



# 해저기지 건설 운영 기술개발 기획 연구



2016. 11.

**한국해양과학기술원**



# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 「해저기지 건설 운영 기술개발 기획 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016년 11월

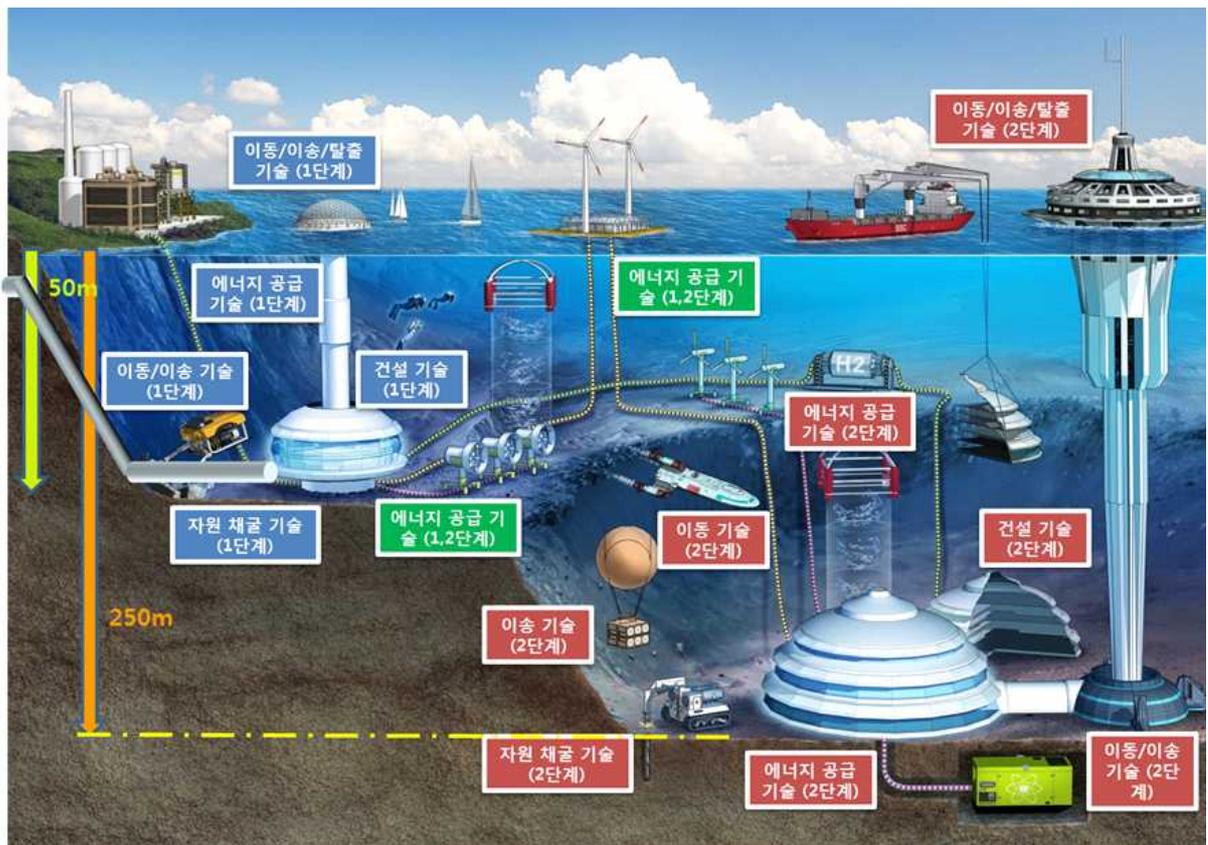
연구책임자 : 한 태 희

참여연구원	김	병	남
	김	응	응
	박	영	현
	박	우	선
	박	진	순
	백	승	재
	오	명	학
	오	상	호
	이	진	학
	장	인	성
	정	섬	규
	최	복	경
	최	우	열
	한	상	훈
	김	성	원
	김	성	현
	홍	혜	민



# 요약문

<b>과제목표</b>	○ 미래 해양자원 확보, 해양주권 확립, 해양관측, 해양레저 및 해양거주 공간 대비 원천 기술 개발을 위한 해저과학기지 건설과 운영 핵심기술 도출 및 연구과제 기획.		
<b>과제내용</b>	○ 해저과학기지 건설 핵심기술 도출 - 해저과학기지 건설 환경 분석 기술 조사 - 해저과학기지 건설 재료 기술 분석 - 해저과학기지 구조 형식 및 형상 분석 - 착저 부지 지반 안정화 기술 및 지지 구조 조사 - 해저과학기지 설계 및 시공 기술 분석 ○ 해저과학기지 유지관리 및 운영 핵심기술 도출 - 해저과학기지 에너지 공급 기술 분석 - 해저과학기지 생명유지 장치 및 생활 안정화 기술 조사/분석 - 해저과학기지 이동 및 이송 기술 조사/분석 - 해저과학기지 활용 기술 체계 수립		
<b>중심어</b>	해저기지 해양공간	과학기지 극한공학	해저도시 해양관측



해저기지 기술 개발 단계별 구성



# 목 차

<b>1. 연구개발 목표 및 필요성</b> .....	<b>3</b>
1.1. 연구개발 목표 .....	3
1.2. 연구개발 필요성 .....	4
<b>2. 기술 동향</b> .....	<b>11</b>
2.1. 국내외 해양 자원 개발 동향 및 정책 .....	11
2.1.1. 국내 동향 .....	11
2.1.2. 중국의 동향 .....	12
2.2. 국내외 해저 공간 및 구조물 개발 동향 .....	18
2.2.1. 해저기지의 분류 .....	18
2.2.2. 국내외 동향 .....	19
2.2.3. 해저 공간 구조물 .....	30
2.2.4. 해저도시 건설시 고려 조건 .....	33
2.2.5. 심해저 극한건설 플랜트·장비기술 .....	37
<b>3. 기획 목표 설정</b> .....	<b>43</b>
3.1. 기술 개발 범위 .....	43
3.2. 기술 목표 설정 .....	46
3.3. 기술 목표 설정 .....	47
3.3.1. 기술 목표 설정 수준 .....	48
3.3.2. 해저기지의 필요성 및 활용성 .....	49
3.3.3. 해저기지 건설 필요 기술 .....	50

3.3.4. 해저기지 운영 및 유지 기술 .....	52
3.3.5. 개발 필요 기술 도출 .....	56
<b>4. 연구개발 과제 도출 .....</b>	<b>61</b>
4.1. R&D 니즈(Needs) 분석 .....	61
4.1.1. FAST 분석 .....	61
4.1.2. 기술수요 및 정의 .....	62
4.1.3. 기술 수준/중요도/시급성 .....	67
4.2. 핵심 세부 과제 도출 .....	73
4.2.1. 1단계 기반기술 연구과제 .....	78
4.2.2. 2단계 핵심기술 연구과제 .....	85
4.2.3. 3단계 실증기술 연구과제 .....	100
4.2.4. 기타 연구과제 .....	105
<b>5. 추진전략 .....</b>	<b>127</b>
5.1. 핵심과제 도출 .....	127
5.2. 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구사업 구성 .....	128
5.3. 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구사업 구성 .....	129
5.4. 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구사업 구성 .....	130
5.5. 총괄 로드맵 .....	131
<b>6. 참고문헌 .....</b>	<b>135</b>

# 표 목차



[표 1.1] 해양 자원의 잠재 가치 .....	6
[표 2.1] 해저기지의 유형 분류 .....	19
[표 3.1] 핵심기술 Performance Target .....	47
[표 3-2] 설문 항목 .....	48
[표 3.3] Application of Seabed Base (Phase 1) .....	50
[표 3.4] Application of Seabed Base (Phase 2) .....	50
[표 3.5] Necessary Technologies for Seabed Base Construction (Phase 1) .....	51
[표 3.6] Necessary Technologies for Seabed Base Construction (Phase 2) .....	51
[표 3.7] Construction Method for Seabed Base .....	51
[표 3.8] Energy Supplying Method .....	52
[표 3.9] Safety Technologies .....	53
[표 3.10] Necessary Technologies for Operation .....	53
[표 3.11] Transferring Method between Seabed Base and Ground .....	55
[표 3.12] Transferring Method of Extracted Resources .....	55
[표 3.13] Survey Results of Required Technologies for Construction of Seabed Base .....	56
[표 4.1] 해저과학기지 기능전개(FAST) .....	61
[표 4.1] 기술수요조사 결과 .....	62
[표 4.2] 제안 기술의 정의 .....	63
[표 4.3] 제안 기술의 기술 수준, 중요도, 개발시급성 .....	68
[표 4.4] 제안 기술의 기술수준-기술 중요도-개발 시급성에 따른 배열 .....	70
[표 4.5] 도출 세부 연구과제 .....	74

# 그림 목차



[그림 1.1] 20년 후 미래 기술 (지식경제부) .....	4
[그림 1.2] Deep Sea Mineral Assets .....	7
[그림 1.3] 해저기지의 활용분야 .....	7
[그림 2.1] 우리나라 단독개발광구 위치도 .....	11
[그림 2.2] 메탄수화물 .....	11
[그림 2.3] China Builds Deep-Sea Energy Research Base .....	13
[그림 2.4] Jiaolong 잠수정 .....	13
[그림 2.5] 중국의 ‘국가해양사업 발전 계획 요강’ 주요 내용 .....	14
[그림 2.6] 중국의 심해저 자원탐사 주요 활동 .....	15
[그림 2.7] 중국의 주력 종합해양탐사선(대양1호)과 최초 대양글로벌 탐사노선도 .....	16
[그림 2.8] 중국의 심해저 광물자원 상업화 개발계획 .....	16
[그림 2.9] 메탄하이드레이트 .....	17
[그림 2.10] 열수광상 .....	17
[그림 2.11] Cobalt Rich Crust .....	17
[그림 2.12] 두바이의 수중 호텔 (Deep Ocean Technology, Poland, 2011) .....	18
[그림 2.13] Poseidon Undersea Resort (website) .....	18
[그림 2.14] 오션 스파이럴 (Shimizu, 2014) .....	19
[그림 2.15] Aquarius Underwater Laboratory (NOAA) .....	19
[그림 2.16] THE WATER DISCUS UNDERWATER HOTEL (DOT社) .....	20
[그림 2.17] 두바이 해중 호텔 내부 조감도 .....	20
[그림 2.18] 피지의 Poseidon Undersea Resort .....	20
[그림 2.19] 몰디브의 Restaurant Ithaa .....	21
[그림 2.20] 몰디브의 Club Subsix .....	21
[그림 2.21] 이스라엘의 Restaurant Redsea Star .....	21
[그림 2.22] 미국, Jule’ s Undersea Lodge .....	21

[그림 2.23] 해중 레스토랑 .....	22
[그림 2.24] 울릉도 해중전망대 .....	22
[그림 2.25] 괌의 Fish Eye Marine Park .....	22
[그림 2.26] 탄자니아의 The Manta Resort .....	23
[그림 2.27] 스웨덴의 Utter Inn .....	23
[그림 2.28 Ocean Spiral (일본)] .....	24
[그림 2.29] Oceanscrapers .....	25
[그림 2.30] Aquarius Underwater Laboratory (NOAA) .....	26
[그림 2.31] Aquarius Underwater Laboratory 내부 전경 .....	26
[그림 2.32] 중국이 해저기지를 건설하는데 참조하고 있는 유인잠수정 자오룽(蛟龍)호 ...	27
[그림 2.33] ‘NEPTUNE 캐나다’ 의 시스템 구성요소 .....	28
[그림 2.34] 해저기지 개념도 (KIOST, 2012) .....	29
[그림 2.35] 미 해군의 콘크리트 구체 실험 .....	31
[그림 2.36] 미 해군의 심해저 건설재료 시험 틀 .....	31
[그림 2.37] 한양대의 달 복제토로 만든 콘크리트 .....	32
[그림 2.38] 아폴로 17호 우주인의 달 토양 채취 광경 .....	33
[그림 2.39] 건설의 최적지로 꼽히는 미크로네시아 .....	35
[그림 2.40] 해저도시 개념도 .....	35
[그림 2.41] 다양한 형태의 수중 무인 기계화 장비 .....	36
[그림 2.19] 심해저 극한건설 플랜트·장비기술 개요 .....	38
[그림 2.20] 심해 극한기술의 활용분야 예시 .....	38
[그림 2.21] 해저 플랜트·장비 설치수준 .....	39
[그림 2.22] 해저생산플랜트 설치현황 (Journal of Offshore Technology, 2009, INTECSEA)	40
[그림 2.23] S-lay(좌) J-lay(우) 공법 개념도 .....	40
[그림 3.1] 해저기지 건설 계획 시 고려 사항 .....	43
[그림 3.1] FRP 적층 구조 .....	44
[그림 3.2] 수중이동 잠수정 .....	44

[그림 3.3] 해저기지 건설 작업 및 완성 전경 .....	45
[그림 3.4] 포세이돈 리조트와 해저 도시 구조물 .....	45
[그림 3.5] Possible Time for Construction of Seabed Base .....	49
[그림 3.6] Target Depth of Seabed Base .....	49
[그림 3.7] Target Size of Seabed Base .....	49
[그림 3.8] Necessity of Seabed Base .....	50
[그림 3.9] Recommended Material for Seabed Base Construction .....	51
[그림 3.10] 해저기지 긴급 탈출 개념도 (Garie Sim, 2002) .....	53
[그림 3.11] 해저기지 접근 방식 (Garie Sim, 2002) .....	54
[그림 3.12] 해상 부두 .....	54
[그림 3.13] 해중 터널 .....	55
[그림 3.14] Environmental Effect by Seabed Base Construction .....	55
[그림 3.15] Seabed Base Concept and Required Technologies .....	57
[그림 4.1] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 1) .....	72
[그림 4.2] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 2) .....	72
[그림 4.3] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 3) .....	73
[그림 4.4] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 4) .....	73
[그림 4.5] 기술 개발 순서 .....	74
[그림 4.6] 도출 연구과제 추진 계획 .....	77
[그림 4.7] 심해수조를 활용한 우주비행사 훈련 .....	84
[그림 5.1] 연구과제의 구성 .....	127
[그림 5.2] 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구 과제의 구성 .....	128
[그림 5.3] 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업 .....	128
[그림 5.4] 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구 과제의 구성 .....	129
[그림 5.5] 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업 .....	129
[그림 5.6] 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구 과제의 구성 .....	130
[그림 5.7] 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업 .....	130
[그림 5.8 ] R&D MACRO 로드맵 .....	131



# 1. 연구개발 목표 및 필요성





# 1. 연구개발 목표 및 필요성

## 1.1. 연구개발 목표

□ 미래 해양자원 확보, 해양주권 확립, 해양관측, 해양레저 및 해양거주 공간 대비 원천 기술 개발을 위한 해저과학기지 건설과 운영 핵심기술 도출 및 연구과제 기획.

□ 해저과학기지 건설 핵심기술 도출

- 해저과학기지 건설 환경 분석 기술 조사
- 해저과학기지 건설 재료 기술 분석
- 해저과학기지 구조 형식 및 형상 분석
- 착저 부지 지반 안정화 기술 및 지지 구조 조사
- 해저과학기지 설계 및 시공 기술 분석

□ 해저과학기지 유지관리 및 운영 핵심기술 도출

- 해저과학기지 에너지 공급 기술 분석
- 해저과학기지 생명유지 장치 및 생활 안정화 기술 조사/분석
- 해저과학기지 이동 및 이송 기술 조사/분석
- 해저과학기지 활용 기술 체계 수립

## 1.2. 연구개발 필요성

### □ 기술개발 배경

- 육상 자원의 고갈 및 환경 문제, 인구 증가에 따른 식량 자원의 부족 등에 따라 세계 각국은 자원의 보고인 해양 자원 개발을 적극적으로 추진.
- 미래 인류 생활 영역의 확장 및 해양 관광 자원의 개발을 위하여 해저 공간 개발이 필요.
- 해양 공간의 개발과 해양 영토 주권 수호를 위한 전초 기지로서 해저 공간 개발과 해저 기지의 확보가 필요.
- 미래 경제성장 원동력으로서 해양 자원 및 해양 공간의 개발은 필수적임.
- 고압/저온의 극한 환경인 해저 기지 건설 기술의 개발은 극지 및 우주공간 구조물 개발 시 활용되는 원천 기술 확보로 이어짐.
- 미래에 발생 가능한 전 지구적 재난 시, 인류 생존을 위한 필수 거주 공간 확보.



구분	2015년	2020년	2025년
제품/서비스	<ul style="list-style-type: none"> <li>안전하고 편안한 교통/물류 서비스</li> <li>도로 위험 방지/경고 서비스</li> <li>에너지 자족/기후 조절형 주택</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>극한 환경 해소를 위한 기술 인프라</li> <li>미래형 일조/조망 지원 건축 인프라</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>원격/이동형 주거 생활 서비스</li> </ul>
주요(유망) 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>자기유도형 교통 차로 기술</li> <li>에너지 생산/수용 건축자재 기술</li> <li>에너지 자급자족 주거환경</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>극한 환경 적용 건축자재 기술</li> <li>지능형 원격 첨단 건설 로봇</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경 제어형 동형 주거지 기술</li> </ul>

[그림 1.1] 20년 후 미래 기술 (지식경제부)

### □ 기술적 측면

- 심해저 극한건설기술은 심해저 활용을 위한 핵심기술로서 제반 건설생산 활동이 저온, 고마찰, 고압 등의 심해저 극한조건에서 운용되는 플랜트·구조물, 장비를 대상으로 미래 고부가가치를 창출 할 수 있는 유망기술임.
- 심해에 건설되는 해저 기지는 우주공간에서의 조건보다 더 극한의 환경에 건설되며, 이를 위해서는 구조공학, 자원공학, 기계공학, 조선공학, 해양공학, 지질학 등의 관련 분야의 극한기

술이 상호 융합되어야 함.

- 심해저 극한건설 플랜트·장비분야는 시장 확대 및 성장 가능성이 매우 크고 소수의 기업에 의한 시장 과점으로 인하여 경쟁이 치열하지 않아 후발 기업에게는 기회요인으로 분석됨.
- 해저기지는 과학 기지로서의 기능 이외에도 해저 기지는 미래에 인류의 거주 및 생활공간의 확장 의미가 있으며, 관련 기술의 개발이 필요함.
- 해저기지건설기술은 해양융복합기술로 개발되는 부가가치가 크고 위험도도 큰 세계 리딩 기술로 초기 국가지원이 절대 필요함.
- 미래 기술 확보와 해양 공간의 개발을 위한 해저기지 건설을 위하여, 필요 요소기술 개발과 단계적인 목표기술 달성은 필수적임.
- 관련 극한 기술의 발전은 각 분야의 최첨단 기술이 될 것이며, 우주공간 및 타 분야에도 적용이 가능하여, 최신 기술을 선점할 수 있는 기회임.
- 미래 유망분야인 심해저 사업을 위한 관련 기반 기술의 습득.
- 메탄하이드레이트, 망간단괴 등은 고압에서 고체로 존재하므로, 채굴, 보관 및 운송 시 액체인 원유와는 다른 기술이 필요함.
- 본 기술은 종합적인 원천기술로서, 관련 응용 분야의 학문적, 기술적 연구의 근간이 될 수 있음.

#### □ 경제·산업적 측면

- 세계 각국은 막대한 규모의 해양자원을 확보하기 위해 해상 영유권 다툼을 지속하고 있으며, 1970년대부터 해양자원 확보를 위해 자국 연안 200해리(370.4km) 내 모든 자원의 독점 권리를 주장하는 배타적 경제수역(EEZ: Exclusive Economic Zone)을 경쟁적으로 선포.
- 육지자원의 고갈에 따라, 세계 각국은 막대한 광물자원이 부존된 심해저 개발에 박차를 가하고 있음.
- 향후 20년간 30억 명의 신흥국 소비자가 신규 수용자로 등장해 자원의 절대 소비량이 급증할 것으로 예측되며, 2035년 1차 에너지 수요는 2009년 대비 40% 증가할 것으로 예상됨.
- 자원 부족 현상이 심화됨에 따라 최근 중국, 브라질, 호주 등 자원 부국을 중심으로 자원민족주의 현상이 가시화됨.
- 심해저는 망간단괴, 하이드레이트 등 각종 자원이 부존된 자원의 보고임.
- 우리나라에서 확보한 75,000km<sup>2</sup>의 독점개발광구의 경제적 가치는 약 1,500억 달러로 추정되며, 상용화시 연간 300만 톤의 망간단괴 채광으로 전략금속자원의 국내수요 약 30%(연간 15억 달러)를 충족할 것으로 예측됨.

[표 1.1] 해양 자원의 잠재 가치

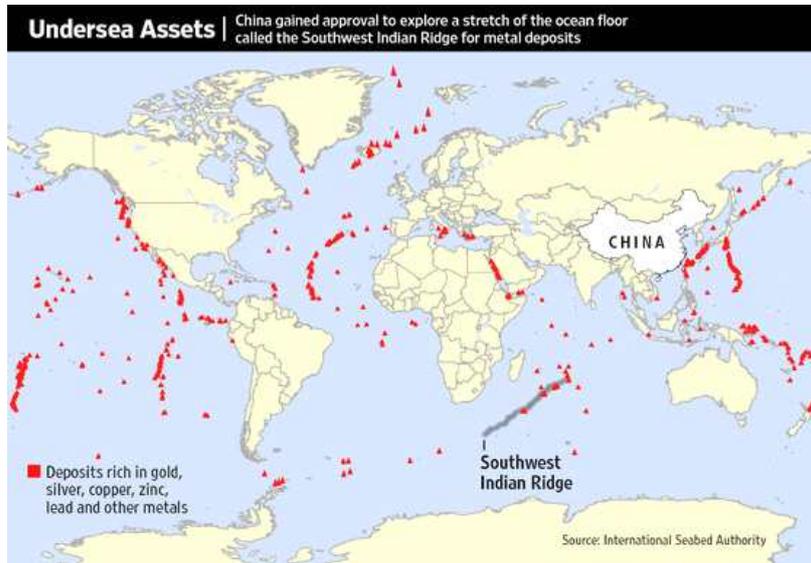
자원	매장량	비고
석유	1.6조 배럴 이상 (세계 매장량의 32.5%)	LNG는 매장량의 15%
구리, 망간, 니켈	해양 전체: 전 세계가 200~10,000년 동안 사용할 수 있는 양. 심해저: 망간 40년, 니켈 46년, 코발트 182년 년간 사용할 수 있는 양.	심해저에는 망간 3억 톤, 니켈 6,100만 톤, 코발트 670만 톤이 존재
금, 아연	금 17년 치(4만 톤), 아연 23년 치(2억 톤)	해저열수광상에 함유
가스(메탄하이드레이트)	250조 입방미터(화석 연료의 2배) → 10조 톤 (기존 LNG 매장량의 100배, 전 세계가 5,000년 동안 사용할 수 있는 양)	해저 300m 이하에 존재. 고압/저온환경+가스+물 →일명 '불타는 얼음'
해양 에너지	15,000 GW	총 해양 가용 에너지

주: 1) 2008년 탐사 기준, 추가 탐사로 매장량이 증가할 가능성 높음(수산업 제외)

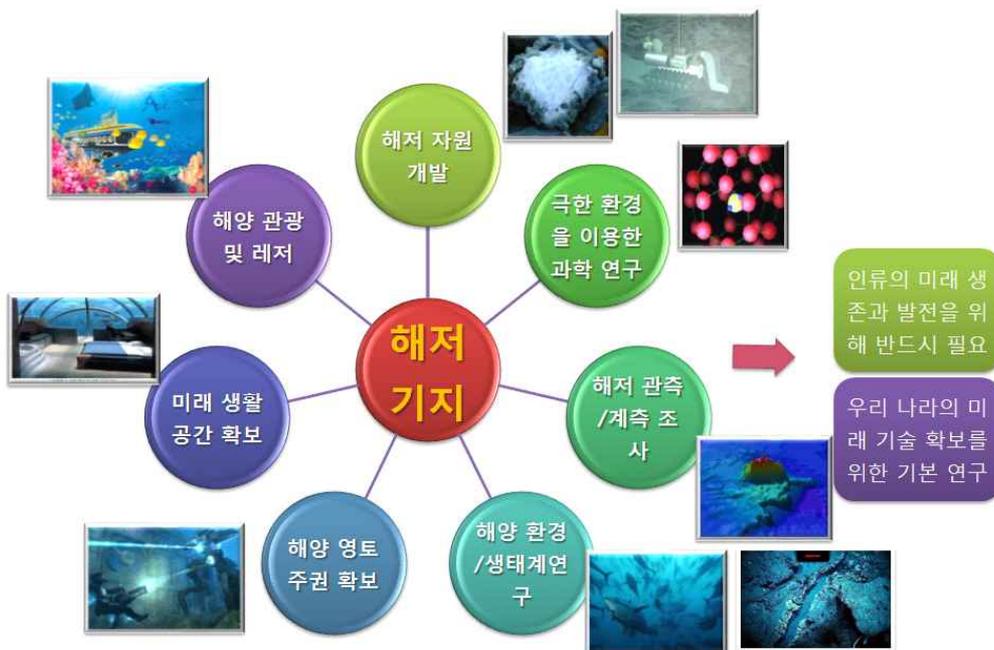
2) 해저열수광상: 해저 700~2,000m의 분출 열수(熱水)에서 구리, 납, 아연, 금, 은 등이 침전되어 생긴 광상(鑛床)

자료: 국토해양부 (2010) “제2차 해양수산발전기본계획(2011~2020)” ; 해양수산개발원 (2009) “글로벌 해양전략 수립 연구” ; 장항석 (2007). “21세기 동북아 해양문제와 한국의 해양정책 방향” 『정치·정보연구』, 10(1), 43-67.

- 21세기 들어 해양자원 탐사 기술 개선 및 주요 해양국간의 해양자원 확보 경쟁 심화로 근해 지역에서 심해지역으로 각국의 탐사가 확대됨.
- 해양 자원 탐사가 지속되고 있어, 해양자원의 매장량과 경제적 가치는 계속 증가할 가능성이 있으며, 탐사 및 시추 기술의 발전으로 최근 3,000미터 이하 심해저 탐사가 증가.
- 해저 건설기술은 기술 및 제품의 높은 고부가가치에 따라 후발 진입을 추진하는 기업이 증가하는 추세
- 국내적으로는 해저 플랫폼과 이송기술 등에 대한 설계 및 시공, 접합시스템, 유지관리, 위해 환경 분석 등 연구개발이 미미한 실정.
- 향후 해저 건설기술의 시장수요 증가가 예상되고 있는 상황에서 세계 시장을 몇몇 회사가 독점하고 있어 수급에 있어서 국내 관련기업(건설·엔지니어링사, 중공업사, 기자재 기업 등)을 중심으로 해저 건설기술에 대한 독자개발을 통하여 시장진입을 위한 적기로 분석됨.
- 효율적이고 안정적인 심해저 자원의 탐사 및 자원의 개발을 위해서는 필요 인원이 작업/체류할 수 있는 해저 기지의 개발이 필요함.
- 국가 해양 영토의 효율적 이용과 확대, 해양 영토의 안정화, 해양 레저의 활성화 등을 위한 핵심 기술로서, 향후 관련 신산업의 기본 원천 기술이 될 수 있을 것으로 판단됨.



[그림 1.2] Deep Sea Mineral Assets

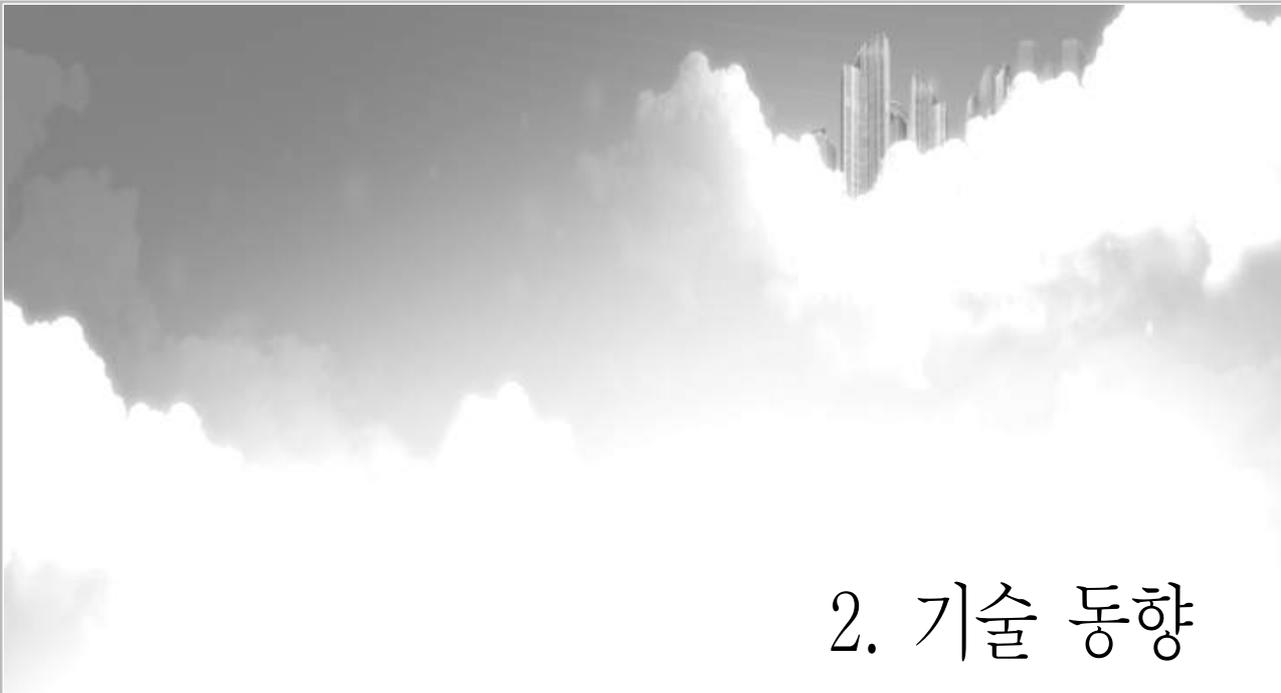


[그림 1.3] 해저기지의 활용분야

□ 사회·문화적 측면

- 세계 각국은 막대한 규모의 해양자원을 확보하기 위해 해상 영유권 다툼을 지속하고 있으며, 1970년대부터 해양자원 확보를 위해 자국 연안 200해리(370.4km) 내 모든 자원의 독점 권리를 주장하는 배타적 경제수역(EEZ: Exclusive Economic Zone)을 경쟁적으로 선포.
- UN은 수역 확보 분쟁이 빈번하자 1994년 12월, 연안국의 배타적 경제수역 및 대륙붕 연장 등의 지침이 담긴 ‘해양법 협약’을 발표.

- 일본은 독도(해저광물), 다오위다오(원유), 오키노토리시마 등에서 우리나라 및 중국, 대만과 영유권 분쟁 중.
- 자원 기지 및 과학 기지로서의 기능 이외에도 해저 기지는 미래에 인류의 거주 및 생활공간의 확장 의미가 있으며, 관련 기술의 개발 전략이 필요함.
- 해저기지 건설 기술에 대한 연구는 해저 자원의 개발, 해양 영토 주권 확보, 해양 과학 연구, 인류 생활 영역의 확대를 위해 필수적임.
- 자원 기지 및 과학 기지로서의 기능 이외에도 해저 기지는 미래에 인류의 거주 및 생활공간의 확장 의미가 있으며, 관련 기술의 개발 전략이 필요함.
- 국가연구개발사업의 대형화, 융복합화 등으로 새로운 연구개발과제의 요구가 증가하고 있으며, 이에 적시적으로 대처하기 위한 사전 전략 기획연구가 요구.



## 2. 기술 동향





## 2. 기술 동향

### 2.1. 국내외 해양 자원 개발 동향 및 정책

#### 2.1.1. 국내 동향

- 우리나라는 남서태평양 피지공화국으로부터 해저열수광상 독점 탐사광구(鑛區)를 확보. (2011. 11)
  - 피지 배타적 경제수역(EEZ) 내 여의도 면적(8.4km<sup>2</sup>)의 약 350배에 달하는 약 3,000km<sup>2</sup> 규모의 해저열수광상 독점 탐사광구(鑛區)를 확보.
  - 해저열수광상은 수심 1,000~3,000m에서 마그마로 가열된 열수(熱水)가 해저 암반을 통해 방출 되는 과정에서 형성.
  - 금, 은, 구리, 아연 등 중요 전략금속을 함유하고 있어 20년간 연 30만 톤을 개발 시 약 65억 달러(연간 3.2억 달러)의 수입 대체효과가 예상되는 차세대 전략광물자원 임.



[그림 2.1] 우리나라 단독개발광구 위치도



[그림 2.2] 메탄수화물

- 국토해양부는 2017년 이후 본격적인 채취·개발을 위하여 앞으로 민간 참여기업 모집 후, 사업 수탁기관인 한국해양과학기술원 및 참여기업과 공동으로 광구 내 해저열수광상 개발유망지역에 대한 정밀 해저면 탐사와 자원량 평가를 실시할 계획.
- 피지 독점 탐사광구 확보는 국토해양부가 지난 2008년 3월 남서태평양 통가 왕국 EEZ 내에서 독점 탐사광구(약 2만4천km<sup>2</sup>)를 확보한 이후 두 번째 성과임.
- 피지 독점탐사권 확보를 통해 장기적이고 안정적인 해양광물 자원 공급원을 추가 확보함과 동시에 남서태평양 도서국에서 우리나라의 외교적·경제적 입지를 더욱 강화할 수 있을 것으로 예상.

- 국토해양부에서는 ‘국토해양기술 연구개발사업 시행계획’ (2011.02)을 통하여, 해양자원 이용 기술 개발에 관한 계획 밝힘.
  - 우리나라에 광범위하게 분포하는 조류·파력 등 청정 해양에너지를 적극 개발하여 기후변화 대응 및 세계시장 선점.
  - 해양광물자원 탐사·기술 개발을 통해 망간, 구리, 니켈 등 주요 전략 자원의 장기적·안정적 공급원 확보 및 해양영토 관리 강화.
  - 친환경적 해양 수자원의 개발과 다목적 이용을 통해 미래에 부족할 것으로 예상되는 식수·에너지·금속자원 등을 풍부하게 확보.
  - 2011년에 다음과 같은 중점 추진 계획을 수립함.
    - 핵심기술의 실용화 및 해양에너지 자원의 밀도가 높고 대규모 활용이 가능한 심해역 기술개발 추진.
    - 국제해저기구 광업규칙에 따라 탐사계약 이행을 위한 탐사 및 실험역 파일럿 채광실증시험을 위한 집광·양광 통합시스템 개발, 제련공정 개발
    - 남서태평양 통가국과의 EEZ 해저열수광상 탐사계약에 따른 정밀 탐사를 통한 경제성 평가로 개발 추진
    - 남서태평양 피지 EEZ내 해저열수광상 개발을 위한 탐사권 확보
    - 국제해저기구 열수광상 광구확보 등을 위한 인도양 탐사 및 자원량 평가
    - 우리나라 EEZ 해역의 정확한 자원 분포 및 매장량 파악을 위해 지구물리탐사, 심부시추 등 정밀탐사 추진 및 해양정보시스템 구축
    - 해사 중 유용금속 회수를 위한 정전 설비제작, 유용광물회수 일원화 시스템 개발 및 상용화 추진 기반 마련
    - 해양심층수를 이용한 담수화 및 에너지(온도차, 냉난방) 이용 기술개발을 통해 식수, 에너지 문제 완화 및 산업적 이용을 통한 유효자원 이용
    - 해양수자원에서부터 분리 및 추출이 가능한 리튬 용존 물질을 이용하기 위한 요소 및 종합화 연계기술 개발

## 2.1.2. 중국의 동향

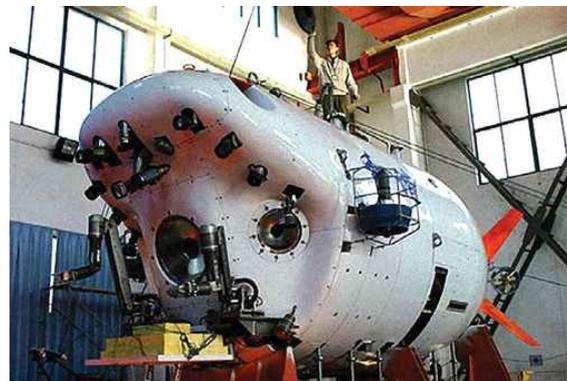
- 중국, ‘칭다오’에 심해저자원 연구기지 수립 계획 발표 (2010. 08. 29)
  - 중국 정부는 칭다오에 심해저자원 탐사개발을 위한 연구 기지를 세울 것이라고 발표.
  - 연구기지 건설을 위한 부지확보(총부지 26헥타르) 및 기초공사에 총 7,280만 달러 투자 계획.
  - 연구기지 건설을 통해 심해저 희귀광물과 가스 하이드레이트 탐사 및 개발을 가속화할 계획.
  - 기지 건설을 계기로 황해를 포함한 중국 연안 및 EEZ 내 가스 하이드레이트 탐사 및 개발에 박차를 가할 것으로 예상.
  - 중국은 2003년 12월 남중국해 북부해역 3,000미터 해저에서 최초로 가스 하이드레이트를 발견.
  - 2007년 5월에는 미국, 일본, 인도에 이어 세계 네 번째로 가스 하이드레이트 샘플 채취에 성

공.

- 이번 기지는 7,000미터급 유인잠수정인 ‘Jiaolong’의 지원센터 역할을 수행할 것으로 알려짐.
- 중국이 3,759m 까지 잠수 기록을 달성한 후에 제작되는 자이롱 잠수정은 8.2m의 길이에 22ton의 무게를 가지며, 지구상에서 가장 깊이 잠수할 수 있는 능력을 갖추고 있음.
- 이 잠수정은 6,500m 까지 잠수 기록을 달성한 일본의 신카이(Shinkai) 보다 500m 더 깊이 잠수할 수 있음. (현재 5,188m까지 운용함)
- 중국은 미국, 프랑스, 러시아, 일본에 이어 세계 5위의 심해 유인잠수정 보유국가로 심해 유인잠수정 개발을 통해 해저자원개발 경쟁에서 우위를 선점할 계획.
- 중국은 고도 경제성장을 지속하기 위한 에너지원 확보를 제1차 당면과제로 삼고 있어 심해저 자원 탐사개발에 대한 투자와 지원이 앞으로 더욱 확대될 것으로 전망.



[그림 2.3] China Builds Deep-Sea Energy Research Base



[그림 2.4] Jiaolong 잠수정

□ 중국은 2003년에 ‘전국 해양 경제 발전 계획 요강’ 발표

- 국가계획위원회, 국토자원부, 국가해양국 등 전국 22개 해양 관련 부서와 연해 지방정부가 참여하여 2001년부터 2010년까지를 시행기한으로 제정.
- 중국 해양자원 개발 이용을 가속화하고 국민경제성장의 새로운 동력으로 ‘해양’의 중요성을 강조.
- 해역 및 지역별 문제점과 추진사업 및 목표치를 구체적으로 제시함으로써 이후 수립된 중국의 해양 정책과 기술발전계획 수립 전반을 구축하는데 지대한 영향을 미침.

## 《국가해양사업발전계획요강》의 주요 내용

구분	주요 내용 및 영역별 목표	
기본원칙	1. 해역별 부동의 법적지위, 자연적 특징에 근거한 해양관리의 통일적 조정 2. 해양주권과 권익을 위한 관할해역 감독강화와 해상 안전 대응능력 제고 3. 지속가능한 발전과 자원환경보호 강화 4. 모니터링 강화를 통한 해양경제발전 조절, 성장방식전환, 서비스능력 제고 5. 개혁과 혁신의 과학기술역량 제고	
발전목표	1. 영해개발 규범, EEZ수역 자원개발 보장 등 종합적 해양관리 시스템 구축 2. 바다유입 오염배출 총량의 감소 등 해양의 지속가능한 발전능력 강화 3. 해양오염 및 생태재해 통제 등 해양공익서비스 능력 강화 4. 해양경제의 국민경제 공헌률 제고(2010 GDP의 11%이상, 해양산업구조조정을 통한 3차산업 비중 50%이상 제고, 해양관련 100만명 이상 취업) 5. 해양과학기술 개혁혁신으로 국제경쟁력 강화와 사회공헌률 제고	
영역별 추진과제	해양자원의 지속가능한 이용	해역사용, 도서개발 및 보호, 석유가스광산자원 관리강화, 항구자원안배, 해양어업자원보호
	해양환경과 생태 보호	해양환경모니터링, 해양오염통제 및 회복, 해양생태감독, 해양생태보호 및 회복
	해양경제의 거시적 조정	해양경제의 거시적 조정, 해양경제계획지도, 해양자원의 산업네트워크 형성을 통한 해양순환경제 육성(해양생물활성물질, 에너지, 담수화)
	해양공익서비스	해양조사와 측량, 해양관측모니터링, 해양예보, 해상교통안전보증, 해양재해방지 및 감소, 해양기준계량
	해양에서의 법집행과 권익보호	해상순항감시, 해양행정과법집행, 국가권익보호
	국제해양사무	국제해저기구업무, 극지과학조사, 유연해양법협약 등 대외협력강화
	해양과학기술과 교육	3D관측/모니터링기술, 석유가스이용/심해저자원개발/에너지이용/신재료/생물자원 개발기술 등 핵심기술, 해양기초과학연구, 해양과학기술 혁신 거점 건설, 과학기술을 통한 해양부흥의 거점, 해양교육과 과학적 성과확산
	계획 추진 제도적 지원방안	해양정책연구강화와 관리조절시스템 구축, 해양법제도 건설강화, 종합적 소양을 갖춘 해양인재육성, 해양사업추진 기초능력건설강화, 정부의 투자역량 확대, 해양의식/문화확산

자료 : 《국가해양사업발전계획요강》 인용

[그림 2.5] 중국의 ‘국가해양사업 발전 계획 요강’ 주요 내용

- 중국은 2008년 국무원비준을 통해 ‘국가해양사업 발전 계획 요강’ 공포
  - 중국 성립 이후 수립된 첫 번째의 총체적 국가 해양 계획으로 평가.
  - 2006년부터 시작된 115계획 기간 까지 수행을 목표로 하고 장기적으로는 2020년2까지 추진되도록 설정.
  - 거시적이고 지속 가능한 해양 영역 전반을 다룬 해양사업의 이정표적 의미를 가짐.
  - 해양 종합관리의 심화, 권익보호 우선원칙, 안전대응능력 제고와 함께 지속 가능한 개발원칙, 자원 환경 보호 강화를 주요 내용으로 함.

- 2010년까지 해양생산 총가치를 GDP의 11%이상까지 증대시키고 해양 관련 인력은 매년 100만 명 이상 증대시키는 것을 목표로 함.
- 해양과학기술 개발을 통한 해양관리, 해양경제, 재해재난예방, 국가안전능력 제고를 꾀하고 해양경제에 대한 공헌률을 50% 까지 확대하는 것 등을 골자로 함.

□ 중국은 정부주도로 심해저 자원개발 적극 추진

- 1970년대 중반부터 정부주도로 심해저 자원 탐사에 나서기 시작.
- 본격적인 탐사는 1984년 '대양자원 탐사강화 지침' 마련이후 이루어짐.
- 탐사결과를 바탕으로 1991년 태평양 클라리온-클리퍼튼(Clarion-Clipperton; C-C) 해역 심해저 광구를 등록.
- 2001년 ISA(국제해저기구)와 탐사계약을 체결.
- 2008년에 발표된 최초의 종합 해양개발계획인 '국가 해양사업 발전계획 요강'에서 심해저 자원 탐사 강화가 명시.
- 2010년 말에는 국가해양국 산하에 심해저관리센터를 설립하여 심해저 탐사기술 및 장비자원 통합에 적극적임.
- 2006년에 마련된 '중장기 과학기술 개발계획(2006~2020)' 의 해양기술 분야에서 향후 해저 채속탐추기술(탐사정보 실시간 전송), 가스하이드레이트 탐사 및 채취기술, 심해 작업 기술(심해작업장비 제조 및 심해기지 구축 등) 등을 집중적으로 개발할 계획.
- 이러한 기술개발 성공을 바탕으로 2030년에 이르러 심해저 광물자원의 상업적 개발에 착수할 예정.

구 분	주요 내용
1976.06	심해저 자원(태평양 중심)탐사 시작
1984.08	'대양자원(망간단괴와 망간각)탐사 강화 지침' 마련
1990.04	대양협회(COMRA) 설립
1991.03	태평양 공해상 C-C 해역 심해저광구 등록
1991.10	대양자원탐사 1차계획(1991~2005) 마련
1996.03	ISA 이사국 B그룹 진출
2001.05	ISA 와 C-C 해역 심해저광구 탐사계약 체결
2004.06	ISA 이사국 A그룹 진출
2005.04	대양자원 탐사 시작
2006.10	대양자원탐사 2차계획(2006~2020) 마련
2008.02	'국가해양사업발전계획강요' 마련 (심해저자원 탐사강화 제시)
2009.11	7,000m 유인잠수정 개발 성공
2010.12	중국 심해저관리센터 설립
2011.07	유인잠수정 5,000m 잠수테스트 성공
2011.07	인도양 공해상 열수광상 독점광구 등록
2011.12	중국 심해저(칭다오) 착공 예정

[그림 2.6] 중국의 심해저 자원탐사 주요 활동



자료 : www.news.qq.com

[그림 2.7] 중국의 주력 종합해양탐사선(대양1호)과 최초 대양글로벌 탐사노선도

구분	~2020	2021~2030	2031~2050
가스하이드레이트	.자원분포 및 채취여건 조사 .다수 관측소, 비축기지 구축	.탐사·채취기술 개발 .상업개발 시험착수	.탐사·채취기술 개선 .상업개발 본격화
열수광상	.자원분포 및 채취여건 조사 .다수 관측소, 비축기지 구축	.탐사·채취기술 개발 .상업개발 시험착수	.탐사·채취기술 개선 .상업개발 본격화
망간단괴와 망간각	.자원분포 및 채취여건 조사 .상업개발 시험착수	.탐사·채취·운송기술 개발 .망간단괴 상업개발	.탐사·채취·운송기술 개선 .망간각 상업개발

자료 : 중국과학원

[그림 2.8] 중국의 심해저 광물자원 상업화 개발계획

### 2.1.3. 인도

□ 인도, 1,100m 수심에서 심해저 광물 채광시험 추진 (2010.05)

- 인도의 국립 해양과학기술연구원(National Institute of Ocean Technology; NIOT)은 수심 1,100미터 해역에서 자체 개발한 심해 채광장비를 시험.
- 500m 수심의 실험역 시험에 성공.
- 인도양에 7만 5,000 km<sup>2</sup>에 이르는 심해저 광물자원 단독개발 광구를 유엔 산하 단체인 국제심해저기구(International Seabed Authority)로부터 확보.
- 이 광구에는 마그네슘이 풍부한 망간단괴 등 최소 500억 달러(한화 약 57조 원) 이상의 가치를 갖는 광물자원이 부존하는 것으로 추정.
- 인도 정부는 심해저 광물자원 개발을 위한 연구개발사업을 단계별로 추진.
- 심해저 채광장비 개발을 포함한 현 단계 사업에 15억 루피(한화 약 380억 원)의 예산을 책정.

### 2.1.4. 캐나다

□ 해저 다이아몬드 개발업체 DFI 사, 해저 광물자원 개발 추진 (2010)

- 캐나다에 본사를 둔 해저 다이아몬드 개발업체인 Diamond Field International사(DFI)와

DeepGreen Resources사가 DFI가 발견한 다이아몬드 이외의 해저 광물자원을 공동으로 개발하기로 합의.

- Nautilus Minerals사는 파푸아뉴기니의 열수 광상 개발 추진.
- DFI는 2009. 10월에 다이아몬드 이외의 해저 광물자원 개발에 나설 계획 발표.
- 2009. 10에 세계 최대의 다이아몬드 개발업체인 DeBeer사가 세계적 금 생산 기업인 남아프리카공화국의 AngloGold사와 공동으로 다이아몬드 이외의 귀금속과 비철금속 개발을 위한 해저 탐사사업 추진 발표.

## 2.1.5. 일본 및 미국

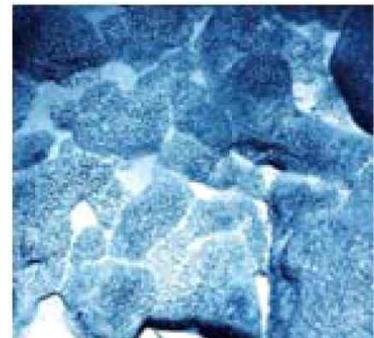
- 국영 행정법인인 JOGMEC이 해양자원 개발 지원을 전담하며, 기반 지식과 기술, 다양한 경험을 쌓는데 총력을 기울이고 있음
- 미국, 일본 등은 2012년부터 개발 잠재력이 막대한 해저 메탄하이드레이트의 채굴과 상업적 개발을 본격화할 계획.
  - 미국 에너지부와 일본 JOGMEC(석유천연가스 금속광물자원기구)이 비용을 절반씩(700만 달러) 부담하기로 함.
  - 2012년 1월 알래스카에서 미국과 일본은 공동 채굴 시험에 착수
  - 일본은 2012년 2월, 아이치 현 해저에서 메탄하이드레이트 채굴작업을 독자적으로 시행.
  - 일본은 높은 수준의 탐사, 굴착 기술을 활용해 근해에 매장되어 있는 해저자원인 메탄하이드레이트(근해 매장량: 일본 100년 치), 열수광상, 코발트리치크러스트(cobalt rich crust), 망간단괴 등의 개발을 준비
  - 해양 탐사를 위해 최신 해양자원조사선 ‘白嶺호’를 건조했으며, 200억 엔 이상을 투자해 2018년 이후 상업화할 수 있도록 굴착, 탐사, 운반 기술을 개발.



[그림 2.9] 메탄하이드레이트



[그림 2.10] 열수광상



[그림 2.11] Cobalt Rich Crust

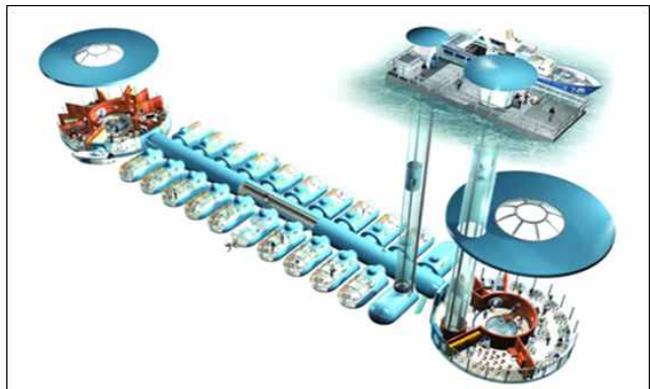
## 2.2. 국내외 해저 공간 및 구조물 개발 동향

### 2.2.1. 해저기지의 분류

- 해저기지의 유형을 공간과 에너지의 연결성에 따라 구분한다면 크게 4가지로 구분할 수 있음.
- 첫 번째 유형은 공간적으로는 육지 또는 수면과 연결되고, 육상으로부터 에너지를 공급받는 형태로서, 현재 두바이에 건설 계획 중인 해저호텔<sup>1)</sup>과 같은 휴양 및 레저시설이 이에 속함.
- 두 번째 유형은 공간적으로는 수면 및 육지와 완전 격리되어 있으나 에너지는 육상에서 공급받는 형태임. 피지 섬에 설계된 포세이돈 해저리조트가 이와 같은 형태에 해당됨.
- 세 번째 유형은 공간적으로는 수면과 연결되나 에너지는 자립하는 형태로서, 2014년에 일본의 시미즈 건설에서 발표한 오션 스파이럴(Ocean Spiral)이 이에 속함.
- 네 번째 형태는 공간적으로 수면 및 육지와 격리되고 에너지를 자급하는 형태로서, 해저기지 건설의 최종단계라고 할 수 있음. 세계 유일의 해저기지인 미국의 Aquarius 산호기지<sup>2)</sup>가 이에 속하며, 다수의 인원이 장기간 생활 가능한 원자력 잠수함이 이에 가장 근접한 형태라고 할 수 있음.
- 각국의 개발 동향을 살펴보면, 관광 및 레저를 위한 시설은 유형 1과 2의 형태를 취하고 있음.
- 거주를 위한 대단위 해저기지는 유형 3의 형태를, 연구를 위한 해저기지는 유형 4의 형태를 취하고 있음.



[그림 2.12] 두바이의 수중 호텔 (Deep Ocean Technology, Poland, 2011)



[그림 2.13] Poseidon Undersea Resort (website)

1) Water Discus Underwater Hotel  
2) Aquarius Underwater Laboratory



[그림 2.14] 오션 스파이럴 (Shimizu, 2014)



[그림 2.15] Aquarius Underwater Laboratory (NOAA)

[표 2.1] 해저기지의 유형 분류

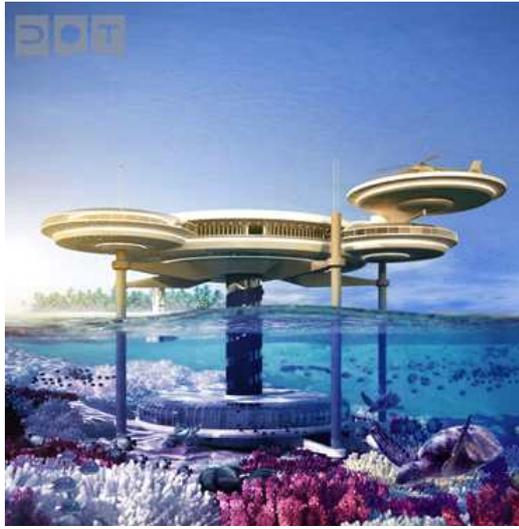
		공 간	
		연 결	독 립
에너지	연 결	유형 1	유형 2
	독 립	유형 3	유형 4

## 2.2.2. 국내외 동향

- 해외 각국에서는 해저기지 건설에 대한 다양한 시도를 하고 있으며, 유형 1과 유형 2의 관광과 레저를 위한 해저기지 건설, 유형 3과 같은 대규모 해저 도시 개념 확립, 그리고 유형 4와 같은 과학연구를 위한 해저 기지에 대한 연구로 분류할 수 있음.

### (1) 관광 및 레저를 위한 해저기지

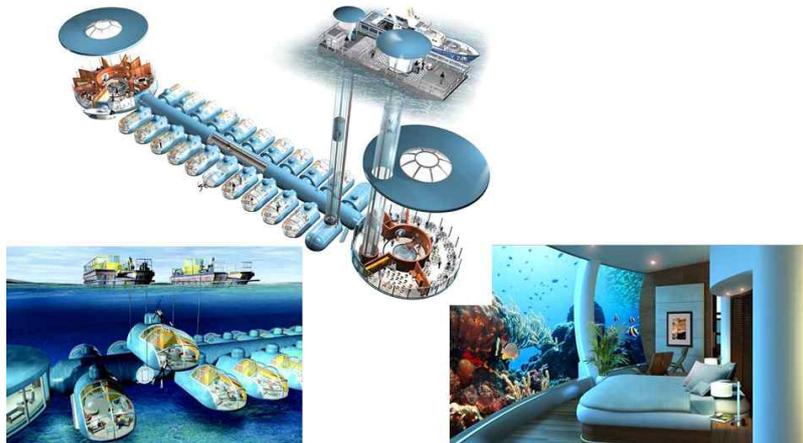
- 폴란드의 DOT社에 의해 두바이에 건설이 추진되고 있는 ‘Water Discus Hotel’ 과 피지 섬 해저의 ‘포세이돈 해저 리조트’ 가 대표적.
- Water Discus Hotel
  - 지난 2012년부터 두바이에 1억2000만달러를 들여 건설 중이며, 호텔은 해저 객실과 수상 상부 구조물로 나뉘어 있음.
  - 해저 객실부분은 해저 10m 아래에 설치돼 총 21개의 수중 객실이 들어설 예정. 투숙객들은 아크릴 창문을 통해 해저 전경을 즐길 수 있음.
  - 수중 식당과 회의실, 다이빙 센터 등 편의시설도 함께 마련될 계획.
  - 건축면적 11만여 평방미터에 220개의 객실, 국제회의장 및 해저빌라 등 각종 부대시설을 포함할 계획.



[그림 2.16] THE WATER DISCUS UNDERWATER HOTEL (DOT社)



[그림 2.17] 두바이 해중 호텔 내부 조감도



[그림 2.18] 피지의 Poseidon Undersea Resort

□ 포세이돈 해저 리조트

- 2020년 완공 예정이며, 7,140ton / 128m × 24m × 4.5m의 크기를 가짐.

- 포세이돈 해저 리조트는 수심 12~15m에 위치하며, 51㎡ 크기의 객실 24개, 레스토랑, 예식장 등을 포함하며, 각 객실은 독립된 모듈 형태로 설계됨.
- 포세이돈 해저 리조트는 비상시 구조물에서 자동으로 분리되어 탈출 가능하며, 총 220매의 아크릴 창 적용 (아크릴창 사이즈 : 3.0m(L) x 1.8m(W) x 1.2m(T))
- 남태평양 섬나라 바누아투에는 수중을 찾은 дай버들을 위한 이벤트로 세계 최초의 '수중 우체국'이 2003년에 개장(Wikipedia, website).
- Jules Underwater Lodge : дай버의 수중체류와 이벤트를 위한 해중숙박공간으로 이용.
- 아랍에미리트 두바이의 한 호텔에는 잠수함을 타고 입장하는 수중레스토랑 개장.
- 이스라엘의 해안가 수심 5m 아래에는 'The Red Sea Star' 해중레스토랑 개장.
- 세계적 호텔 체인인 콘래드 호텔은 몰디브 해안가 수심 5m 아래에는 2005년 전체를 투명아크릴로 만든 세계 최초의 해저 레스토랑 'Ithaa' 를 개장.



[그림 2.19] 몰디브의 Restaurant Ithaa



[그림 2.20] 몰디브의 Club Subsix



[그림 2.21] 이스라엘의 Restaurant Redsea Star



[그림 2.22] 미국, Jules Undersea Lodge

- 일본 및 미국의 해중 전망탑은 바다 속 풍경의 감상을 위해 잠시 머무를 수 있는 공간으로 활용(Environmental Graffiti, website).

□ City of Dreams

- 마카오의 바다 속에서는 2003년부터 450개의 테이블과 3000개의 슬롯머신을 갖춘 헤저카지노 휴양시설 'City of Dreams'가 건설 중
- 이 휴양시설의 카지노장은 바닷물과 해양생물로 둘러싸인 바다 밑에 들어서게 되며 호화 아파트, 2000여 객실과 쇼핑몰, 4000석 규모의 공연장도 건설

□ 국내에서는 울릉도에 천부해양관광단지 조성사업의 하나로 2014년에 해중망대를 설치했으며, 해중전망시설로는 국내 최초임.

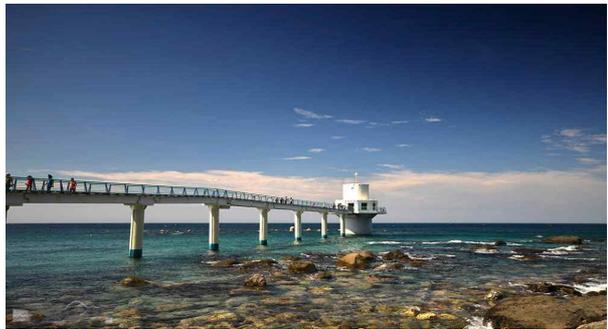
□ 울릉도의 해중전망대는 천부마을 해안과 전망대를 잇는 다리(107m)와 수심 6m에 있는 해중전망실, 수상 6m 높이의 해상전망실 등으로 구성됨. 전망대 전체 높이는 바닷속 기초부분을 포함해 22.2m임.

□ 미국의 꿈에는 울릉도의 해중전망대와 유사한 Fish Eye Marine Park을 운영해 오고 있음.

□ 탄자니아의 The Manta Resort이나, 스웨덴의 Utter Inn의 경우 수상 구조물 하부에 수중 전망대를 설치한 형태임.



[그림 2.23] 해중 레스토랑



[그림 2.24] 울릉도 해중전망대



[그림 2.25] 꿈의 Fish Eye Marine Park



[그림 2.26] 탄자니아의 The Manta Resort



[그림 2.27] 스웨덴의 Utter Inn

#### □ Waterford 사, 호주 ‘Goffs Coast’에 다목적 해저돔 개발 추진

- 해양공원 조성을 위한 해저 돔으로서, 수중조각공원, 인공어초(artificial reefs), 해저생물 서식지(HABITAT Waterford) 및 수중 해양관광을 위해 활용될 예정.
- 해저터널을 통해 일반인들도 쉽게 해저 돔을 견학할 수 있도록 설계될 계획.
- 5년 동안의 R&D 기간을 거친 후, 호주 건설회사인 ‘Dome Shells Australia’와 함께 해저돔 실용화에 나설 계획.
- 구체적인 추진계획이나 투자액은 밝히지 않음.
- 해저 특수성을 고려한 건설 공법, 해저돔 에너지 공급 방식 등 세부적인 내용에 대한 언급이 없음.
- 계획대로 이뤄질 경우 미래 해양산업의 신 분야로서 새로운 시장이 형성될 수 있을 것으로 예상.

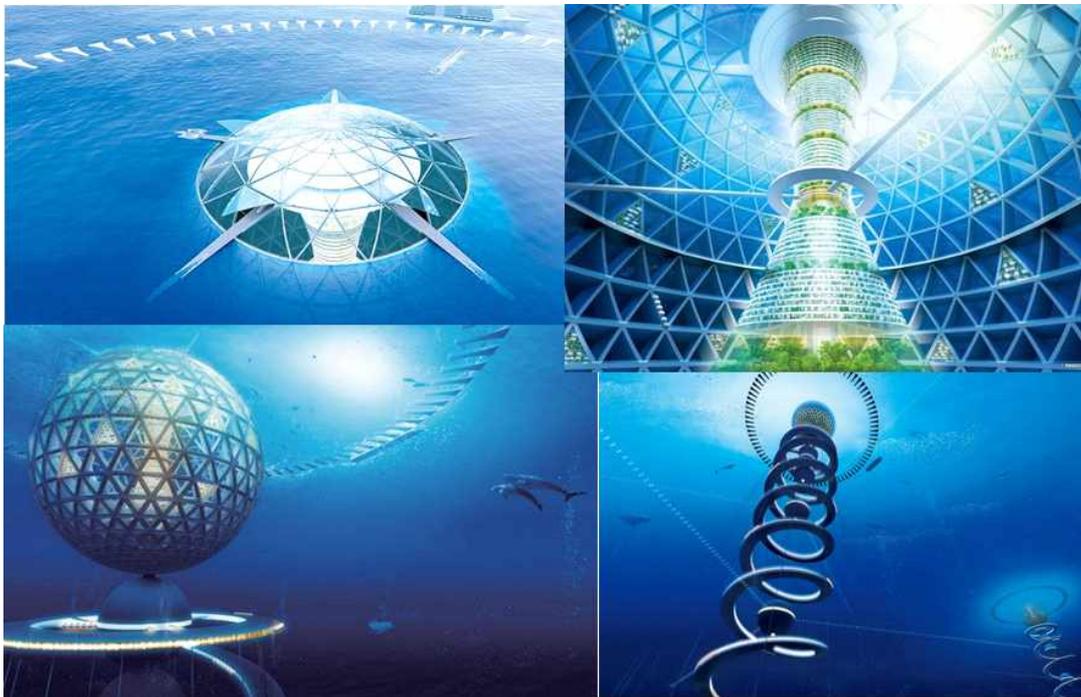
## (2) 거주를 위한 대규모 해저기지

#### □ 일본

- 시미즈건설에서는 2014년 11월에 심해 미래 도시구상 ‘오션 스파이럴(Ocean Spiral)’ 을 제시.
- 도쿄대학 및 일본 해양과학기술센터와 제휴하여 작업하였으며, 강철보다 20배 강한 탄소 나노튜브 기술로 해저기지를 건설한다는 계획.
- 지름 500m의 구 모양 구조물과 15km의 나선형 통로, 해저 연구시설로 구성 계획 (아크릴 판 두께 3.0m, FRP ribs 두께 1.5m).
- 수면에서부터 바닷속 3000~4000미터 깊이까지 나선 모양의 구조물로 구상되었으며, 5000명의 인구의 거주와 자체적인 에너지와 식량의 생산으로 외부에 전력 및 식량을 보낼 수 있도록 구상.
- 오션 스파이럴은 유형 3에 해당하는 해저기지로서 에너지와 자원을 자급하고 여분을 외부로

공급 가능하도록 함으로써 지속 가능한 해저기지를 건설하는 개념.

- 상부의 거주구역은 평상시에는 수면 위에 존재하나 악천후 시에는 수면 아래로 잠수하는 형태.
- 하부 해저면에는 희토류 채취 및 메탄을 생산하는 공장으로 계획.
- 에너지 생산은 해수온도차 발전을 이용할 계획이며, 심해의 압력차를 이용한 침투막에 의한 해수 담수화와 해저의 메탄에 의한 이산화탄소의 메탄가스 전환, 해저의 레어메탈 등의 광물 자원 채굴, 심층수를 활용한 양식어업을 계획.
- 시미즈 건설에서는 이의 건설을 위한 기술을 2030년까지 개발한다면 건설에는 5년의 공사기간과 약 3조엔(약 28조 3000억 원)의 공사비가 소요될 것으로 예상.



[그림 2.28 Ocean Spiral (일본)]

#### □ 벨기에

- 벨기에 건축가 뱅상 칼보는 2100년까지 발생하게 될 기후변화에 대비해 최대 2만명을 수용할 수 있는 친환경적인 수중 도시 프로젝트(Oceanscrapers)를 소개.
- 칼보가 제시한 수중 프로젝트에 따르면 바닷물은 담수화 과정을 거쳐 식수로 활용하며, 빛은 반딧불이나 해저동물 등을 이용한 생물발광을 통해 생산되는 것으로 계획.
- 칼보는 해저 도시가 3D 프린팅 기술을 이용해 2065년에 완공될 수 있으며 1㎡당 1950유로(약 253만 원)에 달할 것으로 추정.
- 해상 구조물 중 일부가 해중에 위치한 형태로서, 해저 구조물로 보기에선 무리가 있음.



[그림 2.29] Oceanscrapers

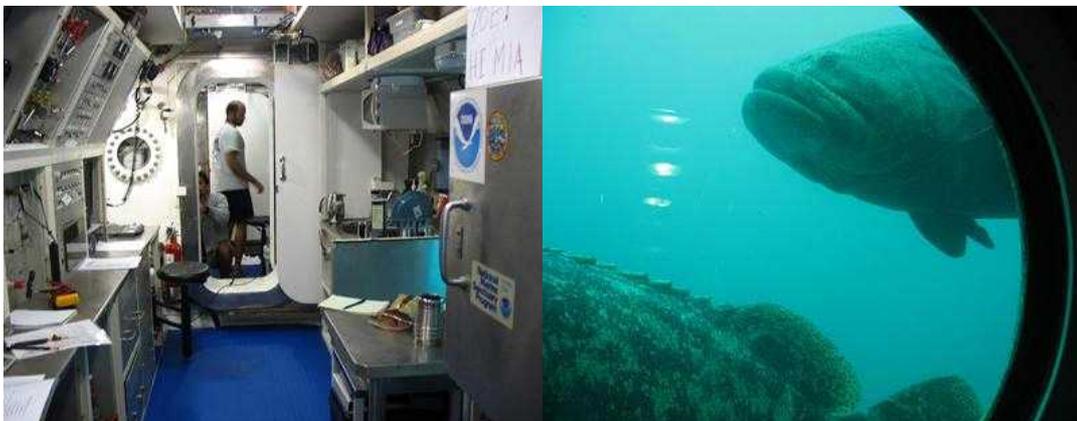
### (3) 연구용 해저기지 동향

#### □ 미국

- 심해에서의 환경조건은 육상에서와 달리, 저온과 고압이 작용하는 환경이기 때문에 심해 해저기지의 건설을 위해서는 이에 대한 분석과 대책이 필요.
- 이러한 연구는 미 해군에서 처음 시도 되었으며, 해저에서의 건설재료 상태 변화를 심해저 구조물 건설에 대한 사전 연구를 수행(Rush, 1962).
- 이후 미 해군에서는 심해 조건에서의 구조물 상태 변화를 파악하기 위하여, 콘크리트 구체를 수심 2,790ft(850m)에 설치하여 장기간의 상태를 관찰하는 연구를 수행(Haynes, 1974).
- 과거 냉전시기에 구소련이 군사적 목적으로 해저기지를 설치하고, 미국이 3개의 해저 실험기지를 개발한 전례가 있으나 지금은 대부분 운영 중단된 상태.
- 또한 당시의 해저기지는 대부분 천해에 설치되었으며, 프랑스도 1960년대 심해 정거장 개념을 추진하였으나, 현실화되지는 못함.
- 현재 운영되는 해저기지로는 미국 국립해양대기청에서 운영하는 Aquarius 산호 기지가 유일한 것으로 알려져 있음(Ocean Explorer, NOAA website).
- 이 기지는 1986년에 플로리다 키 국립해양보호구역 내의 산호초 지역에 건설되었으며, 해안으로부터 4.5km 떨어져 있고, 수심도 19m에 불과해 해저기지와는 차이가 있음.
- 그러나 이는 현재 유일한 유형 4의 해저 구조물이며, NASA의 우주비행사 극한환경에서의 생활 훈련을 위한 연구프로젝트인 'NEEMO 7' 등 다양한 연구에 활용되고 있음(National Geographic Channel, 2011).



[그림 2.30] Aquarius Underwater Laboratory (NOAA)



[그림 2.31] Aquarius Underwater Laboratory 내부 전경

## □ 중국

- 중국은 심해 탐사 부문의 기술력에서 선진국을 앞서겠다는 계획을 갖고 있으며, 본격적인 심해 정거장 개발에 앞서 실험용 정거장을 먼저 개발한다는 계획.
- 이 실험용 정거장은 12명이 탑승해 18일간 물속에서 활동할 수 있도록 설계.
- 남중국해의 지배권을 두고 미국과 대립하고 있는 중국은 남중국해 3km 깊이의 해저에 유인 해저기지인 룡궁(龍宮)을 건설 예정.
- 룡궁(龍宮)은 해저 2500m에서 50명이 최대 2개월간 머물 수 있는 가로 22m, 세로 7m, 높이 8m, 무게는 약 250t인 시설을 만드는 것을 목표로, 중국 유인 잠수정인 자오룽(蛟龍)호에 활용된 첨단 기술을 활용하는 방식으로 진행.
- 룡궁은 단순한 군사적 용도를 벗어나 남중국해 해저의 풍부한 자원을 확보하는 역할도 가능.



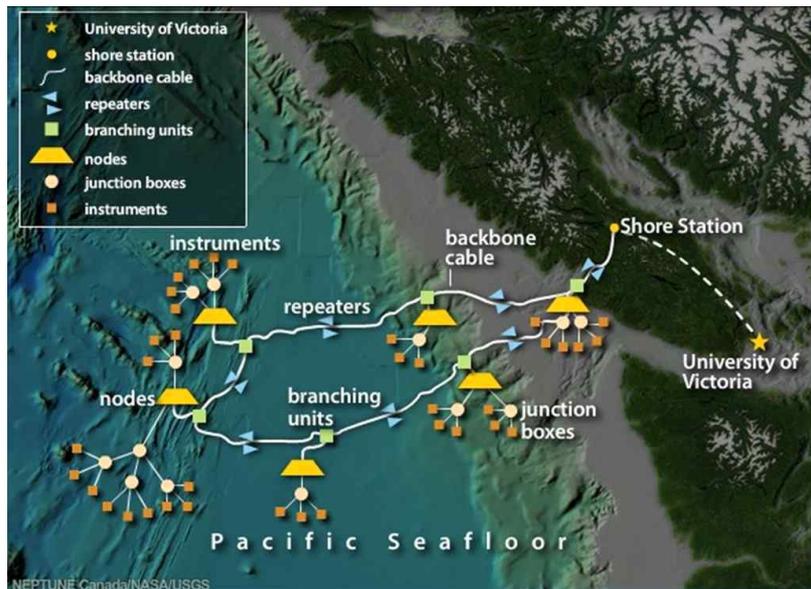
[그림 2.32] 중국이 해저기지를 건설하는데 참조하고 있는  
유인잠수정 자오룡(蛟龙)호

- 중국은 해저기지를 활용하여 주변국들과 영유권 분쟁을 벌이는 남중국해에 ‘해저 만리장성’ 구축을 추진한다는 계획이며, 미군 잠수함의 접근을 차단하는 것이 주 목적임.
- 해저 만리장성은 전파탐지기를 촘촘하게 설치하고 수중로봇을 배치해 적의 잠수함에 대한 방어 능력을 강화하겠다는 것으로서, 이 계획에는 사람이 머물 수 있는 ‘심해저 정거장’ 건설이 포함됨.
- 해저 만리장성 구축은 해저 자원 개발을 명분으로 해저 기지를 세우고 무인 잠수함 편대 등을 배치하려는 것으로 알려짐.
- ‘심해저 정거장은 해수면 아래 3000m가량에 설치되는 것으로 아직 어느 나라도 시도하지 않은 것이라고 보도됨.

#### □ 캐나다

- 캐나다는 2009년 9월에 세계 최대의 수중관측소인 ‘NEPTUNE Canada’ 를 설립하였으며, 빅토리아 대학이 설립한 Ocean Networks Canada에 의해 추진.
- NEPTUNE 캐나다는 브리티시 콜롬비아의 밴쿠버섬 서쪽 해안에 들어설 예정.
- 수중관측소는 크게 여덟 가지 시스템으로 구성.
- 빅토리아 대학에는 데이터 관리 및 처리시스템(DMAS)이 설치. 연안에 설치된 기지는 육지와 바다 사이에 전력과 통신을 연결하는 네트워크 기능을 담당.
- 800km 길이의 중심(Backbone) 케이블은 쌍방향으로 전력공급과 커뮤니케이션 기능을 수행.
- 각종 측정 장비는 수심 2.6km 해저에 약 400개가 설치. 특히 강한 압력, 저온, 부식 등에 견딜 수 있도록 설계. 최소 25년간 운영될 것으로 예상.

- NEPTUNE 캐나다는 지진과 해일 활동, 해양과 기후의 연관성 및 수산업에의 영향, 해양오염, 자원개발, 메탄하이드레이트 매장량, 해양생태에 대한 광범위한 연구는 물론 광섬유 통신, 전력시스템 설계, 데이터 관리, 센서 및 로봇 등 해저 신기술 개발에 도움을 줄 것으로 기대 (Neptune Canada, website).
- 하지만 유형 4와 같은 해저 대공간 구조에서 생활할 경우, 산소는 액화 산소와 기체 산소 순화여과장치로 정화하여 사용이 가능하지만 빛을 만들기 위해 사용되는 조명의 온도 조절장치가 미제로 남아 있음.



[그림 2.33] 'NEPTUNE 캐나다'의 시스템 구성요소

- 일반적으로 폐쇄된 공간 안에 일정량의 밝기를 가진 빛을 일정시간 비추다면 내부 온도가 상승하게 되며, 이를 유지하기 위해서는 대량의 전력 소모가 필요.
- 인공 밤을 위해 조명을 차단하는 경우에도 온도 하강으로 인한 추위에 대한 보온 처리 시설을 위해서는 고비용이 소요될 것으로 예측.
- 100가구가 거주할 해저 주거지에는 최소 1일에 3MWh의 동력이 필요할 것으로 예측되고 있으며(National Geographic Channel, 2011), 50명 미만의 소규모 돔을 여러 개 지어서 상호 연결하는 방식이 현재까지는 가장 현실성이 높은 것으로 분석
- 일반적으로 독일 건축학계에서는 2000만 명이 살 수 있는 육상도시를 건설하는 비용으로 수중 도시에서는 50만 명 정도 사는 구조물을 만드는 비용이 소요될 것으로 추산.
- 해저기지 건설 기술에 대한 연구는 해저 자원의 개발, 해양 영토 주권 확보, 해양 과학 연구, 인류 생활 영역의 확대를 위해 필수적이며, 각국은 이를 위하여 다양한 방법으로 기술개발을 시도하고 비전을 제시하고 있음.

- 각국의 해저기지 건설 동향을 살펴보았을 때, 유형 1과 유형 2의 경우에는 현존 기술로 건설 가능하여 이미 설계와 건설이 추진되고 있음.
- 이는 관광 및 레저를 목적으로 하는 유형 1과 유형 2의 특성상 천해에 건설되는 구조물이기 때문에 가능한 사안임.
- 유형 3과 유형 4의 개발을 위해서는 재정 및 정책적 지원이 필요함.
- 한국해양과학기술원에서는 2012년에 아래와 같은 해저기지의 개념을 제안함.



[그림 2.34] 해저기지 개념도 (KIOST, 2012)

## 2.2.3. 해저 공간 구조물

### (1) 대공간 구조

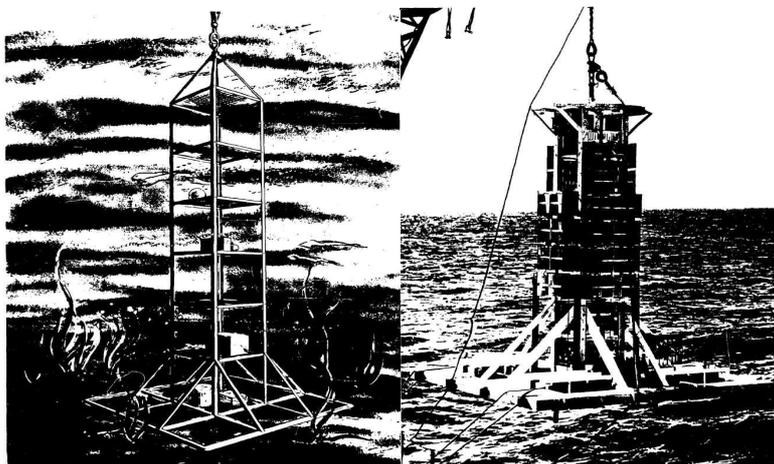
- 해저의 거주시설이나 작업기지에 해양작업자가 장기간 거주하여 해저자원의 탐사·채굴을 하기 위한 연구개발이 미국·프랑스·영국·독일·러시아·일본 등 많은 나라에서 추진.
- 프랑스의 J.Y.쿠스토는 해저에서 생활하고 일할 수 있는 해저의 집 실험을 추진 (2009)
  - 100m 수심의 해저에서 1개월간 육상생활과 다름없이 생활할 수 있다는 것을 입증.
  - 최소 인구 100만에서 최대 1억 명까지의 다양한 해저 도시가 연구 개발 중이며, 현재 프랑스와 일본이 가장 활발한 연구 중.
- 일반적으로 돛형을 선호. 해저의 특수성, 즉 수심에 대한 압력에 의거 힘을 가장 잘 분산시키면서도 정점을 살려 지탱해주는 돛 이론에 기초.
  - 루프실드 공법은 일반적인 실드 공법에 비해 반단면만 쓰는 것으로 지반이 단단하거나 압력에 20%이상의 영향을 받지 않아야 함.
  - 일정 수심에서는 돛과 돛을 이어주는 교량 정도의 역할이 타당할 것으로 판단.
  - 탄소강화 유리 및 인공 압축다이아몬드유리 공법을 연구 중이며, 미관상 불필요하고 소규모일 경우 탄소합금을 이용하기도 함.
- 조명의 경우, 산소는 액화 산소와 기체 산소 순화여과장치로 정화하여 사용이 가능하지만 빛에 사용되는 조명의 온도 조절장치가 미제로 남아 있음.
  - 일반적으로 폐쇄된 공간 안에 일정량의 밝기를 가진 빛을 일정시간 비추다면 내부 온도가 상승하게 되어, 이를 유지 하기위해 드는 전력의 소모량이 엄청남.
  - 인공 밤을 위해 조명을 끌 경우 온도 하강으로 인한 추위에 대한 보온저리시설 역시 만만찮은 비용이 요구된다는 연구결과가 도출됨.
- 현재까지 가장 이상적인 것은 50명 미만의 소규모 돛을 여러 개 지어서 상호 연결하는 방식이 현재까지 가장 실현가능한 방법으로 채택됨.
- 대체 에너지가 실용화되기 전까지는 장기간의 수중생활에서 오는 압력과 잠수병에 대한 처리 문제가 큼. 감압시설과 유압시설 비용문제.
- 일반적으로 독일 건축학계에서는 2000만 명이 살 수 있는 육상도시를 건설하는 비용으로 수중 도시에서는 50만 명 정도 사는 구조물을 만드는 비용 소요 추산.

## (2) 심해용 구조물

- 심해 조건과 같은 높은 외압을 받는 구조물은 좌굴에 의한 붕괴 위험성이 높아 국내외적으로 심해용 압력용기의 붕괴 해석 및 실험이 수행됨. (신장용 등, ‘심해용 압력용기에 대한 붕괴 해석’, 한국해양공학회지, 1999)
- 1974년 미 해군에서는 심해 조건에서의 구조물 상태 변화를 파악하기 위하여, 직경 6ft의 콘크리트 구체를 2,790ft (850m)에 설치하여 431일 후의 상태를 관찰함.
  - 관찰결과 초기에 강도가 증가하나 최종적으로 약 28%의 강도 감소를 확인하였으며, 강도 변화를 추산할 수 있는 관계식을 도출 함. (Civil Engineering Laboratory, Naval Construction Battalion Center, ‘Long-Term Deep-Ocean Test of Concrete Spherical Structures’, 1974)
  - 이 외에도 미 해군에서는 해저에서 건설재료 상태 변화를 관찰할 수 있는 실험틀을 제작하여 강재 및 콘크리트에 대한 상태 변화를 측정하고 심해저 구조물 건설에 대한 사전 연구를 수행 함. (U. S. Naval Civil Engineering Laboratory, ‘Preliminary Studies Concerning Structures in the Deep Ocean, Task No. Y-R011-01-015’, 1962)



[그림 2.35] 미 해군의 콘크리트 구체 실험



[그림 2.36] 미 해군의 심해저 건설재료 시험 틀

### (3) 신건설 재료

□ NASA에서는 달의 흙으로 만드는 '물 없는 콘크리트' 성공 (2009)

- 녹인 플라스틱 섬유를 물 대신 접착제로 활용하였으며, 2020년 착공 계획인 달 기지 건설은 물론 해저기지 건설에도 도움 예상.
- 2020년 달 기지 건설이 본격화되면 달에서 직접 채취한 토양에 물 대신 플라스틱이나 에폭시 수지 등을 섞어 기지 건설용 콘크리트를 만들 것으로 예상.

□ 국내에서는 달 복제토로 물 없는 콘크리트 제작 (2009, 한양대학교)

- 달의 토양과 성분이 비슷한 경주 지방의 흙을 이용해 물 없이 콘크리트를 만드는 실험에 성공.
- 달에서 채취한 흙으로 콘크리트를 만들 수 있음을 입증.
- 경주-포항 지역에서 채취한 흙을 체로 걸러 달 토양과 입자 크기가 유사한 달 복제토 (KOHLS-1)를 제작.
- 미국·일본·중국·캐나다에 이어 세계 다섯 번째임.
- NASA의 것에 비해 강도는 다소 떨어짐.
- 극한 공학(extreme engineering)은 풍랑과 수압이 심한 바다 아래서 석유를 저장할 저장고를 만들거나 해저호텔을 만드는 데에도 쓰일 수 있음.
- 물 없는 콘크리트는 굳는 시간이 워낙 짧아 강도만 보장되면 지구에서 건설 공기를 크게 줄일 수 있음.



[그림 2.37] 한양대의 달 복제토로 만든 콘크리트

□ 2008년 미국 앨라배마대의 후삼 투탄지(Toutanji) 교수는 달의 흙에서 추출한 황을 접착제로 쓰는 콘크리트를 개발.

- 100g의 달 복제토와 황 35g을 섞고 섭씨 130~145도로 가열해 콘크리트 제작.
  - 지구에서 느끼는 기압의 170배에 해당하는 17메가 파스칼의 압력도 견딤.
- NASA 고다르 우주비행센터의 피터 첸(Chen) 박사는 황 대신 에폭시 수지를 접착제로 쓴 콘크리트를 개발함.
- 물 없는 콘크리트는 달 기지 건설 이외에도 달의 우주망원경과 해저 석유비축기지 건설에도 사용 가능.
  - NASA의 피터 첸 박사는 지난 2009년 6월 미국천문학회에서 달 복제토 콘크리트로 만든 지름 30cm짜리 우주망원경용 반사경을 공개
  - 첸 박사는 달 복제토(JSC-1A)에 에폭시 수지와 소량의 탄소나노튜브를 섞어 콘크리트를 제작
  - 굳지 않은 콘크리트를 고속으로 회전시켜 반사경 밀판을 만들고서 그 위에 알루미늄 박막을 입혀 반사경 제작
  - 첸 박사는 “달에 지름 2.4m의 허블망원경과 같은 망원경을 지을 때 지구에서 에폭시 수지 60kg, 탄소나노튜브 1.3kg, 알루미늄 1g만 가져가면 된다.”고 밝힘.



[그림 2.38] 아폴로 17호 우주인의 달 토양 채취 광경

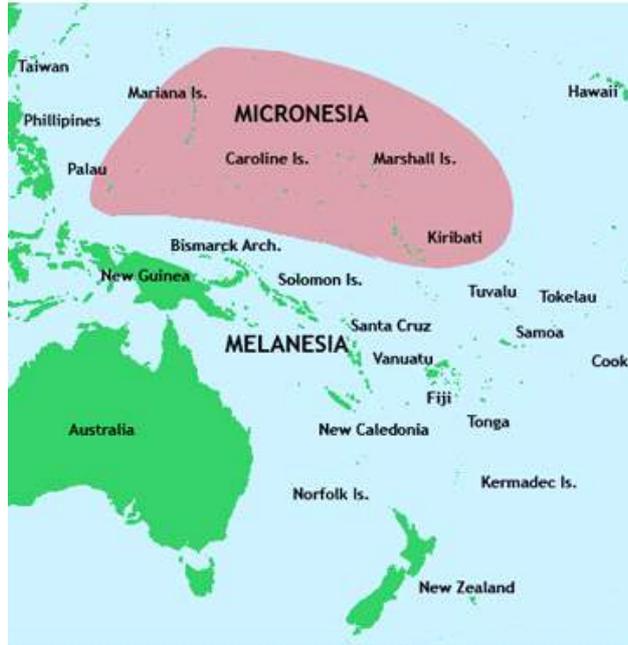
## 2.2.4. 해저도시 건설시 고려 조건

- 입지 선정
- 입지 선정의 첫 번째 조건은 햇빛의 투과 여부.
  - 빛이 들어오지 않는 곳에서 짧은 시간 동안 지낼 수는 있지만 거주는 불가능.
  - 일반적으로 대륙붕인 수심 200m까지는 햇빛이 투과 됨.

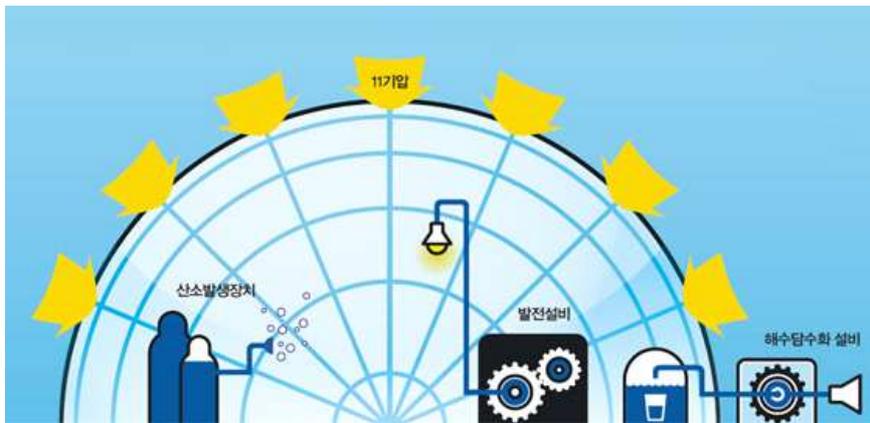
- 대륙붕 면적은 부속해를 포함해 태평양이 5.7%, 대서양이 13.3%, 인도양이 4.2%에 그치며, 바다 전체로 보면 7.6%에 불과.
- 육지에서 가까운 깊이 100m 전후인 ‘곡’까지는 빙하시대에 육지로 된 지역이지만 흠이 파인 해곡(海谷)이 많으며, 대륙붕 중에서 해곡을 제외.
- 우리나라 서해의 경우 ‘탁도’가 매우 높아, 건설 불가능 (서해는 빛이 투과하는 수심이 3~5m 미만)
- 두 번째 입지 선정 조건은 각종 자연재해로부터 자유로운 곳.
- 태풍이나 파랑·바람·허리케인 등의 영향을 받지 않는 곳, 지진이나 지진해일 위험이 없는 곳.
- 태풍이나 바람, 파도 등은 세기에 따라 달라지지만 일반적으로 수심 30m 이상에서는 아무런 영향이 없음.
- 바다 수면 외부 기압과 내부 압력 등을 고려해 볼 때 30~100m가 해저도시 건설에 적합한 수심.
- 지진의 경우 조산대 지역을 제외한 곳이 안전.

#### □ 구조물 형상 및 건설 재료

- 수심 100m의 평탄한 지반인 북서태평양 지역에 100가구가 사는 해저도시 건설시 11기압 작용 (수심 10m마다 1기압이 증가)
- 11기압 작용 시 1㎡ 110tonf의 무게 작용 (1,079kPa).
- 해저도시의 구조물은 외부 11기압의 압력을 버티는 동시에 도시 내부는 1기압의 압력을 유지해야 함.
- 따라서 순수외력 10기압 (1MPa)에 저항하는 구조물 건설 필요.
- 최적의 형태는 돔 모양의 셸(shell) 구조.
- 채광을 고려해 유리를 외벽으로 사용해도 철골 구조가 하중을 떠받칠 수 있음.
- 해저도시 역시 외벽을 구성할 수 있는 재료는 혼한 철골과 유리가 가장 유력.
- 철골은 염분 피해를 방지하기 위해 특수 코팅 처리한 타이타늄 합금 재질이 가장 유력한 후보임.
- 유리는 고압을 버티기 위해 심해잠수정에 사용되는 고강도 플라스틱 수지인 ‘메타크릴 수지 글라스’를 이용하는 게 적절.



[그림 2.39] 건설의 최적지로 꼽히는 미크로네시아



[그림 2.40] 해저도시 개념도

#### □ 건설 방법

- 해저주택 모듈을 육상에서 건조된 뒤 해저로 옮겨 조립.
- 개별 모듈의 육상 건조는 어렵지 않으며, 수중 조립이 가장 어려운 문제임.
- 이론적으로 숙련된 기술을 지닌 잠수부가 수심 100m에서 장시간 조립 작업은 가능.
- 하지만, 해저도시 구축에 필요한 수백 명의 잠수부가 100m 수심 환경에서 적응해 작업하는 시간 때문에 불가능.
- 인간이 수행 해야만 하는 고난도 작업 외에는 수중로봇 작업 필요.
- 수중로봇은 유선장비인 ROV(Remotely-Operated Vehicle)와 무선장비인 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)로 분류.

- AUV는 음파나 초음파를 이용해 해저 지형 등을 측량.
- 해저도시 건설에 필요한 것은 ROV로서, 조종 설비를 갖춘 선박을 통해 광통신으로 조종, 바다 속에서도 정밀하게 작업. 절단, 수송, 용접 등 다양한 작업에 적용.
- 해저도시의 뼈대인 철골을 수중에서 먼저 구축하고 구조물 사이로 메타크릴 수지 글라스 설치.
- 주거 공간, 발전 시설 등 개별 모듈을 조립한 뒤 다시 수면 위로 떠오르는 현상을 막기 위한 작업 필요.
- 해저 바닥에 고정하거나 물탱크를 하부에 설치하여 부상 방지.
- 배수 장치와 1기압 유지를 위한 압력 조절기를 설치.



[그림 2.41] 다양한 형태의 수중 무인 기계화 장비

#### □ 운영 및 유지 기술

- 거주에 필요한 설비의 기본적인 요소는 물, 산소, 에너지.
- 물과 산소, 에너지를 육지에서 공급받을 수 있는지 여부가 중요
- 물은 해수담수화 설비를, 산소는 담수를 전기분해해 산소를 발생시키는 장치를, 에너지는 조력·파력·풍력 등 해양청정에너지 설비를 이용.
- 식수와 생활수는 해수담수화 설비를 주변에 설치.
- 산소는 전기분해 설비를 설치하거나 녹조류의 광합성을 활용.
- 전기에너지는 100가구가 사는 데 하루 약 300만Wh가 필요.
- 해저 케이블을 연결해 육상에서 생산된 에너지를 공급하는 방식이 현실적이나, 복수 에너지원 사용이 안정적.
- 따라서, 에너지 자급 시설 필요.
- 육상 에너지를 공급받기 위한 해저케이블과 파력 및 풍력 발전 설비, 해류를 이용한 터빈 발전기 등을 고려.

#### □ 해저기지 규모

- 핵잠수함 USS 미시간호는 길이 170m, 폭 12.8m로 4층의 구조로 설계.
- 잠수함의 대략 면적을 8000㎡라고 가정하면, 2400평에 해당. (축구장 1개의 크기)
- 160명의 승조원을 40가구(1가족 4인 기준)로 가정하면 100가구는 이보다 2.5배 큰 공간이 필요.
- 따라서 100가구 거주 시 필요면적은 약 6000평(약 2만㎡)이 산술적으로 도출.
- 이는 산술적인 계산일뿐이며, 발전소, 생명유지장치 등 유틸리티 공간이 별도로 필요하므로, 적어도 실제 거주 공간의 5배 이상이 필요.
- 또한 육상과 해저를 연결하는 터미널과 잠수함 정박지 등을 고려하면 더욱 많은 공간이 필요.

## 2.2.5. 심해저 극한건설 플랜트 · 장비기술

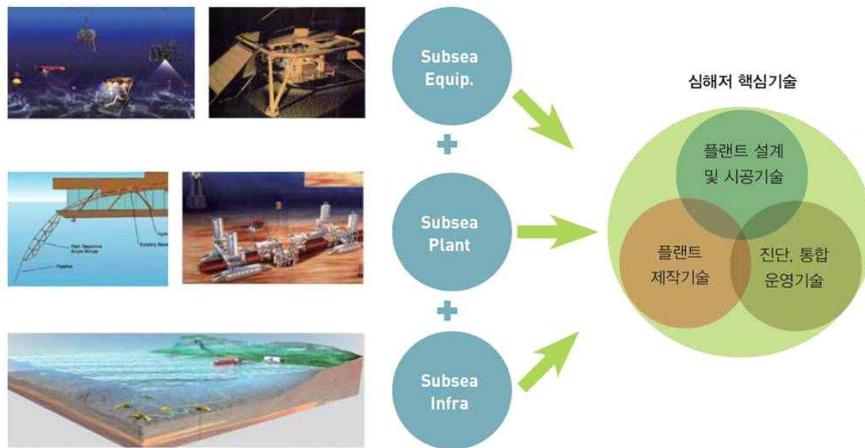
### □ 심해저 극한건설기술

- 심해저 활용을 위한 핵심기술로서 제반 건설생산 활동이 저온, 고마찰, 고압 등의 심해저 극한조건에서 운용되는 플랜트 · 구조물, 장비를 대상으로 미래 고부가가치를 창출 할 수 있는 유망기술
- 일반적으로 1km 이상의 심해저에서 신공간 창출 및 에너지/자원 획득을 위하여 필수적인 심해환경 조사, 기초 및 구조물 설치, 채굴 및 생산, 관로이송 및 처리 기술, 제어운용 등 제반 건설생산기술을 대상으로 함.
- 심해저 극한건설에 있어 핵심적인 기술은 플랜트 설계 및 시공 기술, 제작기술, 진단 및 통합 운영기술 등으로 구분되며, 그 대상은 심해저 장비(탐사, 부품, 재료, 진단 등), 심해저 플랜트(배관망, 트리, 매니폴더, 시추, 모듈시스템 등), 심해저 인프라(모니터링, 통신, 시뮬레이터, 운영 등) 등임.
- 가스 · 유전, 광물자원 등 에너지 · 자원 개발이 육지(onshore)에서 해상(offshore)으로 확대됨에 따라 해상 부유구조물 및 해저 기초, 해저 생산시스템 및 해저 배관망의 건설이 증가하고 있으며, 심해저 극한 환경으로 보다 높은 수준의 설계 및 엔지니어링기술이 요구되는 분야임.
- 현재 일부 선진기업에서 원천기술을 보유하고 설계 및 설치, 시험인증 등 관련시장 카르텔을 형성하고 있으며, 기술 및 제품의 높은 고부가가치에 따라 후발 진입을 추진하는 기업이 증가하는 추세임.

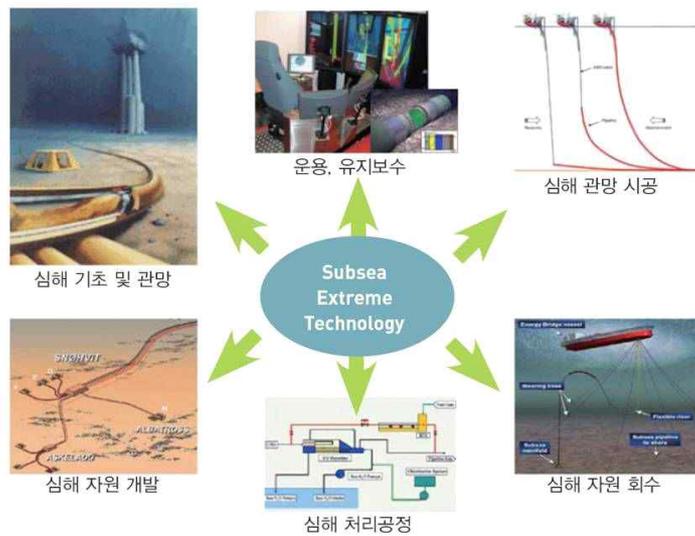
### □ 심해저 개발관련 환경변화 및 주요이슈

- 심해저, 해상 환경을 고려한 보다 높은 수준의 플랜트 설계 및 엔지니어링 기술과 구조물의 시공법, 유지관리 등 고도의 첨단기술 개발이 필수.
- 이러한 기술은 해저 플랫폼에서 각종 구조물 및 설비의 이송, 접합, 고정 등 극한기술로서 특화 경쟁력을 가질 수 있음.

- 국내적으로는 해저 플랫폼과 이송기술 등에 대한 설계 및 시공, 접합시스템, 유지관리, 위해 환경 분석 등 연구개발이 미미한 실정임.
- 국내에는 본 기술과 관련된 가치사슬이 전무한 실정이며, 단지 해외 선전기업으로부터 기자재 제작 주문을 받아 납품하는 일부 품목이 있음.
- 향후 시장수요 증가가 예상되고 있는 상황에서 세계 시장을 몇몇 회사가 독점하고 있어 수급에 있어서 국내 관련기업(건설·엔지니어링사, 중공업사, 기자재 기업 등)을 중심으로 심해저 극한건설기술에 대한 독자개발을 통하여 시장진입을 위한 적기로 분석됨.



[그림 2.19] 심해저 극한건설 플랜트·장비기술 개요



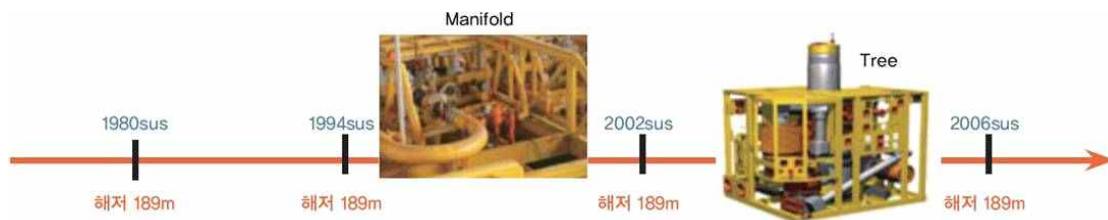
[그림 2.20] 심해 극한기술의 활용분야 예시

□ 심해저 극한건설기술 및 산업현황

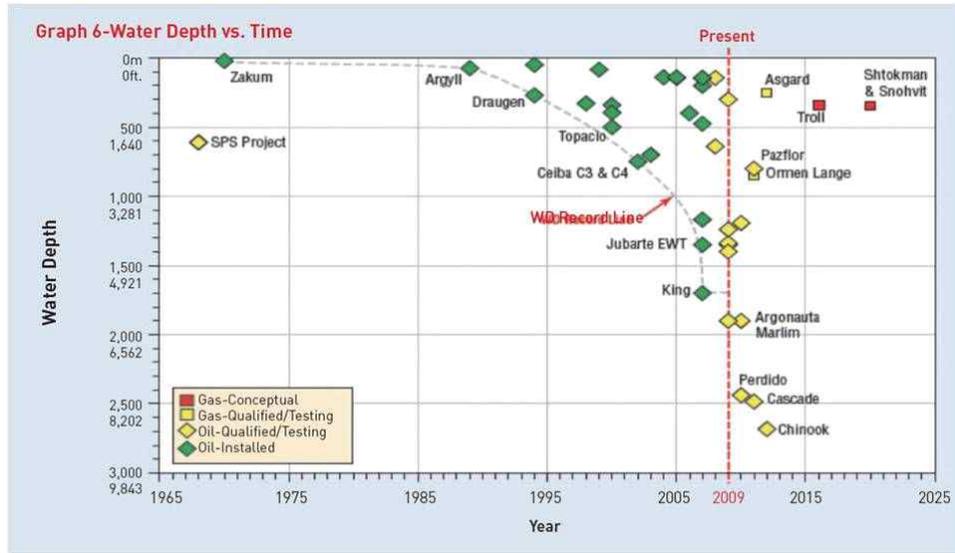
- 국내에서는 연구소, 대학에서 가스 배관 및 원격작동기구(remotely-operated vehicle) 등에 대

한 수치해석 및 모형시험 검증 등 기반기술을 부분적으로 보유

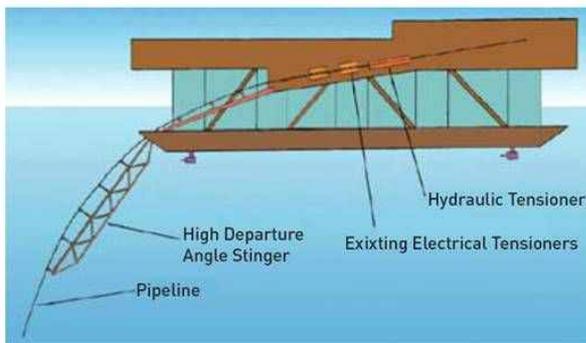
- 심해저 플랜트·장비의 설계 및 제작, 시공, 용접시스템, 배관재료, 첨단유지관리 및 운영, 해저 위험환경 분석 등에 관한 연구는 전무한 실정
- 국내의 경우 해저생산플랜트에 대한 기술 수준은 일부 중공업 업체가 연근해 해저파이프 설치 기술을 보유하고 있는 수준으로 국내 기술 인프라를 고려 시 전반적으로 기술 수준은 선진업체 대비 약 50% 내외로 평가됨.
- 국외 선진기술 현황을 살펴보면 해저생산시스템인 해저트리(subsea tree)와 매니폴드(manifold)는 2006년 해저 2,463m까지 설치된 기록이 있음.
- 1990년대 이후 심해 1km 이상의 깊이 설치된 이후에 이러한 설치사례는 점증하고 있음을 알 수 있음. 여기서 해저트리는 해저 시추공에 설치되어 생산 및 안전성을 제어할 하는 장비이며, 매니폴드는 다수의 해저트리를 연결하는 장치임.
- 해저 배관 시공분야에서 최근의 핵심기술은 J-lay 기술로써, 기존에 S-lay 방식에서는 배관이 바지선과 해저면에서 각 1회씩 2회 굽힘과정을 거치는 반면에 J-lay 기술은 배관의 굽힘이 배관이 해저면에서 1회 거치는 방식으로 해상(off-shore)에서 심해로 약 2km에 적용된 사례가 있음.
- 해저생산플랜트 분야는 노르웨이의 FMC 및 Aker Solution과 미국의 Cameron 등이 전체 해저 플랜트 시장의 80%를 차지하고 있음.
- 현재까지 해저 플랜트 시장은 해저생산시스템(subproduction system)이 대부분을 차지하였으나 최근에는 시추방법, 시스템 기능 등 새로운 기술이 접목되고 있음.
- 해저와 관련된 설비 및 엔지니어링 시장의 경우 오일 주력사와 연계된 소수의 에너지 관련 설비 및 엔지니어링업체들이 시장을 주도하고 있음.
- 대표적인 글로벌 업체들로는 해저생산시스템 시장을 주도하고 있는 FMC, GE, Cameron 등이 있고, 엔지니어링 업체로는 Aker Solution, Technip, Saipem 등임.



[그림 2.21] 해저 플랜트·장비 설치수준



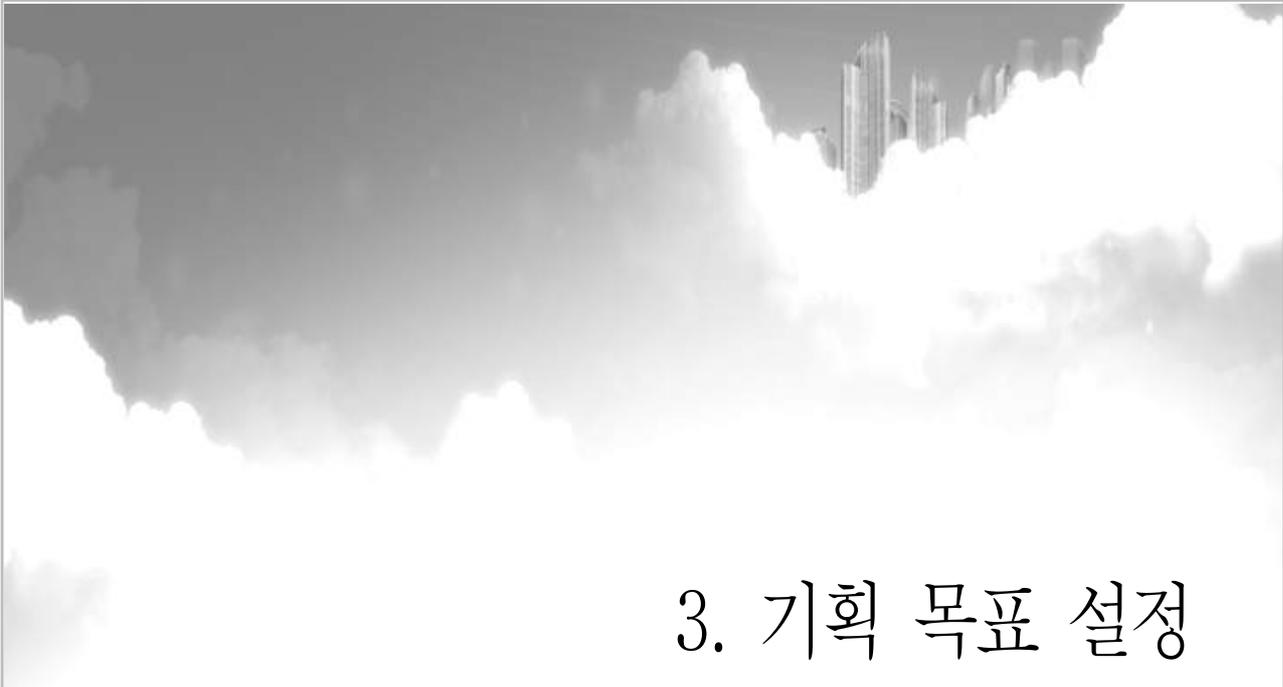
[그림 2.22] 해저생산플랜트 설치현황 (Journal of Offshore Technology, 2009, INTECSEA)



[그림 2.23] S-lay(좌) J-lay(우) 공법 개념도

#### □ 심해저 극한건설기술 개발방향

- 일부 선진기업이 시장 카르텔을 형성하여 독점하고 있는 심해저 극한건설 플랜트·장비분야는 에너지·자원 메이저 업체와의 연계가 크게 작용
- 오랫동안 축적된 높은 원천기술 및 사업실적 등으로 초기 시장진입 장벽이 높은 편임.
- 심해저 극한건설 플랜트·장비분야는 시장 확대 및 성장 가능성이 매우 크고 소수의 기업에 의한 시장 과점으로 인하여 경쟁이 치열하지 않아 후발 기업에게는 기회요인으로 분석됨.
- 해양 및 해저분야 개발 증가에 따라 점진적인 시장 확대가 예상되는 심해저 생산플랜트 및 장비, 심해저 배관망설계 및 시공기술, 2km 이상 심해저 시추기술 등이 유망한 것으로 분석
- 기자재 설계 및 제작, 현장 적용을 위한 엔지니어링 등 산업과급효과가 매우 크고, 기본적인 단위유닛 및 기기 가격이 1기당 수백억 원이 넘는 등 고부가가치 분야이며 현장 시공분야는 수천억 원 이상의 대규모 공사가 수반되는 산업분야임.



### 3. 기획 목표 설정

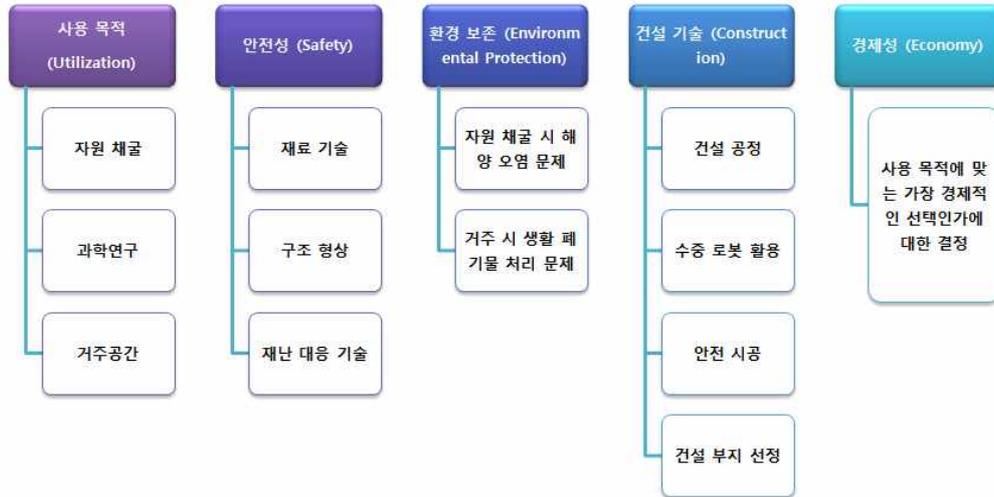




# 3. 기획 목표 설정

## 3.1. 기술 개발 범위

□ 본 연구에서는 해저기지 건설 기술에 대한 고려 사항을 다음과 같이 설정함.



[그림 3.1] 해저기지 건설 계획 시 고려 사항

□ 사용목적 (Utilization)

- 자원채굴
- 과학연구
- 거주공간

□ 안전성 (Safety)

- 재료 기술
- 구조 형상
- 재난 대응 기술

□ 환경 보존 (Environmental Protection)

- 자원 채굴 시 해양 오염 문제
- 거주 시 생활 폐기물 처리 문제

□ 건설 기술 (Construction)

- 건설 공정

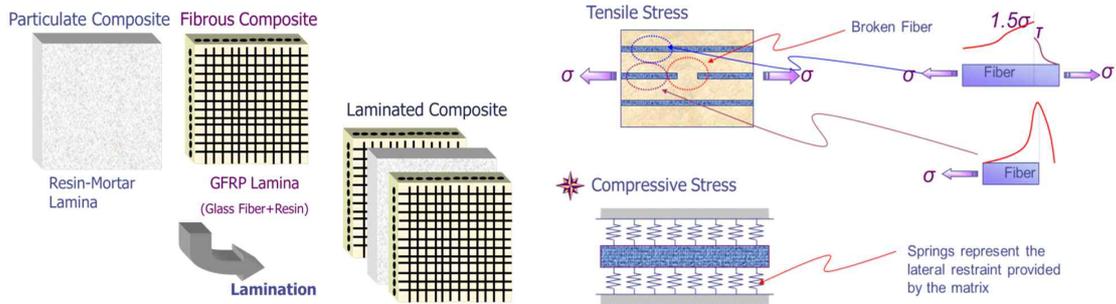
- 수중 로봇 활용
- 안전 시공
- 건설부지 선정

□ 경제성 (Economy)

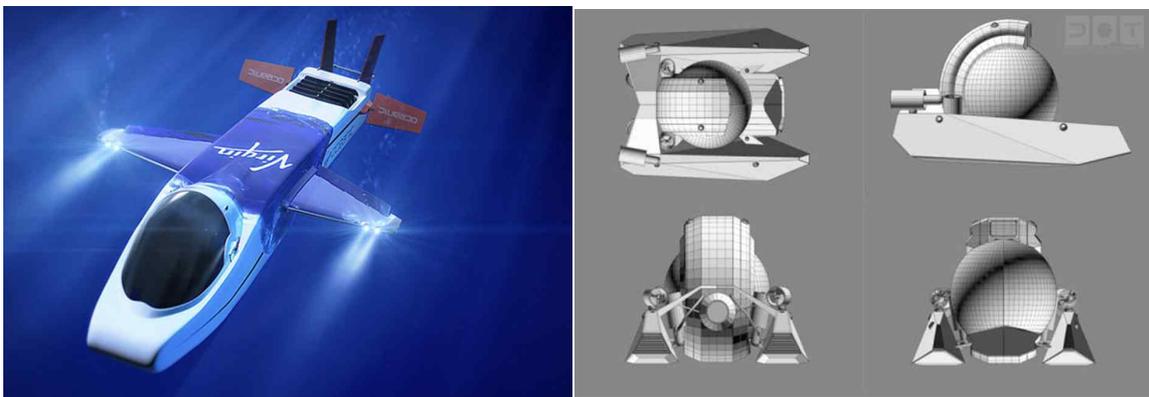
- 사용 목적에 맞는 가장 경제적인 선택인가에 대한 결정

□ 안전성(Safety)에 대한 고려 사항

- 수압을 견딜 수 있는 돔(또는 셸) 형태의 구조물이 적합
- 햇빛을 받기 위해서는 철골과 유리소재를 사용 유리
- 구조 안전성을 위해서는 고강도 신소재 적용 필요 (특수 코팅 처리한 타이타늄 합금 , FRP 등)
- 산소, 물, 에너지를 공급 장치 필수 (100개 가족이 거주할 해저 주거지에는 최소 1일에 3백만 Wh의 동력이 필요)
- 육상으로 갈 때는 잠수정을 타거나 육상과 연결된 진공터널을 이용



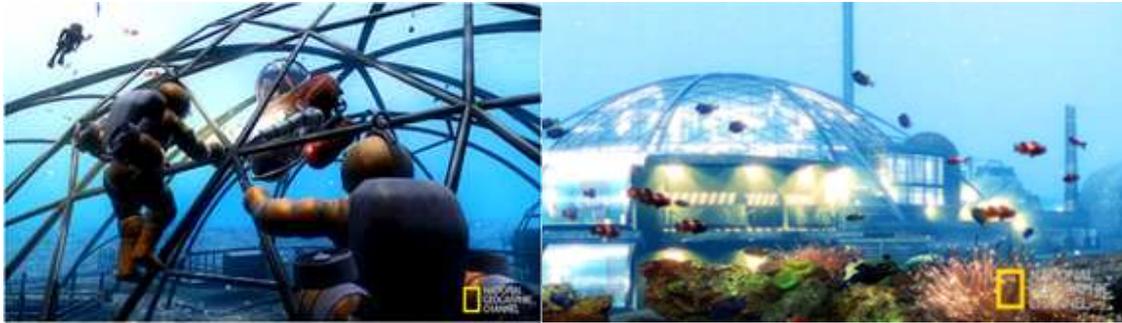
[그림 3.1] FRP 적층 구조



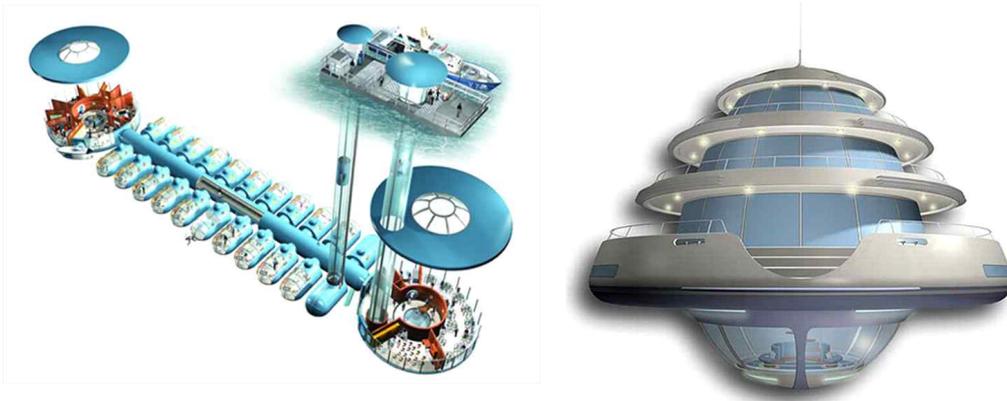
[그림 3.2] 수중이동 잠수정

□ 건설 기술(Construction)에 대한 고려 사항

- 모듈러 공법
  - 육상에서 건조된 뒤 해저로 옮겨 조립 및 수중 조립 기술 등
- 수중 무인 건설 로봇 활용
  - 인간 작업시 작업 시간이 길어지면 감압 시간도 증가
  - ROV(Remotely-Operated Vehicle)와 무선장비인 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)
- 건설부지 선정/확보 기술
  - 햇빛의 투과 여부: 빛이 들어오지 않는 곳에서 짧은 시간 동안 지낼 수는 있지만 거주는 불가능
  - 지진 등의 자연재해로 부터 안전 (대륙붕 중 해곡 제외)
  - 바다 수면 외부 기압과 내부 압력 등을 고려해 볼 때 30~100m가 해저도시 건설에 적합한 수심



[그림 3.3] 해저기지 건설 작업 및 완성 전경



[그림 3.4] 포세이돈 리조트와 해저 도시 구조물

□ 경제성(Economy)에 대한 고려사항

- 50명 미만이 거주하는 소규모 돔을 여러 개 지어서 상호 연결하는 방식이 현재까진 가장 실현 가능한 방법
- 장기간의 수중생활에서 오는 압력과 잠수병에 대한 처리 문제
- 위한 감압시설과 유압시설 등의 비용문제

- 독일 건축학계에서는 2000만 명이 살 수 있는 육상도시 건설비용 = 수중 도시에서는 50만 명 정도 사는 구조물 건설비용으로 추산
- 국제우주정거장(ISS)에 든 비용= 약 1500억 달러(약 200조 원) 투입.
  - 승무원 한 명당 하루 체류 비용 750만 달러(약 85억 원)
  - 태평양 피지 섬 부근의 해저 리조트는 하루 숙박비용: 2000달러(220만 원 VS 85억 원)

## 3.2. 기술 목표 설정

### □ 1단계 기술

- 수심 50m에 건설 가능한 해저 기지 구조체 기술
- 5인 이상 작업/연구 인력이 상주 가능한 소규모 해저 기지 구조체 기술
- 해저 기지 에너지 공급 및 생명유지 기술

### □ 2단계 기술

- 수심 200m 이상에 건설 가능한 해저 기지 구조체 기술
- 50인 이상 작업/연구 인력이 상주 가능한 대규모 해저 기지 구조체
- 해저기지-육상간 인력 및 채굴 광물 운송 기술

### □ 필요 개발 기술

- 해저 기지 구조체 설계 기술
  - 해저기지 안전성 확보를 위한 수압 분산 기술 : 돔, 구형, 실린더 형 등 수압 분산을 위한 최적 형상 설계 기술
  - 구조체 강성 증대 기술 : 리브, 파형 등 외력 저항성 증진을 위한 좌굴 강도 향상 기술
  - 국부 파괴 및 안전성 저하를 발생 시키는 집중 응력 저감 기술
  - 강도 증진을 위한 신형식 구조형식 개발 : FRP-Concrete 합성 및 Metal-FRP 합성 재료 기술
  - 지진 및 태풍 등의 해저 자연재해에 대한 안전성 확보 기술
- 해저 기지 시공 기술
  - 급속/정밀 시공을 위한 최적 구조체 모듈화 기술 개발
  - 수밀성이 확보된 정밀 수중 시공 기술
  - 해저 기지 구조체 모듈 운송 기술
- 해저 기지 운영 및 유지 관리 기술
  - 해저 기지 손상부 자가 복구 기술 (Smart Material 등)
  - 해저 기지 에너지 공급 및 생명유지 기술
  - 해저기지-육상간 인력 및 채굴 광물 운송 기술 (잠수정, 해저터널, 수중 타워 등)
  - 해저 기지 구조물 손상 시 격벽 차폐 및 분리 기술

- 응급/위기 상황 시 신속 이탈 기술
- 대수심 채류 연구 인력 건강 확보 기술 (예: 수심 300m 이상 폐 파열)
- 해저기지 모듈 접합 및 수밀 기술

[표 3.1] 핵심기술 Performance Target

핵심 기술	세부기술
해저기지 최적 구조설계기술	해저기지 입지선정기술
	수중구조 건축설계기술
	수압분산 최적형상설계기술
	신형식 복합구조설계 및 시공기술
해저기지 건설재료 및 시공기술	고강도 콘크리트 건설재료기술
	고내구성 건설재료기술
	육상 모듈제작기술
	해저기지 모듈 이송 기술
	해저기지 모듈 급속정밀 시공기술
수중 지반개량 및 기초시공기술	해저기지 지반개량기술
	해저기지 기초시공기술
해저기지 FWE(Food, Water, Energy) 및 수중 HSE 기술	물/식량 공급기술
	에너지 및 통신공급기술
	대수심 채류 인력 건강확보기술
해저기지-육상 교통인프라 기술	수중교통기술
	기지-육상연결용 수중터널기술
해저기지 안전성 확보기술	수중 재해경보기술
	긴급탈출기술
	수중구조 모니터링 및 평가기술
	수중구조 보수보강기술

### 3.3. 기술 목표 설정

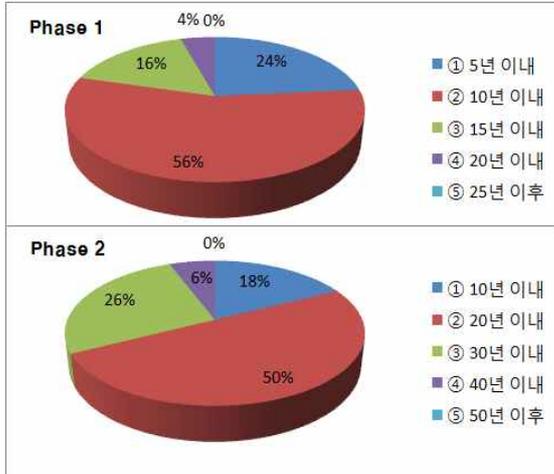
- 본 연구에서는 기술 개발 설정 목표와 필요 기술에 대해 설문 조사를 수행하여 개발 필요 기술을 도출함.
- 설문 조사와 함께 전문가 그룹에 기술 수요 조사를 실시.
  - 설문 표본 : 69명
  - 설문 조사 방법 : 이메일을 통한 설문 조사

[표 3-2] 설문 항목

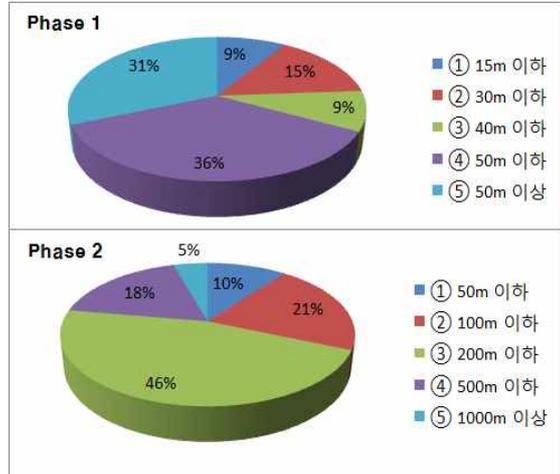
분류	항목
I. 기술 목표 설정 수준	1. 목표 달성 가능 시기
	2. 목표 수심
	3. 목표 규모
	4. 최대 체류 기간
II. 해저 기지의 필요성 및 활용성	1. 건설 필요성
	2. 건설 필요 이유
	3. 해저기지 활용도
III. 해저 기지 건설 필요 기술	1. 해저기지 건설 필요 기술
	2. 해저기지 건설재료
	3. 해저기지 시공 방법
	4. 해저기지 에너지 공급 방법
	5. 자체 에너지 공급을 위한 발전 방법
IV. 해저 기지 운영 및 유지 기술	1. 해저기지 사고 발생 시 필요 안전 기술
	2. 해저기지 운영을 위한 개발 필요 기술
	3. 체류자의 해저기지-육상간 이동 방법
	4. 채취자원 육상 운송 방법
	5. 해저 기지의 건설이 해양 환경에 미치는 영향

### 3.3.1. 기술 목표 설정 수준

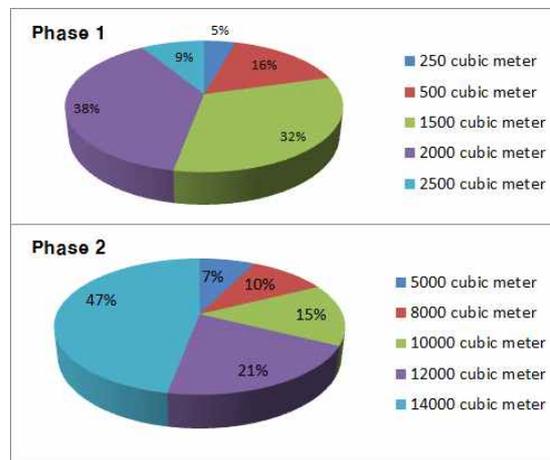
- 기술 목표 설정 수준에서는 목표 달성 가능 시기, 목표 수심, 목표 규모, 최대 체류시간에 대해, 1단계와 2단계로 나누어 조사.
  - 1단계 기술목표는 수심 50m, 상주인력 5인으로 설정을 하여 조사
  - 2단계 기술 목표 달성 가능 시기는 수심 200m, 상주인력 50인으로 설정하여 조사.
- 목표 달성 시기
  - 1단계 기술목표 달성 가능 시기는 평균 10년 이후
  - 2단계 목표 달성 가능 시기는 평균 22년 후로 조사됨.
- 목표 수심 및 규모
  - 1단계에서는 50m이하에 대한 응답이 36%, 50m 이상에 대한 응답이 31%로, 평균 51m의 목표 수심을 갖는 것이 타당하다는 조사결과가 도출
  - 2단계 목표 수심은 평균 253m로 조사되었다. 해저기지 규모는 1단계에서는 평균 1,562㎡로 조사되었고, 2단계에서는 평균 11,720㎡로 조사됨.



[그림 3.5] Possible Time for Construction of Seabed Base



[그림 3.6] Target Depth of Seabed Base



[그림 3.7] Target Size of Seabed Base

□ 목표 최대 체류 기간

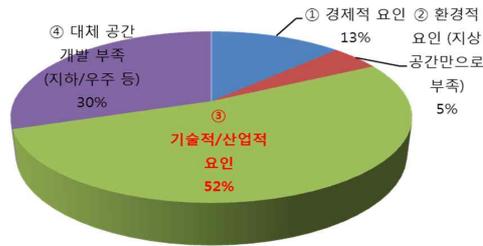
- 수심 50m, 체류인원 5인으로 설정한 1단계의 경우, 목표 최대 체류 기간은 평균 28일로 조사.
- 수심 200m, 체류인원 50인으로 설정한 2단계의 경우 목표 최대 체류 기간이 평균 77일로 조사.
- 상기 조사 시에 중국이 2030년 완성을 목표로 계획 중인 심해 정거장의 상주인원이 33인에 2개월 거주를 목표로 하고 있으며, 크기는 길이 60.2m, 폭 15.8m, 높이 9.7m (9926m<sup>3</sup>)인 점을 설문응답에 참고하도록 하여 조사한 결과임.

### 3.3.2. 해저기지의 필요성 및 활용성

- 향후 인류가 미래에 활용할 수 있는 해저기지의 건설 기술 개발 도출을 목표로 하고 있

는 본 연구에서 향후 해저기지 건설의 필요성과 활용성에 대해 설문 조사를 실시

- 필요성의 경우에는 필요정도에 따라 5단계로 답변하여 각각 2~10점의 점수를 부여.
- 평균 9.2점이 도출되었으며, 반드시 필요하다는 의견이 74%로 가장 많은 분포를 나타냄.
- 해저기지 건설이 필요한 이유에 대해서는 기술적 산업적 요인이 52%로 가장 많았으며, 다음으로 대체 공간 개발 부족에 따른 요인이 30%로 두 번째를 차지.



[그림 3.8] Necessity of Seabed Base

[표 3.3] Application of Seabed Base (Phase 1)

순위	항목	점수
1	③ 해저 환경을 이용한 과학 연구	8.5
2	⑥ 해양 생태계 및 해양지질/환경 연구	7.8
3	⑤ 해저 광물 자원 채취	6.3
4	④ 해저 목장 및 생물자원 획득	6.0
5	① 관광 및 레저	5.9
6	⑦ 해양 영토 확보 및 방어	4.3
7	② 거주 공간	2.9

[표 3.4] Application of Seabed Base (Phase 2)

순위	항목	점수
1	③ 해저 환경을 이용한 과학 연구	7.8
2	⑥ 해양 생태계 및 해양지질/환경 연구	7.6
3	⑤ 해저 광물 자원 채취	7.4
4	④ 해저 목장 및 생물자원 획득	6.4
5	⑦ 해양 영토 확보 및 방어	4.9
6	① 관광 및 레저	4.7
7	② 거주 공간	3.0

□ 해저기지의 활용방법은 복수응답으로하여, 1단계와 2단계로 조사하였으며, 1단계와 2단계 모두 해저 환경을 이용한 과학 연구의 응답이 가장 높음. 각 항목은 10점이 만점임.

### 3.3.3. 해저기지 건설 필요 기술

□ 해저기지의 건설을 위해서는 건설부지 선정을 위한 해저 환경 탐사 기술, 내수압의 고성능 구조 및 재료 기술, 수중 건설을 위한 시공 기술 (모듈러 기술/수중 건설 로봇 기술 등), 해저기지로의 에너지 공급 기술, 해저기지-육상간 이동 기술, 건설인력/체류인력의 생명 유지 기술 등이 필요.

□ 해저기지의 건설에는 고강도의 건설재료가 필요하며, 새로운 건설재료의 개발과 해저 조건에서 건설재료의 물성 변화에 대한 연구도 필요할 것으로 판단됨.

□ 해저기지 건설에 필요한 기술과 건설재료에 대하여 1단계 및 2단계로 구분하여 조사를

실시. 각 항목은 10점이 만점.

- 1단계 및 2단계 모두에서 개발되어야 할 건설 기술로는 고성능 구조 및 재료 기술 개발이 가장 중요하게 나타났으며, 복합신소재가 해저기지 건설을 위해 가장 선호되는 재료로 나타남.

[표 3.5] Necessary Technologies for Seabed Base Construction (Phase 1)

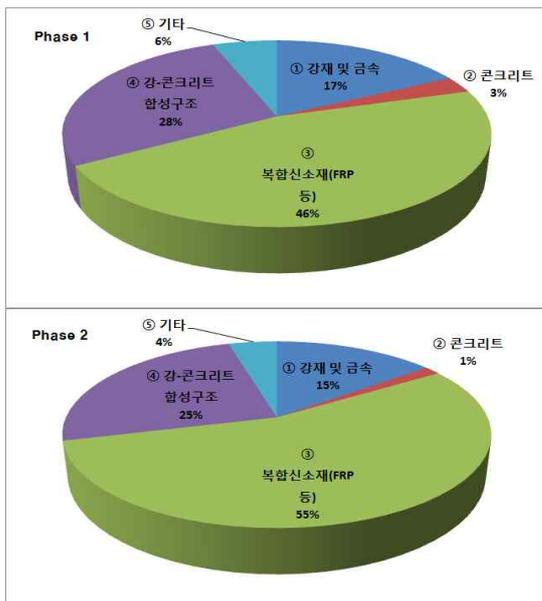
순위	항목	점수
1	② 고성능 구조 및 재료 기술	8.2
2	③ 수중 시공 기술	7.4
3	⑥ 생명 유지 기술	5.8
4	④ 에너지 공급 기술	5.7
5	① 건설부지 선정 기술	5.2
6	⑤ 해저기지-육상간 이동 기술	4.2

[표 3.6] Necessary Technologies for Seabed Base Construction (Phase 2)

순위	항목	점수
1	② 고성능 구조 및 재료 기술	7.9
2	③ 수중 시공 기술	7.0
3	⑥ 생명 유지 기술	6.4
4	④ 에너지 공급 기술	5.2
5	① 건설부지 선정 기술	4.7
6	⑤ 해저기지-육상간 이동 기술	4.3

- 해저기지의 시공 방법은 육상 조립 후 가라앉히는 방법, 육상 제작에서 모듈을 제작한 후에 해상에서 조립한 후 가라앉히는 방법, 육상 제작 모듈을 수중에서 조립하는 방법, 비모듈 식으로 수중 제작하여 건설하는 방법 등을 고려 가능.

- 1단계에서는 해저기지를 육상 조립한 후 가라앉히는 방법이 선호.
- 2단계에서는 해저기지 모듈을 육상에서 제작한 후, 제작 모듈을 해상에서 조립하여 가라앉히는 방법이 선호됨.



[그림 3.9] Recommended Material for Seabed Base Construction

[표 3.7] Construction Method for Seabed Base

단계	순위	항목	비율
Phase 1	1	① 육상 조립 후 가라앉힘.	31%
	2	②육상 제작 모듈을 해상에서 조립 후 가라앉힘.	25%
	3	③ 육상 제작 모듈을 수중에서 조립	10%
	4	④ 수중 제작 (非 모듈 식)	3%
Phase 2	1	② 육상 제작 모듈을 해상에서 조립 후 가라앉힘.	33%
	2	③ 육상 제작 모듈을 수중에서 조립	14%
	3	① 육상 조립 후 가라앉힘.	11%
	3	④ 수중 제작 (非 모듈 식)	11%

- 해저기지의 운영 및 체류인원의 생활을 위해서는 해저기지에 에너지를 공급하는 방법도 매우 중요
  - 에너지를 육상에서 공급하는 방법과 해저기지 자체에서 해결하는 방법의 두 가지로 크게 구분할 가능.
  - 에너지를 육상에서 공급하는 경우에는 전력케이블 공사로 해결 가능.
  - 해저기지 자체에서 에너지 공급을 하기 위한 발전 방법으로는 원자력 등 핵연료에 의한 발전 방법, 기존의 화석 연료에 의한 발전 방법, 수소 등을 이용한 화학연료에 의한 발전 방법, 조류/파력 발전, 태양열 발전 (발전 패널 수면 노출), 풍력 발전 (풍력 터빈 수면 노출) 등을 이용하는 방법을 고려 가능.
  - 1단계에서는 해저기지에 필요한 에너지를 외부에서 공급하는 방법(60%)이 선호되었으며, 자체 공급할 경우에는 조류력과 파력에 의한 발전 방법이 선호됨.
  - 2단계에서는 해저기지에 필요한 에너지를 자체 공급하는 방법에 대한 선호도가 90%로 압도적이었으며, 발전 방법으로는 조류력과 파력(34%), 핵에너지(31%)의 순으로 선호됨.

[표 3.8] Energy Supplying Method

단계	순위	항목	비율
Phase 1	1	④ 조류/파력	46.9%
	2	③ 화학연료(수소 등)	21.9%
	3	① 핵에너지	18.8%
	4	⑤ 풍력 발전	6.3%
	5	② 화석 연료	3.1%
	5	⑤ 태양열	3.1%
Phase 2	1	④ 조류/파력	34.3%
	2	① 핵에너지	31.3%
	3	③ 화학연료(수소 등)	17.9%
	4	⑤ 태양열	10.4%
	5	② 화석 연료	3.0%
	5	⑤ 풍력 발전	3.0%

### 3.3.4. 해저기지 운영 및 유지 기술

- 해저기지를 건설하여 운영할 때, 거주자 및 체류자의 안전이 가장 중요함.
  - 해저기지에서 사고가 발생하였을 경우에 체류인원의 대피 및 탈출 기술이 매우 중요하며, 운영을 위해서 해저기지와 육상간의 인원/물자의 이동/이송 방법이 중요.
  - 자원 개발의 목적으로 해저기지를 운영할 경우에는 채취 자원의 이송 방법 또한 중요한 고려 사항이라 할 수 있음.
  - 안전사고 발생 시 해저기지의 체류자 및 거주자의 안전을 위한 중요 안전 기술은 긴급 생명 유지 장치 기술, 긴급 탈출 기술 (탈출 포드 등), 사고 구역 분리/격리 기술, 에너지 공급 안정화 기술 (보조 에너지원 확보 등), 해저기지 전체 또는 일부 분리 후 부상 기술 등을 고려할 수 있으며, 이에 대한 중요도 조사를 실시한 결과, 긴급 생명유지 장치 기술이 가장 중요

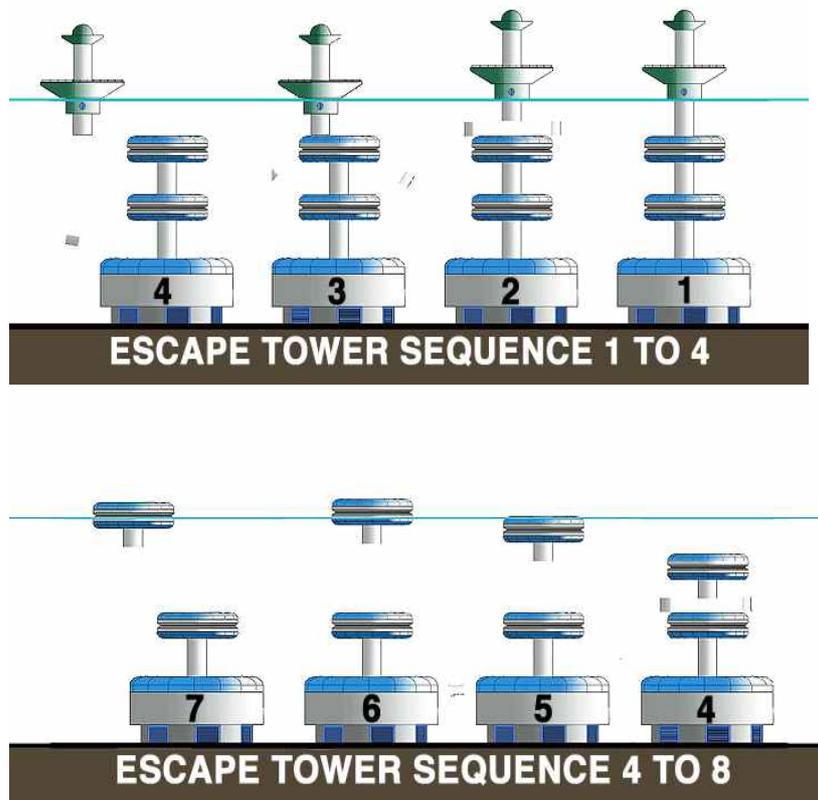
한 것으로 나타남.

[표 3.9] Safety Technologies

순위	항목	점수
1	① 긴급 생명유지 장치 기술	8.4
2	② 긴급탈출기술	7.6
3	③ 사고 구역 분리/격리 기술	6.1
4	④ 비상에너지공급 기술	4.6
5	⑤ 해저기지 전체 또는 일부 분리 후 부상 기술	4.2

[표 3.10] Necessary Technologies for Operation

순위	항목	점수
1	① 생명유지 장치 기술	9.2
2	② 에너지 공급 기술	7.4
3	③ 해저기지-육상간 거주자/물자 이동 기술	4.7
3	⑤ 해저기지-육상간 통신 기술	4.7
5	④ 해저기지 파손시 복구기술	4.5

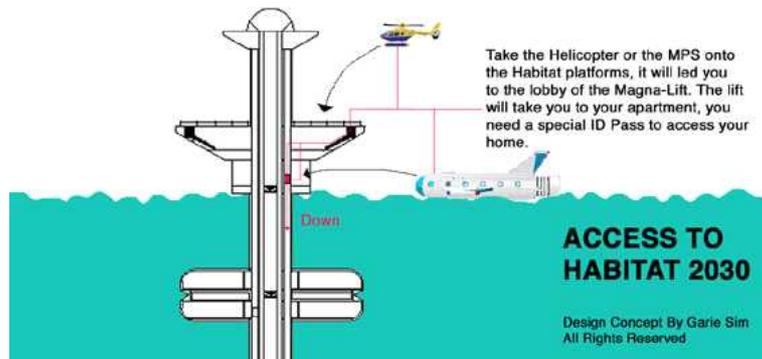


[그림 3.10] 해저기지 긴급 탈출 개념도 (Garie Sim, 2002)

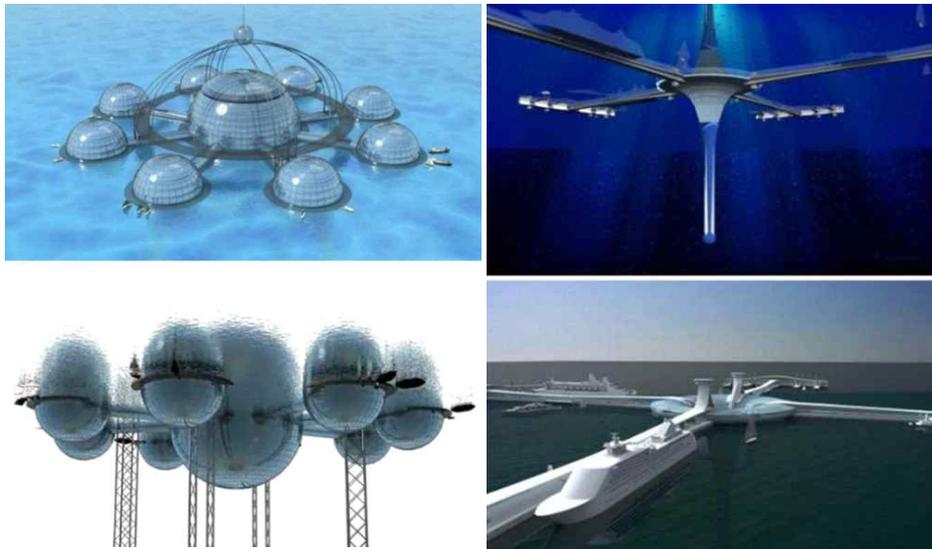
- 해저기지 운영을 위한 기술로는 생명유지 장치 기술 (산소/식량/압력 등), 에너지 공급 기술, 해저기지-육상간 거주자/물자 이동 기술, 해저기지 파손 시 복구 기술, 해저기지-육상간 통신 기술 등을 고려할 수 있으며, 생명유지 장치 기술의 개발이 가장 시급한 것으로 조사됨.
- 체류자의 해저기지-육상간 이동 방법에는 해저기지-육상간 수중터널 건설 후 이동하는 방법, 수면 노출 구조물 건설 후 해상 이동하는 방법, 해저기지-육상간 잠수정 이동하는 방법 등을 고려 가능
  - 비교적 수심이 얇은 1단계(수심 50m)의 경우에는 수면 노출 구조물 건설 후 해상 이동하는

방법이 선호됨.

- 수심이 깊은 2단계(수심 200m)의 경우에는 해저기지-육상간 잠수정 이동 방법이 선호됨.



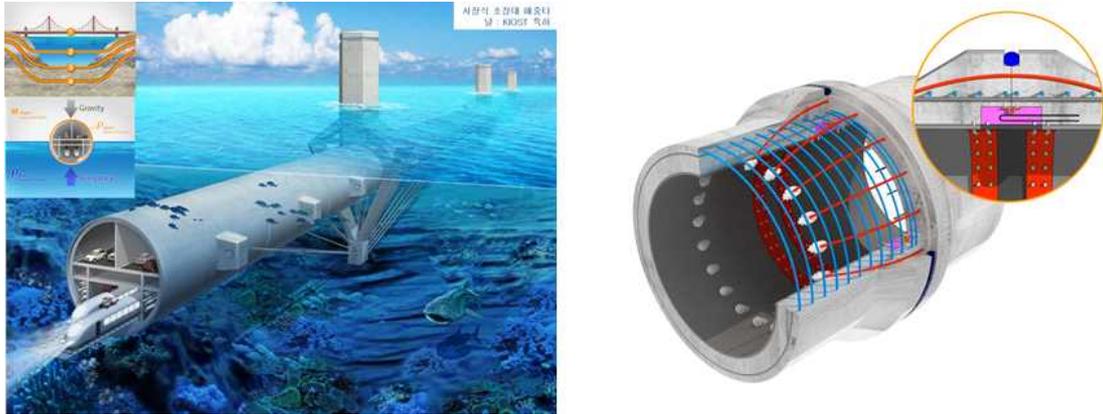
[그림 3.11] 해저기지 접근 방식 (Garie Sim, 2002)



[그림 3.12] 해상 부두

□ 해저기지에서 채취한 자원을 육상으로 운송하는 방법은 다음과 같이 고려 가능

- 해저기지-육상간 수중터널/튜브 건설 후 운송하는 방법
- 수면 노출 구조물(타워 등)을 이용한 해상 운송하는 방법, 해저기지-육상간 잠수정을 이용한 운송하는 방법
- 잠수정으로 해상까지 운송 후 선박 등을 이용하여 해상 운송하는 방법
- 벌룬 등을 이용하여 자원을 해상으로 부상시킨 후 선박 등을 이용하여 해상 운송하는 방법
- 조사 결과, 1단계와 2단계 모두, 해저기지-육상간 수중터널을 건설하여 운송하는 방법이 선호됨.

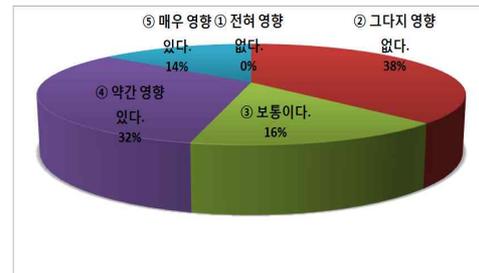


[그림 3.13] 해중 터널

- 해저기지의 건설 및 운영 시에 해양 환경의 오염 등의 문제가 발생할 수 있으므로, 해저 기지의 건설이 해양 환경에 미치는 영향에 대해 의견 조사를 실시.
- 조사결과, 영향이 있다는 의견이 46%, 영향이 없다는 의견이 38%로 나타났으며, 향후 환경 문제에 대한 연구가 필요하다고 판단됨.

[표 3.11] Transferring Method between Seabed Base and Ground

단계	순위	항목	비율
Phase 1	1	② 수면 노출 구조물 건설 후 해상 이동	28%
	2	③ 해저기지-육상간 잠수정 이동	20%
	3	① 해저기지-육상간 수중터널 건설 후 이동	18%
	4	④ 기타	3%
Phase 2	1	③ 해저기지-육상간 잠수정 이동	40%
	2	① 해저기지-육상간 수중터널 건설 후 이동	15%
	3	② 수면 노출 구조물 건설 후 해상 이동	13%
	4	④ 기타	1%



[그림 3.14] Environmental Effect by Seabed Base Construction

[표 3.12] Transferring Method of Extracted Resources

단계	순위	항목	비율
Phase 1	1	① 해저기지-육상간 수중터널/튜브 건설 후 운송	25%
	2	② 수면 노출 구조물(타워 등)을 이용한 해상 운송	21%
	3	⑤ 벌룬 등을 이용하여 자원을 해상으로 부상시킨 후 선박 등을 이용하여 해상 운송	15%
	4	③ 해저기지-육상간 잠수정을 이용한 운송	4%
	4	④ 잠수정으로 해상까지 운송 후 선박 등을 이용하여 해상 운송	4%
Phase 2	1	① 해저기지-육상간 수중터널/튜브 건설 후 운송	22%
	2	② 수면 노출 구조물(타워 등)을 이용한 해상 운송	19%
	3	⑤ 벌룬 등을 이용하여 자원을 해상으로 부상시킨 후 선박 등을 이용하여 해상 운송	17%
	4	③ 해저기지-육상간 잠수정을 이용한 운송	7%
	5	④ 잠수정으로 해상까지 운송 후 선박 등을 이용하여 해상 운송	4%

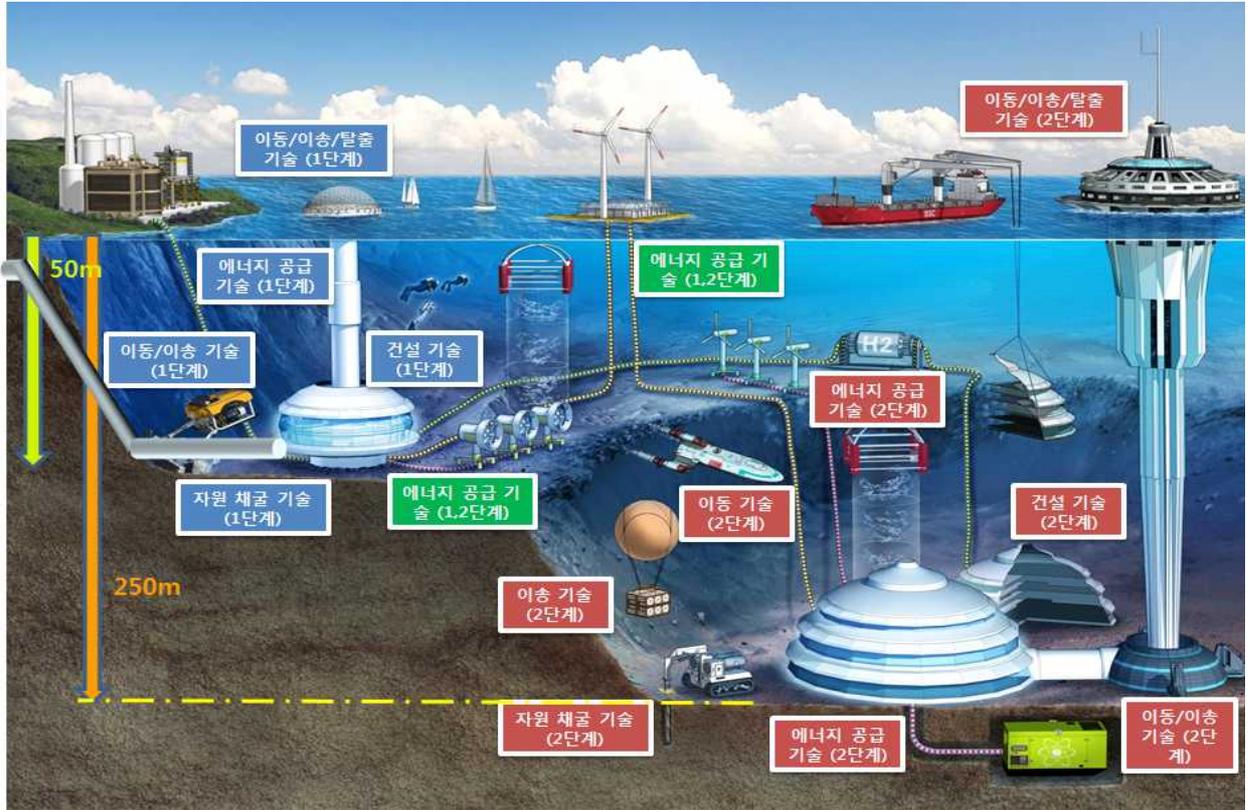
### 3.3.5. 개발 필요 기술 도출

□ 설문조사 자료 정리를 통하여, 개발 필요 기술을 도출

- 도출된 필요기술을 단계별로 표시.
- 향후 10년 후와 22년 후의 1단계, 2단계 목표달성을 위한 개발 필요 기술은 다음과 같이 정리.
  - 해저 환경용 고성능 건설재료 개발
  - 모듈형 해저기지 및 시공 기술 개발
  - 해저기지 공급용 조류/파력 발전 기술 개발
  - 해저기지 에너지 공급 장치 개발
  - 해저기지 생명 유지 장치 개발
  - 해저기지 긴급 탈출 기술 개발
  - 해저기지-육상 연결용 수중 터널 개발

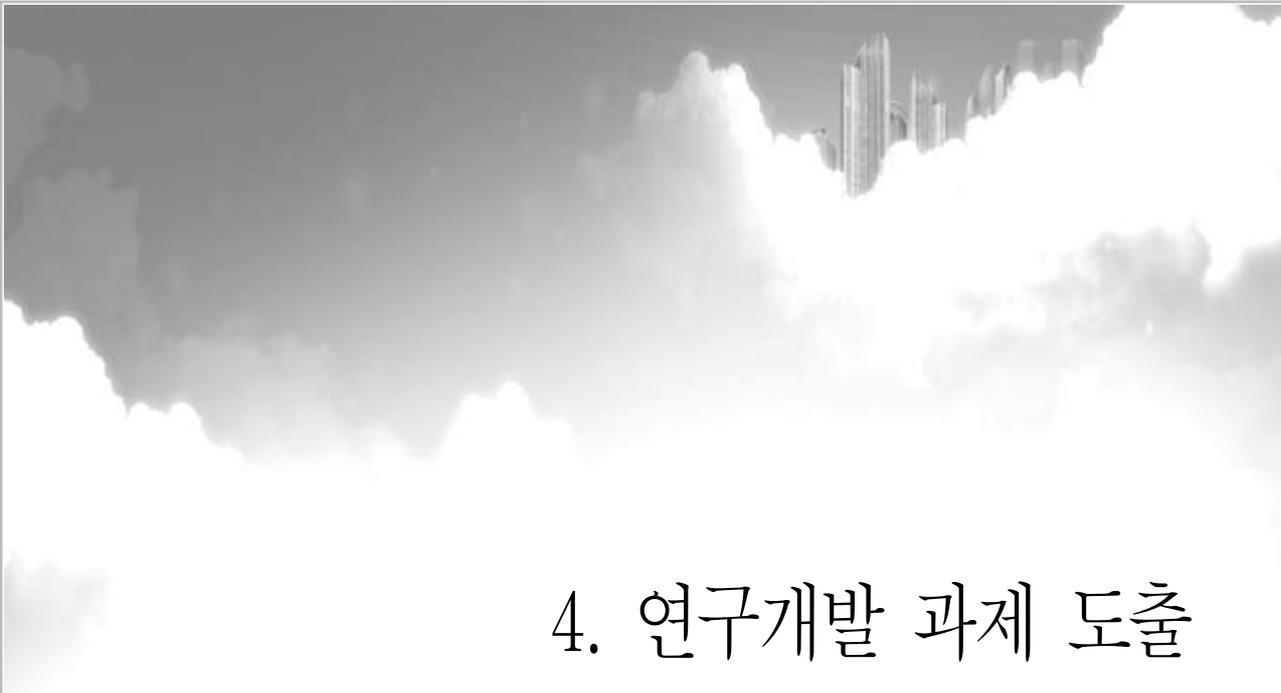
[표 3.13] Survey Results of Required Technologies for Construction of Seabed Base

분류	항목	조사 결과	
		1단계 (50m)	2단계 (200m)
I. 기술 목표 설정 수준	1. 목표달성가능시기	평균 10년 후	평균 22년 후
	2. 목표수심	51m	253m
	3. 목표규모	1562 cubic meter	11720 cubic meter
	4. 최대 체류 기간	28일	77일
II. 해저 기지의 필요성 및 활용	1. 건설 필요성	반드시필요하다.(평균 9.2점 )	
	2. 건설 필요 이유	기술적/산업적 요인	
	3. 해저기지 활용도	해저 환경을 이용한 과학 연구	해저 환경을 이용한 과학 연구
III. 해저 기지 건설 필요 기술	1. 해저기지 건설 필요 기술	고성능 구조 및 재료 기술	고성능 구조 및 재료 기술
	2. 해저기지 건설재료	복합신소재(FRP등)	복합신소재(FRP등)
	3. 해저기지 시공방법	지상 조립 후 가라앉힘.	지상 제작 모듈을 해상에서 조립 후 가라앉힘.
	4. 해저기지 에너지 공급 방법	지상 공급	자체공급
	5. 자체 에너지 공급을 위한 발전 방법	조류/파력	조류/파력
IV. 해저 기지 운영 및 유지 기술	1. 해저기지 사고 발생 시 필요 안전 기술	긴급 생명유지 장치 기술 긴급탈출기술	
	2. 해저기지 운영을 위한 개발 필요 기술	생명유지 장치 기술 에너지 공급 기술	
	3. 체류자의 해저기지-지상간 이동 방법	수면 노출 구조물 건설 후 해상 이동	해저기지-지상간 잠수정 이동
	4. 채취 자원 지상 운송 방법	해저기지-지상간 수중터널/튜브 건설 후 운송	해저기지-지상간 수중터널/튜브 건설 후 운송
	5. 해저 기지의 건설이 해양 환경에 미치는 영향	영향 있다.	



[그림 3.15] Seabed Base Concept and Required Technologies





## 4. 연구개발 과제 도출





# 4. 연구개발 과제 도출

## 4.1. R&D 니즈(Needs) 분석

### 4.1.1. FAST 분석

- FAST(Function Analysis System Technique)는 목적기능의 계층적 접근을 통해 기능을 세분화하여 모형화하는 방법임
- 목적기능을 「해저과학기지 건설 및 운영」으로 정의하고, 이를 기본기능, 1차 기능 및 2차 기능으로 구분함
- FAST는 해저과학기지의 목적기능을 규정하고 세부기능으로 적용분야를 분류함으로써 활용 시장 및 니즈, 기술수요를 도출하기 위한 기준으로 활용

[표 4.1] 해저과학기지 기능전개(FAST)

목적기능	기본 기능	1차 기능	2차 기능
해저과학기지 건설 및 운영	해저과학기지 설계/시공 (A)	입지선정	해저기지 입지분석/선정
		구조형식 선정	수중 구조체 공간 설계 내압구조 설계
		구조재료 확보	고성능 건설재료 개발
		수중 구조물 시공	수중 급속 시공 수중 무인 시공
		기초 및 지반 안정화	수중 기초 시공 수중 지반 개량
	해저과학기지 운영/유지관리 (B)	목적 활동 및 체류활동 보장	필요 물자 공급 에너지 및 통신 공급 체류자 건강 유지 이동 및 육상접근성 제공
		거주 안전성 보장	비상 상황 예보/경보 비상시 대응전략 확보
		기지 성능 확보	기지 안전성 모니터링/평가 수중 보수 보장
		기지 활용	해양 관측/계측 수중 감시 체계 수중환경을 이용한 과학연구

## 4.1.2. 기술수요 및 정의

□ 해저과학기지 분야에 대한 기술수요를 조사하여, 총 66개의 기술이 제안됨.

[표 4.1] 기술수요조사 결과

No.	1차 기능		2차 기능		제안 기술	
1	A1	입지선정	A11	해저기지 입지분석/선정	A111	해저 지반 조사/분석 기술
2					A112	해저 건설환경 조사/분석 기술
3					A113	해저 환경 조사/분석 기술
4					A114	해저기지 입지 적합성 판정 기술
5	A2	구조형식 선정	A21	수중 구조체 공간 설계	A211	최적 공간 배치 기술
6					A212	필요 시설 배치 및 설치 기술
7					A213	접안 시설 및 연결 통로부 설계 기술
8					A214	챔버 설계 기술
9					A215	부력 저감 및 구조체 안정화 기술
10			A22	내압구조 설계	A221	수압 분산 최적형상 설계 기술
11					A222	신형식 복합구조 설계 기술
12					A223	구조체 및 연결부 수밀 기술
13					A224	수중 구조체 거동 해석 기술
14					A3	구조재료 확보
15	A312	구조체 고성능 내부식성 합성/복합재료 기술				
16	A313	연결부 고성능 방수 및 고내구성 기술				
17	A4	수중 구조물 시공	A41	수중 구조체 시공	A411	구조체 모듈화 기술
18					A412	모듈 이송 기술
19					A413	구조체 정밀제어 및 결합 기술
20					A414	수중 구조체 착저 및 설치 기술
21					A415	수중 건설 공정 관리 기술
22					A416	수중 시공 로봇 장비 활용 기술
23			A42	수중 지원시설 시공	A421	수중부-육상부 연결시설 시공기술
24					A422	전력생산 및 공급 장치 시공기술
25					A423	비상 피난시설 시공기술
26			A43	수중 무인 시공	A431	수중 건설 장비 개발 및 운용 기술
27					A432	수중 시공 전후 환경 분석을 위한 무인 이동체 기술
28	A433	수중 센서 및 장비 통신 기술				
29	A5	지반개량 및 구조물 기초	A51	해저지반 개량	A511	해저 연약지반 개량 기술
30					A512	해저지반 굴착 및 매립 기술
31					A513	해저지반 국부 지반보강 기술
32			A52	구조물 기초 설계/시공	A521	수중구조체 고정 계류/앵커 기술
33					A522	수중구조물 수평도 확보 기초시스템
34					A523	대수심조건 수중구조물 기초 및 앵커 신속 기술
35	B1	목적 활동 및 체류활동 보장	B11	필요 물자 공급	B111	식수/식량 자가 공급기술
36					B112	산소 자가 공급 기술
37					B113	장비/물자 공급기술

No.	1차 기능		2차 기능		제안 기술			
38			B12	에너지 및 통신 공급	B121	에너지 공급기술		
39					B122	해양에너지 이용 자가 발전 기술		
40					B123	수중 유선 통신 기술		
41					B124	수중 무선 통신 기술		
42			B13	체류자 건강 유지	B131	대수심 체류인력 건강확보 기술		
43					B132	기압 유지 기술		
44			B14	이동 및 육상접근성 제공	B141	수중 이송체 기술		
45					B142	수중 통로/터널 기술		
46			B2	거주 안전성 보장	B21	비상 상황 예보/경보	B211	해저기지 위험 상황 조기탐지 기술
47							B212	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐 지 기술
48	B213	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술						
49	B22	비상시 대응전략 확보			B221	긴급 탈출 기술		
50					B222	긴급 차폐 기술		
51					B223	긴급 복구 및 재난 억제 기술		
52					B224	긴급 상황 대비 매뉴얼		
53	B3	기지 성능 확보			B31	기지 안전성 모니터링/평가	B311	지반-구조물-유체 상호작용해석을 통한 해저기 지 내진성능 평가
54			B312	해저기지 내 환경 모니터링 기술				
55			B313	해저기지 수중 비파괴검사 기술				
56			B314	해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술				
57			B315	해저기지 종합적 구조 안전성 평가 기술				
58			B32	수중 보수 보장	B321	수중 구조체 보수 보장 기술		
59					B322	수중 구조체 급속 보수 기술 (3D Concrete Print 등)		
60			B4	기지 활용	B41	해양 관측/계측	B411	종합해양모니터링 기술
61							B412	수상-수중 이동체 모니터링 기술
62							B413	수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기술
63	B42	수중 감시 체계			B421	수중 종합 감시 기술		
64					B422	수중 방어 시스템 기술		
65	B43	수중환경을 이용한 과학연구			B431	연계 프로그램 개발		
66	B44	해저 기지 운영 기술			B441	통합 운영 체계 및 매뉴얼		

□ 각 제안기술에 대한 기술의 정의는 다음과 같음.

[표 4.2] 제안 기술의 정의

No.	제안 기술		기술 정의
1	A111	해저 지반 조사/분석 기술	해저 지반의 특성(강도 등)을 조사/분석하는 기술
2	A112	해저 건설환경 조사/분석 기술	해저 외력/하중조건(해류, 수압 등)을 조사/분석하는 기 술
3	A113	해저 환경 조사/분석 기술	해저 생명체, 광물질 등 자연환경을 조사/분석하는 기술

No.	제안 기술		기술 정의
4	A114	해저기지 입지 적합성 판정 기술	해저 환경 관측자료를 기반으로 해저기지의 입지적합성을 판단하는 기술
5	A211	최적 공간 배치 기술	해저기지 효율적인 운영을 및 채류자의 안전한 거주를 고려한 기능별 최적화된 공간을 배치하여 설계하는 기술
6	A212	필요 시설 배치 및 설치 기술	해저기지 운영과 채류자의 생활을 위한 필수 시설의 배치 및 안정적인 에너지와 산소 공급 시설을 설계하는 기술
7	A213	접안 시설 및 연결 통로부 설계 기술	해저기지 접근을 위한 잠수정 접안 시설 및 각 기능 모듈 구조체의 안전한 연결 통로를 확보하는 기술
8	A214	챔버 설계 기술	해저기지 내 접안 및 타 시설과의 접근을 위한 챔버를 설계하고 시공하는 기술
9	A215	부력 저감 및 구조체 안정화 기술	해저기지 구조체의 안정적인 착저와 지진 및 해양 자연재해로부터 구조체 안전성 확보하는 기술
10	A221	수압 분산 최적형상 설계 기술	작용 수압에 따른 해저기지 구조체의 거동을 해석하고, 수압에 의한 하중을 분산하여 외력 저감이 가능한 구조형상을 설계하는 기술
11	A222	신형식 복합구조 설계 기술	수압과 외부충격 및 수중환경에 적합한 강-콘크리트 합성 구조 또는 복합재료를 적용한 수중구조물을 설계하는 기술
12	A223	구조체 및 연결부 수밀 기술	해저기지 구조체 모듈 연결부 및 도킹스테이션, 챔버 및 아크릴 창 등의 연결부를 수밀하는 기술
13	A224	수중 구조체 거동 해석 기술	반 고정식, 이동식 해저기지 등의 다양한 조건의 해저기지 구조체의 거동을 해석하고 안전성을 판단하는 기술
14	A311	구조체 고성능 콘크리트 기술	고강도와 고내구성 등의 콘크리트를 구조체에 적용하는 기술
15	A312	구조체 고성능 내부식성 합성/복합재료 기술	콘크리트 이외의 복합소재를 구조체에 적용하는 기술
16	A313	연결부 고성능 방수 및 고내구성 기술	연결부에 방수 및 내구성이 뛰어난 재료를 적용하는 기술
17	A411	구조체 모듈화 기술	모듈형식의 구조체를 제작하여 시공을 용이하게 하는 기술
18	A412	모듈 이송 기술	모듈형태의 구조체를 제작장에서 설치 장소까지 이송하는 기술
19	A413	구조체 정밀제어 및 결합 기술	모듈화된 구조체를 해양에서 결합하는 기술
20	A414	수중 구조체 착저 및 설치 기술	제작된 수중 구조체를 해양에 착저하고 설치하는 기술
21	A415	수중 건설 공정 관리 기술	시공공정을 최적화하는 기술
22	A416	수중 시공 로봇 장비 활용 기술	수중공사 난이성 극복을 위한 수중 로봇 활용 기술
23	A421	수중부-육상부 연결시설 시공기술	수중 기지와 육상부를 연결하여 인적/물적 이동을 가능하게 하는 구조물 건설
24	A422	전력생산 및 공급 장치 시공기술	해저기지를 위한 전력의 외부 공급장치 또는 전력생산 장치의 설치 기술
25	A423	비상 피난시설 시공기술	수중인력의 비상피난을 위한 시설의 설치 기술
26	A431	수중 건설 장비 개발 및 운용 기술	해저기지 건설에 필요한 수중구조물, 해저케이블, 파이프라인, 해저 관측망 등의 건설을 위한 수중건설장비들

No.	제안 기술		기술 정의
			개발 하고, 무인시공을 위한 수중건설장비 운용 시스템을 개발하여 운용하는 기술
27	A432	수중 시공 전후 환경 분석을 위한 무인 이동체 기술	광대역 수중 관측을 위한 인공지능 기반 자율형 로봇을 개발하고 운용하여 수중 구조물을 점검하고 유지관리하는 기술
28	A433	수중 센서 및 장비 통신 기술	해저기지 무인시공을 위한 수중건설장비와 원격 운용 시스템간의 유무선 통신을 확보하고 수중구조물에 탑재된 각종 수중 센서 및 센서 통신 모듈을 개발하는 기술
29	A511	해저 연약지반 개량 기술	해저구조물 침하방지를 위한 연약지반 개량 기술
30	A512	해저지반 굴착 및 매립 기술	해저구조물 설치 위치에서의 지반 평탄도 확보를 위한 굴착 및 매립 기술
31	A513	해저지반 국부 지반보강 기술	해저지반의 국부적인 지반 보강을 위한 기술
32	A521	수중구조체 고정 계류/앵커 기술	수중구조물의 부력에 의한 부상과 횡방향 이동을 억제하여 구조물의 안정성을 확보하는 계류/앵커 기술
33	A522	수중구조물 수평도 확보 기초 시스템	해저지반의 경사도를 보정하여 수중구조물의 수평도 확보가 가능한 기초시스템
34	A523	대수심조건 수중구조물 기초 및 앵커 신속 기술	수심 50m 이상 대수심 조건에서 수중구조물 기초 및 앵커시스템의 시공을 위한 기술
35	B111	식수/식량 자가 공급기술	해저기지 체류자의 생존을 위한 식수와 식량을 공급하는 기술로서, 연결통로와 잠수정을 이용한 물자의 공급 이외에 자체적인 식수와 식량을 공급할 수 있는 기술 (유형 2, 4)
36	B112	산소 자가 공급 기술	해저기지 체류자의 생존을 위하여, 산소를 자가 공급할 수 있는 기술 (유형 2, 4)
37	B113	장비/물자 공급기술	해저기지의 운영과 체류자의 생활을 위한 필수 장비와 물자를 장수정 또는 수중 통로를 이용하여 공급하는 기술
38	B121	에너지 공급기술	해저기지의 운영을 위하여 육상의 에너지를 공급할 수 있는 전력 망 및 계통 연계 기술 (유형, 1, 2)
39	B122	해양에너지 이용 자가 발전 기술	육상공급 에너지 이외의, 해저기지 자체 에너지 확보를 위한 해양에너지 및 기타 에너지를 이용하는 기술 (유형 3, 4)
40	B123	수중 유선 통신 기술	해저기지와 육상, 분리된 해저기지 모듈간 및 해저기지와 외부활동 인원 및 무인장비 간의 유선 통신을 위한 기술
41	B124	수중 무선 통신 기술	해저기지와 육상, 분리된 해저기지 모듈간 및 해저기지와 외부활동 인원 및 무인장비 간의 무선 통신을 위한 기술 (유형 3, 4)
42	B131	대수심 체류인력 건강확보 기술	고립된 해저기지 환경에서 장기 체류하는 운영요원 및 연구자의 건강 확보를 위한 환경 및 의료서비스를 지원하는 기술 (유형 2, 3)
43	B132	기압 유지 기술	심해 환경의 해저기지 내 장기 체류를 위하여 가압 및 여압 장치 이용하여 해저기지 내 기압을 육상과 동일한 기압으로 일정하게 유지하는 기술 (유형 2, 3)
44	B141	수중 이송체 기술	해저기지와 육상, 해저기지 모듈간 이동 및 해저기지 외부 활동을 위한 이동 장비 및 잠수정을 설계, 제작,

No.	제안 기술		기술 정의
			운용하는 기술
45	B142	수중 통로/터널 기술	해저기지와 육상, 해저기지 모듈간 이동을 위한 안전성이 확보된 수중 연결 통로를 설계하고 시공하는 기술
46	B211	해저기지 위험 상황 조기탐지 기술	외부 충격, 화재, 누수, 압력 변화 등 인적재해를 발생 전 혹은 발생 직후 조기에 탐지함으로써 해저기지 내 상주 인력의 인적 피해 방지
47	B212	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술	해저기지의 안전한 운영을 위하여 해저기지 설치 해역에서의 태풍, 해일, 지진 등 자연재해를 예보 또는 조기 경보하는 기술
48	B213	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술	해저기지 운영에 있어 가장 중요한 시설인 에너지, 산소, 물 및 식량 공급시설 및 육상 연결통로 등 각종 라이프라인에 대한 모니터링을 통한 비상 상황 경보
49	B221	긴급 탈출 기술	재난, 재해, 사고 등의 긴급 상황시의 탈출을 위한 구명캡슐, 탈출 잠수정, 기지 모듈 분리, 자가 부상 등의 채류자의 안전한 수상, 육상으로의 대피 방안을 확보하는 기술
50	B222	긴급 차폐 기술	재난, 재해, 사고 등에 의해 해저 기지의 일부 손상시, 피해 확대를 최소화하기 위해 손상 구역과 정상 구역을 격리하는 기술
51	B223	긴급 복구 및 재난 억제 기술	재난, 재해, 사고의 확산을 제어하여 피해를 최소화하고, 해저기지의 기본 기능을 신속히 복구하는 기술
52	B224	긴급 상황 대비 매뉴얼	재난, 재해, 사고 등의 긴급 상황시의 채류자의 안전 확보와 해저기지의 기능 유지를 위한 운영요원 및 채류자의 행동요령 및 우선순위를 규정하는 기술 (Emergency Action Plan)
53	B311	지반-구조물-유체 상호작용해석을 통한 해저기지 내진성능 평가	지반-구조물-유체 상호작용해석을 통한 해저기지 내진성능평가 및 취약부 분석
54	B312	해저기지 내 환경 모니터링 기술	해저기지내 산소 농도, 압력, 습도 등을 모니터링함으로써 연구원의 안전을 확보할 수 있는 기술
55	B313	해저기지 수중 비파괴검사 기술	해저기지의 중요 부재에 대한 손상탐지를 위한 수중 비파괴검사(Underwater NDT)기술
56	B314	해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술	고압을 받고 있는 해저기지의 구조 안전성 확보를 위하여 변형률, 변형, 진동 등 구조물 건전성을 분석할 수 있는 응답을 상시 모니터링하는 기술
57	B315	해저기지 종합적 구조 안전성 평가 기술	해저기지 내 환경, 비파괴검사 결과, 구조 건전성 모니터링 결과 등을 이용하여 해저기지의 구조적 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 기술을 개발
58	B321	수중 구조체 보수 보강 기술	해저기지 운영시, 예측 가능하고 지속적인 구조체의 손상을 보수 보강하여 기지의 기능을 유지하는 기술
59	B322	수중 구조체 급속 보수 기술 (3D Concrete Print 등)	해저기지 운영시 갑작스럽게 발생하여 기지의 기능에 영향을 줄 수 있는 손상을 신속하게 복구하여 기지의 기능을 유지하는 기술
60	B411	종합해양모니터링 기술	수중음향, 지진, 해수유동, 수온 등의 관측 센서가 포함된 해저케이بل을 이용한 해저관측망 체계 구축 기술
61	B412	수상-수중 이동체 모니터링 기술	해상수중 활동 물체(선박,고래, 잠수함 등) 탐지를 위한 수중음향모니터링 체계 기술
62	B413	수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기술	AUV, 수중글라이더, Wave Glider 등 다양한 무인플랫폼을 활용한 해양관측 체계 구축 및 무인체계를 활용한

No.	제안 기술		기술 정의
			수중 관측 기기의 해양정보 수집에 관한 기술
63	B421	수중 종합 감시 기술	해저과학기지 주변에서 운용중인 개별적인 해양 감시 기술 요소에 대한 통합형 감시 시스템 체계 구축에 관한 기술
64	B422	수중 방어 시스템 기술	해저과학기지에 대한 적성국 및 테러단체로부터의 공격을 탐지하고 방어할 수 있는 체계 기술
65	B431	연계 프로그램 개발	해저과학기지를 기반으로 과학 연구 및 기지 활용에 응용할 수 있는 기술
66	B441	통합 운영 체계 및 매뉴얼	해저기지의 정상적인 운영과 활용을 위한 운영 방법과, 절차, 일상업무지침을 규정하는 기술

### 4.1.3. 기술 수준/중요도/시급성

- 제안된 기술에 대해 다음과 같이 기술 수준을 정의하고 분석함.
  - 기술수준 1 : 현재 기술 적용 (개발 불필요)
  - 기술수준 2 : 기반기술 (2~3년 이내 개발 가능하며, 특정 대상 수심, 조건에 구애받지 않는 범용 원천기술)
  - 기술수준 3 : 핵심기술 (5~10년 이내 개발 가능하며, 실제 대수심 해저기지를 구현하기 위한 원천 기술)
  - 기술수준 4 : 실증기술 (핵심기술 개발 완료 이후에 특정 지역, 특정 수심의 해저기지 실증을 위한 실용기술)
- 제안된 기술에 대해 1에서 4까지 중요도를 설정하고 분석함. 숫자가 클수록 중요도 상승.
- 제안된 기술에 대해 1에서 4까지 기술개발 시급성을 설정하고 분석함. 숫자가 클수록 개발 시급성 상승.
  - 기술수준 1 : 개발 불필요 (기술 수준이 기존기술 적용인 것은 여기에 해당)
  - 기술수준 2 : 개발 필요하나 시급하지 않음.
  - 기술수준 3 : 보통
  - 기술수준 4 : 시급
- 각 제안 기술에 대해 기술의 수준, 중요도, 개발시급성을 분석한 결과는 다음과 같음.

[표 4.3] 제안 기술의 기술 수준, 중요도, 개발시급성

No.	2차 기능	제안 기술		기술수준		기술 중요도		개발 시급성	
1	해저기지 입지분석/ 선정	A111	해저 지반 조사/분석 기술	1	기존기술 적용	3	★★★	1	연구개발 불필요
2		A112	해저 건설환경 조사/분석 기술	2	기반기술	3	★★★	2	개발 필요 하나 시급 않음
3		A113	해저 환경 조사/분석 기술	1	기존기술 적용	3	★★★	1	연구개발 불필요
4		A114	해저기지 입지 적합성 판정 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준
5	수중 구조체 공간 설계	A211	최적 공간 배치 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준
6		A212	필요 시설 배치 및 설치 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준
7		A213	접안 시설 및 연결 통로부 설계 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	4	개발 시급
8		A214	챔버 설계 기술	1	기존기술 적용	4	★★★★★	1	연구개발 불필요
9		A215	부력 저감 및 구조체 안정화 기술	1	기존기술 적용	4	★★★★★	1	연구개발 불필요
10	내압구조 설계	A221	수압 분산 최적형상 설계 기술	2	기반기술	3	★★★	3	보통 수준
11		A222	신형식 복합구조 설계 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준
12		A223	구조체 및 연결부 수밀 기술	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준
13		A224	수중 구조체 거동 해석 기술	1	기존기술 적용	3	★★★	1	연구개발 불필요
14	고성능 건설재료 개발	A311	구조체 고성능 콘크리트 기술	1	기존기술 적용	2	★★	1	연구개발 불필요
15		A312	구조체 고성능 내부식성 합성/복합재료 기술	1	기존기술 적용	2	★★	1	연구개발 불필요
16		A313	연결부 고성능 방수 및 고내구성 기술	2	기반기술	3	★★★	3	보통 수준
17	수중 구조체 시공	A411	구조체 모듈화 기술	3	핵심기술	3	★★★	3	보통 수준
18		A412	모듈 이송 기술	2	기반기술	3	★★★	3	보통 수준
19		A413	구조체 정밀제어 및 결합 기술	4	실증기술	4	★★★★★	4	개발 시급
20		A414	수중 구조체 착저 및 설치 기술	4	실증기술	4	★★★★★	4	개발 시급
21		A415	수중 건설 공정 관리 기술	3	핵심기술	2	★★	2	개발 필요 하나 시급 않음
22		A416	수중 시공 로봇 장비 활용 기술	3	핵심기술	3	★★★	3	보통 수준
23	수중 지원시설 시공	A421	수중부-육상부 연결시설 시공 기술	4	실증기술	4	★★★★★	4	개발 시급
24		A422	전력생산 및 공급 장치 시공기술	3	핵심기술	3	★★★	3	보통 수준
25		A423	비상 피난시설 시공기술	3	핵심기술	4	★★★★★	4	개발 시급
26	수중 무인 시공	A431	수중 건설 장비 개발 및 운용 기술	2	기반기술	4	★★★★★	4	개발 시급
27		A432	수중 시공 전후 환경 분석을	3	핵심기술	4	★★★★★	3	보통 수준

No.	2차 기능	제안 기술	기술수준	기술중요도	개발 시급성
		위한 무인 이동체 기술			
28		A433 수중 센서 및 장비 통신 기술	2 기반기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
29	해저지반 개량	A511 해저 연약지반 개량 기술	1 기존기술 적용	1 ★	1 연구개발 불필요
30		A512 해저지반 굴착 및 매립 기술	3 핵심기술	3 ★★★	2 개발 필요 하나 하지 않음
31		A513 해저지반 국부 지반보강 기술	1 기존기술 적용	2 ★★	1 연구개발 불필요
32	구조물 기초 설계/시공	A521 수중구조체 고정 계류/앵커 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
33		A522 수중구조물 수평도 확보 기초시스템	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
34		A523 대수심조건 수중구조물 기초 및 앵커 신속 기술	4 실증기술	3 ★★★	3 보통 수준
35	필요 물자 공급	B111 식수/식량 자가 공급기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	3 보통 수준
36		B112 산소 자가 공급 기술	2 기반기술	4 ★★★★★	3 보통 수준
37		B113 장비/물자 공급기술	1 기존기술 적용	4 ★★★★★	1 연구개발 불필요
38	에너지 및 통신 공급	B121 에너지 공급기술	1 기존기술 적용	4 ★★★★★	1 연구개발 불필요
39		B122 해양에너지 이용 자가 발전 기술	2 기반기술	3 ★★★	3 보통 수준
40		B123 수중 유선 통신 기술	1 기존기술 적용	4 ★★★★★	1 연구개발 불필요
41		B124 수중 무선 통신 기술	2 기반기술	3 ★★★	3 보통 수준
42	체류자 건강 유지	B131 대수심 체류인력 건강확보 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
43		B132 기압 유지 기술	2 기반기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
44	이동 및 육상접근성 제공	B141 수중 이송체 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	3 보통 수준
45		B142 수중 통로/터널 기술	2 기반기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
46	비상 상황 예보/경보	B211 해저기지 위험 상황 조기탐지 기술	1 기존기술 적용	2 ★★	1 연구개발 불필요
47		B212 해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술	3 핵심기술	3 ★★★	3 보통 수준
48		B213 해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술	2 기반기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
49	비상시 대응전략 확보	B221 긴급 탈출 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
50		B222 긴급 차폐 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
51		B223 긴급 복구 및 재난 억제 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
52		B224 긴급 상황 대비 매뉴얼	4 실증기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
53	기지 안전성 모니터링/평가	B311 지반-구조물-유체 상호작용 해석을 통한 해저기지 내진 성능 평가	2 기반기술	4 ★★★★★	3 보통 수준
54		B312 해저기지 내 환경 모니터링 기술	1 기존기술 적용	2 ★★	1 연구개발 불필요
55		B313 해저기지 수중 비파괴검사	2 기반기술	3 ★★★	3 보통 수준

No.	2차 기능	제안 기술	기술수준	기술 중요도	개발 시급성
		기술			
56		B314 해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술	2 기반기술	3 ★★★	3 보통 수준
57		B315 해저기지 종합적 구조 안전성 평가 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
58	수중 보수 보강	B321 수중 구조체 보수 보강 기술	2 기반기술	3 ★★★	3 보통 수준
59		B322 수중 구조체 급속 보수 기술 (3D Concrete Print 등)	3 핵심기술	3 ★★★	3 보통 수준
60	해양 관측/계측	B411 종합해양모니터링 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
61		B412 수상·수중 이동체 모니터링 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
62		B413 수중관측용 무인 수중 드론 (수중글라이더 등) 활용 기술	3 핵심기술	3 ★★★	4 개발 시급
63	수중 감시 체계	B421 수중 종합 감시 기술	3 핵심기술	4 ★★★★★	4 개발 시급
64		B422 수중 방어 시스템 기술	4 실증기술	4 ★★★★★	3 보통 수준
65	수중환경 을 이용한 과학연구	B431 연계 프로그램 개발	1 기존기술 적용	3 ★★★	3 보통 수준
66	해저 기지 운영 기술	B441 통합 운영 체계 및 메뉴얼	4 실증기술	3 ★★★	3 보통 수준

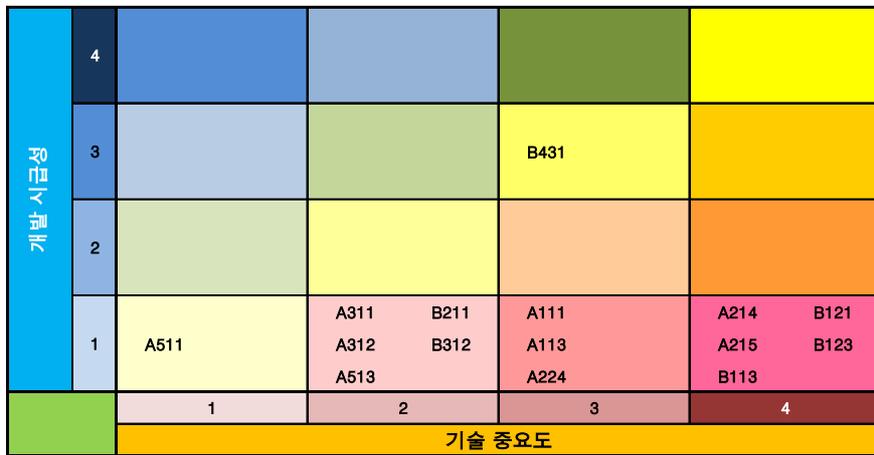
□ 제안 기술에 대해 각 기술수준-기술 중요도-개발 시급성의 순서로 재배열하고 각 기술 수준별로 기술 중요도와 개발 시급성의 분포를 나타내면 다음과 같음.

[표 4.4] 제안 기술의 기술수준-기술 중요도-개발 시급성에 따른 배열

No.	제안 기술	기술 수준	기술 중요도	개발 시급성
1	A511 해저 연약지반 개량 기술	1	1	1
2	A311 구조체 고성능 콘크리트 기술	1	2	1
3	A312 구조체 고성능 내부식성 합성/복합재료 기술	1	2	1
4	A513 해저지반 국부 지반보강 기술	1	2	1
5	B211 해저기지 위험 상황 조기탐지 기술	1	2	1
6	B312 해저기지 내 환경 모니터링 기술	1	2	1
7	A111 해저 지반 조사/분석 기술	1	3	1
8	A113 해저 환경 조사/분석 기술	1	3	1
9	A224 수중 구조체 거동 해석 기술	1	3	1
10	B431 연계 프로그램 개발	1	3	3
11	A214 챔버 설계 기술	1	4	1
12	A215 부력 저감 및 구조체 안정화 기술	1	4	1
13	B113 장비/물자 공급기술	1	4	1
14	B121 에너지 공급기술	1	4	1
15	B123 수중 유선 통신 기술	1	4	1

No.	제안 기술		기술 수준	기술 중요도	개발 시급성
16	A112	해저 건설환경 조사/분석 기술	2	3	2
17	A221	수압 분산 최적형상 설계 기술	2	3	3
18	A313	연결부 고성능 방수 및 고내구성 기술	2	3	3
19	A412	모듈 이송 기술	2	3	3
20	B122	해양에너지 이용 자가 발전 기술	2	3	3
21	B124	수중 무선 통신 기술	2	3	3
22	B313	해저기지 수중 비파괴검사 기술	2	3	3
23	B314	해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술	2	3	3
24	B321	수중 구조체 보수 보강 기술	2	3	3
25	B112	산소 자가 공급 기술	2	4	3
26	B311	지반-구조물-유체 상호작용해석을 통한 해저기지 내진성 능 평가	2	4	3
27	A431	수중 건설 장비 개발 및 운용 기술	2	4	4
28	A433	수중 센서 및 장비 통신 기술	2	4	4
29	B132	기압 유지 기술	2	4	4
30	B142	수중 통로/터널 기술	2	4	4
31	B213	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술	2	4	4
32	A415	수중 건설 공정 관리 기술	3	2	2
33	A512	해저지반 굴착 및 매립 기술	3	3	2
34	A411	구조체 모듈화 기술	3	3	3
35	A416	수중 시공 로봇 장비 활용 기술	3	3	3
36	A422	전력생산 및 공급 장치 시공기술	3	3	3
37	B212	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술	3	3	3
38	B322	수중 구조체 급속 보수 기술 (3D Concrete Print 등)	3	3	3
39	B413	수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기 술	3	3	4
40	A114	해저기지 입지 적합성 판정 기술	3	4	3
41	A211	최적 공간 배치 기술	3	4	3
42	A212	필요 시설 배치 및 설치 기술	3	4	3
43	A222	신형식 복합구조 설계 기술	3	4	3
44	A223	구조체 및 연결부 수밀 기술	3	4	3
45	A432	수중 시공 전후 환경 분석을 위한 무인 이동체 기술	3	4	3
46	B111	식수/식량 자가 공급기술	3	4	3
47	B141	수중 이송체 기술	3	4	3
48	A213	접안 시설 및 연결 통로부 설계 기술	3	4	4
49	A423	비상 피난시설 시공기술	3	4	4
50	A521	수중구조체 고정 계류/앵커 기술	3	4	4
51	A522	수중구조물 수평도 확보 기초시스템	3	4	4
52	B131	대수심 체류인력 건강확보 기술	3	4	4

No.	제안 기술		기술 수준	기술 중요도	개발 시급성
53	B221	긴급 탈출 기술	3	4	4
54	B222	긴급 차폐 기술	3	4	4
55	B223	긴급 복구 및 재난 억제 기술	3	4	4
56	B315	해저기지 종합적 구조 안전성 평가 기술	3	4	4
57	B411	종합해양모니터링 기술	3	4	4
58	B412	수상·수중 이동체 모니터링 기술	3	4	4
59	B421	수중 종합 감시 기술	3	4	4
60	A523	대수심조건 수중구조물 기초 및 앵커 신속 기술	4	3	3
61	B441	통합 운영 체계 및 매뉴얼	4	3	3
62	B422	수중 방어 시스템 기술	4	4	3
63	A413	구조체 정밀제어 및 결합 기술	4	4	4
64	A414	수중 구조체 착저 및 설치 기술	4	4	4
65	A421	수중부-육상부 연결시설 시공기술	4	4	4
66	B224	긴급 상황 대비 매뉴얼	4	4	4



[그림 4.1] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 1)



[그림 4.2] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 2)

개발 시급성	4			B413	A213 A423 A521 A522 B131 B221	B222 B223 B315 B411 B412 B421	
	3			A411 A416 A422	B212 B322	A114 A211 A212 A222	A223 A432 B111 B141
	2		A415	A512			
	1						
		1	2	3	4		
		기술 중요도					

[그림 4.3] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 3)

개발 시급성	4				A413 A414 A421	B224
	3			A523	B441	B422
	2					
	1					
		1	2	3	4	
		기술 중요도				

[그림 4.4] 제안기술의 기술중요도-개발시급성 분포 (기술수준 4)

## 4.2. 핵심 세부 과제 도출

- 제안된 기술의 기술수준 2와 기술수준 3에서 기술 중요도와 개발 시급성의 값이 각각 3 이상인 기술에 대해 우선적으로 과제를 도출함.
- 기술수준 1은 현재기술로 해결이 가능한 기술로서 개발이 필요하지 않으므로, 과제 도출 대상에서는 원칙적으로 배제함.
- 도출 과제에 대해 원내 사업으로 진행될 1단계 기반기술과 국가 R&D로 진행될 2단계 핵심기술, 3단계 실증 기술의 순서로 분류함.



[그림 4.5] 기술 개발 순서

- 기술 수준 2에서 도출된 과제는 기본적으로 1단계 기반기술로 분류함.
- 기술 수준 3에서 도출된 과제는 기본적으로 2단계 핵심기술로 분류함.
- 기술 수준 4에서 도출된 과제는 기본적으로 3단계 실증기술로 분류함.
- 제안 기술의 분석을 통하여 3개의 개발단계에 대해 29개의 연구개발과제 후보를 도출함
  - 1단계 기반기술 개발 : 7개 과제
  - 2단계 핵심기술 개발 : 17개 과제
  - 3단계 실증기술 개발 : 5개 과제
- 도출된 각각의 과제 목록과 정보는 다음과 같음.

[표 4.5] 도출 세부 연구과제

제안과제명	과제 종류	연구기간			총예산 (백만원)	관련기술					
		착수 년도	종료 연도	기 간		1	2	3	4	5	6
해저과학기지 입지 적합성 평가 및 선정	1 기반기술개발(원내 기본 사업)	2017	2020	4	1,500	A111	A112	A113	A114		
해저기지 건설을 위한 수중 구조체 내부 공간배치 최적화 설계 기술 개발	1 기반기술개발(원내 기본 사업)	2017	2019	3	800	A211	A221				
해저기지 건설을 위한 수압 분산 최적형상 설계 기술개발	1 기반기술개발(원내 기본 사업)	2017	2019	3	600	A221					

제안과제명	과제 종류	연구기간			총예산 (백만원)	관련기술						
		착수 년도	종료 연도	기 간		1	2	3	4	5	6	
수중 구조체 모듈화 및 연결 기술 개발	1	기본기술개발(원내 기본 사업)	2017	2018	2	200	A411	A313	A223	A413	A412	
해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술 개발	1	기본기술개발(원내 기본 사업)	2017	2019	3	500	B314	B315	B312	B321	B322	
해저과학기지 주변의 수상·수중 이동체 모니터링 체계	1	기본기술개발(원내 기본 사업)	2019	2023	5	5,000	B412					
해중기지를 활용한 우주 비행사 훈련기지 개발	1	기본기술개발(원내 기본 사업)	2020	2024	5	10,000	B431					
해저기지 건설을 위한 필요 시설물 및 에너지 공급시설 배치 설계 및 설치 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2023	5	600	A212	A223	A224			
해저기지 건설을 위한 구조체 연결 통로 및 연결부 설계 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2023	5	750	A223	A224	A313	A221	A312	A311
해저기지 건설을 위한 구조체 및 연결부 수밀기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2023	5	800	A223					
해저기지 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2018	2022	5	750	A312	A313	A311			
수중 구조체 모듈 설계 및 시공 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2020	2024	5	1,500	A411	A412	A413	A414	A415	A416
수중부-육상부 연결 시설 설계 및 시공 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2024	2028	5	1,500	A421	A422				
비상 피난시설 설계 및 시공 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2024	2028	5	1,500	A423					
해저과학기지 건설을 위한 수중 무인 기계화 시공 기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2024	6	38,800	A431	A432	A433			
해저기지 수평도 확보를 위한 기초플랫폼 및 앵커 시스템 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2023	5	6,160	A522	A521	A523	A513	A511	
해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2020	2024	5	900	B212	B211				
해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2019	2023	5	700	B213	B211				
유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2018	2020	3	300	B311	B315	A224			
해저기지 수중 비파괴검사 기술	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2020	2024	5	700	B313	B314	B315			
해저기지 종합적 구조 안전성 평가기술 개발	2	핵심기술개발(국가 R&D 사업)	2023	2025	3	500	B315	B321	B322			

제안과제명	과제 종류	연구기간			총예산 (백만원)	관련기술							
		착수 년도	종료 연도	기 간		1	2	3	4	5	6		
센서융합형 해저케이블 모니터링 체계 개발	2	핵심기술개발(국 가 R&D 사업)	2019	2023	5	5,000	B411						
수중관측용 무인 수중 드 론(수중글라이더 등) 활 용 기술 개발	2	핵심기술개발(국 가 R&D 사업)	2017	2021	5	2,600	B413						
해저과학기지 수중 종합 감시 체계 개발	2	핵심기술개발(국 가 R&D 사업)	2020	2024	5	4,300	B421						
해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트 특성 파 악 및 물성 보완방안 연 구	3	실증기술개발(국 가 R&D 실증 사업)	2019	2023	5	650	A311	A312	A224				
해저에서 확장이 가능한 해저 단위 구조 모듈 개 발	3	실증기술개발(국 가 R&D 실증 사업)	2024	2028	5	8,800	A411	A412	A313	A223	A224	A413	
대수심 해저기지 기초 및 앵커 신속 시공 기술 개 발	3	실증기술개발(국 가 R&D 실증 사업)	2024	2027	4	11,600	A523	A521	A522				
해저과학기지 수중 방어 시스템 체계 개발	3	실증기술개발(국 가 R&D 실증 사업)	2022	2026	5	9,100	B422						
해저과학기지 연계프로그 램 개발	3	실증기술개발(국 가 R&D 실증 사업)	2023	2027	5	7,500	B431						

제안과제명	과제 종류	연구 추진 기간											
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
해저과학기지 입지 적합성 평가 및 선정	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저기지 건설을 위한 수중 구조체 내부 공간배치 최적화 설계 기술 개발	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저기지 건설을 위한 수압 분산 최적형상 설계 기술개발	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
수중 구조체 모듈화 및 연결 기술 개발	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술 개발	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저과학기지 주변의 수중-수중 이동체 모니터링 체계	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저기지를 활용한 우주비행사 훈련기지 개발	1 기초기술개발(원내 기본 사업)												
해저기지 건설을 위한 필요 시설물 및 에너지 공급시설 배치 설계 및 설치 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 건설을 위한 구조체 연결 통로 및 연결부 설계 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 건설을 위한 구조체 및 연결부 수밀 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 건설을 위한 실험식 복합구조 설계 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
수중 구조체 모듈 설계 및 시공 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
수중부-육상부 연결 시설 설계 및 시공 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
비상 피난시설 설계 및 시공 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저과학기지 건설을 위한 수중 무인 기계화 시공 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 수평도 확보를 위한 기초출렛폼 및 앵커 시스템 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 수중 비파괴검사 기술	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저기지 종합적 구조 안전성 평가기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
센서융합형 해저케이بل 모니터링 체계 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기술 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저과학기지 수중 종합 감시 체계 개발	2 핵심기술개발(국가 R&D 사업)												
해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트 특성 파악 및 물성 보완방안 연구	3 실증기술개발(국가 R&D 실증사업)												
해저에서 확장이 가능한 해저 단위 구조 모듈 개발	3 실증기술개발(국가 R&D 실증사업)												
대수심 해저기지 기초 및 앵커 신속 시공 기술 개발	3 실증기술개발(국가 R&D 실증사업)												
해저과학기지 수중 방어 시스템 체계 개발	3 실증기술개발(국가 R&D 실증사업)												
해저과학기지 연계프로그램 개발	3 실증기술개발(국가 R&D 실증사업)												

[그림 4.6] 도출 연구과제 추진 계획

## 4.2.1. 1단계 기반기술 연구과제

### (1) 해저과학기지 입지 적합성 평가 및 선정

□ 과제 개요

과제명	해저과학기지 입지 적합성 평가 및 선정				기술수준	기반기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )	
	구분	계	1차년도	2차년도		3차년도	4차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	1,500	200	500	500	300	-
	민간	0	0	0	0	0	-
	합계	1,500	200	500	500	300	-
	연구인력	32	5	10	10	7	-

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지 입지의 적합성을 평가하고 시범사업지를 선정한다		
	최종성과물	해저과학기지 입지 선정 결과 보고서		
기술의 정의				
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	입지선정 기준	• 해저과학기지 입지선정 기준 수립	
	2차년도	해양지반 특성	• 해저과학기지 후보지 해양지반특성 조사 및 분석	
	3차년도	해양환경 특성	• 해저과학기지 후보지 해양환경특성 조사 및 분석	
	4차년도	시범사업지 선정	• 해저과학기지 입지 적합성 판정 및 시범사업지 선정	

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저과학기지 입지 선정을 위한 합리적, 객관적 기준 마련 필요</li> <li>• 해저과학기지 입지 선정에 필요한 수중환경 및 지반특성 등 수집 필요</li> <li>• 수집된 데이터를 기반으로 해저과학기지 시범사업지 위치 선정 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저과학기지 시범사업지 선정 및 실용화 추진 기반 구축</li> <li>• 시범사업지 건설 과정의 시행착오를 줄이고 효율적 기지구축 가능</li> </ul>

## (2) 해저기지 건설을 위한 수중 구조체 내부 공간배치 최적화 설계 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 수중 구조체 내부 공간배치 최적화 설계 기술 개발				기술수준			기반기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )	
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
연구개발 규모 (백만원)	정부	800	250	250	300				
	민간								
	합계	800	250	250	300				
	연구인력								

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	최적 수중 구조체 내부 배치 기술 개발		
	최종성과물	최적공간 배치 개념도 도식화 및 경제성 평가		
기술의 정의		해저기지 효율적인 운영 및 체류자의 안전한 거주를 고려한 기능별 최적화된 공간을 배치하여 설계하는 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	공간 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중 구조물의 공간 배치 및 공간 구성에 대한 자료 및 문헌 조사.</li> <li>해저 기지에 적용될 체류자의 거주를 고려한 공간배치 개념 설계</li> </ul>	
	2차년도	최적공간 배치 개념도 도식화	<ul style="list-style-type: none"> <li>현재 존재하는 잠수정 및 반잠수식 구조체의 공간 유형별 공간의 기능 조합 및 배치 구조를 분석하여 해저기지 최적 공간 배치에 활용할 개념도를 도식화</li> </ul>	
	3차년도	적용 가능성 및 경제성평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용가능성 및 배치에 따른 경제성 평가</li> </ul>	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>제한된 공간에서 효율적인 기지 운영을 위한 최적화된 공간 배치기술 필요</li> <li>앞으로의 해저 자원 개발 및 해저 도시를 위한 해저 해양과학연구 필요</li> <li>향후 미래 인류 생활 영역 확장을 위한 공간 개발 필요</li> <li>장기간동안 폐쇄된 공간에서 체류자의 안전을 고려한 설계 및 배치 기술 필요</li> <li>다수 체류자의 원활한 생활을 위한 공간 배치 기술 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해양과학연구를 통한 선도적 해양기술 확보</li> <li>미래생활공간의 확보</li> <li>해저 자원 개발</li> <li>해저도시 건설 개발에 더 큰 관심 증가</li> </ul>

### (3) 해저기지 건설을 위한 수압 분산 최적형상 설계 기술개발

□ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 수압 분산 최적형상 설계 기술개발			기술수준	기본기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도
	정부	600	200	200	200
	민간				
	합계	600	200	200	200
	연구인력				

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수압하중을 분산시켜 해저기지 구조물의 외부하중을 최소화 할 수 있는 최적형상 도출		
	최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저구조물 형상에 따른 수압을 예측하는 기술</li> <li>작용 수압에 따른 구조물의 최적 형상을 도출하는 기술</li> </ul>		
기술의 정의		수압 분산 최적형상 설계 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	수압분포 및 해저구조물 기본 이론정립	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심에 따른 수압분포 이론 정립</li> <li>해저 구조물 구조 형식에 따른 수압해석</li> <li>해저구조물 입지 수심 선정</li> <li>해저 구조물 형상 및 기본 제원 선정</li> </ul>	
	2차년도	해석기법 개발 및 구조물 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 해저구조물 설계 기준 조사</li> <li>구조물 형상에 따른 수압해석기법 개발</li> <li>구조물 설계 하중 및 설계조건 개발</li> </ul>	
	3차년도	해저기지 단면설계 및 설계도서 작성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 구조물 성능평가</li> <li>구조물 제원 및 하중조건 변화를 고려한 해저 구조물 설계 예제집 작성</li> </ul>	

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심에 따른 수압이 해저에서 운영되는 해저기지의 외력으로 작용하여 이를 최소화 할 수 있는 최적의 구조형상의 도출이 필요함</li> <li>돛형, 구형, 실린더형 등의 구조형상에 따른 비교·분석을 통한 수압분산 모형의 개발이 필요함</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>수압으로 인한 외력을 최소화 하는 최적의 형상을 도출하여 해저기지의 구조적 안전성 확보가 가능함</li> <li>또한 재료절감효과와 효율적인 구조설계가 가능함</li> </ul>

#### (4) 수중 구조체 모듈화 및 연결 기술 개발

□ 과제 개요

과제명	수중 구조체 모듈화 및 연결 기술 개발				기술수준	기반기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )	
	구분	계	1차년도	2차년도		3차년도	4차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	200	100	100			
	민간						
	합계	200	100	100			
	연구인력	6	3	3			

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수중 구조체 모듈화와 연결 기술을 개발한다.		
	최종성과물	수중 구조체 모듈화 기법/수중 구조체 모듈 연결 기법		
기술의 정의		수중에 건설되는 해저기지 건설을 위한 각 구조모듈의 분리 시공과 이를 조립/연결하는 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	모듈화 기법 개발	• 해저과학기지의 구조 모듈화 기법 개발	
	2차년도	연결 기법 개발	• 모듈화된 구조체들을 조립/연결하는 기법 개발	

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저과학기지를 하나의 구조체로 시공하기에는 비용과 확장성에서 효율적이지 않음.</li> <li>• 해저과학기지를 모듈화하고 이를 조립/연결하면 비용의 절감과 향후 기지 확장도 용이하게 할 수 있음</li> <li>• 수중 구조물의 조립은 많은 제약조건이 있으므로 이를 극복하기 위한 기법의 개발이 필요함</li> <li>• 수중 구조물의 연결은 수밀성의 확보가 매우 중요하고 이에 대한 기법을 개발할 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조체 모듈화의 최적화로 해저과학기지 건설예산의 절감</li> <li>• 모듈화 공정에 따른 시공기간의 단축</li> <li>• 구조체 모듈 연결부분의 수밀성의 확보</li> </ul>

## (5) 해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 상시 모니터링 기술 개발				기술수준			기반기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	핵심기술 ( V )
연구개발 규모 (백만원)	정부	500	100	200	200			실증기술 ( )
	민간	0	0	0	0			
	합계	500	100	200	200			
	연구인력	15	5	5	5			

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술 개발		
	최종성과물	해저기지 상시 구조물 건전성 모니터링 기술 개발		
기술의 정의		고압을 받고 있는 해저기지의 구조 안전성 확보를 위하여 변형률, 변형, 진동 등 구조물 건전성을 분석할 수 있는 응답을 상시 모니터링하는 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	해저기지 취약부 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지에 대한 구조해석을 통하여 모니터링이 필요한 구조부재 등 취약부를 분석하고, 최적 센서 및 신호처리기법을 제시</li> </ul>	
	2차년도	축소모형을 이용한 손상 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>수치시뮬레이션 및 해저기지 축소모형을 이용한 손상실험을 수행함으로써 모니터링 센서 및 신호처리기법의 적용성 평가</li> </ul>	
	3차년도	해저기지 SHM(안) 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>수치시뮬레이션 및 축소모형실험 결과를 분석하여 해저기지에 적합한 구조 건전성 모니터링 시스템을 제시</li> </ul>	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심 50m 이상의 해역에 설치되는 해저기지의 경우 높은 수압을 받고 있으며, 구조적인 손상이 발생할 경우 초기 손상 단계에서 적절한 대응을 하는 것이 매우 중요함</li> <li>따라서 초기 손상을 탐지할 수 있도록 상시 구조물 건전성 모니터링 시스템을 개발하여 적용하는 것이 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지에 대한 구조적 안전성을 상시 모니터링함으로써 상주 인력의 안전을 확보할 수 있음</li> </ul>

## (6) 해저과학기지 주변의 수상·수중 이동체 모니터링 체계

### □ 과제 개요

과제명	해저과학기지 주변의 수상·수중 이동체 모니터링 체계				기술수준			기반기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	5,000	500	1,000	1,000	1,500	1,000	
	민간							
	합계	5,000	500	1,000	1,000	1,500	1,000	
	연구인력	35	7	7	7	7	7	

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해수중 이동체 탐지를 위한 수상·수중 모니터링망 및 수중소음 데이터베이스 구축					
	최종성과물	수상·수중 이동체 관측망					
기술의 정의		해상수중 활동 물체(선박, 고래, 잠수함 등) 탐지를 위한 수중음향모니터링 체계 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용				
	1차년도	개념설계	• 실시간 수중음향 모니터링 체계 개념 수립				
	2차년도	계측장비제작	• 선박 및 해양 수중소음 관측·계측장비 개발				
	3차년도	현장실험	• 수상/수중 이동체 모니터링 및 가시화시스템 구축				
	4차년도	음향DB구축	• 수중소음 모니터링 시설 및 데이터베이스 구축				
	5차년도	현업운영	• 해저케이블과 연계한 해중세력감시 관측망 구축				

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>우리나라 연안의 국가 주요시설물(원전 등)에 대한 감시시스템 부재로 인해 외부세력(수중무인기 등)의 침투 가능성이 높고, 중국 불법어선의 어로활동에 대한 감시활동이 증대되고 있으며,</li> <li>최근 세월호 사태와 같은 선박사고 및 지진해일 등 해양재해에 대비하기 위하여 해양 네트워크망을 통한 실시간 감시시스템의 구축이 시급</li> <li>국제사회의 해양 수중소음 규제(국제해사기구, IMO)에 대비하고, 국내 해양생태계 보호를 위한 선박 및 해양 수중소음 모니터링 체계 수립 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술적 효과 : 한반도 주변 영해 관리능력 강화를 위한 과학기술 확보</li> <li>경제적 효과 : 확보된 기술의 활용으로 연안 국가 주요시설 안정적 운영에 기여</li> <li>정책적 효과 : 이동물체 감시망 구축으로 국방안보 및 해저과학기지 방어 강화</li> </ul>

## (7) 해중기지를 활용한 우주비행사 훈련기지 개발

### □ 과제 개요

과제명	해중기지를 활용한 우주비행사 훈련기지 개발				기술수준			기반기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	10,000	500	1,000	1,500	6,000	1,000	
	민간							
	합계							
	연구인력	150	10	20	50	50	20	

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수심 50m에 해중과학기지를 건설하여, 우주비행사의 무중력 훈련을 수행
		최종성과물
기술의 정의		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표 및 내용
	1차년도	• 연구내용 구체화와 필요기술수준 정립
	2차년도	• 해중과학기지 실시설계
	3차년도	• 해중과학기지 건설
	4차년도	• 건설 완료 및 테스트
	5차년도	• 문제점 보완

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>전 세계적으로 지구의 70% 이상을 차지하고 있는 바다를 활용하려는 연구를 꾸준히 추진하고 있어, 유인 과학기지 건설은 이후 해저도시 건설에 선도적인 역할을 할 것으로 기대.</li> <li>특히, 정부에서는 2020년 달에 유인우주선 착륙을 목표로 달 탐사 1단계 계획을 추진하고 있으며, 이에 따라 무중력 또는 중력이 거의 없는 조건에서 우주유형 훈련이 가능한 장소가 필요</li> <li>기존의 실내 수조는 막대한 건설비와 유지비가 소요되는 이유로, 유인 과학기지를 우주비행사 양성을 위한 훈련기지로 활용 필요.</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저과학기지는 높은 수압, 내식성, 방수 등 인류가 거주하기 위한 극한지 건설에도 필요한 높은 수준의 기술을 연구할 필요가 있어, 관련 소재 및 부품 분야 개발에 큰 영향을 미칠 것으로 판단됨.</li> </ul>



[그림 4.7] 심해수조를 활용한 우주비행사 훈련

## 4.2.2. 2단계 핵심기술 연구과제

### (1) 해저기지 건설을 위한 필요 시설물 및 에너지 공급시설 배치 설계 및 설치 기술 개발

□ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 필요 시설물 및 에너지 공급시설 배치 설계 및 설치 기술 개발				기술수준			기반기술 ( )	핵심기술 (O)	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	600	100	120	160	120	100			
	민간									
	합계	600	100	120	160	120	100			
	연구인력									

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저기지 운영에 필요한 시설물 및 에너지 공급 시설 배치 설계 및 설치 기술 개발								
	최종성과물	필요 시설물 배치 설계 및 에너지 공급 해저 케이블 연결 설계 기술 개발								
기술의 정의		해저기지 운영과 채류자의 생활을 위한 필수 시설의 배치 및 안정적인 에너지와 산소 공급 시설을 설계하는 기술								
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용							
	1차년도	필요시설 및 산소, 전력 등 공급방법 선정	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 운영에 필요한 시설 배치 및 설치 관련 자료 및 참고문헌 조사. 해저기지 에너지 공급 방법 및 관련 시설에 대한 자료 조사 및 결정.</li> <li>시설물 선정 및 공급받는 에너지 종류 및 공급방법 선정.</li> </ul>							
	2차년도	시설물 및 산소 공급설비 배치 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>운영에 필요한 시설물 및 산소 공급 설비 위치 및 배치 설계</li> </ul>							
	3차년도	에너지 공급 시설 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>파력, 풍력 및 해류 등의 에너지 자금 시설 배치 설계 및 설치 기술 개발</li> </ul>							
	4차년도	에너지 공급 케이블 연결 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 공급을 위한 해저케이블 연결 설계 기술 개발</li> </ul>							
	5차년도	적용 가능성 및 경제성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>적용가능성 및 경제성 검토 및 평가</li> </ul>							

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 기지 운영을 원활히 하기 위한 필요한 시설 배치 기술 필요</li> <li>장기간동안 채류자가 거주에 필요한 에너지 및 산소 공급 시설 설계 및 설치 기술 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>다수의 채류자가 안정적으로 장기간동안 해저기지에 거주 가능.</li> <li>신재생에너지 사용으로 인한 경제성 향상.</li> <li>앞으로의 해저도시 건설에 활용 가능.</li> </ul>

## (2) 해저기지 건설을 위한 구조체 연결 통로 및 연결부 설계 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 구조체 연결 통로 및 연결부 설계 기술 개발				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 (O) 실증기술 ( )	
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	정부	750	150	150	150	150	150
	민간						
	합계	750	150	150	150	150	150
	연구인력						

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저에서 각 모듈을 연결하는 통로 및 연결부 설계 기술 개발					
	최종성과물	통로와 연결부가 적용된 모듈 설치 기술 개발					
기술의 정의		해저기지 접근을 위한 잠수정 접안 시설 및 각 기능 모듈 구조체의 안전한 연결 통로를 확보하는 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용				
	1차년도	구조 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중 연결 통로 및 연결부 관련 자료 및 문헌 조사</li> <li>연결 통로 구조 형상 결정 및 개념설계</li> <li>수중 연결 통로 및 각 통로 연결부에 작용하는 하중 및 경계 조건 선정</li> </ul>				
	2차년도	통로 상세설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 모듈 연결 통로 상세 설계 기술 개발</li> <li>구조 해석 및 축소 실험</li> </ul>				
	3차년도	연결부 상세설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 모듈간 통로 연결부 상세 설계 기술 개발</li> <li>구조 해석 및 축소 실험</li> </ul>				
	4차년도	적용 가능성 및 안전성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 입지에 따른 통로 및 연결부에 대한 적용 가능성 및 안전성 평가</li> </ul>				
	5차년도	제작 및 설치 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>연결 통로 및 연결부 제작 및 설치 기술 개발</li> </ul>				

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>체류자의 각 구조체 이동시 필요.</li> <li>한 구조체에서 화재 및 비상상황 발생시 다른 구조체로 신속한 이동이 필요하기 때문에 각 구조체를 연결하는 통로 필요.</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>비상시 탈출통로로 활용 가능.</li> <li>해저 신기술 개발에 도움을 줄 것으로 기대.</li> <li>향후 해저 도시 건설시, 각 모듈을 연결 할 때 활용 가능.</li> </ul>

### (3) 해저기지 건설을 위한 구조체 및 연결부 수밀기술 개발

□ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 구조체 및 연결부 수밀기술 개발				기술수준			기본기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	800	150	150	150	200	150	
	민간							
	합계	800	150	150	150	200	150	
	연구인력							

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저기지 내부 아크릴 창 및 외부 시설과의 연결부에서 발생 가능한 누수 방지를 위한 수밀기술 개발					
	최종성과물	구조물간의 연결부 접합기술					
기술의 정의		해저기지 구조체 모듈 연결부 및 도킹스테이션, 챔버 및 아크릴 창 등의 연결부를 수밀하는 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용				
	1차년도	구조체 연결부 기본이론 정립	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 수중 구조체 연결부 접합기술 조사 및 정리</li> <li>• 수밀기술이 가져야할 최소 기능 정의</li> <li>• 연결부 하중 및 설계 조건 개발</li> </ul>				
	2차년도	구조체 연결부 해석기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내외 수중 구조물 설계 기준, 연결부 설계사례 조사 및 정리</li> <li>• 아크릴 및 콘크리트 등 연결부 재료의 선정</li> <li>• 구조체 연결부 형상에 따른 구조해석 기법 개발</li> </ul>				
	3차년도	수중 구조체 연결부 설계 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조체 연결부 기본설계</li> <li>• 설계 조건별 매개변수에 따른 설계 안 도출</li> </ul>				
	4차년도	수중 구조체 연결부 시험체 제작 및 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적 연결부 후보군 선정</li> <li>• 구조체 연결부 시험체 제작</li> <li>• 구조체 연결부 시험체 해석 및 실험결과 비교·분석</li> </ul>				
5차년도	합성·복합 단면 해저구조물 적용성 및 경제성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중구조물 연결부 적용성 분석</li> <li>• 연결부 종류 및 방식에 따른 경제성 분석</li> </ul>					

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수중관찰을 위한 아크릴 창, 혹은 유리창의 경우 해저기지 벽면과의 연결부에서 수압으로 인한 누수가 발생 가능하므로 이에 대한 수밀기술이 필요함</li> <li>• 연구자 출입을 위한 챔버시설, 전력공급시설 등과 같이 해저기지와 연결이 필요한 시설과의 연결부에서 발생 가능한 누수방지를 위한 기술개발이 필요함</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저기지의 연결부 수밀기술 개발로 안전성의 확보가 가능함</li> <li>• 또한 여러 시설물의 연결이 가능해짐에 따라 해저기지의 단지화가 가능함</li> </ul>

#### (4) 해저기지 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발

□ 과제 개요

과제명	해저기지 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발				기술수준	기본기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )	
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	정부	750	150	150	150	150	150
	민간						
	합계	750	150	150	150	150	150
	연구인력						

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	외부하중에 대한 저항성 증진과 제작의 용이성을 높이는 신형식 복합구조 설계기술을 개발					
	최종성과물	해저기지 구조물의 최적형상 설계단면 도출					
기술의 정의		수압과 외부충격 및 수중환경에 적합한 강·콘크리트 합성구조 또는 복합재료를 적용한 수중구조물을 설계하는 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표		연구 내용			
	1차년도	합성·복합 단면 해저구조물 기본이론 정립		<ul style="list-style-type: none"> <li>해저구조물 구조 형식 결정</li> <li>해저구조물 요구 성능 분석</li> <li>비선형 재료모델 개발</li> </ul>			
	2차년도	합성·복합 단면 해저구조물 해석 기법 개발 및 거동분석		<ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 수중 구조물 설계 기준, 설계사례 조사 및 정리</li> <li>수중 구조물 하중 조건 분석</li> <li>합성·복합 단면 해저구조물 기본 단면 설계</li> </ul>			
	3차년도	합성·복합 단면 해저구조물 기본 설계 기술 확립		<ul style="list-style-type: none"> <li>합성·복합 단면 해저구조물 생산기법 정립</li> <li>시공 단계별 해석 및 분석기술 개발</li> <li>용량 및 하중조건 변화와 외부 충격을 고려한 구조물 설계 안 도출</li> </ul>			
	4차년도	합성·복합 단면 해저구조물 제작 및 설치 기술 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>수중 시공성 향상을 위한 제작·설치 기술 개발</li> <li>복합소재 해저 구조물 생산기술 개발 및 평가</li> </ul>			
	5차년도	합성·복합 단면 해저구조물 적용성 및 경제성 평가		<ul style="list-style-type: none"> <li>구조물 적용 대상지 분석 및 합성·복합 단면 해저구조물 적용성 분석</li> <li>합성·복합 단면 해저구조물 경제성 평가</li> </ul>			

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수압 및 선박의 앵커와의 충돌과 같은 외부 충격으로부터 안전한 구조설계기술이 필요함</li> <li>해양생물 및 예측 불가능한 해양환경에서 발생 가능한 외부 하중에 대한 저항성 증진을 위한 좌굴강도 향상기술 개발이 필요함</li> <li>수중제작에 어려움이 있으며, 육상건조 후 이송 및 수중 설치가 용이한 신형식 구조의 설계기술의 개발이 필요함</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>고강도의 신형식 구조의 개발로 해저기지의 안전성 확보 및 재료절감효과로 인한 경제성 향상이 가능함</li> <li>또한 설치의 용이성으로 설치비용 절감효과를 기대할 수 있음</li> </ul>

## (5) 수중 구조체 모듈 설계 및 시공 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	수중 구조체 모듈 설계 및 시공 기술 개발				기술수준			기본기술 ( )	핵심기술 (○)	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	1,500	200	200	300	600	200			
	민간	0								
	합계	1,500	200	200	300	600	200			
	연구인력	35	5	5	10	10	5			

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수중 구조체 모듈의 설계와 시공 기술을 개발한다.		
	최종 성과물	수중 구조체 모듈 설계 가이드라인/수중 구조체 모듈 시공 기법		
기술의 정의		수중에 건설되는 해저기지 건설을 위한 각 구조모듈 설계와 이를 시공하기 위한 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	모듈화 설계 기법 개발	• 해저과학기지의 구조 모듈화 설계 기법 개발	
	2차년도	모듈화 시공 기법 개발	• 해저과학기지의 구조 모듈화 시공 기법 개발	
	3차년도	모듈화 기법 실내 실험	• 모듈화 기법 검증에 위한 실내 실험 및 기법 개선	
	4차년도	모듈화 기법 실외 실험	• 모듈화 기법 검증에 위한 실외 실험 및 기법 개선	
	5차년도	설계/시공 가이드라인	• 설계 및 시공 가이드라인 제시	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저과학기지를 하나의 구조체로 시공하기에는 비용과 확장성에서 효율적이지 않음.</li> <li>• 해저과학기지를 모듈화하고 이를 조립/연결하면 비용의 절감과 향후 기지 확장도 용이하게 할 수 있음</li> <li>• 수중 구조물의 모듈화와 조립은 많은 제약조건이 있으므로 이를 극복하기 위한 설계 및 시공 기법의 개발이 필요함</li> <li>• 수중 구조물의 조립/연결은 수밀성의 확보가 매우 중요하고 이에 대한 설계 기법을 개발할 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 구조체 모듈화의 최적화로 해저과학기지 건설예산의 절감</li> <li>• 모듈화 공정에 따른 시공기간의 단축</li> <li>• 구조체 모듈 연결부분의 수밀성의 확보</li> </ul>

## (6) 해저과학기지 건설을 위한 수중 무인 기계화 시공 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저과학기지 건설을 위한 수중 무인 기계화 시공 기술 개발				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 (O) 실증기술 ( )			
	구분	계	1차년도	2차년도		3차년도	4차년도	5차년도	6차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	29,000	2,000	3,000	5,000	8,000	6,000	5,000	
	민간	9,800	700	1,000	1,700	2,700	2,000	1,700	
	합계	38,800	2,700	4,000	6,700	10,700	8,000	6,700	
	연구인력	370	40	60	70	80	60	60	

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지 건설을 위한 수중 무인 기계화 시공 기술 개발		
	최종성과물	중작업용 수중건설로봇 시스템, 상시 모니터링용 자율형 무인 이동체, 수중 센서융합 및 수중 통신 시스템		
기술의 정의		200m 내외 수심 조건의 해저과학기지 구조물 및 관련 시설의 효율적 시공 및 유지관리를 위한 무인 기계화 시스템 기술 및 관련 운용 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	사양분석/개념설계/ 핵심기술개발(I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저과학기지 건설에 적합한 로봇시스템 사양 도출</li> <li>플랫폼 및 툴, 통신시스템 등 개념 설계</li> </ul>	
	2차년도	상세설계/핵심기술 개발 및 제작(II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>원격제어 및 운영시스템 등 핵심기술 개발</li> <li>시스템 전체에 대한 상세설계</li> </ul>	
	3차년도	핵심모듈 제작	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중시스템에 대한 핵심 모듈(툴 포함) 제작 및 성능 검증</li> </ul>	
	4차년도	시스템 통합	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 시스템 제작 및 통합, 기능 평가</li> </ul>	
	5차년도	성능검증실험(I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체 시스템에 대한 기능 및 성능 검증, 수정 보완</li> </ul>	
	6차년도	실해역을 포함한 성능검증실험(II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>실해역 성능 확인</li> </ul>	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중구조물이 대부분인 해저과학기지 구조물 및 관련 시설의 시공에 있어 무인 기계화 장비(로봇)를 활용한 정밀 시공은 필수적임.</li> <li>현재 기술에 따르면 수중용접이나 유지보수 등의 경작업용 수중로봇이나 해저케이블/파이프라인용 중작업용 로봇은 다수 있으나 대형 구조물 시공에 필요한 장비 개발과 함께 원격 운용 기술의 개발이 필요한 상황임.</li> <li>또한 수중구조물의 시공 전후 및 상시 모니터링을 위한 무인 이동체 설계/제작/활용 기술, 수중 구조물 및 로봇의 원격 제어를 위한 수중 통신 및 수중 광대역 센서 융합 기술도 개발되어야 함.</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>수중 무인 기계화 정밀 시공을 통해 열악한 수중환경 하에서도 공사 기간 및 비용을 절감할 수 있음.</li> <li>센서 융합 및 수중 통신, 상시 모니터링을 통해 효율적 유지관리가 가능함.</li> </ul>

## (7) 해저기지 수평도 확보를 위한 기초플랫폼 및 앵커 시스템 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 수평도 확보를 위한 기초플랫폼 및 앵커 시스템 개발				기술수준			기본기술 ( )	핵심기술 (○)	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	4,600	600	1,000	1,000	1,000	1,000			
	민간	1,560	200	340	340	340	340			
	합계	6,160	800	1,340	1,340	1,340	1,340			
	연구인력	50	8	10	10	10	11			

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저기지 수평도 확보가 가능한 기초플랫폼 및 계류앵커시스템 기술 개발		
	최종성과물	해저기지용 수평도 제어형 기초플랫폼 및 앵커시스템		
기술의 정의		불규칙한 해저지반조건에서 해저기지의 수평도를 확보할 수 있도록 수평도 제어 가능한 기초플랫폼과 수중 해저기지 구조물의 안정적인 고정을 위한 계류앵커시스템		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	기초플랫폼 및 앵커 시스템 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 기초시스템 설계요소 도출</li> <li>수중구조물 기초플랫폼 및 앵커시스템 개념설계</li> </ul>	
	2차년도	해저기지 앵커시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 앵커시스템 개발</li> <li>해저기지 앵커시스템 거동 해석</li> </ul>	
	3차년도	수평도 제어형 기초 플랫폼 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초플랫폼 수평도 제어 기술 개발</li> <li>수평도 제어 기초플랫폼 메커니즘 분석</li> </ul>	
	4차년도	해저기지 기초플랫폼 및 앵커시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 기초플랫폼 및 앵커시스템 설계</li> <li>기초플랫폼 및 앵커시스템 거동 예측</li> </ul>	
	5차년도	기초플랫폼 및 앵커 시스템 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>수평도 제어형 기초플랫폼 성능평가</li> <li>기초플랫폼 및 앵커시스템 시공성 평가</li> </ul>	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>불규칙한 해저지반 조건에서 해저기지가 안정적으로 구축 및 운영되기 위해서는 해저기지 구조물의 수평도 확보가 필수적임</li> <li>다양한 조건의 해저지반에 적용될 수 있는 기초시스템을 확보함으로써 해저기지 설치 입지 다양성 확보 가능</li> <li>해저기지의 수평도 확보를 위해서는 수평도 제어가 가능한 기초플랫폼 및 앵커시스템 개발 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>불규칙한 지반조건에 대응하는 기초시스템을 통해 해저기지 건설 효율성 제고</li> <li>해저기지 구조물의 안정성 향상</li> <li>다양한 해양구조물 및 수중구조물의 기초시스템으로 활용 가능</li> </ul>

## (8) 해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 ( V ) 실증기술 ( )		
	구분	계	1차년도	2차년도		3차년도	4차년도	5차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	900	100	200	200	200	200	
	민간	0	0	0	0	0	0	
	합계	900	100	200	200	200	200	
	연구인력	25	5	5	5	5	5	

### □ 목표 및 내용

과제	최종목표	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기 경보 기술	
목표	최종성과물	해저기지 설치해역 자연재해 예보 및 조기 경보 기술	
기술의 정의		해저기지의 안전한 운영을 위하여 해저기지 설치 해역에서의 태풍, 해일, 지진 등 자연재해를 예보 또는 조기 경보하는 기술	
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용
	1차년도	지진 예보 기술(1)	• 광섬유 센서 또는 광통신망을 이용한 지진예보 및 조기 경보 기술 (1)
	2차년도	지진 예보 기술(2)	• 광섬유 센서 또는 광통신망을 이용한 지진예보 및 조기 경보 기술 (2)
	3차년도	쓰나미 예보 기술(1)	• 지진 또는 태풍 발생으로 인한 쓰나미 예보 및 조기 경보 기술 (1)
	4차년도	쓰나미 예보 기술(2)	• 지진 또는 태풍 발생으로 인한 쓰나미 예보 및 조기 경보 기술 (2)
5차년도	자연재해 예보 및 조기경보 기술	• 자연재해 예보 및 조기 경보 기술 정립	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심 50m 이상의 해역에 설치되는 해저기지의 경우 지진 및 쓰나미 등 추가적인 자연재해에 노출될 가능성이 높음</li> <li>따라서 이러한 자연재해를 수초 전에 미리 감지하여 예보하거나, 혹은 발생 직후 수초 수분 내에 조기 경보함으로써 해저기지의 안전한 운영을 도울 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지의 위해요소 중 중요한 사항으로 고려할 수 있는 지진 및 쓰나미 발생 시 해저기지 내외부의 상주인력 및 각종 라이프라인 시설물에 대하여 안전성을 확보할 수 있음</li> </ul>

## (9) 해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술				기술수준			기반기술 ( )	핵심기술 ( V )	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	700	100	200	200	200				
	민간	0	0	0	0	0				
	합계	700	100	200	200	200				
	연구인력	20	5	5	5	5				

### □ 목표 및 내용

과제	최종목표	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술		
목표	최종성과물	해저기지 라이프라인 위험 모니터링 기술		
기술의 정의		해저기지 운영에 있어 가장 중요한 시설인 에너지, 산소, 물 및 식량 공급시설 및 육상 연결통로 등 각종 라이프라인에 대한 모니터링을 통한 비상 상황 경보		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표		연구 내용
	1차년도	라이프라인 취약부 분석		<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지, 산소, 물 및 식량 공급시설 및 육상 연결통로 등 각종 라이프라인에 대한 해석 및 취약부 분석</li> </ul>
	2차년도	모니터링 기술 개발(1)		<ul style="list-style-type: none"> <li>라이프라인 취약부에 대한 최적 모니터링 기법 개발(1)</li> </ul>
	3차년도	모니터링 기술 개발(2)		<ul style="list-style-type: none"> <li>라이프라인 취약부에 대한 최적 모니터링 기법 개발(2)</li> </ul>
	4차년도	라이프라인 모니터링 시스템 제시		<ul style="list-style-type: none"> <li>라이프라인 모니터링 시스템 제시</li> </ul>

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 운영 측면에서 볼 때 가장 중요한 시설은 에너지, 산소, 물, 식량 등을 공급하는 시설과 육상과의 연결통로 등 라이프라인임</li> <li>육상사회기반시설물의 경우 유사 시 이러한 라이프라인을 통제할 수 있으나, 해저기지의 경우 라이프라인 통제가 어렵고 따라서 사전에 위험을 감지하여 조치할 필요성이 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 운영에 있어 가장 기본적인 항목인 라이프라인에 대한 위험을 사전에 감지함으로써 안전한 운영에 기여</li> </ul>

## (10) 유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가

### □ 과제 개요

과제명	유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 ( V ) 실증기술 ( )	
	구분	계	1차년도	2차년도		3차년도	4차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	300	100	100	100		
	민간	0	0	0	0		
	합계	300	100	100	100		
	연구인력	15	5	5	5		

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가		
기술의 정의	최종성과물	유체-지반-구조물 상호작용해석을 통한 해저기지 확률적 내진성능 평가		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	FSSI 적용 및 모델링	• 유체-지반-구조물 상호작용해석 기법 적용 및 해저기지 모델링	
	2차년도	FSSI 해석 및 취약도 분석	• 해저기지에 대한 FSSI 해석 및 지진취약도 분석	
	3차년도	확률적 내진성능 분석	• 해저기지의 확률적 내진성능 분석	

## 3. 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 수심 50m 이상의 해역에 설치되는 해저기지의 경우 높은 수압을 상시 받고 있음</li> <li>- 또한 최근 발생한 울산 및 경주에서의 지진에서 볼 수 있듯이 국내 해역에서의 강진 발생 가능성이 높음</li> <li>- 따라서 해저기지의 지진성능 확보를 위하여 유체-지반-구조물 상호작용해석을 수행하고, 또한 확률적 특성을 반영한 취약도 분석을 통하여 내진성능을 분석할 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저기지에 대한 확률적 내진성능 평가를 통하여 지진에 대한 안전성 확보 및 안전한 운영에 기여</li> </ul>

## (11) 해저기지 수중 비파괴검사 기술

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 수중 비파괴검사 기술				기술수준			기반기술 ( )	핵심기술 ( V )	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	700	100	200	200	200				
	민간	0	0	0	0	0				
	합계	700	100	200	200	200				
	연구인력	20	5	5	5	5				

### □ 목표 및 내용

과제	최종목표	해저기지 수중 비파괴검사 기술		
목표	최종성과물	해저기지 수중 비파괴검사 기술		
기술의 정의		해저기지의 중요 부재에 대한 손상탐지를 위한 수중 비파괴검사(Underwater Non-Destructive Testing)기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	해저기지에 대한 취약부재 분석	• 해저기지에 대한 수치해석을 통하여 취약부 및 NDT 적용 항목 분석	
	2차년도	uNDT 기술 개발(1)	• uNDT 기술 개발(1)	
	3차년도	uNDT 기술 개발(2)	• uNDT 기술 개발(2)	
	4차년도	성능 검증	• 개발된 기술(또는 장비)에 대한 수조 또는 실험역 실험을 통한 성능 검증	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심 50m 이상의 해역에 설치되는 해저기지의 경우 높은 수압을 받고 있으며, 구조적인 손상이 발생할 경우 초기 손상 단계에서 적절한 대응을 하는 것이 매우 중요함</li> <li>따라서 정기적으로, 또는 모니터링에 의하여 필요성이 요구되는 경우 외벽 및 내부 주요 부재에 대한 손상을 검사할 수 있도록 수중 비파괴검사기술을 개발할 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지에 대한 구조적 안전성을 정기적 혹은 필요시 검사함으로써 상주 인력의 안전을 확보할 수 있음</li> </ul>

## (12) 해저기지 종합적 구조 안전성 평가기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저기지 상시 모니터링 기술 개발				기술수준			기반기술 ( )	핵심기술 ( V )	실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	500	100	200	200					
	민간	0	0	0	0					
	합계	500	100	200	200					
	연구인력	15	5	5	5					

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저기지의 구조적 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 기술을 개발								
	최종성과물	해저기지의 구조적 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 기술을 개발								
기술의 정의		해저기지 내 환경, 비파괴검사 결과, 구조 건전성 모니터링 결과 등을 이용하여 해저기지의 구조적 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 기술을 개발								
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용							
	1차년도	해저기지 안전성 지표 설정	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지의 환경 및 구조적 측면에서 안전성을 표현할 수 있는 안전성 지표를 설정</li> </ul>							
	2차년도	자료처리 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경 및 비파괴검사, 구조 건전성 모니터링 결과를 종합적으로 활용할 수 있는 기술 개발</li> </ul>							
	3차년도	종합적 평가 방법 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 내 환경, 비파괴검사 결과, 구조 건전성 모니터링 결과 등을 이용하여 해저기지의 구조적 안전성을 종합적으로 평가할 수 있는 방법 제시</li> </ul>							

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>수심 50m 이상의 해역에 설치되는 해저기지의 경우 구조적 위험 발생 시 우주에서의 조건과 같이 외부에서의 조치가 어려움</li> <li>따라서 여러 모니터링 결과를 종합하여, 해저기지의 안전성을 구조 뿐만 아니라 환경 측면까지 고려하여 종합적으로 평가할 필요가 있음</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지에 대한 환경 및 구조적 측면을 모두 고려한 종합적 안전성을 평가함으로써 상주 인력 안전 확보 및 해저기지의 안전한 운영이 가능</li> </ul>

### (13) 센서융합형 해저케이블 모니터링 체계 개발

□ 과제 개요

과제명	센서융합형 해저케이블 모니터링 체계 개발				기술수준			기반기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	5,000	500	1,000	1,000	1,500	1,000	
	민간							
	합계	5,000	500	1,000	1,000	1,500	1,000	
	연구인력	35	7	7	7	7	7	

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지 주변에 각종 해양관측 센서가 융합된 해저케이블 모니터링 체계 수립					
	최종성과물	해저과학기지 해저관측망					
기술의 정의		수중음향, 지진, 해수유동, 수온 등의 관측 센서가 포함된 해저케이블을 이용한 해저관측망 체계 구축 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용				
	1차년도	개념설계	• 연안관측용 해저 파고·수온·지진 센서케이블 개념 설계				
	2차년도	시제품제작	• 해저관측망 구성을 위한 해저케이블 제작				
	3차년도	현장실험	• 해저케이블 현장 시험 및 검증				
	4차년도	시스템구축	• 실시간으로 관측·분석하는 시스템 구축				
	5차년도	현업운영	• 해저과학기지 수중종합감시 시스템 연동				

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MT와 IT를 융합하여 해일관측, 해양기상, 해수관측, 생태계 감시 및 지진감시 등 해양재해 대비 및 해양영토의 과학적인 관리를 위한 해저 케이블형 실시간 네트워크 망 구축 기술 개발 필요</li> <li>• 국가 주요 관할해역에 구축될 해저과학기지를 중심으로 연안관측용 파고센서 케이블을 이용한 파랑 모니터링시스템을 구축하여, 쓰나미 및 이상 고파랑 등의 내습에 대비한 장기적이고 실시간적인 해양환경 자료 획득 및 감시와 예보기술을 통하여 해양에서의 파랑에 의한 현실적인 재난·재해 대응방안 제시</li> <li>• 해저과학기지 실시간적인 해양환경 자료 획득 및 감시와 예보기술을 통하여 해저과학기지 안전망 확보 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적 효과 : 한반도 주변 영해 관리능력 강화를 위한 과학기술 확보</li> <li>• 경제적 효과 : 확보된 기술의 활용으로 연안 국가 주요시설 안정적 운영에 기여</li> <li>• 정책적 효과 : 국가 영토에 대한 영유권 강화 및 해양안전 기반 마련</li> </ul>

## (14) 수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기술 개발

### □ 과제 개요

과제명	수중관측용 무인 수중 드론(수중글라이더 등) 활용 기술 개발				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )	
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	정부	2,600	100	300	500	700	1,000
	민간						
	합계	2,600	100	300	500	700	1,000
	연구인력	25	5	5	5	5	5

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수중관측용 무인 수중 플랫폼(수중글라이더 등) 활용 기술 개발					
	최종성과물	무인 플랫폼 광범위 해양 감시망					
기술의 정의		AUV, 수중글라이더, Wave Glider 등 다양한 무인플랫폼을 활용한 해양관측 체계 구축 및 무인체계를 활용한 수중 관측 기기의 해양정보 수집에 관한 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용				
	1차년도	개념설계	• 다양한 무인플랫폼을 활용한 해양관측 체계 개념 수립				
	2차년도	운영기술확보	• 해저과학기지 기반의 무인 드론 운영·관리·관측 기술 확보				
	3차년도	통신체계개발	• 해양관측장비간 통신 체계 개발				
	4차년도	현장실험	• 해저과학기지 환경 파악을 해양환경정보 관측				
	5차년도	현업운용	• 무인플랫폼 운용을 이동체 추적, 해양관측, 해양정보 수집 체계 구축				

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 첨단과학기술의 발달로 해양관측에 활용될 수 있는 무인 수중 드론은 수중·수상의 다양한 플랫폼 개발되고 있음.</li> <li>• 무인 수중 드론은 저전력을 사용하여 장기간 이동하면서 해양을 관측하는 장비임.</li> <li>• 현재 장거리 이동 및 여러 종류의 탐사를 동시에 수행할 수 있는 대형 AUV 개발이 추진되고 있으며, 2000년대 들어 개발된 장거리 AUV, 수중글라이더와 무인파력선은 현재 해양관측 방법을 대체할 신기술로써 각광 받고 있음.</li> <li>• 무인 수중 드론은 자율제어를 수행하면서 장기간 운용할 수 있는 장점이 있고, 해양과학·방위 목적으로 그 활용도가 증가됨</li> <li>• 수중 무인 드론을 활용한 해저과학기지 해양안전 감시 및 해양 방위를 위한 해양관측·감시망 구축 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적 효과 : 한반도 주변 영해 관리능력 강화를 위한 과학기술 확보</li> <li>• 경제적 효과 : 확보된 기술의 활용으로 연안 국가 주요시설 안정적 운영에 기여</li> <li>• 정책적 효과 : 첨단 해양관측기술 및 시스템을 개발·운용하여 해양 현안에 대한 효율적 대응방안 확보 및 사회적 비용 저감에 기여</li> </ul>

## (15) 해저과학기지 수중 종합 감시 체계 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저과학기지 수중 종합 감시 체계 개발				기술수준			기본기술 ( ) 핵심기술 (○) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	4,300	100	1,000	1,000	700	1,500	
	민간							
	합계	4,300	100	1,000	1,000	700	1,500	
	연구인력	23	5	7	7	7	7	

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지를 기반으로 운용되는 개별적인 해양 관측 시설들의 통합 운용시스템 체계 수립		
	최종성과물	수중 종합감시 통합 운용시스템		
기술의 정의		해저과학기지 주변에서 운용중인 개별적인 해양 감시 기술 요소에 대한 통합형 감시 시스템 체계 구축에 관한 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	개념설계	• 해저과학기지 주변 관측 시스템 개념 수립	
	2차년도	통신모듈개발	• 실시간 관측자료 전송 시스템 개발	
	3차년도	네트워크망구축	• 해양네트워크망 구축	
	4차년도	시스템 통합	• 실시간 관측자료 가시화 시스템 개발	
5차년도	협업운용	• 해저과학기지 통합 해양관측 운용시스템 구축		

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미 국방성의 PlusNET 프로그램은 각종 무인체계를 분산센서로 이용하는 수중감시 및 해양관측 네트워크의 구축사업으로 수중음향감시, 수상·수중 통신노드(Gateway) 등 다양한 목적으로 활용하기 위한 연구 진행 중</li> <li>• 해저과학기지를 기반으로 해양과학 및 국방안보를 목적으로 구축되는 융합형 해저 케이블 모니터링 체계, 수중음향을 활용한 수상·수중 이동체 모니터링 체계, 수중 관측용 무인 수중 드론 체계 등의 개별적인 활용 요소들의 통합 운영을 통합을 통한 해양감시·안전·방어 체계 기반 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적 효과 : 한반도 주변 영해 관리능력 강화를 위한 과학기술 확보</li> <li>• 경제적 효과 : 확보된 기술의 활용으로 연안 국가 주요시설 안정적 운영에 기여</li> <li>• 정책적 효과 : 첨단 해양관측기술 및 시스템을 개발·운용하여 해양 현안에 대한 효율적 대응방안 확보 및 사회적 비용 저감에 기여</li> </ul>

### 4.2.3. 3단계 실증기술 연구과제

#### (1) 해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트 특성 파악 및 물성 보완방안 연구

□ 과제 개요

과제명	해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트의 특성 파악 및 물성 보완방안 연구				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 ( ) 실증기술 (○)	
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	정부	650	130	130	130	130	130
	민간						
	합계	650	130	130	130	130	130
	연구인력	25	5	5	5	5	5

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저 50m 환경에서 양생된 콘크리트와 상온상압에서 양생된 콘크리트의 의 단기 및 장기 특성을 비교하여 해저용 콘크리트를 개발		
	최종성과물	해저용 콘크리트 및 콘크리트 타설 시 시방기준 확립		
기술의 정의		시제품, 시방기준		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	미세구조 특성파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 50m 환경 (10~15°C, 0.5MPa)을 고려한 양생장치</li> <li>상온상압 양생 시멘트와 미세구조 변화 파악</li> </ul>	
	2차년도	기계적 특성 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 환경에서 양생된 콘크리트의 기계적 특성 파악</li> <li>압축강도, 탄성계수, 인장강도, 투수성, 내구성 등</li> </ul>	
	3차년도	장기거동 특성 파악	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 환경에서 양생된 콘크리트의 장기거동 파악</li> <li>크리프, 기계적 특성의 시간에 따른 변화 파악</li> </ul>	
	4차년도	보강 방안 수립하여 해저 콘크리트 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>나노실리카, 나노클레이, 나노튜브 등의 물질을 적절히 사용하여 보강</li> <li>미세구조 변화 파악</li> </ul>	
	5차년도	해저 콘크리트 시방 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저콘크리트의 특성 파악 및 시방기준 마련</li> </ul>	

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 50m 환경에서의 온도는 10~15°C 이고 압력은 0.5MPa로 고려할 수 있다.</li> <li>이러한 환경에서 양생된 콘크리트의 특성에 대한 자료는 전무하며, 해저 50m에서 양생된 콘크리트의 단기 및 장기거동을 정확히 파악하여야 그에 적합한 해저기지의 설계를 할 수 있을 것이다.</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 50m 환경에서의 양생된 콘크리트의 특성에 대한 자료를 확보하여, 이에 적합한 콘크리트를 개발함으로써 해저 50m 해저기지 원천기술 확보</li> </ul>

## (2) 해저에서 확장이 가능한 해저 단위 구조 모듈 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저에서 확장이 가능한 해저 단위 구조 모듈 개발				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( ○ )	
연구개발 규모 (백만원)	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
	정부	5,900	500	600	800	2,000	2,000
	민간	2,900	200	300	400	1,000	1,000
	합계	8,800	700	900	1,200	3,000	3,000
	연구인력	300	30	30	40	100	100

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	수심 20m 해저에서 모듈 방식으로 확장이 가능한 단위 구조 모듈 개발					
	최종성과물	<ul style="list-style-type: none"> <li>5인이 거주 가능하고 연결 확장이 가능한 단위 해저구조 모듈</li> <li>다수의 구조 모듈을 해저에서 연속적으로 연결하여 합체하는 기술</li> <li>6개의 개별 구조모듈의 합체 실증</li> </ul>					
기술의 정의		해저에서 확장이 가능한 레고형 모듈 건설 기술					
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표		연구 내용			
	1차년도	구조 개념 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>기본 모듈이 가져할 최소 기능 정의</li> <li>확장을 고려한 개념 설계</li> <li>하중 및 설계 조건 개발</li> </ul>			
	2차년도	단위 모듈 상세 설계		<ul style="list-style-type: none"> <li>단위 모듈의 상세 설계</li> <li>설계 모듈의 실험적 검증</li> </ul>			
	3차년도	확장 기법 개발		<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 모듈 연결기법 개발</li> <li>모듈 간 합체 기법 개발</li> </ul>			
	4차년도	실증용 모듈 제작		<ul style="list-style-type: none"> <li>실증용 모듈 제작</li> <li>실증 사이트 수배 및 인허가 획득</li> </ul>			
	5차년도	실증		<ul style="list-style-type: none"> <li>6개의 단위 모듈 합체를 통한 해저 기지 구조 실증</li> </ul>			

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 환경의 특성상 소규모 구조물의 설치가 가능하나 필요에 따라 확장해야 필요성이 발생함.</li> <li>해저 환경에서 구조물을 확장용 구조물을 건설하는 것은 거의 불가능함.</li> <li>기본적인 단위 구조물을 기존 해저 구조에 연결하여 필요에 따라 유연하게 확장 또는 독립해 나갈 수 있는 혁신적인 구조 개념이 필요함</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저 환경의 필요에 유연하게 대처할 수 있음.</li> <li>해저 환경에 직접 노출되는 외부 구조는 관광 자원으로 활용이 가능하며, 확장에 따라 구조물의 내부로 전환되는 부분은 기지 내부에 필요한 설비 등으로 유연하게 활용이 가능함.</li> <li>유연한 구조 특성으로 인해, 민간, 연구, 군사 등 다용도 특성을 가짐.</li> </ul>

### (3) 대수심 해저기지 기초 및 앵커 신속 시공 기술 개발

□ 과제 개요

과제명	대수심 해저기지 기초플랫폼 및 앵커 신속시공 기술				기술수준	기반기술 ( ) 핵심기술 ( ) 실증기술 (○)	
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
연구개발 규모 (백만원)	정부	8,700	1,500	2,100	3,000	2,100	
	민간	2,900	500	700	1,000	700	
	합계	11,600	2,000	2,800	4,000	2,800	
	연구인력	70	15	18	20	17	

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	대수심(수심 50m 이상) 조건에서 기초플랫폼 및 앵커 시스템의 신속시공 기술		
	최종성과물	신속시공이 가능한 기초플랫폼 및 앵커 시스템과 대수심 조건(수심 50m 이상)에서의 시공 공법		
기술의 정의		대수심(수심 50m 이상) 조건에서 해저기지 기초 및 앵커시스템의 시공기간 단축을 위한 신속시공 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	신속시공공법 개념설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>기초플랫폼 및 앵커시스템 신속시공 공법 개념설계</li> <li>대수심조건 시공장비 도출</li> </ul>	
	2차년도	실증용 기초 및 앵커 설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>실증용 기초플랫폼 및 앵커시스템 설계 및 제작</li> <li>현장실증 시공계획 수립</li> </ul>	
	3차년도	신속시공 현장실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 기초플랫폼 및 앵커시스템 신속시공기술 현장실증</li> </ul>	
	4차년도	기초 및 앵커 거동평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 기초플랫폼 및 앵커시스템 장기거동 분석</li> </ul>	

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>해저기지 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 해저기지 기초플랫폼 및 앵커의 설치 필수적임</li> <li>대수심 조건(수심 50m 이상)에서는 수중구조물의 기초시스템의 시공비가 급격히 증대되며, 시공기간 단축을 통한 시공비 절감이 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>대수심 조건에서의 신속시공에 따른 시공비 절감을 통한 경제성 제고</li> <li>다양한 해양구조물 및 수중구조물의 기초시스템으로서 활용 가능</li> </ul>

#### (4) 해저과학기지 수중 방어 시스템 체계 개발

□ 과제 개요

과제명	해저과학기지 수중 방어 시스템 체계 개발				기술수준			기반기술 ( )	핵심기술 ( )	실증기술 (○)
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도			
연구개발 규모 (백만원)	정부	9,100	100	2,000	2,000	2,500	2,500			
	민간									
	합계	9,100	100	2,000	2,000	2,500	2,500			
	연구인력	60	5	10	15	15	15			

□ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지 안전 확보를 위한 수중·해상 침투 위협요소에 대한 감시 및 방어 기술 개발		
	최종성과물	해상·수중 감시체계		
기술의 정의		해저과학기지에 대한 적성국 및 테러단체로부터의 공격을 탐지하고 방어할 수 있는 체계 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	개념설계	• 해저과학기지 수중 방어 시스템 개념 수립	
	2차년도	해양재난감시	• 해양재난 감시 시스템 개발	
	3차년도	수중침투감시	• 수중침투 감시 시스템 개발	
	4차년도	방어망 설계	• 통합 방어시스템 개발	
5차년도	현업운영	• 통합 방어시스템 운영		

□ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>지진 및 해일의 위협에 대응하기 위한 감시 시스템 확보를 통한 해저과학기지의 안전망 구축 필요</li> <li>잠수함 및 잠수자에 의한 해저과학기지에 대한 테러를 방어하기 위한 침투 감시 체계 구축 및 예상 표적별 다단계 감시체계 구축 필요</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술적 효과 : 해저과학기지를 상시적으로 감시·탐지 할 수 있는 기술 확보</li> <li>경제적 효과 : 확보된 기술의 활용으로 국가 주요시설(원전) 안정적 운영에 기여</li> <li>정책적 효과 : 국가 영토에 대한 영유권 강화 및 해양안전 기반 마련</li> </ul>

## (5) 해저과학기지 연계프로그램 개발

### □ 과제 개요

과제명	해저과학기지 연계프로그램 개발				기술수준			기본기술 (○) 핵심기술 ( ) 실증기술 ( )
	구분	계	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
연구개발 규모 (백만원)	정부	7,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	
	민간							
	합계							
	연구인력	50	10	10	10	10	10	

### □ 목표 및 내용

과제 목표	최종목표	해저과학기지를 활용한 해양과학 및 기술 진보를 위한 연구프로그램 운용		
	최종성과물	기초 및 응용 연구프로그램 3개/년		
기술의 정의		해저과학기지를 기반으로 과학 연구 및 기지 활용에 응용할 수 있는 기술		
연차별 연구 목표 및 내용	연차	연구 목표	연구 내용	
	1차년도	기지활용	• 해저과학기지 연계프로그램 수행	
	2차년도	기지활용	• 해저과학기지 연계프로그램 수행	
	3차년도	기지활용	• 해저과학기지 연계프로그램 수행	
	4차년도	기지활용	• 해저과학기지 연계프로그램 수행	
	5차년도	기지활용	• 해저과학기지 연계프로그램 수행	

### □ 필요성 및 기대효과

기술개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저과학기지 활용을 위한 연계 프로그램 운영 필요</li> <li>• 연안용승 연구 프로그램, 적조 감시 프로그램, 기후변화에 따른 해양 환경 변동 연구 프로그램, 수산자원 변동 연구 프로그램, 연근해 양식 및 해양목장 관련 프로그램, 해양지질 연구 프로그램, 해양안전 및 국방안보 관련 프로그램, 우주인 무중력 훈련 프로그램</li> </ul>
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술적 효과 : 해양변화에 대한 과학적 평가 분석, 연안재해 대응기술 개발 확보</li> <li>• 경제적 효과 : 관할해역의 체계적 관리·감시 기반을 구축하여 해양환경 생태계 보전관리 강화로 경제적 이익 창출</li> <li>• 정책적 효과 : 첨단 해양관측기술 및 시스템을 개발·운용하여 해양 현안에 대한 효율적 대응방안 확보 및 사회적 비용 저감에 기여</li> </ul>

## 4.2.4. 기타 연구과제

### (1) 해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발

□ 기술 개요

제안 기술명	해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발
--------	------------------------------------

□ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiO<sub>2</sub>계 나노입자를 이용한 나노코팅 공정 기술 개발</li> <li>• 미세분무가 가능한 스프레이 및 용매시스템 최적화된 다중/입체 분사 기술 개발</li> <li>• 나노결정립의 광학적, 구조적 및 기계적 특성 분석</li> <li>• 나노코팅된 해양구조물의 내오염성 및 내부식성 특성 평가</li> </ul>

□ 연차별 목표 및 내용

○ 1차년도

연구개발 목표	SiO <sub>2</sub> 계 나노입자를 이용한 나노코팅 공정 기술 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실리카(SiO<sub>2</sub>)계 기본 조성 조사 : 오염물질 배제특성 및 세정효율성이 기존 글라스 대비 2배 이상인 실리카(SiO<sub>2</sub>)계 기본 조성 조사.</li> <li>• 나노코팅 두께 최적화 공정 기술 개발 : 미세분무가 가능한 스프레이 및 용매시스템 최적화된 다중/입체 분사 기술 개발.</li> <li>• 플라즈마 표면처리 및 가스분위기에 따른 후열처리 공정 최적화</li> </ul>

○ 2차년도

연구개발 목표	SiO <sub>2</sub> 계 나노입자 결정립의 광학적, 구조적 및 기계적 특성 분석
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 나노결정립의 광학적 특성 분석</li> <li>• 나노코팅된 글라스의 반사도(reflectivity), 투과도(transmittance) 및 굴절률(refractive index) 특성 분석</li> <li>• 나노결정립의 구조적 특성 분석</li> <li>• 나노코팅된 글라스의 XRD, SEM 및 TEM 특성 분석</li> <li>• 나노결정립의 기계적 특성 분석</li> <li>• 나노코팅된 글라스의 접착력 및 강도 특성 분석</li> </ul>

○ 3차년도

연구개발 목표	나노코팅된 글라스의 내오염성 및 내부식성 특성 평가
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내오염성 평가 : 기존 글라스와 대비하여 오염방지 코팅이 적용된 글라스 상의 부착된 오염물질의 양을 정량적으로 비교하여 내오염성에 대한 객관적 데이터 산출</li> <li>• 자연강우 세정효과 평가 : 오염물질이 부착된 글라스(코팅전·후)를 자연강우에 노출 후 잔류 오염물질의 양을 비교하여 세정효과에 대한 객관적 데이터 산출</li> </ul>

□ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양구조물은 염분에 의한 부식이 되기 쉬워 해양구조물의 수명을 단축시키고 있기 때문에 이를 방지하는 새로운 코팅 기술 도입이 필요</li> <li>• 해양생물에 의한 오염과 가혹한 수중의 물리적/화학적 환경 (온도차, 충격, 스크래치, 조류분비물 등)을 견디기 위한 해양구조물 코팅 신소재 개발이 필요</li> <li>• 콘크리트 또는 철골 해양구조물이 완성된 후에도 코팅을 통하여 오염방지 할 수 있는 기술이 필요</li> </ul>
연구개발 동향	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내의 경우 (주)동화에서 해양생물부식방지제를 개발하여 생산중이나 상온에서만 사용 가능하여 심해와 같은 낮은 온도에서의 성능이 아직은 검증되지 않았음</li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국의 경우 US marine Corps에서 선박과 해양구조물을 위한 코팅제를 개발 하여 사용 중에 있음</li> <li>• 일본의 경우 교량과 수중 구조물에 대한 스프레이 방식의 코팅제를 개발하여 사용 중에 있음</li> </ul>

□ 기대효과

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양구조물의 손상 및 부식을 방지하여 수명 증대</li> <li>• 심해 해양구조물 건설을 위한 국내외적 경쟁력 확보</li> <li>• self-cleaning 효과로 인한 유지 보수비용 절감</li> </ul>
--

□ 성과 지표 및 목표치

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contact angle : 800 이상</li> <li>• 나노코팅 경도 : 8.0이상(ASTM D3363)</li> </ul>
---

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
3	총: 900 (정부지원 700 + 민간 200)	20

## (2) 해저 기지 에너지 공급을 위한 지열 발전 시스템

### □ 기술 개요

제안 기술명	해저 기지 에너지 공급을 위한 지열 발전 시스템
--------	----------------------------

### □ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	지열 발전 시스템을 이용한 해저기지 에너지 공급 장치 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지열발전 시스템에 대한 기존 연구를 분석하여 해저기지용 지열발전에 대한 연구를 수행</li> <li>• 한반도 해저 지반을 고려한 최적의 열변환 펌프 분석 및 도출</li> <li>• 해저기지 전력공급을 위한 지열발전 시스템 개발</li> <li>• 해저기지 냉난방용 히트펌프 개발</li> <li>• 해저기지용 열병합 통합 제어시스템 개발</li> </ul>

### □ 연차별 목표 및 내용

#### ○ 1차년도

연구개발 목표	한반도 해저 지반을 고려한 최적의 열변환 시스템 분석 및 도출
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 한반도 인근 해저 지열 에너지 자원 분석</li> <li>• 한반도 인근 해저 열변환시스템 설치 공간 분석</li> <li>• 사용용량을 고려한 최적의 열변환 펌프 도출</li> </ul>

#### ○ 2차년도

연구개발 목표	해저기지 전력공급을 위한 지열발전 시스템 개발 I
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지열발전 시스템 동향 및 실증사례 분석</li> <li>• 50인 이상 거주 해저기지 필요 전력 부하용량 산정</li> <li>• 필요 전력용량에 따른 지열 전력발전 시스템설계</li> </ul>

#### ○ 3차년도

연구개발 목표	해저기지 전력공급을 위한 지열발전 시스템 개발 II
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계된 지열 전력발전 시스템의 시뮬레이션</li> <li>• 전력시스템 시뮬레이션 결과 분석 및 보완</li> </ul>

#### ○ 4차년도

연구개발 목표	해저기지 냉난방용 히트펌프 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저 기지 냉난방 부하용량 산정</li> <li>• 냉난방 설비 용량 설계</li> <li>• 냉난방 용량 150(15℃ 기준)USRT급 냉온수 순환 펌프 설계</li> </ul>

○ 5차년도

연구개발 목표	해저기지용 열병합 통합 제어시스템 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저기지용 열병합 통합 제어시스템 설계</li> <li>• 해저기지용 열병합 통합 제어시스템 시뮬레이션</li> <li>• 열병합 통합 제어시스템의 분석 및 보완</li> </ul>

□ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수심 200m 이하 해저기지에 적합한 독립전력 에너지원 필요</li> <li>• 친환경적이며 반영구적 사용가능한 해저 에너지원 활용</li> <li>• 냉난방 및 전력생산이 동시에 가능한 발전시스템 활용</li> </ul>	
연구개발 동향	국내	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2000년 이후 지열열펌프를 활용한 건물 냉난방 시스템의 실증과 지중열교환기 성능 확보를 위한 연구가 진행 중</li> <li>• 해저기지에 대한 지열 전력발전 연구사례는 아직 없음</li> </ul>
	국외	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저기지에 대한 다양한 전력발전 시스템이 연구 중이나 지열 전력발전 연구사례는 아직 없음</li> </ul>

□ 3.2.5. 기대효과

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 경제적 효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저기지 필요 전력 자가생산에 따른 설비비 감소</li> <li>- 신기술 개발에 따른 해양에너지 분야 국가 경쟁력 확보</li> </ul> </li> <li>• 기술적 효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저 지열자원 활용에 의한 독립전력생산 신기술개발</li> <li>- 도출된 기술의 고심도 해저기지 전력시스템에 활용</li> </ul> </li> <li>• 정책적 효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양 친환경에너지 사용으로 녹색성장 실현</li> <li>- 지열을 이용한 이산화탄소 배출 감소</li> </ul> </li> </ul>
---

□ 성과 지표 및 목표치

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 냉온수 순환 펌프용량 : 냉난방 용량 150(15℃ 기준)USRT</li> <li>• 전력생산용량 : 200kW이상</li> </ul>
--

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5	총: 2,000 (정부지원 1,600 + 민간 400)	20

세부과제 구성 및 예산	세부과제 제목	예산 (억원)					합계
		1단계					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
1	한반도 해저 지반을 고려한 최적의 열변환 시스템 분석 및 도출	4					4
2	해저기지 전력공급을 위한 지열발전 시스템 개발 I		4				4
3	해저기지 전력공급을 위한 지열발전 시스템 개발 II			4			4
4	해저기지 냉난방용 히트펌프 개발				4		4
5	해저기지용 열병합 통합 제어시스템 개발					4	4
	계						20

### (3) 해저 과학기지 건설을 위한 건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석

#### □ 기술 개요

제안 기술명	해저 과학기지 건설을 위한 건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향
--------	---

#### □ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	해양생물과 해저(심해/천해)환경에 노출된 다양한 건설재료(자재)의 열화 특성을 분석하여 해저 수심에 따른 최적의 건설재료(자재)를 선정/개발할 수 있는 DB를 구축함.
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양생물, 해저(심해/천해)환경, 그리고 다양한 건설재료(자재)의 특성 분석을 통한 심해 및 천해에 적용될 수 있는 건설재료(자재)의 선정</li> <li>• 실험을 위한 해저구역의 조건과 실험용 건설재료(자재), 그리고 해양환경 측정기에 적합한 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE)의 설계/제작/성능시험</li> <li>• 해저(심해/천해)에 노출된 기간에 따른 실험용 건설재료(자재)의 열화 특징(화학적 및 역학적 성질, 해양생물 및 유지체에 의한 손상 민감도 등) 분석</li> </ul>

#### □ 연차별 목표 및 내용

##### ○ 1차년도

연구개발 목표	해양생물, 해저(심해/천해)환경, 그리고 다양한 건설재료(자재)의 특성 분석 및 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE) 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실험을 위한 해저구역(심해/천해) 선정</li> <li>• 실험 해저구역의 해양생물과 해저(심해/천해)환경 분석</li> <li>• 다양한 건설재료(자재)의 특성 분석</li> <li>• 심해 및 천해에 적용될 수 있는 건설재료(자재)의 선정</li> <li>• 실험을 위한 해저구역의 조건과 실험용 건설재료(자재), 그리고 해양환경 측정기에 적합한 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE) 개발</li> </ul>

##### ○ 2차년도

연구개발 목표	건설재료(자재)의 열화 특성 규명을 위한 해저 실험구역 구축
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE) 성능평가</li> <li>• 건설재료(자재)의 열화 특성 규명을 위한 해저환경/해양생물에의 노출 기간 선정 및 실험용 건설재료(자재) 제작</li> <li>• 실험용 건설재료(자재), 해양환경 측정기가 탑재된 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE) 투하</li> </ul>

○ 3차년도

연구개발 목표	건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 규명 - 1
연구개발 내용	• 해저(심해/천해)에 노출된 기간에 따른 실험용 건설재료(자재)의 열화 특징(화학적 및 역학적 성질, 해양생물 및 유지체에 의한 손상 민감도 등) 분석 및 DB 구축 - 1

○ 4차년도

연구개발 목표	건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 규명 - 2
연구개발 내용	• 해저(심해/천해)에 노출된 기간에 따른 실험용 건설재료(자재)의 열화 특징(화학적 및 역학적 성질, 해양생물 및 유지체에 의한 손상 민감도 등) 분석 및 DB 구축 - 2

○ 5차년도

연구개발 목표	건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 규명 - 3
연구개발 내용	• 해저(심해/천해)에 노출된 기간에 따른 실험용 건설재료(자재)의 열화 특징(화학적 및 역학적 성질, 해양생물 및 유지체에 의한 손상 민감도 등) 분석 및 DB 구축 - 3

□ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성	심해/천해의 해저에 과학/주거/관광용 기지를 건설하기 위해서는 건설재료(자재)의 해저환경/해양생물의 영향에 의한 열화 특성을 규명하는 것이 최우선의 과제임.	
연구개발 동향	국내	전무함.
	국외	• 미국 등 일부국가에서 수행되고 있으나 천해를 중심으로 연구가 진행되고 있음. 또한 각국의 해양환경은 독특한 조건을 나타내고 있으므로 각국의 특이 조건에 적합한 해저 기지 관련 연구가 진행되어야 함.

□ 기대효과

• 경제적 효과	: 자원보존 현상 등을 해결하기 위한 해저기지 건설 비용의 최적화
• 기술적 효과	: 해저환경/해양생물의 영향에 의한 건설재료(자재)의 열화 특성 규명으로 인한 재료 및 건설자재 개발을 촉진
• 정책적 효과	: 해저기지 건설기술 개발을 통한 인류의 거주 및 생활공간의 확장에 기여

□ 성과 지표 및 목표치

• 잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE)개발 1건
• 건설재료(자재)의 열화 특징 실험을 위한 해저 실험사이트 구축 1건
• 해양생물과 해저(심해/천해)환경에 노출된 다양한 건설재료(자재)의 열화 특징 DB구축 1건

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5	총: 5,500 (정부지원 5,500 + 민간 000)	30~50명

세부과제 구성 및 예산	세부과제 제목	예산 (억원)					합계
		1단계					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
1	해양생물, 해저(심해/천해)환경, 그리고 다양한 건설재료(자재)의 특성 분석 및 시험편 제작	5	5				10
2	잠수시험장치(Submersible Testing Equipment, STE) 개발	5	10				15
3	건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 규명			10	10	10	30
	계	10	15	10	10	10	55

#### (4) 해저 구조물의 재해 방지 기술 개발

□ 기술 개요

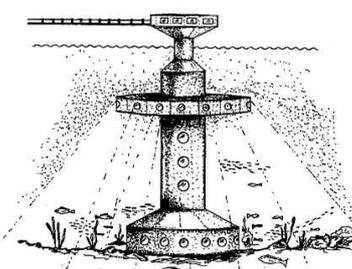
제안 기술명	해저 구조물의 재해 방지 기술 개발
--------	---------------------

□ 개발기술의 목표 및 내용

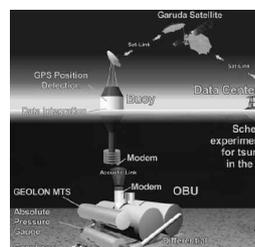
연구개발 목표	해저에 건설되는 구조물의 재해에 대한 예방 및 방지 기술 개발
연구개발 내용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지진 및 쓰나미에 의한 해저 구조물의 거동 예측</li> <li>2. 지진 재해 예측 시스템 개발 (테스트베드 포함)</li> <li>3. 해저 구조물의 지진 재해 방지 기술 및 장치 개발</li> <li>4. 해저 구조물의 쓰나미 재해 방지 기술 및 장치 개발</li> </ol>

□ 연차별 목표 및 내용

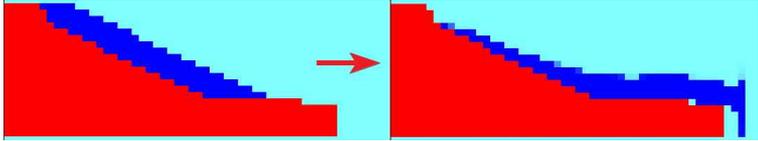
○ 1차년도

연구개발 목표	지진 발생시 해저 구조물의 거동 분석
연구개발 내용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 국내외 해저 지진관련 연구자료 확보</li> <li>2. 해저 구조물의 지진시 거동에 대한 이론적 분석 및 유체역학적 검증</li> </ol> 

○ 2차년도

연구개발 목표	해저 공간의 지진 시뮬레이터 개발
연구개발 내용	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 해저 공간의 지진 시뮬레이터 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유체구조물 상호작용(Fluid Structure Interaction)과 입자법(SPH; Smoothed-particle hydrodynamics)을 이용한 해저 공간의 3차원 지진 시뮬레이터 개발</li> </ul> </li> <li>2. 지진 재해 예측 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 근거리 측량 기법을 이용한 주요 지역 지진 재해 예측 시스템 개발 (해저 관측점, 해상 관측 기점 및 이를 이용한 다단계 관측망 구성)</li> </ul> </li> </ol> 

○ 3차년도

연구개발 목표	해저 공간의 지진 시뮬레이터 검증 및 지진 재해 예측 시스템 개발
연구개발 내용	<p>1. 해저 공간의 지진 시뮬레이터 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3차원 지진 시뮬레이터의 성능 검증 및 지진 재해 방지 기법의 개발</li> </ul>  <p>2. 지진 재해 예측 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다단계 관측망으로 주요 지역내 측정의 이동 상황 측량 <ul style="list-style-type: none"> <li>① 해저 지면에 설치된 관측점과 해상에 설치된 관측 기점간의 상호 통신으로 관측점의 위치를 일정 시간 별로 검증</li> <li>② GPS를 기준으로 위치가 검증된 관측 기점과 관측 기점간의 위치를 기준으로 관측점의 절대 위치 계산</li> </ul> </li> <li>- 다단계 관측망의 입력값 분석을 통한 주요 지역내의 지반 응력 평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>① 해저 지면의 유한요소화 및 변형율에 근거한 구간별 응력 평가</li> <li>② 관측 결과에 의한 응력 평가 기법 개발 및 검증</li> </ul> </li> <li>- 관측망 분석을 위한 서버 설계 및 운용</li> </ul> <p>3. 테스트 베드 구축 계획 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트 베드 지역과 관측망 선정 및 관측 장비 설계</li> </ul>

○ 4차년도

연구개발 목표	지진 재해 예측 시스템 테스트 베드 구축
연구개발 내용	<p>1. 지진 재해 예측 시스템 테스트 베드 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요 지역 선정 및 다단계 관측망 선정</li> <li>- 해저 관측점 설치 및 해상 관측 기점 설치</li> <li>- 지진 재해 예측 서버 운용 및 검증</li> </ul> <p>2. 해저 공간의 지진 시뮬레이터 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지진 시뮬레이터 검증</li> </ul> <p>3. 지진 재해 예측 시스템 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지진 재해 예측 서버 성능 보완</li> </ul>

○ 5차년도

연구개발 목표	지진 재해 예측 시스템 검증
연구개발 내용	<p>1. 지진 재해 예측 시스템 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지진 재해 예측 시스템의 지진 예측 검증 및 성능 개선</li> </ul> <p>2. 지진 재해 예측 시스템 테스트 베드 유지 관리</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테스트 베드의 유지 관리</li> </ul>

□ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성	해저에 건설되는 기지가 지진이나 쓰나미에 피해를 입을 경우, 직접적인 인명손실로 연결될 가능성이 매우 높으므로 예외 하중에 대한 충분한 사전 대비방안을 마련하여 구조물의 안전을 보장하며 인명손실을 방지해야 함.	
연구개발 동향	국내	국내의 해저 지진에 의한 지반 거동 및 쓰나미 거동에 대한 연구는 초기단계임. 해저에 설치된 구조물이 거의 없으므로 해저구조물의 지진 방재에 대한 연구가 수행된 적이 거의 없으며 거가대교의 침매터널 부분에 대한 내진설계가 수행된 적이 있음.
	국외	1994년 유엔 해양법 발효이후 해양공간과 자원개발에 대한 연구가 적극적으로 이루어지고 있으며 해상 및 해중구조물에 대한 상용화도 추진중임. 해저 구조물에 대한 지진 연구는 수행되고 있으나 아직 초창기상태이며 최근 입자법을 이용한 해저 지진에 대한 대변형 연구가 수행되고 있음.

□ 기대효과

- 경제적 효과
  - 안정성이 보장된 해저 구조물의 보급으로 민간 투자 유치 가능
  - 해저 공간의 개발을 통한 다양한 경제적 효과 가능
- 기술적 효과
  - 중요 지역 지진 재해 예측 시스템의 개발을 통한 지진 예측 기술 개발
  - 해저 지진시 거동 예측 시뮬레이터 개발을 통한 해저 구조물의 안정성 평가 기법 개발
- 정책적 효과
  - 재해에 안전한 해저 구조물의 시공으로 해양 개발 정책의 새로운 방향 제시 가능
  - 지진 재해 경보 시스템의 실용화로 지진에 대응할 수 있는 정책 수립 가능

□ 성과 지표 및 목표치

- 해저 지진시 구조물의 거동 모사를 위한 시뮬레이터 개발
  - 해저 구조물의 지진시 거동을 예측할 수 있는 3차원 시뮬레이터 개발
- 지진 재해 예측 시스템 개발 (테스트 베드 포함)
  - 해저 관측 장치 개발 및 제작 (해저 관측점, 해상 관측기점)
  - 다단계 관측망을 통해 입력된 해저 지반의 관측 값 분석 기법
  - 지진 재해 예측 기법에 의한 재해의 규모 예측 기법
  - 해저 기지 주변의 지반 이동 상태를 통한 지진 예측으로 지진 재해를 예방 할 수 있는 중요 지역 지진 재해 예측 시스템 개발

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5	총: 400 (정부지원 300 + 민간 100)	20

세부과제 구성 및 예산	세부과제 제목	예산 (억원)					합계
		1단계					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
1	지진 발생시 해저 구조물의 거동 분석	3.0	1.5	1.0			5.5
2	해저 공간의 지진 시뮬레이터 개발	1.5	3.0	1.5			6.0
3	해저 공간의 지진 시뮬레이터 검증		0.5	2.0	0.5		3.0
4	지진 재해 예측 시스템 테스트 베드 구축		1.0	4.0	12.0	3.0	20.0
5	지진 재해 예측 시스템 검증			0.5	3.0	2.0	5.5
	계	4.5	6.0	9.0	15.5	5.0	40.0

## (5) 해중 구조물의 스마트 모니터링 기술 개발

### □ 기술 개요

제안 기술명	해중 구조물의 스마트 모니터링 기술 개발
--------	------------------------

### □ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	해중 구조물의 실시간 상태 및 구조 거동 평가 시스템 개발
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구는 해중 구조물의 안전한 운용을 위한 실시간 스마트 모니터링 기술 개발을 목표로 한다. 해중 구조물의 특성 상 타 구조물의 실시간 모니터링 기술과 비교할 때 구조물의 가속도, 속도, 변위 등의 여러 정/동적 반응의 계측에 있어서 많은 기술적 제약이 따르고, 유체와 구조물 간의 상호작용 및 수압 등의 외부 환경조건이 상이하여 이를 고려한 구조 해석 기법의 개발 역시 함께 수행되어야 한다.</li> <li>본 연구에서는 1. 해중 구조물 거동의 최적 계측 시스템 개발, 2. 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 계측된 구조반응 기반 구조 역해석 기법 개발, 3. 해중 구조물의 정/동적 반응에 대한 장기 이력 분석 및 건전성 추정 기법 개발을 주요 연구 주제로 하여 합리적인 해중 구조물의 실시간 구조 모니터링 기술을 개발한다.</li> </ul>

### □ 연차별 목표 및 내용

#### ○ 1차년도

연구개발 목표	해중 구조물의 정/준정적/동적 거동 계측을 위한 최적 계측시스템 개발
연구개발 내용	<p>본 연구과제의 1차년도에는 해중 구조물의 실시간 모니터링을 위한 최적 계측 시스템 개발을 연구개발 목표로 한다. 본 연구에서는 해중 구조물의 구조 및 경계조건의 특성 뿐만 아니라 해중이라는 지리적 특성을 반영한 구조 반응의 상시 계측에 최적인 계측 기술의 개발을 위해 아래와 같은 연구가 수행된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 무선 통신 기반 변위 및 가속도 계측 및 추정 기술 개발</li> <li>- 센서 보호 장비 및 기술 개발</li> <li>- 계측 신호의 합리적인 노이즈 제거 기술 개발</li> <li>- 계측 센서 간 시간적 동기화 및 주파수 대역 중첩을 통한 센서 통합 계측 기술 개발</li> <li>- 원격 데이터 송/수신 및 처리 기술 개발</li> <li>- 계측 위치의 최적화 기술 개발</li> </ul>

#### □ 2차년도

연구개발 목표	<p>A. 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 계측된 정/동적 구조 반응 기반 구조 역해석 기법 개발</p> <p>B. 해중 구조물의 정/동적 반응에 대한 장기 이력 분석 및 건전성 추정 기법 개발 등</p>
연구개발 내용	<p>본 과제의 2차년도 연구에서는 계측 및 추정된 해중 구조물의 실시간 정/동적 반응 자료를 이용한 A. 실시간 구조 상태 평가, B. 장기 이력 분석 및 건전성 추정 기법의 개발을 주요 목표로 한다. 먼저, 실시간 구조 상태 평가기술은 계측 및 추정된 해중 구조물의 반응 데이터를 기반으로 한 구조물의 실시간 내력 및 응력의 역 해석 기술로써, 해중 구조물의 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 구조 역해석 기법을 토대로 개발하고자 한다. 또한, 장기간 계측된 구조물의 반응 데이터의 통계처리 기법을 기반으로 한 구조물의 구조 상태 및 강성</p>

	<p>/내하력 변화 추정 기법 개발 그리고 노후화 지표를 개발하여海中 구조물의 장기 이력 분석 및 건전성 추정 기법을 개발하고자 한다. 이를 위한 상세 연구 소주제는 다음과 같다.</p> <p>A. 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 계측된 정/동적 구조 반응 기반 구조 역해석 기법 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해류 운동 및 부력 특성을 반영한 합리적인 경계조건 및 접촉요소 개발</li> <li>- 유동 경계 및 접촉조건을 갖는海中 구조물의 선형/비선형 유한요소해석 기법 개발</li> <li>- 계측 변위를 통한海中 구조물의 실시간 변형 형상 추정 기법 개발</li> <li>- 변위 하중에 의한海中 구조물의 대변위 거동 및 구조안정성 해석 기법 개발</li> <li>- 해류의 유체특성을 반영한 CFD 해석 기법 개발</li> </ul> <p>B.海中 구조물의 정/동적 반응에 대한 장기 이력 분석 및 건전성 추정 기법 개발 등</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 장기 거동 계측 자료 분석 기법 개발</li> <li>-海中 구조물의 정/동적 반응의 장기 이력 변화 분석을 통한 구조 상태 및 강성 변화 추정 기법 개발</li> <li>- 장기 이력 변화 분석에 의한 구조 노후화 지표 정립</li> </ul>
--	---

연구개발의 필요성 및 동향

<p>연구개발 필요성</p>	<p>안전성을 확보한 구조물의 운용을 위한 구조물의 실시간 유지관리 기술의 개발은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 특히, 구조물이 건설되고 운용되는海中 구조물의 위치적, 지역적 특성에 따라 안전성을 확보한 구조물의 운용 및 유지관리는 다른 어느 구조물보다 더 강조되어야 한다. 일반적으로 구조물의 모니터링은 구조물의 정/동적 거동에 의한 여러 반응인자를 계측하고 계측된 자료를 토대로 평가하고 예측한다. 그런데海中 구조물은 위치 및 지역적 특성에 의해 타 구조물과 비교할 때 계측기법에 대한 기술적 제약이 따르게 된다.海中 구조물의 스마트 모니터링 기술 개발을 및 이를 통한 안전한 구조물의 운용 및 유지관리를 위해서는 1. 무선 통신 기술을 활용한 최적의 계측 시스템 개발, 2. 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 계측된 정.동적 구조 반응 기반 구조 역해석 기법 개발, 3. 정/동적 반응의 장기 이력 분석 및 건전성/노후화도 추정 기법 개발 등의 핵심 기술들이 개발되어야 한다.</p>				
<p>연구개발 동향</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">국내</td> <td>적절한 실시간 계측 센서의 개발 및 운용, 계측 자료를 통한 구조물 건전도 평가 기술 등의 일반 구조물의 실시간 모니터링 기술은 비교적 활발히 진행되고 있으나,海中 구조물에 대한 실시간 모니터링 기술은 상대적으로 미진한 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다.海中 구조물의 유지관리기술은 주로海中 구조물 건설에 사용되는 재료의 부식 등에 대한 방지 대책 연구가 주를 이루는 것으로 파악된다.</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">국외</td> <td>국외 역시 타 구조물에 비해海中 구조물에 대한 실시간 스마트 모니터링 기술은 개념 도출 단계에 머물고 있다. 물론 타 구조물에 대한 모니터링 기술은 무선 가속도계 및 GPS, 사진측량 등의 첨단 계측 기법을 통한 을 이용한 개별적/통합적 실시간 계측 기술 개발의 연구가 활발히 진행되고 있지만海中 구조물에 대한 계측 기술은 상대적으로 연구가 미진하다. 부유식 구조물의 해석 기술 역시 어느 정도 연구가 진행되고 있으나,海中 구조물의 해석, 특히海中 구조물의 비선형 해석 및 CFD 해석 등은 아직 미진한 실정이다.</td> </tr> </table>	국내	적절한 실시간 계측 센서의 개발 및 운용, 계측 자료를 통한 구조물 건전도 평가 기술 등의 일반 구조물의 실시간 모니터링 기술은 비교적 활발히 진행되고 있으나,海中 구조물에 대한 실시간 모니터링 기술은 상대적으로 미진한 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다.海中 구조물의 유지관리기술은 주로海中 구조물 건설에 사용되는 재료의 부식 등에 대한 방지 대책 연구가 주를 이루는 것으로 파악된다.	국외	국외 역시 타 구조물에 비해海中 구조물에 대한 실시간 스마트 모니터링 기술은 개념 도출 단계에 머물고 있다. 물론 타 구조물에 대한 모니터링 기술은 무선 가속도계 및 GPS, 사진측량 등의 첨단 계측 기법을 통한 을 이용한 개별적/통합적 실시간 계측 기술 개발의 연구가 활발히 진행되고 있지만海中 구조물에 대한 계측 기술은 상대적으로 연구가 미진하다. 부유식 구조물의 해석 기술 역시 어느 정도 연구가 진행되고 있으나,海中 구조물의 해석, 특히海中 구조물의 비선형 해석 및 CFD 해석 등은 아직 미진한 실정이다.
국내	적절한 실시간 계측 센서의 개발 및 운용, 계측 자료를 통한 구조물 건전도 평가 기술 등의 일반 구조물의 실시간 모니터링 기술은 비교적 활발히 진행되고 있으나,海中 구조물에 대한 실시간 모니터링 기술은 상대적으로 미진한 연구가 진행되고 있는 것으로 판단된다.海中 구조물의 유지관리기술은 주로海中 구조물 건설에 사용되는 재료의 부식 등에 대한 방지 대책 연구가 주를 이루는 것으로 파악된다.				
국외	국외 역시 타 구조물에 비해海中 구조물에 대한 실시간 스마트 모니터링 기술은 개념 도출 단계에 머물고 있다. 물론 타 구조물에 대한 모니터링 기술은 무선 가속도계 및 GPS, 사진측량 등의 첨단 계측 기법을 통한 을 이용한 개별적/통합적 실시간 계측 기술 개발의 연구가 활발히 진행되고 있지만海中 구조물에 대한 계측 기술은 상대적으로 연구가 미진하다. 부유식 구조물의 해석 기술 역시 어느 정도 연구가 진행되고 있으나,海中 구조물의 해석, 특히海中 구조물의 비선형 해석 및 CFD 해석 등은 아직 미진한 실정이다.				

## □ 기대효과

### • 경제적 효과

해저 과학 기지의 중요한 구성체 중 하나인 해중 구조물의 스마트 구조 모니터링 기술은 실시간 구조 상태 평가를 통해 내력 및 응력 상태를 분석하고, 장기 거동 특성 변화 분석을 통해 구조물의 강성 및 내하력 변화 등을 추정하는 기술로써 이는 구조물의 안전하고 합리적이며 경제적인 장기간 운용에 필수적인 기술이다. 허술한 구조물 유지관리 시스템에 의해 유발된 다양한 사고는 그동안 구조물 자체의 붕괴에 따른 경제적 손실 뿐 만 아니라 때로는 심각한 인명 사고를 불러일으켜 막대한 경제적, 사회적, 인적 피해를 유발하였다. 본 연구에서는 구조물의 효용가치를 유지하고 안전하며 지속가능한 구조물의 운용을 위한 유지 관리에 필수적인 기술 확보를 위해 해중 구조물의 실시간 스마트 구조 모니터링 기술을 개발하고자 한다. 첨단 센서링과 무선 통신 기술, 고등 구조해석 기술, 데이터의 통계 처리 및 장기 이력 분석 기술 등이 결합된 본 연구개발기술은 해중 구조물의 안전한 운용을 도모하여 막대한 인적/사회적/경제적 손실을 유발하는 사고를 상시에 방지할 수 있어 그 경제적 효과가 굉장히 크다고 판단할 수 있다.

### • 기술적 효과

본 연구 개발의 성공적인 수행을 통해 제안하는 실시간 스마트 모니터링 기술은 해중 구조물의 유지관리 기술에 있어서 혁신적인 모델이 될 것임에 틀림없다. 본 연구에서 수행하고자 하는 세부 연구 주제인 해중 구조물의 최적화 된 계측 및 정보통신 기술, 유체-구조물 간 상호작용을 고려한 해중 구조물의 실시간 변형형상 추정 및 구조 역해석 기술, 계측 데이터의 장기 이력 분석을 통한 구조 상태 및 건전성, 노후화도 평가 기술의 학술적, 기술적 수준은 세계 최고수준으로 본 과제의 성공적인 수행은 국내 뿐 만 아니라 해외에서도 인정받아 해중 구조물 분야에서 국내연구진이 주도적이고 선도적인 역할을 하는 데 큰 도움이 될 것이다.

이에 더하여 본 기술은 구조 공학, 정보통신 공학, 계측 공학, 기계 공학, 통계학, 신뢰성 공학 등의 다양한 학문이 결합된 융복합 기술로써 뛰어난 학술적 가치를 지녀 신 학문의 창출에 대한 의미도 갖는다. 따라서 본 연구를 통해 현재 혁신적인 미래형 구조모델로 각광받는 해중 구조물의 안전한 운용 및 합리적인 유지관리 기술이 진일보할 것이라 판단된다.

### • 정책적 효과

이미 전 세계적으로 큰 관심사가 되고 있는 해양 기지 건설은 해양 자원의 탐사 및 채굴 뿐 만 아니라 인류의 주거/여가/문화 공간 확대 등의 요구에 의해 반드시 수행되어야 함에 틀림없다. 해양 기지로의 효율적이고 합리적인 접근성을 극대화하는 구성체로서의 해중 구조물의 건설 및 유지관리 기술 역시 미래 선도 기술 중 하나로 반드시 개발되어야 한다. 많은 구조물이 그렇듯이 해중 구조물의 안전하고 합리적이며 효과적인 유지관리 기술은 결과적으로 안전한 해양 기지의 운용에 선결조건이 된다. 본 실시간 스마트 해중 구조 모니터링 기술은 다양한 학문과 기술이 결합되므로 최근 대두되는 학문간/기술간의 융복합에 대한 사회 전반적인 요구에 충족되고 이러한 고차원적인 연구기술을 통해 도출된 첨단 해중 구조물의 실시간 모니터링 기술은 국제적으로도 해양 기지 건설 분야에서 기술적, 학문적인 우위 선점에 초석이 될 것이다.

□ 성과 지표 및 목표치

- 학술논문게재 : 국내(KCI 등재(후보)지) - 10건 이상, 국제(SCI(E)) - 5건 이상
- 학술발표 : 국내 - 10건 이상, 국제 - 5건 이상
- 소프트웨어 등록 : 6건 이상
- 특허 출원 : 국내 - 5건 이상, 국제 - 4건 이상

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
2	총:600 (정부지원 480 + 민간 120)	12

## (6) 심해 극한 조건용 건설 재료 개발

### □ 기술 개요

제안 기술명	심해 극한 조건용 건설 재료 개발
--------	--------------------

### □ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	심해의 고압, 저온 상태에서 안전성이 보장되는 건설 재료의 개발
연구개발 내용	- 극저온에서의 콘크리트, 강재, FRP의 거동 변화 분석 - 극고압에서의 콘크리트, 강재, FRP의 거동 변화 분석 - 극저온, 극고압에의 기존 건설재료 적용성 분석 - 극저온, 극고압에의 기존 건설재료 활용 방법 및 신재료 개발

### □ 연차별 목표 및 내용

#### ○ 1~2차년도

연구개발 목표	저온, 고압에서의 기존 건설 재료 거동 분석
연구개발 내용	- 저온에서의 콘크리트, 강재, FRP의 거동 분석 실험 - 고압에서의 콘크리트, 강재, FRP의 거동 분석 실험 - 저온과 고압이 건설 재료에 미치는 영향 분석

#### ○ 3~4차년도

연구개발 목표	저온, 고압 환경 사용 가능한 건설 재료 개발
연구개발 내용	- 저온, 고압에의 기존 건설재료 적용성 분석 - 저온, 고압에의 기존 건설재료 활용 기술 개발 - 저온, 고압 환경용 건설 신재료 개발

### □ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성	- 심해에서는 저온, 고압 상태의 환경이므로, 기존의 건설 재료의 역학적, 화학적 성질이 변화함. 따라서, 저온 및 고압 상태에서의 기존 건설 재료의 거동 분석을 통하여 기존 건설 재료의 적용 방법과 신재료의 개발이 필요하다.
연구개발 동향	국내 - 극지에서의 건설재료에 대한 연구가 있음. 국외 - 미해군에서 심해 환경 상태에서의 건설재료 거동에 대한 실험 수행.

### □ 기대효과

<ul style="list-style-type: none"> <li>경제적 효과 : 건설 재료의 적용 영역 확장에 따른 부가 산업 창출</li> <li>기술적 효과 : 건설재료의 적용성 확대 및 신기술 개발</li> <li>정책적 효과 : 국토 공간의 영역 확장에 따른 새로운 정책적 패러다임 확립.</li> </ul>
---

□ 성과 지표 및 목표치

- 기존 건설 재료 적용 가이드 및 설계안 제시
- 해저 환경 적용 가능 신재료 개발

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
4	총: 1,000 (정부지원 800 + 민간 200)	40

세부과제 구성 및 예산	세부과제 제목	예산 (억원)					합계
		1단계					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
1	저온, 고압 환경에서의 건설 재료 거동 분석	2	2				4
2	저온, 고압 환경 용 건설 재료 개발			3	3		6
	계	2	2	3	3		10

## (7) 해저과학기지의 거주환경 조성 기술 개발

### □ 기술 개요

제안 기술명	해저과학기지의 거주환경 조성 기술
--------	--------------------

### □ 개발기술의 목표 및 내용

연구개발 목표	해저과학기지의 거주자를 위한 쾌적한 거주공간 설계기술 및 거주환경 유지기술 확보
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저과학기지의 거주공간 특성 및 요인 파악</li> <li>- 해저과학기지의 거주환경 요소별 기준 설정</li> <li>- 해저과학기지의 쾌적한 거주공간 설계기술</li> <li>- 해저과학기지의 쾌적한 거주환경 유지기술</li> </ul>

### □ 연차별 목표 및 내용

#### ○ 1차년도

연구개발 목표	- 해저과학기지의 쾌적한 거주공간 설계기술
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저과학기지의 거주공간 특성 및 설계요인 파악</li> <li>- 해저과학기지의 거주공간 설계요인별 설계기준 설정</li> <li>- 해저과학기지의 거주공간 설계방법, 프로세스, 설계도구 개발</li> </ul>

#### ○ 2차년도

연구개발 목표	- 해저과학기지의 쾌적한 거주환경 유지기술
연구개발 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해저과학기지의 물리적 환경 유지기술</li> <li>- 해저과학기지의 심리적 환경 유지기술</li> <li>- 해저과학기지의 사회적 환경 유지기술</li> </ul>

### □ 연구개발의 필요성 및 동향

연구개발 필요성	- 해저과학기지의 성공을 위해서는 해저의 폐쇄된 공간에서 고립되어 장기간 생활하는 거주자의 신체적·심리적 영향을 고려하여 쾌적한 거주환경의 조성이 필수적임	
연구개발 동향	국 내	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양플랜트 거주구 등 특수한 해양거주시설에 대한 거주환경 연구가 진행되고 있음</li> <li>- 군함 등 특수한 선박의 거주구에 대한 거주환경 연구가 진행되고 있음</li> </ul>
	국 외	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우주선과 잠수함에서의 거주환경에 대한 연구가 시도되고 있음</li> <li>- 해양과학연구용 수중 하비타트(habitat)와 레저용 수중 하비타트가 개발되고 있음</li> </ul>

□ 기대효과

- 경제적 효과
  - 해저과학기지에서 인간의 주거생활이 가능해짐에 따라 해저주거나 해저도시의 건설이 가능하게 됨
- 기술적 효과
  - 해저과학기지의 주거환경 관련 기술이 해저관광 및 레저시설의 건설을 촉진시킬 것임
  - 해저에 다양한 생활공간을 조성할 수 있는 기술 개발의 출발점이 될 것임
- 정책적 효과
  - 해양공간 가운데 해저공간을 생활공간으로 개발할 수 있는 기술로 인해 국토공간 개발의 새로운 정책적 패러다임을 세울 수 있음

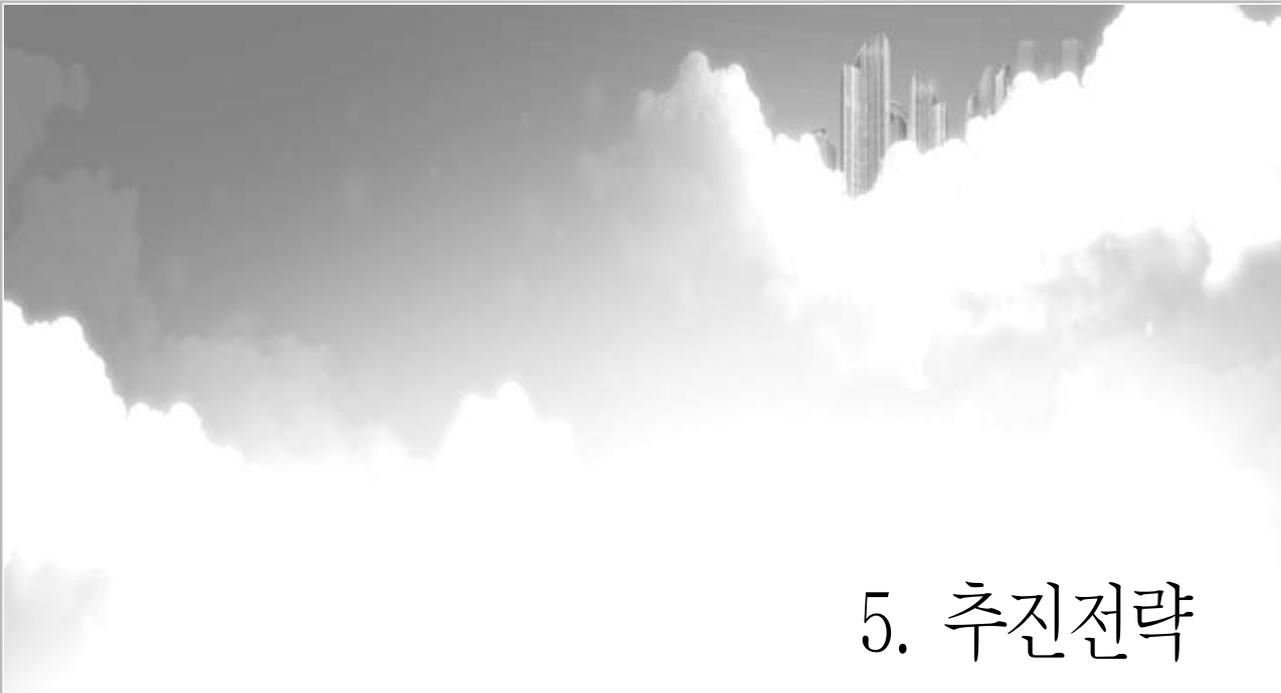
□ 성과 지표 및 목표치

- 해저과학기지 쾌적한 거주공간 설계안(설계방법, 설계도구, 설계안)
- 해저과학기지 쾌적한 거주환경성능 기준(물리적, 심리적, 사회적 기준)

□ 연구개발사업의 규모

연구기간(년)	연구개발비(백만원)	소요인력(명)
5	총: 5,000 (정부지원 4,000 + 민간 1,000)	30

세부과제 구성 및 예산	세부과제 제목	예산 (억원)					합계
		1단계					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
1	거주공간 설계기술	10	10				20
2	거주환경 유지기술			10	10	10	30
	계	10	10	10	10	10	50



# 5. 추진전략





# 5. 추진전략

## 5.1. 핵심과제 도출

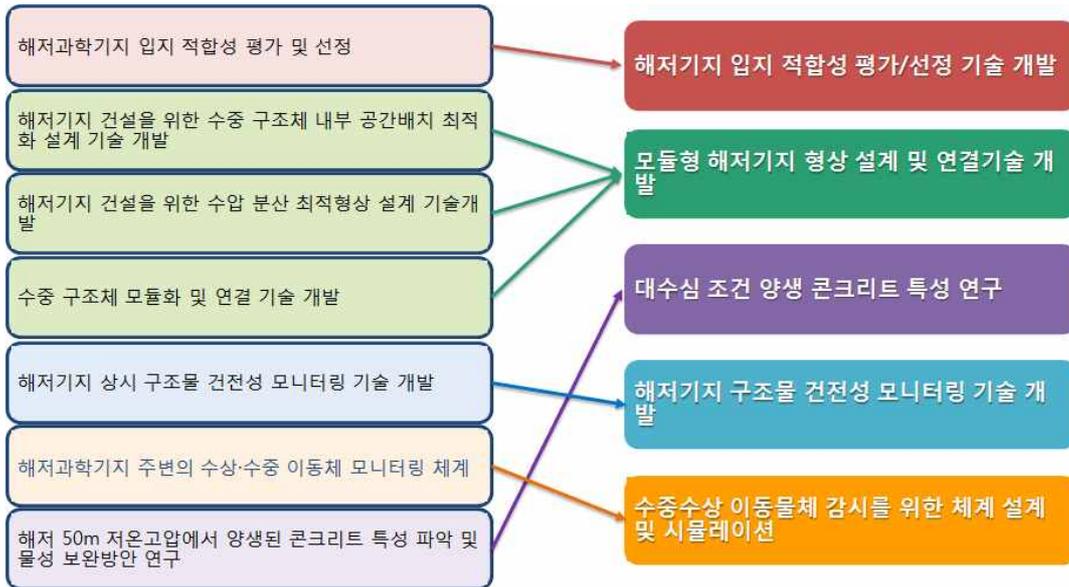
- 해저과학기지 건설 및 운영을 위한 연구주제를 기능별로 분류하면, 건설기술과 운영기술로 분류할 수 있음.
- 해저과학기지 건설 기술의 경우 다음과 같이 분류할 수 있음.
  - 해저과학기지 설계
  - 해저과학기지 시공
- 해저과학기지 운영 기술의 경우 다음과 같이 분류할 수 있음.
  - 해저과학기지 운영
  - 해저과학기지 유지관리
- 이와 같은 분류에 따라 연구개발과제는 다음과 같이 4개의 핵심 세부사업으로 구성할 수 있음.



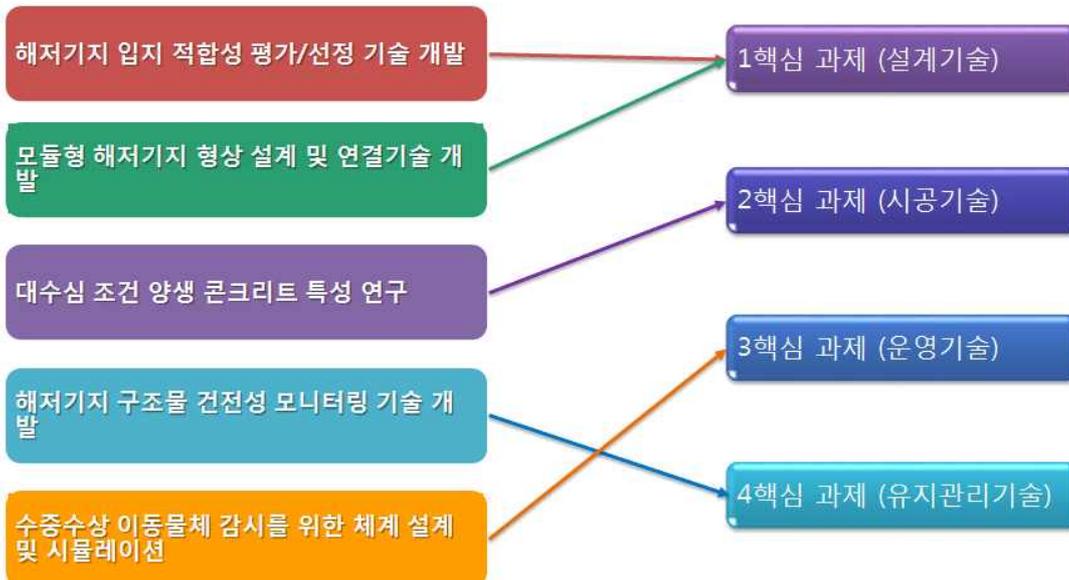
[그림 5.1] 연구과제의 구성

## 5.2. 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구사업 구성

- 1단계 연구인 해저기지 건설/운영 기반기술 연구는 다음과 같이 구성됨.
  - 앞의 1단계 기반기술 연구과제에서 제안된 세부과제 중 유사 내용을 통합하여 구성함.
  - 각각의 도출 과제는 4개의 핵심 세부사업에 각각 속함.



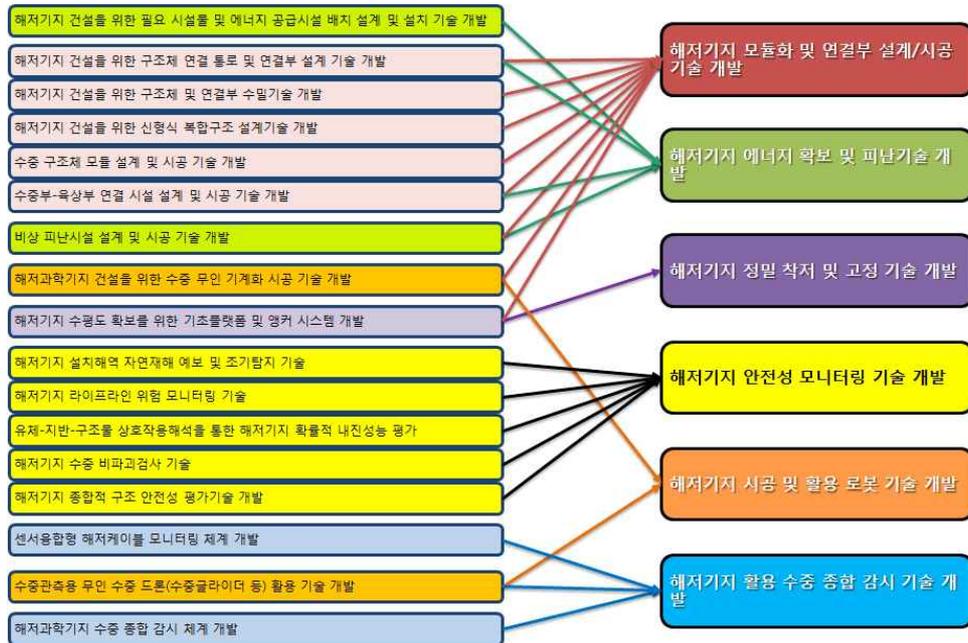
[그림 5.2] 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구 과제의 구성



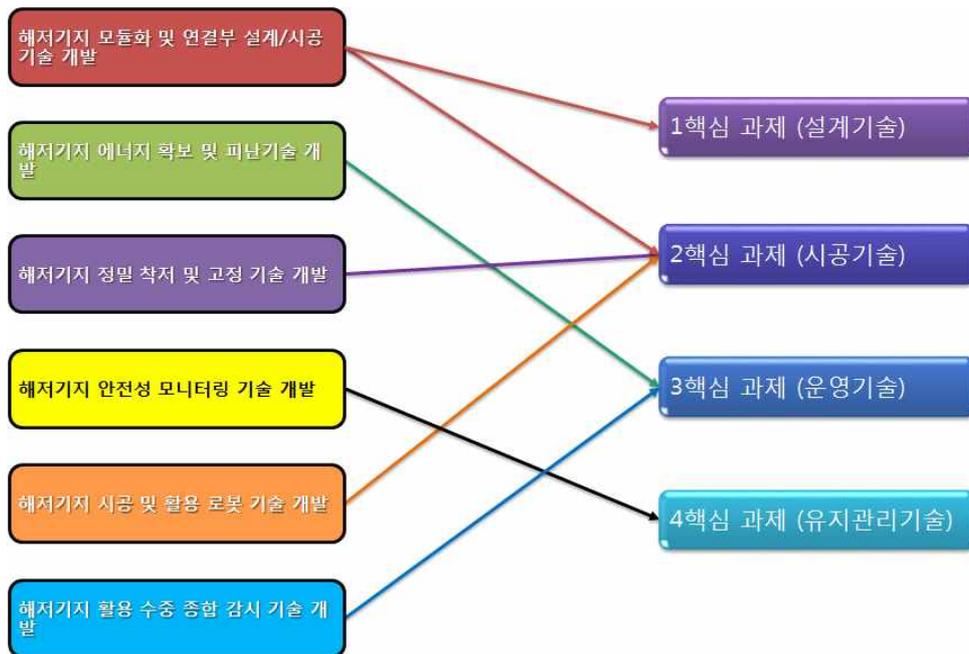
[그림 5.3] 해저기지 건설/운영 기반기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업

### 5.3. 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구사업 구성

- 2단계 연구인 해저기지 건설/운영 핵심기술 연구는 다음과 같이 구성됨.
  - 앞의 2단계 핵심기술 연구과제에서 제안된 세부과제 중 유사 내용을 통합하여 구성함.
  - 각각의 도출 과제는 4개의 핵심 세부사업에 각각 속함.



[그림 5.4] 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구 과제의 구성

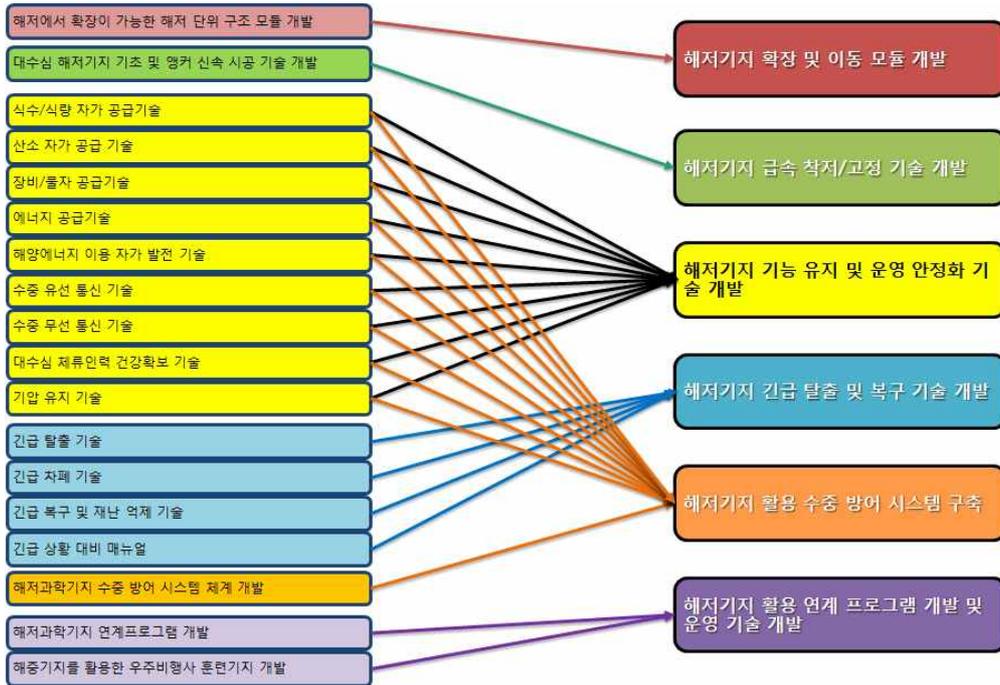


[그림 5.5] 해저기지 건설/운영 핵심기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업

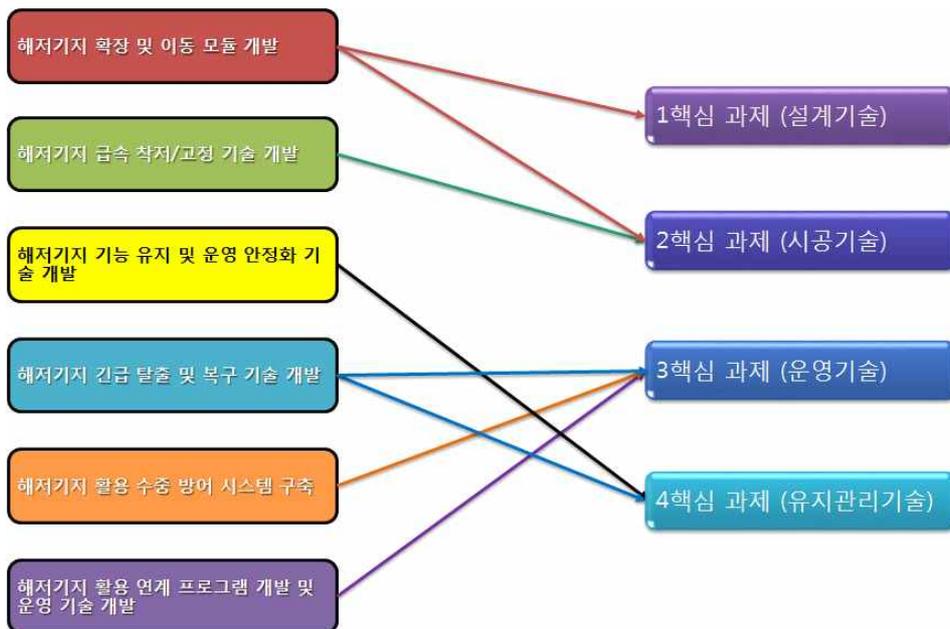
## 5.4. 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구사업 구성

□ 3단계 연구인 해저기지 건설/운영 실증기술 연구는 다음과 같이 구성됨.

- 앞의 2단계 실증기술 연구과제에서 제안된 세부과제 중 유사 내용을 통합하여 구성함.
- 각각의 도출 과제는 4개의 핵심 세부사업에 각각 속함.

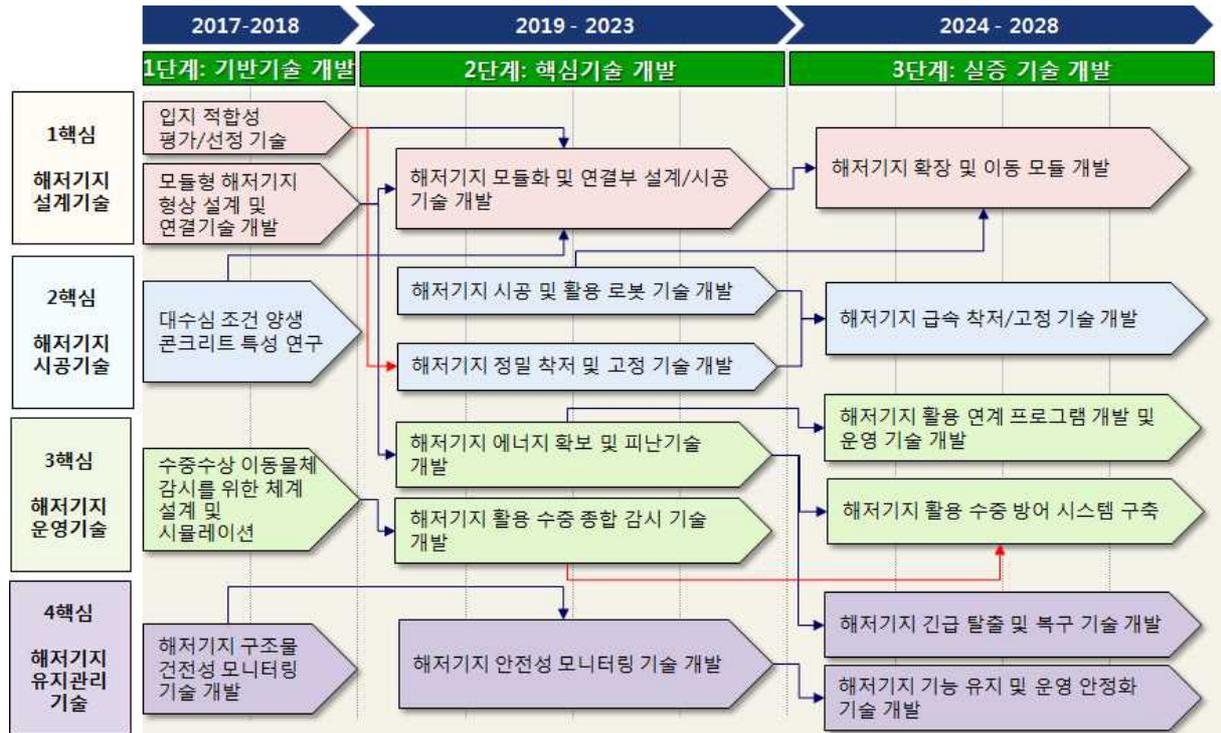


[그림 5.6] 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구 과제의 구성



[그림 5.7] 해저기지 건설/운영 실증기술 개발 연구 과제의 핵심 세부사업

## 5.5. 총괄 로드맵



[그림 5.8 ] R&D MACRO 로드맵







## 6. 참고문헌

1. Bae Y. I. (2011) Present and Future of Developing Ocean Resources, SERI Business Note, Samsung Economic Research Institute, 131, 1-11.
2. Dobbs, R. et al. (2011) A New Era for Commodities, Mckinsey Quarterly, November
3. DOT (2011) Underwater Hotel Project, <http://www.deep-ocean-technology.com>, DOT
4. Environmental Graffiti, <http://www.environmentalgraffiti.com>
5. Garie Sim (2002), The undersea habitat 2030, Garies' s Creations (<http://www.garieinternational.com.sg>)
6. Han, T. H., Han, S. Y., Kang, Y. J. (2008) Elastic Buckling Behavior Characteristics of GFRP Pipe with Reinforced Ribs, Composites Research Journal, 2(3), 7-15.
7. Han, T. H., Kim, S. N., Kang, Y. J., Yoon, K. Y. (2004) An Experimental Study of Material Characteristics for GFRP Pipes, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, 4(2), 35-45
8. Han, T. H., Stallings, J. M., Kang, Y. J. (2010) Nonlinear Concrete Model for Double-Skinned Composite Tubular Columns, Construction and Building Materials, 24(12), 2542-2553.
9. Han, T. H., Yoon, K. Y., Kang, Y. J. (2010) Compressive Strength of Circular Hollow Reinforced Concrete Confined by an Internal Steel Tube, Construction and Building Materials, 24(9), 1690-1699.
10. Haynes H. H. (1974) Long-Term Deep-Ocean Test of Concrete Spherical Structures, Technical Report, Civil Engineering Laboratory, Naval Construction Battalion Center
11. International Energy Agency (2011) World Energy Outlook 2011, IEA
12. International Monetary Fund (2011) World Economic Outlook, IMF
13. Jang, I. S., Kim, W. T., Ko, J. H., Kim, T. S., Park, K. W. (2011) Development of Unmanned Underwater Excavation Equipment for Port Construction, Proceedings of 6th International Conference on Asian and Pacific Coasts, Hong Kong, 2123-2130.
14. KEIT (2011) Survey of Future Technologies 2025 - For Smart IT Convergence -, Ministry of Knowledge and Economy
15. Kim, M. S. (2012) Construction of Seabed Base, DONGA Science
16. Koh, S., Yoo, J., Bernold, L., and Lee, T. (2010) Experimental Study of Waterless Concrete for Lunar Construction. Earth and Space 2010, 1098-1102.
17. metro, <http://www.metroseoul.co.kr>
18. Meyers, C. and Toutanji, H. (2007) Analysis of Lunar-Habitat Structure Using Waterless Concrete

- and Tension Glass Fibers, *Journal of Aerospace Engineering*, 20(4), 220-226.
19. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) 2nd Master Plan for Development of Oceans and Fisheries (2011~2020), Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
  20. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2013) 2040 Future Technology Survey and Direction for Land and Ocean, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs
  21. National Geographic Channel (2011) Underwater City Construction Project, *Naked Science*, 2011
  22. Neptune Canada, <http://www.neptunecanada.com>
  23. NOAA, <http://oceanexplorer.noaa.gov>
  24. Poseidon Undersea Resort, <http://www.poseidonresorts.com>
  25. Rush, P. J. (1962) Preliminary Studies Concerning Structures in the Deep Ocean, Technical Note N-447, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory
  26. Shimizu Corporation (2014) A 21st century ATLANTIS: Floating spheres that house entire cities and sink to the seabed in extreme weather could be built by 2030, *Mail Online* (<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech>)
  27. Shin, J. R. and Woo, J. S. (1999) Collapse Analysis for Deep Sea Pressure Vessel, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 13(4), 82-97.
  28. Toutanji, H. and Schrayshuen, B. (2005) Strength and Durability Performance of Waterless Lunar Concrete, 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, U.S.A.
  29. Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Mele\\_\(island\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mele_(island))
  30. 국토해양부 (2013), 2040 Future Technology Survey and Direction for Land and Ocean
  31. 한국해양과학기술원 (2012) 해저과학기지 건설 기술 기획연구, 2012년도 해양 융복합 기획연구사업 보고서 (DSPE98797-10158-7)
  32. 한택희, 이진학, 한상훈, 원덕희, 박우선 (2013), 해저기지 건설을 위한 핵심기술 조사, *한국방재학회 논문집*, Vol. 13, No. 3, pp. 215-225.



## 주 의

1. 본 보고서는 한국해양과학기술원의 내부 연구사업으로 수행된 결과물입니다.
2. 본 보고서의 내용을 인용할 경우, 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.