

# 항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구 최종보고서 II

세부과제 : 항만 수중공사용 무인 사석고르기  
장비의 적용확대방안 연구

2012. 3.

연구기관 / 한국해양연구원  
(주) 아쿠아드론

국 토 해 양 부  
한국해양과학기술진흥원

BSPM  
56710-  
10110-2

항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구 최종보고서 II 세부과제 : 항만 수중공사용 무인 사석고르기 장비의 적용확대방안 연구

## Land Transport and Maritime R&D Report

2012

국토해양과학기술진흥원

### 주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 2011년도 첨단항만건설기술개발사업의 기획연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 해양연구기획 사업의 기획연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

# 항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구 최종보고서 II

세부과제 : 항만 수중공사용 무인 사석고르기  
장비의 적용확대방안 연구

2012. 3.

연구기관 / 한국해양연구원  
(주) 아쿠아드론

국 토 해 양 부  
한 국 해 양 연 구 원

# 제 출 문

국토해양부장관 귀하

본 보고서를 “항만시설물 점검용 장비 기술개발 기획연구” 중에서 “항만 수중공사용 무인 사석고르기 장비의 적용확대방안 연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012. 3. 19

연구기관명 : 한국해양연구원

연구책임자 : 한 상 훈

연 구 원 : 박우선, 장인성, 오상호,  
한택희, 고진환, 최현택,  
김기훈

용역기관명 : (주)아쿠아드론

용역책임자 : 임 흥 현

연 구 원 : 김종욱, 박영수

## 보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2011. 9. 20. ~2012. 3.19..	단계구분	
연구사업명	중 사업명				
	세부사업명	첨단항만기술개발사업 기획과제			
연구과제명	대 과제명	항만수중공사용 무인 사석고르기 장비 적용확대방안 연구			
	세부과제명				
연구책임자	한상훈	해당단계 참 여 연구원수	총 : 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연 구 비	정부 : 기업 : 계 :
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 6명 내부: 6명 외부: 명	총연구비	정부 : 95,000 천원 기업 : 계 : 95,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국해양연구원/ 연안개발·에너지연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
용 역 연 구	연구기관명 : (주)아쿠아드론		연구책임자 : 임흥현		
요 약			보고서 면수		
<p>본 보고서는 국토해양부에서 추진 중인 항만 수중공사 현장에서 수중 사석 고르기, 굴삭 작업 등의 수중작업공정을 수행하는 경우, 작업효율성 및 작업자의 안전성을 확보하고 비용적 측면에서 경쟁력을 가질 수 있는 ‘항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비 개발’ 연구에 관한 기획보고서이다. 현재 연구개발이 수행 중에 있는 사석고르기 무인 기계화 장비는 대상 수심이 20m로 국한되어 있으며, 개발 목적 또한 사석 고르기 작업으로 제한되어 있기 때문에 효율성이 낮다. 최근 에너지 자립형 항만과 같이 항만과 에너지 시설(해상풍력 등)을 연계하는 등 녹색 성장 정책기조에 부합하며 복합 해양 공간개발에 적합한 다양한 대형 해양 구조물에 대한 요구가 증가하고 있고, 이러한 시장상황은 국내뿐만 아니라 세계적인 수중시공장비 시장이 확대되고 있는 상황에서 해양산업 전반에 상당한 파급효과를 가져올 수 있다.</p> <p>따라서 본 과제를 통해 새로운 개념의 수중시공방법 및 작업 툴이 개발된다면 해양산업뿐만 아니라, 관련 산업발전에도 큰 영향을 미칠 수 있는 핵심기술분야에 대한 기술적 우위를 선점할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 목적을 위해서 기존의 ‘항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비’의 기능에 부가적으로 다양한 작업용 툴과 기능을 추가하여 그 활용도 및 적용범위를 확대할 필요가 있다.</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	사석고르기, 수중로봇, 항만공사, 위치추적시스템, 시공장비			
	영 어	Trimming of rubble bed, Underwater robot, Harbor construction, Positioning system, Working tools			

# 목 차

1. 국내외 동향 및 환경 .....	1
1.1 국내외 정책추진 동향 .....	1
1.2 항만 및 연안구조물 시장분석 .....	6
1.3 무인다목적 기계화 시공장비 활용성 증대 필요성 .....	19
2. 동향분석 .....	23
2.1 시장분석 .....	23
2.2 기술동향 분석 .....	25
2.3 특허동향 분석 .....	36
2.4 국내환경 분석 .....	45
3. 연구개발 목표 및 범위설정 .....	53
3.1 연구개발 최종목표 및 성과물 .....	53
3.2 연구내용 및 범위 .....	55
4. 활용성 증대방안 도출 .....	57
4.1 시공장비 활용성 증대방안 .....	57
4.2 활용성 증대방안 대상 우선순위 선정 .....	72
4.3 과제별 추진계획 .....	76
4.4 무인 사석고르기 장비 적용확대방안 연구총괄 로드맵 .....	100
5. 연구개발 타당성 분석 .....	101
5.1 정책적 타당성 분석 .....	101
5.2 기술적 타당성 분석 .....	104
5.3 경제적 타당성 분석 .....	109

6. 기대효과 및 활용방안 .....	129
6.1 기대효과 .....	129
6.2 활용방안 .....	132
7. 참고문헌 .....	133

## 1 국내외 동향 및 환경

### 1.1 국내외 정책 추진 동향

#### 가. 국내동향

##### □ 정부주도 로봇개발 관련 청사진 제시

- 본 연구는 항만공사나 방파제 건설 등 해양공사현장에서 사람을 대신하여 한계 상황이나 위험성이 있는 작업을 기계로 대신하여 수행 할 수 있도록 하기 위한 로봇기반 장비를 개발하는 것이다. 본 연구사업과 관련 있는 국내의 정부 정책은 과학기술미래비전 2040, 산업기술혁신 5개년 계획, 해양과학기술개발계획, 제2차 해양수산발전기본계획, 국토해양 R&D 발전전략, 2020 해양과학기술(MT) 로드맵, 지능형로봇개발기본계획 등 다수의 연구개발 프로젝트가 진행 중이며, 시장수요증대에 따라서 그 활동영역이 확대되고 있는 추세이다. 2008년도 11월에 발표한 “이명박 정부의 과학기술 기본계획” 2009년도 시행 계획을 보면, 5개 중점추진 과제 관련 정책과 사업에 총 8조 2,569억 원을 투자하도록 하고 있으며, 이 중 7대 기술 분야에 집중육성을 위하여 총 4조 6,282억 원이 투자되며, 이 중 1조 1,923억 원을 신성장 동력 발굴에 사용하도록 명시하고 있어 미래사회 발전을 이끌어갈 신산업을 발굴하고자 하는 노력이 진행 중이다.
- 또한 과학기술미래비전 2040과 국무총리실 및 녹색기술 위원회에서 발표한 2009년도 국정지표에서는 3대 분야 17개 신성장 동력을 제시하였는데, 이중 로봇 응용 산업이 포함되어 있으며, 지능형로봇산업은 개인서비스용 로봇이나 전문서비스용 로봇 제조업용 로봇은 물론 국방(무인정찰), 교통(무인자동차), 복지(재활, 간호, 의료), 해양(심해탐사)등 타 산업과 로봇분야의 융합을 요구하고 있다. 지식경제부가 발표한 ‘산업기술혁신 5개년 계획(2009~2013)에서는 로봇을 포함한 산업원천분야 핵심기술 재정립 및 연차별 기술개발 목표를 도출하여, 시기별(단·중·장기)및 방안별(국제협력 등) 추진전략을 제시하고 있으며, 이와 함께 지능형로봇개발 기본계획에서는 기술 선도형 제품군에 수중로봇을 포함하고, 공공수요 기반 전문서비스 로봇 보급 및 확산을 위한 사업 중 하나로 해양자원 탐사·개발 및 수산자원 관리를 위한 수중로봇 시범사업을 제시하고 있다.

□ **해양개발 관련 정부정책 및 투자현황**

- 현재 우리나라는 세계 5위 수출입 해상물동량(715백만톤), 세계 6위(11,890TEU)의 컨테이너 처리능력 등 해양물류 산업분야는 상당한 경쟁력을 보유하고 있으나, 물동량을 처리할 수 있는 항만 구조물이나 주변 인프라는 매우 부족한 실정이다. 특히, 기존의 항만 구조물 및 시설들도 노후화가 진행되고 있기 때문에 해양산업전반에 걸쳐 지속적인 경쟁력을 확보하고 기술적 우위를 선점하기 위해서는 신항만 건설 및 기존 시설물의 유지 보수뿐만 아니라 신개념 수중시공 장비 등의 첨단 해양기술 개발이 시급하다. 한편 광물자원과 신 에너지원 선점을 위한 망강단괴 및 메탄수화물 등의 개발이 추진되고 있으나, 본격적인 해양 광물자원 개발, 해양에너지 실용화 연구개발을 위해 실 해역 탐사작업이나 탐사 장비에 대한 투자는 미미한 실정이며, 바다목장화, 해양생물 기원 유용 신물질 추출, 해양 심층수 등 광범위한 해양산업 전반에 대한 시장 확대에 대비하기 위한 인프라를 구축해야 할 필요성이 대두되고 있다.

□ **수중건설로봇(장비) 관련 국토해양부 주요계획**

- 위에서 언급한 바와 같이 해양산업 전반에 걸친 새로운 시장의 등장과 이에 부합하는 인프라를 구축하기 위해 국토해양부는 3대 핵심 정책과제 중 하나로 녹색성장과 신성장동력 확충을 선정하여 추진하고 있으며, 이 중 건설기술력 제고 및 공간정보산업 육성을 위해 건설기술 R&D에 투자를 확대하고 투자를 촉진시키려 하고 있다. 해양수산분야 국가 종합계획인 제2차 해양수산발전기본계획('11~'20)은 향후 10년 동안 해양관련 타 국가계획과 조화·연계를 통해 효과적으로 추진하기 위한 정책 계획으로서, 세계를 주도하는 선진 해양강국 실현을 비전으로 3대 목표, 5대 추진전략으로 구성되어 있으며, 이중에서 '해저탐사 및 작업 장비 개발', '무인 해저로봇 등 개발', '해저관측기지 및 수중 통신·탐지장비 개발' 등이 중점과제로 포함되어 있다. 뿐만 아니라 국토해양 R&D 발전전략에서는 연구개발 성과창출 체계 구축을 목표로 연구개발 사업구조 개선, 관리 프로세스 혁신 및 국토해양 분야 연구개발 세부 추진전략 수립하고, 미래 핵심 기술에 '친환경 해양장비 및 기반기술', '극한지 탐사로봇 및 장비개발' 및 수중 건설로봇이 필요한 해양재내재해 대응기술, 해상에너지 복합단지 조성기술 등의 사업을 포함하여 추진 중에 있다.



## 나. 국외동향

### □ 미 국

- 미국은 1969년부터 해양개발 정책을 추진하여 1970년에 해양기상청(NOAA)을 설립, 본격적인 해양개발에 착수하여 상당한 과학적 성과와 기술적 기반을 구축한 상태이며, 1999년에는 신국가 해양정책(Turning to the Sea : America's Ocean Future)을 수립하고 해양과학 및 수중장비 개발 등 연구개발에 막대한 투자를 지원하고 있다. 뿐만 아니라, 지구기후변화의 예측과 대응방안 도출, 해양산업의 지속적 우위유지, 연안환경 보호와 위험요소 평가, 외래종 관련 연구 등 미지의 해양영역 선점에 필요한 심해잠수정, 해양연구선 건조 및 운영, 첨단 해양연구장비 개발 등을 통해 새로운 해양산업을 창출하고 해양산업에 대한 확고한 기술적 기반을 다지고 있다. 미국 해양정책위원회(NOC: National Ocean Council)는 2004년 'An Ocean Blueprint for the 21st Century' 라는 제목의 보고서에서, 해양과 연안개발 투자를 향후 5년간 2배로 증액할 것을 권고함과 동시에 해양 재난방재 시설물 구축, 첨단 해양장비 및 대형선박, 수중 무인 잠수정(ROV, AUV), 해양위성, 모니터링시스템, 데이터구축 등 다양한 분야를 포함함으로써 국가 해양과학기술의 수준을 비약적으로 발전시키고 있다. 2005년에는 국가해양정책법안 (The Oceans Conservation, Education, and national Strategy for the 21st Century Act : OCEANS-21)제정, 일관성 있는 해양연구 진행 기반 구축하였으며, 국가과학기술위원회(NSTC: National Science and Technology Council)의 Joint Committee on Ocean Science and Technology는 2007년 해양연구 방향제시 (Chart the Course for Ocean Science in the United States for the Next Decade)라는 보고서를 통하여 미래의 해양연구방향 제시, 해양자원 확보와 해양재해 방지 등을 위한 필요장비와 기관 간 협력방안 등을 제시하였으며, 2010년에는 대통령직속 해양 정책 자문단(Ocean Policy Task Force)에서 'Interim Framework for Effective Coastal and Marine Spatial Planning' 을 통해 풍력, 파력, 조력 등 그린에너지 개발, 석유 및 가스개발, 과학연구 및 탐사 등 다양한 해양산업 분야에 대해 우선순위를 부여하고 체계적인 투자 및 지원을 진행하고 있다.

## □ 유럽연합

- 유럽연합 환경기구(EEA: European Environmental Agency)는 3대 해양환경 위험 요소 및 전략분야를 설정하여 대응연구에 착수하였으며, 2007년 유럽 종합 해양개발 비전과 계획을 담은 'The Blue Book'을 발표하여 해양에너지 개발뿐만 아니라 이산화탄소 저감장치 개발 등을 통해 환경보호에 기여하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 또한 유럽연합 해양에너지국(EU Ocean Energy Agency)은 해양에너지 로드맵을 2010년 발표하고 2050년까지 해양 대체에너지 확보 및 47만 명의 고용창출, 그리고 연간 1억 3,630만 톤의 이산화탄소 저감계획 등의 목표를 공표함으로써 새로운 해양산업의 패러다임을 제시하고 있다. 특히, 유럽연합 소속 국가 간 연계된 해양공간계획 수립 프로젝트를 통해 성공적인 해양경제 활성화 방안을 추진하고 해상풍력농장 본격 운영(독일), 상업용 신규 조력발전 프로젝트 추진(스코틀랜드), 염도차 발전 개발 연구(네덜란드) 및 해상풍력발전 단지 및 수산양식 분야에 대한 투자금액의 비중을 높이고 있다.

## □ 일 본

- 일본은 '03년 10개년 해양 정책 (장기적 전망의 일본 해양개발 기본구상 및 추진방안)수립하고, 지구환경 문제, 자연재해 예방, 기후변화 및 지각이동, 해양생태계 변화, 환경복원, 생물체 활동 등에 관한 연구·개발뿐만 아니라, 심해 시추 시스템과 자율 무인잠수정(AUV)개발, 태평양 도서국과의 국제적 협력을 도모하고 있다. 또한 미국과 공동으로 6,000억 원을 투자, 5,700톤급 규모의 심해시추선을 건조하고('04년) 신 에너지원 개발을 위한 통합시추프로그램(IODP)을 추진하고 있으며, 2007년 일본해양기본법을 제정하고 종합해양정책본부를 출범하면서 여러 부처에 흩어져 있는 해양 정책 업무를 통합 조정하는 방안을 마련하고 구체적인 세부지침의 시행에 들어갔다. 또한 방위성에 우주 해양 정책실을, 외무성에 해양 외교정책본부를 신설하고, 2008년 해양기본계획을 확정하고 해양강국을 실현하기 위한 새로운 국가적 비전을 수립하고 적극 추진 중에 있다. 현재 일본에서 추진 중인 해양 기본계획의 주요내용은 해양보호구역 설정, 대륙붕 연장을 위한 제반 조치 마련, EEZ 등에서 외국선박의 해양조사 규제, 해양에너지·광물자원개발 상용화(메탄하이드레이트 및 해저열수광상 상용화), 안정적인 국제해상수송로 확보 및 EEZ 등에서 해양조사사업의 통합 및 조정·조사방법 정비 등 다양한 형태의 해양개발 계획을 수립하고 지속적으로 추진하고 있다. 특히 일본은 해양연구 전문기관인 JAMSTEC (일본해양연구개발기구)을 설립(1971년)하고, 수중장비 개발을 주도하고 있음. 현재까지 57,087톤급 Deep Sea

Drilling Vessel(CHIKYU)(2005), 8,687톤급 Oceanographic Research Vessel(MIRAI)(1996), 7000m 급 원격무인잠수정(KAIKO 7000II)(2004), 6,500m급 유인잠수정(SHINKAI 6500)(1990)을 보유하고 있기 때문에 수중 환경에서 작업하는 장비에 대한 상당한 기술력을 확보하고 있다.

## □ 중 국

- 중국은 이미 1986년 11월 첨단기술연구발전계획인 863계획(사업)을 통해 수중 로봇 연구가 중점사업으로 지정됨으로써, 자체 개발한 유선 수중로봇(ROV)의 잠수 깊이를 300미터 수준에서 1994년 1,000미터에 달하는 무선 수중로봇(AUV) "탐색자"를 개발하는 성과를 나타냈다. 이는 중국이 수중로봇 산업이 유선에서 무선으로 비약적으로 발전하는 계기가 되었다. 특히, 중국과학원 산하 선양자동화연구소는 1980년경부터 수중로봇을 개발해 왔으며, 중국 최초로 유선형 ROV 및 AUV를 개발함으로써, 2010년 시작된 제22회 대양글로벌 과학탐사에서 중국 최초로 개발된 3,500m수심 원격조정로봇(ROV)로 심해탐사에 성공하였다. 이에 따라 중천과기(中天科技)그룹이 담당하는 중국 과학기술부 '제12차 5개년 계획' 중 국가고급기술연구발전계획(863계획)인 심해 무인조종로봇(ROV)등 설비용 피복 케이블 연구 사업이 상하이에서 2011년 착수되고 수중로봇에 대한 인식과 정부 지원이 크게 확대 적용되는 양상을 보이고 있다. 최근 해양과학기술(MT)2050 로드맵 수립을 통해 해양과학기술 10대 주요업무를 설정하고 해양 정책 및 법제도 정비를 추진하고, 해양자원 확보 및 기후변화 프로젝트에 적극 참여하며 국제사회 발언권 강화에 주력하고 있으며 인도네시아 공동 해양연구센터를 설립('10)하고 미국 등 선진해양강국과의 경쟁에 박차를 가하고 있다.

## 1.2 항만 및 연안구조물 시장분석

### 가. 개요

- 항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공 장비의 Up-grade에 대한 시장분석은 무인잠수정(ROV)의 시장과 더불어 시공 장비와 유사한 기능을 가지는 수중건설 로봇이 주로 활용될 수 있는 해양구조물 시장의 분석이 수반되어야 한다. 특히, 수중건설로봇 시장은 과거 석유시추 및 배관·케이블시공 및 유지보수의 좁은 의미에서 더욱 확대되어 현재는 해양에너지 확보, 자원탐사, 인공섬 및 해양 재해 방재시설 구축, 환경오염 저감시설 건설 광의의 개념으로 시장이 확대되고 있는 실정이다. 뿐만 아니라, 대체에너지 및 그린에너지 확보에 대한 관심 증가에 힘입어 조력발전, 조류발전, 파력발전, 해상풍력발전 등 무공해 해양에너지 개발에 국내를 비롯한 세계 각국의 관심이 집중되고 있는 상황이다.

### 나. 해외시장

#### □ 수중건설을 위한 장비(ROV, AUV) 수요 증가 추세

- 비전게인(Visiongain)사의 2011년 ROV와 AUV 시장보고서에 따르면, 해양에너지 개발 분야의 장비 시장규모가 2010년 15억 5,900만 불에서 2021년 34억 7,900 억불로 시장 수요가 점차 높아지고 있는 상황이며(연평균 증가율 8.3%), 지역적으로도 2021년까지 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 특히 미국이 연평균 성장률 6%로 가장 높은 수요를 보이고 있으며, 그 다음으로 유럽, 아시아, 아프리카 순으로 수요가 증가하고 있는 상황이다.
- 현재 전 세계적으로 사용 중인 Work class ROV는 2010년 현재 470여대이며, 해양 에너지 개발활동의 증가와 노후장비 교체 등으로 2014년까지 약 547대의 추가 수요가 발생할 것으로 전망됨. ROV 제작시장은 '09년 244백만 불 수준이었으나 14'년에는 약 532백만 불 수준으로 급격히 성장할 것으로 전망하고 있다(성장률 118%).

[ROV 및 AUV 세계시장 전망]

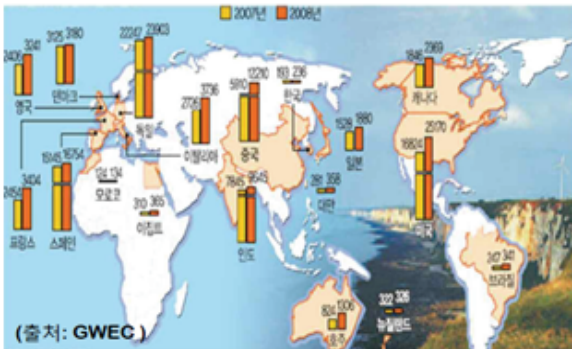
구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
매출액	1,559	1,654	1,770	1,911	2,082	2,283	2,491	2,692	2,885	3,078	3,275	3,479
증가율	-	6.1	7.0	8.0	9.0	9.7	9.1	8.1	7.2	6.7	6.4	6.2

자료: Remotely Operated Vehicles(ROV) and Autonomous Underwater Vehicle(AUV) in the Energy Market 2011-2021, Visiongain, 2010

#### □ 대체에너지 확보 및 환경오염 저감을 위한 해양구조물 건설 증가

- 화석연료의 고갈과 Post-교도의정서 시대 기후변화 대응에 동참하기 위한 세계 주요국의 대체 해양에너지 개발과 대기 중의 이산화탄소 포집·저장(CCS) 기술 개발 및 저장공간확보 등에 대규모 정부투자가 확대되는 추세이며, 풍력에너지 개발의 경우 기존의 육상풍력에서 최근 해상풍력으로 개발 추이가 변화되고 있고, 변화의 주된 요인은 건설부지 확보 및 소음 공해 저감, 생태계 영향 최소화 및 바람의 질, 대용량 발전단지 조성을 통한 가격경쟁력 확보 등 환경 친화적인 요인이 월등히 우수하기 때문으로 판단된다.
- 전 세계 풍력발전은 1999년부터 2009년 10년간 연평균 29%의 성장률을 보이며 급성장 하였으며, 2014년까지 약 21%의 성장률을 보일 것으로 전망되며, 국가별 풍력발전 설치 동향을 보면 미국, 독일, 중국이 전 세계의 50%이상을 차지하고 있고, 해상풍력 발전기술은 유럽의 영국, 독일, 스페인이 주도적으로 개발하고 있다. EU는 2020년 40GW, 2030년 150GW 생산을 목표로 하고 있으며, 미국은 54GW(2030년), 중국은 35GW(2030년) 생산을 목표로 하고 있다. 특히 해상풍력 시장은 지난해 유럽지역에서만 51%의 성장률을 보였으며, 전 세계에서 2015년까지 연평균 48%에 이르는 고도성장을 지속할 것으로 전망되고 있다.

국가별 풍력발전소 설치현황 (2007~2008)

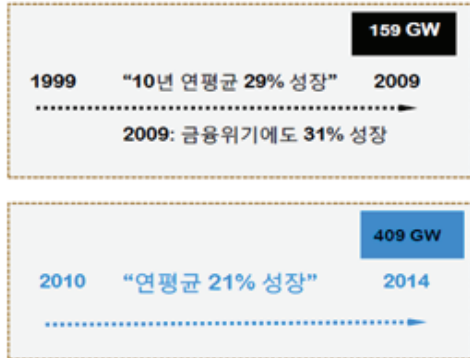


(출처: GWEC)

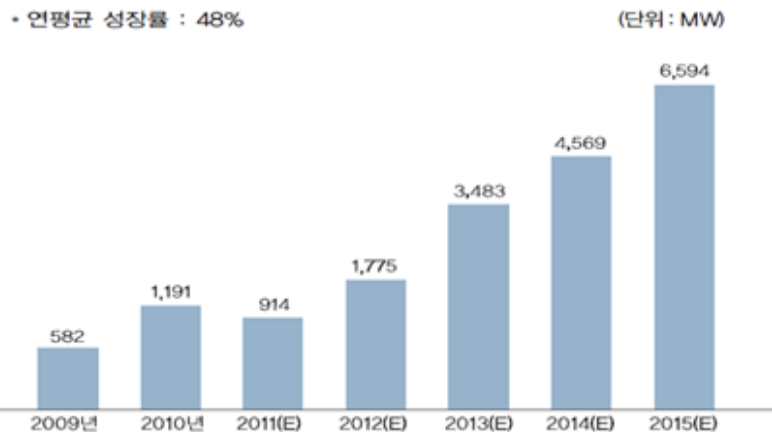
\* 세계 76개국 설치 / 상위 10대국이 약 87% 차지  
한국 28위 (278MW)

자료: Table and Statistics 2009, GWEC

성장전망 (2010~2014)



[세계 풍력발전 현황 및 성장 전망]



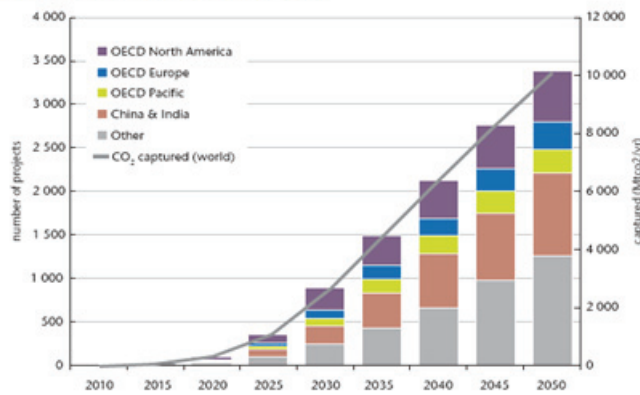
자료: New Energy Finance, EWEA, 2010, <http://www.mke.go.kr> 지식경제부, 2010.11

[세계 해상풍력 시장규모 추이]

- 한편, 세계 CCS 시장은 2012년 약 312억불 규모에서 2030년 1,358억불 규모로 성장할 것으로 전망(한국전력연구원, 2007)되며, CCS플랜트 시장은 2020년 100기, 2030년 850기, 2050년 3,400기로 고속 성장이 기대되는 분야이다(IEA, 2009). 특히, 2020년 세계 시장은 약 550조원 규모로(녹색성장위원회, 2010) 그 수요와 기반기술에 대한 연구가 기하급수적으로 증가할 것을 예상된다. 미국을 비롯해 EU 등 주요선진국의 CCS 기술개발 관련 투자는 2010~2020년까지 1,300억 원, 2050년 까지는 5조 700억 원 가량으로 전망된다.

- CCS 기술은 발생원에서 이산화탄소를 포집하는 기술 외에도 포집된 대량의 이산화탄소를 액체나 초임계상태로 가압, 냉각하여 육상이나 해양의 저장소까지 파이프라인이나 선박을 이용하여 운송하고 저장하는 기술을 포함하므로 실제 이산화탄소를 수송하고 저장하기 위한 설비를 구축하기 위해서는 해저면에 대한 구체적인 시공방법 및 장비의 개발이 시급한 상황이다. 현재까지 CCS 관련 기술이 성숙되지 않고 기술의 구현이 고비용임을 고려할 때, 관련설비 구축 및 시공장비의 개발이 선행되면, CCS 시장에서 시공관련 기술적 우위를 선점할 수 있는 효과가 있다.

Figure 4: Global deployment of CCS 2010–2050  
(CO<sub>2</sub> captured and number of projects)



	Number of projects in 2020	Number of projects in 2050	Additional cost 2010-2020 (USD bn)*	Additional cost 2010-2050 (USD bn)*	Total invest. 2010-2020 (USD bn)**	Total invest. 2010-2050 (USD bn)**
OECD NA	29	590	23.6	1 635	61.7	1 130
OECD Europe	14	320	6.8	590	15.8	475
OECD Pacific	7	280	5.9	645	14.1	530
China & India	21	950	7.6	1 315	19.0	1 170
Non-OECD	29	1 260	9.7	1 625	19.8	1 765
<b>World</b>	<b>100</b>	<b>3 400</b>	<b>54</b>	<b>5 810</b>	<b>130</b>	<b>5 070</b>

\* Includes cost of transport and storage  
\*\* Does not include investment in transport and storage

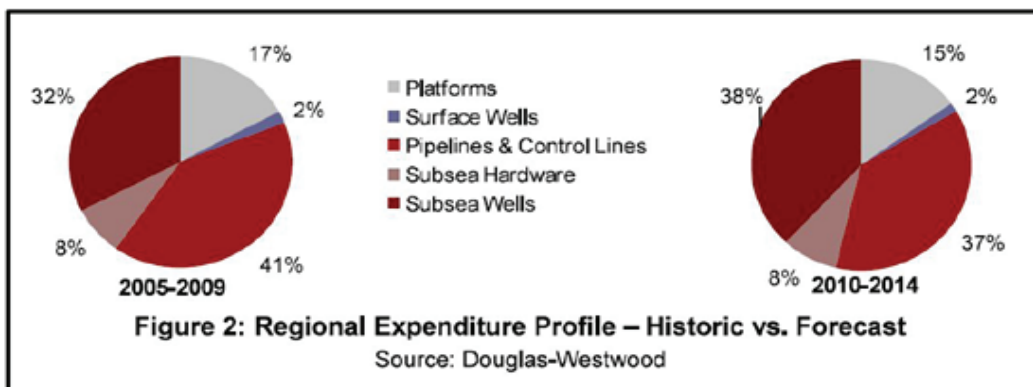
Notes: OECD NA = USA, Canada, Mexico; OECD Europe = Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, UK; OECD Pacific = Australia, Japan, New Zealand, South Korea; Non-OECD = the rest of the world.

자료 : Technology Roadmap; Carbon Capture and storage, IEA, 2010

[세계 CCS 설치 및 투자 현황(2010-2050)]

□ 세계 해양 플랜트 시장의 확대

- 다양한 목적과 기능의 해양플랜트 건설 시장은 천해와 심해로 구분되며, 현재 세계적으로 천해시장규모가 심해 대비 큰 상태이나 심해에 건설되는 해양 플랜트 수요의 증가로 2020년 심해 시장이 급격히 성장할 것으로 전망되고 있다. 2020년 세계 해양 플랜트 시장의 규모는 천억 불이 넘을 것으로 기대하고 있으며, 아시아 지역은 2010년 현재 해양플랜트 시장이 74억불 규모이나 2020년 약 208억불 규모로 성장할 것으로 예측된다. 해저 설비의 분야별 투자를 분석해보면, 해저 유공 시추에 636억불, 해저 파이프라인 건설에 560억불이 투자될 것으로 전망되며, 이는 전체 투자의 약 75%를 차지하는 비율로서, 2005년~2009년 73% 수준에서 2010~2014 기간 동안에는 약 75%로 그 성장가능성이 예측되고 있다.



자료: Deepwater Report 2010~2014, Douglas-Westwood, 2010

[해양플랜트 분야별 투자 실적 및 전망 비교]

□ 해양 재해 방재 구조물 건설 증가

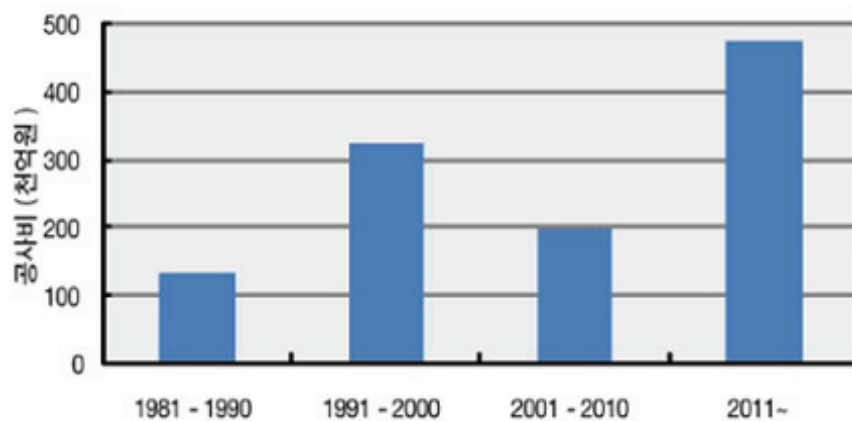
- 기후변화나 이상기후에 따른 자연재해의 발생률이 점차 증가하는 추세이며, 이에 따라 해양관련 재해 및 방재시스템 구축에 대한 관심과 연구가 주목을 받고 있다. 현재 미국, 유럽, 일본 등지에서는 주요 피해 예상지역에 고조 및 해일에 대비한 대규모 방파제나 수문을 설치하는 등 적극적인 움직임을 보이고 있으며, 네덜란드에서는 델타웍스(Deltaworks)의 일환으로 로테르담 인근 수로에 Maeslant storm surge barrier를 완공하여 해일이나 다른 자연재해에 의한 재산과 인명피해를 최소화하는 노력을 하고 있다. 이탈리아의 베니스에서는 고조에 의한 재해방지를 위해 해저 부유식 인공방벽을 설치하려는 구상을 10여 년 전



부터 세우고 있으며, 최근 범람으로 인한 피해가 증가하고 있어 인공방벽 건설 계획인 "모세 프로젝트"를 구상하고 있다. 일본의 경우, 쓰나미 피해를 줄이기 위한 대수심방파제를 최대 수심 63m 까지 건설하여 해양재난을 대비하는 노력이 진행 중이다.

#### □ 초장대교량 및 해저터널 시장

- 세계 장대교량 시장규모는 1990년대 이후 감소추세이나 2010년 기준으로 약 10~30조원 규모의 시장을 형성하고 있고, 2011년 이후 계획된 장대교량은 48조원 규모로 전망되며, 지역별로는 2011년 이후 일본, 유럽에 이어 한국의 시장 규모가 6.7조원으로 증가 예상되고, 2009년 현재 해저터널 건설 예정지는 여섯 곳으로 본 사업이 진행될 경우 총 시장규모는 약 300조원으로 추정(BDI, 2009)하고 있다.

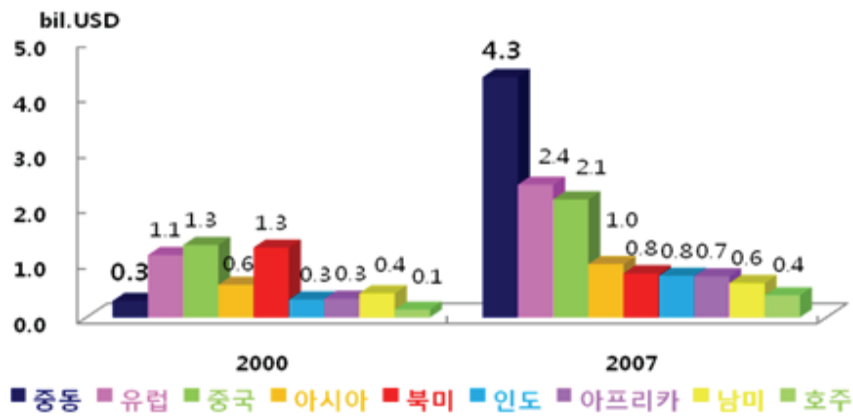


자료: 초장대 교량 사업단 상세기획연구, 한국건설기술평가원, 2008

[세계 장대교량 시장규모 변화추이]

#### □ 해외 준설시장 규모의 확대

- 세계 준설시장을 북미와 중국, 유럽이 50% 이상을 차지하였으나('04년 기준) 2007년 현재 중동지역의 준설시장이 430억불로 급격히 확대되면서 유럽과 중국의 시장을 합한 규모만큼 성장하였음. 2004년 세계 준설시장은 약 57억불이었으나 2007년 131억불로 확대되고 있으며, 2007년 기준 준설시장은 중동이 33%, 유럽이 18%, 중국이 16% 차지하는 것으로 보고되었다.



자료: IADC(International Association of Dredging Company)

[세계 준설시장 규모 변화]

## 다. 국내시장

### □ 해외 준설시장 규모의 확대

- 앞장에서 기술된 유럽 및 중국과 미국 등의 세계 준설시장 규모의 확대는 국내 기업이 이에 참여할 수 있는 시장의 확대로 아주 좋은 기회라고 할 수 있다(해외준설시장 자료 참조).

### □ 해양에너지 플랜트 건설 가시화

- 현재 국내 해양산업도 대체에너지 확보 및 환경오염 저감 등 녹색성장을 위하여 CCS중합추진계획, 해상풍력단지 조성계획 등 신재생 에너지 관련 사업들이 가시적으로 진행되고 있다. 특히, 해상풍력 발전단지 건설을 위해서는 여러 종류의 지반공사가 필요한데, 그 중 지지력발현을 위해 모노 파일이나 중력식, 혹은 Suction타입의 기초를 사용하며, 이 때 모노 파일식 해상 풍력 기초의 경우 해상에서 항타가 가능하나 중력식 기초나 석션기초의 경우에는 해저면 기초 공사가 매우 중요한 부분이다. 또한 해상풍력의 경우 기반공사 및 계통연계 등 수중건설 부분이 전체 공사 원가에서 차지하는 비중이 약 48%로 상당히 높은 편이므로 해상풍력 관련 산업의 파급효과도 클 것으로 판단된다. 지식경제부의 해

상풍력추진 로드맵에 따르면 우리나라는 부안-영광지역 실증단지 조성을 시작으로 2019년까지 2,500MW 규모의 해상풍력발전단지가 건설될 예정이며, 총 투자액은 3단계 총 92,590억 원 정도이다.

[해상풍력발전 단지 건설 계획]

(단위: 억원)

구분	정부R&D	터빈	지지 구조물	계통 연계비	기타	합계
1단계	160	2,000	1,000	2,479	397	6,036
2단계	130	18,000	9,000	2,224	900	30,254
3단계	-	25,500	12,750	16,196	1,854	56,300
합계	290	45,500	22,750	20,899	3,151	92,590

- 조력발전의 경우 2010년에 완공된 시화호 조력발전소를 비롯하여, 현재 설계단계인 가로림 조력발전소, 그리고 타당성조사를 마치고 건설계획을 추진 중인 인천만과 강화 조력발전소 등이 있으며, 각 사업별 사업예산은 시화호 조력발전은 3,551억 원, 가로림만, 강화, 인천만 조력은 총 투자비 65,919억 원으로 대규모 프로젝트로 진행되고 있다.

[국내 조력 발전소 건설 추진 현황]

구분	시화 조력	가로림만 조력	강화 조력	인천만 조력
대조차 (m)	7.80	6.56	8.97	7.20
조지면적 (km <sup>2</sup> )	39	95	84.9	128
방조제 (km)	12.67	1.33	6.5	15.09
발전방식	단류창조식 (밀물)	낙조식 (썰물)	단류낙조식 (썰물)	낙조식 (썰물)
시설용량 (MW)	254	500	812.8	1,440
연간발전량 (GWh)	552.7	930	1,536	2,326
총 사업비 (억원)	3,551	10,650	21,300	33,969
방조제 유무 (현)	있음	없음	없음	없음
예상사업기간 (연)	2002-2011	2005-2012	2007-2016	R&D 추진 중
발전사업자	한국수자원공사	한국서부발전	한국중부발전	한국수력원자력

자료: 산은경제연구소, 2009

- 조류발전의 경우, 2009년 한국해양연구원 주도로 울돌목에 시험조류발전소가 준공되어 실증실험 단계에 있고, 향후 상용조류발전소의 건설을 계획 중에 있다. 이 외에도 국내 조류발전 투자는 1조 7,125억 원 규모로 현재도 여러 곳에 프로토 타입의 조류발전 프로젝트가 진행 중이다.

[국내 조력 발전소 건설 추진 현황]

연도	위치	주체	시설용량 (MW)	발전용량 (GWh)	투자액 (억원)
2009	경남 사천, 남해 지역	사천시, 남해군, 한국남동발전	0.1	-	-
2009	진도군 울독목	-	1	2.4	125
2013	진도군 울독목	-	90	276	-
2015	인천시 옹진군 덕적도	포스코건설, 한국남동발전	200	613.2	8,000
2015	전남 완도 횡간수도	한국중부발전	300	920	9,000
2016	전남 신안군	한국남동발전, 포스코건설	260	797	-
합계			851	2,608	-

자료: 산은경제연구소, 2009

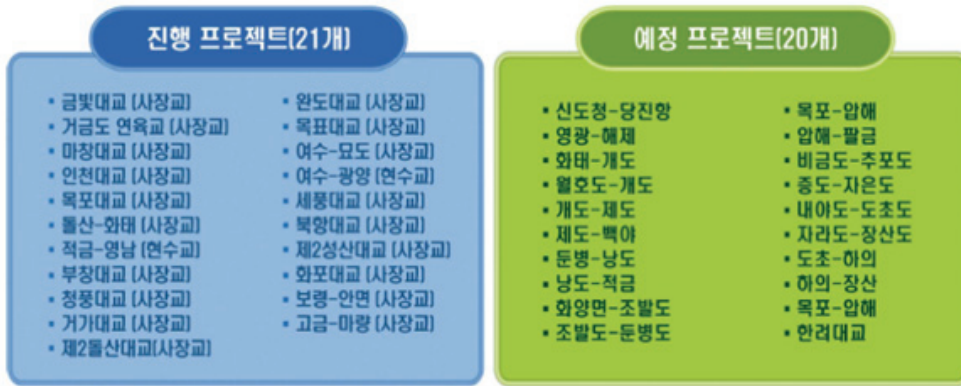
- 해상풍력발전을 이용하여 에너지를 생산하는 시스템 관련 기술 프로젝트로 에너지 섬이 거론되고 있다. 현재 정부에서 구상중인 에너지 섬의 경우 두 가지 프로토타입이 거론되고 있다. 그 중 하나는 부력 식으로 해상에 뜨는 형태를 지니며, 섬 내부에 해상풍력발전단지는 물론 해수 온도차 발전을 하는 에너지 생산전용 시스템을 만든다는 개념이고 또 다른 하나는 에너지 섬으로는 일정하지 않은 풍력발전여건을 바탕으로 일정한 패턴의 전력을 생산한다는 문제점을 해결하기 위해, 초과 발전이 될 경우에는 풍력에너지를 이용하녀 섬 내부로 해수를 저장하여 풍력발전이 어려울 시 담수를 이용하여 발전량을 보충해주는 상호 보완 형식의 복합발전 시스템을 의미한다. 이 밖에도 현재 기술발전 단계인 해양 온도차 발전소나 파력발전소 등은 자원 잠재량이 무한해 미래의 청정에너지 지원으로 사용가능하며, 이를 위한 해상공사의 수요도 커질 것으로 예상된다.



[에너지 섬 구상도]

#### □ 초장대교량 및 해저터널 수요 증가에 따른 시장 확대

- 토목기술의 발전에 힘입어 최근 국내에서도 초장대 해상교량, 해저터널, 그리고 방재구조물 등과 같은 대형 해상 구조물 기술 개발이 적극 추진되고 있으며, 이러한 대규모 해상 구조물의 필요성에 대해 사회적 공감대가 형성되고 있어 향후 이들 구조물의 건설이 예상되는 상황이다. 특히, 해상교량 작업 중 수중건설 작업의 비중은 약 22% 수준(공사비 기준)이며, 그 비중은 점차 증가하고 있는 추세이다. 현재 부산과 거제를 잇는 거가대교의 경우 대형교량과 침매터널을 혼합하여 건설된 혼합형 구조물로서 시공조건이나 환경조건에 따라 혼합형 구조물이나 신개념 공법의 적용이 요구되는 환경이 증가하고 있다. 국내 장대교량의 시장규모는 1990년대 8천여억 원 규모에 불과하였으나, 2000년대에는 4조 5천여억 원 규모로 성장하였으며, 2010년대에는 주 경간이 1,545m인 광양대교를 포함하여 현재 사업비를 추정할 수 있는 실적만 고려하더라도 6.7조원에 이를 것으로 전망된다. 이와는 별도로 현재 건설이 계획되어 있거나, 진행 중인 장대교량 건설 사업을 모두 합치면 약 9조원 규모의 사업 프로젝트가 추진될 예정이다.



자료: 초장대 교량사업단 상세기획연구, 2008 한국건설기술평가원

[국내 장대교량 프로젝트 현황 및 계획]

- 현재 국내에서 시공 중이거나 시공된 해저터널 공사는 최근 완공된 거가대교 침매터널이 대표적이며, 본 공사는 1조 9천여억 원의 초대형 프로젝트로 진행되었으며, 침매터널 공가구간의 단일 공사비로도 2,579억 원/km의 대규모 공사로 진행되었다. 또한 앞으로 추진될 계획인 충남 대천항으로부터 영목항까지 해저터널과 교량 그리고 인공섬을 이용하여 연결하는 공사들이 계획 중이며 이 중 해저터널 공사구간만 2.4km로 2020년 완공을 목표로 하고 있다. 현재 구상단계에 있는 해저터널로는 국내에서는 300km이상의 길이를 지닌 한-중 해저터널이나 100km가 넘는 한-일 해저터널이 있으며, 해외로도 중국과 대만을 잇는 터널, 스페인-모로코 사이의 터널 등 세계 여러 각지에서 해저터널 공사 및 프로젝트가 구상 단계에 있다.

[한-일 해저터널 예상 공사비용]

구분	단가 (억원/m)	부산-쓰시마			쓰시마-후쿠오카			총공사비 (억원)	산정 근거
		연장 (m)	공사기간 (년)	소계 (억원)	연장 (m)	공사기간 (년)	소계 (억원)		
Shield 1	3.50	47,000	12.88	164,499	50,000	13.70	175,000	339,499	유로터널
NATM	2.00	3,790	2.07	7,580	46,796	12.82	93,590	101,170	세이칸터널
교량 및 기타	1.00	-	-	-	14,890	4.08	14,890	14,890	거가대교
침매터널	2.60	17,500	6.47	45,500	-	-	-	45,500	거가대교

자료 : 한일터널과 동북아 통합교통망 구축을 위한 기초연구, BDI, 2009

□ 해저 및 해상 공사 증가

- 산업현장 이외에도 이어도 해양과학관측기지 및 가거초 해양과학관측기지 등 해양과학 기지를 비롯하여 해양관측이나 자원개발을 위한 과학적 목적의 해양 구조물 수요가 증가하고 있으며, 이에 따른 국가 규모의 대형 프로젝트들이 추진 중에 있다. 이와 같은 구조물 설치공사에 있어서 가장 중요한 부분은 통신을 위한 해저케이블 매설 공사이다. 해저 케이블 매설의 경우, 수심이 깊은 곳에서 무인 로봇을 이용하여 최고3m 깊이로 땅을 파고 두 개의 도랑을 만들어 해저 케이블을 매설하고, 콘크리트로 메우는 작업을 하는 고난도 공사가 요구되며, 이에 적합한 무인 시공 장비의 개발이 요구되는 상황이다.

□ 국내 항만공사 수주실적의 지속적인 증가

- 해양공사 분야에서 국내 항만공사 건설시장 수주액은 '06년 1조 5,676억 원 규모에서 '10년 2조 391억으로 매년 성장세가 증가하는 추세이다(연평균 성장률 6.79%).

[국내 항만시장 수주액 변화]

년도	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
금액	1,567.6	1,664.4	2,231.1	2,115.8	2,039.1

자료: 국토해양통계연보, 건설산업 2006-2010

- 그 중에서 국내 기업의 해외 항만공사 건설시장 수주액은 '06년 6억불 규모에서 '10년 16.7억불 수준으로 성장, '19년까지 약 4조 이상의 시장을 확보할 것으로 예상된다.

[국내기업의 해외 항만시장 수주액 변화]

년도	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
금액	609.0	1,969.0	2,382.0	1,419.0	1,677.0

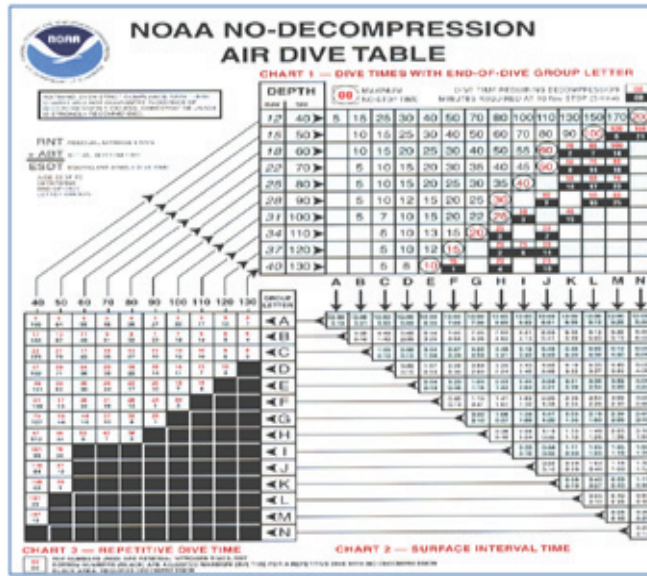
자료: 해외건설협회 연도별 통계연보, 2006-2010



### 1.3 무인다목적 기계화 시공장비 활용성 증대 필요성

#### 가. 환경요인

- 육상공사에서는 시공 현황을 육안으로 확인하기 용이할 뿐만 아니라 시공 장비 및 측량장비의 첨단화로 인해 시공의 정밀도가 예전보다 향상되어 있다. 하지만 해상공사의 경우에는 물속의 부유물질(SS:Suspended Solid)로 인한 탁도(Visibility)가 나빠지게 되고 시계가 떨어지기 때문에 수중영상 및 정밀 위치 파악이 어렵다. 이로 인해 수중공사 현장에서는 탁도가 떨어지면 시공의 효율성이 상당히 저하되는 경향이 있다. 더욱이 국내 수중공사의 경우에는 잠수부를 활용한 재래식 시공과 공사관리가 이루어지고 있는데, 시공과정에서 허리부상 및 손가락 절단 등 각종 재해의 우려가 있을 뿐 아니라 잠수병 때문에 작업시간이 극히 제한되고 해상 조건이 열악할 경우 생산성 및 시공의 정밀도가 떨어지는 또 다른 원인이 된다. 즉, 잠수병을 예방하기 위한 일반적인 공기잠수표에 의하면 수심 20m에서, 하루 8시간 근무시간 중 2시간 밖에는 잠수작업을 할 수 없고 나머지 6시간 이상은 잠수병 예방을 위해 휴식을 취해야 하기 때문에 수중작업의 효율성이 상당히 떨어지는 실정이다. 특히, 대수심의 경우, 잠수병 예방을 위해 작업시간이 극히 제한적이므로 생산성이 떨어지고, 작업현장이 점점 대수심화 됨에 따라 작업조건은 더욱 악화되고 있다. 이러한 상황에서는 현장 관리자 또는 감독자가 작업과정을 직접 확인하지 못하고 작업자인 잠수사의 처분에만 의존하게 되며, 완료된 공사 중 일부만 촬영해 품질을 관리하는 문제점들이 지속적으로 제기되어 오고 있기 때문에 이러한 부분을 개선하기 위해 기존 방법에서 탈피해 부실공사를 예방하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 측면의 시스템이 필요하다.



[미해양대기국(NOAA) 공기잠수(Air Diving) Table.]

<산업재해로 인한 사망자 수>

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

[산업재해로 인한 사망자 수]

## 나. 기존 Platform 활용도 증대

- 한국해양연구원에서는 항만 수중공사에 있어 수중 사석 고르기, 굴삭 작업 등을 경제적/효율적/안전적으로 수행할 수 있는 수중 기계화 굴삭 장비 및 무인 수중 지반조성 운용 시스템을 개발하고 실용화하는 연구를 수행 중에 있다. 이 사업을 통하여 수심 20m까지 원격조종을 통해 항만 수중작업이 가능한 수중 사석 고르기, 굴삭용 무인 기계화 장비 개발하고, 수중 무인 기계화 시공이 가능한 모니터링 시스템(수중물체 인식시스템, 수중장비 위치확인 시스템, 수중작업 결과분석시스템 등) 및 수중장비 원격 제어/운영 시스템 개발하고 있다. 이러한 내용으로 수중 기계화 굴삭 장비 및 무인 수중 지반조성 운용 시스템으로 개발되는 Platform을 기반으로 다양한 작업에 탄력적이며 폭 넓게 사용될 수 있는 Sub tool systems이 요구되는 상황이다.



[수중 사석고르기 장비 개념도 및 세부기술]

## 다. 다목적 Tool의 필요성

- 기존의 항만건설의 경우, 침매 터널이나 Pile 방식의 시공방법 등 다양한 형태의 수중공사와 이에 따르는 다수의 공정이 요구되고, 이를 안전하고 효과적으로 수행할 수 있는 원격 무인 장비 및 이에 용이하게 부착하여 활용할 수 있는 여러 가지 Tool들이 요구되는 상황이다. 최근 주요 관심 대상인 신재생 에너지와 관련하여 보다 다양한 현장의 특징 및 이에 부합하는 복합 구조물 설치 공사 수

행시, 지반 공사에서부터 구조물 설치 시까지 전 공정에 효율적이며 다목적으로 사용할 수 있는 특수한 작업 Tool들이 필요하다.



[Offshore에 설치되는 해상풍력발전기]

## 2 동향분석

### 2.1 시장분석

- 기존의 항만 또는 수중 구조물 시공공법은 저탄소 녹색성장을 요구하는 최근 해양산업 및 구조물 시공공사에는 적용하기에 적합하지 않은 부분이 많다. 또한 최근 작업환경이나 시공조건 등이 사람이 수작업으로 수행하기 어려운 공사의 경우에는 안전성 및 시공의 정밀성 등을 고려하여 무인화 장비의 적용이 요구되는 상황이다. 따라서 이러한 시장동향 및 수중 무인화 장비에 대한 수요나 시장의 필요성을 위해 현재 진행 중인 해양산업 및 구조물 시공 동향을 파악해야 할 필요가 있다. 이와 같은 배경에서 항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비의 시장을 분석하고 활용하기 위해서는 우선 해양구조물 시장의 수요분석이 선행되어야 한다.

[국내 해양구조물 시장 예측]

분야	시장 규모	참고
ROV 시장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROV 제작 시장은 '09년 244 백만불 수준</li> <li>→ '14년 532 백만불로 증가 (성장률 118%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Douglas-Westwood (2009)</li> </ul>
해상풍력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 투자 규모 9조 2,500 억원('19년까지)</li> <li>• 세계 해상풍력 시장 연평균 성장률 48%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식경제부(2010)</li> <li>• EWEA(2010)</li> </ul>
조력/조류/파력발전	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 시장 규모 약 9천 억원('23년)</li> <li>• 세계 시장 규모 총 307 조원('12~'23),</li> <li>• 연평균 성장률 12% 수준('10~'20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산은경제연구소(09)</li> <li>• Greenpeace(2010)</li> </ul>
CCS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 투자 총 2조 3천 억원 규모 ('10~'19)</li> <li>• 세계 시장 규모는 1,358 억불 예상 ('30)</li> <li>• 시장 성장률은 연평균 24% 수준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지식경제부(2010)</li> <li>• 한국전력연구원(09)</li> <li>• IEA(2010)</li> </ul>
초장대 해상교량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 시장 20 조원 규모(2000년대), '11년 이후 투자계획 약 48조원, 세계 시장 점유율 약 20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국건설교통기술평가원(2008)</li> </ul>

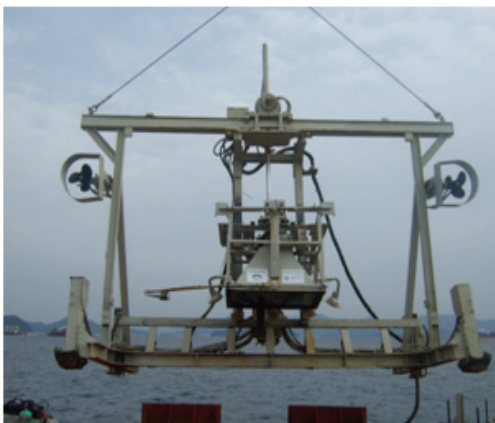
분야	시장 규모	참고
해양플랜트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세계 해양플랜트시장 규모 1천 억불('20)</li> <li>• 세계 해양플랜트 시장(심해저) 198 조원 ('23)</li> <li>• 시장 성장률 약 8%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bain &amp; Company (2011)</li> <li>• INTSOK(2010)</li> </ul>
해저터널	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현재 검토 중인 사업은 10여개, 프로젝트별 20~100조원 규모</li> <li>• 세계 시장 5천 조원 규모 추정('30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한국건설교통기술평가원(2010)</li> </ul>
준설시장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 준설공사사업시장 규모 3,293 억원('09)</li> <li>• 미래 국내 시장 1조 천억원 규모 추정('23년)</li> <li>• 세계 준설공사사업 시장 규모 10,820 백만유로('10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대한전문건설협회(2010)</li> <li>• IADC(2010)</li> </ul>
해저 파이프라인 및 케이블	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세계 시장 연간 10 억불 (1조원) 추정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Offshore pipelines &amp; control lines market update report 2009/13</li> </ul>
항만공사	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 기업의 해외 항만공사 수주액 16.7 억불('10)</li> <li>• 연평균 성장률 28.8% ('06~'10)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해외건설협회 연도별 통계</li> <li>• 국토해양통계연보 (연도별)</li> </ul>

## 2.2 기술동향 분석

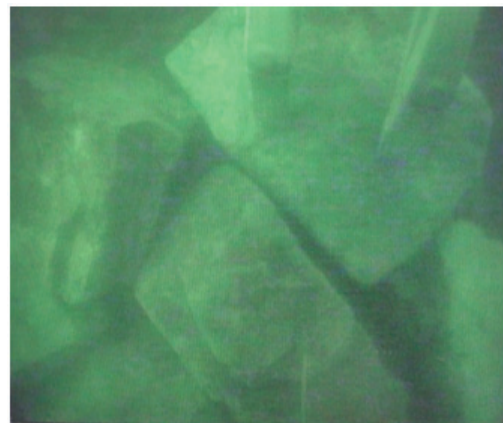
### 가. 국내기술동향

#### □ 수중로봇산업관련 기반기술

- 현대 측량장비는 첨단광학, 전파공학, 전자공학, 통신공학 등 IT 기술의 총 집결체이며, 측정 정밀도를 향상시키고 측량비용 절감 및 생산성을 증가시킬 수 있는 형태로 발전하고 있다. 국내 해상공사에서 탁도는 작업효율을 저하시키는 주요 원인이 되며, 특히, 국내 서해안은 1m 앞의 물체도 인식하기 어려울 만큼 작업시야가 확보되지 않는 경우가 종종 발생한다. 탁도 문제를 해결하기 위해 초음파 센서를 사용하고 있으나, 조립작업과 같이 실시간으로 물체를 인식해야 하는 작업에는 적합하지 않은 상황이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 창원대학교 메카트로닉스 연구실에서는 2001년부터 국토해양부의 지원으로 탁도가 높은 수중에서 투명박스를 통해 물체를 촬영하고 이를 유, 무선으로 전송해 작업자가 운전실에서 영상을 볼 수 있는 수중 촬영장치를 개발하였다. 수중에서 물체를 수색하거나 수중물체의 영상신호를 얻는데 있어서 작업의 효율성과 수신감도를 확보하기 위해서 카메라에서 수면으로의 상방향을 제외한 전 방향에 대해 비디오 영상을 실시간으로 취득하고 기록하기 위한 다방향 수중 영상 취득 시스템이 개발된 바 있다.

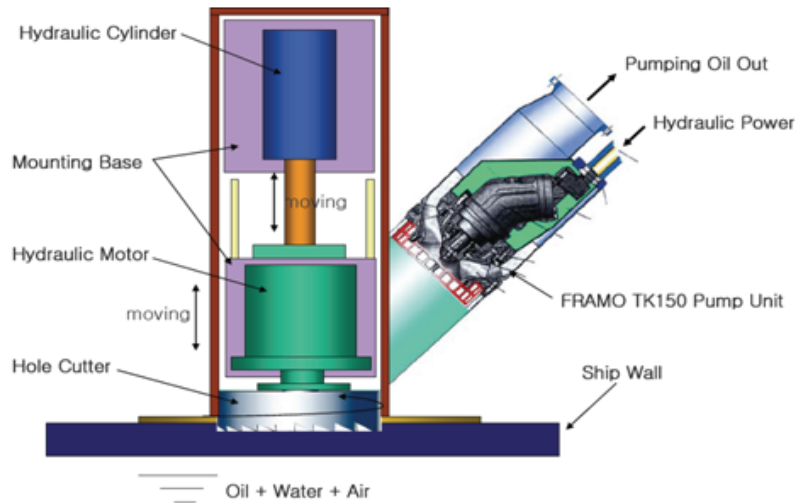


[창원대학교에서 개발한 수중촬영장치]



[수중촬영장치로 취득한 영상자료]

- 현대건설에서는 실시간으로 자동화된 측위장비를 이용하여 수중에서 구조물의 단순한 위치뿐만 아니라 배열을 현장에서 즉시 시공할 수 있도록 한 GPS 측위 시스템을 이용한 수중구조물 실시간 자동설치 시스템을 개발하였으며, 한국해양연구원에서는 침몰선박 잔존유 회수장비 개발에 수중 유압시스템을 활용한 사례가 있다(그림 15).



[침몰선박 잔존유 회수용 유압시스템]

지반 굴착기 개발 사업을 통해 육상 말뚝시공방법의 하나인 해머그랩 작업 및 굴착대상 토질변화에 따른 굴착기의 Attachment 교환과정 없이 연속으로 굴착이 가능한 천공장치를 개발한 바 있다. 또한 친환경적인 목적으로 유압 대신 수압을 활용하는 연구가 진행 중이며, 이는 압력이 가해진 물을 방출함으로써 동력이 전달되도록 하는 것으로 향후 수중장비에서는 수압구동시스템의 활용이 증대될 것으로 예상된다. 수압시스템의 활용범위는 식품, 음료, 소방기기를 비롯하여 수처리 장치나 수중기계, 로봇 등 그 적용분야와 응용성이 다양하다.



[유압자주식 굴착기]

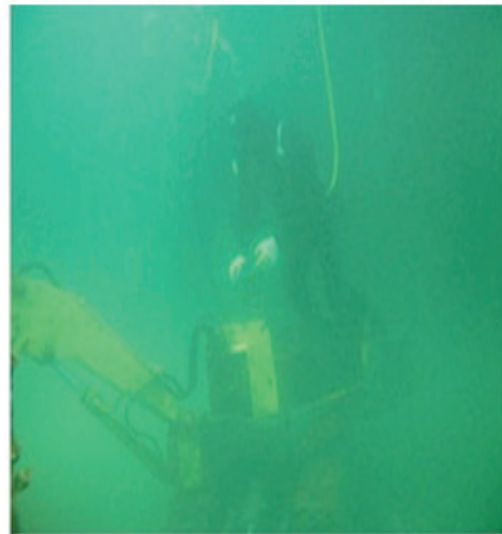


### □ 구조물 자동화 시공장비(로봇)기술

- 방파제나 호안에서의 작업은 깊은 수심과 높은 파도와 같이 자연적인 제약조건으로 인해 작업자의 안전에 많은 문제를 발생시킬 가능성이 항상 존재한다. 특히, 수중작업은 작업 중 발생하는 부유물 등에 의해서 시야확보가 어려워 잠수부의 판단에만 전적으로 의존하고 있기 때문에 정밀한 시공작업이나 전체적인 공사의 품질 관리 및 감독이 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 창원대학교에서는 수중항만공사 기계화 시공장비에 관한 연구를 수행하여 그 결과물로 수중 방파제 피복작업을 할 수 있는 'Stone Diver' 라는 장비를 개발한 바 있다. 이 장비는 피복석의 면을 정밀하게 맞출 수 있도록 자유자재로 운동하는 병렬기구형 유압로봇과 탁도가 높은 수중에서도 물체를 촬영할 수 있는 수중촬영장치를 접목하여 작업자가 운전실에서 실시간으로 영상을 보면서 로봇을 조종하여 작업을 수행할 수 있다. Stone Diver는 수중공사 작업 중 방파제 피복작업에 국한된 것으로, 수중정밀시공과 같은 다양한 용도에 적용하기 위해서는 정밀측정기술, 영상취득기술, 지반조사기술, 보행기술 등에 관한 연구 및 추가 작업툴에 대한 기술적 접근이 요구된다. 해저케이블 공사는 케이블 자체의 포설도 중요하지만 선박이나 기타 장애물로 인한 케이블 손상을 막기 위한 보호공 설치에도 많은 수중작업공정이 필요하다. 특히, 대수심 구간에서는 잠수부에 의한 수작업보다는 무인 기계화 장비를 사용하는 것이 요구되고 있다. 현재까지 개발된 무인장비 중에서 현장에서 실제 활용된 사례로 한국해양개발공사에서 개발한 수중굴삭기를 제외하고는 거의 없는 상황이다.

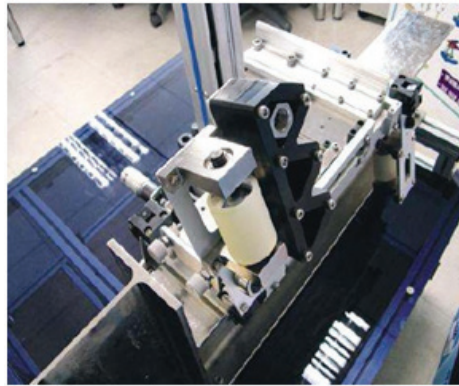


[Stone Diver]



[수중작업용 유인굴삭기]

- 육상 시공로봇 개발은 현재 국토해양부 R&D 과제로서 '지능형 굴삭시스템 개발' 과 '첨단 융합 건설사업' 이라는 프로젝트가 진행 중이며, 여기에는 무인굴삭기개발, 지능형 타워크레인, 교량유지관리로봇 등의 과제가 포함되어 있다. 지능형 굴삭 시스템 개발 과제의 핵심은 주변지형의 3차원 변화를 실시간으로 인식, 디지털 유압제어장치를 이용한 실시간 제어이며, 두산 인프라 코어와 함께 15 Ton 규모의 중형 무인 굴삭기를 2011년까지 개발 할 예정이다. 또한 삼성건설에서는 로봇과 인간의 협업 기술을 적용한 내외장재 시공로봇을 개발하여 실제 공사현장에 적용함으로써, 인력절감 및 작업 안전성 확보 측면에서 좋은 성과를 얻었다.



[KIST가 개발한 Bolting 로봇]



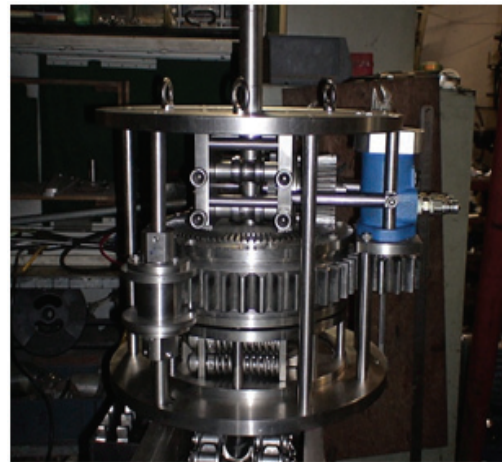
[지능형 굴삭시스템 개념도]

## □ 해양조사 및 유지관리 응용로봇 기술

- 한국해양연구원에서는 2002년부터 2007년까지 해양연약지반의 물성자료를 용이하게 파악하고 신뢰성있는 자료 취득을 목적으로 착저식 해양 콘관입 시험기를 독자적으로 개발한 바 있다(그림 21). 이 시험기는 자료의 신뢰성과 시험방법의 경제성을 확보하여 국내 해양지반 여건 및 항만 구조물 시공 현장 등을 고려하여 수심 60m 이내, 연약지반 심도 50m 까지 시험을 수행할 수 있으며, 조류나 파랑 등의 영향을 받지 않는 시험법도 도입하여 적용하였다.
- 이 시험기의 특징은 콘의 관입에 의한 반력을 자중으로 활용하였으며, 총중량은 11 Ton 정도로 부가되어 있는 앵커식 기초(석선파일)의 용량까지 고려하면, 약 20 Ton의 반력을 확보할 수 있다. 0.1m 길이의 관절형 강성로드들을 자동적으로 연결 및 분리하는 장치를 활용하여 관입로드를 자동적으로 관입시키고 인발함으로써 신속한 자료의 취득이 가능하다. 이 시험기의 핵심기술로는 신속이 자유로우면서 강성을 확보하는 관입로드시스템, 휠드라이브 시스템, 콘의 연속관입을 위한 관절형 로드 연결 및 제거기술, 무인작업을 위한 자동센서기술, 수밀 기술 등이 있다.

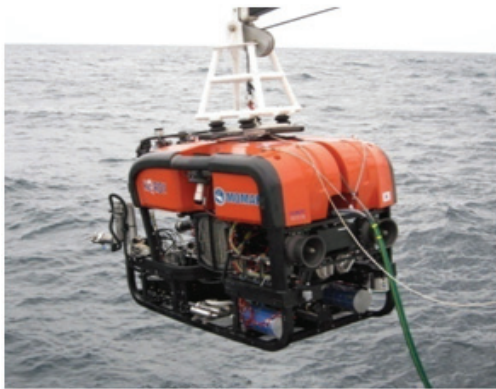


[해양 콘관입시험기]



[콘관입시험기 내부장치]

- 심해에서 사용되는 정밀한 로봇 기술은 장비제작에 많은 노하우가 필요하며, 전기, 전자 제어 등 고급기술이 복합적으로 적용된다. 한국해양연구원에서는 2000년도부터 심해 무인 잠수정을 개발하기 위한 많은 연구와 노력을 해왔으며, 그 결과로 6,000m 급 무인 잠수정인 '해미래'와 해미래 도킹장치인 '해누리'를 개발하여 해저 2,000m에서 6,000m 까지 시험운항을 성공적으로 수행하였다. 뿐만 아니라, 1994년부터 태평양 클라리온-클리퍼톤 해역(CCFZ)의 우리나라 심해저 광구에 분포하는 망간단괴를 포함한 해저광물자원을 취득하기 위한 기술 개발의 일환으로 심해저 집광시스템 및 통합 채광운용기술 개발에 대한 연구가 진행 중이다. 이 연구의 결과로 연안 해역에서 채광장비의 성능 실증 시험이 이루어지고 있으며, 이 시험집광기와 관련기술을 적용하여 친환경 갯벌 차량 개발도 성공적으로 수행한 바 있다.



[심해용 ROV 해미래]



[ROV Launcher 해누리]



[프로토 타입의 시험집광기]

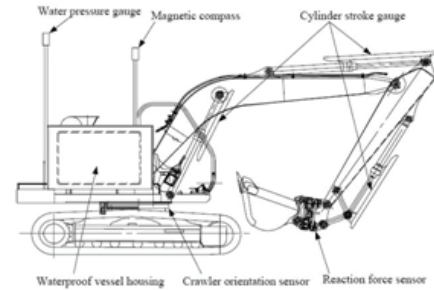


[상용화 추진 중인 시험집광기]

## 나. 국외기술동향

### □ 수중로봇산업 관련 기반기술

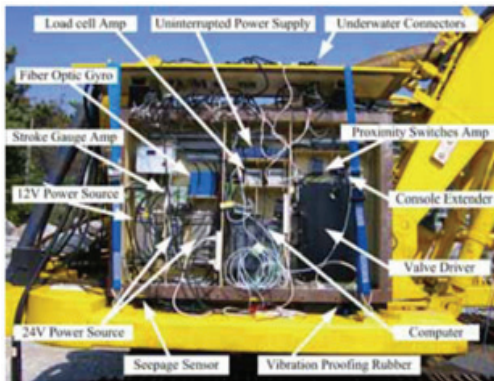
- 최근 선진국을 중심으로 육상과 수중을 하나의 통신체계로 구축하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 일본에서는 RTK - GPS 를 머리 부분에 설치한 수륙양용형 측량로봇이 개발되어 해안의 간척지에서 수중부까지를 연속적으로 이동, 측량할 수 있는 방법을 적용하여 효과적인 측량이 이루어진 바 있다.



[수중무인굴삭기 구성도]

### □ 구조물 자동화 시공장비 기술

- 일본에서 적용되고 있는 수중공사 장비의 대표적인 사례가 육상에서 널리 사용되는 굴삭기로 현재 조종석에 잠수부가 탑승하여 조종하게 되며, 장비의 기동은 상부에 연결된 케이블과 무한궤도에 의해 이동한다. 이 장비는 일본 Hirabayashi 사와 Yamamoto 사에서 개발 중인 수중 무인 굴삭기로 엔진룸 대신에 방수 센서 룸이 설치되고 그 내부에 각종 센서와 밸브 등을 갖추고 수중의 3D 지형화면을 제공함으로써 육상에서도 원격 조종이 가능하도록 설계된 시스템이다.

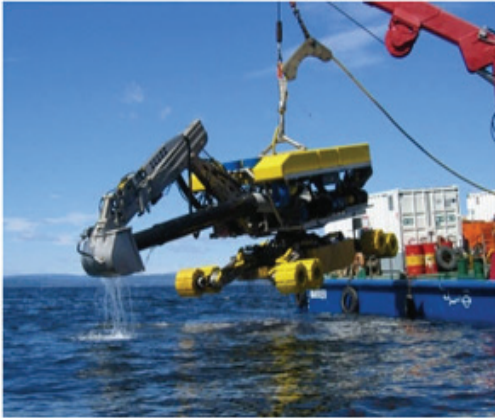


[센서룸 내부의 각종 센서]

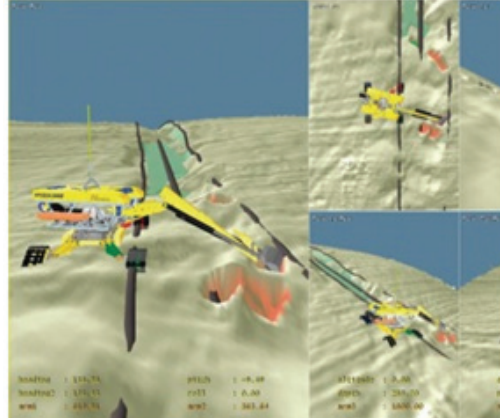


[실시간 굴삭 모니터링 시스템]

- 프랑스에서도 해저용 원격조정 굴삭기를 개발하여 실제 작업 현장에 투입하여 활용하고 있다. Nexans 사에서 개발한 원격조정 굴삭기인 Spider는 6개의 수중카메라와 음파센서, 압력센서, 기압센서, 경사센서 등을 장착하고 연결 케이블을 통해 해상과 통신하면서 원격으로 작업을 수행할 수 있다. 육상의 조종사는 수중영상화면을 통해 100~200mm 정밀도로 굴삭기를 운전할 수 있다.



[Nexans Spider ROV]



[실시간 굴삭상황 모니터링 화면]

- 일본의 경우, 1994년에 KOMATSU 사에서 수심 30m에서 작업이 가능한 해저 보행식 수중 사석고르기 장비를 개발하여 실용화하는데 성공했으며, 이 장비는 77Ton으로 육상에서 공급되는 유압동력으로 구동된다. 4개의 수직다리를 가지는 2쌍의 보행시스템으로 25 m/hr의 속도로 이동하면서 사석고르기 작업을 수행하게 된다.



[해저 보행식 수중 사석 고르기 장비]

- 일반적으로 수중장비는 장비를 해상 선박에서 제어하는 다운홀 방식과 해저면에 착저시키고 작동하는 착저 방식이 있다. 수중 다짐 장비도 두 가지 방식으로 사용되고 있으며, 마운드의 편평도를 높이기 위해 사용되기도 하고, 마운드 사면의 다짐에도 적용하는 사례가 있다. 또한 수륙양용 사석다짐 시공장비를 개발하였으며, 수중작업 시에는 육상에서 원격 조종할 수 있도록 설계되었다.

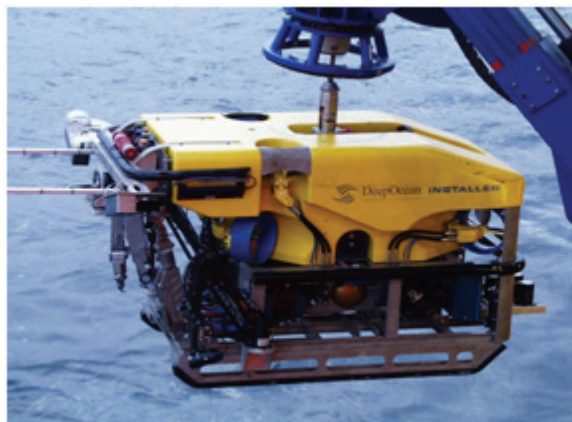


[수륙양용 사석다짐장비]



[수중 Mound 다짐 장비]

- 대수심 조건에서 소형 구조물 조립을 수행할 수 있는 로봇은 이미 여러 나라에서 Free Swimmer 타입의 ROV 로 개발되었는데, 두 개의 로봇 팔과 다양한 형태의 수중장비를 부착한 형태로 수심 4,000m 까지 작업을 수행할 수 있다.



[Norway Keydesignn 사의 ROV]

- 또한, 대심도 굴착 공사에 있어서 지반파쇄부터 토사반출까지의 일련의 작업을 수행할 수 있는 로봇을 개발하여 말뚝기초공사, 터널굴착공사 등에 활용한 사례도 있으며, 이탈리아와 일본에서는 산사태, 붕괴사면 등의 조사, 복구와 같은 작업 등에 활용 가능한 로봇을 개발하여 환경적 문제와 작업 위험성을 저감하는 연구가 진행 중이다.



[대심도 굴착 공사 로봇]



[Robot Climber]

□ 해양조사 및 유지관리 등 응용로봇 기술

- 대수심 조건에서 해양 지반조사는 다운홀 방식과 착저식 방식 두가지로 구분되는데, 네덜란드 Fugro 사에서 개발한 XP 와 같은 다운홀 방식의 시험장비는 근본적으로 드릴링에 의한 지반 관입이 발생하기 때문에 현재 이용중이거나 개발 중인 장비들은 지반교란을 최소화하는 방향으로 목표를 잡고 있다. ROSON 과 같은 착저식 콘관입시험기의 경우에는 수심이나 조류 등의 영향을 받지 않고 시험을 수행할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 시험비용이 다운홀 방식에 비해 저렴하다.



[네덜란드 vandenbergs사의 ROSON]

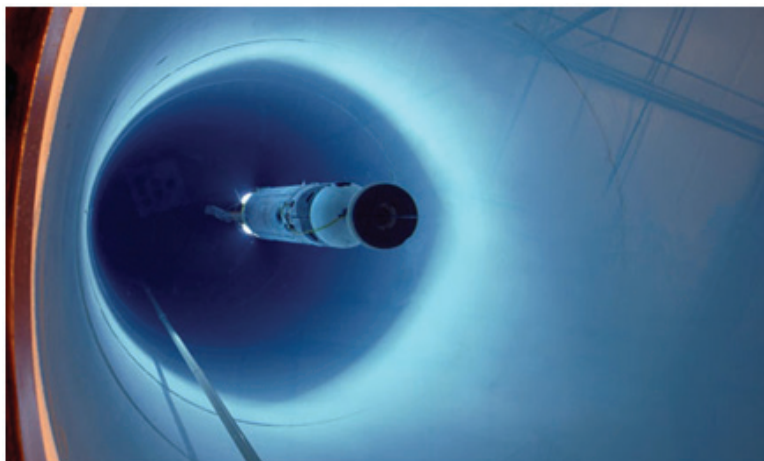


- 호주의 Benthic Geotech Pty LTD에서 개발한 PROD 는 해저 착저식 해양지반 조사장비로서, 선박에서 전력공급 뿐만 아니라 지반조사 작동을 원격으로 운용할 수 있도록 설계되었다. PROD의 가장 큰 특징은 시험위치까지 운송이 간편하다는 점인데, 컨테이너에 격납되어 전 세계 어느 곳이든 운반이 가능하다. 대기 중 중량은 약 10 Ton 정도로 일반적인 건설 장비를 활용하여 취급이 용이한 장점을 가지고 있다.



[해상에서 진수되는 PROD]

- 미국에서는 AUV 를 응용하여 초장대 터널 상태를 파악하는 수중 운용체 REMUS TIV (Tunnel Inspection Vehicle)을 개발하여 실제 도수관 터널 보수 및 진단에 활용하고 있다.



[AUV를 이용한 터널 안전 진단]

## 2.3 특허동향 분석

### 가. 특허분석

#### □ 특허분석 배경 및 목적

- 지금까지 대부분의 수중 사석 마운드 고르기 작업은 잠수부를 통한 수작업으로 행해져 심한 인력난, 산재노출, 비효율적 작업성 등의 문제가 있으며, 향후 해양에너지 개발, 첨단항만건설, 해안/섬지역 등의 항만시설확충 요구 등 항만 및 수중 공사에 대한 시장은 더욱 커질 것으로 예상되므로 이에 대비하기 위하여 정량적인 측정 자료를 기반으로 대응전략을 수립해야 하는 상황이다. 따라서 수중 착저식 시공장비 분야의 특허 및 논문조사를 통해 선진국의 연구동향과 기술 보유 현황을 파악하여 대응 방안을 마련하기 위해서는 특허뿐만 아니라 수중환경조사/인식, 수중장비구동 및 운용기술 동향에 대해서도 분석이 필요하다. 사석 고르기, 다지기 작업 이외에도 해저자원의 육상연계, 다양한 해양 구조물의 수요증대로 인해 수중 건설장비의 수요는 전 세계적으로 증가 되고 있으며, 수중시공 장비는 매우 고가이기 때문에 경제성을 감안한 상용화 장비가 개발된다면 세계시장, 특히 중동 시장에서 시장 경쟁력을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
- 본 절에서는 수중 착저식 항만시공장비에 관한 특허동향을 다양한 검색DB를 이용하여 조사하였으며, 이를 통해 우리나라의 기술 수준과 선진국의 연구개발 동향 및 핵심특허 등을 비교, 분석함으로써 본 연구개발과제에 대한 객관적인 특허정보를 제공하고자 하였다.

자료 구분	국가	검색 DB	정량분석 구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPS	1950~2011 (출원연도)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본	Thomson Innovation	1950~2011 (출원연도)	특허공개 및 등록 전체문서
	미국	Thomson Innovation		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽	Thomson Innovation		특허공개 및 등록 전체문서
비특허문헌	한국, 일본, 미국, 유럽	Thomson Innovation	1991~2011 (출원연도)	초록

[사용검색 Date Base]

## □ 분석대상 기술분류

본 분석에서는 기획범위내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층분석(정성분석)시의 기술 분야를 동일하게 적용하였다.

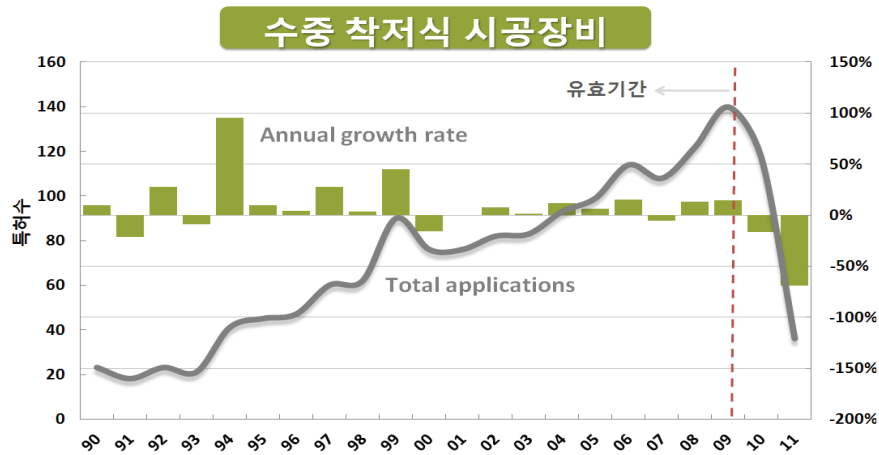
대분류	중분류	소분류	특허	논문
B-수중 착저식 항만 시공장비	BA_수중환경 조사/인식	BAA_수중 위치인식 및 통신시스템	130	2
		BAB_수중물체/장애물인식 로봇 및 시스템	238	7
		BAC_수중작업 모니터링 시스템	213	210
	BB_수중 장비 구동 및 운용	BBA_착저형 로봇 이동 기술	120	0
		BBB_수중무선통신 및 원격제어기술	118	33
		BBC_수중 구동 장치	146	0
	BC_수중작업툴	BCA_수중사석/모래 포설/이송	478	3
		BCB_수중사석/피복석 고르기/다지기 로봇	83	0
		BCC_수중사석/모래/암반 굴삭/굴착	241	2
		BCD_수중케이블 매설 로봇	928	1

[분석대상 기술분류에 따른 특허 및 논문]

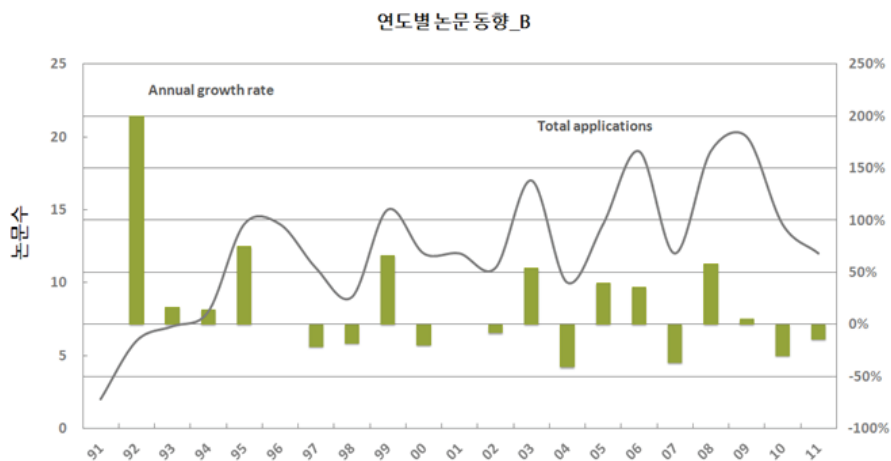
## 나. 특허기술 Landscape

### □ 주요시장국 기술개발 활동현황

- 수중 착저식 시공장비 분야 특허 및 논문의 연도별 동향을 살펴보면 1990년대 초반부터 관련 분야의 출원 및 논문 발표가 꾸준히 증가하기 시작하였으며, 특허분야에 있어서 2009년 이후의 감소현상은 1년 6개월 이후에 특허가 공개되는 제도에 기인하여 미공개 된 특허 때문인 것으로 해석된다.

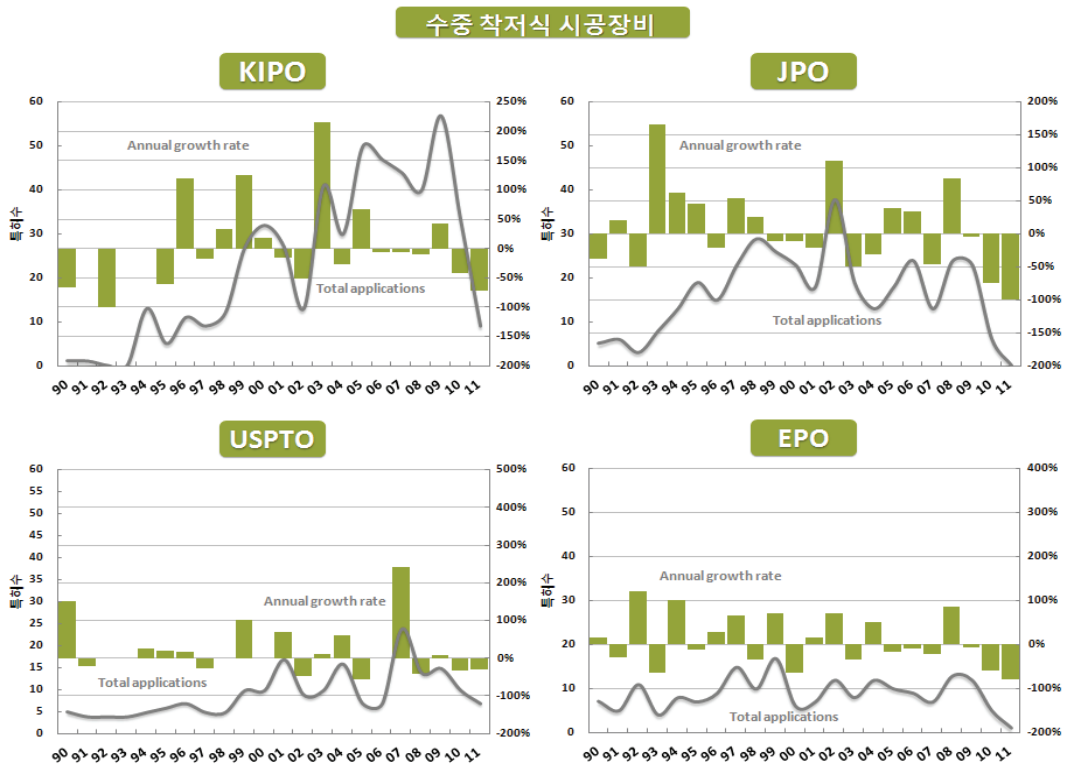


[수중 착저식 시공장비 관련 연도별 특허 출원 동향]



[수중 착저식 시공장비 관련 연도별 논문 발표 현황]

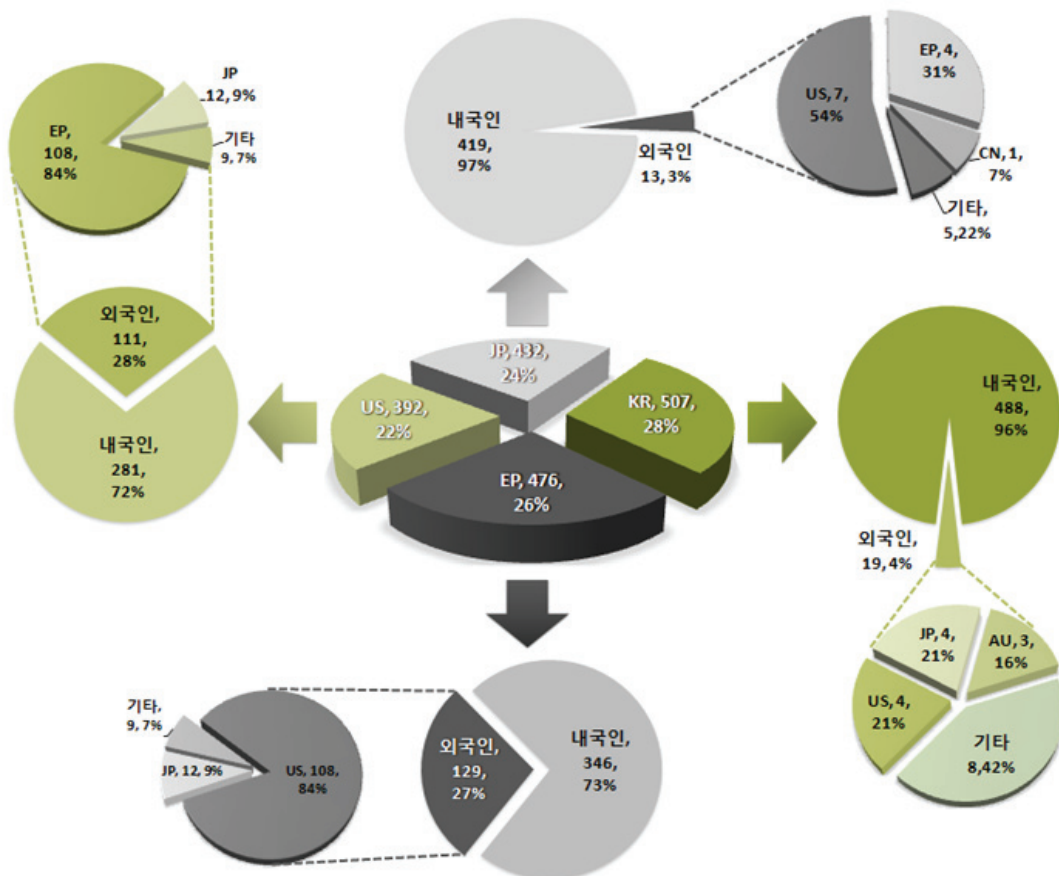
- 한국특허의 경우 90년대 초반에는 출원 건수가 미미하였으나 최근 급격한 증가추세를 보이며, 항만시설물 점검장비나 수중 시공장비에 대한 국내외 시장 규모가 확장되고 있기 때문으로 해석된다. 따라서 수입 의존도가 높은 수중공사용 시공장비의 국산화율을 높이기 위한 산업 육성 및 기술개발이 시급한 상황으로 풀이된다. 일본의 경우, 수중 착저식 시공장비 분야에선 90년대 초반부터 특허 출원이 증가하기 시작하여 2002년 최다 출원건수를 기록하였으나 최근에는 출원이 감소하기 시작하였으며, 미국의 경우에는 2000년대 초반 출원이 증가하기 시작하여 증감을 반복하긴 하지만 꾸준히 출원활동이 있었으며, 최근에는 출원이 다소 감소하는 경향을 보였다. 반면, 유럽의 경우에는 다른 국가들에 비해 특허 출원활동이 적은 것으로 나타났으나, 큰 폭의 증감 없이 현재까지도 꾸준히 일정한 출원건수를 유지하며 출원을 하고 있는 것으로 나타났다.



[주요 국가들의 수중 착저식 시공장비 관련 특허 출원 동향]

□ 수중 착저식 시공장비 분야 내외국인 특허출원현황

- 수중 착저식 시공장비분야 특허 현황의 국가별 내외국인 출원비율을 살펴보면 대부분 국가들에서 자국 출원인인 내국인이 차지하는 비율이 높았으며, 그 중에서도 일본특허에서의 내국인 출원비율이 97%로 가장 높았고, 한국 96%, 유럽 73%, 미국 72% 순으로 내국인 출원비율이 높은 것으로 조사되었다. 특히, 일본과 유럽의 외국인 출원인 중에서는 특히 미국 국적의 외국 출원인이 강세를 보인 것으로 나타났으며, 미국의 외국인 출원인 중에서는 유럽 국적의 외국 출원인이 강세를 보였는데 이를 통해 유럽과 미국에서는 각국의 자국출원인들이 자국 출원뿐만 아니라 상호적으로 해외 출원 활동까지 활발하게 하는 것으로 알 수 있다.

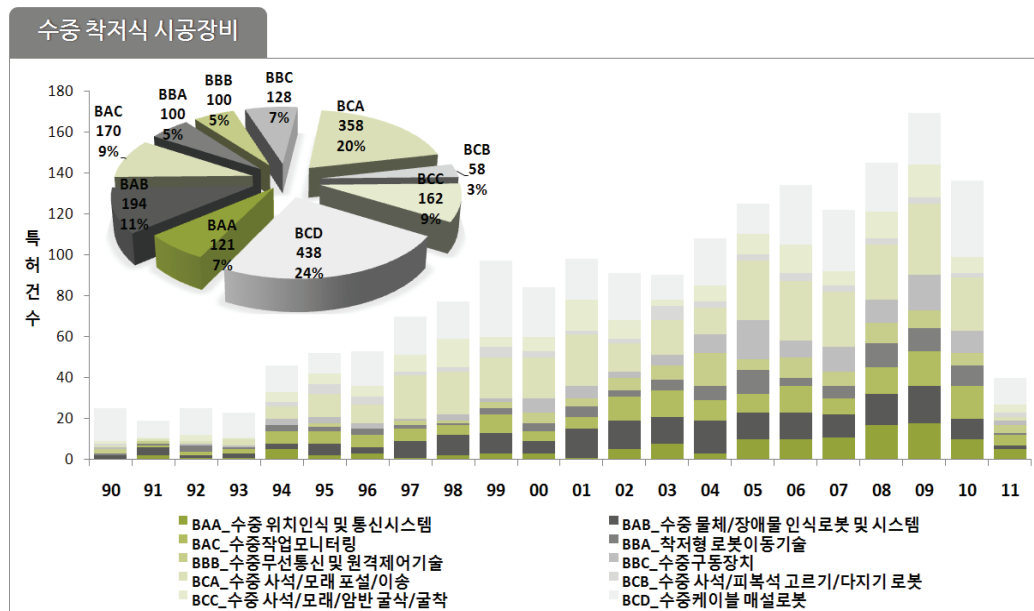


[국가별 내외국인 특허출원 현황]

다. 세부기술별 특허동향

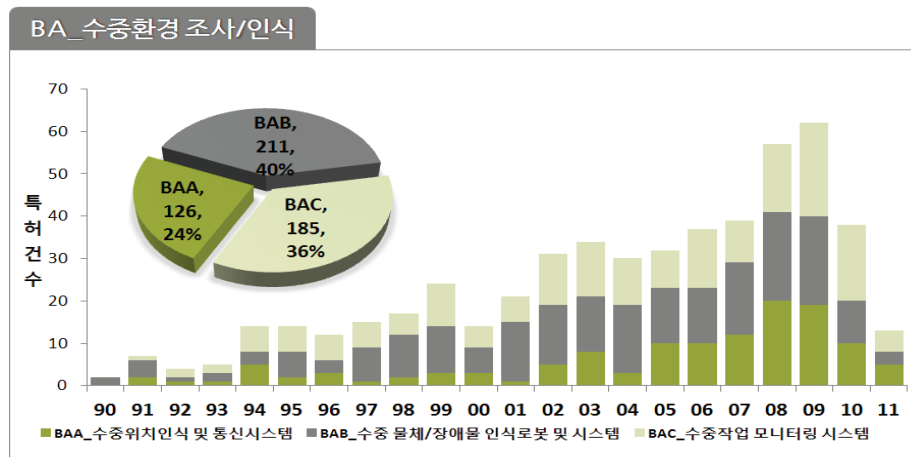
□ 수중착저식 시공장비 분야의 연도, 구간별 세부기술 동향

- 수중 착저식 시공장비 분야 특허의 연도, 구간별 세부기술 동향을 살펴보면 BCD\_수중케이블 매설로봇이 전체특허의 24%, 438건으로 가장 높은 비율을 차지했으며, BCA\_수중 사석/모래 포설/이송 20%, BAB\_수중 물체/장애물 인식로봇 및 시스템 11% 등의 순으로 나타나 이들 분야에서의 기술 개발이 활발한 것으로 나타났다. 구간별로 살펴보면 구간 1(1990~1995)과 구간 2(1996~2000)에서는 BCD\_수중케이블 매설 로봇이 각각 38%, 30%, 구간 3(2001~2005)에서는 BCA\_수중 사석/모래 포설/이송 19% 분야 특허가 가장 많은 비율을 차지하여 시기별로 이들 분야에 연구활동이 집중된 것으로 풀이되며, 최근 구간인 구간 4(2005~2009)에서는 다시 BCD\_수중케이블 매설 로봇 21% 분야에서 활발한 연구 활동이 진행되고 있는 것으로 나타나 1990년대 초반부터 최근까지 수중 케이블 매설 로봇 분야 연구가 활발한 것으로 판단된다.



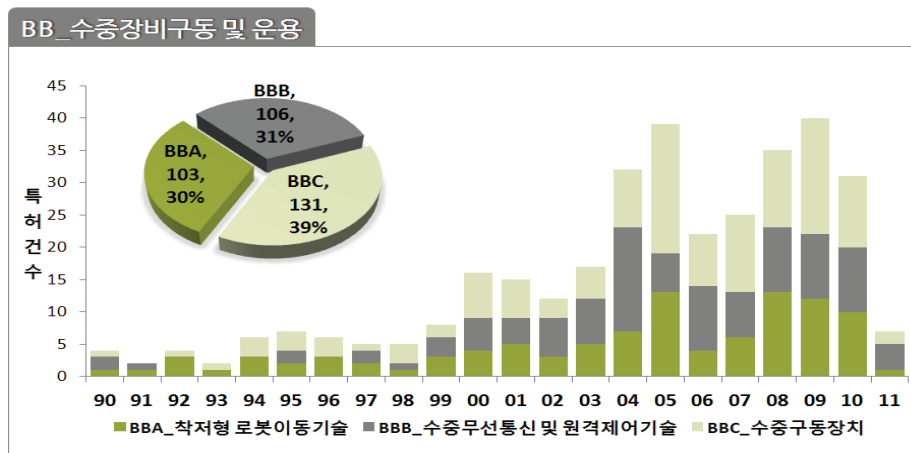
[수중 착저식 시공장비 분야의 연도 구간별 세부기술 동향]

- BA\_수중 환경 조사/인식 분야의 세부기술별 연도별 특허동향을 살펴보면 1990년대 초반에는 BAB\_수중 물체/장애물 인식로봇 및 시스템분야와 BAC\_수중작업 모니터링 시스템분야의 특허출원이 주를 이루었으나, 최근에는 BAA\_수중 위치인식 및 통신시스템 분야의 출원이 급증하여 세 분야의 특허출원 활동이 비슷한 양상을 이루는 것을 알 수 있다.



[수중환경조사/인식 분야의 특허 출원 동향]

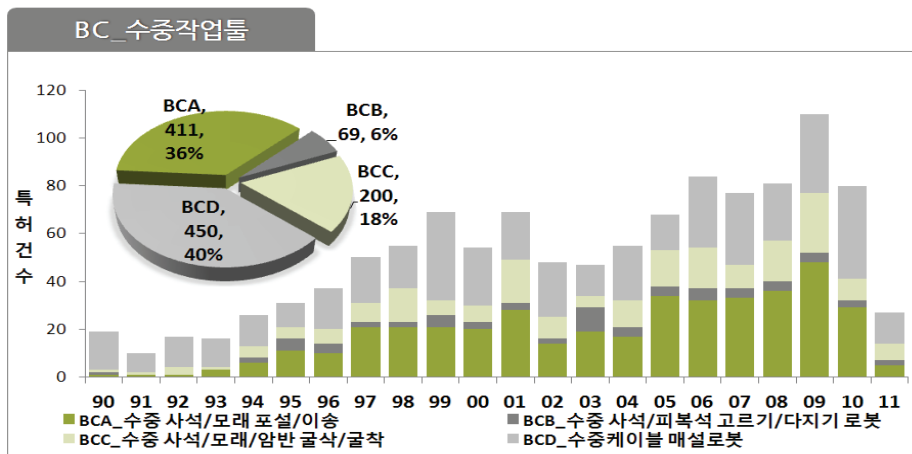
- BB\_수중 장비 구동 및 운용 분야의 세부기술별 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 초반에는 미미했던 BBB\_수중 무선통신 및 원격제어 기술 분야의 출원이 최근 급증한 것으로 보아 이 분야가 연구활동이 활발한 새로운 분야로 부각되고 있다.



[수중장비구동 및 운용 분야의 특허 출원 동향]



- BB\_수중 작업 툴 분야의 세부기술별 연도별 특허동향을 살펴보면 BCB\_수중 사석/피복석 고르기/다지기 로봇분야에 대한 특허출원이 미미한 것으로 보아 이 분야에 대한 연구개발 활동이 필요한 것으로 보이며, BCA\_수중 사석/모래 포설/이송분야는 1990년대 초반은 출원활동이 적었으나, 90년대 후반부터 급증하기 시작하여, 최근에는 가장 많은 특허출원 비율을 차지하는 것으로 보아 최근 이 분야에 대한 연구개발 활동이 활발한 것을 알 수 있다. 구간별로 살펴보면 구간1, 2에서는 BCD\_수중케이블 매설로봇분야에 대한 특허출원 활동이 가장 활발하였으나, 구간3, 4에서는 BCA\_수중 사석/모래 포설/이송분야에 대한 출원 활동이 급증하여, 이 분야가 최근에는 새로운 연구활동 분야로 부각되고 있다.



[수중 작업툴 분야의 특허 출원 동향]

## □ 세부기술 동향분석

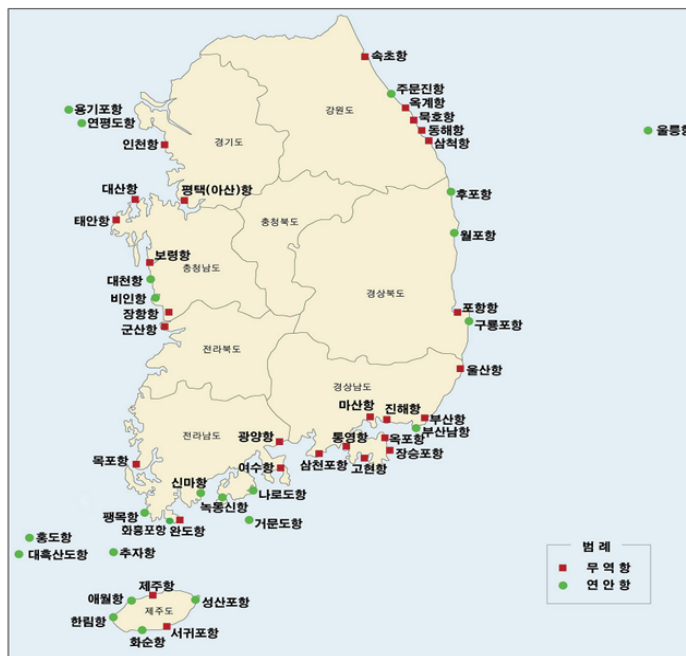
- 특허의 경우, 착저식 시공 장비분야에서 수중케이블 매설로봇이 24%, 438건으로 점유율이 가장 높게 나타났다. 논문의 경우에는 수중작업 모니터링 시스템 분야가 81%, 210건으로 가장 높은 발표 건수를 보였다. 특허에서는 모든 세부기술이 비교적 고른 분포로 점유율을 차지하며 연구 활동을 하고 있었지만, 논문에서는 수중환경 모니터링 시스템에 집중되어 있는 분포양상을 나타냈다. 특허 구간별로 살펴보면 최근(2000년~2011년)에는 수중위치인식 및 통신시스템과 관련된 특허의 비율이 높은 것으로 조사되었으며, 국가별 세부기술 동향을 통해 통신네트워크, 수중 사석/피복석 고르기/다지기 로봇 분야는 특허출원집중도가 적어 연구개발이 필요한 분야로 분석되었다.
- 우리나라의 경우, 대수심에서 파랑이나 조류 등으로 인해 해상기초 등 수중에 설치될 다양한 항만시설 및 해양구조물의 지반 내 정밀 거치가 어렵다는 점을 감안할 때 정밀 시공 및 안정성 증대를 위한 무인 시공장비의 개발이 시급한 상황이며, 이와 더불어 첨단 융복합 시공장비 기술은 최근 관심이 급증하고 있는 기후변화에 따른 연안 구조물 재해 관련 관측 조사 뿐 아니라 구조물 설계 및 시공에 직접 활용 가능하다. 또한 무인화 장비에 통신 네트워크 기술이나 원격제어 기술 등을 접목해 장비의 기능을 높여 수중 구조물에 대한 다양한 목적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 특히, 미국이나 유럽에선 수중 장비 위치 인식 및 수중 사석/피복석 고르기/다지기 로봇에 관한 특허 및 논문 활동이 미진한 것으로 보아, 해당 기술분야가 공백기술인 것으로 볼 수 있고 국내에서는 관련 기술분야에 대한 적극적인 기술개발 활동을 통해 관련 산업의 기술적 우위를 선점할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2.4 국내환경 분석

### 가. 탁도

#### □ 국내 연근해 탁도 측정 분석

- 수중 물체의 경우 탁도만 심하지 않다면 수중 카메라를 활용하여 전방의 물체를 인식하는 것이 가장 확실하면서 효율적인 솔루션이 될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 탁도가 6.5 NTU 이상에서는 일반 카메라를 이용하여 수중에서 물체를 인식할 수 없기 때문에 어느 정도의 탁도가 있는 실해역 상황이나 사석 다지기 현장에서 수중의 환경을 안정적으로 인식하기 위한 좋은 솔루션 중 하나는 멀티빔 이미징 소나를 검용으로 활용하는 것이라 할 수 있다. 멀티빔 이미징 소나의 경우, 실시간으로 전방의 해저 지형과 장애물 등 탁도가 있는 상황(서해와 동일한 30NTU에서도 가능)에서도 이미지의 밝은 면과 그림자 정보 등을 이용하여 확인할 수 있는 장점이 있다. 차선의 대안으로서의 DIDSON(Dual-frequency IDentification SONar)과 같은 수중 음파탐지기를 활용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다. 아래 그림은 국내 항만 공사 현장에서 본 개발장비를 활용하기 위해 국내 연근해의 탁도 상태에 대한 분석 자료로 국내 52개 무역항 및 연안항의 위치를 나타낸 것이다.

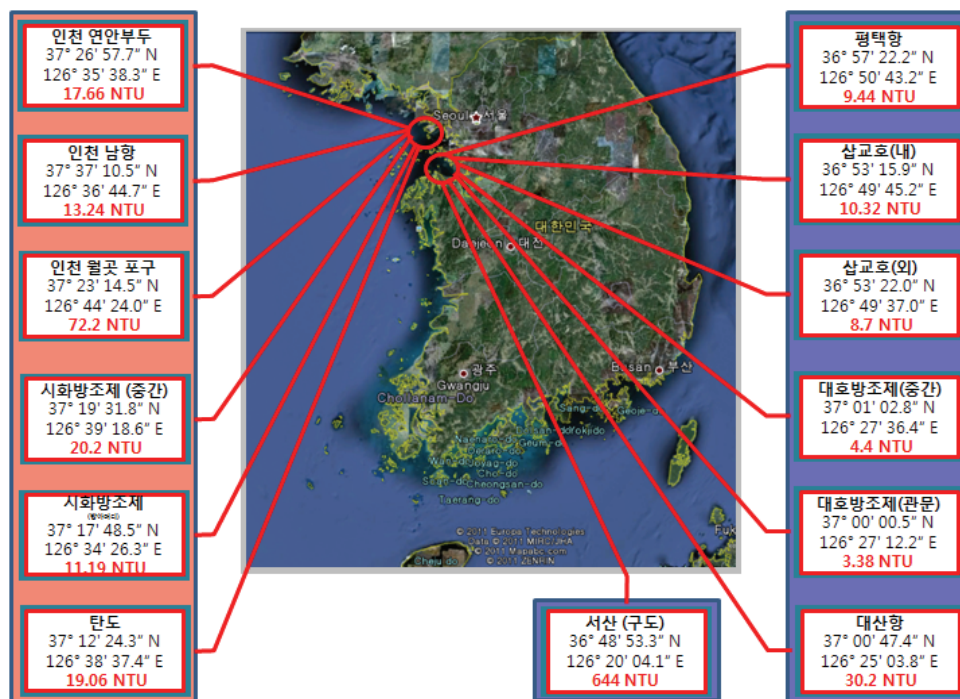


[국내 무역항 및 연안항]

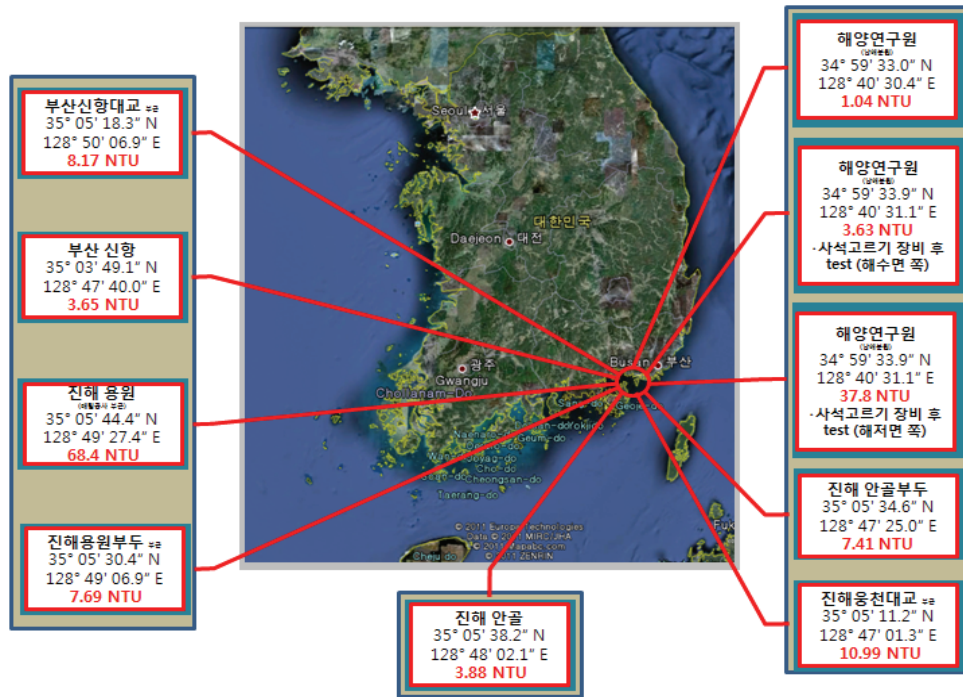
○ 다음의 자료는 동해, 남해, 서해의 대표적인 항만이 위치하는 연근해 해역의 탁도를 직접 측정한 자료로서 수중환경모니터링 시스템 활용 방안에 대해 적용하고자 시도하였다. 아래 그림은 국내 연근해의 탁도분석 결과를 나타낸 것으로, 서해권과 남해권, 동해권 중 대표적인 항만이 위치하는 지역을 대상으로 탁도값(단위: NTU)을 각각 나타낸다. 총 61개 포인트에서 실험값 확보하였으며, 주로 해수면에서의 값을 나타내고 경남 거제 인근에서는 수중에서의 값을 측정한 자료이다.

- 서해권 : 대부분 10NTU 이상으로 일반적인 카메라로는 한계가 있을 수밖에 없으며, 초음파 카메라 등을 활용하여야 함.
- 남해권 : 특정 지역을 제외하면 대부분 10NTU 미만이지만, 한국해양연구원 남해연구소에서 측정한 결과에서 나타난 바와 같이 사석고르기 작업 이후 수중에서의 탁도 발생이 뚜렷하게 나타나므로 이에 대한 초음파 센서 활용이 필요할 것임.
- 동해권 : 서해권이나 남해권에 비해 탁도가 뛰어난 것으로 나타남.

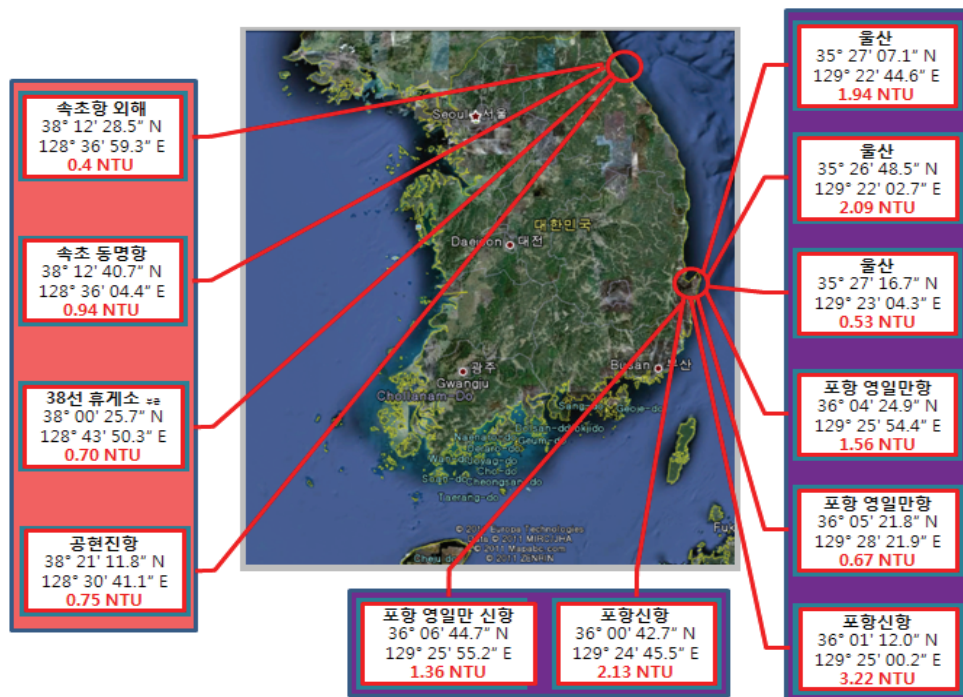
권역별로 차이는 있으나 수중 사석고르기작업을 진행할 경우, 수중에서 부유사들로 인한 탁도 발생이 크게 일어날 것으로 예상되며, 이에 대한 대책으로 수중 장비에는 카메라 이외에 초음파 카메라 또는 멀티빔 센서 등이 반드시 장착되어야 한다.



[국내 연근해 탁도 분석 (서해안)]



[국내 연근해 탁도 분석 (남해안)]



[국내 연근해 탁도 분석(동해안)]

## 나. 해저면 조건

### □ 국내 해안 및 해양의 연약지반 분포 특성

- 남해안의 경우, 경상도 부근은 점토나 실트질 점토층, 유기질토로 주로 이루어져 있으며 표준관입시험의 N값이 10이하인 연약지반이 최대 50m~60m에 이르고 있다. 전라도 부근은 연약지반의 심도가 10m~20m 정도로 얇은 편이며, 주로 점토나, 실트질 모래 또는 느슨한 모래층으로 이루어져 있다. 동해안이나 서해안 북쪽의 경우, 연약지반의 심도가 10m 이하로 상당히 얇게 분포한다. 동해는 급경사이며 연약지반은 거의 없고 바다분지로 해저지형은 한반도 쪽으로 매우 복잡하며, 대륙붕의 면적은 21만km<sup>2</sup> 정도로 적은 편이다. 평균수심은 1,530m, 연약지반은 강릉과 속초지역에 위치한 퇴적토로 형성되어 있다.
- 남해는 사질 퇴적물이 조류가 강한 섬 주변의 암반 노출지역에 두껍게 퇴적되어 있으며(보통 30~60m), 퇴적물 주 공급원은 황하이고, 성분의 경우 표층 1cm는 사질토와 점성토가 혼재되어 나타난다. 수심은 제주(평균 수심 120m) 및 대한해협(평균 수심 200m)의 남쪽 및 남동 방향으로 점차 깊어지고, 나머지 해역은 대부분 수심 100m 이하이다.
- 서해는 중앙부, 중국 연안부, 동지나해, 한반도 서남해안 연안에 세립질 퇴적물(실트질 점토/모래)이 넓게 발달하였으며, 퇴적층 두께는 최대 2,000m 이상, 대륙붕 면적도 30만km<sup>2</sup> 이상으로 크게 분포하고 있다. 퇴적물 공급원은 주로 중국의 양자강 및 한반도의 하천으로 연간 16억톤 이상의 퇴적물이 공급되고 있다. 표층은 1cm 정도의 실트, 점토, 모래, 해저연약층 등으로 나타나며, 깊이 150cm 정도에는 점토질 실트에서 실트질 점토로 변화한다. 수심은 비교적 얇으며(평균 55m), 대부분 100m이내의 평탄한 해저면으로 구성되어 있으며, 조석차가 큰 것이 특징이다(인천 : 8m).
- 연근해의 지반 분포특성은 서해안의 경우 9~18m, 남해안은 9~25m인 것으로 보고되고 있으며 대표적인 지반 분포는 다음 그림과 같다. 점토광물은 서해안에서 주로 카올리나이트가 많이 포함되고 남해안은 일라이트가 동해안은 일라이트와 몬트모리나이트가 혼재해 있다.



[우리나라 연근해의 지반분포(Lee, 1991)]

## 다. 해상풍력입지

### □ 국내해상풍력동향

- 해상풍력발전은 해저지반의 기초 위에 풍력발전기를 설치하여 해상에서 부는 안정된 바람을 통해 생산된 전력을 해저케이블을 통해 육상의 변전소로 전송하고 이를 다시 전력시스템 계통에 연계하거나 수요자에 직접 공급하는 전력생산 방식이다. 이를 위해서는 우선 해상 기초 설치를 위한 해저지반조사를 수행하고, 적합한 형태의 기초를 선정/시공한 다음, 타워, 터빈 및 블레이드를 설치하고 터빈들과 육상 변전소로의 전력케이블을 연결하는 시공이 요구된다. 해상풍력기초로 가장 많이 시공되는 기초형식은 Monopile 이며, 수심이 깊어질수록 Tripod pile, Jacket pile, Suction pile 등을 적용할 수 있고, 현재 부유식 해상풍력 구조물도 시험 시공 중에 있다.
- 해상풍력발전단지 건설을 위한 기초작업은 최적의 입지를 선정하기 위한 부지평가 및 계획기술이다. 풍력발전에 적합한 최적 위치를 선정하여 시공성 및 경제성을 확보하고 발전효율을 극대화하기 위해서는 입지선정이 매우 중요하다. 이를 위해서는 지역별로 발생하는 풍량 및 풍속의 변화에 대한 상세한 풍량 지도를 작성하는 기술과 연간 지역별, 높이별 풍량 및 풍속을 평가한 데이터를 체계적 관리할 수 있는 기술뿐만 아니라, 음향탐사 및 탄성파 탐사기법을 이용하여 해저지반 지형조건 평가기술 및 시공장비의 대형화, 무인화 및 자동화에 따른 각종 환경영향평가기술도 요구된다.
- 국내에는 현재 육상 풍력발전단지가 다수 운영 중에 있으며, 향후 해상풍력발전 단지에 대한 개발이 예정되어 있는 상태이다. 현재 한전을 중심으로 100MW급 해상풍력 실증단지가 설계 중에 있으며, 해상 기상탑 공사가 조만간 진행될 예정이다. 정부는 지식경제부 주도로 『서남해 2.5GW 해상풍력 종합추진계획』을 발표(2011. 11)함으로써, 2019년까지 3단계로 나누어 총 2,500MW 규모의 대규모 해상풍력발전단지 건설에 약 10조 2천억원 투자할 계획을 수립하고 실증단계에 들어갔다.

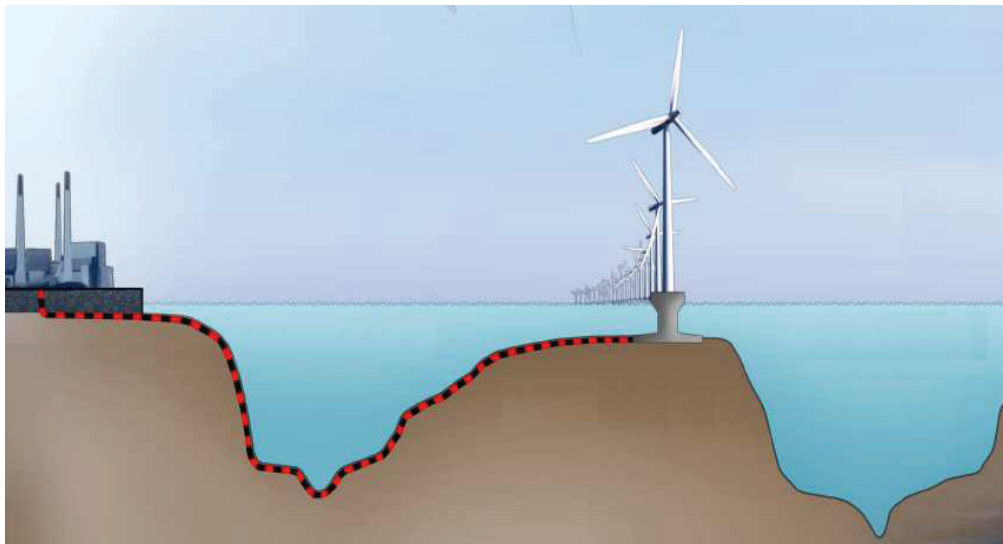


### □ 해상풍력건설시장에서의 시공장비 활용성

- 해상풍력사업의 원가구성비는 아래와 같으며, 수중시공로봇과 관련 되는 부문은 기반공사와 계통연계부문으로 나눌수 있다.

터빈	기반공사	계통연계	기타
43%	24%	24%	9%

- 해상풍력 기초를 건설하기 위한 기반공사의 경우, 해상기초(타워 포함)를 설치하는 작업이 대부분으로 이 경우 기초 시공을 위한 시추작업, 해저면 고르기 작업, 타워설치를 위한 협업로봇 등이 직접적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 시공단계 이외에 O&M(Operation and Maintenance) 측면에서 유지보수 로봇 또한 크게 활용될 것으로 기대된다.



[해상풍력발전단지와 육상발전소간의 계통도]



### 3 연구개발 목표 및 범위설정

#### 3.1 연구개발 최종목표 및 성과물

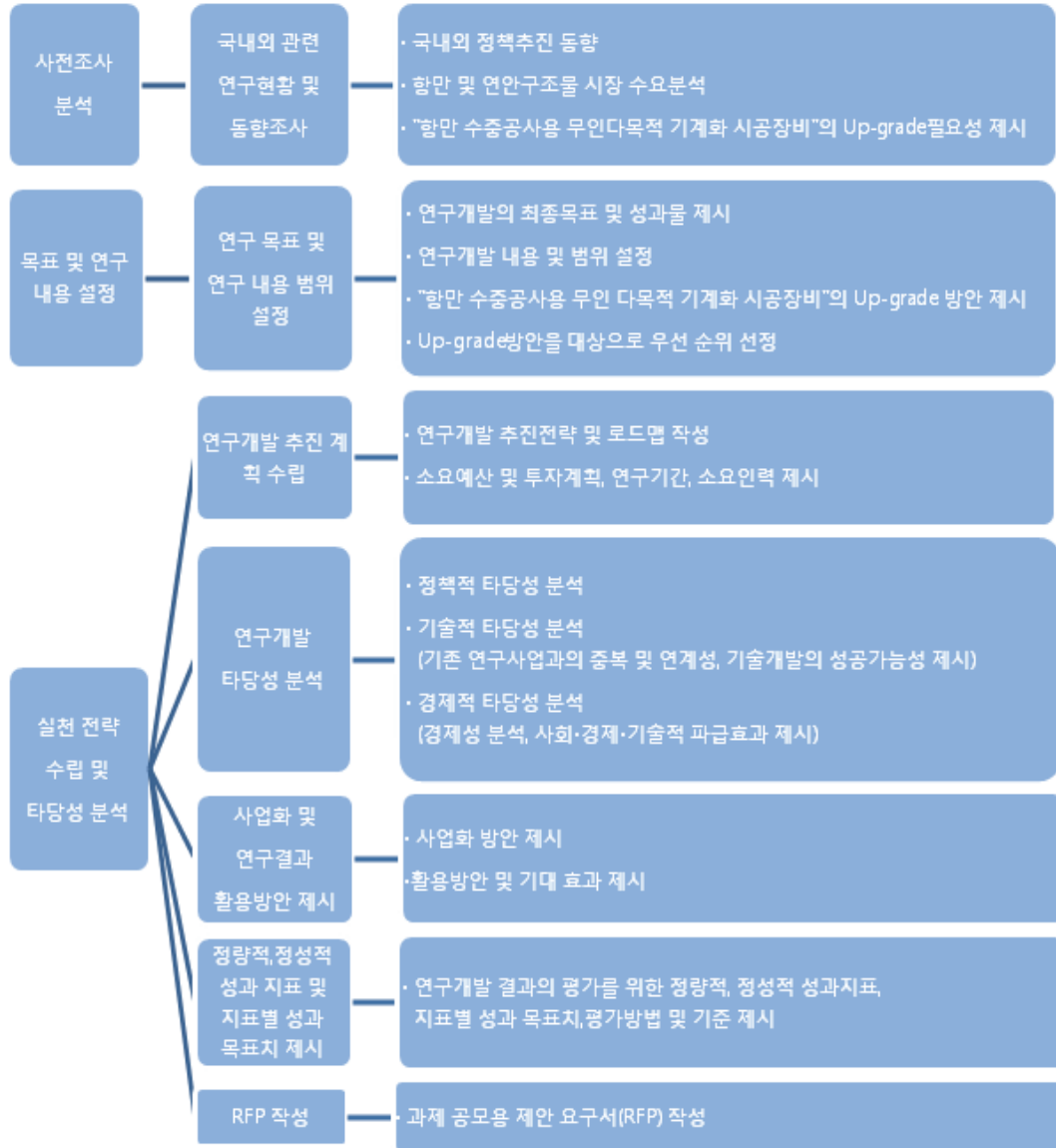
##### 가. 연구개발의 최종목표

- 본 연구의 목표는 한국해양연구원에서 수행 중인 수중 기계화 굴삭 장비 및 무인 운용 시스템을 포함한 '항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비'의 실제적인 수요 및 응용 가능 분야를 검토하고 활용도를 높이기 위한 활용성 증대 방안 추진 계획 수립과 이를 검토하는 것이다.



[무인 다목적 기계화 시공장비 활용성 증대방안 도출을 위한 종합추진체계 구성도]

### 나. 연구개발 성과물



[기획연구내용 전개도 및 관련 성과물]

## 3.2 연구내용 및 범위

[기획연구 범위 및 내용]

세부목표	연구내용 및 범위
국내·외 동향 및 환경 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 항만 및 연안구조물 관련 국내·외 산업 및 시장동향 분석</li> <li>- 항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공 장비의 활용성 증대 필요성 제시</li> </ul>
연구개발 목표 및 범위 설정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 최종목표 및 성과물 제시</li> <li>- 연구내용 및 범위 설정               <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공 장비의 활용성 증대 방안 제시</li> <li>※ 활용성 증대 방안 우선순위 선정</li> </ul> </li> </ul>
연구개발 추진계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 추진전략 및 로드맵 작성</li> <li>- 소요예산 및 인력, 투자계획, 연구기간 제시               <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 실행역 현장검증실험 방안 검토</li> </ul> </li> </ul>
연구개발 타당성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정책적 타당성 분석</li> <li>- 기술적 타당성 분석 (기존 연구사업과의 중복 및 연계성, 기술개발의 성공가능성 제시)</li> <li>- 경제적 타당성 분석 (경제성 분석, 기술적, 사회적 파급효과 제시)</li> </ul>
사업화 및 연구결과 활용방안 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사업화 방안 제시</li> <li>- 활용방안 및 기대효과 제시</li> </ul>
정량적, 정성적 성과지표 및 지표별 성과 목표치 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구개발 결과의 평가를 위한 정량적, 정성적 성과지표, 지표별 성과 목표치, 평가방법 및 기준 제시</li> </ul>
RFP 작성	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 과제 공모용 제안요구서(RFP) 작성</li> </ul>



## 4 활용성 증대방안 도출

### 4.1 시공장비 활용성 증대방안

- 일반적인 해양공사의 절차는 아래의 표와 같이 분류되며, 신재생 에너지와 관련된 특정 구조물이 설치되는 과정을 제외한 나머지 공정에도 공통적으로 적용된다.

[항만 수중공사용 무인사석고르기 활용성 증대 방안]

항 목	설 명	작업공정	활용성 증대 대체 방안
Marine Route Survey (사전해양조사)	공사 수행 전에 해저면에 대한 전반적인 지구물리조사	Bathymetric survey Sidescan sonar Sub bottom profiling Magnetometer survey Marine coring	해상 coring 대체용 천공기(Driller)
Route Engineering (케이블 루트 설계)	해양조사에 의해 취득된 자료를 GIS를 이용하여 최적 케이블 루트 설계	GIS system Simulation	-
Pre line grapnel run (항로청소 및 저질점검)	시공지역에 대한 장애물 제거 및 Towing 장력 사전 점검	Grapnel 견인 장력측정 해저지반 data 취득	콘관입시험기(CPT)
Shore end work (연안 연결부 공사)	구조물과 연결되는 해저 케이블이 육상으로 상륙하는 부분에 대한 도랑 및 보호공 설치	Trench 설치 공사	굴삭기, 유압집게, 절삭기, 착암기 등
Structure installing (구조물 설치)	신재생 에너지 분야의 경우 발전 특징에 따라 특정 구조물이 설치됨	상동	상동
Cable Laying & Plugging (케이블 포설 및 커넥터 삽입)	해저 케이블 설치용 Trench 시공 및 수중 커넥터 연결	해저 지반 조건에 따른 작업 Tool 변경	암반 : 착암기 연약지반: 절삭기 토사, 펄: 워터젯, 준설장치
Covering/Rock Dumping (보호공 설치)	케이블 보호를 위한 콘크리트 보호공(매트) 포장	블레이드 이용 사석포장 유압집게 이용 콘크리트 매트 시공	중량물 이송/시공
Dredging (준설)	안전심도 확보를 위한 Trench 형성 및 준설	워터젯을 이용한 절토 및 준설장치를 이용한 토사 이동	토사 및 펄의 효율적인 제거를 위한 워터젯, 준설장치

## 가. Platform 활용방안

### □ 연약지반용 궤도(Track)

- 현재 해양연구원에서 진행되고 있는 '항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비'의 주된 기능은 사석고르기로 이에 부합되도록 골재로 이루어진 해저면 바닥에서 효과적인 마찰력을 제공하기 위한 금속성의 궤도를 제작되었다. 그러나 실제 자연 상태의 해저면은 다양한 형질을 가지고 있고 따라서 마찰력이나 지반 침하의 정도가 매우 다양한 형태로 나타난다. 본 기획연구의 목적은 무인 다목적 시공장비의 적용성을 높이고 다양한 분야에 폭넓게 사용하기 위한 방안을 모색하는 것이므로 시공장비가 골재 뿐만 아니라, 다양한 원지반면 조건에서 자유롭게 이동할 수 있어야 한다. 이를 위해 자연 상태 원지반면에서 수중 장애물 극복 및 직진성능 등을 확보하여 이동이 용이하고 주행성능을 향상시킬 수 있는 무한궤도에 대한 연구가 반드시 필요하다.



[연약지반에서 운용 중인 Track Type ROV]



### □ 장비위치확인시스템(Positioning)

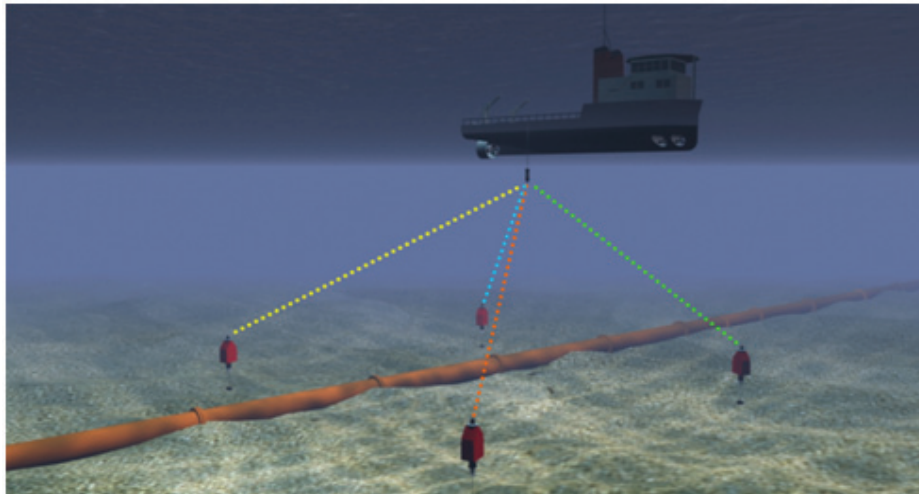
- 수중에서 운용되는 원격 무인 장비는 수중이라는 특수한 환경때문에 장비의 거동이나 위치파악이 용이하지 않다. 운전자 또는 작업자가 의도하는 특정한 위치에 수심에서 정확하게 장비의 기능과 움직임을 제어하기 위해서는 시공장비의 수중 위치 파악이 필수적이다. 이를 위해 다양한 시스템이 활용되고 있으며, 가장 널리 사용되고 있는 것이 음파를 이용한 수중위치추적시스템(Underwater Acoustic Tracking System)이다. 이 중에서 대표적인 것이 SBL(Short Base Line), LBL(Long Base Line), USBL(Ultra Short Base Line)이다. 수중음파 위치추적장치가 가지고 있는 단점을 보완하기 위해 DVL(Doppler Velocity Log)나 IMU 등이 동시에 활용될 수 있다.



[USBL System]



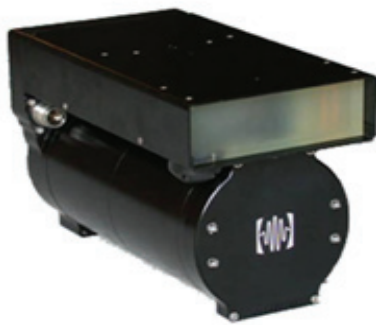
[DVL System]



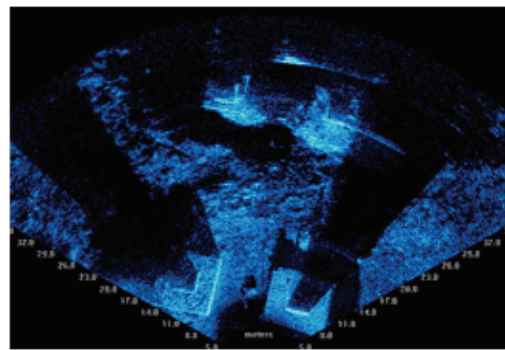
[LBL System 운용 예]

□ Navigation by Sonar

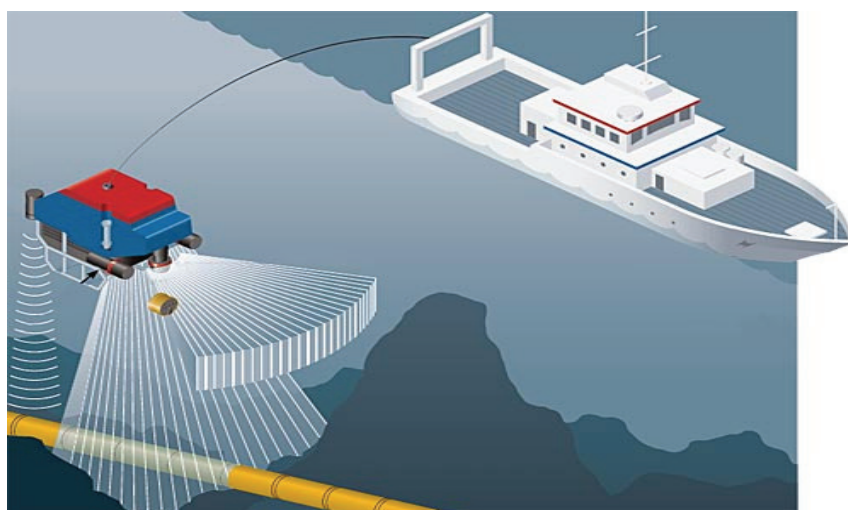
- 실제 수중에서 시공장비의 이동 및 운용을 위해서는 탑재된 다양한 형태의 카메라에 의존하여 작업상황이나 수중환경을 모니터링 하게 된다. 그러나 수중에서 가시거리는 육상에 비해 미우 제한적이며 불량하다. 여기에 시공장비가 이동, 작업하면서 발생된 부유물이나 해저면의 혼탁물질에 의해 시야가 더욱 나빠지게 된다. 이러한 조건에서는 장비의 이동이나 작업의 수행이 영향을 받거나 작업이 불가능한 상황이 발생할 수 있다. 따라서 Optic에 의한 카메라 영상이나 모니터링은 위와 같은 제약조건이 발생할 수 있기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해 음파를 이용한 Sonar system을 구비해야 할 필요가 있다. 물체 인식을 위한 Sonar system은 목적에 따라 다양하며, 작업환경이나 용도에 맞게 조합하여 적용하면 최적의 장비운용 성능을 구현할 수 있다.



[고해상도 Sonar]



[고해상도 Sonar 획득 영상 이미지]

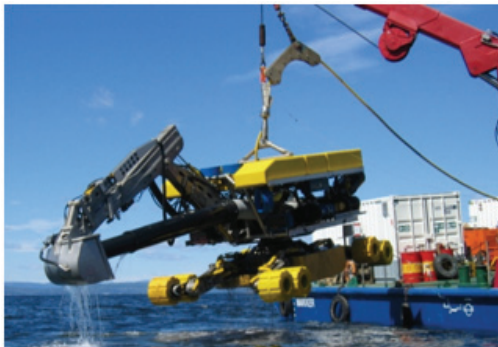


[MS 1000 Series Scanning Sonar & Altimeters, Kongsberg]

## 나. 부착도구(Tool) 활용방안

### □ 굴삭기(Excavator)

- 현재 해양연구원에서 진행 중인 항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공 장비의 주 기능은 사석고르기로 전면부에 Tool의 하나로 블레이드가 부착되어 있다. 그러나 실제 해저면에서 사석고르기를 수행하는 경우, 작업과정에서 기존 바지선에서 투하된 사석들이 언덕형태를 이루고 있는 경우가 많기 때문에 이러한 경사면을 이동하면서 사석고르기 작업을 수행하여야 한다. 이 때 필요에 따라서는 굴삭이나 경사면을 평평하게 고르는 작업이 필요하다. 이를 해결하기 위해 육상에서 일반적으로 사용되는 다굴절 팔이 추가되어야 한다. 굴삭기능을 위한 다굴절 팔에 사용되는 동력원은 유압을 사용하며, 추가적으로 유압 Pack 이 설치되면 다양한 응용 Tool들을 작업환경이나 특수 목적에 맞게 효율적으로 사용할 수 있게 된다.



[굴삭기능이 추가된 수중 ROV]

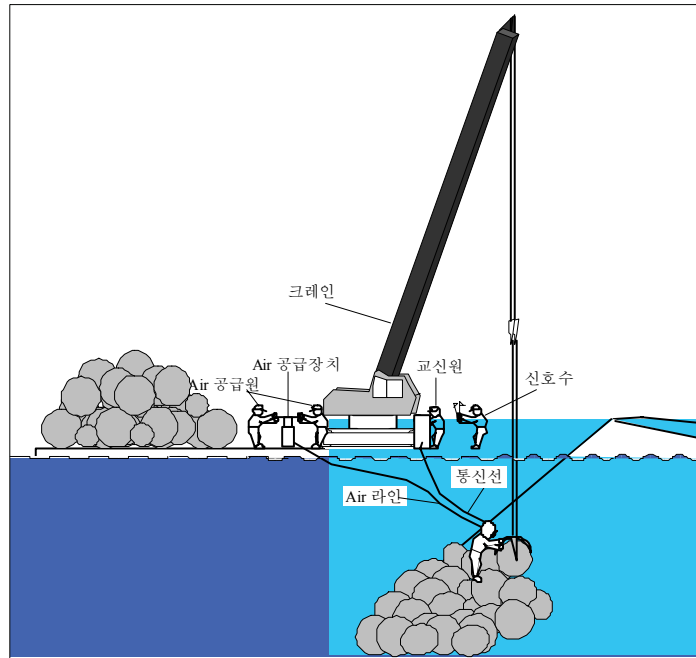


[다목적 Tool이 부착된 다굴절 로봇팔]

### □ 유압집게(Hydraulic Grabber)

- 해저면에 설치되는 전력 및 통신 케이블의 경우, 외부요인에 의한 파손을 방지하기 위해 보호공을 설치하게 되며, 이러한 보호공은 연안에서는 어로 활동에 따른 저인망 네트 작업 또는 앵커 투척으로부터 케이블을 보호하거나 파손을 방지하는 역할을 한다. 이러한 보호공으로 콘크리트 매트나 우라덕트 등을 추가로 설치하기도 한다. 이러한 보호공을 설치 또는 부착하기 위한 기존의 방법은 해상바지선에서 크레인을 이용하여 해저면에 있는 다이버의 지시에 따라 설치되나 이 경우, 수중에서 작업하는 다이버는 지속적

인 위험상황에 노출되게 되고 작업능률도 저하된다. 굴삭기능이 추가된 시공장비에 유압을 이용한 집게(Grabber)를 부착하면 해저면에 설치될 건설자재나 대형 사석들을 잡고 이동하는데 효율적으로 사용할 수 있다.



[잠수사에 의한 사석설치방법]



[유압용 집게(Grabber)]



[유압용 집게(Grabber)]

### □ 절삭기(Rotary Drum Cutter)

- 해저면에 설치되는 전력 및 통신 케이블의 경우, 외부요인에 의한 파손을 방지하기 위해 보호대책이 마련되어야 한다. 연안의 경우, 앵커에 의한 파손을 방지하기 위해 앵커 파지력이 미치지 못하는 안전 심도까지 도랑(Trench)을 건설하고 케이블을 매설하여야 한다. 이러한 경우, 유압을 이용한 절삭기(Drum Cutter)를 사용하면 해저면을 형성하는 연암이나 중간 정도 경도의 암반층을 진동없이 파쇄하고 절삭하여 케이블 매설용 도랑건설이 용이하다. 절삭기는 충분한 하중과 동력을 제공하는 유압 굴삭기의 다굴 절 로봇 팔에 장착되어 기존 유압팩과 연결하면 쉽게 사용할 수 있다. 절삭기 헤드 부분에 설치된 Round shank carbide bit 가 유압으로 충분한 파쇄력을 발휘함으로써 암반파쇄를 효과적으로 수행할 수 있다.



[절삭기를 사용한 도랑 건설]



[Round shank carbide bit]

### □ 착암기(Breaker)

- 해저면에 설치되는 전력 및 통신 케이블의 경우, 외부요인에 의한 파손을 방지하기 위해 보호대책이 마련되어야 한다. 보호대책으로 도랑(Trench)을 건설하는 과정에서 경도가 높은 화강암 암반대가 존재할 경우, 이를 효과적으로 파쇄할 수 있는 보다 강력한 작업 Tool 이 요구된다. 현재 사용되는 재래식 방법은 잠수사가 직접 소형 착암기를 들고 암반을 파쇄하는 경우가 대부분이나 이런 경우, 잠수사의 작업시간 및 안전성이 확보되지 않아 작업 능률이나 효율이 낮다. 앞에서 언급한 절삭기의 경우는, 연암이나 비교적

무른 암반에서 사용하는 반면, 화강암반과 같이 경도가 높은 암반의 경우에는 착암기(Breaker)를 사용해야 한다. 유압을 이용한 착암기(Breaker)를 사용하면 고경도의 암반층에 대한 파쇄 및 절삭이 용이하다. 착암기의 설치·절삭기의 설치 원리와 동일하며, 유압팩을 적용하여 충분한 동력과 하중을 전달할 수 있다.



[착암기를 이용한 잠수사의 암반파쇄]



[착암기(Breaker)]



[출력별 착암기]

### □ 천공기(Driller)

- 해저면 공사시 경우에 따라 암반의 발파를 용이하게 하기 위해서 또는 해저면의 지층자료 수집을 위한 Core sampling을 수행하는 경우, Jack up 바지선을 동원하여 해상 corering을 하게 된다. 이 때 바지선이나 예인선 등이 동원되어 많은 비용이 발생하게 된다. 본 연구에서 개발할 무인 다목적 시공장비의 다굴절 로봇 팔에 유압팩을 활용한 유압 천공기를 부착하여 연안 수중 천공작업에 활용할 수 있다. 절삭기나 착암기와 동일한 원리로 기존의 유압계통을 활용하여 충분한 동력과 하중을 전달함으로써 적은 비용으로 다양한 형태의 해저 암반들을 효과적으로 천공할 수 있다.



[해상 Corering]



[굴삭기에 부착된 육상용 천공기]

### □ 굴착용 송곳(Auger)

- 연약지반의 경우에는 앞장에서 서술한 Driller가 제 기능을 하기 어렵다. 이러한 경우에는 굴착용 송곳(Auger)이 사용되어야 하며, 이를 무인 다목적 기계화 시공장비에 접목하면 굴착기능 Tool로서 소규모 천공작업에 매우 효과적으로 사용할 수 있게 된다. 굴착용 송곳도 다른 부착 장비와 동일한 원리로 유압동력을 사용하며, 위험한 환경에서 작업하는 다이버의 역할을 대신할 수 있게 된다.



[육상용 굴착송곳(Auger)]



[굴착용 송곳(Auger)]

□ 워터젯(Water Jeter)

- 해저면에 설치되는 전력 및 통신케이블의 파손을 방지하기 위한 보호공이나 도랑 건설시 펄을 포함하는 연약지반에 대한 건설작업은 앞에서 언급한 착암기나 절삭기로는 효율적인 작업이 어렵다. 이러한 경우에는 수중 water jet을 사용하여야 한다. 수중 water jet은 해수를 흡입하여 고압으로 토출하는 압력을 이용한 절삭작업을 수행하며, 펄 뿐만 아니라 연약지반에 대한 절삭작업에도 효과적으로 사용할 수 있다. 또한 water jet은 경우에 따라 대형선박이나 구조물 하부에 부착생물을 제거하는 용도로도 사용될 수 있다. 굴삭기를 이용한 다관절 팔에 water jet을 부착하여 사용하는 경우, 연약지반에 대한 소규모 굴착작업에 매우 효과적으로 적용할 수 있으며, 시야확보가 되지 않는 펄 환경에서 다이버가 하는 수작업보다 효과적으로 굴착 및 준설 작업을 수행함으로써 위험한 환경에서 작업하는 다이버를 대체하는 효과도 겸할 수 있다.



[ROV 에 부착된 Water jet]

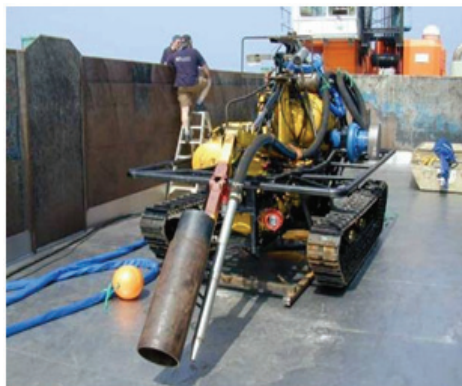


[초고압 워터젯 모듈]



### □ 준설장치(Jet Dredger)

- 앞에서 언급된 Water jet를 케이블 매설이나 기타 목적으로 펄 등 연약지반에 도랑(Trench)를 건설하여야 하는 경우, 연약 지반의 특수성 때문에 지반 절삭 후 사면에 사태가 발생하고 사면이 계속적으로 무너져 내려 신속하고 효율적인 도랑(Trench)을 건설하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 Jet dredger가 활용될 수 있다. Jet dredger는 고압의 공기를 흡입구 내부에서 토출시키고 이때 발생하는 공기의 팽창력 및 부상력을 이용하여 흡입구 주변의 물체들을 부상시키고 흡입구와 연결된 배출구(Out-let)으로 배출시킴으로서 준설 작업이 가능하다. 이로서 Water jet에 의해 절삭, 부상된 펄 및 기타 연약 지반토양이 Jet Dredger에 의해 흡입 배출됨으로서 효율적인 준설 작업을 가능케 한다. 굴삭기를 이용에 사용될 다관절 팔에 Water Jet와 더불어 수중 Jet Dredger가 부착될 경우 "항만수중 공사용 무인다목적 기계화 시공장비"는 간이 준설 기능이 탑재된 수중준설기로서 매우 효과적인 작업능을 가져 올 뿐만 아니라 위험한 환경에서 작업하는 다이버를 대체 할 수 있는 기능까지 가지게 된다.



[Water jet이 부착된 준설장비 SBD-2]



[Dredger에 설치된 워터젯]

### □ 다짐기(Roller)

- 현재 해양연구원에서 진행되고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"의 주된 기능은 사석 고르기로 이에 부합하는 Tool로서 Blade가 전방부에 부착되어 있다. Blade의 역할은 초기 평부선(Barge)에서 해저면으

로 평부선에 탑재되거나 선적된 사석 등을 Crane이나 굴삭기를 이용하여 하역되어 언덕 형태로 쌓여 있을 사석들을 구조물이 설치될 수 있는 면적보다 광범위한 범위로 넓고 평탄한 높이를 유지하도록 하기 위함이다. 육상에서 사용되는 다짐기(Roller)를 부착하여 사용하는 경우, 사석 및 기타 해저면을 고르게 압밀 시킬 수 있는 작업을 수행 할 수 있어 차후 구조물 설치에 보다 안전을 고려한 공사를 가능케 할 수 있다. 이러한 공사를 가능하게 하기 위해서는 육상 공사시에 사용되는 다짐기(Roller)가 동원되면, 매우 효과적인 구조물 안전 설치가 가능하여 진다. Roller는 앞서 논의한 장비와 동일한 원리로 유압팩과 연결되어 충분한 하중과 동력을 제공받게 된다.



[육상용 다짐기(Roller)]



[육상용 무인 다짐기(Roller)]

### 다. 유/무인 겸용장비

- 수중 시야가 양호하고 수심이 낮을 경우, 잠수사가 직접 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"에 탑승하여 작업을 하는 경우 수상에 설치된 Monitor를 통하여 원격으로 작업을 하는 것보다 작업효율 및 시공 품질에 있어서 보다 양호한 결과를 기대 할 수 있다. 이를 위해서는 현재 한국해양 연구원에서 진행하고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적기계화 시공장비"의 기본 운용 개념인 수상에서의 원격 조정 시스템 외에 잠수사가 직접 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"에 탑승하여 시공장비를 운영할 수 있는 탑승 및 조정 시스템을 탑재하여 하고 이와 더불어 잠수사의 생명 유지 장치에 대한 보강시스템이 마련되어야 한다.



[수중 굴삭기]



[수중 굴삭기]

## 라. 기타장비

### □ 이동식 지반조사 장치(CPT)

- 일반적으로 구조물이 설치될 지반의 특성을 파악하기 위하여 육상에서 사용되는 방법은 지반조사장치이다. 콘관입시험기라고도 불리는 이 장비는 지반 속에 원추형 콘을 집어 넣어 지반의 선단 및 마찰 저항력, 간극수압 등을 측정, 지반의 분포, 강도, 압밀특성을 파악하는 기기이다. 일반적으로 육상에서 사용하는 지반조사장치를 응용하여 해양에서 사용하는 경우, 수면위에서 선박에 시험기기를 장착해 수심 20m이내에서만 시료를 채취해 실내 시험을 통해 지반의 특성을 파악하여야 하는등 제약조건 및 비용이 과다하게 발생될 뿐만 아니라 취득된 자료 역시 신뢰성이 떨어진다. 현재 해양연구원에서 진행되고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"를 위한 Up-grade 방안 중 다양한 목적을 위한 Tool들을 손쉽게 부착 및 사용할 수 있는 유압용 다관절 Boom이 채택되는 경우, 이에 지반조사장치의 로드를 장착하고 강력한 유압 관절팔을 이용함으로써 여러 지역의 지반특성을 이동하면서 쉽게 조사할 수 있게 된다.



[육상용 콘관입시험기]

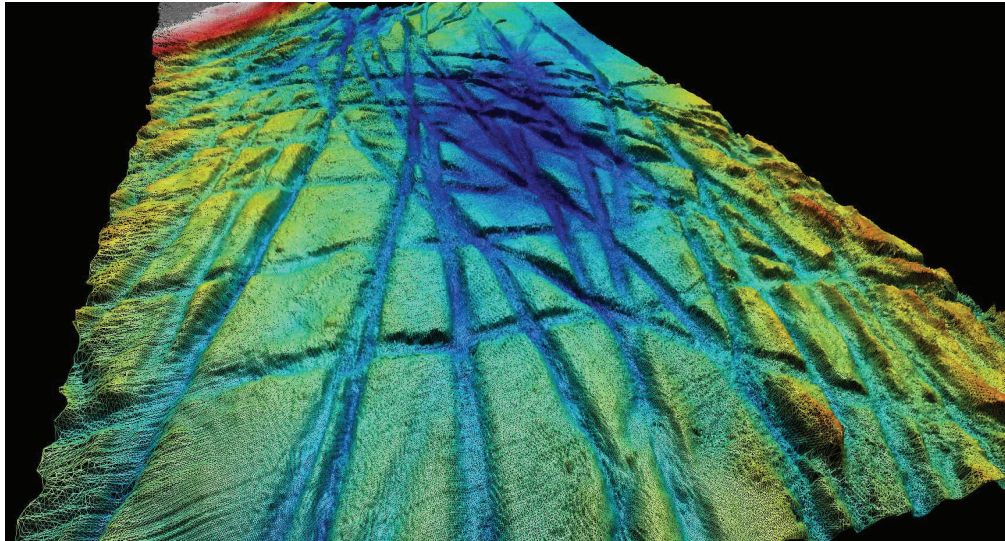


[ROV에 부착된 콘관입시험기]

### □ Multibeam Echo Sounder

- 현재 해양연구원에서 진행되고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"의 주된 기능은 사석 고르기로 이에 부합하는 Tool로서 Blade가 전방부에 부착되어 있다. 이와 더불어서 Up-grade를 위해 앞장에서 기술된 굴삭기, Rotary Drum cutter, 착암기(Breaker) 및 Water jet와 Jet dredge등

은 실제 해저면의 지형을 계속적으로 변형시키는 장비들이다. 이러한 장비들이 작업을 수행하면서 발생하는 해저면 변형은 실제 수상부에서 운용하는 조작자들에게 실제 해저면 형태를 인식시키지 못하고 정밀작업을 불가능하게 하는 요소로 작용한다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 탑재 될 수 있는 장비가 다중빔 측심기(Multibeam echo sounder)이다. 다중빔 측심기(Multibeam echo sounder)의 256~512개의 음파가 동시에 발진하여 시공장비에 의해 변형된 해저면을 반사하여 돌아와 Topside processor에 의해 연산된 계산값에 의해 실제 해저면을 3차원 도시화하여 차후 시공장비 조작자에게 실시간 운용정보뿐만 아니라, 차후 공사 성과에 대한 결과로서도 활용할 수 있는 정밀한 3차원 지형 정보를 제공 받을 수 있다.



[다중빔 측심기에 의해 묘사된 해저면 지형도]

## 4.2 활용성 증대 방안 대상 우선순위 선정

### 가. 우선순위 선정 결과

항만 수중 공사용 무인 시공기계화 장비의 활용성 증대의 방안에 대한 우선 순위 선정 결과는 전문가 대상 설문조사 결과로 구분되었다.

[의견 수렴 전문 위원들의 구성비]

분류	인원수	비고
외부	10명	
내부	9명	

우선 순위의 결정은 아래표의 전문위원들로 구성된 위원들의 의견이 수렴되었고, 그 중에서 항목별 가중치를 결정하여 우선순위 및 시급성 등을 고려하여 순위를 정리하면 다음과 같다.

[설문을 통해 결정된 항목별 가중치]

항목	배점	비고
기술적 파급효과	26.8	
경제적 파급효과	31.9	
기술개발 가능성	20.6	
정부지원 타당성	20.7	

## □ Platform

[여러 항목의 가중치를 적용한 Platform 활용성증대 순위]

항목	기술적 파급효과	경제적 파급효과	기술개발 가능성	정부지원 타당성	합계	순위
유무인겸용	3.7	3.9	4.5	3.7	394.1	1
연약한 지반용 궤도 (Track)	4.1	3.7	3.7	3.3	374.8	2
장비 위치확인용 Positioning	3.9	3.8	3.3	3.4	367.5	3
수중 물체인식용 Navigation	3.8	3.5	3.2	3.3	348.8	4

□ Work Tool

[여러 항목의 가중치를 적용한 work tool 활용성 증대 순위]

항목	기술적 파급효과	경제적 파급효과	기술개발 가능성	정부지원 타당성	합계	순위
워터젯 (Water Jeter)	4.3	4.3	4.2	3.7	416.3	1
절삭기 (Drum Cutter)	4.1	4.1	3.9	3.7	399.7	2
착암기 (Breaker)	4.1	3.7	4.2	3.7	389.7	3
준설장치 (Jet Dredger)	3.7	4.0	3.9	3.8	385.0	4
콘관입 시험기 (CPT)	3.7	3.7	4.1	3.4	370.6	5
천공기 (Driller)	3.7	3.6	4.0	3.3	365.6	6
유압집게 (Hydraulic Grabber)	3.4	3.5	4.0	3.2	348.8	7
Multibeam Echo Sounder	3.7	3.6	2.9	3.4	345.9	8
굴착용 송곳 (Auger)	3.2	3.1	3.4	2.8	312.7	9
다짐기 (Roller)	2.9	3.1	3.5	2.8	308.4	10



## 나. 우선순위 필요 활용방안

[우선 순위에 따른 작업 툴(Tool) 활용 방안]

분류	활용성 증대 방안	특징	용도
Platform	유/무인 겸용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탁도 및 수심 등 외부 조건과 경제성 등을 고려하여 유인/무인 장비로 활용.</li> <li>• 시공장비의 상용화에 있어 활용 및 성공가능성 증대.</li> </ul>	수심이 20m 내외이면서 탁도가 좋은 환경일 경우, 유인 장비로 활용하는 것이 훨씬 효율적임.
	연약지반용궤도 (Track)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사석과 같은 단단한 해저면 뿐만 아니라 연약지반과 같은 원지반 조건에서 시공작업을 수행하기 위해서는 바닥 밀착형 트랙방식의 이동기술이 요구됨</li> <li>• 수중 장애물 극복 및 직진성능 확보를 위한 트랙구조설계가 필수적임</li> </ul>	해저면 조건에 따른 효과적인 주행 및 이동 성능 확보
Tools	장비위치확인 시스템 (Positioning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장비위치파악을 위해 초음파 센서를 이용한 LBL, USBL, DVL System이 요구됨.</li> <li>• 수중조건에 따라 절대/상대위치를 인식하는 방법이 사용되고 있음.</li> </ul>	수중 위치 인식 및 장비의 효율적인 제어
	수중물체인식용 Navigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중작업 대상물의 거리 인식기술 및 검사 대상물의 비파괴 검사 등을 위해 수중에서 활용이 가능한 센서 기법 또는 센서자체의 개발이 요구됨.</li> </ul>	수중작업 대상물과의 거리인식 및 대상물 검사기법에 활용
	워터젯 (Water-jet)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고압으로 토출되는 해수를 이용한 강력한 절삭력으로 펄을 포함한 연약지반에 효율적으로 활용 가능</li> <li>• 해저케이블 설치용 Trench 작업 및 선박하부 부착생물 제거에도 사용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 펄 및 연약지반 Trench 건설</li> <li>• 선저 부착생물 제거 목적</li> </ul>
	절삭기 (Drum cutter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다굴질 암 및 유압팩과 연동된 효율적인 압력조건과 동력 제공</li> </ul>	목표심도로 도랑건설 및 관련 케이블 매설 작업
	착암기 (Breaker)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다굴질 암 및 유압팩과 연동된 효율적인 압력조건과 동력 제공</li> </ul>	파쇄가 어려운 단단한 암반의 파쇄 및 굴삭 작업

## 4.3 과제별 추진계획

### 가. 유/무인 겸용장치

#### □ 연구개발의 필요성

- 해상 및 수중 공사현장은 현장 상황에 따라 작업환경이 매우 가변적이고 위험 요소가 산재해 있으므로 각 작업환경 및 위험요소를 사전에 확인하고 제거하는 작업이 필수적이다. 하지만 이러한 경우, 작업진행이 더디고 효율성이 떨어지는 경우에는 전체 공정에 대한 수정이 불가피한 경우도 발생한다. 따라서 작업환경이나 제약조건을 극복하고 안전성이 확보된 환경조건에서 신속하게 작업을 수행해야 하는 경우, 각 조건에 맞는 장비의 운용이 필수적이다. 즉, 수중 시야가 양호하고 수심이 낮을 경우, 잠수사가 직접 작업 장비에 탑승하여 작업을 하는 경우 수상에 설치된 Monitor를 통하여 원격으로 작업을 하는 것보다 작업효율 및 시공 품질에 있어서 보다 양호한 결과를 기대 할 수 있다. 반면, 탁도가 높고 작업수심이 깊은 경우에는 수상에서 원격으로 장비를 운영할 수 있는 조정 시스템이 요구된다. 특히, 잠수사가 직접 탑승하여 장비를 운영하는 경우 잠수사의 생명 유지 장치에 대한 보강시스템이 마련되어야 한다.

#### □ 연구개발 동향

- 신재생 에너지 및 해양에너지 개발 사업에 따른 글로벌 시장이 활성화 될 것으로 판단되며, 이러한 해양공사 분야의 기초사업인 해저 지반 조성 작업은 아직까지 천해환경에서는 잠수사에 의한 수작업으로 이루어지는 것이 대부분이고 심해의 경우, 상용화된 장비나 기술이 국내에 없다.

#### □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

- (1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비의 유/무인 겸용 장치 개발

## (2) 연차별 목표

[유/무인 겸용장치 연차별 추진계획]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 유인작업환경 Life Support Unit - 유인작업환경 Control system 제작	- 시계가 확보되는 천해 작업인 경우, 잠수사가 직접 장비를 운용하기 위한 수중 작업 공간 및 장비 제어부 제작
2차년도	- 수중무인작업 Control system 제작 - 수중시계확보를 위한 다방향 모니터링 시스템	- 탁도가 높고 심해인 경우, 시공장비를 원격으로 조종하기 위한 수중환경 모니터링 시스템 구축
3차년도	- 시제품 제작 및 현장검증실험	

## (3) 주요개발내용

- 수중 작업자를 위한 유인 조종 컨트롤 Unit
- 생명 유지 장치 및 작업자 보호 시스템
- 수중 전원 공급 및 통신 시스템
- 수중 영상 취득 및 작업 환경 모니터링 시스템

## □ 연구개발 규모

[유/무인 겸용장치 연차별 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	375	-	325
2차년도	225	-	225
3차년도	150	-	150
합계	750	-	750

□ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
탁도조건	2 (NTU) 이하	해저면이 모래와 암반을 제외한 실트질 및 펄이 섞여있는 경우 작업중 시야가 급격히 나빠지므로 신중하게 결정하여야함
조류조건	1knots=0.514(m/s)	잠수사가 Scuba방식으로 잠수하는 경우 (by US Navy regulation)
	2knots=1.028(m/s)	잠수사가 Surface supply(해면공급식)으로 잠수하는 경우(by US Navy regulation)
안전조건	Life support system for redundancy	비상시를 대비한 제2의 생명유지장치(호흡장치)
	Hot water system	다이버 저체온증을 방지하기 위한 온수공급장치
수심조건	30m	

□ 활용방안 및 기대효과

- 해상공사의 경우, 환경요인에 따른 제약조건이 육상공사에 비해 빈번하게 나타나며, 이로 인해 공정이 영향을 받는 경우가 많고 작업효율성도 떨어진다. 이러한 제약은 수중 시공장비를 적절하게 운용함으로써 작업효율성을 증대시키고 작업자의 안전성도 확보할 수 있다.
- **수중에서 시계가 양호하고 수심이 낮을 경우**, 잠수사가 직접 무인 시공장비에 탑승하여 작업을 한다면 수상에 설치된 Monitor를 통하여 원격으로 작업을 하는 것보다 **작업효율 및 시공 품질에 있어서 보다 양호한 결과**를 기대할 수 있다.
- 반면 불량한 시계나 강한 조류 환경처럼 작업환경이 열악한 경우에는 시공장비를 원격으로 운용하여 작업효율성이나 안전성 확보를 도모할 수 있다. 따라서 본 연구과제인 항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비의 활용을 유/무인 겸용 운용 개념으로 접근하는 경우, 수상에서의 원격 조정 시스템 외에 잠수사가 직접 시공장비에 탑승하여 조종할 수 있는 조종공간 및 운용 시스템을 추가로 설치하면 작업환경에 따른 제약에 관계없이 효율적이고 정밀한 작업이 이루어질 수 있다.

## 나. 연약지반용 궤도(Track)

### □ 연구개발의 필요성

- 해상공사에 있어 강한 조류조건을 극복하고 주행성능을 확보하여 공사에 필요한 매설심도를 확보하기 위해서는 바닥 밀착형 궤도(Track)가 필수적으로 요구된다. 이미 선진국에서는 금속재질의 무한궤도나 바퀴형태의 주행시스템을 갖춘 수중 시공장비가 다수 개발되어 운용되고 있지만, 대부분의 연안지역이 펄이나 연약지반인 국내에서는 국내 수중 환경에 적합한 경량 재질의 궤도 개발이 시급한 실정이다. 현재 한국해양연구원에서 진행되고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"의 기능은 사석고르기 작업으로 이에 적합하도록 골재로 이루어진 해저면에서 효과적인 마찰력을 제공하는 금속 재질의 궤도로 제작되었다. 그러나 실제 자연 상태의 해저면은 다양한 형질(펄, 암반 등)이고, 이에 따라 매우 다양한 마찰력을 해저 원지반면으로부터 받게 된다. 따라서 시공장비가 골재로 이루어진 해저면 뿐만 아니라 다양한 자연상태의 원지반면에서도 자유롭게 이동할 수 있는 방안이 모색되어야 하며, 수중 장애물 극복 및 직진 주행성능 등을 확보하기 위해서는 트랙형태의 구조가 적합하고 이러한 트랙을 효율적으로 설계하기 위한 연구가 진행되어야 한다.

### □ 연구개발 동향

- 무한궤도(Track) system 은 육상용 장비에는 이미 보편적으로 굴삭기나 크레인 등의 작업장비에 광범위하게 사용되고 있지만 수중용 장비는 상용화된 장비가 거의 없는 실정이다. 현재까지 한국해양개발공사에서 수중굴삭기를 개발하여 실제 작업현장에 투입하고 적용함으로써 공정 및 작업효율성을증가시키는 효과를 입증한 바 있으며, 현재 육상 시공 로봇 부문에서도 국토해양부 주관으로 지능형 굴삭시스템 개발과 같이 작업특성을 고려한 굴삭시스템을 개발하는 노력이 진행중이다. 그러나, 해상 및 해저 지반 조성 공사와 같은 해양산업시장에서의 수요증대에도 불구하고 수중시공로봇 관련 기능 및 Tool에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다.

□ 연구개발 연차별 목표 및 내용

(1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비의 연약지반용 무한궤도 개발

(2) 연차별 목표

[연약지반용 궤도 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 주행성능개선을 위한 변속장치개발	- 사석 및 원지반 환경에서 효율적인 거동 및 주행성능을 확보하기 위한 변속장치 및 관련기술개발
2차년도	- 장애물 회피용 거리감지 센서 및 센싱기법 개발	- 암반 및 기타 장애물을 피해 주행안정성을 확보하기 위한 거리감지 센서 및 센싱 기법 개발
3차년도	- 연약지반 주행성능 확보를 위한 경량 무한궤도 개발	- 연약지반조건에서 자중에 의한 장비침하를 방지하고 주행성능을 개선시킬 수 있는 경량재료 무한궤도 및 시스템 개발
4차년도	- 시제품 제작 및 현장검증실험	

(3) 주요개발내용

- 사석 및 원지반 조건 주행성능 확보를 위한 변속장치 개발
- 장애물 회피 및 주행안정성 확보를 위한 거리감지센서 및 센싱기법 개발
- 침하방지 및 주행성능 개선을 위한 경량재질 무한궤도 및 관련기술 개발

## □ 연구개발 규모

[연약지반용 궤도 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	342	-	342
2차년도	342	-	342
3차년도	228	-	228
4차년도	228	-	228
합계	1,140		1,140

## □ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
이동속도	10m/min	T800은 2.3(Free flying)으로 설정됨 (협의 필요)
지반조건	전 단강도 20kPa 이상	

## □ 활용방안 및 기대효과

- 다양한 형태의 해저 원지반 조건에서 최상의 작업능력과 주행성능을 확보할 수 있으며, 해저 지반조성작업 이외의 수중공사작업에 활용가능하다.
- 트랙구조기술은 구조물 안전진단용 장비에도 접목하여 효과적인 안전진단 작업이 가능하다.

## 다. 장비위치확인시스템(Positioning)

### □ 연구개발의 필요성

- 수중에서 운용되는 원격시공장비는 수중환경이라는 특수한 환경조건 때문에 육안으로 관찰이나 거동파악이 불가능하다. 따라서 수중시공장비의 Monitoring 및 효과적인 운용을 위해서는 반드시 시공장비의 거동과 위치를 정확하게 파악하고 제어할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 다양한 장비가 활용될 수 있으나 기본적으로 음파를 이용한 수중음파위치추적장치(Underwater Acoustic Tracking System)가 탑재되어야 하고 수중음파위치추적장치가 가지고 있는 단점을 보완하기 위하여 DVL이나 IMU등이 동시에 활용될 수 있다. 음파를 이용한 수중음파위치추적장치는 사용 목적과 정밀도 및 예산 등을 고려하여 Long-base line(LBL)이나 또는 Ultra short baseline(USBL)등을 선택할 수 있다. 주변환경이나 사용조건을 고려한 이러한 상용화 된 센서의 적용과 더불어 획득된 위치 자료를 사용자나 작업관리자가 알기 쉽게 해석하고 운용하기 위한 자료의 처리기법 및 해석기법도 매우 중요한 부분이라 할 수 있다.

### □ 연구개발 동향

- 수중작업로봇 및 무인잠수정의 운용 등, 수중장비의 위치파악 시스템은 시장에서의 수요와 오랜 연구에 의해 이미 많은 부분이 개발 및 상용화 되어 있으며, 수중환경에서 위치추적 기술은 3차원 공간상에서 얼마나 이동체의 위치를 정확하게 추정 또는 모사할 수 있기 위한 신뢰성 있는 좌표 자료의 획득이 관건이라 할 수 있다. 이미 한국해양연구원은 심해 무인 잠수정의 위치제어를 위해 LBL, SBL, USBL 등의 수중위치추적시스템을 적용하여 수중 운동체의 거동파악 및 위치추적에 적용하였으며, 관련기술에 대한 상당한 노하우를 축적하고 있기 때문에 본 연구에 관련 기술 및 노하우를 접목하기 용이할 것으로 판단된다. 이와 더불어 시공 현장이나 수중환경과 같이 가변적인 환경조건에서의 수중장비의 위치자료 수신이나 거동 및 자세제어를 안정적으로 유지하기 위한 센싱 기법이나 자료 해석 기법도 중요한 부분이므로 이러한 부분에 대한 추가 연구가 요구되는 상황이다.



## □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

(1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비의 위치추적시스템 개발

(2) 연차별 목표

[장비위치확인시스템 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 위치추적시스템(LBL/USBL)의 적용 및 신뢰성 분석	- 수중시공장비의 정밀 위치파악 및 거동제어를 위한 추적시스템 적용
2차년도	- 수중시공장비 이동속도 측정(DVL) 기술 적용 및 신뢰성 분석 - 수중시공장비 거동 모니터링 및 제어기술	- 주변 환경조건에 따른 수중시공장비 이동속도 제어 및 거동제어를 위한 모니터링 기술 개발
3차년도	- 시제품 제작 및 현장검증시험	

(3) 주요개발내용

- 수중시공장비용 위치추적시스템(LBL /USBL)의 적용 및 신뢰성 분석
- 수중시공장비 이동속도 측정시스템(DVL) 적용 및 신뢰성 분석
- 수중시공장비 통합 위치추적 및 모니터링 시스템 구축

## □ 연구개발 규모

[장비위치확인시스템 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	58.5	-	58.5
2차년도	175.5	-	175.5
3차년도	351	-	351
합계	585		585

□ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
정밀도	50cm	※ 절대 위치 정밀도는 혼합되어 사용되는 모든 측정장비의 오차의 합에 의해 결정된다. 따라서, 50cm의 정밀도를 유지하기 위해서는 1. 모선으로 운용되는 Barge에 10cm급의 이하의 RTK GPS가 설치되어야 하고 2. Barge의 6자유운동을 실시간 측정할 수 있는 고정밀 Motion sensor가 부착되어야 하며 (USBL을 사용하는 경우, LBL 경우 필요없음) 3. 해수의 음속도를 측정할 수 있는 음속도계 (sound velocity profiler)가 갖추어져야 한다.

□ 활용방안 및 기대효과

- 다양한 실제 수중환경에서 시공장비의 거동이나 위치를 정밀하게 측정하기 위해서는 시공장비에 탑재된 다양한 센서에 의존하기 때문에 센서의 정밀도와 신뢰도가 매우 중요하다. 이미 수중운동체의 위치추적용 시스템은 상당한 연구가 진행되어 있고 고성능 센서들도 개발되어 현장작업에 사용되고 있다. 그러나 작업환경이나 사용목적에 따라 적절한 위치추적 시스템을 도입하고 효율적으로 운용하는 것은 다른 차원의 연구주제로 판단되며, 저비용 고효율 위치추적 시스템의 개발은 다양한 수중 로봇의 기본위치 측정 시스템으로서 그 활용도가 광범위하며, 부가적으로 센서융합형 정밀복합 수중 항법시스템 개발의 reference로 활용이 가능하다.

## 라. 워터젯(Water Jeter)

### □ 연구개발의 필요성

- 해저면에 설치되는 해저 파이프 라인이나 해저 전력/통신 케이블의 경우, 외부요인에 의한 파손을 방지하기 위한 보호대책이 마련되어야 한다. 수중 케이블 또는 해저 파이프 라인 설치 작업에 있어서 특수환경, 즉 펄을 포함한 연약지반에 도랑(Trench)를 건설하여야 하는 경우, 수중 Water jeter가 반드시 이용되어야 한다. 수중 Water Jeter는 해수를 흡입한 후, 고압으로 토출되는 해수압을 이용하여 사면이나 바닥면을 절삭하는 가지는 장비로 펄을 포함한 연약지반에 매우 효율적으로 사용될 수 있는 장비이다. 한편, 수중Water Jet는 경우에 따라 선박의 저반부에 부착된 부착생물들을 제거하는데 효율적으로 사용될 수 있는 장비이기도 하다. 다관절 Boom에 수중 Water jet가 부착될 경우 수중 시공장비는 케이블 매설이나 파이프 라인 설치 작업을 효율적으로 수행할 수 있으며, 위험한 환경에서 작업하는 다이버를 대체 할 수 있는 기능까지 가지게 된다.

### □ 연구개발 동향

- 워터젯 기술은 이미 전자산업이나 항공산업분야에서 재료의 절단이나 가공 공정에 적용되어 널리 사용되어져 왔다. 현재 수중 워터젯 시스템은 무인잠수정에 부착된 작업틀로서 표면청소작업과 같은 소규모 수작업에 사용되고 있으나, 지반조성이나 연약지반의 준설과 같은 기초공사현장에서는 적용된 사례가 거의 없다.

### □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

- (1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비의 워터젯 시스템 개발

(2) 연차별 목표

[워터젯 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 해수압 구동 피스톤 및 실린더 설계 및 제작 - 해수압 제어 밸브 설계 기술	- 친환경 해수압 구동 개념의 피스톤 및 내압실린더의 설계와 시제품 제작
2차년도	- 수중용 고압 워터펌프, 증압기 설계 및 제작	- 수중용 고압 워터펌프 및 증압기의 설계 및 시제품 제작
3차년도	- 고출력 워터젯 노즐 설계 및 제작 - 노즐 제어부 및 연결장치 설계 및 제작	- 고출력 워터젯 노즐 및 제어부의 설계 및 제작
4차년도	- 시제품 제작 및 현장검증실험	

(3) 주요개발내용

- 해수압 구동 피스톤 및 내압 실린더 설계 및 제작
- 해수압 압력 제어 밸브 설계 및 제작
- 수중용 고압 워터펌프 및 증압기 설계, 제작
- 고출력 워터젯 노즐 및 노즐 제어부, 연결장치의 설계, 제작

□ 연구개발 규모

[워터젯 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	622	-	622
2차년도	933	-	933
3차년도	1,244	-	1,244
4차년도	622	-	622
합계	3,421	-	3,421

## □ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
유압 Input	압력: 180~210 bar	유압동력원
	유량: 30~60 L/min	
유압 Output	압력: 0.5~520 bar	
	유량: 15~30 L/min	
Max jetting	10 bar	
Max output flow	12,000 liter/min	
매설깊이	Up to 2.0m	

참조: [http://f-e-t.com/images/uploads/FORUM\\_SRTS\\_PRDS\\_809\\_2\\_0520BarJetter](http://f-e-t.com/images/uploads/FORUM_SRTS_PRDS_809_2_0520BarJetter)

## □ 활용방안 및 기대효과

- 실제 워터젯 시스템은 상용화되어 ROV에 부착하는 형태로 사용되고 있다. 그러나 사용목적은 수중공사용 보다는 구조물의 표면 Cleaning 또는 절단 목적으로 이용되고 있으며, 그 사용범위가 제한적이다.
- 본 연구를 통해 수중 시공장비의 작업툴(Tool)로서 워터젯 시스템이 개발되면 **해저 지반 조성이나 해저 케이블 매설 작업과 같은 기초 공정 이외에도 다양한 형태의 해양산업에 적용이 가능하다.** 더욱이 유압을 사용하지 않고 해수압을 이용한 친환경 워터젯 시스템으로서 개발이 진행되면 사용범위가 보다 확대될 수 있을 것으로 판단된다.

## 마. 절삭기(Drum Cutter)

### □ 연구개발의 필요성

- 유압용 Rotary drum cutter는 해저면을 형성하는 다양한 암반들의 종류 중, 연암이나 중간정도 굳기의 암석들을 진동없이 파쇄하고 해저케이블 매설을 위한 도랑(Trench)을 건설하는데 매우 효과적으로 사용될 수 있다. 수중사석고르기 장비에 접목하는 절삭기(Drum Cutter)는 충분한 하중과 동력을 제공하는 유압 굴삭기의 Boom에 부착되고 기존 굴삭기의 Bucket에 연결되어 사용되는 유압계통과 연결되어 동력을 제공받게 된다. 절삭기의 끝단에 부착된 해수용 고강도 Round shank carbide bit가 실제적인 파쇄작업에 사용되며 공정 또는 적용대상에 따라 충분한 압력과 절삭력을 제공하여 효과적으로 암반들을 파쇄 할 수 있다.

### □ 연구개발 동향

- 현재 육상용 절삭기는 전력구, 통신구 등의 소단면 터널이나 지하철 또는 도로터널 등에 TBM(Tunnel Boring Machine) 공법이 개발되면서 그 적용사례가 급증하고 있으며, 터널연장의 장대화 추세와 기존 공법에 비해 소음·진동 등의 환경영향 요소가 작은 점, 그리고 기계화 시공으로 인해 인건비를 절감할 수 있다는 점에서 굴삭 공정에 절삭기를 이용한 적용사례가 증가할 것으로 예측된다. 그러나 해상공사에 있어서는 현재까지 개발되어 상용화된 절삭장비는 거의 없기 때문에 본 연구를 통해 수중시공로봇에 접목이 가능한 절삭기가 개발되면 다양한 해양공사 현장에서 그 활용도가 확대될 것으로 판단된다.

### □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

- (1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비용 절삭기(Drum Cutter) 개발

## (2) 연차별 목표

[절삭기 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 수중 유압/전기 시스템 설계 - 수중 유압 Pack 설계 및 제작	- 효율적인 동력전달을 위한 수중 유압/전기 시스템 설계 - 다목적 해수용 유압팩 설계
2차년도	- 해수용 Drum Head 설계 및 제작 - 해수용 고강도 Bit 설계 및 제작	- 수중용 고강도 Drum 및 Bit 설계 및 시제품 제작
3차년도	- 다관절 굴절 Boom 설계 및 제작	- 수중 사석고르기 장비용 굴절 Boom 설계 및 시제품 제작
4차년도	- 시제품 제작 및 현장검증실험	

## (3) 주요개발내용

- 동력 전달용 수중 유압/전기 시스템 설계 및 시제품 제작
- 다목적 수중 유압 Pack 설계 및 시제품 제작
- 해수용 고강도 Drum Head 및 Shank Carbide Bit 설계, 시제품 제작
- 수중 사석고르기 장비용 다관절 굴절 Boom 설계 및 제작

## □ 연구개발 규모

[절삭기 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	448	-	448
2차년도	672	-	672
3차년도	672	-	672
4차년도	448	-	448
합계	2,240	-	2,240

□ 성능지표 및 목표수준

항목	단위	목표수준		비고
Cutter head torque	Nm	5000 @ 500 bar		
Drum		Rock	Scaling	
Drum width	mm	630	680	
Drum diameter	mm	390	390	
Picks force	kN	28 @ 370	28 @ 370	

참조: <http://www.imeco.at/index.php?id=sup03>, Model Raptor WF 20

□ 활용방안 및 기대효과

- 수중 사석고르기 장비에 부착되는 절삭기(Drum Cutter)는 충분한 하중과 동력이 제공되면, 암반이나 저질의 물성과 상관없이 최적의 절삭 및 파쇄 성능을 확보할 수 있으므로, 다양한 해저환경에서 작업조건에 제약이 거의 없이 다목적으로 사용가능하다.
- 고강도 Round shank carbide bit가 실제적인 파쇄작업에 사용되며 적용대상에 따라 충분한 압력과 절삭력을 제공하여 효과적으로 암반들을 파쇄 할 수 있다. 해상공사에 있어서는 현재 까지 개발되어 상용화된 절삭장비는 거의 없기 때문에 본 연구를 통해 수중시공로봇에 접목이 가능한 절삭기가 개발되면 **해양공사현장 중 해저 케이블 매설과 같은 지반 굴삭 및 매설 작업에서 그 활용도가 확대될 것으로 판단된다.**



## 바. 착암기(Breaker)

### □ 연구개발의 필요성

- 해저면에 설치되는 전력 및 통신케이블의 외부요인에 의한 파손을 방지하기 위하여 보호대책으로 도랑(Trench)건설하는 과정 중, 강력한 화강암 종류의 암반대를 만나게 되는 경우 이를 적절하게 파쇄할 수 있는 Tool들이 필요하다. 앞장에서 서술한 Drum cutter의 경우 연암이나 중간정도의 굳기의 암석에 대하여 효율적인 작업 성능을 보여준다, 그러나 경우에 따라 암석의 굳기가 중간정도의 이상의 굳기를 가지는 경우가 발생되면 Drum cutter는 효율적인 작업능률을 가지지 못하고 Round shank carbide Bite가 파손되는 경우도 발생된다. 이러한 경우, 유압 착암기(Breaker)는 해저면을 형성하는 다양한 암반들의 종류 중, 고강도 화강암 암반대나 이와 유사한 해저면의 파쇄 및 제거하는데 매우 효과적으로 사용될 수 있다. 이를 "항만 수중 공사용 무인다목적 기계화 시공장비"에 부착할 수 있는 경우 매우 효과적인 작업능률을 가져 올뿐만 아니라 위험한 환경에서 작업하는 다이버를 대체 할 수 있는 기능까지 가지게 된다.

### □ 연구개발 동향

- 현재 절삭기와 마찬가지로 육상용 착암기는 터널공사나 지반조사 등 일반 토목공사에 있어서 다양하게 적용되어 사용되고 있다. 그러나 수중공사 현장에서는 잠수사가 직접 손으로 들고 작업하는 작은 형태의 착암기가 주로 사용되고 있으며, 다관절 Boom에 접목한 대형 장비 형태로는 현재까지 개발되어 상용화된 장비는 거의 없기 때문에 본 연구를 통해 수중시공로봇에 접목이 가능한 착암기가 개발되면 다양한 해양공사 현장에서 그 활용도가 확대될 것으로 판단된다.

### □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

- (1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비용 착암기(Breaker) 개발

(2) 연차별 목표

[착암기 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 수중 유압/전기 시스템 설계 - 수중 유압 Pack 설계 및 제작	- 효율적인 동력전달의 위한 수중 유압/전기 시스템 설계 - 다목적 해수용 유압팩 설계
2차년도	- 해수용 Breaker 설계 및 제작	- 수중용 고강도 Breaker 설계 및 시제품 제작
3차년도	- 다관절 굴절 Boom 설계 및 제작	- 수중 사석고르기 장비용 굴절 Boom 설계 및 시제품 제작
4차년도	- 시제품 제작 및 현장검증시험	

(3) 주요개발내용

- 동력 전달용 수중 유압/전기 시스템 설계 및 시제품 제작
- 다목적 수중 유압 Pack 설계 및 시제품 제작
- 해수용 고강도 Breaker 설계, 시제품 제작
- 수중 사석고르기 장비용 다관절 굴절 Boom 설계 및 제작

□ 연구개발 규모

[착암기 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	288	-	288
2차년도	432	-	432
3차년도	432	-	432
4차년도	288	-	288
합계	1,440	-	1,440

## □ 성능지표 및 목표수준

항목	단위	목표수준	비고
AEM / CIMA Energy	(ft lbs)	459	
Tool Diameter	(in)	2.80	
Impact Freq.	(bpm)	600~1,850	

참조/<http://www.gorillahammers.com/breakers.shtml>

## □ 활용방안 및 기대효과

- 수중 절삭기와 마찬가지로 육상용 착암기는 터널공사나 지반조사 등 일반 토목공사에 있어서 다양하게 적용되어 사용되고 있다. 그러나 수중공사 현장에서는 잠수사가 직업 손으로 들고 작업하는 작은 형태의 착암기가 주로 사용되고 있으며, 다관절 Boom에 접목한 대형 장비 형태로는 현재까지 개발되어 상용화된 장비는 거의 없기 때문에 본 연구를 통해 수중시공로봇에 접목이 가능한 착암기가 개발되면 **다양한 해양공사 현장 중 암반에 대한 천공 목적에서 그 활용도가 확대될** 것으로 판단된다.

## 사. 준설장치(Jet Dredger)

### □ 연구개발의 필요성

- 해저면에 펄이나 연약지반으로 구성된 연안역이나 천해역에 앞에서 언급된 Water jet를 이용하여 케이블 매설이나 기타 목적으로 도랑(Trench)를 건설하여야 하는 경우, 지반물성의 특수성 때문에 절삭 후 사면에 일시적인 사태가 발생하거나 사면이 계속적으로 무너져 내려 신속하고 효율적인 도랑(Trench)을 건설하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Jet dredger가 활용될 수 있다. Jet dredger는 고압의 공기를 흡입구 내부에서 토출시키고 이때 발생하는 공기의 팽창력 및 부상력을 이용하여 흡입구 주변의 물체들을 부상시키고 흡입구와 연결된 배출구(Out-let)으로 배출시킴으로서 사면의 붕괴나 부유사에 의한 영향을 최대한 제거하면서 실질적인 준설 작업이 가능하다. 즉 Water jet에 의해 절삭, 부상된 펄 및 기타 연약 지반토양이 Jet Dredger에 의해 흡입 배출됨으로서 효율적인 준설 작업을 가능케 한다. 굴삭기 형태의 다관절 팔에 Water Jet와 더불어 수중 Jet Dredger가 부착될 경우 "항만수중 공사용 무인다목적 기계화 시공장비"는 간이 준설 기능이 탑재된 수중준설기로서 매우 효과적인 작업능율을 가져올 뿐만 아니라 위험한 환경에서 작업하는 다이버를 대체 할 수 있는 기능도 할 수 있다.

### □ 연구개발 동향

- 현재 준설기술은 해저케이블 매설공사 이외에도 토사확보나 항로확보 등 다양한 형태의 항만, 하천 공사 현장에서 반드시 필요한 토목기술의 하나이다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 준설기술은 아직 현장기술자의 경험 및 수작업에 의존하는 부분이 크기 때문에 장비의 운용이나 작업공정의 효율성이 점차 하락하는 결과를 초래하고 있다. 현재 한국해양연구원이나 몇몇 대학에서 준설공정 또는 장비개발과 관련한 연구를 수행하고 있지만 국내 저변이 매우 한정적이다. 이러한 시장요구상황에 능동적으로 대처하고 준설기술의 우위를 선점하기 위해서는 신개념 준설장비의 개발 및 효율적인 운용시스템이 반드시 필요하다. 본 연구를 통해 수중 무인 시공장비 형태의 준설장비가 개발되면 해저 케이블/파이프 라인과 같은 해양공사 이외에도 항로확보를 위한 연안 및 항만 준설, 토사확보를 위한 하천 준설 등 다양한 형태의 준설작업 공정에 효과적으로 사용될 수 있다.

## □ 연구개발 연차별 목표 및 내용

(1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비용 준설장치(Jet Dredger) 개발

(2) 연차별 목표

[준설장치 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 수중 유압/전기 시스템 설계 - 수중 유압 Pack 설계 및 제작	- 동력전달의 효율성을 향상시키기 위한 수중 유압/전기 시스템 설계 - 다목적 해수용 유압팩 설계
2차년도	- 고출력 워터펌프/워터젯트(노즐) 설계 및 제작	- 준설작업용 고출력 해수워터펌프 및 워터젯트(노즐) 설계 및 제작
3차년도	- 고출력 Suction system 설계 및 제작	- 부유물 및 준설토사 배출용 고성능 Suction system 설계 및 제작
4차년도	- 시제품 제작 및 현장검증시험	

(3) 주요개발내용

- 동력 전달용 수중 유압/전기 시스템 설계 및 시제품 제작
- 고출력 워터펌프 및 워터젯트(노즐) 설계 및 시제품 제작
- 고출력 Suction system 설계, 시제품 제작

## □ 연구개발 규모

[준설장치 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	190	-	190
2차년도	380	-	380
3차년도	570	-	570
4차년도	760	-	760
합계	1,900	-	1,900

□ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
유압 Input	압력: 170~250 bar	
	유량: 65~110 L/min	
Jetting	최대 600L/min@8bar	
Suction flow	2,000~4,000L/min	

참조: [http://f-e-t.com/images/uploads/A001-350-140\\_iss\\_1\\_Merlin%20Water%20Jet%20Suction%20System](http://f-e-t.com/images/uploads/A001-350-140_iss_1_Merlin%20Water%20Jet%20Suction%20System)

□ 활용방안 및 기대효과

- 최근 신항만 공사나 하천정비사업 등 준설기술과 장비를 필요로 하는 대형공사들이 발주되고 있으며, 기존의 준설장비나 공법이 환경적 문제를 야기하는 문제점이 제기되고 있다. 이러한 시장요구상황에 따라 친환경적인 준설기술 개발과 준설기술 부분에 대한 기술적 우위를 선점하기 위해서 신개념 준설장비개발과 이를 효과적으로 운용할 수 있는 운용시스템이 반드시 필요하다.
- 본 연구의 개발목표인 수중무인 시공장비에 탑재되는 준설장비는 **별도의 보조설비 없이 독자적으로 준설작업이 가능하므로 해저 케이블 매설용 Trench 건설 이외에도 항로확보를 위한 연안 및 항만 준설, 토사확보를 위한 하천 준설 등 다양한 준설작업 공정에 효과적으로 사용될 수 있기 때문에 시장성이 매우 크다.**

## 아. 이동식 지반조사 장치

### □ 연구개발의 필요성

- 일반적으로 구조물이 설치될 지반의 특성을 파악하기 위하여 육상에서 주로 사용되는 방법은 지반조사장비(콘관입시험기)를 이용한 지반조사이다. 지반조사장치는 지반 속에 원추형 콘을 집어 넣어 지반의 선단 및 마찰 저항력, 간극수압 등을 측정, 지반의 분포, 강도, 압밀특성을 파악하는 장비이다. 일반적으로 육상에서 사용하는 지반조사장비를 응용하여 해양에서 사용하는 경우, 수면위에서 선박이나 작업용 바지선에 시험기기를 장착해서 수심 20m이내에서만 시료를 채취할 수 있으며, 채취한 시료는 실내실험을 거쳐 취득된 자료가 있어야 해당지역의 지반 특성을 파악할 수 있는 점과 같이 제약조건 및 비용이 과다하게 발생된다. 뿐만 아니라 취득된 자료 역시 신뢰성이 떨어진다. 현재 해양연구원에서 진행되고 있는 "항만 수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비"를 위한 Up-grade 방안 중 다목적 Tool을 손쉽게 부착, 사용 할 수 있는 유압용 다관절 팔이 채택되는 경우, 다관절 팔에 지반조사장치의 로드를 장착하고 강력한 유압 관절팔을 이용하여 이동식으로 해당 지역의 지반특성을 쉽게 조사할 수 있게 된다.

### □ 연구개발 동향

- 한국해양연구원에서는 지반조사장비로 착저식 해양 콘관입시험기를 개발하여 실험역 검증실험을 마친 상태이며, 상용화를 위한 추가연구가 추진 중에 있다. 이 해양 지반조사장치는 원추형 봉형태의 관(로드)을 해저 지반 속에 삽입함으로써 해저지반 조성 및 물성을 신속하고 정확하게 측정할 수 있다. 기존의 지반조사 방법에 비해 부가 장비가 필요 없고, 원격으로 조정되는 무인 시스템이므로 작업공정의 단순화 및 자료의 신뢰성도 향상시킬 수 있다. 현재 선진국에서 사용되고 있는 해양 지반조사장비는 시험심도의 제약이나 소규모 시험기를 이용하는 방식으로 시험결과나 취득자료의 신뢰성이 떨어진다는 평가를 받아온 반면, 국내기술로 개발된 해양 지반조사장비는 표준 크기의 콘을 사용함으로써 측정결과의 신뢰성을 높이고 경제성도 갖추고 있다. 따라서 수중 사석고르기 장비에 활용 툴(Tool)의 하나로 이동식 지반조사장비를 적용하면 연안뿐만 아니라 대수심 조건에서도 해저 지반 조건의 물성파악에 있어서 경제적이고 신뢰성 있는 조사 및 분석 작업이 가능할 것이다.

□ 연구개발 연차별 목표 및 내용

(1) 최종목표 : 수중 사석고르기 장비용 이동식 지반조사장치 개발

(2) 연차별 목표

[이동식 지반조사장치 개발 연차별 목표]

연차	연구목표	내용 및 결과
1차년도	- 관입장치 연계 설계 및 제작 - 로드 자동 관입 기술	- 관입장치 및 연계기술 설계 - 로드 자동 관입 기술 설계 및 자동관입장치 제작
2차년도	- 콘정보(시그널) 확보 및 자동저장 기술 - 관입심도 자동 확인 기술	- 콘정보 확보 및 자동 저장 기술 - 관입심도 자동 측정 기술
3차년도	- 다관절 굴절 Boom 및 관입장치 연결구조 설계 - 현장검증 실험	- 다관절 굴절 Boom 및 관입장치 연결구조의 설계 및 시제품 제작

(3) 주요개발내용

- 관입장치 연계 설계 및 로드 자동 관입 기술 설계
- 콘정보(시그널) 자동 확보 및 자동 저장 기술 설계
- 관입심도 자동 측정 및 확보 기술
- 다관절 굴절 Boom 및 관입장치 연결구조 설계

□ 연구개발 규모

[이동식 지반조사장치 연구개발 규모]

(단위: 백만원)

구분	예상 정부 지원액	예상 민간 투자액	합계
1차년도	112.5	-	112.5
2차년도	562.5	-	562.5
3차년도	450	-	450
합계	1,125	-	1,125



## □ 성능지표 및 목표수준

항목	목표수준	비고
시험(관입)속도	2 cm/sec	
시험(관입)심도	15 m 이내	
지반강도	200 kPa 이내	
시험속도	15 공/일 이내	

## □ 활용방안 및 기대효과

- 현재 선진국에서 개발, 사용되고 있는 해양 콘관입 시험기는 시험심도의 제약이나 소규모 시험기를 이용하는 방식이므로 시험결과나 측정자료의 신뢰성이 떨어진다는 평가를 받아온 반면, 국내 기술로 개발된 해양 콘관입 시험기는 표준 크기의 콘을 사용함으로써 측정결과의 신뢰성을 높이고 경제성도 갖추고 있다. 따라서 수중 사석고르기 장비에 활용 툴(Tool)의 하나로 콘관입 시험기를 적용하면 연안뿐만 아니라 **대수층 조건에서도 해저 지반 조건의 물성파악에 있어서 경제적이고 신뢰성 있는 조사 및 분석작업이 가능할 것이다.**

#### 4.4 무인 사석고르기 장비 적용확대방안 연구 총괄 로드맵

구분	항목	시행년도					
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
플랫폼	유.무인 겸용	유인작업 Life Support Unit	다방향 모니터링 System				
		유인작업 Control System	무인작업 Control System	현장검증 실험			
	연약지반 용 궤도		거리감지 센서/센싱 기술 개발				
		주행 변속 장치 개발	경량 무한 궤도 개발	현장 검증 실험			
장비위치 확인				LBL System	DVL system	현장 검증 실험	
				USBL System	거동제어 및 모니터링 기술		
작업틀	워터젯	해수압 구동 피스톤/실린더 설계	고압 워터 펌프/증압기 설계	현장 검증 실험			
		해수압 제어 밸브 설계	고출력 워터젯 노즐 설계	다관절 굴절 Boom 설계			
	절삭기	수중 유압/전기 시스템 설계	고강도 Drum Head/Bit 설계				
		다목적 수중 유압 PACK 설계	다관절 굴절 Boom 설계	현장 검증 실험			
	착압기	수중 유압/전기 시스템 설계	고강도 Breaker 설계				
다목적 수중 유압 PACK 설계		다관절 굴절 Boom 설계	현장 검증 실험				
준설장치	수중 유압/전기 시스템 설계	고출력 워터펌프 및 노즐 설계					
	다목적 수중 유압 PACK 설계	고출력 Suction System 설계	현장 검증 실험				
관입시험기	관입장치 연개부분설계	관입장치 연결 구조 설계					
	로드자동관입기술설계	관입심도 자동 확인 기술	현장 검증 실험				

[무인 사석고르기 장비 적용확대방안 연구총괄 로드맵]

- 플랫폼 및 작업틀에 대하여 연차별로 총괄 로드맵을 제시하였음.
- 기존의 수중 사석고르기 장비에 부가적인 장치를 연계할 경우, 다양한 해양 구조물 건설 작업에 활용할 수 있을 것임.
- 고탁도 및 큰 조류력, 해저지반조건 등 국내 해상 및 수중환경을 고려할 경우, 본 기획에서의 적용방안이 크게 활용될 수 있을 것임.
  - 해상풍력시설을 위한 해저케이블 작업을 예를 들 경우 플랫폼 부분에서 원지반(연약지반) 이동을 위한 궤도가 필요하며, 작업틀에 있어서는 연약 지반을 위한 워터젯과 함께 비교적 단단한 지반의 굴삭 및 해저케이블 매 설을 위한 절삭기 등이 필요함.

## 5 연구개발 타당성 분석

### 5.1 정책적 타당성 분석

#### 가. 상위, 유관계획과의 연관성

- 일반적인 해양공사의 절차는 아래의 표와 같이 분류되며, 현 정부는 국가 과학기술기본계획, 즉 과학기술미래비전 2040, 해양과학기술개발계획, 제2차 해양수산업발전 기본계획, 국토해양 R&D 발전전략, 2020 해양과학기술(MT) 로드맵 등 7대분야 90개 국가중점과학기술을 선정하였으며, 과거 전통 주력산업을 대체할 새로운 융합 신산업 발굴 및 에너지·환경·교통 관련 융합 신산업 육성을 계획하고 있다. 이는 녹색기술산업, 첨단융합산업 등 새로운 산업 패러다임에 적합한 고부가가치 산업 분야에 향후 5년간 24.5조원 규모의 재정을 투입하여 국가 발전을 도모하고자 마련된 계획이다. 이 계획안에는 수중건설로봇이 필요한 해양에너지 개발 계획, 이산화탄소 포집·저장 계획 등이 포함되어 있으며, 로봇 분야의 첨단 기술을 활용하기 위한 수중 로봇 활용 기술이 포함되어 있다.
- 이는 해양수산업분야에 대한 국가 종합계획으로서, 향후 10년 동안 해양 관련 타 국가계획과 조화, 연계를 통해 효과적으로 추진하기 위한 정책 계획 기조와 세계를 주도하는 선진 해양강국 실현을 비전으로 3대 목표, 5대 추진전략으로 구성되어 있다. 이러한 국가 중점과제 중 '해저탐사 및 작업장비 개발', '무인 해저로봇 등 개발', '해저관측기지 및 수중 통신·탐지장비 개발' 등이 포함되어 있다. 이 계획안은 국가해양경쟁력 확보 및 해양국토의 관리 강화, 자원 고갈 및 지구환경 변화문제를 해결하는 핵심기술인 해양과학기술(MT)의 진흥을 위하여 수립되었으며, 중점추진과제로 ROV(원격조정장비)/AUV(자율무인잠수정)을 활용한 해양구조물의 유지, 보수 기술, 극한 해양환경에서 인간 활동을 지원하는 첨단 해양장비 개발, 수중건설로봇이 필요한 청정 해양에너지(조력, 조류, 파력 및 온도차 에너지 등) 개발, 해양광물자원 탐사, 해수담수화 기술 개발 등이 포함되어 있다.
- 한편, 지능형로봇의 개발 및 보급을 촉진하고 동 분야 산업의 지속적 발전을 위한 정부 시책 수립의 일환으로 지식경제부, 국토해양부 및 교육과학

기술부 등 8개 부처 공동 참여하고 새로운 산업 패러다임에 부합하기 위한 신산업 육성책으로 수중로봇관련 사업이 포함되어 있다. 수중로봇은 3대 제품군 중 기술선도형 제품군으로 분류되었으며, 공공수요 기반 전문 서비스 로봇 보급 및 저변확대를 위한 사업 중 하나로 해양자원 탐사·개발 및 수산자원 관리를 위한 수중로봇활용 시범사업을 제시하고 있다.

#### 나. 정부지원의 시급성 및 타당성

- 수중건설로봇을 활용한 다양한 기간산업 발전 속도에 부합하면서 국가 경쟁력을 확보하기 위해서는 정부의 적극적인 투자가 시급한 상황이다. 특히, 신재생 에너지 관련 산업 분야에서는 현재 국내뿐 아니라 전 세계적으로 해상풍력 발전설비에 대한 관련 연구 및 투자가 지속적으로 이루어져왔으며, 2015년부터는 발전설비 및 구축 시스템에 대한 가시적인 성과가 나타날 전망이다. 그럼에도 불구하고 현재 국내 해상 발전 설비나 수중 하부공사를 위한 첨단 수중건설장비에 대한 투자나 연구는 거의 전무한 실정이라고 할 수 있다. 정부의 대체 에너지 개발 및 지구온난화 저감기술 확보, 해양자원 개발 등을 위한 해양 플랜트 건설 계획이 다수 발표되어 수중건설 분야 공공수요의 급증이 예견되고 있으나, 시공에 필요한 건설장비나 수중 공사장비는 대부분 해외에서 임대하는 실정이므로 시공 장비의 국내 자립도는 매우 낮은 편이다. 따라서 장대 해상교량, 해상풍력발전소, 해저터널 등 해양개발을 위한 세계 해양 구조물 건설 수요 증대 추세와 국내 해양건설 해외수주 실적 성장 (매년 60% 이상), 높은 세계 시장 점유율(13.7%, 2010년 기준) 등에 대한 수요조건을 충족하고 해상 또는 해양산업 전반에 대한 기술적 우위를 선점하기 위해서는 독자적인 시공 기술뿐만 아니라 새로운 개념의 시공장비의 개발과 이에 대한 정부의 적극적인 연구개발 투자가 필요한 상황이다.
- 현재 정부에서 추진하고 있는 범부처 성격의 해양산업진흥 계획은 앞 절에서 설명한 바와 같이 해양에너지 개발 및 해양장비 개발을 포함하고 있으며, 이 중에서 해양장비분야 중점과제는 '해양 핵심장비 국산화 기술', '해양구조물 시공·유지보수 수중로봇 기술, 해저 극한지 수중탐사 잠수정 기술, 수중무선통신 고도화·산업화 기술, 해저플랜트 구축 기반기술로서 수중에서 활용하기 위한 로봇기술의 개발이 그 핵심이라고 할 수 있다. 이러한 정부주도의 해양기술의 성공적인 추진을 위해서는 다양한

기술의 융합 및 복합이 필요한 기술개발과 실해역 검증 인프라의 구축 등 민간주도 개발이 뒷받침되어야 한다. 즉, 해양개발을 위한 수중건설로봇은 건설, 로봇, 해양 분야의 기반기술력을 융합하는 것으로 정부의 지식 중계자 역할이 요구되며, 대규모 시험평가 및 검증을 위한 공공 인프라 및 정부의 전략적 투자가 요구된다. 현재 국내 시험평가가 가능한 수조는 주로 선박 및 항만 모형실험을 위한 수조로서 국고지원을 통한 수중건설로봇의 성능평가 시설 구축이 필요한 상태이다.

- 본 연구과제에서 추진하는 20톤~40톤 급의 수중건설로봇(장비)의 실내 시험평가 및 실해역 검증을 위한 시설 구축을 위해서는 300억원이 넘는 투자가 필요한 것으로 조사되었으며, 기계, 전기, 전자 및 정보통신과 같은 하드웨어적인 인프라뿐만 아니라 등 다학제적인 기술 융합을 위한 노력과 적극적인 투자지원이 요구된다.

## 5.2 기술적 타당성 분석

### 가. 국내 기술수준을 고려한 기술개발 성공 가능성

- 해상공사 및 수중공사용 무인 기계화장비 및 시스템 개발 기술과 관련하여, 한국해양연구원은 국토해양부의 지원을 받아 '차세대 심해용 무인잠수정 개발' 사업을 2001년 5월부터 수행해오고 있으며, 2006년에 6,000m급 심해무인잠수정 해미래(ROV: Remotely Operated Vehicle)를 진수하고 태평양 필리핀 근해 수심 5,775m 에서 성능시험을 성공적으로 수행하였다. 이와 함께 수심 20m급 공학수조용 테스트베드 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)와 100m급 천해용 이심이 100 AUV를 개발하였으며, 천해용 AUV 이심이는 2010년 8월에 (주)한화에 기술 이전하여 상용화가 추진 중에 있다. 한편, 해양연구원 시스템안전연구소에서는 심해저 광물자원을 채취용으로 무한궤도 방식으로 심해 연약지반을 주행하며 해저면 바닥에 깔려있는 망간단괴 등 자원을 채집할 수 있는 집광 로봇 및 집광 시스템 개발연구가 진행되고 있으며, 이 시스템은 2009년 6월에 경북 후포 앞바다 수심 100미터 환경에서 시험 운영을 성공적으로 수행하였다.
- 이상의 기술개발 성과 및 개발기술의 국내 이전 실적에서 알 수 있듯이, 국내에서도 항만 수중 공사용 무인 다목적 기계화 시공장비의 Up-grade를 수행할 수 있는 기술적 배경과 토대는 이미 마련되었다고 판단된다. 본 기획연구를 통해 도출된 전략추진과제는 항만수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비의 Up-grade 작업을 수행하기 위해 반드시 필요한 기술들만 도출하였으며, 기존의 기술을 이용할 수 있는 기술은 기술 이전 등의 형태로 최소한의 도입 및 적용 연구로 분류하여 연구 개발 가능성과 효율성을 높일 수 있도록 하였다.
- 해양공사 현장에서 요구되는 수중 시공장비에 대한 시장수요조건과 기술적 완성도를 검토한 결과, 항만수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 시장은 수중 구조물 시장이 성장함에 따라서 급속하게 확대되고 있으며, 최근 여러 새로운 개념의 시공 기법들이 요구되어 새롭게 개발되고 있는 상황이다. 따라서 이와 같은 국내외 시장상황에 적절하게 대응하기 위해 국내 연구기관 및 기업에서 소규모로 진행되고 있는 연구를 종합하여 기존의 유·수중 시공 기술에 대한 기존의 경험과 개발 과정 중에 축적되는 know-how로 새로운 형태(기술 및 장치)의 항만수중공사용 무인 다목적

기계화 시공장비의 Up-grade를 수행할 예정이다. 또한 핵심 전략추진과제들에 대해 중복성을 검토하여 국내에서 연구된 사항에 대해서는 기술 이전의 형태로 추진하고, 신규 개발 내용에 대해서만 중점 연구를 추진하여 중복 연구나 기존에 개발된 기술에 대한 불필요한 물적, 인적 노력을 배제하고 성공적인 결과를 도출하기 위한 계획이 요구된다.

## 나. 기술의 파급성

- 해상공사에 있어서 수중 시공로봇은 대표적인 융·복합 산업으로 후방산업의 다양한 기술의 융합을 통하여 이루어지는 부문으로 소재, 기계, 전기, 전자 등 관련산업의 동반적 발전을 가져올 수 있으며, 무엇보다 본 사업의 경우, 해상풍력발전설비 등 신재생에너지 생산 및 설비 관련 등의 기간산업현장에서 시공개선을 통한 공기단축, 공사비절감 등의 직접효과가 큰 분야로 기술개발의 산업적 파급성이 매우 높다고 할 수 있다. 수중 시공로봇에 적용되는 원거리 위치추적시스템 및 원격운용체계를 바탕으로 육상의 무인건설기계화 장비에 활용이 가능하다. 또한 수중이라는 극한환경에서 동작이 가능한 하드웨어 및 제어기술을 개발함으로써 극지방, 우주와 같은 극한조건에서의 시공방법이나 시공 장비개발을 위한 기초기술로 활용이 가능하다.



[항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비  
활용성 증대를 통한 기술 응용]

### 다. 관련기술 중복성 검토

- 사석고르기 작업용 장비의 활용성 증대방안을 고려하여 접목할 수 있는 여러 가지 작업 톨에 대한 관련 기술의 연구개발은 주로 국토해양부의 주도 하에 이루어졌으며, 현재 진행 중인 연구도 다수 포함되어 있다. (표 참조)

[수중로봇 관련 기 추진 연구개발 과제 현황]

과제명	연구수행 기관	연구기간	부처명
유압 자주식 대구경 지반 굴착기 개발	한국기계연구원	2001-2002	국토해양부
해양콘관입시험기 개발	한국해양연구원	2002-2007	국토해양부
수중항만공사 기계화 시공 장비 개발	창원대학교	2002-2008	국토해양부
차세대 심해용 무인잠수정 개발	한국해양연구원	2000-2012	국토해양부
해저지반조사장비 및 분석시스템 개발	한국해양연구원	2009-2013	국토해양부
다관절 복합이동 해저로봇 개발	한국해양연구원	2010-2016	국토해양부
항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발	한국해양연구원	2009-2014	국토해양부
심해저 광물자원 집광시스템 및 채광운용기술 개발	한국해양연구원	1994-2015	국토해양부
대구경 대수심 해상기초시스템 기술개발	한국건설기술연구원	2010-2014	국토해양부
무선원격컨트롤을 통한 육상용 무인굴삭기 개발	두산인프라코어	2007-2011	국토해양부



- 따라서 기존과제와 본 연구과제와의 중복성이나 차별성을 검토하여 효율적인 연구개발이 진행될 수 있도록 하기 위해 기존에 진행 중인 연구과제들과 본 연구의 추진항목과의 차이점을 비교하여 다음의 표로 나타냈었다. (표 참조)

[각 기존 연구과제에 대한 차별 사항]

기존 연구과제명	차별 사항
차세대 심해용 무인잠수정 개발 (국토해양부)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 과학탐사용이고 개발 장비는 수중 작업용으로 사용용도가 틀리며 아울러 다양한 수중 작업장비 연구개발 및 제작이 필요함.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교장비는 과학탐사용 ROV로 6,000m 수심에 맞게 설계되었고 또한 free-flying 모드로만 운영됨, 반면에 개발 장비는 30m 이내의 천해용이고 track 모드로 운영.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 심해 과학탐사용으로 개발되었고 개발 장비는 천해에서 수중작업을 위한 목적으로 개발되었으며 아울러 조류 등 작업환경이 심해보다 훨씬 복잡하며 이러한 어려운 점들을 극복하기 위한 수중 로봇 플랫폼 설계/제작 기술이 필요함.</li> </ul>
다관절 복합이동 해저로봇 개발 (국토해양부)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 다관절 다족을 이용한 추력에 의존하는 수중로봇 플랫폼 기술이고, 개발 장비는 트랙 플랫폼 기술임</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 수중 탐시/감시를 주 목적으로 하고 개발 장비는 수중 작업을 주 목적으로 하며 아울러 다양한 수중용 작업 장비에 대한 연구 개발 및 시제품 제작이 필요함.</li> </ul>
수중항만공사 기계화 시공장비 개발 (창원대)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 피복석 이외에도 수중 다목적 시공을 위한 툴을 구비하여 해저면 시공작업의 필수 장비로 개발</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저면 이동시스템으로 작업반경에 제한을 받지 않고, 중작업이 가능한 다목적 시공장비로 개발</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업영역 전반에 대한 수중환경 가시화 기술 및 위치 인식기술을 통해 장비 활용범위 확대 및 수중 시공관리의 차별화</li> </ul>
항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발 (해양연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 사업의 경우, 항만공사를 위한 사석고르기 시공 장비를 개발하는 것인데 반하여 본 사업의 경우에는 다양한 지반 조건에 대하여 해양 구조물시공을 위한 지반조성을 위한 장비임. (목적 면에서 큰 차이를 있음)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 다목적 툴이나 해저면 이동시스템의 경우, 비교 장비의 기법을 최대한 활용할 수 있을 것으로 예상되지만, 개발 장비는 지반조건(원지반 조건)이 다르므로 시스템의 설계방식이나 재료, 구조 등에서 차별화된 연구가 수행되어야 함.</li> </ul>

기존 연구과제명	차별 사항
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 대상 수심이 20m에 국한되는 반면, 개발 장비는 수심 30m 이상 조건을 대상으로 하고 있음.</li> </ul>
심해저 광물자원 집광시스템 및 채광운용기술 개발 (해양연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 해저 광물자원 집광 및 채광 시스템이고 개발 장비는 해저 케이블/파이프라인 매설 로봇으로 작업 목적이 틀리며 따라서 수중 작업 장비 기술에서 많은 차이를 보임.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 5,000m 수심에 맞게 설계된 반면, 개발 장비는 30m 이내의 천해용, 건설 목적으로 개발됨.</li> </ul>
무선 원격 컨트롤을 통한 육상용 무인 굴삭기 개발 (두산인프라코어)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 무인화 기술에 필요한 원격조종 구현방법 및 시계확보를 위한 센서 기술이 육상과 수중이 다름</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 운영시스템의 경우 직감형 원격제어기술의 큰 틀은 동일하나 수중 장비를 제어대상으로 하므로 접근 및 구현 방법이 서로 상이함.</li> </ul>
해양콘관입시험기 개발 (해양연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비의 경우, 수심 50m, 심도 50m를 대상으로 한 반면, 개발 장비의 대상 수심은 30m이며, 시추 심도 또한 10m 내외로 국한</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개발 장비의 경우, 해저면 착저 방식인 반면, 개발하고자 하는 장비의 경우 이동식으로 신속한 조사가 가능할 수 있는 시스템으로 구성됨.</li> </ul>
해저지반조사 장비 및 분석 시스템 개발 (해양연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 대상 수심 및 시험 심도가 각각 100m 및 50m인 반면, 개발 장비의 대상 수심은 30m이며, 시추 심도 또한 10m 내외로 국한됨.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양콘관입시험 기법이나 관입 기술 중 일부분을 활용할 수 있을 것임. 하지만, 개발하고자 하는 장비의 경우 이동식으로 신속한 조사가 가능할 수 있는 시스템으로 구성됨.</li> </ul>
대구경 대수심 해상기초시스템 기술개발 (건기연/해양연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 사업의 경우, 해양 현장타설말뚝기초의 시공을 위한 대구경 장비 개발 사업인 점이 유사하지만, 잭업바지 위에서 사용하는 육상형 장비로 해저면 착저형이 아니며, 수심이 깊은 경우 적용 불가능함</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비교 장비는 대상 수심이 20m 정도에 국한되는 반면, 개발장비는 수심 30m로 확대하고 있음.</li> </ul>
유압 자주식 대구경 지반 굴착기 개발 (기계연)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 육상 유압식 자주식 굴착기를 개발하였으며, 해당 기술을 접목하여 기존의 RCD와 PRD를 개량하여 해양 착저식 대구경 굴착 기술 개발 접목 가능</li> </ul>

### 5.3 경제적 타당성 분석

#### 가. 경제적 타당성 분석의 전제 조건

##### □ 사회적 할인율(discount rate)

- 연구개발 사업 수행의 비용과 편익은 어느 한 시점에만 발생하는 것이 아니라 보통 수년 혹은 수십 년에 걸쳐 발생하므로, 사업 수행에 대한 경제성 분석은 시점을 일정하게 놓고 이루어져야 한다. 그런데 통상 경제적 타당성 분석은 현재시점에서 평가가 이루어지는데, 적정 사회적 할인율을 추정하는 작업은 매우 복잡하므로 굳이 새롭게 추정하는 것보다는 한국개발연구원(KDI)에서 제시하고 있는 사회적 할인율 (2011년 12월 현재 5.5%)을 이용하는 것이 효과적이다. 따라서 본 연구에서도 KDI에서 사용하고 있는 5.5%의 사회적 할인율을 적용하였다.

##### □ 분석 기간(planning horizon)

- 연구개발 사업의 경제적 타당성을 평가하기 위해서는 사업 수행기간이 아니라 해당 사업의 효과가 몇 년이나 지속될 것인지를 의미하는 분석기간, 즉 비용편익 분석의 대상 기간을 결정해야 한다. 또한 분석 기간에 걸쳐 균일하게 효과가 발생하기도, 하고 비균일하게 효과가 발생하기도 하는데, 이러한 부분에 대해서는 적절한 가정을 토대로 모형을 설계해야 한다. 분석 기간을 너무 짧게 잡으면 사업의 효과가 제대로 반영되지 못하는 문제점이 발생하고, 반대로 너무 길게 잡으면 비용 또는 편익 측정에서의 불확실성(Uncertainty)이 너무 커져 결과 자체를 신뢰하기 어렵게 된다. 분석 기간에 대하여 최적으로 설정하는 것 또한 연구의 중요한 이슈이다. 그러므로 해당 기술분야의 R&D 전문가, 사업전문가 등의 의견을 토대로 적절하게 분석 기간을 설정해야 하며, 연구개발 사업 기간과 연구개발 사업 기간이 종료된 후 편익이 발생하는 기간으로 구분하여 설정해야 한다.
- KISTEP(2011) 「예비타당성조사를 위한 지식기반 및 분석시스템 구축」에서는 2000년부터 2009년까지 미국등록 특허 155만여 건의 인용정보를 이용해 국제 특허분류(IPC; International Patent Classification) 클래스별 기술수명주기 중위수(median)를 산정하여 제시한 바, 이에 근거하여 편익 발생 기간을 결정하는 것이 논리적으로 근거를 가진다고 할 수 있다. IPC 분류

중 '기계요소 또는 단위 : 기계 또는 장치의 효율적 기능을 발휘하고 유지하기 위한 일반적인 수단(F16)'이 본 사업과 가장 밀접하며 이에 해당하는 기술수명주기는 13년으로 산출되기에 이 값을 적용하였다. 경제성 분석 대상기간은 사업기간과 기술수명주기를 합친 2013년부터 2031년까지 19년간이다.

- 사업완료 후 2019년~2031년 동안, 즉 13년간 편익이 발생한다고 가정함.

□ 기준년도(base year)

- 경제적 타당성 평가에서 편익과 비용이 제각기 다른 시점에서 발생되므로, 사회적 할인율을 이용하여 비교 가능한 동일시점의 가치로 일치시켜야 한다. 본 연구에서는 비용-편익분석의 기준 시점을 본 보고서 작성 시점의 전년도 말에 해당하는 2011년 12월말 기준으로 통일하여 평가하였다.

## 나. 비용 추정

□ 비용의 구성

- 편익을 발생시키기 위한 총비용은 사업비, 예비비, 인건비, 시설유지관리, 장비재투자비, 잔존가치로 구성됨. 그러나 동 사업은 연구사업으로서 사업비와 예비비만을 계상하여 경제성 분석에 반영하도록 하도록 함. 인건비, 시설유지관리비, 장비재투자비 등에 대해서는 사업기여율의 분모에 반영하여 나누어 줌.

## [비용 추정 결과]

(단위: 억원)

연도	사업비	예비비	인건비	시설유지 관리비	장비 재투자비	잔존가치	비용합계
2013	157.2	1.2					85.3
2014	229.3	10.9					321.8
2015	322.9	10.4					329.5
2016	295.5	5.2		(시설구축)	(초기투자)	(기반구축)	301.0
2017	230.4						201.3
2018	139.9						214.9
2019			(11.0)	(3.5)			(132.7)
2020			(11.0)	(3.5)			(51.6)
2021			(11.0)	(3.5)			(51.7)
2022			(11.0)	(3.5)	(19.0)		(25.8)
2023			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2024			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2025			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2026			(11.0)	(3.5)			(33.5)
2027			(11.0)	(3.5)	(19.0)		(14.5)
2028			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2029			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2030			(11.0)	(3.5)			(14.5)
2031			(11.0)	(3.5)		(-96.9)	(33.5)
합계	1,375.1	27.8	(143.0)	(45.5)	(38.0)	(-96.9)	(1,845.4)

[연구사업비의 구성]

(단위: 백만원)

개발 항목	1차년 (2013)	2차년 (2014)	3차년 (2015)	4차년 (2016)	5차년 (2017)	6차년 (2018)	소계
기본플랫폼	575	345	230				1,150
유무인 검용	375	225	150				750
트랙 positioning		342	342	228	228		1,140
워터젯	622	933	1244	622			3,421
절삭기		448	672	672	448		2,240
착암기			288	432	432	288	1,440
준설장치			190	380	570	760	1,900
콘관입기			112.5	562.5	450		1,125
합계	1,572	2,293	3,229	2,955	2,304	1,399	13,751

다. 편익 추정

□ 편익 추정의 전제조건

○ 편익 추정 과정에서 적용한 전제 조건에 대해 검토한 결과는 다음과 같음.

구분	적용 값	근거
편익 발생기간	13년	KISTEP의 「첨단수중시공로봇 연구개발 사업 예비타당성조사 보고서(2011. 7)」에서 산정한 값을 적용
사회적 할인율	5.5%	KDI에서 발간한 예비타당성조사 일반지침(제5판)에 따라 5.5%를 적용
R&D 기여도	28.1%	R&D 사업에 대한 KISTEP 예비타당성조사에서 널리 통용되고 있는 28.1% 적용. <b>최종 매출에 대한 R&amp;D 기여도는 10.9%(하준경, 2005)와 28.1%(신태영, 2004) 두 가지 수치를 모두 적용할 수 있으나, 동 보고서에는 우선 28.1%를 사용함.</b>
기술개발(사업화) 성공률	39.7%	KISTEP의 「첨단수중시공로봇 연구개발 사업 예비타당성조사 보고서(2011. 7)」에서 산정한 값 적용
본 사업기여율	8.8%	<b>동 사업의 총 규모는 137.5억 원으로서, 전체 R&amp;D 및 사업비에서 동 사업이 차지하는 규모를 39.3%로 가정함. 이는 2013년 현재 진행 중인 수중장비 관련 R&amp;D 총 사업비가 349.5억 원<sup>*)</sup>이므로, 이를 고려하여 산정한 것임.</b>
부가가치율	26.1%	KISTEP의 「첨단수중시공로봇 연구개발 사업 예비타당성조사 보고서(2011. 7)」에 따라 가장 최근에 발간된 2009년 한국은행 산업연관표 기본부문 403부문 표 중 '건설 및 광물처리기계(분류번호 233)' 및 '기타 특수목적용 기계(분류번호 239)'의 부가가치율

(\*) 수중장비(로봇) 관련 R&D (2013년 기준) : 다관절 복합로봇 (160억원), 항만점검용 장비(39억원), 항만사석고르기장비(13억원) 포함

- 부가가치율의 경우 다음과 같이 26.1%로 산정됨.

[부가가치율의 산정과정]

(단위: 백만원)

구분	건설 및 광물처리 기계	기타 특수목적용 기계	합계
부가가치	1,487,040	2,276,202	3,763,242
총투입액	5,436,675	8,975,400	14,412,075
부가가치율	27.4%	25.4%	26.1%

자료: 2009년도 산업연관표, 한국은행, 2011

#### □ 편익 추정의 원칙

- 본 사업의 수행을 통한 결과물은 크게 1) 국내 시장에서 발생 가능한 편익과 2) 해외 시장에 진출하여 발생할 수 있는 편익으로 구분된다. 본 연구에서는 국내 시장에서 발생 가능한 편익만을 다루는 시나리오 1과 국내시장뿐만 아니라 해외 시장 진출까지도 포함하여 편익을 다루는 시나리오 2로 구분하여 편익을 추정하고자 하였다. 이는 소위 시장수요 접근법을 적용하여 편익을 추정하되 부가가치 (value-added) 창출의 관점에서 경제적 편익을 평가하고자 한 것으로, 편익 추정에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 편익의 개념이 예비타당성조사 일반지침 제 5판에 부합해야 하는 것이며, 편익 항목 간 이중계산의 문제가 없어야 한다는 것이므로, 편익 추정에 있어서 이 원칙을 견지하여 추정하였다.

#### □ 편익 추정대상 시장의 설정

- 본 연구에서는 편익 추정대상 시장을 1. 해상풍력 발전, 2. 조력/조류/파력 발전, 3. 해저케이블, 4. 준설공사, 5. 항만 등으로 구분하여 설정하였음.

#### □ 편익 추정방법

- 수중건설로봇과 관련된 미래 시장은 1. 해상풍력 발전, 2. 조력/조류/파력 발전, 3. CCS (수송 및 저장), 4. 장대교량, 5. 수중터널, 6. 해저케이블, 7.

준설공사, 8. 기타 해양플랜트, 9. 항만, 10. ROV 제품 시장 등 현재는 시장이 충분히 형성되지 않았지만, 미래에는 시장규모가 급격하게 성장할 것으로 예상되는 해양 건설·시공 분야이다. 1~10에 이르는 각각의 세부 시장에서 발생하는 편익을 중복되지 않게 추정하는 것이 편익 추정의 중요한 관건이 될 것으로 판단된다.

- 이러한 시장에서 해상 시공비 비중과 해상 시공비 중 수중건설로봇 비용 비중을 고려하여 각 분야별로 수중건설로봇 관련 미래 시장규모를 추정할 수 있다.

수중건설로봇 관련 미래 시장규모  
 = 해당 건설·시공의 전체 시장규모 × 전체 시장 중 해상 시공비 비중  
 × 해상 시공비 중 수중건설로봇 비용 비중

- 본 연구에서는 시공비 및 수중로봇 비중의 경우, 각 해상 건설·시공 분야별로 해상 시공비 비중과 해상 시공비 중 수중건설로봇 비용 비중을 도출하였으며, 해상풍력 발전이나 해저케이블의 경우 전체 공사금액 중 수중로봇의 비중이 약 17% 이내이므로 모든 시장분야에 대해서 16.8%로 가정하여 적용하였다.

[전체 공사금액 중 수중건설로봇이 차지하는 비중]

추정대상 시장	전체 시장 중 해상 시공비 비중(%)	해상 시공비 중 수중로봇 비중(%)	전체 공사금액중 수중로봇의 비중(%)
1. 해상풍력 발전	48.0%	35.0%	16.8%
3. 해저케이블	34.0%	50.0%	17.0%

- 국내 수중건설로봇 시장은 규모도 작고 외산 로봇이 장악하고 있으며, 유사사례도 찾기 어려운 점이 있다. 본 R&D 결과물의 시장점유율을 예측하는 것은 현실적으로 매우 어려운 작업이라 할 수 있다.
- 국내 시장의 경우 KISTEP의 「첨단수중시공로봇 연구개발 사업 예비타당성 조사 보고서(2011. 7)」에서 사업 완료 후 1차년도의 10%에서 13차년도까지



지의 70%까지 시장 점유율을 적용하였으나, 본 사업이 성공적으로 완료되면 편익 발생기간의 중간 시점인 2029년부터는 국내 시장의 70%를 점유할 것으로 예상되므로 사업 완료 후 1차년도인 2020년에서 시작하여 매년 10%p씩 국내 시장 점유율이 상승하여 **2025년**이 되면 70%의 점유율을 달성한 후 2035년까지 이 점유율이 유지되는 것으로 가정하였다.

- 해외 시장의 경우 해양플랜트 해외수출 실적이 매년 60% 이상 성장하고 있으며 세계 시장 점유율이 2010년 기준(지식경제부 2011. 1) 13.7%임을 감안하여 사업완료 직후인 2019년에 5%의 시장 점유율을 차지한 후 편익 발생 마지막 연도인 2031년에 15%의 시장 점유율을 달성하는 것으로 가정하였다.

[R&D 사업의 결과물인 수중건설로봇의 시장 점유율 추정결과]

연도	세계 시장	국내 시장
2019	5.0%	10%
2020	5.8%	20%
2021	6.7%	30%
2022	7.5%	40%
2023	8.3%	50%
2024	9.2%	60%
2025	10.0%	70%
2026	10.8%	70%
2027	11.7%	70%
2028	12.5%	70%
2029	13.3%	70%
2030	14.2%	70%
2031	15.0%	70%

○ 시장수요 접근법은 다음과 같이 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{연간 경제적 편익} &= \text{미래 시장 규모} \\
 &\times \text{예상 시장 점유율} \\
 &\times \text{사업기여율 (8.8\%)} \\
 &\times \text{R\&D 기여율 (28.1\%)} \\
 &\times \text{R\&D 사업화 성공률 (39.7\%)} \\
 &\times \text{부가가치율 (26.1\%)}
 \end{aligned}$$

□ 해상풍력 발전 부문 부가가치 창출편익

○ 2019년 세계 시장 규모는 'New Energy Finance, 2010, EWEA' 자료를 바탕으로 연 평균 성장률을 적용하면 약 93조원정도이며, 국내에서는 2019년까지 9조 2,500억 원을 투자할 계획이며, 2019년 국내 시장은 최소 연간 5,700억 원 정도로 예상된다. 연평균 성장률은 EWEA (2010)이 제시한 48%를 적용하기에는 시장의 포화도를 고려하여야 하기 때문에 평균 성장률을 보수적으로 15%로 적용하였으며, 전체 시장 중 해상 공사비용은 데이터를 바탕으로 산정하고 공사금액 중 수중로봇의 비중은 16.8%로 적용함.

[해상풍력 발전 부문 부가가치 창출편익]

(단위: 억원)

연도	세계시장규모	국내시장 규모	세계시장중 첨단수중시공 로봇규모	국내시장중 첨단수중시공 로봇규모	세계시장 편익	국내시장 편익	합계
2019	931,958	5,718	156,569	961	90	1	91
2020	1,071,751	6,575	180,054	1,105	103	1	104
2021	1,232,514	7,561	207,062	1,270	119	1	120
2022	1,417,391	8,696	238,122	1,461	136	2	138
2023	1,630,000	10,000	273,840	1,680	157	2	159
2024	1,874,500	11,500	314,916	1,932	211	4	215
2025	2,155,675	13,225	362,153	2,222	277	8	284
2026	2,479,026	15,209	416,476	2,555	358	12	370
2027	2,850,880	17,490	478,948	2,938	457	17	474
2028	3,278,512	20,114	550,790	3,379	579	23	602
2029	3,770,289	23,131	633,409	3,886	726	31	757
2030	4,335,832	26,600	728,420	4,469	904	36	940
2031	4,986,207	30,590	837,683	5,139	1,120	41	1,161
합계	32,014,537	196,408	5,378,442	32,997	5,236	180	5,416

## □ 조력/조류/파력 발전 부문 부가가치 창출편익

- 2019년 세계 시장 규모는 현재 조사되어진 자료를 기반으로 할 경우, 개발 계획이 있는 조력발전 시장만 가지고 접근하였으며, 2019년 시장규모는 19.5조로 시설용량과 시설비용을 근거로 산출하였다. 연간시장은 총 시장 규모의 10년으로 나눈 값임.
  - 총 시장규모 : 170.5GW × 18억/MW = 307조
  - 연간음벼시장규모 : 30.7조
- **2019년** 국내 시장 규모는 산은경제연구소 자료를 인용하여 연간 5,720억 원, 연평균 성장률은 Greenpeace의 세계 해양에너지 시장 전망자료를 근거로 2020년부터 2030년까지의 평균 성장률이 12%로 추정하고 있으며, 전체 공사금액 중 수중로봇의 비중은 해상풍력 시장을 기준으로 16.8%로 가정하여 적용하였다.

[조력/조류/파력 발전 부문 부가가치 창출편익]

(단위: 억원)

연도	세계시장규모	국내시장 규모	세계시장중 첨단수중시공 로봇규모	국내시장중 첨단수중시공 로봇규모	세계시장 편익	국내시장 편익	합계
2019	195,104	5,720	32,777	961	19	1	20
2020	218,517	6,406	36,711	1,076	21	1	22
2021	244,739	7,175	41,116	1,205	24	1	25
2022	274,107	8,036	46,050	1,350	26	2	28
2023	307,000	9,000	51,576	1,512	30	2	31
2024	343,840	10,080	57,765	1,693	39	4	42
2025	385,101	11,290	64,697	1,897	49	7	56
2026	431,313	12,644	72,461	2,124	62	10	72
2027	483,070	14,162	81,156	2,379	78	14	91
2028	541,039	15,861	90,895	2,665	95	18	114
2029	605,964	17,764	101,802	2,984	117	24	141
2030	678,679	19,896	114,018	3,343	142	27	168
2031	760,121	22,284	127,700	3,744	171	30	201
합계	5,468,593	160,317	918,724	26,933	872	140	1,011

□ 해저케이블 부문 부가가치 창출편익

- **2019년** 세계 해저케이블 시장은 7조 418억원 규모로 추정하며, 2012년 30억불 규모에서 연평균 성장률은 시장의 포화도를 고려하여 10%로 보수적으로 적용하였다.
- 2019년 국내 시장 규모는 151억원 해저케이블 매설 시장을 독점하고 있는 KT서브마린의 매출 규모를 기반으로 추정하였으며, 2019년부터 시장 성장률은 세계 해저케이블 시장의 포화도와 KT서브마린의 매출증가를 고려하여 5%로 하고, 전체 공사금액 중 수중로봇의 비중은 해상풍력 시장을 기준으로 16.8%로 가정하여 적용하였다.

[해저케이블 부문 부가가치 창출편익]

(단위: 원)

연도	세계시장규모	국내시장 규모	세계시장중 첨단수중시공 로봇규모	국내시장중 첨단수중시공 로봇규모	세계시장 편익	국내시장 편익	합계
2019	70,418	124	11,830	21	7	0.0	7
2020	73,939	131	12,422	22	7	0.0	7
2021	77,636	137	13,043	23	7	0.0	8
2022	81,518	144	13,695	24	8	0.0	8
2023	85,594	151	14,380	25	8	0.0	8
2024	89,874	159	15,099	27	10	0.1	10
2025	94,367	167	15,854	28	12	0.1	12
2026	99,086	175	16,646	29	14	0.1	14
2027	104,040	184	17,479	31	17	0.2	17
2028	109,242	193	18,353	32	19	0.2	20
2029	114,704	203	19,270	34	22	0.3	22
2030	120,439	213	20,234	36	25	0.3	25
2031	126,461	224	21,246	38	28	0.3	29
합계	1,247,320	2,205	209,550	370	186	1.7	187

## □ 준설시장 부문 부가가치 창출편익

- 2019년 세계 준설 시장은 21조 1,765억원 규모로 추정하고, 2008년과 2010년의 시장자료를 근거로 성장률 3%를 고려하여 계상하였다.
- 2019년 국내 시장규모는 9,053억원 규모로, 대한전문건설협회의 자료를 바탕으로 선형회귀하여 계상하였으며, 2019년부터 시장성장률은 세계 준설시장 성장률 3%, 국내 시장 성장률 5%, 전체 공사금액 중 수중로봇의 비중은 해상풍력 시장을 기준으로 16.8%로 가정하여 적용하였다.

[준설시장 부문 부가가치 창출편익]

(단위: 억원)

연도	세계시장 규모	국내시장 규모	세계시장중 첨단수중시공 로봇규모	국내시장중 첨단수중시공 로봇규모	세계시장 편익	내시장 편익	합계
2019	211,765	9,053	35,576	1,521	20	2	22
2020	218,118	9,506	36,644	1,597	21	2	23
2021	224,661	9,981	37,743	1,677	22	2	24
2022	231,401	10,480	38,875	1,761	22	2	24
2023	238,343	11,004	40,042	1,849	23	2	25
2024	245,493	11,554	41,243	1,941	28	4	32
2025	252,858	12,132	42,480	2,038	32	7	39
2026	260,444	12,739	43,755	2,140	38	10	47
2027	268,257	13,375	45,067	2,247	43	13	56
2028	276,305	14,044	46,419	2,359	49	16	65
2029	284,594	14,746	47,812	2,477	55	20	75
2030	293,132	15,484	49,246	2,601	61	21	82
2031	301,926	16,258	50,724	2,731	68	22	90
합계	3,307,296	160,356	555,626	26,940	481	123	604

□ 항만 부문 부가가치 창출편익

- 2019년 세계 시장에서 국내 기업의 수주 규모는 '해외건설협회 연도별 통계연보'의 수주 자료를 바탕으로 연 평균 성장률 28.81%를 적용하면 약 24조5,835억원 예상되며, 2019년 국내 시장 규모는 '국토해양통계 연보' 자료를 바탕으로 연평균 성장률 6.79%를 적용하면 약 국내에서는 2019년까지 4조1,740억원 예상된다.
- 연평균 성장률은 2006년부터 2010년까지의 국내·외 성장률을 적용하기보다는 시장의 포화도를 고려하여 평균 성장률 세계시장은 14%, 국내시장은 3.5%로 보수적으로 적용하고, 전체 공사금액 중 수중로봇의 비중은 해상풍력 시장을 기준으로 16.8%로 가정하였다.

[항만 부문 부가가치 창출편익]

(단위: 억원)

연도	세계시장규모 (국내수주규모)	국내시장 규모	세계시장중 첨단수중시공 로봇규모	국내시장중 첨단수중시공 로봇규모	세계시장 편익	국내시장 편익	합계
2019	245,835	41,740	41,300	7,012	24	8	32
2020	280,252	43,201	47,082	7,258	27	8	35
2021	319,487	44,713	53,674	7,512	31	9	39
2022	364,215	46,278	61,188	7,775	35	9	44
2023	415,205	47,898	69,754	8,047	40	9	49
2024	473,334	49,574	79,520	8,329	53	19	72
2025	539,600	51,310	90,653	8,620	69	30	99
2026	615,144	53,105	103,344	8,922	89	41	130
2027	701,265	54,964	117,812	9,234	113	53	165
2028	799,442	56,888	134,306	9,557	141	66	207
2029	911,364	58,879	153,109	9,892	175	79	255
2030	1,038,955	60,940	174,544	10,238	217	82	299
2031	1,184,408	63,073	198,981	10,596	266	85	351
합계	6,678,716	496,630	1,122,024	83,434	1,279	498	1,777

## 라. 경제성 분석

### □ 경제성 분석의 개요

- 경제성 분석은 편익/비용 비율 (B/C ratio), 순현재가치 (NPV), 내부수익률 (IRR) 등의 계산을 통하여 사업의 경제성을 파악하는 과정이며, 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석을 수행함.

### □ 경제성 분석 기법

- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 가장 큰 대안을 선택하는 방법임.
  - 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재년도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 '현재 가치화'라고 함.
  - 각 사업의 편익-비용비는 현재 가치로 환산된 편익과 비용으로 나타내는 것이 일반적이며 일반적으로 편익/비용 비율이 1.0보다 크면 경제성이 있다고 판단

$$B/C \text{ ratio} = PV \text{ of } B / PV \text{ of } C_t$$

- 그러나 위 식에서 보듯이 편익/비용비율(B/C ratio)은 사업의 비용 1단위당 편익이 얼마인가를 보여주는 것이므로 자연히 소규모 사업이 상대적으로 높은 편익/비용 비율을 갖게 되는 경우가 많으며 비용과 편익을 명확히 구분하기 어려울 때가 많음.
- 따라서 사업의 우선순위를 결정하는 데 있어 편익/비용 비율기준만으로 큰 의미가 있다 할 수 없음.
- 순현재가치(Net Present Value: NPV)는 현재가치로 환산된 장래의 연차별 순편익의 합계에서 초기 투자비용 및 현재가치로 환산된 장래의 연차별 비용의 합계를 뺀 값을 의미함. NPV>0이면 경제성이 있다고 판단함.

$$NPV = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{NB_n}{(1+r)^n} \quad n = 1, 2, \dots, N$$

여기서, I : 투자액, NB : 순편익, r : 사회적 할인율, N : 경제성 분석 기간

- 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)은 편익과 비용의 합계가 동일하게 되는 수준의 현재가치 할인율을 의미함.

- 즉, 어떤 사업의 순현재가치의 값을 '0'으로 하는 특정한 값의 할인율을 의미함. 내부수익률이 시장이자율보다 높은 경우 혹은 공공사업에 대해 사회적으로 용인할 수 있는 이자율보다 높게 나타나면 그 사업은 타당성이 있다고 평가를 함.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{NB_n}{(1+\Pi)^n}$$

여기서, I : 투자액, NB : 순편익,  $\Pi$  : 내부수익률, N : 경제성 분석 기간

- 각 방안별 문제점을 간략하게 지적하면 우선, B/C ratio와 IRR을 사용함에 있어 애매한 경우가 다소 있음.

- 구체적으로 B/C ratio는 재투자 비용이 드는 사업을 평가함에 있어 재투자 비용을 비용으로 산정할 것인지 혹은 음의 수익으로 산정할 것인지에 따라 다른 값을 가짐.
- IRR은 사업규모가 다른 경우 IRR만으로는 우열을 가리기 힘들다는 문제가 있으며 사업간 상호 독립적이란 가정 하에 도출하는데, 만약 사업간 상호배타적인 경우, 즉 경쟁적 관계의 사업에서 다수의 IRR을 가지는 경우가 발생할 수 있는 문제점이 있음.
- IRR 및 B/C ratio의 문제점으로 인해 일반적으로 NPV가 우월하다고 알려져 있지만, NPV 또한 예산상 제약이 있는 경우 한계가 있음.
- 대규모사업이 소규모사업에 비해 큰 순현재가치가 발생하게 되어 대규모사업이 통상 유리하게 평가되는데, 예산제약으로 인해 하나의 대규모 사업과 여러 개의 소규모 사업 중 선택해야 하는 경우가 있는데, 이 경우 NPV는 올바른 평가를 수행할 수 없음.



## □ 분석 시 전제 사항

- 경제성 분석에 있어 비용과 편익은 모두 사회적 비용 및 편익으로 간주할 수 있는데, 일반적으로 공공 투자시설의 경우 비용은 실질적으로 투자되어 사용된 비용을 계상하는 반면 편익은 회수 방법을 통한 실제 수익이 아닌 사회적 편익을 기준으로 함.
- 본 연구에서도 먼저 비용 및 편익을 산정하고 이로부터 사업의 경제성을 분석함.
  - 본 사업의 투자기간은 2013년부터 2022년까지이며, 편익은 2023년부터 2035년까지 발생하여, 2013년부터 2035년까지가 경제성 분석 대상 기간임.
  - 현재가격은 2010년 12월을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 적용하고 본 사업은 그 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면, 편익은 건설 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가함.
- 사회적 할인율
  - 비용과 편익의 미래 흐름을 비교하기 위하여 사용되는 할인율은 자원의 기회비용, 즉 투자 사업에 사용된 자본이 다른 투자 사업에 사용되었을 경우 얻을 수 있는 수익을 추정하게 할 뿐 아니라 사람에 따라 혹은 사회에 따라 그리고 시대에 따라 다를 수 있는 시간의 객관적인 가치를 나타냄.
  - 할인율 개념의 적용에 있어서는 많은 이견이 있으나 특정 투자 사업이 정부에 의해 주도되는 경우에는 사회적 할인율의 개념을 적용하고, 민간자본에 의해 추진되는 경우에는 시장이자율에 근거한 재무적 할인율을 적용하는 것이 일반적임.
  - 사회적 할인율은 통상 시장이자율보다 낮은 수준으로 책정되는데 그 이유는 사회적 할인율을 사용하여 사업타당성을 평가하는 주체가 주로 정부이며 정부로서는 미래사업의 중요성이 더 높게 평가되어야 하기 때문임.

- 대부분의 국가는 투자사업의 특성에 따른 할인율을 자국의 경제성장률, 물가상승률, 경제적 잠재능력 등을 고려하여 개괄적인 방법으로 정부가 추정하여 사용하고 있는데 일반적으로 개발도상국 사회간접자본의 경우는 7~8% 이상, 선진국의 경우는 보통 5~6% 수준을 적용하고 있음.
- 본 연구에서는 KDI의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침』(제5판)에 의거하여 5.5%를 적용

□ 총 편익 추정 결과

(단위: 억원)

연도	해상풍력			조력/조류/파력			해저케이블			준설			항만		
	세계 시장 편익	국내 시장 편익	합계	세계 시장 편익	국내 시장 편익	합계	세계 시장 편익	국내 시장 편익	합계	세계 시장 편익	국내 시장 편익	합계	세계 시장 편익	국내 시장 편익	합계
2019	90	1	91	19	1	20	7	0.0	7	20	2	22	24	8	32
2020	103	1	104	21	1	22	7	0.0	7	21	2	23	27	8	35
2021	119	1	120	24	1	25	7	0.0	8	22	2	24	31	9	39
2022	136	2	138	26	2	28	8	0.0	8	22	2	24	35	9	44
2023	157	2	159	30	2	31	8	0.0	8	23	2	25	40	9	49
2024	211	4	215	39	4	42	10	0.1	10	28	4	32	53	19	72
2025	277	8	284	49	7	56	12	0.1	12	32	7	39	69	30	99
2026	358	12	370	62	10	72	14	0.1	14	38	10	47	89	41	130
2027	457	17	474	78	14	91	17	0.2	17	43	13	56	113	53	165
2028	579	23	602	95	18	114	19	0.2	20	49	16	65	141	66	207
2029	726	31	757	117	24	141	22	0.3	22	55	20	75	175	79	255
2030	904	36	940	142	27	168	25	0.3	25	61	21	82	217	82	299
2031	1,120	41	1,161	171	30	201	28	0.3	29	68	22	90	266	85	351
합계	5,236	180	5,416	872	140	1,011	186	2	187	481	123	604	1,279	498	1,777

○ 각 편익에 대한 현가를 아래 표와 같이 구할 수 있음.

[5개 각 부문 창출편익 정리]

(단위: 억원)

년도	해상풍력		조력		해저케이블		준설		항만		전체	
	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가	국내 시장 편익 현가	전체 시장 편익 현가
2019	1	62	1	14	0	10	1	41	6	25	8	152
2020	1	68	1	15	0	10	1	40	5	27	8	159
2021	1	74	1	15	0	10	1	39	5	28	8	167
2022	1	81	1	16	0	11	1	38	5	30	8	176
2023	1	88	1	17	0	11	1	37	5	32	8	185
2024	2	113	2	22	0	12	2	45	10	45	17	237
2025	4	142	3	28	0	14	3	52	15	58	25	294
2026	5	175	5	34	0	16	5	60	19	72	34	356
2027	7	212	6	41	0	17	6	67	24	87	43	424
2028	10	256	8	48	0	19	7	73	28	103	52	499
2029	12	305	10	57	0	21	8	80	32	120	62	582
2030	14	359	10	64	0	22	8	83	31	134	63	662
2031	15	420	11	73	0	24	8	86	31	149	64	751
합계	74	2,354	59	444	1	196	53	741	216	910	403	4,645

□ 총 비용 추정 결과

○ 동 연구사업의 총 비용 추정 결과는 아래 표와 같음.

[총 사업비용 (사업비와 예비비만 계상) 추정]

(단위: 억원)

연도	사업비	예비비	비용합계	총비용현가
2013	15.7	0.1	15.8	15.0
2014	22.9	1.1	24.0	21.6
2015	32.3	1.0	33.3	28.3
2016	29.6	0.5	30.1	24.2
2017	23.0	0.0	23.0	17.6
2018	14.0	0.0	14.0	10.1
합계	137.5	2.8	140.3	116.8

□ 경제성 분석 결과

○ 비용-편익 분석에서 일반적으로 편익-비용 비율>1일 경우 경제적 타당성이 있는 것으로 판단됨.

- 본 사업의 경우 순현재가치는 0보다 크며, 편익/비용비율이 1.0을 상회함.

- 따라서 본 사업은 경제적 타당성을 확보하는 것으로 평가됨.

[경제성 분석 결과]

경제성 분석	순현재가치 (단위: 억원)	편익/비용 비율
국내시장만 고려 (시나리오 1)	286.1	403.0/116.9 = 2.4
해외시장도 함께 고려 (시나리오 2)	4,528	4,644.9/116.9 = 38.8

○ 비용 및 편익의 흐름은 다음 표와 같음.

[비용 및 편익의 흐름]

(단위: 억원)

연도	비용		편익1 (국내시장 편익)		편익2 (국내외시장 편익)		순편익1		순편익2	
	값	현재 가치	값	현재 가치	값	현재 가치	값	현재 가치	값	현재 가치
2013	15.8	15.0					-15.8	-15.0	-15.0	-15.0
2014	24.0	21.6					-24.0	-21.6	-21.6	-21.6
2015	33.3	28.3					-33.3	-28.3	-28.3	-28.3
2016	30.1	24.2					-30.1	-24.2	-24.2	-24.2
2017	23.0	17.6					-23.0	-17.6	-17.6	-17.6
2018	14.0	10.1					-14.0	-10.1	-10.1	-10.1
2019			4.0	8.3	184.7	152.4	4.0	8.3	184.7	152.4
2020			12.4	8.3	240.7	159.5	12.4	8.3	240.7	159.5
2021			13.1	8.3	266.0	167.4	13.1	8.3	266.0	167.4
2022			13.9	8.3	295.1	176.2	13.9	8.3	295.1	176.2
2023			14.7	8.3	328.1	185.4	14.7	8.3	328.1	185.4
2024			22.0	16.8	423.4	236.9	22.0	16.8	423.4	236.9
2025			40.4	25.4	558.3	293.8	40.4	25.4	558.3	293.8
2026			61.0	34.1	716.7	355.7	61.0	34.1	716.7	355.7
2027			84.4	43.1	904.4	423.9	84.4	43.1	904.4	423.9
2028			110.9	52.5	1,126.7	498.7	110.9	52.5	1,126.7	498.7
2029			141.0	62.1	1,389.7	582.2	141.0	62.1	1,389.7	582.2
2030			163.2	63.2	1,683.6	661.7	163.2	63.2	1,683.6	661.7
2031			175.6	64.4	2,016.0	751.0	175.6	64.4	2,016.0	751.0
합계	140.3	116.9	856.6	403.0	10,133.3	4,644.9	716.3	286.1	10,016.4	4,528.0



## 6 기대효과 및 활용방안

### 6.1 기대효과

#### 가. 기술적 기대효과

- 해상공사 및 수중 건설현장의 무인화로 현장작업의 안정성 향상과 극한 환경에서 시공 장비운영 및 건설 기술력 확보 가능하고 수중건설로봇의 개발을 통하여 향후 해양 로봇 기술 개발을 위한 기술력 축적이 가능하다. 국내 수중무인장비 기술력 축적은 국방 분야 기술개발 사업이 주를 이루어 왔으며, 민수 분야는 항만공사용 장비개발, 해양 탐사를 위한 로봇개발 및 원천기술 확보를 위한 기술개발이 대부분이다. 중점적으로 기술개발이 진행된 분야는 전기모터 기반의 해중 매니퓰레이터 및 추진시스템 개발, 항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발, 수중항만공사 기계화 시공장비 개발, 무선 원격 컨트롤을 통한 육상용 무인굴삭기 개발, 대구경 굴착 시스템, 해저지반조사 장비 개발, 심해탐사용 무인 잠수정 개발사업, 심해저 광물자원 집광 시스템 및 채광 운용기술 개발 등이 있다.

[국내 수중 장비 개발 현황]

분야	현행 수행 과제	
	과제명 (주관기관)	최종 목표 및 사업 내용
구조물보수, 친환경 준설 분야	전기모터기반 해중 매니플레이터 및 추진시스템 개발(한국해양대)	· 6자유도 고성능 수중 매니플레이터 개발 (20kg급)
	항만수중공사용 무인다목적 기계화 시공장비 개발 (한국해양연구원)	· 항만 사석 공사를 위한 수중 굴삭 장비 개발 (수심 20m 이내) · 수중 환경 모니터링 시스템 기술
지반조성 분야	수중항만공사 기계화 시공장비 개발 (창원대학교)	· 수중항만공사용 피복석 작업 장비 개발 · 다자유도 핸들링 기술 · 수중 영상인식기술
	무선 원격 컨트롤을 통한 육상용 무인굴삭기 개발 (두산인프라코어)	· 굴삭기의 무인화 기술 · 최적경로제어기술/직감형원격제어기술
	항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발 (한국해양연구원)	· 항만 사석공사를 위한 수중 굴삭 장비 개발 (수심 20m 이내) · 수중환경모니터링 시스템 기술
착저형 시추 작업 분야	항만 수중공사용 무인 다목적 기계화 시공장비 개발 (한국해양연구원)	· 항만 사석공사용 수중 굴삭 장비 개발 (수심 20m 이내) · 수중 환경 모니터링 시스템 기술
	해저지반조사 장비 및 분석시스템 개발 (한국해양연구원)	· 로드/케이싱 자동 연결 및 분리 시스템 · 수중 SPT 장치 기술
	대구경대수심해상기초시스템기술개발 (한국건설연구원/한국해양연구원)	· 지름 5m PRD+RCD 굴착 장비 개발
	유압자주식대구경 지반굴착기개발 (한국기계연구원)	· 유압 자주식 대구경 지반굴착기 개발
해양 탐사 분야	차세대 심해용 무인잠수정 개발 (한국해양연구원)	· 6,000m급 심해 탐사용 무인잠수정 개발
	심해저 광물자원 집광시스템 및 채광 운용기술개발(한국해양연구원)	· 해저광물자원 집광/채광 시스템 개발



## 나. 사회적 기대효과

- 본 연구를 통해 수중 시공장비와 관련된 다양한 기술이 구현된다면, 현재 정부가 추진 중인 해양구조물 건설 장비 공공수요 충족, 해양구조물 시공 비용 절감, 해양인프라 구축 자립도 증대와 더불어 안정성, 효율성 확보로 해양 관련 산업발전에 상당한 기여를 할 것으로 예상된다. 특히, 해상 풍력, 해양에너지 확보, 파력발전, CCS, 해양플랜트 개발 등 수중건설이 수반되는 정부의 해양개발 계획 발표는 약 13건('08~'11)으로 향후 수중 건설을 위한 장비수요가 급증할 전망이다, 이와 함께 이산화탄소포집 관련 상용화 실증 사업이 약 1조 9천 억원 규모로 투자가 예정되어 있으며, 누적 매출은 약 100조원(~'30년) 정도로 기대하고 있다(범부처, 2010). 또한 6대 미래산업(심해자원 생산용 해양플랜트 포함)에도 1조 5천 억원 규모의 투자가 이루어질 전망이며, 해양플랜트 분야에서는 2025년 약 103조원 규모의 매출이 발생할 것으로 기대하고 있다('12~'17, 지식경제부 전략기획단).
- 이와 같이 산업체의 적극적인 참여를 통하여 개발된 수중건설로봇의 시장적합성 검증 및 이의 활용을 통한 수중건설 노하우의 습득을 통하여 해당 산업의 부가가치를 상승시킬 수 있으며, 수중구조물 건설에서 관리 및 유지보수의 비중이 점차 증가하고 있는 상황에서 시장에서 공급이 필요한 수중로봇의 확보를 통하여 향후 지속적으로 증가될 유지보수 관련 수요 대응이 용이할 것으로 판단된다.

## 6.2 활용방안

- 해상교량, 해상풍력, CCS 시설, 해상플랜트 등 다양한 수중 구조물 수요의 증가로 수중건설 공사의 사전 작업환경 조사, 수중 시공, 그리고 구조물 유지보수에 활용 가능
- 항만 수중 공사용 무인다목적 기계화 시공장비의 Up-grade를 통해 활용될 수 있는 해양 구조물에는 해상풍력, 해양에너지(조력/파력, 해수열 등) 개발, 항만구조물 건설, 초장대교량, 해양플랜트 건설 등
- 해양 분야에서 해저 지중 매설관 작업이나 대수심 조건의 초장대 교량 건설 등을 비롯하여 해상풍력단지를 포함한 에너지단지, 인공섬과 같은 관광레저산업에도 직,간접적으로 활용
- 최근 들어 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 날로 늘어나고 있음.
- 이와 더불어 이러한 해상, 해저 구조물에 필요한 전력, 통신 공급을 위한 해저 케이블 및 파이프라인매설작업에 적극 활용
- 수중로봇 기술은 외부 환경이 열악한 해상 조건에 대해서도 수중 정밀 시공작업을 가능하게 하는 건설기술 분야에 활용
- 수중환경 모니터링 기술은 수중장비 운영 및 수중시공 작업의 필수적 요소로 수중건설 및 환경인식 분야에 적극 활용

## 7 참고문헌

- 강석구, 염기대, 이광수, 박진순, 2005. 울돌목 조류발전의 연안물리적 관점에서  
의 고찰 신재생에너지, 1(2):73-78.
- 국토해양부 통계연보, 건설산업부문, 2006-2010.
- 김성덕, 이호진, 2009. 방파제 시스템에 영향을 미치는 해저 Trench 준설 제원  
설정의 분석. 대한안전경영과학회지, 11(2):95-101.
- 김형우, 홍섭, 최종수, 여태경, 2008. 해저연약지반 시험집광기의 동적거동 해  
석. 한국해양학회지, 13(3):222-228.
- 김환성, 유삼상, 최형식, 2009. ROV 제어를 위한 수중환경변화의 추정기 설계  
에 관한 연구. 한국마린엔지니어링학회지, 33(8):1196-1202.
- 박재현, 2010. 국내외 준설의 현황 및 미래. 물과미래, 43(3):10-15.
- 산업은행 경제연구소, 2009.
- 서동일, 장원일, 신성렬, 임종세, 윤지호, 2007. 해상풍력시스템의 기초침하에 관  
한 연구. 한국마린엔지니어링학회지, 31(8):1020-1027.
- 유선철, (2009) 특수용도 AUV(자율수중로봇)의 소개와 응용분야. 한국정밀공학  
회지, 26(5):33-40.
- 유선철, 변승우, 김준영, 2010, SBL 방식을 이용한 무인잠수정의 수중초음파 위  
치측정 시스템 개발. 한국산학기술학회논문지, 11(3):808-814.
- 이근창, 고영탁, 유찬민, 지상범, 김종욱, 함동진, 2005. 심해예인 탐사장비의 위  
치보정에 대한 고찰. Ocean and Polar Research, 27(3):335-339.
- 이판목, 이종무, 전봉환, 홍석원, 임용근, 2002. 심해과학조사용 무인잠수정의 시  
스템 설계. 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 243-250.

장경수, 이정은, 2009. 조력발전과 해류발전을 겸하는 통합발전시스템 타당성 연구. 한국신재생에너지학회 춘계학술대회논문집, pp. 611-614.

초장대 교량 사업단 상세기획연구, 한국건설기술평가원, 2008.

최동현, 임근남, 김상현, 2008. 소나센서를 이용한 소형 ROV의 위치제어시스템에 관한 연구. 대한조선학회논문집, 45(6):579-589.

한일터널과 동북아 통합교통망 구축을 위한 기초연구, BDI, 2009.

해상풍력추진 로드맵, 지식경제부, 2010.

해외건설협회 연도별 통계연보, 2006-2010.

Deepwater Report 2010~2014, Douglas-Westwood, 2010.

New Energy Finance, EWEA, 2010, <http://www.mke.go.kr> 지식경제부, 2010.11.

Remotely Operated Vehicles(ROV) and Autonomous Underwater Vehicle(AUV) in the Energy Market 2011-2021, Visiongain, 2010.

Table and Statistics 2009, GWEC.

Technology Roadmap; Carbon Capture and Storage, IEA, 2010.