레이터 제작	772,000	KnR시스템즈
	• 5축 유압 액추에이터 제작		
	• 탑재용 유압 제어기 제작		

연구개발결과 요약 기술	
○ 수중 멀티미디어 기반 MMI 구현	<ul style="list-style-type: none"> - 수중 입체 음향 전송 시스템의 ROV 장착 및 수조 성능 검증 - 가상 음성 정보 전달 시스템 구축 및 센서 데이터 연동에 의한 기능 시험 - 수중 복합 센서 데이터 처리 시스템 설계 및 프로토타입 제작과 기능 및 부하 측정 시험 - 햅틱 시스템 성능 분석 및 보완 설계 - 3차년도까지 설계 및 검증된 기술에 대한 2, 3핵심과제로 이전
○ 경작업용 ROV 상세설계 및 제작	<ul style="list-style-type: none"> - 기계 전기, 전자 시스템 상세 설계 및 제작, 부분 기능 시험 - TMS, 케이블 및 윈치, 진수 인양 시스템 설계과 일부 시스템의 도입, 성능 검증 - ROV 운동 제어 시스템 개발 및 수조 기능 시험 - 작업 감시 카메라의 영상 추종 제어 시스템 개발 및 기능 시험 - 통합 제어 및 연동 체계 상세 설계 및 구현, 수조 시험
○ 수중 작업 기법 개발 및 구현	<ul style="list-style-type: none"> - 다수의 소나와 비동기적인 센서 데이터의 운용을 위한 간섭 억제 최적화 설계 - 임무 정보 처리를 위한 시스템 개발
○ 7, 5 DOF 유압 매니퓰레이터 개발	<ul style="list-style-type: none"> - 7 DOF 매니퓰레이터 개발 및 제작 - 5 DOF 액추에이터 개발 및 제작 - 탑재용 유압 제어기 제작

□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
로봇 플랫폼 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 프레임 및 내압용기 제작 • 전기/전자/통신 시스템 설계/제작 • 부력재 상세 설계 및 주문제작 	2,100,000	대양전기
수중 유압공급장치 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 유압공급장치 폐회로 유압회로 부품 설계 및 주문 제작 • 유압시스템 통합 및 성능검증 	1,210,000	대양전기
수중 워터젯 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 젯팅암 2차 시작품(1:6 축소모델) 현장실험 및 분석 • 워터 젯팅암 1차 시제품 설계/제작 및 성능검증 	720,000	KIRO
수중 작업공구 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 케이블 그리퍼 1차 시작품 제작 • 케이블 커터 1차 시작품 제작 	260,000	KIRO
핵심 요소 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 매니퓰레이터 Visual Assistant 기술 개발 • 수중 정밀 항법 기술 개발 • ROV 고장 검출 기술 개발 • 수중 매설작업 실시간 3차원 구현 기술 개발 	350,000	KIRO
선상 제어시스템 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 선상 제어콘솔 설계/제작 • 선상시스템 및 네트워크 구축 	233,500	KIRO
선상 관제체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 선상 관제 소프트웨어 1차 시작품 구현 • GUI/Model/Device 프레임워크 구현 • GUI/Model/Device 컴포넌트 구현 	255,000	KIRO

연구개발결과 요약 기술

- 로봇 플랫폼 제작 (대양전기공업(주)/레보(주))
 - 프레임 및 내압용기 제작
 - 프레임 설계
 - 상부, 중앙, 하부 프레임으로 분류
 - 부착 장비에 따른 적절한 프레임 형상 및 두께 적용
 - 프레임 구조해석
 - 진수/인양 시 해석결과
 - A6061P-T6 항복강도 : 254MPa
 - 프레임 안전율 : 3.1
 - 목표 3 이상의 안전율 만족
 - 보관 시 해석결과
 - A6061P-T6 항복강도 : 245MPa
 - 프레임 안전율 : 3.7
 - 목표 3 이상의 안전율 만족
 - 프레임 제작
 - 스키드 설계
 - 해저면 토양의 강도를 고려한 설계
 - 스키드 바닥면 마모 시 교체를 위한 아세탈 수지 적용
 - 플랫폼 무게 및 밸러스트
 - TSS 350/440 운용 프레임 설계/제작
 - 내압용기
 - 항법용 내압용기
 - 전장부 내압용기 1,2 및 전원부 내압용기
 - 최적화 가공 및 검사 후 제작품
 - 전기/전자 시스템 설계
 - 시스템 계통도
 - 항법 및 장비용 전기/전자 시스템 제작
- 수중 카메라 개발 (대양전기공업(주))
 - 100 m급 팬틸트 타입의 수중 카메라 설계/제작
 - KOLAS 인증
 - 2016/3/31~4/1 : 수중카메라 100m급 컴팩트 타입 인증 획득
- 전원공급시스템 설계/제작 (레보(주)/대양전기공업(주))
 - 전원공급시스템 설계
 - ROV Power Can 설계/제작
- 수중 유압공급장치 제작 ((주)레베산업/대양전기공업(주)/울산대 안경관교수/한국로봇융합연구원)
 - HPU 특성 시뮬레이션
 - 추진기와 제어 매니폴드의 개량
 - ROV 유압회로도 설계
 - ROV 유압 시스템 효율 향상 연구
 - 수중 유압공급장치 상세 설계
 - 수중 유압공급장치 시작품 부품 개발

- 수중 유압공급장치 1차 시작품 통합 및 성능시험
 - 유압필터 내압시험
 - 압력보상기 작동시험
- 수중 워터젯 기술 개발 ((주)케이티서브마린/한국로봇융합연구원)
 - 2차 시작품(1:6 축소모델) 현장 실험
 - 워터 젯팅암 1차 시제품 설계/제작
 - 1차 시제품 설계/제작
 - 성능시험
 - 모션베이스 설계
 - 주요 부품 항목
 - 유압실린더 사양
 - 시스템 통합
- 수중 작업공구 제작 (한국도키멕(주))
 - 케이블 그리퍼 1차 시작품 성능검증
 - 케이블 커터 1차 시작품 제작
 - 케이블 커팅 시험 결과
 - 증압기 시작품 제작/성능평가
 - 증압기 메카니즘
 - 증압기 분해도
 - 성능평가 결과
 - 블레이드 형상 설계 및 제작
 - 도면 및 제작 사진
 - 블레이드 시험장비 제작
- 센서장비 선정/구매 (한국로봇융합연구원)
 - 유압추진기 2차 구매 및 성능 테스트
 - 추진기 가드 추가 설치
 - 추진기 최종 납기 전 제조사의 FAT 검사
 - TSS 350 케이블/파이프 검출 장비
 - SS425 Low Light B&W Camera
 - BlueView 2D Multibeam Image Sonar
 - 유압추진기 비례 제어 밸브팩
- 선상관제시스템 기술 (한국로봇융합연구원/(주)솔탑)
 - 선상관제시스템 설계/제작
 - 블록다이어그램
 - 제어콘솔 설계
 - (주)케이티서브마린 ROV 파일럿 의견 반영
 - 선상시스템 네트워크 구축
 - 선상관제시스템 사용자 인터페이스 개발
 - 사용자 인터페이스 개발 분석 및 정의
 - 로그인
 - 메인 GUI
 - 사용자 관리

- 선상관제시스템 인터페이스 프레임워크 개발
- 데이터베이스 구축
- 핵심 요소 기술 개발
 - ROV 고장 검출 기술 (한국로봇융합연구원)
 - 양로드 유압실린더 모델링
 - 누유검출 관측기 설계
 - 모의실험
 - 편로드 유압실린더 모델링
 - 데이터 통계 기반 고장 검출
 - 수중 정밀 항법 (한국로봇융합연구원)
 - Coarse Alignment 기반의 초기정렬 알고리즘 구현
 - 시뮬레이션 결과, Fast aided alignment 결과
 - 시뮬레이션 결과, Coarse alignment와 Fast aided alignment 결과 비교
 - 현장 실험
 - 복합 정밀 관성항법 실험결과
 - 매니플레이터 Visual Assistant 기술 (한국로봇융합연구원)
 - 비주얼 서보잉 기술 개발
 - 2차원 카메라 영상기반 3차원 좌표입력
 - 매니플레이터 인식 알고리즘 구현
 - 수중 매설작업 실시간 3차원 구현 기술 (중국 과학원 심양자동화연구소)
 - Prior parameter estimation by LAE(Local AutoEncoding)
 - Label field initialization by SAE
 - Graded-MRF for Forward-sonar

□ 3핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 플랫폼 설계/제작 • 유압라인/유압제어 설계/제작 • 전기/제어 설계/제작 • 최종 플랫폼 개념/기본 설계 	2,760,000	KIOST
툴	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 툴 설계/제작 - 다목적 암, 버킷, 그리퍼, 암파쇄기 제작 - 트랜칭 커터 개념 설계 	614,000	KIOST
운영실	<ul style="list-style-type: none"> • 통신 시스템, 모형 트랜처 통합 제어시스템 구축 • 항법/포지셔닝 알고리즘 개발 • 소나기반 전후방 가시화 알고리즘 개발 • 소나 기반 전후방 가시화 장치 제작 • 운영실 제작 • 운영 시스템 개발 	1,651,000	삼성중공업
실험	<ul style="list-style-type: none"> • 테스트 툴 육상 실험 • 항법, 포지셔닝, 소나 관련 수중 실험 	108,000	KIOST/삼성중공업

연구개발결과 요약 기술

- 운영시나리오 및 설계하중(design load case)분석
 - 운영/시나리오 세분화/구체화 및 진수/회수시 성능평가
 - WBS 기반의 과제관리시스템 구축 및 과제 관리 추진
 - 비상상황에 대한 해외사례분석 및 대처방안 확립
 - 개발 장비 운영 모션에 대한 분석
- 플랫폼
 - 테스트 플랫폼, 유압라인/유압제어, 전기/제어 설계/제작
 - : 육상/수중에서 플랫폼, 툴을 기능 검증하기 위하여 테스트 플랫폼 설계/제작 및
 - 테스트 플랫폼 제작
 - 테스트 플랫폼 성능평가
 - 테스트 플랫폼 수정 및 보완
 - 유압회로 제작 및 구축
 - 구동 및 밸브 제어회로 제작
 - 전력 제어 및 보호회로 제작
 - 전장부 이중화 시스템 제작
 - 플랫폼 구동부 및 센서부 운영 소프트웨어 개발
 - 최종 플랫폼 개념 및 기본설계 : 테스트 플랫폼의 성능을 반영한 최종 플랫폼 개념 및 기본설계
 - 테스트 플랫폼 검증결과에서 미진한 부분은 수정설계
 - 설계대비 성능검증이 완료되면 최종 플랫폼의 최적 배치설계 수행
- 툴 설계/제작
 - 다목적암, 버킷 구매 장착
 - 암파쇄기 설계/제작
 - 트랜칭 커터 기본 설계
- 운영실
 - 통신 시스템 구축, 모형 트랜처 통합 제어시스템 구축 : 수중의 플랫폼과 선상의 운영실과의 통신을 원활히 수행하기 위한 시스템 구축
 - 통신 프로토콜 외 트랜처 통합제어 시스템 구축
 - 통합제어에 대한 이중화기술 사례조사
 - 항법/포지셔닝 알고리즘 개발 (자세, 위치) : 수중에서 이동 중인 플랫폼의 항법/포지셔닝을 위한 알고리즘 개발
 - 알고리즘 개발 및 성능시험
 - 소나기반 가시화 알고리즘 개발(소나테크 개발 소나 기반) : 수중 중작업 시 전방을 가시화하기 위한 알고리즘 개발
 - 소나 및 광학영상 데이터 분산처리를 위한 고속/소형 신호처리시스템 개발
 - 소나 기반 전방 가시화 장치 제작 : 수중 중작업 시 전후방을 가시화하기 위한 장치 개발
 - 가시화장치 설계도면
 - 1차 시작품 제작
 - 시작품 실험 및 영상처리 GUI 구현
 - 운영실 설계/제작 : 플랫폼을 조종하기 위한 운영실(20tf 표준 컨테이너) 완성 모델 설계/제작
 - 개념설계안을 바탕으로 한 운영실 설계
 - 설계 내용을 기준으로 운영실 제작
 - 운영 시스템 개발

- 운영실 내부의 전원, 제어, 통신 시스템 설계 및 제작, 플랫폼 조종을 위한 GUI 프로그램 개발
- 운영실과 장비 및 주변장치와의 연동시스템 구축
- 테스트 플랫폼 육상 실험 : 테스트 플랫폼과 툴을 실험을 통한 설계검증 및 성능평가
 - 플랫폼 주행속도 달성여부 확인
 - 직진 유지 제어 알고리즘 검증
 - 실시간 장비 거동 모니터링 알고리즘 검증
 - 육상 암파쇄 실험과 수치모델링 결과 분석 수행을 통한 성능 평가
 - 부하조건 하에 툴 성능 확인(최대 토크, 작동 RPM, 유량 측정)
 - 툴 작업 시 작동 RPM 제어 (토크, 작동 RPM, 유량/유압 제어)
 - 육상 툴 작업 성능 평가 (콘트리트 시편 활용)
- 테스트 플랫폼 수중 실험
 - 수중 지반 특성치 확보
 - 플랫폼 수중 주행/직진 유지 제어 알고리즘 확인
 - 수중포지셔닝 정밀도 확인 및 알고리즘 검증
 - 소나를 이용한 전방 물체 인식 및 알고리즘 검증
 - 수중 툴 작업 성능 평가 (콘트리트 시편 활용)
- 공통기술
 - 핵심과제별 공통기술 및 선상운영시스템, 항법, 소나, 고장진단 등 기술정보 교류 확대
- 실용화 방안 수립
 - 해외 동향 분석과 기존 장비(SMD의 tool changing ROV)의 기술적 난이도의 정량적 분석을 통한 차별화 가능한 과제 핵심 브랜드 기술 및 product 도출 및 CTE 세분화를 통한 기술사업화 체계 구축
 - 세분화 아이템 : 트랜칭 커터, 소나영상 3D가시화, 360도 소나기술, 굴착깊이 측정시스템 등
 - 추진일정 : 참여기관과 사업단과 협의하여 2015년 12월까지 확정하여 CTE 제시(마일스톤 추가)

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수중건설 공정 분석(1, 2, 3핵심 개발 장비) • 확률론적 이론에 따른 작업 일수 추정 • 로봇투입 대상 유사 사례 확보 및 분석(향후 원안 비교를 위함) 	80,000	사업단
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 현장검증실험용 선박용선 방안 분석 • 실증실험 후보지 현장 조사 • 윈치&케이블 및 인터페이스 상세설계 • 실증 실험을 통한 성능인증 사례 분석 	145,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심아이템 선정 및 사업모델 분석(5건) • 사업화 외부 전문 위원회 정례화(분기별) 	115,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 사업단 차년도 예산확보 • 핵심과제 사업관리 강화 및 연구성과관리 전문성 고도화 • 핵심과제간 조정역할 및 네트워크 강화 • 사업단 기획 및 대외정책 기능 강화 • 국내·외 유관기관 네트워크 및 홍보강화 	570,000	사업단

연구개발결과 요약 기술	
○ 최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 수중건설 공정 분석(1, 2, 3핵심 개발 장비) 확률론적 이론에 따른 작업 일수 추정 로봇투입 대상 유사 사례 확보 및 분석(향후 원안 비교를 위함)
○ 현장실증시험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 실해역 현장검증시험 후보지 현장 조사 현장검증시험용 선박용선 방안 분석 원치&케이블 및 인터페이스 상세설계 실증시험을 통한 성능인증 사례분석
○ 실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> 1핵심과제 유망 아이템 2건, 2핵심과제 유망아이템 3건 선정 유망아이템별 사업화 추진기관 내부 역량 분석 유망아이템별 사업모델 수립 성공적 사업화 추진을 위해 국내 최고전문가 자문그룹 구성 및 정례화(분기별)하여 사업고도화 추진
○ 사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> 사업단 차년도 예산확보 <ul style="list-style-type: none"> 핵심과제의 연차별 성공적 수행을 위한 차년도 예산 확보 예산확보를 위한 대외 활동 핵심과제 사업관리 강화 및 연구 성과관리 전문성 고도화 <ul style="list-style-type: none"> 성과관리를 통한 성과목표 업데이트 및 핵심과제 성과 고도화를 위한 사업단 지원체계 강화 PM전문성 강화 및 전문위원제도를 통한 성과관리 고도화 WBS(Work Breakdown Structure)를 통한 상세 연구 계획 및 진행 관리 핵심과제간 조정역할 및 능동적 네트워크 분위기 조성 <ul style="list-style-type: none"> 핵심과제 총괄책임자 교류 사업단 통합워크숍(핵심과제 성과 및 사업계획 공유 등) 개최 각 핵심간 유사 기술/제품 연계 활성화를 위한 5개 분과(항법, 선상지원, 플랫폼, 유압, 작업틀) 회의 지속적 개최 및 운영 사업단 대외정책 지원 및 기획 강화 <ul style="list-style-type: none"> 부처, 지방정부, 전담기관의 수중건설로봇 대외정책 지원강화 및 기획 지원 국내·외 유관기관 네트워크 구축 및 홍보강화 <ul style="list-style-type: none"> 국내 수중건설 유관기관 3개 및 해외 유관기관 2개 사업협력 네트워크 구축 사업단 관련 학회 내 세션 확보 및 on/off 라인 홍보강화 사업단 뉴스레터 격월 on-line발간을 통한 관련기술 및 산업 분석 자료 공유

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위		연구비(천원)	수행기관
복합형 수조시험설비 구축	건설공사 및 수조시험설비 구축	공정률 30%	5,400,000	사업단
사업단 연구지원시설 구축	건설공사			

연구개발결과 요약 기술	
○ 복합형 수조시험설비 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 착공식 • 공사 준비 및 토공사 • 기초 및 지하층 공사 • 골조공사 • 수조시험설비 3종(조류발생장치, 작업대차시스템, 레일&체어 시스템) 설계 및 제작 • 건설공사 관리용역 수행
○ 사업단 연구지원시설 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 공사 준비 및 토공사 • 기초 및 지하층 공사 • 골조공사 • 건설공사 관리용역 수행

4. 4차년도(2016년)

해당연도 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공통 핵심 기술의 이식과 경작업용 ROV의 활용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · ROV 기반 수중 중작업용 로봇 시스템 제작 및 수조 성능 실험 · 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 선상지원시스템 설계 및 기술 개발 · 수중건설공정에 따른 RISK와 생산성 연계 방안 분석 및 수중검증실험용 원치/케이블 제작 ○ 사업단 운영 및 전문성에 대한 대외 인지도 제고 <ul style="list-style-type: none"> · 인프라 준공 및 시운전, 운영
-----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 멀티미디어 기반 MMI 구현	<ul style="list-style-type: none"> • 통합 MMI 제어 시스템 구축 • 범위 - 통합 구축 및 성능 검증 	197,000	KRISO
경작업용 ROV 및 선상시스템 제작	<ul style="list-style-type: none"> • ROV 시스템 성능 평가 및 보완 • 범위 - 통합 구축 • ROV 선상 지원 시스템 부분 구축 • 범위 - 부분 구축 및 연동 시험 	1,828,000	레드원테크놀로지/KRISO
수중 건설 작업 운용 기술 적용 시험	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 환경 맵핑 및 시험 지역 사전조사 • 범위 - 기법 개발 및 검증 • ROV의 진수, 운영, 회수 기술 • 범위 - 절차 수립 및 검증 	535,000	아쿠아드론
유압 매니퓰레이터 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 유압 매니퓰레이터 ROV 장착 • 범위 - 기술이전 • 통합 제어 시스템 • 범위 - 성능평가 및 개선 	735,000	KnR시스템즈

연구개발결과 요약 기술

- 수중 멀티미디어 기반 MMI 구현
 - 통합 MMI 제어 시스템 구축 및 성능 검증 (부두 시험 작업 속도 2.5 knot 이상)
- 경작업용 ROV 및 선상시스템 제작
 - ROV 선상 지원 시스템 부분 구축
 - ROV의 부두 시험을 통한 부분 성능 검증
- 수중 건설 작업 운용 기술 적용 시험
 - ROV 운용을 위한 진수, 운영, 회수 방법 및 절차 구축
장목부두에서 실제적인 ROV 운용을 통해 운용개념 도출/보완
 - 시험 지역에 대한 수중 환경 맵핑 10cm 해상도 구현
주파수 700kHz 0.3° x 0.6° beam widths의 Bathymetry system을 이용
해저면 고도 7m이내에서 주사
 - 시험 지역에 경작업을 수행할 수 있는 모의 수중 환경에서 성능 검증
장목부두에서 시행(수심과 상관없이 Bathymetry system과 해저면과의 고도유지가 관건임)
- 수중작업환경 설계 및 구축
 - ROV simulation scenario #3번째 편 제작
- 유압 매니퓰레이터 개발
- 탑재용 Right 7DOF 수중 매니퓰레이터 성능 및 제어성 평가
 - 개별 성능평가 및 개선
- 탑재용 Left 5DOF 수중 매니퓰레이터 제작
 - 탑재용 Left 5DOF 수중 매니퓰레이터 최적설계
 - 탑재용 Left 5DOF 수중 매니퓰레이터 제작
- 내압시험장치 구성
 - 구성품 내압시험장치(250 bar)
 - 매니퓰레이터 내압시험장치(50 bar)
- ROV에 매니퓰레이터 기구부 통합
 - 매니퓰레이터 2식 ROV에 장착성 확인
- 마스터 조작장치 제작 및 매니퓰레이터 상위 제어기 개발
 - 양팔 매니퓰레이터 마스터 조작장치 및 제어기 제작 및 통합
- 경작업용 ROV 제작 지속/완료
 - 경작업용 ROV 제작 미비점 보완
 - 가공부품 및 조립 등 제작수행간 문제점 도출에 따른 수정/보완작업 수행
 - 전기, 통신 시스템 조립 및 시스템 안정화기반 미비점 보완
 - 경작업용 ROV 제작 완료
 - 부력재 및 TMS적용 탑재 및 연동
 - 센서, 유압시스템 등 관련 구매제품 입고에 따른 탑재
 - 추가 제작 및 조립에 따른 밸러스트 테이블 최신화 유지
- 경작업용 ROV 전장 모듈 개발 및 검증
 - 경작업용 ROV탑재를 위한 시제품 모듈 제작
 - 전력분배 및 관리 모듈, 수중복합센서 데이터 처리모듈 기능 및 성능 안정화

- 정보처리 네트워크 및 분산처리 시제품 모듈 제작 및 탑재
- 추진기 통합제어 모듈 시제품 제작 및 탑재
- 경작업용ROV 전장 모듈 상용화 인증
- 전장모듈 상용화를 위한 제품 인증 획득 (1건)
- 시스템 통합
 - 하드웨어 및 전장 시스템 통합 연동 시스템 구현 (인터페이스 통합/구현)
- 경작업용 ROV 성능시험 수행
 - ROV 수조시험을 통한 성능 검증
 - 수중 부력 및 밸러스트 조정 시험 수행
 - √ 중량대비 3% 이내 양성 부력 확보
 - √ 수중상태 기울어짐 1% 이내 확보
 - 기본 주행성능 검증 시험 수행 (속도 및 6자유도 주행성능)
 - √ 주행속도 2.5knot 확보
 - √ 주행방향 모션제어 6DOF 확보
 - 기능검증
 - √ 선상제어 시스템 연동제어 기능 검증
 - √ 모션제어, 상태진단, 유압시스템 구동, 영상정보 획득, 센서데이터 획득
 - ROV 부두시험을 통한 통합 제어 및 연동 시험 수행
 - 해수운용에 따른 부력 조절 (중량대비 3%이내 양성부력 확보)
 - 영상 및 센서데이터 획득
 - 수심(깊이방향) 주행 제어 (30m이내)
- 선상/조작 시스템 제작
 - 선상 모니터링/네트워크 시스템 구현
 - 선상 제어 및 조작 시스템 상세설계 및 구현

□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
로봇 플랫폼 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 플랫폼 통합 • 수조환경에서 작동 성능 시험 	1,343,000	대양전기공업(주)/ 레보(주)
수중 유압공급장치 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 유압시스템 1차 시제품 수정보완 • 수중 유압시스템 2차 시제품(프로토타입) 설계/제작 • 플랫폼과 연동 	157,000	(주)레베산업/ 대양전기공업(주)/ 울산대/ 한국로봇융합 연구원
수중 워터젯 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 모터 및 펌프 구매 • 모션베이스 제작 	1,080,000	(주)KT서브마린/ 한국로봇융합 연구원

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 작업공구 제작	<ul style="list-style-type: none"> 케이블 그리퍼 최적 (경량화) 설계 및 2차 시제품 제작 케이블 커터 최적 (경량화) 설계 및 자체 개발 증압기 적용 2차 시제품 제작 증압기 3차년도 문제점 원인분석 및 설계 보완, 3차 시제품 제작 	80,000	한국도키맥(주)/ 한국로봇융합 연구원
핵심 요소 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 매니플레이터 Visual Assistant 기술 개발 수중 정밀 항법 기술 개발 ROV 고장 검출 기술 개발 수중 매설작업 실시간 3차원 구현 기술 개발 	520,000	한국로봇융합 연구원
선상제어시스템 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> 선상제어실 제작 소프트웨어와 수조 연동실험 	250,000	한국로봇융합 연구원
선상 관제체계 구축	<ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 2차 시제품 제작 로봇 플랫폼과 연동시험을 통한 관제체계 프레임 및 DB 수정보완 	120,000	(주)솔탑/ 한국로봇융합 연구원

연구개발결과 요약 기술
<p>○ 로봇 플랫폼 제작</p> <p>※ 대양전기공업(주) : 프레임, 부력재, 전기/전자/통신 시스템 설계/제작</p> <p>레보(주) : 선상 전원공급시스템 설계/제작</p> <ul style="list-style-type: none"> 부력재 설계/제작 부력재 가공 <ul style="list-style-type: none"> - 추진기 부착부 파손 : 집중 응력 분산 설계 - 프레임 연결부 파손 : 내부 응력 완충 설계 부력재 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 부력재 제작 기간 : 접합8주, 가공8주, 도장8주 예상 - 접합 / 가공 / 도장 : 3/4분기 완료 후 수조 시험 통합 예정 부력재 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 접합/가공 후 형상 검사, 무게 및 부력 측정 - 도장 후 형상 검사, 무게 및 부력 측정 플랫폼 통합 <ul style="list-style-type: none"> - 프레임, 스키드, 부력재, 이동용 인양고리, 케이블 감지장치, 팬틸트, 수중 카메라, 라이트, 전기장치(power can, instrument can, junction box, navigation can 등), 유압장비(HPU, 밸브팩, 추진기, 실린더, 배관, 리저버, 압력보상기, 필터 등), 센서류(hydraulic flow/pressure meter, DVL, altimeter 등) 모듈별 성능 검증 및 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 프레임 : 진수/인양/수중 이동/수중 작업시 성능 검증 확인

- 부력재 : 진수/인양/수중 이동/수중 작업시 성능 검증 확인
- 전장부 : 최대 전원 인가 및 최대 데이터 량 전송 성능 검증 확인
- 유압부 : 수조 환경을 고려한 최대 출력 성능 확인
- 성능검증 수조시험
 - 1단계(2/4분기) : 운용 시나리오에 기반한 상세 성능검증 항목 목록화
 - 2단계(3/4분기) : 모듈별 제작 완료
 - 3단계(4/4분기) : 모듈별 성능 검증 수조 시험
 - 4단계(4/4분기) : 통합 성능 검증 수조 시험
 - 5단계(4/4분기) : 수정 보완 및 재시험
- 기관별 역할
 - 대양 : 프레임 / 부력재 / 전장부(제어 및 통신부) 성능 검증 및 수정 보완
 - (주)레베산업/울산대학교 : 유압부 성능 검증 및 수정 보완
 - 레보(주) : 선상 전원 공급실, 전장부(전원 공급부) 성능 검증 및 수정 보완
- 해저 상태와 유사한 수조/육상 실험
 - 육상 실험 : 모의 센서 신호를 이용한 동작 시험, 유압 구동부 육상 기능 시험
 - 수조 실험 : 운용 시나리오에 기반한 성능 시험
- 내부 장치/ 모듈 수리 방안 연구
 - 내부 장치 정비 절차 수립
 - 수리 및 정비 장비 목록화
- 수중 카메라 실용화
 - 저해 요인 : 요구 성능 인증 미실시
 - 해결 방안 : 요구 성능 인증 절차 확립 및 인증 획득
- 선상 전원 공급실
 - 운용 시나리오에 기반한 필요 전원 공급 성능 검증 실시
- 전기/전자/통신 시스템
 - 운용 시나리오에 기반한 제어 및 데이터 전송 시험
- 수중 유압공급장치 제작
 - ※ (주)레베산업: 유압공급시스템 설계/제작
 - 울산대: 유압회로 및 유압펌프 성능향상 연구
 - 수중 유압공급장치 1차 시제품 제작
 - 육상 및 수조환경에서 성능검증을 통한 폐회로 유압회로 성능 검증
 - 성능 개선 방안 마련
 - 로봇 플랫폼에 설치 및 연동시험
 - 수중 유압펌프 1차 시제품 설계/제작
 - 육상 및 수조환경에서 연동시험을 통한 Power Pack의 성능 검증
 - 성능 개선 방안 마련
 - 수중 유압공급장치 요소 기술 개발
 - 고효율 수중 유압공급장치 폐회로 유압회로의 효율 검증 및 시스템 개량 연구
 - 고효율 수중 유압공급장치를 위한 Power Pack 효율 검증 및 시스템 개량 연구
- 수중 워터젯 시스템 통합
 - ※ (주)KT서브마린: 워터젯시스템 설계/제작

한국로봇융합연구원: 워터젯시스템 성능향상 연구

- 젯팅암 1차 시제품 제작 및 성능검증
 - 육상 및 수조환경에서 연동시험을 통한 워터젯의 효율 및 성능 검증
 - 젯팅암 시제품의 성능검증 평가항목 및 평가방법
- 모션베이스 설계/제작 및 성능검증
 - 모션베이스 성능 평가항목 및 평가방법

○ 수중 작업공구 제작

※ 한국도키멕(주): 작업공구 설계/제작

한국로봇융합연구원: 작업공구 성능검증 및 상용화 업무지원

- 유압 기반 수중 케이블 그리퍼 및 커터 1차 시제품 제작 및 성능검증
 - 케이블 그리퍼의 경우, 당김힘의 최대 목표는 17ton
 - 커터의 경우, 절단압력의 최대 목표는 550bar
- 증압기 실용화
 - 저해 요인 : 공인인증을 포함한 상용화에 필요한 다양한 인증에 필요한 행정적 절차상의 어려움
 - 해결 방안 : 사업단 및 관련 공인인증 기관과의 긴밀한 협력

○ 선상 관제체계 구축

※ 한국로봇융합연구원: 선상 관제시스템 H/W 설계/제작

(주)솔탑: S/W 설계/제작

- 사용자의 터치식 인터페이스를 고려한 시스템 UI 편의성 수정
- 장비 연동 시스템 개발
 - 장비 연동 UI 개발
 - 장비 연동 통신 모듈 개발
- 장비 연동 시험
 - 한국로봇융합연구원에서 장비 연동
 - 장비 연동 항목(TBD)

○ 핵심 요소 기술 개발

- 매니플레이터 Visual Assistant 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 사용자 단순 업무의 자동 실행 기능 구현
 - 1핵심 유압매니플레이터 개발팀과의 협력
 - ▷ 4차년도 초반에 기존에 1핵심에서 개발되고 있는 매니플레이터 기구학 정보, 제어방식 등 필요한 정보 요청. 이를 기반으로 기존에 개발되고 있는 visual assistant 알고리즘에 반영
 - ▷ 4차년도 후반기에 개발된 알고리즘을 1핵심에서 개발하고 있는 매니플레이터에 적용하여 성능검증 및 가능성을 검토
- 수중 정밀 항법 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 항법 정밀도 목표, 1.5% of range
 - 실험실에서 성능검증
- ROV 고장 검출 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 다양한 유압 장비의 누유 및 오염 검출 기술 개발
 - ▷ 다양한 유압 장비들에 통계 데이터 기반 기법 적용
 - ▷ 추진기, 밸브팩, HPU 등의 누유 검출을 위한 방법론 연구
 - ▷ 누유 이외의 해수 유입과 같은 기타 고장 검출 기법 개발

- 수중 매설작업 실시간 3차원 구현 기술 개발 (중국 과학원 심양자동화연구소)
 - Research on feature-based image registration method for forward-looking sonar image registration
 - Jamming analysis between two sonars that are partially overlapped
 - 3D reconstruction with the forward-looking sonar images using single sonar or two sonar devices
- 수조 및 연근해 성능검증 실험
 - 개요
 - 수조 및 연근해(20m) 조건에서 부품별 및 플랫폼 성능실험을 수행
 - 수조실험 : 부품별 방수 및 작동실험; 플랫폼 통합, 발라스팅 및 작동실험
 - 연근해 실험 : 요소기술(항법, 매니퓰레이터 visual assistant)의 연근해 성능검증
 - 플랫폼 통합 및 수조실험
 - 플랫폼 발라스팅 (대양전기공업(주), 한국로봇융합연구원)
 - 수조환경에서 발라스팅(약 500kg의 음성부력) 실험 및 이에 기초한 부력재 및 부품의 재배치. 필요할 경우 재가공.
 - 유압 공급시스템 작동실험 ((주)레베산업, 울산대, 대양전기공업(주), 한국로봇융합연구원)
 - 유압 공급시스템 방수실험
 - 유압시스템 full 부하 작동실험
 - 추진기 제어성능 실험
 - 워터젯 작동실험 ((주)KT서브마린, 한국로봇융합연구원)
 - 워터젯 시스템 방수실험
 - 워터펌프 풀가동 실험
 - 젯팅암 deploy 및 회수 성능 실험
 - 작업공구 작동실험 (한국도키멕(주), (주)레베산업, 한국로봇융합연구원)
 - 작업공구 방수실험
 - 정상작동 실험
 - 매니퓰레이터 작동실험 (한국로봇융합연구원, 대양전기공업(주))
 - 매니퓰레이터 방수실험
 - 정상작동 실험
 - 연근해 실험
 - 항법 및 매니퓰레이터 visual assistant 요소 기술 (한국로봇융합연구원)
 - 연근해에서 기존에 한국로봇융합연구원에서 확보하고 있는 수중로봇 플랫폼을 활용한 항법 센서 원시데이터 및 개발한 항법 알고리즘 결과 비교
 - 연근해 조건에서 간이매니퓰레이터 실험장비 설치 및 개발된 알고리즘 성능검증
 - 5차년도 연근해 실험을 위한 적지선정 (한국로봇융합연구원)
 - 해저지반 전단강도 $\leq 20\text{kPa}$
 - 실험선박의 접근이 용이해야 함

□ 3핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> 최종 플랫폼 상세설계/제작 유압관련 상세설계/제작 전기/제어 관련 상세설계/제작 	3,300,000	KIOST
툴	<ul style="list-style-type: none"> 트렌칭 커터 상세설계/제작 	300,000	KIOST
운영실	<ul style="list-style-type: none"> 선상지원시스템 설계/구축 항법/포지셔닝 알고리즘 보완, 경로추적 및 제어 알고리즘 설계 Operating Seat 원격제어 시스템 H/W 설계/제작 전방 가시화 소나 시제품 제작 굴착깊이 측정장치 개발 수중작업환경 시각화 플랫폼 개발 	900,000	KIOST
실험	<ul style="list-style-type: none"> 모듈별 수조실험 	100,000	KIOST

연구개발결과 요약 기술
<p>○ 플랫폼</p> <ul style="list-style-type: none"> 최종 플랫폼, 유압관련, 전기/제어 관련 상세설계/제작 <p>: 테스트 플랫폼의 결과를 반영하여 최종 플랫폼 및 부대장치 상세설계/제작</p> <ul style="list-style-type: none"> 최종 플랫폼 상세설계 및 제작 상부프레임 구성 : 툴장착링크, 통신장비, 전기장치, 조명, 비전카메라, 슬립링 등 하부프레임 구성 : 유압파워팩, 유압모터, 스프라킷, 캐터필러 등 유압회로의 상세설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> 풀스케일 플랫폼용 유압회로 상세 설계최종 플랫폼 성능검증 기법 및 인증절차 수립 추가 유압 밸브팩 상세 설계 및 제작 풀스케일 플랫폼 내 유압 시스템 설치 및 운용 테스트 대용량 전력제어 설계 및 회로 제작 전력 출력 제어 모니터링 회로 제작 <ul style="list-style-type: none"> 전력 출력부 센서 추가 설치 및 상태 모니터링 구현 밸브제어상태 모니터링 회로 제작 <ul style="list-style-type: none"> 밸브제어 관련 유압 및 유량센서 증설 및 상태 모니터링 구현 전장 및 통신부 이중화 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> 추가 전장부 하우징 제작 설치 및 이중화 기능 확장 확장된 전장 운영 소프트웨어 개발 <ul style="list-style-type: none"> 로봇 플랫폼의 구동 상황과 플랫폼 내 센서 상태 감시하고 모니터링, 로깅하기 위한 소프트

웨어 개발

- 로봇 작업 제어 알고리즘 수정/보완
 - 테스트 플랫폼의 결과를 반영하여 폴스케일 플랫폼용 작업 제어 알고리즘 개발
 - 테스트 플랫폼용 작업지능을 위한 알고리즘 보완 사항 정리
 - 폴스케일 플랫폼용 암파쇄작업 지능 제어 알고리즘 개발 및 시뮬레이션
 - 폴스케일 플랫폼용 트랜칭작업 지능 제어 알고리즘 개발 및 시뮬레이션
 - 폴스케일 플랫폼용 로봇 주행 알고리즘 개발 및 시뮬레이션
- 야지궤도차량 구동성능 평가 모델 제안
 - : 야지궤도차량의 설계변수 (차량 조건, 궤도 형상, 지반 조건 등)를 고려한 구동성능 평가 이론모델 제안
- 모형궤도시험 수행 및 분석
 - : 사질토 지반의 궤도차량 구동성능 평가 모델 개발
 - : 점성토 지반의 궤도차량 구동성능 평가 모델 개발
 - 점성토 지반 조성 (재성형) 장비 개발
 - 점성토 지반 모형궤도시험 계획 수립 (영향요소 선정 및 해석방법 연구)
 - 모형궤도시험 수행 및 분석
- 지반조건 별 최적 그라우저 형상 (비) 제안
 - : 개발 된 이론적 구동성능 평가 모델을 기반으로, 기존 상용 그라우저의 지반조건 별 구동성능 평가 (상용 그라우저 성능의 이론적 검토)
 - : 개발 된 이론적 구동성능 평가 모델을 기반으로, 최적 그라우저 형상 (비) 제안
 - 지반의 종류 (사질토 및 점성토)
 - 지반의 강도 (상대밀도 및 경질도)
- 접지압을 줄일 수 있는 스키드(skid) 성능 분석 및 슬립량 감소를 위한 부가장치 검토
- 툴
 - 툴 상세설계/제작
 - : 트랜칭 커터 상세설계/제작 도면 작성
 - : 트랜칭 커터 제작(연구비 축소조정에 따라 5차년도 제작완료)
 - 툴의 파쇄 성능 평가
 - : 툴의 파쇄 성능 평가를 위한 수치해석 및 소규모 절삭 실험
 - : 암석과의 상호작용을 고려한 최적 커팅비트 선정 가이드라인 개발
 - FFCPT 시작품 개발
 - : 콘 probe 및 dummy 콘 probe 제작
 - : 1/2 scale 모형 제작 및 실험 검증실험 수행
 - : 실규모 FFCPT 제작 및 실험 성능검증실험(관입깊이, 표준콘 측정센서 신호획득 확인)
 - 낙하최소높이 산정, 관입깊이 측정 및 분석, 수직도 확보위한 장비형상 도출
 - 탑재 센서 및 전장 부품을 포함하는 전체시스템의 내충격성 확보
 - : 실용화 추진을 위한 기존 FFCPT에 대한 부품별 특허조사 및 회피설계
- 운영실
 - 해외 트랙기반 ROV 항법시스템에 대한 벤치마킹

- 국내외 ROV 운영체계에 대한 벤치마킹
- 선상지원시스템 설계/구축
 - : ROV 발전기, 컨트롤벤 발전기, 천해실험용 케이블, 윈치 등 구축
- 항법/포지셔닝 알고리즘 보완
 - : Dead reckoning 기반 수중항법 구현 알고리즘 검증, Localization 알고리즘 개선을 위한 USBL 정밀도 개선 연구
 - : 자세 오차 검증을 위한 모터 스페이지 기반 테스트장치(2차년도 제작)의 자세값과 비교
 - : 위치 오차 테스트 결과 확인 방안
(고정밀 GPS 측정치와 비교를 통한 항법 알고리즘 정확도 검증)
- 경로추적 및 제어 알고리즘 설계
 - : 트랙의 주행상태 모니터링 및 주행제어 알고리즘 설계, 외란 하에서도 원하는 경로 추적을 위한 강인 제어기법 설계, 시뮬레이션 프로그램 설계 및 제어 시뮬레이션
- 전방 가시화 소나 시제품 개발
 - : 플랫폼의 4방향을 가시화하기 위한 소나 기반의 가시화 장치 제작
 - 플랫폼의 4방향(전후좌우)에 장착 가능한 전방 가시화 소나 제작
 - 전방 가시화 소나 전용 GUI 개발(All Around View 및 한 방향 선택 모드)
- Operating Seat 원격제어 시스템 H/W 설계/제작
 - 툴 작업 기반 ROV의 원격제어를 위한 Operating Seat 설계/제작
 - 상용 굴삭기와 유사한 장비 조종 환경 구축
 - 조이스틱 외 조종 장치와 HMI 모니터를 연동, 운영실 원격제어 PLC 시스템을 통한 원격제어 체계 구축
- 원격제어 알고리즘 개발 및 트랜처 통합 제어시스템 H/W 설계
 - : 플랫폼 원격제어 및 부대장비(수중카메라, 조명등) 원격제어를 위한 알고리즘 개발 및 트랜처 통합 제어시스템 H/W 설계
- 굴착깊이 측정장치 개발
 - : 멀티빔 에코사운더를 이용하여 굴착된 깊이를 측정하는 장치 개발
 - 굴착깊이 측정장치 상세설계 도출 및 모듈 제작
 - 굴착깊이 측정장치 GUI 개발
- 수중작업환경 시각화 플랫폼 개발
 - : 선상 운영실 모니터에 장비의 상태 및 수중작업환경을 그래픽으로 시각화하여 나타내는 알고리즘 및 플랫폼개발
 - 수중 지형 데이터 파싱(Parsing) 알고리즘 개발
 - 수중 장비형상 실시간 모델링 기술 개발
 - 3차원 그래픽 모델링 엔진 개발
 - 수중 작업환경 및 장비간 맵핑 기술 개발
 - 수중 작업 정보 실시간 연동 기술 개발
- 수중 로봇 플랫폼과 선상 운영실 간 분산 환경 구성
 - 선상지원시스템 분산 처리 범위 (비교적 실시간성이 낮은 제어 또는 연산)
 - : 조작기 입력을 통한 사용자 의도 파악 및 의도에 따른 로봇 플랫폼 하달 명령 생성

- (조작자 의도 파악) 조작기를 통해 발생하는 사용자 의도 파악을 통한 로봇 플랫폼의 Behavior 또는 Motion 스케줄링
- (로봇 전달 명령 생성) 주어진 전체 작업 경로와 항법 내압용기에서 계산된 로봇의 위치 정보의 실시간 추적, 비교를 통해 실시간으로 로컬 작업 경로와 모션 명령을 수중 로봇 플랫폼의 메인 제어기로 하달
- 수중 로봇 플랫폼의 분산 처리 범위 (실시간성이 높은 제어 또는 연산)
 - : 각종 항법 센서 기반의 위치 인식, 작업 경로 추종 위한 실시간 트랙제어 및 작업 통제어
 - (위치인식) 항법 내압용기 내 임베디드 프로세서를 통한 USBL, INS, DVL, 수심 센서 기반의 위치 인식필터 실시간 연산 루틴 독립 구동
 - (트랙제어) 메인제어기 내압 용기 내 PLC를 통해 항법 내압용기에서 계산된 위치 인식 정보와 선상지원시스템에서 하달된 경로 정보를 기반으로 작업 경로 추종을 위한 로봇의 방향과 속도를 실시간 스케줄링하고 해당 액션 추종을 위한 실시간 유압 밸브 제어 루프 독립 구동
 - (통제어) 메인제어기 내압 용기 내 PLC를 통해 트래킹 작업 시 작업 경로 추종 중 작업 톨에 발생하는 부하를 실시간으로 모니터링 하여 로봇의 이동 속도를 실시간으로 스케줄링하기 위한 제어 루프 독립 구동
- 실험
 - 테스트 플랫폼에 대한 보충실험 수행
 - : 3차년도 실험계획 중 미진한 부분이나 최종플랫폼 설계에 필요한 추가 실험 수행
 - 항법
 - : 기초 실험(센서 성능 테스트)
 - >수조에서의 정확한 위치를 알기 위해 제작된 장치를 이용하여 정확한 좌표 기록.
5m × 7m크기의 수조에 설치된 대차 활용
레일에 장착 된 2축의 스텝 모터를 제어 하여 USBL 및 DVL 분석하여 오차 측정
 - : 천해 성능 테스트
 - >소형선박에 센서를 장착하여 실험 수행
GPS 데이터를 레퍼런스로 이용
USBL을 사용하여 위치 데이터 취득 및 IMU를 사용하여 방위각 측정 및 DVL 데이터 측정
USBL검증은 수중의 한 지점에 설치된 Transponder를 활용하여 GPS와 비교하여 검증
수중 자세오차 확인은 선박에 IMU 센서를 고정하여 선체의 heading angle과 같은 방향으로 진행시켜 각의 틀어짐과 heading angle의 오차 확인
 - 소나실내수조실험
 - : 탐지거리, 분해능 검증을 위한 수조실험 수행
 - 최종플랫폼에 대한 실해역 성능검증실험 세부계획 수립
 - : 5, 6차년도 수행될 성능검증을 위한 상세 실해역 실험계획 수립 및 사업단 협의 추진

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 대상 지역의 연중 최적 건설 기간 제시 대상 장비의 건설 공정의 확장 개발 장비의 risk 분석(I) 	40,000	사업단
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 현장검증실험용 선박용선 방안 분석 실증실험 후보지 현장 조사 및 최종 선정 원치&케이블 제작 실증실험을 통한 성능인증 개념안 도출 수중장비 운용 및 유지관리 매뉴얼 프레임 작성 	1,508,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> 핵심아이템 선정 및 비즈니스 모델 분석 2단계 사업 추진을 위한 전략 기획(I) 사업화 외부 전문 위원회 정례화 	100,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> 사업단 차년도 예산확보 핵심과제 성과 고도화를 위한 성과관리 지원체계 강화 사업단 기획 및 대외정책 기능 강화 국내·외 유관기관 네트워크 강화 사업단 핵심결과물 홍보 강화 	571,000	사업단

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 최적공정시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> 대상 지역의 연중 최적 건설 기간 제시 장비의 수중 작업일수 산정을 통한 경제성 검토 수중건설 최적 공정 시스템 프로그램 제작 ○ 현장실증실험 지원시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> 현장검증실험용 선박용선 방안 분석 실증실험 후보지 현장조사 위치 선정 및 현장 조사 실증실험 시 수중로봇 확보 영상 공유시스템 구축 수중검증실험용 트랙션 원치 제작(진행 중) 수중검증실험용 umbilical cable(4,200V, 3상) 제작 성능인증기법 개념안 도출 수중장비 운용 및 유지관리 프레임 작성 ○ 실용화 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> 핵심과제 유망 아이템 비즈니스 모델 보완 유망 아이템별 사업화 추진기관 내부 역량 분석 성공적 사업화 추진을 위해 국내 최고전문가 자문그룹 구성 및 정례화하여 사업고도화 추진 사업단 POST 사업 개념 기획 유압 매니플레이터의 사업단 내 핵심과제 간 기술이전 진행 ○ 사업단 운영 <ul style="list-style-type: none"> 사업단 차년도 예산확보 <ul style="list-style-type: none"> 핵심과제의 연차별 성공적 수행을 위한 차년도 예산 확보 예산확보를 위한 대외 활동

- 핵심과제 성과 고도화를 위한 성과관리 지원체계 강화
 - 핵심과제 결과물의 실증테스트 및 상용화 추진을 위한 성과관리 체계 구축
 - 전방산업 중 기업 중심의 사업성과 관리
- 핵심과제간 조정역할 및 능동적 네트워크 분위기 조성
 - 핵심과제 총괄책임자 교류 및 핵심과제 통합워크숍 개최, 유사 기술/제품 분과 운영
- 사업단 대외정책 지원 및 기획 강화
 - 부처, 지방정부, 전담기관의 수중건설로봇 대외정책 지원강화 및 기획 지원
- 국내·외 유관기관 네트워크 구축
 - 국내 수중건설 유관기관 3개 및 해외 유관기관 2개 사업협력 네트워크 구축
- 사업단 핵심결과물 홍보강화
 - 국내·외 전시회 참여 및 바이어 상담 체계 구축
 - 연구결과물 전략적 언론 홍보
 - 사업단 뉴스레터 격월 on-line발간을 통한 관련기술 및 산업 분석 자료 공유

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
복합형 수조시험설비 구축	• 건설공사 및 수조시험설비 구축 완료, 시운전	6,300,000	사업단
사업단 연구지원시설 구축	• 건설공사 완료, 시운전		
수중건설로봇 성능시험	• 수중건설로봇 성능검증을 위한 인프라 운영	200,000	사업단

연구개발결과 요약 기술
○ 복합형 수조시험설비 구축 <ul style="list-style-type: none"> • 마감공사 • 포장 및 조경공사 • 수조시험설비 10종 이상 구축 • 시운전 • 연구실 기본시설 설치 • 복합형 수조시험설비 준공 • 사업단 이전 • 건설사업 관리용역 완료
○ 사업단 연구지원시설 구축 <ul style="list-style-type: none"> • 마감공사 • 포장 및 조경공사 • 시운전 • 연구실 기본시설 설치 • 사업단 연구지원시설 준공 • 건설사업 관리용역 완료
○ 수중건설로봇 성능시험 <ul style="list-style-type: none"> • 수조 테스트 시나리오 작성 • 1,2,3 핵심과제 성능 테스트를 위한 인프라 운영

5. 5차년도(2017년)

해당연도 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이식된 공통 핵심 기술과 경작업용 ROV 활용 기술 검증 ○ 중작업용 ROV의 시스템 통합 및 수조/천해 조건 성능검증 <ul style="list-style-type: none"> · 트랙 기반 해저 중작업용 로봇 선상지원시스템 제작 및 통합관리 시스템 개발 · 실해역 실증실험지원시스템 구축(I) 및 천해 실증실험을 통한 성능인증(안) 작성 ○ 사업단의 국내·외 인지도 제고 및 통합 성과 홍보 <ul style="list-style-type: none"> · 사업단 인프라 운영 기반 확보
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
수중 경작업용 작업 툴 연동 구현	<ul style="list-style-type: none"> • 임무 수행을 위한 툴 연동 구현 및 시험 	368,000	KRISO/레드윈 테크놀로지
경작업용 ROV 성능시험	<ul style="list-style-type: none"> • 경작업용 ROV 미비점 수정/보완 	364,000	레드윈테크놀로 지/KRISO
	<ul style="list-style-type: none"> • ROV 통합 제어 성능 검증 		
	<ul style="list-style-type: none"> • TMS, Winch 연동 기능 구현 		
경작업용 ROV 및 선상시스템제작	<ul style="list-style-type: none"> • ROV 통합 제어 성능 검증 • 진수, 인양, TMS 연동 성능 검증 	608,000	KRISO
수중 건설 작업 운용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 작업 툴의 요구 조건 분석 및 상세 설계 	477,000	아쿠아드론
	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 환경 맵핑 및 시험 지역 사전조사 		
	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 환경 맵핑 기법 보완 및 검증 		
유압 매니퓰레이터 통합 성능 평가	<ul style="list-style-type: none"> • ROV 종합 성능평가 및 개선 	560,000	KnR시스템즈
	<ul style="list-style-type: none"> • 250 bar 내압 성능시험 및 개선 		

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 경작업용 작업 연동 구현 <ul style="list-style-type: none"> - 수중연동을 위한 보다 유용한 작업 툴의 선정 및 연동 구현 - 수중에서 tool change 가능하게 제작, 각 tool 별로 운용방식 결정 - 주요 tool로서 실용적인 것으로 재 선정 ○ 경작업용 ROV 및 선상시스템제작 <ul style="list-style-type: none"> - ROV 통합 제어 성능 검증 (근해 실해역) - 이동 추종 오차 성능 분석 (0.1m 정수 중) - 진수, 인양, TMS 연동 성능 검증 - 2, 3 핵심에 이전된 기술에 대한 보완 - Automatic control시 센서 오작동에 대비한 추진기 제어 예외처리 - AI 기반음성지원 기술 개발 및 평가에 따른 스마트 ROV 기술 포함여부 결정 - 햅틱 시스템의 선상제어석 이식

- 수중 건설 작업 운용기술 개발
 - 경작업 ROV의 활용을 위한 작업툴의 요구조건 분석
 - 시험 지역에 대한 수중 환경 맵핑 5cm 해상도 구현
 - 시험 지역에 경작업을 수행할 수 있는 모의 수중 환경에서 성능 검증
- 근해역 시험 계획 수립
 - TMS, 윈치의 연계 거동 분석
 - 사전 성능시험 및 근해역 시험 세부계획 수립
 - 시험 평가 시 안전작업책임자 관리 수칙 및 안전시스템 규정 검토, 반영
- 수중 건설 작업 운용기술 개발
 - 경작업 ROV의 활용을 위한 작업툴의 요구조건 분석
 - 시험 지역에 대한 수중 환경 맵핑 5cm 해상도 구현
 - 시험 지역에 경작업을 수행할 수 있는 모의 수중 환경에서 성능 검증
- 경작업용 ROV 미비점 보완
 - Transformer 제품 방수구조 및 방수성능 미흡에 따른 조치/보완
 - 유압시스템 유압라인 수정 및 보완 (맞춤 제작/연결부품 교체)
 - 성능시험 및 운용간 문제점 개선/보완 (안정성 및 신뢰성 개선)
- 헬스모니터링 시스템 성능개선 및 보완
 - 경작업용 ROV 핵심 파트별 이상유무 진단에 따른 고장/수리 시스템 연동기능 구축
- 수중 작업 임무 수행을 위한 작업툴 연동 구현
 - 수중작업에 따른 툴 종류, 활용성, 효율성 등 분석 수행
 - 3종 이상 작업툴 연동/탑재 구현
 - 3종 이상 작업툴 구동을 위한 연동제어 인터페이스 환경 구축
- 현장 실증 성능시험 준비
 - IOM(Installation-Operation-Maintenance)기반 기능별, 부품별 고장상황 분석 및 대응-조치 계획 수립
 - 핵심 부품에 대하여 중요도 및 우선순위에 따른 Spare Part List를 작성
 - 다양한 시험활동 지원 및 대비를 위한 Spare 장비 확보 (중요도 기준 5종 이상 확보)
 - 고장상황에 대한 단계별 대응/조치 매뉴얼 작성 및 자체 검증 수행
 - 선상제어시스템 연계 추진기 고장 상황 분석 및 상황별 비상운용 체계 구축
- ROV 수조시험을 통한 성능 검증 수행
 - 1) 작업전문카메라 시스템 타켓 추종 프로그램 성능검증
 - 수조환경 기반 타켓 인식 및 추종 정확도 80% 성능 구현/검증
 - 2) 수중 작업툴 기능 검증 수행
 - 인터페이스 : 3종 이상 작업 툴 연동 및 제어 프로그램 점검 (시뮬레이션 및 보고서)
 - 수조시험 : 3종 이상 작업 툴 교체 및 연동에 따른 정상구동 여부 검증 (데모)
 - 3) 선상시스템연동 통합제어 성능 검증 시험 지원
 - 모션제어 프로그램 연동 주행 성능시험 및 검증 지원
 - 네비게이션 프로그램 연동 통합 제어 시스템 성능 시험 및 검증 지원
- ROV 부두 시험을 통한 통합 제어 및 연동 시험 수행
 - TMS, Winch 시스템 연동 기능 구현 및 검증 (진수, 인양 등)
 - 해수운용에 따른 부력 미세 조정 및 성능검증 (중량대비 3%이내 양성부력 확보)

- 실해역 환경 기반 타켓인식 및 추종 정확도 60% 성능 구현/검증
- 실해역 환경 기반 모션제어 주행성능 및 센서 데이터 통합 연동제어 성능 검증 시험 지원
- 임무기반 매니플레이터 및 작업 툴 연동 제어 성능 검증 시험 지원
- 경작업용 ROV 전장 모듈 상용화 인증
 - 핵심 전장모듈 및 개발장치 상용화를 위한 하드웨어 제품 인증 획득
- 탑재용 Left 5DOF 수중 매니플레이터 개선
 - 개별 성능평가 및 개선
- ROV 통합 성능평가
 - 7DOF,5DOF Manipulator 용 IOM(Installation-Operation-Maintenance) 문서 작성 및 보완

□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
로봇 플랫폼 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 통합 • 연근해 통합 시스템 성능검증 	1,334,000	대양전기공업(주) /레보(주)
수중 유압공급장치 설계/제작	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 유압공급장치 시제품 제작 • 수중 유압공급장치 시제품 제작 	145,000	(주)레베산업 /울산대
수중 워터젯 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 워터젯 시스템 통합실험 • 통합실험 결과 분석 및 개선 	40,000	(주)KT서브마린 /한국로봇융합연구원
수중 작업공구 제작	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 연동에 따른 케이블 커터/그리퍼의 운용/성능상의 문제점 수정/보완 설계 및 최종 시제품 제작 • 증압기 수정/보완 설계 및 최종 시제품 제작 	65,000	한국도키맥(주) /한국로봇융합연구원
핵심 요소 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 수중 정밀 항법 기술 개발 • 수중 비선형 운동체 정밀 운동 제어 기술 개발 • 수중 유압매니플레이터 제어 기술 개발 • 수중 중작업을 위한 실시간 매핑 기술 개발 	90,000	한국로봇융합연구원 /중국 과학원 심양자동화연구소
선상관제시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 연동/연근해시험 • 선상 관제시스템 소프트웨어 연근해 시험 결과 반영/개선 	90,000	(주)솔탑 한국로봇융합연구원
수조 및 실해역 실험	<ul style="list-style-type: none"> • 수조실험 • 연근해 및 100m 수심 실해역 실험 	1,503,000	한국로봇융합연구원 /대양전기공업(주)

연구개발결과 요약 기술

- 로봇 플랫폼 제작
 - ※ 대양전기공업(주) : 프레임, 부력재, 전기/전자/통신 시스템 설계/제작
레보(주) : 선상 전원공급시스템 설계/제작
 - 시스템 통합
 - 통합 플랫폼, 워터젯 시스템, 윈치 시스템, PDU, 작업 공구, 선상 관제 시스템(소프트웨어 및 제어 장치), 핵심 요소 기술(수중 정밀 항법, 비전 기반 매니플레이터 제어 기술, 고장 검출 기술, 수중 매설작업 실시간 3D 매핑 기술, 정밀 운동 제어 기술)
 - 연근해 통합 시스템 성능검증
 - 운용 시나리오에 기반한 모듈별 성능 연근해 시험 검증
 - 내압용기 내부 전장부 고장 진단 장비 탑재
 - 스페어 부품 선상 탑재
 - 고장 발생 대처 시나리오 숙지
 - 문제점 분석 및 수정보완
- 수중 유압공급장치 제작
 - ※ (주)레베산업: 유압공급시스템 설계/제작
울산대: 유압회로 및 유압펌프 성능향상 연구
 - 수중유압기술
 - ROV 유압 시스템 수조 및 지상 시험 및 비교 분석
 - ROV 유압 시스템 해역 시험 및 분석
- 수중 워터젯 시스템 통합
 - ※ (주)KT서브마린: 워터젯시스템 설계/제작
한국로봇융합연구원: 워터젯시스템 성능향상 연구
 - 워터젯 시스템 통합시험
 - 시스템 통합 및 수조 및 현장실험을 통한 성능검증 및 개선
 - 수중 고성능 워터젯 시스템 상용화 기술 개발
 - 부품별 개선사항 도출
 - 모션 베이스 및 수중 워터젯 Pump Upgrade작업 ((주)케이티서브마린 / 한국로봇융합연구원)
 - Jetter Arm 우현쪽 Nozzle제작
 - Jetter Arm 좌/우현 Grinding 후처리
 - Jetter Arm과 Manifold 사이 hole 재 가공
 - Spherical Bearing(구면 베어링) 재가공/설치
 - Deploy/Stow 실린더 Rod Knuckle 재가공/설치
 - 실린더 Positioning Sensor connector교체 및 재가공
 - Valve Actuator coupling Bracket 재가공 및 설치 완료
 - Water Jet Pump Bolt SUS재질로 교체
 - 기타 작업 내역
 - 실린더 Positioning Sensor connector 충유
 - Motion Base Assembly Manifold부 광택 작업
 - Manifold Hand Tapping작업

- Water Jet Pump 편평도 작업
- All bolt토크 교정 작업(Torque조정)

○ 수중 작업공구 제작

※ 한국도키멕(주): 작업공구 설계/제작

한국로봇융합연구원: 작업공구 성능검증 및 상용화 업무지원

- 유압 기반 수중 케이블 그리퍼 및 커터 시제품 제작
 - 시스템 통합 및 수조실험을 통한 성능검증
 - ▷ 그리퍼 : 최대 출력 25ton, 작업대상 17~110mm 외경 케이블
 - ▷ 커터(증압기 포함) : 작동압력 690bar(최대), 작업대상 110mm 외경 케이블 단, 작업대상 케이블의 최대 외경은 수급 가능여부에 따라 변경될 수 있음.
 - 성능검증을 통한 시제품 보완작업(설계 변경/수정 제작)
 - ▷ 케이블 그리퍼/커터(증압기 포함)용 성능 시험 장치 보완(정밀도 및 안전성)
 - ▷ 공인시험
 - 연근해 환경에서 시제품 성능검증, 문제 분석 및 수정보완

○ 핵심 요소 기술 개발

- 매니플레이터 Visual Assistant 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 플랫폼 및 주위 환경 충돌 회피 이동 제어 기술 개발
- 수중 정밀 항법 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 수조 및 실해역에서 성능 검증
- ROV 고장 검출 기술 개발 (한국로봇융합연구원)
 - 실 운용될 유압 장비들에 적용 가능한 기법 개발
 - 현장 운용의 편리를 고려한 시나리오 기반의 알고리즘 및 적용기술 개발
- 수중 매설작업 실시간 3차원 구현 기술 개발 (중국 과학원 심양자동화연구소)

Task1 : Global error reduction using the bundle adjustment

An object function will be designed to describe the global error. And a gradient-descent strategy will be used to minimize the object function.

Task2: Circle detection

- 1) Determine the relative position of the pipeline;
- 2) Extract the 3-d point-cloud;
- 3) Send a warning message to the operator is there is a potential risk in the local environment. For example, there is a stone near the slot.

Task3 : Point-cloud registration and interpolation

- 1) Normal distribution transformation;

Surface interpolation

○ 선상 관제시스템 구축

※ 한국로봇융합연구원: 선상 관제시스템 H/W 설계/제작

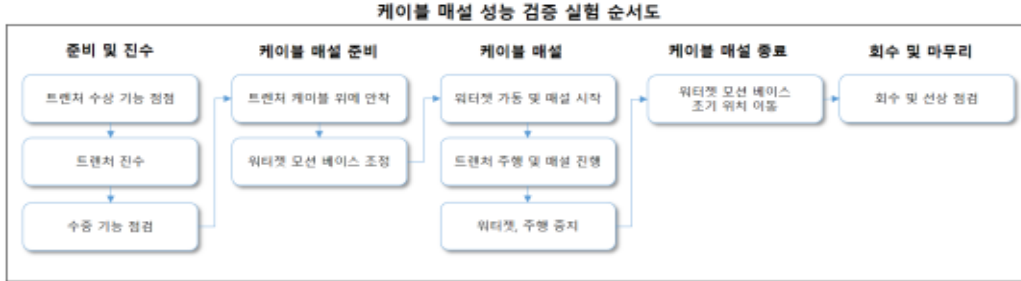
- 선상 관제 Monitor wall 배치 최적화
- 선상 관제 Control console chair 버튼 및 조이스틱 배치 최적화
- 선상 관제시스템 안정성 검증
 - 내부 전원시스템 안정화
 - 내부 Ethernet&EtherCAT안정화

- 비디오 자막기 제어 소프트웨어 설계/제작
- EtherCAT소프트웨어 안정성 검증
 - 선상 관제시스템 및 플랫폼 내부의 EtherCAT&Ethernet 안정화 및 최적화
 - EtherCAT소프트웨어 신뢰성 검증
- ※ 슬탑: S/W 설계/제작
 - 시스템 연동 및 수정보완
 - 실해역 환경 통합 시스템 검증 지원
 - 선상 관제체계 시스템 수정 보완
 - 전방 모니터링 UI 추가 및 편의성 보완
 - 프로그램 관리 및 기타 설정 기능 수정 및 보완
 - Framework 모듈 성능 안정화
 - DB와 시스템 간 연동 안정화
 - 선상관제체계 프로그램 성능 최적화
- 수조 및 연근해 성능검증 실험
 - 개요
 - 수조 및 연근해(20m, 100m) 조건에서 플랫폼 및 전체시스템 성능실험을 수행
 - 수조실험 : 플랫폼 수정보완 및 수조환경에서 작동실험
 - 연근해 실험 : 전체 시스템 통합 및 연근해에서 성능검증
 - 플랫폼 수정보완 및 수조실험
 - 담당기관: (한국로봇융합연구원, 대양전기공업(주) 및 해당기관)
 - 수조 세부 기능(Function) 점검 계획 수립
 - 수조환경에서 수정 보완된 플랫폼 기본 작동실험
 - 부품별 정상 작동실험
 - IOM(Installation-Operation-Maintenance) 절차(플랫폼 이동 방법, 조립/해체 시간, ROV 고정 방안 포함) 수립
 - 연근해 실험
 - 담당기관: 모든 참여기관
 - 4차년도에 선정한 연근해 현장에서 성능실험
 - 20m 연근해에서 플랫폼 및 부품별 기본 성능검증
 - 플랫폼 기본동작시험 및 전진속도 검증실험
 - : 테스트 시나리오 개요

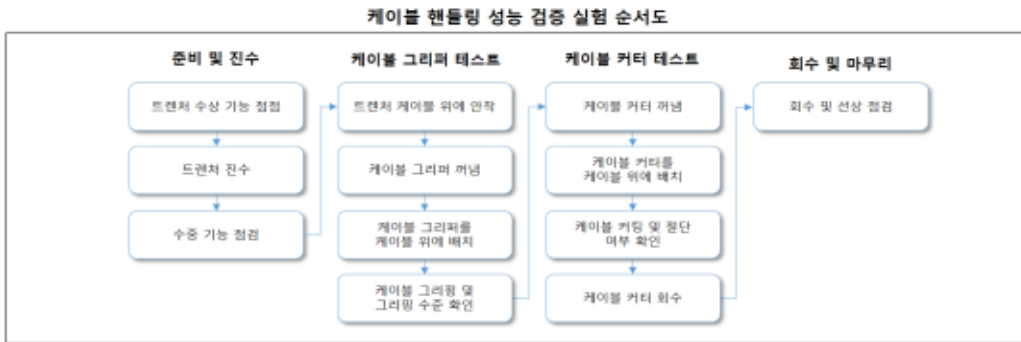
플랫폼 기본 동작 시험 및 전진 속도 검증 실험 순서도



- 케이블 매설성능(심도 및 속도) 검증실험
 - : 요소기술(항법, 해저작업 3D 구현) 성능검증 포함
 - : 테스트 시나리오 개요



- 케이블 핸들링 성능 검증 실험
 - : 요소기술(매니플레이터 visual assistant) 성능검증 포함
 - : 테스트 시나리오 개요



- 수중 작업 반복 시험을 통한 플랫폼 내구성 시험(진동 포함)
- 파이프 라인 매설 작업성 검토
- IOM(Installation-Operation-Maintenance) 실험수행결과 기반 업데이트
- 100m 연근해에서 성능검증
 - 20m 연근해 실험과 동일한 내용 반복
 - 단, 전체 시스템의 운용시나리오 수정보완이 필요함
- 시스템 최적화 방안 도출
 - 연근해 시험 결과 반영 및 실해역 운용을 위한 최적화 방안 도출
 - 사용자 편의성을 고려한 실용화 방안 도출
- 한국로봇융합연구원: 작업공구 성능검증 및 상용화 업무지원
- 시스템 통합 및 수조실험을 통한 성능검증
 - ▶ 그리퍼 : 최대 출력 25ton, 작업대상 17~110mm 외경 케이블
 - ▶ 커터(증압기 포함) : 작동압력 690bar(최대), 작업대상 110mm 외경 케이블 단, 작업대상 케이블의 최대 외경은 수급 가능여부에 따라 변경될 수 있음.
- 성능검증을 통한 시제품 보완작업(설계 변경/수정 제작)
 - ▶ 케이블 그리퍼/커터(증압기 포함)용 성능 시험 장치 보완(정밀도 및 안전성)
 - ▶ 공인시험
- 연근해 환경에서 시제품 성능검증, 문제 분석 및 수정보완

□ 3핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> 최종 플랫폼 제작 유압관련 제작 전기/제어 제작 	2,057,000	KIOST, KIRO DHS, KMOU, SNU
툴	<ul style="list-style-type: none"> 툴 보완/제작 	200,000	KIOST, SY
운영실	<ul style="list-style-type: none"> 전방 가시화 소나 통합 장착 시험 통합제어시스템 제작 굴착깊이 측정장치 제작 툴 작업 통합관리 시스템 개발 운영실 관련 H/W, S/W 보완 	637,000	KMOU, ST
실험	<ul style="list-style-type: none"> 모듈별 수조실험 천해실험 	2,000,000	전체(KOC 포함)

연구개발결과 요약 기술
<p>○ 플랫폼</p> <ul style="list-style-type: none"> 최종 플랫폼, 유압관련, 전기/제어 제작 최종 플랫폼 제작 통합 <ul style="list-style-type: none"> 최종플랫폼 내 유압 시스템 통합 및 테스트 <ul style="list-style-type: none"> 최종플랫폼 내 유압 시스템 통합 및 안정화 최종플랫폼 기본 동작 실험 및 천해 실험 선택적 이중화에 대한 유압 구동 동작 실험 및 안정화 최종플랫폼 전체 구동에 대한 성능 테스트 수중 구동에 대한 문제점 파악 및 개선 최종플랫폼 유압 제어 알고리즘 적용 및 테스트 <ul style="list-style-type: none"> 최종플랫폼용 유압제어 알고리즘 실차 적용 및 지상/천해 테스트 최종플랫폼용 작업 지능제어 알고리즘 실차 적용 및 지상/천해 테스트 최종플랫폼용 주행 알고리즘 실차 적용 및 지상/천해 테스트 스케일 플랫폼용 유압 제어기 시스템 보완 및 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> 밸브 제어회로 보완 및 실증실험을 통한 성능 검증 최종플랫폼용 센서 통합 및 전자 제어 시스템 보완 및 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> 이중화 제어부 및 센서부를 통합하는 전장 시스템 보완 및 성능 검증 최종플랫폼 전장 운영 소프트웨어 개발 <ul style="list-style-type: none"> 이중화 제어부 및 센서부를 통합하는 운영 소프트웨어 보완 및 성능 검증 FFCPT제작 완료 및 FFCPT결과와 URI-R의 기동성능평가 S/W개발 외력, 충격 등을 고려한 외갑판에 대한 설계 및 제작 진동, 소음, 자기장에 의한 항법센서 영향분석 및 대책수립 경로제어

- 경로제어시 활용하는 센서 배치도 작성
- 슬립발생시에 대한 대책 수립
- 상태모니터링 및 고장진단
 - 플랫폼 및 전장부, 내압용기 등에서 발생하는 상태 모니터링 시스템 배치도 작성
 - 상태모니터링 및 고장진단 평가 방법 및 절차 수립(체계도 작성)
- 최종 플랫폼 보완 설계/제작
 - : 수조, 천해실험 결과를 바탕으로 플랫폼 보완 설계/제작
 - : 진출수, 충돌 등 다양한 하중조건에 대해 구조해석을 수행하여 시스템전체 구조적 안전성 확보 검증
- 수조, 천해실험 결과를 바탕으로 제작된 툴 보완
- 운영실
 - 플랫폼과 운영실의 원격 운용 개념도 작성 및 성능평가 방안 제시
 - : 운영실 진동에 대한 검토 수행 및 대책안 제시
 - 선상 지원 시스템 제작
 - : 장비 운영시 선상에 요구되는 부대 시스템 제작, 선상 제어 시스템 통합 및 연동 시험
 - 전방 가시화 소나 통합 시험
 - : 제작된 전방 가시화 소나를 플랫폼의 4방향에 장착 후 통합 연동 시험
 - 전방 가시화 소나 플랫폼 장착(4방향) 및 통합시험(탐지거리 20m, 분해능 0.5도)
 - 통합 제어시스템 제작
 - : 플랫폼 원격제어 및 부대장비(수중카메라, 조명등) 원격제어를 위한 통합 제어시스템 제작
 - 어라운드 뷰 소나 성능 향상
 - : BLUEVIEW와 성능비교를 통한 지속적인 성능개선 수행
 - 굴착깊이 측정장치 제작
 - : 멀티빔 에코사운더를 이용하여 굴착된 깊이를 측정하는 장치 제작/보완
 - 굴착깊이 측정장치 시제품 개발
 - 2m, 10m 깊이 측정시스템 현장실험
 - 굴착깊이 측정장치 전용의 3차원 S/W 제작
 - 툴 작업 통합관리 시스템 개발
 - : 전조사를 통해 획득한 지반/지형정보 등을 분석하고, 트랜칭, rock crusher 등 툴 작업을 위한 목표 및 수행 내용 등을 작업 시나리오에 근거하여 시각화 및 관리 해주는 알고리즘 개발
 - 운영실 관련 H/W, S/W 보완
 - : 천해실험을 바탕으로 운영실 H/W, S/W 보완 작업
 - : 운영 GUI 및 HMI 개념도에 따라 개발된 운영 프로그램을 운용자 피드백을 기반으로 수정 보완하고 실험실 실험을 통한 검증작업 수행
 - : 작업정보 및 고장, 알람 정보의 즉각적 판단을 위한 음성지원시스템 구축 및 검증작업 수행
- 장비 상용운동을 위하여 IOM(Installation-Operation-Maintenance) 보고서 작성
 - 장비 운영 해양환경조건에 대한 기준 제시 포함
- 최종 도면 DB화, 국산화부품 항목 구분 및 향후 국산화 가능부품에 대한 기술 확보 계획 수립
- 예비부품 List DB 구축 및 실험실대비 최대한 필요부품 확보
- 기 작성된 성능평가계획을 보완(세부성능실험계획서 보완)
- 검증실험

- 개요
 - : 플랫폼의 성능평가와 시나리오별 작업성능평가를 수행함
 - : 육상 및 실험역 성능평가 계획에 대한 보완 및 우발계획(contingency plan) 수립
 - : 성능평가시 객관적 자료 제시 및 사업단 또는 자문위원 입회하여 성능평가 수행
- 수조실험
 - : 수중건설로봇사업단에서 건설예정인 수조에서 수밀에 대한 기본성능실험과 장단기 수중작업에 대한 안정성 평가 수행
- 육상실험
 - : 제작된 플랫폼과 틀은 육상에 성능평가실험을 수행하는 것을 원칙으로 함
 - : 플랫폼 성능평가와 작업성능평가를 위한 실험항목은 다음과 같음
 - ① 등판능력 시험, 볼라드 테스트
 - ② 직선주행, 최고속력 시험, 제자리 회전성능 시험
 - ③ 이동/작업 가능 지반 시험 ⇒ 해안지역에서 시험 수행
 - : 틀 실험 ⇒ 트랜칭 커터는 육상 터널현장이나 암사면 현장에서 성능목표에 대한 검증실험수행
 - ① 트랜칭 깊이(2m)/폭(0.5m) 시험,
 - ② 트랜칭 속도(150m/h) 시험
 - ③ 트랜칭 직진유지(5°) 시험
- 천해실험
 - : 얇은 수심에서 플랫폼의 기동성 평가는 해양대 인근의 해역에서 성능평가 수행
 - : 암반 작업 성능 평가는 거제 남해분원 인근의 해역에서 하부 암반에 대한 성능평가 수행
 - : 육상에서 수행한 실험 중 등판능력 실험 및 볼라드 테스트를 제외한 모든 실험 반복 수행
 - : 장비 수중운용을 위한 실험 항목 및 담당기관은 다음과 같음.
 - ① 수중 포지셔닝 시험 (20m/km)
 - ② 전후방가시화 소나 탐지거리(20m), 분해능(0.5°) 시험
 - ③ 굴착깊이측정장치 탐지거리(10m), 분해능(0.5°) 시험
- 100m 급 실험
 - : 100m 수심 조건을 충족하면서 해저지반이 암반인 지역은 우리나라에서는 제주도 인근이 유일한 입지(제주 북동부 해안)이며, 현장실증시험의 수행 가능성이 어렵다면 사업단과 협의를 통해 100m 미만인 지역에서 암반이 노출되는 지역에서 성능평가 실험을 수행
 - : 아래 수심과 해저지질특성을 나타낸 그림에서처럼 수심 100m 조건이 중요한 인자가 되면 동해안 지역이 적지이지만, 단단한 지반에 대한 검증실험이 중요한 평가요소라면 얇은 수심이라도 서해안 도서 지역 인근이 적지로 판단됨
 - : 천해실험에서 수행한 모든 실험을 반복하여 수행
- 성능평가 결과에 따른 설계변경 및 수정보완 제작
 - : C형 인양구조 및 포설케이블의 탈착이 용이한 구조로 변경 검토(기계적으로 passive하도록)
 - : 사업단 제시 엄빌리컬의 허용하중에 부합하도록 중량 최적화
 - : 활용 효율성 향상을 위한 운영사 및 operator의 의견을 추가 반영
- 실용화 가능한 기술에 대한 실용화 계획 수립
 - : 어라운드뷰 소나, 굴착깊이 측정시스템 등

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
최적공정시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> 수중건설로봇이 투입된 공정의 개선안 정립 사업비 산출 방안 구축 	50,000	사업단
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> 수중로봇에 대한 실증실험 지원 및 핵심과제별 실험 시나리오 수립 2, 3핵심 적용을 위한 원치시스템 제작 완료 2, 3핵심 적용을 위한 인양고리 제작 실증실험을 통한 성능인증(안) 작성 및 적용 실해역 실험에 필요한 용선 및 선상지원시스템 구축(I) USBL Launcher 제작 	1,868,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> 핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립 2단계 사업을 위한 전략 기획(II) 	80,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> Post 사업단과제 예산 확보(I) 핵심과제 성과 고도화를 위한 성과관리 지원체계 강화 사업단 기획 및 대외정책 기능 강화 국내·외 유관기관 네트워크 강화 사업단 핵심결과물 홍보 강화 	570,000	사업단

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 최적공정시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> 수중건설로봇이 투입된 공정의 개선안 정립 사업비 산출 방안 구축 ○ 현장실증실험 지원시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> 수중로봇에 대한 실증실험 지원 핵심과제별 실해역 검증실험을 위한 작업시나리오 수립 실증실험을 통한 성능인증(안) 작성 및 적용 2, 3핵심 적용을 위한 인양고리 제작 2, 3핵심 적용을 위한 원치시스템 제작 완료 실해역 실험에 필요한 용선 및 선상지원시스템 구축(I) USBL Launcher 제작 ○ 실용화 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> 핵심과제 유망 아이템 1~2건 추가 선정 유망 아이템별 사업화 추진기관 내부 역량 분석 및 사업모델 수립 사업단 내 핵심과제 기술이전 세부 지침 마련 POST 사업단 사업 상세 기획 完

○ 사업단 운영

- Post 사업단과제 예산확보(I)
 - 2단계 사업단과제 예산 확보를 위한 대외 활동
- 핵심과제 성과 고도화를 위한 성과관리 지원체계 강화
 - 핵심과제 결과물의 실증테스트 및 상용화 추진을 위한 성과관리 지원 강화
 - 국외 선도기업 성과 검토 체계 구축
- 핵심과제간 조정역할 및 능동적 네트워크 분위기 조성
 - 핵심과제 총괄책임자 교류 및 핵심과제 통합워크숍 개최, 유사 기술/제품 분과 운영
- 사업단 대외정책 지원 및 기획 강화
 - 부처, 지방정부, 전담기관의 수중건설로봇 대외정책 지원강화 및 기획 지원
- 국내·외 유관기관 네트워크 구축
 - 핵심과제 Track record 구축을 위한 국내 유관기관 MOU
- 사업단 핵심결과물 홍보강화
 - 국내·외 전시회 참여 및 바이어 상담
- 사업단 정량적 및 정성적 성과 정리

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
사업단 인프라 운영 및 전문성 강화	인프라 운영 및 매뉴얼 수립, 네트워크 구축 및 홍보 강화, 관련 기업 유치	100,000	사업단

연구개발결과 요약 기술

- 사업단 인프라 운영
 - 1,2,3 핵심과제 성능 테스트를 위한 인프라 운영
 - 인프라 유지관리 및 성능 보완
 - 수조 및 수조시험설비(장비) 운영/유지보수, 시험 서비스 매뉴얼 수립
 - 핵심과제 외 조류발전 등 인프라 활용 제고
- 사업단 인프라 전문성 강화
 - 실험지원 서비스 고도화 추진
 - 특화된 시험분야 확보 추진
 - 수조 및 수조시험설비(장비) 신뢰성 확보
 - 국내·외 네트워크 구축
 - 인프라 국내/외 홍보 강화
- 관련 기업 유치

6. 6차년도(2018년)

해당연도 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 건설 로봇의 통합 성능 검증 ○ 시스템 통합 및 수조 성능검증 <ul style="list-style-type: none"> · 실험실 시험, 시스템 업그레이드 및 표준모델 제시 · 개발된 수중건설로봇에 대한 통합실증시험(500m 수심) 및 실용화 전략에 대한 장 단기 추진계획 수립 ○ 성공적 사업단 과제 마무리 및 자립적 운영체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> · 사업단 인프라 운영 및 기반 확보
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

□ 1핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
통합 실험실 성능 시험	· 수중 건설 공정 시나리오에 의한 검증	156,724	KRISO, 레드윈, 아쿠아드론,
	· 운영 및 공정 관리 체계 검증	16,306	
통합 실험실 성능 시험 지원	· 수중 로봇의 실험실 운용	429,000	KRISO, 레드윈
	· 성능검증을 위한 부가 제작	90,540	
매니플레이터 고내압성능평가	· 5축, 7축 매니플레이터 내압시험 250bar	137,276	KNR

연구개발결과 요약 기술

- 통합 실험실 성능 시험
 - 안정적인 ROV 운용을 위한 진회수 표준 절차서 적용
 - 진수 전 점검 절차 및 진회수 절차를 포함함

순번	검정 사항	비고/주요	결과
기타 주요 점검 사항			
1	나사못 정밀한 청소 작업의 나사 고정 점검		
2	중심 위치 확인 후 위치 설정		
3	내압용기내 공기 유출량 측정 점검		
4	기압 실수 시에의 정밀부도 점검		
5	유수 검사용기 점검		
6	부압기 유출량 측정 및 사용법 점검		
7	고 압력기 유출량 측정 및 사용법 점검		
8	중심 위치 확인 후 위치 설정		
9	공기 유출량 측정		
수중 시험 전 점검 사항			
10	수중 시험 전 점검 사항		
11	수중 시험 전 점검 사항		
12	수중 시험 전 점검 사항		
13	수중 시험 전 점검 사항		
14	수중 시험 전 점검 사항		
15	수중 시험 전 점검 사항		
16	수중 시험 전 점검 사항		
17	수중 시험 전 점검 사항		
18	수중 시험 전 점검 사항		
19	수중 시험 전 점검 사항		
20	수중 시험 전 점검 사항		
21	수중 시험 전 점검 사항		
22	수중 시험 전 점검 사항		
시험 전 점검 사항			
23	시험 전 점검 사항		
24	시험 전 점검 사항		
25	시험 전 점검 사항		
26	시험 전 점검 사항		
27	시험 전 점검 사항		
28	시험 전 점검 사항		
29	시험 전 점검 사항		
30	시험 전 점검 사항		
31	시험 전 점검 사항		
32	시험 전 점검 사항		

<전원 투입 전 점검 절차>

순번	검정 사항	비고/주요	결과
1	수중 시험 전 점검 사항		
2	수중 시험 전 점검 사항		
3	수중 시험 전 점검 사항		
4	수중 시험 전 점검 사항		
5	수중 시험 전 점검 사항		
6	수중 시험 전 점검 사항		
7	수중 시험 전 점검 사항		
8	수중 시험 전 점검 사항		
9	수중 시험 전 점검 사항		
10	수중 시험 전 점검 사항		
11	수중 시험 전 점검 사항		
12	수중 시험 전 점검 사항		
13	수중 시험 전 점검 사항		
14	수중 시험 전 점검 사항		
15	수중 시험 전 점검 사항		
16	수중 시험 전 점검 사항		
17	수중 시험 전 점검 사항		
18	수중 시험 전 점검 사항		
19	수중 시험 전 점검 사항		
20	수중 시험 전 점검 사항		
21	수중 시험 전 점검 사항		
22	수중 시험 전 점검 사항		

<전원 투입 후 점검 절차>

순번	검정 사항	비고/주요	결과
1	수중 시험 전 점검 사항		
2	수중 시험 전 점검 사항		
3	수중 시험 전 점검 사항		
4	수중 시험 전 점검 사항		
5	수중 시험 전 점검 사항		
6	수중 시험 전 점검 사항		
7	수중 시험 전 점검 사항		
8	수중 시험 전 점검 사항		
9	수중 시험 전 점검 사항		
10	수중 시험 전 점검 사항		
11	수중 시험 전 점검 사항		
12	수중 시험 전 점검 사항		

<표준 진수 절차>

순번	검정 사항	비고/주요	결과
1	수중 시험 전 점검 사항		
2	수중 시험 전 점검 사항		
3	수중 시험 전 점검 사항		
4	수중 시험 전 점검 사항		
5	수중 시험 전 점검 사항		
6	수중 시험 전 점검 사항		
7	수중 시험 전 점검 사항		
8	수중 시험 전 점검 사항		
9	수중 시험 전 점검 사항		
10	수중 시험 전 점검 사항		
11	수중 시험 전 점검 사항		
12	수중 시험 전 점검 사항		
13	수중 시험 전 점검 사항		
14	수중 시험 전 점검 사항		
15	수중 시험 전 점검 사항		
16	수중 시험 전 점검 사항		
17	수중 시험 전 점검 사항		
18	수중 시험 전 점검 사항		
19	수중 시험 전 점검 사항		
20	수중 시험 전 점검 사항		

<표준 회수 절차>

- 실해역 항법 : 정밀도 1m 이내



<USBL & navigation data>

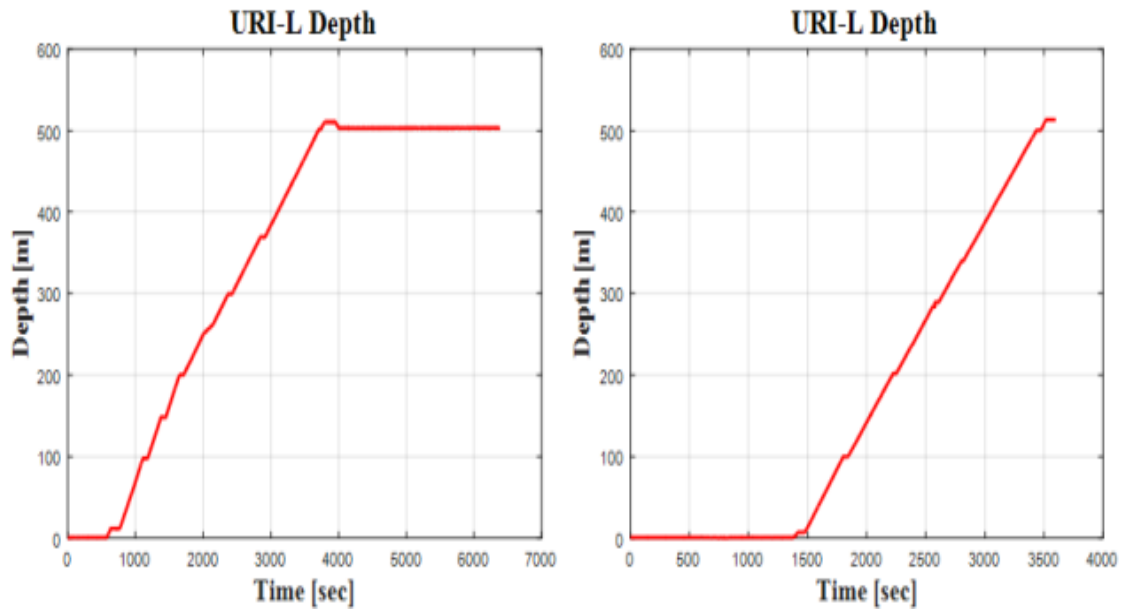
<USBL 미작동상태>

<실해역 시험 영상>

- Way-point Tracking

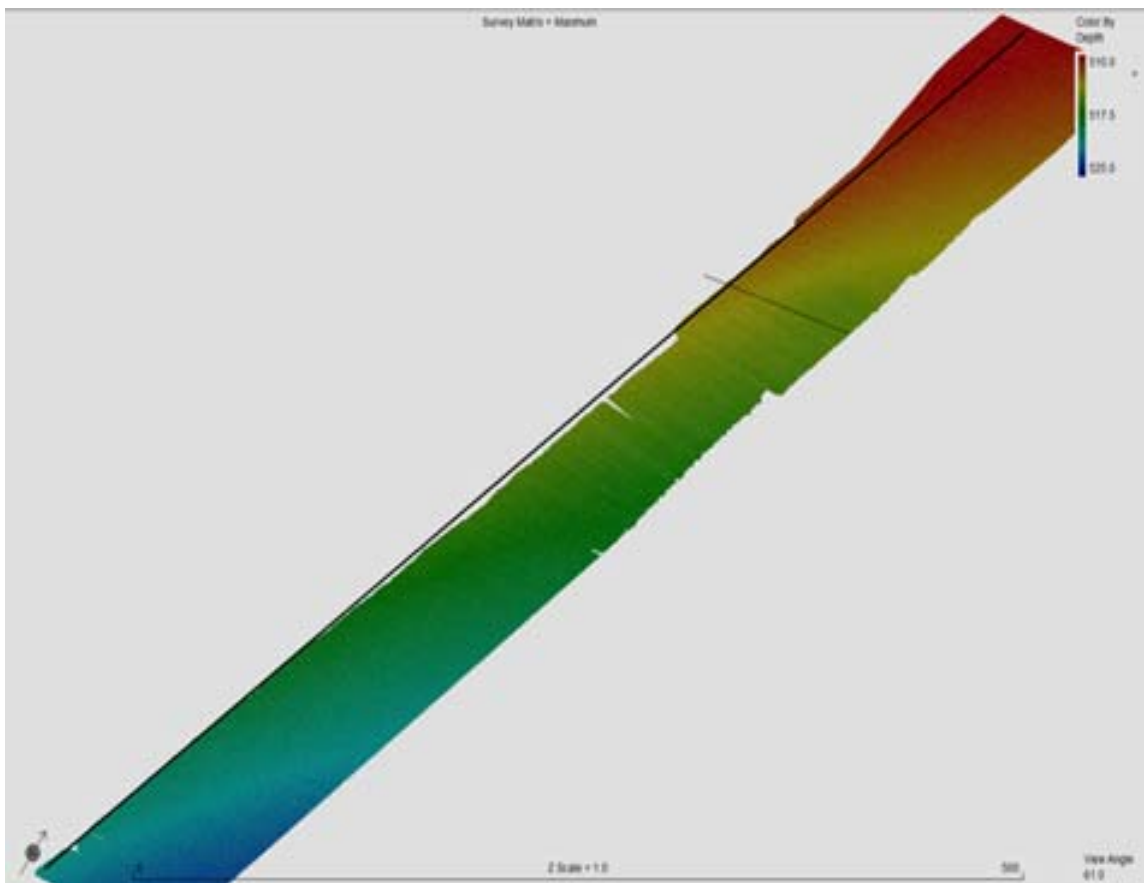


- 작업 심도 : 507m 성능 확인

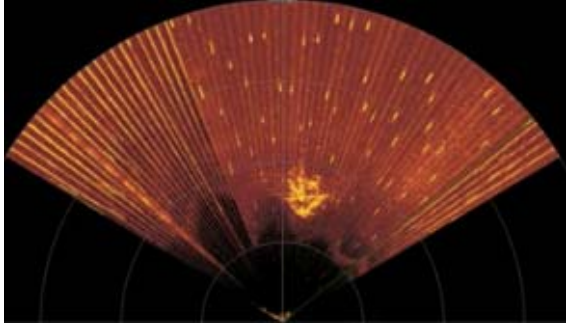

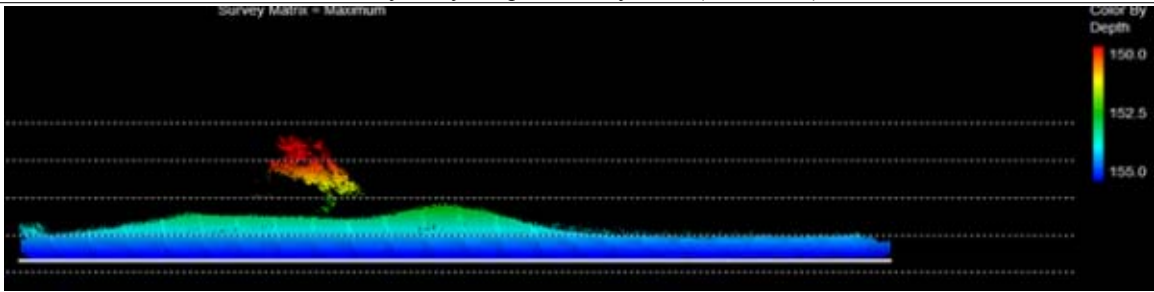


○ 통합 실해역 성능 시험 지원

- Bathymetry Survey : 실해역 100m * 1,000m 구역 data 획득



- Well-head 조사(포스코 대우)

Scaaning sonar (contact)	Optical camera (contact)
	
Bathymetry acquisition system (side view)	
	

- 작업툴 3종(드릴, 브러쉬, 워터젯)



- 고장진단 : 고장 발생시 해당 항목 점멸 및 음성 안내

시간	구분	장비	상태	메시지
09:11:00 43.0	정상	DVL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 46.0	정상	SL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 127.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 141.0	조작서	항공-DUAL	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 141.0	정상	항공도	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 157.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 148.0	정상	카메라	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 148.0	조작서	항공-DUAL	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 157.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 157.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 245.0	정상	항공도	DEVICE_READ_TPM_OUT	온도 저하 경고 종료
09:11:00 245.0	정상	SL	DEVICE_READ_TPM_OUT	온도 저하 경고 종료
12:11:46 145.0	조작서	수직(UP)	PROCESSOR_CONNECTION_TIMEOUT	무 제어를 종료
09:11:00 215.0	정상	DVL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	정상	SL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	조작서	항공-DUAL	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	정상	THRUSTER_3HL	DEVICE_RELEASE	정상 상태
09:11:00 245.0	조작서	카메라-정수	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 147.0	조작서	항공-DUAL	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태
09:11:00 215.0	조작서	수직(UP)	PROCESSOR_RELEASE	정상 상태

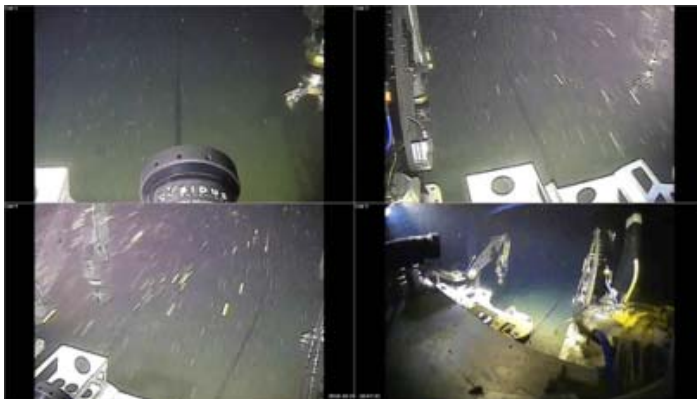
□ 2핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
시스템 수정보완	• 수조 성능검증을 통한 시스템별 수정보완 작업	650,000	전 기관
실해역 시험	• 시스템 최종 통합 및 수조실험을 통한 성능 최종 확인 • 실해역 시험을 통한 최종 목표사양 성능검증	255,000	전 기관
핵심 부품 기술 상용화 기반 확보	• 수중 유압공급장치, 수중 워터젯, 수중 작업공구 등 핵심 부품별 연구개발 기술의 상용화를 위한 상세 사양 확보 • 핵심 부품 설계/제작 및 상용화 기반 기술 확보	180,000	(주)레베산업/ (주)KT서브마린/ 한국도키맥(주)
핵심 요소 기술 개발	• 수조 및 실해역 시험을 통한 요소 기술 성능 검증	82,600	한국로봇융합 연구원

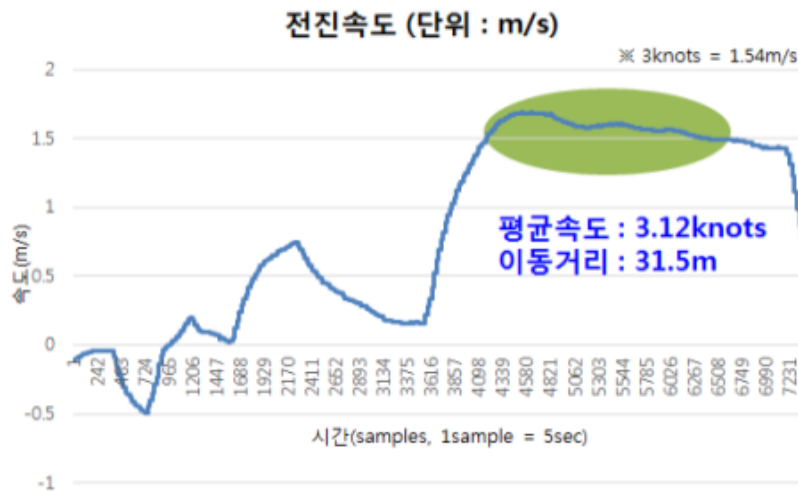
연구개발내용 및 범위 상세기술

○ 실해역 시험

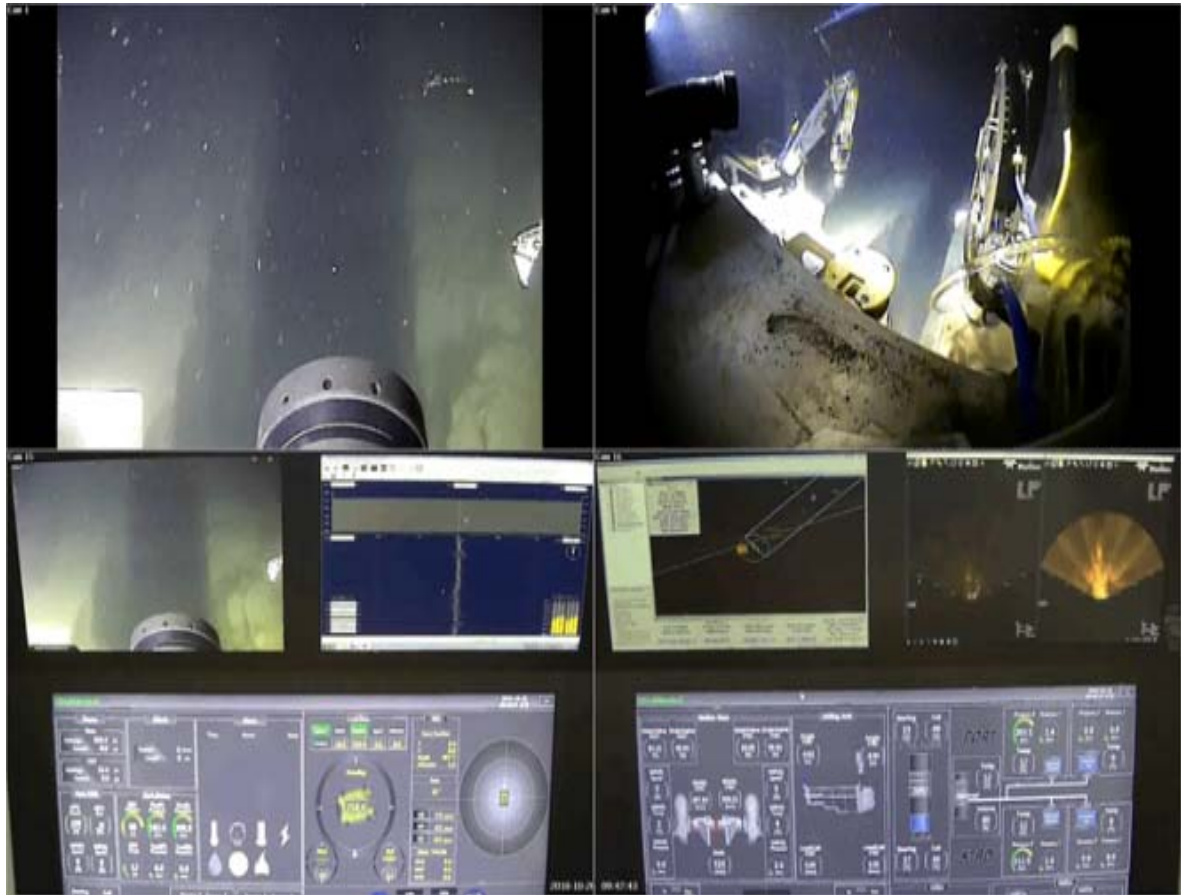
- 최대 매설 속도 : 2.24km/hr



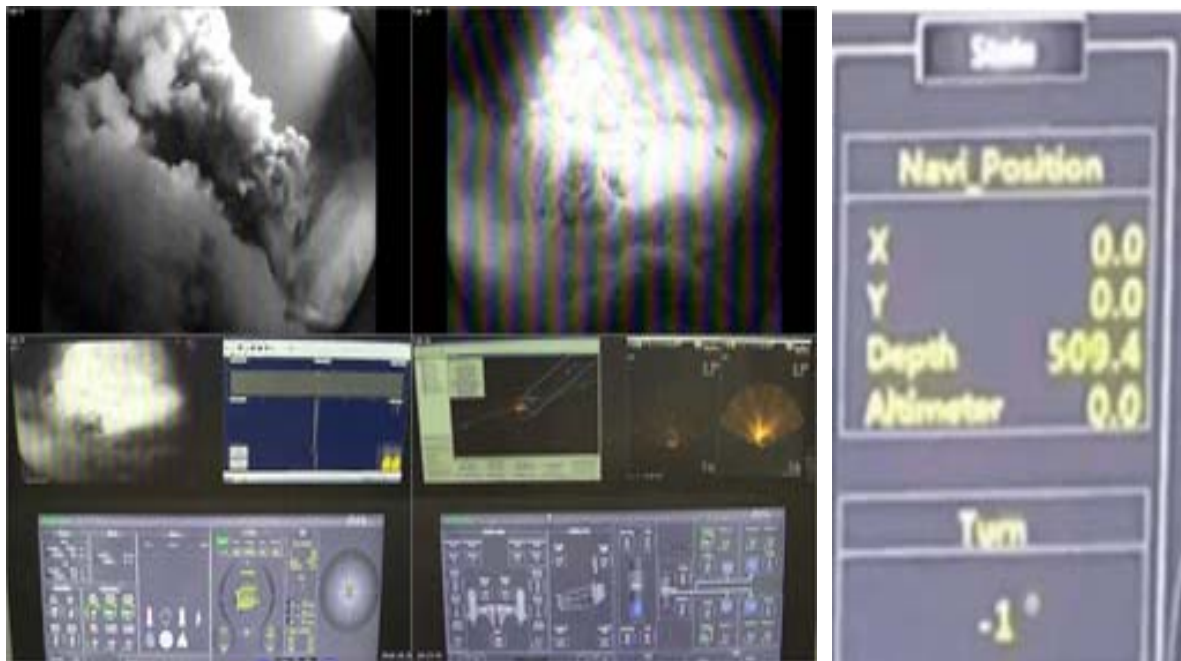
- 최대 전진 속도 : 3.12knots



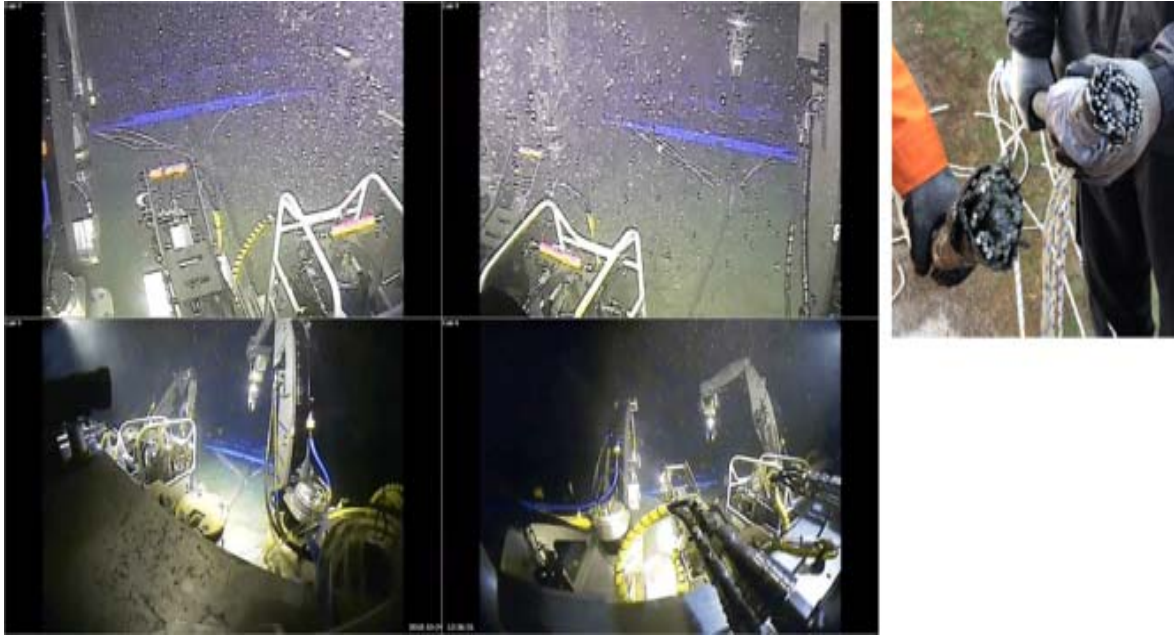
- 최대 매설 심도 : 3.03m



- 최대 작업 수심 : 509m



- 해저케이블 그리핑/커터 작업

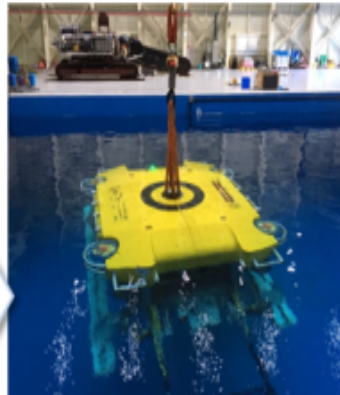


- 작업하중 : 500kg

• 공기중 하중 측정: 21,280kg

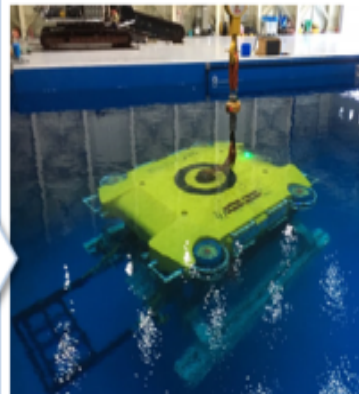


• 수중 하중(작업하중) 측정: 540kg



• 자력 부상 가능 여부 검증: 가능 확인

- 저울 값 (-20kg)
- 수면까지 부상 여부 육안 확인



○ 핵심 부품 기술 상용화 기반 확보

- 케이블 커터 상용화 기반 확보
- 케이블 그리퍼 상용화 기반 확보

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
주소: 부산광역시 중구 동서동 19-2
전화: 051-850-1719(내선)
팩스: 051-850-3011
홈페이지: www.kriso.or.kr



시험서번호: KRISO-2017-006
페이지(1)/총(10)

1. 의뢰자
 기관명: 한국 동지역 주식회사
 주소: 대구광역시 달성군 구지면 달성2차 4동 5

2. 시험대상품목 또는 물질, 시험명
 시험명: 해머질 거대
 시험구분: 2017-006

3. 시험기간
 2017. 04. 04(1일간)

4. 시험방법
 KR PB-05-K (2012) 침수선 규격 306 압력용기 및 기구

5. 시험결과

시험품목	시험명	시험구분	결과
압력용기 및 기구	해머질 거대	2017-006	• 압력 용구변형 없음. • 시험 결과 적용상태 이상 없음.

작성자
 명명: 김진민 (인) 기술책임자 명명: 이승우 (인)

본 성적서는 국제시험기관인증협약(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호 인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국선정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2017년 04월 21일

한국선정기구 인준 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소장 (인)

KRISO-QP-02-01 1/4 (2)

시험일자(2017.07.04) / 개정일자(2016.06.27.)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
주소: 부산광역시 중구 동서동 19-2
전화: 051-850-1719(내선)
팩스: 051-850-3011
홈페이지: www.kriso.or.kr



시험서번호: KRISO-2017-006
페이지(2)/총(10)

【 시험상세내역 】

1. 시험정보

시험명	시험구분	요령명	중수압력 (MPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
해머질 거대	2017-006	TC-080	25.000	629.50W ± 276.00H ± 195.00L	AL6061-T6	45.9

2. 시험장비

장비명	형명(모델명)	사양	계량단위	교정일
교정 장비 시험장비	MCEP8000CP	압력 : 0 ~ 80.000 MPa	중수 (Fresh Water)	2017.03.27 (압력센서와 무게 측정용 무지)

3. 시험방법
 KR PB-05-K (2012)
 침수선 규격 306 압력용기 및 기구

4. 시험항목

압력용기 및 기구
 압력용기에 대하여는 결번 또는 결번된 작업 이전에 허용되고 중수압력의 1.5배 이상의 압력으로 수압시험을 하여야 하며, 시험 후, 용기의 외벽에 영구변형이나 누수기 없어야 한다.

※ 시험압력 : 27.500 MPa 이상 (중수압력(25.000 MPa)의 1.5배)
 ※ 압력지속 시간 : 1.800 s

KRISO-QP-02-01 2/4 (2)

시험일자(2017.07.04) / 개정일자(2016.06.27.)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
주소: 부산광역시 중구 동서동 19-2
전화: 051-850-1719(내선)
팩스: 051-850-3011
홈페이지: www.kriso.or.kr



시험서번호: KRISO-2017-007
페이지(1)/총(8)

1. 의뢰자
 기관명: 한국 동지역 주식회사
 주소: 대구광역시 달성군 구지면 달성2차 4동 5

2. 시험대상품목 또는 물질, 시험명
 시험명: 해머질 크리프
 시험구분: 2017-012

3. 시험기간
 2017. 04. 12(1일간)

4. 시험방법
 KR PB-05-K (2012) 침수선 규격 306 압력용기 및 기구

5. 시험결과

시험품목	시험명	시험구분	결과
압력용기 및 기구	해머질 크리프	2017-012	• 압력 용구변형 없음. • 시험 결과 적용상태 이상 없음.

작성자
 명명: 김진민 (인) 기술책임자 명명: 이승우 (인)

본 성적서는 국제시험기관인증협약(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호 인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국선정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2017년 04월

한국선정기구 인준 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소장 (인)

KRISO-QP-02-01 1/4 (2)

시험일자(2017.07.04) / 개정일자(2016.06.27.)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
주소: 부산광역시 중구 동서동 19-2
전화: 051-850-1719(내선)
팩스: 051-850-3011
홈페이지: www.kriso.or.kr



시험서번호: KRISO-2017-007
페이지(2)/총(8)

【 시험상세내역 】

1. 시험정보

시험명	시험구분	요령명	중수압력 (MPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
해머질 크리프	2017-012	TC-080	25.000	645.190 ± 435.00 ± 350.00L	AL6061-T6	30.0

2. 시험장비

장비명	형명(모델명)	사양	계량단위	교정일
교정 장비 시험장비	MCEP8000CP	압력 : 0 ~ 80.000 MPa	중수 (Fresh Water)	2017.03.27 (압력센서와 무게 측정용 무지)

3. 시험방법
 KR PB-05-K (2012)
 침수선 규격 306 압력용기 및 기구

4. 시험항목

압력용기 및 기구
 압력용기에 대하여는 결번 또는 결번된 작업 이전에 허용되고 중수압력의 1.5배 이상의 압력으로 수압시험을 하여야 하며, 시험 후, 용기의 외벽에 영구변형이나 누수기 없어야 한다.

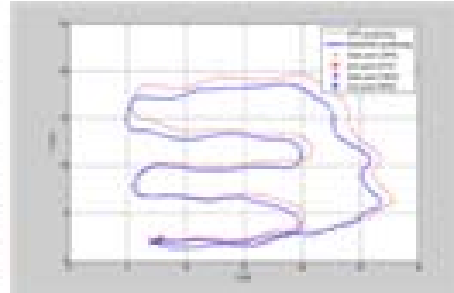
※ 시험압력 : 27.500 MPa 이상 (중수압력(25.000 MPa)의 1.5배)
 ※ 압력지속 시간 : 1.800 s

KRISO-QP-02-01 2/4 (2)

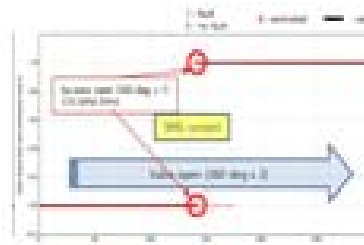
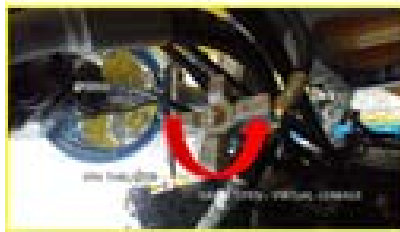
시험일자(2017.07.04) / 개정일자(2016.06.27.)

○ 핵심 요소 기술 개발

- 정밀 복합 항법 : 실해역 성능 시험시 정밀도 0.84% 달성



- 매니플레이터 비주얼 어시스턴스 : 터치 기반 위치/자세 어시스턴스 개발
- 매설작업 3D 실시간 구현
- 고장진단 : 성능 시험에서 검출 정확도 94% 달성



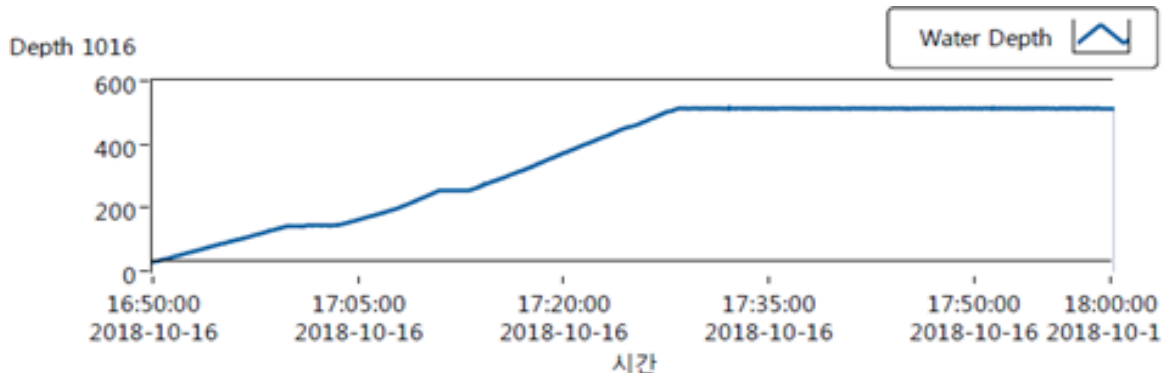
□ 3핵심과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
실해역 실험	<ul style="list-style-type: none"> • 최종 플랫폼 실해역 실험 • 최종 장착 툴 실해역 실험 	1,000,000	전체
시스템 업그레이드 및 표준모델, 매뉴얼 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 수정안 반영된 시스템 업그레이드 • 표준모델 제시 • 매뉴얼 작성 	762,670	KIOST, KOC

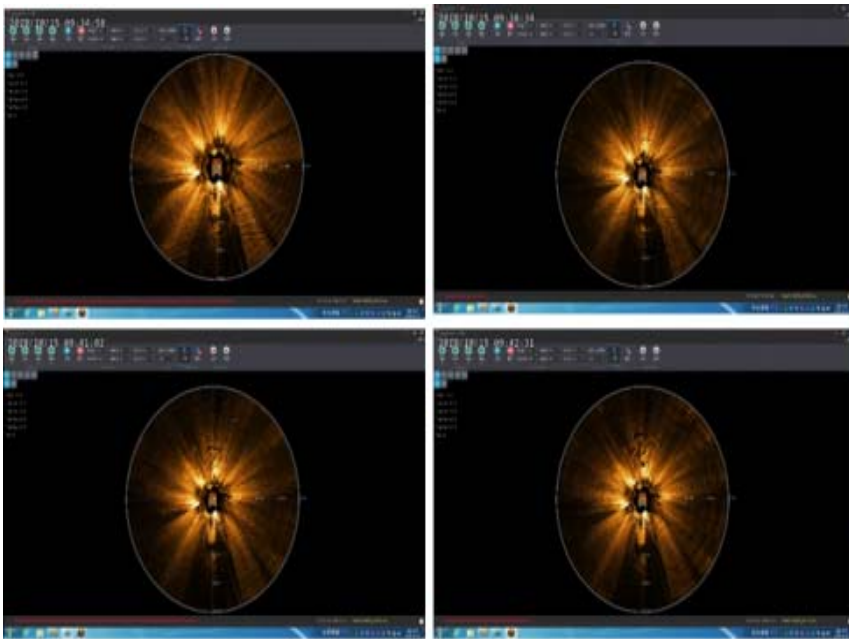
연구개발계획 요약 기술

○ 실해역 시험

- 작업수심 : 513m 달성



- 이동가능 지반 : 14kPa 달성



깊이 (cm)	특이성	조각편수			
		평균도 (개)	분포도 (개)	최대	최소
0	유무	2.6	2.3	0.3	2.3
25	유무	1.2	1.1	-0.2	1.3

깊이 (cm)	0	25
편도(도) (개)	10.0	14.3



N36°27.237' E129°41.090'
해당 지역 수심 : 100m

- 작업가능 지반 : 85MPa 달성



트렌칭 작업 후 출수된 장비에
놓여있던 작업석들(화강암)



화강암 크기

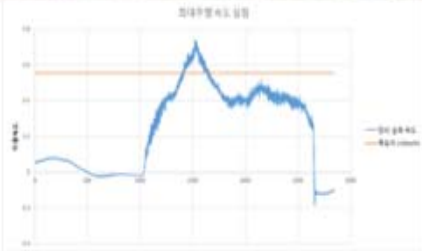


New Test Test									
2014									
Test	2014-01-20				2014-01-21				
Depth	Velocity	Time	Distance	Volume	Area	Volume	Area	Volume	Area
1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

작업한 화강암 압축강도 : 85 MPa

- 주행 속도 : 육상 2.6km/hr, 해상 2.3km/hr 달성

육상 실험



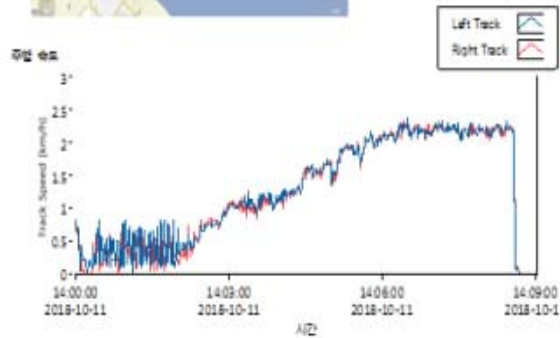
측정치 : 2.6km/h (최대)

해상 실험



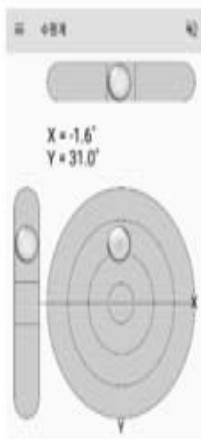
UTEC 전면 해상
(N36°07.807' E129°25.404')

해당 지역 수심 : 15m



측정치 : 2.3km/h (최대)

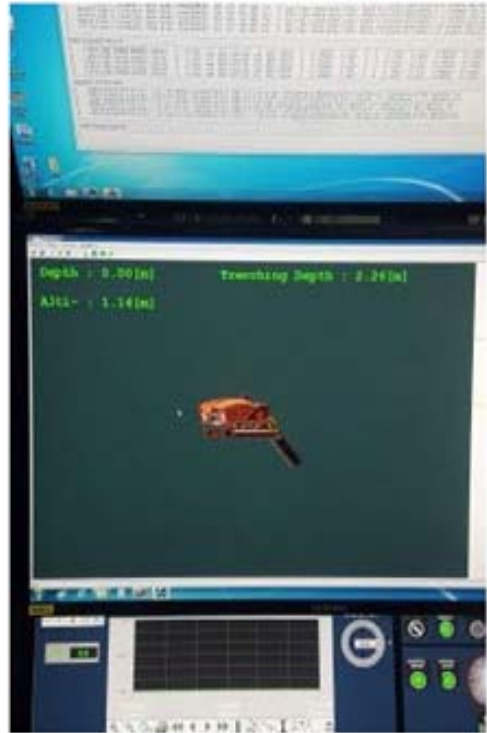
- 등판각 : 31도 달성



- 매설심도 : 육상 2.03m, 해상 2.7m 달성



<트랜칭 깊이 0.9m 측정>

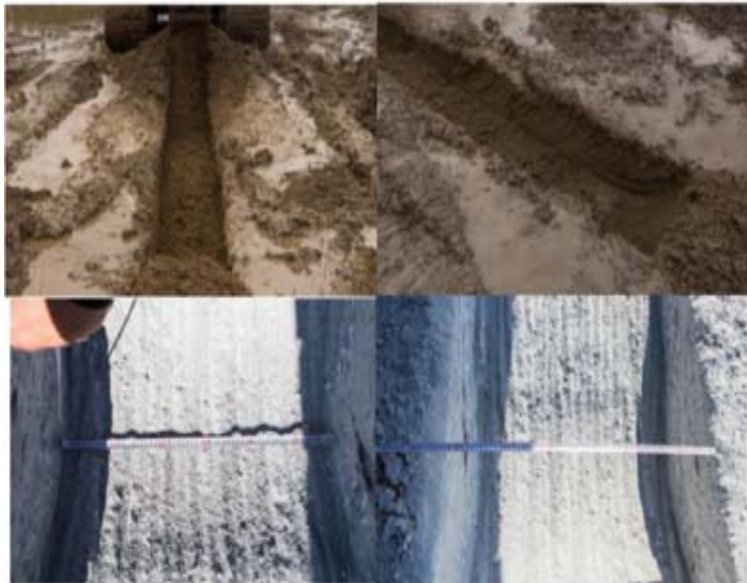


<운영실 화면에서 트랜칭 깊이 2.26m 제시(토사조건)>

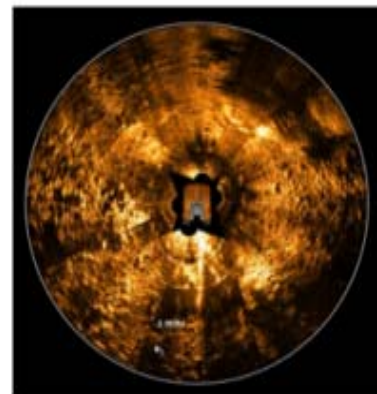


<트랜칭 깊이 0.5m 측정>

- 매설폭 : 육상 0.6m, 해상 0.96m 달성



<트랜칭 폭 0.6m 측정>

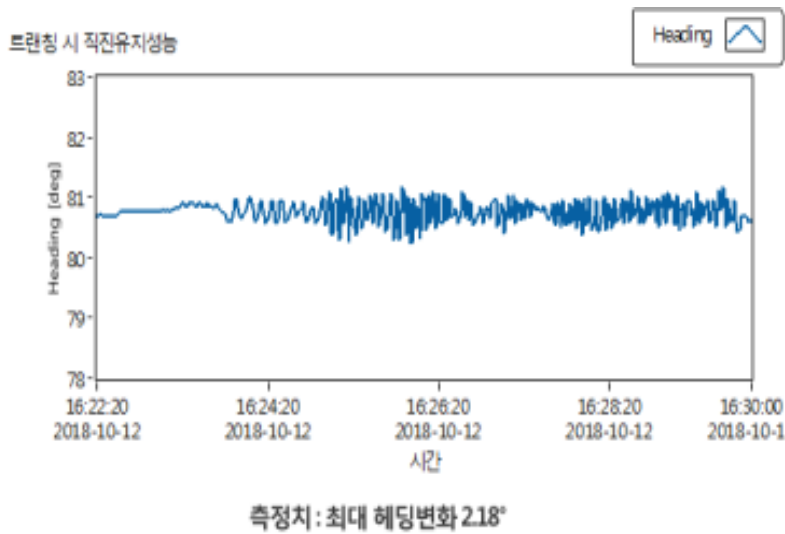


매설폭 0.96m

- 트랜칭 속도 : 530m/hr 달성



- 트랜칭시 직진유지 성능 : 2.18도 달성



UTEC 전면 해상
(N36°07.807' E129°25.404')

해당 지역 수심 : 15m

○ URI-R 운용 매뉴얼

- 케이블 결선, Power Van Operation, Control Van Operation, 조작 매뉴얼 작성

○ URI-R 유지관리 매뉴얼

- 장비 유지보수 문서, 수중로봇 장비 유지보수 문서, 문서작성 및 관리 요령 구분

- 핵심 ROV 중요장비 유지보수, 전기장비, Main-lift Umbilical Cable 체결, 광 통신 케이블, 메가 옴 메터, 슬립링, 엄블리컬 케이블 구분

□ 총괄과제

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위	연구비(천원)	수행기관
현장실증실험 지원시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 실험역 실험에 필요한 용선 및 선상지원시스템 구축(보험 포함) • 수중로봇에 대한 실증실험 수행 (천해 조건 및 500m 수심) • 실증실험을 통한 객관적 성능 검증 방안 적용 및 보완 • 수중장비 실증실험 운용 결과 분석 	3,578,000	사업단
실용화 전략 수립	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립 • 사업화 지원 	80,000	사업단
사업단 운영	<ul style="list-style-type: none"> • Post 사업단과제 기획 및 예산 확보 • 핵심과제별 성공적 마무리를 위한 근접 성과 관리 • 사업단 핵심결과물의 실용화/사업화 역량 집중 • 홍보 강화 	570,000	사업단

연구개발결과 요약 기술
<p>○ 현장실증실험 지원시스템 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험역 실험에 필요한 용선 및 선상지원시스템 구축(II) • 수중로봇에 대한 실증실험(500m 수심) 수행(1, 2, 3핵심 개별 실험) • 실증실험을 통한 객관적 성능 검증 적용 및 보완(객관적이고 공신력 있는 기관 또는 전문가를 통한 성능 검증) • 수중장비 실증실험 운용 결과 분석 <p>○ 실용화 전략 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> • 장단기 추진계획 수립 • 상세추진 일정 계획 수립 • 2단계 사업 기획 보완 • 파급효과 분석 <p>○ 사업단 운영</p> <ul style="list-style-type: none"> • Post 사업단과제 기획 <ul style="list-style-type: none"> - 2단계 사업과제 기획 完 : 사업화 추진주체가 주관기관이면서 해양건설산업 분야의 현장적용 및 활용방안 등에 대한 구체적 비즈니스 제시 - 2단계 사업단과제 예산 확보를 위한 대외 활동 • 핵심과제별 성공적 마무리를 위한 근접 성과 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심과제별 성공적 실증테스트를 위한 근접 성과지원 및 관리 • 사업단 핵심결과물의 실용화/사업화 역량 집중 <ul style="list-style-type: none"> - 핵심과제별 결과물의 기술 및 제품 사업화(기술이전 등) 성공을 위한 집중 지원 • 연구개발 단계에서 발생한 유·무형적 연구개발 성과를 각 핵심별로 구분하여 제시 • 홍보강화 <ul style="list-style-type: none"> - 성능실험 결과 등 홍보 영상 및 자료 확보 - 국내·외 학회, 전시회 참여 및 수요자 면담

□ 인프라 구축

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용 및 범위		연구비(천원)	수행기관
사업단 인프라 운영 및 전문성 강화	성능인증 기관계획 수립 및 핵심과제 수조 내 성능시험	매뉴얼 수립 및 핵심과제 수조 내 성능시험	100,000	사업단

연구개발결과 요약 기술
<ul style="list-style-type: none"> ○ 사업단 인프라 운영 <ul style="list-style-type: none"> • 1,2,3 핵심과제 성능 테스트를 위한 인프라 운영 및 유지관리 • 인프라 유지관리 및 성능 보완 • 핵심과제 외 조류발전 등 인프라 활용 제고 • 수중로봇 성능인증 기관 계획수립 ○ 사업단 인프라 전문성 강화 <ul style="list-style-type: none"> • 실험 서비스 전문화 및 실험 분야 확대 • 인프라 국내/외 홍보 강화 • 해외 인증기관 협력 및 국내·외 네트워크 구축 • 단계적 발전전략 수립 • 수중건설로봇 실용화 기반 구축 ○ 관련 기업 유치

4

목표 달성도 및 관련 분야 기여도



4

목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표달성도

※ 각 핵심 및 총괄과제 세부 수행 내용은 부록 참조

가. 1차년도(2013년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
1차년도 (2013년)	고화질 영상 전송 시스템	channel	1 ch	25	2ch(일본)	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	2 ch 프로토타입	25	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서 기반 햅틱	햅틱구현기술	데이터처리구조	20	햅틱기술	설계 결과	100
	유압 매니플레이터	자유도	5축급 설계	30	5축(미국)	설계 결과	100

번호	1핵심 1차년도 - 1	담당 기관	레드윈
성과목표	고화질 영상 전송 시스템	성과지표	channel
목표값	1 ch	달성값	1 ch
날짜	2014년 5월	장소	레드윈테크놀러지
평가방법	시연	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- 스테레오 비전시스템 (Machine vision camera x 2)
- Optic to HD SDI receiver
- HD SDI 비디어 서버
- 광케이블

■ **실험 결과**

- 1 ch의 광라인을 통한 영상출력 확인

시스템 구성도	시스템 연결 및 시험
<p>The diagram shows the system architecture. An Underwater Camera is connected to a Digital Connector (CN1) and a Main Connector (CN2). CN1 is connected via a Fiber Optic Cable to an Optic to HD SDI Receiver, which is then connected to an HD SDI Video Server (with Data Storage) and a Video Monitor. CN2 is connected via a Fiber Optic Cable to an In-Vehicle Processor and CWDM Mux, which is then connected to a Media Converter and an On-Ship Controller.</p>	<p>A photograph of the physical system setup. Labels indicate the Surface System, Subsea System, Camera & Subsea sensor, Ethernet Switch, CWDM Mux, In-vehicle Processor, and Optic cable (500m).</p>

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경 및 조건
 - ROV 조작을 위한 고해상도 영상을 획득하기 위한 카메라 시스템으로 Kongsberg 사의 HD 수중카메라 발주한 상황
- 시험방법
 - 별도의 임시카메라를 이용하여 시스템을 구성하고 1ch의 광라인을 통해 영상이 출력-저장 수행되는지 확인 하였음

번호	1핵심 1차년도 - 2	담당 기관	KRISO
성과목표	수중 음향 전송 시스템	성과지표	channel
목표값	2 ch 프로토타입	달성값	2 ch 프로토타입
날짜	2014년	장소	KRISO
평가방법	설계 결과 및 시연	검증 여부	자체

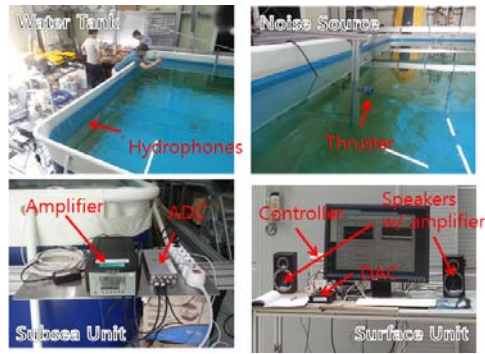
결과

■ 실험 결과

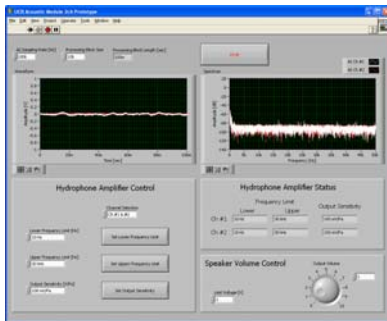
- 2채널 수중음향 신호 전송 시험



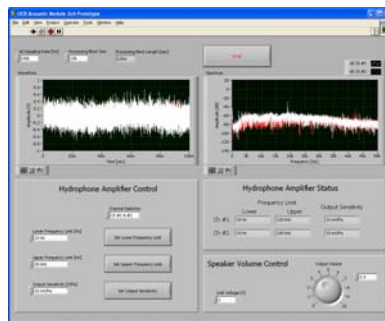
수중음향 전송 시스템 Lab 시험 장치



수중음향 전송 시스템 수조 시험 장치



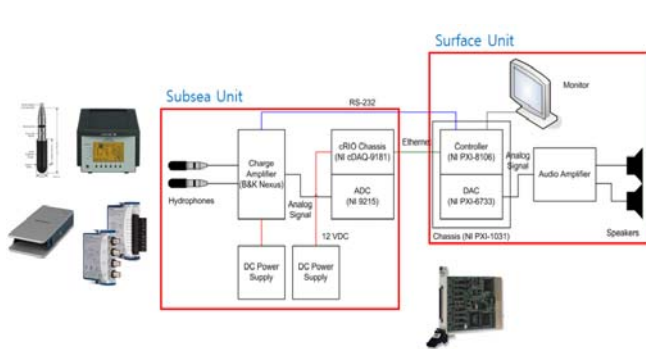
배경잡음 신호 및 스펙트럼



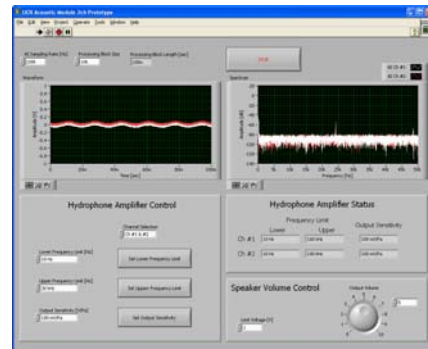
추진기 구동시 음파 신호 및 스펙트럼

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 2채널 수중음향 신호 전송 시스템 프로토타입 구성 및 S/W 제작



2채널 수중음향 전송 시스템 프로토타입 구성도



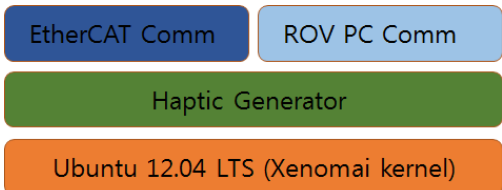
수중음향 전송 시스템 운용 S/W

번호	1핵심 1차년도 - 3	담당 기관	KRISO
성과목표	다중복합센서 기반 햅틱	성과지표	햅틱구현
목표값	데이터처리구조	달성값	데이터처리구조
날짜	2014년 2월	장소	한국기술교육대
평가방법	설계 결과	검증 여부	자체

결과

■ 소프트웨어 설계

- Data Structure

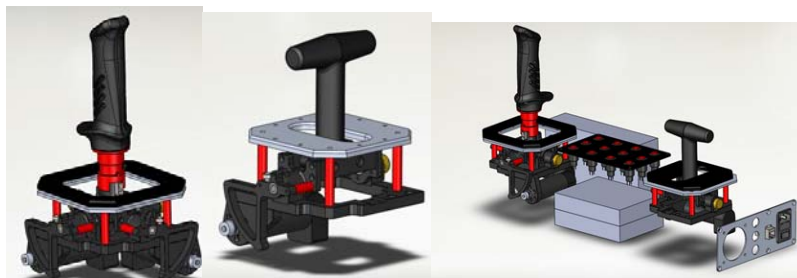
	<p>프로그램 내에는 3개의 Thread가 존재하며 각각 햅틱 반력생성, 모터드라이버와의 통신, ROV 메인 PC와의 통신을 담당하고 있음.</p> <p>ROV PC로부터 ROV의 정보를 얻어 햅틱 Generator가 상황에 알맞은 반력을 생성하고 EtherCAT 통신을 통해 모터드라이버에 명령으로 전달됨.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

■ 하드웨어 설계

- 선정된 모터, 케이블

Motor	X, Y, Z 축	yaw 축	Cable	Min.Breaking strength	DIA
모 델	maxon 310007	maxon 110097	PN 1024	27.2 kg	0.61 mm
Stall torque	1020 mNm	5.44 mNm	PN 1032	45.4 kg	0.813 mm
폴리 R	7 mm				
최대 텐션	145.71 N				
엔코더	500 cpt	512 cpt			
정격토크	85.6 mNm	3.43 mNm			

■ 특기사항 (3D 모델링)



번호	1핵심 1차년도 - 4	담당 기관	KNR
성과목표	유압 매니플레이터	성과지표	자유도
목표값	5축급 설계	달성값	5축급 설계
날짜	2014년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	설계결과	검증 여부	자체

결과

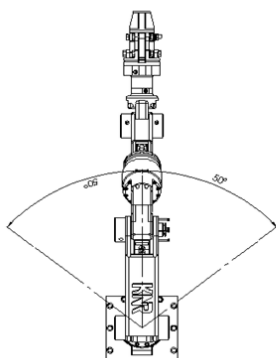
■ 활용 장비

■ 실험 결과

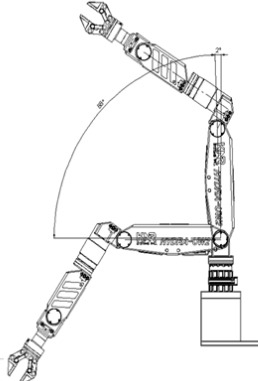
- 5자유도 prototype 매니플레이터 사양 및 설계 결과

Actuator Function	Type	Nominal Mechanical Range
Azimuth	Rotary	100°
Shoulder pitch	Linear	88°
Elbow pitch	Linear	114°
Wrist pitch	Linear	98°
Wrist yaw	Rotary	100°
Wrist roll	Gerotor	360° continuous
Gripper	Linear	80mm

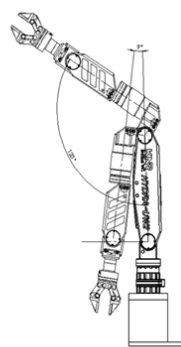
Azimuth



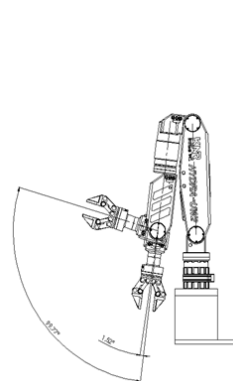
Shoulder



Elbow



Wrist



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
1차년도 (2013년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	설계기준 도출 1차 설계 시안	25	플랫폼 설계	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	수중 유압 기술	유압회로	설계기준 도출 부품별 사양선정	10	유압회로 사양 선정	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
		HPU	사양 및 설계기준 도출	10	HPU 사양 도출	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	설계기준 도출. 실물대비 1:5 시작품 제작	15	워터젯 가능성 확인	자체평가 (설계도면 및 수조테스트)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	설계기준 도출 1차 설계 시안	7.5	사양 선정	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		케이블 커터	설계기준 도출 1차 설계 시안	7.5	사양 선정	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	설계기준 도출 1차 S/W 프레임웍	10	S/W 프레임웍 확보	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100
	핵심기술	유압매니플레이터 정밀 제어	기구학 분석 제어시뮬레이션 구축	7.5	알고리즘 개발 기반 구축	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		수중 정밀 복합항법	S/W 프레임웍 항법센서 사양선정	7.5	알고리즘 개발 기반 구축	자체평가 (설계도면 및 매뉴얼)	100

번호	2핵심-1차년도-①	담당 기관	대양전기
성과목표	플랫폼 기술	성과지표	플랫폼 기술
목표값	설계기준 도출 1차 설계 시안	달성값	설계기준 도출 1차 설계 시안
날짜	2014.6.15	장소	대양전기
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

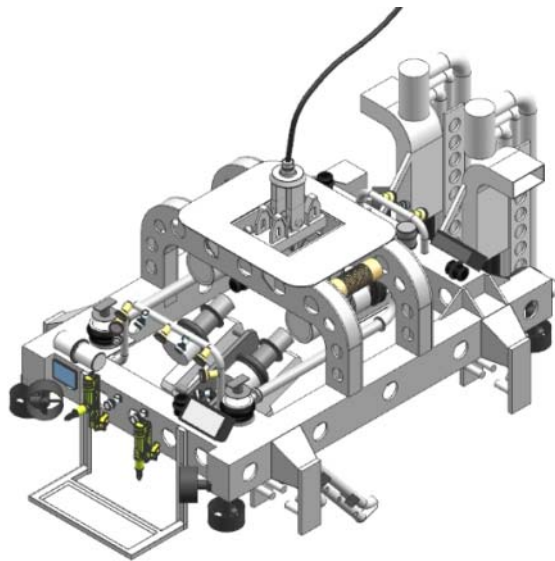
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

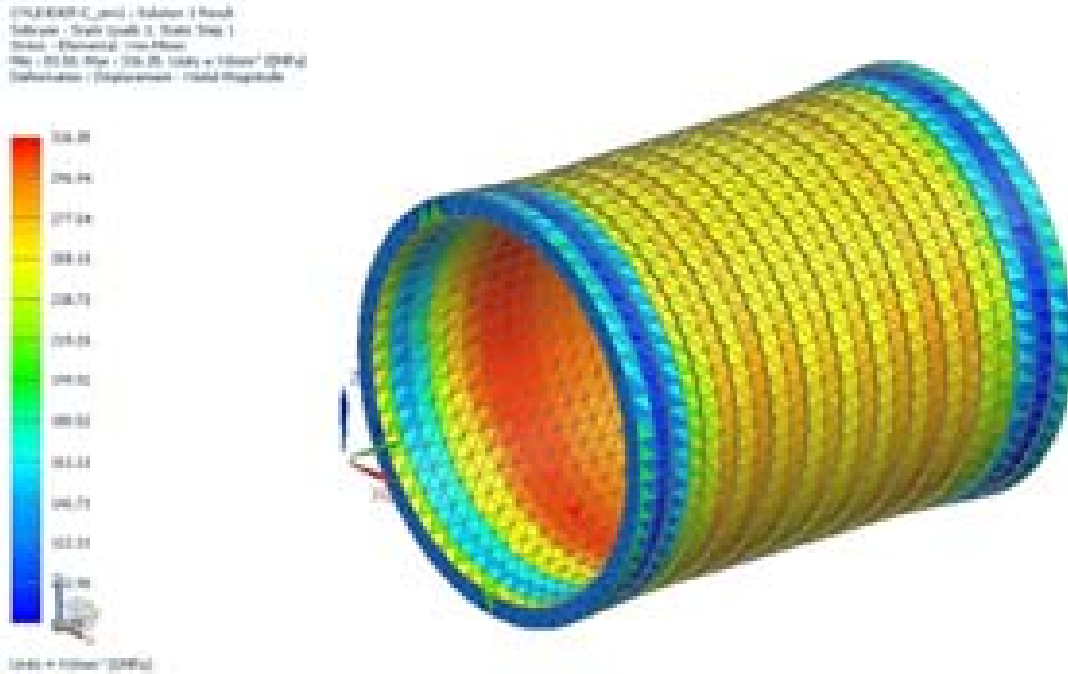
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
플랫폼 기술	설계기준 도출 1차 설계 시안	설계기준 도출 1차 설계 시안	만족

- 프레임 설계 기준
 - 재질 : 중량/가격 대비 강도 및 내부식성이 뛰어난 AL 6061-T6 선정
 - 구조 : 모듈별 제작, 용접 또는 볼팅 방식으로 접합



프레임 구성(안)

- 수중 내압 성능
 - 300 bar 내압 성능 (최대 작업수심 2,500m)
 - 내압용기 재료는 AL6061-T6로 선정, 몸체는 방열 효과를 높이기 위해 주금 구조로 설계



내압용기 구조해석 - 몸체 응력 변화

- 부력재 요구사항
 - 부력재 재료 : Trelleborg사의 TG-3000 (밀도 420kg/m³)

Trelleborg System	Operating depth msw (fsw)	Typical Density kg/m ³ (lbs/ft ³)
Hisyn H2K	2,000(6,600)	450(28)
Hisyn H3K	3,000(10,000)	480(30)
Hisyn H4K	4,000(13,000)	550(34)
CRPe-TG24	2,000(6,600)	400(24)
CRPe-TG28	3,000(10,000)	450(28)
TG3000	3,000(9,850)	416(26)
CRP-AS32	4,000(13,000)	660(40)
CRP-AB38	7,000(23,000)	700(43)

부력재 선정

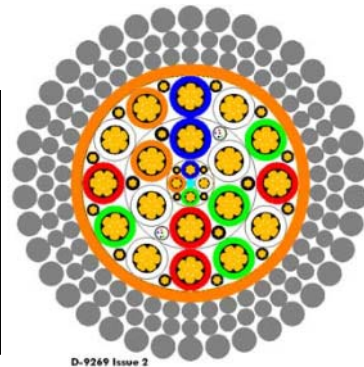
- 전원공급 수요
 - 필요 전력 : 1,300kW
 - 상세 전원공급 수요 분석

전 력	전압 및 용량	
계측 장비 구동	4,000 VAC, 1-Phase	5.5 KVA
HPU 모터 구동	4,000 VAC, 3-Phase	490 KVA
워터 펌프(STBD)	4,000 VAC, 3-Phase	400 KVA
워터 펌프(PORT)	4,000 VAC, 3-Phase	400 KVA
합계	4000 VAC, 1-Phase 1EA, 4000 VAC, 3-Phase 3EA,	1,295.5 KVA

플랫폼 시스템 별 상세 필요 전력

- Umbilical 케이블 사양 분석
 - 3상 전원 : 3,800~4,400VAC, 60Hz
 - Earth fault protection core : 케이블 손상 감지용 접지 이상 감지선 2가닥 배치
 - 광통신 : 2채널 (spare 1채널)

Power conductor, 13.3mm ² , 4.5kV	18 off
Power conductor, 1.5mm ² , 3.3kV	4 off
Fiber optic element, 6SM	2 off



Type	Conductors (mm ²)	Phase current (A)	Input voltage (kV)	Output voltage (kV)	Output power (kVA)
ROV Water Pump #1, 3-phase	2x3x13.3mm ²	45.0	4.30	4.16	325
ROV Water Pump #2, 3-phase	2x3x13.3mm ²	45.0	4.30	4.16	325
ROV HPU, 3-phase	2x3x13.3mm ²	52.0	4.33	4.16	375
Inst. Power, 1-phase	2x(2x1.5mm ²)	3.05	2.05	1.97	6

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-②	담당 기관	레베산업
성과목표	수중 유압 기술	성과지표	유압회로
목표값	설계기준 도출 부품별 사양 선정	달성값	설계기준 도출 부품별 사양 선정
날짜	2014.06.20	장소	레베산업
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
유압회로	설계기준 도출 부품별 사양 선정	설계기준 도출 부품별 사양 선정	만족

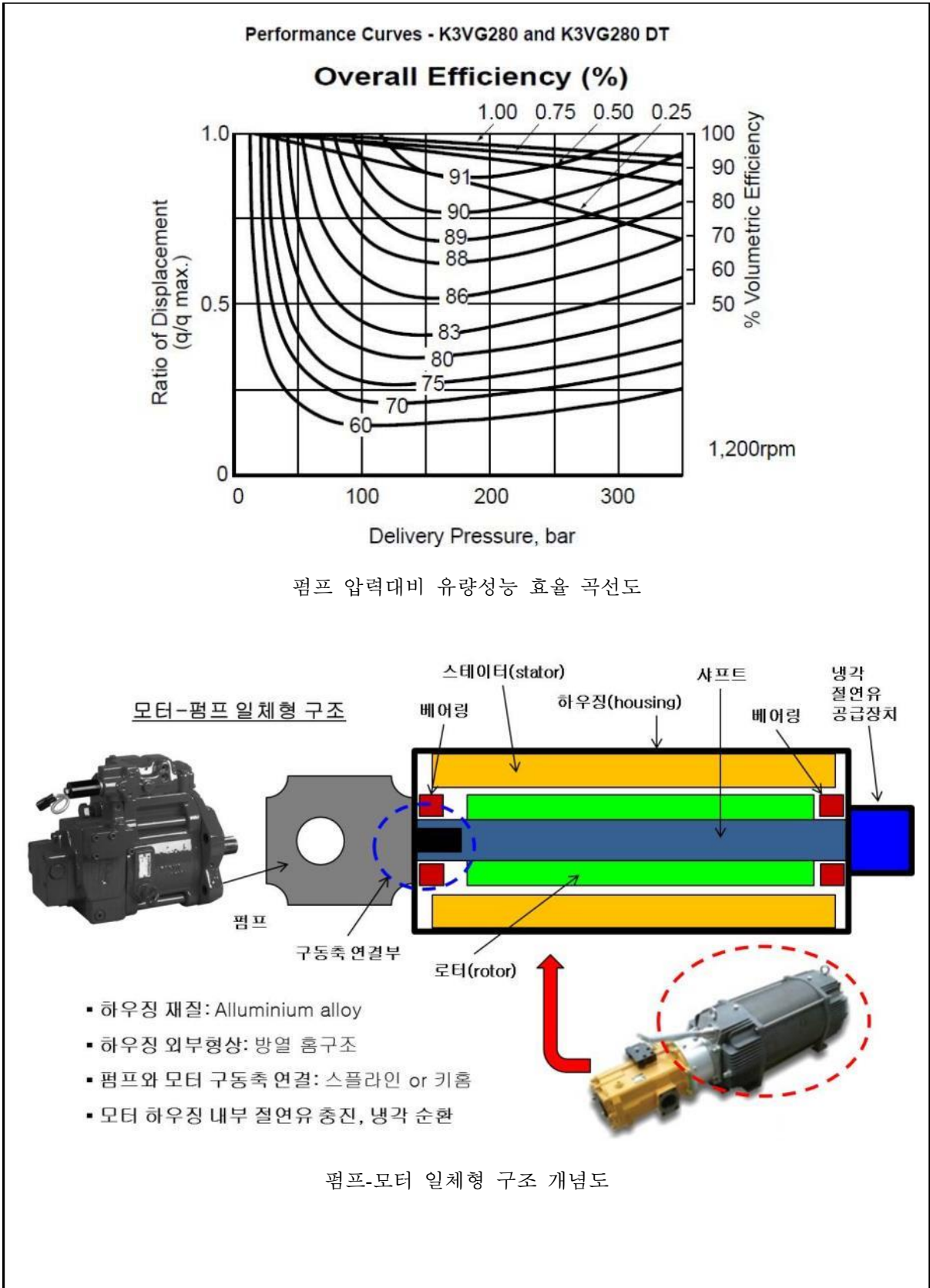
- 유압 파워팩 사양 선정

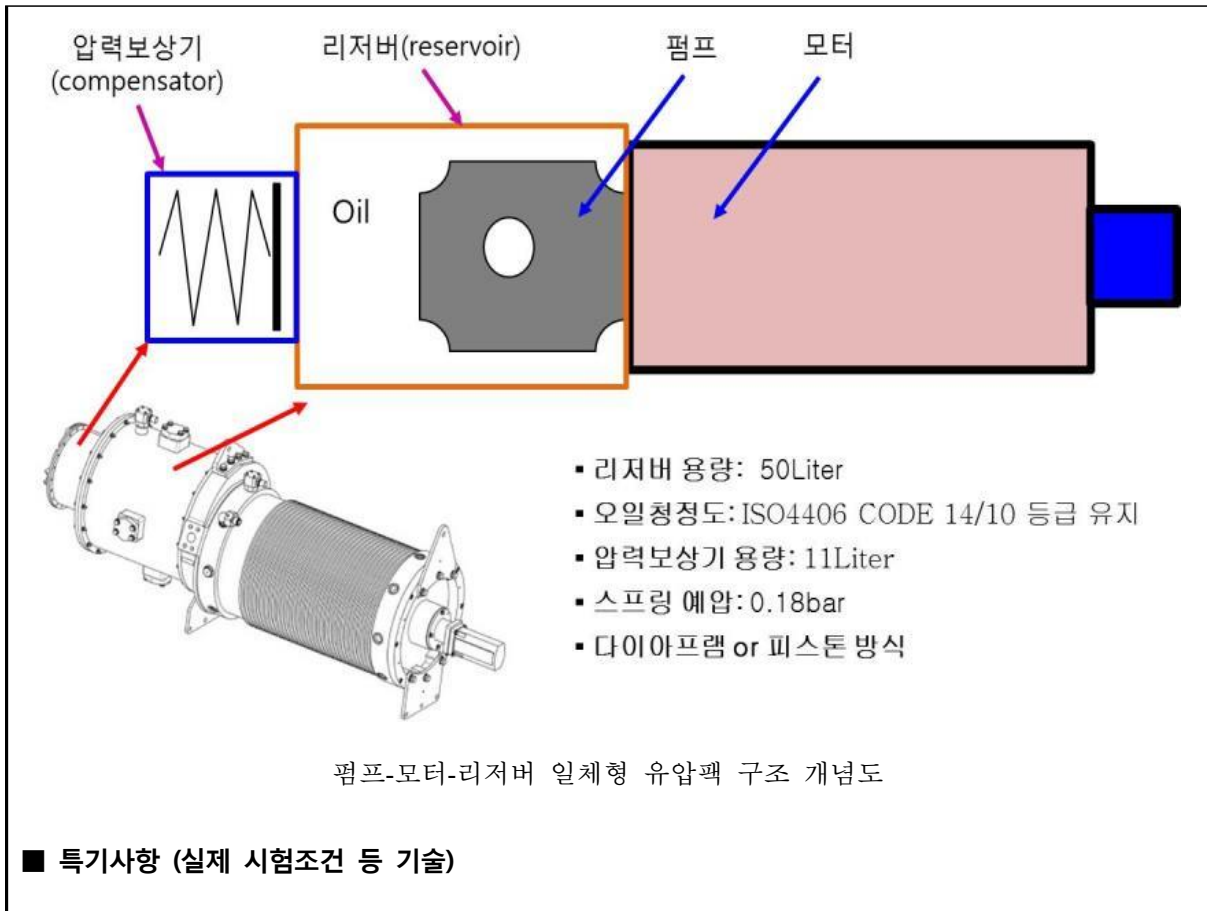


- 메이커: KAWASAKI hydraulic Products(일본)
- 모델명: K3VG-280-10NS
- 형식: 가변 피스톤펌프
- 사이즈: 300*539*413mm(W*D*H)

Pump Model		280
Displacement	cm ³ /rev	280
Rated Pressure ⁽¹⁾	bar	350
Peak Pressure ⁽²⁾	bar	400
Rated Power (kW)		255
Max Flow (@ rated speed)	l/min	390
Rated Speeds at suction pressures >or = to -0.1 bar	rpm	1500
Maximum operating Speeds at suction pressures >or = to +1 bar	rpm	2000
Mass	kg	160

선정 유압펌프와 사양





번호	2핵심-1차년도-③	담당 기관	레베산업
성과목표	수중 유압 기술	성과지표	HPU
목표값	사양 및 설계기준 도출	달성값	사양 및 설계기준 도출
날짜	2014.6.20	장소	레베산업
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

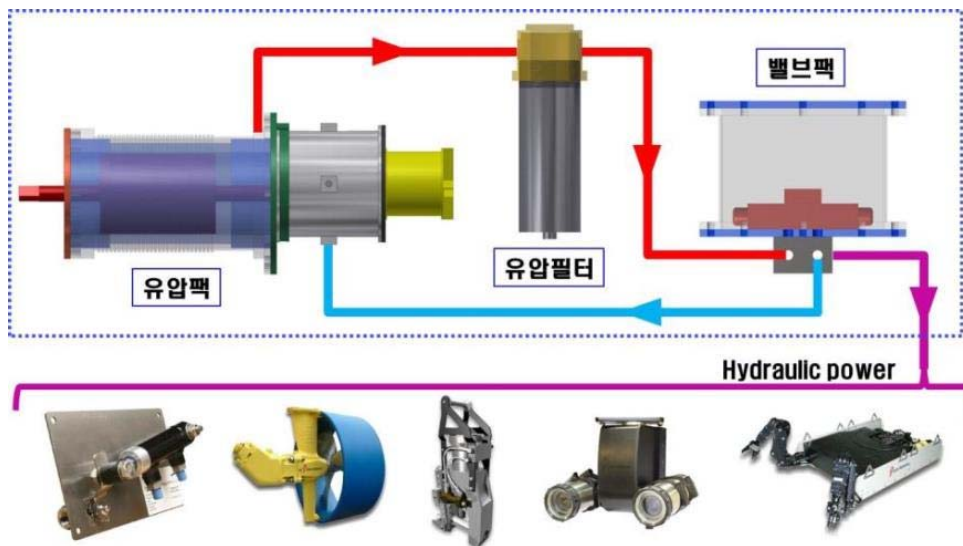
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
HPU	사양 및 설계기준 도출	사양 및 설계기준 도출	만족

- 유압공급장치(펌프) 최종 출력 사양 : $\geq 225\text{kW}@180\text{bar}$
- 폐회로 유압회로 개념정립



수중 유압공급장치 전체 구성과 흐름도

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-④	담당 기관	KT서브마린
성과목표	수중 워터젯 기술	성과지표	수중 워터젯 기술
목표값	설계기준 도출 실물대비 1:5 시작품 제작	달성값	설계기준 도출 실물대비 1:5 시작품
날짜	2014.06.15	장소	KT서브마린
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 워터젯 기술	설계기준 도출	설계기준 도출	만족
수중 워터젯 기술	실물대비 1:5 시작품 제작	실물대비 1:5 시작품 제작	만족

• 워터젯 목표 사양

매설지반 허용응력	100kPa	
매설속도	300m/h	
	0.084m/s	
매설속도에 따른 노즐분사거리	0.15m@100kPa	
S.F(안전율)	2	
노즐분사거리	0.3m@100kPa	

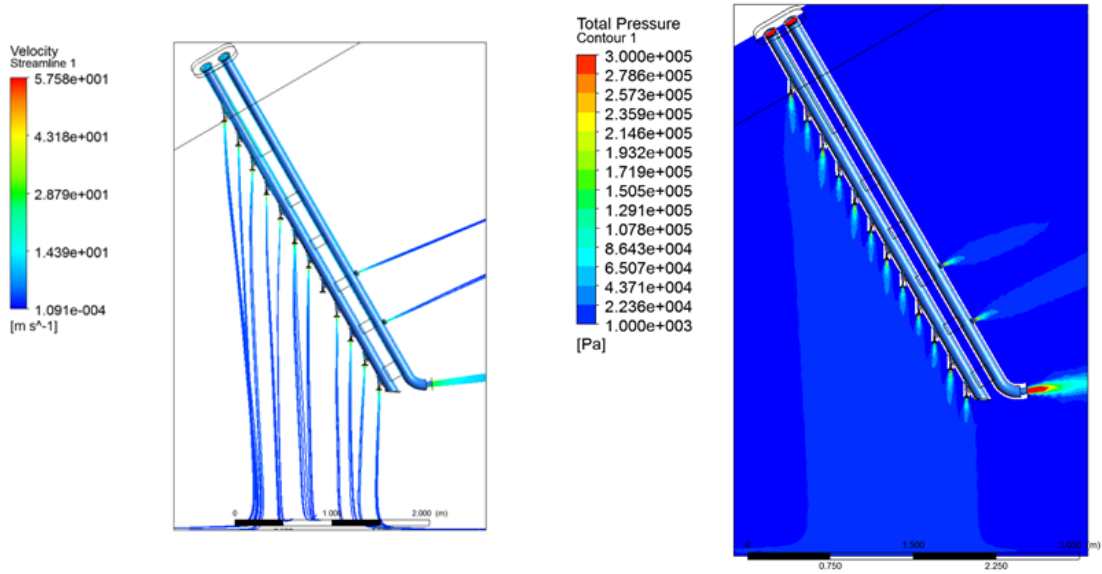
Jetting 능력의 목표사양

• 워터펌프 목표 사양

구분	출력	유량	압력
Low pressure water pump	250HP	840m ³ /h (최대 930m ³ /h)	7Bar (최대 8Bar)

워터펌프 목표사양

• 실물대비 1:5 시제품 제작



유동스트림(유속표시)

노즐외부압력

Jetting arm CFD해석결과

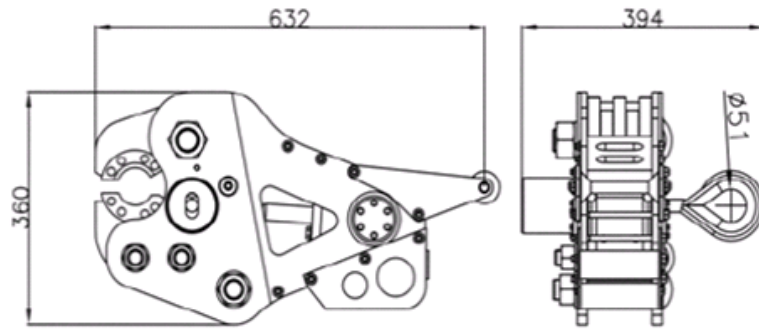
구분	Jetting 노즐	Backwash 노즐		
		No.1	No.2	No.3
유속(m/s)	48.6	29.5	29.5	36.2
압력(kPa)	1,257 (약 13Bar)	560.0 (약 5.6Bar)	560.0 (약 5.6Bar)	900.0 (약 9.0Bar)
유량(m ³ /h)	35.0	40.9	41.0	338.0
비고	- Jetting 노즐은 직경이 동일하므로 해석결과와 평균값을 표시 - 노즐외부 압력의 전달거리는 약 0.05m			

해석결과

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-⑤	담당 기관	한국도키멕																					
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 그리퍼																					
목표값	설계 기준 도출 1차 설계 시안	달성값	설계 기준 도출 1차 설계 시안																					
날짜	2014.6.20	장소	한국도키멕																					
평가방법	실측	검증 여부	자체평가																					
결과																								
■ 활용 장비																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">시험 장비</th> <th style="width: 30%;">목적</th> <th style="width: 40%;">비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				시험 장비	목적	비고	N/A																	
시험 장비	목적	비고																						
N/A																								
■ 실험 결과																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">시험항목</th> <th style="width: 25%;">평가기준</th> <th style="width: 25%;">시험결과</th> <th style="width: 25%;">평가결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>케이블 그리퍼</td> <td>설계 기준 도출</td> <td>설계 기준 도출</td> <td>만족</td> </tr> <tr> <td>케이블 그리퍼</td> <td>1차 설계 시안</td> <td>1차 설계 시안</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				시험항목	평가기준	시험결과	평가결과	케이블 그리퍼	설계 기준 도출	설계 기준 도출	만족	케이블 그리퍼	1차 설계 시안	1차 설계 시안										
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과																					
케이블 그리퍼	설계 기준 도출	설계 기준 도출	만족																					
케이블 그리퍼	1차 설계 시안	1차 설계 시안																						
<ul style="list-style-type: none"> • 설계기준 																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">항목</th> <th style="width: 30%;">사양</th> <th style="width: 40%;">비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>당김력</td> <td>23톤(최대)</td> <td>라인부하(안전작동부하 아님) SWL:Safe working load</td> </tr> <tr> <td>케이블 형식</td> <td>피복 혹은 경량</td> <td></td> </tr> <tr> <td>케이블 지름</td> <td>17-100mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>작동유</td> <td>광유계 오일</td> <td></td> </tr> <tr> <td>중량(대기/수중)</td> <td>35kg/25kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>외형크기</td> <td>360*394*632</td> <td>가로*세로*높이</td> </tr> </tbody> </table>				항목	사양	비고	당김력	23톤(최대)	라인부하(안전작동부하 아님) SWL:Safe working load	케이블 형식	피복 혹은 경량		케이블 지름	17-100mm		작동유	광유계 오일		중량(대기/수중)	35kg/25kg		외형크기	360*394*632	가로*세로*높이
항목	사양	비고																						
당김력	23톤(최대)	라인부하(안전작동부하 아님) SWL:Safe working load																						
케이블 형식	피복 혹은 경량																							
케이블 지름	17-100mm																							
작동유	광유계 오일																							
중량(대기/수중)	35kg/25kg																							
외형크기	360*394*632	가로*세로*높이																						
케이블 그리퍼 설계 사양																								

- 1차 설계 시안

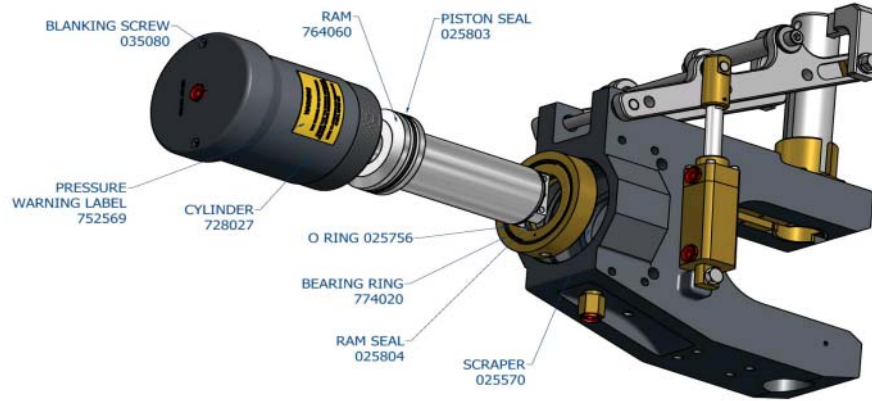


케이블 그리퍼 시안

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-㉔	담당 기관	한국도κι멕																						
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 커터																						
목표값	설계기준 도출 1차 설계 시안	달성값	400bar(1차 시작품)																						
날짜	2014.6.20	장소	한국도κι멕																						
평가방법	실측	검증 여부	자체평가																						
결과																									
■ 활용 장비																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>시험 장비</th> <th>목적</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N/A</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					시험 장비	목적	비고	N/A																	
시험 장비	목적	비고																							
N/A																									
■ 실험 결과																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>시험항목</th> <th>평가기준</th> <th>시험결과</th> <th>평가결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>케이블 커터</td> <td>설계기준 도출</td> <td>설계기준 도출</td> <td>만족</td> </tr> <tr> <td>케이블 커터</td> <td>1차 설계 시안</td> <td>1차 설계 시안</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					시험항목	평가기준	시험결과	평가결과	케이블 커터	설계기준 도출	설계기준 도출	만족	케이블 커터	1차 설계 시안	1차 설계 시안										
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과																						
케이블 커터	설계기준 도출	설계기준 도출	만족																						
케이블 커터	1차 설계 시안	1차 설계 시안																							
• 설계기준																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>사양</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>케이블 지름</td> <td>100mm (최대)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>케이블 형식</td> <td>피복 혹은 경량</td> <td></td> </tr> <tr> <td>최대 압력</td> <td>640bar(주 절단 압력)</td> <td>요구 최대 압력</td> </tr> <tr> <td>작동유</td> <td>광유계 오일</td> <td></td> </tr> <tr> <td>중량(대기/수중)</td> <td>30kg/23kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>외형크기</td> <td>249*190*620</td> <td>가로*세로*높이</td> </tr> </tbody> </table>					항목	사양	비고	케이블 지름	100mm (최대)		케이블 형식	피복 혹은 경량		최대 압력	640bar(주 절단 압력)	요구 최대 압력	작동유	광유계 오일		중량(대기/수중)	30kg/23kg		외형크기	249*190*620	가로*세로*높이
항목	사양	비고																							
케이블 지름	100mm (최대)																								
케이블 형식	피복 혹은 경량																								
최대 압력	640bar(주 절단 압력)	요구 최대 압력																							
작동유	광유계 오일																								
중량(대기/수중)	30kg/23kg																								
외형크기	249*190*620	가로*세로*높이																							
케이블 커터 설계 사양(FORUM社 TA19에 준함)																									

• 1차 설계 시안



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-⑦	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	선상 관제체계 기술	성과지표	선상 관제체계 기술
목표값	설계기준 도출 1차 S/W 프레임웍	달성값	설계기준 도출 1차 S/W 프레임웍
날짜	2014.06.15	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

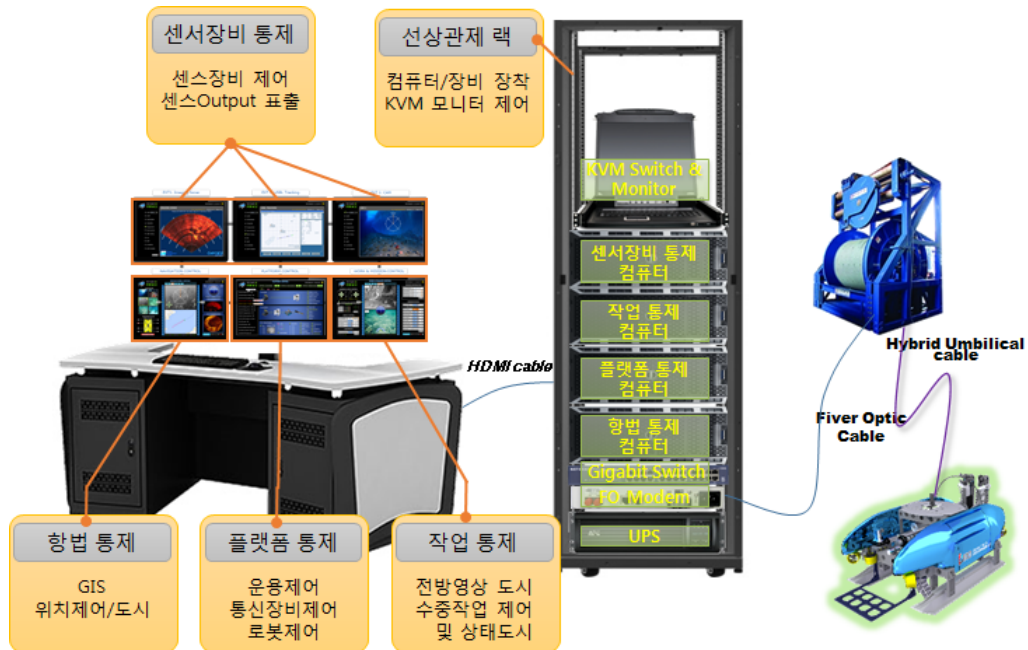
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
선상 관제체계 기술	설계 기준 도출	설계 기준 도출	만족
선상 관제체계 기술	1차 S/W 프레임웍	1차 S/W 프레임웍	만족

• 설계 기준

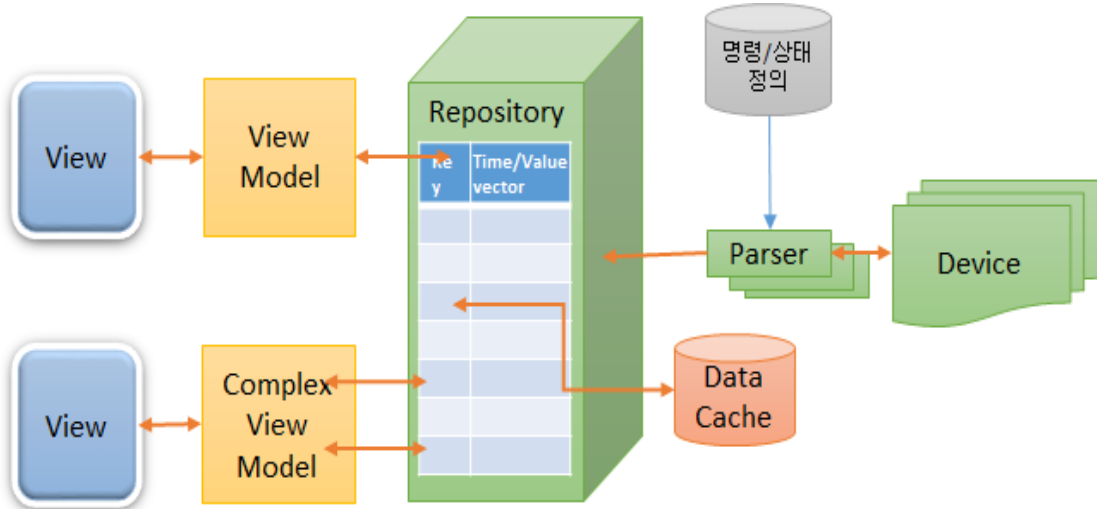


ROV 선상관제 운용개념

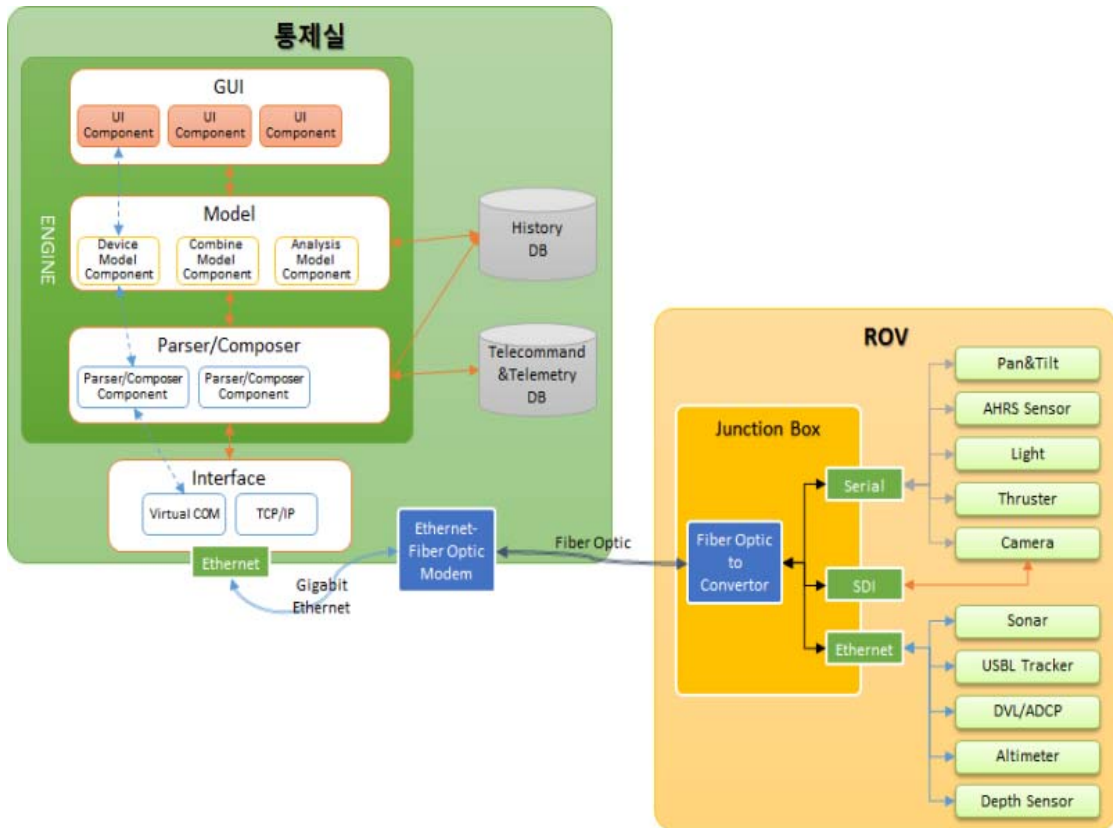
장비	용도	인터페이스	Command	Telemetry
ADCP/ DVL	유속 프로파일 측정 장치로 해류의 속도를 측정	Ethernet RS-485	ASCII 명령 종료문자 : <CR>	1. NMEA data format 2. Binary data 3. NMEA DVL data format
AHRS	ROV 자세 및 이동 방향 감지	RS-232 USB	Hex command 첫 1 Byte로 구분함	1. Binary data
Altimeter	해수면으로부터 ROV 까지의 거리 측정	RS-485 RS-232	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	1. ASCII 2. NMEA 3. DBT
Camera	카메라 제어	RS-485 RS-232	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	ASCII
	가시영상, 적외영상 촬영	Component-Analog HD-SDI Digital	-	Digital video stream
Depth Sensor	해저면까지 거리 측정	RS-485	ASCII 명령 종료문자 : <CR>	ASCII
Light	수중작업 광원	RS-485	ASCII 명령 종료문자 : <CR>	ASCII
Pan &Tilt	카메라, 라이트와 같은 센스를 장치 하고 조향	RS-485	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	ASCII
Imaging Sonar	주변 물체 및 해저면 지형 스캔	Ethernet(80m 이상) VSDL(1000m 이상)	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	ASCII
Scanning Sonar	주변 물체 및 해저면 지형 스캔	RS-232/485 Ethernet	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	ASCII
Thruster	자세제어 분사기로 ROV의 자세 또는 이동을 위한 추진력을 발생시킴	RS-485 Analog	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	ASCII
USBL	ROV 위치	Ethernet RS-232	ASCII 명령 종료문자 : <CR> <LF>	1. CSV 2. NMEA 3. AHRS

관제 장비 인터페이스 요약

• 1차 S/W 프레임워크



Monitoring & Control 소프트웨어 구조



ROV 선상관제 Framework 개념도

모듈	설명
Interface	센서장비와의 통신 인터페이스 드라이버 모듈로 각 장비 별 1개의 객체가 생성되어 동작하게 된다.
Parser/Composer	장비로부터 전송된 상태 및 센서 정보를 추출해 내고, 장비 제어 명령을 만들어 내는 모듈로 Telecommand&Telemetry DB를 활용하여 처리하게 된다.
Model	장비로부터 전달된 상태 및 센서 정보를 사용자 화면으로 전달하기 위한 자료를 만들어 낸다. 실시간으로 전달된 데이터가 변경되면 화면으로 트리거를 보내고 화면이 갱신되게 된다. 모델은 크게 3가지 형태를 가지게 된다. - Device Model : 장비 정보를 변환 및 단순 알고리즘을 통하여 정보를 생산하는 모델. - Combine Model : 2개 이상의 장비 정보를 조합하여 화면에 표시될 자료를 산출하는 모델. - Analysis Model : 저장되어 있는 과거 자료를 분석하여 Trend나, 특정 패턴을 찾아내어 차트나 통계 형태의 데이터를 산출하는 모델로 사용자 정의 알고리즘이 있을 경우 이 모델을 활용하여 구성할 수 있다.
View	사용자 화면으로 Model로부터 실시간으로 자료를 전달 받아 그래픽으로 표출하고, 사용자가 키나 마우스로 입력한 명령을 전달하는 역할을 한다. 하나의 모델에 여러개의 View를 연결하여 구성할 수 있다.
Telecommand & Telemetry DB	명령어 및 상태정보/장비정보 구성 데이터베이스로 명령어 세트나 장비로부터 전송된 정보의 구성 형태를 분석/전의하여 DB화하고 Parser 및 Composer에서 활용할 수 있도록 한다. 장비의 명령어의 형태가 바뀔 경우 모듈을 새로 개발하는 것이 아니라 DB만 변경하여 바로 적용할 수 있는 형태가 되는 것이다.

ROV 선상관제 모듈 구성

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-⑧	담당 기관	포스텍
성과목표	핵심기술	성과지표	유압매니퓰레이터 정밀 제어
목표값	기구학 분석 제어시뮬레이션 구축	달성값	기구학 분석 제어시뮬레이션 구축
날짜	2014.06.15	장소	포스텍
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

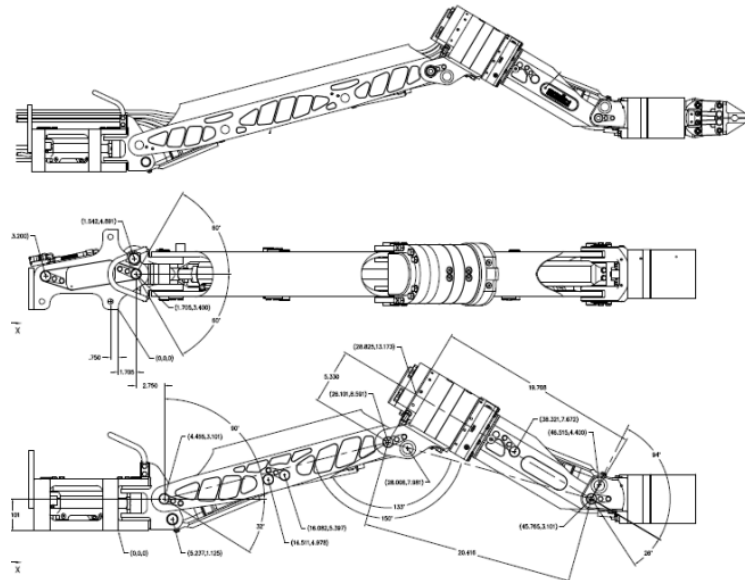
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

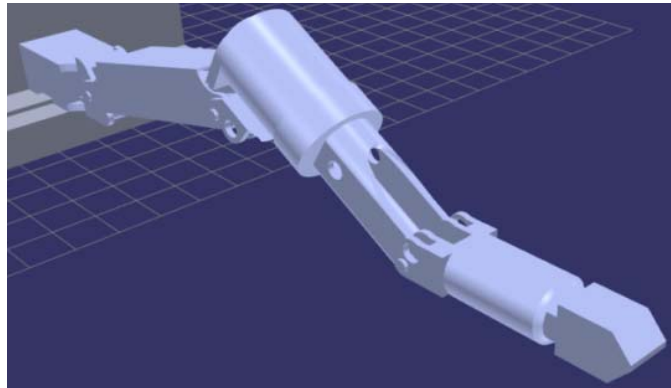
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
유압매니퓰레이터 정밀 제어	기구학 분석	기구학 분석	만족
유압매니퓰레이터 정밀 제어	제어시뮬레이션 구축	제어시뮬레이션 구축	만족

• 기구학 분석

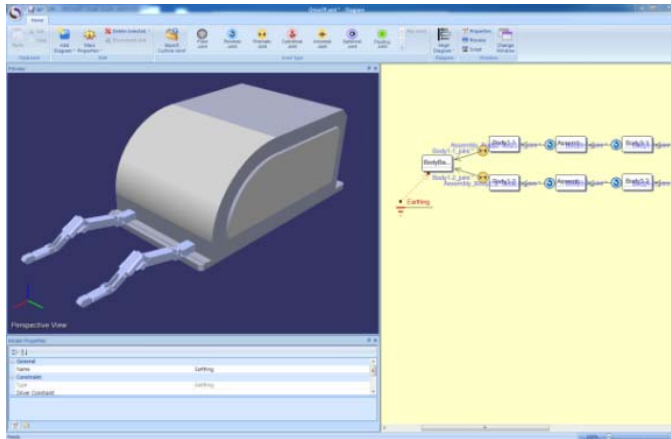


Schilling robotics社-Orion 7p의 도면

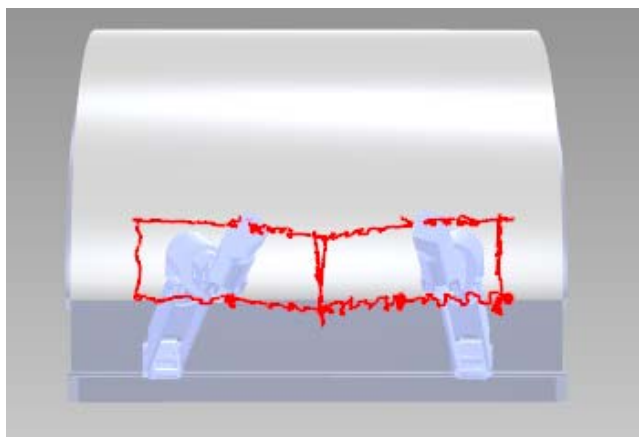


Schilling robotics社-Orion 7p-3D modeling

• 제어시뮬레이션 구축



Robotics Lab.을 이용한 시뮬레이션 환경



Robotics Lab. 시뮬레이터를 이용한 제어

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-1차년도-㉠	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	수중 정밀 복합 항법
목표값	S/W 프레임웍 항법센서 사양선정	달성값	S/W 프레임웍 항법센서 사양선정
날짜	2014.6.20	장소	한국로봇융합연구원
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

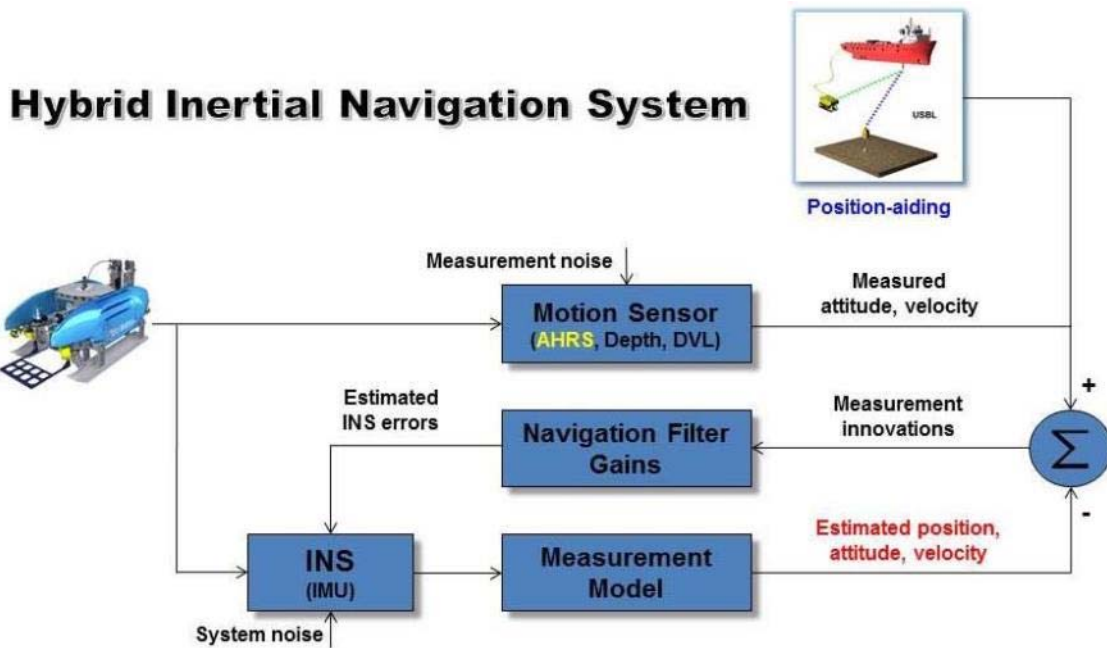
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 정밀 복합 항법	S/W프레임웍	S/W프레임웍	만족
수중 정밀 복합 항법	항법센서 사양 선정	항법센서 사양 선정	만족

- S/W프레임웍



수중 복합 항법시스템 구성



- Find True North by determining the projection of the Earth's rotational axis on the local horizontal plane;
- Are unaffected by ferromagnetic materials, such as the steel hull of a vessel, which changes the magnetic field.

The diagram illustrates the process of finding true north. It shows a green circle representing Earth with a vertical red line for the Earth's rotation axis. A dashed horizontal line represents the equatorial plane. A dashed blue line represents the local horizontal plane at a certain latitude. A vector labeled Ω_{earth} points along the rotation axis. A vector labeled g points towards the center of the Earth, representing gravity. The projection of the rotation axis onto the local horizontal plane is indicated by a red arrow labeled 'North Direction'.


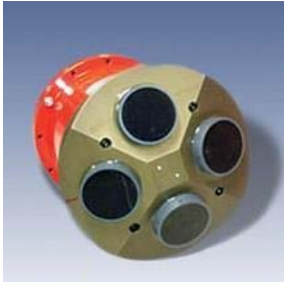
3 x Accelerometers → Gravity (g) → Local Horizontal Plane → North Direction
 3 x Rotation Rates → Earth Rotation Axis (Ω) → North Direction

진북(true north) 획득 알고리즘 구성

- 항법센서 사양 선정

모델명/제조사			비고
성능항목	HG1700AG37/Honeywell	1750 IMU/KVH	
Gyro type	Ring Laser Gyro	Fiber Optic Gyro	
Bias	1°/hr 1σ	1°/hr 1σ	
Angle Random Walk	0.125°/√hr max	0.012°/√hr max	
Operating range	±358 deg/sec	±490 deg/sec	
Accelerometer	RBA (resonating beam accelerometers)	MEMS accelerometers	
Bias	≤1mg 1σ	≤1mg 1σ	
Velocity Random Walk	0.65fps/√hr max	0.27fps/√hr max	
Operating range	±12g	±10g	
Weight	0.9kg	<0.7kg	
Power consumption	<8W	<8W	
Supply voltages	+15V and +5V	9~36VDC	
Communication interface	RS422	RS422	

IMU 센서 사양 비교

모델명/제작사 성능항목	 WHN600/Teledyne RDI	 NavQuest 600/LinkQuest	비교
Velocity accuracy	0.2%±1mm/s	0.2%±1mm/s	
Velocity resolution	1mm/s		
Velocity range	±10m/s	±10m/s	
Ping rate	7Hz max	5Hz max	
Altitude	0.7~90m	0.3~140m	
Weight	15.8kg	TBD	
Depth rating	3,000m	3,000m	
Supply voltages	20~50VDC	24VDC	
Power consumption	3W, 8W max	2~6W, 100W max	
Standard sensors	Compass ±2°	Compass ±2°	
	Tilt : ±0.5° up to ±15°	Tilt : ±0.5° up to ±15°	
	Temperature : -5° to 45°	Temperature : -5° to 45°	
Communication interface	RS232 or RS422	RS232 or RS422	

DVL 센서 사양 비교

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

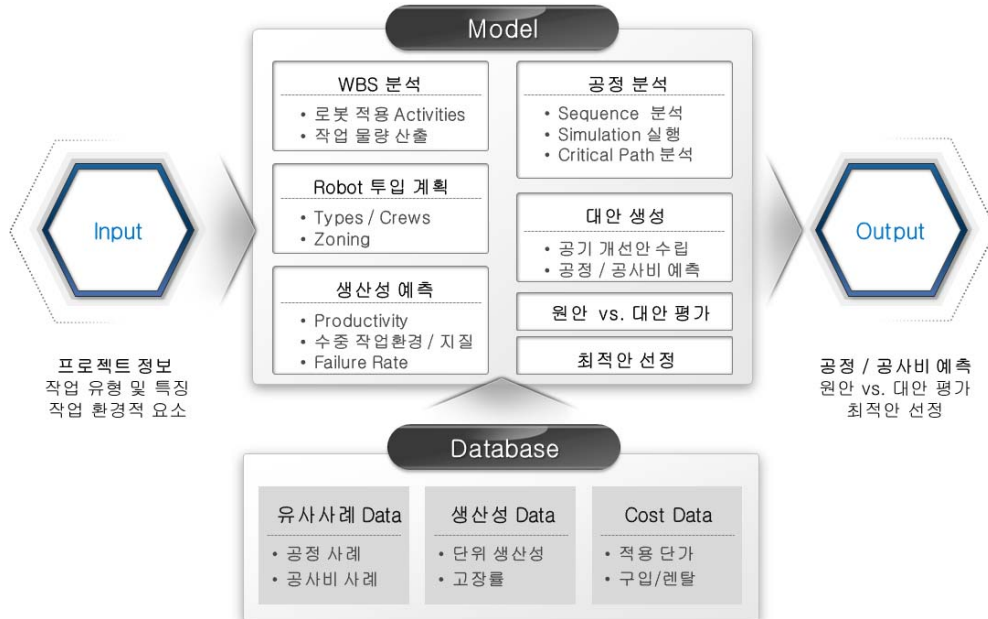
□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
1차년도 (2013년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	15%	50	작업공정 분석	보고서	100
	실증실험 후보지 검토	실증 후보지 문헌 및 자료 조사	15%	5	실해역 실험의 효율적 진행	보고서	100
	실용화 전략 실행계획 수립	특허/사업화 가능성 분석	15%	45	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100

번호	총괄과제-1차년도-1	담당 기관	KIOST
성과목표	최적공정시스템 개발	성과지표	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축
목표값	15%	달성값	100%
날짜	2014.05.02.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 수중건설공정관리시스템의 최적 공사비 산출 시스템 개요



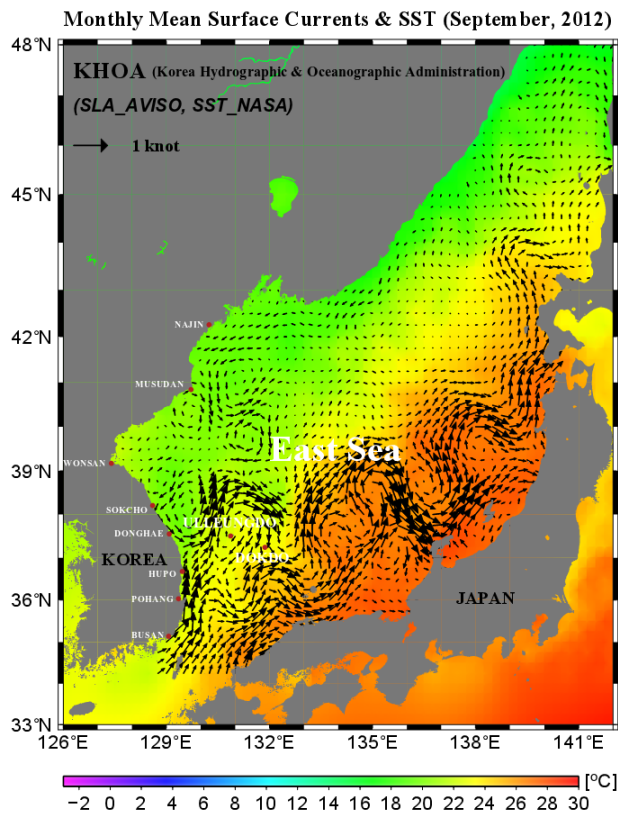
■ 결과

- 작업공정 최적화 기법
 - 수중건설공정관리시스템의 최적 공사비 산출 기법(안) 제시
- 최적 공정시스템 관련 기존 자료 분석
 - 해양구조물 건설 공정, 기존의 최적공정시스템 사례, BIM 등
 - CYCLONE 시뮬레이션 기법 활용 건설공정 최적화 분석

번호	총괄과제-1차년도-2	담당 기관	KIOST
성과목표	실증실험 후보지 검토	성과지표	실증 후보지 문헌 및 자료 분석
목표값	15%	달성값	100%
날짜	2014.04.22.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 동해 2012년 12월 평균 해류도



■ 결과

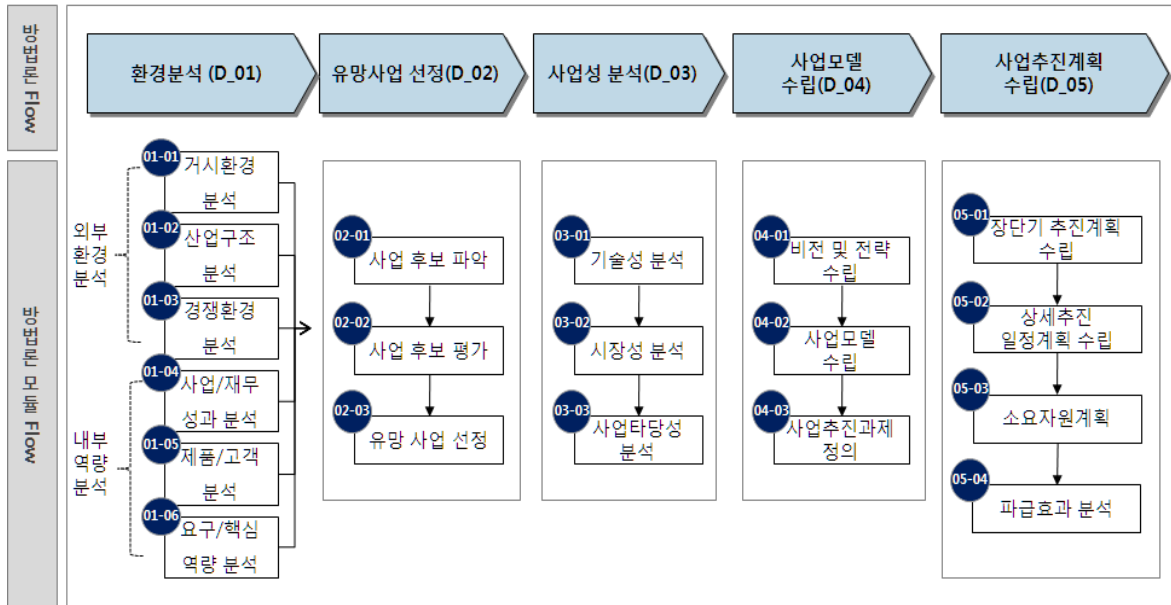
- 현장실증실험 후보지 분석
 - 실해역 시험 검증 후보지 현황
 - 실해역 시험 검증 후보지 해황 자료
- 현장실증실험용 활용 선박 분석
 - 대형 해양과학조사선 분석
 - 대형 해양과학조사선 활용시 고려사항

번호	총괄과제-1차년도-3	담당 기관	KIOST
성과목표	실용화 전략 실행계획 수립	성과지표	특허/사업화 가능성 분석
목표값	15%	달성값	100%
날짜	2014.04.22.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 수중건설로봇 실용화 전략수립

방법론	사업화 추진 전략 수립 방법론	활용 목적	수중건설로봇 사업의 사업모델 및 사업추진계획 수립을 통해 사업화 성공률 제고하고자 함.
------------	------------------	--------------	--------------------------------------------------



■ 결과

- 사업화 추진계획 프레임 및 전략 방법론 도출
 - 전체 추진 프로세스 정립
 - 프로세스 내 모듈별 정의 및 절차 정립
- 산업부 특허전략지원 사업 선정
 - 중대형 R&D 특허전략지원 사업(1.25억원) 선정

나. 2차년도(2014년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
2차년도 (2014년)	고화질 영상 전송/저장 시스템	channel	1 ch	25	2ch(일본)	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	2 ch 시작품제작	25	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서기반 햅틱	햅틱구현	프로토타입	20	햅틱기술	설계 결과 및 시연	100
	유압 매니퓰레이터	자유도	7축 설계 및 구동기 개발	30	7축(미국)	기능 시연	100

번호	1핵심 2차년도 - 1	담당 기관	레드윈
성과목표	고화질 영상 전송/저장 시스템	성과지표	channel
목표값	2 ch	달성값	2 ch
날짜	2014년 11월	장소	레드윈테크놀로지(주)
평가방법	시연	검증 여부	자체

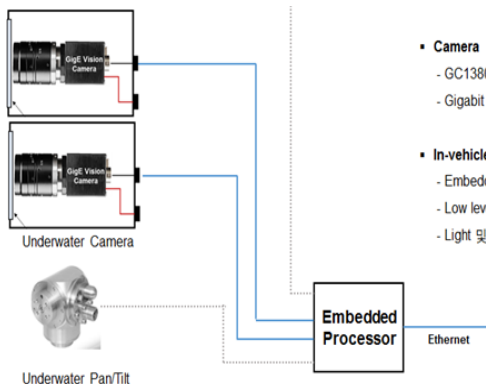

결과

■ **활용 장비**

- 스테레오 비전시스템 (HD급 Machine vision camera x 2)
- 스테레오 비전 프로세싱 보드 (임베디드 프로세서)
- Optic to HD SDI receiver
- HD SDI 비디어 서버
- 광케이블

■ **실험 결과**

- 2 ch의 광라인을 통한 스테레오 영상출력 확인

시스템 구성도	시스템 연결 및 시험
 <p> Camera - GC1380 machine vision camera - Gigabit Ethernet interface In-vehicle processor - Embedded Processor - Low level processing - Light 및 Pan/tilt 시스템과 연동 </p>	 <p>수중건설로봇 공통기술 개발 및 경작업용 ROV 개발 (전문 작업용 스테레오 카메라 시스템)</p> <p>[Left Camera] [Right Camera]</p>

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경 및 조건
 - 향후 작업전문카메라 시스템에 적용될 HD급 Machine vision camera(x2) 및 구성품 등을 이용하여 실험 환경 구성
- 시험방법
 - 2ch의 광라인을 통해 영상이 출력-저장 수행되는지 확인 하였음

번호	1핵심 2차년도 - 2	담당 기관	KRISO
성과목표	수중 음향 전송 시스템	성과지표	channel
목표값	2 ch 시작품제작	달성값	2 ch 시작품제작
날짜	2015년	장소	KRISO
평가방법	설계 결과 및 시연	검증 여부	자체
결과			

■ 실험 결과

- 2채널 수중음향 전송 시스템 수조 시험

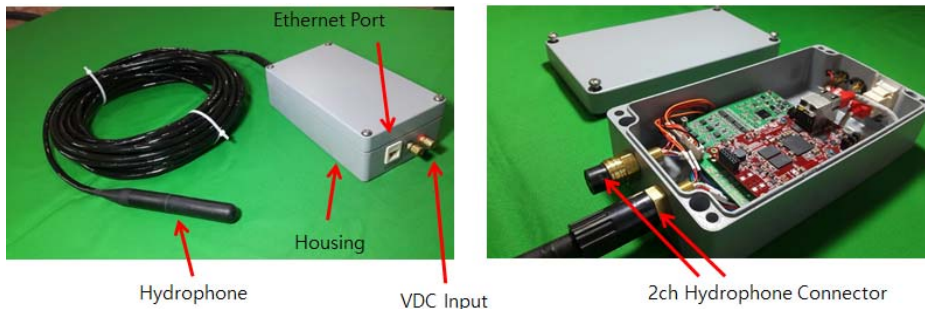


추진기가 하이드로폰 우측에 위치한 경우 오른쪽 스피커에 서만 신호 발생

추진기가 하이드로폰 정면에 위치한 경우 양쪽 스피커에서 동일한 레벨의 신호 발생

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 2채널 수중음향 전송 시스템 시작품 설계 및 제작

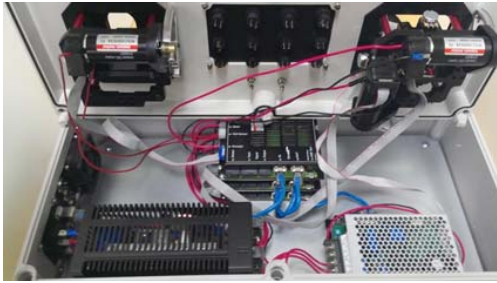


번호	1핵심 2차년도 - 3	담당 기관	KRISO
성과목표	다중복합센서 기반 햅틱	성과지표	햅틱구현기술
목표값	프로토타입	달성값	프로토타입
날짜	2015년 2월	장소	KRISO 소형 수조
평가방법	설계 결과	검증 여부	자체

결과

■ 햅틱 장치

- 햅틱 장치 내부



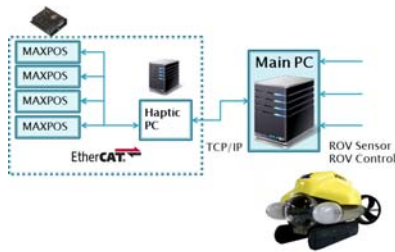
3D 모델을 기반으로 실제 햅틱장치를 제작했다. 이동이 간편하도록 무게를 줄이기 위해 축과 베어링, 손잡이를 제외한 모든 부분은 알루미늄 6061 재질을 사용.

아노다이징 처리를 통해 이후 발생할 상처나 오염에 대처.

플라스틱 케이스 채택으로 이동이 가능하도록 무게를 줄였으며 추후 하드웨어 변동에 따른 변경도 용이.

■ 통신

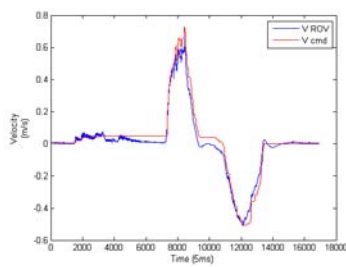
- 통신 구성



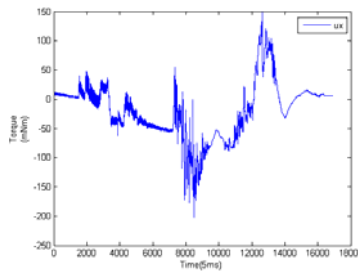
햅틱 장치에 사용된 모터드라이버와 햅틱 PC간의 통신은 그림 9와 같이 빠른 속도와 장치간의 연결이 간편한 EtherCAT 통신을 채택.

햅틱 장치와 메인 PC간의 통신은 TCP/IP를 활용해 간편하게 연결 할 수 있도록 구성.

■ 특기사항(실험 데이터)



속도명령과 ROV 속도



모터드라이버 입력

번호	1핵심 2차년도 - 4	담당 기관	KNR
성과목표	유압 매니플레이터	성과지표	자유도
목표값	7축 설계 및 구동기 개발	달성값	7축 설계 및 구동기 개발
날짜	2015년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	기능시연	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 7자유도 수중 유압로봇팔 용 구동기

■ 실험 결과

- 7자유도 수중 유압로봇팔 1차 설계



- 7자유도 수중 유압로봇팔 용 선형 구동기 구동시험



- 7자유도 수중 유압로봇팔 용 회전형 구동기 구동시험



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
2차년도 (2014년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	심도 2,500m급 프레임 최종설계, 부력재 재질 및 외형 설계	25	프레임/부력재 설계도면 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 유압 기술	유압회로	225kW 유압회로 및 부품 최종 설계, 부품별 1차 시작품 제작	20	유압최종 목표성능 확보 가능성 확인	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	1차 시작품 (12m ³ /hr @5bar)	15	가능성 확인을 위한 축소모형 제작	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	1차 시작품 최종 설계	7.5	시작품 설계	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		케이블 커터	1차 시작품 최종 설계	7.5	시작품 설계	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	S/W 엔진 1차 시안 구축	10	S/W 구축 기초 작업	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
	핵심기술	유압매니플레이 터 정밀 제어	시뮬레이션 기반 7자유도 서보잉 제어 구현	5	로봇팔 자체 제어 알고리즘 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	100
		수중 정밀 복합항법	2% of range (S/W 보정)	5	항법 기초 알고리즘 확보	자체평가 (수조테스트)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	설계기준 및 최종 목표사양 도출	5	설계 기준 및 목표 사양 확보	자체평가 (설계도면 및 현장평가)	95

번호	2핵심-2차년도-①	담당 기관	대양전기
성과목표	플랫폼 기술	성과지표	플랫폼 기술
목표값	심도 2500m급 프레임 최종설계, 부력재 재질 및 외형 설계	달성값	심도 2500m급 프레임 최종설계, 부력재 재질 및 외형 설계
날짜	15.04.30	장소	대양전기
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

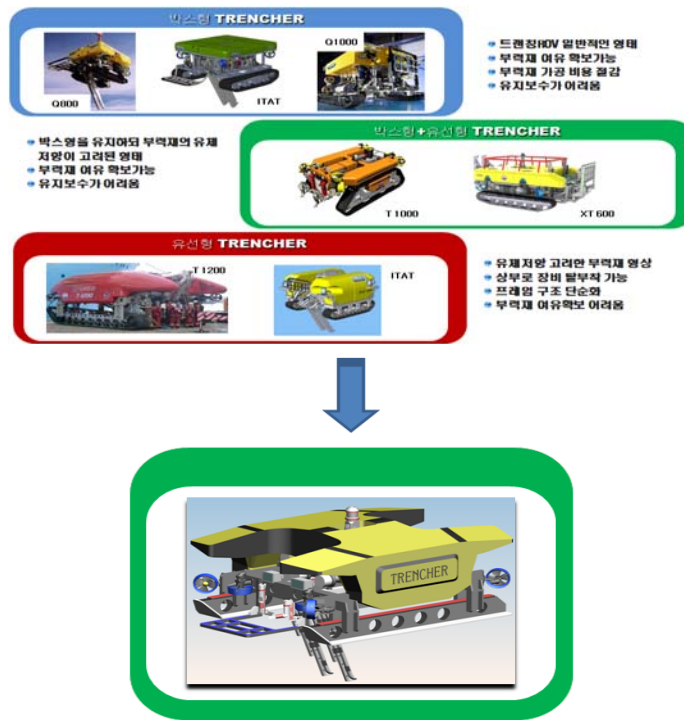
시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
플랫폼 기술	심도 2,500m급 프레임 최종 설계	심도 2,500m급 프레임 최종 설계	만족
플랫폼 기술	부력재 재질 및 외형 설계	부력재 재질 및 외형 설계	만족

프레임 설계

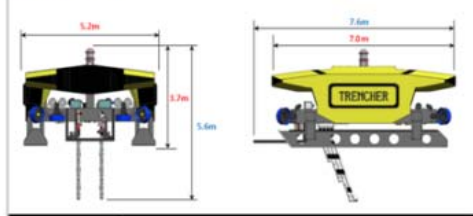
- 형상안



플랫폼 형상안

- 플랫폼 크기 및 중량

● 플랫폼 크기



● 플랫폼 중량

항목	중량(kg)	비율 (%)	비고
부력재	6,093	35	
프레임	5,196	27	
스키드	2,462	13	
유압공급장치	1,614	8	
케이블감지장치	100	1	
추진기	550~440	2	
워터젯	1,152	6	자료 필요
내압용기	70~6~420	2	
인양고리	706	4	
메니플레이터	54~2~100	1	
작업하중	500	3	
합계	19,600		

부력재, 프레임
전체중량의 62% 차지

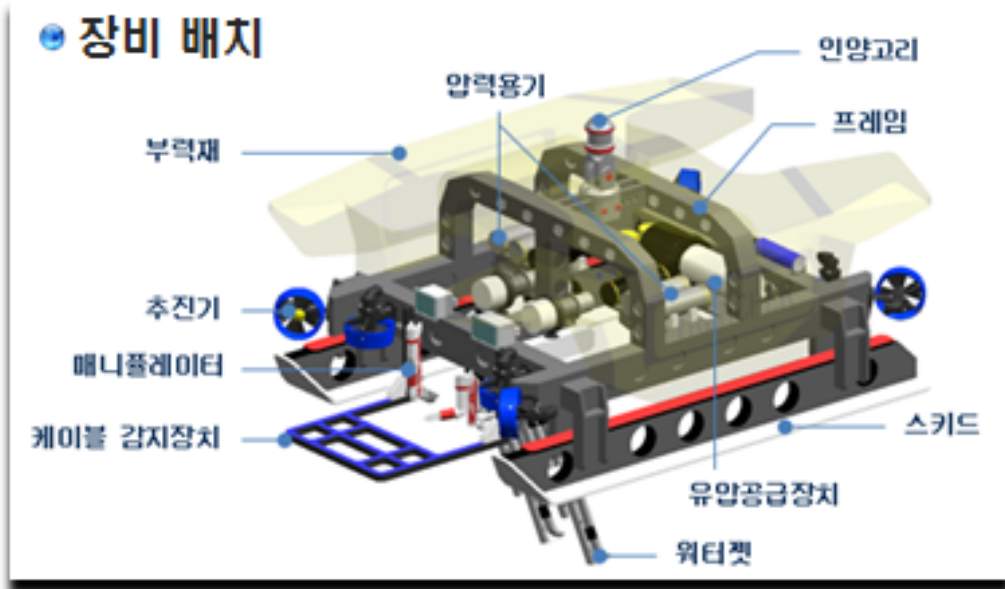
중량 및 크기	
중량	현 중량 : 19.6 ton, 목표 중량 : 18 ton
크기	보관시 7.0 X 5.2 X 3.7m
	작업시 7.6 X 5.2 X 5.6m
성과 목표치	
작업수심	2500m
매설심도	3m
매설속도	2km/hr
전진속도	3knots
작업하중	500kg

장비형상 및 배치 완료 후 형상 최적화 필요

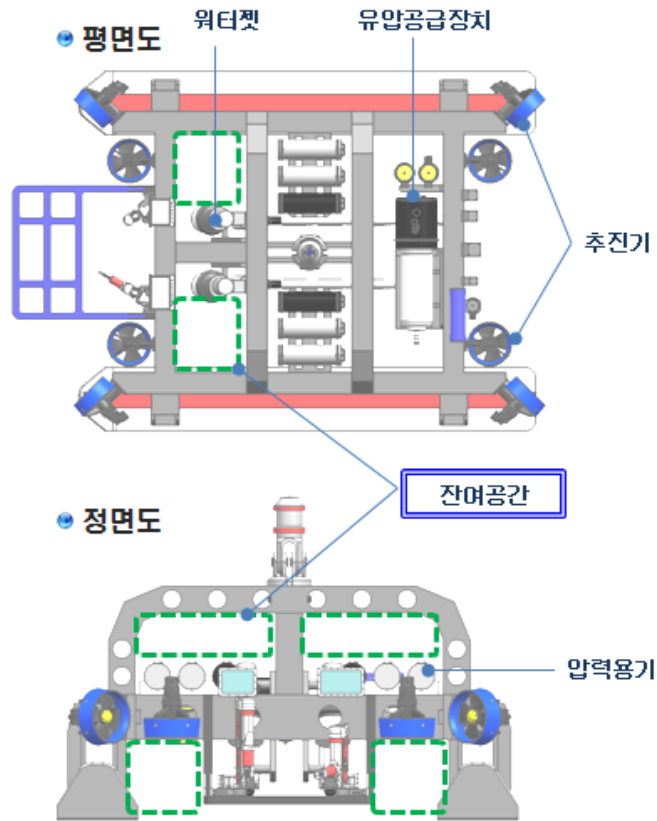
플랫폼 크기 및 중량

- 주요장비 배치

● 장비 배치



주요 장비배치



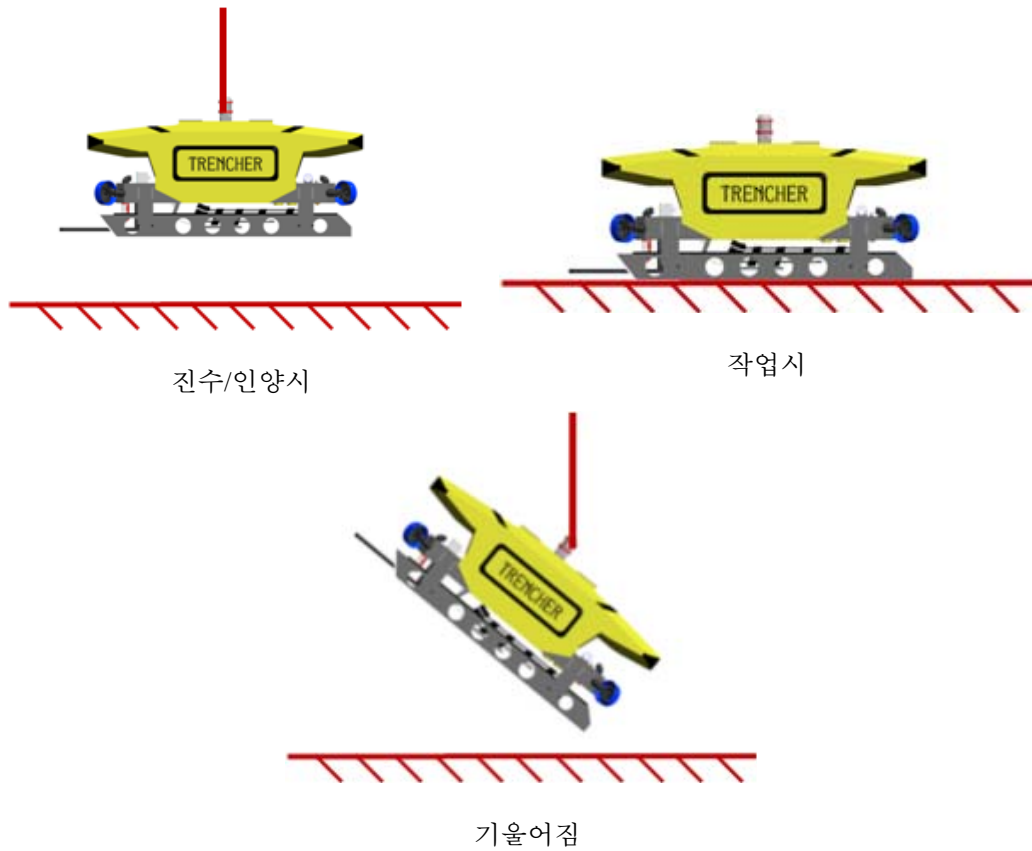
장비배치 평면도/정면도

- 프레임 및 주요구조물 설계



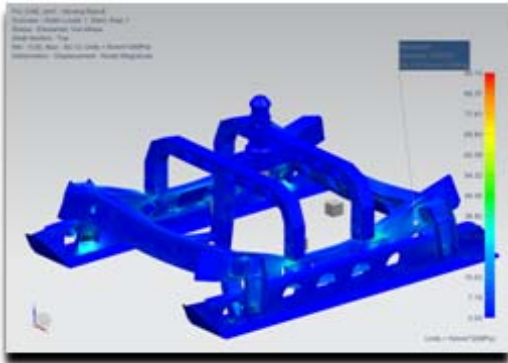
프레임 주요 구조물

- 프레임 구조해석 및 결과



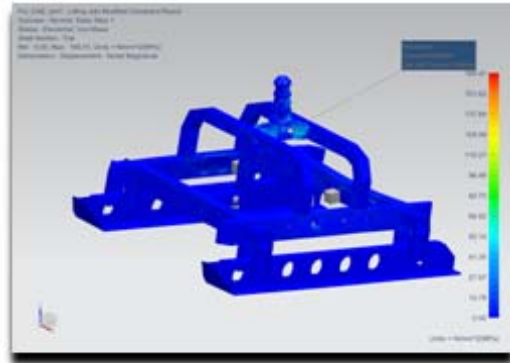
해석결과

- 진수/인양시 해석결과, 그림 11에 보는 바와 같이 인양 고리에 응력이 집중되며 스텐인리스스틸 (STS 304) 항복강도 기준 안전율 1.24의 결과가 나오며 그 외 인양 고리와 연결되는 프레임은 안전율 4이상 나온다. 따라서 인양 고리 설계시 3이상의 안전율을 확보하기 위한 인양 고리 최적설계 과정 수행필요.
- 보관시 해석결과, 그림 12에 보는 바와 같이 스키드와 프레임의 고정 부근에서 응력이 집중되며 알루미늄합금(6061-T6) 항복강도 기준 안전율 2.6의 해석 결과값이 나온다. 이는 정적하중의 2배 이상의 기준치를 만족하였다.
- 진수/인양시 외부 기울어짐에 대한 해석결과, 그림 13, 그림 14에 보는 바와 같이 인양고리에서 응력이 집중되며 스텐인리스 스틸(STS 304) 항복강도 기준 안전율 0.28, 0.17 나온다. 인양 고리와 연결된 프레임은 안전율 4이상이 나온다. 따라서 인양 고리 설계시 기울어짐에 대한 안전율을 확보하기 위한 최적설계 과정 수행필요.



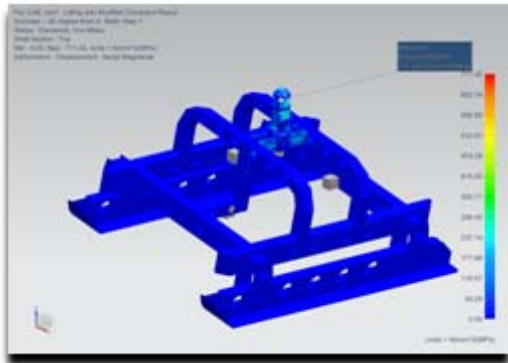
보관시

응력 : 93Mpa, 변위 : 2.5mm



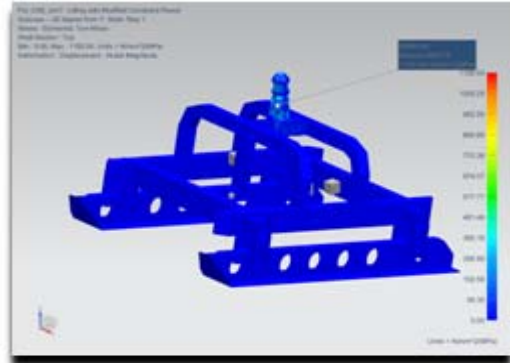
진수/인양시

응력 : 165.4Mpa, 변위 : 4.4mm



기울어짐(길이 방향회전)

응력 : 711Mpa, 변위 : 55mm



기울어짐(폭 방향회전)

응력 : 1155Mpa, 변위 : 67mm

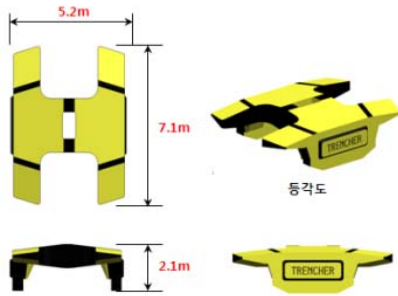
부력재 설계

- 부력재 제작업체 비교

부력재 제작업체 비교				
TRELLEBORG		DIAB		FORUM
항목	밀도 (kg/m3)	최대 길이(m)	압축강도 (Mpa)	비고
TG-3000 (TRELLEBORG)	416	3000		과거 유사모델 사용
LD3000 (DIAB)	450 (+/-15)	3000	36.9	과거 유사모델 사용
AM-30B (FORUM)	481	3000	35.13	사용경험 없음.

부력재 제작업체 비교

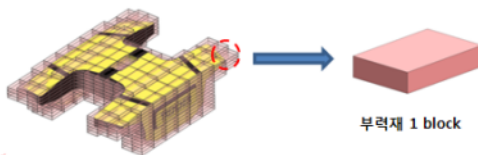
- TG-3000은 가장 비중이 작은 것으로 중량배치 측면에서 유리함
- TG-3000은 부력재의 접합 및 가공, 기술지원등 여러 부분에서 우수함
- 부력재 구조 및 형상



부력재 사양	
모델	TG-3000 (TRELLEBORG)
밀도(kg/m ³)	416 (±32)
크기(m)	7.1(L)x5.2(W)x2.1(H)
부피(liter)	16,570
중량(ton)	6.9(공기중)
	-10.0(수중)
최대길이(m)	3000
압축강도(Mpa)	34

부력재 구조 및 형상

- 부력재 필요수량 산출



필요수량 산출	
소모 부피(liter)	35,540
사용 효율(%)	53
필요 수량(개)	632
1 블록 크기 : 750mmX500mmX150mm 1 블록 중량 : 25kg	

부력재 필요수량 산출

- 소재 기본검증시험

PROPERTY	VALUE	UNITS	TEST METHOD
Colour	Pink	-	-
Maximum Operating Depth @10°C	3,000	MSW	-
Maximum Operating Pressure@ 10°C	4,356	psi	-
Cured density (metric)	416	kg/m ³	BS ISO 1183-3:1999
Cured density (imperial)	26	lb/ft ³	BS ISO 1183-3:1999
Shore Hardness	65	°D	ISO 868:1998
Tensile Strength	20	MPa	BS EN ISO 527
Elongation @ Break	1	%	BS EN ISO 527
Tensile Modulus (Young's Modulus)	1,930	MPa	BS EN ISO 527
Uniaxial Compressive Strength	34	MPa	ASTM D695-02a
Uniaxial Compressive Modulus	1,790	MPa	ASTM D695-02a
Shear Strength	16	MPa	ASTM D732-02
Bulk Modulus	1,624	MPa	ASTM D2926
Glass Transition Temperature	> 120	°C	BS EN ISO 113 57-2
Coefficient of Thermal Expansion	38	ppm/°C	ASTM E 228-95
Hydrostatic Crush Pressure	> 5,510	psi	ASTM D2736
Water Absorption	< 2	%	ASTM D7235
Standard Available Dimensional Size	750 mm x 500 mm x 150 mm 295 mm x 295 mm x 145 mm		

TG3000 - Technical Datasheet

부력재 검증시험

- 밀도 검증시험**
 - 기준 : 416 kg/m³ ±32kg/m³
 - √ 제시된밀도값 - 실측밀도값 ±32kg/m³ 이내
- 체적변화를 검증시험**
 - 기준 : 체적변화율 -2% 이내 (밀도 오차율/4)
 - 최대압력설정 : 300bar, 30분 유지
 - √ 체적변화율(%) : -(초기체적-변화된 체적)/초기체적x100
- 물 흡수율 검증시험**
 - 기준 : 물 흡수율 +2% 이내
 - 최대압력설정 : 300bar, 30분 유지
 - √ 물 흡수율(%) : -(전 중량-후 중량)/전 중량 x 100



시료 형상



중량 측정



압력 시험

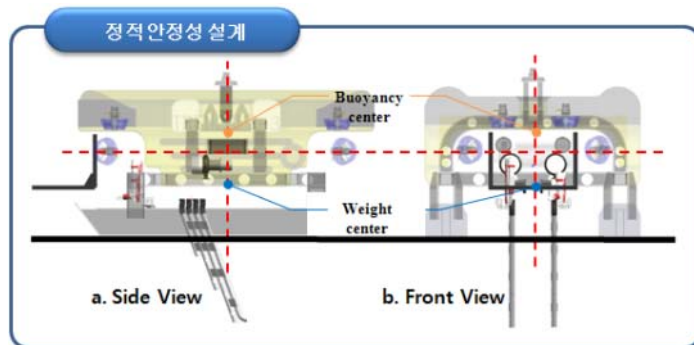
부력재 검증시험



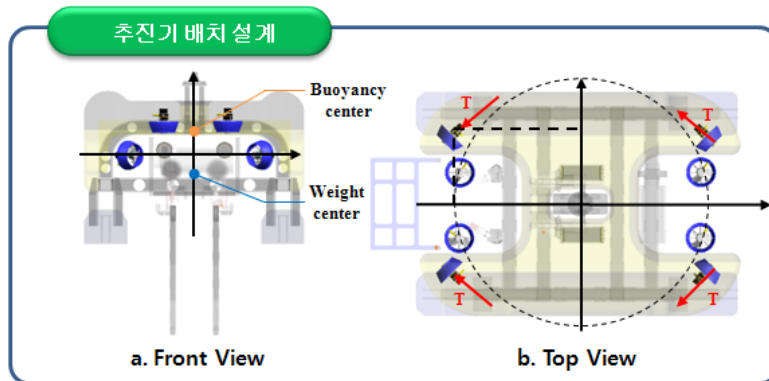
✓ 시험 결과 밀도 값 변화가 크며 체적변화 및 물 흡수를 변화폭은 작다.
 ✓ 시험 결과에 대한 여유부력을 고려하여 밀도 값 허용오차 최대치 적용.
416(kg/m³) -> 448(kg/m³) [7.6%]

부력재 검증시험 결과

- 유체역학적 고려

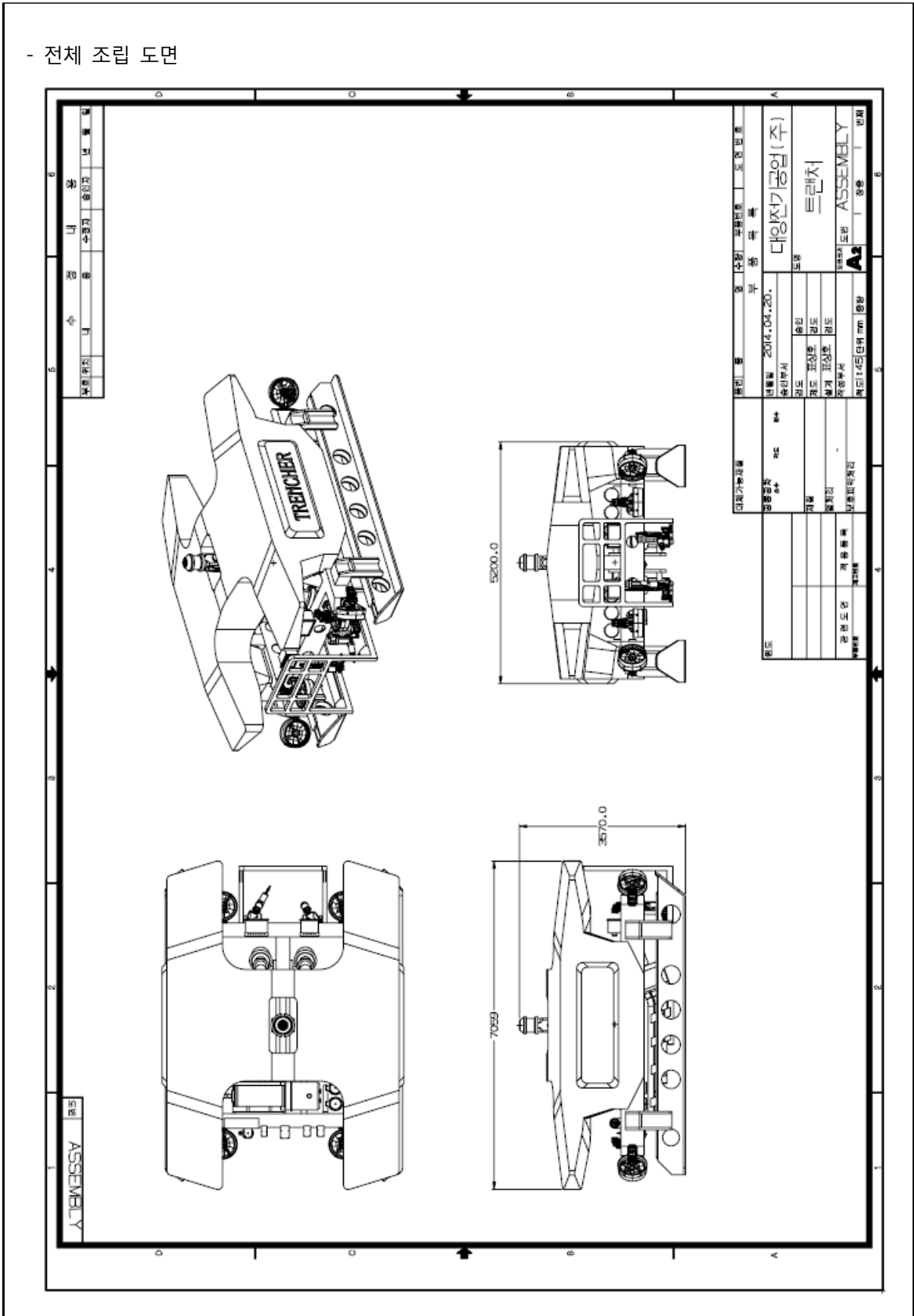


정적안정성 설계



추진기배치 설계

- 전체 조립 도면



- 부력재 도면

부력재 도면

제1차 설계도	제2차 설계도	제3차 설계도	제4차 설계도	제5차 설계도	제6차 설계도	제7차 설계도	제8차 설계도	제9차 설계도	제10차 설계도
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

500 Bouquancy-5

7050

5200.0

2062

TRENCHER

부력재

부력재

제품명	부력재	도면 번호	A2
제출 일자	2015.04.20	제출 부서	개발
제출자	김도	검토자	김도
검토 일자	2015.04.20	검토 부서	개발
검토자	김도	검토 일자	2015.04.20
검토 내용	부력재 구조	검토 결과	합격
검토자	김도	검토 일자	2015.04.20
검토 내용	부력재 구조	검토 결과	합격
검토자	김도	검토 일자	2015.04.20

방위사입청 부력재 조립체

도면 번호: A2

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-②	담당 기관	레베산업
성과목표	수중 유압 기술	성과지표	유압회로
목표값	225kW 유압 회로 및 부품 최종 설계, 부품별 1차 시작품 제작	달성값	225kW 유압 회로 및 부품 최종 설계, 부품별 1차 시작품 제작
날짜	2015.04.30.	장소	레베산업
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

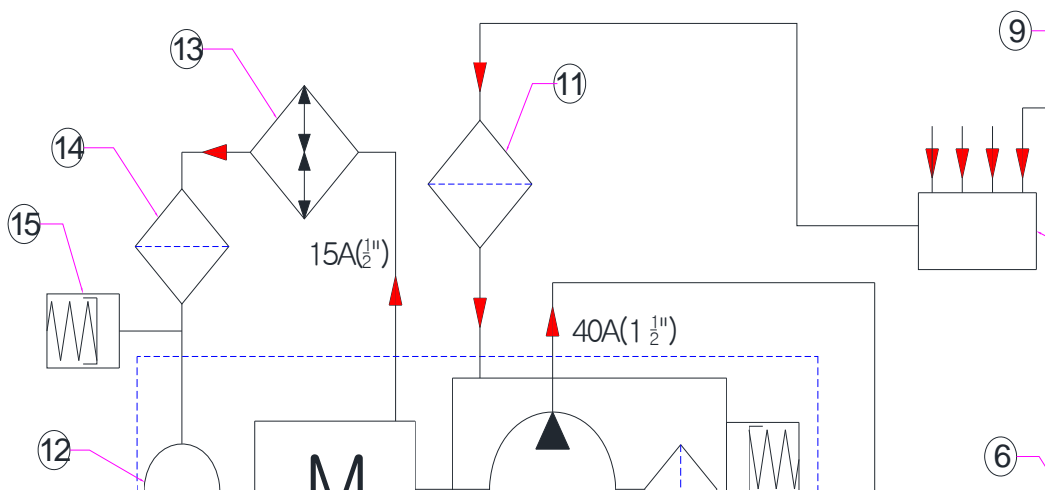
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
유압회로	225kW 유압 회로 및 부품 최종 설계	225kW 유압 회로 및 부품 최종 설계	만족
유압회로	부품별 1차 시작품 제작	부품별 1차 시작품 제작	

- 수중 유압공급장치 P&ID 및 BOM 도출



No.	Part Name	Material	Q'ty	
1	Main pump	-	1ea	variab K3VG2
2	Electric motor	STS316(housing)	1ea	260kW
3	Reservoir	AL6061-T6	1ea	120Lit
4	Compensator 1	PP+AL6061-T6	1ea	6Liter
5	Suction strainer	STS316L	1ea	100mi
6	Filter 1	AL6061-T6	1ea	10mic eleme
7	Filter 2	AL6061-T6	1ea	5micro eleme
8	Distributor 1	AL6061-T6	1ea	40A-2
9	Valve pack	AL6061-T6	4ea	10stat
10	Distributor 2	AL6061-T6	1ea	20A-5
11	Filter 3	STS316L	1ea	20mic
12	Circulation pump	-	1ea	23LPM

수중 유압공급장치 P&ID와 BOM

• 유압 파워팩 펌프 선정

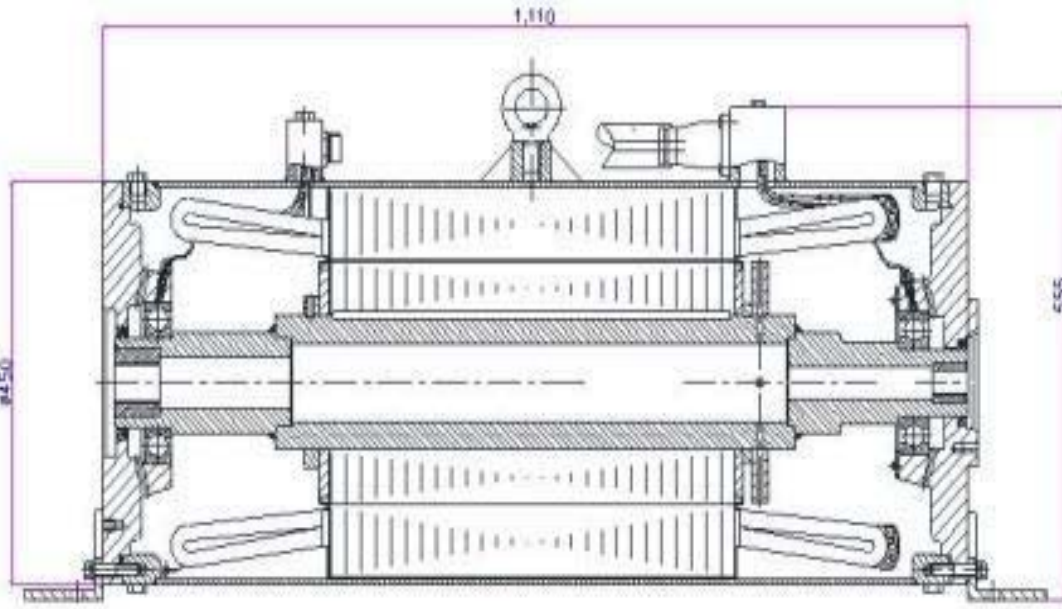
순번	메이커	모델명	사진	유량	압력	Power	중량
1	Kawasaki	K3VG280		390LPM	350bar	255kW	160kg
2	PARKER	P2145		319LPM	320bar	170kW	78kg
3	Bosch Rexroth	A4CSG-250		375LPM (1,500rpm)	350bar	219kW	214kg
4	Bosch Rexroth	A4VG32-180		450LPM (2,500rpm)	400bar	300kW	101kg
5	Bosch Rexroth	A4VG40-145		414LPM (2,850rpm)	430bar	297kW	106kg

← T800 적용 모델
2차년도 기본설계 모델

} Bosch Rexroth 모델
적용 검토
고압, 회전수 사양 고려

유압펌프 비교

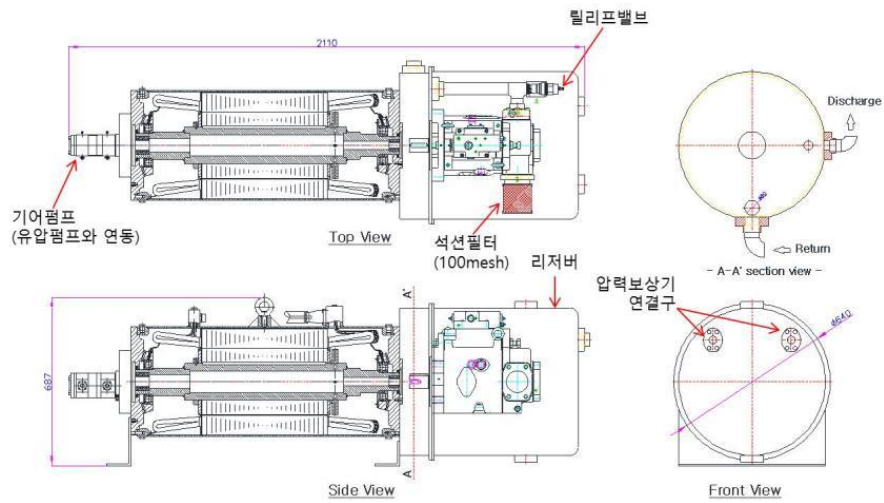
• 유압 파워팩용 모터 선정



항목	사양
Volts	4,160Vac / 60hz / Three Phase / 4pole.
Speed	1,800RPM @ 60 Hz
Depth Rating	3,000m nominal
Housing	316 SS
Mounting	Horizontal
Power	260kw
Insulation Rating	>16kv @ 140 deg C
Shaft Seals	Bergman mechanical seals.
Instrumentation	RTD water detector temperature probe.
Weight	about 565kg

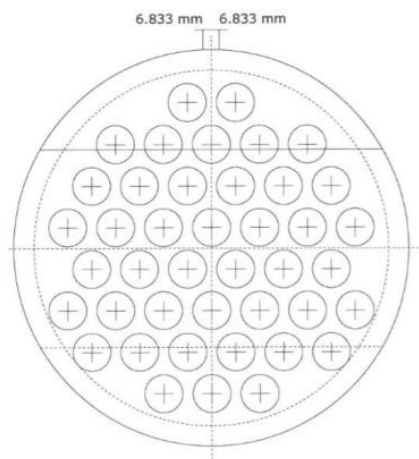
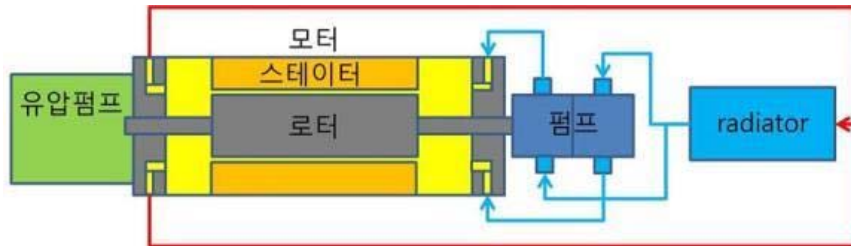
목표사양의 SME사 모터 도면과 제원

• 일체형 유압 파워팩 구조설계



일체형 유압 파워팩 구조설계

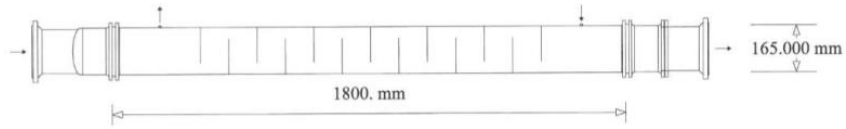
• 유압 파워팩 모터 절연유 방열기 설계



Item number	BEW
TEMA type	
Shell diameter	165.000 mm
Outer tube limit	148.168 mm
Height under inlet nozzle	13.938 mm
Height under outlet nozzle	13.938 mm
Tube diameter	15.880 mm
Tube pitch	20.000 mm
Tube layout angle	30
Number of tubes (specified)	38
Number of tubes (calculated)	38
Number of tie rods	4
Number of seal strip pairs	0
Number of passes	1
Baffle cut % diameter	25

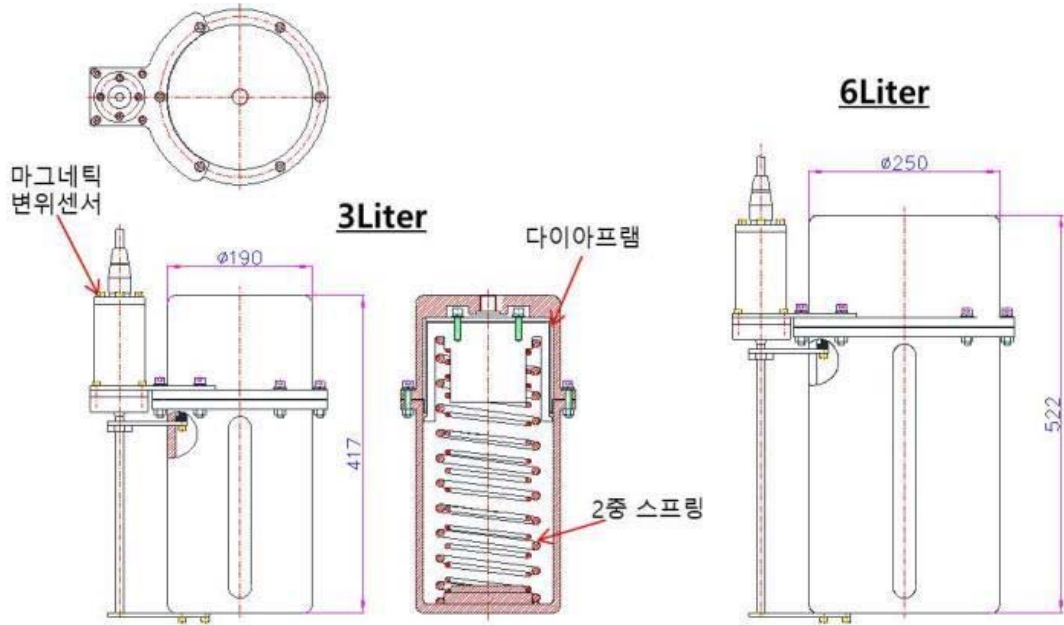
TUBEPASS DETAILS			
Pass	Rows	Tubes	Plugged
1	8	42	0

SYMBOL LEGEND	
○	Tube
●	Plugged tube
⊙	Tie rod
⊗	Impingement rod
⊕	Dummy tube
⊖	Seal rod
□	Seal strip/Skid bar



방열기 계산 결과(HTRI)

• 압력 보상기 설계

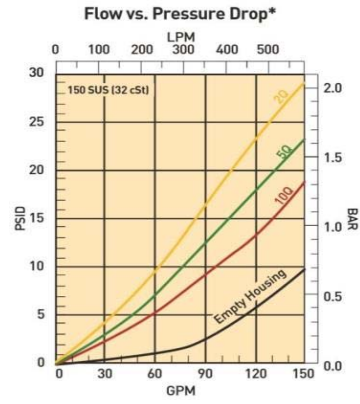


압력보상기 구조 설계(3Liter, 6Liter)

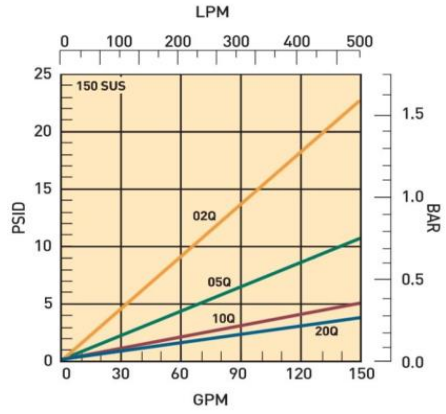
종류	보상기1		보상기2	
용량	3Liter		6Liter	
스프링	스프링1	스프링2	스프링1	스프링2
선경	10mm	6mm	20mm	11mm
유효직경	126mm	106mm	178mm	140mm
권선수(Na)	10	13	12	13
자유단	420mm	420mm	480mm	480mm
예압(empty)	0.2bar	0.04bar	0.2bar	0.07bar
	0.24bar		0.27bar	
예압(Oil)	0.51bar	0.11bar	1.03bar	0.17bar
	0.62bar		1.2bar	

압력보상기 스프링 사양

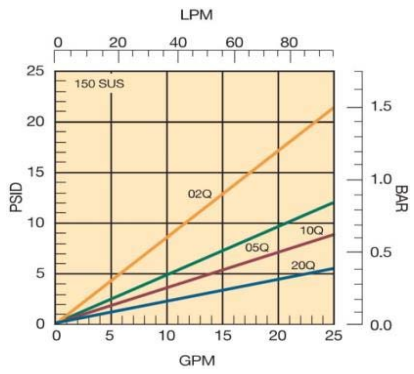
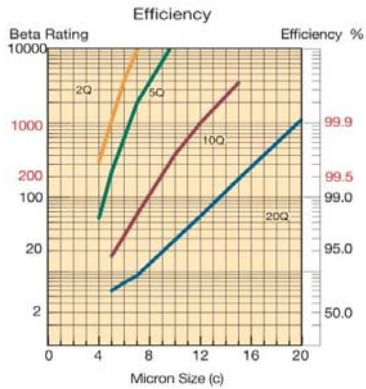
• 유압필터 설계



압력라인 -> WPF4 - 10QE, 05QE

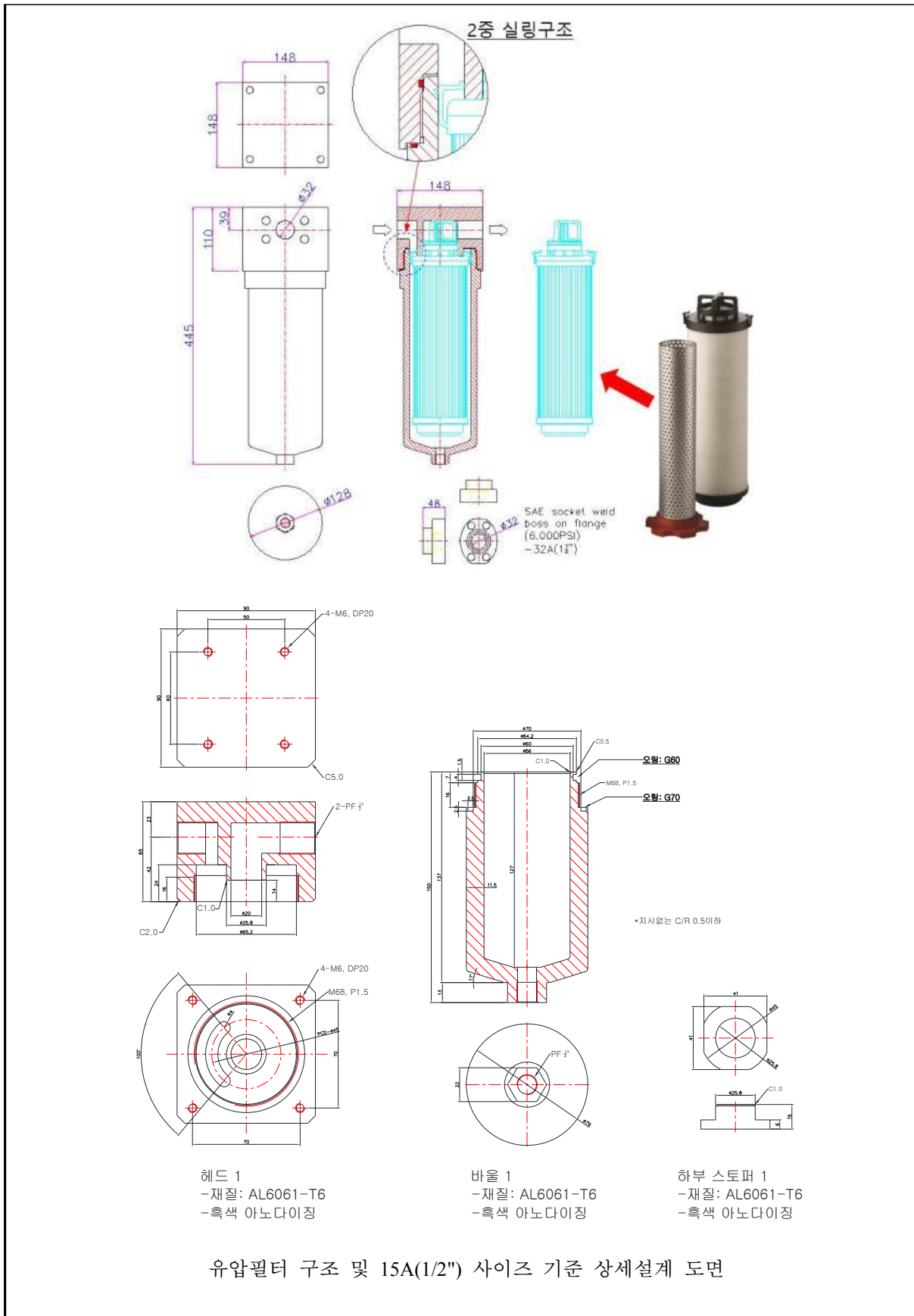


리턴라인 -> 80CN - 10QE

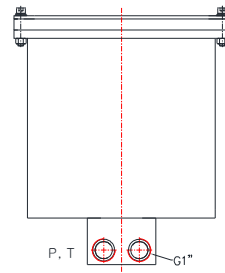
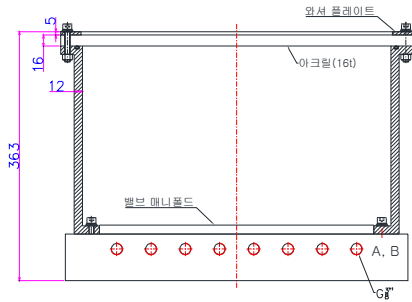
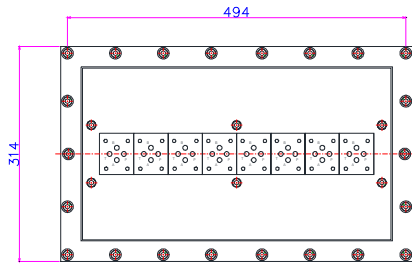


절삭유 순환라인 -> 15CN - 05QE

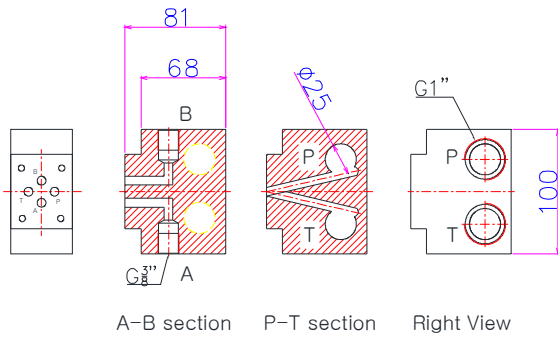
필터 엘리먼트 유량대비 차압과 효율 특성



• 밸브팩 설계



(a) 밸브팩 형상

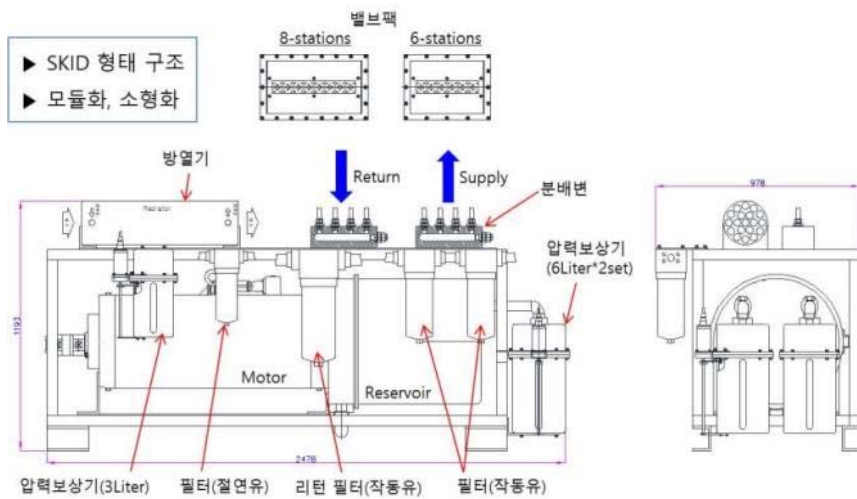


A-B section P-T section Right View

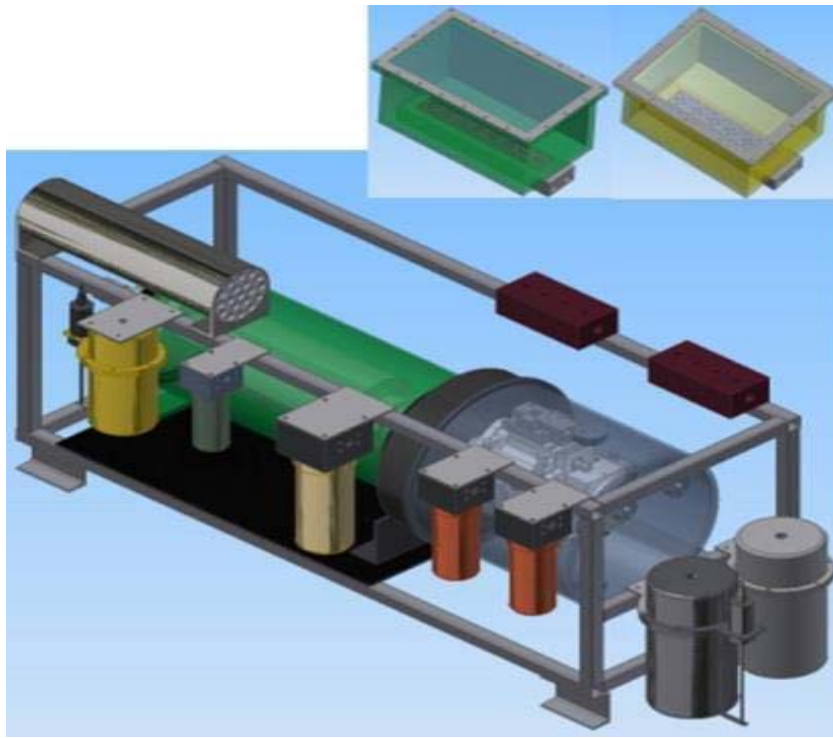
(b) 매니폴드 단면

밸브팩 형상과 매니폴드 단면구조 설계

• 수중 유압공급장치 조립구조 설계



• 수중 유압공급장치 조립도



수중 유압공급장치 기본설계 조립구조와 3D 모델링

No.	Part Name	Material	Q'ty	Weight(Kg)
1	Main pump	-	1ea	160
2	Electric motor	-	1ea	565
3	Reservoir	AL6061-T6	1ea	40
4	Compensator 1	AL6061-T6	2ea	40
5	Filter 1(1-1/4")	AL6061-T6	1ea	8
6	Filter 2(1-1/4")	AL6061-T6	1ea	8
7	Distributor 1	STS316	1ea	8
8	Valve pack(8 stations)	AL6061-T6	3ea	84
9	Valve pack(6 stations)	AL6061-T6	3ea	69
10	Distributor 2	STS316	1ea	8
11	Filter 3(2")	AL6061-T6	1ea	19
12	Circulation pump	-	1ea	6
13	Radiator	STS316	1ea	63
14	Filter 3(1/2")	AL6061-T6	1ea	5
15	Compensator 1	AL6061-T6	1ea	12
16	Control Valves	-	1set	100
17	SKID+FRAME	AL6061-T6	1set	40
		APP.(dry)		1,235

압력보상기 스프링 사양

• 유압 필터

▶ 바이패스밸브 부착형



▷ 주 유압 리턴라인 필터용(1개)
- 10micron PARKER 엘리먼트

▶ 바이패스밸브 미부착형



▷ 주 유압 압력라인 필터용(2개)
- 5, 10micron PARKER 엘리먼트
▷ 모터 절연유 순환라인 필터용(1개)
- 10micron PARKER 엘리먼트

시험용 유압필터 2종

• 방열기



In/Out: 15A(PT 1/2") Shell: 50A SUS pipe, SCH10S, 길이 470mm Tube: Ø12mm, t1mm, SUS316

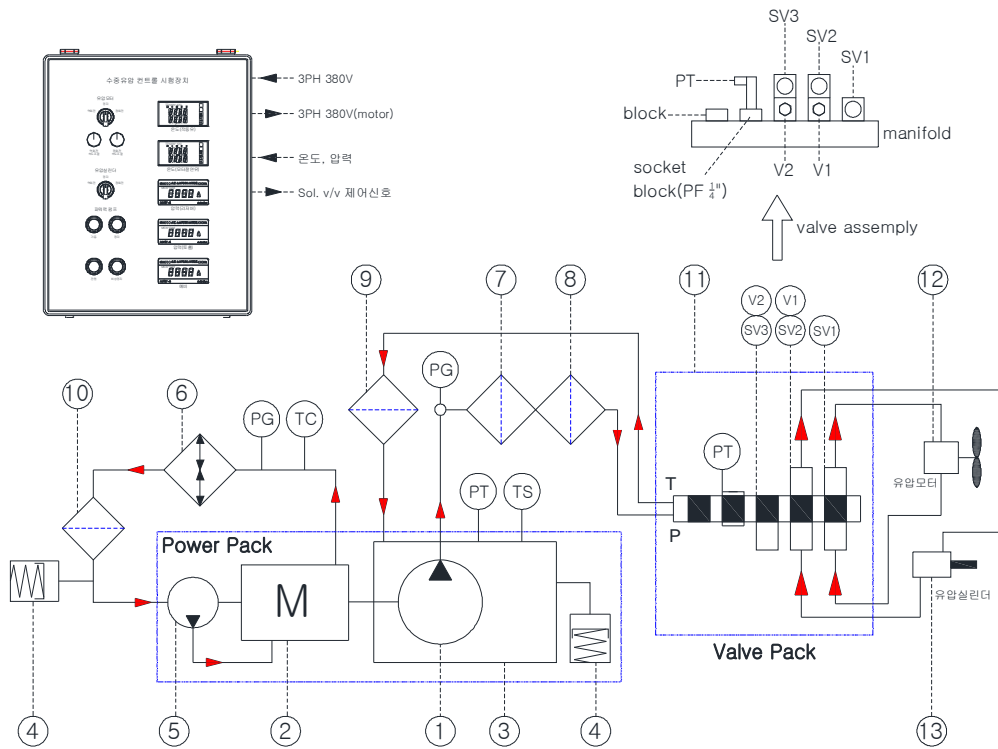
시험용 shell & tube 방식 방열기

• 밸브팩



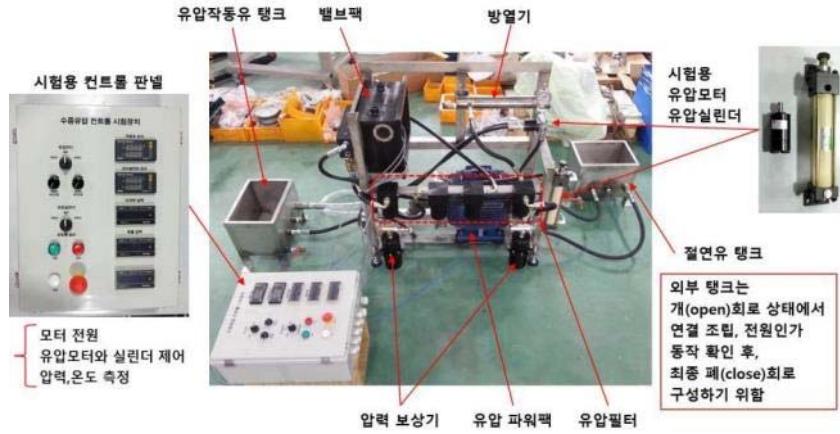
시험용 밸브팩

• 시험장치 설계 및 제작



No.	Part Name	Q'ty	
1	Main pump	1ea	fixed
2	Electric motor	1ea	11kV
3	Reservoir	1ea	13Lit
4	Compensator	2ea	0.5L
5	Circulation pump	1ea	gear
6	Radiator		?60°
7	Filter 1	1ea	10m
8	Filter 2	1ea	5mic
9	Return filter	1ea	10m
10	Insulating oil filter	1ea	10m
11	Valve pack	1ea	5-st
12	Hydraulic motor	1ea	max.
13	Hydraulic cylinder	1ea	시험
SV1	Proportional Valve	1ea	비례제
SV2	Directional control valve	1ea	양방향
SV3	Unloading valve	1ea	단방향
V1	Reducing valve	1ea	max.
V2	Relief valve	1ea	max.
PG	Pressure gauge	2ea	0 ~

시험장치 P&ID와 부품 사양



수중 유압공급장치 소용량 시험장치



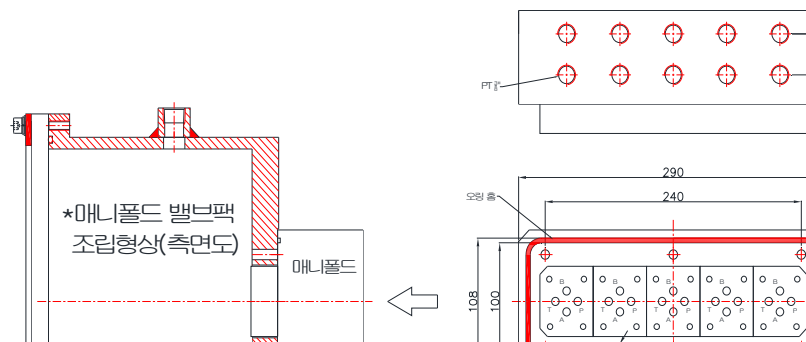
(a) 밸브팩 내부



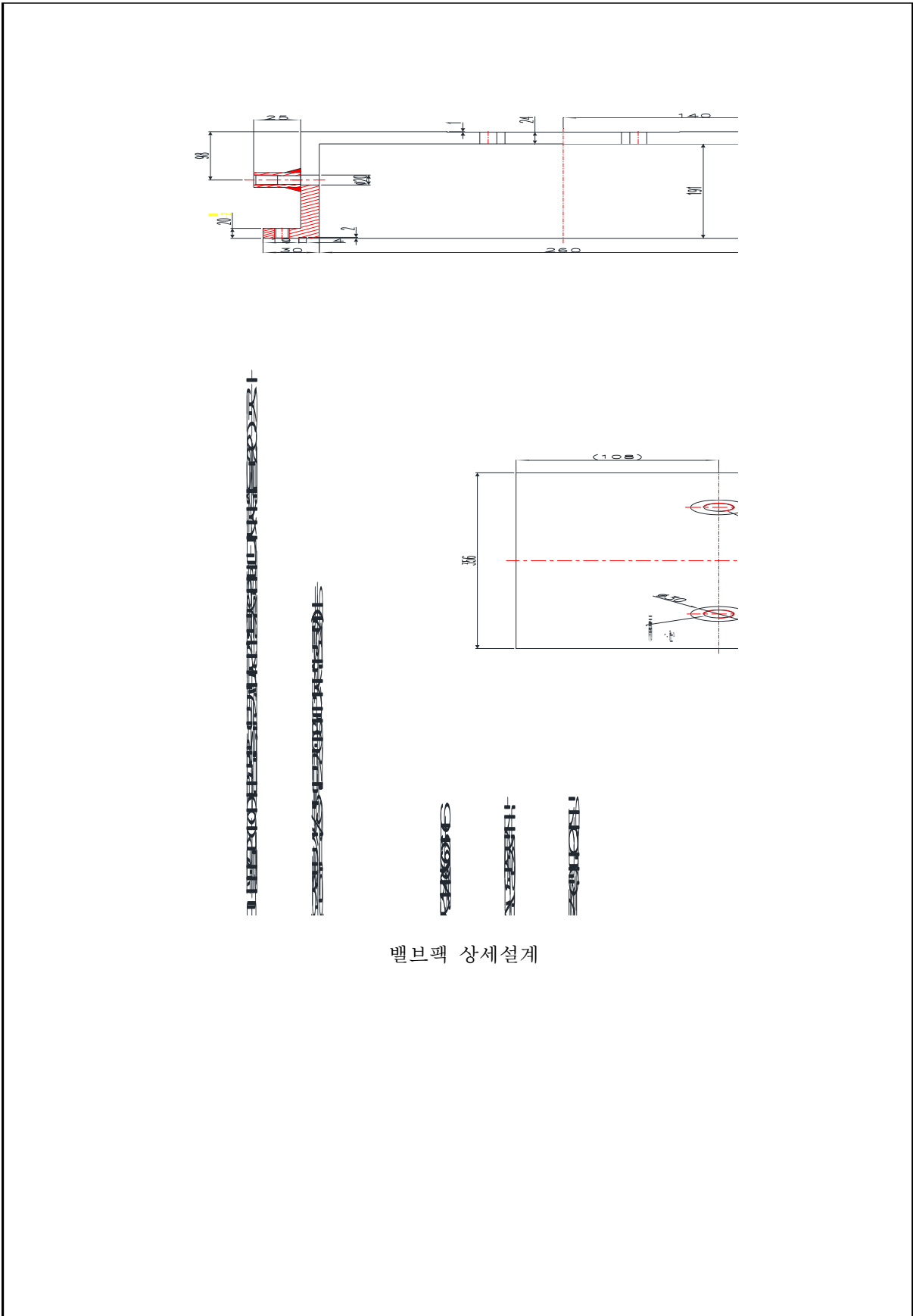
(b) 유압 쿼커플러 연결

시험장치 주요부 사진

- 상세설계 및 최종 BOM 도출



매니폴드 상세설계



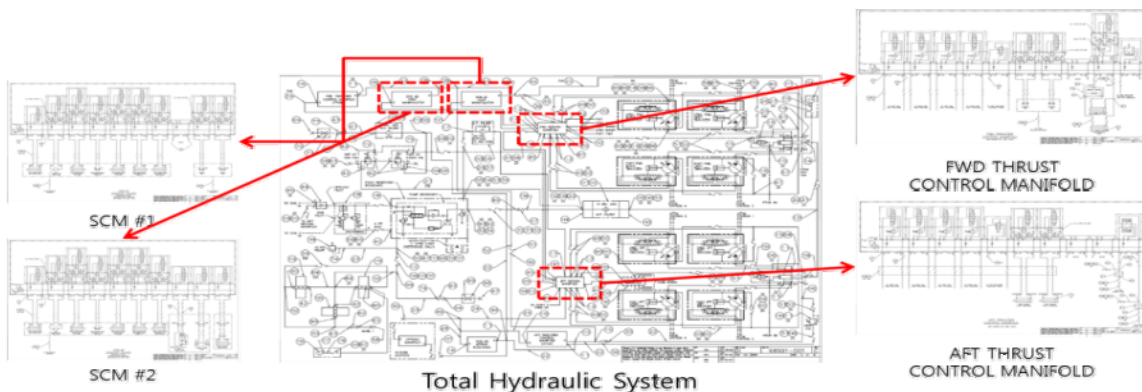
밸브팩 상세설계

• 최종 부품 BOM

순번	품명	재질	사양	수량	비고
1	Main pump	Cast steel	255kW, max. 350bar, 390LPM K3VG280 [Kawasaki]	1set	구매
2	Electric motor	SUS316	260kW, 1,800rpm ROV18-4 [SME]	1set	구매
3	Reservoir	SUS316	120Liter	1ea	제작
4	Compensator 1	AL6061-T6	3Liter, 0.62bar, diaphragm	1ea	제작
5	Compensator 2	AL6061-T6	6Liter, 1.2bar, diaphragm	2ea	제작
6	Filter 1	AL6061-T6	1 1/4", 10micron(WPF4-10QE) pressure line 1st	1ea	제작
7	Filter 2	AL6061-T6	1 1/4", 5micron(WPF4-05QE) pressure line 2nd	1ea	제작
8	Filter 3	AL6061-T6	1 1/4", 5micron(80CN-05QE) return line, bypass	1ea	제작
9	Filter 4	AL6061-T6	1/2", 5micron(WPF4-10QE) insulating oi line	1ea	제작
10	Valve Pack 1	AL6061-T6	8-stations	3ea	제작
11	Valve Pack 2	AL6061-T6	6-stations	3ea	제작
12	Radiator	STS316	shell & tube type	1set	제작
13	Circulation pump	Cast AL	60LPM, 210bar, AZPFF [Bosch]	1ea	구매

프로토타입용 최종 부품 BOM

• 유압공급장치 분석



ROV의 유압 회로도

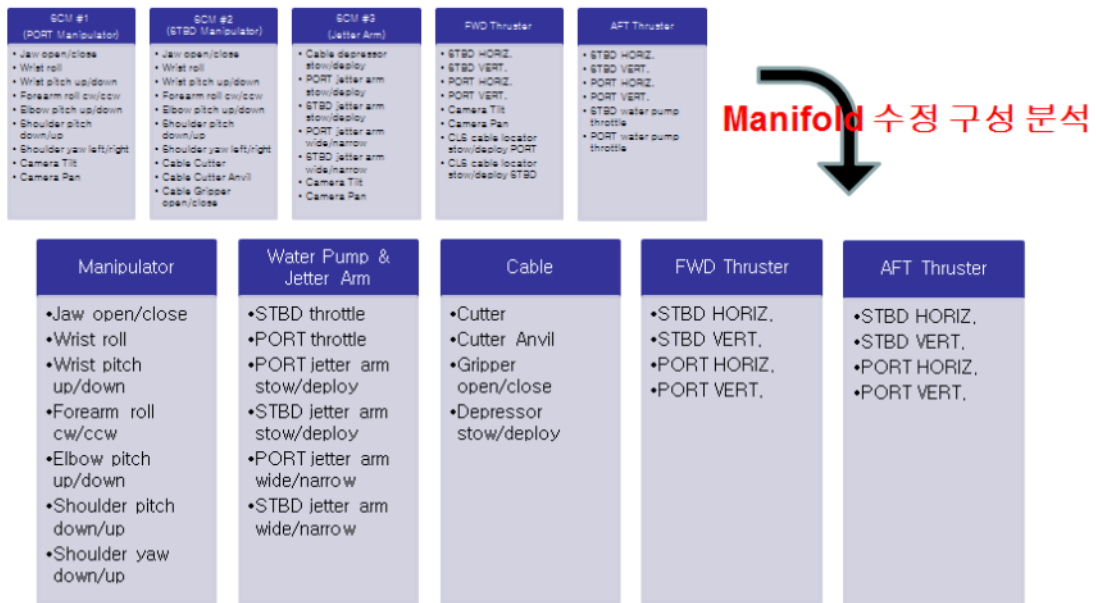
• HPU의 유압 펌프의 메이커별 사양 도출

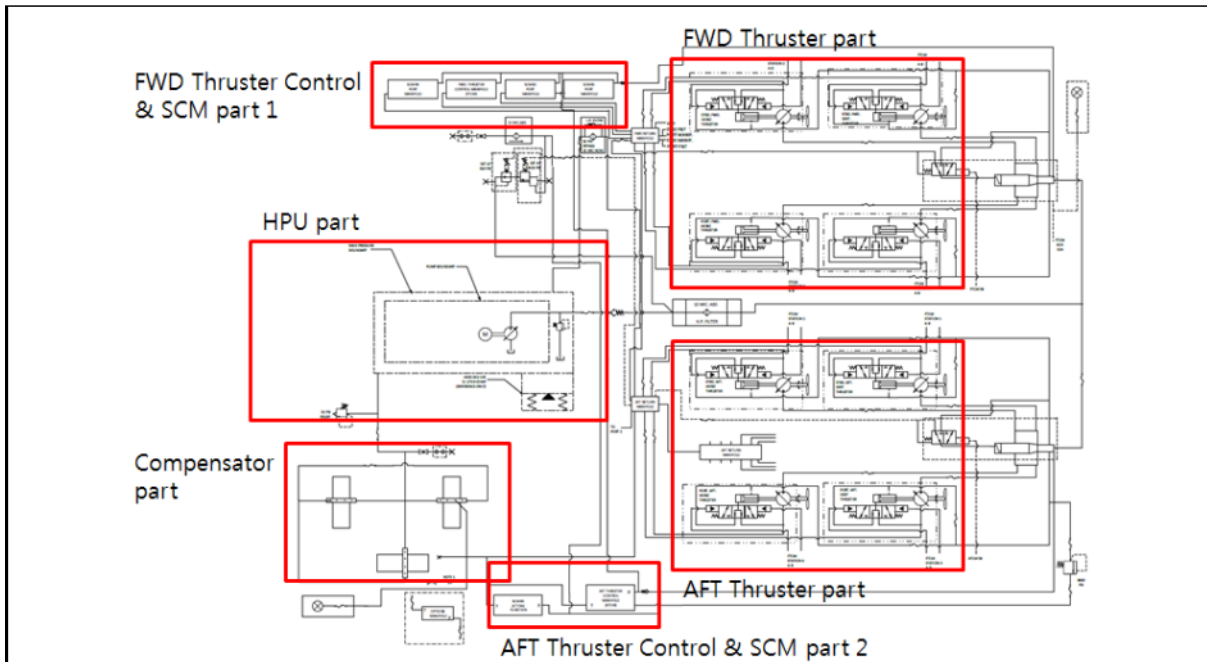
순번	메이커	모델명	제품형상	출력	압력	회전수	토출량	유량	중량	적용
1	Kawasaki	K3VG280		255kw	350bar	1600rpm	280cc	390LPM	160kg	Perry T-800
2	SAUER Danfoss	90R180		225kw	450bar	2600rpm	180cc	468LPM	136kg	SMD Curvetech
3	Linde	HPR-02		211.4kw	420bar	1800rpm	281.9cc	507.4LPM	165kg	FORUM Sub-Atlantic
4	Bosch Rexroth AG	A15VSO 280		294kw	350bar	1800rpm	280cc	504LPM	143kg	FORUM Sub-Atlantic

• 추진기에 대한 용량 산정 및 상세 사양 도출

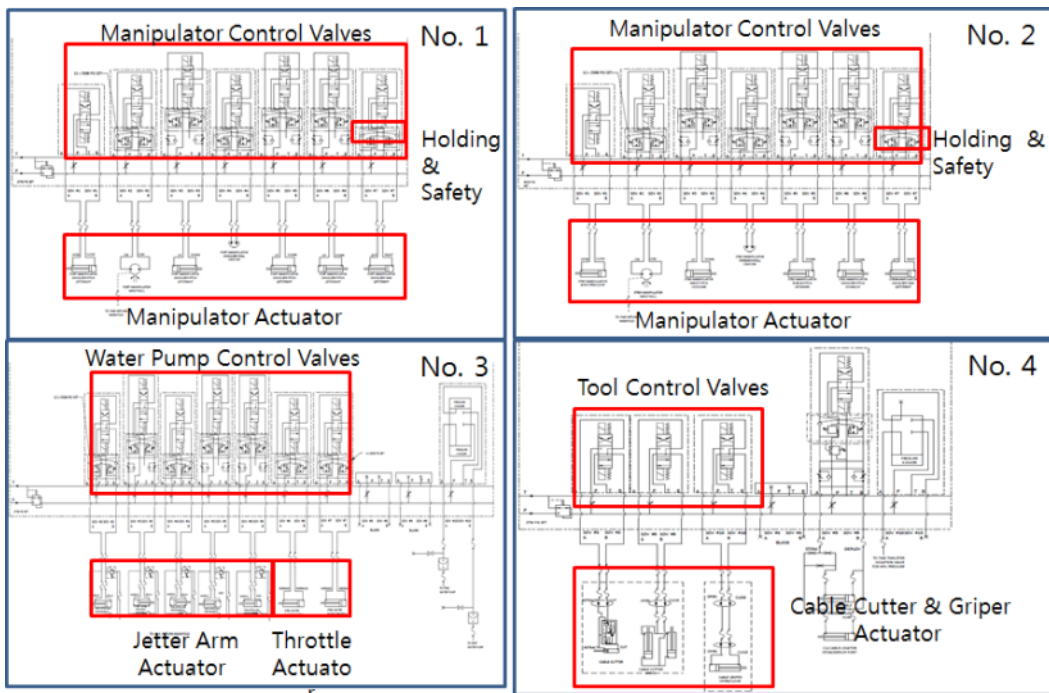
FWD. & AFT Thruster	Part number	Max static trust@250Bar (kgf/N)	Max operating pressure (Bar)	Propeller diameter (mm)	Maximum displacement (cc/rev)	Maximum Flow (lpm)
		700	250	500	125	75
hydraulic motor	HPT 500	Volumetric efficiency	Mechanical efficiency	Torque (Nm)	Velocity (rpm)	Power (kW)
		0,9	0,9	450	4032	33,5

• 수중 유압시스템 1차 설계





ROV의 1차 전체 유압 회로도



ROV의 1차 기능별 유압 회로도

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-③	담당 기관	KT서브마린
성과목표	수중 워터젯 기술	성과지표	수중 워터젯 기술
목표값	1차 시작품 (12m ³ /hr@5bar)	달성값	1차 시작품 (12m ³ /hr@5bar)
날짜	2015.04.30.	장소	KT서브마린
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 워터젯 기술	1차 시작품	2차 시작품	만족

• 젯팅파워와 매설성능 사이 관계

RPM (r/min)	200	350	500	700	1,050	1,400	1,760
Flow rate (m ³ /h)	0.0097	0.0115	0.014	0.018	0.0252	0.0324	0.0396
Pressure (bar)	0.01	0.02	0.18	0.2	0.5	0.8	1.15
Jetting power (W)	0.0008	0.0018	0.0195	0.0278	0.0972	0.2	0.3514

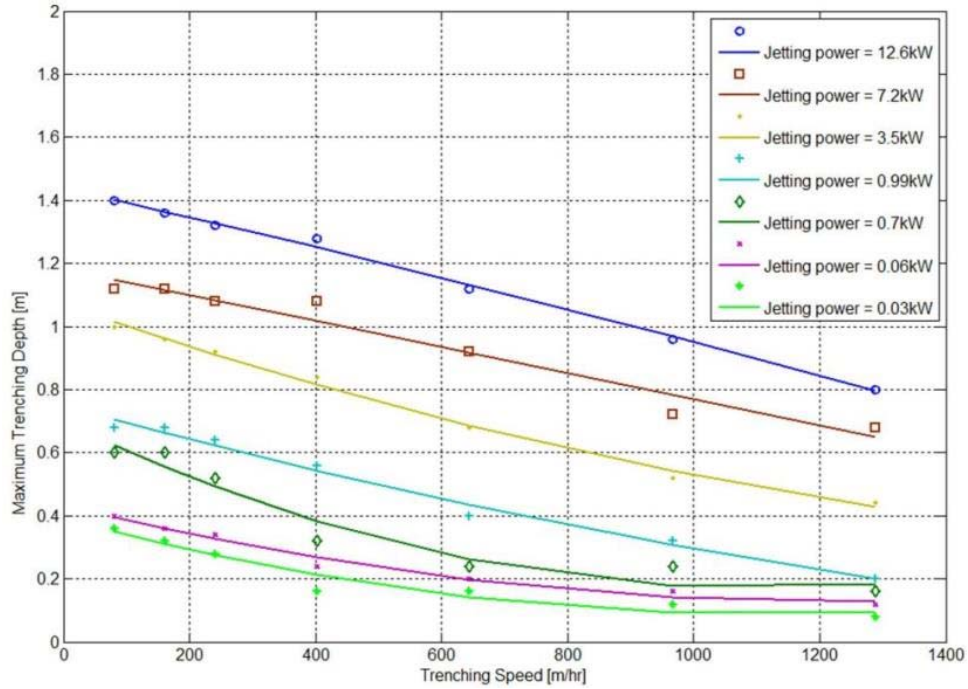
펌프모터 RPM과 유량 및 압력 사이 관계

- 노즐의 이동속도를 $v_{tr} = 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.0, 8.0 \text{ cm/s}$ 로 변경하면서 매번 RPM을 변경하면서 trenching 심도를 고찰하였음. 이 실험에서는 노즐의 젯팅각도를 60도와 75도 두 가지로 수행하였음

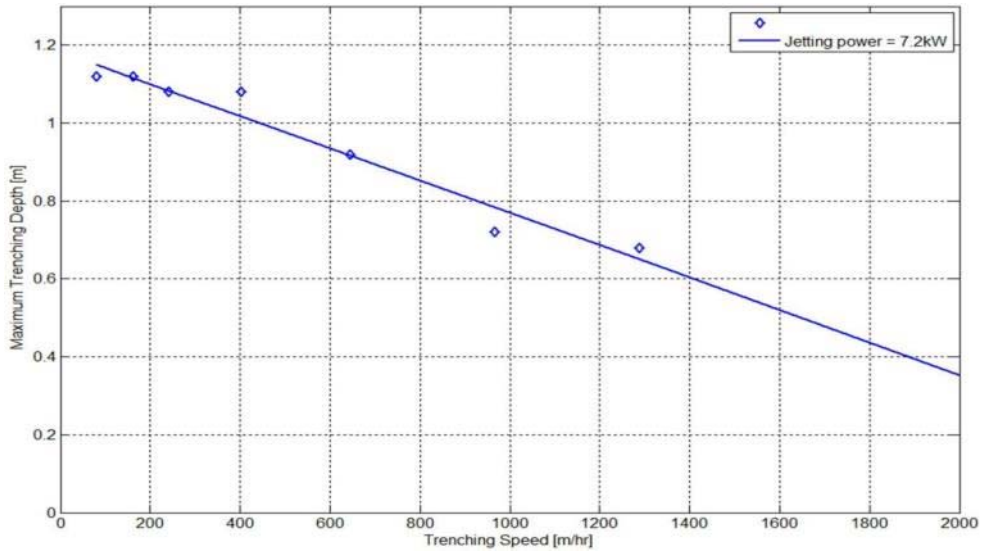
(cm/s)	Trenching depth (cm)						
	RPM=1760	1400	1050	700	500	350	200
0.5	7	5.6	5	3.4	3	2	1.8
1.0	6.8	5.6	4.8	3.4	3	1.8	1.6
1.5	6.6	5.4	4.6	3.2	2.6	1.7	1.4
2.5	6.4	5.4	4.2	2.8	1.6	1.2	0.8
4.0	5.6	4.6	3.4	2	1.2	1	0.8
6.0	4.8	3.6	2.6	1.6	1.2	0.8	0.6
8.0	4	3.4	2.2	1	0.8	0.6	0.4

노즐 이동속도와 젯팅파워에 따른 매설심도 사이 관계

- 실험데이터를 활용하여 프로토타입의 노즐 내경이 18mm로 가정했을 때 매설심도와 매설속도, 그리고 젯팅파워 사이 관계를 다음과 같이 유출할 수 있었음



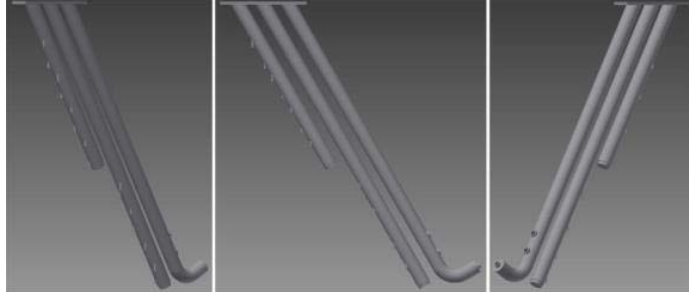
매설속도, 젯팅파워, 및 최대 매설심도 사이 관계



개개의 노즐에 할당된 젯팅파워가 7.2kW일 경우, 2km/hr의 매설속도에서 하나의 노즐에 상응한 매설심도는 약 0.3m가 됨을 추측할 수 있음

- 워터젯 2차 시제품(1:6 축소모델) 설계/제작

- 3D 형상 설계



워터젯 젯팅암 축소모델 설계안

- 축소모델 제작



축소모델 제작

- 실험 수조 제작



2(L)x1(D)x0.6(W) 수조 제작

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-④	담당 기관	한국도κι맥
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 그리퍼
목표값	1차 시작품 최종 설계	달성값	1차 시작품 최종 설계
날짜	2015.04.10	장소	한국도κι맥
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

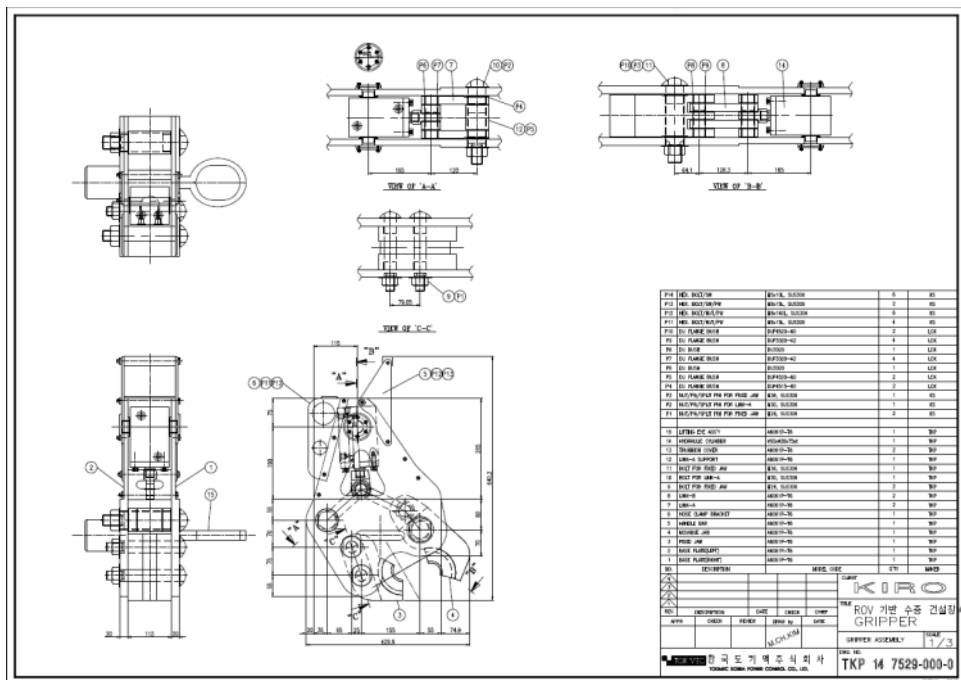
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

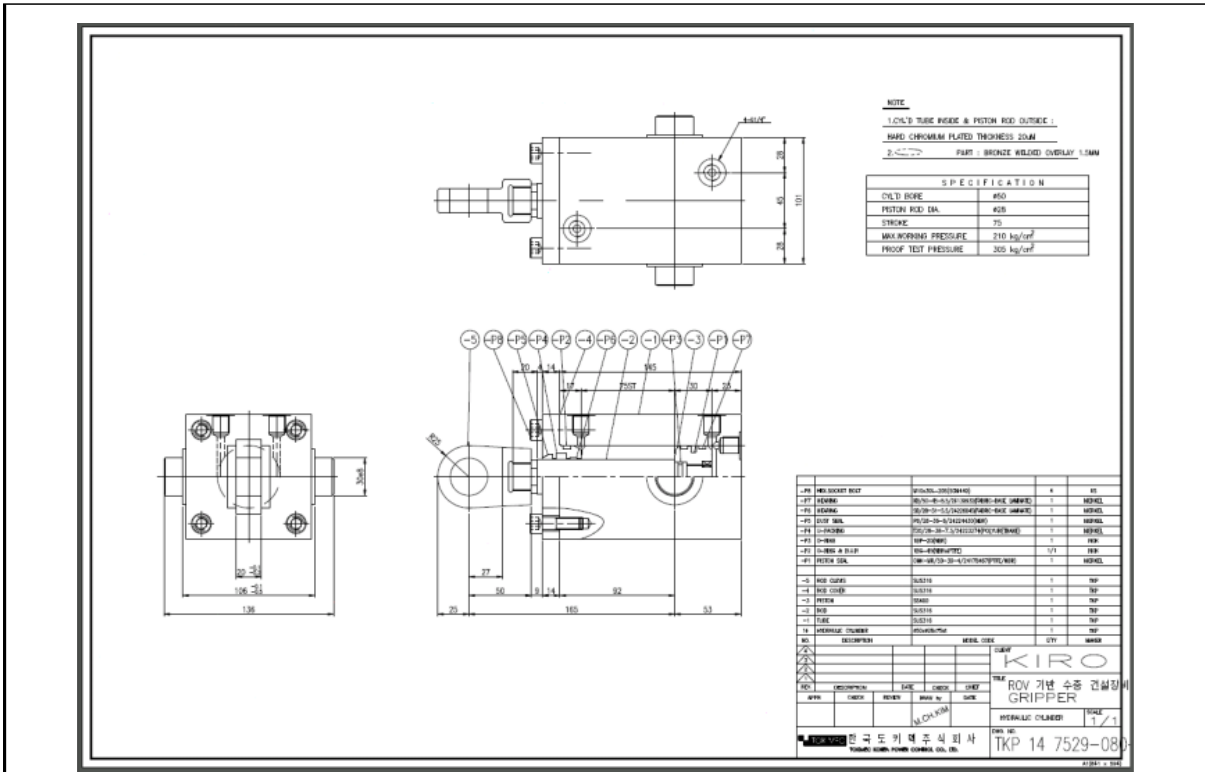
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
케이블 그리퍼	1차 시작품 최종 설계	1차 시작품 최종 설계	만족

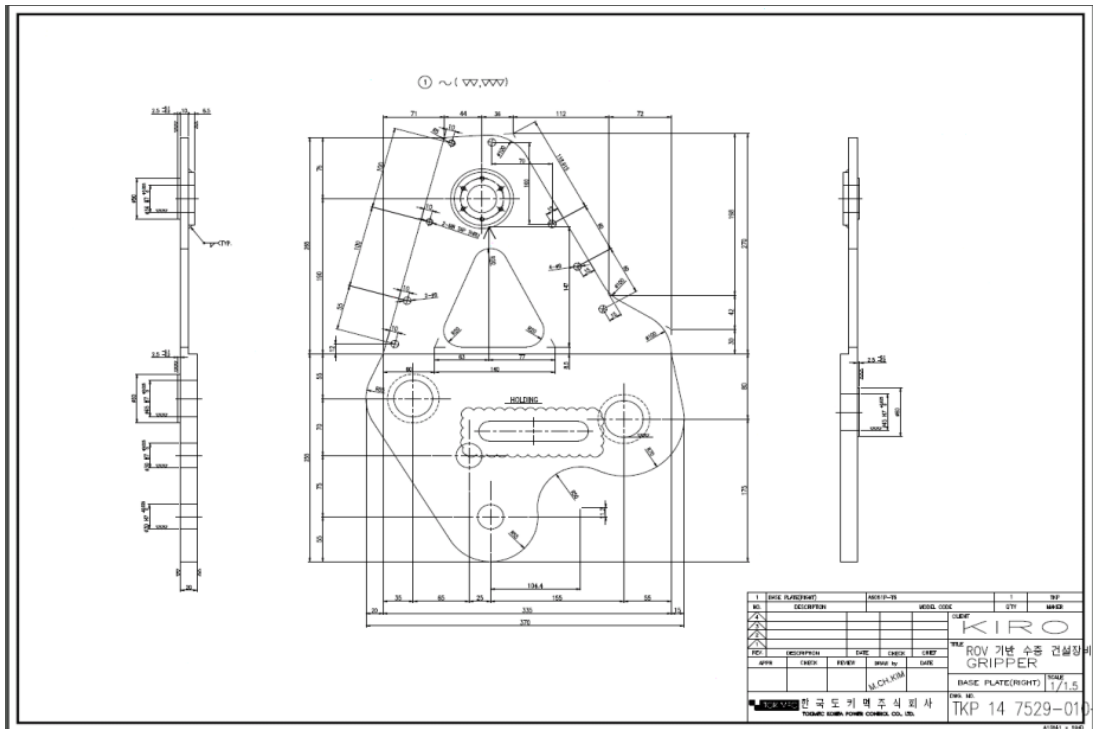
• 케이블 그리퍼 제작 도면



케이블 그리퍼 조립도 및 부품표



클램프 실린더



메인 프레임

⑦ ~ (VV, VVV)

⑧ ~ (VV, VVV)

⑨ VV (VVV)

⑩ VV (VVV)

⑪ VV (VVV)

⑫ ~ (VVV)

13	SHIMMER CODE	4001P-75	2	TP
12	LINK-A SUPPORT	4001P-75	1	TP
11	BOLT FOR LINK-A	50L SUS304	1	TP
10	BOLT FOR LINK-A	50L SUS304	1	TP
9	BOLT FOR LINK-A	50L SUS304	2	TP
8	LINK-B	4001P-75	2	TP
7	LINK-A	4001P-75	2	TP
6	DESCRIPTION	WEAR DECK	271	MARK

KIRO
 ROV 기반 수중 건설용 GRIPPER
 LINK & BOLT
 SCALE 1/1.5
 한국도기계주식회사
 TEL: 02-7529-0700
 FAX: 02-7529-0701

링크 및 볼트류

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-⑤	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 커터
목표값	1차 시작품 최종 설계	달성값	1차 시작품 최종 설계
날짜	2015.04.10.	장소	한국도키멕
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

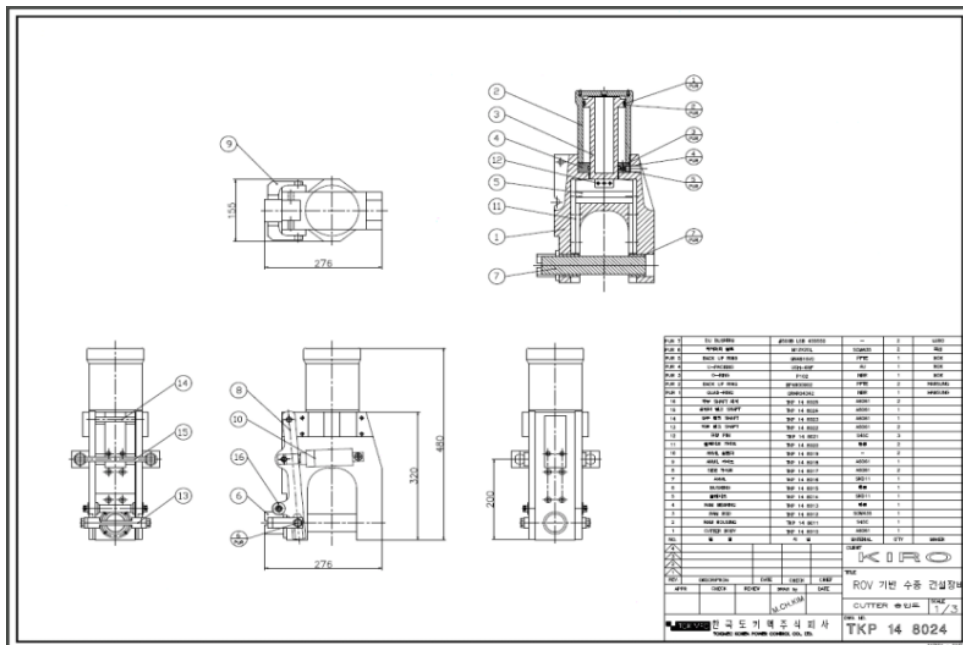
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

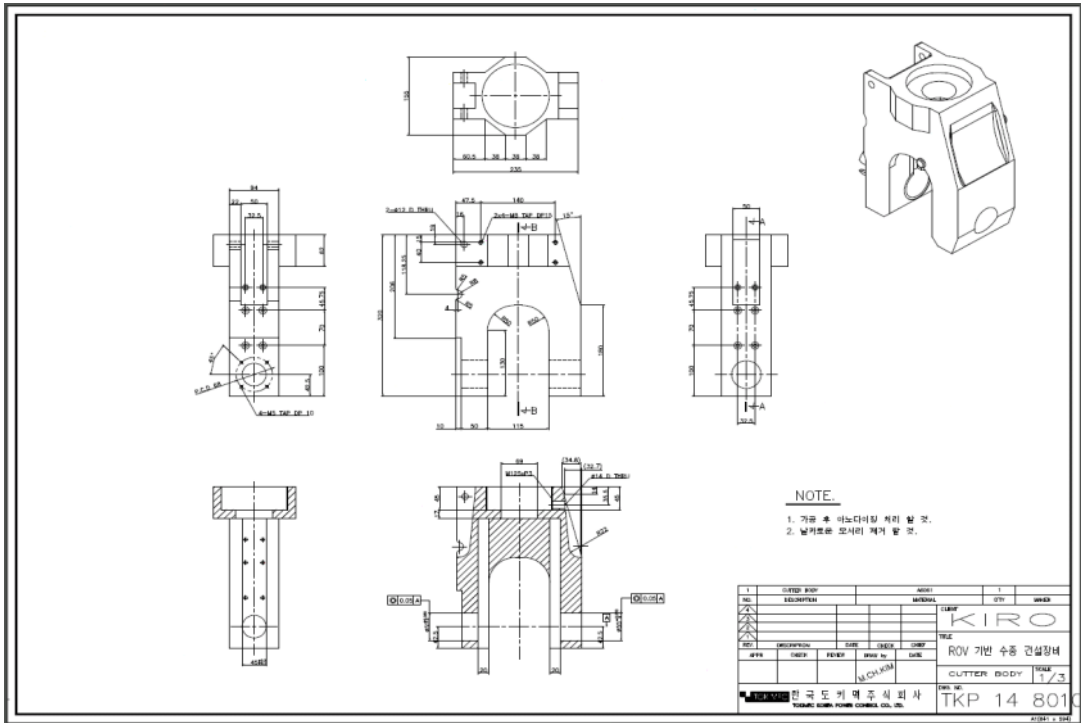
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
케이블 커터	1차 시작품 최종 설계	1차 시작품 최종 설계	만족

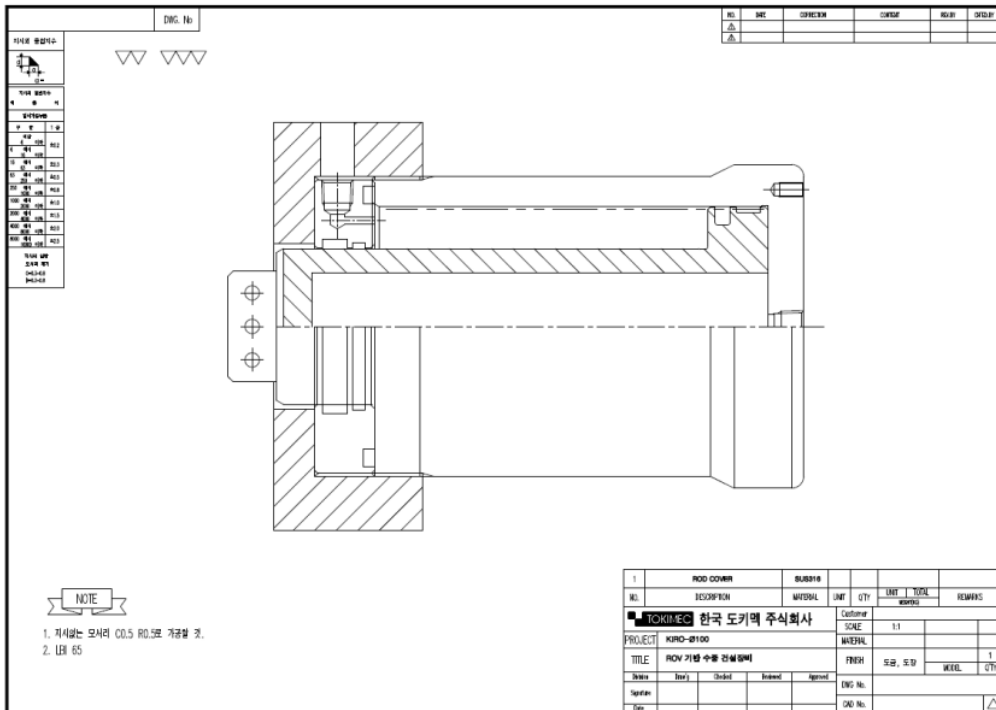
- 케이블 커터 제작 도면



케이블 커터 조립도 및 부품표



케이블 커터 메인 프레임



커터용 램 실린더

NOTE

1. CYL'D TUBE INSIDE & PISTON ROD OUTSIDE :
HARD CHROMIUM PLATED THICKNESS 20uM

SPECIFICATION	
CYLD BORE	ø30
PISTON ROD DIA.	ø12
STROKE	48
MAX.WORKING PRESSURE	210 kg/cm ²
PROOF TEST PRESSURE	305 kg/cm ²

NO.	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY	MAKER
PUR0	O-RING	F20	1	
PUR5	SLID RING	PS105300	1	
PUR4	WEAR RING	GH600300	2	
PUR3	WRAP RING	GH600100	1	
PUR2	U-PACKING	UP1-12	1	
PUR1	DUST SEAL	LSH-12	1	
5	ANVL CYL HEAD COVER	TSP 14 8200-142-0	1	SUS316
4	ANVL CYL ROD COVER	TSP 14 8200-144-0	1	SUS316
3	ANVL CYL ROD	TSP 14 8200-010-3	1	SUS316
2	ANVL CYL PISTON	TSP 14 8200-142-0	1	S45C
1	ANVL CYL TUBE	TSP 14 8200-141-0	1	SUS316

NO.	DESCRIPTION	MATERIAL	QTY	MAKER
1	ANVL CYL TUBE	-	1	MAKER

REV.	DESCRIPTION	DATE	CHECK	CHEF

APPR	CHECK	REVIEW	DRAW by	DATE
			M.C.H.KIM	

TOKIMEG 한국도키역주식회사 TOKIMEG KOREA POWER CONTROL CO. LTD.	DWG. NO. TKP 14 8200-140-0
------------------------------------------------------------------	--------------------------------------

카드 조작용 앤빌 실린더

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-⑥	담당 기관	솔탑/한국로봇융합연구원
성과목표	선상 관제체계 기술	성과지표	선상 관제체계 기술
목표값	S/W 엔진 1차 시안 구축	달성값	1차 시작품 및 센서장비 연동
날짜	2015.03.20	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

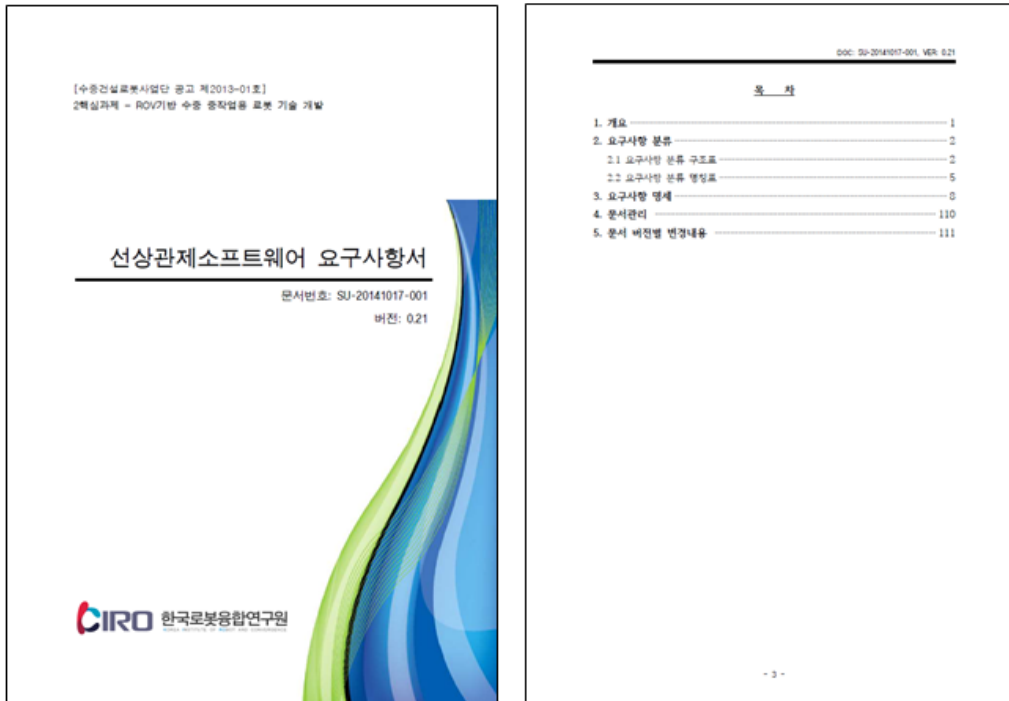
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

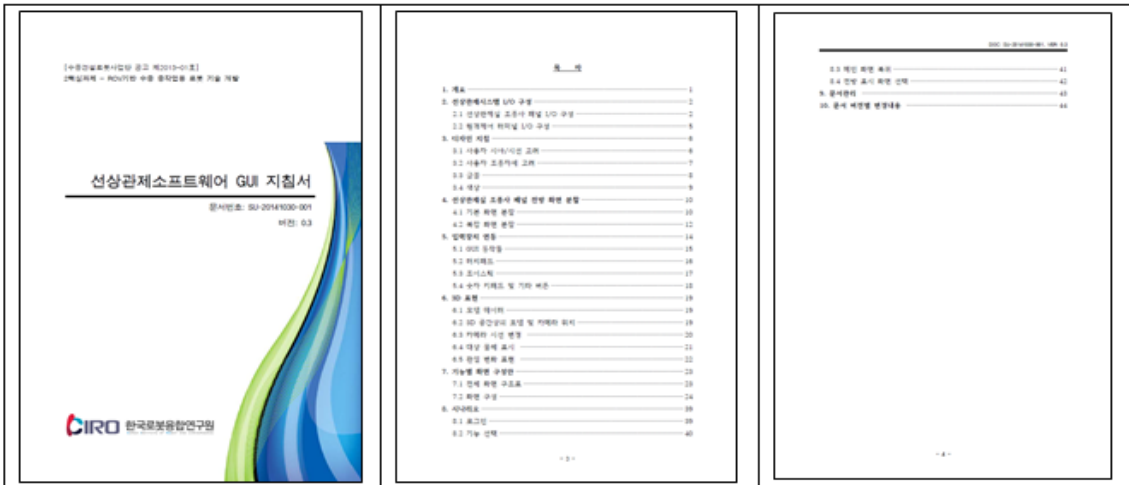
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
선상 관제체계 기술	S/W 엔진 1차 시안 구축	S/W엔진 1차 시안 구축	만족

- 선상관제 SW 요구사항서 작성



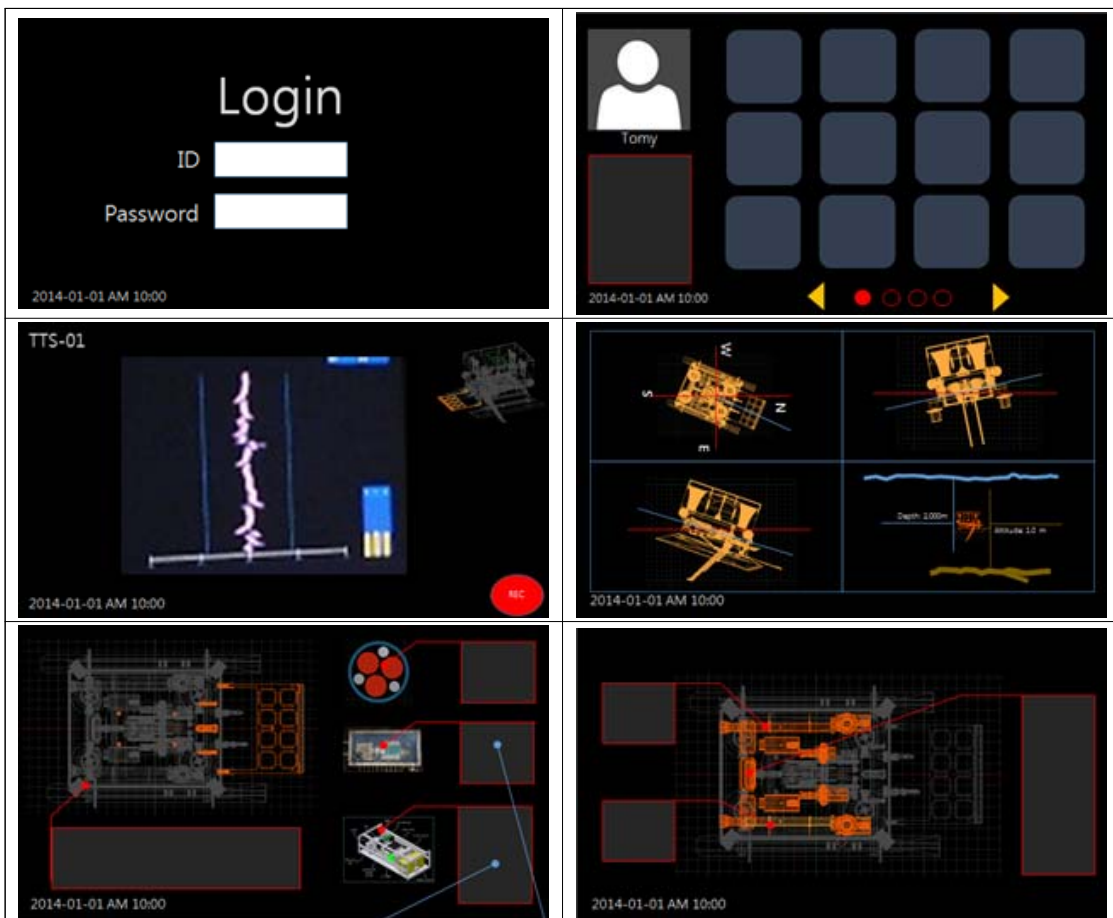
선상관제소프트웨어 요구사항서

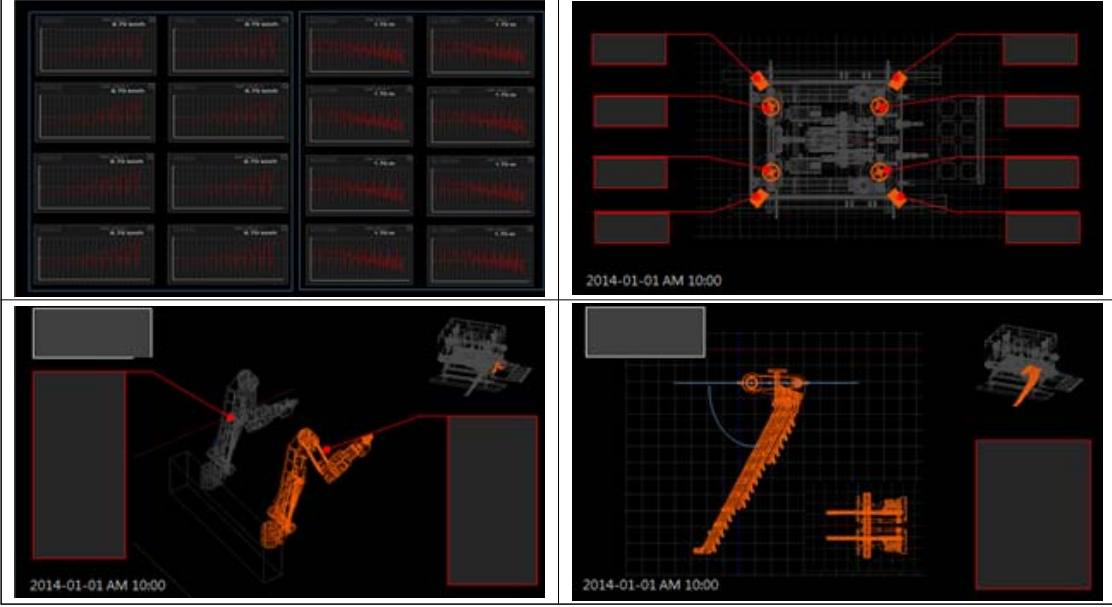
• GUI 디자인 가이드라인 작성



선상관제소프트웨어 GUI 지침서

• 화면 구성 시안





화면 구성의 시안

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-⑦	담당 기관	포스텍
성과목표	핵심기술	성과지표	유압매니퓰레이터 정밀 제어
목표값	시뮬레이션 기반 7자유도 서보잉 제어 구현	달성값	시뮬레이션 기반 7자유도 서보잉 제어 구현
날짜		장소	포스텍
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
유압매니퓰레이터	검증 대상	
카메라(2EA)	유압매니퓰레이터 자세 샘플 사진 획득	
컴퓨터	영상 이미지 매칭 알고리즘 구동	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
영상 이미지 매칭률	80%	80.2%	만족

- 모델추종 강인 제어기 설계
- 모델 추종 강인 제어기는 동역학 모델과 실제 시스템 모델간의 오차 동역학을 기반으로 설계

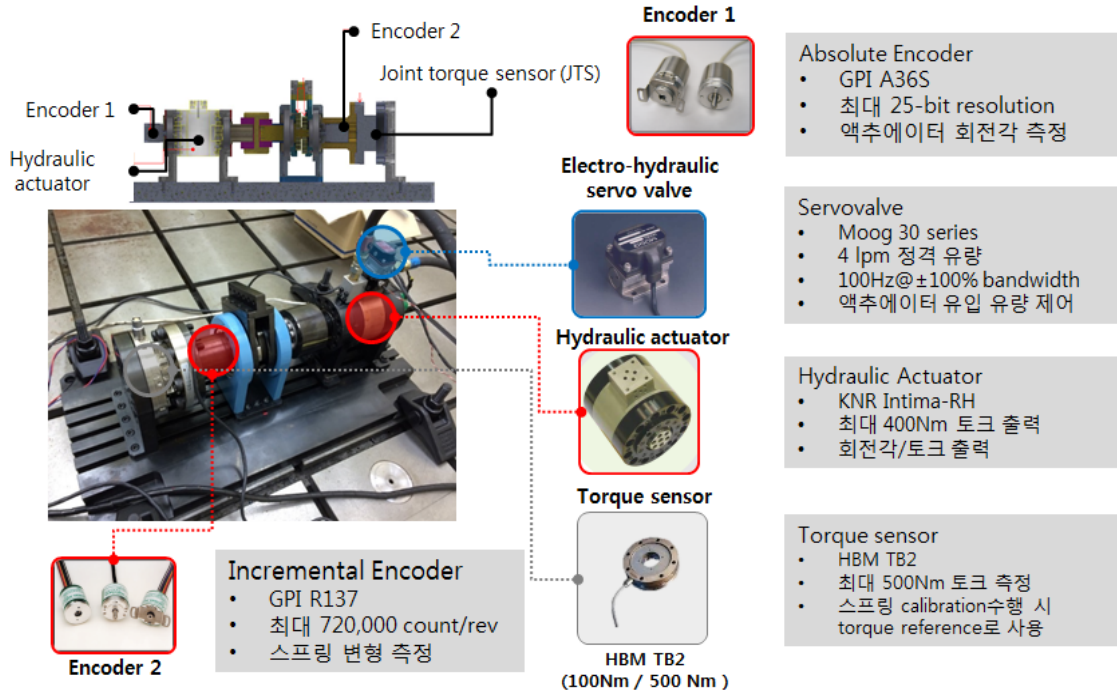
model		$\ddot{q}_m + \hat{B}\dot{q}_m + \hat{C}q_m = D\dot{u} + Eu$
$P_m(s)$		
Plant		$\ddot{q} + B\dot{q} + Cq + d = D(\dot{u} + \dot{v}) + E(u + v)$
$P(s)$		

Error dynamics $\ddot{e}_r + \hat{B}\dot{e}_r + \hat{C}e_r = d_{ex} - D\dot{v} - Ev$
 ($d_{ex} = d - (B - \hat{B})\dot{q} - (C - \hat{C})q, e_r = q_m - q$)

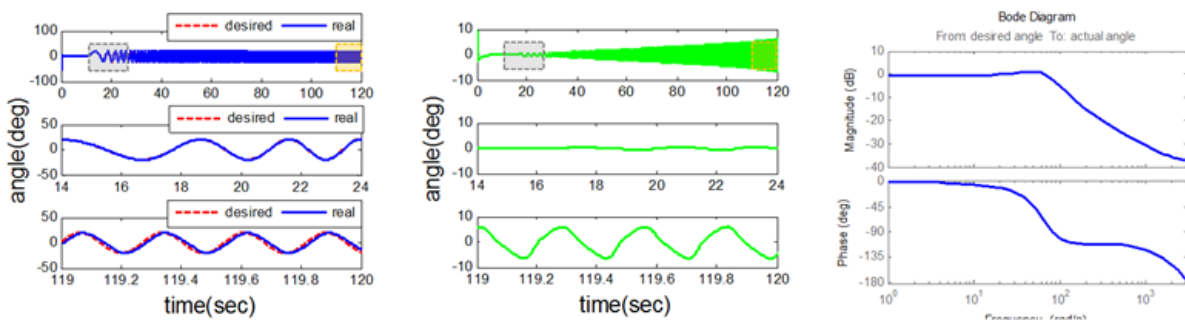
	오차 동역학	강인 제어기
선형화 모델	$\hat{M}\ddot{e}_r + \hat{N}\dot{e}_r + \hat{P}e_r = v + d_{eq}$	$v = D(\ddot{e}_r + K_D\dot{e}_r + K_P e_r + K_I \int e_r)$
실험적 모델	$\ddot{e}_r + \hat{B}\dot{e}_r + \hat{C}e_r = d_{ex} - D\dot{v} - Ev$	$v = \mathcal{L}^{-1}\left(\frac{1}{Ds + E}\right)[K_d \dot{e}_r + K_p e_r + K_{ir} \int e_r]$

모델 오차 동역학 계산

• 1자유도 및 다자유도 매니플레이터를 이용한 실험 검증

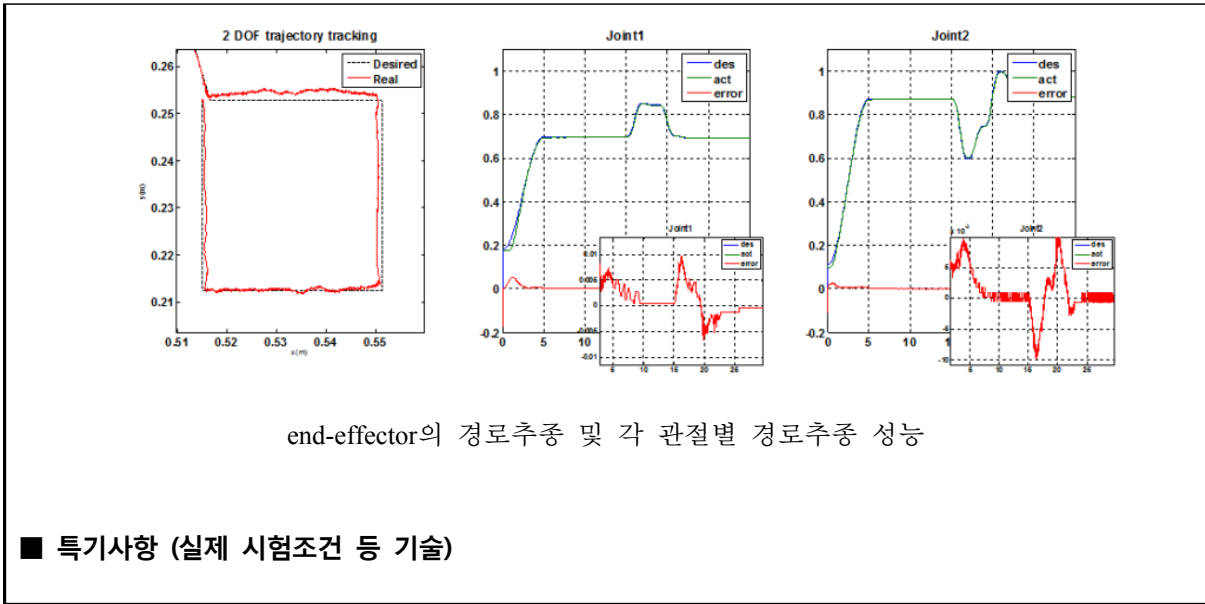


- PID 제어기와 추종오차 및 bandwidth 등의 성능비교결과, 개발된 강인 제어기의 성능이 우수한 것으로 나타남



PID 제어기의 위치추종 결과

- 다축 매니플레이터 작업수행 실험
- end-effector로 가상의 평면상에 사각형을 그리는 작업을 수행



번호	2핵심-2차년도-⑧	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	수중 정밀 복합 항법
목표값	2% of range (S/W 보정)	달성값	1.8% (S/W 보정)
날짜	2015.4.20	장소	한국로봇융합연구원
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 복합항법 위치 정밀도	2% of range	1.8% of range	만족

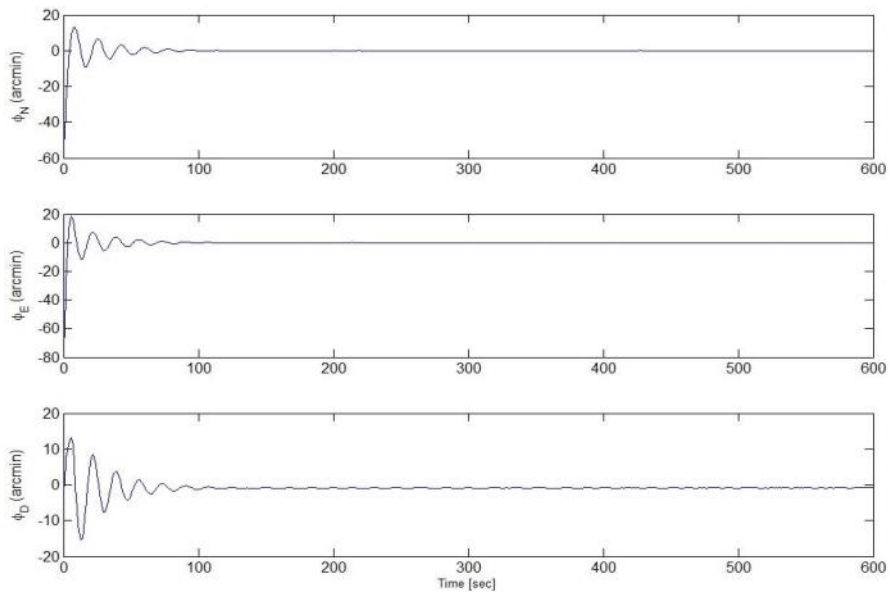
시뮬레이션 검증

- 본 시뮬레이션에서는 Honeywell사의 IMU 시뮬레이터를 이용하여 HG1700AG37 모델의 생성 데이터를 활용하였다. 이 모델의 오차특성은 다음과 같다.

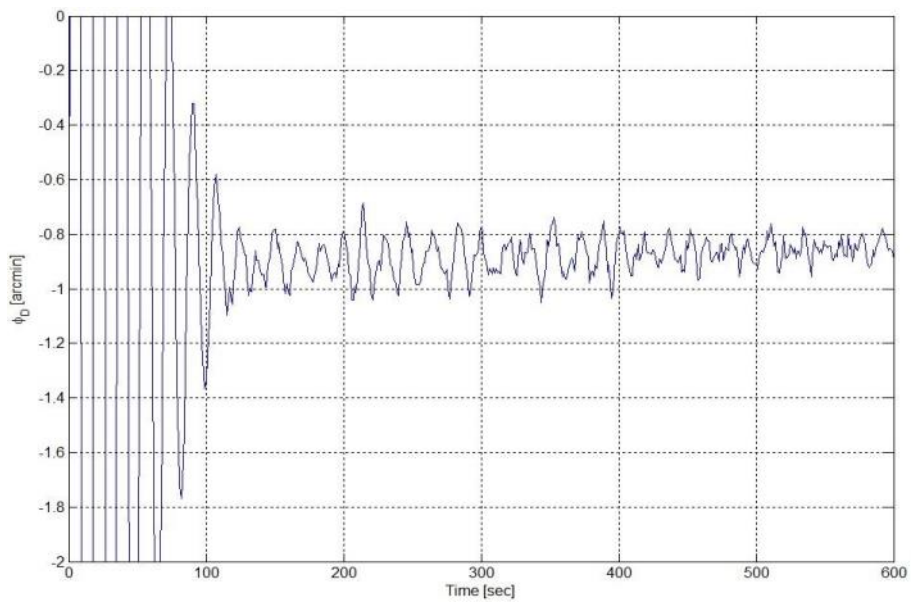
Items	Specifications (1σ)
Gyro bias	$1^\circ/\text{hr}$
Gyro output noise	$80\mu\text{g}$
Gyro random walk	$0.125^\circ/\sqrt{\text{hr}}$
Accelerometer bias	1mg
Accelerometer output noise	$0.008\text{ft}/\text{sec}$
Accelerometer random walk	$0.065\text{fps}/\sqrt{\text{hr}}$

HG1700AG37 IMU의 오차특성

- 시뮬레이션 데이터는 롤, 피치, 방위각이 모두 0° 인 조건하에서 시뮬레이터를 통하여 얻었으며, 자세 계산은 IMU 샘플링 주기에 맞춰 10ms 마다 수행하고 칼만필터는 1Hz의 샘플링 주기를 갖는다. 또한 초기오차는 롤, 피치가 각각 1° , 그리고 방위각 오차를 10° 로 하였다.
- 시뮬레이션 결과는 그림 1~2와 같다. 그림 1은 칼만필터의 자세오차 추정특성을 보여주며, 그림 2는 이에 따른 자세각 추정을 보여준다.



자세각 오차 추정



ϕ_D heading값 오차 추정

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-2차년도-㉠	담당 기관	KAIST
성과목표	핵심기술	성과지표	수중작업 실시간 3D 구현
목표값	설계기준 및 최종 목표사양 도출	달성값	설계기준 및 최종 목표사양 도출
날짜	2015.3.16	장소	KAIST
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

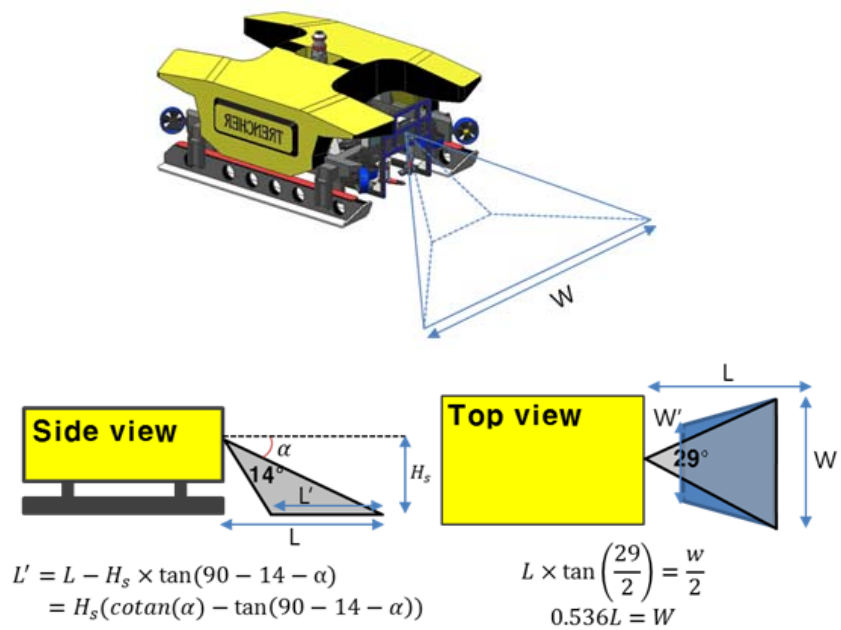
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중작업 실시간 3D 구현	설계기준 및 최종 목표사양 도출	설계기준 및 최종 목표사양 도출	

- 플랫폼 형상과 크기를 고려한 센서 취부 위치에 따른 매핑 영역 파악



Inclination(α) 센서 높이(H)	45°	50°	55°	60°	65°
	2.5m	W = 1.34m L' = 0.99m	W = 1.12m L' = 0.88m	W = 0.94m L' = 0.79m	W = 0.77m L' = 0.73m
S= 1.34		S= 0.99	S= 0.74	S= 0.56	S= 0.42
3 m	W = 1.60m L' = 1.20m	W = 1.35m L' = 1.05m	W = 1.13m L' = 0.95m	W = 0.93m L' = 0.87m	W = 0.75m L' = 0.82m
	S= 1.93	S= 1.42	S= 1.07	S= 0.81	S= 0.61
3.5m	W = 1.88m L' = 1.40m	W = 1.57m L' = 1.23m	W = 1.31m L' = 1.11m	W = 1.08m L' = 1.02m	W = 0.87m L' = 0.95m
	S= 2.62	S= 1.94	S= 1.45	S=1.10	S= 0.83
4m	W = 2.14m L' = 1.60m	W = 1.80m L' = 1.41m	W = 1.50m L' = 1.27m	W = 1.24m L' = 1.16m	W = 1.00m L' = 1.09m
	S= 3.42	S= 2.53	S= 1.90	S= 1.43	S= 1.09
4.5m	W = 2.41m L' = 1.80m	W = 2.02 m L' = 1.58m	W = 1.69m L' = 1.42m	W = 1.39m L' = 1.31m	W = 1.12m L' = 1.22m
	S= 4.33	S= 3.20	S= 2.40	S= 1.82	S= 1.38

- 초음파 센서의 계측 특성

비교항목	센서 계측 특성
노이즈	매질(물)의 움직임, 바닥, 수면 등의 영향에 따른 노이즈 존재
입사각에 따른 반사파의 유무	물체의 재질에 따라 최대 입사각이 변화
센서로부터 물체 표면까지의 거리	센서 계측 특성에 의해 물체에 대한 정확한 계측이 어려운 불확실성 존재
데이터의 불확실성	초음파 센서의 특성상 수평, 수직 빔폭에 대한 불확실성 존재 스캐닝 시 bin의 최대 개수에 따른 데이터의 해상도 저하 현상 발생 물체의 모서리 부분의 정확한 인식의 어려움 발생

- 계측 수학 모델

Algorithm 1 Scanning sonar simulator at single baem

Require: Sensor position , $X_s = \{x, y, z\}$, information of objects

Ensure: Intensity of each bins, $I_n = \{i_1, i_2, \dots\}$

```

1: for  $l \leftarrow 1$  to  $n_{\alpha:resolution}$  do
2:   for  $m \leftarrow 1$  to  $n_{bins}$  do
3:      $\beta$  is incidence angle.
4:     if  $\beta > 60^\circ$  then
5:        $i_m = 256 \times \cos^2 \beta$ 
6:     else
7:        $i_m = 0$ 
8:     end if
9:   end for
10: end for
    
```

시뮬레이터의 pseudo code

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
2차년도 (2014년)	기성 톨 성능평가	커터/암파쇄기 기성제품 성능 보고서	2건	10	-	보고서	100
	시험용 플랫폼 설계	설계도면	1건	70	-	설계도면	100
	모형 트랜처 원격 조종 시스템 개발	원격조종 테스트베드 설계도면	1건	10	-	설계도면	100
	운영시스템 개념설계	운영실 설계도면	1건	10	-	설계도면	100

번호	3핵심-2차년도-①	담당 기관	KIOST
성과목표	기성 툴 성능평가	성과지표	커터/암파쇄기 기성제품 성능 보고서
목표값	커터 기성품 성능보고서 1건 암파쇄기 기성품 성능보고서 1건	달성값	커터 기성품 성능보고서 1건 암파쇄기 기성품 성능보고서 1건
날짜	2015-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

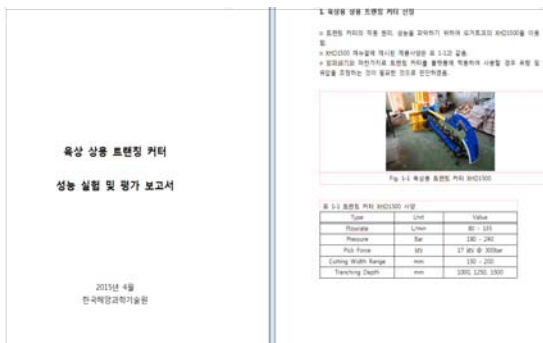
결과

■ 활용 장비

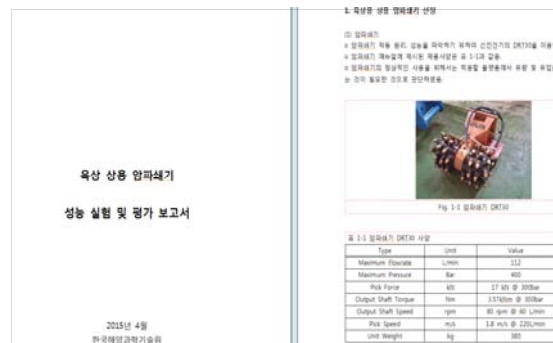
시험 장비	목적	비고
커터 기성품	개발장비에 적합한 트랜칭커터를 개발하기 위해 기성품의 성능을 확인	
암파쇄기 기성품	개발장비에 적합한 암파쇄기를 개발하기 위해 기성품의 성능을 확인	

■ 실험 결과

- 최종 시작품에 적합한 트랜칭커터, 암파쇄기를 개발하기 위하여 기성 제품을 확보하여 성능과 활용방안을 검토하고자 하였음.
- 상용 굴삭기를 활용하여 커터, 암파쇄기 작동 실험을 수행하고 이에 대한 보고서를 작성하였음.
- 커터, 암파쇄기를 작동하기 위한 기본 유압스펙, 지반요구조건, 작업시 장비에 미치는 반력등을 확인하고 커터 기성품 성능보고서 1건, 암파쇄기 기성품 성능보고서 1건을 작성하였음.



커터 기성품 성능보고서



암파쇄기 기성품 성능보고서

■ 특기사항

번호	3핵심-2차년도-②	담당 기관	KIOST, DHS
성과목표	시험용 플랫폼 설계	성과지표	설계도면
목표값	설계도면 1건	달성값	설계도면 1건
날짜	2015-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

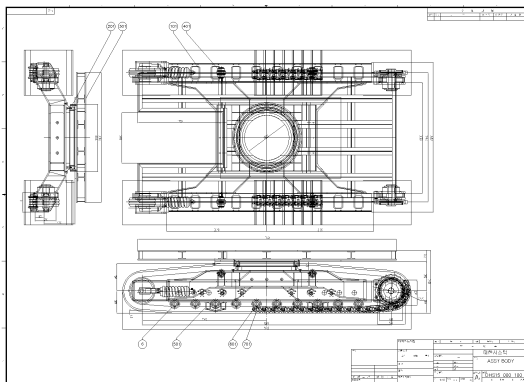
결과

■ 활용 장비

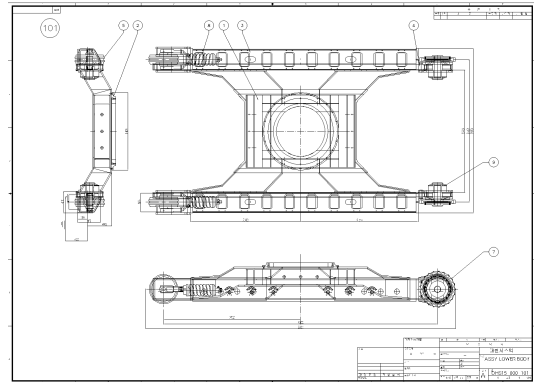
시험 장비	목적	비고
설계도면	요구 성능조건을 반영한 설계도면 작성	

■ 실험 결과

- 요구 성능조건을 만족하는 장비 개발이 필요함. 최종 시제품을 제작하기 앞서 테스트 플랫폼을 선제작하여 기본 성능 및 각종 알고리즘 등을 확인하고자 함.
- 각 기관에서 제시한 요구 성능을 만족하는 플랫폼을 설계하고 설계도면을 작성함.
- 확인 결과 조립도, 부품도, 부품리스트 등 설계도면을 작성하였음.



조립도



부품도

■ 특기사항

번호	3핵심-2차년도-③	담당 기관	KIOST, KIRO
성과목표	모형 트랜처 원격 조종 시스템 개발	성과지표	원격조종 테스트베드 설계도면
목표값	설계도면 1건	달성값	설계도면 1건
날짜	2015-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

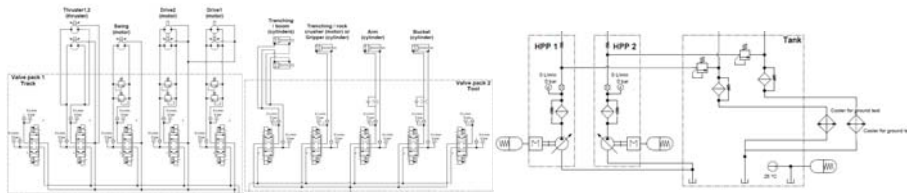
결과

■ 활용 장비

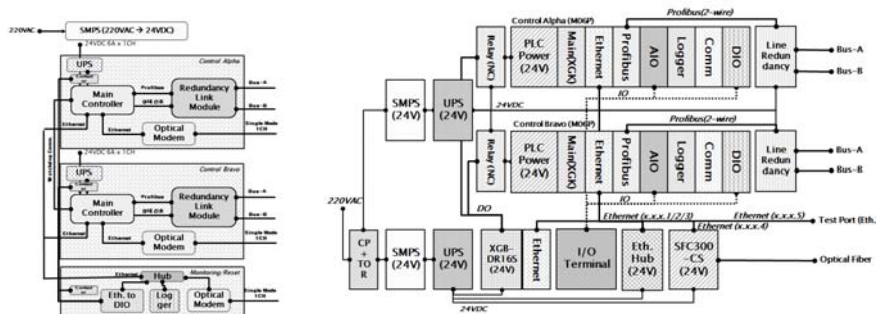
시험 장비	목적	비고
원격조종 테스트베드 설계도면	플랫폼, 트랜처의 원격조종을 위한 성능시험용 테스트베드 제작 설계도면 작성	

■ 실험 결과

- 플랫폼, 트랜처의 원격조종을 위한 성능시험용 테스트베드를 제작하고자 함.
- 각 장비의 작동, 제어알고리즘 검증을 수행하기 위해서는 테스트베드의 설계도면이 필수임.
- 확인 결과 유압제어기, 이를 전자제어하기 위한 전자제어기 설계도면 1건을 확보하였음.



원격조종 유압제어기



전자제어기 구성도 및 결선도

■ 특기사항

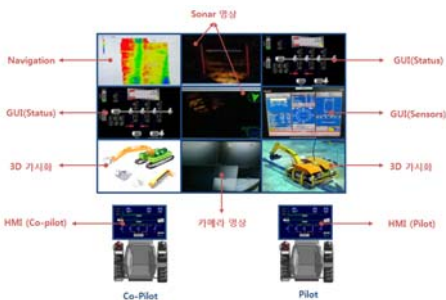
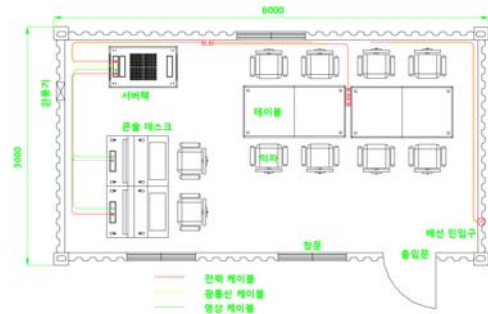
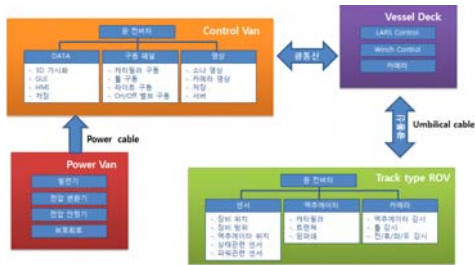
번호	3핵심-2차년도-④	담당 기관	KIOST, CNU
성과목표	운영시스템 개념설계	성과지표	운영실 설계도면
목표값	설계도면 1건	달성값	설계도면 1건
날짜	2015-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

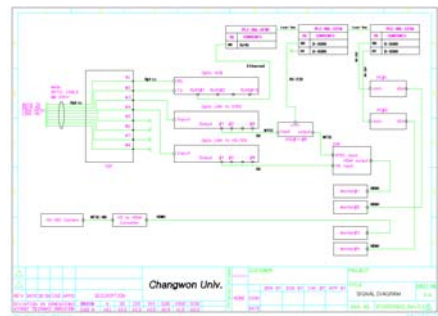
시험 장비	목적	비고
운영실 설계도면 1건	개발장비 운영실 제작을 위한 설계도면	

■ 실험 결과

- 선상에서 개발장비의 운영을 하기 위하여 전용 운영실이 필요함.
- 장비의 작동상태, 운영방안을 감안한 운영실 제작이 필요하며, 이에 대한 설계도면을 확보하여야 함.
- 확인 결과 장비의 운영에 대한 개념을 선정의하였고, 이를 반영한 운영실 구성도, 설계도면을 확보하였음.



운영시스템 개념설계



운영실 구성도, 설계도면

■ 특기사항

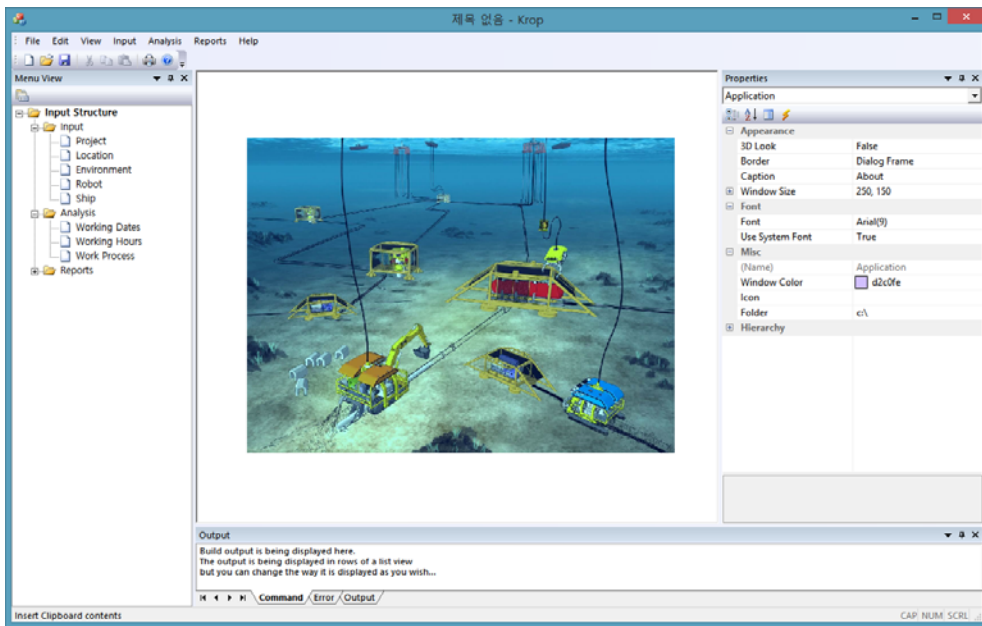
□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
2차년도 (2014년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	35%	30	해상 작업일수 추정기법 개발	보고서	100
	원치시스템 설계	2, 3핵심용 원치 시스템 사양설계	25%	20	2, 3핵심용 원치 시스템 구축 단계	설계도면	100
	umbilical cable 설계	2, 3핵심용 케이블 사양설계	30%	10	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	설계도면	100
	실증실험 후보지 조사	실증 후보지 현장 예비 조사	50%	10	체계적 실험역 실험 준비 단계	보고서	100
	핵심과제별 사업성 분석	핵심과제별 기술성 /시장성 분석	30%	30	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100

번호	총괄과제-2차년도-1	담당 기관	KIOST
성과목표	최적공정시스템 개발	성과지표	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축
목표값	35%	달성값	100%
날짜	2015.06.02.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 개발중인 Visual Studio 스타일의 프로그램



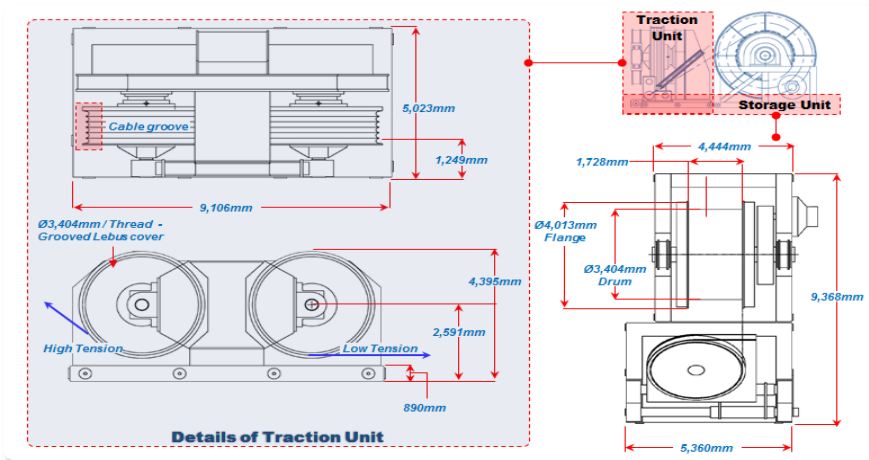
■ 결과

- 수중건설로봇 활용 최적공정시스템을 가시화할 수 있는 post processor frame으로 Input, Analysis 및 Report 등으로 구성
- 작업위치, 해양환경, 선박, 로봇의 종류 등을 입력값으로 처리하고, 작업가능일수 및 시간 그리고 작업상황을 분석 및 출력하도록 함

번호	총괄과제-2차년도-2	담당 기관	KIOST
성과목표	원치시스템 설계	성과지표	2, 3핵심용 원치 시스템 사양 설계
목표값	25%	달성값	100%
날짜	2015.04.07.	장소	-
평가방법	설계 도면	검증 여부	자체

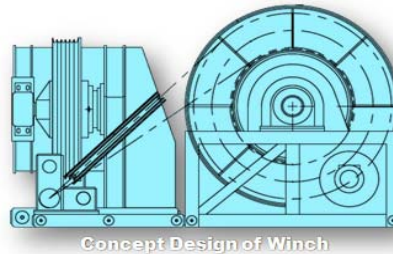
결과

■ 복합 원치 설계



System Configuration

- 1 **Dual Capstan Traction Winch**
 - 35 tons Line pull / 26m/m line speed
 - 3.4m root diameter Capstans for Ø50mm umbilical cable (Expandable)
 - Sub-frame with dual load cells
- 2 **Storage Winch**
 - Drum size - Ø4m (Flange) / Ø3.4m (Drum core) x 1.727m (Length)
 - Accommodation - Ø50mm x 100m umbilical cable
 - Slip ring - Focal 17E/291
 - Rotating & Fixed junction boxes
- 3 **Levelwind : Right angle type**
 - Continuous position sensing system
 - 3.4m tread diameter turning sheave, grooved for Ø50mm cable
 - Sheave instrumented for cable speed & scope
- 4 **Hydraulic Power Unit**
 - Dual 150HP (total 300HP) design / Electronic soft start
 - IEMA-4X enclosure / 440Vac, 3phases, 50Hz
- 5 **Tethered Remote Control**
 - 10m cable, Digital display for cable tension, speed & scope
- 6 **Interconnect Hydraulic Hose (5m)**
- 7 **Seawater resistance: 3 layers-Zinc coat/Epoxy/PUR paint**
- 8 **Other options**
 - Wireless Remote Control / Render mode / Auto Tension mode



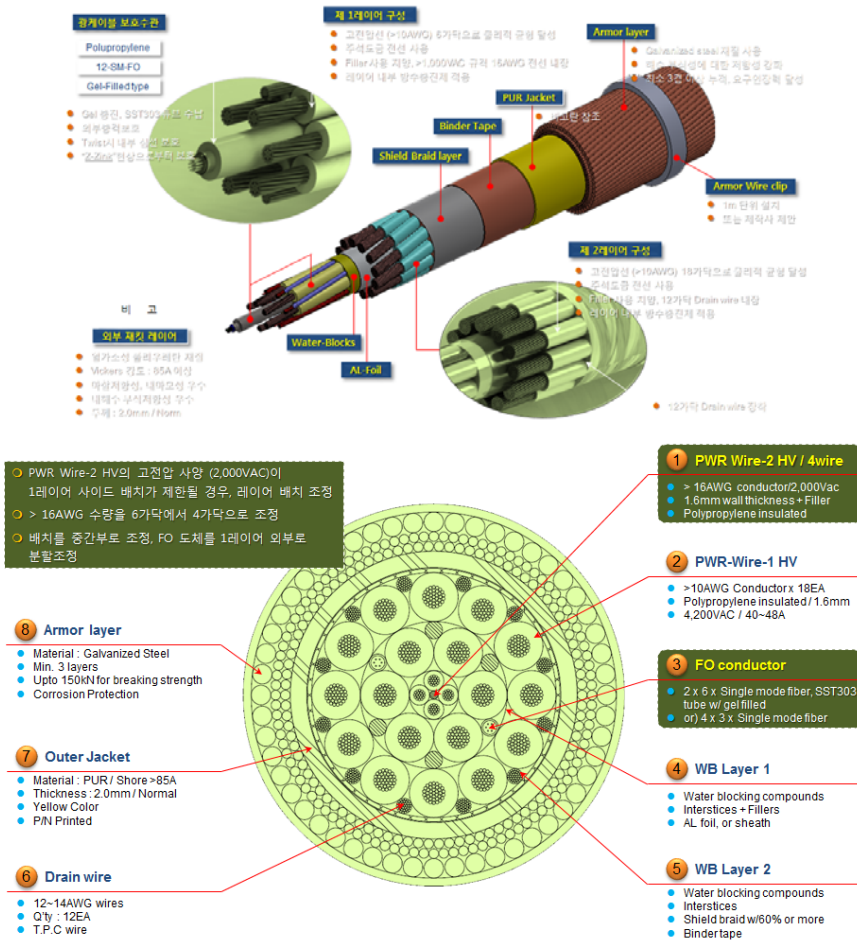
■ 결과

- 2, 3핵심과제 수중건설로봇용 선상 원치시스템 설계
- 해외 우수 실적업체 및 제작사 파트너 발굴
- 실제 제작 가능한 모델의 도출

번호	총괄과제-2차년도-3	담당 기관	KIOST
성과목표	Umbilical Cable 설계	성과지표	2, 3핵심용 케이블 사양 설계
목표값	30%	달성값	100%
날짜	2015.04.07.	장소	-
평가방법	설계 도면	검증 여부	자체

결과

■ 복합 원치 설계



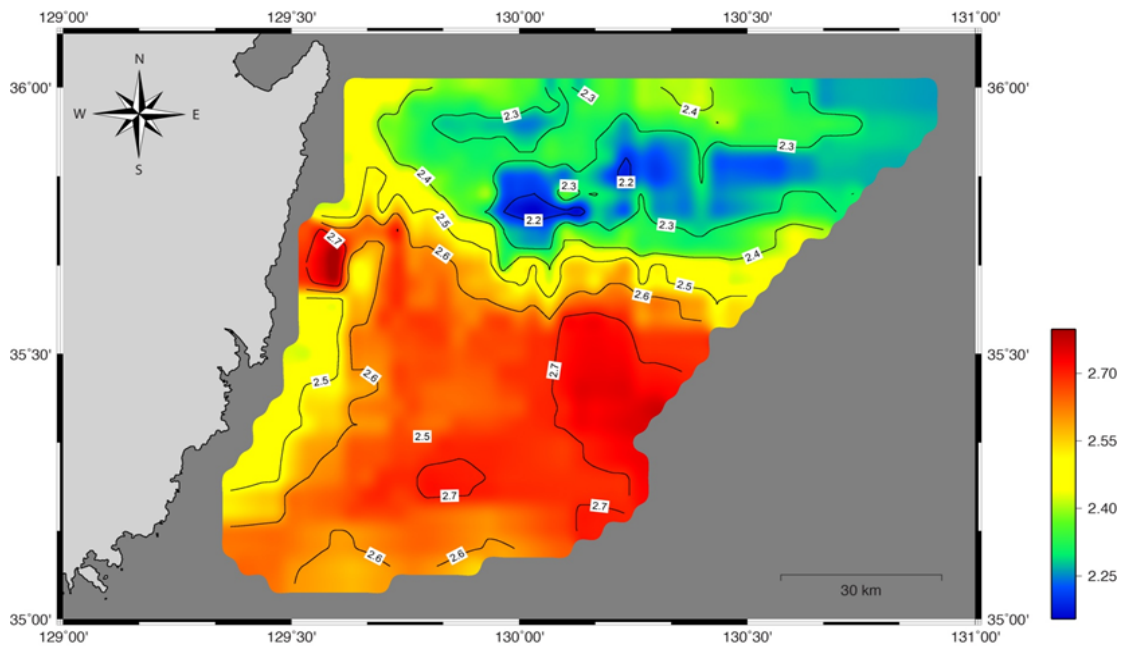
■ 결과

- 2, 3핵심과제 수중 700m급 고인장력 음비리컬 케이블 설계
- 해외 우수 실적업체 및 제작사 파트너 발굴
- 실제 제작 가능한 모델의 도출
- 제2 / 3핵심과제에 공통사용 가능한 인터페이스 도출

번호	총괄과제-2차년도-4	담당 기관	KIOST
성과목표	실증실험 후보지 조사	성과지표	실증 후보지 현장 예비 조사
목표값	50%	달성값	100%
날짜	2015.05.12.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 동해 남부해역 표층 전단강도 분포



■ 결과

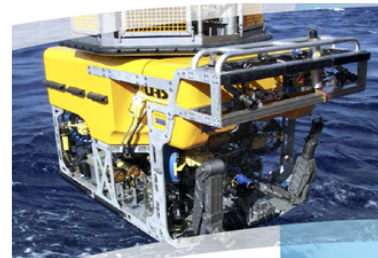
- 국내 연근해 지역의 파랑 및 바람 자료, 해저지질 데이터, 탁도 자료 등 분석
- 개발 로봇(최대 30tf)에 대한 현장검증 실험용 선박으로 국내 및 해외 가용 선박에 대한 제원 분석

번호	총괄과제-2차년도-5	담당 기관	KIOST
성과목표	핵심과제별 사업성 분석	성과지표	핵심과제별 기술성/시장성 분석
목표값	30%	달성값	100%
날짜	2015.05.12.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 핵심과제별 아이템 선정 및 사업화 분석

기업	모델	무게(kg)	작업수심(msw)	power	추진체(개수)	매니플레이터
FMC	HD	3700	4000	150hp+40hp	7	schilling
	UHD-III	5500	4000	250hp+150hp	7	schilling
Oceaneering	millennium	3990	3000	110hp+110hp	8	schilling
	magnum	3000	3000	85hp+85hp	6	schilling
	maximum	4800	3000	135hp+135hp	8	schilling
FORUM	XLX 150HP	4750	3000	150hp	8	any
	XLX 200HP	5500	3000	200hp	8	any
SMD	ATOM	2000	4000	유압식		schilling
	QUASAR	3500	4000	유압식		schilling
	QUANTUM	5000	4000	유압식		schilling



■ 결과

- 각 핵심과제별 해당 주요기업 제품 비교 분석
- 핵심과제별 핵심아이템 도출
- 핵심아이템 및 ROV 관련 해외 주요기업 value chain 분석
- 핵심아이템 및 ROV의 운용시장 분석, 사업화 타당성 분석 및 전략방안 도출

다. 3차년도(2015년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
3차년도 (2015년)	작업 심도	최대수심	2,500m	20	작업수심	설계 결과 및 시연	100
	수중 음향 전송 시스템	channel	입체 음향	20	입체음향	설계 결과 및 시연	100
	다중복합센서 기반 햅틱	햅틱구현	시제품	30	햅틱기술	시연	100
	유압 매니퓰레이터	자유도	7축급 개발	10	7축(미국)	설계 결과 및 시연	100
	유압 매니퓰레이터용 액추에이터	자유도	5축 설계 및 구동기 개발	10	5축(미국)	기능 시연	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도	10	미국/일본	설계 결과 및 시연	100

번호	1핵심 3차년도 - 1	담당 기관	KRISO, 레드윈
성과목표	작업 심도	성과지표	최대수심
목표값	2,500 m	달성값	세부모듈 내압시험 3,250m
날짜	2016년 3월	장소	선박해양플랜트연구소 (KRISO)
평가방법	공인시험인증	검증 여부	공인시험성적서(KOLAS) 발급

결 과

■ **활용 장비**

- 고압챔버 시험설비 (MOERI6000CIP), 시제 경작업용 ROV 내압용기 (Execution POD)

■ **실험 결과**

- 외벽 연구변형 및 누수 없음
- 공인 시험성적서 발급/획득

KOLAS 시험성적서
성적서번호: KRISO-2016-007
페이지(3 / 총 7)

5. 시험 조건 시험상태

6. 시험조건

시험 항목	시험 조건	기준/규격	달성 여부
가압/강압	0 → 20 000	20 000	120
가압	20 000 → 32 500	32 500	1 800
강압	32 500 → 0	-	-

7. 시험결과

시험 항목	기준/규격	달성 여부
가압/강압	20 000	120
가압	20 000 → 32 500	32 500
강압	32 500 → 0	-

KOLAS 시험성적서
성적서번호: KRISO-2016-007
페이지(1 / 총 7)

1. 시험 목적

2. 시험 목적의 범위

3. 시험대상용역 또는 방법, 시험명

4. 시험일자

5. 시험방법

6. 시험환경

7. 시험결과

시험목적	시험조건	시험구분	결과
내압시험	수중 내압시험	2016-020	외벽 영구변형 및 누수 없음.

KOLAS 시험성적서
성적서번호: KRISO-2016-007
페이지(4 / 총 7)

8. 시험사진

○ 1차시험

그림 1. 시험시용(2016-020) 외형 - 시험 전

그림 2. 수중내압시험 전비

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경 및 조건
 - 목표 작업심도(2,500m)대비 1.3배 (3,250m) 압력시험 인증
 - 목표 압력지속 시간 : 1800s (30min)
 - KOLAS인정 규격 만족
- 시험방법
 - GL Rules for Classification and Construction III Naval Ship Technology 2. Sub - Surface Ship Section 2. General Requirements D. Tests and Trials 4. Pressure Vessels 4.3

번호	1핵심 3차년도 - 2	담당 기관	KRISO
성과목표	수중 음향 전송 시스템	성과지표	channel
목표값	입체음향	달성값	가상입체음향구현
날짜	2017년 4월	장소	레드윈
평가방법	실시간 음원 방향 탐지 결과 전시 가능 여부	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- ROV 시스템 및 수중 음원 발생 장치

ROV	URI-L (수중음향 전송시스템 장착)
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터
신호발생기	NI PXI-5421
전력증폭기	B&K Type 2713
수중음향 트랜스듀서	ITC-1032

■ **실험 결과**



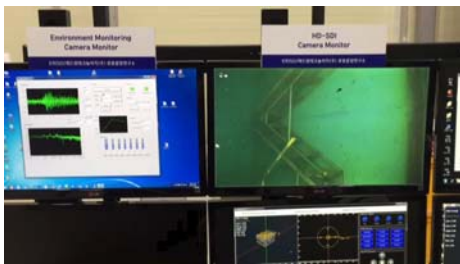
수중음향 전송 시스템 ROV 장착



ROV 광모뎀 통신 모듈



가상 운용 PC



수중음향 전송 시스템 ROV 연동 운용 시험

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- ROV 장착용 수중음향 전송 시스템 설계 및 제작



외부 형상



내부 시스템 보드

번호	1핵심 3차년도 - 3	담당 기관	KRISO
성과목표	다중복합센서 기반 햅틱	성과지표	햅틱구현
목표값	시제품	달성값	시제품
날짜	2016년 2월	장소	KRISO 소형 수조
평가방법	시연(시험데이터)	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- 햅틱 장치와 모바일 로봇 결합 테스트



실험에 이용된 모바일로봇은 P3-DX이며 센서 데이터로 이용할 센서는 Hokuyo UTM-30LX를 이용하였다. 그리고 장애물로는 폼보드를 이용.

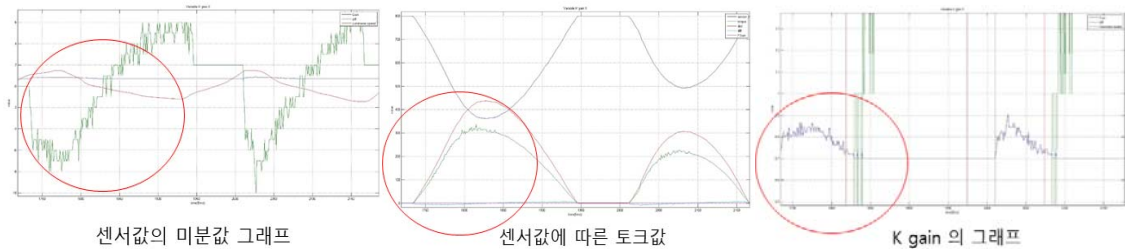
통신은 USB 통신과 Serial 통신을 이용하였다. 마스터 장치의 제어 속도는 5ms이고 UTM-30LX의 센서 통신 속도는 25ms임.

■ **실험 결과**

- 모바일 로봇을 이용한 햅틱 장치와 햅틱 알고리즘 테스트

모바일 로봇과 장애물 위치 차이가 800 mm 이하일 때부터 Force Feedback이 적용.

Force Feedback의 Gain 값은 최대 3.2부터 최소 0.8까지 이용할 수 있으며, 5ms안에 위치 차이가 30mm 이상일 때 최대 Gain이 적용됨.



번호	1핵심 3차년도 - 4	담당 기관	KNR
성과목표	유압 매니퓰레이터	성과지표	자유도
목표값	7축급 개발	달성값	7축급 개발
날짜	2016년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	설계 결과 및 시연	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 7자유도 수중 유압로봇팔

■ 실험 결과

- 7자유도 수중 유압로봇팔 사양 및 제작사진

축	Type	Capacity	Range
Azimuth	Rotary	2100 Nm	120°
Shoulder pitch	Linear	60 kN (3225 ~ 6050 Nm)	120°
Elbow pitch	Linear	60 kN (1988 ~ 4600 Nm)	136°
Wrist pitch	Rotary	650 Nm	200°
Wrist yaw	Rotary	650 Nm	200°
Wrist roll	Rotary	250 Nm	200°



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 3차년도 - 5	담당 기관	KNR
성과목표	유압 매니플레이터용 액추에이터	성과지표	자유도
목표값	5축 설계 및 구동기 개발	달성값	5축 설계 및 구동기 개발
날짜	2016년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	기능시연	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 5자유도 수중 유압로봇팔 용 구동기

■ 실험 결과

- 5자유도 수중 유압로봇팔 1차 설계



- 5자유도 수중 로봇팔 용 구동기



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 3차년도 - 6	담당 기관	KRISO
성과목표	Automatic Control	성과지표	제어성능
목표값	선수/심도	달성값	개별 추진기 제어
날짜	2016년 2월	장소	레드윈
평가방법	설계결과 및 데이터	검증 여부	자체

결과

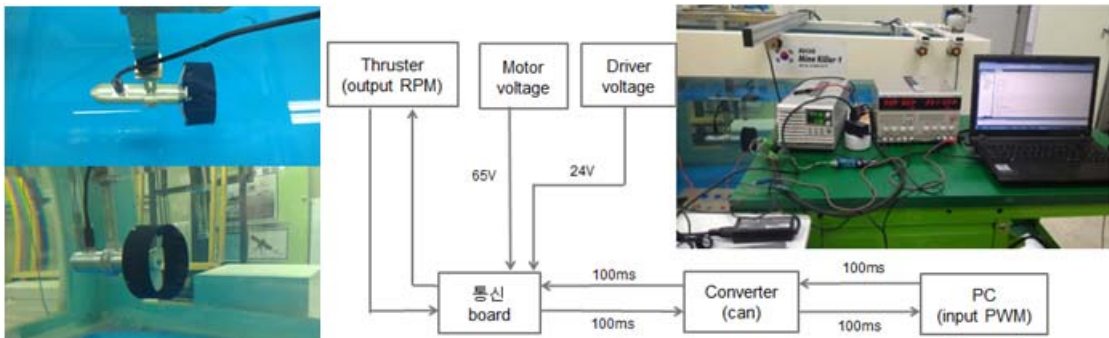
■ 활용 장비

- ROV 및 추진 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
추진 시스템	수직 추진기 4대, 수평 추진기 6대

■ 실험 결과

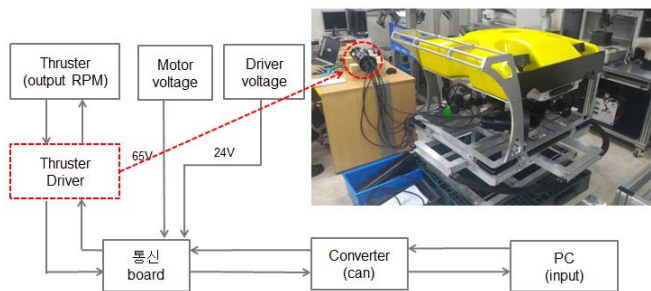
- ROV 추진기 구동 시험



- PID 및 PLL 제어 속도 응답 특성 비교



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)



□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
3차년도 (2015년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	내압용기 제작 및 300bar 방수테스트	5	내압용기 제작	전문기관 실험평가 ^{e)}	100
			프레임 제작완료	15	프레임 제작	시방서 및 자체평가	
			부력재 설계 및 주문발주	5	부력재 제작 준비	시방서 및 매뉴얼	
	수중 유압 기술	수중 유압 기술	225kW/210bar (1차 시작품)	20	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	800m ³ /hr@10bar (젯팅암 1차 시작품)	15	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	12톤 (1차 시작품 수정보완)	5	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100
		케이블 커터	400bar (1차 시작품)	5	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100
	선상 관제체계 기술	선상 관제체계 기술	1차 시작품 및 센서장비 연동	10	1차 시작품 확보	실측 (자체평가)	100
	핵심기술	유압매니퓰레이터 Visual Assistant 기술	비전 기반 사용자 지시 위치 이동	5	비전 알고리즘 확보	실측 (자체평가)	100
		수중 정밀 복합항법	1.5% of range	5	항법 성능 향상	실측 ^{f)} (자체평가)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	프레임웍 구축	5	개발 기반 구축	시뮬레이션 자체평가	100
		ROV 고장 검출	모델 및 프레임웍 구축	5	개발 기반 구축	시뮬레이션 자체평가	100

번호	2핵심-3차년도-①	담당 기관	대양전기공업
성과목표	플랫폼 기술	성과지표	플랫폼 기술
목표값	내압용기 제작 및 방수테스트 프레임 제작 완료 부력재 설계 및 주문발주	달성값	내압용기 제작 및 방수테스트 프레임 제작 완료 부력재 설계 및 주문발주
날짜	2015.07.01.-2016.03.31	장소	대양전기공업/KRISO
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비


시험 장비	목적	비고
가압챔버	내압용기 내압성능 평가	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
내압용기 제작 및 방수테스트	250bar	250bar	만족
프레임 제작	프레임 제작 완료	프레임제작 완료	만족
부력재 설계 및 주문발주	부력재 설계 및 주문발주 완료	부력재 설계 및 주문발주 완료	만족

• 내압용기 설계

기준

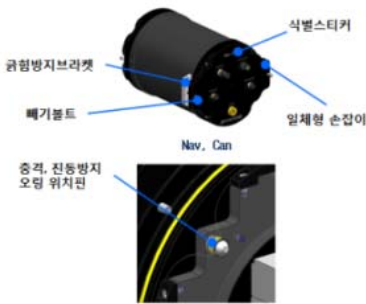


Nav. Can

No	항목	내역
1	무게	56kg
2	재원	Ø295.35mm X 853mm

➡

3차년 최종



Nav. Can

No	항목	내역
1	무게	36kg
2	재원	Ø295.35mm X 458mm

정비성 반영

- 용기 소형화로 이동성 용이.
- 손잡이 일체화.
- 웨기볼트 구조 변경으로 인한 굽힘 방지.
- 웨기볼트로 인한 분해조립 용이.
- 커넥터 위치별 스티커 부착.
- 충격, 진동방지 위치핀 적용

최적화

- 전장부 모듈화로 전여 공간 최소화 → 용기 소형화
- 공간 최소화해 내압용기 형상변경

[Nav. Can 최적화 설계]

기 존



No	항목	Inst1 Can	Inst2 Can	Power Can
1	무게	80kg	80kg	62kg
2	직경	Ø300mm	Ø300mm	Ø295mm
3	길이	938mm	938mm	962mm

● 정비성 반영

- 용기 소형화로 이동성 용이.
- 손잡이 일체화.
- 빼기볼트 구조 변경으로 인한 긁힘 방지.
- 빼기볼트로 인한 분해조립성 용이.
- 커넥터 위치별 스티커 부착.
- 밴드→볼팅 고정 구조 변경
- 충격 방지 위치편 적용

➔

● 최적화

- 전장부 모듈화로 잔여 공간 최소화 → 용기 소형화
- 공간 최소화애 내압용기 형상변경

3차년 최종




No	항목	Inst1 Can	Inst2 Can	Power Can
1	무게	44kg	48kg	180kg
2	직경	Ø295mm	Ø295mm	Ø346mm
3	길이	575mm	607mm	800mm


[Instrument1 Can, Instrument2 Can, Power Can 최적화 설계]

● 내압용기 제작


3D 설계




가공



검사




조립



➔

3차년 최종 제작품



No	항목	Nav. Can	Inst1 Can	Inst2 Can	Power Can
1	무게	38kg	46kg	50kg	190kg
2	직경	Ø295mm	Ø295mm	Ø295mm	Ø346mm
3	길이	458mm	575mm	607mm	800mm

[가공 및 검사 후 최종 제작품]

• 250바 내압성능 KOLAS 시험성적서 발급

KOLAS 시험성적서

 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 대리사: 부산광역시 사하구 광명로 245 전화: 32 (9층) 1719(3) Tel: 042-866-3611 Fax: 042-866-3624	성적서번호: KRISO-2016-009 페이지(1)/(총 10)	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

1. 의뢰자
기관명: 대양전기공업(주)
주소: 부산광역시 사하구 광명로 245
의뢰일자: 2016. 03. 15

2. 시험성적서의 용도
품질관리용

3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명

시료명	Nav. Can	Instrument1 Can
시료구분	2016-021	2016-022

4. 시험일자
2016. 03. 24 ~ 2016. 03. 25 (2일간)

5. 시험방법
ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

6. 시험환경
시험실 온도: (18.6 ± 0.3) °C 시험실 습도: (33.0 ± 0.1) % R.H.
※ 시험환경은 시험 시작시간부터 종료시간까지의 측정값

7. 시험결과 (상세결과서는 성적서 3페이지 참조)

시험항목	시료명	시료구분	결과
Hydrostatic Test	Nav. Can	2016-021	* 외벽 영구변형 및 누수 없음.
	Instrument1 Can	2016-022	

* 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료로 시험한 결과로서 견제 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
* 이 성적서는 온도, 선적, 광도 및 소음 등 중요 항목으로 사용될 수 없으며, 용도이외의 사용을 금합니다.

작성일자: 2016. 04. 25
작성명: 김진민 (인) 기술책임자: 이순국 (인)

발급일자: 2016년 04월 25일

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 (인)

KRISO-QP-22-01 1/4 (1) 개정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서

 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 대리사: 부산광역시 사하구 광명로 245 전화: 32 (9층) 1719(3) Tel: 042-866-3611 Fax: 042-866-3624	성적서번호: KRISO-2016-005 페이지(2)/(총 10)	
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

[시험상세내역]

1. 시료정보

시료명	모형명	시료구분	원수압력 (kPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
Nav. Can	-	2016-021	25 000	295.4(D) x 456.4(L)	AL6061-T6	29.4
Instrument1 Can	-	2016-022	25 000	295.4(D) x 459.5(L)	AL6061-T6	36.4

2. 사용장비

장비명	제조사(모델명)	사양	가압매질	교정일
고압원배 시험설비	MOER6000CIP	압력: 0 ~ 60 000 kPa	청수 (Fresh Water)	2016.02.29 (압력센서에 의해 소급성 유지)

3. 시험방법

ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

4. 시험항목

27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test
All externally-pressurized pressure hulls or PVHs are to be externally hydrostatically proof tested in the presence of the Surveyor to a pressure equivalent to a depth of 1.25 times the design depth for two cycles.

* 시험압력: 31 250 kPa 이상 (원수압력(25 000 kPa)의 1.25배)
* 압력차속 시간: 1 800 s

KRISO-QP-22-01 2/4 (1) 개정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서

 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 대리사: 부산광역시 사하구 광명로 245 전화: 32 (9층) 1719(3) Tel: 042-866-3611 Fax: 042-866-3624	성적서번호: KRISO-2016-010 페이지(1)/(총 10)	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

1. 의뢰자
기관명: 대양전기공업(주)
주소: 부산광역시 사하구 광명로 245
의뢰일자: 2016. 03. 30

2. 시험성적서의 용도
품질관리용

3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명

시료명	Instrument2 Can	Power Can
시료구분	2016-024	2016-025

4. 시험일자
2016. 03. 31 (1일간)

5. 시험방법
ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

6. 시험환경
시험실 온도: (19.5 ± 1.1) °C 시험실 습도: (35.5 ± 1.6) % R.H.
※ 시험환경은 시험 시작시간부터 종료시간까지의 측정값

7. 시험결과 (상세결과서는 성적서 3페이지 참조)

시험항목	시료명	시료구분	결과
Hydrostatic Test	Instrument2 Can	2016-024	* 외벽 영구변형 및 누수 없음.
	Power Can	2016-025	

* 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료로 시험한 결과로서 견제 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
* 이 성적서는 온도, 선적, 광도 및 소음 등 중요 항목으로 사용될 수 없으며, 용도이외의 사용을 금합니다.

작성일자: 2016. 04. 25
작성명: 김진민 (인) 기술책임자: 이순국 (인)

발급일자: 2016년 04월 25일

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 (인)

KRISO-QP-22-01 1/4 (1) 개정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서

 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소	한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 대리사: 부산광역시 사하구 광명로 245 전화: 32 (9층) 1719(3) Tel: 042-866-3611 Fax: 042-866-3624	성적서번호: KRISO-2016-010 페이지(2)/(총 10)	
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

[시험상세내역]

1. 시료정보

시료명	모형명	시료구분	원수압력 (kPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
Instrument2 Can	-	2016-024	25 000	295.4(D) x 456.4(L)	AL6061-T6	37.7
Power Can	-	2016-025	25 000	346.8(D) x 744.5(L)	AL6061-T6	77.5

2. 사용장비

장비명	제조사(모델명)	사양	가압매질	교정일
고압원배 시험설비	MOER6000CIP	압력: 0 ~ 60 000 kPa	청수 (Fresh Water)	2016.02.29 (압력센서에 의해 소급성 유지)

3. 시험방법

ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

4. 시험항목


27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test
All externally-pressurized pressure hulls or PVHs are to be externally hydrostatically proof tested in the presence of the Surveyor to a pressure equivalent to a depth of 1.25 times the design depth for two cycles.

* 시험압력: 31 250 kPa 이상 (원수압력(25 000 kPa)의 1.25배)
* 압력차속 시간: 1 800 s


KRISO-QP-22-01 2/4 (1) 개정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

• 프레임 제작

가공



프레임 판재 가공



프레임 판재 가공 후

용접




프레임 용접 지그조립




프레임 용접

[프레임 제작 (가공 및 용접 공정)]

사상




프레임 비드 사상작업

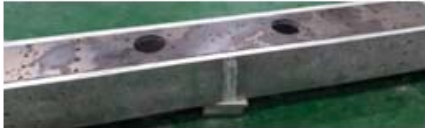


프레임 사상 후 모습

조립 및 검사



하부 프레임 조립



형상 및 치수 검사

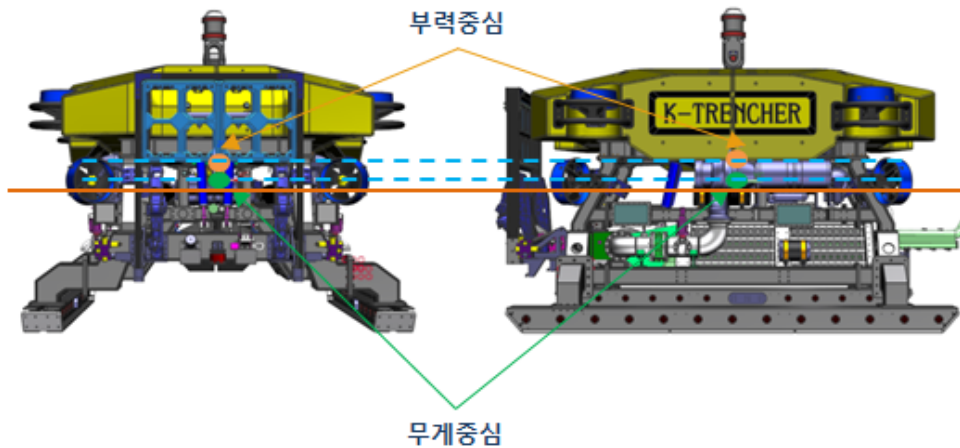
프레임 제작 (사상 및 조립 공정)

• 부력재 설계 및 주문발주

NO	항목	공기중 중량(kg)	부력	수중 중량(kg)	비율(%)
1	프레임 조립체	2867	1081	1786	15
2	부력재 조립체	6876	16171	-9295	35
3	워터젯 조립체 (예상치)	5000	847	4153	25
4	유압공급장치 (예상치)	1095	241	854	6
5	내압용기 및 정선박스	350	66	284	2
6	케이블 감지장치	367	203	164	2
7	추진기	1016	238	778	5
8	스키드	1312	576	736	7
9	기타(예상치)	861	198	663	4
	합계	19,744	19,621	122	100

✓ 미반영 품목 : 공통인터페이스, 수중케이블, 유압배관 류, 볼트 류

[플랫폼 무게 분석]



[부력재 설계 및 안정성 분석]

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-②	담당 기관	레베산업
성과목표	수중 유압 기술	성과지표	수중 유압 기술
목표값	225kW/210bar (1차 시작품)	달성값	225kW/210bar (1차 시작품)
날짜	2016.02.10	장소	레베산업
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

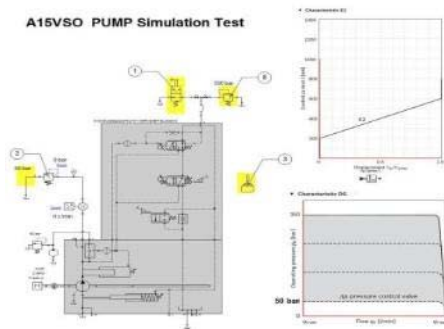
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
수압시험장치	내압시험	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
1차시작품	225kW/210bar	225kW/210bar	만족

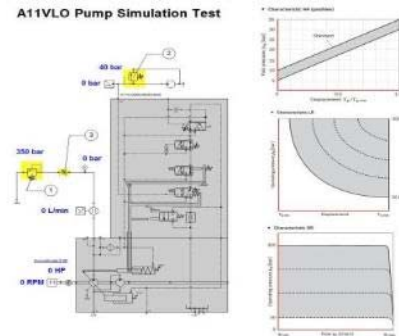
• HPU 특성 시뮬레이션



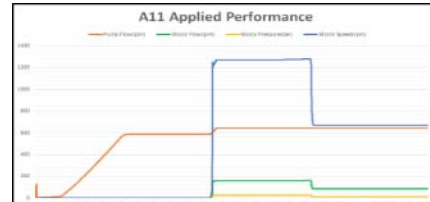
A15VSO 성능 평가 시뮬레이션



A15VSO 시뮬레이션 결과

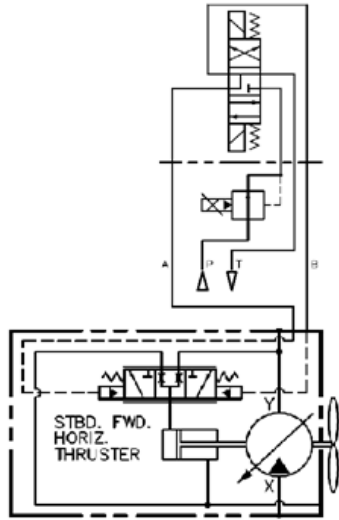


A11VLO 성능 평가 시뮬레이션

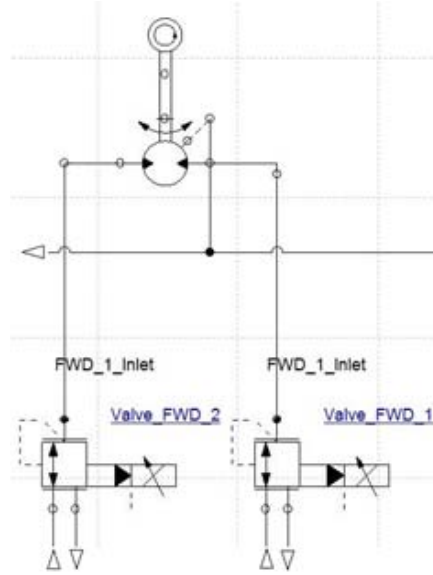


A11VLO 시뮬레이션 결과

- 추진기와 제어 매니폴드의 개량

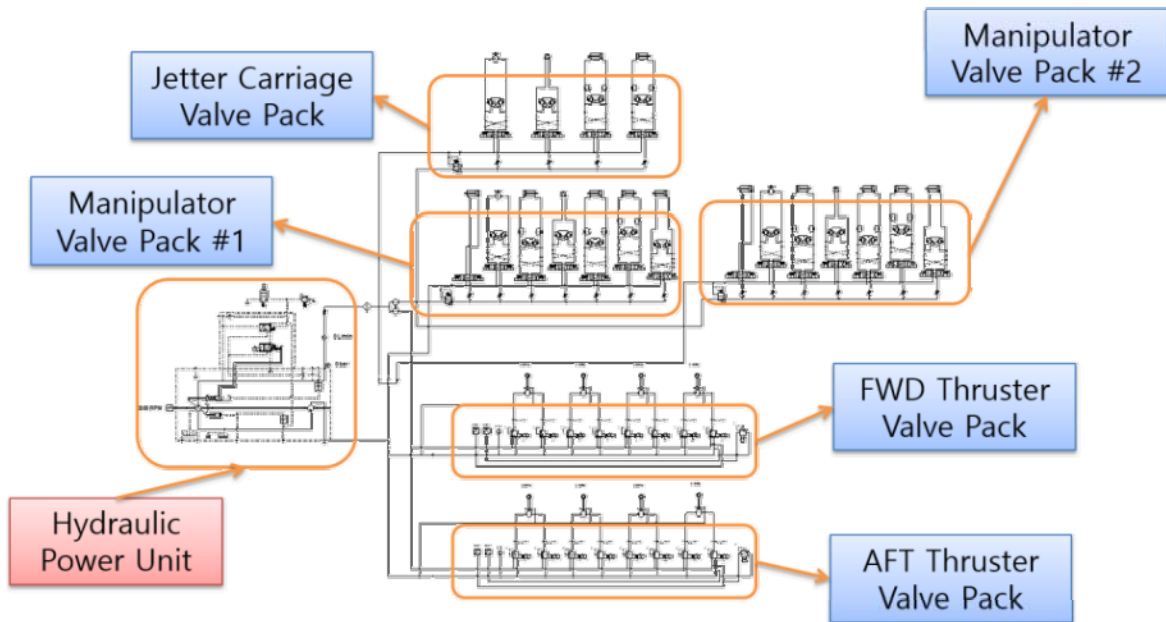


T-800 추진기 유압회로도



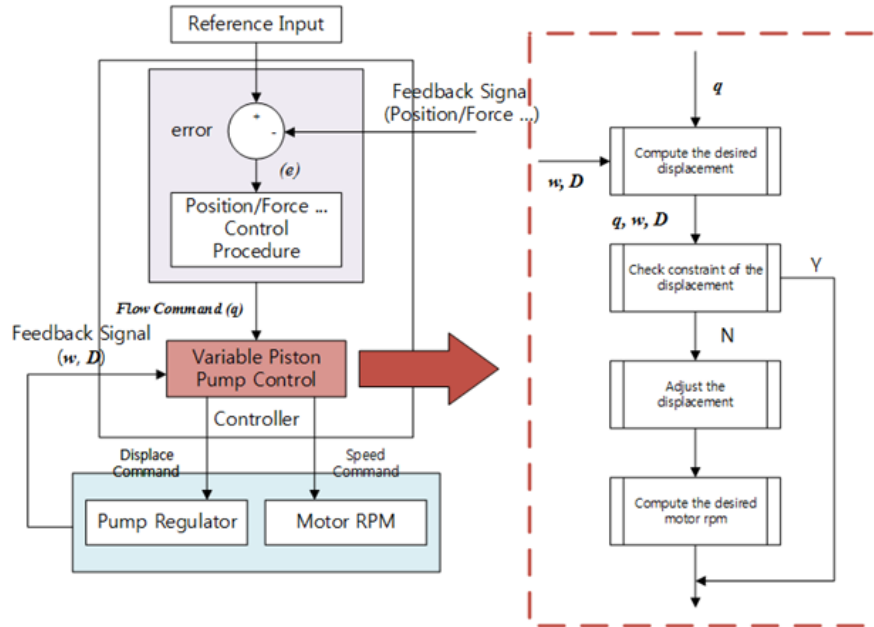
개량된 추진기 유압회로도

- ROV 유압회로도 설계



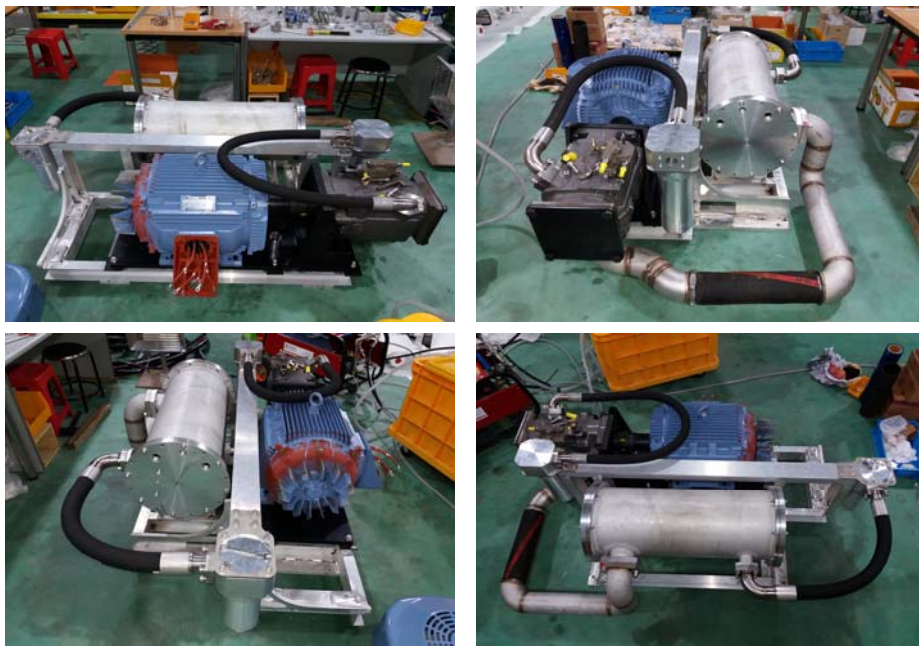
전체 시스템 유압 회로도

• ROV 유압 시스템 효율 향상 연구



펌프 사판각 제어 알고리즘

- 수중 유압공급장치 상세 설계
- 수중 유압공급장치 시작품 부품 개발
- 수중 유압공급장치 1차 시작품 통합 및 성능시험



테스트용 유압공급장치 HPU 조립

시험항목	목표				시험방법	시험규격
	3차	4차	5차	6차		
1. 소요동력	150kW	175kW	200kW	225kW	-최대 압력, 유량조건에서 소요동력 측정	메이커 성능데이터
2. 운전압력	210bar	210bar	210bar	210bar	-목표 운전압력 이상에서의 유압공급장치 부품들의 정상 동작상태 확인(온도, 압력, 유량, 소음 등...)	메이커 성능데이터
자체 시험	3. 여과도	NAS 8등급			-시험입자 투입에 의한 필터 여과도 시험	NAS 1638 자체시험
	4. 내압성	315bar			-시험압력=운전압력(210bar)의 1.5배 -유압필터, 밸브팩 매니폴드	자체시험
	5. 외압성	450bar 4차년도 ->			-목표 3,000m의 1.5배 가압 챔버시험 -필터, 압력보상기, 리저버, 밸브팩	공인시험
	6. 누유	누유 없음.			-내압 및 가압 작동상태에서의 누유 확인	자체시험
	7. 중량	1.2ton			-dry 상태 장치 중량 측정	자체시험
	8. 내구 반복시험	1,000회 4차년도 ->			-압력보상기 고무 다이어프램 반복 내구성 (유압과 해수환경) -누유 및 다이어프램 상태 확인	자체시험

수중 유압공급장치 시험항목 및 시험 결과

- 유압필터 내압시험



수압시험 장치



시험압력: 340bar

유압필터 수압시험

- 압력보상기 작동시험



압력보상기 동작시험 장치



초기상태



오일 충전->피스톤 하강, 스프링 변형

압력보상기 동작시험

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-㉓	담당 기관	KT서브마린/한국로봇융합연구원																											
성과목표	수중 워터젯 기술	성과지표	수중 워터젯 기술																											
목표값	800m ³ @10bar (제팅암 1차 시작품)	달성값	800m ³ @10bar (제팅암 1차 시작품)																											
날짜	2016.03.15	장소	KT서브마린																											
평가방법	실측	검증 여부	자체평가																											
결과																														
■ 활용 장비																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>시험 장비</th> <th>목적</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLED형 실험대차</td> <td>축소모형 제팅성능 시험</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					시험 장비	목적	비고	SLED형 실험대차	축소모형 제팅성능 시험																					
시험 장비	목적	비고																												
SLED형 실험대차	축소모형 제팅성능 시험																													
■ 실험 결과																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>시험항목</th> <th>평가기준</th> <th>시험결과</th> <th>평가결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>제팅암 1차시작품</td> <td>제팅암 1차 시작품 설계</td> <td>제팅암 1차 시작품 설계</td> <td>만족</td> </tr> </tbody> </table>					시험항목	평가기준	시험결과	평가결과	제팅암 1차시작품	제팅암 1차 시작품 설계	제팅암 1차 시작품 설계	만족																		
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과																											
제팅암 1차시작품	제팅암 1차 시작품 설계	제팅암 1차 시작품 설계	만족																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>매설속도</th> <th>유량/압력</th> <th>실험제원</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Case-1</td> <td>5.67cm/s</td> <td rowspan="4">26m³/8bar</td> <td rowspan="4">Jet 노즐(18) 수직노즐(3) Backwash(3)</td> </tr> <tr> <td>Case-2</td> <td>11.34cm/s</td> </tr> <tr> <td>Case-3</td> <td>17.01cm/s</td> </tr> <tr> <td>Case-4</td> <td>22.68cm/s</td> </tr> <tr> <td>Case-5</td> <td>22.68cm/s</td> <td>26m³/8bar</td> <td>Jet 노즐(18) 수직노즐(3)</td> </tr> <tr> <td>Case-6</td> <td>22.68cm/s</td> <td>26m³/8bar</td> <td>Jet 노즐(18) Backwash(3)</td> </tr> <tr> <td>Case-7</td> <td>22.68cm/s</td> <td>26m³/8bar</td> <td>수직노즐(3)</td> </tr> </tbody> </table>					구분	매설속도	유량/압력	실험제원	Case-1	5.67cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) 수직노즐(3) Backwash(3)	Case-2	11.34cm/s	Case-3	17.01cm/s	Case-4	22.68cm/s	Case-5	22.68cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) 수직노즐(3)	Case-6	22.68cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) Backwash(3)	Case-7	22.68cm/s	26m ³ /8bar	수직노즐(3)
구분	매설속도	유량/압력	실험제원																											
Case-1	5.67cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) 수직노즐(3) Backwash(3)																											
Case-2	11.34cm/s																													
Case-3	17.01cm/s																													
Case-4	22.68cm/s																													
Case-5	22.68cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) 수직노즐(3)																											
Case-6	22.68cm/s	26m ³ /8bar	Jet 노즐(18) Backwash(3)																											
Case-7	22.68cm/s	26m ³ /8bar	수직노즐(3)																											
3차년도 축소모형 실험 시나리오																														

구분	실험목표치	노즐 배치도
매설심도	50cm	
매설속도	시나리오 참조	
유량		
압력		

3차년도 축소모형 실험의 목표치수



SLED형 실험대차



실험대차 및 Jetting arm

실험 준비 모습



CASE-4



CASE-5



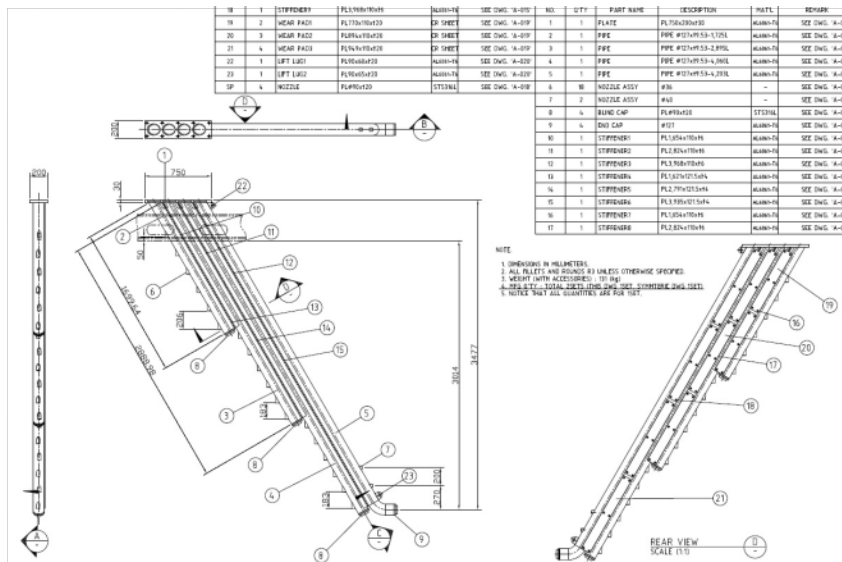
CASE-6

실험결과

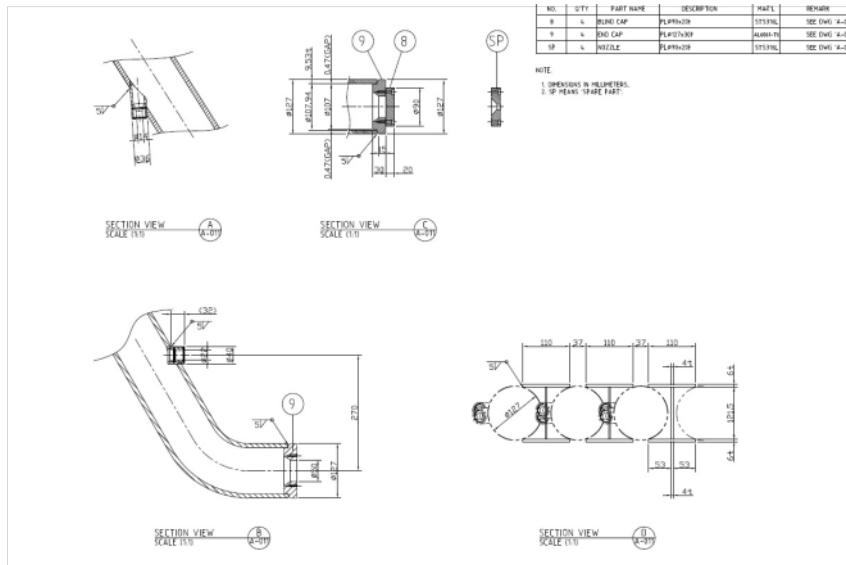
구분	매설속도	매설심도	실험결과
Case-1	5.67cm/s	65cm 이상	매설심도 달성
Case-2	11.34cm/s	65cm 이상	
Case-3	17.01cm/s	65cm 이상	
Case-4	22.68cm/s	55cm 이상	
Case-5	17.01cm/s	55cm 이상	매설속도 감소 후 심도달성
Case-6	17.01cm/s	55cm 이상	매설속도 감소 후 심도달성
Case-7	17.01cm/s	X	감속 후에도 매설 불가능

3차년도 축소모형 실험결과

- 워터 젯팅암 1차 시제품 설계/제작
- 1차 시제품 설계/제작

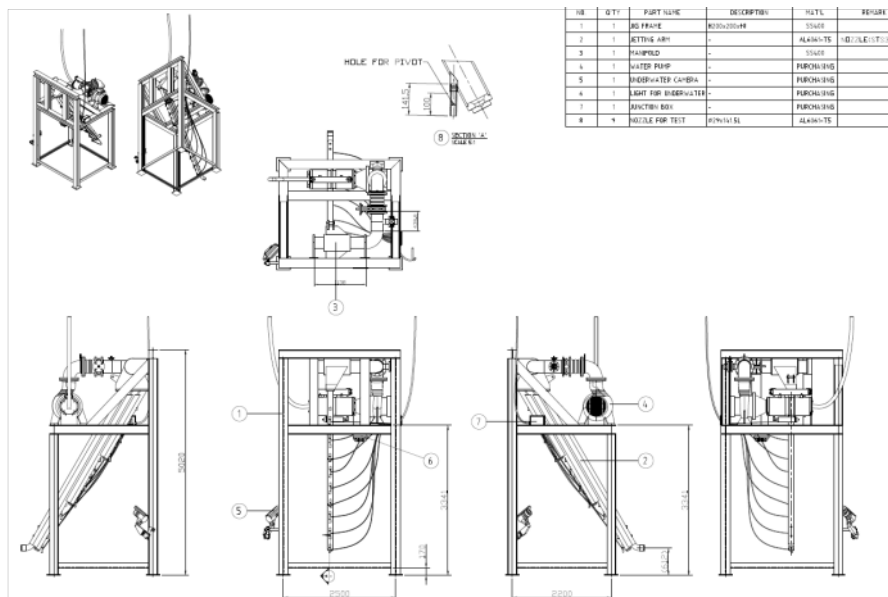


젯팅암 상세 제작도

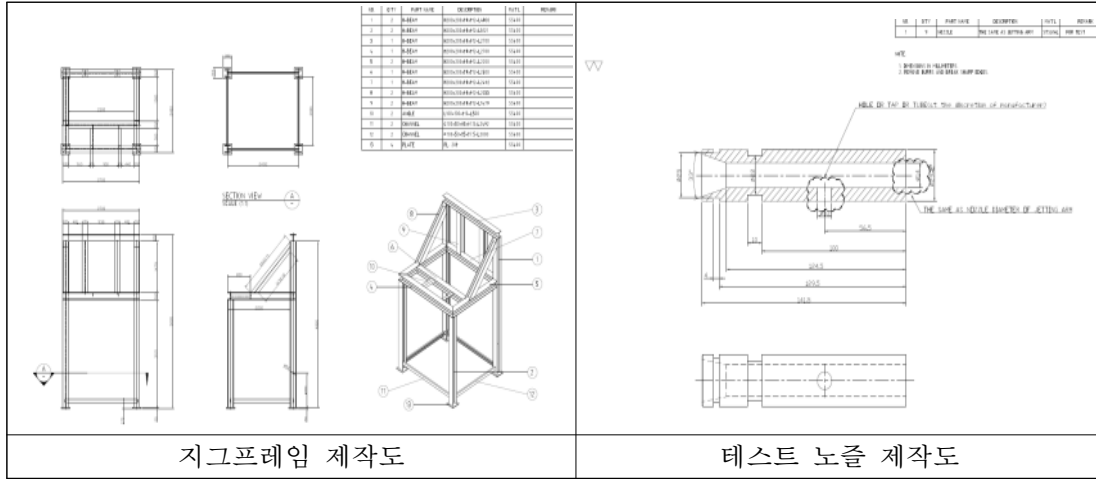


젯팅암 노즐 상세 제작도

- 성능실험



1차 시제품 실험기기 배치도

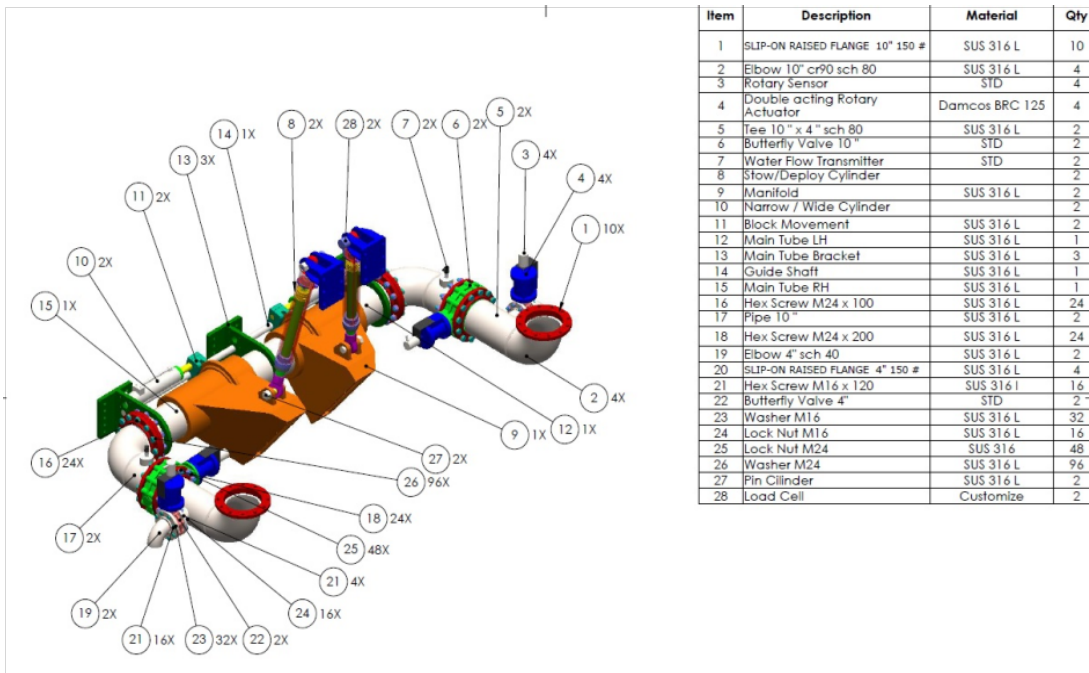


지그프레임 제작도

테스트 노즐 제작도

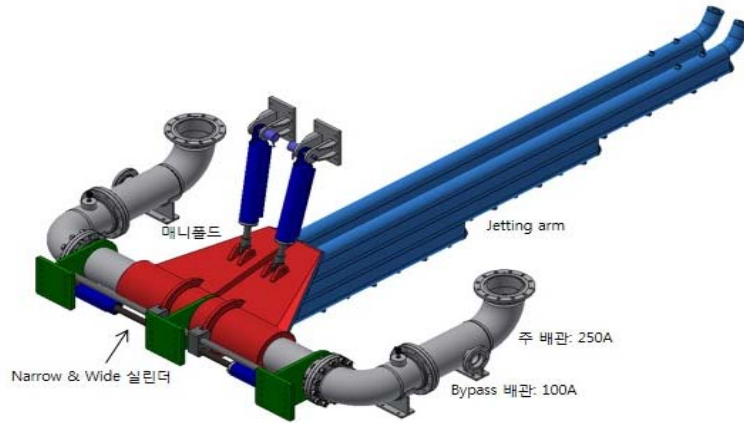
부대장비 제작도

- 모션베이스 설계



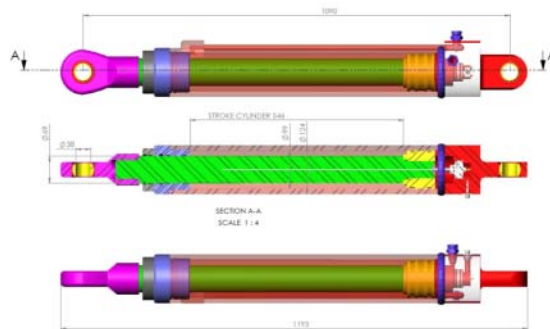
모션베이스 상세 설계 사양

- 주요 부품 항목

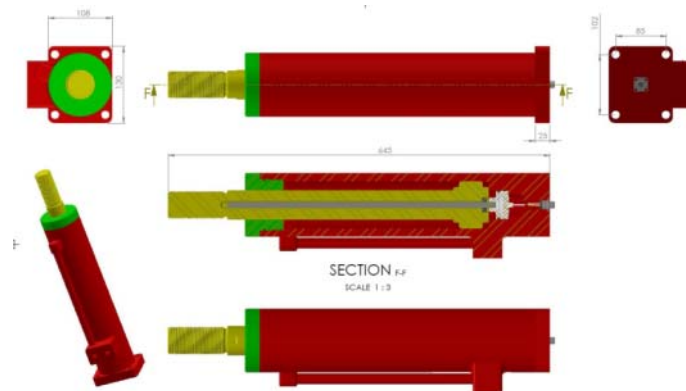


모션베이스 주요 부품 항목

- 유압실린더 사양

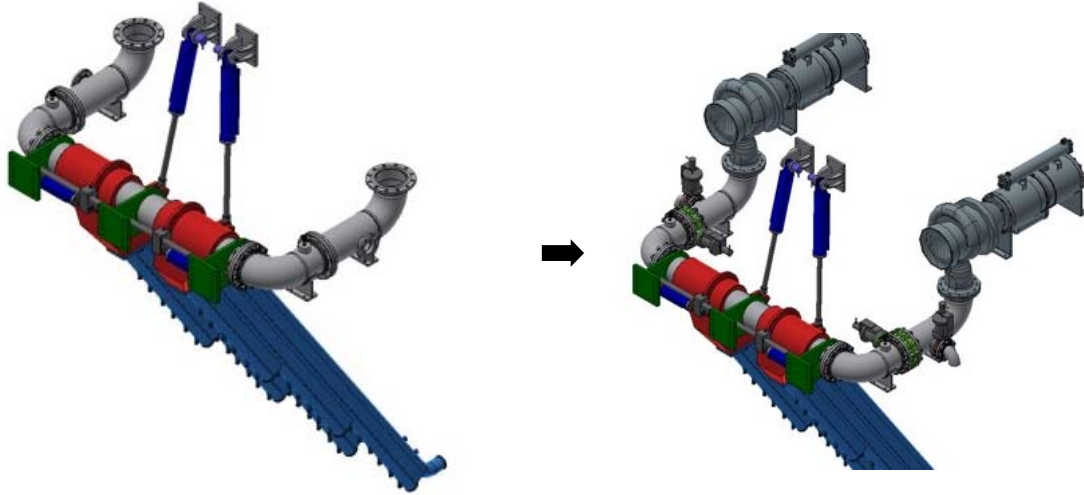


Stow & Deploy 실린더



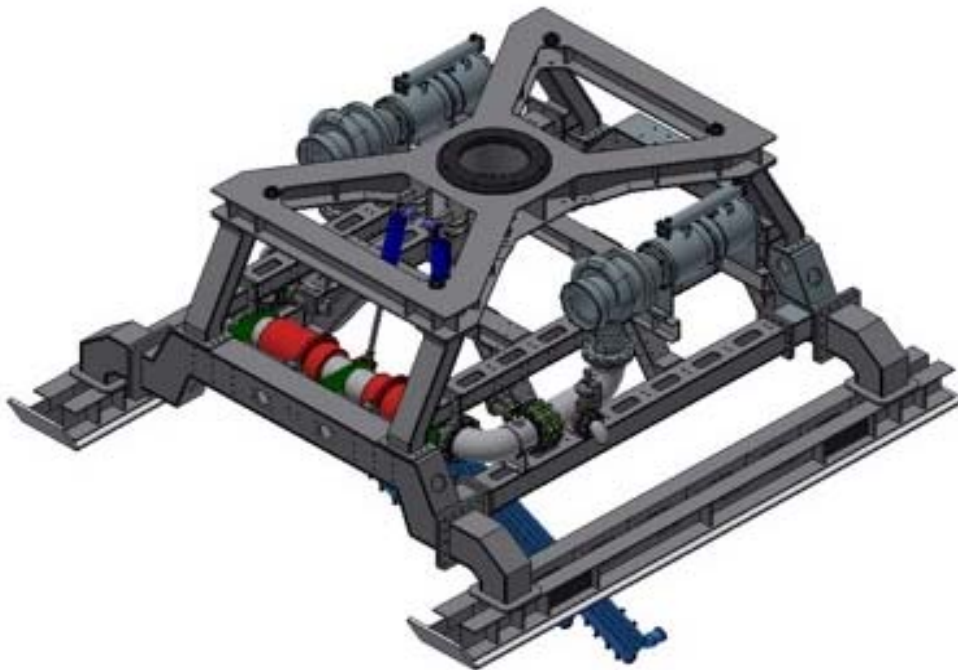
Narrow & Wide 실린더

- 시스템 통합



모션베이스와 Jetting arm 결합

펌프의 탑재



위터젯 통합 시스템의 로봇 플랫폼에 탑재 및 통합 순서도

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-④	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 그리퍼
목표값	12톤(1차 시작품 수정보완)	달성값	14.1톤
날짜	2016.03.10	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

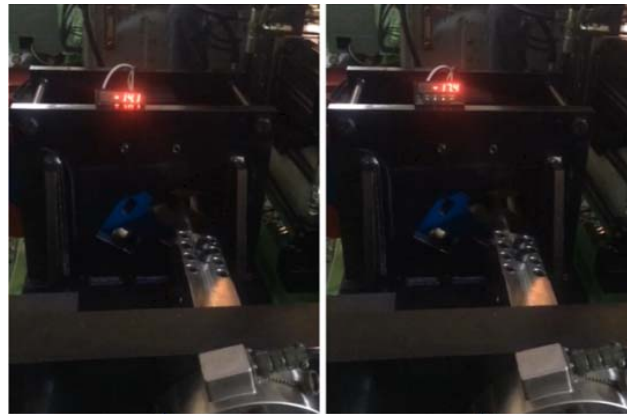
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
그리퍼 테스트 장비 (로드셀, 유압동력장치 포함)	그리퍼 파지력(당김력) 측정	한국도키멕(주) 자체제작 (특허등록 제10-1763849)

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
파지력(당김력)	12톤	14.1톤	만족



케이블 그리퍼 1차 시작품 시험

- 위의 케이블 그리퍼에 $\Phi 40$ 케이블을 물린 상태이며, 좌측 그림은 시험장비에 장착된 유압 실린더에 95bar의 압력을 인가한 상태이며, 케이블의 움직임이 없는 상태이다(측정힘=14.1tonf). 우측 그림은 유압 실린더 인가 압력을 115bar로 하였을 때인데, 케이블이 그리퍼의 조(JAW)에서 움직이기 전 최대 힘이 17.4tonf을 보이고 나서, 바로 움직이는 현상이 발생하였다. 여기서 (-)는 방향을 의미한다. 케이블 그리퍼 1차 시작품 성능분석 및 보완(→ 2차 시작품 제작)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-⑤	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 커터
목표값	400bar(1차 시작품)	달성값	400bar(1차 시작품)
날짜	2016.03.11	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
압력센서, 유압동력장치(HPU)	최대 절단 압력 측정	한국도키멕(주) 자체제작

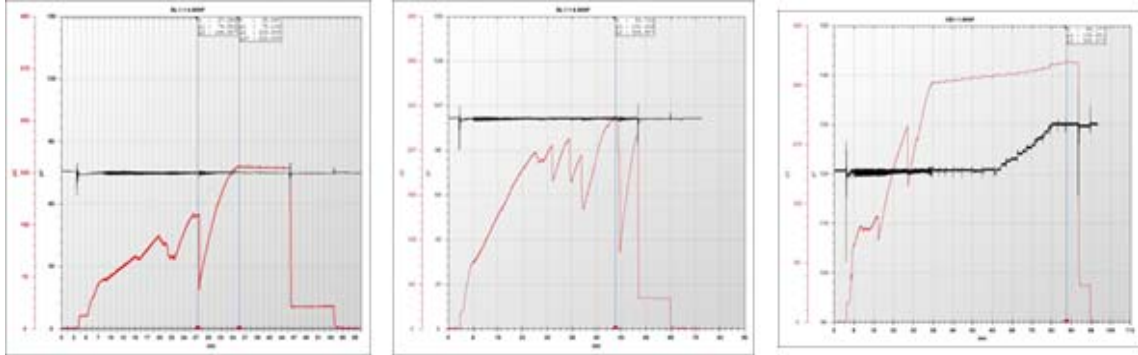
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
최대 커팅 압력	400bar	400bar	만족

- 케이블 커터 1차 시작품 제작



- 케이블 커팅 시험 결과



케이블 커팅 시험 결과

항 목	시험 ①	시험 ②	시험 ③
시 료	Φ27 광케이블	Φ40 광케이블	Φ36 스틸와이어
입력/출력(bar)	75/165	125/400	130/395
전단시간(sec)	22	47	컷팅 실패

케이블 커팅 시험결과

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-⑥	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	선상 관제체계 기술	성과지표	선서아 관제체계 기술
목표값	1차 시작품 및 센서장비 연동	달성값	1차 시작품 및 센서장비 연동
날짜	2016.03.20	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

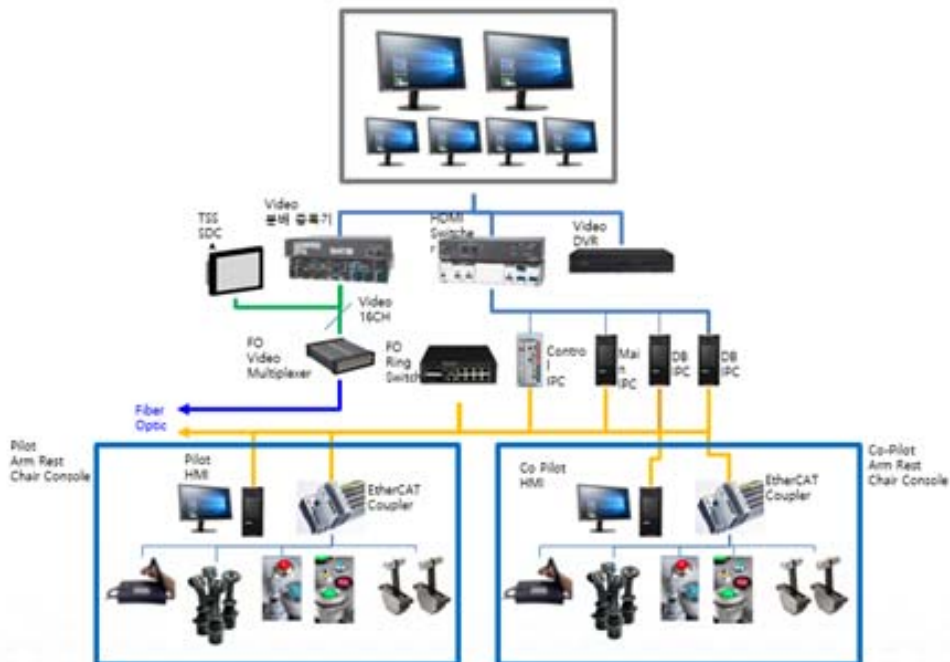
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
선상 관제체계 기술	1차 시작품 및 센서장비 연동	1차 시작품 및 센서장비 연동	만족

- 선상관제시스템 설계/제작
- 블록다이어그램







선상 제어시스템 구성도

- 제어콘솔 설계



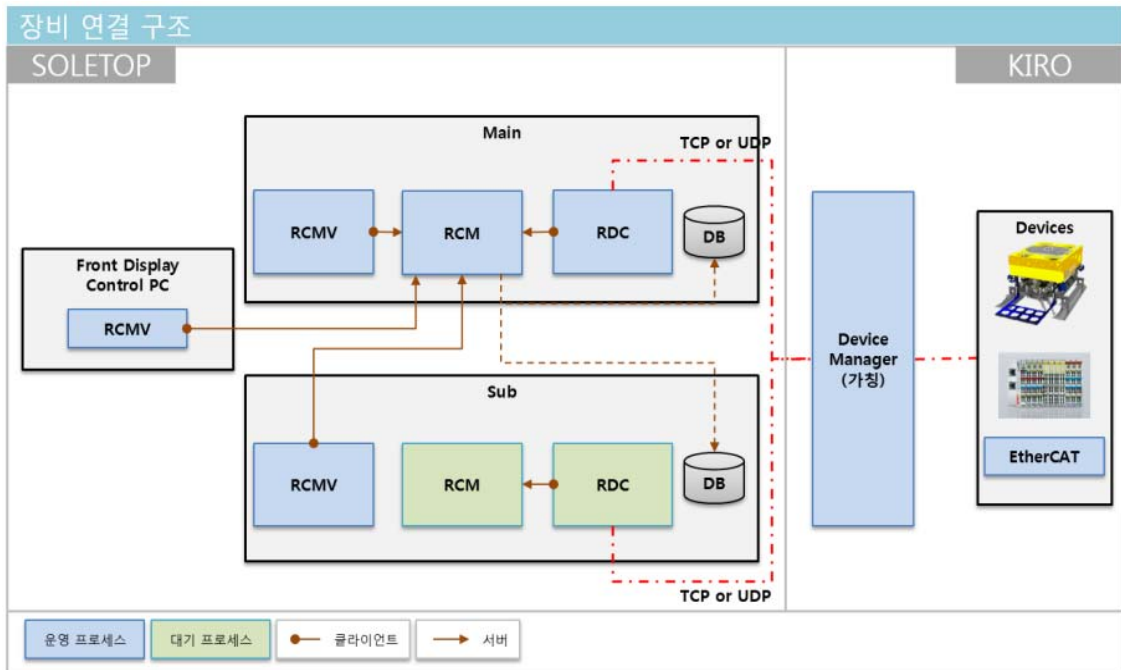
선상제어 콘솔 구성도

- (주)케이티서브마린 ROV 파일럿 의견 반영

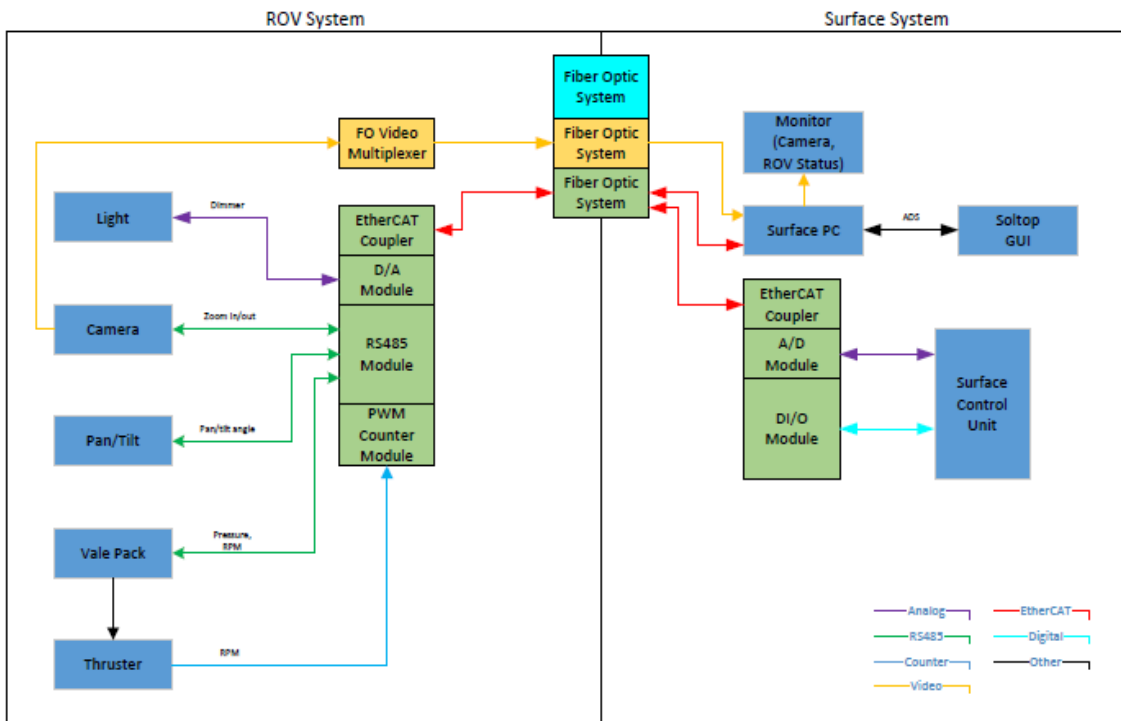
<p style="text-align: center;">컨트롤 부츠 제작 관련 문의사항</p> <p>1. Q1000의 제어 콘솔에 TRACK FUNCTIONS 기능</p> <ul style="list-style-type: none"> - THRUSTER FUNCTIONS 파외 차이점 : Auto-Depth, Auto-ALT 기능없음 - 각 버튼에 대한 기능 설명 : Enable(Track 사용, 미사용), HEAD(Setting Heading Track 구동), TRACK(TSS Tracking), SPEED(Track 속도 ON/OFF), TRACK SPEED(속도 종/당, 정/역) - 사용 빈도수 or 중요도 : Track Mode시 상시사용  <p>2. Q1000의 제어 콘솔에 THRUSTER FUNCTIONS 기능</p> <ul style="list-style-type: none"> - 각 버튼에 대한 사용 빈도수 or 중요도 : ENABLE(Thruster 사용/미사용), HEADING(Setting Heading 유지용 위한 Thruster 사용), TRACK(TSS에 의한 Heading 변경), ALTITUDE(자용고도 사용/미사용), Depth(자용수심 사용/미사용) - ALTITUDE/DEPTH 사용빈도 거의 없음 - 추가적으로 필요한 버튼 유무 	<p>3. Q1000의 제어 콘솔에 PAN/TILT 관련 기능</p> <ul style="list-style-type: none"> - 조이스틱에 의한 조향이 편한지 : joystick에 의한 사용이 편다 - P&T SELECT 레버를 터치화면으로 넣는데 대한 의견 : 하기의 Select 레버가 운용상 편다  <p>4. Q1000의 제어 콘솔에 TRACK BALL 관련 기능</p> <ul style="list-style-type: none"> - DVR1 & DVR2 TRACK BALL의 종도 : 카메라 영상 비드로 녹화 - 몇 대의 PC를 몇 개로 TRACK BALL로 제어하고 있는지 : 좌측(DVR 2대), 우측 총 4대 (Co-pilot PC, Maintenance PC, SONAR PC, TSS PC) 
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

업체 의견 반영 노트

- 선상시스템 네트워크 구축



선상시스템 장비 연결도



선상 네트워크 구성도



선상시스템 연동 실험

- 선상관제시스템 사용자 인터페이스 개발
- 사용자 인터페이스 개발 분석 및 정의

항목	구분자
로그인	로그인
메인 GUI	메인 GUI
사용자 관리	사용자 관리
로그 관리	로그 관리
화면 레이아웃 관리	화면 레이아웃 관리
장비 연동 화면	CableCutter, Light, TSS, Camera, PanTilt, Thruster



로그인 화면

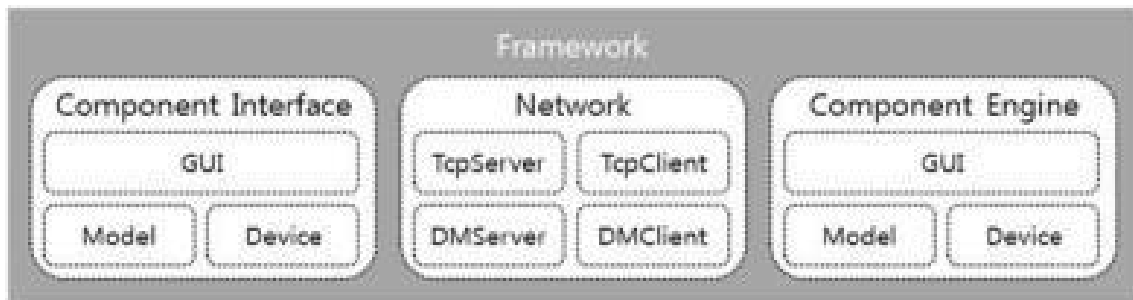


메인 화면

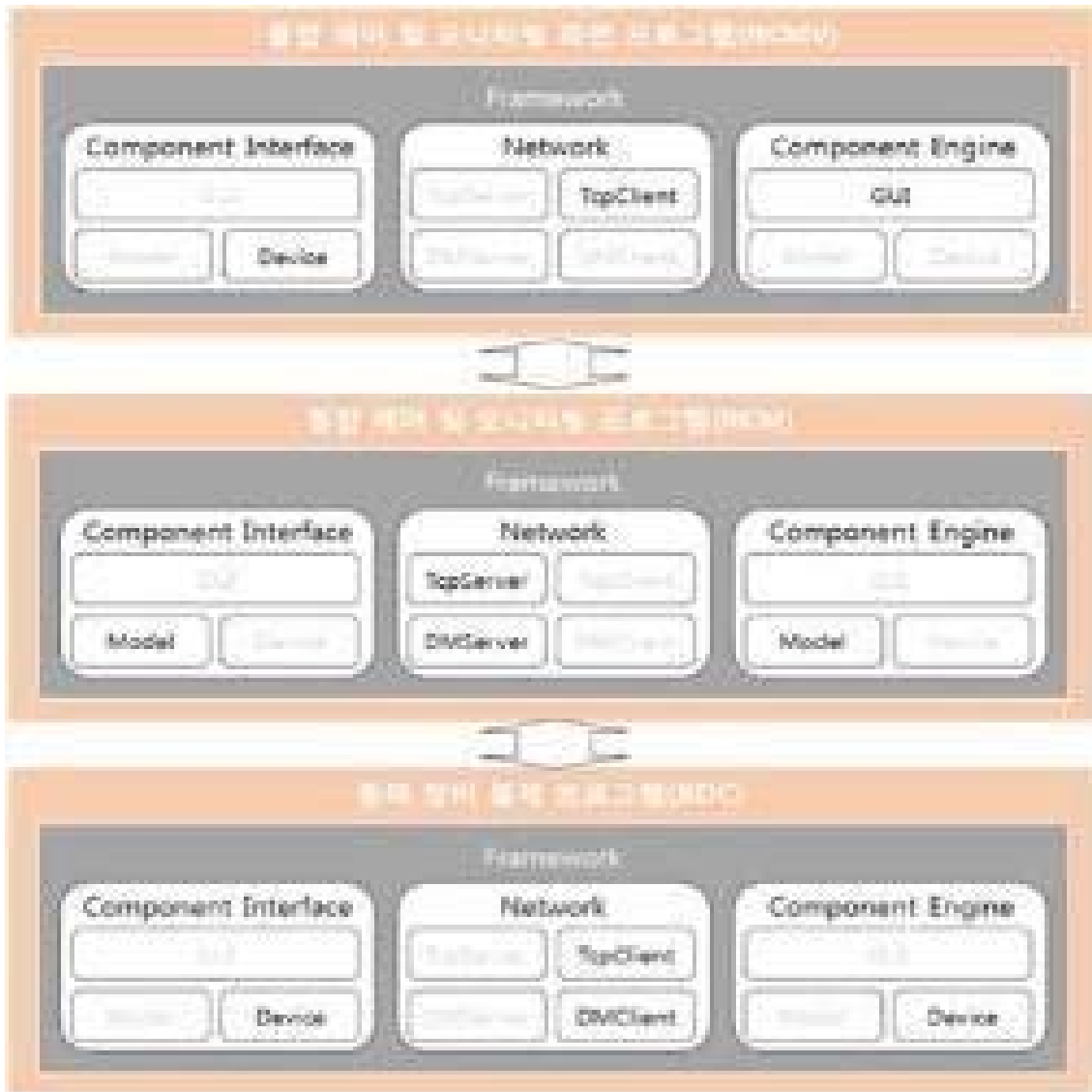


사용자 관리 화면

- 선상관제시스템 인터페이스 프레임워크 개발



Framework 구조도



Framework 소프트웨어간 구조도

번호	2핵심-3차년도-⑦	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	유압매니퓰레이터 Visual Assistant 기술
목표값	비전 기반 사용자 지시 위치 이동	달성값	비전 기반 사용자 지시 위치 이동
날짜	2016.03.10	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
모사 유압매니퓰레이터	매니퓰레이터 동작 모사	
카메라(2EA)	유압매니퓰레이터 자세 샘플 사진 획득	
컴퓨터	영상 이미지 매칭 알고리즘 구동	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
유압매니퓰레이터 visual assistant기술	비전 기반 사용자 지시 위치 이동	비전 기반 사용자 지시 위치 이동	만족

- 비주얼 서보잉 기술 개발



간이 실험환경 구축

original camera image planes **rectification**

스테레오 이미지를 이용한 거리 추정기법

- 2차원 카메라 영상기반 3차원 좌표입력

1번 카메라

<1번 카메라의 시선> <1번 카메라의 2차원 화면>

2번 카메라

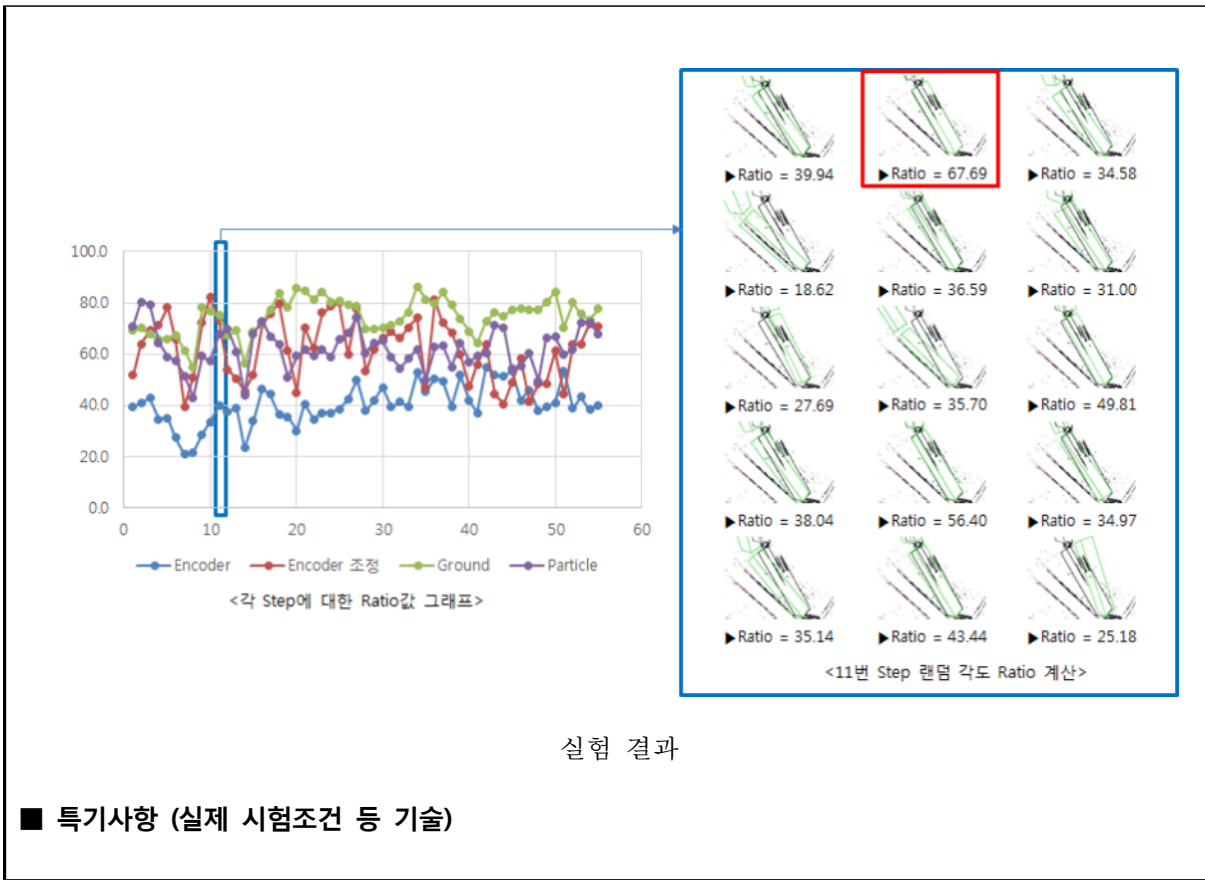
<2번 카메라의 시선> <2번 카메라의 2차원 화면>

<두 직선의 교차점 검출>

2차원 카메라 영상기반 3차원 좌표 입력

- 매니플레이터 인식 알고리즘 구현

Edge Line과 매니플레이터 템플릿 매칭



번호	2핵심-3차년도-⑧	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	수중 정밀 복합 항법
목표값	1.5% of traveled distance	달성값	1.3% of traveled distance
날짜	2016.02.13.-14.	장소	부산 해양로봇센터
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
P-SURO II	KIRO 보유 수중로봇 플랫폼	
선상원격제어시스템	P-SURO II 선상시스템	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 복합항법 위치 정밀도	1.5% 이동거리	1.3 % 이동거리	만족

- Coarse Alignment 기반의 초기정렬 알고리즘 구현

$$\hat{C}_n^b = [\tilde{f}^b, \tilde{\omega}^b, \tilde{f}^b \times \tilde{\omega}^b] \begin{bmatrix} -\frac{1}{g} \tan \lambda & 0 & -\frac{1}{g} \\ \frac{1}{\Omega \cos \lambda} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\Omega g \cos \lambda} & 0 \end{bmatrix}$$

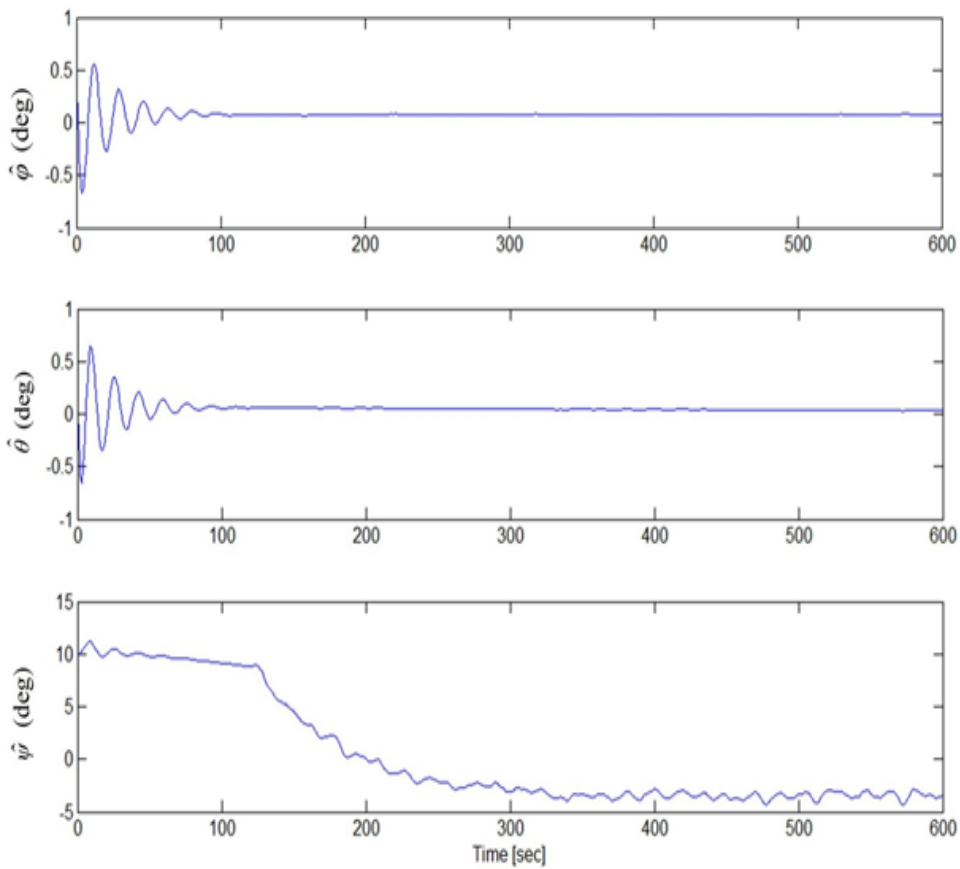
$$\begin{bmatrix} \hat{\phi} \\ \hat{\theta} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan 2(\hat{C}_{b3,2}^n, \hat{C}_{b3,3}^n) \\ \arctan 2\left(-\hat{C}_{b3,1}^n, \sqrt{\hat{C}_{b3,2}^n{}^2 + \hat{C}_{b3,3}^n{}^2}\right) \\ \arctan 2(a, b) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta \\ -\cos \varphi & \sin \varphi \sin \theta \\ \sin \varphi & \cos \varphi \sin \theta \\ \cos \theta & 0 \\ \sin \varphi \sin \varphi & \cos \varphi \\ \cos \varphi \sin \theta & -\sin \varphi \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \hat{C}_{b1,1}^n \\ \hat{C}_{b1,2}^n \\ \hat{C}_{b1,3}^n \\ \hat{C}_{b2,1}^n \\ \hat{C}_{b2,2}^n \\ \hat{C}_{b2,3}^n \end{bmatrix}$$

- 시뮬레이션 결과, Fast aided alignment 결과

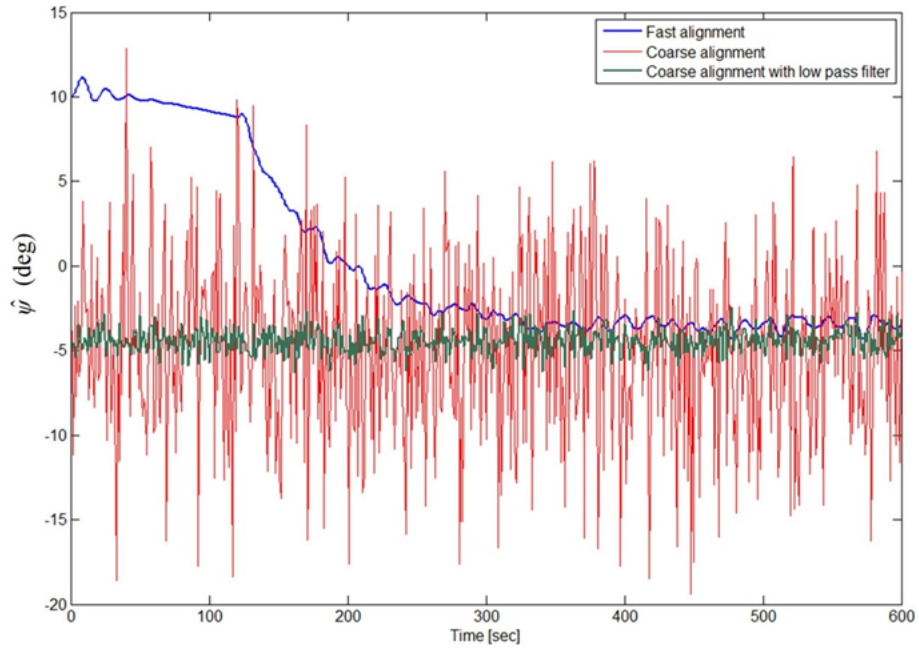
$$\hat{\Phi}_D = \frac{\dot{\hat{\Phi}}_E - \Omega \sin \lambda \hat{\Phi}_N}{\Omega \cos \lambda}$$

where $\dot{\hat{\Phi}}_E = \frac{\hat{\Phi}_E(k+1) - \hat{\Phi}_E(k)}{T}$



Fast aided alignment 결과

- 시뮬레이션 결과, Coarse alignment와 Fast aided alignment 결과 비교

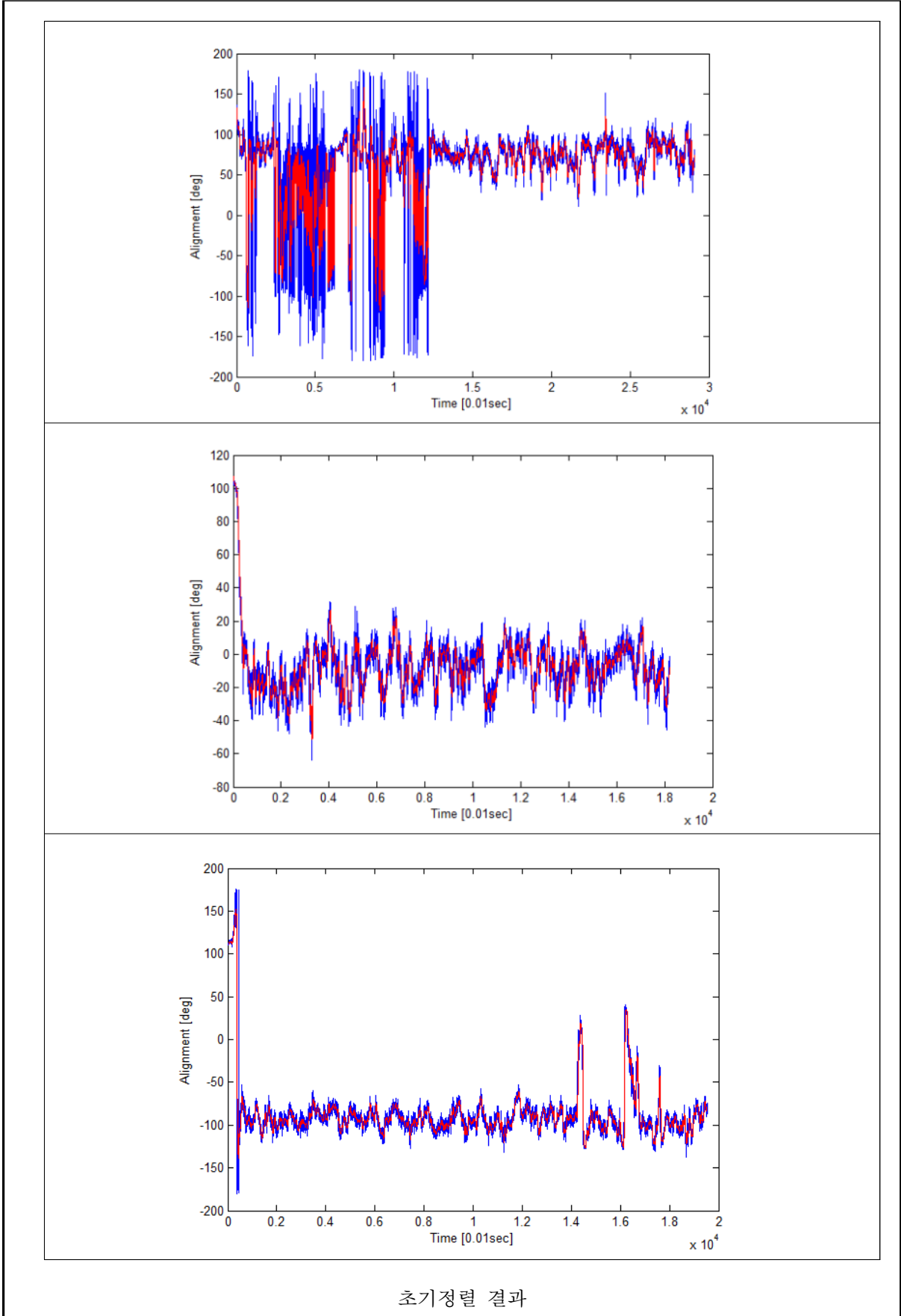


Coarse alignment와 fast aided alignment 결과 비교

- 현장 실험



한국생산기술연구원 해양로봇센터 수조환경에서 실험

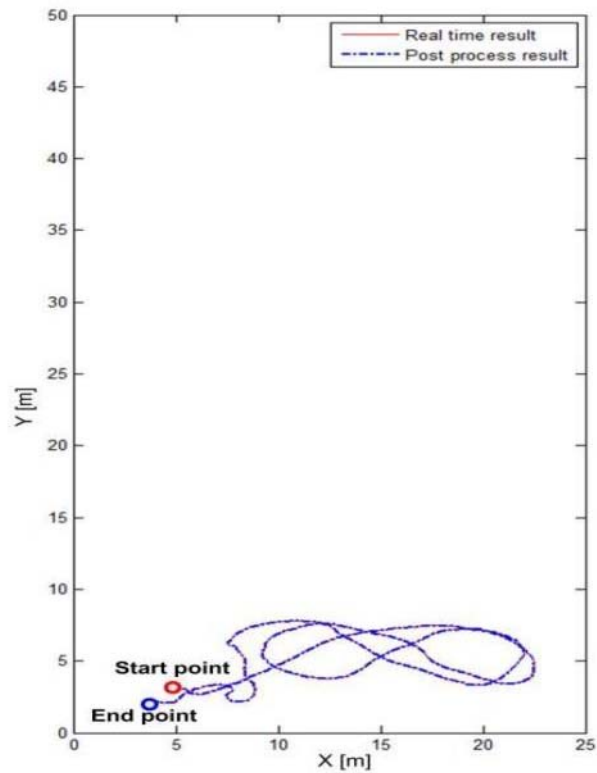


초기정렬 결과

- 복합 정밀 관성항법 실험결과
: 오차 1.3% of traveled distance(90m 이동시 1.2m 오차 발생)



한국생산기술연구원 해양로봇센터 조파수조.



복합 관성항법 수조실험 결과

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-㉔	담당 기관	심양자동화연구소/중국
성과목표	핵심기술	성과지표	수중작업 실시간 3D 구현
목표값	프레임웍 구축	달성값	프레임웍 구축
날짜	2016.0.1.31	장소	심양자동화연구소
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

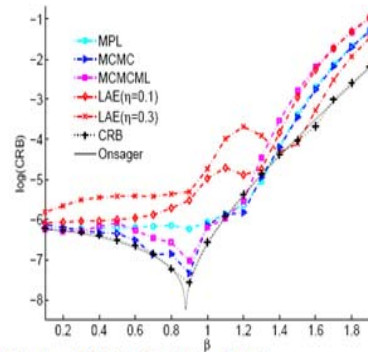
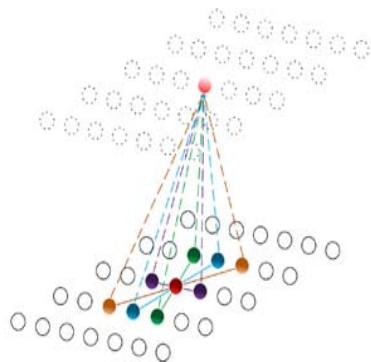
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

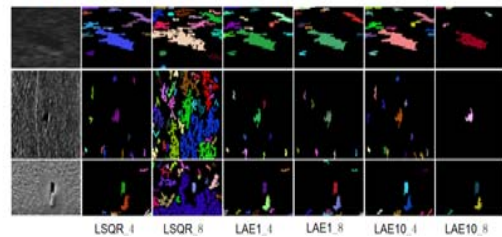
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중작업 실시간 3D 구현	프레임웍 구축	프레임웍 구축	

- Prior parameter estimation by LAE(Local AutoEncoding)

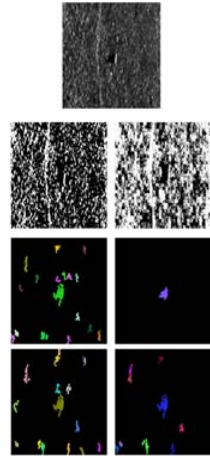
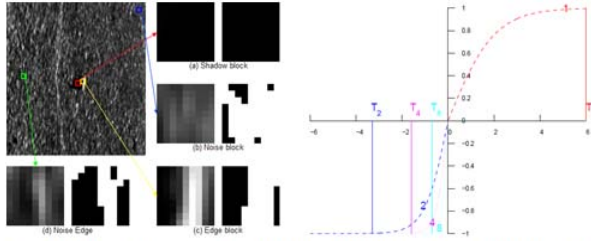


- LAE encodes the central label with the surrounding labels, and learns the prior parameters with a simple BP learning rule.

• CRB: logMSE of LAE ~ MPL



- Label field initialization by SAE

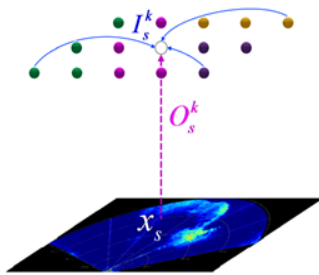


- SAE has the same network structure as an AutoEncoder. However, a piecewise sigmoid function is designed to better preserve the shade area.

Simulation

- Compared with the K-means method, the average switching ratio drops 37%.
- The time that MRF converges to the equilibrium state drops 90%.

- Graded-MRF for Forward-sonar



K-means

MRF+postprocessing



EMMF

Graded-MRF

- Graded-MRF updates the activation vector according to the heat-bath dynamics.
- Outer field is proportional to the logarithm of conditional probability.
- Graded-MRF is able to preserve the contour information while removing the speckle noise meanwhile.

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-3차년도-⑩	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	ROV 고장검출
목표값	모델 프레임웍 구축	달성값	모델 프레임웍 구축
날짜	2015.11.22.	장소	한국로봇융합연구원
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

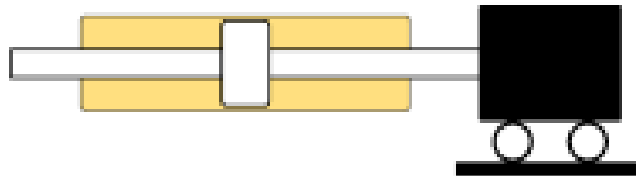
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
편로드유압실린더	모델링 대상	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	비고
편로드유압실린더	모델링 대상	모델 프레임웍 구축	만족

- 양로드 유압실린더 모델링



양로드 유압실린더

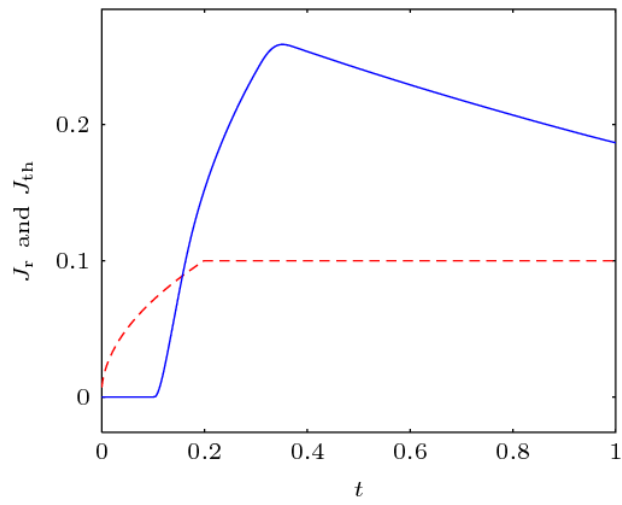
- 누유검출 관측기 설계

$$\hat{x} = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \mu_i \nu_j \varphi_l (A_{ijl}^+ \hat{x} - L_{ijl}^+ (y - \hat{y})), & x_2 > v_{th} \\ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \mu_i \nu_j \varphi_l (A_{ijl}^- \hat{x} - L_{ijl}^- (y - \hat{y})), & x_2 < -v_{th} \\ \sum_{i=1}^2 \mu_i (A_i^0 \hat{x} - L_i^0 (y - \hat{y})), & |x_2| \leq v_{th} \end{cases}$$

$$\hat{y} = C\hat{x}$$

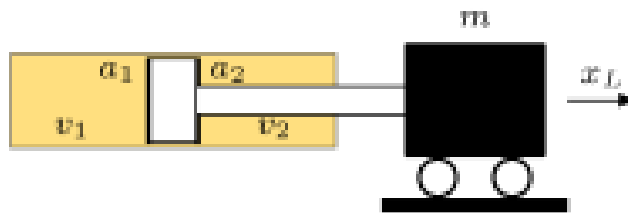
$$r = H(y - \hat{y})$$

- 모의실험



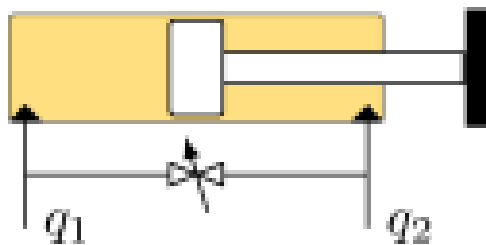
여분 평가 (실선: J_r , 패선: J_{th})

- 편로드 유압실린더 모델링

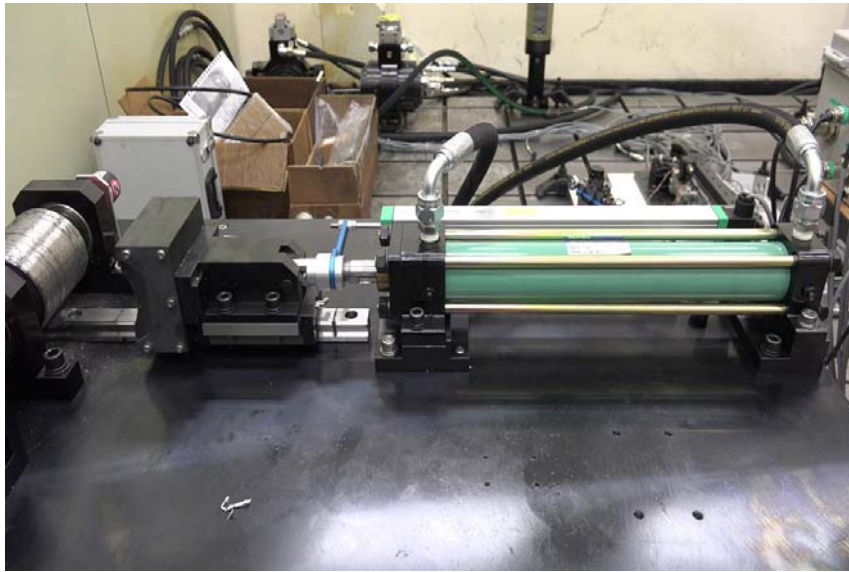


편로드 실린더

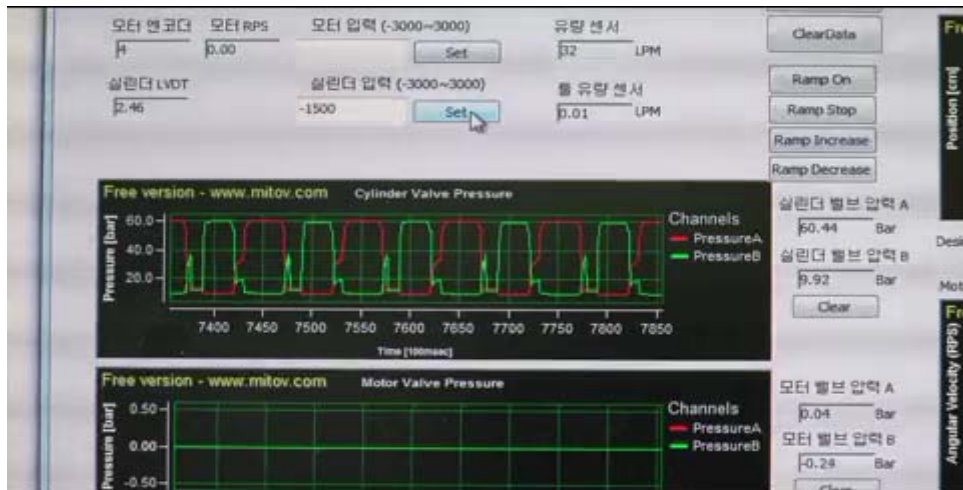
- 데이터 통계 기반 고장 검출



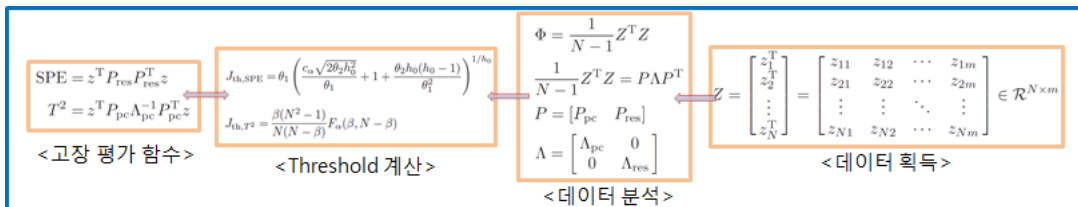
편로드 유압실린더



편로드 유압실린더



반복 실험 데이터 획득



주성분 분석 기반 고장검출 프레임워크 설계

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
3차년도 (2015년)	테스트 플랫폼	시작품	1건	30	-	시작품	100
	다목적 암 제작	암 시작품	1건	10	-	시작품	100
	암파쇄기 틀 제작	암파쇄기 시작품	1건	20	-	시작품	100
	플랫폼 원격 조종 시스템 개발	시작품	1건	20	-	시작품	100
	암파쇄기 원격 조종 시스템 개발	시작품	1건	5	-	시작품	100
	선상 운영실 설계, 제작	운영실	1건	15	-	시작품	100

번호	3핵심-3차년도-①	담당 기관	KIOST, DHS
성과목표	테스트 플랫폼, 다목적 암 제작	성과지표	시작품
목표값	테스트 플랫폼 시작품 1건 다목적암 제작 1건	달성값	테스트 플랫폼 시작품 1건 다목적암 제작 1건
날짜	2016-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

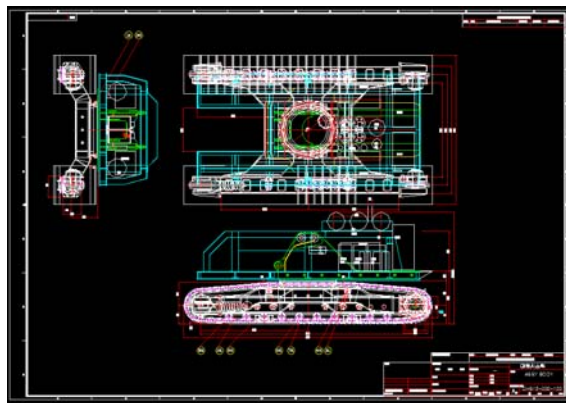
시험 장비	목적	비고
테스트 플랫폼	스펙 설계 및 작동알고리즘 검증용 개발장비	
다목적암	툴을 활용한 다용도 작업을 위한 개발장비	

■ 실험 결과

- 최종 시작품을 제작하기에 앞서 설계된 스펙 및 작동알고리즘을 검증하기 위하여 테스트 플랫폼을 제작하고 성능실험을 수행하고자 함.
- 툴을 활용한 다용도 작업수행을 대비하여 다목적암을 개발하고자 함.
- 확인 결과 테스트플랫폼, 다목적암에 대한 상세설계 도면을 확보하였고, 이에 맞는 시작품을 각 1건씩 제작하였음.



테스트플랫폼, 다목적암 제작



테스트플랫폼 상세설계 도면

■ 특기사항

번호	3핵심-3차년도-②	담당 기관	KIOST
성과목표	암파쇄기 틀 제작	성과지표	암파쇄기 시작품
목표값	암파쇄기 틀 1건	달성값	암파쇄기 틀 1건
날짜	2016-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

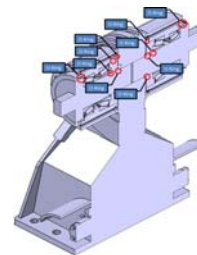
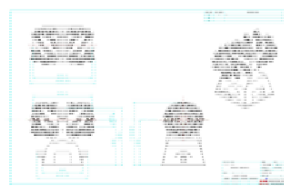
시험 장비	목적	비고
암파쇄기 틀	해저면의 암을 파쇄하기 위한 장비	

■ 실험 결과

- 최종 시작품은 실제 수중작업 현장에서 해저면의 암을 파쇄해야하는 작업이 다수 발생하게 됨. 이에 대응하기 위한 틀로서 암파쇄기를 제작하고자 함.
- 최종 시작품의 유압장치에 대응할 수 있으며 동시에 방수가 유지되는 암파쇄기를 제작하고자 함.
- 암파쇄기를 구매하여 방수화작업을 수행하였음.



암파쇄기



암파쇄기 방수화

■ 특기사항

번호	3핵심-3차년도-③	담당 기관	KIOST, CNU
성과목표	플랫폼 원격조종 시스템 개발 암파쇄기 원격조종 시스템 개발	성과지표	플랫폼 원격조종 시스템 시작품 암파쇄기 원격조종 시스템 시작품
목표값	플랫폼 원격조종 시스템 시작품 1건 암파쇄기 원격조종 시스템 시작품 1건	달성값	플랫폼 원격조종 시스템 시작품 1건 암파쇄기 원격조종 시스템 시작품 1건
날짜	2016-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
플랫폼 원격조종 시스템	수중에서 작동하는 플랫폼을 운영자가 원활히 사용 가능케 하는 원격조종 시스템 제작 검증	
암파쇄기 원격조종 시스템	수중에서 작업되는 암파쇄기 툴을 운영자가 원활히 사용 가능케 하는 원격조종 시스템 제작 검증	

■ 실험 결과

- 수중에서 작동/작업을 수행하는 플랫폼/암파쇄기는 선상의 운영자가 원격으로 조종하여야 함.
- 운영자가 플랫폼/암파쇄기를 원격으로 조종함에 있어 원활히 사용할 수 있도록 각 원격조종 시스템을 구축함.
- 운영실 내 원격조종시스템을 구축하고, 조이스틱 및 주변의 버튼 조합을 통하여 플랫폼/암파쇄기를 원활히 작업할 수 있도록 제작함.



운영실 내 플랫폼/암파쇄기 원격조종 시스템



운영실 내 주변장치 연동시스템 구축

■ 특기사항

번호	3핵심-3차년도-④	담당 기관	KIOST, CNU
성과목표	선상 운영실 설계, 제작	성과지표	운영실
목표값	시작품 1건	달성값	시작품 1건
날짜	2016-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

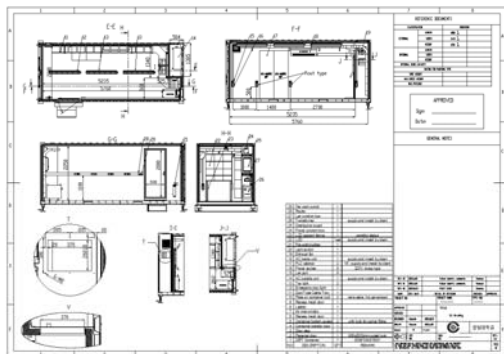
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
선상 운영실	선상에 거치하여 개발장비를 운영하는 조종실	

■ 실험 결과

- 개발장비는 수중작업을 장시간 수행하는 것을 고려할 때 운영자를 위한 전용 선상운영실이 필요함.
- 선상 거치, 장시간 조종을 감안한 운영실 제작이 되어야 함.
- 해상용 표준컨테이너를 활용하여 선상거치가 원활하도록 하였고 추후 설치할 공조시설, 통신/전원 선로를 확보한 설계도면을 제시, 운영실 시작품을 제작하였음.



운영실 설계 도면



운영실 제작

■ 특기사항

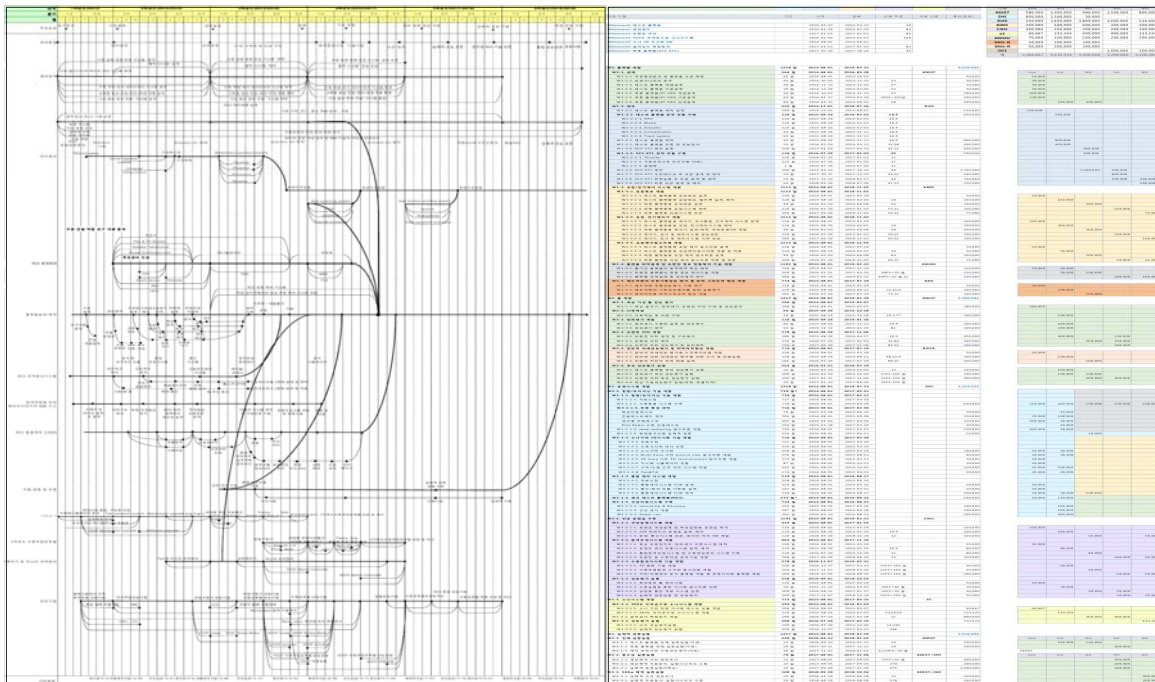
□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
3차년도 (2015년)	과제관리시스템 구축	PERT/CPM 기반 관리시스템 구축(I)	70%	20	3개 핵심과제 효율적/단계별 관리	WBS	100
	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	60%	20	해상 작업일수 추정	보고서	100
	원치시스템 설계	2, 3핵심용 원치 시스템 기본설계	100%	10	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	설계도면	100
	umbilical cable 설계	2, 3핵심용 케이블 기본설계	100%	10	체계적 실험역 실험 준비 단계	설계도면	100
	실증실험 후보지 조사	실증후보지 현장 조사	90%	10	체계적 실험역 실험 준비 단계	보고서	100
	핵심아이템 사업모델 분석	유망아이템에 대한 사업모델	30%	30	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100

번호	총괄과제-3차년도-1	담당 기관	KIOST
성과목표	과제관리시스템 구축	성과지표	PERT/CPM 기반 관리시스템 구축(I)
목표값	70%	달성값	100%
날짜	2016.02.15.	장소	-
평가방법	WBS	검증 여부	자체

결과

■ WBS(Work Breakdown Structure)를 통한 상세 연구 계획 및 진행 관리



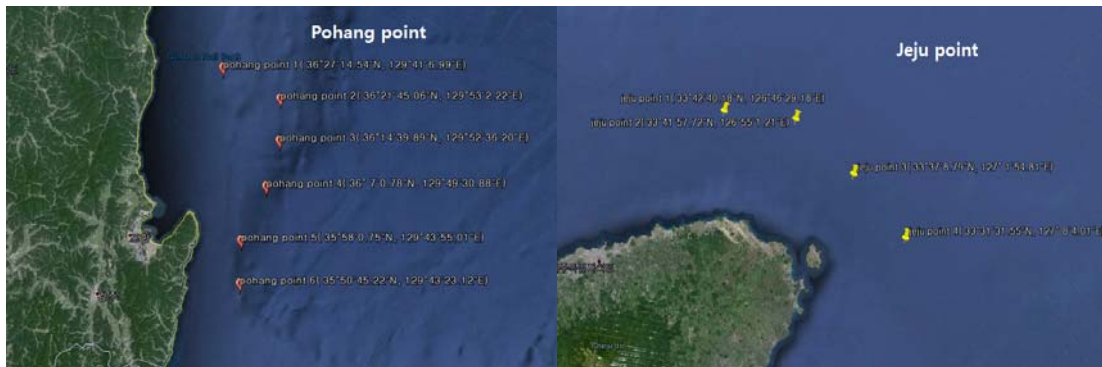
■ 결과

- 위험관리 / 일정관리 / 범위관리 등 프로젝트 관리 기법 적용
- 연구개발을 비롯한 설계, 제작 및 예산 투입 등에 대한 진도계획 수립
- 협동 / 공동 / 위탁 기관에 대한 진도관리를 포함한 효율적 관리

번호	총괄과제-3차년도-2	담당 기관	KIOST
성과목표	최적공정시스템 개발	성과지표	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축
목표값	60%	달성값	100%
날짜	2016.04.12.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 기상데이터 수집 해역(포항, 제주도 인근)



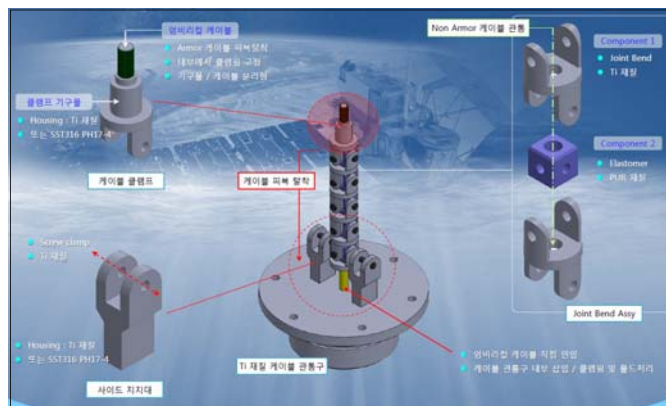
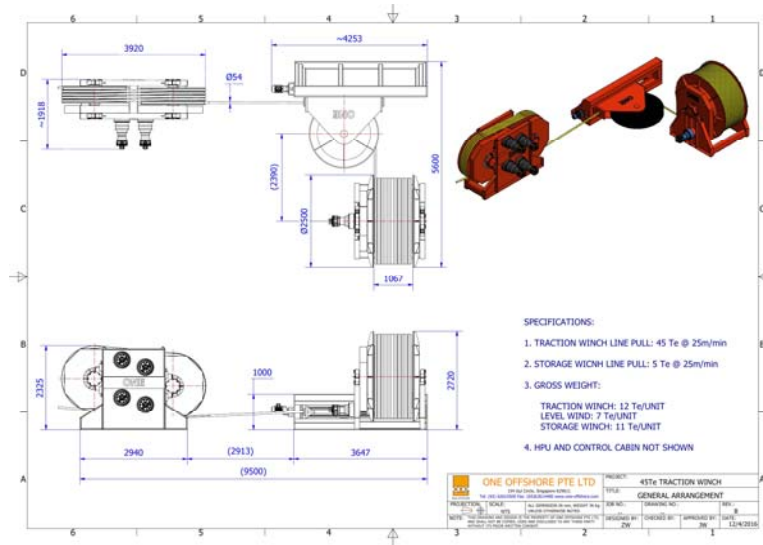
■ 결과

- 해양작업일수 추정을 위한 시뮬레이션 알고리즘 완성
- 기상 조건 및 파랑 조건 데이터를 활용하여 시간별, 월별, 일별 작업 가능일수 도출
- 유의파고 및 풍속 조건을 동시에 고려하여 월별 복합 한계상태 시뮬레이션 수행
- 해양환경 통계 분석 결과 고려 프레임 업데이트

번호	총괄과제-3차년도-3	담당 기관	KIOST
성과목표	원치시스템 개발	성과지표	2, 3핵심용 원치 시스템 기본설계
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2016.03.22.	장소	-
평가방법	설계 도면	검증 여부	자체

결과

■ 복합원치시스템 및 공통 인양고리 설계



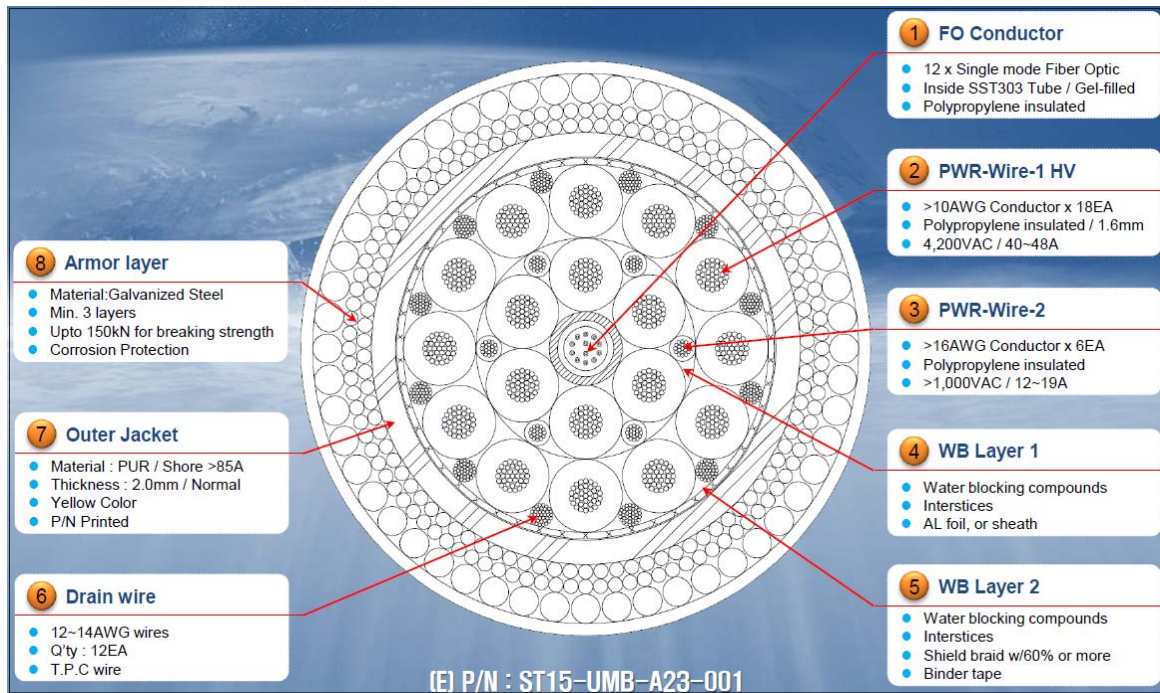
■ 결과

- 2, 3핵심과제 ROV에 공통으로 사용 가능한 복합 원치시스템 및 공통 인양고리 설계
 - ROV의 진회수시 45tf 이상의 중량이 제어 가능한 Traction Winch 및 인양고리
 - 전원 900마력, 광신호 18CH 이상의 Umbilical Cable

번호	총괄과제-3차년도-4	담당 기관	KIOST
성과목표	umbilical cable 설계	성과지표	2, 3핵심용 케이블 기본설계
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2016.04.12.	장소	-
평가방법	설계 도면	검증 여부	자체

결과

■ 엠빌리컬 케이블 설계



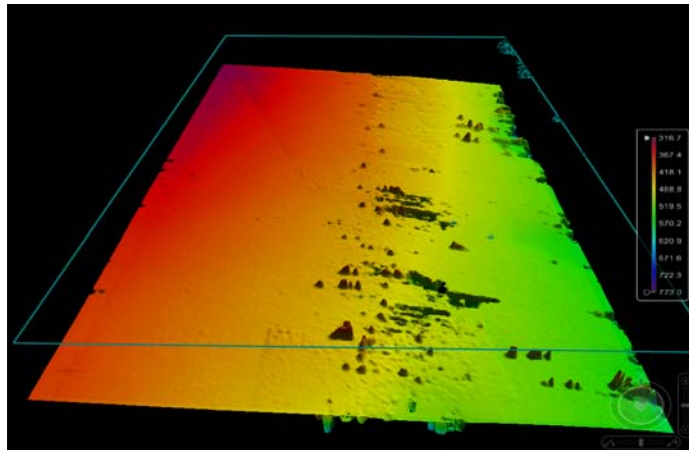
■ 결과

- 수중로봇 본체 중량 : 3핵심 기준
- 케이블 수중부 중량 : 업체별 기준안
 - 수중로봇의 70% 수준 적용(업체별)
- 안전율 : 50~60톤 운용기준, 2.5배 고려

번호	총괄과제-3차년도-5	담당 기관	KIOST
성과목표	실증실험 후보지 조사	성과지표	실증후보지 현장 조사
목표값	90%	달성값	100%
날짜	2016.02.25.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 실증실험 후보지 및 활용 선박 분석



■ 결과

- 포항 인근 6개소, 제주 북부 4개소의 파랑, 바람 데이터 분석
- 선박을 이용한 멀티빔 탐사 및 시료채취를 통한 해저면 저질 상태 분석
- 수중건설 ROV의 운용이 가능한 국내 선박의 조사 및 장단점 비교 분석

번호	총괄과제-3차년도-6	담당 기관	KIOST
성과목표	핵심아이템 사업모델 분석	성과지표	유망아이템에 대한 사업모델
목표값	30%	달성값	100%
날짜	2016.03.22.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 핵심아이템 선정 및 사업모델 분석

사업화 기반 확보를 위한 시장/특허조사 및 마케팅 전략 수립 용역
- (주)케이엔알시스템 -

2. 경쟁사 분석 (Schilling Robotics)

TITAN 4 매니플레이터

Model	TITAN 4
Weight	1,200 kg
Reach	4,000 mm
Speed	0.1 m/s
Accuracy	±0.05 mm
Options	Extended Depth Rating to 7,000mm, Spare Kit, Seal Installation Tool Kit, Technician's Tool Kit, Dual-Manipulator Configuration, Radiation Hardening, Titanium Wrist-Mounted Camera

3. 시장 분석

Market for Work-Class ROV Operations 2008-2017
Source: Douglas-Westwood

- 세계적인 리서치 회사인 Douglas-Westwood의 조사에 따르면, 전세계 ROV 시장은 꾸준히 증가할 것으로 전망
- 직업용 ROV의 활동도 농부시계 증가할 것으로 기대되지만, Observation Class(관찰/정사분야인 부지측량에서의 활동 또한 크게 늘어날 것으로 기대

4. 특허 분석

수중 매니플레이터 특허 흐름도

■ 결과

- 1 핵심과제 유망 아이템 2건
 - 수중 능동비전시스템 카메라, 수중 매니플레이터
- 2 핵심과제 유망아이템 3건 선정
 - 수중카메라 및 라이트, 증압기, 중작업용 ROV
- 유망 아이템 별 사업화 추진기관 내부 역량 분석
- 유망 아이템 별 사업모델 수립

라. 4차년도(2016년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
4차년도 (2017년)	작업 속도-KRISO	최대속도	2.5knot	10	전진속도	실측(DVL)	100
	ROV의 수중 환경 맵핑	해상도	최저 2m에서 구현, 10cm	15	미국/WHOI	실측/10cm 인공Target detecting, 수행 절차에 따른 Protocol구축	100
	Visual Servoing	추종여부	속도 : 5fps 오차 : 30cm/3m이내	5	FMC	시연	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도	10	미국/일본	선수각 $\pm 5^\circ$ 심도 $\pm 10\text{cm}$ 설계 결과 및 시연	100
	ROV 부력 (수조시험)	양성부력	3%이내 양성부력	5	부력	실측데이터	100
	모션제어 주행성	6자유도운동	6DOF	5	제어성	시연	100
	작업전문 카메라 측정범위	측정범위	폭 : 3.5m 높이: 2.5m	5	작업범위	실측 시험데이터	100
	전장모듈 상용화 제품인증	인증	1건	10	등록	제품인증서	100
	탑재용 5DOF 매니퓰레이터	제작	매니퓰레이터 제작 : 1식	5	5축(미국)	시스템 구성	100
	탑재용 7DOF 매니퓰레이터 성능평가 및 개선	Lifting 성능	Full reach lift : 120kgf at 210bar	10	7축(미국)	성능검증	100
	구성품 내압성능평	내압성능	구동기, 제어기, 센서 내압시험 50bar	5	5축(미국) 7축(미국)	모듈단위별 내압 성능검증	100
	탑재용 양팔 매니퓰레이터 내압성능평가	내압성능	매니퓰레이터 내압시험 : 50bar	10	5축(미국) 7축(미국)	내압성능검증	100
항법(자세추정) 성능 오차(MEMS IMU 단독 자세추정 오차 FOG IMU대비)	정밀도	오차율 90% 이내	5	FOG IMU	실험 연구 논문 (시험결과)	100	

번호	1핵심 4차년도 - 1	담당 기관	KRISO
성과목표	작업 속도	성과지표	최대속도
목표값	2.5 knot	달성값	2.5 knot
날짜	2017년 3월	장소	UTEC 수조
평가방법	실험 데이터	검증 여부	자체
결과			

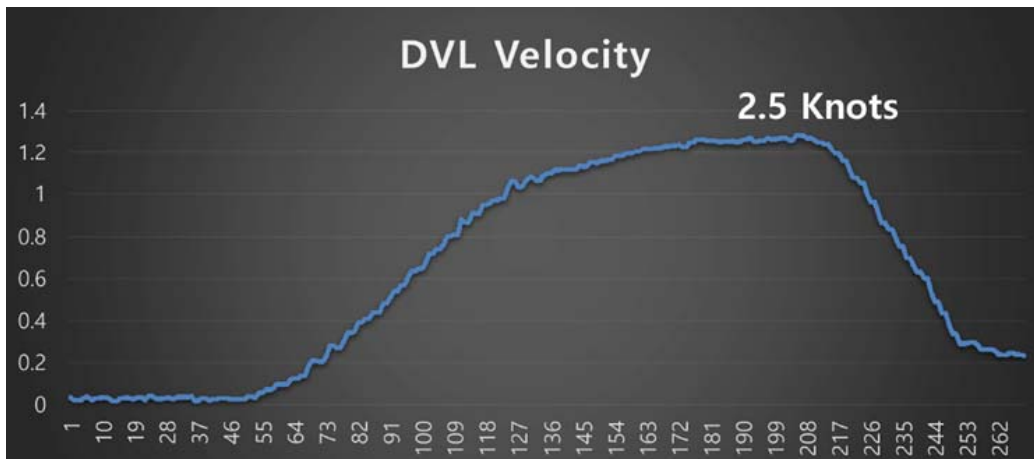
■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 추진 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터
추진 시스템	수평 추진기 6대

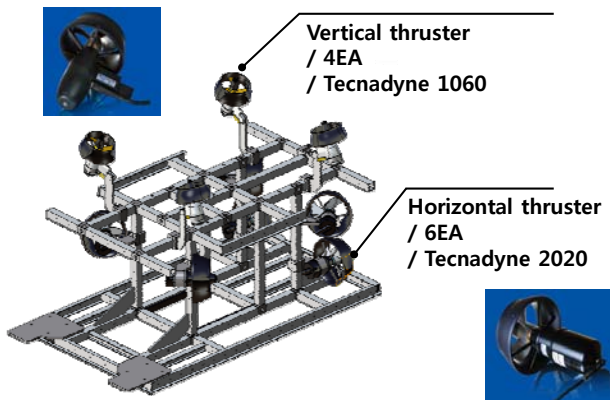
■ 실험 결과

- DVL 센서를 이용하여 ROV 주행 속도 측정



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 추진 시스템 구성



번호	1핵심 4차년도 - 2	담당 기관	Aquadron
성과목표	ROV의 수중 환경 맵핑	성과지표	해상도
목표값	최저 2m에서 구현,10cm	달성값	해상도 10cm
날짜	2017년 2월	장소	UTEK 수조
평가방법	실측/10cm 인공Target detecting 작업Tool요구조건분석	검증 여부	자체

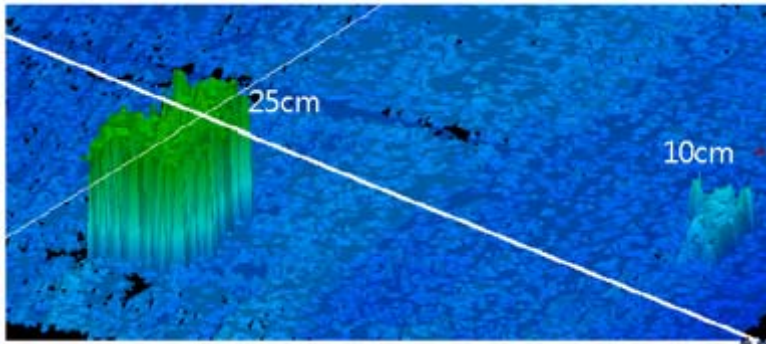
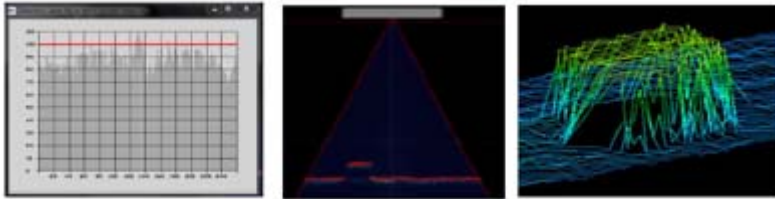
결과

■ 활용 장비

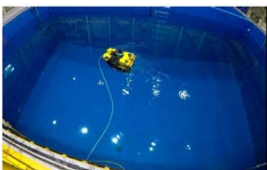

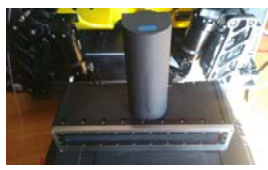
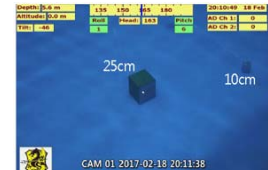
- ROV, Multi Beam Echo sounder

■ 실험 결과

- 10cm 해상도 구현



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

			
제한수역 실험장소	ROV system	Multi Beam Echo sounder	Target

번호	1핵심 4차년도 - 3	담당 기관	레드윈
성과목표	Visual Servoing	성과지표	추종여부
목표값	속도 : 5fps 오차 : 30cm/3m이내	달성값	속도 : 20fps 오차 : 10cm/2m이내
날짜	2017년 3월	장소	레드윈 시험수조
평가방법	시연	검증 여부	자체

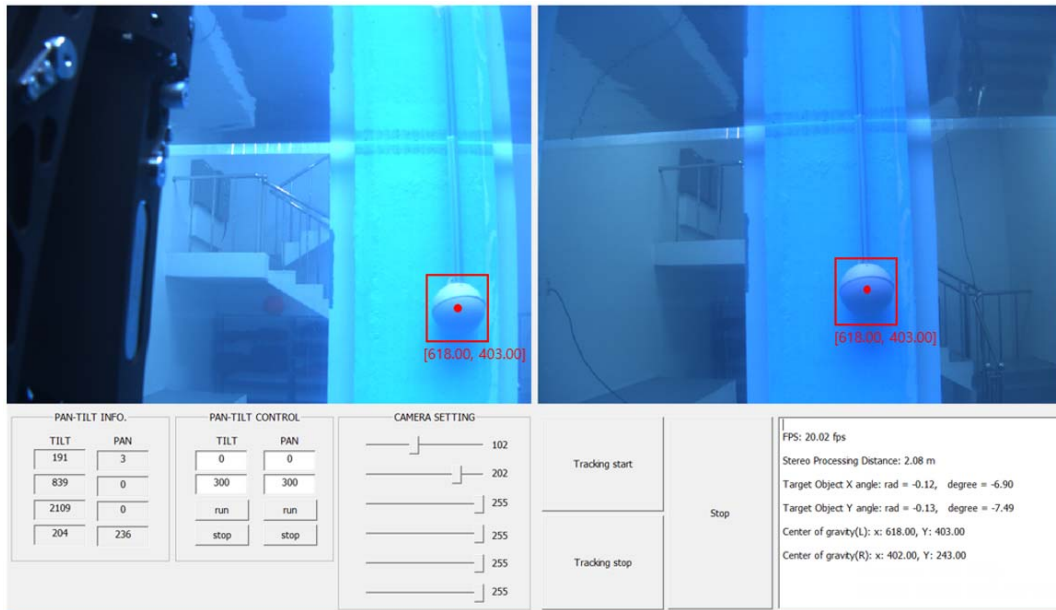
결 과

■ **활용 장비**

- 레드윈 시험수조 (5m x 5m x 5m)
- 시제 진/회수용 호이스트
- 경작업용 ROV 및 작업전문 카메라시스템
- 타켓용 모형 구

■ **실험 결과**

- 작업전문카메라의 타켓추종 성능
 - 속도 : 20fps
 - 오차 : 2m 거리에서 10cm 이하



■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경
 - 시험수조 (5m x 5m x 5m), 청수, 타켓 (직경 25cm 모형구)
- 시험방법
 - 타켓 (모형구)을 임의로(수동) 이동시키면서 작업전문 카메라 시스템의 추종성능 측정

번호	1핵심 4차년도 - 4	담당 기관	KRISO
성과목표	Automatic Control	성과지표	제어성능
목표값	선수/심도	달성값	선수/심도
날짜	2017년 2월	장소	레드윈
평가방법	시험 데이터 및 영상	검증 여부	자체

결과

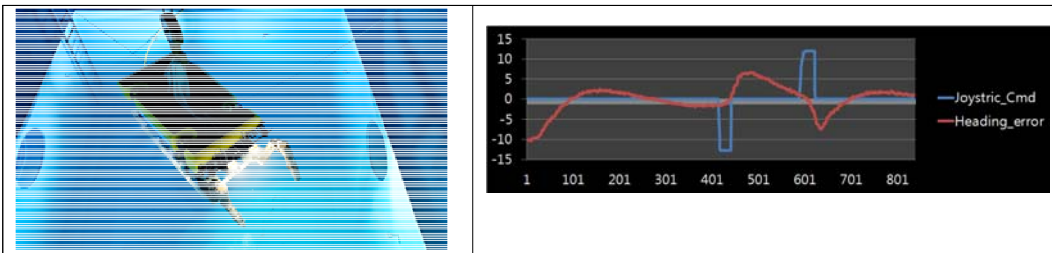
■ 활용 장비

- ROV 및 추진 시스템

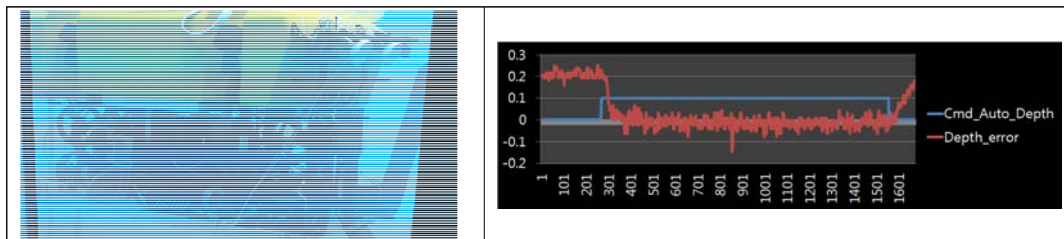
ROV	URI-L, 운동 대상
추진 시스템	수직 추진기 4대, 수평 추진기 6대

■ 실험 결과

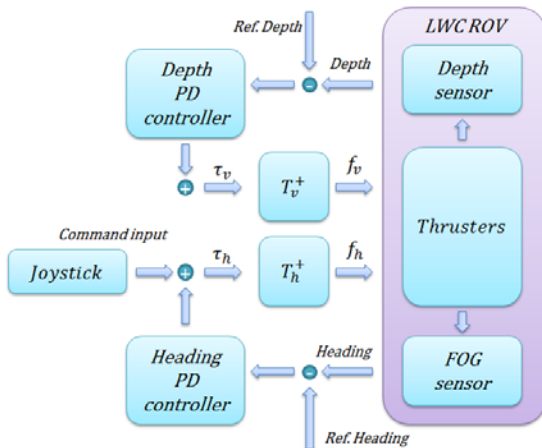
- Auto Heading 제어 시험



- Auto Depth 제어 시험



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)



번호	1핵심 4차년도 - 5	담당 기관	레드윈
성과목표	ROV 부력	성과지표	양성부력
목표값	3%이내	달성값	2.5% 양성부력
날짜	2017년 3월	장소	레드윈 수조
평가방법	분석 데이터 및 시연	검증 여부	자체

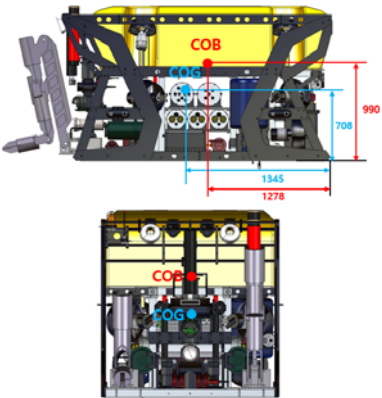

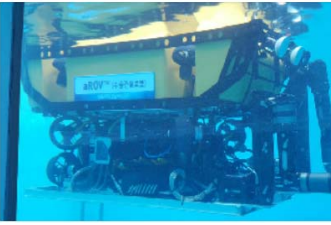
결 과

■ **활용 장비**

- 레드윈 시험수조 (5m x 5m x 5m)
- 시제 진/회수용 호이스트
- 경작업용 ROV 및 작업전문카메라시스템

■ **실험 결과**

- 여유부력 36kg 확인 (ROV중량 1,500kg대비 약 2.5% 양성부력)

부력관리 테이블 (데이터)			부력 시험																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>Weight (in air kg)</th> <th>Weight (in S/W kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. STRUCTURE</td> <td>231.1</td> <td>133.32</td> </tr> <tr> <td>2. PAYLOAD (수거 / 확장 여유부력)</td> <td>100.0</td> <td>100.0</td> </tr> <tr> <td>3. PROPULSION</td> <td>87.6</td> <td>73.40</td> </tr> <tr> <td>4. HYDRAULICS</td> <td>176.8</td> <td>108.80</td> </tr> <tr> <td>5. ELECTRICAL & CONTROL</td> <td>242.0</td> <td>96.60</td> </tr> <tr> <td>6. NAVIGATION & INSTRUMENTATION</td> <td>51.0</td> <td>28.63</td> </tr> <tr> <td>WEIGHT/ BUOYANT</td> <td>888.6</td> <td>540.75</td> </tr> <tr> <td>FOAM BALLAST(required)</td> <td>503</td> <td>-610</td> </tr> <tr> <td>TOTAL WEIGHT(kg)</td> <td>1392.5</td> <td>-69.25</td> </tr> </tbody> </table>	Item	Weight (in air kg)	Weight (in S/W kg)	1. STRUCTURE	231.1	133.32	2. PAYLOAD (수거 / 확장 여유부력)	100.0	100.0	3. PROPULSION	87.6	73.40	4. HYDRAULICS	176.8	108.80	5. ELECTRICAL & CONTROL	242.0	96.60	6. NAVIGATION & INSTRUMENTATION	51.0	28.63	WEIGHT/ BUOYANT	888.6	540.75	FOAM BALLAST(required)	503	-610	TOTAL WEIGHT(kg)	1392.5	-69.25			
Item	Weight (in air kg)	Weight (in S/W kg)																															
1. STRUCTURE	231.1	133.32																															
2. PAYLOAD (수거 / 확장 여유부력)	100.0	100.0																															
3. PROPULSION	87.6	73.40																															
4. HYDRAULICS	176.8	108.80																															
5. ELECTRICAL & CONTROL	242.0	96.60																															
6. NAVIGATION & INSTRUMENTATION	51.0	28.63																															
WEIGHT/ BUOYANT	888.6	540.75																															
FOAM BALLAST(required)	503	-610																															
TOTAL WEIGHT(kg)	1392.5	-69.25																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Item</th> <th>moment (kg-mm)</th> <th>position (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X-moment of weight</td> <td>1831099.7</td> <td>1345.3</td> </tr> <tr> <td>X-moment of buoyancy</td> <td>1723479.1</td> <td>1178.0</td> </tr> <tr> <td>Y-moment of weight</td> <td>1892.6</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Y-moment of buoyancy</td> <td>22369.9</td> <td>14.0</td> </tr> <tr> <td>Z-moment of weight</td> <td>1132534.8</td> <td>708.4</td> </tr> <tr> <td>Z-moment of buoyancy</td> <td>1583685.7</td> <td>990.6</td> </tr> </tbody> </table>	Item	moment (kg-mm)	position (mm)	X-moment of weight	1831099.7	1345.3	X-moment of buoyancy	1723479.1	1178.0	Y-moment of weight	1892.6	1.2	Y-moment of buoyancy	22369.9	14.0	Z-moment of weight	1132534.8	708.4	Z-moment of buoyancy	1583685.7	990.6												
Item	moment (kg-mm)	position (mm)																															
X-moment of weight	1831099.7	1345.3																															
X-moment of buoyancy	1723479.1	1178.0																															
Y-moment of weight	1892.6	1.2																															
Y-moment of buoyancy	22369.9	14.0																															
Z-moment of weight	1132534.8	708.4																															
Z-moment of buoyancy	1583685.7	990.6																															

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 부력관리 테이블에서 관리되고 있는 여유부력 : 69.3kg
- 미장착 부품 (예상부력 -33kg) 반영하여 시험 수행

구분	Weight (in air kg)	Weight (in S/W kg)	비고
Transformer Oil	14	14	
Junction Box Oil	3	3	
OAS (5EA)	14	6.2	
Compensator	13.2	6.8	
Guard Frame	13	3	
Total	57.2	33	

번호	1핵심 4차년도 - 6	담당 기관	KRISO
성과목표	모션제어 주행성	성과지표	6자유도 운동
목표값	6DOF	달성값	6DOF
날짜	2017년 2월	장소	레드원
평가방법	시험 데이터 및 영상	검증 여부	자체
결과			


■ 활용 장비

- ROV 및 추진 시스템


ROV	URI-L, 운동 대상
추진 시스템	수직 추진기 4대, 수평 추진기 6대

■ 실험 결과


- ROV가 수중상태에서 6자유도 주행성 정상구동 여부 확인



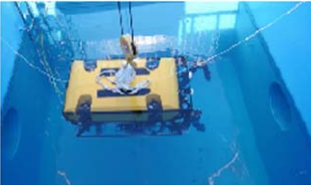
(1) Surge Motion




(2) Sway Motion



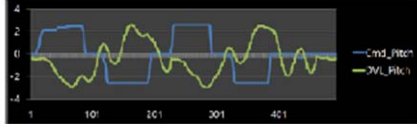
(3) Yaw Motion



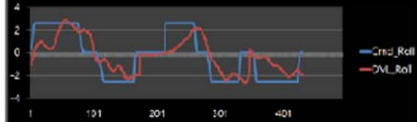
(4) Pitch Motion



(5) Roll Motion



— Cmd_Yaw
— Yaw_Roll



— Cmd_Roll
— Roll_Roll

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

URI-L 수직 추력 분배

$$v_v = [F_v, M_v, M_v]^T$$


F_v - force in the vertical axis
 M_v - moment about the transversal axis
 M_v - moment about the longitudinal axis

$$v_v = T(v)F$$

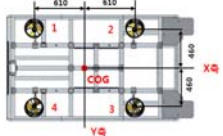
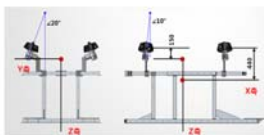
v_v - force and moments in vertical plane
 T - thruster configuration matrix
 F - thrust vector

$$F = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$$

f_i - thrust of i -th thruster



α - angle between Y axis and direction of f_i in YZ plane
 β - angle between Z axis and direction of f_i in ZX plane
 d_{i1} - distance of i -th thruster from COG in YZ plane
 d_{i2} - distance of i -th thruster from COG in ZX plane
 d_{i3} - distance of i -th thruster from COG in XY plane
 γ_i - angle between d_{i1} and direction of f_i in YZ plane
 γ_i - angle between d_{i2} and direction of f_i in ZX plane

URI-L 수평 추력 분배

$$v_h = [F_h, F_h, M_h]^T$$


F_h - force in the transversal axis
 F_h - force in the longitudinal axis
 M_h - moment about the vertical axis

$$v_h = T(v)F$$

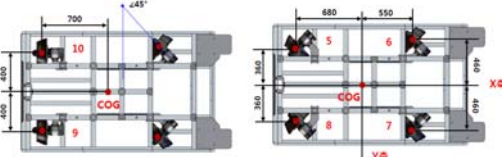
v_h - forces and moment in horizontal plane
 T - thruster configuration matrix
 F - thrust vector

$$F = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$$

f_i - thrust of i -th thruster



α - angle between X axis and direction of f_i in XY plane
 d - distance of i -th thruster from COG in XY plane
 γ - angle between d and direction of f_i in XY plane



번호	1핵심 4차년도 - 7	담당 기관	레드윈
성과목표	작업전문카메라 측정범위	성과지표	측정범위
목표값	폭 3.5m, 높이 2.5m	달성값	폭 5m, 높이 3m
날짜	2017년 2월	장소	레드윈 수조
평가방법	시연 (실측 데이터)	검증 여부	자체

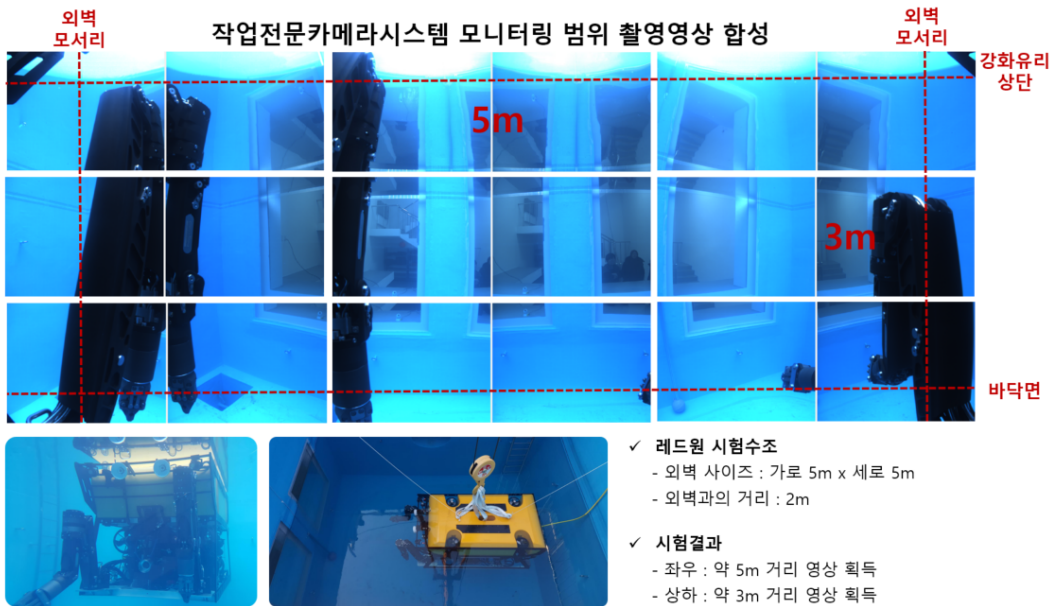
결 과

■ 활용 장비

- 레드윈 시험수조 (5m x 5m x 5m)
- 시제 진/회수용 호이스트
- 경작업용 ROV 및 작업전문카메라시스템

■ 실험 결과

- 측정범위 가로 5m이상, 세로 3m 이상 측정 검증



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 시험환경 및 조건
 - 레드윈 시험수조 (가로 5m, 세로 3m)기준 작업전문카메라 시스템을 이용한 실제 영상저장 실험 수행
- 시험방법
 - 고정된 위치에서 촬영된 영상 합성하여 상하좌우 거리 측정

번호	1핵심 4차년도 - 8	담당 기관	레드윈
성과목표	상용화 제품인증	성과지표	인증
목표값	제품인증 1건	달성값	제품인증 1건
날짜	2016년 11월	장소	전자부품연구원
평가방법	제품하드웨어인증	검증 여부	인증서

결 과

■ **활용 장비**

- 복합환경시험기 : Combined Vibration Chamber
- EDS-1000-240
- 시제 : 작업전문카메라용 Pan-Tilt 제어기

■ **실험 결과**

- 시험 전후 시료의 동작상태 이상 없음

시험성적서

발행번호 : 2017 - 02 - 022

회사명 : 레드윈테크놀로지(주)

시료명 : PAN-TILT 제어기 (R1-PAN-TILT-DRV)

2017년 02월 16일

전자부품연구원 광주지역본부장

세부 시험내역

1. 시험목적 : PAN-TILT 시스템 적용화를 위한 상용 검증
2. 시료명 : PAN-TILT 제어기 (R1-PAN-TILT-DRV)
3. 시료개수 : 1 EA
4. 시험항목, 시험조건

시험항목	시험조건
진동 (정형파)	<ul style="list-style-type: none"> Vibration : Sine Frequency : (20 - 2,000) Hz Acceleration : 0.5 G 스윙프 사이클 수 : Forward 1회 Test Time : 1 h/axis (Y-axis, 상하진동) 시험 전후 시료의 LED 점등 확인

5. 시험장비

(1) 복합환경시험기 (Combined Vibration Chamber)

① 모델명 : EDS-1000-240 (제조사명 : 주강테크, Korea)

② 시험기관 : 교정기술원(주)

③ 시험일자 : 2016년 11월 02일

6. 시험기관

(1) 인증 시험 : 2017. 02. 14 (1시간)

7. 시험결과

(1) 인증 시험 결과 : 시험 전후 시료의 LED 점등 이상 없음 확인

8. 첨부 - 1. 인증 시험 Log data

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경
 - Vibration : Sine
 - Frequency : (20 - 2,000) Hz
 - Acceleration : 0.5G
 - 스윙프 사이클 수 : Forward 1회
- 시험방법
 - 상하진동 : 1h/axis
 - 시험전후 시료의 동작상태 확인

번호	1핵심 4차년도 - 9	담당 기관	KNR
성과목표	탑재용 5DOF 매니플레이터 개발	성과지표	제작
목표값	매니플레이터 1식 제작	달성값	5축 매니플레이터 1식
날짜	2017년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 5자유도 유압로봇팔, 이동식 매니플레이터 스탠드

■ 실험 결과

- 탑재용 5DOF 수중 매니플레이터 제작



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 4차년도 - 10	담당 기관	KNR
성과목표	탑재용 7DOF 매니플레이터 성능평가 및 개선	성과지표	Lifting 성능
목표값	Full reach lift : 120kgf at 210bar	달성값	Full reach lift : 121kgf
날짜	2017년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- 7자유도 유압로봇팔, 고정식 매니플레이터 스탠드, 유압유니트

■ **실험 결과**

- 탑재용 7DOF 수중 매니플레이터 성능시험

- 121 kgf full reach 하중 테스트



Lifting 하중 측정치

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

번호	1핵심 4차년도 - 11	담당 기관	KNR
성과목표	구성품 내압성능평가	성과지표	내압성능
목표값	구동기, 제어기, 센서 내압시험 50bar	달성값	구동기, 제어기, 센서 내압시험 50bar
날짜	2017년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

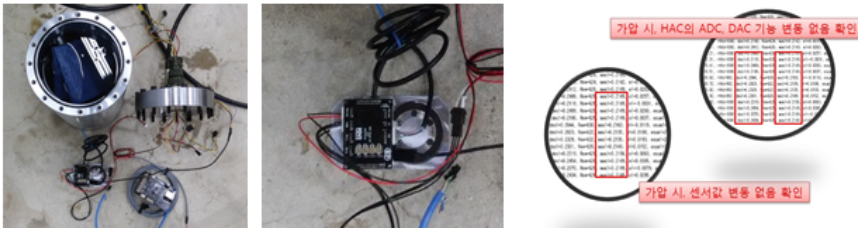
■ 활용 장비

- 내압시험용 챔버, 가압 펌프

■ 실험 결과

- 구성품 내압성능 시험

- HAC&Encoder 내압 성능 테스트 (50bar) - 결과 : Encoder signal, ADC 변화 없음 (정상)



- LCU 내압 성능 테스트 (50bar) - 결과 : DAC, ADC, Ethernet 작동 (정상)



실험 항목	실험 압력	실험 시간	내압 시험 결과
LCU	50 bar	6 hours	정상
HAC	50 bar	6 hours	정상
엔코더	50 bar	6 hours	정상
서보밸브	50 bar	6 hours	정상

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 4차년도 - 12	담당 기관	KNR
성과목표	탑재용 양팔 매니퓰레이터 내압성능	성과지표	내압성능
목표값	매니퓰레이터 내압시험 : 50bar	달성값	매니퓰레이터 내압시험 : 50bar
날짜	2017년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- 5,7 자유도 유압로봇팔, 매니퓰레이터 내압 챔버, 순환식 가압 loop, 유압유닛, 내압 카메라

■ **실험 결과**

- 매니퓰레이터 압력시험



실험 항목	실험 압력	실험 시간	구동상태
Manipulator 압력시험	50 bar	2 hours	정상

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

번호	1핵심 4차년도 - 13	담당 기관	KRISO
성과목표	이동 추종 오차(정수중)	성과지표	정밀도
목표값	오차율 90% 이내	달성값	오차율 90% 이내
날짜	2017년 2월	장소	레드윈
평가방법	논문 및 시험결과	검증 여부	자체

결과

■ **활용 장비**

- 소형 ROV 시스템 및 레드윈 수조

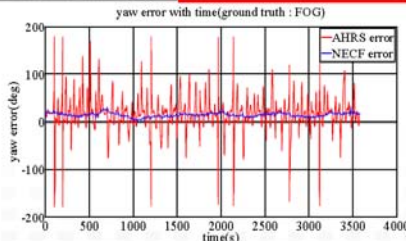
■ **실험 결과**

■ **항법 분야 연구결과**

▶ 4차 년도 주요 개발 내용

- 다중의 센서 데이터 획득: AHRS, FOG, DVL, depth
- 다중의 센서 측정 정보를 융합하여 확률적인 자세 추정 방법 구현: extended Kalman filter(EKF), EKF sine rotation vector(EKF SRV), EKF field measurement, complementary filter(CF), non-linear explicit complementary filter

	mean error(roll pitch yaw)			standard deviation(roll pitch yaw)		
	roll	pitch	yaw	roll	pitch	yaw
EKF	-1.1881	0.1599	17.8549	0.5599	0.5933	28.8561
CF	-0.3934	0.0836	16.5761	0.2608	0.2413	44.4373
sin rotation vector	-1.1262	0.1562	17.3497	0.6466	0.6708	2.0664
NECF	-0.4036	0.0839	14.3396	0.1690	0.2057	4.2513
EKF Field Measurement	-1.1354	-0.3967	27.9441	1.3193	1.1204	5.7940
AHRS sensor attitude(CF)	-0.7552	0.1440	16.9069	0.2752	0.2434	34.0178



Yaw 추정 오차

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 각종 항법 센서를 융합하여 수중건설로봇에 특화된 항법 알고리즘 개발 및 적용
 - USBL 통합 항법에 사용하기 위한 AHRS를 사용한 자세 추정 방법을 개발
 - MEMS AHRS를 단독으로 사용한 자세 추정의 오차 대비 90% 이내의 오차 달성
 - MEMS-AHRS, DVL, Depth, FOG 센서를 사용하는 다양한 자세 추정과 위치 추정 알고리즘을 구하고 실험을 통하여 성능 분석

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
4차년도 (2016년)	플랫폼 기술	플랫폼 기술	선상 전원공급실 제작	10	통합용 전원공급실 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
			전기/전자/통신 시스템 제작 완료	5	전기/전자/통신 모듈 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
			플랫폼 통합	10	통합 플랫폼 확보	운용 시나리오 기반 수조 시험 성능 검증 (자체평가)	100
	수중 유압 기술	수중 유압 기술	1차 시제품 (225kW/210bar)	20	통합용 시제품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	수중 워터젯 기술	수중 워터젯 기술	1차 시제품 (986m ³ /hr@9bar)	15	통합용 시제품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	17톤 (2차 시제품)	5	통합용 시제품 확보	실측 (자체평가)	100
			케이블 커터	550bar (2차 시제품)	5	통합용 시제품 확보	실측 (자체평가)
	선상 관제체계 기술	시스템 통합	2차 시작품 및 연동	10	통합용 2차 시작품 확보	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
	핵심기술	유압매니플레이터 Visual Assistant 기술	영상 이미지 매칭률 ^{a)} : 70%	5	알고리즘 성능 개선	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증 (자체평가)	100
		수중 정밀 복합항법	1.2% of traveled distance	5	알고리즘 성능 개선	연근해 성능 검증 (자체평가)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	맵 해상도 ^{b)} : 15x15x15mm	5	기본 알고리즘 확보	현장데이터를 활용한 시뮬레이션 (자체평가)	95
		ROV 고장검출	검출율 ^{c)} : 50%	5	기본 알고리즘 확보	시뮬레이션 (자체평가)	100

번호	2핵심-4차년도-①	담당 기관	대양전기/레보
성과목표	플랫폼 기술	성과지표	플랫폼 기술
목표값	선상 전원공급실 제작 전기/전자/통신 시스템 제작 완료 플랫폼 통합	달성값	선상 전원공급실 제작 전기/전자/통신 시스템 제작 완료 플랫폼 통합
날짜	2016.12.10	장소	UTEK
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
호이스트	ROV 진회수	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
선상 전원 공급실 제작	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증(자체평가)	선상 전원 공급실 제작	만족
전기/전자/통신 시스템 제작 완료	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증(자체평가)	전기/전자/통신 시스템 제작 완료	만족
플랫폼 통합	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증(자체평가)	플랫폼 통합	만족



[선상 전원 공급실 컨테이너]



[LV 인버터, 고압 트랜스포머]



[Power Can 전원 공급부]

- 선상 전원 공급실 컨테이너 제작 완료
- LV 인버터, 고압 트랜스포 구성 및 자체 성능 평가 완료
- POWER CAN 내부 전원 공급 모듈 및 자체 성능 평가 완료



[Ins.1 Can]

[Ins.2 Can]

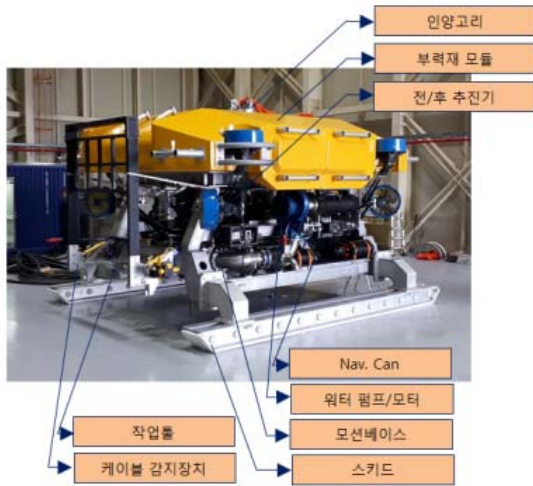


[터미네이션 정선박스]



[수중 케이블]

- 내압용기 3종(Ins1 Can, Ins2 Can, Nav. Can) 전장부 제작, 자체 성능평가 완료
- 엄빌리컬 케이블 터미네이션 정선박스 제작, 자체 성능 평가 완료
- 수중 케이블 포설 및 결선



[플랫폼 장비배치 (전면)]



[플랫폼 장비배치 (후면)]



[통합 연동 수조 시험]

- 프레임, 부력재 제작 완료
- 워터젯 모션 베이스, 유압 시스템, 전장부, 장치 구동부 통합 완료
- 콘트롤 밴 및 선상 전원 공급 시스템과 연동 시험 평가 완료

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-②	담당 기관	레베산업
성과목표	수중 유압 기술	성과지표	수중 유압 기술
목표값	1차 시제품 (225kW/210bar)	달성값	1차 시제품 (225kW/210bar)
날짜	2016.12.10	장소	UTEC
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

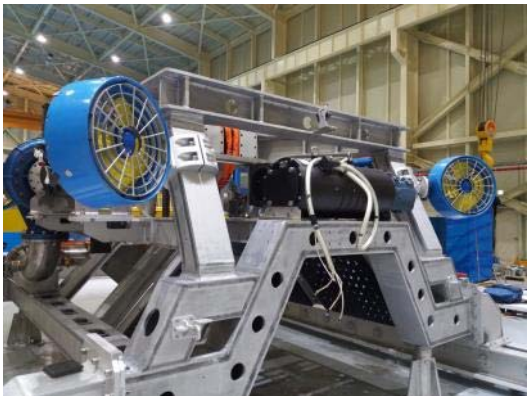
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
호이스트	장비 설치	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
1차 시제품(225kW/210bar)	운용 시나리오 기반 수조 성능 검증(자체평가)	1차 시제품(225kW/210bar)	만족



[모터 펌프 설치]



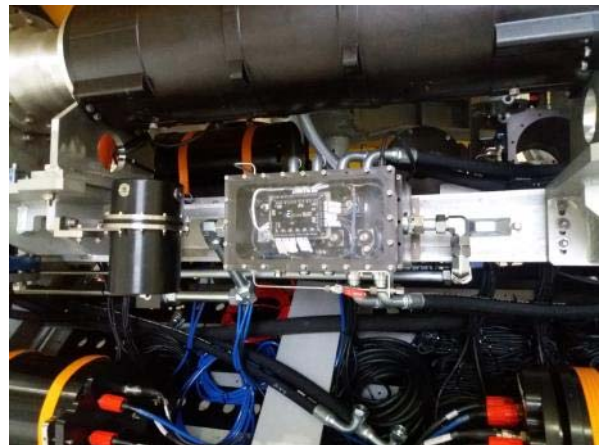
[블록 밸브]



[추진기 배관]



[밸브팩]



[밸브팩 배관]

- HPU 자체 성능 평가 완료
- 밸브팩 제작 및 자체 성능 평가 완료
- 레저버 및 절연유 충유 라인 제작 및 성능 평가 완료
- 밸브팩 및 추진기 배관 완료

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-③	담당 기관	KT서브마린/한국로봇융합연구원
성과목표	수중 워터젯 기술	성과지표	수중 워터젯 기술
목표값	1차 시제품 (986m ³ @9bar)	달성값	1차 시제품 (986m ³ @9bar)
날짜	2016.12.15	장소	한국로봇융합연구원 시험동
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
N/A		

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 워터젯 기술	986m ³ /hr@9bar	986m ³ /hr@9bar	만족

Braybar Pumps Pty Limited

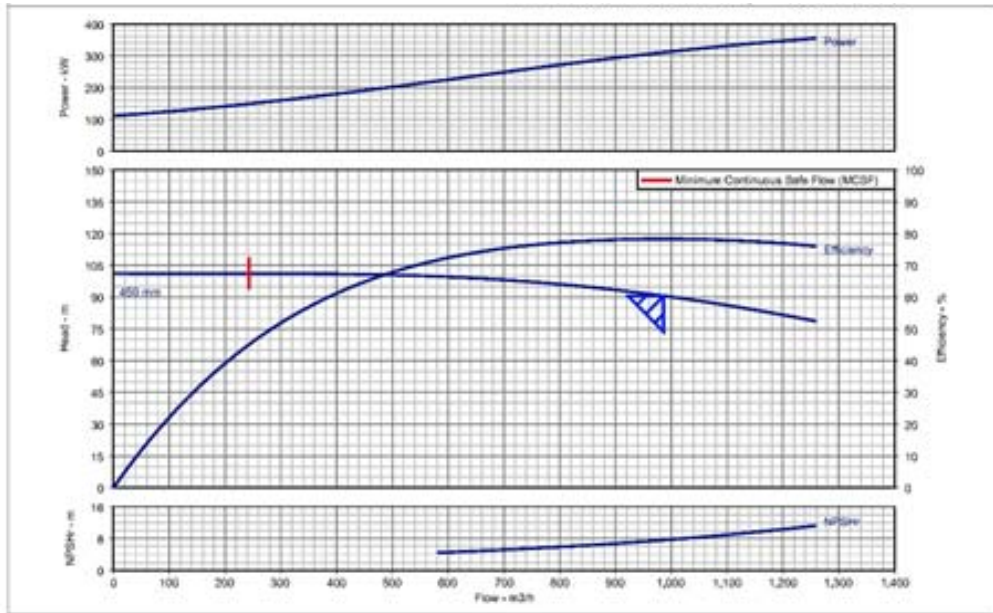
Pump Performance Datasheet

Customer	: Controlled Liquid Systems	Quote number	: 222350
Customer enquiry	: By Denis	Pump Size	: X-STREAM-250/50
Project	:	Stages	: 1
Item number	: 001	Based on curve number	: HD1XSL3A90 Rev 0
Usage - Tertiary	:	Date last saved	: 08 Mar 2016 2:41 PM
Quantity	: 1	Note	: Only duty point is guaranteed as per testing standard.

Operating Conditions		Liquid	
Flow, rated	: 986.1 m ³ /h	Liquid Type/ Application	: Water
Differential Head (requested)	: 90.48 m	Additional liquid description	:
Differential Head (actual)	: 90.60 m	Solids diameter, max	: 0.00 mm
Suction pressure, rated / max	: 0.00 / 0.00 bar.g	Solids/Bagasse/Stock consistency by volume	: 0.00 %
NPSH available, rated	: Ample	Temperature, max	: 20.00 deg C
Frequency	: 50 Hz	Fluid density rated	: 1.000 kg/dm ³
		Viscosity, rated	: 1.00 cSt
		Vapor pressure, rated	: 0.02 bara

Performance		Material	
Speed, rated	: 1761 rpm	Material selected	: MCC J - CI / BR / SS / SS / BR
Impeller diameter, rated (approx.)	: 450 mm		
Impeller diameter, maximum	: 500 mm		
Impeller diameter, minimum	: 450 mm		
Efficiency	: 78 %		
NPSH required / margin required	: 7.61 / 0.50 m		
nq (imp. eye flow) / S (imp. eye flow)	: 29 / 201 Metric units		
Minimum Continuous Safe Flow (MCSF)	: 242.9 m ³ /h		
Head, maximum, rated diameter (approx.)	: 101.4 m		
Head rise to shutoff (approx.)	: 11.91 %		
Flow, best eff. point	: 986.6 m ³ /h		
Flow ratio, rated / BEP	: 99.94 %		
Diameter ratio (rated / max)	: 90.00 %		
Head ratio (rated dia / max dia)	: 74.94 %		
Cq/Ci/Ce/Cn [HI2010]	: 1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00		
Selection status	: Acceptable		

Pressure Data		Driver & Power Data	
Maximum working pressure	: 9.94 bar.g	Driver sizing specification	: Maximum power
Maximum allowable working pressure	: 12.00 bar.g	Margin over specification	: 0.00 %
Maximum allowable suction pressure	: 3.00 bar.g	Service factor	: 1.00
Hydrostatic test pressure	: 16.00 bar.g	Power, hydraulic	: 243 kW
		Power, rated	: 311 kW
		Power, maximum, rated diameter	: 355 kW
		Minimum recommended driver rating	: 355 kW / 476 hp



Braybar Pumps Pty Limited - Corner of Horn & Birnie Street, - Chloorkop - Kempton Park, - Gauteng, . 1620,
 Phone: ++27 (0) 11 393 2177 - Website: www.kirloskarpumps.com

Version:

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-④	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 그리퍼
목표값	17톤(2차시제품)	달성값	19.7톤
날짜	2017.02.14	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
그리퍼 테스트 장비 (로드셀, 유압동력장치 포함)	그리퍼 파지력(당김력) 측정	한국도키멕(주) 자체제작 (특허등록 제10-1763849)

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
파지력(당김력)	17톤	19.7톤	만족

• 그리퍼 성능 시험 수행

- 그리퍼가 케이블을 그립한 상태에서 케이블을 당겨서 미끌림 발생 톤수 측정



• 시험 결과

- 18.6톤까지 미끌림 없음
- 19.7톤에서 미끌림 시작

• 결과 요약

- 정격 18.6톤
- 최대 19.7톤
- 정량적 목표인 최대 17톤을 상회하는 결과를 가짐을 검증함.

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-⑤	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 커터
목표값	550bar(2차 시제품)	달성값	558bar
날짜	2017.02.15	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

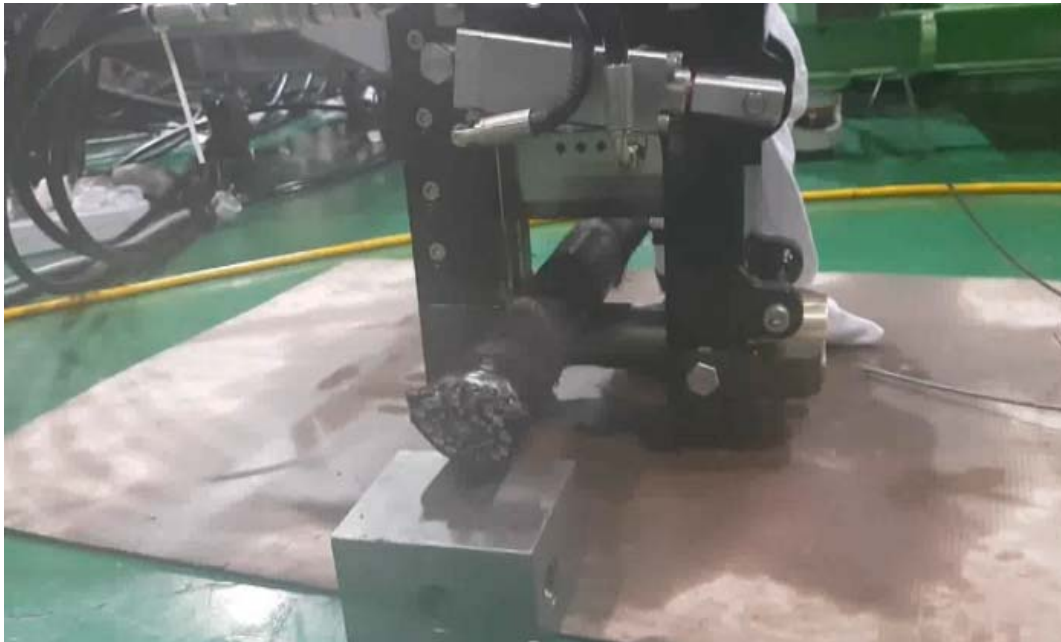
■ **활용 장비**

시험 장비	목적	비고
압력센서, 유압동력장치(HPU)	최대 절단 압력 측정	한국도키멕(주) 자체제작

■ **실험 결과**

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
최대 커팅 압력	550bar	558bar	만족

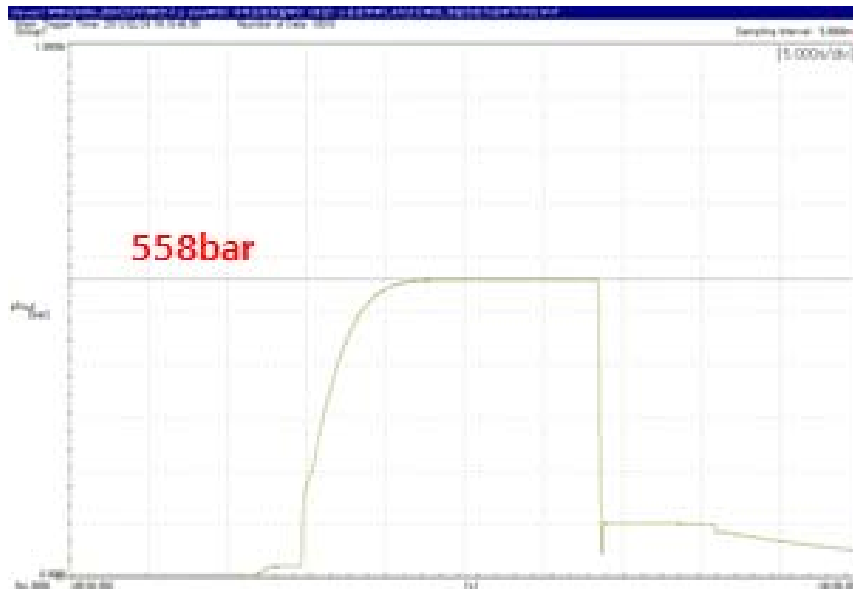
- $\Phi 47$ 케이블 커팅 실험 및 최대 커팅압 측정 실험 및 수행



- $\Phi 47$ 케이블 커팅 실험: 완전 절단을 위해 최대 250bar 필요함을 확인



- 최대 커팅압 측정 결과: 558bar → 정량적 목표치인 550bar를 상회함을 검증



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-㉔	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	선상 관제체계 기술	성과지표	시스템통합
목표값	2차 시작품 및 연동	달성값	2차 시작품 및 연동
날짜	2017.03.06	장소	UTEC
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
호이스트	ROV 진회수	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
선상 관제체계 기술	2차 시작품 및 연동	2차 시작품 및 연동	만족

- 본 성과목표인 선상 관제시스템 통합 및 2차 연동은 정량적 목표수치로 보여주기 어려운 부분으로, 자체평가를 수조시연으로 변경하여 3/6일에 평가위원들에게 보여주는 방식으로 평가받음.



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-⑦	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	유압매니퓰레이터 Visual Assistant 기술
목표값	영상이미지 매칭률: 70%	달성값	영상이미지 매칭률: 76.7%
날짜	2016.12.13	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

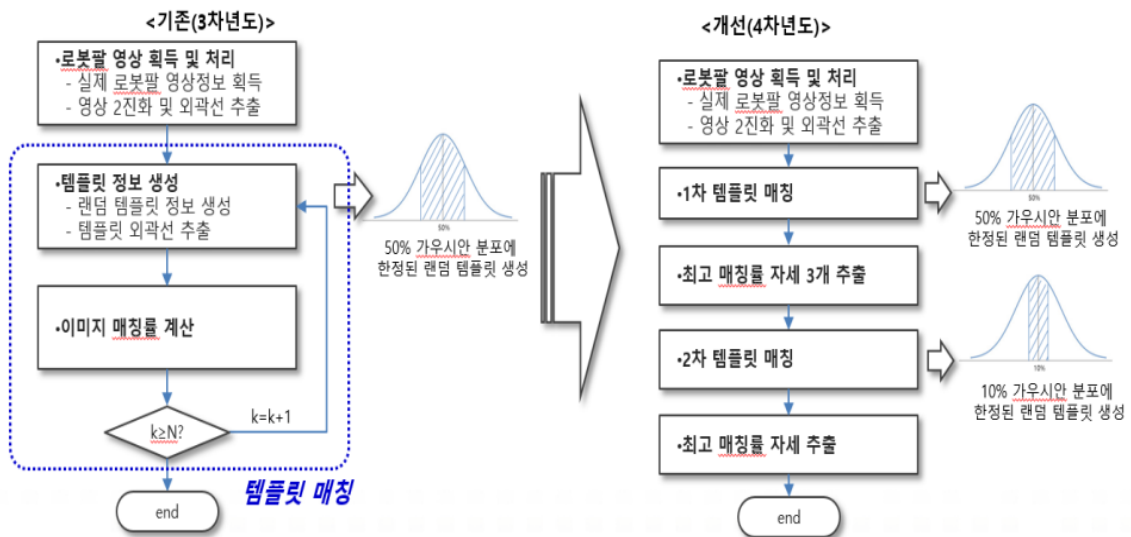
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
유압매니퓰레이터	검증 대상	
카메라(2EA)	유압매니퓰레이터 자세 샘플 사진 획득	
컴퓨터	영상 이미지 매칭 알고리즘 구동	

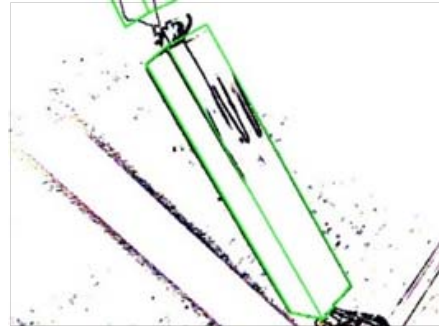
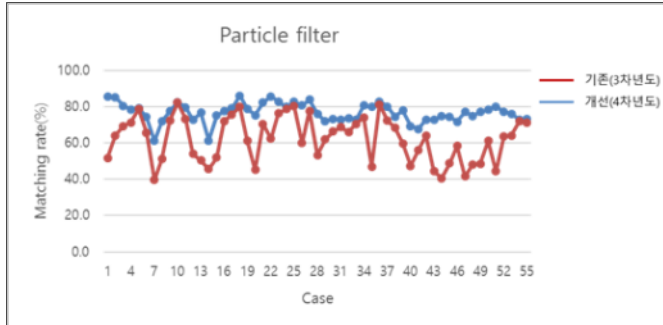
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
영상 이미지 매칭률	70%	76.7%	만족

• 영상 이미지 매칭 알고리즘 개선



- 50개의 다른 로봇자세 영상에 대해 매칭률 검증 평가 수행



- 검증 결과

- 기존(3차년도)알고리즘 평균 매칭률: 63.3%
- 개선(4차년도)알고리즘 평균 매칭률: 76.7%
- 당해연도 목표치인 70%를 상회하는 결과를 가짐을 검증함.

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-⑧	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	수중 정밀 복합 항법
목표값	1.2% of traveled distance	달성값	1.15% of traveled distance
날짜	2017.02.13.-14.	장소	포항 여객터미널
평가방법	실측	검증 여부	자체평가
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
P-SURO II	KIRO 보유 수중로봇 플랫폼	
선상원격제어시스템	P-SURO II 선상시스템	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 복합항법 위치 정밀도	1.2% 이동거리	1.15% 이동거리	만족

- 부두 현장실험을 통한 성능검증



• 검증 결과

- 총 8번의 실험에서 (끝점 오차/이동거리) x 100% 의 평균값=1.156%
- 4차년도 목표치인 1.2% 이내로 들어오는 것을 확인할 수 있음

실험순번	끝점오차 (m)	유영시간 (sec.)	평균속도 (m/s)	(끝점 오차/이동거리)x100%
1	0.7238	180	0.397	1.012874335
2	1.0263	190	0.389	1.388580706
3	1.6818	300	0.388	1.444845361
4	1.2741	328	0.398	0.975992769
5	1.2064	296	0.401	1.016377974
6	1.5475	340	0.392	1.161089436
7	0.8745	233	0.394	0.952593625
8	1.3274	246	0.406	1.32904802
평균값	1.207725	264.125	0.395625	1.155779052

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-4차년도-㉔	담당 기관	심양자동화연구소/중국
성과목표	핵심기술	성과지표	수중작업 실시간 3D 구현
목표값	맵 해상도: 15 x 15 x 15mm	달성값	-
날짜	2017.03.06	장소	심양자동화연구소/중국
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트(이미지소나 포함)	검증 대상	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중작업 실시간 3D 구현	15x15x15mm	-	미달

- 본 성과목표는 현 단계에서는 검증이 불가능함
- 현 단계에서 개발한 3차원 형상 구현 알고리즘의 오차가 대체적으로 수cm 범위내에 들어오는 것을 확인할 수 있으나 정확하게 수치화를 하지 못했음
- 맵 해상도 15x15x15mm의 경우 형상 구현 알고리즘의 오차가 1.5cm 이내로 들어와야 함
- 본 연구는 3~4월 경에 기존 알고리즘 오차를 정량적으로 측정 가능한 메카니즘을 추가하여 공식화된 오차를 계산하여 가능한 맵 해상도를 제시 시도함

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 당초 맵 해상도 10x10x10mm의 목표사양은 DIDSON 소나를 활용했을 경우에 목표사양임. 현재 DIDSON 소나의 경우 3,000m급이 단종되어서 부득이 resolution이 떨어지는 BlueView 소나로 대체하였으며 이 경우 소나 특성상 10x10x10mm의 당초 목표사양을 만족하기 불가함

번호	2핵심-4차년도-⑩	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	ROV 고장검출
목표값	검출률: 50%	달성값	검출률: 71.6%
날짜	2017.3.10	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
PC 및 검증 소프트웨어	검출 알고리즘 검증	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
검출률	50%	71.6%	만족

● Python TensorFlow Library를 활용한 딥네트워크 학습 및 신뢰도 검증

- > 학습:
 - 액츄에이터 성능이 약 50 % 이하로 떨어지는 경우 고장으로 설정
 - Training Data set: 4,317 / loops: 50,000 / Cost: 0.00133629
- > 검증 정확도 : 1.0
- > 고장 검출 적용 정확도 : 0.716289, 0.944099

```

Python 3.5.2 Shell
STEP: 48250 COST: 0.00135474
STEP: 48300 COST: 0.00135288
STEP: 48350 COST: 0.00135102
STEP: 48400 COST: 0.00134916
STEP: 48450 COST: 0.00134732
STEP: 48500 COST: 0.00134547
STEP: 48550 COST: 0.00134363
STEP: 48600 COST: 0.00134179
STEP: 48650 COST: 0.00133995
STEP: 48700 COST: 0.00133812
STEP: 48750 COST: 0.00133629
STEP: 48800 COST: 0.00133447
STEP: 48850 COST: 0.00133264
STEP: 48900 COST: 0.00133081
STEP: 48950 COST: 0.00132901
STEP: 49000 COST: 0.0013272
STEP: 49050 COST: 0.00132541
STEP: 49100 COST: 0.00132362
STEP: 49150 COST: 0.00132183
STEP: 49200 COST: 0.00132005
STEP: 49250 COST: 0.00131828
STEP: 49300 COST: 0.00131651
STEP: 49350 COST: 0.00131476
STEP: 49400 COST: 0.00131302
STEP: 49450 COST: 0.00131128
STEP: 49500 COST: 0.00130955
STEP: 49550 COST: 0.00130783
STEP: 49600 COST: 0.00130612
STEP: 49650 COST: 0.00130442
STEP: 49700 COST: 0.00130273
STEP: 49750 COST: 0.00130105
STEP: 49800 COST: 0.00129936
STEP: 49850 COST: 0.00129768
STEP: 49900 COST: 0.00129602
STEP: 49950 COST: 0.00129436
STEP: 50000 COST: 0.0012927
Verification Accuracy: 1.0
Detection Accuracy (data set 1): 0.716289
Detection Accuracy (data set 4): 0.944099
>>>
    
```

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
4차년도 (2016년)	FFCPT	관입깊이	2m	5	개발ROV 운용조건	실해역실험결과	100
		내압실험	50bar	5	개발ROV 운용조건	실해역실험결과	100
	항법성능	포지셔닝 오차	30m/km 이내	20	해저파이프 라인 설치 허용 오차의 1.5배	실측 (수조 및 실해역 실험)	100
	작업지능제어	정속유지성능	오차 10rpm 이내	10	최적 작업 속도의 10% 이내	실측	100
		정압유지성능	오차 10bar 이내	10	최적 작업 속도의 10% 이내	실측	100
	전방가시화소나	탐지거리	20m	5	전방의 타겟을 인식할 수 있는 거리로 선정	실측 (수중 또는 천해실험)	100
		분해능	0.5도	5	전방 5m거리에 있는 13cm 간격의 세점들을 구분할 수 있는 사양으로 선정	실측 (수중 또는 천해실험)	100
	굴착깊이 측정장치 설계	도면	1건	10	-	설계도면	100
	수중 작업환경 시각화 플랫폼 개발	수중 지형/장비 3D 모델링 및 실시간 형상 연동 시각화 S/W	1건	20	-	S/W제작(실측)	100
	운영자 편의 조종 시스템 설계, 제작	Operating Seat 시스템 H/W	1건	10	-	H/W구축 (실측/도면)	100

번호	3핵심-4차년도-①	담당 기관	KIOST
성과목표	FFCPT	성과지표	관입깊이, 내압실험
목표값	관입깊이 2m, 내압실험50bar	달성값	관입깊이 0.7m, 내압실험50bar
날짜	2017-02-17 (내압실험) 2017-02-22 (관입깊이)	장소	육상 (내압실험) / 천해 (관입깊이)
평가방법	실측	검증 여부	자체

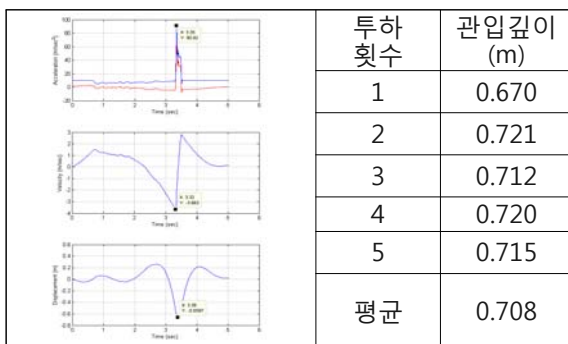
결과

■ **활용 장비**

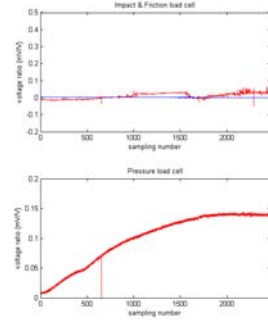
시험 장비	목적	비고
FFCPT	해저지반특성 조사 장비	
자세센서	관입깊이 추정	
압력센서	압력변화 측정	

■ **실험 결과**

- 해저면에 착저하여 이동하는 개발장비의 특성을 고려하여 간편하게 해저지반 특성을 조사할 수 있는 FFCPT를 개발하고자 함.
- 자세센서의 가속도값을 이용하여 관입깊이를 추정하고, 압력센서를 이용하여 FFCPT의 내압성능 확인을 수행하고자 하였음.
- 성능시험 결과 천해에서 확인된 관입깊이는 0.7m, FFCPT의 내압성능은 50bar를 확인하였음.



관입깊이 0.708m



내압실험 50bar 결과

■ **특기사항**

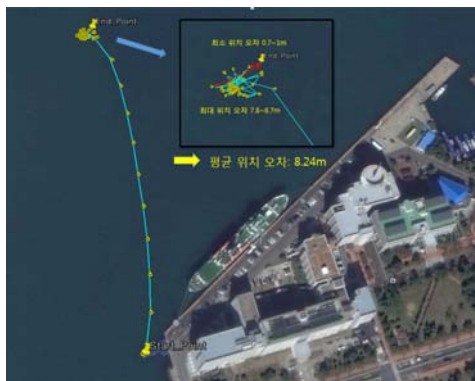
번호	3핵심-4차년도-②	담당 기관	KIOST, KMOU
성과목표	항법성능	성과지표	포지셔닝 오차
목표값	30m/km	달성값	26.67m/km
날짜	2017-04-30	장소	천해
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

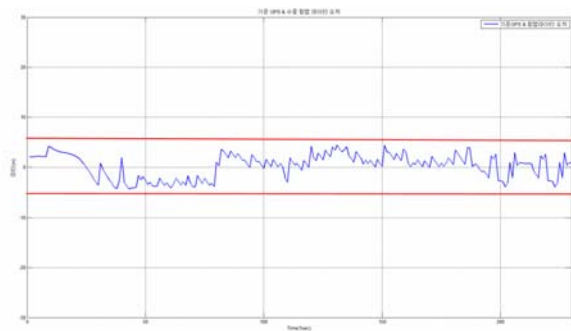
시험 장비	목적	비고
자세센서	장비의 자세, 항법 계산용	
USBL	장비의 수중위치 측정	
고무보트	해상 이동용 장비	

■ 실험 결과

- 수중 포지셔닝 성능을 확인하기 위하여 고무보트에 실험장비를 설치하고 이동하며 실험을 수행함.
- 자세센서값과 USBL 값의 융합연산하여 수중 포지셔닝 값을 도출함. USBL 신호값과 융합연산 결과를 비교하였음.
- 성능시험 결과 300m 운용 시 평균오차 8m를 보였고, 환산 시 26.67m/km로 확인되었음.



수중 포지셔닝 실험 위치



포지셔닝 오차 **26.67m/km**

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	3핵심-4차년도-③	담당 기관	KIOST, KIRO
성과목표	작업지능제어	성과지표	정속유지성능, 정압유지성능
목표값	정속유지성능 오차 10rpm 이내 정압유지성능 오차 10bar 이내	달성값	정속유지성능 오차평균 10rpm 정압유지성능 오차평균 10bar
날짜	2017-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

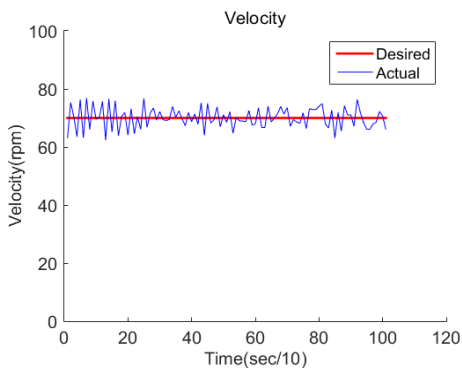
결과

■ 활용 장비

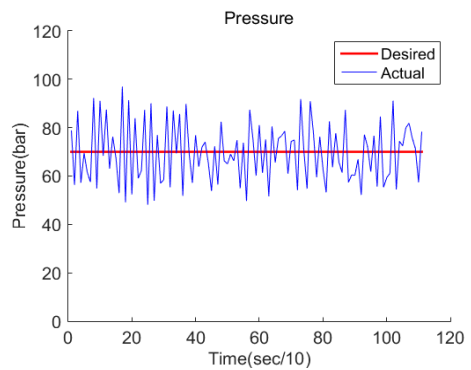
시험 장비	목적	비고
테스트 플랫폼	테스트용 개발장비	
유량계	틀의 작업속도 확인	
유압계	틀의 작업부하 확인	

■ 실험 결과

- 유압/전자 장치 및 제어알고리즘의 성능을 확인하고자 해당 실험을 수행함.
- 틀 작동 유압라인 상에 설치되어 있는 유량계/유압계 값을 이용하여 작업속도, 작업부하를 관찰 및 제어하였음.
- 틀을 이용한 성능시험 결과 정속유지 시 오차평균 10rpm 이내, 정압유지 시 오차평균 10bar 이내에서 작업을 수행하였음.



정속유지성능 오차 평균 7rpm 이내



정압유지성능 오차 평균 10bar 이내

■ 특기사항

번호	3핵심-4차년도-④	담당 기관	KIOST, ST
성과목표	전방가시화소나	성과지표	탐지거리, 분해능
목표값	탐지거리 20m 분해능 0.5°	달성값	탐지거리 20m 분해능 0.5°
날짜	2017-04-30	장소	수조 (분해능) / 천해 (탐지거리)
평가방법	실측	검증 여부	자체

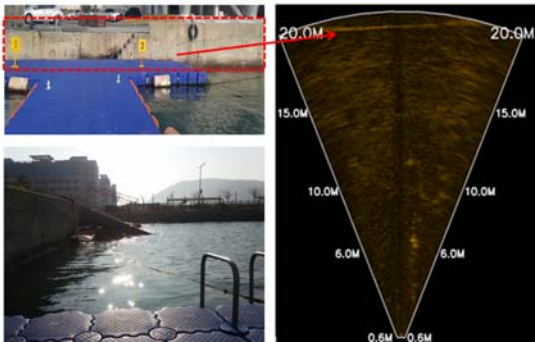
결과

■ 활용 장비

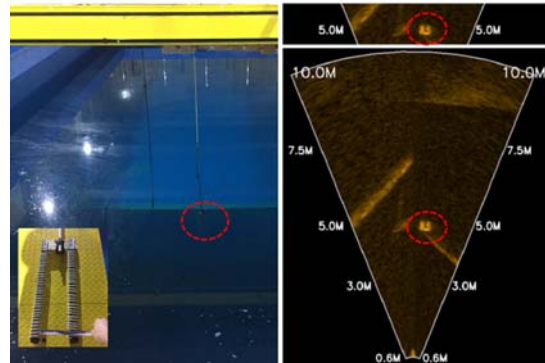
시험 장비	목적	비고
전방가시화소나	수중에서 전방을 관찰하기 위한 소나장비	
분해능 실험용 지그	전방가시화소나의 분해능 실험을 위한 보조도구	

■ 실험 결과

- 개발된 전방가시화소나의 성능을 확인하고자 탐지거리, 분해능을 확인하였음.
- 천해에서 일정한 거리에 떨어져 있는 인공구조물을 확인하고, 그 거리를 인지할 수 있는지 확인하였고, 수조에서 실험용지그를 활용하여 소나의 분해능을 확인함.
- 성능시험 결과 20m 전방의 벽을 확인할 수 있었으며, 분해능 실험의 경우 전방 5m에서 실험용 지그의 형상인 \cap (사이공간 13cm)를 확인할 수 있었음.



20m 전방 벽 관찰



전방 5m, \cap (사이공간 13cm)를 관찰
-> 분해능 0.5° 달성

■ 특기사항

번호	3핵심-4차년도-⑤	담당 기관	KIOST, ST
성과목표	굴착깊이 측정장치 설계	성과지표	도면
목표값	1건	달성값	도면 1건
날짜	2017-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

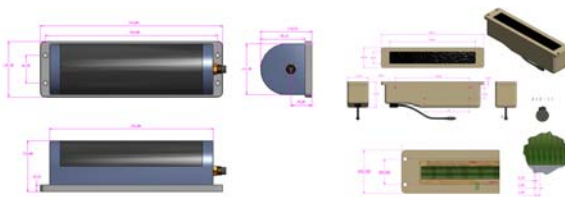
결과

■ 활용 장비

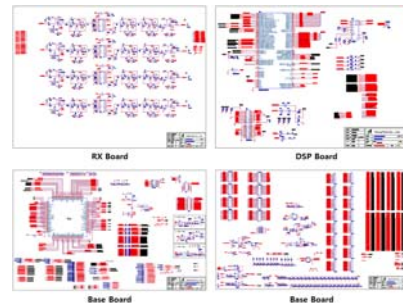
시험 장비	목적	비고
굴착깊이 측정장치 도면	굴착깊이 측정장치 개발을 위한 설계도면 작성	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터를 이용한 굴착 작업 후 그 깊이를 확인하기 위하여 굴착깊이 측정장치를 개발하고자 함.
- 개발장비에 적합한 성능을 보유한 굴착깊이 측정장치를 개발하기 위하여 이에 알맞은 설계도면이 필요함.
- 3D/2D 설계모델 각각 간섭사항 확인 및 상세설계도면을 작성함..
- 확인 결과 개발장비의 전면에 부착 가능한 사이즈였고, 제작을 위한 상세설계도면까지 도출하였음



3D 모델



2D 설계도면

■ 특기사항

번호	3핵심-4차년도-⑥	담당 기관	KIOST, CNU
성과목표	수중 작업환경시각화 플랫폼 개발	성과지표	수중 지형/장비 3D 모델링 및 실시간 형상 연동 시각화 S/W
목표값	1건	달성값	S/W 제작 1건
날짜	2017-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

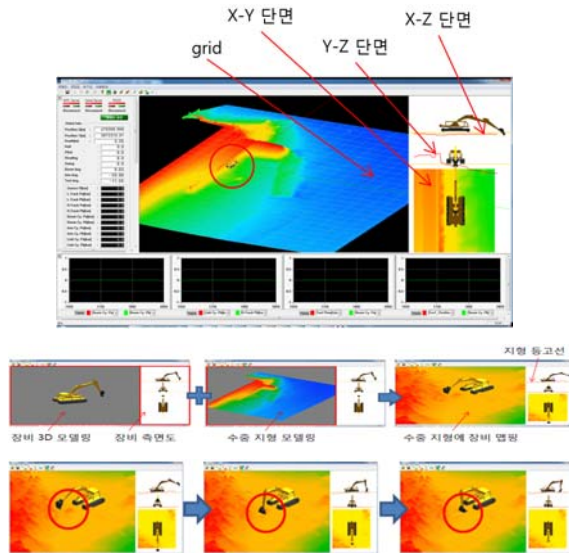
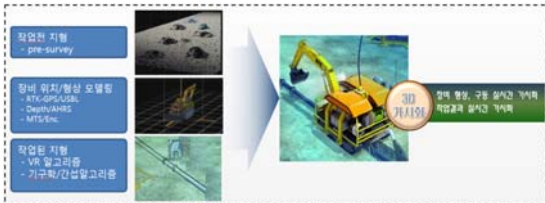
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
수중 지형/장비 3D 모델링 및 실시간 형상 연동 시각화 S/W	수중에서 지형과 상호작용을 통해 작업하는 장비를 운영실에서 가시화하기 위한 S/W 개발	

■ 실험 결과

- 수중에서 지형과 상호작용을 통해 작업을 수행하는 개발장비는 단순히 수치만 확인해서는 운영하기 어려움. 운영자가 장비의 상태, 지형을 직관적으로 이해하고 작업할 수 있도록 하기 위한 S/W가 필요함.
- 수중지형을 형상화, 장비의 연속된 움직임을 표현, 그리고 수중지형과 장비의 상호작용 결과를 반영하는 알고리즘이 적용된 S/W가 개발되어야 함.
- 개발된 S/W를 확인 결과 장비/수중지형/툴을 개별로 모델링 하였고, 이들이 연동되어 변화되는 상태를 실시간으로 업데이트할 수 있는 것을 확인하였음.



실시간 형상 연동 시각화 S/W 개념

작업환경 시각화 플랫폼 S/W , 장비/수중지형/툴 실시간 모델링 장면

■ 특기사항

번호	3핵심-4차년도-⑦	담당 기관	KIOST, CNU
성과목표	운전자 편의 조종 시스템 설계, 제작	성과지표	Operating Seat 시스템 H/W
목표값	1건	달성값	H/W 구축 1건
날짜	2017-04-30	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

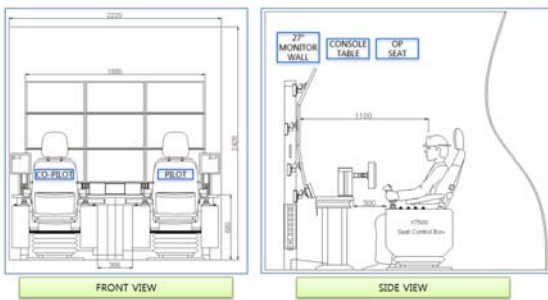
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
Operating Seat 시스템 H/W	장비 운영자가 편리하게 장시간 조종할 수 있도록 하기 위한 H/W 구축	

■ 실험 결과

- 수중장비는 작업이 시작되면 장시간 운영되는 특성을 감안하여 전용 operating seat가 구축되는 것이 유리함.
- 단순한 Operating seat가 아닌 수중장비를 작동하는데 편리하도록 seat 주변에 조이스틱, 각종 버튼을 배치하고, 모니터 및 HMI를 seat 주변에 구성하도록 하는 것이 유리함.
- 확인 결과 2명의 운영자가 평행하게 운영실에 앉아서 작업할 수 있도록 Operating seat가 구성되었음. 또한 seat 주변에 작동 조이스틱, 각종 버튼, HMI등을 배치하여 운영이 편리하도록 Operating seat 시스템 H/W를 구축하였음.



운영실 실내 보완 설계



Operating seat 시스템 제작

■ 특기사항

□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
4차년도 (2016년)	PERT/CPM 기반 과제관리시스템 구축	PERT/CPM 기반 관리시스템 구축(II)	100%	15	3개 핵심과제 효율적/ 단계별 관리	WBS	100
	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	80%	15	최적공정프로 그램 개발	보고서	100
	원치시스템 제작	2, 3핵심용 원치 상세설계/제작	30tf	25	2, 3핵심용 원치 시스템 구축 단계	시제품	100
	umbilical cable 제작	2, 3핵심용 케이블 상세설계/제작	700m	20	2, 3핵심용 케이블 구축 단계	시제품	100
	실증실험 세부계획 수립	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	50%	10	실험계획 수립	보고서	100
	핵심아이템 사업모델 분석	유망아이템에 대한 사업성 심화 분석	100%	15	개발 ROV의 사업화 가능성 확대	보고서	100

번호	총괄과제-4차년도-2	담당 기관	KIOST
성과목표	최적공정시스템 개발	성과지표	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축
목표값	80%	달성값	100%
날짜	2017.01.11.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체
결과			

■ 수중최적공정시스템 프로그램 제작



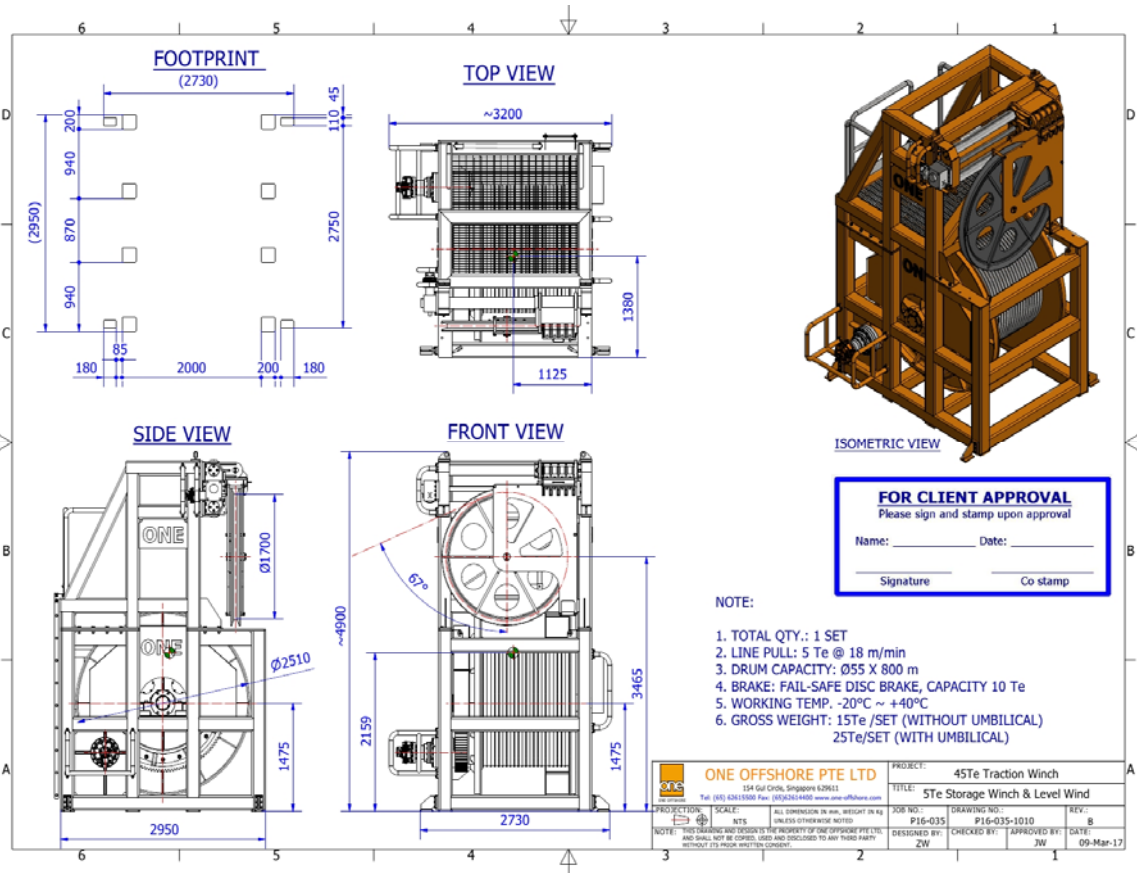
■ 결과

- 해양작업일수 추정을 위한 시뮬레이션 알고리즘 완성
- 장비의 작업시간 추정을 위한 알고리즘 완성(작업위치, 작업 수중환경, 해양환경, 장비의 특성, 장비의 능력 등을 고려)
- 수중최적공정시스템 프로그램(초안) 제작 완료
- 입력 : 현장 조건(지반의 전단강도, 경사도, 조류속도 등), 장비의 성능조건(장비 중량, 작업준비 시간, 작업 반복횟수 등), 선상 작업 조건(일간 작업 가능 시간 등)의 변수 고려 가능
- 결과 : 장비의 총 작업 시간, 월간 작업일수 도출

번호	총괄과제-4차년도-3	담당 기관	KIOST
성과목표	원치시스템 제작	성과지표	2, 3핵심용 원치 상세설계/제작
목표값	30tf	달성값	100%
날짜	2017.02.22.	장소	-
평가방법	시제품	검증 여부	자체

결과

■ 트랙션 원치 시스템 제작



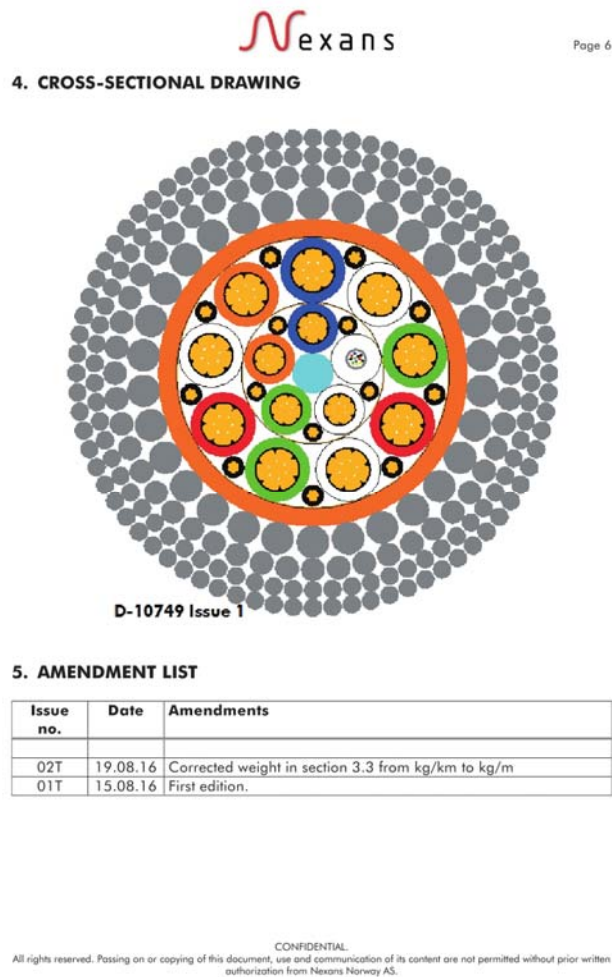
■ 결과

- 2, 3핵심과제 ROV에 공통으로 사용 가능한 트랙션 원치시스템 제작
 - ROV의 진회수시 45tf 이상의 중량이 제어 가능한 Traction Winch

번호	총괄과제-4차년도-4	담당 기관	KIOST
성과목표	umbilical cable 제작	성과지표	2, 3핵심용 케이블 상세설계/제작
목표값	700m	달성값	100%
날짜	2017.02.22.	장소	-
평가방법	시제품	검증 여부	자체

결과

■ 엠빌리컬 케이블 제작



■ 결과

- 2, 3핵심과제 ROV에 공통으로 사용 가능한 엠빌리컬 케이블 제작
 - 전원 900마력, 광신호 18CH 이상의 Umbilical Cable
 - ROV 파일럿의 원격 조종 및 상태 확인 가능

번호	총괄과제-4차년도-5	담당 기관	KIOST
성과목표	실증실험 세부계획 수립	성과지표	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행
목표값	50%	달성값	100%
날짜	2017.01.15.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체
결과			

■ 각 핵심별 성능실험계획 수립

시 험 계 획 서

시험자/시험기관	KIOST	평가항목	Visual Servoing																								
세부항목	camera tracking 정밀도	평가 기준	속도 : 5% 오차 : 30cm/3m 이내																								
일 시	2016년 12월	증빙 방안	시뮬레이션 (사진 및 동영상 포함)																								
장 소	레드윈 간이 시험수조	평가관	1핵심 PM 사업단장																								
시험절차 및 결과																											
<p>■ 시험 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ROV pan/tilt camera의 목표를 무중(visual servoing) 성능 평가 																											
<p>■ 시험 장비</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시험 장비</th> <th>목적</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LWCROV</td> <td>시험 대상물</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20cm 직경 구</td> <td>추종 목표물</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2이상 호이스트</td> <td>사제 운반 및 고정</td> <td></td> </tr> <tr> <td>수조</td> <td>시험장소 (수중상태 유지)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>거리 측정기구(줄자 등)</td> <td>목표를 거리 측정</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				시험 장비	목적	비고	LWCROV	시험 대상물		20cm 직경 구	추종 목표물		2이상 호이스트	사제 운반 및 고정		수조	시험장소 (수중상태 유지)		거리 측정기구(줄자 등)	목표를 거리 측정							
시험 장비	목적	비고																									
LWCROV	시험 대상물																										
20cm 직경 구	추종 목표물																										
2이상 호이스트	사제 운반 및 고정																										
수조	시험장소 (수중상태 유지)																										
거리 측정기구(줄자 등)	목표를 거리 측정																										
<p>■ 시험 절차</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>단계</th> <th>시험 순서(시나리오)</th> <th>예상 결과</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ROV 수조 투입</td> <td>수중 고정</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>추종목표를 투입</td> <td>추종 화면에 목표를 표시</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>추종 목표를 거리 확인 및 이동</td> <td>pan/tilt camera 추종</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>화면 자료로부터 화면처리 속도 확인</td> <td>5fps 이상</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>화면 자료로부터 오차 범위 확인</td> <td>오차 30cm 이내</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				단계	시험 순서(시나리오)	예상 결과	비고	1	ROV 수조 투입	수중 고정		2	추종목표를 투입	추종 화면에 목표를 표시		3	추종 목표를 거리 확인 및 이동	pan/tilt camera 추종		4	화면 자료로부터 화면처리 속도 확인	5fps 이상		5	화면 자료로부터 오차 범위 확인	오차 30cm 이내	
단계	시험 순서(시나리오)	예상 결과	비고																								
1	ROV 수조 투입	수중 고정																									
2	추종목표를 투입	추종 화면에 목표를 표시																									
3	추종 목표를 거리 확인 및 이동	pan/tilt camera 추종																									
4	화면 자료로부터 화면처리 속도 확인	5fps 이상																									
5	화면 자료로부터 오차 범위 확인	오차 30cm 이내																									
<p>■ 예상 소요 시간</p> <ul style="list-style-type: none"> 1일 																											
<p>■ 비고</p>																											

시 험 계 획 서

시험자/시험기관	김중준/한국로봇융합연구원	평가항목	수중 정밀 복합항법																								
세부항목	항법 정밀도	평가 기준	0.3% of range																								
시 실시 기 연도	2016년 12월 14일 4차년도	증빙 방안	자체 시험영상서																								
장 위치 소 분류	포항시 여객터미널 부두 실적약10~50m수심	평가관	이계훈/핵심책임자																								
시험절차 및 결과																											
<p>■ 시험 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> 개발한 수중 정밀 복합항법 알고리즘의 항법 정밀도를 검증함. 																											
<p>■ 시험 장비</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시험 장비</th> <th>목적</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P-SURO III(수중로봇 플랫폼)</td> <td>항법시스템 탑재 및 항법결과 저장</td> <td>한국로봇융합연구원 보유 수중로봇</td> </tr> <tr> <td>선상원격제어시스템</td> <td>수중로봇 플랫폼 운용 및 제어</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				시험 장비	목적	비고	P-SURO III(수중로봇 플랫폼)	항법시스템 탑재 및 항법결과 저장	한국로봇융합연구원 보유 수중로봇	선상원격제어시스템	수중로봇 플랫폼 운용 및 제어																
시험 장비	목적	비고																									
P-SURO III(수중로봇 플랫폼)	항법시스템 탑재 및 항법결과 저장	한국로봇융합연구원 보유 수중로봇																									
선상원격제어시스템	수중로봇 플랫폼 운용 및 제어																										
<p>■ 시험 절차</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>단계</th> <th>시험 순서(시나리오)</th> <th>예상 결과</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>수중로봇의 초기위치 추정</td> <td></td> <td>사전에 알고 있는 위치에 수중로봇을 초기에 위치함</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>항법알고리즘 시작 및 매뉴얼 모드로 수중로봇 운항 시작(수면 위에서 운항?)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>10분 동안 자유롭게 운항한 후 초기위치로 복귀</td> <td></td> <td>시작위치와 마지막 위치가 동일하다는 전제하에서 항법오차를 쉽게 추정 가능함</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>저장된 항법 알고리즘 결과값을 이용하여 항법 정밀도 추정</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>상기 운항실험을 10번 이상 반복. 그 간 수평균값을 항법 정밀도로 계상함</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				단계	시험 순서(시나리오)	예상 결과	비고	1	수중로봇의 초기위치 추정		사전에 알고 있는 위치에 수중로봇을 초기에 위치함	2	항법알고리즘 시작 및 매뉴얼 모드로 수중로봇 운항 시작(수면 위에서 운항?)			3	10분 동안 자유롭게 운항한 후 초기위치로 복귀		시작위치와 마지막 위치가 동일하다는 전제하에서 항법오차를 쉽게 추정 가능함	4	저장된 항법 알고리즘 결과값을 이용하여 항법 정밀도 추정			5	상기 운항실험을 10번 이상 반복. 그 간 수평균값을 항법 정밀도로 계상함		
단계	시험 순서(시나리오)	예상 결과	비고																								
1	수중로봇의 초기위치 추정		사전에 알고 있는 위치에 수중로봇을 초기에 위치함																								
2	항법알고리즘 시작 및 매뉴얼 모드로 수중로봇 운항 시작(수면 위에서 운항?)																										
3	10분 동안 자유롭게 운항한 후 초기위치로 복귀		시작위치와 마지막 위치가 동일하다는 전제하에서 항법오차를 쉽게 추정 가능함																								
4	저장된 항법 알고리즘 결과값을 이용하여 항법 정밀도 추정																										
5	상기 운항실험을 10번 이상 반복. 그 간 수평균값을 항법 정밀도로 계상함																										
<p>■ 예상 소요 시간</p> <ul style="list-style-type: none"> 3시간 																											
<p>■ 비고</p> <ul style="list-style-type: none"> 포항시 여객터미널 부두 임대 여부 및 일정에 따라 시험일정이 변경 가능함. 																											

■ 결과

- 실해역 현장실험시 성과지표에 대해 시험 계획서 및 시험 결과서 포맷 확보

번호	총괄과제-4차년도-6	담당 기관	KIOST
성과목표	핵심아이템 사업모델 분석	성과지표	유망아이템에 대한 사업성 심화 분석
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2017.01.15.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체
결과			

■ 각 핵심별 성능실험계획 수립



**ROV 시장에서
증압기 시장 분석
-도키맥-
최종보고**



SCANWILL

» 증압기 제품

The People
ScanWill was founded in 2001 by Jesper Will Iversen. We have today more than 25 years knowledge of design, production and application experience within the field of hydraulic pressure intensifiers. ScanWill has 5 employees and a network of more than 40 Sales Partners around the world, ready to help you find the right solution for your increased hydraulic pressure needs, and provide you with technical assistance and swift customer service.

Product Overview
ScanWill's range of hydraulic pressure intensifiers covers most fluids and includes solutions for low, medium and high-pressure ranges and variable flows. The intensifiers are available in cast iron, steel and stainless steel, and are always in stock for day-to-day shipment.

Low/Medium Pressure



High Pressure



Intensifier Solutions



Custom Solutions



소방산업현황

- 소방산업 현황: 총 8,004개사, 종사자 14만7천명, 매출액 12조 8천억원
- 1개사 평균 매출액: 1,599백만원
- 2015년 10월말 기준 수출입 현황: 수출 326억원, 수입 601억원
- 5억원 미만 기업체 비율이 53.7%로 가장 많고, 10억~50억원 미만, 이 23.2%, 5억~10억원 미만, 이 16.8% 등으로 나타남

<소방산업 관련 매출액>

구분	개	종사자	매출액	소방산업 관련 매출액(%)					평균액(백만원)
				10억 이하	10억~50억	50억~100억	100억 이상	미상	
합계	8,004	4,739	620	393	206	615	824	418	216.6
종류별(%)	100.0	59.2	7.9	4.8	4.8	7.7	10.4	5.2	



[판매액 집계수]



[판매액 점유율]

독일 WEBER RESCUE System

□ 제품 특징

- 손잡이 전면에 2개의 LED 조명등이 부착되어 야간 작업 시 시야 확보 용이함
- 스프레드탑에 PIN 결합으로 분실이 없는 구조
- 전개립은 티타늄 니트릴 코팅이 되어 있으며, 전개시 밀림 방지 고강도 스파이크 처리됨
- 안전 기능: 장비 전 상태에서 오작동을 방지하기 위해 워밍업 모터 작동음이 울리며, 30초간 사용을 안하는 경우 자동으로 정비가 꺼짐



- 작동 압력: 700 BAR
- 최대 전개력: 17.4 Ton
- 최소 전개력: 3.8 Ton
- 최대 압착력: 7.7 Ton
- 최대 인장력: 515 mm
- 최대 전개폭: 600 mm
- 제품 중량: 18.3 kg (배터리 포함)
- 제품 크기: 924mm(가로) × 243mm(세로) × 241mm(높이)
- 작동 방식: 리튬/유 KN085 방식
- 배터리: 28V Li-Ion / 5Ah
- 배터리 무게: 1.5kg 이하

■ 결과

- 1핵심과제 유망 아이템 2건
 - 수중 능동비전시스템 카메라, 수중 매니플레이터
- 2핵심과제 유망아이템 3건 선정
 - 수중카메라 및 라이트, 증압기, 중작업용 ROV
- 유망 아이템 사업모델 심화 분석을 통한 기술이전 및 사업화 추진 中

마. 5차년도(2017년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
5차년도 (2017년)	이동 추종 오차	정밀도	0.1m	5	작업 정밀도	indoor GPS로 수면에 연장된 안테나 설치 실측	100
	Automatic Control	제어성능	선수/심도/ 위치/고도	5	미국/일본	선수각 ±5° 심도 ±10cm 고도 ±10cm 위치 1m이하 (허용 외란 내) 설계 결과 및 시연	100
	ROV DP 기능	정밀도	센서 성능 범위내 위치 유지	5	작업 정밀도	위치유지	100
	Way-point tracking	추종오차	ROV 폭 이내 오차	5	이동 정밀도	각 way-point의 반경 1미터 이내	100
	ROV의 경작업용 툴(워터제트 등)	작업툴	1대	5	작업목록	시연	100
	ROV의 수중 환경 맵핑	해상도	최저 2m에서 구현 5cm	10	미국/WHOI	실측/5cm 인공Target detecting 작업Tool요구 조건분석	100
	작업 툴 연동시스템 구현	인터페이스	인터페이스 3종 이상	10	작업목록	개발 보고서	100
	작업전문카메라 연동 (타켓트래킹)	추종성공률	수조 80% 실패역 60% 이상 (20회 수행)	10	FMC	시연	100
	수중복합 센서데이터 처리 모듈 제품인증	인증	1건	10	등록	제품인증서	100

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
	탑재용 5DOF 매니퓰레이터 성능평가 및 개선	Lifting 성능	Full reach lift : 181kgf at 210bar	10	5축(미국)	성능검증	100
	ROV 장착 성능평가	Lifting 성능	7DOF manipulator Full reach lift 120kgf at 210 bar 5DOF manipulator Full reach lift 181kgf at 210 bar	10	5축(미국) 7축(미국)	통합성능검증	100
	통합 성능평가 및 개선	종합평가	ROV 장착 수중 7,5DOF manipulator 구동	5	5축(미국) 7축(미국)	통합성능평가	100
	구성품 고내압성능평가	내압성능	구동기, 제어기, 센서 내압시험 250bar	5	5축(미국) 7축(미국)	구성품 성능평가	100
	근해역 항법 성능 오차(USBL 단독 사용 시 오차 대비)	정밀도	1m 이내	5	USBL 오차	시연	100

번호	1핵심 5차년도 - 1	담당 기관	KRISO
성과목표	이동 추종 오차	성과지표	정밀도
목표값	10m 직선이동에서 0.1 m	달성값	10m 직선이동에서 0.1 m
날짜	2018년	장소	UTEK 수조
평가방법	시험 데이터	검증 여부	자체
결과			

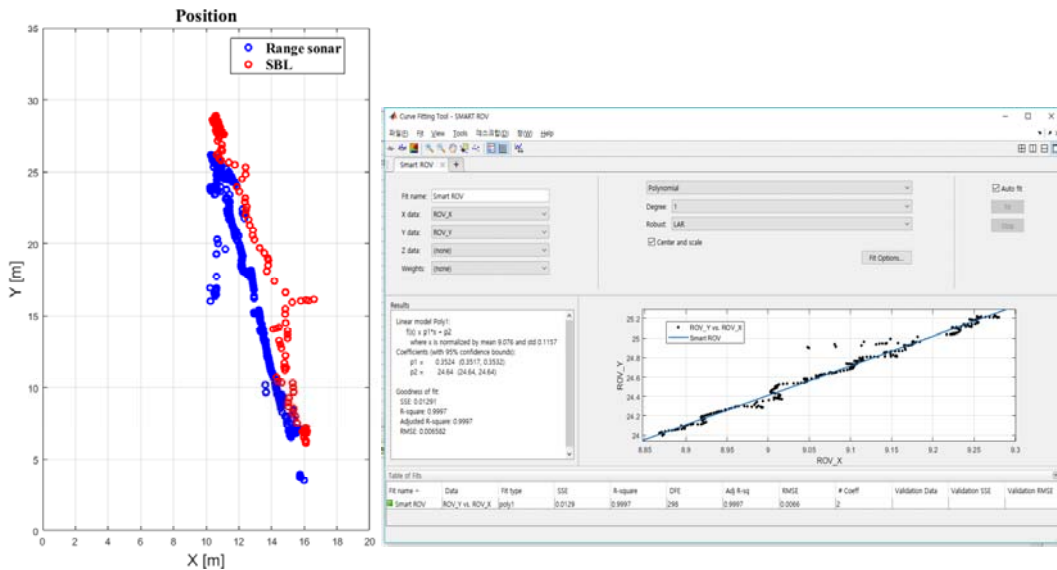
■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 운용 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ 실험 결과

- 수조내 10m 직선이동에서 10cm 이내 항법정밀도



- 자료와 같이 절대위치 계측데이터 자체로 10cm 이내 측위 정밀도 만족함(Range 정밀도 2mm).
- DVL 센서를 융합하여 복합항법을 구현할 경우 성능이 더욱 향상될 것으로 기대됨.

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 레이저 소나를 이용한 별도의 항법시스템 구축

번호	1핵심 5차년도 - 2	담당 기관	KRISO
성과목표	Automatic Control	성과지표	제어성능
목표값	선수/심도/위치/고도	달성값	선수/심도/위치/고도
날짜	2017년 4월	장소	UTEC 수조
평가방법	시험 데이터	검증 여부	자체

결과

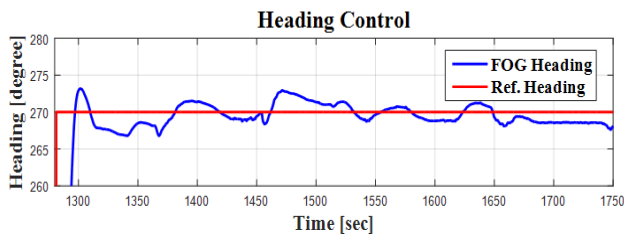
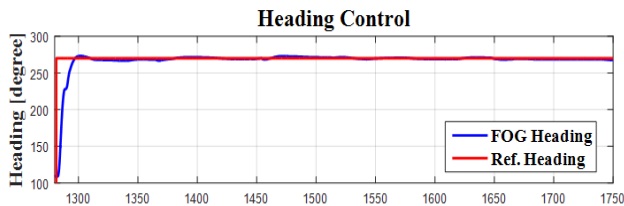
■ **활용 장비**

- ROV 시스템 및 운용 시스템

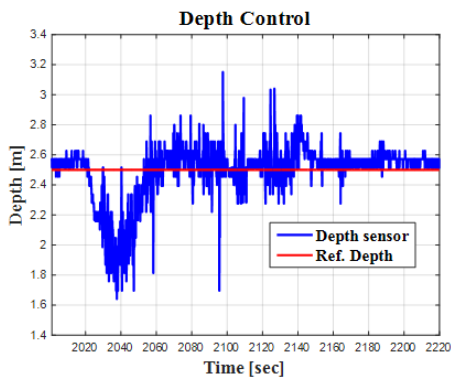
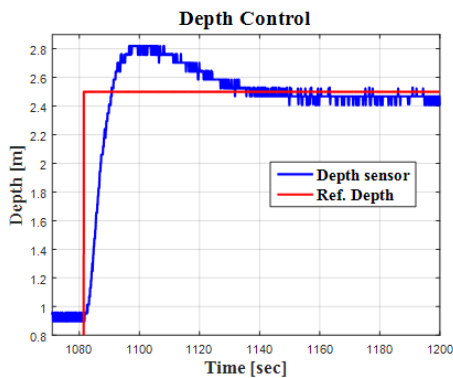
ROV	URI-L, 운동 대상
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ **실험 결과**

- Auto Heading 제어 시험 (선수각 $\pm 5^\circ$)



- Auto Depth 제어 시험 (심도 $\pm 10\text{cm}$)



■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 위치제어는 '1핵심 5차년도 - 3'목표 DP 기능과 동일
- 수조에서 고도제어는 심도제어와 동일

번호	1핵심 5차년도 - 3	담당 기관	KRISO
성과목표	ROV DP 기능	성과지표	정밀도
목표값	센서 성능 범위내 위치 유지	달성값	1m 이내 위치유지
날짜	2017년 11월	장소	실해역
평가방법	실해역 데이터	검증 여부	자체

결과

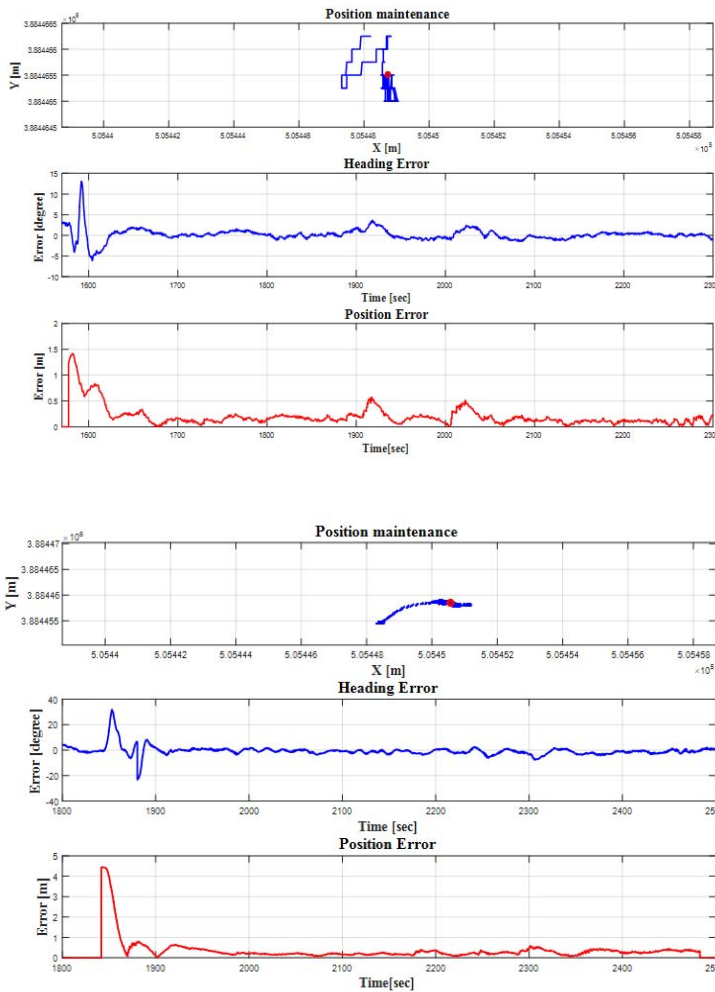
■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 운용 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS, Winch	Tether 및 Umbilical 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ 실험 결과

- ROV DP 제어 시험 (위치 ±1m)



번호	1핵심 5차년도 - 4	담당 기관	KRISO
성과목표	Way-point tracking	성과지표	추종오차
목표값	ROV 폭 이내 오차	달성값	1.3m 이내 경로유지
날짜	2017년 11월	장소	실해역
평가방법	실해역 데이터	검증 여부	자체
결과			

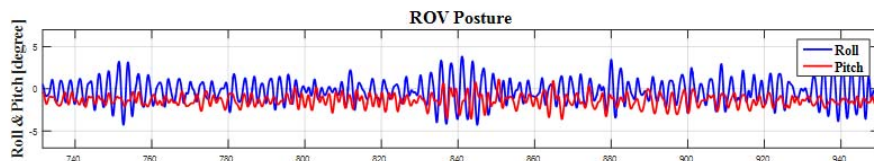
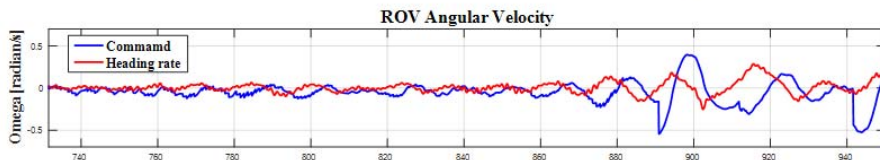
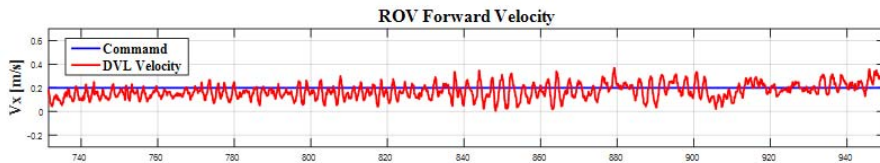
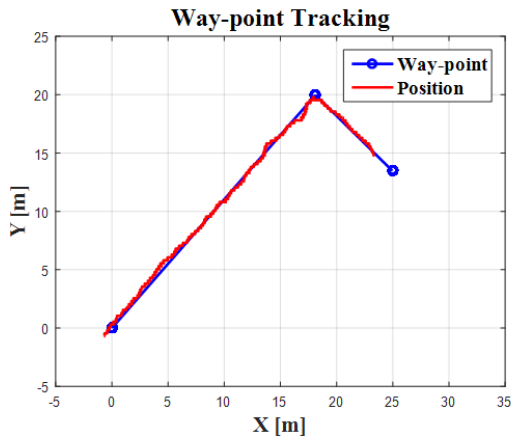
■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 운용 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS, Winch	Tether 및 Umbilical 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ 실험 결과

- ROV Way-point tracking 제어 시험 (경로 ±1.3m)



번호	1핵심 5차년도 - 5	담당 기관	KRISO, 레드윈
성과목표	ROV의 경작업용틀 (위터 제트)	성과지표	작업틀
목표값	1대	달성값	1대
날짜	2018년 11월	장소	UTEC 수조
평가방법	시연	검증 여부	KR 입회

결 과

■ **활용 장비**

- ROV 시스템 및 작업틀

ROV	작업틀 장착된 URI-L
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터
작업틀	위터젯

■ **실험 결과**

- 매니플레이터-위터젯 연동 제어 및 수중환경 위터젯 분사 동작 확인

작업틀(위터젯) 수조시험 영상자료



■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경 및 조건
 - 수중로봇 복합실증센터 수조내 임의 구조물 설치/활용
 - 경작업용 ROV의 매니플레이터에 작업틀 (위터젯)을 장착하여 수중에 배치된 구조물을 통한 분사 시험 및 성능검증

번호	1핵심 5차년도 - 6	담당 기관	Aquadron
성과목표	ROV의 수중 환경 맵핑	성과지표	해상도
목표값	최저 2m에서 구현,5cm	달성값	해상도 5cm
날짜	2018년 2월	장소	UTEK 수조
평가방법	실측/5cm 인공Target detecting 작업Tool요구조건분석	검증 여부	자체

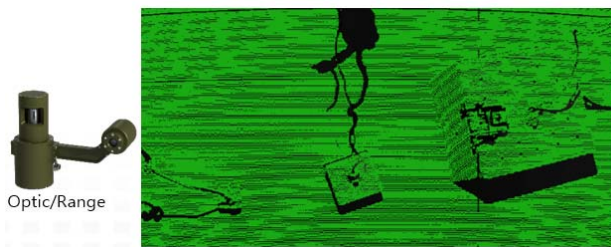
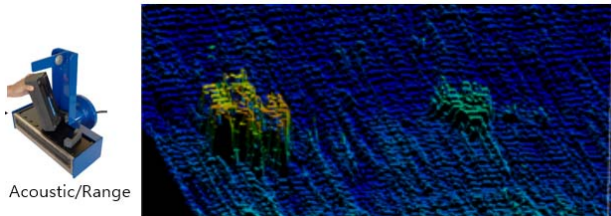
결과

■ 활용 장비

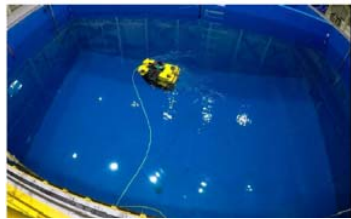

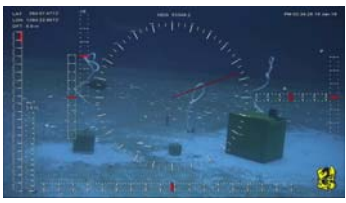


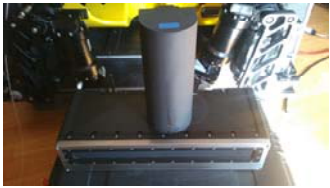
- ROV, Multi Beam Echo sounder , Underwater laser scanner

■ 실험 결과

- 5cm 해상도 구현



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

		
제한수역 실험장소	ROV system	Target
		
제한수역 실험장소	ROV system	MultiBeam Echo sounder

번호	1핵심 5차년도 - 7	담당 기관	레드윈
성과목표	작업 툴 연동시스템	성과지표	인터페이스
목표값	인터페이스 3종 이상	달성값	3종
날짜	2018년 11월	장소	레드윈테크놀로지(주)
평가방법	전원 및 통신단자	검증 여부	자체



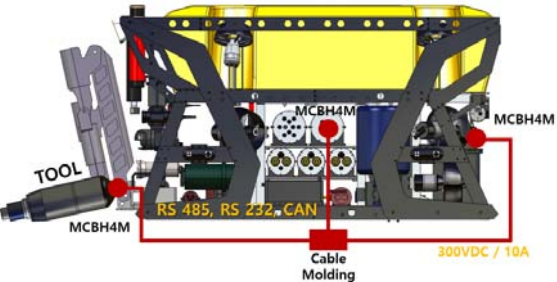
결 과

■ **활용 장비**

- 경작업용 ROV Perception C 내압용기
- 경작업용 ROV PMS 내압용기

■ **실험 결과**

- 통신 및 전원 연결 단자 확보
- 인터페이스 3종 (RS485, RS232, CAN) 구현

구 분	시스템 구성도	비고
통신 및 전원	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">[통신]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Perception C 내압용기 - Serial 1포트, Ethernet 1포트 확보  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">[전원]</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PMS 내압용기 - 300VDC 입력 전원 포트 확보  </div> </div>	
인터페이스 3종		

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험방법
 - 제작된 작업툴(워터젯) 연결을 통한 구동 및 제어 상태 점점 수행

번호	1핵심 5차년도 - 8	담당 기관	레드윈
성과목표	Visual Servoing	성과지표	추종성공률
목표값	팬틸트 추종 / 실해역 60%	달성값	팬틸트 추종 / 실해역 60%
날짜	2017년 11월	장소	부산항 5부두
평가방법	실험데이터 (영상자료)	검증 여부	자체

결 과

■ **활용 장비**

- 경작업용 ROV 및 선상제어시스템, 부두시험 시설 (바지선, 크레인 등) 소형 ROV (레드윈 /OCTAGON), 작업전문 팬틸트 카메라

■ **실험 결과**

1차 시험	2차 시험
- 타겟 거리 : 1.5m - 영상 프레임 : 20fps - 20회 수행 / 17회 성공 (성공율 85%)	- 타겟 거리 : 2.5m - 영상 프레임 : 18fps - 20회 수행 / 16회 성공 (성공율 80%)

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 시험환경 및 조건
 - 부두-천해 환경기반 작업전문 카메라 타겟추종 성능 검증 수행
 - 경작업용 ROV 작업전문 카메라시스템의 타겟인식 및 추종 정확도 성능 시험을 위하여 레드윈에서 보유중인 소형 ROV플랫폼(OCTAGON) 활용
- 시험방법
 - OCTAGON은 수중에서 움직이는 타겟 역할을 수행하도록 하였으며, 이를 경작업용 ROV의 작업전문 카메라시스템을 이용하여 추적하는 시험을 반복적으로 수행하였음
 - 20회 반복 시험결과를 백분율로 계산하였음

번호	1핵심 5차년도 - 9	담당 기관	레드윈
성과목표	제품인증	성과지표	인증
목표값	제품 인증 1건	달성값	제품인증 1건
날짜	2018년 1월	장소	전자부품연구원
평가방법	공인 시험인증	검증 여부	자체

결 과

■ 활용 장비

- 항온항습기 : Temp. & Humidity Chamber
- EGNC28-6CWL
- 시제 : 수중 복합 센서데이터 처리기

■ 실험 결과

- 시험 전후 시료의 동작상태 이상 없음



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 시험환경
 - 실험실 온도 : 20±2°C, 습도 : 47±5 % R.H.
 - 시험조건
 - ① 전처리 : 55±2 °C, 20% R.H.에서 24h 유지
 - ② 저온 포함 온습도 서브사이클 : -10±2 °C, 93±3 % R.H.에서 3h 유지
 - ③ 고온 포함 온습도 서브사이클 : 65±2 °C, 93±3 % R.H.에서 3h 유지
- 시험방법
 - KS C IEC 60068-2-38:2014 환경시험 - 제 2-38부시험 Z/AD : 합성 온도/습도 사이클

번호	1핵심 5차년도 - 10	담당 기관	KNR
성과목표	탑재용 5DOF 매니플레이터 성능평가 및 개선	성과지표	Lifting 성능
목표값	Full reach lift : 181kgf at 210bar	달성값	Full reach lift : 181kgf at 210bar
날짜	2018년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 5자유도 유압로봇팔, 이동식 매니플레이터 스탠드, 유압유니트

■ 실험 결과

- 탑재용 5DOF 수중 매니플레이터 성능시험



Mass 무게 측정



Mass 무게 : 181.3kg (이미지 반전)



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 5차년도 - 11	담당 기관	KNR
성과목표	ROV 장착 성능평가	성과지표	Lifting 성능
목표값	7DOF manipulator Full reach lift 120kgf at 210 bar 5DOF manipulator Full reach lift 181kgf at 210 bar	달성값	7DOF manipulator Full reach lift 120kgf at 210 bar 5DOF manipulator Full reach lift 181kgf at 210 bar
날짜	2018년	장소	수중건설로봇실증센터
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

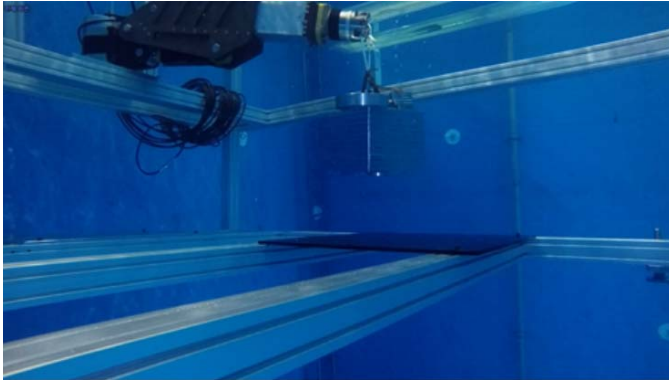
결과

■ 활용 장비

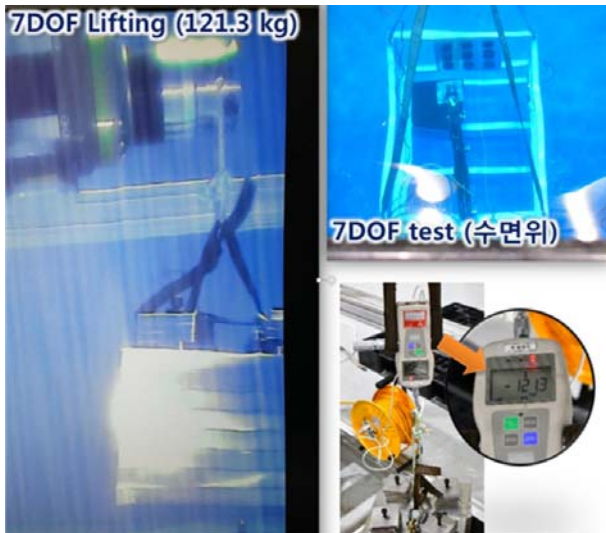
- 5자유도 유압로봇팔, 7자유도 유압로봇팔, 매니퓰레이터 수중시험 장치, 유압유니트

■ 실험 결과

- 탑재용 5DOF 수중 매니퓰레이터 성능시험



- 탑재용 7DOF 수중 매니퓰레이터 성능시험



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 5차년도 - 12	담당 기관	KNR
성과목표	통합 성능평가 및 개선	성과지표	종합평가
목표값	ROV 장착 수중 7,5DOF manipulator 구동	달성값	ROV 장착 수중 7,5DOF manipulator 구동
날짜	2018년	장소	수중건설로봇실증센터,포항 신항만
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 5,7자유도 유압로봇팔, URI-T

■ 실험 결과

- 수조내 매니플레이터 동작실험



- 연근해 수중 동작시험



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 5차년도 - 13	담당 기관	KNR
성과목표	구성품 고내압 성능평가	성과지표	내압성능
목표값	구동기, 제어기,센서 내압시험 250bar	달성값	구동기, 제어기,센서 내압시험 250bar
날짜	2018년	장소	(주)케이엔알시스템 기술연구소
평가방법	시험데이터(사진 및 영상)	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- 내압시험용 챔버, 가압 펌프

■ 실험 결과

- LCU V3 내압 테스트

실험 항목	실험 수치	결과
압력	250 bar	정상
가압 시간	6 hours	정상
가압 반복 횟수	5회	정상
전원 공급	7.5 V	정상
통신	1 kHz Ethernet	정상
DAC, ADC	1 kHz 8 ch Analog	정상
클럭 변동 여부	16 Mhz	정상

- HAC V3 내압 테스트

실험 항목	실험 수치	결과
압력	250 bar	정상
가압 시간	6 hours	정상
가압 반복 횟수	5회	정상
전원 공급	7.5 V	정상
DAC, ADC	5 kHz 1 ch Analog	정상

- 엔코더 내압 테스트

실험 항목	실험 수치	결과
압력	250 bar	정상
가압 시간	6 hours	정상
가압 반복 횟수	5회	정상
센서 정밀도	19 bit	정상

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	1핵심 5차년도 - 14	담당 기관	KRISO
성과목표	근해역 항법 성능 오차 (USBL 단독 사용 시 오차 대비)	성과지표	정밀도
목표값	1m 이내	달성값	1m 이내
날짜	2017년 11월	장소	실해역
평가방법	실해역 데이터	검증 여부	자체

결과

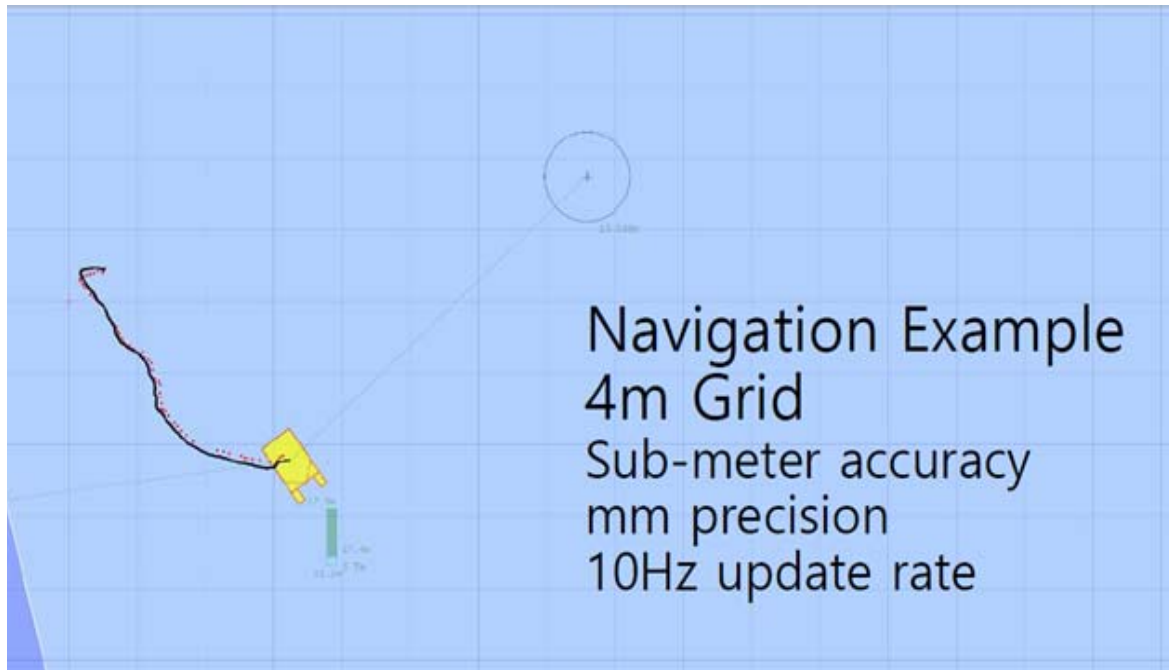
■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 운용 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS, Winch	Tether 및 Umbilical 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ 실험 결과

- 근해역 항법 정밀도 1m 이내



□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
5차년도 (2017년)	매설 심도	매설 심도	3m	35	과제 최종목표	실측 (자체평가 ^{b)})	100
	매설 속도	매설 속도	2km/hr	20	과제 최종목표	실측 (자체평가 ^{b)})	100
	전진 속도	전진 속도	3knots	15	과제 최종목표	실측 (자체평가 ^{b)})	86
	수중 작업공구 기술	케이블 그리퍼	25톤 Ø17~110mm	5	과제 세부목표	실측 (자체평가)	100
		케이블 커터	690bar 최대 Ø110mm	5	과제 세부목표	실측 (자체평가)	100
	핵심기술	유압매니플레이터 Visual Assistant 기술	영상 이미지 매칭률: 80%	5	과제 세부목표	연근해 검증 (자체평가)	100
		수중 정밀 복합항법	1% of traveled distance	5	과제 세부목표	연근해 검증 (자체평가)	100
		수중작업 실시간 3D 구현	맵 해상도: 10x10x10mm	5	과제 세부목표	현장검증 (자체평가)	50
		ROV 고장검출	검출율: 80%	5	과제 세부목표	현장검증 (자체평가)	100

번호	2핵심-5차년도-①	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	매설 심도	성과지표	매설 심도
목표값	3m	달성값	3.0m
날짜	2017.02.27.-28	장소	포항 흥해읍 나대지
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
간이수조/파이프구조물	워터젯 분사용 물 공급	
수조 설치 언덕 및 모래지반 공사	매설 심도 테스트 환경	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
매설 심도	3m	3.0m	만족

- 2017.02.27.~ 2017.02.28. 육상실험을 통해 최대 매설 심도 확인을 위한 육상 실험을 진행함
- 매설 지반 조건을 최대매설 조건인 모래층으로 구성하고, 물공급을 위한 간이 수조 등 실험 환경 구축하여 실험함.
- 실험 결과, 제팅암 최대 각도인 59도까지 매설 가능함을 확인하였으며, 매설 깊이로 환산 시 약 3.02m가 됨.

$$\begin{aligned} \text{매설심도} &= \text{젯팅암길이} \times \sin(\text{젯팅암 } deploy\text{각도}) - \text{플랫폼스키드에서 젯팅암 높이} \\ &= 4.6 \times \sin(59\text{도}) - 0.96 \approx 3.02\text{m} \end{aligned}$$





■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-5차년도-②	담당 기관	전기관
성과목표	매설 속도	성과지표	매설 속도
목표값	2km/hr	달성값	2.36km/hr
날짜	2017.11.27.-2017.12.09	장소	포항 영일신항만 인근 해역
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
바지선	연근해 시험 로봇운용 선박	150톤급 선박 고정크레인 포함
제네레이터	ROV 및 선상시스템 전원 공급	1000kW급 1대 100kW급 1대
시험용 해저 케이블	매설 대상물	
톤제네레이터	케이블 검출용 톤신호 공급	
케이블텐서너	ROV 테더케이블 운용	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
매설속도	2km/hr	2.36km/hr	만족

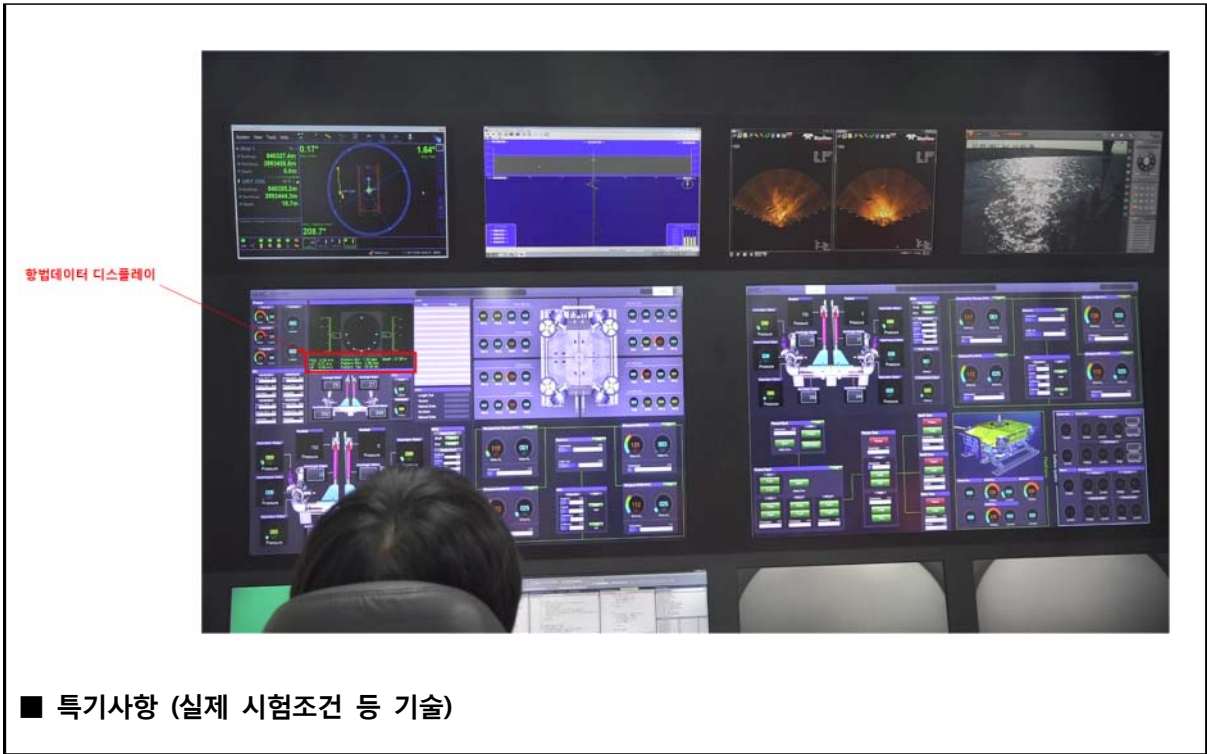
- 2017.11.27. ~ 12.09 케이블 매설로봇 연근해 실증시험 진행 시 매설 속도 2km/hr 달성여부를 실험을 통해 검증함

- 실험 결과

: 최대 매설 심도 약 2.36km/hr로 최종 목표 사양 초과 달성.

: Global 좌표계로 출력되는 항법 정보를 취득하여, 전진속도로 환산함.

$$\text{매설속도} = \sqrt{0.61^2 + 0.24^2} \approx 0.656\text{m/s} \approx 2.36\text{km/hr}$$



번호	2핵심-5차년도-③	담당 기관	전기관
성과목표	전진 속도	성과지표	전진 속도
목표값	3knots	달성값	2.59knots
날짜	2017.11.27.-2017.12.09	장소	포항 영일신항만 인근 해역
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
바지선	연근해 시험 로봇운용 선박	150톤급 선박 고정크레인 포함
제네레이터	ROV 및 선상시스템 전원 공급	1000kW급 1대 100kW급 1대
케이블텐서너	ROV 테더케이블 운용	

■ 실험 결과

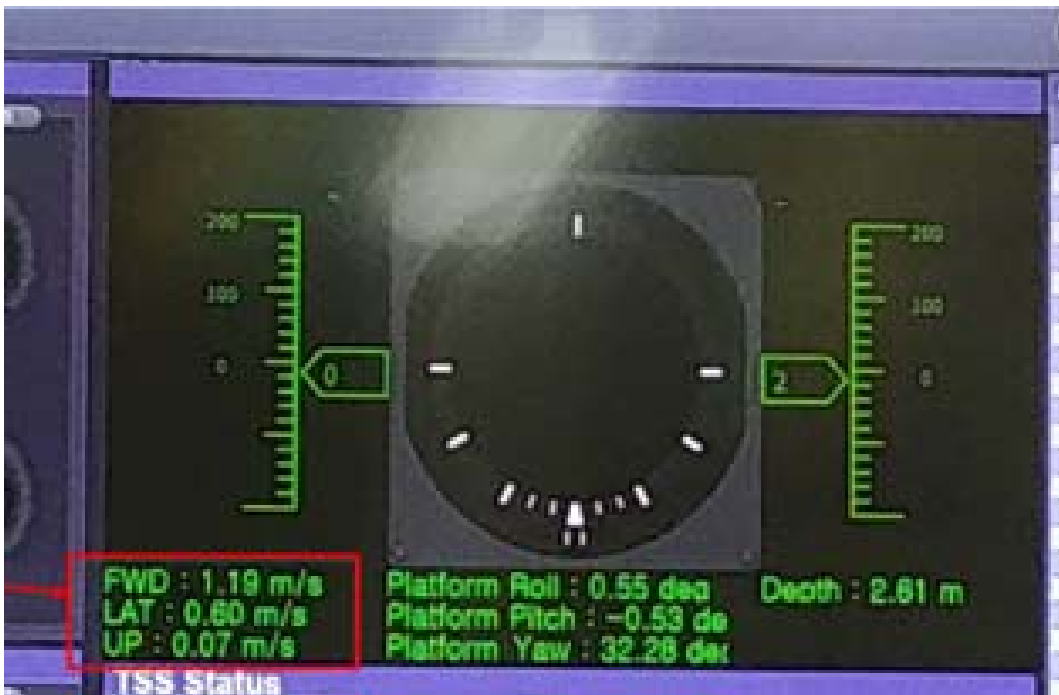
시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
전진 속도	3knots	2.59knots	미달

- 2017.11.27. ~ 12.09 케이블 매설로봇 연근해 실증시험 진행 시 전진 속도 3knots 달성여부를 실험을 통해 검증함

- 실험 결과

 : 최대 전진속도 약 2.59knots.

 : Global 좌표계로 출력되는 항법 정보를 취득하여, 전진속도로 환산함.



$$\text{전진속도} = \sqrt{1.19^2 + 0.6^2} \approx 1.3327\text{m/s} \approx 2.59\text{knots}$$

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-5차년도-④	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 그리퍼
목표값	25tonf Ø17~110mm	달성값	25.2tonf
날짜	2018.02.05	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

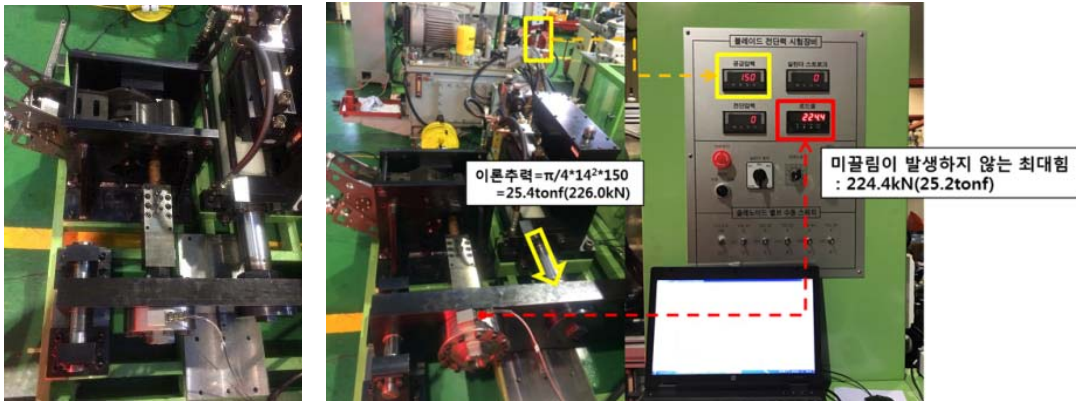
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
그리퍼 테스트 장비 (로드셀, 유압동력장치 포함)	그리퍼 파지력(당김력) 측정	한국도키멕(주) 자체제작 (특허등록 제10-1763849)

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
파지력(당김력)	25톤	25.2톤	만족

- 시험대상 케이블 외경 Φ42(Amored)



- 본 시험은 2017.04.12일 KRISO에서 "KR RB-05-K(2012) 잠수정 규칙 306 압력용기 및 기구" 시험 방법에 의해 해당 시험을 통과한 시제품을 대상으로 함(KOLAS 시험성적서 번호 : KRISO-2017-007).
- 절차 2단계, 유압 커플링 자동 탈거 시험은 2018.08.17 수중로봇복합실증센터에서 해당 장비에 부착하여 기능성을 확인함.

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-5차년도-⑤	담당 기관	한국도키멕
성과목표	수중 작업공구 기술	성과지표	케이블 커터
목표값	690bar	달성값	692bar
날짜	2018.02.05	장소	한국도키멕 대구공장
평가방법	실측	검증 여부	자체평가
결과			

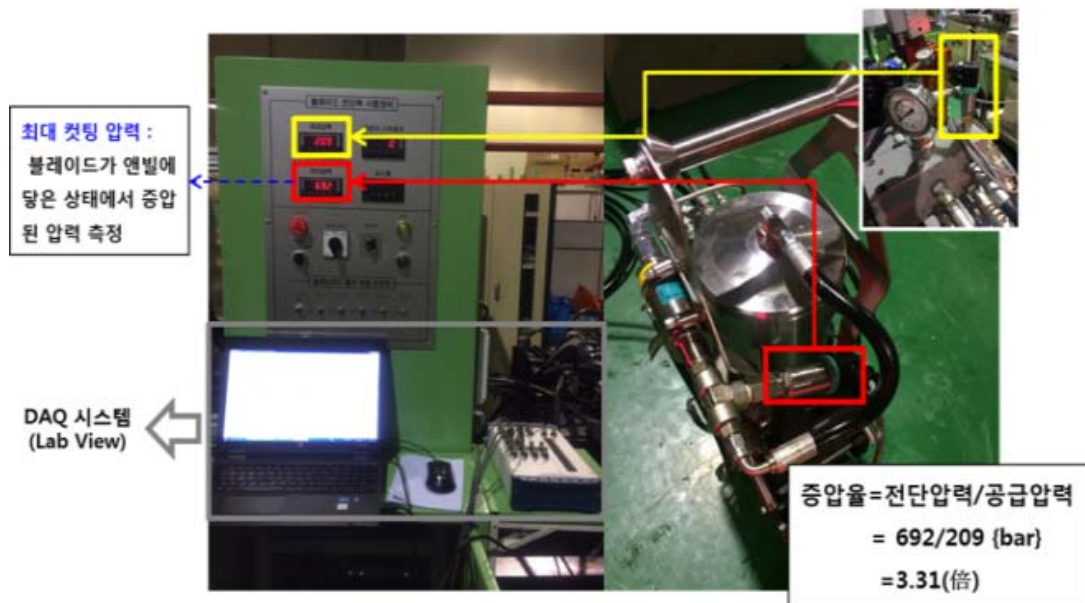
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
압력센서, 유압동력장치(HPU)	최대 절단 압력 측정	한국도키멕(주) 자체제작

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
최대 커팅 압력	690bar	692bar	만족

- 시험대상 케이블 외경 $\Phi 42$ (Armored)





- 본 시험은 2017.04.04일 KRISO에서 “KR RB-05-K(2012) 잠수정 규칙 306 압력용기 및 기구” 시험 방법에 의해 해당 시험을 통과한 시제품을 대상으로 함(KOLAS 시험성적서 번호 : KRISO-2017-006).

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-5차년도-㉔	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	유압매니퓰레이터 Visual Assistant 기술
목표값	영상이미지 매칭률: 80%	달성값	80.2%
날짜	2017.10.10.-13.	장소	한국로봇융합연구원 실험실
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

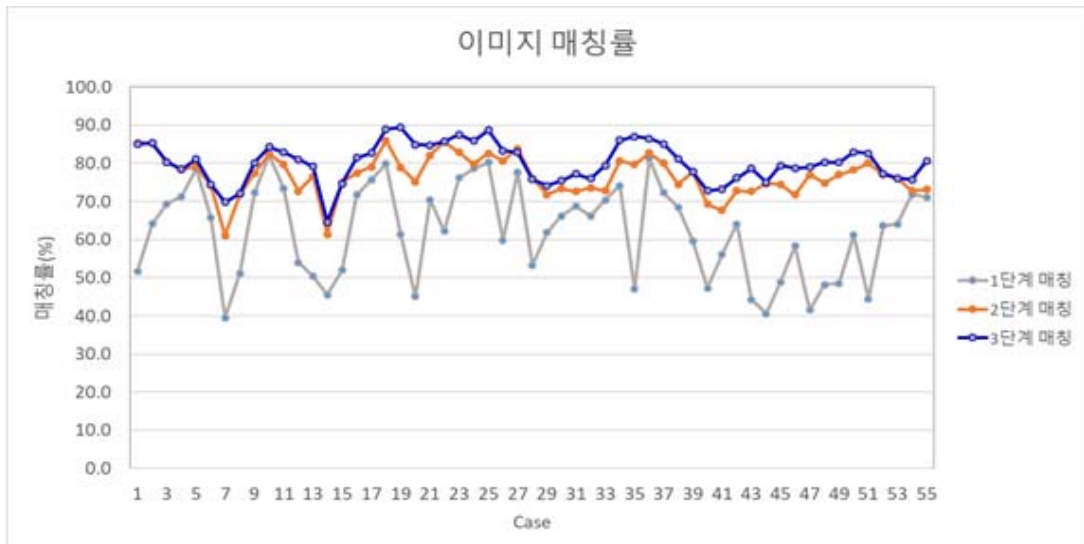
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
유압매니퓰레이터	검증 대상	
카메라(2EA)	유압매니퓰레이터 자세 샘플 사진 획득	
컴퓨터	영상 이미지 매칭 알고리즘 구동	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
영상 이미지 매칭률	80%	80.2%	만족

• 시험 결과 및 단계별 매칭률 변화 추이



- 1단계 매칭률 평균 : 62.2%
- 2단계 매칭률 평균 : 76.7%
- 3단계 매칭률 평균 : 80.2%

<영상 이미지 매칭 결과>



번호	2핵심-5차년도-⑦	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	수중 정밀 복합 항법
목표값	1% of traveled distance	달성값	0.84% of traveled distance
날짜	2017.02.13.-14.	장소	포항 여객터미널
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

■ 활용 장비

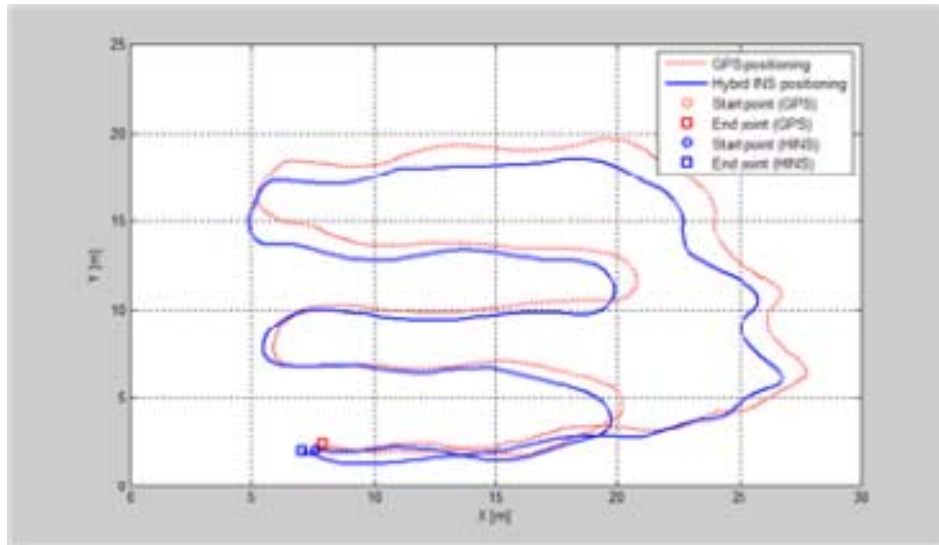
시험 장비	목적	비고
P-SURO II	KIRO 보유 수중로봇 플랫폼	
선상원격제어시스템	P-SURO II 선상시스템	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중 복합항법 위치 정밀도	1% 이동거리	0.84% 이동거리	만족

- 해수면에서 복합 항법 성능검증 (실험데이터 : 포항여객터미널)





현장실험 항법 오차 분석

실험순번	RMS 오차 (m)	끝점 오차 (m)	유형시간 (sec.)	RMS 오차/min	끝점 오차/min
1	0.9702	0.8079	180	0.3234	0.2693
2	1.0746	1.4145	190	0.339347368	0.446684211
3	0.6523	2.345	300	0.13046	0.469
4	1.7557	1.571	328	0.321164634	0.287378049
5	1.6659	4.2145	293	0.341139932	0.863037543
6	0.9248	1.2078	296	0.187459459	0.244824324
7	1.3717	2.0547	340	0.242064706	0.362594118
8	1.204	0.8945	233	0.310042918	0.230343348
9	2.1394	2.1857	243	0.528246914	0.539679012
10	1.0844	1.5695	246	0.264487805	0.382804878
평균값	1.2843	1.82651	264.9	0.298781374	0.409564548

연근해 실험에서 ROV의 전진속도는 평균 0.95knots(약 0.489m/s)이고 매번 실험 시간은 평균 264.9초로 이 경우 평균 이동거리는 약 129.5m가 나옴. 이 경우, 끝점 평균 RMS 오차는 약 **0.84% of traveled distance**가 됨

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-5차년도-㉔	담당 기관	심양자동화연구소/중국
성과목표	핵심기술	성과지표	수중작업 실시간 3D 구현
목표값	맵 해상도: 10 x 10 x 10mm	달성값	100 x 100 x 100 mm
날짜	2017.11.10. (2018.10.19.-26 실험역시행 추가 검증)	장소	심양자동화연구소/중국 (동해상 실험역시행 추가 검증)
평가방법	실측	검증 여부	자체평가

결과

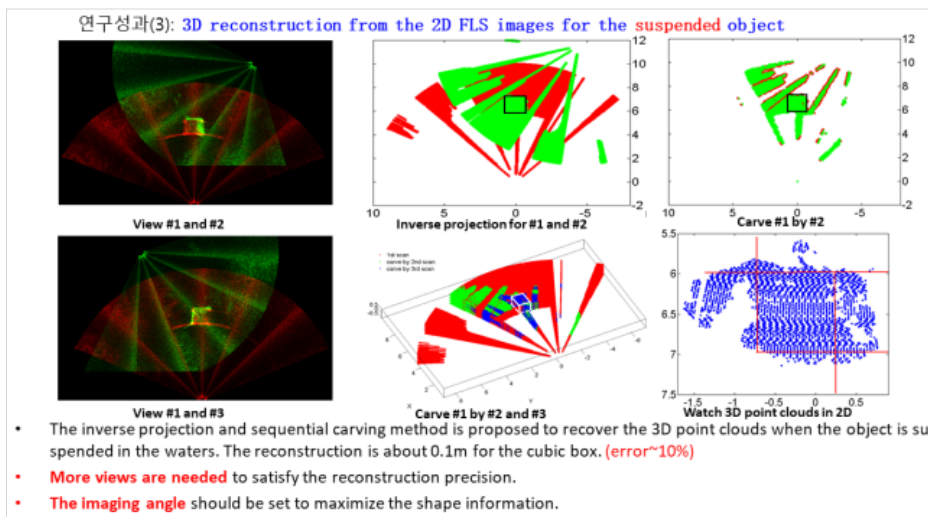
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트(이미지소나 포함)	검증 대상	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

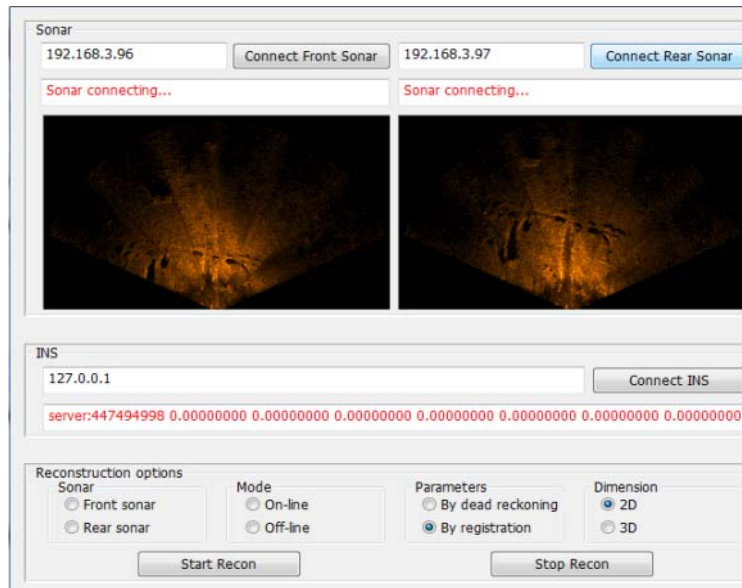
■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
수중작업 실시간 3D 구현	10x10x10mm	100x100x100mm	

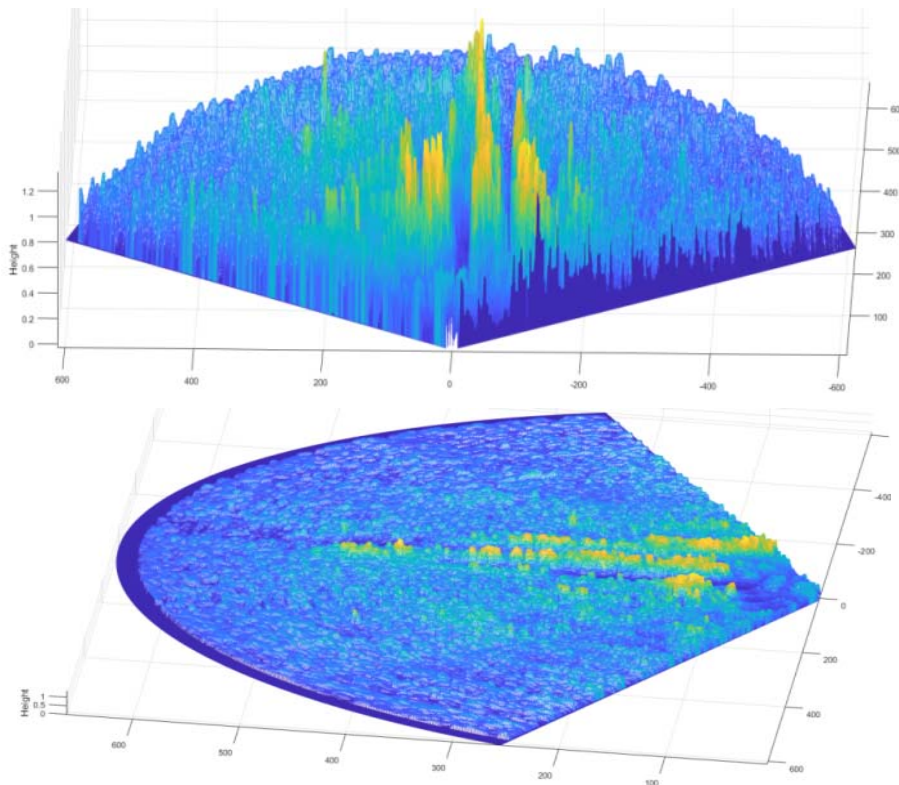
- BlueView Sonar를 이용한 소나이미지 획득 및 이에 기반한 3D 구현을 진행하였음
- 그 결과, 100mm x 100mm x 100mm 수준의 cubic box에 대한 분별이 가능한 해상도를 획득함.



- BlueView Sonar를 이용한 소나이미지 획득 및 INS 데이터를 획득 소프트웨어 인터페이스



- 소나 Raw 이미지를 이용한 3차원 구현후 결과. 도랑 높이 정보를 확인 됨.



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 당초 맵 해상도 10x10x10mm의 목표사양은 DIDSON 소나를 활용했을 경우에 목표사양임. 현재 DIDSON 소나의 경우 3,000m급이 단종되어서 부득이 resolution이 떨어지는 BlueView 소나로 대체하였으며 이 경우 소나 특성상 10x10x10mm의 당초 목표사양을 만족하기 불가함

번호	2핵심-5차년도-㉔	담당 기관	한국로봇융합연구원
성과목표	핵심기술	성과지표	ROV 고장검출
목표값	검출률: 80%	달성값	검출률: 89%
날짜	2018.10.15	장소	UTEC
평가방법	실측	검증 여부	자체평가
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
스로틀 밸브 및 피팅류	가상 누유 발생	실험 전 설치
PC 및 검증 소프트웨어	검출 알고리즘 검증	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
1. 예측 정확도	-	94 % (최저 값)	-
2. 검출율	80 %	89 % (최저 값)	만족

- 수중로봇 플랫폼의 실운영 유압장비 고장 진단 실험

- ▶ 실험의 신뢰도를 높이기 위해 일부 고장난 압력센서들을 신제품으로 교체 후 실험 실시
- ▶ 유압시스템 누유 고장과 유사한 환경을 조성하여 플랫폼 육상 가동 및 센서 데이터 획득
- ▶ FPH 추진기의 A, B 단 사이에 교축밸브를 설치하고 밸브를 완전히 닫은 상태에서 모두 개방한 상태까지 밸브 개폐를 총 8단계로 나누어 각각의 단계별로 100초 동안 샘플을 추출하여 학습 데이터로 활용



[ROV 추진기 및 추가 설치된 바이패스 밸브]

- ▶ 각 단계마다 약 1,600~2,000개의 샘플을 저장하여 12,335개의 샘플을 학습 데이터로 활용
- ▶ FPH 추진기의 RPM이 74% 미만으로 떨어지면 고장으로 사전 정의
- 고장진단 알고리즘을 통해 고장 검출율 산출

```

STEP: 19800 COST: 0.021366
STEP: 19850 COST: 0.0213137
STEP: 19900 COST: 0.0212618
STEP: 19950 COST: 0.0212098
STEP: 20000 COST: 0.0211589

Varification Accuracy : 0.998298

TEST DATA SET 1
Data Length : 951
The Number of Fault : [ 0.]
Estimation Accuracy : 0.989485

TEST DATA SET 2
Data Length : 300
The Number of Fault : [ 158.]
Estimation Accuracy : 0.943333

TEST DATA SET 3
Data Length : 300
The Number of Fault : [ 300.]
Estimation Accuracy : 1.0

TEST DATA SET 4
Data Length : 300
The Number of Fault : [ 300.]
Estimation Accuracy : 1.0
>>> |
100 %

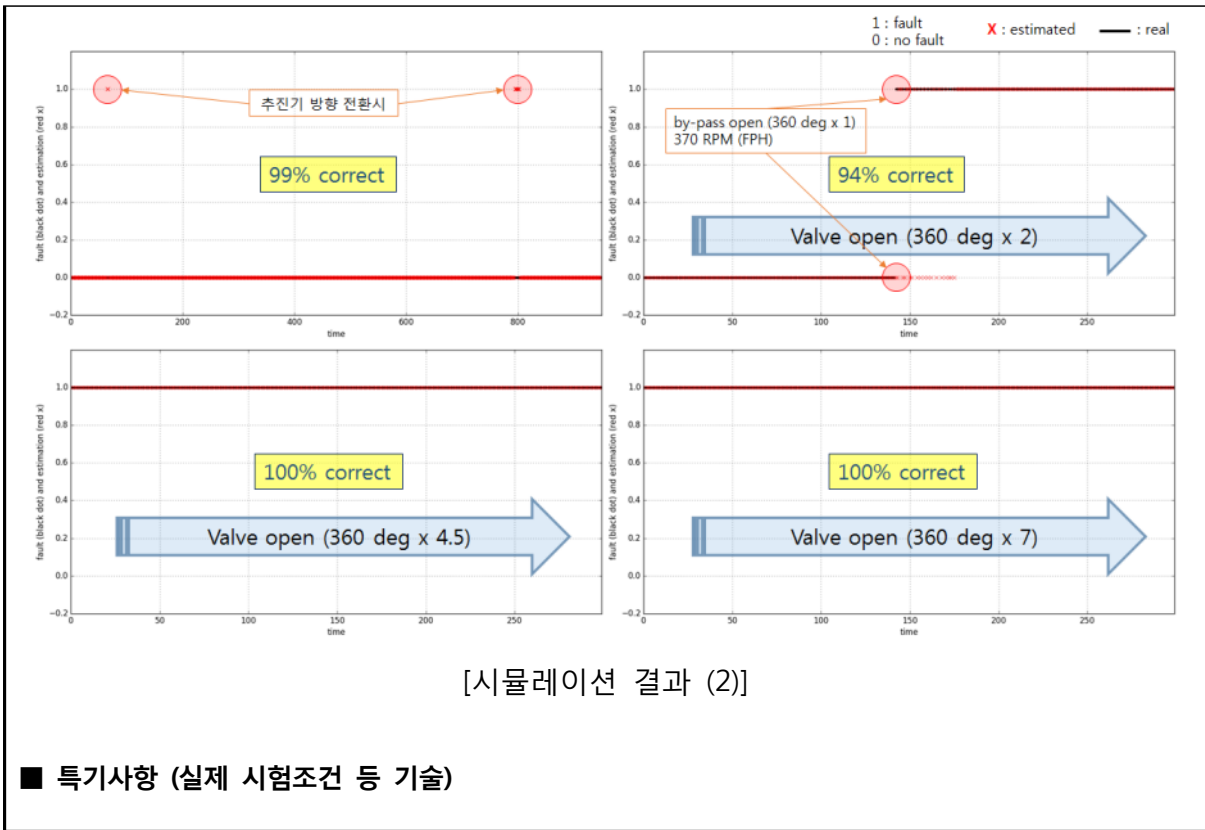
```

[시뮬레이션 결과 (1)]

- ▶ Python의 TensorFlow Library를 활용한 딥뉴럴네트워크 적용
- ▶ 유압, 온도, RPM 등 유압추진기와 관련된 27개의 센서 항목을 대상으로 12,335개의 샘플을 학습에 사용
- ▶ 실험 결과, 검증 정확도는 99.8%. 임의의 실 측정 실험에서 예측 정확도의 최저치는 약 94%, 검출율 최저치는 약 89%로 확인되었음

	1차 실험	2차 실험	3차 실험	4차 실험
예측 정확도	0.989485	0.943333	1.000000	1.000000
검출율	-	0.892405	1.000000	1.000000

[실험 결과]



□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
5차년도 (2017년)	플랫폼 작동성능	작업가능 지반	압축강도 10MPa 이하	10	제주인근 해저표층 압축강도 기준으로 조정	실측(육상)	100
		주행 속도	1km/h	5	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상/천해)	100
		등판각	30°	10	유사장비 기준없음	실측(육상)	100
	툴작업성능	매설심도	매설심도 2m 이내	10	Carbon trust BPI 1.5m이상 조건	실측(육상)	100
		매설폭	매설폭 0.6m 이내	10	최대 22인치 매설조건 (세계 통계기준 99% 이상)	실측(육상)	100
		트랜칭 속도	150m/h	10	유사 기종인 T2(Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상)	100
		트랜칭시 직진유지성능	5°	10	유사장비 기준없음	실측(육상)	100
	항법성능	포지셔닝 오차	20m/km	5	해저파이프라인 설치 허용 오차 기준	실측(해상/천해)	100
	작업지능제어	정속유지성능	오차 5rpm 이내	5	최적 작업 압력의 5% 이내	실측	100
		정압유지성능	오차 5bar 이내	5	최적 작업 압력의 5% 이내	실측	100
	굴착깊이 측정장치	탐지거리	10m	5	실제 측정 깊이 2m이고 이를 고려하여 Overspec.으로 선정	실측확인	100
		분해능	0.5도	5	플랫폼에 장착할 수 있도록 장비 사이즈를 고려하여 센서 설계하고 센서 성능에 따른 사양으로 선정	실측확인	100
		S/W개발	1건	10	-	S/W제작(실측)	100

번호	3핵심-5차년도-①	담당 기관	KIOST, KIRO, SY
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	작업가능 지반
목표값	압축강도 10MPa 이하	달성값	30MPa
날짜	2017-09-22	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
콘크리트 지반	트랜칭커 작업성능 확인	
콘크리트 시편	조성된 콘크리트의 압축강도 확인	

■ 실험 결과

- 개발장비의 트랜칭커터의 작업성능을 확인하기 위하여 콘크리트 지반을 조성하고 굴착작업을 수행하였음.
- 조성된 지반의 콘크리트 압축강도를 확인하기 위하여 시편을 동시 제작함.
- URI-R이 조성지반 위에서 굴착작업을 수행하는 동일한 날에 압축강도를 확인함.
- 성능시험 결과 조성지반에 대하여 굴착작업을 수행할 수 있었으며, 당시 작업한 콘크리트로 제작된 시편의 압축강도는 30MPa임을 확인하였음.



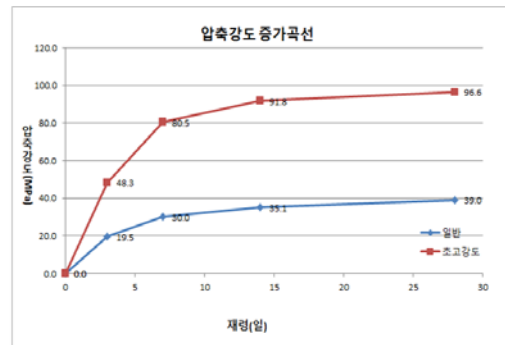
콘크리트 지반조성



콘크리트시편



조성 지반에 대한 트랜칭 작업



압축강도(7일강도) 30kPa, 80kPa
(시편에 대한 실내 압축강도시험 결과)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	3핵심-5차년도-②	담당 기관	KIOST, KIRO
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	주행속도
목표값	1km/h	달성값	1.8km/h (육상) 2.5km/h (천해)
날짜	2017-09-26 (육상) 2017-10-22~2017-11-02 (천해)	장소	육상 / 천해
평가방법	실측	검증 여부	자체

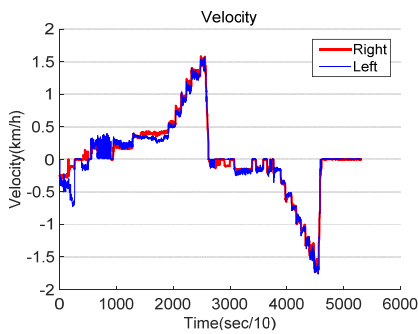
결과

■ 활용 장비

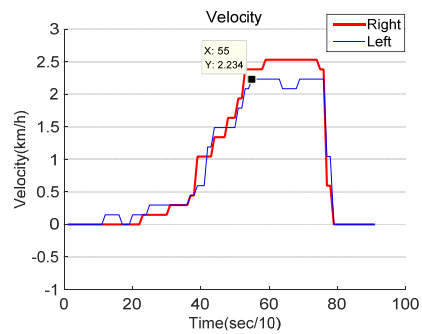
시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
주행모터 내부 엔코더	주행속도 측정 (해상)	

■ 실험 결과

- 개발장비의 주행성능을 확인하고자 하였음.
- 주행모터의 엔코더값을 이용하여 장비의 주행속도를 측정하였음.
- 성능시험 결과 1.8km/h(육상), 2.5km/h(천해)의 최대 주행속도를 확인하였음.



플랫폼 최대 주행속도 **1.8km/h** (육상)



플랫폼 최대 주행속도 **2.5km/h** (천해)



제주 실험역 실험 당시 운영실 주행속도 화면 (좌 2.5km/h, 우 2.6km/h)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

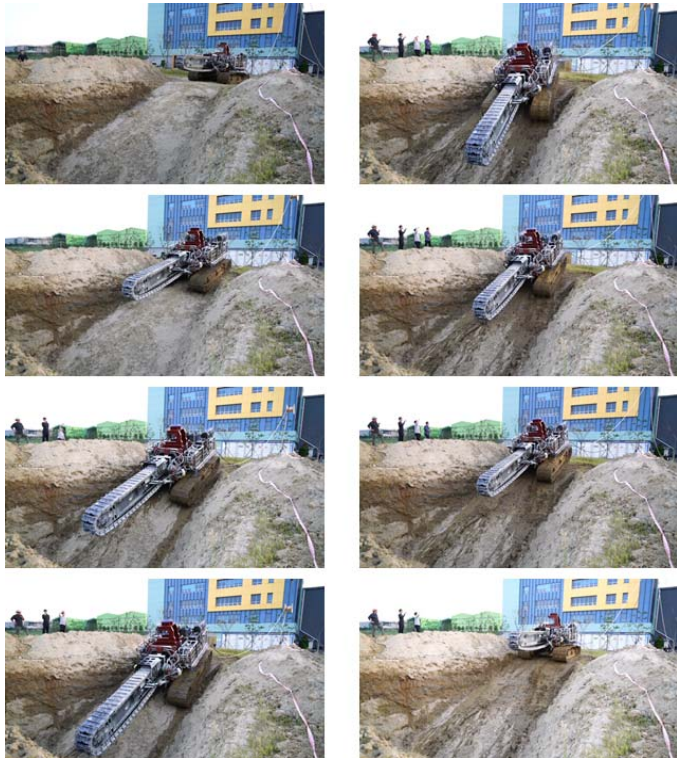
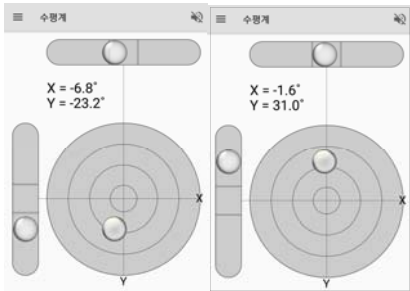
번호	3핵심-5차년도-③	담당 기관	KIOST, DHS, KIRO
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	등판각
목표값	30°	달성값	최대 31°
날짜	2017-09-22	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
경사로	등판각 시험환경 조성	

■ 실험 결과

- 등판성능 실험을 위해 지반을 굴착하여 최대 경사 31°의 경사로(11m*4.2m*9.8m)를 조성함.
- 장비를 경사로에 진입, 경사로 주행 중 정지, 정지 후 경사로 이탈 순으로 등판성능을 확인함.
- 최대 31°의 경사로를 등판하여 성능을 검증함.



경사로 조성 (최대 경사 31도)

등판각 실험 장면 (5차년도 달성)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	3핵심-5차년도-④	담당 기관	KIOST, KIRO, SY
성과목표	툴작업성능	성과지표	매설심도
목표값	매설심도 2m 이내	달성값	0.9m (육상) 2.3m (천해)
날짜	2017-09-27 (육상) 2017-10-22~2017-11-02 (천해)	장소	육상 / 천해
평가방법	실측	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
줄자	육상에서 매설심도 실측	
LVDT	길이정보를 통한 매설심도 확인	

■ 실험 결과

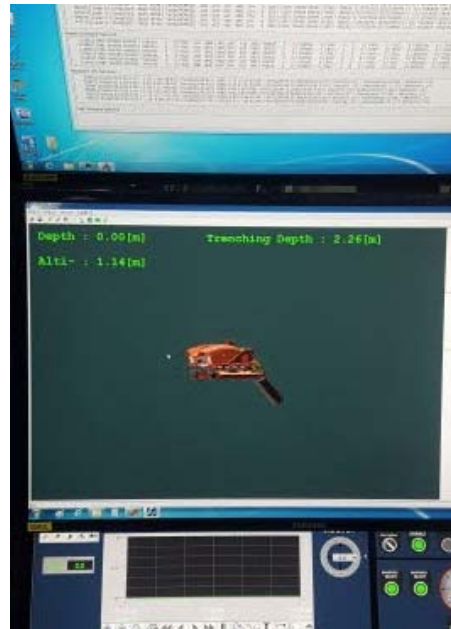
- 트랜칭커터의 매설심도 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 중 최대심도까지 트랜칭작업을 하고 육상의 경우 줄자로 그 결과를 실측, 해상의 경우 붐실린더 내부에 장착된 LVDT를 이용하여 매설심도 확인
- 성능시험 결과 0.9m(육상), 2.3m(해상)의 매설심도를 확인하였음.



토사 트랜칭 깊이 0.9m



암반 트랜칭 깊이 0.5m



운영실화면에서 트랜칭 깊이 2.26m (천해 실험 시)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	3핵심-5차년도-⑤	담당 기관	KIOST, KIRO, SY
성과목표	틀작업성능	성과지표	매설폭
목표값	매설폭 0.6m 이내	달성값	0.6m
날짜	2017-09-27	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
줄자	육상에서 매설폭 실측	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터의 매설폭 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 중 트랜칭작업을 완료하고 줄자로 그 결과를 실측하여 매설폭 확인
- 성능시험 결과 0.6m의 매설폭을 확인하였음.



매설폭 0.6m

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	3핵심-5차년도-⑥	담당 기관	KIOST, KIRO, KMOU, SY
성과목표	틀작업성능	성과지표	트랜칭 속도
목표값	150m/h	달성값	0.4km/h
날짜	2017-10-22~2017-11-02	장소	천해
평가방법	실측	검증 여부	자체

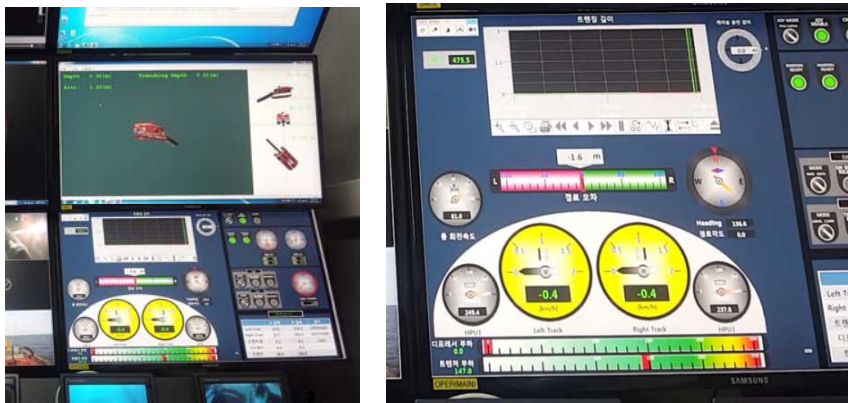
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
주행모터 내부 엔코더	트랜칭 속도 측정	

■ 실험 결과

- 트랜칭 속도의 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 시 트랜칭 작업을 지속적으로 수행하며 장비 전진하였음. 이때 장비의 전진속도를 측정함으로써 트랜칭속도를 확인함.
- 성능시험 결과 트랜칭 최대속도 0.4km/h였음을 확인하였음.



천해 트랜칭 주행 시 속도 측정 화면 (좌, 우 0.4km/h 측정)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

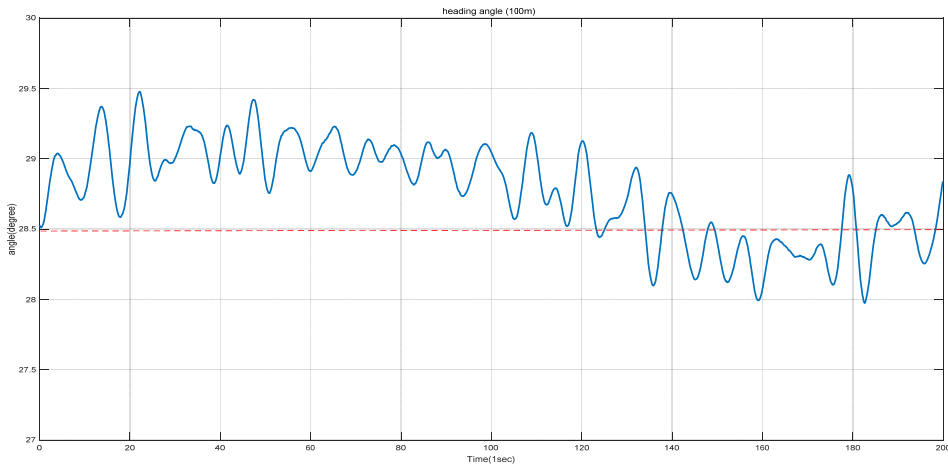
번호	3핵심-5차년도-⑦	담당 기관	KIOST, KIRO, KMOU, SY
성과목표	틀작업성능	성과지표	트랜칭시 직진유지성능
목표값	5°	달성값	1.5°
날짜	2017-09-22	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
자세센서	장비의 헤딩각 측정	

■ 실험 결과

- 트랜칭 작업 시 직진성을 유지하는 것을 검증하기 위하여 실험을 수행
- 실험 시 트랜칭 작업을 지속적으로 수행하며 장비는 전진하였음. 이때 장비에 장착된 자세센서로 헤딩각을 측정하여 직진유지성능을 확인함.
- 성능시험 결과 트랜칭 시 최대 헤딩 변화각은 1.5°를 보였음.



트랜칭 작업 중 전진 시 URI-R의 Heading angle (최대 변화각 1.5°)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

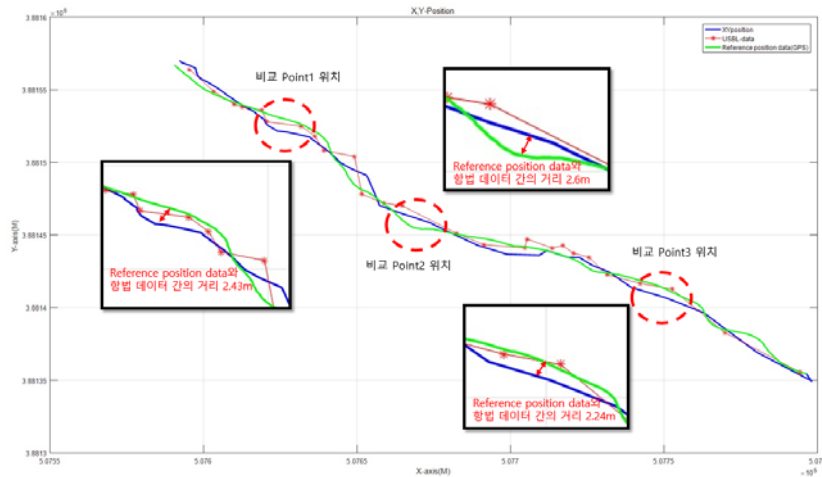
번호	3핵심-5차년도-⑧	담당 기관	KIOST, KMOU
성과목표	항법성능	성과지표	포지셔닝 오차
목표값	20m/km	달성값	8.3m/km
날짜	2017-10-22~2017-11-02	장소	천해
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
자세센서	장비의 자세, 항법 계산용	
USBL	장비의 수중위치 측정	

■ 실험 결과

- 수중에서 개발장비 자신의 위치를 인식하는 성능을 확인함.
- 자세센서, USBL의 신호를 융합계산한 결과와, USBL 단독값을 비교하여 그 성능을 추정하였음.
- 성능시험 결과 300m 이동 시 최대 2.5m 오차 발생함. 환산 시 최대 오차 8.3/km임을 확인함.



항법 오차 0.5~2.5m 발생 (300m 이동시) => 환산값 **8.3m/km**

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

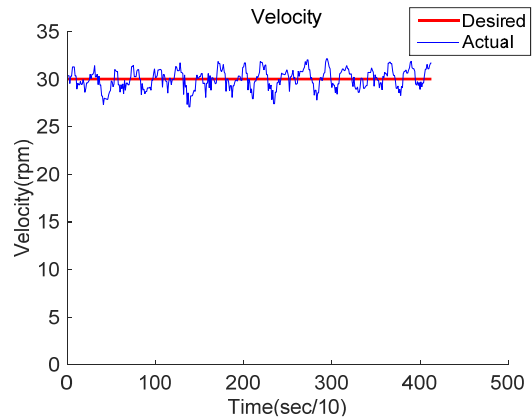
번호	3핵심-5차년도-⑨	담당 기관	KIOST, KIRO
성과목표	작업지능제어	성과지표	정속유지성능
목표값	오차 5rpm 이내	달성값	오차 평균 0.82rpm
날짜	2018-01-11	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
유량계	트랜칭커터 작업속도 확인	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터 작업효율을 높이고자 커터의 작동속도를 정속으로 유지하는 성능을 확인하고자 함.
- 트랜칭커터 작동 유압라인상에 설치되어 있는 유량계 값을 이용하여 작업속도를 확인하였음.
- 성능시험 결과 목표 작업속도에서 평균 오차 0.82rpm을 보이며 정속을 유지하였음.



트랜칭 작업 시 정속유지 시 오차 평균 **0.82rpm**

■ 특기사항

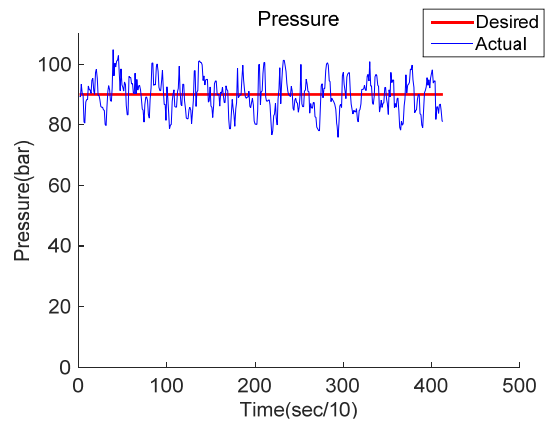
번호	3핵심-5차년도-⑩	담당 기관	KIOST, KIRO
성과목표	작업지능제어	성과지표	정압유지성능
목표값	오차 5bar 이내	달성값	오차 평균 4.65bar
날짜	2018-01-11	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
유압계	트랜칭커터 작업부하 확인	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터 작업효율을 높이고자 커터의 작동압력을 정압으로 유지하는 성능을 확인하고자 함.
- 트랜칭커터 작동 유압라인상에 설치되어 있는 유압계 값을 이용하여 작업부하를 확인하였음.
- 성능시험 결과 목표 작업부하에서 평균 오차 4.65bar을 보이며 정압을 유지하였음.



트랜칭 작업 시 정압유지 시 오차 평균 4.65bar

■ 특기사항

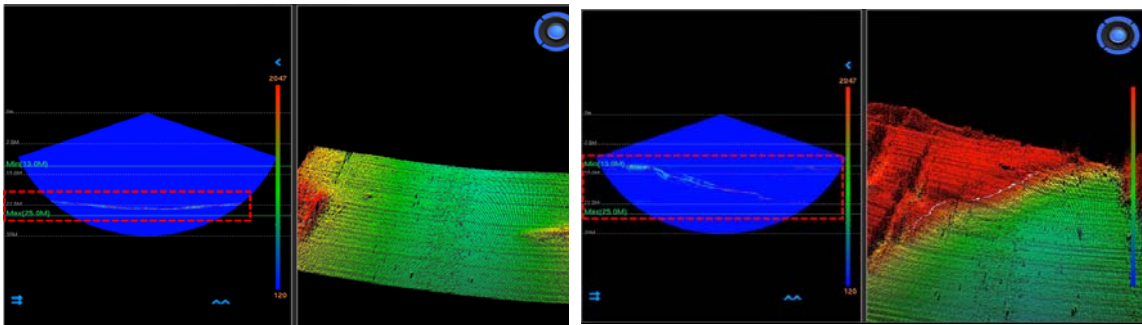
번호	3핵심-5차년도-⑪	담당 기관	KIOST, ST
성과목표	굴착깊이측정장치	성과지표	탐지거리
목표값	10m	달성값	23m
날짜	2017-03-13	장소	천해
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
굴착깊이 측정장치	굴착깊이를 측정하기 위해 개발된 장비	

■ 실험 결과

- 트랜칭 작업을 통하여 수행된 작업결과를 확인하기 위한 장비로 해당 장비의 탐지거리 성능을 확인하고자 함.
- 수면에서 굴착깊이 측정장치로 해저면의 형상정보를 얻고 이를 통하여 탐지거리를 확인하였음.
- 성능시험 결과 수심 13~23m까지의 해저지형을 탐지할 수 있었음.



수심(탐지거리) 13~23m인 지역에 대한 실해역 지형을 굴착깊이 측정장치로 측정

■ 특기사항

번호	3핵심-5차년도-⑫	담당 기관	KIOST, ST
성과목표	굴착깊이측정장치	성과지표	분해능
목표값	0.5°	달성값	0.5°
날짜	2017-12-13	장소	수조
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

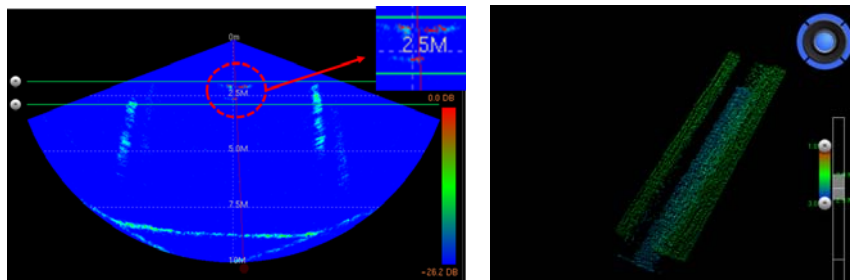
시험 장비	목적	비고
굴착깊이 측정장치	굴착깊이를 측정하기 위해 개발된 장비	
분해능 실험용 지그	굴착깊이 측정장치의 분해능 실험을 위한 보조도구	

■ 실험 결과

- 트랜칭 작업을 통하여 수행된 작업결과를 확인하기 위한 장비로 해당 장비의 분해능 성능을 확인하고자 함.
- 굴착깊이 측정장치 분해능 0.5°를 만족하기 위해 측정장치로부터 2m 거리에 분해능 실험용 지그를 설치하고 확인.
- 성능시험 결과 실험용 지그의 형상정보와 깊이(0.5m[지그높이] + 2m[설치높이] = 2.5m)를 정확히 구현함을 확인하였음.



(a) 분해능 실험용 지그



(b) 분해능 실험 결과

굴착깊이 측정장치 분해능 실험

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

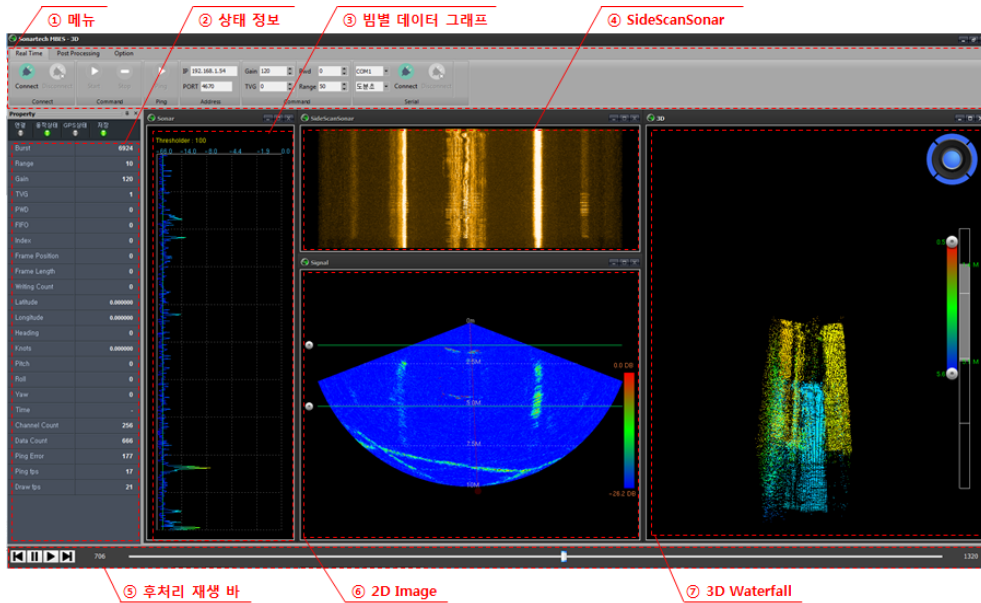
번호	3핵심-5차년도-⑬	담당 기관	KIOST, ST
성과목표	굴착깊이측정장치	성과지표	S/W 개발
목표값	1건	달성값	S/W 제작 1건
날짜	2017-12-13	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
굴착깊이 측정장치 전용 S/W	굴착깊이 측정장치를 구동하기 위한 S/W	

■ 실험 결과

- 개발된 굴착깊이 측정장치를 정상적으로 작동하고, 후처리 할 수 있는 S/W가 필요함으로 이를 확인함.
- 전용 S/W를 구동하고 각 기능별 작동을 하는지, H/W와 연동하여 정상작동되는지 확인
- 확인 결과 굴착깊이 측정장치를 정상구동할 수 있는 S/W를 개발하였음.



굴착깊이 측정장치 S/W 개발

■ 특기사항

□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
5차년도 (2017년)	최적공정시스템 개발	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축	100%	30	최적공정프로그램 최종 개발	보고서	100
	실증실험 계획 수립 및 수행	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	80%	40	성능실험계획에 따른 실험 수행	실험 결과	100
	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련	50%	30	내부 역량 분석 및 기술이전 세부 지침 마련	보고서	100

번호	총괄과제-5차년도-1	담당 기관	KIOST
성과목표	최적 공정시스템 개발	성과지표	최적공정시스템 기법 및 S/W 구축
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2018.01.10.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 수중건설 공정 절차(케이블 매설)



■ 결과

- 수중건설 최적 공정 시스템 프로그램(S/W) 구축 및 출원(프로그램 명칭 : 수중 건설을 위한 해상작업일수 산정 프로그램 개발)
- 사업비 산출방안 구축
- 해저케이블 매설 관련 기존 공정의 분석
- 수중건설 공정의 개선안 제시

번호	총괄과제-5차년도-3	담당 기관	KIOST
성과목표	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	성과지표	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2018.01.10.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 핵심 아이템에 대한 실용화 전략 업데이트

수중 능동 스테레오 카메라 시스템 및 수중 추진기 레드윈드테크놀러지-

01. 시장 분석

» 기술 트렌드

- AUV가 빠른 프로세스 속도, 소형화, 심해 네비게이션, 긴 임무수행 시간, 고 에너지로 인해 오일 & 가스 시장에 활용도가 많이 지고 있음
- AUV에 사용되는 에너지를 리튬이온전지에서 태양전지, 연료전지 또는 핵양으로부터 얻을 수 있는 에너지원으로 교체하기 위한 연구 진행
- ROV는 단일 스크린 인터페이스 디스플레이를 통해 레이어드 및 데이터수집장치로부터 피드백받음
- 기술의 발전은 ROV의 사이즈를 소형화하고, 이를 통해 이동성, 효율성, 추진력이 향상됨
- NASA, 미해군은 핵양열 에너지로 동작되는 하이브리드 ROV 출시
- HD 카메라가 요구되면서 광케이블 전송 방식이 사용되고 있으며, kongsborg OE14-370 카메라는 느린 서터 스트리트를 위한 내장 메모리, 빠른 캐처 기능, 텍스트 삽입 기능을 제공하며, Fugro, Oceanering, Saab에 사용됨

02. CSR Announces Acquisition of SMD 2015.04

Zhuzhou China 중국 남부 철도 (CSR)의 지회사인 South Rail Times Electric Co., Ltd 영국의 해양 엔지니어링 계층 제조업체인 SMD Development (SMD) 인수

인수 후 SMD는 사업 운영에 있어 독립적으로 유지되며 일상적인 기능은 원래 관리 팀에 의해 여전히 통제됨. 새로운 워싱턴이 비즈니스 전략, 투자 의사 결정, 재정 모니터링 및 정부와 관련된 중요한 결정들 담당

SMD는 CSR Times Electric의 상해 장비 사업부의 글로벌 본부 직할 부서이며, SMD의 중국 지사가 중국 해양 시장에 서의 입지를 구축하기 위해 설립 될 것 이 지회사에서 SMD는 전반적인 기술 기획, 시장 관리 및 기타 일상 업무를 담당

CSR Times Electric의 Ding Rongjun 사장은 "SMD를 인수하는 것은 회사 운영을 국제화하기 위한 회사의 전반적인 성장 전략에서 중요한 단계입니다. 우리는 중국 철도 운송 산업을 넘어서 더 높은 기술 부가 가치를 지닌 신 계층 제조업으로 확장하고자 하며 SMD는 해양 엔지니어링 장비 업계에서 우리의 입지를 발전시킬 수 있는 환상적인 기회를 제공합니다. 중국에 SMD 지회사를 설립함으로써, 우리는 국내 시장에 ROV (원격 작동 차량) 장비의 선도적인 공급 업체로 회사를 설립하고자 합니다."

04. 국내 수요기업

» ㈜일우인타루서날

- 선박/항만/풍력터빈 통신, 모니터링, 특수경비, 산업용 핵드인센, 제어장치, 프로나 표면 처리 분야에서 최고의 솔루션 제공
- 선박의 조수간만의 높은 차로 인해 기존의 1차 방식에 문제가 있다는 것을 인지하고 pan/tilt 방식을 개발
- 선박감시모니터링시스템(DAS, Docking system)
- 2개의 제어기 센서를 이용하여 선박의 부두 접근시, 접근 거리와 속도를 대할 관찰함에 보아줌으로 선박의 안전한 접근을 유도하고 부두 구조물 을 보호하는데 사용되는 시스템.
- 선박의 접근 속도가 허용치를 넘어서면 알람이 울림
- DAS(docking aid system)의 Sensor measuring 방식
- Control room에서 Software를 동작시키면 알아서 선박을 감지하고, 거리,속 도는 지도를 보여주게 되어 있음

전용 Pan & tilt에 대한 수요가능성 높음

■ 결과

- 3개 아이템에 대한 시장 특허조사 및 비즈니스 모델 업데이트

바. 6차년도(2018년)

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
6차년도 (2018년)	작업 심도-KRISO	최대수심	2,500m	15	작업수심	시연	100
	시나리오에 의한 공동작업-KRISO	시나리오 수행	작업 시나리오 도출 및 수행	25	작업 시나리오	3차년도에는 매핑 및 파이프 조사에 대한 시나리오 도출 연차별로 추가로 구체적인 시나리오를 도출 예정 시연	100
	통합 실효역 성능 실험 지원-아쿠아드론	시나리오 수행	운영 시나리오 도출 및 수행	10	운영 시나리오	5cm해상도 Mapping/시연 1핵심ROV운영	100
	작업툴 -레드윈, KRISO (워터젯, 커팅, 드릴링)	작업툴 구동	3종이상 연동 및 구동(DC 300V 이내 전원)	15	작업목록	시연	100
	고장진단-레드윈	실시간성	5종이상 실시간 모니터링 및 고장검출	15	실시간 고장진단	실측 및 시연	100
	실효역 항법 성능 오차(USBL 단독 사용 시 오차 대비)	정밀도	1m 이내	5	USBL 오차	시연	100
	매니퓰레이터 고내압성능평가	내압성능	매니퓰레이터 내압시험 250bar	15	5축(미국) 7축(미국)	성능평가	80

번호	1핵심 6차년도 - 1	담당 기관	KRISO, 레드윈
성과목표	작업 심도	성과지표	최대수심
목표값	2,500 m	달성값	세부모듈 내압시험 3,250m
날짜	2016년 3월	장소	선박해양플랜트연구소 (KRISO)
평가방법	공인시험인증	검증 여부	공인시험성적서(KOLAS) 발급

결 과

■ 활용 장비

- 고압챔버 시험설비 (MOERI6000CIP), 시제 경작업용 ROV 내압용기 (Execution POD)

■ 실험 결과

- 외벽 연구변형 및 누수 없음
- 공인 시험성적서 발급/획득

KOLAS 시험성적서

5. 시험 전 시험상태

6. 시험조건

시험 장소	시험 기구	시험 방법	시험 조건	시험 결과
1	2016-020	가압	0 → 20 000	20 000
		가압	20 000 → 32 500	32 500
		가압	32 500 → 0	-

7. 시험결과

시험 장소	시험 기구	시험 방법	시험 조건	시험 결과
1	2016-020	가압	0 → 20 000	20 000
		가압	20 000 → 32 500	32 500
		가압	32 500 → 0	-

KOLAS 시험성적서

1. 명 목 과

2. 시험성적서명

3. 시험대상물체 또는 용품, 시험명

4. 시험일자

5. 시험방법

6. 시험조건

7. 시험결과

시험항목	시험조건	시험결과
압력용기	수중 압력용기	2016-020

KOLAS 시험성적서

8. 시험사상

9. 1차시험

10. 2차시험

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 시험환경 및 조건
 - 목표 작업심도(2,500m)대비 1.3배 (3,250m) 압력시험 인증
 - 목표 압력지속 시간 : 1800s (30min)
 - KOLAS인정 규격 만족
- 시험방법
 - GL Rules for Classification and Construction III Naval Ship Technology 2. Sub - Surface Ship Section 2. General Requirements D. Tests and Trials 4. Pressure Vessels 4.3

번호	1핵심 6차년도 - 2	담당 기관	KRISO
성과목표	시나리오에 의한 공동작업	성과지표	시나리오 수행
목표값	작업 시나리오 도출 및 수행	달성값	작업 시나리오 도출 및 수행
날짜	2018년 9월	장소	실해역
평가방법	실해역 시험 수행	검증 여부	KR 입회

결과

■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 지원선박

ROV	작업툴 장착된 URI-L
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터
지원선박	KT 세계로호

■ 실험 결과

- 500m 잠수 및 해저면 조사
- 200m Way-point Tracking
- 대우 포스코 Well-head Inspection
 - 150m 해저면의 Well-head 근접 상태조사
- 200m Manipulator 작업
 - 선상에서 진수 전 준비 절차와 작업 절차 및 회수 절차에 의해 수행



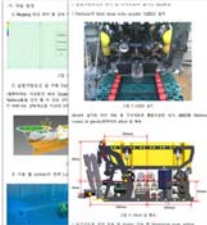
■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 진수 표준 절차서
 - 1) 전원 투입 전 점검 절차
 - 2) 전원 투입 후 점검 절차
 - 3) 진수 절차
- 회수 표준 절차서
 - 1) 회수 절차
- 인공구조물 작업 절차
 - 1) 진수 (Launching)
 - 2) 인공구조물 탐색 (Search)
 - 3) 인공구조물 관측 (Observation)
 - 4) 고정 (Fixing) 및 작업 (Work)
 - 5) 이동 (Movement)
 - 6) 회수 (Recovery)

번호	1핵심 6차년도 - 3	담당 기관	Aquadron
성과목표	통합 실해역 성능 실험지원	성과지표	시나리오 수행
목표값	운용시나리오 도출 및 수행	달성값	운용시나리오 도출 및 수행
날짜	2018년 9월	장소	실해역
평가방법	실해역 시험 수행	검증 여부	KR 입회

■ 실험 결과

- 수중로봇 실해역 운용 시나리오 도출

목차	세부목차	비고
장비	1)Platform 2)Bathymetry acquisition system 3)Compensation 4)Software application	
수중로봇 실 해역 운용	ROV에 의한 작업의 요구사항 분석 및 절차	
작업공정		 *그림/사진 및 자세한 설명 포함
운용시 점검사항	1)Pre survey check 2)Launching 3)Diving 4)Approaching 5)Inspection 6)Surface 7)Recovery	

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- IMCA guidelines 및 아쿠아드론 ROV 프로젝트 경험 바탕으로 서술

번호	1핵심 6차년도 - 4	담당 기관	KRISO, 레드윈
성과목표	작업툴 (워터젯, 커팅, 드릴링)	성과지표	작업툴 (워터젯, 브러쉬, 드릴)
목표값	3종이상	달성값	3종
날짜	2018년 11월	장소	UTEC 수조
평가방법	시연	검증 여부	KR 입회

결과

■ **활용 장비**

- ROV 시스템 및 작업툴



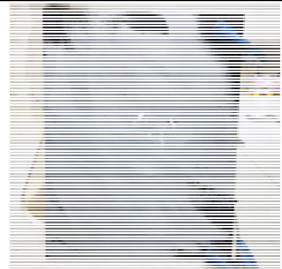

ROV	작업툴 장착된 URI-L
TMS	Tether 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터
작업툴	워터젯, 브러쉬, 드릴 3종

■ **실험 결과**

- 작업툴 3종 작업

		
드릴	브러쉬	워터젯

- 작업대상 변화

			
초기 작업대상(철판)	드릴 작업 후	브러쉬 작업 후	워터젯 작업 후

■ **특기사항 (실제 시험조건 등 기술)**

- 작업툴 작업 순서
 - 1) 작업대상(철판)을 구조물에 고정 후 수조 투입
 - 2) ROV의 오른쪽 로봇팔에 작업툴 1종 장착 및 수조 투입
 - 3) ROV 구조물에 접근 후 왼쪽 로봇팔로 구조물 붙잡은 뒤 자세고정
 - 4) 작업툴로 지정된 작업 수행 후 2번부터 다시 수행

번호	1핵심 6차년도 - 5	담당 기관	레드윈
성과목표	고장진단	성과지표	실시간성
목표값	실시간 고장진단 모니터링 (5종이상)	달성값	실시간 고장진단 5종
날짜	2018년 11월	장소	레드윈테크놀로지(주)
평가방법	시험데이터 및 시연	검증 여부	자체

결 과

■ 활용 장비

- 경작업용 ROV, 선상제어시스템 (모니터링), 고장코드용 프로그램

■ 실험 결과

- 경작업용 ROV에 내장된 프로세서에 의도한 고장코드 (PROCESSOR_CONNECTION_TIMEOUT) 를 발생하였으며, 이에 대해 실시간으로 5종의 고장진단 항목을 검출하였으며, 경보음과 음성 안내를 수행함

고장상태 모니터링 HMI	고장진단 메시지 출력

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

- 시험환경 및 조건
 - 고장상태 진단을 위해 경작업용 ROV에 내장된 프로세서에 임의의 고장상황 코드 입력 수행
- 시험방법
 - 경작업용 ROV의 모든 장비는 오류 발생 시 장비 ID, 고장코드, 발생시각 정보를 선상 시스템 장치에 전달함
 - 선상시스템은 주기적으로 수신되는 장비상태보고와 실시간 고장 수신 정보를 이용하여 고장 발생 장비의 고장코드와 조치사항에 대한 정보 표시할 수 있도록 함 (화면출력화 함께 음성 또는 경고음)

번호	1핵심 6차년도 - 6	담당 기관	KRISO
성과목표	근해역 항법 성능 오차 (USBL 단독 사용 시 오차 대비)	성과지표	정밀도
목표값	1m 이내	달성값	1m 이내
날짜	2018년 9월	장소	실해역
평가방법	실해역 데이터	검증 여부	자체

결과

■ 활용 장비

- ROV 시스템 및 운용 시스템

ROV	URI-L, 운동 대상
TMS, Winch	Tether 및 Umbilical 케이블 운용
ROV 운용 시스템	URI-L 선상제어실 PC 및 모니터

■ 실험 결과

- 실해역 항법 정밀도 1m 이내
- USBL 장시간 미작동상태에서도 항법 정밀도 1m 이내 유지



<USBL & navigation data>



<USBL 미작동상태>

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
6차년도 (2018년)	운용 시나리오 기반 케이블 매설 및 유지보수	운용 시나리오 기반 케이블 매설 및 유지보수	최종목표 달성	100	과제 최종목표	실측 (연근해)	100

번호	2핵심-최종-①	담당 기관	내압시험: 대양전기공업 실해역시험: 전 참여기관
성과목표	작업 수심	성과지표	작업 수심
목표값	2,500m (실해역 500m)	달성값	2,500m (실해역 509.4m)
날짜	내압시험: 2016.03.15-30. 실해역 시험: 2018.10.22-26.	장소	내압시험: KRISO 실해역시험: 동해 실해역
평가방법	실측	검증 여부	내압시험: 제3자 검증 실해역시험: 자체평가

결과

■ 활용 장비

- 실해역시험을 통한 500m급 작업수심 확인

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
해저케이블	매설 대상	실험 전 설치
Ton generator	해저케이블 톤 공급	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
지원선	해저케이블 톤제너레이터 운용	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

- KOLAS 시험성적서를 통한 2,500m급 내압성능 확인

시험 장비	목적	비고
내압용기	검증 대상	
가압챔버	내압용기 가압	KRISO

■ 실험 결과

- 실해역시험을 통한 500m급 작업수심 확인

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
작업수심	500m	509.4m	만족

A. 시험 방법

- 계획된 실해역 시험의 모든 내용을 수심 500m 급의 해저면에서 진행함. 이상의 시험은 케이블 매설 시험 및 시험 결과 검증, 최대 전진속도 시험, 케이블 유지보수(케이블 그리핑/커팅) 시험 등을 포함함.

B. 시험 일정

- 2018년 10월 22일 - 26일

C. 시험 결과 요약

- 작업수심 500m 수준의 해저면에서 약 20시간 시험 진행
- 측정된 최대 작업수심은 509.4m임.

D. 실험 결과 상세 내용

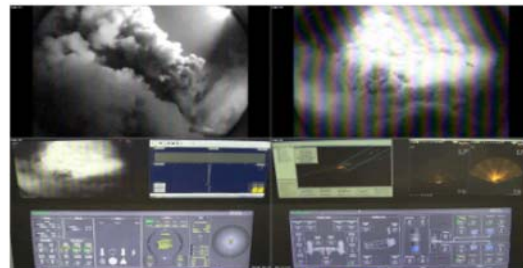
- 수심 500m 급 해저면에서 약 20 시간동안 시험을 진행하였으며, 이 결과를 통해 작업수심에 대한 정량적 목표를 검증함.
- 시험시 측정된 최대 수심은 509.4m이며, 최대매설심도 시험 진행시 기록됨



- 그 외 다양한 시험들이 수심 500m 구간의 해저면에서 진행되었으며, 구체적인 시험 내용 및 작업 수심의 결과는 다음과 같음



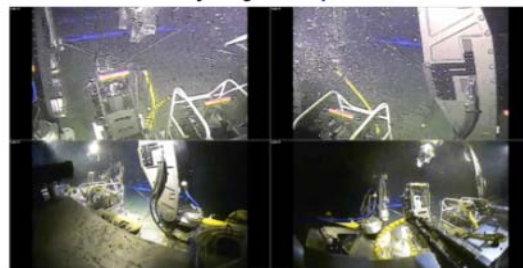
Cable burying and surveying results: **depth 509-495m**



Water-jetting test: **depth 495m**



Max. swimming speed test: **depth 504m**




Cable cutting / gripping test: **depth 507m**

• KOLAS 시험성적서를 통한 2,500m급 내압성능 확인


시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
작업수심	2,500m(250bar)	250bar	만족

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
328호 연구동 401호 1312
부산 32 (영유 171830)
Tel : 042-868-3611
Fax : 042-868-3624

성적서번호:
KRISO-2016-009
페이지(1)/(총 10)



1. 의뢰자
기관명 : 대양전기공업(주)
주소 : 부산광역시 사하구 광명로 245
의뢰일자 : 2016. 03. 15

2. 시험성적서의 품목
품목관리명

3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명

시료명	Nav. Can	Instrument1 Can
시료구분	2016-021	2016-022

4. 시험일자
2016. 03. 24 ~ 2016. 03. 25 (2일간)

5. 시험방법
ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

6. 시험환경
시험실 온도 : (18.6 ± 0.3) °C 시험실 습도 : (33.0 ± 0.1) % R.H.
* 시험환경은 시험 시작시간부터 종료시간까지의 평균임

7. 시험결과 (상세결과는 성적서 3페이지 참조)

시험항목	시료명	시료구분	결과
Hydrostatic Test	Nav. Can	2016-021	* 외벽 압구변형 및 누수 없음.
	Instrument1 Can	2016-022	

* 이 성적서는 의뢰자가 제공한 자료로 시험한 결과로서 견제 제동에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
* 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 목적으로 사용될 수 없으며, 용도이외의 사용을 금합니다.

작성자 : 김진민 기술책임자 : 이승국
성명 : 김진민 성명 : 이승국

위 성적서는 국제시험기관인용협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인용협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국연구기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

발급일자 : 2016년 04월 25일

한국연구기구 인용 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소장 (인)

KRISO-QP-22-01 1/4 (1) 제정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
328호 연구동 401호 1312
부산 32 (영유 171830)
Tel : 042-868-3611
Fax : 042-868-3624

성적서번호:
KRISO-2016-009
페이지(2)/(총 10)



[시험성적서내역]

1. 시험정보

시료명	의뢰명	시료구분	용수압력 (kPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
Nav. Can	-	2016-021	25,000	295.4(D) x 458.4(L)	AL6061-T6	29.4
Instrument1 Can	-	2016-022	25,000	295.4(D) x 459.5(L)	AL6061-T6	36.4

2. 시험장비

장비명	형명(모델명)	사양	가압매질	교정일
고압용시험장비	MOERH6000CIP	압력 : (0 ~ 60 000) kPa	청수 (Fresh Water)	2016.02.29 (압력센서에 의해 소급의 유효)

3. 시험방법

ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

4. 시험항목

○ 27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test
All externally-pressurized pressure hulls or PVHCs are to be externally hydrostatically proof tested in the presence of the Surveyor to a pressure equivalent to a depth of 1.25 times the design depth for two cycles.

* 시험압력 : 31 250 kPa 이상 (용수압력(25 000 kPa)의 1.25배)
* 압력지속 시간 : 1 800 s

KRISO-QP-22-01 2/4 (1) 제정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
328호 연구동 401호 1312
부산 32 (영유 171830)
Tel : 042-868-3611
Fax : 042-868-3624

성적서번호:
KRISO-2016-010
페이지(1)/(총 10)



1. 의뢰자
기관명 : 대양전기공업(주)
주소 : 부산광역시 사하구 광명로 245
의뢰일자 : 2016. 03. 30

2. 시험성적서의 품목
품목관리명

3. 시험대상품목 또는 물질, 시료명

시료명	Instrument2 Can	Power Can
시료구분	2016-024	2016-025

4. 시험일자
2016. 03. 31 (1일간)

5. 시험방법
ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

6. 시험환경
시험실 온도 : (19.5 ± 1.1) °C 시험실 습도 : (35.5 ± 1.6) % R.H.
* 시험환경은 시험 시작시간부터 종료시간까지의 평균임

7. 시험결과 (상세결과는 성적서 3페이지 참조)

시험항목	시료명	시료구분	결과
Hydrostatic Test	Instrument2 Can	2016-024	* 외벽 압구변형 및 누수 없음.
	Power Can	2016-025	

* 이 성적서는 의뢰자가 제공한 자료로 시험한 결과로서 견제 제동에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
* 이 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용 목적으로 사용될 수 없으며, 용도이외의 사용을 금합니다.

작성자 : 김진민 기술책임자 : 이승국
성명 : 김진민 성명 : 이승국

위 성적서는 국제시험기관인용협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인용협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국연구기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

발급일자 : 2016년 04월 25일

한국연구기구 인용 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소장 (인)

KRISO-QP-22-01 1/4 (1) 제정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

KOLAS 시험성적서



한국해양과학기술원 부설
선박해양플랜트연구소
328호 연구동 401호 1312
부산 32 (영유 171830)
Tel : 042-868-3611
Fax : 042-868-3624

성적서번호:
KRISO-2016-010
페이지(2)/(총 10)



[시험성적서내역]

1. 시험정보

시료명	의뢰명	시료구분	용수압력 (kPa)	크기 (mm)	재료	중량 (kg)
Instrument2 Can	-	2016-024	25,000	295.4(D) x 458.4(L)	AL6061-T6	37.7
Power Can	-	2016-025	25,000	346.8(D) x 744.5(L)	AL6061-T6	77.5

2. 시험장비

장비명	형명(모델명)	사양	가압매질	교정일
고압용시험장비	MOERH6000CIP	압력 : (0 ~ 60 000) kPa	청수 (Fresh Water)	2016.02.29 (압력센서에 의해 소급의 유효)

3. 시험방법

ABS Rules for Building and classing Underwater vehicles, systems and hyperbaric facilities(2015) SECTION 6 Metallic Pressure Boundary Components
27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test

4. 시험항목

○ 27. Proof Testing(2015) 27.1 Hydrostatic Test
All externally-pressurized pressure hulls or PVHCs are to be externally hydrostatically proof tested in the presence of the Surveyor to a pressure equivalent to a depth of 1.25 times the design depth for two cycles.

* 시험압력 : 31 250 kPa 이상 (용수압력(25 000 kPa)의 1.25배)
* 압력지속 시간 : 1 800 s

KRISO-QP-22-01 2/4 (1) 제정일자(2012.07.04) / 개정일자(2014.02.26)

■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-최종-②	담당 기관	전 참여기관
성과목표	매설 심도	성과지표	매설 심도
목표값	3m	달성값	3.03m
날짜	2018.10.23.-26.	장소	동해 실해역
평가방법	실측	검증 여부	내압시험: 제3자 검증 실해역시험: 자체

결과

■ **활용 장비**

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
해저케이블	매설 대상	실험 전 설치
Ton generator	해저케이블 톤 공급	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
지원선	해저케이블 톤제너레이터 운용	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

■ **실험 결과**

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
매설심도	3m	3.03m	만족

A. 시험 방법

a. 시험 진행 일정:

- 최대 매설 심도 정량적 목표 검증 시험: 2018년 10월 23일
- 3m 매설 작업성 시험: 2018년 10월 25일
- 3m 매설 결과 서베이: 2018년 10월 26일

b. 시험 방법:

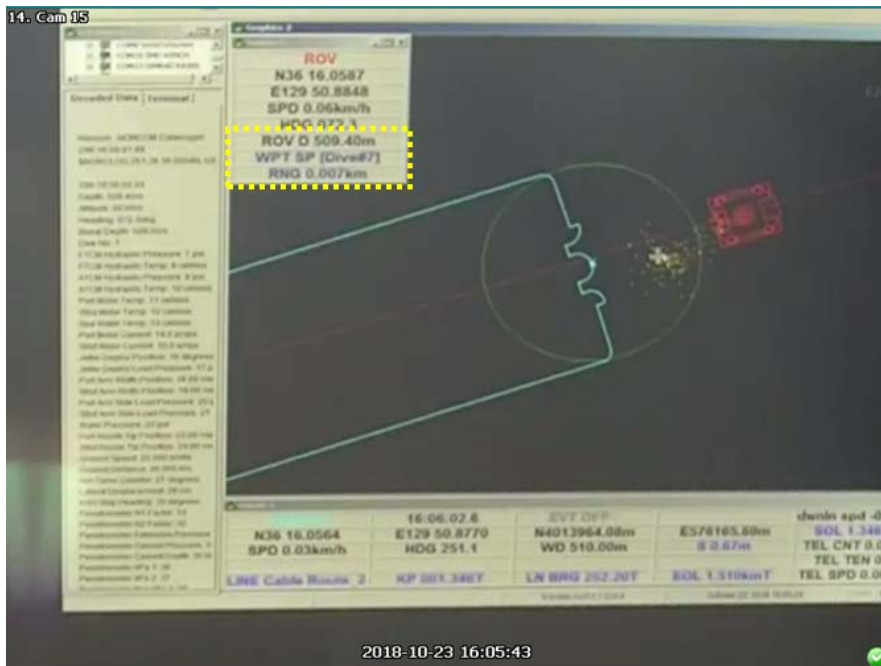
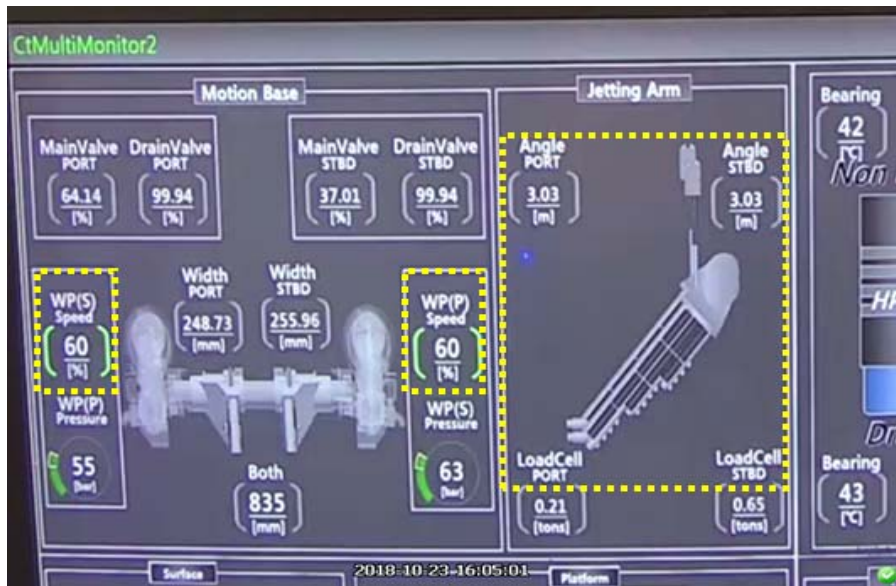
- 최대 3m 매설 심도 정량적 목표 검증 시험: 워터젯시스템을 3m 깊이로 매설작업을 하면서 5m 이상 거리 이동(상세한 방법은 시험계획서 참조)
- 3m 매설 작업성 시험: 약 100m 구간에 대해 3m 깊이 매설 시험 진행함. 필요시 반복 트렌칭을 통해 최종 3m 깊이까지 트렌칭함. 본 실험에서는 3회의 트렌칭을 통해 목표 깊이까지 트렌칭했으며, 1회에서는 약 1.2m 깊이, 2회에서는 약 2.2m, 3회에서 최종 깊이인 3m까지 매설함.

B. 최대 매설 심도 정량적 목표 검증 시험 결과 요약

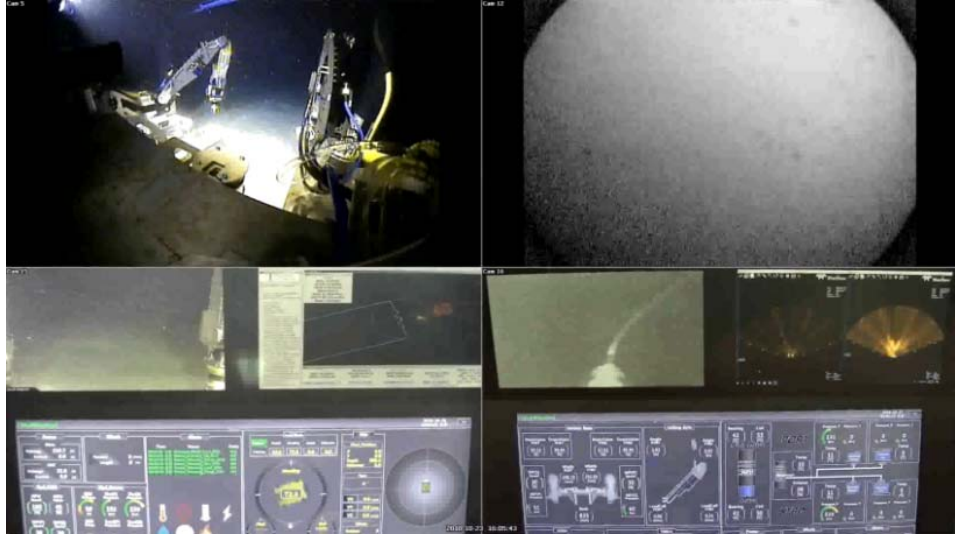
- 매설심도 3.03m로 약 7미터 거리를 성공적으로 트렌칭함.

C. 최대 매설 심도 정량적 목표 검증 시험 결과 상세 내용

- 수심 약 509m 구간에서 진행하였으며, 트렌칭이 되지 않은 지면에 대해 제팅암을 최대로 deploy시킨 상태(매설심도 3.03m)에서 트렌칭을 진행하면서 약 7m 이동함. 그 결과, 최대 매설 심도 관련 정량적 목표를 만족하는 결과를 획득함.
- 아래 그림은 최대매설심도 시험 시 GUI를 통해 확인한 URI-T의 상태정보이며, 제팅암이 3.03m deploy된 상태에서 워터젯 분사압 60% 수준으로 매설작업을 진행 중임을 확인할 수 있음.
- 또한, 아래 두 번째 그림에서 매설 시 진행거리가 약 7m(RNG: 0.007km)임을 확인할 수 있음.

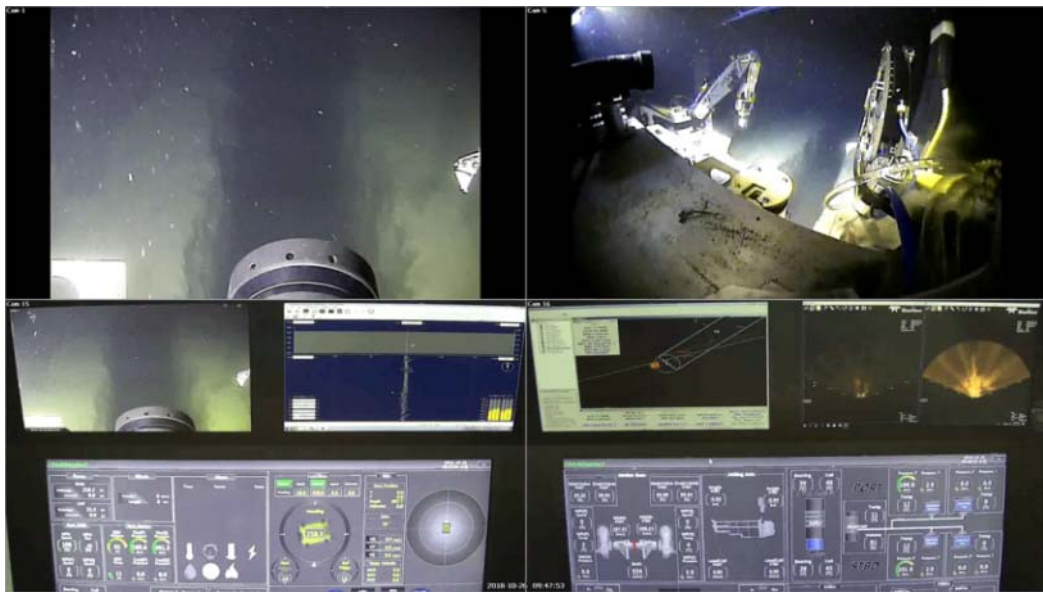


- 아래 그림은 최대 매설심도 정량적 목표 평가 수행시 작업모습을 나타낸 그림임. 아래 그림의 좌측 상단에서 전방카메라의 모습을 확인할 수 있으며, 우측 상단에서 후방카메라의 모습을 확인할 수 있음. 후방카메라의 경우, 워터젯 분사 시 발생하는 부유물에 의해 시야가 매우 제한되며 작업모습을 육안으로 확인하기 어려움.

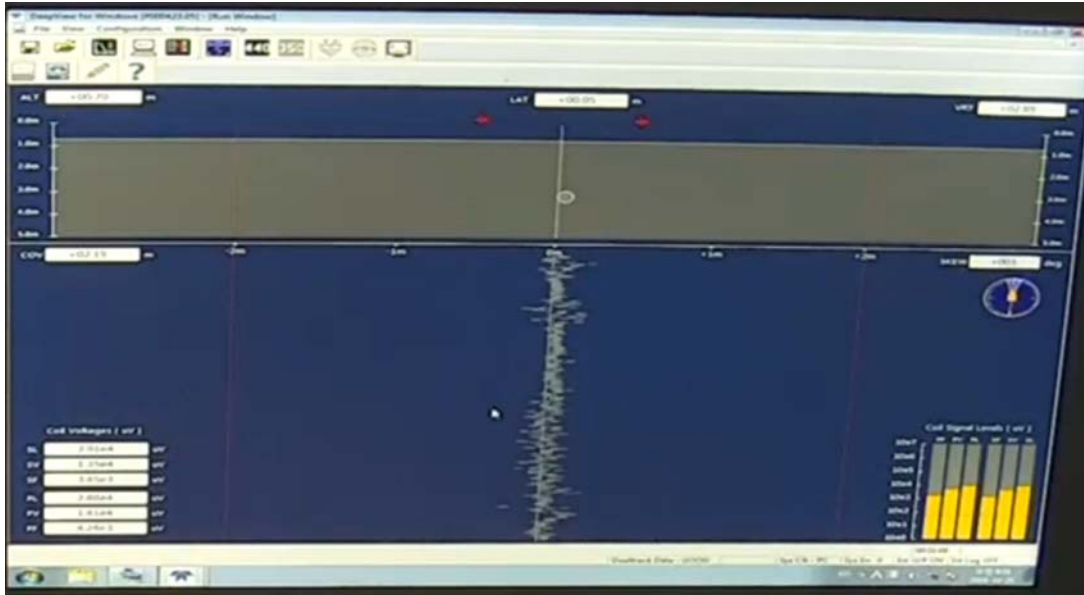


D. 3m 매설 작업성 시험 결과

- 수심 499m-495m의 해저면에서, 약 100m 거리 구간에 대해 3회의 트렌칭을 통해 3m 깊이로 매설하는 작업을 수행함으로써 3m 매설 작업성 시험을 수행함. 1회 약 1.2m 깊이, 2회 약 2.2m, 3회 3.03m로 총 3회의 트렌칭을 통해 매설 깊이 3.03m를 확보하였으며, 매설 거리는 약 100m 구간을 진행함.
- 아래 그림은 3m 깊이 매설 결과를 서베이하는 모습을 나타냄. 아래 그림의 위쪽 좌우화면에서 3m 깊이 매설 결과를 육안으로 확인할 수 있음. 트렌칭을 통해 깊은 골짜기가 일정한 폭으로 생성되었음을 확인할 수 있음.



- 아래 그림은 위 매설결과 화면 중 TSS 350센서(케이블 위치 감지 센서)의 결과화면을 따로 도식한 그림임. 아래 그림으로부터, 해저케이블이 해저면에서 약 2.4m 깊이로 매설되어 있음을 확인할 수 있음.



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-최종-㉓	담당 기관	전 참여기관
성과목표	매설 속도	성과지표	매설 속도
목표값	2km/hr	달성값	2.24km/hr
날짜	2018.10.24.-25.	장소	동해 실패역
평가방법	실측	검증 여부	3차 검증

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
해저케이블	매설 대상	실험 전 설치
톤제네레이터	해저케이블 톤 공급	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
지원선	해저케이블 포설 및 톤제네레이터 운용	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
매설속도	2km/hr	2.24km/hr	만족

A. 시험 방법

a. 시험 진행 일정:

- 최대 매설 속도 정량적 목표 평가 시험: 2018년 10월 24일
- 1m 매설 작업성 시험: 2018년 10월 24일
- 매설 결과 서베이: 2018년 10월 25일

b. 시험 방법:

- 최대 매설 속도 정량적 목표 평가 시험: 매설 깊이 1m 수준에서 최대 속도로 매설작업을 진행하면서 30m 이상 이동거리에 대해 평균 매설 속도를 측정함(상세한 방법은 시험계획서 참조)
- 1m 매설 작업성 시험: 약 100m 구간에 대해 1m 깊이 매설 시험 진행함. 1회의 트랜칭을 통해 1m 깊이까지 매설함.

B. 최대 매설 속도 정량적 목표 검증 시험 결과 요약

- 매설 깊이 1m 이상으로 트랜칭하면서 34.25m의 거리를 2.24km/hr의 속도로 매설 성공함.

C. 최대 매설 속도 정량적 목표 검증 시험 결과 상세 내용

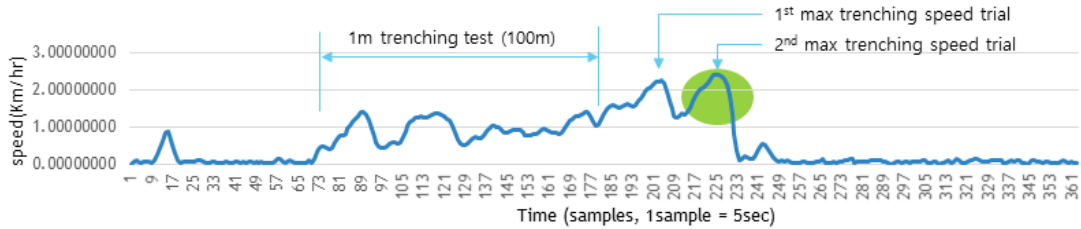
- 수심 약 502m-499m 해저면에서 최대매설속도 시험을 진행하였으며, 매설깊이 1m로 트렌칭하면서 34.25m의 거리를 2.24km의 속도로 매설 진행한 결과를 획득함.
- 아래 그림은 매설 속도 시험 시 ROV의 상태를 나타내는 그림으로 순간 최대 매설 속도가 3.1km/hr로 기록됨을 확인할 수 있음.



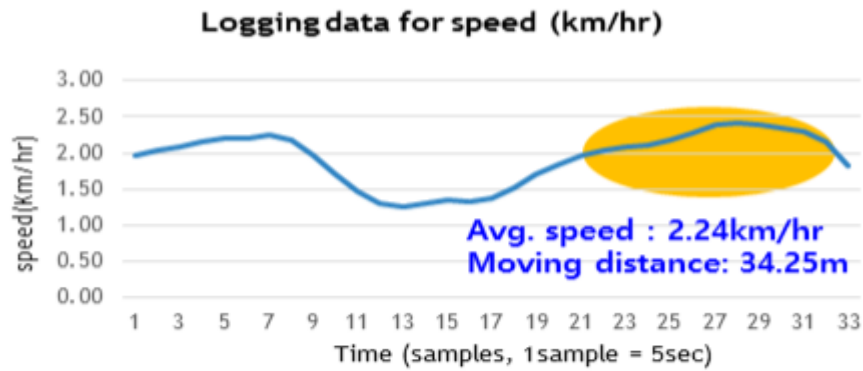
- 아래 그림은 위 결과와의 동일 시간대에 워터젯 분사 상태를 확인할 수 있는 그림으로, 제팅 암이 1m 이상 깊이로 배치되어 있으며(port측 1.01m, starboard측 1.06m) 워터젯 분사 출력 100%로 매설 작업 진행 중임을 확인할 수 있음.



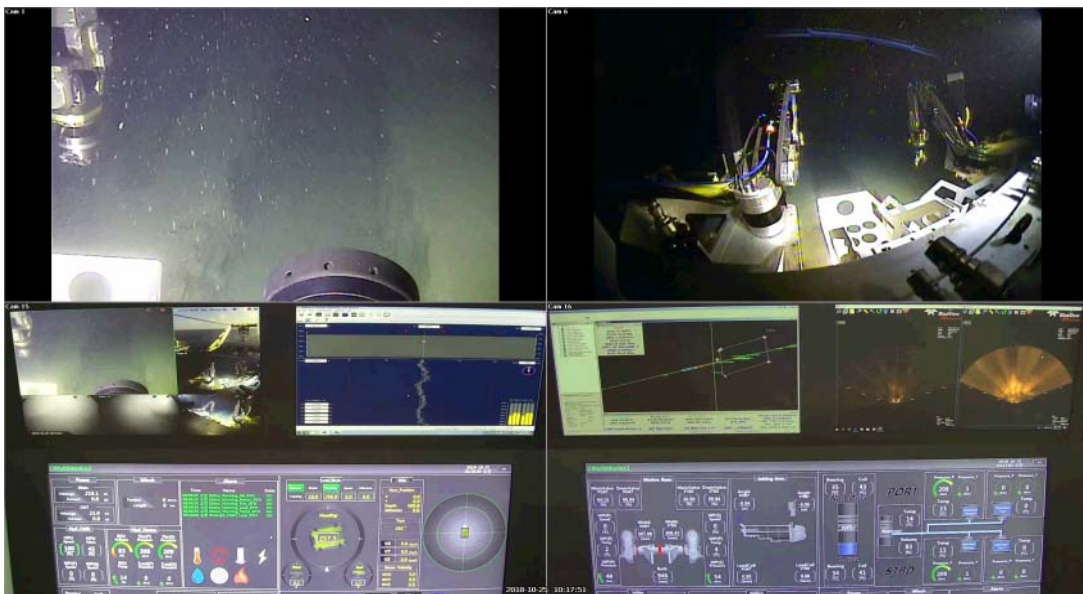
- 아래 그림은 선박에서 관측 및 로깅된 URI-T의 속도 프로파일을 나타냄. 초반에 약 100m 구간에서 1m 깊이 매설 작업성 시험을 진행하였으며, 이후 2회에 걸쳐 최대 매설속도 시험을 진행한 결과임.

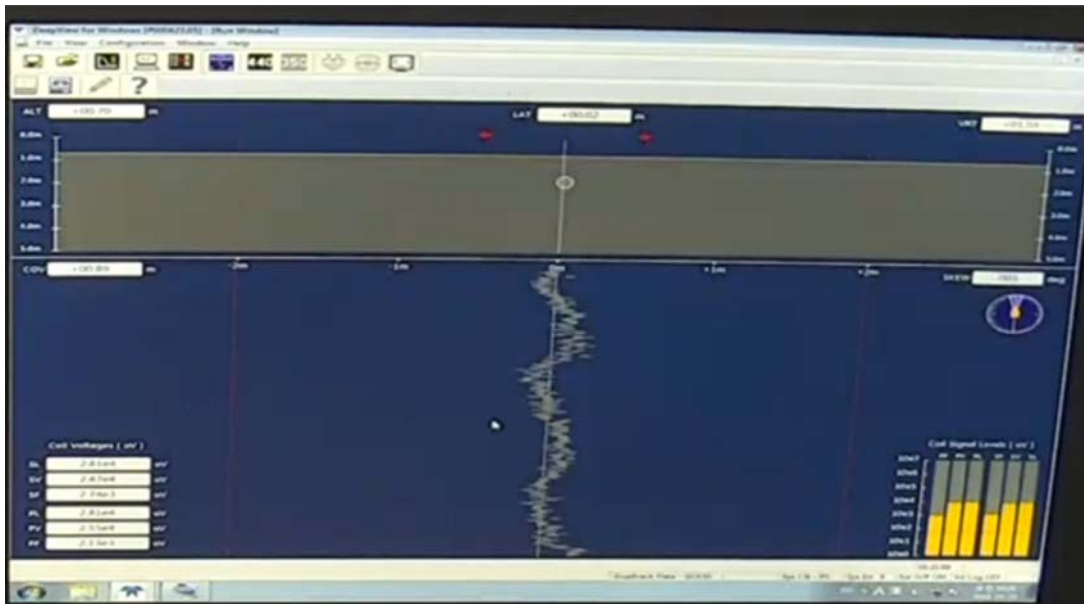


- 최대 매설속도 시험 두 번째 결과를 좀 더 확대해보면 아래 그래프와 같으며, 표시된 구간에서 약 34.25m의 거리를 2.24km/hr의 평균속도로 매설작업을 진행했음을 확인할 수 있음.



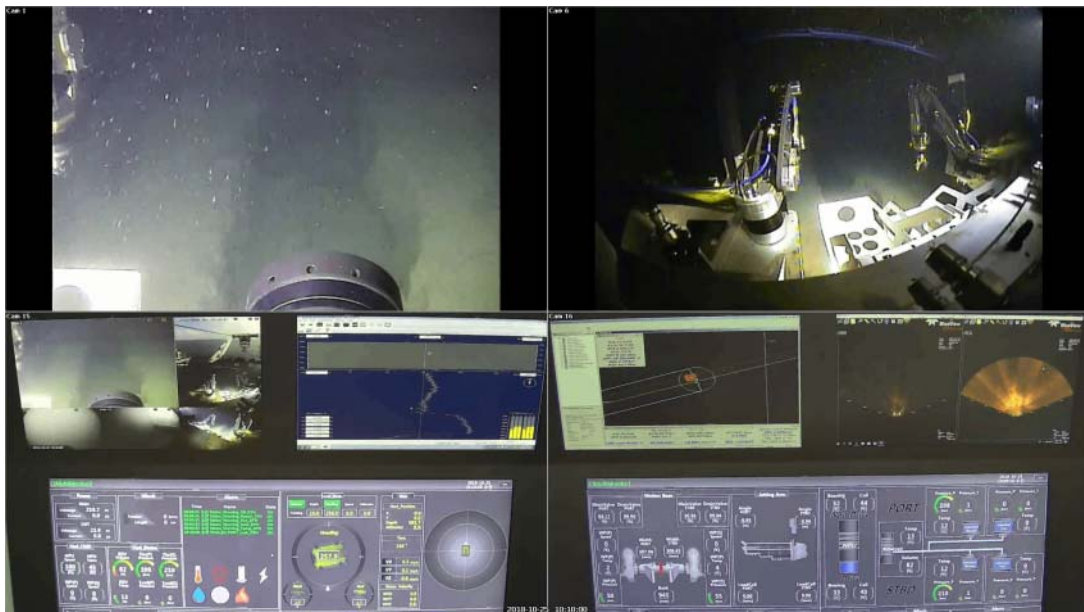
- 아래 그림은 매설 결과를 확인하기 위해 서베이작업을 진행하는 모습임. 1m 깊이 트랜칭의 결과로 고랑이 일정하게 생성된 모습을 영상에서 확인할 수 있음. 또한, TSS 350(케이블 위치 감지 센서)으로 확인한 결과 케이블이 약 0.8m 수준으로 매설되어 있음을 확인할 수 있음.

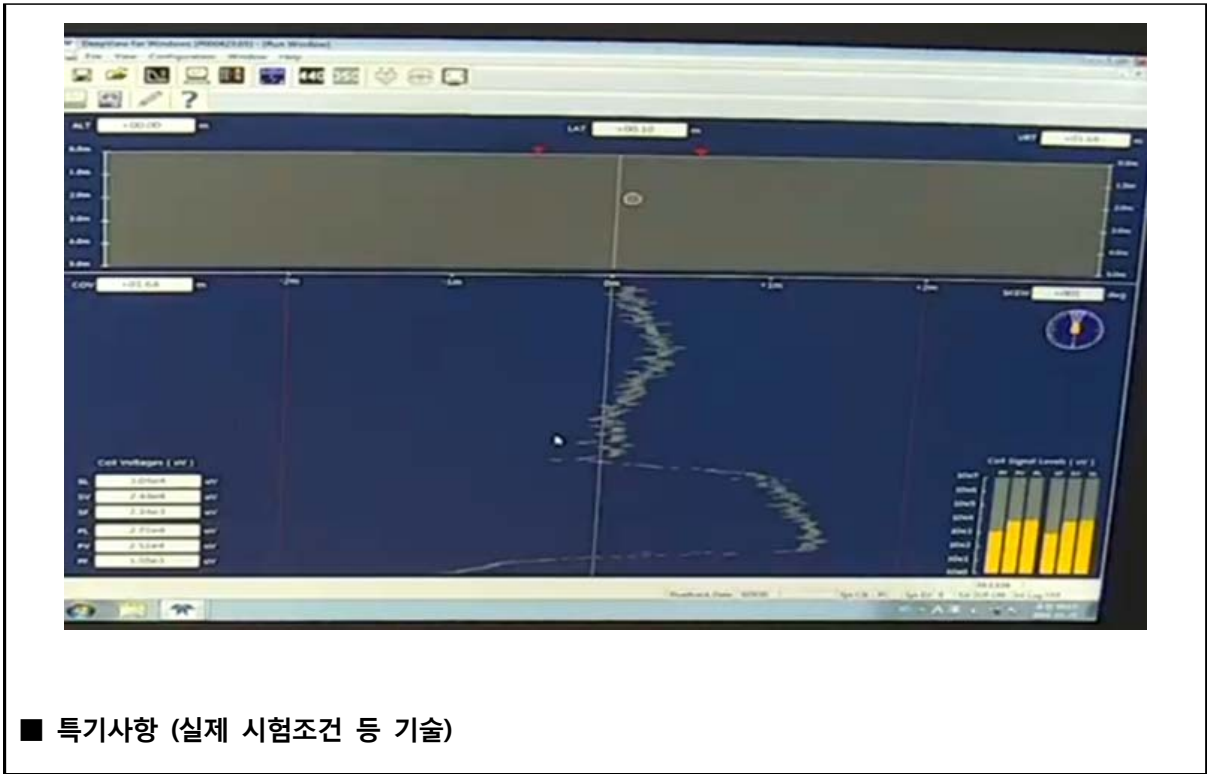




D. 1m 매설 작업성 시험 결과

- 수심 504m-502m의 해저면에서, 약 100m 거리 구간에 대해 1m 깊이로 매설하는 작업을 수행함으로써 매설 작업성 시험을 수행함. 아래 그림은 매설 결과를 확인하기 위해 서베이 작업을 진행하는 모습임. 1m 깊이 트랜칭의 결과로 고랑이 일정하게 생성된 모습을 영상에서 확인할 수 있음. 또한, TSS 350(케이블 위치 감지 센서)으로 확인한 결과 케이블이 약 0.8m 수준으로 매설되어 있음을 확인할 수 있음.





번호	2핵심-최종-④	담당 기관	전 참여기관
성과목표	전진 속도	성과지표	전진속도
목표값	3knots	달성값	3.12knots
날짜	2018.10.23	장소	동해 실패역
평가방법	실측	검증 여부	3자 검증

결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
운용선박 및 관련 설비	URI-T운용, 전원, 테더케이블 관리	
USBL	수중로봇 URI-T 수중 절대위치 파악	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
전진속도	3knots	3.12knots	만족

A. 시험 방법

- 시험 진행 일정: 2018년 10월 23일
- 시험 방법: URI-T를 해저면에서 약 16m 부양시킨 상황에서 최대 추진력을 이용하여 전진시키면서 30m 이상 구간에 대해 평균속도를 측정함(상세 내용은 시험계획서 참조)

B. 최대 전진 속도 정량적 목표 검증 시험 결과 요약

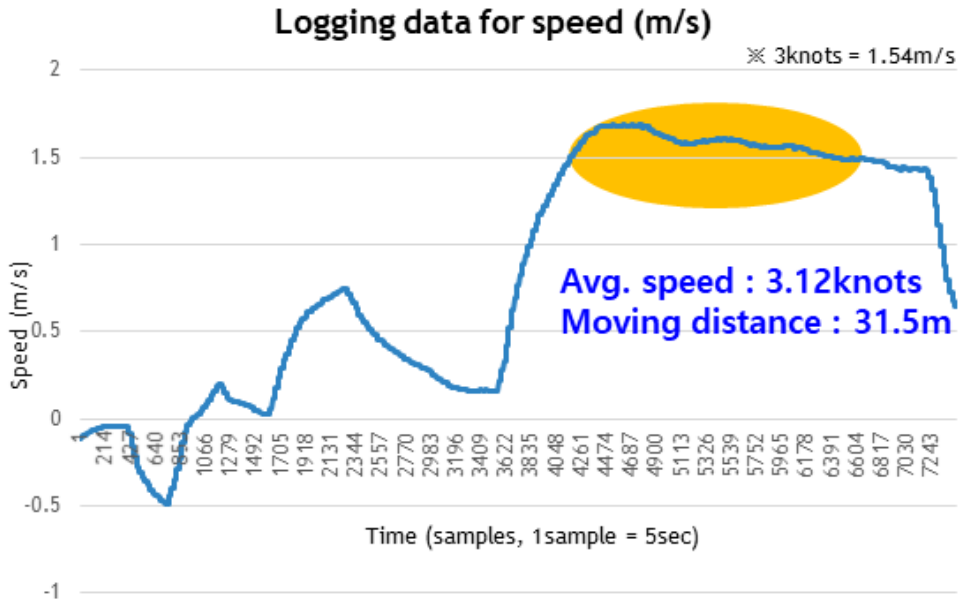
- 31.5m의 거리를 평균 3.12knots의 속도로 전진 성공함.

C. 최대 전진 속도 정량적 목표 검증 시험 결과 상세 내용

- 수심 약 504m 해저에서 엠빌리컬을 이용하여 URI-T를 지면에서 약 16m 수준으로 부양시킴. 이후 최대 속도 시험을 수행한 결과, 31.5m의 거리를 평균 3.12knots의 속도로 전진하는 시험 결과를 얻음.
- 아래 그림은 최대 전진 속도 시험 결과를 나타낸 것으로, 순간 최대 속도가 6.1km/hr에 이르는 것으로 확인되었으며, 단위를 환산하면 3.29knots임.



- 아래 그림은 선박에서 로깅된 URI-T의 속도정보를 도시한 그림임. 아래 그림의 표시된 영역에서 31.5m의 거리를 평균 3.12knots(5.78km/hr)의 속도로 전진했음을 확인할 수 있음.



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

번호	2핵심-최종-⑤	담당 기관	대양전기공업
성과목표	작업 하중	성과지표	작업 하중
목표값	500kg	달성값	540kg
날짜	2018.11.22	장소	수조
평가방법	실측	검증 여부	자체평가
결과			

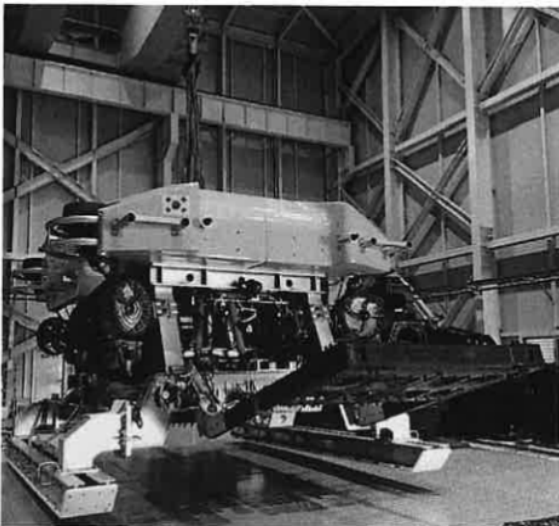
■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-T 세트	검증 대상	
크레인 저울	작업하중 측정	
호이스트	플랫폼 이동 및 입수	

■ 실험 결과

시험항목	평가기준	시험결과	평가결과
작업하중	500kg	540kg	만족

- 시험 대상 플랫폼 공중 무게 확인 : 21,280 kg



- 수중 무게(작업 하중) 확인 540 kg



- 자력 부상 여부 확인



■ 특기사항 (실제 시험조건 등 기술)

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
6차년도 (2018년)	플랫폼 작동성능	작업수심	500m	10	국내적용조건 고려 (세계 통계기준 76% 수준)	실측	100
		이동가능 지반	25kPa	10	서남해 해저 퇴적토층 최소기준	실측(육상/해상)	100
		작업가능 지반	20MPa	10	제주인근 해저표층 압축강도 기준으로 조정	실측(육상/해상)	100
		주행 속도	2km/h	10	유사 기종인 T2 (Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상/해상)	100
	틀작업성능	매설심도	2m	20	Carbon trust BPI 1.5m이상 조건	실측(육상/해상)	100
		매설폭	0.5m	20	최대 22인치 매설조건 (세계 통계기준 99% 이상)	실측(육상/해상)	100
		트랜칭 속도	300m/h	10	유사 기종인 T2 (Deep Ocean) 성능 기준	실측(육상/해상)	100
		트랜칭시 직진유지성능	3°	5	유사장비 기준없음	실측(해상)	100
		운영실	설계도면	도면 1건	5	-	실측(도면)

번호	3핵심-6차년도-①	담당 기관	KIOST
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	작업수심
목표값	500m	달성값	513m
날짜	2018-10-16	장소	실해역
평가방법	실측	검증 여부	제3자 검증

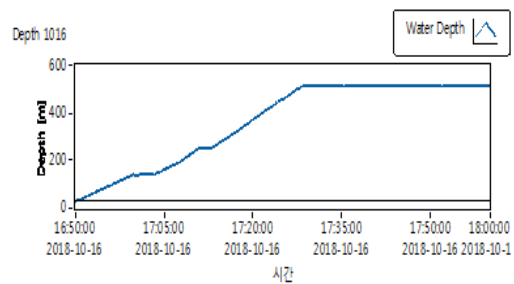
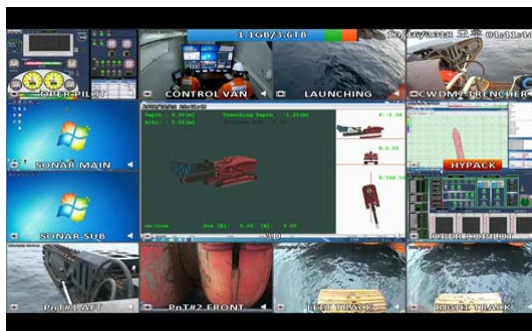
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
수심 센서	장비의 현재 수심 확인	
광학영상카메라	장비의 정상작동 확인	

■ 실험 결과

- 작업수심 목표치까지 장비를 입수하고 장비의 모든 기능이 정상적으로 작동하는지 확인함.
- 수심센서를 이용하여 장비의 현재 수심상태를 확인하였고, 목표수심에서 장비의 각 구동부를 작동하고 정상작동 유무를 확인하기 위하여 광학영상카메라로 관찰하였음.
- 성능시험 결과 최대 수심 513m까지 입수하였고, 해당 수심에서 URI-R의 각 구동부가 정상적으로 작동함을 확인하였음.



최대 작업수심 513m (6차년도 달성)

■ 특기사항

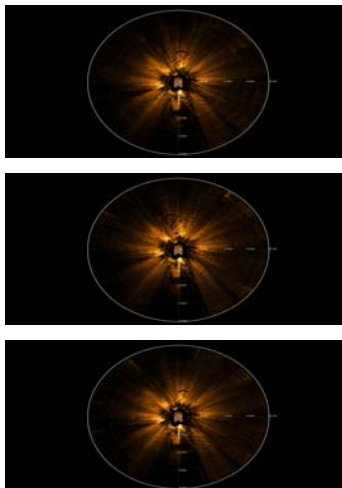
번호	3핵심-6차년도-②	담당 기관	KIOST, DHS, KIRO
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	이동가능 지반
목표값	25kPa	달성값	14kPa
날짜	2018-10-15	장소	실해역
평가방법	실측	검증 여부	제3자 검증
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
이미징 소나	장비 이동 결과 확인	

■ 실험 결과

- 사업단 선조사하여 해저지반 전단강도가 14kPa인 지역에서 URI-R의 이동성을 확인함.
- 해당 지역에 URI-R을 착저한 후 기동 수행, 이때 획득되는 이미징 소나 영상을 통하여 이동성을 확인함.
- 성능시험 후 암반지역의 트랜칭작업 결과를 광학영상으로 확인하였고, 회수된 암석은 화강암으로 압축강도는 85MPa로 확인되었음.
- 성능시험 결과 해저지반 전단강도 14kPa(사업단 선조사 결과)인 지역에서 이미징 소나 영상 결과로 이동이 가능함을 확인하였음.



이동가능지반 실험당시 소나영상 및 지반 전단강도 **14kPa** (6차년도 달성)

■ 특기사항

번호	3핵심-6차년도-③	담당 기관	KIOST, DHS, KIRO, SY
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	작업가능 지반
목표값	20MPa	달성값	85MPa
날짜	2018-10-13(실측), 16(시연)	장소	실해역
평가방법	실측, 시연	검증 여부	제3자 검증
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
광학영상카메라	작업결과 확인	
1축 압축강도 시험기	작업지역의 암석 강도 확인	

■ 실험 결과

- 해저지반이 암반으로 구성된 실해역(왕돌초 인근지역)에서 트랜칭 작업을 수행함.
- 암반 지역에서 트랜칭 작업된 결과를 확인하고자 광학영상카메라를 활용하였고, 작업 시 URI-R을 통하여 회수된 암석을 1축 압축강도 시험기를 이용해 그 강도를 확인하였음.
- 성능시험 후 암반지역의 트랜칭작업 결과를 광학영상으로 확인하였고, 회수된 암석은 화강암으로 압축강도는 85MPa로 확인되었음.



Point	1
Section	429x170
Section	2013
Depth (h)	mm
Depth (h)	mm
Force (F)	N
Force (F)	N
Area (A)	mm ²
Area (A)	mm ²
σ _{pl}	MPa
σ _{pl}	MPa
σ _{pl}	MPa
σ _{pl}	MPa

암반지역 트랜칭 작업결과 및 회수된 화강암 압축강도 85MPa (6차년도 달성)

■ 특기사항

번호	3핵심-6차년도-④	담당 기관	KIOST, KIRO, KMOU
성과목표	플랫폼 작동성능	성과지표	주행속도
목표값	2km/h	달성값	(육상) 2.6km/h (해상) 2.3km/h
날짜	2018-07-06 (육상) 2018-10-11 (해상)	장소	육상, 실해역
평가방법	실측	검증 여부	자체 (육상) / 제3자 검증 (해상)

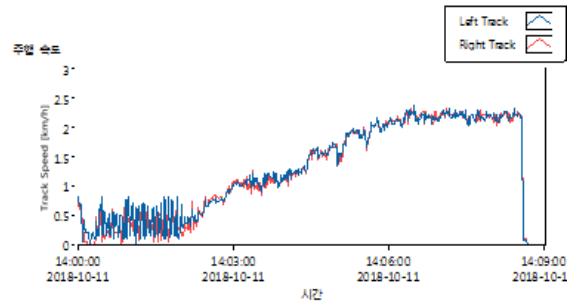
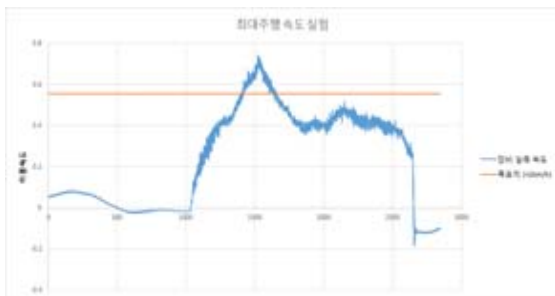
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
GPS	주행속도 측정 (육상)	
주행모터 내부 엔코더	주행속도 측정 (해상)	

■ 실험 결과

- 육상의 경우 URI-R에 GPS를 장착하고 주행속도를 측정함.
- 해상의 경우 주행모터의 엔코더값을 이용하여 장비의 주행속도를 측정하였음.
- 성능시험 결과 2.6km/h(육상), 2.3km/h(해상)의 최대 주행속도를 확인하였음.



육상 주행속도 : 최대 **2.6km/h** (6차년도 달성)

해상 주행속도 : 최대 **2.3km/h** (6차년도 달성)

■ 특기사항

번호	3핵심-6차년도-⑤	담당 기관	KIOST, KIRO, SY
성과목표	툴작업성능	성과지표	매설심도
목표값	2m	달성값	(육상) 2.03m (해상) 2.7m
날짜	2018-07-16 (육상) 2018-10-12 (해상)	장소	육상 / 실해역
평가방법	실측	검증 여부	자체 (육상) / 제3자 검증 (해상)

결과

■ 활용 장비

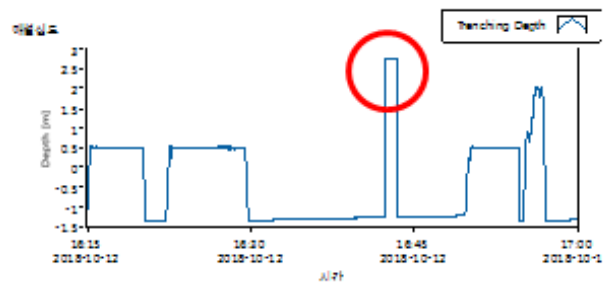
시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
줄자	육상에서 매설심도 실측	
LVDT	길이정보를 통한 매설심도 확인	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터의 매설심도 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 중 최대심도까지 트랜칭작업을 하고 육상의 경우 줄자로 그 결과를 실측, 해상의 경우 붐실린더 내부에 장착된 LVDT를 이용하여 매설심도 확인
- 성능시험 결과 2.03m(육상), 2.7m(해상)의 매설심도를 확인하였음.



육상 매설심도 2.03m (6차년도 달성)



해상 매설심도 2.7m (6차년도 달성)

■ 특기사항

번호	3핵심-6차년도-⑥	담당 기관	KIOST, KIRO, SY
성과목표	틀작업성능	성과지표	매설폭
목표값	0.5m	달성값	0.6m (육상) 0.96m (해상)
날짜	2018-07-16 (육상) 2018-10-13 (해상)	장소	육상 / 실해역
평가방법	실측	검증 여부	자체 (육상) / 제3자 검증 (해상)

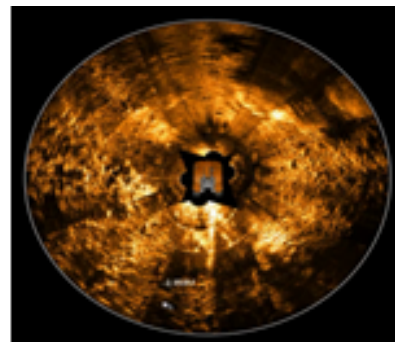
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
줄자	육상에서 매설폭 실측	
이미징 소나	소나영상을 통한 매설폭 확인	

■ 실험 결과

- 트랜칭커터의 매설폭 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 중 트랜칭작업을 완료하고 육상의 경우 줄자로 그 결과를 실측, 해상의 경우 이미징 소나에서 측정되는 거리값을 이용하여 매설폭 확인
- 성능시험 결과 0.6m(육상), 0.96m(해상)의 매설폭을 확인하였음.



육상 매설폭 0.6m (6차년도 달성)

해상 매설폭 0.96m (6차년도 달성)

■ 특기사항

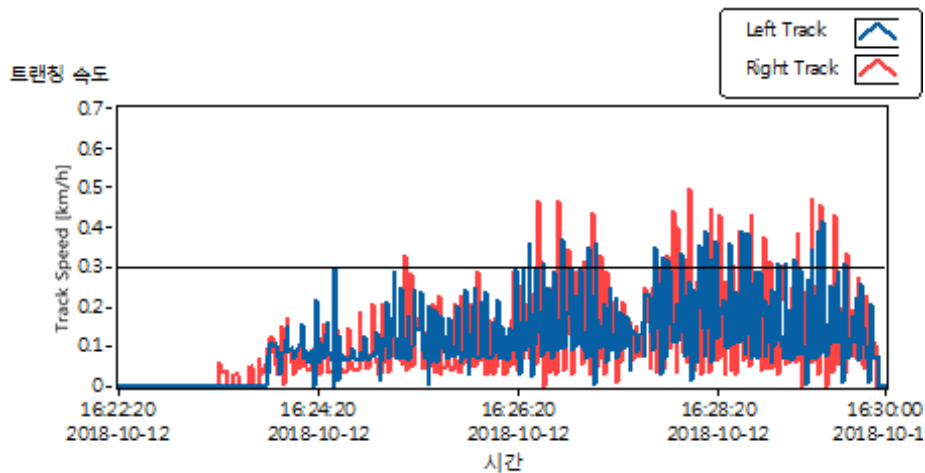
번호	3핵심-6차년도-⑦	담당 기관	KIOST, KIRO, KMOU, SY
성과목표	툴작업성능	성과지표	트랜칭 속도
목표값	300m/h	달성값	(해상) 530m/h
날짜	2018-10-13 (해상)	장소	실해역
평가방법	실측	검증 여부	제3자 검증
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
주행모터 내부 엔코더	트랜칭 속도 측정	

■ 실험 결과

- 트랜칭 속도의 성능을 검증하기 위하여 실험 수행
- 실험 시 트랜칭 작업을 지속적으로 수행하며 장비 전진하였음. 이때 장비의 전진속도를 측정함으로써 트랜칭속도를 확인함.
- 성능시험 결과 트랜칭 최대속도 530m/h를 확인하였음.



트랜칭 최대속도 530m/h (6차년도 달성)

■ 특기사항

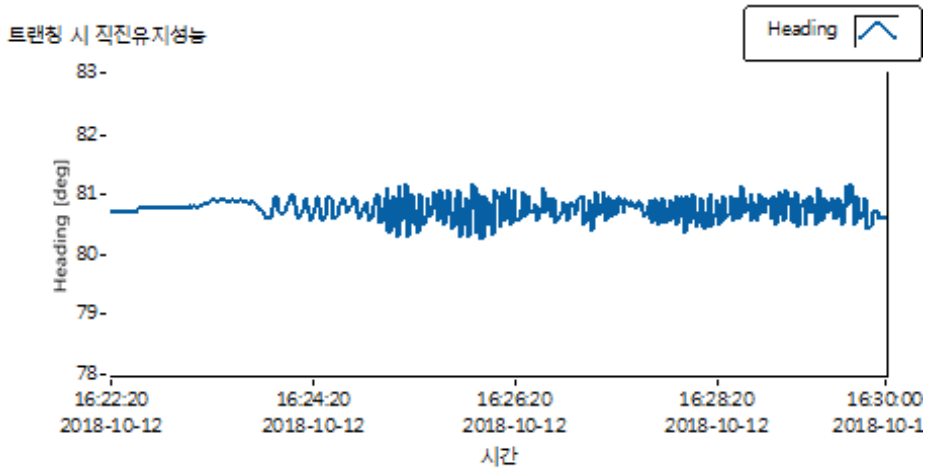
번호	3핵심-6차년도-⑧	담당 기관	KIOST, KIRO, KMOU, SY
성과목표	틀작업성능	성과지표	트랜칭 시 직진유지성능
목표값	3°	달성값	(해상) 2.18°
날짜	2018-10-12 (해상)	장소	실해역
평가방법	실측	검증 여부	제3자 검증
결과			

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
URI-R	개발장비	
자세센서	장비의 헤딩각 측정	

■ 실험 결과

- 트랜칭 작업 시 직진성을 유지하는 것을 검증하기 위하여 실험을 수행
- 실험 시 트랜칭 작업을 지속적으로 수행하며 장비는 전진하였음. 이때 장비에 장착된 자세센서로 헤딩각을 측정하여 직진유지성능을 확인함.
- 성능시험 결과 트랜칭 시 최대 헤딩 변화각은 2.18°를 보였음.



트랜칭 시 최대 헤딩 변화 2.18° (6차년도 달성)

■ 특기사항

번호	3핵심-6차년도-⑨	담당 기관	CNU
성과목표	운영실	성과지표	설계도면
목표값	도면 1건	달성값	달성
날짜	2018-10-02	장소	육상
평가방법	실측	검증 여부	자체

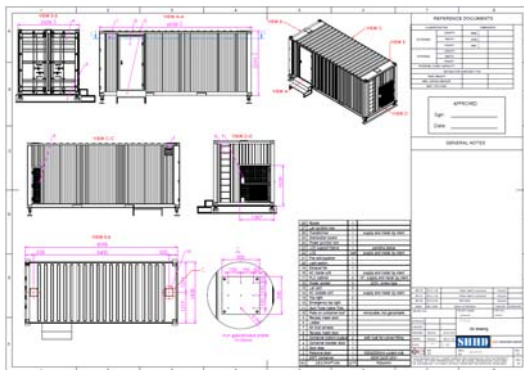
결과

■ 활용 장비

시험 장비	목적	비고
운영실	제작 결과물	
설계도면	제작 설계도	

■ 실험 결과

- 설계도면에 제시된 운영실 상태와 실제 제작된 운영실을 비교하였음
- 운영실 컨테이너 상태, 운전자가 장시간 앉아서 작업을 해야하는 운영실 시트, 개발장비와 운영실간의 전원 및 통신 접속을 위한 J-plate 등에 대하여 실물-도면을 비교하였음.
- 설계 도면과 제작된 실물은 동일함을 확인하였음.



운영실 도면



운영실 제작



운영실 시트 도면



운영실 시트 제작



J-Plate 도면



J-Plate 제작

■ 특기사항

□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	가중치 (%)	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	달성치
6차년도 (2018년)	실증실험 수행 및 관련 매뉴얼 작성	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행	100%	80	실해역 실험 수행 및 매뉴얼 작성	매뉴얼	100
	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련	100%	20	기술이전 추진 계획 수립	보고서	100

번호	총괄과제-6차년도-1	담당 기관	KIOST
성과목표	실증실험 수행 및 관련 매뉴얼 작성	성과지표	성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2018.10.01.	장소	-
평가방법	매뉴얼	검증 여부	자체

결과

■ 성능검증실험 계획 수립 및 실험 수행

KR Statement of Compliance Page 1 of 1

Statement No.: REPORT-0002-19

Date of Issue	10 January 2019	Date of Commencement	10 August 2018
Work Order No.	-	Purchase Order No.	-
Place of Inspection	District of W. Seogwipo, Seol Ima, HPSA	Office	Head Office
Manufacturer	KRISO 한국해양플랜트연구소		
Purchaser	KIOST 한국과학기술연구원		

This Statement is issued to the above client to certify that the undersigned Surveyor did at their request attend the above place for the purpose of examining and testing the items of material, equipment or any other item covered by this certificate in accordance with the manufacturer's specifications and found it satisfactory.

Serial No.	Quantity/Weight	Unit
1	1	Set(s)

Description
Verification of Performance in Real Sea (수중실용성 검증)

Particulars

1. 수중 로봇용 ROV
2. 수중 로봇용 ROV, 8000
3. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
4. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
5. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
6. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
7. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
8. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
9. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)
10. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)

Testing and Inspection

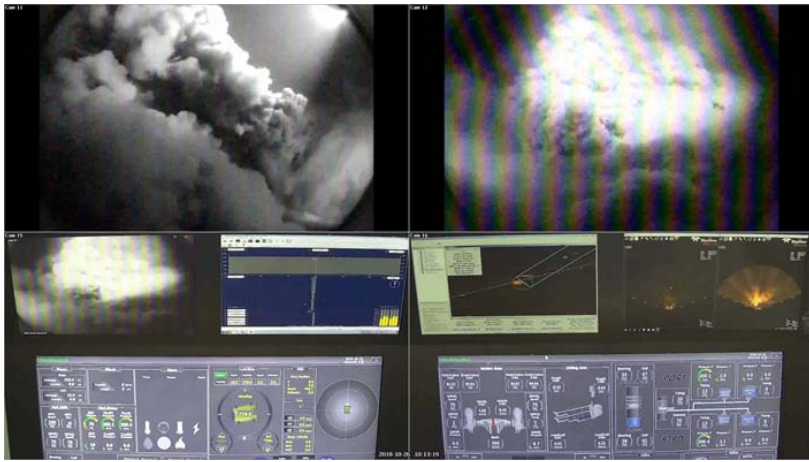
1. 수중 로봇용 ROV	수행
2. 수중 로봇용 ROV, 8000	수행
3. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
4. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
5. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
6. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
7. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
8. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
9. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행
10. 수중 로봇용 ROV, 8000, 2100m (air), 800kg (water)	수행

Marking, Serial No. and Remarks

10X HQ017-0006
10, 01, 15

KRISO 한국해양플랜트연구소
KOREAN REGISTER

경작업용 ROV 소프트웨어 매뉴얼



■ 결과

- 성능검증실험 계획 수립 완료
- 성능검증실험 수행
- SOC 증서 발급

번호	총괄과제-6차년도-2	담당 기관	KIOST
성과목표	핵심아이템별 실용화 /사업화 추진계획 수립	성과지표	핵심아이템에 대한 세부 실용화 추진계획 마련
목표값	100%	달성값	100%
날짜	2019.01.8.	장소	-
평가방법	보고서	검증 여부	자체

결과

■ 핵심아이템별 실용화 / 사업화 추진

수중 가시화 장치 사업화 기반 확보를 위한 시장분석 및 마케팅 전략 수립

수혜기업 : 소니테크

2019. 01



목 차

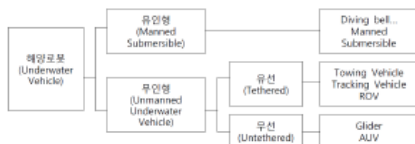
- I. 산업트렌드 분석 01
 - 1. 해양 산업 01
 - 2. 무인이동체 산업 02
- II. 시장분석 06
 - 1. 수중로봇 시장 06
 - 2. 해양무인이동체 시장 08
 - 3. 경쟁사 제품동향 08
- III. 마케팅 전략수립 09
 - 1. 정부R&D동향 09
 - 2. 전시회 정보 09

II 시장분석

1 수중로봇

□ 해양로봇의 분류

- 해양로봇은 크게 사람이 탑승하는 유인형, 사람이 탑승하지 않는 무인형으로 구분. 무인해양로봇은 선이 연결되어 외부와 통신하고 전원을 공급하는 원격제어 ROV(Remotely Operated Vehicle) 등과 무선으로 운용되며 자체적으로 미션을 수행하는 AUV(Autonomous Underwater Vehicle) 등으로 구분



D 수중로봇 시장규모

□ 해양로봇

- Grand View Research, Inc.의 보고서에 따르면, 세계 수중 로봇 시장 규모는 2017년 약 26억 2000만 달러에서 2025년 약 70억 달러에 달할 것으로 예상. 시장 예측 기간동안 13.5% 연평균 성장률을 보일 것으로 예상됨

- 기술, 감시, 군사, 수중 유지/보수, 항해 및 통신 및 기타 작업에 대한 군사 및 상업 탐사 응용 프로그램에서 수중 로봇 기술의 채택이 증가하면서 예측기간 동안 시장 성장이 촉진 될 것으로 전망



Source: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-underwater-robotics-market>, 2021년 시장규모 및 성장률률 요약도 작성

■ 결과

- 수중 가시화 장치 사업화 기반 확보를 위한 시장분석 및 마케팅 전략 수립

2. 관련 분야 기여도



가. 기술적 기대효과

- 성공적인 연구개발 수행을 통한 기술력 확보 및 기술자립도 제고
 - 수중건설 관련 핵심기술 및 첨단 장비 자력확보를 통하여 장비 임대 수입대체 효과 및 해당 분야 산업경쟁력 확보
 - 수중 건설 현장의 무인화로 현장작업의 안정성 향상과 극한 환경에서 시공 장비운영 및 건설 기술력 확보 가능
 - 수중건설로봇의 개발을 통하여 향후 해양 로봇 개발을 위한 기술력 축적이 가능
 - 시험평가 시설 및 실험역 검증을 통하여 개발 장비의 신뢰도 제고가 가능하여 향후 국내외 수중건설장비 임대시장 진출에 기여할 수 있으며, 현재 100% 해외 임대에 의존하고 있는 수중건설 장비 분야의 자립도를 확보할 수 있음.
- 민수 분야 수중 무인장비 기술력 공고화 기대
 - 국내 수중무인장비 기술력 축적은 국방 분야 기술개발 사업이 주를 이루어 왔으며, 민수 분야는 항만공사용 장비개발, 해양 탐사를 위한 로봇개발 및 원천기술 확보를 위한 기술개발이 대부분이었음.
 - 2013년 이후 수중건설로봇 개발 등을 통해 수중 무인장비 기술력을 공고화해나가고 있음.

나. 사회적 기대효과

- 수중건설 관련 국내 공공수요에 적극적인 대응 가능
 - 정부 추진 해양 구조물 건설 장비 공공수요 충족 및 해양 구조물 시공비용 절감, 해양인프라 구축 자립도 증대와 더불어 안정성·효율성 확보로 해양 관련 산업발전에 기여

- 해상풍력, 해양에너지 확보, 파력발전, CCS, 해양플랜트 개발 등 수중건설이 수반되는 정부의 해양개발 계획 발표는 약 13건('08~'11)으로 향후 수중건설을 위한 장비수요가 급증할 전망
- 이산화탄소포집 관련 상용화 실증 약 1조 9천억원 투자, 누적 매출 약 100조원(~'30년) 기대(범부처, 2010), 6대 미래산업(심해자원 생산용 해양플랜트 포함) 1조 5천 억원 투자, 해양플랜트 분야 '25년 103조원 매출 기대 ('12~'17, 산업통상자원부 전략기획단)



[그림 4-1] 국내 수중 무인장비 기술 동향

- 대기업 및 중소기업의 참여를 통한 상생·균형 발전의 기회 제공
 - 수중건설로봇 개발 사업에 참여 의사를 표명한 기업은 총 16개 기업(대기업 8개사, 중소기업 8개사)으로 대기업과 중소기업의 균형 잡힌 참여가 예상된다.
 - 참여기업에는 수중건설로봇 제작사, 부품개발 기업, 장비 운용사 및 인력양성·교육프로그램 관련 기업 등이 골고루 분포되어 있음.
 - 산업체의 적극적인 참여를 통하여 개발된 수중건설로봇의 시장적합성 검증 및 이의 활용을 통한 수중건설 노하우의 습득을 통하여 해당 산업의 부가가치 상승이 기대됨.
- 국산 수중건설로봇의 확보를 통하여 수중구조물 관리 및 유지보수 비용 절감 효과 획득
 - 수중구조물 건설에서 관리 및 유지보수의 비중은 약 40% 정도로 상당한 수준임. 수중구조물의 안전 및 보수를 위해서 필요한 수중로봇의 확보를 통하여 향후 지속적으로 증가될 유지보수 관련 수요 대응이 용이해 짐.
 - 또한 수중건설장비 운영인력 교육을 위한 프로그램 개발 및 교육 시스템의 확보로 장비뿐만 아니라 전문 인력의 교육과 운용에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

□ 관련 장비 운용 및 유지보수 전문 인력의 지속적 확보 가능

- 수중로봇의 운용 시장은 제품 시장 대비 약 8배 규모로, 양질의 수중로봇 작업을 위한 전문 운용 인력의 확보가 반드시 필요함.
- ROV 시장 규모는 2017년 17억 달러로 2022년까지 연 평균 7.07% 성장할 것으로 예측됨.
- 현재 국내에서 발생되고 있는 수중로봇(장비 포함) 운용 및 유지보수를 위한 전문 인력의 교육수요는 대부분 해외 교육기관 파견교육으로 충당하고 있음.
- 본 사업을 통해 수행 예정인 인력양성 및 교육 시스템 구축을 통하여 향후 국내외 수중 건설로봇 운용 인력의 공급이 원활해 질 수 있으며, 동남아시아 등 수중건설 및 유지보수 로봇의 수요가 높은 국가를 대상으로 한 장비 운영교육 관련 교육프로그램의 수출효과도 얻을 수 있을 것으로 보임.

다. 경제적 기대효과

□ 수중건설장비 해외 임대 비중 감소 및 국내 개발 장비 실용화 활용

- 지금까지 국내 수중건설장비 수요는 100% 해외임대로 충당되고 있었으나, 본 사업을 통해 개발되는 국산 장비의 확보로 국내 장비 활용도 제고 가능

□ 국내 수중건설로봇 관련 신규 고용창출 및 유관 기업체 증가 기대

- 현재 수중건설로봇 관련 국내 기업은 제작사 및 부품업체가 약 37개사, 그리고 운용사가 11개사 정도임. 본 사업을 통하여 향후('21년) 제작 및 부품업체가 약 60개사로 확대될 전망이다. 전문 인력은 현재 약 300여명에서 향후('21년) 1,400명 수준으로 증가할 것으로 보임.

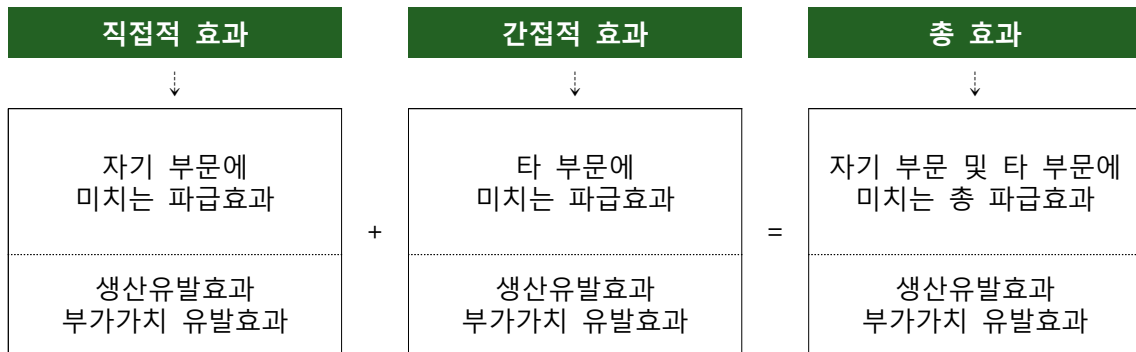


[그림 4-2] 고용창출 및 기업체 증가 기대효과

라. 경제적 파급효과

□ 분석 구도

- 수요유도형 모형을 이용한 수중로봇산업의 국민경제적 역할과 관련된 경제적 파급효과는 아래 그림과 같이 직접적 효과와 간접적 효과의 합으로 구성



[그림 4-3] 수중로봇산업의 경제적 파급효과

- 아울러 경제적 파급효과의 범주는 아래 그림과 같이 생산유발효과, 부가가치 유발효과의 2가지를 분석

□ 분석 결과

- 각 경제적 파급효과의 분석결과는 아래 그림에 요약되어 있는데, 본 사업의 사업비 850억원(예비비 제외)의 투자로 인해 생산유발효과는 총 1,318억원, 부가가치 유발효과는 총 402억원 달하는 것으로 분석되었음.

	직접적 효과	간접적 효과	총 효과
생산유발효과	1.0000원	0.5518원	1.5518원
	850억원	468억원	1,318억원
부가가치유발효과	0.2638원	0.2092원	0.4730원
	224억원	178억원	402억원

[그림 4-4] 수중로봇산업 생산유발효과 및 부가가치 유발효과


3. 개발기술의 우수성

가. 개발 로봇 spec.

□ URI-L


URI-L		
General	Depth rating	2,500m
	Length	2.1m
	Width	1.3m
	Height	1.3m
	Weight in air	1,500kg
	Submerged weight (t)	-0.02t
	Max payload (kg)	100kg
	Power (HP)	67Hp
	Max speed	2.8kts
	manipulator	7 functions × 2
Performance	Vertical speed (knots)	1.5kts
	Fore speed (knots)	2.8kts
	Lateral speed (knots)	1.5kts
	DP	submeter accuracy
	Way Point Tracking	submeter accuracy
	seabed scanning	multibeam SONIC 2024
	HMI functions	underwater sound transmission system, AI assisted announce system
Equipment	manipulator	Schilling Orion 7-function × 2
	tools	jetting, drilling, brushing
	cameras	1 HD, 2 mid, 6 low
	sensors	paroscientific depth, altimeter, DVL, FOG, Sonardyne ranger2 USBL
	thrusters	6 horizontal, 4 vertical
	TMS	330 m tether cable TMS

□ URI-T

URI-T			
General	depth rating (m)	2,500	
	length (m)	6.5	
	width (m)	5.0	
	height (m)	4.5	
	weight in air (kg)	21,280	
	submerged weight (kg)	540	
	power (HP)	total	933
		hydraulic power unit	333
		water pump	2 x 300
Performance	forward speed (knots)	3.12	
	trenching depth (m)	3.0	
	trenching width (m)	0.2 - 0.7	
	trenching speed (km/hr)	2.25 (@ 1m trenching depth)	
Equipment	waterjet system	2 x 986m ³ /hr@9bar	
	manipulator	1 x 7 function, 1 x 5 function	
	cable cutting tool	max. cutting pressure 692bar	
	cable gripping tool	max. gripping force 25tonf	
	cameras	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x CCD color zoom(Sidus SS420) • 2 x CCD Monochrome(Sidus SS425) • 2 x CCD Color Compact(SS404) • 2 x Deepsea Super Wide-I SeaCam • 2 x Deepsea LED Multi-SeaCam 	
	lights	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x Deepsea LED Matrix-3 SeaLite • 6 x Deepsea Sealite Sphere SLS-5500 	

	sensors	altimeter	Teledyne ALT250
		cable tracker	Teledyne TSS Dual Track(350+440)
		acoustic positioning	Sonardyne WMT 8190-3111
		heading sensor	Honeywell HG-1700
		depth sensor	Digiquartz Series 8000
		profiler	Blueview M900-2250
		DVL	Teledyne WHN600K3
	thrusters	horizontal	4 x RiSEA [®] HPT500
		vertical	4 x RiSEA [®] HPT500
		forward thrust	3,724 kgf
lateral thrust		2,150 kgf	
umbilical Winch	TBD		

□ URI-R

URI-R		
General	Depth rating	500m
	Length	13.2m
	Width	3.5m
	Height	3.4m
	Weight in air	35t
	Submerged weight	30t
Performance	Power	360HP
	Moving Speed	0-2km/h
	Trenching speed	0-300m/h
	Trenching depth	2.5m
	Trenching width	0.6m
	Max. trenching strength	20MPa
Equipment	tools	Trenching cutter, Rock crusher
	cameras	HD, SD, Low-light
	sensors	Around-view imaging sonar, Trenching depth detection sonar, Altimeter, Depth sensor
	thrusters	2 (Heading control)

나. 해외 기술과 비교

□ URI-L

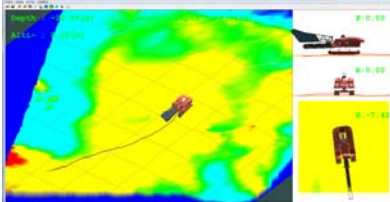
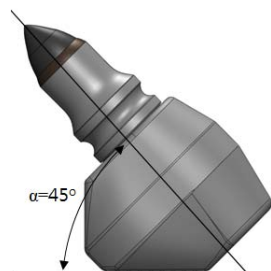

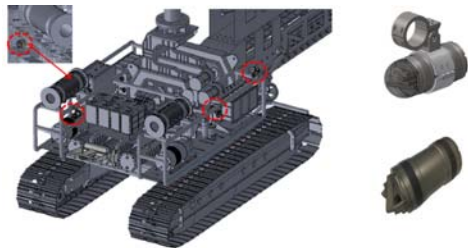

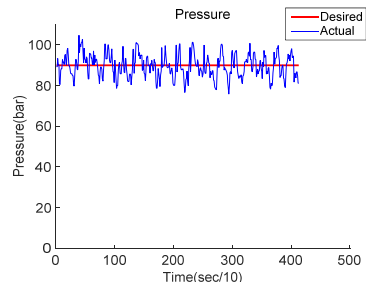
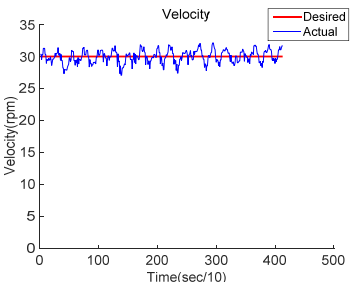
구분	개발로봇	해외 기술(경쟁제품)
사진		
주요 제원 (성능)	Depth rating: 2,500m payload: 100 kg Height: 1.3m Length: 2.1m Width: 1.3m Mass in air: 1,500kg Optimum speed 2.8kts Thrust@ 0 Knots (bollard pull) Forward: 570 Kgf Lateral: 334 Kgf Vertical: 185 Kgf Schilling Orion 7 & 7 function	Depth rating: 3,000m payload: 215 kg Height: 1.25m Length: 2.1m Width: 1.3m Mass in air: 1,130kg Optimum speed 3.0kts Thrust@ 0 Knots (bollard pull) Forward: 240 Kgf Lateral: 240 Kgf Vertical: 225 Kgf Schilling Orion 7 & 4 function
차별성 및 우수성	<ul style="list-style-type: none"> • 수중작업 시 운용이 용이한 USBL DVL IMU 복합항법 통합 GUI • 수중작업의 안정성을 보장하는 수중 DP 기능 • ROV 수중 이동 작업을 수월하게 하는 Way Point Tracking 기능 • 수중의 상태를 조종 작업자가 음향으로 인식하게 해 주는 '음향 전송 시스템' • ROV 작업 상태를 음성으로 알려주는 '음성 안내 시스템' • ROV 주변 근접 상황을 영상과 소나로 알려주는 다방향 OAS 기능 • 광범위 고해상도 해저 지형 mapping 시스템 • ROV작업 용이성을 위한 햅틱 조종(보조) 시스템 • 현장 작업 시 down time을 최소화 시켜주는 Module화 설계 • 목표물을 영상으로 자동 추적하는 카메라 pan-tilt 시스템 	


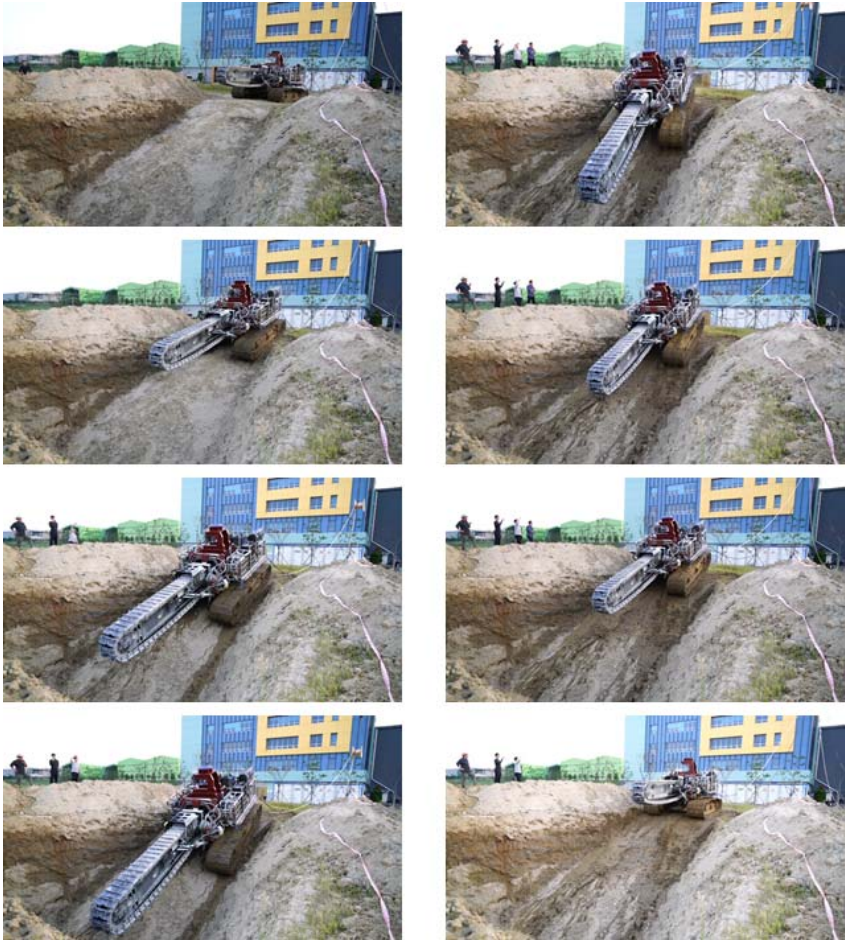

□ URI-T

구분	개발로봇	해외 기술(경쟁제품)
사진		
주요 제원 (성능)	<ul style="list-style-type: none"> • Depth rating: 2,500m • Power: 933HP • Size: 6.0 x 5.5 x 4.5 m(LWH) • weight: 21,280 kg (air) • max. burial depth: 3m • max. burial speed: 2km/hr • max. forward speed: 3knots 	<ul style="list-style-type: none"> • Depth rating: 2,500m • Power: 800HP • Size: 5.3 x 3.6 x 3.0 m(LWH) • weight: 22,000 kg (air) • max. burial depth: 3m • max. burial speed: N/A • max. forward speed: 2.3knots
차별성 및 우수성	<ul style="list-style-type: none"> • 무게 대비 출력 비율이 향상되어 해외 경쟁 제품 대비 이동 성능이 우수함 (URI-T: 933HP/21ton, T-800: 800HP/22ton) • 해저케이블 매설에 요구되는 작업 사양은 로봇의 적용 목적에 따라 유사하게 설정되는 부분으로 해외 경쟁 제품들과 동등 수준으로 확보 • 최대 매설 심도, 최대 매설 속도, 최대 전진 속도 등 주요 작업 사양이 실험역 시험을 통해 검증됨 • 매니플레이션 원격조종 어시스턴스 기술이 적용되어, 케이블 커팅/그리핑을 포함한 로봇팔 작업 시 작업 시간 단축 및 작업자 피로 감소 가능 • 최초의 국산화 개발함으로써, 소수 국외 기업이 독과점하고 있는 수중 건설로봇 시장에 대한 국내 기술력 및 경쟁력 확보 	

□ URI-R

구분	개발로봇	해외 기술(경쟁제품)																												
사진	 <p style="text-align: center;">URI-R (KIOST)</p>	 <p style="text-align: center;">CBT800 (SMD)</p>																												
주요 제원 (성능)	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>크기 (m, W*L*H)</td> <td>3.5*13.2*3.4</td> </tr> <tr> <td>운용 수심</td> <td>500m</td> </tr> <tr> <td>무게</td> <td>35t</td> </tr> <tr> <td>트렌칭 깊이</td> <td>2.5m</td> </tr> <tr> <td>트렌칭 폭</td> <td>0.6m</td> </tr> <tr> <td>트렌칭 속도</td> <td>0-300m/h</td> </tr> <tr> <td>최대 트렌칭강도</td> <td>85MPa</td> </tr> </table>	크기 (m, W*L*H)	3.5*13.2*3.4	운용 수심	500m	무게	35t	트렌칭 깊이	2.5m	트렌칭 폭	0.6m	트렌칭 속도	0-300m/h	최대 트렌칭강도	85MPa	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>크기 (m, W*L*H)</td> <td>6.0*13.0*5.4</td> </tr> <tr> <td>운용 수심</td> <td>1,000m</td> </tr> <tr> <td>무게</td> <td>35t</td> </tr> <tr> <td>굴착 깊이</td> <td>2.0m</td> </tr> <tr> <td>트렌칭 폭</td> <td>0.5m</td> </tr> <tr> <td>트렌칭 속도</td> <td>0-250m/h</td> </tr> <tr> <td>최대 트렌칭강도</td> <td>40MPa</td> </tr> </table>	크기 (m, W*L*H)	6.0*13.0*5.4	운용 수심	1,000m	무게	35t	굴착 깊이	2.0m	트렌칭 폭	0.5m	트렌칭 속도	0-250m/h	최대 트렌칭강도	40MPa
크기 (m, W*L*H)	3.5*13.2*3.4																													
운용 수심	500m																													
무게	35t																													
트렌칭 깊이	2.5m																													
트렌칭 폭	0.6m																													
트렌칭 속도	0-300m/h																													
최대 트렌칭강도	85MPa																													
크기 (m, W*L*H)	6.0*13.0*5.4																													
운용 수심	1,000m																													
무게	35t																													
굴착 깊이	2.0m																													
트렌칭 폭	0.5m																													
트렌칭 속도	0-250m/h																													
최대 트렌칭강도	40MPa																													
차별성 및 우수성	<p>1. 다목적암, 트렌칭커터 교체 장착 가능</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>다목적암 장착</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>트렌칭 커터 장착</p> </div> </div> <p>2. 수중 중작업 조건에 따라 어태치먼트 교체 가능 (버킷, 그리퍼, 암파쇄기 등)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>암파쇄기 장착</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>버킷, 그리퍼 등 툴 교체 장착 가능</p> </div> </div>																													

구분	개발로봇	해외 기술(경쟁제품)
	<p>3. 실시간 지형변화 가시화 S/W 탑재</p>  <p>지형모사 및 이동경로 표시</p> <p>4. 소모성 픽커터, 픽커터 포켓 국산화</p>  <p>픽커터, 픽커터 포켓 모델</p>	<p>트랜칭 작업에 의한 실시간 지형변화 가시화</p>  <p>장착된 픽커터, 픽커터 포켓</p> <p>5. 어라운드뷰 소나 탑재</p>  <p>어라운드뷰 소나 설치 위치</p>  <p>어라운드뷰 소나 영상</p> <p>6. 톨 정압/정속 제어를 통한 작업 효율 극대화</p>  <p>톨 정압제어 결과</p>  <p>톨 정속제어 결과</p>

구분	개발로봇	해외 기술(경쟁제품)
	<p>7. HPU 냉각 시스템 탑재로 인한 양육작업 가능</p>  <p>HPU 냉각 시스템</p> <p>8. 무부하 상태 등판각 30°검증</p> 	 <p>HPU 냉각으로 인한 육상작업 가능</p>

4. 개선사항 및 보완 계획

□ URI-L

구분*)	개선 사항	보완 계획
TMS	depressor 오작동 문제	원인 파악 및 수리
	압력 보상유 부족 문제	압력 보상기 용량 재검토 및 대응 전략 마련
	입수 전 크레인에 매달려 있는 상태시 트림 발생 문제	발라스트 재분배
	작동 중 광통신이 끊어지는 문제	원인 분석 및 수리, 실험
	터미네이션 재 작업	재 작업
	내부 MTi AHRS의 성능 문제	센서 재선정 및 교체
	GFM 오류 경고 문제	제작사 문의 후 수리
ROV	정선 박스 상부 그랜드(파이프 형태)의 몰드 상태가 불안정	커넥터 방식으로 변경
	정선 박스와 PMS 내압용기 간 광 커넥션 응급 몰딩 처리	정상적인 방식으로 재작업
	DVL 커넥터 수리	커넥터 구매 후 변경
	트랜스포머 상부 유적유 주입구 풀림 발생 문제	풀림이 쉽게 발생하지 않는 구조로 변경
	압력 보상기 파손 용이 문제	파손에 대해 강인한 모델로 변경하거나 예비품 수배 보유
	OAS 커넥터 케이블 간섭문제	격이는 문제를 고려한 구조로 재구매 후 변경
	추진기 드라이버 부하테스트	부하테스트 수행 및 안정성 확보
	멀티빔 소나 장착 시 부력 부족 문제	멀티빔 소나용 부력재 구매후 일체화
작업툴	ROV FOG센서 투입 전 재정렬 필요	자동화 알고리즘 개발 필요
선상시스템 및 SW	ROV 수동 제어성능 부족	수동 제어성능 고도화
	ROV 내부 전원 릴레이 채널 추가	센서나 내부 전원을 On/Off 하기 위한 릴레이 채널 추가
	작업 툴의 내압 성능	작업툴 내압시험 수행
	Manipulator 전용 운용공간 미비	전용 운용 공간 확보
	내압용기 내부 온도 및 누수 센서	모니터링 센서 설치 및 감시 알고리즘 추가

□ URI-T

구분	개선사항	보완 계획
작동유/ 유압시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 실증시험 기간 내내 낮은 온도가 문제됨. 외부 기온에 영향을 받지않고 장시간 안정적인 작업이 가능하도록 개선 필요 • 더운 지역/추운지역 구분없이 안정적인 운용이 가능해야함(2핵심 작업 시 해수 온도가 낮아 정상적인 운용이 어려웠음) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 예정 - 실해역 시험이 여름에 진행될 것으로 예상하여 점도가 다소 높은 작동유를 사용함으로써 발생한 문제임. 실해역 시험이 진행된 수심 500m의 해저는 밀도가 가장 높은 4도 수준으로 매우 낮았음. 점도가 좀 더 낮은 작동유로 교체할 예정임.
	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 시 누유를 대비하여 리저버/컴펜세이터 용량이 더 커져야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 현 수준에서 충분할 것으로 판단됨 - 실해역 시험 시 오일이 가장 많이 소비된 상태에서 (운용상 실린더들이 전진된 상태) 리저버 볼륨이 얼마나 저하되었는지 확인 필요 - 실해역 시험 시 관찰한 결과 리저버 레벨이 80%→60% 수준이었으므로 리저버 용량과 보상기 용량은 충분한 것으로 사료됨.
	<ul style="list-style-type: none"> • 콰커넥터 보호커버 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 필요 - 고무 금형 제작을 통해 사이즈별 맞춤 성형 필요 - 약 300만원 정도 소요 예상
	<ul style="list-style-type: none"> • 유압 작동부 수동 조작용 유압포트 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 현 수준에서 기능 가능하며, 2단계 보완 필요 - 차지 카트를 이용한 외부 유압 공급을 위해서 스러스터 밸브팩, 멀티평션 밸브팩에 압력과 리턴라인 스페어포트가 있음. - 외부 유압 공급을 위해서는 먼저 리저버 압력 보상 오일을 빼야 하며, 개별밸브팩의 스페어포트에 차지카트를 연결하여 수동으로 공급하고, 리턴라인으로 빼면 됨. - 리저버 압력 보상 오일을 빼야 하므로 (양압 제거), 정비 후 압력 보상 오일을 채우기 전에 개별 동작 확인을 위해 수행하도록 해야 함.
	<ul style="list-style-type: none"> • 절연유 컴펜세이터 용량 증가 필요 (누유 대비) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 필요 - 레벨 센서 장착과 테스트를 통해 정확한 오일 수축량 측정 필요 (모터, 밸브팩, 스러스터 하우징)

구분	개선사항	보완 계획
	<ul style="list-style-type: none"> • 각 컴펜세이터의 레벨 센서 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 필요 - 리저버를 제외하고, 보상기 총 19개, 레벨 센서 장착을 위해서는 압력보상기 신규 주문 제작 필요 - 압력 보상기 전용 내압 용기 인스트루먼트캔 필요 - 약 5천만원 이상 소요 예상
제팅 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 워터펌프 베어링 하우스용 컴펜세이터가 없었음 컴펜세이터가 설치되어야 하며 레벨센서 필요. 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 필요 - 펌프 어셈블리를 완전 분해하여 베어링 하우스에 보상기 포트홀을 가공하여 설치가 가능함, 펌프 어셈블리를 완전 분해해야 하므로 시간적 여유가 필요함
	<ul style="list-style-type: none"> • 베어링 하우스 오일 교체 및 드레인 할 수 있는 구조가 필요 	
	<ul style="list-style-type: none"> • 제팅 모터 전용 컴펜세이터 및 릴리프 밸브, 레벨 게이지 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 현수준 구현됨, 2단계에서 보완필요 - 컴펜세이터및릴리프밸브적용되어있음 - 컴펜세이터레벨센서보완필요(2단계)
	<ul style="list-style-type: none"> • Cooling 시스템 개선 필요(최고속도 테스트 시 Jetting 100%로 10분도 채 사용하지 않았으나 심한 발열 발생) 	<ul style="list-style-type: none"> • 원인분석 및 개선 필요(2단계에서 보완필요) - 현재 기본적인 쿨러 시스템은 적용이 되어 있음 - 실험역 테스트 시 과하게 온도가 상승한 원인은 모터 내부에 해수가 유입이 되어 절연이 나빠져서 현상이 발생되었을 가능성이 크며 온도 상승의 원인 분석 필요
	<ul style="list-style-type: none"> • Jetting motor Cooler, Gear Pump의 Body 재질은 부식에 강한 재질로 제작되어야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 보완 검토 - 현재 우레탄 페인팅이 적용이 되어 있으며, 제작사에 내구성 및 개선 방법을 기술 지원 예정
	<ul style="list-style-type: none"> • Motor의 Cooler는 내부 Tube 타입으로 O-ring으로만 Seal이 되어 있었음. O-ring 손상 시 절연유 누유로인한 해수 노출 위험 	<ul style="list-style-type: none"> • 보완 검토 - 제작사에 보완 방법 및 개선 방안을 검토 예정
	<ul style="list-style-type: none"> • 사이드 암로드 측정되어야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • 보완 검토 - 현재로서는 타사 장비에도 미적용이 되어 있는 것으로 알고 있으며, 개선할 수 있는 방안이 있는지 기술 검토 예정
<ul style="list-style-type: none"> • 제팅 드레인 밸브(?) 불필요. 용도는? 	<ul style="list-style-type: none"> • 제거 검토 - 현재로서는 미사용하고 있으며, 나중에 추가 장치나 확장 등이 필요하면 사용 예정 	

구분	개선사항	보완 계획
컨트롤시스템/ 센서	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 중 셧다운 시 통신 유무가 상시 가능하도록(지난 작업 시 자이로 Off 헤딩값 오류 시 정상인지 아닌지 디스플레이에서는 확인이 안됨) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1단계 내 조치 예정 - GUI에 해당 기능 추가할 예정임
	<ul style="list-style-type: none"> • 운용 중 상시 모니터링 해야하는 화면과 필요시에만 보는 화면의 구분이 필요(전반적인 화면 배치의 개선 필요) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 검토 - 현재의 HW 구성에서는 구현이 어려움. 비디오 매트릭스에 추가적인 장치가 필요함.
	<ul style="list-style-type: none"> • 컨트롤벤 시스템 통합 알람 시스템 부재(기준에 제공한 T800 및 Q1000 디스플레이 참조) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 내 조치 예정 - T800, Q1000을 참조하여 기존 알람 기능 수정 및 강화
	<ul style="list-style-type: none"> • 파워벤 컨디션도 컨트롤벤 화면에서 확인이 가능해야함(예시. 절연, Phase difference 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 추진 필요 - 현재 파워벤에는 절연 릴레이로 구성되어 있으며, 절연 모니터를 설치한다면 재료비만 약 3,000만원이 소요됨. 1단계 사업비 부족으로 절연모니터 대신 절연릴레이 구성하여 파워벤을 제작함. - 절연모니터 장비는 2단계 사업 진행 시 예산을 확보하여 진행 필요.
	<ul style="list-style-type: none"> • 조류계 설치되어 있으나 조류 방향/세기가 확인 되도록(수면과 수중의 조류가 다를 수 있음) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 내 조치 예정 - DVL 센서의 조류 정보 수치 계산 기능 구현 - 표현을 위한 GUI개선
	<ul style="list-style-type: none"> • TSS Altimeter와 별개로 독립적인 Altimeter 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 실해역 시험 현장 반영 완료 (DVL 고도정보 활용)
	<ul style="list-style-type: none"> • 추진기 개별 on/off 기능 추가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 조치 예정 - SW적 기능 구현 이슈이며, etherCAT SW 및 GUI 변경 예정
	<ul style="list-style-type: none"> • 추진기 출력값 %로 표시 필요(추진기 고장 발생 시 일부 추진기만으로 동작해야 하는 상황 발생할 수 있음) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2단계 내 조치 예정 - etherCAT SW 및 GUI 변경 예정
	<ul style="list-style-type: none"> • Jetting arm deploy 상태 표시 단위 변경 필요(m) 	<ul style="list-style-type: none"> • 실해역 시험 수행 시 현장 반영 완료
	<ul style="list-style-type: none"> • depth sensor zeroing 기능 필요(수면에서) 	<ul style="list-style-type: none"> • 실해역 시험 수행 시 현장 반영 완료 - 추가적인 보완 작업 진행 예정
<ul style="list-style-type: none"> • 원치 turn counter 단위변경(deg) 및 수면에서 zeroing 기능 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 실해역 시험 수행 시 현장 반영 완료 - 추가적인 보완 작업 진행 예정 	

구분	개선사항	보완 계획
	<ul style="list-style-type: none"> 상단 각종 모니터에 중요 정보 표시 필요(Sonar, winfrog, top camera, deck camera, TSS 등) 	<ul style="list-style-type: none"> 실해역시험 현장 반영 완료
	<ul style="list-style-type: none"> Main 화면에도 TSS 등 다른 모니터링 화면 띄울수 있게 변경 필요(현재는 GUI만 4분할 표시 가능함) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 검토 - 현재의 HW 구성에서는 구현이 어려움. 비디오 매트릭스에 추가적인 장치가 필요함.
	<ul style="list-style-type: none"> NaviCAN 내부 통신 보드와 선상 시스템 통신 오류 	<ul style="list-style-type: none"> 현상 재현 후 원인 분석 및 조치 완료
	<ul style="list-style-type: none"> 전방 소나 해상도 조정 필요(후방에 비하여 불안정하였음) 	<ul style="list-style-type: none"> 1단계 내 기본 조치 완료 - 제작사 문의 및 개별 성능 실험 진행 추가적인 원인 분석 및 개선 작업 진행 예정
ROV HW	<ul style="list-style-type: none"> 전방 주시 고정 카메라 필요(영상으로부터 케이블의 상대위치 대략적 파악할 수 있어야 함) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 필요 - 카메라 추가를 위한 포트 추가 필요함
	<ul style="list-style-type: none"> 임빌리컬 관측용 top camera/light 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> 실해역시험 현장 반영 완료
	<ul style="list-style-type: none"> 스키드 구조 개선(폭 넓게 제작되어야. 하중이 집중되는 것에 비해 취약) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 예정 - 폭 개선된 스키드 제작하며, 작업 환경에 따라 적절히 선택할 수 있도록 할 예정
	<ul style="list-style-type: none"> 밸브팩 제어보드 내압성능 이슈 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 1단계 내 조치 완료 - 실해역 시험 시 발견한 밸브팩보드 오동작의 원인은 릴레이 부품 내부 공기층으로 인하여 수중 압력을 받으면 점점 스프링이 붙어서 솔밸브에 전원이 공급됨 - 밸브팩에 사용한 릴레이를 전부 FET 반도체 스위칭 소자로 변경하여 제어보드 재설계 및 제작함. - 300bar(수심 3,000m 수준)의 내압 시험을 통해 내압 성능 검증 완료함.
	<ul style="list-style-type: none"> 내압용기 고정벨트 재질 변경(내구성 강화 필요) 	<ul style="list-style-type: none"> 현 수준으로 충분한 것으로 판단됨 현 벨트 방식은 금속 벨트에 비해 부식에 더 유리할 수 있으며, 노후화에 대해 적절히 대응하면 될 것으로 판단됨.
	<ul style="list-style-type: none"> 부력재 고정 볼트 부식 	<ul style="list-style-type: none"> 1단계 내 반영 완료 - 고정볼트 신품 교체후 및 부식 방지 조치 완료

구분	개선사항	보완 계획
파워밴	<ul style="list-style-type: none"> 파워공급(인버터) 절연상태 모니터링 기능 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 필요 현재 파워밴에는 절연릴레이로 구성되어 있으며, 절연모니터를 설치한다면 재료비 약 3,000만원이 소요됨. 1단계 사업비 부족으로 절연모니터 대신 절연릴레이 구성하여 파워밴을 제작함 절연모니터장비는 2단계 사업 진행 시 예산을 확보하여 진행 예정
	<ul style="list-style-type: none"> 파워밴 냉각 개선(배전반 내부 공기 순환 가능하도록) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 부분 보완 필요 파워밴2(트랜스)는 현재 냉각기로 충분함. 파워밴1(인버터)에는 추가로 냉각용 에어컨을 인버터 정면에 설치가 필요. 또한, 내부 순환용 팬을 추가로 설치 필요
	<ul style="list-style-type: none"> 파워밴의 정선박스는 내부에 설치되어야 함(2핵심 장비는 외부에 노출되어 있었음, 습기에 취약) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 보완 필요 현재 파워밴 구조상 내부에 정선박스 설치하는 불가능하며, 외부에서 접속할 전선이 많으므로 내부 설치 시에 어려움이 발생함. 따라서 현재 구조에서 습기에 대한 전선 인입구에 해수 유입방지 컴파운드 설치와 내부에 히터와 방수용 통풍팬 설치하여 습기가 안 생기도록 개선할 예정이며, 2단계 사업 진행 시 내부 냉각기 설치와 동일하게 진행할 예정임.
인양고리	<ul style="list-style-type: none"> 구조가 불필요하게 복잡하며 단순화 필요(T800의 경우 양쪽 핀 두개만 조립하면 됨) 별도의 리프팅용 구조물 필요(2핵심 장비는 인양고리 연결된 상태에서 크레인 사용 불가) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 필요
엠빌리컬 윈치	<ul style="list-style-type: none"> 컨트롤벤에서 Co-Pilot 이 운용가능하도록 시스템 개선(원치 전용 디스플레이 필요) 엠빌리컬 외장 와이어 내구성 취약 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 필요 2단계에서 엠빌리컬 윈치 주문 제작시 반영
데크팩(charge cart)	<ul style="list-style-type: none"> 데크에서 원활한 테스트가 가능하도록 개선 필요(2핵심 데크팩은 오일 충전 용도로만 사용) 데크 테스트 시 발열로 인해 계속 해수로 냉각하였음 	<ul style="list-style-type: none"> 문제 없는 것으로 판단됨

구분	개선사항	보완 계획
Auto Heading 컨트롤	<ul style="list-style-type: none"> T800 이나 Q1000 의 경우 Auto Heading 설정 시 현재 heading에서 On/Off 로 조정하여 설정 	<ul style="list-style-type: none"> 1단계 내 반영 완료 - 기능 구현 방식의 이슈이며 SW적 구현 완료 - EtherCAT SW 수정 - 현재 각도에서 keeping mode setting되고, joy에 의해 1도 단위로 keeping 각도 변경
	<ul style="list-style-type: none"> 2핵심 ROV의 경우 원하는 heading값을 터치스크린에 직접 입력하는 방식임(이 경우 빠른 대처가 불가) 	
	<ul style="list-style-type: none"> Auto Heading의 오차는 ±1도 이내로 최소화 	<ul style="list-style-type: none"> 문제 없는 것으로 판단됨 - 기능 구현 방식의 차이로 인해 오차가 큰 부분 발생된 것으로 보임 - 추가적인 알고리즘 개선 및 개인 튜닝이 필요할 경우 진행 예정
기타	<ul style="list-style-type: none"> 선상에서 모든 정비가 가능하도록 구조 개선(육상과 달리 지게차 등의 지원이 없으며 선박 크레인 만으로 모든 정비작업 가능하도록) 	<ul style="list-style-type: none"> 2단계 추진 검토
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 파트의 고장을 고려하여 해체/교체 정비 Method 필요 	
	<ul style="list-style-type: none"> 체계적인 도면 필요 	
	<ul style="list-style-type: none"> 모든 컨테이너는 운송/선적 등을 고려하여 규격 Offshore 스탠다드 컨테이너로 제작(예시 ISO 20피트 컨테이너) 	

□ URI-R

구분	개선사항	보완 계획
플랫폼 관련	주요 볼팅부위 토크렌치로 재체결	- 입수전 체크리스트 작성 시 해당 사항 필히 체크하도록 함
	궤도휠 보호커버 탈거	- 궤도휠 보호커버 탈거하였음.
작업 툴 관련	석션펌프, 토사/암반 파편 배출기능 강화	- 석션펌프 제거 - 기구학적으로 토사/암반 파편을 배출하도록 보조 구조물 설치
	트랜칭커터 하부 보호구조물 설치	- 보호구조물 추가 설치
유압/전기 모듈	픽커터/포켓 여분 확보	- 작업부하에 맞추어 픽커터/포켓 추가 확보
	하부 유압공급라인 보호구조물 설치	- 보호구조물로 브라켓을 제작하여 설치
운영시스템 (선상시스템 포함)	운영자 숙련도 향상	- 전용 운영자 지정 - 지속/반복 학습을 통한 숙련도 향상

5

연구개발성과의 활용계획



5

연구개발성과의 활용계획

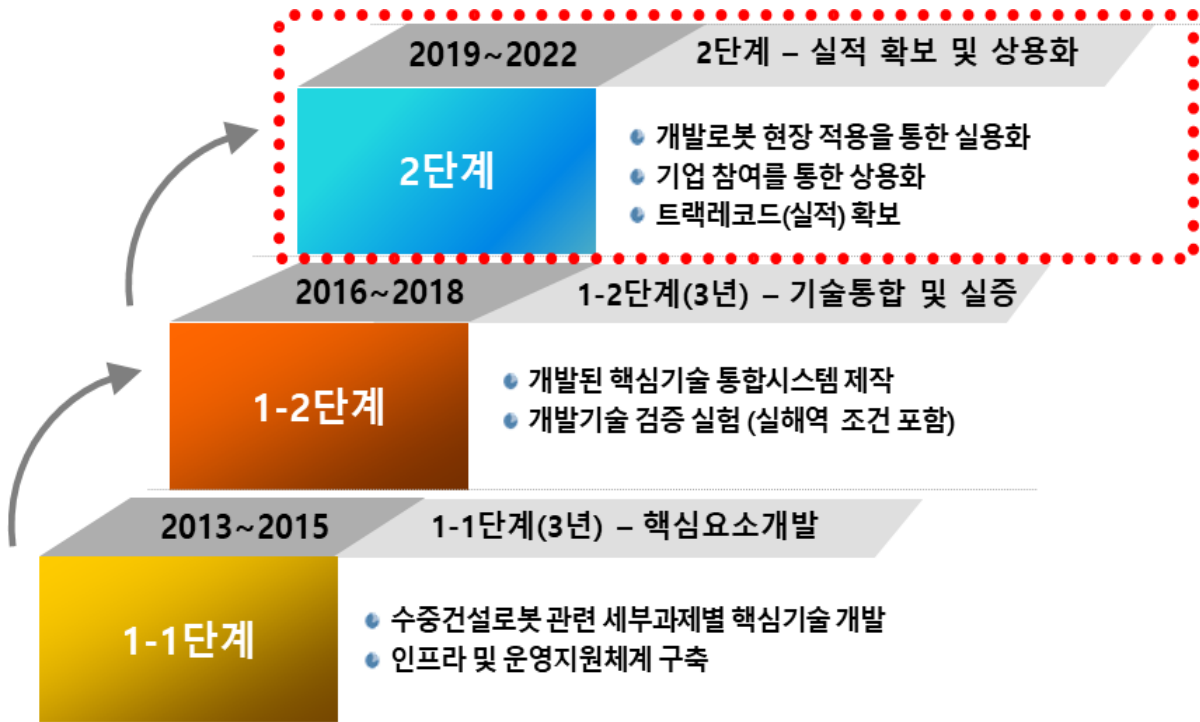
1. 개요

- 본 연구사업을 통해 도출된 연구개발성과는 향후 2단계 사업을 통해 내구성, 신뢰성, 운용성, 유지관리성 확대를 위한 실험 데이터 축적 및 트랙레코드 확보를 바탕으로 실용화를 추진할 계획임.
- 각 핵심별로 프로젝트 수주 계획을 수립하여 연구개발성과를 최대한 활용할 계획임.

2. 2단계 사업(수중건설로봇 실증 및 확산사업)을 통한 실용화 추진

가. 개요

- 2단계 사업은 ‘수중건설로봇 실증 및 확산사업’으로, 既 해양수산 R&D 성과물(수중건설로봇사업단 1단계 사업)의 현장 적용 확대 및 성능개선을 통한 제품 상용화를 목적으로 수중건설로봇 분야 비즈니스 확대와 세계적 경쟁력을 확보하기 위한 사업임.
- 연구기간 및 연구비는 아래와 같음
 - 연구기간 : 2019년~2022년
 - 연구비 : 310억원 (국비 165억원, 민자 115억원, 지자체 30억원)
 - 주관 기관 : (주)레드원테크놀로지, (주)환경과학기술, (주)KOC
 - 연구 내용
 - 수조 및 천해테스트를 통한 내구성, 신뢰성, 운용성 등 데이터 축적
 - 테스트베드 및 트랙레코드 확보를 통한 비즈니스 구현
 - 성능 개선 및 고도화



[그림 5-1] 수중건설로봇사업의 단계별 목표 및 내용



[그림 5-2] 사업 내용

나. 추진 전략 및 방법

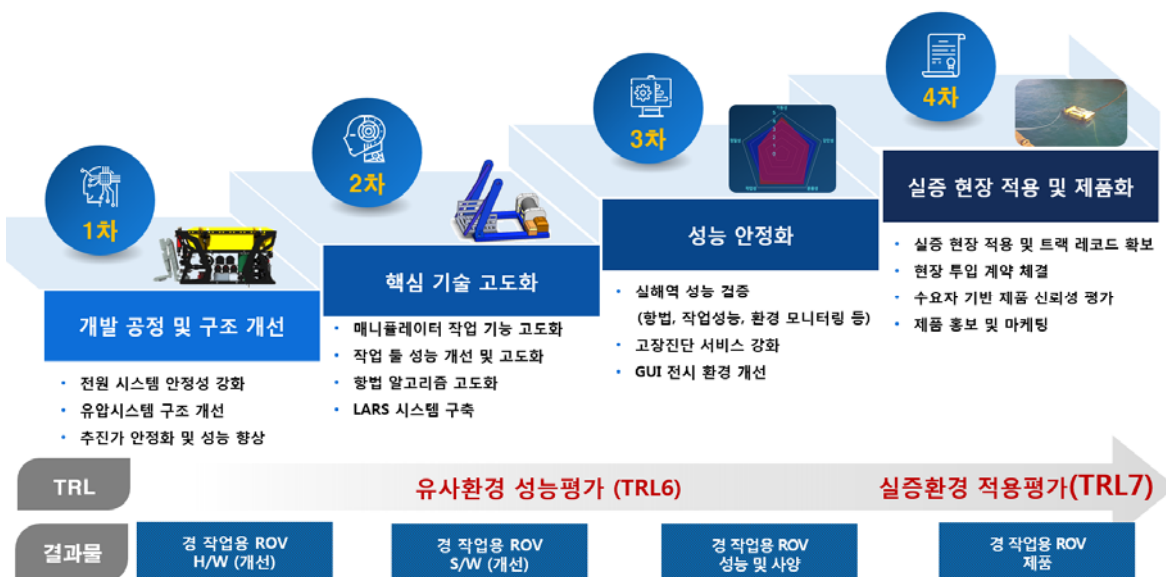
(1) 추진체계



[그림 5-3] 사업추진체계

(2) 1핵심과제(URI-L) 추진 방법

- 경작업용 ROV 제품화 및 실증현장 적용을 위한 체계적인 접근을 위하여 본 사업의 세부 목표를 “개발 공정 및 구조개선”, “핵심기술 고도화”, “성능 안정화”, “실증현장 적용 및 제품화” 등의 세부 단계로 구분하여 사업을 진행



[그림 5-4] 경 작업용 ROV 사업 추진 전략 및 방법

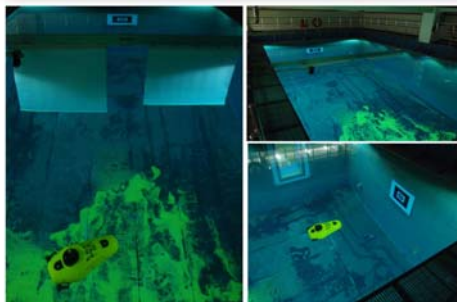
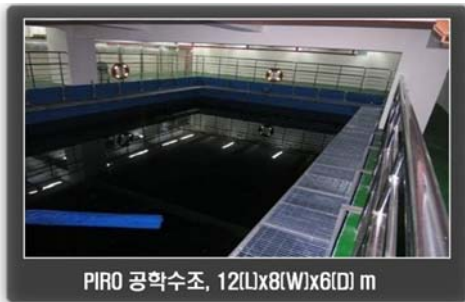
- 개발공정 및 구조개선
 - 1단계 사업 및 실증현장 적용을 통하여 도출된 결함 및 현장 수요자 요구사항을 반영한 하드웨어 개선
 - 기술개발 보다는 하드웨어 안정화 및 유지보수 성을 강화하는 형태로 시스템 개선
- 핵심기술 고도화
 - 항법 기술 및 매니플레이터 기반 수중 작업 기술 등 비즈니스 성공이 높은 핵심 기술에 대한 집중적 투자 및 기술 고도화 추진
 - 개발기술의 글로벌 스탠더드화 추진 및 글로벌 도약을 위한 국제 협력체계 구축
- 성능 안정화
 - 지속적인 수조, 부두, 실험역 실험 및 검증을 통한 제품 및 기술 신뢰성 검증
- 실증현장 적용 및 제품화
 - 국내 대규모 해양 구조물 공사 현장 계약 체결을 통한 트랙레코드 확보
 - 핵심 기술 및 제품의 브랜드화를 통한 기업의 국제 경쟁력 제고

(3) 2핵심과제(URI-T) 추진 방법

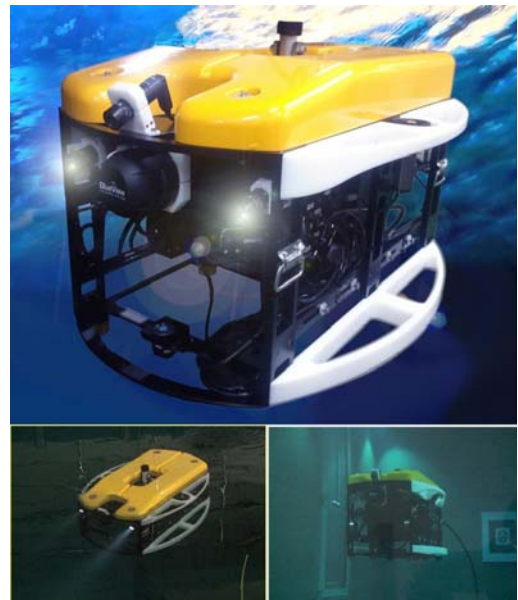
(가) 참여기관의 기 보유 기술 및 인프라를 적극 활용한 연구개발 효율 극대화

- 세부주관 - (주)환경과학기술
 - 해양에 대한 측량, 관측, 모델운용, 시스템 구축 등 전반에 걸친 다양한 사업수행 경험을 바탕으로 수중건설로봇을 실제 해양환경에서 운영함에 있어 환경적 영향 분석 및 예측 가능
 - 확보한 수중로봇 기술의 실제 운영과정에서 발생하는 다양한 현상에 대해 해양학적 기반으로 분석하여 기술개발의 고도화에 기여함
- 협동기관 - KOC
 - 수중로봇 외국 유명사(Ocean Engineering)에 10년 이상 실무경험을 한 운영기술자 와 한국석유공사 해상석유시추선 시추담당 및 해저 장비 등 Subsea X-mas Tree 10개 이상 설치한 유경험 기술자들이 근무하고 있어 해저 케이블 이외 로봇 플랫폼(URI-T)를 활용하여 해양플랜트 해제사업 등에 진출할 수 있는 기술적 장점확보
 - 해저케이블 매설분야 15년 이상의 유경험자를 2019년 4월 전후로 영입 확정하여 기술경쟁력을 확보
 - 대형 바지선을 확보하여 해저케이블 매설 및 수중 다목적 작업을 수행할 수 있도록 로봇 플랫폼 진.회수 지원시스템 구축
 - 수중건설로봇 URI-R 연구개발 참여 후 운영건이 있어 해저케이블 전체공사 수주 및 수행이 가능하고 연안에서 작업할 수 있는 02급 수중로봇을 확보한 상태임

- 한국선박해양플랜트 연구소(KRISO)에서 개발한 수심 6,000m급 해미래를 운영하고 있고 향후 침몰선 및 심해저 작업에 연합적으로 수행할 수 있음
 - 심해저 망간단괴 양광시스템 수심 500m 실험역 테스트를 수행 및 35,000톤 대형 해양플랜트 교합(Sea Mating)을 아시아 최초로 수행한 경험을 보유 등 해상공사 유경험으로 침몰선 기름제거 및 침몰선 인양과 바다목장 사업 등 진출을 계획하고 있음
- 협동기관 - 한국로봇융합연구원
- 한국로봇융합연구원은 2007년부터 수중로봇 기술 개발 분야에 적극 투입하고 있음. 현재 보유하고 있는 공학수조의 경우 길이 12m, 폭 8m, 그리고 수심 6m로 다양한 수중 센서 장비 및 부품의 성능실험이 가능하며, 또한 2009년부터 P-SURO, P-SURO II 계열의 자율무인잠수정 기술 개발을 통하여 수중 정밀 항법, 장애물회피 등 다양한 요소 기술들을 확보하고 있음.



[그림 5-5] KIRO 공학수조 및 수조환경에서 자율주행하는 P-SURO



[그림 5-6] P-SURO II 하이브리드 자율무인잠수정.

- 특히 2014년 1월부터 해양수산부의 지원으로 수중건설로봇사업단 2핵심과제인 “ROV 기반 수중 중작업용 로봇 기술 개발”과제의 핵심주관으로 활약하면서 지난 2018년 10월 포항 앞바다 500m 수심의 실험역 시험을 통하여 최대 매설심도 3m, 매설속도 2km/hr, 최대 전진속도 3knots의 최종목표를 모두 달성하면서 1단계 사업을 성공적으로 마무리 하였음



[그림 5-7] 수중건설로봇사업단 2핵심과제 로봇 플랫폼 및 실해역 시험

(나) 정부 지원 및 국책 사업을 통한 현장투입 및 트랙 레코드 확보

- 일반적으로 해저 케이블 매설과 같은 수중건설로봇이 시장에서 가치를 인정받기 위해서는 신빙성 있는 기관에서 사용된 트랙 레코드가 필수적임. 그러나 민간 영역에서는 위험요소 부담보다는 다소 큰 예산을 지불하더라도 안전 지향적인 의지가 강하므로 개발된 로봇 플랫폼의 현장투입 및 트랙 레코드 확보 기회가 전무함
- 이러한 문제점을 극복하기 위하여 정부차원에서 지원을 적극적으로 유도할 필요가 있음. 특히 2020년에 시작되는 제주에너지공사 주도의 제주 월정/행원 해상풍력, 제주 한동/평대 해상풍력 단지 조성, 그리고 한국전력공사에서 주도하는 전남 흑산도-대둔도 사이 전력 케이블 매설 및 서남해 해상풍력 시범단지 조성 등 국책사업에 필요한 해저 케이블 매설 현장에 투입할 수 있도록 연구단, 전담기관, 및 해양수산부의 공조관계 구축에 최선을 다함

서남해 해상풍력 개발사업

■ 해상풍력 개발사업 개요



[그림 5-8] 서남해 해상풍력 개발사업 개요

(다) 적극적인 마케팅 전략 수립을 통한 사업 수주 실적 확보

- 국내외 글로벌 업체와 개발 장비 공동 사용 제휴 확대
- 국내 및 해외 업체의 개발 장비 수요 및 지역 특성에 따라 고객을 분류하고 고객별 맞춤형 대응 전략 수립
 - ※ Work-Class ROV 운영업체와 2단계 개발 장비 실증 협약 추진 등
- 동남아시아 글로벌 업체 중심으로 개발 장비 공동 활용 추진
- 국내 발주처와 사업협력 적극 강화
- 국내외 ROV 기술 관련 학술 협회 및 전문가 교류로 대외 홍보 강화
- 중국, 동남아 등 잠재적 기술 수요국 기술 전문가들과의 워크숍 등 협의체 구성
 - 전문가 자문 등 다양한 채널을 통한 기술 및 경험 교류
 - 시스템 목표사양 설정에서부터 현장투입에 이르기까지 다양한 연구개발의 성과 홍보
- 관련 분야의 박람회 및 전시회 참석을 통한 2단계 개발 장비 적극 홍보
 - 브로슈어, 카탈로그 등 활용하여 장비의 기술력, 성능을 대외적으로 적극 홍보
- 기술 전문 엔지니어링 업체와의 제휴로 장비 사용화 네트워크 기반 구축

- 에너지 시장(전력, Oil & Gas) 전문 기술 컨설팅 업체와 Partnership 구축하여 기술 영략 보완/강화 및 장비 실적 확보 및 상용화 준비

(4) 3세부과제(URI-R) 추진 방법

- 해저케이블 매설작업공사 추진전략
 - 해저케이블 10년 이상 실무경험 및 수중케이블용 운용 경험자 확보한 운영체계구축
 - 대형 바지선을 확보하여 연안 근접구역에 암반파쇄를 통한 사전 매설작업 수행
 - 해저케이블 매설공사에 참여한 유경험자 확보하여 해저케이블 설치 절차서 확보
- 해양플랜트 설치 및 해체작업공사 추진전략
 - 주관 연구기관의 주력 사업 중 하나인 해양석유시추선 시추분야 근무자 및 해상석유시추 시추방폭기(BOP) 운영과 유정통제기(Subsea X-mas Tree) 설치 경험을 바탕으로 해양플랜트 설치 및 해체 작업공사 타진
 - 수중작업 동영상 등을 확보하여 해양플랜트 해체공사를 위한 인도네시아 등 동남아시아 시장 타진
 - 석유공사 등 관련 민간업체 수중작업을 위한 설명회 개최
 - 해외 해양플랜트 설치공사 관련 전문가 활용 세미나를 통한 개발된 수중건설로봇 해양플랜트 시장 방향성 확보
- 수중건설 및 수중작업공사 추진전략
 - 다년간 해상 수중공사 유경험자 보유하여 수중공사 절차서 작성
 - 수중작업공사 전문가 활용 세미나를 통한 절차서 검증 수행
- 국내외 전문가의 적극적 활용
 - 현 과제참여기관뿐만 아니라 이전 과제인 트랙기반 해저 중작업용 수중건설로봇의 참여 기관들과 지속적인 교류 및 자문을 통한 협력관계 구축. 1, 2핵심연구참여기관의 연구자와 KIOST의 부설기관인 선박해양플랜트연구소의 해미래 연구팀과 미내로 연구팀, 크랩스터 연구팀 등 관련 연구분야의 전문가들에 대한 주기적인 세미나와 자문을 통해 시행착오를 최소화할 수 있는 방향으로 연구를 추진
 - 수중로봇 분야 전문연구회인 한국수중수상로봇연구회 및 타 학회에 적극적인 연구성과 발표와 전문가 자문을 통한 연구추진방향에 대한 합리성 확보
 - 해외 관련 전문가 자문 및 ROV 제작사에 대한 방문을 통해 상용화 및 사업화의 현황 파악 및 전략 확보
- 성능평가 및 실증실험
 - 사업화를 위한 실해역 실증시험 성능검증을 통해 안정화 및 내구성 확보 (최소 연속 40시간 수행)

- 공사실적(track record)를 확보예상 공사는 서남해 2.5GW급 해상풍력단지 / 제주해역의 해상풍력단지의 해저케이블 시공 공사를 협의 중
- 개발 장비 홍보
 - 개발 장비는 외국의 장비를 대체할 수 있는 국산화 장비로 학회발표와 전시회 참여 등으로 국내외 시장에 관련 내용을 충분하게 홍보하며, 성능검증 수행과 연구성과의 발표를 적극 추진함
 - 현무암 등의 유사 공사를 수행한 후 영상 확보를 통한 언론매체를 홍보
 - 연구개발된 수중건설로봇을 민·관·군 공사에 적극 활용할 수 있도록 건의 및 홍보(언론매체)

(5) 총괄과제 추진 방법

- 크게 연구개발 추진 중심 전략을 효율적인 현장 실효역 실험 지원, 비즈니스 중심의 상용화 추진, 체계적인 사업단 운영으로 구분하고 각 항목별로 추진 방법을 정리하면 아래와 같음
- 효율적인 실효역 현장 실효역 실험 지원
 - ① 선박 공동 임차 방안
 - 기본 원칙
 - 비용 절감을 목적으로 총괄과제에서 공동으로 선박을 임차하여 각 핵심과제에게 제공
 - 선박은 필요에 따라 바지선(예인선, 통선 포함), DP 선박 등을 임차할 예정
 - 매년 1건 이상 목표로 4년 동안 제공 예정
 - 선박 임차를 포함하여 장비 이동, Mob/De-mob, 선상 지원 등을 제공하여 각 핵심과제는 테스트에 집중할 수 있도록 편의 제공할 계획임
 - 선박 임차는 국내를 포함한 국외 선박 사용 가능성을 고려하여 국제 입찰로 진행

[표 5-1] 대상 선박 비교

구분	해상작업장 (바지선)	DP 선박 - 일반	시험평가선
작업 가능 수심	100m 내외	수심 제한 없음	수심 제한 없음
작업 해상	Sea State #3 이내	Sea State #4 이상	Sea State #4 이상
진회수 시스템	150톤 이상 크레인	A-Frame	A-Frame
사업단 보유 원치 활용 가능 여부	활용 가능	활용 가능	활용 가능
수중 위치확인 시스템	USBL Launcher 설치 필요	USBL Launcher 설치 필요	USBL Launcher 설치 필요 or 선박 장치 활용

구분	해상작업장 (바지선)	DP 선박 - 일반	시험평가선
선실 활용 여부	下	上	上
예상 비용 (임차료 기준, 일)	10백만원~15백만원	60백만원~100백만원	40백만원~70백만원 (미정)
활용 예상 시기	1차년~4차년	2차년도 이후	3차년도 이후
비고	국내 장비	국내 또는 해외 선박	KIOST 활용
관련 사진	 <p>[해상 크레인선]</p>	 <p>[세계로호]</p>	 <p>[시험평가선 (예시)]</p>

○ 선박 내 주요 시스템 - 해상작업장 (바지선)

- Type : Crane Setting Barge
- Length : 45m 이상
- Breadth : 18m 이상
- Capacity : 3,000P 이상
- Setting Winch : 5Ton 이상 * 4Set(250m 이상)
- Anchor : 1Ton 이상 * 4Set
- Crane : Pedestal Crane(150Ton 이상으로 크레인의 후크, 시브, 와이어가 진/회수시 물속으로 들어가야 하며 해저 바닥면인 100m까지 문제없이 진/회수 가능하여야 함)
- Deck의 평평함이 일정하여야 함
- 하단 탑재 장비가 장착 가능하여야 함(용접 포함)
- Generator : 1,000kw 이상, 440V 3상 1대와 100kw 이상, 440V 3상 1대
- Oil Tank : 테스트에 문제없이 지속적으로 사용 가능한 양을 저장하여야 함
- Position Navigation 기능 가능하여야 함
- ROV 전원 공급용 케이블(∅35~∅70) 견인 장치(예 : 케이블텐셔너, 가이드 등)
- 1핵심용 Sheave 고정대
- 예인선 요구사항 : Tug Boat(800HP 이상으로 바지선 예인에 문제가 없어야 함)

○ 선박 내 주요 시스템 - 해상작업장 (DP 선박)

- Deck Space : 750m² 이상이며 폭은 최소 15m 이상일 것. (Deck 공간은 선상 내 개방)
- DP class 이상
- 2, 3세부용 수중로봇 진수 및 회수를 위한 A-Frame을 탑재하여야 하며, 10대 ISAC 회원사 요구 규격에 의한 적재하중(Payload) SWL(Service Working Load) 기준 50톤 이상으로 작업 전개시 문제가 없어야 함.

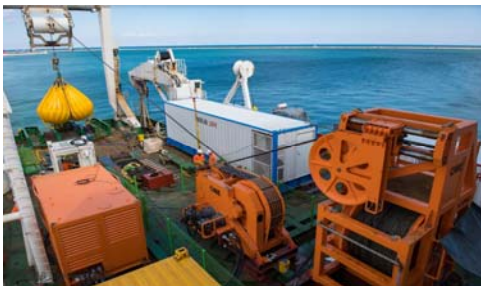
- 1세부 수중로봇 진수 및 회수를 위한 Crane 장비가 탑재될 것. (Crane의 종류 : A-frame, 또는 일반 Crane 장비)
- 2, 3세부 수중로봇 진수/회수시 안전을 위한 “Swing Reduction” 설비, 또는 장비를 장착할 것.
- 수중로봇 실증실험 지원을 위한 USBL-Transceiver 설치공간을 제공
- 수중로봇 진수/회수 후 세척을 위한 고압펌프 및 세척장비를 보유할 것.
- 발주처 및 연구인력 최대 인원 **명 이상의 인원을 수용할 수 있는 선실을 보유, 제공

② 선상지원시스템 활용

○ 기본 원칙

- 사업단에서 보유하는 장비(2, 3세부용 엄빌리컬 케이블 및 트랙션 윈치)나 공통으로 활용하는 장비(USBL)의 경우, 최대한 세부 별로 공동 활용할 계획임
- USBL의 경우, 활용 가능한 선박의 종류에 따라 USBL Launcher를 보완하거나 설치
- 각 세부기관의 실험 및 작업 스케줄을 최대한 고려하여 계획 수립

○ 트랙션 윈치, 엄빌리컬 케이블 및 인양고리

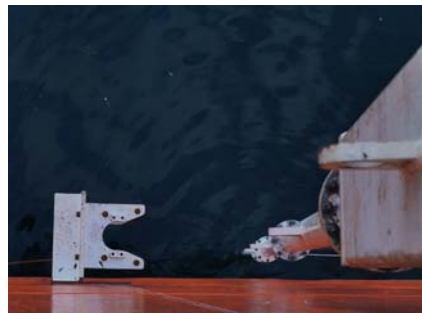


[그림 5-9] 트랙션 윈치와 케이블



[그림 5-10] 공통 인양고리

○ USBL Launcher



[그림 5-11] USBL Launcher

○ 비즈시스 중심의 상용화 추진

③ 실해역 실증시험 방안

○ 테스트베드 구축 방안

- 수중건설로봇의 시장진입 Threshold를 넘기 위해서는 공공기관 테스트베드 활용 지원과 국가프로젝트 국산장비활용 관계부처의 협조
- 해양수산부 주관의 조류발전, 파력발전 실해역 현장 투입 협의 완료
- 한국석유공사 테스트베드, 한국전력공사 국가사업(해상풍력 등)에 대해 관계부처의 협조 요청
- 수중건설로봇 현장적용 가능 공사에 대한 발주기관 및 해양수산부, 사업단, 세부과제 수행기관 등 관계기관 협의 위원회(안) 구성 및 정기적 운영 계획

○ 테스트베드 대상 후보지(안)



[그림 5-12] 조류발전 실해역 시험장 배치(안)



[그림 5-13] 파력발전 실해역 시험장 개념도

○ 성능실험 방안

- 1차년도에는 수조실험 및 천해실험을 통해 각 수중건설로봇의 기본적인 성능실험을 비롯하여 내구성, 신뢰성, 운용성을 확보할 수 있는 데이터 확보 계획
- 2차년도 이후에는 테스트베드 확보 진행상황에 따라 우선적으로 테스트베드를 활용하고, 가능한 실제 현장 조건에서의 운용성 및 유지관리성을 확보할 수 있도록 계획 수립
- 3차년도 이후에는 트랙레코드 확보를 위한 실험 진행 계획
- 천해 실험 및 실해역 실험 현장의 최적지를 찾기 위한 문헌조사, 해황 데이터 분석, 조사 선박을 활용한 해저면 분석 및 시료채취 분석, 해류조사 등 현장조사 수행 계획

④ 비즈니스 마케팅 방안

○ 마케팅 전략

- 수요업체 요구사항 및 현장 맞춤형 기능 구현 (필요시 예산 조정)
- 다양한 수중공사 수행 업체의 방문, 면담 등을 기반으로 실제 현장에서 요구하고, 필요로 하는 수중작업 임무 및 애로기술 등을 수렴
- 수요업체 및 현장 요구사항을 기반으로 명확한 표적시장과 수행 임무 선정

- 국내외 ROV 기술 관련 학술 협회 및 전문가 교류로 대외 홍보 강화
- 기술 전문 Engineering 업체와의 제휴로 장비 상용화 네트워크 기반 구축
- 현재 시장의 프로젝트 서비스 제공에 대한 가격, 품질, 기술에 대한 면밀한 분석
- 국내 및 해외 수중로봇 관련 전시회 부스 운영을 통한 국내외 홍보

[표 5-2] 활용 가능 프로젝트 후보 (안) - 해양 구조물 시장에 진출한 국내 주요기업 프로젝트 현황

기업(기관)명	해양 구조물 관련 주요 프로젝트 현황
(주)포스코대우	<ul style="list-style-type: none"> - 2000년부터 미얀마 가스전사업을 진행하여 탐사, 개발을 통해 2013년 6월 생산을 시작 - 2019년부터 2022년까지 미얀마 생산정 시추(A-1, A-3에)사업이 예정되어 있으며, 2020년 이를 위한 탐사 시추(미얀마 A-1)가 진행 예정 - 국내에는 남부광구사업이 2018년 말 또는 2019년 진행 예정 - 이 외에 방글라데시 광구 개발 진행 예정
KT서브마린	<ul style="list-style-type: none"> - 해저광통신케이블 설치 및 유지보수, 해저전력케이블 설치 및 유지보수, 석유/천연가스 파이프라인 설치, 해양심층수 파이프라인 설치 등의 사업 수행 - 2017년부터 태평양 횡단 해저케이블 건설 공사 수주
한국석유공사	<ul style="list-style-type: none"> - 해저가스배관이전, 동해기설치배관(60km)의 외관검사, 해저 생산시설 외관 검사, 동해 Jacket 평가(2018년 말) 진행 예정
LS전선	<ul style="list-style-type: none"> - 북유럽 해상풍력발전단지와 미국, 캐나다, 카타르 등에서 대규모 해저케이블 프로젝트를 진행 - 싱가포르 전력청이 발주한 620억원 규모의 해저케이블 프로젝트를 수주 - 제주~완도간 해저전력케이블 건설 사업이 2018년 시작하여 2020년 시운전 종료 예정
한국전력공사 (중부건설본부)	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 해저케이블 건설사업 총괄(한국전력공사 중부건설본부) - 완도-제주 HVDC3 사업이 2020년부터 건설예정 - 진행 중인 해저케이블 사업은 서남해해상풍력 외부망이며 2019년 내부 망사업이 진행 예정 - 2018년 서남해 풍력단지입지에서 R&D로 수행중인 과제에서 해상풍력기 설치 예정
대림산업(주)	<ul style="list-style-type: none"> - 토목 및 플랜트와 관련한 수중/항만 공사실적 다수보유 - 이순신대교, 부산신항, 적금-영남연육교, 인천어유정항 등 공사실적
대우건설	<ul style="list-style-type: none"> - 인도 뭄바이 해상교량공사 수주계약 체결, 공사 진행예정 (2018년 ~ 2023년)
GS건설	<ul style="list-style-type: none"> - 동해안 3단계 석탄부두 건설공사 시행자 선정, 공사 진행 예정 (2018년 ~ 2022년)
현대중공업	<ul style="list-style-type: none"> - 캐나다 스틸헤드 LNG社로부터 LNG 수출기지 건설 계약자 선정
현대건설	<ul style="list-style-type: none"> - 울산대교, 쿠웨이트 부비안 항만, 싱가포르 해저 유류기지 등 건설
포스코건설	<ul style="list-style-type: none"> - 가로림 조력발전소, 광안대교, 월전항 등 건설
SK건설	<ul style="list-style-type: none"> - 동해항 방파호안 축조공사, 울산 Buoy 이설공사, 라오스 및 파키스탄 수력발전 등 건설
LIG넥스원	<ul style="list-style-type: none"> - 해양 방위산업과 관련 사업 추진
국토관리청	<ul style="list-style-type: none"> - 교량, 연육교 건설 등 수중공사 발주
군산, 목포 해양수산청	<ul style="list-style-type: none"> - 항만시설 신축, 확장, 검사, 보수 등 수중공사 발주
선박해양플랜트연구소	<ul style="list-style-type: none"> - 파력발전 실험역 시험장 구축 사업이 진행
한국해양과학기술원	<ul style="list-style-type: none"> - 조류발전 실험역 시험장 구축 사업이 진행

⑤ 실험결과 객관적 증빙 방안

- 사업단 차원에서 실험 항목별로 실험 계획 및 실험 결과를 정리할 계획임.



[그림 5-14] 시험 계획서 및 시험 결과서 작성 양식(예)

- 장비에 대한 성능 인증 및 제품에 대한 인증 확보를 위해 공인인증기관인 한국선급(KR) 소속 직원이 참관하여 확인 진행할 예정

※ 한국선급(KR)은 조선 해운 및 해양에 관한 기술을 진흥시키기 위하여 설립된 대한민국의 유일한 국제 선박 검사 기관으로 공인인증기관의 소속 직원이 참관하여 시험 절차서 및 현장시험 결과 등에 대해 확인할 예정

○ 체계적인 사업단 운영

⑥ 세부과제의 체계적 진도 관리

○ 진도관리 방안

- 세부과제별로 매년 효과적인 연구수행이 진행될 수 있도록 성과지표 및 세부 목표 단위로 진도관리를 수행할 계획임.
- 외부 전문가를 위주로 평가위원단을 구성하여 정기적인 진도점검 수행
- 매월 또는 격월로 세부과제에 대한 추진현황 점검회의를 개최(필요시 화상회의)

○ 통합 워크숍 개최

- 핵심 및 참여기관간 연구성과와 연구내용 교류를 통해 연계·활성화 및 효율적 사업 추진방향 모색의 목적으로 추진할 예정
- 매년 1회 이상 개최 목표로 함

⑦ 세부과제간 연계

- 사업단 총괄과제는 3개 세부과제의 원활한 수행을 최대한 지원하는 것으로 현장검증실험 지원, 테스트베드 및 트랙레코드 확보 지원, 실험결과 객관적 분석 등 세부과제간 긴밀한 연계가 되어 있음.
- 각 세부과제 차원에서도 상호간 현장 적용 데이터 공유(특히 항법 데이터 등), 2개 또는 3개 로봇의 팩키지 형태로 현장 투입이나 테스트베드 공동 활용 측면에서 연계 필요
- 또한 경상북도 포항에 구축되어 있는 수중로봇복합실증센터를 활용하여 3차원 수조 및 회류수조 기반 성능 검증이나 운용성 및 내구성 데이터 확보 차원에서 연계 필요



[그림 5-15] 세부과제 및 총괄과제 간 연계

다. 각 핵심별 성과지표

□ 1핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
최종 목표	수중건설로봇 성능 고도화	수중건설로봇 성능목표 달성도	100%	RFP 요구 성능목표 반영	○ (증빙자료) 수중건설로봇 성능목표 달성도(세부 성과지표) 참조	35%
	선상지원시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 구축	1건	A-Frame 도입 및 선상지원시스템 운용 데모 필요	○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템(LARS) 도입 확인서	5%
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	○ (증빙자료) 신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증서	10%
	Track-record 확보	Track-record 확보	1건	테스트베드(실증 공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	○ (증빙자료) 공사수행 확인서	20%
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수중공사현장(프로젝트) 투입 계약 체결 필요	○ (증빙자료) 프로젝트 계약서	30%
1차년도 (2019년)	수중건설로봇 성능 고도화	실해역 작업성능 데이터 확보시간	10시간	RFP 요구 성능목표 (누적 144시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 10시간→ (2차년도) 30시간→ (3차년도) 50시간→ (4차년도) 55시간	○ (측정방법) 실해역에서 작업성능 데이터 확보시간 측정 * 실해역 조건: 작업수심 2,500m 이내, sea state 3이하, 조류 1knot 이내 조건 ○ (증빙자료) 실증데이터(로그데이터 포함) 및 자체평가보고서	30%
		매니플레이터 작업	Pick&Place 작업 성능	2회/h	RFP 요구 성능목표(5회/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 2회/h→ (2차년도) 3회/h→ (3차년도) 5회/h	○ (측정방법) 수조에서 수중 경량 부품의 시간당 조립건수 측정 * 중량 0.5kg 이상의 볼트 또는 핀 구조물 분해/조립 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서

구분	성과목표	성과지표		목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
		Mooring 작업 성능		1회/h	RFP 요구 성능목표(2회/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 1회/h→ (3차년도) 2회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 시간당 Mooring 작업 수행 횟수 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	20%
		해저지형 사전조사 (스캐닝) 작업성능		0.1ha/h	RFP 요구 성능목표(2.5ha/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 0.1ha/h→ (2차년도) 0.5ha/h→ (3차년도) 2.5ha/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 시간당 해저지형 스캐닝 범위 측정 * 해저지형 높이오차 ±0.25m 이내 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	20%
	선상지원시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 설계		1건 (설계 완료)	2차년도 A-Frame 구축을 위해 1차년도 설계완료 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템(LARS) 설계도 	10%
2차 년도 (2020년)	수중건설로봇 성능 고도화	실해역 작업성능 데이터 확보시간		30시간	RFP 요구 성능목표(누적 144시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 10시간→ (2차년도) 30시간→ (3차년도) 50시간→ (4차년도) 55시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 작업성능 데이터 확보시간(누적) 측정 * 실해역 조건: 작업수심 2,500m 이내, sea state 3 이하, 조류 1knot 이내 조건 ○ (증빙자료) 실증데이터(로그데이터 포함) 및 자체평가 보고서 	10%
		매니플 레이터 작업	Pick& Place 작업 성능	3회/h	RFP 요구 성능목표(5회/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 2회/h→ (2차년도) 3회/h→ (3차년도) 5회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중 경량 부품의 시간당 조립건수 측정 * 중량 0.5kg 이상의 볼트 또는 핀 구조물 분해/조립 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)					
		Cleaning 작업 성능	4m ² /h	RFP 요구 성능목표(20m ² /h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 4m ² /h→ (3차년도) 20m ² /h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 구조물/작업장의 시간당 이물질/토사 제거 작업 범위 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%					
							해저지형 사전조사 (스캐닝) 작업성능	0.5ha/h	RFP 요구 성능목표(2.5ha/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 0.1ha/h→ (2차년도) 0.5ha/h→ (3차년도) 2.5ha/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 시간당 해저지형 스캐닝 범위 측정 * 해저지형 높이오차 ±0.25m 이내 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	15%
		수중 경량물 운반 작업성능	1회/h	최종 성능목표 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 1회/h→ (3차년도) 3회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중 경량물의 시간당 운반건수 측정 * 경량물 중량 20kg 이상, 운반거리 30m이상 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%					
		해저케이블/ 파이프라인 위치 자세지도 작성	오차 4m 이내	RFP 요구 성능목표(오차 2m 이내) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 오차 4m이내→(3차년도) 오차 2m이내	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중대상체의 배치도 작성 및 정확성 검증 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%					
							선상지원시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 구축	1건 (구축 완료)	2차년도 A-Frame 구축 완료 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템(LARS) 구축 확인서

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
3차 년도 (2021년)	수중건설로봇 성능 고도화	실해역 작업성능 데이터 확보시간	50시간	RFP 요구 성능목표 (누적 144시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 10시간→ (2차년도) 30시간→ (3차년도) 50시간→ (4차년도) 55시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 작업성능 데이터 확보시간(누적) 측정 * 실해역 조건: 작업 수심 2,500m 이내, sea state 3 이하, 조류 1knot 이내 조건 ○ (증빙자료) 실증데이터(로그데이터 포함) 및 자체평가보고서 	5%
		Pick&Place 작업 성능	5회/h	RFP 요구 성능목표(5회/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 2회/h→ (2차년도) 3회/h→ (3차년도) 5회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중 경량 부품의 시간당 조립건수 측정 * 중량 0.5kg 이상의 볼트 또는 핀 구 조물 분해/조립 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
		매니플 레이터 작업 Cleaning 작업 성능	20m ² /h	RFP 요구 성능목표(20m ² /h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 4m ² /h→ (3차년도) 20m ² /h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 구조물/작업장의 시간당 이물질/토사 제거 작업 범위 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
		Mooring 작업 성능	2회/h	RFP 요구 성능목표(2회/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 1회/h→ (3차년도) 2회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 시간당 Mooring 작업 수행 횟수 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
		해저지형 사전조사(스캐 닝) 작업성능	2.5ha/h	RFP 요구 성능목표(2.5ha/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 0.1ha/h→ (2차년도) 0.5ha/h→ (3차년도) 2.5ha/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 시간당 해저 지형 스캐닝 범위 측정 * 해저지형 높이오차 ±0.25m 이내 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
		수중 경량물 운반 작업성능	3회/h	최종 성능목표 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 1회/h→ (3차년도) 3회/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중 경량물의 시간당 운반건수 측정 * 경량물 중량 30kg 이상, 운반거리 30m이상 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	5%
		해저케이블/파이프라인 외관검사 작업성능	500m/h	RFP 요구 성능목표(500m/h) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 100m/h→ (3차년도) 500m/h	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 시간당 해저 매설라인 실시간 외관검사 거리 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%
		해저케이블/파이프라인 위치 자세지도 작성	오차 2m 이내	RFP 요구 성능목표(오차 2m 이내) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (2차년도) 오차 4m이내→(3차년도) 오차 2m이내	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 수중대상체의 배치도 작성 및 정확성 검증 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%
	선상지원시스템 구축	운용·교육·유지·보수용 시뮬레이션 구축	1건 (구축완료)	운용·교육 시뮬레이션(SW) 및 유지보수 시뮬레이션(SW) 구축 필요	○ (증빙자료) 운용·교육 시뮬레이션(SW) 및 유지보수 시뮬레이션(SW) 구축결과보고서	10%
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	○ (증빙자료) 신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증서	20%
	4차년도 (2022년)	수중건설로봇 성능 고도화	실해역 작업성능 데이터 확보시간	55시간	RFP 요구 성능목표(누적 144시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 10시간→ (2차년도) 30시간→ (3차년도) 50시간→ (4차년도) 55시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 작업성능 데이터 확보시간(누적) 측정 * 실해역 조건: 작업 수심 2,500m 이내, sea state 3 이하, 조류 1knot 이내 조건 ○ (증빙자료) 실증데이터(로그데이터 포함) 및 자체평가보고서

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
		신뢰성 (MTBF)	40H	RFP 요구 성능목표 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실패역에서 MTBF 측정 * $MTBF = \text{총 운용시간} / \text{downtime 발생 건수}$ ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%
		하드웨어 안정성 정비성 (MTTR)	3H	RFP 요구 성능목표 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실패역에서 MTTR 측정 * $MTTR = \text{총 정비 소요시간} / \text{정비 건수}$ ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%
		가용성 (A)	90%	RFP 요구 성능목표 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실패역에서 A 측정 * $A = (MTBF / (MTBF + MTTR)) \times 100\%$ ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가 보고서 	10%
	Track-record 확보	Track-record 확보	1건	테스트베드(실증공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 공사수행 확인서 	30%
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수증공사현장(프로젝트) 투입 계약 체결 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 프로젝트 계약서 	30%

□ 2핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)	
최종 목표	수중건설로봇 성능 고도화	수중건설로봇 성능목표 달성도	100%	RFP 요구 성능목표 반영	○ (증빙자료) 수중 건설로봇 성능목표 달성도(세부 성과지표) 참조	30%	
	선상지원시스템 구축	엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축	1건	RFP 요구사항 반영 (3,000m 길이 조건의 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축 필요)	○ (증빙자료) 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 설치 확인서	10%	
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	○ (증빙자료) 신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증서	10%	
	Track-record 확보	Track-record 확보	1건	테스트베드(실증 공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	○ (증빙자료) 공사 수행 확인서	20%	
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수중공사현장(프로젝트) 투입 계약 체결 필요	○ (증빙자료) 프로젝트 계약서	30%	
1차년도 (2019년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	30H	RFP 요구 성능목표(60H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 45H→ (3차년도) 50H→ (4차년도) 60H	○ (측정방법) 실패역에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용 시간/downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	30%
			정비성 (MTTR)	16H	RFP 요구 성능목표(9H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 16H→ (2차년도) 12H→ (3차년도) 10H→ (4차년도) 9H	○ (측정방법) 실패역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간/정비 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	20%
			가용성 (A)	65%	RFP 요구 성능목표(87%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 65%→ (2차년도) 78%→ (3차년도) 80%→ (4차년도) 87%	○ (측정방법) 실패역에서 A 측정 * A=(MTBF/(MTBF+MTTR))x100% ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	20%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)	
		수중환경 지속/연속 구동 내구성 실험시간 (수조)	48시간/1주	RFP 요구 성능목표 (48시간/1주) 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 수조에서 1일 8시간 가동, 6일 연속 운영 또는 48시간 연속 구동 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서 	10%	
	선상지원시스템 구축	엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 설계	1건 (설계 완료)	3차년도 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축을 위해 1차년도 설계완료 필요	○ (증빙자료) 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 설계도	20%	
2차년도 (2020년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	45H	RFP 요구 성능목표(60H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 45H→ (3차년도) 50H→ (4차년도) 60H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실험실에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용 시간/downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서 	20%
			정비성 (MTTR)	12H	RFP 요구 성능목표(9H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 16H→ (2차년도) 12H→ (3차년도) 10H→ (4차년도) 9H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실험실에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간/정비 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서 	20%
			가용성 (A)	78%	RFP 요구 성능목표(87%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 65%→ (2차년도) 78%→ (3차년도) 80%→ (4차년도) 87%	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실험실에서 A 측정 * $A=(MTBF/(MTBF+MTTR))\times 100\%$ ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서 	20%
	Track-record 확보	Track-record 확보	1건	테스트베드(실증 공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	○ (증빙자료) 공사 수행 확인서	30%	
	선상지원시스템 구축	엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 발주	1건 (발주 완료)	3차년도 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축을 위해 2차년도 발주완료 필요	○ (증빙자료) 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 발주서 및 예상 제작 공정도	10%	

구분	성과목표	성과지표		목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
3차 년도 (2021년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드 웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	50H	RFP 요구 성능목표(60H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 45H→ (3차년도) 50H→ (4차년도) 60H	○ (측정방법) 실패역 에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용 시간/downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	20%
			정비성 (MTTR)	10H	RFP 요구 성능목표(9H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 16H→ (2차년도) 12H→ (3차년도) 10H→ (4차년도) 9H	○ (측정방법) 실패 역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간/정비 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	20%
			가용성 (A)	80%	RFP 요구 성능목표(87%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 65%→ (2차년도) 78%→ (3차년도) 80%→ (4차년도) 87%	○ (측정방법) 실패 역에서 A 측정 * $A=(MTBF/(MTBF+MTTR))\times 100\%$ ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	20%
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	○ (증빙자료) 신기술 (NET) 인증 또 는 녹색기술 인 증서	20%	
	선상지원시스템 구축	엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축	1건 (구축 완료)	RFP 요구사항 반영(3,000m 길이 조건의 엄빌리컬 케이블 및 원치시스템 구축 필요)	○ (증빙자료) 엄빌 리컬 케이블 및 원치시스템 설 치 확인서	20%	
4차 년도 (2022년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드 웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	60H	RFP 요구 성능목표(60H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 45H→ (3차년도) 50H→ (4차년도) 60H	○ (측정방법) 실패 역에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용 시간/downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증 데이터 및 자체 평가보고서	10%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
		정비성 (MTTR)	9H	RFP 요구 성능목표(9H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 16H→ (2차년도) 12H→ (3차년도) 10H→ (4차년도) 9H	○ (측정방법) 실패역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간/정비건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	10%
		가용성 (A)	87%	RFP 요구 성능목표(87%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 65%→ (2차년도) 78%→ (3차년도) 80%→ (4차년도) 87%	○ (측정방법) 실패역에서 A 측정 * $A=(MTBF/(MTBF+MTTR))\times 100\%$ ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	10%
		실패역 작업 성능 데이터 확보 시간 (누적)	180시간	RFP 요구 성능목표 (누적 180시간) 반영	○ (측정방법) 실패역에서 작업성능 데이터 확보 시간 측정(누적) * 작업수심 10~2,500m 이내, sea state 3이하, 해저케이블 또는 소형 파이프라인 매설공사현장 ○ (증빙자료) 실제 작업데이터 및 공사실적보고서	20%
		장비 운용 절차서 및 유지 보수 시뮬레이션 구축	1건 (구축 완료)	RFP 요구사항 반영 (장비 운용 절차서 및 유지보수 시뮬레이션 구축 필요)	○ (증빙자료) URI-T 전용 유지관리 시스템(SW) 및 운용절차서	10%
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수주공사현장(프로젝트) 투입 계약 체결 필요	○ (증빙자료) 프로젝트 계약서	40%

□ 3핵심과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
최종목표	수중건설로봇 성능 고도화	수중건설로봇 성능목표 달성도	100%	RFP 요구 성능목표 반영	○ (증빙자료) 수중건설로봇 성능목표 달성도(세부 성과지표) 참조	25%
	선상지원 시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 구축	1건	RFP 요구사항 반영(수중건설로봇 진회수시스템 구축 필요)	○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템 도입 확인서	10%
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	○ (증빙자료) 신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증서	10%
	Track-record 확보	Track-record 확보	1건	테스트베드(실증 공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	○ (증빙자료) 공사수행 확인서	25%
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수중공사현장(프로젝트) 투입 계약 체결 필요	○ (증빙자료) 프로젝트 계약서	30%
1차년도 (2019년)	수중건설로봇 성능 고도화	신뢰성 (MTBF)	30H	RFP 요구 성능목표(50H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 40H→ (3차년도) 50H	○ (측정방법) 실패역에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용시간 /downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	10%
			30H	RFP 요구 성능목표(10H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 20H→ (3차년도) 10H	○ (측정방법) 실패역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요 시간/정비 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	10%
		가용성 (A)	50%	RFP 요구 성능목표(83%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 50%→ (2차년도) 66%→ (3차년도) 83%	○ (측정방법) 실패역에서 A 측정 * A=(MTBF/(MTBF+MTTR)) x100% ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	10%
			48시간/1주	RFP 요구 성능목표 (48시간/1주) 반영	○ (측정방법) 수조에서 1일 8시간 가동, 6일 연속 운영 또는 48시간 연속 구동 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서	25%
		수중유압 연속구동 (수조, 내구성 테스트)				

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)	
		실해역 트랜칭 성능데이터 확보 시간	92시간	RFP 요구 성능목표 (누적 192시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 92시간→ (2차년도) 100시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 트랜칭 성능 데이터 확보시간 측정(누적) * 작업수심 100m 이내, sea state 3이하, 압축 강도 5MPa 이상 암반조건을 포함한 지반 조건에서 트랜칭 폭 최대 0.6m, 트랜칭 깊이 1m~2m 작업 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	20%	
		장비 운용 절차서 작성	1건	RFP 요구사항 반영 (장비 운용 절차서 작성)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) URI-R을 이용한 해저케이블 매설 공법 표준절차 매뉴얼 	25%	
2차년도 (2020년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	40H	RFP 요구 성능목표(50H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 40H→ (3차년도) 50H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용시간 /downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
			정비성 (MTTR)	20H	RFP 요구 성능목표(10H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 20H→ (3차년도) 10H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간/정비 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
			가용성 (A)	66%	RFP 요구 성능목표(83%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 50%→ (2차년도) 66%→ (3차년도) 83%	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 A 측정 * $A=(MTBF/(MTBF+MTTR)) \times 100\%$ ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
		실해역 트랜칭 성능데이터 확보 시간	100시간	RFP 요구 성능목표 (누적 192시간) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 92시간→ (2차년도) 100시간	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 트랜칭 성능 데이터 확보시간 측정(누적) * 작업수심 100m 이내, sea state 3이하, 압축 강도 5MPa 이상 암반조건을 포함한 지반 조건에서 트랜칭 폭 최대 0.6m, 트랜칭 깊이 1m~2m 작업 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	20%	

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)	
		트랜칭 속도	토사 조건	300m/hr	RFP 요구 성능목표 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 굴착 깊이 1.5m 기준으로 트랜칭 속도 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
			암반 조건	20m/day	RFP 요구 성능목표 반영	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 암축강도 10MPa이하 암반조건, 굴착 깊이 1m 기준 트랜칭 속도 측정 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
	선상지원 시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 설계	1건 (설계 완료)	3차년도 진회수시스템 구축을 위해 2차년도 설계 완료 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템 설계도 	20%	
	기술 인증 획득	기술 인증 획득	1건	신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증 획득 필요	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 신기술(NET) 인증 또는 녹색기술 인증서 	10%	
3차년도 (2021년)	수중건설로봇 성능 고도화	하드웨어 안정성	신뢰성 (MTBF)	50H	RFP 요구 성능목표(50H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 40H→ (3차년도) 50H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 MTBF 측정 * MTBF=총 운용시간 /downtime 발생 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
			정비성 (MTTR)	10H	RFP 요구 성능목표(10H) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 30H→ (2차년도) 20H→ (3차년도) 50H	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 MTTR 측정 * MTTR=총 정비 소요시간 /정비 건수 ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
			가용성 (A)	83%	RFP 요구 성능목표(83%) 달성을 위해 연차별 목표 설정 (1차년도) 50%→ (2차년도) 66%→ (3차년도) 83%	<ul style="list-style-type: none"> ○ (측정방법) 실해역에서 A 측정 * A=(MTBF/(MTBF+MTTR)) x100% ○ (증빙자료) 실증데이터 및 자체평가보고서 	10%
		운용-교육 유자-보수 시뮬레이션 구축	1건 (구축 완료)	RFP 요구사항 반영 (운용-교육유자-보수 시뮬레이션 구축 필요)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) URI-R 전용 유지관리시스템(SW) 	15%	
		운용/서비스 지원체계 구축 전담인력 확보	4명 이상	RFP 요구사항 반영 (운용/서비스 지원체계 구축 전담인력 확보 필요)	<ul style="list-style-type: none"> ○ (증빙자료) 전담인력 확인서 	20%	

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준	가중치 (%)
	선상지원 시스템 구축	수중건설로봇 진회수시스템 구축	1건 (구축 완료)	RFP 요구사항 반영 (수중건설로봇 진회수시스템 구축 필요)	○ (증빙자료) 수중건설로봇 진회수시스템 도입 확인서	20%
	사업화 달성	작업-기술제안서 작성	1건	사업화 실적 확보를 위해 해저케이블 매설공사 또는 굴착공사에 대한 작업-기술제안서 작성 필요	○ (증빙자료) 해저케이블 매설공사 또는 굴착공사에 대한 작업-기술제안서	15%
4차년도 (2022년)	Track-record 확보	Track-reocrd 확보	1건	테스트베드 (실증 공사현장) 투입을 통한 Track-record 확보 필요	○ (증빙자료) 공사수행 확인서	25%
	사업화 달성	프로젝트 계약(수주)	1건	사업화 달성을 위해 신규 수중공사현장 (프로젝트) 투입 계약 체결 필요	○ (증빙자료) 프로젝트 계약서	30%
		MOU 체결	1건	해저공사 참여를 위한 국/내외 입찰 참여 등 다작업 체계확립 MOU 체결	○ (증빙자료) MOU 체결 문서	25%
		공사품질 매뉴얼 작성	1건	사업화 달성에 대한 공사수행 문서 작성	○ (증빙자료) 설치매뉴얼, 운용매뉴얼, 유지보수 매뉴얼, Material list 등	20%

□ 총괄과제

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	가중치 (%)
최종목표	현장실험 지원	현장 적용을 위한 선박 공동 임차	1건 이상/년	각 로봇의 현장 적용을 위한 선박(바지선, DP선박 등)의 공동 임차	○ (증빙자료) 선박 임차 계약서	20%
	현장 실험결과 분석	현장 적용 결과보고서 작성	1회/년	각 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과 확인	○ (증빙자료) 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과보고서	15%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	가중치 (%)
	트랙레코드 확보 지원	현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	3건 이상	수중로봇 결과물의 현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	○ (증빙자료) Test-Bed 확보 지원에 대한 활동 및 결과보고서	15%
		사업화 실적 확보 지원	3건 이상	수중로봇 결과물의 프로젝트 계약 등 사업화 실적 확보 지원	○ (증빙자료) 사업화 실적 확보 지원 보고서	15%
	객관적 결과 검증	실해역 검증보고서 작성	로봇 당 1건 이상	각 로봇에 대해 사업수행자 외 감리기관 또는 수요처의 제3자 확인을 통한 검증	○ (증빙자료) 실해역 결과 검증보고서 (감리기관 또는 수요처의 제3자 결과 확인을 통한 검증)	15%
	기술 표준화 체계 마련	수중로봇 기술표준화를 위한 세부계획 수립	1건	수중로봇분야 요소기술 분석 및 국내외 산업적용 기술 및 산업화 현황 분석	○ (증빙자료) 세부추진계획 보고서	10%
	세부과제 관리 및 지원	진도점검 워크숍 개최	1회/년	세부과제 중간 진도관리를 위한 워크숍 개최	○ (증빙자료) 진도점검 워크숍 결과 보고서	10%
1차년도 (2019년)	현장실험 지원	현장 적용을 위한 선박 공동 임차	1건	각 로봇의 현장 적용을 위한 선박(바지선)의 공동 임차	○ (증빙자료) 선박 임차 계약서	40%
	현장 실험결과 분석	현장 적용 결과보고서 작성	1회	각 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과 확인	○ (증빙자료) 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과보고서	20%
	트랙레코드 확보 지원	Test-Bed 후보지 분석 지원	1건	수중로봇 적용 가능 Test-Bed 후보지 분석	○ (증빙자료) Test-Bed 후보지 분석 결과 보고서	15%
		시장 분석 보고서 작성	1건	수중건설로봇 활용 시장 분석	○ (증빙자료) 수중건설로봇시장 분석 보고서	10%
	세부과제 관리 및 지원	진도점검 워크숍 개최	1회	세부과제 중간 진도관리를 위한 워크숍 개최	○ (증빙자료) 진도점검 워크숍 결과 보고서	15%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	가중치 (%)
2차년도 (2020년)	현장실험 지원	현장 적용을 위한 선박 공동 임차	1건	각 로봇의 현장 적용을 위한 선박 (바지선 또는 DP선박 등)의 공동 임차	○ (증빙자료) 선박 임 차 계약서	30%
	현장 실험결과 분석	현장 적용 결과보고서 작성	1회	각 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과 확인	○ (증빙자료) 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결 과보고서	30%
	트랙레코드 확보 지원	현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	1건	수중로봇 결과물의 현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	○ (증빙자료) Test-Bed 확보 지원에 대한 활동 및 결과보고서	20%
	기술 표준화 체계 마련	수중로봇 기술표준화를 위한 세부계획 수립	1건	수중로봇분야 요소기술 분석 및 국내외 산업적용 기술 및 산업화 현황 분석	○ (증빙자료) 세부추진 계획 보고서	10%
	세부과제 관리 및 지원	진도점검 워크숍 개최	1회	세부과제 중간 진도관리를 위한 워크숍 개최	○ (증빙자료) 진도점검 워크숍 결과 보고서	10%
3차년도 (2021년)	현장실험 지원	현장 적용을 위한 선박 공동 임차	1건	각 로봇의 현장 적용을 위한 선박 (바지선, DP선박 등)의 공동 임차	○ (증빙자료) 선박 임 차 계약서	30%
	현장 실험결과 분석	현장 적용 결과보고서 작성	1회	각 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과 확인	○ (증빙자료) 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결 과보고서	20%
	트랙레코드 확보 지원	시장분석보고서	1건	수주건설로봇 활용 시장 분석	○ (증빙자료) 실해역 결과 검증보고서 (감리기관 또는 수 요처의 제3자 결 과 확인을 통한 검증)	20%

구분	성과목표	성과지표	목표치	설정근거	평가기준 (측정산식 등)	가중치 (%)
	객관적 결과 검증	실해역 검증보고서 작성	1건	각 로봇에 대해 사업수행자 외 감리기관 또는 수요처의 제3자 확인을 통한 검증	○ (증빙자료) 실해역 결과 검증보고서 (감리기관 또는 수요처의 제3자 결과 확인을 통한 검증)	20%
	세부과제 관리 및 지원	진도점검 워크숍 개최	1회	세부과제 중간 진도관리를 위한 워크숍 개최	○ (증빙자료) 진도점검 워크숍 결과 보고서	10%
4차년도 (2022년)	현장실험 지원	현장 적용을 위한 선박 공동 임차	1건	각 로봇의 현장 적용을 위한 선박 (바지선, DP선박 등)의 공동 임차	○ (증빙자료) 선박 임차 계약서	30%
	현장 실험결과 분석	현장 적용 결과보고서 작성	1회	각 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과 확인	○ (증빙자료) 로봇의 현장 적용 시험에 대한 성과 및 결과보고서	15%
	트랙레코드 확보 지원	현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	2건	수중로봇 결과물의 현장 적용을 위한 Test-Bed 확보 지원	○ (증빙자료) Test-Bed 확보 지원에 대한 활동 및 결과보고서	15%
		사업화 실적 확보 지원	3건	수중로봇 결과물의 프로젝트 계약 등 사업화 실적 확보 지원	○ (증빙자료) 사업화 실적 확보 지원 보고서	15%
	객관적 결과 검증	실해역 검증보고서 작성	2건	각 로봇에 대해 사업수행자 외 감리기관 또는 수요처의 제3자 확인을 통한 검증	○ (증빙자료) 실해역 결과 검증보고서 (감리기관 또는 수요처의 제3자 결과 확인을 통한 검증)	15%
	세부과제 관리 및 지원	진도점검 워크숍 개최	1회	세부과제 중간 진도관리를 위한 워크숍 개최	○ (증빙자료) 진도점검 워크숍 결과 보고서	10%

3. 연구개발 결과물의 Track-record 확보 방안

가. URI-L

□ 활용 계획

- 경작업용 ROV 장비의 핵심기능인 해양환경 정밀맵핑, 수중고화질 영상취득 및 실시간 모니터링, 수중 구조물 조립/해체 등 유지보수 기술을 기반으로 해양에너지, 해상풍력, 항만공사에서 수행중인 프로젝트를 중심으로 해양환경 사전조사, 매트도포 작업, 수중 시설물 외관검사, 소형구조물 유지보수 작업을 주요 시장목표로 설정하여 사업화 추진
- 프로젝트 주요 대상지역은 대부분 국내해안지역이며, 점진적으로 동남아지역을 포함 국외시장 진출을 목표로 하고 있음

Market	Target project				
해양에너지	● 국내 해양에너지(조력, 파력, 조류, 온도차 등) 생산시스템 구축				
	원천사	시행사	작업지역	운용심도	예상발주시기
	전남녹색에너지연구원	지역 시공업체	국내해안환경	20~100m	2020년 이후 지속
사전 환경조사, 경량물 운반, 소형장비 조립/해체, 배선절단 등 경작업 임무 수행					
해상풍력	● 상업용 파력발전 실증단지 및 복합발전단지 추가조성 추진				
	원천사	시행사	작업지역	운용심도	예상발주시기
	KRISO	관련 시행사 및 시공업체	제주도 용수리	20~50m	2020~2025년
정밀 맵핑기반 사전조사 및 콘크리트 매트 도포작업 지원 임무 수행					
해저가스배관 관리	● 동해 기 설치배관 및 해저 생산시설 외관검사				
	원천사	시행사	작업지역	예상발주시기	
	한국석유공사	관련 시행사 및 시공업체	동해 등 국내해안	2018년 이후	
고화질 영상수집 및 실시간 모니터링 기술기반 해저시설 외관검사 및 유지보수 임무 수행					
항만공사	● 동해안 3단계 석탄부두 건설공사				
	원천사	시행사	작업지역	예상발주시기	
	항만청	GS건설	동해 등 국내해안	2018년~2022년	
사전 환경조사, 경량물 운반, 소형장비 조립/해체, 배선절단 등 경작업 임무 수행					

□ 활용 분야

○ 해양에너지 산업 분야

- 대체에너지 및 신재생 에너지에 대한 수요 급증과 함께 해상 풍력발전, 조류발전, 파력발전, 글로벌 온난화 해결책의 일환으로 CCS, 그리고 침매터널과 같은 다양한 해상, 해저 구조물에 대한 수요가 점차 증가하고 있음.
- 해상, 해저 구조물에 필요한 전력, 통신 공급을 위한 해저 케이블 및 파이프라인 매설 작업 현장에서 해저환경 정밀 맵핑 서비스 및 구조물 점검/진단, 구조물 운반, 정밀 시공 작업 등 임무 수행 지원

- 해양 파이프라인 매설 분야
 - 해저 파이프라인 매설작업이 점진적으로 중작업용 ROV를 투입하여 공사를 수행하고 있는 실정으로 경작업용 ROV의 고해상도 수중영상정보 획득 기술을 기반으로 매설 환경 사전조사 및 기 매설된 파이프라인의 검사/점검 등 임무 수행 가능
 - 해저환경 정밀 맵핑기술을 기반으로 파이프라인 매설 상황(위치, 배열 등) 정밀하게 파악할 수 있는 서비스 활용
 - 경량물에 대한 운반 및 조립/해체 등 수중 임무 수행과 함께 지속 반복적인 유지보수 관리 임무 활용
- 해양시설물 검사 및 유지보수 분야
 - 국가 지정학적 특성 및 국가 산업발전의 추이를 볼 때, 다양한 수중 환경조사 및 유지보수 사업의 향후 시장성이 높음
 - 최근 관심이 급증하고 있는 기후변화에 따른 연안 구조물 재해 관련 관측 조사를 통해 구조물 설계 및 시공에 직접적 활용이 가능할 것으로 보임
 - 댐, 항만, 수리시설물, 교량 등 수중항만시설물의 안전진단 분야는 물론 감리 단계에서의 점검 및 진단 등 다양한 활용이 가능할 것으로 보임
- 해양 공사 및 시공 분야
 - 대수심 조건의 초장대 교량 건설, 해상풍력단지를 포함한 에너지단지, 인공섬과 해양 건설분야 공사 보조 및 사전조사 작업 활용

나. URI-T

- 활용 계획
 - 본 장비의 핵심 기능인 통신 및 전력 케이블 매설작업 프로젝트를 중심으로 umbilical, 소형파이프라인 매설작업을 주요 시장목표로 하여 진행 예정
 - 수주목표로 하고 있는 프로젝트에서 본 2핵심 ROV가 성공적으로 성능검증에 성공한다면 적극적으로 수주활동 진행 예정
 - 프로젝트 주요 대상지역은 주로 한국을 비롯한 동남아 시장 목표
- 활용 분야
 - 케이블 및 소구경 파이프라인 매설분야(2020~2022년 적용 목표)
 - 통신 및 전력 케이블 매설작업 프로젝트(Umbilical, 소형 파이프라인 매설작업)
 - 주요 대상시장: 한국 및 동남아 시장
 - 주요 발주처
 - NEC, TE Subcom, 시스템 공급업체, 케이블 공사업체의 재 하도급
 - 해저파이프라인 설치업체

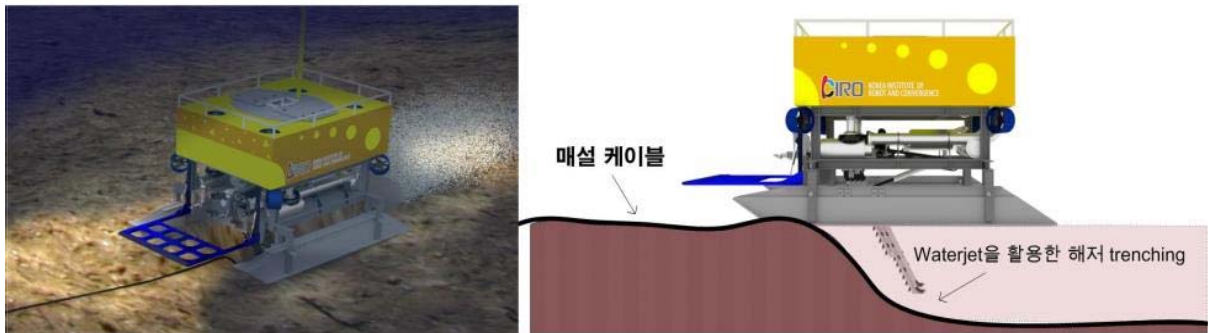
Market	Target project
해양 플랜트	Sole Development Trenching Project
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
	Cooper Energy KT서브마린 호주 0.62m 2018~2019
	Umbilical, 120mm(외경) x 약 65km(총 연장, 단일선로) 매설 작업
	BIGP Trenching Project
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
	Premier Oil KT서브마린 인도네시아 1.0m 2019
	Umbilical, 약 36km(총 연장, 4개선로) 매설 작업
	Phong Lan Dai Trenching Project
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
Rosneft Vietnam B.V. KT서브마린 인도네시아 0.5m 2018~2019	
Umbilical, 약 4.6km(총 연장, 단일 선로) 매설 작업 및 Pipeline peak shaving 12개소 매설(예상)	
통신 케이블	APNG-3
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
	PNG DataCo. KT서브마린 동남아 1.5~3.0m 2018
	통신 케이블 매설
	PLCN
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
TE Subcom KT서브마린 동남아 1.5~3.0m 2018	
통신 케이블 매설	
Market	Target project
전력 케이블	전남 진도 하조도 케이블 매설
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
	한국전력 KT서브마린 서해 2.0~3.0m 2018
	전력 케이블 매설
	제주 월정/행원 해상풍력 단지 조성
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
	제주에너지공사 KT서브마린 남해 2.0~3.0m 2018
	전력 케이블 매설
	Peng Hu
	원청사 시행사 작업지역 매설심도 예상발주시기
SEI KT서브마린 대만 2.0~3.0m 2018	
전력 케이블 매설	

[그림 5-16] 2019년 수주 가능 프로젝트

Market	Target project				
통신 케이블	HKG				
	원청사	시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
	RTI	KT서브마린	동남아	1.5~3.0m	2020
	SJC2 - 한국 구간				
	원청사	시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
	NEC	KT서브마린	동남아	1.5~3.0m	2020
	HK-Philippines				
	원청사	시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
	Huawei Marine Systems	KT서브마린	동남아	1.5~3.0m	2020
	전력 케이블	제주 월정/행원 해상풍력			
원청사		시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
제주에너지공사		KT서브마린	남해	2.0~3.0m	2020
전남 흑산도-대둔도					
원청사		시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
한국전력		KT서브마린	서해	2.0~3.0m	2020
서남해 해상풍력 시범단지					
원청사		시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
한국전력		KT서브마린	서해	2.0~3.0m	2020
제주 한동/평대 해상풍력					
원청사		시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
제주에너지공사		KT서브마린	남해	2.0~3.0m	2020
COPP					
원청사		시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
TGC		KT서브마린	대만	2.0~3.0m	2020

[그림 5-17] 2020년 수주 가능 프로젝트

- 기존의 해저 케이블 및 파이프라인 매설작업은 대부분 Plough를 활용하여 수행하나 아래와 같은 경우에는 ROV를 투입하여 매설작업을 수행
- 해저 케이블 및 파이프라인 매설작업 시 Plough 진수 및 회수 구간
- 케이블 교차 등으로 인해 Plough로 목표 매설심도를 확보하지 못한 구간
- 주위에 암반이 있어 Plough 작업이 불가능한 구간
- 전력 배전케이블, 소구경 파이프 구간에 대한 전체 구간 매설
- ROV를 활용하여 해저 케이블 공사를 수행할 경우 일반적으로 PLIB(Post Lay Inspection & Burial)방식을 많이 사용
- 이 경우, ROV는 사전에 포설된 케이블에 접근하여 해저에 밀착하여 작업을 하게 되고 Port/Starboard 수압노즐이 해저면에 최대 3m까지 내려가면서 매설을 수행하게 되는데 이때 케이블이 두 개의 노즐 사이에 놓이면서 작업 진행
- 이때 노즐이 케이블에 위해를 줄 수 있기에 노즐의 모양이나 전체 틀 모양을 설계/제작하여야 함



[그림 5-18] ROV를 활용한 해저 케이블 매설작업

- 매설된 케이블 및 소구경 파이프라인 유지보수 작업
 - 시스템 운용 중인 해저 케이블이 고장 났을 경우
 - 매설된 케이블 및 파이프라인에 대한 점검이 필요할 경우
 - 매설된 케이블 및 파이프라인이 landing이 되어 있는지 없는지에 따라 탐지 방식 및 탐지 장치의 성능이 현저하게 차이가 남
 - 일반적으로 매설된 케이블 및 파이프라인이 landing이 되어있을 경우 케이블 및 파이프라인에 전류 등을 투입하고 이 기초상에서 ROV에 탑재된 탐지시스템을 이용하여 매설된 케이블 및 파이프라인에 대하여 cm단위까지 정밀하게 위치를 탐지할 수 있음
- 다양한 해양구조물 건설 및 유지보수 분야(2023년 이후 적용 목표)
 - 해상풍력발전 조력 파력 발전 등 해양에너지 분야의 해양구조물 건설
 - 심해저 석유 가스 개발 등 해저 구조물 설치 및 유지보수
 - 대형 컨테이너선을 포함한 해양플랜트 및 해저터널 침매터널 등 수중 구조물의 유지보수
- 핵심 부품 및 요소 기술의 활용
 - 유압 power pack의 경우 국내에서 처음으로 시도되는 연구개발로서 만약 성공할 경우 수중에서 다양한 중작업에 필요한 유압장비 핵심 부품 기술을 확보하게 되며 나아가서 다양한 수중 중작업 장비 기술 개발 및 생산에 활용
 - 수중 고성능의 워터젯 기술의 경우에도 다양한 해저 매설작업에 반드시 필요한 핵심 기술로 상용화 기술 확보를 통하여 다양한 해저 매설 작업장비 개발에 활용
 - 본 연구개발에서 확보할 목적의 수중 정밀 항법기술, 수중 작업로봇의 정밀 운동제어 기술, 유압매니퓰레이터 정밀 제어 기술, 해저 매설물의 정밀 추적 기술 등 다양한 핵심 요소 기술의 경우 수중 중작업용 로봇 플랫폼뿐만 아니라 다양한 수중탐사 및 작업에 활용 가능

다. URI-R

□ 활용 계획

- 해양 자원이 충분한 경제성을 확보함에 따라 해양자원 발굴, 시추, 생산에 필요한 장비를 건조하거나 설치, 공급하는 해양플랜트 산업에 각광을 받고 있으며 최근 에너지 개발의 관심이 점차 심해로 옮겨가고 있는 추세임
- 대용량의 파괴인성 시험(CTOD), 계류선 및 해저 파이프라인 등 실크기 굵힘 및 비틀림 시험, ROV를 활용한 해양플랜트 구조물의 검사 및 시험 등은 싱가포르, 일본 등 해외에 의존하고 있는 실정임
- ROV의 부품 및 운영/유지보수에 대한 경험 부재 및 높은 해외의존도로 인해 관련 연구는 극히 미미한 실정임

Market	Target project				
전력 및 통신 케이블	● 국내 섬 사이 전력케이블 매설 시 암반구역 파쇄 및 사전 매설작업				
	원천사	시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
	한국전력공사 KTS 등 관련시행사 국내해안 / 도서지역 1.5 ~ 2.0 2018년 이후 지속적 도서지역으로 연결하는 전력이불 및 통신케이블을 해저 암반구역 및 해안 접안구역의 사전매설에 의한 작업 실시				
해상풍력 및 조류발전	● 해상풍력과 조수력에 의한 전력 및 통신케이블 매설작업				
	원천사	시행사	작업지역	예상발주시기	
	동,서, 남부발전 및 동력발전업체 KTS 및 관련시행사 국내해안 / 도서지역 2018년 이후 지속적 시공 도서지역으로 연결하는 전력이불 및 통신케이블을 해저 암반구역 및 해안 접안구역의 사전매설에 의한 작업 실시				
해안구역 종말처리장 배관 매설작업	● 종말처리 하수배관 해안 매설작업 / 원자력 발전 정제폐수관 설치 및 유지보수				
	원천사	시행사	작업지역	매설심도	예상발주시기
	각 지방자치회 지역시공업체 및 시공 관련사 해안 관련구역 1.2m 배관매설을 위해 2m 매설트렌칭(굴착) 2018년 이후 지속적 시공 해안 접안구역의 상업적인 배관 및 하수배관의 해안 매설작업 시공 등을 포함한 기타 해양수중공사				

[그림 5-19] URI-R의 적용 가능 시장

□ 활용 분야

- 해저 암반 또는 경질의 해저지반 Trenching 후 해저 통신, 전력케이블 포설과 소구경 파이프라인 매설과 되물이 작업
 - 본 장비의 핵심 기능인 경질의 해저 구간(암반 등)의 통신 및 전력 케이블 매설작업 프로젝트를 중심으로 소형 파이프라인 매설작업을 주요 시장목표로 하여 진행 예정
 - 해저 해저 2m(깊이) x 0.5m(폭)의 터파기 이후 해저케이블 매설
 - 매설 후 바로 되물이하여 해저 표면을 평탄하게 함
- 연안 근접지역근접지역 또는 부두나 깊은 하천에 소형 해수배수관(구경 50Cm이하) 매설작업을 위해 터파기 이후 바로 매설작업(배수관 매설을 위해 물막이 공사와 배수 절차가 생략되므로 시간과 비용 절감 예상)

- 해상 Oil & Gas 관로 매설 또는 유지보수
 - 본 장비의 핵심 기능인 경질의 해저 구간을 2m(깊이) x 0.5m(폭)의 터파기 이후 즉시 소형 파이프라인 (구경 50Cm 이하) 설치 및 매설작업과 되물이 작업 실시
 - 해저 시멘트 구조물 등 폐기물 해체 및 처리공사
 - 경질 암반용 Trencher 를 사용하여 해저 시멘트 구조물 등 철거작업
 - 노후된 해상 플랫폼 해체작업을 위한 보조작업 수행
- 장비에 사용된 기술과 핵심 부품의 활용
- 수중 작업로봇의 정밀제어 기술, 탐사 및 항법기술 등을 개선하여 해양개발활동에 응용
 - 국내에서 처음 개발된 수중 중작업용 Trencher로서 상용화를 위한 실무사용을 통한 장비 개선 및 응용을 통한 육상의 토목건설작업용 장비 개발



[그림 5-20] 수중건설로봇 3종 활용 개념도

4. 수중로봇복합실증센터 활용 계획

가. 수중로봇복합실증센터 활용 방안

- 수중(건설)로봇 분야 시험
 - 수중(건설)로봇 성능 테스트, 수중로봇 주위 유동 변화 관측 및 정보 획득, 각종 유체력 계측, 수중로봇 제어 케이블의 거동 시험 등에 활용
- 해양구조물 관련 시험
 - 부유 해양구조물 계류력 확인 실험, 해저 전선, riser, tether, umbilical 등의 거동 실험 등에 활용
- 조류발전 관련 시험
 - 조류발전기의 성능향상 및 배치 실험 등에 활용
- 수산업 관련 시험
 - 수중가두리 계류력 조사시험, 어망 설계지원 시험 등에 활용
- 체육활동 관련 지원
 - 수영선수 영법 개선 실험, 조정, 카누, 카약 등 선수의 훈련 지원 등에 활용
- 재활의학 관련 연구
 - 유동 중 재활 운동 지원 등에 활용
- 해양재난 관련 연구
 - 해양재난 및 해양안전 분야 연구에 활용
- 해양 전문 인력양성
 - 수중건설로봇 오퍼레이터 양성 교육, 수중로봇 운용 시뮬레이션 프로그램 개발 교육, 수중로봇 체험 교육, 잠수 교육 등에 활용
- 문화산업
 - 수중 환경 촬영 등에 활용

- 수중로봇챌린지대회 개최
 - 수중로봇챌린지대회 대회장으로 활용



[그림 5-21] 구축 인프라 활용분야

나. 기대효과

- 수중건설장비 기술력 확보 및 상용화 기반 구축
 - 수중건설장비 및 부품 시험평가 지원을 통하여 개발 장비 및 부품의 신뢰도 제고
 - 수중건설 관련 핵심기술 및 수중건설장비의 성능인증 통한 수중건설로봇 상용화 기반 구축
- 해양 전문 인력의 재교육 및 신규 인력 공급
 - 양질의 수중로봇 작업을 위해서는 전문 운용 인력의 확보가 반드시 필요
 - 수중건설장비 운영인력 교육을 위한 프로그램 개발 및 교육 시스템의 확보로 수중건설로봇 전문 인력 배출과 원활한 공급
 - 한국로봇융합연구원, 포항공과대학교 등 포항테크노벨리와 연계한 첨단 기술인재 양성의 학습장으로 자리매김.
- 유관 기업체 유치 및 신규 고용창출
 - 첨단 수조 인프라 및 지리적 이점을 바탕으로 수중로봇 및 관련 부품 기업체 유치를 통해 지역 내 관련 산업 육성 및 지역산업 구조 다각화
 - 기업체 유치를 통한 수중건설로봇 관련 신규 고용창출 및 지역경제 활성화에 기여

- 관련사업 연계를 통한 시너지 창출
 - 해양관련 건설, 안전 분야 등 기술적인 유사성이 있는 사업 연계를 통해 시너지 창출
 - 관련 산업 인프라 집적화를 통한 특화단지 조성 가능



[그림 5-22] 인프라 구축 기대효과

- 영일만 3산업단지의 극한분야 연구단지 조성 기반 구축 가능
 - 수중건설로봇사업단의 인프라 구축을 기반으로 영일만 3산업단지를 극한 공학의 메카로 성장하기 위한 연구 인프라 클러스터링의 기초가 되었으며 향후 아래와 같은 전체 연구 단지 조성에 탄력이 있을 것으로 전망



[그림 5-23] 영일만 3산업단지의 극한 연구단지 구축 미래 비전

6

**연구과정에서 수집한
해외 과학기술 정보**



6

연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 핵심과제별 정보 수집

※ 각 핵심 및 총괄과제 세부 수행 내용은 부록 참조

2. 학술대회 및 전시회를 통한 정보 수집

(1) Oceanology International Americas 2019

□ 개요

- 해양 과학 및 기술 전시회 및 컨퍼런스로 업계, 학계에서 지식을 공유하는 엑스포로 세계에서 큰 규모로 열리는 행사임.
- 금년 OEE2018에는 약 50개가 넘는 신재생 해양에너지 분야의 회사, 연구소, 국가정책자들이 참석하여 다양한 주제를 통해 토론과 발표를 진행하였음.
- 데모 및 실습 기술을 포함하여 약 200개의 글로벌 업체가 제공하는 최신 기술을 습득할 수 있는 자리임.

□ 전시회

- DEEPSEA



[그림 6-1] DEEPSEA 전시부스

- 본사는 해저용 전원, 카메라 및 라이트를 전문 생산하는 업체로 SeeScan의 자회사임.
- ROV 및 다이버를 위해 작고 다목적인 카메라를 개발하면서 1990년 중반부터는 수중 카메라 및 라이트에 대한 지식을 활용하여 배관 산업을 위한 파이프 검사 시스템을 개발하기도 하였음.
- 다양한 종류의 압력챔버를 보유중이며, 하단표와 같음.

[표 6-1] DEEPSEA 압력챔버 상세정보

	Chamber 6	Chamber 9	Chamber 20	Chamber 24
Shape	Cylindrical	Combined Cylinder/Cone	Cylindrical	Cylindrical
Interior Diameter	152mm	235mm max 129mm min	508mm	609mm
Interior Height	609mm	914mm overall 0-533mm cylinder 533-914mm cone	1,219mm	914mm
Max Pressure	206.5 MPa	137.5 MPa	137.5 MPa	689 KPa
Max Ramp Up Rate	3,000 psi/min	3,000 psi/min	900 psi/min	100 psi/min
Max Ramp Down Rate	5,000 psi/min	5,000 psi/min	5,000 psi/min	100 psi/min

□ SEADRONE



[그림 6-2] SEADRONE 전시부스

- 경량 ROV 생산 신생업체로 2014년 실리콘밸리에서 탄생하였으며, Seadrone 1을 시작으로 현재 Seadrone 3까지 제작함.
- 1대당 가격은 \$9,899이며 사양은 하단표와 같음.

[표 6-2] SEADRONE 제품군 상세정보

대상	상세사양	
Vehicle	Weigh in Air	6.5kg
	Dimensions	306*306*306mm
	Max Operating Depth	125m
	Max Speed	1.4m/s
	Battery Life	Approximately 3hrs
	Bumper Frame Material	HDPE
	Ballast System	500g
Camera	Sensor	APTINA 1/2.5"
	Video Streaming Resolution	Full HD 1080P, HD 720P
	Recording Format	MP4, JPEG
	Lux Level	0.05
	Vertical Actuated Rotation	180 degrees
Tether	Diameter	4mm
	Length	100-250m
	Working Strength	30kg
	Breaking Strength	100kg
Sensor	9-axis IMU, Depth, Water and Internal Temperature, etc	

- 직접 수조 시연을 한 결과, 수중건설로봇사업단에서 보유중인 Blue ROV보다 조작성이 부드러우며 반응 속도 역시 뛰어나다고 판단됨.
- 콤팩트한 사이즈와 이동 가방 등으로 Blue ROV 보다 장비 이동시 편리함을 보유함.
- 신생업체라서 타 업체와는 달리 여러 방면에서 customizing이 가능하다고 함.

□ L3



[그림 6-3] L3 w-class ROV 전시

- 이탈리아 업체로 이탈리아 해군 방위 업체로 소개하였음.
- 처음 보는 업체라고 생각했지만 오래된 역사를 가지고 있었으며, 5종류의 ROV를 생산하고 있었음.

[표 6-3] L-3 ROV 상세정보

	Sirio	Lyra	Antares	Perseo GTV	Pegaso
Class	Observer	Observer	Observer	Multipurpose/Light Work	Light work
Depth rating	300m	300m	400m	1,500m	2,000m
Dimensions	590*560*450mm	750*600*520mm	900*570*400mm	1,550*950*800mm	1,800*1,100*1,300mm
Weight	40kg	80kg	62kg	270kg	800kg
Camera	1 or more on request	1 or more on request	1-2(optical 3 on request)	1-2(optical 3 on request)	1-2(optical 3 on request)
payload	8kg	18kg	14kg	22kg	60kg
Optical fiber	n/a	n/a	multi mode	single mode	single mode

- ROV를 비롯하여 잠수함의 잠망경, 레이더, 통신기, 무인선박, 발사대 등 다양한 종류의 제품을 생산하고 있음.

(2) Oceans'18 KOBE

□ 개요

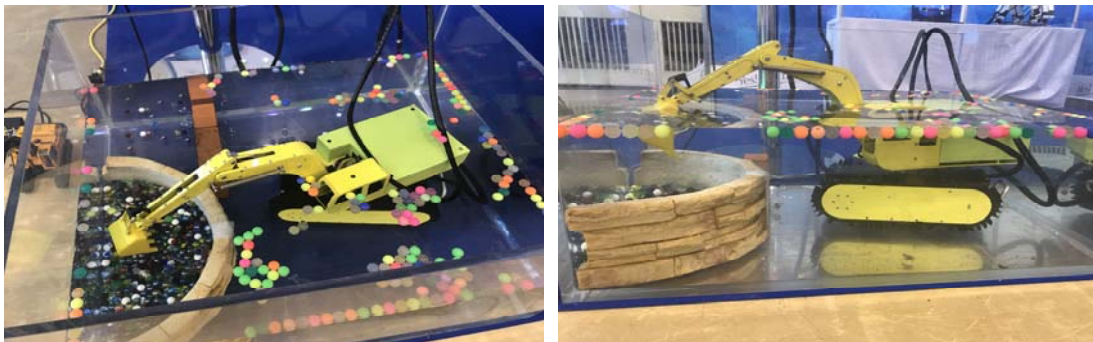
- 해양로봇, 항법, 에너지 등 해양과 관련된 다양한 분야를 공학적 관점에서 접근하는 학술 대회로서 수중건설로봇과 관련된 해양 장비 기술 개발 및 연구에 대한 최신 동향을 파악하고 자료 수집 및 전문가 자문, 네트워크 구축 등을 수행할 수 있음.
- 해당 학술대회는 연 2회(북미 1회, 북미 외 1회)씩 개최하며, 다음 개최지는 미국 찰스턴임.
- 우리나라 업체(오션테크)에서도 부스 운영을 하였으며, KIOST, 포항공대 등에서 다수의 논문 및 포스터를 발표함.

□ 전시회



○ Crawler type ROV

- TOA Corporation에서 개발한 ROV로서 연안에서 토사의 굴착하는 역할 등을 수행할 수 있게 개발함.
- 양서류에서 아이디어를 착안하여 조종자가 탑승 여부를 환경에 따라 선택할 수 있음.
- 공기 중 무게는 약 19.5톤, 투입 가능 최대 수심은 50m임.
- 해당 장비에 장착할 수 있는 툴은 암파쇄기(twin header), 굴착기(breaker), 버킷(bucket), 천공기(drifter)임.
- 심해(3,000m)용 Crawler type ROV를 개발하고 있으나, 구체적 수행 능력은 제시되지 않음.



[그림 6-4] Crawler type ROV 모형

○ Samll ROV launching System

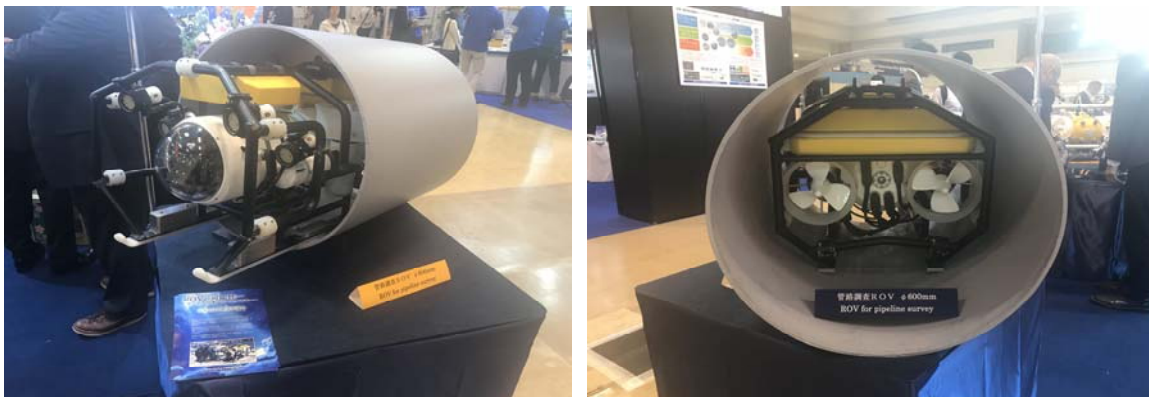
- Main Vehicle(또는 Mother ROV)에서 Small Vehicle(또는 SUB-ROV)를 내보내어 협소한 지역 조사 등의 임무 수행이 가능하며, 여러 회사가 해당 기술 개발을 진행 중에 있음.
- Main Vehicle의 사양은 최대 수심 300m, 공기 중 무게 47kg, 크기는 867×640×494(mm)임.
- Small Vehicle의 사양은 최대 수심 230m, 공기 중 무게 4kg, 크기는 230×150×270(mm)임.
- 2기의 ROV를 별도로 운용할 수 있으며, 테더(tether)의 길이는 15m임.
- 2기 모두 전후방 카메라가 장착되어 있으며, 전방 카메라에는 팬필트 기능이 탑재됨.



[그림 6-5] Main ROV 및 Sub-ROV

○ Pipe survey용 ROV

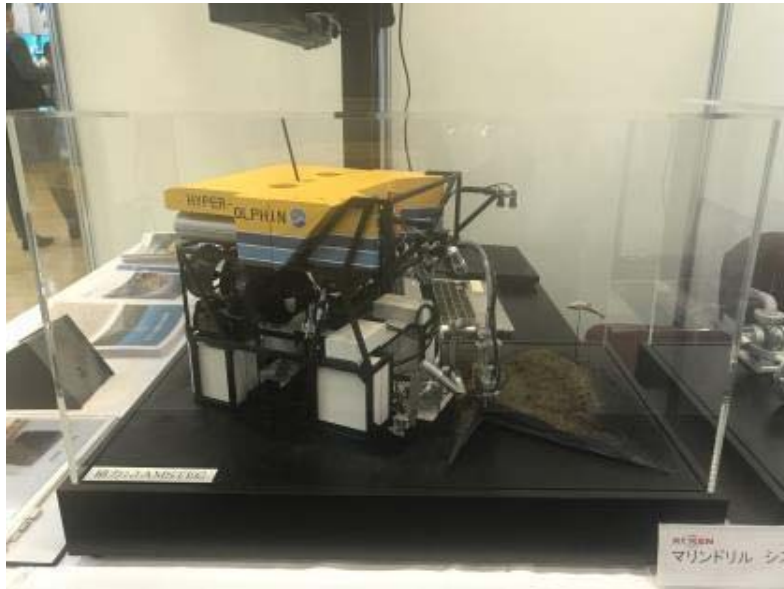
- Chugoku Diving Limied Company에서 개발한 ROV로서 지름 600mm 파이프의 점검이 가능함.
- 배관 내 충돌을 고려하여 외부 프레임을 구성하였으며, 환경 특성상 카메라 외 보조 센서들은 없음.
- 파이프 상태는 취득한 카메라 데이터를 영상 처리(3D 가시화)하여 사용자가 파악하기 쉽게 전달함.
- 추후 수중로봇복합실증센터에서 이루어질 ‘상수도관 내부진단 검사로봇’의 성능 실험시 참고로 활용 가능함.



[그림 6-6] Pipe survey용 ROV

○ Seabed resource survey coring system

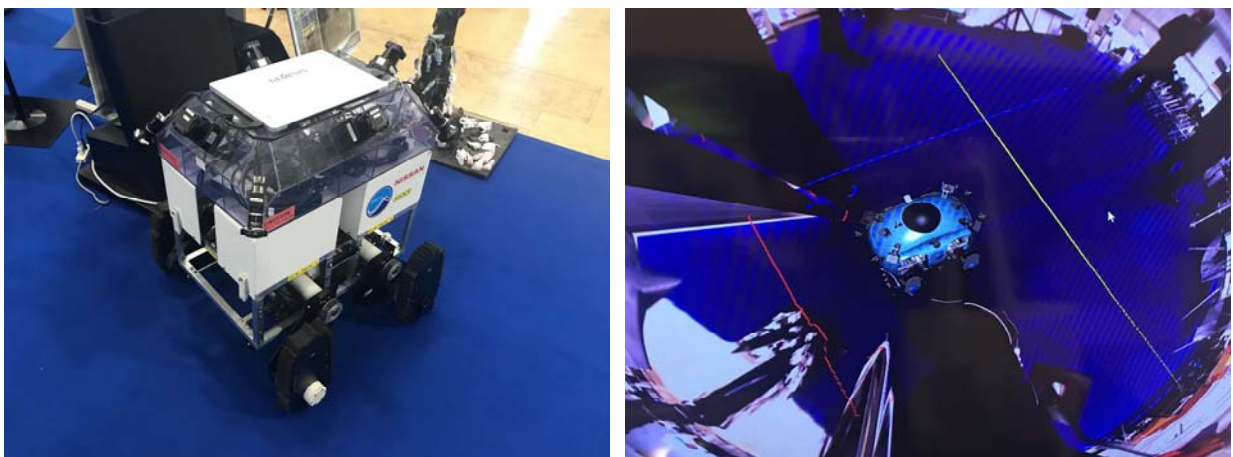
- Jamstec에서 개발 중인 Marine Drill 5000m Trident(이하 MD-5000-T)는 workclass ROV에 장착되어 해저면 조사 및 Coring이 가능함.
- MD-5000-T는 Coring tool로써 ROV에 장착된 매니퓰레이터를 운용하여 작업이 이루어짐.
- Drilling의 깊이는 200mm이며, 최대 토크는 150Nm임.



[그림 6-7] Marine Drill 5000m Trident

○ 기타

- 360° 가시화 기술 개발 : 수중로봇에 장착된 다수의 카메라를 통하여 데이터를 취득한 후, 영상 처리를 통하여 실시간으로 전방위를 육안으로 확인 가능함.



[그림 6-8] 360° 가시화 기술 개발 전시

- 선저 청소 로봇 : ROV의 상부에 장착된 2기의 나일론 브러시를 회전하여 선박의 바닥 또는 측면 부위의 청소가 가능함.

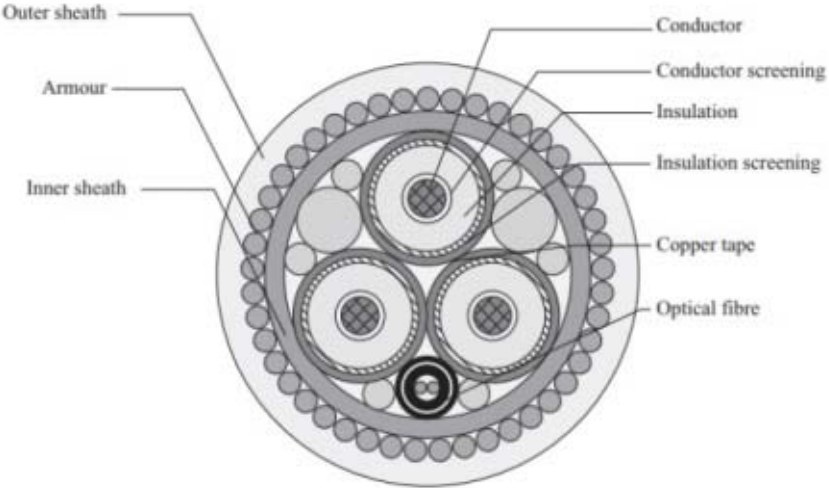
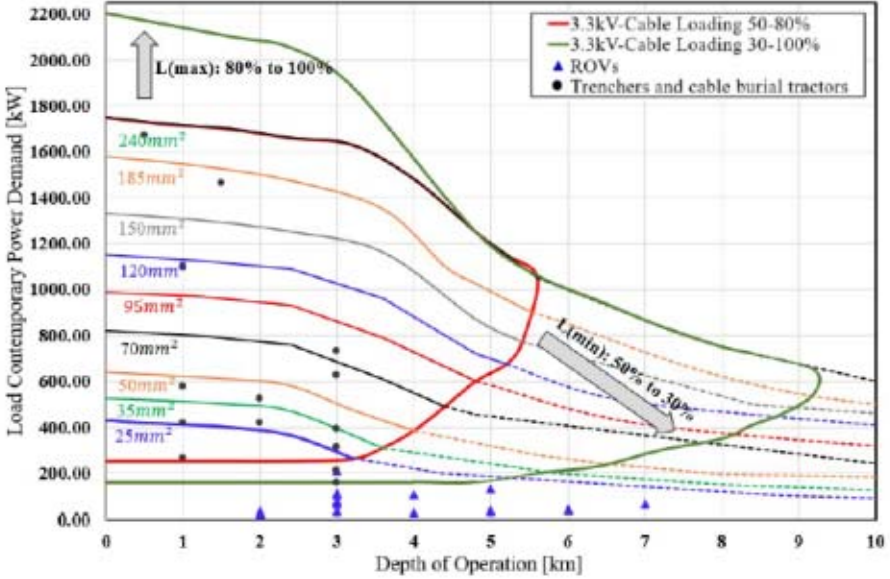


[그림 6-9] 360° 가시화 기술 개발 전시

□ 학술대회

- 이번 컨퍼런스는 ROV, AUV, Glider 등의 해양로봇을 비롯하여, Sonar imaging, Vehicle navigation, Buoy Technology, Offshore structures and Naval architecture 등과 같이 해양에너지, 통신, 환경 등 다양한 주제로 세션이 구성되어 있음.
- 논문은 포스터 세션을 포함하여 5백편 이상이 제출되었으며, 수중로봇과 관련된 주요 내용은 아래와 같음.

Session	Autonomous underwater vehicles 2
발표 제목	Recent technological advances in underwater autonomy
발표자	Alain Maguer, Roberth Been
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 크레인 타입보다 안정성을 증대시키기 위한 새로운 타입의 Launch and Recovery 제시 - 2017년에 최초 도입하여 운용 중이며, 향후 Sea State 4 조건에서도 사용 가능할 것으로 예상됨 <div data-bbox="480 748 1394 1319" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="480 1335 1394 1973" data-label="Image"> </div>

Session	Sub-seafloor Engineering and Operations
발표 제목	Cable Selection Considerations for Subsea Vehicles
발표자	Razieh Nejati Fard, Ole Eidsvik, Ingrid Scholberg
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> - 해저 3코어 전원 케이블의 선정 방법 제시함. - 수심별, 수중장비별 전기적 특성을 제시함. <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div>

Session	Remotely operated vehicles 2
발표 제목	Development of Multi Joint Gripper for Underwater Operations
발표자	Keita Takeuchi, Soichiro Nomura 외 3명
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> - 다수의 관절을 이용한 Gripper의 제시 - ROV에 장착 및 운용 방안 제시  

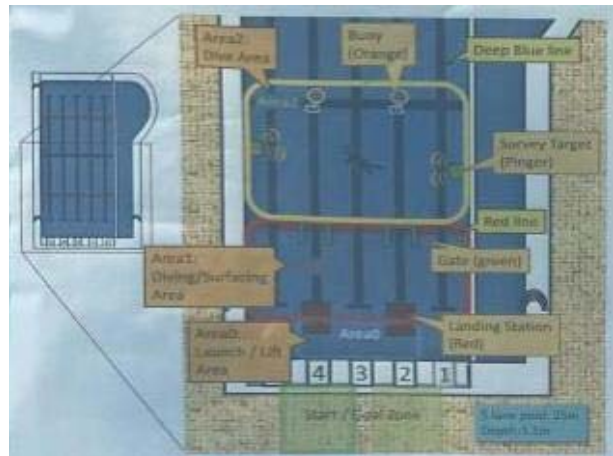
□ Underwater Robots Competition

○ 개요

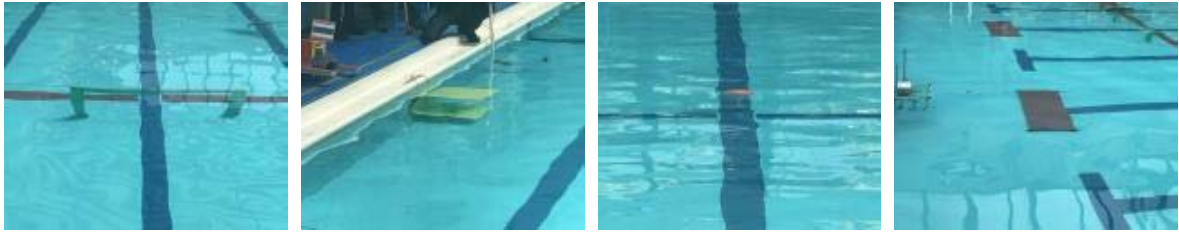
- Underwater Robots Competition는 해당 학술대회에서 개최하는 경진대회로서 대학을 위주로 참가함.
- 해당 대회는 부정기적으로 개최되며, 지난 대회는 2014년에 이루어졌으며, 다음 대회에 대한 계획은 아직 정해지지 않았음.
- 참가분야는 AUV와 Free-style로 구성되며, 상세내용은 후술함.

○ AUV 분야

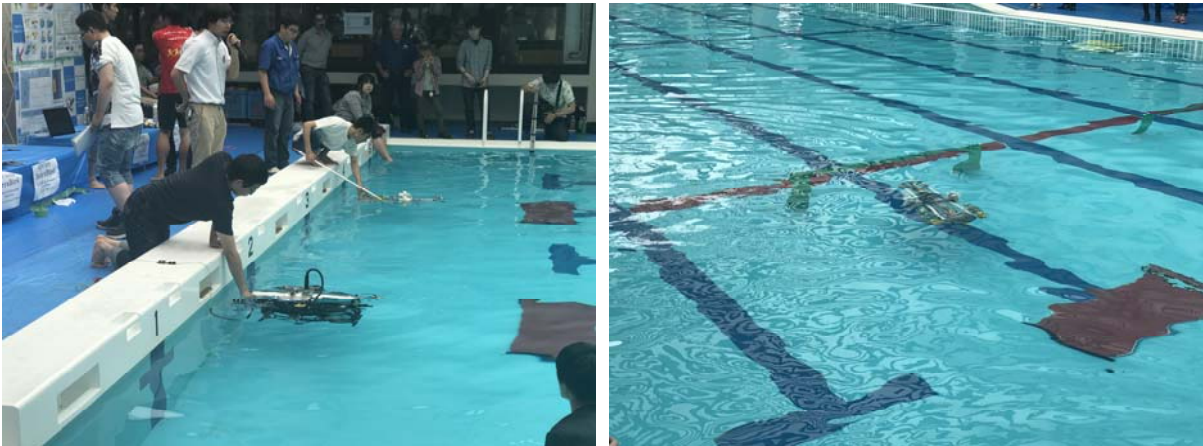
- 참가자들의 발표 평가 이후 주어진 미션을 수행하여 취득한 점수를 합산하여 우선순위를 정함.
- 미션 상세내용은 총 6단계로 이루어져 있으며, 제한시간은 30분임.
- 미션 1 : 수중 게이트를 통과하기(진행 방향 관계없음, 10점)
- 미션 2 : Buoy를 터치하기(20점)
- 미션 3 : Target을 Survey하기(40점)
- 미션 4 : Station에 Landing하기(20점)
- 미션 5 : 출발장소로 Return하기(10점)
- 미션 6 : Object를 Dropping하기(20점)
- 가점 1 : Machine을 통한 Launching/Lifting(각각 10점)
- 가점 2 : 최초 진수 후 Auto-positioning하기(10점)
- 감점 1 : Launching/Lifting Machine의 사고(로봇 추락시 -30점, 미션 필드 파손시 -100점)
- 감점 2 : 로봇 투척 등 위험한 행동(-500점 및 퇴장)
- 점수가 동률일 경우, 빠른 시간 내에 완수한 팀이 우선임.



[그림 6-10] 미션 수행 Field 및 미션 개요도



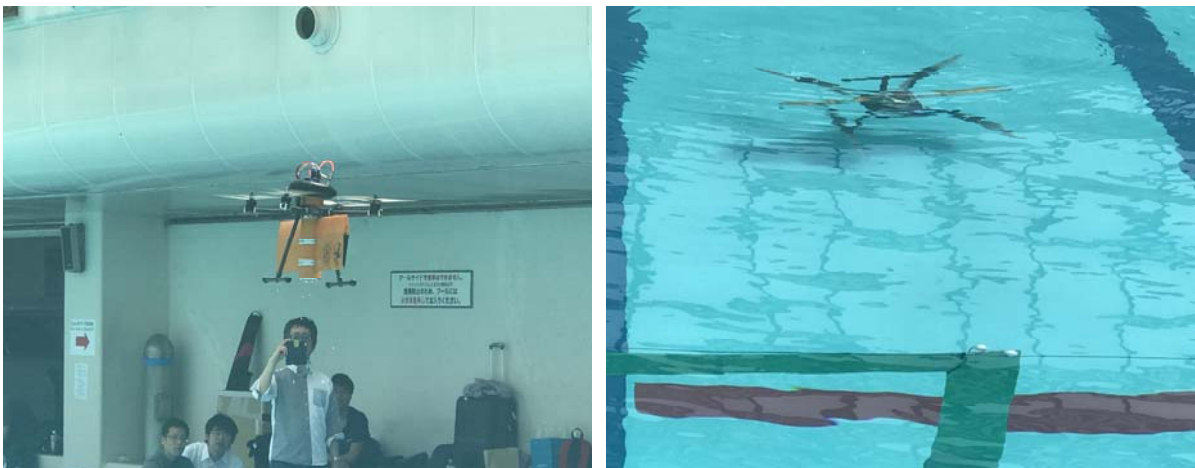
[그림 6-11] 수중 구조물 외



[그림 6-12] AUV 진수 및 수중 게이트 통과

○ Free-style 분야

- 참가자들의 발표와 시연을 통하여 심사위원들이 평가 채점하여 우선순위를 정함.



[그림 6-13] 수공드론 시연



[그림 6-14] Crawler 타입 수중로봇과 수상선 타입 로봇

- 참가자들이 장비 성능 및 미션 결과에 관계없이 매우 즐거운 분위기에서 진행되었던 점이 매우 긍정적임.
- AUV 분야에서 미션 클리어를 위한 로봇 성능은 매우 높은 수준이 요구되며, 3단계를 완료한 팀이 없었음.
- Free-style 분야에서는 크롤러, 글라이더, ROV 등 다양한 수중로봇에 대한 참가자들의 아이디어가 돋보였으며, 이 중 최대 15m까지 진수할 수 있는 수공드론이 가장 인상적이었음.
- 2018년 3월 수중로봇복합실증센터에서 진행되었던 ‘수중로봇챌린지대회’의 경험을 비추어 많은 노하우를 얻을 수 있었으며, 가장 중요한 점은 참가자들 모두가 경쟁에 매몰될 것이 아니라 기량을 뽐내고, 배울 수 있는 환경을 조성하는 것임.

(3) Oceanology International 2018

□ 개요

- 해양 과학 및 해양 기술에 대한 지식을 업계, 학계 등에 공유하는 엑스포로 세계에서 가장 큰 규모로 열리는 행사임.
- 수중로봇과 관련된 센서, 카메라 및 조명, 포지셔닝, ROV 파일럿 시뮬레이터 등을 비롯하여 수중건설로봇사업단에서 구축한 엄빌리컬 케이블, 윈치 시스템, LARS에 대한 최신 자료 수집과 전문가 자문, 네트워크 구축 등을 수행할 수 있음.
- 한국에서는 한국지질자원연구원에서 해저 지형 조사 기술 개발 관련 부스를 운영하였고, 사업단 참여기관인 소나테크 또한 멀티빔소나 등의 제품을 전시하였음.

□ 전시회



[그림 6-15] 이 2018 전시장

○ Caley

- 영국 소재의 Offshore handling system 전문업체로 Pipelay, imes, umbilicals와 함께 Seanaminc group에 소속됨
- 해군에 장비를 공급한 경험이 있으며, 국내 에이전트사는 경기도 고양에 위치한 오션테크(주)임.
- 현재 50ton(working load) 트랙션 윈치를 제작 중에 있으며, 트랙션 타입의 특성상 엄빌리컬 아머가 받는 손상과 관련하여 논의함.



[Caley社 Technical Director와 미팅]

○ SOSI

- 미국 소재의 윈치 시스템 제작업체로 OKEANUS 그룹에 소속되어 있음.
- 과거 중작업 ROV용 윈치와 관련하여 정보교류의 경험이 있으며, 주요 제품군 중에 100마력급 엄빌리컬 케이블 윈치(모델명 RAL-100)이 있음.
- 제작 뿐만 아니라 장비 임대 서비스도 제공하고 있으며, 윈치, A-Frame, 유압 파워 유니트, 포지셔닝, 카메라, 라이트 등 다양한 리스트가 있음.

○ Parkburn

- 스코틀랜드 소재의 Offshore marine handling system 업체로 국내에 A-Frame 등을 공급한 실적이 있으며, 국내 에이전트(일우 인터네셔널)를 비롯하여 싱가포르, 말레이시아에 지점이 있음.
- ROV용 윈치 및 LARS를 포함하여 케이블 텐서너, 케로셀 시스템, 다이빙벨 핸들링 시스템 등 고중량/대용량의 장비들이 주를 이룸.
- 사업단의 중작업용 ROV와 관련된 윈치, LARS 등에 대한 논의를 하였으며, 유사 장비인 Olympian Trencher의 LARS 공급 경험이 있음.

○ Hydramec

- 영국 소재의 LARS 전문 업체로서, 크레인 타입, A-Frame 타입, 텔레스코프 타입, 윈치로 분류하여 제품군을 선보임.
- 대부분의 장비들이 기본적으로 윈치와 크레인 또는 A-Frame을 일체화되어 있으며, 도킹헤드(docking head)가 장착되어 있음.
- 3,000m급 9ton급 LARS 등의 제품은 사업단 경작업용 ROV에 적용 가능할 것으로 보임.

○ Scantrol

- 노르웨이 소재의 컨트롤 및 모니터링 업체로서 AHC 연동 장치를 공급함.
- 선박의 DP 기능과 LARS, A-Frame, 윈치, 크레인 등을 연동하여 들쭉거림 현상을 보상함(Active Heave compensation)에 따라 진수된 ROV 등에 안정적인 운용이 가능하고 엄빌리컬의 손상을 줄일 수 있음.
- 2017년 8월에 미국 텍사스의 ROV LARS 전문 제작업체인 Dynacon과 협력 관계를 맺었음.
- 사업단에서 구축 완료한 중작업 ROV용 트랙션 윈치에 적용 가능 여부 등에 대하여 기술 정보 확인이 필요함.

○ Mare(marine and robotic engineering)

- 스코틀랜드 소재의 중개업체로 ROV, 센서, 매니퓰레이터, LARS 등 다양한 장비의 공급이 가능함.
- 직접적인 거래는 불필요할 것으로 보이나, 해당 업체에서 공개한 금액을 통하여 해외 장비의 국내 도입시 중간 마진에 대한 예상이 가능함.



[그림 6-16] ROV 테더/엄빌리컬 및 윈치



[그림 6-17] work class ROV 전시

(4) OINA 2017 전시 및 컨퍼런스

□ 개요

- 미국 샌디에이고에서 개최된 OINA(Oceanology International North America) 2017은 올해 처음으로 개최된 전시회로써 해양관련 장비 엑스포 및 컨퍼런스로는 가장 큰 규모로 열리는 행사
- 이번 OINA에서는 총 24개국에서 161여개의 기업에서 첨단 해양장비 및 제품을 전시하였으며 컨퍼런스는 93개의 전문가 발표가 있었음.



[그림 6-18] OINA 2017 전시관

□ 전시관

○ SAAB



[그림 6-19] SAAB ROV

- 소형 ROV를 비롯하여 작업용으로 활용 가능한 WROV까지 다양한 종류의 전기식 ROV를 전시하고 있음.
- 일반적인 유압식 매니플레이터 이외에 Rotary Disk cutter나 cable cutter, 연약지반 이동용 skid, cleaning brush, 소형 워터젯(트렌칭 목적이 아님) 등 다양한 툴을 부착할 수 있음.
- ROV와 AUV 기능을 보유하고 있는 Hybrid ROV를 제작.
- Seaowl의 경우에는 6자유도 운동까지 가능한 ROV로 Ocean Modules의 ROV와 유사
- Lynks의 경우에는 관측 목적으로 활용하기에 적합한 기종

○ Teledyne Seabotix



[그림 6-20] Teledyne Seabotix 전시

- 주요 생산품은 Thruster이며 이 외 Actuator, Hydraulic Pump, 각종 Sensor, Controller, 압력 보상기 등을 제작하고 있음.
- SeaBotix에서 개발한 수중 소형 ROV는 수심 150m의 LBV-150에서 950m의 vLBV-950m 까지 6개의 플랫폼이 있으며 이중 2개의 플랫폼은 트랙 및 크롤러 장착이 가능함.
- 180도 틸팅이 가능한 HD 카메라를 장착하고 있으며, GRI시뮬레이터를 개발하여 운영자의 교육도 가능함.

○ Shark Marine

- 캐나다 수중장비 전문회사로 비디오 시스템과 ROV, 다이버 이동시스템 등 수중분야에 종합적으로 장비를 개발하는 업체
- 수중카메라는 전체적으로 6개 제품이 있으며 다이버 비디오 시스템을 위해 7.75" x 2.8" 초소형 수중카메라 개발
- ROV는 소형타입으로 3개의 플랫폼을 보유하고 있으며 BARRACUDA는 하이브리드 컨트롤 시스템으로 자동모드에서 'station keeping', 'goto-waypoint and target', 'Survey route following' 기능을 가지고 있으며 플랫폼 설계 때 가장 고려한 사항은 빠른 이동과 조류 극복을 위해 기존 소형 제품보다 큰 thruster 사용하고 있으며 자체 컨트롤을 위한 소프트웨어를 개발
- Diver Delivery System인 'MAKO'는 2명의 다이버를 수송할 수 있으며 최대 4명까지도 가능하며, 50m 수심용으로 시스템은 DNS, LBL, GPS receiver를 장착하고 수동, 자동 그리고 반자동 모드로 운영이 가능.



[그림 6-21] Shark Marine ROV 및 다이버 장비 전시

○ OCEAN AERO



[그림 6-22] OCEAN AERO 무인선

- ‘Submaran’은 잠형이 가능한 무인선으로 200m까지 잠형이 가능함. 길이는 4.1m이고 2.45m 돛을 접어서 retractable가능하게 제작되어 있음
- surface 표면에는 태양광으로 에너지를 확보할 수 있으며 돛을 통한 에너지 효율을 높일 수 있으며, 잠항시에는 돛을 접어서 글라이더 운영방식으로 잠형

○ 교육용 ROV 제품 분석

- 수중로봇복합실증센터에서의 교육 또는 수조 내 실험 상태 모니터링을 위한 소형 ROV에 대한 정보 및 가격을 분석하여 향후 구매를 진행하고자 함.

[표 6-4] 교육용 ROV 비교

구분	SEADRONE社 INSPECTOR	BLUEROBOTICS社 Blue ROV2
사진		
사양	Depth : 100m Operating tool : table pc Weight : 5kg Max Speed : 1.5m/s Camera : Full HD	Depth : 100m(300m theater가능) Operating tool : joystick Weight : 10kg Max Speed : 1m/s Camera : HD
가격	≒ 3,000 \$	≒ 3,000 \$
특징	5개의 thruster를 기반으로 omni-direction이 가능하며 autopilot 전환 가능, 유지보수 용이 교육메뉴얼 제공 가능 국내 agency 없음	6개의 thruster를 통한 방향 전환이 용이하며 기존 RC joystick으로 쉽게 운영 가능 autopilot 전환 가능 교육메뉴얼 제공 가능
구분	AQUABOTIX社 Endura	DEEPTREKKER社 DTG2
사진		
사양	Depth : 300m Operating tool : table pc Weight : 3.6kg Max Speed : 2.5m/s Camera : HD	Depth : 100~150m Operating tool : table pc Weight : 8.5kg Max Speed : 1.25m/s Camera : HD
가격	≒ 17,000 \$	≒ 4,900 \$ (75m tether기준)

□ 학술대회

○ 개요

- 다양한 분야(해저 탐사 및 맵핑, Positioning & Navigation, Robotics, 해상 안전, 재료 등)에 대한 최신 연구 동향을 소개하는 자리임.
- 대학이나 연구소 등에서 수행한 연구 내용을 발표하는 내용도 있었지만 주로 산업체 관계자가 자사 제품을 홍보하는 방식으로 최신 현장 적용방식 등 기술동향 및 시장동향을 소개하여 유익함.

○ 대표 논문 정리

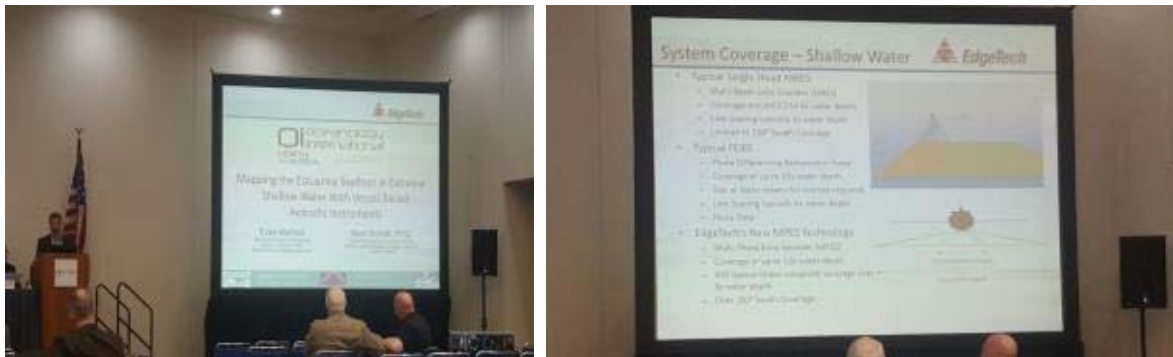
- 제목 : Using hydrographic and fisheries echo sounders for detecting gas-bubble
 발표자 : Tom Weber (Univ. of New Hampshire) 등 다수내용
 - * 해저면 gas-bubble을 발견하는 목적으로 echo sounder를 활용한 사례를 소개
 - * 실제 해저면 맵핑을 수행하는데 있어 gas-bubble로 인해 해석 시간에 상당한 시간이 추가적으로 소요됨.
 - * echo sounder의 field of view를 10도 내외에서 130도로 확대
- 제목 : Autonomous Surface Vehicles for Production Hydrography and Geophysics - New Approach
 발표자 : Daniel Seamount (Terrasond) 등
 - * ASV의 활용 범위는 해저 지형 분석, 수중건설 작업을 위한 지원, 환경 데이터 확보, 지진 데이터 분석, 항만 및 국경 인근의 안보 측면 등 다양함.
 - * 500m 수심 조건에 대해 일반적인 방식인 Q105를 이용하는 것과 ASV를 활용하는 방식에서 멀티빔 데이터를 비교 분석함. 결과의 차이가 없음.
 - * 훨씬 더 간편한 방식으로 질 높은 데이터를 확보할 수 있는 방식으로 제안하고 있음.



[그림 6-23] 멀티빔 데이터 비교

- 제목 : Mapping the Estuarine Seafloor in Extreme Shallow Water with Vessel- Based Acoustic Instruments
 발표자 : E. Martzial, M. Borrelli (EdgeTech)

- * 일반적인 맵핑 방식과는 달리 아주 얇은 수심(1m 이내)에 대해 EdgeTech 소유의 멀티빔을 활용한 맵핑 사례를 발표
- * Herring 강 하구역 인근의 해저면 상태를 확인하는데 활용하였으며, Grab sample을 통해 실제 데이터를 확인함.
- * 일반적인 single head MBES(Multi-Beam Echo Sounder)의 경우에는 수심의 3.5~4배 정도의 범위를 커버하고 간격은 3배, PDBS(Phase Differencing Bathymetric Sonar)의 경우에는 10배 정도의 범위를 커버하고 간격은 4배인 반면, EdgeTech에서 개발한 MBES의 경우에는 수심의 12배 정도를 커버하고 간격 또한 9배 정도로 확대함.
- * 고염분 조건 하에서도 아주 효과적으로 활용 가능함을 제시함.



[그림 6-24] 멀티빔 측정 범위 비교

- 제목 : Who shrinks my Vehicle? The Rapid Development of New, Low-Cost, Small UUVs
발표자 : Sandor Becz (Hydroid)
 - * 최근 기술개발이 활발하게 진행됨에 따라, 또한 활용 편의성 및 레저 목적 등 다양한 이유로 인해 수중로봇들이 소형화되고 있는 추세임.
 - * 수중로봇과 직접적으로 관련있는 핵심 기술들(배터리, 메모리, micro-controller 등) 또한 소형화 및 경량화가 이루어지고 있음. 배터리의 경우 매년 6% 이상의 시장이 확대되고 있고, micro-controller의 경우 매년 2배씩 빠른 속도의 전산 처리 능력을 나타내고 있어 그만큼 복잡한 알고리즘을 해결할 수 있음.
 - * 또한 open source middleware를 통해 서로 호환 가능하면서 정보를 공유할 수 있는 S/W 시스템이 구축되어 기술 발전이 활발하게 진행되고 있음.
- 제목 : Micro UUVs : Persistent, Affordable, and Flexible
발표자 : Jeff Smith (Riptide)
 - * Riptide에서 개발된 소형 AUV 제품을 소개
 - * 저전력이 소요됨에 따라 경량화할 수 있으며, 또한 이를 통해 다양한 작업을 아주 효율적으로 진행할 수 있음.
 - * 실제 현장에 적용된 사례를 제시함.

(5) OTC 2016

□ 개요

- 미국 휴스턴에서 개최되는 OTC (Offshore Technology Conference) 학회 및 전시회는 해양 구조물 및 수중작업용 장비에 대한 다양한 정보를 제공하며, 특히, oil & gas 산업에 필요한 해양 플랜트 설비용 장비에 대한 전시 및 최신 연구내용에 대한 발표를 하는 학회로 구성됨.
- 이번 OTC 2016에서는 총 120개국에서 6만8천여명이 참석하였으며, 총 47개국 2,600여개의 기업에서 대형 장비 및 제품들을 전시하였음. 또한, 학술대회에는 총 325편의 논문이 발표되었음.

□ 전시관

- FMC



[그림 6-25] FMC사의 UHD-III ROV

- FMC는 해양플랜트 및 수중 작업 장비와 관련하여 광범위하게 제품들을 생산하는 글로벌 기업으로, 이번 전시에서는 oil 및 gas와 관련한 시추장비와 ROV를 전시하였음.

- 수중건설로봇사업단의 1핵심 과제에서 개발하는 경작업용 ROV와 비슷한 형태의 ROV를 전시하였으며, 개발과정 및 실사용 영상을 전시기간 내내 담당자가 직접 발표하여 다양한 정보를 알 수 있었음.
- 수심 4,000m까지 작업이 가능한 350cm(L) x 190cm(W) x 210cm (H) 크기이며 총 5.6톤 무게의 UHD-III ROV를 전시하였음.

○ OCEANEERING



[그림 6-26] Oceaneering사의 eNovus

- Oceaneering은 미국 휴스틴에 본사를 둔 글로벌 기업으로 오일 및 가스 시추를 위한 장비 개발하는 기업임.
- 다양한 목적에 맞는 총 8개 형태의 ROV를 개발하고 있으며, 수중건설로봇사업단의 1핵심 과제에서 개발하는 경작업용 ROV와 비슷한 형태의 ROV인 eNovus를 이번 OTC 2016에서 전시하였음.
- eNovus는 269cm(L) x 155cm(W) x 184cm (H) 크기로 총 3.4톤의 무게를 가지며, 수심 5,000m까지 작업이 가능함.

○ Teledyne

- Teledyne은 미국 San Diego에 위치한 기업으로, 최근 SeaBotix사를 인수하여 사업규모를 확대함.
- 주요 생산품은 Thruster이며 이 외 Actuator, Hydraulic Pump, 각종 Sensor, Controller, 압력 보상기 등을 제작하고 있음.
- SeaBotix에서 개발한 수중 경작업용 ROV를 지속적으로 생산하고 있으며, 용도에 따라 다양한 모델을 개발하여 판매하고 있음.



[그림 6-27] Teledyne에서 생산중인 트랙 기반 vLBC 모델

- 수중건설로봇사업단 복합실증시험센터의 수조 내 ROV 모니터링을 위해 도입 고려중인 트랙 기반 vLBC 모델로, 수심 300m까지 작업이 가능하며 다양한 툴을 추가 장착하여 운용가능함.

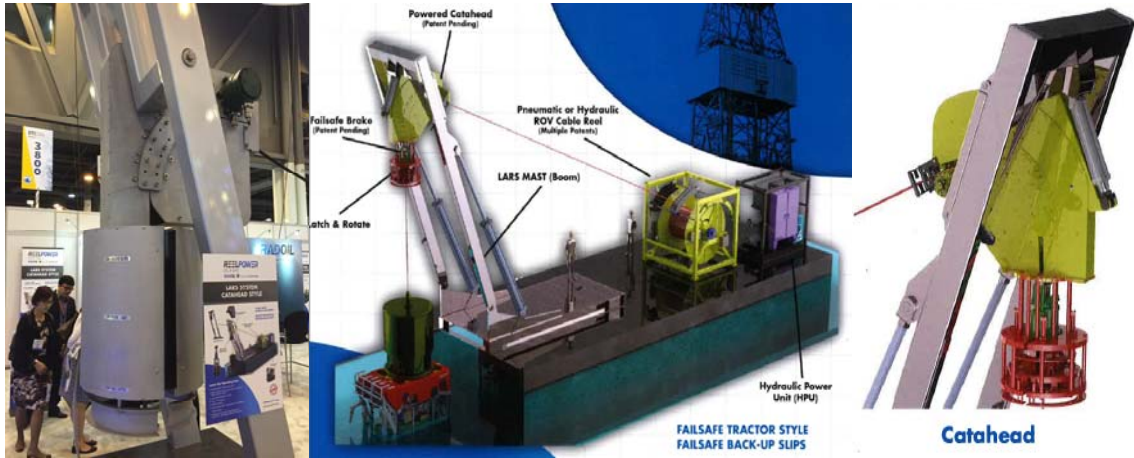
○ TRELLEBORG

- TRELLEBORG은 미국 보스턴에 본사를 두고 있는 기업으로, 해양구조물과 관련된 다양한 수중 작업 장비를 개발하고 있음.
- 해저케이블 및 파이프라인의 보호 장비, Riser, 다목적 부이 등을 개발하는 등 부력재를 전문적으로 생산하고 있음.
- ROV, AUV, HOV에 사용되는 부력재를 제작하고 있으며, 이번 전시회에서는 수심 7,000m 까지 영상획득이 가능한 소형 ROV를 전시하였음.



[그림 6-28] TRELLEBORG의 수중 모니터링을 위한 소형 ROV

○ RADOIL



[그림 6-29] Catchhead 및 LARS 개념도

- RADOIL사는 휴스턴에 위치하고 있으며, 타업체들과의 가장 큰 차이는 Launch & Recovery System(이하 LARS)에 대하여 구성품의 단위가 아니라 시스템 전체의 제공이 가능하다는 것임.
- A-Frame의 슈브부와 연결되는 Catchhead는 ROV의 진수/인양시 스윙으로 인한 모선과의 충돌을 방지하는 역할을 수행하나, 해당 업체의 제품들은 수중건설로봇사업단에 적용하기에는 용량의 제한이 있음.
- 사업단은 안정적인 실패역 실증실험을 위하여 선박 용선의 고려사항으로 Catchhead 또는 Dockinghead의 사용여부를 포함하고 있음.

○ KONGSBERG



[그림 6-30] KONGSBERG사의 오퍼레이터 시트 및 시뮬레이터

- KONGSBERG사는 노르웨이에 위치한 글로벌 기업으로, oil & gas 시추를 위한 해저 탐사기술, 수중 위치측정, 소나 영상처리 기술, 항법 시뮬레이터 등을 개발하고 있음.
- 특히, 이번 전시에서는 수중 항법을 위한 시뮬레이터를 시연하여 참가자들이 직접 작동해볼 수 있도록 하였으며, 소나를 이용한 해저면 탐사 및 분석을 위한 과정들을 한눈에 볼 수 있도록 전시하였음.
- 수중건설로봇사업단의 ROV 운용과 관련하여 오퍼레이터 작업 공간을 벤치마킹할 수 있는 다양한 정보를 획득할 수 있었음.

○ Nexans

- Nexans는 프랑스에 본사가 위치한 글로벌 기업으로 Power&DATA Infrastructure, Energy Resources, Transportation, Building 등 다양한 분야에 필요한 케이블을 공급하고 있음.
- 2,3핵심과제 엄빌리컬 케이블의 경우 공통으로 사용하기 위하여 각 핵심별 운용조건 및 사양을 고려하여 설계될 필요가 있으며, 이를 토대로 외경, Amour layer, 도체, 광섬유 등의 구성요소에 대하여 상용 제품들과 비교 가능하였음.
- ROV용 엄빌리컬 케이블을 다양하게 전시해놓은 유일한 업체였으며, T800 등 다수의 납품실적을 보유하고 있음.



[그림 6-31] ROV 엄빌리컬 케이블의 실제 적용 사례와 수중건설로봇사업단 예상 모델 비교

○ ONE OFFSHORE



[그림 6-32] 원치 관련 미팅 및 용도별 사진

- ONE OFFSHORE은 싱가포르 기업으로 Flexible/Pipe/Cable Lay, Linear Pullers, Winch, Mooring/Riser/Installation/Subsea Lowering 등 제작뿐만 아니라 직접 시공까지 가능한 업체임.
- 수중건설로봇사업단에서는 Line Speed 15m/min 기준으로 무게 45ton 이상의 조건이 제어 가능한 원치를 제작할 예정이며, 2,3핵심과제의 ROV 운용에 활용할 계획임.
- 해당조건을 만족하는 트랙션 원치의 설치에 필요한 데크 공간 및 배치, A-Frame 슈브의 높이에 따른 변경고려사항 등에 대하여 논의함.
- AHC (Active Heave Compensation) 기능을 통한 안정성 증대에 대한 방안에 대하여 추후 업무 협의 가능함.

3. 기타 활동을 통한 정보 수집

□ FORUM사 방문

○ FORUM사 소개 및 토론

- 2010년 Oilfield Technologies, Triton Group, Subsea Services International, Global Flow Technologies 분야의 다양한 회사를 흡수 통합하여 Forum Energy Technologies (FET)라는 회사명으로 통합.
- ROV 관련된 부문은 Perry사와 Sub-Atlantic사 흡수 통합됨.
- 대부분이 자유 유영형 ROV를 기반으로 개발되며 트랙을 탈 부착하도록 개발함.
- 기존 80명에서 현재 300여명의 직원이 공장에서 근무를 하고 있음.



[그림 6-33] FORUM 직원과 수중건설로봇사업단 연구원 단체사진

- Tether Management System(TMS)의 경우에는 Top-hat 방식이 약 80%를 차지하고 Garage 방식은 20% 정도를 차지함. 이는 Garage 방식이 장비 자체가 무거우면서 운용이 어려워, 비용 또한 상대적으로 높기 때문인 것으로 파악됨.
- 착저식 해저지반조사 장비인 ROV Drill도 FORUM에서 제작.
- 한 해에 약 30대 정도의 WROV를 제작할 수 있는 공장 생산라인을 보유하고 있으며, 올해만 해도 약 26대 정도를 생산함.



- WROV 한 대 제작에 약 6~8개월 정도 소요되며, Customizing된 설계가 필요한 새로운 형식의 장비의 경우 설계 및 테스트 기간까지 포함하여 약 12~15개월 정도 소요.
- WROV 중 skid 형식 이외에 트랙 형식도 다수 제작하고 있으며, 특이한 점은 4개의 wheel 형식도 포함하고 있음. 이 경우, 장비 유지보수 측면에서 장점이 있는 것으로 소개됨.
- 현장 운용에 있어 선박 비용이 상당히 크기 때문에(경우에 따라 1일당 100만불 정도), 장비 downtime 시간을 최소화하는 것이 필수적임. 실제 umbilical에서 고장이 난 상태에서 약 100만불 정도의 운송비용을 감수하면서 최대한 빠른 시간 내에 교환한 사례가 있음.
- 제작 중인 ROV와 장비의 진수시 사용될 Launching & Recovery System과 Tether Management System의 실내 수조에서 성능 점검하는 과정을 관람함.
- 기술 축적이 된 기존 기술을 최대한 활용하여 신뢰성 있는 장비 제작을 하고 있음.
- WROV를 구성하고 있는 component의 경우에는 Everdeen에서 대부분 생산하고 있으며, 필요에 따라 별개로 구입 가능함.



[그림 6-34] ROV, TMS 실내 수조 점검

○ 주요 제품

- FORUM사의 주력 생산 장비로 Trencher(XY-1200)와 Work Class(XLX-150) 등이 있으며, 간략하게 소개하면 아래와 같음.

			
2700 MSW	Depth Rating	4000 MSW	
1200 HP	Power	150 HP	
Single Mode Fiber	Control System	ICETM Real Time Control System with Gb Telemetry and Graphical Diagnostics	

[그림 6-35] XT-1200사진(왼쪽)과 XLX-150사진(오른쪽)

□ SMD사 방문 및 ROV 제작 과정 관람

○ SMD사 소개 및 토론

- SMD사는 1971년 설립되었으며, 해저케이블 및 파이프라인 매설 장비 설계 및 제작으로 유명한 회사임.
- 지금 현재 약 400여명의 직원이 근무하고 있으며, 트렌칭 장비 이외에 최근에는 조류발전시설 설치 장비, 심해 광물 채취 장비 등의 설계 및 제작도 진행하고 있음.
- 2003년 Hydrovision을 인수하여 ROV 시장에 진출하였으며, 지금까지 약 200여 대의 WROV 및 WROT(Work-Class Remotely Operated Trencher)를 제작한 실적을 보유.
- 자유 유영형, 트랙형, 쟁기형 등 다양한 WROV를 생산하며 최근에는 트랙형 ROV에 더 주력을 하고 있음.
- Mining 장비의 경우에는 Nautilus Mineral사와 개발 중인 장비를 중점을 두고 소개하였으며, FORUM사와는 다르게 커터, 워터젯 등 다양한 툴을 사용 가능한 장비를 가지고 있음. 여기서, Cutter head의 경우에는 TBM(Tunnel Boring Machine)에 활용되는 오스트리아 제품을 쓰고 있음.
- 최근에는 심해 광물채취를 위한 mining 장비에 대해 큰 관심을 가지고 집중적으로 이에 대한 개발 및 제작이 진행 중이며, KRISO에서 개발한 미내로 장비에 대해서도 큰 관심을 가지고 있었음.



[그림 6-36] 회의 사진(왼쪽)과 개발 중인 장비 사진(오른쪽)



[그림 6-37] Mining 장비(왼쪽)와 CBT1100 Hard ground Trencher (오른쪽)

- 착저식 해저지반조사장비 중 현재 가장 뛰어난 것으로 알려진 호주 Benthics의 PROD 제품을 SMD에서 제작 납품함.
- 또한, BORD라고 파일을 시공할 수 있도록 1.5~2.0m 직경의 시추공을 천공할 수 있는 장비도 개발함.
- 특이한 점 중의 하나는 Hybrid Q-Trencher 1400이며, Fugro에서 발주한 것으로 총 8개의 multi-mode 방식임. chain cutter 및 jetting tool을 포함한 Trenching 이외에도 와이어라인 방식 천공 작업, dredging 등 다양한 작업을 할 수 있음. 3핵심에서 개발하고자 하는 장비와 유사한 방식이며, 상당히 인상적이었음.



[그림 6-38] Hybrid Q-trencher 1400

- SMD에서는 한 달에 3~4대의 WROV를 제작하고 있으며, 일 년에 7~10대 정도의 WROT를 제작함. 모든 제품이 12개월 이내에 납품 가능하며, 특히 새로운 방식의 ROV를 customizing하여 설계 및 제작 가능함.
- WROV의 수중 운용을 간접적으로 체험하고, 교육 및 훈련용으로도 활용 가능한 시뮬레이터(Simulator)의 경우에는 고객 교육 담당자인 Greg Brown이 직접 설명하였음. 또한, 시뮬레이터를 직접 체험하여 여러 가지 우수성을 알 수가 있었음.
- 특히, 다양한 수중 환경(조류속도, 수중 밝기, 탁도-입자 크기, 구조물 조건)을 고려하여 운용자가 작업할 수 있도록 소프트웨어적으로 구성함.



[그림 6-39] 시뮬레이터 컨트롤러

○ 주요 제품

- SMD사의 주력 생산 장비로 Trencher(QT-1400)와 Work Class(ATOM)등이 있으며, 간략하게 소개하면 아래와 같음.

			
3000 MSW	Depth Rating	4000 MSW	
7.8M * 6.5M * 5.0M	Dimensions(L*W*H)	2.5M * 1.5M * 1.5M	
30,000kg	Weight in air	2,000kg	

[그림 6-40] QT-1400사진(왼쪽)과 ATOM사진(오른쪽)

□ SAAB사 방문 및 ROV 제작 과정 관람

○ Seaye사 소개 및 토론

- Seaye사는 SAAB사로 합병되었으며, 유압 방식이 아닌 전기식 ROV로 경작업용으로 적합함. 또한, 전기식 ROV를 제작하기에 이에 적합한 기술개발을 연구하고 있음.
- 현재 단품으로 부품을 판매하지 않으며, 완제품을 판매하고 있음.
- Sale Director인 Matt Bates의 Seaye 사의 전체적인 소개 및 제품과 기술에 대한 설명을 들음
- Seaye의 사무실 공간부터, ROV 부품 제작 공장, 부분 시험 장소, 조립 장소, 시험 장소 등 거의 모든 공장을 함께 둘러보았고, 주요 관심 부분은 전원 시스템은 상세히 관찰함. 다만 사진 촬영은 허가 하지 않았음.
- 사진 촬영은 조립이 완료되어 외부에 출하를 위해 대기 중인 물품에 대하여 허락을 받음.
- 사업단에서 교육용, 관찰용으로 소형 ROV를 구매한다면 Falcon이 적합한 것으로 보이며, TMS를 포함한 장비로는 Cougar-Compact가 적절한 것으로 판단됨. 하지만 비용이 과다한 편임.
- FORUM, SMD사와는 달리 운영실이 조밀하였으며, 1~2명의 오퍼레이터가 운전을 하는 것으로 보여짐.
- Launching & Recovery System, Tether Management System, Power Van 등도 자체 제작하여 판매하고 있음.



[그림 6-41] 회의 사진(왼쪽)과 회의 후 사진(오른쪽)



[그림 6-42] 제작 중인 ROV 현장



[그림 6-43] 제작 중인 LARS 사진

○ 주요 제품

- SAAB사의 주력 생산 장비로 Falcon DR과 Congar-XT Compact등이 있으며, 간략하게 소개하면 아래와 같음.

		
300 MSW	Depth Rating	300 MSW
1.0M * 0.6M * 0.5M	Dimensions(L*W*H)	1.3M * 0.9M * 0.8M
14kg	Payload	60kg
60kg	Weight in air	270kg

[그림 6-44] Falcon사진(왼쪽)과 Congar-XT Compact사진(오른쪽)

□ Woods Hole Oceanographic Institution(WHOI) 방문

○ 기본 연구분야

- 수중로봇분야는 AOPE 내 심해잠수연구실에서 주로 개발을 수행하고 있으며 기타 환경 유체역학(environmental fluid mechanics), 해양음향(ocean acoustics), 관측시스템과 감지센서(observing systems and sensors), 공학적 서비스(engineering services)를 연구하고 있음.

○ 주요 ROV 관련 개발 플랫폼 현황

[표 6-5] WHOI HOV & ROV 개발현황

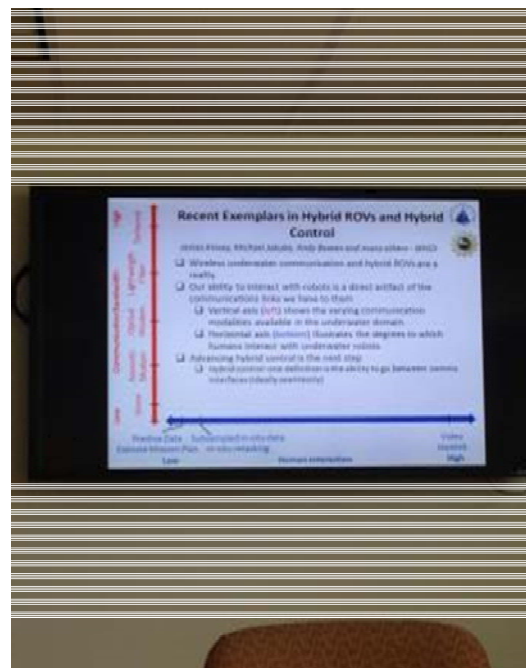
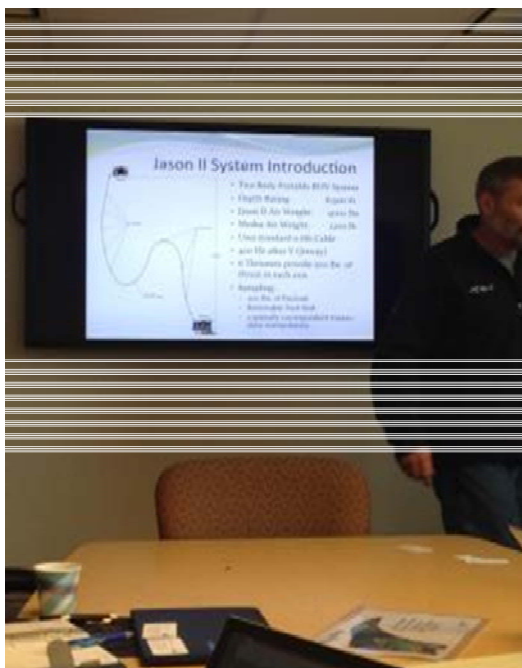
 <p>Alvin (HOV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건조년도 : 1964년 • 길이×폭×높이 : 7×2.6×3.7m • 무게 : 20.4톤 • 최대잠항수심 : 4,500m • 잠수시간 : 6~10시간 • 탑승인원 : 3명 (파일럿 1명, 연구원 2명) 	 <p>Deep Challenger (HOV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건조년도 : 2012년 • 길이×폭×높이 : 2.3×1.7×8.1m • 무게 : 20.4톤 • 최대잠항수심 : 11,500m • 탑승인원 : 1명
 <p>Jason II/Medea (ROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건조년도 : 2002년 • 길이×폭×높이 : 3.4×2.2×2.4m • 무게 : 4.1톤 • 최대잠항수심 : 6,500m 	 <p>Nereus (Hybrid ROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건조년도 : 2007년 • 무게 : 2.6톤 • 최대잠항수심 : 11,000m • 2014년 뉴질랜드 북동부 케르 마데크해구에서의 잠행조사 중 유실
 <p>Nereid Under Ice (HROV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 무게 : 1,800~2,000kg • 최대잠항수심 : 2,000m 		

○ 선박 운용

- WHOI는 3개의 선박(Atalntis, Knorr, Tioga)을 보유하고 있는데, Knorr은 운영수명 만료로 타 국가에 이전을 준비하고 있으며 대체선박으로 Neil Armstrong(3,204톤)이 2015년 여름부터 운영될 예정임.
- WHOI의 자체 선박만 사용하는 것이 아니라 미국 내 20대의 선박을 활용

[표 6-6] Jason II의 사양

작업수심	6,500m
Tether	부이를 포함한 길이 50m, 직경 20mm
플랫폼 사이즈	3.4m(L) × 2.4m(H) × 2.2m(W)
무게	4ton
운영속도	1.5Knots(Forward), 0.5Knots(Lateral), 1.0Knots(Vertial)
진·인수 속도	30m/min
추진기	6개의 브러쉬리스 DC모터 113N/개
카메라	NDSF hybrid HD camera, 8개의 비디오 채널
조명	16개의 17,700 Lumen LED lights
메니플레이터	Schilling Titan 4, Kraft Predator II
시료 저장소	1m(L) × 1.5(W)
기타	Sonardyne RangerPro USBL Navigation Long Baseline transponder or relay transmitter / receiver 7 - 12 kHz RDI Doppler Velocity Log 1200 kHz Reson SeaBat 7125 Multi-Beam Sonar



[그림 6-45] Jason 프로젝트 발표

- Jason II는 Jason I이 2002년 14년 동안 운영한 후 수명 만료에 따라 개발되어진 것으로 특이한 것은 2개의 ROV 플랫폼으로 구성되어 있는데 TMS 대신 Tether System기능을 가지고 있는 Medea라는 소형 ROV와 연동하여 운영하고 있음.



[그림 6-46] Jason 운용 모습

- Medea는 선박으로부터 0.6인치의 테더 케이블로 연결되어 있으며 케이블 최대 길이는 10,000m까지이며 Jason과 Medea는 0.84인치에 50m 길이로 중석 부력 케이블로 연결되어 선박의 움직임에 영향 없이 Jason이 역할을 수행할 수 있도록 도와 줌.
- Medea는 3개의 카메라를 부착하고 있는데 한 개는 Tether 모니터링, 한 개는 지형 관찰 다른 한 개는 Jason의 위치 등을 모니터링 함.

□ 한-중 수중로봇 공동워크숍(4th Sino-Korea Workshop on Underwater Robotics)

○ 개요

- 일시 : 2018년 11월 15일부터 16일까지
- 장소 : 중국과학원 심해과학공정연구소
- 해당 공동워크숍은 2014년부터 매년 개최되어 왔으며, 수중건설로봇사업단과 중국과학원 선양자동화연구소를 주축으로 ROV, AUV, 글라이더 등 수중로봇 뿐만 아니라 해양 지질조사, 수중 탐사 등 다양한 연구 분야의 소개와 협력이 이루어짐.



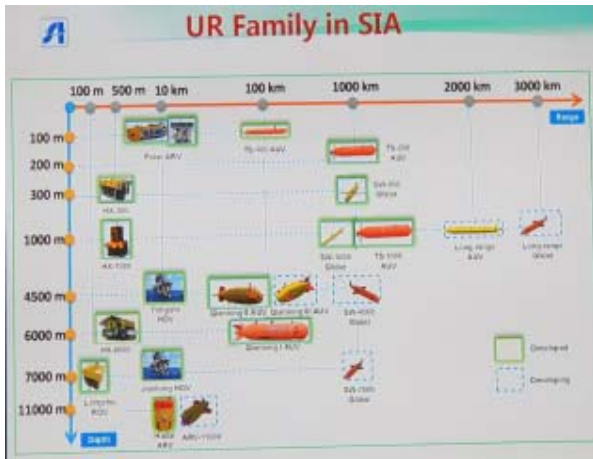
[그림 6-47] 심해과학공정연구소 및 참석자 단체사진

○ 연구성과발표

시간	주제	발표자
08:45~09:15	Development and Prospect of UUV in SIA - 선양자동화 연구소의 UUV 연구 성과 및 향후 개발 동향 제시 - 2018년도에 수행한 연구(AUV-Sea Wing, Qianlong AUV, Tasuo 1000, Haidou ARV, Haixing 6000 ROV) 소개	Shuo Li (SIA)
09:15~09:45	AUV technology development in KIRO - 한국로봇융합연구원에서 연구하였던 P-SURO, 자율유형 AUV 등에 대한 항법/제어 성능 제시	이계홍 (KIRO)
10:15~10:45	A New Start of Deep-sea Research Based on ROV Faxian - ROV Faxian을 활용한 심해 환경 조사 및 샘플링 결과 제시 - 가스 하이드레이트 현장에 cylinder를 설치한 후 410일 이후 회수(ROV 활용)	Zengfeng Du (Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)
10:45~11:15	Performance test for trenching ROV URI-R - 트랙 기반 수중건설로봇의 개발 과정 및 성능 검증 결과 제시	신창주 (KIOST)
11:15~11:45	Development of Deep-sea mine Collection Vehicles for polymetallic nodules and 500m Marine Experiment - 해저면 저질 상태에 맞는 광물 채취용 로봇 개발 - 수심 500m에서 채광 로봇 성능 결과 제시 및 라이저 개발 계획 제시	Hao Zheng (changsha research institute of mining and metallurgy co.)
14:00~14:30	Sea trial test of light weight work class ROV URI-L - 경작업용 수중건설로봇의 포지셔닝 및 항법 알고리즘 성능 검증 결과 제시	김기훈
14:30~15:00	Cobalt-rich crust sampler and Two bodies TV Grabber - TANSUO YIHAO 선박 소개 - TV 그래버의 개발 과정 및 코발트 채취 결과 제시 - 자율 운항 개념의 채광 시스템(Shuttle tanker, Flexible pipe, Underwater navigation device, Moveable subsea storage)	Ning Yang (Institute of Deep-sea Science and Engineering, CAS)
15:00~15:30	Modeling of unmanned underwater vehicles based on system identification techniques with experimental data - 러닝 기법을 이용한 AUV의 동적 수학적 모델링 제시	이판묵 (KRISO)
15:45~16:15	Wave Glider Enabling a New Approach to Persistent Ocean Observation - 파도와 태양광 동력을 이용한 Wave Glider의 적용 사례 제시 - 육상과 수중에 대한 관측시스템 구축 계획	Xiujun Sun (Ocean University of China)
16:15~16:45	URI-T, a ROV for underwater cable burying tasks: developemnt and performance evaluation through sea trial - 중작업용 수중건설로봇의 개발 과정 및 성능 검증 결과 제시	조건래 (KIRO)



[그림 6-48] 발표회장



[그림 6-49] SIA의 수중로봇 역사와 향후 개발 방향



[그림 6-50] CRIMM의 역사 및 보유 선박

○ 심해과학공정연구소 방문 및 협의

- 중국과학원 산하의 심해과학공정연구소는 약 5년 전에 만들어진 연구소로서, 심해 영역 탐사 및 개발에 대한 국가적 관심을 알 수 있음.
- 선양자동화연구소를 비롯하여 중국과학원 내 다른 연구기관에서 설계/제작되어진 수중 장비의 운용 및 검증에 대한 역할을 맡고 있음.
- 수심 20m가 되는 수조를 운영하고 있으며, 다양한 수중장비들의 기초 테스트가 이루어 졌음.
- 또한, 실험을 지원하는 과학고찰선 ‘탐색1호’를 운항하며, 4500m급 유인 잠수정 ‘심해용사’를 비롯한 ROV, 시추로봇, 글라이더 등의 성능 검증이 가능함.
- ‘심해용사’에 대해서는 외부 방문자를 대상으로 홍보하기 위해 3-D VR center를 구축하고 있었으며, 많은 참석자들이 경험하였음.



[그림 6-51] 심해과학공정연구소 수조 및 개발 장비



[그림 6-52] 심해과학공정연구소 가상 현실 체험관 및 시설 투어

7

연구개발성과의 보안등급



7

연구개발성과의 보안등급

[표 7-1] 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		√
결정 사유	「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음	

8

**국가과학기술종합정보시스템에
등록한 연구시설·장비 현황**



8

국가과학기술종합정보시스템에 등록된
연구시설·장비 현황

[표 8-1] NTIS 장비등록 연구시설 및 장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록 번호
아쿠아 드론	수중용 하우징	Underwater housing	1	2016-02-29	65,000	R2sonic	아쿠아드론	NFEC-2016-05 -209426
아쿠아 드론	수중음파수신기	Acoustic receiver	1	2016-02-29	80,000	R2sonic	아쿠아드론	NFEC-2016-05 -209435
아쿠아 드론	수중음파발신기	Acoustic projector	1	2016-02-29	90,000	R2sonic	아쿠아드론	NFEC-2016-05 -209437
KRISO	테더 매니지먼트 시스템	TMS 3	1	2016-12-05	567,133	forum	레드윈테크 놀리지(주)	NFEC-2016-12 -213356
KRISO	원치시스템	Ocean Observer 3100	1	2016-12-05	553,484	Sepro Technology	레드윈테크 놀리지(주)	NFEC-2016-12 -213475
KRISO	경작업용 ROV용 엄버리컬 케이블	RS888-TD-01T	1	2017-02-01	152,649	Nexans	레드윈테크 놀리지(주)	NFEC-2017-02 -236310
KRISO	4,000m급 이중주파수 이미징 소나	M900-2250	1	2017-01-09	52,032	Teledyne Blueview	레드윈테크 놀리지(주)	NFEC-2017-03 -236754
아쿠아 드론	수중용 레이저 스캐너	M3200UW	1	2017-06-23	98,000	Newton Labs	아쿠아드론	NFEC-2018-02 -242330
KRISO	자이로 초단기선 수중위치추적 시스템	HPT5000	1	2018-03-02	257,008	Sonardyne	레드윈테크 놀리지(주)	NFEC-2018-03 -242615
쥬케이엔 알시스템	수중 유압공급장치	CI-18-04-60-20- A22	1	2018-02-07	45,485	Innova	쥬케이엔알 시스템	NFEC-2018-03 -242667
아쿠아 드론	이매징 소나	M900-2250-130	1	2017-07-05	45,000	Teledyne Marine	아쿠아드론	NFEC-2018-05 -243491
KT서브 마린	워터펌프	EMS 250-14-2	1	2017-02-06	167,640,000	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2017-03 -236472
KT서브 마린	워터펌프	EMS 250-14-2	1	2016-05-27	147,000,000	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-08 -21116
한국로봇 융합 연구원	케이블 그립퍼	TA17	1	2015-01-23	32,285,992	FORUM	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2015-01 -196239

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록 번호
한국로봇 융합 연구원	수중용 유압추진기	HPT500	3	2015-06-11	96,231,710	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-02 -207895
한국로봇 융합 연구원	수중용 유압추진기	HPT500	7	2016-01-25	236,700,000	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-02 -207901
한국로봇 융합 연구원	해저 파이프 및 케이블 탐색 추적 시스템	TSS 440	1	2017-10-17	276,535,075	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2017-10 -240253
한국로봇 융합 연구원	도플러 속도 센서	WHN600K3	1	2015-03-10	44,356,249	오토로닉스	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2015-03 -200024
한국로봇 융합 연구원	수중케이블 탐지시스템	TSS350	1	2016-02-18	257,536,193	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-02 -207818
한국로봇 융합 연구원	블루류 2D 멀티빔 이미징 소나	M900-2250	2	2016-03-25	97,624,930	오토로닉스	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-04 -208994
대양전기 공업 (주)	수중용 유압펌프	250HPU-4160- 02-10	1	2016-05-12	107,628,000	OPS	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-06 -209999
레보 (주)	250KW급 저압 인버터 판넬	모델명 없음	1	2016-03-31	35,060,000	VACON	포항 수중로봇복합 실증센터	NFEC-2016-12 -213330
삼성중 공업	GNSS Receiver	Viva GS10 & GS15	1	2015.05.15	31,240	Leica	한국해양과학 기술원	NFEC-2016-04 -208999
삼성중 공업	Thruster	모델명 없음	4	2015.06.24	64,642.8	Tecnadyne	한국해양과학 기술원	NFEC-2016-04 -209015
대한 시스텍	Powermaster	C4-42-60-135- 180	1	2016.01.13	84,850	Innova	대한시스텍	NFEC-2016-06 -210002
대한 시스텍	Powermaster	C4-42-60-135- 180	1	2016.01.13	84,850	Innova	대한시스텍	NFEC-2016-05 -209949
삼성 중공업	Inertial Measurement Unit	Spatial FOG	1	2016.01.27	44,660	Advanced Navigation	한국해양과학 기술원	NFEC-2016-02 -207847
삼성 중공업	Underwater Imaging Sonar	M900-2250	1	2016.02.26	60,650	Teledyne Blueview	한국해양과학 기술원	NFEC-2016-02 -207981
삼성 중공업	DVL	WHN300-I- UG12	1	2016.03.29	50,000	Teledyne RD Instruments	한국해양과학 기술원	NFEC-2016-04 -209288

9

연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적



9

연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

1. 1핵심

가. 한국기술교육대학교

□ 연구실 안전 조치 방안

- 모든 연구원에게 한국기술교육대학교 환경안전원에서 실시하는 환경안전교육 의무화
- 연구실, 실험실 안전담당자가 일일점검 수행
- 정기점검 수행 및 점검결과에 대해 한국기술교육대학교 환경안전원으로부터의 평가 및 지적사항에 대한 개선이 이루어지도록 함
- 실험 시 연구원이 상해를 입지 않도록 적합한 보호장비 착용
- 실험 시 두 명 이상의 연구원이 참여하여 위험상황 발생 시 조치를 취하도록 함
- 소화기 등 안전장비 연구실에 마련 및 관리
- 이밖에 환경안전관리 내부규정과 연구실 안전환경 조성에 관한 법률을 준수하도록 함

나. 서울과학기술대학교

□ 안전 점검 (서울과학기술대학교)

- 연구실 일일안전점검
 - 점검범위 : 대학원 실습실(연구실)
 - 점검시기 : 매일(단, 실습실(연구실)을 사용하지 않는 날은 제외)
 - 점검내용 : 기계, 기구, 전기, 약품, 소방시설, 가스 등 유해요소 이상유무의 일상(육안)적인 점검
 - 점검자 : 실습실 조교 및 각 연구실 안전관리담당자(책임자)
- 연구실 정밀안전진단
 - 점검범위 : 대학원 실습실(연구실)
 - 점검시기 : 2019. 01. / 2020. 01.
 - 점검내용 : 기계, 기구, 전기, 약품, 소방시설, 가스 등의 정밀 점검
 - 점검자 : 연별 지정 점검기관
- 연구실 안전관리 현장검사

- 점검범위 : 대학원 실습실(연구실)
- 점검시기 : 2019. 04.
- 점검내용 : 정기점검 실시, 안전관리규정수립 및 보험가입 등 법령 준수사항 확인 및 안전관리에 대한 현장검사
- 점검자 : 과학기술정보통신부 허가기관

□ 교육훈련(법정교육)

- 대상범위 : 연구활동에 종사하는 학부생, 대학원생, 연구원, 교수 등(단, 실습을 하지 않는 인원 제외)
- 교육시기 : 1학기(3월 ~ 6월), 2학기(9월 ~ 12월)
- 교육방법 : 온라인 교육(교내 e-class 시스템 안전교육 과정)
- 교육내용 : 공통과정(안전의식, 안전관리 기본, 실험 전·후 안전, 연구실사고 I, 연구실사고 II), 전문과정(가스, 전기, 기계, 보건·환경, 소방, 실습교육, 사전유해인자교육)

□ 건강검진

- 대상범위 : 특수건강검진 대상 유해인자에 노출된 실습실(연구실)을 이용하는 연구활동종사자
- 검진시기 : 12월
- 검진방법 : 일반건강검진 및 유해인자에 따른 특수건강검진 시행
- 검진기관 : 「국민건강보험법」에 의거한 검진기관
- 검진형태 : 교내 출장검진 및 병원 내방 검진

□ 2019학년도 연구실 사고 예방대책

- 본 과제에 참여하는 실험실은 C등급 관리위험등급으로 실험실 내에 화학실험을 수행하지 않고 전기, 설계, 컴퓨터 작업을 수행하는 하는 실험실임.
- 모든 연구활동종사자는 연구실 안전법 시행령에 따라 연구실 안전교육 이수하도록 함.
- 연구실 책임자 및 안전관리담당자로 하여 매일 1회 안전점검 및 연구실 안전점검표를 작성하고, 매년 1회 이상 정기점검을 실시하여 안전 평가 및 문제 상황에 대한 개선이 이루어지도록 함.
- 실험 시 보안경, 보호대 등 연구원이 상해를 입지 않도록 적합한 보호 장비 착용.
- 실험 시 두 명 이상의 연구원이 참여하여 위험상황 발생 시 조치를 취하도록 함.
- 소화기, 비상구급함 등 안전장비 연구실에 마련.
- 이밖에 참여기관인 서울과학기술대학교 내부규정과 연구실 안전환경 조성에 관한 법률을 준수하도록 함.

2. 2핵심

가. 한국로봇융합연구원

□ 인력전문성 제고

- 안전(관리감독자교육) : 대한산업안전협회(년 1회)
- 안전(정기안전보건교육) : 대한산업안전협회(년 4회)

□ 점검사항

구 분	점 검 분 야	중점 점검 사항	비 고
연구실험실	○ 실험실 일일 안전점검	○ 전기 및 가스 사용 상태 ○ 인화성 물질 및 실험기기 안전 확인	일일
	○ 연구실 정기점검	○ 산업위생, 화공, 소방, 전기, 가스, 기계분야 안전점검	년 1회
	○ 위험·기계기구 정기검사	○ 호이스트, 압력용기 등 위험·기계기구 안전 검사	2년 1회
전체연구원	○ 안전관리자 점검	○ 시설운영상태 ○ 24시간 가동장비 운영상태	일일
	○ 소방시설점검	○ 소방시설 작동기능점검 ○ 소방시설 종합정밀점검	년 2회
	○ 전기설비 안전진단	○ 절연 및 접지저항 측정 ○ 적외선 열화상 측정	년 1회

□ 관련수칙

수 칙 명	주 요 내 용	비 고
○ 안전보건관리요령	- 안전관리 총괄, 가스, 전기, 화공 안전관리 세부사항	
○ 실험실 관리 수칙	- 관리자 편성 및 임무 - 실험실일상점검표 작성	
○ 전기관리 수칙	- 전기시설물 취급 및 구매설치 - 전기시설물 설치 등에 관한 규제	
○ 화학약품 관리 수칙	- 안전관리자 임무, 조치 및 의무 - 취급, 통제구역, 비상재해	
○ 환경 관리 수칙	- 오염물질 배출 및 방지 준수사항 - 장비도입 및 폐기시 준수사항	

- 연구실 안전점검 정기적 실시
 - 연구실의 기능 및 안전을 유지&관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시하고 관련 점검표를 매일 작성함.
- 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행
 - 전 직원에 대하여 근로자 정기안전보건교육을 년 4회 실시함. 교육 방법은 모든 직원에 대한 인터넷 교육을 실시하고, 관련 시험을 치는 방식으로 관리함.
- 연구 내용 및 결과물 안전 확보
 - 정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구 내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음. 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시. 연구 결과물을 위한 별도의 공간을 확보하여 안전을 확보하고 있음.
- 연구실 안전 확보 계획
 - 연구원들이 안전관련 지침을 준수할 수 있도록 정기적으로 교육 및 훈련을 실시하고 관련 필요한 안전 장비들은 별도의 공간을 부여하고 관리함.
 - 실험실에서 위험에 노출될 경우에 비상 대처 방법과 관련하여 필요한 대처 장비들을 충분히 숙지시켜서 비상 상황을 대처함.
 - 실험실마다 관리자를 배치하여 매일 안전점검을 실시하여 잠재되어 있는 위험성과 각종 실험장비 등의 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육

3. 3핵심

- 수중 150마력 이상의 유압공급장치는 미국 등 해양 선진국에서 독점적으로 보유하고 있는 장비임. 국내의 경우 해당 장비를 장착한 수중로봇이 해미래가 유일함. 수중건설로봇 사업단 내부의 유기적인 협조를 통해 유압공급장치를 사용할 경우 유의점 및 대비책을 교류하여 위험요소를 최소화 유도
- 트랙식 이동장치는 무한궤도를 이용하여 중량의 장비를 이동하게 하는 장비이므로 무한궤도 작동 시 부주의로 인하여 협착이 발생할 가능성이 있기 때문에 산업재해에 대한 위험도 및 대책을 충분히 교육하여 안전사고 예방
- 실험역에서 개발장비에 대한 다양한 실험을 수행할 예정이므로 장비의 이송, 장비 상하선, 준비작업, 장비 진수 및 회수 등 일련의 여러 과정 중 다양한 위험이 발생할 수 있으므로 해양 작업 안전대책을 마련하고 참여연구원들이 충분히 숙지하고 위험을 피할 수 있도록 할 예정임

4. 사업단

- 수중건설로봇의 기초 성능 검증을 위한 수조 테스트는 신규 제작품을 결합하거나, 분해/조립을 시행할 경우, 다양한 변수가 발생할 수 있음. 이에 실험에 참가하는 연구자들은 항상 보호구를 착용하고, 낙상, 누유, 누전 등에 사전 교육을 실시함.
- 실험실 시험 중 대형 장비를 이송, 진회수하는 과정을 안전하게 통제하기 위하여 각 핵심과제별로 안전관리자를 별도로 지정하고, 또한 안전펜스를 설치하여 위험지역을 통제함.
- 바지선, DP선 등 용선 운용시 치료가 필요한 연구자가 발생한 상황을 대비하여 인근해안경찰과의 비상연락망을 유지함.

10

연구개발과제의 대표적 연구실적



10

연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	논문	Future Trends in Marine Robotics	KRISO	공동저 자	IEEE ROBOTICS & AUTOMATI ON MAGAZINE	2.413	2015.03	단독	SCI-E
	논문	다수의 추진기를 지닌 ROV의 추력배분을 통한 정지 상태에서의 선수각 및 수심 제어 구현	KRISO	주저자	한국해양공 학회지		2018.02	단독	비SCI/0
	특허	수중 음향신호의 공기 중 재현을 위한 다중 채널 신호처리 및 가공방법과 이를 이용한 정보전달장치	KRISO		미국,유럽	100		단독	출원
	특허	자기장 외란이 심한 환경에서 수중체의 선수각 추정 장치 및 그 방법	KRISO		대한민국	100	2017.07	단독	등록
	특허	USBL 운용을 위한 전용수상기구	KRISO		대한민국	100	2018.06	단독	등록
	특허	무인잠수정의 매니플레이터 모니터링 장치 및 그 방법	KRISO		대한민국	100	2019.01	단독	등록

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	특허	수중건설 로봇의 증강현실 표시 시스템 및 표시 방법	KRISO		대한민국	100	2018.06	단독	등록
	특허	ROV 인출 장치 및 그 인출 방법	KRISO		대한민국	100	2018.11	단독	등록
	논문	Measurement of DS-CDMA Propagation Distance in Underwater Acoustic Communication Considering Attenuation and Noise	Redone	주저자	한국 지능시스템 학회		2015.3	단독	비SCI/0
	논문	DSSS-based Channel Access Technique DS-CDMA for Underwater Acoustic Transmission	Redone	주저자	한국 지능시스템 학회		2015,3	단독	비SCI/2
	논문	수중 환경에서의 위상 지연을 이용한 음향 신호의 시간 차이 추정 기법	Redone	주저자	한국전자 통신학회		2016.4	단독	비SCI/0
	논문	수중 환경에서 상호상관을 이용한 시간차이 추정	Redone	주저자	한국항공 학회		2016.4	단독	비SCI/0
	학술 대회	Navigation of Unmanned Surface Vehicle and Detection of GPS Abnormality by Fusing MultipleSensor Measurements	Redone	공동 저자	Oceans 2016 (USA)		2016.9	단독	비SCI/0

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	특허	선형 유압 액추에이터	KNR	특허권 자	대한민국	100	2017.08	단독	등록
	특허	Linear Hydraulic Actuator	KNR	출원인	유럽	100	2018.01	단독	출원
	특허	수중로봇 및 수중로봇의 자세제어방법	KNR	출원인	대한민국	100	2017.04	단독	출원
	학술 대회	Passive Returning Mechanism for Twisted String Actuators	KNR		ICRA/ 국외		2017.05	중복	비SCI/0
	논문	Twisted string-based passively variable transmission: Concept, model, and evaluation	한국 기술 교육 대학교		ELSEVIER/ 국외		2016.02	중복	SCI-E
	학술 대회	Effect of Kinesthetic Coupling in Cooperative Teleoperation	한국 기술 교육 대학교		URAI/ 국외		2015.10	단독	비SCI/0
	학술 대회	Dynamic Authority Distribution for Cooperative Teleoperation	한국 기술 교육 대학교		IROS/ 국외		2015.09	중복	비SCI/0
	논문	Design optimization of duct-type AUVs using CFD analysis	서울 과학 기술 대학교	교신 저자	Intelligent Service Robotics	0.933	2015.07	중복	SCI-E
	국내 학회	해저 케이블 매설기의 작업효율 향상을 위한 추진시스템의 최적화 설계 연구			제어,로봇,시 스템 학회		2014.05	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 학회	2차원 공간상의 특징 정보를 이용한 해안항해 기법 경로계획			한국로봇 종합학술 대회		2014.06	단독	비SCI
	국제 학회	Conceptual design of optimal thrust system for efficient cable burying of ROV trencher			Oceans'14 MTS/IEEE St. John's		2014.09	단독	비SCI
	국제 학회	Path Planning for 3D Coastal Navigation of Underwater Structure			Oceans'14 MTS/IEEE St. John's		2014.09	단독	비SCI
	국내 학회	수중 위험요소 평가를 통한 최적의 임무 계획기 설계			한국로봇 종합학술 대회		2014.06	단독	비SCI
	국내 학회	힘 기반 재난구조 로봇 개발을 위한 유압식 구동관절 개발 및 제어기 설계			한국로봇 종합학술 대회		2014.06	단독	비SCI
	국내 저널	Modeling and Performance Investigation of Forklift Transmission Control Valve System			J Korean Soc Fluid Power Constr Equip		2014.9	단독	학진등재
	국제 저널	Development of a Novel Linear Magnetic Actuator			IJAT		2014.11	단독	SCOPUS

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 저널	Application of an adaptive fuzzy sliding mode controller in velocity control of a secondary controlled hydrostatic transmission system			Mechatronics	2.423	2014.12	단독	SCI
	국제 학회	Conceptual Design of Optimal Thrust System for Efficient Cable Burying of ROV Trencher			Oceans 2014 St.Johns		2014.09	단독	비SCI
	국제 학회	Path Planning for 3D Coastal Navigation of Underwater Structures			Oceans 2014 St.Johns		2014.09	단독	비SCI
	국제 학회	DEVELOPMENT OF A 7-DOF POWER ASSISTANT ROBOT			9th JFPS International Symposium on Fluid Power		2014.10	단독	비SCI
	국제 학회	Swimming Speed Analysis of a Fish Robot with a Flexible Tail			2014 International Conference on Mechatronics Technology		2014.10	단독	비SCI
	국제 학회	A Rate-Independe nt Hysteresis Compensator for Dielectric Electro Active Polymers Smart Actuator			2014 International Conference on Mechatronics Technology		2014.10	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 학회	전자기파의 신호 감쇠를 이용한 수중 무선 센서네트워크 환경에서의 위치 추정			2014년도 한국수중 로봇기술 연구회 추계학술 대회		2014.11	단독	비SCI
	국제 저널	Design and Modeling of an Innovative Wave Energy Converter Using Dielectric Electro-active Polymers Generator			International Journal of Precision Engineering And Manufacturing	1.661	2015.07	단독	SCIE
	국내 저널	Investigation of Moving Angle of Power Take off Mechanism on the Efficiency of Wave Energy Converter			Journal of Drive and Control		2015.09	단독	KCI등재
	국제 저널	Sampled-data $H-\infty$ Fault Detection and Isolation for Nonlinear Systems in T-S Form: An Approximate Model Approach			Fuzzy Sets and Systems	2.675	2015.11	단독	SCI
	국제 저널	Effects of non-vertical linear motions of a hemispherical-fl oat wave energy converter			Ocean Engineering	2.214	2015.11	단독	SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 저널	Thrust and Swimming Speed Analysis of Fish Robot with Non-uniform Flexible Tail			Journal of Bionic Engineering	2.325	2016.01	단독	SCIE
	국제 저널	Detecting Sensor Fault for Nonlinear Systems in T—S form Under Sampled Data Measurement: Exact Direct DiscreteTime Design Approach			International Journal of Control, Automation, and Systems	2.173	2016.02	단독	SCIE
	국제 저널	Output-Feedba ck Control of Underwater Gliders by Buoyancy and Pitching Moment Control: Feedback Linearization Approach			International Journal of Control, Automation, and Systems	2.173	2016.02	단독	SCIE
	국내 저널	유압실린더 내부 누유 검출을 위한 H_{∞} 관측기 설계			제어로봇 시스템학회 논문지		2016.02	단독	SCOPUS, KCI등재
	국제 저널	Local Autoencoding for Parameter Estimation in a Hidden Potts-Markov Random Field			IEEE Transactions on Image Processing	5.071	2016.05	단독	SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 학회	Pattern Recognition for Underwater Docking of Unmanned Underwater Vehicle (UUV)			ICCAS 2015		2015.10	단독	비SCI
	국제 학회	Initial Alignment Consideration for Underwater Robot's Strapdown Inertial Navigation System			URAI 2015		2015.10	단독	비SCI
	국내 학회	만타형 UUV의 축소모델 플랫폼 개발 및 수조에서의 성능실험			한국군사 과학기술 학회 2015년 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	패턴 매칭 스페이스상의 변수최적화 알고리즘 개발			한국군사 과학기술 학회 2015년 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	UUV의 위치 추정을 위한 3D 패턴 이미지 매칭			한국군사 과학기술 학회 2015년 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	머니플레이터 작업공간의 효율적 모니터링을 위한 카메라 및 라이트 그리고 머니플레이터 위치 선정			수중로봇 기술연구회 2015 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 학회	유압실린더의 내부 누유 검출을 위한 모델 기반 관측기 설계: LMI 접근법			수중로봇 기술연구회 2015 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	ROV용 가변 피스톤 펌프 사판각 제어 알고리즘 개발			수중로봇 기술연구회 2015 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	ROV 개발을 위한 수중 유압 시스템 설계			수중로봇 기술연구회 2015 추계학술 대회		2015.11	단독	비SCI
	국제 학회	Study on Energy Regeneration for Boom System of Hybrid Hydraulic Excavator			The 19th International Conference on Mechatronics Technology		2015.11	단독	비SCI
	국내 학회	EtherCAT 네트워크를 이용한 ROV 트랜처 간이 선상 관제시스템 제작 및 실험			2016 제31회 제어로봇 시스템학회 학술대회		2016.03	단독	비SCI
	국내 학회	단일 로드 유압실린더의 강인 H ∞ 제어기 설계			2016 제31회 제어로봇 시스템학회 학술대회		2016.03	단독	비SCI
	국제 학회	Label field initialization for MRF-based sonar image segmentation by selective autoencoding			MTS/IEEE Oceans 2016 Shanghai		2016.04	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 저널	Proposition and experiment of a sliding angle self-tuning wave energy converter			Ocean Engineering	2.214	2017.03	단독	SCI
	국내 저널	편로드 유압실린더 내부 누유 검출을 위한 T-S 퍼지 모델 기반 샘플치 관측기 설계			한국해양공 학회지		2016.10	단독	등재지
	국제 학회	Demonstration of P-SURO II AUV's Autonomous Navigation in the Water Tank Environment			URAI 2016		2016.8	단독	비SCI
	국제 학회	Docking Technique for Manta-type UUV and its Experimental Studies in Water Tank Environment			MTS/IEEE Oceans 2016 Monterey		2016.9	단독	비SCI
	국제 학회	Vibration control of a single Flexible-link manipulator using PD controller and Input-Shaping algorithm			20th Int. Conference on Mechatroni cs Technology		2016.10	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 학회	Intelligent Phase Plane Switching Control of a Sliding-Buoy Wave Energy Converter using Learning Vector Quantization Neural Network			20th Int. Conference on Mechatronics Technology		2016.10	단독	비SCI
	국제 학회	Forward-lookin g sonar image mosaicking by feature tracking			International Conference on Robotics and Biomimetics		2016.12	단독	비SCI
	국제 학회	Vision based Assistance for Underwater Manipulations			UI 2017		2017.2	단독	비SCI
	국내 학회	수중 케이블 매설용 로봇 플랫폼 설계			수중로봇 기술연구회 2016 추계학술 대회		2016.10	단독	비SCI
	국내 학회	터치스크린을 이용한 2D 영상기반 3차원 위치 추정			수중로봇 기술연구회 2016 추계학술 대회		2016.10	단독	비SCI
	국내 학회	ROV 트랜처를 위한 이더넷 시스템 설계 및 적용			수중로봇 기술연구회 2016 추계학술 대회		2016.10	단독	비SCI
	국내 저널	The Numerical Modeling and Sliding Mode Control of A New Submersible Fish Cage			Journal of Drive and Control		2017.09	단독	KCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 저널	Extraction of visual texture features of seabed sediments using an SVDD approach			Ocean Engineering	2.214	2017.9	단독	SCI
	국제 저널	Two-dimensional forward-looking sonar image registration by maximization of peripheral mutual information			International Journal of Advanced Robotic Systems	0.952	2017.11	단독	SCI
	국제 학회	Configuration of Wave Energy Converter Power-take-off System Based on CVT			21th Int. Conference on Mechatronics Technology		2017.10	단독	비SCI
	국제 학회	Development of a Wave Energy Converter with Mechanical PTO by means of Supplementary Mass Control			21th Int. Conference on Mechatronics Technology		2017.10	단독	비SCI
	국제 학회	Inverse kinematics for autonomous underwater manipulations using weighted damped least squares			14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence		2017.06	단독	비SCI
	국내 학회	터치 스크린 입력을 이용한 작업물의 위치자세 추정 기법			2017년도 한국해양 공학회 추계학술 대회		2017.10	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국제 저널	Scan registration for underwater mechanical scanning imaging sonar using symmetrical Kullback-Leibler divergence			Journal of electronic Imaging 28(1)	0.780	2019.02	단독	SCI
	국내 학회	터치스크린 입력을 이용한 원격제어 보조 기법의 실험적 검증			제13회 한국로봇 종합학술 대회		2018.01	단독	비SCI
	국내 학회	URI-T, a ROV for Underwater Cable Burying Tasks Development and Performance Evaluation through Sea trial			2018 한국수중 수상로봇 기술연구회 추계학술 대회		2018.11	단독	비SCI
	국제 학회	Vision based technique of position and orientation estimation			Underwater Intervention 2018		2018.02	단독	비SCI
	국제 학회	Assisted Teleoperation for Underwater Manipulation Utilizing Touch Screen Inputs			Ubiquitous Robots 2018		2018.06	단독	비SCI
	국제 학회	Investigation of Heading and Depth Keeping Control for Cable Burying Trencher			Ubiquitous Robots 2018		2018.06	단독	비SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 저널	URI-T, 해저 케이블 매설용 ROV 트랜처 개발 및 실패역 성능 검증			한국해양 공학회지		2019.04	단독	KCI
	국내 저널	URI-T, 해저 케이블 매설용 ROV의 선수각 제어 및 실패역 검증			한국해양 공학회지		2019.04	단독	KCI
	국내 저널	해저 케이블 매설 로봇의 수중 매니플레 이션을 위한 터치스크린 기반 원격 조종 어시스턴스 기술 개발			한국정밀 공학회지		2019.04	단독	KCI
	특허	수중전력 공급시스템	대양 전기		한국		출원: 2014년		
	특허	전자기파를 이용한 수중 거리측정방법	Postech /서울 과기대		한국		등록: 2014년		
	특허	수중 내압용기 및 그 운용 방법	대양 전기		한국		출원: 2015년 등록: 2016년		
	특허	수중 추진기의 고장 진단장치 및 그 운용방법	대양 전기		한국		출원: 2015년		
	특허	2차원 카메라 영상기반 3차원 좌표 입력 방법	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2016년		
	특허	수중 매니플레이터의 그림자 이미지 정보를 활용한 매니플레이터의 충돌방지장치	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2016년 등록: 2018년		
	특허	무인잠수정 인양 고리 근처의 엄빌리컬 케이블 상태 실시간 모니터링 장치	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2016년		

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	특허	무인잠수정의 수면 근처에서 작업 시 엄빌리컬 케이블 엉킴 방지장치	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2016년 등록: 2018년		
	특허	해저케이블 절단용 블레이드의 전단력 측정 장치	한국 도키맥		한국		출원: 2016년		
	특허	해저 케이블용 그리퍼의 파지력 측정 장치	한국 도키맥		한국		출원: 2016년 등록: 2017년		
	특허	희생양극이 구비된 수중 운동체 프레임	대양 전기		한국		출원: 2016년		
	특허	압력보상기가 구비된 케이블분기용 수중 케이블 정션박스	대양 전기		한국		출원: 2016년		
	특허	A Graded-MRF model for the underwater Forward-looking sonar image segmentation	심양자 동화 연구소		중국		출원: 2016년		
	특허	음파를 이용한 매설체의 매설 깊이 및 위치 측정 방법 및 그 측정 장치	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2018년		
	특허	수중로봇의 매니퓰레이터 제어방법 및 그 제어시스템	한국 로봇 융합 연구원		한국		출원: 2018년		
	논문	A study on hovering motion of the underwater vehicle with umbilical cable	한국 해양 대학교	주저자	Ocean Engineering /영국	2.13	2017.05		SCI

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	논문	Study on down-cutting ladder trencher of an underwater construction robot for seabed application	한국 해양 대학교	주저자	Applied Ocean Research/ 영국	1.95	2018.02		SCI
	논문	A study on an up-milling rock crushing tool operation of an underwater tracked vehicle	한국 해양 대학교	주저자	Journal of Engineering for the Maritime Environment /영국	1.09	2017.11		SCI
	논문	Development of the cyclic p-y curve for a single pile in sandy soil	서울 대학교	주저자	Marine Georesources & Geotechnology /미국	0.69	2017.05		SCI
	논문	Energy efficient trajectory design for the underwater vehicle with bounded inputs using the global optimal sliding-mode control	한국 해양 대학교	주저자	Journal of Marine Science and Technology /대만	0.47	2017.12		SCI
	국내 저널	수중건설의 신기원,국산 로봇이 연다	한국 해양 과학 기술원	주저자	해양과학 기술				
	국내 학회	한국해양 과학기술원 수중건설 로봇사업단	한국 해양 과학 기술원	주저자	강구조학회		2014.04		
	국내 학회	미래 해양 개발을 위한 수중건설로봇	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국해양 정책학회 학술발표회		2014.10		

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 학회	세가지 종류의 수중건설로봇 개발계획	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국해양 정책학회 학술발표회		2014.10		
	국내 학회	수중건설로봇개 발 방향 및 실용화 전략	한국 해양 과학 기술원	주저자	수중로봇 기술연구회		2014.11		
	국내 학회	수중건설로봇의 해상 작업일수 추정을 위한 요구조건 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국해양 과학기술 협의회공동 학술대회		2015.05		
	국내 학회	ROV 제품 비즈니스 경쟁력 강화 요인에 관한 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국해양 과학기술 협의회공동 학술대회		2015.05		
	국내 논문	국내 주요 항만 인근의 탁도 특성 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국산학 기술학회 논문집		2016.01		
	국내 논문	수중 고르기 장비의 건설 공정 및 효율성 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국산학 기술학회 논문집		2016.05		
	국제 학회	수중건설로봇 개발 현황 및 한중 미래 협력 방안	한국 해양 과학 기술원	주저자	제2차 한중황해 해양포럼		2015.11		
	국내 학회	CFD를 이용한 수중건설로봇 성능검증용 회류수조 설계	한국 해양 과학 기술원	주저자	수중로봇 기술연구회		2015.11		
	국내 학회	주요 국가별 수중로봇 기술 경쟁력 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	수중로봇 기술연구회		2015.11		

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
	국내 학회	수중건설로봇 개발 현황 및 실용화 전략	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국군사 기술학회		2015.11		
	국내 학회	수중 기초 고르기 장비의 건설 공정 분석	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국수중 수상로봇 기술연구회		2016.04		
	국내 학회	저지연 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 기술	한국 해양 과학 기술원	주저자	한국수중 수상로봇 기술연구회		2016.04		
	국제 학회	Secure Cooperative Sensing Scheme in Cognitive Radio Networks	한국 해양 과학 기술원	주저자	IEEE		2016.08		

11

참고문헌



11

참고문헌

1. Berge, S., Fossen, T.I., 1997, Robust Control Allocation of Overactuated Ship: Experiments with a model ship. IFAC Manoeuvring and Control of Marine craft, 193-198.
2. Craven, P.J., Sutton, R., Burns, R.S., 1998, Control Strategies for Unmanned Underwater Vehicles. Journal of Navigation, 51(1), 79-105.
3. Fossen, T.I., Johansen, T.A., 2006, A Survey of Control Allocation Methods for Ships and Underwater Vehicles. In 14th Mediterranean Conference on Control and Automation.
4. Garus, J., 2004, Optimization of Thrust Allocation in the Propulsion System of an Underwater Vehicle. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, 14(4), 461-467.
5. Harkegard, O., Glad, T., 2005, Resolving actuator redundancy-optimal control vs. control allocation. Automatica, 41, 137-144.
6. Henrik, J., 2005, Optimal Thruster Actuation in High Precision Attitude and Orbit Control Systems. Master of Science Programme in Lulæ University.
7. Ji, S.W., Kim, Y.B., 2012, Control Allocation and Controller Design for Marine Vessel based on H^∞ Control Approach. KSOE 2012, 20-25.
8. Johansen, T.A., Fossen, T.I., 2013, Control Allocation - A Survey. Automatica, 49, 1087-1103.
9. Lee, C.M., Kim, K.H., Yoon, S.M., Kim, S.M., Byun, S.H., Moon, Y.S., 2017, A Fundamental Test of The Underwater Construction Light Work Class ROV. Proceedings of KSOE 2017, Busan, 231-235.
10. Oppenheimer, M.W., Doman, D.B., 2007, A Method for Including Control Effector Interaction in The Control Allocation Problems. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit.
11. Pedrami, R., Wijenddra, S., Baxter, J., Gordon, B.W., 2009, A control allocation approach for energetic swarm control. American Control Conference, 5079-5084.
12. Shen, Q., Wang, D., Zhu, S., Poh, E.K., 2017, Robust Control Allocation for Spacecraft Attitude Tracking Under Actuator Faults. Control Systems Technology, 25(3), 1068-1075.
13. Whitcomb, L.L., Yoerger, D.R., 1999, Preliminary Experiments in Model-based Thruster Control for Underwater Vehicle Positioning. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 24(4), 495-506.
14. Yoon, S.M., Lee, C.M., Kim, K.H., Kim, S.M., Byun, S.H., Moon, Y.S., 2017, Motion Control of a Light-work-class ROV for Underwater Working: Heading and Depth Control. Proceedings of KSOE 2017, Busan, 244-247.

15. J. Yuh, "Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey," *Autonomous Robots*, Vol. 8, Issue 1, pp. 7-24, January 2000
16. Andrea Caiti, Vincenzo Calabro, Daniele Meucci, Andrea Munafo, "Underwater Robots: Past, Present and Future," 12th The International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT), 2012, pp 422-437
17. Andrew D. Bowen , Dana R. Yoerger , Chris Taylor , Robert McCabe , Jonathan Howl, "The Nereus hybrid underwater robotic vehicle for global ocean science operations to 11,000m depth," in Proc. IEEE/MTS OCEANS 15-18 Sept. 2008
18. Schilling Robotics, www.fmctechnologies.com
19. Unmanned Underwater Vehicles(UUV), Market & Market, 2018.
20. 해저 전력 케이블 시장: 연구개발특구기술 글로벌 시장동향 보고서, 연구개발특구진흥재단, 2017.
21. New Southeast Asia-Japan 2 Cable to Link 9 Asian Countries, IEEE Communication Society Technical Blog, 2018.
22. SK브로드밴드, 1만500km 규모 해저케이블 설치사업 참가, 보안뉴스, 2018.
23. 국내 모바일 트래픽 현황 및 전망, 한국전자통신연구원, 2017.
24. 2017년 전세계 풍력발전 동향, 한국에너지공단, 2017
25. EU 풍력발전 산업의 현황과 중장기 성장 전망, 에너지경제연구원, 2017.
26. 아시아 풍력시장, 2020년까지 177GW 건설 전망, 이투뉴스, 2016.5.4.
27. Global Wind Statics, GWEC, 2017.
28. KMI 동향분석: 신재생에너지, 해양에서 답을 찾자, 한국해양수산개발원, 2017.
29. 전력질주 제주 HVDC, *Journal of Electric World/Monthly Magazine*, 2014.
30. 내륙~제주 해저 전력케이블 구축 20년...제3선로 조기준공, 세계일보, 2017.04.07.
31. 제1차 해양수산과학기술 육성 기본계획('18~'22), 해양수산부, 2018.
32. 재생에너지 3020 이행계획(안), 산업통상자원부, 2017.
33. 이판문, 전봉환, 홍석원, "장주기 샘플링을 갖는 자율무인잠수정의 의사 슬라이딩모드 제어," *한국해양공학회지* 12(2), pp. 130-138, 1998.
34. Pan-Mook Lee, Seok-Won Hong, Yong-Kon Lim, Chong-Moo Lee, Bong-Hwan Jeon, and Jong-Won Park, "Discrete-Time Quasi-Sliding Mode Control of an Autonomous Underwater Vehicle," *IEEE J. of Oceanic Engineering*, 24(3), pp. 388-395, 1999.
35. 김기훈, "무인잠수정 SNUUV-1의 자율제어 비선형 운동에 대한 해석," 서울대학교 박사학위논문, 2005년.
36. 윤종수, "KAUV 전장 및 항법 시스템 개발," 한국해양대학교 석사학위논문, 2012.
37. 엄태웅, "KAUV-1의 기구부 설계 및 동역학 해석," 한국해양대학교 석사학위논문, 2012.
38. <http://hero.postech.ac.kr>

39. <http://ocean.cheju.ac.kr>
40. 최동현, 임근남, 윤승배, 이지훈, 김현준, 김상현, “소나 센서를 이용한 소형 ROV 3차원 위치제어시스템에 관한 연구,” 인하대학교 석사학위논문, 2008.
41. <http://www.dsme.co.kr>
42. <http://www.daeyang.co.kr>
43. 무인잠수정의 운항제어 및 매니퓰레이터 기술 개발, 연구보고서, 과학기술부, 2003.
44. Ji-Hong Li, Bong-Huan Jun, Pan-Mook Lee, Seok-Won Hong, “A hierarchical real-time control architecture for a semi-autonomous underwater vehicle,” *Ocean Engineering*, 32(12), pp. 1631-1641, 2005.
45. 차세대 심해용 무인잠수정 개발(1단계), 연구보고서, 해양수산부, 2007.
46. Pan-Mook Lee, Bong-Huan Jun, Ji-Hong Li, Hyun-Taek Choi, Ki-Hun Kim, Sea-Moon Kim, Chong-Moo Lee, Sang-Chul Han, Beob-Mo Gu, Sang-Ryul Lee, Hee-Sub, H. S. Choi, “Navigation and control system of a deep-sea unmanned underwater vehicle HEMIRE,” *Proc. of Oceans 2006 - Asia Pacific*, 2006.
47. 이계홍, 이관묵, 전봉환, 이상열, 최문호, 정희섭, “심해 무인잠수정의 선상원격제어 시스템 개발,” *대한전기학회 전기의 세계* 55(3), pp. 39-45, 2006.
48. 전봉환, 박진영, 이관묵, 이필엽, 오준호, “자율무인잠수정 테스트베드 이십이의 개발과 수조시험,” *한국해양공학회지*, 21(2), pp. 67-74, 2007.
49. Bong-Huan Jun, Jin-Yeong Park, Fill-Yub Lee, Pan-Mook Lee, Chong-Moo Lee, Kihun Kim, Young-Kon Lim, Jun-Ho Oh, “Development of the AUV 'ISiMI' and a free running test in an ocean engineering basin,” *Ocean Engineering*, 36, pp. 2-14, 2009.
50. Ji-Hong Li, Sung-Kook Park, Seung-sub Oh, Jin-Ho Suh, Gyeong-Hwan Yoon, Myeong-Sook Baek, “Development of a hovering-type intelligent autonomous underwater vehicle, P-SURO,” Included in the Book *Autonomous Underwater Vehicles*, InTech Education and Publishing, Vienna, Austria, pp. 21-38, 2011.
51. 이계홍, 이문직, 박상현, 김정태, 김종걸, 서진호, “P-SURO II 하이브리드 자율무인잠수정 기술 개발 및 현장 검증,” *제어·로봇·시스템학회 논문지*, 19(9), pp. 813-821, 2013.
52. Ji-Hong Li, “Autonomous AUV navigation in a partially known environment,” *Sea Technology*, 54(7), pp. 39-42, 2013.
53. *The World ROV Report 2010-14*, Douglas-Westwood, 2009.
54. *Remotely Operated Vehicles(ROV) and Autonomous Underwater Vehicle(AUV) in the Energy Market 2011-2021*, Visiongain, 2010.
55. *The AUV gamechanger report 2008-2017*, Douglas-Westwood, 2007.
56. “미래 해양개발을 위한 수중건설로봇 개발 사업,” 2012년 상반기 예비타당성 보고자료 (KIMST, 국토해양부), 2012년 3월.

57. <http://www.f-e-t.com>
58. http://www.f-e-t.com/our_products_technologies/subsea-solutions/perry-slingsby-trenchers-overview/
59. <http://smd.co.uk>
60. <http://www.fmctechnologies.com>
61. <http://www.seaeye.com>
62. <http://www.ldtravocean.com>
63. <http://www.necans.com>
64. <http://cellula.com>
65. 국토교통부 (2013), 건설기계 안전기준에 관한 규칙
66. 국토해양부(2008), “심해저 광물자원 집광시스템 및 채광 운용기술 개발”
67. 국토해양부(2010), “수중작업능력 고도화를 위한 다기능 지능형 수중로봇 개발 기획연구”
68. 국토해양부(2010), “친환경 갯벌차량 기술개발(주행장치)”, 한국해양연구원
69. 국토해양부(2012), “항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구 최종보고서 II: 세부과제 : 항만 수중공사용 무인 사석고르기 장비의 적용확대방안 연구”
70. 국토해양부(2012), “항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구 최종보고서”
71. 박원엽, 이규승, 박준걸(2000), “그라우저에 의해 발생하는 궤도의 측면추진력 예측”, 한국 농업기계학회지, 25(1), pp. 1-10
72. 산업통상자원부(2013), “중장기 해상풍력 에너지단가(COE) 절감을 위한 혁신방안 연구”
73. 수중건설로봇 사업단(2013), “사업단 운영계획서”
74. 이정우(2014), “트랙 기반 수중 로봇 플랫폼의 상태 평가 및 결정 기법에 의한 부하 예측 과 성능 평가”, 한국수중로봇기술연구회 추계학술대회
75. 장인성(2014), “수중건설로봇개발 방향 및 실용화 전략”, 한국수중로봇기술연구회 추계학술대회
76. 장인성, 권오순, 정충기 (2007), “무인 착저식 해양 콘관입시험기 개발”, 2007 한국지반공학 회 가을학술발표회, pp. 611-622.
77. 정준하(2014), “수중 사석 고르기 로봇의 설계 및 제어”, 대한기계학회 2014년도 추계학술대회
78. 최종수(2012), “심해저 망간단괴 파일럿집광로봇 유압시스템”, 한국해양과학기술협의회 공동학술대회
79. 홍섭, 김형우, 여태경, 최종수, 민천홍, 윤석민, 김진호, 이민욱, 성기영, 이창호, 오재원, 김성순 (2013), “파일럿 채광로봇 미내로 개발 및 성능 실증시험”, 한국해양공학회 추계학술대회, pp. 60-63.
80. 한국해양과학기술원(2018), “해양로봇-ICT융합기술 개발사업 기획연구 최종보고서”
81. Amar, P., Ramachandra, M.V.M.S., Bahadur, S.K., 2013, “Rock excavation using surface miners: An overviews of some design and operational aspects”. Int. J. of Min. Sci. Tech., 23, 2013, 33~40

82. Baek, S.H., Shin, G.B., Jeong, H.M. and Chung, C.K. (2016), "Assessment of the side thrust induced by a grouser for off-road tracked vehicles", Proceedings of the 26th International Ocean and Polar Engineering Conference, Rhodes, Greece, pp. 896~901.
83. Bakar, M.Z.A, Gertsch, L.S., "Evaluation of saturation effects on drag pick cutting of a brittle sandstone from full scale linear cutting tests", Tunn. and Undergr. Sp. Tech., 34, 2013, 124~134
84. Batchelor, G.K. (1967), An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press.
85. Bekker, M.G. (1956), Theory of Land Locomotion, University of Michigan Press.
86. Bekker, M.G. (1960), Off the Road Locomotion, University of Michigan Press.
87. Bekker, M.G.(1969), "Introduction to terrain vehicle system", University of Michigan Press
88. Bhaveshkumar, P. P. and Prajapati, J. M. (2013), "Kinematics of Mini Hydraulic Backhoe Excavator", International journal of mechanical engineering and robotics research, Vol. 2, No. 1, pp. 166~182.
89. Bilgin, N., "Investigation into mechanical cutting characteristics of some medium and high strength rocks", Ph.D. thesis, University of Newcastle Upon Tyne, UK, 1977, 332
90. Bilgin, N., Demircin, MA., Copur, H., Balci, C., Tuncdemir, H., Akcin, N., "Dominant rock properties affecting the performance of conical picks and the comparison of some experimental and theoretical results", Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. 4(1), 2006, 139~156
91. Choi, J.S., Hong, S. and Kim, H.W.(2003), "An experimental study on tractive performance of tracked vehicle on cohesive soft soil", Proceeding of the fifth ocean mining symposium, Tsukuba, Japan, pp.139~143
92. Copur, H., "Linear stone cutting tests with chisel tools for identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines", Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci., 47, 2010, 104~120
93. Derong, Liu(2006), Detection algorithm and application based on work status simulator, 6th World Congresson Intelligent Control and Automation
94. DNV(2014), "Subsea power cables in shallow water renewable energy applications", DNV-RP-J301
95. Dongnam Kim, Kyeong Won Oh, Daehie Hong, Yoon Ki Kim and Suk-Hie Hong(2009), "Motion Control of Excavator with Tele-Operated System", 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), pp. 341~347.
96. Dwyer, M.J., Comely, D.R., and Evernden, D.W. (1974), "The field performance of some tractor tyres related to soil mechanical properties", Journal of Agricultural Engineering Research, 19(1), pp. 35~50.
97. Du, C.L., Liu,S.Y., Cui, XX., Liu, TJ., "Study on pick arrangement of shearer drum based on load fluctuation", J. China Univ. Min. and Tech., 18, 2008, 305~310

98. Evans, I., "A theory of the cutting force for point attack picks", *Int. J. of Min. Eng.*, 2, 1984a, 63~71
99. Evans, I., "Basic mechanics of the point attack pick", *Colliery Guardian*, May 1984b, 189~193
100. Evans, I., "Line spacing of picks for efficient cutting", *Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech.*, 9, 1972a, 355~359
101. Evans, I., "A theory of the basic mechanics of coal ploughing", *Proc. of the Int. Symposium on Min. Research*, University of Missouri, Pergamon Press, v2, 1962, 761~768
102. Evans, I., "Optimum line spacing for cutting picks", *The Mining Engineer*, January, 1982, 433~434
103. Evans, I., "Relative efficiency of picks and discs for cutting rock", *MRDE Report No. 41*, National Coal Board, UK, 1972b, 6
104. F. Wang(2014), "Design and experimental study of oil-based pressure-compensated underwater hydraulic system", *Proc IMechE Part I: Journal of system and control engineering*
105. Gohil, s.(2011), "Redundancy management and synchronization in avionics commutation products", *International Conference on Integrated Communications, Navigation and Surveillance*
106. Goktan, M., "Effect of cutter pick rake angle on the failure pattern of high strength rocks" *Mineral Science Technology*, 11, 1990, 281~285.
107. Goktan, R.M., and Gunes, N. (2005) A Semi-empirical Approach to Cutting Force Prediction for Point-Attack Picks, *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 105, pp. 257~264
108. Grecenko, A.(2007), "Re-examined principles of thrust generation by a track on soft ground", *Journal of Terrame*
109. Grecenko, A. (2011), "Compression-sliding approach: Dependence of transitional displacement of a driving element on its size and load", *Journal of Terramechanics*, 48(5), pp. 123~131.
110. Hettiaratchi, D.R.P. and Reece, A.R. (1974), "The calculation of passive soil resistance", *Geotechnique*, 24(3), pp. 289~310.
111. Kogure, K., Ohira, Y., and Tamaguchi, H. (1983), "Prediction of sinkage and motion resistance of a tracked vehicle using plate penetration test", *Journal of Terramechanics*, 20(3), pp. 121~128.
112. Randolph, M., Gourvenec, S. (2011), *Offshore Geotechnical Engineering*, Spon Press.
113. Wong, J.Y. (1989), *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*, Elsevier.
114. Wong, J.Y., and Huang, W. (2006), "Wheels vs. tracks - A fundamental evaluation from the traction perspective", *Journal of Terramechanics*, 43(1), pp. 27~42.