17RDPP-C137326-01

메가스트럭처 자립건설 기술개발 사업 최종보고서

2019

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(V) / 공개(V), 비공개( ) 발간등록번호(IS17-014)

국토교통연구기획사업 제1차 연도 기획보고서

R&D /17RDPP-C137326-01

# 메가스트럭처 자립건설 기술개발 사업 최종보고서

2019.05.17

주관연구기관 / ㈜다윈전략컨설팅
공동연구기관 / 한국건설생활환경시험연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

# 제 출 문

국토교통과학기술진흥원 원장 귀하

‘메가스트럭처 자립건설 기술개발 사업’(연구개발 기간 : 2017.09.29 ~ 2019.02.28.) 과제의 최종 보고서를 제출합니다.

2019. 05.


주관연구기관명 : (주)다원전략컨설팅

연 구 책 임 자 : 박 재 민 대표이사

참 여 연 구 원 : 강 원 진 수석연구원

김 택 수 전임연구원

김 세 호 전임연구원

황 혜 림 전임연구원

이 설 희 전임연구원

공동연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원

연 구 책 임 자 : 정 윤 석 선임연구원

참 여 연 구 원 정 상 화 수석연구원

천 주 현 주임연구원

박 광 민 주임연구원

이 인 주임연구원


국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

# 보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>17RDPP-C137326-01</td><td>해 당 단 계<br>연 구 기 간</td><td>2017-09-29 ~<br>2019-02-28</td><td>단 계 구 분</td><td>(해당단계)/<br>(총 단 계 )</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부 사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">메가스트럭처 자립건설 기술개발사업 기획</td></tr>
<tr><td>세부 과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">박 재 민</td><td>해당단계<br>참 여<br>연구원 수</td><td>총: 11명<br>내부: 11명<br>외부: 명</td><td>해당단계<br>연 구 비</td><td>정부:190,000천원<br>민간: 천원<br>계:190,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간<br>참 여<br>연구원 수</td><td>총: 11명<br>내부: 11명<br>외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부:190,000천원<br>민간: 천원<br>계:190,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및<br>소 속 부 서 명</td><td colspan="3">(주)다윈전략컨설팅</td><td colspan="2">참여기업명<br>한국건설생활환경시험연구원</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되,<br>500자 이내로 작성합니다)</td><td colspan="2">보고서 면수: 728</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="2">색 인 어<br>(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td>메 가 스 트 럭 처 , 차 세 대 터 널 , 해 저 터 널 , 신 공 간 창 출 특 수 구 조 물 , 자 립 화</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td>Mega structure, Next generation tunnel, Subsea tunnel, Create innovation space, Special structure, self-sustaining</td></tr>
</table>

# 요 약 문

# 제 1 장 사업 개요

## 제1절 사업 추진배경 및 필요성

## 1. 해저터널·인공섬의 역할 및 중요성

### 가. 해저터널·인공섬 관련 주요이슈

- (대륙 간 '연결'에 대한 Needs 증가) 글로벌화로 인해 대륙 간 또는 국가 간의 접근성 향상에 대한 요구가 지속적으로 상승
  - 기존의 항공 및 선박 등의 수단으로 승객과 물류수송의 증가, 이동편의 증대, 고속화 등에 대한 새로운 요구를 충족시키기에는 한계 존재
  - 이러한 요구에 부응해 기존의 교통체계를 획기적으로 개편할 수 있는 해저터널에 대한 관심이 지속적으로 증가
- (터널안전에 대한 국민적 관심 증가) 최근 터널에서의 빈번한 화재사고로 인해 안전에 대한 국민 관심이 높아지고 있으며, 이에 대응하기 위한 건설중요성 또한 증대
  - 부분적으로 밀폐된 공간 내에서 화재가 발생했을 경우 화염과 연소가스 발생으로 많은 인명피해가 발생하고 있으며, 터널 구체를 붕괴하거나 훼손하는 경우도 발생
  - 특히 유로터널에서의 4번의 화재사고 등 최근 대형 터널화재사고는 초장대 해저터널의 화재안전 기술에 대한 시급성을 보여주고 있음
- (세계 SOC 시장 수요 증가) 전 세계적으로 SOC 시장수요가 증가되고 있으며, 그 중 교량 및 터널 분야가 주력 상품으로 부각
  - (세계 시설물 시장 고성장) 시설물 분야 글로벌 투자가 지속적으로 성장하여 '25년에는 9조 달러를 넘어설 것으로 전망
  - (초장대 해저터널 수요 증가) 경제글로벌화로 케이블 교량 및 해저터널과 같이 국가 및 대륙 간의 연결통로에 대한 수요가 지속적으로 증가하는 추세

### 나. 해저터널·인공섬의 역할

- (동북아 허브·축) 한반도의 지정학적 특성상 해저터널 건설을 통해 일본, 중국, 러시아 등의 자원 및 기술과 결합하여 동북아시아의 경제통합을 주도하는 역할

- 한반도는 지정학적으로 동북아 지역의 중심부에 위치하고 있어, 동북아를 연결하는 가교국가로서의 역할과 정치·경제·교통·물류의 중심 국가로서 잠재력을 보유
- 해저터널 건설을 통해 중국 횡단철도, 시베리아 철도, 만주횡단철도 등 세계 및 동북아 지역 내의 모든 공항, 항만과 효율적인 인프라로 활용 가능

■ (남북간 교류) 동북아시아권에서 한반도의 정치적 역량과 입지를 강화시킴과 동시에 향후 남북관계 개선 및 남북평화도로 건설에 디딤돌 역할

- 최근 국내 경부고속철도 건설계획과 북한과의 화의 무드 조성, '철의 실크로드' 구상 등이 대두
- 교량 대신 해저터널 건설 시, 매개체로 구축된 인공섬은 단순히 환기·방재 목적형이 아니라 관광지, 풍력발전소, 주거 등 나아가 랜드마크로 활용 가능

## 다. 해저터널 · 인공섬의 중요성

■ (지역균형 발전) 도서~국가 간을 잇는 대규모 토목공사로써 국토의 균형개발과 고른 성장에 지대한 영향

- (국내) 터널이 입지하게 되는 지역이 경제 중심지와 떨어져 낙후된 지역일 경우, 해저터널 건설로 지역격차를 완화
- (국외) 영불 해저터널의 경우, 프랑스 깔레 지역 내 침체된 지역경제가 활성화되고, 국토의 균형 발전을 이루었으며, 영국과의 접근성 향상으로 유럽의 발전에 큰 기여

■ (국토 확장 및 관광지 효과) 도서~국가 간 접근성 향상 및 소요시간 단축으로 주말 등을 이용한 관광이 가능하며, 향후 인공섬을 건설하여 국토 新공간 창출 효과

- 도서 간, 대륙 간, 국가 간을 잇는 안정성 높은 가교의 역할을 수행하므로써 접근성을 개선시키는 것과 동시에 환기/방재 목적형 인공섬을 건설하여 안정성 확보
- 중·장기적으로는 동북아를 잇는 해저터널 창출로 관광자원의 확보 및 물류의 흐름에 근접함과 동시에 해외 네트워크를 활성화시켜 국제사회 인프라를 구축

■ (고용 창출 효과) 해저터널 건설이 착수됨에 따라 건설 및 공사에 참여하는 건설인력에 대한 고용이 창출되며, 각종 원자재를 공급하는 하청업체의 수도 증가

- 해저터널 시공 후에는 해저터널의 관리·운영을 위한 기업의 설립으로 인해 고용 창출 효과가 발생
- 장기적으로는 해저터널 건설로 인해 해당지역의 입지경쟁력이 높아져 지역 내 기업유치가 촉진됨에 따라 고용 증대가 이루어짐

■ (주변 해양자원 개발) 특히 인공섬 건설 기술개발을 통해 향후 인공섬이 구축될 경우, 주변의 다양한 해양자원 확보 가능

- 지금까지 우리나라는 연안에 경제활동 공간을 확보하기 위해 대규모 매립·간척사업을 추진해 왔으나, 해양환경의 악화를 초래하고 입지선택에 제한적
- 해저터널·인공섬 건설을 통해 향후 해양광물자원 확보 및 연안공간의 복합적 이용 효과 등의 간접적인 파급 효과

■ (수송비, 물류비 등 비용절감 효과) 해저터널 건설로 인한 물류비 절감, 인공섬 구축으로 인한 전진항만의 역할 수행 가능

- 해저터널이 건설되면 항공료에 비해 운임료가 낮아지게 되므로 물류비 등이 일부 절감되어 섬의 생활권과 경제권이 광역화될 가능성이 있음
- 인공섬의 경우 기존 항만이 가진 기능보다 해양으로 나아가 배치되므로써 전진항만의 역할을 수행하므로써, 동북아 물류 흐름의 중심에 더 효율적으로 접근 가능

## 2. 해저터널 · 인공섬의 건설현황 및 한계

■ (해저터널·인공섬 건설 역량 미흡) 세계 해저터널 건설 기술수준에 비해 국내 해저터널 건설 기술수준이 50~80%에 불과하며, 이에 따라 선진국과의 기술격차 지속 우려

- 선진국 대비 해저/침매터널 국내 평균 기술경쟁력 격차는 28.9%, 인공섬의 경우 41.4%
- 국내에서 연장 약 10㎞ 내외 해저터널 설계기술력은 확보한 상태이나, 40km이상의 해저터널 건설 경험은 전 세계적으로도 전무한 상황

■ (해저터널 실증기술 부족) 국내 시장에서의 실증 및 우수성 검증을 기반으로 해외시장 공략이 필요하나, 旣확보된 국내 해저터널 관련 실증 기술은 미비

- 기존 해저터널 관련 국가연구개발 사업은 각 구조물의 요구 성능 확보를 위한 한계적인 연구사업으로 진행
- 국내 해저터널 건설 기술을 기초단계에서 응용·개발단계로 발전시키고 기술의 경제적 가치를 발굴하기 위해서 기술기반의 실증 필요

■ (인공섬 핵심기술 전량 해외 의존) 현재까지 인공섬 건설 관련 기술개발은 전무하여 전량 해외에 의존함에 따라, 핵심 기술개발 시급

- 국내에서는 각 지자체별 인공섬 개발 계획 등 준설·매립과 같은 인공섬 조성 관련 일부 요소(인력 등)기술은 가능하나, 대부분이 선진국의 기술에 의존

■ (글로벌 경쟁력 확보 및 규모의 경제 실현 한계) 글로벌 경쟁력 확보를 위해 국내시장 창출이 우선적으로 필요하나, 국내는 미흡

- 국내는 거가대교 해저터널이 유일한 시공실적으로, 현재 진행 중인 보령~태안 해저터널 외 향후 검토 중인 국내 해저터널은 호남~제주, 한·일, 한·중 해저터널 약 3건

## 3. 사업추진 시급성

- (정책적 시급성) 現정부 국정과제(과제32-2), 제6차 건설기술진흥기본계획('17.12, 법정계획), 건설산업 혁신 방안('18.7, 경장회의) 등에 따른 해저터널 관련 고부가가치 기술 확보 시급
  - 해외진출 지원, 해외 수요 대응형 건설기술 개발 등을 위해 메가스트럭처(교량, 터널, 해저터널, 특수구조물 등) 기술개발 추진 중
  - 인공섬 건설은 세계 글로벌화 추세에 따라 SOC 시설물 건설 사업에 중점을 두고 있으며, 선진국에서는 국가차원의 정책 수립 및 투자를 확대하고 있는 실정
- (기술적 시급성) 기존 연구개발 사업은 주로 해저터널 구축을 위한 요소기술 및 실증 전 단계 중심의 기술개발로 지속적인 해저터널 시장 확대가 불가능
  - 기존 연구단을 통해 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술은 이미 확보가 되었으나, 실험·연계가 가능한 Test-bed 성격의 실험 인프라 미비로 실증 연구가 부족한 실정
  - 각 부처·지자체별 인공섬 조성기술 개발 계획을 추진하였으나, 산발적으로 진행되고 있으며, 국내 독자적인 인공섬 기술은 일본 및 선진국에 의존
- (경제적 시급성) 중국, 미국 등 대규모 건설 투자에 따른 글로벌 SOC 시장 확대로, 국내 기업의 해외 SOC 시장 확보를 위해 새로운 전략 마련 시급
  - 지난 20년간 건설된 국외 해저터널 프로젝트와 유사한 규모로 지속될 것으로 가정하고, 추정한 결과 10년 후 국외 해저터널 건설 시장은 5.48조 원 규모로 예상
  - 최근 중국이 주변국들의 SOC 사업에 막대한 자금을 투자하는 등 영향력을 확대하자, 미국이 전 세계 대규모 인프라 프로젝트에 투자를 대폭 확대 계획 추진 중

## 4. 국고지원의 적합성

- (교통인프라 조성 국가 책임성) 교량, 터널 등 안전하고 편리한 교통인프라 조성은 국가 책임성이 강하며, 국민 삶의 질 제고와도 직결
  - 해외에서는 교통인프라를 국가경제 활동을 가능하게 하는 기반시설 중 하나로 간주하고 범국가 차원에서 전략을 수립하고 추진
  - 본질적으로 교통인프라는 국민의 삶에 필요한 요소들을 연결하고 공급해 삶의 질을 개선하고 나아가 사회통합을 실현시킴
- (민간투자 한계) 국가차원의 공공 R&D 영역으로, 대규모 예산이 투입되는 사업으로 발주되는 장기적 민간업체 투자에 한계

- 해저터널 운용수익으로 막대한 건설비용을 조기에 회수하기 어려우므로 국민경제에 미치는 부담을 감안하여, 국가주도로 민간투자 유도 필요
- 국토교통 R&D는 장기적 투자에 대한 경영적 위험성에 따라 기술개발의 실패 및 중단의 경우가 발생할 수 있어 중소기업의 경우 타 분야 대비 시장 진입 장벽이 높음

■ (기술수준 추격 심화) 국내 해저터널 기술수준은 76.9%, 인공섬은 78.6%인 반면, 중국은 75.5%, 77.9%로 기술추격이 심화됨에 따라 국내 기술우위 선점 필요

# 제2절 사업 추진 근거

## 1. 법/제도

■ (국토교통과학기술육성법) 동법 제8조와 제9조에서는 연구개발사업의 추진과 공동연구·개발 등을 지원

■ (건설기술진흥법) 제8조 및 10조에서 국토교통부장관은 종합계획의 효율적 추진을 위하여 국토교통연구개발사업을 추진

■ (산업안전보건법) 산업 안전 및 보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성하기 위해 제정한 제1조에 근거

## 2. R&D정책 및 부처 계획

■ 동 사업의 경우 문재인 정부 국정과제를 비롯한 국가/산업기술/연구개발 측면의 유관정책 및 계획에 부합

- (국가 측면) 문재인 정부 국정과제, 문재인 정부의 2019년 경제정책방향
- (산업기술 측면) 제4차 건설산업진흥기본계획('13~'17)

☞ (연구개발 측면) 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22), '18년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획('18), 국토교통 R&D 중장기 전략('14~'23), 건설산업 혁신방안

# 제3절 사업기획 방법 및 추진경과

## 1. 사업기획 목적 및 범위

- 본 기획과제는 대륙-도서 간을 연결하기 위해 해저지반 지하에 건설되는 해저터널 건설기술을 개발하고 향후 해외시장 수주 독점영역 창출 및 수익성 제고를 목적으로 함

- 연구의 내용 및 범위




<본 연구의 내용 및 범위>

## 2. 사업기획 추진체계 및 경과

- 사업기획 추진체계




<사업기획 추진체계도>

## 사업기획 추진경과

**<사업 기획 추진경과>**

| 항목 | 일자 | 세부내용 |
|---|---|---|
| 그 간의 추진경과 | ‘17.09.29 | • 기획연구 협약 및 착수 |
| | ‘17.10.01.~’ 19.1.23 | • (1차~14차) 사업 TFT 회의 추진 |
| 의견 수렴 활동 | ‘17.12.19 | • 1차 기획위원회 |
| | ‘18.01.16 | • 1차 기술위원회 |
| | ‘18.01.18 | • 1차 기술위원회 개최 |
| | ‘18.03.13 | • 1단계 기획타당성 평가 |
| | ‘18.10.02.~’ 18.10.05 | • 2차 기술위원회 개최 |
| | ’ 18.11.03 | • 1차 기술소위원회 개최 |
| 분과별 의견 수렴 활동 | ‘18.10.13.~’ 18.10.14 | • 1차 기획분과위원회 |
| | ‘18.11.13.~’ 18.11.14 | • 2차 기획분과위원회 |
| | ‘19.01.04. | • 3차 기획분과위원회 |
| | ‘19.01.30. | • 4차 기획분과위원회 |
| 기획타당성 평가 | ’ 19.02.26 | • 최종보고서 기획타당성 평가 |

# 제 2 장 대내외 환경분석

## 제1절 해저터널 · 인공섬의 개념

- 일반적으로 교량, 터널 및 지하공간, 항만 및 해양구조물 등은 시설물의 중분류에 속해있으며 본 사업에서 추진하고자 하는 해저터널·인공섬은 시설물의 소분류에 속함




<본 사업의 해저터널 · 인공섬 개념>

## 제2절 국내 · 외 해저터널 정책동향

### 1. 정책동향

- (미국) 교통형평법, 종합 교통효율화법 등 교통관련정책 및 연방도로국의 국가터널진단기준 정책, 트럼프 정부의 인프라 정책 등 시설물 관리 계획을 통해 관련 산업을 육성
- (EU) 건설기술 플랫폼 비전 2030, 유럽투자계획 및 Infravation Project 등 인프라 관련 투자계획을 통해 차세대 교통 인프라 기술개발 및 경쟁력 확보에 지원

- (일본) 일본 정부는 20개의 대표 생산성 혁명 프로젝트를 설정하여 I-construction을 추진하고, 인프라 노후화 대응에 중점적으로 투자
- (중국) 일대일로 정책 및 제13차 5개년 계획을 통해 대규모 인프라 투자 정책을 추진하여, 중국기업 해외진출 확대 도모
- (국내) 국토인프라의 선진화 및 해외 건설산업 육성이라는 정책적 방향 하에 부가가치가 높은 교량, 터널, 등 건설 기술을 확보하여 해외시장 수주 창출 및 수익성 제고에 주력

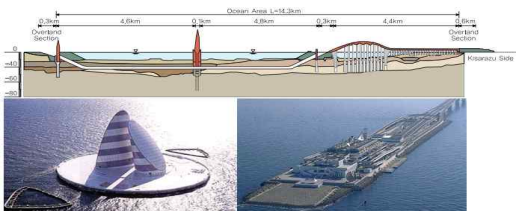
## 2. 기술개발 동향

- (국외) '18년 까지 국내를 제외한 전 세계에 완공된 하저/해저터널은 총 216건(하저터널 146건 및 해저터널 70건) 정도로 조사되고 있음
  - (유로 해저터널) 영국의 Folkstone과 프랑스의 Calasis를 연결하는 세계에서 가장 대표적인 해저터널
  - (유라시아 해저터널) 총 사업비가 12억 달러에 달하는 국내 최초의 해외도로 민간투자사업 토목공사로 보스포러스 해협 통과시간이 100분에서 15분으로 단축
  - (세이칸 해저터널) 세이칸 터널 시공이후 일본은 세계 터널 설계/시공 및 TBM 제작기술에서 세계기술을 선도
  - (도쿄만 아쿠아라인 터널) 해저터널의 시공 및 환기의 목적으로 착저식 및 매립식 인공섬을 건설
  - (강주아오 해저터널) 세계 최장, 세계 최대규모의 강주아오대교의 개통(2018)은 개혁·개방이 40년의 성과물의 집약체
- (국내) '18년 현재까지 국내에 완공된 하/해저 터널 프로젝트는 아래 그림과 같이 총 12건으로 조사됨
  - (보령 해저터널) 국내 최장의 해저터널로 침매식이 아닌 굴착식 해저터널로는 국내 최초로 건설됨
  - (가덕 해저터널) 연약지반(최대 30m), 대수심(최대 48m), 높은 파고와 빠른 조류속에 건설한 침매터널
- (인공섬) 국내외 주요 해저터널용 인공섬 프로젝트로는 Oresund인공섬, 도쿄만 아쿠아라인 인공섬, 강주아오 대교 인공섬, 지하철 5호선 한강하저터널 인공섬이 있음
  - (Oresund 인공섬) 교통방식의 변화로 복층 교량(사장교)과 침매터널(병렬) 접속부에 시공된 매립식 인공섬으로 조성

- (도쿄만 아쿠아라인 인공섬) 인공섬 내부 해수펌핑 및 개량 성토를 이용한 인공섬 내부 조성
- (강주아오 대교 인공섬) 홍콩과 주하이(광둥성), 마카오를 연결하는 총 길이 55km의 교량과 침매터널로 구성되어 있으며, 교량과 침매터널의 접속부로 인공섬을 건설
- (한강하저터널 인공섬) 홍수시 와류현상으로 인접교량인 마포대교 교각의 손상이 우려되어 공사 완료후 준설토로 메운후 인공섬을 폐쇄함



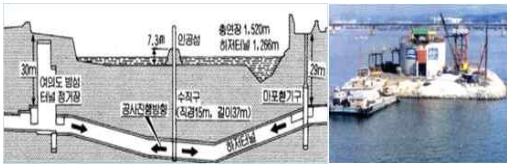
<Oresund 인공섬>



<도쿄만 아쿠아라인 인공섬>




<강주아오 대교 인공섬>




<한강하저터널 인공섬>

## 3. 산업 및 시장 동향

- (해저터널) 다수의 국가-대륙 간 초장대 해저터널 건설이 시공 및 계획 중으로 해저/침매터널, 부유식 터널 시장에 대한 전망이 긍정적
  - 2018년 기준 국외 해저터널 건설 시장은 3.57조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 5.48조 원 규모로 예상됨
    - 세계 해저터널·인공섬 시장규모는 발주물량이 많지는 않지만, 해저터널의 건설특성상 대규모 사업으로 발주되는 경우가 많아 잠재적인 시장규모가 매우 클 것으로 예측
  - 2018년 기준 국외 해저터널 건설 시장은 3.57조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 5.48조 원 규모로 예상됨

- (국내) 향후 호남-제주 해저터널, 한-일 해저터널, 한-중 해저터널 등 초장대 해저터널 프로젝트들이 활발하게 구상 또는 검토 중
  - 2018년 기준 국내 터널 시장은 8.29조원 규모로 추정되며, 2028년에는 10.40조원 규모로 전망
  - 특히 국내 인공섬 준공실적은 전무한 상태인 반면, 다수의 국외 인공섬 건설 프로젝트가 계획 중

# 제 3 장 사업기본설계를 위한 분석

## 제1절 국내 R&D 역량 분석

### 1. 해저터널 · 인공섬 관련 R&D 투자 및 성과 현황

- (해저터널) 정부의 국토 교통 관련 투자는 낮은 성장세를 보이며 유지하고 있는 반면 최근 해저터널 관련 인프라 건설 산업 분야를 중심으로 증가하고 있는 추세임
  - 국내 해저터널 관련 기술개발과 관련한 총 투자규모는 2002년부터 2018년까지 총 136개의 과제에 약 105,386백만 원이 투자됨
  - (해저시설물 차폐 연구단 사업) 각 세세부 과제의 연구성과는 현장 적용이 될 수준으로 개발이 되었으나 세세부과제 내용의 연계성이 결여
  - (해저터널 건설 기술개발 사업) 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술로써 인공섬에 대한 연구를 초기에 수행하였으나, 연구범위의 조정으로 인해 완료되지 못함
- (인공섬) 정부의 국토 교통 관련 투자는 낮은 성장세를 보이며 유지하고 있으나, 최근 해저터널 관련 인프라 건설 산업 분야가 증가함에 따라 향후 인공섬 건설 기술개발 투자 또한 향상될 것으로 보임
  - 국내 인공섬 건설 기술개발과 관련한 총 투자규모는 2003년부터 2019년까지 총 33개의 과제에 약 1,532백만 원이 투자됨

## 2. 주요부처 유사/중복 사업 분석

(선행사업) 본 사업 관련 선행사업 중 목적지향적 측면에서 유사하다고 판단된 사업 조사·분석

〈선행사업 분석〉

| 구분 | 사업 기간 | 사업목적 | 본 사업과의 차별성 |
|---|---|---|---|
| 해저시설물 차폐기술 개발 사업 | ’07 - 계속 | 해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐 핵심기술의 개발 | 상기사업의 경우 해저터널 관련 각 요소기술 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상이 상이함 |
| TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 | ’10년 - ’15년 | TBM장비에서 가장 핵심적인 커터헤드 설계기술을 확보하면서 TBM터널의 경쟁력 향상을 위한 공사비용 절감기술 개발을 목표 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 |
| TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 | ’17년 - ’21년 | 전단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 국산화 기술 개발 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 |
| 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 | ’13년 - ’18년 | 고수압 조건에서 다목적 하이브리드 해상 인프라 구축을 위한 해저터널 기술, 통합 방재 및 운영 기술 개발을 목표로 함 | 상기사업의 경우 초장대 해저터널 핵심기술 응용 및 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상 및 범위가 상이함 |

■ (주요부처별 사업) 현재 추진 중인 주요 부처별 R&D 사업에 대한 조사/분석을 통해 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업과의 유사 및 중복성을 검토

| 본 사업 | 항목 | 건설기술연구사업 | 국토교통기술촉진연구사업 | 해양청정에너지기술개발사업 |
|---|---|---|---|---|
| 고부가가치 창출이 가능한 해저터널·인공섬의 선도기술 개발로 글로벌 시장 창출 | 사업 목적 | 차세대 지속가능한 도로 및 초장대교량, 물 관리시스템 및 재해 안전 대응기술 개발 등 건설기술 전반의 혁신 도모 | 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구인프라 구축 | 자원 부존량이 풍부하고 발전효율이 높은 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중 저감 및 관련 세계시장 선점 |
| | 추진 방법 | 계속 사업 ('13년까지 기투자액: 3,955억 원) | 계속사업 ('13년까지 기투자액: 1,019억 원) | 계속사업('17년까지 기투자액: 1,293억 원) |
| | | '17년도 498억 원 | '18년도 536억 원 | '17년도 150억 원 |
| • 해저터널 건설 및 환기/방재 목적의 인공섬 핵심기술 개발 | 지원 분야 | • 설계 엔지니어링 및 글로벌 표준 기술, 건설재료 개발 및 활용 기술, 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술 등 | • (창의도전연구) 민간의 독창적이고 혁신적인 아이디어를 활용한 미래 원천기술 발굴 등<br>• (글로벌기술협력) 해외 우수연구기관과의 국제공동연구 및 기술협력 지원<br>• (연구 장비 인프라) 연구 장비, 대형 실험시설 등 연구 인프라 구축 | • 해양에너지 단위 실용화 기술개발 및 인프라 구축<br>• 해양에너지의 효율성 및 활용도 제고를 위한 복합발전 기술개발<br>• 해양에너지 개발 및 산업화에 대비하여 해양에너지 분야의 전문인력 양성 |
| | 차별성 | 본 사업과의 사업범위가 상이 | 본 사업과 연구대상이 다름 | 본 사업과 연구대상이 다름 |

<주요부처별 유사/중복사업 조사>

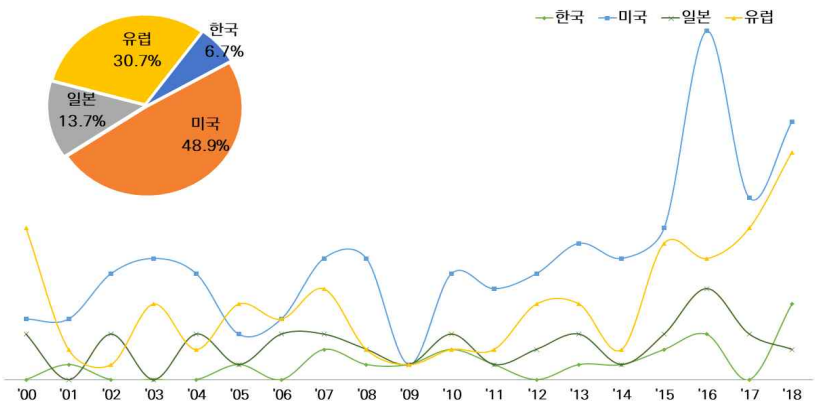
# 3. 기술역량 분석

## 가. 특허/논문 동향분석

■ 논문동향 분석 결과

◉ (해저터널) 대체적으로 2010년 이후 미국과 유럽은 점진적 증가세를 나타내고 있으나, 일본과 한국의 논문 발표 건수 증가세는 저조한 것으로 나타남

◉ (인공섬) 미국과 유럽에서 점진적 증가세를 나타내고 있으나, 반면 일본은 논문 발표 건수가 '16년 이후 하향 곡선을 보이고 있음




<국가별 인공섬 관련 논문 발표 동향>

■ 특허동향 분석 결과

◉ 대부분 발전기 단계로 연구개발사업으로 추진되기 위한 적합한 시점으로 판단

- 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업에서 추진되는 6개 전략별 국내 기술발전단계를 추정한 결과 전략1~4, 6은 발전기, 전략4는 성숙기 단계로 나타남

## 나. 기술수준 분석

**<전략사업별 기술수준조사 결과(종합)>**

| 중점분야 | 전략사업 | 최고기술국 | 국가 | 그룹 | 기술수준(%) | 기술격차(년) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 유럽 | 한국 | 추격 | 75.5 | 4.1 |
| | | | 미국 | 선도 | 96.3 | 0.4 |
| | | | 일본 | 선도 | 91.7 | 1.4 |
| | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 중국 | 추격 | 75.3 | 4.2 |
| | 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | 유럽 | 한국 | 추격 | 77.6 | 4.7 |
| | | | 미국 | 선도 | 91.4 | 1.7 |
| | | | 일본 | 선도 | 97.2 | 0.6 |
| | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 중국 | 추격 | 78.2 | 4.3 |
| | 해저터널 스마트 케어 시스템 | 유럽 | 한국 | 추격 | 78.5 | 3.1 |
| | | | 미국 | 선도 | 97.2 | 0.3 |
| | | | 일본 | 선도 | 96.8 | 0.3 |
| | | | 유럽 | 선도 | 100 | 0.0 |
| | | | 중국 | 추격 | 77.3 | 3.6 |
| | 자산관리기반 유지관리 시스템 | 미국 | 한국 | 추격 | 75.9 | 9.2 |
| | | | 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 일본 | 선도 | 92.5 | 3.6 |
| | | | 유럽 | 선도 | 95.5 | 2.0 |
| | | | 중국 | 추격 | 71.1 | 11.2 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | 일본 | 한국 | 추격 | 77.6 | 3.6 |
| | | | 미국 | 선도 | 98.0 | 0.3 |
| | | | 일본 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 유럽 | 선도 | 99.0 | 0.3 |
| | | | 중국 | 추격 | 78.9 | 3.3 |
| | 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | 미국 | 한국 | 추격 | 77.0 | 3.7 |
| | | | 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 일본 | 선도 | 99.0 | 0.2 |
| | | | 유럽 | 선도 | 99.1 | 0.3 |
| | | | 중국 | 추격 | 77.2 | 3.8 |
| | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | 유럽 | 한국 | 추격 | 81.2 | 5.4 |
| | | | 미국 | 선도 | 94.8 | 1.3 |
| | | | 일본 | 선도 | 97.3 | 0.7 |
| | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | 중국 | 추격 | 77.8 | 6.3 |

### 다. R&D인프라 및 연구인력 현황

- 사업의 특성상 용역사 및 시공사에서 전문 분야의 인력들이 일부 그 역할을 수행하고 있으며, 일부 대학의 전문 분야에만 핵심인력만이 관련 연구를 수행
  - 주로 육상터널의 설계 및 시공, 공사 관련 우수 인력이 확보된 상태이나, 해저터널 관련 기업에서는 숙련된 인력이 부족
  - 한국건설기술연구원·한국철도기술연구원·한국해양과학기술원 등 국내 연구기관은 본 사업을 추진하기 위한 핵심 인프라가 충분히 갖춰진 상태
    - 그러나 개발된 해저터널 및 인공섬 건설 기술을 직접 실험하고 연구에 연계할 수 있는 Test-Bed 성격의 실험 인프라는 부족한 실정

## 제2절 해저터널 R&D 수요조사

- 산·학·연 불특정 다수를 대상으로 수요조사를 진행하였으며, 총 97건의 기술수요조사를 접수
  - 해저터널 산업은 기존 연구단에 의해 이미 보유하고 있는 핵심 요소 기술이 있어 창의적인 새로운 기술보다는 기존 성과물을 활용하여 4차 산업혁명, ICT 산업 환경에 적합하게 고도화 시키려는 기술이 다수를 차지하는 것으로 판단
  - 인공섬 관련 기술개발의 경우 국내에서 보유하고 있는 시공 실적 및 기술이 없으나 미래 시장의 성장 가능성이 높아 새로운 시장을 창출할 수 있으므로 수요가 높게 나타나는 것으로 판단

**<대분야별 기술수요조사 비중>**

| 구분 | 대분야 | 개수(건) | 비중(%) |
|---|---|---|---|
| 중점분야 A | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소 기술 고도화 | 30 | 31 |
| 중점분야 B | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재대응 및 예방적 유지관리 기술 개발 [환기, 화재대응, 유지관리] | 23 | 24 |
| 중점분야 C | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | 44 | 45 |
| 총합계 | | 97 | 100 |

## 제3절 사업 추진방향 도출

### SWOT 분석 결과 및 사업 추진방향

| 내부 환경 / 외부 환경 | Strength | Weakness |
|---|---|---|
| | • 연장 약 10km 내외 해저터널 설계기술력 확보<br>• 세계적 수준의 ICT, IoT, 소재 부품 융복합 역량 보유<br>• TBM, 시출용 드릴링 기술의 발전<br>• 대형 해저터널 설계 및 시공 관련 계획 보유<br>• 염해 관련 터널 시공의 기존 개발 실적 보유 | • 해저터널 핵심원천 기술의 해외기술 의존 및 미보유<br>• 공공기술분야로서 중견 · 중소기업이 참여하는 산업생태계 취약<br>• 원천 및 핵심기술 카르텔 및 신규투자 정체<br>• 해저터널 시공실적 미보유<br>• 해저심부에 건설되는 장대터널의 환기 및 방재 설계능력과 운영기법 부족<br>• 해저터널 설계 및 시공 관련 기업의 숙련 인력 부족 |
| **Opportunity** | **SO전략** | **WO전략** |
| • 환경문제 해결 및 편의성에 대한 요구 증대에 따라 국가 건설교통 관련 정책도 미래 수요 예측 및 관련 기술 개발에 맞추어 수정되고 있는 상황<br>• 터널의 대심도화/초장대화<br>• 시설물 안전 및 환기/화재대응 관리 시장의 지속적인 성장 추세<br>• 국토수용력 한계, 환경보전, 경관보전 등을 위해 해저 개발 수요 확대<br>• 해외 신흥국 중심의 해저터널 건설 시공시장 확대 | • 국내 강점을 기반으로 한 건설교통 수요 맞춤형 해저터널 시공 기술 고도화<br>• 연장 약 10km내외 해저터널 설계기술력 및 염해 관련 터널 시공의 기존 개발실적으로 기반으로 적극적인 시장개척 및 해외진출 노력 전개 | • 시공자동화 및 지능형 첨단 유지관리를 위한 핵심원천 기술 확보<br>• 해외시장 진출이 가능한 국내 기업의 글로벌 경쟁력 강화 및 자립기술 확보를 위한 정부의 선제적 투자 |
| **Threat** | **ST전략** | **WT전략** |
| • 대형 시설물 공급 관련 민원 발생 증가 및 사회적 갈등 심화<br>• 해저지반 개발 증가에 따른 상호의존성 및 위험도 증가<br>• 해저지반 대상 전문 연구 인력 인프라 부족<br>• 해저지반 대상 연구기자재 분야의 인프라 해외의존도 심화<br>• 국내외 현재까지 시공된 해저터널은 약 40여개에 불과 | • 대형 시설물 공급 관련 민원감소 및 사회갈등 해소를 위한 선도기술 개발 추진<br>• 국민생활과 밀접한 국토교통 시설물 안전성 분야 등 신규시장 진출 기술 확보<br>• 국내 실증 기능 기술의 신뢰성 인지도 제고 | • 국내 민간기업의 기술력 증진을 위한 산학연 공동연구 추진<br>• 개발기술의 실증 확대 및 국내외 홍보 강화 |

# 제 4 장 사업기본설계 및 추진계획

## 제1절 사업 기본방향 설정

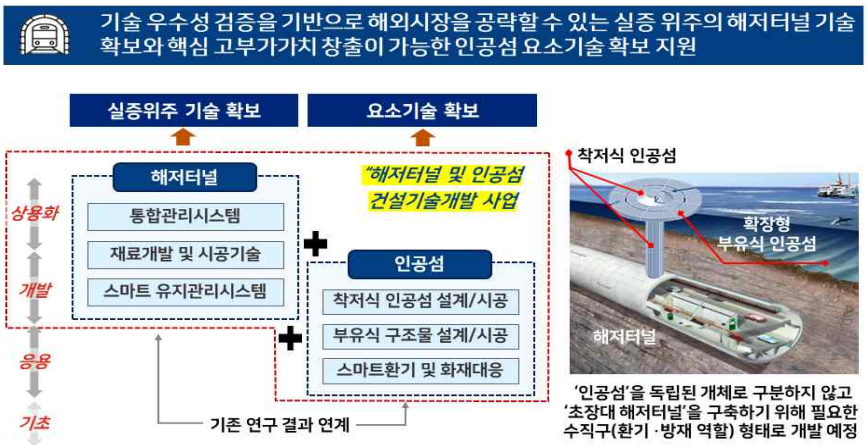
### 1. 사업의 개념 및 범위

- (개념) 국가 및 대륙간 '연결'에 대한 Needs를 충족할 수 있는 필요기술개발을 통해 정치·경제·교통·물류의 중심 국가로서의 역할 추구




<본 사업의 개념>

- (범위) 본 사업에서는 해저터널 및 인공섬의 필요 요소기술개발을 중점적으로 지원하고자 함




<본 사업의 범위>

## 2. 사업비전 및 목표

| | |
|---|---|
| **비전** | **글로벌 미래성장동력 확보를 위한<br>해저터널 · 인공섬 건설기술 자립화** |
| **사업 목적** | **실제 건설 가능성이 높은 해저터널 · 인공섬 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발하는 '사업 수주 연계 R&D 사업'을 추진하고 핵심기술의 자립화 실현** |
| **추진 목표** | • **해저터널 · 인공섬 글로벌 경제 활성화:**<br>☑ 세계시장 점유율: ('18년) 4.5% → ('24년) 5.5% → ('40년) 6.5%<br>☑ 실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주: ('24년) 국내 1건 → ('40년) 해외 1건<br>• **해저터널 · 인공섬 기술 경쟁력 확보:**<br>☑ 해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소: ('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 20%<br>☑ 해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보: ('24년) 34건 확보<br>☑ 연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장적용 기술검증: ('24년) 56% → ('40년) 100%<br>• **해저터널 · 인공섬 프로젝트를 통한 고용창출:**<br>☑ 해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출: ('40년) 68,696명 |
| **사업 추진전략** | • 기업의 과제주관 및 참여 확대를 통한 사업화 성과 제고<br>• 산학연 협력 생태계 기반 조성<br>• 부처간 연계·협력 네트워크 구축을 통한 성과물의 활용성 제고 |
| **중점 추진 내용** | **Ⅰ. 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화**<br>① BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축<br>② 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화<br>③ 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 시스템<br>**Ⅱ. 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기 · 방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발**<br>④ 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계 · 시공 기술<br>⑤ 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계 · 시공 기술<br>⑥ 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 |

## 3. 사업 추진 전략

[추진전략1] 기업의 과제주관 및 참여 확대를 통한 사업화 성과 제고

- 기술개발 성과물이 현장적용 및 실용화로 연계될 수 있도록 기업의 참여 및 주관을 확대하고 단계별 기술개발 전략 수립
  - 수요자 관점의 연구개발을 확대하기 위해 기업을 주관기관으로 하여 컨소시엄을 형성하고 세부 요소 기술은 출연연구소, 대학이 역할 분담

[추진전략2] 산학연 협력 생태계 기반 조성

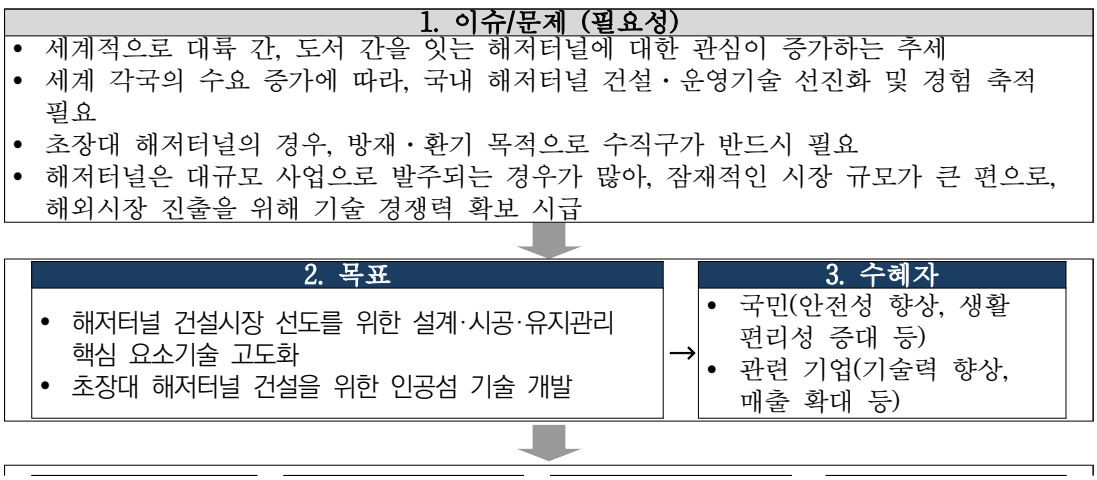
- 과제유형 및 특성, R&D 성과의 최종 수혜자, 정부와 민간의 역량을 고려한 정부와 민간의 명확한 역할 구분 및 유기적인 협력체계 구축
- 중점분야 및 세부과제의 기술분야별 TRL 단계와 R&D 결과물의 수혜자 등의 특성을 종합적으로 고려한 사업추진 전략 구축

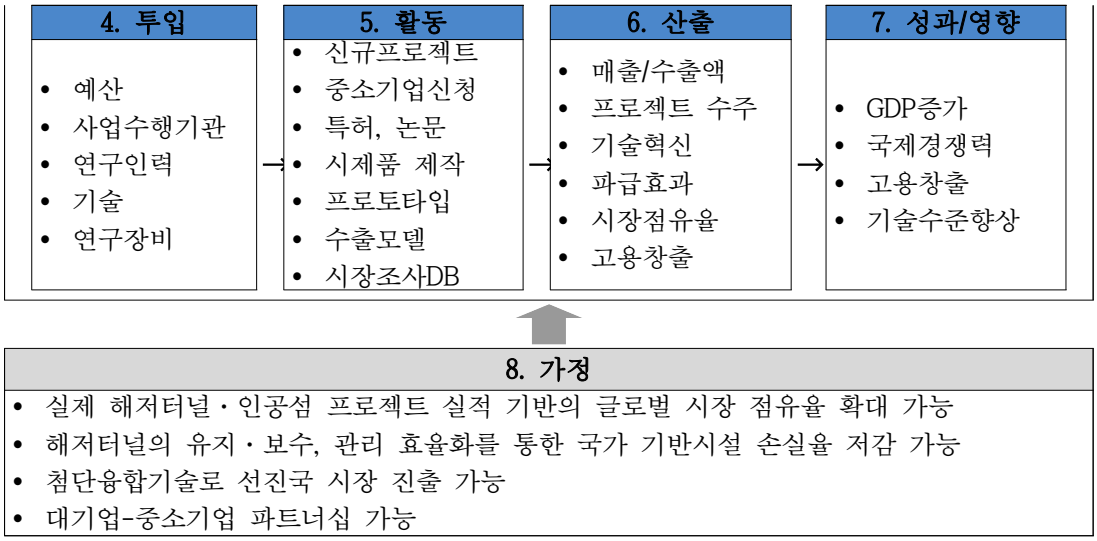
[추진전략3] 부처간 연계·협력 네트워크 구축을 통한 성과물의 활용성 제고

- 해저터널·인공섬의 관리주체가 국토교통부, 해양수산부 등으로 다원화될 가능성이 있기 때문에 부처간, 중앙정부-지자체간의 파이프라인 구축
- 다양한 이해관계 충돌을 완화하기 위해 관계기관의 협의체를 구성하고 산·학·연 등 다양한 부문 간의 협력적 네트워크 구축

## 4. 세부 사업 내용

### 가. 사업 논리모형 구축






**<해저터널·인공섬 기술개발 사업의 논리적 모형>**

## 나. 성과목표/지표 설정

**<성과목표 및 지표 총괄표>**

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="5">내 용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="5">• 글로벌 미래성장동력 확보를 위한 해저터널 건설기술 자립화</td></tr>
<tr><td>성과목표</td><td colspan="5">• (기술적) 해저터널·인공섬 건설 핵심 요소 기술 확보<br>• (경제적) 제주-목포 간 해저터널·인공섬 프로젝트로의 핵심기술 적용<br>• (사회적) 사회적 효과 제고를 위한 정책활용도 향상</td></tr>
<tr><td>단계별<br>성과목표</td><td colspan="3">1단계(2021~2023)</td><td colspan="2">2단계(2024~2027)</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3">• 해저터널·인공섬 핵심요소 기술 확보</td><td colspan="2">• 현장적용·검증을 통한 기술 고도화</td></tr>
<tr><td rowspan="8">성과지표</td><td>지표명</td><td>지표구분</td><td>가중치</td><td>지표명</td><td>지표구분</td><td>가중치</td></tr>
<tr><td>학술지게재 논문지수</td><td>질</td><td>0.2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>특허 SMART</td><td>질</td><td>0.2</td><td>특허 SMART</td><td>질</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>기술실시계약 건수</td><td>양</td><td>0.3</td><td>기술실시계약 건수</td><td>양</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td>핵심 요소기술 검증 성공률</td><td>질</td><td>0.3</td><td>핵심 요소기술 검증 성공률</td><td>질</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>기술사업화 효과</td><td>양</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>정책활용도</td><td>질</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td>합계</td><td></td><td>1.0</td><td>합계</td><td></td><td>1.0</td></tr>
</table>

## 다. 전략사업 및 세부과제 도출

| 분야 | 전략 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | [A-1] BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | • BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발 |
| | | • 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발 |
| | | • BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| | | • 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 |
| | | • 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| | [A-2] 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | • 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 |
| | | • 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 |
| | | • 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| | | • 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 |
| | | • 터널 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 |
| | | • 해저터널용 균열 및 방식을 고려한 고내구성 하이브리드 지보 시스템 개발 |
| | [A-3] 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 시스템 | • IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발 |
| | | • 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발 |
| | | • 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발 |
| | | • 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발 |
| | | • BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 |
| | | • 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축 |
| | | • 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축 |
| | | • 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | [B-1] 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | • 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발 |
| | | • 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술 |
| | | • 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술 |
| | | • 해양환경 특성을 반영한 초경량·고강도 콘크리트 기술 |
| | [B-2] 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | • 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술 |
| | | • 부유식 구조물 고정을 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 |
| | | • 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술 |
| | | • 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술 |
| | [B-3] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | • 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술 |
| | | • AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발 |
| | | • RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발 |
| | | • 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술 |
| | | • 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발 |
| | | • 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발 |
| | | • 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발 |

# 제2절 사업 추진체계 및 운영/관리 방안

## 1. 사업 추진체계




<사업 추진체계>

<추진주체별 역할 및 기능>

| 주체 | 역할 및 기능 |
|---|---|
| 국토교통부 | • 사업총괄 부처<br>• 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정<br>• 사업 기본·시행계획 수립, 사업 투자 운선순위 결정 |
| 국토교통과학 기술위원회 | • 구성: 국토교통부 실·국장 + 과장(사업담당관) + 외부 민간전문가<br>- 사업 및 정책 목표에 부합하는 운영 계획, 통합관리방안 등 협의. 예산운용· 사업추진 계획 수립 등 총괄 계획 수립 및 조정 역할 수행, 세부추진계획 적절성 점검, 평가위원회 최종 추인 |
| 전문기관 | • 기술개발 과제 결과물의 성과연계 및 현장적용 및 실용화 성과창출 극대화를 위한 통합지원<br>- 사업추진 및 과제기획 방향성 설정, 사후관리 등의 총괄 운영기능을 부여함<br>- 기술개발 결과물의 현장적용을 위한 사업화 연계 기능<br>• 사업관리 실무지원<br>- 예산 운용계획 지원, 선정평가, 협약체결, 중간 및 최종평가 등 사업 선정·관리 지원, 기술이전 및 사업화 등 성과확산 지원, 성과평가, 사후관리 |
| 사업단 | • 업무추진 관리 및 원활한 업무 수행지원을 위한 운영관리 전담 행정조직 구성<br>- 사업 추진계획 수립, R&D발전전략 및 중장기로드맵 수립 지원<br>- 기술수요조사 관리 및 조정 |
| 사업주관 및 참여기관 | • 산업체 주도의 산학연 컨소시엄으로 프로젝트(전략과제) 수행 |

## 2. 사업운영/관리 전략

- [전략1] 사업기획 및 평가 및 관리 이원화
  - 전담기관의 사업관리실이 선정평가·중간/최종평가, 성과관리·확산을 담당, 공공과 민간의 적절한 역할 분담을 통해 전문성 및 공정성을 동시 달성하는 관리체계로 운영
  - 정부주도의 원천기술개발 및 기존 성과 연계기술 개발, 산업체 주도의 상용기술 개발 추진
- [전략2] 사업단 분야 내 핵심기술별 공공-민간역할 분담을 통한 현장적용 및 실증 강화
  - 세부과제 분야 내 핵심기술을 공공주도형, 민간주도형, 공공-민간 합동형으로 구분
  - 산·학·연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 사업단을 중심으로 각각의 연구성과를 유기적으로 종합화하여 연구효율을 극대화
- [전략3] 사업단 산하의 각 세부과제별 협동연구체계 구축
  - 연구범위 및 방향을 세부과제간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과 도출을 위해 필요에 따라 연구장비 및 인프라를 공유하는 방안을 마련
  - 유사한 목표를 갖는 세세부 기술들 사이의 상호 접근방법을 다양하게 하여 최종 연구개발 성과의 성공률과 실용화율을 높이기 위해 부분적인 경쟁체계 도입 유도
- [전략4] 세부과제 분야 및 핵심기술별 맞춤형 추진전략 구축

## 3. 투자계획 및 재원확보 방안

- 사업총괄 투자계획

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 총사업비 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 합계 | 국고 | 민자 |
| R&D | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계・시공・유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 전략1 | 11,550 | 8,687.5 | 2,862.5 |
| | | 전략2 | 20,614.5 | 15,458 | 5,156.5 |
| | | 전략3 | 14,510 | 10,975 | 3,535 |
| | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | 전략4 | 12,430 | 9,250 | 3,180 |
| | | 전략5 | 9,580 | 7,400 | 2,180 |
| | | 전략6 | 10,076.25 | 7,811 | 2,265.25 |
| 총 연구비 | | | | | 78,760.75 |
| 국고 | | | | | 59,581.5 |
| 민자 | | | | | 19,179.25 |

■ 사업예산의 적정성 검토

◉ 동 사업의 기획과제인 총 6개의 세부전략을 유사 프로젝트와 비교한 결과, 대부분의 과제당 연평균 연구비는 국토부 기존 유사프로젝트의 과제당 연평균 연구비에 수렴하는 것으로 나타나 사업비의 구성은 적정한 것으로 판단됨

- 다만, 일부 1개 전략(전략4. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술)에 포함된 과제의 연평균 연구비가 기존 유사프로젝트 대비 높은 것으로 나타났으나, 전체 평균 규모 범위 내에 존재하므로 사업비의 구성은 적정한 것으로 판단됨

■ 재원조달계획

◉ 본 사업은 2020~2024년까지 5년 간 총 사업비 약 788억 원을 조달하여 운영하며, 총사업비 중 약 596억 원을 국토교통부가 정부출연금 형태로 지원하고 나머지 192억 원은 민간의 분담금으로 충당 계획

◉ 신규 R&D예산 1,116억 원 중 10억 원(초기년도 국고 지원 금액)이 차지하는 비율은 0.9%로 동 사업 추진에 따른 사업별 예산 균형에 저해되지 않는 것으로 판단

**<신규 R&D가용 예산 예측>**

(단위 : 억 원)

| 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국토교통 R&D 예산(전망) | 7,112 | 7,994 | 8,985 | 10,099 | 11,352 | 34,190 |
| 신규 R&D 가용예산 | 1,116 | 1,255 | 1,410 | 1,585 | 1,782 | 12,819 |
| 동 사업 소요예산(국비) | 9.96 | 14.34 | 14.63 | 12.02 | 8.61 | 59.58 |
| 비율(%)* | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 |

*비율 : 동 사업비/신규 R&D 가용예산

# 제 5 장 사업 상세설계

## 제1절 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계시공유지관리 핵심 요소기술 고도화

### 1. BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축

(기술개발 배경 및 필요성) 해저터널연구단에서 시도되어 지반예측, 설계자동화, 공정관리, 리스크 분석 등을 통합하는 솔루션으로 소정의 성과를 거두었으나, 해외시장진출 및 제품화를 위한 upgrade를 위하여 지속적인 연구가 필요

<개발기술별 기술개발 방향 및 성능목표>

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| BIM 기반 해저터널 건설 통합 플랫폼 개발 | • 해저터널 인공섬 BIM 모델링 및 시공 중 BIM 리스크 연계 기술<br>• 실시간 시공정보 데이터 취득 및 가시화 시스템 및 BIM 기반 실시간 리스크관리 프로그램 개발 | • 해저터널·인공섬용 BIM 라이브러리 구축<br>• BIM 설계정보와 시공정보의 맵핑 정확도 90% 이상 |
| TBM 터널 굴진효율 증대 기술 | • TBM 장착형 전방탐사장비 최적화 및 TBM 굴진정보를 이용한 전방예측기술<br>• 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술<br>• 고수압하에서 저비용 TBM 커터교체 장비 및 시스템 개발 | • TBM에 장착 가능한 시작품 1건 이상<br>• Clogging risk 평가방법(안) 제시<br>• 교체기술 적용가능 수압 15bar 이상 |

### 2. 해저터널 시공기술 고도화

(기술개발 배경 및 필요성) 초장대 해저터널 건설을 위해서는 TBM 적용이 필수적이며, 국내외적으로 TBM의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 TBM 관련 기술력이 부족한 실정

<개발기술별 기술개발 방향 및 성능목표>

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 대심도·고수압 해저지반 연약층 안정화 기술 | • 쉴드 TBM 굴진면 막장에 적용 가능한 수압 저감기술을 개발하기 위한 저비용 그라우팅 장비 및 시스템 개발<br>• TBM에 장착하여 굴착 전병면의 용출수를 동결하여 cutterhead intervention에 사용 가능한 차량 탐재용 포터블 동결시스템 개발 | • 12 bar 이상의 고수압에서 시공 가능한 그라우팅 시스템 구축<br>• 방사방향 동결속도 15cm/day 이상, 유출냉매 목표 온도차 20% 미만의 Portable 동결시스템 개발 |

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 | • 고수압의 해저터널에 적용 가능한 강섬유, 탄소섬유로 보강된 하이브리드 세그먼트 및 내진 성능이 우수한 seismic joint의 설계 및 시공기술 개발<br>• 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 및 해상수직구와 본선터널 접속부의 방수성능 향상을 위한 고성능·고내구성 지수재 및 차수장치 개발<br>• 해저터널에 NATM 공법 적용시 다양한 혼합재료, 섬유, 보강재를 활용한 콘크리트 라이닝의 최적 배합을 도출하여 성능을 개선하는 기술 개발 | • 지진 대응이 가능한 해저터널용 seismic joint 설계(안) 제시<br>• 해상수직구 접속부 상대변위 100mm 이상 수용 가능한 차수장치 개발<br>• 압축강도 35MPa 이상, 내염해성 통과전하량 1,500 Coulomb 이하의 콘크리트 재료 기술 |
| TBM 슬러리 처리 시스템 고도화 기술 | • Slurry TBM 장비의 본체에 장착하여 슬러리 처리 효율을 향상시킬 수 있는 소형 슬러리 처리 모듈 기술 개발 | • 기존 슬러리처리 플랜트 대비 소형 슬러리 처리모듈 시스템의 효율 70% 이상 확보 |

## 3. 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발

(기술개발 배경 및 필요성) 해저터널 유지관리를 위해서는 염해, 해수압 등 해저터널 특성에 적합한 유지관리기술이 중요하나, 현재 국내외적으로 해저터널 전용의 유지관리기술은 개발되지 않은 실정

**<개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표>**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해저터널 스마트케어 시스템 구축기술 | • 해저터널의 구조적 안정성을 평가하기 위하여 IoT 무선계측 시스템, 초고속 카메라, 레이저 스캔 영상과 가상물리 모델(CPS)을 연동하는 기술 개발<br>• 해저터널의 유지관리 자동화를 위한 응력계측 시스템 및 자동화 점검장비에 장착 가능한 균열폭/깊이 측정장비 기술 개발<br>• 환경조건별 IT 기반 열화 모델 개발 및 이를 활용한 상태예측 및 수명예측 시스템 기술 개발<br>• 염해환경에 노출되는 해저터널 유지보수에 적용가능한 내염성 화학반응 차단형 무기계 보수재료 및 내염 시공기술 개발 | • 해저터널 상태인식율 100% 및 상태진단율 100%<br>• 응력센서 민감도 0.1MPa, 및 균열센싱 시스템의 탐지성능 0.1 mm<br>• 라이닝 잔존수명 예측 정확도 80% 이상<br>• 내염 보수재료 시공장비 100% 자동화 |

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리기술 | • 해저터널의 점검진단/보수보강/평가용 DB를 활용한 BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 기술 개발<br>• 인공지능 딥러닝 기술을 활용하여 운용중인 해저터널 구조물의 시간이력 기반의 상태평가 시스템 기술 개발<br>• 해저터널 구조물의 생애주기(LCC) 특성을 고려한 잔존수명 및 유지관리 비용 예측이 가능한 최적의 유지관리 의사결정 시스템 개발<br>• 해저터널에 대한 설계·시공·손상 이력 관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 DB를 구축하여 자산관리를 위한 성능기반 평가시스템 기술 개발 | • BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축<br>• 시간 이력기반 구조물 성능평가 시스템 구축<br>• 최적의 유지관리 의사결정 시스템 구축<br>• 해저터널 자산관리 시스템 구축 |

## 제2절 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발

### 1. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술

(기술개발 배경 및 필요성) 현재까지의 설계기준은 인공섬 구조물에 특화되어 있지 않고, 주로 연안 및 근해(offshore structure) 구조물 중심으로 기술되어 있음

**<개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표>**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해양극한환경에 최적화된 고내구성 재료 및 한계상태 설계 기술 | • 인공섬 설계시 고려해야 할 설계하중 및 하중조건에 대한 분석을 통한 구조물 형식별 한계상태설계방법 개발<br>• 극한의 해양환경에 적용 가능한 초경량·고내구성 콘크리트 복합재료 개발 및 성능평가 기술 개발 | • 인공섬 구조물 한계상태 설계기준(안) 1건 이상<br>• 고내구성 콘크리트 공용수명 200년 이상 |
| 해양 구조물 모듈형 자동화 시공기술 및 안정성 평가 기술 | • 대형 모듈형 프리케스트 구조체를 제작, 운반, 설치 할 수 있는 자동화 시공 방법 및 시공관리 플랫폼 기술 개발<br>• 해양 구조물의 다양한 환경하중에 대하여 충분한 강성과 수밀성을 유지할 수 있는 안정성 평가 및 확보 기술 | • 비모듈형 시공방법 대비 20% 이상 공기 단축 및 시공비 10% 이상 절감<br>• 일체형 성능 대비 연결부 수밀성 95%이상, 연결부 강도 85% 이상 |

## 2. 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계 · 설치 기술

(기술개발 배경 및 필요성) 해상에서 발생하는 다양한 사고(선박충돌, 부식 손상, 계류선 절단, 좌굴, 침수, 표류 등)로 인한 해양 구조물의 구조안전성 평가의 필요성이 증가

**<개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표>**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술 | • 부유식 인공섬 건설을 위한 인공섬과 모듈, 모듈과 모듈간의 최적 설계 및 시공 기술<br>• 부유식 인공섬을 건설하기 위한 대형 모듈형 프리캐스트 구조체를 이송 및 설치기술 | • 모듈형 부유체 표준 설계모델 제시<br>• 모듈형 부유체 이송/설치 절차서 제시<br>• 유탄성 해석 기술 정확도 90% 이상 |
| 부유식 인공섬 안정성 확보 기술 | • 부유식 인공섬에 적용 가능한 복합형 계류시스템 및 앵커링 최적 설계 및 평가 기술<br>• 부유식 구조물의 구조적 안전성능을 평가하고 단계별 위험도를 분석하는 기술 | • 계류 및 앵커시스템 설계(안) 제시<br>• 구조손상도 평가기법 1건 이상<br>• 축소모형 성능평가 기법 1건 이상 |

## 3. 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발

(기술개발 배경 및 필요성) 세계적으로 해저터널 건설이 증가함에 따라 밀폐공간의 특성을 가지는 터널 내에서의 화재사고 발생 시 대형 인명 피해사고 발생 가능성이 매우 높으므로 안전한 해저터널 구축을 위한 환기 및 화재 대응 기술의 중요성이 강조

**<개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표>**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해저터널 방재 설계 및 운영 기술 | • 터널 내 오염물질에 대한 실시간 모니터링 및 제어를 할 수 있는 스마트 에너지절감형 터널환기 운용시스템 통합기술 개발<br>• 실시간 해저터널 화재안전 통합 과제시스템 개발을 통한 화재사고 예방 서비스 및 긴급 현장 출동 서비스 제공<br>• 해저터널 안정성 확보를 위한 RAMS 관리방안 구축을 위한 안정성 유해인자 관리대상 선정 및 사용자 편의 터널 위험도 정량적 평가 방안 구축 | • 터널 환기운용시스템 전력 절감 : 20% 이상<br>• 화재(재난)안전 통합모니터링 및 관리자 기능 : TTA 소프트웨어 시험인증<br>• 방재시설에 대한 RAMS 통합 시스템 : 시범모델 구축 |
| 해저터널 위험도 평가 및 화재 대응 기술 | • 차세대 동력원인 LNG, 전기, 수소 차량에 대한 폭발특성을 분석하여 터널 방재시설 필요 기준 제시<br>• 해저터널의 운영 및 자동제어 시스템과 연동이 가능한 가압시스템을 개발하여 해저터널 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 통한 대피통로 설계/시공 기술<br>• 해저터널 운영환경 및 대피통로 설계에 따른 제연시스템, 소화시스템, 피난대피소와 연계하여 운영할 수 있는 스마트 대피통로 최적화 시제품 개발<br>• 밀폐된 터널에 적합한 위치추적기법 및 초기 화재 탐재기술을 활용한 고속 이동형 소화 시스템 개발 | • 열폭주/화재/폭발 위험성 평가: 표준 시나리오 및 피난 매뉴얼 제시<br>• 화재 차단율 : 90%이상<br>• 통로내부 차연성능 : 95% 이상<br>• 화재 감지 : 30초 이내<br>• 화재위치 도달 시간 : 5분이내 |

# 제 6 장 타당성 분석 및 기대효과

## 제1절 과학기술적 타당성 분석

### 1. 과학기술 개발계획의 적절성

#### 가. 기획과정의 적절성

- (사업기획 추진체계) 국토교통부에서 사업 총괄, 국토교통과학기술진흥원에서 사업을 주관하여 외부 용역 및 전문가 기술위원회 기획 등을 통한 체계적인 추진 수행
  - 수행기관으로 (주)다원전략컨설팅, 한국건설생활환경연구원 등 공동수행 체계로 환경분석, 기술수요, 추진전략, 사전타당성 분석 등 사업기획
- (기획 및 자문위원회 구성) 총괄기획위원회, 기획분과위원회(총3개 분과)별 전문성을 보유한 위원을 구성하여 체계적으로 운영
- (사업 기획 추진경과) 기획연구 협약 및 착수를 시작으로, 사업 TFT 회의 추진 및 의견 수렴 활동, 분과별 의견 수렴 활동을 통해 사업기획을 추진

#### 나. 사업목표 설정의 적절성

- (목표1) 해저터널·인공섬 글로벌 경제 활성화
  - (세계시장 점유율): ('18년) 4.5% → ('24년) 5.5% → ('40년) 6.5%
  - (실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주) ('24년) 국내 1건 → ('40년) 해외 1건
- (목표2) 해저터널·인공섬 기술 경쟁력 확보
  - 해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소: ('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 25%
  - 해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보: ('24년) 34건 확보
  - 연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장작용 기술검증: ('24년) 56% → ('40년) 100%
- (목표3) 해저터널·인공섬 프로젝트를 통한 고용창출
  - 해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출: ('40년) 68,696명

### 다. 구성 및 내용의 적절성

- 2개 중점분야 및 세부과제별 기업중심의 컨소시엄을 구성하여 상용화 관련 구성기술을 개발할 수 있도록 함으로써 '사업수주형 R&D 사업'이라는 목표를 달성하기에 적합
- Value-chain(가치사슬) 전반에 걸친 대·중·소 기업의 동반성장형 기술개발 사업을 추진함으로써 정부의 핵심 정책 트렌드와 부합하는 추진체계 및 프로세스를 적용
- 과제 발굴 및 선정 과정에서는 공공성, 시장성, 기술성 측면에서 세부 선정기준을 설정함으로써 객관성을 제고하였으며, 선정단계별로 실무위원 뿐만 아니라 외부전문가들의 의견을 폭넓게 청취하여 선정의 투명성 및 공정성 제고

## 2. 과학기술 개발의 성공가능성

- 기술추세 분석
  - 대부분 발전기 단계로 연구개발사업으로 추진되기 위한 적합한 시점으로 판단됨
    - 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업에서 추진되는 6개 전략별 국내 기술발전단계를 추정한 결과 전략1~4, 6은 발전기, 전략4는 성숙기 단계로 나타남
- 과학기술 수준 분석

**<미국 특허 내 대한민국 특허기술경쟁력지수(TS)와 시장확보력지수(PFS)>**

| 전략기술명 | | 특허 건수 | 영향력 지수(CPP) | 경쟁력 지수(TS) | 시장확보력 지수(PFS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 전략1 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 1 | - | - | 0.615 |
| 전략2 | 해저터널 시공기술 고도화 | 2 | 0.136 | 0.271 | 0.431 |
| 전략3 | 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 3 | - | - | 1.109 |
| 전략4 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 11 | 0.148 | 1.629 | 0.881 |
| 전략5 | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계・설치 기술 | 22 | 0.383 | 8.437 | 1.138 |
| 전략6 | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 12 | 0.334 | 4.002 | 1.010 |

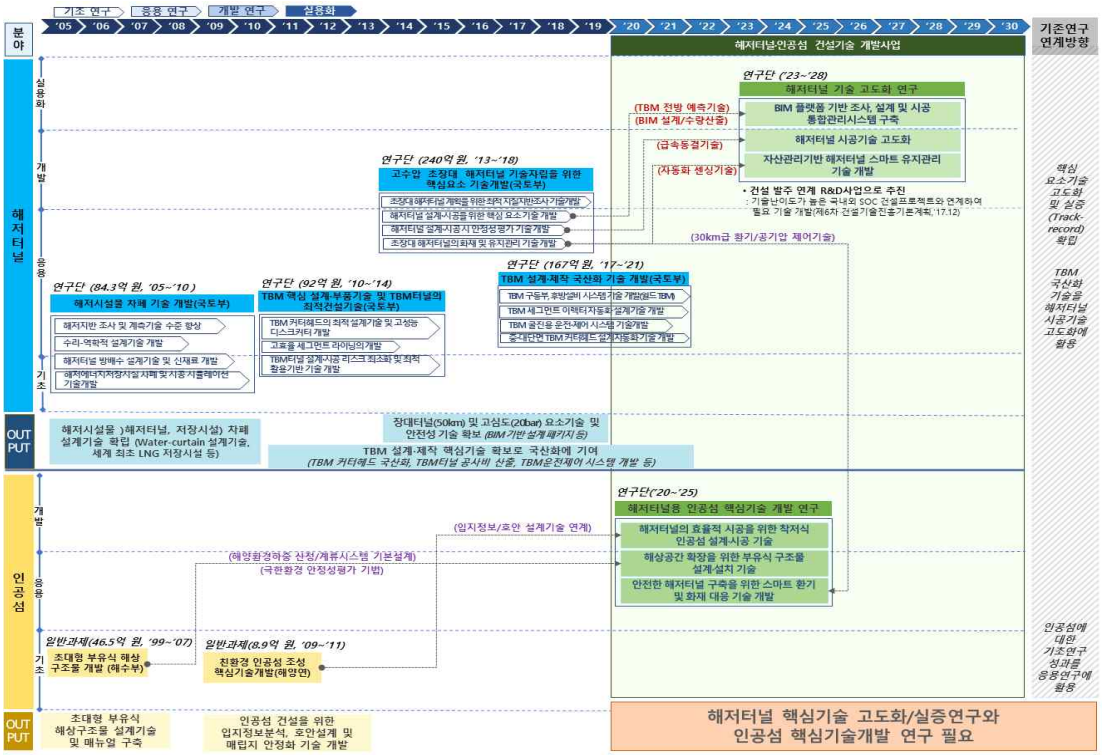
## 3. 기존 사업과의 중복성 및 연계방안

### 기존 사업과의 중복성 및 차별화

(건설기술연구사업과의 비교) 본 사업의 경우 해저터널 및 환기/방재용 인공섬을 구축하기 위한 기술 개발에 초점을 두고 있어, 사회기반구조물(교량·터널·특수구조물) 전체를 사업범위로 설정하여 진행되는 건설기술연구사업과는 차별화됨

(국토교통기술촉진연구사업, 해양청정에너지기술개발사업과의 비교) 본 사업의 경우 창의도전 연구, 연구 장비 인프라, 정책개발 등 국토교통 기술 촉진을 위한 연구인프라에 초점이 두는 반면, 해저터널, 인공섬 등 차세대 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과는 연구대상이 다름

### 기존 사업 및 타부처와의 연계협력방안




<기존 사업 및 타부처와의 연계협력방안>

## 제2절 정책적 타당성 분석

### 1. 정부 지원의 필요성

■ 사업추진의 시급성

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 기획은 국가 최상위 국토계획의 실천수단으로써의 당위성을 가짐

- 해저터널은 국토종합계획에서 제시한, 안전한 국토공간 조성을 위한 실천 수단과 방법의 제시가 가능함

◉ 정부의 의지로 추진하고 있는 타 과제와 연계 추진함으로써 정부정책의 추진방향을 보다 명확히 하고, 활용성을 극대화할 수 있음

■ 정부주도 사업 추진의 적절성

◉ 정부에서 공공주도로 해저터널 관련 산업 R&D 투자를 통해 일반 기업의 참여를 확대하고 역량을 증대시켜야 함

- 우리나라 R&D 인프라의 양적인 수준은 전세계 국가들과 견주어도 손색이 없으나, R&D 투자가 공공보다는 민간에 의해 주도되고 있어, 공공재에 대한 R&D 인프라 확대를 기대하기에 무리가 있음

### 2. 정책의 일관성: 상위계획과의 부합성

■ 상위 계획과의 부합성

◉ 검토결과, 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 기획은 상위계획과의 부합성이 매우 높기 때문에, 정책적 타당성이 높은 것으로 평가됨

- 국가정책상에서, 가장 큰 흐름의 국정기조는 중소기업 진흥·ICT융합·첨단기술융합·국민안전·해외시장진출로써, 이는 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 방향성에 매우 부합

- 국토정책도 ICT융합·지능형인프라 등 해저터널·인공섬과 연관성이 높은 전략들을 제시하고 있기 때문에, 동 사업과의 부합성이 매우 높은 것으로 판단

- 연구개발정책은 국가연구개발사업과 국토교통연구개발사업 모두에서 ICT융합·지능형인프라·안전관리체계를 강조하여, 동 사업을 통해 구체적 실현이 가능할 것으로 평가

- 국가안전정책에서 제시하고 있는 이상기후 대응 안전관리·미래환경 대응 안전관리·ICT기반 진단기술·유지관리기술 등의 전략 또한 본 사업을 통해 실현가능

### 사업 추진체계 및 추진의지

- 연구개발사업 기획의 추진체제는 해당사업을 추진하는데 필요한 주체들이 추진체계상에 포함되어 있고, 사업주체의 준비정도와 사업추진 의지가 높은 것으로 평가되는바, 타당성이 높다고 판단됨
  - 정책결정을 위한 정부부처, 사업관리를 위한 연구관리전문기관, 연구과제를 수행할 연구단을 국토교통부-국토교통과학기술진흥원-연구단의 협력체계로 적절하게 구성
  - 또한, 사업기획 연구진은 정책결정자인 국토부의 의견과 총괄위원회·총괄기획위원회·기술기획위원회 등 관련 분야의 외부전문가 의견을 충분히 수렴한 것으로 평가

## 3. 사업 추진상의 위험요인 : 재원조달 가능성

### 재원조달 확보방안

- 재원조달 문제로 인한 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

### 위험요인 대응 및 모니터링 방안: 법/제도적 측면

- 법적·제도적 위험요인은 중립으로 평가되나, 타 법령과의 충돌 가능성은 없는 것으로 판단

## 제3절 경제적 타당성 분석

동 사업의 총 비용 및 편익 추정을 통한 경제적 타당성 분석 결과 B/C Ratio는 1.02로 경제적 타당성을 확보한 것으로 판단

**<총 비용 및 편익분석 결과>**

(단위: 억 원)

| 연도 | 총비용 | | 총 편익 | |
|---|---|---|---|---|
| | 비용 | 현재가치 | 편익 | 현재가치 |
| 2020 | 99.7 | 95.41 | - | - |
| 2021 | 143.47 | 131.38 | - | - |
| 2022 | 146.33 | 128.23 | - | - |
| 2023 | 120.22 | 100.81 | - | - |
| 2024 | 86.13 | 69.12 | - | - |
| 2025 | | | | |
| 2026 | | | | |
| 2027 | | | | |
| 2028 | - | - | 75.52 | 50.82 |
| 2029 | - | - | 76.27 | 49.11 |
| 2030 | - | - | 76.97 | 47.43 |
| 2031 | - | - | 77.62 | 45.77 |
| 2032 | - | - | 78.24 | 44.15 |
| 2033 | - | - | 78.81 | 42.56 |
| 2034 | - | - | 79.36 | 41.01 |
| 2035 | - | - | 79.88 | 39.50 |

(단위: 억 원)

| 연도 | 총비용 | | 총 편익 | |
|---|---|---|---|---|
| | 비용 | 현재가치 | 편익 | 현재가치 |
| 2036 | - | - | 80.37 | 38.03 |
| 2037 | - | - | 80.84 | 36.60 |
| 2038 | - | - | 81.29 | 35.22 |
| 2039 | - | - | 81.72 | 33.88 |
| 2040 | - | - | 82.13 | 32.59 |
| 합계 | 595.9 | 524.94 | 1,029.03 | 536.67 |

# 제4절 기대효과

## 1. 과학기술적 기대효과

- 旣 개발된 해저터널 건설 기술 고도화 및 실증 연구를 진행하여 상용화를 위한 기술 확보
- 해저터널 건설 기술 고도화 및 실증연구를 통해 기존의 해저터널 건설 기술의 완성도를 높이고 해저터널 건설 관련 산업의 성장을 견인할 경쟁력 확보 가능
- 기술적으로 종속적인 문제점을 내포하고 있던 인공섬 건설 기술에 대한 독창적인 기술 확보로 국내 기술의 자립화 및 해외 의존에서 탈피

## 2. 경제사회적 기대효과

- 본 사업은 2028년부터 2040년까지의 기간 동안 생산유발효과(1,113,269억원), 부가가치유발효과(478,228억원), 고용유발효과(860,698명)를 나타낼 것으로 추정

**< '해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업' 경제적 파급효과>**

(단위 : 억 원, 명)

| 매출추정액 | 생산유발효과 | 부가가치유발효과 | 고용유발효과 |
|---|---|---|---|
| 1,112,157 | 1,113,269 | 478,228 | 860,698 |

* 본 사업은 R&D 이후 회임기간을 지난 시점부터 8년간(2028~2040년) 발생되는 사업화매출액을 기준으로 경제적 파급효과를 추정

# 목 차

**제 1 장 사업 개요 ····· 3**
제1절 사업 추진배경 및 필요성 ····· 3
1. 사업 추진배경 ····· 3
2. 사업추진 필요성 ····· 18
제2절 사업 추진근거 ····· 25
1. 법/제도 ····· 25
2. R&D정책 및 부처 계획 ····· 26
제3절 사업 기획 방법 및 추진 경과 ····· 27
1. 사업 기획 프로세스 및 방법론 ····· 27
2. 사업 기획 추진체계 및 경과 ····· 30

**제 2 장 대내·외 환경분석 ····· 43**
제1절 해저터널·인공섬의 개념 및 미래사회 환경변화 ····· 43
1. 해저터널·인공섬의 개념 ····· 43
2. 미래사회 환경변화 분석을 통한 해저터널 산업의 전망 ····· 48
제2절 국내·외 해저터널 정책동향 ····· 59
1. 주요국 해저터널 산업 정책동향 ····· 59
2. 국내 해저터널 산업 주요 정책동향 ····· 68
제3절 국내·외 해저터널 관련 기술개발 동향 ····· 77
1. 해저터널 관련 기술개발 현황 ····· 77
2. 주요국 해저터널 관련 기술개발 동향 ····· 83
3. 국내 해저터널 관련 기술개발동향 ····· 95
4. 국내외 주요 해저터널용 인공섬 프로젝트 ····· 99
제4절 국내·외 해저터널·인공섬 산업 및 시장동향 ····· 104
1. 글로벌 해저터널·인공섬 산업 및 시장동향 ····· 104
2. 국내 해저터널 산업 및 시장동향 ····· 117
제5절 대내·외 환경분석 시사점 ····· 131
1. 미래사회 환경변화에 따른 시사점 ····· 131
2. 정책측면의 시사점 ····· 132
3. 산업 및 시장 측면의 시사점 ····· 133

**제 3 장 사업 기본설계를 위한 분석 ····137**
제1절 국내 R&D 역량 분석 ····137
1. 해저터널·인공섬 관련 R&D 투자 및 성과 현황 ····137
2. 해저터널 관련 선행사업 성과 현황 ····146
3. 주요부처 유사/중복 사업 분석 ····162
4. 해저터널 관련 기술역량 분석 ····182
5. R&D 인프라 및 연구인력 현황 ····271
제2절 해저터널 R&D 수요조사 ····304
1. 수요조사 개요 ····304
2. 수요조사 항목별 분석결과 ····306
3. 수요조사 결과분석 ····310
제3절 국내 R&D 역량 및 수요조사 시사점 ····317
1. 국내 R&D 역량 측면의 시사점 ····317
2. 수요조사 측면의 시사점 ····318
제4절 사업 추진방향 도출 ····319
1. SWOT 분석 ····319
2. 4대 관점의 사업 추진방향 ····320

**제 4 장 사업의 기본설계 및 추진계획 ····325**
제1절 사업 기본방향 설정 ····325
1. 사업 기본방향 설정 프로세스 ····325
2. 사업개념 및 범위 ····325
3. 사업목적 및 추진전략 ····328
4. 세부 사업 내용 ····337
제2절 사업 추진체계 및 운영/관리 방안 ····362
1. 사업 추진체계 ····362
2. 사업운영/관리 전략 ····365
3. 투자계획 및 재원확보 방안 ····378

**제 5 장 사업 상세설계 ····393**
제1절 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화 ····393
1. BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 ····394
2. 해저터널 시공기술 고도화 ····423
3. 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 ····459
제2절 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 ····493

1. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 ····494
2. 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 ····522
3. 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 ····548

**제 6 장 타당성 분석 및 기대효과 ····587**
제1절 과학기술적 타당성 분석 ····587
1. 과학기술 개발계획의 적절성 ····587
2. 과학기술 개발의 성공가능성 ····593
3. 기존 사업과의 중복성 및 연계방안 ····597
제2절 정책적 타당성 분석 ····606
1. 정부 지원의 필요성 ····606
2. 정책의 일관성 : 상위 계획과의 부합성 ····610
3. 사업 추진상의 위험요인 : 재원조달 가능성 ····629
제3절 경제적 타당성 분석 ····638
1. 경제성 분석 개요 ····638
2. 비용편익분석 전제조건 ····642
3. 편익추정 ····645
제4절 비용편익 분석 종합 ····649
1. 과학기술적 기대효과 ····650
2. 경제사회적 기대효과 ····651

**부록 ····661**
[부록 1] 기술수요조사지 ····661
[부록 2] 기술수준 평가지 ····667
[부록 3] 기술우선순위 평가지 ····705
[부록 4] 투자의향서 ····720

# 표 목 차


〈〈표 Ⅰ-1〉 해외 산악터널 화재사례 ····4
〈표 Ⅰ-2〉 해외 해저터널 화재사례 ····5
〈표 Ⅰ-3〉 향후 발주 예상 해외 대규모 해저터널 프로젝트 현황 ····7
〈표 Ⅰ-4〉 해저터널·인공섬 기술경쟁력 ····16
〈표 Ⅰ-5〉 주요 정책 현황 ····18
〈표 Ⅰ-6〉 주요 해저터널 공사기간 및 공사비 ····23
〈표 Ⅰ-7〉 관련주체별 세부역할 ····31
〈표 Ⅰ-8〉 총괄기획위원회 명단 ····32
〈표 Ⅰ-9〉 설계/시공 분과 ····33
〈표 Ⅰ-10〉 환기/유지관리 분과 ····34
〈표 Ⅰ-11〉 인공섬 분과 ····35
〈표 Ⅱ-1〉 해저터널의 유형 ····44
〈표 Ⅱ-2〉 해저터널의 용도 ····45
〈표 Ⅱ-3〉 인공섬의 분류기준 및 주요 특성 ····46
〈표 Ⅱ-4〉 인공섬의 분류기준 및 주요 특성 ····47
〈표 Ⅱ-5〉 사회적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향 ····52
〈표 Ⅱ-6〉 기술적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향 ····53
〈표 Ⅱ-7〉 환경적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향 ····56
〈표 Ⅱ-8〉 경제적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향 ····58
〈표 Ⅱ-9〉 정책적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향 ····58
〈표 Ⅱ-10〉 국외 해저터널 관련 주요 기업 현황 ····104
〈표 Ⅱ-11〉 국외 터널 시장규모 및 전망 ····108
〈표 Ⅱ-12〉 국외 해저터널 시장규모 및 전망 ····109
〈표 Ⅱ-13〉 국외 터널 시장 대비 해저터널 시장 비중 ····110
〈표 Ⅱ-14〉 국외 인공섬 시장규모 및 전망 ····114
〈표 Ⅱ-15〉 향후 인공섬 프로젝트 현황 ····116
〈표 Ⅱ-16〉 국내 해저터널 관련 지역별 기업 비중 현황 ····117
〈표 Ⅱ-17〉 국내 해저터널 관련 주요 기업 현황 ····118
〈표 Ⅱ-18〉 국내 터널 시장규모 및 전망 ····123
〈표 Ⅱ-19〉 국내 터널 시장 대비 해저터널 시장 비중 ····124
〈표 Ⅱ-20〉 호남~제주 해저터널 프로젝트 ····128
〈표 Ⅱ-21〉 한·일 해저터널 노선 계획(안) ····129

〈표 Ⅱ-22〉 한·중 해저터널 노선 계획(안) ·····130
〈표 Ⅲ-1〉 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황 ·····139
〈표 Ⅲ-2〉 해저터널 관련 연구개발 투자현황 ·····142
〈표 Ⅲ-3〉 인공섬 관련 연구개발 투자현황 ·····145
〈표 Ⅲ-4〉 해저시설물 차폐 연구단 연구개발과제 구성 ·····146
〈표 Ⅲ-5〉 각 세부별 성과 현황 ·····147
〈표 Ⅲ-6〉 해저터널 연구단 연구개발과제 구성 ·····150
〈표 Ⅲ-7〉 (1세부) 성과 현황 및 계획 ·····151
〈표 Ⅲ-8〉 (2세부) 성과 현황 및 계획 ·····151
〈표 Ⅲ-9〉 (3세부) 성과 현황 및 계획 ·····152
〈표 Ⅲ-10〉 (4세부) 성과 현황 및 계획 ·····152
〈표 Ⅲ-11〉 해저시설물 차폐기술 개발 사업 현황 ·····154
〈표 Ⅲ-12〉 해저시설물 차폐기술 개발 사업과의 비교 ·····155
〈표 Ⅲ-13〉 TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 현황 ·····156
〈표 Ⅲ-14〉 TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 과의 비교 ···157
〈표 Ⅲ-15〉 TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 현황 ·····158
〈표 Ⅲ-16〉 TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업과의 비교 ·····159
〈표 Ⅲ-17〉 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업 현황 ·····160
〈표 Ⅲ-18〉 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업과의 비교 ·····161
〈표 Ⅲ-19〉 유사사업 분석대상 ·····162
〈표 Ⅲ-20〉 건설기술연구사업 현황 ·····164
〈표 Ⅲ-21〉 건설기술연구사업과의 비교 ·····165
〈표 Ⅲ-22〉 국토교통기술촉진연구사업 현황 ·····166
〈표 Ⅲ-23〉 국토교통기술촉진연구사업과의 비교 ·····167
〈표 Ⅲ-24〉 해양청정에너지기술개발사업 현황 ·····168
〈표 Ⅲ-25〉 해양청정에너지기술개발과의 비교 ·····169
〈표 Ⅲ-26〉 특허/논문 동향분석 대상 핵심 키워드 ·····183
〈표 Ⅲ-27〉 특허/논문 기술경쟁력 분석지표 ·····185
〈표 Ⅲ-28〉 특허 시장확보지수 분석지표 ·····186
〈표 Ⅲ-29〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 특허 분석 개요 187
〈표 Ⅲ-30〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('090~'18) ·····189
〈표 Ⅲ-31〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ·····190
〈표 Ⅲ-32〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 구간별 특허출원 및

출원인 현황 ·····192
<표 Ⅲ-33> 출원인 국가별 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·····194
<표 Ⅲ-34> 출원인 국가별 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 관련 시장확보지수 ·····195
<표 Ⅲ-35> 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····196
<표 Ⅲ-36> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····196
<표 Ⅲ-37> 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····197
<표 Ⅲ-38> 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····197
<표 Ⅲ-39> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 특허 분석 개요 ·····198
<표 Ⅲ-40> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····200
<표 Ⅲ-41> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ·····201
<표 Ⅲ-42> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 구간별 특허출원 및 출원인 현황 ·····203
<표 Ⅲ-43> 출원인 국가별 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·····205
<표 Ⅲ-44> 출원인 국가별 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 관련 시장확보지수 ·····206
<표 Ⅲ-45> 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····207
<표 Ⅲ-46> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····207
<표 Ⅲ-47> 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····208
<표 Ⅲ-48> 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····208
<표 Ⅲ-49> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 특허 분석 개요 ·····209
<표 Ⅲ-50> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····211
<표 Ⅲ-51> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ·····212
<표 Ⅲ-52> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 구간별 특허출원 및 출원인 현황 ·····214
<표 Ⅲ-53> 출원인 국가별 ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·216
<표 Ⅲ-54> 출원인 국가별 ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 관련 시장확보지수 ···217
<표 Ⅲ-55> 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····218
<표 Ⅲ-56> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····218
<표 Ⅲ-57> 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····219
<표 Ⅲ-58> 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····219
<표 Ⅲ-59> ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 특허 분석 개요 220
<표 Ⅲ-60> ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····222
<표 Ⅲ-61> ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ·····223

〈표 Ⅲ-62〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 구간별 특허출원 및 출원인 현황 ·····225
〈표 Ⅲ-63〉 출원인 국가별 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·····227
〈표 Ⅲ-64〉 출원인 국가별 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 관련 시장확보지수 ·····228
〈표 Ⅲ-65〉 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····229
〈표 Ⅲ-66〉 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····229
〈표 Ⅲ-67〉 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····230
〈표 Ⅲ-68〉 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····230
〈표 Ⅲ-69〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 특허 분석 개요 ·····231
〈표 Ⅲ-70〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····233
〈표 Ⅲ-71〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ···234
〈표 Ⅲ-72〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 구간별 특허출원 및 출원인 현황 ·236
〈표 Ⅲ-73〉 출원인 국가별 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·····238
〈표 Ⅲ-74〉 출원인 국가별 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 관련 시장확보지수 ·····239
〈표 Ⅲ-75〉 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····240
〈표 Ⅲ-76〉 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····240
〈표 Ⅲ-77〉 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····241
〈표 Ⅲ-78〉 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····241
〈표 Ⅲ-79〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 특허 분석 개요 ·242
〈표 Ⅲ-80〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····244
〈표 Ⅲ-81〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황 ·····245
〈표 Ⅲ-82〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 구간별 특허출원 및 출원인 현황 ·····247
〈표 Ⅲ-83〉 출원인 국가별 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 관련 기술경쟁력지수 ·····249
〈표 Ⅲ-84〉 출원인 국가별 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 관련 시장확보지수 ·····250
〈표 Ⅲ-85〉 미국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····251

〈표 Ⅲ-86〉 유럽 내 특허 주요 출원인 현황 ·····251
〈표 Ⅲ-87〉 일본 내 특허 주요 출원인 현황 ·····252
〈표 Ⅲ-88〉 한국 내 특허 주요 출원인 현황 ·····252
〈표 Ⅲ-89〉 검색 DB 및 검색범위 ·····253
〈표 Ⅲ-90〉 논문 분석 지표 ·····254
〈표 Ⅲ-91〉 해저터널 건설기술 연도별 논문동향('00~'18) ·····255
〈표 Ⅲ-92〉 인공섬 건설기술 연도별 논문동향('00~'18) ·····259
〈표 Ⅲ-93〉 '해저터널·인공섬 건설 기술개발사업' 중점분야별 기술수준조사 방법 ·····263
〈표 Ⅲ-94〉 기술수준조사 대상 ·····264
〈표 Ⅲ-95〉 델파이조사 1·2차 설문항목 ·····268
〈표 Ⅲ-96〉 기술수준의 조작적 정의와 척도 ·····269
〈표 Ⅲ-97〉 국내 해저터널 관련 주요 기업 및 인력 현황 ·····271
〈표 Ⅲ-98〉 ㈜SK건설 기업개요 ·····274
〈표 Ⅲ-99〉 현대건설 기업개요 ·····274
〈표 Ⅲ-100〉 대우건설 기업개요 ·····275
〈표 Ⅲ-101〉 ㈜한국지오텍 기업개요 ·····275
〈표 Ⅲ-102〉 현대산업개발 기업개요 ·····276
〈표 Ⅲ-103〉 대원토질㈜ 기업개요 ·····276
〈표 Ⅲ-104〉 넥스지오 기업개요 ·····277
〈표 Ⅲ-105〉 삼보기술단 기업개요 ·····277
〈표 Ⅲ-106〉 에스코 컨설턴트 기업개요 ·····278
〈표 Ⅲ-107〉 단우기술단 기업개요 ·····278
〈표 Ⅲ-108〉 태조 엔지니어링 기업개요 ·····279
〈표 Ⅲ-109〉 ㈜유신 기업개요 ·····279
〈표 Ⅲ-110〉 하경엔지니어링 기업개요 ·····280
〈표 Ⅲ-111〉 ㈜지오제니 컨설턴트 기업개요 ·····280
〈표 Ⅲ-112〉 ㈜한길아이티 기업개요 ·····281
〈표 Ⅲ-113〉 ㈜범창종합기술 기업개요 ·····281
〈표 Ⅲ-114〉 ㈜GS건설 기업개요 ·····282
〈표 Ⅲ-115〉 ㈜유원 컨설턴트 기업개요 ·····282
〈표 Ⅲ-116〉 ㈜유원 컨설턴트 기업개요 ·····283
〈표 Ⅲ-117〉 ㈜이제이텍 기업개요 ·····283
〈표 Ⅲ-118〉 ㈜케미우스코리아 기업개요 ·····284
〈표 Ⅲ-119〉 ㈜삼원이앤비 기업개요 ·····284
〈표 Ⅲ-120〉 ㈜주성지앤비 기업개요 ·····285

<표 Ⅲ-121> ㈜엔엔에프텍 기업개요 ····285
<표 Ⅲ-122> 동아지질 기업개요 ····286
<표 Ⅲ-123> ㈜이엠코리아 기업개요 ····286
<표 Ⅲ-124> 코오롱 건설 기업개요 ····287
<표 Ⅲ-125> ㈜대룡공업 기업개요 ····287
<표 Ⅲ-126> 경동엔지니어링 기업개요 ····288
<표 Ⅲ-127> 도화엔지니어링 기업개요 ····288
<표 Ⅲ-128> 관련 대학 및 학과 현황 ····289
<표 Ⅲ-129> 주요 대학 내 부설 연구기관 현황 ····292
<표 Ⅲ-130> 주요 대학 내 부설 연구기관 현황 ····294
<표 Ⅲ-131> 관련 연구기관 현황 ····295
<표 Ⅲ-132> 한국건설기술연구원 ····296
<표 Ⅲ-133> 한국지질자원연구원 ····298
<표 Ⅲ-134> 한국철도기술연구원 ····299
<표 Ⅲ-135> 한국해양과학기술원 ····300
<표 Ⅲ-136> 관련 연구기관 현황 ····302
<표 Ⅲ-137> 대분야별 기술수요조사 비중 ····307
<표 Ⅲ-138> 분과별 기술수요조사 개수 ····310
<표 Ⅲ-139> 1분과 기술수요조사 결과 ····311
<표 Ⅲ-140> 2분과 기술수요조사 결과 ····313
<표 Ⅲ-141> 3분과 기술수요조사 결과 ····314
<표 Ⅲ-142> SWOT분석 총괄 ····319
<표 Ⅳ-1> 해저터널·인공섬 국내시장 점유율 ····331
<표 Ⅳ-2> 향후 발주 예상 해외 대규모 해저터널 프로젝트 현황 ····331
<표 Ⅳ-3> 해저터널·인공섬 기술경쟁력 ····332
<표 Ⅳ-4> ‘해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업’ 고용창출 ····333
<표 Ⅳ-5> 국토교통 R&D 현장적용 성과 ····334
<표 Ⅳ-6> R&D사업 유형 분류 ····337
<표 Ⅳ-7> 중점분야별 사업유형 매칭 ····338
<표 Ⅳ-8> 유형별 성과지표 Pool ····340
<표 Ⅳ-9> 주요 성과지표 도출 ····340
<표 Ⅳ-10> 성과 유형별 공통지표(안) ····341
<표 Ⅳ-11> 성과목표 및 지표 총괄표 ····341
<표 Ⅳ-12> 중분야별 제안기술 ····349
<표 Ⅳ-13> 세부기술 선정 평가지표 ····353

<표 Ⅳ-14> AHP 가중치 설문결과 ····353
<표 Ⅳ-15> 세부기술 전문가 설문결과 ····354
<표 Ⅳ-16> 최종 세부기술 ····360
<표 Ⅳ-17> 추진주체별 역할 및 기능 ····364
<표 Ⅳ-18> 추진형태별 주요 내용 ····369
<표 Ⅳ-19> 선정평가 기준 ····370
<표 Ⅳ-20> 중단과제에 대한 재평가 방안 ····372
<표 Ⅳ-21> 단계평가 평가요소(안) ····373
<표 Ⅳ-22> 성과관리 관련 법규정 ····375
<표 Ⅳ-23> 기술개발 성과활용 추적 평가 항목 ····376
<표 Ⅳ-24> 성과평가 측정지표 및 배점(안) ····377
<표 Ⅳ-25> 투자계획 ····378
<표 Ⅳ-26> 연도별 세부투자계획 ····379
<표 Ⅳ-27> [전략1] 총 사업비 ····379
<표 Ⅳ-28> [전략2] 총 사업비 ····380
<표 Ⅳ-29> [전략3] 총 사업비 ····380
<표 Ⅳ-30> [전략4] 총 사업비 ····381
<표 Ⅳ-31> [전략5] 총 사업비 ····382
<표 Ⅳ-32> [전략6] 총 사업비 ····383
<표 Ⅳ-33> 비교 범위 ····384
<표 Ⅳ-34> 비교 대상 ····384
<표 Ⅳ-35> 사업예산 적정성 검토 결과 ····385
<표 Ⅳ-36> 최근 5개년 국토교통 R&D 예산 현황 ····386
<표 Ⅳ-37> 전년도 대비 2018년도 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황 ····387
<표 Ⅳ-38> 국토교통R&D 예산 전망 ····388
<표 Ⅳ-39> 최근 3년간 국토교통 R&D 과제 중 신규과제 비중 ····388
<표 Ⅳ-40> 신규 R&D가용 예산 예측 ····389
<표 Ⅳ-41> 재원분담 현황 ····389
<표 Ⅳ-42> 연차별 투자계획 ····390
<표 Ⅴ-1> 중점분야별 핵심 및 세부기술 ····399
<표 Ⅴ-2> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능목표 ····400
<표 Ⅴ 3> 세계 선도기술 보유주체 현황 ····408
<표 Ⅴ-4> 국내·외 관련 기술 특허 현황 ····409
<표 Ⅴ-5> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A1) ····410
<표 Ⅴ-6> 기술격차 요인(A1) ····410

<표 Ⅴ-7> 기술 발전단계 평가결과(A1) ····411
<표 Ⅴ-8> 기술적 수준 평가결과(A1) ····411
<표 Ⅴ-9> 기술경쟁력 수준 평가결과(A1) ····411
<표 Ⅴ-10> 기술영향력 평가결과(A1) ····411
<표 Ⅴ-11> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향 ····412
<표 Ⅴ-12> 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발_개발목표 ····413
<표 Ⅴ-13> BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발_개발목표 ····414
<표 Ⅴ-14> BIG DATA 기반 TBM터널 전방조사 및 예측 시스템 개발_개발목표 ····415
<표 Ⅴ-15> 쉴드 TBM 공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술_개발목표 ····416
<표 Ⅴ-16> 고수압하에서 저비용 TBM 커터 교체 기술 개발_개발목표 ····417
<표 Ⅴ-17> 핵심기술 확보 전략 ····418
<표 Ⅴ-18> 연도별 투자계획 ····421
<표 Ⅴ-19> 연도별 연구개발비 ····421
<표 Ⅴ-20> 연도별 소요인력 ····422
<표 Ⅴ-21> 중점분야별 핵심 및 세부기술 ····430
<표 Ⅴ-22> 기술개발 목표 ····431
<표 Ⅴ-23> 세계 선도기술 보유 주체 현황 ····440
<표 Ⅴ-24> 국내 관련 기술 특허 현황 ····441
<표 Ⅴ-25> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A2) ····443
<표 Ⅴ-26> 기술격차 요인(A2) ····443
<표 Ⅴ-27> 기술 발전단계 평가결과(A2) ····444
<표 Ⅴ-28> 기술적 수준 평가결과(A2) ····444
<표 Ⅴ-29> 기술경쟁력 수준 평가결과(A2) ····444
<표 Ⅴ-30> 기술영향력 평가결과(A2) ····444
<표 Ⅴ-31> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향 ····445
<표 Ⅴ-32> 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발_개발목표 ····446
<표 Ⅴ-33> 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발_개발목표 ····448
<표 Ⅴ-34> 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발 _개발목표 ····449
<표 Ⅴ-35> 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발_개발목표 ···451
<표 Ⅴ-36> 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발_개발목표 ····451
<표 Ⅴ-37> Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 Slurry 처리 고도화 기술 개발_개발목표 ····453
<표 Ⅴ-38> 핵심기술 확보 전략 ····453
<표 Ⅴ-39> 연도별 투자계획 ····457
<표 Ⅴ-40> 연도별 연구개발비 ····457

<표 Ⅴ-41> 연도별 소요인력 ····458
<표 Ⅴ-42> 중점분야별 핵심 및 세부기술 ····464
<표 Ⅴ-43> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표 ····466
<표 Ⅴ-44> 세계 선도기술 보유 주체 현황 ····475
<표 Ⅴ-45> 국내 관련 기술 특허 현황 ····475
<표 Ⅴ-46> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A4) ····477
<표 Ⅴ-47> 기술격차 요인(A4) ····477
<표 Ⅴ-48> 기술 발전단계 평가결과(A4) ····478
<표 Ⅴ-49> 기술적 수준 평가결과(A4) ····478
<표 Ⅴ-50> 기술경쟁력 수준 평가결과(A4) ····478
<표 Ⅴ-51> 기술영향력 평가결과(A4) ····478
<표 Ⅴ-52> IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발_개발목표 ····480
<표 Ⅴ-53> 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발_개발목표 ····481
<표 Ⅴ-54> 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발_개발목표 ····482
<표 Ⅴ-55> 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발_개발목표 ····483
<표 Ⅴ-56> BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축_개발목표 ····484
<표 Ⅴ-57> 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축_개발목표 ····485
<표 Ⅴ-58> 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축_개발목표 486
<표 Ⅴ-59> 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발_개발목표 ····487
<표 Ⅴ-60> 핵심기술 확보 전략 ····488
<표 Ⅴ-61> 연도별 투자계획 ····491
<표 Ⅴ-62> 연도별 연구개발비 ····491
<표 Ⅴ-63> 연도별 소요인력 ····492
<표 Ⅴ-64> 중점분야별 핵심 및 세부기술 ····500
<표 Ⅴ-65> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표 ····501
<표 Ⅴ-66> 국내 관련 기술 특허 현황 ····509
<표 Ⅴ-67> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B1) ····510
<표 Ⅴ-68> 기술격차 요인(B1) ····510
<표 Ⅴ-69> 기술 발전단계 평가결과(B1) ····511
<표 Ⅴ-70> 기술적 수준 평가결과(B1) ····511
<표 Ⅴ-71> 기술경쟁력 수준 평가결과(B1) ····511
<표 Ⅴ-72> 기술영향력 평가결과(B1) ····511
<표 Ⅴ-73> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향 ····512
<표 Ⅴ-74> 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발_개발목표 ····513
<표 Ⅴ-75> 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발_개발목표 ····515

〈표 Ⅴ-76〉 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술_개발목표 ·····516
〈표 Ⅴ-77〉 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술_개발목표 ·····517
〈표 Ⅴ-78〉 핵심기술 확보 전략 ·····517
〈표 Ⅴ-79〉 연도별 투자계획 ·····520
〈표 Ⅴ-80〉 연도별 연구개발비 ·····520
〈표 Ⅴ-81〉 연도별 소요인력 ·····521
〈표 Ⅴ-82〉 중점분야별 핵심 및 세부기술 ·····525
〈표 Ⅴ-83〉 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표 ·····526
〈표 Ⅴ-84〉 세계 선도기술 보유 주체 현황 ·····533
〈표 Ⅴ-85〉 국내 관련 기술 특허 현황 ·····534
〈표 Ⅴ-86〉 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B2) ·····536
〈표 Ⅴ-87〉 기술격차 요인(B2) ·····536
〈표 Ⅴ-88〉 기술 발전단계 평가결과(B2) ·····537
〈표 Ⅴ-89〉 기술적 수준 평가결과(B2) ·····537
〈표 Ⅴ-90〉 기술경쟁력 수준 평가결과(B2) ·····537
〈표 Ⅴ-91〉 기술영향력 평가결과(B2) ·····537
〈표 Ⅴ-92〉 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향 ·····538
〈표 Ⅴ-93〉 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술_개발목표 ·····539
〈표 Ⅴ-94〉 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술_개발목표 ·····540
〈표 Ⅴ-95〉 부유식 구조물 위치 유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술_개발목표 ·····541
〈표 Ⅴ-96〉 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술_개발목표 ·····543
〈표 Ⅴ-97〉 연도별 투자계획 ·····546
〈표 Ⅴ-98〉 연도별 연구개발비 ·····546
〈표 Ⅴ-99〉 연도별 소요인력 ·····547
〈표 Ⅴ-100〉 중점분야의 세부기술 ·····553
〈표 Ⅴ-101〉 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표 ·····555
〈표 Ⅴ-102〉 위치정보 추출을 위한 지오코딩 가술 및 GIS 공간정보 기술 ·····558
〈표 Ⅴ-103〉 국내·외 위치추적 시스템 연구 현황 ·····564
〈표 Ⅴ-104〉 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황 ·····565
〈표 Ⅴ-105〉 국내 관련 기술 특허 현황 ·····566
〈표 Ⅴ-106〉 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B3) ·····567
〈표 Ⅴ-107〉 기술격차 요인(B3) ·····567
〈표 Ⅴ-108〉 기술 발전단계 평가결과(B3) ·····568
〈표 Ⅴ-109〉 기술적 수준 평가결과(B3) ·····568
〈표 Ⅴ-110〉 기술경쟁력 수준 평가결과(B3) ·····568

<표 Ⅴ-111> 기술영향력 평가결과(B3) ····568
<표 Ⅴ-112> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향 ····569
<표 Ⅴ-113> 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술_개발목표 ····571
<표 Ⅴ-114> AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발_개발목표 ····572
<표 Ⅴ-115> RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발_개발목표 ····573
<표 Ⅴ-116> 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/포갈 위험성 평가 및 안전 기술_개발목표 ····574
<표 Ⅴ-117> 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발_개발목표 ····575
<표 Ⅴ-118> 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발_개발목표 ····577
<표 Ⅴ-119> 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발_개발목표 ····577
<표 Ⅴ-120> 핵심기술 확보 전략 ····578
<표 Ⅴ-121> 연도별 투자계획 ····582
<표 Ⅴ-122> 연도별 연구개발비 ····582
<표 Ⅴ-123> 연도별 소요인력 ····583
<표 Ⅵ-1> 관련주체별 세부역할 ····587
<표 Ⅵ-2> 사업 기획 추진경과 ····588
<표 Ⅵ-3> 지원 대상 과제의 선정기준 ····592
<표 Ⅵ-4> 미국 특허 내 대한민국 특허기술경쟁력지수(TS)와 시장확보력지수(PFS) ····595
<표 Ⅵ-5> 해저시설물 차폐기술 개발 사업과의 비교 ····598
<표 Ⅵ-6> TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 ····599
<표 Ⅵ-7> TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업과의 비교 ····599
<표 Ⅵ-8> 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업과과의 비교 ····600
<표 Ⅵ-9> 건설기술연구사업과의 비교 ····600
<표 Ⅵ-10> 국토교통기술촉진연구사업과의 비교 ····601
<표 Ⅵ-11> 해양청정에너지기술개발과의 비교 ····601
<표 Ⅵ-12> 부처별 유사과제 수( ‘02년~’ 18년) ····602
<표 Ⅵ-13> 연계협력 방안 ····603
<표 Ⅵ-14> 국가정책과의 부합성 ····612
<표 Ⅵ-15> 국토정책과의 부합성 ····614
<표 Ⅵ-16> 연구개발정책과의 부합성(1) ····615
<표 Ⅵ-17> 연구개발정책과의 부합성(2) ····617
<표 Ⅵ-18> 연구개발정책과의 부합성(3) ····618
<표 Ⅵ-19> 연구개발정책과의 부합성(4) ····619
<표 Ⅵ-20> 연구개발정책과의 부합성(5) ····620

<표 Ⅵ-21> 연구개발정책과의 부합성(6) ·····621
<표 Ⅵ-22> 연구개발정책과의 부합성(5) ·····622
<표 Ⅵ-23> 연구개발정책과의 부합성(5) ·····623
<표 Ⅵ-24> 상위계획과의 부합성 평가 ·····624
<표 Ⅳ-25> 연차별 투자계획 ·····629
<표 Ⅳ-26> 국토교통R&D 예산 전망 ·····630
<표 Ⅵ-27> 최근 3년간 국토교통 R&D 과제 중 신규과제 비중 ·····630
<표 Ⅳ-28> 신규 R&D가용 예산 예측 ·····630
<표 Ⅵ-29> 해저터널·인공섬 관련 법·제도와 성능 규제 ·····633
<표 Ⅵ-30> R&D사업 편익 추정방법 분류 ·····642
<표 Ⅵ-31> 연도별 투자계획 ·····643
<표 Ⅵ-32> 연구개발 총 비용 추정 결과 ·····643
<표 Ⅵ-33> 핵심변수 산식 및 기본가정 ·····644
<표 Ⅵ-34> B/C분석을 위한 해저터널·인공섬 분야의 세계시장 규모 ·····645
<표 Ⅵ-35> 시장 추세분석 R2 값 ·····645
<표 Ⅵ-36> 편익기간까지 세계시장 규모 추정 ·····646
<표 Ⅵ-37> 분류별 국내기업 세계시장 점유율 ·····646
<표 Ⅵ-38> NTIS 과제비 현황 ·····647
<표 Ⅵ-39> NTIS 과제비 추세분석 R2 값 ·····647
<표 Ⅵ-40> NTIS 과제비의 추세분석 결과 ·····648
<표 Ⅵ-41> 부가가치율 ·····648
<표 Ⅵ-42> B/C Ratio 산정공식 ·····649
<표 Ⅵ-43> 총 비용 및 편익분석 결과 ·····649
<표 Ⅵ-44> 투입계수 및 유발계수 산출방법 ·····652
<표 Ⅵ-45> 해저터널·인공섬 관련 산업분야 분류표 ·····652
<표 Ⅵ-46> 산업별 유발계수 비교 분석 ·····654
<표 Ⅵ-47> 지정품목 연관 산업의 산업연관계수 ·····656
<표 Ⅵ-48> ‘해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업’ 경제적 파급효과 ·····657

# 그림목차


<그림 Ⅰ-1> 세계 시설물 시장 규모 ·····5
<그림 Ⅰ-2> 동북아 해저터널 구상(안) ·····7
<그림 Ⅰ-3> 기존 교통수단의 한계 ·····8
<그림 Ⅰ-4> 남북연결도로 구상(안) ·····9
<그림 Ⅰ-5> 해외 인공섬 건설 사례 ·····9
<그림 Ⅰ-6> 가덕 해저터널 ·····10
<그림 Ⅰ-7> 기술 로드맵 ·····15
<그림 Ⅰ-8> 국외 해저터널 건설 시장 규모 ·····20
<그림 Ⅰ-9> 국외 인공섬 건설 시장 규모 ·····20
<그림 Ⅰ-10> 중국 인프라 시장 규모 ·····21
<그림 Ⅰ-11> 중국 일대일로 대항 프로젝트 추진 ·····21
<그림 Ⅰ-12> 선진국의 인프라 투자 및 관리체계 개선 주요 연혁 ·····22
<그림 Ⅰ-13> 본 연구의 내용 및 범위 ·····27
<그림 Ⅰ-14> 연구 Framework ·····28
<그림 Ⅰ-15> 사업기획 추진체계도 ·····30
<그림 Ⅰ-16> 분과별 1차 기획분과위원회 회의 ·····38
<그림 Ⅰ-17> 분과별 2차 기획분과위원회 회의 ·····38
<그림 Ⅰ-18> 분과별 3차 기획분과위원회 회의 ·····39
<그림 Ⅰ-19> 분과별 4차 기획분과위원회 회의 ·····39
<그림 Ⅱ-1> 시설물 분야 분류체계를 통한 본 사업의 추진방향 ·····43
<그림 Ⅱ-2> 터널의 공법 및 용도 등에 따른 분류 ·····44
<그림 Ⅱ-3> 해저터널·인공섬이란? ·····47
<그림 Ⅱ-4> 주요 국가별 인구고령화 속도 ·····48
<그림 Ⅱ-5> 주요 국가별 인구고령화 속도 ·····49
<그림 Ⅱ-6> 해저터널 조감도 ·····50
<그림 Ⅱ-7> 미래 거주인구와 활동인구 분포변화 ·····51
<그림 Ⅱ-8> BIM기술의 활용 분야 ·····53
<그림 Ⅱ-9> 교토의정서 규제대상 6대 온실가스 ·····54
<그림 Ⅱ-10> 전 세계 기후변화 ·····55
<그림 Ⅱ-11> 녹색건설의 발전 현황 ·····56
<그림 Ⅱ-12> 홍콩-주하이-마카오 강주아오 대교의 전체구간도 ·····57
<그림 Ⅱ-13> i-Construction의 개념 ·····64

<그림 Ⅱ-14> 세계 최장 터널과 엔타이-다렌 해저터널 ····65
<그림 Ⅱ-15> 일대일로 노선도 ····66
<그림 Ⅱ-16> 홍콩, 인공섬 건설 프로젝트 ····67
<그림 Ⅱ-17> 국외 하저/해저터널 총 건수(완공) 및 공법별 분류> ····77
<그림 Ⅱ-18> 대륙별 하저/해저터널 총 건수(완공) 및 대륙별 적용 공법 분류 ····78
<그림 Ⅱ-19> 연도별 국외 하저/해저터널 총 시공 및 공법별 분류> ····79
<그림 Ⅱ-20> 국외 초장대 해저터널 총 건수(완공) 및 공법별 분류> ····80
<그림 Ⅱ-21> 대표적인 초장대 해저터널의 시공법 및 연장 ····81
<그림 Ⅱ-22> 국내 하/해저터널 총 건수(완공예정 포함) 및 공법별 분류 ····82
<그림 Ⅱ-23> 국내 하/해저터널 경간장 및 공법별 분류 ····82
<그림 Ⅱ-24> 유로 해저터널 ····83
<그림 Ⅱ-25> 유라시아 해저터널 ····84
<그림 Ⅱ-26> Drogden Tunnel ····85
<그림 Ⅱ-27> Westerschelde Tunnel ····86
<그림 Ⅱ-28> Elbe Tunnel ····87
<그림 Ⅱ-29> Lefortovo Tunnel ····88
<그림 Ⅱ-30> 노르웨이 E39 프로젝트 ····89
<그림 Ⅱ-31> 베링해협 해저터널 ····90
<그림 Ⅱ-32> Seikan Tunnel ····91
<그림 Ⅱ-33> Tokyobay Aqua Line Tunnel ····92
<그림 Ⅱ-34> 강주아오 해저터널 ····93
<그림 Ⅱ-35> 보하이 해저터널 ····94
<그림 Ⅱ-36> 보령 해저터널 ····95
<그림 Ⅱ-37> 가덕 해저터널 ····96
<그림 Ⅱ-38> 분당선 한강 하저터널 ····97
<그림 Ⅱ-39> 한-중 해저터널 ····98
<그림 Ⅱ-40> Oresund 인공섬, Peberholm ····99
<그림 Ⅱ-41> 가와사키 및 키사라주 인공섬 ····100
<그림 Ⅱ-42> 강주아오대교 건설을 위한 인공섭 ····101
<그림 Ⅱ-43> 지하철 5호선 한강하저터널 인공섬 ····102
<그림 Ⅱ-44> 인공섬 시공방법에 따른 특성 ····103
<그림 Ⅱ-45> 국외 터널 시장규모 및 전망 ····106
<그림 Ⅱ-46> 국외 해저터널 연도별 준공건수 ····110
<그림 Ⅱ-47> 대만해협 해저터널 구상(안) ····111
<그림 Ⅱ-48> 지브롤터 해저터널 구상(안) ····112

<그림 Ⅱ-49> 베링해협 해저터널 구상(안) ·····112
<그림 Ⅱ-50> 보하이 해저터널 구상(안) ·····113
<그림 Ⅱ-51> 세계 인공섬 프로젝트 현황 ·····116
<그림 Ⅱ-52> 국내 터널 연도별 준공건수 ·····124
<그림 Ⅱ-53> 통영 해저터널 ·····125
<그림 Ⅱ-54> 가덕 해저터널 ·····126
<그림 Ⅱ-55> 인천 북항터널 ·····126
<그림 Ⅱ-56> 인천 북항터널 ·····127
<그림 Ⅱ-57> 호남~제주 해저터널 단면 계획(안) ·····128
<그림 Ⅱ-58> 한·일 해저터널 노선_일본측 구상(안) ·····129
<그림 Ⅲ-1> 연자별 정부 및 국토교통 R&D 투자 현황 ·····137
<그림 Ⅲ-2> 해저터널 관련 연구개발 과제 및 투자비 ·····140
<그림 Ⅲ-3> 해저터널 관련 연구개발 과제 및 투자비 ·····141
<그림 Ⅲ-4> 인공섬 관련 연구개발 과제 및 투자비 ·····143
<그림 Ⅲ-5> 인공섬 관련 연구개발 과제 및 투자비 ·····144
<그림 Ⅲ-6> 유사·중복성 검토 추진계획 ·····163
<그림 Ⅲ-7> 특허/논문 데이터 추출 프로세스 ·····184
<그림 Ⅲ-8> ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····188
<그림 Ⅲ-9> ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ·····190
<그림 Ⅲ-10> ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ·····191
<그림 Ⅲ-11> ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술의 기술수명주기 193
<그림 Ⅲ-12> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····199
<그림 Ⅲ-13> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ·····201
<그림 Ⅲ-14> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ·····202
<그림 Ⅲ-15> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술의 기술수명주기 ·····204
<그림 Ⅲ-16> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····210
<그림 Ⅲ-17> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ·····212
<그림 Ⅲ-18> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ·213
<그림 Ⅲ-19> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술의 기술수명주기 ·····215
<그림 Ⅲ-20> ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ·····221

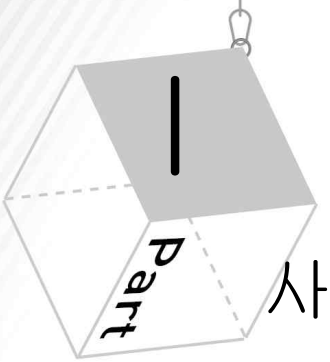
〈그림 Ⅲ-21〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ····223
〈그림 Ⅲ-22〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ····224
〈그림 Ⅲ-23〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술의 기술수명주기 ···226
〈그림 Ⅲ-24〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ····232
〈그림 Ⅲ-25〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ·234
〈그림 Ⅲ-26〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ····235
〈그림 Ⅲ-27〉 ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술의 기술수명주기 ····237
〈그림 Ⅲ-28〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18) ····243
〈그림 Ⅲ-29〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 상위 10개의 출원인 분포 ····245
〈그림 Ⅲ-30〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동 ····246
〈그림 Ⅲ-31〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술의 기술수명주기 ··248
〈그림 Ⅲ-32〉 국가별 해저터널 관련 논문 발표 동향 ····255
〈그림 Ⅲ-33〉 해저터널 건설기술 연도별 인용도 지수('00~'18) ····256
〈그림 Ⅲ-34〉 해저터널 건설기술 연도별 영향력 지수('00~'18) ····257
〈그림 Ⅲ-35〉 해저터널 건설기술 연도별 기술력 지수('00~'18) ····258
〈그림 Ⅲ-36〉 국가별 인공섬 관련 논문 발표 동향 ····259
〈그림 Ⅲ-37〉 인공섬 건설기술 연도별 인용도 지수('00~'18) ····260
〈그림 Ⅲ-38〉 인공섬 건설기술 연도별 영향력 지수('00~'18) ····261
〈그림 Ⅲ-39〉 인공섬 건설기술 연도별 기술력 지수('00~'18) ····262
〈그림 Ⅲ-40〉 2Round 델파이조사 절차 ····265
〈그림 Ⅲ-41〉 기술수준 측정 틀 ····267
〈그림 Ⅲ-42〉 기술 수요 조사서 양식 ····305
〈그림 Ⅲ-43〉 旣정부 관련 사업 참여현황 ····306
〈그림 Ⅲ-44〉 세부 기술 분야별 기술수요조사 비중 ····308
〈그림 Ⅲ-45〉 지역별 기술수요조사 비중 ····309
〈그림 Ⅳ-1〉 사업의 개념 ····326
〈그림 Ⅳ-2〉 사업의 범위 ····327
〈그림 Ⅳ-3〉 사업 비전 및 목표 ····329

<그림 Ⅳ-4> 주체별 역할구분 ·····335
<그림 Ⅳ-5> 정부/민간 역할분담 전략 ·····336
<그림 Ⅳ-6> 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 논리적 모형 ·····338
<그림 Ⅳ-7> 해저터널·인공섬 추진분야 도출 ·····348
<그림 Ⅳ-8> 세부기술별 전문가 설문 ·····354
<그림 Ⅳ-9> 사업 추진체계 ·····362
<그림 Ⅳ-10> 사업단 추진 절차 ·····366
<그림 Ⅳ-11> 사업 관리 체계 ·····367
<그림 Ⅳ-12> 과제 관리 프로세스 ·····371
<그림 Ⅴ-1> 해저터널 분야 ·····393
<그림 Ⅴ-2> 개술개발 내용 ·····398
<그림 Ⅴ-3> Bentley I-model ·····402
<그림 Ⅴ-4> AUTODESK의 AR/VR 기술을 활용한 안전점검 정보 제공 및 기록 기능 ·····403
<그림 Ⅴ-5> 선형기반의 BIM 모델링 ·····403
<그림 Ⅴ-6> 기존 국외 굴착면 조사기술 ·····404
<그림 Ⅴ-7> 천공데이터를 이용한 굴착면 전방조사 ·····404
<그림 Ⅴ-8> 국내 전방조사 기술, TBM연구단 ·····405
<그림 Ⅴ-9> 국내 전방조사 기술, 해저터널연구단 ·····405
<그림 Ⅴ-10> Clogging된 커터헤드 ·····406
<그림 Ⅴ-11> Clogging에 의한 굴진성능의 저하 ·····406
<그림 Ⅴ-12> 콘 인장 시험(독일, 아헨 대학) ·····406
<그림 Ⅴ-13> Clogging 평가를 위한 지반분류 ·····407
<그림 Ⅴ-14> 압력조건에 따른 Hyperbaric Cutterhead Intervention 타입 ·····407
<그림 Ⅴ-15> Accessible Cutterhead 작업 전경 ·····408
<그림 Ⅴ-16> BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축_수행 기술 로드맵 ·····420
<그림 Ⅴ-17> 개술개발 내용 ·····429
<그림 Ⅴ-18> 저비용 그라우팅의 개요도 ·····432
<그림 Ⅴ-19> 챔버 내 압력조건에 따른 커터 교체 기술 ·····433
<그림 Ⅴ-20> Napoli Tolendo Station의 Service tunnel에 적용된 동결공법 모식도 ·····433
<그림 Ⅴ-21> 브라인 공법 ·····434
<그림 Ⅴ-22> 액화질소 공법 ·····434
<그림 Ⅴ-23> 해저터널 1차 연구(한서대학교) ·····435
<그림 Ⅴ-24> 터키 유라시아터널 가동세그먼트 및 Elastic washer 설치현황 ·····435
<그림 Ⅴ-25> 전단키 세그먼트(좌) 및 강연선 체결 모식도(우)(한국건설기술연구원) ·····437
<그림 Ⅴ-26> 터널 콘크리트 라이닝 시공 ·····438

<그림 Ⅴ-27> 터널 콘크리트 라이닝 형상 및 단면 ·····438
<그림 Ⅴ-28> 강섬유 혼입 콘크리트 및 철근 콘크리트 부식문제 ·····438
<그림 Ⅴ-29> Slurry Treatment Plant 모식도 ·····439
<그림 Ⅴ-30> 해저터널 시공기술 고도화_기술 로드맵 ·····456
<그림 Ⅴ-31> 개술개발 내용 ·····463
<그림 Ⅴ-32> CPS 계획 검토(Autobaulog) ·····467
<그림 Ⅴ-33> 광섬유를 이용한 변형률 측정 ·····469
<그림 Ⅴ-34> 크랙 스케일 ·····469
<그림 Ⅴ-35> 크랙게이지(포인트형) ·····469
<그림 Ⅴ-36> 기계식 크랙게이지 ·····469
<그림 Ⅴ-37> 구조물 열화 데이터 수집/모니터링 결과 서비스 제공 시스템 (USGS, USA) ·····470
<그림 Ⅴ-38> IoT 기반 터널구조물 열화 평가 기술 (프랑스) ·····471
<그림 Ⅴ-39> 인프라 시설물의 등급화 및 IT 기반 유지관리 시스템 구축 (KICT) ·····471
<그림 Ⅴ-40> 매립형 sensor를 활용한 구조물 내구성 평가 기술 (군산대) ·····471
<그림 Ⅴ-41> 강교량 BIM 구축 ·····472
<그림 Ⅴ-42> 지하철 BIM 구축 ·····472
<그림 Ⅴ-43> 터널 구조물의 콘크리트 라이닝 점검 차량(일본) ·····473
<그림 Ⅴ-44> ROBO-SPECT system(EU) ·····473
<그림 Ⅴ-45> 레이저 조사시스템 조사 전경 및 원리(일본) ·····474
<그림 Ⅴ-46> 토목설계 솔루션(InRoad), Bentley ·····474
<그림 Ⅴ-47> 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 로드맵 ·····490
<그림 Ⅴ-48> 인공섬 분야 ·····493
<그림 Ⅴ-49> 개술개발 내용 ·····499
<그림 Ⅴ-50> 석유-가스 시추 구조물 ·····503
<그림 Ⅴ-51> ReSHEALience project ·····505
<그림 Ⅴ-52> EnDurCrete project ·····505
<그림 Ⅴ-53> 프로젝트 개요 및 개발재료 형상 ·····505
<그림 Ⅴ-54> 개발 자료 개요 ·····505
<그림 Ⅴ-55> 일본의 동경만 해저터널 아쿠아라인 수직구 ·····506
<그림 Ⅴ-56> 덴마크 오레순트 해저터널 인공섬 ·····506
<그림 Ⅴ-57> 다양한 형태의 수중 기계화 시공 장비 - KIOST ·····506
<그림 Ⅴ-58> 원형 가물막이 가시설 ·····507
<그림 Ⅴ-59> 강널말뚝 공법 ·····507
<그림 Ⅴ-60> 중공 합성구조 ·····507
<그림 Ⅴ-61> 해저 과학 기지 ·····508

<그림 Ⅴ-62> 다목적 해상 스테이션 ·····508
<그림 Ⅴ-63> 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 로드맵 ·····519
<그림 Ⅴ-64> 개술개발 내용 ·····524
<그림 Ⅴ-65> 부유식 해상공항(일본 Mega Float 프로젝트) ·····527
<그림 Ⅴ-66> 부유식MOB(미국McDermott) ·····527
<그림 Ⅴ-67> 부유식 수상가옥 (네덜란드) ·····528
<그림 Ⅴ-68 부유식 연어 양식장 (캐나다) ·····528
<그림 Ⅴ-69> Floating ecopolis (프랑스) ·····528
<그림 Ⅴ-70> 마리나리조트, 컨테이너터미널, 해상공항 (선박해양플랜트연구소 VLFS 프로젝트) ·528
<그림 Ⅴ-71> 모듈형 부유체 개념도 (선박해양플랜트연구소) ·····528
<그림 Ⅴ-72> VLFS 기반 복합 인공섬 개념도 (선박해양플랜트연구소) ·····528
<그림 Ⅴ-73> 해상 크레인 설치 공법 ·····529
<그림 Ⅴ-74> 복수 크레인 설치 공법 ·····529
<그림 Ⅴ-75> 플로트오버 설치 공법 ·····529
<그림 Ⅴ-76> 해상 운송 ·····529
<그림 Ⅴ-77> 예인 (Dry towing) ·····529
<그림 Ⅴ-78> 해상 URF 설치 작업 모형시험 ·····530
<그림 Ⅴ-79> 복수크레인 설치 작업 모형시험 ·····530
<그림 Ⅴ-80> 수심과 파고에 대한 계류방식의 상관관계 ·····530
<그림 Ⅴ-81> 자켓 형태의 돌핀-펜더 시스템 ·····530
<그림 Ⅴ-82> 폰툰타입 구조물 개략도 ·····530
<그림 Ⅴ-83> 돌핀 펜더 시스템에 대한 모형시험 ·····530
<그림 Ⅴ-84> 부유식 구조물의 위치유지 시스템 (a) 체인-싱커 계류 (b) 인장식 계류 (c) 케이슨 돌핀-펜더 (d) 자켓 파일 펜더 ·····531
<그림 Ⅴ-85> MOB의 4모듈 모델(미국) ·····531
<그림 Ⅴ-86> MOB 개략도(미국) ·····531
<그림 Ⅴ-87> MOB용 섹션파일 ·····531
<그림 Ⅴ-88> 영국 런던의 브리타니아 부유식 공항 계획 ·····532
<그림 Ⅴ-89> 혼슈-시코쿠 교량의 연결에 관한 구조안전기술(일본) ·····532
<그림 Ⅴ-90> 초대형 부유식 공항의 구조적 안전성 평가 예시 ·····533
<그림 Ⅴ-91> 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 로드맵 ·····545
<그림 Ⅴ-92> 개술개발 내용 ·····552
<그림 Ⅴ-93> 대전 정부청사역 대상 실증화 시범사업 ·····556
<그림 Ⅴ-94> 환경부, ‘지능형 대기오염물질 관리 및 예측시스템 구축’ ·····557
<그림 Ⅴ-95> 한국정보화진흥원, ‘빅데이터를 활용한 화재위험도 예측시스템 구축’ ·····557

<그림 Ⅴ-96> 국립재난안전연구원, ‘스마트 재난상황관리시스템 오픈플랫폼 개발’ ·····557
<그림 Ⅴ-97> 한국가스공사, ‘ILI 데이터 통합분석 소프트웨어 구축 ‘ ·····557
<그림 Ⅴ-98> 상주터널 화물차 폭발사고, 2015 ·····560
<그림 Ⅴ-99> 달성터널 미사일 운송차량 폭발사고, 2005 ·····560
<그림 Ⅴ-100> 터널에서의 피난 행태 분석 실험 (스웨덴, Lund Univ. 1999) ·····562
<그림 Ⅴ-101> 영불해저터널에 설치된 피난 서비스 터널(비상대피터널) 사례 ·····562
<그림 Ⅴ-102> 지향성 스피커를 이용한 개별 피난경로 안내 개념(좌), 전자발광섬유 활용 스크린(우) 563
<그림 Ⅴ-103> 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 로드맵 ·····581
<그림 Ⅵ-1> 특허(출원인-특허문헌) 포트폴리오 분석(’90~’18년) ·····593
<그림 Ⅵ-2> 특허(영향력-시장확보력) 포트폴리오 분석(’90~’18년) ·····596
<그림 Ⅵ-3> 주요 검토 항복 ·····639
<그림 Ⅵ-4> 세부 편익 및 비용 항목 ·····640
<그림 Ⅵ-5> 경제성분석 프로세스 ·····640
<그림 Ⅵ-6> 경제적 타당성 분석 과정 개략도 ·····641
<그림 Ⅵ-7> NTIS 과제비 추세분석 ·····647
<그림 Ⅵ-8> 경제적 파급효과 분석 프로세스 ·····651
<그림 Ⅵ-9> 해저터널·인공섬 분야 분류 및 산업연관표 매칭 ·····651




# I 사업 개요

제 1절 사업 추진배경 및 필요성
제 2절 사업 추진 근거
제 3절 사업 기획 방법 및 추진경과

# 제 1 장 사업 개요

## 제1절 사업 추진배경 및 필요성

### 1. 사업 추진배경

#### 가. 해저터널·인공섬의 역할 및 중요성

##### (1) 해저터널·인공섬 관련 주요이슈

■ (대륙 간 '연결'에 대한 Needs 증가) 글로벌화로 인해 대륙 간 또는 국가 간의 접근성 향상에 대한 요구가 지속적으로 상승

◎ 기존의 항공 및 선박 등의 수단으로 승객과 물류수송의 증가, 이동편의 증대, 고속화 등에 대한 새로운 요구를 충족시키기에는 한계 존재

- 이러한 요구에 부응해 기존의 교통체계를 획기적으로 개편할 수 있는 해저터널에 대한 관심이 지속적으로 증가

◎ 프랑스와 영국을 연결하는 유로터널과 같이 해저터널은 바다로 단절되어 있는 대륙 간 혹은 내륙-도서간의 안정적인 교통 및 물류수송체계 구축을 위해 전 세계적으로 건설되어 옴

- 기존의 해저터널이 다수 건설되어 있는 유럽뿐만 아니라, 상대적으로 해저터널 건설이 이루어지지 않은 아시아에서도 새로운 해저터널이 시공 중이거나 계획되면서 이어지고 있음

◎ 또한 해저터널은 항공, 교량, 선박과 같은 기존 교통수단과는 달리 태풍, 폭우 등과 같은 악천후에 영향을 받지 않고 항공기의 추락, 선박의 침몰과 같은 사고의 위험성이 상대적으로 낮아, 다량의 승객과 물량을 안정적이고 신속하게 이송할 수 있다는 장점 보유

■ **(터널안전에 대한 국민적 관심 증가)** 최근 터널에서의 빈번한 화재사고로 인해 안전에 대한 국민 관심이 높아지고 있으며, 이에 대응하기 위한 건설중요성 또한 증대

◉ 터널과 같은 부분적으로 밀폐된 공간 내에서 화재가 발생했을 경우 화염과 연소가스 발생으로 많은 인명피해가 발생하고 있으며, 터널 구체를 붕괴하거나 훼손하는 경우도 발생되고 있음

- 터널화재가 발생할 경우 터널내부는 외부와의 통로가 한정되고 고립된 공간특성을 가지기 때문에 화재로부터 발생하는 연기와 열은 터널사용자와 구조체의 안전에 심각한 문제를 야기하고 대형사고로 이어지고 있음

☞ 몽블랑터널의 화재의 경우 마가린 9톤을 실은 대형 트레일러에서 발생하였는데, 마가린이 녹아 화염이 더욱 번지게 되었고, 결국 37대의 차량이 소각되었으며, 30~50MW의 화염이 50시간 이상 지속되었음

- 보다 높은 수준의 안전성을 확보하기 위한 시스템 개선은 효과적인 환기로부터 시작되어야 하며, 터널의 환기 시스템은 일상적인 교통량에서 발생하는 배기가스 뿐만 아니라 화재에서 발생하는 연기를 배출할 수 있어야 함

**<표 Ⅰ-1> 해외 산악터널 화재사례**

| 터널명 | | 몽블랑 터널 | 타우에른 터널 | 고타드 터널 |
|---|---|---|---|---|
| 사고일 | | 1999.3 | 1999.5 | 2001.10 |
| 사망자수 | | 39명 | 12명 | 11명 |
| 차량구분 | | 도로차량 | | |
| (추정) 화재규모 | | 75~100MW | 120MW | 120~200MW |
| 터널구조물 손상길이 | | 900m | 500m | 700m |
| 터널폐쇄 및 보수기간 | | 3년 | 3개월 | 2개월 |
| 비용 | 복구/개선비용 | 1.89억 유로 | 600만 유로 | 직접경비: 2,500만 유로 |
| | 수입손실비용 | 2.03억 유로 | 1,850만 유로 | |
| | 합계 | 3.92억 유로 | 2,470만 유로 | |

출처: 안전한 해저터널 구축을 위한 환기 및 화재안전 전략, 2015

◉ 특히 영국과 프랑스를 연결하는 해저터널인 유로터널에서의 4번의 화재사고 등 최근 대형 터널화재사고는 초장대 해저터널의 화재안전 기술에 대한 시급성을 보여주고 있음

- 유로터널의 1996년 화재사고는 7개월간의 화재 후 보수기간 동안 약 2.98억 유로의 막대한 금전적 피해가 발생

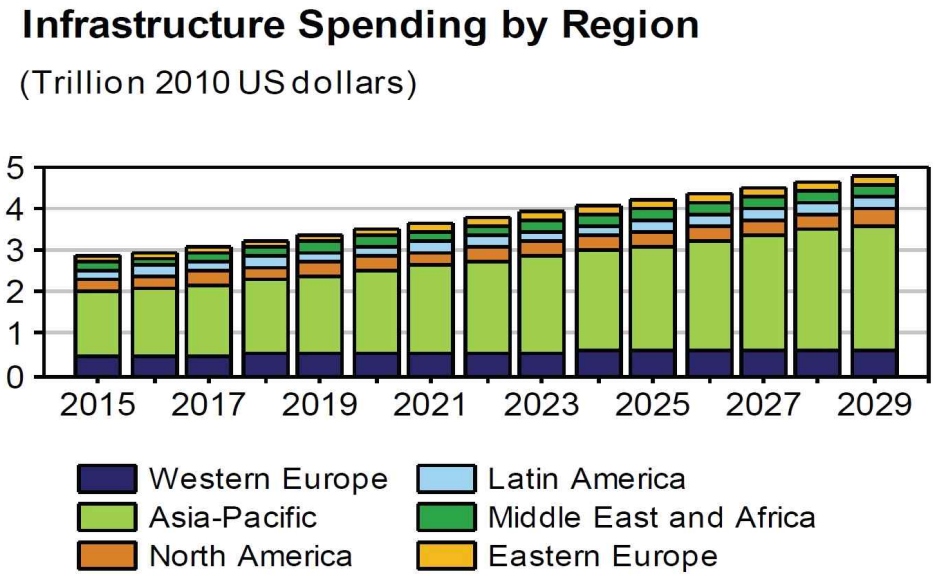
<표 Ⅰ-2> 해외 해저터널 화재사례

| 터널명 | | 허드슨강 하저터널 | 코만해저터널 (BART) | 영불해협 터널 | 유로터널 |
|---|---|---|---|---|---|
| 사고일 | | 1965.5 | 1979.1 | 1996.1 | 1996.11 |
| 사망자수 | | 1 | 1 | - | 0 |
| 부상자수 | | 8 | 수십명 | - | - |
| 차량구분 | | 철도 | | | |
| (추정) 화재규모 | | - | - | - | 150~350MW |
| 터널구조물 손상길이 | | | | | 400m |
| 터널폐쇄 및 보수기간 | | | 3개월 | | 7개월(보수기간) |
| 비용 | 복구/개선비용 | | 전차 5량 전소, 1량 반소 | | 8,700만 유로 |
| | 수입손실비용 | | | | 2.11억 유로 |
| | 합계 | | | | 2.98억 유로 |

출처: 안전한 해저터널 구축을 위한 환기 및 화재안전 전략, 2015

■ **(세계 SOC 시장 수요 증가)** 전 세계적으로 SOC 시장수요가 증가되고 있으며, 그 중 교량 및 터널 분야가 주력 상품으로 부각

◉ **(세계 시설물 시장 고성장)** 시설물 분야 글로벌 투자가 지속적으로 성장하여 '25년에는 9조 달러를 넘어설 것으로 전망




출처: IHS Global Insight, 2017

<그림 Ⅰ-1> 세계 시설물 시장 규모

- 국내외 산업발전 및 경기부양을 목적으로 한 인프라 투자가 집중되고 있으며 이로 인해 시설물 건설시장의 성장이 지속될 것으로 전망

- 특히 신흥국을 중심으로 도로 및 교량 인프라 수요가 증가하고 있으며, 선진국은 현수교와 같은 장대 케이블 교량의 운영 및 유지관리 시장 확대 추세

- '15년 기준으로 해외건설기업이 진출할 수 있는 시장 규모는 5,001억 달러이며 아시아 및 미국 인프라 투자 확대로 인해 지속적인 증가 예상

  * (미국) 2009년부터 경제 활성화를 위한 투자가 확대되었고, 트럼프 정권이 등장하면서 1조 달러 규모의 대대적인 인프라 투자 추진 중

  * (유럽) '13년부터 Infravation Project를 통해 교량, 터널 등 교통인프라 성능향상을 위한 기술연구를 지원

  * (독일) 체계화된 시스템을 통해 경제성, 발전 필요성, 운송비용, 경제·사회적 영향 등을 복합적으로 고려하여 평가 후 개발의 긴급성에 따라 인프라 투자를 확정

  * (영국) 2004년~2015년까지 인프라는 평균적으로 33%의 예산이 증가

  * (중국) 중국의 전체 인프라 시장 규모는 '15년 2,119억 달러에서 '20년 2.965달러로 성장 전망[1]되며, 그 중 동부~중서부를 연결하는 대규모 건설 사업이 예상

**(초장대 해저터널 수요 증가)** 경제글로벌화로 케이블 교량 및 해저터널과 같이 국가 및 대륙 간의 연결통로에 대한 수요가 지속적으로 증가하는 추세

- 최근 해저터널, 지하대공간, 인공섬 관련 핵심기술의 발전으로 프로젝트 발주 건수가 증가하는 추세

- 특히 기존에는 연장 5km 이상의 해저터널이 대부분인 것에 비해 향후 계획돼 있는 해저터널의 경우 연장 50km 이상으로 초장대화 되는 추세

- 초장대 해저터널은 물리적으로 접근성이 떨어지는 국가 간 혹은 대륙 간의 새로운 교통로의 확보를 통해 활발한 교류를 가능하게 할 것으로 기대됨

- 해저터널 시장은 매년 약 114억 달러 이상의 규모로 추산되며, 연장 및 공사기간이 길고 대형 사업으로 발주되는 특성에 따라 1개 수주 시 경제적 효과가 높음

1) 중국의 인프라 시장 전망과 시사점, VIP리포트, 현대경제연구원, 2016.05.

- 또한 플랜트, 인공섬 도시, 에너지타운 등의 조성을 위하여 섬 건설비용을 절감할 수 있는 유리한 지역을 갖춘 국가를 중심으로 시장이 확대 추세

* 해저터널, 지하대공간, 인공섬 등의 시설물의 경우 기술특성상 발주 건수는 적으나 대형 프로젝트로 발주되므로 타 프로젝트 대비 금액이 높음

**<표 Ⅰ-3> 향후 발주 예상 해외 대규모 해저터널 프로젝트 현황**

| 구분 | 국가 | 구간/위치 | 총 공사비 |
|---|---|---|---|
| 보하이 터널 | 중국 | 엔타이-다롄 | 33조 원 |
| 시칠리아 터널 | 이탈리아 | 유럽-북아프리카 | 25조 8,000억 원 |
| 스톡홀름-헬싱키 터널 | 스웨덴-핀란드 | 스톡홀름-헬싱키 | 24조 원 |
| 믈라카 해협 터널 | 말레이시아 | 말레이시아-수마트라섬 | 21조 4,000억 원 |
| 지브롤터 터널 | 스페인 | 지브롤터 해협 | 14조 5,000억 원 |

출처: 각국 정부, 외신종합, Global Infrastructure Hub.

## (2) 해저터널·인공섬의 역할

■ **(동북아 허브·축)** 한반도의 지정학적 특성상 해저터널 건설을 통해 일본, 중국, 러시아 등의 자원 및 기술과 결합하여 동북아시아의 경제통합을 주도하는 역할

◉ 한반도는 지정학적으로 동북아 지역의 중심부에 위치하고 있어, 동북아를 연결하는 가교국가로서의 역할과 정치·경제·교통·물류의 중심 국가로서 잠재력을 보유

- 중국·러시아의 노동력과 자원이 한국·일본의 기술 및 자본과의 결합을 원활하게 하여 동북아권에 거대한 지역 공동체 형성을 용이하게 할 수 있음

- 따라서 해저터널은 단순한 교통수단이 아닌, 동북아는 물론 유럽연합 지역의 경제권을 통합하여 아시아 공동체 형성으로의 발판




**<그림 Ⅰ-2> 동북아 해저터널 구상(안)**

◉ 해저터널 건설을 통해 중국 횡단철도, 시베리아 철도, 만주횡단철도 등 세계 및 동북아 지역 내의 모든 공항, 항만과 효율적인 인프라로 활용 가능

- 해운과 항공에만 의존하던 기존의 교통패턴에 새로운 교통수단의 도입, 상시 운행이 가능한 新교통체계, 물동량 증가, 이동편 증대에 대한 수요 등을 효과적으로 충족시키기 어려움

- 반면, 해저터널은 기존의 항공, 선박과 같은 교통수단과 달리 강풍, 폭설 등 악천후에 영향을 받지 않는 안정적인 인적·물적 수송체계로 평가

- 연안 지역에서의 교통 물류 네트워크를 활성화시킬 뿐만 아니라, 태풍과 폭설 등 천재지변에 자유로운 해저터널 건설에 대한 새로운 요구가 제기되고 있음

  * 제주공항은 기상악화로 비행기가 제 시간에 이착륙하지 못하는 날이 해마다 평균 50일이 넘으며, 공항 증설만으로 기상 악화 혹은 기상이변에 대처하기 어려움




출처: 뉴스데스크(MBC), 여수 MBC

**<그림 Ⅰ-3> 기존 교통수단의 한계**

■ **(남북간 교류)** 동북아시아권에서 한반도의 정치적 역량과 입지를 강화시킴과 동시에 향후 남북관계 개선 및 남북평화도로 건설에 디딤돌 역할

◉ 최근 국내 경부고속철도 건설계획과 북한과의 화의 무드 조성, '철의 실크로드' 구상 등이 대두

- 현재, 인천시는 세계적인 공항·항만·경제자유구역을 갖춘 인천 영종도-강화도-개성을 잇는 해상교량 및 연결도로 건설 구상 중




출처: 경인일보, 인천시

**<그림 Ⅰ-4> 남북연결도로 구상(안)**

- 영종~강화~개성·해주를 잇는 연육교 건설 시, 안전성을 위해 북한과의 경계선에 인공섬과 같은 매개체가 필요하며, 해당 프로젝트 구조물의 변경가능성 배제 불가

◉ 교량 대신 해저터널 건설 시, 매개체로 구축된 인공섬은 단순히 환기·방재 목적형이 아니라 관광지, 풍력발전소, 주거 등 나아가 랜드마크로 활용 가능



**<그림 Ⅰ-5> 해외 인공섬 건설 사례**

### (3) 해저터널·인공섬의 중요성

■ **(지역균형 발전)** 도서~국가 간을 잇는 대규모 토목공사로써 국토의 균형개발과 고른 성장에 지대한 영향

◉ **(국내)** 터널이 입지하게 되는 지역이 경제 중심지와 떨어져 낙후된 지역일 경우, 해저터널 건설로 지역격차를 완화

- 인구 및 자원이 고르게 분산될 수 있도록 하며, 수도권 집중으로 인한 문제를 자연스럽게 해소할 수 있는 계기를 제공

* 거가 해저터널의 개통으로 인해 부산으로의 접근성이 높아졌으며, 거제도 내에 관광산업이 활성화되어 거가대교와 인접한 지역에 별장 및 펜션이 들어섰음




출처: 동북아 경제 공동체를 위한 한일해저터널 건설의 필요성, 윤영

**<그림 Ⅰ-6> 가덕 해저터널**

- 지역적으로 배치되는 인공섬은 낙후된 지역 산업, 인구 감소, 고용 등의 문제를 해결하여 균형발전을 이룰 수 있음[2)]

* 수도권에서 발생하는 쓰레기, 에너지, 공간 부족 및 인구 과밀 등의 문제를 효율적으로 해결할 수 있음

- 해저터널은 섬이 갖는 고립적인 환경을 벗어나 종합적인 교통체계가 실현되는 것으로, 이를 통해 고속대량 수송이 가능하여 섬의 사회적 인프라 재정비 가능

◉ **(국외)** 영불 해저터널의 경우, 프랑스 깔레 지역 내 침체된 지역경제가 활성화되고, 국토의 균형 발전을 이루었으며, 영국과의 접근성 향상으로 유럽의 발전에 큰 기여

■ **(국토 확장 및 관광지 효과)** 도서~국가 간 접근성 향상 및 소요시간 단축으로 주말 등을 이용한 관광이 가능하며, 향후 인공섬을 건설하여 국토 新공간 창출 효과

◉ 단기적으로, 해저터널은 도서 간, 대륙 간 나아가 국가 간을 잇는 안정성 높은 가교의 역할을 수행하므로써 접근성을 개선시키는 것과 동시에 환기/방재 목적형 인공섬

2) 녹색 해양신공간 창조를 위한 인공섬 및 연육 해저터널 기술개발, 장연수·박우선·신희순.

을 건설하여 안정성 확보

- 해저터널 시공 중 안정성 향상에 따른 공사 및 운영비용의 절감효과 및 이용자의 신뢰도 향상

* 한국공항공사에 의하면, 제주공항은 최대 수용인원 2,500만명을 넘어 연간 2,900만명('18년)이 이용하고 있으며, 이와 같은 수치는 10년 전인 2008년보다 2배가 넘어서는 것으로 국내와 아시아는 물론 전 세계적으로도 제주도가 관광중심지로 성장했음을 알 수 있음

* 현재 제주공항은 윈드시어(난기류)를 만나면 뒤에서 오는 비행기 때문에 타 공항으로 회항하는 실정으로 이러한 상황에서 제주도에 해저고속철도가 건설된다면 태풍, 안개 등 기상에 영향을 받지 않고 제주도를 방문할 수 있으므 로 제주도가 관광중심지로 더 확대될 것으로 예상됨

◉ 중·장기적으로는 동북아를 잇는 해저터널 창출로 관광자원의 확보 및 물류의 흐름에 근접함과 동시에 해외 네트워크를 활성화시켜 국제사회 인프라를 구축

◉ 향후에는 해저터널의 환기/방재를 위한 목적형 인공섬을 확장시켜 랜드마크를 조성, 나아가 국토확장을 통해 국토 협소에 대비, 지역 발전 및 국가적 위상 강화 도모

- 활용목적 및 입지를 최적화할 수 있는 부유식 구조물로 해상도시, 공항 등을 건설하여 국제적인 무역·상업·교류 단지로 활용 가능

- 인공섬이 국가의 랜드마크 역할을 하며, 관광자원을 개발을 통한 세계의 관광객 유치로 인해 간접적인 경제 부양 효과는 제조업을 능가할 것으로 전망

■ **(고용 창출 효과)** 해저터널 건설이 착수됨에 따라 건설 및 공사에 참여하는 건설인력에 대한 고용이 창출되며, 각종 원자재를 공급하는 하청업체의 수도 증가

◉ 해저터널 시공 후에는 해저터널의 관리·운영을 위한 기업의 설립으로 인해 고용창출 효과가 발생

- 선행연구(이재훈, 2009)에 의하면 목포-제주 해저터널 건설시, 생산유발효과는 약 44조원, 건설유발효과는 약 34만명으로 추정

◉ 장기적으로는 해저터널 건설로 인해 해당지역의 입지경쟁력이 높아져 지역 내 기업유치가 촉진됨에 따라 고용 증대가 이루어짐

- 영불 해저터널의 건설기간 동안 현장에서만 평균 8,000여개의 일자리가 발생하였으며 이 중 35%가 켄트지역에서 고용됨

* 건설관련 하청업체들 고용 증가는 연간 10,127명에 달함

■ **(주변 해양자원 개발)** 특히 인공섬 건설 기술개발을 통해 향후 인공섬이 구축될 경우, 주변의 다양한 해양자원 확보 가능

◉ 지금까지 우리나라는 연안에 경제활동 공간을 확보하기 위해 대규모 매립·간척사업을 추진해 왔으나, 해양환경의 악화를 초래하고 입지선택에 제한적

◉ 해저터널·인공섬 건설을 통해 향후 해양광물자원 확보 및 연안공간의 복합적 이용 효과 등의 간접적인 파급 효과

■ **(수송비, 물류비 등 비용절감 효과)** 해저터널 건설로 인한 물류비 절감, 인공섬 구축으로 인한 전진항만의 역할 수행 가능

◉ 해저터널이 건설되면 항공료에 비해 운임료가 낮아지게 되므로 물류비 등이 일부 절감되어 섬의 생활권과 경제권이 광역화될 가능성이 있음

- 건축, 토목, 교통 등 다양한 분야의 생산성 증대는 다른 산업에 미치는 경제적 효과가 매우 클 것이며, 내륙지방과의 물류비 감소로 생산성이 높아지고 경제협력이 더욱 강화될 것으로 전망

- 더불어 해저터널을 통한 에너지, 자원의 효율적인 수송과 이용이 가능해지고 터널 시공으로 얻은 토목기술이 터널의 유지관리 분야로 확대되어 다양한 분야의 추가적인 기술 촉진으로 연결될 것으로 예상됨

◉ 또한 인공섬의 경우 기존 항만이 가진 기능보다 해양으로 나아가 배치되므로써 전진항만의 역할을 수행하므로써, 동북아 물류 흐름의 중심에 더 효율적으로 접근이 가능

- 이로 인해 수송비와 물류비 절감 효과뿐만 아니라 시공 중 안정성 향상에 따라 공사 및 운영비용의 절감효과가 발생

## 나. 해저터널·인공섬의 건설현황 및 한계

**(해저터널·인공섬 건설 역량 미흡)** 세계 해저터널 건설 기술수준에 비해 국내 해저터널 건설기술수준이 50~80%에 불과하며, 이에 따라 선진국과의 기술격차 지속 우려

선진국 대비 해저/침매터널 국내 평균 기술경쟁력 격차는 28.9%, 인공섬의 경우 41.4%

- 우리나라가 그간 주력분야로 많은 시공 경험을 보유하고 있는 분야인 육상 및 해양기초, 교량 분야의 기술경쟁력은 양호

- 반면 해저/침매터널, 인공섬 등의 경우 높은 기술수준이 요구되고 고부가가치 영역의 기술인만큼 기술경쟁력이 상대적으로 저조

☞ 해저터널은 바다 밑 깊은 땅속에 건설되는 만큼 길고 큰 터널을 빠르게 굴착·시공하기 위한 기술과 육지와 달리, 해저 지반 조사에 많은 제약이 있는 점으로 고려해 해저 첨단조사기술, 높은 수압에 견딜 수 있는 터널 안전 설계·시공기술, 화재 및 누수와 같은 위험 요소를 제거하기 위한 안전과 방재기술 등 수 많은 첨단기술 개발이 필요(이성원, 2007)

국내에서 연장 약 10㎞ 내외 해저터널 설계기술력은 확보한 상태이나, 40km이상의 해저터널 건설 경험은 전 세계적으로도 전무한 상황

- 특히 우리나라는 아직 지중굴착식 해저터널이 건설된 바 없으며, 전 세계적으로 건설되었거나 건설 중인 것은 약 40여개 정도에 불과

* 해저터널이 있는 10여개 나라 중에서 노르웨이에는 20여개 이상의 지중굴착식 해저터널이 있어, 전 세계 해저터널의 절반 이상을 차지

- 해저터널은 일반적인 지상터널과 달리 해수면 하부 대심도에 위치하므로 기획, 조사, 설계 및 시공방법에 있어서 많은 차이점이 존재

- 지중굴착식 해저터널의 경우는 예상치 못한 지층의 변화 또는 고수압에 의한 돌발적인 사태 발생에 대비한 고도의 시공 및 유지관리 기술이 요구되며, 크고 작은 단층대가 발달될 가능성이 있어 지상터널보다 진일보된 굴착 및 위험대처 기술이 요구됨

- 따라서, 연장 50㎞ 이상의 초장대 해저터널 기술력을 확보하기 위해 일부 영역에 대한 기술적 인프라 보강이 필요

**(해저터널 실증기술 부족)** 국내 시장에서의 실증 및 우수성 검증을 기반으로 해외시장 공략이 필요하나, 旣확보된 국내 해저터널 관련 실증 기술은 미비

- 기존 해저터널 관련 국가연구개발 사업은 각 구조물의 요구 성능 확보를 위한 한계적인 연구사업으로 진행

  - 요소기술(TBM) 중심의 기술개발인 경우 해저터널 건설의 특성을 반영하지 못함

  - 해저터널 건설을 목적으로 하는 경우에는 실증 전 단계 중심의 기술개발 지원

- 국내 해저터널 건설 기술을 기초단계에서 응용·개발단계로 발전시키고 기술의 경제적 가치를 발굴하기 위해서 기술기반의 실증 필요

  - 기술기반의 실증이란 기존 제품·기술의 보완 및 강화, 대형화, 다양화 등 기술이 시장에 진출하기 위해 기술의 성능을 인증·검증과 기술 개발단계의 테스트를 말함

  - 국내에서는 '전력피크 대응을 위한 ESS 실증연구사업', '스마트 그리드 실증사업' 등을 통해 신기술을 검증 연구가 진행되었으나, 旣개발된 해저터널 기술기반 실증 연구는 전무한 상태로 현 시점에서 실증 연구가 시급

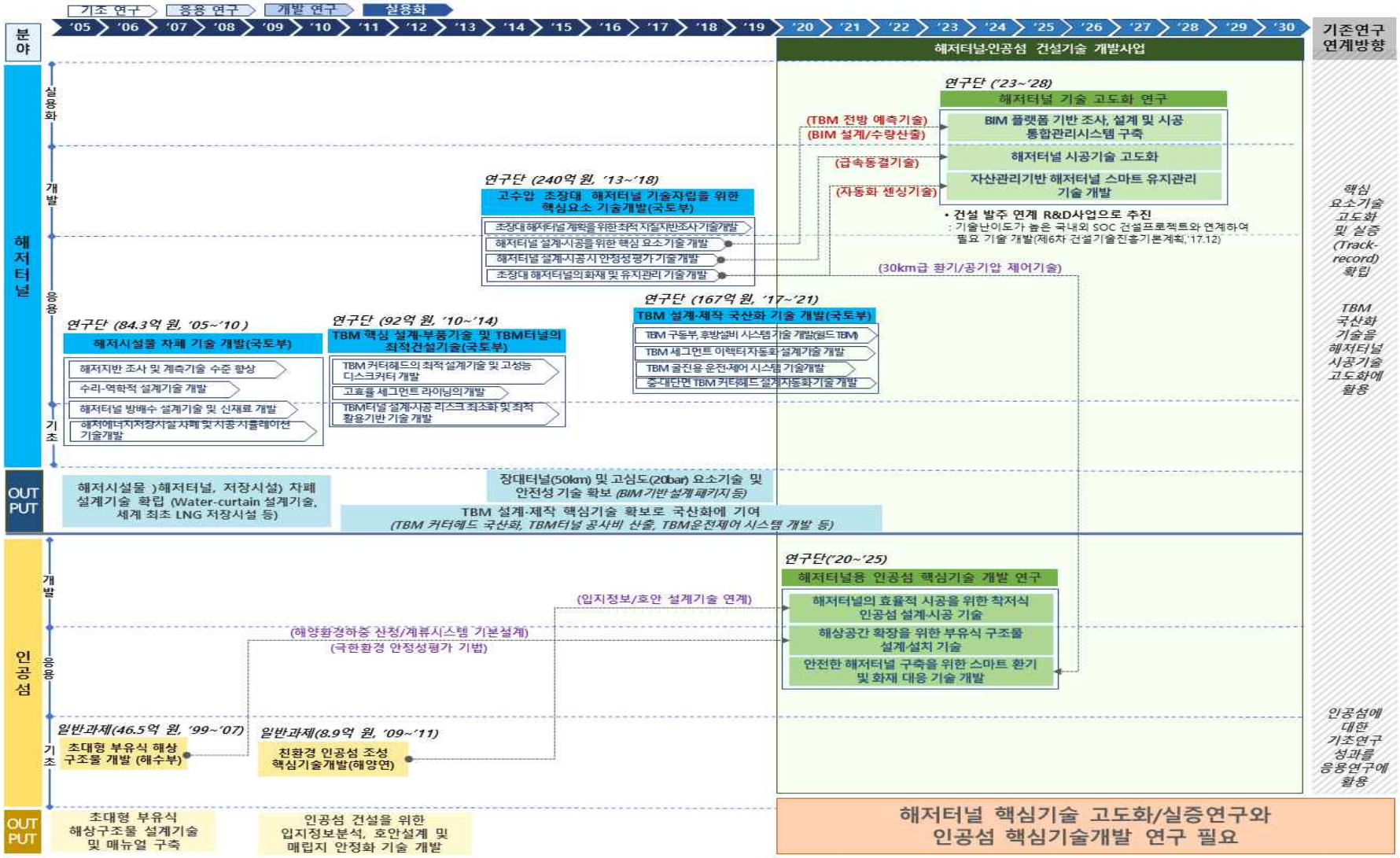
**[참고] 국내 기술기반 실증 사업 사례**

▷ **전력피크 대응을 위한 ESS 실증연구사업(2014~2016)**

- (목표) 고효율 54MW급 BESS 테스트 스테이션을 설치하여 전력피크 대응, 부하 평준화, 전력 품질 향상 등의 기능 실증
- (성과) 다기종 ESS의 효율적 피크 대응, 전력공급 안정성 증대 및 신재생 수용능력 향상, BESS 관련 법규 및 지원 정책 도출, 해외사업 진출의 발판 마련
- 전통적인 기술검증을 위한 플랜트사업으로, 기술의 안정성과 확장성에 대한 검증을 이루어냈으나 시장 확대를 위한 관련 법규 개선 지원 등이 필요

▷ **스마트 그리드 실증사업(2009~2013)**

- (목표) 스마트그리드 환경 구축과 전력시장 개설을 통한 관련기술 검증 및 비즈니스모델 발굴
- (성과) 신재생 연계기술, 실시간 거래기술, 스마트 계량기술 등 153개의 핵심기술 검증, 빌딩에너지 관리시스템, 스마트가전, 지능형 수요관리 등 실제 사업화 진행(산업통상자원부, 2013)
- 스마트그리드 실증사업은 기술의 산업화 기반 마련에는 성공했으나, 시스템 연동을 위한 상호 운용성 표준에 대한 지원 미흡으로 새로운 비즈니스모델을 통한 가치창출 실패(신순식, 2014)


기초 연구
응용 연구
개발 연구
실용화
분야
'05 '06 '07 '08 '09 '10 '11 '12 '13 '14 '15 '16 '17 '18 '19 '20 '21 '22 '23 '24 '25 '26 '27 '28 '29 '30
기존연구 연계방향
해저터널인공섬 건설기술 개발사업
해저터널
실용화
개발
응용
기초
연구단 ('23~'28)
해저터널 기술 고도화 연구
(TBM 전방 예측기술)
(BIM 설계/수량산출)
BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축
(급속동결기술)
해저터널 시공기술 고도화
(자동화 센싱기술)
자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발
• 건설 발주 연계 R&D사업으로 추진
: 기술난이도가 높은 국내외 SOC 건설프로젝트와 연계하여 필요 기술 개발(제6차 건설기술진흥기본계획,'17.12)
연구단 (240억 원, '13~'18)
고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발(국토부)
조장대해저터널계획을위한최적지질지반조사기술개발
해저터널 설계·시공을 위한 핵심 요소기술 개발
해저터널 설계·시공시 안정성평가기술개발
조장대 해저터널의화재 및 유지관리 기술개발
(30km급 환기/공기압 제어기술)
연구단 (84.3억 원, '05~'10)
해저시설물 차폐 기술 개발(국토부)
해저지반 조사 및 계측기술 수준 향상
수리·역학적 설계기술 개발
해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발
해저에너지저장시설차폐및지공지플래이션 기술개발
연구단 (92억 원, '10~'14)
TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술(국토부)
TBM 커터헤드의 최적 설계기술 및 고성능 디스크커터 개발
고효율 세그먼트 라이닝의개발
TBM터널 설계·시공 리스크 최소화 및최적 활용기반 기술개발
연구단 (167억 원, '17~'21)
TBM 설계·제작 국산화 기술 개발(국토부)
TBM 구동부, 후방설비 시스템기술 개발(원드TBM)
TBM 세그먼트 이액터자동화 설계기술 개발
TBM 굴진용 운전·제어 시스템 기술개발
중·대단면 TBM 커터헤드 설계자동화기술 개발
핵심 요소기술 고도화 및 실증 (Track-record) 확립
TBM 국산화 기술을 해저터널 시공기술 고도화에 활용
OUT PUT
해저시설물 )해저터널, 저장시설) 차폐 설계기술 확립 (Water-curtain 설계기술, 세계 최초 LNG 저장시설 등)
장대터널(50km) 및 고심도(20bar) 요소기술 및 안전성 기술 확보 (BIM기반 설계·패키지 등)
TBM 설계·제작 핵심기술 확보로 국산화에 기여
(TBM 커터헤드 국산화, TBM터널 공사비 산출, TBM운전제어 시스템 개발 등)
인공섬
개발
응용
기초
연구단('20~'25)
해저터널용 안공섬 핵심기술 개발 연구
(입지정보/호안 설계기술 연계)
해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술
(해양환경하중 산정/계류시스템 기본설계)
(극한환경 안정성평가 기법)
해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술
안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발
일반과제(46.5억 원, '99~'07)
초대형 부유식 해상 구조물 개발 (해수부)
일반과제(8.9억 원, '09~'11)
친환경 인공섬 조성 핵심기술개발(해양연)
인공섬에 대한 기초연구 성과를 응용연구에 활용
OUT PUT
초대형 부유식 해상구조물 설계기술 및 매뉴얼 구축
인공섬 건설을 위한 입지정보분석, 호안설계 및 매립지 안정화 기술 개발
해저터널 핵심기술 고도화/실증연구와 인공섬 핵심기술개발 연구 필요

<그림 Ⅰ-7> 기술 로드맵

■ **(인공섬 핵심기술 전량 해외 의존)** 현재까지 인공섬 건설 관련 기술개발은 전무하여 전량 해외에 의존함에 따라, 핵심 기술개발 시급

◉ 인공섬 핵심기술의 전량 해외 수입·기술역량 미흡

- 국내에서는 각 지자체별 인공섬 개발 계획 등 준설·매립과 같은 인공섬 조성 관련 일부 요소(인력 등)기술은 가능하나, 대부분이 선진국의 기술에 의존

  * 특히 인공섬 건설 기술의 계획 및 설계 분야 기반 역량이 미흡한 실정

- 특히 인공섬 관련 분야에 대한 정부 지원의지가 미흡하며, 엔지니어링 관련 전문 연구인력 또한 부족한 상황으로 해외의존도가 높음

- 따라서 인공섬 관련 독자적인 기술경쟁력을 유지할 수 있는 수준으로 인공섬 건설을 위한 핵심 요소기술 개발 필요

**<표 Ⅰ-4> 해저터널·인공섬 기술경쟁력**

| 구분 | 최고 선진국 | | 국내 기술 경쟁력 | 경쟁력 격차 |
|---|---|---|---|---|
| | 국가명 | 기술 경쟁력 | | |
| 해저/침매터널 | 프랑스 | 2.08 | 0.60 | 28.9% |
| 인공섬 | 독일 | 1.93 | 0.80 | 41.4% |

출처: 시설물 상세기술 확보 전략 수립연구, 한국건설기술연구원·테크노베이션파트너스, 2017.10.

■ **(글로벌 경쟁력 확보 및 규모의 경제 실현 한계)** 글로벌 경쟁력 확보를 위해 국내 시장 창출이 우선적으로 필요하나, 국내는 미흡

◉ 일본의 세이칸 터널, 영불해저터널이 완공된 이후, 지브롤터 해저터널(스페인-모로코) 및 베링해협 해저터널 계획 등 해외 해저터널 프로젝트들이 점차 가시화

- 지브롤터 해저터널의 경우, 유럽~아프리카 대륙을 연결하는 해저터널로, 길이는 스페인 카날레스~모로코~시레스 간 42.7㎞(해저터널구간 27.7㎞)이나 아직까지 진척이 별로 되지 않고 있음

- 중국은 랴오닝성 다롄시와 산둥성 옌타이시를 잇는 총 길이 123㎞의 보하이 해협 해저터널 프로젝트를 추진 중

- 이외에도 중국~러시아~북미 대륙횡단 철도 건립을 위해 러시아~미국 알래스카 사이의 베링해협을 연결할 해저터널(총 길이: 100㎞)을 구축하기 위해 프로젝트 검토 중

- 향후 노르웨이, 영국, 프랑스 등 유럽과 아시아(중국, 일본 등)를 중심으로 지속적으로 일정 시장규모를 유지할 것으로 예상

◉ 국내는 거가대교 해저터널이 유일한 시공실적으로, 현재 진행 중인 보령~태안 해저터널 외 향후 검토 중인 국내 해저터널은 호남~제주, 한·일, 한·중 해저터널 약 3건

- 민간이나 지자체 수준에서 호남~제주, 한·일, 한·중 등 3개의 거대 해저 터널 건설 구상(안)이 지속적으로 논의되어 왔으며, 해저터널 용역 또한 진행된 바 있음

- 한·일 해저터널은 1920년대 일본 구분에 의한 대륙진출 루프 확보방안의 하나로 처음 제기된 후, 한일해저터널연구회 설립 등 간헐적으로 사업을 제안해 옴

  * 이 과정에서 한일터널연구회, 한국교통연구원, 부산발전연구원 등이 공동연구기관으로 참여하는 등 다양한 연구 활동을 수행하였음

- 한·중 해저터널은 2008년 경기도에서 제안하였고 그 당시 경제성 미비로 논의가 중단되었으나, 2014년 중국의 新실크로드 형성을 위한 일대일로 국가전략 발표 후 논의가 가시화되고 있는 추세

- 향후 유럽, 일본 등 선진국이 독점하고 있는 해외시장에 진출하기 위해 국내 해저터널 건설기술을 증명할 수 있는 해저터널 건설 실적(Track Record)확보 시급

# 2. 사업추진 필요성

## 가. 새로운 패러다임 전환에 따른 사업의 시급성

■ **(정책적 시급성)** 現정부 국정과제(과제32-2), 제6차 건설기술진흥기본계획('17.12, 법정계획), 건설산업 혁신 방안('18.7, 경장회의) 등에 따른 해저터널 관련 고부가가치 기술 확보 시급

◉ 해외진출 지원, 해외 수요 대응형 건설기술 개발 등을 위해 메가스트럭처(교량, 터널, 해저터널, 특수구조물 등) 기술개발 추진 중

**<표 Ⅰ-5> 주요 정책 현황**

| 관련 정책 | 주요 내용 | 해저터널 관련 분야 |
|---|---|---|
| 국정과제 | • (전략1)소득 주도 성장을 위한 일자리경제<br>• (전략2)활력이 넘치는 공정경제<br>• (전략3)서민과 중산층을 위한 민생경제<br>• (전략4)과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명<br>• (전략5) 중소벤처가 주도하는 창업과 혁신성장 | • (과제 32-2) 건설산업 유망분야 육성 및 해외진출 지원을 통한 일자리 창출 |
| 제6차 건설기술진흥 기본계획 | • 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발 및 신산업 육성 (스마트 건설기술 개발, 해외 수요 대응형 건설기술 개발 등)<br>• 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선 (국제 기준에 부합하는 제도 구축, 글로벌기준에 맞는 경력 관리체계구축 등) | • 해외 수요 대응형 건설기술 개발(중점과제) - 메가스트럭처, 플랜트 R&D 추진 |
| 제1차 국토교통과학 기술연구개발 종합계획 | • 4차 산업혁명 대응 및 혁신성장동력 육성을 위해 초연결 도시 구현 기술 개발, 자율주행기술 개발 등<br>• 기술융합을 통한 새로운 가치창출 일환으로 고부가가치 건설기술 창출<br>• 사람 중심의 국토교통 기술개발 추진<br>• 국토교통 R&D 관리체계 혁신 등 미래지향적 R&D 시스템 도입 | • 기술융합을 통한 새로운 가치창출(4대전략) - 고부가가치 건설기술 창췰(실천과제) - 초장대교량, 대심도 해저터널, 플로팅 구조물 등 |
| 건설산업 혁신방안 (경제관계장관회의, ' 18,7) | • 스마트 건설기술 활성화, 고부가가치 건설시장 확대 등글로벌 산업 육성<br>• 생산구조 혁신을 통해 고효율 산업 육성<br>• 부실, 불법, 부조리가 없는 공정 산업 강화<br>• 일자리 혁신을 통해 청년층 취업비중 확대 | • 4대 혁신방안인 '기술혁신' 내 추진과제 - '스마트 건설기술 활성화' 과제 - 메가스트럭처(초장대교량, 부유식 해저터널, 인공섬 기술 개발), 플랜트 등 |

- 인공섬 건설은 세계 글로벌화 추세에 따라 SOC 시설물 건설 사업에 중점을 두고 있으며, 선진국에서는 국가차원의 정책 수립 및 투자를 확대하고 있는 실정

  - 일본은 정부가 적극적으로 항만, 공항, 여객터미널 등 주요 SOC 시설물 건설에 인공섬 건설기술을 적용함

  - 네덜란드 국토의 약 1/4에 해당하는 면적을 해안 매립을 통해 확보하였으며, 미국은 초대형 부유식 해상구조물 개념을 제시함

**(기술적 시급성)** 기존 연구개발 사업은 주로 해저터널 구축을 위한 요소기술 및 실증 전 단계 중심의 기술개발로 지속적인 해저터널 시장 확대가 불가능

- 기존 연구단을 통해 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술은 이미 확보가 되었으나, 실험·연계가 가능한 Test-bed 성격의 실험 인프라 미비로 실증 연구가 부족한 실정

  - 해저시설물 차폐기술 연구단은 5년간의 연구를 통해, 해저지반 조사 표준기법, 유지관리 통합 시스템, 위험구간 사전 감지기법 등 3가지의 성과를 도출

  - 해저터널 연구단의 경우, 해저터널 올인원 관리시스템, 스마트 터널 유입수 제어 및 관리시스템 구축, 고수압 조건에 적합한 급속 동결공법의 최적 설계안 및 시공법등 1차년도의 해저터널 기반연구가 진행된 상황

  - 해저터널 관련 기존 연구단의 성과는 초장대 해저터널 건설을 위한 핵심 요소 기술 개발에만 집중되어 있어, 이를 현장에 적용할 수 있도록 하는 실증 연구가 미비

  - 따라서, 본 사업을 통해 단순 영상 시뮬레이션이 아닌 다양한 실험을 통해 개발된 기술의 완성도 높이는 실증 연구가 필요

- 각 부처·지자체별 인공섬 조성기술 개발 계획을 추진하였으나, 산발적으로 진행되고 있으며, 국내 독자적인 인공섬 기술은 일본 및 선진국에 의존

  - 기존 해저터널 연구단의 세부추진 분야 중 하나로 수직구(발진구/환기구)를 위한 인공섬 기술 개발을 추진하였으나, 연구범위 조정으로 인해 핵심 요소 기술 확보 실패

  - 인공섬 조성 기술은 선진국 대비 약 50% 수준으로 평가 받고 있으며, 단순 시공기술 이외에 설계 등과 같은 핵심 고부가가치 기술 분야에서는 아직까지 일본 및 선진국의 기술에 의존

- 반면 일본, 네덜란드, 미국 등 선진국에서는 인공섬 기술 개발이 활발하게 진행되고 있음

  - 일본은 부유구조체 분야의 선점을 위해 Megafloat 프로젝트를 출범시켜 장기간 막대한 예산을 투입하여 강재 부유구조체의 기술 개발 및 실증실험을 마침

  - 네덜란드의 경우, 해수면 보다 낮은 육지에 대한 해결책으로 부유식 해상도시

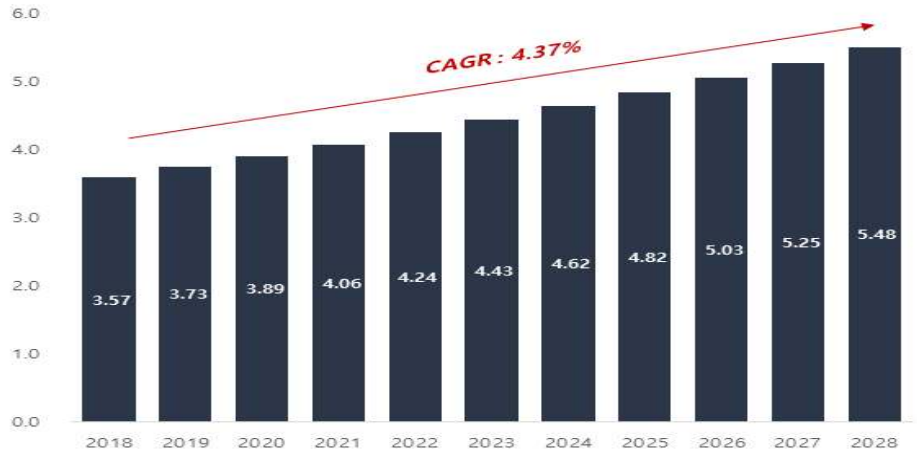
프로젝트를 계획 중

- 미국은 다수의 부유식 항만 터미널이 운용중에 있으며, 워싱턴 주 도로국(DOT)와 CTC(concrete Technology Corporation)을 중심으로 관련기술 개발을 진행 중

■ **(경제적 시급성)** 중국, 미국 등 대규모 건설 투자에 따른 글로벌 SOC 시장 확대로, 국내 기업의 해외 SOC 시장 확보를 위해 새로운 전략 마련 시급

◉ 지난 20년간 건설된 국외 해저터널 프로젝트와 유사한 규모로 지속될 것으로 가정하고, 추정한 결과 10년 후 국외 해저터널 건설 시장은 5.48조 원 규모로 예상

(단위 : 조원)

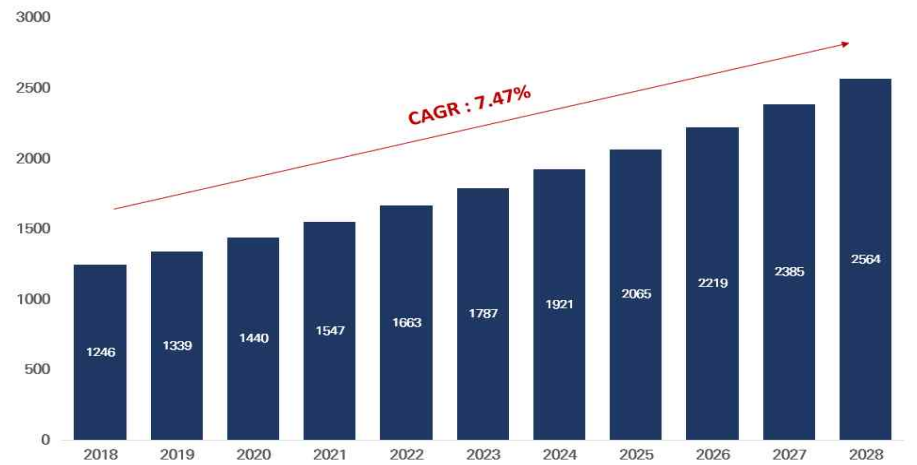



출처 : 해저터널 연구단 내부자료

**<그림 Ⅰ-8> 국외 해저터널 건설 시장 규모**

◉ 세계적으로 인공섬 건설에 대한 관심이 증가함에 따라, 시장규모 또한 확대될 것으로 전망

(단위 : 조원)




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

**<그림 Ⅰ-9> 국외 인공섬 건설 시장 규모**

◉ 한반도와 가장 인접한 국가 중 하나인 중국은 올해부터 13차 5개년 계획이 시작되면서 지역별 경제벨트, 일대일로 등 대내외 인프라 투자가 가속화되는 추세

- 중국의 인프라 시장은 '15년~'20년 동안 연평균 약 7% 성장이 예상되며, 그 규모는 '13년 기준 1,808억 달러에서 '20년 2,965억 달러로 지속·확대될 전망

(단위 : 십억 달러. 비중(%))




출처: 중국의 인프라 시장 전망과 시사점, 현대경제연구원, 2016.05.23.

**<그림 Ⅰ-10> 중국 인프라 시장 규모**

- 최근 중국 내 중·서부 지역을 중심으로 거대 인프라 투자가 가속되는 만큼 중국의 내수시장 확대에 대비한 전 방위적 플랜 마련 필요

- 특히 일대일로(一帶一路)* 프로젝트 등 중국과 범아시아권을 연결하는 대규모 인프라 사업이 활발해짐에 따라, 국내에서도 세계 인프라 사업에 진출하기 위한 방안 모색이 필요한 상황

* 최근 중국 시진핑 주석이 중앙아시아 및 동남아시아 순방 중 처음 제시한 전략으로, 2049년 완공을 목표로 동아시아와 유럽 경제권을 연결하는 초대형 프로젝트를 말함




출처: "'中 일대일로' 맞서 미국-일본-인도-호주판 '일대일로' 나오나",dongA.com, 2018.02.20.

**<그림 Ⅰ-11> 중국 일대일로 대항 프로젝트 추진**

◉ 최근 중국이 주변국들의 SOC 사업에 막대한 자금을 투자하는 등 영향력을 확대하자, 미국이 전 세계 대규모 인프라 프로젝트에 투자를 대폭 확대 계획 추진 중

- 미국은 대규모 해외 인프라 프로젝트를 위해 흩어졌던 해외 투자 기구를 통합하고, 재원을 확대하여 중국을 견제

- 또한 인도·태평양 전략 참가국인 미국·호주·일본·인도 4개국이 중국의 영향력 확대에 대응하여 일대일로를 대체할 공동 인프라 프로젝트를 논의하고 있으며 그 외 국가들도 일대일로에 대한 우려를 표명

  * (일본) 공적개발원조(ODA)로 인도·태평양 전략 추진

  * (인도) 파키스탄·몰디브 등 일대일로 주요 거점을 놓고 중국과 갈등

  * (러시아) 중국의 경제·군사 확장이 중앙아시아에서 러시아를 밀어낼 것이라는 우려

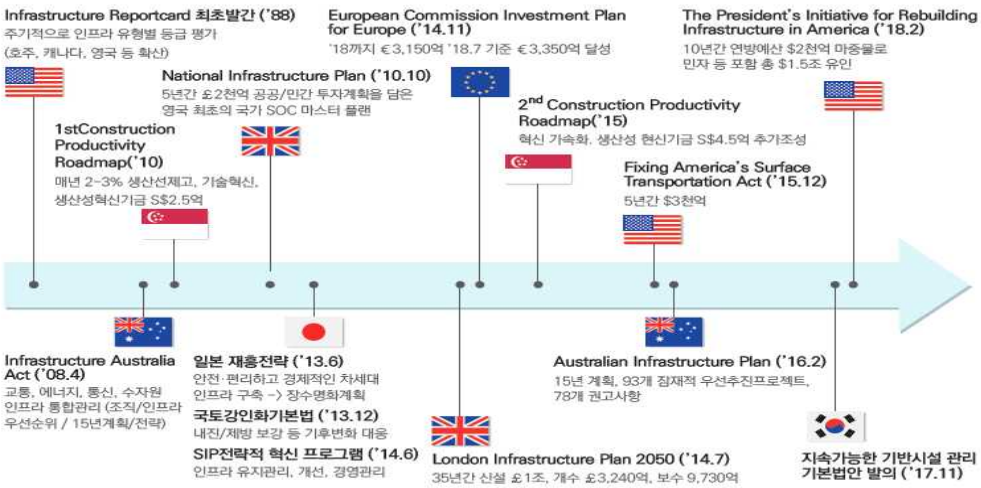
- 이에 국내에서도 미국·중국을 견제하고. 세계 인프라 시장을 확보하기 위해서 고부가가치 기술 개발 등 적극 추진 필요

## 나. 국고지원의 적합성

**(교통인프라 조성 국가 책임성)** 교량, 터널 등 안전하고 편리한 교통인프라 조성은 국가 책임성이 강하며, 국민 삶의 질 제고와도 직결

해외에서는 교통인프라를 국가경제 활동을 가능하게 하는 기반시설 중 하나로 간주하고 범국가 차원에서 전략을 수립하고 추진

- 선진국에서는 인프라를 국민생활과 경제활동의 기반이자 국가경쟁력을 좌우하는 핵심요소로 인식하고 이를 바탕으로 각 종 계획을 추진 중




출처: KICT Insight 3권, 한국건설기술연구원, 2018.09.

**<그림 Ⅰ-12> 선진국의 인프라 투자 및 관리체계 개선 주요 연혁**

* 미국은 이미 주·지방정부에서 공공인프라 투자의 75%를 담당하고 있으며 프로젝트 수요 발굴, 계획, 타당성 검토, 사업자 선정 등 핵심역할을 수행

* 유럽은 '13년부터 Infravation Project를 통해 교량, 터널 등 교통인프라 성능향상을 위한 기술연구를 지원해왔으며, 차세대 인프라 기술을 확보

* 영국 또한 인프라를 경제의 중출 인식하고 UK Infrastrure 2025를 공포

* 일본은 국가 차원에서 교량, 터널 등 교통인프라시설의 개선시키기 위한 제도를 개발·실행하고 범부처 전략적 혁신 프로그램 전략을 병행

- 국내도 미국, 영국 등 최근 선진국들이 잇달아 내 놓고 있는 국가차원에서의 교통인프라 시설 전략, 정책, 산업 동향 분석 등 방향 제시 및 지원 필요

◉ 본질적으로 교통인프라는 국민의 삶에 필요한 요소들을 연결하고 공급해 삶의 질을 개선하고 나아가 사회통합을 실현시킴

- 교통인프라의 개선은 물류 비용을 절감시키거나 평균 통근시간을 줄여줌으로써 삶의 질 향상에도 직접적으로 기여 가능

- 따라서 국민생활의 안전성 향상 및 주요 기반시설의 효율화 유지·관리 등을 위한 공공기술 연구개발사업의 성격으로 정부 주도의 R&D 투자가 필요

■ **(민간투자 한계)** 국가차원의 공공 R&D 영역으로, 대규모 예산이 투입되는 사업으로 발주되는 장기적 민간업체 투자에 한계

◉ 해저터널 운용수익으로 막대한 건설비용을 조기에 회수하기 어려우므로 국민경제에 미치는 부담을 감안하여, 국가주도로 민간투자 유도 필요

- 현재까지 시공이 완료되어 운영 중에 있는 해저터널(영불해협, 세이칸, 동경만 해저터널 등)의 일반적인 공사비는 평균 100억 불 전후

**<표 Ⅰ-6> 주요 해저터널 공사기간 및 공사비**

(단위: 조원)



| 구분 | 국가 | 연장(km) | 공사기간 | | 공사비 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 전체 | (월/km) | 전체 | (조원/km) |
| 유로터널 | 영국, 프랑스 | 50.45 | 6년 6개월 | 1.55 | 18 | 0.36 |
| 세이칸철도터널 | 일본 | 53 | 24년 | 5.43 | 7.88 | 0.13 |
| 아쿠아라인 | 일본 | 9.5 | 12년 | 15.16 | 15.23 | 1.26 |
| 오레선드 | 덴마크, 스웨덴 | 8 | 5년 7개월 | 8.38 | 4.8 | 0.6 |
| 샤면터널 | 중국 | 9 | 5년 | 6.67 | 0.54 | 0.06 |
| Westerschelde 터널 | 네덜란드 | 6.6 | - | - | 0.94 | 0.14 |
| Hvalfjördur 터널 | 아이슬란드 | 5.7 | 2년 7개월 | 5.44 | 0.81 | 0.14 |
| 보스포러스 터널 | 터키 | 5.4 | - | - | 1.15 | 0.21 |
| 칭다오 자오저우만 해저터널 | 중국 | 7.8 | 3~4년 | 6.15 | 0.55 | 0.07 |
| 베링해협 해저터널 | 러시아, 미국 | 40 | 10년 | 1.5 | 60 | 1.5 |
| 링컨라인 | 미국 | 2.5 | 27년 | 129.6 | 0.09 | 0.03 |
| 이스턴하버터널 | 홍콩 | 2.2 | 3년 | 16.36 | 0.015 | 0.007 |
| 웨스턴하버터널 | 홍콩 | 2 | 4년 | 24.0 | 0.04 | 0.02 |

주: 2019년 4월 환율적용
출처: 각국 정부, 외신종합, Global Infrastructure Hub.

- 순수 민간자본을 투자하여 국가 간 초대형 인프라 건설을 주도할 경우, 조기에 수익성이 낮으므로 조기 회수의 불확실성을 극복하기 위해 정부-민간 협력 투자 필요

◉ 국토교통 R&D는 장기적 투자에 대한 경영적 위험성에 따라 기술개발의 실패 및 중단의 경우가 발생할 수 있어 중소기업의 경우 타 분야 대비 시장 진입 장벽이 높음

- 특히, 국토 인프라 분야는 국가 계획 또는 국제 사회의 협의를 통해 시장창출이 가능한 공공성이 매우 높은 영역이자 고위험(High risk) 영역으로 개별기업 단독으로 투자 및 추진에 한계

- 공공성이 강한 사업으로 5년 이상의 지속적인 연구가 추진되어야 하는 바, 성공적인 수행을 위해 정부 지원 하에 산·학·연이 공동으로 참여하는 방식으로 추진 필요

■ **(기술수준 추격 심화)** 국내 해저터널 기술수준은 76.9%, 인공섬은 78.6%인 반면, 중국은 75.5%, 77.9%로 기술추격이 심화됨에 따라 국내 기술우위 선점 필요

# 제2절 사업 추진근거

## 1. 법/제도

- 국가통합교통체계효율화법
  - 교통체계의 개발 및 운영에 관하여 우선 적용되는 국가통합교통체계효율화법 제4조(국가기간교통계획의 수립 등), 제5조(다른 계획과의 관계) 및 제 94조(국가교통기술개발계획의 수립)에도 근거하여 추진
- 건설기술관리법
  - 해외시장 진출 확대 및 신규시장 선점을 위해 시장 수요에 기반하여 핵심시설물 기술 및 시공실적을 확보하기 위해 수립한 제3조(건설기술진흥기본계획)에 근거
  - 동법 제3조(건설기술진흥기본계획)이란 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 그 성과를 효율적으로 이용하게 하기 위해 건설기술진흥기본계획을 수립하여 추진
- 교통안전법 및 철도안전법
  - (교통안전법) 교통안전에 관한 국가 또는 지방자치단체의 의무·추진체계 및 시책 등을 규정
  - (철도안전법) 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립
- 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침
  - 육상터널과 다른 해저터널의 경우 구조적인 측면과 방재측면에서 안전성을 우선순위로 고려하여 방재시설을 변경·설치 가능하도록 규정
- 도로터널 환기설계에 관한 기준지침
  - 터널 환기시설 설계기준에서 PIARC 방식을 우리 실정에 맞게 수정한 기준안을 적용토록 규정함에 따라 동 기준에 근거하여 추진
- 산업안전보건법
  - 산업 안전 및 보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성하기 위해 제정한 제1조에 근거

# 2. R&D정책 및 부처 계획

## 상위계획

### 최상위계획

- 제4차 과학기술기본계획('18~'22)
- 2018년 정부연구개발투자방향 및 기준('18)

### 국토교통부 상위계획

- 국토부, 「국토교통과학기술 연구개발 종합계획」('18~'27)
- 제4차 시설물 안전 및 유지관리 기본계획('18~'22)
- 제4차 국토종합계획 수정계획('11~'20)
- 국가기간교통망계획 제2차 수정계획('01~'20)

### 타부처 상위계획

- 제3차 국가안전관리기본계획('15~'19)
- 제2차 녹색성장 5개년 계획('14~'18)

## 건설 관련 계획

### 산업 정책

- 제4차 건설산업진흥기본계획('13~'17), 국토해양부

### R&D 정책

- 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22). 국토교통부
- 2018년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획('18)
- 국토교통 R&D 중장기 전략('14~'23)
- 건설산업 혁신방안, 관계부처 합동

# 제3절 사업 기획 방법 및 추진 경과

## 1. 사업 기획 프로세스 및 방법론

### 가. 목적 및 범위

#### (1) 연구의 목적

■ 본 기획과제의 목적은 대륙-도서 간을 연결하기 위해 해저지반 지하에 건설되는 해저터널 건설기술을 개발하고 향후 해외시장 수주 독점영역 창출 및 수익성 제고를 목적으로 함

◉ 이를 위해, 그간 변화된 국내외 해저터널 관련 기술/시장/정책 동향 및 해외시장 해저터널 수주 현황을 조사하고, 기 설계된 사업의 단계별 운영·관리방안 보완 및 사업추진에 따른 기대·파급효과를 구체화함

◉ 또한, 국내외에서 성공한 해저터널 건설 관련 사례를 조사·분석하고 핵심 기술을 도출하여 해저터널 건설에 있어서 특화된 기술을 발굴하고 설계함

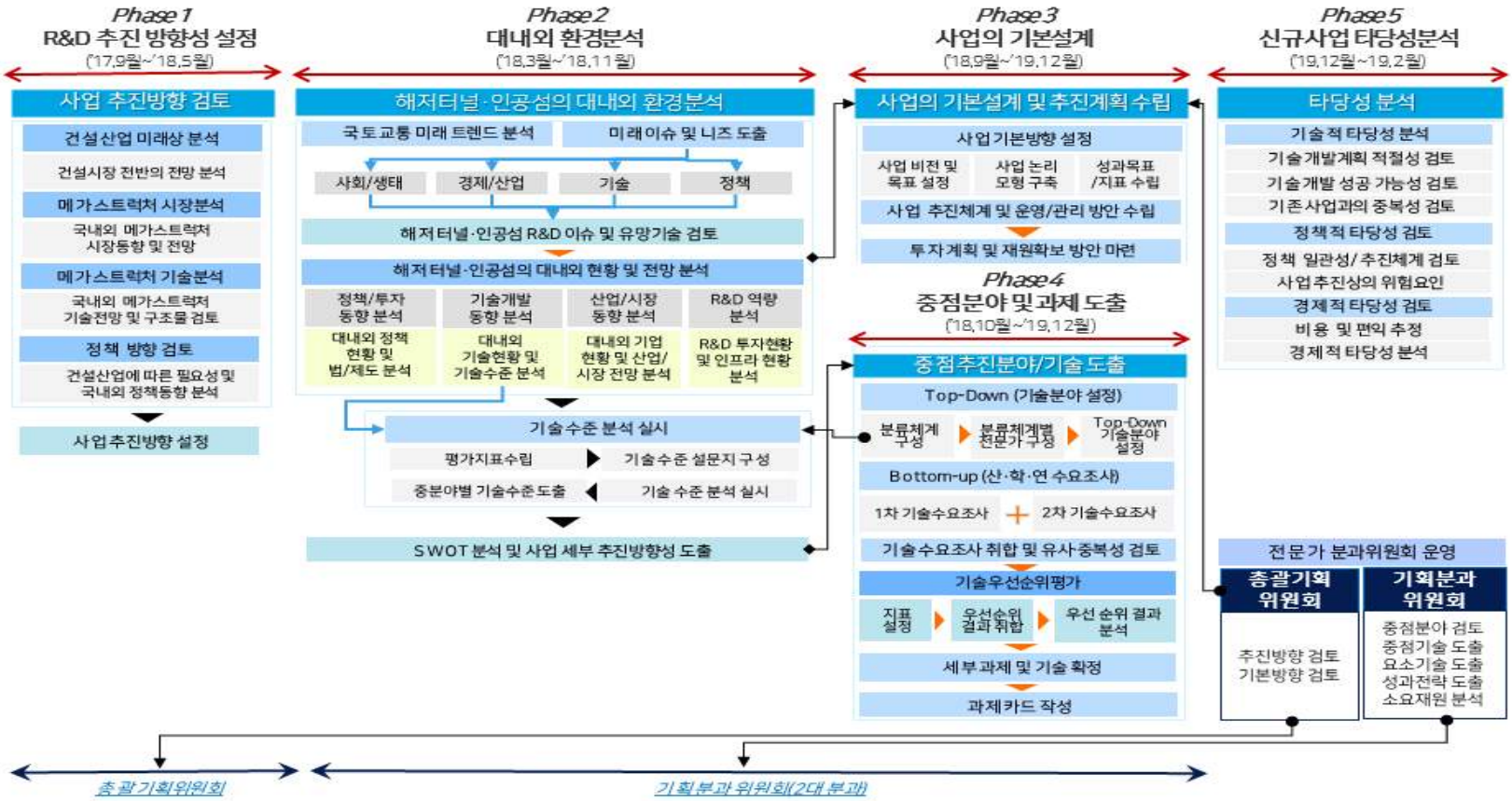
#### (2) 연구의 내용 및 범위




<그림 Ⅰ-13> 본 연구의 내용 및 범위

## 나. 사업 기획 프로세스

본 연구의 Frameworks는 다음과 같이 크게 5단계와 단계별 세부모듈과업으로 구성되어 있음




<그림 Ⅰ-14> 연구 Framework

## 다. 메가스트럭처 구조물 검토(안)

■ 본 연구의 세부 사업 추진 방향을 최종 선정하기 위해, 건설기술 개발 대상 구조물별로 필요성 및 한계 등을 검토함

◉ (케이블 교량) 선행 연구과제*를 통한 기술개발 수준이 성숙단계에 이르러 향후 공기업 및 민간기업 중심으로 자립 가능

- 초장대교량사업단(도로공사, '08.12~'15.12, 606억원), 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발(도로공사, '16.9~'21.9, 245억원)

◉ (해중터널) 과기부에서 지원하는 선행연구*의 개발 수준에 따라 연구 완료시점('24년)에 연계하여 추진하는 것이 적절할 것으로 판단

- 스마트 수중터널 시스템 연구센터 (KAIST, '17~'24, 135억원)

◉ (플로팅 구조물) 국토확장 개념의 장기적 관점에서 기술개발이 필요한 미래유망 기술 분야이나, 부유식 해상구조물*의 구조 및 설비 기준(해수부) 등 관련 법령 고려 시 관련부처 간의 협의가 필요함

- 해상도시, 해상 물류센터, 해상 쓰레기 처분장 등

◉ (해저터널·인공섬) 기존 연구*를 통해 개발된 핵심요소기술의 현장검증(Test-bed) 및 해외시장 진출을 위한 고부가가치 엔지니어링 기술개발 필요

- 해저터널 핵심요소 기술개발(고려대, '13~'18, 258억원), TBM 설계·제작 국산화(이엠코리아, '17~'21, 167억원), TBM 핵심 설계·부품기술(건설연, '10~'15, 114억원)

- 인공섬은 연장 50km 이상의 초장대 해저터널 건설시 시공 효율성 및 재난 대응을 위한 환기·방재를 위해 기술개발이 필수적임

**세부 사업 추진 방향 검토 결과, 현재 진행 중인 해저터널 연구단의 개발기술과 연계 가능한 해저터널·인공섬을 최종 대상 구조물로 선정**

# 2. 사업 기획 추진체계 및 경과

## 가. 사업기획 추진체계

■ 국토교통부에서 사업 총괄, 국토교통과학기술진흥원에서 사업을 주관하여 외부 용역 및 전문가 기술위원회 기획 등을 통한 체계적인 추진 수행

◉ 수행기관으로 (주)다원전략컨설팅, 한국건설생활환경연구원 등 공동수행 체계로 환경 분석, 기술수요, 추진전략, 사전타당성 분석 등 사업기획

- 해저터널·인공섬 관련 산·학·연 전문가가 참여하는 총괄기획위원회·기획분과위원회·기술소위원회를 구성하여 기술성/경제성/정책성 등을 체계적으로 기획




<그림 Ⅰ-15> 사업기획 추진체계도

〈표 Ⅰ-7〉 관련주체별 세부역할

| 주체 | | 세부역할 |
|---|---|---|
| 국토교통부 | | 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발 사업기획의 전체적인 조율 및 방향 설정, 주요 안건에 대한 심의 및 결정 담당 |
| 국토교통과학기술진흥원 | | 사업의 전체적인 추진일정 조율 및 기획보고서 작성 방향 설정 등의 실무 총괄 및 지원 |
| 총괄기획위원회 | | 기획 전반에 대해 단계별 결과 및 방향에 대한 검토, 수정보완, 자문 등을 담당 |
| 기술소위원회 | | 기획분과위원회가 도출한 사업 추진내용에 대한 조정의견 제시 및 최종 결과 도출 |
| 기획분과위원회 | | 산·학·연 외부전문가를 고루 구성하여 정책, 경제, 기술 등 다방면으로 검토 및 기획 담당 |
| 실무위원회 | (주)다윈전략컨설팅 | 기획 관련 조사·분석, 기획보고서 검토 및 수정·보완, 기술개발아이템 발굴 등 기획사업 전반의 실무를 지원 |
| | 한국건설생활환경연구원 | 해저터널·인공섬 관련 기술적 정의 및 범위, 방향 등을 제시, 기획보고서 작성 전반을 담당 |

# 나. 기획 및 자문위원회 구성

## (1) 총괄기획위원회

- 기술·정책·경제 전문가, 국토부 사업담당관, 분과별 위원장·간사 등 13명 내외로 구성

**<표 Ⅰ-8> 총괄기획위원회 명단**

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 |
|---|---|---|---|
| 국토부 | 엄정희 | 국토교통부<br>기술정책과 | 과장 |
| 외부<br>위원 | 변형균 | 씨스트라 코리아 | 대표 |
| | 이인모 | 고려대학교 | 교수 |
| | 최병철 | 스마트 구루 | 대표이사 |
| | 홍대순 | 이화여자대학교 | 교수 |
| | 홍사영 | 선박해양플랜트연구소 | 부소장 |
| 당연직<br>위원<br>(분과장) | 이석원 | 건국대학교 | 교수 |
| | 사공명 | 한국철도기술연구원 | 수석 연구원 |
| | 유용호 | 한국건설기술연구원 | 연구 위원 |
| | 김효규 | 주성지엔비 | 박사 |
| | 한택희 | 한국해양과학기술원 | 연구개발실장 |
| | 남보우 | 선박해양플랜트연구소 | 선임 연구원 |

## (2) 기획분과위원회

■ 총 3분과로 구성·운영하고, 각 분과위원장 및 외부 전문가 15명 내외로 구성(산·학·연) 구성 비율 고려

〈표 Ⅰ-9〉 설계/시공 분과

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 전문분야 |
|---|---|---|---|---|
| 기획분과위원 | 이석원 | 건국대학교 | 교수 | 차수/방수 |
| 기획분과위원 | 강신현 | 이엠 코리아 | 상무 | TBM 장비개발 |
| 기획분과위원 | 고성일 | 단우기술단 | 전무 | 터널 환경 |
| 기획분과위원 | 고태영 | SK 건설 | 부장 | 기계화시공 |
| 기획분과위원 | 김대영 | 현대건설 | 부장 | 굴착 자동화 |
| 기획분과위원 | 문성모 | NNF TECH | 대표이사 | ICT |
| 기획분과위원 | 박정준 | 한국철도기술연구원 | 선임 연구원 | BIM 리스크 관리 |
| 기획분과위원 | 사공명 | 한국철도기술연구원 | 수석 연구원 | 신재료 개발 |
| 기획분과위원 | 석현수 | 한길IT | 차장 | BIM 설계 |
| 기획분과위원 | 오주영 | 삼성물산 | 책임 | 기계화 시공 |
| 기획분과위원 | 이상원 | 한국건설기술연구원 | 선임<br>연구위원 | 설계 고도화 |
| 기획분과위원 | 이인환 | ETRI | 단장 | 초연결통신(IoT) |
| 기획분과위원 | 최창림 | 삼보기술단 | 상무 | 터널 단면설계 |
| 기획분과위원 | 김성훈 | 태성에스엔아이 | 대표 | BIM |
| 기획분과위원 | 이동섭 | 고려대학교 | 연구교수 | 지반보강 |

〈표 Ⅰ-10〉 환기/유지관리 분과

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 전문분야 |
|---|---|---|---|---|
| 기획분과위원 | 유용호 | 한국건설기술연구원 | 연구위원 | 화재안전 |
| 기획분과위원 | 김동규 | 한국건설기술연구원 | 연구위원 | 보수/보강 |
| 기획분과위원 | 김효규 | 주성지엔비 | 박사 | 환기/방재 설계 |
| 기획분과위원 | 성주현 | 한국시설안전공단 | 그룹장 | 시설물 유지관리 |
| 기획분과위원 | 송기일 | 인하대학교 | 교수 | 구조물 열화시스템 |
| 기획분과위원 | 송창근 | 인천대학교 | 조교수 | 재난안전 |
| 기획분과위원 | 윤성욱 | ARUP | 박사 | 화재 컨설팅 |
| 기획분과위원 | 이덕희 | 한국철도기술연구원 | 책임연구원 | 철도 화재 |
| 기획분과위원 | 이규필 | 한국건설기술연구원 | 수석 | 터널유지관리 시스템 |
| 기획분과위원 | 장지돈 | (주)서울고속도로 | 팀장 | ICT/방재설비 |
| 기획분과위원 | 유지오 | 신한대학교 | 교수 | 정량적 위험도 평가 |
| 기획분과위원 | 김학범 | JSC솔류션 | 대표이사 | 환기 운영시스템 (수치해석) |
| 기획분과위원 | 조형제 | ㈜범창종합기술 | 상무이사 | 해저터널 환기/방재설계 |
| 기획분과위원 | 문정주 | 유원컨설턴트(주) | 이사 | 환기/방재 수치해석 |
| 기획분과위원 | 김봉찬 | 롯데건설 | 차장 | 해양물리탐사 |
| 기획분과위원 | 김범주 | 동국대학교 | 교수 | 보수/보강 |

〈표 Ⅰ-11〉 인공섬 분과

| 구분 | 성명 | 소속 | 직위 | 전문분야 |
|---|---|---|---|---|
| 기획분과위원 | 한택희 | 한국해양과학기술원 | 연구개발실장 | 해저구조물 |
| 기획분과위원 | 김기림 | 유신코퍼레이션 | 이사 | 터널 단면설계 |
| 기획분과위원 | 김정중 | 경남대학교 | 교수 | 콘크리트 구조 |
| 기획분과위원 | 남보우 | 선박해양플랜트연구소 | 선임 연구원 | 해양 구조물 (부유체 계류) |
| 기획분과위원 | 박동철 | (주)위드엠텍 | 대표이사 | 자기치유 콘크리트 |
| 기획분과위원 | 박정준 | GK 엔지니어링 | 본부장 | 지반탐사 |
| 기획분과위원 | 이석진 | 롯데건설 | 수석 연구원 | 해저터널 분기 |
| 기획분과위원 | 이진학 | 한국해양과학기술원 | 책임 연구원 | 해양구조물 건전도 평가 |
| 기획분과위원 | 정연주 | 한국건설기술연구원 | 연구위원 | 급속 시공 |
| 기획분과위원 | 조재영 | GS건설(주) | 책임 연구원 | 해양 플랜트 |
| 기획분과위원 | 권순재 | 유신코퍼레이션 | 이사 | 해상기초 |
| 기획분과위원 | 허태옥 | 한국종합기술 | 부장 | 토목시공 |
| 기획분과위원 | 전교영 | 롯데건설 | 부장 | 해양자켓구조 |
| 기획분과위원 | 김정태 | 부경대 | 교수 | 해양구조 (해양공학) |
| 기획분과위원 | 이종인 | 전남대 | 교수 | 연안공학 (해양토목) |

# 다. 사업 기획 추진경과

■ 그 간의 추진경과

◉ 기획연구 협약 및 착수 (17.09.29)

- KAIA & 주관기관 (주)다윈전략컨설팅 협약 체결
- 참여기관 KCL & (주)다윈전략컨설팅 협약 체결

◉ 사업 TFT 회의 추진 (17.10.01~18.01.31)

- (메가스트럭처) 사업 추진방향, 세부 추진절차 및 내용 협의 (교량, 터널, 인공섬)

☞ 사업기획 방향 심층 논의(국내 자립화/글로벌 선도)

☞ 노르웨이 E39 프로젝트 관련 출장 결과 검토

☞ 사업개념/범위 결과 및 기술/기획위원회 구성 논의

☞ 기존 연구단 자문회의 결과 및 1차 기획위원회 논의

☞ 1차 기술위원회 및 1단계 기획타당성 평가 논의

☞ 2차 기술위원회 및 2단계 기획타당성 평가 논의

- (해저터널) 사업기획 방향 재설정, 세부 추진절차 및 내용 협의 (해저터널 부각)

☞ 세부사업 기획 추진방향 재논의(사업 추진을 위한 신규 노선 설정)

☞ 기존 연구단 TFT 회의를 통한 세부사업 기획 방향 검토 및 확정

☞ 1,2차 기술수요조사 결과 및 기획분과위원 명단(안) 추가 보고

- (인공섬) 세부사업 기획 방향 재검토 및 중점분야의 비중 재논의

☞ 기술소위원회 구성을 통해, 세부사업 기획 추진방향 재검토 후 확정

* 해저터널 건설 기술 실증연구 및 인공섬은 핵심 원천 기술 개발로 추진방향을 확정

☞ 중점 추진 분야 재구성 논의 (설계/시공, 환기/방재, 인공섬 분과 → 설계/시공/유지관리, 환기/방재/인공섬 분과)

- (해저터널·인공섬) 중점분야의 비중 확정 및 기획보고서 작성 방향 논의 (인공섬 부각)

☞ 당초 기획사업 목적에 맞추어, 예비타당성 기획을 기준으로 보고서 작성

☞ 해저터널 방재·환기 목적의 인공섬을 사업 범위로 설정하고, 인공섬을 강조

* 해저터널 연구단 등 사업의 흐름의 연속성 측면에서 실증기술 위주의 개발의 필요성 강조

* 인공섬은 현재까지 관련 기술개발이 전무하므로 핵심기술 확보 측면에서 시급성 강조

### 의견 수렴 활동

#### (메가스트럭처)

- 1차 기획위원회 개최(17.12.19)

☞ 메가스트럭처 개념과 결과 검토 및 Agenda 논의

☞ 세부 추진계획 공유

- 1차 기술위원회 개최(18.01.16) 및 1단계 기획타당성 평가(18.01.18)

☞ 메가스트럭처 기획 범위 및 내용 공유

☞ 기술분류체계 검토 및 논의

☞ 발표 평가 및 보완 보고서 제출

- 2차 기술위원회 개최(18.03.13)

☞ 메가스트럭처 기획 과제 세부 사업 추진 방향 검토 및 논의

☞ 세부 추진일정 및 계획 공유

#### (해저터널)

- 1차 기획분과위원회 개최(18.10.02~18.10.05)

☞ 본 과제 기획의 연구 범위 및 전문가 Pool(안) 수정

☞ 분과별 업무범위 논의 및 기술분류체계 결정

☞ 기술수요조사 및 향후 분과별 회의 진행 사항 공유

☞ 기획과제 업무 전반에 대한 주요 추진 일정 논의


설계・시공 분과


방재・환기 분과


인공섬 분과

**<그림 Ⅰ-16> 분과별 1차 기획분과위원회 회의**

- 2차 기획분과위원회 개최(18.10.13~18.10.14)

☞ 1차 수요조사 결과 검토 및 기술의 중복성 검토

* 중점분야별 기술의 명확성 및 중복성 검토 진행

* 중점분야 조정·확정 및 중분야 단위의 기술정의

☞ 기술기획보고서 양식 검토 및 관련 자료 요청

- 기술수준조사 전문가 명단 수정·보완


설계・시공 분과


방재・환기 분과


인공섬 분과

**<그림 Ⅰ-17> 분과별 2차 기획분과위원회 회의**

- 1차 기술소위원회 개최(18.11.28.)

☞ 본 과제 기획의 추진방향 재논의

* 소액사업(연구단급) 추진 가능성에 대한 여부 검토

* 사업 범위 재논의 (해저터널 → 해저터널·인공섬)

* 기획보고서 작성 범위 논의

- 3차 기획분과위원회 개최(19.01.04.)

☞ 기술 우선순위 평가 결과 검토 및 중분야 재분류

* 기술 우선순위 평가 결과 취합 및 검토를 통한 중점분야 재분류

* 기술수준 평가 및 과제카드 작성에 대한 일정 논의


설계・시공・유지관리 분과


인공섬・화재・환기 분과

**<그림 Ⅰ-18> 분과별 3차 기획분과위원회 회의**

- 4차 기획분과위원회 개최(19.01.30.)

☞ 기술수준 평가 결과 및 과제카드 취합을 통한 중분야 확정

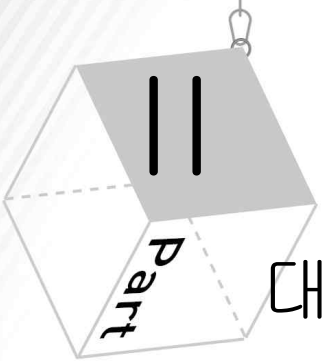
* 기술수준 평가 결과 취합

* 旣 작성된 과제카드를 취합하여 1분과 및 2분과의 중분야 확정


설계・시공・유지관리 분과


인공섬・화재・환기 분과

**<그림 Ⅰ-19> 분과별 4차 기획분과위원회 회의**




# 대내·외 환경분석

제 1절 해저터널의 개념 및 미래사회 환경변화
제 2절 국내·외 해저터널 산업 정책동향
제 3절 국내·외 해저터널 관련 기술개발 동향
제 4절 국내·외 해저터널 산업 및 시장동향
제 5절 대내·외 환경분석 시사점

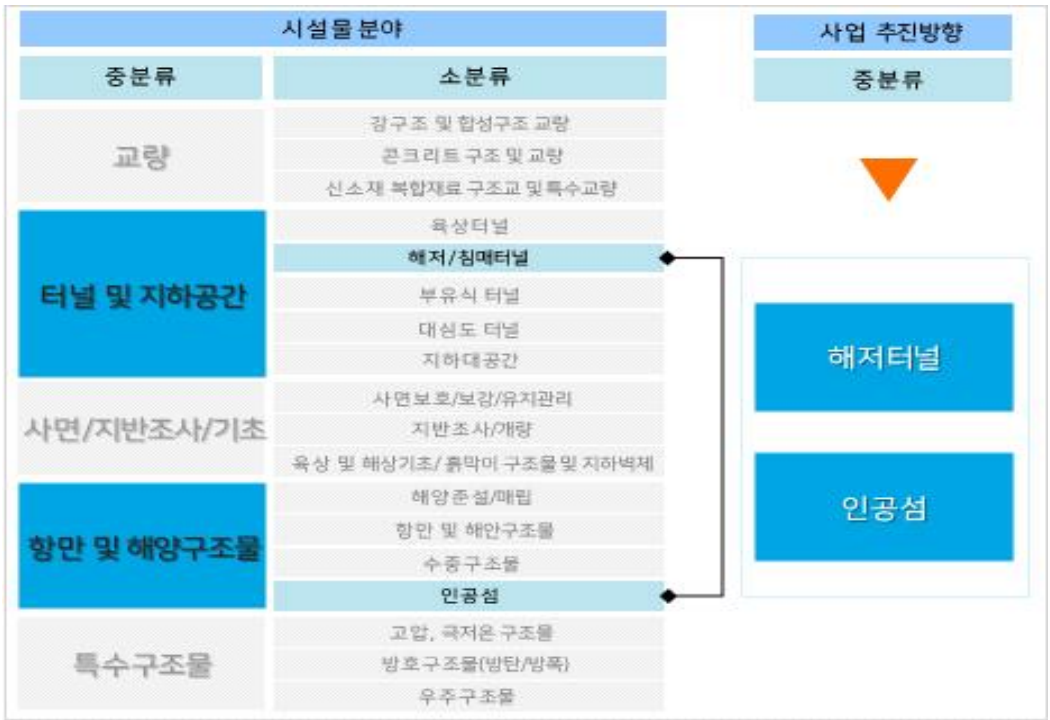
# 제 2 장 대내·외 환경분석

## 제1절 해저터널·인공섬의 개념 및 미래사회 환경변화

### 1. 해저터널·인공섬의 개념

■ 일반적으로 교량, 터널 및 지하공간, 항만 및 해양구조물 등은 시설물의 중분류에 속해 있으며 본 사업에서 추진하고자 하는 해저터널·인공섬은 시설물의 소분류에 속함

◉ 본 사업에서는 기존의 시설물 분야 분류체계와 달리 인공섬을 항만 및 해양구조물로 간주하지 않고, 초장대 해저터널 건설에 필요한 수직구 형태의 인공섬 구축을 위한 기술개발로 봄



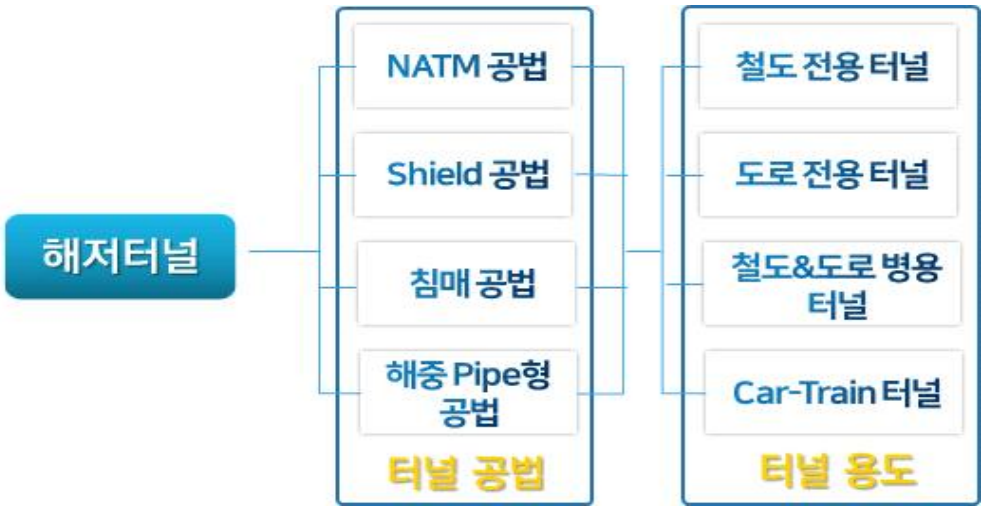

출처 : 국토교통기술수준분석 총괄보고서, 국토교통과학기술진흥원, 2015.

**<그림 Ⅱ-1> 시설물 분야 분류체계를 통한 본 사업의 추진방향**

◉ (해저터널) 해저터널이란 이동경로를 줄이기 위해 육상의 2개 혹은 그 이상의 지점을 바다 아래 터널 건설을 통해 교통용으로 이용하는 건조물

- (개념) 바다 밑바닥이나 바다 속에 터널을 구축한다는 의미를 내포하고 있으며, 여기에는 강이나 호수 등을 관통하는 방식을 포함하여, 해저 또는 해중 그리고 하저의 의미도 포함

- (공법) 해저터널은 해수면 하부지반에 위치하는 선형구조물로 육상터널과 달리 NATM 공법, Shield 공법, 침매공법, 해중 Pipe형 공법으로 분류 가능




출처 : e-비즈니스연구 제16권 제4호, 2015.

**<그림 Ⅱ-2> 터널의 공법 및 용도 등에 따른 분류**

- (유형) 대규모 해저터널의 유형은 안전을 중요시 할 것인가 아니면 건설비용을 우선적으로 고려할 것인가에 따라 단일터널 방식과 복수터널 방식으로 분류 가능

**<표 Ⅱ-1> 해저터널의 유형**

| 터널 유형 | 내용 | 장점 | 단점 |
|---|---|---|---|
| 복수 터널 | • 한 터널 내에서는 일방통행만 가능하도록 하여 두 개의 복수터널을 동시에 건설하는 방식<br>• 유로터널 | • 열차충돌을 근본적으로 방지함<br>• 안전함 | • 공사비 과다소요 |
| 단일 터널 | • - 한 터널 내에서 양방으로의 열차통행이 동시에 가능한 방식 | • 복수터널에 비해 공사비 저렴 | • 열차충돌사고의 위험성 상존 |

출처 : 한·일 해저터널 개설의 필요성과 파급효과, 경남발전연구원, 황인식.

- (용도) 해저터널의 경우 용도에 따라 철도·도로병용터널, 카-트레인터널 및 철도전용터널로 구분

☞ 철도·도로병용터널은 다양한 교통패턴에 부응하고 여객수송, 물류 및 인적 교류 등 양국간 교류활성화에 기여하나 건설비가 과다하게 소요되는 단점

☞ 기존 터널들의 장단점과 터널 내의 안전사고, 환경 및 소음문제, 건설비 등의 제반문제를 고려하여 본 기획에서는 철도 전용터널의 복수터널방식이 바람직하다고 사료

〈표 Ⅱ-2〉 해저터널의 용도

| 용도 | 장점 | 단점 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 철도·도로 병용터널 | • 고속열차 + 자동차<br>• 여객수송과 화물운송을 동시에 실현<br>• 양국 간 교류 활성화 촉진 | 건설비 과다소요 | |
| 카-트레인터널 | • 철도·도로 병용터널과 카-트레인터널의 절충방식<br>• 기본적으로 고속열차만 통행 가능한 터널<br>• 여객, 자동차 및 화물차도 동시에 수송 가능한 특수고속철도도 통행할 수 있음<br>• 유로터널 | - | |
| 철도전용터널 | • 고속열차 전용, 소규모터널<br>• 여객 및 화물운송<br>• 건설비가 상대적으로 저렴 | 자동차 통행 불가 | |

출처 : 한·일 해저터널 개설의 필요성과 파급효과, 경남발전연구원, 황인식.

(인공섬) 사전적인 의미로, 공해상에 인공적으로 만들어진 비행장, 어장시설, 대륙붕 개발 등의 구축물과 같이 바다를 메우거나 바다에 기둥을 세워 그 위에 구조물을 설치하여 만든 섬[3)]

- (개념) 해양을 어떠한 목적과 방법에 의하여 육지화한 곳으로 주변이 물로 둘러싸인 섬
- (분류) 인공섬은 해안과의 이안거리, 용도 및 목적, 조성 방법에 따라 분류하나, 일반적으로 조성방법에 따라 구분

☞ 인공섬의 구분은 해안과의 이안거리에 따라 연안 인공섬, 해상 인공섬으로 분류하며, 용도 및 목적에 따라 용지개발용, 재난대비용, 자원개발용으로 분류

☞ 하지만 일반적으로 인공섬 조성 방법에 따라 매립식, 착저식, 부유식으로 구분

* 최근에는 수심 200m 내의 대륙붕 개발을 위해 부유식 인공섬 개발이 활발하게 진행 중

3) 건설기술연구원 내부자료 참고하여 다윈전략컨설팅 재구성

〈표 Ⅱ-3〉 인공섬의 분류기준 및 주요 특성

| 분류기준 | 인공섬 분류 | 주요 특성 |
|---|---|---|
| 해안과의 이안거리 | 연안인공섬 | • 해안으로 부터의 이안거리에 따라 0.1~3.0km의 인공섬 |
| | 해상인공섬 | • 해안으로 부터의 이안거리에 따라 3.0km이상의 인공섬 |
| 용도 및 목적 | 용지개발용 | • 매립에 의하여 육상용지로 이용(농업용지, 공업용지, 주거용지, 산업폐기물 처리장, 도로, 항만 등) |
| | 재난대비용 | • 파도나 흐름의 방호로 이용(방파제, 제방 등) |
| | 특수목적용 | • 군사용 방어상 요새 및 자원 탐사를 위한 전진기지로 이용 |
| 조성방법 | 매립식 인공섬 | • 케이슨이나 강널말뚝 등을 호안에 설치하여 해안을 매립한 후 인공섬을 조성하기 때문에 지진의 영향은 받지만, 파랑의 영향은 받지 않음 |
| | 착저식 인공섬 | • 해저에 말뚝을 타입하고, 그 위에 플랫폼을 설치하여 구조물을 건설하는 방식으로 파랑의 영향은 적지만, 지진의 영향을 받기 쉬움 |
| | 부유식 인공섬 | • 수심이 깊어 매립이 어려운 경우, 부체위에 구조물을 건설하는 것으로서 설치 장소까지 예인하여 계류하는 방법으로 파랑에 주의를 요하지만, 지진의 영향은 적음 |

출처: 건설기술연구원 내부자료 참고하여 다윈전략컨설팅 재구성

■ 본 사업에서는 '인공섬'을 독립된 개체로 구분하지 않고 초장대 해저터널을 구축하기 위해 필요한 수직구 형태로 개발 예정

◉ (수직구 형태 인공섬) 수직구란 일반적으로 지하터널과 지상을 수직으로 연결하는 통로를 말하며, 이는 환기, 급기 시설을 갖추고 있을 뿐만 아니라 재난발생 시 대피로로 활용이 가능한 구조물

- (개념) 본 사업상 인공섬이란 환기·방재 역할을 하는 해상 수직구 형태의 인공섬으로 정의
- (유형) 본 사업에서 인공섬은 조성방법에 따라 착저식 인공섬, 부유식 인공섬으로 분류

**<표 Ⅱ-4> 인공섬의 분류기준 및 주요 특성**

| 분류 기준 | 인공섬 분류 | 용도 | |
|---|---|---|---|
| 조성 방법 | 착저식 인공섬 | 시공 중 | 장비 및 물자 투입용, 토사 반출용 |
| | | 시공 후 | 환기구, 해상 휴게소, 비상탈출 및 대기장소 |
| | 확장형 부유식 인공섬 | 시공 중 | 장비 및 물자 투입·적재용, 토사 반출을 위한 선박 접안용 등 |
| | | 시공 후 | 해상 휴게소, 비상탈출 및 대기장소, 관광지, 거주 등 |

출처 : 한국해양과학기술원, 한택희, 2018.10.




**<그림 Ⅱ-3> 해저터널·인공섬이란?**

# 2. 미래사회 환경변화 분석을 통한 해저터널 산업의 전망

## 가. 사회적 측면

### (고령화·저출산·인구감소 지속) 건설기능인력 고령화와 이로 인한 기술단절이 우려되는 가운데, 이를 해결하기 위한 해저터널 건설의 기계화 및 자동화 요구 증대

◉ 국내 인구는 '15년 5,101만 명에서 2031년 5,296만 명까지 증가 후 감소세로 전환하여, 2065년 4,302만 명으로 줄어들 전망[4)]

- 국내 총인구 중 노인인구(65세 이상)의 비율은 2018년 14%(고령사회)를 지나 2026년 20%(초고령 사회), 2058년 40%를 초과할 것으로 예측

  * 특히, 85세 이상 초고령인구는 2015년 1%에서 2065년 11.7%로 증가할 전망으로, 고령화는 더욱 심화될 것으로 전망




**<그림 Ⅱ-4> 주요 국가별 인구고령화 속도**

- (미국) 고령화 사회*에서 고령사회**가 되기까지 73년 소요, 초고령화 사회로 진입하는 데 21년이 소요

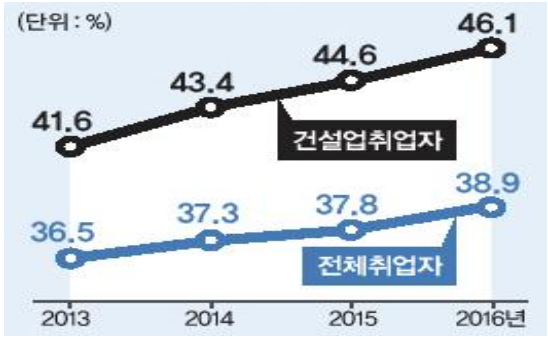
  * 전체 인구대비 노인인구비율 7% 수준, ** 노인인구 비율 14% 수준, *** 노인인구비율 14%에서 20% 수준

- (일본) 대표적인 고령 국가인 일본의 경우에도, 고령화 사회에서 고령사회로 전환되기까지 24년, 초고령화 사회로 진입하는 데에는 12년이 소요

- 반면 우리나라는 고령화 사회에서 고령사회로 진입하기까지 18년이 소요되어 세계 최고속의 고령화 현상을 보이고 있음

◉ 건설업 취업자 연령층의 고령화로 국가 경제의 기반이 되는 SOC시설물의 품질 저하 발생 가능성 증가

4) 대한민국 국가미래전략 2018, KAIST 문술미래전략대학원, 2017




출처: 건설근로자공제회, 2017.11

**<그림 Ⅱ-5> 주요 국가별 인구고령화 속도**

- 인구구조의 변화로 인해 고령 세대에 접어든 베이비부머가 산업현장에 다수 진입한 것이 건설업 고령화에 영향을 미쳤으며, 청년들이 선호하는 직업이 특정 분야로 편중되다 보니 젊은 기능공 등이 공급되지 않는 상황

- 고령화는 근로자의 근력 약화와 함께 숙련의 저하로 이어져 품질저하, 산재 증가, 공기 지연, 공사비 증가 등의 폐해로 귀결

  * 한국고용정보원이 발표한 '2015~2020 건설산업 수요 전망' 연구보고서에 따르면, 앞으로 5년 동안 건설취업자 수가 줄어 건설현장의 고령화가 심화될 것으로 전망

◉ 전문인력 고령화, 안전사고 등 건설산업의 주요 문제를 해결하기 위한 건설자동화 요구 증대

- 국내의 경우 해저터널에 대한 설계 및 시공 경험이 부족하기 때문에 관련 분야의 우수 전문 인력이 필요한 상황

- 고령화가 지속되는 상황 속에서 최소의 전문 인력으로 안전성을 보장하며, 우수한 품질의 해저터널을 개발하기 위한 해저터널 시공자동화가 요구되는 상황

■ **(개인·가족 중심의 가치관)** 가치의 다양화 및 삶의 질 향상에 관심이 높아지면서 여가통행수요가 증가하고 있는 상황으로, 기존 교통체계를 획기적으로 개편할 수 있는 해저터널에 대한 관심이 지속적으로 증가

◉ 국민의 경제적 여유증가와 승용차의 보급 확대, 주5일 근무제 도입, 주5일 수업의 실시로 어린이를 포함한 가족 중심의 여가활동 및 여가 통행 촉진

- 해저터널 건설로 국경을 넘는 소요시간이 단축되고, 접근성이 향상되어 주말 등을 이용한 단기관광코스가 증가될 것으로 예상



〈그림 Ⅱ-6〉 해저터널 조감도

■ (메가시티화) 거대한 메가시티 트렌드 속에서 메가시티에 효율적인 교통 시설 제공을 위한 노력과 지속적으로 변화하는 도시 환경을 수용하기 위해 건설해야 하는 해저터널의 중요성 증가

◉ 낡고 노후화된 인프라 시설을 보유한 도시부터, 아직 시스템 수용력이 부족한 과도기 도시, 기본 시설조차 존재하지 않는 신생 도시들까지, 교통과 수송의 문제는 모든 메가시티가 겪고 있는 문제로 부상

- 국내의 경우, 터널, 교량 등 사용연한 30년 이상인 노후 교통인프라 시설은 2020년 6.0%에서 2030년 36.9%로 6배 이상 급격히 증가할 전망[5)]

* 경과연수에 따른 전체 SOC 시설유형별 유지보수비는 '30년에 약 10조원 소요될 전망

◉ 또한 교통체증에 따른 비용은 메가시티의 경제, 고용, 그리고 환경에까지 큰 영향을 미치고 있는 상황

- 최근 도시 연구에서는 물, 전기, 의료, 안전, 보안보다도 교통 시설 투자를 가장 우선해야 한다고 전망

- 실제 도시 투자 매력도에서도 교통 시설 개선 여부가 중요한 요인으로 작용

- 특히 국내의 경우, 거주인구는 수도권으로 집중되나, 활동인구는 비수도권으로 확산되어 이동수요 꾸준히 증가할 전망

5) 제5차 국토종합계획 수립 지침, 2018.10, 국토교통부



[거주 중심점 변화]



[거주 분포면적 변화]




[활동인구 중심점 변화]



[활동인구 분포면적 변화]

출처: 초고속교통망 시대에 대비한 컴팩트 국토형성방안 연구, 국토연구원, 2017

**<그림 Ⅱ-7> 미래 거주인구와 활동인구 분포변화**

- 따라서 메가시티의 교통시설은 환경에는 최소한의 부담을 주면서 수백만 명의 사람들을 가장 경제적으로 이동시킬 수 있어야 함
  - 교통 인프라의 효율화는 도시 삶의 질을 높일 뿐만 아니라 경제적인 번영에도 기여
- 이와 같은 상황에서 기존의 항공 및 선박 등의 수단으로 승객과 물류수송의 증가, 이동편의 증대, 고속화 등에 대한 새로운 요구를 충족시키기에는 한계 존재
  - 접근성이 떨어지는 도시 간 접근성 강화 및 새로운 교통로 확보를 위한 해저터널의 수요 증가
  - 해저터널은 항공, 교량과 같은 기존 교통수단과는 달리 악천후에 영향을 받지 않고 다량의 승객과 물량을 안정적이고 신속하게 이송할 수 있다는 장점 존재

■ (안전에 대한 국민적 욕구) 국민들의 안전에 대한 요구가 점차 증가함에 따라 국민의 안전과 직결되는 교량, 터널, 철도 등 국토교통 시설물의 안전성 확보 욕구 증대

- 시설물 안전 확보는 복지·안전사회 구현을 위한 필수적 수단으로 향후 한국 사회의 주요 흐름 중 하나는 '국민의 삶의 질이 중시되는 복지사회'와 '증대되는 안전 위험성으로부터 국민이 적극 보호되는 안전사회'임
  - 국민 삶의 질 향상 및 안전사회 구현에 관한 요구는 증가하나, 시설안전망에 관한 국민의 불안감은 증가
  - 한국사회 메가트렌드 중 하나가 안전 위험성으로부터 적극 보호되는 안전사회의 구현이나, 시설안전에 관한 국민 불만족률 증가*

* '12년 21.5% ⇒ '14년 51.7% ⇒ 16년 34.1%[6)]

6) 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(2018-2022년), 2017.12, 국토교통부

◉ 산업구조의 고도화에 따라 첨단소재기술을 접목하여 구조물의 안전성과 내구수명을 확보하기 위한 미래형 건설재료들에 대한 수요가 급증

- 극지·심해저와 같은 지형적 환경 및 해양환경에서의 안전성 확보를 위한 핵심요소 기술 개발 필요

- 한정된 국토 및 자원으로 인해 야기되는 각종 문제들에 직면함에 따라, 새로운 공간 창출 필요성 대두

- 또한 글로벌 유동인구를 수용할 수 있는 교통인프라의 확장으로 대륙을 잇는 새로운 교통체계인 해저터널의 등장 필요

* 해저 부유식 Pipe Line, 터널의 해석, 설계·시공기술 및 해양공간 시설물 설계·구축 관련 기술 개발 필요

■ **사회적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 주요 영향을 아래와 같이 도출**

**<표 Ⅱ-5> 사회적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향**

| 주요 이슈 | 해저터널·인공섬에 미치는 영향 |
|---|---|
| 고령화·저출산·인구감소 | • 건설인력 고령화에 따른 해저터널·인공섬 건설자동화 필요 |
| 개인·가족 중심의 가치관 | • 여가통행 수요 증가에 따른 해저터널 수요 증가<br>• 삶의 질 향상으로 관광, 랜드마크, 인공섬 등 新건설 수요 유형 등장 |
| 메가시티화 | • 도시권 확대로 광역 교통SOC 수요 증가<br>• 대도시 집중 현상에 따라 제한된 국토 내 인구를 수용할 수 있는 新공간 창출 필요 |
| 국민의 안전 요구 증대 | • 악천후에 영향을 받지 않고, 항공기의 추락, 선박의 침몰과 같은 사고의 위험성이 낮은 해저터널 건설 가시화 |

## 나. 기술적 측면

■ **(ICT 및 인공지능 적용 보편화)** ICT 기반 첨단기술의 발달, 신소재 기술 융합발전 등으로 교량, 해저터널 등 시설물의 설계·시공 및 유지관리의 패러다임 변화 예상

◉ 4차 산업혁명으로 첨단 기술의 개발 및 적용요구 등 시설물 관리 분야에 새로운 요구 대두

- 초연결, 초지능화, 무인화·자동화, 수요자 중심 특성을 지닌 4차 산업혁명 기술*의 시설물 산업과 유지관리 업무 접목 요구 증가

* 시설물 가상물리시스템(CPS/Digital Twin), 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 로봇/자동장비, 빅데이터, 드론 등

- 4차 산업혁명 기술인 IoT, 드론, 인공지능(AI), 로봇 등의 기술과 전통적 기술을 접목한 복합문제 해결역량의 기술자 수요 증대

◉ 특히, BIM을 비롯한 4차 산업혁명의 핵심기술을 활용하여 건설 생산성 혁명 추진 중

- BIM* 기술에 시간과 비용의 개념을 고려한 연구가 활발하게 진행 중이며, 각종 건축·시설물에 3D 프린팅 기술도입을 위한 연구가 추진 중

* BIM(Building Information Modeling)은 초기 개념설계에서 유지관리 단계까지 시설물의 전 수명주기 동안 다양한 분야에서 적용되는 모든 정보를 생산하고 관리하는 기술

- BIM을 활용하면 설계는 물론, 시공 및 유지관리 등 건설사업 전 과정에서 생성된 모든 정보가 데이터베이스로 저장돼 업무 효율성이 개선

- BIM은 초기 건축, 플랜트 분야에 적용되었으나 2010년 이후 토목분야에서도 BIM 도입 추세




**<그림 Ⅱ-8> BIM기술의 활용 분야**

■ **기술적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 주요 영향을 아래와 같이 도출**

**<표 Ⅱ-6> 기술적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향**

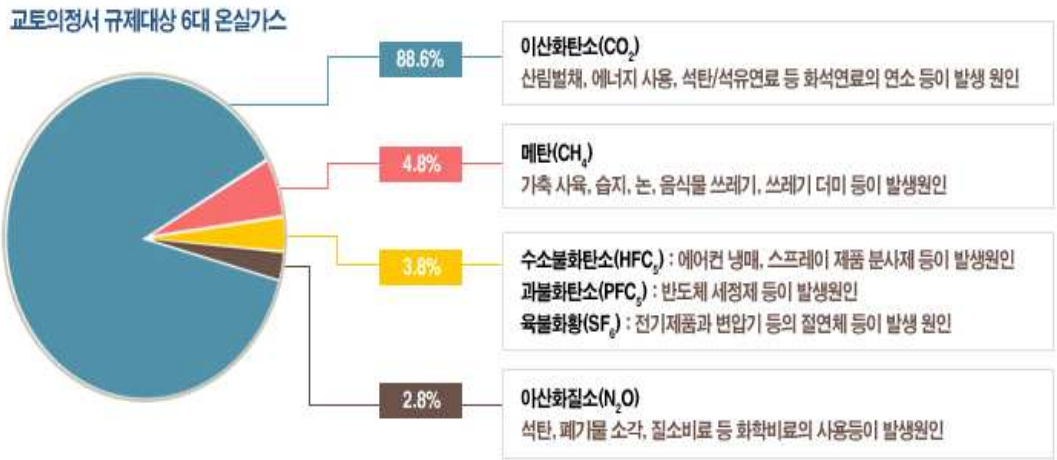
| 주요 이슈 | 해저터널·인공섬에 미치는 영향 |
|---|---|
| ICT 및 인공지능 적용 보편화 | • 해저터널 관리의 지능화<br>• BIM 안전진단 및 유지관리 가속<br>• 해저터널 건설로봇 실용화 |

## 다. 환경적 측면

■ **(온실가스 규제 강화)** 건설산업은 다른 산업에 비하여 매우 많은 양의 재료를 사용하고, 그 중 일부는 생산 시 매우 높은 온실가스지수를 보유

◉ 이와 같은 재료를 화석 에너지를 사용하는 장비를 이용하여 이동·시공하며, 시공 후에는 화석에너지를 이용하는 에너지원을 사용하여 건물의 온도를 조절하고 있음

- 시설물 건설 과정에서 에너지의 사용량을 저감하고, 궁극적으로 이산화탄소로 대표되는 온실가스의 배출량을 저감하고자 하는 노력이 필요




출처: 국토환경정보센터

**<그림 Ⅱ-9> 교토의정서 규제대상 6대 온실가스**

- 특히 개별 건물 및 주거단지는 물론 도시에까지 부과되는 에너지사용 총량제, 액체·기체·고체 폐기물에 대한 배출권 제한 등이 주요 쟁점거리로 부각

◉ 인공섬 건설 시, 국제적으로 폐기물 배출에 대한 규제가 강화됨에 따라 재활용이 불가능한 최종폐기물을 해상매립장으로 활용 가능

- 육상 폐기물매립지 수용 용량의 한계, 신규 매립지 조성의 어려움, 폐기물매립지를 둘러싼 지자체 간 갈등 등으로 인하여 발생되는 폐기물 매립 수요에 대한 국가적 해결방안 마련이 시급[7)]

- 즉 바다에 인공섬을 조성하여 폐기물을 매립할 경우, 국외 사례*에 비춰볼 때 효율적이고 환경적 부정요인을 최소화 가능

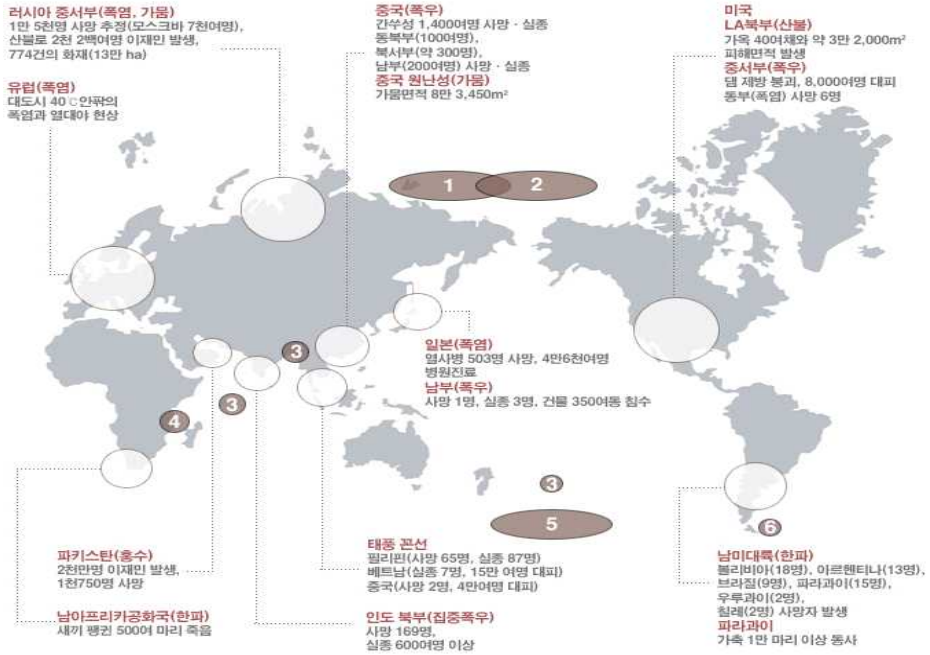
  * 일본은 폐기물 처리를 위한 해상매립장을 1960년대부터 조성하여 각종 공법과 기술을 실용화

- 또한 인공섬을 친환경적인 공간으로 조성하여, 향후 항만부지, 산업단지, 녹지,

7) 해상처분장 조성 관련 국제동향, 연안방재연구센터, 오명학

신재생 에너지 발전단지, 관광지, 랜드마크 등으로 활용 가능성이 높음

■ **(기후변화)** 기후변화 영향으로 폭우·폭설·강풍 등이 일상화됨에 따라 인구와 기반시절이 집중된 도시에서 재해가 점차 대형화·다양화




출처: 국토환경정보센터

**<그림 Ⅱ-10> 전 세계 기후변화**

◉ 과거 20년('96년~'15년) 간 연평균 620여건의 재난 발생으로 재산피해액은 약 1,240억 달러 규모에 달하며 건 당 피해규모는 증가하는 추세

- 온난화·기상이변 등으로 인한 지진, 홍수, 태풍, 가뭄 등 자연재해는 동 기간 동안 평균 403건 발생하였으며, 총 피해액은 2조 3,710억 달러에 이름

- 따라서 기후변화로 인해 대형화·다양화되고 있는 재해에 효율적으로 대응하기 위해 기존의 기반시설에 대한 대책 마련이 필요

◉ 특히 지구온난화, 해수면 상승 등의 기후 변화가 사회적인 이슈로 부각되면서 녹색상품과 녹색기술, 녹색시장으로 전개 추세

- IPCC*는 2100년까지 지구 평균기온이 2.8℃(1.7~4.4℃) 증가하고 평균 해수면이최대 1m까지 상승전망 됨에 따라 물리적 환경적 사회적 시스템에 악영향을 예측

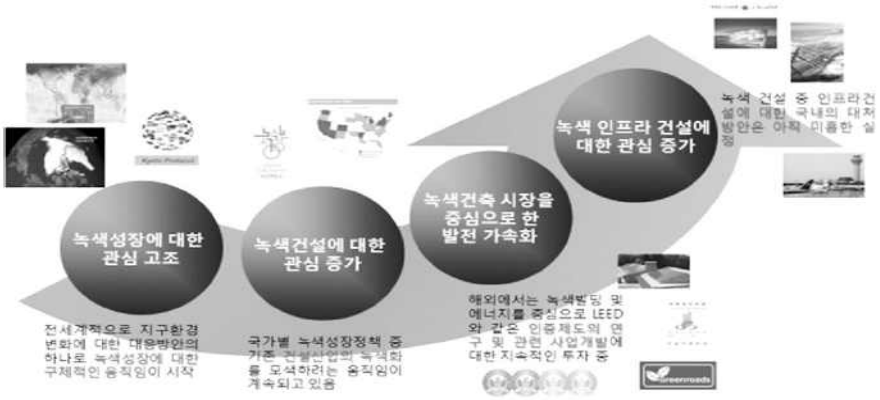
* 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)란, 기후변화 문제에 대처하기 위해 세상기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년에 공동 설립한 국제기구

☞ 지구 온난화 현상으로 최근 그 해수면 상승 속도가 점점 빨라지면서, 섬으로

이루어진 투발루(Tuvalu)나 국토의 대부분이 해수면보다 낮은 네덜란드 등 섬나라나 저지대 국가들은 수십 년 안에 침수될 것으로 예상[8)]

☞ 이에, 네덜란드 해양연구소에서는 거대한 실내 수조에서 축소된 삼각형 모듈 87개를 연결한 인공섬을 활용하여 프로젝트를 진행 중

- 해중터널 및 인공섬과 같은 부유식 구조물은 연안의 매립 및 간척보다 해양환경에 미치는 영향이 상대적으로 적어 친환경적인 상품으로 기술개발 필요




출처: 글로벌 녹색 건설의 발전과 녹색 인프라 상품 및 시장, 김상범

**<그림 Ⅱ-11> 녹색건설의 발전 현황**

☞ 이에 '녹색성장'을 기조로 친환경 기술과 같은 녹색산업과 연계한 인프라 건설에 초점을 맞추고 있음

☞ 또한 기후변화 및 안전 분야의 수요 증가에 대응하여 에너지, 방재, 안전 등 분야의 기술 축적 및 새로운 비즈니스 모델 개발 요구

☞ 해중터널 및 인공섬과 같은 부유식 구조물은 연안의 매립 및 간척보다 해양환경에 미치는 영향이 상대적으로 적어 친환경적인 상품으로 기술개발 필요

■ **환경적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 주요 영향을 아래와 같이 도출**

**<표 Ⅱ-7> 환경적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향**

| 주요 이슈 | 해저터널·인공섬에 미치는 영향 |
|---|---|
| 온실가스 규제 강화 | • 친환경 기술을 이용한 인공섬 조성 |
| 기후변화 | • 해수면 상승 등에 따른 부유식 인공섬 건설 기술 개발 필요 |

8) 해수면 상승의 대안, '인공 섬', The Science Times, 김준래, 2017.07.26

## 라. 경제적 측면

■ **(글로벌 시대 도래)** 정치, 경제, 문화 등 다양한 분야에서 글로벌화 현상이 가속화

◉ 주요 선진국은 기계, 전자, 전산, 로봇, 디지털 정보 및 지능정보 기술 융합 등을 통해 미래 건설 수요에 선제적으로 대응

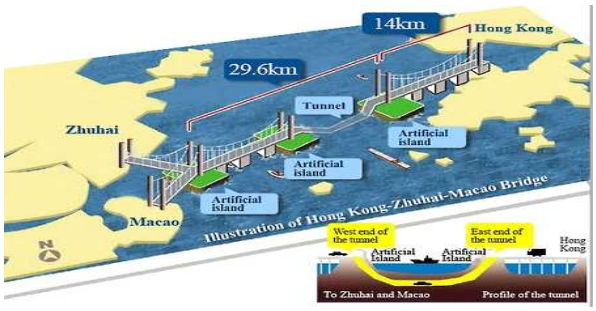
◉ 세계 시설물 시장이 지속적으로 확대됨에 따라 연구 및 투자 규모도 증가

- 세계건설시장: ('20년) 11.7조 달러 예상, 시설물 분야 글로벌 투자규모: ('25년) 약 9조 달러 예상[9)]

◉ 미래 시장 수요가 증가할 것으로 전망되는 특수 교량, 차세대 터널, 신개념 공간 등 미래형 구조물 연구 활발

- **(일본)** 해저도시 건설 'Ocean Spiral' 프로젝트 착수('16년), 후쿠시마 앞바다 부유식 해상 풍력발전 시스템 실증 연구 수행('16년)

- **(중국)** 홍콩~주하이~마카오를 잇는 세계최장 해상대교, 6.7㎞ 해저터널 완공('17년)




**<그림 Ⅱ-12> 홍콩-주하이-마카오 강주아오 대교의 전체구간도**

■ **(단일문화권 및 경제권 통합)** 정치, 경제, 문화 등 다양한 분야에서 글로벌화 현상 심화 추세에 따라, 전 세계를 단일 문화권, 단일 경제권으로 통합 등의 발생 가능성 증가

◉ 지역의 통합과 인적·물적 교류를 촉진하는 효과를 기대하여 세계 많은 지역에서 해저터널 건설 추진

◉ 특히 중국, 인도 등 신흥국의 부상으로 동북아시아 경제권의 성장이 예상됨에 따라 한·중·일 3국을 중심의 네트워크 강화에 집중·투자 필요

- 글로벌 교통네트워크의 구축은 떨어져 있는 지역을 이어 해당 지역에 엄청난 지경학적인 변화를 가져올 수 있으며, 해저터널을 통해 철도노선이 확보될 경우 유동인구뿐만 아니라 물동량도 급격하게 증가 전망

9) IHS Global Insight, 2015, 2017.

■ 경제적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 주요 영향을 아래와 같이 도출

〈표 Ⅱ-8〉 경제적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향

| 주요 이슈 | 해저터널·인공섬에 미치는 영향 |
|---|---|
| 글로벌 시대 도래 | • 특정국가의 해저터널 개발 및 시장의 독점 예상 |
| 단일문화권 및 경제권 통합 | • 해저터널 건설 관련 네트워크 및 협업 가속화 |

## 마. 정책적 측면

■ **(국제적 투자 증가)** 해외에서는 도로 지하화, 해안환경 보존 등 친환경 시설물 관련 정책을 추진하고 있으며, 노후화된 시설물 수명의 장기화를 위한 투자 증대

◉ 전 세계적으로 그린포트 정책을 추진하는 추세이며, 프랑스, 스페인, 스웨덴은 지상 친환경 공간 조성과 교통량 증대 목적의 도로 지하화 프로젝트를 계획 중

◉ 각 국가들은 경제부흥을 위한 인프라 투자 규모 확대, 성능향상, 차세대 지하공간 개발 등 다방면에서 지원정책 추진

- (유럽) 유럽 건설기술 플랫폼 비전 2030을 통해 지하공간개발 등에 투자를 하고 있으며, 이와 관련해 차세대 창의 기술항목을 도출

  * 대단면 터널 기술, Smart 터널 기술, 대심도 초장대 구조물 건설 기술, 차세대 굴착 기술, 완전 자동화 TBM 기술 등 선정

- (중국) 시진핑 주석이 유라시아 대륙을 연계하는 '실크로드 경제벨트'와 해양을 통해 경제벨트를 구축하는 '21세기 해상실크로드' 구상을 합친 대외전략 추진 중

- 이에 국내에서도 미래 선도형 고부가가치 메가스트럭처의 국내 자립 기술개발 지원을 통해 시장수요에 대응하고 있음

  * 단일 특수목적물 및 신형식 교량, 차세대 터널, 재료 등 건설 전주기와 연계된 첨단 융복합 건설기술 개발 필요

■ 정책적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 주요 영향을 아래와 같이 도출

〈표 Ⅱ-9〉 정책적 변화가 해저터널·인공섬에 미치는 영향

| 주요 이슈 | 해저터널 산업에 미치는 영향 |
|---|---|
| 국제적 투자 증가 | • 국내 해저터널·인공섬 건설 기술개발 투자 강화 필요 |

# 제2절 국내 · 외 해저터널 정책동향

## 1. 주요국 해저터널 산업 정책동향

### 가. 미국

■ 미국은 교통형평법, 종합 교통효율화법 등 교통관련정책 및 연방도로국의 국가터널진단기준 정책, 트럼프 정부의 인프라 정책 등 시설물 관리 계획을 통해 관련 산업을 육성

◉ 트럼프 대통령의 '인프라 재건을 위한 입법추진 개요' 전격 발표

- 2018년 2월 12일 백안관은, '인프라 재건을 위한 입법추진 개요(Legislation Outline for Rebuilding Infrastructure in America)'라는 제목으로 연방정부기금 및 제도 운영 관련 청사진을 공개함

☞ 인프라 재건을 위한 연방자금 집행계획, 분야별 제도 개선지침, 인프라개발 인허가제도 개혁, 고용창출 계획 등이 제시됨

☞ 추가적으로 교통·수자원·보훈 등 인프라 개발을 지연시키는 규제 장벽을 제거함

- 도로, 철도, 공항, 항만 등 전통적인 인프라 사업뿐만 아니라 첨단 교통 시스템 구축 및 차세대 자동차 기술 등 혁신기술에 투자 예정

◉ 현 트럼프 정부의 공공인프라 투자 확대 공약

- 트럼프 대통령은 선거운동 과정에서 도로와 교량을 포함한 인프라 부문에 10년간 1조 달러를 투입하겠다고 공약한 바 있으며, 당선 이후에도 인프라 재건 의지를 확인함

☞ (개요) 공공인프라 구축에 향후 10년 동안 1조 달러를 투자함으로써 국내 경제 활성화 및 고용 확대를 이루겠다는 계획

☞ 공공인프라에 2,000억 달러 투자할 경우, 가계소득 880억 달러 증대, GDP 1% 이상 상승, 120만 개의 고용 창출 효과가 발생한다고 주장

☞ (현황) 미국의 공공 인프라 시설은 전반적으로 열악한 수준임. 특히 미국 공공인프라 평가에 따르면 전 분야에서 평균 D 등급으로 국내 인프라 재건이 시급한 상황

* 미국 주요 인프라 시설 노후연수는 도로 및 고속도로 28.4년, 상수도 25.6년, 하수도 26.5년 수준

* 미국 내 6만 개 이상의 다리에 구조적 결함이 있는 것으로 집계되고, 교통 정체로 인

한 미국 경제의 손실은 연간 500억 달러가 넘는 것으로 추정됨. 또한 낙후된 댐은 홍수로부터 국민들을 지켜내지 못하고 있는 것으로 판단[10)]

☞ (투자) 백악관 내 인프라 플랜 TF팀을 구성하고, 각 주별로 인프라 플랜에 포함될 사업 3~5개를 선정하여 제출할 것을 요청[11)]

* 신청된 인프라 사업들은 교량 교체, 지하철 노후 개선, 도로 및 터널 확장, 고속철도 등 대규모 사업들이 포함

☞ (전망) 낙후된 도심 지역을 재정비하고, 고속도로, 다리, 터널, 공항, 학교, 병원을 재건함에 따라 수백만 개 이상의 일자리가 창출될 것을 기대

☞ 인프라 투자는 승수효과로 경기부양 효과가 제기되나, 재정적자 확대 및 경기부양에 따른 자금 수요 증가를 유발, 금리상승 압력이 높아질 것으로 예상

- 2018년 1월 24일, 트럼프 대통령은 향후 10년간 인프라 투자에 1조 7000억 달러를 투입하겠다는 계획을 밝힘

- 이는, 앞서 공약한 금액에 비해 늘어난 금액으로 세부 투자계획을 연두교서 발표에서 공개할 예정이었으나 아직까지 구체적인 로드맵이 나오지 않은 상태임

● 국가터널검사표준(National Tunnel Inspection Standard('13))을 FHWA*가 제정하여 터널 내진, 안전, 화재대책 등을 포함한 가이드라인 및 매뉴얼을 통해 기준/지침을 제시

* Federal Highway Administration, 연방고속도로국은 미국의 자산관리를 선도하는 기관으로 교통시설 관리기관에서 교통시설물을 개선하면서 투자대비 최대 효과를 얻기 위해 업무를 수행

- 국가터널검사 표준은 '09년 제정되었던 터널 검사기준을 보완하여 개정된 표준으로 터널에 대한 가이드라인을 포함하고 있음

☞ 교량, 터널 등 시설물 노후화에 따른 유지보수 가이드라인 정립 및 인프라 성능에 대한 주기적 점검, 통계관리를 수행하고 있으며 관련 연구개발에 대한 투자를 지속 중

☞ 매뉴얼은 터널의 계획, 조사, 설계, 시공, 안전, 화재대책 TBM 등을 서술

10) 트럼프의 "New 인프라 투자 계획" 분석, 건설동향브리핑 제585호, 한국건설산업연구원, 2016.11.14
11) 미국 공공인프라 투자 확대에 따른 우리 수출의 영향, TRADE BRIEF, 한국무역협회 국제무역연구원, 2017.02.27

- 미국 연방 교통예산법(MAP-21, Moving Ahead for Progress in the 21st Century('12))
  - '14년 9월까지 1,050억 달러를 도로건설, 유지관리, 안전, 대중교통, 교통계획 및 제반연구에 투자
  - '15년도부터 MAP-21을 확대 적용하여, 회계연도 동안 미국 내 육상교통수단 관련프로그램에 1,030억 달러, 교통안전 프로그램에 224억 달러 규모로 투자
- SAFETEA-LU(Safe, Accountable, flexible and Efficient Transportation Equity Act of 2003)
  - 두 법안의 후속법안으로, 2003년에 제정되었으며, 기존의 정책기조를 유지하면서 교통안전과 국가안보 강화에 주안점
  - 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transportation System)
  - 대기오염 개선 및 대중교통 체계의 강화
- 종합육상교통효율화법(ISTEA, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act('92))
  - 경제적 효율성, 에너지 절약, 환경친화적 국가교통체계 구축을 정책 목표로 설정
- 21세기 교통형평법(TEA-21, Transportation Equity for the 21st Century('91))
  - 교통수단간 균형투자를 통해 이동성을 강화하고 교통안전, 자연환경보존, 국가안보유지 등에 주력

## 나. EU

■ EU는 건설기술 플랫폼 비전 2030, 유럽투자계획 및 Infravation Project 등 인프라 관련 투자계획을 통해 차세대 교통 인프라 기술개발 및 경쟁력 확보에 지원

- 유럽 건설기술 플랫폼 비전 2030(ECTP vision 2030)[12]을 통해 도시주거환경개선, 지하공간개발, 사회기반시설 네트워크, 문화유산, 삶의 질 향상, 신재료 개발 등의 9가지 플랜을 제시
  - 미래 지하공간 건설을 위한 차세대 창의 기술항목을 도출
    * 비용효과적인 대구경·만능 터널 보링 기계(TBM) 개발, 지반조건에 관한 완벽한 지식 확보(혁신적인 지반정보 수집 방법 및 장비 개발), 레이저 기술 같은 새로운 암반 굴착 기술, 터널 무인화 시공 기술·인공지능형 유지관리 시스템, 굴착방법 및 프로세스의 혁신

12) 국토교통 R&D 사업·관리체계 개편, 국토교통부, 2016.11

- 터널기술, 지하구조물기술, 전방탐사기술, 차세대굴착기술, 완전자동 TBM기술 등을 선정
- '30년까지 기술개발 마스터플랜을 수립하여 R&D투자를 증가시킬 계획

● Investment Plan for Europe, 유럽투자계획('15)을 발표하여 '15년 대규모 인프라 투자를 통한 일자리 창출, 경기부양을 목적으로 제시

- 2015년부터 3년간 최소 3.150억 유로 투자 계획 및 EU와 민간 협력 장기 투자 계획 수립(연평균 1,050억 유로)
- 중소·중견기업, 교통인프라, 연구 혁신과 같은 장기적 투자수준이 요구되는 방향으로 투자할 계획

● Infravation Project('13) 교량, 터널, 도로포장 등 교통인프라 성능향상을 위한 기술연구 지원

- '14년 유럽내 국가와 미국의 연구기관, 기업으로부터 기술개발수요조사 실시
- '15년까지 추진과제를 결정

* ALTERPAVE: 폐자원을 활용한 건축 및 재생기술 연구

* BIOREPAVATION: 아스팔트 포장의 바이오 재활용에 관한 연구

* ECLIPS: 상변화 시스템을 통한 사회기반시설물의 콘크리트 수명 향상에 관한 연구

* FASSTBRIDGE: 강교량의 수명 연장을 위한 솔루션에 관한 연구

* HEALROAD: 도로의 내구성 향상 및 유지관리비용 저감을 위한 인덕션 가열 아스팔트 혼합물에 관한 연구

* SEACON: 해수를 이용한 지속가능한 콘크리트, 오염된 골재와 비부식성 철근에 관한 연구

* SEEBRIDGE: 교량의 BIM 모델 작성 자동화에 관한 연구

* SUREBRIDGE: 기존 교량의 보수·보강 및 성능향상에 관한 연구

## 다. 일본

■ 일본 정부는 20개의 대표 생산성 혁명 프로젝트를 설정하여 I-construction을 추진하고, 인프라 노후화 대응에 중점적으로 투자

◉ 국토교통성 20대 생산성 혁명 프로젝트[13] 추진

- (추진배경) 국토교통성에서는 4차 산업혁명에 대해 건설 산업 성장의 열쇠는 생산성 향상에 있다고 판단하고 생산성혁명 본부를 설치하여 20개의 대표 생산성 혁명 프로젝트 설정

☞ 생산성혁명 프로젝트는 사회베이스형, 산업별형, 미래형의 3가지로 분류 가능함. 그 중 건설부문과 직접 관련 있는 프로젝트는 인프라 유지보수 혁명, i-Construction, 고품질 인프라의 해외 전개 등이 있음

- (인프라 유지보수 혁명) 확실하고 효율적인 인프라 유지보수 추진

☞ 국토교통성이 예정하고 있는 인프라 유지관리 비용은 '13년 3조 6천 억엔에서 '23년 최대 5조1천억 엔으로 급증[14]

- (i-Construction) '25년까지 건설현장의 생산성이 20% 향상될 것을 목표로 기술력 향상 중심의 4차 산업혁명 대응전략 수립·추진

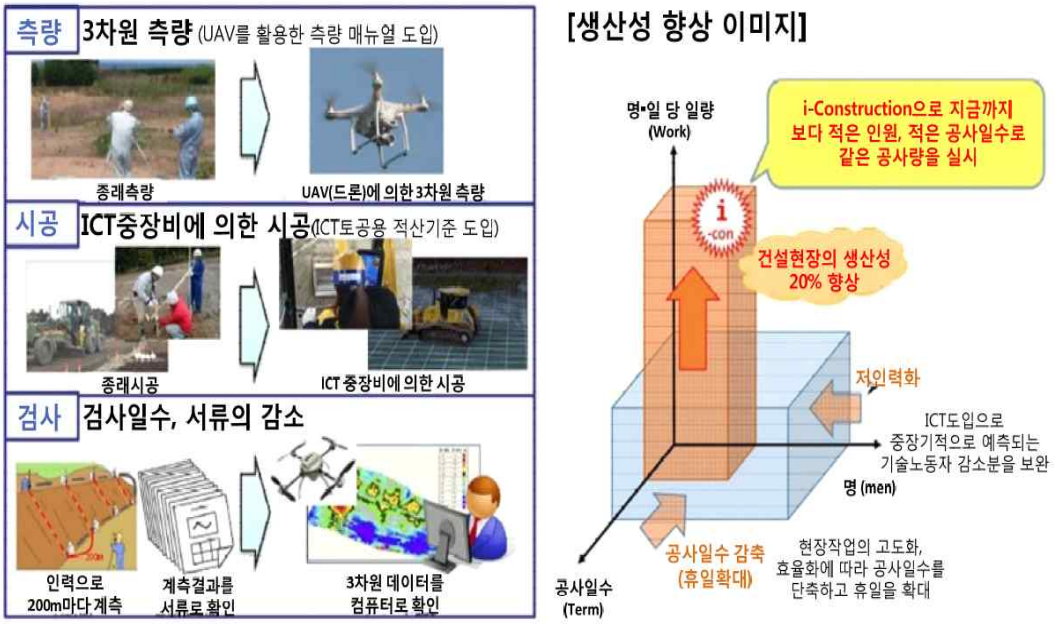
☞ (추진내용) '16년~'17년 ICT토공을 적용 및 현장 시공효율화에 관한 요소기술의 가이드라인을 책정하여 규격 표준화를 실시. '17년에는 2개년 국채로 700억 엔에서 1,500억 엔으로 확대·활용하고, 그 해 1월 i-Construction 추진 컨소시엄 설립

* 조사·측량에서 설계, 시공, 검사, 유지관리 및 업데이트까지의 전 건설과정에서 3차원 데이터를 도입하고 ICT 건설장비 등 신기술을 활용 및 인프라 점검·재해대응 로봇의 개발 촉진

* '17년에는 ICT 포장, ICT 준설공(항만분야), I-Gesuido(측량 및 유지관리 분야의 ICT 기술 활용), I-Bridge(교량 분야에서 3차원 데이터에 의한 설계), 적용

- (고품질 인프라의 해외 전개) IoT 등의 미래형 신기술을 활용하여 시장을 개척하고, 해외의 높은 인프라 수요를 수주하여 타국가의 상류 계획 형성에 적극 참여 도모

13) 4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 대응 전략 및 시사점, 조재용, 대한건설정책연구원, 2017.07
14) 매일경제, 2017.1




출처 : 4차 산업혁명에 따른 일본 건설산업의 대응 전략 및 시사점, 대한건설정책연구원

**<그림 Ⅱ-13> i-Construction의 개념**

◉ 과학기술이노베이션종합전략('17)은 제5기 과학기술기본계획에 근거하여 수립되었으며, 「Society 5.0」 실현을 위한 중점사항을 명시

- 산·학·관 연계를 통해 신진연구자·벤처기업 등의 도전을 유발하고, 기초연구에서 실용화까지 연계하여 기반기술 강화 추진

☞ '전략적 이노베이션 창조 프로그램'에 관계부처의 활동 방향을 맞추어 적극 추진

* 전략적 이노베이션 창조프로그램('13)는 에너지, 차세대 인프라, 지역자원, 건강·의료' 등 4개의 분야를 대상으로 하여 기초연구에서 실용화·사업화에 걸친 전주기 규제·제도 개혁 및 특구활동 등 산·학·관 연계를 통해 추진

◉ 인프라·시스템 수출전략('13.5월)을 마련하여 장기적·종합적인 인프라 투자 지원

- 정부는 인프라·시스템 수출을 국가 지속 경제성장을 위한 주요 추진 전략으로 설정하고 자국기업의 해외진출 확대를 위한 지원활동을 강화하고 있음

- 전략회의에서 일본의 해외 인프라·시스템 진출규모(수주액 기준)를 2020년까지 약 30조 엔 수준으로 확대시키는 것을 목표로 제시함

## 라. 중국

■ 중국은 일대일로 정책 및 제13차 5개년 계획을 통해 대규모 인프라 투자 정책을 추진하여, 중국기업 해외진출 확대 도모

◉ 제13차 5개년('16~'20)에 '엔타이-다롄 해저터널' 건설 계획 포함

- 2014년 8월 중국 중앙상무위원회에서 발표한 제13차 5개년 계획에 세계에서 가장 긴 해저터널인 '엔타이-다롄 해저터널' 건설을 포함시킴
- (추진배경) 현재 엔타이-다롄 도시의 직선거리는 165km이나, 보하이 해협의 C자형 해안선으로 인한 교통 병목현상으로 지역 발전 저해
- 엔타이-다롄 간의 운수량이 보하이만 해상 운수량의 80%를 차지하고 있으나, 9~10월 성수기에는 해운능력이 심각하게 부족한 사태가 빈번하게 발생

  * 두 도시 간 이동시, 육상교통으로 1,680km, 페리로는 170km로 6~8시간이 소요되며, 이에 따라 화물 하역시간은 평균 20시간 소요됨

- (추진계획) '엔타이'와 '다롄'을 잇는 해저바닥에서 33m 깊이에 위치, 총 길이 123km 초장대 해저터널 건설 및 유사시 피난 혹은 환풍을 위한 수직구 설치
- 현재 엔타이는 산둥반도의 산업도시이며, 다롄은 요동반도의 산업도시로, 두 도시를 해저터널로 잇는다면, 향후 중국의 산업단지 중심의 경제 활성화 단지로 동북 3성의 경제발전을 활성화시킬 것으로 기대




출처 : 세계 건설 동향 및 이슈, 건설환경종합연구소, 2016.

**〈그림 Ⅱ-14〉 세계 최장 터널과 엔타이-다롄 해저터널**

- '엔타이-다롄 해저터널'은 철도·자동차·서비스 전용인 3련으로 구성되어 있으며, 철도의 경우 시속 250km의 고속철을 계획함
- 시속 250km의 고속철이 운행될 경우, '엔타이-다롄'까지 30분이 소요됨

◉ 초대형 프로젝트 일대일로 추진('13)

- 2049년 완공을 목표로 동아시아와 유럽 경제권을 연결하는 초대형 프로젝트로, 2013년 9월 시진핑(習近平) 국가주석이 중앙아시아 및 동남아시아 순방 중 처음 제시한 전략임

- 육로를 연결한 '일대(一帶)'를 가리키는 '실크로드 경제벨트(絲綢之路經濟帶)'와 '일로(一路)'를 가리키는 '21세기 해상 실크로드(21世紀海上絲綢之路)'로 구성

- 일대일로' 프로젝트가 완성될 경우 총 64개 국가를 포괄하는 경제회랑 구축 가능

☞ 해당 국가 및 지역의 총인구와 경제규모는 각각 전 세계의 63%(약 44억 명), 29%(약 21조)를 차지하고, 무역규모는 23.9%에 달할 것으로 예상

☞ 중국정부는 '일대일로' 구상을 처음 제기한 후 현재까지 연선국가 지도층과 회담을 지속하면서 '일대일로' 건설을 위한 기반을 다지고 있음




출처 : 일대일로, 팍스시니카의 실크로드가 될 것인가, 아카이브, 최은영, 2017.01.24.

**<그림 Ⅱ-15> 일대일로 노선도**

- SIJLAB(Sino-Italian Joint Laboratory of Archimedes Bridge) 프로젝트 추진

☞ '04년 중국 과학원의 주도로 이태리와 공동으로 연구하여 SFT(Submerged Floating Tunnel)건설에서 새로운 전환기 마련함

☞ 중국 저장성에 위치한 Qiandao리조트에 세계 최초의 AB(Archimedes Bridge)를 건설하는 것을 목표로, SFT의 거동을 보다 정확히 파악하고 실제 크기의 SFT 프로토타입을 설계하여 설치하는 것이 목표

◉ 홍콩 정부, 인공섬 프로젝트 발표('19)

- 마이클 웡 홍콩 개발부 장관은 정부 브리핑에서 "심각한 토지 공급 부족을 해결하기 위한 비전 프로젝트로 란타우섬 근처에 10㎢(1000헥타르)의 인공섬을 만들어 약 26만여 가구 주택을 공급하겠다" 고 밝힘




출처 : 홍콩 정부가 주택난 해결하기 위해 선택한 방법, WIKITREE, 19.03.22.

**<그림 Ⅱ-16> 홍콩, 인공섬 건설 프로젝트**

- 란타우 프로젝트 비용은 정부가 매립지를 개발업자에게 팔아서 얻게 될 수익으로 충당할 계획

☞ 인공섬을 조성하는데 투입되는 비용은 약 6,240억 홍콩달러(한화 약 90조원)에 달하며, 그 면적은 뉴욕 센트럴파크의 3배에 달함 (그 중 70%는 공공택지로 활용)

- 당국은 2032년에 섬으로 주민들을 이주시키는 것을 목표로 오는 2025년부터 토지 개축 공사를 시작할 예정이나, 건설계획에 대한 막대한 비용 및 해양 생태계 훼손 우려로 반발이 거세지고 있음

# 2. 국내 해저터널 산업 주요 정책동향

## 가. 법/제도

### 국가통합교통체계효율화법

- 국가기간교통망계획은 교통정책의 종합조정 강화를 목적으로 교통시설에 대한 투자계획의 수립, 투자평가, 교통체계의 지능화 등을 추진하기 위해 1999년 12월 제정 이후 2009년에 전부 개정한 법임
- 교통체계의 효율성·통합성 및 연계성을 향상하기 위해 육상·해상·항공교통 정책에 대한 종합적인 조정과 각종 교통시설 및 교통수단 등 국가교통체계의 효율적인 개발·운영 및 관리 등에 필요한 사항을 정함으로써 국민생활의 편의를 증진하고 국가 경제 발전에 이바지함을 목적으로 함

- 국가통합교통체계효율화법은 교통체계의 개발 및 운영에 관하여 다른 법률보다 우선하여 적용함

▷ 제4조 (국가기간교통망계획의 수립 등) ① 국토해양부장관은 국가의 효율적인 교통체계를 구축하기 위하여 20년 단위로 국가기간교통망에 관한 계획(이하 “국가기간교통망계획”이라 한다)을 수립하여야 한다. 다만 국토해양부장관은 사회적·경제적 여건 변화를 고려하여 필요한 경우 이를 변경할 수 있다.

▷ 제5조 (다른 계획과의 관계) 「철도건설법」 제4조의 계획을 수립 또는 변경할 때에는 국가기간교통망계획의 내용을 반영하여야 하며, 그 내용과 상충되지 아니하도록 하여야 한다.

▷ 제94조 (국가교통기술개발계획의 수립) ① 국토해양부장관은 교통기술의 연구·개발을 촉진하고 그 성과를 효율적으로 이용하도록 하기 위하여 5년 단위로 국가교통기술의 개발계획(이하 “국가교통기술개발계획”이라 한다)을 수립하여야 한다.

건설기술관리법

◉ 건설기술진흥기본계획은 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)이 수립되었으며, 해외시장 진출 확대 및 신규 시장 선점을 위해 시장 수요에 기반을 둔 핵심시설물 기술 및 시공실적을 확보하기 위한 전략을 수립함

▷ 제1조 (목적) 이 법은 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 이를 효율적으로 이용·관리하게 함으로써 건설기술 수준의 향상과 건설공사의 적정한 시행을 이루고 건설공사의 품질과 안전을 확보하여 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 한다.

▷ 제3조 (건설기술진흥기본계획) ① 국토해양부장관은 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 그 성과를 효율적으로 이용하게 하기 위하여 건설기술진흥기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.

■ 교통안전법

▷ 제1조 (목적) 이 법은 교통안전에 관한 국가 또는 지방자치단체의 의무·추진체계 및 시책 등을 규정하고 이를 종합적·계획적으로 추진함으로써 교통안전 증진에 이바지함을 목적으로 한다.

▷ 제3조 (국가교통안전기본계획) ① 국토해양부장관은 국가의 전반적인 교통안전수준의 향상을 도모하기 위하여 교통안전에 관한 기본계획(이하 "국가교통안전기본계획"이라 한다)을 5년 단위로 수립하여야 한다.

◉ 국가교통안전기본계획은 교통분야 안전계획 중 최상위 계획으로, 국토해양부를 중심으로 관계부처가 합동하여 수립한 제7차 교통안전기본계획('12~'16)이 마무리되고, 2016년에 제8차 교통안전기본계획('17~'21)이 수립됨

■ 철도안전법

▷ 제1조 (목적) 이 법은 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 한다.

▷ 제5조 (철도안전 종합계획) ① 국토교통부장관은 5년마다 철도안전에 관한 종합계획(이하 "철도안전 종합계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.

▷ 제25조 (철도시설의 기술기준) ① 철도시설관리자는 국토교통부장관이 정하여 고시하는 기술수준에 맞게 철도시설을 설치하여야 한다.

◉ 철도안전종합계획은 국토교통부장관이 5년 마다 수립하는 법정계획으로, 2016년에 제3차 철도안전종합계획이 수립되었으며, 선진국 수준의 철도안전 목표를 제시함

- 철도안전 확보를 위해 관련 기준 및 제도, 철도업무 종사자의 역량 강화, 철도시설의 안전성 향상, 철도차량의 안전성 향상, 안전기술의 연구개발 계획을 진행하고 있음

### 철도시설 안전세부기준

▷ 제3조 (적용범위) ② 제3장 터널 방재기준은 다음 각 호와 같이 적용한다.

2. 본선터널의 길이가 15킬로미터 이상인 터널에서 이 기준의 방재 요구조건이 미흡하다고 판단되는 경우에는 해당 터널특성에 적합한 별도의 대책을 수립하여야 한다.

3. 이 기준의 적용을 받지 않는 터널은 다음 각 목과 같다.

가. 도시철도 구간의 터널

나. 하저 및 해저의 터널

다. 지하승강장

라. 화물열차 전용터널

마. 열차운행계획에 따라 여객열차의 운행빈도가 매우 적게 계획된 터널

- 철도시설 안전세부기준은 연장 15 km 이상의 초장대 터널과 해저터널에 대해서는 별도의 대책 수립을 요구하고 있으므로, 초장대 해저터널의 경우에는 터널 특성을 고려한 별도의 방재기준 수립이 필요할 것으로 판단됨

  - 즉, 해저터널은 연장 15km 이상이며, 바다 아래로 통과하는 장대터널로서 붕괴 또는 열차 화재 시 기존터널 보다 더 큰 인명피해를 발생시킬 수 있기 때문에 붕괴 및 대형 인명피해를 발생시킬 수 있는 화재사고에 대한 방재설계가 철저하게 이루어져야 함

### 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침

- 도로터널 방재시설의 계획·설계·시공 및 관리 시 적용해야 할 최소한의 기술기준을 규정

- 동 지침의 적용대상인 '도로터널'은 자동차의 통행을 목적으로 지반을 굴착하여 지하에 건설한 구조물, 개착공법으로 지중에 건설한 구조물(BOX형 지하차도), 기타 특수공법(침매공법 등)으로 하저에 건설한 구조물(침매터널 등)과 지상에 건설한 터널형 방음시설(방음터널)을 말함

- (침매터널, 해·하저터널, 소형차 전용 도로터널) 육상터널과 비교하여 토목 구조적으로 상당한 차이가 있는 경우에는 구조적인 측면과 방재측면에서의 안전성을 우선순위로 고려하여 방재시설을 변경하여 설치 가능

- 터널방재시설은 사고예방, 초기대응, 피난대피, 소화 및 구조 활동, 사고확대방지를 기본목적으로 함

■ 도로터널 환기설계에 관한 기준지침

- 국내 도로터널의 환기설비 설계시 소요환기량 산출방법은 PIARC(국제상성도로회의 : Permanent International Association of Road Congress)방식을 적용하는 것을 원칙으로 함
- 고속도로 터널 환기시설 설계기준에서 PIARC 방식을 우리 실정에 맞게 수정한 기준안을 적용

■ 산업안전보건법

- 동 법은 산업 안전 및 보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성함으로써 노무를 제공하는 자의 안전 및 보건을 유지·증진함을 목적으로 함
- 정부는 산업안전·보건정책의 수립·집행·조정 및 통제, 사업장에 대한 재해 예방 지원 및 지도 등 그 밖에도 근로자의 안전 및 건강의 보호·증진 등의 사항을 효율적으로 수행하기 위한 시책을 마련해야 함

## 나. 관련 정책 동향

■ 국내 해저터널·인공섬 관련 정책동향을 분석하기 위하여 국토교통부 및 타부처의 상위계획과 건설 관련 계획 등의 정책동향을 분석

| 구분 | 해저터널 · 인공섬 관련 정책 동향 | |
|---|---|---|
| 상위계획 | 최상위계획 | 과학기술기본계획 |
| | 국토부 상위계획 | 국토교통국가과학기술 연구개발 종합계획, 시설물 안전 및 유지관리 기본계획, 제4차 국토종합 수정계획, 국가기간교통망계획, |
| | 타부처 상위계획 | 국가안전관리기본계획, 녹색성장 5개년 계획, |
| 건설 관련 계획 | 산업 정책 | 건설산업진흥기본계획, 건설산업 혁신방안 |
| | R&D 정책 | 건설기술진흥기본계획, 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획, 국토교통 R&D 중장기 전략 |

출처: 부처별 홈페이지를 참고하여 다원전략컨설팅에서 재구성

## (1) 상위계획

### (가) 최상위계획

■ 제4차 과학기술기본계획('18~'22)

◉ 국가정책 중 '국민의 삶의 질 향상에 기여할 수 있는 지속가능한 인프라 구조물 건설 기술'과 연계된 중장기적 국가정책 수립에 기반 자료를 제공하기 위한 기술개발의 필요성이 대두됨

■ 2018년 정부연구개발투자방향 및 기준('18)

◉ 과학기술정보통신부는 국가연구개발사업의 투자방향을 사람 중심의 국가 R&D 투자 강화를 목표로 창의적인 연구 환경 조성, 국민이 체감하는 삶의 질 향상, 미래를 준비하는 혁신성장 가속화, 과학기술 기반 고급 일자리 창출 등을 제시함

◉ (건설·교통) 사회기반시설 안전성, 주거 및 교통 복지를 증진하며, 건설·교통 산업 기술이 지속적으로 성장할 수 있는 R&D 중점 지원

- (건설) 사회기반시설, 건축물, 하천 등의 안전성 강화와 저에너지·고효율 공간조성·관리 기술, 고부가가치형 건설기술 등 지원

- (교통) ICT융복합 도로·철도·물류기반시설 구축, 교통수단 간 연계강화, 교통 편의성·접근성을 확대하는 교통복지 기술 등 지원

### (나) 국토교통부 상위계획

■ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)

◉ 국토교통 과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획

* 종합계획 수립에 따라, 내용이 포함되는 "건설교통 R&D 중장기계획", "국토교통 R&D 중장기전략", "국가교통기술개발계획"은 폐지

◉ [전략2] ① 고부가가치 건설기술 창출

- 시장 형성 단계로써 선제적 대응을 통해 수출전략화가 가능한 미래형·건축·구조물을 전략목표로 설정하고, 해외건설 수주 시 수익률이 높은 新형식·新공법 "고부가가치 인프라"와 "新개념 건축·구조물" 개발

- 동 전략의 기술구성 요소에 교량·터널·지하공간 등이 포함되어 있으며, 그 중 대형 TBM 제작·운영 기술개발과 복층터널, 대심도 해저터널 등 기술개발 및

실증연구에 집중·투자

■ 제4차 시설물 안전 및 유지관리 기본계획('18~'22)

◉ 시설물 안전 및 유지관리 기본계획은 정책·제도 선진화, 연구개발 촉진, 우수인력 양성, 효율적인 정보체계 구축을 통해 시설물을 안전하게 유지관리하기 위한 5년 단위 법정계획임

◉ 시설물 미래요구 대응을 위한 지속가능한 시설물 안전관리 기반 구축에 따른 4대 목표를 달성하기 위해, 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 장착, 4차 산업혁명 기술을 활용한 시설물 안전·유지관리 고도화, 융·복합을 통한 미래 대비 산업 발전 기반조성, 국민 소통형 시설물 안전·유지관리 서비스 지향 등 4대 추진전략 선정

■ 제4차 국토종합계획 수정계획('11~'20)

◉ 초국경적 국토경영 기반을 구축하기 위해, 유라시아-태평양 협력 기반 강화 추진

- 한·중·일 복합수송체계를 구축하고, 아시안 하이웨이 및 아시아 횡단철도 연결을 추진하여 글로벌 교통·물류 관문국가로 도약

- 즉, 한반도를 중심으로 TCR(Trans China Railway), TSR(Trans Siberian Railway)과 연결되어 아시아·유럽 대륙으로 진출 확대 추진

- 중국 및 유라시아 철도망과의 연결은 북한의 협력이 필요하므로. 협력이후에도 정치적인 문제로 인해 안정적인 시설운영이 불투명함

- 장기적으로는 한-중 해저터널 건설을 통한 철도교통망 연결의 필요성이 대두되어왔으나, 수년간 노선 및 기술 검토만 수행되고 있을 뿐, 구체적인 실현방안은 제시되고 있지 않음

■ 국가기간교통망계획 제2차 수정계획('01~'20)

◉ 동북아 단일 교통물류시장 확대를 위한 기반 마련, KTX 중심 철도고속화 및 도로기능 효율화 및 육·해·공 통합연계 국제교통망 구축 등을 추진

- 특히 육·해·공 통합연계 국제교통만 구축을 통해 유라시아지역의 공동 번영과 물류비용 절감 등의 기대효과 발생

## (2) 타부처 상위계획

■ 제3차 국가안전관리기본계획('15~'19)

◉ 국가안전관리기본계획은 각종 재난 및 사고로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하는 최상위 계획으로, 안전문화, 생활안전, 기업안전, 국가기반체계, 재난관리체계 등 5대 요소를 목표로 설정하여 9대 추진전략을 제시

■ 제2차 녹색성장 5개년 계획('14~'18)

◉ 녹색성장위원회에서는 2009년 7월 녹색성장 국가비전으로 "녹색성장을 통한 깨끗하고 풍요로운 미래"로 설정하고, 이러한 비전을 달성하기 위한 목표로 "환경보호와 경제성장의 선순환 구조가 정착되어 세계로 도약하는 녹색 선진국 건설"을 제시하고 3대전략 10대 정책과제를 제시한 「녹색성장 국가전략 및 5개년 계획」을 수립함

◉ 「제2차 녹색성장 추진전략」에서 효과적 온실가스 감축, 지속가능한 에너지체계 구축, 녹색창조산업 생태계 조성, 지속가능 녹색사회 구현, 글로벌 녹색협력 강화 등을 5대 정책방향으로 설정하고 추진하고자 함

## (3) 건설 관련 계획

### (가) 산업 정책

■ 제4차 건설산업진흥기본계획('13~'17), 국토해양부

◉ 국토해양부는 건설경기 침체가 장기화되고 있는 상황과 국내 건설시장이 단순 시공위주의 양적 성장을 지속하는데 한계를 극복하고 질적 성장을 위해 '건설산업의 지속 발전 기반 강화'를 비전으로 중장기 건설산업 정책방향을 제시함

◉ [과제 5] 신시장 발굴 등 수요 기반 확충을 위해 신규 건설수요 발굴과 제도적 지원 및 부가가치 제고를 위한 건설기술 R&D 활성화 지원 추진

- 건설산업이 성숙기에 진입함에 따라 도로·철도 등 전통적인 SOC 건설투자 비중이 감소하는 추세
- 이에 새로운 건설상품을 적극적으로 발굴하고, 자원 재활용 녹색건설 등을 위한 제도적 지원 방안 마련
- 글로벌 시장변화에 대응하기 위해 정부주도로 시장선도형 고부가 기술개발 추진

* 제5차 건설산업진흥기본계획은 추후 고시할 예정

## (나) R&D 정책

■ 제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22). 국토교통부

◉ 4차 산업혁명 기술을 적용함으로써 20년간 정체된 국내 건설 생산성 제고를 도모하기 위해 12대 중점추진과제로 '스마트 건설기술을 통한 생산성 향상' 추진

- 4차 산업혁명 기술을 융합한 기술개발을 통해 생산성·안전성 혁신, 건설 Eng의 글로벌 경쟁력 강화로 신성장 동력 육성 추진을 목표로 설정

- (추진배경) 건설산업은 전통적인 로우테크(Low-Tech) 이미지를 벗어나지 못하고 고급 기술자 부족과 고령화 심화 등에 따라 성장 동력 저하되었으며, 이에 첨단 기술을 융·복합하는 미래 지향적 기술혁신으로 돌파구 마련 필요함

- 현장에서 작업이 이루어져 정밀 시공이 어렵고 안전사고 발생 가능성이 높은 단점을 극복하기 위해 3차원 설계기술인 BIM(Building Information Modeling)을 활용, 가상으로 시공 후에 3D프린터로 공장에서 건설 부재를 모듈화해 제작하고, 인공지능(AI)을 탑재한 건설 로봇에 의해 조립·시공하는 건설자동화 기술을 2025년까지 개발

- 아울러, 해외시장 진출에 유리한 메가스트럭처, 플랜트, 해저터널 등의 핵심 원천기술을 확보할 수 있도록 연구개발(R&D) 사업에도 집중·투자할 계획

◉ [전략2] 해외 수요 대응형 건설기술 개발 추진

- 고부가가치 기술 확보를 위한 메가스트럭처(교량, 해저터널 등) 추진

- 대규모·고난이도 메가스트럭처 건설을 위한 원천기술 확보로 해외시장 선점영역 창출 및 수익성 제고 필요

- 기획단계부터 체계적인 시장 수요를 분석하고, Track-record 확보 중점 추진

- 기술적 난이도가 높은 국·내외 SOC 건설 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발하는 '건설 수주 연계 R&D 사업' 추진

■ 2018년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획('18)

◉ 2018년도 국토교통기술 연구개발사업 시행계획은 국토교통 R&D 중장기전략의 10대 중점프로젝트를 국토교통기술의 주요 R&D로 구체화시킨 계획으로, 토목·건축기술의 정점인 초장대교량, 장대 복층터널 등을 설계에서부터 시공까지 자력 건설하고, 효율적인 유지관리 기술을 개발하여 글로벌 시장 진출 전략을 제시

- ('18년 추진내용) 사회기반구조물 안전성 강화와 선제적 유지관리를 위한 보수·보강 및 성능관리 기술, 고성능·다기능 건설재료 원천기술 개발 집중 지원

- 건설사업 경쟁력 강화를 위한 기반기술, 고부가 메가스트럭처(교량·터널) 건설 및 고효율 시공을 위한 설계·시공분야 엔지니어링 기술 개발 지속 지원

■ 국토교통 R&D 중장기 전략('14~'23)

◉ 국토교통 R&D 중장기 전략은 사회·정책·기술적 패러다임 변화와 환경변화에 유동적으로 대응하기 위한 계획으로 창조경제 실현을 위해 국토, 교통분야 R&D 추진방향 및 중점 실천과제를 제시

- 국토교통 R&D 중장기 전략의 4대 핵심전략의 일환으로 현재 공공국토교통·통합시스템 구축 등을 통한 국토교통 글로벌 경쟁력의 강화 추진

- (토목·건축) 터널·교량, 초고층빌딩 등 시공에 강점을 지닌 메가스트럭처 부문에서 부가가치가 큰 설계·엔지니어링 기술 확보에 주력

- (인프라 관리) 사물통신을 기반으로 시설물의 성능·안전성을 실시간 모니터링하고, 자동으로 유지 보수하여 안전사회 구현

■ 건설산업 혁신방안, 관계부처 합동

◉ 건설업 업역을 개편하고 원청의 직접시공 확대, 무등록 시공팀 퇴출 방안 마련 등을 통해 건설업 생산 구조를 혁신하고, 국내외 여건 변화와 산업구조적인 문제로 인해 건설산업 위기 상황이 심화하는 데 대해 위기의식을 갖고 혁신방안을 마련

◉ 4대 혁신방안인 '기술혁신'내 추진과제, [스마트 건설기술 활성화] 추진

- 건설자동화, 스마트 유지관리, 스마트 건설재료 등 첨단 건설기술개발 및 메가스트럭처 + 플랜트 분야에 '27년까지 약 1조 원을 투자하여 핵심기술을 보급

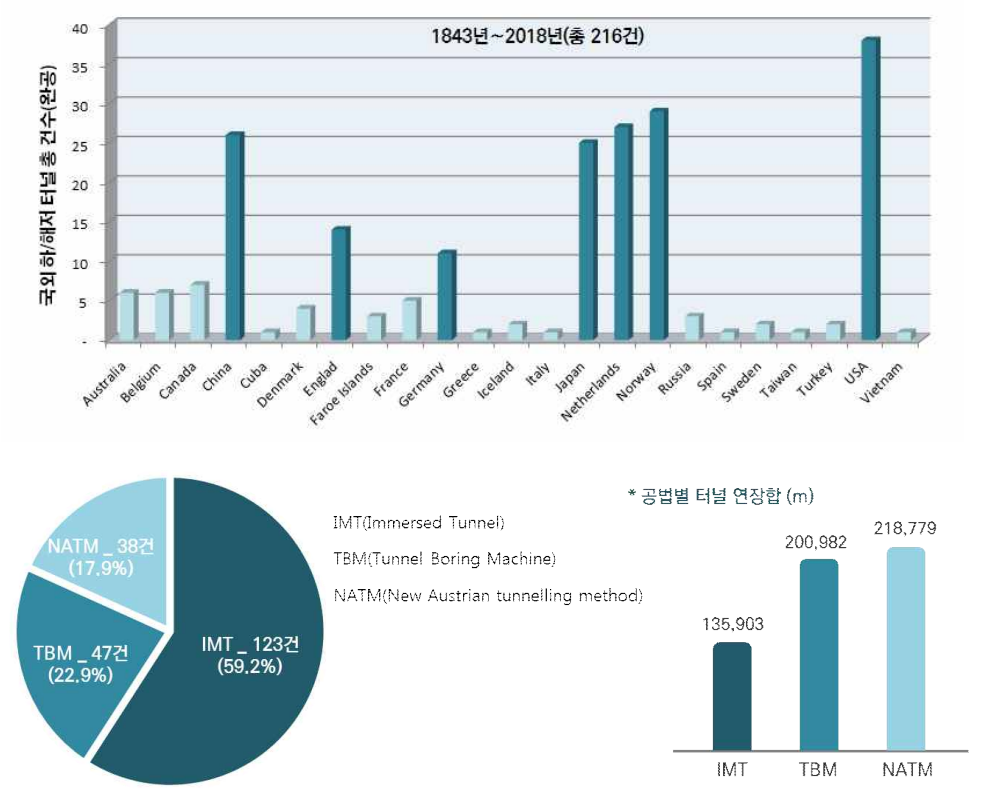
- (메가스트럭처 + 플랜트) 초장대교량, 부유식(floating) 해저터널, 인공섬 기술개발, 극한지 자원화 플랜트, 바이오매스 및 지하복합 플랜트 기술 개발에 약 5,100억 원('20~'25)을 투자 추진

# 제3절 국내 · 외 해저터널 관련 기술개발 동향

## 1. 해저터널 관련 기술개발 현황

### 가. 국외 해저터널 기술개발 현황

■ 2018년 까지 국내를 제외한 전 세계에 완공된 하저/해저터널은 아래 그림에서와 같이 총 216건(하저터널 146건 및 해저터널 70건) 정도로 조사되고 있음

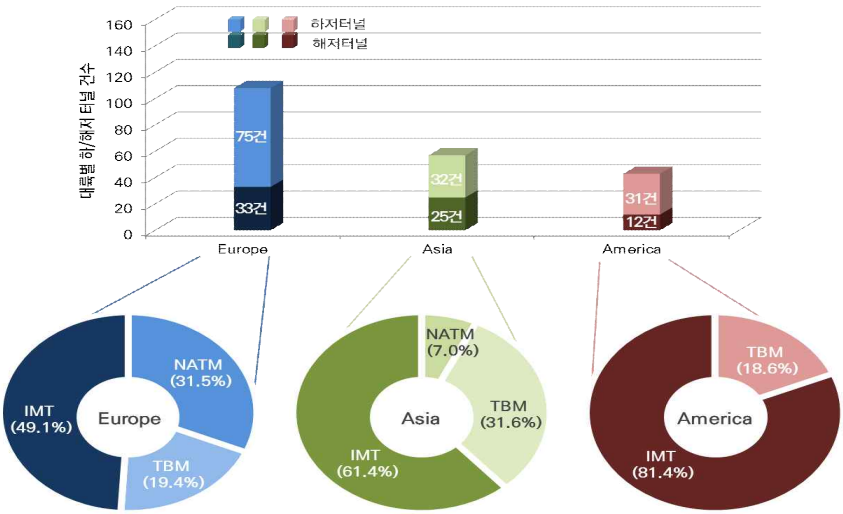



**<그림 Ⅱ-17> 국외 하저/해저터널 총 건수(완공) 및 공법별 분류>**

◉ 하저/해저 터널을 보유하고 있는 23개국 중에서 10여개 이상의 하저/해저 터널을 보유하고 있는 국가는 미국(38), 일본(25), 네델란드(27), 노르웨이(29), 중국(26), 영국(14), 독일(11) 등 7개국에서 전체의 약 79%를 보유하고 있음

◉ 전체 216건의 하저/해저터널에서 개착공법(Cut&Cover)으로 설계/시공된 8건을 제외한 총 208개의 하저/해저터널에 대해 공법별로는 침매공법(IMT)이 123건으로 59%, 기계굴착식 공법(TBM)이 47건으로 약 23%, NATM 공법이 38건으로 약 18%의 순으로 나타남

- 총 208개의 하저/해저터널에 대해 공법별 건수와는 달리 터널의 총 연장의 합은 NATM 공법과 기계굴착식 공법이 각각 219km와 200km로써 길며, 시공 건수가 가장 많았던 침매공법의 경우에는 약 135km로 그 값이 가장 작은 것을 알 수 있음



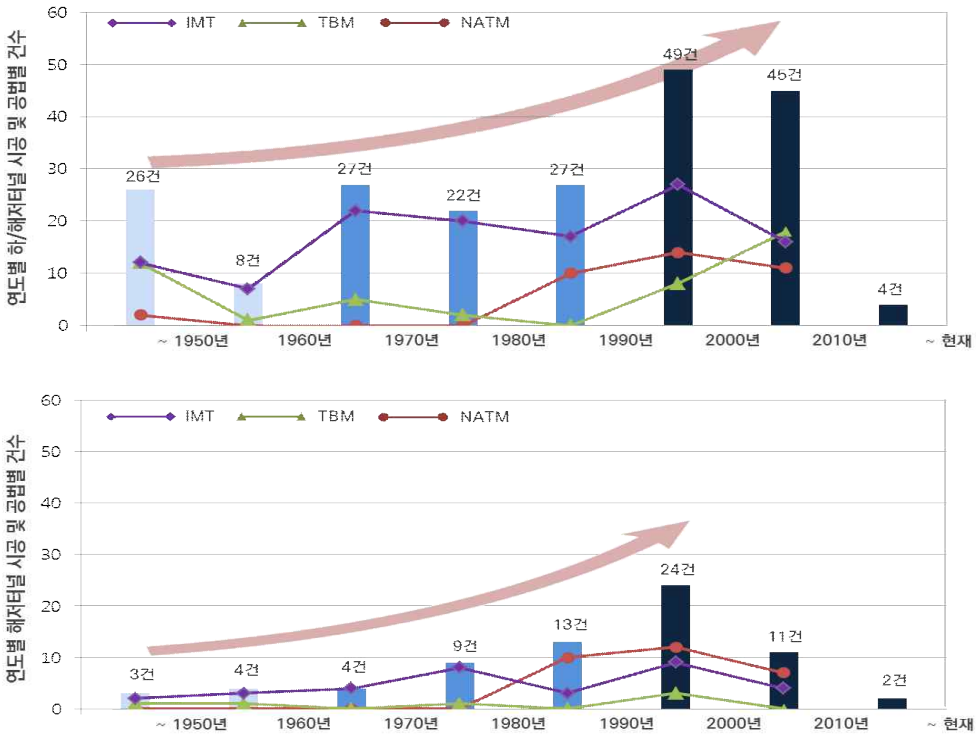

**<그림 Ⅱ-18> 대륙별 하저/해저터널 총 건수(완공) 및 대륙별 적용 공법 분류**

- 하저/해저 터널을 보유하고 있는 23개국 중에서 개착공법(Cut&Cover)을 적용한 8건을 제외한 총 208개의 하저/해저터널에 대해 위의 그림과 같이 유럽과 아시아 및 아메리카 대륙별로 각각 108건과 57건 및 43건을 보유하고 있는 것으로 확인되고 있으며 특히, 유럽대륙이 하저/해저터널의 전체 약 52%를 보유하고 있는 것으로 나타남

- 유럽대륙의 경우 해저터널과 하저터널은 각각 33건과 75건으로 약 31%와 69%의 비율을 나타내고 있음. 아시아 대륙의 경우 해저터널과 하저터널은 각각 25건과 32건으로 약 44%와 56%를 아메리카대륙의 경우 각각 12건과 31건으로 약 28%와 82%의 비율을 나타내고 있음

- 유럽대륙의 경우 침매공법이 53건으로 약 49%와 TBM 공법이 21건으로 약 19%, NATM 공법이 34건으로 약 32%의 비율을 나타내고 있음. 하지만, 아시아 대륙의 경우 침매공법이 35건으로 약 61%, TBM 공법이 18건으로 약 32%, NATM 공법이 4건으로 약 7%의 비율을 각각 나타내고 있으며, 유럽 대륙의 경우와 달리 TBM 공법의 적용 사례가 상대적으로 많은 것을 알 수 있음

- 아메리카 대륙의 경우, 아시아 대륙에서와 같이 침매공법이 43건으로 약 81%와 TBM 공법이 8건으로 약 19%의 비율을 나타내고 있으며, 유럽 대륙과 달리 TBM 공법의 적용 사례가 상대적으로 많은 것을 알 수 있음



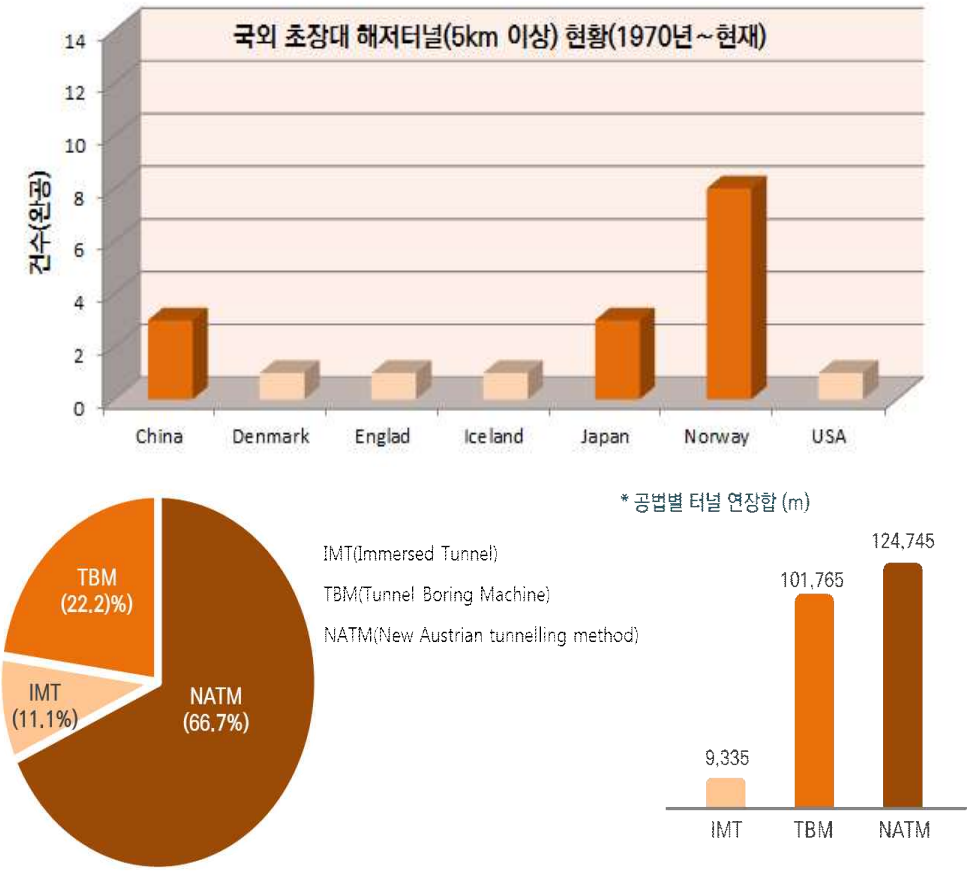

**<그림 Ⅱ-19> 연도별 국외 하저/해저터널 총 시공 및 공법별 분류>**

- 개착공법(Cut&Cover)을 적용한 8건을 제외한 총 208개의 하저/해저터널 프로젝트에 대한 연도별 분석 결과 기술의 발달과 함께 설계와 시공 건수는 꾸준히 증가되고 있는 것을 확인 할 수 있음. 특히, 위의 그림과 같이 1980년대 이전에 설계 및 시공된 총 206개의 하저/해저터널의 경우 약 64%가 NATM 및 IMT 공법을 적용한 것을 알 수 있음

- 또한, 굴착기술이 크게 발달된 1980년대 이후, IMT 및 NATM 공법은 그 설계/시공 사례가 감소 추세에 있는 것과 달리 TBM의 사례는 꾸준히 증가 하고 있는 것으로 확인됨

- 하저터널을 제외한 전체 70건의 해저터널 프로젝트에 대한 연도별 분석 결과 역시 설계와 시공 건수는 꾸준히 증가되고 있는 것을 확인 할 수 있음. 특히, 1980년대 이전까지 해저터널에 대부분 침매공법을 적용한 것을 알 수 있음

- 1990년대 이후부터 해저터널에 TBM 공법을 적용한 사례가 증가한 것을 알 수 있으며, 대표적으로 약 8.0km의 Storebalt Tunnel(1996년, 덴마크), 약 9.1km의 Tokyobay Aqua Line Tunnel(1997년, 일본)과 순수 국내 기술로 개발된 TBM 공법이 적용된 3.3km의 Eurasia Tunnel(2016년, 터키)이 대표적이라고 할 수 있음

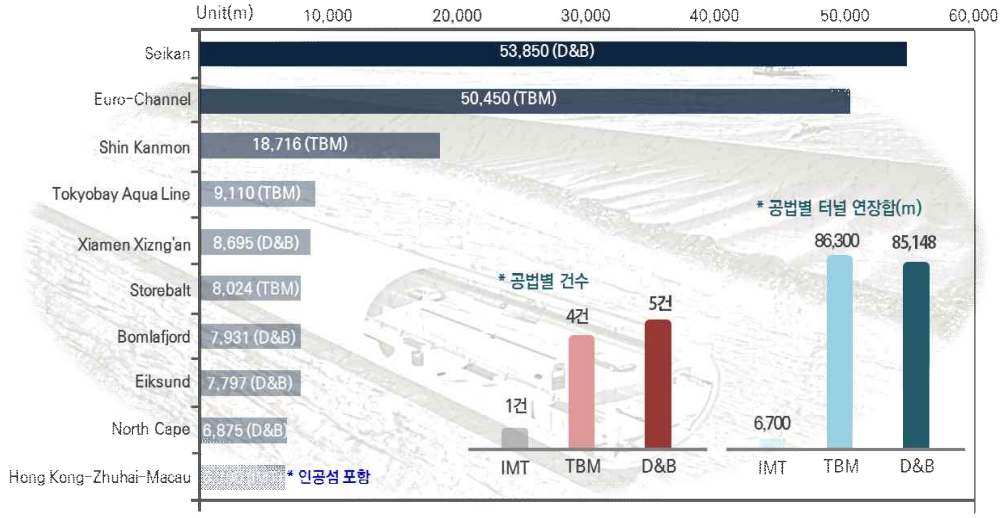



**<그림 Ⅱ-20> 국외 초장대 해저터널 총 건수(완공) 및 공법별 분류>**

- 일반적으로 인식되는 5km 이상의 초장대 해저터널*의 경우 위 그림에서와 같이 전체 18건으로 중국(3), 덴마크(1), 영국-프랑스(1), 아이슬랜드(1건), 일본(3건), 노르웨이(8건) 및 미국(1건)으로 총 7개국이 보유하고 있는 것으로 나타나고 있으며, 특히 노르웨이, 중국, 일본 등이 전체 초장대 해저터널의 약 78%를 차지하고 있는 것으로 분석됨

  * 국내외 해/하저터널 건설 사례분석, Tunnel & Underground space, pp. 120-130, Vol. 24, No. 2, 2014

- 전체 18건의 초장대 해저터널에 대해 공법별로는 NATM 공법이 12건으로 66%, TBM 공법이 4건으로 약 22%, 나머지 침매공법이 2건으로 약 11%의 순으로 나타났으며, 터널의 총 연장은 사례 건수와 유사하게 NATM 공법과 TBM 공법이 각각 124km와 101km로 나타났으며 침매공법의 경우에는 약 9.3km로 그 연장이 가장 짧은 것으로 분석됨




**<그림 Ⅱ-21> 대표적인 초장대 해저터널의 시공법 및 연장**

- 위의 그림과 같이 현재 터널연장이 54km로 세계 최장의 기록을 보유하고 있는 일본의 세이칸 터널(1988년)에서부터 가장 최근에 완공된 중국의 강주아오대교의 일부를 인공섬과 함께 구성하고 있는 해저터널(2018년)까지 경간장이 세계 10위 이내의 해저터널 프로젝트에 대해 적용된 공법과 연장을 분석함

- 일반적으로 초장대 해저터널의 경우, 대부분이 기계굴착식(TBM) 공법과 및 NATM 공법을 적용한 것으로 확인됨. 특히, 총 10개의 세계 최장 해저터널 가운데 NATM 공법과 기계굴착식 공법을 적용한 해저터널 연장의 합은 각각 85,148m와 86,300m임

## 나. 국내 해저터널 기술개발 현황

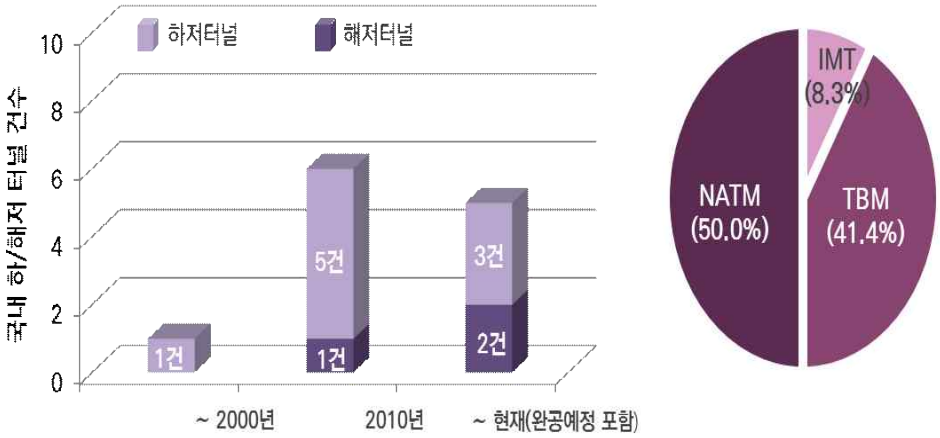
2018년 현재까지 국내에 완공된 하/해저 터널 프로젝트는 아래 그림과 같이 총 12건으로 조사됨 (단, 현재 시공 중에 있으며 각각 2021년과 2020년 및 2019년에 완공예정인 대곡-소사 한강 하저터널, 보령터널 및 낙동터널을 포함)

- 1996년에 완공된 서울지하철 5호선 한강 하저터널을 시작으로 2020년 완공 예정으로 현재 시공 중에 있으며 국내 최장의 해저터널로 기록될 보령터널에 이르기까지 국내의 하/해저터널 프로젝트는 해마다 증가 추세에 있는 것을 알 수 있음

- 총 12건의 국내 하/해저터널 프로젝트에 적용된 공법은 NATM 공법이 6건으로 50%, 기계굴착식 공법이 5건으로 약 41%, 나머지 침매공법이 1건으로 약 8%의 순으로 나타남

- 특히, 터널 설계 및 굴착/시공 기술에 대한 순수 국내 기술 수준이 발전함에 따라 국내 하/해저터널 프로젝트의 경우 기계굴착식 공법의 적용 사례가 지속적으로

증가하고 있는 것으로 나타남

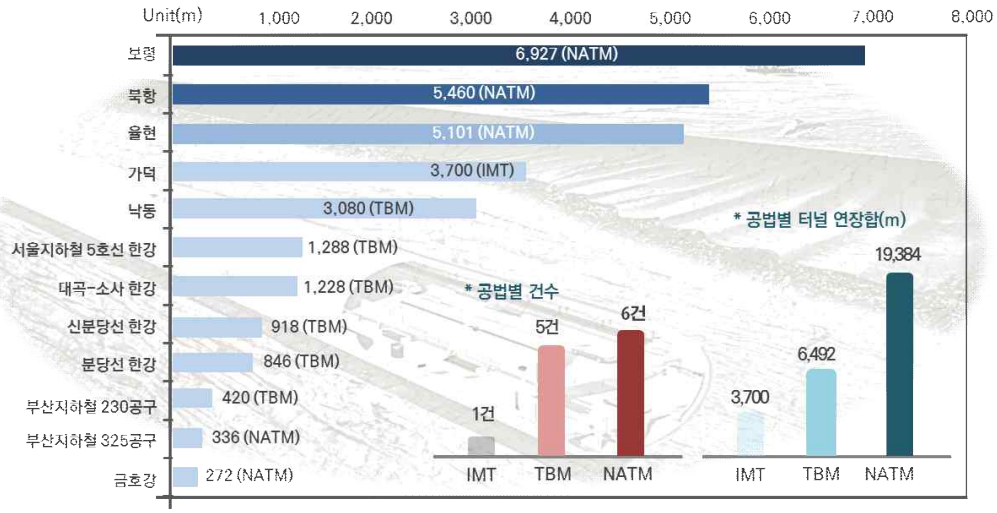



**<그림 Ⅱ-22> 국내 하/해저터널 총 건수(완공예정 포함) 및 공법별 분류**

- 국내에 완공된 5km 이상의 초장대 터널의 경우 아래 그림과 같이 전체 3건으로 율현터널의 일부 구간중 신갈저수지 하부를 통과하는 하저터널 1건과 해저터널인 보령 및 북항터널 2건으로 모두 NATM 공법을 적용함

- 총 12건의 국내 하/해저터널 프로젝트에 적용된 공법별 해저터널 연장의 합에서 NATM 공법과 기계굴착식 공법을 적용한 경우는 각각 19,384m와 6,492m로 발파공법이 더 많이 적용된 것으로 분석됨

- 이는 현재까지는 국외와는 다른 지리 및 지형적 특성으로 인해 상대적으로 단경간의 시공사례가 많으며, 이에 따른 경제성과 시공성 측면 등과 같은 국내의 건설 환경적인 요인들에 기인한 것으로 판단됨




**<그림 Ⅱ-23> 국내 하/해저터널 경간장 및 공법별 분류**

# 2. 주요국 해저터널 관련 기술개발 동향

## 가. EU

### (1) 유로 해저터널 (Channel Tunnel)

■ 개요 및 핵심기술

◉ 영국의 Folkstone과 프랑스의 Calasis를 연결하는 세계에서 가장 대표적인 해저터널임

- 총 연 장 : 50.45km (해저구간 38km, 접속터널 13km, 평균 해저깊이 45m)
- 공사기간 : 1987.12 ~ 1994.05
- 이동수단 : 고속철도 (최고속도 160km/h)

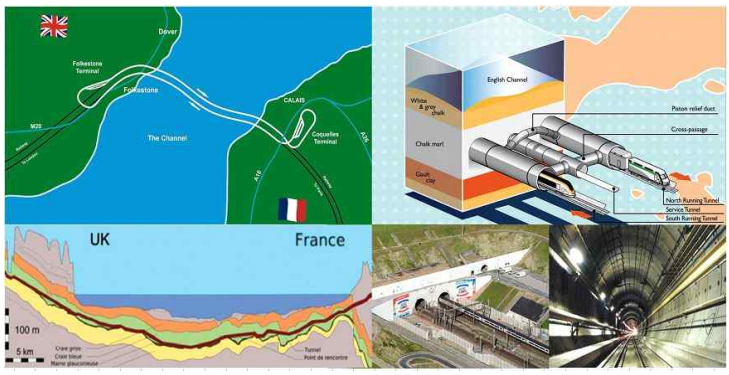
◉ 단선 병렬터널로 본선터널 2개(직경 7.8m) 및 서비스 터널 1개(직경 4.8m)로 구성됨

- 터널 굴착형식은 EPS shield TBM이 사용되었으며 굴착 직경은 10m임
- 프랑스측은 최대수압 11bar에 견딜 수 있는 방수개념의 콘크리트 라이닝으로 설계됨
- 터널 내 1/3 구간마다 회차 시설이 설치되어 비상시 또는 유지관리시 회차가 가능함

■ 주요 특성 및 기대효과

◉ 세계에서 가장 대표적인 해저터널로 영국이 육로로 연결된 유럽 대륙의 일부가 됨

- 고속철도인 유로스타는 3시간에 런던과 파리를 연결하는 국제협력의 표본이 됨




〈그림 Ⅱ-24〉 유로 해저터널

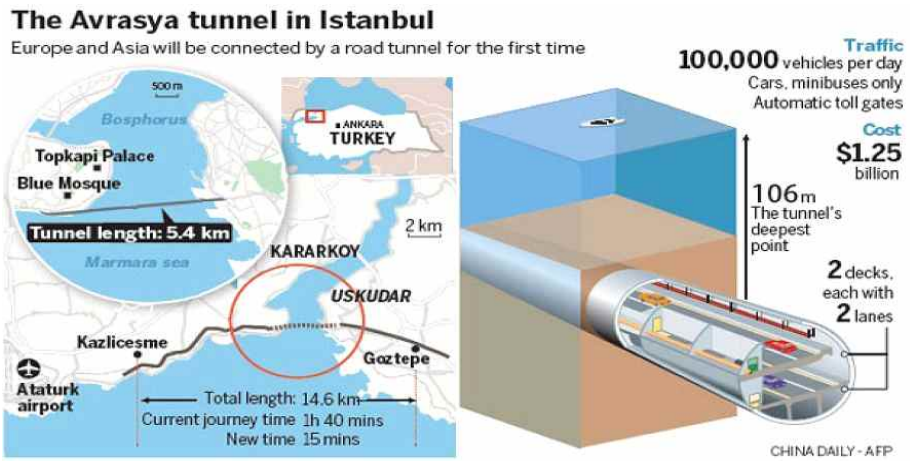
## (2) 유라시아 해저터널 (Eurasia Tunnel)

### 개요 및 핵심기술

- 아시아와 유럽 대륙을 연결하고 있는 보스포러스 해협의 해저를 횡단하는 복층 해저터널
  - 총 연 장 : 14.6km (해저구간 5.4km 및 육지 접속도로 포함)
  - 공사기간 : 2013.01 ~ 2016.12 (시공사 : SK 건설)
  - 이동수단 : 자동차 전용
- 최대 12bar의 고수압 해저구간에서의 방재 안정성 확보가 가능한 최대 규모(직경 13.7m)의 TBM 공법이 적용됨
  - 터널 굴착형식은 Slurry shield TBM 구간 3.4km와 NATM 구간 2.0km로 구성됨
  - 지름 13.7m, 길이 120m, 무게 3,300ton에 달하는 최대 규모의 TBM 장비가 투입됨
  - 터키의 지질특성을 반영하여 지진규모 7.5에도 견딜 수 있는 내진설계가 적용됨

### 주요 특성 및 기대효과

- 총 사업비가 12억 달러에 달하는 국내 최초의 해외도로 민간투자사업 토목공사
  - 터널 개통후 보스포러스 해협 통과시간이 100분에서 15분으로 현저하게 단축됨




<그림 Ⅱ-25> 유라시아 해저터널

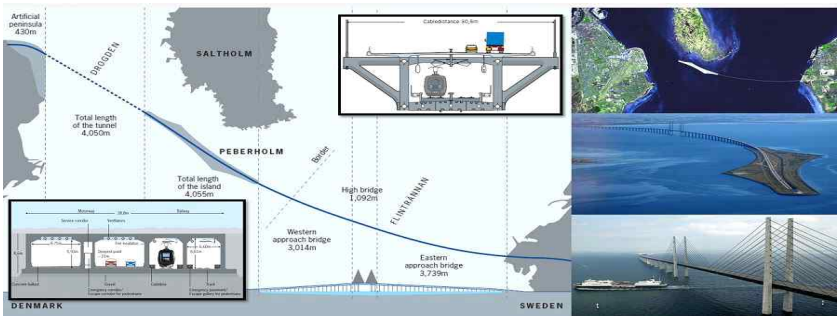
## (3) Drogden Tunnel (Oresund fixed link)

### 개요 및 핵심기술

- 스웨덴의 Malmo와 덴마크의 Zealand Island를 연결하는 유럽 최장 복합 사장교 및 세계 최장 침매터널
  - 총 연 장 : 8km (해저터널 4.0km, 인공섬 4.0km 포함)
  - 공사기간 : 1993.09 ~ 2000.06 (시공사 : SK 건설)
  - 이동수단 : 고속철도 및 자동차
- 도로-철도 겸용 복층 사장교 및 코펜하겐 공항과의 간섭을 피하기 위해 침매터널 및 인공섬으로 구성됨
  - 침매터널은 자동차 터널 2개(4차로), 복선철도 2개 그리고 서비스 터널로 구성됨
  - 20개의 침매함체(Element:176×38.8×8.6m)로 구성되어 있음
  - 터널내부는 1,350℃의 화재에 2시간 동안 견딜 수 있도록 설계됨
- 매립식 인공섬은 교통방식의 변화(복층교량-병렬터널) 및 생태보존의 목적으로 시공
  - 연면적 1.3km$^2$ (연장 4km, 폭 500m)이며 재료로는 쇄석과 모래가 사용됨

### 주요 특성 및 기대효과

- 스웨덴과 덴마크간의 경제 활성화 및 국가 간 인프라 연결의 모범적인 사업
  - 양국간 출퇴근 인구 비용 감소와 거대한 하나의 유럽 경제권 구축을 위한 기초 인프라




<그림 II-26> Drogden Tunnel

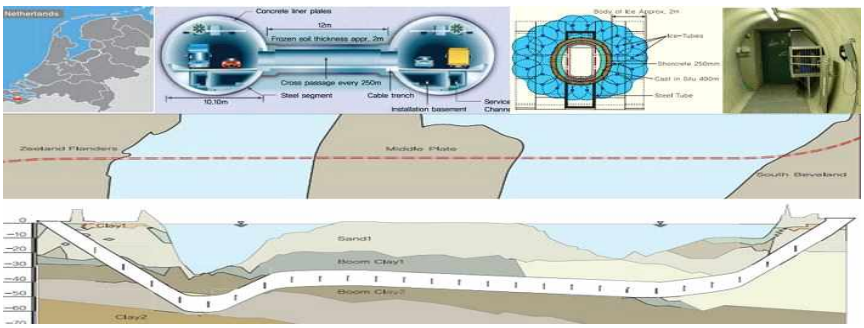
## (4) Westerschelde Tunnel (Netherlands)

### 개요 및 핵심기술

- 네덜란드의 Zeeland Flande와 South Beleland를 육상으로 연결하기 위한 하저터널
  - 총 연 장 : 6.6km
  - 공사기간 : 1998.11. ~ 2003.03.
  - 이동수단 : 자동차
- 네델란드에서 가장 연장이 긴 도로터널이며, 고수압 및 연약지반을 통과하는 기술적인 어려움이 있었음
  - 2차로 병렬터널 형식으로 Slurry shield TBM(실드 외경 11.3m) 공법을 적용
  - 실제 계측된 막장면의 최대 수압은 6.5bar이며 연약층(느슨한 모래, 점토층)을 통과함
  - Cutter wheel과 독립적으로 회전하여 압력을 분배하고 clogging을 방지하는 center cutter, 진흙 덩이리 분쇄를 위한 Roller crusher를 장착함
  - 피난연결통로를 250m 마다 설치하였으며, 질소대신 염수를 사용한 동결공법을 적용함
  - Cutter 교체를 위해 Saturation Diving이 적용된 최초의 프로젝트

### 주요 특성 및 기대효과

- 국토가 해수면보다 낮고 복잡한 해안선을 가진 특성을 활용하여 많은 장대교량과 해저(하저)터널 시공을 통하여 SOC 시설물 건설 강국으로서 경쟁력을 확보함




<그림 Ⅱ-27> Westerschelde Tunnel

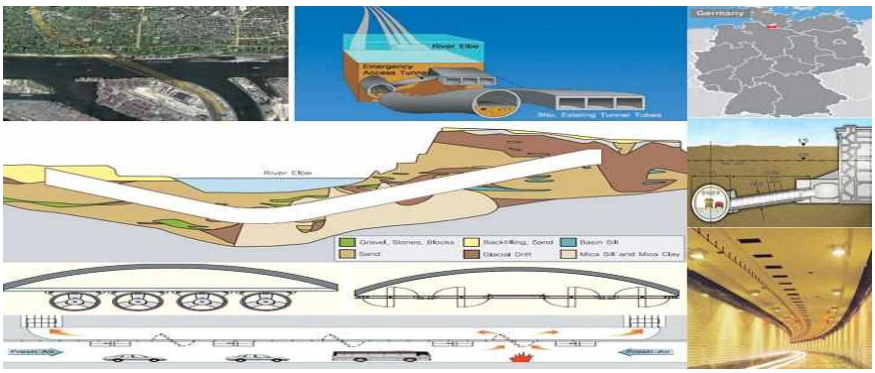
## (5) Elbe Tunnel (Germany)

### 개요 및 핵심기술

- 독일 최대의 항구도시인 함부르크의 남북을 연결하기 위해 엘베강을 횡단하여 건설된 하저터널
  - 총 연 장 : 2.56km
  - 공사기간 : 1995.11. ~ 2004.05.
  - 이동수단 : 자동차
- 교통량 소요에 의해 기존의 하저터널에 추가로 건설되는 하저터널로 통과지층이 매우 복잡하고 불균질한 특성을 보임
  - 2차로 일방향 터널 형식으로 Slurry shield TBM(쉴드 외경 14.2m) 공법을 적용
  - 터널 굴진중 실제 계측 수압은 4.2bar이며, 기존 터널과 연결되는 피난연결통로(외경 4.4m)를 1,000m 간격을 설치함
  - 평상시는 제트팬을 이용한 종류식 환기방식이며, 화재시에는 Damper를 이용한 집중배연 방식임

### 주요 특성 및 기대효과

- 항구도시이며 북유럽 교통의 중심지인 함부르크의 산업발전과 교통수요 증가 대응에 기여함




<그림 II-28> Elbe Tunnel

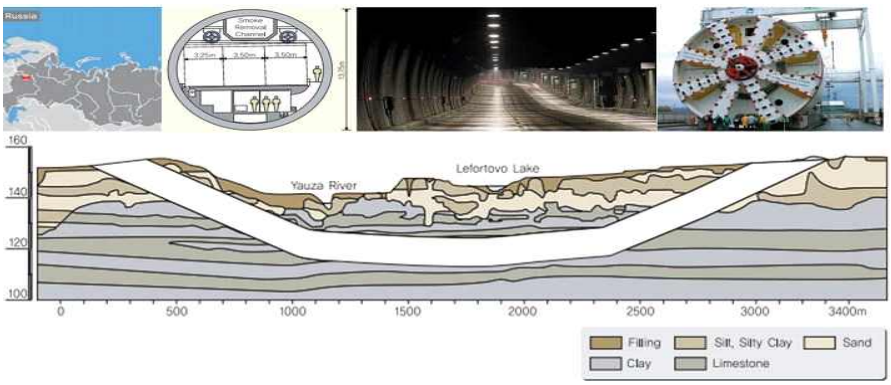
## (6) Lefortovo Tunnel (Russia)

### 개요 및 핵심기술

- 모스크바 Third Transportation Ring Road의 마지막 구간으로 자연보호구역 및 Military academy의 기초하부를 통과하는 하저터널
  - 총 연 장 : 2.2km
  - 공사기간 : 2001.11. ~ 2003.02.
  - 이동수단 : 자동차
- 모스크바에서 가장 큰 지하구조물로서 18세기 건축물, 습지 자연보호구역, Yauza River, 군부대 하부를 통과함
  - 3차로 병렬터널 형식으로 Slurry shield TBM(실드 외경 14.2m) 공법을 적용
  - 설계시보다 두 배에 가까운 우수한 굴진율(최대 굴진율, 226m/월, 12m/일)을 기록함
  - 터널 통과 지층은 조립질 모래, 자갈, 점토층 및 보통암 수준의 층상 석회암으로 구성됨
  - 터널의 Road deck 하부에 500m 간격으로 steel slide를 통해 피난연결통로 확보함

### 주요 특성 및 기대효과

- 모스크바 도심 교통체증을 해결함과 동시에 도심지에 위치한 18세기 문화유산 및 자연보호구역 보존 가능




<그림 Ⅱ-29> Lefortovo Tunnel

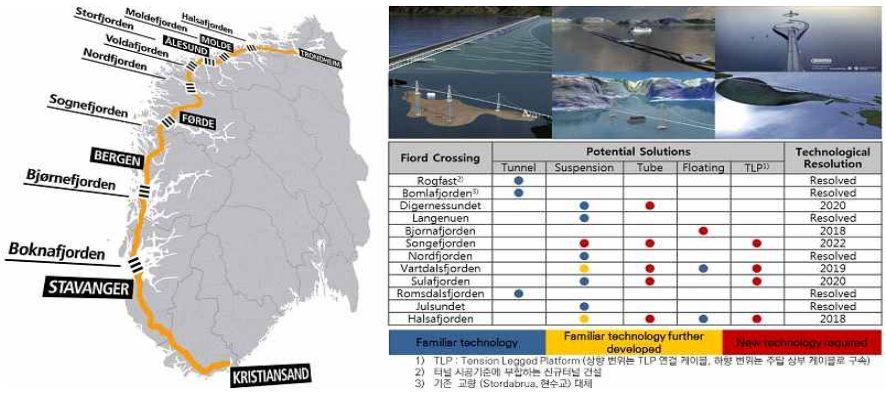
## (7) 노르웨이 E39 Project (계획)

### 개요 및 핵심기술

- 노르웨이 서부 해안도로(E39)상의 8개의 페리노선을 교량, 해저터널 등으로 대체하여 주행시간 단축 및 단절없는 도로교통 인프라를 구축하기 위한 대형 프로젝트
  - 총 연 장 : 총 8개의 페리구간(각 연장 1.7~26.7km, 수심 330~1.250m)
  - 공사기간 : 2014년 최초 기획시 20년내 완공을 목표로 함
  - 이동수단 : 자동차
- 노르웨이의 지형적인 특성(피요르드 지형)을 극복하기 위한 다양한 최신 공법을 적용할 수 있도록 매년 프로젝트에 대한 연구내용을 컨퍼런스를 통해 발표함
  - 초장대 현수교/사장교, 부유식 교량 등에 대한 최신 공법을 제시함
  - 해저터널, 해중터널, 침매터널 및 부유식 인공섬에 대한 개념설계, 상세설계, 시공기술에 대한 타당당 검토를 수행 중임

### 주요 특성 및 기대효과

- 노르웨이 서부해안의 Trondheim에서 Kristiansnad를 잇는 1,100km의 도로상에 존재하는 페리를 이용하지 않고 자동차 주행이 가능하도록 함으로써 총 주행시간을 21시간에서 13시간으로 단축하여 경제 활성화에 기여




| Fiord Crossing | Potential Solutions | | | | | Technological Resolution |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tunnel | Suspension | Tube | Floating | TLP[1] | |
| Rogfast[2] | ● | | | | | Resolved |
| Bomlafjorden[3] | ● | | | | | Resolved |
| Digernessundet | | ● | ● | | | 2020 |
| Langenuen | | ● | | | | Resolved |
| Bjornafjorden | | | | ● | | 2018 |
| Songefjorden | | ● | ● | | ● | 2022 |
| Nordfjorden | | ● | | | | Resolved |
| Vartdalsfjorden | | ● | ● | ● | ● | 2019 |
| Sulafjorden | | ● | ● | | ● | 2020 |
| Romsdalsfjorden | ● | | | | | Resolved |
| Julsundet | | ● | | | | Resolved |
| Halsafjorden | | ● | ● | ● | ● | 2018 |

Familiar technology | Familiar technology further developed | New technology required

1) TLP : Tension Legged Platform (상부 변위는 TLP 연결 케이블, 하부 변위는 주탑 상부 케이블로 구속)
2) 터널 시공기준에 부합하는 신규터널 건설
3) 기존 교량 (Stordabrua, 현수교) 대체

<그림 Ⅱ-30> 노르웨이 E39 프로젝트

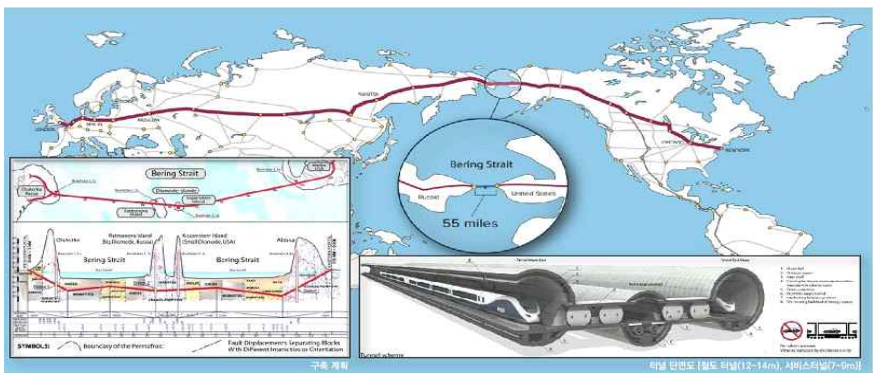
## (8) 베링해협 해저터널 (계획)

### 개요 및 핵심기술

- 아시아와 아메리카를 연결함으로 미주, 동아시아, 유럽의 3대 거대 경제권을 구성하기 위한 교통 인프라 구축
  - 총 연 장 : 해저터널 100km (진입부 포함), 평균수심 23~30m(최대 70m)
  - 이동수단 : 고속철도, 하이퍼루프 등
- TBM을 활용한 해저터널로 2개의 섬(리틀 다이어미드, 빅 다이어미드)을 기착점으로 3개의 공사구간으로 구성됨
  - 단선 병렬터널 2개(직경 12-14m)와 서비스터널(직경 7-9m)로 단면이 구성되며, 해저지질 상태를 고려하여 TBM 공법을 활용한 굴착방식 적용
  - 교량을 통한 대륙간 연결 방안은 거대 유빙들과 빠른 유속 및 강추위로 인해 무산됨
  - 2개의 섬 지하 구간에 각각 환기구와 배기구를 포함한 정류장과 수직 엘리베이터를 건설하여 관광자원화를 계획함

### 주요 특성 및 기대효과

- 기존 해상 수송로 이용시 소요되던 천문학적인 운송 시간과 비용의 감소를 통하여 자유로운 인적·물적 자원의 교류가 가능하며, 에너지자원 개발 촉진과 자원의 적시 분배를 통한 세계 경제의 르네상스 시대 도래 가능




<그림 Ⅱ-31> 베링해협 해저터널

# 나. 일본

## (1) 세이칸 해저터널 (Seikan Tunnel)

### 개요 및 핵심기술

- 일본의 혼슈와 홋카이도를 연결하는 세계 최장 해저터널
  - 총 연 장 : 53.85km (해저구간 23.30km, 육방구간 30.55km, 최대수심 140m)
  - 공사기간 : 1964 ~ 1988
  - 이동수단 : 고속철도 (신칸센)
- 복선 병렬터널로 본선 터널, 서비스 터널 그리고 파일럿 터널로 구성됨
  - 철도용 터널로 설계 단계에서부터 복선의 신칸센 규격에 대응하도록 계획됨
  - 파일럿 터널 굴착시 일부구간 TBM을 적용하였으나, 막장 자립성 및 TBM 추진을 위한 지지력 부족으로 전구간 NATM 공법을 적요함
  - 파일럿 터널은 공사중에는 지반조사, 공사후에는 배수갱 목적으로 활용됨

### 주요 특성 및 기대효과

- 혼슈에서 홋가이도까지 안정적으로 여객 및 화물을 수송할 수 있는 이송수단임
  - 세이칸 터널 시공이후 일본은 세계 터널 설계/시공 및 TBM 제작기술에서 세계기술을 선도함




<그림 Ⅱ-32> Seikan Tunnel

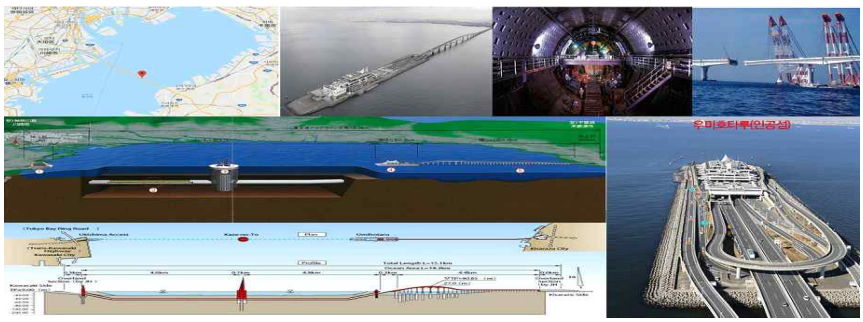
## 다. 도쿄만 아쿠아라인 터널 (Tokyobay Aqua Line Tunnel)

### 개요 및 핵심기술

- 일본 가와사키 시와 기사라주 시를 터널, 교량, 인공섬으로 연결하는 자동차 전용 해저터널
  - 총 연 장 : 15.1km (해저터널 9.8km, 교량 5.3km, 인공섬)
  - 공사기간 : 1989.05 ~ 1997.12
  - 이동수단 : 자동차 전용
- 빈번한 선박운항 및 도쿄국제공항의 항공기 운항에 따른 고도제한으로 인한 터널과 교량의 병행 건설
  - 연약한 지층구조로 인하여 Slurry shield TBM(직경 14.1m) 공법을 적용함
  - 지진에 대응하기 위하여 횡방향 강성은 증가시키고 종방향은 유연한 구조로 설계
- 해저터널의 시공 및 환기의 목적으로 착저식 및 매립식 인공섬을 건설함
  - 착저식 인공섬(가와사키): 직경 195m로 TBM의 발진 및 환기구 역할
  - 매립식 인공섬(키사라주): 연장 650m로 터널-교량 접속부의 TBM 발진기지로 활용

### 주요 특성 및 기대효과

- 도쿄만을 해저도로와 바다위 다리로 횡단하는 꿈의 도로 건설로 상징성이 큼
  - 편도 소요시간이 기존 3시간 40분에서 30분으로 감소시켜 경제 활성화에 기여



<그림 II-33> Tokyobay Aqua Line Tunnel

# 라. 중국

## (1) 강주아오 해저터널 (홍콩-마카오-중국)

### 개요 및 핵심기술

- 홍콩, 마카오, 중국의 광둥성 주하이를 연결하는 총 연장 55km의 교량 및 침매터널
  - 총 연 장 : 55km (교량구간 22.9km, 침매터널구간 6.7km)
  - 공사기간 : 2009.12. ~ 2018.10.
  - 이동수단 : 자동차 전용도로
- 일부 구간이 국제 무역항로인 링딩양 항로와 겹치는 이유로 침매터널 공법을 적용함
  - 해저터널 수심은 40m의 깊이이며, 터널 구조체 33개를 연결해서 시공함
  - 침매터널 구간의 양끝인 해상교량과 연결되는 구간에 두 개의 인공섬을 건설함
  - 지름 22m, 높이 40.5~50.5m, 무게 500~600톤 규모의 steel cylinder 120개를 해저에 고정시킨 후 모래로 채워 10만$m^2$ 규모의 인공섬을 건설함

### 주요 특성 및 기대효과

- 세계 최장, 세계 최대 규모의 강주아오대교의 개통(2018)은 개혁·개방이 40년의 성과물의 집약체임
  - 홍콩과 주하이·마카오간 소요시간이 3시간 30분(육로)에서 30분으로 단축되어 인적·물적 교류의 촉진이 이루어짐




〈그림 Ⅱ-34〉 강주아오 해저터널

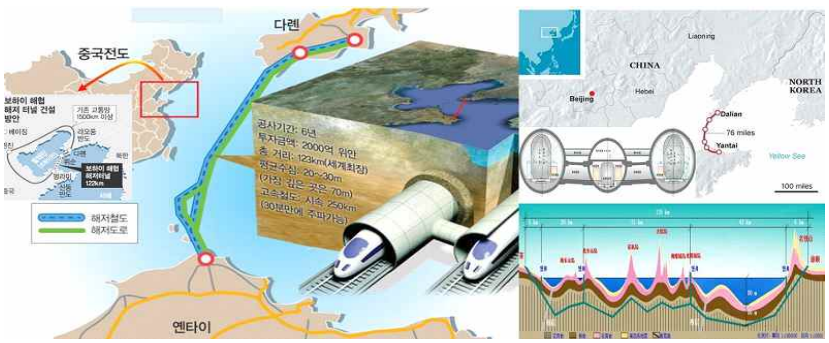
## (2) 보하이 해저터널 (계획)

### 개요 및 핵심기술

- 중국의 다롄에서 옌타이까지의 철도나 도로 이용시 1,980km의 거리를 이동해야 하므로 직선거리(165k)에 해저터널을 건설함
  - 총 연 장 : 해저터널 123km
  - 공사기간 : 약 12년 (개념설계 단계, 2016년)
  - 이동수단 : 고속철도(250km)
- 보하이 해협 사이의 섬을 이용하여 5구간에 걸쳐 TBM 공법과 NATM 공법을 병행하여 적용함
  - 단선 병렬터널 2개와 상세 지질파악 및 유지관리를 위한 서비스터널로 구성됨
  - 교량을 통한 연결 방안은 인공섬 조성시 발생하는 건설비용의 과다 지출로 인한 경제성 문제로 무산됨
  - 초장대 해저터널의 환기문제로 인하여 자동차 운행은 배제하였으며, 필요시 자동차는 고속철도에 실어서 운반할 수 있도록 계획함

### 주요 특성 및 기대효과

- 현재 페리이용시 4-7시간이 소요되고 있으나, 시속 250km의 고속전철 운행시 다롄에서 옌타이까지 30분으로 단축됨




<그림 Ⅱ-35> 보하이 해저터널

# 3. 국내 해저터널 관련 기술개발동향

## 가. 국내 해저터널

### (1) 보령 해저터널

■ 개요 및 핵심기술

◉ 충청남도 보령시 신흑동에서 원산도를 연결하는 국내 최장의 해저터널

- 총 연 장 : 6.93km (최대 해저 심도 80m)
- 공사기간 : 2010.12 ~ 2021.03 (시공사 : 현대건설)
- 이동수단 : 자동차 전용

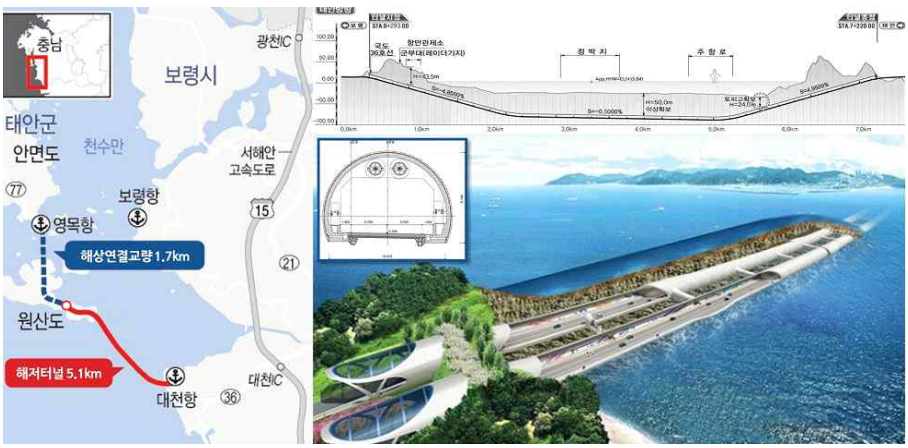
◉ 바다로 단절된 국도의 연결, 해양생태계 보존, 어업권 피해 방지 등의 이유로 해저터널 계획

- 다양한 지반조건에 대응 가능한 NATM 공법을 적용한 2차로 병설터널
- 양방향 제트팬 종류식 환기(터널당 41대의 제트팬을 140m 간격을 설치)

■ 주요 특성 및 기대효과

◉ 국내 최장 해저터널이며, 침매식이 아닌 굴착식 해저터널로는 국내 최초임

- 보령 대천항에서 태안 안면도까지 기존 1시간 40분에서 10분으로 획기적 단축 가능




<그림 Ⅱ-36> 보령 해저터널

## (2) 가덕 해저터널

### 개요 및 핵심기술

- 부산 가덕도와 중죽도 사이를 연결하는 국내 최초 침매터널
  - 총 연 장 : 8.2km (침매터널 3.7km, 교량 및 육상구간 4.5km)
  - 공사기간 : 2004.12 ~ 2010.12 (시공사 : 대우건설)
  - 이동수단 : 자동차 전용
- 연약지반(최대 30m), 대수심(최대 48m), 높은 파고와 빠른 조류속에 건설한 침매터널
  - 각 방향 2차로 터널 2개 및 중앙통로 1개로 구성되었으며, 18개의 침매함체( 180×26.5×9.97m)가 시공되었음
  - 선박이 침몰하거나 충돌할 수 있는 특수하중 조건 및 지진강도 7.0을 고려하여 설계
  - 염화물의 침투저항성을 높이기 위해 불투수성, 고밀도 콘크리트를 사용

### 주요 특성 및 기대효과

- 부산-거제간 통행거리는 기존 140km에서 60km로, 운행 시간은 기존 130분에서 50분으로 단축됨



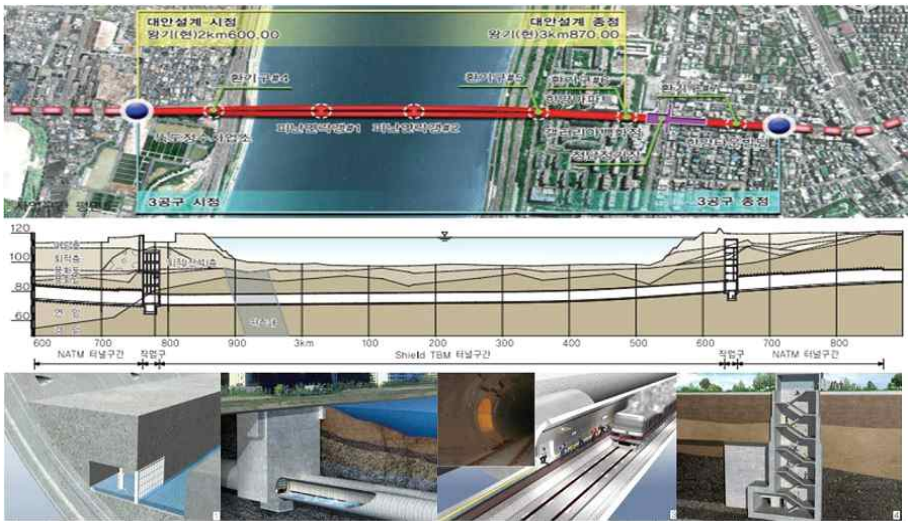

<그림 Ⅱ-37> 가덕 해저터널

## (3) 분당선 한강 하저터널

- 서울 용산구와 강남구를 분당선 지하철로 연결하기 위한 한강 하저터널
  - 총 연 장 : 845m
  - 공사기간 : 2006.02 ~ 2009.06 (시공사 : 대우건설)
  - 이동수단 : 지하철
- 단선 병렬터널로 본선터널 2개(직경 7.8m)와 피난연결통로 2개소로 구성됨
  - 터널 굴착형식은 EPB shield TBM이 사용되었으며 굴착 직경은 8.06m 임
  - 시공오차와 사행을 고려한 여유량 150mm 확보와 양측 보행자 통보를 확보함
  - 지상작업 최소화로 민원발생 감소를 위한 쉴드장비 U-turn 계획 수립

■ 주요 특성 및 기대효과

- 한강의 남북을 하저터널로 연결하여 수도권 광역철도망의 수송체계를 구축함




<그림 Ⅱ-38> 분당선 한강 하저터널

## (4) 한-중 해저터널 (계획)

- 한국의 서해안과 중국의 웨이하이 사이의 바다를 연결하는 프로젝트로 다양한 구상안이 검토되고 있음
  - 총 연 장 : 370 km
  - 공사기간 : 약 15~20년 예상
  - 이동수단 : 미정
- 해저 지질상태 및 경제성 등을 고려하여 해저터널, 인공섬, 초장대 교량 등 다양한 시공방안이 검토되고 있음
  - 해저구간은 지형적인 특성을 고려하여 해저터널, 해중터널, 침매터널 등 모든 가능성에 대하여 검토 중임
  - 서해안의 지질상태는 주로 대륙붕에 속하므로 수심이 얕고 단층대도 존재하지 않아서 비교적 안정적인 상황임

■ 주요 특성 및 기대효과

- 한국과 중국의 급격한 무역량 및 관광객 증가를 해결할 수 있는 대안적인 운송수단이 될 수 있으며, 나아가 양국간의 활발한 무역 및 투자를 통한 경제 활성화 가능




<그림 Ⅱ-39> 한-중 해저터널

# 4. 국내외 주요 해저터널용 인공섬 프로젝트

## 가. Oresund 인공섬

◉ 인공섬 개요

- 용　　도 : 복합 교량 및 침매터널 접속부
- 공사기간 : 1995. 7 ~ 1998. 12 (3년 6개월)
- 규　　모 : 1.3km$^2$ (4,055 × 500 m)
- 수　　심 : 평균수심 4m (최대수심 10m)

◉ 인공섬 주요 특성

- 교통방식의 변화로 복층 교량(사장교)과 침매터널(병렬) 접속부에 시공된 매립식 인공섬으로 조성됨
- 조류의 흐름을 고려하여 구조학적으로 유리한 유선형 형태로 건설됨
- 인공섬의 보호를 위하여 연장 9km의 대규모 호안 공사를 진행함
- 인공섬은 터널공사를 시작하기 위한 갱구부 용도로 활용됨



<그림 Ⅱ-40> Oresund 인공섬, Peberholm

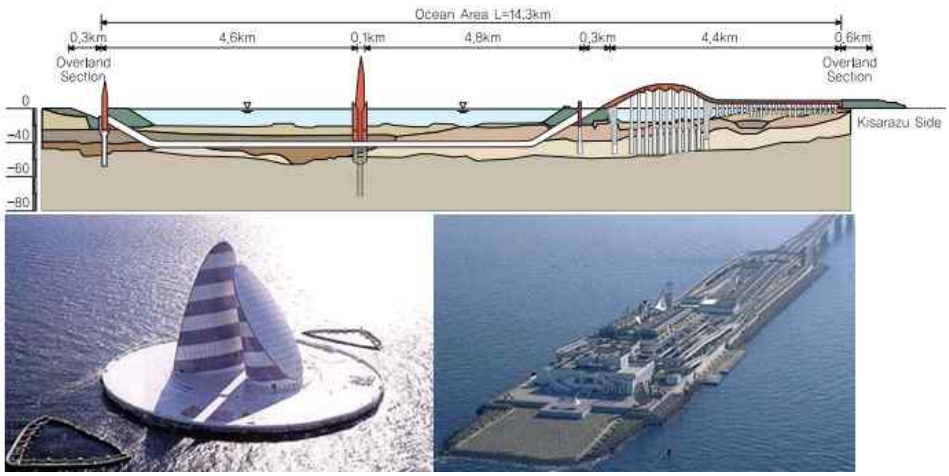
## 나. 도쿄만 아쿠아라인 인공섬

◉ 가와사키 인공섬 (인공섬 1)

- 용　　도 : 쉴드 TBM 장비 발진구 및 환기구
- 공사기간 : 약 68 개월 (5년 8개월)
- 규　　모 : 30,000 $m^2$ (외경 195m, 내경 98m)
- 수　　심 : 평균수심 28 m
- 시 공 법 : 강재 자켓식 구조물(도넛 형태 2중 설치), 지중연속벽 현장타설, 인공섬 내부 해수펌핑, 자켓해체 및 하부지반 굴착, TBM 발진을 위한 구조물 시공

◉ 키사라주 인공섬 (인공섬 2)

- 용　　도 : 쉴드 TBM 장비 발진구 및 교량과 터널의 접속부
- 공사기간 : 약 55 개월 (4년 7개월)
- 규　　모 : 65,000 $m^2$ (650 × 100 m)
- 수　　심 : 평균수심 25 m
- 시 공 법 : 강널말뚝 셀을 이용한 물막이공, 개량 성토를 이용한 인공섬 내부조성, 호안 축조, TBM 경사 굴진




<그림 Ⅱ-41> 가와사키 및 키사라주 인공섬

# 다. 강주아오 대교 인공섬

◉ 인공섬 개요

- 용　　도 : 교량 및 침매터널 접속부
- 규　　모 : 총 2,170,000 $m^2$ (2개의 인공섬)
- 수　　심 : 평균수심 40m

◉ 인공섬 주요 특성

- 홍콩과 주하이(광둥성) 그리고 마카오를 연결하는 총 길이 55km의 교량과 침매터널로 구성되어 있으며, 교량과 침매터널의 접속부로 인공섬을 건설함
- 3만톤급 선박이 운행하기 위해서는 80m 높이의 교량 건설(200m 의 주탑)이 필수적이며, 홍콩국제공항 인근은 88m의 고도제한으로 인해 교량이 아닌 침매터널로 시공됨
- 120개의 강재 실린더를 활용하여 인공섬을 조성하였으며, 각 강재 실린더의 직경은 22.5m, 높이는 55m, 무게는 550톤의 무게임
- 해저지반 20m 정도에 퇴적된 연약층의 준설과정에서 환경영향을 최소화 하기위한 공법이 적용됨




**<그림 Ⅱ-42> 강주아오대교 건설을 위한 인공섭**

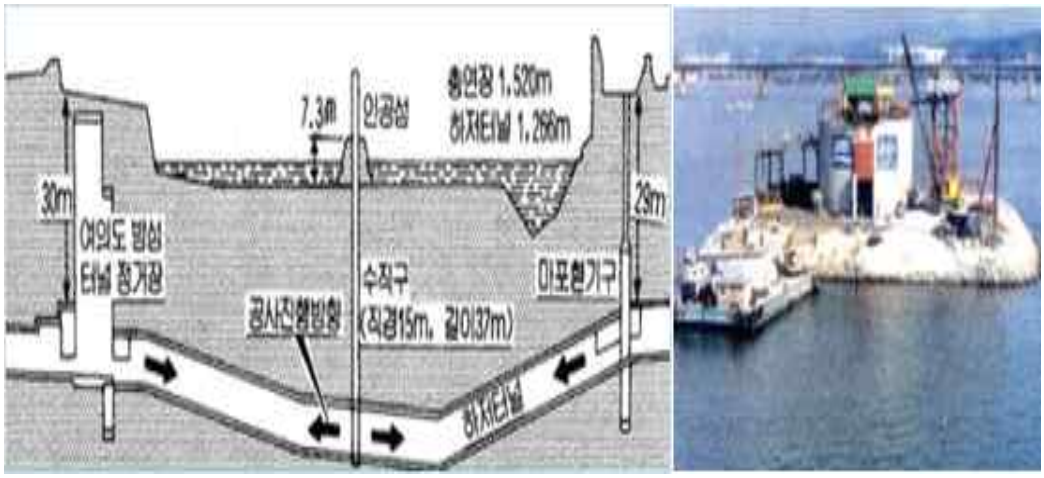
# 라. 지하철 5호선 한강하저터널 인공섬

◉ 인공섬 개요

- 용　　도 : NATM 터널 굴착을 위한 작업구
- 규　　모 : 2,000 $km^2$ (44 × 44 m)
- 수　　심 : 4 ~ 10 m
- 수 직 구 : 직경 15m, 굴착깊이 45m
- 시 공 법 : 인공섬 외곽 물막이공(시트파일), 강바닥 충적토를 준설하여 인공섬 내부 조성, 호안에 쇄굴방지용 사석 포설, 수직구 굴착

◉ 인공섬 주요 특성

- 추가 보강공사에 의한 공기지연 만회 대책으로 인공섬을 설치하여 공기 16개월을 단축함(굴착 10개월, 구조물 6개월)
- 홍수 시 와류현상으로 인접교량인 마포대교 교각의 손상이 우려되어 공사 완료후 준설토로 메운후 인공섬을 폐쇄함




<그림 Ⅱ-43> 지하철 5호선 한강하저터널 인공섬

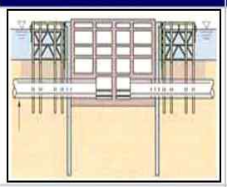
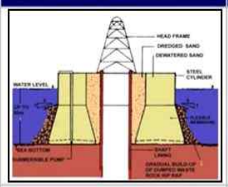
# 마. 인공섬 건설을 위한 시공방법

◉ 수심에 따른 시공방법 검토

- 매립식 인공섬 : 주로 수심 30m 이내에서 시공이 될 경우 시공성 및 경제성 확보가 가능하며 호안조성 공법이 병행됨

- 구조물식 인공섬 : 수심에 따라 물막이+콘크리트 또는 실린더형 강재를 활용하며 최대 수심 60m 정도까지 시공 가능함

- 중력식 구조물 인공섬 : 석유시추를 위한 구조물로 활용되며 최대수심 350m 까지 시공된 사례가 있음

| 구분 | 매립식 인공섬 | 구조물식 인공섬 | | 중력식 구조물 |
|---|---|---|---|---|
| | | 물막이+콘크리트 구조물 | 실린더형 강재 | |
| 개념도 |  |  |  |  |
| 개 요 | 테트라포트 등을 이용한 호안 조성 후 내부 매립 | 해상작업용 작업대 및 물막이 설치, 매립후 굴착 및 구조물 설비 | 지상에서 강재구조물을 제작하여 해상으로 인양후 설치 | 기초 콘크리트 구조물을 해상인양후 침하와 상부 구조물 타설반복 |
| 설치 수심 | 4~28m | 3~28m | 14m (60m까지 가능) | ~ 350m |
| 호안 조성방법 | 테트라포트 호안 | 자켓 및 강널말뚝 | 실린더형 강재 | 호안 필요 없음 |
| 방수방법 | 터널시공시 차수 적용 | 강널말뚝 및 지중연속벽 | 수직구 라이닝 | 수직구 라이닝 |

<그림 Ⅱ-44> 인공섬 시공방법에 따른 특성

# 제4절 국내·외 해저터널·인공섬 산업 및 시장동향

## 1. 글로벌 해저터널·인공섬 산업 및 시장동향

### 가. 국가별 주요 기업현황 및 경쟁력 분석

■ 교량, 터널, 지하철, 철도 등을 포함하여 인프라 관련 대규모 건설 프로젝트를 수주하는 주요 국외 기업들 중 해저터널 관련 건설 실적 및 기술을 보유하는 업체 위주로 분석

◉ 일본, 미국, 영국, EU 등 주요 해저터널 건설 관련 기업은 약 19개로 조사되었으며, 그 비중은 일본이 가장 높은 것으로 나타남

- 이 중 YAPI MERKEZI(터키), Parsons Brinckerhoff(미국), HNTB(미국) 등 3개 기업은 터키의 유라시아 해저터널 건설 프로젝트 참여 실적을 보유

- 또한, 미국의 AECOM과 덴마크의 COWI는 중국 강주아오 프로젝트*의 컨설턴트 부문에 참여한 것으로 파악

* 강주아오 프로젝트란 주하이~홍콩~마카오를 연결하는 55㎞ 길이의 세계 최장 해상대교 건설 프로젝트로, 3차선 해상교량(22.9㎞), 해저터널(6.7㎞), 2개의 인공섬으로 구성되어있으며 182억 달러 규모의 자금을 투입하여 건설

**<표 Ⅱ-10> 국외 해저터널 관련 주요 기업 현황**

| 국가 | 업체명 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 |
|---|---|---|---|
| 일본 | 타이세이 건설 | 대규모 토목공사, 해저터널 시공 | • 유라시아 철도 해저터널, 두바이 팜 아일랜드 해저터널, 말레이시아 국제공항 등 실적 및 노하우 보유 |
| | 가와사키중공업 | 다양한 플랜트, 토목 건설기계, 장비공급업체 | • 유로터널 굴진에 사용된 TBM 기술 보유<br>• 장비공급업체로 터널공사에 참가 실적 보유 |
| | 스미토모중기계 | 해저 케이블 | • 해저 구조물에 필요한 통신공급을 위한 해저케이블 시공 운영 노하우 보유 |
| | JFE엔지니어링 | 해저 케이블 장비 | • 인프라 분야에서 풍부한 경험 보유 |
| | 미쓰비시 | 터널 장비공급 | • 현재까지 약 1,700여대의 TBM 제작 |
| | 오바야시구미 | 교량, 해저터널 및 해저터널 설계 | • 해저터널 시공 실적 보유 |
| | 카지마 건설 | 인프라 및 건설사업 개발 | • 해저터널 화재 시 화연 확산방지기술 보유 |

| 국가 | | 업체명 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | • 해저터널 시공 경험 보유<br>• BIM 정보화 시공기술 및 최첨단 기술 탑재 자율형 로봇 개발<br>• 해저터널 시스템 개발 |
| 미국 | | TechnipFMC | 해양플랜트 구조물, 엔지니어링, 건설/제조 | • 심해저 기자재 생산 및 공급<br>• 향후 엔지니어링 관련 전문 인력 훈련 및 고용 |
| | | BECHTEL | 토목 시공 | • 후버댐을 비롯하여 영국과 프랑스를 잇는 해저터널을 시공 |
| | | AECOM | 인프라 엔지니어링 | • 유라시아 해저터널 엔지니어링 수행 경험 보유 |
| | | Parsons Brinckerhoff | 엔지니어링 | • 유라시아 해저터널 엔지니어링 수행 경험 보유 |
| | | HNTB | 엔지니어링 | • 유라시아 해저터널 엔지니어링 수행 경험 보유 |
| 영국 | | MOTT MACDONALD | 토목 엔지니어링 및 건설 | • 피난해석 시뮬레이션 기술 및 터널 환기설계 기술 보유 |
| | | ARUP | 해저터널 엔지니어링 컨설팅 | • 피난설비 설계기술 |
| EU | 스페인 | GRUPO ACS | TBM 공사, 중남미 도로·인프라 사업 독점 | • TBM 관련 전문 기술자 다수 보유 |
| | 덴마크 | COWI | 국내외 인프라(교량, 터널 등) | • 국내외 인프라 프로젝트 수행 경험 보유 |
| | 독일 | Herrenknecht | 기계식 터널 굴착장비 제조 | • TBM 전문 제작사로 전세계시장의 약 40% 점유 |
| | 프랑스 | VINCI | 도로, 공항, 항만 건설, 시공 | • 세계 5대 건설사 실적 보유<br>• 덴마크~독일 간 해저터널 프로젝트 A/S 담당 |
| | 스위스 | 룸바르디 엔지니어링 | 시공 | • 지브롤터 해저터널 건설 시공업체로 선정 |
| 터키 | | YAPI MERKEZI | 인프라(교량, 터널), 병원 | • 유라시아 해저터널 공사 사업권 획득 |
| 중국 | | CCCC(교통건설공사) | 교량, 터널 등 토목분야 | • 세계 최대 강주아오 해상대교 (해상교량, 해저터널, 인공섬) 시공부문 70% 담당 |

출처 : 관련 보도자료 및 ENR을 통해 다원전략컨설팅 재구성

- (타이세이건설社) 교량, 터널 등 대형 건축 토목 공사를 전문으로 하며, 숙달된 기술력을 바탕으로 두바이 팜 아이랜드 해저터널, 유라시아 해저터널 건설에 참여
  - 팜 아일랜드 해저터널 건설기획에 제출된 제안은 참신하다고 평가되어 다른 기업들과의 경쟁을 물리치고 특히 환경 대책은 지역신문에도 소개됨
  - 타사에 비해 전체 매출액에서 토목건설이 차지하는 비중이 높은 편으로, 해저터널 이외에도 싱가포르의 MRT, 인도네시아 국제 호텔 등의 실적을 보유
- (BECHTEL社) 미국의 후버댐(1936), 아라비아반도 횡단 송유관(1950), 영국과 프랑스를 잇는 해저터널(1994) 등의 실적을 보유
  - 영불 해저터널 건설 당시 사업 후반부에 문제가 발생하자 벡텔에서 구원투수로 등장하여 터널의 상당 부분을 건설



출처 : 서울경제, SHWANTULLY, 2016.07.21.

**<그림 Ⅱ-45> 국외 터널 시장규모 및 전망**

  - 그 외에도 런던 중심부와 교외를 연결하는 터널·철도 네트워크 건설 프로젝트의 상당 부분 또한 감독하고 있으며, 현재는 LNG 수출 터미널도 건설 중
- (COWI社) 덴마크 국적인 COWI社는 국내외 인프라(교량, 터널 등) 프로젝트 수행 경험을 토대로 Osman Gazi 대교 엔지니어링 프로젝트를 최초로 수행하였음
  - Osman Gazi 프로젝트 수행 경험을 활용하여 Canakkale Bridge 실시설계 프로젝트를 수주하였으며, 해외 인프라 엔지니어링 프로젝트 참여 확대를 추진 중

- (ARUP社) 해저터널에서의 피난관련 설비, 구조 설계 기술을 보유하고 있으며, 최근 유라시아 해저터널 프로젝트의 리스크 검토 기관으로 선정되어 활동한 실적을 보유
  - 즉, 고부가가치 설계기술은 ARUP(영국), PB(미국)등의 국외 설계업체가 독점·수행
- (Mott Macdonald社) 영국의 건설·토목 회사로, 글로벌 규모의 통합 엔지니어링 및 경영, 개발 컨설턴트 서비스를 제공
  - 해저터널에서 화재 시 혼잡을 고려한 피난동선 시뮬레이션 기술 및 터널 환기 설계 기술 등을 보유하고 있음
  - 인천대교 건설 당시 영국의 Mott Macdonald는 유신Co가 설계감리를 맡을 수 있도록 지원
- (Grupo ACS社) 스페인 기업인 ACS의 사업부문은 건설, 환경 산업서비스의 3개 부문으로 구성되어있으며, 사회기반시설 개발을 비전으로 제시하며 철도, 도로 등 토목 분야 영역으로 확대·추진
  - ACS가 해외건설 매출이 가장 많은 기업으로 숙련된 기술자들을 다수 보유하고 있음
  - 고심도·고수압 바다 밑 터널을 완성하기 위해서는 필요한 TBM을 운영할 수 있는 기술자 및 관련 지식이나 노하우를 다수 보유
- (YAPI MERKEZI社) 국내 SK건설과 함께 유라시아 해저터널 프로젝트를 공동 수주하여 프로젝트 발굴부터 건설, 운영까지 전 과정을 전담
  - 또한, 일본의 미쓰비시社, 오바야시社와 컨소시엄을 통해 두바이에서 발주한 35억 달러 규모의 도시철도 건설 사업을 수주한 실적 보유
  - 그 외에 중국 업체들을 제치고 에티오피아와 르완다 등에서 51개의 교량 및 12개의 터널을 건설 추진 중

# 나. 국외 시장현황 및 전망

## (1) 터널 건설산업 시장현황 및 전망

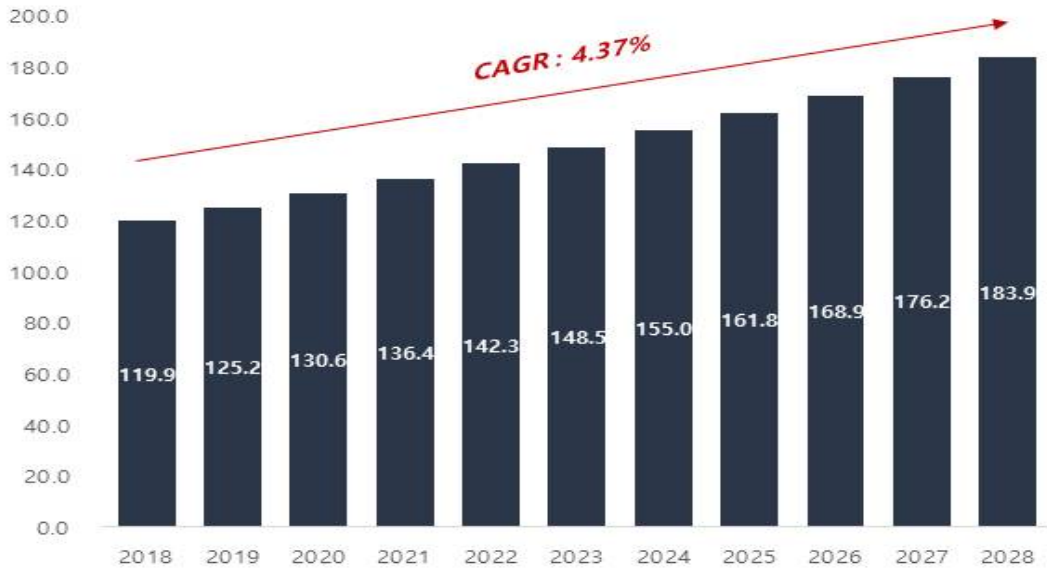
■ 2018년 기준 국외 터널 시장은 119.9조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 183.9조 원 규모로 전망됨

- ITA의 Tunnel Market Survey는 '11~'14년간 전세계 터널 프로젝트를 토대로 2016년 터널 시장규모를 860억 유로(약110.14조원)로 분석함
- '11~'14년간과 유사한 규모의 터널 건설 프로젝트가 향후에도 지속될 것으로 간주하고, 물가상승률 4.37%를 고려하여 시장규모를 추정함
- '11~'14년간 2,300개(연평균 575개)의 터널 프로젝트가 추진되었으며 연간 시공되는 터널 연장은 5,200㎞로 조사됨

**<표 Ⅱ-11> 국외 터널 시장규모 및 전망**

(단위 : 조원)

| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 세계시장 | 119.9 | 125.2 | 130.6 | 136.4 | 142.3 | 148.5 | 155.0 | 161.8 | 168.9 | 176.2 | 183.9 | 4.37% |




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

## (2) 해저터널 건설산업 시장현황 및 전망

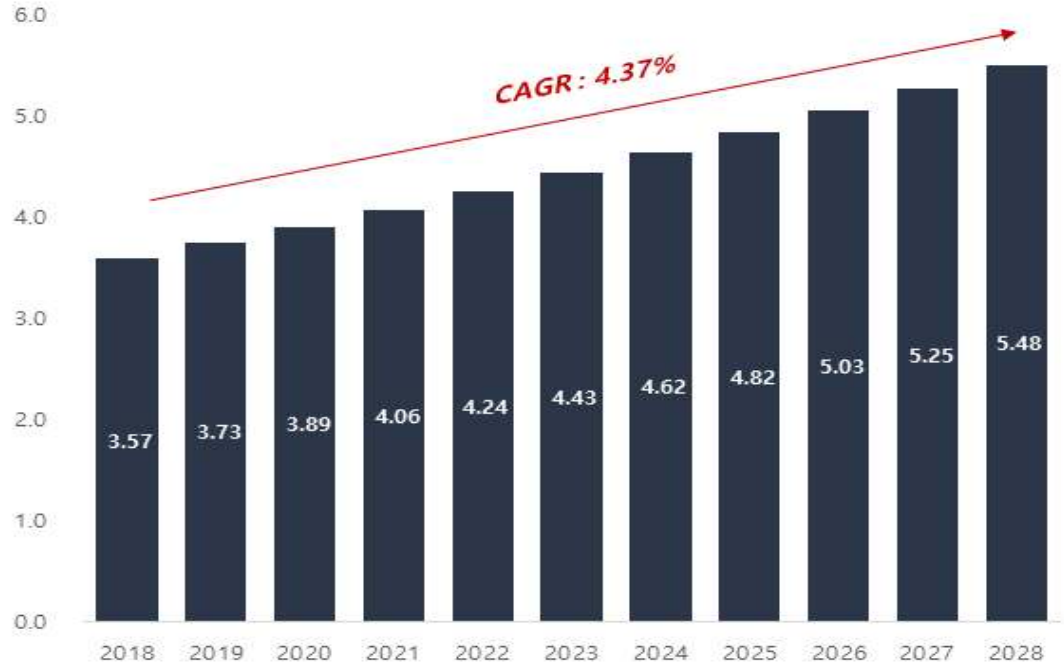
■ 2018년 기준 국외 해저터널 건설 시장은 3.57조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 5.48조 원 규모로 예상됨

- 지난 20년간 건설된 해저터널 프로젝트와 유사한 규모로 지속될 것으로 가정하고, 물가상승률 4.37%를 고려한 시장규모를 추정함
- '98년 이후 연평균 국외 해저터널 준공 개소 수는 1.3개소로 분석되며, 준공된 국외 해저터널 평균 사업비는 2조 1,997억 원 임

**<표 Ⅱ-12> 국외 해저터널 시장규모 및 전망**

(단위 : 조원)

| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 세계 시장 | 3.57 | 3.73 | 3.89 | 4.06 | 4.24 | 4.43 | 4.62 | 4.82 | 5.03 | 5.25 | 5.48 | 4.37% |



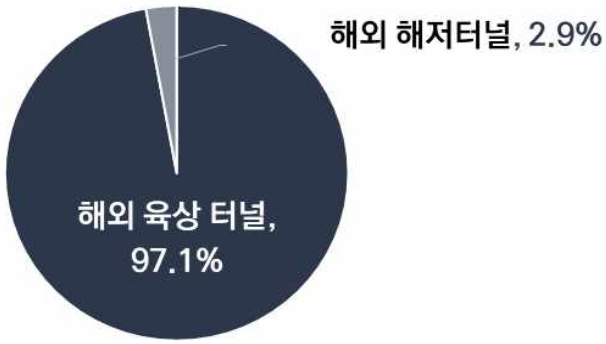

출처 : 해저터널 연구단 내부자료

■ '18년 국외 터널 시장규모는 전체 119.93조 원, 해저터널 시장규모는 3.57조원으로 조사되며, 해저터널이 시장이 전체 터널시장에서 차지하는 비중은 2.9%로 분석됨

**<표 Ⅱ-13> 국외 터널 시장 대비 해저터널 시장 비중**

(단위 : 조원)

| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 터널 | 119.9 | 125.2 | 130.6 | 136.4 | 142.3 | 148.5 | 155.0 | 161.8 | 168.9 | 176.2 | 183.9 | 149.8 |
| 해저터널 | 3.57 | 3.73 | 3.89 | 4.06 | 4.24 | 4.43 | 4.62 | 4.82 | 5.03 | 5.25 | 5.48 | 4.46 |




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

■ '98년 이후 국외 해저터널 준공은 뚜렷한 상승 하향 추이는 나타나지 않았으나, 평균적으로 매년 1.30건의 터널이 준공됨

◉ '98년 이후, '17년까지 20년간 국외 해저터널 준공건수는 26건으로, 분석 대상 기간 동안 연간 0~3건이 준공된 것으로 나타남

(단위 : 조원)




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

**<그림 Ⅱ-46> 국외 해저터널 연도별 준공건수**

■ 전 세계적으로 경기침체로 인해 육상터널의 시장전망은 그리 밝지 못한 가운데 다수의 국가-대륙 간 초장대 해저터널 건설이 시공 및 계획 중으로 해저/침매터널, 부유식 터널 시장에 대한 전망이 긍정적

◎ 현재 운영 중인 초장대 해저터널은 영불해협 해저터널, 오레선트 해저터널, 세이칸 터널, 동경만 해저터널, 링컨 해저터널, 보스포러스 해저터널, 샤먼터널 등 7곳이며 노르웨이 E39, 칭다오 지하철 1호선 해저터널 등 2곳이 시공 중

◎ 국제적으로 터널건설 기술의 선진국인 노르웨이는 1981년 Vardo 해저터널이 건설된 이후, 지난 20여 년간 약 30여개 해저터널을 건설하였음

■ 세계 해저터널 시장규모는 발주물량이 많지는 않지만, 해저터널의 건설특성상 대규모 사업으로 발주되는 경우가 많아 잠재적인 시장규모가 매우 클 것으로 예측됨

◎ 향후 발주 예상되는 대규모 해저터널 건설사업으로 중국 본토와 대만을 연결하는 대만해협 해저터널, 스페인과 모로코 간 지브롤터 해저터널, 베링 해저터널, 중국 다롄~엔타이 해저터널 등이 계획 중

- 러시아 시베리아와 북미 대륙 알래스카 사이의 베링해협을 가로지르는 베링해협 해저터널도 이미 계획이 수립되어 있는 단계임

- 중국의 경우 모든 건설 산업의 대규모 시장을 확보하고 있으며, 최근 유로터널 2배에 달하는 보하이 해협 해저터널 건설 구상에 박차를 가하고 있음

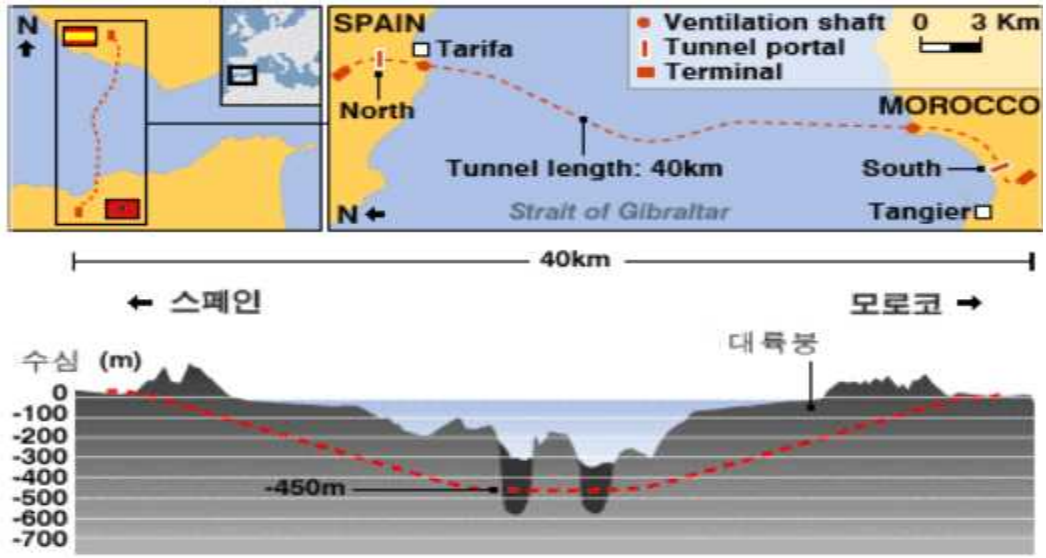
■ (대만해협 해저터널) 중국이 중국 푸젠성 핑탄현~대만 신주시를 연결하는 길이 135㎞의 해저터널로 시속 250㎞의 기차가 통과할 수 있는 철도를 만들 계획(안)을 구상 중




출처 : 연합뉴스

<그림 Ⅱ-47> 대만해협 해저터널 구상(안)

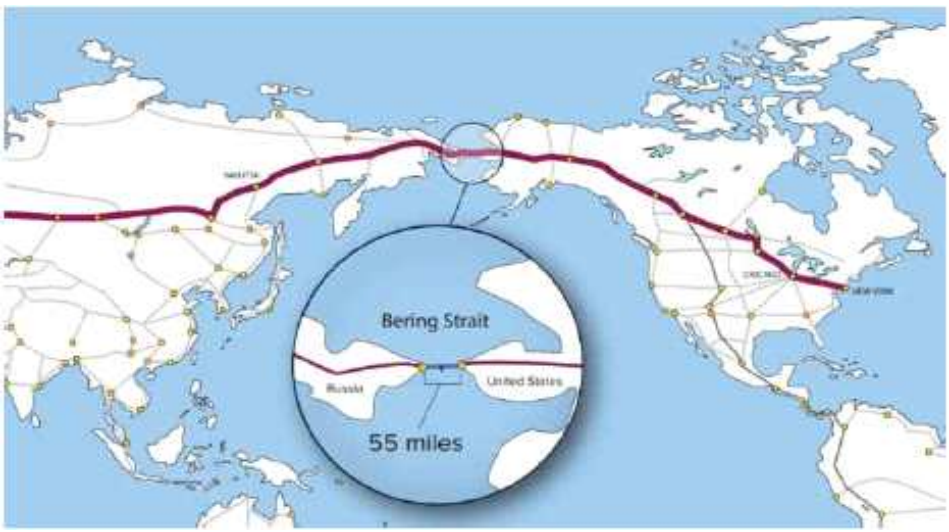
(지브롤터 해저터널) 유럽~아프리카 대륙을 연결하는 해저터널로, 길이는 스페인 카날레스~모로코~시레스 간 42.7㎞(해저터널구간 27.7㎞)이나 아직까지 진척이 별로 되지 않고 있음




출처 : BBC

〈그림 Ⅱ-48〉 지브롤터 해저터널 구상(안)

(베링해협 해저터널) 중국~러시아~북미 대륙횡단 철도 건립을 위해 러시아~미국 알래스카 사이의 베링해협을 연결할 해저터널(총 길이: 100㎞)을 구축하기 위해 프로젝트 검토 중




출처 : KBCSD CEO Special Report

〈그림 Ⅱ-49〉 베링해협 해저터널 구상(안)

(보하이 해저터널) 중국은 당초 해상고속도로 건설을 추진하였으나 잦은 태풍에 따른 위험을 감안하여 랴오닝성 다롄시와 산둥성 옌타이시를 잇는 총 길이 123㎞의 보하이 해협 해저터널 프로젝트를 추진 중




출처 : 아주경제

〈그림 Ⅱ-50〉 보하이 해저터널 구상(안)

## (3) 인공섬 건설산업 시장현황 및 전망

■ 세계 글로벌화 추세에 따라 해상도시, 해상공원, 해상산업기지 등의 산업분야가 지속적으로 성장하여 이를 구현하기 위한 인공섬 건설이 활발하게 이루어지고 있음

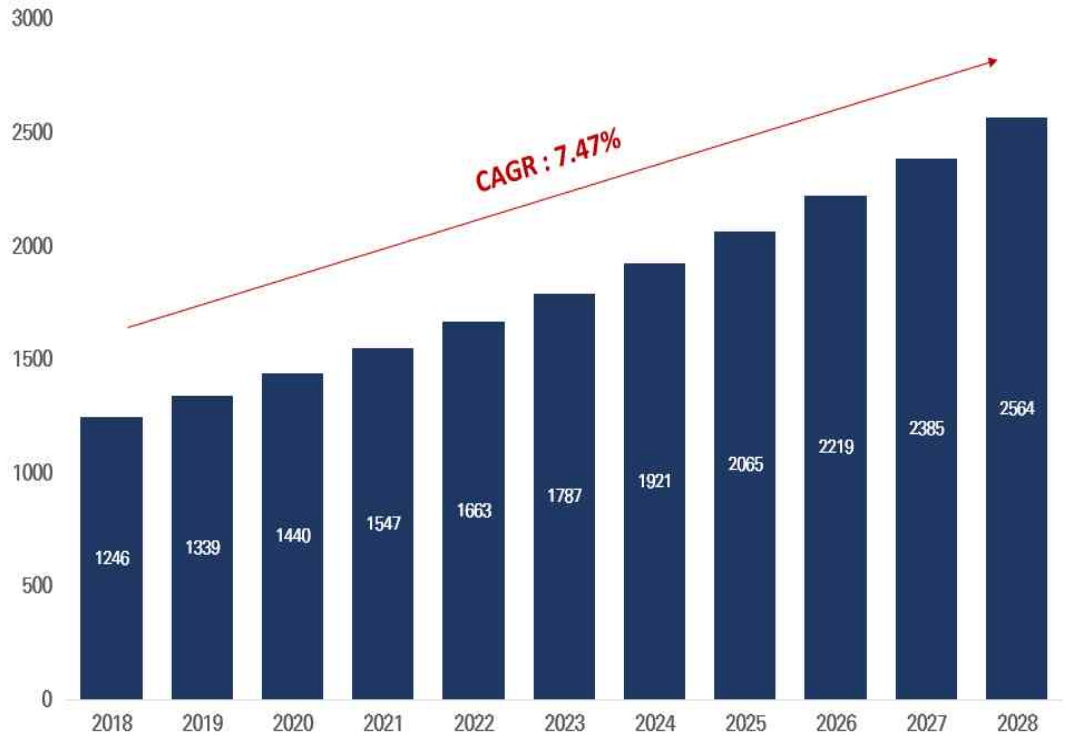
◉ 2010년 기준으로 인공섬 시장규모는 약 700억 달러로 추정되며, 향후 10년간 206% 증가하여 2020년에는 약 1,440억 달러로 예측[15)]

- '10년부터 '20년까지 국외 인공섬 시장은 연평균 7.47%로 증가함에 따라, '28년 시장규모를 예측함

**<표 Ⅱ-14> 국외 인공섬 시장규모 및 전망**

(단위 : 억 달러)

| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 세계 시장 | 1246 | 1339 | 1440 | 1547 | 1663 | 1787 | 1921 | 2065 | 2219 | 2385 | 2564 | 7.47% |




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

15) 인공섬 연구개발동향 보고서, 정삼동, 2013.04.

- 인공섬은 과거 폐기물 매립을 통해 조성한 후, 레저시설, 주택단지, 산업단지 등으로 활용되었으나, 최근 다양한 목적을 활용하기 위한 연구가 진행 중

  - 특히 국내에 비해 일본, 미국, 네덜란드 등 선진국은 이미 공업지대, 항만, 공항 등 다양한 용도로 활용하기 위해 해상구조물 혹은 인공섬에 대한 연구를 활발히 추진

  - 두바이의 팜 아일랜드 등과 같이 생태계 보전 및 새로운 수변 지역의 건설로 레저형 수변공원의 환경 창조에 대한 기대 증가

  - 일본은 화산섬으로 구성된 좁은 국토를 효율적으로 활용하기 위해 해양기본계획을 수립하여 정부가 적극적으로 항만, 공항, 여객터미널 등 주요 SOC시설물 건설에 인공섬 건설기술을 적용하는 등 국가차원의 투자를 확대하고 있는 실정

    ☞ 1950년대부터 임해공업지대의 매립 조성, 1960년대의 오사카항, 고베 Port-Island, 1970년대의 오사카 칸사이 국제공항, 와카야마 마린시티 등을 시작으로 2005년 기준, 국토면적의 약 0.5%에 달하는 인공섬을 보유

    ☞ 특히 세계 최대 동경항 횡단도로 인공섬을 건설하여, 신해면 폐기물 매립장과 같은 사회적인 혐오시설을 해상구조물에 설치하므로써 사회적인 비용을 최소화

- 최근 남태평양 연안 섬국가들의 해수면 상승으로 인해 수몰위기 해결책으로 초대형 부유식 해상구조물 기술에 대한 관심이 증가하는 추세

  - 투발로, 키리바시와 같이 섬으로 이루어진 국가들과 국토의 대부분이 해수면보다 낮은 네덜란드 등은 지구온난화가 진행됨에 따라 인공섬 건설 방안을 고려

  - 네덜란드의 경우 유럽 최고의 해안개발기술 보유국으로써, 해안선보다 낮은 국토를 유지하기 위해 부유식 인공섬을 연구하는 기관을 조성하고, 현재 연구진은 거대 실내 수조에서 축소된 인공섬 모델을 활용하여 테스트 중

  - 스위스는 부유식 인공섬을 활용한 집광형 태양광 발전소를 건설 중

■ 향후 진행 될 인공섬 건설 프로젝트 중, 사업비가 확인된 프로젝트는 총 2조 52억 달러로 추정되며, 앞으로 8건의 프로젝트가 계획 중

**<표 Ⅱ-15> 향후 인공섬 프로젝트 현황**

| 명칭 | 국가 | 용도 | 준공연도 | 규모 | 총 공사비 |
|---|---|---|---|---|---|
| 야스 섬 | 아부다비 | 주거, 관광 | 2018년 | 25k㎡ | 400억 달러 |
| 다롄 신공항 | 중국 | 공항 | 2018년 | - | 10억 달러 |
| 강주아오 대교 | 중국 | 터널 전환용 | 2018년 | 10만k㎡ | 600억 달러 |
| 북해 도거뱅크 인공섬 | 네덜란드 | 해상풍력단지 | 2027년 | 6k㎡ | 18억 4,000만 달러 |
| 포리스트 시티 | 싱가포르 | 주거 | 2035년 | 13.86k㎡ | 502억 달러 |
| 바렌츠해 인공섬 | 러시아 | LNG 생산설비 | - | - | 4억 달러 이상 |
| 스코틀랜드 부유식 해상풍력단지 | 스코틀랜드 | 부유식 해상풍력 단지 | - | - | 2억 8,000만 달러 |
| Peberholm | 덴마크 | 교각-해저터널 연결수단 | - | - | - |




출처 : 각 종 보도자료를 참고하여 ㈜다원전략컨설팅에서 재구성

**<그림 Ⅱ-51> 세계 인공섬 프로젝트 현황**

# 2. 국내 해저터널 산업 및 시장동향

## 가. 국내 주요 기업현황 및 경쟁력 분석

■ 국내 해저터널 주요기업은 약 30개로 조사되었으며, 대부분 서울·경기지역에 집중·분포되어 있는 것으로 나타남

◉ 지역을 기준으로 서울 19개, 경기 3개, 기타 8개로 나타남

☞ 기타에는 대전, 부산, 경북, 경남, 인천, 강원도, 충남, 전남 등이 포함

**<표 Ⅱ-16> 국내 해저터널 관련 지역별 기업 비중 현황**

| 구분 | 서울 | 경기 | 대전 | 부산 | 경북 | 경남 | 인천 | 강원도 | 충남 | 전남 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기업 수 | 19 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 30 |




출처: ① 해저터널 기술기획 보고서 해저터널 연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06., ② DART(금융감독원 전자공시시스템) 등

■ 교량, 터널, 지하철, 철도 등을 포함하여 인프라 관련 대규모 건설 프로젝트를 수주하는 주요 국외 기업들 중 해저터널 관련 건설 실적 및 기술을 보유하는 업체 위주로 분석

◉ 일본, 미국, 영국, EU 등 주요 해저터널 건설 관련 기업은 약 19개로 조사되었으며, 그 비중은 일본이 가장 높은 것으로 나타남

<표 Ⅱ-17> 국내 해저터널 관련 주요 기업 현황

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 |
|---|---|---|---|
| (주)SK건설 | 서울 | 철도, 도로, 항만, 지하공간, 등의 Civil Infrastructure 건설 | • 터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 습식 숏크리트 공법<br>• 해저터널 설계 실적 보유, 국외에서 실시 설계 중(보스포러스) |
| 현대건설 | 서울 | 도로, 교량, 철도, 지하공간 등 | • 해저터널과 관련 현재 보령~태안 해저터널 건설을 진행 중<br>• 시험터널 건설 및 운영 관련 기술 보유<br>• TBM 지반특성 평가를 통한 커터수명 예측 및 배토성능 향상 기술 개발 |
| 대우건설 | 서울 | 토목공사 전문업체 | • 세계 수심, 최장 침매터널 공사인 거가대로(거가대교, 침매터널) 및 초장대 인제터널(11㎞) 건설 등 관련 기술 축적 및 보유 |
| 한국 지오텍 | 서울 | 토목엔지니어링, 그라우팅 관리시스템 연구 개발, 연약지반 개량재 제조 제조 | • 그라우팅 분야 MSG(재료), AGS(시공기술) 등 신기술 및 특허 다수 보유<br>• 차수 및 보강을 위한 통합관리형 그라우팅 시공관리 기술 개발 |
| 현대산업 개발 | 서울 | 도로/교량, 철도, 매립/해양, SOC등 | • GTX와 같은 대심도 급행철도 민자사업 추진 및 관련 세부 설계 기술 보유 |
| 대원 토질(주) | 서울 | 터널, 사면보강 공사, 토공사, 지표지질 조사 | • 신소재인 복합섬유 보강재 개발 및 이를 이용한 터널보강기술<br>• FRP등 신재료를 이용한 터널 보강재 관련 기술 보유 |
| 넥스지오 | 서울 | 토목 엔지니어링, 지질, 지반 등 | • IT 및 신소재를 이용한 터널 급속 안정화 시공 기술관련 터널 막장 전방 예측을 위한 전방 탐사 및 분석, 정보화 관련 기술 보유 |
| 삼보 기술단 | 경북 | 터널 및 지하공간 개발 등 | • 해저터널 관련 국내외 설계 경험 및 관련 설계 및 시공 기술 보유<br>• 초장대 TBM 설계에도 많은 경험을 보유 |
| 에스코 컨설턴트 | 서울 | 토목 설계/감리 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 터널 시공 중 막장 안정화 및 시공 등급 산정 등에 대한 Know-How 보유 |
| 단우 기술단 | 서울 | 토목/터널/토질 설계/감리 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 노하우 보유<br>• 특히 철도터널 설계관련 많은 경험을 보유하고 있음 |
| 태조 | 서울 | 토목 설계 등 건물 및 | • 해저터널 관련 국내 설계경험 및 관련 |

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 |
|---|---|---|---|
| 엔지니어링 | | 토목엔지니어링 서비스 | 설계 및 시공 기술 보유<br>• 초장대 TBM 설계관련 전문가 집단 영입으로 새로운 시장 개척 중 |
| 유신 | 서울 | 설계 감리, 교통수송, 도로 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 Know-How 보유<br>• 특히 철도터널 설계관련 많은 경험을 보유 |
| 하경 엔지니어링 | 서울 | 수로 터널 설계, 도로 및 철도 교량 설계 | • 터널 건설 관련 다수의 설계 경험 보유<br>• 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유 |
| ㈜지오제니 컨설턴트 | 서울 | 토목엔지니어링, 특수지반조사, 소프트웨어 개발, 컨설팅, 무역 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 해저터널 관련 20bar급 고수압 지반조사 현장적용 기법 개발 |
| ㈜한길 아이티 | 서울 | 토목 소프트웨어 | • BIM 기반 설계 자동화와 시공 및 리스크 관리 시스템 개발 |
| ㈜범창 종합기술 | 서울 | 토목, 환경기계설비, 전기설비, 플랜트 설계, 감리 등 토목엔지니어링 서비스업체 | • 초장대 해저터널 인공섬 최소화를 위한 30㎞급 환기시스템 개발 |
| ㈜GS건설 | 서울 | 토목 시설물, 플랜트, 건축, 인프라 | • 350㎞/hr급 고속주행 실현을 위한 댐퍼 및 덕트 시스템 개발<br>• 초장대 터널 시공을 위한 NATM 지반 보강, 굴착기술, TBM 운용 및 세그먼트 설계 기술, 지하공간 환기/방재 및 유지관리 기술 보유 |
| ㈜동일 기술공사 | 서울 | 토목설계, 도로, 구조, 철도, 도시, 감리 및 사업, 설계 | • 피난연결 통로 연기확산 방지 기술개발 |
| ㈜유원 컨설턴트 | 서울 | 토목설계, 환기 및 방재, 감리, 토목시설공사 | • 국내외 장대터널 설계실적 및 T/K설계 노하우 축적 |
| ㈜이제이텍 | 경기 | 토목설계, 지반조사, 안전진단 용역 | • 터널 계측용 광섬유센서 및 모니터링 시스템<br>• Smart 터널 Observation Expert System 개발 등 계측 및 관련 분야의 전문성 보유 |

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 |
|---|---|---|---|
| ㈜케미우스 코리아 | 전남 | 엔지니어링, 토공사, 시설물유지관리, 보링그라우팅 | • 내염・내부식성 고강도 숏크리트 기술개발 |
| ㈜삼원 이앤비 | 경기 | 터널용 축류송풍기, 배기장치 제조 | • 초장대 해저터널용 4kPa급 고정압 축류팬 개발 |
| ㈜주성 지앤비 | 경기 | 토목 엔지니어링, 토목 공사용 기계 장비 임대 등 토목엔지니어링 서비스업체 | • 대심도 지하차도 및 해저터널의 방재대책 관련 연구실적 보유<br>• |
| ㈜엔엔 에프텍 | 대전 | 소프트웨어 자문・개발・공급, 하드웨어 제조 등 시스템 소프트웨어 개발 및 공급 | • 센서 및 실시간 데이터 전송기술을 기반으로 한 리스크 저감 관리 기술 및 굴착면 전방 예측시스템 자동화모듈 개발 |
| 동아지질 | 부산 | 토목분야의 보링 그라우팅 공사, 수중공사, 상하수도설비 공사 | • 국내 해저터널 시공 경험보유<br>• 특히 기계화 시공법관련 가장 많은 시공 및 컨설팅 실적을 보유 |
| ㈜이엠 코리아 | 경남 | TBM 굴착장비 | • Semi-Shield TBM 국산화에 성공하여 대형 15m급 TBM 보유 |
| 코오롱 건설 | 인천 | 토목시설물 건설 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 Know-How 보유<br>• 유럽 해저터널건설 분야 업계, 학계와 밀접한 유대관계 유지 |
| ㈜대룡공업 | 강원도 | 산업용 비경화 고무제품 제조 | • 고수압에 대응할 수 있는 EPDM Gasket 개발 |
| 경동 엔지니어링 | 충남 | 토목 설계, 감리/토목공사 | • 터널 건설 관련 다수의 설계, 시공 경험 보유<br>• 특히 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유 |
| 도화 엔지니어링 | 서울 | 토목설계, 건축설계, 종합기술 엔지니어링, 소프트웨어 자문・개발・공급, 토목건축공사, 부동산 임대 | • 교량, 터널, 도로 및 철도구조물, 트러스-아치교, 사장교, 현수교와 다양한 고객 요구에 상응하는 해저터널 등 풍부한 경험 보유 |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서 해저터널 연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06;KISLINE.

■ (SK 건설) 초대형 해저터널 '터키 유라시아 터널' 프로젝트에 참여하여, ITA Awards 2015 메이저 프로젝트상을 수상

◉ 유라시아 터널 프로젝트에 SK건설의 그간 축적된 터널 고속시공 기술, 고수압/고지압 대응 기술 등을 적용됨

- 유라시아 해저터널 공사에 아파트 5층 높이·무게 3,300t짜리 매머드급 TBM을 투입하여 최고 수심 110m 해저에, 대기압 11배에 달하는 높은 수압, 무른 해저 지반이라는 작업환경을 극복하고, 규모 7.5수준의 지진도 견딜 수 있는 안정적인 터널을 조성

◉ SK건설은 공사 참여 외에 2017년 4월 개통 후에도 25년간 유라시아 터널 유지보수 및 시설 운영을 도맡아 운영 수익 또한 받을 예정

◉ 리비아 대수로 공사 이후 국내 기업이 해외에서 따낸 최대 규모의 토목공사로, 2017년 건설환경공학 분야 최고의 프로젝트로 선정됨

■ (현대 건설) 현대건설은 국내에서 가장 길고 세계에서는 5위를 기록할 것으로 예상되는 보령~태안 해저터널 및 연륙교 공사에 참여 중

◉ 현대건설은 기존의 그라우팅 기술의 한계*를 보완한 '지능형 멀티 그라우팅 시스템'을 개발하여 보령~태안 해저터널 공사 현장에 적용하고 해수의 유입 차단에 성공

* 기존의 그라우팅 기술은 주입하는 시멘트계 충전제의 압력과 유량을 정밀하게 조절하지 못해 주변 시설물에 균열이 발생하거나 안전성을 해침

◉ 국내 최초 해외 수주 공사인 태국 파타니 나리티왓 고속도로 건설 공사를 수행하였으며, 사우디아라비아 주베일 산업항, 말레이시아 페낭대교, 방글라데시 자무나 다목적교와 같은 프로젝트를 성공적으로 시공

◉ 그 외 세계 최초의 도로~철도 병용 사장현수교인 터키 보스포러스 제3교, 울산대교, 쿠웨이트 자베르 코즈웨이 해상교량 공사 등 초대형 프로젝트를 통해 초장대교량 분야를 선도

■ (유신 Co.) 유신엔지니어링은 SOC 설계·감리 등 엔지니어링 메이저 기업으로, 해외 26개국에 도로 및 교량, 공항, 철도, 도시단지개발, 항만, 수자원분야의 다양한 진출경험 및 실적을 보유

◉ 2009년 보령~태안 해저터널 설계 및 시공 일괄입찰 기본설계 완료 후 실시설계 진행 및 착공

◉ 초장대터널, 대단면터널, 도심지 연약지반터널, 하저터널 및 쉴드 TBM 기계회 시공에 의한 터널 설계 등의 기술력을 겸비

■ (대우 건설) 지난 2010년, 부산의 가덕도~거제도를 잇는 거가대교에 국내 최초로 해저 침매터널인 가덕 해저터널 준공 실적 보유

◉ 국내 최초로 시공한 침매터널은 외해 수심 48m 심해에 건설된 세계 최초 사례로서, 유럽과 일본 등 해저터널 분야 선진 건설업체들과의 경쟁에서 기술적 우위를 선점 가능[16)]

- 침매터널 시공을 위해 세계 최초로 기초자갈 포설장비 등 다양한 장비를 개발하였으며 국제특허를 출원

◉ 최근 대우건설은 KAIST가 주관하는 스마트 수중터널시스템 연구를 공동으로 수행하여 수심 25m~100m 사이 적용 가능한 수중 터널시스템 핵심 기술 개발 추진 중

■ (삼보기술단) 국내 민자사업의 선두주자로서 SK건설을 도와 터키 유라시아 해저터널 공사의 설계를 담당하였으며, 프랑스의 건설사와의 경쟁에서 기술부문 최고점수를 획득[17)]

◉ 삼보기술단의 민자도로 실적은 세계적인 수준에서 봐도 단연 최고이며, 실제로 국내에서 건설중이거나, 운영중인 민자도로 70%이상이 삼보기술단이 발굴

◉ 국내 민자사업의 경험을 통해 2014년 기준 약 8건의 해외 민자사업을 추진하여, 한화 73억 원 이상의 실적을 보유

◉ 그 중 대표적으로 SK건설과 함께 수행한 유라시아 해저터널 공사를 통해 321만 달러의 수주고를 기록

◉ 파키스탄에서는 하이데라바드~미르카스 간 고속도로에 참여하여 237만 달러를 획득하였으며, 국내 엔지니어링社 중 최초로 Q&M까지 참여해 58만 달러의 수주를 기록

◉ 현재 기술력 특화를 통해 기존 SOC 선진국인 북미, 유럽 등지로 시장진출을 모색 중

16) '거가대로' 9일 준공..부산~거제간 교통·물류혁명 시작, 중앙일보, 이군호, 2010.12.05.
17) '해외엔지니어링 5개년 결산⑦-삼보기술단 민자사업 강자 삼보, PPP로 해외사업 대안 찾는다', 엔지니어링 데일리, 정장희, 2014.04.22.

# 나. 국내 시장현황 및 전망

## (1) 터널 건설산업 시장현황 및 전망

■ 2018년 기준 국내 터널 시장은 8.29조원 규모로 추정되며, 2028년에는 10.40조원 규모로 전망됨

◉ 지난 20년간 건설된 터널 프로젝트와 유사한 규모로 지속될 것으로 가정하고, 물가상승률 2.29%를 고려하여 시장규모를 추정함

◉ '98년 이후 연평균 터널 준공 개소수는 도로터널 44.5개소, 철도터널 14.35개소, 합계 58.85개소이며, 국내 육상 터널 평균 사업비는 1,410억원에 달함

**<표 Ⅱ-18> 국내 터널 시장규모 및 전망**

(단위 : 조원)

| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 국내 시장 | 8029 | 8.48 | 8.67 | 8.87 | 9.07 | 9.28 | 9.50 | 9.71 | 9.94 | 10.16 | 10.40 | 2.29% |




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

■ '18년 국외 터널 시장규모는 전체 8.29조 원, 해저터널 시장규모는 0.16조원으로 조사되며, 해저터널이 시장이 전체 터널시장에서 차지하는 비중은 1.9%로 분석됨

**<표 Ⅱ-19> 국내 터널 시장 대비 해저터널 시장 비중**

(단위 : 조원)

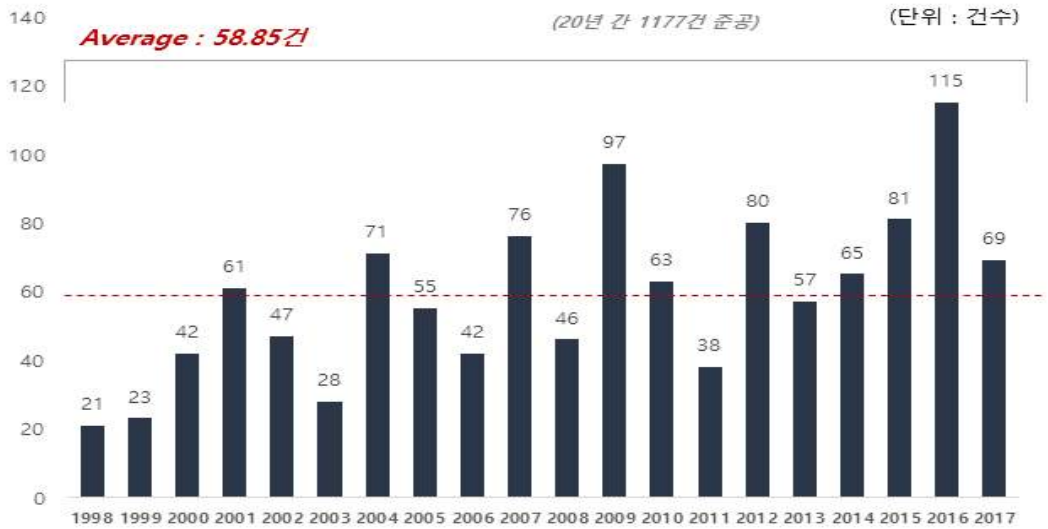
| 구분 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 평균 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 터널 | 8,29 | 8.48 | 8.67 | 8.87 | 9.07 | 9.28 | 9.50 | 9.71 | 9.94 | 10.16 | 10.40 | 9.30 |
| 해저터널 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.20 | 0.17 |




출처 : 해저터널 연구단 내부자료

■ 국내 터널 준공은 뚜렷한 상승/하향 추이가 나타나지 않았으며, 평균적으로 매년 연평균 58.85건의 터널이 준공됨

- '98년 이후, '17년까지 20년간 국내 터널 준공건수는 총 1,177건으로, 연간 21~115건이 준공된 것으로 나타남




출처: 해저터널 연구단 내부자료

**<그림 Ⅱ-52> 국내 터널 연도별 준공건수**

## (2) 해저터널 건설산업 시장현황 및 전망

- 아직 국내에는 초장대 해저터널에 해당하는 수심 60m 이상, 기반암 100m하부구간에 대한 최적 지질조사인 해상 시추 조사와 물리탐사 시장은 거의 전무한 상태임
- 국내에서 준공 된 해저터널은 통영 해저터널, 가덕 해저터널, 인천 북항 터널로 단 3건에 불과함

◉ 현재까지 국내에서 완공된 해저터널은 총 3건, 시공 중인 해저터널은 1건으로, 향후 호남-제주 해저터널, 한-일 해저터널, 한-중 해저터널 등 초장대 해저터널 프로젝트들이 활발하게 구상 또는 검토 중에 있음

◉ 통영 해저터널

- 경남 통영시 당동에 위치한 해저터널로 1927년부터 1932년까지 5년 6개월에 걸쳐 만들어진 해저터널

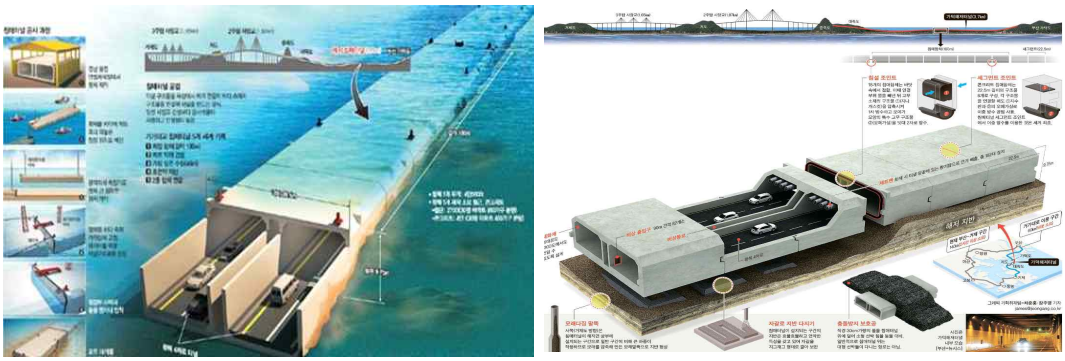


**<그림 Ⅱ-53> 통영 해저터널**

- 통영반도와 미륵도를 연결하는 길이 461m인 동양 최초의 해저터널로 근대문화유산으로 지정되어 있음

◉ 가덕 해저터널

- 육지 해저 해상을 가로 지르는 만 6년에 걸쳐 만들어진 거가대로는 거가대교 3.5km), 가덕해저터널3.7km), 육상교량1km) 등으로 구성
- 수심 48m 심해에 건설된 세계 최초의 침매터널로, 길이 180m, 폭 26m, 높이 9.97m의 침매함체 18개로 연결된 세계 최장 길이의 터널



출처 : 중앙일보

〈그림 Ⅱ-54〉 가덕 해저터널

◉ 인천 북항터널

- '인천 북항터널'은 인천 동구 화수부두와 북항 바다 밑을 통과하는 국내 최장 해저터널




출처 : 중부일보

〈그림 Ⅱ-55〉 인천 북항터널

◉ 보령-안면도 연륙도로 해저터널

- 충청남도 보령시 대천항과 태안군 안면도를 연결하는 총연장 14km의 연륙도로 건설공사 중 대천항 ~ 원산도 구간에 계획된 2차선 쌍굴터널로 총연장 6.9㎞의 국내 최초의 굴착식(NATM 공법) 해저도로터널임

- 현재 보령-안면도 해저터널은 42%의 공정률을 기록하고 있으며, 터널 6.9㎞ 중 5.6㎞ 구간에 대한 굴착과 방수·배수 작업을 마친 상태임




출처 : 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발, 국토교통부·국토교통과학기술진흥원

**<그림 Ⅱ-56> 인천 북항터널**

■ 현재까지 시공 중이거나 완공된 국내 해저터널을 제외하고, 지속적으로 검토 중인 해저터널로 목포~제주 해저터널, 한·일 해저터널, 한·중 해저터널이 있음

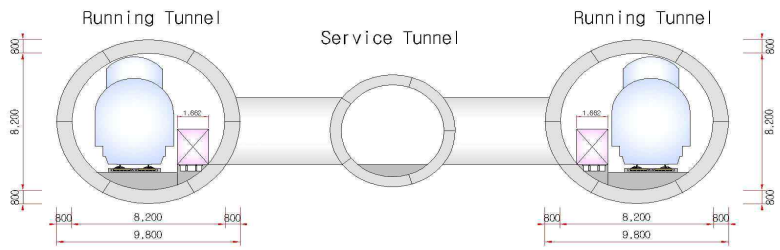
◉ 목포~제주 해저터널

- 현재 국토해양부에서 타당성 조사 중인 호남-제주(목포-제주) 해저터널은 총연장이 167km로서 프로젝트가 추진될 경우, 세계적인 초장대 해저터널 건설사업이 될 것으로 예상
- 총 연장 167km 가운데 해저터널 73km, 해상교량 28km 및 지상구간 66km으로 구성
- 총 사업비는 14조 6천억 원 그리고 총 공사기간은 11년으로 추정
- 역시 초장대 해저터널 건설 프로젝트인 관계로 해저터널 구간은 직경 9.8m의 쉴드TBM으로 계획(쉴드터널 공사비 추정액 = 8조8,000억 원)

<표 Ⅱ-20> 호남~제주 해저터널 프로젝트

| 구분 | 목포~해남 | 해남~보길도 | 보길도~제주 |
|---|---|---|---|
| 연장 | 66㎞ | 28㎞ | 73㎞ |
| 특성 | 지상 구간 | 해상교량 구간 | 해저터널 구간 |
| 사업비 | 2조 8천억 원 | 3조 원 | 8조 8천억 원 |
| | 사업비: 총 14조 6천억 원 (추정)<br>공사기간: 총 11년 (추정 | | |

출처 : 한국건설신문




<그림 Ⅱ-57> 호남~제주 해저터널 단면 계획(안)

● 한·일 해저터널

- 한·일 해저터널은 동경에서 서울-평양-단동-베이징으로 연결되는 “동아시아하이웨이”의 일부로서 고속도로, 고속철도, 자기 부상열차(Linear Motorcar)등이 검토 중
- 한국의 부산에서 일본 후쿠오카(福岡)까지 페리(Ferry)선으로 16시간, 고속 수중익선(Jet Foil)으로는 2시간 55분이 소요
- 한·일 해저터널이 완성되면 자동차로 3시간 30분, 고속철도는 (최고속도 350㎞ 적용 시) 1시간 20분, 최고속도 700㎞의 자기부상 열차로는 40분이 걸리게 되어, 항공기(서울~후쿠오카: 1시간 소요, 서울~베이징: 2시간 소요)와 경쟁이 가능
- 한·일 해저터널은 노선에 따라 다소 차이는 있지만 총 연장이 209~231㎞에 달하며, 이 가운데 쉴드 시공연장은 128~145㎞로 추정

<표 Ⅱ-21> 한·일 해저터널 노선 계획(안)

| 구분 | 노선 A | 노선 B | 노선 C |
|---|---|---|---|
| 총 연장 | 209 | 217 | 231 |
| 시공 공기 | 15~20년 | | |
| 건설비 (230㎞ 기준) | 철도/도로병용 단선: 101조 원, 철도/도로병용 복선: 201조 원 | | |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서 해저터널 연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06.

- 최저 수심은 155~220m으로서 한·중 해저터널보다 깊은 대수심 조건
- 공사기간은 15~20년으로 추정되며, 쉴드 터널 구간의 공사비는 50조 7,500억 원으로 추산




<그림 Ⅱ-58> 한·일 해저터널 노선_일본측 구상(안)

◉ 한·중 해저터널

- 한·중 해저터널은 기존의 육상, 해상 및 항공 교통수단의 한계성을 극복하기 위한 수단으로서 한·일 해저터널과 더불어 동북아 고속철도망으로의 구축이 가능
- 서울~웨이하이 구간은 434㎞로 1시간 57분, 서울~베이징이 1,366㎞로 4시간 26분, 서울~상하이가 1,800㎞로 5시간 31분이 소요
- 비행기를 이용할 때 소요되는 시간과 비용을 고려하여 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 판단되어 한·중 해저터널 구상
- 한·중 해저터널의 총 연장은 노선에 따라 221~386㎞로서 현재까지 계획 또는 구상되고 있는 해저터널 가운데 최장의 해저터널

〈표 Ⅱ-22〉 한·중 해저터널 노선 계획(안)

| 구분 | 1안 | 2안 | 3안 | 4안 |
|---|---|---|---|---|
| 위치 | 인천~웨이하이 | 화성~웨이하이 | 평택~웨이하이 | 옹진~웨이하이 |
| 총 연장 | 341km | 373km | 386km | 221km |
| 예상 공사비 | 123조 4,470억 원 | 117조 8,094억 원 | 127조 9,817억 원 | 72조 5,770억 원 |
| 사업기간 | 조사 및 설계기간: 5년, 시공기간: 10년, 총 15년 예상 | | | |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서 해저터널 연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06.

## (3) 인공섬 건설산업 시장현황 및 전망

■ 국내에서 사전적인 의미의 인공섬 조성은 전무하며, 해안매립을 통한 간척사업이 활발하게 추진되어 옴

◉ 국내의 경우 1970년대 이후로 경제발전이 활성화됨에 따라, 공항 및 항공 등과 같은 국가 물류시설물을 건설하기 위해 다수의 프로젝트가 수행 중

- 그러나 국내는 대부분 단순한 연안매립 수준의 간척사업으로 진행되어 갯벌 생태계를 파괴하는 등 국가적인 혐오시설의 한계를 극복하지 못하는 실정

- 특히 부산 영도항 하구의 인공섬 조성을 계획하였으나 환경단체의 반발로 인해 최근에 취소됨

◉ 최근 들어 서울시, 부산시 등 지자체에서 인공섬 개발 프로젝트를 추진 및 계획하고 있으며, 향후 인공섬 개발 수요가 증가할 것으로 예상

- 서울시는 한강르네상스 프로젝트를 추진하여 한강수변 문화 공간 조성과 자연성 회복, 접근성 향상, 문화기반 조성, 경관개선, 수상이용 활성화 등을 목표로 세빛둥둥섬 등 3개의 인공섬을 조성

- 부산시 광안리에 바지선을 띄워 해상 관광호텔을 조성하였고, 화성시·안산시·시흥시는 공동으로 반달섬 프로젝트를 추진·계획 중

# 제5절 대내 · 외 환경분석 시사점

## 1. 미래사회 환경변화에 따른 시사점

- (사회적 측면) 국민 삶의 질 향상 측면에서 일일생활권 시대가 도래함에 따라, 이에 대응하기 위해 지역간 교통의 연계가 필수적으로 요구되고 있는 상황
  - 세계 주요지역과 격리된 두 지역을 잇는 물류통로 건설계획으로 해저터널에 대한 관심이 증대되고 있음
- (기술적 측면) 제4차 산업혁명에 대응하기 위해, 교통시설물 분야에서도 관련 기술이 적용되고 있는 추세
  - 해저터널 건설은 사업지역이 바닷물로 덮혀 있어 특수한 조사기술들이 적용되어야 하며 육상터널보다 더 많은 불확실성이 존재함에 따라, 위험에 대한 대책마련 필수
- (환경적 측면) 이상기후에 선제적으로 대응할 수 있는 교통시설물의 건설 및 관리가 중요해짐에 따라, 악천후에 영향을 받지 않고, 항공기의 추락, 선박의 침몰과 같은 사고의 위험성도 상대적으로 낮은 해저터널에 대한 관심이 지속적으로 증가
  - 해저터널의 시공 중 붕괴로 인한 해수유입 시에는 터널 전체가 침수되어 인명피해는 물론 경제적으로도 막대한 비용이 소요되므로 이에 대비한 안전하고 경제적인 설계 및 시공기술 개발이 필수적
- (경제적 측면) 정치, 경제, 문화 등 다양한 분야에서 글로벌화 현상이 심화됨에 따라, 해저터널의 건설은 앞으로 내륙과 인근 도서지방의 연결을 넘어서 국가 대 국가의 연결과 관계되는 국가적 프로젝트가 될 가능성이 매우 높은 상황
  - 경제적이고 안전한 해저터널 프로젝트의 성공적인 추진을 위해 핵심 요소 기술의 선제적 확보와 지속적인 기술개발 노력 필요
- (정책적 측면) 전 세계적으로 경제부흥을 위한 교통인프라의 투자가 활발히 진행됨에 따라, 국내에서도 글로벌 시대를 맞이하여 해저터널 건설 및 핵심기술 자립화를 통한 교통네트워크 허브 구축이 필요한 시점
  - 해저터널로 대륙과 대륙이 연결되면 물류적 측면에서는 물론 여러 분야의 교류의 폭이 증가될 것으로 기대

## 2. 정책측면의 시사점

- (국외) 미국, EU 등 선진국 및 주변국들은 고부가가치 창출 가능 기술개발 및 핵심 원천 기술개발에 주력하고 있으며, 그 중에서도 중국은 대대적 인프라 투자 정책을 추진

  - 미국은 교통형평법, 종합 교통효율화법 등 교통관련정책 및 연방도로국의 국가터널 진단기준 정책, 트럼프 정부의 인프라 정책 등 시설물 관리 계획을 통해 관련 산업을 육성

  - EU는 건설기술 플랫폼 비전 2030, 유럽투자계획 및 Infravation Project 등 인프라 관련 투자계획을 통해 차세대 교통 인프라 기술개발 및 경쟁력 확보에 지원

  - 일본 정부는 20개의 대표 생산성 혁명 프로젝트를 설정하여 I-construction을 추진하고, 인프라 노후화 대응에 중점적으로 투자

  - 중국은 일대일로 정책 및 제13차 5개년 계획을 통해 대규모 인프라 투자 정책을 추진하여, 중국기업 해외진출 확대 도모

- (국내) 국토인프라의 선진화 및 해외 건설산업 육성이라는 정책적 방향 하에 부가가치가 높은 교량, 터널, 등 건설 기술을 확보하여 해외시장 수주 창출 및 수익성 제고에 주력

  - 문재인 정부 국정과제에 따라 고부가가치 신형식 구조물 건설 기술 개발 및 국토교통 산업 경쟁력 강화 방안 마련에 착수

  - 「2018년 국토부 주요정책 추진계획」('18.01)에 반영

    - 건설산업 혁신 및 첨단기술과의 융복합을 통해 국토교통산업 부가가치 제고

    - 저성장 스마트 기술, 안전 강조 등 미래 환경변화에 대비하여 지속가능한 국토 발전기반을 조성하기 위해 효율적 국토 이용 전략 추진

  - 건설산업 4대 혁신방안인 '기술혁신'내 추진과제, [스마트 건설기술 활성화] 추진

    - 건설자동화, 스마트 유지관리, 스마트 건설재료 등 첨단 건설기술개발 및 메가스트럭처 + 플랜트 분야에 '27년까지 약 1조 원을 투자하여 핵심기술을 보급

# 3. 산업 및 시장 측면의 시사점

■ (국외) 다수의 국가-대륙 간 초장대 해저터널 건설이 시공 및 계획 중으로 해저/침매터널, 부유식 터널 시장에 대한 전망이 긍정적

◉ 2018년 기준 국외 터널 시장은 119.9조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 183.9조 원 규모로 전망

- 그 중 2018년 기준 국외 해저터널 건설 시장은 3.57조 원 규모로 추정되며, 2028년에는 5.48조 원 규모로 예상됨

◉ 세계 해저터널·인공섬 시장규모는 발주물량이 많지는 않지만, 해저터널의 건설특성상 대규모 사업으로 발주되는 경우가 많아 잠재적인 시장규모가 매우 클 것으로 예측

- 발주 예상되는 대규모 해저터널 건설사업으로 중국 본토와 대만을 연결하는 대만해협 해저터널, 스페인과 모로코 간 지브롤터 해저터널, 베링 해저터널, 중국 다롄~엔타이 해저터널 등이 계획 중

☞ (러시아) 베링해협을 가로지르는 베링해협 해저터널도 이미 계획이 수립되어 있는 단계

☞ (중국) 건설산업의 대규모 시장을 확보하고 있으며, 최근 유로터널 2배에 달하는 보하이 해협 해저터널 건설 구상에 박차

■ (국내) 국내에서 준공 된 해저터널은 통영 해저터널, 가덕 해저터널, 인천 북항 터널로 단 3건이나, 향후 호남-제주 해저터널, 한-일 해저터널, 한-중 해저터널 등 초장대 해저터널 프로젝트들이 활발하게 구상 또는 검토 중

◉ 2018년 기준 국내 터널 시장은 8.29조원 규모로 추정되며, 2028년에는 10.40조원 규모로 전망

- '18년 국외 터널 시장규모는 전체 8.29조 원, 해저터널 시장규모는 0.16조원으로 조사되며, 해저터널이 시장이 전체 터널시장에서 차지하는 비중은 1.9%로 분석

◉ 특히 국내 인공섬 준공실적은 전무한 상태인 반면, 다수의 국외 인공섬 건설 프로젝트가 계획 중

- 향후 국내기업이 해외 프로젝트를 수주하기 위해 원천기술 개발이 시급한 상황




# 사업 기본설계를 위한 분석

제 1절 국내 R&D 역량 분석

제 2절 해저터널 R&D 수요조사

제 3절 국내 R&D 역량 및 수요조사 시사점

제 4절 사업 추진방향 도출

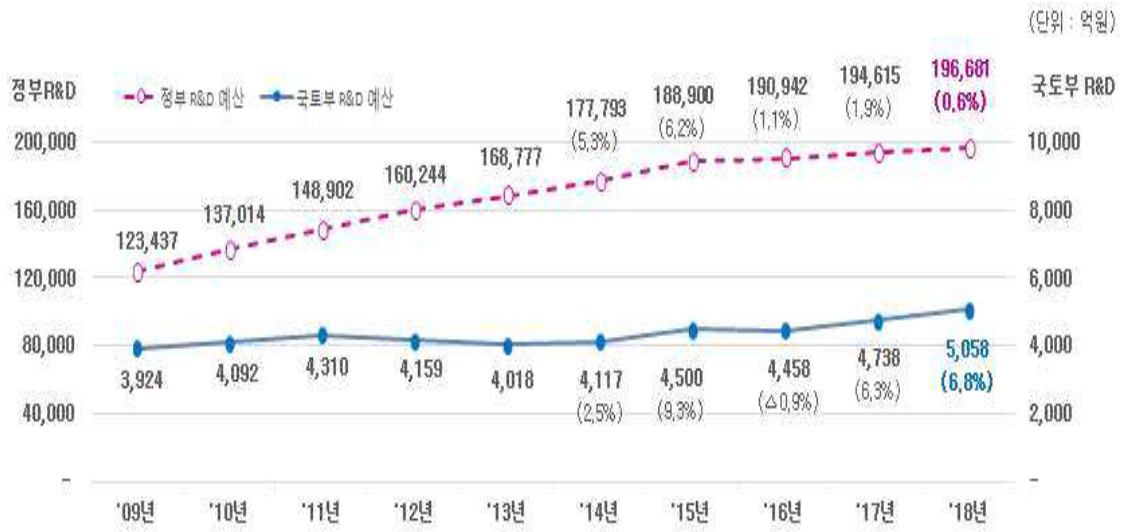
# 제 3 장 사업 기본설계를 위한 분석

## 제1절 국내 R&D 역량 분석

### 1. 해저터널·인공섬 관련 R&D 투자 및 성과 현황

#### 가. 국토·교통 분야 연구개발 투자현황

■ 국토교통 분야에 대한 정부의 연구개발 투자금액은 2018년 5,058억 원으로 전체 정부 연구개발의 투자금액 대비 약 2.6%의 비중을 차지함




출처 : 2018년 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획, 국토교통부·국토교통과학기술진흥원

<그림 Ⅲ-1> 연자별 정부 및 국토교통 R&D 투자 현황

- 정부 R&D 예산은 연평균 5.3% 증가('09년 12.3조→'18년 19.7조)하여 국토교통 R&D 비중은 '09년 3.2%에서 '18년 2.6%로 감소하였음

  - (분야별) 철도, 건설, 도시건축 등 순으로 투자비중이 높고, 투자 증가율은 공간정보·수자원 분야가 상대적으로 높은 편

  - (주체별) 연구계 37%, 학계 29%, 산업계 21%, 공사·공단 10% 등 다양한 주체가 국토교통 R&D에 참여 중

    * (도약기) 2006년 사업 개편 이후 사업단 및 연구단 중심의 대형 실용화 과제 비중이 증가함에 따라 예산이 급증

    * (정체기) 2011년 이후 대형 연구과제(사업단)가 연차별로 종료됨에 따라 예산이 지속적인 감소세를 보임

    * (고도화기) 「건설교통 R&D 중장기계획(2013~2017)」에 따라 미래유망 신규과제를 적극 발굴·추진하여 2014년 예산은 증액 편성이 된 것으로 보임

- 국토교통 GDP, 취업자 수, 사업체 수는 국가 전체 10% 내외이나, 정부 R&D의 2% 수준에 불과함

  * 건설업·운수업은 전체 GDP 대비 9.2%, 취업자 수의 12.6%, 사업체 수의 14.3%

- 국토교통 R&D 투자금액의 비중이 낮아지는 추세로 전환되게 된 이유는 우리나라가 점차 선진국으로 진입함에 따라 국토교통 산업의 국가 성장 기여도가 점점 줄어들기 때문인 것으로 파악됨

  - 미국, 영국, 독일, 프랑스 등 선진국의 건설산업의 국가 GDP 기여도는 평균 6%를 초과하지 않고 있으며, 우리나라는 2006년 8% 높은 기여도를 보였다가 점차 감소

  - 그럼에도 불구하고 타 산업과 융복합화 추세와 녹색성장 패러다임을 고려해 볼 때, 국토/교통 산업은 기존 국가 성장의 지원자 역할에서 미래 핵심성장 동력으로 충분한 성장 잠재력을 가지고 있음

2018년 기준 국토부 R&D예산 중 3개부문 (국토,교통,기반구축)의 21개 사업에 전년 대비 320억 원(6.8%)이 증가된 5,058억 원을 지원

**<표 Ⅲ-1> 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황**

| 사업명 | 지원목적 및 분야 | '18년 예산 (백만 원) |
|---|---|---|
| 국토기술분야 | | 211,274 |
| 건설기술연구 | SOC 시설물의 전주기 | 51,372 |
| 물관리연구 | 물재해 저감, 안정적 수자원 확보 | 22,995 |
| 수요대응형 물공급 서비스 | 물정보 Data 분석·예측, 물공급 서비스 기술 개발 | 2,300 |
| 플랜트연구 | 플랜트 건설사업 핵심공정 개발 | 38,210 |
| 도시건축연구사업 | 생활인프라 확충, 안전한 생활환경 조성 | 34,279 |
| 주거환경연구사업 | 주거공간의 쾌적화, 장수명화, 안전성 확보 등 | 18,649 |
| 국토공간정보연구사업 | 공간정보 빅데이터 분석, 오픈소스 활용 | 29,103 |
| 공간정보기반 실감형 콘텐츠 융복합 | 공간정보 기반 실감형 콘텐츠 경쟁력 확보 | 2,000 |
| 위성정보 활용센터 설립 운영 | 위성정보 활용센터 설립 및 활용기술 개발 | 7,995 |
| 국가전략프로젝트 | 국가전략기술분야 신산업 창출 및 국민 삶의 질 향상 | 4,371 |
| 교통기술분야 | | 197,040 |
| 교통물류연구 | 교통혼잡 물류비용 감소, 배출가스 저감 등 | 59,734 |
| 철도기술연구사업 | 철도시스템 고효율, 고속화, 친환경적인 철도 구현 | 86,741 |
| 항공안전기술개발 | 항공사고예방기술, 항행 관제통신 및 공항 기술 | 34,665 |
| 무인비행체안전지원기술개발 | 민간 무인기 안전운항기술, 교통관리 체계 기술 개발 | 10,200 |
| 민수헬기인증기술개발 | 항공기 안전성 확보, 수송급 헬기 시범인증 | 4,000 |
| 항공기 장비품·부품 등 제작정비 인증기술 개발 | 항공기 장비품·부품 실용화 기반 마련 | 1,700 |
| 공통 R&D | | 97,470 |
| 국토교통기술촉진연구 | 국토교통기술 촉진을 위한 원천기술 개발 | 53,643 |
| 국토교통기술사업화지원 | 글로벌 강소기업 육성 및 일자리 창출 | 24,788 |
| 국토교통기술지역특성화 | 지역 밀착형 국토교통지역거점센터 구축 | 8,163 |
| 국토교통연구기획 | 미래핵심기술 등의 발굴 및 기획 | 4,066 |
| 국토교통연구성과활용지원 | 기술 신뢰성 검증, 공공기술 이전 등 | 1,340 |
| 합계 | | 5,058 |

출처 : 2018년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획 및 2018년도 해양수산과학기술 육성 시행계획 참조

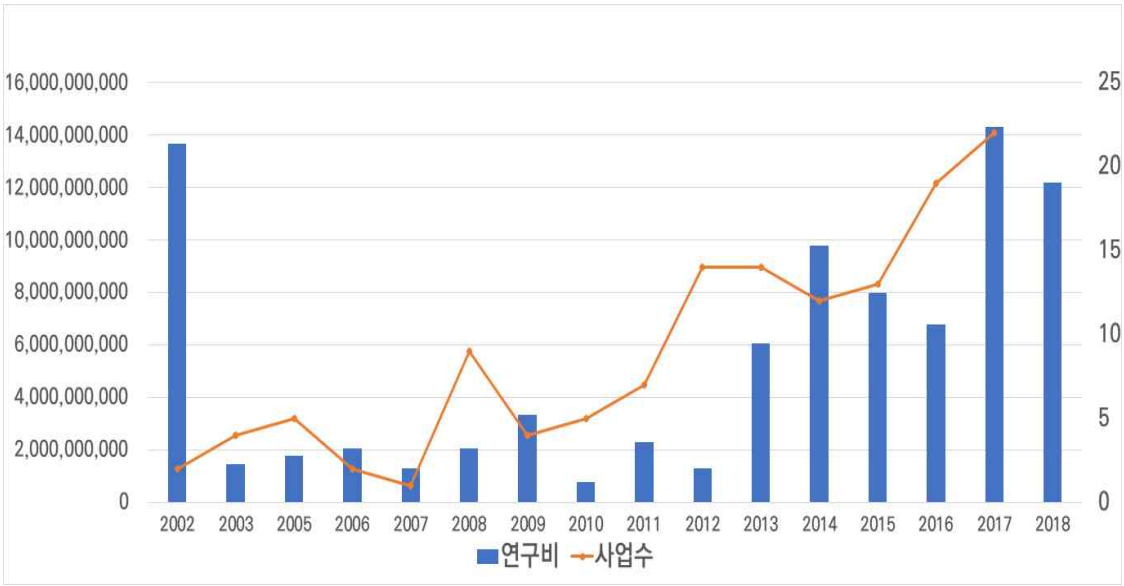
## 나. 해저터널 관련 R&D 투자동향

■ 정부의 국토 교통 관련 투자는 낮은 성장세를 보이며 유지하고 있는 반면 최근 해저터널 관련 인프라 건설 산업 분야를 중심으로 증가하고 있는 추세임

◉ 국내 해저터널 관련 기술개발과 관련한 총 투자규모는 2002년부터 2018년까지 총 136개의 과제에 약 105,386백만 원이 투자됨

- 해저터널 관련 기술개발 사업과 관련한 사업 및 과제를 검색하기 위해 2개 기술분야별 키워드를 도출
- 2002년부터 2018년까지의 기간을 기준으로 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 사업 및 과제를 검색
- 검색을 통해 도출된 과제를 기준으로 연구 목표 및 상세 설명을 통해 해저터널 관련 산업과의 연관성 유무를 판단

(단위: 원, 건)

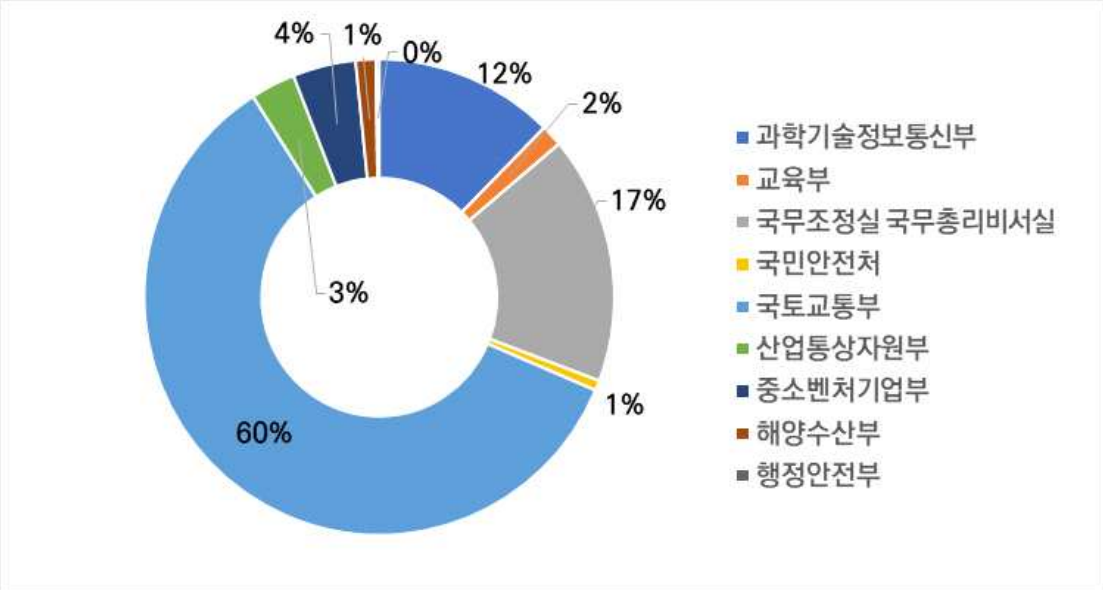



출처 : NTIS(2018년 10월 기준)

**<그림 Ⅲ-2> 해저터널 관련 연구개발 과제 및 투자비**

부처별 해저터널 관련 연구개발 총 투자 현황을 살펴본 결과, 관련 2개 부처(국토교통부, 해양수산부)에서 투자는 약 53,131백만 원 규모로 전체 투자 중 약 60%를 차지하고 있음

- 총 연구개발 투자 중 국토교통부는 해저터널 건설 기술개발, 해양수산부에서는 해중터널 실용화를 위한 기술개발 및 해양에너지·해양공간 이용기술 개발을 중심으로 과제를 수행하고 있음




| 부처명 | 투자 금액(백만 원) | 투자 비중(%) |
|---|---|---|
| 과학기술정보통신부 | 10,799 | 12.39% |
| 교육부 | 1,286 | 1.47% |
| 국무조정실 국무총리비서실 | 14,701 | 16.86% |
| 국민안전처 | 598 | 0.69% |
| 국토교통부 | 51,924 | 59.56% |
| 산업통상자원부 | 2,681 | 3.08% |
| 중소벤처기업부 | 3,781 | 4.34% |
| 해양수산부 | 1,207 | 1.38% |
| 행정안전부 | 200 | 0.23% |

출처 : NTIS(2018년 10월 기준)

**<그림 Ⅲ-3> 해저터널 관련 연구개발 과제 및 투자비**

연도별 해저터널 관련 연구개발 투자금액을 살펴보면, 2004년에는 투자금액이 전혀 발생하지 않았으며, 그 후 지속적인 증가 추세를 보임

**<표 Ⅲ-2> 해저터널 관련 연구개발 투자현황**

(단위: 백만 원)

| 연도 | 정부지원연구비 | 민간매칭 | 총연구비 |
|---|---|---|---|
| 2002 | 13,477 | - | 13,739 |
| 2003 | 1,449 | - | 1,449 |
| 2004 | - | - | - |
| 2005 | 1,487 | - | 1,852 |
| 2006 | 1,763 | 31 | 2,057 |
| 2007 | 1,243 | - | 1,352 |
| 2008 | 2,023 | - | 2,075, |
| 2009 | 3,184 | 164 | 3,659 |
| 2010 | 748 | 42 | 789 |
| 2011 | 2,276 | 6 | 241 |
| 2012 | 1,147 | 156 | 2,397 |
| 2013 | 5,178 | 897 | 8,687 |
| 2014 | 7,719 | 2,075 | 1,3065 |
| 2015 | 5,892 | 2,109 | 14,561 |
| 2016 | 5,130 | 1,641 | 8,633 |
| 2017 | 11,303 | 3,007 | 15,893 |
| 2018 | 9,490 | 2,713 | 12,768 |
| 총합계 | 73,508 | 12,842 | 105,386 |

출처 : NTIS(2018년 10월 기준)

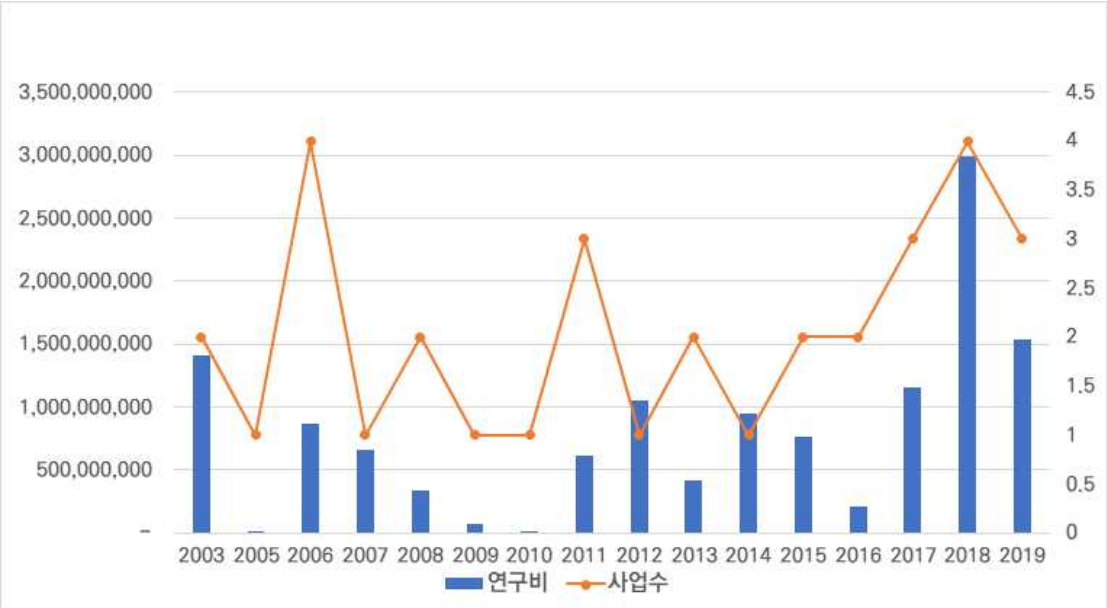
## 다. 인공섬 관련 R&D 투자동향

■ 정부의 국토 교통 관련 투자는 낮은 성장세를 보이며 유지하고 있으나, 최근 해저 터널 관련 인프라 건설 산업 분야가 증가함에 따라 향후 인공섬 건설 기술개발 투자 또한 향상될 것으로 보임

◉ 국내 인공섬 건설 기술개발과 관련한 총 투자규모는 2003년부터 2019년까지 총 33개의 과제에 약 1,532백만 원이 투자됨

- 인공섬 관련 기술개발 사업과 관련한 사업 및 과제를 검색하기 위해 2개 기술 분야별 키워드를 도출
- 2003년부터 2019년까지의 기간을 기준으로 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 통해 사업 및 과제를 검색
- 검색을 통해 도출된 과제를 기준으로 연구 목표 및 상세 설명을 통해 인공섬 관련 산업과의 연관성 유무를 판단

(단위: 원, 건)

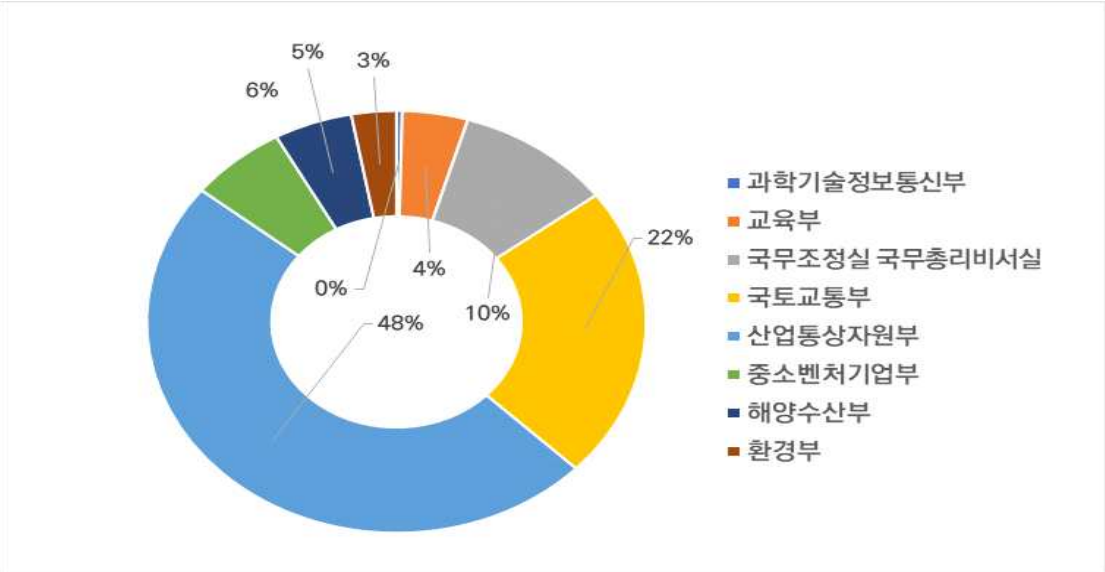



출처 : NTIS(2018년 12월 기준)

**<그림 Ⅲ-4> 인공섬 관련 연구개발 과제 및 투자비**

부처별 해저터널 관련 연구개발 총 투자 현황을 살펴본 결과, 관련 2개 부처(산업통상자원부, 국토교통부)에서 투자는 약 9,286백만 원 규모로 전체 투자 중 약 71%를 차지하고 있음

- 총 연구개발 투자 중 산업통상자원부에서 해양구조물을 이용하여 풍력발전소 혹은 전력설비 등 플랫폼 기반 기술개발을 중심으로 과제를 수행하고 있으며, 국토교통부의 경우 주로 해저터널 건설에 필수적인 화재 및 유지관리 기술개발을 추진함




| 부처명 | 투자 금액(백만 원) | 투자 비중(%) |
|---|---|---|
| 과학기술정보통신부 | 49 | 0% |
| 교육부 | 556 | 4% |
| 국무조정실 국무총리비서실 | 1,326 | 10% |
| 국토교통부 | 2,940 | 22% |
| 산업통상자원부 | 6,346 | 48% |
| 중소벤처기업부 | 823 | 6% |
| 해양수산부 | 665 | 5% |
| 환경부 | 380 | 3% |

출처 : NTIS(2018년 10월 기준)

**<그림 Ⅲ-5> 인공섬 관련 연구개발 과제 및 투자비**

■ 연도별 인공섬 관련 연구개발 투자금액을 살펴보면, 2009년까지 민간 투자는 저조한 상태를 보이다가, 그 후 민간에서도 투자하려는 경향을 보임

**<표 Ⅲ-3> 인공섬 관련 연구개발 투자현황**

(단위: 백만 원)

| 연도 | 정부지원연구비 | 민간매칭 | 총연구비 |
|---|---|---|---|
| 2003 | 1,390 | - | 1,412 |
| 2004 | 21 | - | 21 |
| 2005 | 554 | - | 871 |
| 2006 | 665 | - | 665 |
| 2007 | 240 | 40 | 340 |
| 2008 | 75 | - | 75 |
| 2009 | 4 | 1 | 5 |
| 2010 | 577 | 40 | 617 |
| 2011 | 1,057 | - | 1,057 |
| 2012 | 345 | 75 | 420 |
| 2013 | 827 | 120 | 947 |
| 2014 | 426 | 342 | 768 |
| 2015 | 197 | 16 | 213 |
| 2016 | 849 | 309 | 1,158 |
| 2017 | 2,245 | 740 | 2,985 |
| 2018 | 1,120 | 412 | 1,532 |
| 총합계 | 10,592 | 2,095 | 13,085 |

출처 : NTIS(2018년 10월 기준)

# 2. 해저터널 관련 선행사업 성과 현황

## 가. 해저시설물 차폐 연구단 사업

- (사업목적) 해저시설물 건설에 필수적인 지반조사/계측/방배수/방재기술의 현격한 개선 및 해저시설물의 차폐에 관한 능동적인 개념의 핵심기술 개발
- (범위 및 내용) 해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방·배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐핵심기술 개발에 주력
- (연구기간 및 예산)
  - 총 연구기간: 2005.~2010.
  - 연구비 예산: 97억 원
- (세부 연구개발과제 현황)
  - 본 사업의 중점연구는 크게 4개의 세부과제로 추진되어, 제1세부의 경우 해저지반조사 및 계측기술 해저시설물, 제2세부는 해저시설물 수리-역학적 설계기술, 제3세부는 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료, 제4세부는 해저 에너지저장시설 차폐 및 시공시뮬레이션 기술 개발로 구성하였음

**<표 Ⅲ-4> 해저시설물 차폐 연구단 연구개발과제 구성**

| 구분 | | 과제명 |
|---|---|---|
| 1세부과제 | | 해저지반 조사 및 계측기술 해저시설물 |
| | 1-1 | 해저 조사기술 개발 및 시스템 개선 |
| | 1-2 | 해저시설물 모니터링 및 방재기술 개발 |
| | 1-3 | 해저시설물 차폐설계·시공 기반기술 개발 |
| 2세부과제 | | 해저시설물 수리-역학적 설계기술 |
| | 2-1 | 손상영역 평가 및 관련 설계 기술 개발 |
| | 2-2 | 그라우팅 설계기술 개발 |
| | 2-3 | 수직구 설계기술 개발 |
| | 2-4 | 해저시설물 수리-역학적 연ㄱ해석 기술개발 |
| | 2-5 | 내진설계기준 표준화 기술 개발 |
| 3세부과제 | | 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발 |

| 구분 | | 과제명 |
|---|---|---|
| | 3-1 | 해저터널 방배수 제기준 구축 |
| | 3-2 | Hybrid 방배수 설계기술 개발 |
| | 3-3 | 바닥배수판을 이용한 신개념 터널구조물 배수시스템 개발 |
| | 3-4 | Active 라이닝 수밀장치 시험시공 |
| | 3-5 | Active 수밀장치 - 배수 및 방수 복합기능성 |
| | 3-6 | 쉴드 TBM터널에서의 방수 설계 |
| | 3-7 | 쉴드 TBM 세그먼트 라이닝 수밀성 확보 방안 |
| 4세부과제 | | 해저 에너지저장시설 차폐 및 시공시뮬레이션 기술 |
| | 4-1 | Water-curtain 등 차폐설계 기술 개발 |
| | 4-2 | Ice Ring 차폐 설계 기술 개발 |
| | 4-3 | 시공 시뮬레이션 프로그램 개발 |

■ 해저시설물 차폐 연구단의 실용화 성과물 추진현황

◉ (정량적 성과)

**<표 Ⅲ-5> 각 세부별 성과 현황**

| 구분 | 과제명 | 성과 현황 |
|---|---|---|
| 1세부 | 해저지반 조사 및 계측기술<br>해저시설물 | • 학술지 게재 4건, 학술발표논문 11건, 연구성과 홍보실적 5건, 정책제안 반영실적 4건, 산학연간 기술지원 15건, 지적재산권 2건, 인력양성 1명 |
| 2세부 | 해저시설물 수리-역학적 설계기술 | • 학술지 게재 5건, 학술발표 논문 7건, 시제품 2건, 특허출원 1건 |
| 3세부 | 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발 | • 학술지 게재 8건, 산학연간 기술지원 1건, 모델제작 3건, 통수능 수리실험 4건 |
| 4세부 | 해저 에너지저장시설 차폐 및 시공시뮬레이션 기술 | • 산학연간 기술지원 4건, 연구성과 홍보 2건, SW 등록 1건 |

출처: 해저시설물 차폐기술 개발 연구보고서, 첨단도시개발사업 제5차년도 연구개발 최종보고서, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2010.06.29.

(정성적 성과)

- (1세부) 해저지반 조사 및 계측기술 개발

☞ 해저지반의 조사방법에 대한 가이드라인 제시 및 정밀조사기법 개발

☞ 해저시설물 운영 중 최적화관리를 위한 계측기법의 체계화 및 시스템 구축을 통한 경제적, 안정적 유지관리 가능

☞ 방재 및 재해 시나리오를 통한 유사시 안전대책 마련

☞ 해저시설물의 시공중 안정성 향상에 이바지함으로써 공사 및 운영비용의 절감효과 발생

☞ 해저터널, 시설물 프로젝트 개발 및 발주 유도 가능

☞ 유사 지하구조물에 적용하여 최적 시공법 선택에 기여함에 따라 공사비 절감

- (2세부) 해저터널 수리-역학적 설계기술 개발

☞ 해저터널 주변지반의 손상영역 해석기술을 개발함으로써 국내 해저지질에 적합한 해석 패키지를 제공하고 해저터널의 설계 및 운영 시 예상가능한 문제점을 사전에 평가함으로써 비용 절감 효과 기대

☞ 수직구 설계하중 산정방법의 지침을 제시함에 따라 관련업계 기술자들에게 수직구의 거동에 대한 이해 및 설계방향 설정에 도움

☞ 설계 및 시공관리 기준을 엄격하게 적용시켜 경제적 측면의 손실율 감소는 물론 그라우팅 시공 신뢰성을 크게 향상

- (3세부) 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발

☞ 해저터널 시공 및 설계에 필요한 방배수 요소기술 개발을 통해 외화 유출 방지 등 큰 경제적 파급효과 발생

- (4세부) 해저 에너지 저장시설 차폐 및 시공 시뮬레이션기술 개발

☞ 우수하고 경쟁력 있는 비축시설 설계의 기술자립 달성

☞ 해석기술 개발로 해저시설물의 설계 및 운영 시 문제점을 사전적으로 평가함으로써 비용 절감 효과

☞ 최적 시공대안 선정을 통해 사전 공사비 절감 가능

☞ 관련 작업공정의 시각화로 의사결정의 명확화

☞ 해저시설물 차폐기술에 대한 핵심요소에 대한 독자적 개발 및 국가 간 기술

적 분쟁에서의 우위 차지 가능

☞ 국내 에너지 수급에서의 안정성 확보 및 에너지 가격의 경쟁력 강화

■ (미흡한 부분) 본 연구사업을 추진함으로써 각 세세부 과제의 연구성과는 현장 적용이 될 수준으로 개발이 되었으나 세세부과제 내용의 연계성이 결여되어 있어, 세세부과제 간의 연결성 강화 필요

◉ 해저터널과 관련된 수직구 혹은 인공섬에 대한 기술개발 연구도 함께 수행 필요

◉ 각 개별 요소기술들의 현장 적용성 검증 및 현장 의견이 반영된 기술개발이 필요

- 특히 물리탐사에 의한 해저 지반조사 결과와 실제 시추 결과와는 많은 차이가 있으므로, 향후 가정할 수 있는 조건들을 상정하여 실제 현장에 시험·적용하여 그 결과와의 합리적 비교·분석이 필요

## 나. 해저터널 건설 기술개발 사업

■ 해저터널 건설 기술개발 사업단의 사업개요

◉ 해저터널 연구단은 국토교통부 건설기술연구의 일환으로 주관연구기관인 고려대학교 지하공간연구소에서 해저터널 기술개발 연구단을 발족함

■ (사업목적) 국내 기술이 전무한 해저지반 지하에 건설되는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수업 20bar 이상)을 받는 해저터널 건설 및 운영에 필요한 지반조사, 설계 및 시공, 화재 및 유지관리 등 관련 기술개발 연구 기획

■ (범위 및 내용) 글로벌 교통 네트워크 허브 구축을 위한 해저터널 건설 기술 자립화를 위해 고수압 초장대 조건에서의 해저터널 건설기술 확보 및 ICT 기반 통합 화재 및 유지관리 기술 확보에 주력

■ (연구기간 및 예산)

◉ 총 연구기간: 2013.~ 2018.

◉ 연구비 예산: 360억 원

■ (세부 연구개발과제 현황)

◉ 본 사업의 중점연구는 크게 4개의 세부과제로 추진되어, 제1세부는 초장대 해저터널 계획을 위한 지질/지반 조사 기술, 제2세부는 국내자립형 초장대 해저터널 설계 및 시공을 위한 핵심 요소기술 개발로 구성, 제3세부는 해저터널 설계·시공 안정성 평가 기술 개발, 제4세부는 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술 개발로 구성하였음

- 초장대 해저터널 건설을 위한 기초 작업부터 완공 후 유지를 위한 최적의 기술을 개발하는 것으로 연계하여 수행하고자 각 세부과제를 구성함

- 글로벌 교통 네트워크 허브 구축을 위한 해저터널 건설기술 자립화를 목적으로 고수압 초장대 조건에서의 해저터널 기술을 확보하고 건설 ICT 기반 해저터널 통합 방배수 및 유지관리 기술 확보 추진

**<표 Ⅲ-6> 해저터널 연구단 연구개발과제 구성**

| 구분 | | 과제명 |
|---|---|---|
| 연구단 총괄 | | 해저터널 기술개발 연구단 |
| 1세부과제 | | 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발 |
| | 1-1 | 인공섬을 고려한 가상 해저터널 설계 |
| | 1-2 | 대심도 해저지반 및 지질정보 해석 기법 개발 |
| | 1-3 | 초장대 해저터널 설계 정수 도출을 위한 평가 기술 개발 |
| 2세부과제 | | 국내자립형 초장대 해저터널 설계 및 시공을 위한 핵심 요소기술 개발 |
| | 2-1 | 해저터널 자동화 설계•시공 및 리스크평가 기술 개발 |
| | 2-2 | 고수압 조건의 해저터널 시공 중 차수 및 보강 기술과 버력 처리 기술 개발 |
| | 2-3 | 유입수 제어 및 관리 시스템 개발 |
| | 2-4 | 내염해성 해저터널 지보재 개발 |
| 3세부과제 | | 해저터널 설계・시공 안정성 평가 기술 개발 |
| | 3-1 | 고수압 해저터널의 안정성 해석 및 내진 설계 기술 |
| | 3-2 | TBM 시공을 위한 고수압 굴진면 안정화 기술 |
| | 3-3 | 고수압하에서 세그먼트 이음부 방수 기술 |
| 4세부과제 | | 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술 |
| | 4-1 | 인공섬 최소화를 위한 30km급 환기 및 공기압 제어기술 |
| | 4-2 | 100MW급 화재 대응시스템 및 내화시스템 개발 |
| | 4-3 | 해저터널 대피환경 확보를 위한 연기확산 방지기술 개발 |
| | 4-4 | IT 기반 실시간 유지관리 기술 개발 |

## 해저터널 연구단의 실용화 성과물 추진현황

### (정량적 성과)

- (1세부) 20bar급 고수압 지반조사 현장적용 기법 개발

**<표 Ⅲ-7> (1세부) 성과 현황 및 계획**

| 구분(건) | 세부내용 |
|---|---|
| 특허출원 | • 고수압 해저지반 초기응력 측정용 완전 방수용 조사장치<br>• 해저지반 수리특성 조사장비 |
| 자체실시계약 | • 고수압 조건 토목구조물 설계를 위한 일체형 조사장치기반 대심도 수리특성 시험 기술 (추진 중) |
| 기타 | • 시제품 제작 3건 및 현장적용 2건 |

- (2세부) BIM 기반 설계 자동화와 시공 및 리스크 관리 시스템 개발, 급속 동결공법의 최적 설계안 및 시공법 개발 외 7건의 기술을 개발함

**<표 Ⅲ-8> (2세부) 성과 현황 및 계획**

| 구분(건) | 세부내용 |
|---|---|
| 특허출원 | • 도로 또는 터널의 선형설계 방법 및 그 기록매체<br>• 터널 설계를 위한 파라메트릭 선형 자동 변경 방법 및 이를 위한 프로그램을 기록한 기록매체<br>• 터널 설계 자동화 장치<br>• 액체냉매를 이용한 지반동결 방법 및 장치<br>• 최적화된 해저터널 라우팅 시스템<br>• 해저터널 리스크 관리를 위한 통신시스템<br>• 시공중 터널 원격 리스크 감시 관리를 위한 네트워크시스템<br>• TBM 디스크 커터 마모도 측정을 위한 실험장치 및 시험방법<br>• 슬러리 타입 TBM 디스크 커터 마모도 측정을 위한 시험장치 및 방법<br>• 모바일식 통합형 그라우팅 장비 및 이를 이용한 그라우팅 방법<br>• 급속 차폐 시스템<br>• 급속 차폐 시스템 및 그 제어방법<br>• 터널 차폐 시스템(쐐기형)<br>• 터널 차폐 시스템(와이어형)<br>• 터널 차폐 시스템(Inflater를 이용한 터널차폐 방법)<br>• 터널 차폐 시스템(하이브리드 인플레이터 구조) |
| 자체실시계약 | • BIM 기반 해저터널 설계 자동화 시스템 제작 기술 (추진 중)<br>• 해저터널 공정 및 리스크 관리 시스템 제작 기술(현인피씨엠+고려대학교) |
| 사업화 | • BIM 기반 해저터널 설계 자동화 시스템 제작 기술 |
| 기술이전 | • 막장압 및 뒷채움압 산정 프로그램 검증 완료 후 실제 설계에 적용하기 위한 기술이전 |

- (3세부) 고수압(최대 20bar)에 대응할 수 있는 EPDM Gasket 개발

**<표 Ⅲ-9> (3세부) 성과 현황 및 계획**

| 구분(건) | 세부내용 |
|---|---|
| 특허출원 | • TBM 터널용 고수압 지수 가스켓(국내)<br>• TBM 터널용 고수압 지수 가스켓(국제)<br>• 피씨(PC)용 지수재 |
| 자체실시계약 | • 고수압(20Bar) 조건의 EPDM Gasket (추진 중)<br>• Anchor type EPDM Gasket |
| 사업화 | • Anchor type EPDM Gasket |

- (4세부) 350km/hr급 고속주행 실현을 위한 댐퍼 및 덕트 시스템 개발, 100MW급 화재대응시스템 개발 및 TBM 세그먼트 표준 내화시험법 개발 외 6건

**<표 Ⅲ-10> (4세부) 성과 현황 및 계획**

| 구분(건) | 세부내용 |
|---|---|
| 특허출원 | • 해저터널 구조물의 시공방법<br>• 감압 덕트용 댐퍼 어셈블리 및 이를 이용한 해저터널 구조물<br>• 내화저수 마감재를 이용한 물분무 방식의 냉각 시스템을 구비한 터널 및 그 시공방법<br>• 분말 포소화약제와 압축공기 포소화액을 혼합하여 소화제로 사용한 하이브리드형 소화장치<br>• 에어커튼식 화연 차단장치 및 이를 적용한 지하구조물<br>• 철도터널 방화문<br>• 터널용 송풍기<br>• 지하구조물 주변 그라우팅 보강 지반 모니터링 센서 장치 |
| 자체실시계약 | • 세정식 이동형 집진 시스템<br>• 도로터널 국소환기 제어용 에어커튼 장치<br>• 장거리 배연을 위한 고정압 축류팬 |
| 기술이전 | • 무기계 염을 이용한 불연성 발포 단열재 제조기술<br>• 그라우팅 보강지반의 장기적인 손상 및 열화 발생 여부를 감지할 수 있는 센서 시스템<br>• 해저터널 횡단 안정성평가 프로그램<br>• 해저터널 종단 안정성평가 프로그램 |
| 신기술 | • 터널 화재시 연기확산 방지를 위한 농연(農煙) 재순환 에어커튼 시스템 |

(정성적 성과)

- 본 사업을 통해 장대터널에서 요구되는 요소 기술과 환기 및 방재에 관련된 기술뿐만 아니라, 고심도 해저터널 안정성 기술 확보

- 초장대 해저터널 건설로 도서~도서, 도서~내륙, 국가~국가 간의 연결이 가능해짐에 따라, 이를 통한 활발한 인적·물적 이동을 초래하고, 사회 문화적 교류 증대 가능성 확보

☞ 특히 해양과 대륙을 연결을 가능하도록 하여 무한한 잠재력을 가진 경제시장과 인접하여 주변 국가를 연결해주는 허브 역할 수행

- 해저터널 건설에 필요한 핵심 기술 개발을 통해 철도 운송비율 증진 전략 실행에 이바지 가능

- 해저터널 차수·보강용 그라우팅 시공기술을 개발 개발하였으며, 개발된 통합형 그라우팅 장비를 적용하여 지하수 차단 효과가 약 23배 이상 발생

■ (미흡한 부분) 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술로써 인공섬에 대한 연구를 초기에 수행하였으나, 연구범위의 조정으로 인해 완료되지 못함

◉ 해저터널 시공 중 뿐만 아니라 운영 중 초장대 터널 내부의 환경조성을 위해 환기설비가 필수적으로 필요함에도 불구하고, 수직구(발진구/환기구)를 위한 인공섬 연구가 진행되지 못함

- 이는 해저터널 건설 기술을 확보하더라도 도서 간 혹은 대륙 간을 연결하는 대규모 해저터널 건설 시, 안정성 확보가 불가능

- 따라서 본 사업을 통해 해저터널 내 수직구 및 연결부 시공기술에 대한 연구와 향후 인공섬을 조성을 고려할 수 있는 기술 연계 필요

◉ 해저터널 관련 요소기술은 확보된 상태이나, 실제 해저터널 현장 적용을 통한 실질적인 검증 미흡

- 해외의 대규모 프로젝트를 수주하기 위해서는 국내에서 旣 개발된 기술들을 실제 해저터널 현장에 적용이 우선되어야 함

# 다. 해저터널 관련 선행사업의 유사/중복 분석

## 해저시설물 차폐기술 개발 사업

- 국토교통부에서 운영 중인 '도시건축연구사업'은 기존의 무질서한 확장중심의 회색도시 개발에서 탈피하여 지속가능한 미래 첨단도시 설계 운영, 에너지 저감 및 친환경형그린 빌딩 등 기술개발 목표로 하고 있음

- 동 사업의 일환으로, 해저시설물 차폐기술 개발 사업을 추진하였으며, 이는 해저시설물 건설을 위한 차폐핵심기술 개발을 초점으로 함

**<표 Ⅲ-11> 해저시설물 차폐기술 개발 사업 현황**

<table>
<tr><th>과제명</th><th colspan="6">해저시설물 차폐기술 개발 사업</th></tr>
<tr><td>사업명</td><td colspan="6">도시건축연구사업</td></tr>
<tr><td>사업<br>목적</td><td colspan="6">해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을<br>위한 차폐 핵심기술의 개발</td></tr>
<tr><td>사업<br>기간</td><td colspan="6">'05 - ' 10</td></tr>
<tr><td>사업<br>시행<br>주체</td><td colspan="6">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="7">투자<br>실적<br>(백만원)</td><td colspan="2" rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">정부<br>연구비</td><td colspan="2">민간연구비</td><td rowspan="2">소계</td><td rowspan="2">합계</td></tr>
<tr><td>현금</td><td>현물</td></tr>
<tr><td></td><td>' 05</td><td>1,421</td><td>47.2</td><td>166.8</td><td>214</td><td>1,635</td></tr>
<tr><td></td><td>' 06</td><td>1,629</td><td>48.2</td><td>211.8</td><td>260</td><td>1,889</td></tr>
<tr><td></td><td>' 07</td><td>1,217</td><td>40.2</td><td>173.8</td><td>214</td><td>1,431</td></tr>
<tr><td></td><td>' 08</td><td>2,023</td><td>52.2</td><td>211.8</td><td>264</td><td>2,287</td></tr>
<tr><td></td><td>' 09</td><td>2,143</td><td>52.2</td><td>218.3</td><td>270.5</td><td>2,413.5</td></tr>
<tr><td>사업<br>내용</td><td colspan="6">• 해저지반 사전조사 및 정밀조사를 위한 탐사기법 정립<br>• 시추공을 이용한 3차원 초기응력 측정기술 개발<br>• IT 기반형 해저터널 자동화 계측 시스템 개발 및 계측자료의 관리, 해석, 평가<br>• 해저터널 주변의 손상영역 평가기술 개발 및 차수, 지수를 위한 그라우팅 설계기술 개발<br>• 해저시설물 설계에 직접 적용할 수 있는 수준의 결과 도출 및 설계기술의 메뉴얼 구축<br>• 대용량 배수재료 및 고수압하의 라이닝 수밀장치 개발<br>• 해저시설물 시공시 지질학적 불확실성 해저 환경하 적용 보강공법, 국착공법, 위험요인을 통합한 리스크 분석 및 공기/공사비 예측 프로그램 개발을 통한 최적 시공법의 도출</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

■ 해저시설물 차폐기술 개발 사업과의 중복성 검토

- 본 사업의 경우 기 개발된 해저터널 건설기술 고도화 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 지원하므로 해저시설물 기초·응용연구 단계의 기술개발과는 차별화됨

**<표 Ⅲ-12> 해저시설물 차폐기술 개발 사업과의 비교**

| 구분 | 해저시설물 차폐기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 해저시설물 건설에 필수적인 지반조사/계측/방배수/방재기술의 현격한 개선 및 해저시설물의 차폐에 관한 능동적인 개념의 핵심기술 개발 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '05년 - ' 10년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 84.3억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방·배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐핵심기술 개발에 주력 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 해저터널 관련 각 요소기술 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상이 상이함 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 각 세세부 과제의 연구성과는 현장 적용이 될 수준으로 개발이 되었으나 세세부과제 내용의 연계성이 결여 | • 기술로드맵을 작성을 통해 旣 개발된 기술들을 연계하여 기술개발 추진 |
| | • 각 개별 요소기술들의 현장 적용성 검증 및 현장 의견이 반영된 기술개발이 필요 | • 해저터널 건설 관련 현장 적용 검증이 가능한 전문가들을 대상으로 기술수요조사 추진 및 위원회 개최 |

출처 : 해저시설물 차폐기술개발 연구보고서. 국토교통부·국토교통과학기술진흥원, 2010.

### TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업

- 국토교통부에서 운영 중인 '건설기술연구사업'은 SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 등을 목표로 하고 있음

- 동 사업의 일환으로, TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업을 추진하였으며, 이는 외국기술에 100% 의존하고 있는 TBM 기술자립을 위한 핵심기술 개발을 초점으로 함

**<표 Ⅲ-13> TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 현황**

<table>
<tr><th>과제명</th><th colspan="7">TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업</th></tr>
<tr><td>사업명</td><td colspan="7">• 건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td>사업<br>목적</td><td colspan="7">• TBM장비에서 가장 핵심적인 커터헤드 설계기술을 확보하면서 TBM터널의 경쟁력 향상을 위한 공사비용 절감기술 개발을 목표로 설정함</td></tr>
<tr><td>사업<br>기간</td><td colspan="7">'10 - ' 15</td></tr>
<tr><td>사업<br>시행<br>주체</td><td colspan="7">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="7">투자<br>실적<br>(백만원)</td><td colspan="2" rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">정부<br>연구비</td><td colspan="2">민간연구비</td><td rowspan="2">소계</td><td rowspan="2">합계</td></tr>
<tr><td>현금</td><td>현물</td></tr>
<tr><td colspan="2">' 10</td><td>500</td><td>41</td><td>172</td><td>213</td><td>713</td></tr>
<tr><td colspan="2">' 11</td><td>2,802</td><td>235</td><td>873</td><td>1,108</td><td>3,910</td></tr>
<tr><td colspan="2">' 12</td><td>3,213</td><td>293</td><td>1,115</td><td>1,408</td><td>4,621</td></tr>
<tr><td colspan="2">' 13</td><td>618</td><td>63</td><td>258</td><td>321</td><td>939</td></tr>
<tr><td colspan="2">' 14</td><td>2,067</td><td>196</td><td>1,026</td><td>1,222</td><td>3,289</td></tr>
<tr><td>사업<br>내용</td><td colspan="7">• 재활용 TBM 시작품 제작 및 현장적용<br>• 재활용 TBM의 설계/조립/제작 (Test-Bed #2)<br>• 재활용 TBM의 시운전<br>• 재활용 TBM의 현장적용 및 굴진성능 평가<br>• 고성능 디스크커터의 현장적용<br>• 현장적용을 위한 고성능 디스크커터 완성품 제작<br>• 현장 실적용 및 성능 검증<br>• 고성능 디스크커터의 경제성/적용성 분석<br>• 고성능 세그먼트 및 이음부 개량구조의 현장적용<br>• 세그먼트 라이닝 자동화 설계기법의 적용<br>• 고성능 세그먼트 라이닝 활용기반 연구<br>• TBM터널의 막장전방 예측기술 및 시공리스크 관리시스템의 현장 적용성 검토<br>• TBM터널 최적 활용기반을 위한 지침서 제시 및 현장 적용</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

■ TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업과의 중복성 검토

- 본 사업의 경우 기 개발된 해저터널 건설기술 고도화 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 지원하므로 터널의 굴착기인 TBM 공법 관련 기술 개발과는 차별화됨

**<표 Ⅲ-14> TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 과의 비교**

| 구분 | TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 본 연구에서는 TBM의 독자 설계/제작을 위해 필수적인 TBM 커터헤드 설계기술과 이를 기반으로 TBM을 재활용하기 위한 설계/제작기술 확보와 더불어 NATM터널 대비 TBM터널의 경제성과 안정성 확보를 위한 핵심 부품/시공재료 및 리스크 최소화 기술 개발을 목표로 설정함 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '10년 - ' 15년 | ' 20년 ~ ' 28년 |
| 사업비 | 92억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 재활용 TBM 시작품 제작 및 고성능 디스크커터의 현장적용<br>• 고성능 세그먼트 라이닝 기술의 현장적용 및 활용지침 작성<br>• TBM터널 설계/시공 리스크 최소화 시스템의 현장적용성 평가와 관련 지침/정책 제시 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 본 연구를 통해 개발한 TBM 커터헤드 설계·제작기술의 경우 기존 TBM을 재활용하는데 국한 | • 기존에 개발된 기술들을 고도화 시켜 실증연구에 활용하므로써, 본 연구를 통해 국내 실적 확보 가능 |
| | • TBM 관련 요소기술 개발만 중점적으로 추진하므로써 실제 현장적용 필요 | • 요소기술 개발이 아닌 해저터널 관련 기술 실증연구를 중점적으로 추진 |

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

### TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업

- 국토교통부에서 운영 중인 '건설기술연구사업'은 SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 등을 목표로 하고 있음

- 동 사업의 일환으로, TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업을 추진하였으며, 이는 단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 국산화 기술 개발을 초점으로 함

**<표 Ⅲ-15> TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 현황**

<table>
<tr><th>과제명</th><th colspan="7">TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업</th></tr>
<tr><td>사업명</td><td colspan="7">• 건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td>사업<br>목적</td><td colspan="7">• 전단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 국산화 기술 개발을 위해, TBM의 주요 파트인 구동부, 제어부, 커터헤드 및 후방설비별로 핵심 원천 설계기술을 확보 및 국산화 TBM의 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발</td></tr>
<tr><td>사업<br>기간</td><td colspan="7">'17 - ' 21</td></tr>
<tr><td>사업<br>시행<br>주체</td><td colspan="7">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="3">투자<br>실적<br>(백만원)</td><td colspan="2" rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">정부<br>연구비</td><td colspan="2">민간연구비</td><td rowspan="2">소계</td><td rowspan="2">합계</td></tr>
<tr><td>현금</td><td>현물</td></tr>
<tr><td></td><td>' 17</td><td>956</td><td>38</td><td>313</td><td>351</td><td>1,307</td></tr>
<tr><td></td><td>' 18</td><td>2,248</td><td>81</td><td>704</td><td>785</td><td>3,033</td></tr>
<tr><td>사업<br>내용</td><td colspan="7">• TBM 구동부 시스템 기술 개발 (토사용 쉴드TBM)<br>• TBM 후방설비 시스템 기술 개발<br>• TBM 세그먼트 이렉터 자동화 시스템 설계기술 개발<br>• TBM 굴진용 운전·제어 시스템 기술 개발<br>• TBM 시뮬레이터 개발<br>• 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템 개발</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

## TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업과의 중복성 검토

- 본 사업의 경우 기 개발된 해저터널 건설기술 고도화 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 지원하므로 터널의 굴착기인 TBM 공법 관련 기술 개발과는 차별화됨

**<표 Ⅲ-16> TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업과의 비교**

| 구분 | TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 전단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 국산화 기술 개발을 위해,TBM의 주요 파트인 구동부, 제어부, 커터헤드 및 후방설비별로 핵심 원천 설계기술을 확보함과 더불어, 국산화 TBM의 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '17년 - ' 21년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 167억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • TBM 구동부 시스템 기술 개발 (토사용 쉴드 TBM)<br>• TBM 후방설비 시스템 기술 개발<br>• TBM 세그먼트 이렉터 자동화 시스템 설계기술 개발<br>• TBM 굴진용 운전·제어 시스템 기술 개발<br>• TBM 시뮬레이터 개발<br>• 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템 개발 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 국산 TBM 장비를 개발 및 굴착 시공까지 완료하였으나 해저터널 건설 사용 여부 증명 필요 | • 旣 개발된 장비를 해저터널 건설에 투입할 수 있도록 실증연구를 통해 기술 고도화 가능 |
| | • 국산화에 성공한 TBM 기술 실증 연구 부족 | • 실제 해외 초장대터널은 거의 대부분 TBM 공법으로 시공되었으며, 국내 TBM을 본 사업과 연계 가능 |

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

■ 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업

- 국토교통부에서 운영 중인 '건설기술연구사업'은 SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 등을 목표로 하고 있음

- 동 사업의 일환으로, 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업을 추진하였으며, 이는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수압 20bar 이상)을 받는 해저터널 건설기술을 확보하는데 초점으로 둠

**<표 Ⅲ-17> 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업 현황**

<table>
<tr><th>과제명</th><th colspan="7">고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발</th></tr>
<tr><td>사업명</td><td colspan="7">• 건설기술연구사업</td></tr>
<tr><td>사업<br>목적</td><td colspan="7">• 고수압 조건에서 다목적 하이브리드 해상 인프라 구축을 위한 해저터널 기술, 통합 방재 및 운영 기술 개발을 목표로 함</td></tr>
<tr><td>사업<br>기간</td><td colspan="7">'13 - ' 18</td></tr>
<tr><td>사업<br>시행<br>주체</td><td colspan="7">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="7">투자<br>실적<br>(백만원)</td><td colspan="2" rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">정부<br>연구비</td><td colspan="2">민간연구비</td><td rowspan="2">소계</td><td rowspan="2">합계</td></tr>
<tr><td>현금</td><td>현물</td></tr>
<tr><td></td><td>' 14</td><td>5,192</td><td>328.5</td><td>1,641.5</td><td>1,970</td><td>7,162</td></tr>
<tr><td></td><td>' 15</td><td>5,163</td><td>306.7</td><td>1,738.3</td><td>2,045</td><td>7,208</td></tr>
<tr><td></td><td>' 16</td><td>3,743.5</td><td>182.9</td><td>1,201.1</td><td>1,384</td><td>5,127.5</td></tr>
<tr><td></td><td>' 17</td><td>5,666</td><td>233.2</td><td>1,735.9</td><td>1,969.1</td><td>7,635.1</td></tr>
<tr><td></td><td>' 18</td><td>4,300</td><td>160.1</td><td>1,284.9</td><td>1,445</td><td>5,745</td></tr>
<tr><td>사업<br>내용</td><td colspan="7">• 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 적용성 평가 및 지반 특성 정량화 제시<br>• 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발 및 현장 적용성 검토<br>• 해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술 개발 및 적용성 검토<br>• 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술 성능 평가</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

■ 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업과의 중복성 검토

- 본 사업의 경우 기 개발된 해저터널 건설기술 고도화 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 지원하므로 해저터널 건설 기술에만 국한되어 있는 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술 개발 사업과는 차별화됨

**<표 Ⅲ-18> 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업과의 비교**

| 구분 | 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 국내 기술이 전무한 해저지반 지하에 건설되는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수업 20bar 이상)을 받는 해저터널 건설 및 운영에 필요한 지반조사, 설계 및 시공, 화재 및 유지관리 등 관련 기술개발 연구 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '13년 - ' 18년 | ' 20년 ~ ' 28년 |
| 사업비 | 360억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 글로벌 교통 네트워크 허브 구축을 위한 해저터널 건설 기술 자립화를 위해 고수압 초장대 조건에서의 해저터널 건설기술 확보 및 ICT 기반 통합화재 및 유지관리 기술 확보에 주력 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 초장대 해저터널 핵심기술 응용 및 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상 및 범위가 상이함 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술로써 인공섬에 대한 연구를 초기에 수행하였으나, 연구범위의 조정으로 인해 완료되지 못함 | • 본 사업을 통해 해저터널 내 수직구 및 연결부 시공기술에 대한 연구와 향후 인공섬을 조성을 고려할 수 있는 기술 연계 가능 |
| | • 해저터널 관련 요소기술은 확보된 상태이나, 실제 해저터널 현장 적용을 통한 실질적인 검증 미흡 | • 국내에서 旣 개발된 기술들을 실제 해저터널 현장에 적용하는 실증연구를 추진하여 해외의 대규모 프로젝트 수주 가능 |

출처 : 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발, The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers, 제62권 제7호, 2014.7.

# 3. 주요부처 유사/중복 사업 분석

## 가. 현황 분석 개요

■ 분석 배경 및 목적

◉ 현재 추진 중인 주요 부처별 R&D 사업에 대한 조사/분석을 통해 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업과의 유사 및 중복성을 검토하고, 해저터널·인공섬 사업 설계시의 연계성 및 차별화 방안을 도출

- 주요부처별 기술사업화 지원 사업의 규모 및 기간 등에 대한 조사를 통해 해저터널 기술개발 연구사업 설계의 개선방향 도출 및 세부내용 설계시의 참고자료로 활용

- 중점 분석 항목으로 사업목적, 사업 규모, 지원 분야, 지원 대상, 지원 내용, 단계별 지원여부 및 투자 연계형 지원여부 등을 분석

■ 주요 분석 대상 사업

◉ 본 사업과 목적지향적 측면에서 유사하다고 판단된 사업 조사·분석

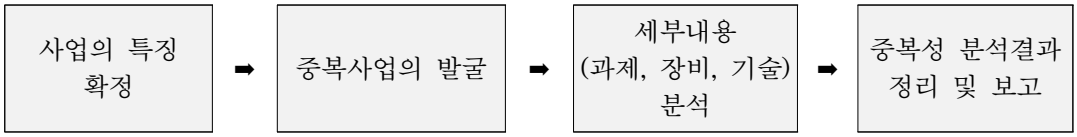
**<표 Ⅲ-19> 유사사업 분석대상**

| 부처 | 사업명 | 사업기간 | 사업목적 |
|---|---|---|---|
| 국토부 | 건설기술연구사업 | ’07 - 계속 | SOC 시설물의 전주기에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 |
| | 국토교통기술촉진연구사업 | ’07 - 계속 | 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구 인프라 구축 |
| 해수부 | 해양청정에너지기술개발 | ’00 - ’19 | 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화로 화석에너지 저감 및 세계시장 선점 |

출처 : 2018년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획 및 2018년도 해양수산과학기술 육성 시행계획 참조

- 전략과제 및 세부과제 도출 시, 관련 부처를 포함한 모든 부처의 기지원 과제를 대상으로 사업목적, 지원대상, 기술분야 등에 대한 유사·중복성을 사전에 검증

**[기존 사업과의 중복성 분석절차]**

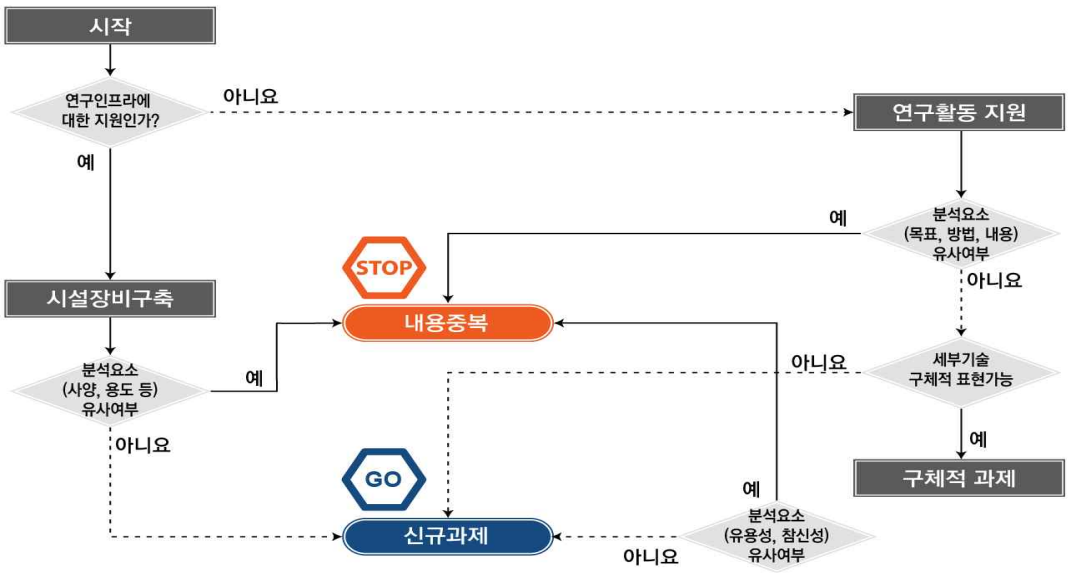



  * 중복성 비교대상사업은 평가원(KAIA) 연구시스템 및 국가기술지식정보서비스(NTIS)에 수록된 R&D 사업·과제의 조사·분석 통계를 활용

  * 키워드를 활용한 중복대상과제 검색 및 유사과제 검색을 이용하여 사업목표, 추진체계, 지원대상, 지원분야 비교 분석 실시

- 세부활동의 중복성 분석은 사업의 세부내용의 유사성에 대한 설명을 위하여 사용되며, 세부활동은 과제의 집합인 세부사업으로 표현될 수 있으며, 유사성은 비교대상의 크기에 따라 달라짐

  * 연구개발활동 지원과 관련된 과제는 과제중복 판단기준을 적용하며 연구 인프라 지원과 관련된 과제는 고유의 중복판단 기준을 적용함




〈그림 Ⅲ-6〉 유사·중복성 검토 추진계획

# 나. 본 사업과의 유사/중복사업 조사

## 국토교통부의 건설기술연구사업

국토교통부에서 운영 중인 '건설기술연구사업'은 SOC 전주기에 걸쳐 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 세계선도 등 건설기술력 제고를 목표로 하고 있음

**<표 Ⅲ-20> 건설기술연구사업 현황**

| 구분 | 건설기술연구사업 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사업 목적 | • SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발 | | | | | | | |
| 사업 기간 | '07 - 계속 | | | | | | | |
| 사업 시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | | | | | | | |
| 투자 실적 (백만원) | 구분 | | '07-'13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19~ |
| | 건설기술연구사업 | | 395,569 | 48,175 | 53,874 | 50,539 | 49,847 | 51,372 | 114,871 |
| | | 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술 | 90,691 | 3,196 | 3,632 | 5,774 | 5,822 | 3,254 | 9,133 |
| | | 건설재료 개발 및 활용 기술 | 73,198 | 13,798 | 13,934 | 6,658 | 6,356 | 9,402 | 37,584 |
| | | 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술 | 196,491 | 21,209 | 18,604 | 17,313 | 27,679 | 26,262 | 39,929 |
| | | 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술 | 35,189 | 9,972 | 17,704 | 20,794 | 9,990 | 12,454 | 28,225 |
| 사업 규모 ('18년) | • '18년도 22개 514억 원 지원(신규 4개, 계속 13개, 종료 5개) | | | | | | | |
| 사업 내용 | • 고부가가치 설계ENG 기술경쟁력 제고 및 해외시장 진출 지원을 위한 핵심기술 개발<br>• 신시장 창출을 위한 환경부하 저감 및 고성능·다기능 건설재료분야 원천기술 개발<br>• 건설생산성 제고를 위한 첨단기술 융합형 시공프로세스 혁신 및 특수구조물 자립건설 기술 개발<br>• 재난·재해로 인한 SOC 시설물 피해 사전예방·응급복구 및 성능중심의 선제적 유지관리 기술 개발 | | | | | | | |
| '18도 추진 내용 | • 사회기반구조물 안전성 강화와 선제적 유지관리를 위한 보수·보강 및 성능관리 기술, 고성능·다기능 건설재료 원천기술 집중 지원<br>• 건설산업 경쟁력 강화를 위한 기반기술, 고부가 메가스트럭처(교량·터널) 건설 및 고효율 시공을 위한 설계·시공분야 엔지니어링 기술 개발 지속 지원 | | | | | | | |

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

◉ ‘건설기술연구사업’과의 중복성 검토

- 본 사업의 경우 해저터널(Subsea tunnel)을 구축하기 위한 기술개발을 중점적으로 지원하므로 전체 SOC시설을 사업범위로 설정하여 진행되는 건설기술연구사업과는 차별화됨

**<표 Ⅲ-21> 건설기술연구사업과의 비교**

| 구분 | 건설기술연구사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 차세대 지속가능한 도로 및 초장대교량 기술개발<br>• 물 관리시스템 및 재해·안전 대응기술 개발<br>• 첨단재료 개발 및 IT기술을 접목한 프로세스 혁신 등 건설기술 전반의 혁신을 도모 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | ‘07년 ~ 계속 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 계속사업<br>(′ 13년까지 기투자액: 3,955억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | ‘17년도 498억 원 지원 | 연도별 약 100억 예상<br>(기획연구 수행 결과에 따라 사업기간 및 사업비는 달라질 수 있음) |
| 사업내용 | • 설계 엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술<br>• 건설재료 개발 및 활용 기술<br>• 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술<br>• 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 본 사업의 경우 해저터널 및 환기/방재용 인공섬을 구축하기 위한 기술 개발에 초점을 두고 있어, 사회기반구조물(교량·터널·특수구조물) 전체를 사업범위로 설정하여 진행되는 건설기술연구사업과는 차별화됨 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업에서 다루지 않는 기술개발 내용이 대부분임 | • 기존 연구의 원천기술을 기반으로 해저터널·인공섬 건설을 위한 실증 기술개발이 가능 |
| | • 재해·안전 대응기술 개발을 위하여 시설물별 현재 수준 파악 및 위험성 평가기술 개발이 필요 | • 스마트한 환기 및 화재대응 기술개발을 개발하여 다양한 위험상황에 즉각적인 대응 가능 |
| | • 시설물 유지관리를 위한 통합관리시스템 구축에 대한 내용이 없음 | • 데이터 기반의 통합관리시스템을 구축하여 시설물에 해저터널에 최적화된 유지관리 가능 |

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

## 국토교통기술촉진연구사업

국토교통기술촉진연구사업은 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구 인프라 구축을 목표로 하고 있음

**<표 Ⅲ-22> 국토교통기술촉진연구사업 현황**

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="8">국토교통기술촉진연구사업</th></tr>
<tr><td>사업 목적</td><td colspan="8">• 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구인프라 구축</td></tr>
<tr><td>사업 기간</td><td colspan="8">’07 - 계속</td></tr>
<tr><td>사업 시행 주체</td><td colspan="8">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="8">투자 실적 (백만원)</td><td colspan="2">구분</td><td>‘07-’13</td><td>‘14</td><td>‘15</td><td>‘16</td><td>‘17</td><td>‘18</td><td>‘19~</td></tr>
<tr><td colspan="2">국토교통기술 촉진연구</td><td>101,922</td><td>47,896</td><td>58,329</td><td>56,278</td><td>54,291</td><td>53,643</td><td>계속</td></tr>
<tr><td>창의도전연구</td><td>39,730</td><td>27,000</td><td>26,549</td><td>26,099</td><td>27,975</td><td>32,055</td><td>계속</td></tr>
<tr><td>글로벌 기술협력</td><td>5,951</td><td>1,296</td><td>2,500</td><td>2,967</td><td>2,666</td><td>2,427</td><td>계속</td></tr>
<tr><td>연구장비 인프라</td><td>6,000</td><td>19,600</td><td>29,280</td><td>27,212</td><td>23,650</td><td>19,161</td><td>16,847</td></tr>
<tr><td>공공기반기술</td><td>46,924</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>정책개발</td><td>3,317</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>사업 규모 ( ‘18년)</td><td colspan="8">• ‘18년도 170개 536억 원 지원(신규 46개, 계속 21개, 종료 103개)</td></tr>
<tr><td>사업 내용</td><td colspan="8">• (창의도전연구) 국토교통분야의 중장기 전략에 따라 미래 핵심원천기술 개발 및 연구자의 창의적 아이디어 발굴·지원하고 국민의 실생활과 밀접하게 관련 있는 국토교통분야 사회이슈를 연구주제로 선정하여 사회문제 해결을 위한 시의성 있는 과제를 지원<br>• (글로벌기술협력) 해외시장 진출 기반 구축을 위해 다자간 국제기술 협력을 지원하고 신시장 개척을 위한 정보조사 및 교류 등 협력체계 구축 지원<br>• (연구장비 인프라) 국제적 수준의 연구성과 성능·안전성 등을 검증하기 위한 실험장비와 대형 인프라 실험센터 구축 및 성능 고도화 지원, 실험시설 운영 효율화 및 표준 시험기준 개발</td></tr>
<tr><td>’18년도 추진 내용</td><td colspan="8">• 기초원천연구, 사회이슈 해결을 위한 창의도전분야 지원 확대<br>• 국토교통분야의 글로벌 기술역량 강화와 기술교류 지원을 위한 국제공동연구 등 지원 유지<br>• 2단계 실험시설 적기 구축 및 1단계 실험시설 성능 고도화 등 국토교통연구기반 조성을 위한 연구장비 인프라 지속 지원</td></tr>
</table>

출처 : 국토교통과학기술진흥원 홈페이지 참조

◉ '국토교통기술촉진연구사업'과의 중복성 검토

- 국토교통기술촉진연구사업은 민간의 아이디어를 활용한 미래원천기술 발굴 및 연구장비·대행 실험시설 등 인프라 구축을 위해 중점적으로 지원하므로써 신형식 구조물인 해저터널 건설 기술 개발을 지원하는 본 사업의 연구대상 및 목적이 상이함

**<표 Ⅲ-23> 국토교통기술촉진연구사업과의 비교**

| 구분 | 국토교통기술촉진연구사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구인프라 구축 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '07 ~ 계속 | '20년 ~ '28년 |
| 사업비 | 계속사업<br>('13년까지 기투자액: 1,019억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | '18년도 536억 원 | 연도별 약 100억 예상<br>(기획연구 수행 결과에 따라 사업기간 및 사업비는 달라질 수 있음) |
| 사업내용 | • (창의도전연구) 민간의 독창적이고 혁신적인 아이디어를 활용한 미래 원천기술 발굴 등 - 기초원천, 창조형 모험, 첨단융합 사회이슈해결<br>• (글로벌기술협력) 해외 우수연구기관과의 국제공동연구 및 기술협력 지원<br>• (연구 장비 인프라) 연구 장비, 대형 실험시설 등 연구 인프라 구축 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 창의도전 연구, 연구 장비 인프라, 정책개발 등 국토교통 기술 촉진을 위한 연구인프라에 초점이 두는 반면, 해저터널, 인공섬 등 차세대 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과는 연구대상이 다름 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 상기사업의 과학적 성과에서 나타난 기초연구의 결과를 활용하여 후속연구를 추진할 수 있는 개선방안 미비<br>• 국내 인프라 첨단 연구 개발 공용장비 등 인프라 중심의 네트워크를 구축하였으나, 동 장비 및 시설을 활용할 전문 인력 양성 필요 | • 국토교통기술촉진연구사업의 핵심 원천기술을 기반으로 해저터널에 특화된 기술개발이 가능 |

출처 : NTIS

## 해양청정에너지기술개발사업

해양청정에너지기술개발사업은 미래해양산업기술개발, 해양장비 개발 및 인프라 구축 등을 개발하는 내용으로, 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중저감 및 관련 세계시장 선점을 목표로 추진 중임

**<표 Ⅲ-24> 해양청정에너지기술개발사업 현황**

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="7">해양청정에너지기술개발</th></tr>
<tr><td>사업<br>목적</td><td colspan="7">• 자원 부존량이 풍부하고 발전효율이 높은 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중 저감 및 관련 세계시장 선점</td></tr>
<tr><td>사업<br>기간</td><td colspan="7">′ 00년 ~ ′ 19년</td></tr>
<tr><td>사업<br>시행<br>주체</td><td colspan="7">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td rowspan="6">투자<br>실적<br>(백만원)</td><td colspan="2" rowspan="2">구분</td><td rowspan="2">‘15<br>까지</td><td rowspan="2">‘16</td><td rowspan="2">‘17</td><td colspan="3">‘18</td></tr>
<tr><td>계속</td><td>신규</td><td>합계</td></tr>
<tr><td colspan="2">해양청정에너지기술개발</td><td>107,310</td><td>9,699</td><td>12,299</td><td>15,006</td><td>-</td><td>15,006</td></tr>
<tr><td>해양에너지 단위<br>실용화 기술개발 및<br>인프라 구축</td><td>84,845</td><td>7,499</td><td>9,206</td><td>11,913</td><td>-</td><td>11,913</td></tr>
<tr><td colspan="2">복합발전 기술개발</td><td>15,165</td><td>700</td><td>1,730</td><td>1,730</td><td>-</td><td>1,730</td></tr>
<tr><td colspan="2">전문인력 양성</td><td>7,300</td><td>1,500</td><td>1,363</td><td>1,363</td><td>-</td><td>1,363</td></tr>
<tr><td>사업<br>규모<br>( ‘18년)</td><td colspan="7">• ’ 18년도 150억 원(신규 개, 계속 개, 종료 개)</td></tr>
<tr><td>사업<br>내용</td><td colspan="7">• (해양에너지 단위 실용화 기술개발 및 인프라 구축)해양에너지 개발/이용/보급을 위한 조류, 파력, 해수온도차 등 해양에너지원별 발전 시스템 개발 및 실해역 실증인프라 구축<br>• (복합발전 기술개발) 해양에너지의 효율성 및 활용도 제고를 위한 복합발전 기술개발<br>• (전문인력 양성) 해양에너지 개발 및 산업화에 대비하여 해양에너지 분야의 전문인력 양성</td></tr>
<tr><td>’ 18년도<br>추진<br>내용</td><td colspan="7">• (해양에너지 단위 실용화 기술개발 인프라 구축) 1MW급 해수온도차발전 실증플랜트 개발, 파력발전 실해역 시험장 구축, 조류 발전 실해역 시험장 구축<br>• (복합발전 기술개발) 방파제 연계형 파력발전 융복합 기술개발<br>• (전문인력 양성) 해양에너지 융복합 인력양성 지원, 해양에너지 R&D 프로젝트 기반 인력양성 지원, 해양플랜트 서비스산업 인력양성 지원</td></tr>
</table>

출처 : 2018년도 해양수산 과학기술 육성 시행계획, 해양수산부·해양수산과학기술진흥원, 2017.12.

◉ '해양청정에너지기술개발사업'과의 중복성 검토

- 해양청정에너지기술개발 사업은 화석에너지 대신 해양청청에너지를 활용하기 위한 조류, 파력 등의 인프라 구축 등 해양에너지 분야에 한정되어 있어, 본 사업의 연구대상 범위 및 목적이 다름

**<표 Ⅲ-25> 해양청정에너지기술개발과의 비교**

| 구분 | 해양청정에너지기술개발 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 자원 부존량이 풍부하고 발전효율이 높은 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중 저감 및 관련 세계시장 선점 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | ′ 00년 ~ ′ 19년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 계속사업<br>(′ 17년까지 기투자액: 1,293억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 해양수산부, 해양수산과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | ′ 17년도 150억 원 | 연도별 약 100억 예상<br>(기획연구 수행 결과에 따라 사업기간 및 사업비는 달라질 수 있음) |
| 사업내용 | • 해양에너지 단위 실용화 기술개발 및 인프라 구축<br>• 해양에너지의 효율성 및 활용도 제고를 위한 복합발전 기술개발<br>• 해양에너지 개발 및 산업화에 대비하여 해양에너지 분야의 전문인력 양성 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 해양청정에너지 기술 촉진을 위한 해양에너지 관련 기술개발에 중점적으로 지원하는 반면, 해저터널, 인공섬 등 차세대 국토인프라 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과는 연구대상이 다름 | |
| 미비점 보완대책 및 연계방안 | • 본 사업을 통해 개발된 기술의 산업적 활용을 위해 민간 기업의 역할이 주도적으로 이루어져야 함에도 불구하고, 실질적으로 민간 기업의 참여율이 저조 | • 해저터널 및 인공섬 개발 관련 민간기업의 참여 확대를 통해 개발기술의 사업적 활용 촉진 가능 |
| | • 본 사업의 내용에 맞는 에너지원 기술개발에 집중·추진 필요 | • 해저터널 실증기술 및 인공섬 핵심기술 개발을 통해 고부가가치 창출이 가능한 특수구조물 개발 가능 |
| | • 향후 해양에너지 분야의 환경규제 개선 등 전반적인 제도 검토 부족 | |

출처 : 해양수산과학기술진흥원 홈페이지 참조.

# 다. 기존 과제와의 중복성 검토

(중점분야1) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소기술 고도화

키워드: 설계, 시공, 저감(리스크, 소음 등), 콘크리트, 재료, 장비, 지질·지반, 모니터링, 의사소통

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야(중분야기준) | | |
| 과학기술정보통신부 | 개인기초연구(과기정통부) | 2018-09 2021-08 | 재활용 플라스틱을 혼입한 고강도 폴리머 콘크리트 파일 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 재료의 재활용을 통한고강도 폴리머 콘크리트 파일을 개발하는 것으로 해저터널을 구성하는 주요 구성 요소들을 대상으로 급속시공을 위한 첨단재료와 시공 기술의 개발과는 그 적용 대상 자체에 차별성이 있음 | 기존 기술은 다양한 학문의 융합이 요구되는 기술로써 기개발된 고강도 폴리머 콘크리트 배합기술을 통해 고수압하에서의 저비용 그라우팅 기술, 세그먼트간 고기밀성 향상 기술 개발 등에 활용될 수 있음 |
| 교육부 | 개인기초연구(교육부) | 2018-06 2022-05 | 수압에 의한 해수 침지 콘크리트의 실험기법 및 염해 투수해석 기법의 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 해양 환경에 건설되는 콘크리트의 염해에 의한 특성 평가를 위한 실험과 해석 기법 개발을 목표로 하는 것으로 해저터널을 구성하는 주요 구성 요소들을 대상으로 급속시공을 위한 첨단재료와 시공 기술의 개발과는 그 적용 대상 자체에 차별성이 있음 | 기존 기술은 다양한 학문의 융합이 요구되는 기술로써 기개발된 해양환경 하에서의 콘크리트 특성에 대한 신뢰도 높은 평가 기술 결과는 고수압하에서의 저비용 그라우팅 기술, 세그먼트간 고기밀성 향상 기술 개발 등에 활용될 수 있음 |
| 교육부 | 개인기초연구(교육부) | 2018-06 2022-05 | 방사성폐기물 심지층처분시설 건설을 위한 고내구성 시멘트계 재료 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 방사성폐기물 처리를 위한 고내구성 시멘트계 재료 개발 연구로써 극한해양환경하에 건설되는 해저터널을 구성하는 주요 구성 요소들을 대상으로 급속시공을 위한 첨단재료와 시공 기술의 개발과는 그 | 기존 기술은 다양한 학문의 융합이 요구되는 기술로써 기개발된 방사성 환경과 같은 특수 환경하에서의 고내구성 시멘트계 재료 개발에 대한 원천 기술은 고수압하에서의 저비용 그라우팅 기술, 세그먼트간 고기밀성 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야(중분야 기준) | | |
| | | | | | | 적용 대상 자체에 차별성이 있음 | 향상 기술 개발 등에 활용될 수 있음 |
| 중소벤처기업부 | 산학연협력기술개발 | 2018-06<br>2019-05 | 전자기파를 이용한 3차원 실시간 세굴 모니터링 시스템 개발 | O | 자신관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 전자기파를 이용한 3차원 실시간 세굴 모니터링 시스템 개발 연구로써 극한해양환경하에 건설되는 해저터널을 구성하는 주요 구성요소들을 대상으로 반영구적이며 전자기파 영향을 받지 않는 표면 부착형(또는 고정식) 광섬유 센서를 활용한 모니터링 개발 기술은 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 일반적으로 압력, 해수유입, 염화, 진동, 질식, 화재 등 해저터널에서 발생 가능한 문제를 야기할 수 있는 수압, 토압, 열화, 환기, 화재방재 등 장대 해저터널의 구조물의 상태와 성능을 평가하기 위한 물성 측정용 고정식 모니터링 센서 기술 개발 등에 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 건설기술연구 | 2017-04<br>2021-12 | TBM 운전・제어 시스템 및 커터헤드의 최적화 설계기술 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 국내 최초 중대형 쉴드TBM 구동부(운전/제어), 후방설비 시스템 및 커터헤드의 설계자동화 기술 개발 등을 목표로하는 본 연구에 연계하여 저비용 TBM 커터교환 기술, 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 등과 같은 고도화 기술 개발로써 차별성이 있음 | 기개발된 국내 최초의 중대형 쉴드TBM 관련 기술 개발 결과들과 연계하여 저비용 TBM 커터교환 기술, 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 등과 같은 고도화 연구 개발을 수행함 |
| 국토교통부 | 국토교통기술촉진연구 | 2017-04<br>2018-12 | 일반 심발발파 대비 30% 지반진동 저감 및 95% 굴진효율을 위한 심발 중앙 다중 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 일반 심발발파 대비 지반진동 저감 과 굴진효율 향상을 위한 패키지 하이브리드 기술과 장치 개발을 목표로 하는 기존 연구는 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발과 시공기술 고도화 목표는 그 적용 대상과 기술에 큰 | 기존 기술은 심발발파 대비 지반진동 저감 및 굴진효율 향상 기술 개발로써 터널 내 공동구 급속시공 기술 개발 등과 같은 초장대 해저터널의 설계/시공 고도화 기술 개발을 목표로 하는 본 연구와 연계한 원천기술로 활용할 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| | | | 인공절리 및 폴리머 겔 패키지 하이브리드 기술 및 장치개발 | | | 차별성이 있음 | |
| 교육부 | 이공학 학술연구기반 구축 | 2016-09 2017-08 | 고수압 조건에서 TBM 디스크 커터의 암석절삭에 관한 연구 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 고수압 조건에서 디스크 커터의 암석 절삭 메커니즘 규명을 위한 기초연구로써 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 TBM 고도화 기술 개발을 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 저비용 TBM 커터교환 기술 등과 같은 고도화 기술 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 해양수산부 | 해양수산연구기획사업 | 2015-10 2016-04 | 3D Concrete Printer를 이용한 수중콘크리트 시공기술 개발 기획연구 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 3D Concrete Printer를 이용한 수중콘크리트 시공을 요소 기술 확보를 위한 기초연구로써 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 해양수산부 | 해양수산연구기획사업 | 2015-10 2016-04 | 수중 3D 콘크리트 프린터 요소기술 연구 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 3D Concrete Printer를 이용한 수중콘크리트의 요소 기술 확보를 위한 기초연구로써 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| 국토교통부 | 건설기술연구 | 2013-06 2018-12 | 해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술 개발 | O | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 국내 기술이 전무한 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 초장대, 고수압 해저터널 설계/시공시의 안전성 평가 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구와는 달리 해저터널 및 인공섬의 설계/시공에 필수적인 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로 하는 본 연구와는 개발 목표와 내용에는 큰 차별성이 있음 | 해저터널의 설계에 필수적인 지반공학적인 정보의 구현, 3D BIM 객체의 구조 안전 해석, 터널 설계 자동화 및 실시간 공정관리 기능 등이 가능한 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 건설기술연구 | 2013-06 2018-12 | 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발 | O | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 국내 기술이 전무한 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 초장대, 고수압 해저터널 설계/시공시 핵심 요소 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구와는 달리 해저터널 및 인공섬의 설계/시공에 필수적인 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로 하는 본 연구와는 개발 목표와 내용에는 큰 차별성이 있음 | 해저터널의 설계에 필수적인 지반공학적인 정보의 구현, 3D BIM 객체의 구조 안전 해석, 터널 설계 자동화 및 실시간 공정관리 기능 등이 가능한 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 건설기술연구 | 2013-06 2018-12 | 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발 | O | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 국내 기술이 전무한 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 초장대, 고수압 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구와는 달리 해저터널 및 인공섬의 설계/시공에 필수적인 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로 하는 본 | 해저터널의 설계에 필수적인 지반공학적인 정보의 구현, 3D BIM 객체의 구조 안전 해석, 터널 설계 자동화 및 실시간 공정관리 기능 등이 가능한 BIM 통합 플랫폼 개발을 목표로하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| | | | | | | 연구와는 개발 목표와 내용에는 큰 차별성이 있음 | |
| 국토교통부 | 건설기술혁신사업 | 2011-12 2014-12 | 경제성 향상 및 누수 저감이 가능한 세그먼트 터널 라이닝의 강선식 체결기술 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 경제성이 향상된 고내구성 세그먼트 터널 라이닝의 체결기술 개발을 목표로 하는 기존 연구는 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발을 통해 해저터널 시공 기술 고도화를 수행하고자 하는 본 연구와 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템과 아진공 상태를 고려한 터널 세그먼트라이닝 시스템 개발 등과 같은 초장대 해저터널 급속시공 고도화 기술을 개발을 목표로하는 본 연구에 연계기술로 활용할 수 있음 |
| 교육부 | 학문후속세대양성지원(과학기술계) | 2009-09 2012-08 | 지반동결공법을 이용한 친환경 복원드레인 시스템의 오염토양 정화기술 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 지반동결공법을 이용한 친환경 복원드레인 시스템의 오염토양 정화기술 개발을 목표로 하는 기존 연구는 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 챔버 그라우팅 기술 개발 등을 통한 해저터널 시공 기술 고도화를 수행하고자 하는 본 연구와 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 막장면 챔버 그라우팅 기술 개발 등과 같은 초장대 해저터널 급속시공 고도화 기술을 개발을 목표로하는 본 연구의 기초기술로 활용할 수 있음 |
| 산업통상자원부 | 청정제조기반산업원천기술개발사업 | 2009-06 2011-05 | 개질유황 제조기술 개발과 고기능성 개질유황 콘크리트 적용 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 고기능성 개질유황 콘크리트 제조 및 적용 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구는 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 고기능성 개질유황 콘크리트 제조와 적용 기술 개발로써 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| 중소벤처기업부 | 중소기업상용화기술개발 | 2009-06 2010-05 | 고강도 콘크리트용 폭렬 방지 보드 상용화 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 화재안정성 확보 차원의 고강도 콘크리트용 폭렬 방지 보드 상용화 기술 개발은 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 고강도 콘크리트용 폭렬 방지 보드 상용화 기술 개발로써 합성섬유를 활용한 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 중소벤처기업부 | 기업협동형기술개발 | 2009-06 2011-05 | 콘크리트 구조물의 수축제어형 고분산형 유동화제 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 콘크리트 구조물의 수축제어형 고분산형 유동화제 개발을 목표로 하는 기존 연구는 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화를 하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 콘크리트 구조물의 수축제어형 고분산형 유동화제 개발로써 합성섬유를 활용한 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 교육과학기술부 | 일반연구자지원 | 2009-05 2011-04 | 해양풍력 기초시스템 개발을 위한 해저지반 조사 및 평가기법개발 | O | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 해양풍력 기초시스템 개발을 위한 해저지반 조사 및 평가기법개발을 목표로 하는 기존 연구는 BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템을 구축하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 해저지반 조사 및 평가기법개발로써 Big Data 기반 TBM 터널 전방 조사/예측 기술 개발 등을 통한 BIM 플랫폼기반 조사/관리시스템 구축 기술 개발과 연계하여 활용할 수 있음 |
| 중소벤처기업부 | 산학연공동기술개발( | 2006-10 2007-04 | 콘크리트 구조물의 중성화 방지용 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 콘크리트 구조물의 중성화 방지용 세라믹계 복합도료 기술 개발은 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 | 기존 기술은 콘크리트 구조물의 중성화 방지용 세라믹계 복합도료 개발로써 합성섬유를 활용한 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| | 균특) | | 세라믹계 복합도료 개발 | | | 첨단재료개발을 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 중소벤처기업부 | 중소기업기술혁신개발 | 2006-09<br>2007-08 | Water-borne epoxy resin과 시멘트를 이용한 콘크리트 구조물 보강용 유·무기 하이브리드 판넬 및 주입제 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 콘크리트 구조물 보강용 유/무기 하이브리드 판넬 및 주입제 개발은 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료개발을 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 Water-borne epoxy resin과 시멘트를 이용한 콘크리트 구조물 보강용 유/무기 하이브리드 판넬 및 주입제 개발로써 합성섬유를 활용한 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |
| 과학기술정보통신부 | 국제공동연구사업 | 2003-07<br>2004-06 | 지능형 터널 모니터링 Expert System 개발 | O | 자신관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 궁극적으로 NATM 터널을 목표로 계측과 인공지능(AI), 전문가시스템, 가시화 기술 등과 모니터링 접목 기술 개발은 TBM 공법이 적용되는 초장대 해저터널의 스마트 케어 시스템 개발을 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 계측과 인공지능(AI), 전문가시스템, 가시화 기술 등과 모니터링 접목 기술 개발로써 IoT기반 및 빅데이타 기술 기반의 초장대 해저터널 스마트 케어 시스템 개발을 목표로하는 본 연구의 기술들과 연계하여 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 산학연공동연구 | 2001-08<br>2003-08 | 세라믹메탈제를 적용한 수중콘크리트 구조물의 보수, 보강공법 개발 | O | 해저터널 시공기술 고도화 | 세라믹메탈제를 적용한 수중콘크리트 구조물의 보수/보강공법의 개발을 목표로 하는 기존 연구는 초장대 해저터널의 급속시공을 위한 첨단재료를 개발 하고자하는 본 연구와는 그 적용 대상과 기술에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 수중콘크리트 구조물의 보수/보강공법 상요화 기술 개발로써 합성섬유를 활용한 초고강도 및 강성 세그먼트 개발을 목표로 하는 본 연구의 원천기술로 활용할 수 있음 |

(중점분야2) 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술개발

키워드: 부유식, 착저식, 설계·시공, 환기, 화재, 방재, 대응, 재난, 안정성 평가

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계 방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| 산업통상자원부 | 신재생에너지핵심기술개발 | 2016-12 2019-09 | 해상공사비 절감을 위한 해상풍력 자켓 지지구조 일체화 설계 및 시공기술 개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 해상풍력 자켓 지지구조의 일체화 설계 및 시공기술을 목표로 하는 기존 연구는 장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와 그 적용 대상에 큰 차별성이 있음 | 기존 기술은 공사비 절감을 위한 해상풍력 자켓 지지구조의 일체화 설계 및 시공기술 개발로써 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 개발을 목표로 하는 본 연구와 연계기술로 활용할 수 있음 |
| 교육부 | 개인기초연구(교육부) | 2016-11 2019-10 | 터널 굴착면 안정성 평가기술 및 붕괴대응 관리 시스템 개발 | O | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 터널 굴착면의 안정성 평가기술 및 붕괴대응 관리 시스템 개발을 목표로 하는 기존 연구는 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술을 목표로 하는 본 연구와 그 적용 대상과 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 터널 굴착면의 안정성 평가기술 및 붕괴대응 관리 시스템 기술은 인공섬을 포함한 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술 개발을 목표로 하는 본 연구와 연계기술로 활용할 수 있음 |
| 교육부 | BK21플러스사업(0.5) | 2016-03 2019-02 | 해상 LNG 벙커링 터미널을 위한 신개념 부유체 구조물 개념 설계 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 | 해상 LNG 벙커링 터미널을 대상으로 신개념 부유체 구조물의 개념 설계 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구는 장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 | 기존 기술은 해상 LNG 벙커링 터미널을 대상으로 신개념 부유체 구조물의 개념 설계 기술 개발로써 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계 방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| | | | | | 설계/설치 기술 | 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와 그 적용 대상에 큰 차별성이 있음 | 개발을 목표로 하는 본 연구와 연계기술로 활용할 수 있음 |
| 국민안전처 | 재난안전 기술개발 기반구축 | 2014-06 2016-05 | 철도차량용 화재수신기 개발 | O | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 철도 차량용 화재 수신기 개발을 목표로 하는 기존 연구는 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술을 개발하고자 하는 본 연구와 그 적용 대상에 큰 차별성이 있음 | 개발된 철도 차량용 연기 감지 센서 신호 처리, 정온센서 회로 등은 안전한 해저터널을 목표로 스마트 환기 및 화재 대응 기술을 개발하고자 하는 본 연구의 기초 연구결과로써 활용될 수 있음 |
| 과학기술정보통신부 | 개인연구 지원 | 2014-05 2017-04 | 부유식 해상구조물의 3차원 유탄성 해석 프로그램 개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 부유식 해상구조물과 파랑의 3차원 유탄성 해석 프로그램 개발을 목표로 하는 기초연구로써 장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와는 세부 개발 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 부유식 해상구조물과 파랑상호작용을 고려한 3차원 해석 기술은 초대형 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 개발을 목표로 하는 본 연구와 연계기술로 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 건설기술 연구 | 2013-06 2018-12 | 해저터널 설계/시공시 안정성 평가 기술 개발 | O | 해저터널의 효율적 시공을 | 국내 기술이 전무한 대륙간/도서간/연육간을 연결하는 초장대/고수압 해저터널 | 해저터널을 포함한 착저식 인공섬의 설계와 시공에 필수적인 적화된 한계상태 설계기술, 모듈형 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계 방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| | | | | | 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 설계/시공시의 안전성 평가 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구와는 달리 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 목표로 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 세부개발 기술 내용 등에 큰 차별성이 있음 | 프리캐스트 구조체 자동화 시공 및 극한환경 대응 가능한 내구성 확보 기술 등을 개발 목표로하는 본 연구와의 연계 및 고도화 연구로 활용할 수 있음 |
| 국토교통부 | 건설기술연구 | 2013-06 2018-12 | 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술 개발 | O | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리와 관련된 핵심 기술 개발을 목표로 하는 기존 연구는 스마트 기술 등을 활용한 안전한 해저터널 구축 기술을 개발하고자 하는 본 연구의 세부 기술들과 큰 차별성이 있음 | 기존 연구는 초장대 해저터널의 환기 안전성 및 승객의 쾌적성 확보 등의 측면과 관련된 핵심 기술 개발로써 AI 기반 통합 운영/제어 시스템 기술의 융/복합을 통한 스마트 환기 및 화재 대응 기술을 개발하고자 하는 본 연구와의 연계 및 고도화 연구로 활용할 수 있음 |
| 교육부 | 이공학개인기초연구지원 | 2013-06 2016-05 | 부유식 풍력발전기 개발을 위한 해양환경모사 (풍하중 및 파랑하중) 기반 스케일특성 및 운동예측기술개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 부유식 풍력발전기 개발을 위한 해양환경모사 기반 스케일특성 및 운동예측 기술 개발을 목표로 하는 기초연구로써 장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와 적용 대상과 기술들에 큰 차별성이 있음 | 기존 연구는 부유식 풍력발전기를 대상으로 해양환경모사 및 상호동적 운동예측 기술을 신개념 부유체 구조물의 개념 설계 기술 개발로써 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 개발을 목표로 하는 본 연구의 기초자료로써 활용할 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계 방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| 산업통상자원부 | 한국건설기술연구원연구운영비지원 | 2012-01 2012-12 | 콘크리트 부유식 해상인프라 건설기술 개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 부유식 콘크리트 해상인프라 건설기술 개발을 목표로 하는 기초연구로써 장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공을 개발하고자 하는 본 연구와는 세부 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 콘크리트 기반 복합 구조형식의 하이브리드 부유구조체 설계와 관련된 기초 기술들은 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 개발을 목표로 하는 본 연구의 기초자료로써 활용할 수 있음 |
| 산업통상자원부 | 신재생에너지융합원천기술개발(전력기금) | 2011-09 2014-08 | 심해용 부유식 풍력발전 substructure/platform 기반 기술개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 심해용 부유식 풍력발전 구조 및 플랫폼 기반기술 개발을 목표로 하는 실용화연구로써 초장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 세부 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 심해용 부유식 풍력발전 구조체의 설계/시공과 관련된 응용 기술로써 초대형 부유식 구조물의 연결부 설계 및 구조적 안정성 확보 기술 등의 개발을 목표로 하는 본 연구와의 연계 및 고도화 연구로 활용할 수 있음 |
| 산업통상자원부 | R&D특구육성 | 2010-11 2011-11 | 노르웨이 및 유럽형 DAB/DMB 재난방송 시스템(노르웨이) | O | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 재난방송 응용 상용화 기술 개발을 목표로 하는 실용화연구로써 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술을 개발하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 세부 기술들에 큰 차별성이 있음 | 양국 상호 교류와 협력을 통해 DAB/DMB 기반의 재난방송 응용 상용화 기술들은 안전한 해저터널을 목표로 스마트 환기 및 화재 대응 기술을 개발하고자 하는 본 연구의 기초 연구결과로써 활용될 수 있음 |

| 부처명 | 사업명 | 총연구기간 | 과제명(국문) | 중복여부 | | 차별성 | 연계 방안 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | O/X | 중복분야 (중분야 기준) | | |
| 교육부 | 한국해양연구원연구운영비지원 | 2009-01 2011-12 | 친환경 인공섬 조성 핵심기술 개발 | O | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 지반안정화 공법으로 반응성 연직배수공법을 최종 개발 목표로 하는 기초연구로써 초장대 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 세부 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 매립지반의 오염도 저감과 연약지반의 강도 증진이 동시에 이루어질 수 있는 지반안정화 공법은 초장대 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구의 기초 연구결과로써 활용될 수 있음 |
| 해양수산부 | 해양공간자원및장비개발 | 1999-07 2007-12 | 초대형 부유식 해상구조물 기술개발 | O | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계/설치 기술 | 초대형 부유식 해상구조물의 설계와 해석을 위한 핵심 기술 개발을 최종 목표로 하는 기초연구로써 초장대 해저터널 건설에 따른 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계와 시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구와는 그 적용 대상과 세부 기술들에 큰 차별성이 있음 | 개발된 부유식 해상 구조물 및 계류시스템 설계기술, 유탄성응답 해석기법 개발 및 고도화와 통합시스템 개발은 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물의 설계/시공 기술을 개발하고자 하는 본 연구의 기초 연구결과로써 뿐만 아니라 연계 및 고도화 방안으로 활용될 수 있음 |

# 4. 해저터널 관련 기술역량 분석

## 가. 특허/논문 동향분석 개요

### (1) 분석 개요

#### (가) 분석 대상기술 및 키워드

■ 특허/논문 동향분석 목적 및 대상

◉ (분석목적) 해저터널·인공섬 건설기술 개발 사업 중점 추진분야인 설계, 시공 및 유지관리 분야의 3개 전략사업과 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 분야의 3개 전략사업의 특허 및 논문 기술경쟁력 분석을 통해 국내 시장 확보 가능성 및 기술경쟁력의 현주소를 파악하고, 미래유망기술 발굴에 객관적이고 정량화된 근거자료로 활용

- 이와 같은 특허/논문 분석은 중장기 R&D 전략 및 방향성 수립을 위한 근거자료로 활용되어 신규 사업 투자에 따르는 위험요소를 사전에 인지하는 효과를 거둘 수 있음

- 또한, 특허/논문 동향분석을 통해 관련 국가의 연구자, 기업들의 연구 트렌드를 객관적으로 파악할 수 있는 기회 마련

◉ (분석방향) 해저터널·인공섬 건설기술 개발 사업의 총 7개 전략사업별 주요 핵심 키워드를 파악하고 각 키워드에 대한 특허/논문 동향 조사・분석

- '해저터널·인공섬 건설 기술 개발 사업의 7개 전략사업별' 연관된 기술키워드 도출 및 이와 연관된 기술(특허/논문) 동향분석 실시

■ 특허/논문분석 대상 데이터 Set 구축

◉ (분석데이터 구축) 특허/논문 분석을 위한 관련기술 분석대상 데이터 구축은 검색식 작성 및 검색, 서지정보 입수 및 초록추출, 노이즈제거 및 전수검사, 데이터 정비의 순서로 진행

〈표 Ⅲ-26〉 특허/논문 동향분석 대상 핵심 키워드

| 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 7개 분야별 핵심 기술 키워드 | |
|---|---|
| 국문 키워드 | 영문 키워드 |
| **전략1. BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축** | |
| 관리시스템, 건축정보모델, BIM, 빅데이터, 3차원, 3D, TBM터널, 완전정보, 통합플랫폼 | engineering, tunnel, platform, construct, manage system, BIM, big data, 3D, TBM, full information, Clogging Risk |
| **전략2. 해저터널 시공기술 고도화** | |
| 급속 시공, 고속 시공, 세그먼트 라이닝, 슬러리 이송, 토사 이송, | segment lining, slurry carry, advanced material, rapid construct, slurry delivery |
| **전략3. 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발** | |
| 자산관리, 유지관리, 진단, 점검, 자동화, IoT, 딥러닝, 생애주기 | maintenanc, asset, forecast, examinat, inspect, examin, IoT, deep learning, LCC |
| **전략4. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술** | |
| 착저식 인공섬, 수직구, 한계상태 설계, 안정성 평가, 모듈형 프리캐스트, 극한환경 대응, 초경량, 고내구성 | verticalshaft, artificia lisland, assessment, module Precast, environmental extreme, Light-Weight, High Durable |
| **전략5. 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술** | |
| 부유식 인공섬, 계류시스템, 앵커링, 이송, 구조적 안전성 | float artificial island, mooring system, anchoring, transfer |
| **전략6. 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발** | |
| 환기, 화재, 불, 폭발, 제어, 대응, 경보, 에너지 절감, AI, RAMS, 동력원, 피난연결통로, 스마트비상 | ventilat, fire, blaze, explosion, connection, smart emergency |

## (나) 특허/논문분석 대상DB 및 분석지표

■ 특허/논문분석 대상 데이터 Set 구축

◉ **(분석데이터 구축)** 특허/논문 분석을 위한 관련기술 분석대상 데이터 구축은 검색식 작성 및 검색, 서지정보 입수 및 초록추출, 노이즈제거 및 전수검사, 데이터 정비의 순서로 진행

- (특허) '해저터널·인공섬 건설기술 개발 사업 6개 전략사업별' 관련 기술에 대한 DB Set 구조
- (논문) '해저터널·인공섬 건설기술 개발 사업 2개 중점분야별' 관련 기술에 대한 DB Set 구조




**<그림 Ⅲ-7> 특허/논문 데이터 추출 프로세스**

◉ **(프로세스별 수행방안)** 각 프로세스에 대한 수행방안 설정

- **특허/논문 검색식 작성 및 검색 :** 검색식에 해당되는 2개 중점분야 및 6개 전략사업을 대상으로 Wisdomain 특허DB 및 SCOPUS 논문DB를 활용하여 특허/논문 검색식 작성 및 검색을 실시
- **서지정보 입수 및 초록추출 :** 원시데이터(Raw Data)를 추출
- **노이즈 제거** : 각 분류에 대한 Raw Data에서 관련 기술내용이 포함된 특허/논문을 추출(Title과 Abstract 내용을 바탕으로 선별 실시)
- **데이터 정비** : 각 국가별 특허/논문분석을 위해 서지정보를 정비

* 연도별 특허/논문동향, 주요 출원인별 점유율 분석, 연도별 주요 출원인 분포 분석, 기술수명주기 분석, 기술경쟁력·시장확보력 분석 등을 위한 서지정보 정비

◉ **(분석대상)** 특허/논문데이터 DB Set 분석대상

- (특허) 기술성과의 종합적 추이 및 R&D의 최신 동향 등을 고려하여, 전 세계 특허의 90% 이상을 커버리지 하는 미국등록특허(19년, '90년~'18년)를 분석대상으로 선정

  * 단, 국가별·연도별 동향 분석항목에서는 출원동향 비교를 위해 미국, 유럽, 일본, 한국 특허 DB Set을 분석 대상으로 함

- (논문) 해저터널·인공섬 건설기술 개발 사업의 전략사업과 관련하여 '00년부터 '18년까지 게재된 논문을 분석대상으로 선정

■ 특허/논문분석 항목 및 지표

◉ (국가별·연도별 특허동향 분석) 미국, 유럽, 일본, 한국의 특정기간 동안 특허출원 동향을 분석

◉ (출원인 분석) 국가별 기술 분야의 특허 출원인을 List-up 하고, 각 국가별 출원인의 특허 점유율 분석

  * 주요 출원인별 특허 점유율 분석, 연도별 주요 출원인 분포 분석

◉ (기술수명주기 분석) 특허건수와 출원인수의 증가 또는 감소 등의 변화를 분석하여 발전기 → 성숙기 → 퇴조기 → 부활기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그려 분석대상 기술의 수명·생명주기를 파악

◉ (특허/논문 기술경쟁력 분석) 기술력지수(Technology Strength)분석을 통해 해당 국가(또는 연구주체)의 기술력 상대비교 실시

  * 논문분석의 경우 기술력 지수와 더불어 인용도 지수, 영향력 지수 분석을 포함

**<표 Ⅲ-27> 특허/논문 기술경쟁력 분석지표**

| 기술경쟁력 지수 |
|---|
| ◉ **기술경쟁력 지수(TS : Technology Strength)**<br>- 해당 키워드에 대한 특허/논문이 특정 기간에 타 특허/논문으로부터 인용된 정도를 나타내는 지표인 기술영향력 지수*(특허, PII : Patent Impact Index / 논문, IF : Impact Factor)에 특허/논문건수를 곱하여 산출<br>* 기술영향력 지수는 기술의 질적 수준을 나타내는 지표로서, 인용/피인용 관계에 따른 상대적 영향력 수치<br>; 특정 국가의 특허/논문들이 이후 등록되는 특허/논문들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도가 클수록 원천·핵심 특허/논문을 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용 |

- 산출식: $TS=\left(\frac{\frac{\text{해당국가 피인용수}}{\text{해당국가 특허/논문건수}}}{\frac{\text{전체 피인용수}}{\text{전체 특허/논문건수}}}\right)\times$ 특허/논문건수

- 기술력은 특허/논문의 질과 양을 이용하여 한 키워드(또는 기술분야/국가)의 질적으로 가중평가 된 기술력 지수를 제공함(특허/논문건수와 동시에 특허/논문의 질을 고려한 값)

- 기술경쟁력 지수를 통해 해당기술에 대한 기술력을 국가 또는 연구주체를 기준으로 상대평가 실시

**(특허 시장확보력 분석)** 시장확보지수(PFS : Patent Family Size)를 활용하여 각각의 출원인 또는 국가별로 기술분야에 대한 PFS 지수 도출을 통하여 시장확보에 대한 의지를 파악

- 기업들은 향후 시장확대 및 활용성이 높을 것으로 예측되는 산업분야의 경우, 시장선점을 목적으로 시장진출 대상 국가에 Family 특허출원을 실시하는 경향을 보임

**<표 Ⅲ-28> 특허 시장확보지수 분석지표**

| 시장확보지수 |
|---|
| PFS 지수(Patent Family Size)<br>- 각각 특허의 패밀리 특허를 활용하여 시장 확보 지수 평가(2000년 ~ 2018년 미국 특허청에 등록된 특허 기준)<br>- 산출식: $PFS=\frac{\frac{\text{해당국가(or 분야) Family 국가수}}{\text{해당국가(or 분야) 특허수}}}{\frac{\text{전체 Family 국가 수}}{\text{전체특허수}}}$<br>- 패밀리 특허는 동일한 특허에 대하여 각국의 특허청에 등록된 특허의 집단을 이름<br>- 패밀리 특허를 출원한 국가파악을 통해 시장의 선점 및 확보 정도를 평가 |

# 나. 특허 동향 분석

## (1) BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축

### 특허 분석 개요

본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축

- 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-29> 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or engineer* or 토목* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or build* or 시공 or 설계 or design* or platform* or construct*) and ((manag* n/2 system*) or (관리 n/2 시스템) or ""건축 정보 모델*"" or 건축정보모델* or 건축-정보-모델* or BIM* or ""building information modeling*"" or ""building-information-modeling*"" or B.I.M or buildinginformationmodeling* or ""빔"" or ((big or bulk or software or multitask* or digital* or project* or full*) n/2 (data* or infromation* or model)) or ""빅 데이터"" or 빅데이터* or 빅-데이터* or ""빅 데이타"" or 빅데이타* or 빅-데이타* or 3차원* or 3D* or ""threed"" or ""three-d"" or ""three_d"" or ""three d"" or (virtual* n/2 comput*))) OR AB=(((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or engineer* or 토목* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or build* or 시공 or 설계 or design* or platform* or construct*) and ((manag* n/2 system*) or (관리 n/2 시스템) or ""건축 정보 모델*"" or 건축정보모델* or 건축-정보-모델* or BIM* or ""building information modeling*"" or ""building-information-modeling*"" or B.I.M or buildinginformationmodeling* or ""빔"" or ((big or bulk or software or multitask* or digital* or project* or full*) n/2 (data* or infromation* or model)) or ""빅 데이터"" or 빅데이터* or 빅-데이터* or ""빅 데이타"" or 빅데이타* or 빅-데이타* or 3차원* or 3D* or ""threed"" or ""three-d"" or ""three_d"" or ""three d"" or (virtual* n/2 comput*))))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 관련 전체 특허 389건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 한국, 일본 특허가 각각 215건(55%), 122건(31%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

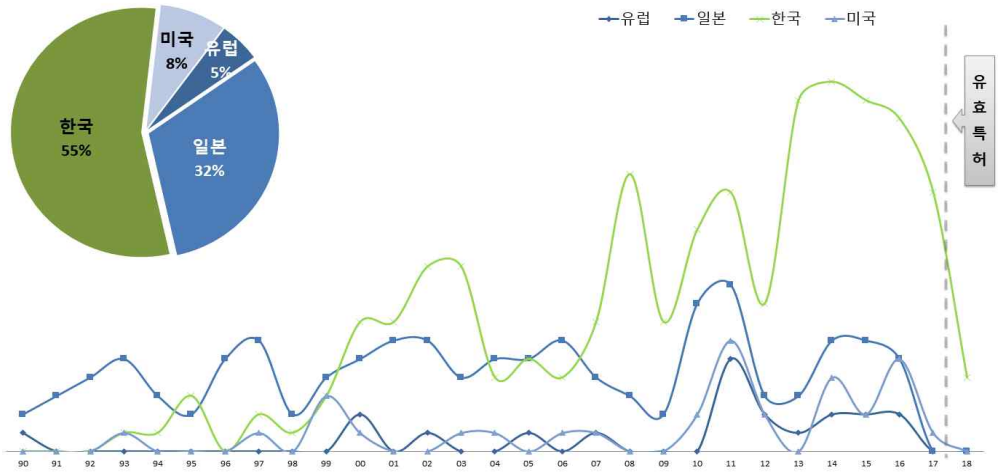
- ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 분야의 출원국가를 기준으로 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있는 추세

  - (한국) 2003년도부터 2006년까지 특허출원 활동이 다소 감소하는 추세를 보였으나, 이후 증가 추세를 보이며 지재권 확보 노력을 꾸준히 하고 있음

  - (일본) 분석기간('30년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음

  - (미국) 2009년을 기점으로 특허출원활동이 급격히 활발해졌다가 주춤, 2013년부터 다시 증가 추세로 타 국가 대비 특허출원 수도 높은 것으로 분석

  - (유럽) 2011년 他국가 대비 가장 활발한 특허 출원을 보였으나, 이내 감소 추세에 들어섰으며, 2014년을 기점으로 기술개발 및 특허 확보 노력을 재가동하고 있음




**<그림 Ⅲ-8> ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)**

〈표 Ⅲ-30〉 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('090~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 일본 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 2 | 5 | 6 | 2 | 4 |
| 한국 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 3 |
| 미국 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 합계 | 3 | 3 | 4 | 7 | 4 | 5 | 5 | 9 | 3 | 10 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 일본 | 5 | 6 | 6 | 4 | 5 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| 한국 | 7 | 7 | 10 | 10 | 4 | 5 | 4 | 7 | 15 | 7 |
| 미국 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 합계 | 15 | 13 | 17 | 15 | 10 | 11 | 11 | 13 | 18 | 9 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 0 | 5 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 20 | 5% |
| 일본 | 8 | 9 | 3 | 3 | 6 | 6 | 5 | 0 | 0 | 122 | 31% |
| 한국 | 12 | 14 | 8 | 19 | 20 | 19 | 18 | 14 | 4 | 215 | 55% |
| 미국 | 2 | 6 | 2 | 0 | 4 | 2 | 5 | 1 | 0 | 32 | 8% |
| 합계 | 22 | 34 | 15 | 23 | 32 | 29 | 30 | 15 | 4 | 389 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

◉ 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 한국의 대우조선해양이 약 29건으로 가장 많은 출원 활동을 보이고 있는 것으로 분석

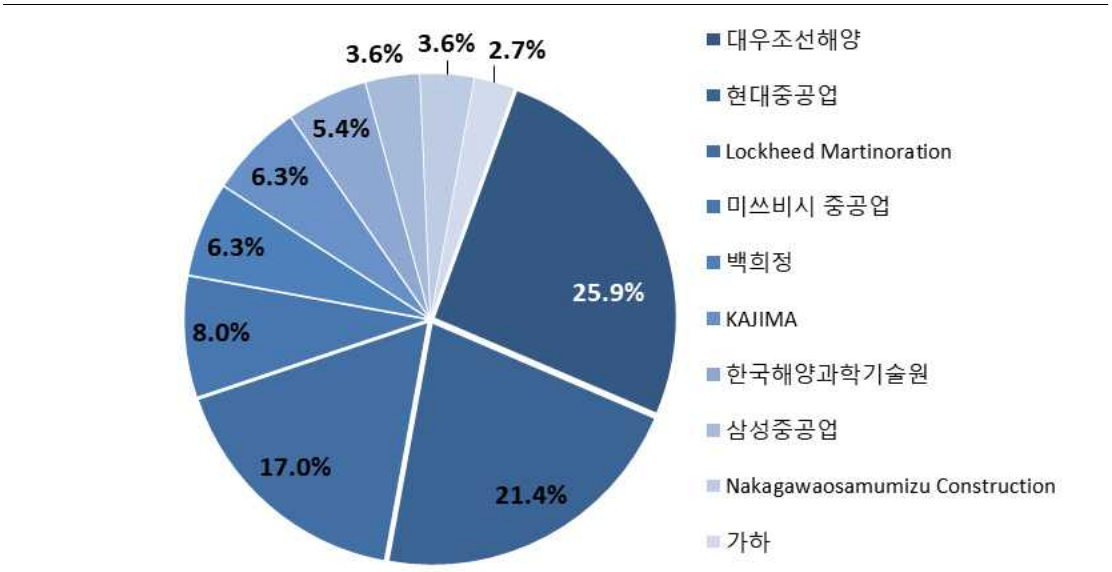
- 현대중공업은 전체 특허 건수(389건) 대비 6.17% (24건)를 차지하였으며, 다음으로 Lockheed Martinoration과 미쓰비시중공업이 각각 4.88%(19건), 2.31%(9건)를 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 112건으로 전체 출원특허 대비 28.8%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

- 한국의 경우 상위 10개 출원인 특허에 5개가 포함되는 것으로 확인됨

〈표 Ⅲ-31〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 ' 특허건수<전체 유효건수> | | 389건 | 100.0% |
| 1 | 대우조선해양 | 29 | 7.46% |
| 2 | 현대중공업 | 24 | 6.17% |
| 3 | Lockheed Martinoration | 19 | 4.88% |
| 4 | 미쓰비시 중공업 | 9 | 2.31% |
| 5 | 백희정 | 7 | 1.80% |
| 6 | KAJIMA | 7 | 1.80% |
| 7 | 한국해양과학기술원 | 6 | 1.54% |
| 8 | 삼성중공업 | 4 | 1.03% |
| 8 | Nakagawaosamumizu Construction | 4 | 1.03% |
| 10 | 가하 | 3 | 0.77% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 112 | 28.79% |



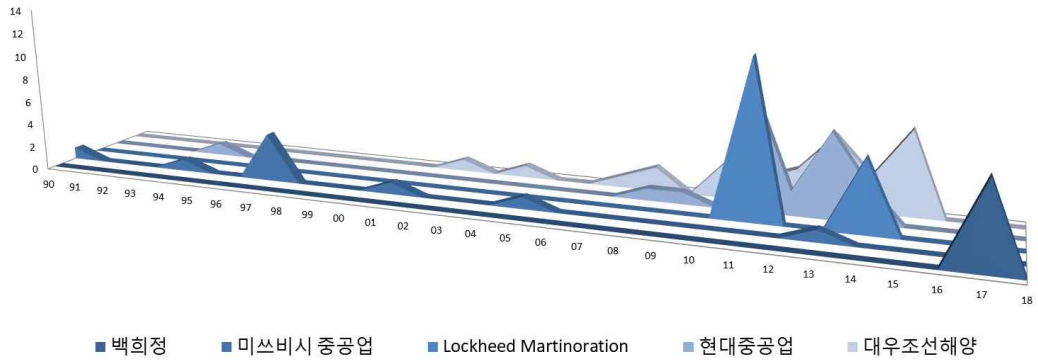

〈그림 Ⅲ-9〉 ‘BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축’ 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원활동을 분석한 결과, 대우조선해양의 경우 2010~2015년에 활발한 기술개발 및 지재권 확보 활동을 보임

- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 출원 변동차이가 크지 않으며, 2010년도 후반에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석

  - 제4차 산업혁명 등으로 세계 트렌드가 변화하면서 향후 융복합 관련 기술 개발 및 지재권 확보를 위한 특허 출원활동은 지속될 것으로 예상




| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대우조선해양 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| 현대중공업 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Lockheed Martinoration | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 미쓰비시 중공업 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 백희정 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | |
| 대우조선해양 | 3 | 2 | 3 | 6 | 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | |
| 현대중공업 | 0 | 9 | 2 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Lockheed Martinoration | 0 | 13 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 미쓰비시 중공업 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 백희정 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-10> 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

- 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

  - 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

    * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

    * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

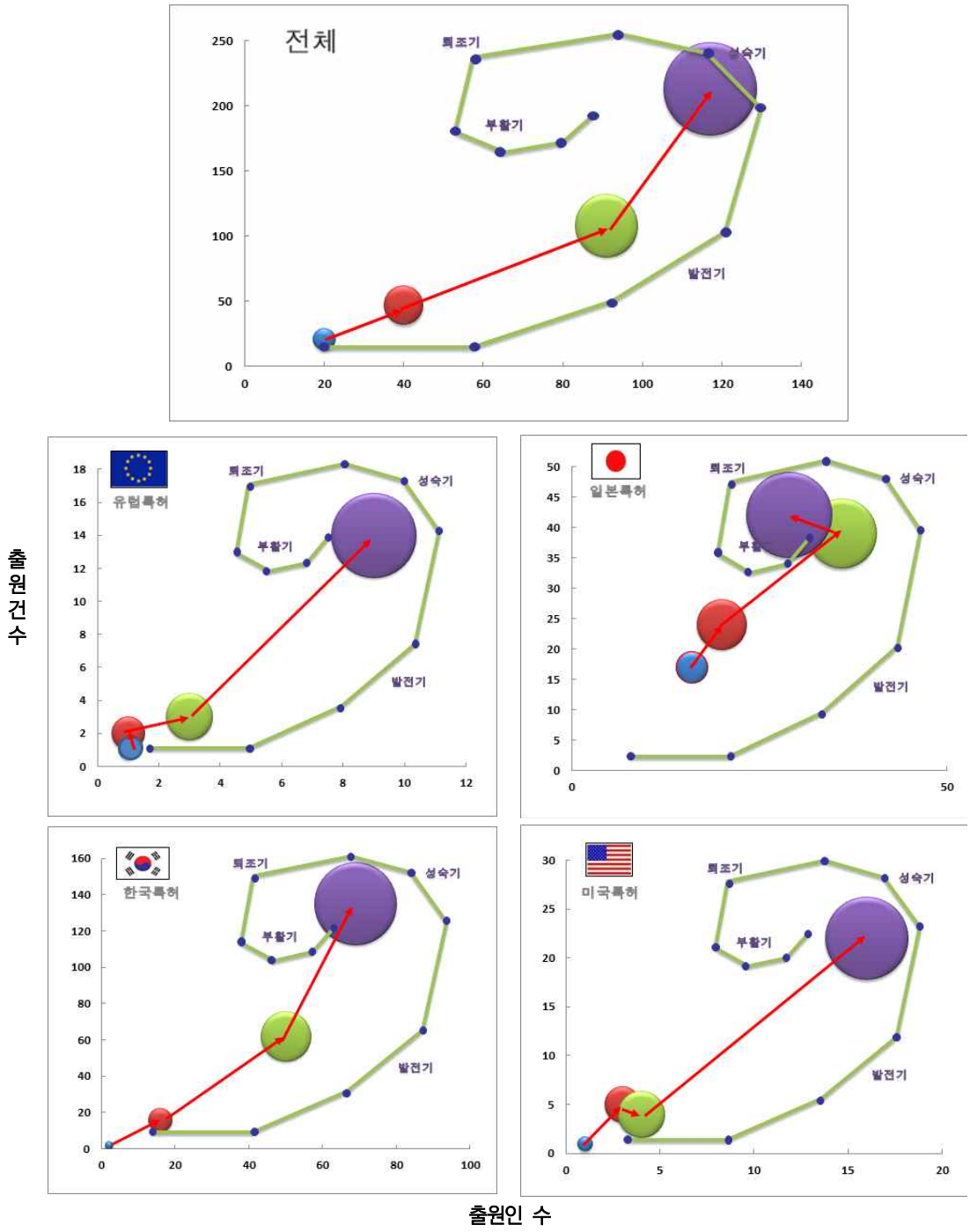
- 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

  - 최근 대두되고 있는 빅데이터, AI, VR/AR, Cloud, Computing, IoT 등의 4차 산업혁명과 맞물려 BIM이 주목받고 있으며, 이에 따라 BIM플랫폼 기반의 조사, 설계, 시공 통합관리 시스템 구축 분야의 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

  - 한국의 경우 출원인 수와 특허 건수가 모두 성장세를 보이는 발전기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-32> 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 6 | 9 | 14 | 20 |
| | 일본 | 16 | 17 | 17 | 20 | 24 | 41 | 36 | 39 | 80 | 29 | 42 | 122 |
| | 한국 | 2 | 2 | 2 | 16 | 16 | 18 | 50 | 62 | 80 | 69 | 135 | 215 |
| | 미국 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 6 | 4 | 4 | 10 | 16 | 22 | 32 |
| 전체 | | 20 | 21 | 21 | 40 | 47 | 68 | 91 | 108 | 176 | 117 | 213 | 122 |




〈그림 Ⅲ-11〉 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 미국이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 한국은 기술경쟁력 지수가 0인 것으로 분석
- 미국은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 1건의 특허를 보유하고 있으며 개인 및 他기관에 인용되는 피인용수가 없어 기술경쟁력 지수(TS)가 '0'으로 분석됨

**<표 Ⅲ-33> 출원인 국가별 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 18 | 342 | 1.124 | 20.229 |
| 2 | 프랑스 | 5 | 198 | 2.342 | 11.712 |
| 3 | 노르웨이 | 3 | 1 | 0.020 | 0.059 |
| 4 | 독일 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 터키 | 1 | - | - | - |
| 6 | 스위스 | 1 | - | - | - |
| 7 | 중국 | 1 | - | - | - |
| 8 | 대한민국 | 1 | - | - | - |
| 미국 내 전체 특허 | | 32 | 541 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 노르웨이, 프랑스, 터키 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 노르웨이의 경우 3건의 특허를 보유하며, 시장확보지수 0.752이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(18건)의 특허를 보유하고 있음에도 노르웨이에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 1건의 특허출원 결과 시장확보력 지수가 0.615 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보이는 듯 하나 10개 미만의 특허 건수로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움 존재

**<표 Ⅲ-34> 출원인 국가별 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 18 | 85 | 0.969 |
| 2 | 프랑스 | 5 | 31 | 1.272 |
| 3 | 노르웨이 | 3 | 11 | 0.752 |
| 4 | 독일 | 2 | 14 | 1.436 |
| 5 | 터키 | 1 | 5 | 1.026 |
| 6 | 스위스 | 1 | 5 | 1.026 |
| 7 | 중국 | 1 | 2 | 0.410 |
| 8 | 대한민국 | 1 | 3 | 0.615 |
| 미국 내 전체 특허 | | 32 | 156 | |

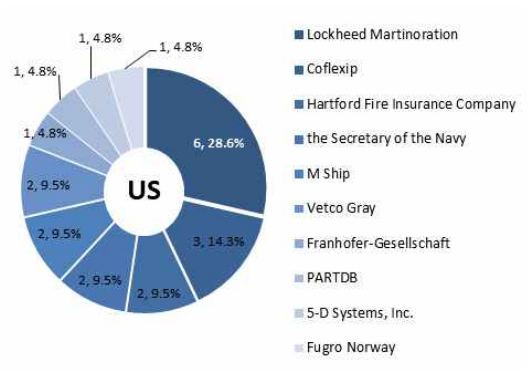
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 Lockheed Martinoration가 6건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, Coflexip가 3건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

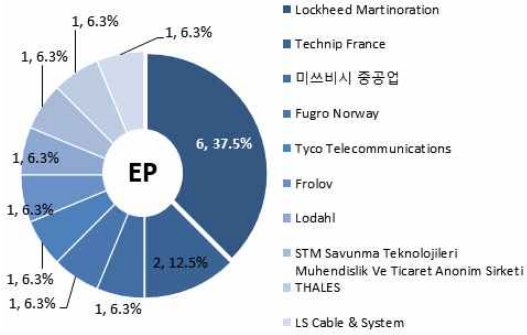
**<표 Ⅲ-35> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Lockheed Martinoration | 6 | 18.75% |
| 2 | Coflexip | 3 | 9.38% |
| 3 | Hartford Fire Insurance Company | 2 | 6.25% |
| 3 | he Secretary of the Navy | 2 | 6.25% |
| 3 | M Ship | 2 | 6.25% |
| 3 | Vetco Gray | 2 | 6.25% |
| 7 | Franhofer-Gesellschaft | 1 | 3.13% |
| 7 | PARTDB | 1 | 3.13% |
| 7 | 5-D Systems, Inc. | 1 | 3.13% |
| 7 | Fugro Norway | 1 | 3.13% |
| 합계 | | 21 | 65.63% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 32 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 Lockheed Martinoration 6건, Technip France 2건 순으로 나타남

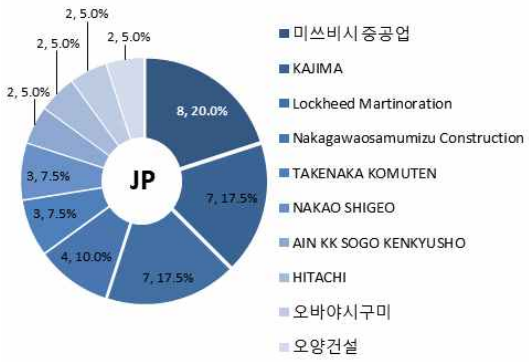
**<표 Ⅲ-36> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Lockheed Martinoration | 6 | 30.00% |
| 2 | Technip France | 2 | 10.00% |
| 3 | 미쓰비시 중공업 | 1 | 5.00% |
| 3 | Fugro Norway | 1 | 5.00% |
| 3 | Tyco Telecommunications | 1 | 5.00% |
| 3 | Frolov | 1 | 5.00% |
| 3 | Lodahl | 1 | 5.00% |
| 3 | STM | 1 | 5.00% |
| 3 | THALES | 1 | 5.00% |
| 3 | LS Cable & System | 1 | 5.00% |
| 합계 | | 16 | 80.0% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 20 | |

◎ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 미쓰비시 중공업 8건, KAJIMA, Lockheed Martinoration가 각 7건 순으로 나타남

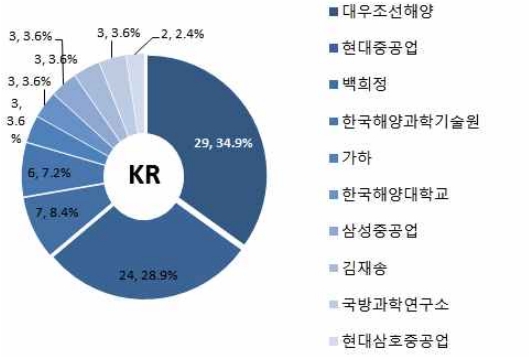
**<표 Ⅲ-37> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 미쓰비시 중공업 | 8 | 6.56% |
| 2 | KAJIMA | 7 | 5.74% |
| 2 | Lockheed Martinoration | 7 | 5.74% |
| 4 | Nakagawaosamumizu Construction | 4 | 3.28% |
| 5 | TAKENAKA KOMUTEN | 3 | 2.46% |
| 5 | NAKAO SHIGEO | 3 | 2.46% |
| 7 | AIN KK SOGO KENKYUSHO | 2 | 1.64% |
| 7 | HITACHI | 2 | 1.64% |
| 7 | 오바야시구미 | 2 | 1.64% |
| 7 | 오양건설 | 2 | 1.64% |
| 합계 | | 40 | 32.79% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 122 | |

◎ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 대우조선해양 29건, 현대중공업 24건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-38> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 대우조선해양 | 29 | 13.49% |
| 2 | 현대중공업 | 24 | 11.16% |
| 3 | 백희정 | 7 | 3.26% |
| 4 | 한국해양과학기술원 | 6 | 2.79% |
| 5 | 가하 | 3 | 1.40% |
| 5 | 한국해양대학교 | 3 | 1.40% |
| 5 | 삼성중공업 | 3 | 1.40% |
| 5 | 김재송 | 3 | 1.40% |
| 5 | 국방과학연구소 | 3 | 1.40% |
| 5 | 현대삼호중공업 | 2 | 0.93% |
| 합계 | | 83 | 38.6% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 215 | |

## (2) 해저터널 시공기술 고도화

### 특허 분석 개요

- 본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축

  - '해저터널 시공기술 고도화' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-39> '해저터널 시공기술 고도화' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=(((TBM or (cutter* n/2 head*) or (커터 n/2 (해드 or 헤드 or 교환)) or ""tunnel boring machine"" or tunnelboringmachin* or tunnel-boring-machin*) and (tunnel* or 터널*)) or ((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (((rapid* or past*) n/2 construct*) or ((급속* or 고속*) n/2 시공*) or (segment* n/2 lin*) or (세그먼트* n/2 라이닝*) or (slurry n/2 (carr* or deliver* or transfer* or transport*)) or ((슬러리* or 토사*) n/2 이송) or (첨단* n/2 재료*) or (advanc* n/2 (material* or component*)))))) OR AB=(((TBM or (cutter* n/2 head*) or (커터 n/2 (해드 or 헤드 or 교환)) or ""tunnel boring machine"" or tunnelboringmachin* or tunnel-boring-machin*) and (tunnel* or 터널*)) or ((((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (((rapid* or past*) n/2 construct*) or ((급속* or 고속*) n/2 시공*) or (segment* n/2 lin*) or (세그먼트* n/2 라이닝*) or (slurry n/2 (carr* or deliver* or transfer* or transport*)) or ((슬러리* or 토사*) n/2 이송) or (첨단* n/2 재료*) or (advanc* n/2 (material* or component*))))))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- '해저터널 시공기술 고도화' 기술 관련 전체 특허 675건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 일본, 한국 특허가 각각 354건(52%), 135건(20%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

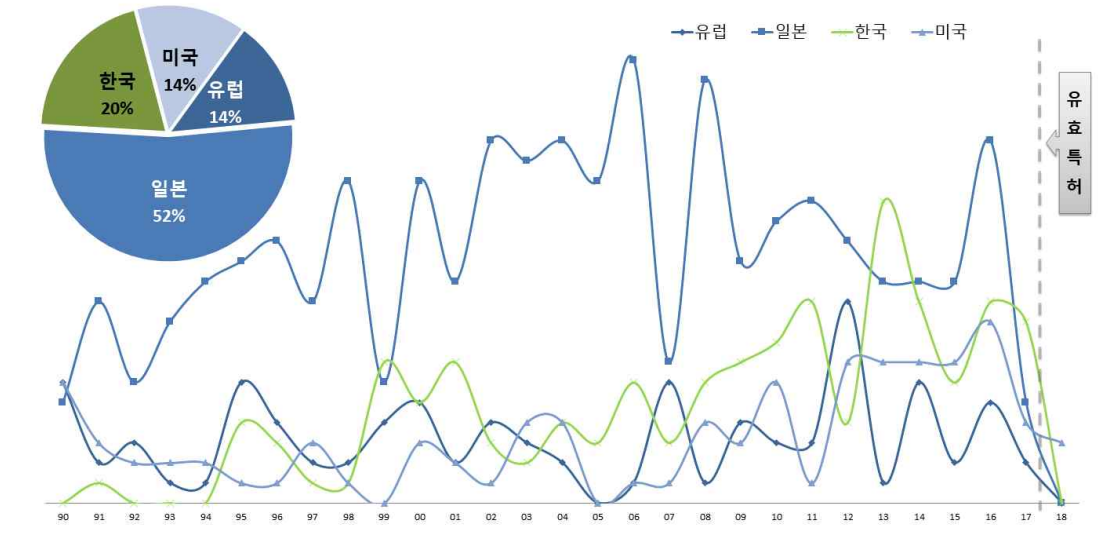
- '해저터널 시공기술 고도화' 기술 분야의 출원국가를 기준으로 2000년 이후 꾸준히 증가하고 있는 추세

- (일본) 해저터널 시공기술 관련 특허출원 활동이 매년 활발하게 진행중으로, 타 국가 대비 특허출원 수가 월등히 높은 것으로 분석됨

- (한국) 2008년을 기점으로 특허출원 활동이 증가하는 추세를 보이고 있으며, 매년 지재권 확보 노력을 꾸준히 하고 있는 것으로 나타남

- (미국) 분석기간('90년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음

- (유럽) 1990년대 초 他국가 대비 활발한 특허 출원을 보였으며, 현재까지 꾸준하게 기술개발 및 특허 확보 노력을 진행하고 있는 것으로 보임




〈그림 Ⅲ-12〉 '해저터널 시공기술 고도화' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

〈표 Ⅲ-40〉 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 6 | 2 | 3 | 1 | 1 | 6 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| 일본 | 5 | 10 | 6 | 9 | 11 | 12 | 13 | 10 | 16 | 6 |
| 한국 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1 | 1 | 7 |
| 미국 | 6 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 |
| 합계 | 17 | 16 | 11 | 12 | 14 | 23 | 21 | 16 | 20 | 17 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 5 | 2 | 4 | 3 | 2 | 0 | 1 | 6 | 1 | 4 |
| 일본 | 16 | 11 | 18 | 17 | 18 | 16 | 22 | 7 | 21 | 12 |
| 한국 | 5 | 7 | 3 | 2 | 4 | 3 | 6 | 3 | 6 | 7 |
| 미국 | 3 | 2 | 1 | 4 | 4 | 0 | 1 | 1 | 4 | 3 |
| 합계 | 29 | 22 | 26 | 26 | 28 | 19 | 30 | 17 | 32 | 26 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 3 | 3 | 10 | 1 | 6 | 2 | 5 | 2 | 0 | 91 | 13% |
| 일본 | 14 | 15 | 13 | 11 | 11 | 11 | 18 | 5 | 0 | 354 | 52% |
| 한국 | 8 | 10 | 4 | 15 | 10 | 6 | 10 | 9 | 0 | 135 | 20% |
| 미국 | 6 | 1 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 4 | 3 | 95 | 14% |
| 합계 | 31 | 29 | 34 | 34 | 34 | 26 | 42 | 20 | 3 | 675 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

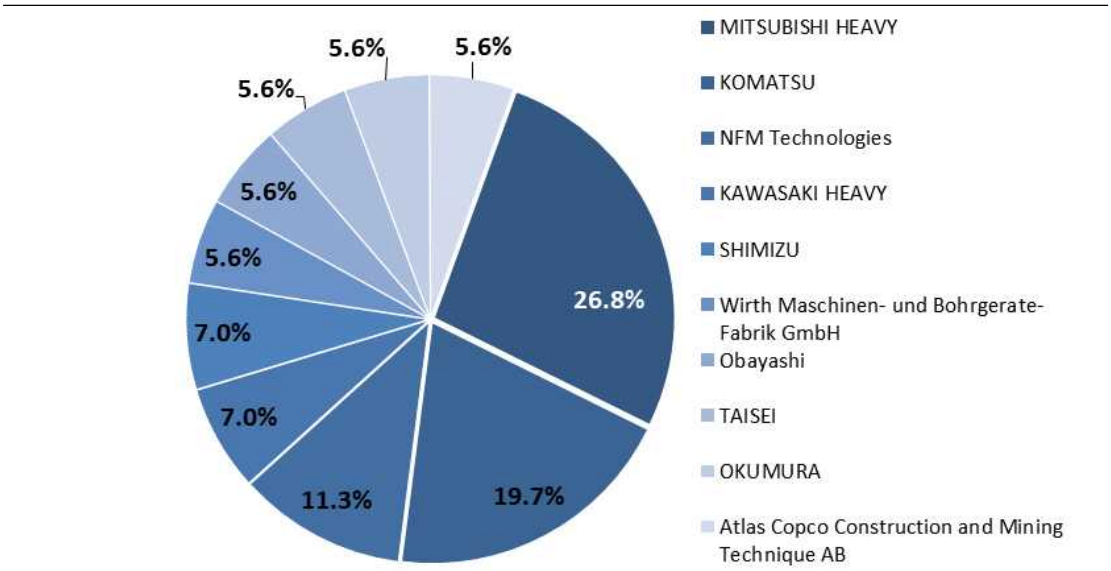
◉ ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 일본의 MITSUBISHI HEAVY이 약 19건으로 가장 많은 출원활동을 보이고 있는 것으로 분석

- KOMATSU은 전체 특허 건수(675건) 대비 2.07% (14건)를 차지하였으며, 다음으로 NFM Technolohies와 KAWASAKI HEAVY가 각각 0.74%(5건)을 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 675건으로 전체 출원특허 대비 10.52%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

〈표 Ⅲ-41〉 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| ’해저터널 시공기술 고도화 ‘ 특허건수<전체 유효건수> | | 675 | 100.0% |
| 1 | MITSUBISHI HEAVY | 19 | 2.81% |
| 2 | KOMATSU | 14 | 2.07% |
| 3 | NFM Technologies | 8 | 1.19% |
| 4 | KAWASAKI HEAVY | 5 | 0.74% |
| 5 | SHIMIZU | 5 | 0.74% |
| 6 | Wirth Maschinen-und Bohrgerate-Fabrik GmbH | 4 | 0.59% |
| 7 | Obayashi | 4 | 0.59% |
| 8 | TAISEI | 4 | 0.59% |
| 8 | OKUMURA | 4 | 0.59% |
| 10 | Atlas Copco Construction and Mining Technique AB | 4 | 0.59% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 71 | 10.52% |



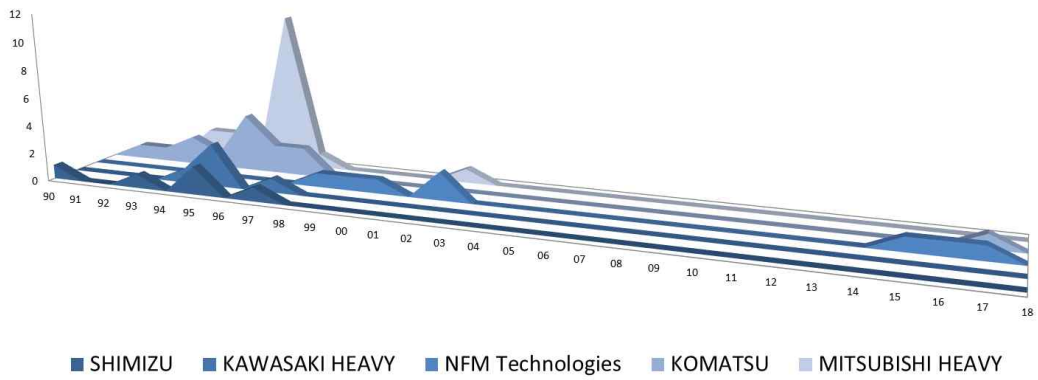

〈그림 Ⅲ-13〉 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원활동을 분석한 결과, MITSUBISHI HEAVY의 경우 1990년대에 활발한 기술개발 및 지재권 확보 활동을 보임

- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 출원 변동차이가 크지 않으며, 1990년도에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석

  - 최근 세계 각국에서는 고속화 철도 및 도로 등의 고속운송 체계의 개발수요가 증가함에 따라 해협을 횡단하는 교통용 해저터널의 수요가 빠르게 증가하고 있으며 이에 따른 해저터널 시공기술의 특허활동이 지속적으로 증가될 것으로 예상




| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MITSUBISHI HEAVY | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KOMATSU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NFM Technologies | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| KAWASAKI HEAVY | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SHIMIZU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | |
| MITSUBISHI HEAVY | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| KOMATSU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| NFM Technologies | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | |
| KAWASAKI HEAVY | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| SHIMIZU | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-14> ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

◉ 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

- 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

  * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

  * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

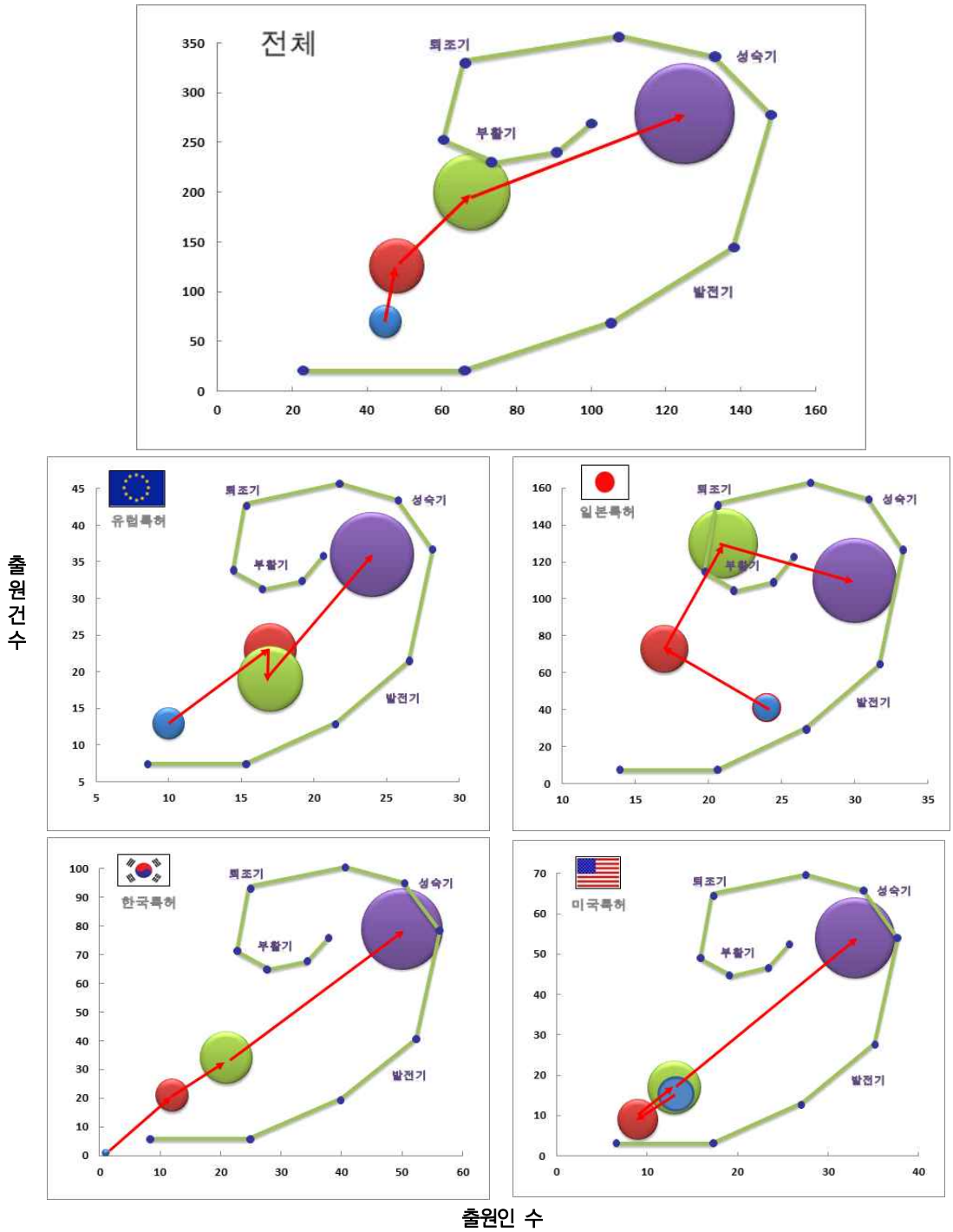
◉ 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 '해저터널 시공기술 고도화' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

- 태풍 및 폭설 등과 같은 악천후에도 안정적으로 국내 도서지역 및 인접 국가간 교통 및 물류수송 체계 운용을 가능하게 하는 새로운 형태의 해저 교통 및 물류수송 공간 창출의 필요성이 커져감에 따라 BIM플랫폼 기반의 조사, 설계, 시공 통합관리 시스템 구축 분야의 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

- 한국의 경우 출원인 수와 특허 건수가 모두 성장세를 보이는 발전기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-42> '해저터널 시공기술 고도화' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 10 | 13 | 13 | 17 | 23 | 36 | 17 | 19 | 55 | 24 | 36 | 91 |
| | 일본 | 24 | 41 | 41 | 17 | 73 | 114 | 21 | 130 | 244 | 30 | 110 | 354 |
| | 한국 | 1 | 1 | 1 | 12 | 21 | 22 | 21 | 34 | 56 | 50 | 79 | 135 |
| | 미국 | 13 | 15 | 15 | 9 | 9 | 24 | 13 | 17 | 41 | 33 | 54 | 95 |
| 전체 | | 45 | 70 | 70 | 48 | 126 | 196 | 68 | 200 | 396 | 125 | 279 | 354 |




〈그림 Ⅲ-15〉 ‘해저터널 시공기술 고도화’ 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 독일이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 미국이 기술경쟁력 지수가 16.9인 것으로 분석
- 독일은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 2건의 특허를 보유하고 있으며 기술경쟁력 지수(TS)는 '0.27'로 분석됨에 따라, 타 국가대비 기술경쟁력은 다소 낮은 것으로 분석됨

**<표 Ⅲ-43> 출원인 국가별 '해저터널 시공기술 고도화' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 26 | 125 | 0.652 | 16.964 |
| 2 | 일본 | 19 | 77 | 0.550 | 10.450 |
| 3 | 독일 | 10 | 304 | 4.126 | 41.257 |
| 4 | 중국 | 8 | 1 | 0.017 | 0.136 |
| 5 | 캐나다 | 6 | 68 | 1.538 | 9.229 |
| 6 | 프랑스 | 6 | 17 | 0.385 | 2.307 |
| 7 | 네덜란드 | 5 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 스웨덴 | 4 | 6 | 0.204 | 0.814 |
| 9 | 오스트리아 | 3 | 17 | 0.769 | 2.307 |
| 10 | 대한민국 | 2 | 2 | 0.136 | 0.271 |
| 미국 내 전체 특허 | | 95 | 700 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 네덜란드, 독일, 스웨덴 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 네덜란드 경우 5건의 특허를 보유하며, 시장확보지수 1.793이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(26건)의 특허를 보유하고 있음에도 네덜란드에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 2건의 특허출원 결과 시장확보력 지수가 0.431 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보이는 듯하나 10개 미만의 특허건수로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

**<표 Ⅲ-44> 출원인 국가별 '해저터널 시공기술 고도화' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 26 | 103 | 0.683 |
| 2 | 일본 | 19 | 106 | 0.962 |
| 3 | 독일 | 10 | 95 | 1.638 |
| 4 | 중국 | 8 | 23 | 0.496 |
| 5 | 캐나다 | 6 | 37 | 1.063 |
| 6 | 프랑스 | 6 | 42 | 1.207 |
| 7 | 네덜란드 | 5 | 52 | 1.793 |
| 8 | 스웨덴 | 4 | 34 | 1.466 |
| 9 | 오스트리아 | 3 | 19 | 1.092 |
| 10 | 대한민국 | 2 | 5 | 0.431 |
| 미국 내 전체 특허 | | 95 | 551 | |

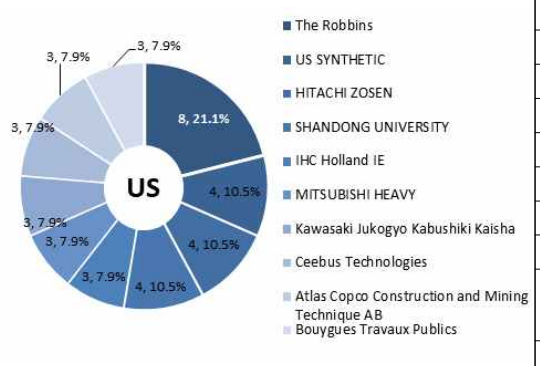
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 The Robbins가 8건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, US SYNTHETIC, HITACHI ZOSEN 등이 각 4건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

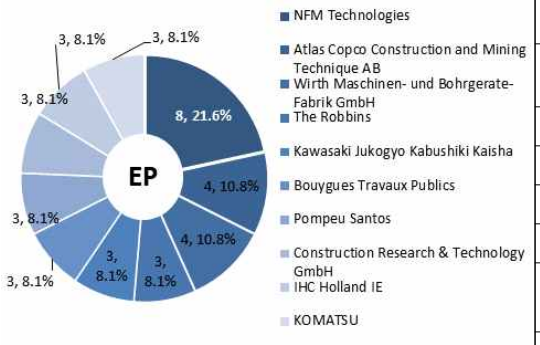
**<표 Ⅲ-45> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | The Robbins | 8 | 8.42% |
| 2 | US SYNTHETIC | 4 | 4.21% |
| 2 | HITACHI ZOSEN | 4 | 4.21% |
| 2 | SHANDONG UNIVERSITY | 4 | 4.21% |
| 5 | IHC Holland IE | 3 | 3.16% |
| 5 | MITSUBISHI HEAVY | 3 | 3.16% |
| 5 | Kawasaki Jukogyo Kabushiki Kaisha | 3 | 3.16% |
| 5 | Ceebus Technologies | 3 | 3.16% |
| 5 | Atlas Copco Construction and Mining Technique AB | 3 | 3.16% |
| 5 | Bouygues Travaux Publics | 3 | 3.16% |
| 합계 | | 38 | 40% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 95 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 NFM Technologies 8건으로 나타남

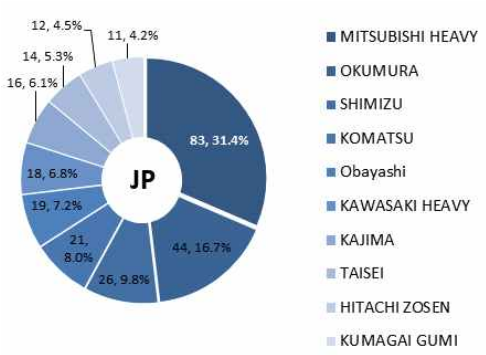
**<표 Ⅲ-46> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | NFM Technologies | 8 | 8.79% |
| 2 | Atlas Copco Construction and Mining Technique AB | 4 | 4.40% |
| 3 | Wirth Maschinen- und Bohrgerate-Fabrik GmbH | 4 | 4.40% |
| 3 | The Robbins | 3 | 3.30% |
| 3 | Kawasaki Jukogyo Kabushiki Kaisha | 3 | 3.30% |
| 3 | Bouygues Travaux Publics | 3 | 3.30% |
| 3 | Pompeu Santos | 3 | 3.30% |
| 3 | Construction Research & Technology GmbH | 3 | 3.30% |
| 3 | IHC Holland IE | 3 | 3.30% |
| 3 | KOMATSU | 3 | 3.30% |
| 합계 | | 30 | 40.66% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 91 | |

◉ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 MITSUBISHI HEAVY 83건, OKUMURA가 44건 순으로 나타남

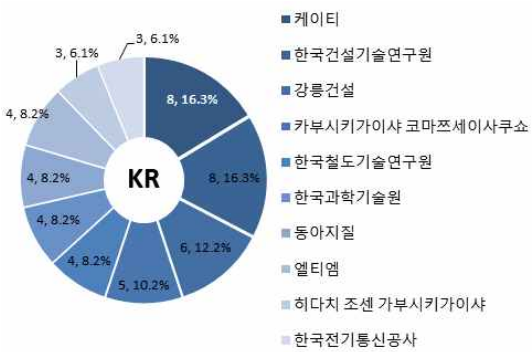
**<표 Ⅲ-47> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | MITSUBISHI HEAVY | 83 | 23.45% |
| 2 | OKUMURA | 44 | 12.43% |
| 2 | SHIMIZU | 26 | 7.34% |
| 4 | KOMATSU | 21 | 5.93% |
| 5 | Obayashi | 19 | 5.37% |
| 5 | KAWASAKI HEAVY | 18 | 5.08% |
| 7 | KAJIMA | 16 | 4.52% |
| 7 | TAISEI | 14 | 3.95% |
| 7 | HITACHI ZOSEN | 12 | 3.39% |
| 7 | KUMAGAI GUMI | 11 | 3.11% |
| 합계 | | 264 | 74.58% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 354 | |

◉ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 케이티와 한국건설기술연구원이 각 8건, 강릉건설이 6건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-48> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 케이티 | 8 | 5.93% |
| 2 | 한국건설기술연구원 | 8 | 5.93% |
| 3 | 강릉건설 | 6 | 4.44% |
| 4 | 카부시키가이샤 | 5 | 3.70% |
| 5 | 한국철도기술연구원 | 4 | 2.96% |
| 5 | 한국과학기술원 | 4 | 2.96% |
| 5 | 동아지질 | 4 | 2.96% |
| 5 | 엘티엠 | 4 | 2.96% |
| 5 | 히다치 조센 가부시키가이샤 | 3 | 2.22% |
| 5 | 한국전기통신공사 | 3 | 2.22% |
| 합계 | | 49 | 36.3% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 135 | |

## (3) 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발

### 특허 분석 개요

- 본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축

  - '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-49> '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or engineer* or 토목* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or build* or 시공 or 설계 or design* or platform* or construct*) and (maintenanc* or asset* or forecast* or examinat* or inspect* or examin* or 진단* or 점검* or 유지*)) OR AB=((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or engineer* or 토목* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or build* or 시공 or 설계 or design* or platform* or construct*) and (maintenanc* or asset* or inspect* or examin* or 진단* or 점검*))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 관련 전체 특허 605건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 일본, 한국 특허가 각각 229건(38%), 186건(31%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

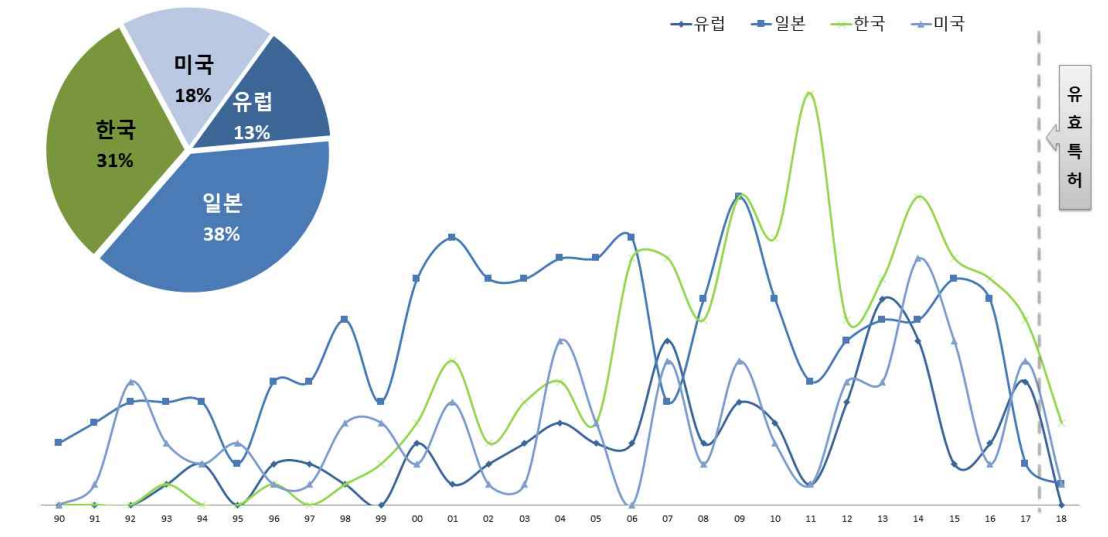
- ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 분야의 출원국가를 기준으로 2000년대 이후 꾸준히 증가하고 있는 추세

  - (일본) 분석기간('90년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음

  - (한국) 2008년도부터 2012년까지 특허출원 활동이 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 이후에도 꾸준히 증가하는 추세를 보임

  - (미국) 1990년 이후 매년 꾸준하게 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 2014년도에 특허출원 활동이 가장 많은 것으로 나타남

  - (유럽) 1994년 이후 특허출원 활동이 감소 추세에 들어섰으며, 2000년대 초반을 기점으로 기술개발 및 특허 확보 노력을 재가동하고 있음




**<그림 Ⅲ-16> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)**

〈표 Ⅲ-50〉 ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 일본 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 2 | 6 | 6 | 9 | 5 |
| 한국 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 미국 | 0 | 1 | 6 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 4 | 4 |
| 합계 | 3 | 5 | 11 | 10 | 9 | 5 | 10 | 9 | 15 | 11 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 8 | 3 | 5 |
| 일본 | 11 | 13 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13 | 5 | 10 | 15 |
| 한국 | 4 | 7 | 3 | 5 | 6 | 4 | 12 | 12 | 9 | 15 |
| 미국 | 2 | 5 | 1 | 1 | 8 | 4 | 0 | 7 | 2 | 7 |
| 합계 | 20 | 26 | 17 | 20 | 30 | 23 | 28 | 32 | 24 | 42 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 4 | 1 | 5 | 10 | 8 | 2 | 3 | 6 | 0 | 82 | 14% |
| 일본 | 10 | 6 | 8 | 9 | 9 | 11 | 10 | 2 | 1 | 229 | 38% |
| 한국 | 13 | 20 | 9 | 11 | 15 | 12 | 11 | 9 | 4 | 186 | 31% |
| 미국 | 3 | 1 | 6 | 6 | 12 | 8 | 2 | 7 | 1 | 108 | 18% |
| 합계 | 30 | 28 | 28 | 36 | 44 | 33 | 26 | 24 | 6 | 605 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

◉ ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 한국의 대우조선해양이 약 25건으로 가장 많은 출원활동을 보이고 있는 것으로 분석

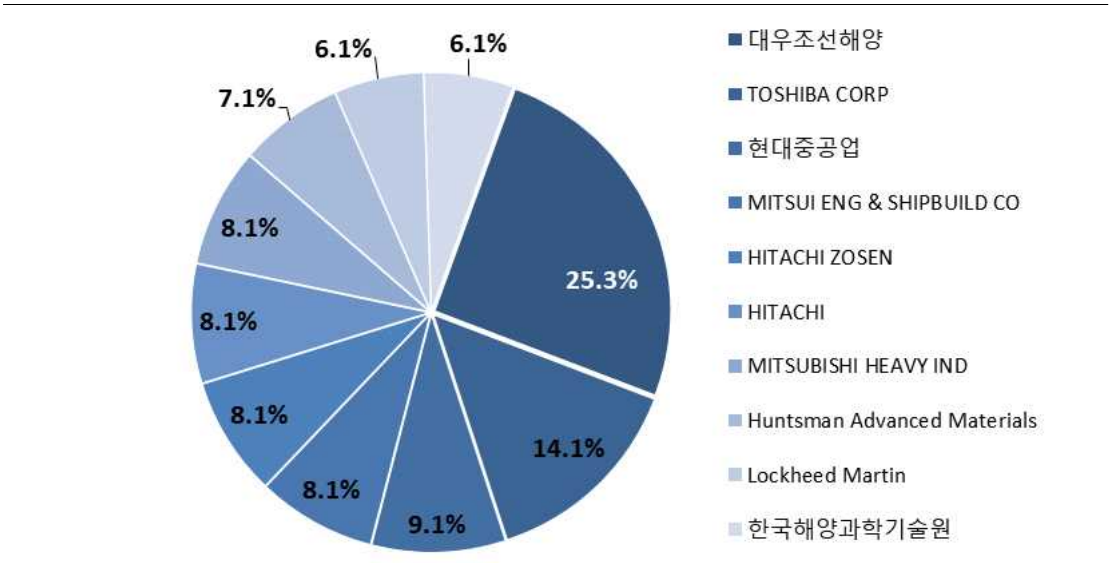
- TOSHIBA CORP은 전체 특허 건수(605건) 대비 2.31%(14건)를 차지하였으며, 다음으로 현대중공업이 각 1.49%(9건)를 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 605건으로 전체 출원특허 대비 16.36%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

- 한국의 경우 상위 10개 출원인 특허에 3개가 포함되는 것으로 확인됨

〈표 Ⅲ-51〉 ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

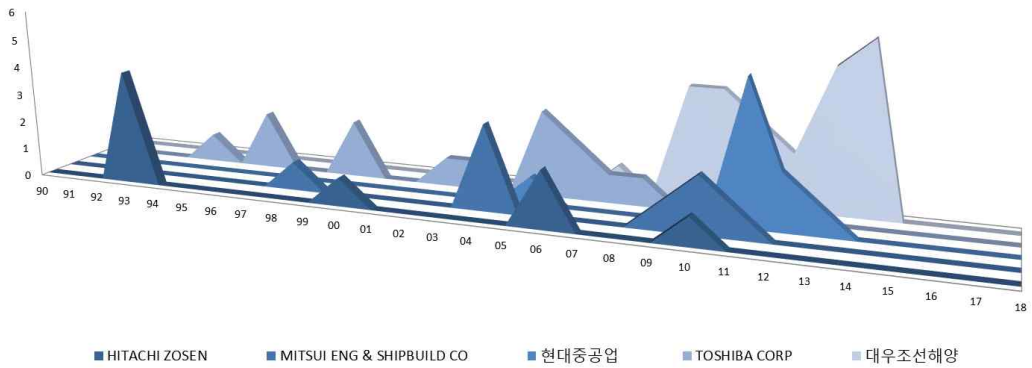
| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| ’자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리‘ 특허건수<전체 유효건수> | | 605건 | 100.0% |
| 1 | 대우조선해양 | 25 | 4.13% |
| 2 | TOSHIBA CORP | 14 | 2.31% |
| 3 | 현대중공업 | 9 | 1.49% |
| 4 | MITSUI ENG & SHIPBUILD CO | 8 | 1.32% |
| 5 | HITACHI ZOSEN | 8 | 1.32% |
| 6 | HITACHI | 8 | 1.32% |
| 7 | MITSUBISHI HEAVY IND | 8 | 1.32% |
| 8 | Huntsman Advanced Materials | 7 | 1.16% |
| 8 | Lockheed Martin | 6 | 0.99% |
| 10 | 한국해양과학기술원 | 6 | 0.99% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 99 | 16.36% |




〈그림 Ⅲ-17〉 ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원 활동을 분석한 결과, 대우조선해양의 경우 2009~2014년에 활발한 기술개발 및 지재권 확보 활동을 보임
- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 2010년도 초반에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석
  - 제4차 산업혁명 등으로 세계 트렌드가 변화하면서 향후 융복합 관련 기술 개발 및 지재권 확보를 위한 특허 출원활동은 지속될 것으로 예상




| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대우조선해양 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| TOSHIBA CORP | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 현대중공업 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MITSUI ENG & SHIPBUILD | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| HITACHI ZOSEN | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | |
| 대우조선해양 | 4 | 3 | 2 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| TOSHIBA CORP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 현대중공업 | 0 | 5 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| MITSUI ENG & SHIPBUILD | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| HITACHI ZOSEN | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-18> ‘자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

- 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

  - 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

    * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

    * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

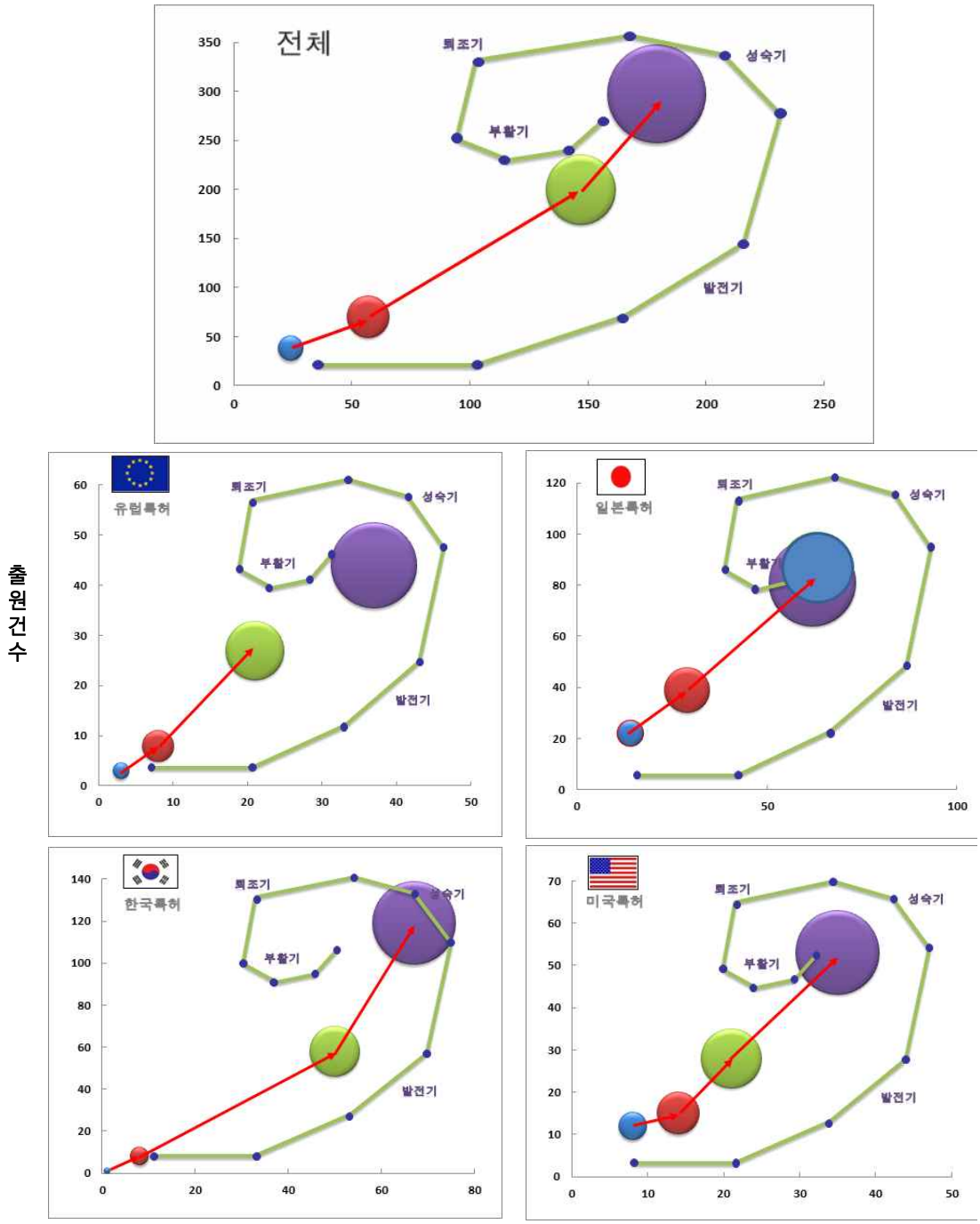
- 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

  - 자동화, 정보공유 등의 기술이 시설물 분야에 접목됨에 따라 자산관리 기반의 해저터널 스마트 유지관리 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

  - 한국의 경우 출원인 수와 특허 건수가 모두 성장세를 보이는 발전기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-52> '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 3 | 3 | 3 | 8 | 8 | 11 | 21 | 27 | 38 | 37 | 44 | 82 |
| | 일본 | 14 | 22 | 22 | 29 | 39 | 61 | 63 | 87 | 148 | 62 | 81 | 229 |
| | 한국 | 1 | 1 | 1 | 8 | 8 | 9 | 50 | 58 | 67 | 67 | 119 | 186 |
| | 미국 | 8 | 12 | 12 | 14 | 15 | 27 | 21 | 28 | 55 | 35 | 53 | 108 |
| 전체 | | 24 | 38 | 38 | 57 | 70 | 108 | 147 | 200 | 308 | 179 | 297 | 229 |




<그림 Ⅲ-19> '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 미국이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 한국은 기술경쟁력 지수가 0인 것으로 분석
- 미국은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 3건의 특허를 보유하고 있으며 개인 및 他기관에 인용되는 피인용수가 없어 기술경쟁력 지수(TS)가 '0'으로 분석됨

**<표 Ⅲ-53> 출원인 국가별 '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 64 | 972 | 1.350 | 86.400 |
| 2 | 일본 | 10 | 81 | 0.720 | 7.200 |
| 3 | 사우디아라비아 | 5 | 14 | 0.249 | 1.244 |
| 4 | 영국 | 5 | 8 | 0.142 | 0.711 |
| 5 | 노르웨이 | 3 | 28 | 0.830 | 2.489 |
| 6 | 대한민국 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 러시아 | 3 | 16 | 0.474 | 1.422 |
| 8 | 프랑스 | 3 | 9 | 0.267 | 0.800 |
| 미국 내 전체 특허 | | 108 | 1,215 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 노르웨이, 프랑스, 영국 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 노르웨이의 경우 3건의 특허를 보유하고 있으나, 시장확보지수가 2.6445이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(64건)의 특허를 보유하고 있음에도 노르웨이에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 3건의 출원특허를 보유하고 있으며, 시장확보력 지수는 1.1 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보이는 듯 하나 10개 미만의 특허 건수로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움 존재

**<표 Ⅲ-54> 출원인 국가별 '자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 64 | 205 | 0.8198 |
| 2 | 일본 | 10 | 42 | 1.0749 |
| 3 | 사우디아라비아 | 5 | 10 | 0.5118 |
| 4 | 영국 | 5 | 26 | 1.3308 |
| 5 | 노르웨이 | 3 | 31 | 2.6445 |
| 6 | 대한민국 | 3 | 13 | 1.1090 |
| 7 | 러시아 | 3 | 9 | 0.7678 |
| 8 | 프랑스 | 3 | 16 | 1.3649 |
| 미국 내 전체 특허 | | 108 | 422 | |

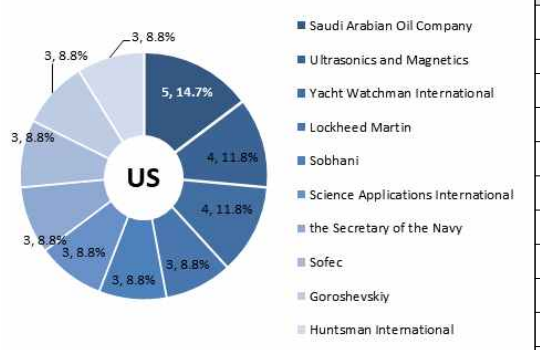
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 Saudi Arabian Oil Company가 5건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, Ultrasonics and Magnetics가 4건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

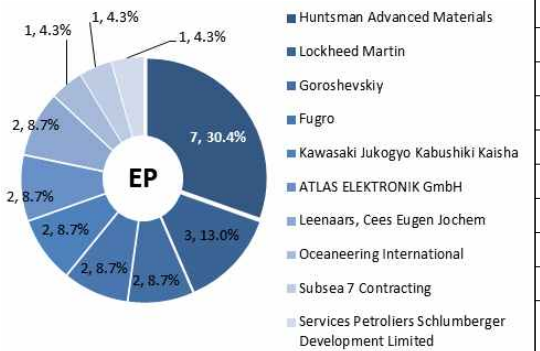
**<표 Ⅲ-55> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Saudi Arabian Oil Company | 5 | 4.63% |
| 2 | Ultrasonics and Magnetics | 4 | 3.70% |
| 2 | Yacht Watchman International | 4 | 3.70% |
| 4 | Lockheed Martin | 3 | 2.78% |
| 4 | Sobhani | 3 | 2.78% |
| 4 | Science Applications | 3 | 2.78% |
| 4 | the Secretary of the Navy | 3 | 2.78% |
| 4 | Sofec | 3 | 2.78% |
| 4 | Goroshevskiy | 3 | 2.78% |
| 7 | Huntsman International | 3 | 2.78% |
| 합계 | | 34 | 31.48% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 108 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 Huntsman Advanced Materials 7건, Lockheed Martin 3건 순으로 나타남

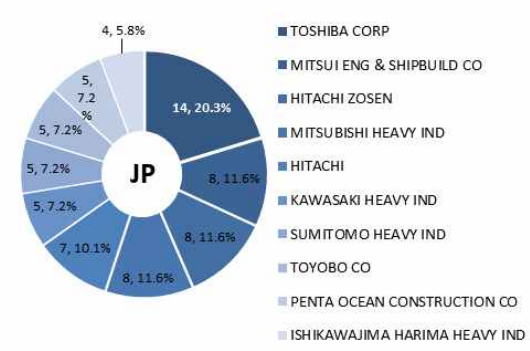
**<표 Ⅲ-56> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Huntsman Advanced Materials | 7 | 8.54% |
| 2 | Lockheed Martin | 3 | 3.66% |
| 3 | Goroshevskiy | 2 | 2.44% |
| 3 | Fugro | 2 | 2.44% |
| 3 | Kawasaki Jukogyo Kabushiki | 2 | 2.44% |
| 3 | ATLAS ELEKTRONIK GmbH | 2 | 2.44% |
| 3 | Leenaars | 2 | 2.44% |
| 8 | Oceaneering International | 1 | 1.22% |
| 8 | Subsea 7 Contracting | 1 | 1.22% |
| 8 | Services Petroliers Schlumberger Development Limited | 1 | 1.22% |
| 합계 | | 23 | 28.05% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 82 | |

◎ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 TOSHIBA CORP 14건, MITSUI ENG & SHIPBUILD, HITACHI ZOSEN, MITSUBISHI HEAVY가 각 8건 순으로 나타남

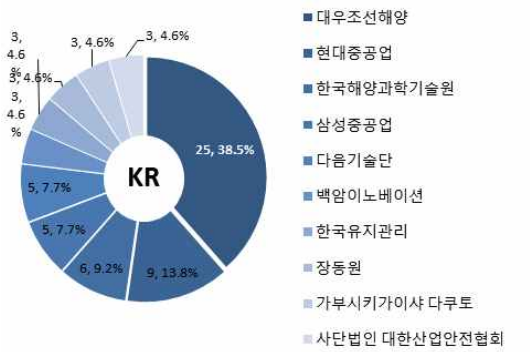
**<표 Ⅲ-57> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | TOSHIBA CORP | 14 | 6.11% |
| 2 | MITSUI ENG & SHIPBUILD | 8 | 3.49% |
| 2 | HITACHI ZOSEN | 8 | 3.49% |
| 2 | MITSUBISHI HEAVY IND | 8 | 3.49% |
| 5 | HITACHI | 7 | 3.06% |
| 6 | KAWASAKI HEAVY IND | 5 | 2.18% |
| 6 | SUMITOMO HEAVY IND | 5 | 2.18% |
| 6 | TOYOBO CO | 5 | 2.18% |
| 6 | PENTA OCEAN CONSTRUCTION | 5 | 2.18% |
| 10 | ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY | 4 | 1.75% |
| 합계 | | 69 | 30.3% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 229 | |

◎ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 대우조선해양 25건, 현대중공업 9건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-58> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 대우조선해양 | 25 | 13.44% |
| 2 | 현대중공업 | 9 | 4.84% |
| 3 | 한국해양과학기술원 | 6 | 3.23% |
| 4 | 삼성중공업 | 5 | 2.69% |
| 4 | 다음기술단 | 5 | 2.69% |
| 6 | 백암이노베이션 | 3 | 1.61% |
| 6 | 한국유지관리 | 3 | 1.61% |
| 6 | 장동원 | 3 | 1.61% |
| 6 | 가부시키가이샤 다쿠토 | 3 | 1.61% |
| 6 | 사단법인 대한산업안전협회 | 3 | 1.61% |
| 합계 | | 65 | 34.95% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 186 | |

## (4) 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술

### 특허 분석 개요

- 본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축
  - '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-59> '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=((착저* or land* or seabed* or bottom* or benthic* or 수직구* or verticalshaft* or vertical-shaft* or ""vertical shaft"") n/2 (인공섬* or 인공-섬* or ""인공 섬"" or 인공_섬* or artificialisland* or artificial-island* or artificial_island* or ""artificial island"")) or ((착저* or land* or seabed* or bottom* or benthic*) and ((해상* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine) n/2 (구조물 or structur* or construct*))) OR AB=((착저* or land* or seabed* or bottom* or benthic* or 수직구* or verticalshaft* or vertical-shaft* or ""vertical shaft"") n/2 (인공섬* or 인공-섬* or ""인공 섬"" or 인공_섬* or artificialisland* or artificial-island* or artificial_island* or ""artificial island"")) or ((착저* or land* or seabed* or bottom* or benthic*) and ((해상* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine) n/2 (구조물 or structur* or construct*)))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 관련 전체 특허 899건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 미국, 일본 특허가 각각 353건(39%), 294건(33%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

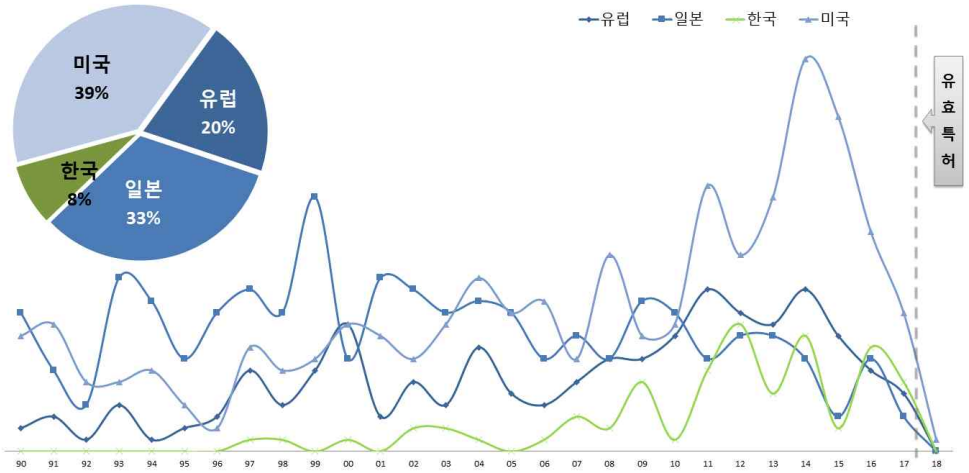
- '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 분야의 출원국가를 기준으로 1990년대 이후 매년 특허출원활동이 진행되고 있는 것으로 분석됨

  - (미국) 1990년 이후 매년 꾸준하게 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 2014년도에 특허출원 활동이 가장 많은 것으로 나타남

  - (일본) 분석기간('90년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음

  - (유럽) 1990년대 이후 매년 꾸준하게 특허 출원 활동이 이루어지고 있음며, 특히 2010년대 초반 높은 특허 출원 활동을 보이고 있음

  - (한국) 1990년대 초반에는 관련 특허출원활동이 미비하였으나, 2008년을 기점으로 착저식 인공섬 설계/시공 기술개발의 특허 출원이 꾸준히 증가하는 추세




**<그림 Ⅲ-20> '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)**

〈표 Ⅲ-60〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 7 | 4 | 7 |
| 일본 | 12 | 7 | 4 | 15 | 13 | 8 | 12 | 14 | 12 | 22 |
| 한국 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 미국 | 10 | 11 | 6 | 6 | 7 | 4 | 2 | 9 | 7 | 8 |
| 합계 | 24 | 21 | 11 | 25 | 21 | 14 | 17 | 31 | 24 | 37 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 11 | 3 | 6 | 4 | 9 | 5 | 4 | 6 | 8 | 8 |
| 일본 | 8 | 15 | 14 | 12 | 13 | 12 | 8 | 10 | 8 | 13 |
| 한국 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 6 |
| 미국 | 11 | 10 | 8 | 11 | 15 | 12 | 13 | 8 | 17 | 10 |
| 합계 | 31 | 28 | 30 | 29 | 38 | 29 | 26 | 27 | 35 | 37 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 10 | 14 | 12 | 11 | 14 | 10 | 7 | 5 | 0 | 181 | 20% |
| 일본 | 12 | 8 | 10 | 10 | 8 | 3 | 8 | 3 | 0 | 294 | 33% |
| 한국 | 1 | 7 | 11 | 5 | 10 | 2 | 9 | 6 | 0 | 71 | 8% |
| 미국 | 11 | 23 | 17 | 22 | 34 | 29 | 19 | 12 | 1 | 353 | 39% |
| 합계 | 34 | 52 | 50 | 48 | 66 | 44 | 43 | 26 | 1 | 899 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

◉ ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 스위스의 Single Buoy Moorings이 약 23건으로 가장 많은 출원활동을 보이고 있는 것으로 분석

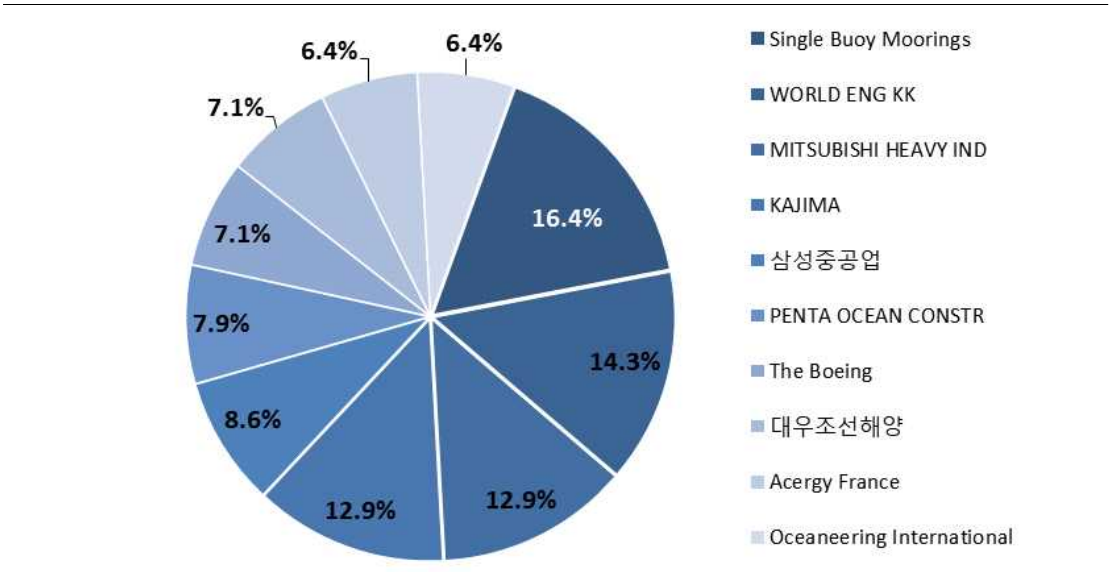
- WORLD ENG은 전체 특허 건수(899건) 대비 2.22%(20건)를 차지하였으며, 다음으로 MITSUBISHI HEAVY, KAJIMA이 각 2%(18건)를 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 140건으로 전체 출원특허 대비 15.57%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

- 한국의 경우 상위 10개 출원인 특허에 2개가 포함되는 것으로 확인됨

〈표 Ⅲ-61〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

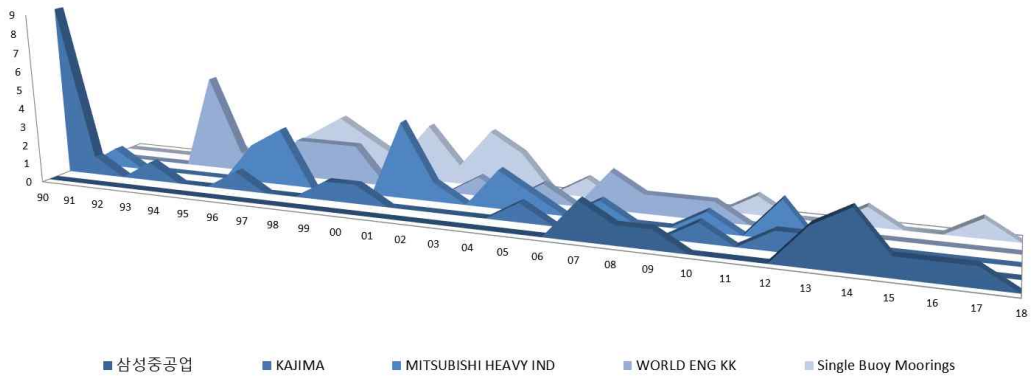
| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| ’해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공‘ 특허건수<전체 유효건수> | | 899건 | 100.0% |
| 1 | Single Buoy Moorings | 23 | 2.56% |
| 2 | WORLD ENG KK | 20 | 2.22% |
| 3 | MITSUBISHI HEAVY IND | 18 | 2.00% |
| 4 | KAJIMA | 18 | 2.00% |
| 5 | 삼성중공업 | 12 | 1.33% |
| 6 | PENTA OCEAN CONSTR | 11 | 1.22% |
| 7 | The Boeing | 10 | 1.11% |
| 8 | 대우조선해양 | 10 | 1.11% |
| 8 | Acergy France | 9 | 1.00% |
| 10 | Oceaneering International | 9 | 1.00% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 140 | 15.57% |




〈그림 Ⅲ-21〉 ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원활동을 분석한 결과, Single Buoy Moorings의 경우 2000년대 초 활발한 기술개발 및 지재권 확보 활동을 보임
- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 2000년도 초반에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석
  - 국토공간 확장, 랜드마크 형성 등 인공섬에 대한 세계적 관심이 증가함에 따라 관련 기술 개발 및 지재권 확보를 위한 특허 출원활동은 지속될 것으로 예상




| 구분 | ’00 | ’01 | ’02 | ’03 | ’04 | ’05 | ’06 | ’07 | ’08 | ’09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Single Buoy Moorings | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| WORLD ENG KK | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| KAJIMA | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 삼성중공업 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| **구분** | **’10** | **’11** | **’12** | **’13** | **’14** | **’15** | **’16** | **’17** | **’18** | |
| Single Buoy Moorings | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| WORLD ENG KK | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| KAJIMA | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 삼성중공업 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-22> ‘해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

- 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

  - 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

    * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

    * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

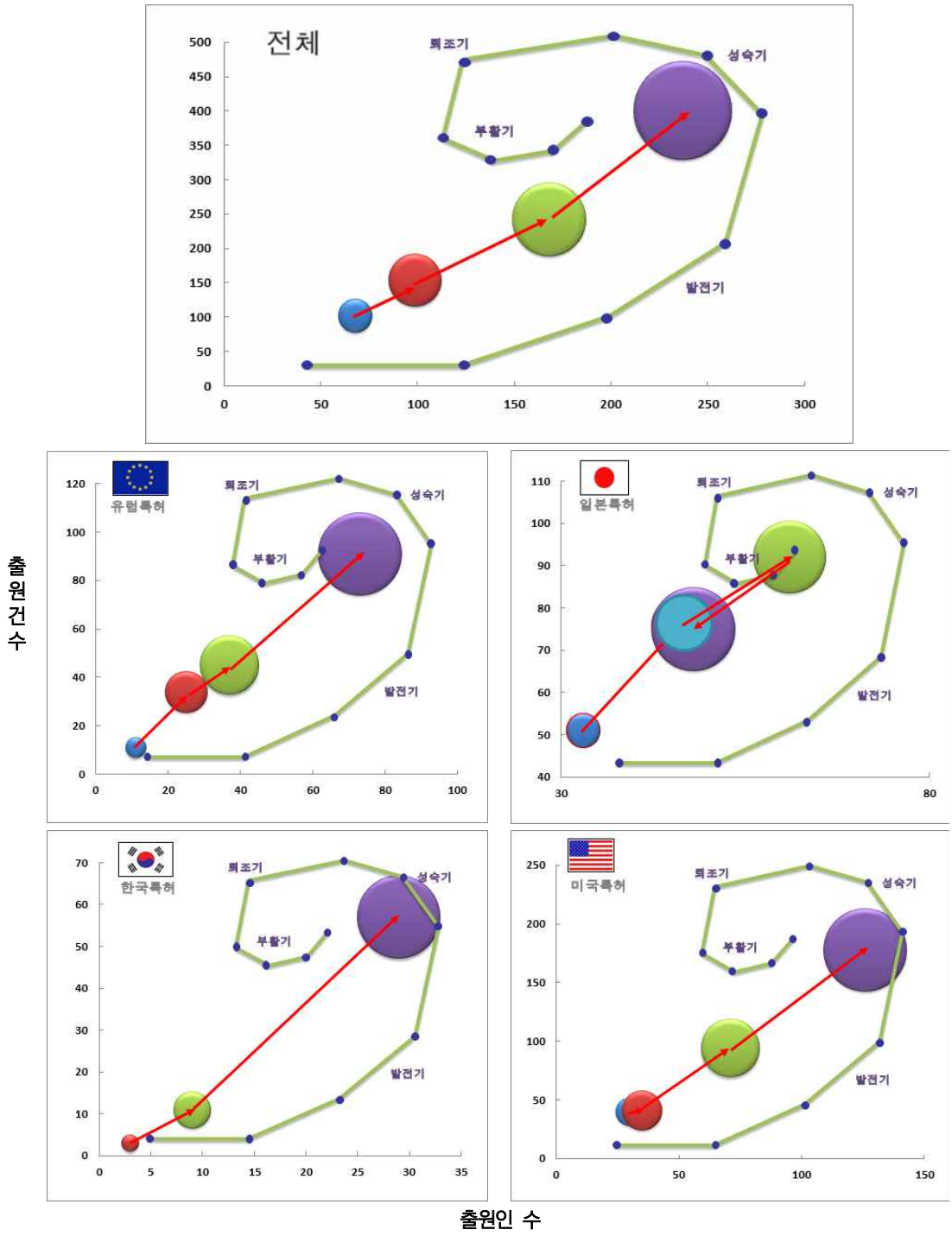
- 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

  - 국토확장 개념의 인공섬 개발 관심이 증가함에 따라 착저식 인공섬 설계/시공 기술의 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

  - 한국의 경우 출원인 수와 특허 건수가 모두 성장세를 보이는 발전기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-62> '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 11 | 11 | 11 | 25 | 34 | 45 | 37 | 45 | 90 | 73 | 91 | 181 |
| | 일본 | 33 | 51 | 51 | 46 | 76 | 127 | 61 | 92 | 219 | 48 | 75 | 294 |
| | 한국 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 3 | 9 | 11 | 14 | 29 | 57 | 71 |
| | 미국 | 30 | 40 | 40 | 35 | 41 | 81 | 71 | 94 | 175 | 126 | 178 | 353 |
| 전체 | | 68 | 102 | 102 | 99 | 154 | 256 | 168 | 242 | 498 | 237 | 401 | 294 |




<그림 Ⅲ-23> '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 미국이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 노르웨이의 기술경쟁력 지수가 26.8인 것으로 분석
- 미국은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 11건의 특허를 보유하고 있으며 개인 및 他기관에 인용되는 피인용수는 11로, 기술경쟁력 지수(TS)가 '1.629'로 분석됨

**<표 Ⅲ-63> 출원인 국가별 '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 160 | 1249 | 1.156 | 184.940 |
| 2 | 노르웨이 | 35 | 181 | 0.766 | 26.801 |
| 3 | 프랑스 | 24 | 131 | 0.808 | 19.397 |
| 4 | 일본 | 19 | 171 | 1.333 | 25.320 |
| 5 | 영국 | 18 | 88 | 0.724 | 13.030 |
| 6 | 네덜란드 | 13 | 79 | 0.900 | 11.698 |
| 7 | 스위스 | 13 | 94 | 1.071 | 13.919 |
| 8 | 대한민국 | 11 | 11 | 0.148 | 1.629 |
| 9 | 캐나다 | 9 | 55 | 0.905 | 8.144 |
| 10 | 오스트레일리아 | 8 | 22 | 0.407 | 3.258 |
| 미국 내 전체 특허 | | 353 | 2,384 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 노르웨이, 프랑스, 영국 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 노르웨이의 경우 35건의 특허를 보유하고 있으나, 시장확보지수가 1.322이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(160건)의 특허를 보유하고 있음에도 노르웨이에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 11건의 출원특허를 보유하고 있으며, 시장확보력 지수는 0.881 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보임

**<표 Ⅲ-64> 출원인 국가별 '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 160 | 600 | 0.742 |
| 2 | 노르웨이 | 35 | 234 | 1.322 |
| 3 | 프랑스 | 24 | 151 | 1.244 |
| 4 | 일본 | 19 | 101 | 1.051 |
| 5 | 영국 | 18 | 106 | 1.165 |
| 6 | 네덜란드 | 13 | 75 | 1.141 |
| 7 | 스위스 | 13 | 76 | 1.156 |
| 8 | 대한민국 | 11 | 49 | 0.881 |
| 9 | 캐나다 | 9 | 24 | 0.527 |
| 10 | 오스트레일리아 | 8 | 68 | 1.681 |
| 미국 내 전체 특허 | | 353 | 1,785 | |

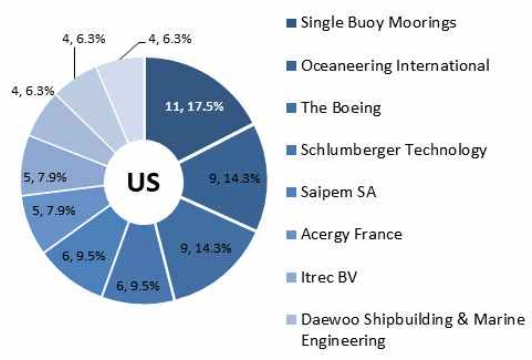
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 Single Buoy Moorings가 11건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, Oceaneering International, The Boeing이 각 9건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

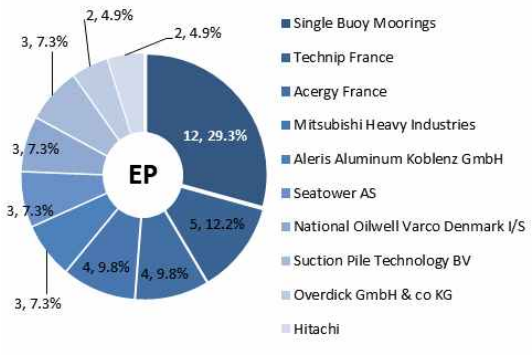
**<표 Ⅲ-65> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Single Buoy Moorings | 11 | 3.12% |
| 2 | Oceaneering International | 9 | 2.55% |
| 2 | The Boeing | 9 | 2.55% |
| 4 | Schlumberger Technology | 6 | 1.70% |
| 4 | Saipem SA | 6 | 1.70% |
| 4 | Acergy France | 5 | 1.42% |
| 4 | Itrec BV | 5 | 1.42% |
| 4 | Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering | 4 | 1.13% |
| 4 | Petroleo Brasileiro SA | 4 | 1.13% |
| 7 | Texaco | 4 | 1.13% |
| 합계 | | 63 | 17.8% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 353 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 Single Buoy Moorings 12건, Technip France 5건 순으로 나타남

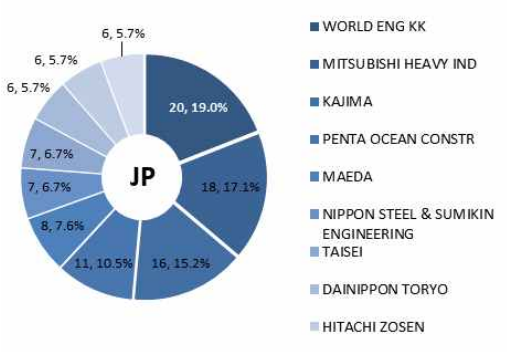
**<표 Ⅲ-66> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Single Buoy Moorings | 12 | 6.63% |
| 2 | Technip France | 5 | 2.76% |
| 3 | Acergy France | 4 | 2.21% |
| 3 | Mitsubishi Heavy Industries | 4 | 2.21% |
| 3 | Aleris Aluminum Koblenz | 3 | 1.66% |
| 3 | Seatower AS | 3 | 1.66% |
| 3 | National Oilwell Varco Denmark | 3 | 1.66% |
| 8 | Suction Pile Technology BV | 3 | 1.66% |
| 8 | Overdick GmbH & co KG | 2 | 1.10% |
| 8 | Hitachi | 2 | 1.10% |
| 합계 | | 41 | 22.65% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 181 | |

◉ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 WORLD ENG KK 20건, MITSUBISHI HEAVY IND가 각 18건 순으로 나타남

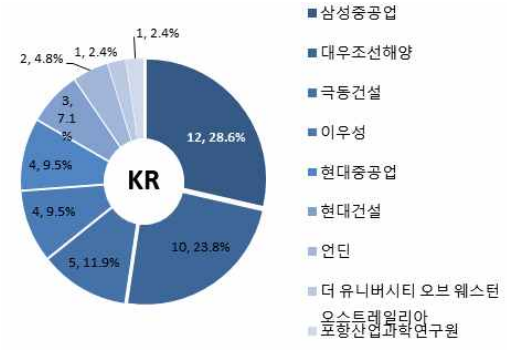
**<표 Ⅲ-67> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | WORLD ENG KK | 20 | 6.80% |
| 2 | MITSUBISHI HEAVY IND | 18 | 6.12% |
| 2 | KAJIMA | 16 | 5.44% |
| 2 | PENTA OCEAN CONSTR | 11 | 3.74% |
| 5 | MAEDA | 8 | 2.72% |
| 6 | NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING | 7 | 2.38% |
| 6 | TAISEI | 7 | 2.38% |
| 6 | DAINIPPON TORYO | 6 | 2.04% |
| 6 | HITACHI ZOSEN | 6 | 2.04% |
| 10 | MITSUI ENG & SHIPBUILD | 6 | 2.04% |
| 합계 | | 105 | 35.7% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 294 | |

◉ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 삼성중공업 12건, 대우조선해양 10건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-68> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 삼성중공업 | 12 | 16.90% |
| 2 | 대우조선해양 | 10 | 14.08% |
| 3 | 극동건설 | 5 | 7.04% |
| 4 | 이우성 | 4 | 5.63% |
| 4 | 현대중공업 | 4 | 5.63% |
| 6 | 현대건설 | 3 | 4.23% |
| 6 | 언딘 | 2 | 2.82% |
| 6 | 더 유니버시티 오브 웨스턴 오스트레일리아 | 1 | 1.41% |
| 6 | 포항산업과학연구원 | 1 | 1.41% |
| 합계 | | 42 | 59.15% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 71 | |

## (5) 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술

### 특허 분석 개요

- 본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축
  - '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-69> '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=((부유* or float*) n/2 (인공섬* or 인공-섬* or ""인공 섬"" or 인공_섬* or artificialisland* or artificial-island* or artificial_island* or ""artificial island"" or 구조물 or structur* or construct*))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 관련 전체 특허 1,368건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 한국, 일본 특허가 각각 489건(36%), 455건(33%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

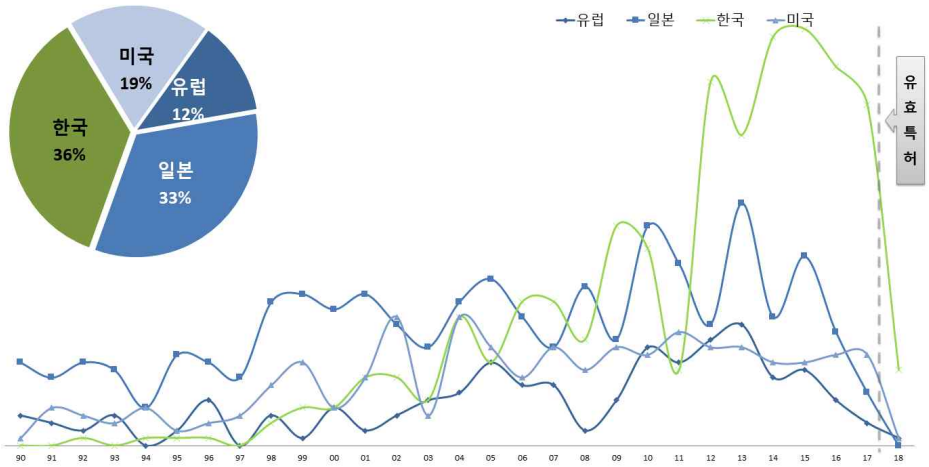
- '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 분야의 출원국가를 기준으로 1990년대 이후 매년 특허출원활동이 진행되고 있는 것으로 분석됨

  - (한국) 1990년대 초반에는 관련 특허출원활동이 미비하였으나, 2010년을 기점으로 부유식 구조물 설계 관련 기술개발의 특허 출원이 꾸준히 증가하는 추세

  - (일본) 분석기간('90년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음

  - (미국) 1990년 이후 매년 꾸준하게 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 2000년대 초반에 특허출원 활동이 가장 많은 것으로 나타남

  - (유럽) 1990년대 이후 매년 꾸준하게 특허 출원 활동이 이루어지고 있음며, 특히 2010년대 초반 높은 특허 출원 활동을 보이고 있음




**<그림 Ⅲ-24> '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)**

〈표 Ⅲ-70〉 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 4 | 3 | 2 | 4 | 0 | 2 | 6 | 0 | 4 | 1 |
| 일본 | 11 | 9 | 11 | 10 | 5 | 12 | 11 | 9 | 19 | 20 |
| 한국 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 5 |
| 미국 | 1 | 5 | 4 | 3 | 5 | 2 | 3 | 4 | 8 | 11 |
| 합계 | 16 | 17 | 18 | 17 | 11 | 17 | 21 | 13 | 34 | 37 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 5 | 2 | 4 | 6 | 7 | 11 | 8 | 8 | 2 | 6 |
| 일본 | 18 | 20 | 16 | 13 | 19 | 22 | 17 | 13 | 21 | 14 |
| 한국 | 5 | 9 | 9 | 6 | 17 | 11 | 19 | 19 | 14 | 29 |
| 미국 | 5 | 9 | 17 | 4 | 17 | 13 | 9 | 13 | 10 | 13 |
| 합계 | 33 | 40 | 46 | 29 | 60 | 57 | 53 | 53 | 47 | 62 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 13 | 11 | 14 | 16 | 9 | 10 | 6 | 3 | 1 | 168 | 12% |
| 일본 | 29 | 24 | 16 | 32 | 17 | 25 | 15 | 7 | 0 | 455 | 33% |
| 한국 | 26 | 10 | 48 | 41 | 54 | 55 | 50 | 45 | 10 | 489 | 36% |
| 미국 | 12 | 15 | 13 | 13 | 11 | 11 | 12 | 12 | 1 | 256 | 19% |
| 합계 | 80 | 60 | 91 | 102 | 91 | 101 | 83 | 67 | 12 | 1368 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

◉ '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 한국의 삼성중공업이 약 176건으로 가장 많은 출원활동을 보이고 있는 것으로 분석

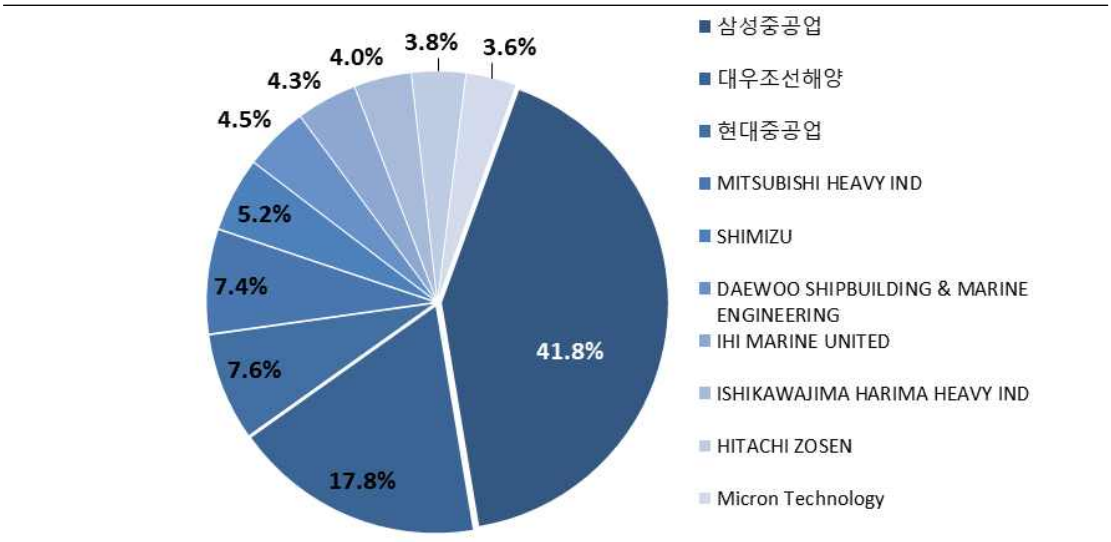
- 대우조선해양은 전체 특허 건수(1,368건) 대비 5.48%(75건)를 차지하였으며, 다음으로 현대중공업, MITSUBISHI HEAVY IND이 각 5.48%(18건), 2.34%(32건)를 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 421건으로 전체 출원특허 대비 30.77%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

- 한국의 경우 상위 10개 출원인 특허에 3개가 포함되는 것으로 확인됨

〈표 Ⅲ-71〉 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| 'ㅎ해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 특허건수 〈전체 유효건수〉 | | 1,368건 | 100.0% |
| 1 | 삼성중공업 | 176 | 12.87% |
| 2 | 대우조선해양 | 75 | 5.48% |
| 3 | 현대중공업 | 32 | 2.34% |
| 4 | MITSUBISHI HEAVY IND | 31 | 2.27% |
| 5 | SHIMIZU | 22 | 1.61% |
| 6 | DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING | 19 | 1.39% |
| 7 | IHI MARINE UNITED | 18 | 1.32% |
| 8 | ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND | 17 | 1.24% |
| 8 | HITACHI ZOSEN | 16 | 1.17% |
| 10 | Micron Technology | 15 | 1.10% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 421 | 30.77% |



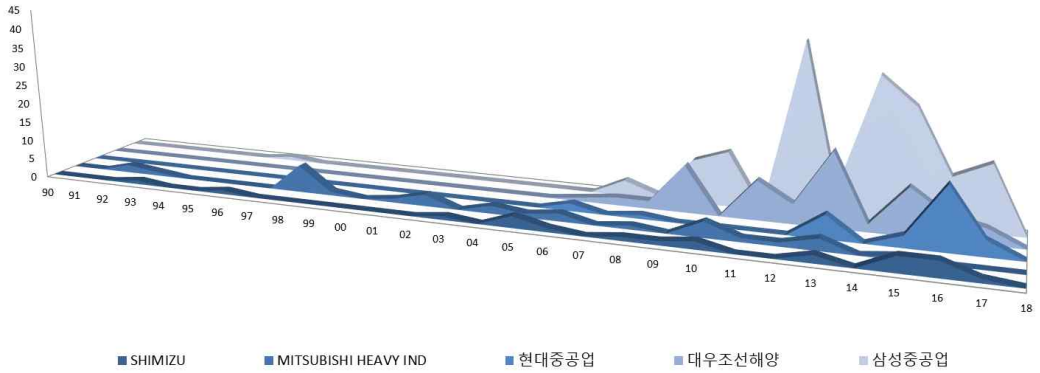

〈그림 Ⅲ-25〉 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원활동을 분석한 결과, 삼성중공업의 경우 2000년대 후반 활발한 기술개발 및 지재권 확보 활동을 보임

- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 2000년도 후반에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석

  - 국토공간 확장, 랜드마크 형성 등 인공섬에 대한 세계적 관심이 증가함에 따라 관련 기술 개발 및 지재권 확보를 위한 특허 출원활동은 지속될 것으로 예상




| 구분 | ’00 | ’01 | ’02 | ’03 | ’04 | ’05 | ’06 | ’07 | ’08 | ’09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 삼성중공업 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 11 |
| 대우조선해양 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 12 |
| 현대중공업 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| SHIMIZU | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| **구분** | **’10** | **’11** | **’12** | **’13** | **’14** | **’15** | **’16** | **’17** | **’18** | |
| 삼성중공업 | 14 | 0 | 43 | 7 | 36 | 29 | 13 | 17 | 0 | |
| 대우조선해양 | 0 | 10 | 5 | 19 | 2 | 12 | 6 | 4 | 0 | |
| 현대중공업 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 3 | 16 | 4 | 0 | |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| SHIMIZU | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-26> ‘해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치’ 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

- 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

  - 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

    * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

    * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

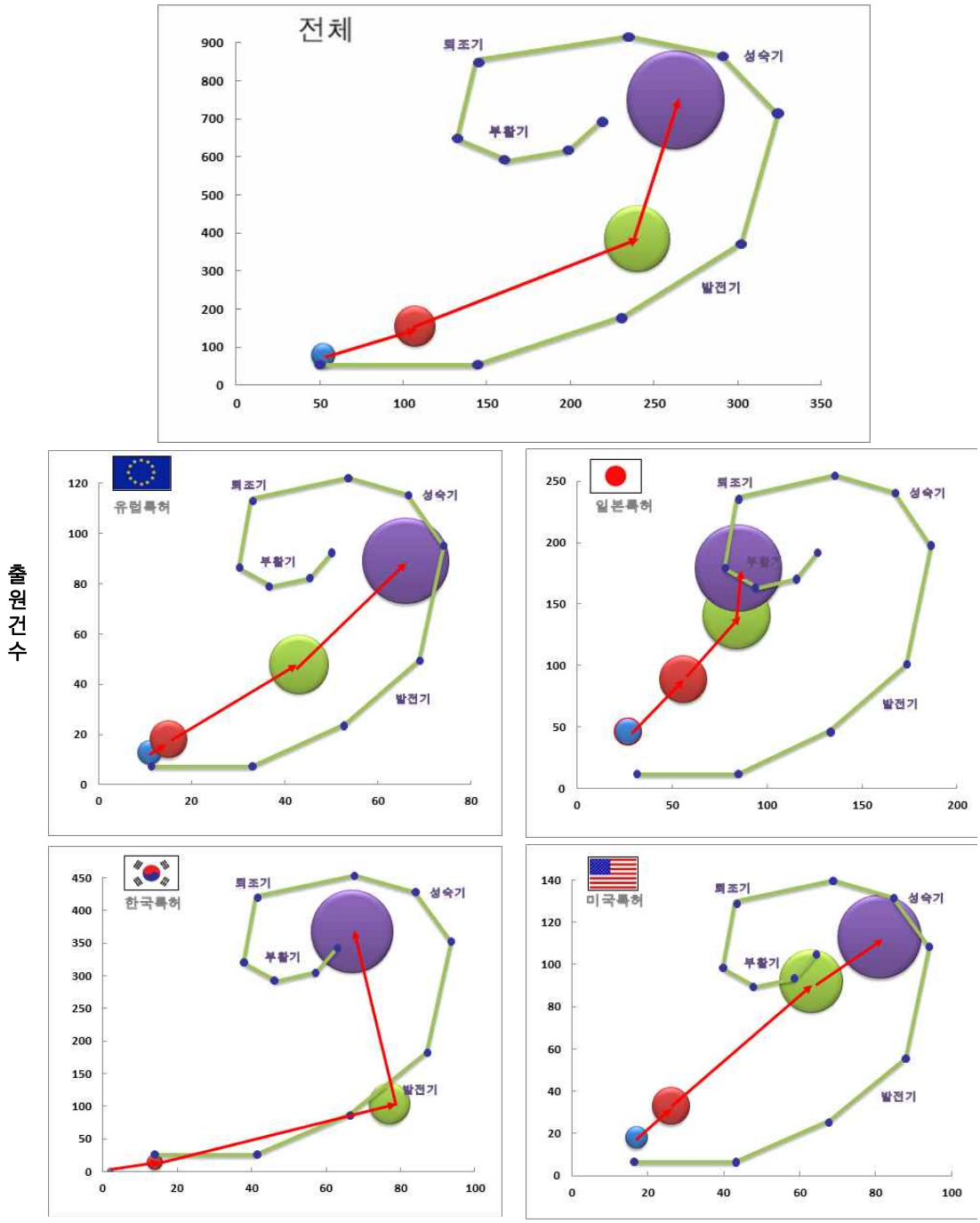
- 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

  - 해상공간 확장에 대한 전 세계적인 관심이 증가함에 따라 부유식 인공섬 설계/설치기술의 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

  - 한국의 경우 출원인 수는 줄어들고, 특허 건수는 증가하는 성숙기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-72> '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 11 | 13 | 13 | 15 | 18 | 31 | 43 | 48 | 79 | 66 | 89 | 168 |
| | 일본 | 27 | 46 | 46 | 56 | 89 | 135 | 84 | 141 | 276 | 85 | 179 | 455 |
| | 한국 | 2 | 2 | 2 | 14 | 15 | 17 | 77 | 104 | 121 | 67 | 368 | 489 |
| | 미국 | 17 | 18 | 18 | 26 | 33 | 51 | 63 | 92 | 143 | 81 | 113 | 256 |
| 전체 | | 52 | 79 | 79 | 107 | 155 | 234 | 240 | 385 | 619 | 263 | 749 | 455 |




<그림 Ⅲ-27> '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 미국이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 일본의 기술경쟁력 지수가 30.725로 높은 것으로 분석
- 미국은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 22건의 특허를 보유하고 있으며 개인 및 他기관에 인용되는 피인용수는 67로, 기술경쟁력 지수(TS)가 '8.437'로 분석됨

**<표 Ⅲ-73> 출원인 국가별 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 94 | 1336 | 1.790 | 168.232 |
| 2 | 일본 | 32 | 244 | 0.960 | 30.725 |
| 3 | 대한민국 | 22 | 67 | 0.383 | 8.437 |
| 4 | 프랑스 | 17 | 37 | 0.274 | 4.659 |
| 5 | 대만 | 15 | 132 | 1.108 | 16.622 |
| 6 | 노르웨이 | 12 | 59 | 0.619 | 7.429 |
| 7 | 스페인 | 9 | 4 | 0.056 | 0.504 |
| 8 | 브라질 | 6 | 24 | 0.504 | 3.022 |
| 9 | 스위스 | 6 | 11 | 0.231 | 1.385 |
| 10 | 네덜란드 | 6 | 21 | 0.441 | 2.644 |
| 미국 내 전체 특허 | | 256 | 2,033 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 스페인, 노르웨이, 프랑스 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 스페인의 경우 9건의 특허를 보유하고 있으나, 시장확보지수가 2.1이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(94건)의 특허를 보유하고 있음에도 스페인에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 22건의 출원특허를 보유하고 있으며, 시장확보력 지수는 1.138 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보임

**<표 Ⅲ-74> 출원인 국가별 '해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 94 | 252 | 0.605 |
| 2 | 일본 | 32 | 145 | 1.022 |
| 3 | 대한민국 | 22 | 111 | 1.138 |
| 4 | 프랑스 | 17 | 118 | 1.566 |
| 5 | 대만 | 15 | 27 | 0.406 |
| 6 | 노르웨이 | 12 | 101 | 1.898 |
| 7 | 스페인 | 9 | 86 | 2.155 |
| 8 | 브라질 | 6 | 28 | 1.053 |
| 9 | 스위스 | 6 | 39 | 1.466 |
| 10 | 네덜란드 | 6 | 36 | 1.353 |
| 미국 내 전체 특허 | | 256 | 1,135 | |

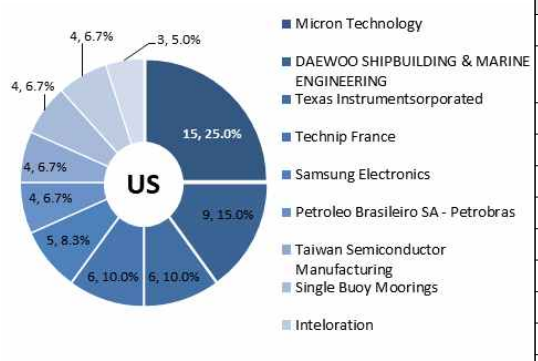
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 Micron Technology가 115건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING가 9건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

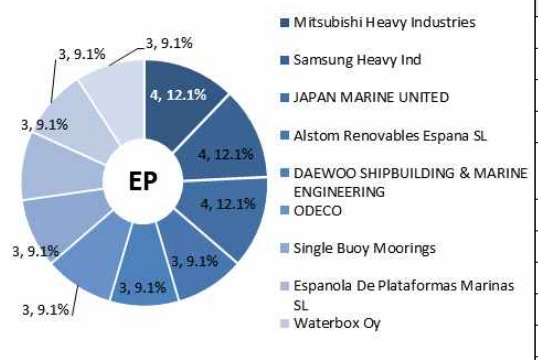
**<표 Ⅲ-75> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Micron Technology | 15 | 5.86% |
| 2 | DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING | 9 | 3.52% |
| 3 | Texas Instrumentsorporated | 6 | 2.34% |
| 3 | Technip France | 6 | 2.34% |
| 5 | Samsung Electronics | 5 | 1.95% |
| 6 | Petroleo Brasileiro SA -Petrobras | 4 | 1.56% |
| 6 | Taiwan Semiconductor Manufacturing | 4 | 1.56% |
| 6 | Single Buoy Moorings | 4 | 1.56% |
| 4 | Inteloration | 4 | 1.56% |
| 10 | Freescale Semiconductor | 3 | 1.17% |
| 합계 | | 60 | 23.4% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 256 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 Mitsubishi Heavy Industries, Samsung Heavy Ind, JAPAN MARINE UNITED가 각 4건 순으로 나타남

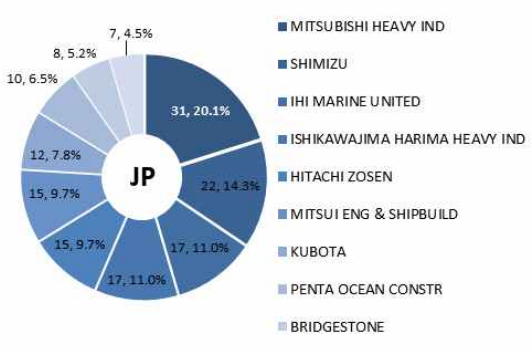
**<표 Ⅲ-76> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Mitsubishi Heavy Industries | 4 | 2.38% |
| 1 | Samsung Heavy Ind | 4 | 2.38% |
| 1 | JAPAN MARINE UNITED | 4 | 2.38% |
| 4 | Alstom Renovables Espana | 3 | 1.79% |
| 4 | DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING | 3 | 1.79% |
| 4 | ODECO | 3 | 1.79% |
| 4 | Single Buoy Moorings | 3 | 1.79% |
| 4 | Espanola De Plataformas Marinas SL | 3 | 1.79% |
| 4 | Waterbox Oy | 3 | 1.79% |
| 4 | Technip France | 3 | 1.79% |
| 합계 | | 33 | 19.6% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 168 | |

◉ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 MITSUBISHI HEAVY IND 31건, SHIMIZU가 22건 순으로 나타남

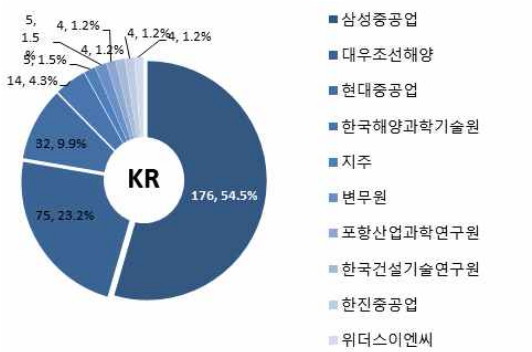
**<표 Ⅲ-77> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | MITSUBISHI HEAVY IND | 31 | 6.81% |
| 2 | SHIMIZU | 22 | 4.84% |
| 3 | IHI MARINE UNITED | 17 | 3.74% |
| 3 | ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY | 17 | 3.74% |
| 5 | HITACHI ZOSEN | 15 | 3.30% |
| 5 | MITSUI ENG & SHIPBUILD | 15 | 3.30% |
| 7 | KUBOTA | 12 | 2.64% |
| 8 | PENTA OCEAN CONSTR | 10 | 2.20% |
| 9 | BRIDGESTONE | 8 | 1.76% |
| 10 | DAEWOO SHIPBUILDING & MARINE ENGINEERING | 7 | 1.54% |
| 합계 | | 154 | 33.8% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 455 | |

◉ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 삼성중공업 176건, 대우조선해양 75건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-78> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 삼성중공업 | 176 | 35.99% |
| 2 | 대우조선해양 | 75 | 15.34% |
| 3 | 현대중공업 | 32 | 6.54% |
| 4 | 한국해양과학기술원 | 14 | 2.86% |
| 5 | 지주 | 5 | 1.02% |
| 5 | 변무원 | 5 | 1.02% |
| 7 | 포항산업과학연구원 | 4 | 0.82% |
| 8 | 한국건설기술연구원 | 4 | 0.82% |
| 9 | 한진중공업 | 4 | 0.82% |
| 10 | 위더스이엔씨 | 4 | 0.82% |
| 합계 | | 323 | 66.05% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 489 | |

## (6) 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발

### 특허 분석 개요

- 본 분석에서는 Wisdomain에서 제공하는 DB를 이용하여, 1990년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 출원 및 등록된 미국, 유럽, 일본, 한국의 특허를 대상으로 데이터 Set을 구축
  - '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 관련 특허동향 분석을 실시

**<표 Ⅲ-79> '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 특허 분석 개요**

| 구분 | 특허 |
|---|---|
| 데이터베이스 | Wisdomain |
| 분석구간 | 1990. 01. 01 ~ 2018. 12. 31 |
| 검색범위 | Title, abstract |
| 검색도메인 | 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허 |
| 검색식 (미국, 유럽) | (AD>=19900101) AND (AD<=20181231) AND (TI=(((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or sea or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or engineer* or 토목* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or construct*) and (ventilat* or ""환기*"" or 화재* or 불* or ""fire"" or ""blaze"" or 폭발 or explosion*)) or ((tunnel or 터널) and (제어* or 대응* or 경보* or control or (response n/2 (system or manag* or assess*)) or alarm or advisory))) OR AB=((해저* or 해중* or 수중* or 바다* or 해양* or submarin* or subsea* or ocean* or marine or sea-bottom or ""sea bottom"" or sea_bottom or sea-bottom or underwater or undersea) and (건설* or 건축* or architect* or 구조물* or structur* or 터널* or tunnel* or 시공 or 설계 or construct*) and (ventilat* or ""환기*"" or 화재* or 불* or ""fire"" or ""blaze"" or 폭발 or explosion*) and (제어* or 대응* or 경보* or control or (response n/2 (system or manag* or assess*)) or alarm or advisory))) |
| 검색식 (일본, 한국) | |

## 국가별 특허 동향

- '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 관련 전체 특허 987건에 대한 각 국가의 연도별 특허동향을 살펴본 결과, 한국, 일본 특허가 각각 376건(38%), 362건(37%)으로 해당 분야의 기술개발 및 특허출원 활동이 가장 활발한 것으로 나타남

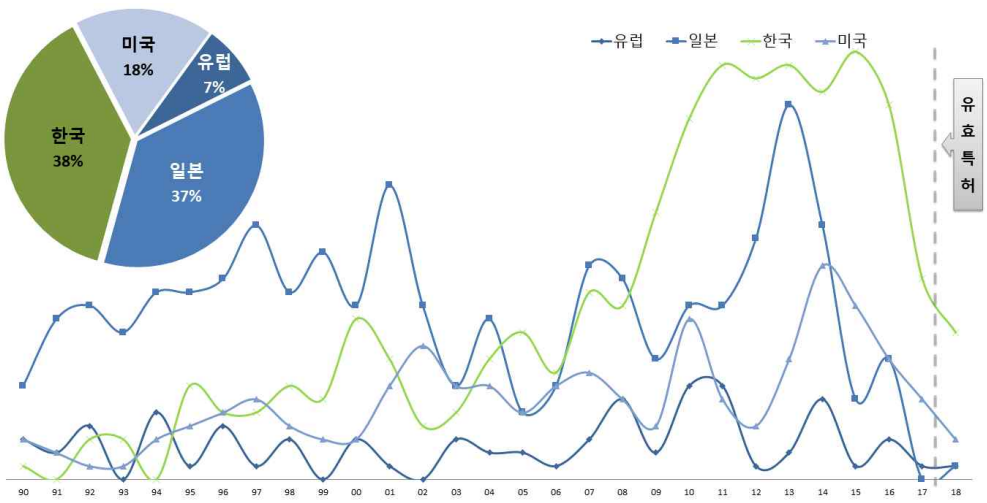
- '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 분야의 출원국가를 기준으로 1990년대 이후 매년 특허출원활동이 진행되고 있는 것으로 분석됨

  - (한국) 1990년대 초반에는 관련 특허출원활동이 미비하였으나, 2010년을 기점으로 스마트 환기 및 화재대응을 위한 기술개발의 특허 출원이 꾸준히 증가하는 추세

  - (일본) 1990년대 초중반 특허출원 활동이 높은 것으로 나타났으며, 이후 소폭 감소추세에 들어서다, 2011년을 기점으로 증가하고 있는 상황

  - (미국) 1990년 이후 매년 꾸준하게 특허출원이 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 2000년대 초반에 특허출원 활동이 가장 많은 것으로 나타남

  - (유럽) 분석기간('90년~'18년) 동안 他국가 대비 변동폭이 가장 적은 안정적 추세로 중간 수준의 특허 출원 활동을 보이고 있음




〈그림 Ⅲ-28〉 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

〈표 Ⅲ-80〉 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 출원국 기준 연도별 특허동향('90~'18)

| 구분 | '90 | '91 | '92 | '93 | '94 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 3 | 2 | 4 | 0 | 5 | 1 | 4 | 1 | 3 | 0 |
| 일본 | 7 | 12 | 13 | 11 | 14 | 14 | 15 | 19 | 14 | 17 |
| 한국 | 1 | 0 | 3 | 3 | 0 | 7 | 5 | 5 | 7 | 6 |
| 미국 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4 | 3 |
| 합계 | 14 | 16 | 21 | 15 | 22 | 26 | 29 | 31 | 28 | 26 |
| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
| 유럽 | 3 | 1 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 6 | 2 |
| 일본 | 13 | 22 | 13 | 7 | 12 | 5 | 7 | 16 | 15 | 9 |
| 한국 | 12 | 9 | 4 | 5 | 9 | 11 | 8 | 14 | 13 | 20 |
| 미국 | 3 | 7 | 10 | 7 | 7 | 5 | 7 | 8 | 6 | 4 |
| 합계 | 31 | 39 | 27 | 22 | 30 | 23 | 23 | 41 | 40 | 35 |

| 구분 | '10 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | 합계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 유럽 | 7 | 7 | 1 | 2 | 6 | 1 | 3 | 1 | 1 | 75 | 8% |
| 일본 | 13 | 13 | 18 | 28 | 19 | 6 | 9 | 0 | 1 | 362 | 37% |
| 한국 | 27 | 31 | 30 | 31 | 29 | 32 | 28 | 15 | 11 | 376 | 38% |
| 미국 | 12 | 6 | 4 | 9 | 16 | 13 | 9 | 6 | 3 | 174 | 18% |
| 합계 | 59 | 57 | 53 | 70 | 70 | 52 | 49 | 22 | 16 | 987 | 100% |

■ 주요 출원인별 특허 점유율 분석

◉ '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 분야의 전 세계 출원인 현황을 분석한 결과, 일본의 TOSHIBA가 약 75건으로 가장 많은 출원활동을 보이고 있는 것으로 분석

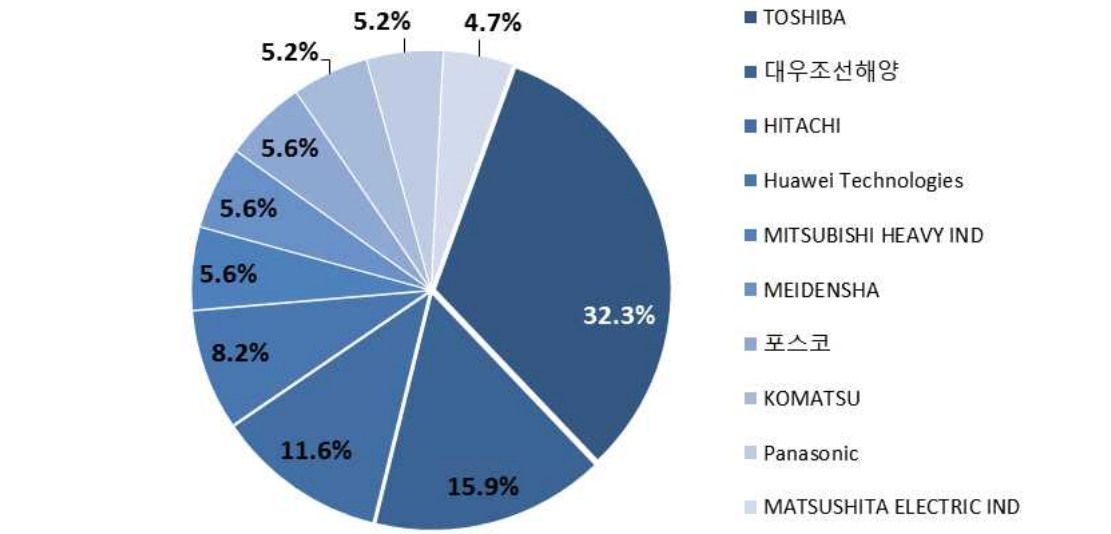
- 대우조선해양은 전체 특허 건수(987건) 대비 3.75%(37건)를 차지하였으며, 다음으로 HITACHI, Huawei Technologies가 각 2.74%(27건), 1.93%(19건)를 차지하는 것으로 나타남

◉ 상위 10개 주요 출원인의 출원건수는 총 232건으로 전체 출원특허 대비 23.5%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타남

- 한국의 경우 상위 10개 출원인 특허에 2개가 포함되는 것으로 확인됨

〈표 Ⅲ-81〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 주요 출원인별 특허출원 현황

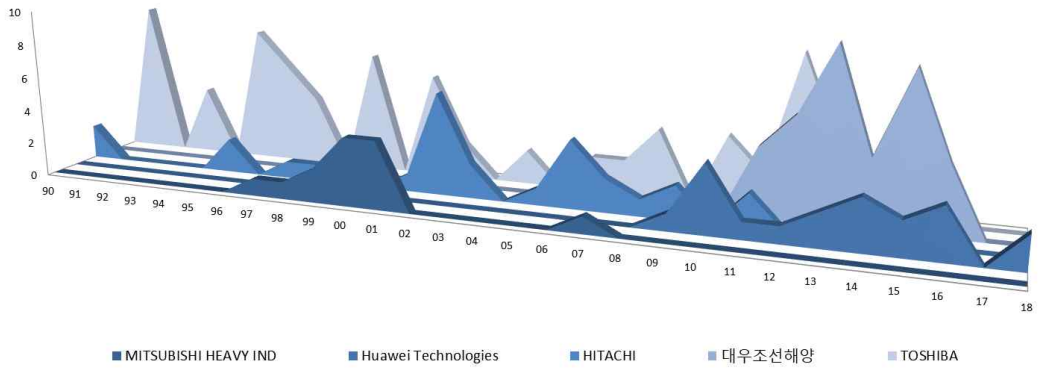
| 출원인 | | 건수 | 전체특허 대비 비중 |
|---|---|---|---|
| ’안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응‘ 특허건수 〈전체 유효건수〉 | | 987건 | 100.0% |
| 1 | TOSHIBA | 75 | 7.60% |
| 2 | 대우조선해양 | 37 | 3.75% |
| 3 | HITACHI | 27 | 2.74% |
| 4 | Huawei Technologies | 19 | 1.93% |
| 5 | MITSUBISHI HEAVY IND | 13 | 1.32% |
| 6 | MEIDENSHA | 13 | 1.32% |
| 7 | 포스코 | 13 | 1.32% |
| 8 | KOMATSU | 12 | 1.22% |
| 8 | Panasonic | 12 | 1.22% |
| 10 | MATSUSHITA ELECTRIC IND | 11 | 1.11% |
| 상위 10개 출원인 특허건수(합계) | | 232 | 23.5% |




〈그림 Ⅲ-29〉 ‘안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응’ 기술 상위 10개의 출원인 분포

## 연도별 주요 출원인 분포 분석

- '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 관련 주요 출원인의 연도별 출원활동을 분석한 결과, TOSHIBA의 경우 2000년대 중반 활발한 기술 개발 및 지재권 확보 활동을 보임
- 해당 기술과 관련하여 주요 출원인들의 출원 활동을 살펴보면, 2010년도 후반에 많은 특허 출원 활동을 보이는 것으로 분석
  - 시설물 안전 대한 세계적 관심이 증가함에 따라 관련 기술 개발 및 지재권 확보를 위한 특허 출원활동은 지속될 것으로 예상




| 구분 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TOSHIBA | 0 | 6 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 4 | 0 |
| 대우조선해양 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HITACHI | 0 | 1 | 6 | 2 | 0 | 1 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| Huawei Technologies | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | |
| TOSHIBA | 4 | 2 | 9 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 대우조선해양 | 0 | 4 | 6 | 10 | 4 | 9 | 4 | 0 | 0 | |
| HITACHI | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Huawei Technologies | 4 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0 | 2 | |
| MITSUBISHI HEAVY IND | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

**<그림 Ⅲ-30> '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 연도별 주요 출원인 출원활동**

## 기술수명주기 분석

- 기술수명주기는 출원 건수 대비 출원인 수에 대한 그래프로서, 출원 건수와 출원인 수의 증가 또는 감소 등의 변화를 바탕으로 발전기→성숙기→퇴조기→부활기→발전기의 반시계 방향으로 하나의 사이클을 그리며 기술의 발전단계를 보여줌

  - 출원 건수는 기술개발의 활동정도를 나타내고 출원인 수의 증가는 시장의 신규 진입자가 증가하는 것을 의미함

    * 분석구간 : 출원일 기준 1990~2018년(1구간: '90-'94, 2구간: '95-'00, 3구간: '01-'08, 4구간: '09-'18)

    * 출원 건수 : 기술개발의 활동 정도, 출원인 수의 증가 : 신규 진입자의 증가

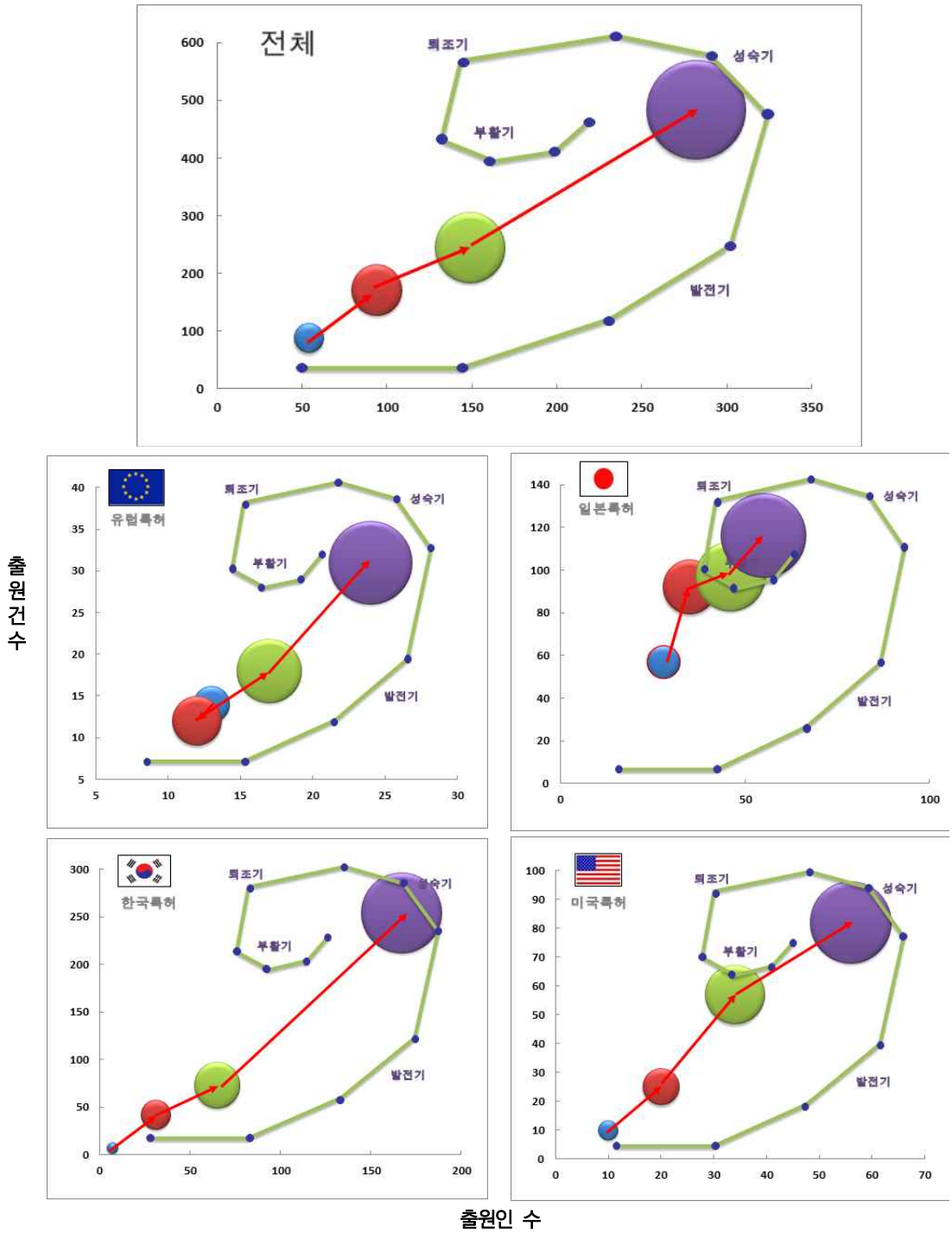
- 분석기간(1990~2018년)을 기준으로 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 분야의 전체 기술수명주기를 살펴보면, 본 관련기술 특허는 발전기 단계에 있는 것으로 판단

  - 터널 뿐만 아니라 시설물의 안전에 대한 전 세계적인 관심이 증가함에 따라 부유식 스마트 환기 및 화재대응의 기술수명주기가 발전기 단계에 접어든 것으로 판단됨

  - 한국의 경우 출원인 수와 특허 건수가 모두 성장세를 보이는 발전기 단계인 것으로 파악

**<표 Ⅲ-82> '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 구간별 특허출원 및 출원인 현황**

| 구분 | | 1구간('90~'94) | | | 2구간('95~'00) | | | 3구간('01~'08) | | | 4간('09~'18) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 | 출원인수 | 특허건수 | 누적특허건수 |
| 국가별 | 유럽 | 13 | 14 | 14 | 12 | 12 | 26 | 17 | 18 | 44 | 24 | 31 | 75 |
| | 일본 | 28 | 57 | 57 | 35 | 92 | 149 | 46 | 97 | 246 | 55 | 116 | 362 |
| | 한국 | 7 | 7 | 7 | 31 | 42 | 49 | 65 | 73 | 122 | 167 | 254 | 376 |
| | 미국 | 10 | 10 | 10 | 20 | 25 | 35 | 34 | 57 | 92 | 56 | 82 | 174 |
| 전체 | | 54 | 88 | 88 | 94 | 171 | 259 | 149 | 245 | 504 | 282 | 483 | 362 |




〈그림 Ⅲ-31〉 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술의 기술수명주기

### 기술경쟁력 지수

(국가별 기술경쟁력 지수) 미국 특허를 대상으로 기술경쟁력을 분석함에 있어, 국가별 비교를 수행하기 위해 본 특허의 기술의 질적 수준 및 양적인 측면을 고려하여 평가가 가능한 지표인 기술력 지수(TS 지수)를 활용하여 분석

- 주요 국가별 기술 경쟁력 지수를 살펴보면 미국이 독보적으로 1위를 차지하고 있으며 그 다음으로 일본의 기술경쟁력 지수가 19.31로 높은 것으로 분석
- 미국은 다량의 특허건수를 보유함과 동시에 개인 및 他 기관에서 인용되는 피인용수도 많은 것으로 나타나, 질적으로 우수한 특허를 다량 보유하고 있는 것으로 판단됨
- 한국의 경우 미국 내 12건의 특허를 보유하고 있으며 개인 및 他기관에 인용되는 피인용수는 57로, 기술경쟁력 지수(TS)가 '4.002'로 분석됨

**<표 Ⅲ-83> 출원인 국가별 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 관련 기술경쟁력지수**

| No | 국가 | 국가 특허수 | 국가 피인용수 | 영향력지수 (PII) | 기술경쟁력 (TS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 94 | 1,864 | 1.392 | 130.886 |
| 2 | 일본 | 26 | 275 | 0.743 | 19.310 |
| 3 | 대한민국 | 12 | 57 | 0.334 | 4.002 |
| 4 | 중국 | 9 | 7 | 0.055 | 0.492 |
| 5 | 독일 | 8 | 29 | 0.255 | 2.036 |
| 6 | 이탈리아 | 4 | 16 | 0.281 | 1.123 |
| 7 | 대만 | 4 | 42 | 0.737 | 2.949 |
| 미국 내 전체 특허 | | 174 | 2,478 | | |

### 시장확보지수

(국가별 시장확보지수) 미국특허를 대상으로 출원인 국가별 시장확보지수를 살펴보면 중국, 이탈리아, 독일 순으로 시장확보력이 높은 것으로 나타남

- 중국의 경우 9건의 특허를 보유하고 있으나, 시장확보지수가 1.6이상으로 패밀리 국가 선정 범위에서 적극적인 경향을 보여 가장 높은 수준으로 나타남
- 미국의 경우 다량(94건)의 특허를 보유하고 있음에도 스페인에 비해 낮은 시장확보력을 지니고 있는 것으로 나타나, 미국이 보유한 특허 중 일부는 Famaily 국가 선정범위에 소극적인 경향을 나타내는 것으로 분석됨
- 한국의 경우 12건의 출원특허를 보유하고 있으며, 시장확보력 지수는 1.01 수준으로 나타나 Family 국가 설정범위에 있어 적극적 경향을 보임

**<표 Ⅲ-84> 출원인 국가별 '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응' 기술 관련 시장확보지수**

| No | 국가 | 특허건수 | 패밀리국가수 | 시장확보지수 (PFS) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 미국 | 94 | 250 | 0.826 |
| 2 | 일본 | 26 | 93 | 1.111 |
| 3 | 대한민국 | 12 | 39 | 1.010 |
| 4 | 중국 | 9 | 49 | 1.692 |
| 5 | 독일 | 8 | 38 | 1.476 |
| 6 | 이탈리아 | 4 | 20 | 1.554 |
| 7 | 대만 | 4 | 8 | 0.621 |
| 미국 내 전체 특허 | | 174 | 560 | |

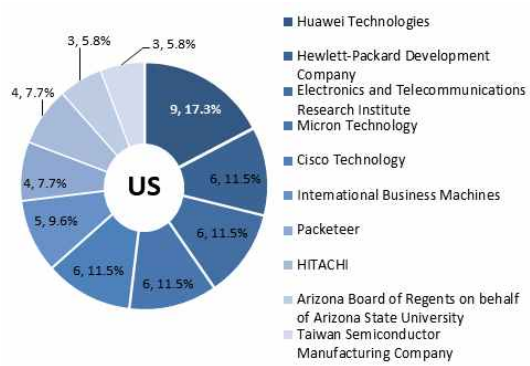
* 10개 미만의 특허건수를 보유하고 있는 출원국가의 경우 특정 특허의 Family 국가 선정범위가 전체 시장확보지수에 큰 영향을 줄 수밖에 없는 산식의 구조적 한계로 시장확보지수에 큰 의미를 부여하기 어려움

## 국가별 주요 출원인 현황

- 각국의 특허 출원(공개 및 등록) 현황을 토대로 글로벌(미국, 일본, 유럽, 한국) 주요 출원인 분석

- 미국은 Huawei Technologies가 9건으로 가장 많은 특허출원을 하였으며, Hewlett-Packard Development가 6건의 순으로 출원 활동을 하고 있는 것으로 나타남

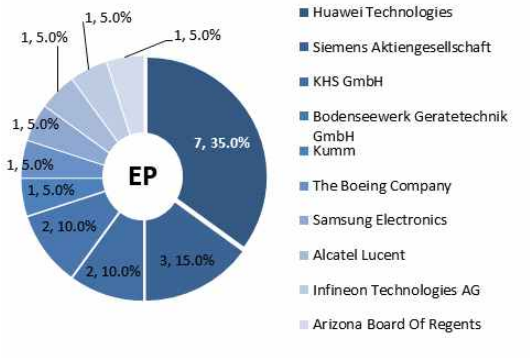
**<표 Ⅲ-85> 미국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 미국(US) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Huawei Technologies | 9 | 5.17% |
| 2 | Hewlett-Packard Development | 6 | 3.45% |
| 3 | ETRI | 6 | 3.45% |
| 3 | Micron Technology | 6 | 3.45% |
| 5 | Cisco Technology | 6 | 3.45% |
| 6 | International Business Machines | 5 | 2.87% |
| 6 | Packeteer | 4 | 2.30% |
| 6 | HITACHI | 4 | 2.30% |
| 4 | Arizona State University | 3 | 1.72% |
| 10 | Taiwan Semiconductor Manufacturing | 3 | 1.72% |
| 합계 | | 52 | 29.8% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 174 | |

- 유럽 내 특허의 주요 출원인으로는 Huawei Technologies가 7건, Siemens Aktiengesellschaft가 3건의 순으로 나타남

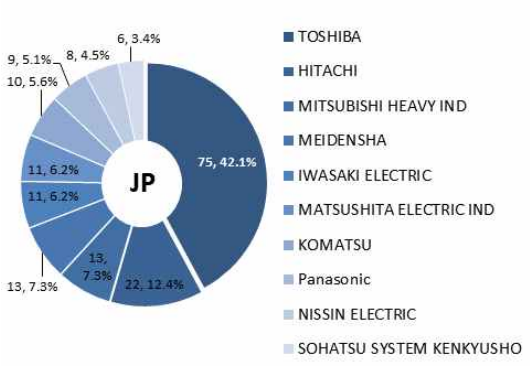
**<표 Ⅲ-86> 유럽 내 특허 주요 출원인 현황**




| 유럽(EU) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | Huawei Technologies | 7 | 9.33% |
| 1 | Siemens Aktiengesellschaft | 3 | 4.00% |
| 1 | KHS GmbH | 2 | 2.67% |
| 4 | Bodenseewerk Geratetechnik | 2 | 2.67% |
| 4 | Kumm | 1 | 1.33% |
| 4 | The Boeing Company | 1 | 1.33% |
| 4 | Samsung Electronics | 1 | 1.33% |
| 4 | Alcatel Lucent | 1 | 1.33% |
| 4 | Infineon Technologies AG | 1 | 1.33% |
| 4 | Arizona Board Of Regents | 1 | 1.33% |
| 합계 | | 20 | 26.6% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 75 | |

◎ 일본 내 특허의 주요 출원인으로는 TOSHIBA 75건, HITACHI가 22건 순으로 나타남

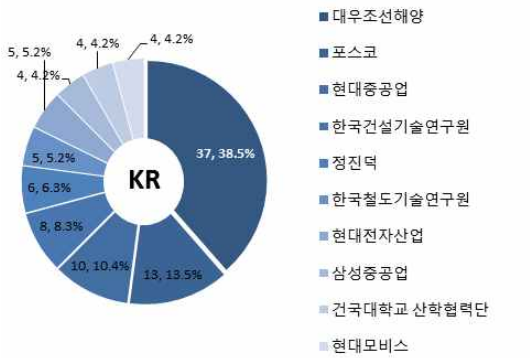
**<표 Ⅲ-87> 일본 내 특허 주요 출원인 현황**




| 일본(JP) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | TOSHIBA | 75 | 20.72% |
| 2 | HITACHI | 22 | 6.08% |
| 3 | MITSUBISHI HEAVY IND | 13 | 3.59% |
| 3 | MEIDENSHA | 13 | 3.59% |
| 5 | IWASAKI ELECTRIC | 11 | 3.04% |
| 5 | MATSUSHITA ELECTRIC IND | 11 | 3.04% |
| 7 | KOMATSU | 10 | 2.76% |
| 8 | Panasonic | 9 | 2.49% |
| 9 | NISSIN ELECTRIC | 8 | 2.21% |
| 10 | SOHATSU SYSTEM KENKYUSHO | 6 | 1.66% |
| 합계 | | 178 | 49.1% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 362 | |

◎ 한국 내 특허의 주요 출원인으로는 대우조선해양 37건, 포스코 13건, 현대중공업 10건 순으로 나타남

**<표 Ⅲ-88> 한국 내 특허 주요 출원인 현황**




| 대한민국(KR) | | | |
|---|---|---|---|
| 순위 | 출원인 | 건수 | 비중 |
| 1 | 대우조선해양 | 37 | 9.84% |
| 2 | 포스코 | 13 | 3.46% |
| 3 | 현대중공업 | 10 | 2.66% |
| 4 | 한국건설기술연구원 | 8 | 2.13% |
| 5 | 정진덕 | 6 | 1.60% |
| 5 | 한국철도기술연구원 | 5 | 1.33% |
| 7 | 현대전자산업 | 5 | 1.33% |
| 8 | 삼성중공업 | 4 | 1.06% |
| 9 | 건국대학교 산학협력단 | 4 | 1.06% |
| 10 | 현대모비스 | 4 | 1.06% |
| 합계 | | 96 | 25.53% |
| 전체 미국 특허 건수 | | 376 | |

# 다. 논문 동향 분석

## (1) 논문분석 개요

### 분석개요

- 본 조사의 결과는 해저터널·인공섬 건설 기술개발 사업 기획의 추진분야별 논문 데이터를 다각도로 정량화, 지표화한 내용으로 연도별 결과가 제시됨에 따라, 해당 분야별 세계 기반을 가늠하는데 활용

### 분석범위

- 본 논문동향조사는 2000년부터 2018년까지 게재된 논문을 대상으로 분석

**<표 Ⅲ-89> 검색 DB 및 검색범위**

| 자료 구분 | 중점분야 | 국가 | 내용 | 분석구간 | 검색범위 |
|---|---|---|---|---|---|
| 게재된 논문 | 해저터널 및 인공섬 | 한국 | SCOPUS | 2000.01 ~ 2018.12 | 게재된 논문 전체문서 |
| | | 미국 | SCOPUS | | 게재된 논문 전체문서 |
| | | 일본 | SCOPUS | | 게재된 논문 전체문서 |
| | | 유럽 | SCOPUS | | 게재된 논문 전체문서 |

### 분석지표

- 논문 활동

  - 특정 기술이 해당 분야에서 얼마나 많은 논문이 게재되었는지를 양적으로 측정하는 지표

- 인용도 지수

  - 특정 논문저자의 문헌들이 인용되는 회수의 평균값으로, 이 값이 클수록 주요 문헌 또는 원천문헌을 많이 가지고 있다는 것을 의미함

- 영향력 지수

  - 해당기술의 질적 수준을 측정하는 지수로 영향력 지수가 1이면 평균인용 빈도임을 나타내고, 2이면 평균보다 2배 높은 빈도로 인용됨을 나타냄

- 기술력 지수

  - 기술력 지수가 클수록 해당 연구주체의 기술력이 높음을 의미함

    * 기술의 질적 수준과 양적 수준을 함께 고려한 수치

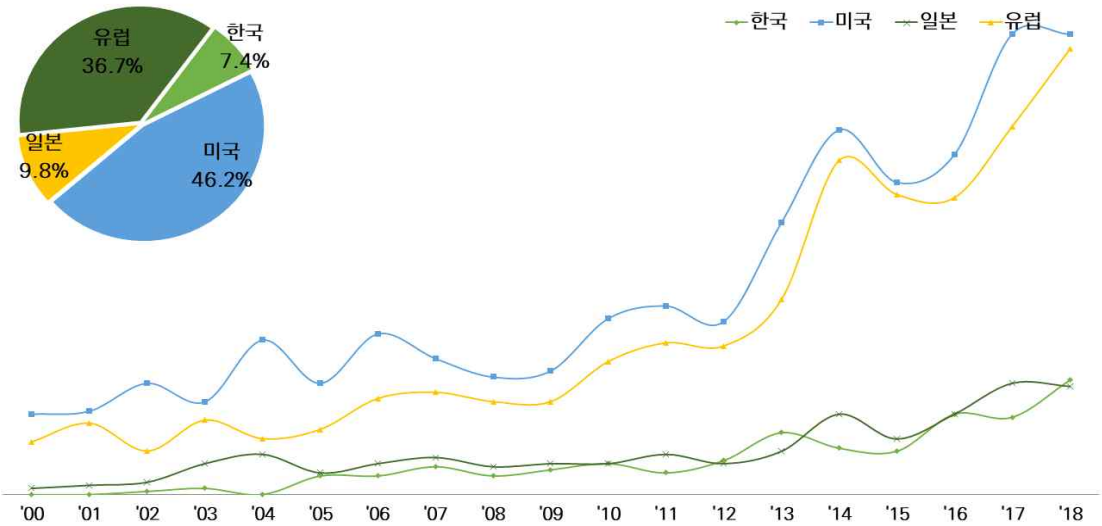
〈표 Ⅲ-90〉 논문 분석 지표

| 구분 | 지표 | 의미 | 정의 |
|---|---|---|---|
| 양적 측면 | 건수 | 논문 활동 | 각 연도별 동향 파악 |
| 질적 측면 | 인용도 지수 | 인용도지수 ∝ 영향력 | 인용도 지수 = $\frac{\text{피인용건수}}{\text{논문건수}}$ |
| | 영향력 지수 | 상대적 영향력 | 영향력 지수 = $\frac{\frac{\text{해당년도각국가별피인용수}}{\text{해당년도각국가별논문건수}}}{\frac{\text{해당년도전체피인용수}}{\text{해당년도전체논문건수}}}$ |
| | 기술력 지수 | 기술력 | 기술력 지수 = 영향력지수 × 각국가별논문수 |

# 라. 논문동향 분석 결과

## (1) 해저터널 논문동향 분석 결과

■ 해저터널 관련 건설 기술의 논문은 대체적으로 2010년 이후 미국과 유럽은 점진적 증가세를 나타내고 있으나, 일본과 한국의 논문 발표 건수 증가세는 저조한 것으로 나타남



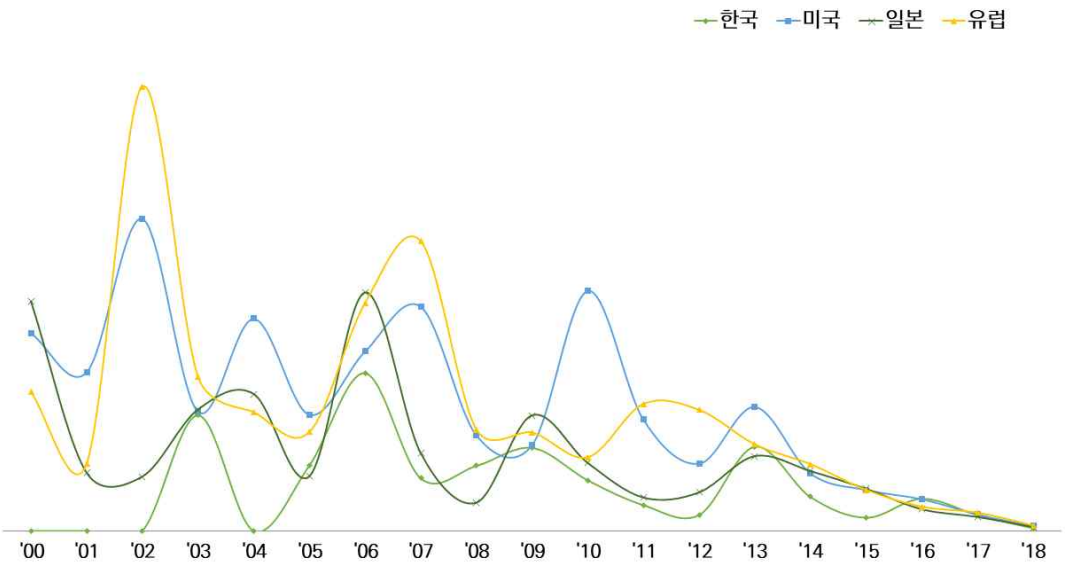

〈그림 Ⅲ-32〉 국가별 해저터널 관련 논문 발표 동향

〈표 Ⅲ-91〉 해저터널 건설기술 연도별 논문동향('00~'18)

| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | - | - | 1 | 2 | - | 6 | 6 | 9 | 6 | 8 |
| 미국 | 26 | 27 | 36 | 30 | 50 | 36 | 52 | 44 | 38 | 40 |
| 일본 | 2 | 3 | 4 | 10 | 13 | 7 | 10 | 12 | 9 | 10 |
| 유럽 | 17 | 23 | 14 | 24 | 18 | 21 | 31 | 33 | 30 | 30 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **합계** |
| 한국 | 10 | 7 | 11 | 20 | 15 | 14 | 26 | 25 | 37 | 203 |
| 미국 | 57 | 61 | 56 | 88 | 118 | 101 | 110 | 149 | 149 | 1268 |
| 일본 | 10 | 13 | 10 | 14 | 26 | 18 | 26 | 36 | 35 | 268 |
| 유럽 | 43 | 49 | 48 | 63 | 108 | 97 | 96 | 119 | 144 | 1008 |

## 인용도 지수

- 해저터널 관련 건설 기술의 인용도 평균 지수('00년~'18년)는 미국이 58.77로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 유럽(58.45), 일본(36.02), 한국(25.31) 순으로 인용도가 높은 것으로 분석

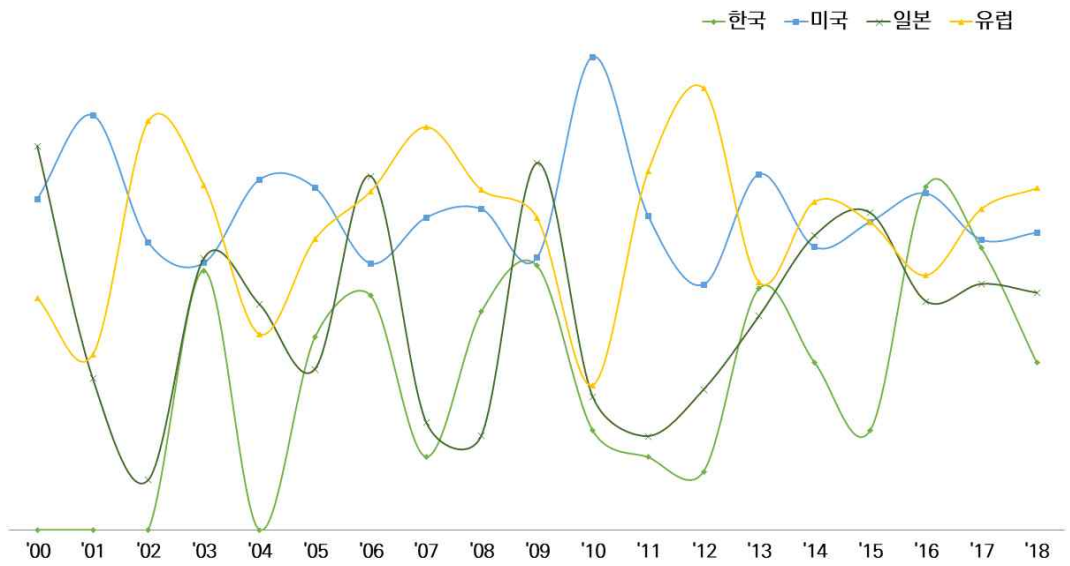



| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 54.00 | 0.00 | 30.50 | 73.67 | 24.56 | 30.33 | 38.75 |
| 미국 | 92.31 | 74.00 | 145.72 | 55.60 | 98.98 | 54.17 | 83.67 | 104.64 | 44.55 | 39.93 |
| 일본 | 107.00 | 27.00 | 25.25 | 56.50 | 63.77 | 25.43 | 111.10 | 36.17 | 13.11 | 53.80 |
| 유럽 | 64.65 | 31.30 | 207.21 | 71.88 | 55.33 | 46.00 | 106.23 | 135.09 | 47.20 | 45.80 |
| 평균 | 87.98 | 44.10 | 94.55 | 59.49 | 72.69 | 39.02 | 93.67 | 75.11 | 33.80 | 44.57 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 23.60 | 12.00 | 7.45 | 39.30 | 15.80 | 6.14 | 15.00 | 7.36 | 1.19 | 25.31 |
| 미국 | 112.04 | 51.79 | 31.30 | 57.84 | 26.72 | 19.00 | 14.72 | 7.58 | 2.11 | 58.77 |
| 일본 | 31.60 | 15.46 | 17.90 | 34.79 | 27.81 | 19.56 | 10.00 | 6.42 | 1.69 | 36.02 |
| 유럽 | 34.23 | 59.14 | 56.35 | 40.25 | 31.03 | 18.98 | 11.13 | 8.38 | 2.43 | 56.45 |
| 평균 | 50.37 | 34.60 | 28.25 | 43.05 | 25.34 | 15.92 | 12.71 | 7.43 | 1.85 | 45.50 |

<그림 Ⅲ-33> 해저터널 건설기술 연도별 인용도 지수('00~'18)

## 영향력 지수

해저터널 관련 건설 기술의 영향력 평균 지수('00년~'18년)는 미국 및 유럽이 각각 1.08, 1.03으로 가장 높게 나타났으며, 한국과 일본의 영향력 지수가 '0'에 가까워 논문 측면에서 영향력이 미미한 것으로 분석

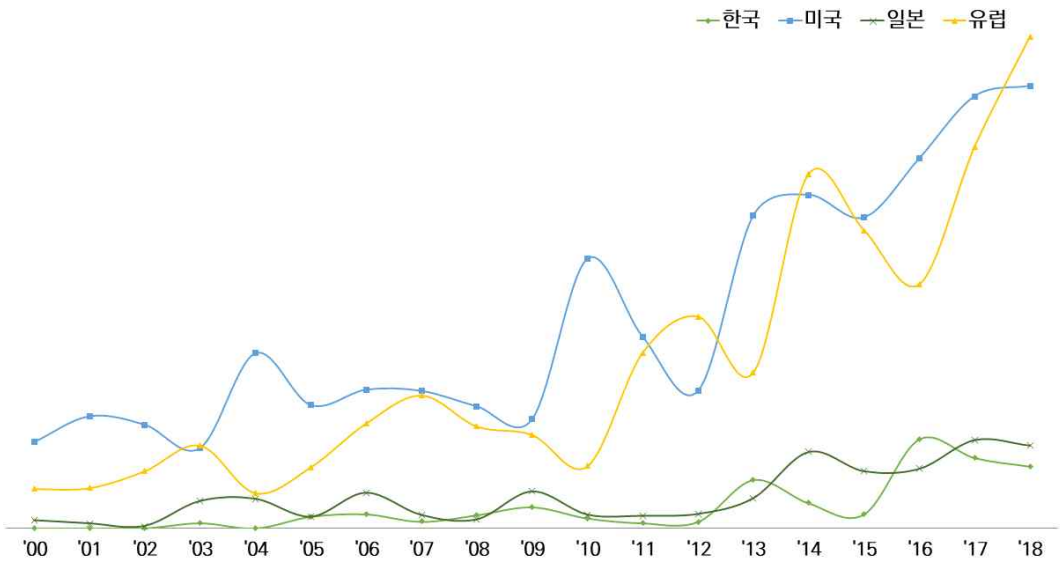



| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.88 | 0.00 | 0.65 | 0.79 | 0.25 | 0.74 | 0.89 |
| 미국 | 1.12 | 1.40 | 0.97 | 0.90 | 1.18 | 1.16 | 0.90 | 1.06 | 1.08 | 0.92 |
| 일본 | 1.30 | 0.51 | 0.17 | 0.92 | 0.76 | 0.54 | 1.20 | 0.36 | 0.32 | 1.24 |
| 유럽 | 0.78 | 0.59 | 1.38 | 1.17 | 0.66 | 0.98 | 1.14 | 1.36 | 1.15 | 1.06 |
| 평균 | 1.07 | 0.84 | 0.63 | 0.97 | 0.87 | 0.83 | 1.01 | 0.76 | 0.82 | 1.03 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 0.34 | 0.25 | 0.20 | 0.82 | 0.57 | 0.34 | 1.16 | 0.95 | 0.57 | 0.63 |
| 미국 | 1.60 | 1.06 | 0.83 | 1.20 | 0.96 | 1.04 | 1.14 | 0.98 | 1.00 | 1.08 |
| 일본 | 0.45 | 0.32 | 0.47 | 0.72 | 0.99 | 1.07 | 0.77 | 0.83 | 0.80 | 0.72 |
| 유럽 | 0.49 | 1.21 | 1.49 | 0.84 | 1.11 | 1.04 | 0.86 | 1.08 | 1.16 | 1.03 |
| 평균 | 0.72 | 0.71 | 0.75 | 0.89 | 0.91 | 0.87 | 0.98 | 0.96 | 0.88 | 0.87 |

<그림 Ⅲ-34> 해저터널 건설기술 연도별 영향력 지수('00~'18)

## 기술력 지수

해저터널 관련 건설 기술의 기술력 지수('00년~'18년)는 미국이 70.96으로 월등히 높은 수치를 보이고 있으며, 한국 및 일본의 경우 상대적으로 기술력지수가 저조한 것으로 보임



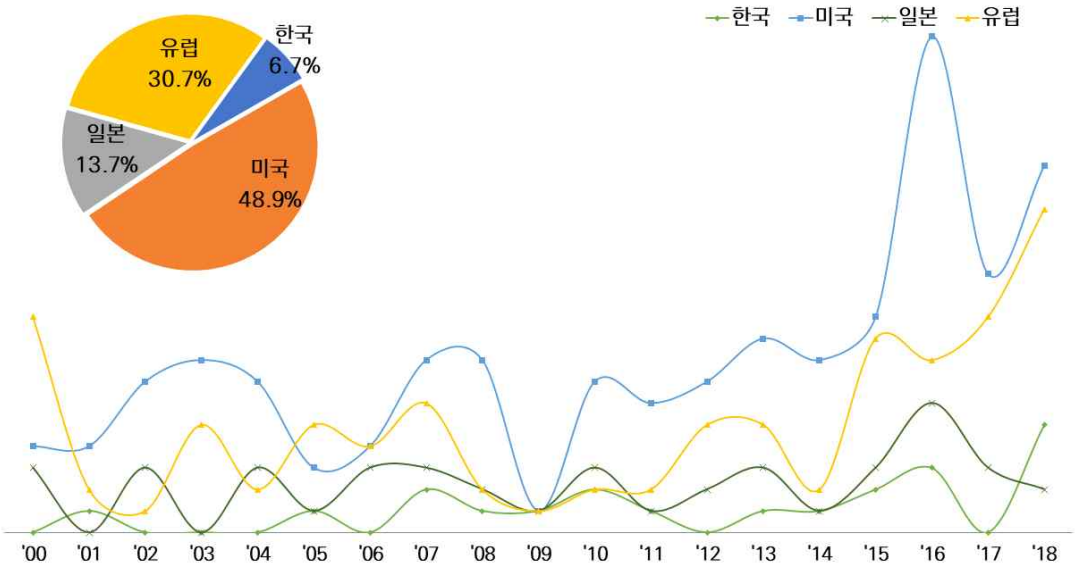

| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.75 | 0.00 | 3.91 | 4.76 | 2.23 | 4.43 | 7.14 |
| 미국 | 29.09 | 37.83 | 34.98 | 27.08 | 59.18 | 41.65 | 46.84 | 46.43 | 41.22 | 36.80 |
| 일본 | 2.59 | 1.53 | 0.67 | 9.17 | 9.91 | 3.80 | 11.96 | 4.38 | 2.87 | 12.40 |
| 유럽 | 13.32 | 13.63 | 19.34 | 28.00 | 11.91 | 20.63 | 35.45 | 44.96 | 34.48 | 31.66 |
| 평균 | 15.00 | 17.67 | 13.75 | 16.50 | 27.00 | 17.50 | 24.75 | 24.50 | 20.75 | 22.00 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 3.37 | 1.72 | 2.17 | 16.34 | 8.48 | 4.71 | 30.15 | 23.82 | 20.91 | 9.06 |
| 미국 | 91.12 | 64.75 | 46.43 | 105.82 | 112.79 | 105.14 | 125.17 | 146.18 | 149.71 | 70.96 |
| 일본 | 4.51 | 4.12 | 4.74 | 10.12 | 25.86 | 19.29 | 20.10 | 29.91 | 28.04 | 10.84 |
| 유럽 | 21.00 | 59.40 | 71.65 | 52.72 | 119.87 | 100.86 | 82.57 | 129.09 | 166.34 | 55.63 |
| 평균 | 30.00 | 32.50 | 31.25 | 46.25 | 66.75 | 57.50 | 64.50 | 82.25 | 91.25 | 36.93 |

<그림 Ⅲ-35> 해저터널 건설기술 연도별 기술력 지수('00~'18)

## (2) 인공섬 논문동향 분석 결과

■ 인공섬 관련 건설 기술의 논문의 경우 미국과 유럽에서 점진적 증가세를 나타내고 있으나, 반면 일본은 논문 발표 건수가 '16년 이후 하향 곡선을 보이고 있음

◉ 특히 한국의 경우, 대체적으로 저조한 상태였으나 '17년 이후 상승하려는 경향이 나타남



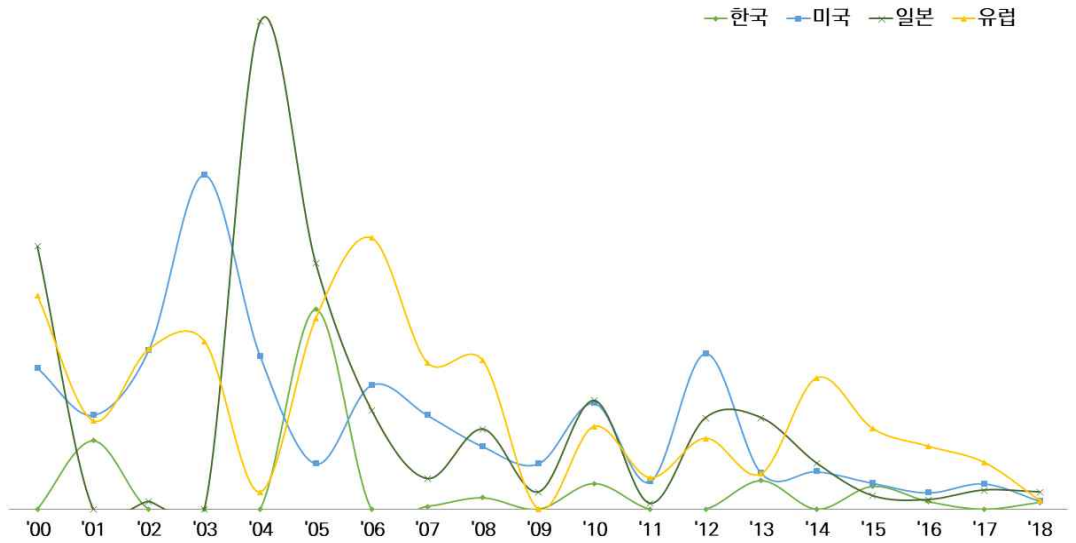

〈그림 Ⅲ-36〉 국가별 인공섬 관련 논문 발표 동향

〈표 Ⅲ-92〉 인공섬 건설기술 연도별 논문동향('00~'18)

| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | - | 1 | - | - | - | 1 | - | 2 | 1 | 1 |
| 미국 | 4 | 4 | 7 | 8 | 7 | 3 | 4 | 8 | 8 | 1 |
| 일본 | 3 | - | 3 | - | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 유럽 | 10 | 2 | 1 | 5 | 2 | 5 | 4 | 6 | 2 | 1 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **합계** |
| 한국 | 2 | 1 | - | 1 | 1 | 2 | 3 | - | 5 | 21 |
| 미국 | 7 | 6 | 7 | 9 | 8 | 10 | 23 | 12 | 17 | 153 |
| 일본 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 6 | 3 | 2 | 43 |
| 유럽 | 2 | 2 | 5 | 5 | 2 | 9 | 8 | 10 | 15 | 96 |

## 인용도 지수

- 인공섬 관련 건설 기술의 인용도 평균 지수('00년~'18년)는 유럽이 18.02로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 일본(16.80), 미국(15.62), 한국(5.46) 순으로 인용도가 높은 것으로 분석

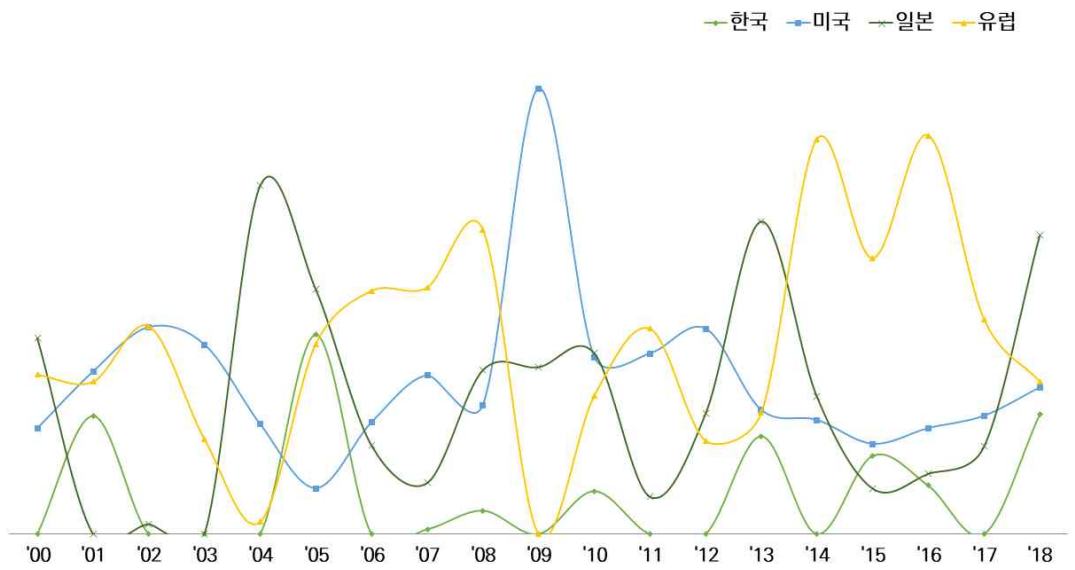



| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 12.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 35.00 | 0.00 | 0.50 | 2.00 | 0.00 |
| 미국 | 24.75 | 16.50 | 27.86 | 58.50 | 26.86 | 8.00 | 21.75 | 16.50 | 11.00 | 8.00 |
| 일본 | 46.00 | 0.00 | 1.33 | 0.00 | 85.33 | 43.00 | 17.33 | 5.33 | 14.00 | 3.00 |
| 유럽 | 37.40 | 15.50 | 28.00 | 29.40 | 3.00 | 33.40 | 47.50 | 25.67 | 26.00 | 0.00 |
| 평균 | 36.05 | 14.67 | 19.06 | 43.95 | 38.40 | 29.85 | 28.86 | 12.00 | 13.25 | 2.75 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 4.50 | 0.00 | 0.00 | 5.00 | 0.00 | 4.00 | 1.33 | 0.00 | 1.20 | 5.46 |
| 미국 | 18.57 | 4.83 | 27.29 | 6.33 | 6.63 | 4.60 | 2.91 | 4.50 | 1.47 | 15.62 |
| 일본 | 19.00 | 1.00 | 16.00 | 16.00 | 8.00 | 2.33 | 1.67 | 3.33 | 3.00 | 16.80 |
| 유럽 | 14.50 | 5.50 | 12.40 | 6.20 | 23.00 | 14.11 | 11.00 | 8.20 | 1.53 | 18.02 |
| 평균 | 14.14 | 2.83 | 18.56 | 8.38 | 9.41 | 6.26 | 4.23 | 5.34 | 1.80 | 16.31 |

<그림 Ⅲ-37> 인공섬 건설기술 연도별 인용도 지수('00~'18)

## 영향력 지수

인공섬 관련 건설 기술의 영향력 평균 지수('00년~'18년)는 유럽이 1.24로 월등히 높게 나타났으며, 미국과 일본은 1.00에 가까운 수치로 영향력이 약간 있는 것으로 판단되나, 한국은 '0'에 가까워 논문 측면에서 영향력이 미미한 것으로 분석

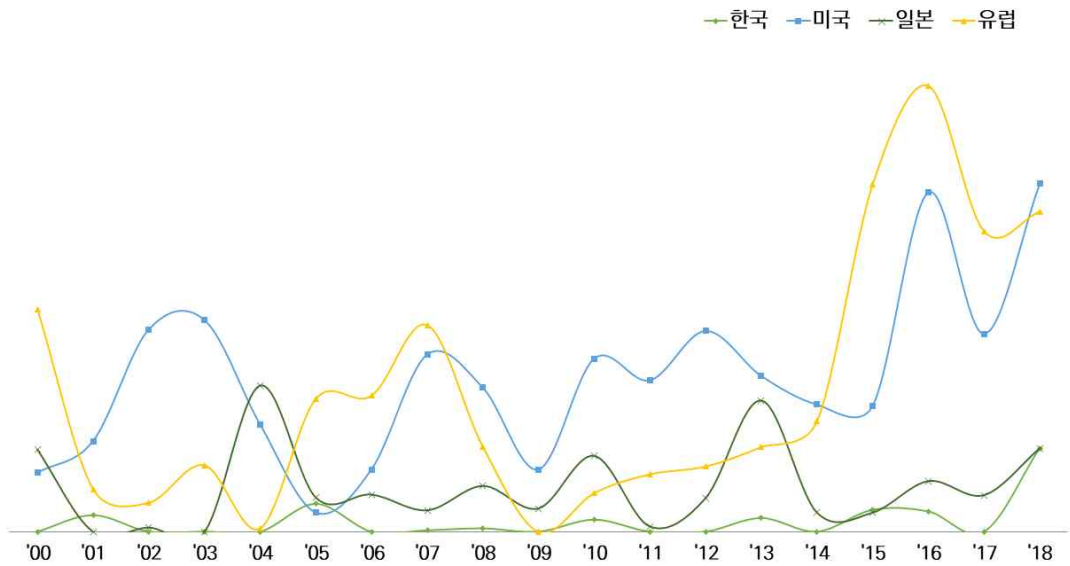



| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.00 | 0.03 | 0.15 | 0.00 |
| 미국 | 0.69 | 1.06 | 1.35 | 1.24 | 0.72 | 0.30 | 0.73 | 1.03 | 0.84 | 2.91 |
| 일본 | 1.28 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 2.28 | 1.60 | 0.58 | 0.33 | 1.07 | 1.09 |
| 유럽 | 1.04 | 1.00 | 1.36 | 0.62 | 0.08 | 1.24 | 1.59 | 1.61 | 1.99 | 0.00 |
| 평균 | 1.00 | 0.94 | 0.92 | 0.93 | 1.02 | 1.11 | 0.96 | 0.75 | 1.01 | 1.00 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 0.28 | 0.00 | 0.00 | 0.64 | 0.00 | 0.51 | 0.32 | 0.00 | 0.78 | 0.40 |
| 미국 | 1.16 | 1.18 | 1.34 | 0.81 | 0.74 | 0.59 | 0.69 | 0.77 | 0.96 | 1.00 |
| 일본 | 1.18 | 0.24 | 0.79 | 2.04 | 0.90 | 0.30 | 0.39 | 0.57 | 1.95 | 0.98 |
| 유럽 | 0.90 | 1.34 | 0.61 | 0.79 | 2.58 | 1.80 | 2.60 | 1.40 | 1.00 | 1.24 |
| 평균 | 0.88 | 0.69 | 0.91 | 1.07 | 1.05 | 0.80 | 1.00 | 0.92 | 1.17 | 0.96 |

<그림 Ⅲ-38> 인공섬 건설기술 연도별 영향력 지수('00~'18)

## 기술력 지수

○ 인공섬 관련 건설 기술의 기술력 지수('00년~'18년)는 미국과 유럽이 각각 7.27, 6.63으로 선도하고 있으며, 일본과 한국은 상대적으로 기술력지수가 낮게 분석




| 구분 | '00 | '01 | ' 02 | '03 | '04 | '05 | '06 | '07 | '08 | '09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 한국 | 0.00 | 0.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.30 | 0.00 | 0.06 | 0.15 | 0.00 |
| 미국 | 2.75 | 4.24 | 9.45 | 9.89 | 5.01 | 0.89 | 2.91 | 8.28 | 6.73 | 2.91 |
| 일본 | 3.84 | 0.00 | 0.19 | 0.00 | 6.83 | 1.60 | 1.74 | 1.00 | 2.14 | 1.09 |
| 유럽 | 10.41 | 1.99 | 1.36 | 3.11 | 0.16 | 6.21 | 6.35 | 9.66 | 3.98 | 0.00 |
| 평균 | 5.67 | 2.33 | 3.67 | 6.50 | 4.00 | 2.50 | 3.67 | 4.75 | 3.25 | 1.00 |
| **구분** | **'10** | **'11** | **'12** | **'13** | **'14** | **'15** | **'16** | **'17** | **'18** | **평균** |
| 한국 | 0.56 | 0.00 | 0.00 | 0.64 | 0.00 | 1.02 | 0.95 | 0.00 | 3.90 | 0.78 |
| 미국 | 8.09 | 7.07 | 9.38 | 7.28 | 5.94 | 5.87 | 15.86 | 9.25 | 16.25 | 7.27 |
| 일본 | 3.55 | 0.24 | 1.57 | 6.13 | 0.90 | 0.89 | 2.37 | 1.71 | 3.90 | 2.33 |
| 유럽 | 1.80 | 2.68 | 3.05 | 3.96 | 5.16 | 16.21 | 20.83 | 14.04 | 14.95 | 6.63 |
| 평균 | 3.50 | 2.50 | 4.67 | 4.50 | 3.00 | 6.00 | 10.00 | 8.33 | 9.75 | 4.71 |

<그림 Ⅲ-39> 인공섬 건설기술 연도별 기술력 지수('00~'18)

# 마. 기술수준 분석

## (1) 기술수준조사 개요

### (가) 조사개요

■ 기술수준조사의 추진배경

◉ “해저터널·인공섬 건설 기술개발사업” 중점분야별 기술수준을 파악함으로서 정부정책 방향에 기여할 수 있는 R&D 사업 기획을 위한 근거자료를 마련

■ 기술수준조사 개요

◉ 조사방법으로 2Round 델파이 기법 활용

- 관련 전문가들이 피드백 과정을 반복하여 의견합의를 도출
- 전문가 개개인의 주관적 의견을 토대로 비교적 객관적이고 안정적인 결론을 도출

**<표 Ⅲ-93> ‘해저터널·인공섬 건설 기술개발사업’ 중점분야별 기술수준조사 방법**

| | | |
|---|---|---|
| 기술동향조사 (환경분석) ※ 기초자료로 제공 | | ○ 관련기술 동향 조사 |
| ⬇ | | |
| 논문·특허 분석(기술경쟁력) ※ 기초자료로 제공 | | ○ 논문·특허 등의 국가별 활동도 및 피인용 지수 등에 대한 국내·외 현황 비교분석 |
| ⬇ | | |
| 설문 (델파이조사) | 예비설문 | ○ 관련 전문가를 대상으로 기술별·기관유형별 응답자 수 및 응답자의 전문성 파악 |
| | 1차설문 | ○ 예비설문 조사에 응답한 전문가를 대상으로 각 국의 기술수준 및 기술개발 소요시간, 실현시기 등 조사 |
| | 2차설문 | ○ 1차 설문 응답자를 대상으로 기술수준, 기술 보유형태, 기술의 경쟁력 등 상세 설문 실시 |
| ⬇ | | |
| 심층의견수렴 | | ○ 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과) 정도, 해당 기술의 문제해결을 위한 인프라 여건 등 전문가 심층 의견 수렴 |

조사대상기술은 2대 분야 7개 중점분야 대상

**<표 Ⅲ-94> 기술수준조사 대상**

| 대분야 | 중점분야(평가기준) | 기술 예시 |
|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | • BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발<br>• 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발<br>• BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| | 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | • 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발<br>• 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발<br>• 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발<br>• 터널 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발<br>• 터널 내 공동구 급속시공 기술 개발 기술 |
| | 해저터널 스마트 케어 시스템 | • IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발<br>• 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발<br>• 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발<br>• 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발 |
| | 자산관리기반 유지관리 시스템 | • BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축<br>• 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축<br>• 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축<br>• 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | • 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발<br>• 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술<br>• 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술<br>• 해양환경 특성을 반영한 초경량·고강도 콘크리트 기술<br>• 극한환경 대응 가능한 내구성 확보 기술 |
| | 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | • 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술<br>• 부유식 구조물 고정을 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술<br>• 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술<br>• 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술 |
| | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | • 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술<br>• AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발<br>• RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발<br>• 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술<br>• 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발 |

- 주요 조사항목은 기술수준 측정지표 및 기술 경쟁력 수준 및 영향력 지표
  - 세계 최고 기술 보유국
  - 최고기술보유국 대비 기술수준 및 기술격차기간, 기술격차 주요 원인
  - 해당 기술의 발전단계 및 연구단계, 권리형태, 신규/독창성, 모방 난이도, 경쟁력 수준
  - 성과 관련 영향력(파급효과) 정도, 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건 등 전문가 심층 의견
- 질문대상 전문가는 분야별 산·학·연 전문가에 한하며, KISTEP「연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침」의 AHP 평가자 선정 권고사항을 반영함으로서 객관성 제고
  - 평가대상사업으로 직접 영향을 받은 이해관계자는 제외하며 최고평가단, 평가위원 Pool, 기획위원 등 해당
  - 사업자문위원단, 평가위원, 객관적 입장에 있는 연구자 등으로 한정
- 2Round 델파이 조사의 절차는 1차 설문조사 후 조사결과를 토대로 2차 설문조사 실시
  - 1차조사 : 기술동향조사(환경분석), 논문/특허분석(기술경쟁력) 제시
  - 2차조사 : 1차조사 결과 제시




<그림 Ⅲ-40> 2Round 델파이조사 절차

델파이조사 추진일정

| | | |
|---|---|---|
| 조사계획 수립 | ~ 10월 28일 | • 조사대상/항목, 조사방법론, 추진체계 및 일정 등 확정<br>• 국내기술현황 정리<br>• 질문대상 명단 작성<br>• 조사 전산시스템 준비 |
| 1차 델파이조사 | 01월 16일<br>~01월 23일 | • 전문가의 기술수준 평가 실시 |
| 2차 델파이조사 | 01월 24일<br>~01월 29일 | • 전문가의 기술수준 평가 실시 |
| 기술수준조사결과 DB구축/<br>데이터 분석 및 보고서작성 | ~ 01월 30일 | • 평가 데이터 오류검토 및 통계DB화<br>• 기술수준조사결과 분석 |

## (나) 조사 세부 내용

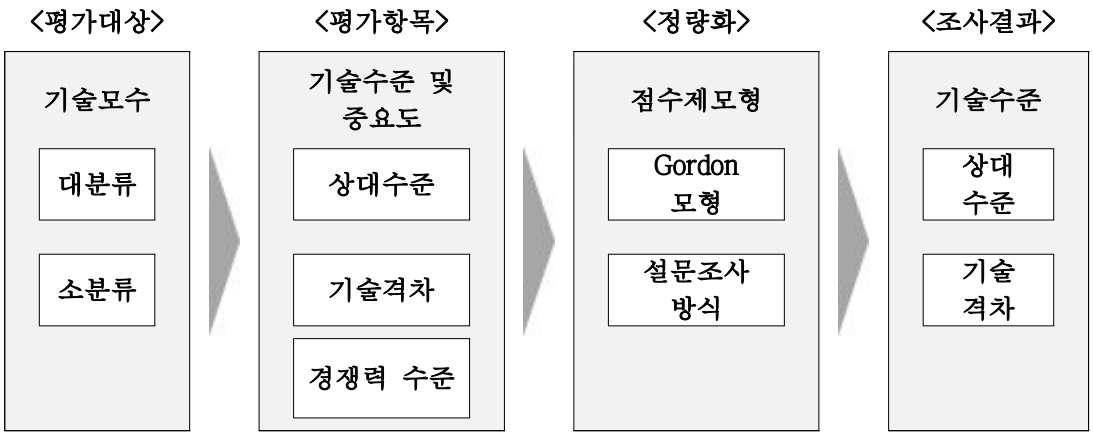
### 설문의 개발

#### 설문개발의 방향성

- 조사항목의 간소화를 통한 응답률 제고(조사목적과 직접 연관된 항목으로 조사항목을 간소화)

#### 기술수준 측정의 틀

- 기술수준(상대수준, 기술격차), 기술 경쟁력 수준으로 구분평가




〈그림 Ⅲ-41〉 기술수준 측정 틀

**[참고] Gordon 점수모형**

▶ Gordon 점수모형은 기술수준 평가결과의 정량화를 위한 대표적 모형
- Gordon 모형에서는 모든 기술은 장기적으로 이론적인 상한선을 가지고 있으며, 성장곡선을 따라 발전한다는 가정을 기본으로 함
- 기술성장모형 기반 기술수준평가를 위해서는 중점분야별 시계열 기술수준조사 결과값이 확보되어야 하나, 해저터널 및 인공섬 분야 소분류 수준의 시계열 기술수준이 마련되어 있지 않아 적절한 기술성장모형 도출이 어려움
- 동 기술수준 분석에서는 기술성장모형의 개념은 적용하지 않고 각 전략사업별 궁극적인 기술수준 상한선은 100%로 가정함

▶ Gordon 점수모형은 전략사업별 기술수준과 가중치를 도출하여 기술계층(Hierarchy)별 상위 기술수준의 객관성 확보 및 정량화에 적합
- 하위 기술수준 평가결과와 가중치를 이용하여 상위계층 기술수준 도출

▶ Gordon 모형 계산식
- 기술수준 도출 산식 = $100(K_1\frac{X_1}{X_1^*}+X_2\frac{X_2}{X_2^*}+\ldots+K_N\frac{X_N}{X_N^*})$

KN = 가중치, XN = 모수측정치, X*N = 기준 값

◉ 설문의 구성

- 설문협조문, 설문참여 방법 안내문
- 설문항목(설문자 정보, 기술수준 평가항목, 기술 발전단계, 기술적 수준, 기술 경쟁력 수준, 기술 영향력(파급효과))
- 제시자료

◉ 설문자 정보와 더불어 기술수준평가, 발전단계별 평가, 경쟁력, 영향력 항목에 대한 질문지를 개발

**<표 Ⅲ-95> 델파이조사 1·2차 설문항목**

| 유형 | 설문문항 | 유형 | 선택 항목수 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 설문지 정보 | 응답자의 소속기관 유형 | 선다형 객관식 | 7 | 1차 |
| | 응답자의 해당분야 종사경력 | 선다형 객관식 | 3 | 1차 |
| 기술 수준 | 세계최고수준의 기술보유국 | 개방형 주관식 | - | 1·2차 |
| | 세계 최고기술 대비 국내기술수준 | 개방형 주관식 | - | 1·2차 |
| | 주요국가별 기술수준 | 개방형 주관식 | - | 1·2차 |
| | 세계최고기술 대비 기술격차기간 | 개방형 주관식 | - | 1·2차 |
| | 주요국가별 기술격차기간 | 개방형 주관식 | - | 1·2차 |
| | 기술격차 요인(7개 주요 요인) | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| 기술 발전단계 | 국내/외 기술 발전단계 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| | 기초/응용/개발연구단계별 수준 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| | 신규성 및 독창성 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| | 모방 난이도 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |

| 유형 | 설문문항 | 유형 | 선택 항목수 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | 기술의 파급성 | 선다형 객관식 | 5 | 1·2차 |
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보 및 숙련도 여건 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |
| | 국내외 기술, 시장정보 확보 여건 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |
| | 인프라 여건 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |
| 기술 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |
| | 이해관계자 존재 여부 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |
| | 파급효과 정도 | 선다형 객관식 | 5 | 1차 |

◉ 조사항목의 조작적 정의 및 척도

- 조작적 정의의 의의: 조작적 정의는 사물 또는 현상을 객관적이고 경험적으로 기술하기 위한 필수의 과정
- 척도 결정의 의의: 조작적 정의를 토대로 계량화된 수치를 획득하기 위한 필수의 과정

**<표 Ⅲ-96> 기술수준의 조작적 정의와 척도**

| 항목 | 세부항목 | 조작적 정의 | 척도 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 기술 수준 | 상대수준 | 최고기술보유국의 기술수준을 100%로 가정했을 때 연구개발능력의 보유수준과 기술력 향상가능성을 고려하여 상대적인 기술수준을 평가 | 백분율 (%) | 정량화시 표준화 (핵심기술 상대수준 정량화시 최상위 기술보유국의 기술수준과 기술격차를 각각 100%와 0년으로 조정) |
| | 기술격차 | 현 수준의 각국 기술 잠재역량을 고려할 때 최상위 기술수준에 도달하는 데 걸릴 것으로 예상되는 기간 | 년 | |

## 중점분야별 기술수준조사 분석결과

### <전략사업별 기술수준조사 결과(종합)>

| 중점분야 | 전략사업 | | 최고기술국 | 국가 | 그룹 | 기술수준(%) | 기술격차(년) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | A1 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 유럽 | 한국 | 추격 | 75.5 | 4.1 |
| | | | | 미국 | 선도 | 96.3 | 0.4 |
| | | | | 일본 | 선도 | 91.7 | 1.4 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 중국 | 추격 | 75.3 | 4.2 |
| | A2 | 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | 유럽 | 한국 | 추격 | 77.6 | 4.7 |
| | | | | 미국 | 선도 | 91.4 | 1.7 |
| | | | | 일본 | 선도 | 97.2 | 0.6 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 중국 | 추격 | 78.2 | 4.3 |
| | A3 | 해저터널 스마트 케어 시스템 | 유럽 | 한국 | 추격 | 78.5 | 3.1 |
| | | | | 미국 | 선도 | 97.2 | 0.3 |
| | | | | 일본 | 선도 | 96.8 | 0.3 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 100 | 0.0 |
| | | | | 중국 | 추격 | 77.3 | 3.6 |
| | A4 | 자산관리기반 유지관리 시스템 | 미국 | 한국 | 추격 | 75.9 | 9.2 |
| | | | | 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 일본 | 선도 | 92.5 | 3.6 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 95.5 | 2.0 |
| | | | | 중국 | 추격 | 71.1 | 11.2 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | B1 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | 일본 | 한국 | 추격 | 77.6 | 3.6 |
| | | | | 미국 | 선도 | 98.0 | 0.3 |
| | | | | 일본 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 99.0 | 0.3 |
| | | | | 중국 | 추격 | 78.9 | 3.3 |
| | B2 | 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | 미국 | 한국 | 추격 | 77.0 | 3.7 |
| | | | | 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 일본 | 선도 | 99.0 | 0.2 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 99.1 | 0.3 |
| | | | | 중국 | 추격 | 77.2 | 3.8 |
| | B3 | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | 유럽 | 한국 | 추격 | 81.2 | 5.4 |
| | | | | 미국 | 선도 | 94.8 | 1.3 |
| | | | | 일본 | 선도 | 97.3 | 0.7 |
| | | | | 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| | | | | 중국 | 추격 | 77.8 | 6.3 |

# 5. R&D 인프라 및 연구인력 현황

## 가. 산업계

- 본 사업과 관련하여 기업 등에는 현재 숙련된 인력이 부족한 실정임. 다만, 본 사업의 특성상 사업 추진과 관련하여 용역사 및 시공사에서 전문 분야의 인력들이 일부 그 역할을 수행하고 있는 실정

**<표 Ⅲ-97> 국내 해저터널 관련 주요 기업 및 인력 현황**

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 | 인력 |
|---|---|---|---|---|
| (주)SK건설 | 서울 | 철도, 도로, 항만, 지하공간, 등의 Civil Infrastructure 건설 | • 터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 습식 숏크리트 공법<br>• 해저터널 설계 실적 보유, 국외에서 실시 설계 중(보스포러스) | 5,048 |
| 현대건설 | 서울 | 도로, 교량, 철도, 지하공간 등 | • 해저터널과 관련 현재 보령~태안 해저터널 건설을 진행 중<br>• 시험터널 건설 및 운영 관련 기술 보유<br>• TBM 지반특성 평가를 통한 커터수명 예측 및 배토성능 향상 기술 개발 | 6,778 |
| 대우건설 | 서울 | 토목공사 전문업체 | • 세계 수심, 최장 침매터널 공사인 거가대로(거가대교, 침매터널) 및 초장대 인제터널(11㎞) 건설 등 관련 기술 축적 및 보유 | 5,804 |
| 한국지오텍 | 서울 | 토목엔지니어링, 그라우팅 관리시스템 연구 개발, 연약지반 개량재 제조 제조 | • 그라우팅 분야 MSG(재료), AGS(시공기술) 등 신기술 및 특허 다수 보유<br>• 차수 및 보강을 위한 통합관리형 그라우팅 시공관리 기술 개발 | 10 |
| 현대산업개발 | 서울 | 도로/교량, 철도, 매립/해양, SOC등 | • GTX와 같은 대심도 급행철도 민자사업 추진 및 관련 세부 설계 기술 보유 | 1,781 |
| 대원토질(주) | 서울 | 터널, 사면보강 공사, 토공사, 지표지질 조사 | • 신소재인 복합섬유 보강재 개발 및 이를 이용한 터널보강기술<br>• FRP등 신재료를 이용한 터널 보강재 관련 기술 보유 | 63 |
| 넥스지오 | 서울 | 토목 엔지니어링, 지질, 지반 등 | • IT 및 신소재를 이용한 터널 급속 안정화 시공 기술관련 터널 막장 전방 예측을 위한 전방 탐사 및 분석, 정보화 관련 기술 보유 | 67 |
| 삼보기술단 | 경북 | 터널 및 지하공간 개발 등 | • 해저터널 관련 국내외 설계 경험 및 관련 설계 및 시공 기술 보유<br>• 초장대 TBM 설계에도 많은 경험을 | 411 |

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 | 인력 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 보유 | |
| 에스코 컨설턴트 | 서울 | 토목 설계/감리 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 터널 시공 중 막장 안정화 및 시공 등급 산정 등에 대한 Know-How 보유 | 38 |
| 단우기술단 | 서울 | 토목/터널/토질 설계/감리 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 노하우 보유<br>• 특히 철도터널 설계관련 많은 경험을 보유하고 있음 | 40 |
| 태조 엔지니어링 | 서울 | 토목 설계 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 해저터널 관련 국내 설계경험 및 관련 설계 및 시공 기술 보유<br>• 초장대 TBM 설계관련 전문가 집단 영입으로 새로운 시장 개척 중 | 162 |
| 유신 | 서울 | 설계 감리, 교통수송, 도로 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 노하우 보유<br>• 특히 철도터널 설계관련 많은 경험을 보유 | 1,158 |
| 하경 엔지니어링 | 서울 | 수로 터널 설계, 도로 및 철도 교량 설계 | • 터널 건설 관련 다수의 설계 경험 보유<br>• 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유 | - |
| ㈜지오제니 컨설턴트 | 서울 | 토목엔지니어링, 특수지반조사, 소프트웨어 개발, 컨설팅, 무역 등 건물 및 토목엔지니어링 서비스 | • 해저터널 관련 20bar급 고수압 지반조사 현장적용 기법 개발 | 7 |
| ㈜한길 아이티 | 서울 | 토목 소프트웨어 | • BIM 기반 설계 자동화와 시공 및 리스크 관리 시스템 개발 | - |
| ㈜범창 종합기술 | 서울 | 토목, 환경기계설비, 전기설비, 플랜트 설계, 감리 등 토목엔지니어링 서비스업체 | • 초장대 해저터널 인공섬 최소화를 위한 30㎞급 환기시스템 개발 | 42 |
| ㈜GS건설 | 서울 | 토목 시설물, 플랜트, 건축, 인프라 | • 350㎞/hr급 고속주행 실현을 위한 댐퍼 및 덕트 시스템 개발<br>• 초장대 터널 시공을 위한 NATM 지반 보강, 굴착기술, TBM 운용 및 세그먼트 설계 기술, 지하공간 환기/방재 및 유지관리 기술 보유 | 7,099 |
| ㈜동일 기술공사 | 서울 | 토목설계, 도로, 구조, 철도, 도시, 감리 및 사업, 설계 | • 피난연결 통로 연기확산 방지 기술개발 | 590 |

| 업체명 | 지역 | 주요품목 | 해저터널 관련 보유기술 | 인력 |
|---|---|---|---|---|
| ㈜유원 컨설턴트 | 서울 | 토목설계, 환기 및 방재, 감리, 토목시설공사 | • 국내외 장대터널 설계실적 및 T/K설계 노하우 축적 | - |
| ㈜이제이텍 | 경기 | 토목설계, 지반조사, 안전진단 용역 | • 터널 계측용 광섬유센서 및 모니터링 시스템<br>• Smart 터널 Observation Expert System 개발 등 계측 및 관련 분야의 전문성 보유 | 142 |
| ㈜케미우스코리아 | 전남 | 엔지니어링, 토공사, 시설물유지관리, 보링그라우팅 | • 내염・내부식성 고강도 숏크리트 기술개발 | - |
| ㈜삼원 이앤비 | 경기 | 터널용 축류송풍기, 배기장치 제조 | • 초장대 해저터널용 4kPa급 고정압 축류팬 개발 | 63 |
| ㈜주성 지앤비 | 경기 | 토목 엔지니어링, 토목 공사용 기계 장비 임대 등 토목엔지니어링 서비스업체 | • 대심도 지하차도 및 해저터널의 방재대책 관련 연구실적 보유 | - |
| ㈜엔엔 에프텍 | 대전 | 소프트웨어 자문・개발・공급, 하드웨어 제조 등 시스템 소프트웨어 개발 및 공급 | • 센서 및 실시간 데이터 전송기술을 기반으로 한 리스크 저감 관리 기술 및 굴착면 전방 예측시스템 자동화모듈 개발 | - |
| 동아지질 | 부산 | 토목분야의 보링 그라우팅 공사, 수중공사, 상하수도설비 공사 | • 국내 해저터널 시공 경험보유<br>• 특히 기계화 시공법관련 가장 많은 시공 및 컨설팅 실적을 보유 | 350 |
| ㈜이엠 코리아 | 경남 | TBM 굴착장비 | • Semi-Shield TBM 국산화에 성공하여 대형 15m급 TBM 보유 | 239 |
| 코오롱 건설 | 인천 | 토목시설물 건설 | • 터널관련 많은 설계 경험 및 Know-How 보유<br>• 유럽 해저터널건설 분야 업계, 학계와 밀접한 유대관계 유지 | 2,837 |
| ㈜대룡공업 | 강원도 | 산업용 비경화 고무제품 제조 | • 고수압에 대응할 수 있는 EPDM Gasket 개발 | 33 |
| 경동 엔지니어링 | 충남 | 토목 설계, 감리/토목공사 | • 터널 건설 관련 다수의 설계, 시공 경험 보유<br>• 특히 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유 | 595 |
| 도화 엔지니어링 | 서울 | 토목설계, 건축설계, 종합기술 엔지니어링, 소프트웨어 자문・개발・공급, 토목건축공사, 부동산 임대 | • 교량, 터널, 도로 및 철도구조물, 트러스- 아치교, 사장교, 현수교와 다양한 고객 요구에 상응하는 해저터널 등 풍부한 경험 보유 | 1,960 |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서 해저터널 연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06;KISLINE.

(㈜SK건설) 터널 지보특성 개선을 위한 보강합성섬유 습식 숏크리트 공법과 해저 터널 설계 실적을 보유

**<표 Ⅲ-98> ㈜SK건설 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1962년 2월 21일 |
| 기업형태 | • 대기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 6,439,814,638 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 4,909명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 고성하이화력발전소 착공 (2017)<br>• 터키 유라시아 해저터널 산업기술상 수상 (2017)<br>• 싱가포르, 친환경 건설사 최고등급 인증 (2016)<br>• 터키 유라시아 해저터널 관통 (2016) |
| 주요상품 | 건설토목공사,주택공사,플랜트공사,인프라/사무용기계장비,컴퓨터,통신장비,전기용기계장비,기자재 도소매/비주거용건물 임대/소프트웨어 자문,개발,공급 |

출처 : KISLINE

(현대건설) TBM 지반특성 평가를 통한 커터수명 예측 및 배토성능 향상 기술을 보유하고 있으며 현재, 보령~태안 해저터널 건설을 진행 중

**<표 Ⅲ-99> 현대건설 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1950년 1월 10일 |
| 기업형태 | • 대기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 10,167,960,000 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 6,609명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 현대건설이 하떠이알앤씨㈜를 흡수합병 결정 (2018)<br>• 제13회 아시아건설종합대상 (2018)<br>• 싱가포르 투아스 터미널 Phase 2 매립공사 수주 (2018)<br>• 2017 헤럴드경제 그린주거문화대상 (2017)<br>• 세계 세 번째 단경간 현수교 울산대교 준공 (2015) |
| 주요상품 | 종합건설,주택분양,건설산업부문 설계,감리 |

출처 : KISLINE

■ (대우건설) 거가대로(거가대교, 침매터널) 및 초장대 인제터널(11㎞) 건설 등 관련 기술 축적 및 노하우 보유

**<표 Ⅲ-100> 대우건설 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 1962년 2월 21일 |
| **기업형태** | • 중견기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 11,332,055,896 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 5,410명 (2018년 기준) |
| **주요연혁** | • 부산 외곽순환고속도로 개통 (2018)<br>• 라오스 인프라 개발 MOU 체결 (2017)<br>• 스마트 수중터널시스템 연구센터 핵심 연구기관으로 참여 (2017)<br>• 인도 비하르교량PJ 수주 (2016) |
| **주요상품** | 아파트건설,토목공사,건축공사,포장공사,전기공사,무역/중장비 대여 |

출처 : KISLINE

■ ㈜한국지오텍) 그라우팅 분야 MSG(재료), AGS(시공기술), 차수 및 보강을 위한 통합관리형 그라우팅 시공관리 기술 등 신기술 및 특허 다수 보유

**<표 Ⅲ-101> ㈜한국지오텍 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 2000년 12월 27일 |
| **기업형태** | • 중소기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 13,949,186 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 30명 (2018년 기준) |
| **주요연혁** | • 국토교통부 해저터널 연구단 과제 참여<br>• 고성능 그라우팅 주입재 및 장비 개발 연구과제 수행<br>• 해저시설물 차폐기술 개발 연구과제 수행 |
| **주요상품** | 보링그라우팅 공사, 토목 엔지니어링, 그라우팅 관리시스템<br>연구・개발, 연약지반 개량재 제조・도매 |

출처 : KISLINE

(현대산업개발) GTX와 같은 대심도 급행철도 민자 사업 추진 및 관련 세부 설계 기술 보유

<표 Ⅲ-102> 현대산업개발 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1977년 10월 14일 |
| 기업형태 | • 중견기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 4,125,907,855 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 21명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • HDC㈜ 설립<br>• 볼리비아바네가스 교량 준공 (2017)<br>• 베트남 홍하교량건설사업 수주 (2018)<br>• 볼리비아바네가스 교량 건설공사 수주 (2014) |
| 주요상품 | 토목공사,건축공사,아파트분양사업,재개발/재건축사업 |

출처 : KISLINE

(대원토질㈜) 신소재인 복합섬유 보강재 개발 및 이를 이용한 터널보강기술 등 터널 보강재 관련 기술 보유

<표 Ⅲ-103> 대원토질㈜ 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1996년 04월 01일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 5,913,726 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 63명 (2016년 기준) |
| 주요연혁 | • HDC㈜ 설립<br>• 볼리비아바네가스 교량 준공 (2017)<br>• 베트남 홍하교량건설사업 수주 (2018)<br>• 볼리비아바네가스 교량 건설공사 수주 (2014) |
| 주요상품 | 보링그라우팅 공사, 토공사, 철물 공사, 철근 콘크리트 공사,<br>비계구조물 해체 공사/지질 조사,지하수 개발 |

출처 : KISLINE

(넥스지오) IT 및 신소재를 이용한 터널 급속 안정화 시공 기술관련 터널 막장 전방 예측을 위한 전방 탐사·분석, 정보화 관련 기술 외에도 TBM 전방 지반 조사 시스템, TBM 시공리스크 관리 시스템, 등의 연구 수행 경험 보유

**<표 Ⅲ-104> 넥스지오 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 2001년 8월 16일 |
| **기업형태** | • 중소기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 4,036,320 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 39명 (2017년 기준) |
| **주요연혁** | • 일반광 정밀조사 외주용역 수행 (2011)<br>• 잠비아무쿰비우라늄·동준정밀탐사 (2011)<br>• 안동-인하댐 연결공사 지반조사 용역 수행 (2011)<br>• IT 기반 지하 전력구조물 설계·시공 및 유지관리 전문가 시스템 개발 용역 수행 (2011) |
| **주요상품** | 토목 엔지니어링, 지질·지반·지하수 조사, 자원 개발 탐사, 보링 그라우팅 공사, 정보 통신 공사, 기계 설비 공사 |

출처 : KISLINE

(삼보기술단) 해저터널 관련 국내외 설계 경험 및 관련 설계 및 시공 기술 보유

**<표 Ⅲ-105> 삼보기술단 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 1993년 7월 7일 |
| **기업형태** | • 중소기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 54,616,926 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 403명 (2017년 기준) |
| **주요연혁** | • 엔지니어링사업자 일반산업기계 등록 (2018)<br>• 지하안전영향평가 전문기관 등록 (2018)<br>• 직접 생산 증명서 등록 (측량용역, 지질연구조사 서비스) (2015)<br>• 에너지 사용 계획 수립 대행자 (1군 국토개발) (2015) |
| **주요상품** | 토목 설계, 감리, 공공측량, 환경영향평가대행, 교통영향·학술연구 용역, 부동산(건물) 임대 |

출처 : KISLINE

(에스코 컨설턴트) 터널 시공 중 막장 안정화 및 시공 등급 산정 등에 대한 Know-How 보유

<표 Ⅲ-106> 에스코 컨설턴트 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1996년 9월 9일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 3,257,311 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 38명 (2014년 기준) |
| 주요연혁 | • 지하안전영향평가 전문기관 등록 (2018)<br>• 중장기 및 단기건전화 계획 수립을 위한 지하 구조물 성능평가 예측시스템 특허 취득 (2018)<br>• 시설물별 성능 평가기준 변경이 가능한 지하구조물 자산관리 시스템 그 방법을 실행하기 위한 기록매체에 저장된 자산관리 프로그램 특허 취득 (2018) |
| 주요상품 | 토목 설계, 감리 |

출처 : KISLINE

(단우기술단) 터널관련 많은 설계 경험 및 철도터널 설계관련 많은 Know-How 보유하고 있음

<표 Ⅲ-107> 단우기술단 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2004년 9월 20일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 6,746,833 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 51명 (2017년 기준) |
| 주요연혁 | • 기업부설연구소 설립 (2007)<br>• 광해방지 사업자 등록 (2008)<br>• 안전진단전문기관 등록 (2008)<br>• 강관보강공법 특허출원(특허 제10-1065007호) (2011)<br>• 엔지니어링 사업 추가등록(철도,광해방지) (2011)<br>• 절토면 옹벽 특허출원(특허 제10-1091846호) (2011) |
| 주요상품 | 토목, 터널, 토질 설계, 감리 |

출처 : KISLINE

■ (태조 엔지니어링) 해저터널 관련 국내 설계경험 및 관련 설계 및 시공 기술 보유

- 초장대 TBM 설계관련 전문가 집단 영입으로 새로운 시장 개척 중

**<표 Ⅲ-108> 태조 엔지니어링 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2002년 8월 6일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 17,638,092 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 193명 (2017년 기준) |
| 주요연혁 | • 엔지니어링의 날 동탑산업훈장 수상 (2014)<br>• 수도권급행 철도 GTX사업 타당성조사 및 기본 계획 수준 (2014)<br>• 한국지반공학회・한국전산구조공학회 기술상 수상 (2014)<br>• KOTRA 주관 P300 프로젝트 선정 ( 2012) |
| 주요상품 | 토목 설계 |

출처 : KISLINE

■ (㈜유신) 터널 관련 많은 설계 경험 및 Know-How 보유하고 있으며 특히 그 중에서도 철도터널 설계 관련 많은 경험을 보유

**<표 Ⅲ-109> ㈜유신 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1966년 1월 17일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 148,484,811 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 1,176명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 에콰도르 Yachay 지식기반도시 개발사업 (2012)<br>• 베트남 까오랑 사장교 설계 (2011)<br>• 캄보디아 바테이지역 관계시스템 건설사업 (2009)<br>• 부산~거제간(거가대교) 연결도로 민간투자사업 전면책임 감리 (2009)<br>• 인천대교 설계감리 및 전면책임감리 (2009) |
| 주요상품 | 종합건설기술용역(통로의 계획 조사 설계, 경제 평가),<br>산업 설비 용역, 전문 기술 용역 |

출처 : KISLINE

(하경엔지니어링) 터널 건설 관련 다수의 설계 경험 및 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유

<표 Ⅲ-110> 하경엔지니어링 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1997년 11월 1일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 1,956,680 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 21명 (2015년 기준) |
| 주요연혁 | • 장안-온산2 국도건설공사 중 서생터널 인버터 방안 설계 (2017)<br>• 제2외곽 고속도로 민간투자사업 실시설계 (2017)<br>• NATM터널 공동구 콘크리트 기초부 여굴처리방안 연구를 위한 수치해석 (2016)<br>• 해저시설물 차폐기술개발 연구단 연구 중 수직구 단면설계기술 개발 연구 수행 (2010) |
| 주요상품 | 토목 설계 |

출처 : KISLINE

(㈜지오제니 컨설턴트) 해저터널 관련 20bar급 고수압 지반조사 현장적용 기법 개발

<표 Ⅲ-111> ㈜지오제니 컨설턴트 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2000년 8월 1일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 3,006,093 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 9명 (2017년 기준) |
| 주요연혁 | • 터널발파설계 자동화 프로그램 (2006)<br>• TunDesign V4.0 출시 (2006)<br>• 핀란드 Sandvik Mining and Construvvtction과 발파설계프로그램 OEM 납품계약 체결 (2006)<br>• 호주 GEOVIA와 독점 Agency 계약 체결 (2006<br>• KIGAM OK Lab 지정 - 물리검층 실험실 AusIMM 회원 등록 (2013)<br>• KIGAM OK Lab 지정- 심지층탐사기술 연구실, 탄성파연상화연구실 (2017) |
| 주요상품 | 토목 엔지니어링, 특수 지반 조사, 소프트웨어 개발, 이학공학 분야 학술 연구용역, 자원, 에너지 개발, 컨설팅・무역 |

출처 : KISLINE

■ (㈜한길아이티) BIM 기반 설계 자동화와 시공 및 리스크 관리 시스템 개발

<표 Ⅲ-112> ㈜한길아이티 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2001년 10월 29일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 2,834,992 (2015년 기준) |
| 종업원 수 | • 34명 (2015년 기준) |
| 주요연혁 | • 차세대 설계환경대응 건축설계도구 개발 사업 선정 (2013)<br>• BIM 기반 해저터널 설계 자동화와 시공 및 리스크 관리시스템 개발 (2013)<br>• 스트럭-타이 모델 해석 소프트웨어 출시 (2014)<br>• 도로 선형 설계자동화 소프트웨어 출시 (2015)<br>• 교대, 교각 설계자동화 소프트웨어 한계상태 모듈 출시 (2015)<br>• 옹벽 설계자동화 소프트웨어 한계상태 모듈 출시 (2016)<br>• 클라우드 기반의 모바일 도면관리 어플리케이션 출시 (2017) |
| 주요상품 | 토목용 소프트웨어 개발, 자동화 소프트웨어개발/건축설계 |

출처 : KISLINE

■ (㈜범창종합기술) 초장대 해저터널 인공섬 최소화를 위한 30㎞급 환기시스템 개발

<표 Ⅲ-113> ㈜범창종합기술 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1992년 11월 8일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 5,255,661 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 58명 (2015년 기준) |
| 주요연혁 | • 춘천복합화력발전소 상세설계 (2017)<br>• 포승바이오매스 집단에너지 사업 기본 및 상세 설계 기술용역 (2017)<br>• 석문국가산업단지 집단에너지 사업 - 열공급관로 기본 및 상세설계 (2016)<br>• 구미 국가산업단지 저탄소 고형연료이용 스팀공급 네트워크 구축 기본설계중 배관설계 (2013) |
| 주요상품 | 토목, 환경 기계 설비, 전기 설비, 플랜트 설계, 감리 |

출처 : KISLINE

■ (㈜GS건설) 초장대 해저터널 인공섬 최소화를 위한 30㎞급 환기시스템 개발

<표 Ⅲ-114> ㈜GS건설 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1969년 12월 19일 |
| 기업형태 | • 대기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 10,811,746,537 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 6,880명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 방글라데시 Patuakhali (Payra) - Gopalganji 400kV Transmission Line 수주 (2017)<br>• Ruwais Refinery West (RRW) 복구공사 수주 (2017)<br>• KAKAO 인공지능 홈 IoT 서비스 업무협약 체결 (2017)<br>• GS INIMA, 칠레 ATACAMA 지역 해수담수화 시설공사 수주 (2017)<br>• 싱가포르 T301 차량기지 프로젝트 단독 수주 (SGD 19.88억) (2016)<br>• 이란 사우스파스 11, 14 단계 가스 유전 개발 프로젝트 MOU 체결 (2016)<br>• 보츠나와 모루풀레 B 2단계 석탄화력 발전 프로젝트 수주 (2016) |
| 주요상품 | 토목 공사, 건축 공사, 주택 공사, 산업 플랜트 공사, 리모델링 공사, 시설물 유지관리 공사, 산업설비설계·감리 용역·수출입 진단·에너지관리 진단 및 연구개발 |

출처 : KISLINE

■ (㈜동일기술공사) 국내외 장대터널 설계실적 및 T/K설계 노하우 축적

<표 Ⅲ-115> ㈜유원 컨설턴트 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1978년 7월 1일 |
| 기업형태 | • 중견기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 62,893,098 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 590명 (2017년 기준) |
| 주요연혁 | • LoRa LPWAN 센서 네트워크 및 Big Data 플랫폼 기반의 무선 교량 유지 관리 시스템 개발 (2017)<br>• 대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발 복층터널 내부시설 운전자 친화 설계 기술개발 및 가상 프로젝트(1세부과제) 수행 (2014)<br>• 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 피난연결통로 연기확산 방지기술 개발 수행 (2013) |
| 주요상품 | 토목설계 용역, 건설 감리·부동산 임대 |

출처 : KISLINE

■ (㈜유원 컨설턴트) 국내외 장대터널 설계실적 및 T/K설계 노하우 축적

<표 Ⅲ-116> ㈜유원 컨설턴트 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2007년 9월 11일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 1,530,702 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 11명 (2016년 기준) |
| 주요연혁 | • 강남순환도시고속도로 6공구:신림터널, 7공구:서초터널 변경설계 (2011)<br>• 화성시 국도43호선 지하차도 건설공사 기본 및 실시설계용역 (2011)<br>• 중앙선 복선전철(서원주~남원주) 노반 보완실시설계용역 (2011)<br>• 수도권 고속철도(수서~평택) 4공구 율현터널 시뮬레이션 용역 T/K 설계 (2010) |
| 주요상품 | 토목(터널) 설계・연구개발, 기술용역, 감리・토목 시설물 공사 |

출처 : KISLINE

■ (㈜이제이텍) 터널 계측용 광섬유센서 및 모니터링 시스템, Smart 터널 Observation Expert System 개발 등 계측 및 관련 분야의 전문성 보유

<표 Ⅲ-117> ㈜이제이텍 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1994년 2월 1일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 22,559,783 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 112명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 서해대교 구조물 계측장비 구매(설치포함) (2016)<br>• 터널갱내 동결 피해저감에 따른 계측기 설치 공사 (2016)<br>• 광주-강진 고속도로 건설공사 실시설계 토질조사용역(제4공구) (2015)<br>• 페낭 2교 통합 유지관리 시스템 구축 용역 (2015)<br>• 광교지구 택지개발사업 부지조성공사 4공구 / G8옹벽 가시설 설계 용역 (2012) |
| 주요상품 | 토목 설계, 지반 조사, 안전 진단 용역, 정보 통신 공사·계측기 제조, 계측기 설치·판매·무역, 소프트웨어 개발 |

출처 : KISLINE

(㈜케미우스코리아) 내염·내부식성 고강도 숏크리트 기술개발

〈표 Ⅲ-118〉 ㈜케미우스코리아 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1999년 7월 5일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 6,077,400 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 22명 (2016년 기준) |
| 주요연혁 | • 하수관거 충진용 속경형 가소성 뒤채움재 및 이를 이용한 시공방법 (2017)<br>• 강관 다단식 그라우팅 장치 및 이를 이용하는 시공방법 (2016)<br>• 폴리실리콘 슬러지를 이용한 무시멘트 경량 패널 (2015)<br>• 콘크리트 구조물용 염분 흡수방지제 살포장치 및 이를 이용하는 흡수방지제 시공방법 (2016)<br>• 사면 보강용 패널 조립체 및 이의 시공방법 (2016) |
| 주요상품 | 비내화 모르타르, 건축화학 제품(섬유보강재), 혼화 재료 제조, 시멘트 소매, 엔지니어링 공사, 토공사, 시설물 유지관리 공사, 보링 그라우팅 공사 |

출처 : KISLINE

(㈜삼원이앤비) 초장대 해저터널용 4kPa급 고정압 축류팬 개발

〈표 Ⅲ-119〉 ㈜삼원이앤비 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1980년 1월 10일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 16,969,410 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 61명 (2017년 기준) |
| 주요연혁 | • 고효율에너지 기자재 인증 획득 (2003)<br>• 전략산업기술기준 인증 획득 (2003)<br>• 습식전기집진창치 특허증 획득 (2007)<br>• 기술혁신형 중소기업 확인서 선정 (2007)<br>• 한수원 원자력 “Q Class(M255B) 공급업체 등록 (2008)<br>• 생활폐기물 자동이송처리설비 특허증 출원 (2010) |
| 주요상품 | 산업용 송풍기, 지하철, 터널용 축류 송풍기,하수처리장용 교반 송풍기, 공조기, 집진기 제조・공해방지시설 설계 용역 |

출처 : KISLINE

■ (㈜주성지앤비) 대심도 지하차도 및 해저터널의 방재대책 관련 연구실적 보유

<표 Ⅲ-120> ㈜주성지앤비 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2009년 6월 20일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 1,157,871 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 7명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 한국도로공사 설계자문위원 재위촉(대표이사) (2018)<br>• 엔지니어링업 등록(E-10-003477) (2018)<br>• R&D 연구과제 참여(ERC - 스마트 수중 터널 시스템 연구센터) (2018)<br>• 원주~강릉선 대관령터널 축소모형 모의화재실험(한국철도시설공단) - 국내 최장 모형실험(1/50 scale, 150m) (2017) |
| 주요상품 | 건축,토목 엔지니어링, 소프트웨어, 공학 개발, 기계・전기・전자 제조, 부동산, 건설, 토목 공사용 기계장비 임대 |

출처 : KISLINE

■ (㈜엔엔에프텍) 센서 및 실시간 데이터 전송기술을 기반으로 한 리스크 저감 관리 기술 및 굴착면 전방 예측시스템 자동화모듈 개발

<표 Ⅲ-121> ㈜엔엔에프텍 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2013년 2월 4일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 760,213 (2013년 기준) |
| 종업원 수 | • 3명 (2016년 기준) |
| 주요연혁 | • 초저주파 이용 해파리 퇴치 부표 기술사업화 (2016)<br>• 해저터널 내부 통신네트워크 장비 개발 연구 수행 (2018)<br>• BIM 기반 해저터널 설계자동화, 시공 및 리스크 관리 시스템 개발 연구 수행 (2018) |
| 주요상품 | 소프트웨어 자문・개발・공급, 하드웨어 제조 |

출처 : KISLINE

(동아지질) 국내 해저터널 시공 경험 중 특히 기계화 시공법 관련 가장 많은 시공 및 컨설팅 실적을 보유

<표 Ⅲ-122> 동아지질 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1973년 11월 30일 |
| 기업형태 | • 중견기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 339,724,245 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 352명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • Singapore Cable Tunnel NS2 Dwall 공사 (2018)<br>• 울산신항 북항 방파호안 축조공사 (2017)<br>• 국민안전처 - 표창장 수상 (2016)<br>• 홍콩지사 설립 (2014)<br>• 말레이시아 지사 설립 (2014)<br>• 미얀마법인 설립 (2014) |
| 주요상품 | 보링그라우팅 공사, 토공사, 철근 콘크리트 공사, 상하수도 공사, 비계구조물 해체 공사, 수중공사・지질조사 |

출처 : KISLINE

(㈜이엠코리아) Semi-Shield TBM 국산화에 성공하여 대형 15m급 TBM 보유

<표 Ⅲ-123> ㈜이엠코리아 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 2003년 3월 20일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 87,220,106 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 253명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 강릉/평창 수소충전소 완공 (2018)<br>• 창원수소충전소(2기) 구축사업자 선정 (2018)<br>• 국방품질경영상 수상 (2017)<br>• 대형 600Nm3/h 급 수소제조장치 출하 (2017)<br>• 헬기용(KUH) 질소발생장치(OBIGGS) 출하 (2017)<br>• TBM(8m 급) 국산화 기술개발 협약 (KAIA) (2017)<br>• 국제핵융합실험로(ITER) 블랑켓 차폐블록 계약 (2017)<br>• 창원 팔룡 수소스테이션 완공 (2017)<br>• 선박용 질소발생장치 선급인증 획득(ABS) (2017) |
| 주요상품 | 공작기계(CNC선반),산업기계(방산부품,가스발생기) 제조 |

출처 : KISLINE

(코오롱 건설) 터널관련 많은 설계 경험 및 Know-How 보유 외 유럽 해저터널건설 분야 업계, 학계와 밀접한 유대관계 유지

**<표 Ⅲ-124> 코오롱 건설 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 1960년 12월 28일 |
| **기업형태** | • 대기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 3,555,315,326 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 2,941명 (2018년 기준) |
| **주요연혁** | • 한국토지주택공사 주관 '2017년 우수시공업체 시상' 환경시설분야 수상 (2017)<br>• '제9회 건설기술연구 우수사례 발표회' 건설기술연구원장상 수상 (2016)<br>• '제6회 한국리모델링 건축대전' 한국외국어대 글로벌캠퍼스 어문학관 그린 리모델링 준공부문 대상 (2016)<br>• (국토교통부 장관상) 수상 (2016)<br>• 커먼그라운드 독일 'iF 디자인상' 건축 및 브랜드 아이덴티티 부문 수상 (2016) |
| **주요상품** | 토목공사, 일반건설, 주택건설, 해외건설, 소각로 설비 공사·환경 플랜트, 폐처리기 제조 |

출처 : KISLINE

(㈜대룡공업) 고수압에 대응할 수 있는 EPDM Gasket 개발

**<표 Ⅲ-125> ㈜대룡공업 기업개요**

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| **설립일자** | • 2000년 5월 10일 |
| **기업형태** | • 중소기업 |
| **매출액(단위: 천 원)** | • 16,830,782 (2017년 기준) |
| **종업원 수** | • 31명 (2017년 기준) |
| **주요연혁** | • KS M 6793 이증 획득 (2014)<br>• 부품소재 신뢰성 인증(터널용 가스켓/지수재 120년 내구연한) (2013)<br>• 층간조인트 복합지수시스템 DX-100 개발 (2013) |
| **주요상품** | 수팽창지수고무 제조, 도소매 |

출처 : KISLINE

(경동엔지니어링) 터널 건설 관련 다수의 설계, 시공 경험 중 터널 구조물의 수직구 설계/시공 기술 보유

<표 Ⅲ-126> 경동엔지니어링 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1989년 1월 21일 |
| 기업형태 | • 중소기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 63,505,143 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 591명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 산업디자인전문회사 신고 (2013)<br>• 공공하수도 관리대행업 등록 (2013)<br>• 한국엔지니어링 협회 분야추가신고 -건설부문 : 품질시험 (2014)<br>• 설계감리자(전력설계) 등록 (2014)<br>• 안전진단전문기관(교량및터널) 등록 (2014) |
| 주요상품 | 토목 설계, 감리・토목 공사, 문화재 보수 공사 |

출처 : KISLINE

(도화엔지니어링) 교량, 터널, 도로 및 철도구조물, 트러스-아치교, 사장교, 현수교와 다양한 고객 요구에 상응하는 해저터널 등 풍부한 경험 보유

<표 Ⅲ-127> 도화엔지니어링 기업개요

| 구분 | 설 명 |
|---|---|
| 설립일자 | • 1962년 5월 5일 |
| 기업형태 | • 중견기업 |
| 매출액(단위: 천 원) | • 398,213,957 (2017년 기준) |
| 종업원 수 | • 2,065명 (2018년 기준) |
| 주요연혁 | • 도화역사관 개관 (2017)<br>• ENR 선정 글로벌 상위 150개 설계회사중 121위 (2016)<br>• 폐루, 모잠비크, 방글라데시 지사 설립 (2015)<br>• 뉴비전 2020 선포식 (2015)<br>• OHSAS 18001 안전보건경영시스템 인증 (2015)<br>• 제 17회 대한토목학회 토목대상 수상 (2014) |
| 주요상품 | 토목설계, 건축설계,종 합기술 엔지니어링, 소프트웨어 자문개발공급, 토목건축공사, 부동산 임대 |

출처 : KISLINE

## 나. 대학

■ 현재 본 사업과 관련하여 일부 대학의 전문 분야에만 핵심인력만 존재하며, 관련 연구를 수행하고 있음

◉ 해저터널 기술은 거대 프로젝트로 다양한 전공 분야를 포함하나 비중이 큰 전공을 분류해볼 때 건설시공기술, 건설재료기술, 재해·안전대응기술, 지반 및 기초기술 등 건설기술에 포함되는 분야가 존재하므로 건설기술 45% 중 해저터널 관련 인력은 약 15%로 추정됨. 즉, 이는 전체 건설 교통 인력의 20%임

◉ 최근 국내 화재를 포함한 방재 인력양성을 위해 강원대학교, 인천대학교 등 12개 대학에서 매년 1,500명의 화재 및 방재관련 박사, 석사, 학사의 인력이 배출되고 있으며, 한국 화재소방학회, 대한건축학회, 한방 유비스 등 19개의 화재・방재관련 학회・협회・컨설팅 업체에서 연구논문, 기술지원, 기술보급 등을 수행하고 있음

■ 대학 및 학과 현황

◉ 해저터널·인공섬 기술개발과 관련 있는 대학 및 전공은 총 101개로, 관련학과는 재료, 신소재, 금속, 건축, 토목, 환경, 안전, 방재와 연관성이 높은 학과 위주로 검색

**<표 Ⅲ-128> 관련 대학 및 학과 현황**

| 지역 | 대학명 | 관련학과 |
|---|---|---|
| 강원 | 원주대학교 | 신소재금속공학과, 신소재공학과, 토목공학과 |
| | 강원대학교 | 재료금속공학과, 건축공학전공, 건축시스템공학과, 토목공학과, 환경공학과, 소방방재학과 |
| | 한라대학교 | 신소재화학공학과, 토목공학과 |
| | 한림대학교 | 융합신소재공학과 |
| | 경동대학교 | 건축공학과 |
| | 가톨릭관동대학교 | 토목공학과 |
| | 상지대학교 | 건설시스템공학과, 환경공학과 |
| 부산 | 부경대학교 | 재료공학과, 신소재시스템공학과, 금속공학과, 건축공학과, 토목공학과, 환경공학과, 안전공학과, 소방공학과 |
| | 동명대학교 | 건축공학과 |
| | 경성대학교 | 신소재공학과 |
| | 부산대학교 | 재료공학부, 바이오소재과학과 |
| | 부산가톨릭대학교 | 환경공학과 |
| | 한국해양대학교 | 해양공간건축학부, 건설공학과, 환경공학과 |

| 지역 | 대학명 | 관련학과 |
|---|---|---|
| 서울 | 광운대학교 | 전자재료공학과, 환경공학과 |
| | 서경대학교 | 토목건축공학과 |
| | 서울대학교 | 바이오시스템학과, 건축학부 건축공학전공, 재료공학부, 건설환경공학부 |
| | 건국대학교 | 융합신소재공학과, 환경공학과 |
| | 경희대학교 | 환경신소재공학과, 정보전자신소재공학과, 건축공학과 |
| | 광운대학교 | 건축공학과 |
| | 고려대학교 | 신소재공학부, 환경시스템공학과 |
| | 국민대학교 | 신소재공학부, 건설시스템공학부 |
| | 동국대학교 | 안전공학과, 융합에너지신소재공학과, 건축공학부, 건설환경공학과 |
| | 서울과학기술대학교 | 신소재공학과, 건축학부 건축공학전공, 건설시스템공학과, 안전공학과 |
| | 서울시립대학교 | 신소재공학과, 토목공학과, 환경공학부 |
| | 세종대학교 | 건축공학부, 건설환경공학과 |
| | 연세대학교 | 신소재공학전공, 건축공학부, 토목환경공학전공 |
| | 한양대학교 | 신소재공학부, 건축공학부, 건설환경공학과, 재료화학공학과 |
| 전남 | 순천대학교 | 신소재공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 목표대학교 | 환경공학과 |
| | 동신대학교 | 건축공학과, 토목공학과 |
| | 전남대학교 | 해양토목공학과, 환경시스템공학과 |
| | 한려대학교 | 건설방재공학과 |
| 경남 | 경상대학교 | 해양토목공학과, 해양환경공학과 |
| | 경남대학교 | 토목공학과, 도시환경공학과, 소방방재공학과 |
| | 경남과학기술대학교 | 환경공학과 |
| | 인제대학교 | 신소재프로세스공학과 |
| | 창원대학교 | 신소재공학부 |
| | 창신대학교 | 소방방재공학과 |
| | 한국국제대학교 | 소방방재학과 |
| 경북 | 금오공과대학교 | 신소재공학부 |
| | 안동대학교 | 금속신소재공학전공, 응용신소재공학전공, 영남대학교 |
| | 영남대학교 | 신소재공학부 |
| | 포항공과대학교 | 신소재공학과 |
| | 경일대학교 | 건축학부 건축공학전공 |
| | 대구대학교 | 건축공학과 |
| | 동양대학교 | 건축소방행정학과 |

| 지역 | 대학명 | 관련학과 |
|---|---|---|
| | 안동대학교 | 건축공학과, 토목공학과 |
| | 영남대학교 | 건설시스템공학과 |
| | 경일대학교 | 건설시스템공학과, 소방방재학과 |
| | 김천대학교 | 소방학과 |
| 대구 | 경북대학교 | 신소재공학부, 건축공학전공, 건설방재공학부, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 계명대학교 | 신소재공학부, 건축공학전공, 토목공학과 |
| | 대구대학교 | 환경공학과 |
| | 대구한의대학교 | 방재안전관리전공, 소방방재환경전공 |
| 대전 | 대전대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 배재대학교 | 신소재공학과, 건설환경철도공학과 |
| | 우송대학교 | 건축공학과, 철도건설시스템학부, 소방방재학과 |
| | 충남대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 한남대학교 | 건축공학전공 |
| | 한밭대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 건설환경공학과 |
| 울산 | 울산대학교 | 첨단신소재공학과, 건축공학부, 건설환경공학부 |
| 인천 | 인천대학교 | 신소재공학과, 건설환경공학과 |
| | 인하대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 사회인프라공학과, 환경공학과 |
| 전북 | 군산대학교 | 신소재공학과, 토목공학과, 안전공학과 |
| | 전북대학교 | 신소재공학부 전자재료공학전공, 건축공학과, 지역건설공학과, 토목공학과, 금속시스템공학전공, 환경공학과 |
| | 전주대학교 | 건축공학과, 토목환경공학과, 소방안전공학과 |
| | 원광대학교 | 토목환경공학과 |
| | 우석대학교 | 소방안전학과 |
| 충북 | 충북대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 지역건설공학과, 토목공학과, 환경공학과, 안전공학과 |
| | 세명대학교 | 건축공학과, 토목공학과 |
| | 유원대학교 | 건축공학과 |
| | 서원대학교 | 환경공학과 |
| | 청주대학교 | 건축공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| 제주 | 제주국제대학교 | 토목공학과, 소방방재학과 |
| | 제주대학교 | 토목공학과, 환경공학과 |
| 충남 | 공주대학교 | 신소재공학부, 건축공학전공, 건설환경공학부, 환경공학과 |
| | 상명대학교 | 건설시스템공학과 |
| | 중부대학교 | 토목공학과 |

| 지역 | 대학명 | 관련학과 |
|---|---|---|
| | 청운대학교 | 토목환경공학과 |
| | 남서울대학교 | 건축공학과 |
| | 청운대학교 | 건축공학과 |
| | 선문대학교 | 신소재공학과 |
| | 호서대학교 | 건축토목환경공학부 |
| | 한서대학교 | 토목공학과 |
| 경기 | 경기대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 가천대학교 | 건축공학과, 토목환경공학과 |
| | 경동대학교 | 토목공학과 |
| | 대진대학교 | 신소재공학과, 건설시스템공학과 |
| | 아주대학교 | 신소재공학과, 건설시스템공학과 |
| | 단국대학교 | 신소재공학과, 건축공학과, 토목공학과 |
| | 한경대학교 | 토목안전환경공학과 |
| | 협성대학교 | 건축공학과 |
| | 한국산업기술대학교 | 신소재공학과 |
| 세종 | 홍익대학교 | 재료공학부, 건축공학부 |
| 광주 | 조선대학교 | 재료공학과, 토목공학과, 환경공학과 |
| | 광주대학교 | 토목공학과 |
| | 호남대학교 | 토목환경공학과 |
| | 전남대학교 | 신소재공학부, 토목공학과 |

출처 : KCUE 대학입학정보 (http://univ.kcue.or.kr)

■ 대학 내 부설연구기관 및 연구실 현황

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 연구가 가능한 주요 대학 내 부설 연구기관은 총 11개로 조사

**<표 Ⅲ-129> 주요 대학 내 부설 연구기관 현황**

| 대학 | 센터명 | 연구분야 |
|---|---|---|
| 서울대학교 | 신소재 공동 연구소 | • 기존 소재의 결점을 보완하고 우수한 특성이 부여된 신고분자, 신 금속, 뉴세라믹스, 복합재료 및 반도체재료로 구성되는 고부가가치의 재료 연구 |
| 고려대학교 | 첨단소재 부품개발연구소 | • 최첨단 과학기술의 개발과 관련 재료 및 부품의 개발/ 신소재 및 소재 공정 기술의 개발과 시스템 연구 |
| | 초대형 구조기술연구소 | • 구조물의 설계와 기술개발의 향상을 위한 설계 구조 시공 재료 등 재분야의 연구 |

| 대학 | 센터명 | 연구분야 |
|---|---|---|
| 연세대학교 | 패턴 집적형 능동 폴리머 소재센터 | • 능동형 폴리머 소재를 활용한 신규 패턴공정 기술개발 |
| 한양대학교 | 세라믹 연구소 | • 첨단 압전 재료 소재 개발, 첨단제조공정의 기술개발 연구 |
| 성균관대학교 | 자기치유 친환경 콘크리트 연구센터 | • 콘크리트 균열의 자기치유 기술, 친환경 콘크리트, 자기치유 성능평가 분야의 미래 선도 기술 개발 연구 |
| 단국대학교 | 초고층빌딩 연구 개발센터 | • 초고층 건축물은 최첨단 공학기술과 하이테크(High-tech) 등의 요소를 소화할 수 있는 설계, 구조, 신 재료, 경제적 시공기술 연구 |
| 국민대학교 | 구조 안전 연구소 | • 신소재의 건설 분야 적용기법 개발 및 구조물의 안전 및 내구성에 관한 연구 |
| 인하대학교 | 고분자연구소 | • 엔지니어링 플라스틱, 복합재료, 초고강도 고분자 재료의 기초 및 응용 연구와 관련, 외부 연구 수행 |
| | 소재연구소 | • 소재분야를 중심으로 기초 연구개발 및 소재의 활용방안 연구 |
| 부산대학교 | 하이브리드 소재 솔루션국가핵심연구 센터 | • 하이브리드기능성 소재는 현 소재의 특성을 고도화하고 복합 기능화 하는 원천 소재기술이며, 이러한 첨단소재를 혁신적인 가공기법 연구 |

출처 : 기계·건설공학연구정보센터, 건설공학(건축, 토목) 전공관련 연구실(2017)

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 사업과 연관성 있는 주요 대학 내 연구실은 총 8개로 분석

**<표 Ⅲ-130> 주요 대학 내 부설 연구기관 현황**

| 대학 | | 연구분야 | |
|---|---|---|---|
| 서울대학교 | 고성능구조공학 | • 고성능콘크리트, 프리스트레스트콘크리트, 포스트텐션콘크리트, 합성콘크리트, 섬유보강콘크리트 그리고 친환경콘크리트 등을 활용한 다양한 구조의 설계 및 신 재료 적용에 관한 연구를 수행 | • 외부 Prestressed 강철 막대를<br>• 사용하여 연속 콘크리트 보의 전단 강화 |
| | 세라믹 금속 복합재료 | • 내화물 재료 관련 연구 | • 탄소 함량이 (Ti0.7W0.3) C-Ni 서멧의 미세 구조 및 특성에 미치는 영향 |
| 고려대학교 | 합성구조 | • 고강도 강의 구조성능 등의 고성능 건축 재료에 기반을 둔 구조 엔지니어링 연구 | • 하이브리드 비좌굴가새를 이용한 고층건물의 사용성 평가 |
| | 고성능 콘크리트 및 FRP 구조 | • 고장력 철근을 활용한 구조부재의 휨 및 전단 특성, 스트럿 타이 모델을 적용한<br>• 전단해석 연구 | • 강섬유 및 FRP sheet로 보강한 2방향 RC 슬래브의 고속 충격저항성능에 대한 해석적 평가 |
| 연세대학교 | 콘크리트 구조공학 | • 콘크리트 재료 및 구조분야에서는 황토 및 재활용 PET 섬유 등과 같은 친환경 재료와 target-oriented된 재료 개발을 바탕으로 한 구조성능 평가 및 적용과 신교량 system의 개발 등을 중심으로 연구 | • 친환경 및 저에너지 소모재료 개발과 폭발, 충돌 및 극한하중을 대비한 구조시스템 개발 |
| 한양대학교 | 스마트구조 및 건설 IT | • 스마트 건설 IT 연구소의 연구 초점. 건설-IT 융합 설계 컨셉에 대한 강조와 함께 스마트 센서, 토목 및 건축 시스템, 정보 기술융합을 통합 새로운 건설재료 신기술을 개발 | • 초고층 빌딩 고속 승강기 추락사고 예방을 위한 마그네틱 센싱 기반의 재난 대응형 안전진단 시스템 개발 |
| 성균관대학교 | 건설재료 | • 공학재료의 정확한 특성파악을 위한 새로운 특성예측모델 개발 및 첨단 복합재료를 활용한 사회기반구조물의 거동해석 등의 연구 | • 섬유보강 경량기포콘크리트 및 전자파제어 콘크리트 개발 |
| 단국대학교 | 지능형 건설기술 | • 첨단 복합재료를 활용한 신기술연구 | • 엠보텍을 이용한 방수 신공법 연구 |

출처 : 기계·건설공학연구정보센터, 건설공학(건축, 토목) 전공관련 연구실(2017)

# 다. 연구기관

## (1) 국내 연구기관

■ 현재 본 사업과 관련하여 국내 연구소의 전문 분야에만 핵심인력이 존재함

**<표 Ⅲ-131> 관련 연구기관 현황**

| 연구기관 | 연구기관 기술 수준 |
|---|---|
| 한국건설기술연구원 | • SMART 터널 Observation Ezpert System 개발<br>• IT 및 신소재를 이용한 급속안정화 터널 시공기술 개발(급속시공을 위한 지반거동 분석 시스템 개발)<br>• TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구단<br>• 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업(지하구조물 재해손상 대용 기술)<br>• 기계화 자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구<br>• 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발<br>• 도심지 대심도 지하도로 건설기술의 기획연구<br>• 미래형 신공간/인프라 창출을 위한 지반기술의 신개념 활용 방안 기획연구<br>• 다목적 방재용 수로터널 설계기준 정립 및 시공단면 개발 등<br>• 도로 안전성 조사 시스템(드라이빙 시뮬레이터, 모바일 조사차량 등) 보유<br>• 친환경 지능형 도로설계프로그램 개발 연구 참여 등 도로 설계 분야 연구<br>• 국토해양부 도로안전시설 설치 및 관리지침(조명, 시설유도시설, VMS 등) 연구<br>• 도로설계편람 등 국가 도로설계기준 제정 연구<br>• 위험차량(과적/과고차량) 관리방안 연구 다수 및 과적차량 무인단속시스템 설계・구축 기술지원 등<br>• 지하도로 및 철도를 건설하기 위한 사전 연구들을 많이 진행하였으며, 기술 분야별로 본 사업 추진을 위한 개발 방향 수립 가능 |
| 한국지질자원연구원 | • 도시부인근압축공기지하발전저장시스템관련연구<br>• 농수산물 지하 저장 시설 운영 등 실제 지하 터널 시설물 건설 및 운영<br>• 지하 비축 기지 지하공동 건설에 관한 연구<br>• 대심도 수압파쇄관련 연구<br>• 핵폐기물 처분장 관련 연구<br>• 암반 특성 및 관련 실험 장비 운영 등<br>• 지질 및 암반관련 기초 기술 보유 및 지하공간, 지하공동 관련 지속적인 연구 추진<br>• 본 사업과 관련된 직접적인 연계 사업은 없지만, 지질 및 암반 분야의 전문가 포진 등으로 관련 분야 연계 필요 |
| 한국철도기술연구원 | • 철도터널 건설 관련 기술 개발 및 관련 연구 인프라 다수 보유 |
| 한국해양과학기술원 | • 친환경 인공섬 조성 핵심기술 개발 연구<br>• 해상풍력을 이용한 융복합 수상 양식 및 수중 테마 공원 조성 관련 연구 |

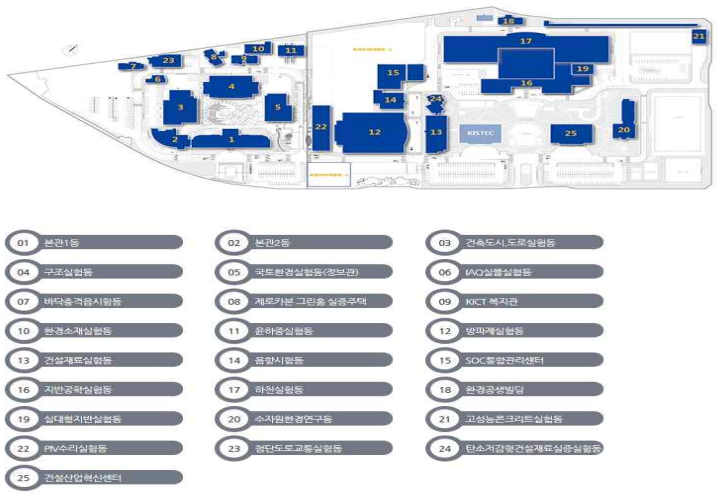
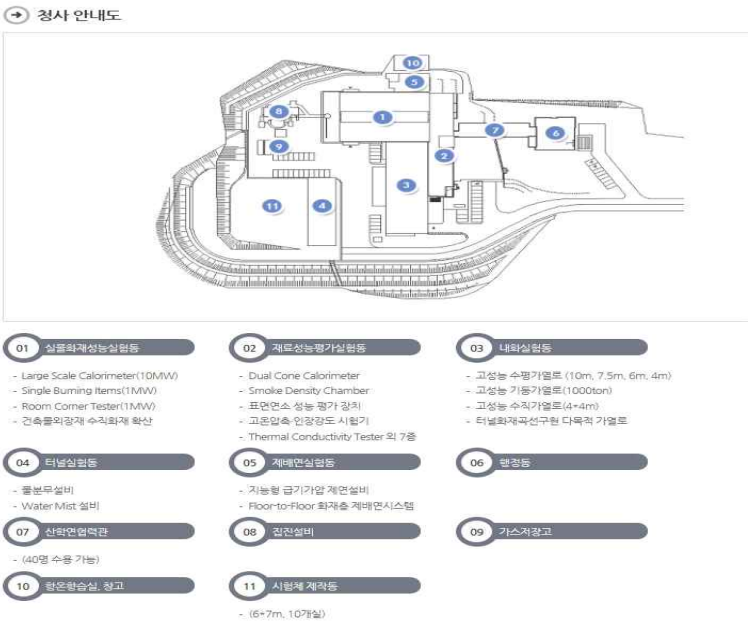
출처 : 해저터널 기술기획 보고서 및 각 연구원 홈페이지 참조

### 한국건설기술연구원

- 한국건설기술연구원의 연천 SOC 다이어트 센터나 화재실물 실험실, 실대형 터널 실험 장치 등 본 사업 추진을 위한 핵심 인프라는 충분히 갖춰진 상태
- 지하도로 등을 직접 실험하고 연구에 연계할 수 있는 Test-Bed 성격의 실험 인프라는 부족한 실정임

**<표 Ⅲ-132> 한국건설기술연구원**

| 구분 | 내 용 | |
|---|---|---|
| 위치/운영기관 | 경기도 고양시 / 한국건설생활시험연구원 | |
| 주요 실험시설 | 본원 | 구조실험동, 바다충격음시험동, 제로카본 그린홈 실증주택, 건축도시, 도로실험동 |
| | 화재안전연구소 | 수평가열로, 기둥가열로, 수직가열로, 다목적가열로, 재배연 실험동, Large Scale Calorimeter, Single Burning Items(SBI) |
| 주요 기자재 | • 내화실험용 20톤 크레인<br>• 현장다짐밀도 측정장비<br>• 1000톤 기둥재하가열 시험장비<br>• 동적피로실험 시스템용 정밀 항온항습기<br>• 유압 천공장비 데이터 분석장치<br>• 콘크리트 고온양생기<br>• 소음계<br>• 동적피로실험시스템<br>• 토사 및 순환골재 시험장치<br>• 30톤 만능재료 시험기<br>• 동결토열전도시험기<br>• 열 중량 시차열분석 동식측정기<br>• 콘크리트 믹서기<br>• 다목적 진동 만능시험기<br>• 고온인장강도시험장비<br>• 초고성능 콘크리트 전용 고속믹서기<br>• 열특성(발화온도)시험장비<br>• 모르타르 타설시험기<br>• 간극수압측정용 데이터수집장치<br>• 숏크리트모르타르믹서<br>• 유압식 다기능 압밀시험기<br>• 숏크리트 타설 기본시스템<br>• 내화재료 고온인장.압축강도 시험장비<br>• 선회다짐기<br>• 터널단면형상측정기<br>• 동결융해시험기 | |

| 구분 | 내 용 |
|---|---|
| 주요 활용분야 | • 국가기반시설 성능 고도화, 국토재해 대응 기술, 친환경 국토조성 기술, 건설기반 융·복합 기술, 고성능 건설자재 기술개발 |
| 실험시설 |  <br>  |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.

## 한국지질자원연구원

- 한국지질자원연구원의 지하공간연구실에서는 해저시설물/해저터널 차폐기술 등 본 사업 추진을 위한 해저지반 조사 핵심 인프라를 갖추고 있는 상태

**<표 Ⅲ-133> 한국지질자원연구원**

| 구분 | 내 용 | |
|---|---|---|
| 위치/운영기관 | 대전광역시 유성구 / 한국지질자원연구원 | |
| 주요 실험시설 | 지하공간연구실 | 터널 및 지하공간 개발, 지반구조물 안전진단 및 유지관리 등 지하공간 활용 통합 솔루션 개발 |
| 주요 기자재 | • C-S분석기<br>• 가속기 질량분석기<br>• 고 분해능 유도결합플라즈마 질량분석기<br>• 이온크로마토그래피<br>• 유도결합플라즈마 질량분석기<br>• 유도결합플라즈마 분광분석기<br>• 열이온화질량분석기<br>• X선 회절분석기<br>• X선 형광분석기<br>• 쇼어경도기<br>• 비금속 광물중 습식분석기 및 전처리<br>• 강도측정기/탄성파속도측정기<br>• 파쇄장비<br>• 현미경감정<br>• 열량계<br>• 열중량 공업분석기<br>• 토질 및 골재<br>• 성형 및 박편 | |
| 주요 활용분야 | • 지질과학 연구, 지질자원 기반정보 구축·제공 및 지반·지하공간의 효율적 이용 연구개발<br>• 광물자원 탐사·개발 및 활용·순환 연구 개발<br>• 지하 에너지자원 확보 연구개발<br>• 지진, 지질재해 및 지구 환경변화 대응 연구개발<br>• 지하수자원의 탐사·개발 및 보전 연구 개발<br>• 연구개발 협력 및 기술용역 수탁·위탁, 기술사업화, 전문 인력육성, 기술정책 수립, 기타 시험평가, 인증 등 | |

출처 : 한국지질자원연구원 홈페이지

### 한국철도기술연구원

- 한국철도기술연구원은 철도터널 건설 관련 기술 개발 및 관련 연구 인프라 등 본 사업 추진을 위한 핵심 인프라는 충분히 갖춰진 상태
- 노반 및 궤도, 차량, 전기신호, 환경 등 철도분야 연구개발, 철도용품 품질시험 및 인증시험을 위해 280여종의 다양한 장비를 보유하고 있으며, 산업체·학계 및 연구소 등과 공동 활용 중

**<표 Ⅲ-134> 한국철도기술연구원**

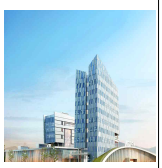
| 구분 | 내 용 |
|---|---|
| 위치/운영기관 | 경기도 의왕시 / 한국철도기술연구원 |
| 주요 실험시설 | 연안개발에너지연구부 |
| 주요 기자재 | • 대차동 특성주행 시험기<br>• ATC 시험기<br>• 스프링 시험기<br>• 제동성능 시험기<br>• 드라이빙기어 시험기<br>• 견인전동기 성능시험기<br>• 추진장치 성능시험설비<br>• 팬터그래프 시험기<br>• 대형삼축압축 시험기<br>• 철도구조물 성능시험기<br>• 레일체결장치 다축 피로시험기<br>• 실대형 통합성능시험기<br>• 고속레일 차륜 접촉시험기<br>• 6자유도 진동대 시험기<br>• 철도차량실대형환경챔버<br>• 탈선시험기 |
| 주요 활용분야 | • 해양공간 개발 및 이용에 관한 연구<br>• 첨단항만 및 항만구조물 개발 연구<br>• 양구조물 건설/유지관리 장비 개발 연구<br>• 조력, 조류, 해상풍력 등 해양에너지 이용기술 연구 |

출처 : 한국철도기술연구원 홈페이지

## 한국해양과학기술원

한국해양과학기술원은 국내·외에 위치한 실험시설을 통해 해양 구조물, 해양장비 관련 기술 개발 및 관련 연구 인프라 등 본 사업 추진을 위한 핵심 인프라를 갖춤

**<표 Ⅲ-135> 한국해양과학기술원**

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="4">내 용</th></tr>
<tr><td>위치/운영기관</td><td colspan="4">부산광역시 영도구 / 한국해양과학기술원</td></tr>
<tr><td rowspan="6">주요 실험시설</td><td colspan="2">국내</td><td colspan="2">국외</td></tr>
<tr><td>  </td><td>본원<br>(해양환경,<br>기후변화,<br>해양자원,<br>해양생물·생태계,<br>해양위성·방위)</td><td>  </td><td>한·중해양과학공동연구센터<br>(황해의 환경보호와 자원개발에 대한 협력<br>/중국 청도)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>남해연구소(분원)<br>(남해특성연구,<br>해양시료도서관,<br>연구선 운항)</td><td>  </td><td>태평양해양과학기지<br>(해양자원 확보와 해양경제영역 확대 거점<br>/마이크로네시아 축주)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>동해연구소(분원)<br>(동해특성연구,<br>독도 관련 연구)</td><td>  </td><td>KIOST-NOAA Lab<br>(선진 해양연구기관과의 협력 강화<br>/미국 워싱턴)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>부설 극지연구소<br>(극지인프라 운영 및 이를 활용한 극지과학(기초·응용) 연구)</td><td>  </td><td>KIOST-PML Lab<br>(영국 및 EU권역 상호협력 및 공동연구 활성화/영국 플리머스)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>부설<br>선박해양플랜트연구소<br>(조선공학, 해양장비 및 플랜트,<br>해양운송·안전연구)</td><td>  </td><td>한·페루(중남미)<br>해양과학공동연구센터<br>(중남미 지역에서의 해양<br>R&D허브역할/페루)</td></tr>
<tr><td>주요 기자재</td><td colspan="4">• 역산란측정기<br>• 리눅스 클러스터<br>• 천부빙하시추기<br>• 자동태양추적광도계<br>• Galileo 시뮬레이터<br>• 사중극 비행시간차 질량분석 시스템<br>• 호리바 아쿠아로그<br>• 세슘원자시계<br>• 레이다 파랑계</td></tr>
</table>

| 구분 | 내 용 |
|---|---|
| | • 원격 해색분광 복사량 관측장비<br>• 전파간섭 신호 조합기<br>• 운고계<br>• MXA 신호분석기<br>• 스트리머 활성채널 전원공급기<br>• 저주파 초음속 유속계<br>• 액체크로마토그래피 / 질량분석기<br>• 액체크로마토그래피 / 질량분석기<br>• 표층 자기장 측정 자력계<br>• 적외선 가스 분석기<br>• 적외선 가스 분석기<br>• 적외선 가스 분석기<br>• 초음파 도플러 유속계<br>• 스트리머 활성채널 전원공급기<br>• 연안용 3차원 해저면 다중 음향 측심기<br>• 다기능 분취 액체 크로마토그래피<br>• 고성능 네트워크 보안 솔루션<br>• 스트리머 탄성 섹션<br>• 자동수은분석기<br>• 해저착저형 콘관입시험기<br>• 전개형 수평 선배열 음향센서부<br>• 유도결합플라즈마 질량분석기<br>• 전개형 수평 선배열 음향센서부<br>• 다중 빔 수신 수중 종단면 해저 영상 관측 장비<br>• GNSS 수신기<br>• 컴퓨터 서버<br>• 유세포 자동 분석기<br>• 실해역 굽힘강도 측정장비<br>• 해양위성자료 스토리지 고도화 및 증설<br>• 고분해능가스크로마토그래피질량분석기 |
| 주요 활용분야 | • 해양에너지 실용화 및 항만해양구조물 기술개발<br>• IoT기반 해양로봇 및 장비 기술 개발<br>• 해양위성 시스템 및 핵심환용기술 개발 고도화<br>• 해양방위 및 안전기술개발<br>• 해양 재해재난 피해저감 기술 개발<br>• 해양공간 통합관리 정책연구 |

출처 : 한국해양과학기술원 홈페이지

## (2) 해외 연구기관

- 전 세계적으로 일부 유사 기술 분야에 대해서 연구개발이 진행되어 있었던 점을 감안하면, 향후 국제 기술 협력기반에서 우리의 역할이 우월적인 입장에서 진행될 가능성이 있음
  - 따라서 세부 요소기술들이 개발된 이후에 기술이전이나 거래가 연계될 수 있으며 관련 기술 분야의 전망은 매우 밝음
  - 이외에도 선진외국에서는 초고층복합빌딩의 지능형 유지관리 및 화재관련 연구 분야별 전담인력 구성을 통하여 조직적이고 체계적인 연구를 수행하고 있음

**<표 Ⅲ-136> 관련 연구기관 현황**

| 연구기관 | 기관명 | 주요활동내용 |
|---|---|---|
| 오스트리아 | TUNCONSTRUCT 연구단 | • 도시부 지하공간 개발관련 연구 개발<br>• 지상부의 유적 등을 유지하면서 지하를 개발하기 위한 각종 공법. 해석 기술 등이 연구진행 중<br>• TBM 등과 같이 도시 친화형 굴착공법에 대한 연구도 진행중.<br>• http://www.ifb.tugraz.at/tunconstruct/ |
| | TU-GRAZ 대터널연구소 | • 터널 시공 중 계측 및 맵핑 관련 연구 개발<br>• 유럽 내 각종 연구단체 및 국가 연구개발 사업 주도 및 터널 분야 핵심 연구 방향 제시 등<br>• 수로터널 등과 관련된 다양한 경험 축적 및 관련 연구 추진 등<br>• http://tunnel.tugraz.at/ |
| | GEOCONSULT | • Tunconstruct 연구단과 함께 도시부 지하 개발을 위한 각종 제도적 기술적 지원 및 연구 개발<br>• 유럽 및 아시아권 내의 다양한 터널관련 사업 추진 및 개발<br>• 유럽 도시 내 지하공간 개발 관련 주도적인 역할 수행<br>• http://www.objektiv-geoconsult.de/ |
| 노르웨이 | SINTEF | • 지하개발이 매우 활동적인 북유럽의 핵심 연구 기관으로 다양한 연구개발 자원을 활용 지하공간 개발에 관련된 연구 추진<br>• 지하 입체교차로 등과 같이 국내에서는 없는 사례를 study하고 있고, 관련 기술 분야별 전문가 포진<br>• 전세계 2천여 기업체에 연구결과물을 제공하는 노르웨이 최고의 연구기관<br>• http://www.sintef.no/ |

| 연구기관 | 기관명 | 주요활동내용 |
|---|---|---|
| | NTNU(Norwegian University of Science and Technology) | • TBM 성능 향상을 위한 각종 TBM관련 간편 시험기 개발 및 시험 기준 제정<br>• Rock 터널에 대한 각종 연구 프로젝트 및 국제 연구개발 사업 참여<br>• 해저터널 등의 고수압 조건에서의 고난도 기술을 요하는 분야의 첨단 기술을 보유<br>• http://www.ntnu.no/ |
| 일본 | PWRI(Public Works Research Institute) | • 일본 건설성에서 추진하는 각종 터널/지하공간 관련 연구개발 주도<br>• 도시부 도로 시험주로 및 터널 형 도로 등에 대한 실물 실험 추진 등 아시아 지역의 왕성한 활동 기여<br>• 지하도로 관련해서는 일본 외곽 순환망에 대한 각종 설계/시공 기술 분야에 참여<br>• http://www.pwri.go.jp/ |
| 영국 | MOTTMAC | • 유럽 기반을 둔 다국적 기업으로 국제적인 연구개발 진행을 위해 프랑스의 A86, 스페인 M30 등 다국적 사업에 참여<br>• 지하도로에 대한 다양한 설계 기술 보유 및 말레이시아 쿠알라룸푸르 SMART터널 등 다목적 수로터널 등에 대한 내용 추진<br>• 현재 국내 도심지 다목적 수로터널에 대한 타당성 검토 용역 추진 등<br>• http://www.socialresearch.mottmac.com/ |

출처 : 해저터널 기술기획 보고서 및 각 연구원 홈페이지 참조.해저터널 기술기획 보고서 해저터널연구단, 국토해양부·한국건설교통기술평가원, 2012.06

# 제2절 해저터널 R&D 수요조사

## 1. 수요조사 개요

### 가. 조사배경 및 목적

- (배경) 본 사업 기획에서는 건설사업의 해외경쟁력 강화와 고부가가치 건설기술 창출을 위한 해외 수요 대응형 건설기술 개발의 일환으로 해저터널·인공섬 관련 공백기술 등에 대한 기술적 수요 조사를 실시
- (목적) 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 기획에 필요한 요소기술 발굴 및 정부지원사업 참여 경험 등에 대한 수요 파악
  - (1차, 2차 기술 수요조사) 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업의 아이디어 발굴 및 신규과제 기획을 위하여 산·학·연을 대상으로 창의적이고 다양한 기술수요 조사를 실시
    * 1차 기술수요조사 결과, 회수 건수가 미흡함에 따라 추가적으로 2차 기술수요 조사를 진행함
  - 조사결과는 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 설계 시에 적극적으로 반영하여 미래 유망분야에 대한 수요자중심의 요소기술 개발이 이루어질 수 있도록 방향 정립

### 나. 조사 대상 및 방법

- 1, 2차 기술 수요조사 내용
  - (대상) 해저터널·인공섬 분야 정부지원사업 수행경험이 있는 연구책임자 및 관련 학회(터널학회·조선공학회 등)를 대상으로 설문조사를 실시
  - (설문대상 확보) 해저터널·인공섬 기술개발 연구 사업에 관심이 있는 산·학·연 및 관련 학회를 대상으로 모집단을 구성
  - (방법) 전자메일, 해양공학회 홈페이지 등
    - (전자메일) 온라인 설문조사 실시(E-mail로 공문 발송 및 독려전화 실시)
    - (학회 홈페이지) 홈페이지 내 공고문 게재
  - (목표 회수율) 통계적 유의성을 위하여 각 유형별 30건 이상, 총 100건 이상 회수 목표
  - (1차 설문기간) 2018. 10. 12. ~ 2018. 10. 26. (약 2주)
  - (2차 설문기간) 2018. 11. 12. ~ 2018. 11. 16. (약 1주)

## 다. 조사 내용

■ 1, 2차 기술수요조사 내용

◉ 국가연구개발사업 수행에 관한 정보

- 해저터널·인공섬 관련 정부 R&D 지원사업의 참여 경험

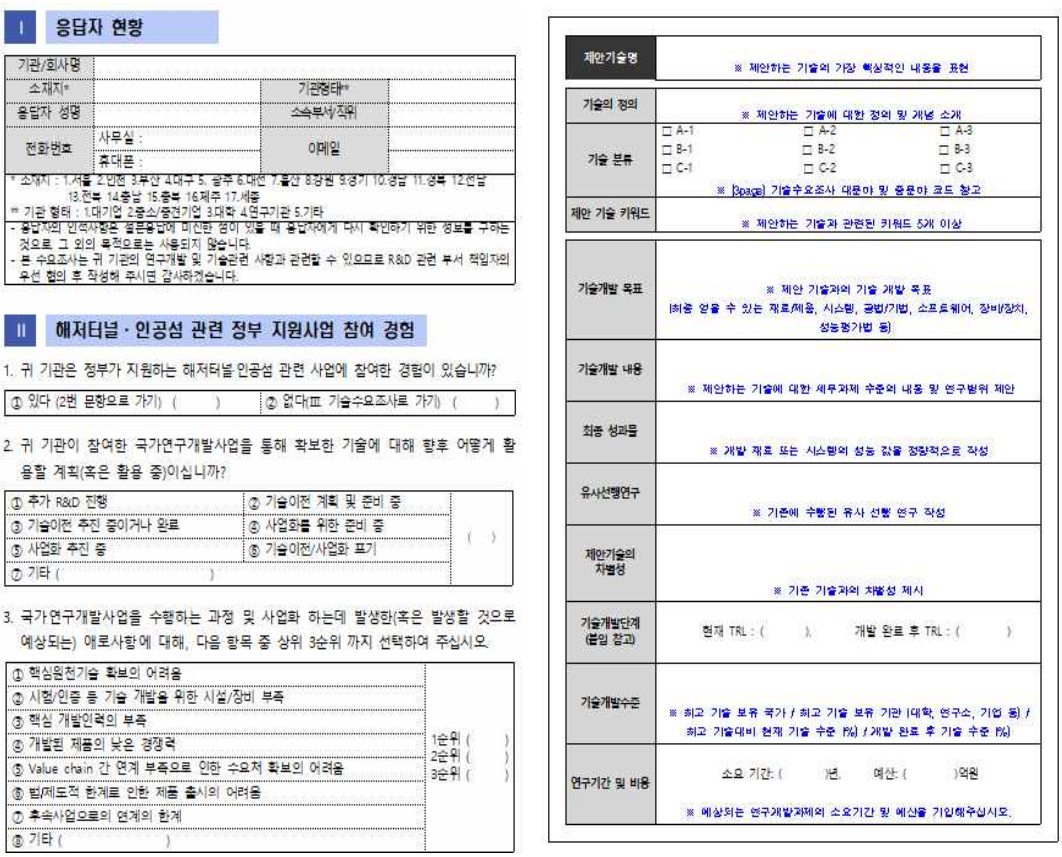
◉ 국가연구개발사업 수행과정 및 사업화 애로사항

- 정부 R&D 사업 수행과정에서 발생한 혹은 발생할 것으로 예상되는 애로사항

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 기획을 위해 필요한 기술에 대한 수요조사

- 수요기술에 대한 분야, 기술유형, 기술개발 필요성, 제안기술의 차별성, 기술개발단계 및 수준, 개발에 필요한 기간 및 기술개발에 필요한 비용 조사

## 라. 조사 양식



Ⅰ 응답자 현황

| | | | |
|---|---|---|---|
| 기관/회사명 | | | |
| 소재지* | | 기관형태** | |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 전화번호 | 사무실 :<br>휴대폰 : | 이메일 | |

* 소재지 : 1.서울 2.인천 3.부산 4.대구 5. 광주 6.대전 7.울산 8.강원 9.경기 10.경남 11.경북 12.전남 13.전북 14.충남 15.충북 16.제주 17.세종
** 기관 형태 : 1.대기업 2.중소/중견기업 3.대학 4.연구기관 5.기타
- 응답자의 민감사항은 질문응답에 미진한 점이 있을 때 응답자에게 다시 확인하기 위한 정보를 구하는 것으로 그 외의 목적으로는 사용되지 않습니다.
- 본 수요조사는 귀 기관의 연구개발 및 기술관련 사항과 관련할 수 있으므로 R&D 관련 부서 책임자의 우선 협의 후 작성해 주시면 감사하겠습니다.

Ⅱ 해저터널·인공섬 관련 정부 지원사업 참여 경험

1. 귀 기관은 정부가 지원하는 해저터널 인공섬 관련 사업에 참여한 경험이 있습니까?

| | |
|---|---|
| ① 있다 (2번 문항으로 가기) ( ) | ② 없다(※ 기술수요조사로 가기) ( ) |

2. 귀 기관이 참여한 국가연구개발사업을 통해 확보한 기술에 대해 향후 어떻게 활용할 계획(혹은 활용 중)이십니까?

| | | |
|---|---|---|
| ① 추가 R&D 진행 | ② 기술이전 계획 및 준비 중 | ( ) |
| ③ 기술이전 추진 중이거나 완료 | ④ 사업화를 위한 준비 중 | |
| ⑤ 사업화 추진 중 | ⑥ 기술이전/사업화 포기 | |
| ⑦ 기타 ( ) | | |

3. 국가연구개발사업을 수행하는 과정 및 사업화 하는데 발생한(혹은 발생할 것으로 예상되는) 애로사항에 대해, 다음 항목 중 상위 3순위 까지 선택하여 주십시오.

| | |
|---|---|
| ① 핵심원천기술 확보의 어려움 | 1순위 ( ) |
| ② 시험/인증 등 기술 개발을 위한 시설/장비 부족 | 2순위 ( ) |
| ③ 핵심 개발인력의 부족 | 3순위 ( ) |
| ④ 개발된 제품의 낮은 경쟁력 | |
| ⑤ Value chain 간 연계 부족으로 인한 수요처 확보의 어려움 | |
| ⑥ 법/제도적 한계로 인한 제품 출시의 어려움 | |
| ⑦ 후속사업으로의 연계의 한계 | |
| ⑧ 기타 ( ) | |

| | |
|---|---|
| 제안기술명 | ※ 제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현 |
| 기술의 정의 | ※ 제안하는 기술에 대한 정의 및 개념 소개 |
| 기술 분류 | □ A-1 □ A-2 □ A-3<br>□ B-1 □ B-2 □ B-3<br>□ C-1 □ C-2 □ C-3<br>※ (page) 기술수요조사 대분야 및 중분야 코드 참고 |
| 제안 기술 키워드 | ※ 제안하는 기술과 관련된 키워드 5개 이상 |
| 기술개발 목표 | ※ 제안 기술과의 기술 개발 목표<br>(최종 얻을 수 있는 재료/제품, 시스템, 공법/기법, 소프트웨어, 장비/장치, 성능평가법 등) |
| 기술개발 내용 | ※ 제안하는 기술에 대한 세부과제 수준의 내용 및 연구범위 제안 |
| 최종 성과물 | ※ 개발 재료 또는 시스템의 성능 값을 정량적으로 작성 |
| 유사선행연구 | ※ 기존에 수행된 유사 선행 연구 작성 |
| 제안기술의 차별성 | ※ 기존 기술과의 차별성 제시 |
| 기술개발단계 (필수 참고) | 현재 TRL : ( ), 개발 완료 후 TRL : ( ) |
| 기술개발수준 | ※ 최고 기술 보유 국가 / 최고 기술 보유 기관 (대학, 연구소, 기업 등) / 최고 기술대비 현재 기술 수준 (%) / 개발 완료 후 기술 수준 (%) |
| 연구기간 및 비용 | 소요 기간: ( )년, 예산: ( )억원<br>※ 예상되는 연구개발과제의 소요기간 및 예산을 기입해주십시오. |

〈그림 Ⅲ-42〉 기술 수요 조사서 양식

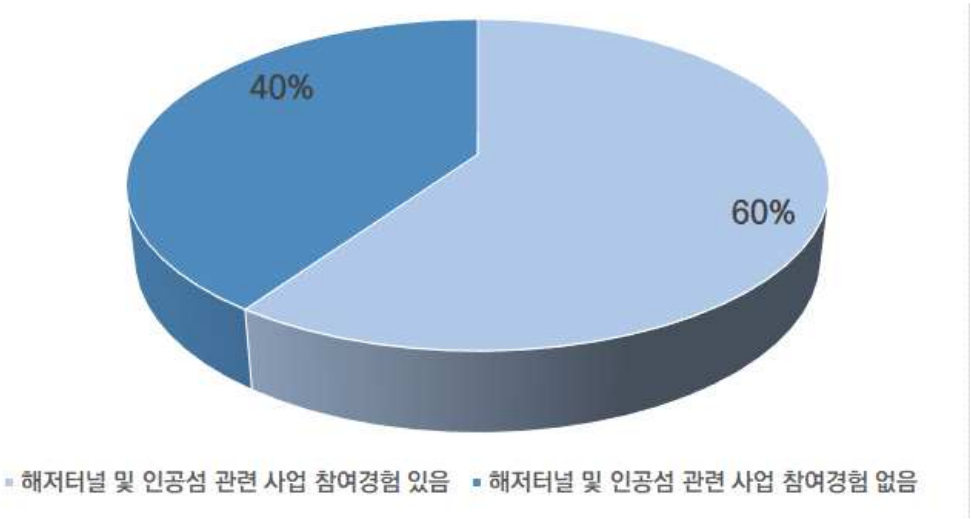
# 2. 수요조사 항목별 분석결과

## 가. 旣 정부 관련 사업 참여 현황

■ 부처별 해저터널·인공섬 관련 사업 참여 현황

◉ 설문조사결과 설문에 응답한 총 57명의 응답자 중 약 60%(34명)가 정부가 지원하는 해저터널 관련 R&D 사업에 참가한 경험을 보유

* 이는, 해저터널 관련 R&D 사업이 SOC 시설물 사업 내에 속하여 소규모로 진행된 원인으로 판단




**<그림 Ⅲ-43> 旣정부 관련 사업 참여현황**

◉ 응답자들이 참여한 해저터널 관련 R&D사업을 통해 확보한 기술을 추가 R&D를 진행하기 위해 활용할 계획에 응답횟수가 가장 많았음

- 그 외는 응답자의 경우 기술이전추진 중이거나 완료했으며, 사업화를 위한 준비 중에 있다고 응답하였음

◉ 旣정부 관련 사업 참여자 중 국가연구개발사업을 수행하는데 발생하는 애로사항에 대해 상위 1순위로 후속사업으로의 연계의 한계에 응답함

- 동 설문에서 Value chain 간 연계 부족으로 인한 수요처 확보의 어려움으로 인한 애로사항이 2번째로 많았음

# 나. 기술수요조사

## (1) 분야별 기술수요현황

분야별 기술수요조사 분석

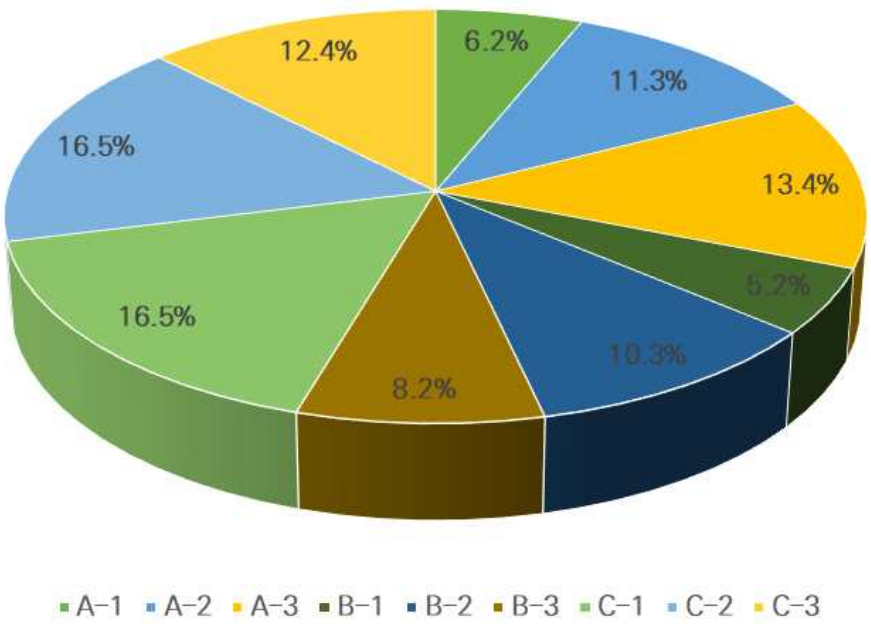
분야별 기술에 대한 수요분석 결과

- 분야별 기술에 대한 수요조사 분석 결과 [중점분야A] 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소 기술 고도화가 31%, [중점분야B] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재대응 및 예방적 유지관리 기술 개발이 24%, [중점분야C] 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술개발이 45%로 조사됨
- 해저터널 산업은 기존 연구단에 의해 이미 보유하고 있는 핵심 요소 기술이 있어 창의적인 새로운 기술보다는 기존 성과물을 활용하여 4차 산업혁명, ICT 산업 환경에 적합하게 고도화 시키려는 기술이 다수를 차지하는 것으로 판단됨
- 반면, [중점분야3] 인공섬 관련 기술개발의 경우 국내에서 보유하고 있는 시공 실적 및 기술이 없으나 미래 시장의 성장 가능성이 높아 새로운 시장을 창출할 수 있으므로 수요가 높게 나타나는 것으로 판단됨

**<표 Ⅲ-137> 대분야별 기술수요조사 비중**

| 구분 | 대분야 | 개수(건) | 비중(%) |
|---|---|---|---|
| 중점분야 A | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소 기술 고도화 | 30 | 31 |
| 중점분야 B | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재대응 및 예방적 유지관리 기술 개발 [환기, 화재대응, 유지관리] | 23 | 24 |
| 중점분야 C | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | 44 | 45 |
| 총합계 | | 97 | 100 |

◉ 또한, 세부분야별 비중을 분석한 결과, [중점분야C] 중 확장형 부유식 인공섬 기술 개발에 대한 수요가 가장 높은 것으로 분석되었고 그 다음으로는 해저터널 연계 착저식 인공섬에 대한 수요가 높게 나타남




| 중분야 | 개수(건) | 비중(%) |
|---|---|---|
| [A-1] 6D BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 6 | 6.2 |
| [A-2] 해저터널 정밀제어 시공 자동화 및 리스크 저감 기술 고도화 | 11 | 11.3 |
| [A-3] 해저터널 건설용 첨단재료 요소 및 서브시스템 개발 | 13 | 13.4 |
| [B-1] 스마트 환기/화재안전 통합 제어 시스템 구축 기술 | 5 | 5.2 |
| [B-2] RAMS 기반 해저터널 성능위주설계 및 평가 기술 | 10 | 10.3 |
| [B-3] 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | 8 | 8.2 |
| [C-1] 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 16 | 16.5 |
| [C-2] 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 | 16 | 16.5 |
| [C-3] 복합형 인공섬 운영 및 유지관리 기술 | 12 | 12.4 |

**<그림 Ⅲ-44> 세부 기술 분야별 기술수요조사 비중**

* 기술분류체계 확정 전에 1차 기술수요조사가 진행되었으므로 추후 변경될 수 있음

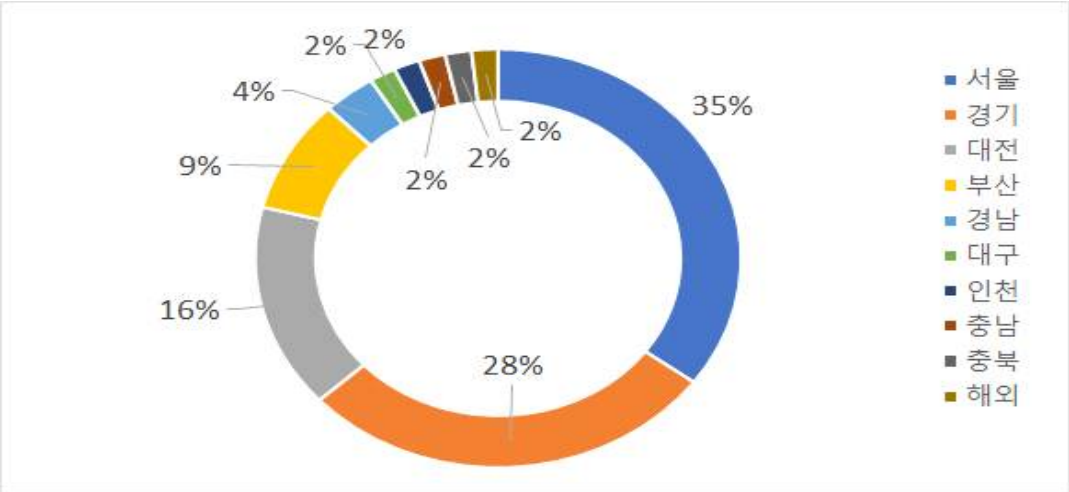
## (2) 지역별 기술수요조사 분석

■ 지역별 기술에 대한 수요분석 결과

◉ 지역별 기술수요 접수에 대한 분석결과 복수응답을 제외한 총 56명의 응답자 중 서울이 36%로 기술수요가 가장 높게 나타남

- 서울은 출연연 및 건설 분야 특성에 따라 대기업이 다수 분포해 있기 때문에, 서울이 가장 높게 나타난 것으로 판단됨

◉ 경기 28%, 대전 16%, 부산 9%로 해저터널 R&D에 대한 수요가 있는 것으로 나타남




| 구분 | 산 | 학 | 연 | 기타 | 총계 | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 서울 | 13 | 5 | 2 | - | 20 | 35% |
| 경기 | 3 | 1 | 12 | - | 16 | 28% |
| 대전 | 1 | 2 | 6 | - | 9 | 16% |
| 부산 | - | 1 | 4 | - | 5 | 9% |
| 경남 | - | 1 | - | 1 | 2 | 4% |
| 대구 | - | 1 | - | - | 1 | 2% |
| 인천 | - | 1 | - | - | 1 | 2% |
| 충남 | - | 1 | - | - | 1 | 2% |
| 충북 | 1 | - | - | - | 1 | 2% |
| 해외 | - | 1 | - | - | 1 | 2% |
| 합계 | 17 | 14 | 24 | 1 | 57 | 100% |

<그림 Ⅲ-45> 지역별 기술수요조사 비중

# 3. 수요조사 결과분석

## 가. 회수 결과

### 1, 2차 기술수요조사 결과

산·학·연 불특정 다수를 대상으로 수요조사를 진행하였으며, 총 97건의 기술수요조사를 접수

- 총 97건의 기술 중 기술개발 수요에 대한 내용만을 분석

**<표 Ⅲ-138> 분과별 기술수요조사 개수**

| 구분 | 중분야 | 개수(건) |
|---|---|---|
| A. 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소 기술 고도화 | A1. 6D BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 6 |
| | A2. 해저터널 정밀제어 시공 자동화 및 리스크 저감 기술 고도화 | 11 |
| | A3. 해저터널 건설용 첨단재료 요소 및 서브시스템 개발 | 13 |
| B. 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재대응 및 예방적 유지관리 기술 개발 [환기, 화재대응, 유지관리] | B1. 스마트 환기/화재안전 통합 제어 시스템 구축 기술 | 5 |
| | B2. RAMS 기반 해저터널 성능위주설계 및 평가 기술 | 10 |
| | B3. 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | 8 |
| C. 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | C1. 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 16 |
| | C2. 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 | 16 |
| | C3. 복합형 인공섬 운영 및 유지관리 기술 | 12 |

*각 분야별 복수응답을 포함

# 나. 분과별 1, 2차 기술수요조사 현황

## 1분과 기술수요조사 결과

### (중점분야) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소 기술 고도화

**<표 Ⅲ-139> 1분과 기술수요조사 결과**

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 1 | A | 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 |
| 2 | A | 터널내 공동구 급속시공 방안 수립 |
| 3 | A | 초급속/초고수압 HIX-TBM 설계 및 시공기술 |
| 4 | A | 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 |
| 5 | A | 해저-미수화시멘트계물질의반응유도를통한해저구조물용고수밀성・자가치유첨단콘크리트개발 |
| 6 | A | BIM 데이터 기발 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| 7 | A | 쉴드 TBM공법에서 지반의 Glogging Risk 평가 기술 |
| 8 | A | 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 |
| 9 | A | 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| 10 | A | 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 챔버 그라우팅 |
| 11 | A | Big data 기반 TBM터널 굴착면 전방 조사기술 |
| 12 | A | 해저터널 및 인공섬 건설시 요구되는 터널 보조공법의 설계, 시공 및 보강효과 확인기술 개발 |
| 13 | A | 초장대 해저터널의 안전시공을 위한 TBM 전주기 운전정보 4D 가시화 기술 |
| 14 | A | 전기비저항/시공데이터를 이용한 쉴드 TBM 근 거리의 해저 고수압 파쇄대 및 막장상태 예측기법 |

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 15 | A | 완전 정보(Full Information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합 플랫폼 개발 |
| 16 | A | 자율 굴진 TBM |
| 17 | A | 고성능 팽창구조체를 이용한 스마트 재해 대응 시스템 개발 및 기술 사업화 |
| 18 | A | 균열 및 방식 자기치유 기술을 활용한 고내구성 해저터널용 지보재 및 시공법 개발 |
| 19 | A | 6D BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 |
| 20 | A | 최적의고성능·고내구성지수재개발 |
| 21 | A | 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 |
| 22 | A | Slurry TBM용 소형 Slurry 처리 고도화 모듈 개발 |
| 23 | A | 고수압 조건을 고려한 해저터널 단면 확폭 기술 |
| 24 | A | 해저터널 면진용 seismic joint 개발 및 설계 |
| 25 | A | 해저터널 부식방지를 고려한 세그먼트 및 숏크리트 보강용 합성섬유(fiber) 개발 |
| 26 | A | 해저 터널용 수압저감 하이브리드 지보 시스템 개발 |
| 27 | A | 50km급 장대해저터널 환기를 위한 고압 축류 팬 개발 및 성능검증 |
| 28 | A | 탄소섬유(graphite fiber)를 활용한 초고강도/강성 세그먼트 개발 |
| 29 | A | 하이퍼 루프 터널 시공을 위한 초정밀 변위관리 기술 |
| 30 | A | 지진/고수압 포함 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 |

## 2분과 기술수요조사 결과

### (중점분야) 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재 대응 및 예방적 유지관리 기술개발

**<표 Ⅲ-140> 2분과 기술수요조사 결과**

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 1 | B | 초장대 해저터널 내 광섬유 센서를 사용한 아스팔트 포장체 공용성 실시간 평가 및 유지보수 전략 수립 |
| 2 | B | 터널 내 차세대 동력(전기, H2 등)을 활용한 운송수단(자동차, 기차 등)의 화재/폭발 위험성 평가 |
| 3 | B | AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 구축 |
| 4 | B | 해저수를 이용한 터널 내 온도 제어 시스템 |
| 5 | B | 해저터널 구난역 설계 기술 개발 |
| 6 | B | AI 기반 에너지 절감형 해저터널 환기운용시스템 개발 |
| 7 | B | 위험물 차량 감지기술 및 설비개발 |
| 8 | B | 화재진압/구난 특수 차량 개발 |
| 9 | B | 해수를 이용한 대용량 소화용수 공급이 가능한 고속이동형 소화시스템 개발 |
| 10 | B | 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압시스템 개발 |
| 11 | B | 하이브리드형 화재확산 방지 및 구획 기술 개발 |
| 12 | B | PID 제어를 이용한 초장대 터널 운영 중 환기/방재 설비 최적운전 기술 개발 |
| 13 | B | Big data 기반의 성능기반 화재안전 설계(PBD) 기반 확보 |
| 14 | B | ICT 기반 해저터널의 성능중심 평가기법 개발 |
| 15 | B | 빅데이터 기반의 해저터널 최적 유지관리 의사결정 모델 개발 |
| 16 | B | IoT 기반 초장대 해저터널 통합 유지관리 기술 개발 |
| 17 | B | 해저터널 공간내 공기질 확보를 위한 공기오염물질 실시간 측정 및 측정데이터 기반 스마트 공기질 정보제공기술 개발 |

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 18 | B | 가상현실(VR, Virtual Reality) 기반 해저터널 환기/화재 유지관리 운영자 교육 시뮬레이터(OTS, Operator Training Simulator) 개발 |
| 19 | B | 초고속카메라 및 레이저스캔을 이용한 유지관리 기술 |
| 20 | B | 해저터널용 접이식 비상대표통로 최적화 모델 |
| 21 | B | 해저터널 유지보수용 선형자산관리시스템(LAMS) 구축 |
| 22 | B | 초장대 해저터널 시공 중 유지관리 모니터링 센서 시스템 개발 |
| 23 | B | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 |

■ 3분과 기술수요조사 결과

◉ (중점분야) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발

**<표 Ⅲ-141> 3분과 기술수요조사 결과**

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 1 | C | 부유식 인공섬을 위한 복합형 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 개발 |
| 2 | C | 부유식 인공섬의 에너지 자립 운용을 위한 해양 에너지 적용 기술 |
| 3 | C | 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 |
| 4 | C | 해양 콘크리트 |
| 5 | C | 부유식 인공섬 건설을 위한 경량 FRP 콘크리트 거더의 개발 |
| 6 | C | 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체 및 연결부 설계 핵심기술개발 |
| 7 | C | 친환경 착저식 고속시공 융합 구조물을 이용한 인공섬 설계 및 시공기술 |
| 8 | C | ICT 기반 AR을 이용한 인공섬 시설물 점검 및 유지관리 시스템 개발 |
| 9 | C | 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 핵심기술 개발 |
| 10 | C | 파랑 및 흐름 하중에 대한 인공섬 수리성능 평가 기술 |

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 11 | C | 극한파랑 조건 적응형 부유식 인공섬의 내구성능평가 기술개발 |
| 12 | C | 착저식 인공섬 시공을 위한 무인장비 자동화 시공 기술 확보 |
| 13 | C | 1,000M^2 이상 확장 가능한 모듈형 부유식 확장 블럭 시공 기술 |
| 14 | C | 인공섬용 신재생에너지 적용방안 및 소형 해수담수화 시설 운영 기술 |
| 15 | C | 연중 인공섬 주변 operability 평가 방법 |
| 16 | C | 초장대 해저터널과 착저식 인공섬 연결부의 수리-구조적 거동 |
| 17 | C | 에너지 자립형 AI-IoT 기반 인공섬 운영 및 유지관리 기술 |
| 18 | C | 확장형 부유식 인공섬 구조물에 대한 외력저감형 에너지 공급 기술 |
| 19 | C | 환경친화적·경제적인 대면적 해상공간 창출을 위한 부유식 인공섬 설계·시공 및 유지관리 기술 |
| 20 | C | 복합형 인공섬 지반 광범위 모니터링 센서 시스템 개발 |
| 21 | C | 해상구조물 한계상태 설계법 개발 |
| 22 | C | 고심도 해중 인공섬 건설을 위한 착저식 PC 수직구 설계 및 시공에 대한 국내기술 확보 |
| 23 | C | 사고(충돌, 충격)하중에 의한 부유식 인공섬 구조물 손상 예측 및 방지대책 |
| 24 | C | 모듈형 수중 구조체 설계/시공 기술 개발 |
| 25 | C | 수중 구조물 건전성 모니터링 기술 개발 |
| 26 | C | 수중 구조물 건설용 구조체 및 연결부 수밀기술 개발 |
| 27 | C | 인공섬 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발 |
| 28 | C | 인공섬 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술 |
| 29 | C | 해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트 특성 파악 및 물성 보완방안 연구 |

| No | 코드 | 가술제안 |
|---|---|---|
| 30 | C | 해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발 |
| 31 | C | 해양구조물 건설 재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석 |
| 32 | C | 해저 구조물의 재해 방지 기술 개발 |
| 33 | C | 해중 구조물의 스마트 모니터링 기술 개발 |
| 34 | C | 부유식 인공섬 운동 최소화  플랫폼 개발 |
| 35 | C | 해양에너지 설치를 위한 부유식 인공섬 최적 계류 시스템 개발 |
| 36 | C | 부유식 인공섬 플랫폼의 스마트 모니터링 기술 개발 |
| 37 | C | 신형식 부유식 인공섬 구조 부재 및 모듈화 기술 개발 |
| 38 | C | 부유식 인공섬 자율 자세 제어 기술 개발 |
| 39 | C | 인공섬에 작용하는 해양외력 연구 및 안전성 평가 |
| 40 | C | 인공섬에 의해 발생하는 세굴 저감 기술 개발 |
| 41 | C | 극한 해양환경 대응 초고내구 콘크리트기술 |
| 42 | C | 대형 부유체 건설을 위한 초경량・고강도콘크리트기술 |
| 43 | C | 극한 환경대응 부식 제로 탄소섬유보강재 기술 |
| 44 | C | 착저식 해양 콘크리트 인공섬 해석 및 설계 기술 |

# 제3절 국내 R&D 역량 및 수요조사 시사점

## 1. 국내 R&D 역량 측면의 시사점

- 국토교통 분야에 대한 정부의 연구개발 투자금액은 2018년 5,058억 원으로 전체 정부 연구개발의 투자금액 대비 약 2.6%의 비중을 차지

  - 정부의 국토 교통 관련 투자는 낮은 성장세를 보이며 유지하고 있는 반면 최근 해저터널 관련 인프라 건설 산업 분야를 중심으로 증가하고 있는 추세임

  - 인공섬 관련 연구개발 투자금액을 살펴보면, 2009년까지 민간 투자는 저조한 상태를 보이다가, 그 후에는 민간에서도 투자하려는 경향을 나타내는 것으로 보아 정부지원이 첨가되면 민간투자를 유도하여 원천 기술 개발에 집중 할 것으로 판단됨

- 해저터널·인공섬 건설 기술개발 관련 사업의 특성상 용역사 및 시공사에서 전문 분야의 인력들이 일부 그 역할을 수행하고 있으며, 일부 대학의 전문 분야에만 핵심인력만이 관련 연구를 수행하고 있음

  - 국내는 주로 육상터널의 설계 및 시공 실적이 많으며, 해외 터널 수주에도 일부 참여하는 등 터널공사 관련 우수 인력이 확보된 상태이나, 해저터널 관련 기업에서는 숙련된 인력이 부족함

    - 예를 들어, 한국건설기술연구원·한국철도기술연구원·한국해양과학기술원 등 국내 연구기관은 본 사업을 추진하기 위한 핵심 인프라가 충분히 갖춰진 상태

    - 그러나 개발된 해저터널 및 인공섬 건설 기술을 직접 실험하고 연구에 연계할 수 있는 Test-Bed 성격의 실험 인프라는 부족한 실정

    - 이에 산·학·연이 함께 추진해야 하는 형태로 진행되어야 하며, 관련 인력이 부족한 학계 및 산업계의 needs 그리고 연구계의 인프라 등이 결합된 새로운 형태의 연구 추진체계가 요구됨

## 2. 수요조사 측면의 시사점

- 수요분석 결과로, 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술개발 분야가 45%로 가장 높게 나옴
  - 이는 국내 건설기술 개발 기업 및 연구기관에서도 향후 인공섬 건설 기술개발 시장 확보에 대한 필요성을 느끼고 있음을 알 수 있음
  - 旣 개발된 해저터널 건설 기술은 빠른 시간 내에 시장에 진출할 수 있도록 실증연구를 진행하며, 인공섬의 경우 원천 기술 개발 할 수 있는 방안 마련이 필요한 시점
- 대기업 뿐만 아니라 중소·중견기업도 (가칭)해저터널·인공섬 건설기술개발 사업의 민간 부담금을 매칭할 의사를 나타냈으며, 이는 본 사업의 형태가 정부의 지원이 우선적으로 이루어질 경우 민간의 참여를 유도할 수 있음을 확인
  - 설문 분석 결과, 해저터널·인공섬 관련 사업에 참여한 경험이 있는 수요자 중 44%가 추가 R&D 진행하거나 기술이전 추진 중 혹은 사업화를 위한 준비를 하고 있음을 나타냄
  - 사업 참여기술의 향후 활용계획에 대해 응답자의 26%가 추가 R&D를 고려하고 있다고 응답
  - 국내 인공섬 건설 기술 확보는 여전히 미비한 것으로 유추해본 결과, 이는 대다수 해저터널 관련 건설 기술은 확보되었으나, 추가 R&D 진행이 필요한 것으로 파악됨
  - 해저터널·인공섬의 건설 기술개발 프로젝트에 민간 분담금을 매칭할 의지가 있는 기업이 대기업은 1.7%, 중소·중견기업은 14%이상으로 나타남
- 수도권에 편중되어 있는 해저터널·인공섬 건설 기술에 대한 수요를 전국으로 확산시킴에 따라 전국이 해저터널·인공섬 관련 산업에 대한 수요가 증가 할 수 있는 방안 마련 필요
  - 現 해저터널·인공섬 건설 기술 수요는 수도권에 편중되어 있으며, 건설기술연구원 등 출연연이 있는 서울에 많은 해저터널·인공섬 관련 수요가 있으나, 기타 지역에는 해저터널·인공섬에 대한 수요가 매우 적은 것으로 분석
  - 국가차원에서 해저터널·인공섬 관련 R&D가 활성화 될 수 있는 방안 마련 필요

# 제4절 사업 추진방향 도출

## 1. SWOT 분석

<표 Ⅲ-142> SWOT분석 총괄

| 내부 환경 / 외부 환경 | Strength | Weakness |
|---|---|---|
| | • 연장 약 10km 내외 해저터널 설계기술력 확보<br>• 세계적 수준의 ICT, IoT, 소재 부품 융복합 역량 보유<br>• TBM, 시출용 드릴링 기술의 발전<br>• 대형 해저터널 설계 및 시공 관련 계획 보유<br>• 염해 관련 터널 시공의 기존 개발 실적 보유 | • 해저터널 핵심원천 기술의 해외기술 의존 및 미보유<br>• 공공기술분야로서 중견·중소기업이 참여하는 산업생태계 취약<br>• 원천 및 핵심기술 카르텔 및 신규투자 정체<br>• 해저터널 시공실적 미보유<br>• 해저심부에 건설되는 장대터널의 환기 및 방재 설계능력과 운영기법 부족<br>• 해저터널 설계 및 시공 관련 기업의 숙련 인력 부족 |
| Opportunity | **SO전략** | **WO전략** |
| • 환경문제 해결 및 편의성에 대한 요구 증대에 따라 국가 건설교통 관련 정책도 미래 수요 예측 및 관련 기술 개발에 맞추어 수정되고 있는 상황<br>• 터널의 대심도화/초장대화<br>• 시설물 안전 및 환기/화재대응 관리 시장의 지속적인 성장 추세<br>• 국토수용력 한계, 환경보전, 경관보전 등을 위해 해저 개발 수요 확대<br>• 해외 신흥국 중심의 해저터널 건설 시공시장 확대 | • 국내 강점을 기반으로 한 건설교통 수요 맞춤형 해저터널 시공 기술 고도화<br>• 연장 약 10km내외 해저터널 설계기술력 및 염해 관련 터널 시공의 기존 개발실적으로 기반으로 적극적인 시장개척 및 해외진출 노력 전개 | • 시공자동화 및 지능형 첨단 유지관리를 위한 핵심원천 기술 확보<br>• 해외시장 진출이 가능한 국내 기업의 글로벌 경쟁력 강화 및 자립기술 확보를 위한 정부의 선제적 투자 |
| Threat | **ST전략** | **WT전략** |
| • 대형 시설물 공급 관련 민원 발생 증가 및 사회적 갈등 심화<br>• 해저지반 개발 증가에 따른 상호의존성 및 위험도 증가<br>• 해저지반 대상 전문 연구 인력 인프라 부족<br>• 해저지반 대상 연구기자재 분야의 인프라 해외의존도 심화<br>• 국내외 현재까지 시공된 해저터널은 약 40여개에 불과 | • 대형 시설물 공급 관련 민원감소 및 사회갈등 해소를 위한 선도기술 개발 추진<br>• 국민생활과 밀접한 국토교통 시설물 안전성 분야 등 신규시장 진출 기술 확보<br>• 국내 실증 기능 기술의 신뢰성 인지도 제고 | • 국내 민간기업의 기술력 증진을 위한 산학역 공동연구 추진<br>• 개발기술의 실증 확대 및 국내외 홍보 강화 |

# 2. 4대 관점의 사업 추진방향

## 가. 우리의 강점을 살린 기회의 활용(SO)

- 국내 강점을 기반으로 한 건설교통 수요 맞춤형 해저터널 시공 기술 고도화
  - 환경문제 해결 및 편의성에 대한 국민적 요구 증대 해소를 위해 해저터널 건설기술 개발
  - 해저터널 관련 기존 연구개발 및 시공실적을 기반으로 목포-제주간 해저터널 건설을 성공적으로 추진하고 국내 건설 실적 확보
- 연장 약 10km내외 해저터널 설계기술력 및 염해 관련 터널 시공의 기존 개발실적으로 적극적인 시장개척 및 해외진출 노력 전개
  - 해저터널 건설 시공시장을 장악하고 있는 해외 신흥국과의 상호보완적 협력관계 구축을 통해 국내 해저터널 시장을 확대하고 해외시장에서의 경쟁력을 강화
  - 세계적 수준의 ICT, IoT 융복합 역량을 적극적으로 활용하여 대형 해저터널 설계 및 시공시 경쟁요소로 확보

## 나. 우리의 강점을 살린 위협 대처(ST)

- 대형 시설물 공급 관련 민원감소 및 사회갈등 해소를 위한 선도기술 개발 추진
  - 사회적 니즈 대응을 위한 IoT기반의 실시간 진단·보수 장비 등 전략기술의 확보 및 실증을 통한 기술 고도화
- 국민생활과 밀접한 국토교통 시설물 안전성 분야 등 신규시장 진출 기술 확보
  - 기후변화, 재난재해 등 대형 시설물의 사고발생 빈도 증가로 인한 국민안전 불안 해소를 위한 안전성 향상 및 서비스 기술 확보
  - 초장대 해저터널 건설과정에서 선행되어야 하는 최적 지질/지반탐사의 첨단기술 적용
- 국내 실증 기능 기술의 신뢰성 인지도 제고
  - 국내 개발기술의 성능평가 및 신뢰성 검증을 위한 실증현장을 활용하여 개발기술의 우수성 홍보 및 인지도 제고

## 다. 우리의 약점을 보완하기 위한 기회의 활용(WO)

■ 시공자동화 및 지능형 첨단 유지관리를 위한 핵심원천 기술 확보

◉ 터널의 대심도화 및 초장대화, 건설교통 수요 증가 추세에 대응하기 위해 선제적인 국내 해저터널 핵심기술 개발 및 라이센스 확보

■ 해외시장 진출이 가능한 국내 기업의 글로벌 경쟁력 강화 및 자립기술 확보를 위한 정부의 선제적 투자

◉ 글로벌 신흥시장 및 선진시장 진출을 위한 기술선진국과의 기술격차 해소를 위한 핵심기술 투자 확대

* 목포-제주 간 해저터널 건설 추진을 통해 해외 신흥국 중심의 해저터널 건설 시공시장 진출

◉ 해저터널 설계 및 시공 관련 기업의 숙련 인력 부족을 보완할 수 있도록 업계, 학계의 전문분야 핵심인력과 결합된 연구 및 기술개발 추진

◉ 해저터널 산업의 Value-Chain 별 정부-민간의 연계 및 제휴 촉진을 통한 협업구조 강화, 공동연구 등을 추진하여 기술개발 전략 수립

## 라. 위협에 대처하기 위한 전략적 대응(WT)

■ 국내 민간기업의 기술력 증진을 위한 산학역 공동연구 추진

◉ 해외선진 기업 대비 기술수준이 미비한 국내 기업의 기술력 제고를 위한 산학연 공동연구 추진 및 기술이전 확대

◉ 대형 시설물 시공의 복잡화, 대형화, 기술집약화 추세에 대응하기 위해 해저터널 건설관련 연구 주체들간의 긴밀한 협력관계 구축 및 범부처 차원의 융합형 복합/대형건설기술 개발 프로그램 추진

■ 개발기술의 실증 확대 및 국내외 홍보 강화

◉ 국민 안전 및 편익에 직결되는 R&D 투자확대 및 성과의 활용도 제고를 위해 현장실증 중심으로 국내외 홍보, 선순환구조 확립

◉ 실증 중심의 기술개발 추진을 통한 민간의 참여율 제고 및 민간주도 기술개발 추진




# 사업의 기본설계 및 추진계획

제 1절 사업 기본방향 설정

제 2절 사업 추진체계 및 운영/관리 방안

# 제 4 장 사업의 기본설계 및 추진계획

## 제1절 사업 기본방향 설정

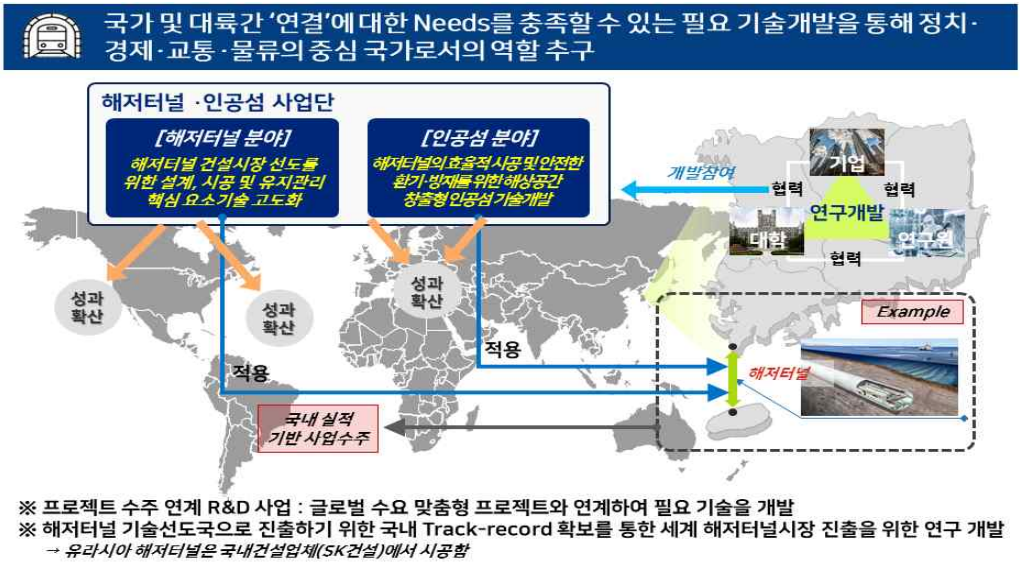
### 1. 사업 기본방향 설정 프로세스

- 동 사업의 기본방향 설정을 위해 미래 환경변화에 따른 해저터널·인공섬 관련 이슈 도출, 국내외 환경분석(정책, 산업/시장, 기술, 인프라, 수요조사 등), 국가정책 방향성을 등을 종합적으로 고려
  - 미래 환경변화에 따른 해저터널·인공섬 관련 사회적 현안, 미래 이슈를 도출하고, 국가 현안 해결 및 미래 이슈 대응을 위한 사업 추진분야 설정
  - 대내외 환경분석(기술동향, 정책 및 투자동향, 산업/시장 등)을 분석을 실시하고, 신정부 정책방향 및 상위계획 검토 등을 통한 정책 실천 수단을 검토하여, 핵심 기술 후보군을 설정하여 동 사업의 추진방향성 도출
- 중점 추진분야 도출에 앞서 합리성, 객관성, 사업 가능성 등을 확보하기 위하여 체계적 사전 절차 수행과 기술수요조사 등을 통한 사업기획의 적합성 제고
  - Top-Down/Bottom-Up 방식을 통한 관련 분야 전문가들의 현장 수요를 반영하고, 기획위원회, 자문위원회 등 산학연 분야별 전문가들의 의견수렴 및 검증을 통해 중점 추진분야 선정

### 2. 사업개념 및 범위

#### 가. 사업의 개념

- (사업의 개념) 국가 및 대륙간 '연결'에 대한 Needs를 충족할 수 있는 필요기술개발을 통해 정치·경제·교통·물류의 중심 국가로서의 역할 추구




※ 프로젝트 수주 연계 R&D 사업 : 글로벌 수요 맞춤형 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발
※ 해저터널 기술선도국으로 진출하기 위한 국내 Track-record 확보를 통한 세계 해저터널시장 진출을 위한 연구 개발
→ 유라시아 해저터널은 국내건설업체(SK건설)에서 시공함

**<그림 Ⅳ-1> 사업의 개념**

◉ **(위상)** 세계 해저터널·인공섬 건설을 위한 핵심기술개발 지원을 통해 글로벌 수요 맞춤형 '프로젝트 수주 연계 R&D 사업'으로 추진

- 기존 연구*를 통해 개발된 핵심 요소기술의 현장검증(Test-bed) 및 해외시장 진출을 위한 고부가가치 엔지니어링 기술개발을 중점적으로 진행

* 해저터널 핵심요소 기술개발(고려대, '13~'18. 258억 원), TBM 설계 · 제작 국산화(이엠코리아, '17~'21, 167억 원), TBM 핵심 설계 · 부품기술(건설연, '10~'15. 114억 원)

◉ 본 사업에서는 해저터널 및 인공섬의 필요 요소기술개발을 중점적으로 지원하고자 함

- **(해저터널 분야)** 국내 시장에서의 기술 우수성 검증을 기반으로 해외시장을 공략할 수 있는 실증 위주의 기술 지원 → 초장대(최소 50km), 고수압(최대20bar) 조건에서의 해저터널 건설기술 확보

☞ 기존 해저터널 관련 국가연구개발 사업은 각 구조물의 요구 성능 확보를 위한 한계적인 연구사업으로 진행

☞ 국내 해저터널 건설 기술을 기초단계에서 응용·개발단계로 발전시키고 기술의 경제적 가치를 발굴하기 위해서 기술기반의 실증 지원

- **(인공섬 분야)** 단순시공 기술을 넘어서, 핵심 고부가가치를 창출할 수 있는 요소기술 확보 지원 → 초장대 해저터널을 건설하기 위한 인공섬(착저식, 부유식) 건설기술 확보(최소면적 22,000m2)

☞ 기존 해저터널 사업단의 세부추진 분야 중 하나로 수직구(발진구/환기구)를 위한 인공섬 기술 개발을 추진하였으나, 연구범위 조정으로 인해 핵심 요소 기술 확보 실패

## 나. 사업의 범위

■ 본 사업에서는 기초·응용(TRL5이하) 단계의 인공섬 핵심요소 기술개발과 실용화(TRL7 이상) 단계의 해저터널 실증기술 확보에 중점

◉ 원천기술은 TRL(Technology Readiness Level, 기술성숙도) 기준으로 연구실 환경에서의 working model 개발 단계인 4단계에서 장치/시스템 시제품제작 단계의 5단계까지로 설정함

◉ 실증기술은 기존연구된 다양한 해저터널 관련 선행 기술개발 결과들을 적극적으로 활용하여 7단계인 실제 환경에서의 신뢰성 검증까지 설정




<그림 Ⅳ-2> 사업의 범위

# 3. 사업목적 및 추진전략

## 가. 사업비전 및 목표(안)

| | |
|---|---|
| **비전** | **글로벌 미래성장동력 확보를 위한<br>해저터널 · 인공섬 건설기술 자립화** |
| **사업 목적** | **실제 건설 가능성이 높은 해저터널 · 인공섬 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발하는 '사업 수주 연계 R&D 사업'을 추진하고 핵심기술의 자립화 실현** |
| **추진 목표** | • **해저터널 · 인공섬 글로벌 경제 활성화:**<br>☑ 세계시장 점유율: ('18년) 4.5% → ('24년) 5.5% → ('40년) 6.5%<br>☑ 실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주: ('24년) 국내 1건 → ('40년) 해외 1건<br>• **해저터널 · 인공섬 기술 경쟁력 확보:**<br>☑ 해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소: ('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 20%<br>☑ 해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보: ('24년) 34건 확보<br>☑ 연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장적용 기술검증: ('24년) 56% → ('40년) 100%<br>• **해저터널 · 인공섬 프로젝트를 통한 고용창출:**<br>☑ 해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출: ('40년) 68,696명 |
| **사업 추진전략** | • 기업의 과제주관 및 참여 확대를 통한 사업화 성과 제고<br>• 산학연 협력 생태계 기반 조성<br>• 부처간 연계·협력 네트워크 구축을 통한 성과물의 활용성 제고 |
| **중점 추진 내용** | **Ⅰ. 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 · 시공 · 유지관리 핵심 요소기술 고도화**<br>① BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축<br>② 해저터널 시공기술 고도화<br>③ 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 |
| | **Ⅱ. 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발**<br>④ 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술<br>⑤ 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술<br>⑥ 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 |




<그림 Ⅳ-3> 사업 비전 및 목표

## 나. 사업 비전(안)

**비 전**

**글로벌 미래성장동력 확보를 위한 해저터널·인공섬 건설기술 자립화**

■ 비전 수립 방법

◉ 본 사업의 비전은 국가정책 및 상위계획의 방향성과 국내 해저터널·인공섬 산업의 현재 및 미래를 고려하여 도전적이나 실천 가능성이 높은 비전을 제시

◉ 공공 및 산업 기술이 혼합된 본 사업의 특성을 고려하여 기술개발 추진에 따른 두가지 목표를 제시

- (공공기술 개발) 국민생활의 편의성 및 안전성 향상, (산업기술 개발) 국내 실증 및 현장 적용 실적에 기반한 효율성 향상 및 해외 시장 증대를 위한 선제적 대응 마련

| 수립과정 | 주요 내용 | 수행 방법 |
|---|---|---|
| 비전 설계 | • 비전 정의 규명<br>• 비전 구성요소 파악 | • 관련 문헌 조사 |
| 기존 비전 분석 | • 국내·외 유사 비전 분석<br>• 기존 국토부 비전 분석 | • 국내·외 사례 조사 |
| 비전 수립 | • 비전 설계 및 검토 | • 브레인 스토밍 |
| 목표 수립 | • 비전 연계 목표 설정<br>• 정량적 목표 제시 | • 브레인 스토밍 |

■ 국가정책 및 상위계획과의 연계성 강화

◉ 국가정책 및 상위계획의 방향성과 일관성을 유지할 수 있는 비전을 수립하기 위해 해저터널·인공섬 관련 전·후방산업 정책 및 계획의 종합적 분석 실시

◉ 국가정책 및 상위계획 비전 검토를 통한 핵심 키워드를 도출하여 해저터널 및 인공섬 관련 기술개발에 따른 달성 가능한 비전 설정

- (주요 키워드) 국민행복, 글로벌, 안전, 지속발전, 친환경, 신산업, 첨단화 등

## 다. 전략목표(안)

**목 표**

- **해저터널·인공섬 글로벌 경제 활성화:**
  - ☑ 세계시장 점유율: ('18년) 4.5% → ('24년) 5.5% → ('40년) 6.5%
  - ☑ 실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주: ('24년) 국내 1건 → ('40년) 해외 1건
- **해저터널·인공섬 기술 경쟁력 확보:**
  - ☑ 해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소: ('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 25%
  - ☑ 해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보: ('24년) 34건 확보
  - ☑ 연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장적용 기술검증: ('24년) 56% → ('40년) 100%
- **해저터널·인공섬 프로젝트를 통한 고용창출:**
  - ☑ 해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출: ('40년) 68,696명

■ 동 사업은 실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발하는 '사업 수주 연계 R&D 사업'을 추진하고 핵심기술의 자립화 실현을 목적으로 하는 대의적인 목표 아래 다음과 같은 세부적인 목표를 수립

## ▶ 해저터널·인공섬 글로벌 경제 활성화

(세계시장 점유율) 2018년 4.5% 수준에 머무르고 있는 국내 해저터널·인공섬 시장을 2024년까지 점유율 5.5% 수준으로 확대하고, 2040년까지는 6.5% 수준으로 확대한다는 목표를 설정

**<표 Ⅳ-1> 해저터널·인공섬 국내시장 점유율**

(단위: 억 달러)

| 구분 | 2018 | 2020 | 2024 | 2028 | 2032 | 2034 | 2036 | 2038 | 2040 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 세계시장 | 1,287 | 1,484 | 1,566 | 1,648 | 1,707 | 1,731 | 1,753 | 1,773 | 1,792 | 7.37% |
| 국내시장 | 57.7 | 74.2 | 86.13 | 93.9 | 102.4 | 105.6 | 108.7 | 111.7 | 116.5 | - |
| 점유율 | 4.5% | 5% | 5.5% | 5.7% | 6% | 6.1% | 6.2% | 6.3% | 6.5% | - |

출처: Tunnel Market Survey, ITA

(실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주) 해외 및 국내 수주 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트를 검토하여, 2024년 국내 수주1건, 2040년 해외수주 1건을 목표로 설정함

(2024년 국내 1건) 국내 해저터널의 준공건수는 총 3건으로 최근 한-중, 한-일, 목포-제주 등 3개의 거대 해저터널 건설이 논의중임에 따라, 2024년까지 최소 1건의 건설 프로젝트 수주를 목표로 사업을 수행

(2040년 해외 1건) 향후 해외에서 발주가 예상되는 대규모 해저터널 프로젝트는 총 7건으로, 동 사업을 통해 확보한 우수 핵심기술을 기반으로 해외 프로젝트를 수주하는 것을 목표로 함

**<표 Ⅳ-2> 향후 발주 예상 해외 대규모 해저터널 프로젝트 현황**

| 구분 | 국가 | 구간/위치 | 총 공사비 |
|---|---|---|---|
| 베링해협 터널 | 러시아 | 아시아-아메리카 | 107조 8,800억 원 |
| 보하이 터널 | 중국 | 엔타이-다롄 | 33조 원 |
| 시칠리아 터널 | 이탈리아 | 유럽-북아프리카 | 25조 8,000억 원 |
| 스톡홀름-헬싱키 터널 | 스웨덴-핀란드 | 스톡홀름-헬싱키 | 24조 원 |
| 믈라카 해협 터널 | 말레이시아 | 말레이시아-수마트라섬 | 21조 4,000억 원 |
| 지브롤터 터널 | 스페인 | 지브롤터 해협 | 14조 5,000억 원 |
| 보스포러스 터널 | 터키 | 보스포로스 해협 해저 관통 | 1조 4,700억 원 |

출처: 각국 정부, 외신종합, Global Infrastructure Hub.

## ▶ 해저터널·인공섬 기술 경쟁력 확보

■ (해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소) 한국건설기술연구원의 기술수준 조사 결과를 기반으로 기술경쟁력 확보를 위한 기술격차 감소(('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 25%) 목표를 설정함

**<표 Ⅳ-3> 해저터널·인공섬 기술경쟁력**

| 구분 | 최고 선진국 | 우리나라와의 경쟁력 격차 | |
|---|---|---|---|
| 해저/침매터널 | 프랑스 | 28.9% | 평균<br>약 35.1% |
| 인공섬 | 독일 | 41.4% | |

출처: 시설물 상세기술 확보 전략 수립연구, 한국건설기술연구원·테크노베이션파트너스, 2017.10.

◉ (해저/침매터널) ('17년) 28.9%→('24년) 26%→('40년) 20%

◉ (인공섬) ('17년) 41.1%→('24년) 38%→('40년) 30%

■ (해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보) 동 사업을 통해 개발되는 기술이 실제 해저터널·인공섬 건설 프로젝트에 적용될 수 있도록 사업 수주 연계 R&D 과제를 추진

◉ (해저터널) 총 19건의 핵심 요소기술을 확보 → 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리에 적용

- (BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축) 5개 기술 확보
- (해저터널 시공기술 고도화) 6개 기술 확보
- (자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발) 8개 기술 확보

◉ (인공섬) 총 15건의 핵심기술을 확보 → 초장대 해저터널 건설에 적용

- (해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술) 4개 기술 확보
- (해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술) 4개 기술 확보
- (안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발) 7개 기술 확보

■ (연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장작용 기술검증) 기술개발로 인하여 발생한 기술의 현장적용 기술검증을 위해 실시한 Test Bed 적용실적, 현장시험, 시험시공, 시범사업 수행 실적을 확보 → 실제 건설 수주로 연계될 수 있도록 현장적용 기술검증 목표를 설정

◉ 2024년까지는 실증 위주의 기술개발을 진행할 해저터널 분야 기술검증을 완료하고, 2040년까지는 핵심 요소기술 확보 위주의 기술개발을 진행할 인공섬 분야의 기술검증을 완료하도록 목표를 설정

## ▶ 해저터널·인공섬 프로젝트를 통한 고용창출

(해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출) 본 사업 영역의 고용유발계수*와 국내매출액을 고려하여 고용창출 목표를 도출하고, 최종목표 2040년 68,696명을 설정

* 고용유발계수: 7.739명/10억원 → 건축보수, 교통시설 건설, 일반토목시설 건설, 기타 건설, 건축/토목 관련 서비스의 평균값을 적용(산업연관표 부문분류표(2014), 한국은행('18.11월 기준 최신자료))

- 고용계수는 일정기간 동안 생산 활동에 투입된 산업별 노동량을 산업별 총 산출액으로 나눈 값으로 해당산업의 노동생산성을 의미

해저터널·인공섬 분야 관련 산업군의 고용유발계수는 7.739명이며, 해저터널·인공섬 산업에서 기타 건설 분야가 18.008명으로 가장 높은 계수를 나타냄

해저터널·인공섬 분야 총수요액(Yd)과 관련 산업군의 고용유발계수 평균값을 곱하여 전후방 산업에 대한 파급효과를 도출

- 고용유발효과 = (총수요액(Yd)/10억 원)×해당산업 고용유발계수($\hat{I}^{*}(1-A^{d})^{-1}$)

**<표 Ⅳ-4> '해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업' 고용창출**

(단위 : 억 원, 명)

| 구 분 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 매출 추정액 | 81,626.1 | 82,435.4 | 83,188.7 | 83,893.5 | 84,555.5 | 85,179.6 | 85,770.0 |
| 고용 유발효과 | 63,170.4 | 63,796.7 | 64,379.7 | 64,925.1 | 65,437.4 | 65,920.5 | 66,377.4 |
| **구 분** | **2035** | **20306** | **2037** | **2038** | **2039** | **2040** | **합계** |
| 매출 추정액 | 86,330.2 | 86,862.9 | 87,370.9 | 87,856.3 | 88,321.1 | 88,766.8 | 1,112,157 |
| 고용 유발효과 | 66,810.9 | 67,223.2 | 67,616.3 | 67,991.9 | 68,351.6 | 68,696.6 | 860,698 |

## 라. 사업 추진 전략

### [추진전략1] 기업의 과제주관 및 참여 확대를 통한 사업화 성과 제고

- 기술개발 성과물이 현장적용 및 실용화로 연계될 수 있도록 기업의 참여 및 주관을 확대하고 단계별 기술개발 전략 수립

  - 사업화 성공률이 높은 과제의 특성을 살펴보면, 주관기관이 민간인 경우가 공공의 경우보다 더욱 높게 나타나고 있으며, 과제기획 단계에서 실용화 및 제주-목포 간 해저터널·인공섬 프로젝트 현장적용을 고려한 과제발굴이 필요

  - 수요자 관점의 연구개발을 확대하기 위해 기업을 주관기관으로 하여 컨소시엄을 형성하고 세부 요소 기술은 출연연구소, 대학이 역할을 분담

- 최근 10년간 국토교통 R&D 예산*은 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 따른 양적 성과도 크게 성장하는 추세

  * 10년 간('07-'16년) 3,518억 원에서 4,897억 원으로, 연평균 약 3.74% 증가하였으며 최근 10년 간 국토교통 R&D 투자액은 약 4조 58억 원 수준

  * 10억 원 당 SCI 논문 추이(건): ('07) 0.43 → ('10) 0.56 → ('13) 0.46 → ('16) 0.95

  * 10억 원 당 등록 특허 추이(건): ('07) 0.64 → ('10) 0.89 → ('13) 0.55 → ('16) 0.74

  - 그러나 실용화를 고려한 대형사업의 연구개발 성과는 실질적으로 사업화 단계까지 도달하지 못해 현장적용 실적은 저조한 수준으로 나타남

  - 2014년 기준, 약 5년동안 종료된 275개 과제를 중심으로 실용화 성과를 살펴보면 성과가 실제로 활용된 경우는 49개 과제로 17.8%의 저조한 수준을 보이고 있음

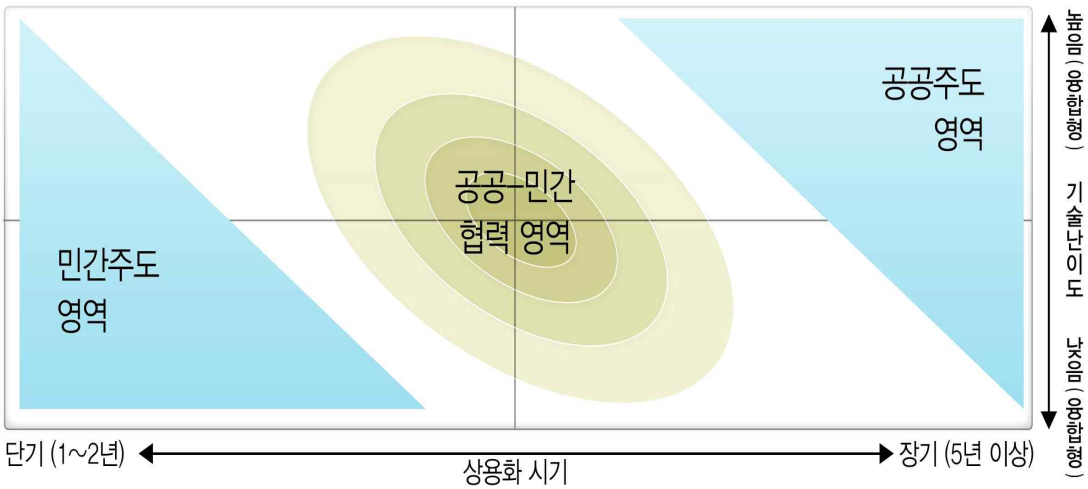
**<표 Ⅳ-5> 국토교통 R&D 현장적용 성과**

| 구분 | 과제수 | 활용 | | 미활용 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 과제수 | 비중 | 과제수 | 비중 |
| 합계 | 275 | 49 | 17.8% | 226 | 82.2% |

출처 : 해외건설 기술경쟁력 강화 연구개발사업, KAIA(2014)

[추진전략2] 산학연 협력 생태계 기반 조성

- 동 사업은 공공기술개발사업과 중장기 산업기술개발사업이 혼합된 사업으로 연구개발사업의 성공적인 추진 및 상용화·실용화 등 현장적용 확대를 위한 공공과 민간의 협력이 필수적임
  - 동 사업은 기술개발을 통해 제주-목포 간 해저터널·인공섬 프로젝트의 원활한 추진과 시설물의 안전성 향상 및 효율성 제고를 목표로 하고 있어 1차적인 연구개발 성과의 수혜자는 국민으로써 공공성이 높음
  - 최종적으로는 국내 현장적용 실적을 바탕으로 해외 해저터널·인공섬 프로젝트 수주를 궁극적인 목적으로 하고 있어 실용화 및 현장적용으로 연계될 수 있는 타 사업과 차별화된 사업추진체계 구축이 필요함
- 이에 따라, 과제유형 및 특성, R&D 성과의 최종 수혜자, 정부와 민간의 역량을 고려한 정부와 민간의 명확한 역할 구분 및 유기적인 협력체계 구축이 필요함
  - 구성기술별 기술의 난이도(융합형, 단일형), 상용화 시기(단기-중기-장기) 등을 고려하여 공공주도 영역과 민간주도 영역으로 구분
  - 공공과 민간주도 영역을 제외한 부문에 대하여는 공공과 민간 공동연구 추진 필요



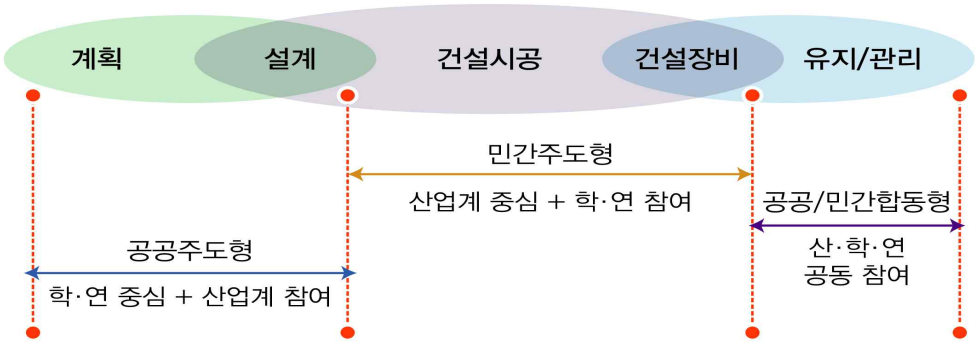

**<그림 Ⅳ-4> 주체별 역할구분**

- 이에 따라 중점분야 및 세부과제의 기술분야별 TRL 단계와 R&D 결과물의 수혜자 등의 특성을 종합적으로 고려한 사업추진 전략 구축이 필요
  - 세부과제 분야 내 핵심기술을 공공주도형, 민간주도형, 공공-민간 합동협 등으로 구분함

* (공공주도형) 해저터널·인공섬의 공급과정에서 계획/설계 및 유지관리 분야에 대한 기술개발에 주력

* (민간주도형) 해저터널·인공섬의 공급과정 상 건설시공, 건설장비 등 민간 기술수준이 높은 분야를 중점적으로 수행함

* (공공-민간 합동형) 해저터널·인공섬의 실질적인 기술적용 및 실증 단계에서는 정부와-민간의 공동참여가 필요




**<그림 Ⅳ-5> 정부/민간 역할분담 전략**

■ [추진전략3] 부처간 연계·협력 네트워크 구축을 통한 성과물의 활용성 제고

◉ (부처간 Pipe-line 구축을 통한 파급효과 극대화) 해저터널·인공섬의 관리주체가 국토교통부, 해양수산부 등으로 다원화될 가능성이 있기 때문에 부처간, 중앙정부-지자체간의 파이프라인 구축 필요

- 해저터널·인공섬은 제주와 목포를 잇는 시설물로서 관리주체는 지자체, 관리기관 등으로 다원화됨에 따라 동 사업 성과의 현장적용에 있어 제약조건이 있음

◉ 해저터널·인공섬 구축 계획단계나 설치·관리에 대한 통합관리를 위한 방안이 필요

◉ 따라서, 다양한 이해관계 충돌을 완화하기 위해 관계기관의 협의체를 구성하고 산·학·연 등 다양한 부문 간의 협력적 네트워크 구축이 필요

# 4. 세부 사업 내용

## 가. 사업 논리모형 구축

### (1) 사업유형 구분

■ 과학기술정보통신부에서 발간한 “국가연구개발사업 표준성과지표 가이드라인”에서 제시한 R&D사업 유형을 참고하여 동 사업의 유형을 구분

〈표 Ⅳ-6〉 R&D사업 유형 분류

| 성격 | 유형 | 개념 및 분류 기준 |
|---|---|---|
| 1. 연구개발 | 1. 기초연구 | • 자연현상에 원리규명, 새로운 현상의 분석 등을 통해 창조적 지식 획득 연구(순수기초형)<br>• 현재 또는 미래에 광범위한 응용을 목적으로 문제해결의 근본원리 및 창의적 지식창출 연구(목적기초형) |
| | 2. 단기산업 기술개발 | • 단기간 내(3년 이내) 상용화를 목표로 한 신기술 및 신제품 개발을 위한 응용·개발 연구사업 |
| | **3. 중장기산업 기술개발** | • **중·장기적(3년 이상) 상용화를 목표로 추진 중인 응용·개발 연구사업** |
| | **4. 공공기술개발** | • **응용·개발단계 연구개발사업 중 경제적 성과를 고려하지는 않으나, 최종적인 성과가 국민 건강증진, 재난방지 등 국민 삶의 질에 기여하는 형태로 나타나는 사업** |
| | 5. 지역연구개발 | • 지역 대학과 연계한 산학연협력 사업, 지역클러스터 육성사업, 특정 지역에 특정기술 개발 기반 구축 사업 |
| | 6. 국방기술개발 | • 응용·개발단계 연구개발사업 중 국방력 강화 및 방위산업 발전을 목적으로 하는 사업 |
| 2. 연구기반조성 | 7. 인력양성 | • 대학 및 전문대학 지원사업, 산업인력양성을 위한 전문인력양성사업, 초중등 과정의 과학기술 교육사업 등 |
| | 8. 시설장비구축 | • 대형 연구기설 및 장비 구축 사업<br>* 사업 예산에 단순 시설 증축 및 장비 구입 등이 일부 포함된 경우는 제외 |
| | 9. 성과확산 | • 사업목적이 각각 기술사업화, 표준화, 인증, 성과물 관리/확산, 정책지원 등인 사업 |
| | 10. 해외협력 | • 해외기관유치, 다자 및 양자기관 협력 사업 등<br>* 연구방식이 해외와의 공동연구인 경우는 연구개발에 포함 |

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업은 사업의 목적 및 특성 등을 고려하여 중장기산업기술개발사업, 공공기술개발 사업이 혼합된 R&D 사업으로 설정함

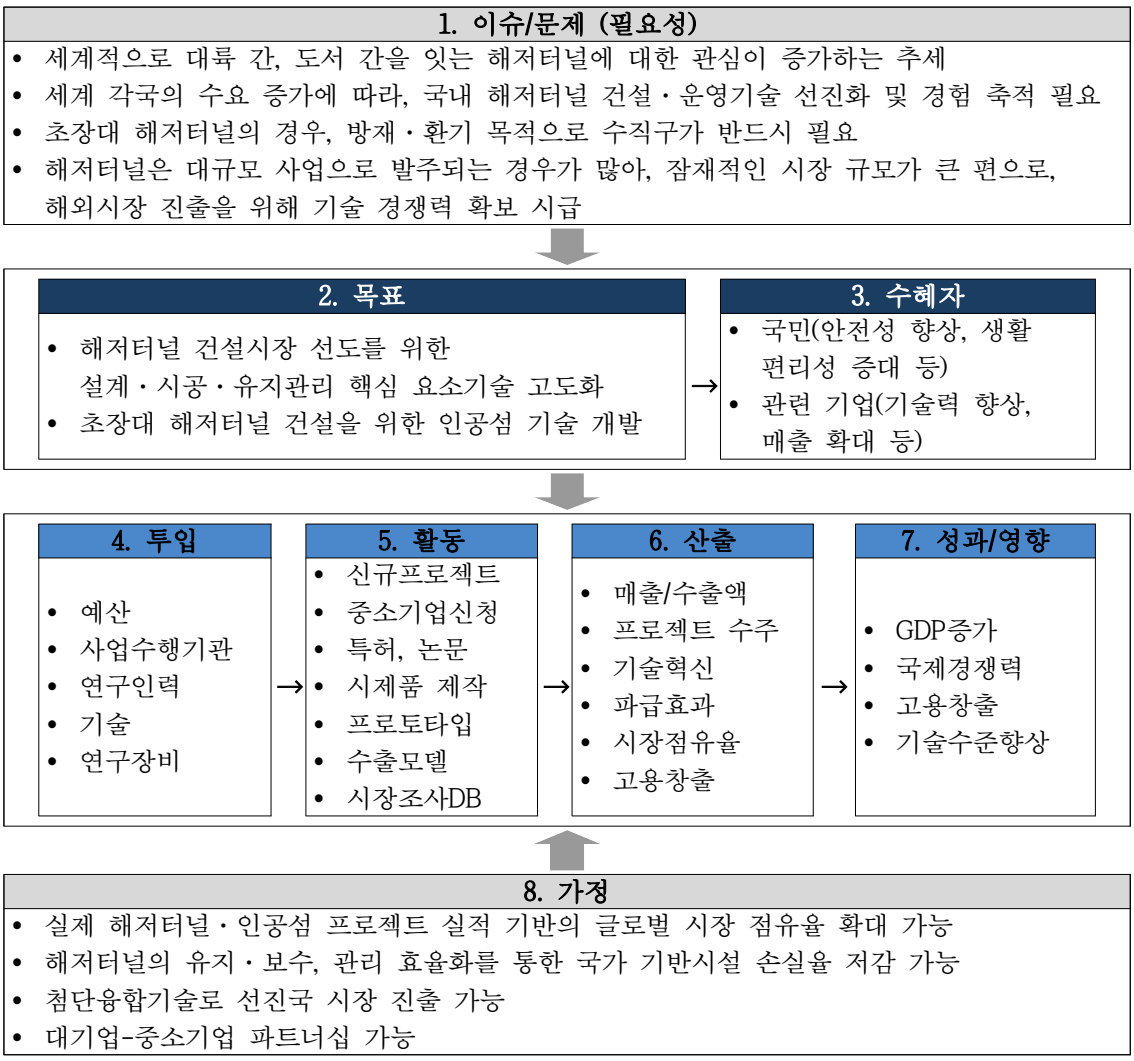
◉ 2개의 중점분야별 추진목적 및 특성 등을 고려하여 각각의 유형을 구분

〈표 Ⅳ-7〉 중점분야별 사업유형 매칭

| 중점분야 | 목적 | 유형 |
|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화 | • 국내 시장에서의 기술 우수성 검증을 기반으로 해외시장을 공략할 수 있는 실증 위주의 기술 지원 | 중장기산업기술개발 |
| 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | • 단순시공 기술을 넘어서, 핵심 고부가가치를 창출 할 수 있는 요소기술 확보 지원 | 공공기술개발 |

## (2) 사업 논리모형

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 구성요소 및 연관관계 등을 포함하여 사업의 특징을 살펴볼 수 있는 논리모형 제시




〈그림 Ⅳ-6〉 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 논리적 모형

| 논리적 모형 구분 | 투입 | 과정 | 산출 | 결과 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 단기성과 | 중장기 성과 |
| 사업 논리 | • 인적자원<br>- 연구원, 관련분야 전문가 등 사업 참여자<br>• 물적자원<br>- 예산<br>- 연구장비<br>- 지적자원<br>- 지식, 정보 | • 추진방향설정<br>• 기술수요조사<br>• 기획과제도출<br>• 과제기획<br>• 기획과제심의<br>• 신규 대상과제&예산 확정<br>• 공고,접수,평가<br>• 과제선정 및 협약<br>• 중간평가 및 정산<br>• 차년도 협약<br>• 최종평가 및 정산<br>• 기술료징수<br>• 성과확산 및 활용 | • 과학적 성과<br>- 논문<br>• 기술적 성과<br>- 특허 (출원, 등록)<br>- 표준화<br>• 경제적 성과<br>- 사업화 매출액<br>- 현장비용 절감<br>- 해외수출 효과<br>• 사회적 성과<br>- 고용창출<br>- 정책활용 | • 논문(SCIE급)<br>• 특허(질적 우수성 확보)<br>• 핵심 요소기술 확보<br>• 기술이전 | • 기술이전<br>• 기술료<br>• 시제품 제작<br>• 설계기준<br>• 지침<br>• 정책제안 |
| 성과 목표 | | | | • 제주-목포간 해저터널·인공섬 프로젝트의 핵심기술 확보 | • 현장 검증을 통한 기술 고도화 |
| 성과 지표 | | | • 논문게재건수<br>• 국내외 특허건수 | • 학술지게재 논문지수<br>• 특허 SMART<br>• 기술실시계약건수<br>• 핵심 요소기술 검증 성공율 | • 특허 SMART<br>• 기술실시계약건수<br>• 핵심 요소기술 검증 성공율<br>• 기술사업화 효과<br>• 정책활용도 |

# 나. 성과목표/지표 설정

## (1) 성과지표 Pool 구축

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업 내 세부 기술분야별 성과지표 도출을 위한 성과지표 Pool은 '국가연구개발사업 표준성과지표'를 준용하여 유형별 성과지표를 추출·구축

**<표 Ⅳ-8> 유형별 성과지표 Pool**

| 유형 | 분류기준 | 사업유형별 성과지표 |
|---|---|---|
| 중장기 산업기술개발 | 광범위한 응용가능성에 중심을 두고 장기간에 걸쳐 기술개발 | • 신진연구자지원수, 신진연구자지원비율, 논문게재 건수, 특허출원 및 등록건수, 시험인증 통과율, 연간 TRL달성도, 기술분야를 고려한 IF활용 논문지수, 삼극특허 등록건수, 시제품 생산건수, 특허기술가치, 특허 인용도, 목표기술 확보여부(전문가판단), 관련산업 민간투자유인, 매출액, 수출액, 시장점유율 |
| 공공기술개발 | 국민 건강증진, 재난 방지 등 국민 삶의 질 기여 기술개발 | • 논문게재 건수, 특허출원 및 등록건수, 기술이전 건수, 기술지도 건수, 정책화 건수 |

◎ 중복된 지표 및 유사항 지표를 통합 조정하여 해저터널·인공섬 기술개발 사업에 부합하는 주요 성과지표를 도출

**<표 Ⅳ-9> 주요 성과지표 도출**

| 성과지표 Pool | | | 주요 성과지표 도출 |
|---|---|---|---|
| 해외시장점유율<br>국제표준 인증 건수<br>시공 및 유지관리 비용논문게재건수<br>시험인증 통과율<br>논문 Impact Factor<br>시제품 생산건수<br>특허인용도<br>매출액<br>시장점유율<br>목표달성 정도<br>민원발생 비율 감소<br>공사시간 단축 효과 | 시제품 구축 건수<br>세계 최고 기술추격 수준<br>사고감소율<br>특허SMART<br>연간 TRL 달성도<br>삼극특허 등록건수<br>특허기술가치<br>목표기술 확보여부<br>수출액<br>재난피해 감축율<br>설계/제작/인증 자립화<br>시공 유지관리 비용 절감<br>국제표준 인증 건수 | → | • 논문 Impact Factor<br>• 특허 SMART<br>• 시제품 및 프로토타입 구축 건수<br>• 핵심기술 세계최고 기술추격 수준<br>• 사업화 매출액<br>• 신규고용 창출<br>• 개발제품의 수출 증가액<br>• 공정 및 공사시간 단축 효과<br>• 시공 및 유지관리 비용 저감<br>• 국제표준 인증 건수<br>• 재난·재해 복구 비용 저감 |

◉ 공통 성과지표는 과학·기술적 성과, 경제적 성과, 사회적 성과 중 산출(Output) 중심의 성과 지표를 설정함

**<표 Ⅳ-10> 성과 유형별 공통지표(안)**

| 성과유형 | 공통 성가지표 | 비고 |
|---|---|---|
| 과학적 성과 | • 논문 Impact Factor | • 논문 질적 성과 |
| 기술적 성과 | • 특허 SMART<br>• 시제품 및 및 프로토타입구축 건수<br>• 핵심기술 세계최고기술추격수준 | • 기술수준 향상 및 사업화 연계 |
| 경제적 성과 | • 사업화매출액. 신규고용창출 | • R&D 결과물의 사업화 연계 실적 |

## (2) 성과목표 및 지표 총괄표

**<표 Ⅳ-11> 성과목표 및 지표 총괄표**

| 구 분 | 내 용 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 전략목표 | • 글로벌 미래성장동력 확보를 위한 해저터널 건설기술 자립화 | | | | | |
| 성과목표 | • (기술적) 해저터널·인공섬 건설 핵심 요소 기술 확보<br>• (경제적) 제주-목포 간 해저터널·인공섬 프로젝트로의 핵심기술 적용<br>• (사회적) 사회적 효과 제고를 위한 정책활용도 향상 | | | | | |
| 단계별 성과목표 | 1단계(2021~2023) | | | 2단계(2024~2027) | | |
| | • 해저터널·인공섬 핵심요소 기술 확보 | | | • 현장적용·검증을 통한 기술 고도화 | | |
| 성과지표 | 지표명 | 지표 구분 | 가중치 | 지표명 | 지표 구분 | 가중치 |
| | 학술지게재 논문지수 | 질 | 0.2 | | | |
| | 특허 SMART | 질 | 0.2 | 특허 SMART | 질 | 0.1 |
| | 기술실시계약 건수 | 양 | 0.3 | 기술실시계약 건수 | 양 | 0.1 |
| | 핵심 요소기술 검증 성공률 | 질 | 0.3 | 핵심 요소기술 검증 성공률 | 질 | 0.2 |
| | | | | 기술사업화 효과 | 양 | 0.3 |
| | | | | 정책활용도 | 질 | 0.3 |
| | 합계 | | 1.0 | 합계 | | 1.0 |

## (3) 단계별 성과목표 및 성과지표

[1기] 성과목표

| 단계(평가주기) | 기간 | 성과목표 | |
|---|---|---|---|
| 1기 | 2021~2023 | 성과목표 | • 해저터널·인공섬 핵심요소 기술 확보 |
| | | 설정근거 | • 본 사업의 전략목표 달성을 위한 단기적 성과목표인 핵심 기술 확보 및 현장적용 기술 실증 확대를 위해 기술적·경제적 기반 마련의 지표를 설정함 |

[1기] 성과지표

| 성과지표명 | 단위 | 구분 | 실적 및 목표치 | | | 가중치 | 성과유형 | 지표유형 | 질적지표 | 공대실용지표 | 성과지표 설정 사유 | 관련내역사업 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 연도 | 2021 | 2022 | 2023 | | | | | | | |
| 학술지게재 논문지수 | - | 목표 | 46.89 | 47.83 | 48.78 | 0.2 | 과학적 | 결과 | O | | 중장기개발사업에서 1기에 주요하게 창출되는 지표로서, 신규사업 이력을 감안하여 0.2의 비교적 낮은 가중치를 부여 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | |
| 특허 SMART | - | 목표 | 2.95 | 3.01 | 3.07 | 0.2 | 기술적 | 결과 | O | | 중장기개발사업에서 주요하게 창출되는 기술적 지표로서, 신규사업이력을 감안하여 0.2의 가중치를 부여 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | |
| 기술실시계약건수 | 건 | 목표 | - | - | 6.4 | 0.3 | 경제적 | 결과 | | | 연구개발된 기술의 실용화 기반이 되는 기술실시계약 성과의 지속적 제고가 필요 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | |
| 핵심요소 기술 검증 성공율 | 건 | 목표 | - | - | 3 | 0.3 | 기술적 | 결과 | | | 기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 현장적용 기반구축 및 기술실증 건수를 성과지표로 설정 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | |
| 계 | 실적 | | | | | 1.00 | | | | | | |

## [1기] 성과지표의 목표치 및 측정방법

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>학술지게재 논문 지수</td><td>o 설정방법 : 동 사업과 유사한 성격의 사업인 국토교통기술 촉진사업의 최근 3년간 학술지게재 논문지수의 평균값을 초기연도 목표치로 설정<br>[국토교통기술촉진사업 성과실적]
<table>
<tr><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>46.39</td><td>49.02</td><td>45.26</td><td>46.89</td></tr>
</table>
o 연차별 목표치 설정근거 : 도전적 목표치 설정에 따라 매년 2% 증가 수준으로 설정</td><td>o 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>o 측정방법 : Mrnif 평균값<br>o 측정산식 : 학술지게재 논문지수= $\frac{\Sigma(\text{표준화된 순위보정영향력 지수})}{\Sigma(SCI(E)\text{논문 건수})}$<br>o 시기 : 당해연도 연말(12월) 성과측정</td><td>NTIS 연구성과 관리시스템</td></tr>
<tr><td>특허 SMART</td><td>o 설정방법 : 사업과 유사한 성격의 사업인 국토교통기술 촉진사업의 최근 3년간 평균 값을 초기연도 목표치로 설정<br>[국토교통기술촉진사업 성과실적]
<table>
<tr><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>3.60</td><td>3.20</td><td>2.04</td><td>2.95</td></tr>
</table>
o 연차별 목표치 설정근거 : 도전적 목표치 설정에 따라 매년 2% 증가 수준으로 설정</td><td>o 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>o 측정방법 : SMART 활용<br>o 측정산식 : ΣI등급*배점/등록특허건수<br>o 시기 : 당해연도 연말(12월) 성과측정
<table>
<tr><th>등급</th><th>C</th><th>CC</th><th>CCC</th><th>B</th><th>BB</th><th>BBB</th><th>A</th><th>AA</th><th>AAA</th></tr>
<tr><td>배점</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr>
</table></td><td>한국발명 진흥회의 특허분석평가 시스템 SMART 활용</td></tr>
<tr><td>기술실시 계약건수</td><td>o 설정방법 : 국토교통 R&D 총괄 내 기술실시계약 체결의 최근 3년간 평균 값을 통해 초기연도 목표치로 설정<br>[국토교통 R&D 기술실시계약건수(건/10억)]
<table>
<tr><th>구분</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>건/10억원</td><td>0.25</td><td>0.27</td><td>0.28</td><td>0.27</td></tr>
<tr><td>지수(건)</td><td>5.0</td><td>5.4</td><td>5.6</td><td>5.3</td></tr>
</table></td><td>o 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>o 측정방법 : 추진 과제들의 전체 기술실시 계약 건수 합을 기준으로 당해연도 기술실시계약 건수를 측정<br>o 시기 : 당해연도 연말(12월) 기준<br>- 연차별 성과실적 보고서 활용</td><td>NTIS 연구성과관리 시스템, 성과분석 보고서</td></tr>
<tr><td>핵심요소 기술 검증 성공율</td><td>o 설정방법 : 개발된 기술의 현장적용을 통한 기술실증 건수를 기준으로 목표치를 설정</td><td>o 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>o 측정방법 : 추진 과제들의 전체 현장적용 기술실증 계획 건수 합을 기준으로 당해연도 기술실증 성공 건수를 측정 = $\frac{\Sigma(\text{당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 성공 건수 합})}{\Sigma(\text{당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 계획 건수 합})}$<br>o 시기 : 당해연도 연말(12월) 기준(연차별 성과실적 보고서 활용)<br>* 현장적용 기술실증 기준 : 기술개발로 인하여 발생한 기술의 현장적용 기술검증을 위해 실시한 Test Bed 적용실적, 현장시험, 시험시공, 시범사업 수행 실적</td><td>국토교통 R&D 사업관리 시스템 (CTPASS)</td></tr>
</table>

## [2기] 성과목표

| 단계(평가주기) | 기간 | 성과목표 | |
|---|---|---|---|
| 2기 | 2024~2027 | 성과목표 | • 현장적용·검증을 통한 기술 고도화 |
| | | 설정근거 | • 사업의 중·장기 단계에 따라 기술의 활용/확산을 통한 가시적인 성과가 나타나기 시작할 것으로 예상됨에 따라 사업의 경제적·사회적 효과를 주요 성과 목표로 설정함 |

## [2기] 성과지표

| 성과지표명 | 단위 | 구분 | 실적 및 목표치 | | | | 가중치 | 성과 유형 | 지표 유형 | 질적 지표 | 공대 실용 지표 | 성과지표 설정 사유 | 관련 내역사업 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 연도 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | | | | | | | |
| 특허 SMART | - | 목표 | 3.13 | 3.19 | 3.26 | 3.32 | 0.1 | 기술적 | 결과 | O | | 중장기개발사업에서 주요하게 창출되는 기술적 지표로서, 사업이력을 감안하여 1기 대비 낮은 0.1의 가중치를 부여 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | | |
| 기술실시계약건수 | 건 | 목표 | 7.1 | 7.8 | 8.5 | 9.4 | 0.1 | 기술적 | 결과 | | | 연구개발된 기술의 실용화 기반이 되는 기술실시계약 성과의 지속적 제고가 필요 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | | |
| 핵심요소 검증성공율 | % | 목표 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0.2 | 기술적 | 결과 | O | | 기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 현장적용 기반구축 및 기술실증 건수를 성과지표로 설정 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 기술사업화 효과 | 억 원 | 목표 | 299.5 | 329.5 | 362.4 | 398.6 | 0.3 | 경제적 | 결과 | O | | 연구개발 성과물의 활용/확산 및 이를 통한 경제적 효과를 측정하기 위해 선정함 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | | |
| 정책활용도 | 건 | 목표 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0.3 | 사회적 | 결과 | O | | 국민생활의 안전 및 편의성 증진이라는 사업목적과 본 사업의 특성을 고려할 때, 정책개발 및 정책의 채택은 전략목표 달성을 위한 수단으로써 요구됨 | |
| | | 실적 | | | | | | | | | | | |
| 계 | 실적 | | | | | | 1.00 | | | | | | |

## [2기] 성과지표의 목표치 및 측정방법

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>특허<br>SMART</td><td>○ 설정방법 : 2020년 목표치를 기준으로 매년 2% 증가 수준으로 설정</td><td>○ 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>○ 측정방법 : SMART 활용<br>○ 측정산식 : Σ[등급*배점]/등록특허건수<br>○ 시기 : 당해연도 연말(12월) 성과측정<br><table><tr><th>등급</th><th>C</th><th>CC</th><th>CCC</th><th>B</th><th>BB</th><th>BBB</th><th>A</th><th>AA</th><th>AAA</th></tr><tr><td>배점</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table></td><td>한국발명<br>진흥회의<br>특허분석평가<br>시스템 SMART<br>활용</td></tr>
<tr><td>기술실시계<br>약건수</td><td>○ 설정방법 : 국토교통 R&D 총괄 내 기술실시계약 체결의 최근 3년간 평균 값을 통해 초기연도 목표치로 설정<br>[국토교통 R&D 기술실시계약건수(건/10억)]<table><tr><th>구분</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>평균</th></tr><tr><td>건/10억원</td><td>0.25</td><td>0.27</td><td>0.28</td><td>0.27</td></tr><tr><td>지수(건)</td><td>5.0</td><td>5.4</td><td>5.6</td><td>5.3</td></tr></table>○ 연차별 목표치 설정근거 : 도전적 목표치 설정에 따라 매년 10% 증가 수준으로 설정</td><td>○ 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>○ 측정방법 : 추진 과제들의 전체 기술실시 계약 건수 합을 기준으로 당해연도 기술실시계약 건수를 측정<br>○ 시기 : 당해연도 연말(12월) 기준<br>- 연차별 성과실적 보고서 활용</td><td>NTIS<br>연구성과관리시<br>스템, 성과분석<br>보고서</td></tr>
<tr><td>현장적용<br>기술실증<br>성공율</td><td>○ 설정방법 : 개발된 기술의 현장적용을 통한 기술실증 건수를 기준으로 목표치를 설정</td><td>○대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>○측정방법 : 추진 과제들의 전체 현장적용 기술실증 계획 건수 합을 기준으로<br>당해연도 기술실증 성공 건수를 측정 $= \frac{\Sigma(\text{당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 성공 건수 합})}{\Sigma(\text{당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 계획 건수 합})}$<br>○시기 : 당해연도 연말(12월) 기준<br>- 연차별 성과실적 보고서 활용<br>* 현장적용 기술실증 기준 : 기술개발로 인하여 발생한 기술의 현장적용 기술검증을 위해 실시한 Test Bed 적용실적, 현장시험, 시험시공, 시범사업 수행실적</td><td>연차국토교통<br>R&D 사업관리<br>시스템<br>(CTPASS)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>성과지표명</th><th>목표치 설정방법 및 근거</th><th>측정산식 및 방법, 시기</th><th>자료 출처</th></tr>
<tr><td>기술사업화 효과</td><td>○ 설정방법 : 국토교통 R&D 총괄 내 사업화 매출액과 비용절감액 합의 최근 3년간 평균 값을 통해 초기연도 목표치로 설정<br>[국토교통 R&D 사업화 매출액 및 비용절감액(건/10억)]<br><table><tr><th>구분</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th><th>평균</th></tr><tr><td>매출액 (억/10억원)</td><td>19.21</td><td>10.61</td><td>12.21</td><td>14.01</td></tr><tr><td>비용절감액 (억/10억원)</td><td>1.79</td><td>0.86</td><td>0.24</td><td>19.27</td></tr><tr><td>지수(건)</td><td>420.0</td><td>229.4</td><td>249.0</td><td>299.5</td></tr></table>○ 연차별 목표치 설정근거 : 도전적 목표치 설정에 따라 매년 10% 증가 수준으로 설정</td><td>○ 대상 : 당해연도 신규/계속과제<br>○ 측정방법 : 추진과제들의 전체 사업화 매출액(억원) 및 비용절감액(억원) 합을 기준으로 당해연도 기술사업화 효과를 측정<br>= [매출액(억원)+(비용절감액(억원)]<br>※ 매출액 : 설계 및 공사 등 관련 S/W 및 H/W, 건설재료(강재, 콘크리트, 복합소재 등) 및 자재 (마감재, 지붕재, 바닥재 등), 건설수주(공사) 등 매출액<br>※ 비용절감액 = 기존 공법* 적용 공사비 - 개선 공법 적용 공사비<br>* 공법 : 건축구조, 재료, 자재, 시스템 등</td><td>NTIS 연구성과관리시스템,</td></tr>
<tr><td>정책활용도</td><td>○ 설정방법 : 국토교통 연구개발사업 중 해당지표를 성과지표로 활용하고 있는 물관리연구사업의 최근 실적을 기준으로 목표치를 설정<br>- 정부의 정책방향 등에 따라 채택여부가 결정됨에 따라 매년 증가하는데 무리가 있어 초기목표를 유지<br>[최근 3년 간 정책활용도 실적]<br><table><tr><th>구분</th><th>2012</th><th>2013</th><th>2014</th></tr><tr><td>실적</td><td>0</td><td>0</td><td>0.06</td></tr></table>○ 연차별 목표치 설정근거 : 본 사업을 구성하고 있는 세부기술 분야(3개)별 정책활용도 1건씩을 목표치로 설정<br>- 매년 3건의 정책활용도로 설정</td><td>○ 대상: 종료 이후 5년 이내 과제<br>○ 측정산식: 정책활용도 = 당해년도 Σ((정부 정책반영 건수×1.0)+(설계기준·지침반영 건수×0.6)) / 직전년도 Σ((정부 정책제안 건수×1.0)+(설계기준·지침제안 건수×0.6))<br>※ 단, 직전년도 정부정책 및 설계기준·지침 제안 실적이 없는 경우, 당해연도를 제외한 직전 3개년 정부정책제안 및 설계기준·지침 제안 건수의 평균값을 차용하여 실적 산출</td><td>-</td></tr>
</table>

# 다. 전략사업 및 세부과제 도출

## (1) 도출 프로세스

■ 본 사업기획 시 합리성, 객관성 및 사업화 가능한 사업 아이템 선정을 위해 해저터널 및 인공섬 관련 국내 R&D 동향, 사업추진 기본방향 및 추진전략 등을 통해 중점분야 및 세부기술을 도출

◉ 본 사업기획에서는 사업기획의 충실성을 기하기 위해 예비타당성조사 평가 매뉴얼에 근거하였으며, Top-down/Bottom-up 방식을 병행하는 형태로 중점분야 및 세부기술 분야 발굴

- Top-down 기술기획 : 국가 차원의 해저터널 및 인공섬 건설 기술 발전을 위한 핵심 중점 지원 아이템 발굴

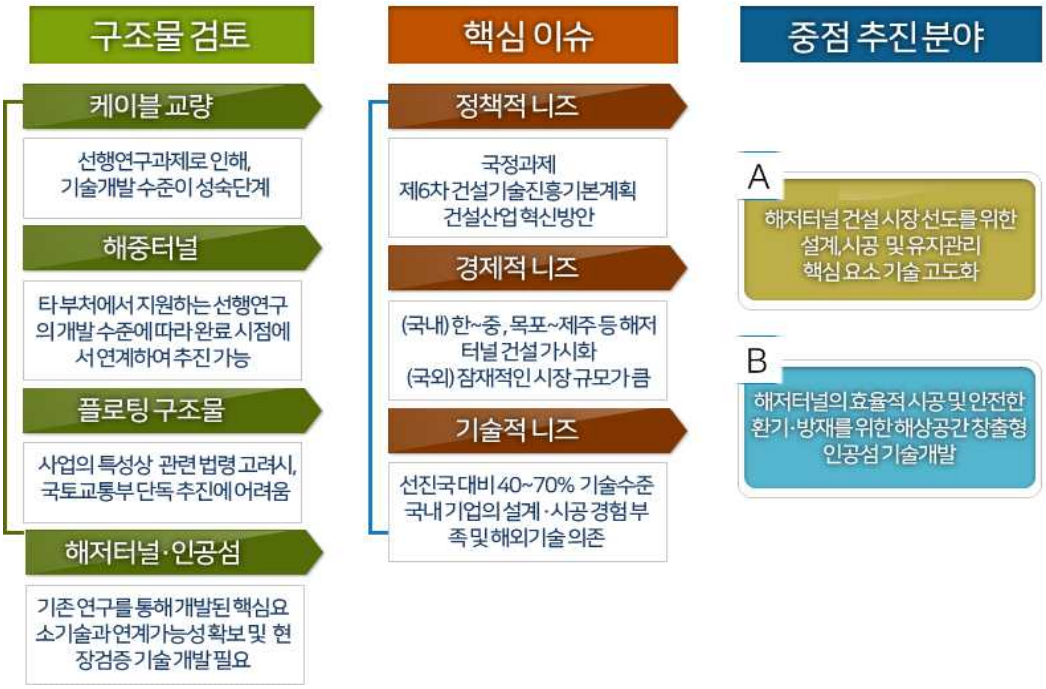
- Bottom-up 기술기획 : 국내 산·학·연 전문가를 대상으로 해저터널·인공섬 분야 기술 개발의 현재 및 미래에 요구되는 기술수요를 발굴

◉ 기술개발 필요성, 기술개발 시급성 항목에 대하여 우선순위 평가를 실시하여 최종 세부기술 선정

## (2) Top-down 기획

■ 해저터널·인공섬 관련 산업 미래의 정책적·경제적·기술적 니즈 및 메가스트럭처 구조물 검토를 통해서 도출된 핵심이슈를 분석하여 중점 추진 분야를 도출함

◉ 기획분과위원회를 개최하여 미래사회의 정책·경제·기술적 니즈와 메가스트럭처 구조물을 검토하여 최종적으로 중점 추진분야를 설정함




**<그림 Ⅳ-7> 해저터널·인공섬 추진분야 도출**

■ 중점 대분야 2개 기준별 선진국 관련 R&D 로드맵 조사 및 기술분류, 산·학·연 전문가 기획위원회를 통해 투자 후보 과제를 선별함

◉ 1차적으로 해저터널 및 인공섬 분야에서 기술개발 단계·성격별로 설계·시공, 환기·방재·유지관리 및 인공섬 분야 즉, 3대 분야로 분류함

◉ 그러나, 인공섬 관련 기술개발의 니즈를 확대됨에 따라 기획분과위원회를 거쳐 본 사업의 중점분야를 2대 분야로 확정

## (3) Bottom-up 기획

■ (가칭)해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획에 필요한 요소기술 발굴을 위하여 산업계, 학계 및 연구계의 기술 수요를 조사

◉ 수요자 맞춤형 R&D 핵심기술 도출을 위한 산·학·연 전문가 기술수요조사를 실시하여 기술개발 니즈 파악 및 추가 핵심 기술 발굴 추진

**<표 Ⅳ-12> 중분야별 제안기술**

| NO. | 가술제안 |
|---|---|
| 1 | 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 |
| 2 | 터널내 공동구 급속시공 방안 수립 |
| 3 | 초급속/초고수압 HIX-TBM 설계 및 시공기술 |
| 4 | 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 |
| 5 | 해저-미수화시멘트계물질의반응유도를통한해저구조물용고수밀성・자가치유첨단콘크리트개발 |
| 6 | BIM 데이터 기발 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| 7 | 쉴드 TBM공법에서 지반의 Glogging Risk 평가 기술 |
| 8 | 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 |
| 9 | 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| 10 | 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 챔버 그라우팅 |
| 11 | Big data 기반 TBM터널 굴착면 전방 조사기술 |
| 12 | 해저터널 및 인공섬 건설시 요구되는 터널 보조공법의 설계, 시공 및 보강효과 확인기술 개발 |
| 13 | 초장대 해저터널의 안전시공을 위한 TBM 전주기 운전정보 4D 가시화 기술 |
| 14 | 전기비저항/시공데이터를 이용한 쉴드 TBM 근 거리의 해저 고수압 파쇄대 및 막장상태 예측기법 |
| 15 | 완전 정보(Full Information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합 플랫폼 개발 |
| 16 | 자율 굴진 TBM |
| 17 | 고성능 팽창구조체를 이용한 스마트 재해 대응 시스템 개발 및 기술 사업화 |
| 18 | 균열 및 방식 자기치유 기술을 활용한 고내구성 해저터널용 지보재 및 시공법 개발 |
| 19 | 6D BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 |
| 20 | 최적의고성능·고내구성 지수재 개발 |

| NO. | 가술제안 |
|---|---|
| 21 | 대심도 해저지반용 급속  동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 |
| 22 | Slurry TBM용 소형  Slurry 처리 고도화 모듈 개발 |
| 23 | 고수압 조건을 고려한  해저터널 단면 확폭 기술 |
| 24 | 해저터널 면진용  seismic joint 개발 및 설계 |
| 25 | 해저터널 부식방지를 고려한  세그먼트 및 숏크리트 보강용 합성섬유(fiber) 개발 |
| 26 | 해저 터널용 수압저감  하이브리드 지보 시스템 개발 |
| 27 | 50km급 장대해저터널  환기를 위한 고압 축류 팬 개발 및 성능검증 |
| 28 | 탄소섬유(graphite  fiber)를 활용한 초고강도/강성 세그먼트 개발 |
| 29 | 하이퍼 루프 터널 시공을  위한 초정밀 변위관리 기술 |
| 30 | 지진/고수압 포함 복합  지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 |
| 31 | 초장대 해저터널 내 광섬유 센서를  사용한 아스팔트 포장체 공용성 실시간 평가 및 유지보수 전략 수립 |
| 32 | 터널 내 차세대 동력(전기, H2  등)을 활용한 운송수단(자동차, 기차 등)의 화재/폭발 위험성 평가 |
| 33 | AI 기반 해저터널 화재예방 및  조기경보시스템 구축 |
| 34 | 해저수를 이용한 터널 내 온도 제어  시스템 |
| 35 | 해저터널 구난역 설계 기술 개발 |
| 36 | AI 기반 에너지 절감형 해저터널  환기운용시스템 개발 |
| 37 | 위험물 차량 감지기술 및 설비개발 |
| 38 | 화재진압/구난 특수 차량 개발 |
| 39 | 해수를 이용한 대용량 소화용수 공급이 가능한 고속이동형 소화시스템 개발 |
| 40 | 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압시스템 개발 |
| 41 | 하이브리드형 화재확산 방지 및 구획 기술 개발 |
| 42 | PID 제어를 이용한 초장대 터널 운영  중 환기/방재 설비 최적운전 기술 개발 |
| 43 | Big data 기반의 성능기반  화재안전 설계(PBD) 기반 확보 |
| 44 | ICT 기반 해저터널의 성능중심 평가기법 개발 |
| 45 | 빅데이터 기반의 해저터널 최적 유지관리 의사결정 모델 개발 |
| 46 | IoT 기반 초장대 해저터널 통합 유지관리 기술 개발 |

| NO. | 가술제안 |
|---|---|
| 47 | 해저터널 공간내 공기질 확보를 위한 공기오염물질 실시간 측정 및 측정데이터 기반 스마트 공기질 정보제공기술 개발 |
| 48 | 가상현실(VR, Virtual Reality) 기반 해저터널 환기/화재 유지관리 운영자 교육 시뮬레이터(OTS, Operator Training Simulator) 개발 |
| 49 | 초고속카메라 및 레이저스캔을 이용한 유지관리 기술 |
| 50 | 해저터널용 접이식 비상대표통로 최적화 모델 |
| 51 | 해저터널 유지보수용 선형자산관리시스템(LAMS) 구축 |
| 52 | 초장대 해저터널 시공 중 유지관리 모니터링 센서 시스템 개발 |
| 53 | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 |
| 54 | 부유식 인공섬을 위한 복합형 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 개발 |
| 55 | 부유식 인공섬의 에너지 자립 운용을 위한 해양 에너지 적용 기술 |
| 56 | 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 |
| 57 | 해양 콘크리트 |
| 58 | 부유식 인공섬 건설을 위한 경량 FRP 콘크리트 거더의 개발 |
| 59 | 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체 및 연결부 설계 핵심기술개발 |
| 60 | 친환경 착저식 고속시공 융합 구조물을 이용한 인공섬 설계 및 시공기술 |
| 61 | ICT 기반 AR을 이용한 인공섬 시설물 점검 및 유지관리 시스템 개발 |
| 62 | 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 핵심기술 개발 |
| 63 | 파랑 및 흐름 하중에 대한 인공섬 수리성능 평가 기술 |
| 64 | 극한파랑 조건 적응형 부유식 인공섬의 내구성능평가 기술개발 |
| 65 | 착저식 인공섬 시공을 위한 무인장비 자동화 시공 기술 확보 |
| 66 | 1,000M^2 이상 확장 가능한 모듈형 부유식 확장 블럭 시공 기술 |
| 67 | 인공섬용 신재생에너지 적용방안 및 소형 해수담수화 시설 운영 기술 |
| 68 | 연중 인공섬 주변 operability 평가 방법 |
| 69 | 초장대 해저터널과 착저식 인공섬 연결부의 수리-구조적 거동 |
| 70 | 에너지 자립형 AI-IoT 기반 인공섬 운영 및 유지관리 기술 |
| 71 | 확장형 부유식 인공섬 구조물에 대한 외력저감형 에너지 공급 기술 |

| NO. | 가술제안 |
|---|---|
| 72 | 환경친화적・경제적인 대면적 해상공간 창출을 위한 부유식 인공섬 설계・시공 및 유지관리 기술 |
| 73 | 복합형 인공섬 지반 광범위 모니터링 센서 시스템 개발 |
| 74 | 해상구조물 한계상태 설계법 개발 |
| 75 | 고심도 해중 인공섬 건설을 위한 착저식 PC 수직구 설계 및 시공에 대한 국내기술 확보 |
| 76 | 사고(충돌, 충격)하중에 의한 부유식 인공섬 구조물 손상 예측 및 방지대책 |
| 77 | 모듈형 수중 구조체 설계/시공 기술 개발 |
| 78 | 수중 구조물 건전성 모니터링 기술 개발 |
| 79 | 수중 구조물 건설용 구조체 및 연결부 수밀기술 개발 |
| 80 | 인공섬 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발 |
| 81 | 인공섬 설치해역 자연재해 예보 및 조기탐지 기술 |
| 82 | 해저 50m 저온고압에서 양생된 콘크리트 특성 파악 및 물성 보완방안 연구 |
| 83 | 해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발 |
| 84 | 해양구조물 건설 재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석 |
| 85 | 해저 구조물의 재해 방지 기술 개발 |
| 86 | 해중 구조물의 스마트 모니터링 기술 개발 |
| 87 | 부유식 인공섬 운동 최소화 플랫폼 개발 |
| 88 | 해양에너지 설치를 위한 부유식 인공섬 최적 계류 시스템 개발 |
| 89 | 부유식 인공섬 플랫폼의 스마트 모니터링 기술 개발 |
| 90 | 신형식 부유식 인공섬 구조 부재 및 모듈화 기술 개발 |
| 91 | 부유식 인공섬 자율 자세 제어 기술 개발 |
| 92 | 인공섬에 작용하는 해양외력 연구 및 안전성 평가 |
| 93 | 인공섬에 의해 발생하는 세굴 저감 기술 개발 |
| 94 | 극한 해양환경 대응 초고내구 콘크리트기술 |
| 95 | 대형 부유체 건설을 위한 초경량・고강도콘크리트기술 |
| 96 | 극한 환경대응 부식 제로 탄소섬유보강재 기술 |
| 97 | 착저식 해양 콘크리트 인공섬 해석 및 설계 기술 |

## (4) 최종 세부기술 선정

### (가) 세부기술 우선순위 선정 개요

■ Top-down 방식과 Bottom-up 방식으로 도출한 기술후보군에 대하여 기술개발 필요성, 기술개발 시급성에 대하여 우선 순위 분석 실시

◉ 평가지표는 시장성장성, 정책부합성, 기술파급성 등 기술개발 필요성과 시의 적절성, 개발여건 성숙도 등 기술개발 시급성으로 그룹핑하여 평가

**<표 Ⅳ-13> 세부기술 선정 평가지표**

| 구분 | 평가지표 |
|---|---|
| 기술개발 필요성 | • (시장성장성) 기술개발에 의한 국내외 시장성장 및 향후 발전 정도<br>• (정책부합성) 상위정책 및 관련 계획 등에 부합되는 정도<br>• (기술파급성) 기술개발 후 타 시장으로의 확장 적용가능성(기술의 폭과 깊이) |
| 기술개발 시급성 | • (시의 적절성) 해당 기술의 발전도에 따른 기술개발의 시급성 정도<br>• (개발여건 성숙도) 기술개발 성공을 위한 국내 R&D역량 정도 |

◉ 각 평가항목별 가중치는 전문가 설문을 통한 AHP 분석을 통하여 산출하고, 각 정성적 분석 평가 점수에 가중치를 적용

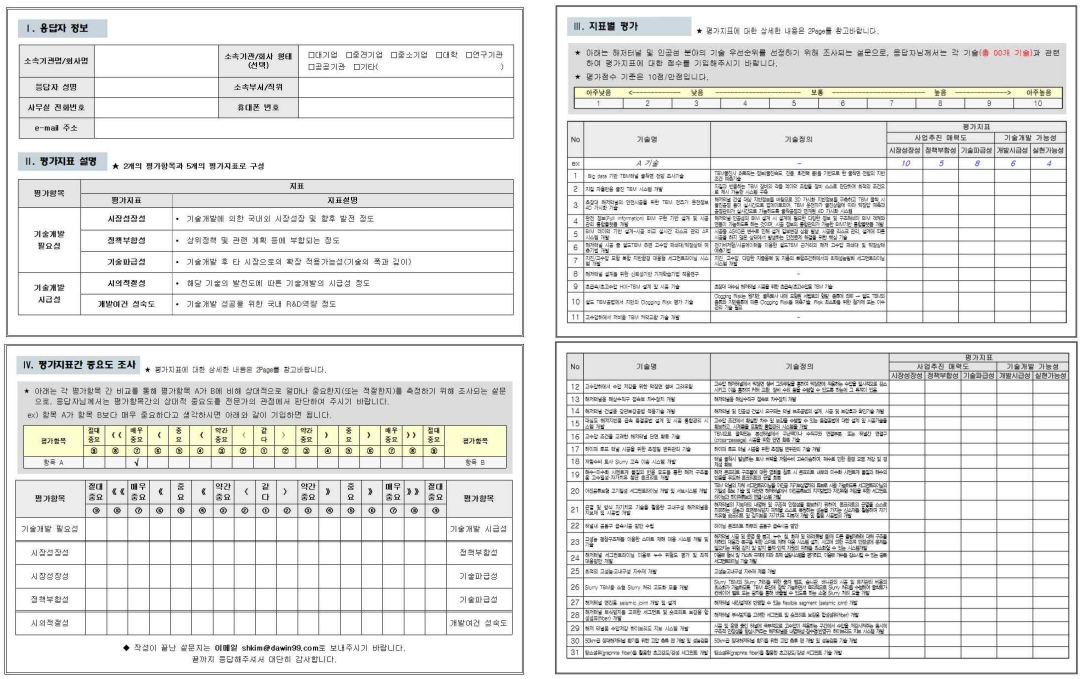
**<표 Ⅳ-14> AHP 가중치 설문결과**

| 구분 | 기술개발 필요성 | | | 기술개발 시급성 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 시의적절성 | 개발여건 성숙도 |
| 가중치 | 0.1160842 | 0.2443539 | 0.6395618 | 0.311251 | 0.688749 |

- 각 세부기술별 기술개발 필요성과 기술개발 시급성에서 도출된 점수를 합산하여 우선순위를 도출

- 우선순위별로 세부기술을 나열한 후, 각 분야별 산·학·연 전문가 회의를 개최하여 최종 7개 중분야 확정

◎ 각 산·학·연 전문가 회의를 개최하여, Top-down을 통한 중점분야 및 기술수요조사로 도출된 총 97개의 Bottom-up 기술 중 총 91개의 세부기술별 평가항목에 대해 전문가 설문 실시



<그림 Ⅳ-8> 세부기술별 전문가 설문

## (나) 우선순위 선정 조사 결과

<표 Ⅳ-15> 세부기술 전문가 설문결과

| 기술번호 | 기술명 | 기술개발필요성 | 기술개발시급성 | 중요도 | 우선순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ①-1 | Big data 기반 TBM터널 굴착면 전방 조사기술 | 7.44 | 7.47 | 14.90 | 1 |
| ①-15 | 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 | 7.54 | 7.03 | 14.57 | 2 |
| ①-4 | 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 개발 | 7.43 | 6.88 | 14.31 | 3 |
| ①-18 | 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 | 7.21 | 7.01 | 14.22 | 4 |
| ①-30 | 50km급 장대해저터널 환기를 위한 고압 축류 팬 개발 및 성능검증 | 7.05 | 7.03 | 14.08 | 5 |

| 기술 번호 | 기술명 | 기술개발 필요성 | 기술개발 시급성 | 중요도 | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ①-5 | BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 | 7.18 | 6.78 | 13.96 | 6 |
| ①-3 | 초장대 해저터널의 안전시공을 위한 TBM 전주기 운전정보 4D 가시화 기술 | 7.18 | 6.76 | 13.94 | 7 |
| ①-6 | 해저터널 시공 중 쉴드TBM 주변 고수압 파쇄대/막장상태 예측기법 개발 | 7.30 | 6.51 | 13.80 | 8 |
| ①-2 | 지질 자율반응 굴진 TBM 시스템 개발 | 7.52 | 6.11 | 13.63 | 9 |
| ①-25 | 최적의 고성능·고내구성 지수재 개발 | 6.83 | 6.77 | 13.60 | 10 |
| ①-12 | 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 챔버 그라우팅 | 6.86 | 6.64 | 13.50 | 11 |
| ①-21 | 균열 및 방식 자기치유 기술을 활용한 고내구성 해저터널용 지보재 및 시공법 개발 | 7.25 | 6.08 | 13.33 | 12 |
| ①-20 | 아진공튜브형 고기밀성 세그먼트라이닝 개발 및 서브시스템 개발 | 7.29 | 6.02 | 13.31 | 13 |
| ①-31 | 탄소섬유(graphite fiber)를 활용한 초고강도/강성 세그먼트 개발 | 6.73 | 6.59 | 13.31 | 14 |
| ①-28 | 해저터널 부식방지를 고려한 세그먼트 및 숏크리트 보강용 합성섬유(fiber) 개발 | 6.79 | 6.49 | 13.28 | 15 |
| ①-17 | 하이퍼 루프 터널 시공을 위한 초정밀 변위관리 기술 | 7.34 | 5.92 | 13.26 | 16 |
| ①-24 | 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 | 6.67 | 6.49 | 13.16 | 17 |
| ①-19 | 해수-미수화 시멘트계 물질의 반응 유도를 통한 해저 구조물용 고수밀성・자가치유 첨단 콘크리트 개발 | 7.08 | 6.08 | 13.16 | 18 |
| ①-22 | 터널내 공동구 급속시공 방안 수립 | 6.57 | 6.59 | 13.16 | 19 |
| ①-13 | 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 | 6.60 | 6.53 | 13.13 | 20 |
| ①-29 | 해저 터널용 수압저감 하이브리드 지보 시스템 개발 | 6.64 | 6.45 | 13.09 | 21 |
| ①-11 | 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 | 6.90 | 6.14 | 13.03 | 22 |

| 기술 번호 | 기술명 | 기술개발 필요성 | 기술개발 시급성 | 중요도 | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ①-16 | 고수압 조건을 고려한 해저터널 단면 확폭 기술 | 6.61 | 6.28 | 12.89 | 23 |
| ①-10 | 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 | 6.80 | 6.03 | 12.83 | 24 |
| ①-26 | Slurry TBM용 소형 Slurry 처리 고도화 모듈 개발 | 6.47 | 6.34 | 12.81 | 25 |
| ①-7 | 지진/고수압 포함 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 | 6.62 | 6.12 | 12.74 | 26 |
| ①-23 | 고성능 팽창구조체를 이용한 스마트 재해 대응 시스템 개발 및 기술 | 6.74 | 5.81 | 12.55 | 27 |
| ①-14 | 해저터널 건설용 강관보강공법 적용기술 개발 | 6.22 | 6.14 | 12.36 | 28 |
| ①-27 | 해저터널 면진용 seismic joint 개발 및 설계 | 6.22 | 5.97 | 12.19 | 29 |
| ①-8 | 해저터널 설계를 위한 신뢰성기반 기계학습기법 적용연구 | 6.34 | 5.78 | 12.12 | 30 |
| ①-9 | 초급속/초고수압 HIX-TBM 설계 및 시공 기술 | 6.72 | 5.28 | 12.00 | 31 |
| ②-16 | IOT 기반 초장대 해저터널 통합 유지관리 기술 개발 | 7.76 | 7.61 | 15.37 | 1 |
| ②-17 | 초고속카메라 및 레이저스캔을 이용한 유지관리 기술 | 7.92 | 7.16 | 15.08 | 2 |
| ②-20 | ICT 기반 해저터널의 성능중심 평가기법 개발 | 7.37 | 7.68 | 15.05 | 3 |
| ②-19 | 초장대 해저터널 시공 중 및 유지관리 모니터링 센서 시스템 개발 | 7.27 | 7.49 | 14.76 | 4 |
| ②-12 | 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압시스템 개발 | 7.22 | 7.45 | 14.68 | 5 |
| ②-1 | PID 제어를 이용한 초장대 터널 운영중 환기/방재 설비 최적운전 기술 개발 | 6.98 | 7.50 | 14.48 | 6 |
| ②-9 | 해저터널 공간내 공기질 확보를 위한 공기오염물질 실시간 측정 및 측정데이터 기반 스마트 공기질 정보제공기술 개발 | 6.95 | 7.42 | 14.37 | 7 |
| ②-25 | 이력관리기반 점검/진단/보수보강/평가 DB 구축 | 7.07 | 7.29 | 14.36 | 8 |
| ②-6 | Big Data 기반의 성능기반 화재안전 설계(PBD) 기반 확보 | 7.25 | 7.00 | 14.25 | 9 |

| 기술 번호 | 기술명 | 기술개발 필요성 | 기술개발 시급성 | 중요도 | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ②-4 | 위험물 차량 감지기술 및 설비개발 | 7.02 | 7.03 | 14.05 | 10 |
| ②-11 | 해저터널 구난역 설계 기술 개발 | 6.80 | 7.16 | 13.96 | 11 |
| ②-26 | 딥러닝(Deep Learning)기반 해저터널 구조물 성능평가 시스템 구축 | 7.28 | 6.58 | 13.86 | 12 |
| ②-15 | 해수를 이용한 대용량 소화용수 공급이 가능한 고속이동형 소화시스템 개발 | 6.86 | 6.99 | 13.85 | 13 |
| ②-5 | A・I(Artificial Intelligent)기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 구축 | 7.09 | 6.73 | 13.81 | 14 |
| ②-27 | 빅데이터 기반의 해저터널 최적 유지관리 의사결정 모델 개발 | 6.96 | 6.82 | 13.78 | 15 |
| ②-24 | 해저터널 적용을 위한 HAC(High Aluminate Cement)계 내염 보수재료 및 시공기술 개발 | 6.87 | 6.85 | 13.72 | 16 |
| ②-10 | 화재진압/구난 특수 차량 개발 | 6.73 | 6.94 | 13.66 | 17 |
| ②-18 | 영상기반 자동화 점검/진단 장비 구축 | 6.86 | 6.77 | 13.63 | 18 |
| ②-23 | 자산관리기반 내염해 보수보강 재료 및 공법 개발 | 6.81 | 6.72 | 13.53 | 19 |
| ②-30 | 해저터널 유지보수용 선형자산관리시스템(LAMS) 구축 | 6.76 | 6.66 | 13.43 | 20 |
| ②-7 | 터널 내 차세대 동력(전기, H2 등)을 활용한 운송수단(자동차, 기차 등)의 화재/폭발 위험성 평가 | 6.92 | 6.45 | 13.37 | 21 |
| ②-22 | 염소이온 감지센서를 활용한 라이닝 콘크리트의 열화예측 및 상태지수 평가 기술 | 6.41 | 6.92 | 13.33 | 22 |
| ②-3 | AI 기반 에너지 절감형 해저터널 환기운용시스템 개발 | 6.59 | 6.72 | 13.31 | 23 |
| ②-29 | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | 6.53 | 6.75 | 13.28 | 24 |
| ②-8 | 가상현실 기반 해저터널 환기/화재 유지관리 운영자 교육 시뮬레이터 개발 | 6.43 | 6.73 | 13.16 | 25 |
| ②-2 | 해저수를 이용한 터널내 온도 제어 시스템 | 6.50 | 6.64 | 13.14 | 26 |

| 기술 번호 | 기술명 | 기술개발 필요성 | 기술개발 시급성 | 중요도 | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ②-28 | 생애주기기반 해저터널 부대시설물 유지관리 시스템 구축 | 6.42 | 6.59 | 13.01 | 27 |
| ②-21 | 초장대 해저터널내 광섬유 센서를 사용한 아스팔트 포장체 공용성 실시간 평가 및 유지보수 전략 수립 | 6.18 | 6.13 | 12.31 | 28 |
| ②-14 | 해저터널용 접이식 비상대피통로 최적화 모델( | 5.93 | 6.18 | 12.12 | 29 |
| ②-13 | 하이브리드형 화재확산 방지 및 구획 기술 개발 | 5.80 | 5.96 | 11.75 | 30 |
| ③-12 | 대형 부유체 건설을 위한 초경량·고강도 콘크리트 기술 | 8.31 | 8.14 | 16.45 | 1 |
| ③-28 | ICT 기반 AR을 이용한 인공섬 시설물 점검 및 유지관리 시스템 개발 | 8.15 | 8.20 | 16.35 | 2 |
| ③-11 | 극한 해양환경 대응 초경량·고내구성 콘크리트 기술 | 8.32 | 8.02 | 16.34 | 3 |
| ③-14 | 해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발 | 8.05 | 7.56 | 15.60 | 4 |
| ③-4 | 인공섬에 작용하는 해양외력연구 및 구조물 안전성·내구성 평가 | 7.78 | 7.67 | 15.46 | 5 |
| ③-19 | 부유식 인공섬을 위한 복합형 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 개발 | 7.69 | 7.70 | 15.39 | 6 |
| ③-22 | 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체 및 연결부 설계 핵심기술개발 | 7.31 | 7.68 | 14.99 | 7 |
| ③-2 | 모듈형 수중 구조체 설계/시공 기술 개발 | 7.29 | 7.65 | 14.93 | 8 |
| ③-13 | 극한 환경 대응 부식제로 탄소섬유 보강재 기술 | 7.72 | 7.17 | 14.88 | 9 |
| ③-8 | 환경 친화적·경제적인 대면적 해상공간 창출을 위한 부유식 인공섬 설계·시공 및 유지관리 기술 | 7.56 | 7.31 | 14.88 | 10 |
| ③-7 | 고심도 해중 인공섬 건설을 위한 착저식 PC 수직구 설계 및 시공에 대한 국내기술 확보 | 7.47 | 7.37 | 14.85 | 11 |
| ③-27 | 인공섬의 자연재해 예측 및 방지기술 개발 | 7.32 | 7.25 | 14.57 | 12 |

| 기술 번호 | 기술명 | 기술개발 필요성 | 기술개발 시급성 | 중요도 | 우선 순위 |
|---|---|---|---|---|---|
| ③-30 | 에너지 자립형 AI-IoT 기반 인공섬 운영 및 유지관리 기술 | 7.37 | 7.14 | 14.51 | 13 |
| ③-3 | 초장대 해저터널과 착저식 인공섬 연결부의 수리-구조적 거동 | 6.99 | 7.43 | 14.42 | 14 |
| ③-24 | 자립형 부유식 인공섬 운용을 위한 해양 에너지 활용 기술 개발 | 7.47 | 6.92 | 14.39 | 15 |
| ③-29 | 수중 구조물 건전성 모니터링 기술 개발 | 7.03 | 7.31 | 14.35 | 16 |
| ③-21 | 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 | 7.15 | 7.19 | 14.34 | 17 |
| ③-5 | 착저식 인공섬 시공을 위한 무인장비 자동화 시공 기술 확보 | 7.59 | 6.49 | 14.08 | 18 |
| ③-23 | 신형식 부유식 인공섬 구조 부재 및 모듈화 기술 개발 | 6.79 | 6.98 | 13.77 | 19 |
| ③-16 | 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 핵심기술 개발 | 6.74 | 6.71 | 13.46 | 20 |
| ③-9 | 인공섬 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발 | 6.98 | 6.42 | 13.40 | 21 |
| ③-25 | 인공섬용 신재생에너지 적용방안 및 소형 해수담수화 시설 운영 기술 | 6.72 | 6.49 | 13.21 | 22 |
| ③-20 | 부유식 인공섬 자율 자세 제어 기술 개발 | 6.66 | 6.51 | 13.17 | 23 |
| ③-1 | 해상구조물 한계상태 설계법 개발 | 6.34 | 6.59 | 12.94 | 24 |
| ③-26 | 사고(충돌, 충격)하중에 의한 부유식 인공섬 구조물손상 예측 및 방지대책 | 6.11 | 6.77 | 12.88 | 25 |
| ③-10 | 착저식 해양 콘크리트 인공섬 해석 및 설계 기술 | 6.18 | 6.56 | 12.75 | 26 |
| ③-17 | 파랑 및 흐름 하중에 대한 인공섬 수리성능 평가 기술 | 6.12 | 6.51 | 12.63 | 27 |
| ③-6 | 친환경 착저식 고속시공 융합 구조물을 이용한 인공섬 설계 및 시공기술 | 6.22 | 5.84 | 12.05 | 28 |
| ③-15 | 해양 구조물 건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석 | 5.86 | 5.99 | 11.85 | 29 |
| ③-18 | 연중 인공섬 주변 operability 평가 방법 | 5.72 | 5.99 | 11.70 | 30 |

## (다) 세부기술 선정결과

산출된 각각의 세부기술별 기술개발 필요성과 시급성을 고려하여 우선순위를 나열하고, 분과별로 전문가 회의를 통해 선정된 6개의 중분야의 34개 세부기술 선정

〈표 Ⅳ-16〉 최종 세부기술

| 분야 | 전략 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | [A-1] BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | • BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발 |
| | | • 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발 |
| | | • BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| | | • 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 |
| | | • 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| | [A-2] 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | • 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 |
| | | • 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 |
| | | • 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |
| | | • 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 |
| | | • 터널 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 |
| | | • 해저터널용 균열 및 방식을 고려한 고내구성 하이브리드 지보 시스템 개발 |
| | [A-3] 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 시스템 | • IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발 |
| | | • 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발 |
| | | • 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발 |
| | | • 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발 |

| 분야 | 전략 | 세부기술 |
|---|---|---|
| | | • BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 |
| | | • 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축 |
| | | • 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축 |
| | | • 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기・방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | [B-1] 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계・시공 기술 | • 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발 |
| | | • 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술 |
| | | • 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술 |
| | | • 해양환경 특성을 반영한 초경량・고강도 콘크리트 기술 |
| | [B-2] 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계・시공 기술 | • 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술 |
| | | • 부유식 구조물 고정을 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 |
| | | • 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술 |
| | | • 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술 |
| | [B-3] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | • 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술 |
| | | • AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발 |
| | | • RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발 |
| | | • 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술 |
| | | • 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발 |
| | | • 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발 |
| | | • 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발 |

# 제2절 사업 추진체계 및 운영/관리 방안

## 1. 사업 추진체계

### 가. 사업 추진체계

■ 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 사업단에서 관리하는 형태의 추진체계를 구성

◉ 각 세부기술 분야 수행의 효과성 제고 및 개별 연구그룹의 성과연계를 통한 현장 적용 및 실증 강화를 위해 단일 사업단을 구성

- 두 개의 과제로 구성될 '해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화'와 '해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발'은 각기 다른 연구개발 범위를 지님

◉ 다만, 사업단 형태가 가지는 장점과 더불어 객관성, 공정성 부문의 문제점이 지속적으로 제기되고 있어 이에 대한 보완사항을 제시

- 사업단 형태로 추진하되 단점을 보완하기 위해 적절한 견제기능을 부여함

- 과제 기획 부문과 사업수행자 선정 부문에서 객관성 및 전문성이 요구되고 있어 기존의 국토교통부 산하 전담기관을 활용




<그림 Ⅳ-9> 사업 추진체계

## 나. 추진주체 간 역할분담

■ (각 주체별 역할) 사업 목표를 위한 중점분야, 세부과제, 핵심기술의 구성기술별 역할 분담형 기술개발로 전략적 R&D 연계를 통한 대형성과 창출

◉ 주관부처 : 국토교통부

- 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공

◉ 최고 의사 결정기구 : 국토교통과학기술위원회

- 국토교통부 내에 위치하는 최고의사결정기구로서 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 및 주요 안건에 대한 최종결정

◉ 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원 담당사업실

- 전반적 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산 등을 추진

◉ 사업단

- 사업추진에 대한 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무를 추진하며, 기술개발사업 사업추진을 위한 컨소시엄(연구그룹) 구성

- 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 대국민 홍보 등 전주기적 관리

- 과제수행에 대한 자체평가 및 사업추진방향·예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할을 수행함

◉ 사업 주관 및 참여기관

- 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 '국토교통부소관 연구개발사업 운영규정' 제4조(연구개발사업 참여기관의 자격)에 의한 기관

<표 Ⅳ-17> 추진주체별 역할 및 기능

| 주체 | 역할 및 기능 |
|---|---|
| 국토교통부 | • 사업총괄 부처<br>• 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정<br>• 사업 기본·시행계획 수립<br>• 사업 투자 운선순위 결정 |
| 국토교통과학기술위원회 | • 구성: 국토교통부 실·국장 + 과장(사업담당관) + 외부 민간전문가<br>- 사업 및 정책 목표에 부합하는 운영 계획, 통합관리방안 등 협의<br>- 예산운용·사업추진 계획 수립 등 총괄 계획 수립 및 조정 역할 수행<br>- 세부추진계획 적절성 점검<br>- 평가위원회 최종 추인 |
| 전문기관 | • 기술개발 과제 결과물의 성과연계 및 현장적용 및 실용화 성과창출 극대화를 위한 통합지원<br>- 사업추진 및 과제기획 방향성 설정, 사후관리 등의 총괄 운영기능을 부여함<br>- 기술개발 결과물의 현장적용을 위한 사업화 연계 기능<br>• 사업관리 실무지원<br>- 예산 운용계획 지원<br>- 선정평가, 협약체결, 중간 및 최종평가 등 사업 선정·관리 지원<br>- 기술이전 및 사업화 등 성과확산 지원<br>- 성과평가<br>- 사후관리 |
| 사업단 | • 업무추진 관리 및 원활한 업무 수행지원을 위한 운영관리 전담 행정조직 구성<br>- 사업 추진계획 수립<br>- R&D발전전략 및 중장기로드맵 수립 지원<br>- 기술수요조사 관리 및 조정 |
| 사업주관 및 참여기관 | • 산업체 주도의 산학연 컨소시엄으로 프로젝트(전략과제) 수행 |

# 2. 사업운영/관리 전략

## 가. 사업 운영/관리 체계 및 프로세스

■ 연구개발사업의 최종결과물의 실용화 및 현장적용 성과 극대화를 위한 전주기적 프로세스에 기반한 성과관리 운영방안을 도입

◉ 계획(사업/과제 기획)

- 사업목표의 명확성, 성과계획의 합리성, 사업목표와 내용의 적합성, 유사성/중복성 검토를 통해 사업 추진의 적절성 확보

- 주요 분석 단계 : 사업목표전략 설정 → 사업 성과계획 설정 → 과제 선정

◉ 집행(연구개발 수행관리)

- 연구기관 선정 및 비용·인력 등의 자원배분, 연구개발 수행, 연구 수행 산출물 도출의 체계적 수행을 통해 사업 수행의 체계성 확보

- 주요 분석 단계 : 투입(Input) → 수행(Process) → 산출(Output)

◉ 결과(성과조사·분석·평가)

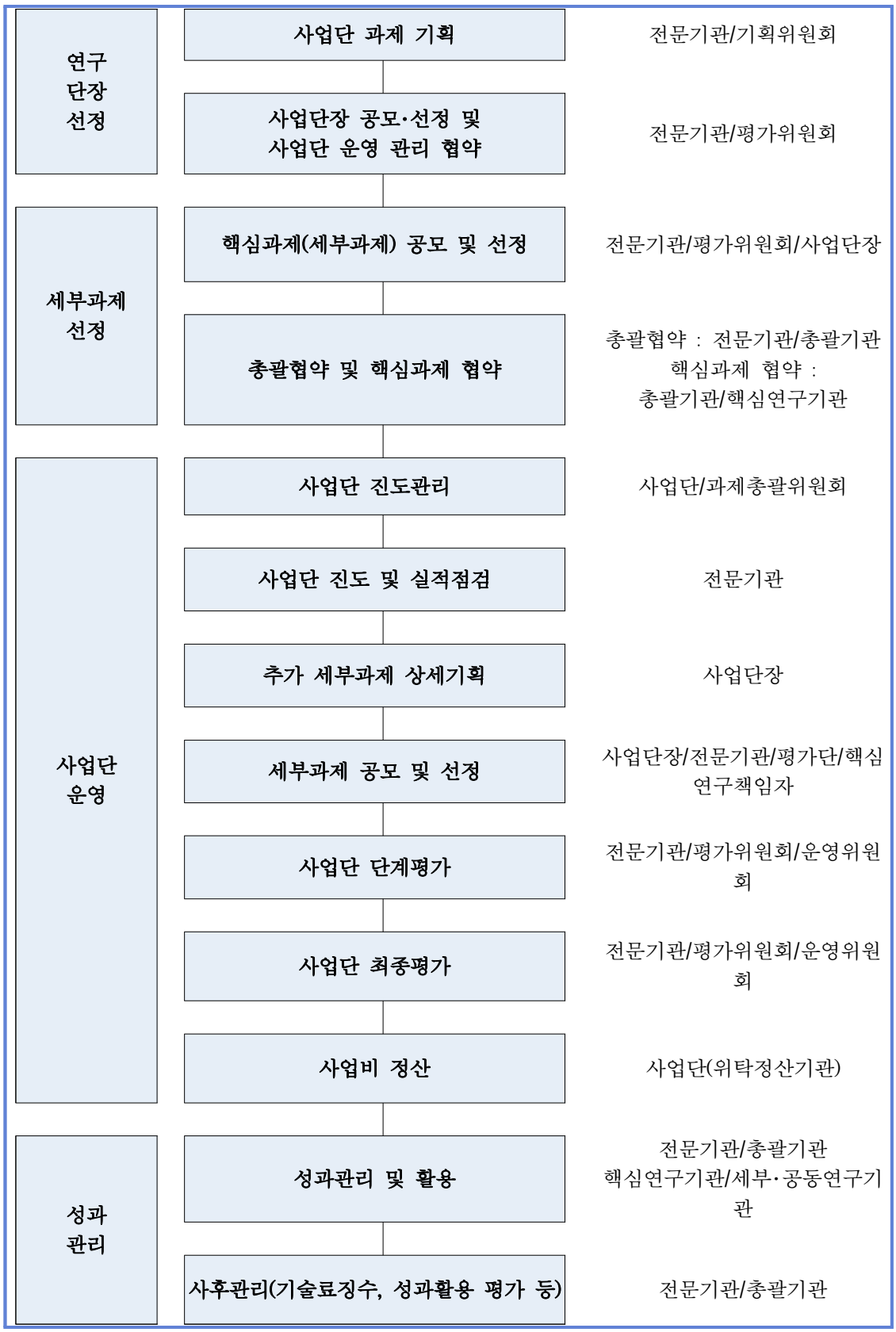
- 사업 투입 대비 산출 분석, 산업에 대한 경제적·사회적·공공적 영향력 분석, 논문/특허 등 질적 성과 및 양적 성과분석을 통해 사업수행의 효율성, 효과성 확보

- 주요 분석 단계 : 산출(Output) → 활용결과(Outcome) → 파급효과(Impact)

■ 기술수요조사, 과제기획부터 공고, 선정 및 연구수행, 사후관리까지 세부 프로세스 및 수행주체별 명확한 역할분담을 통한 R&D 전주기적 관리 프로세스 확립

◉ 동 사업의 중점 분야 및 세부 과 분야의 사업규모 및 기간 등의 특성을 고려하여 해저터널 및 인공섬 사업단으로 구분하여 사업을 추진함

- (사업단) 다수 기업이 대형 프로젝트에 참여하여 성공적인 수행을 위해 기술개발 및 사업화를 지원·관리하며 사무국을 설치하여 자체 진도점검 및 자체평가 등 원활한 과제추진을 위한 제반 행정사항 지원을 추진함



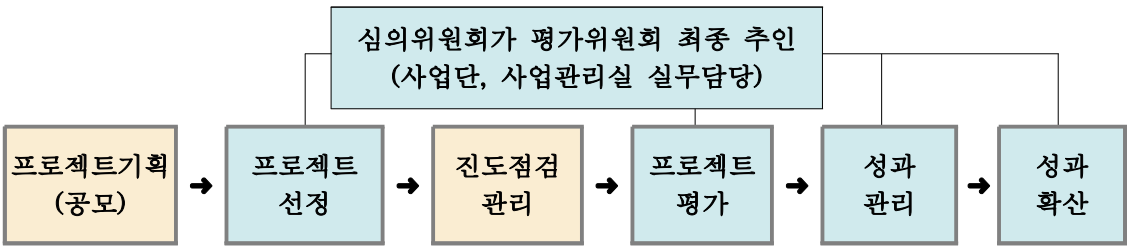

<그림 Ⅳ-10> 사업단 추진 절차

## 나. 사업 운영/관리 전략

■ [전략1] 사업기획 및 평가 및 관리 이원화

◉ 본 사업은 전담기관의 사업관리실이 선정평가·중간 및 최종평가 및 성과관리·확산 담당함으로써 공공과 민간의 적절한 역할 분담을 통해 전문성강화 및 공정성 확보 동시 달성하는 관리체계로 운영

- 프로젝트 선정 및 중간(연차 및 단계), 최종평가 시 사업관리실이 평가위원회 구성 및 운영을 지원하고 심의위원회가 구성된 평가위원회를 추인




<그림 Ⅳ-11> 사업 관리 체계

◉ 정부주도의 원천기술개발 및 기존 성과 연계기술 개발, 산업체 주도의 상용기술 개발 추진

- 정부는 사업비 지원 비율을 원천기술개발 및 기존 성과 연계기술 개발 단계, 상용기술 개발 단계 등 각 추진 단계별로 민관 투자비율을 탄력적으로 조정

  * 기업이 책임지고 수행하되, 학·연의 원천기술, 중소·중견기업의 핵심기술 개발 등이 통합적으로 이루어지도록 드림팀 구성

  * 범부처에서 지원된 시설물(터널) 핵심분야(소재·부품, 에너지, 플랜트 분야) R&D과제의 우수 기초연구성과를 본 사업의 Seed로 활용

■ [전략2] 사업단 분야 내 핵심기술별 공공-민간역할 분담을 통한 현장적용 및 실증 강화

◉ 세부과제 분야 내 핵심기술을 공공주도형, 민간주도형, 공공-민간 합동형 등으로 구분함

- (공공주도형) 해저터널·인공섬 공급과정에서 계획/설계 및 유지관리 분야에 대한 기술개발에 주력

- (민간주도형) 해저터널·인공섬의 공급과정 상 건설시공, 건설장비 등 민간 기술 수준이 높은 분야를 중점적으로 수행함

- (공공-민간 합동형) 해저터널의 실질적인 기술적용 및 실증 단계에서는 정부와 -민간의 공동참여가 필요

◉ 산·학·연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 사업단을 중심으로 각각의 연구성과를 유기적으로 종합화하여 연구효율을 극대화

■ [전략3] 사업단 산하의 각 세부과제별 협동연구체계 구축

◉ 기존에 진행된 연구기반을 효과적으로 활용하기 위해 연구범위 및 방향을 세부과제간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출을 위해 필요에 따라 연구장비 및 인프라를 공유하는 방안을 마련

- 효과적이고 합리적인 연구개발사업의 운영

- 연구비의 중복투자 배제 및 연구개발비 투자의 효율성 제고

◉ 연구 추진의 효율성을 높이기 위해 세부과제별로 독자적인 워크샵 및 세부전략을 수립함과 동시에 사업단내 세부과제 사이의 상호 정보 교류를 위한 정기적인 발표회 및 워크샵 추진

◉ 동일한 또는 유사한 목표를 갖는 세세부 기술들 사이의 상호 접근방법을 다양하게 하여 최종 연구개발 성과의 성공률과 실용화율을 높이기 위해 부분적인 경쟁체계 도입 유도

■ [전략4] 세부과제 분야 및 핵심기술별 맞춤형 추진전략 구축

◉ 지정공모(Top-Down)

- (기획연구) 대상기술의 기술적·경제적 타당성 등에 대한 분석 및 과제제안 요구내용 도출

- (과제선정) 우선순위평가 및 신규과제 선정평가에 따라 타당성이 인정된 경우 신규과제 공모·선정

- (진도관리) 연구목표 달성도 점검 및 연차별 계속진행여부 판정을 위한 중간평가 등 진도관리 수행

- (최종평가) 목표달성도, 연구개발성과, 기대효과 등의 공통지표를 기준으로 최종평가

◉ 자유공모(Bottom-Up)

- (수요조사) 기술 개발목표 및 지원규모 등에 대해 연구자로부터 상향식 수요조사·발굴

- (과제선정) 기존과제 유사중복성 검토 및 연구내용 타당성 검토를 통해 지원대상 과제선정

- (진도관리) 연구목표 달성도 점검 및 연차별 계속진행여부 판정을 위한 중간평가 등 진도관리 수행
- (최종평가) 목표달성도, 연구개발성과, 기대효과 등의 공통지표를 기준으로 최종평가

◉ 혼합공모(지정공모+자유공모)

- 연구주제·범위 설정을 위한 기획연구 및 연구자로부터 상향식 수요 조사·발굴 병행

**<표 Ⅳ-18> 추진형태별 주요 내용**

| 추진형태 | 대상발굴 | 과제선정 |
|---|---|---|
| 지정공모 | • (기획연구) 기술적·경제적 타당성을 분석하여 과제제안 요구내용 도출 | • 우선순위평가 및 신규과제 선정평가에 따라 타당성이 인정되는 경우 선정 |
| 자유공모 | • (수요조사) 기술 개발목표 및 지원규모 등에 대해 연구자로부터 상향식 조사발굴 | • 기존과제 유사중복성 및 연구내용 타당성을 검토하여 선정 |
| 혼합공모 | • (기획연구) 연구주제 범위 설정<br>• (수요조사) 기술 개발목표 및 지원규모 | • (배분형) 지정공모와 자유공모 선정 비율 배분<br>• (순서형) 선 기획 후 분야별 자유공모 |

# 다. 단계별 평가/관리의 절차 및 기준

## (1) 선정평가

■ 사업 추진 방식에 따라 평가항목의 가중치를 다르게 부여하여 사업 실효성 제고

◉ 기술개발 추진계획의 타당성 및 구체성, 기술의 우수성 등에 대한 가중치를 높게 부여하여 평가를 시행하여 목적지향형 R&D 사업 추진

<표 Ⅳ-19> 선정평가 기준

| 평가항목 | 배점 | 평가내용 |
|---|---|---|
| 기술개발 추진계획 | 20 | 기술개발 계획목표 및 범위의 명확성 |
| | | 기술개발 추진체계 및 참여인력구성의 적정성 |
| | | 기술개발을 위한 사업비 책정의 타당성 및 구체성 |
| 도전성과 창의성 | 15 | 기존 기술대비 도전성, 창의성, 차별성 |
| | | 창의적 기술로 신규 시장 창출 및 개척가능성 |
| 주관기관 기술개발역량 | 15 | 사업단장(또는 총괄책임자)의 역량 |
| | | 주관기관의 기술개발 역량 |
| 기술의 우수성 | 20 | 기술개발의 완성도, 혁신성, 치별성 |
| | | 기술개발 조기 성공 가능성 |
| | | 기술의 수명주기상의 위치 |
| | | 기술의 권리확보 및 모방용이성 |
| 기술의 사업성 | 15 | 세부기술간 패키지 기술개발 가능성 |
| | | 마케팅 계획, 예상 판로의 다양성 및 구축정도 |
| | | 생산기반의 확보 및 생산성 |
| 기술의 시장성 | 15 | 사업화대상기술의 시장 규모 및 시장 성장 가능성 |
| | | 해당산업의 시장 경쟁구도 및 진입장벽, 예상시장 점유율 |
| | | 사업화대상기술 및 해당산업의 경제적 파급효과 |
| 합계 | 100 | |

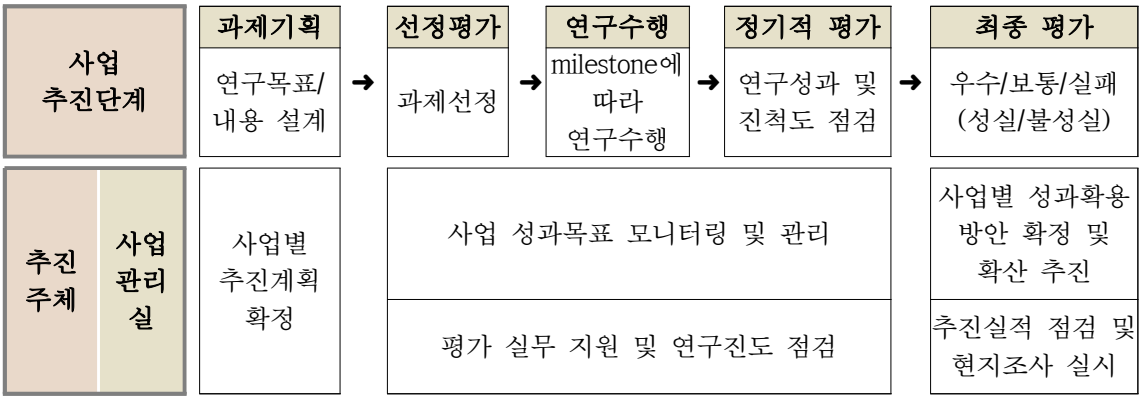
## (2) 중간평가(마일스톤 점검)

■ (마일스톤 점검) R&D 전담기관의 사업관리실, 사업단 등을 통해 사업수행과정을 정기적으로 모니터링 하여 사업의 실패 확률을 줄일 수 있도록 함

◉ 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 평가를 실시, 관리

- 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고 프로젝트의 성과 및 진척도를 판단

- 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운용




<그림 Ⅳ-12> 과제 관리 프로세스

◉ (중간평가) 매년 실시하는 연차평가 및 2~3년 단위의 단계평가로 구분

- (연차평가) 사업단의 경우 자체평가 방식의 연차평가와 이에 대한 적정성을 확보하기 위해 전담기관에 의한 상위평가를 추진하며, 개별과제지원 및 혼합형 과제의 경우 전담기관에 의한 연차평가 시행

- (단계평가) 사업단 구성기술에 한하여 2년 또는 3년 단위로 전담기관에 의해 시행되며, 당초 사업 목표 달성여부 등을 평가하고 개선점을 도출하여 향후 사업 추진 계획에 반영

■ (연차평가) 사업단에 의한 자체평가와 전담기관에 의한 상위평가 등을 추진

◉ 사업단 자체적으로 평가위원회를 구성하여 연차평가를 실시하고, 평가결과를 전담기관에 보고

- 자체평가 결과는 각각 과제 간의 등급을 5단계로 부여하고 차년도 연구 수행 시 연구비 차등 배분하되, '매우미흡' 과제에 대해서는 차년도 개선방안을 전담기관에 제출

* 평가등급: 매우우수(상위 10% 이하), 우수(상위 10% 초과~30% 이하), 보통(상위 30% 초과~70% 이하), 미흡(상위 70% 초과~90% 이하), 매우미흡(상위 90% 초과~100%)

* 연구비 배분: 매우우수(+10%), 우수(+5%), 보통(0), 미흡(-5%), 매우미흡(-10%)

- 전담기관에서는 사업단의 자체평가 결과에 대해 평가의 적절성 및 공정성 등에 대해 상위평가 실시

- 상위평가는 3단계(우수, 보통, 미흡)로 나뉘며, '미흡'사업의 사업비를 삭감하여 '우수'사업의 인센티브로 제공

* 평가등급: 우수(20%), 보통(60%), 미흡(20%), 연구비 배분: 우수(+5%), 보통(0), 미흡(-5%)

- 조기완료': 과제목표를 조기 완료하는 경우 후속과제 지원 등 인센티브 부여

* '조기완료'는 최종평가 시의 '우수' 단계와 동급으로 고려

**<표 Ⅳ-20> 중단과제에 대한 재평가 방안**

- 연차평가 결과 하위 10%에 해당하는 과제에 대해 재평가위원회를 운영하여 하위 5%에 해당하는 과제는 중단 조치함으로써 엄정한 평가 수행
- 재평가는 연구책임자에 의한 공개발표평가를 원칙으로 하며, 성실수행 및 불성실수행으로 최종 평가등급을 부여
- 재평가 대상 과제에게는 사전에 심의 대상임을 공지하여 재평가 시 충분한 소명준비를 할 수 있도록 조치

※ 재평가위원회 결과에 대해서는 별도 이의신청 접수/처리 없이 원안 확정

**[중간평가 및 재평가의 차이점]**

| 구분 | 중간평가 | 재평가 |
|---|---|---|
| 평가항목 | • 목표달성도(30%)<br>• 기술성(30%)<br>• 연구개발의 성과창출 가능성(40%) | • 연구수행 성실성(50%)<br>• 전문가 의견(20%)<br>• 외부환경요인 및 기타(30%) |
| 평가내용 | • 3개 평가등급 결정<br>- 계속, 중단, 조기완료 | • 중단등급에 대한 2개 등급 최종결정<br>- 성실수행, 불성실수행 |
| 비고 | • 중간평가 결과 중단 판정과제에 대하여 평가결과를 통보하고 재평가 발표준비 안내 | • 연구수행의 성실성, 도전적 목표 달성에 대한 전문가 의견 및 외부환경요인 등을 종합적으로 검토하여 최종 등급 결정<br>• 재평가 결과에 대한 이의신청 불허 |

■ (단계평가) 전담기관에 의한 2년 또는 3년 주기의 단계평가 실시

◉ 추진과제별 지원기간에 따라 평가주기 차등 적용하되(2+2+1년, 2+2+2년, 2+3+2년 등) 마지막 단계평가는 최종평가로 갈음

- 단계평가 결과는 사업단 간의 등급을 3단계로 부여하고 차년도 연구 수행 시 연구비를 차등 배분하되, 상위평가에 비해 차등 폭을 크게 함으로써 평가의 실효성 제고

  * 평가등급: 우수(20%), 보통(60%), 미흡(20%)

  * 연구비 배분: 우수(+10%), 보통(0), 미흡(-10%)

**<표 Ⅳ-21> 단계평가 평가요소(안)**

| 항목 | 세부평가 내용 | 가중치 |
|---|---|---|
| 기술개발 목표 달성도(30) | 1) 제시된 연구목표를 추구하는 방향성 | 15% |
| | 2) 달성된 중간성과의 양적·질적 수준 | 15% |
| 기술개발 수행의 적절성(35) | 3) 연구수행전략의 적정성 | 10% |
| | 4) 계획의 준수도 | 10% |
| | 5) 연구팀 구성의 적합성 | 5% |
| | 6) 자체평가결과 적절성 | 10% |
| 연구성과 창출 가능성(30) | 7) 연구성과목표의 달성 가능성 | 15% |
| | 8) 기술개발의 파급효과 | 15% |
| 연구계획의 적절성(5) | 9) 차년도 계획의 적절성 | 5% |
| 합계(4개 항목) | | 100% |

■ 연구 수행기관의 “자발적 중단” 인정

◉ 수행기관 스스로 상시기획 등을 통해 기술목표를 조정하더라도 최종 목표달성 등이 어렵다고 판단될 경우, 평가를 통해 “자발적 중단” 인정

- 성실중단과제에 대해서는 원인보고서 작성 등의 과제 정리비용 및 정리기간(6개월 내외) 부여, 연차/단계/최종평가 시 참여제한, 출연금 환수 등의 제재조치 면제 등의 협조방안 구비

- 엄정한 평가를 거쳐 불성실수행으로 판정 시 참여제한 및 연구비 환수

### (3) 최종평가

■ R&D 전담기관은 개별 프로젝트들의 종료시점에 최종보고서 점검, 현장실태조사 또는 평가위원회의 심의를 통하여 과제의 추진실적 및 성과에 대하여 종합평가를 실시

◉ 사업단은 개별 프로젝트들의 종료시점에 최종보고서 점검, 현장실태조사 또는 평가위원회의 심의를 통하여 과제의 추진실적 및 성과에 대하여 종합평가를 실시

◉ 주요 판단기준은 연구책임자가 제시한 프로젝트 최종목표의 달성여부 및 사업화 가능성, 기술개발비 집행의 적정성 등

* 최종보고서 검토평가(전담기관, 사업단), 현장실태조사(사업단 실무 담당자 및 해당분야 전문가)

* 평가위원회 평가: 전담기관, 사업단 실무 담당자, PM, 평가위원 참여를 원칙으로 하고 필요 시 산업통상자원부 담당관 참관

◉ 최종평가 결과는 “우수”, “보통” 또는 “실패(성실, 불성실)”로 구분

* 4등급(혁신성과, 보통, 성실수행, 불성실수행)

* 최종평가 결과 100점 만점을 기준으로 배점 평가

◉ "성실실패(Honorable Failure)" 용인 제도 도입

- 위험성 높은 창의적 과제에 대한 도전이 가능하도록 연구의욕 고취
- 실패과제의 처벌보다는 원인 분석, 사례 공유를 통해 실패로부터 교훈을 얻는 것이 중요
- 성실수행과제는 제재를 면제하되, 불성실수행과제는 연구 수행상황 및 실적 등을 고려하여 제재 차등화

* 성실수행과제는 추적조사 등을 통해 성과 및 실적을 지속 검증

- 참여기관이 성과를 성실신고하지 않을 경우(성과누락)와 비영리기관이 기술료 등에 대해 성실신고를 하지 않을 경우, 참여제한 등 제재 조치

* (예)사업비 환수, 과제참여 제한(예. 1~5년), 제재 부과금 5배 부과 등

- 사업비 오용 등 불성실수행과제는 마일스톤 점검, 정산내역 감사를 통해 사후 적발 가능

◉ 평가지표

- 본 사업의 최종목표를 이해하고, 기존 R&D사업의 평가체계 및 지표를 점검 분석하여 평가지표(안)을 도출하고 기술기획위원회를 통해 검토의견을 수렴하고 최종(안)을 확정

## (4) 성과관리계획

### (가) 성과관리 개요

■ 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동”이라고 정의(정부업무평가기본법 제2조 6항)

◎ 정부사업의 성과관리 기본구조에 계획→집행→점검→평가→환류의 기본구조로 설계

■ 본 사업의 성과관리 계획은 정부 업무평가기본법의 기본철학을 준수하여 도출

◎ 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 최종보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용계획서를 제출 받음

- 자율성과평가를 도입해 산업화 목표 달성을 위한 사업기획마인드를 제고하여 사업 운영 및 산업화 목표의 효율적·효과적 달성을 도모

- 세부사업별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리

**<표 Ⅳ-22> 성과관리 관련 법규정**

| 주요내용 | 관련법 | 내용 |
|---|---|---|
| 성과계획서 | • 국가재정법 제34조, 제71조 | • 예산안의 첨부서류를 성과계획서로 규정 |
| 성과보고서 | • 국가회계법 제14조 내지 15조 | • 결산보고서의 구성요소로 성과보고서<br>• 규정 |
| 재정사업 자율평가 | • 국가재정법 시행령 제 3조 전단 | • 재정사업 자율평가 실시 |
| 재정사업 심층평가 | • 국가재정법 시행령 제3조 후단 및 각호 | • 심층평가 실시 |

### (나) 추적평가 및 성과활용 관리

■ (추적평가 방안) 본 사업의 기술이전확산, 기술혁신 성공사례발굴, 우수과제 인센티브 부여 등 연구개발결과의 활용을 촉진하기 위해 추적평가 실시

◎ (체계 및 담당기관) R&D 전담기관 성과활용조사·평가 전문가가 성과평가 실무 담당하고, 사업단과 유기적으로 협력하여 성과평가 실시

◉ (성과평가 담당자) 사업 종료 후의 성과평가 업무 전담

- 산업화 관련 사업의 성과활용조사·평가 경험 인력 도입 적극 추진

◉ (관리체계) 사업관리부서는 추진위원회에 보고 및 관리

- 전담기관 추진위원회는 사업 전반적인 기획, 운영 지식을 바탕으로, 성과평가 실무자와 협의하여 성과평가 업무 진행방향 설정, 평가체계수립, 평가결과의 환류 시스템 등 종합관리자로서의 역할 수행

◉ 사업단은 성과계획 및 성과결과분석 보고서를 작성, 제출하고 전담기관, 수행기관 및 외부 평가 관계자들 간에 성과 공유, 활용

◉ 성과활용 추적평가 기준

**<표 Ⅳ-23> 기술개발 성과활용 추적 평가 항목**

| 분석항목 | | 주요내용 | 전담기관 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | KEIT | NIPA | KETEP | KIAT |
| 개발 기술 특성 | 기술개발 유형 | 신제품/신공정 개발 | ○ | × | ○ | ○ |
| | | 기존 제품/공정 개선 | ○ | × | ○ | ○ |
| | 기술수명 주기 | 개발기술의 기술수명주기 변화 | ○ | × | × | ○ |
| 기술적 성과 | 기술수준·격차 | 세계 최고대비 기술수준·격차 | ○ | × | ○ | ○ |
| | 지식재산권 배출 | 국내외 특허(출원, 등록) (★) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 논문·학술 발표 | 국내외 학술지, 학술대회 발표 (★) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 인증획득 | 국내외 인증 획득 실적 | × | ○ | ○ | × |
| | 국제표준 신청 | 국제표준 신청 및 제정 실적 | × | ○ | ○ | × |
| 사업화 성과 | 사업화 | 사업화 준비 중/성공/포기 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 매출 및 비용절감 성과 (★) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | | 사업화 추가 투자 | ○ | × | ○ | ○ |
| | 고용창출 | 연구개발 및 생산인력 고용(★) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 기술이전 | 개발기술 이전실적 (★) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 에너지 절감량 | 기술개발로 인한 에너지 절감량 | × | × | ○ | × |
| | 온실가스 감축량 | 기술개발로 인한 CO2 저감량 | × | × | ○ | × |

(★) 성과활용현황조사와 국가 R&D사업 조사·분석·평가 조사항목 간 유사한 경우
※ 조·분·평 성과조사항목 :
①논문(SCI, 비SCI), ②특허(국내외 특허출원·등록), ③사업화(고용창출, 매출액, 사업화 건수 등),
④기술이전(체결건수, 징수액 등), ⑤인력양성, ⑥연수지원(국내외 기술연구 건수 등)

◉ 타 부처·기관들의 성과활용 추적 평가 체계를 분석하고 전문가 검토를 통해 본 사업의 성과활용평가 주요 지표 도출

- 산업통상자원부 성과활용현황조사 전담기관들의 조사항목 및 기존 국가연구개

발사업 성과지표 검토

- 국가 R&D 사업 조사·분석·평가와 관련된 특성을 반영할 수 있는 성과항목인 논문, 특허 등의 실적에 대해서는 NTIS 정보망 연계 활용
- 상기 분석항목들 중 산업부 평가항목을 기준으로 활용 검토하고, 타 기관의 사례 및 정보 활용

◉ (평가항목 및 지표 선정) 사업화, 지식창출, 활용전망 3개 분야, 8개 평가항목별 평가지표를 설정하여 절대평가(100점 만점) 실시

**<표 Ⅳ-24> 성과평가 측정지표 및 배점(안)**

| 평가항목 | | 평가지표 |
|---|---|---|
| 사업화 (70점) | 추가투자(10) | • 사업화를 위한 추가투자의 적정성 |
| | 제품·공정 시장출시(20) | • 제품·공정의 시장 출시 여부<br>• 제품·공정의 시장 지배도 |
| | 매출실적(30) | • 투입대비 매출성과 규모 및 관련 매출의 증가 추이<br>• 수입대체 및 수출 효과 |
| | 인력고용(10) | • 사업화에 따른 추가인력고용 효과 |
| 지식창출 (20점) | 특허출원 및 등록(15) | • 수행과제와의 관련성 및 투입대비 특허성과의 적정성<br>• 특허확보에 따른 기술선점 효과 |
| | 논문실적(5) | • 수행과제와의 관련성 및 내용의 우수성<br>• 투입대비 논문성과의 적정성 |
| 활용전망 (10점) | 사업화 잠재력(5) | • 향후 시장진입·확대 가능성<br>• 고용창출 효과, 시장규모, 수익성 투자 대비 효과 |
| | 추가 활용 가능성(5) | • 관련 분야에 추가 사업화 가능성<br>• 응용기술로서 타 분야 파급효과 |

■ (추적평가 결과 관리) 각 과제의 실적 파악 및 동향 모니터링에 의미를 두며, 평가점수저조에 대한 penalty는 부과하지 않음

◉ 우수 실적 과제/기관에 대한 보상, 실적 저조 과제/기관에 대한 애로점 해소 방안 수립 추진

# 3. 투자계획 및 재원확보 방안

## 가. 투자계획

사업총괄 투자계획

<표 Ⅳ-25> 투자계획

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 총사업비 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 합계 | 국고 | 민자 |
| R&D | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화 | • [전략1] BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 11,550 | 8,687.5 | 2,862.5 |
| | | • [전략2] 해저터널 시공기술 고도화 | 20,614.5 | 15,458 | 5,156.5 |
| | | • [전략3] 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 14,510 | 10,975 | 3,535 |
| | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | • [전략4] 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 12,430 | 9,250 | 3,180 |
| | | • [전략5] 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 | 9,580 | 7,400 | 2,180 |
| | | • [전략6] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 10,076.25 | 7,811 | 2,265.25 |
| 총 연구비 | | | 78,760.75 | | |
| 국고 | | | 59,581.5 | | |
| 민자 | | | 19,179.25 | | |

■ 연도별 세부 투자계획

### <표 Ⅳ-26> 연도별 세부투자계획

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | 분야1 | [전략1] | 국고 | 1,612.5 | 2,237.5 | 2,162.5 | 1,437.5 | 1,237.5 | 8,687.5 | 11,550 |
| | | | 민자 | 537.5 | 732.5 | 707.5 | 472.5 | 412.5 | 2,862.5 | |
| | | [전략2] | 국고 | 2,396 | 2,715 | 3,251 | 4,504 | 2,592 | 15,458 | 20,614.5 |
| | | | 민자 | 799.8 | 905.5 | 1,084.2 | 1,502.5 | 864.5 | 5,156.5 | |
| | | [전략3] | 국고 | 2,750 | 4,887.5 | 3,337.5 | - | - | 10,975 | 14,510 |
| | | | 민자 | 880 | 1,582.5 | 1,072.5 | - | - | 3,535 | |
| | 분야2 | [전략4] | 국고 | 1,343 | 1,927 | 2,127 | 2,210 | 1,643 | 9,250 | 12,430 |
| | | | 민자 | 467 | 673 | 733 | 750 | 557 | 3,180 | |
| | | [전략5] | 국고 | 900 | 1,180 | 1,700 | 2,000 | 1,620 | 7,400 | 9,580 |
| | | | 민자 | 260 | 340 | 500 | 600 | 480 | 2,180 | |
| | | [전략6] | 국고 | 965.5 | 1,400 | 2,055 | 1,870.5 | 1,520 | 7,811 | 10,076.25 |
| | | | 민자 | 258.875 | 490 | 571.25 | 527.625 | 417.5 | 2,265.25 | |
| 총계 | | | 국고 | 9,967 | 14,347 | 14,633 | 12,022 | 8,612.5 | 59,581.5 | |
| | | | 민자 | 3,203.2 | 4,723.5 | 4,668.5 | 3,852.6 | 2,731.5 | 19,179.25 | |
| | | | 합계 | 13,170.2 | 19,070.5 | 19,301.5 | 15,874.6 | 11,344 | 78,760.75 | |

■ 세부과제별 투자계획(R&D)

◉ [전략1] BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축

### <표 Ⅳ-27> [전략1] 총 사업비

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략1] | [세부1] | 국고 | 450 | 750 | 600 | 450 | 450 | 2,700 | 3,600 |
| | | | 민자 | 150 | 250 | 200 | 150 | 150 | 900 | |
| | | [세부2] | 국고 | 300 | 500 | 500 | 400 | 300 | 2,000 | 2,650 |
| | | | 민자 | 100 | 160 | 160 | 130 | 100 | 650 | |
| | | [세부3] | 국고 | 300 | 500 | 500 | 400 | 300 | 2,000 | 2,650 |
| | | | 민자 | 100 | 160 | 160 | 130 | 100 | 650 | |
| | | [세부4] | 국고 | 375 | 300 | 375 | - | - | 1,050 | 1,400 |

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| | | | 민자 | 125 | 100 | 125 | - | - | 350 | |
| | | [세부5] | 국고 | 187.5 | 187.5 | 187.5 | 187.5 | 187.5 | 937.5 | 1,250 |
| | | | 민자 | 62.5 | 62.5 | 62.5 | 62.5 | 62.5 | 312.5 | |
| | | 합계 | 국고 | 1,612 | 2,237.5 | 2,162.5 | 1,437.5 | 1,237.5 | 8,687.5 | 11,550 |
| | | | 민자 | 537.5 | 732,.5 | 707.5 | 472.5 | 412.5 | 2,862.5 | |
| | | | 소계 | 2,150 | 2,970 | 2,870 | 1,910 | 1,650 | 11,550 | |

◉ [전략2] 해저터널 시공기술 고도화

### <표 Ⅳ-28> [전략2] 총 사업비

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략2] | [세부1] | 국고 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 3,000 | 4,000 |
| | | | 민자 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 1,000 | |
| | | [세부2] | 국고 | 296 | 540 | 776 | 2,329 | 417 | 4,358 | 5,814.5 |
| | | | 민자 | 99.8 | 180.5 | 259.2 | 777.5 | 139.5 | 1,456.5 | |
| | | [세부3] | 국고 | 262.5 | 300 | 375, | 300, | 300 | 1,537 | 2,050 |
| | | | 민자 | 87.5 | 100 | 125 | 100 | 100 | 512.5 | |
| | | [세부4] | 국고 | 375 | 375 | 525, | 375 | 375 | 2,025 | 2,700 |
| | | | 민자 | 125 | 125 | 175 | 125 | 125 | 675 | |
| | | [세부5] | 국고 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 3,000 | 4,000 |
| | | | 민자 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 1,000 | |
| | | [세부6] | 국고 | 262.5 | 300 | 375 | 300 | 300 | 1,537.5 | 2,050 |
| | | | 민자 | 87.5 | 100 | 125 | 100 | 100 | 512.5 | |
| | | 합계 | 국고 | 2,396 | 2,715 | 3,251 | 4,504 | 2,592 | 15,458 | 20,614.5 |
| | | | 민자 | 799.8 | 905.5 | 1,084.2 | 1,502.5 | 864.5 | 5,156.5 | |
| | | | 소계 | 3,195.8 | 3,620.5 | 4,335.2 | 6,006.5 | 3,456.5 | 20,614.5 | |

◉ [전략3] 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발

### <표 Ⅳ-29> [전략3] 총 사업비

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략3] | [세부1] | 국고 | 500 | 800 | 600 | - | - | 1,900 | 2,470 |
| | | | 민자 | 150 | 240 | 180 | - | - | 570 | |
| | | [세부2] | 국고 | 600 | 600 | 600 | - | - | 1,800 | 2,340 |

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| | | | 민자 | 180 | 180 | 180 | - | - | 540 | |
| | | [세부3] | 국고 | 225 | 600 | 300 | - | - | 1,125 | 1,500 |
| | | | 민자 | 75 | 200 | 100 | - | - | 375 | |
| | | [세부4] | 국고 | 300 | 750 | 300 | - | - | 1,350 | 1,800 |
| | | | 민자 | 100 | 250 | 100 | - | - | 450 | |
| | | [세부5] | 국고 | 300 | 412.5 | 487.5 | - | - | 1,200 | 1,600 |
| | | | 민자 | 100 | 137.5 | 162.5 | - | - | 400 | |
| | | [세부6] | 국고 | 375 | 525 | 450 | - | - | 1,350 | 1,800 |
| | | | 민자 | 125 | 175 | 150 | - | - | 450 | |
| | | [세부7] | 국고 | 225 | 600 | 300 | - | - | 1,125 | 1,500 |
| | | | 민자 | 75, | 200 | 100 | - | - | 375 | |
| | | [세부8] | 국고 | 225 | 600 | 300 | - | - | 1,125 | 1,500 |
| | | | 민자 | 75 | 200 | 100 | - | - | 375 | |
| | | 합계 | 국고 | 2,750 | 4,887.5 | 3,337.5 | - | - | 10,975 | |
| | | | 민자 | 880, | 1,582.5 | 1,072.5 | - | - | 3,535 | 14,510 |
| | | | 소계 | 3,630 | 6,470 | 4,410 | - | - | 14,510 | |

◉ [전략4] 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술

**<표 Ⅳ-30> [전략4] 총 사업비**

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략4] | [세부1] | 국고 | 268 | 402 | 402 | 335 | 268 | 1,675 | 2,500 |
| | | | 민자 | 132 | 198 | 198 | 165 | 132 | 825 | |
| | | [세부2] | 국고 | 500 | 600 | 700 | 700 | 700 | 3,200 | 4,160 |
| | | | 민자 | 150 | 180 | 210 | 210 | 210 | 960 | |
| | | [세부3] | 국고 | 200 | 400 | 500 | 500 | 300 | 1,900 | 2,470 |
| | | | 민자 | 60 | 120 | 150 | 150 | 90 | 570 | |
| | | [세부4] | 국고 | 375 | 525 | 525 | 675 | 375 | 2,475 | 3,300 |
| | | | 민자 | 125 | 175 | 175 | 225 | 125 | 825 | |
| | | 합계 | 국고 | 1,343 | 1,927 | 2,127 | 2,210 | 1,643 | 9,250 | |
| | | | 민자 | 467 | 673 | 733 | 750 | 557 | 3,180 | 12,430 |
| | | | 소계 | 1,810 | 2,600 | 2,860 | 2,960 | 2,200 | 12,430 | |

◉ [전략5] 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술

**<표 Ⅳ-31> [전략5] 총 사업비**

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략5] | [세부1] | 국고 | 250 | 350 | 500 | 500 | 500 | 2,100 | 2,720 |
| | | | 민자 | 70 | 100 | 150 | 150 | 150 | 620 | |
| | | [세부2] | 국고 | 200 | 240 | 350 | 500 | 310 | 1,600 | 2,070 |
| | | | 민자 | 60 | 70 | 100 | 150 | 90 | 470 | |
| | | [세부3] | 국고 | 200 | 240 | 350 | 500 | 310 | 1,600 | 2,070 |
| | | | 민자 | 60 | 70 | 100 | 150 | 9 | 470 | |
| | | [세부4] | 국고 | 250 | 350 | 500 | 500 | 500 | 2,100 | 2,720 |
| | | | 민자 | 70 | 100 | 150 | 150 | 150 | 620 | |
| | | **합계** | 국고 | 900 | 1,180 | 1,700 | 2,000 | 1,620 | 7,400 | 9,580 |
| | | | 민자 | 260 | 340 | 500 | 600 | 480 | 2,180 | |
| | | | 소계 | 1,160 | 1,520 | 2,200 | 2,600 | 2,100 | 9,580 | |

[전략6] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발

**<표 Ⅳ-32> [전략6] 총 사업비**

(단위: 백만 원)

| 구분 | | | 연도별 총사업비 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 대항목 | | 소항목 | 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 | |
| R&D | [전략6] | [세부1] | 국고 | 100.5 | 125 | 155 | 170.5 | 235 | 702.2 | 936.3 |
| | | | 민자 | 25.125 | 31.25 | 38.75 | 42.625 | 58.75 | 234.1 | |
| | | [세부2] | 국고 | 100 | 150 | 200 | 250 | 200 | 864.4 | 1,152.5 |
| | | | 민자 | 25 | 37.5 | 50 | 90 | 50 | 288.1 | |
| | | [세부3] | 국고 | 150 | 150 | 225 | 200 | 100 | 825 | 1,031.3 |
| | | | 민자 | 37.5 | 37.5 | 56.25 | 50 | 25 | 206.3 | |
| | | [세부4] | 국고 | 200 | 300 | 600 | 500 | 400 | 2,000 | 2,500 |
| | | | 민자 | 50 | 75 | 150 | 125 | 100 | 500 | |
| | | [세부5] | 국고 | 90 | 250 | 250 | 150 | 60 | 800 | 1,200 |
| | | | 민자 | 30 | 187.5 | 100 | 50 | 32.5 | 400 | |
| | | [세부6] | 국고 | 125 | 125 | 225 | 200 | 125 | 800 | 1,000 |
| | | | 민자 | 31.25 | 31.25 | 56.25 | 50 | 31.25 | 200 | |
| | | [세부7] | 국고 | 200 | 300 | 400 | 400 | 400 | 1,700 | 2,210 |
| | | | 민자 | 60 | 90 | 120 | 120 | 120 | 510 | |
| | | **합계** | 국고 | 965.5 | 1,400 | 2,055 | 1,870.5 | 1,520 | 7,811 | 10,076.3 |
| | | | 민자 | 258.9 | 490 | 571.3 | 527.6 | 417.5 | 2,265.3 | |
| | | | 소계 | 1,224.4 | 1,890 | 2,626.3 | 2,398.1 | 1,937.5 | 10,076.3 | |

# 나. 사업예산의 적정성 검토

■ 중점분야 및 전략별로 제시한 기술기획 내용에 대해 국토부 기존 유사프로젝트와의 예산 비교를 통한 적정성 검토 추진

◉ 유사프로젝트의 규모범위 비교를 통해 동 사업의 기술기획 예산에 대한 적정성을 검토

**<표 Ⅳ-33> 비교 범위**

| 해저터널·인공섬 기술개발 사업 | 국토부 기존 유사프로젝트 | 비고 |
|---|---|---|
| 중점분야 | 총괄과제 | - |
| 세부전략 | | - |
| **세부과제** | **세부과제** | **비교범위** |

◉ (비교대상) 해저터널·인공섬 기술개발 사업이 연구단급(중점분야) 2개 규모의 사업으로 추진되는 바, 이를 감안하여 국토부 기존 유사프로젝트를 선정

- **(해저터널 분야)** 해저시설물 차폐기술개발(국토부), TBM 핵심 설계·부품기술 및 TBM터널의 최적건설기술(국토부), 고수압·초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발(국토부), TBM설계·제작 국산화 기술개발(국토부)를 유사 프로젝트로 선정

- **(인공섬 분야)** 인공섬만을 기반으로 한 연구단급의 프로젝트는 국토부를 포함하여 추진되지 않은 것으로 나타났기 때문에, 타 부처의 유사 과제(초대형 부유식 해상 구조물 개발(해수부), 친환경 인공섬 조성 핵심 기술개발(해양연)를 비교대상으로 선정

**<표 Ⅳ-34> 비교 대상**

(단위: 개, 백만 원)

| 구분 | 동사업 | 국토부 기존 유사프로젝트 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 해저터널 분야 | | | | 인공섬 분야 | |
| | | 해저차폐 | TBM핵심 | 고수압·초장대 | TBM 국산화 | 초대형 부유식 | 친환경 인공섬 |
| 중점분야수 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - |
| 세부전략수 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - |
| 세부과제수 | 36 | 4 | 3 | 4 | 4 | 1 | 1 |
| 사업기간 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 9 | 3 |
| 사업예산 | 59,582 | 8,430 | 9,200 | 24,000 | 16,700 | 4,650 | 890 |
| 과제당 연평균 예산 | 331 | 351 | 613 | 1,000 | 835 | 517 | 297 |

■ 동 사업의 기획과제인 총 6개의 세부전략을 유사 프로젝트와 비교한 결과, 대부분의 과제당 연평균 연구비는 국토부 기존 유사프로젝트의 과제당 연평균 연구비에 수렴하는 것으로 나타나 사업비의 구성은 적정한 것으로 판단됨

◉ 다만, 일부 1개 전략(전략4. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술)에 포함된 과제의 연평균 연구비가 기존 유사프로젝트 대비 높은 것으로 나타났으나, 전체 평균 규모 범위 내에 존재하므로 사업비의 구성은 적정한 것으로 판단됨

**<표 Ⅳ-35> 사업예산 적정성 검토 결과**

(단위: 개, 년, 백만 원)

| 구분 | 해저터널·인공섬 기술개발 사업 | | | | | | 국토부 기존 유사프로젝트 | | | 검토의견 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 연구비 (합계) | 과제 수 | 연구 기간 | 최저 (합계) | 최고 (합계) | 과제당 연평균 연구비 | 과제별 연평균 최저 | 과제별 연평균 최고 | 과제당 연평균 연구비 | |
| 전략1 | 8,688 | 5 | 5 | 938 (세부5) | 2,700 (세부1) | 348 | 351 (해저 차폐) | 1,000 (고수압초장대) | 700 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |
| 전략2 | 15,458 | 6 | 5 | 1,538 (세부3, 6) | 4,358 (세부2) | 515 | 351 (해저 차폐) | 1,000 (고수압초장대) | 700 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |
| 전략3 | 10,975 | 8 | 3 | 1,125 (세부3, 7,8) | 1,900 (세부1) | 457 | 351 (해저 차폐) | 1,000 (고수압초장대) | 700 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |
| 전략4 | 9,250 | 4 | 5 | 1,675 (세부1) | 3,200 (세부2) | 463 | 297 (친환경인공섬) | 517 (초대형부유식) | 407 | • 국토부 기존 유사프로젝트의 과제예산 범위 내에 속하므로 규모 적정 |
| 전략5 | 7,400 | 4 | 5 | 1,600 (세부2, 3) | 2,100 (세부1, 4) | 370 | 297 (친환경인공섬) | 517 (초대형부유식) | 407 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |
| 전략6 | 7,811 | 7 | 5 | 786 (세부1) | 2,000 (세부4) | 223 | 297 (친환경인공섬) | 517 (초대형부유식) | 407 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |
| 전체 | 59,582 | 34 | 5 | 786 (전략6-1) | 4,358 (전략2-2) | 350 | 297 (친환경인공섬) | 1,000 (고수압초장대) | 553 | • 국토부 기존 유사프로젝트보다 낮은 수준으로, 과제규모 적정 |

## 다. 재원조달계획

■ 최근 5개년 기준, 정부 R&D 예산의 성장은 연평균 2.6%이며, 국토교통 R&D 예산이 차지하고 있는 비중은 평균 2.40%로 분석

**<표 Ⅳ-36> 최근 5개년 국토교통 R&D 예산 현황**

(단위: 억 원)

| 구분 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | CAGR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부 R&D 예산 | 177,793 | 188,245 | 190,942 | 194,615 | 196,681 | 2.6 |
| 국토부 R&D 예산 | 4,117 | 4,500 | 4,458 | 4,738 | 5,058 | 5.3 |
| 국토부 R&D 비중 | 2.32 | 2.39 | 2.33 | 2.43 | 2.57 | 평균비중: 2.40 |

◉ 2018년은 전년대비 6.3%(320억 원)증액된 5,058억 원이 집행되어 건설, 교통, 공통 분야에 따라 총 23개 사업이 추진

- 2018년의 국토교통 R&D 추진방향은 4차 산업혁명 선도, 서비스산업 육성, 지진예방 대응, 해외시장 진출, 중소기업 육성, 미세먼지 감축 등에 역량을 결집

◉ 국토기술 분야는 전년대비 222억 원(11.7%)증액된 2,113억 원이 집행

- 글로벌 기술경쟁력 강화와 건설기술 선도국으로 발돋움하기 위한 고부가가치 특수구조물 기술개발에 집중 투자하였으며, 국민 생활 밀착형 기술 개발, 친환경 자원 활용 기술개발 등에 투자

◉ 교통기술 분야는 전년대비 66억 원(3.5%)증액된 1,970억 원이 집행

- 자율주행자동차·드론 등 4차 산업혁명 대응 新교통기술 투자를 확대하고, 도로·철도의 안전사고 예방 및 이용자 편의 향상을 위한 교통 인프라 개선과 건설·운영 효율화를 위한 R&D 등에 집중 투자

◉ 기반구축 분야는 전년대비 31억 원(3.3%)증액된 974억 원으로 집행

- 미래 성장동력 발굴을 위한 국토교통 분야 기초원천 기술 개발, 지역균형발전을 위한 연구네트워크 구축 및 권역별 현안 문제 해결을 위한 지역특성화 R&D 지속 추진

## <표 Ⅳ-37> 전년도 대비 2018년도 국토교통 R&D 사업 및 부문별 투자현황

(단위 : 백만 원, %)

| 사업명 | | 2017년 예산 | 2018년 예산 | 증감액 | 증감률 |
|---|---|---|---|---|---|
| 총계 | | 473,764 | 505,784 | 32,020 | 6.8 |
| **국토기술분야(6개 사업)** | | **188,681** | **211,274** | **22,193** | **11.7** |
| | 건설기술연구사업 | 49,847 | 51,372 | 1,525 | 3.1 |
| | 물관리연구사업 | 27,073 | 22,995 | △4,078 | △15.1 |
| | 수요대응형 물공급 서비스 | - | 2,300 | 순증 | 순증 |
| | 플랜트연구사업 | 37,756 | 38,210 | 454 | 1.2 |
| | 도시건축연구사업 | 30,206 | 34,279 | 4,073 | 13.5 |
| | 주거환경연구사업 | 17,985 | 18,649 | 664 | 3.7 |
| | 국토공간정보연구사업 | 25,814 | 29,103 | 3,289 | 12.7 |
| | 공간정보기반 실감형 콘텐츠 융복합 및 혼합현실 제공기술 개발 | - | 2,000 | 순증 | 순증 |
| | 위성정보 활용센터 설립 운영 | - | 7,995 | 순증 | 순증 |
| | 국가전략프로젝트 | 400 | 4,371 | 3,971 | 992.8 |
| **교통기술분야 (5개 사업)** | | **190,372** | **197,040** | **6,668** | **3.5** |
| | 교통물류연구사업 | 54,978 | 59,734 | 4,756 | 8.7 |
| | 철도기술연구사업 | 99,767 | 86,741 | △13,026 | △13.1 |
| | 항공안전기술개발사업 | 29,438 | 34,665 | 5,227 | 17.8 |
| | 무인비행체안전지원기술개발사업 | 5,199 | 10,200 | 5,001 | 96.2 |
| | 민수헬기인증기술개발사업 | 990 | 4,000 | 3,010 | 304.0 |
| | 항공기 장비품·부품 등 제작정비 인증기술 개발 | - | 1,700 | 순증 | 순증 |
| **기반구축분야 (8개 사업)** | | **94,711** | **97,470** | **3,159** | **3.3** |
| | 국토교통기술촉진연구사업 | 54,291 | 53,643 | △648 | △1.2 |
| | 국토교통기술사업화지원사업 | 21,214 | 24,788 | 3,574 | 16.8 |
| | 국토교통기술지역특성화사업 | 8,163 | 8,163 | - | - |
| | 국토교통연구기획사업 | 4,066 | 4,066 | - | - |
| | 국토교통연구성과활용지원사업 | 1,340 | 1,340 | - | - |
| | 국토교통연구개발운영지원 | 3,394 | 3,682 | 288 | 8.5 |
| | 정책연구개발사업 | 1,843 | 1,788 | △55 | △3.0 |

## 국토교통 R&D예산 예상 및 재원확보 타당성

- 중소기업 육성 및 일자리 창출 등 창조경제 실현과 국민복지 구현을 위한 R&D의 예산은 증대될 것으로 전망

- 정부 R&D 예산에서 국토교통 R&D 예산을 전망하고, 국토교통 R&D 예산 내에서 신규 R&D 가용 예산을 추정

  - 「국토교통R&D 중기재정계획」에서는'20년까지 연평균 12.4% 예산이 증가하는 예산계획을 수립

  - 「국토교통R&D 중기재정계획」의 예산 증가율(12.4%)을 '24까지 적용하면, 동 사업의 사업기간(' 20~' 24) 동안 국토교통R&D 예산은 총 3조 4,190억 원으로 추정

**<표 Ⅳ-38> 국토교통R&D 예산 전망**

(단위 : 억 원)

| 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국토교통 R&D 예산(전망) | 7,112 | 7,994 | 8,985 | 10,099 | 11,352 | 12.4% |

출처: 국토교통 R&D 중기재정계획, 국토교통부

- 최근 3년간 2016~2018년도 국토교통 R&D 예산 중 신규과제의 비중은 15.7% 수준인 것으로 조사

  - 국토교통R&D 예산 중 신규과제 가용예산 대비 동 사업의 소요예산 비율은 0.02%로 국토교통 R&D 예산 내에서 동 사업 투자예산을 충분히 수용할 수 있을 것으로 판단

**<표 Ⅳ-39> 최근 3년간 국토교통 R&D 과제 중 신규과제 비중**

(단위 : 억 원)

| 구분 | | 2016 | 2017 | 2018 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| 예산 | 신규과제 | 529 | 688 | 566 | 1,783 |
| | 계속과제 | 3,130 | 3,063 | 3,359 | 9,552 |
| | 합계 | 3,659 | 3,751 | 3,925 | 11,335 |
| 신규과제 비중(%) | | 14.5 | 18.3 | 14.4 | 15.7 |

출처: 2016년, 2017년, 2018년도 국토교통기술 연구개발사업 시행계획, 국토교통부

- 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 연도별 필요예산을 국토부 R&D 예산, 국토부 신규 R&D 가용예산과 비교하여 재원조달 가능성을 평가

  - 2020년 사업시작 년도의 필요예산은 99.7억 원(국비)으로 국토교통 신규추진 R&D 가용예산 7,112억 원 내(20%)에서 수용가능

  - 2020년부터는 국토부 R&D 예산의 8%~18% 수준을 보여, 동 사업 추진은 국토부 R&D예산 내에서 가능할 것으로 평가

- 따라서, 재원조달 문제로 인한 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

**<표 Ⅳ-40> 신규 R&D가용 예산 예측**

(단위 : 억 원)

| 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국토교통 R&D 예산(전망) | 7,112 | 7,994 | 8,985 | 10,099 | 11,352 | 45,542 |
| 신규 R&D 가용예산 | 1,116 | 1,255 | 1,410 | 1,585 | 1,782 | 7,148 |
| 동 사업 소요예산(국비) | 9.96 | 14.34 | 14.63 | 12.02 | 8.61 | 59.56 |
| 비율(%)* | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 |

*비율 : 동 사업비/신규 R&D 가용예산

- 본 사업은 2020~2024년까지 5년 간 총 사업비 약 788억 원을 조달하여 운영하며, 총사업비 중 약 596억 원을 국토교통부가 정부출연금 형태로 지원하고 나머지 192억 원은 민간의 분담금으로 충당 계획

**<표 Ⅳ-41> 재원분담 현황**

(단위: 천 원)

| 구분 | 사업비 | 비율 |
|---|---|---|
| 합계 | 78,760,750 | 75.6 |
| 국비 | 59,581,500 | 24.4 |
| 민자 | 19,179,250 | 100% |

- 민간 부담금은‘국토교통부 소관 연구개발사업 운영규정’에 의해 대기업(50%), 중견(40%), 중소(25%), 컨소시업(복합) 등 각 프로그램별 타깃에 따라 분담비율을 적용
- 민간 부담금은 각 핵심과제별 성격 및 시장상황 등을 종합적으로 고려하여 획일적 적용 보다는 탄력적 운영을 예정

■ 본 사업의 정부출연금은 사업 초년도인 2020년부터 약 10억 원을 국고에서 지원하도록 설계

- 2020년 국토교통 신규추진 R&D 예산 1,116억 원 내에서 수용이 가능할 것으로 판단
- 신규 R&D예산 1,116억 원 중 10억 원(초기년도 국고 지원 금액)이 차지하는 비율은 0.9%로 동 사업 추진에 따른 사업별 예산 균형에 저해되지 않는 것으로 판단

**<표 Ⅳ-42> 연차별 투자계획**

(단위: 천 원)

| 구분 | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부 | 금액 | 9,967,000 | 14,347,000 | 14,633,000 | 12,022,000 | 8,612,500 | 59,581,500 |
| | 비율* | 0.9% | 1.1% | 1.0% | 0.8% | 0.5% | 0.5% |
| 민간 | 금액 | 3,203,175 | 4,723,500 | 4,668,450 | 3,852,625 | 2,731,500 | 19,179,250 |
| | 비율 | 0.3% | 0.4% | 0.3% | 0.2% | 0.2% | 0.1% |
| 합계 | | 13,170,175 | 19,070,500 | 19,301,450 | 15,874,625 | 11,344,000 | 78,760,750 |

*비율 : 동 사업비/신규 R&D 가용예산




# 사업 상세설계

제 1절 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화

제 2절 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술개발

# 제 5 장 사업 상세설계

## 제1절 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화




<그림 Ⅴ-1> 해저터널 분야

# 1. BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

- 건설프로젝트의 대형화, 복잡화, 첨단화에 따라 건설프로젝트의 효율적인 관리 및 수행을 위하여 BIM(Building Information Modeling)이 적극적으로 도입되고 있으며, 공사규모에 따라 의무화되고 있음
  - BIM은 일반적으로 설계(2D와 3D)와 각 공종간 간섭체크, 시공계획, 공정과 비용을 연계한 공정시뮬레이션(4D) 및 수량/물량산출 및 공사비 산출(5D)로 활용되며, 클라우드 서비스 활용으로 확장되고 있음
  - 국내의 경우, 2016년부터 조달청 발주공사에 BIM 적용하여 발주하고 있으며, SOC를 중심으로 BIM 도입 및 정착중에 있으며, 글로벌 주요 건설사는 BIM 관련 기술 확보를 위하여 소프트웨어 업체들과의 제휴를 강화하고 있음
  - 건설과 BIM 기술의 융합은 피할 수 없는 세계적인 트랜드이며 미래의 경쟁력 확보를 위한 필수 사항으로 적극적인 준비가 필요한 실정
    - 현재 선진국 대비 60~70% 수준의 국내 건설 기술력을 강화하고 부진에 빠진 국내 건설시장을 활성화하기 위해서는 BIM 역량 강화가 필수적인 대안임
- BIM 통합관리시스템 기술은 건설시장에서 Project Management Consultancy, Front-End Engineering and Design, 설계-시공 일괄발주사업 등 선진업체들이 독점하는 고부가가치영역 진출이 가능한 기술로, BIM 연관시장의 규모는 매해 증가 추세
- 현재까지 건설프로젝트에서 5D 기능이 통합한 플랫폼 기술은 도입기 단계로서, 기술시장 선점을 위해서 BIM 기반의 통합플랫폼 기술개발이 중요함
  - 건설프로젝트에서 설계를 위한 구조물 모델링이나 모델링과 연동된 구조해석 시스템 등은 개발되어 지속적인 성능개선을 하고 있음
  - 국내에서도 midas社에서 유일하게 BIM solution인 CIM S/W를 출시(2018)하였으며, SOC에 특화되어 시설물 계획, 설계, 시공, 유지관리의 전생애주기에서 활용이 가능하도록 지속적인 S/W를 추진 중에 있음
  - 공정 등 부분적으로 운영되는 플랫폼은 상용화 또는 제품화 되고 있으나, 5D 기능의 BIM 통합플랫폼은 현재 개발 중에 있음

- 해저터널 건설기술은 고수압 조건의 설계, 시공기술, 초장대 환기방재기술 등 터널 건설에 대한 모든 기술들이 요구되며, 각 기술들의 유기적인 조화가 중요함에 따라 기술들의 통합관리를 위한 플랫폼개발이 중요함
- BIM 기반 시장 선점을 위하여 설계·시공 플랫폼 개발이 중요하나, SOC 모델링에 활용되는 BIM S/W의 대부분이 외국제품임으로 국내의 설계, 시공, 유지관리 실정에 맞는 기능의 반영이 어려우며, 외국의 BIM 기술에 종속될 우려가 높음

  - BIM 관련 시장이 급속히 증가하고 있으나, 선진국 BIM 솔류션 사의 시장독점이 가속화되고 있음

    - 가상현실, 드론, 사물인터넷은 주요 벤더의 기술개발이 완료되었고 이미 활용단계에 있음

  - 특히, 건설시장에서 BIM 플랫폼 기반의 조사, 설계, 시공 및 유지관리를 통합하는 BIM통합관리시스템은 제품화 및 상용화시 건설시장 독점이 가능한 아이템으로 현재까지 국내외적으로 제품화를 위한 개발 및 연구가 이루어지고 있음

  - 이에 따라, 해저터널연구단에서 시도되어 지반예측, 설계자동화, 공정관리, 리스크 분석 등을 통합하는 솔루션으로 소정의 성과를 거두었으나, 해외시장진출 및 제품화를 위한 upgrade를 위하여 지속적인 연구가 필요함

## 기술개발의 필요성

### BIM 기반 해저터널 건설 통합 플랫폼 개발

- BIM 기반의 설계자동화(모델링, 도면, 수량등), 지반평가, 구조물 안정성 평가 및 구조검토, 리스크 관리, 공정관리 를 통합적으로 구현하는 BIM 설계·시공 통합 플랫폼은 관련분야가 다양하고 전문성을 요구하는 융합기술
  - 현재까지는 전분야를 통합한 플랫폼은 개발되어 있지 않으며, 각각의 기능들에 대한 시스템은 부분적으로 개발되고 있는 실정
- 건설분야에서 BIM은 설계-시공-유지관리까지의 Life Cycle 전체에 대해 리스크 관리를 할 수 있도록 발전하고 있으나, 현재 BIM 시스템은 설계 단계에서 간섭이나 위험에 대한 선행 안전체크 기능과 향후 시공-유지관리 단계까지 활용할 수 있는 BIM 플랫폼으로의 기능만을 수행하고 있음
- 국내·외적으로 Maga Project에 BIM 사용을 의무화 하는 추세이며, SOC 사업 전반적으로 BIM 사용이 의무화되고 있음에 따라 BIM기반 통합관리시스템 개발은 건설효율화 및 글로벌 건설시장 선점을 위해 조속히 추진되어야 함
- 현재 구축되어 있는 BIM 모델링 S/W는 주로 건축 및 교량 등의 지상구조물을 대상으로 하여, 지반 및 수리정보 등 해저터널 및 인공섬 설계에 필수적인 정보 반영이 어려우며, 3차원의 효율적인 모델링을 위해서 관련 모델링 설계 기술의 개발이 필요
- 해저터널은 공사비 약 20조 이상의 Maga Project이며, 해저건설 및 인공섬 건설 등 육상의 대부분의 건설공정을 포함
  - 이에 해저터널을 대상으로 한 BIM 설계·시공 통합 플랫폼 개발은 활용성 및 확장성이 무한하며 건설분야에서 높은 잠재 성장력과 고부가가치화를 견인할 것임
- 최근 IT 기술의 발달로 AR/VR 등의 가상현실과 실제 환경을 맵핑할 수 있는 기술들이 고도화되고 있으며, 건설 산업에도 이를 활용하여 시공관리를 통한 생산성 향상, 리스크 관리를 통한 안전예방에 활용하고 있음
- 이와 같이, IT 기술의 발달과 BIM 플랫폼 기술의 현실화를 통해 실시간으로 BIM 설계 정보와 현실세계의 시공 정보를 실시간으로 맵핑하여 AR/VR 기술을 활용한 가시화를 통해 시공관리, 리스크 관리를 할 수 있는 시스템 개발이 필요함

## TBM 터널 굴진효율 증대 기술

- 해저터널의 시공은 초장대, 고수압의 제약조건에서 발파굴착에 의한 NATM 터널에 비하여 공사중 환기, 버력처리, 경제성 등에서 유리한 TBM 공법이 적용되고 있음
  - TBM 공법에서는 굴진효율이 시공성, 공기, 경제성 등에 영향을 미침에 따라, 굴진효율을 증대하는 기술이 매우 중요함
- 전세계적으로 터널굴착공법은 굴착 및 발파(Drill and Blast)공법에서 TBM 공법으로 전환되어 성장기에 접어들고 있는 추세
  - TBM공법에서 가장 중요한 기술인 '굴진효율 증대'는 고수압 초장대 조건의 해저터널 시공기술 선점 뿐만 아니라 유럽, 미국 등 선진국이 독점하고 있은 기계화시공(TBM) 분야 진출에 필수 조건임
- 굴진전방지반 예측기술의 경우, 초장대 해저터널에서 지형상 10bar 이상의 높은 수압이 존재하고, 대부분 지질학적으로 불안정한 지반을 통과하게 되므로, 시공전 위험구간 확인이 반드시 필요하나, TBM에 의한 굴착은 굴착면의 정보를 쉽게 얻을 수 없어 별도의 굴착면 전방조사 방법이 필수적이고 다양한 연구가 진행되어 왔음
- TBM이 작동중의 조사는 기계를 정지시켜놓고 조사를 해야하기 때문에 굴진효율이 떨어져 공사비용 증가의 요인이 되는 등 현재까지의 굴착면 전방 조사방법은 획기적인 전환이 이루어지지 않고 있는 상황임
- Clogging Risk 평가 기술의 경우, 토압식 쉴드 TBM에서 Clogging에 따른 굴진성능의 저하는 빈번히 발생하는 현상으로 굴진 불능 시에는 쉴드 TBM의 매몰이라는 극단적인 해결책만이 존재하나, 이러한 잠재적 risk에도 불구하고 전세계적으로 굴착 원지반의 잠재 Clogging risk를 평가하는 방법은 극히 제한적인 상태이며, 국내에서는 전무한 상황임
- 해외 해저·하저터널 공사 입찰시 고수압 조건에서의 TBM 커터 교체는 해외 설계기술에 의존하고 있는 실정으로 해외공사 입찰단가를 증가시키는 하나의 요인이 됨
- 그러므로, 저비용 TBM 커터 교체기술의 개발은 국내뿐만 아니라 해외에서도 기술이전을 추진할 수 있는 유망기술이라 할 수 있으며, 하저 또는 해저터널 공사시 경제성 및 공기를 좌우할 매우 중요한 기술임

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-2> 개술개발 내용

본 기술은 BIM기반 해저터널 건설 통합플랫폼 및 TBM 터널 굴진효율 증대 기술을 개발하는 것임

▷ 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발

▷ BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발

▷ BIG DATA 기반 TBM 터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발

▷ 쉴드 TBM 공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술

▷ 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발

〈표 Ⅴ-1〉 중점분야별 핵심 및 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | TBM 기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발 | • 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발<br>• BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| | TBM 터널 굴진효율 증대 기술 | • BIG DATA 기반 TBM 터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발<br>• 쉴드 TBM 공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술<br>• 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 |

■ 해저터널 시공을 위한 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발

◉ 지반 및 구조물 정보를 연동할 수 있도록 해저터널·인공섬 BIM 라이브러리 및 설계 자동화 프로그램을 개발하여 시공 시뮬레이션과 실시간 공정관리가 가능한 기술을 확보하는 연구

- 구조안전해석, 실시간 공정관리 등이 가능한 BIM 설계·시공 통합 플랫폼 개발

■ BIM 데이터 기반 설계·시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발

◉ 실시간으로 현재 시공단계의 설계 자료를 추출하여 시공정보와 설계정보 맵핑을 통한 BIM 기반 설계·시공 비교가 가능한 실시간 리스크 관리 AR 시스템을 개발하는 기술

- BIM 중 실시간 현재 시공단계 추출자료 알고리즘 및 프로그램 개발

- 시공정보와 설계정보 맵핑을 통한 리스크 관리 프로그램 개발

■ BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발

◉ 전기비저항, 굴착진동반사 탄성파 등을 활용한 굴착면 전방 지질예측 기법을 개발하고, TBM 굴진시 발생하는 정보(막장압력, 챔버압력, 디스크커터의 상태 등)를 활용하여 굴착면 전방의 상태를 예측하는 기술

- TBM 굴착진동 및 파생정보를 이용한 굴착면 전방 지질상태 예측 시스템 개발

- TBM 굴진정보를 이용한 최적 TBM 시공관리 시스템

■ 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 개발

◉ 지반 잠재 Clogging risk 평가를 위하여 토압식 쉴드 TBM 첨가제 주입 관리 기법 및 슬러리 TBM 슬러리 품질 관리 기법을 개발하는 기술

- 표준화된 Risk 예측기법 및 쉴드 TBM 타입에 따른 Clogging 대처 매뉴얼 개발

■ 고수압하에서 저비용 TBM 커터 교체 기술 개발

◉ 고수압하에서의 커터 교체의 문제점 및 해외 기술을 검토하여 수압의 크기에 따른 최적의 커터 교체 방식을 결정하고, 우리나라 지반상태에 사용하기 적절한 고수압하의 커터 교체 장비 및 시스템을 개발하는 기술

- 고수압하에서 시공 가능한 커터 교체 장비 및 시스템 개발

## (2) 기술개발 목표

■ 본 기술은 효율적인 해저터널의 설계 및 시공관리를 위한 BIM 기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발과 기계화 시공시 공사기간 최소화 및 경제성 확보에 가장 중요한 요소인 TBM 터널 굴진효율 증대 기술 개발을 목표로 함

**<표 Ⅴ-2> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능목표**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| TBM 기반 해저터널 건설 통합 플랫폼 개발 | • 해저터널 인공섬 BIM 모델링 및 시공중 BIM 리스크 연계 기술<br>• 실시간 시공정보 데이터 취득 및 가시화 시스템 및 BIM 기반 실시간 리스크관리 프로그램 개발 | • 해저터널·인공섬용 BIM 라이브러리 구축<br>• BIM 설계정보와 시공정보의 맵핑 정확도 90% 이상 |
| TBM 터널 굴진효율 증대 기술 | • TBM 장착형 전방탐사장비 최적화 및 TBM 굴진정보를 이용한 전방예측기술<br>• 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술<br>• 고수압하에서 저비용 TBM 커터교체 장비 및 시스템 개발 | • TBM에 장착 가능한 시작품 1건 이상<br>• Clogging risk 평가방법(안) 제시<br>• 교체기술 적용가능 수압 15bar 이상 |

# 다. 국내외 기술개발 동향

## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

■ TBM 기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발

◉ 미국은 연방조달청의 주도로 3D-4D BIM Program을 미국의 BIM 활용정책으로 추진하고 있으며, 2003년부터 현재까지 건설산업계와 대학들간의 협력을 통하여 BIM의 활용과 도입을 증진시키고 있음

- 연방조달청은 미국전역에 걸쳐 100개이상의 프로젝트에 BIM을 적용하고 있고, 거대자본이 투입되는 프로그램에 속한 30개의프로젝트들에 3D(시각화) 및4D (공정관리)를 위해 BIM을 적용하고 있음

- 특히, BIM을 통하여 정보의 피드백(Information Feedback)을 위하여 노력을 기울이고 있으며, 3D-4D-BIM Program 정책 성취를 위하여 구체적인 세부실행방안을 제시하고 있음

◉ 영국은 정부의 주도로 영국 정부건설 발주자 그룹(UK Government Construction Client Group)이 주축이 되어 2011년 3월 BIM 활용관계자 전략보고서(Building Information Modeling Working Party Strategy Paper)를 발표

- 2011년 5월 영국국무조정실(Cabinet Office)에서 발표한 정부건설전략(Government Construction Strategy)에 BIM 활용을 공식적으로 포함

- 영국정부의 BIM 활용정책은 Push and Pull 전략으로, 건설 산업계(Industry Push)와 정부(Client Pull)가 주축이 되어 추진중이며, 2016년부터 모든 공공건설프로젝트에 BIM 활용을 의무화시키는 정책을 2011년 정부건설전략을 통해 발표

◉ 싱가포르 정부는 BIM을 국가 주도하에 체계적으로 BCA (Building and Construction Authority)에서 BIM 추진 로드맵을 세워 추진하고 있으며 BIM을 적용하는 업체에 지원을 통해 실질적인 적용을 유도하고 있음

◉ 국내에서도 BIM 활용 및 활성화 방안을 위하여 공공 발주기관별로 지침을 개발하여 보급하고 있는 상황

- 조달청은 중소형 공사의 BIM 확산 적용을 위해 2012년부터 500억원 이상의 토탈서비스 사업에 BIM을 적용하도록 조치

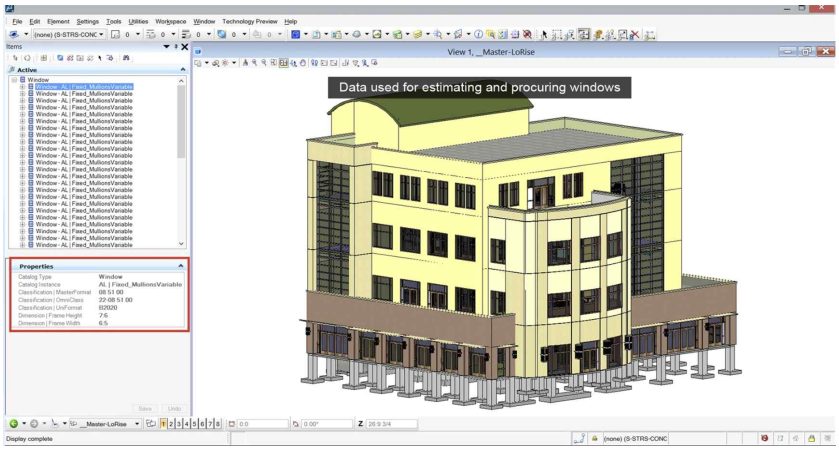
- 조달청 기본지침서는 조달청 시설사업의 계획설계단계, 중간설계단계, 실시설

계단계, 시공단계까지 BIM을 적용하여 최소한의 요건을 정의하였으며, 유지관리단계까지 사용이 가능한 BIM 데이터를 적용, 리스크를 최소한 줄이기 위해 BIM 업무 기준 제공을 목적으로 작성하였음

- 선진국을 중심으로 SOC 설계, 시공 및 유지관리에 있어, BIM 기술의 도입을 적극적이고 지속적으로 추진 중에 있으며, 이를 위하여 발주처, 설계사, 시공사들이 BIM기반의 전사적인 시스템 개발 및 도입을 추진 중에 있음

- BIM 모델링 주요 S/W 회사인 Autodesk社 및 Bentley社에서는 철도, 교량, 터널, 노반, 역사, 구조물 등 모든 SOC의 BIM 모델링이 가능한 통합된 시스템을 개발 및 지속적인 성능 개선을 하고 있

  - 특히 BIM Bentley社에서는 모델링과 구조해석이 연동되는 시스템 개발을 진행 중에 있음



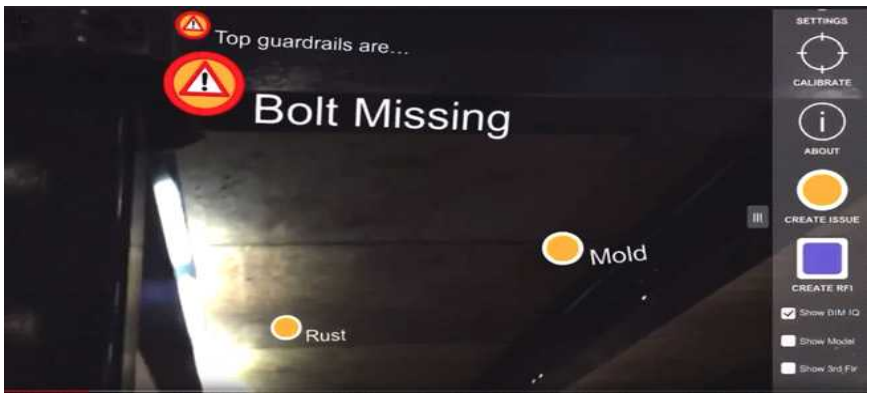

<그림 Ⅴ-3> Bentley I-model

- 2018년 국내에서도 midas社에서 유일하게 BIM solution인 CIM S/W를 출시하였으며, SOC에 특화되어 시설물 계획, 설계, 시공, 유지관리의 전 생애주기에서 활용이 가능하도록 지속적인 S/W를 추진 중에 있음

- 최근 건설 산업 중 토목 시공 현장에도 BIM을 적용한 설계를 추진하고 있으며, LH의 경우 토목 BIM(Civil-BIM) 설계 시스템 구축을 완료하였음

- 최근 건설현장 안전점검 지원 웨어러블 스마트 디바이스 기술은 다양한 센서가 내장된 웨어러블 스마트 디바이스와 관리 중점 위치에 부착된 센서, 점검자의 점검 업무 지원을 위한 3D 컨텐츠, AR을 이용한 정보제공, 점검자와 관제 시스템을 연결하는 IoT 플랫폼으로 구성되어 개발되고 있으며 주로 가스, 석유공장을 대상으로 적용

- AUTODESK 에서는 설계도면 및 세부정보를 포함하는 3D BIM을 웹상에서 시각화하고 AR/VR 장비로 관찰 가능한 AUTODESK FORGE AR/VR Toolkit을 출시하였으며 클라우드에 저장된 3D BIM 모델과 점검현장을 AR/VR 장비로 특수 타겟을 통하여 매칭 시킨 후 안전점검 활용에 사용




**<그림 Ⅴ-4> AUTODESK의 AR/VR 기술을 활용한 안전점검 정보 제공 및 기록 기능**

- 미국의 RealWear 에서는 안전모에 설치 가능한 Tablet PC인 hmt-1을 개발하였으며, 관제시스템과 연결되어 있어 주요 점검 위치를 주시하는 경우 필요한 정보를 Smart Glass를 통하여 시각화

  - 관제시스템과 영상 통화 기능을 활용, Experienced Technicians(Mentors)가 공유된 영상과 음성을 확인하여 안전점검을 지원할 수 있는 기능을 개발




**<그림 Ⅴ-5> 선형기반의 BIM 모델링**

## TBM 터널 굴진효율 증대 기술

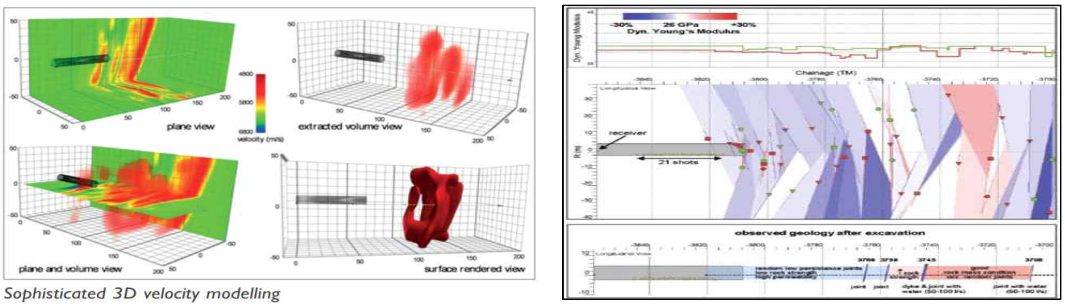
- TBM 터널은 발파에 의한 터널굴착과는 달리 굴착면이 노출되지 않으므로 육안에 의한 굴착면 조사, 막장맵핑 등에 의해 굴착면 전방의 지반상태를 예측하는데 어려움이 있어 다양한 물리탐사적 방법을 개발하고자 하는 노력이 국내외에서 이루어지고 있음

- 국외 대표적인 전방조사 방법으로 오스트리아 Amberg Technology사에서 90년대 중반에 개발한 TSP(Tunel Seismic Prediction)가 선두주자로 발파굴착터널에서 현재까지 사용되고 있음

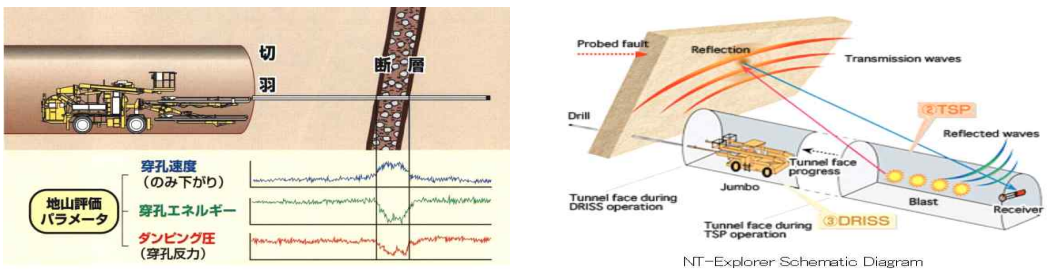
  - TSP는 TBM의 활용시장이 커지고 보편화 되면서 TBM에 적용가능하게 개량되었음

- 독일 Herrenknecht, 일본 코마츠사, 미국 Robinson 등 전세계 major급 TBM 제조사에서는 TBM의 면판과 헤드부분에 직접 탄성파, 전기비저항, 전자파 등의 센서를 부착하여 등을 장착하여 굴착면 전방을 조사하는 형태로 개발되는 추세

- 정확성을 높이기 위해 직접 천공하는 방법을 병용하고 있으며 TBM 면판 틈새 또는 면판에 드릴을 장착시며 천공으로부터 나오는 data를 활용, 굴착면 전방을 예측하는 방법을 많이 사용하고 있음




<그림 Ⅴ-6> 기존 국외 굴착면 조사기술



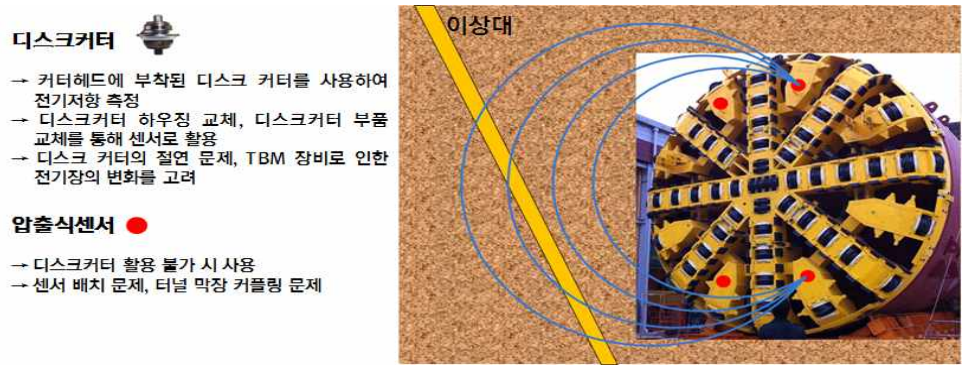

<그림 Ⅴ-7> 천공데이터를 이용한 굴착면 전방조사

- 국내의 경우 최근까지 전방 지반조사를 위해 외국산 조사장비를 100% 도입하고 있는 상황이며, TBM은 거의 대부분 수입하여 사용하므로 관련된 굴착면 전방조사 장비 또는 시스템에 대한 국산화가 미흡한 상태로 최근 국토교통부에서 발주한 TBM연구단, 해저터널연구단 과제를 통해 성과를 낸 사례 보유

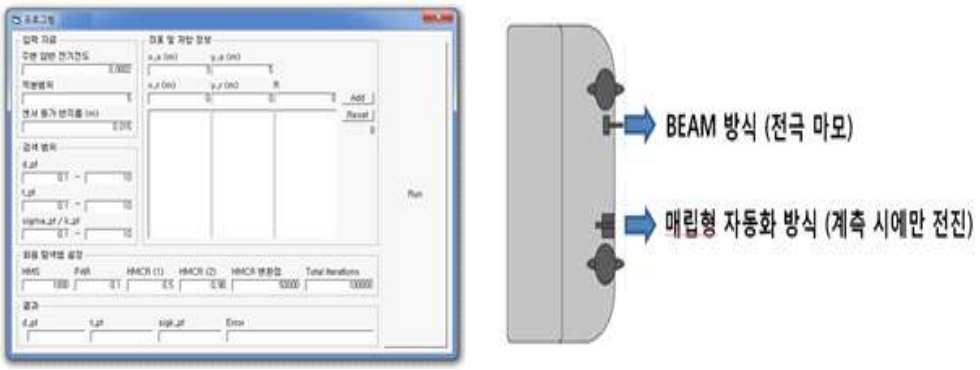
- 각 연구단의 성과는 모두 전기비저항 탐사법에 근간을 둔 탐사방법으로 TBM연구단(2010~2015)에서는 디스크커터를 센서로 이용하고 디스크커터 활용 불가시 TBM면판에 별도 부착된 압출식 센서를 이용하여 전기비저항 탐사를 수행하는 방법

  - 이와 병행하여 선진수평 시추장비를 TBM에 장착하여 두 가지 결과를 함께 분석하여 굴착면 전방을 예측하는 기술임

- 해저터널연구단(2013~2018)의 성과는 탐사 방법으로 전기비저항탐사법과 유도분극탐사법을 병행 이용하는 방법을 사용하였고, 분석 기술을 고도화하고 탐사장비적으로는 면판에 부착하는 압출식 센서를 개발하여 탐사 감도를 증가시키는 연구성과를 도출




<그림 Ⅴ-8> 국내 전방조사 기술, TBM연구단




<그림 Ⅴ-9> 국내 전방조사 기술, 해저터널연구단

◉ 세립질 토사나 암반을 통과하는 TBM의 경우, 점착성 토사가 Cutting tools, Cutter head, 배토 장비 등에 점착(Clogging 현상)되면 굴착 및 토사 배출에 어려움을 겪게 되어 TBM의 굴진성능을 저하시키는 요인이 됨



<그림 Ⅴ-10> Clogging된 커터헤드



(a) 개구 폐색



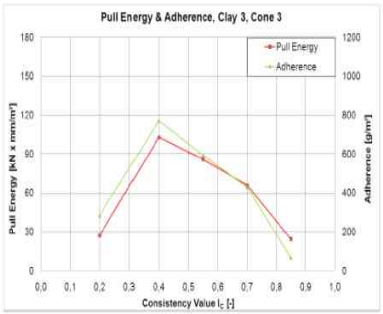
(b) 배토 능력 저하

<그림 Ⅴ-11> Clogging에 의한 굴진성능의 저하

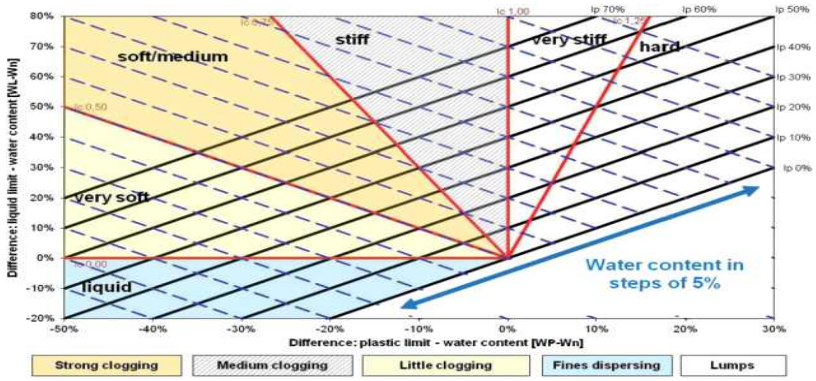
◉ 굴착된 버력을 굴진면지지 매개로 사용하는 토압식 쉴드TBM은 원지반의 영향을 직접적으로 받게 되는 구조로, 토압식 쉴드 TBM에 대해서는 해외 일부 대학에서 개별적인 시험을 개발하여 Clogging Risk를 수치화하려는 연구 진행 중

- 지반의 consistency별로 Clogging risk 정도를 평가할 수 있는 분류도표 개발 중



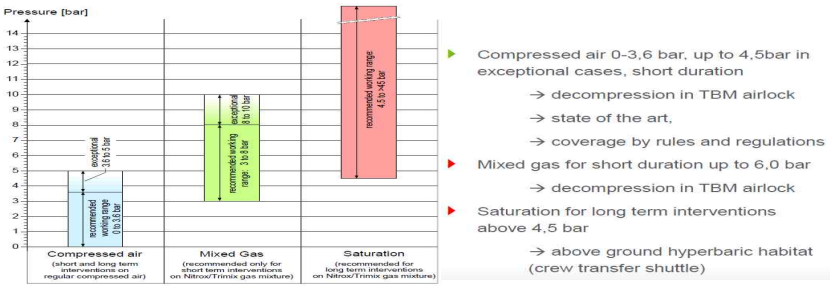



<그림 Ⅴ-12> 콘 인장 시험(독일, 아헨 대학)




<그림 Ⅴ-13> Clogging 평가를 위한 지반분류

◉ 기술 선진국의 경우, 아래와 같이 작용하는 압력에 따라 TBM 커터 교체 방법을 제안하고 있음




<그림 Ⅴ-14> 압력조건에 따른 Hyperbaric Cutterhead Intervention 타입

◉ 고수압 조건하에서 작업을 가능하게 하는 특수장비 및 터널기술 발전으로 인해 1990년대 중반 이후부터 하·해저 하부 고수압 조건에서의 대형 터널공사들이 증가

- 미국 Lake Mead Intake 터널은 17bar의 고수압 조건하에서 터널건설을 완료

- 국내 건설사의 경우 SK건설이 Joint-venture로 참여한 최대 수압 10bar의 터키 보스포러스 해저터널 공사가 있음

◉ 새로 개발된 커터 교체 방법 : Accessible Cutterhead

- 독일 Herrenknecht사에서 개발한 고수압 조건에서도 챔버 안에서 대기압 조건으로 커터헤드 인터벤션을 가능하게 해주는 커터헤드 기술

- 독일의 Elbe River 터널에서 최초로 도입되어 이후 점진적으로 발전되고 있는 기술이며, 최근에 완공된 10 bar 조건의 터키 보스포러스 해협의 유라시아 터널에도 적용되었음




<그림 Ⅴ-15> Accessible Cutterhead 작업 전경

## (나) 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

<표 Ⅴ 3> 세계 선도기술 보유주체 현황

| 기관명 | 주요 내용 |
|---|---|
| Amberg Technolgoy(독일) | • TSP(Tunel Seismic Prediction)장비 최초개발<br>• TBM 장비사(Herrenknecht)와 공동으로 전방조사 장치 개발진행 |
| RUB(독일) | • Clogging 평가를 위한 지반분류표 개발<br>• Clogging potential 평가를 위한 시험법 개발 |
| RearWear (미국) | • 영상인식과 AR 기술을 활용한 안전점검 기술<br>• 영상,Tablet PC, Smart Glass를 통한 가시화 기술 개발<br>• AI를 통한 영상인식 기술 개발 |
| Crossrail (영국) | • BIM 모델 및 도면 공유 시스템<br>• BIM 연계의 공간정보 시스템<br>• BIM 연계의 문서와 자산정보 정보 공유 시스템 |
| Autodesk社(미국) | • 모든 SOC의 BIM 모델링이 가능한 통합된 시스템을 개발 및 지속적인 성능 개선을 하고 있음 |
| RealWear(미국) | • 관제시스템과 연결되어 있으며, 안전모에 설치 가능한 Tablet PC인 hmt-1을 개발하여, 주요 점검 위치를 주시하는 경우 필요한 정보를 Smart Glass를 통하여 시각화하며, 영상 통화 기능을 활용, Experienced Technicians(Mentors)가 공유된 영상과 음성을 확인하여 안전점검을 지원할 수 있는 기능을 개발하였음 |
| Herrenknecht(독일) | • 고수압 조건에서도 챔버 안에서 대기압 조건으로 커터헤드 인터벤션을 가능하게 해주는 커터헤드 기술 개발 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

<표 Ⅴ-4> 국내·외 관련 기술 특허 현황

| 특허번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR 1816632B1 | 3차원 레이저 스캐너를 이용한 해저터널 라이닝 변위 및 변상 자동측정장치 | 가희/ 대한민국 | • 3차원 레이저 스캐너를 이용한 정밀도와 신뢰도 향상 및 차량의 운행과 간섭 없이 3차원 레이저 스캐너를 이용한 해저터널 라이닝 변위와 변상 자동측정장치 기술 |
| KR 1934318B1 | 해저터널내 3차원 레이저 스캐너를 이용한 취득 스캔 데이터 처리기법 | 가희/ 대한민국 | • 레이저 스캐너에서 획득한 변위 및 변상 감지를 위한 스캔 데이터의 용량을 최소화하여 원격지의 통합운영시스템에 효율적으로 송신할 수 있는 처리기술 |
| KR 1659779B1 | 3차원 지리 공간 시스템에서의 3차원 도면 구축 방법 | 이지스/ 대한민국 | • 기구축된 3차원 구조물에서 특정한 지형 높이에서의 단면을 이용하여 별도의 프로그램이나 외부 윈도우 없이 실내 공간 정보의 3차원 도면 데이터를 제작할 수 있으며, 권리 객체에 대한 권리 관계 증명을 3차원 지도상에서 바로 확인할 수 있는 기술 |
| KR 1439929B1 | 로봇의 삼차원 시뮬레이션 방법 및 시스템 | 장성환/ 대한민국 | • 나노 링크 객체와 조인트 객체의 물성값을 통한 로봇 설계와 적용될 물성치의 수용 범위 결정 및 사용자 임의의 로봇 3D 시뮬레이션 방법과 시스템 기술 |
| KR 1646969B1 | 해저터널 리스크 관리를 위한 통신시스템 | 엔텍에프텍/ 대한민국 | • 해저터널의 굴착 현장에서의 각종 정보를 지상으로 전송하여 리스크 관리할 수 있도록 하는 해저터널 리스크 관리를 위한 통신시스템 기술 |
| US 8929176 | Building a three-dimensional model of an underwater structure | Lockheed Martinoration/ 미국 | • 수중 음파 탐지기(sonar wave)를 이용 수집된 데이터를 이용 수중 구조물의 3차원 모델을 구축을 할 수 있는 스캐닝 및 시스템 기술 |
| US 9229108 | Underwater platform with LIDAR and related methods | Lockheed Martinoration/ 미국 | • AUV, ROV 또는 삼각대와 같은 수중 플랫폼에 장착된 3D 레이저를 이용하여 구축된 3D 가상 모델을 통해 해저 및 다른 수중 구조물에 대한 자율 수중 검사를 수행할 수 있는 시스템 기술 |
| US 6985929 | Distributed object-oriented geospatial information distribution system and method thereof | America as represented by the Secretary of the Navy/미국 | • 웹기반 기술을 바탕으로 CORBA (Common Object Request Broker Architecture)를 통해 통합 환경에서 구현되는 객체 지향 지리 정보 데이터베이스의 지리 공간 데이터 제공 기술 |
| US8540460 | System for supplemental tensioning for enhanced platform design and related methods | Vetco Gray/ 미국 | • 해저 계류 장비와 부유 구조물 사이에서 연장되는 복수의 라이저 상에 선택된 장력 범위를 유지하는 라이저 관리 시스템, 장치 및 방법에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술수준 분석

■ (기술수준) BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 기술수준은 최고 기술국인 미국 대비 71.0%(추격그룹[18]) 수준으로 주요 5개국 중 4위

◉ 최고기술국인 유럽(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 미국(96.3%) > 일본(91.7%) > 한국(75.5%) > 중국(75.3%) 순으로 나타남

* 미국과 일본은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 기술 對최고기술국(유럽) 기술격차는 4.1년으로 유럽에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국과 동일한 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對유럽 4.1년, 對미국 3.7년, 對일본 2.7년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-5> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A1)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 75.5 | 4.1 |
| 미국 | 선도 | 96.3 | 0.4 |
| 일본 | 선도 | 91.7 | 1.4 |
| 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 중국 | 추격 | 75.3 | 4.2 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 연구개발 기반 취약인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-6> 기술격차 요인(A1)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ◎ | • | | ○ | |

18) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

(기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 도입기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

**<표 Ⅴ-7> 기술 발전단계 평가결과(A1)**

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | | 국외 |
| | | 도입기 | | 성숙기 |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

(기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 독창적 부분이 많으나 모방 가능성 있음

**<표 Ⅴ-8> 기술적 수준 평가결과(A1)**

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 독창적 부분 많음 |
| | 모방 난이도 | 모방 가능성 있음 |
| | 파급성 | 해당기술 응용성 큼 |

(기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 과다이며, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건및 지원 인프라는 보통 수준임

**<표 Ⅴ-9> 기술경쟁력 수준 평가결과(A1)**

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 과다 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 보통이상 인프라 수준, 지원 인프라 보통 |

(기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)은 높은 것으로 조사

**<표 Ⅴ-10> 기술영향력 평가결과(A1)**

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 높음 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

<표 Ⅴ-11> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 (As-is) | 개발 방향 (To-be) |
|---|---|---|
| BIM기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발 | • 터널구조물 시공시 발생 가능한 리스크의 정량적 분석 및 연계 기술이 부족함<br>• 기존 BIM 기술은 구조물 중심의 모델링을 수행하여 지반구조물 모델링에 한계가 있음<br>• 현재 설계자동화(노선, 도면, 수량), 해저지반파악 분야의 BIM기반 기술이 독자적인 모듈로 개발되어 있음 | • 지반정보, 수리정보 등 해저터널에 및 인공섬 설계에 필수적인 정보 반영이 가능한 모델링 기술 개발이 필요함<br>• 시공시 발생 가능한 리스크 정보와 BIM 연계를 통한 실시간 시공 리스크 분석 기술 개발이 시급함<br>• 안정성평가, 공정계획, 유지관리 분야의 BIM 기반 기술을 추가로 개발하여 하나의 시스템으로 통합할 수 있는 연구가 필요함 |
| | • BIM의 설계단계에서의 활용에만 초점이 맞추어져 있음<br>• BIM 설계 데이터와 시공중 데이터간의 상호 연동을 통한 안전관리, 시공관리가 미흡함 | • BIM, AI, AR을 활용한 BIM 설계 데이터와 시공 중 데이터의 맵핑을 통한 안전관리, 시공관리기술 개발이 요구됨 |
| TBM 터널 굴진효율 증대 기술 | • TBM 장비 제작 주문시 사전 반영으로 가격 상승의 요인이 됨<br>• 물리탐사적 해석 방법에 의해서는 분석의 난이도가 높고 전방조사의 예측 정확도가 낮은 한계가 있음 | • 모두 TBM에 부착가능한 장치 개발 필요<br>• TBM 운영시 각종 정보를 이용한 딥러닝 분석을 통해 전방 지반에 대한 예측 정확도 향상 가능<br>• TBM 굴진시 발생문제를 사전에 예측하여 굴진 효율 최대화 필요 |
| | • TBM 장비의 굴진성능을 저해하는 clogging risk 평가에 대한 국내연구는 수행되지 않았음<br>• Clogging risk 최소화를 위한 첨가제 주입관리 기술이 부재함 | • Clogging risk를 평가할 수 있는 지수 및 시험기법 개발 필요<br>• Clogging risk의 예측기법의 표준화 필요 |
| | • 국내의 독자적 커터 교체기술이 부재함으로, 외국 설계사에 의존하여 고비용 커터교체 비용이 발생하는 실정임 | • 국내의 자체 거터교체 기술 개발이 시급함<br>• 고수압하에서 커터 교체 시스템 개발 필요 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 기존 BIM 설계에서 구조물을 3D로 모델링하는 것을 넘어서 해저터널 및 인공섬의 설계에 필수적인 지반조건, 수압조건, 지형조건 등의 지반공학적인 정보의 구현, 3D BIM 객체의 구조 안전 해석 기능, 터널 설계의 자동화 기능, 실시간 공정관리 기능 등이 가능한 BIM 설계·시공 통합 플랫폼 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 지반 및 구조물 정보 연동 기술 개발

◉ 해저터널·인공섬 BIM 라이브러리 개발

◉ 설계 자동화 프로그램 개발

◉ BIM 객체 및 구조해석 연동 기술 개발

◉ 시공 시뮬레이션 및 실시간 공정관리 기술 개발

■ (개발목표) 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-12> 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널·인공섬 BIM 모델링 기술 개발 | 해저터널·인공섬 BIM 라이브러리 개발 | 육상터널용 | 육상터널용 | 해저터널·인공섬용 BIM 라이브러리 구축 |
| | 설계 자동화 프로그램 개발 | 육상터널 프로그램 | 육상터널 프로그램 | 설계 자동화 프로그램 1건 이상 |
| 시공 중 BIM 리스크 연계 기술 개발 | BIM 객체 및 구조해석 연동기술 | 없음 | 교량 등 제한적인 기술 | 구조적 안정성 평가 방안 제시 |
| | 시공 시뮬레이션 및 실시간 공정관리 기술 개발 | 육상터널용 | 육상터널용 | 실시간 공정관리 방안 제시 |

## (나) BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

- 설계정보가 들어있는 BIM과 증강현실 기술을 접목하여 실시간으로 설계 자료를 시공 자료와 맵핑하여 시공효율 증대 및 안전사고를 예방을 할 수 있는 BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

- BIM 중 실시간 현재 시공단계 설계자료 추출 알고리즘 및 프로그램 개발
- 현장 정보 취득 및 모니터링이 가능한 FPV 타입 시스템 개발
- 시공정보와 설계 정보 맵핑을 통한 리스크 관리 프로그램 개발
- 현장-BIM 데이터 호환을 위한 로컬네트워크 장비 개발
- 1인칭 관점 데이터 추출을 위한 시스템 개발
- 테스트베드 구축 및 운영

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-13> BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 실시간 시공정보 데이터 취득 및 가시화 시스템 개발 | 데이터비교 딜레이 시간 | - | 10sec | 10sec 이하 |
| | 무선통신 로컬네트워크 장비 통신속도 | 20Mbps | 50Mbps | 50Mbps 이상 |
| | 1인칭 데이터추출 시스템 위치정확도 | 2m 이하 | 1m이하 | 1m 이하 |
| | 데이터추출 각도 오차 | - | - | 3% 이하 |
| BIM 기반 실시간 리스크관리 프로그램 개발 | BIM 설계정보와 시공정보의 맵핑 정확도 | - | 80% | 90% 이상 |
| | AI 객체인식 개수 | - | 5개 이상 | 5개 이상 |

## (다) BIG DATA 기반 TBM터널 전방조사 및 예측 시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

- 굴착면 전방의 지반조건을 예측하기 어려운 TBM터널에서 시공성을 저해하지 않고 TBM 자체 굴착진동과 제반 수집정보를 이용하여 굴착면 전방을 조사/예측하여 굴착효율 및 안전성을 증가시키고 공사비용을 절감하는 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

- 기존 TBM 터널용 굴착면 전방조사기법 분석을 통한 최적 적용 가능한 탐사법 선정 및 TBM 장착 표준화
- TBM에 적합한 전기비저항 전극 설치 방법 및 해석기법 개발
- TBM 자체 굴착진동을 탄성파 source로 한 탄성파 해석 알고리즘 개발
- 전기비저항 및 굴착진동반사탄성파 탐사법을 이용한 굴착면 전방 지질예측기법 개발
- TBM 굴진시 발생하는 제반 취득 data(추진력, 회전력, 반력 등)를 이용한 터널 굴착면 및 전방 상태 평가
- TBM 굴진정보(굴착시발생하는 정보와 막장압력, 챔버압력, 이수압력 및 상태, 디스크커터의 상태등)의 빅데이타 분석 및 AI 기법을 이용한 굴착면 전방 예측 기술 개발
- TBM 인공지능 최적 굴진시스템 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-14> BIG DATA 기반 TBM터널 전방조사 및 예측 시스템 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| TBM 장착형 전방탐사장비 최적화 기술 | TBM 장착 용이성 | 없음 | 없음 | TBM 장착 가능한 시작품 1건 이상 |
| | 굴착진동을 이용한 전방탐사법 | 없음 | 연구진행중 | 전방탐사 방법(안) 제시 |
| TBM 굴진정보를 이용한 전방예측기술 | TBM 굴진시 발생하는 data를 이용한 지반조사법 개발 | 없음 | 없음 | 지반조사 방법(안) 제시 |
| | 빅데이타 분석을 통한 최적 굴진시스템 | 없음 | TBM 운전시 반영 | 최적 굴진시스템 1건 이상 |

## (라) 쉴드 TBM 공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 쉴드 TBM 굴진 중 Cutting tools 및 Cutter head, 배토 장비 등에 Clogging이 발생하게 되는 경우 굴진성능의 저하는 장비 손실을 초래하므로, 굴착대상 지반의 잠재 Clogging 리스크 파악하고, 이를 통해 리스크를 최소화할 수 있도록 첨가제 주입관리 방안 및 이수 품질 관리방안 제시

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ Clogging risk 예측 기법의 표준화

◉ 지반 잠재 Clogging risk 평가를 위한 실험 기법 개발

◉ Clogging 최소화를 위한 토압식 쉴드 TBM의 첨가제 주입 관리 기법 개발

◉ Clogging 방지를 위한 슬러리 TBM의 슬러리 품질 관리 기법 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-15> 쉴드 TBM 공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| Clogging Risk 평가 기술 | 시험장비 개발 | 없음 | 없음 | 시험장비 1건 이상 |
| | Risk 평가기법 | 없음 | 없음 | Risk 평가방법(안) 제시 |
| | 첨가제 관리 가이드라인 | 없음 | 없음 | 첨가제 관리 가이드라인 1건 이상 |
| | 슬러리 품질관리 가이드라인 | 없음 | 없음 | 슬러리 품질관리 가이드라인 1건 이상 |

## (마) 고수압하에서 저비용 TBM 커터 교체 기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널의 특수상황인 고수압 하에서 TBM 커터를 교체하는 기술은 국내에서는 노하우 부족으로 외국 기술의 의존하고 있는 실정이므로, 선진 외국의 다양한 기술을 검토하여 작용 수압 정도에 따른 최적의 커터교체 장비 및 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해외의 고수압하에서 커터 교체 기술 검토

◉ 수압 크기에 따른 최적의 커터 교체 방식 결정

◉ 저수압-중수압 하에서 커터 교체 시스템 개발

◉ 고수압하에서 커터 교체의 문제점 분석

◉ 고수압하에서 커터 교체 장비 및 시스템 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-16> 고수압하에서 저비용 TBM 커터 교체 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 고수압하에서 커터 교체 장비 및 시스템 개발 | 고수압에서 커터 교체 기술 | 없음 | 12bar | 교체기술 적용가능 수압 15bar 이상 |

## (3) 구성기술 확보전략

<표 Ⅴ-17> 핵심기술 확보 전략

| 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| BIM기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발 | BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발 | ◐ | ● | ● | ◐ | | |
| TBM 터널 굴진효율 증대 기술 | BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발 | ◐ | ● | ● | ○ | ○ | |
| | 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 | | ◐ | ● | | | |
| | 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 | ● | ◐ | ○ | ○ | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (4) 파급효과

### (가) 시장경제적 기대효과

- BIM 플랫폼을 구현하면 운영 효율성 향상과 함께 간접비를 줄일 수 있음으며, 부가가치가 높은 PMC(Project management consulting), FEED(Front-end engineering design) 등 영역 진출 가능
- 해외의 신규 인프라 발주물량이 BIM기반으로 변화되므로 신속하게 BIM 기술력을 확보하여 시장 선점의 기회를 확보가 가능
- 최근 해외대형공사는 설계/시공 일괄입찰 방식으로 전환되고 있으며, 설계단계에서의 사전 검증과 시공단계에서의 공정·자재·품질·안전관리가 가능한 BIM 관련 기술의 개발을 통한 경쟁력 확보는 해외 건설분야에서 고부가가치 분야인 계획분야로의 시장확대로 이어져 전반적인 해외건설 매출증대에 이바지할 것으로 예상됨
- 해외에서는 BIM 플랫폼 산업의 성장가능성 및 첨단 IT기술(사물인터넷 등)과 융합을 통한 무한한 확장성을 예상하고 대규모 투자를 실시하고 있는 반면, 국내에서는 투자규모가 미미한 실정이므로, 본 연구를 통해 기술 개발을 위한 지속적인

투자가 이루어진다면 많은 신시장 창출이 가능할 것으로 예상됨

- 본 기술 개발은 기획/설계/시공/유지관리가 포함된 BIM 통합플랫폼 기술로서, 기술개발 시 해외 BIM S/W 기술 수준을 넘어서는 선도 기술로서 해외 수출이 가능

### (나) 과학기술적 기대효과

- 국내 건설산업은 시장의 축소와 경쟁 심화, 글로벌 건설시장에서의 경쟁력 해결을 위한 건설분야의 선진화 방안을 마련할 필요가 있으므로, BIM을 활용한 혁신 기술은 건설산업의 위상을 제고하고 새로운 고부가가치 시장 창출에 기여 할 수 있음
- 본 기술 개발을 통하여, 지반예측, 설계기간 최적화, 3차원 시각화를 통한 복잡, 대형프로젝트 설계오류 최소화 및 물량산출 정확도 향상, 실시간 공정계획 변경 및 유지관리 향상 등이 이루어 진다면 세계 설계기술 선도 가능

### (다) 사회문화적 기대효과

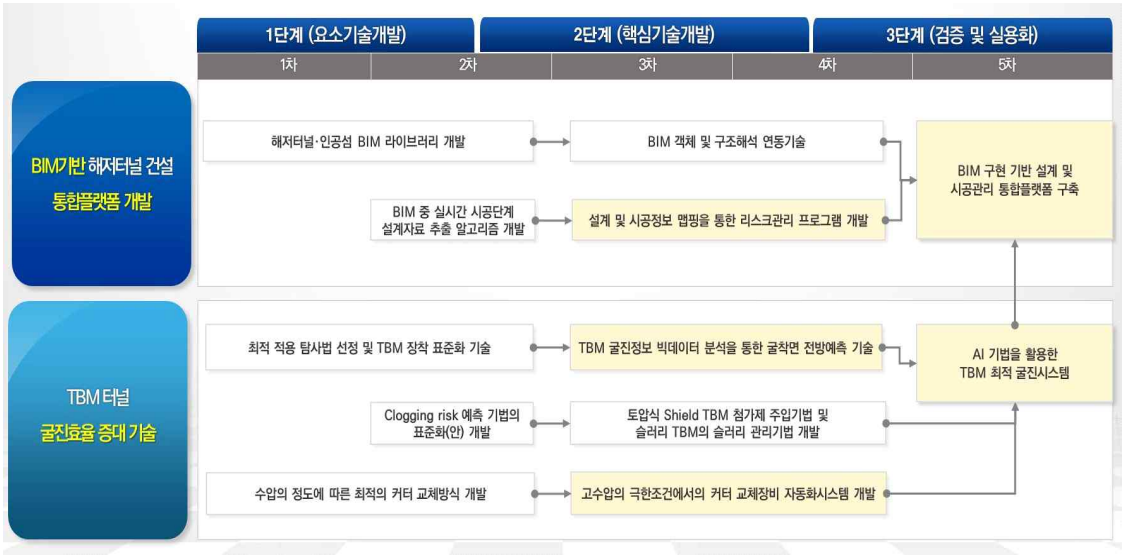
- 건설노동 및 저가의 가성비 중심의 건설산업에 대한 국민인식에 대하여 IT 산업과 융합 및 BIM 기반의 플랫폼 활용을 통한 고부가가치의 첨단산업으로의 인식전환 가능하며, 건설 생애주기 전과정에 대한 정보화 및 인적, 물적, 시간적 전단계에 걸친 투명도 관리 가능으로 산업 투명성 확보가 가능함

## (5) 수행 기술 로드맵

■ 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음

- 핵심기술 1은 “BIM기반 해저터널 건설 통합플랫폼 개발”로서 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술과 BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발을 목표로 하고 있으며, 핵심기술 1의 세부기술들과 연계하여 통합플랫폼 구축을 추진할 예정임

- 핵심기술 2는 “TBM 터널 굴진효율 증대 기술”로서 BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템, 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가, 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 개발된 세부기술들은 핵심기술 2와 연계하여 추진할 예정임




**<그림 Ⅴ-16> BIM 플랫폼 기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축_수행 기술 로드맵**

## (6) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

<표 Ⅴ-18> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 16.1 | 22.4 | 21.6 | 14.4 | 12.4 | 86.9 |
| 민간 부담금 | 현금 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 2.9 |
| | 현물 | 4.8 | 6.6 | 6.4 | 4.3 | 3.7 | 25.8 |
| 합계 | | 21.5 | 29.7 | 28.7 | 19.1 | 16.5 | 115.5 |

<표 Ⅴ-19> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 19.1 | 26.3 | 25.4 | 16.9 | 14.6 | 102.4 |
| | 인건비 | 11.7 | 15.9 | 15.3 | 10.7 | 9.0 | 62.6 |
| | 연구장비. 재료비 | 1.9 | 2.9 | 2.8 | 1.6 | 1.5 | 10.6 |
| | 연구활동비 | 2.5 | 3.3 | 3.2 | 1.9 | 1.9 | 12.8 |
| | 연구과제추진비 | 1.8 | 2.6 | 2.5 | 1.6 | 1.3 | 9.8 |
| | 연구수당 | 1.2 | 1.7 | 1.6 | 1.1 | 0.9 | 6.5 |
| 간접비 | | 2.4 | 3.4 | 3.3 | 2.2 | 1.9 | 13.1 |
| 합 계 | | 21.5 | 29.7 | 28.7 | 19.1 | 16.5 | 115.5 |

## (나) 소요 인력

■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-20> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 11 | 14 | 13 | 10 | 8 | 56 |
| 석사급 | 21 | 28 | 27 | 19 | 17 | 112 |
| 학사급 | 21 | 31 | 31 | 20 | 16 | 119 |
| 합계 | 53 | 73 | 71 | 49 | 41 | 287 |

# 2. 해저터널 시공기술 고도화

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

- 해저터널 건설과 관련된 메가 프로젝트들이 진행됨에 따라 해외 기술선도 엔지니어링 그룹들은 다양한 분야의 기술을 지속적으로 발전시키고 있으며, 국내에서도 국가 R&D를 통하여 기술자립을 목표로 연구가 수행중에 있음
  - 베링해협(200조원), 대만해협(1조 1440억위안), 지브롤터해협, 라오뚱 연결해저터널 등 대규모 프로젝트가 계획 중으로 지속적인 해저터널 건설시장의 성장이 예상됨
  - 해외 선진 엔지니어링 기업들(AURP, PB 등)은 보스포러스, 지브롤터 등의 과업을 통하여 시장을 확대 중에 있으며, 다양한 분야의 해저터널 설계기술을 지속적으로 발전시키고 있음
  - 국토교통R&D 연구단 사업인 'TBM 핵심 부품·설계기술 및 TBM터널의 최적 건설기술('10년~'15년)'에서는 TBM에서 실제 지반을 굴착하며 TBM의 굴착성능을 좌우하는 가장 중요한 커터헤드의 설계·제작기술을 세계에서 7번째로 독자적으로 개발하는데 성공하였으나, 외국산 TBM을 재활용하는데 국한되어 있음
  - 또한, 가장 최근에 수행된 국토교통R&D 연구단 사업인 '해저터널 건설기술 자립화('13년~'18년)'에서는 대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 해저지반 지하에 건설되는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수압 20bar 이상)을 받는 해저터널 건설에 필요한 지질조사, 설계 및 시공, 방재 및 유지관리 등을 망라하는 핵심 설계 및 시공관련 요소기술을 확보하였음
- 초장대 해저터널 건설을 위해서는 TBM 적용이 필수적이며, 국내외적으로 TBM의 수요는 지속적으로 증가하고 있으나 TBM 관련 기술력이 부족한 실정임
  - TBM은 다수의 디스크 커터를 전면에 장착한 커터헤드를 회전시켜 지반을 굴착하는 터널 굴착기로서, 발파 굴착에 의존해온 터널 시공공법에 비해 친환경적이고 고속시공이 가능하여 장대터널이나 도심지 통과시 적용성이 높음
  - 2009~2014년 기간 동안 전 세계 TBM 수요는 158%의 큰 증가율을 나타내었으며, 중국은 전 세계 TBM 시장의 38.62%를 차지하고 있으며, 향후 2015년~2020년 기간 동안 전 세계 TBM 생산량과 생산가능량은 각각 33% 및 49% 증가가 예상됨 (QYResearch, 2015)
  - 유럽이 전 세계 TBM장비 및 TBM터널 건설기술을 주도하고 있는 상황임에도

불구하고 유럽에서는 EU공동프로젝트인 TUNCONSTRUCT('04~'08) 프로젝트 등을 통해 TBM 커터헤드 설계기술 선진화, 고성능 디스크커터, 고성능 세그먼트 등의 기술발전에 더욱 박차를 가하고 있음

- 세계 최다의 TBM 제작 실적을 보유한 일본은 지난 20년간 자국에서만 3,000개에 달하는 TBM터널 공사발주를 통해 TBM기술 발전이 이루어졌고, 지속적인 발주를 통해 TBM터널의 공사비를 합리적으로 절감하는 방안을 마련하고 있음
- 세계 최대의 TBM 시장으로 급부상한 중국은 '국가 863 계획사업(16개 중대 장비 기술 사업 중 TBM 사업 포함)' 지원 하에 외국 기업들의 인수합병(미국 Robbins, 독일 Wirth, 프랑스 NFM, 이탈리아 SELI 등)과 연구개발을 통해 TBM 자체 기술 확보에 성공하였음
- 이로 인해 세계 최고 기술력을 보유하고 있는 독일 Herrenknecht의 매출은 지속적으로 증가하고 있으나, 중국 제작사인 CRCHI, CRTE, NHI 등의 급격한 성장으로 인해 Herrenknecht의 세계 시장 점유율은 감소 추세임
- 우리나라는 TBM 설계·제작을 외국에 전적으로 의존하고 있어, TBM 관련 기술력이 부족하며 TBM 활용 실적이 저조하며, 특히, 높은 외국 의존도로 인해 수입 시 물류비용 발생, 제작사에 의한 가격 결정 주도 등 경쟁 공법인 NATM에 비해 경제성이 상대적으로 떨어지는 문제가 발생됨
- 해저터널은 육상터널 조건과는 다른 고수압, 초장대의 극한조건으로 이에 대한 기술적 해결이 필수 조건임
- 해저터널은 대륙간, 연육간을 연결함으로서, 수심 20bar의 고수압 작용에 저항하는 고성능 세그먼트라이닝 기술이나 라이닝 연결부 누수방지 기술, 시공시 막장면 수압저감기술 등이 선결되어야 하며, 50km 이상의 초장대에 따른, 환기/방재기술, 효율적 유지관리기술 등이 필요
- 세그먼트 라이닝은 강철 또는 콘크리트와 같은 전통적인 재료로 만들어 질 경우 구조물 규모가 커짐에 따른 제작, 이동, 설치 등에 불리하므로 탄소섬유(Carbom fiber) 등 다양한 재료의 적용성이 연구되고 있으나, 실용화하기 까지는 아직까지 추가적인 연구가 필요한 상태임
- 고수압 조건의 가스켓 지적 재산권은 현재 유럽 업체를 중심으로 이루어져 있으나 대부분이 특허 기간이 만료 된 상태

  - 독일 Datwyler는 이미 최대 15Bar 조건의 EPDM Gasket을 개발 및 적용
  - 향후, 중국, 중동, 인도, 동남아시아 등을 중심으로 철도 및 도로 등의 TBM 터널의 세그먼트 방수를 위해 EPDM Gasket의 폭발적인 수요가 예상되며, 터널의 시공 안정성 및 경제성을 위해 Anchor Type EPDM Gasket으로 시장 변화가

이루어지고 있는 실정임

- 시공시 갱내 해수유입 방지나, 장거리 굴진시 커터교체를 위한 막장면 차수 및 안정화기술은 다양한 막장면 그라우팅 기술 등이 개발되고 지속적으로 연구되고 있으며, 기존의 일반적인 차수 및 보강공법의 대안으로 지반 동결공법에 대한 연구 및 적용사례가 증가하는 추세

  - 특히 유럽과 일본 등 쉴드터널 선진국에서는 터널의 접속부의 안정성을 확보하기 위하여 동결공법을 적용하고 해저터널을 시공한 경험을 다수 보유하고 있음

- 대규모의 국외 해저터널 사업에 국내 유수의 기업들이 시공 및 설계 부분에서 진출하려고 노력하고 있으나, 국내 기업의 해외사업화 실적이 매우 드물고, 보스포러스 해저터널 등 국내기술로 완공된 해저터널의 경우에도 대부분 유럽 및 미국에서 제작된 장비가 사용되고 있음

  - 또한, TBM은 기술집약적 건설장비로서 관련 핵심기술은 극소수의 제작사별로 비공개 보유하고 있기 때문에 시장진입 장벽이 높은 과점시장 형태를 보임

- 따라서, 해저터널시공기술 고도화를 통한 기술선점 없이는 해외건설 수주가 어려우며 수주시에도 핵심되는 고부가가치 기술은 해외기술을 사용함에 따라 수익성이 저하되며, 나아가 해외기술에 종속될 가능성이 있음

## (2) 기술개발의 필요성

■ 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술

- 대심도 해저터널에서의 지하수 유출은 고수압 및 밀폐조건이라는 시공여건으로 인하여 치명적인 인명피해 및 경제적 손실을 야기할 수 있으므로 확실한 지하수 차수 및 지반 보강방안이 필요

  - 그러나 기존에 주로 이용되던 그라우팅 공법과 같은 일반적인 차수 및 보강공법은 대심도 해저지반에서는 고수압 조건으로 인해 신뢰성을 보장할 수 없는 실정

- TBM 터널에서 디스크 커터는 굴착에 의한 마모로 일정간격으로 TBM을 멈추고 교체함에 따라, 디스크 커터 교체시 막장면 안정을 위한 그라우팅기술이나 챔버의 압기 기술이 매우 중요

  - TBM 디스크 커터의 교체는 작업자의 수작업으로 이루어지므로 고수압 조건에서는 지하수의 유출로 인해 디스크 커터 교체에 과다한 시간이 소요되거나 압력으로 인해 작업자의 안전에 문제가 발생할 수 있으므로, TBM 전방굴착 지반의 차수를 수행하거나 압력을 저감할 수 있는 기술이 필요

- 현재 세계적으로 기존의 일반적인 차수 및 보강공법의 대안으로 지반 동결공법에

대한 연구 및 적용사례가 증가하는 추세

- 특히 유럽과 일본 등 쉴드터널 선진국에서는 터널의 접속부의 안정성을 확보하기 위하여 동결공법을 적용하여 해저터널을 시공한 경험을 다수 보유하고 있음

◉ 국내에서는 지반 동결공법의 자체적인 기술을 보유하지 않아 해외 해저터널 프로젝트의 수주 경쟁력이 떨어지는 실정

- 지반 동결공법에 대한 해외 선진기업과의 기술격차 해소 및 국가 경쟁력 확보를 위해서는 보다 경제적이고 신속한 동결방안과 간편하게 이용할 수 있는 동결시스템의 개발이 필요

◉ 해저지반에서 동결공법을 이용하는 경우에는 대부분 브라인(약 -40℃)의 냉매를 사용하는 실정

- 상대적으로 높은 온도를 가진 브라인 냉매는 2m/day 이상의 지하수 흐름이 존재하는 지반에서는 효율이 극단적으로 낮아져 지반동결에 소요되는 시간이 매우 증가하거나 목표 동결구근을 형성하지 못한다는 한계가 있음

◉ 액화질소 공법은 작업자 질식의 우려로 인하여 밀폐공간에서의 사용이 지양되나, 극저온(약 -196 ℃)의 냉매를 사용하므로 브라인 공법에 비해 동결효율이 매우 높으므로, 해저지반에서 사용가능한 동결공법의 동결효율을 높이기 위해서는 밀폐공간에서도 작업자의 질식을 유발하지 않는 극저온 냉매의 개발이 필요

- 또한, 현재까지의 동결공법은 원형의 동결구근을 형성하는 방법을 이용하여 불필요한 범위까지 지반 동결이 수행되므로, 동결공법에 소요되는 냉매를 크게 절약하기 위해서는 불필요한 동결범위를 축소하고 동결방향을 조절하는 기술개발이 필요함

◉ 최근에는 극저온냉매(액화질소)를 활용한 지반동결 후 저온냉매(브라인)을 활용한 지반 동결유지 기술이 연구되고 있으나 터널 내부에서는 액화질소의 사용이 지양되므로 관련 연구가 부족

- 아직 경제성 및 시공성이 검증되지 못한 실정이므로, 질식을 유발하지 않는 극저온 냉매의 개발과 극저온냉매-저온냉매의 복합 활용이 가능한 Portable 동결시스템의 개발은 동결공법에 대한 국가 경쟁력을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨

◉ 고수압하에서 커터교체를 위한 막장면 안정성 확보의 경우에는 막장면의 장기적인 안정성이 아닌 커터교체 기간에만 막장면의 안정성을 확보하면 됨

- 따라서, 일반적으로는 챔버 내부압력을 고압으로 유지하는 공법이 적용되고 있으나, 압력 수준이 높아질수록 작업이 매우 힘들고, 교체작업은 물론 감압작업에서도 시간이 많이 소모되는 단점이 있음

- 따라서, 초장대 해저터널 건설을 위해서는 쉴드 TBM 굴진 중에 면판에 설치되어 있는 디스크 커터를 가장 경제적이고 안전하게 교체해 주는 방법으로 저비용의 그라우팅 기술개발이 필요

■ 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술

- 해저터널 건설에서 세그먼트 라이닝이나 콘크리트 라이닝은 총공사비의 40~50%를 차지하며, 고수압을 지지하는 영구지보재로서 라이닝 성능의 향상을 통한 경제성, 안정성 확보기술은 매우 중요함

- 라이닝 성능 고도화를 위해서는 기존 철근 콘크리트재료 사용시 단점인 단면증대에 의한 heavy한 구조물 및 염해 등에 대한 저항성 부족을 해결할 수 있는 기술이 필요

  - 고수압 조건인 해저터널에서 세그먼트라이닝 접합부의 누수를 방지할 수 있는 기술개발이 시급

- 세그먼트라이닝의 경우 강섬유 등 인성확보가 가능한 재료를 사용하는 기술이 상용화되어 사용중에 있음

  - 국내에서 적용되는 세그먼트 재료는 100% 철근보강 콘크리트(RC)를 적용

  - 해외에서는 강섬유, PP 섬유 또는 탄소섬유등을 콘크리트에 혼입함으로서 콘크리트 인성을 증가시킴과 동시에 RC 세그먼트 대비 높은 내구성을 보유함

- 강섬유 보강(SFRC) 세그먼트의 경우 국내에서 사용 사례가 없지만 해외에서는 적용사례가 다수 있음에 따라 관련설계 및 시공기준이 정립되어 국내에서도 활용의 토대가 마련

  - 탄소섬유 보강(CFRC) 세그먼트의 경우 탄소섬유가 가지고 있는 높은 강성, 인장강도, 낮은 중량, 열팽창성, 내화학성 등으로 기존의 혼입 섬유와는 다른 특성을 보임

- 이러한 탄소섬유의 특성을 토목분야 콘크리트 재료에 적용하고자 하는 국내 연구는 해외의 유럽, 일본, 중국, 미국등에 비하여 미진

  - 최근의 국내 쉴드 TBM 터널은 고심도 해저터널 등 특수조건에서의 계획이 논의되는 사례가 앞으로도 진행될 조건이 다수 있음에 따라 세그먼트 관련된 국내 기술력 확보가 필요

- 이음부 누수기술의 경우, 쉴드와 세그먼트 사이의 gap과 다양한 하중조건에서 세그먼트라이닝에 가스켓 접촉오차와 균열이 발생하면 누수의 위험성과 내구성에 큰 문제가 발생할 수 있음

- 이에 반드시 위험도 분석이 선행되어야 하며, 고수압 상태에서의 세그먼트라이닝 이음부 방수능력 향상을 위한 고성능·고내구성 지수재 개발이 필요함

◉ 구조물 특성으로 인한 상대변위로 본선터널의 방수성능에 비해 상대적으로 균열과 누수의 발생 확률이 높은 수직구-터널 접속부의 차수기술과 지진시 발생변위를 적정하게 상쇄함과 동시에 차수성능을 발휘할 수 있는 수직구-터널 접속부 차수장치의 개발이 시급함

■ TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술

◉ Slurry TBM의 경우 Slurry Treatment Plant의 설비를 위한 넓은 부지가 필요하나, 도심지 시공시에는 대규모 부지의 확보의 어려움이 있으므로 Slurry Treatment Plant의 규모를 축소하기 위한 연구가 필요함

◉ Slurry TBM의 경우에는 터널의 연장이 길어질수록 중계 펌프의 수량과 용량이 증가하며 Slurry 이송을 위한 송니관 및 배니관의 연장 또한 길어짐으로 인하여 Slurry 이송관의 시공 및 유지관리에 많은 자원이 필요하므로, 송니관 및 배니관의 시공 및 유지관리 비용을 최소화하기 위한 연구가 필요함

◉ 국내의 경우 Slurry TBM의 이수처리를 위한 플랜트의 설계 및 제작기술을 보유하지 못하고 해외 업체의 기술에 의존하고 있는 실정

- TBM 터널에 대한 기술 경쟁력을 확보하기 위해서는 Slurry Treatment Plant의 자체기술 개발이 필요함

◉ 해외 업체의 경우 Slurry TBM의 Slurry Treatment Plant에 대한 기술을 선점하고 있으나, Slurry Treatment Plant의 소형화 및 TBM 장비 후단에서의 연결에 대한 기술은 아직 개발되지 않아, 본 기술은 Slurry Treatment Plant 분야에서 경쟁력을 확보할 수 있는 기술 분야임

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-17> 개술개발 내용

본 연구는 해저터널 시공기술을 고도화하기 위한 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술, 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술, TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술을 개발하는 것임

▷ 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발

▷ 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발

▷ 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발

▷ 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발

▷ 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발

▷ TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술 개발

<표 Ⅴ-21> 중점분야별 핵심 및 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 해저터널 시공기술 고도화 | 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술 | • 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발<br>• 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 |
| | 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 | • 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발<br>• 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발<br>• 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발 |
| | TBM 슬러리 처리 시스템 고도화 기술 | • Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 Slurry 처리 고도화 기술 개발 |

■ 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발

◉ 고수압하에서의 수압 저감 기술을 검토하여, TBM 굴진면 막장에 적용할 수 있는 저비용 그라우팅을 통한 수압 저감기술을 개발하기 위한 고수압하 저비용 그라우팅 장비 및 시스템을 개발하는 기술임

- 고수압하에서 적용가능한 저비용 그라우팅 장비 및 시스템 개발

■ 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발

◉ 초저온냉매(액화질소)와 저온냉매(브라인)을 활용하여 최적의 동결벽체를 형성할 수 있는 기술을 개발하여, TBM에 장착 후 굴착 전방면에 용출수를 동결하여 Cutterhead intervention에 사용 가능한 차량 탑재용 Portable 동결시스템을 개발하는 기술임

- 초저온 냉매와 저온 냉매의 복합활용이 가능한 동결시스템 개발

■ 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발

◉ 고수압이 작용하는 대심도 해저터널에 적용 가능한 강섬유, PP섬유, 탄소섬유로 보강한 하이브리드 세그먼트 및 내진 성능이 향상된 Seismic joint의 설계 및 시공기반을 마련하는 기술임

- 지진 및 고수압에 대응 가능한 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발

■ 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발

◉ 해저터널 세그먼트 라이닝 이음부 및 해상수직구와 본선터널 접속부의 방수 능력을 향상시키기 위한 최적의 고성능·고내구성 지수재 및 차수장치를 개발하는 기술임

- 세그먼트 라이닝 누수/내구성 위험도평가 및 사용한계상태에 따른 설계방안 제시

- 이음부 형식 및 가스켓 규격에 따른 최적 실링시스템 제시

■ 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발

◉ 해저터널의 일부 NATM 공법 적용을 위하여 다양한 혼합재료, 섬유, 보강재를 활용한 고성능 터널 콘크리트 라이닝 성능을 평가하여 해저터널 콘크리트 라이닝의 최적 배합을 도출하고 성능개선 방안을 수립하는 기술임

- 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 배합 설계 및 성능평가 방안 개발

■ Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 Slurry 처리 고도화 기술 개발

◉ 슬러리 TBM 후단의 본체에 장착하여 실시간으로 슬러리 처리 효율을 향상시킬 수 있는 소형 슬러리 처리 모듈의 개발 및 고도화 기술임

- TBM 본체에 장착 가능한 프터블 슬러리 처리효율 향상 시스템 개발

## (2) 기술개발 목표

■ 본 기술은 해저터널 시공기술 고도화를 위한 핵심 요소 기술인 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술, 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 및 TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술 개발을 목표로 함

〈표 Ⅴ-22〉 기술개발 목표

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 대심도·고수압 해저지반 연약층 안정화 기술 | • 쉴드 TBM 굴진면 막장에 적용 가능한 수압 저감기술을 개발하기 위한 저비용 그라우팅 장비 및 시스템 개발<br>• TBM에 장착하여 굴착 전병면의 용출수를 동결하여 cutterhead intervention에 사용 가능한 차량 탐재용 포터블 동결시스템 개발 | • 12 bar 이상의 고수압에서 시공 가능한 그라우팅 시스템 구축<br>• 방사방향 동결속도 15cm/day 이상, 유출냉매 목표 온도차 20% 미만의 Portable 동결시스템 개발 |
| 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 | • 고수압의 해저터널에 적용 가능한 강섬유, 탄소섬유로 보강된 하이브리드 세그먼트 및 내진성능이 우수한 seismic joint의 설계 및 시공기술 개발<br>• 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 및 해상수직구와 본선터널 접속부의 방수 성능 향상을 위한 고성능·고내구성 지수재 및 차수장치 개발<br>• 해저터널에 NATM 공법 적용시 다양한 혼합재료, 섬유, 보강재를 활용한 콘크리트 라이닝의 최적 배합을 도출하여 성능을 개선하는 기술 개발 | • 지진 대응이 가능한 해저터널용 seismic joint 설계(안) 제시<br>• 해상수직구 접속부 상대변위 100mm 이상 수용 가능한 차수장치 개발<br>• 압축강도 35MPa 이상, 내염해성 통과전하량 1,500 Coulomb 이하의 콘크리트 재료 기술 |
| TBM 슬러리 처리 시스템 고도화 기술 | • Slurry TBM 장비의 본체에 장착하여 슬러리 처리 효율을 향상시킬 수 있는 소형 슬러리 처리 모듈 기술 개발 | • 기존 슬러리처리 플랜트 대비 소형 슬러리 처리모듈 시스템의 효율 70% 이상 확보 |

# 다. 국내외 기술개발 동향

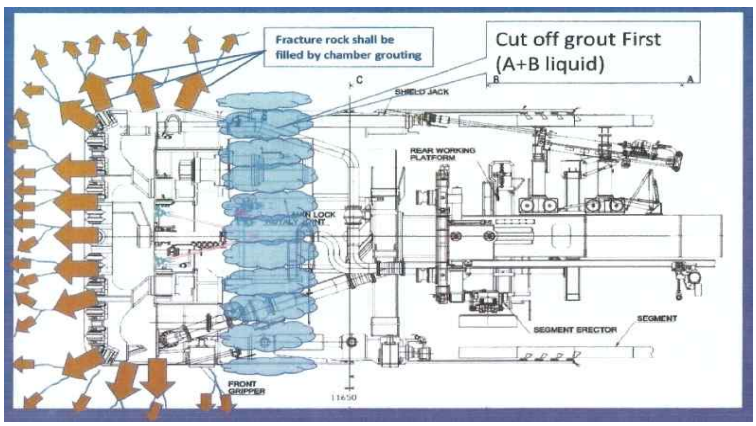
## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

#### 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술

- 저비용 그라우팅 기술은 챔버 내에 그라우트 약액을 주입하고 이를 쉴드 TBM 추력 및 토크를 사용하여 막장면 전방으로 침투하게 하여 수압 및 유입수를 저감시키는 기술

- 현재 쉴드 TBM 기술 선진국인 일본에서만 설계 및 시공이 가능하고, 다른 국가에서는 기술력 부족으로 직접 시공을 못하고 있는 실정

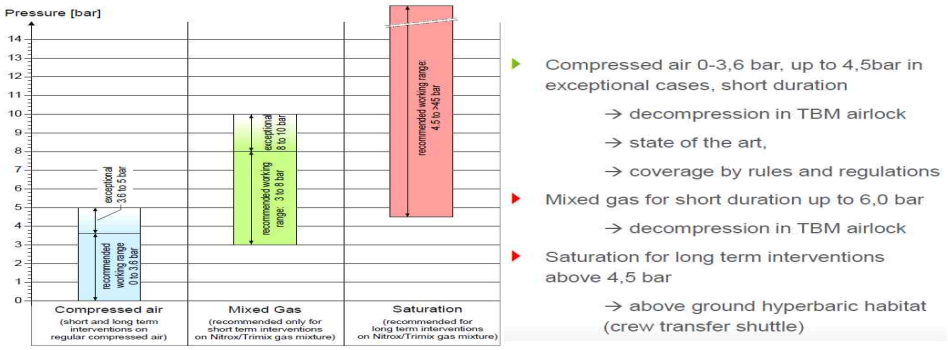



<그림 Ⅴ-18> 저비용 그라우팅의 개요도

- 본 연구는 쉴드 TBM 굴진 중에 면판에 설치되어 있는 디스크 커터를 가장 경제적이고 안전하게 교체해 주는 방법을 개발하는데 있으며, 저비용 그라우팅 기술이 성공된다면 챔버 내 대기압 건조 상태에서 작업자가 커터를 교체할 수 있게 되므로 커터 교체를 위한 충분한 작업시간의 확보는 물론 작업자의 안전을 보장하는 획기적이고 경제적인 기술임

- 기존에 적용되는 있는 커터 교체 방법을 고찰하여 보면, 커터 교체를 위한 전제조건은 ①장시간 작업이 가능하여야 하며, ②작업자의 안전을 보장하여야 하며, ③경제적이어야 하며, 그리고 ④고압 하에서도 적용이 가능한 공법이어야 하므로 현재까지는 이를 전부 만족하는 공법은 부재함

- 만약 본 기술이 개발되지 않는다면 압기와 같이 압력을 챔버 내에 작용시켜야 하며, 이는 상당한 건설비 증가를 초래함. 현재 해외에서 적용되고 있는 챔버 내 압력조건에 따른 커터 교체 기술을 정리하면 아래 그림과 같음



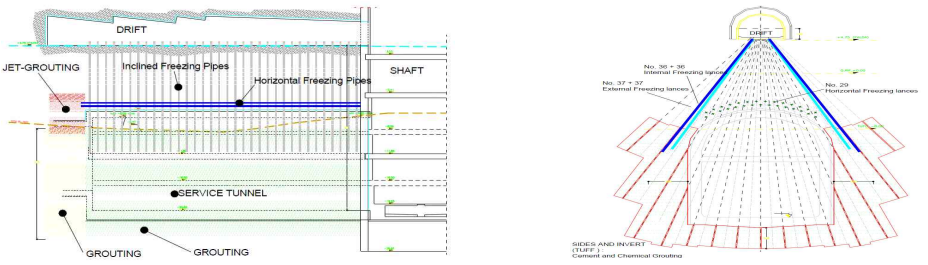

**<그림 Ⅴ-19> 챔버 내 압력조건에 따른 커터 교체 기술**

- 대심도 해저터널에서의 지하수 유출은 고수압 및 밀폐조건이라는 시공여건으로 인하여 치명적인 인명피해 및 경제적 손실을 야기할 수 있음

  - 이에 확실한 지하수 차수 및 지반 보강방안이 필요하나, 기존에 주로 이용되던 그라우팅 공법과 같은 일반적인 차수 및 보강공법은 대심도 해저지반에서는 고수압 조건으로 인해 신뢰성을 보장 할 수 없음

- 현재 세계적으로 기존의 일반적인 차수 및 보강공법의 대안으로 지반 동결공법에 대한 연구 및 적용사례가 증가하는 추세

  - 특히 유럽과 일본 등 쉴드터널 선진국에서는 터널의 접속부의 안정성을 확보하기 위하여 동결공법을 적용하고 해저터널을 시공한 경험을 다수 보유하고 있음



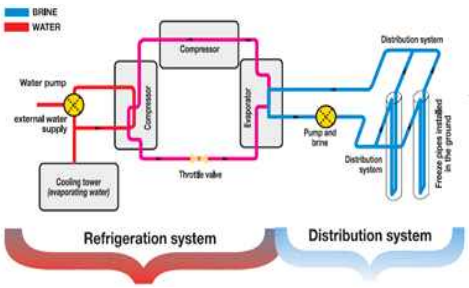

**<그림 Ⅴ-20> Napoli Tolendo Station의 Service tunnel에 적용된 동결공법 모식도**

- 이탈리아에서는 Tolendo station의 Service tunnel을 건설하기 위해 동결공법을 적용

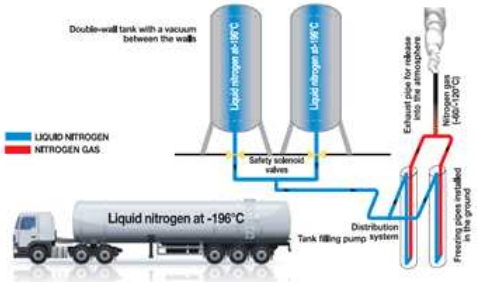
  - 굴착대상지반 상부 10m를 굴착한 횡갱과 수직구에서 수평 및 수직으로 동결관을 삽입 한 후 액화질소를 이용해 지반을 동결하였으며, 액화질소 활용시에는 기화된 질소를 대기중으로 배출

  - 또한, 지반 동결 이후 동결유지는 브라인을 이용해 밀폐된 시스템으로 수행

- 지반 동결공법은 냉매의 종류에 따라 크게 2가지 종류로, 브라인공법과 액화질소 공법으로 구분됨




<그림 Ⅴ-21> 브라인 공법




<그림 Ⅴ-22> 액화질소 공법

- 브라인 공법은 약 -40℃의 브라인(Brine)을 활용하여 지반을 동결시키는 공법으로, 냉매가 밀폐된 시스템에서 순환하기 때문에 냉매의 유출이 발생하지 않아 밀폐된 환경에서도 사용이 가능함

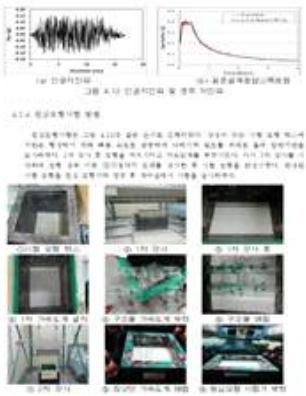
- 액화질소 공법은 약 -196 ℃의 액화질소(LN2)를 활용하여 지반을 동결시키는 공법으로, 액체상태의 질소가 지반과의 열교환 이후 기화되어 배출되어야 하므로 밀폐된 환경에서의 사용이 불가능함

- 따라서 굴착 대상 터널 내부에서 동결공법을 적용한 사례는 모두 브라인공법을 이용하고 있으며, 액화질소를 적용하는 경우에는 지표 또는 외부 구조물에서 동결관을 목표지점까지 삽입한 후 대상 터널 내부가 아닌 외부에서 동결을 수행하는 실정임

- 접속부의 차수 및 보강을 위해 터널 내부에서 동결공법을 적용한 사례는 존재하나, TBM 전방 지반의 차수를 위해 터널 내부에서 동결공법을 적용한 사례 및 연구는 전무한 실정임

■ 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술

- 현재 국내에서는 해저터널 1차 연구(고수압 조건 해저터널의 BIM기반 3차원 내진해석 및 설계시스템 구축, 한서대학교)에서 내진에 대한 기초연구가 진행되었으나국내 실정에 적용 및 설치 가능한 해저터널의 seismic joint에 대한 실용화 연구는 진행되지 않고 있음



해저터널 가동세그먼트에 대한 원심모형 실험



해저터널 가동세그먼트에 대한 3차원 내진해석

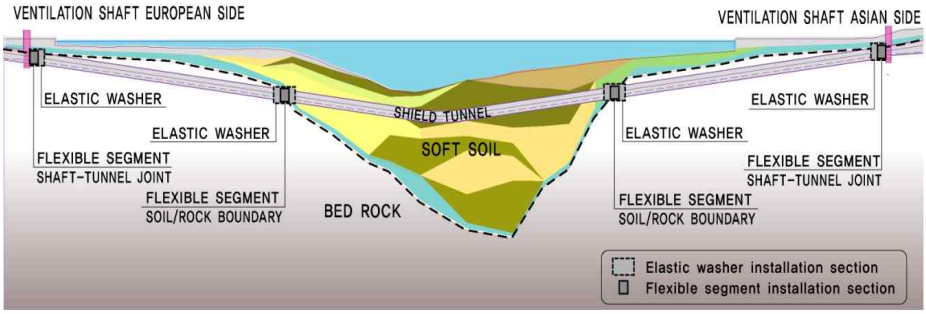



터널용 신축이음 구조물의 대한 특허 보유

<그림 Ⅴ-23> 해저터널 1차 연구(한서대학교)

- 터키는 규모 7이상의 강진이 발생하는 국가 중 하나이며 유라시아터널은 유럽대륙과 아시아대륙을 연결하는 터널로서, 지진발생으로 인해 터널의 안정성을 저하시킬 수 있는 원인이 됨

  - 따라서 터널 시공 중뿐만 아니라 운영기간 동안에도 규모 7.5이상의 강진에도 안전하도록 가동세그먼트와 Elastic washer를 이용해 내진성능을 향상시켰음




<그림 Ⅴ-24> 터키 유라시아터널 가동세그먼트 및 Elastic washer 설치현황

- 일본 동경만 아쿠아라인(Aqua-Line)은 지진 시 상대강성 차이에 의한 상대변위가 발생할 수 있는 구간에 가동세그먼트(Flexible segment)를 설치

  - 가동세그먼트의 변위 발생 허용범위는 수평방향으로 최대 6cm, 수직방향으로 최대 14~15cm이며, 지층 경계부 및 지층이 급변하는 곳에는 볼트와 세그먼트 사이에 섬유보강 고무제(Elastic washer)를 적용 하여 최대 5mm변형을 흡수할 수 있어 내진성능을 향상시켰음

- 현재 국내에서는 세그먼트 재료로서 RC 세그먼트가 100% 사용되며, 해외에서 사용되는 강섬유 또는 PP섬유 보강 세그먼트는 적용사례가 전무함

- 획일화된 세그먼트 재료의 다양화를 위하여 최근에 개정되는 터널시방서(건설기준 코드 KCS) 또는 터널 설계기준(건설기준 코드 KDS)에서 강섬유 보강 세그먼트에 대한 관련 기준을 추가함으로서 세그먼트 사용 재료의 다변화를 모색하고 있으며 강섬유 보강 콘크리트의 경우 국내 실무 적용이 가능한 상황임

- 탄소섬유는 고경량, 고인장강도, 고탄성, 내부식 특성이 요구되는 항공우주산업을 비롯하여, 자동차, 스포츠분야(골프, 낚싯대 등)에 이르기까지 다양하게 이용되어 온 석유화학 관련 제품으로써 인장강도가 강철의 10배 이상 되는 특성과 함께, 내구성·내화학성등이 우수함에 따라 토목, 건축 구조물의 보강재로 개발되고 있음

- CFRC(Carbon Fiber Reinforced Concrete)는 탄소섬유를 혼입한 콘크리트 복합 재료로서 굴곡강도는 콘크리트의 5~10배, 연신능력은 50~60배나 되는 특성을 가지고 있고 비중은 1.0 정도로 작은 재료이기 때문에 건설분야의 신재료로서 연구가 지속되고 있음

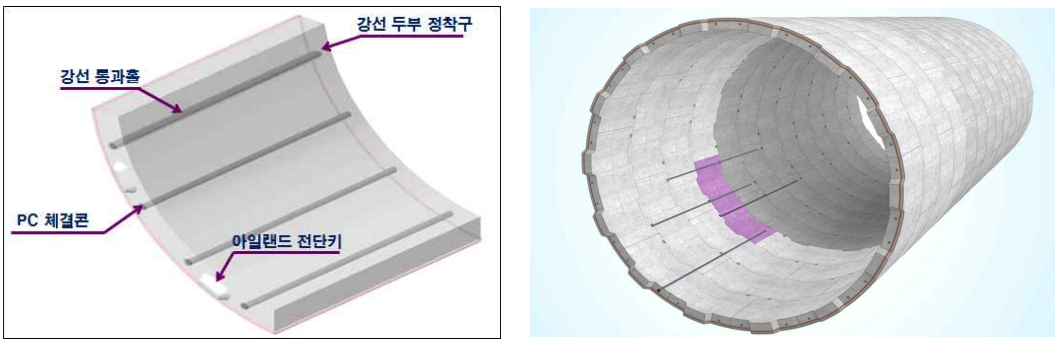
- 건설 분야에서 복합재료가 강철 또는 콘크리트와 같은 전통적인 자재로 만들어질 경우에는 경제성 확보가 어려울 정도로 구조물 규모가 커지고 특수조건의 건설사례가 증가

- 이에 우주·항공분야, 스포츠 분야에서 사용되어 왔던 탄소섬유(Carbom fiber)가 건설분야 재료에도 적용되기 시작한 것으로서 이를 건설 분야에서 실용화하기 까지는 아직까지 진보적인 연구가 필요한 상태임

- 터널 세그먼트라이닝의 차수 및 변위제어는 해저터널, 하저터널 등 지하 공간 모든 분야에 절실히 필요한 기술로서 향후 시장 규모도 비약적으로 증가할 전망

  - 주요 요소기술로는 세그먼트라이닝 이음부의 형식 및 지수재, 변위제어용 flexible joint 등이 있음

- 한국건설기술연구원과 도쿄지하철주식회사에서 볼트 체결 방식을 이용한 세그먼트 라이닝에서의 누수 문제점을 해결하기 위하여 강선 체결 조립방식, 자체 체결식 세그먼트, 슬라이드 락 조인트를 이용한 세그먼트 터널 라이닝 기술을 개발하였음




**<그림 Ⅴ-25> 전단키 세그먼트(좌) 및 강연선 체결 모식도(우)(한국건설기술연구원)**

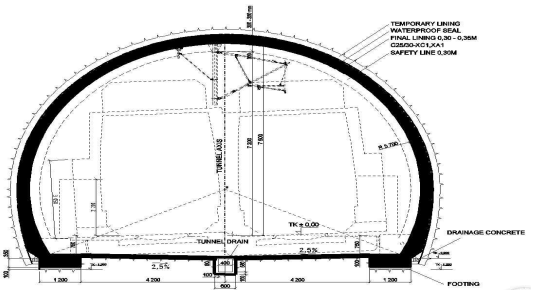
- 삼보기술단, 건국대학교에서 가스켓의 gap, offset 형태에 따른 세그먼트 방수재의 방수성능 평가를 수행

  - 연구과제로서 『도심지 소단면(Ø3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발』을 통해 공동구용 수직구 접속부 보강/차수 장치 기술개발이 수행중에 있음

- TBM 쉴드 부분과 세그먼트라이닝 사이의 gap에 의해 균열이 발생한 세그먼트 라이닝에 대해 균열부에 그라우팅을 주입하여 누수에 대한 위험성을 저감하는 방안을 TPH(독일방수업체)에서 개발하였음

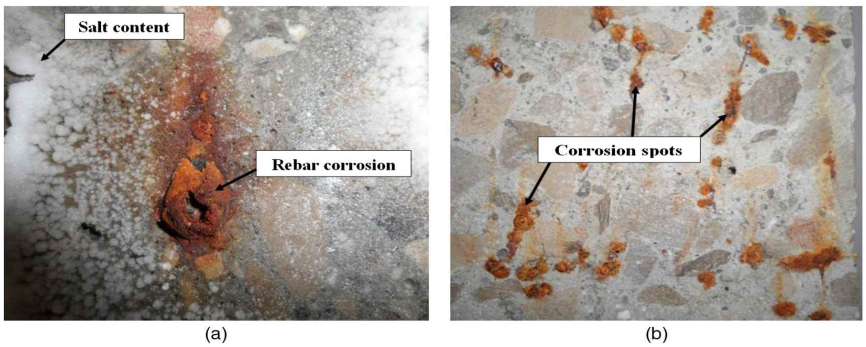
- 현재 해저터널 콘크리트 라이닝 공종에서는 일괄적으로 철근 콘크리트를 사용하고 주로 철근 선 배근후 콘크리트 현장 타설을 하고 있음






<그림 Ⅴ-26> 터널 콘크리트 라이닝 시공 <그림 Ⅴ-27> 터널 콘크리트 라이닝 형상 및 단면

- 강섬유 혼입 콘크리트나 철근 콘크리트의 경우 초기 시공에는 문제가 없지만 터널외부 응력의 증가 및 터널시설물의 노후화 및 수분 침투로 강섬유와 철근의 부식 진행 이후에 부식으로 인한 균열 발생으로 터널 구조물의 안전성에 문제가 발생할 가능성이 높음




<그림 Ⅴ-28> 강섬유 혼입 콘크리트 및 철근 콘크리트 부식문제

- 일본 및 노르웨이 등 터널 기술 선진국에서는 철근이나 강섬유만을 사용하여 시공하는 경우 재료의 부식으로 터널 콘크리트 라이닝 내에서 균열을 유발

  - 이는 심한 경우 터널 콘크리트 라이닝의 국부적 붕괴가 발생할 수 있어 내부식성을 위한 재료 배합 연구 및 부식이 발생하지 않는 다양한 섬유재료를 사용하는 연구 진행되고 있음

- 최근 미국 및 유럽에서는 그래핀, 폴리머, 라텍스, 실리카흄, 슬래그 등의 다양한 고성능 혼합재료 최적화를 통한 구조물의 고강도화와 공극 채움 밀실화에 대한 연구를 진행

■ TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술

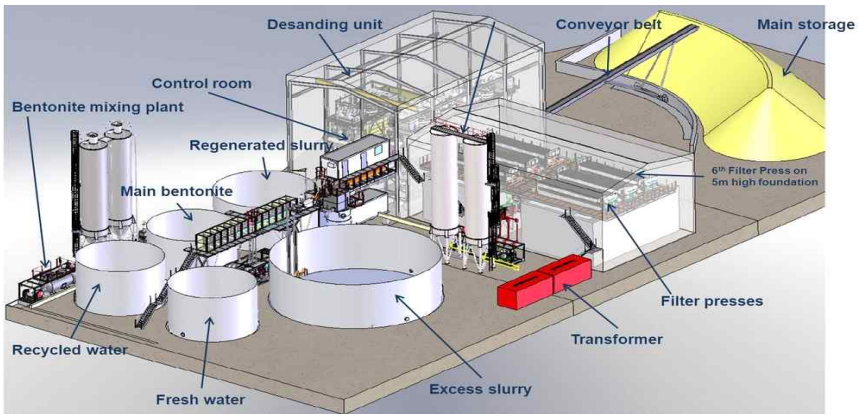
- Slurry Treatment Plant는 Slurry TBM 장비의 운영을 위해 필수적인 설비이나, 국내 기업은 해외 선진 TBM 장비 업체에서 제시하는 Slurry Treatment Plant를 그대로 차용하여 이용하는 실정임

- Slurry Treatment Plant는 각각의 전문 회사에서 개별적으로 연구·개발·운영되고 있으며, 상세 기술은 대외비로 분류되어 있어, 국내 기업의 단순한 모방으로는 기술격차 해소에 어려움이 있음

- Slurry Treatment는 큰 흙입자의 분리, 작은 흙입자의 분리, 탈수, 슬러리 재이용 처리와 같이 크게 4가지 종류의 처리과정으로 구성되며, 이들 설비와 추가적으로 구성되는 청수 탱크, 파이프라인, 슬러리 저장조 등의 추가적인 설비로 인하여 지상에 대규모의 부지가 필요함

- 도심지에서는 지상에 대규모 부지를 확보하기 어려우므로 Slurry Treatment Plant 규모의 축소를 위해 처리효율 향상의 방향으로 많이 연구되고 있음

  - 다만 아직까지 대형부지 필요의 문제는 해결되지 못한 상태이며, 2016년의 그리니치 반도와 실버타운 사이의 도로 터널계획에서는 Slurry Treatment Plant 설비를 위한 지상 부지를 3750m2로 계획하였음




<그림 Ⅴ-29> Slurry Treatment Plant 모식도

- Slurry Treatment Plant는 대형 및 고가의 설비로 구성되어 이를 전문적으로 설계, 운영하는 회사가 존재하며, Slurry Treatment Plant 회사는 대부분 유럽, 일본에 편향되어 있음

- 국토교통과학기술진흥원의 “중·대단면 TBM 국산화 기획 최종보고서(2015.09)”에는 이수처리 플랜트(Slurry Treatment Plant) 분야의 국내 기술수준은 세계 최고수준 대비 68.3%에 불과하며, 기술격차는 4.5년으로 보고되었음

- 해외 주요 기업은 다음과 같으며, 국내에도 Slurry Treatment Plant를 취급하는 회사가 존재하나, 아직 실제 공사실적은 전무함

  - MS value & sustain(프랑스), SAN OH CO.,LTD.(일본), Herrenknecht AG(독일), SCHAUENBURG MAB(독일), DERRICK(미국), Brightway(중국), ㈜아이렉스

## (나) 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

<표 Ⅴ-23> 세계 선도기술 보유 주체 현황

| 국가 | 기술수준·격차 |
|---|---|
| Penta-Oecan Construction (일본) | • TBM 내에서 그라우팅 기술<br>• 저비용 그라우팅 기술 |
| Soilfreeze (미국)<br>Moretrench (미국)<br>BDF (영국) | • 터널 및 대심도 수직구의 동결기술 보유<br>• 차량 탑재가 가능한 동결시스템(Mobile Freeze Plant) 기술 보유<br>• 다양한 현장에 대한 동결공법 적용실적 보유 |
| SK 건설/한서대학교 | • 지진대응용 expansion joint 기술 |
| NCC(Nippon Civic Consulting Engineers, 일본) | • 본선터널의 세그먼트 연결부위에 대한 변위 수용 장치 개발<br>• 1.5m 폭의 신축성 있는 조인트 8개로 구성<br>• 본선터널의 세그먼트 간 정착 및 지진활동에 대한 변위 수용 |
| NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation, 일본) | • 수직구-터널 접속부에 대한 내진대책으로 고무재질의 접속부 변위 수용 장치 개발<br>• 지진으로 인한 접속부의 손상 및 누수 방지 |
| The Datwyler Group (유럽) | • 전세계에서 사용하는 지수재 개발 및 제작 |
| Norconsult (노르웨이) | • 암반조건에 따른 고강도 터널 라이닝 콘크리트 기술 개발 |
| Hagihara사(일본) | • 합성섬유를 사용한 터널 라이닝 콘크리트 기술 |
| MS value & sustain(프랑스)<br>SAN OH CO.,LTD.(일본)<br>Herrenknecht AG(독일)<br>SCHAUENBURG MAB(독일)<br>DERRICK(미국)<br>Brightway(중국) | • Slurry Treatment Plant 설계, 운영<br>• 순서의 차이는 있으나, 일반적으로 ①굵은 입자 분리, ②모래 분리, ③배수(탈수), ④실트 분리, ⑤슬러리 저장, ⑥미세입자 처리의 방법으로 Slurry treatment plant를 운영<br>• 각 기관마다 처리 가능한 용량을 제시하고 있으나, 실제로는 Plant의 규모 및 지반조건에 따라 처리 가능 용량이 달라지는 실정임 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

<표 Ⅴ-24> 국내 관련 기술 특허 현황

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1482883B1 | 미세 에어버블을 이용한 이수식 쉴드 TBM 장비 및 이를 이용한 터널공법 | 현대건설/ 대한민국 | • 이수 처리 플랜트에 유입된 이수에 미세 에어버블, 즉 마이크로 또는 나노 에어버블을 발생시켜(이수 역할 극대화 목적)굴진면으로 이송시켜 이용하는 이수식 쉴드 TBM 장비 및 이를 이용한 터널공법 기술 |
| KR1621338B1 | 세트화된 골조유닛을 적용한 프리캐스트 콘크리트 세그먼트 | 최해곤/ 대한민국 | • 개착식 터널 또는 TBM을 이용한 터널 굴착 시, 터널 벽(lining)을 형성하는 세트화된 골조유닛을 적용한 프리캐스트 콘크리트 세그먼트 기술 |
| KR1794960B1 | 쉴드 TBM 터널용 매크로 합성섬유 보강 콘크리트 조성물 및 이에 의하여 제조된 쉴드 TBM 터널용 콘크리트 세그먼트 | 콘텍이엔지/ 대한민국 | • 쉴드 TBM 터널용 매크로 합성섬유 보강 콘크리트 조성물 및 이에 의하여 제조된 쉴드 TBM 터널용 콘크리트 세그먼트 |
| KR0953188B1 | 슬러리 이송장치 | 한국지질자원 연구원/대한민국 | • 해저 광물 이송시, 이송라인의 막힘이 없이 광물을 포함한 고액 혼합물 상태의 슬러리를 효율적으로 지상으로 이송하기 위한 슬러리 이송장치 기술 |
| KR1283546B1 | 콘크리트 충전형 가압셀을 이용한 터널굴착면 원형지보재 구조물 및 그 시공방법 | 대림산업/ 대한민국 | • TBM 공법 등에 의한 터널 시공시, 콘크리트 충전형 가압셀을 이용함으로써, 향상된 지보능력이 지속되도록 구성한 새로운 구성의 콘크리트 충전형 가압셀을 이용한 터널굴착면 원형지보재 구조물 및 그 시공방법 |
| 10-1820872 | 공동구용 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 | ㈜세니츠코퍼레이션/ 대한민국 | • 일정한 폭을 갖는 링 형상으로 형성된 링형 프레임과 접속부 및 공동구 라이닝과 실링이 이루어지도록 하는 몰딩재를 포함한 공동구용 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 |
| 10-1859611 | 공동구용 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 | ㈜세니츠코퍼레이션/ 대한민국 | • 링형 프레임과 제1, 제2 탄성체로 구비되어 제1탄성체는 공동구 라이닝이 삽입되는 방향을 따라 하부가 공동구 라이닝의 외면과 접촉됨으로써 구조적 안정성을 향상시킴과 동시에 접속부에서의 |

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| | | | 차수가 완벽히 이루어지게 한 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 |
| 10-1859612 | 공동구용 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 | ㈜세니츠코퍼레이션/ 대한민국 | • 수직구의 내면을 따라 형성된 고리부재와 고리부재의 전면 외측과, 수직구 내면의 접촉영역, 고리부재의 전면 내측 및 공동구 라이닝 단부면의 접촉영역에 구비되어 실링이 이루어지도록 하는 실링부재를 포함하는 터널-수직구 접속부 보강 차수 구조 |
| US9316064 | Riser system for transporting a slurry from a position adjacent to the seabed to a position adjacent to the sea surface | Marine Resources Exploration International BV/네델란드 | • 해저에서 바다 표면으로 슬러리를 운반하기 위한 슬러리 펌프 시스템과 폐수 펌프 시스템을 포함한 라이저 시스템 기술 |
| JP6217095B9 | BORING RESUMPTION METHOD OF TUNNEL BORING MACHINE, AND TUNNEL BORING MACHINE USED FOR THE SAME | Obayashi/ 일본 | • 원통체 내부에 전방 윤활제 분사구를 포함한 축을 중심으로 회전 가능한 절삭로드가 배치되고, 축을 따라 그라우트 재료 토출구가 있는 중공로드로 구성된 터널 보링 기계에 관한 기술 |
| JP6103370B9 | SEGMENT ASSEMBLY METHOD OF SHIELD TUNNEL AND TUNNEL BORING MACHINE USED THEREFOR | Obayashi/ 일본 | • U 자형 세그먼트 조립체 양측 공간에서 보강 중간 벽으로 조립 될 수 있으며, 후방 공간으로 이동시 연결 세그먼트를 통한 서로 다른 세그먼트 조립체 사이의 상호 연결에 관한 기술 |
| JP5566838B9 | TUNNEL BORING MACHINE | MITSUBISHI HEAVY/일본 | • 콘크리트 및 백필 그라우트와 같은 고정 재료가 커터 헤드 측으로 돌아가는 것을 방지하기 위해 커터 헤드 또는 보링 머신의 후드에 통합되는 것을 방지하는 터널 보링 머신에 관한 기술 |
| EP00434648B1 | Tunnel boring machine | Atlas Copco Construction and Mining Technique AB/ 스웨덴 | • 보링 헤드 전방의 고정 부분으로부터 분리 가능한 실드를 포함한 돌출부가 있는 기계 하우징을 갖춘 리밍(reaming)용 터널 보링 기계에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술수준 분석

■ (기술수준) 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 기술수준은 최고 기술국인 유럽 대비 77.6%(추격그룹[19]) 수준으로 주요 5개국 중 5위

◉ 최고기술국인 유럽(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 일본(97.2%) > 미국(91.4%) > 중국(78.2%) > 한국(77.6%) 순으로 나타남

* 미국과 일본은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 기술 對 최고기술국(유럽) 기술격차는 4.7년으로 유럽에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국과 비슷한 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對유럽 4.7년, 對일본 4.1년, 對미국 3.0년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-25> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A2)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 77.6 | 4.7 |
| 미국 | 선도 | 91.4 | 1.7 |
| 일본 | 선도 | 97.2 | 0.6 |
| 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 중국 | 추격 | 78.2 | 4.3 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 개발된 기술의 실용화 미흡인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-26> 기술격차 요인(A2)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • | | | ○ | | ◎ | |

■ (기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 성장기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

19) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

<표 Ⅴ-27> 기술 발전단계 평가결과(A2)

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | | 국외 |
| | | 성장기 | | 성숙기 |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

(기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 독창적 부분이 많으나 모방 가능성 있음

<표 Ⅴ-28> 기술적 수준 평가결과(A2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 독창적 부분 많음 |
| | 모방 난이도 | 모방 가능성 있음 |
| | 파급성 | 해당기술 응용성 어느정도 있음 |

(기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 많은 편으로, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건 및 지원 인프라는 보통 수준임

<표 Ⅴ-29> 기술경쟁력 수준 평가결과(A2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 많은 편임 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 지원 인프라 보통 |

(기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)은 높은 것으로 조사

<표 Ⅴ-30> 기술영향력 평가결과(A2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 높음 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

<표 Ⅴ-31> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 | 개발 방향 |
|---|---|---|
| 대심도・고수압 해저지반 연약층 안정화 기술 | • 대심도 고수압 조건에서 TBM 굴진 중에 연약대층을 만나면 막장면 안정성을 확보하기 위하여 그라우팅을 시공하여야 하나, 선진 보링 등 매우 복잡하고 비경제적인 그라우팅 시공법을 적용할 수밖에 없음<br>• 발파공법으로 굴진 중에 연약대층을 만나면 막장면 안정성을 확보하기 위하여 그라우팅 또는 동결공법에 대한 연구는 수행되었으나, 개발 기술을 실용화하기에는 부족한 실정임 | • TBM 굴진 막장 전방으로의 천공없이 고수압하에서 지상 그라우팅과 유사한 단가로 시공이 가능한 저비용 그라우팅 기술 개발<br>• 극저온 냉매(액화질소)와 저온냉매(브라인)의 복합활용이 가능한 동결시스템을 적극적으로 활용하여, 기존 동결공법 적용시에 발생하는 불필요한 동결범위를 최소화함으로써 국내 동결공법의 경제성 확보 |
| 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 | • 기존에 내진에 대한 기초연구는 진행되었으나, 고수압 및 지진에 대응 가능한 하이브리드 타입의 세그먼트 설계/제작 기술의 실용화에 대한 연구는 수행되지 않았음<br>• 공용중 지반침하에 의한 상대변위 및 지진등의 동하중 작용시 접속부의 특성상 변위 발생으로 인한 균열 및 누수가 발생하며, 이에 대한 평가 및 대처 방안 기술이 부재함<br>• 해저터널에 NATM 공법 적용시 현장타설공법으로 많이 사용되는 철근 및 강섬유 보강 라이닝 콘크리트의 경우 강재의 부식에 의한 내구성 저하의 문제가 빈번히 발생함 | • 해저터널 설계시 고수압 및 지진에 최적으로 대응할 수 있는 고성능 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발<br>• 해상수직구와 본선터널간의 접속부에서 발생하는 상대변위를 수용하고 기밀성능을 향상 시킬 수 있는 차수장치 개발 및 성능 확보 기술<br>• 다양한 혼합 재료, 섬유, 보강재를 활용한 콘크리트 라이닝의 최적 배합을 도출하여 휨강도 증가, 미세균열 억제, 내염해 성능 확보를 위한 기술 개발 |
| TBM 슬러리 처리 시스템 고도화 기술 | • Slurry Treatment Plant는 Slurry TBM 장비의 운영을 위해 필수적인 설비이나, 국내 기업은 해외 선진 TBM 장비 업체에서 제시하는 Slurry Treatment Plant를 그대로 차용하여 로열티를 지불하고 있는 실정임 | • Slurry 이송관의 시공 및 유지관리 비용을 최소화 하기 위하여 굴착토를 1차적으로 분류/탈수하여 운송하는 소형 슬러리 처리 모듈 기술 개발 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 쉴드 TBM 굴진 막장면에서 발생하는 수압 및 유입수를 저감하기 위한 저비용 그라우팅 재료, 장비 및 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ TBM 막장면 수압 저감 기술 개발

- 고수압하에서 수압 저감 기술 검토
- 수압 저감을 통한 저비용 막장면 안정화 기술 개발

◉ TBM 막장면 저비용 그라우팅 기술 개발

- 저비용 그라우팅 기술 검토
- 저비용 그라우팅을 통한 수압 저감기술 개발
- 개발된 저비용 그라우팅 기술을 실험적으로 검증
- 고수압하에서 적용가능한 저비용 그라우팅 장비 및 시스템 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-32> 고수압하에서 수압 저감을 위한 저비용 그라우팅 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| TBM 막장면 저비용 그라우팅 기술 개발 | 고수압 대응 그라우팅 장비 및 시스템 구축 | 없음 | 11bar | 12bar |

## (나) 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발

### 기술 개요 및 목표

- 대심도 해저지반에 의한 고수압의 조건에서도 신뢰성 높은 차수 및 보강을 실현할 수 있는 지반 동결공법 기술의 국내 자체보유를 위하여 최적의 경제성 및 안정성을 확보할 수 있는 급속 동결공법의 설계법을 개발하고, 해저지반 조건에서 원활히 적용할 수 있는 시공 통합관리 시스템을 개발

### 기술 개발내용 및 범위

- 해저터널 밀폐공간에서 질식의 위험을 배제한 액체공기 냉매 적용 기술 개발
  - 액화질소와 액화산소의 조합을 통한 액화공기 개발 및 기화비율 산정
  - 사용량 및 압력변화에 따른 액화공기 안정성 분석
  - 액화공기 제조 시스템 개발 및 사용중 안정성 유지 시스템 개발
- 동결체 형상 조절을 통한 최적 동결벽체를 형성 기술(Directional- freezing method)
  - 수치해석을 통한 단열재의 성능 및 형상에 따른 동결범위/속도 분석
  - 극저온 냉매가 흐르는 동결관에 부착 가능한 단열재 검토 및 선정
  - 단열재가 부착된 Directional-freezing pipe의 제작 및 pilot test를 통한 성능 검증
- 극저온냉매(액체공기)와 저온냉매(브라인) 복합 활용이 가능한 Portable 동결시스템 개발
  - 저온냉매(Brine)의 온도저하를 위한 대형 저온항온수조 개발
  - 동결속도 및 동결범위 조절을 위한 freezing control system 개발
  - 대형 저온항온수조와 freezing control system으로 구성된 Portable 동결시스템의 시제품 제작 및 검증

- TBM 장착하여 굴착 전방에 용출수를 동결하여 Cutterhead intervention시 활용 기술 개발
  - TBM 규모 및 형상별 천공가능한 범위가 고려된 최적 파이프 배치 제시
  - 수치해석 분석을 통한 쐐기형 동결/전지반 동결의 효율성 비교 및 최적 방안 선정
  - TBM에 장착가능한 동결관 삽입 시스템 및 동결시스템 연결방안 제시
  - TBM 전방 동결로 인한 TBM 손상방지 방안 제시

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-33> 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널 밀폐공간에서 질식의 위험을 배제한 액체공기 냉매 적용 기술 개발 | 기화 시의 산소농도 (산업안전보건기준에 따름) | - | - | 18%이상, 23.5% 미만 |
| 동결체 형상 조절을 통한 최적 동결벽체를 형성 기술 (Directional- freezing method) | 냉매 소모량 절감율 | - | - | 10% |
| 극저온냉매(액체공기)와 저온냉매(브라인) 복합 활용이 가능한 Portable 동결시스템의 개발 | 방사방향 동결속도 | - | - | 15cm/day |
| | 유출냉매 타겟온도 오차 | - | - | 20% 미만 |

## (다) 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

- 대심도 해저터널용 쉴드 TBM 또는 특수조건의 쉴드 TBM 시공시 터널 안정성 증대를 위하여 고수압 및 지진 모두에 최적으로 대응할 수 있는 고성능 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 지진 대응형 세그먼트 라이닝 기술 개발

- 기 적용된 국외 해저터널의 seismic joint 대한 분석 및 적용 가능성 검토
- 제품개발을 위한 1g 모형 진동대 시험 및 3차원 수치해석을 통한 기초 모델링
- 기초 모델을 원심모형시험을 통하여 고수압시 터널의 내진안정성 평가
- 개발된 모델을 실대형 크기의 터널로 제작하여 진동대 시험 및 3차원 내진해석을 이용한 검증
- 해저터널의 seismic joint 설계법 정립

◉ 고수압 대응형 탄소섬유보강 세그먼트 라이닝 기술 개발

- 현재 연구 또는 개발되고 있는 CFRC에 대한 현황 분석
- 국내 설계기준에 제시되어 있는 강섬유 보강 세그먼트를 기반으로 탄소섬유보강 세그먼트의 시공 및 설계기반 마련
- 탄소섬유 보강 고성능 세그먼트의 최적 배합 기술
- 강섬유, PP섬유, 탄소섬유 보강 세그먼트의 파괴시험을 통한 하중저항능력 검증

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-34> 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발 _개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 지진 대응형 세그먼트 라이닝 기술 개발 | 지진 대응형 flexible joint 기술 | 없음 | 없음 | 해저터널 seismic joint 설계(안) 제시 |
| 고수압 대응형 탄소섬유보강 세그먼트 라이닝 기술 개발 | 탄소섬유보강 세그먼트 라이닝 강도 | 없음 | 40 | 40 |

### (라) 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응 방안 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해상수직구와 본선터널 접속부에서 발생하는 상대변위 수용 및 차수를 위한 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 및 고수압 상태에서의 방수능력 향상을 위한 세그먼트라이닝 이음부의 성능 향상을 위한 고성능·고내구성 지수재 제품 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발

- 3차원 FE 해석을 통한 세그먼트라이닝 시공 후 Tail void에 의한 가스켓 접촉오차 및 누수 위험도 분석
- 가스켓 접촉오차에 따른 내수압시험 및 하중전달 평가
- 하중조합, 가스켓 접촉오차, 테이퍼 세그먼트, 세그먼트 접합부 형태 및 세그먼트 폭에 따른 세그먼트라이닝 균열(crack) 분석
- FE 염해 확산 프로그램을 통한 내구성 예측

◉ 최적의 고성능·고내구성 지수재 개발

- 고수압 및 오염수에 대응 가능한 지수재 재료 개발
- 지수재 내구성 실험 방법 정립
- 지수재 설치 시공 기술 개발을 통한 최적의 지수 시스템 개발

◉ 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발

- 구조물의 상대변위 영향인자 및 내진 요구성능
- 3차원 구조해석을 통한 심도, 수압 등의 접속부 조건별 상대변위 수용범위 검토
- 접속부 차수장치 상세설계 및 시작품

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-35〉 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 | 상대변위 수용범위 | 없음 | 없음 | ±100mm |
| 최적의 고성능·고내구성 지수재 개발 | 지수재 지수 능력 측정 | 없음 | 100% 방수 | 100% 방수 |

## (마) 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널에서 일부 NATM공법 적용시 터널 콘크리트 라이닝의 부식성 및 균열 매커니즘을 분석하고 해저터널 콘크리트 라이닝의 구조적 안정성 및 내구성을 증진시킬 수 있는 고성능 터널 콘크리트 라이닝 재료 및 시공기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 현재 터널 콘크리트 라이닝 재료 및 시공 문제점 분석

◉ 다양한 혼합재료(슬래그, 실리카 퓸 등), 섬유(pp 섬유 등), 보강재(탄소나노재료 등)를 활용한 고성능 터널 콘크리트 라이닝의 성능(강도, 내부식성, 동결융해저항성 등) 평가

◉ 해저터널 콘크리트 라이닝 성능개선 방안수립 및 최적 배합 도출

◉ 개발 기술의 현장 시험시공 및 경제성 검토를 통한 실용화 방안 수립

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-36〉 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 혼합재료/섬유를 활용한 내염해성 콘크리트 기술 | 압축강도 (MPa) | 24 | 35 | 35 이상 |
| | 내염해성 통과전하량 (Coulomb) | 3000 | 1500 | 1500 이하 |
| 탄소나노재료 혼입 고성능 콘크리트 기술 | 압축강도 (MPa) | - | - | 60 이상 |
| | 휨강도 (MPa) | - | - | 8 이상 |

## (바) Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 Slurry 처리 고도화 기술 개발

### 기술 개요 및 목표

- 현 Slurry TBM의 Slurry 처리를 위한 중계 펌프, 송니관, 배니관의 시공 및 유지관리 비용은 터널의 연장이 길어질수록 증가하므로, 장대 해저터널의 경제성 향상을 위해서 Slurry 처리 효율을 향상시킬 수 있는 Slurry 처리 고도화 기술 개발

### 기술 개발내용 및 범위

- Slurry TBM의 후단에 장착 가능한 소형 Slurry 처리 모듈 기술 개발
  - 기존 Slurry Treatment Plant의 Slurry 분리기술 및 탈수기술 분석
  - 굴착토를 운송하기 위한 굴착토의 적정 함수비 및 입도분포 제시
  - 굴착토를 1차적으로 분류/탈수하기 위한 scalping/dewatering system 개발
  - TBM 연결 가능한 scalping/dewatering system의 소형화 및 모듈화
- 소형 Slurry 처리 모듈의 분류효율에 따라 이수의 공급주기, 공급용량 및 공급방법 제시
  - 굴착토 특성에 따른 소형 Slurry 처리 모듈의 분류효율 분석
  - 소형 Slurry 처리 모듈의 분류효율에 따른 부족 이수의 공급주기, 공급용량 제시
  - 소형 Slurry 처리 모듈의 이수공급 및 이수제조 모듈 개발
- 지능형 Big Data 기반 슬러리 버럭 유동상태 평가 프로그램 개발
  - 토사 슬러리의 유동성 평가를 위한 파라미터의 이송 중 계측, 추정 및 평가 기술
  - Big Data 기반 데이터 상관성 분석을 통하여 정밀한 유동상태 평가
  - 실시간 유동상태 평가 프로그램 개발

**(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-37> Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 Slurry 처리 고도화 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| Slurry TBM의 후단에 장착가능한 소형 Slurry 처리 모듈을 통해 굴착토를 1차적으로 분류/탈수하는 기술 개발 | 기존 Slurry treatment system의 분리/탈수 효율 대비 소형 slurry 처리모듈 시스템의 효율 | - | - | 상대적 효율 70% 이상 |

## 마. 구성기술 확보전략

**<표 Ⅴ-38> 핵심기술 확보 전략**

| 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| 대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술 | 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 저비용 그라우팅 | ○ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| 해저터널 라이닝 성능 고도화 기술 | 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 개발 | | ◐ | ● | ◐ | | |
| | 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 | | ◐ | ● | ○ | | |
| | 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발 | | ◐ | ● | | | |
| TBM 슬러리 처리 시스템 고도화 기술 | Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 slurry 처리 고도화 기술 개발 | ○ | ◐ | ● | ◐ | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (1) 파급효과(기대효과)

### (가) 시장경제적 기대효과

- 세계적으로 검증된 해저터널 건설기술을 바탕으로 세계 각국의 해저터널 인프라 구축에 대한 수요가 증가함에 따라, 해저터널 사업이 최대 메가프로젝트로 대두될 것으로 전망됨
- 우리나라는 한중해저터널, 한일해저터널 건설을 통해 한반도 종단철도, 시베리안 횡단철도, 중국횡단철도 등과 연결됨으로써 유라시아 대륙의 거대한 공동체를 형성하는 국제적 초대형 건설프로젝트의 중심이 될 가능성이 높음
- 북유럽 국가들은 발트해를 중심으로 크고 작은 해저터널들이 건설· 운영이며, 탈린~헬싱키 구간(에스토니아와 핀란드), 우메오~바사 구간(핀란드와 스웨덴) 등 다양한 해저터널 프로젝트가 계획중에 있음
  - 특히, 노르웨이는 현재 운용중인 해저터널이 34개소에 달함
- 해저터널은 특성상 대규모의 사업인 만큼 국가경제 활성화를 통한 경비부양의 직접적인 효과 이외에도 세계적인 해저터널 프로젝트 시장에 주도권 확보로 국내기술 선진화 및 기업의 해외진출기회를 확대할 수 있음
  - 해저터널은 고수압 초장대의 극한의 조건에서 건설됨에 따라, 안전한 터널 설계·시공기술, 방재·환기 기술 등 수많은 첨단기술이 필요
    - 재료, 기계, IT 등 다양한 분야의 융합기술로서, 핵심요소기술의 개발은 다양한 분야와의 동반성장 등 무한한 시장성 확장이 예상됨

## (나) 과학기술적 기대효과

- 한중, 한일 해저터널이나 호남~제주 해저터널 등 국내와 연관된 해저터널 건설시 해외기술도입이 아닌 국내기술에 의한 건설로 해저터널 건설경험이 많은 선진국과 동일한 기술선점 가능 및 부가가치 극대화
- 해저터널은 고수압 초장대의 극한의 조건에서 건설됨에 따라, 안전한 터널 설계·시공기술, 방재·환기 기술 등 수많은 첨단기술개발이 필요
  - 개발된 기술은 육상터널, 고심도 산악터널, 초장대 터널 등 모든터널건설분야에 활용이 가능함
- 사회문화적 기대효과
- 한국 중국 일본 등 국가간 해저터널 건설을 통해 21세기 동북아 물류 유통의 중심국가로 자리매김을 하기 위해서는 실제 대형프로젝트에 당면하기 전에 연구를 통한 해저터널 건설기술 개발이 필수적임
- 초장대 해저터널의 건설로 도서와 도서, 도서와 내륙 및 국가와 국가의 연결이 가능해지므로, 이를 통한 활발한 인적, 물적 이동을 초래하고 사회 문화적인 교류가 증대되어 지역, 사회 및 국가의 발전에 이바지할 것으로 예상됨
- 개발된 해저터널 시공 핵심 요소기술이 실용화 된 경우 향후 본 핵심 요소 기술을 기반으로 해저터널 및 하저터널의 건설이 촉진되어 사회적으로 쾌적한 지상공간을 제공할 수 있을 것으로 기대됨
- 최근 지진 발생 빈도가 점차 증가하고 있으며, 해저지진의 경우 쓰나미와 같인 추가적인 피해가 예상되므로, 해저터널의 내진 안정성 확보를 통하여 안전성에 대한 사회적 공감대를 형성 할 수 있음

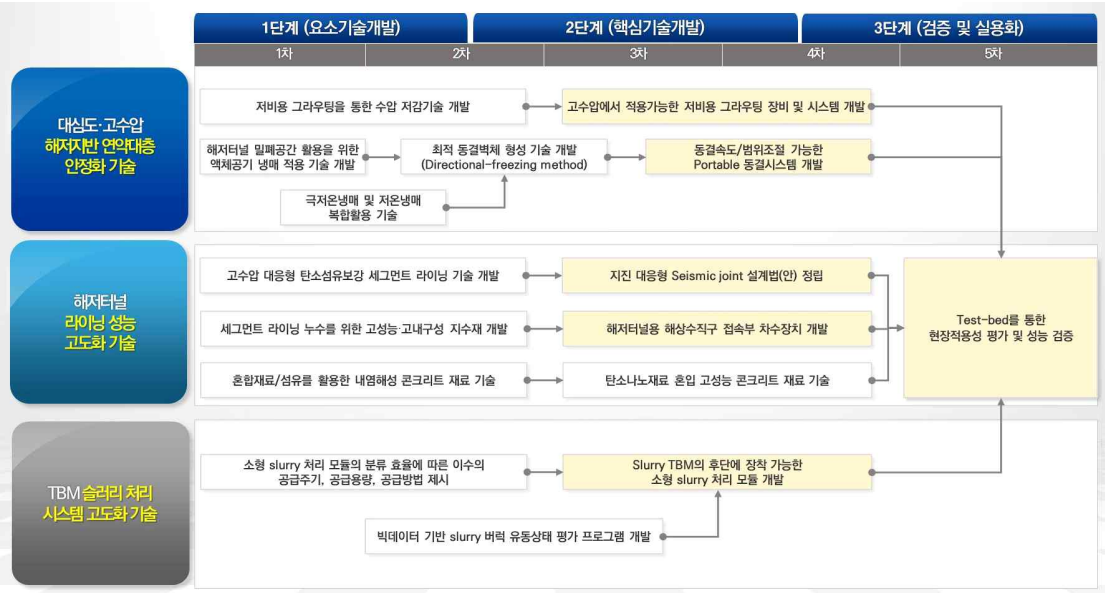
## (2) 수행 기술 로드맵

■ 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음

- 핵심기술 1은 “대심도·고수압 해저지반 연약대층 안정화 기술” 로서 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 저비용 그라우팅 기술 및 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계/시공 통합관리 시스템 개발을 목표로 하고 있으며, 현장적용(Test-bed)을 통하여 성능 검증을 수행할 예정임

- 핵심기술 2는 “해저터널 라이닝 성능 고도화 기술” 로서 지진 고수압 대응용 하이브리드 세그먼트 라이닝 시스템 기술, 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 기술, 내부식성 고성능 해저터널 콘크리트 라이닝 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 현장적용(Test-bed)을 통하여 성능 검증을 수행할 예정임

- 핵심기술 3은 “TBM 슬러리 처리시스템 고도화 기술” 로서 Slurry TBM의 경제성 증진을 위한 slurry 처리 고도화 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 현장적용(Test-bed)을 통하여 성능 검증을 수행할 예정임




〈그림 Ⅴ-30〉 해저터널 시공기술 고도화_기술 로드맵

## (3) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

<표 Ⅴ-39> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 24.0 | 27.2 | 32.5 | 45.0 | 25.9 | 154.6 |
| 민간 부담금 | 현금 | 0.8 | 0.9 | 1.1 | 1.5 | 0.9 | 5.2 |
| | 현물 | 7.2 | 8.1 | 9.8 | 13.5 | 7.8 | 46.4 |
| 합계 | | 32.0 | 36.2 | 43.4 | 60.1 | 34.6 | 206.1 |

<표 Ⅴ-40> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 28.3 | 32.1 | 38.4 | 53.3 | 30.7 | 182.8 |
| | 인건비 | 17.3 | 19.4 | 23.3 | 22.3 | 18.6 | 100.9 |
| | 연구장비. 재료비 | 3.0 | 3.5 | 4.1 | 20.6 | 3.3 | 34.4 |
| | 연구활동비 | 3.7 | 4.2 | 5.0 | 4.7 | 4.0 | 21.6 |
| | 연구과제추진비 | 2.7 | 3.1 | 3.7 | 3.4 | 2.9 | 15.8 |
| | 연구수당 | 1.7 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 1.9 | 10.2 |
| 간접비 | | 3.6 | 4.1 | 4.9 | 6.8 | 3.9 | 23.3 |
| 합 계 | | 32.0 | 36.2 | 43.4 | 60.1 | 34.6 | 206.1 |

### (4) 소요 인력

■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-41> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 17 | 18 | 23 | 23 | 18 | 99 |
| 석사급 | 28 | 33 | 39 | 37 | 31 | 168 |
| 학사급 | 34 | 38 | 44 | 41 | 36 | 193 |
| 합계 | 79 | 89 | 106 | 101 | 85 | 460 |

# 3. 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

■ 해저터널 유지관리를 위해서는 염해, 해수압 등 해저터널 특성에 적합한 유지관리 기술이 중요하나, 현재 국내외적으로 해저터널 전용의 유지관리기술은 개발되지 않은 실정임

◉ 국내의 해저터널 유지관리 계측은 육상터널의 유지관리 계측 시스템과 유사한 방식이며, 미국 혹은 일본의 경우에도 현재 적용중인 해저터널 전용의 점검 및 유지관리, 계측시스템은 통상 육상터널의 점검기법 및 지침을 따르고 있는 실정임

- 캐나다 INO사에서는 육상터널에서 30km/h로 이동하며(1mm의 해상도) 균열검사가 가능한 제품을 상용화

- 일본에서는 도로터널의 콘크리트 라이닝 표면검사를 위해 카메라, 레이저 스캐너 등을 이용한 유지관리시스템 개발하여, 최종 산출물로 정밀한 균열망도(0.2mm 해상도)를 제시하여 과학적인 유지관리에 활용하고 있음

◉ 국내에서는, 각종 계측센서로 계측 된 데이터를 기반으로 실시간 데이터를 추출한 후 유지관리를 위한 최종의사 결정 지원이 가능한 시스템을 구축하기 위한 연구는 다양한 분야에서 진행 되고 있음

- 최근에 종료된 국가연구개발사업인 '고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발(2013~2018)에서는 '위해요인 모니터링 통합 운영 시스템 개발, 고수압 초장대 해저터널 본선구간 스마트레일을 이용한 변위/변상 센싱기술 개발, 고수압 초장대 해저터널 위험구간 보강지반 손상 및 열화 실시간 모니터링 기술 개발 등 유지관리 계측을 위한 연구가 수행 되었음

■ 해저터널의 효율적 유지관리를 위해서는 모니터링 센서 및 자동화 계측시스템 개발, 분석 및 성능평가모델 개발, BIM 기반 플랫폼 개발이 중요하며, 빅테이터, 딥러닝 이나 IoT 등을 활용하는 기술들이 연구 개발되고 있음

- BIM 플랫폼 기반의 자동화 계측, 분석 및 성능평가와 이를 통한 자산관리, LCC가 통합된 시스템은 개발된 기술이 없으나, 선진국을 중심으로 건설산업 분야에서 빅데이터, IoT 등을 기반으로 하는 SOC 구조물의 모니터링 기술에 많은 재정적, 정책적 지원을 아끼지 않고 있음
- 국내에서도 교량통합관리와 포장관리 등의 유지관리 관련 시스템(BMS, PMS)이 개발되어 있으며, 최근 개정된 유지관리기준을 적용한 노후화 예측, 보수보강 우선순위, 예산분배 기능의 지하구조물 자산관리 시스템이 연구개발된 상태로 상용화를 목표로 지속적인 기술개발을 수행하고 있음
- 국내에서는 고수압 초장대 해저터널 연구단(2013~2018)에서 BIM 기술을 해저터널의 설계 시공 기술과 접목하여 플랫폼을 개발하였으나 유지관리를 위해 영상데이터나 계측데이터와의 연동은 이루어지지 않으며, 계측데이터를 반영한 BIM 모델의 실시간 안정성 분석 기술 개발은 미진한 실정임
- 조달청, 철도기술연구원, 한국도로공사 등에서 BIM을 적용하기 위한 가이드라인 및 로드맵을 제시하고 설계, 시공단계에서 단계적으로 적용하고 있으나, 유지관리단계에 적용하기 위한 연구는 아직 미진한 실정임
- 해저터널은 지속적이고 연속적인 유지관리가 중요하나, 공간의 제약성, 연장의 장대화, 유지관리 시간의 한정성 등 해저터널 유지관리의 한계성으로 해저터널에 대한 공용중 안정성 확보와 이를 위한 유지관리 비용의 합리성 확보가 어려운 실정임
- 전 세계적으로 초장대(50km이상) 고수압(20bar이상) 해저터널은 극소수의 시공사례로 자동화 유지관리 계측 시스템의 적용사례가 극히 적으며, 유로터널이나 세이칸 터널 등 해저터널을 장기간 운영중인 유럽이나 일본 등 일부국가에서 유지관리에 대한 노하우를 가지고 있는 실정임
- 일부 터널에 대한 변위·변상 자동화 계측은 주로 부착식 변위계나 광섬유 센서를 통해 이루어져 왔으나 손망실율이 높고 터널 내공면에 부착된 센서의 길이에 대한 변형량이 측정되므로 실제 구조물변위에 대한 정량적 산정의 어려우며, 일부 취약 구간에 한정 된다는 점 등 초장대 터널에서의 적용에는 한계성이 존재함
- 터널연장의 장대화로 운영중 유지관리 및 안전점검을 위한 절대적인 시간이 부족함에 따라, 점검시간의 장기화 및 이에 따른 안정성 저하와 비용증대가 발생함

## (2) 기술개발의 필요성

### 해저터널 스마트 케어 시스템 구축기술

- 해저터널은 건설연장이나 규모가 큰 Mega structure로서 사고발생시 재난수준이 매우 치명적임에 따라, 다른 구조물에 비하여 유지관리기술이 매우 중요하나, 유지관리와 관련된 기술수준은 대부분 인력으로 계측하고 분석하여 비효과적이고 정량화되지 못함

- 해저터널은 고수압 상태의 대심도 해저에 위치한 특성을 고려하면 해저터널의 안정성을 연속적으로 모니터링하고 분석할 수 있는 기술과 보수보강 기술은 해저터널의 정상적인 운용을 위해 필수적인 요소임

- 해저터널은 장대 터널로 주로 열차가 운행하는 경우가 많으며, 유지관리 작업은 주로 운행이 이루어지지 않는 짧은 폐색(Signalling block system)구간에서 수행되어야 하므로 인원투입을 가능한 배제하여야 하며, 이동식 자동화 점검장비 또는 고정 측정점을 활용한 자동화, 무인화 스마트케어 시스템이 필요함

- 최근 SOC 시설물 운영분야도 4차 산업혁명으로 급속히 이동할 조짐을 보이고 있으며, CPS(Cyber Physical System)는 4차 산업혁명에서 핵심적인 요소

  - 제조업분야에서는 공장 내부의 모든 요소들을 IoT를 통해 연결하고 CPS를 구축하는 Smart Factory가 대두되고 있음

  - 이와 같이 CPS 관련 기술이 급속도로 발전하는 상황에서 SOC 시설물 유지관리는 CPS의 주요 시장이 될 것으로 예상됨

- CPS 기반 지능형 SOC 시설물 유지관리를 위해서는 실제 시설물의 가상 모델과 IoT기술이 접목된 계측 센서 및 영상데이터와의 연동 기술 개발이 필요하며, 계측 및 영상 데이터가 반영된 가상 모델의 안정성을 분석할 수 있는 BIM-FEM 연동 해석 기술이 필요

- Microsoft와 Google은 수백만 개의 IoT 장치가 연결되고 빅데이터가 실시간으로 처리되는 클라우드 플랫폼을 상용화 하고, IBM과 Cisco는 IoT와 빅데이터 기반의 스마트 시티 솔루션을 개발하여 상업화함

  - 이에 반해 국내에서는 지능형 SOC 시설물 유지관리 분야에 대한 솔루션 개발 투자가 전무하여 해외 솔루션에 의존하거나 종속될 위험이 높음

- 해양환경에 노출되는 해저터널은 환경하중에 의한 구조물의 내구성 저하가 예상되며, 이로 인한 균열 및 공용수명 단축을 결과를 초래함에 따라, 염해환경에 능동적으로 대처 가능한 보수보강 시스템의 도입이 매우 중요함

- 그러므로, 해양환경에 노출된 해저터널 구조물의 신뢰성 있는 보수보강 성능 확보를 위하여 염해에 능동적으로 대처 가능한 화학반응 차단형 내염보수재료를 개발하고, 자산관리 기능의 극대화를 위한 효율적인 보수재 시공기술 개발이 필요함

### 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술

- 유지관리는 시설물에 대한 진단 및 보수보강 등에서 생애주기(LCC) 특성을 고려하여 설계 및 계획 단계부터 반영되고 있으며, 이를 위하여 자동화/실시간 정보공유, 빅데이터 분석, Deep Learning 이나 BIM 또는 성능평가 시스템 구축 등 첨단 IT융합기술과 결합되어 연구가 진행되고 있음

- 따라서, 해저터널 건설을 성공적으로 수행하고, 해저터널에 대한 기술선점을 위해서는 첨단 IT와 융합된 유지관리 기술개발이 필수적이며, 이를 위해서는 BIM 기반의 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축이 중요함

- 현재 터널 BIM은 설계 및 시공단계에 초점이 맞추어져 공사기간 산정, 물량 산정 등에 활용되고 있으며, 유지관리단계의 BIM 기술이 부족한 실정임

  - 현재 구축되어 활용되고 있는 터널관리시스템은 터널의 유지관리단계에서의 정보저장에 초점이 맞추어져 관리되고 있는 실정

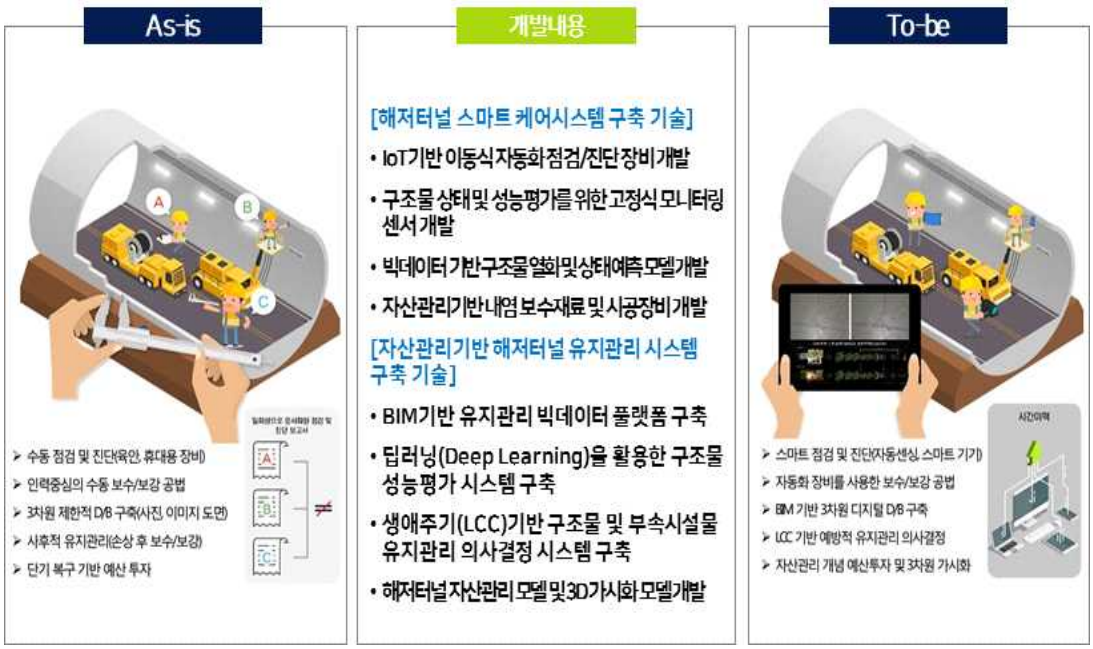
  - 터널 설계보고서 및 도면 등은 터널의 시공단계의 정보를 보유하고 있으나 이에 대한 정보 활용은 미흡한 상태임

- BIM기반의 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축으로, 터널 구조물 및 부속시설물에 대한 점검 및 진단업무의 효율성이 향상되며, 디지털 DB화된 점검 및 진단 자료에 대하여 딥러닝 분석기법을 활용과 SOC구조물의 자산관리를 위한 생애주기 개념의 지속적인 해당 구조물의 정량적 평가 및 이력관리가 가능함

- 따라서, 점검 및 진단자료의 DB화와 딥러닝 등 빅데이터 분석기법 및 이를 통한 생애주기(LCC) 개념의 자산관리가 가능한 BIM 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축은 전무한 실정임으로 관련연구개발을 통하여 해외시장의 선점이 가능함

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-31> 개술개발 내용

본 기술은 해저터널 스마트 케어시스템 및 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템을 구축하는 기술을 개발하는 것임

▷ IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발

▷ 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발

▷ 빅데이타 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발

▷ 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발

▷ BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축

▷ 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축

▷ 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축

▷ 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발

〈표 Ⅴ-42〉 중점분야별 핵심 및 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 해저터널 스마트케어 시스템 구축 기술 | • IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발<br>• 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발<br>• 빅데이타 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발<br>• 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발 |
| | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | • BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축<br>• 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축<br>• 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축<br>• 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 |

■ IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발

◉ 해저터널 구조물(라이닝, track 등)의 구조적 안정성을 적은 비용으로 빠르게 진단하여 대형사고를 예비할 수 있도록 하기 위한 IoT 무선계측 시스템, 초고속 카메라, 레이저 스캔 영상과 가상물리 모델(CPS, Cyber Physical System)과의 연동 기술임

- IoT 기반의 이동식 자동화 점검 기술
- CPS-BIM-FEM 통합 시스템을 이용한 운용중인 해저터널 진단 기술

■ 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발

◉ 해저터널의 운용 특성을 반영하여 인력 측정 방식을 대체하기 위한 전자기파 영향이 없는 표면 부착형 광섬유 세그먼트 응력계측 시스템 및 이동식 자동화 점검 장비에 장착 가능한 고정점 측정점의 균열폭/깊이 측정장치 개발 기술임

- 구조물 상태 및 성능평가를 위한 스마트 세그먼트 응력 및 균열 센싱 시스템

■ 빅데이타 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발

◉ 해저터널과 같은 열화환경에 노출된 구조물의 건전도 평가를 위한 IoT 기반의 열화물질 감지센서를 활용하여 해저터널 구조물의 열화모델 개발 및 수명 예측 시스템을 개발하는 기술임

- 열화예측 프로그램을 통한 환경별 열화도 및 상태지수 결정 지침서
- 해저터널 매립용 열화감지 센서의 유지관리 매뉴얼
- 해저터널 라이닝 콘크리트의 실시간 잔존수명 예측기술

■ 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발

◉ 염해환경에 빈번히 노출되는 해저터널의 유지보수에 적용 가능한 내염성 화학반응 차단형 HAC계 보수재료를 개발하여 현장에 적용하기 위한 시공장비 및 시공법을 개발하는 기술임

- 내염성 보수재료 개발 및 최적 배합설계 개발
- 내염성 보수재료를 적용하기 위한 시공장비 및 시공기술

■ BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축

◉ 해저터널의 구조적 안정성과 효율적 유지관리를 위한 해저터널 점검진단, 보수보강, 평가용 데이터베이스를 BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼으로 구축하여 실용화 하기 위한 기술임

- BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼

■ 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축

◉ 해저터널 구조물의 상태평가 및 안정성 평가를 인공지능 딥러닝을 활용하여 객관적이고 신속하게 수행할 뿐만 아니라, 시간 이력에 기반한 상태평가 시스템을 개발하는 기술임

- 해저터널 구조물의 상태평가 및 안정성 평가용 딥러닝 시스템
- 시간 이력 기반 해저터널 구조물 성능평가 시스템

■ 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축

◉ 해저터널 구조물의 생애주기(LCC) 특성을 고려한 잔존수명 예측 및 유지관리비용 예측이 가능한 최적의 유지관리 의사결정 시스템을 개발하는 기술임

- 생애주기(LCC)기반 구조물별 잔존수명 예측 및 유지관리 비용 예측 기법
- 예측 기법을 활용한 구조물의 초적 유지관리 의사결정 시스템

■ 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발

◉ 해저터널의 설계, 시공, 유지관리 이력 관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 데이터베이스를 구축하여 자산관리를 위한 성능기반 평가시스템을 개발하는 기술임

- 해저터널에 대한 설계·시공·손상 이력 관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 DB를 구축하고 성능기반 노후화 예측 및 자산관리 알고리즘을 개발하는 것으로 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델에 적용하고자 함

## (2) 기술개발 목표

- 본 기술은 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 구현을 위한 해저터널 스마트 케어시스템 및 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템을 구축하는 기술 개발을 목표로 함

https://rentalroo.net/shop_view/?idx=1

**<표 Ⅴ-43> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해저터널 스마트케어 시스템 구축기술 | • 해저터널의 구조적 안정성을 평가하기 위하여 IoT 무선계측 시스템, 초고속 카메라, 레이저 스캔 영상과 가상물리 모델(CPS)을 연동하는 기술 개발<br>• 해저터널의 유지관리 자동화를 위한 응력계측 시스템 및 자동화 점검장비에 장착 가능한 균열폭/깊이 측정장비 기술 개발<br>• 환경조건별 IT 기반 열화 모델 개발 및 이를 활용한 상태예측 및 수명예측 시스템 기술 개발<br>• 염해환경에 노출되는 해저터널 유지보수에 적용가능한 내염성 화학반응 차단형 무기계 보수재료 및 내염 시공기술 개발 | • 해저터널 상태인식율 100% 및 상태진단율 100%<br>• 응력센서 민감도 0.1MPa, 및 균열센싱 시스템의 탐지성능 0.1 mm<br>• 라이닝 잔존수명 예측 정확도 80% 이상<br>• 내염 보수재료 시공장비 100% 자동화 |
| 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리기술 | • 해저터널의 점검진단/보수보강/평가용 DB를 활용한 BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼구축 기술 개발<br>• 인공지능 딥러닝 기술을 활용하여 운용중인 해저터널 구조물의 시간이력 기반의 상태평가 시스템 기술 개발<br>• 해저터널 구조물의 생애주기(LCC) 특성을 고려한 잔존수명 및 유지관리 비용 예측이 가능한 최적의 유지관리 의사결정 시스템 개발<br>• 해저터널에 대한 설계·시공·손상 이력관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 DB를 구축하여 자산관리를 위한 성능기반 평가시스템 기술 개발 | • BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축<br>• 시간 이력기반 구조물 성능평가 시스템 구축<br>• 최적의 유지관리 의사결정 시스템 구축<br>• 해저터널 자산관리 시스템 구축 |

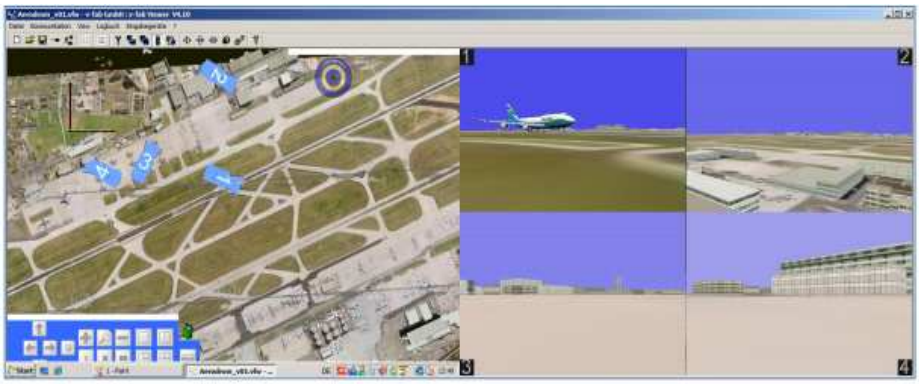
# 다. 국내외 기술개발 동향

## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

■ 해저터널 스마트 케어시스템 구축 기술

◉ 독일은 Industry 4.0 정책을 통해 산학연이 협력하여 IoT, CPS, 스마트 팩토리 등의 정책, 가이드라인 등을 제시하였으며, 센서가 장착된 중장비를 토목공사에 투입하고 데이터를 CPS로 수집하여, 이를 기반으로 건설 공정 시뮬레이션이 이루어지는 Autobaulog 프로젝트를 수행중임



<그림 Ⅴ-32> CPS 계획 검토(Autobaulog)

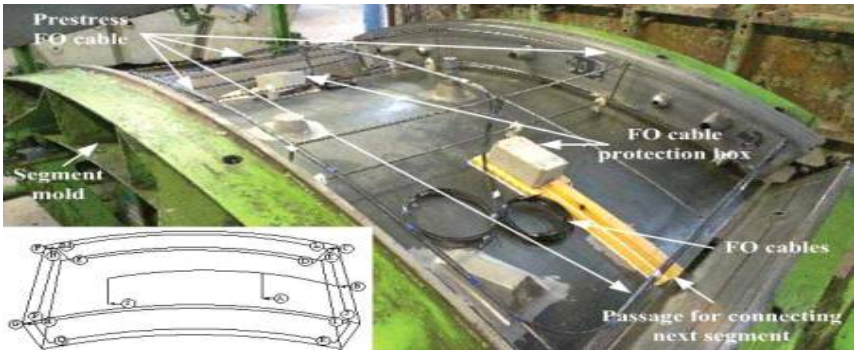
◉ IBM은 스마트시티 분야에 가장 앞서 있으며, 상수도, 공공안전, 교통, 빌딩, 에너지 등의 솔루션을 보유하고 있음

- 또한 IBM은 1950년대 후반부터 반도체 제조 공정에 CPS를 활용해 생산성을 향상시키고, 그 노하우를 IBM의 다양한 사업에 적용 및 효과를 검증하였으며 CPS를 '애널리틱스(Analytics)'로 부르고 있음

◉ Microsoft와 Google의 클라우드 서비스 플랫폼인 Azure와 Cloud Platform은 수백만 개의 IoT 장치와 연결할 수 있고, 모니터링/제어, 초당 수백만 개의 이벤트 수집/처리, 실시간 스트림 처리 기능을 갖추고 있으며, SOC 시설물 운영을 플랫폼의 주요 서비스 타겟 중 하나로 보고 있음

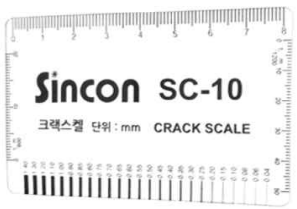
◉ 싱가포르 정부는 싱가포르 전 국토를 가상현실로 구현하는 사업인 'Virtual Singapore'프로젝트를 진행 중이며, 가상공간 속의 싱가포르에 빅데이터, IoT, 머신러닝을 활용하여 도시의 여러 문제를 해결하는 지능형 정보 플랫폼을 구축하려고 함

- 미국은 2007년 미공병단에서 Cobie(Construction Operations Building Information Exchange)라는 유지관리에 사용하기 위한 데이터 포맷을 처음 고안하였으며, 2011년 빌딩과학연구소에 의해서 사용이 허가
  - 현재 Autodesk사의 Revit 등에서 Cobie 데이터를 사용할 수 있으며 건축구조물의 유지관리 분야에서 사용하고 있음
- 국내의 CPS 적용은 주로 제조업 분야에서 Smart Factory 개념 위주로 논의되고 있으며, 대구경북과학기술원의 CPS 글로벌센터 등을 중심으로 해외 연구센터와 협업을 통해 지능형 교통시스템, 스마트홈, 스마트그리드, 의료 및 헬스케어를 중심으로 기술 개발이 이루어지고 있으나 실생활 적용도 및 만족도가 낮은 실정임
- 국내에서는 고수압 초장대 해저터널 연구단(2013~2018)에서 BIM 기술을 해저터널의 설계 시공 기술과 접목하여 플랫폼을 개발하였으나 유지관리를 위해 영상데이터나 계측데이터와의 연동은 이루어지지 않으며, 계측데이터를 반영한 BIM 모델의 실시간 안정성 분석 기술 개발은 미진한 실정임
- 해저터널의 유지관리는 압력, 해수유입, 염화, 진동, 질식, 화재 등 해저터널에서 발생 가능한 문제를 야기할 수 있는 수압, 토압, 열화, 환기, 화재방재 등을 고려해야 함
- 국내에서는 수압, 터널 변위, 전기비저항, 탄성파 신호 등을 이용하여 해저터널 구조물 및 보강지반의 열화를 예측하는 알고리즘을 개발하였고, 이를 바탕으로 해저터널의 안정적 유지관리를 위한 시스템을 개발 중에 있음
- 일본의 세이칸 터널에서는 내공변위 및 용수량을 자동계측하고 있으며, 홍콩의 Eastern Harbor 터널에서는 종방향과 횡방향의 변형율과 수직변위를 계측하고 있음
- 최근 영국은 Channel Tunnel에 내공변위계, 변형률계, 응력계, 압력셀, 로드셀, 피에조미터 등을 이용하여 유지관리하고 있으며, 최근 세그먼트 내에 광섬유를 설치하고 이를 이용하여 세그먼트의 응력을(변형율) 계측하는 시스템을 개발하였으나 분절된 세그멘트 내에 설치되므로 광섬유 센서의 연결이 어려워 제한적으로 적용중




<그림 Ⅴ-33> 광섬유를 이용한 변형률 측정

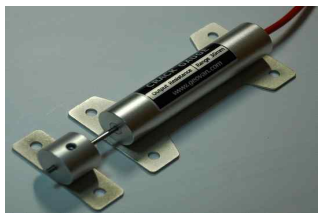
- 균열의 발생 및 진전 등은 터널 구조물에 작용하는 응력이나 변형률에 따라 변화하게 되므로 터널 구조물의 유지관리 항목 중 중요한 요소중의 하나이나 균열의 측정은 국내외 모두 크랙스케일 등에 의한 육안측정 방법, 기계적인 측정 방법, 레이저 스캔방식, 광학식 측정방법 등 기술적 진전을 나타내지 않고 있음




<그림 Ⅴ-34> 크랙 스케일



<그림 Ⅴ-35> 크랙게이지(포인트형)



<그림 Ⅴ-36> 기계식 크랙게이지

- 레이져 스캔방식의 경우 시설물 성능평가를 위한 0.1mm 급의 균열확인은 현재까지 이루어지지 않고 있으므로 시설물 유지관리에 적용하기 어려운 측면이 있음

  - 영상자료를 활용한 터널 구조물 균열 분석은 최근 0.1mm 단위의 초미세 균열의 감지도 가능하나 영상처리 작업을 수행하여야 하므로 해저터널 운행 환경에서 즉각적인 현장 확인이 어려움

- 터널 구조물의 안정성에는 균열의 길이 뿐 아니라 균열의 깊이 및 형태 등이 영향을 미치므로 터널 구조물의 균열의 깊이 및 형태 등은 초음파나 충격반향기법(impact echo) 등 비파괴 검사를 수행하고 있음

- 그러나 균열의 폭 또는 길이의 탐지에 대한 연구가 많으며 여러 방법이 제시되어온 것과 달리 균열 깊이의 측정에 대한 연구는 매우 제한적이며, 주로 인력에 의한 탄성파 탐사를 통해 수행되어 해저터널과 같은 조건에서는 유지관리에 활용어려움

- 전세계적으로 구조물의 열화도 평가 및 유지관리 기술의 신뢰성에 대한 문제가 제기되고 있음

- 외국에서는 건설산업 분야에서 빅데이터, IoT 등을 기반으로 하는 SOC 구조물의 모니터링 기술에 많은 재정적, 정책적 지원을 아끼지 않고 있음

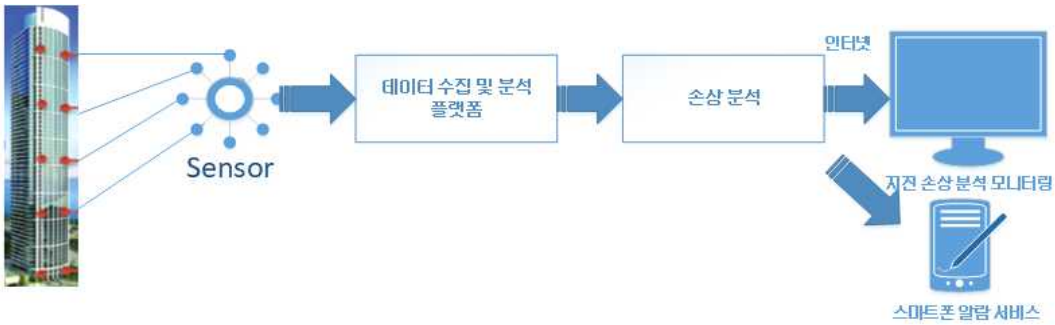
- 특히, 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태예측 기술은 4차혁명 시대의 도래에 있어서 국가적 건설기술 경쟁력의 척도로 평가받고 있음

◉ 미국 South Dakoda주 및 Arizona주 정부는 환경조건에 따른 구조물의 열화정도 예측을 위하여 약 100년전 부터 콘크리트의 성능을 지속적으로 모니터링해오고 있으음

- 최근 무선센싱 기술을 적용한 비파괴 검사를 통하여 콘크리트 구조물의 열화에 대한 D/B를 구축하고 있음

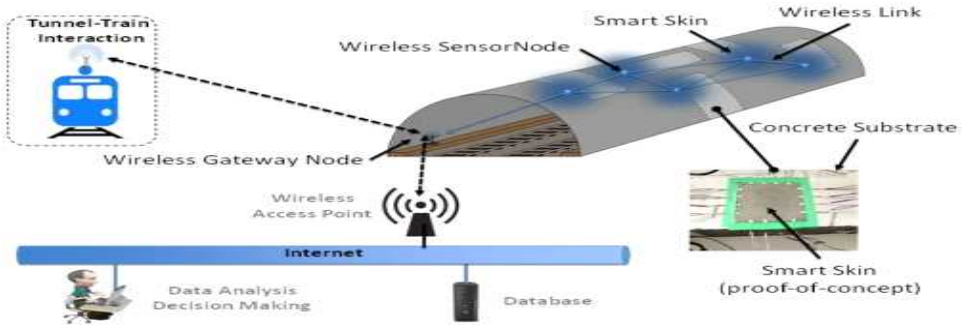
◉ 미국 지질조사국(USGS: United States Geological Survey)을 중심으로 NSMP를 추진중

- IoT 기반 서비스를 제공하여 시설물의 열화도, 지진감지 등 데이터를 수집하고, 수집된 데이터의 실시간 모니터링 결과를 스마트폰, APP을 통하여 열람서비스를 제공함




**<그림 Ⅴ-37> 구조물 열화 데이터 수집/모니터링 결과 서비스 제공 시스템 (USGS, USA)**

◉ 프랑스에서는 염해환경 및 지하토양환경에 노출된 해저터널 구조물의 전주기적 통합관리 시스템을 구축하여, 구조물 열화도, 균열, 내구수명을 매립형 Remote Sensor를 적용하여 실시간 데이터를 수집하고 있음



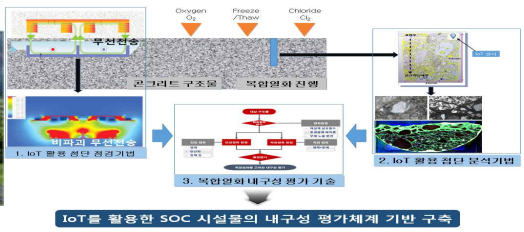

<그림 Ⅴ-38> IoT 기반 터널구조물 열화 평가 기술 (프랑스)

- 국내의 경우, 한국건설기술연구원에서는 인프라 시설물의 노출환경, 설계 강도, 경과년수를 등급화하여 노후 구조물에 대한 유지관리 시스템 구축을 시도하는 중

  - 군산대학교 등에서는 염해환경 구조물의 합리적 모니터링을 위하여 염해 반응 매립형 IoT 센서 활용 열화평가 자동화 기술을 개발하는 중임



<그림 Ⅴ-39> 인프라 시설물의 등급화 및 IT 기반 유지관리 시스템 구축 (KICT)




<그림 Ⅴ-40> 매립형 sensor를 활용한 구조물 내구성 평가 기술 (군산대)

- 일본에서는 30여년 전부터 터널 구조물의 열화방지 및 효율적 보수보강을 위하여 전주기적 유지관리 결정 시스템을 운영하고 있음

  - 염해환경에 노출된 터널 구조물의 열화원인 모니터링 D/B/ 구축을 통하여 열화속도 예측, 보수보강 재료개발 등 유지관리 기술시장을 선도하고 있음

- 유럽연합(EU)에서도 2000년도 초부터 Infravation Project를 통해 터널 구조물 인프라 성능향상을 위하여 국가적으로 지원하고 있음

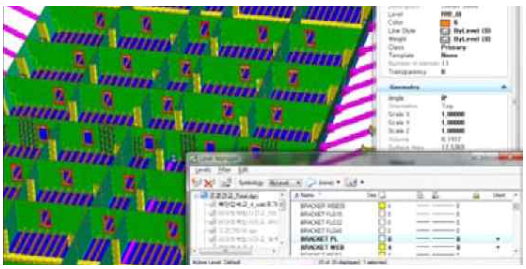
  - 현재 실시간 터널 성능 및 균열을 모니터링하여 유지관리 및 보수보강을 위한 IoT 기반 상태지수 결정 시스템을 운영하고 있음

- 프랑스에서는 염해피해를 받는 SOC 구조물의 유지관리를 위한 능동적인 대안으로, 화학반응 차단형 (HAC 계) 보수재료 개발에 대하여 정부차원에서 지원하고 있으며, 이를 바탕으로 내염 보수재 시공실적 및 적용기술에 대한 많은 성과를 확보하고 있음

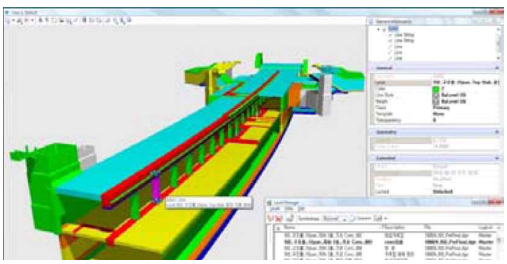
### 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술

- 현재 국내의 각 전문기관(도로공사, 철도공사, LH 등)에서는 구조물(교량, 항만, 터널 등) 관리시스템을 구축하고 있으며, BIM에 대한 로드맵을 수립하고 관련 연구를 지속적으로 추진하고 있음

  - 2010년 국토교통부의 건축분야 BIM 의무화를 시작으로 토목분야의 BIM은 2009년 호남고속철도사업(철도공단), 2011년 BIM시범사업(도로공사), 2013년 해외 댐설계(수자원공사)를 적용하였고 2020년까지 국토교통부는 SOC 공사의 20%에 BIM을 적용하겠다고 발표함



<그림 Ⅴ-41> 강교량 BIM 구축



<그림 Ⅴ-42> 지하철 BIM 구축

- 미국은 공공분야와 민간분야에서 모두 적극적으로 BIM 도입을 하고 있으며, 건설 전분야에 걸쳐 BIM이 활발하게 도입되고 있음

  - 다른 나라에 비하여 민간주도의 BIM 도입성향이 강하면서 각 주의 교통부(DOT)와 연방조달청(GSA), 미공병단(USACE)등을 중심으로 공공분야에서도 지속적으로 활발히 BIM 구축을 수행하고 있음

- 영국은 GDP의 약 7%를 차지하는 건설산업 분야의 건설 생산성 향상 및 선진화를 위하여 2011년부터 공공건설 프로젝트에 BIM적용 의무화 사업을 추진

  - 2016년 4월부터는 영국 BIM 수준 2단계(UK BIM Level 2)의 적용을 의무화하고 있음

- 싱가포르는 건설청인 BCA(Building and Construction Authority)에서 2011년부터 10년 이내에 건설생산성을 25% 향상시키기 위하여 BIM 적용을 의무화하면서, 산업계 지원책과 BIM 가이드, 다양한 정책을 마련

  - 2015년까지 건설산업의 80%에 BIM을 활용하는 것을 목표로 하는 국가적 차원의 1단계 BIM 전략 로드맵을 수립하고 2016년부터 2020년까지의 2단계 BIM 전략 로드맵을 수립하였음

- 정밀점검 및 정밀 안전진단 시 해저터널 구조물의 상태를 평가하기 위하여 점검자는 작업차의 점검박스에 타고 간단한 점검 또는 진단 장비를 사용하거나 육안으로 터널 구조물에 발생한 열화 현상(균열, 박리, 박락, 철근노출, 지하수 유출

등)을 관찰하고 부속시서물의 노후화정도를 검사한 후 점검 기록지에 수기로 작성하거나 사진 촬영을 하고 있는 실정임

- 일본에서 딥러닝 영상분석 기법을 활용해 도포포장체의 손상 평가 시스템을 스마트폰 어플리케이션으로 개발한 사례를 제외하고는, 학술적 검토를 위해 진행된 연구가 대부분이며, 논문 형태로 연구 결과들이 정리되어 제출된 경향이 있음




<그림 Ⅴ-43> 터널 구조물의 콘크리트 라이닝 점검 차량(일본)

- 국내 해저터널 유지관리 관련 연구로는 국토교통부에서 발주한 '고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소기술개발'연구에서 해저터널의 환경적인 특수성을 고려한 터널 라이닝 변위/변상 등을 계측하는 자동화 통합 센싱 기술, 예상치 못한 지층의 변화 또는 고수압에 의한 돌발적인 사태 발생에 대비한 유지관리 기술과 관련된 연구를 진행하였음

- 유럽연합에서는 로봇 유니트를 이용한 터널 자동화 계측 시스템 개발을 위해 각 구성 모듈 개발 전문기관 (스페인 Robotnik Automation, ROBOTICS LAB, 그리스 I-SENSE GROUP 등)들이 참여한 EU 공동연구 프로젝트를 수행

- 터널의 계측 및 구조적 평가를 위한 비전 분석 모듈 및 제어 기능을 갖춘 로봇 시스템으로, 터널 내벽의 계측과 구조 평가까지 수행하며 자동 로봇 유니트 및 자동 차량 네비게이션을 통해 계측, 분석 작업에서의 인력 투입을 최소화하기 위한 연구를 수행함



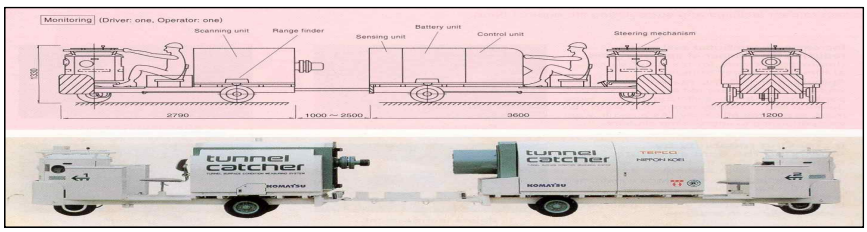
<그림 Ⅴ-44> ROBO-SPECT system(EU)

- 일본의 동경전력 관내 수로터널의 경우, 총연장이 660km에 달하며 이중 70%가

50년 이상 노후된 것들로 나타남

- 따라서 기존의 육안검사나 간단한 장비로 다양한 열화현상을 정량적으로 조사하기에는 한계가 있는 것으로 판단

- 이러한 한계극복을 위해 동경전력은 기존 도로포장상태의 건전성 조사에 사용되는 레이저조사시스템을 수로터널에 적용할 수 있도록 하는 연구를 수행




**<그림 Ⅴ-45> 레이저 조사시스템 조사 전경 및 원리(일본)**

- 현재 국내에서는 교량통합관리와 포장관리 등의 유지관리 관련 시스템(BMS, PMS)이 개발되어 있으며, 최근 개정된 유지관리기준을 적용한 노후화 예측, 보수보강 우선순위, 예산분배 기능의 지하구조물 자산관리 시스템이 연구개발된 상태로 상용화를 목표로 지속적인 기술개발을 수행하고 있음

- 미국, 일본 등은 노후화된 사회기반시설물의 증가로 인해 막대한 비용이 소요될 것으로 예상하고 있으며, 효율적인 관리 방법 기술에 대한 요구가 급증하고 있음

  - 미국 및 유럽 일부 국가에서 주로 교량 또는 포장을 대상으로 적용되고 있으며 대부분의 프로그램이 축적된 데이터를 활용한 노후화 예측과 생애주기 비용산출 기능은 부족함

- 국내 BIM 기술은 4차 산업 융합을 위해 활발하게 발전되고 있으나, 구조물의 설계·시공·유지관리에 대한 융합기술은 도입단계 수준으로 지자체를 중심으로 건축물, 실내지도 등의 3차원 모델과 위치정보를 결합한 통합 3D GIS를 구축중임

- 미국 Bentley사의 토목 설계 솔루션(InRoad)은 부지설계부터 도로설계 및 상하수도 관련시설에 이르기까지 광범위한 건설 프로젝트에 적합한 조합 토목 엔지니어링 솔루션을 제공하고, 이를 전 세계적으로 수천 곳 이상의 엔지니어링 회사와 미 교통국의 표준 시스템으로 활용 중에 있음



**<그림 Ⅴ-46> 토목설계 솔루션(InRoad), Bentley**

## (나) 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

<표 Ⅴ-44> 세계 선도기술 보유 주체 현황

| 국가 | 주요 내용 |
|---|---|
| 미공병단<br>(미국) | • Cobie(Construction Operations Building Information Exchange)라는 유지관리용 데이터 포맷 최초 고안 |
| 지질조사국<br>(USGS: United States Geological Survey) | • IoT기반 서비스 제공으로 시설물의 열화도, 지진감지 등 데이터 수집<br>• 수집된 데이터의 실시간 모니터링 결과를 스마트폰, APP을 통한 열람서비스 제공 |
| 국토교통성<br>(일본) | • 터널 구조물의 열화방지 및 효율적 보수보강을 위하여 전주기적 유지관리 결정 시스템을 운영 |
| IBM(미국) | • 스마트시티 분야에 가장 앞서 있으며, 상수도, 공공안전, 교통, 빌딩, 에너지 등의 솔루션을 보유하고 있음. |
| Microsoft와 Google(미국) | • 클라우드 서비스 플랫폼인 Azure와 Cloud Platform개발 |
| 유럽 | • 실시간 터널 성능 및 균열을 모니터링하여 유지관리 및 보수보강을 위한 IoT 기반 상태지수 결정 시스템을 운영 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

<표 Ⅴ-45> 국내 관련 기술 특허 현황

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1874378B1 | IoT 기반의 잔교식 안벽 실시간 안전성 평가방법 및 그 시스템 | 다음기술단/<br>대한민국 | • 사물인터넷(IoT) 기반의 잔교식 안벽의 실시간 계측과 진단을 위한 알고리즘 평가 기술 |
| KR0844024B1 | 수직구조물 안전진단 계측시스템 | 대영구조기술단/대한민국 | • 지면에 대하여 수직으로 고정되는 수직구조물의 수직도 변화 또는 부분적인 굴곡 등에 의한 변형 정도를 하부에서 정확히 정량적으로 검출하여 안전허용범위 이상시 이를 관리자 단말기로 송출함으로써 대처방안과 실행과 사고의 사전 방지 기술 |
| KR1455268B1 | 해양구조물의 회전체 상태진단 모니터링 시스템 | 칸/<br>대한민국 | • 해양구조물에 설치되는 회전체의 상태진단 모니터링 시스템에 관한 것으로 상태를 진단하여 고장 유무 및 예측을 가능케하고, 작업자에게 효율적으로 제시하는 상태진단 모니터링 시스템 기술 |

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1593500B1 | 터널용 조명의 이탈 및 조도변화 진단장치 | 케이알산업/ 대한민국 | • 터널 내벽에 설치된 조명기구의 하부에 위치되어 조명 이탈 상태 진단판에 의한 조명기구의 위치변화나 조도변화 발생시, 실시간 확인할 수 있는 관리자 디스플레이장치를 포함하는 터널용 조명의 이탈 및 조도변화 진단장치 기술 |
| KR0506001B1 | 터널용 조명 안전진단장치 | 씨에스티개발/ 대한민국 | • 터널용 조명 안전진단장치에 관한 것으로, 터널 조명시설의 신속/용이한 안전 관리 체제를 이루고 터널 내의 안전 운행에 도움을 줄 수 있는 기술 |
| JP6223496B9 | CONTROL METHOD THROUGH ACTUAL TIME MONITORING OF PHYSICAL CHANGE TO MARINE STRUCTURE, AND FUEL REDUCTION SAFETY OPERATION METHOD | Cytroniq/ 일본 | • 가스 또는 해양환경과 같은 수리학적 환경에서의 외력, 선체 응력, 6- 자유도의 운동 및 위치 등의 물리적 변화를 모니터링하기위한 해양 구조 부품의 연료 저감 방법을 제공하기위한 기술 |
| EP02988997B1 | METHOD FOR THE MAINTENANCE OF A RETRACTABLE THRUSTER | Fincantieri S.p.A./ 이탈리아 | • 해양 선박 또는 플랫폼의 추진체 전체의 단계별 조립 공정에 관한 기술 |
| EP02984281B1 | INSERTION AND SETTING STRUCTURE | CAMERON INTERNATIONAL/미국 | • 해저 구조물의 보수/보강을 위해 삽입 또는 세팅을 위한 구조체에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술수준 분석

■ (기술수준) 자산관리기반 유지관리 시스템 개발 기술수준은 최고 기술국인 미국 대비 75.9%(추격그룹[20]) 수준으로 주요 5개국 중 4위

◉ 최고기술국인 미국(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 유럽(95.5%) > 일본(92.5%) > 한국(75.9%) = 중국(71.1%) 순으로 나타남

* 유럽과 일본은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) 자산관리기반 유지관리 시스템 개발 기술 對최고기술국(미국) 기술격차는 9.2년으로 미국에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국과 동일한 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對미국 9.2년, 對유럽 7.2년, 對일본 5.6년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-46> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(A4)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 75.9 | 9.2 |
| 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 일본 | 선도 | 92.5 | 3.6 |
| 유럽 | 선도 | 95.5 | 2.0 |
| 중국 | 추격 | 71.1 | 11.2 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 개발된 기술의 실용화 미흡인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-47> 기술격차 요인(A4)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • | ○ | | | | ◎ | |

■ (기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 개발기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

20) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

<표 Ⅴ-48> 기술 발전단계 평가결과(A4)

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | | 국외 |
| | | 개발기 | | 성장기 |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

(기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 독창적 부분이 많으나 모방 가능성 있음

<표 Ⅴ-49> 기술적 수준 평가결과(A4)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 일부 독창 부분 확보, 독창적 부분 많음 |
| | 모방 난이도 | 모방 가능성 있음 |
| | 파급성 | 해당기술 응용성 어느 정도 있음 |

(기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 많은 편으로, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건 및 지원 인프라는 보통 수준임

<표 Ⅴ-50> 기술경쟁력 수준 평가결과(A4)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 많은 편임 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 지원 인프라 보통 |

(기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)은 높은 것으로 조사

<표 Ⅴ-51> 기술영향력 평가결과(A4)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 높음 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 | 개발 방향 |
|---|---|---|
| 해저터널 스마트케어 시스템 구축기술 | • 국내의 해저터널 안전점검은 대부분 육안 또는 간단한 기구를 통하여 진단하고 있으므로 인력과 비용의 비효율적인 측면이 있음<br>• 장대터널의 유지관리는 주로 열차가 운행하지 않는 짧은 폐색 구간에서 인력에 의해 수행되므로 한계점을 가지고 있음<br>• 염해환경에 노출된 구조물의 열화 메커니즘에 대한 연구는 수행되었으나, 염해 피해를 받은 구조물의 성능회복 및 유지관리에 관한 연구는 미흡한 실정임 | • 시설물의 가상물리 모델과 IoT 기술이 접목된 계측센서 및 영상데이터와 연동이 가능한 기술개발과 가상 모델의 안정성을 평가할 수 있는 BIM-FEM 통합 시스템 개발<br>• 측정 방식의 자동화를 위한 응력계측 시스템 및 고정점의 균열 폭/깊이 확인이 가능한 측정장치 개발<br>• 해양환경에 노출되는 해저터널의 열화모델 개발 및 수명예측 시스템을 개발하고, 내염성 보수재료를 적용하기 위한 시공장비/기술 개발 |
| 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리기술 | • 인력기반의 육안점검이 아닌, 구조물의 대형화, 점검방법의 전문화, 열화형태의 다양화로 인한 새로운 개념의 유지관리 성능평가 기법 도입이 필요함<br>• 해저터널은 노출되는 환경영향 및 차량하중 등에 의해 노후화가 진행되나, 이로 인한 균열, 누수, 강도저하 등에 따른 성능저하에 대한 체계적인 진단방법은 없는 실정임<br>• 현재의 터널관리시스템은 유지관리 단계에서의 정보 저장에 집중되어 있는 실정미며, 설계보고서 및 도면은 터널의 시공단계 정보를 포함하고 있으나 정보활용은 미흡한 상태임<br>• 해저터널을 대상으로 생애주기(LCC) 특성 (누수, 염해, 부식, 재난상황 등에 취약하고 인력의 접근이 어려움)을 고려한 유지관리 방안에 대한 연구는 전무한 실정임 | • 해저터널의 점검진단, 보수보강, /평가용 DB를 활용한 BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 기술 개발<br>• 인공지능 딥러닝 기술을 활용하여 운용중인 해저터널 구조물의 시간이력 기반의 상태평가 시스템 기술 개발<br>• 해저터널 구조물의 생애주기(LCC) 특성을 고려한 잔존수명 및 유지관리 비용 예측이 가능한 최적의 유지관리 의사결정 시스템 개발<br>• 해저터널에 대한 설계·시공·손상 이력 관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 DB를 구축하여 자산관리를 위한 성능기반 평가시스템 기술 개발 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발

■ 기술 개요 및 목표

- BIM과 계측 데이터 또는 초고속 카메라나 레이저 스캐너 등의 영상 데이터가 무선 연동되는 가상 물리모델(CPS)을 구축할 수 있는 기반 기술을 개발하고, 구조해석 솔버와 가상모델을 연동 및 계측데이터를 반영한 해저터널 라이닝의 구조적 안정성을 분석할 수 있는 IoT기반 이동식 자동화 점검 및 진단 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

- 해저터널 구조물(라이닝, track 등)의 열화 상태를 신속하게 감지함으로 대형사고 예방이 가능한 장비 개발
- 설계, 시공 데이터를 바탕으로 정보화된 가상 물리모델(CPS) 구축 기술
- IOT 무선 계측 시스템, 초고속 카메라, 레이저스캔 영상과 가상 물리모델과의 연동 기술
- 가상 물리모델과 구조해석 솔버와의 통합을 통한 해저터널 라이닝의 구조적 안정성 진단 기술

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-52> IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| IoT 기반의 이동식 자동화 점검 장비 | 해저터널 상태 인식 | 없음 | 없음 | 인식율 100% |
| CPS-BIM-FEM 통합 시스템을 이용한 운용중인 해저터널의 진단 기술 | 해저터널 상태 진단 | 없음 | 없음 | 진단율 100% |

## (나) 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발

■ 기술 개요 및 목표

- 해저터널의 운용 특성을 반영하여 인력 측정 방식을 대체하기 위한 전자기파 영향이 없는 표면 부착형 광섬유 세그먼트 응력계측 시스템 및 이동식 자동화 점검장비에 장착 가능한 고정점 측정점의 균열폭/깊이 측정장치 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

- 반영구적이며 전자기파 영향이 없는 표면 부착형 광섬유 세그먼트 응력계측 시스템 개발
- 이동식 자동화 점검장비 장착하여 고정 측정이 가능하며, 즉각(5초 이내)적인 현장 판독이 가능한 광학식 0.1mm 급 스마트 균열폭 측정장치 개발
- 해저터널의 특성을 고려한 자동화된 고정 측정점 탄성파 균열 깊이 측정장치 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-53> 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 구조물 상태 및 성능 평가를 위한 스마트 세그멘트 응력 센싱 시스템 | 응력센서 민감도 | 없음 | 0.5 MPa | 0.1 MPa |
| 구조물 상태 및 성능 평가를 위한 스마트 세그멘트 균열 센싱 시스템 | 균열폭 탐지성능 | 없음 | 1 mm | 0.1 mm |

## (다) 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 열화환경에 노출된 구조물의 신뢰성 높은 건전도 평가를 위한 환경조건별 IT 기반 열화 모델 개발 및 이를 활용한 상태예측 및 공용수명 예측 시스템 구축

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ IoT 기반 열화물질 감지센서 활용 구조물 열화예측 기술

- 화학반응형 열화 표준물질 개발
- IoT 기반 매립형 열화감지 센서 개발 및 센서의 신뢰성 분석
- 열화감지 센서를 활용한 라이닝 콘크리트 중 전해질 농도 평가
- 해저터널 노출환경별 열화도 mapping 기술 및 잔존수명 예측

◉ 해저터널 적용을 위한 열화감지 센서의 현장적용 및 상태지수 평가 기술

- 매립형 열화감지 센서의 시험시공 및 실시간 모니터링 기술
- 실구조물 적용 IoT 기반 열화감지 센서 데이터 전송 및 처리 기술
- IoT 기반 센싱 데이터를 활용한 상태지수 평가 기술
- 해저터널 적용을 위한 열화감지 센서의 시공/유지관리 매뉴얼 작성

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-54> 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태예측 모델 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 열화감지 표준물질 개발 | 염소이온 농도 | 0.5%~10% | 0.1%~10% | 0.01%~10% |
| 해저터널 라이닝 콘크리트의 실시간 잔존수명 예측기술 | 수명 예측 정확도 | 없음 | 없음 | 정확도 80%이상 |

## (라) 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 염해환경에 노출된 해저터널 유지보수에 적용가능한 내염성 화학반응 차단형 무기계 보수재료 및 내염 시공기술을 개발하며, 자산관리 측면의 LCC 증진효과를 극대화하여 구조물의 공용수명을 연장하는 신개념의 유지보수 장비 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 염해환경에 대응하는 고내구성 보수재료 개발

- 해저터널 환경별 열화수준 분석 및 열화모델 개발
- 해저터널 환경조건을 고려한 상태지수 결정 기술 개발
- 화학반응 차단형 HAC계 보수재료의 배합설계 기술
- 고부착성 보수재료의 내염성능, 역학적 성능, 미세구조 평가
- 내염 보수재료의 품질관리안 작성

◉ 내염 보수재료의 해저터널 현장적용 원천기술 개발

- 염해환경을 모사한 Mock-up 실험 및 모니터링 기술 개발
- 강섬유를 적용한 내염 비부식성 보수재료의 현장적용 기술 개발
- 최적 시공기술 및 시공장비 개발
- 현장적용을 위한 시공매뉴얼 작성

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-55> 자산관리 기반 내염 보수재료 및 시공장비 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 화학반응 차단형 내염 보수재료 개발 | 부착강도 | 1 MPa 이상 | 1 MPa 이상 | 1.7 MPa 이상 |
| | 전기저항성 허용오차 | ±0.05% | ±0.05% | ±0.01% |
| 내염 보수재료 자동화 시공장비 | 자동화 장비 | 없음 | 없음 | 100% 자동화 |

## (마) BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널의 안전성과 유지관리의 효율성을 증대하기 위하여 해저터널의 점검진단/보수보강/평가용 DB를 BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼으로 구축하여 해저터널 통합관리시스템의 초기자료로 활용

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 운영 중인 점검진단/보수보강/평가 DB 검토 및 개선사항 도출

◉ 라이브러리 작성 및 BIM 표준화방안 수립

◉ 시스템 운영환경(H/W, S/W) 구축

◉ BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 및 실용화 방안 수립

- 점검 및 보수이력의 3차원 시각화, 유지관리 우선순위 및 일정관리
- 관련법령 및 자료정보, 현황 및 통계, 모바일 보고서 열람 등

◉ 시설물 통합관리시스템 연계방안 수립

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-56> BIM기반 터널 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 | 플랫폼 구축 | 없음 | 없음 | BIM 기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 |

## (바) 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축

■ 기술 개요 및 목표

◉ 운용중인 해저터널 구조물 및 부속시설물의 상태평가 및 안정성평가를 인공지능 딥러닝 기술을 활용하여 객관적이고 보다 신속하게 수행하고 시간 이력에 기반하여 성능을 평가 할 수 있는 기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널구조물 및 부속시설물 손상평가 딥러닝 학습 및 추론 시스템 개발

- 손상영역 영상에 최적화된 딥러닝 알고리즘 코드 개발 및 검증
- 시간 이력별 영상 학습전략 수립 및 프로세스 최적화
- 딥러닝 활용 가상환경 빅데이터 생성기술
- 딥러닝 학습환경 최적화 및 학습서버 구축
- 영상 취득 및 학습서버 운용 및 추론결과 가시화 전주기 시스템

◉ 이력 기반 해저터널구조물 및 부속시설물 성능 평가 시스템 개발

- 구조물 및 부속시설물 유지관리 빅데이터 분류 및 구축 기술
- 시간 이력기반 유지관리 빅데이터 관리 기술
- 시간 이력기반 손상 및 상태평가 기술
- 상태평가 분석결과 가시화 및 정보활용 기술
- 시간이력 및 딥러닝 기반 상태평가 시스템

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-57> 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 상태평가 및 안정성 평가용 딥러닝 시스템 | 상태평가/안정성 평가용 딥러닝 시스템 (소프트웨어) | 없음 | 없음 | 상태평가/안정성 평가용 딥러닝 시스템 구축 |
| 구조물 및 부속시설물 성능평가 시스템 | 구조물 성능평가 시스템 (소프트웨어) | 없음 | 없음 | 구조물 성능평가 시스템 구축 |

## (사) 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널 구조물 및 부속시설물들의 생애주기(LCC) 특성을 고려한 최적 유지관리 의사결정 시스템 개발을 통해 유지관리비용 절감 및 장수명화에 기여할 수 있는 기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널 운영 현황 및 관리 특성 분석

◉ 생애주기(LCC)기반 해저터널 특성을 고려한 유지관리 빅데이터 구축 표준체계 마련

◉ 빅데이터를 활용한 부재별 잔존수명 예측 및 유지관리비용 예측 기법 개발

◉ 생애주기(LCC) 특성을 고려한 구조물 및 부속시설물들의 최적 유지관리 의사결정 시스템 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-58> 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 잔존수명 및 유지관리비용 예측 기법 | 잔존수명 및 유지관리 예측기법 모델 | 없음 | 없음 | 잔존수명 및 유지관리 예측기법 모델 1건 이상 |
| 최적의 유지관리 의사결정 시스템 | 유지관리 의사결정 시스템 (소프트웨어) | 없음 | 없음 | 유지관리 의사결정 시스템 구축 |

## (아) 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널에 대한 설계·시공·손상 이력 관리를 통한 BIM 기반 통합 유지관리 DB를 구축하고 성능기반 노후화 예측 및 자산관리 알고리즘을 개발하는 것으로 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델에 적용

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널의 예방적 유지관리를 위한 핵심인자 및 프레임 워크 개발

- 해저터널 성능유지에 대한 핵심영향인자 선정 및 의사결정계층 분석

◉ 3D 가시화를 위한 설계·시공·유지관리 통합 BIM 모델 구축

- BIM 및 GIS를 활용한 3차원 해저터널정보 시스템 구축

◉ 효율적인 유지관리 시스템 구축을 위한 BIM기반의 통합 DB 구축

- 부재, 시공순서, 품질관리, 현장시험, 유지관리 등의 이력 관리가 가능한 BIM 구축

◉ 자산관리를 위한 성능기반의 평가시스템 개발

- 해저터널의 핵심영향인자 상관관계 규명을 통한 정량적 성능평가기법 개발

◉ 노후화 예측 및 자산관리 알고리즘 개발

- 결정론적, 확률론적 예측모델을 적용한 예측 신뢰도 향상

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-59> 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 노후화 예측 및 자산관리 시스템 | 노후화 예측 및 자산관리 시스템 (소프트웨어) | 없음 | 없음 | 노후화 예측 및 자산관리 시스템 구축 |
| 3D 가시화 시스템 | 3D 가시화 시스템 (소프트웨어) | 없음 | 없음 | 3D 가시화 시스템 구축 |

## (3) 구성기술 확보 전략

<표 Ⅴ-60> 핵심기술 확보 전략

| 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| 해저터널 스마트 케어시스템 구축 기술 | IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발 | | ◐ | ● | | | |
| | 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발 | | ◐ | ● | | | |
| | 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발 | ◐ | ◐ | ● | | | |
| | 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발 | | ◐ | ● | | | |
| 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축 | ◐ | ◐ | ● | | | |
| | 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축 | ◐ | ◐ | ● | | | |
| | 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축 | ○ | ◐ | ● | | | |
| | 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 | ○ | ◐ | ● | | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (4) 파급효과(기대효과)

### (가) 시장경제적 기대효과

- 정량적인 해저터널 구조물의 상태 및 안정성 평가를 통해 보다 과학적이고 체계적인 유지관리 투자 우선순위를 결정하고 유지관리 예산투입 수준을 결정 가능하여 국가 예산절감 효과 기대와 기술수출 예상
- 향후 해저터널 설계 시 통합운영시스템의 DB화 된 데이터를 활용하여 경제적인 설계로 공사비 절감 등의 효과 및 객관적인 손상영역에 대한 정보 산출이 가능하여 해저터널 구조물 유지관리에 소요되는 국가 예산 투입 실효성 증대
- 기존 인력점검 방식의 터널 안전점검을 자동화함으로서 업무 효율성 증대, 인력과 비용의 절감 및 상시 모니터링을 통한 사고예방 등의 경제적 이익 창출 효과를 기대
- 기존 인력기반 해저터널 구조물 상태 및 안정성 평가 프로세스의 획기적인 효율화로 점검/진단 시간 단축이 가능하여 비용 절감이 예상되며, BIM을 적용한 유지관리 효율화로 인건비 절감, 사고예방 및 품질 관리 확보가 가능함

### (나) 과학기술적 기대효과

- 전 세계적으로 프랑스, 독일 등이 주도하고 있는 터널 구조물 보수보강 시장에 대한 경쟁력 확보 가능
- 계측 및 진단 대책이 통합적으로 관리되는 BIM 기반 통합 플랫폼 시스템으로 해저터널 유지관리시스템의 기술 선점효과 예상
- 구조물 자산관리, 생애주기비용 절감, IT 기반 구조물의 열화도 및 수명예측 등 첨단기술 및 기법을 모든 건설 분야에 활용이 가능하므로써, 건설구조물에 대한 유지관리기술 향상 기대

### (다) 사회문화적 기대효과

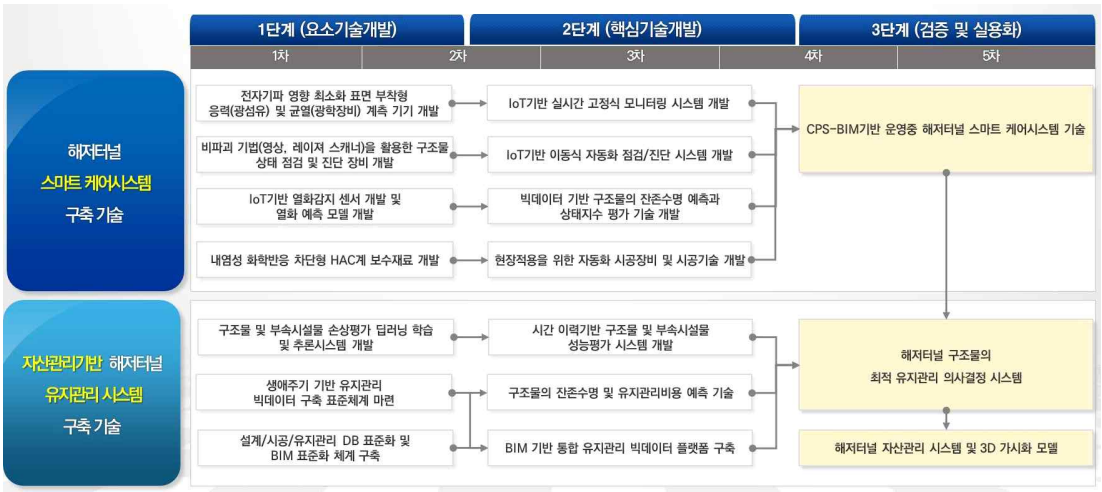
- 유지보수 공법, 보수재료 등의 기술발전으로 인한 SOC 구조물의 내구수명 향상 및 건설기술의 사회적 신뢰도 회복 가능
- IT기술이 접목된 BIM 기반의 자동화, 정량화된 유지관리기술에 의한 유지관리를 통하여 안전한 터널구조물로서의 사회적 공감을 얻을 수 있을 것으로 예상됨

## (5) 수행 기술 로드맵

■ 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음

- 핵심기술 1은 “해저터널 스마트 케어시스템 구축 기술” 로서, IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발, 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발, 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발, 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발을 목표로 하고 있으며, 개발된 세부기술들은 핵심기술 2와 연계하여 추진할 예정임

- 핵심기술 2는 “자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술” 로서, BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축, 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축, 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축, 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발을 목표로 두고 있으며, 핵심기술 1과 연계하여 해저터널 구조물의 최적 유지관리 의사결정 시스템 개발을 진행할 예정임




**<그림 Ⅴ-47> 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 로드맵**

## (6) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

<표 Ⅴ-61> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 27.5 | 48.9 | 33.4 | | | 109.8 |
| 민간 부담금 | 현금 | 0.9 | 1.6 | 1.1 | | | 3.5 |
| | 현물 | 7.9 | 14.2 | 9.7 | | | 31.8 |
| 합계 | | 36.3 | 64.7 | 44.1 | | | 145.1 |

<표 Ⅴ-62> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 32.2 | 57.3 | 39.1 | - | - | 128.6 |
| | 인건비 | 19.6 | 31.2 | 24.2 | - | - | 75.0 |
| | 연구장비. 재료비 | 3.5 | 10.4 | 4.2 | - | - | 18.1 |
| | 연구활동비 | 4.1 | 7.3 | 4.8 | - | - | 16.2 |
| | 연구과제추진비 | 2.9 | 5.3 | 3.5 | - | - | 11.7 |
| | 연구수당 | 2.0 | 3.1 | 2.4 | - | - | 7.5 |
| 간접비 | | 4.1 | 7.4 | 5.0 | - | - | 16.5 |
| 합 계 | | 36.3 | 64.7 | 44.1 | - | - | 145.1 |

## (나) 소요 인력

■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

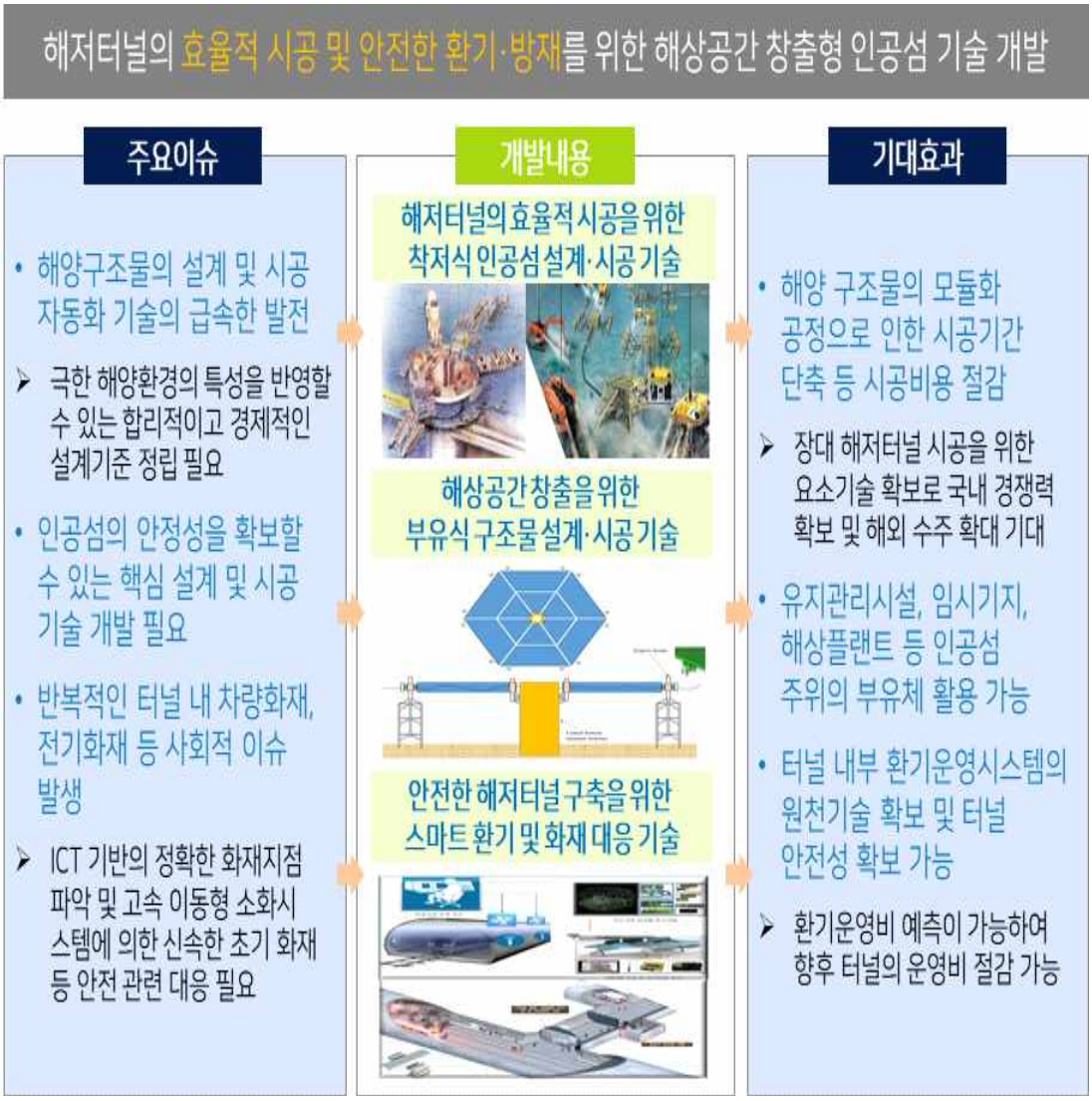
- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-63> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 17 | 31 | 22 | - | - | 70 |
| 석사급 | 34 | 52 | 42 | - | - | 128 |
| 학사급 | 40 | 59 | 47 | - | - | 146 |
| 합계 | 91 | 142 | 111 | - | - | 344 |

# 제2절 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발




<그림 Ⅴ-48> 인공섬 분야

# 1. 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

- 현재까지의 설계기준은 인공섬 구조물에 특화되어 있지 않고, 주로 연안 및 근해(offshore structure) 구조물 중심으로 기술되어 있음
  - 해양콘크리트 또는 초경량· 고강도 콘크리트 등의 새로운 건설재료에 대한 기준 및 하중조건에 따른 수심별 적용방법, 하중조합 등이 미흡함에 따라 인공섬 구조물에 최적화된 한계상태설계법 개발이 필요한 실정임
- 현재 해상에 건설되는 콘크리트 구조물은 가물막이 공사를 수반하는 현장타설 공법이 적용되고 있으나, 수심이 증가하는 경우 이러한 공법은 적용이 불가능
  - 작업일수가 제한적인 해상공사의 특성상 경제성 확보를 위해서는 급속시공이 가능한 프리캐스트 모듈형 구조체의 적용이 필수적임
- 한국해양과학연구원에서 해저기지에 대한 기존연구가 수행되었으나 해저터널과 연결되는 해양조건에서 수직구는 시공방법의 어려움 및 시공안전성 확보를 위한 방안이 필요
  - 모듈형 프리캐스트 구조체는 시공 효율에서 현장타설보다 우수하나 시공시 연결부 처리 및 운반·거치방법 등에 대한 기술개발이 선제되어야 함
- 나노소재 활용 건설재료 기술 개발은 현재 미국 및 EU가 미래 자원으로써 장기투자를 실시하고 이와 관련된 원천 기술 및 기술경쟁력을 집중 확보하려 함에 따라 국내 기술력 확보가 절실한 상황
  - 건설 생산성 향상, 목적 구조물의 지속가능성 확보, 개발 재료의 고부가 가치화를 위한 초경량·고내구 콘크리트 요소 기술 및 관련 기술의 개발이 필요함

## (2) 기술개발의 필요성

■ 해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태설계 기술

◉ 국내의 경우, 콘크리트 구조물은 「콘크리트 구조설계 기준」에 의거 강도설계법(USD, Ultimate Stress Design)으로, 지반은 허용응력 설계법(ASD, Allowable Stress Design)으로 설계하는 모순이 있으며, 「콘크리트 구조설계 기준」은 해양조건을 반영한 구조물 설계에 불합리한 점이 있음

- 따라서, 해양구조물의 특성을 반영한 설계와 모순된 설계법을 세계적인 추세인 한계상태 설계법 기반으로 자체 개발하는 것이 반드시 필요함

◉ 한계상태설계법(LSD, Limit State Design)란 하중계수, 저항계수 등 다양한 계수를 불확실성에 대한 신뢰성분석을 통해 정량적으로 산출하고, 이를 하중 및 저항력 계산시 적용함으로써 구조물의 복잡한 안전도에 대한 정량적 평가가 가능한 기법으로 구조물의 하중 뿐만 아니라 풍력, 조력, 지진하중 등 환경하중까지 포함함

- 한계상태설계법을 사용하게 되면 실제 공사시 경제적이고 효율적인 시공이 가능하므로 북미, 유럽, 일본 등 기술 선진국에서는 제한적으로 한계상태설계법을 적용하고 있는데 반해 국내는 아직 설계 방법이 정립되지 못하고 있는 실정임

◉ 국내는 한계상태설계법(LSD)에 대한 체계적인 연구의 미비로 아직 허용응력설계법(ASD)을 사용하는 것이 일반적임

- ASD는 구조물의 저항력을 결정하고 안전성을 비교함에 있어 주로 경험과 판단에 근거한 전체안전율을 사용하고 있으므로, 다양한 요인에 의해 발생하는 하중 및 저항력을 정량적으로 계산하지 못하기 때문에 비효율적인 시공이 이루어짐

◉ 지상보다 다양한 변수를 지닌 해양구조물에 대한 한계상태설계법(LSD) 기반 기술개발 수행시 향후 지상 구조물에서 활용할 지침 적용을 촉진 시킬 수 있음

- 해양 구조물에 대한 한계상태설계법 적용 기술은 해외에서도 개발이 진행중에 있으므로, 국내에서 기술력이 확보된다면 향후 해양구조물(인공섬 등) 시장에서 기술 선도가 가능할 것으로 판단됨

- 그러므로, 해양구조물의 설계(수치해석 기법) 및 시공자동화 기술 등의 급속한 발전과 함께 국가적 차원의 다양한 시공 실적 축적을 통해 해양구조물의 특성을 반영한 합리적이고 경제적인 설계기준으로 대체하는 기술이 반드시 필요함
- 나노소재 활용 건설재료 기술 개발은 현재 미국 및 EU가 미래 자원으로써 장기 투자를 실시하고 이와 관련된 원천 기술 및 기술경쟁력을 집중 확보하려 함에 따라 국내 기술 추격이 절실한 상황임
- 건설 생산성 향상, 목적 구조물의 지속가능성 확보, 개발 재료의 고부가가치화를 위한 초경량·고내구 콘크리트 요소 기술 및 관련 기술의 개발이 필요함
- 극한환경 하의 해양구조물은 현장에서 구조체를 타설하는 것은 매우 어려운 일이며, 이를 극복하기 위해 육상에서 구조체를 프리캐스트로 제작하여 현장 조립하기 위해서는 구조 부재의 경량화 및 고강도는 필수적임
- 인공섬 및 해저터널과 같은 구조물은 결함 발생 시 유지관리가 어렵다는 점에서 구조물 자체의 구조적 안정성 및 장기 내구성 확보는 필수이나, 이와 관련된 원천기술 확보는 전무한 실정임
- 나노소재를 활용한 콘크리트에 대한 기술은 국내·외 모두 기초적 단계에 있으며, 이를 실용화 단계까지 끌어올리기 위해서는 체계적인 배합설계 및 성능평가 시스템을 구축할 수 있는 지속적인 연구가 필요함
- 극한 해양환경에서의 콘크리트 구조물의 내구성 및 안전 확보를 위하여 부식을 근본적으로 차단할 수 있는 혁신적 재료 개발이 필요함

- 인공섬, 해저터널이 주로 위치하는 극한 해양환경에서는 철근의 부식으로 인한 콘크리트 구조물의 안전사고 발생 위험 및 수명 단축 문제 존재
- 철근 부식 방지를 위한 철근 에폭시 코팅, 콘크리트 표면 코팅 등 추가 공사로 인하여 막대한 공사비가 발생하나, 수명 단축 방지 효과 미흡

### 해양구조물 모듈형 시공자동화 및 안정성 평가 기술

- 현재 국내에서 개발된 수직구 시공 기술은 육상 기술과 콘크리트 현장타설을 활용하여 일반적으로 내경 5m~12m 내외로 사용되고 있으므로 해상 수직 구조물 작업용 기술에는 적용하기 어려움이 있는 실정임
- 국내 보유 해저 터널 기술에 있어서 육상에서 공장형 케이슨 구조물을 제작하여 항만 부두 및 해상 구조물용으로 운반 설치하고 있음
  - 그러나 구조물 제작시 사용되고 있는 생산시설에 대한 유압장치 및 컨트롤 시스템은 스웨덴 및 외국 제품과 기술을 사용하고 있는 형태로 국산 생산시설 구축이 미흡한 상태임
- 해상 설치용 융합 구조물 시공기술을 개발 구축을 통하여 저심도 및 대심도 해상 현황에 따른 구조물 시공기술 개발을 통하여 표준화하고 해상 인공섬 및 교통시설 구조물과 연결시켜 미래 시장에 공사기간 단축 및 국내외 시장진출 활용도를 높일 필요가 있음
- 수직탑으로서의 모듈형 구조체는 차수 성능과 해양환경에 대한 내구성 확보가 필요하며, 상부 해상구조물과 하부의 해저터널을 연결하여 환기 및 사용자의 대피를 위한 유일한 통로이므로 안전성 확보를 위한 고강도 구조체의 적용이 필수적임
- 수직탑은 해양외력 및 상부의 해상구조물의 지지, 상부해상 부조물에 연결된 부유식 구조체의 연결에 따른 하중의 증가로 인하여 일반적인 콘크리트 구조물 대비 고강도의 구조체가 필요
  - 또한 파력과 조력과 같은 외력의 감소를 위해서는 고강도화를 통한 단면 축소가 가능한 구조가 필요함
- 해양구조물의 차수성능과 안전성 확보를 위해서는 구조체 자체에 대한 성능 이외에도 차수재 및 연결부의 성능 확보와 수중에서 조립이 가능한 연결부의 개발 및 시공 기술이 함께 개발되어야 함
- 따라서, 고강도 구조체, 고성능 연결부, 제작과 운반을 고려한 최적 모듈화 기술, 수밀을 위한 차수기술의 개발과 경제적인 건설을 위한 설계 방법과 시공 기술의 개발이 필요함
- 해안구조물에 발생하는 세굴은 현재 기술로는 예측 및 모형실험이 한계가 있는 이유로, 이를 보호하기 위한 세굴방지공등에 대한 과다 설계가 이루어지고 있어 기술개발을 통한 효율적인 설계가 수행되어야 할 필요성이 있음
- 현재 사용 중인 세굴 기술은 해안 안벽이나 하천 교량 등에 적용하는 기술로 인공섬 설계에 사용하기에는 부족함이 큰 이유로 착저식 인공섬에 특화된 기술 개발이 필요함

- 현재 적용되는 해저터널 수직구 시공 기술은 육상조건에서 수행하는 기술로 해상조건에서 시공함에 따라 발생하는 기술적 제약사항을 해결하기 위한 기술개발이 필요

  - 프리캐스트 구조체를 해상조건에서 연결시공하기 위해서는 연결부의 시공/차수 방법 및 해저면 안착 후 하부로 굴진해 들어갈 수 있는 방안에 대한 연구개발이 필요함

- 무인 자동화 장비를 이용하여야 해양조건에서 안전하고 효율적으로 시공이 가능하며, 해저면의 굴착은 무인장비를 활용하여야 안전사고를 예방할 수 있을 것으로 사료됨

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-49> 개술개발 내용

본 기술은 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬을 건설하기 위한 해양극한환경에 최적화된 고내구성 재료 및 한계상태 설계 기술과 해양 구조물 모듈형 자동화 시공기술 및 안정성 평가 기술을 개발하는 것임

▷ 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발

▷ 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술

▷ 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술

▷ 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발

<표 Ⅴ-64> 중점분야별 핵심 및 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태설계 기술 | • 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발<br>• 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발 |
| | 해양구조물 모듈형 시공자동화 및 안정성 평가 기술 | • 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술<br>• 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술 |

■ 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발

◉ 인공섬 설계시 고려하여야 할 설계하중 및 하중조건에 대한 규정을 제시하여 구조물의 형식별 한계상태설계기준(안)을 제시하고 가상의 인공섬 구조물을 설계하는 기술임

- 인공섬에 작용하는 사하중/활하중 및 환경하중 분석
- 인공섬 구조물에 대한 한계상태설계기준(안) 및 설계절차서(안) 개발
- 가상의 인공섬 설계(안)

■ 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발

◉ 극한의 해양환경에서 건설되는 인공섬 구조물에 적용가능한 200년 이상의 수명을 가질 수 있는 초경량·고내구성 콘크리트 복합 재료 및 성능평가 방안을 개발하는 기술임

- 초경량·고내구성 콘크리트 복합재료 기술 개발
- 초경량·고내구성 콘크리트 배합설계 지침(안) 및 성능평가 방안 개발

■ 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술

◉ 무인장비를 이용하여 대형 모듈형 프리캐스트 구조체의 제작, 운반, 수중설치가 가능한 자동화 시공방법 및 통합 시공관리 플랫폼을 개발하는 기술임

- 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공 기술 개발
- 디지털 기반 시공관리시스템(제작, 시공, 장비제어, 안전) 개발

■ 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술

◉ 수중구조물의 다양한 외력에 따른 거동을 분석하여 극한 해양환경에 노출되는 구조체의 거동제어, 연결부 성능평가, 최적 모듈 분할, 세굴방지 방안 등의 안정성을 확보하는 기술임

- 수중구조체 모듈화와 연결부 설계를 통한 인공섬 표준 설계(안) 개발
- 수중 구조물간 연결부 접합기술 및 설계(안) 개발
- 세굴을 최소화 할 수 있는 인공섬의 형상 및 세굴방지공 기술 개발

## (2) 기술개발 목표

■ 본 기술은 극한 해양환경에 가장 적합한 최적의 고내구성 재료를 개발하여 한계상태 설계방법 및 모듈형 프리캐스트 구조체의 자동화 시공으로 건설된 해양 구조물의 안정성을 평가하는 기술을 개발하는 것을 목표로 함

**<표 Ⅴ-65> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해양극한환경에 최적화된 고내구성 재료 및 한계상태 설계 기술 | • 인공섬 설계시 고려해야 할 설계하중 및 하중조건에 대한 분석을 통한 구조물 형식별 한계상태설계방법 개발<br>• 극한의 해양환경에 적용 가능한 초경량·고내구성 콘크리트 복합재료 개발 및 성능평가 기술 개발 | • 인공섬 구조물 한계상태 설계기준(안) 1건 이상<br>• 고내구성 콘크리트 공용수명 200년 이상 |
| 해양 구조물 모듈형 자동화 시공기술 및 안정성 평가 기술 | • 대형 모듈형 프리케스트 구조체를 제작, 운반, 설치 할 수 있는 자동화 시공 방법 및 시공관리 플랫폼 기술 개발<br>• 해양 구조물의 다양한 환경하중에 대하여 충분한 강성과 수밀성을 유지할 수 있는 안정성 평가 및 확보 기술 | • 비모듈형 시공방법 대비 20% 이상 공기 단축 및 시공비 10% 이상 절감<br>• 일체형 성능 대비 연결부 수밀성 95%이상, 연결부 강도 85% 이상 |

# 다. 국내외 기술개발 동향

## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

■ 해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태설계 기술

◉ 세계적으로 허용응력설계법(ASD)대신 한계상태설계법(LSD)를 기반으로 한 설계법을 적용하는 추세

- 유럽의 경우 유럽규격위원회(CEN)이 1990년 LSD개념을 적용한 유로코드 개발을 진행하여 2002년 발행하였고, 2003년에는 각 국가별 자체방식 및 유로코드 동시 사용을 권고한바 있음

- 2015년에는 아시아 국가 최초로 싱가폴에서 LSD 개념의 유로코드를 채택

◉ 미국의 경우 1980년 미국도로교통안전협의회(AASHTO)에서 LSD의 개념을 적용한 하중저항계수설계법(LRFD)을 교량 하부기초설계의 개념으로 도입

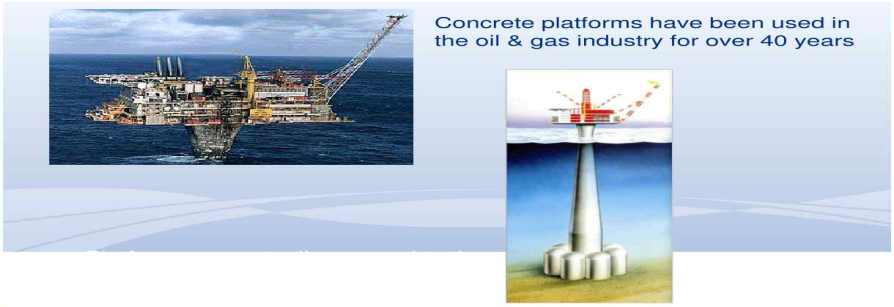
- 1994년 이후 지반기반시설, 하부구조물 설치 등 다양한 분야에 적용하기 시작하였으며 2007년 연방 고속도로안전관리국(NHTSA)은 미국의 모든 교량에 LRFD 적용을 의무화 하였음

◉ 호주의 AUSTROADS 교량설계기준(AUSTROADS bidge design code, 1992)은 깊은 기초의 시공에 관한 저항계수를 제시하고 있으며, 호주표준(Australian Standard 2159)(SAA, 1995)에서는 지반의 특성 및 시험법, 타입조건 등에 관한 적절한 저항계수 선정 방법을 제시하고 있음

◉ 일본의 경우 일본토목공학회에서 2001년 한계상태설계지침(안)을 제시하였고, 2006년 터널표준시방서에 LSD를 기반으로 자체 개발한 한계상태 설계지침을 적용하였음

◉ 인공섬은 해양 대심도에 건설되는 석유시추구조물과 유사하며 석유시추구조물 설계에는 American Petroleum Institute(API)에서 제정된 API RP2A 한계상태설계법이 널리 사용되고 있음

◉ API RP2A 등 석유시추구조물은 해양외력조건 등이 비교적 잘 정리되어 있으나, 일반적으로 해저터널과 연결(시공, 환기, 방재 목적)하기 위하여 일정거리마다 설치가 요구되는 인공섬을 건설하기 위해서는 단순 석유시추 구조물과는 다른 해상토목구조물 및 지상구조물과 지하구조물 전반에 대한 다양한 설계변수들과 이들 변수들간 조합에 대비한 다양한 상황 시나리오 및 대처법이 설계기준 작성의 초기단계부터 고려되어야 함




<그림 Ⅴ-50> 석유-가스 시추 구조물

- Offshore에 건설되는 구조물은 DNV·GL-OS-C101 등 해상풍력기초설계 기준이 제시되어 있으며, 이 기준들은 한계상태설계법(LSD) 원리 및 정의, 하중조건, 하중조합, 재료, 구조물 설계, 기초설계, 쇄굴방지 등으로 구성되어 있음

- 현재 국내에서는「도로교 설계기준」(국토해양부,'12) 및「항만 및 어항 설계기준」(해양수산부,2014) 등에서 한계상태 설계법을 적용하고 있으며 한계상태 설계법을 근간으로 하는 「콘크리트 구조설계 기준」이 제정 작업 중에 있음

- 「항만 및 어항 설계기준」(해양수산부,'14)은 연안 및 근해구조물 설계를 중점적으로 서술하여, 고수심에 건설되는 인공섬구조물 설계 적용시 다소 무리가 있으나, '17년에 국가기준 코드화에 적합하게 설계기준코드와 시공기준코드로 통합정비되었음

  - 변화된 항만건설 여건 반영과 태풍, 이상파랑 등 해양외력의 기후변화 대응, 선박 및 장비의 대형화, 저탄소 녹색성장, 항만재하저감을 고려하였으며, 해외건설사업 진출에 도움이 될 수 있도록 국제 설계기준과 연계성 향상의 장점이 있음

- 국토교통부는 해양 콘크리트와 관련된 시방서(KCS 14 20 44 : 2016)를 통해 해양 콘크리트의 제조부터 시공에 이르기까지의 가이드라인을 제시하고 있음

  - 한국건설기술연구원에서는 '해안 콘크리트 구조물의 성능 저하 평가에 관한 연구(2003)', '해양 콘크리트 성능 향상 기술 개발 (2014)' 등을 통해 해양 및 해안 구조물에 적용되는 2성분계 및 3성분계 고내구성 콘크리트 관련 연구를 수행함

- 한국시설안전공단에서는 '해양환경 D/B를 활용한 교량의 염해특성 및 평가에 관한 연구 (2017)'를 통해 실제 국내 해상 콘크리트 교량에 대한 염분 침투량을 시험법으로 분석하고, 간편 예측 시스템을 개발하여 신뢰성 및 활용성을 검토 하였음

- 미국방성에서는 해양 콘크리트와 관련하여 통합 시설 가이드 (UFGS 03 31 29 Marine Concrete)를 통해 해양 콘크리트 제조 시 주의사항 및 성능평가 방법 등을 제시하고 있음

  - 미국콘크리트협회(ACI)에서는 해양 콘크리트가 약화되는 원인을 크게 콘크리

트 동결융해, 강재부식에 따른 파손, 해수에 의한 화학적 약화의 3가지로 분류하고, 6개의 기준관련 문서를 통해 해양 콘크리트 제조시 활용할 수 있는 가이드라인을 제시

- 한국과학기술원은 '탄소나노튜브를 활용한 기능성, 초고강도·경량 콘크리트 개발'에서 탄소나노튜브를 활용하여 초고강도·경량 콘크리트를 개발하고 내구성능을 실험실  수준에서 검증하였음

- 유비플러스에서는 '유,무기 복합 합성 나노 실리카를 이용한 해양콘크리트용 혼화제 개발(2011)'연구를 통해 해양콘크리트 혼화재용 유·무기 나노복합입자 제조방법을 개발하고, 이를 활용하여 콘크리트 내 공극수를 감소시켜 염화물 이온 침투를 차단하는 연구 결과를 보고하였음

- 케미우스코리아에서는 '초대형 구조물 시공을 위한 CNT 혼입 기능성 콘크리트 개발(2012)'연구를 통해 CNT를 활용해 시멘트 수화열을 방열하고 인장강도를 향상시켜 콘크리트 온도 균열을 저감시키는 고내구 수화열 방열 콘크리트를 개발함

- 비엔비는 세라믹 수지와 나노세라믹 플레이크 기술을 활용한 보수제 및 코팅제 등을 개발하고, 특히 내구성 높은 콘크리트 표면 코팅이 가능한 제품을 개발함

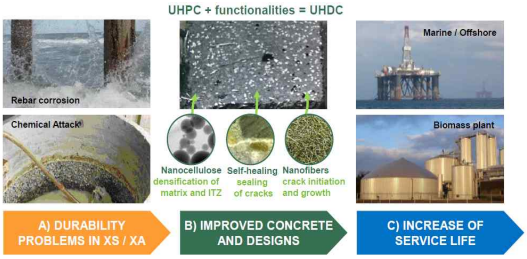
- 일본 홋가이도대학에서는 마이크로 버블 혼입 제너레이터 및 버블 유지 성능 확보형 혼화제를 적용한 고내구 콘크리트를 개발하였으나, 높은 단가 등으로 실용화까지 이르지는 못함

- 이탈리아의 'ReSHEALience project (2018)'는 유럽의 5개 대학, 2개 연구센터, 7개의 산업체를 중심으로 구성된 컨소시움으로 지열·바이오 매스 에너지 플랜트에 대한 해양 구조 및 기반 시설에 중점을 두고 있음

  - 극한 환경조건으로 인해 성능이 저하되는 구조물에 대하여 UHDC (Ultra High Durability Concrete) 및 DAD (Durability Assessment-Based Design) 방법론을 개발하는 연구를 수행중임

- 독일의 'EnDurCrete project (2018)'에서는 나노, 마이크로 기술 및 하이브리드 시스템을 포함하는 새로운 저 클링커 시멘트를 개발하여 적용함으로써 비용 효율적이고 지속 가능한 강화 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 하고 있으며, 핵심 기술 중에는 나노 기반 스마트 부식 방지제, 자체 감지형 탄소기반 나소 필러 개발 등이 있음

- 노르웨이 SINTEF의 'LORCENIS project (2015)'는 극한의 작동 조건에서 수명이 최대 100% 연장된 에너지 기반시설을 위해 스마트 혼합물(자기반응 나노소재) 활용 최적화 바인더를 사용한 철근 콘크리트를 개발하는 것을 목표로 함




<그림 Ⅴ-51> ReSHEALience project




<그림 Ⅴ-52> EnDurCrete project

◉ 독일의 C3 프로젝트에서는 콘크리트 구조물의 장수명화를 위하여 탄소섬유강화 복합재료를 활용한 철근 대체 재료 개발 및 콘크리트 구조에의 적용 관련 대규모 연구개발 프로젝트*를 진행 중이며, 이를 통하여 철근콘크리트 대체 시장의 글로벌 기술 리더로의 도약을 목표로 하고 있음

* Carbon Concrete Composite(C3) project : 2015~2020, 약 904억원




<그림 Ⅴ-53> 프로젝트 개요 및 개발재료 형상

◉ 일본에서는 탄소섬유강화복합재료를 포함하여 구조물의 장기내구성 향상을 위한 혁신적 구조재료 개발 및 이의 저비용, 대량 생산을 위한 연구개발 프로젝트*를 진행 중임.

* Construction of next-generation infrastructure using innovative materials Project : 2013~2021, 약 787억원




<그림 Ⅴ-54> 개발 자료 개요

◉ 미국에서는 철근 부식으로 교량 유지보수에 막대한 예산이 소요됨에 따라 교량의 철근부식방지의 근본적 대책으로 철근을 대체하여 새로운 섬유강화복합재료를 콘크리트 인장 보강재로 적용하고 있음

- 국내에서는 섬유강화복합재료를 활용한 철근대체 제품 관련 연구가 2000년대 초반에 일부 소규모로 진행된 것이 전부이며, 경제성 문제로 섬유강화복합재료의 건설분야 적용은 구조물 보강용 시트 등 제한적으로 생산 및 적용되고 있는 실정임
- 극한 해양환경에서의 콘크리트 구조물의 내구성 및 안전 확보를 위하여 부식을 근본적으로 차단할 수 있는 혁신적 재료 개발이 필요함
- 국내외에서는 다양한 용도의 해저구조물이 시공 또는 계획되고 있으며 각 연구기관에서 경쟁적으로 해양 구조물 시공방법에 대한 연구가 지속적으로 추진되고 있으나 해저로 깊게 굴착을 진행하여 해저터널 발진구로도 이용할 수 있는 수준의 대심도 굴착 기술에 대해서는 추가연구가 필요한 상태임



**<그림 Ⅴ-55> 일본의 동경만 해저터널 아쿠아라인 수직구**



**<그림 Ⅴ-56> 덴마크 오레순트 해저터널 인공섬**

- 해양조건에서 운용되는 장비는 유·무인 장비 모두 사용되고 있으나 모듈형 구조체 시공을 위해 뼈대가 되는 골조부분을 먼저 구축하고 해저바닥에 고정하여 해저면 하부로 굴착작업 및 프리캐스트 구조체 연결이 수행되어야 하므로, 다양한 자동화 장비의 적용이 가능한 모듈형 프리캐스트 구조체 시공에 대한 지속적인 연구가 필요함



**<그림 Ⅴ-57> 다양한 형태의 수중 기계화 시공 장비 - KIOST**

- 해저터널 수직구는 현재까지 육상조건에서 작업이 가능한 조건을 선호하여 섬 부지 등을 활용하여 수직구를 시공하는 방안이 적용

- 그러나 해양 조건에서 해저터널 시공을 위한 인공섬 건설을 위해서는 모듈형 프리캐스트 구조체를 먼저 시공하고 이를 이용하여 해저터널 발진구로 이용될 수 있도록 차수 및 연결방법 등에 대한 연구가 필요함

- 중국과 대만을 연결하는 해저터널 계획 및 한중 해저터널, 목포-제주 터널 시공 계획이 검토되고 있는 상황에서 프리캐스트 구조체를 수직구로 사용하는 기술은 장대해저터널을 효율적으로 시공하기 위하여 꼭 필요한 기술이며, 해저터널 시공 계획 증가에 따라 해당기술에 대한 개발 요구가 지속되고 있음
- 국내의 주요 해상공사는 가물막이 가설공법을 통하여 물막이 후 배수를 실시하여 콘크리트를 현장에서 타설하는 방식으로 수행되고 있으며, 이러한 공사는 많은 시간과 비용이 소요되고 있음
- 주요 해상 기초 가설공법에는 지오튜브 공법, 강널말뚝 공법, PC 하우스 공법 등이 있으며, 평균적으로 짧게는 1개월에서 많게는 4개월의 공기가 소요됨

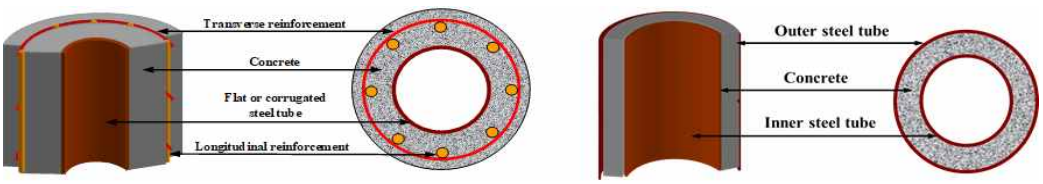


<그림 V-58> 원형 가물막이 가시설



<그림 V-59> 강널말뚝 공법

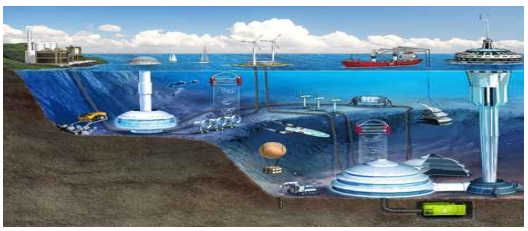
- 모듈형 구조는 급속시공에 따른 공기의 단축으로 경제성이 확보되며, 현장작업의 최소화로 작업자의 안전성이 증가하는 장점에 따라 세계적으로 모듈형 구조물에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 모듈 구성에 적합한 구조형식과 강도와 경제성을 보장할 수 있는 연결부에 대한 연구가 주를 이루고 있음
- 최근 국내에서는 모듈형 구조체 적용을 위해 강-콘크리트 합성 및 FRP-콘크리트 구조체가 개발되어 프리캐스팅 작업의 편의성과 강도 확보를 위한 연구가 수행된 바 있으며, 이를 적용한 교각 및 풍력타워, 수중터널 등에 대한 다양한 연구가 수행됨



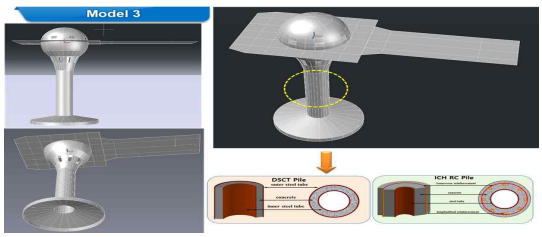

<그림 V-60> 중공 합성구조

- 한국해양과학기술원에서 합성구조 및 복합구조를 적용한 모듈형 풍력타워가 개발되었으며, 국내와 일본, 노르웨이, 중국 등에서 수중터널에 대한 연구가 수행된 바 있으나 명확한 시공방안을 제시한 연구는 없음

◉ 해저 구조물과 해상의 연결을 위한 수직탑에 대한 개념은 일본과 국내의 수중터널 연구에서 제시된 바 있으나 모듈형 구조가 아닌 일반적인 구조물로 제시되었으며, 해저기지와 해상의 연결을 위한 수직탑 및 해상 스테이션의 지지구조로서의 수직탑의 개념은 제안되었으나 실제 연구는 이루어지지 않았음



<그림 Ⅴ-61> 해저 과학 기지




<그림 Ⅴ-62> 다목적 해상 스테이션

## (나) 관련 기술 보유 주체 현황

<표 Ⅴ-1> 세계 선도기술 보유 주체 현황

| 기관명 | 주요 내용 |
|---|---|
| DOT社 | • 두바이의 Hydropolis Underwater Hotel and Resort 설계<br>• 착저식 수중구조물과 디스크형 수상 구조물을 타워로 연결 |
| US Submarines, Inc. | • 피지의 해저리조트인 Poseidon Undersea Resorts 설계<br>• 세계 최초의 영구적인 one-atmosphere 해저 구조물 |
| Shell | • 북해 중부의 Brent Field Platonisms<br>• Concrete Gravity Fixed Platforms |
| Statoil | • 영국 북해에 재킷 구조물인 Mariner A 설치<br>• 강재 재킷의 상단을 기준으로 각각 1만 톤 이상인 2개의 모듈을 포함하여 8 개의 모듈로 구성 |
| 시미즈 건설 | • 심해 미래 도시구상 '오션 스파이럴(Ocean Spiral)' 을 제시<br>• 수면에서부터 수심 3000~4000m 깊이까지 나선 모양의 구조물로 구상 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

〈표 Ⅴ-66〉 국내 관련 기술 특허 현황

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1895506B1 | 해저 대심도용 앵커 | 대우조선해양/ 대한민국 | • 대심도 초기 관입과 관입 이후, 앵커의 궤적 안정성을 높여서 앵커의 파지력을 증가시켜 해상의 기상 조건에 대응할 수 있는 해양 부유구조물의 계류를 가능하게 하는 기술 |
| KR1863912B1 | 착저식 해상 구조물 | 삼성중공업/ 대한민국 | • 플로팅 바디, 플로팅 바디의 하부에 이격되어 배치되는 착저 바디, 플로팅 바디와 착저 바디의 사이에 복수의 지지 레그 간의 유압 또는 공압의 압력 공유를 통해 해저의 지형에 맞추어 배치되어 수면에 대해 수평을 유지할 수 있는 기술 |
| KR1043605B1 | 해상 구조물의 설치를 위한 연약지반용 단일 지지 파일의 멀티형 서포트 커넥터 기구 | 언딘/ 대한민국 | • 연약 지반에 항타 설치되는 메인 지지 파일이 관통 수용되도록 본체 및 본체 상부의 지지 어댑터를 포함한 멀티형 서포트 커넥터 기구 |
| KR1622391B1 | 친환경적 차수구조물을 이용한 항만 기초 시공 공법 | 연합토건/ 대한민국 | • 항만 구조물의 건축을 위한 기초 시공시 원지반을 교란시켜지는 오염물질과 부유물질을 차수구조물 밖으로 유출되지 않도록 함으로써 주변 양식장의 오염 방지를 목적으로 는 항만 기초 시공 공법 |
| KR1459649B1 | 해상 지지구조물 설치를 위한 이중 부유구조체 및 이를 이용한 해상 지지구조물 시공 방법 | 한국건설기술연 구원/대한민국 | • 상부 부유구조체 및 하부 부유구조체로 이루어진 이중 부유구조체를 사용하여 업바지의 운용이 불가능한 연약지반에서의 해상지지구조물 설치를 가능하게 하는 시공 기술 |
| US7710820 | Seabed seismic source apparatus | Schlumberger Technology/ 미국 | • 원격 신호를 수신하는 수신기 및 원격 신호에 응답하여 점화 신호를 생성하는 점화 제어기를 통해 해저 지진을 측정/감지하는 심해 해저용 제어 모듈에 관한 기술 |
| EP01305206B1 | METHOD AND STRUCTURE FOR CONNECTING A FLOATING STRUCTURE WITH ROPE ANCHOR LINES TO THE SEABED | Single Buoy Moorings/ 스위스 | • 해상 선박에 일시적 부표를 상호 연결함으로써 해저상에 고정된 2개의 인장 부재(앵커 라인)는 항상 인장 상태를 유지하여 앵커 라인의 손상을 방지 할 수 해상 구조물의 연결에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술수준 분석

■ (기술수준) 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 개발 기술수준은 최고 기술국인 일본 대비 77.6%(추격그룹[21]) 수준으로 주요 5개국 중 4위

◉ 최고기술국인 일본(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 유럽(99.0%) > 미국(98.0%) > 중국(78.9%) > 한국(77.6%) 순으로 나타남

* 유럽과 미국은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 개발 기술 對최고기술국(일본) 기술격차는 3.6년으로 일본에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국과 비슷한 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對일본 3.6년, 對유럽 3.3년, 對미국 3.3년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-67> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B1)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 77.6 | 3.6 |
| 미국 | 선도 | 98.0 | 0.3 |
| 일본 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 유럽 | 선도 | 99.0 | 0.3 |
| 중국 | 추격 | 78.9 | 3.3 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 정부지원 정책 미흡인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-68> 기술격차 요인(B1)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| • | | | ◎ | | ○ | |

21) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

■ (기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 도입기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

<표 Ⅴ-69> 기술 발전단계 평가결과(B1)

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | | 국외 |
| | | 도입기 | | 성장기 |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

■ (기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 독창적 부분이 많으나 모방 시 난점 존재

<표 Ⅴ-70> 기술적 수준 평가결과(B1)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 독창적 부분 많음 |
| | 모방 난이도 | 모방 시 난점 존재 |
| | 파급성 | 일부 분야에 응용가능성 있음 |

■ (기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 적당히 있으며, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건 및 지원 인프라는 보통 수준임

<표 Ⅴ-71> 기술경쟁력 수준 평가결과(B1)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 적당히 있음 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 지원 인프라 보통 |

■ (기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)은 높은 것으로 조사

<표 Ⅴ-72> 기술영향력 평가결과(B1)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 높음 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

<표 Ⅴ-73> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 | 개발 방향 |
|---|---|---|
| 해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태 설계 기술 | • 해양 구조물 설계기준별 상이한 기준에 따른 비효율적이며 비경제적 설계 방법<br>• 기존 건설 재료인 강재와 콘크리트의 염해에 의한 내구성 저하로 해양 구조물의 내구수명 단축 | • 인공섬 설계시 고려해야 할 설계하중 및 하중조건에 대한 분석을 통한 구조물 형식별 합리적인 한계상태설계 방법 개발<br>• 극한의 해양환경에 적용 가능한 초경량·고내구성 콘크리트 복합재료 개발로 해양 구조물의 장수명화 기술 개발 |
| 해양 구조물 모듈형 자동화 시공기술 및 안정성 평가 기술 | • 인력에 의한 현장제작 및 수중시공에 따른 공사기간 증가, 시공품질 저하 및 안전성 확보 미흡<br>• 잠수부의 제한된 작업시간으로 인한 연결부 품질 저하에 따른 수밀성 확보 미흡 | • 대형 모듈형 프리케스트 구조체를 제작, 운반, 설치 할 수 있는 자동화 시공법 및 시공관리 플랫폼 기술 개발<br>• 해양 구조물의 다양한 환경하중에 대하여 충분한 강성과 수밀성을 유지할 수 있는 안정성 평가 및 확보 기술 개발 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해양환경에서 구조물 설계시 고려되어야 할 설계하중과 하중계수 및 하중조합에 대한 규정을 제시하여 인공섬 건설을 위한 한계상태설계방법(안)을 제시하고 개발된 설계기준의 검증을 위한 가상의 인공섬 설계(안) 기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해양환경에서 인공섬 설계시 고려해야 할 설계하중 및 하중조건에 대한 규정 개발

- 한계상태 정의: Ultimate limit state, Fatigue limit states, Accidental limit state, Serviceability limit states
- 설계하중: Permanent Loads, Variable Loads(ship 충돌하중 등 포함), Environmental Loads(바람, 파도, ice, water Level, earthquake, scour, 교통 등), fatigue, 기타(Fire, Blast, accident)

- 하중계수/하중조합: Load Factor, Resistance Factor 또는 Partial Safety Factor 와 Combine 결정

◉ 인공섬의 구조물 형식별 설계기준 및 방법론(Methodology) 정립

- Materials technology: concrete, steel, 강-콘크리트합성, 신소재
- Structural Design: 중력식구조물, Jacket식 구조물, Lattice tower, Tension leg platforms, Foundation and connection etc
- Installation: transportation, Pile/structure installation, Grouting of installation etc

◉ 인공섬 구조물에 대한 한계상태설계기준(안) 및 설계절차서(안) 개발

◉ 인공섬 구조물의 가상설계를 통한 설계기준 검증

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-74> 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 설계하중 및 하중조건 규정 | 설계하중/하중계수/하중조합 규정 | 콘크리트 구조설계 기준 | API 기준 | API 기준 이상 |
| 구조물 형식별 설계기준 및 방법론 | 사용재료/구조형식/시공방안별 설계기준 | 콘크리트 구조설계 기준 | API 기준 | API 기준 이상 |
| 설계기준 검증 | 설계기준 및 설계절차서 | 콘크리트 구조설계 기준 | API 기준 | 설계기준(안) 1건 이상 |
| | 인공섬 구조물 가상설계 | 콘크리트 구조설계 기준 | API 기준 | 가상설계(안) 제시 |

## (나) 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발

### 기술 개요 및 목표

- 극한의 해양환경에서 건설되는 구조물에 적용되는 콘크리트는 가벼운 자중과 높은 내구성을 필요로 함에 따라 나노기술(나노 크기의 소재 및 공극 등) 및 탄소보강재를 활용한 해양 구조물용 초경량·고내구성 콘크리트 개발

### 기술 개발내용 및 범위

- 나노소재 및 경량골재 활용 초경량(단위중량 1.8t/m3), 고강도(압축강도 80MPa급) 콘크리트 재료 개발
  - 나노재료를 활용한 표면개질 경량골재 활용 기술
  - 나노소재(탄소나노소재, 나노 유·무기 소재 등) 활용 고강도 발현 기술

### 공용수명 200년 이상의 고내구성 콘크리트 재료 개발

- 탄소기반 보강재(bar형, grid형)의 최적 형상 설계 및 제조 기술
- 나노폴리머 점도개선제 활용 콘크리트 내 유해이온 확산저감 기술
- 나노소재 활용 해양생물 부착 억제용 콘크리트 코팅제 제조 및 코팅막 형성 기술

- 초경량·고내구성 콘크리트의 성능평가 기술 개발
  - 탄소기반 보강재가 적용된 콘크리트의 역학성능 및 부착성능 향상 기술
  - 장기 열화 예측 모델 및 시뮬레이션 기술
  - 비파괴 시험방법을 통한 성능평가 및 수명예측 기술

- 초경량·고내구성 콘크리트의 배합 설계 지침(안) 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-75> 해양극한환경 대응 초경량고내구성 재료 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 고강도 경량 콘크리트 기술 | 경량도 | 1.9 ton/$m^3$ | 1.45 ton/$m^3$ | 1.8 ton/$m^3$ 이하 |
| | 강도 | 80MPa | 80MPa | 80MPa 이상 |
| 고내구성 콘크리트 재료 기술 | 공용수명 | 100년 | 100년 | 200년 이상 |
| | Anti Biofouling 기능 | N/A | N/A | 생물부착 저해율 70% 이상 |

## (다) 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 프리캐스트 구조체를 해저터널 발진구로 이용할 수 있도록 모듈형 구조체 및 시공 자동화 기술을 구축하여 작업 효율 및 안전성을 증대시키고 해저터널 발진구와 향후 환기구 및 인공섬 기초로 활용할 수 있는 해저터널 착저식 수직구의 시공 기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 모듈형 프리캐스트 구조물 및 해저터널 수직구 적용 방안 검토

- 해저지반 및 해중 시공에 따른 최적의 모듈 분할 및 규모 검토

◉ 대형 모듈형 구조체의 시공 절차별 특성 분석

- 모듈의 육상 제작방법 및 해상 운송 수단별 경제성 분석
- 모듈의 수중 또는 해상 설치시 구조물간 연결시스템 및 차수 기술 개발

◉ 대심도/대구경 해저 수직굴착 및 무인장비를 활용한 자동화 시공 기술 개발

- 대심도 해저면 수직굴착 자동화 기술 개발
- 트랙기반 해저 중작업용 자동화 장비 활용 기술(지반조사, 지반굴착, 구조체 설치/조립)

◉ 통합 시공관리 플랫폼 개발

- 디지털기반 시공관리시스템 (제작, 시공, 장비제어, 안전)

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-76〉 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 모듈형 급속 시공 기술 | 공기 단축 | N/A | N/A | 비모듈형 대비 20% 이상 단축 |
| | 시공관리 | N/A | N/A | 비모듈형 대비 공사비 10% 이상 절감 |
| 무인장비 적용 기술 | 수중 작업가능 시간 | N/A | N/A | 인력 대비 100% 이상 증가 |
| | 시공 오차 | N/A | N/A | 인력 대비 50% 이상 감소 |

## (라) 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널과 해상구조물을 연결하는 수직탑인 수중구조물의 급속시공과 경제성 확보를 위하여 모듈형 구조물의 개발과 해양외력에 대해 충분한 강도와 수밀성을 확보하여 안전성이 확보된 모듈 연결장치를 개발하고, 세굴저감 기술의 개발을 목적으로 함

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 수중구조체에 작용하는 다양한 외력 및 거동 평가기술 개발

- 극한 해양환경(태풍, 쓰나미 등)에 대응 가능한 인공섬 형상 및 방재구조물 설계기술 개발

◉ 시공 및 운송을 고려한 수중구조체 안정성 평가 및 확보 기술 개발

- 모듈형 수중구조체 연결부 수밀기법 및 거동 제어기술 개발
- 구조체 내부격벽 구조 설계기술 및 연결부 기본설계
- 설계 조건별 매개변수에 따른 설계(안) 도출
- 수중구조물 연결부 적용성 분석 및 연결부 성능 평가

◉ 착저식 인공섬 세굴 예측기술 개발 및 세굴 방지를 위한 최적 형상 제안

- 착저식 인공섬 연결부에 대한 세굴방지 보강방안 제시
- 세굴 발생 및 진행을 방지하기 위한 세굴 방지공 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-77〉 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 수중구조체 모듈 최적화 기술 | 단면 축소율 | N/A | N/A | RC구조 대비 15% 이상 축소 |
| | 연결부 수밀성 | N/A | N/A | 일체형 성능의 97% 이상 |
| | 연결부 강도 | N/A | N/A | 일체형 강도의 85% 이상 |
| 세굴방지 기술 | 세굴 저감율 | N/A | N/A | 보호공 미적용시 대비 70% 이상 |

## (3) 구성기술 확보 전략

〈표 Ⅴ-78〉 핵심기술 확보 전략

| 과제 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| 해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태 설계 기술 | 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 해양극한환경 대응 초경량고내구성 재료 기술 개발 | | ◐ | ● | ○ | | |
| 해양 구조물 모듈형 자동화 시공기술 및 안정성 평가 기술 | 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술 | ○ | ◐ | ● | | ◐ | |
| | 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술 | | ◐ | ● | ○ | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (4) 파급효과(기대효과)

### (가) 시장경제적 기대효과

- 구조물의 안정성 확보에만 우선순위를 둔 과도한 설계를 방지하여 건설비용의 절감을 통한 경제성을 확보 가능
- 해양 구조물의 모듈화 공정으로 인해 시공기간의 단축으로 시공비용을 절감할 수 있으며, 구조물의 모듈화는 타 산업으로의 적용이 가능함
- 장대 해저터널 시공을 위한 요소기술 확보로 수중조건에서 해저터널 시공용 장비를 거치할 수 있는 기술을 확보하여 공사기간 단축으로 인한 경제성 향상 가능
- 첨단기술 활용 건설재료 기술 개발을 통하여 국내 건설산업의 해외 극한환경 구조물 관련 글로벌 경쟁력 확보 및 수주 확대 기대

### (나) 과학기술적 기대효과

- 국제적으로 적용 가능한 표준 규격에 부합하는 선진화된 설계기준의 확립은 국내 건설사 및 설계사의 해외 건설시장 진출에 기여하여 국가적 경쟁력을 확보할 수 있는 주요한 열쇠가 될 수 있음
- 외국 기술 도입에 따른 경제적 손실을 방지하고, 국내 실정에 일부 부적합한 미국, 유럽 등의 시방기준으로부터 탈피하여 국내 현실에 맞는 차세대 한국형 기준 개발 가능
- 개발 예정인 착저식 인공섬 설계·시공기술은 국내·외 건설 설계사 및 시공사에 기술 이전을 통한 해중터널 건설 시장 확대 가능
- 해외에서는 복잡한 세굴 현상을 단순히 사석을 세굴 방지공으로 과도하게 사용하지만, 경제성을 고려한 블록 형태의 구조물을 세굴방지공으로 적용한다면 인공섬 건설 비용의 최적화를 유도할 수 있음
- 나노소재 활용 콘크리트 기술은 국내외 모두 기초적 수준에 머물러 있다는 점에서, 관련 기술 개발은 원천기술 해외 시장 선점과 글로벌 브랜드화로 이어질 것으로 판단됨
- 관련 기술 개발을 통해 ISO와 같은 국제 표준에 적용이 가능한 혁신적인 가이드라인 제시가 가능할 것으로 예상됨

### (다) 사회문화적 기대효과

- 인공섬 건설기술의 개발은 국방, 과학기술, 교통, 통신, 관광 등 해양을 이용한 새로운 사업분야로 파급되어 국가적으로 새로운 경제적인 효과를 기대할 수 있음
- 나노소재를 활용한 초경량·고내구성 콘크리트 기술은 다양한 구조물에 적용이 가능하며, 콘크리트 제조와 관련된 산업 분야의 전반에 걸쳐 적용 및 응용이 가능함
- 나노 및 건설 분야와의 융합을 통해 전문인력 양성 및 연구 인프라 확대된다면 신규 시장 창출이 가능할 것으로 판단됨

## (5) 수행 기술 로드맵

- 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음
  - 핵심기술 1은 “해양극한환경 대응 고내구성 재료 및 한계상태설계 기술”로서 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 및 해양극한환경 대응 초경량·고내구성 재료 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 개발된 세부기술들은 핵심기술 2와 연계하여 추진할 예정임
  - 핵심기술 2는 “해양구조물 모듈형 시공자동화 및 안정성 평가 기술”로서 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술 및 해양구조물의 안정성 평가·확보 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 핵심기술 1의 세부기술들과 연계하여 가상설계를 통한 성능 검증을 진행할 예정임




**<그림 Ⅴ-63> 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 로드맵**

## (6) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

<표 Ⅴ-79> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 13.4 | 19.3 | 21.3 | 22.1 | 16.4 | 92.5 |
| 민간 부담금 | 현금 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 3.2 |
| | 현물 | 4.2 | 6.1 | 6.6 | 6.8 | 5.0 | 28.6 |
| 합계 | | 18.1 | 26.0 | 28.6 | 29.6 | 22.0 | 124.3 |

<표 Ⅴ-80> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 16.1 | 23.1 | 25.4 | 26.3 | 19.5 | 110.3 |
| | 인건비 | 9.5 | 13.4 | 14.8 | 14.8 | 11.5 | 64.1 |
| | 연구장비. 재료비 | 2.3 | 3.7 | 4.3 | 5.4 | 2.8 | 18.6 |
| | 연구활동비 | 1.9 | 2.6 | 2.9 | 2.6 | 2.3 | 12.2 |
| | 연구과제추진비 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 9.0 |
| | 연구수당 | 0.9 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 6.4 |
| 간접비 | | 2.0 | 2.9 | 3.2 | 3.3 | 2.5 | 14.0 |
| 합 계 | | 18.1 | 26.0 | 28.6 | 29.6 | 22.0 | 124.3 |

## (나) 소요 인력

■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-81> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 9 | 11 | 12 | 13 | 11 | 56 |
| 석사급 | 15 | 23 | 26 | 25 | 19 | 108 |
| 학사급 | 20 | 29 | 31 | 31 | 23 | 134 |
| 합계 | 44 | 63 | 69 | 69 | 53 | 298 |

# 2. 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

- 국내의 경우 대형 부유체 기술은 일정 수준 확보되었으나, 해양공간을 위한 대규모 부유식 해상구조물과 그에 필요한 모듈 확장기법이 실제 적용된 사례가 없는 실정임
- 향후 미래 해양공간에 대한 수요 측면에서도 부유식 인공섬에 대한 필요성이 높아질 것으로 예상되며, 부유식 인공섬의 위치유지 성능에 관한 모형시험 평가기법의 개발을 통해 개발 기술의 성능검증이 가능할 것으로 판단됨
- 모듈 확장형 부유체의 경우 다수의 부유체를 제작지(야드)에서 실해역 현장으로 안전하게 운반해야 하기 때문에 효율적인 이송기법 설계가 중요함
- 초대형 부유체와 같은 해양구조물의 파손위험에 관한 신뢰성 및 구조적 안전성 확보를 위한 국가차원의 제반기술 확보 요구가 증가함
- 해상에서 발생하는 다양한 사고(선박충돌, 부식 손상, 계류선 절단, 좌굴, 침수, 표류 등)로 인한 해양 구조물의 구조안전성 평가의 필요성이 증가되고 있음

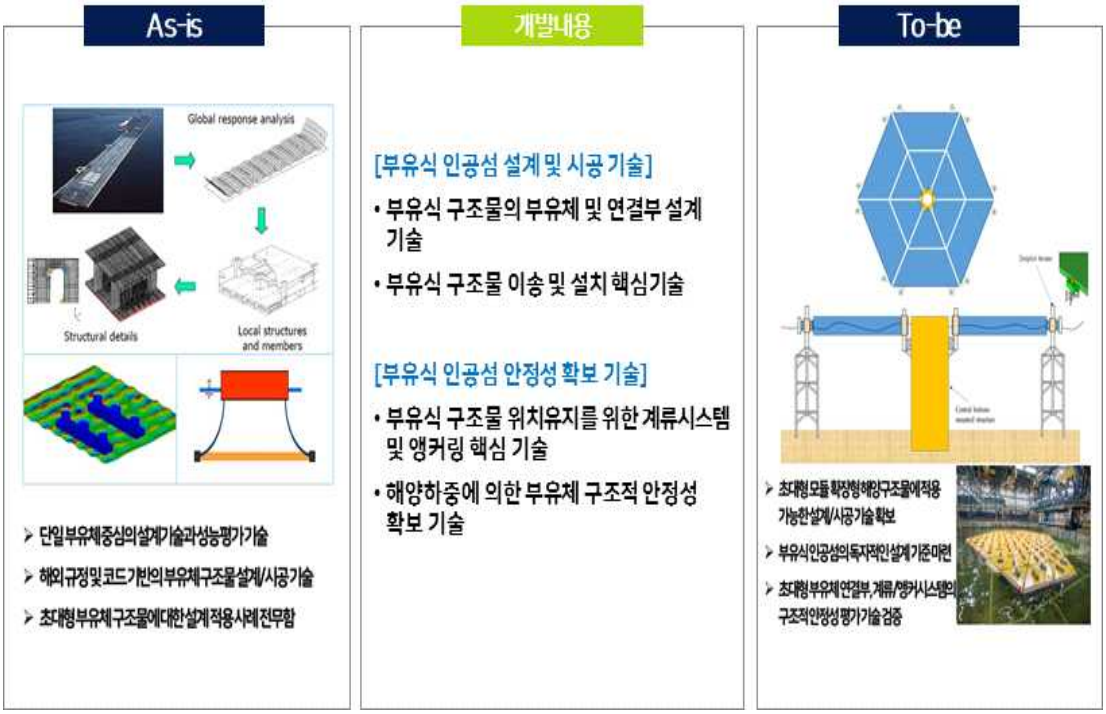
### (2) 기술개발의 필요성

- 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술
  - 부유구조물 본체 기술, 모듈-모듈 연결부 기술, 인공섬-부유체 연결부 기술 등은 해저터널와 연결된 부유식 인공섬의 안전성과 직결되는 핵심 요소기술로서 이에 대한 설계/평가 기술의 확보가 필요
  - 부유식 인공섬의 경우 착저식 해저터널과의 연결부가 존재하고, 부유체 간에도 다수의 연결부가 존재하기 때문에 해상 작업의 안전성 확보를 위해서 특화된 설치 공법 개발 및 설치 작업 성능 평가 연구가 필요
  - 부유식 인공섬의 위치를 유지하기 위해 필요한 복합 계류 및 앵커링 시스템의 경우 다수의 간섭이 예상되고, 견고한 시공이 요구되기 때문에 설계단계에서부터 설치 공법에 대한 연구가 필요
- 부유식 인공섬 안정성 확보 기술
  - 부유식 인공섬의 위치를 유지하기 위한 계류 및 앵커링 시스템은 극한 환경하중 조건에서의 부유식 인공섬의 생존성과 직결되기 때문에, 이에 대한 신뢰도 높은 설계기술 및 성능평가 기술을 확보하는 것이 반드시 필요함

- 부유식 인공섬의 용도에 따라 설계기준이 결정될 것으로 예상되며, 대상 해역의 환경하중을 고려한 계류시스템 및 앵커링의 핵심기술을 확보하는 것이 중요함
- 특히 대상해역의 수심 등의 해양환경에 따라 계류시스템의 형태와 앵커링의 요구사항이 변경되며, 수심 및 환경하중을 고려하여 부유식 인공섬에 작용하는 하중의 평가와 계류 및 앵커링 시스템의 성능평가가 요구됨
- 초대형 부유식 해양구조물의 특성상 경험과 기술력을 갖춘 선진 전문업체가 시장을 독점하고 있고 진입장벽이 높으며 필수적으로 수행해야 하는 설계·엔지니어링 기술과 독자적 원천기술 확보가 필요함
- 초대형 부유식 해양구조물의 고부가가치영역인 구조안전성평가 엔지니어링 기술은 해양구조물의 생애주기로 보면 국내의 생산 및 시공기술의 절대적인 우위를 점하고 있음에도 불구하고 설계기술의 자립화를 위해서는 상당한 노력이 필요할 것으로 전망됨

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-64> 개술개발 내용

본 기술은 해상공간 확장을 위한 부유식 인공섬 설계 및 시공기술과 부유식 인공섬 안정성 확보 기술을 개발하는 것임

▷ 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술

▷ 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심 기술

▷ 부유식 구조물 위치유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술

▷ 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술

<표 Ⅴ-82> 중점분야별 핵심 및 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 | 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술 | • 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술<br>• 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심 기술 |
| | 부유식 인공섬 안정성 확보 기술 | • 부유식 구조물 위치유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술<br>• 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술 |

■ 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술

◉ 부유식 인공섬 건설을 위한 연결부(인공섬-모듈, 모듈-모듈)간의 설계를 최적화하여 안정성을 확보하는 기술임

- 모듈확장형 부유체 표준 설계모델 정립 및 개발

■ 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심 기술

◉ 부유식 인공섬을 건설하기 위한 대형 모듈형 프리캐스트 구조체를 안전하게 이송하여 설치하는 기술임

- 부유식 인공섬 구조물의 이송/운송 설계(안) 개발

- 부유식 인공섬 구조물 및 계류시스템 설치 설계(안) 개발

■ 부유식 구조물 위치유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술

◉ 부유식 인공섬에 적용 가능한 복합형 계류시스템과 앵커링 최적 설계 및 안정성을 평가하는 기술임

- 부유식 인공섬의 복합형 계류시스템 및 앵커 기본 설계(안) 개발

- 부유식 인공섬에 작용하는 환경하중 및 설계 DB 구축

- 부유식 인공섬의 위치유지 성능 Mock-up 실험 평가기법 개발

■ 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술

◉ 부유식 구조물의 생애주기동안 구조적 안정성능을 평가하고 단계에 따른 위험도를 분석하는 기술임

- 부유식 구조물의 구조적 안정성능 평가시스템 개발

## (2) 기술개발 목표

■ 본 기술은 부유식 인공섬에 적용할 수 있는 최적의 설계 및 시공기술을 확보하고, 더 나아가 부유식 인공섬의 위치유지를 위해 필수적인 복합형 계류시스템 및 앵커링 설계 방안 마련을 통한 부유식 구조물의 구조적 안정성을 평가하는 기술 개발을 목표로 함

**<표 Ⅴ-83> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술 | • 부유식 인공섬 건설을 위한 인공섬과 모듈, 모듈과 모듈간의 최적 설계 및 시공 기술<br>• 부유식 인공섬을 건설하기 위한 대형 모듈형 프리캐스트 구조체를 이송 및 설치기술 | • 모듈형 부유체 표준 설계모델 제시<br>• 모듈형 부유체 이송/설치 절차서 제시<br>• 유탄성 해석 기술 정확도 90% 이상 |
| 부유식 인공섬 안정성 확보 기술 | • 부유식 인공섬에 적용 가능한 복합형 계류시스템 및 앵커링 최적 설계 및 평가 기술<br>• 부유식 구조물의 구조적 안전성능을 평가하고 단계별 위험도를 분석하는 기술 | • 계류 및 앵커시스템 설계(안) 제시<br>• 구조손상도 평가기법 1건 이상<br>• 축소모형 성능평가 기법 1건 이상 |

# 다. 국내외 기술개발 동향

## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

■ 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술

- 일본은 Mega Float 프로젝트를 통해 부유체를 활용하여 해상공항을 건조하는 연구를 수행한 바 있으며, 미국은 다수의 부유체 모듈을 연결하여 이동식 군사기지(MOB)를 건조하는 기술개발을 수행하였음

- 부유식MOB(미국McDermott)



<그림 Ⅴ-65> 부유식 해상공항(일본 Mega Float 프로젝트)




<그림 Ⅴ-66> 부유식MOB(미국McDermott)

- 최근에는 부유식 구조물을 실제로 활용하여 네덜란드에서 수상가옥을 지은 바 있으며, 캐나다 등에서는 신개념의 부유식 양식장을 건조한 사례도 있음. 또한, 프랑스 등에서는 부유식 친환경 인공도시(ecopolis) 개념이 도입되어 그 가능성을 연구중임



<그림 Ⅴ-67> 부유식 수상가옥 (네덜란드)



<그림 Ⅴ-68 부유식 연어 양식장 (캐나다)



<그림 Ⅴ-69> Floating ecopolis (프랑스)

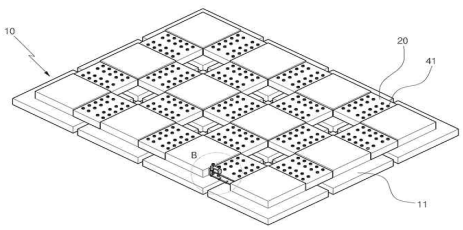
- 국내에서도 선박해양플랜트연구소 등에서 VLFS 프로젝트를 통해 부유체 기술을 자체적으로 확보하여 마리나리조트, 컨테이너 터미널, 해상공항, 인공섬 등을 설계하고 모듈형 부유체 기술을 연구하였음







<그림 Ⅴ-70> 마리나리조트, 컨테이너터미널, 해상공항 (선박해양플랜트연구소 VLFS 프로젝트)




<그림 Ⅴ-71> 모듈형 부유체 개념도 (선박해양플랜트연구소)



<그림 Ⅴ-72> VLFS 기반 복합 인공섬 개념도 (선박해양플랜트연구소)

- Oil&Gas 시추 및 생산을 위한 대형 해양구조물의 경우 일반적으로 해상 크레인을 이용한 설치 공법이 널리 활용되고 있음

  - 최근에는 초대형 해양구조물의 경우 복수 해상 크레인을 활용한 설치 공법이 연구되고 있고 일부 현장에 적용하고 있으며, 이 경우에는 다물체 동역학 기술, 복수 크레인 제어기법, 모니터링 기술 등이 중요하게 연구되고 있음



<그림 Ⅴ-73> 해상 크레인 설치 공법



<그림 Ⅴ-74> 복수 크레인 설치 공법

◉ 초대형 탑사이드(Topside) 구조물의 경우 크레인의 용량의 한계로 플로트오버 설치공법이 활발히 적용되고 있으며, 최근에는 단순한 바지선이 아닌 DP 설치선을 이용한 플로트오버 공법, Dual 바지선을 이용한 플로트오버 설치공법 등이 개발되어 현장에 활용되고 있음



<그림 Ⅴ-75> 플로트오버 설치 공법

◉ 해양구조물을 이송/운송 하는 방법에는 운송선 위에 실고 가는 방법과 예인선(터그)을 이용한 예인 방법이 있음

- 운송과 관련해서는 Fastening 방법이나 최적 운송경로 등에 대한 연구가 중요하게 진행되고 있으며, 예인과 관련해서는 예인안정성, 예인력 추정 기법에 대한 연구가 지속되고 있음



<그림 Ⅴ-76> 해상 운송

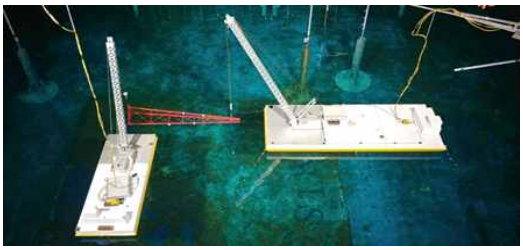


<그림 Ⅴ-77> 예인 (Dry towing)

- 국내에서는 최근 현대중공업 주관으로 산업통상자원부 미래선도과제에서 해저장비 및 URF 설치를 위한 심해설치 공사기술 개발을 수행한 바 있으며, 해양수산부 R&D과제로써 선박해양플랜트연구소 주관으로 플로트오버 및 복수크레인 설치기술에 대한 연구개발을 진행 중에 있음



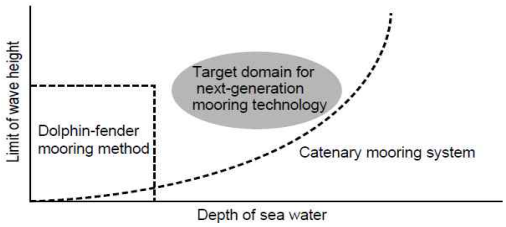
<그림 Ⅴ-78> 해상 URF 설치 작업 모형시험



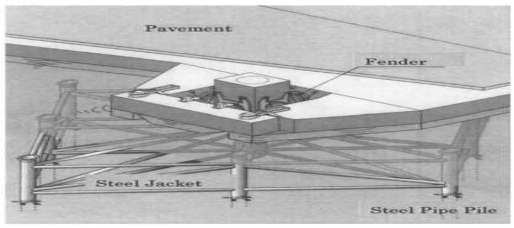
<그림 Ⅴ-79> 복수크레인 설치 작업 모형시험

■ 부유식 인공섬 안정성 확보 기술

- 부유식 인공섬의 계류시스템과 관련하여 여러 안들이 제시됨. 연안에 설치되는 구조물의 경우 대체로 돌핀-펜더 계류 방식이 활용되며, 수심 및 파고 제한에 따라 계류 방식이 결정됨

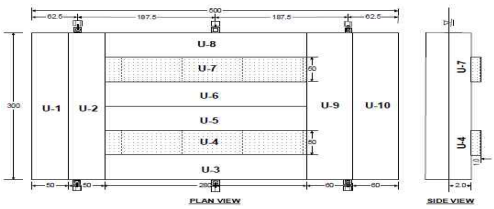



<그림 Ⅴ-80> 수심과 파고에 대한 계류방식의 상관관계

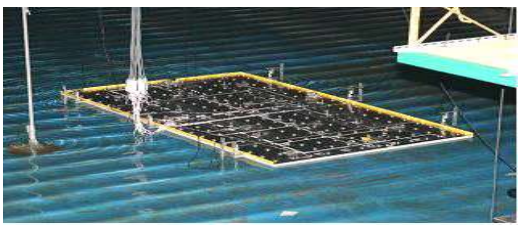



<그림 Ⅴ-81> 자켓 형태의 돌핀-펜더 시스템

- 국내에서 수행한 초대 형 부유식 해상구조물 기발개발에서 50m 이하의 수심에서 돌핀-펜더 시스템이 활용되었으며, 이에 대한 수조 모형시험을 진행한 바 있음

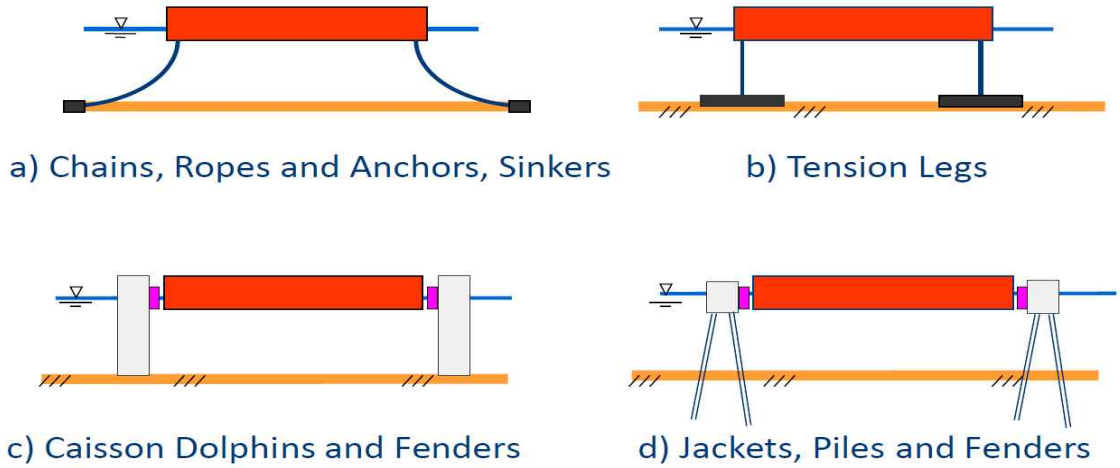



<그림 Ⅴ-82> 폰툰타입 구조물 개략도



<그림 Ⅴ-83> 돌핀 펜더 시스템에 대한 모형시험

◉ 위치유지 방식은 크게 계류선을 이용한 방식과 돌핀 펜더 시스템으로 나눌 수 있음




**<그림 Ⅴ-84> 부유식 구조물의 위치유지 시스템 (a) 체인-싱커 계류 (b) 인장식 계류 (c) 케이슨 돌핀-펜더 (d) 자켓 파일 펜더**

◉ 미국은 이동식 해상기지(Mobile Offshore Base, MOB)와 관련한 연구를 해군연구청(Office of Naval Research) 지원으로 수행함

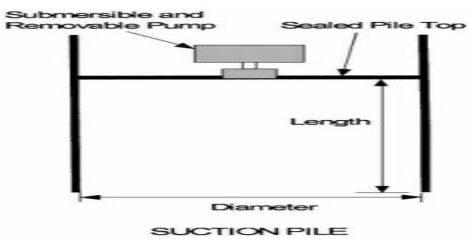
- 본 구조물은 반잠수식 해양구조물 형태로 대양에서 설치를 목적으로 하며, 대양에서의 계류를 위한 섹션파일에 대한 연구를 수행함



**<그림 Ⅴ-85> MOB의 4모듈 모델(미국)**



**<그림 Ⅴ-86> MOB 개략도(미국)**

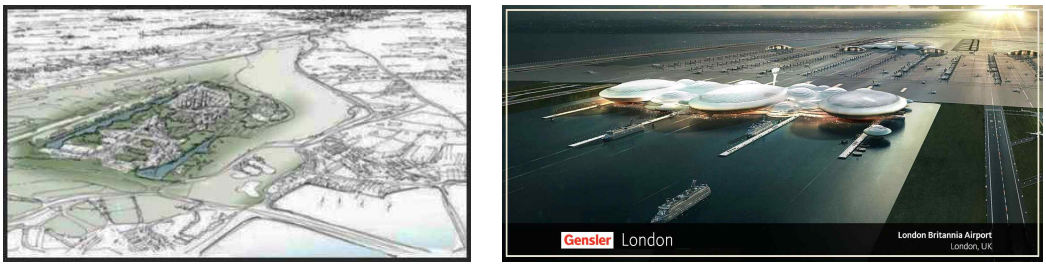



**<그림 Ⅴ-87> MOB용 섹션파일**

- 영국 런던의 브리타니아 공항의 경우 영국정부 주도로 영국의 남동쪽을 부유식으로 연결하고, 유레일 네트워크를 형성하려는 계획을 진행하고 있음

  - 본 구조물 건설은 state-of-the art 인프라시설로 구축될 예정이며, 이는 템즈강의 선박과 연계된 물류확장 및 허브로써 활용이 가능할 것으로 예측하고 있음

  - 본 시설에서의 핵심적인 기술은 초대형 부유체와 각각 연결된 다양한 구조물의 연결부의 무결성, 구조적 건전성, 수명기간동안에의 유지보수 등 구조적 안전성능 확보를 위한 기술적 한계점들이 우선적으로 해결되어야 할 과제임

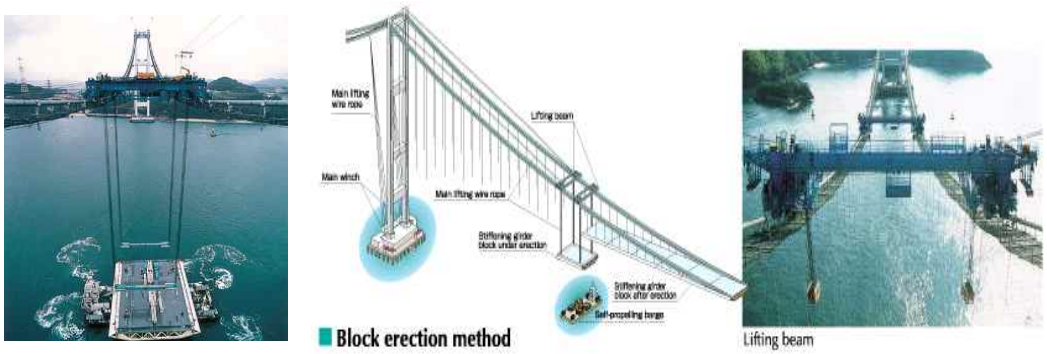



**<그림 Ⅴ-88> 영국 런던의 브리타니아 부유식 공항 계획**

- 일본은 부체구조물, 교량, 도로 등 초대형 부유식 구조물의 개념이 적용된 다양한 구조물을 건설하였으며 연결부의 구조적 안전성능 확보를 위한 연구가 수행되고 있음

  - 2000년에 완성된 유메시마-마이시마 연결교의 경우 로링그립 신축이음매를 적용한 실적을 확보하고 있음

  - 구조설계시 꺾임 및 신축에 관한 위험성을 예측하고 완충항과 탄성궤도로 이루어진 구조로 대응이 가능하도록 구조안전성 확보 기술을 개발함



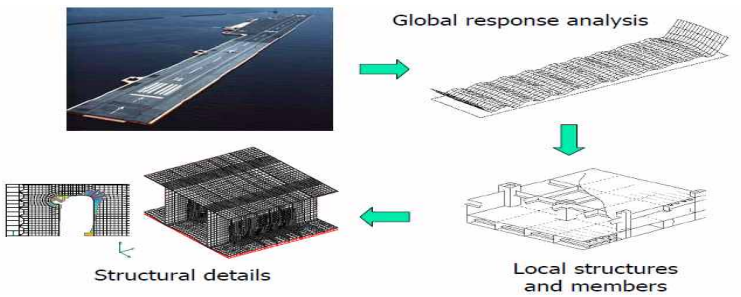

**<그림 Ⅴ-89> 혼슈-시코쿠 교량의 연결에 관한 구조안전기술(일본)**

- 현재 국내에서는 초대형 부유식의 구조적 안전성 기술에 관한 적용사례가 전무한 상태이며, 원천기술 확보 뿐만 아니라 현장적용이 가능한 기술이 동시에 개발되

어야 함에도 불구하고 국내의 건설사, 중공업사, 엔지니어링사 등 관련기업들의 연구는 진행되고 있지 않는 실정임

- 최근 초대형 부유체 구조물에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있는으며, 특히 부유체의 전역 변형모드에 따른 중앙단면 절단, 국부부재의 피로파손 등에 관한 연구에 집중되고 있음

- 초대형 부유체의 부력, 파랑, 조류, 바람 등 환경하중의 적용시 이를 조합하여 합리적으로 하중을 산정할 수 있는 방법들을 고안하기 위한 다양한 프로젝트들(국립 싱가폴대학)이 진행되고 있음




**<그림 Ⅴ-90> 초대형 부유식 공항의 구조적 안전성 평가 예시**

## (나) 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

**<표 Ⅴ-84> 세계 선도기술 보유 주체 현황**

| 기관명 | 주요 내용 |
|---|---|
| SRC/ Mega-Float 연구조합 (일본) | • 부체식 공항건설을 위한 기술개발<br>• 부체식 공항 해상 실증실험 수행 |
| ONR (미국) | • 이동식 해군기지 설계기술 개발<br>• 초대형 부유구조물에 대한 시설계 수행 |
| Aker Soltion (미국) | • 초대형 부유체구조물 개념설계 및 해석기술 개발<br>• 석유 및 가스채취를 위한 부유체 해양구조물의 운용기술 |
| McDermott (미국) | • 이동형 기반 부유체구조물 구조설계 및 해석기술 개발<br>• 고정식 해양구조물의 운송 및 설치기술 |
| Dockwise (네덜란드) | • 해양구조물의 운송 및 설치기술<br>• 3시간 이내 해상상태 예측 등 해양환경예측기술 개발 |
| TechnipFMC (프랑스) | • SPAR 등 초대형 부유체 구조물의 설계 및 엔지니어링 기술<br>• 해양 부유체 구조물의 운용기술 |
| Stress Engineering (미국) | • 초대형 부유체 구조물의 구조설계 및 안전성 평가 기술<br>• 해양구조물의 운용을 위한 피로수명평가 기술 |
| SSPA (스웨덴) | • 대형구조물의 구조적 위험도 및 안전도 평가기술 개발<br>• 대형구조물의 상세구조설계 및 해석기술 |
| MARIN (네덜란드) | • 모듈형 초대형 해양 구조물 설계 기술 개발<br>• 해양 구조물의 안정평 평가 모형기술 기술 개발 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

<표 Ⅴ-85> 국내 관련 기술 특허 현황

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1826678B1 | 복합형 해상 부유식 구조물 | 대우조선해양/ 대한민국 | • 액화천연가스의 저장 및 기화용 부유식 구조물에 발전플랜트 및 담수화플랜트를 통합형으로 구성함으로써 사용성 및 경제성을 향상시킨 복합형 해상 부유식 구조물 기술 |
| KR1359647B1 | 부유식 구조물의 레그 지지장치 및 부유식 구조물 | 삼성중공업/ 대한민국 | • 부유식 구조물 본체 및 레그 지지장치(상기 본체에 설치되는 바디, 레그 수용부 및 구동장치, 충격 흡수부, 보호판 및 상/하단 지지부를 포함) 기술 |
| KR1741416B1 | 부유식 해양구조물 | 삼성중공업/ 대한민국 | • 선체 저부의 가상 회전축을 중심으로 회전이 가능한 선체와 회전지지부를 포함한 추력 발생용 상/하부의 아지무스식 추진기를 포함한 부유식 해양구조물 설계 기술 |
| KR1785080B1 | 부유식 해양구조물용 계류장치 | 삼성중공업/ 대한민국 | • 수중에서 위치 제어가 가능한 메인 바디, 수면을 향해 돌출되도록 연장되고 구조물에 연결되는 연장부, 및 해저와 연결되어 메인 바디의 이동을 제한하는 메인 계류부를 포함한 부유식 해양구조물용 계류장치 기술 |
| KR1054605B1 | 부유식 구조물의 부유구 고정장치 | 홍익대학교/ 대한민국 | • 태양광 발전을 위해 바다, 강, 호수 또는 저수지와 같은 곳에 설치될 수 있는 부유식 구조물의 부유구를 프레임에 고정하기 위한 장치로서 프레임 상부판과 하부판 및 사이의 고정벨트를 포함하는 기술 |
| KR101818175 | 해상부유체의 계류시 뒤틀림을 능동적으로 방지하는 장치 | 선박해양 플랜트연구소/ 대한민국 | • 계류선의 계류시 뒤틀림을 방지하는 장치에 관한 것으로, 계류로프의 회수속도를 설정된 속도로 제어하면서 해상부유체의 계류시 뒤틀림을 능동적으로 방지하는 장치에 관한 기술 |

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR101785713 | 해상부유체의 계류시 뒤틀림을 수동적으로 방지하는 장치 | 선박해양 플랜트연구소/ 대한민국 | • 계류선의 계류시 뒤틀림을 방지하는 장치에 관한 것으로, 외력에 의한 가압을 통해 계류로프의 회수속도를 제어하면서 해상부유체의 계류시 뒤틀림을 수동적으로 방지하는 장치에 관한 기술 |
| EP02818395B1 | Floating offshore structures | Alstom Renovables Espana SL/ 스페인 | • 해수면 아래에서 부력구조가 일정하게 유지되도록 배열된 부력구조 및 연결 구조체에 관한 기술 |
| JP3999787B9 | FLOATING SUPPORTING STRUCTURE | ASMO/ 일본 | • 부유식 지지구조의 부착 부재에 부재를 확실하게 부착(또는 부착 부재로부터 분리) 할 수 있는 부상지지 구조체에 관한 기술 |
| JP5736133B9 | FLOATING BODY STRUCTURE WORKING SYSTEM, FLOATING BODY STRUCTURE, WORKING SHIP AND FLOATING BODY STRUCTURE WORKING METHOD | IHI MARINE UNITED/ 일본 | • 안정된 상태에서 부유 구조물의 설치 및 유지 보수와 같은 작업이 가능하도록 부유 구조물 구조 작업 시스템, 부양 구조물, 작업 선박 및 부유 구조물 구조 작업 방법에 관한 기술 |
| EP00607648B1 | Reducing rocking motion of marine floating structures | ISHIKAWAJIMA-HARIMA/ 일본 | • 해양 부유 구조물에 고정식으로 고정되는 리니어 모터를 포함하여 센서에 의해 검출되는 구조의 반작용 응답 운동으로 이동되는 고체 질량체로서 작용하는 로킹 동작을 감소시키는 장치에 관한 기술 |
| EP01750994B1 | ANCHORING SYSTEM FOR A FLOATING CONSTRUCTION | Marine Structure Consultants (MSC) BV/ 네덜란드 | • 부유 구조물이 시작 위치에서 연장되는 최소 하나 이상의 연장된 운송 요소를 구비하는 부유 구조물 용 앵커 시스템에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술수준 분석

■ (기술수준) 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 개발 기술수준은 최고 기술국인 미국 대비 77.0%(추격그룹[22]) 수준으로 주요 5개국 중 5위

◉ 최고기술국인 미국(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 유럽(99.1%) > 일본(99.0%) > 중국(77.2%) > 한국(77.0%) 순으로 나타남

* 유럽과 일본은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 對최고기술국(미국) 기술격차는 3.8년으로 미국에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국과 비슷한 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對미국 3.7년, 對일본 3.5년, 對유럽 3.4년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-86> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B2)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 77.0 | 3.7 |
| 미국 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 일본 | 선도 | 99.0 | 0.2 |
| 유럽 | 선도 | 99.1 | 0.3 |
| 중국 | 추격 | 77.2 | 3.8 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 정부지원 정책 미흡인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-87> 기술격차 요인(B2)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○ | | • | ◎ | | ○ | |

22) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

■ (기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 도입기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

<표 Ⅴ-88> 기술 발전단계 평가결과(B2)

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | | 국외 |
| | | 도입기 | | 성장기 |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

■ (기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 독창적 부분이 많으나 모방 시 난점 존재

<표 Ⅴ-89> 기술적 수준 평가결과(B2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 독창적 부분 많음 |
| | 모방 난이도 | 모방 시 난점 존재 |
| | 파급성 | 일부 분야에 응용가능성 있음 |

■ (기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 적당히 있으며, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건 및 지원 인프라는 보통 수준임

<표 Ⅴ-90> 기술경쟁력 수준 평가결과(B2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 적당히 있음 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 지원 인프라 보통 |

■ (기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)도 어느 정도 있는 것으로 조사

<표 Ⅴ-91> 기술영향력 평가결과(B2)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 보통 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

<표 Ⅴ-92> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 | 개발 방향 |
|---|---|---|
| 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술 | • 단일 부유체 중심의 설계기술과 성능평가 기술(수치 시뮬레이션, 모형실험 등)은 일정 수준 확보됨<br>• 해외 규정 및 코드 기반의 부유식 구조물 설계 및 시공 기술을 활용함 | • 단일 부유체가 아닌 모듈 확장형 초대형 해양구조물에 적용이 가능한 설계 및 시공 기술의 확보가 필요함<br>• 부유식 인공섬에 대한 국내 독자적인 설계 기술 및 관련 설계 기준 마련이 시급함 |
| 부유식 인공섬 안정성 확보 기술 | • 해양구조물의 기본 구조설계와 계류 및 앵커 시스템 설계를 위한 제반기술(국제 규정, 위험도평가, 구조안전성평가 등)의 초대형 부유체 구조물(인공섬)에 대한 적용 사례가 없음<br>• 해양 환경하중을 고려한 모듈 확장형 초대형 부유체 구조물(인공섬)의 연결부 설계 및 평가 기술이 전무함 | • 대상 해역의 수심 및 파랑조건을 고려한 부유식 인공섬 구조안전성 확보를 위하여 초대형 부유체 구조안전성평가 기술 개발과 이의 적용을 통한 검증이 필요함<br>• 설계된 모듈 확장형 초대형 부유체의 연결부, 계류 및 앵커 시스템의 구조안전성평가 기술 개발과 이의 적용을 통한 구조건전성 확보가 요구됨 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 부유식 인공섬에 활용 가능한 모듈 확장형의 부유체와 부유체간 연결부를 설계 및 평가하는 핵심기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체의 표준 설계모델 정립

- 인공섬 규모 및 적용수심별 모듈 확장형 부유체의 표준 제원 도출

- 표준 설계모델(안)에 대한 부유체 기본 성능 검증

◉ 부유식 인공섬 연결부(인공섬-모듈, 모듈-모듈) 설계기술 개발

- 설치 작업성을 고려한 인공섬 연결부 설계(안) 개발
- 인공섬 연결부에 작용하는 설계하중 추정 기법 개발
- 연결부 표준 설계(안)에 대한 구조 안전성 평가 연구

◉ 모듈 확장형 부유체의 형상 및 배치 최적화 기술개발

- 해상공간 규모에 따른 모듈 부유체 형상 최적화 수치해석 연구
- 연결부를 고려한 다수 모듈 배치 최적화 연구

◉ 모듈 확장형 부유체의 파랑 중 거동 통합 시뮬레이션 기술개발

- 인공섬 모듈 부체과 연결부의 수치 모델링 개발
- 근접 위치한 다수 부유체에 작용하는 해양 환경하중 평가
- 계류계 및 해저터널 연결부와의 상호작용을 고려한 통합 해석기법 개발
- 규칙파 및 불규칙파 중 모듈 확장형 부유체의 시간영역 거동 시뮬레이션

■ (개발목표) 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-93> 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 모듈 확장형 부유체 및 연결부 설계기술 | 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체의 표준 설계모델 제시 | 없음 | 없음 | 모듈형 부유체의 표준 설계모델(안) 제시 |
| 모듈 확장형 부유체의 거동 통합 시뮬레이션 | 부유식 인공섬 파랑 중 거동 통합 시뮬레이션 S/W | 없음 | 없음 | S/W등록 1건 이상 |
| | 초대형 부유체 유탄성 해석 기술의 정확도 | 80% | 80% | 90% 이상 |

## (나) 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 작업에 대한 작업 설계 및 성능 평가 핵심기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 모듈 확장형 부유체의 설치공법 및 설치 성능평가 기술개발

- 부유식 인공섬 이송 및 설치 절차 개발
- 해상크레인을 이용한 모듈과 연결부 설치공법 개발
- 설치 대상지역 환경조건을 고려한 설치 성능 평가 연구

◉ 부유식 인공섬의 확장 적용 방안 연구

- 자립형 부유식 인공섬 운용을 위한 해양 에너지(태양광, 풍력, 조력, 파력 등) 활용방안 연구
- 부유식 인공섬의 해상공간(휴게소, 전망대, 환승터미널 등)으로의 활용 방안 연구

■ (개발목표) 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-94> 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 부유식 인공섬의 설치 기술 | 모듈 확장형 부유체의 설치 절차 제시 | 없음 | 없음 | 모듈형 부유체 설치절차서 1건 이상 |
| | 모듈 확장형 부유체의 운송 절차 제시 | 없음 | 없음 | 모듈형 부유체 운송절차서 1건 이상 |

## (다) 부유식 구조물 위치 유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 부유식 인공섬에 적용가능한 복합형 계류시스템과 앵커링의 평가 및 설계에 관한 핵심 기술의 개발을 통해 100년 재현주기의 복합해양환경조건에서 생존 가능한 계류시스템 및 앵커링 개발을 위한 핵심기술 확보

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 복합해양환경조건에서의 부유식 인공섬에 작용하는 하중 평가 기술개발

- 인공섬의 모듈형 다수 부유체에 작용하는 파랑하중 평가 연구
- 전산유체역학(CFD)기술을 적용한 풍하중, 조류하중 평가 연구

◉ 부유식 인공섬의 복합형 계류시스템 성능평가 및 최적 설계 기술개발

- 계류계 설계(종류, 개수)에 따른 계류시스템 정적 복원 성능 평가 연구
- 비선형 시간영역 해석 기반의 복합형 계류시스템 동적 성능 평가 연구
- 복합형 계류시스템의 최적 설계 연구

◉ 부유식 인공섬의 앵커 설계 기술개발

- 지반 조건을 고려한 앵커 수치 모델링 연구
- 앵커 하중 평가 및 앵커 타입/용량 선정 연구

◉ 부유식 인공섬의 위치유지성능 모형시험 평가기법 개발

- 인공섬 부유체 및 계류시스템의 축소모형 제작
- 태풍조건에서의 인공섬 부유체의 계류성능 모형시험(Mock-up) 평가 연구

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-95> 부유식 구조물 위치 유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 부유식 인공섬의 위치유지시스템 설계기술 | 부유식 인공섬 계류 및 앵커시스템 설계안 제시 | 없음 | 설계 | 계류 및 앵커시스템 설계(안) 제시 |
| 부유식 인공섬의 위치유지시스템 성능평가 기술 | 인공섬 및 계류시스템의 축소모형 시험을 통한 성능평가 | 없음 | 없음 | 축소모형 성능평가 기법 1건 이상 |

## (라) 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술

### 기술 개요 및 목표

- 해양환경력 산정, 구조설계, 구조해석, 피로수명평가 및 위험도 분석 등 부유체 생애주기동안 부유식 구조물의 구조안전 기반기술을 개발하고 이를 통하여 초대형 부유식 구조물의 구조적 안전성능평가 기술 확보

### 기술 개발내용 및 범위

- 초대형 부유체 구조물의 구조안전성능 평가기술 개발
  - 해양환경하중 산정 및 구조력 변환기술 개발
  - 위험도 인자분석 및 평가기술 개발
  - 재료 특성 및 사고한계상태 평가기법 개발
  - 해양유체력과 구조물의 거동이 연성된 유체-구조 연성해석 기술 개발
  - 초대형 부유체 구조물의 피로수명 평가 기술 개발
- 구축된 구조안전성능 평가시스템의 적용을 통한 초대형 부유체 구조물의 구조설계
  - 단일 부유체 구조물 구조설계
  - 계류 및 앵커 시스템 구조설계
  - 부유체 구조물 연결부 구조설계
  - 모듈 확장형 부유체 통합 구조설계
- 모형시험을 통한 모듈 확장형 부유식 인공섬의 통합 성능평가
  - 부유식 인공섬 부유체 및 해저터널 연결부의 축소 모형 제작
  - 파도, 바람, 조류를 고려한 부유식 인공섬 통합 모형시험(Mock-up) 수행
  - 태풍 조건에서의 인공섬 부유체의 내항성능 및 연결부 구조하중 평가

**(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-96> 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 초대형 부유체 구조물의 기본 구조설계 | 초대형 부유체 구조물의 기본 구조설계도 제시 | 없음 | 없음 | 부유체 구조물의 구조 설계(안) 제시 |
| 초대형 부유체 구조물의 구조안전성능 평가기술 | 유탄성 해석기반의 구조손상도 평가 기준 제시 | 없음 | 없음 | 구조손상도 평가기법 1건 이상 |
| | 제시된 초대형 부유체 구조물의 피로수명 | 없음 | 20년 | 25년 이상 |
| | 모형시험 기반 부유체 통합 성능평가 (운동, 연결부 하중) | 없음 | 없음 | 성능평가 시험보고서 1건 이상 |

## (3) 구성기술 확보 전략

**<표 Ⅴ-1> 핵심기술 확보 전략**

| 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| 부유식 인공섬 설계 및 시공 기술 | 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술 | | ◐ | ● | ○ | | |
| 부유식 인공섬 안정성 확보 기술 | 부유식 구조물 위치유지를 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 해양하중에 의한 부유체 구조적 안전성 확보 기술 | | ◐ | ● | ○ | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (4) 파급효과(기대효과)

### (가) 시장경제적 기대효과

- 인공섬 주위로 부유체가 확장되므로 해저터널 시공을 위한 작업공간이 추가로 확보되는 효과가 있으며, 완공 후 여유 공간은 유지관리시설, 임시기지, 해상플랜트 등 타 용도로 공간 활용이 가능함
- 본 연구를 통해 개발되는 기술은 해저터널 건설 인공섬 뿐만 아니라 유사 해양 구조물에도 적용이 가능하므로 해양공간을 위한 신개념 해양구조물의 개발에 지속적으로 활용할 수 있음

### (나) 과학기술적 기대효과

- 100년 재현주기 복합환경조건에서 위치유지의 안전성 확보를 통해 부유식 인공섬의 목적을 달성할 수 있을 것으로 기대됨
- 본 연구에서 수행하는 위치유지시스템의 모형시험 기법은 다양한 목적의 부유식 인공섬이나 해양구조물의 위치유지성능 검증을 위해 활용이 가능함
- 초대형 부유체 구조물의 구조적 안전성 평가 관련 원천기술의 확보 및 국내 기술의 산업 경쟁력 제고에 기여할 수 있음
- 부유식 인공섬 자동화 시공 기술관련 원천기술 확보 및 국내 기술의 산업 경쟁력 제고에 기여 가능

### (다) 사회문화적 기대효과

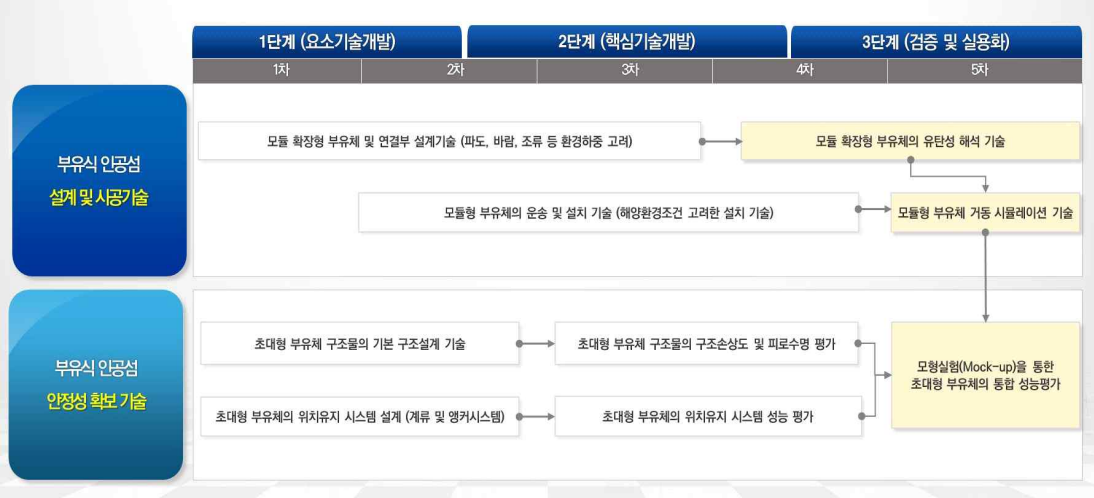
- 부유식 해양구조물 기자재 및 서비스 산업 등 후방산업 연관성이 높아 타산업에 파급효과가 크며 신산업 창출이 가능함
- 해양산업 및 건설산업이 연계된 신융합 산업시장 창출이 가능하여 해당 분야의 기술력을 높이는데 시너지효과가 높고 국내의 우수한 기반산업과의 접목으로 신성장동력창출이 가능함

## (5) 수행 기술 로드맵

■ 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음

- 핵심기술 1은 “부유식 인공섬 설계 및 시공 기술” 로서 부유식 인공섬에 활용 가능한 모듈 확장형 부유체의 해양환경조건을 고려한 연결부 설계 기술과 모듈형 부유체의 이송·설치 작업에 대한 설계 및 성능평가 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 개발된 세부기술들은 핵심기술 2와 연계하여 추진할 예정임

- 핵심기술 2는 “부유식 인공섬 안정성 확보 기술” 로서 100년 재현주기의 복합해양환경조건에서 생존 가능한 계류시스템 및 앵커시스템 개발과 초대형 부유체 구조물의 구조적 안전성능 평가기술 개발을 목표로 두고 있으며, 핵심기술 1의 세부기술들과 연계하여 전체적인 성능평가가 모형실험(Mock-up)을 통해 진행될 예정임




<그림 Ⅴ-91> 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 로드맵

## (6) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

■ 중소 및 중견기업 대상사업으로 총 95.8억원/5년 중 정부출연금 74억원 대비 민간부담금 21.8억원으로 구성된 정부주도 사업으로 추진함

<표 Ⅴ-97> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 9.0 | 11.8 | 17.0 | 20.0 | 16.2 | 74.0 |
| 민간부담금 | 현금 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 2.2 |
| | 현물 | 2.3 | 3.1 | 4.5 | 5.4 | 4.3 | 19.6 |
| 합계 | | 11.6 | 15.2 | 22.0 | 26.0 | 21.0 | 95.8 |

<표 Ⅴ-98> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 10.2 | 13.4 | 19.4 | 23.0 | 18.6 | 84.7 |
| | 인건비 | 6.0 | 8.0 | 11.5 | 13.5 | 11.3 | 50.3 |
| | 연구장비.재료비 | 1.5 | 2.4 | 3.2 | 4.2 | 2.6 | 13.9 |
| | 연구활동비 | 1.1 | 1.4 | 2.1 | 2.3 | 1.9 | 8.9 |
| | 연구과제추진비 | 1.0 | 0.9 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 6.7 |
| | 연구수당 | 0.6 | 0.7 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 4.9 |
| 간접비 | | 1.4 | 1.8 | 2.6 | 3.0 | 2.4 | 11.1 |
| 합 계 | | 11.6 | 15.2 | 22.0 | 26.0 | 21.0 | 95.8 |

## (나) 소요 인력

■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-99> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 4 | 6 | 8 | 12 | 8 | 38 |
| 석사급 | 10 | 14 | 22 | 24 | 20 | 90 |
| 학사급 | 15 | 18 | 24 | 26 | 26 | 109 |
| 합계 | 29 | 38 | 54 | 62 | 54 | 237 |

# 3. 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발

## 가. 기술개발 배경 및 필요성

### (1) 현황 및 문제점

- 세계적으로 해저터널 건설이 증가함에 따라 밀폐공간의 특성을 가지는 터널 내에서의 화재사고 발생 시 대형 인명 피해사고 발생 가능성이 매우 높으므로 안전한 해저터널 구축을 위한 환기 및 화재 대응 기술의 중요성이 강조되고 있음
  - 해저터널의 경우 장대터널이므로 화재사고시 소방대 및 구급대가 현장에 도착하기까지 소요되는 시간이 일반 터널과는 달리 장시간 소요
  - 이에 터널 내에서 화재사고 발생시 인명피해를 최소화하기 위한 환기 및 화재 대응 기술이 필요함
  - 특히 터널내 차량, 전기화재 등 재난 대형사고는 사회적 이슈이며 국민의 안전과 밀접한 관련이 있으므로, 해저터널 재난 안전사고에 선제적 대응을 위한 전조 예측정보 생산, 대응체계 구축이 필수적임
- 최근 정부차원에서 지하역사 터널의 공기질 관리에 대한 개선대책 추진을 공식화하였으며, 향후 해저터널의 환기운영 방식에도 영향을 크게 끼칠 것으로 판단됨
- 해저터널의 기능성 중요도를 감안하여 ICT 지능 정보화 기반의 데이터 분석을 통한 돌발상황 대응, 위험요소 사전 대응을 위한 해저터널 화재안전 실현을 가능하게 할 수 있는 시스템 구축이 필요함
- ICT 기술발전 추세에 맞추어 혁신적인 해저터널 화재(재난)안전관리 기술에 대한 표준화된 공통공유 기반의 플랫폼 서비스화를 통해 효율성 증대 필요
  - 또한 해저터널내 차량·전기화재, 감전·방전사고, 가연성·위해가스, 안전시설물 디지털 계측값등에 의한 해저터널 화재(재난)안전사고 상황관리체계를 구축하여 재난의 선제적 대응이 필요함

## (2) 기술개발의 필요성

### 해저터널 방재 설계 및 운영기술 개발

- 해저터널의 공기질 관리를 위하여 환기운영 방식 개선이 필요하며, 터널의 환기 방식에는 오염물질을 저감하기 위하여 도로터널에서 사용하는 희석하는 방법과 철도터널에서 사용되는 치환 방식이 있으며 국내 장대철도 터널의 경우 Pull and Push에 의한 치환 방식으로 환기를 하고 있음

- 솔안터널과 같은 장대터널은 내부에 오염물질(분진, NOx 등) 배기를 위해 운전되고 있는 터널 환기시스템의 운영에 많은 전력이 소비되어 월 5천만 원 이상 비용이 발생하고 있음계절별 운영방식 등에 따라 전력 소비량이 다르고 이에 따른 요금도 차별화 되어 있음

- 수직갱에 설치되어 있는 거대 팬을 운용할 경우 계절 또는 차량운행에 상관없이 공기 질을 유지하기 위해 일관되게 사용할 경우 에너지가 과하게 사용될 경우가 많음

  - 이에 필연적으로 이러한 계절별, 터널 내 차량운행 정보, 팬의 성능들을 고려한 다양한 시나리오를 검토하는 인공지능을 통하여 최적의 운용방법을 찾고 이를 구현하는 환기운용시스템 개발이 요구됨

- 반복적 터널 내 차량, 전기 화재 등 재난 대형사고는 사회적 이슈이며, 해저터널 화재 등 재난안전 관리기술에 대한 표준화된 공통·공유 기반의 플랫폼 서비스화 및 고도화가 필요

- ICT 신기술(빅데이터, IoT사물인터넷, AI 인공지능 등)을 적극적으로 활용하여 재난 전조예측, 발생전후에 통합적이고 실시간 상황인지를 하는 방안 마련이 필요

  - 해저터널 화재 안전사고의 직·간접적 요인에 따른 데이터 수집·분석으로 지능형 전조예측, 실시간 모니터링, 상황전파 기술 적용이 필요함

- 해외 철도시장에서 1980년대 이후 RAMS관리가 도입되어 발주자 및 공영기관들이 공급자에게 요구조건과 목표를 제시하고 이를 입증할 것을 요구하고 있으므로, 국내 제작사들도 해외시장 진출을 위해 국제기준에 따른 RAMS 관리와 SIL 인증이 필요함

- 현재 국가연구과제로 진행 중인 '철도안전관리체계 기술기준을 지원하는 도시철도 RAMS 통합시스템 구축 연구'에 따라 운영기관에서 범용적으로 사용할 수 있는 표준화된 시스템 개발을 추진하고 있음

- 그러나 RAMS제도는 도입되었으나 해저터널과 같이 장대터널에서 화재 시 대응하기 위한 각종 방재시설에 대해서 관리하여야 할 데이터의 종류 및 분석기법이 정립되지 못하고 있음

- 또한 경험에 의해 수립된 기존 유지관리기법을 관습적으로 활용하고 있는 실정임

◉ 안전관리체계 도입('14)에 따라 위험도 평가는 시행하고 있으나, 현장 운영자의 기술 수준 부족으로 실효성이 부족하므로 안전 및 방재시설에 대한 RAMS 적용을 위한 세부 가이드라인을 마련·보급하여 RAMS의 적용범위, 분석·평가 기준을 도출이 요구됨

■ 해저터널 위험도 평가 및 화재 대응기술 개발

◉ 세계 각국은 환경규제를 만족하기 위해 차세대 동력원을 활용한 기차 개발에 박차를 가하고 있으며 국내에서도 최근에 연구가 진행되고 있으므로 초장대 해저터널 건설 및 개통 시기를 고려할 때 차세대 동력원(LNG, 전기, 수소)을 활용한 기차가 운용될 것임

◉ LNG와 수소를 동력원으로 하는 기차는 고압저장탱크를 기차 위에 장착하고 있으며 전기와 수소를 동력원으로 하는 기차는 고용량 배터리를 탑재하고 있어 화재뿐만 아니라 폭발의 위험성을 가지고 있음

◉ 하지만, 세계적으로 차세대 동력을 활용한 기차의 운용을 고려한 터널이 아직까지는 거의 없어 터널 내 화재, 열폭주, 폭발 위험성은 전혀 고려되고 있지 않고 있음

- 이에 동력원의 종류에 따라 발생 가능한 화재, 열폭주, 폭발 등의 위험성을 파악하고 터널 방재시설 및 설치에 필요한 기준을 제시할 수 있는 위험특성을 정량화 하고자 새로운 위험성 평가 방법이 요구됨

◉ 초장대 해저터널에 계획된 환기설비는 화재연기 배연을 위한 용도이므로 환기설비 가동만으로 화재열차에서 순간적인 연기 확산을 방지할 정도로 가압되지 않고, 안전한 피난연결통로로 대피를 위한 플랫폼 대피경로에 대한 화재안전 확보가 어려움

- 이에 이러한 것들을 감안하여 추가적인 설비가 필요할 것으로 판단됨

◉ 구난역 플랫폼의 안전한 대피경로 확보를 위한 연구사례가 국·내외에는 없어 이러한 대피경로 확보를 위한 설비적용 기술이 필요한 실정임

◉ 구난역 플랫폼의 안전한 대피경로 확보를 위해서는 안전편의시설인 스크린 도어가 플랫폼에 설치되는 것이 화재연기 플랫폼 유입방지, 압력변동 및 터널풍 등에 의한 불쾌감을 유발하는 현상을 차단하여 효율적

- 다만, 스크린 도어에 의한 공간이 협소하여 터널 본선 단면내 연기 충진속도가 빨라짐

- 또한 평상시 300km 이상 통행하는 열차 풍압에 의해 자동도어의 잦은 고장의 문제가 발생될 수 있기 때문에 기존 방식의 개선을 통하여 고속열차 구난역에 적합한 설비 개선이 필요함

◉ 본선터널 내 화재시 대피자가 화재터널에서 반대방향 터널로 피난연결통로를 이

용하여 서비스터널로 대피하게 되므로 반대방향터널, 즉 대피터널로 화재연기가 전파되지 않도록 방지하는 기술이 매우 중요함

- 기존 철도터널의 피난연결통로 가압방식의 경우, 입출구에 설치된 방화문 사이 공간에 화재 반대편 외기를 유입시켜, 피난연결통로 내 양압을 유지하여 화재연기가 유입되지 않는 방식으로 피난연결 통로부 측면에 Block out으로 가압 송풍장치를 설치함

- 이러한 가압설계방식은 터널이 장대화 될수록 급기용 송풍기의 설치대수가 많아져 터널내 공동구의 증가로 인한 터널 단면의 증가로 인한 전력 및 공사비가 증가함

  - 이러한 구난역 플랫폼과 피난연결통로 가압을 위한 설비적인 개선이 필요

- 화재사고로 인한 사상자 발생의 주요 원인은 유독성 연소가스로 인한 질식이므로 유독가스로부터 피난자를 격리시킬 수 있는 대피통로 최적화 방안이 요구됨

  - 또한 기존 피난통로 방법은 피난구조 건설에 막대한 예산부담이 있으므로, 피난안전성을 현재 상태 이상으로 개선하면서 건설비용을 절감할 수 있는 혁신적인 방안이 요구됨

- 기존 개발중인 초고층 건축물 및 지하 복합시설 공간용 접이식 스크린 대피통로 기술을 해저터널에 적합하게 개량 개선하여 접이식 스마트 대피통로의 기술로 개발할 경우

  - 기존 터널에 적용되고 있는 피난설비 기술에 비하여 저비용으로 화재위치로부터 인접하여 안전구역으로 피난자가 바로 진입할 수 있으므로 피난 안전성이 개선 효과가 현저히 높음

- 군중심리를 이용하여, 터널 내부에 설치된 휴대용 가이드 장비나, 차량에 설치된 가이드장비를 작동시켜 터널 벽면 또는 바닥에 강한 빛으로 피난 방향을 가리킬 경우

  - 각각의 피난자들이 앱을 설치하거나 작동할 필요가 없으며, AR기술을 접목시킬 경우 직관적으로 피난경로를 이해하여 인명피해를 줄 일수 있음

- 터널 내 화재가 발생할 경우 터널 관리 상황실에서 신속하게 발견하거나 터널 내부의 사람 중 빠른 신고 접수가 이루어지더라도 소방차 및 구급차의 접근이 용이하지 못하여 화재 진압 및 구조에 큰 어려움이 있음

- 터널은 내부에서 화재가 발생할 경우 외부로부터 소방차 및 구급차가 접근하기 전에, 초기 화재를 소화하거나 화재가 더욱 성장하지 못하도록 확산 억제를 할 수 있는 수단이 필요함

- 해저터널의 다른 터널 대비 수십 km에 이르는 장대화가 예상 되므로, ICT 기반으로 화재지점을 정확히 판단하고, 고속 이동형 소화시스템에 의한 신속한 초기 화재임무를 수행할 수 있는 초기 대응 시스템 개발이 필요함

# 나. 기술개발 개요

## (1) 기술개발 정의




<그림 Ⅴ-92> 개술개발 내용

본 기술은 안전한 해저터널 구축을 위한 해저터널 방재 설계·운영 기술 및 해저터널 위험도 평가·화재대응 기술을 개발하는 것임

▷ 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술

▷ AI기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발

▷ RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발

▷ 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술

▷ 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발

▷ 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발

▷ 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발

<표 Ⅴ-100> 중점분야의 세부기술

| 중점분야 | 핵심기술 | 세부기술 |
|---|---|---|
| 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 해저터널 방재 설계 및 운영 기술 | • 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술<br>• AI기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발<br>• RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발 |
| | 해저터널 위험도 평가 및 화재 대응 기술 | • 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술<br>• 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발<br>• 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발<br>• 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발 |

■ 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술

◉ 터널 내 오염물질에 대한 실시간 모니터링 및 제어시스템을 개발하여 터널 환기 에너지절감을 최적화 할 수 있는 스마트 터널환기 운용시스템을 통합 기술 개발

- 터널 내 오염물질/전력 실시간 모니터링 및 제어 시스템 개발
- AI기반의 에너지 절감형 터널 환기운용시스템 통합기술 개발

■ AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발

◉ 해저터널 화재(재난)재해 전조예측시스템과 이를 활용한 긴급현장 출동 서비스 제공하여 대형화재 및 재난에 대비가 가능한 기술 개발

- IoT 기반 원격감시 관리 시스템 개발
- 해저터널 화재(재난)재해 전조예측시스템 개발
- 해저터널 위험차량, 통행량 등 부하 및 수요관리 시스템 개발

■ RAMS 기반 해저터널 방재시설 성능위주 설계/평가 기술 개발

◉ 해저터널의 방재시설 대한 RAMS 활동 분석/평가 기술 및 해저터널의 안전 및 방재시설에 대한 성능위주 설계 기술 개발

- 해저터널 안전성 확보를 위한 RAMS 관리 방안 및 사용자 편의 터널 위험도 정량적 평가 방안 구축(Matrix기법)
- 해저터널 RAMS 활동 분석/평가항목 및 목표(기준) 도출 및 해저철도터널 RAMS 통합시스템 시범모델 구축

■ 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술

- 현재 개발 또는 운행중인 차세대 열차의 동력원에 의한 화재/폭발의 위험성을 평가하고 영향 범위 예측 및 소화 기술 개발
  - 차세대 에너지원 규모와 조건에 따른 폭발강도 등 위험성 관련 기초자료 분석
  - 방재설계에 적용할 수 있는 차세대 동력원 화재/폭발 위험성 평가방법 개발

■ 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발

- 해저터널 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 통한 대피통로 및 가압 시스템의 설계/시공 기술개발
  - 파난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 이용한 대피안전 설계/시공 기술 개발
  - 피난연결통로 가압 시스템 대피안전 설계/시공 기술 개발

■ 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발

- 해저터널 운영환경을 고려한 스마트 대피통로 설계요건(통로 폭 및 높이 등)을 고려하여 시제품을 개발하고 AR 및 피난유도 어플리케이션 개발
  - 해저터널용 접이식 스마트 대피통로 설계도 및 시제품 개발
  - 차량용 피난 유도 가이드 시스템 개발

■ 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발

- ICT 기반 해저터널내 위치추적 시스템을 활용하여 고속 이동형 초기 화재대응 시스템을 개발하여 해저터널내 통합 환기/방재시스템과 연계하는 기술 개발
  - 해저터널의 화재위치 및 피난자들의 위치를 파악할 수 있는 위치추적 시스템 개발
  - 고속이동형 시스템을 이용한 초기 화재대응 장치 및 원격 소화시스템 개발

## (2) 기술개발 목표

■ 본 기술은 안전한 해저터널을 위한 화재 발생을 예방하기 위한 조기경보시스템과 재난 발생시 신속하게 대응하여 인명피해를 최소화 시킬 수 있는 소화시스템 및 대피시스템 기술개발을 목표로 함

**<표 Ⅴ-101> 개발기술별 기술개발 방향 및 성능 목표**

| 핵심기술 | 기술개발방향 | 성능목표 |
|---|---|---|
| 해저터널 방재 설계 및 운영 기술 | • 터널 내 오염물질에 대한 실시간 모니터링 및 제어를 할 수 있는 스마트 에너지절감형 터널환기 운용시스템 통합기술 개발<br>• 실시간 해저터널 화재안전 통합 과제시스템 개발을 통한 화재사고 예방 서비스 및 긴급 현장출동 서비스 제공<br>• 해저터널 안정성 확보를 위한 RAMS 관리방안 구축을 위한 안정성 유해인자 관리대상 선정 및 사용자 편의 터널 위험도 정량적 평가 방안 구축 | • 터널 환기운용시스템 전력 절감 : 20% 이상<br>• 화재(재난)안전 통합모니터링 및 관리자 기능 : TTA 소프트웨어 시험인증<br>• 방재시설에 대한 RAMS 통합시스템 : 시범모델 구축 |
| 해저터널 위험도 평가 및 화재 대응 기술 | • 차세대 동력원인 LNG, 전기, 수소 차량에 대한 폭발특성을 분석하여 터널 방재시설 필요 기준 제시<br>• 해저터널의 운영 및 자동제어 시스템과 연동이 가능한 가압시스템을 개발하여 해저터널 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 통한 대피통로 설계/시공 기술<br>• 해저터널 운영환경 및 대피통로 설계에 따른 제연시스템, 소화시스템, 피난대피소와 연계하여 운영할 수 있는 스마트 대피통로 최적화 시제품 개발<br>• 밀폐된 터널에 적합한 위치추적기법 및 초기화재 탐재기술을 활용한 고속 이동형 소화시스템 개발 | • 열폭주/화재/폭발 위험성 평가: 표준 시나리오 및 피난 매뉴얼 제시<br>• 화재 차단율 : 90%이상<br>• 통로내부 차연성능 : 95% 이상<br>• 화재 감지 : 30초 이내<br>• 화재위치 도달 시간 : 5분이내 |

# 다. 국내외 기술개발 동향

## (1) 국내외 동향

### (가) 관련 기술 개발 및 연구 동향

■ 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술

◉ 터널 환기 운용 시스템 개발 관련 국가연구개발사업은 대부분 국토교통부에서 발주하였으며, '장대철도터널화염방재기술 및 환기공조시스템 개발 (2001~2004)', '지하공간환경개선 및 방재기술연구사업(2003~2008)','지능형 환기시스템과 PSC 빔을 이용한 지하차도 공법개발(2009~2011)'등이 있으며, 장대 터널에서의 환기방식개선을 제시하였음

◉ 터널 환기 운용 시스템 개발 관련 국내외 특허는 터널 배기구의 노즐을 설치하여 기류의 개선을 목적으로 하는 '터널의 환기 시스템'과 주택에 적용하여 실시간으로 환기 시스템을 최적 상태로 조절하는 '환기 시스템 및 그 제어 방법'이 있음

◉ 국내에서는 철도터널의 경우 환기운영을 위한 관제시스템을 갖춘 곳은 없으며 지하철의 경우 승강장에서의 단순 모니터링 수준의 환경오염 관제가 있음

- 최근 미세먼지의 관심으로 관련하여 서울 지하철 승강장에 한해 관제시스템을 도입하였으나 미세먼지 제거 및 대형팬 운영에 따른 전력소비량까지 감안한 운영시스템은 갖추지 못함

◉ 대전 정부청사역 대상 실증화 시범사업을 추진 단계적으로 확대 중임




**<그림 Ⅴ-93> 대전 정부청사역 대상 실증화 시범사업**

◉ 국내외 AI 기반 분야 : 해저, 장대 터널의 환기방식은 모두 수직갱의 대규모 환기팬(축류팬, 제연 겸용)에 의하여 정해진 시나리오로 환기운영을 하고 있으므로 AI 기반의 환기운영은 전무하나, 일부 연구단계에서 퍼지 및 PID 방식을 이용한 환기 콘트롤 연구 사례는 있음

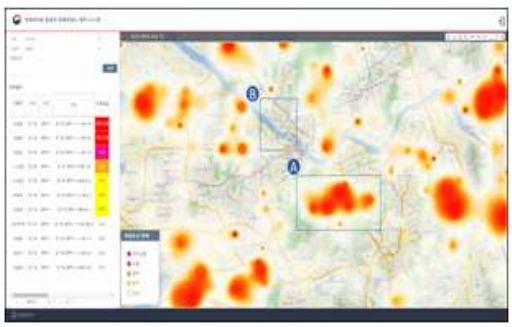
- 최근까지 International Symposium on Aerodynamic and Ventilation of Vehicle Tunnels에 발표된 도로터널 관련 논문의 분야 및 분포를 분석해 보면 주요 분야별 연구경향은 크게 환경(오염, 열, 소음, fog), 설비, 정상 환기, 화재, 유지관리 및 제어 및 설계의 7개 분야에 대해서 1991년부터 연구가 진행되고 있음
  - 대부분이 터널 운영 중의 터널 내 화재 시 전산수치해석을 이용한 해석 및 실험과 관련된 연구가 활발한 반면, 환기 및 제연설비 최적 운영을 위한 제어 관련 연구는 미흡한 것으로 분석됨

■ AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발

- 미국 시애틀 「One Smart Tunnel / SR99터널 프로젝트 복층터널 고속도로 진행중」에서는 ICT 융복합 기술을 활용하여, 자기환기, 공기질 관리, 상황시 자동 스프링클러 시스템 등 실시간 모니터링 센싱 데이터 기반으로 관리하는 시스템 도입
- 국내 ICT 융복합을 통한 다양한 산업분야에서 정보서비스 구축 사례 증가
  - 해저터널 기술연구단(한국건설기술연구원), 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술개발 해저터널 IT기반 실시간 유지관리기술 등



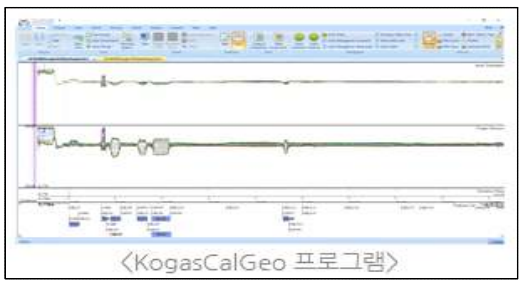
〈그림 Ⅴ-94〉 환경부, '지능형 대기오염물질 관리 및 예측시스템 구축'



〈그림 Ⅴ-95〉 한국정보화진흥원, '빅데이터를 활용한 화재위험도 예측시스템 구축'



〈그림 Ⅴ-96〉 국립재난안전연구원, '스마트 재난상황관리시스템 오픈플랫폼 개발'




〈그림 Ⅴ-97〉 한국가스공사, 'ILI 데이터 통합분석 소프트웨어 구축 '

◉ ICT 융복합을 통한 정보서비스 구축 요소기술 동향

- 적용기술의 표준성 및 범용성 확보 방안에 중점을 두고 솔루션을 선정, 개발 및 적용하고 있으며, 적용 기술 표준성 확보 방안으로 표준 전자정부프레임워크를 적용하는 것을 기본으로 하며, 아울러 지원 통신 표준 방식(SOAP, REST, RSS등)을 준수하고자 하고 있음
- 온톨로지 기반 지능형 지식 분석기술의 활용
- 빅데이터 분석 / 지능형 분석 엔진 개발
- IoT 센서 디바이스 인터페이스 기술
- 위치정보 추출을 위한 지오코딩 가술 및 GIS 공간정보 기술

**<표 Ⅴ-102> 위치정보 추출을 위한 지오코딩 가술 및 GIS 공간정보 기술**

| EAI | ESB | WebService | DB-to-DB & API |
|---|---|---|---|
| 미들웨어를 이용하여 Biz로직을 중심으로 기업내 App를 통합연계 | 미들웨어를 이용하여 서비스 중심으로 서비스를 지원하기위한 관련시스템의 유기적 연계 | 플랫폼 개발언어에 관계없이 App을 연동하는 기술에 기반한 서비스 | DB가 제공하는 ODBC, SQL을 이용 솔루션/시스템에서 제공하는 연결방식 사용 |

■ RAMS 기반 해저터널 방재시설 성능위주 설계/평가 기술 개발

◉ 유럽, 북미, 아시아, 남미, 중동 등 거의 대부분의 국가에서 철도노선의 신규건설 또는 개보수시 EN50126, IEC62278 같은 국제규격에 따른 RAMS 성능을 만족시키는 철도시스템을 요구하고 있음(도시형 자기부상열차 RAMS 및 LCC분석)

◉ RAMS/LCC는 현재 세계적으로 서비스품질지표(Service quality level index :SQL index)의 주요 요소로서 관리되고 있음

- 선진국에서는 이미 보편화되고 있는 분야로서 개도국을 포함한 개발도상 국가에서는 도입 및 실용의 단계로 진입하고 있는 추세임

◉ (미국) 국립학술원 산하 교통연구위원회(TRB)는 'New IDEAS for Rail Safety' Project를 통해 첨단기술을 활용한 안전성 제고를 추진중에 있음

◉ (일본) 철도종합기술연구소(RTRI)는 안전 DB를 실시간으로 분석하여 의사결정을 지원하는 철도종합 안전관리 지원시스템 구축을 추진중에 있음

◉ (유럽) EU 산하 유럽 철도국(ERA)은 'Capacity4Rail' 프로젝트('13~'17)를 통하여 첨단기술을 활용한 효율성·안전성 제고를 추진 중임

- 국내에서는 전자/자동차 산업에서 부품, 단위제품에 대한 RAMS 기술은 산,학,연을 중심으로 어느 정도 개발하였지만, 전체 철도시스템 측면에서 국제 규격에 맞는 RAMS/LCC 기술 확보되지 못하고 있는 실정임

- 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 목표를 안전하고, 고성능이며 경제적이고, 유지보수 비용이 적게 드는 친환경 그린교통시스템을 상용화하여 세계시장에 진출로 설정

  - 국토교통부 재정지원으로 사업을 진행하고 있으며, 이에 따라 RAMS기술의 확대 및 분석 용역을 수행한 바가 있음

- 공항철도의 경우, RAMS관리범위로써 열차 운행에 지장을 초래할 수 있는 시스템 즉, 차량, 신호, 통신, 송변전, 전차선, PSD를 선정

  - 운영단계에서 지속적으로 축적되는 해당시스템의 고장정보를 통하여 시스템의 신뢰성, 정비성, 가용성, 안전성을 평가 및 관리하고 있음

- “고속화물열차 및 여객/화물 복합열차 기술개발”과제에서 철도차량시스템의 개념설계 단계에서 시스템 운영 목적 및 유사시스템의 데이터 및 정보를 통하여 구조적 RAMS 설계조건을 확립하기 위한 RAMS 평가 프로세스, 방법 및 기술을 제시함

- 국제 철도 RAMS 규격 및 국내 도시철도 운영환경에 부합하는 안전운행 여건을 구축하고 이 성과를 바탕으로 국내 철도제작사의 제품 신뢰성 향상과 해외사업진출시 신뢰도 확보로 국내 철도기술의 경쟁력을 강화하기 위해서 “도시철도 RAMS 통합시스템 구축 연구”를 수행하고 있음

■ 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전기술

- 2015년 파리협정(Paris Agreement)이 채택되면서 세계적으로 온실가스 배출 대책을 강구하고 있으며 육상 운송의 주역이라고 할 수 있는 철도 분야까지 그 영향이 미치고 있음

- 현재 미국에서는 내연기관차(디젤 기관차)가 차지하는 비율이 99.4%이며, 고속전기철도 보급률이 가장 높은 중국도 내연기관차가 83%의 높은 점유율을 차지하고 있는 실정임

  - 따라서 전 세계적으로 디젤 기관차를 대체 가능한 차세대 기차의 개발이 한창 진행 중이며, 수소, 전기, LNG 등을 동력으로 사용하는 기차가 상용화 되는 추세임

- 2005년 대구 달성터널에서는 미사일 추진체를 운송중인 차량에 화재가 발생하여 폭발사고가 발생하였고, 2015년 상주시 중부내륙고속도로 하행선 방향 상주터널에서는 3.5톤 화물차량 폭발 사고가 발생했음



〈그림 Ⅴ-98〉 상주터널 화물차 폭발사고, 2015



〈그림 Ⅴ-99〉 달성터널 미사일 운송차량 폭발사고, 2005

- 국내·외에서는 환경규제를 만족하고자 차세대 동력원을 이용하는 기차 개발이 활발하게 이루어지고 있지만 국내는 물론 국외에서도 차세대 기차의 운행에 대한 터널 내 위험성은 함께 고려되고 있지 않고 있음

- 특히 국내에서는 “철도시설안전기준에 관한 규칙” 및 철도시설안전 세부기준에서 방재시설 설치여부와 규모를 정하도록 규정하기 위해 정량적 위험도 평가를 도입

  - 그러나 폭발위험성에 대한 부분이 누락되어 있어 차세대 동력원에서 발생 가능한 위험성은 배제되어 있음

- 따라서 동력원의 종류에 따라 발생 가능한 폭발 위험성을 파악하고 터널 방재시설 및 설치에 필요한 기준을 제시할 수 있는 위험특성을 정량화 하고자 철도차량 폭발 시나리오를 새롭게 작성하여 차세대 기차의 위험성 평가가 가능하도록 하고자 함

■ 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발

- 현재 국내 터널 설계시 피난연결통로는 차단문을 1개소만 설치하여 화재가 발생한 터널에서 반대방향 터널(대피터널)로 전파되는 것을 차단하는 방식으로 설계 적용하고 있음

- 대피소 개념으로 피난연결통로 사용시 대피공간내 가압을 위해 터널 외부에서부터 외기를 배관을 통해 급기하는 방식으로 국내에서는 설계중임

  - 그러나, 초장대 해저터널의 경우, 외부에서 급기를 하기 위해서는 터널 입출구로부터 배관을 설치하며 각 피난연결통로에 급기하는 현재 설계방식은 공사비 증가폭이 큼

- 또한 터널이 장대화 될수록 급기용 송풍기의 필요정압이 높아져서 급기 배관경의 증가, 급기관 설치를 위한 터널내 공동구의 증가로 인한 터널 단면의 증가 등 다양한 문제가 발생됨

◉ 해외의 경우, 지상으로 탈출하는 대피통로에 대한 가압시스템 적용 사례는 있으며, 대피소로 활용하기 위해 피난연결 통로내에 2 SET의 차단문을 설치한 사례도 있는 것으로 조사됨

- 다만 대피통로 내부에서 자체적으로 가압하는 시스템에 대한 설계 사례는 찾아보기 어려움

◉ 초장대 해저터널의 경우 터널 내 설치되는 환기설비의 역할이 화재연기 배연을 위한 용도이므로 환기설비 가동만을 통해 대피터널로의 화재연기 전파를 방지할 정도로 가압되지 않을 것으로 검토됨

- 이에 대피터널로의 화재연기 유입 방지를 위하여 추가적인 설비가 필요할 것으로 판단됨

◉ 피난의 경우 국내 철도터널 구난역 설계 시 구간별로 설치된 피난연결통로(40-50m)를 설치하고 있으며 화재가 발생되면 대피자는 정지된 구난역에서 플랫폼을 통하여 피난연결통로로 대피하는 형식(플랫폼 폭원 : 3.0m) 임

- 또한 가압을 위해 송풍장치를 활용하여 터널 외부에서부터 외기를 배관을 통해 급기하는 방식으로 국내에서는 설계중임

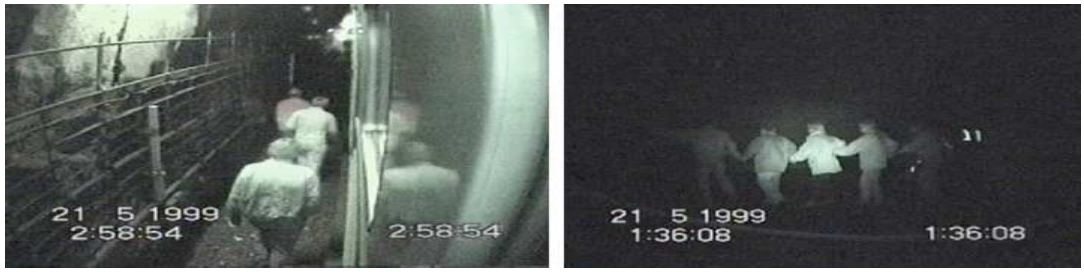
◉ 국외의 경우 고타드터널 세이칸 터널 등에 구난역이 적용되어 있으며 국내에서도 솔안터널을 비롯하여, 원주-제천간 백운 및 박달터널, 원주-강릉 대관령터널 등에 구난역 계획 및 건설을 추진되고 있음

- 구난역 주변에는 화재안전을 위한 방재설비(소화기구, 옥내소화전, 비상조명설비 등)가 적용되고 있음

◉ 국내 도로터널의 경우 화재 발생 터널은 화재연기를 터널에서 제거하기 위해 제연운전 혹은 배연운전을 하며, 반대방향 터널은 피난연결 통로를 통한 화재연기 전파 방지를 위해 반대방향 터널 내 설치되어 있는 환기설비(제트팬)를 가동하여 터널 전 구간을 가압하는 방식을 적용하고 있기 때문에 피난연결통로에 차단문만 설치하고 있는 실정임

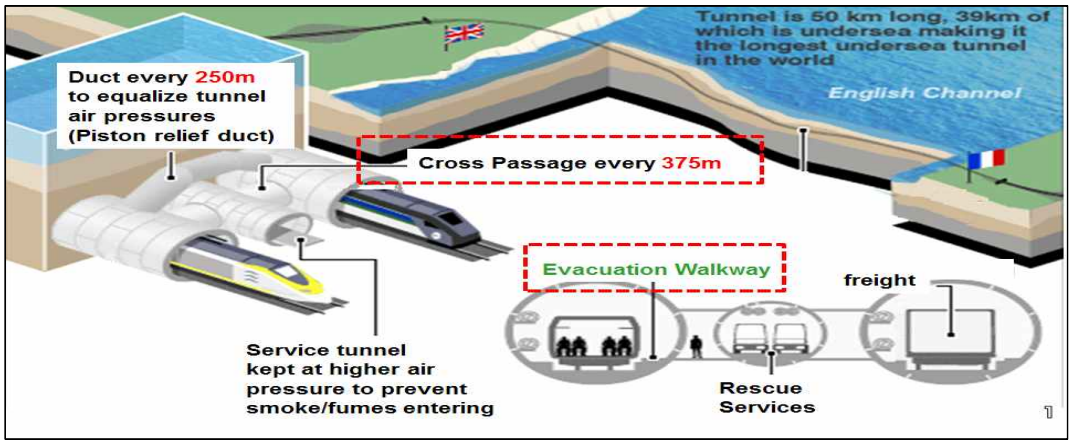
■ 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발

◉ 현재 세계적으로 해저터널이나 대심도, 고산지대 산악터널 등 초장대 터널 건설이 증가함에 따라 터널 안에서 우려되는 화재나 터널대피 상황에 대한 위험도 평가, 피난행태 분석 등 다양한 연구가 추진되고 있음




〈그림 Ⅴ-100〉 터널에서의 피난 행태 분석 실험 (스웨덴, Lund Univ. 1999)

- 유럽 해저터널의 대표격인 영불해저 터널의 경우 단선병렬 구조의 주행터널과 비상구조서비스터널(Rescue Service Tunnel)을 375미터 간격의 교차통로(Cross passage) 등을 구비한 비상대피 시스템을 운영하고 있음




〈그림 Ⅴ-101〉 영불해저터널에 설치된 피난 서비스 터널(비상대피터널) 사례

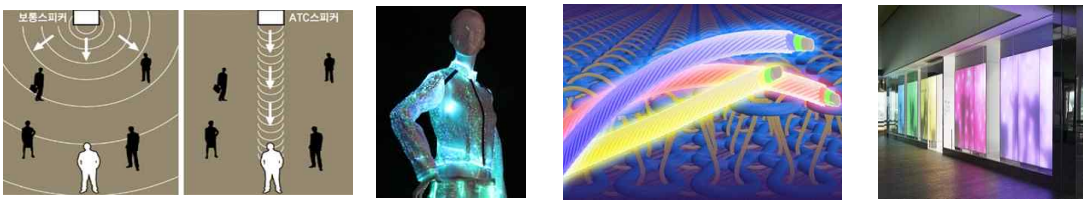
- 국내에서도 도로공사가 터널에서의 피난안전성을 확보하기 위하여 터널 내 제트팬과 에어커튼을 이용한 연기 차단 및 피난방향 확보방법이 개발되었음

- 방화스크린을 활용하여 건축물내에서 화재 방화구획 및 연기 확산을 차단하기 위한 능동형 제연커튼(Active Smoke Curtains) 기술이 개발되어 연기 확산 차단 대책으로 다양하게 사용되고 있음

- 5G 통신기술의 도입에 따라 사물인터넷(IoT) 센서 및 소자 기술의 피난안내 기술 접목 시도가 활발하게 연구되고 있음

  - 공기질 센서의 모니터링 정보나 영상 정보를 빅데이터 처리기법을 적용하여 화재사전 예측시스템으로 개발하려는 연구기획이 시도되고 있음

  - 지향성 스피커를 이용한 피난자 개별안내 방송기술이나 전자발광섬유를 이용한 스마트 피난안내 시스템 개발 연구 등이 추진되고 있음




**<그림 Ⅴ-102> 지향성 스피커를 이용한 개별 피난경로 안내 개념(좌), 전자발광섬유 활용 스크린(우)**

- 현재 국내에서는 도로터널방재시설 설치 및 관리지침과 철도시설의 기술기준을 통해 도로 및 철도터널에 설치되는 피난유도설비를 규정하고 있으며, 피난구까지의 거리를 표시해주는 역할만 하고 있음

- 실내 측위를 위한 방법으로 Bluetooth Beacon, Wifi Beacon 등을 이용한 방법들이 연구개발되고 있음

  - 국내에서는 국토교통부 건설기술연구 사업에서 복층터널에서의 피난앱 개발 연구로 Bluetooth Beacon을 이용하여 복층터널 내 피난경로 표시앱을 주성지앤비에서 연구개발중임

- 현재까지 국내외에서 개발중인 시스템들은 방재적 측면보다는 실내공간정보 활용 서비스의 목적이 큼

  - 조명 및 카메라 등을 이용하여 증강현실을 구현하는 연구가 국내·외적으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 증강현실을 구현하는데 필요한 플랫폼 장비들이 출시되고 있음

■ 지능형 이동식 터널 화재 소화시스템 개발

- 현재까지 위치 추적 기술과 관련하여 대표적으로 연구되고 있는 기술은 GPS (Global Positioning System) 및 RFID(Radio Frequency Identification) 기술이 있음

  - 이는 실외 환경을 위해서 개발된 시스템으로서, GPS 위성 신호를 수신할 수 있는 곳에서만 서비스가 가능하며, 실내형 위치 추적 기술은 기존의 GPS, Cell-ID 기반 실외형 위치 추적 기술은 한계가 있음

- 국내·외 위치추적 시스템의 구축관련 GPS 기반 기술은 구축이 완료된 반면, 실내에서의 기술구축은 지속적으로 연구되고 있음

<표 Ⅴ-103> 국내·외 위치추적 시스템 연구 현황

| 구분 | 세부내용 |
|---|---|
| 국내 | • 위치추적 시스템 구축완료 (GPS기반)<br>• 업계 : 국내 통신3사의 최대 관심사, (Bluetooth 기반의 실내위치 추적시스템)<br>• 학계 : 실내 위치 측위 정밀도 관련 연구가 지속적으로 진행중 실내용 3D GIS 관련 다양한 application 이 진행중 |
| 국외 | • 위치 추적 시스템 구축완료 (GPS기반)<br>• 업계 : Google 및 Apple로 대변되는 스마트폰 기반사의 독자적인 개발 Google(Android기반) : BLE(Bluetooth Low Energy), Apple (iOS기반) : iBeacon. Li-Fi (Light기반)<br>• 학계 : 국내 연구 수준과 비슷함. |

- 터널은 외부환경과 독립된 환경 속에 있기 때문에 터널 내 이동수단 운전자와 터널 관리자가 터널 내부의 환경을 판단하기가 상당히 어려우며, 터널 내 돌발 상황에 대비하여 권장하는 안전 규칙이 있음에도 터널 내부에는 항시 위험이 존재함

- 터널 내 화재가 발생할 경우외부로부터 소방관과 소방차가 접근하기 전에, 신속하게 화재가 발생한 지역으로 이동하여 화재를 진압하는 소화 로봇에 대한 개발이 다수 진행되어 왔음

  - 예를 들어 대한민국 특허(등록번호 10-1866323-0000호)는 천정에 설치된 가이드레일을 따라 이동하며 화재가 발생한 위치에서 소화탄을 발포하여 진압을 수행하는 소방로봇에 대한 기술을 설명하고 있음

- 일본의 특허(출원 특원평8-242033호)는 터널내의 부설된 레일을 따라 이동하며 화재가 발생한 지점에서 소화재를 분사하여 진압을 수행하는 소화 로봇에 대한 기술을 설명함

- 대부분의 소화로봇들이 소화분말 또는 소화수를 몸체부에 적재한 상태에서 화재 지역으로 이동하여 화재 진압을 수행함

  - 이에 적재된 소화분말이나 소화수를 모두 소모한 경우 화재 진압을 수행할 수 없는 문제가 발생하며, 소화분말이나 소화수의 적재에 따른 이동 속도의 제한으로 화재 발생 위치로의 신속한 이동이 제한되는 문제가 발생함

- 이에 따라, 실시간으로 화재를 감자하여 화재 발생시 빠른 초기 대응(초기진압) 및 신속하게 화재를 진압하거나 화재확산을 억제할 수 있는 시스템이 필요한 실정임

## (나) 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

<표 Ⅴ-104> 관련 기술 보유 주체(기업, 연구기관 등) 현황

| 기관명 | 주요 내용 |
|---|---|
| ARUP (영국) | • 구조물 환기/방재 기술보유 |
| HBI (스위스) | • HBI Haerter Consulting Engineers는 터널 환기/방재 관련 독립 경영 회사 (스위스와 독일에 근거)<br>• 터널 환기/방재 분야 설계, 계획 및 실행, 배출량 예측, 안전 문제, 도로 및 철도 터널의 공기 역학 및 열역학 엔지니어링 전문 |
| COWI (덴마크) | • 부산~거제 침매터널 수행<br>• TEN-T (Trans-European Transport Network) 수행<br>• 터널, 교량 전문 엔지니어링 기술 보유 |
| EQUA (스웨덴) | • 터널 환기방재 평가 프로그램 개발 및 판매 (IDA Tunnel)<br>• 건축물 에너지 평가 프로그램 개발 및 판매 (IDA ICE)<br>• 스웨덴 및 유럽의 터널 환기/방재 및 건축에너지 기술 |
| Mosen Ltd (영국) | • 터널내 전기장치 및 FAN에 대하여 다양한 운영방안에 따라 에너지 절감 및 공기질 유지에 대한 분석 및 솔루션 제공 |
| TRB (미국) | • ‘New IDEAS* for Rail Safety’ Project를 통해 첨단기술을 활용한 안전성 제고를 추진<br>• 열차운행 중 차축균열 감지 시스템, 기관사의 부주의 감지 시스템, 기관사 훈련 시뮬레이터, 비상 시 열차위치 모니터링 기술 등 개발 중 |
| RTRI (일본) | • 안전 DB를 실시간으로 분석하여 의사결정을 지원하는 철도종합 안전관리 지원시스템 구축을 추진<br>• 탈선메커니즘 및 예방기술, 사고 시 승객안전성 평가기술<br>• 인체요소 분석 및 기관사 보조시스템, 자연재해 예방기술<br>• 차량운행 기술 리뷰, 기관사 상태파알을 통한 운전보조<br>• 위험개소 및 피해 예측, 열차운전 시뮬레이터 기술 등 개발 |
| ERA (유럽) | • ‘Capacity4Rail*’ 프로젝트(‘13~‘17)를 통하여 첨단기술을 활용한 효율성·안전성 제고를 추진 중 |
| SNCF (프랑스) | • SNCF는 기존 분산된 철도안전관련 정보를 Big-Data 기반 모델을 통해 처리하여 위험도기반의 안전관리 시행 |
| Railway Technology (영국) | • ’Future Railway’ 프로젝트(‘12~‘40)를 통하여 관제·통신, 시설,차량, 정보 등 6개 분야에 대한 첨단기술 개발 및 적용을 추진 중 |
| SINTEF 연구소 (노르웨이) | • 피난연결통로 화재연기 유입 방지를 위해 에어커튼 + 가압방식으로 화재연기 유입 방지 기술 |
| AMBERG (호주) | • 도로터널 화재연기 유입 방지를 위해 Flexible fabric 재질의 커튼 방식으로 화재연기 유입을 차단 |
| Air Curtain Virtual Door(프랑스) | • 도로터널 에어커튼 방식의 적용형태로 지하철 공간 화재 안전성 확보 |

## (다) 관련 지재권 확보 현황

<표 Ⅴ-105> 국내 관련 기술 특허 현황

| 특허 등록번호 | 제목 | 출원인/국가 | 내용 |
|---|---|---|---|
| KR1656105B1 | 터널 환경 계측 유니트, 이를 구비하는 터널 환경 관리 시스템 및 이의 제어 방법 | 고려대학교 산학협력단/ 대한민국 | • 터널 내 전방 영상 정보를 포함하는 터널 굴착 정보를 저장하는 저장부를 구비하는 터널 환경 계측 유니트 및 이를 구비하는 터널 환경 관리 시스템과 제어 방법 기술 |
| KR1188220B1 | 터널공사용 환기시스템 및 그 제어방법 | 비엔텍아이엔씨&삼성물산/대한민국 | • 터널공사 중에 터널을 환기시키기 위한 터널공사용 환기시스템 및 그 제어 방법에 관한 기술 |
| KR0912944B1 | 방재용 터널 환기 구조물 및 그 제어방법 | 삼성물산/ 대한민국 | • 상호 인접 평행하도록 형성된 복수의 터널 사이의 영역에 배기덕트, 배기구 및 외부 배기유로를 포함하는 방재용 터널 환기 구조물 제시 |
| KR1713832B1 | 스마트 광섬유 브래그 격자 온도센서에 의한 수배전반의 전력설비 열화감시・진단시스템 | 일산전기/ 대한민국 | • 종래 분포형 광섬유 FBG 온도 센서 시스템의 구동방식과 최적화를 통한 단점 보완을 통한 전력설비 열화감시 및 진단시스템 기술 |
| JP2765755B9 | TUNNEL VENTILATION CONTROL METHOD AND TUNNEL VENTILATION SYSTEM | HITACHI/ 스페인 | • 터널 내의 다수의 환기 구획마다 팬과 송풍기를 설치하고, 풍속 및 오염도를 예상하여 풍량을 제어함으로써 환기 효율을 높이는 기술 |
| JP2701640B9 | TUNNEL VENTILATION CONTROLLER | MATSUSHITA ELECTRIC IND/ 일본 | • 터널 환기 제어기를 쉽게 설치하고 내부 공기를 보다 양호한 상태로 유지할 수 있도록 인공호흡기를 자동 제어 할 수 있도록 불필요한 부재 교체 작업 등을 수행하기 위한 기술 |
| JP6132194B9 | TUNNEL ALARM SYSTEM AND TUNNEL ALARM TRANSMISSION SYSTEM | IWASAKI ELECTRIC/ 일본 | • 터널에 진입하기 전에 운전자에게 충분한 양의 정보를 제공 할 수 있는 터널 경보 시스템을 제공하기 위한 기술 |
| EP01987972B1 | Method for automatically controlling ventilation in a motor vehicle when recognised to be travelling in a tunnel | ETAT-FRANCAIS/ 프랑스 | • 초음파 송신기의 다이어프램과 같은 수중 구조물에 대해 가동 헤드, 고정 실린더를 포함하는 장치에 의해 폭발의 경우에도 유지 될 수 있도록 하는 기술 |
| EP00517557B1 | Device to retain a loose underwater structure in case of an explosion | Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft/ 독일 | • 자동차 에어컨 시스템의 작동을 제어하는 자동화된 프로세스에서 터널 내로 차량의 진입을 감지하고 자동으로 윈드 스크린으로 향하는 송풍기의 작동 및 공기 온도를 증가시키는 센싱에 관한 기술 |

## (2) 국내외 기술 수준 분석

■ (기술수준) 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술개발 기술수준은 최고 기술국인 유럽 대비 81.2%(추격그룹[23]) 수준으로 주요 5개국 중 4위

◉ 최고기술국인 유럽(100.0%) 대비 주요국 기술수준은 일본(97.3%) > 미국(94.8%) > 한국(81.2%) > 중국(77.8%) 순으로 나타남

* 미국과 일본은 선도그룹이며, 중국은 추격그룹

■ (기술격차) 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 對최고기술국(미국) 기술격차는 5.4년으로 유럽에 비해 뒤처지는 것으로 나타났으며, 對중국보다는 낮은 수준인 것으로 조사

◉ 한국과 주요국 간 기술격차는 對유럽 5.4년, 對일본 4.7년, 對미국 4.1년, 對중국 0년

**<표 Ⅴ-106> 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차(B3)**

| 국가 | 기술수준·격차 | | |
|---|---|---|---|
| | 그룹 | 수준(%) | 격차(년) |
| 한국 | 추격 | 81.2 | 5.4 |
| 미국 | 선도 | 94.8 | 1.3 |
| 일본 | 선도 | 97.3 | 0.7 |
| 유럽 | 선도 | 100.0 | 0.0 |
| 중국 | 추격 | 77.8 | 6.3 |

■ (기술격차 요인) 기술격차의 주요 원인은 개발된 기술의 실용화 미흡인 것으로 조사

**<표 Ⅴ-107> 기술격차 요인(B3)**

◎: 1순위, ○: 2순위, •:3순위

| 연구개발 자금 부족 | 연구개발 인력 부족 | 연구개발 기반 취약 | 정부지원 정책 미흡 | 연구개발 기술정보 부족 | 개발된 기술의 실용화 미흡 | 산학연 협력 취약 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ○ | • | | | | ◎ | |

23) 최고(100%) : 세계 최고수준, 선도그룹(80%초과~100%미만) : 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과~80% 이하) : 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과~60% 이하) : 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하) : 연구개발 능력이 취약한 수준

(기술 발전단계) 국내 기술적 단계는 성장기로, 기초·응용·개발연구에서 모두 보통 수준을 보임

<표 Ⅴ-108> 기술 발전단계 평가결과(B3)

| 구분 | | 내용 | | |
|---|---|---|---|---|
| 기술 발전단계 | 발전단계 | 국내 | 국외 | |
| | | 성장기 | 성숙기 | |
| | 연구단계 수준 | 기초연구 | 응용연구 | 개발연구 |
| | | 보통 | 보통 | 보통 |

(기술적 수준) 기술적 권리는 특허/품종등록으로 대부분 보유하고 있으며, 일부 독창 부분을 확보 했으나 모방 가능성 있음

<표 Ⅴ-109> 기술적 수준 평가결과(B3)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술적 수준 | 권리 보유형태 | 특허, 품종등록 |
| | 신규성 및 독창성 | 일부 독창 부분 확보 |
| | 모방 난이도 | 모방 가능성 있음 |
| | 파급성 | 해당기술 응용성 어느 정도 있음 |

(기술경쟁력 수준) 국내 숙련기술 인력은 많은 편이며, 기술/시장에 대한 정보 획득 여건 및 지원 인프라는 보통 수준임

<표 Ⅴ-110> 기술경쟁력 수준 평가결과(B3)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 기술 경쟁력 수준 | 인력확보, 숙련도 여건 | 숙련도 높은 인력 많은 편임 |
| | 기술, 시장정보 확보 여건 | 정보 확보 여건 보통 |
| | 문제해결을 위한 인프라 여건 | 보통이상 인프라 수준, 지원 인프라 보통 |

(기술영향력) 해당기술 개발 시 사회적 공감대 형성은 필요하며, 기술의 영향력(파급효과)은 높은 것으로 조사

<표 Ⅴ-111> 기술영향력 평가결과(B3)

| 구분 | | 내용 |
|---|---|---|
| 영향력 (파급효과) | 사회적 공감대 형성 필요 여부 | 보통 |
| | 서로 상이한 이해관계자 존재 여부 | 보통 |
| | 파급효과 크기 | 높음 |

# 라. 세부 기술개발 내용

## (1) 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

<표 Ⅴ-112> 개발내용별 한계점 및 기술개발 방향

| 개발내용 | 한계점 | 개발 방향 |
|---|---|---|
| 해저터널 방재 설계 및 운영 기술 | • 도로·철도터널의 환기/방재 설비 운영은 PLC 기반으로 On-Off 또는 비례제어 수준임<br>• 터널내 (철도)차량 운영에 따른 환기설비 및 기타 전기장치 연동 에너지절감 운영 및 공기질 유지 방안 전무함 | • 가상 모델에 실측 PID값을 적용하여 최적의 운전 방안 도출<br>• 전력소비 시뮬레이션 통한 과소비구간 분석 및 빅데이터 구축<br>• 터널내 철도차량 운영에 따른 환기설비 및 기타 전기장치 연동 관제 기술 개발 |
| | • 부족한 인력, 정보화시스템 운영에 따른 제한적 관리체계<br>• ICT 신기술의 패러다임의 변화를 예고하는 시기이므로 해저터널 상황관리 업무에 대한 정보시스템 고도화 필요 | • IoT기반 원격감시 관리서비스 구축<br>• 해저터널 화재(재난)재해 안전사고에 선제적 대응 위한 전조예측시스템 및 조기경보 메세징 서비스 개발 |
| | • 법령을 통해 사후 사고·장애 통계를 관리하여 근본원인 분석 및 사고예방대책이 미흡하며, 재발방지에 한계점 노출<br>• 철도시스템에 RAMS 도입 초기단계임 | • 해저터널의 사고, 화재 등의 위험도에 대한 체계적·효과적 의사결정 시스템 개발<br>• 해저터널의 안전성 확보를 위해 방재시설에 대한 RAMS 관리시스템 구축 |
| 해저터널 위험도 평가 및 화재 대응 기술 | • 터널에서는 차세대 연료를 동력으로 하는 열차의 위험성에 대한 고려가 전무함 | • 전기/수소차 화재/열폭주/폭발 위험성이 고려된 시나리오 및 위험성 평가방법 개발 |
| | • 해저터널에 계획된 대피 플랫폼 및 피난연결통로에 순간적인 화재연기 확산 방지에 대한 기술력 부족<br>• 서비스 터널의 상시가압에 대한 경제적, 기술적인 어려움이 발생되기 때문에, 피난연결통로(방화문 사이 공간 대피로)에 국부 환기 성능 확보를 위한 기술개발 필요 | • 화재연기 확산 방지를 위한 가압성능 90% 이상 차단 기술 확보<br>• 개발 기술의 실용화를 위한 다양한 시설물(지하철, 환승통로 등)에 적용이 가능한 설계 기술 개발 |
| | • 해저터널 화재시 피난자가 유독성 연기흡입을 완전하게 차단할 수 있는 기술 미흡 | • 화재발생 지점에서부터 안전지역까지 연속적으로 피난자를 보호하는 대피통로 개발 |
| | • 해저터널 화재 초기 대응용 고정형 원격자동 소화기술 개발단계<br>• 장대터널용 이동식 집중 소화설비 필요 | • 30초 이내 화재 감지 후 이동식 화재 집중 소화 기술 개발<br>• 위치 추적 기반 지능형 초기 화재대응 소화 운영 시스템 개발 |

## (2) 개발내용별 개발목표 및 주요내용

### (가) 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 빅데이터 및 인공지능 기반 에너지 절감형 환기운용 시스템 개발과 PID 제어를 이용한 초장대 터널 운영중 환기/방재 설비 최적운전 기술 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 터널 내 오염물질/전력 실시간 모니터링 및 제어 시스템 구현

- 실시간 오염물질 및 전력 모니터링 장치 제작
- 사물지능통신(M2M)기반 터널용 데이터 전송 서비스 구축

◉ 스마트 에너지절감형 터널 환기운용시스템 통합 기술 개발

- 에너지 절감을 위한 목적함수 및 최적화 기법 개발
- 터널 현장환경 기반 학습형 환기 운용 알고리즘 개발
- 장대철도터널 내부 환기운영 및 환경변화에 따른 전력소비량 분석
- 축소 모형을 통한 터널 오염환경/전력소비량 예측모델 검증

◉ IDA Tunnel을 이용한 장대터널 환기/제연 모델 및 PID 제어 구현

- 가상 모델과 축소 모델의 결과 검증을 통한 최적 제어 알고리즘 개발
- 해저터널 축소 모델을 이용한 최적 PID 알고리즘 검증
- 스마트 센서 및 AI 기술을 적용한 초장대 해저터널 환기/방재 자동화 시스템 개발

**(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-113> 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 터널 내 오염물질/전력 실시간 모니터링 및 제어 시스템 구현 | 사물지능통신(M2M)기반 터널용 데이터 전송 서비스 (응답시간) | 10초 | 1초 | 2초 |
| 스마트 에너지절감형 터널 환기운용시스템 통합 기술 개발 | 전력 절감(%) | 10% | 30% | 25% |
| | AI 학습데이터 SET 구축(CASE) | 3 CASE | - | 10 CASE 이상 |
| | 실시간 오염물질 및 전력 모니터링 장치 제작 (오염물질 측정 해상도) | 10m | 20m | 30m |
| IDA Tunnel을 이용한 장대터널 환기/제연 모델 및 PID 제어 구현 | 에너지 저감 효율 | 없음 | 20% | 20% |

## (나) AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발

기술 개요 및 목표

- 현재 충분한 설계적 검토가 없었던 해저터널에서의 ICT 기술기반의 실시간 유지관리 기술의 고도화를 위하여, 교통 돌발상황대응, 위험요소 안전진단을 과학적인 데이터 분석 및 전조예측 기술을 통한 ICT 지능 정보화기반의 예측을 통한 해저터널 화재(재난)안전 실현가능한 시스템 구축

- 초장대 해저터널의 급속한 해저환경 변화로 인한 해저터널 화재(재난)안전사고에 대한 예방·대비단계의 강화가 요구되고, ICT 기술발전 추세에 맞추어 혁신적인 해저터널 화재(재난)안전관리 기술에 대한 표준화된 공통공유 기반의 플랫폼 서비스화를 통해 효율성을 증대하고 해저터널내 차량·전기화재, 감전·방전사고, 가연성·위해가스, 안전시설물 디지털 계측값 등에 의한 해저터널 화재(재난)안전사고 상황관리체계를 구축하여 재난에 선제적 대응

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 실시간 해저터널 화재(재난)안전 통합 관제서비스

- 해저터널 화재안전 핵심정보 연계 및 수집을 통한 통합모니터링 시스템 구축 관리현황, 이상감지, 알람 등 처리/데이터 연계 및 표준화

◉ 지능형 해저터널 화재(재난)안전 사고예방 서비스

- 조기경보 메세징 서비스 개발

  * 관심구간 및 지점을 등록하여 사용자 그룹별 맞춤형 알람서비스 제공 기술

- 해저터널 화재(재난)재해 전조예측시스템 개발

  * 센싱, 계측 데이터의 통계량 뿐만 아니라 Raw 데이터의 패턴을 인지하고 모형화 및 패턴변화 모니터링 기술 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-114> AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 실시간 해저터널 화재(재난)안전 통합 관제서비스 | IoT 센서데이터 연계 가이드라인 | 없음 | 가이드라인 존재 | 가이드라인 1건 이상 |
| | 통합모니터링 및 관리자 기능 개발 (ISO/IEC 테스트케이스) | 1등급 | 1등급 | TTA 소프트웨어 인증 1건 이상 |
| 지능형 해저터널 화재(재난)안전 사고예방 서비스 | 전조예측 표준모델 정확도(%) | 50% | 70% | 80% |

## (다) RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널의 안전 및 방재시설에 대한 RAMS기반의 평가기법을 구축을 통한 성능위주 설계기술 개발

◉ 해저터널에 대해 “철도안전관리체계 기술기준”에서 요구하는 RAMS항목을 선별/분석/평가 방안을 구축하고 안전성 확보를 위하여 RAMS 성능목표 제시

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 국내·외 철도 시스템의 RAMS 규정 조사 및 분석

◉ 해저터널 안전성 확보를 위한 RAMS 관리 방안 구축

- 방재시설에 대한 고장 자가진단기능 개발
- 안전성에 영향을 미치는 관리대상 방재시설 선정
- 사용자 편의 터널 위험도 정량적 평가 방안 구축(Matrix 기법)

◉ 재난의 종류에 따른 방재 시나리오 및 대응 매뉴얼 개발

◉ 해저철도터널 RAMS 통합시스템 시범모델 구축 및 가상터널 시범적용

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-115> RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널 안전성 확보를 위한 RAMS 관리 방안 구축 | 방재시설별 실시간 자가진단 시스템 | 없음 | 시스템 보유 | 시스템 구축 |
| | 방재시설 고장현황 파악을 위한 DB구축 | 없음 | DB 보유 | DB 구축 1건 이상 |
| 해저철도터널 RAMS 통합시스템 시범모델 구축 및 가상터널 시범적용 | 방재시설에 대한 RAMS 통합시스템 시범모델 구축 | 없음 | 매뉴얼 보유 | 시범모델 구축 |

### (라) 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/포갈 위험성 평가 및 안전 기술

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널의 시공 및 운용시기을 고려할 때 차세대 동력(전기, H2 등) 활용 운송체의 운행 가능성이 높기 때문에 이를 고려한 터널의 방재설계가 고려되어야 하므로, 터널 내에서 차세대 동력원으로 인한 화재/폭발 위험성을 예측하고 방재설계에 적용될 수 있는 평가 방법 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 수소 화재/폭발 강도 및 범위 예측

- 소규모 챔버를 활용한 기체수소 폭발 특성(강도 및 전파속도) 파악
- 터널 내 액화수소의 확산 특성 파악
- 수치해석을 활용한 실규모 터널 내 화재/폭발 범위 예측
- 준 실규모 운송수단을 적용한 화재/폭발 실험을 통해 실규모 화재/폭발 예측
- 수소 누출 대응 터널 운용자 및 이용자 행동요령 개발

◉ 전기를 동력으로 하는 운송체의 열폭주/화재 위험성 평가

- 베터리 종류별 화재/폭발 위험성 평가
- 베터리 용량에 따른 화재/폭발 범위 예측 및 소화 방안 제시
- 터널 내 전기화재 소화 가이드라인 제시

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-116> 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/포갈 위험성 평가 및 안전 기술_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 수소 화재/폭발 강도 및 범위 예측 | 수소 폭발성 DB | 가스 물성단위 DB | 700bar 단일 고압탱크 폭발성 DB | 차량탑재 700bar 고압탱크 폭발성 DB |
| 열폭주/화재/폭발 위험성 평가 | 화재 표준 시나리오 | 없음 | 전기차 열폭주/화재 시나리오 | 전기차/수소차 열폭주/화재/폭발 표준 시나리오 |
| | 터널 이용자 피난 메뉴얼 | 일반차량 대상 피난 메뉴얼 | 전기차 포함 피난 메뉴얼 | 전기차/수소차 피난 메뉴얼 |

### (마) 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널을 통과하는 고속열차가 화재로 인하여 구난역 정차시 순간적으로 확산되는 화재연기를 차단하기 위해 지하철 스크린방식의 고정식 루프와 수직으로 내려오는 이동식 측벽으로 구성되고 대피자가 열차에서 하차하는 도어 구간을 가압하여 대피자의 안전한 대피경로를 확보가 가능한 설비 및 자동 운영 시스템 개발

◉ 터널 내 화재사고시 피난연결통로를 통해 대피자가 반대방향 터널을 통해 대피하는 경우 피난연결통로를 통한 화재연기 유입을 방지하여 화재연기에 의한 인명피해 발생을 최소화할 수 있는 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 통한 대피통로 설계/시공 기술개발

- 시뮬레이션을 통한 세부 설치방안 연구
- 실규모 실험을 통한 화재안전 성능검증 연구
- 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비 자동화 및 운영방안 연구
- 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비 설계/시공/유지관리 가이드안 작성

◉ 해저터널 피난연결통로 가압 시스템 설계/시공 기술개발

- 시뮬레이션을 통한 세부 설치방안 연구
- 실규모 실험을 통한 화재안전 성능검증 연구
- 피난연결통로 가압 시스템 자동화 및 운영방안 연구
- 구난역 플랫폼 및 피난연결통로 화재연기 차단 시스템의 설계/시공/유지관리 가이드안 작성

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

**<표 Ⅴ-117> 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발_개발목표**

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널 구난역 플랫폼 가압 및 스크린 설비를 | 화재연기 차단율 (이론/실험) | 80%이상 | 90%이상 | 90%이상 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 통한 대피통로 설계/시공 기술개발 | 노즐 및 흡입구 자동제어 | 2점식 자동제어 | 없음 | 4점식 자동제어 |
| | 고정식 스크린벽체 내구성 | 150km/h 내구성 | 없음 | 300km/h 내구성 |
| 해저터널 피난연결통로 가압 시스템 설계/시공 기술개발 | 차압기준 | 50Pa | 50Pa | 50Pa 이하 |
| | 차단문 개방시 방연풍속 | 없음 | 1.0m/s | 1.0m/s 이상 |

## (바) 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 해저터널에 적합한 접이식 스마트 대피통로 시스템 및 최적 운영 방안 개발

◉ 화재 위치에 따른 제연방향과 터널 내부의 상황에 따라 최적의 피난 방향을 터널 벽면이나 바닥에 표시할 수 있는 기기를 차량, 스마트폰, AR(증강현실)기기 등에 설치하여 표시하는 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ 해저터널 운영환경 및 스마트 스크린 대피통로 개발

- 해저터널 화재 및 비상피난 대응 시나리오 정립
- 피난인원 시나리오 분석에 따른 설계 요건 분석
- IoT 첨단기술 접목 스마트화 요구사항
- 스마트 스크린 대피통로 최적화 시제품 개발
- 스마트 대피통로 설비의 터널 시설물 통합방재 연계 운영방안 수립

◉ Bluetooth Beacon 등을 이용한 터널 무선측위 시스템 개발

- 피난경로 분석 알고리즘 개발
- 피난 유도 표지용 디지털 라이트 개발
- AR 및 피난유도 어플리케이션 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-118〉 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| 해저터널 운영환경 및 스마트 스크린 대피통로 개발 | 스크린 내열성능 (250℃ 이상) | 30분 | 60분 | 60분 |
| | 통로내부 차연성능 | 90% | 95% | 95% |
| | (감지연계) 스크린 폐쇄속도 | 20초 | - | 10초 |
| Bluetooth Beacon 등을 이용한 터널 무선측위 시스템 개발 | 실내 부선 측위 정확도 | 50 % | 80 % | 90 % |
| | 피난 유도 어플리케이션 지연시간 | 30초 | 20초 | 10초 |

## (사) 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발

■ 기술 개요 및 목표

◉ 위치추적 기술을 기반으로 해저터널 내부의 화재위치 정보를 취득하고, 신개념 고속이동형 소화시스템에 의한 신속 화재대응 시스템 개발

■ 기술 개발내용 및 범위

◉ ICT기반 해저터널내 위치추적기술 개발

- 밀폐형 터널내부에 적합한 위치추적기법 및 초기 화재 탐지 기술
- 터널외부에서 원격 소화 지원을 위한 IR 기반의 모니터링 시스템 개발

◉ 고속 이동형 초기 화재대응 시스템 개발

- 초장대 터널 신속 화재 대응을 위한 고속 이동형시스템 개발
- 고속 이동형 해저터널 소화 시스템 설계 및 운영 매뉴얼
- 실대형 고속 이동형 초기 화재대응 시스템 화재확산 방지 및 소화능력 시험
- 환기/방재시스템 연계 기술 개발

■ **(개발목표)** 요소기술별 핵심 성능 목표를 다음과 같이 제시함

〈표 Ⅴ-119〉 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발_개발목표

| 요소기술 | 성능지표 | 최고스펙 | | 목표스펙 |
|---|---|---|---|---|
| | | 국내 | 국외 | |
| ICT기반 해저터널내 위치추적기술 개발 | 화재 감지 | 60 초 | 20 초 | 30 초 |
| | 적외선 기반 모니터링 서비스 | 없음 | IR 기반 | IR 기반 |
| 고속 이동형 초기 화재대응 시스템 개발 | 화재 위치 도달시간 | 없음 | 5분 이내 | 5분 이내 |

## (3) 구성기술 확보 전략

<표 Ⅴ-120> 핵심기술 확보 전략

| 핵심기술 | 세부 기술 | 핵심 기술 확보 전략 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 공공 협력 | 민간 협력 | 자체 개발 | 국외 도입 | 국내 도입 | 기타 |
| 해저터널 방재 설계 및 운영 기술 개발 | 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술 | ○ | ◐ | ● | ◐ | | |
| | AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발 | ○ | ○ | ● | ○ | | |
| | RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발 | ◐ | ◐ | ● | ◐ | | |
| 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | 해저터널 내 차세대 동력원(전기, $H_2$ 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술 | ◐ | ○ | ● | ◐ | | |
| | 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발 | ◐ | ◐ | ● | ○ | | |
| | 스마트 비상 대피 및 차량용 피난 유도 시스템 개발 | | ○ | ● | ○ | | |
| | 위치추적 기반 이동형 소화시스템 개발 | | ◐ | ● | ○ | | |

●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

## (4) 파급효과

### (가) 시장경제적 기대효과

- 본 연구를 통해 터널 내부 환기운영시스템의 원천기술을 확보할 수 있으며, 이를 통해 터널 환기운영시스템의 에너지 절감기술 확보 가능
- AI기반의 에너지절감을 위한 최적화 알고리즘 및 설계기술 확보 및 이를 통한 현장에 적용 가능한 최적의 환기 시스템 구축기술 확보 가능
- 터널의 환기량 산정에 대한 신뢰성 확보 및 환기기 용량 과다설계 방지가 가능하며, 향후 터널 내부 대기오염물질 측정 분석기술 및 이를 통한 터널 내부 환경 개선기술 확보에 기여

- 터널용 스마트 에너지 절감형 환기운영시스템의 기술 적용을 통해 환기운영비 예측이 가능하여 향후 터널의 운영비 절감에 상당한 효과 기대 가능
  - 기존 터널의 경우 기 설치된 환기운영 시스템의 변경 없이 적용이 가능하므로 최소의 투자비로 최대의 에너지 절감효과를 얻을 수 있음
- 터널유사 형태의 대규모 지하공간(지하배선터널, 지하상가, 지하역사, 각종 지하시설 등)에 적용 가능하므로 신규 시장 창출 및 해외 시장 진출 기대
- 공장 승인 시험 중에 계약자는 터널 환기 시뮬레이터를 사용하여 터널 환기를 위한 제어 시스템의 기능이 계약의 요구 사항의 충족 여부 확인 가능
- 시뮬레이션에 사용되는 응용 프로그램 논리는 실제 터널에 있는 동일한 하드웨어(PLC 및 HMI)에서 실행되며, 여기에 시뮬레이션은 유익한 결과를 제공하여 별도의 시험을 불필요하게 반복할 필요가 없음
- 이전의 터널 프로젝트와 달리 터널 환기를 테스트하는 시간은 사용자를 위한 경제적 이점을 고려하여 조기 개방함으로써 경제적 이득과 편의성을 제공할 수 있음
- 시간 및 비용을 절약하기 위해 시뮬레이터를 활용하고, 이후 스마트 제어 시스템과 연계하여 에너지 절감형 터널 환기/방재 시스템을 구현할 수 있음

### (나) 과학기술적 기대효과

- 철도 산업의 국제 표준 규격에 적합한 RAMS 통합관리시스템을 구축하여 표준화된 관리 체계 마련 가능
- 기술개발 노하우를 기반으로 한 국내외 철도시장 진출 가능하며, 해저터널의 시설물의 안전성과 효율성 평가기술 및 경험축적으로 철도기술 선진국과의 기술 격차 해소
- RAMS 통합관리시스템 구축에 따른 해저터널의 열차운행 안전설비의 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성 학보 및 철도 안전 및 방재 시스템에 대한 검증 능력 확보
- 터널 설계에서 친환경 에너지의 안전한 운영을 위한 방재시설 설치 및 관리 부분에 기초자료로 활용
- 잠재적 위험 요소인 차세대 기차 동력원에 의한 폭발을 고려함으로써 터널의 안전성을 획기적으로 개선 가능

### (다) 사회문화적 기대효과

- 해저터널 화재(재난)안전분야 원격관리 통합관제체계 확대 및 이상검출 알람을 통한 신속/정확한 출동을 인명/재산피해 최소화 IoT 정보의 통합모니터링을 통한 원격관리기반 화재(재난)안전 업무혁신이 가능함
- 신속한 초동 대응체계 구현, 빅데이터 기술을 활용한 해저터널 화재(재난)발생 사전예측 모델개발, 데이터 수집 및 시각화를 통한 빅데이터 분석 환경조성을 통한 해저터널 스마트화재(재난)안전 통합플랫폼 실현이 가능함
- 신속한 조기경보메세징등 해저터널 화재(재난)사고 예방서비스 제공, 국민안전 수요대응 및 대국민 해저터널 화재(재난)안전 서비스 확대를 통한 화재(재난)안전 신산업 서비스 창출 가능
- 장대터널내 화재사고 발생시 대피통로를 통한 화재연기 전파 방지 가능으로 대피자에 대한 안전성 향상
- 장대 도로터널 및 철도터널에 바로 적용 가능한 방재시스템으로, 국내 뿐만 아니라 해외 터널 설계시 방재시스템 설계 기술의 우위 확보 가능
- 기존 피난통로 방법은 피난구조 건설에 막대한 예산부담이 있었으나, 스마트 접이 터널 설치로 교차통로 간격을 최적화 할 경우 예산 절감이 가능함
- 기존 방재시스템에서 해결할 수 없는 연소가스로 부터의 피난안전 취약성 문제를 극복하고 터널에 적용할 수 있는 대안기술을 제공함으로써 해저터널 및 대심도 터널의 안전성을 획기적으로 개선
- 터널, 지하철 역사, 지하도에서 화재가 발생할 경우 피난자들이 쉽게 피난구를 찾을 수 있는 서비스 제공 가능
- 이동형 소화장치 적용을 통한 배관설계 최소화 및 연동 업무 수행으로 근접 위치 파악이 용이하여 구조활동에도 도움을 줄 수 있는 간접적인 기대 효과 있음

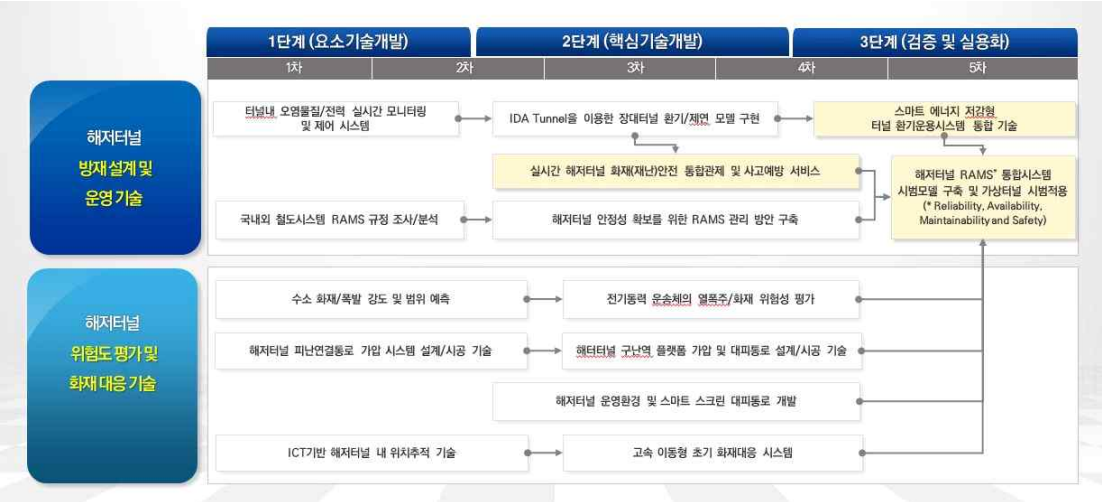
  - 대심도 및 장대 특수 목적형 터널의 소방 안전등 각종 재난대응에서의 초기 현장 대처 능력 향상 가능

## (5) 수행 기술 로드맵

■ 본 기술의 세부기술 간의 로드맵을 다음과 같이 나타내었음

- 핵심기술 1은 “해저터널 방재 설계 및 운영 기술” 로서 에너지 절감형 환기·화재 안전 설비 통합운영 시스템 기술, AI 기반 해저터널 화재예방·조기경보 시스템 기술 그리고 RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계·평가 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 핵심기술 2의 세부기술들과 연계하여 전체적인 통합시스템 시범모델 구축이 진행될 예정임

- 핵심기술 2는 “해저터널 위험도 평가 및 화재 대응 기술”로서 차세대 동력원 차량의 화재/폭발 위험성 평가 기술, 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 기술, 스마트 비상대피 및 차량용 피난 유도 시스템 기술, 위치추적 기반의 이동형 소화시스템 기술 개발을 목표로 하고 있으며, 개발된 기술들은 핵심기술 1과 연계하여 추진할 예정임




**<그림 Ⅴ-103> 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 로드맵**

## (6) 연도별 투자 계획 및 소요 인력

### (가) 연도별 투자 계획

<표 Ⅴ-121> 연도별 투자계획

단위 : 억 원

| | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부출연금 | | 9.7 | 14.0 | 20.6 | 18.7 | 15.2 | 78.1 |
| 민간 부담금 | 현금 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 2.3 |
| | 현물 | 2.3 | 4.4 | 5.1 | 4.7 | 3.8 | 20.4 |
| 합계 | | 12.2 | 18.9 | 26.3 | 24.0 | 19.4 | 100.8 |

<표 Ⅴ-122> 연도별 연구개발비

(단위 : 억 원)

| 세목 | | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 직접비 | 직접비 소계 | 10.8 | 16.8 | 23.2 | 21.2 | 17.1 | 89.0 |
| | 인건비 | 6.7 | 10.5 | 13.4 | 12.6 | 10.2 | 53.5 |
| | 연구장비. 재료비 | 1.5 | 2.4 | 4.0 | 3.4 | 2.8 | 14.2 |
| | 연구활동비 | 1.0 | 1.5 | 2.4 | 2.1 | 1.6 | 8.6 |
| | 연구과제추진비 | 0.9 | 1.3 | 2.0 | 1.8 | 1.5 | 7.4 |
| | 연구수당 | 0.7 | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 5.4 |
| 간접비 | | 1.4 | 2.1 | 3.1 | 2.8 | 2.3 | 11.7 |
| 합 계 | | 12.2 | 18.9 | 26.3 | 24.0 | 19.4 | 100.8 |

## (나) 소요 인력

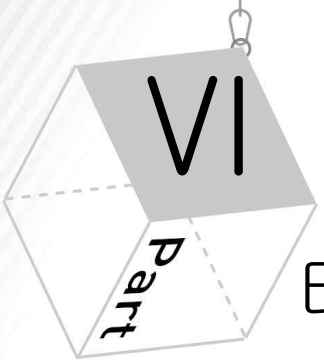
■ 총 소요인력은 인건비, 참여율, 1인당 연평균 인건비를 고려하여 결정함

- 인건비 : 정부출연금의 45% 이상
- 참여율 : 40%
- 1인당/월 인건비 : 책임 연구원급 6,432 천원, 연구원급 4,932 천원, 연구보조원급 3,296 천원 (학술연구용역 인건비 기준 단가, 2019)
- 간접비 : 직접비의 17%

**<표 Ⅴ-123> 연도별 소요인력**

단위 : 명

| | 1차년도 | 2차년도 | 3차년도 | 4차년도 | 5차년도 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 박사급 | 7 | 11 | 12 | 11 | 9 | 50 |
| 석사급 | 14 | 20 | 25 | 25 | 20 | 104 |
| 학사급 | 8 | 15 | 24 | 21 | 17 | 85 |
| 합계 | 29 | 46 | 61 | 57 | 46 | 239 |




# 타당성 분석 및 기대효과

제 1절 과학기술적 타당성 분석

제 2절 정책적 타당성 분석

제 3절 경제적 타당성 분석

제 4절 기대효과

# 제 6 장 타당성 분석 및 기대효과

## 제1절 과학기술적 타당성 분석

### 1. 과학기술 개발계획의 적절성

#### 가. 기획과정의 적절성

■ (사업기획 추진체계) 국토교통부에서 사업 총괄, 국토교통과학기술진흥원에서 사업을 주관하여 외부 용역 및 전문가 기술위원회 기획 등을 통한 체계적인 추진 수행

◉ 수행기관으로 (주)다윈전략컨설팅, 한국건설생활환경연구원 등 공동수행 체계로 환경분석, 기술수요, 추진전략, 사전타당성 분석 등 사업기획

- 해저터널·인공섬 관련 산·학·연 전문가가 참여하는 총괄기획위원회·기획분과위원회·기술소위원회를 구성하여 기술성/경제성/정책성 등을 체계적으로 기획

〈표 Ⅵ-1〉 관련주체별 세부역할

| 주체 | | 세부역할 |
|---|---|---|
| 국토교통부 | | • 해저터널・인공섬 자립건설 기술개발 사업기획의 전체적인 조율 및 방향 설정, 주요 안건에 대한 심의 및 결정 담당 |
| 국토교통과학기술진흥원 | | • 사업의 전체적인 추진일정 조율 및 기획보고서 작성 방향 설정 등의 실무 총괄 및 지원 |
| 총괄기획위원회 | | • 기획 전반에 대해 단계별 결과 및 방향에 대한 검토, 수정보완, 자문 등을 담당 |
| 기술소위원회 | | • 기획분과위원회가 도출한 사업 추진내용에 대한 조정의견 제시 및 최종 결과 도출 |
| 기획분과위원회 | | • 산・학・연 외부전문가를 고루 구성하여 정책, 경제, 기술 등 다방면으로 검토 및 기획 담당 |
| 실무위원회 | (주)다윈전략컨설팅 | • 기획 관련 조사・분석, 기획보고서 검토 및 수정・보완, 기술개발아이템 발굴 등 기획사업 전반의 실무를 지원 |
| | 한국건설생활환경연구원 | • 해저터널・인공섬 관련 기술적 정의 및 범위, 방향 등을 제시, 기획보고서 작성 전반을 담당 |

■ (기획 및 자문위원회 구성) 총괄기획위원회, 기획분과위원회(총3개 분과)별 전문성을 보유한 위원을 구성하여 체계적으로 운영

◉ (총괄기획위원회) 기술·정책·경제 전문가, 국토부 사업담당관, 분과별 위원장·간사 등 13명 내외로 구성

- 국토부 1인, 외부위원 5인, 당연직 위원(분과장) 6인으로 구성

◉ (기획분과위원회) 총 3분과로 구성·운영하고, 각 분과위원장 및 외부 전문가 15명 내외로 구성(산·학·연 구성 비율 고려

- (설계/시공 분과) 총 14인-산 8인, 학 2인, 연 4인
- (환기/유지 분과) 총 10인-산 3인, 학 2인, 연 4인, 관 1인
- (설계/시공 분과) 총 10인-산 5인, 학 1인, 연 2인, 관 2인

■ (사업 기획 추진경과) 기획연구 협약 및 착수를 시작으로, 사업 TFT 회의 추진 및 의견 수렴 활동, 분과별 의견 수렴 활동을 통해 사업기획을 추진

**<표 Ⅵ-2> 사업 기획 추진경과**

| 항목 | 일자 | 세부내용 |
|---|---|---|
| 그 간의 추진경과 | ‘17.09.29 | • 기획연구 협약 및 착수 |
| | ‘17.10.01.~’ 19.1.23 | • (1차~14차) 사업 TFT 회의 추진 |
| 의견 수렴 활동 | ‘17.12.19 | • 1차 기획위원회 |
| | ‘18.01.16 | • 1차 기술위원회 |
| | ‘18.01.18 | • 1차 기술위원회 개최 |
| | ‘18.03.13 | • 1단계 기획타당성 평가 |
| | ‘18.10.02.~’ 18.10.05 | • 2차 기술위원회 개최 |
| | ’ 18.11.03 | • 1차 기술소위원회 개최 |
| 분과별 의견 수렴 활동 | ‘18.10.13.~’ 18.10.14 | • 1차 기획분과위원회 |
| | ‘18.11.13.~’ 18.11.14 | • 2차 기획분과위원회 |
| | ‘19.01.04. | • 3차 기획분과위원회 |
| | ‘19.01.30. | • 4차 기획분과위원회 |
| 기획타당성 평가 | ’ 19.02.26 | • 최종보고서 기획타당성 평가 |

## 나. 사업목표 설정의 적절성

■ 선진국의 기술독점에 따른 전략적 대응과 실제 해저터널 건설을 위한 핵심기술 확보 등 해저터널 건설을 위한 중장기적 R&D추진동력 확립을 통해 산업의 성장 기반 및 산업적 동반성장 촉진이 필요한 시점

■ 본 사업의 목표

◉ 동 사업은 실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트와 연계하여 필요 기술을 개발하는 '사업 수주 연계 R&D 사업'을 추진하고 핵심기술의 자립화 실현을 목적으로하는 대의적인 목표 아래 다음과 같은 세부적인 목표를 수립

- 해저터널·인공섬 글로벌 경제 활성화
- 해저터널·인공섬 기술 경쟁력 확보
- 해저터널·인공섬 프로젝트를 통한 고용창출 효과

■ 선진국의 기술독점에 따른 전략적 대응과 실제 해저터널 건설을 위한 핵심기술 확보 등 해저터널 건설을 위한 중장기적 R&D추진동력 확립을 통해 산업의 성장 기반 및 산업적 동반성장 촉진이 필요한 시점

◉ 미래 신시장 창출과 해저터널·인공섬 건설 프로젝트의 '사업 수주형'이 가능하도록 2개의 중점분야 및 6개 핵심과제를 설정하여 사업목표 달성의 효율성 확보

◉ 경제 글로벌화로 케이블 교량 및 해저터널과 같이 국가 및 대륙 간의 연결통로에 대한 수요가 지속적으로 증가하는 추세

- 최근 해저터널, 지하대공간, 인공섬 관련 핵심기술의 발전으로 프로젝트 발주 건수가 증가하는 추세
- 세계 해저터널 건설 기술수준에 비해 국내 해저터널 건설기술수준이 77%에 불과하며, 이에 따라 선진국과의 기술격차를 좁힐 수 있는 기술개발 지원 필요
- 국내 시장에서의 실증 및 우수성 검증을 기반으로 해외시장을 공략할 수 있는 해저터널 관련 실증 기술 확보 필요
- 인공섬 건설 관련 기획 및 개발 연구는 국내에서 전무한 실정으로, 원천기술 개발을 통해 향후 인공섬 건설 시장에 대비

◉ 따라서 실제 사업 수주를 목표로 설계, 재료, 평가, 유지관리에 이르는 전 분야에 대하여 건설기술 수준 향상, 관리 효율화를 통한 안전성 강화, 국내 실적을 기반으로 한 글로벌 시장 점유율 확대를 목표로 수립함

- 해저터널의 건설에 따른 물류비용 및 소요시간의 변화 등 직·간접적인 파급효과, 지역경제의 활성화 등 경제적 효과를 발생

- 이에 기술수준 관련 목표 뿐만 아니라, 경제적 목표를 수립하여 국내 해저터널·인공섬 관련 기술개발을 추진

### 세부전략 목표설정의 적절성

#### (목표1) 해저터널·인공섬 글로벌 경제 활성화

- (세계시장 점유율): ('18년) 4.5% → ('24년) 5.5% → ('40년) 6.5%

  * 2018년 세계시장 대비 국내시장 점유율 4.5%(출처: Tunnel Market Survey, ITA)

- (실제 건설 가능성이 높은 해저터널·인공섬 프로젝트로의 건설 수주) ('24년) 국내 1건 → ('40년) 해외 1건

  * (국내) 1건 목표(현재까지 총 3건 준공, 최근 한-중, 한-일, 목포-제주 등 3개의 거대 해저터널 건설이 논의중)

  * (해외) 1건 목표(향후 해외에서 발주가 예상되는 대규모 해저터널 프로젝트는 총 7건)

#### (목표2) 해저터널·인공섬 기술 경쟁력 확보

- 해저터널·인공섬 기술의 기술격차 감소: ('17년) 35.1%→('24년) 30%→('40년) 25%

  * 해저터널 및 인공섬 기술격차 평균 약 35.1%, '17년 기준(출처: 한국건설기술연구원, 2017)

- 해저터널·인공섬 건설의 실증 및 핵심 요소 기술 확보: ('24년) 34건 확보

  * 해저터널 분야 총 19건 핵심기술 확보, 인공섬 분야 총 15건 핵심기술 확보 예정

- 연구개발과제를 통한 핵심 성과물의 현장작용 기술검증: ('24년) 56% → ('40년) 100%

  * 2024년까지는 실증 위주의 기술개발을 진행할 해저터널 분야 기술검증을 완료하고, 2040년까지는 핵심 요소기술 확보 위주의 기술개발을 진행할 인공섬 분야의 기술검증을 완료

#### (목표3) 해저터널·인공섬 프로젝트를 통한 고용창출

- 해저터널·인공섬 건설 프로젝트를 통한 고용창출: ('40년) 68,696명

  * 본 사업영역의 고용유발계수: 7.739명, 국내매출을 고려한 고용창출 목표 설정

# 다. 구성 및 내용의 적절성

## (1) 구성의 적절성

- 2개 중점분야 및 세부과제별 기업중심의 컨소시엄을 구성하여 상용화 관련 구성 기술을 개발할 수 있도록 함으로써 '사업수주형 R&D 사업'이라는 목표를 달성하기에 적합
  - 학계 및 연구계는 참여기관으로 기술개발에 참여하여 기존성과 연계 및 핵심원천 기술을 확보하는데 기여할 수 있으며, 기업중심의 컨소시엄을 통해 최종적으로 신기술 개발 및 적용이 가능하도록 추진체계를 설계
  - 세부과제 분야별로 해저터널 사업구성의 책임을 강화하여 과제의 기획, 진도점검 관리업무를 담당하도록 하고, 사업참여 주체들이 보유하고 있는 기술개발 및 사업화 역량을 최대한 활용
  - 2개 중점분야 및 세부과제 분야를 설계 및 시공, 유지관리, 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술개발 등 건설사업 라이프사이클 별로 구성하여 각 과제의 차별성과 연계성을 식별하기 용이하게 기술개발 체계를 구성
- 과제기간의 일괄적용이 아닌 해저터널·인공섬 기술의 수준을 고려하여 기술개발 기간을 유연성 있게(flexible) 적용될 수 있도록 체계를 구축
  - 핵심추진 기술의 개발 단계 및 수준에 따라 산업원천 기술개발 및 제품화 기술개발의 기간을 조율하여 최적화된 상용화 기술개발 계획 수립
  - 해저터널 설계 및 시공, 건설재료, 유지관리, 인공섬 등 분야별 효율적 기술개발을 위한 연계성 높은 기술개발 로드맵 구축
- 총괄주관기관은 모든 과제의 총괄관리와 세부과제의 결과물을 융합·연계하여 사업화를 책임지며, 세부주관기관은 세부과제의 관리와 사업화를 책임지고 수행함으로써 세부기술 분야 별로 역할 분담형 기술개발로 대형성과 창출이 가능
- Value-chain(가치사슬) 전반에 걸친 대·중·소 기업의 동반성장형 기술개발 사업을 추진함으로써 정부의 핵심 정책 트렌드와 부합하는 추진체계 및 프로세스를 적용
  - 대·중·소 협동형 컨소시엄 구축으로 응용기술개발 유도
  - 중소·중견 기업 참여확대를 위해 참여업체수를 50% 이상으로 의무화하고, 출연금 활용비율도 50% 이상으로 의무화 추진
  - 산·학·연 공동 R&D 협력체계에 의한 원천 및 응용 기술확보로 해저터널 산업인력 조기양성을 추진 및 경제 이바지

■ 과제 발굴 및 선정 과정에서는 공공성, 시장성, 기술성 측면에서 세부 선정기준을 설정함으로써 객관성을 제고하였으며, 선정단계별로 실무위원 뿐만 아니라 외부전문가들의 의견을 폭넓게 청취하여 선정의 투명성 및 공정성 제고

**<표 Ⅵ-3> 지원 대상 과제의 선정기준**

| 구분 | 선정기준 |
|---|---|
| 공공성 | • 국가 산업정책과의 연계성:산업기술 정책과의 연계, 정부지원 필요성<br>• 사회문화기여도 : 일상생활 삶의 질 제고 정도<br>• 고용창출 효과 : 사업화에 따른 직·간접적인 신규 고용창출 효과 |
| 기술성 | • 성공가능성 및 실현가능성 : 개발완료되어 활용이 가능한 제품<br>• 독창성 및 선도성 : 지식재산권 확보 및 국제표준 선점가능성<br>• 기술적 파급효과 : 타품목 또는 동품목 분야 혁신적 발전 견인 |
| 시장성 | • 시장 규모 및 성장률 : 미래사회 변화를 견인할 시장규모 및 성장<br>• 시장 선점 및 진입 장벽 : 초기시장 선점 및 주도 가능, 진입 장벽<br>• 경제적 파급효과 : 시장기대 부가가치 창출가능<br>• 기업투자 유도 : 관련기업의 투자유발 정도 |

## (2) 내용의 적절성

■ 정성적인 추진전략 및 기술개발 목표를 지양하고, 해저터널 건설 등 신산업 및 국익 창출이라는 목표를 구체화하여 사업종료 후, 동 사업 목표 달성여부 확인 용이

◉ 2개 중점분야 및 세부과제별 최종 결과물, 진입분야, 목표시장 등을 명확히 세분화하여 제시하고 있음

- 제시된 시장 창출 목표 및 시장점유율 확보를 통하여 새로운 주력산업을 창출하였는지 등 목표달성 여부를 파악하기가 용이

■ 본 사업은 해저터널 시공에 대한 설계 및 건설시공 산업, IT기술 등을 융복합한 진단 및 관리 기술개발까지 포괄하고 있어 세부과제 분야 및 핵심기술 간 연계가 중요한 사안

◉ 세부과제 분야별로 성과연계가 가능한 기존과제 현황 및 성과조사를 통해 구성기술 도출에 반영

# 2. 과학기술 개발의 성공가능성

## 가. 기술추세 분석[24)]

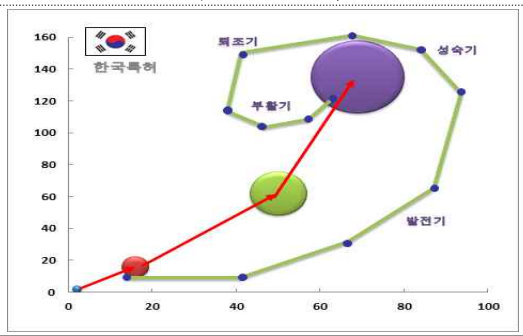
■ 특허 기반 포트폴리오 분석을 통해 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 중점전략의 기술발전단계를 추정한 결과, 대부분 발전기 단계로 연구개발사업으로 추진되기 위한 적합한 시점으로 판단됨

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업에서 추진되는 6개 전략별 국내 기술발전단계를 추정한 결과 전략1~4, 6은 발전기, 전략4는 성숙기 단계로 나타남

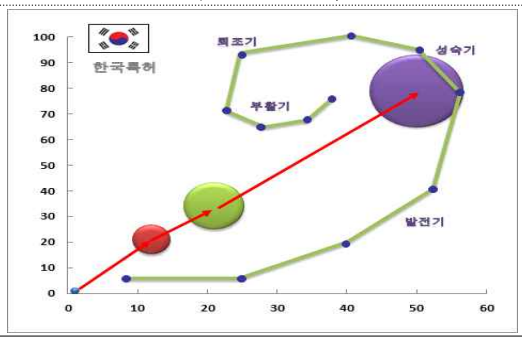
- 전략1~4, 6기술은 사회전반에 걸쳐 관련 연구자나 산업군에서 이 개념을 수용하기 시작하면서 관련 연구개발이 크게 증가하는 발전기 단계

- 전략5 기술은 발전기 이후 산업 전반에 개념 및 주제가 확산되어 연구개발 수가 증가하지만 그 속도가 둔화되는 성숙기 단계로 나타남

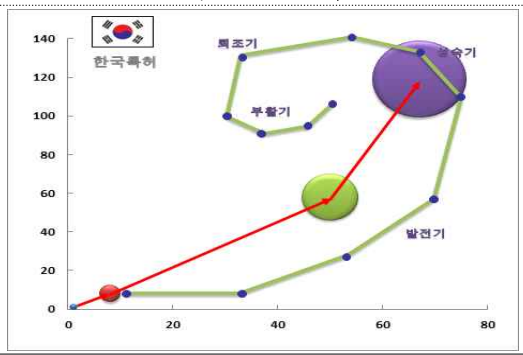
전략1. **"발전기"**



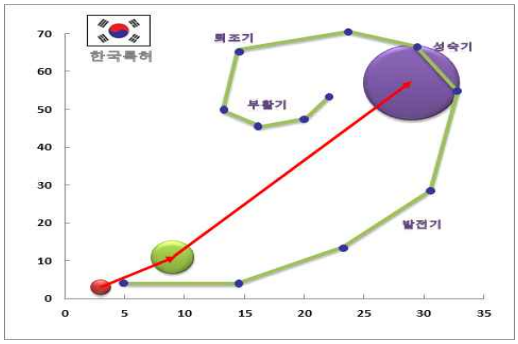

전략2. **"발전기"**




전략3. **"발전기"**



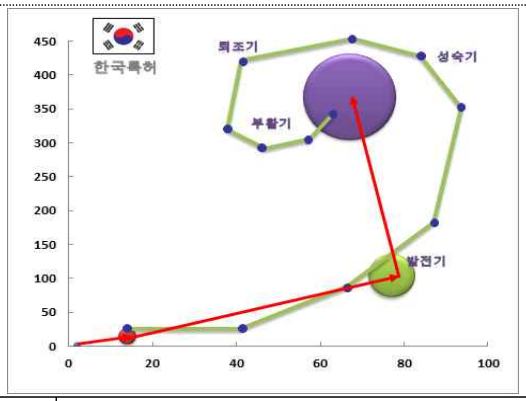

전략4. **"발전기"**

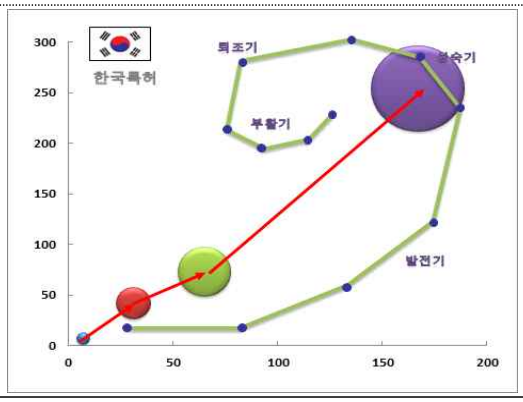



전략5. **"성숙기"**

전략6. **"발전기"**

24) 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침('18.4)에서 요구하는 기술추세 분석 방법론 중 「연구자연구문헌포트폴리오 분석 : 기술발전단계의 추정」 방법론을 채택, p120~121




| | |
|---|---|
| Ⅰ | • 태동기: 신기술의 출현<br>• 연구문헌(수)와 연구자(수) 천천히 증가 |
| Ⅱ | • 발전기: 연구개발 활발, 경쟁격화<br>• 연구문헌(수), 연구자(수) 빠르게 증가 |
| Ⅲ | • 성숙기: 지속적 연구개발, 일부 도태<br>• 연구문헌(수) 정체, 연구자(수) 정체/감소 |
| Ⅳ | • 퇴조기: 대체기술 출현, 기술발전 불연속<br>• 연구문헌(수)와 연구자(수) 정체/감소 |
| Ⅴ | • 부활기: 대체기술 쇠퇴/유용성 재발견<br>• 연구문헌(수)와 연구자(수) 증가추세 전환 |

**<그림 Ⅵ-1> 특허(출원인-특허문헌) 포트폴리오 분석('90~'18년)**

## 나. 과학기술 수준 분석[25)]

■ 본 과학기술 수준 분석에서는 기술성과의 종합적 추이 및 R&D의 최신 동향 등을 고려하여, 전 세계 특허의 90% 이상을 커버리지 하는 미국특허를 분석대상으로 선정

**<표 Ⅵ-4> 미국 특허 내 대한민국 특허기술경쟁력지수(TS)와 시장확보력지수(PFS)**

| 전략기술명 | | 특허 건수 | 영향력 지수(CPP) | 경쟁력지수 (TS) | 시장확보력 지수(PFS) |
|---|---|---|---|---|---|
| 전략1 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 1 | - | - | 0.615 |
| 전략2 | 해저터널 시공기술 고도화 | 2 | 0.136 | 0.271 | 0.431 |
| 전략3 | 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | 3 | - | - | 1.109 |
| 전략4 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계/시공 기술 | 11 | 0.148 | 1.629 | 0.881 |
| 전략5 | 해상공간 확장을 위한 부유식 구조물 설계·설치 기술 | 22 | 0.383 | 8.437 | 1.138 |
| 전략6 | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 개발 | 12 | 0.334 | 4.002 | 1.010 |

■ 특허 기반 포트폴리오 분석을 통해 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 중점전략의 과학기술 수준을 추정한 결과, 대부분 기술/시장 의존국으로 연구개발사업으로 추진되기 위한 적합한 산업으로 판단됨

◉ 미국 내 국내특허를 기준으로 영향력지수와 시장확보력 지수를 분석한 결과, 동 사업의 전략1~6 모두 국내특허의 영향력 지수가 1이하로 세계 평균수준 보다 열위에 있는 것으로 나타남

◉ 출판물당 피인용 수와 시장확보지수 분석 방법론으로 포트폴리오 분석을 진행한 결과 전략1~6 모두 국내가 기술/시장 의존국인 것으로 분석

25) 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침('18.4)에서 요구하는 과학기술 수준 분석 방법론 중 「출판물당 피인용 수와 시장확보지수」 방법론을 채택, p141~144




<그림 Ⅵ-2> 특허(영향력-시장확보력) 포트폴리오 분석('90~'18년)

# 3. 기존 사업과의 중복성 및 연계방안

## 가. 기존 사업과의 중복성 및 차별화

### (1) 기존 사업과의 중복성 검토

■ 본 사업의 세부과제 분야 및 핵심기술 도출 시, 국토교통부, 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 환경부 등 주요부처를 포함한 모든 부처의 기 지원된 사업 및 과제를 대상으로 사업목적, 지원대상, 기술분야 등에 대한 중복성을 사전에 검증함 건설기술연구사업은 SOC 시설물 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발을 목표로 하고 있음

- 사회기반구조물의 설계엔지니어링 기술 개발, 시설물 유지관리, 안전을 위한 기술개발 등을 지원하는 부분에서 유사성이 확인되나, 해저터널을 대상목적물로 하는 본 사업과 달리, 건설기술연구사업은 전체 SOC시설을 사업범위로 설정하는 것에서 차별점을 나타냄

◉ 도시건축연구사업 중 해저시설물 차폐기술 개발 사업은 해저시설물 건설을 위한 조사·계측·방배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐 기술개발을 목표로 하고 있음

- 해저시설물 차폐기술 개발 사업은 해저터널 관련 각 요소기술 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상에 대한 차별점이 있음

◉ 건설기술연구사업 중 TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 및 TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업은 TBM장비에서 가장 핵심적인 커터헤드 설계기술 확보 및 국산화를 통해 TBM터널의 경쟁력 향상을 위한 공사비용 절감기술 개발을 목표로 설정함

- TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업은 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름

◉ 건설기술연구사업 중 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업은 국토교통부에서 운영 중인 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업을 추진하였으며, 이는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수압

20bar 이상)을 받는 해저터널 건설기술을 확보하는데 초점으로 둠

- 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업은 초장대 해저터널 핵심기술 응용 및 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기 사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상 및 범위가 상이함

◉ 국토교통기술촉진연구사업은 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구인프라 구축을 목표로 하고 있음

- 목포-제주간 해저터널 건설을 위한 핵심기술 개발 및 차세대 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과 달리, 국토교통기술촉진연구사업은 창의도전연구, 글로벌 기술협력, 연구장비 인프라 구축 등 국토교통 기술 촉진을 위한 인프라 지원에 초점을 두고 있어 차별점을 나타냄

◉ 해양청정에너지기술개발사업은 자원 부존량이 풍부하고 발전효율이 높은 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중 저감 및 관련 세계시장 선점을 목표로 하고 있음

- 상기 사업은 해양청정에너지 기술 촉진을 위한 해양에너지 관련 기술개발에 중점적으로 지원하고 있으므로, 차세대 국토인프라 시설물인 해저터널 및 인공섬에 적용될 수 있는 기술을 개발사업과는 연구대상이 상이함

**<표 Ⅵ-5> 해저시설물 차폐기술 개발 사업과의 비교**

| 구분 | 해저시설물 차폐기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 해저시설물 건설에 필수적인 지반조사/계측/방배수/방재기술의 현격한 개선 및 해저시설물의 차폐에 관한 능동적인 개념의 핵심기술 개발 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '05년 - ' 10년 | ' 20년 ~ ' 28년 |
| 사업비 | 84.3억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방·배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐핵심기술 개발에 주력 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 해저터널 관련 각 요소기술 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상이 상이함 | |

<표 Ⅵ-6> TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업

| 구분 | TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 본 연구에서는 TBM의 독자 설계/제작을 위해 필수적인 TBM 커터헤드 설계기술과 이를 기반으로 TBM을 재활용하기 위한 설계/제작기술 확보와 더불어 NATM터널 대비 TBM터널의 경제성과 안정성 확보를 위한 핵심 부품/시공재료 및 리스크 최소화 기술 개발을 목표로 설정함 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '10년 - ' 15년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 92억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 재활용 TBM 시작품 제작 및 고성능 디스크커터의 현장적용<br>• 고성능 세그먼트 라이닝 기술의 현장적용<br>• TBM터널 설계/시공 리스크 최소화 시스템의 현장적용성 평가와 관련 지침/정책 제시 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 | |

<표 Ⅵ-7> TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업과의 비교

| 구분 | TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 전단면 터널 굴착기인 TBM(Tunnel Boring Machine)의 설계·제작 국산화 기술 개발을 위해 TBM의 주요 파트인 구동부, 제어부, 커터헤드 및 후방설비별로 핵심 원천 설계기술을 확보함과 더불어, 국산화 TBM의 최적 활용과 전문 인력 양성을 위한 시뮬레이터 개발 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '17년 - ' 21년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 167억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • TBM 구동부 시스템 기술 개발(토사용 쉴드 TBM)<br>• TBM 후방설비 시스템 기술 개발<br>• TBM 세그먼트 이렉터 자동화 시스템 설계기술 개발<br>• TBM 굴진용 운전·제어 시스템 기술 개발<br>• TBM 시뮬레이터 개발<br>• 중·대단면 TBM 커터헤드의 설계자동화 시스템 개발 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공· 유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 터널을 건설하기 위한 공법 중 하나인 TBM 관련 기술 개발을 중점적으로 진행하고 있으나, 본 사업은 해저터널 실증기술 연구 및 인공섬 핵심기술 개발을 중점적으로 추진하므로 연구범위 및 대상이 다름 | |

〈표 Ⅵ-8〉 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업과과의 비교

| 구분 | 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 국내 기술이 전무한 해저지반 지하에 건설되는 초장대(연장 50km 이상) 고수압(수압 20bar 이상)을 받는 해저터널 건설 및 운영에 필요한 지반조사, 설계 및 시공, 화재 및 유지관리 등 관련 기술개발 연구 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '13년 - ' 18년 | ′ 20년 ~ ′ 28년 |
| 사업비 | 360억 원 | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업내용 | • 글로벌 교통 네트워크 허브 구축을 위한 해저터널 건설 기술 자립화를 위해 고수압 초장대 조건에서의 해저터널 건설기술 확보 및 ICT 기반 통합화재 및 유지관리 기술 확보에 주력 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | 상기사업의 경우 초장대 해저터널 핵심기술 응용 및 개발 위주로 연구를 진행하였으며, 본 사업은 상기사업으로 개발된 핵심 기술들의 고도화와 인공섬 핵심 기술 개발을 중점적으로 추진하므로써 연구대상 및 범위가 상이함 | |

〈표 Ⅵ-9〉 건설기술연구사업과의 비교

| 구분 | 건설기술연구사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 차세대 지속가능한 도로 및 초장대교량 기술개발<br>• 물 관리시스템 및 재해안전 대응기술 개발<br>• 첨단재료 개발 및 IT기술을 접목한 프로세스 혁신 등 건설기술 전반의 혁신을 도모 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | '07년 ~ 계속 | ′ 20년 ~ ′ 25년 |
| 사업비 | 계속사업(′ 13년까지 기투자액: 3,955억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | '17년도 498억 원 지원 | 연도별 약 100억 예상 |
| 사업내용 | • 설계 엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술<br>• 건설재료 개발 및 활용 기술<br>• 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술<br>• 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | • 본 사업의 경우 해저터널 및 환기/방재용 인공섬을 구축하기 위한 기술 개발에 초점을 두고 있어, 사회기반구조물(교량·터널·특수구조물) 전체를 사업범위로 설정하여 진행되는 건설기술연구사업과는 차별화됨 | |

〈표 Ⅵ-10〉 국토교통기술촉진연구사업과의 비교

| 구분 | 국토교통기술촉진연구사업 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 국토교통기술 촉진을 위한 핵심 원천기술 개발 및 연구인프라 구축 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | ′07 ~ 계속 | ′20년 ~ ′25년 |
| 사업비 | 계속사업(′13년까지 기투자액: 1,019억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 국토부, 국토교통과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | ′18년도 536억 원 | 연도별 약 100억 예상 |
| 사업내용 | • (창의도전연구) 민간의 독창적이고 혁신적인 아이디어를 활용한 미래 원천기술 발굴 등<br>• (글로벌기술협력) 해외 우수연구기관과의 국제공동연구 및 기술협력 지원<br>• (연구 장비 인프라) 연구 장비, 대형 실험시설 등 연구 인프라 구축 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | • 상기사업의 경우 창의도전 연구, 연구 장비 인프라, 정책개발 등 국토교통 기술 촉진을 위한 연구인프라에 초점이 두는 반면, 해저터널, 인공섬 등 차세대 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과는 연구대상이 다름 | |

〈표 Ⅵ-11〉 해양청정에너지기술개발과의 비교

| 구분 | 해양청정에너지기술개발 | 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업 |
|---|---|---|
| 사업목적 | • 자원 부존량이 풍부하고 발전효율이 높은 해양에너지 원천기술 개발 및 실용화를 통해 화석에너지 비중 저감 및 관련 세계시장 선점 | • 고부가가치 창출이 가능한 신형식 특수구조물(ex. 해저터널·인공섬)의 선도기술 개발로 건설인프라 사업의 글로벌 시장 선점 및 차세대 교통수단 대응기술 확보 |
| 사업기간 | ′00년 ~ ′19년 | ′20년 ~ ′25년 |
| 사업비 | 계속사업<br>(′17년까지 기투자액: 1,293억 원) | 5년 간 약 600억 원 예상 |
| 사업시행 주체 | 해양수산부, 해양수산과학기술진흥원 | 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원 |
| 사업규모 | ′17년도 150억 원 | 연도별 약 100억 예상 |
| 사업내용 | • 해양에너지 단위 실용화 기술개발 및 인프라 구축<br>• 해양에너지의 효율성 및 활용도 제고를 위한 복합발전 기술개발<br>• 해양에너지 개발 및 산업화에 대비하여 해양에너지 분야의 전문인력 양성 | • (해저터널 실증기술 개발) 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계·시공·유지관리 핵심 요소기술 고도화<br>• (인공섬 핵심기술 개발) 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
| 차별점 | • 상기사업의 경우 해양청정에너지 기술 촉진을 위한 해양에너지 관련 기술개발에 중점적으로 지원하는 반면, 해저터널, 인공섬 등 차세대 국토인프라 시설물에 적용될 수 있는 기술을 개발하는 본 사업과는 연구대상이 다름 | |

## (2) 기존 과제와의 중복성 검토

■ **(유사과제 도출)** 동 사업의 세부과제 분야 및 핵심기술 도출 시, 국토교통부를 포함한 모든 부처 기 지원 과제를 대상으로 사업목적, 지원대상, 기술분야 등에 대한 중복성을 사전에 검증

◉ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 활용하여 유사키워드 검색으로 해저터널 및 인공섬 관련 분야를 도출함으로써 '02년~'18년 유사과제 도출

- 유사과제 결과 35개의 기 추진 과제영역과 유사성이 있는 것으로 나타났으나 본 세부기술 분야와 동일한 목적 및 기술을 지니고 추진되는 과제는 없는 것으로 분석

**<표 Ⅵ-12> 부처별 유사과제 수( '02년~' 18년)**

(단위: 개)

| 중점분야 | 세부과제 | 부처명 | | | | | | | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 국토부 | 산업부 | 과기부 | 중기부 | 해수부 | 교육부 | 행안부 | |
| 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | 1 | - | - | - | - | 3 | - | 4 |
| | 해저터널 시공기술 고도화 | 4 | 1 | 1 | 4 | 2 | 4 | - | 16 |
| | 자산관리기반 해저터널 스마트 유지관리 기술 개발 | - | - | 1 | 1 | - | - | - | 2 |
| 해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공섬 기술 개발 | 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | 1 | 1 | - | - | - | - | 1 | 3 |
| | 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | - | 3 | 1 | - | 1 | 2 | - | 7 |
| | 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | 1 | - | - | - | - | 2 | - | 3 |
| **총합계** | | **7** | **5** | **3** | **5** | **3** | **11** | **1** | **35** |

주) 부처명의 경우, 정부조직개편 내용을 반영

## 나. 기존 사업 및 타부처와의 연계협력방안

■ 기존 사업에서 도출된 성과물의 효율적·효과적 활용을 위해, 기존 사업의 미비점을 확인하고 해저터널-인공섬 기술개발사업에서 보완하고 연계협력할 수 있는 방안을 모색

◉ 앞서 검토한 기 지원 사업 및 과제의 중복성 검토 결과를 기반으로 연계방안 마련

**<표 Ⅵ-13> 연계협력 방안**

| 사업명 | 사업기간 (총사업비) | 사업내용 | 미비점 | 보완대책 및 연계방안 |
|---|---|---|---|---|
| 해저시설물 차폐기술 개발 사업 | '05년 - ' 10년 (84.3억 원) | • 해저시설물 건설을 위한 조사/계측/방·배수 및 방재기술과 해저시설물 건설을 위한 차폐핵심기술 | • 각 세세부 과제의 연구성과는 현장 적용이 될 수준으로 개발이 되었으나 세세부과제 내용의 연계성이 결여 | • 기술로드맵을 작성을 통해 旣 개발된 기술들을 연계하여 기술개발 추진 |
| | | | • 각 개별 요소기술들의 현장 적용성 검증 및 현장 의견이 반영된 기술개발이 필요 | • 해저터널 건설 관련 현장 적용 검증이 가능한 전문가들을 대상으로 기술수요조사 추진 및 위원회 개최 |
| TBM 핵심 설계·부품 기술 및 TBM 터널의 최적 건설 기술 개발 사업 | '10년 - ' 15년 (92억 원) | • 재활용 TBM 시작품 제작 및 고성능 디스크커터의 현장적용<br>• 고성능 세그먼트 라이닝 기술의 현장적용 및 활용지침 작성 | • 본 연구를 통해 개발한 TBM 커터헤드 설계·제작기술의 경우 기존 TBM을 재활용하는데 국한 | • 기존에 개발된 기술들을 고도화 시켜 실증연구에 활용하므로써, 본 연구를 통해 국내 실적 확보 가능 |
| | | | • TBM 관련 요소기술 개발만 중점적으로 추진하므로써 실제 현장적용 필요 | • 요소기술 개발이 아닌 해저터널 관련 기술 실증연구를 중점적으로 추진 |

| 사업명 | 사업기간 (총사업비) | 사업내용 | 미비점 | 보완대책 및 연계방안 |
|---|---|---|---|---|
| TBM 설계·제작 국산화 기술 개발 사업 | '17년 - '21년 (167억 원) | • TBM 구동부 시스템 기술 개발 (토사용 쉴드 TBM)<br>• TBM 세그먼트 이렉터 자동화 시스템 설계기술 개발 | • 국산 TBM 장비를 개발 및 굴착 시공까지 완료하였으나 해저터널 건설 사용 여부 증명 필요 | • 旣 개발된 장비를 해저터널 건설에 투입할 수 있도록 실증연구를 통해 기술 고도화 가능 |
| | | | • 국산화에 성공한 TBM 기술 실증 연구 부족 | • 실제 해외 초장대터널은 거의 대부분 TBM 공법으로 시공되었으며, 국내 TBM을 본 사업과 연계 가능 |
| 고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발 사업 | '13년 - '18년 (360억 원) | • 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 적용성 평가 및 지반 특성 정량화<br>• 해저터널 설계/시공/화재 및 유지관리 기술 개발 및 성능 평가 | • 해저터널 건설을 위한 핵심요소 기술로써 인공섬에 대한 연구를 초기에 수행하였으나, 연구범위의 조정으로 인해 완료되지 못함 | • 본 사업을 통해 해저터널 내 수직구 및 연결부 시공기술에 대한 연구와 향후 인공섬을 조성을 고려할 수 있는 기술 연계 가능 |
| | | | • 해저터널 관련 요소기술은 확보된 상태이나, 실제 해저터널 현장 적용을 통한 실질적인 검증 미흡 | • 국내에서 旣 개발된 기술들을 실제 해저터널 현장에 적용하는 실증연구를 추진하여 해외의 대규모 프로젝트 수주 가능 |
| 건설기술 연구사업 | '07년 ~ 계속 ('18년도 514억원) | • 설계 엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술<br>• 건설재료 개발 및 활용 기술<br>• 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술<br>• 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 | • 해저터널·인공섬 기술개발 연구사업에서 다루지 않는 기술개발 내용이 대부분임 | • 기존 연구의 원천기술을 기반으로 해저터널·인공섬 건설을 위한 실증 기술개발이 가능 |
| | | | • 재해·안전 대응기술 개발을 위하여 시설물별 현재 수준 파악 및 위험성 평가기술 개발이 필요 | • 스마트한 환기 및 화재대응 기술개발을 개발하여 다양한 위험상황에 즉각적인 대응 가능 |

| 사업명 | 사업기간<br>(총사업비) | 사업내용 | 미비점 | 보완대책 및 연계방안 |
|---|---|---|---|---|
| | | 건설안전 기술 | • 시설물 유지관리를 위한 통합관리시스템 구축에 대한 내용이 없음 | • 데이터 기반의 통합관리시스템을 구축하여 시설물에 해저터널에 최적화된 유지관리 가능 |
| **국토교통 기술촉진 연구사업** | '07 - 계속<br>( '18년도 536억 원 지원) | • 창의도전 연구<br>• 글로벌 기술협력<br>• 연구장비 인프라 | • 상기사업의 과학적 성과에서 나타난 기초연구의 결과를 활용하여 후속연구를 추진할 수 있는 개선방안 미비<br>• 국내 인프라 첨단 연구 개발 공용장비 등 인프라 중심의 네트워크를 구축하였으나, 동 장비 및 시설을 활용할 전문 인력 양성 필요 | • 국토교통기술촉진 연구사업의 핵심 원천기술을 기반으로 해저터널에 특화된 기술개발이 가능 |
| **해양청정 에너지기 술개발사 업** | ′ 00년 ~ ′ 19년<br>(' 18년도 150억 원) | • 해양에너지 단위 실용화 기술개발 및 인프라 구축<br>• 복합발전 기술개발<br>• 전문인력 양성 | • 본 사업을 통해 개발된 기술의 산업적 활용을 위해 민간 기업의 역할이 주도적으로 이루어져야 함에도 불구하고, 실질적으로 민간 기업의 참여율이 저조<br>• 본 사업의 내용에 맞는 에너지원 기술개발에 집중·추진 필요<br>• 향후 해양에너지 분야의 환경규제 개선 등 전반적인 제도 검토 부족 | • 해저터널 및 인공섬 개발 관련 민간기업의 참여 확대를 통해 개발기술의 사업적 활용 촉진 가능<br>• 해저터널 실증기술 및 인공섬 핵심기술 개발을 통해 고부가가치 창출이 가능한 특수구조물 개발 가능 |

# 제2절 정책적 타당성 분석

## 1. 정부 지원의 필요성

### 가. 사업추진의 시급성

#### (1) 국토종합계획 실천수단

- 대한민국 헌법에서는 정주권을 국민의 기본권으로 보장하고 있으며, 국토 관련 법률은 이러한 사항을 위임받아 하나의 공간관련 법체계를 이루고 있음
  - 대한민국헌법 제122조에서는, 국가는 국민의 생산 및 생활의 기반이 되는 국토의 효율적이고 균형있는 이용·개발과 보전을 위하여, 법률이 정하는 바에 의하여 필요한 제한과 의무를 과할 수 있다고 명시
  - 또한 제120조 제2항에서는, 국토와 자원은 국가의 보호를 받으며, 국가는 그 균형있는 개발과 이용을 위하여 필요한 계획을 수립하도록 명시
  - 헌법에서 위임받은 상기의 사항들을 국토에 대한 권리제한, 의무부여, 국가의 책임 등에 관한 사항을 하나의 법률체계로 제정하고 있음
- 국토기본법은 헌법에서 위임받은 균형 있는 이용·개발과 보전을 위하여 정한 법률로서, 국토기본법에 따라 수립하는 국토종합계획은 우리나라의 최상위 국토계획임
  - 국토종합계획은 글로벌 국토, 녹색 국토 실현을 비전으로 세웠으며, 경쟁력 있는 통합국토, 지속가능한 친환경국토, 품격 있는 매력국토, 세계로 향한 열린국토를 목표로 설정하고 있음
  - 이를 위해 안정적이고 경제적인 인적·물류 운송시스템을 확보하기 위한 방안으로 대륙 간, 도서 간을 잇는 해저터널이 필요한 시점
- 해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획은 안전한 국토공간 조성을 위한 실천 수단과 방법을 제시할 수 있는, 최상위 국토계획의 실천수단으로써의 당위성을 가짐

## (2) 산업·국토개발 정책적 중요성

■ 세계 각국의 해저터널 건설에 대한 수요가 증가함에 따라, 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화 및 경험 축적 필요한 상황

◉ 국내의 경우 해저터널 세부기술 관련 선도 및 자립기술이 전무하여 향후 해외기술의 잠식이 우려되므로 국가차원의 자립 기술개발 시급

- 해외 선진국은 TBM 위주로 기술개발 및 사업화가 꾸준히 진행되고 있는 반면, 국내는 NATM 공법 위주의 기술 확보로 글로벌 사업화의 한계 직면

■ 초장대 해저터널(총 연장 50km 이상)의 경우, 방재·환기 목적으로 수직구가 반드시 필요하며, 선도기술 확보를 위하여 대심도 수직구 설계 및 시공 기술개발 고려 필요

◉ 인공섬을 활용한 수직구 시공 사례는 다수 있으나, 현재 수직구 시공 사례는 약 30m 정도로, 최대 수심 70m 이상의 시공기술개발 필요

* 보하이 터널 엔타이-다롄 구간의 최대 수심 70m, 목포-제주 해저터널의 보길도-추자도 구간 최대 수심 60m

■ 해저터널의 경우, 대규모 사업으로 발주되는 경우가 많아 잠재적인 시장 규모가 큰 편으로, 해외시장 진출을 위한 기술 경쟁력 확보 시급

## (3) 검토결과

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 기획은 국가 최상위 국토계획의 실천수단으로써의 당위성을 가짐

◉ 대한민국 헌법에서 규정한 국토의 효율적이고 균형있는 이용·개발과 보전을 위해, 국토분야에서는 국토기본법과 이에 따른 국토종합계획을 마련하고 있음

◉ 해저터널은 국토종합계획에서 제시한, 안전한 국토공간 조성을 위한 실천 수단과 방법의 제시가 가능함

■ 정부의 의지로 추진하고 있는 타 과제와 연계 추진함으로써 정부정책의 추진방향을 보다 명확히 하고, 활용성을 극대화할 수 있음

◉ 해저터널 핵심요소 기술개발(고려대, '13~'18, 258억원), TBM 설계·제작 국산화(이엠코리아, '17~'21, 167억원), TBM 핵심 설계·부품기술(건설연, '10~'15, 114억원)

# 나. 정부주도 사업 추진의 적절성

## (1) 해저터널의 특성

■ 해저터널은 대륙간·도서간 인적 및 물류 기능을 원활하게 유지할 수 있는 교통인프라로서 최근 세계적 관심이 증가하는 추세이며, 해저터널은 다음의 특성들로 인해 정부 지원이 필수적임

◉ 낮은 수익성과 광범위한 공간범위, 대규모 투자 필요

- 해저터널이 공공에 의해 공급되는 이유는 무엇보다 수익성이 적기 때문이며, 공간적 범위가 광범위하게 넓기 때문에 다양한 주체가 관여하게 되고, 대규모 투자가 필요

◉ 유지·보후 난해, 막대한 예산 필요

- 해저터널은 심해에 시공되는 특성상 한 번 시공되면 신규공급이나 유지·보수가 난해하기 때문에 노후화되고 기능이 저하된 시설의 관리를 위해서는 막대한 예산 필요

■ 해저터널의 특성상 공급과 유지·보수를 위해서는 공공의 개입이 필요한 상황이지만, 효율적 관리를 위한 유지·관리기술 미비, 계획·시공기술 미비로 인하여, 능동적인 대응이 미흡한 상황임

## (2) 해저터널 시공의 위험성

■ 초장대 해저터널의 경우, 지형상 높은 수압이 존재하고 대부분 지질학적으로 불안정한 지반을 통과하며, 시공중 예상하지 못한 다량의 용수를 만날 수가 있기때문에 시공의 위험성이 높은 것으로 나타남

◉ 특히 육지에 시공되는 터널과는 달리, 해수 침투, 조류, 파도 등의 문제로 인하여 시공안전성에 대한 우려가 높은 상황

◉ 이로 인해 시공 중 안전성 저하가 발생하게 되면 시공성이 크게 저하되고 경제적 손실이 크게 발생할 수 있음

- 유럽 및 선진국에서는 시공 중 안전성과 관련된 리스크 관리 분야가 하나의 시장 및 기술로 자리 잡고 있는 상황으로, 터널 시공시 안전성 관리를 적용한 사례가 다수 존재함
  - 특히 ICT 등 첨단기술 접목을 통해 건설과정을 디지털화, 자동화하여 안전성과 경제성, 생산성을 향상시키는 스마트 건설기술의 연구개발이 활발한 추세
    * (영국) 'Construction 2025'를 통해 BIM 중심의 건설프로세스 혁신 추진
    * (일본) 고령화 인력감소에 대응해 토공장비 자동화를 중심으로 한 i-Construction 추진
- 반면, 국내 터널에 리스크 관리를 적용한 사례는 극히 소수이며, 관련 기술도 도입 초기 단계로 유럽 및 선진국에 비해 연구가 미비한 실정
  - 대기업 등에서 스마트 건설 기술 활용에 많은 관심을 갖고 있으나, 단편적 활용에 그치고 있어 성과를 내기에는 미흡한 수준
  - 이에 지반조건, 해수 유입 가능성, 굴착 안정성 등의 위험요소가 존재하는 해저터널의 경우 리스크 관리에 대한 도입이 더욱 필요한 상황
- 해저터널 시공중 안전성을 증대하기 위한 기술 적용은 경제적인 해저터널 건설에 필요한 핵심기술이며 국내 기술의 국제 경쟁력과 국가적 재난을 방지할 수 있는 기술이므로 정부주도의 지원이 절실히 요구됨

### (3) 국가경쟁력 강화

- 국내 해저터널 건설 기술 수준은 현재 추진중인 해저터널 프로젝트를 추진하기에는 미흡하여, 해외기술 수입을 고려해야 함
  - 민간에서는 연구개발에 대한 매력이 떨어져 정부에서 주도적으로 연구개발을 추진해야 할 것으로 판단됨
  - 국내 해저터널 건설 기술 수준은 선진국 대비 77.6% 수준으로 조사되어 기술수준이 다소 미흡하며, 계획 중인 목포-제주 프로젝트를 수행하기는 어려워 해외기술 도입을 추진해야 하는 상황임
  - 계획 중인 프로젝트는 거액의 예산이 소요되는 대형 프로젝트이나, 이에 대한 수요자체는 많지 않아, 민간에서 적극적으로 연구개발을 추진하기는 어려움

### (4) 검토결과

- 정부에서 공공주도로 해저터널 관련 산업 R&D 투자를 통해 일반 기업의 참여를 확대하고 역량을 증대시켜야 함
  - 우리나라 R&D 인프라의 양적인 수준은 전세계 국가들과 견주어도 손색이 없으나, R&D 투자가 공공보다는 민간에 의해 주도되고 있어, 공공재에 대한 R&D 인프라 확대를 기대하기에 무리가 있음
  - 해저터널 R&D 투자는 공공에서 주도를 이루고 민간 사업체의 참여를 확대해야 함

# 2. 정책의 일관성 : 상위 계획과의 부합성

## 가. 상위 계획과의 부합성

- 상위계획과의 부합성은, 해저터널·인공섬 기술개발 사업이 국가정책을 실현하기 위해 정책적 일관성을 가지고 추진될 수 있는지를 평가
  - 상위계획과의 부합성은 '국가계획의 내용'과 '동 사업의 연구목적'을 비교·분석하여, 국가정책 차원에서 동 사업의 정책적 부합성을 평가
  - 분석대상의 국가계획은 동 사업의 기획 목적을 고려하여, 가) 국가정책, 나) 국토정책, 다) 연구개발정책, 라) 국가안전정책 범위로 구분하여 평가
    - 예비타당성 조사 표준지침에서 제시하고 있는 국가정책은 연구개발정책 부문에 해당
    - 동 연구는 연구개발부문 국가정책 외에 현 정부의 국가정책, 국토정책 등을 추가로 분석하였으며, 해저터널·인공섬 기술개발 사업과 관련성이 높은 국가안전정책 부문까지 폭넓게 조사

## (1) 국가정책

■ 국가정책 부문은 현 정부의 국가정책 기조를 담은 '문재인 정부 100대 국정과제'를 분석

◉ 연구개발사업 예비타당성조사의 정책적 타당성 분석대상은 연구개발사업 중장기 법정계획이 기본 분석 대상이지만,

◉ 현 정부 정책방향을 제시하는 국정과제를 분석하여, 정부차원의 정책적 합의 여부를 검토

### (가) 문재인 정부 100대 국정과제

■ 문재인 정부는 국가비전 달성을 위한 실천전략으로서 5대 국정목표와 20대 국정전략, 100대 국정과제를 제시

◉ 문재인 정부는 국정비전으로 '국민의 나라, 정의로운 대한민국'을 제시하였으며, 5대 국정목표로 △국민이 주인인 정부, △더불어 잘사는 경제, △내 삶을 책임지는 국가, △고르게 발전하는 지역, △평화와 번영의 한반도를 제시

■ 5대 국정목표를 달성하기 위한 20대 국정전략에는 서민과 중산층을 위한 민생경제, 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명, 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회, 골고루 잘사는 균형발전 등에서 동 연구개발사업과 연관성이 높은 전략이 제시되어 있음

◉ 서민과 중산층을 위한 민생경제 전략에서는 △교통·통신비 절감으로 국민 생활비 경감과 △국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화가 직접적으로 관련이 있음

◉ 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명 전략에서는 △고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성이 직접적으로 관련이 있음

◉ 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회 전략에서는 △안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축 △해양영토 수호와 해양안전 강화 등을 제시하고 있어, 해저터널 분야와 연관성이 매우 높음

◉ 골고루 잘사는 균형발전 전략에서는 △전 지역이 고르게 잘사는 국가균형발전이 직접적으로 관련이 있음

<표 Ⅵ-14> 국가정책과의 부합성

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 서민과 중산층을 위한 민생경제 | 교통·통신비 절감으로 국민 생활비 경감 | ◎ | ◎ |
| | 국가기간 교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화 | ◎ | ◎ |
| 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명 | 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성 | ○ | ○ |
| 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회 | 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축 | ○ | ◎ |
| | 해양영토 수호와 해양안전 강화 | ○ | ◎ |
| 골고루 잘사는 균형발전 | 전 지역이 고르게 잘사는 국가균형발전 | ◎ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (2) 국토정책

- 국토정책 부문은 제6차 국토정책위원회에서 제시한 '미래국토발전전략'을 분석하여, 국토정책과 동 사업의 부합성을 검토
  - 국토종합계획은 20년마다 수립하는 국토계획 분야 최상위 법정계획으로서, 미래 국토계획의 방향성을 제시
  - 향후 국토정책 방향과 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 정책적 부합도를 분석

### (가) 미래국토발전전략

- 국토정책위원회는 제6차 위원회에서 미래국토발전전략을 제시하여 2040년 국토여건 전망과 함께 6대 핵심전략을 도출. 전략에서 제시된 전망과 전략, 정책과제들은 국토종합계획 및 국토분야 중장기 계획 수립에 반영 예정
  - 국토·교통 R&D 과제 발굴 및 우선순위 선정시에 활용할 예정이며, 제4차 국토종합계획 수정계획(2011-2020) 재검토 및 제5차 국토종합계획(2021-2040) 수립시에

도 주요 전망내용을 활용할 예정

- 국토기본법은 국토발전의 장기적 기본이념과 종합 실천방향을 제시하는 국토의 개발과 관리 이용에 관한 법률의 최상위 법임

- 국토종합계획은 국토기본법에 근거한 우리나라 최상위 국토계획으로, 국토의 장기적인 발전방향을 제시하는 종합계획

■ 국토정책위원회에서 제시한 6대 전략에는 △네트워크형 창조적 국토 △융·복합 스마트 국토기반 구축 △안전하고 회복력 있는 국토공간 조성 △국토·인프라 재생과 이용체계 구축 △분권·소통형 국토정책 추진 등 해저터널·인공섬과 연관성이 매우 높은 전략들이 제시

◉ 네트워크형 창조적 국토 실현 : 도시권 강화 및 지역간 연계, 통일국토 관리기반 구축, 과소도시 유효화 대비 등

◉ 융복합 스마트 국토기반 구축 : 공간정보 플랫폼 고도화, 지능형 인프라 관리, 장애 없는 국토인프라 실현 등

◉ 안전하고 회복력 있는 국토공간 조성 : 재해예방형 도시계획, 저탄소 도시, 첨단기술을 활용한 안전한 도시·지역 만들기 등

◉ 국토·인프라 재생과 현명한 이용체계 구축 : 도시 및 노후 인프라 재생, 도시재생 촉진과 생활인프라 공유기반 강화 등

◉ 분권·소통형 국토정책 추진 : 중앙-지방 기능조정, 주민 주도의 도시계획, 국토공간—통계정보 융합형 정책지도 구축 등

<표 Ⅵ-15> 국토정책과의 부합성

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 네트워크형 국토 | 유라시아 경제공동체 실현 | ◎ | ◎ |
| | 글로벌 국토 프론티어 개척 및 시장 확대 | ◎ | ◎ |
| | 남북한 협력증대와 통일국토 관리기반 구축 | △ | △ |
| | 한반도 메타경제권 형성과 경쟁력 강화 | ○ | ○ |
| | 과소도시의 유휴화 대비 | △ | △ |
| 융복합 스마트 | ICT 융합형 스마트 국토공간 시스템 구현 | ○ | ○ |
| | 기술 첨단화·융복합화로 도시·생활공간 스마트화 | ◎ | ◎ |
| | 스트레스와 장애 없는 국토인프라 실현 | ◎ | ◎ |
| 안전 회복력 있는 국토 | 기후변화에 강한 안전국토 실현과 국토회복력 강화 | ◎ | ◎ |
| | 자원순환형·재생에너지 기반 지속가능 국토·도시 조성 | ○ | ○ |
| | 첨단기술을 활용한 안전한 도시·지역 만들기 | ○ | ○ |
| 국토 인프라 재생 | 노후 산업인프라 및 SOC 재생 촉진 | ○ | ○ |
| | 도시·지역재생 촉진과 생활인프라 공유기반 강화 | ◎ | ◎ |
| 분권 소통형국토 | 국민과 함께 만드는 국토정책 추진체계 구축 | ○ | ○ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (3) 연구개발정책

■ 과학기술분야 최상위 중장기 계획인 '과학기술기본계획'과 '국가연구개발 투자방향 및 기준', '국토교통과학기술 연구개발종합계획', '국토교통 R&D 중장기전략', '국토교통기술 연구개발사업 시행계획', '건설기술진흥기본계획'을 분석하여 연구개발정책과의 부합성을 검토

◉ 과학기술기본계획은 예비타당성조사 표준지침에서 제시한 법정상위계획 중 필수계획으로 제시한 계획이며, 국가연구개발사업 투자방향 및 기준은 국가연구개발사업의 예산배분과 조정, 예산편성의 기본방향을 조사

◉ 국토교통과학기술 연구개발종합계획, 국토교통 R&D 중장기전략과 국토교통기술 연구개발사업 시행계획, 건설기술진흥기본계획은 과학기술기본계획에서 제시한 정책방향에 따라 국토교통부 소관의 연구개발사업을 구체화한 법정계획임

### (가) 제4차 과학기술기본계획('18-'22)

■ 과학기술기본계획에서는 과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여하는 것을 비전으로 △미래도전을 위한 과학기술역량 확충, △혁신이 활발히 일어나는 과학기술 생태계 조성, △과학기술이 선도하는 신산업·일자리 창출, △과학기술로 모두가 행복한 삶 구현으 4대 추진전략을 제시

◉ 추전전략을 실현하기 위한 19개 분야, 70개 추진과제에는 해저터널·인공섬 기술개발 사업과 관련된 △신기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축, △유망산업의 성장동력화 촉진, △재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보, △쾌적하고 청정한 생활환경 구현, △편리하고 살기 좋은 스마트시티 구축 등이 있음

**<표 Ⅵ-16> 연구개발정책과의 부합성(1)**

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 4차 산업혁명 대응 기반 강화 | 기술·신비즈니스의 제도적·실증적 생태계 구축 | ◎ | ◎ |
| 국민이 체감하는 혁신성장동력 육성 | 유망 산업의 성장동력화 촉진 | ◎ | ◎ |

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현 | 재난현장 지원·대응을 위한 스마트 재난안전관리 시스템 확보 | ○ | ◎ |
| 쾌적하고 편안한 생활환경 조성 | 쾌적하고 청정한 생활환경 구현 | ○ | ○ |
| | 편리하고 살기 좋은 스마트시티 구축 | ○ | ○ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (나) 2019년 정부연구개발투자 방향 및 기준

- 국가연구개발사업의 투자방향은 사람 중심의 국가 R&D 투자 강화를 목표로 △창의적인 연구환경 조성, △국민이 체감하는 삶의 질 향상, △미래를 준비하는 혁신성장 가속화, △과학기술 기반 고급 일자리 창출을 4대 분야로 제시
  - 국민이 체감하는 삶의 질 향상 부문에서는 예방 중심의 재난·재해 R&D, 국민경강 및 생활편익 증진, 사회적 지속가능성 확보가 연관성이 있음
  - 미래를 준비하는 혁신성장 가속화 부문에서는 4차 산업혁명 대응 R&D, 신시장·신산업R&D, 산업경쟁력 제고 R&D와 부합
- 기술분야별 투자방향 중 해저터널·인공섬과 연관성이 높은 ICT·SW분야, 건설교통분야의 투자방향을 살펴보면 다음과 같음
  - ICT·SW 분야에서는 AI, 빅데이터 등 4차 산업혁명 관련 핵심기술 중 고위험 도전적인 연구 및 사회문제 해결형 R&D 지원을 강화
  - 건설교통 분야에서는 노후시설물 안전성 향상 및 건물통합관리 등 유지·관리기술에 투자하고, 실증연구와 경제성이 높은 기술 연구는 민간주도로 점진적 전환

<표 Ⅵ-17> 연구개발정책과의 부합성(2)

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 창의적인 연구환경 조성 | 연구자주도 기초연구 | ○ | ○ |
| | 사람 중심 연구생태계 | ○ | ○ |
| | 공공수요 및 규제개선 연계 | ○ | ○ |
| 국민이 체감하는 삶의 질 향상 | 예방 중심의 재난·재해R&D | ◎ | ◎ |
| | 국민건강 및 생활편익 증진 | ◎ | ◎ |
| | 사회적 지속가능성 확보 | ◎ | ◎ |
| 미래를 준비하는 혁신성장 가속화 | 4차 산업혁명 대응 R&D | ◎ | ◎ |
| | 신시장·신산업 R&D | ◎ | ◎ |
| | 산업경쟁력 제고 R&D | ◎ | ◎ |
| 과학기술 기반 고급 일자리 창출 | R&D 일자리 생태계 구축 | ○ | ○ |
| | 신기술·신서비스 일자리 창출 | ○ | ○ |
| | 미래대비 창의·융합형 인재양성 | ○ | ○ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (다) 제1차 국토교통과학기술 연구개발종합계획(’17-‘28)

■ 국토교통 과학기술에 관한 장기적·종합적 정책방향을 설정하고 중장기 투자전략을 정하는 최상위 법정 종합계획으로 △4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성, △기술융합을 통한 새로운 가치창출, △사람 중심의 국토교통 기술개발, △미래지향적 R&D시스템 도입을 추진전략으로 제시

◉ 기술융합을 통한 새로운 가치창출 부문에서는 융합기술을 통한 건설 지능화 실현, 고부가가치 건설기술 창출과 연관성이 있음

◉ 사람 중심의 국토교통 기술개발 부문에서는 재난·재해 예방 등 안전기술개발과 부합

**<표 Ⅵ-18> 연구개발정책과의 부합성(3)**

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 기술융합을 통한 새로운 가치창출 | 융합기술을 통한 건설 지능화 실현 | ◎ | ◎ |
| | 고부가가치 건설기술 창출 | ◎ | ◎ |
| 사람 중심의 국토교통 기술개발 | 재난·재해 예방 등 안전기술개발 | ◎ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

### (라) 국토교통 R&D 중장기전략( ‘14~ ‘23)

- 국토교통 R&D 중장기전략에서는 국토교통연구개발에 관한 10년 단위 중장기목표, 추진전략, 중점프로젝트 등을 제시
  - △글로벌 시장 선도, △융복합 신산업 충출 기반 조성, △안전하고 편리한 국토공간 조성, △국민 생활복지 향상 등의 4대 전략 제시
- 해저터널·인공섬과 관련 있는 10대 중점발굴 프로젝트에는 다음과 같은 프로젝트를 제시하고 있음
  - 안전하고 편리한 국토공간 조성 분야에 △인공지능 국토공간 △지능형 인프라 자동관리 분야 제시
  - 인공지능 국토공간에서는 다차원 공간정보체계를 활용한 국토 공간정보 서비스 분야의 강화를 통한 국민안전과 편의 제고를 제시
  - 지능형 인프라 자동관리는 SOC 시설물의 장수명화 및 관리 효율화를 위해 진단, 보수, 보강 장비를 자동화하고, 선제적 사고 예방 및 관리를 제시

**<표 Ⅵ-19> 연구개발정책과의 부합성(4)**

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 안전편리 국토 | 인공지능 국토공간 | ◎ | ◎ |
| | 지능형 인프라 자동관리 | ◎ | ◎ |
| 다차원 공간정보 | 다차원공간정보체계 활용 | ○ | ○ |
| 지능형 인프라 | SOC시설물 장수명화 | ○ | ○ |
| | 선제적 사고예방 및 관리 | ○ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (마) 2018년도 국토교통기술 연구개발사업 시행계획

■ 2018년도 국토교통기술 연구개발사업 시행계획은 국토교통 R&D 중장기전략('14~'23) 상의 10대 중점프로젝트를 국토교통기술의 주요 R&D로 구체화

◉ 국토교통 R&D 기본방향으로, △미래선도 과학기술 역량 강과, △경제 역동성 확보, △국민 삶의 질 향상을 제시

■ 분야별 사업전략 중 건설기술연구사업 전략과 도시건축연구사업 전략에서는 다음과 같은 세부기술을 제시

◉ 건설기술연구사업 전략에서는 SOC 시설물의 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발을 목적으로 해저터널·인공섬과 관련하여 다음과 같은 기술을 제시

- 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술, 건설재료 개발 및 활용 기술, 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술, 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술을 제시

**<표 Ⅵ-20> 연구개발정책과의 부합성(5)**

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 건설기술연구사업 | 설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술 | ◎ | ◎ |
| | 건설재료 개발 및 활용 기술 | ◎ | ◎ |
| | 시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술 | ◎ | ◎ |
| | 재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전 기술 | ◎ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (바) 제6차 건설기술진흥기본계획(’18-‘22)

■ 5차 기본계획이 종료되고 문재인 정부가 출범함에 따라, 향후 5년(’18-’22)간의 건설기술정책 로드맵과 건설기술 발전 청사진 제시 필요

◉ 제6차 기본계획은 ‘Smart Construction 2025’을 비전으로 설정하고, 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성, 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도개선을 중점전략으로 제시

■ 주요전략별 중점추진과제 중 해저터널·인공섬과 연관성이 높은 분야는 다음과 같음

◉ 4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성 전략 부문에서는 기술개발(스마트 건설기술을 통한 생산성 향상, 해외 수요 대응형 건설기술 개발), 고부가 산업 육성(분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화, 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성), 건설 안전 강화(건설의 안전·환경 관리)와 부합성이 높음

◉ 글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선 부문에서는 산업 개편·육성(Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원, 국제 기준에 부합 하는 제도 구축) 등과 부합성이 높음

**<표 Ⅵ-21> 연구개발정책과의 부합성(6)**

| 구분 | | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|---|
| 기술개발 | 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상 | ◎ | ◎ |
| | 해외 수요 대응형 건설기술 개발 | ◎ | ◎ |
| 고부가 산업 육성 | 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 | ◎ | ◎ |
| | 건설 Big Data 유통을 통한 신사업 육성 | ○ | ◎ |
| 건설 안전 강화 | 건설의 안전 환경 관리 | ○ | ◎ |
| 산업 개편/육성 | Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원 | ◎ | ◎ |
| | 국제 기준에 부합 하는 제도 구축 | ○ | ○ |
| 건설인력/교육 | 글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축 | ○ | ○ |
| | 국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성 | ○ | ○ |
| 기준/제도 | 기술력 중심의 발주·심의 강화 | ○ | ○ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

## (4) 국가안전정책 동향

■ 국가안전정책 부문은 국가안전관리기본계획과 제3차시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 분석하여, 국가안전정책과 동 사업의 부합성을 검토

◉ 국가안전관리기본계획은 국가의 재난 및 안전관리의 기본방향을 설정하고, 재난환경 변화에 대응하여 재난 및 안전사고로부터 국민을 보호하기 위해 수립

◉ 시설물유지관리기본계획은 국민생활과 밀접한 관계를 갖고 있는 시설물에 대한 안전관리를 위해 수립

### (가) 제3차 국가안전관리기본계획(‘15-’19)

■ 국가안전관리기본계획은 안전 선진국 실현이라는 비전 달성을 위해 △안전문화 △생활안전 △기업안전 △국가기반체계 △재난관리체계 등 5대 요소를 목표로 설정하고 9개 추진전략을 제시

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 사업과 관련하여 △안전 디자인개념의 전 영역 확산 △예방중심의 국가 재난안전관리정책 추진 △기업의 안전관리 참여와 활동영역 확대 △능동적인 국가기반체계 관리 △신속·정확한 재난상황보고 체계 정립 △즉각 대응 및 긴급복구체계 확립 △미래 재난환경 변화에 적극 대응의 추진전략을 제시

**<표 Ⅵ-22> 연구개발정책과의 부합성(5)**

| 구분 | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|
| 안전디자인 개념의 전영역 확산 | ○ | ◎ |
| 예방중심의 국가 재난안전관리정책 추진 | ○ | ◎ |
| 기업의 안전관리 참여와 활용영역 확대 | ○ | ○ |
| 능동적인 국가기반체계 관리 | ○ | ○ |
| 신속 정확한 재난상황보고 체계 확립 | ○ | ◎ |
| 즉각 대응 및 긴급복구체계 확립 | ○ | ◎ |
| 미래재난 환경변화에 적극 대응 | ◎ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

### (나) 제4차 시설물 안전 및 유지관리 기본계획( ‘18-’ 22)

■ 미래요구 대응을 위한 지속가능한 시설물 안전관리 기반 구축이라는 비전 달성을 위해 △안전하고 오래 사용하는 시설물, △스마트한 시설물, △경제 활성화에 보탬이 되는 시설물, △국민이 믿을 수 있는 시설물 등 4대 요소를 목표로 설정하고 4개 추진전략을 제시

◉ 해저터널·인공섬 기술개발 사업과 관련하여 △시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착, △4차 산업혁명 기술 활용 시설물 안전·유지관리 고도화, △융·복합을 통한 미래 대비 산업발전 기반 조성, △국민 소통형 시설물 안전·유지관리 서비스 지향의 추진전략과 부합하는 부분은 아래와 같음

**<표 Ⅵ-23> 연구개발정책과의 부합성(5)**

| 구분 | 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 |
|---|---|---|
| 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착 | ○ | ○ |
| 4차 산업혁명 기술 활용 시설물 안전・유지관리 고도화 | ○ | ◎ |
| 융・복합을 통한 미래 대비 산업발전 기반 조성 | ◎ | ◎ |
| 국민 소통형 시설물 안전・유지관리 서비스 지향 | ○ | ◎ |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

### (5) 평가결과

■ 상위계획과의 부합성은 국가정책과 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 정책적 부합성을 검토하여, 동 사업이 국가정책의 구체적 실현에 기여할 수 있고, 정책적 일관성을 가지고 추진될 수 있는지를 평가

◉ 상위계획은 1)국가정책 2)국토정책 3)연구개발정책 4)국가안전정책의 부문으로 나누어 검토하였으며, 국가의 국정운영 정책부터 국가 연구개발사업에 이르는 정책기조와, 국토정책과 국가안전정책까지의 부문별 정책방향을 검토

■ 검토결과, 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 기획은 상위계획과의 부합성이 매우 높기 때문에, 정책적 타당성이 높은 것으로 평가되며,

■ 안전한 국토공간 조성 · 첨단건설기술과 ICT기술 융합 · 인프라재생 등 정책목표를 달성하기 위한 실천수단으로써 해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획 필요

- 국가정책상에서, 가장 큰 흐름의 국정기조는 중소기업 진흥·ICT융합·첨단기술융합·국민안전·해외시장진출로써, 이는 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 방향성에 매우 부합
- 국토정책도 ICT융합·지능형인프라 등 해저터널·인공섬과 연관성이 높은 전략들을 제시하고 있기 때문에, 동 사업과의 부합성이 매우 높은 것으로 판단
- 연구개발정책은 국가연구개발사업과 국토교통연구개발사업 모두에서 ICT융합·지능형인프라·안전관리체계를 강조하여, 동 사업을 통해 국가연구개발정책의 구체적 실현이 가능할 것으로 평가되며,
- 국가안전정책에서 제시하고 있는 이상기후 대응 안전관리·미래환경 대응 안전관리·ICT기반 진단기술·유지관리기술 등의 전략 또한 해저터널·인공섬 기술개발 사업을 통해 실현가능한 것으로 평가

**<표 Ⅵ-24> 상위계획과의 부합성 평가**

| 국가과학기술기본계획 / 부문별 정책 | | 부합도 낮음 | 부합도 보통 | 부함도 높음 |
|---|---|---|---|---|
| 국가정책 | **부합도 높음** | 보통 | 대체로 적절 | **적절** |
| | 부합도 보통 | 대체로 부적절 | 보통 | 대체로 적절 |
| | 부합도 낮음 | 부적절 | 대체로 부적절 | 보통 |
| 국토정책 | **부합도 높음** | 보통 | 대체로 적절 | **적절** |
| | 부합도 보통 | 대체로 부적절 | 보통 | 대체로 적절 |
| | 부합도 낮음 | 부적절 | 대체로 부적절 | 보통 |
| 연구개발 | **부합도 높음** | 보통 | 대체로 적절 | **적절** |
| | 부합도 보통 | 대체로 부적절 | 보통 | 대체로 적절 |
| | 부합도 낮음 | 부적절 | 대체로 부적절 | 보통 |
| 국가안전 | **부합도 높음** | 보통 | 대체로 적절 | **적절** |
| | 부합도 보통 | 대체로 부적절 | 보통 | 대체로 적절 |
| | 부합도 낮음 | 부적절 | 대체로 부적절 | 보통 |

◎: 부합도 높음, ○:부합도 보통, △:부합도 낮음

# 나. 사업 추진체계 및 추진의지

■ 사업 추진체제 및 추진의지는 주관부처 · 사업수행기관 · 유관부처 · 유관기관 등 각 주체 간의 사업수행체계와 협조체계를 검토하고, 사업주체들의 추진의지를 평가하는 항목

◉ 정책목표를 달성하기 위해 사업수행체계와 역할분담의 적절성, 협조체계와 운영방안의 효율성 등을 거버넌스 관점에서 수직적 · 수평적 협력체계로 평가

- 수직적 협력체계는 정책을 결정하는 정부부처, 사업을 관리하는 연구관리전문기관, 연구과제를 수행하는 연구기관 간의 정책목적 전달과 자금의 제공 및 조정체계를 평가

- 수평적 협력체계는 사업에 참여하는 정부부처 · 연구기관 · 연구자 등 사업참여주체 간, 사업참여주체와 이해관계자 간의 네트워크 및 소통체계를 평가

◉ 사업 추진의지는 사업기획주체들의 사업추진의지와 사업으로 인해 영향 받는 이해관계자들의 선호도를 분석

## (1) 사업 추진체계

### (가) 수직적 협력체계

■ 수직적 협력체계는 사업수행체계·사업관리체계의 관점에서 타당성을 분석하며, 실제 연구과제를 주관하여 수행하는 연구단 체계를 별도로 분석

■ 국토교통부-국토교통과학기술진흥원-연구단의 수직적 협력체계를 구성하고 적절한 역할을 분담하여, 사업수행 및 사업관리의 효율성 증대

◉ (국토교통부) 최상위 의사결정기관으로서 해저터널·인공섬 기술개발 사업 추진과 관련한 정책결정·총괄관리·투자우선순위 결정 등의 업무 수행

◉ (국토교통과학기술진흥원) 관리감독 및 지원기관으로서 사업추진방향과 과제기획방향 설정, 사업수행 결과물 관리, 총괄운영, 사후관리 등 업무 수행

◉ (연구단) 사업을 주관하여 수행하는 기관으로서 모든 과제를 총괄관리하고 지원하는 역할 수행. 또한 각 과제수행에 대한 책임 가지고 R&D 예산을 집행 · 관리

■ 연구단은 독립성 강화를 위해 세부기술 분야별 추진체계를 구성하고, 연구단의 구성은 세부기술의 성격과 유형을 고려하여, 산·학·연 참여형태를 차별화

◉ 과제유형과 사업기간 및 규모 등을 고려하여 2개 연구단으로 구성

- 공공기술은 관련기술이 대학 및 출연연에 구축되어 있기 때문에 대학 및 출연연이 주관기관으로 추진하고 기업은 참여기관으로 구성

- 응용/상용화기술은 사업화 기술을 확보하는 차원에서 중소·중견 기업을 주관으로 추진하고 대학 및 출연연은 참여기관으로 구성

◎ 사업주관 및 참여기관은 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 '국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제4조(연구개발사업 참여기관의 자격)에 의한 기관으로 구성

■ 연구단 형태로 추진하되 단점을 보완하기 위해 운영위원회를 설치하여 연구단의 주요 의사결정에 대한 심의를 받도록 조치

◎ 과제 기획 부문과 사업수행자 선정 부문에서 객관성 및 전문성이 요구되고 있어 기존의 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담

## (나) 수평적 협력체계

■ 국토교통부 내에 심의위원회와 이해관계자간의 다부처협의체를 구성하고, 국토교통과학기술진흥원에서 사업과 사업성과를 체계적으로 관리

◎ (운영위원회) 연구단 추진 체계상 최고의사결정기구로서 정책목표에 부합하는 총괄운영계획 수립, 사업추진계획 수립, 최종의사결정 등의 업무 수행

■ 해저터널·인공섬의 관리주체가 다원화되어 있기 때문에, 중앙정부—중앙부처—지자체간의 네트워크 구축을 통해 파급효과 극대화

◎ 해저터널·인공섬은 제주와 목포를 잇는 시설물로서 관리주체는 지자체, 관리기관 등으로 다원화됨에 따라 동 사업 성과의 현장적용에 있어 제약조건이 있음

◎ 해저터널·인공섬 구축 계획단계나 설치·관리에 대한 통합관리를 위한 방안이 필요

◎ 따라서, 다양한 이해관계 충돌을 완화하기 위해 관계기관의 협의체를 구성하고 산·학·연 등 다양한 부문 간의 협력적 네트워크 구축

## (2) 사업 추진의지

- 사업 추진의지는 사업기획 주체들의 사업추진의지와 사업으로 인해 영향 받는 이해관계자들의 선호도를 분석
- 해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획을 위해 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 전문가 기획위원회가 협력하여 체계적인 사업기획추진
  - 해저터널·인공섬 관련 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원회를 구성하여, 기술성·경제성·정책성·중복성을 체계적으로 분석
- 사업기획 단계에서는 사업기획에 필요한 적정한 기관들을 참여시키고, 기관의 역량에 따라 필요한 역할을 분담하여, 체계적으로 사업도출
  - (국토교통부) 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발 사업기획의 전체적인 조율 및 방향 설정, 주요 안건에 대한 심의 및 결정 담당
  - (국토교통과학기술진흥원) 사업의 전체적인 추진일정 조율 및 기획보고서 작성 방향 설정 등의 실무 총괄 및 지원
  - (총괄기획위원회) 기획 전반에 대해 단계별 결과 및 방향에 대한 검토, 수정보완, 자문 등을 담당
  - (기술소위원회) 기획분과위원회가 도출한 사업 추진내용에 대한 조정의견 제시 및 최종 결과 도출
  - (기획분과위원회) 산·학·연 외부전문가를 고루 구성하여 정책, 경제, 기술 등 다방면으로 검토 및 기획 담당
  - (한국건설생활환경연구원) 해저터널·인공섬 관련 기술적 정의 및 범위, 방향 등을 제시, 기획보고서 작성 전반을 담당
  - (다윈전략컨설팅) 기획 관련 조사·분석, 기획보고서 검토 및 수정·보완, 기술개발 아이템 발굴 등 기획사업 전반의 실무를 지원

### (3) 평가결과

- 사업 추진체제 및 추진의지는 사업 참여 주체간의 수행체계와 협조체계, 운영체계를 검토하고, 사업 참여 주체의 추진의지를 평가
  - 사업 추진체제는 역할분담의 적절성, 운영방안의 효율성 등을 거버넌스의 관점에서 수직적·수평적 협력체계를 평가하였으며,
  - 사업 추진의지는 사업기획 주체들의 사업추진의지와 사업으로 인해 영향 받는 이해관계자들의 선호도를 분석
- 검토결과, 연구개발사업 기획의 추진체제는 해당사업을 추진하는데 필요한 주체들이 추진체계상에 포함되어 있고, 사업주체의 준비정도와 사업추진 의지가 높은 것으로 평가되는바, 타당성이 높다고 판단됨
  - 정책결정을 위한 정부부처, 사업관리를 위한 연구관리전문기관, 연구과제를 수행할 연구단을 국토교통부-국토교통과학기술진흥원-연구단의 협력체계로 적절하게 구성하였으며,
  - 특히, 사업 참여 주체간의 네트워크 체계를 강화하기 위해 심의위원회와 다부처 협의체, 지원센터를 설치하여, 사업성과의 체계적 관리가 가능할 것으로 평가
  - 또한, 사업기획 연구진은 정책결정자인 국토부의 의견과 총괄위원회·총괄기획위원회·기술기획위원회 등 관련 분야의 외부전문가 의견을 충분히 수렴한 것으로 평가

# 3. 사업 추진상의 위험요인 : 재원조달 가능성

## 가. 재원조달 확보방안

■ 재원조달은 연구개발 추진에 필요한 재원투입에 있어, 투입계획 시점과 투입규모의 관점에서 문제발생 가능성을 분석하고 재원조달 문제로 인한 사업지연 가능성을 검토하여, 사업 추진상의 위험요인을 분석

◉ 연구개발사업 추진을 위한 재원으로, 중앙정부가 제공하는 국고·지방자치단체가 부담하는 지방비·민간참여자가 분담하는 민자로 구분하여 재원별 위험요인 분석

■ 동 사업 운영을 위해 필요한 재원과 정부 R&D 예산, 국토부 R&D 예산을 추정하여, 사업기간 동안의 재원조달 가능성을 연도별로 평가

◉ 동 사업의 운영을 위해 필요한 재원은 2020년부터 2024년까지 5년간 총 788억원 필요

- 이 중 국비는 596억 원, 민자는 192억 원으로 구성되며 연도별 필요재원은 다음과 같음

**<표 Ⅳ-25> 연차별 투자계획**

(단위: 천 원)

| 구분 | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 정부 | 금액 | 9,967,000 | 14,347,000 | 14,633,000 | 12,022,000 | 8,612,500 | 59,581,500 |
| | 비율* | 0.9% | 1.1% | 1.0% | 0.8% | 0.5% | 0.5% |
| 민간 | 금액 | 3,203,175 | 4,723,500 | 4,668,450 | 3,852,625 | 2,731,500 | 19,179,250 |
| | 비율 | 0.3% | 0.4% | 0.3% | 0.2% | 0.2% | 0.1% |
| 합계 | | 13,170,175 | 19,070,500 | 19,301,450 | 15,874,625 | 11,344,000 | 78,760,750 |

*비율 : 동 사업비/신규 R&D 가용예산

◉ 정부 R&D 예산에서 국토교통 R&D 예산을 전망하고, 국토교통 R&D 예산 내에서 신규 R&D 가용 예산을 추정

- 「국토교통R&D 중기재정계획」에서는'20년까지 연평균 12.4% 예산이 증가하는 예산계획을 수립

- 「국토교통R&D 중기재정계획」의 예산 증가율(12.4%)을 '24까지 적용하면, 동 사업의 사업기간(′21~′27) 동안 국토교통R&D 예산은 총 8조 1,652억 원으로 추정

<표 Ⅳ-26> 국토교통R&D 예산 전망

(단위 : 억 원)

| 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국토교통 R&D 예산(전망) | 7,112 | 7,994 | 8,985 | 10,099 | 11,352 | 12.4% |

출처: 국토교통 R&D 중기재정계획, 국토교통부

- 최근 3년간 2016~2018년도 국토교통 R&D 예산 중 신규과제의 비중은 15.7% 수준인 것으로 조사
  - 국토교통R&D 예산 중 신규과제 가용예산 대비 동 사업의 소요예산 비율은 0.02%로 국토교통 R&D 예산 내에서 동 사업 투자예산을 충분히 수용할 수 있을 것으로 판단

<표 Ⅵ-27> 최근 3년간 국토교통 R&D 과제 중 신규과제 비중

(단위 : 억 원)

| 구분 | | 2016 | 2017 | 2018 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| 예산 | 신규과제 | 529 | 688 | 566 | 1,783 |
| | 계속과제 | 3,130 | 3,063 | 3,359 | 9,552 |
| | 합계 | 3,659 | 3,751 | 3,925 | 11,335 |
| 신규과제 비중(%) | | 14.5 | 18.3 | 14.4 | 15.7 |

출처: 2016년, 2017년 2018년도 국토교통기술 연구개발사업 시행계획, 국토교통부

- 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 연도별 필요예산을 국토부 R&D 예산, 국토부 신규 R&D 가용예산과 비교하여 재원조달 가능성을 평가
  - 2020년 사업시작 년도의 필요예산은 99.7억 원(국비)으로 국토교통 신규추진 R&D 가용예산 7,112억 원 내(20%)에서 수용가능
  - 2020년부터는 국토부 R&D 예산의 8%~18% 수준을 보여, 동 사업 추진은 국토부 R&D예산 내에서 가능할 것으로 평가
- 따라서, 재원조달 문제로 인한 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 지연 가능성은 매우 적은 것으로 판단

<표 Ⅳ-28> 신규 R&D가용 예산 예측

(단위 : 억 원)

| 구분 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 국토교통 R&D 예산(전망) | 7,112 | 7,994 | 8,985 | 10,099 | 11,352 | 45,542 |
| 신규 R&D 가용예산 | 1,116 | 1,255 | 1,410 | 1,585 | 1,782 | 7,148 |
| 동 사업 소요예산(국비) | 9.96 | 14.34 | 14.63 | 12.02 | 8.61 | 59,56 |
| 비율(%)* | 0.9 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 0.5 | 0.8 |

*비율 : 동 사업비/신규 R&D 가용예산

# 나. 위험요인 대응 및 모니터링 방안: 법/제도적 측면

■ 법적·제도적 위험요인은 개발기술 분야에 따라 관련 법률을 검토하여, 연구개발사업이 관련 법·제도·규정에 부합하는지를 평가

◉ 1) 사업추진 근거법령의 적절성 2) 타 법령과의 충돌 가능성 3) 국가연구개발사업 절차의 누락 가능성 4) 연구개발사업 추진결과의 분쟁 가능성 여부를 중심으로 분석

## (1) 사업추진 근거법령의 적절성

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 사업추진 근거법령은 「국토교통과학기술육성법」으로, 동법 제8조와 제9조에서는 연구개발사업의 추진과 공동연구·개발 등을 지원할 수 있다고 명시하고 있음

◉ 국토교통과학기술육성법은 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 제정

◉ 건설기술진흥법 제8조 및 10조에서 국토교통부장관은 종합계획의 효율적 추진을 위하여 국토교통연구개발사업을 추진할 수 있으며 연구과제와 관련하여 협약을 추진할 수 있다고 명시

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업은 국토교통과학기술육성법에서 정하는 국토교통기술에 해당

◉ “국토교통과학기술”이란 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술로서 관계 법령에서 정한 기술을 말함

■ 건설기술진흥법에서 정하는 건설기술이란, 건설공사에 관한 계획부터 안전성 검토까지 포괄하고 있으며, 시설물 운영부터 철거까지 넓은 범위를 제시하고 있음

◉ 건설기술진흥법 제2조제2호에서 건설기술이란, 건설공사에 관한 계획·조사·설계·시공·감리·시험·평가·측량·자문·지도·품질관리·안전점검 및 안전성 검토와시설물의 운영·검사·안전점검·정밀안전진단·유지·관리·보수·보강 및 철거와 건설공사에 필요한 물자의 구매와 조달, 건설장비의 시운전, 건설사업관리까지로 규정

◉ 건설기술진흥법에서 정하는 건설기술자에는 건설기술자의 직무분야를 규정하고 있으며, 기계·전기·전자·토목·건축·도시·교통·안전관리·환경 등 10개 분야를 제시하고 있음

## (2) 타 법령과의 충돌 가능성

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 개발기술 분야와 개발기술의 목적물에 따라 관련 법률을 검토하고, 타 법령과의 충돌 가능성을 평가

### (가) 해저터널 · 인공섬 관계법규

■ 현행 우리나라 공간계획 체계에는 해저터널에 대한 사항을 특별히 규정하고 있지 않으나, 해사안전에 관련하여 '해사안전법'으로 관리하고 있음

◉ '해사안전법'은 선박의 안전운항을 위한 안전관리체계를 확립하여 선박항행과 관련된 모든 위험과 장해를 제거함으로써 해사안전 증진과 선박의 원활한 교통에 이바지함을 목적으로 재정되었으며 해저터널 및 인공섬 등이 포함된 해양시설물 등을 대상으로 하고 있음

■ 해저터널·인공섬 관련 법률은 성격에 따라 다음의 유형으로 구분

◉ 해저터널·인공섬의 설계·시공기준 등 관리를 종합적으로 규정하고 있는 법률

- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 해사안전법, 교통안전법, 철도안전법 등 4개 법률

◉ 해저터널·인공섬의 계획·시공·관리 등을 규정하고 있는 법률

〈표 Ⅵ-29〉 해저터널·인공섬 관련 법·제도와 성능 규제

| 관련법·제도 | 제시된 건설 기준 | |
|---|---|---|
| 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 | 목적 | • 시설물의 안전점검과 적정한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하고 시설물의 효용을 증진시킴으로써 공중의 안전을 확보하고 나아가 국민의 복리증진에 기여함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 기본계획 등, 제3장 시설물의 안전관리, 제4장 안전점검등의 대행, 제5장 시설물의 유지관리, 제6장 한국시설안전공단, 제7장 보칙, 제8장 벌칙 |
| 해사안전법 | 목적 | • 선박의 안전운항을 위한 안전관리체계를 확립하여 선박항행과 관련된 모든 위험과 장해를 제거함으로써 해사안전) 증진과 선박의 원활한 교통에 이바지함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 해사안전관리계획, 제3장 수역 안전관리, 제4장 해상교통 안전관리, 제5장 선박 및 사업장의 안전관리, 제6장 선박의 항법 등, 제7장 보칙, 제8장 벌칙 |
| 교통안전법 | 목적 | • 교통안전에 관한 국가 또는 지방자치단체의 의무·추진체계 및 시책 등을 규정하고 이를 종합적·계획적으로 추진함으로써 교통안전 증진에 이바지함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 교통안전정책심의기구, 제3장 국가교통안전기본계획 등, 제4장 교통안전에 관한 기본시책, 제5장 교통안전에 관한 세부시책, 제6장 보칙, 제7장 벌칙 |
| 철도안전법 | 목적 | • 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 철도안전 관리체계, 제3장 철도종사자의 안전관리, 제4장 철도시설 및 철도차량의 안전관리, 제5장 철도차량 운행안전 및 철도 보호, 제6장 철도사고조사·처리, 제7장 철도안전기반 구축, 제8장 보칙, 제9장 |
| 국가통합교통체계효율화법 | 목적 | • 교통체계의 효율성·통합성 및 연계성을 향상하기 위하여 육상교통·해상교통·항공교통정책에 대한 종합적인 조정과 각종 교통시설 및 교통수단 등 국가교통체계의 효율적인 개발·운영 및 관리 등에 필요한 사항을 정함으로써 국민생활의 편의를 증진하고 국가경제 발전에 이바지함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 교통시설투자의 효율화 등, 제3장 교통물류거점 등 연계교통체계 고도화, 제4장 교통체계의 지능화, 제5장 교통기술의 진흥, 제6장 국가교통위원회, 제7장 보칙, 제8장 벌칙 |
| 건설기술진흥법 | 목적 | • 건설기술의 연구·개발을 촉진하여 건설기술 수준을 향상시키고 이를 바탕으로 관련 산업을 진흥하여 건설공사가 적정하게 시행되도록 함과 아울러 건설공사의 품질을 높이고 안전을 확보함으로써 공공복리의 증진과 국민경제의 발전에 이바지함을 목적으로 한다. |
| | 내용 | • 제1장 총칙, 제2장 건설기술의 연구·개발 지원 등, 제3장 건설기술인의 육성 등, 제4장 건설기술용역 등, 제5장 건설공사의 관리, 제6장 건설기술용역업자 등의 단체 및 공제조합, 제7장 보칙, 제8장 벌칙 |

- 국가통합교통체계효율화법, 건설기술진흥법 등 2개 법률

### (나) 해저터널·인공섬 관련 법규의 충돌 가능성

■ 현재 해저터널·인공섬은 규정하는 관계 법률상 동 기획보고서에서 제시하고 있는 2개 중점분야와 세부과제 7개의 연구 및 향후 활용과 관련하여 법규 충동가능성은 없는 것으로 판단

◉ 동 기회보고서에서 설명하고 있는 7개 세부과제는 실제 해저터널 건설 프로젝트를 시공하기 위한 핵심 요소기술 개발, 환기·화재대응·유지관리 기술, 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술개발로 구성되어 있음

◉ 해당기술은 향후 활용시 현재 각 법률에서 규정하고 있는 사항에 부합하도록 연구개발 목표가 설정되어 있거나 영향을 받지 않는 기술로 향후 연구결과물의 활용 및 연구개발에 장애가 발생할 요인은 없음

- 동 기획보고서에서 제시하고 있는 7개 세부과제는 시공 및 유지보수 관리로 각 부처 및 시설물 관리주체 소관법령과 충돌되지 않으며 설계 기술 및 시공 기술은 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법에서 정보를 제공하도록 되어 있어 충돌 가능성은 없음

## (3) 국가연구개발사업 절차의 누락 가능성

■ 예비타당성조사 대상인 국가사업은 국가가 투자하는 공공사업이므로, 관련 법·제도·규정에 부합하도록 진행 필요

■ 해저터널·인공섬 기술개발 사업의 추진체계 및 세부절차가 「국가재정법」, 「과학기술기본법」에 근거하고 있는지 평가

◉ 국가재정법 제38조에서는 총사업비 500억원 이상이고, 국가의 재정지원 규모가 300억원 이상인 신규사업을 예비타당성 조사대상으로 규정

◉ 과학기술기본법에서는, 중앙행정기관의 장은 과학기술기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하도록 규정

◉ 상위계획과의 부합성 검토결과, 동 연구개발사업은 과학기술기본계획에서 제시한 사업 중 국토교통부 소관의 사업이며, 총사업비가 500억원 이상, 국가 재정지원 300억 이상의 사업으로서, 국토교통부장관은 예비타당성 조사를 통해 국가연구개발사업을 추진할 필요가 있음

■ 세부 절차적인 사항은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 근거하고 있는지 평가

◉ 국가연구개발사업의 추진체계는 중앙행정기관, 연구관리전문기관, 연구기관으로 구분되며, 업의 기획, 사업의 공고 및 신청, 과제평가 및 선정, 연구협약, 연구비 지급 및 사용, 결과보고 및 최종평가, 연구비 정산 순서의 절차를 따름

◉ 동 과제는 기술성 평가 이전에 사업의 기획 단계로서, 세부 절차적인 사항이 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 근거하고 있는지 평가

■ 사업기획 단계는 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 따라 기술수요조사서 작성(연구기관), 기술수요조사서 제출(연구관리전문기관), 기술수요조사(중앙행정기관), 사전조사 및 기획연구(중앙행정기관)를 통해 사업기획(안)을 작성해야 함

◉ 사전조사 및 기획연구를 하는 경우에는 국내외 특허 동향, 기술 동향, 표준화 동향 및 표준특허 동향 등 다음의 사항이 포함되어야 하며, 동 기획연구에서는 연구내용에 따라 각 장별로 충실히 반영

- 국가연구개발사업의 목표, 세부추진내용 및 추진체계 (제4장 반영)
- 다른 중앙행정기관의 소관 업무와 관련되는 사항에 대한 조정방안 (제4장 및 제6장 반영)
- 국가연구개발사업의 평가계획 (제4장 및 제6장 반영)
- 필요한 자원의 규모 및 인력 확보방안 (제5장 반영)
- 정부지원의 타당성 검토 결과 (제6장 반영)
- 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과 (제6장 반영)
- 국내외 특허, 기술 동향, 표준화 동향 및 표준특허 동향 (제3장 반영)

■ 중앙행정기관의 장은 다음의 사항을 포함한 기술수요조사를 정기적으로 실시하고, 그 결과를 반영하여 연구개발과제를 발굴해야 함

- 제안하는 기술의 개발목표 및 내용
- 제안하는 기술의 연구개발 동향 및 파급효과
- 제안하는 기술의 시장 동향 및 규모
- 제안하는 기술의 개발기간, 정부지원 규모 및 형태
- 제안하는 기술의 연구개발 추진체계
- 제안하는 기술에 대한 평가의 주안점

- 동 사업에서는 산·학·연 중심의 기술수요조사를 통해 해저터널·인공섬 관련 필요 기술을 파악

  - 해저터널·인공섬 관련 산·학·연 전문가들을 대상으로 설문조사를 실시하여, 현장의 의견수렴과 기술수요를 파악하고 기술수요조사서 97건을 접수

- 각 산·학·연 전문가 회의를 개최하여, Top-down을 통한 중점분야 및 기술수요조사로 도출된 총 97개의 Bottom-up 기술 중 총 91개의 세부기술별 평가항목에 대해 전문가 평가를 실시하여, 우선순위 분석

  - 우선순위별로 세부기술을 나열한 후, 각 분야별 산·학·연 전문가 회의를 개최하여 최종 6개 중점분야 확정

  - 기술수요조사 및 전문가 평가로 도출된 최종 34건의 핵심기술을 대상으로 도출된 6개의 중점분야와 매칭

### (4) 연구개발사업 추진결과의 분쟁 가능성

- 사업을 통해 얻어지는 산출물이 국제 교역재에 적용될 때의 고려사항으로써, 국가연구개발사업의 지원이 금지보조금에 해당하여 외국과 마찰이 있을지 평가
  - WTO 보조금 협정에 관한 검토로써, 보조금이란 정책당국이 특정한 정책목표를 달성하기 위하여 산업 및 기업 활동에 제공하는 각종 지원을 의미
  - 연구개발지원정책이 내용상 금지보조금에 해당하는 경우 동 협정에 따른 조치의 대상이 될 수 있음
- 해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획은 그 내용상 상품무역에 관련된 지원이 아니므로, 금지보조금에 따른 분쟁 가능성은 없음

### (5) 평가결과

- 법적·제도적 위험요인 평가는 근거법령의 적절성, 타 법령과의 충돌 가능성, 국가연구개발사업 절차의 누락가능성, 연구개발사업 추진결과의 분쟁가능성 등을 평가
- 검토결과, 법적·제도적 위험요인은 중립으로 평가되나, 타 법령과의 충돌 가능성은 없는 것으로 판단
  - 건설기술진흥법에서는 건설기술과 건설기술자의 직무분야를 규정하고 있으며, 동 사업의 기술분야는 건설기술에 해당. 따라서 건설기술진흥법에 따라 연구개발사업과 공동연구개발을 지원받을 수 있음
  - 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에서 제시한 사전조사 및 기획연구의 내용을 충실히 반영하였으며, 산·학·연 중심의 기술수요조사를 통해 세부기술을 도출하였음. 절차의 누락 가능성은 낮음
  - 해저터널·인공섬 기술개발 사업 기획 기획은 그 내용상 상품무역에 관련된 지원이 아니므로, 금지보조금에 따른 분쟁 가능성은 없음

# 제3절 경제적 타당성 분석

## 1. 경제성 분석 개요

### 가. 비용편익분석의 개요

#### (1) 비용편익 분석의 개념

■ 경제성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 이용하여 사업의 타당성을 판단

◉ 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 순현재가치(NPV, Net Present Value)/기대순현재가치(ENPV, Expected NPV), 편익-비용 비율(B/C ratio) 등 다양한 방법이 있는데 본 분석에서는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용

◉ 편익-비용 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\frac{B}{C}=\sum_{t=0}^{T}\frac{B_t}{(1+r)^t}/\sum_{t=0}^{T}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함

- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단

◉ 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점이 있으나, 일반적인 투자심사 기준으로 사용

## (2) 분석항목

■ 경제적 타당성 분석의 기본 항목으로는 총 사업비, 총비용, 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 기반으로 추정되어야함

- 비용은 사업기간 내 발생하는 총 사업비로 산정함
- 편익은 해당 세부기술개발과제로 인해 실질적으로 혜택을 받게 되는 수요(기업, 대국민 등)를 추정하여 편익을 추정함
- 분석된 비용과 편익을 현재가치화 시켜 B/C값을 분석하고 B/C값이 1 이상일 경우 사업성이 있는 것으로 판단

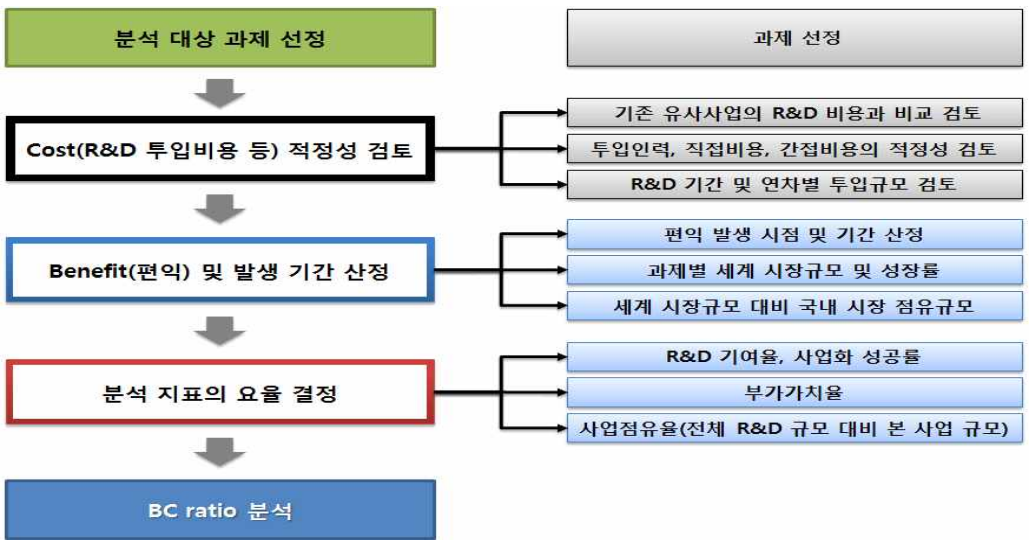
| 중항목 | 소항목 | | 주요 검토 내용 |
|---|---|---|---|
| 비용 추정 | 연구개발 | 연구활동지원 | • 과제규모, 연구수행주체(수, 질), 기술성숙도(기술수명주기), 연구기간, 연구개발단계, 과제특성(직접비/간접비 비중) 등 |
| | | 체계개발(HW,SW) | • 용도, 사양, 중량, 복잡도, 기술적 난이도, 기존 수행경험, 기능점수 등 |
| | 연구시설·장비 구입 및 유지비 | 연구시설 | • 용도, 면적(인원, 시설장비규모), 지형, 지질학적특성, 입지, 재료, 층수, 개조관련사항, 허가사항, 환경영향, 공공수용성, 내부체계 등 |
| | | 연구장비 | • 용도, 사양, 개수, 발주처(비교견적서) 등 |
| | 연구관리 | | • 관리인력(수, 질), 과제(평가·관리방법, 과제규모), 등 |
| 편익 추정<br>※ 시장수요접근법 1) 가장 많이 적용 | 수요 추정 | | • 해당 연구개발을 통해 실질적으로 혜택을 받을 수요를 추정 |
| | 편익 산정 | | • 對 국민 경제적 편익, 연구개발 편익, 과학기술 및 산업적 응용 편익 등을 고려<br>- 연구개발 편익 : 핵심 기술 및 노하우, 경험 확보->무형적 편익<br>- 편익 범위 명확화 및 기준선 설정 필요<br>- 직접 편익과 간접 편익 고려 |
| 경제성 분석 | B/C 분석 | | • 현재가로 환산한 비용 대비 편익의 비율이 1.0 이상이면 경제성이 있다고 판단<br>• 시나리오 별로 BC 분석 |
| | E/C 분석 | | • 편익을 화폐가치로 환산할 수 없는 경우 비용효과분석 적용<br>• 비용대비 효과 값이 비교대상 사업에 비해 클 경우 사업 시행이 적절함 |
| | 사회적 할인율 설정 | | • 미래의 비용과 편익을 현재가치로 환산하는 데 사용하는 할인율<br>• 적정 사회적 할인율 5.5% 적용 |
| | 민감도 분석 | | • 투입 요소 변동에 따른 순현재가치의 변화 정도를 분석하기 위해 민감도 분석을 실시(할인율 ±2%, 비용/편익 ±20%)<br>- 민감도가 클수록 위험한 사업으로 인식 |

<그림 Ⅵ-3> 주요 검토 항목

| 구 분 | 주요항목 | 세부 내용 |
|---|---|---|
| 편익 (Benefit) | 직접 편익 | • 기술개발에 따른 관련 제품의 국내외 추가 시장 창출 규모<br>• 관련 기업 추가 매출액<br>• 조건부가치측정법(CVM)에 따라 WTP(지불의사)의 측정값<br>- 신규 제품 혹은 서비스에 대한 추가 지불금액 의향<br>• 기존 시설구축비 및 임대료 등을 대체/개선함에 따른 비용 절감액<br>• 인명피해/재해복구 등의 사회적 비용 감소 편익, 정보제공에 따른 사회적 편익증가<br>• 연구기반으로 인한 비용저감효과 |
| | 간접 편익 | • 타 산업으로의 경제적 파급효과<br>- 생산유발효과, 고용유발효과, 부가가치유발효과 등 |
| 비용 (Cost) | 연구개발비 | • 기술개발에 소요되는 인건비, 직/간접비, 위탁연구비 등을 포함한 전체 연구비<br>- 인건비 : 내부 인원 투입 부분 산정<br>- 직접비 : 국내외 업체 외주비, 연구장비/재료 구입비, 기타 등<br>- 간접비 : 해당 출연연의 간접비(교과부, 국가연구개발사업 간접비 계상기준 참고) |
| | 시설구축비 | • 단지조성, 센터 구축 등 시설구축비(설계비, 감리비, 측량비 등을 포함한 전체 공사비) |
| | 운영 및 유지보수비 | • 편익을 발생시키기 위해 지속적으로 운영/유지보수가 필요한 경우에는 편익이 발생하는 기간 동안 운영비를 산정해야 함 |

<그림 Ⅵ-4> 세부 편익 및 비용 항목

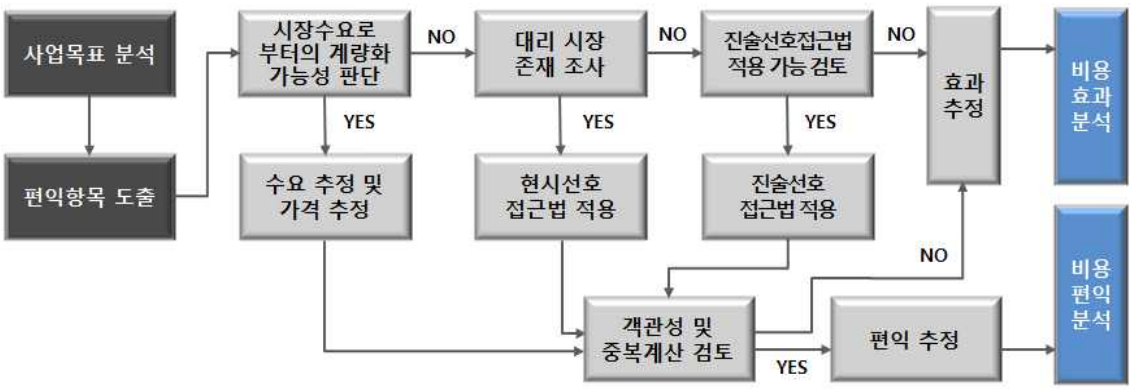
## 1.2 비용편익분석 프로세스




<그림 Ⅵ-5> 경제성분석 프로세스

- 분석대상 사업은 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업 기획 목표와 부합되는 예상성과로부터 기대되는 직접적인 경제적 편익을 분석하여 사업 전반적인 타당성 여부를 판단함

  - 먼저, 동 사업 수행을 위해 소요되는 총 사업비를 추정하여 기본비용으로 산정함
  - 다음으로, 편익발생시점과 편익발생기간 등을 설정한 후, 편익유형 및 추정방법을 결정함
  - 최종적으로 편익산정을 위한 분석 지표 설정 후 경제성 분석을 실시함




**<그림 Ⅵ-6> 경제적 타당성 분석 과정 개략도**

- 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업은 총 6개의 전략분야에 34개의 세부기술 분야로 구성되어 있으며, 세부기술의 예상성과로부터 기대되는 경제적 효과(부가가치 창출, 비용감소 등)를 세분화함

- 동 사업의 편익분석 항목은 부가가치 창출로 구분하며, 분석방법으로는 시장수요접근법을 적용

  - (부가가치 창출) 해저터널 및 인공섬 개발을 통해 창출되는 부가가치 효과(관련 기술 해외수출 확대 및 응용기술 파생을 통한 시장 확대, 융복합을 통한 신규 기술시장 창출 등)를 추정

# 2. 비용편익분석 전제조건

## 가. 비용편익 산정기준

### 분석대상 기간

- 분석 대상기간은 사업이 추진되는 초기 연도인 2020년을 시작으로 편익이 발생하는 최종년도까지 설정함
  - 경제성 분석기간은 사업 유형에 따라 각기 다른 기준을 적용함
  - 국가연구개발사업은 기술분야에 따라 발전속도가 다른 특성을 고려하여 기술의 특허 분석을 통해 산출되는 기술수명주기를 편익 회임기간 이후부터 적용함
  - 편익발생기간은 KISTEP 예타지침의 응용·개발단계의 연구개발사업 회임기간 3년과 특허데이터 분석에 기반한 기술수명주기 13년을 적용하여 설정함
  - 즉, 사업 종료(2024년) 3년 이후 최초 편익이 발생하며, 기술수명주기 13년 동안 경제적 가치가 있는 것으로 가정함

### 사회적 할인율

- 본 사업의 비용편익 분석을 위한 사회적 할인율은 기획재정부의 「예비타당성 조사 수행 총괄지침」에 따라 4.5%를 적용하여 추정[기획재정부지침, 2018.4.17, 일부개정]

### 편익항목

- 동 사업의 편익추정은 세부기술 분야 및 구성기술별 연구목표와 내용 등의 특성을 고려한 부가가치 창출과 비용감소 등으로 설정하였으며, 분석방법은 시장수요접근법과 로열티수입접근법, 생산비용접근법, 피해비용접근법 등을 적용함

**<표 Ⅵ-30> R&D사업 편익 추정방법 분류**

| 대분류 | 세부분류 | 비고 |
|---|---|---|
| 가치창출 | 시장수요접근법 | 미래 시장 또는 수요에 의해 발생하는 부가가치 중 해당 R&D에 따른 비용을 적용 |
| | 로열티수입접근법 | 로열티로 인하여 발생하는 편익계산 |
| 비용감소 | 생산비용접근법 | 생산(내수, 수출)과 관련된 모든 과정에 투입되는 비용의 절감액 추정 |
| | 피해비용접근법 | R&D에 따른 효과로 사회적 피해비용 절감액 추정 |

# 나. 총 비용 추정

■ 연구개발사업 연차별 투자계획

◉ 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업에 대한 총 비용은 사업 초기연도인 2020년부터 사업이 종료되는 2024년까지 투입비용과 편익기간인 2040년까지 운영되는 총 비용을 고려하여 산정

- 6대 전략분야 34개 세부기술에 대한 상세 사업비용은 총 595억 원이며, 연도별 투자계획은 다음과 같음

**<표 Ⅵ-31> 연도별 투자계획**

| 구분(억원) | 계 | 2020년 | 2021년 | 2022년 | 2023년 | 2024년 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| R&D | 595.815 | 99.670 | 143.470 | 146.330 | 120.220 | 86.125 |
| 계 | 595.815 | 99.670 | 143.470 | 146.330 | 120.220 | 86.125 |

◉ 연구비용의 산정은 수요조사서를 바탕으로 기술검토위원회에서 세부 기술내용 등의 조사를 통해 적정한 과제 선정과 예산을 산정하는 상향식 접근방법을 활용하였음

◉ 경제성 분석을 위한 총 비용은 595억 원이며, 이를 현재가치로 산정할 경우 524.9억 원임

**<표 Ⅵ-32> 연구개발 총 비용 추정 결과**

(단위: 억 원)

| 구 분 | 총 비용 | 현재가치 |
|---|---|---|
| 2020년 | 99.7 | 95.41 |
| 2021년 | 143.47 | 131.38 |
| 2022년 | 146.33 | 128.23 |
| 2023년 | 120.22 | 100.81 |
| 2024년 | 86.13 | 69.12 |
| 합계 | 595.815 | 524.95 |

* NPV(Net Present Value), 순현재가치 산정을 위해 기획재정부, 예비타당성 조사 총괄지침에서 명시한 사회적 할인율 4.5%를 적용 [기획재정부지침, 2018.4.17.]

# 다. 편익추정 항목 및 논리구조

## 편익추정 계산식 및 분석지표

연구개발부문 표준지침(KISTEP)에서 제시하고 있는 추정 방법을 통해 부가가치 창출 편익을 시장수요접근법으로 추정함

- (편익발생기간) 특허분석을 통한 도출된 기술수명 주기를 고려하여 적용

  * 부가가치창출 편익은 회임기간 3년을 고려함[연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제2-1판) 2016.11 준용 p281(기초연구 5년, 개발·응용 3년)]

- (사회적 할인율) 4.5%를 적용

- (사업기여율) 동 사업 정부투자와 민간투자 규모를 추정하여 동사업과 관련된 분야에 대한 전체 투자와 동 사업이 점유하는 비율을 산정

- (R&D 사업화 성공률) 국토교통 R&D 과제의 최근 3년간 평균 사업화성공률 26.2% 적용(해외건설 기술경쟁력 연구개발, 2014)

- (부가가치율) 한국은행 산업연관표의 산업분류 중 기술분야와 연관성이 높은 평균값 43%를 적용

**<표 Ⅵ-33> 핵심변수 산식 및 기본가정**

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 편익유형 | • 부가가치창출 |
| 편익발생기간 | • 특허분석을 통한 기술수명주기(TCT) : 13년 |
| 환율 | • 2018년 평균 환율 기준 : 1,101원/$ 적용 |
| 할인율(NPV) | • 현재가치 환산 시 4.5%(KDI) 적용 |
| 사업기여율 | • 동사업과 관련된 분야에 대한 전체 투자와 동 사업이 점유하는 비율을 산정 (NTIS 기반 2015~2018년 정부/민간 투자 규모 산출) |
| R&D 기여율 | • 35.4% 적용<br>(2013년 국가과학기술심의회의 ‘제3차 과학기술기본계획’에서 제시) |
| 사업화성공률 | • 국토교통 R&D 사업화율(현장적용+사업화 비율)을 조사하여 활용--최근 3년 사업화율 26.2% |
| 부가가치율 | • 2014년 한국은행 산업연관표 투입산출표 기초가격 통합소분류 데이터 활용 |

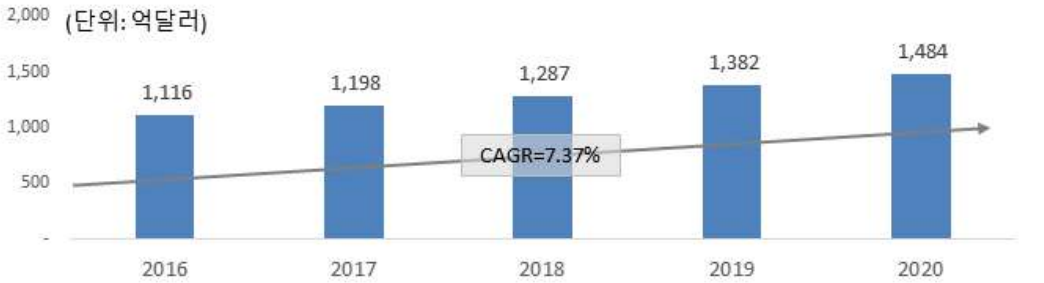
# 3. 편익추정

## 편익대상 시장 추정

(세계시장 전망) 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업의 타깃인 해저터널 시장을 기반으로 편익기간까지 세계시장 규모 및 성장률을 추정

- 본 사업은 실제 해저터널 건설에 적용되는 R&D지원을 목적으로 하고 있어, 해저터널 분야의 세계 시장 규모를 검토

**<표 Ⅵ-34> B/C분석을 위한 해저터널·인공섬 분야의 세계시장 규모**




(단위: 억달러)

| 구분 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | CAGR( '16~ '20) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 세계 | 1,116 | 1,198 | 1,287 | 1,382 | 1,484 | 7.37% |

* 출처: Tunnel Market Survey, ITA, 2016

해저터널 시장의 현황 및 전망치('16~'20년)를 기준으로 추세분석을 적용하여, 동 사업의 편익 기간인 2028년부터 2040년까지의 시장규모를 추정

- 상기 데이터를 토대로, 편익기간까지의 데이터를 추정하기 위해 추세분석*을 실시

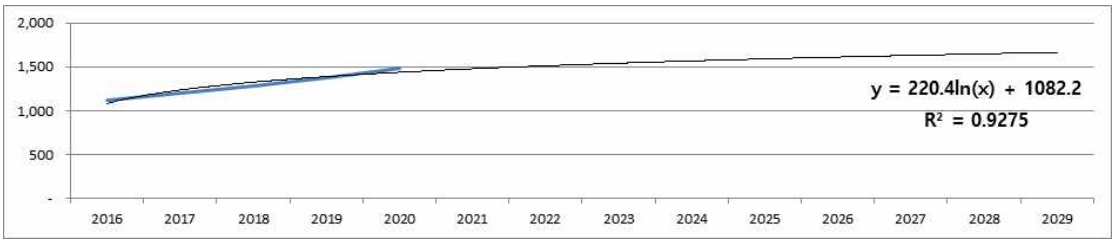
- 로그 방식을 활용하여, 2016년부터 2020년까지 데이터를 추정한 결과를 하기와 같이 산출

* 추세분석에서 일반적으로 활용되는 분석 방법론(선형, 로그, 지수, 다항식(3차) 등) 중에서 '로그 방식'을 채택

**<표 Ⅵ-35> 시장 추세분석 $R^2$ 값**

| 구분 | | 지수 | 선형 | 로그 | 다항식 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해저터널·인공섬 세계시장 | $R^2$ | 1 | 0.99 | 0.92 | 1 |

<표 Ⅵ-36> 편익기간까지 세계시장 규모 추정




(단위: 억 달러)

| 구분 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 해저터널·인공섬 세계시장 | 1,648 | 1,664 | 1,679 | 1,693 | 1,707 | 1,719 | 1,731 |
| | 2035 | 2036 | 2037 | 2038 | 2039 | 2040 | CAGR |
| | 1,742 | 1,753 | 1,763 | 1,773 | 1,783 | 1,792 | 7.37% |

◉ (국내기업 점유율 산정) 세계시장 기준, 국내기업의 시장점유율을 산정

- 국내기업의 시장규모는 세계시장규모 대비 국내시장규모를 기준으로 산출
- 기준년도별 국내기업의 세계시장 점유율의 평균값을 최초 값으로 하여, 편익기간 종료시점까지 상승분 없이 일정한 것으로 가정

<표 Ⅵ-37> 분류별 국내기업 세계시장 점유율

| 구분 | 국내기업 점유율 | 기준년도 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 해저터널·인공섬 | 4.5% | 2018 | - |

■ 사업기여율

◉ 최근 4년간 NTIS 유사 과제 검색을 통해 관련 분야 정부 R&D 투자규모를 분석

- 민간 R&D 규모 산출을 위해 정부·공공재원 대비 민간재원의 비율*인 23.6:75.4 적용

* 2016년도 연구개발활동조사보고서

◉ 산출공식

- 사업기여율

$$= \frac{\text{본사업 투자규모}}{\text{본사업 투자규모} + \text{민간 } R\&D \text{ 규모} + \text{유사 정부 } R\&D \text{ 규모}}$$

$= 2.32\%$

<표 Ⅵ-38> NTIS 과제비 현황

(단위: 억원)

| 구분 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---|---|---|---|---|
| 과제비 합계 | 59.94 | 30.14 | 73.59 | 64.88 |

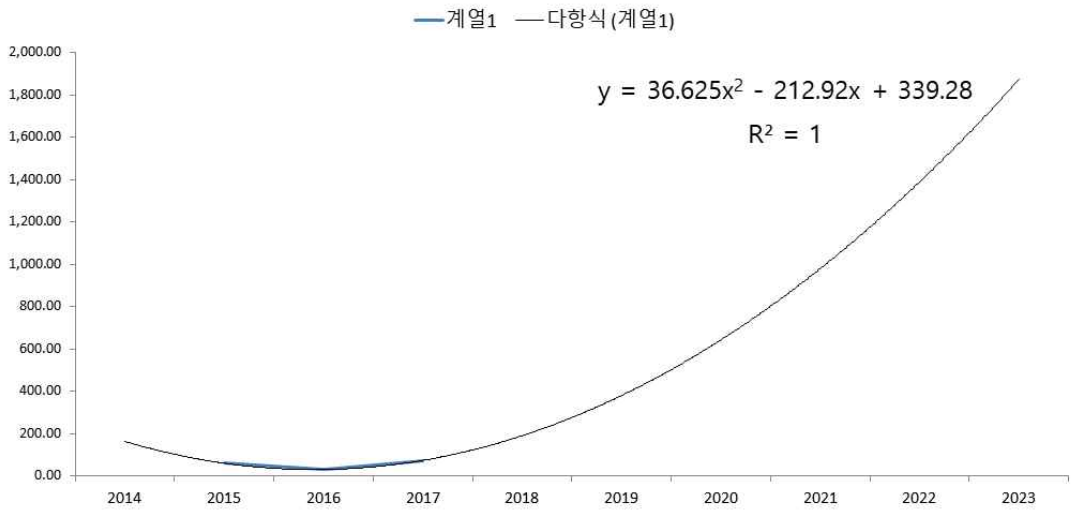
- 상기 데이터를 기반으로 본 사업이 추진/종료되는 2024년까지의 데이터를 추정하기 위해 추세분석을 실시

- 다항식형 방식을 활용하여, 2015년부터 2018년까지 데이터를 추정한 결과를 하기와 같이 산출

  * 추세분석에서 일반적으로 활용되는 분석 방법론(선형, 로그, 거듭제곱, 지수, 다항식(3차) 등) 중에서 '다항식 방식'을 채택

<표 Ⅵ-39> NTIS 과제비 추세분석 $R^2$ 값

| 구분 | 지수 | 선형 | 로그 | 다항식 | 거듭제곱 |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | 0.0482 | 0.0944 | 0.0453 | 1 | 0.0152 |




<그림 Ⅵ-7> NTIS 과제비 추세분석

<표 Ⅵ-40> NTIS 과제비의 추세분석 결과

(단위: 억원)

| 구 분 | 본사업 관련 과제비(NTIS) | 추세분석 결과 |
|---|---|---|
| 2015 | 59.94 | 163.0 |
| 2016 | 30.14 | 59.9 |
| 2017 | 73.59 | 30.1 |
| 2018 | 64.88 | 73.6 |
| 2019 | - | 190.3 |
| 2020 | - | 380.3 |
| 2021 | - | 643.5 |
| 2022 | - | 979.9 |
| 2023 | - | 1,389.6 |
| 2024 | - | 1,872.6 |

- 사업기간 2020년부터 2024년까지의 데이터를 합산하면 총 5,265.9억 원이 도출되며 본 사업의 민간재원의 비율(23.6:75.4)을 적용하여 민간R&D규모를 계산

$$\frac{\text{공공재원 비율 x 추세분석결과}}{\text{민간재원 비율}} = \frac{0.754 \times 5,265.9}{0.23.6} = 16,824$$

부가가치율

2014년 한국은행 산업연관표 투입산출표 기초가격 통합소분류 데이터를 활용하여 관련성이 높은 분야를 발췌하여 산정

<표 Ⅵ-41> 부가가치율

| 구분 | 부가가치율 |
|---|---|
| 건축보수 | 36% |
| 교통시설 건설 | 40.3% |
| 일반토목시설 건설 | 42.8% |
| 기타 건설 | 39.9% |
| 건축·토목 관련 서비스 | 55.8% |
| **전체 부가가치율** | **43.0%** |

# 제4절 비용편익 분석 종합

■ 동 사업의 총 비용 및 편익 추정을 통한 경제적 타당성 분석 결과 B/C Ratio는 1.02로 경제적 타당성을 확보한 것으로 판단

**<표 Ⅵ-42> B/C Ratio 산정공식**

| 세계 시장 × 국내시장 점유율 × 사업기여율 × R&D 기여율 × 사업화 성공률 × 부가가치율 |
|---|

**<표 Ⅵ-43> 총 비용 및 편익분석 결과**

(단위: 억 원)

| 연도 | 총비용 | | 총 편익 | |
|---|---|---|---|---|
| | 비용 | 현재가치 | 편익 | 현재가치 |
| 2020 | 99.7 | 95.41 | - | - |
| 2021 | 143.47 | 131.38 | - | - |
| 2022 | 146.33 | 128.23 | - | - |
| 2023 | 120.22 | 100.81 | - | - |
| 2024 | 86.13 | 69.12 | - | - |
| 2025 | | | | |
| 2026 | | | | |
| 2027 | | | | |
| 2028 | - | - | 75.52 | 50.82 |
| 2029 | - | - | 76.27 | 49.11 |
| 2030 | - | - | 76.97 | 47.43 |
| 2031 | - | - | 77.62 | 45.77 |
| 2032 | - | - | 78.24 | 44.15 |
| 2033 | - | - | 78.81 | 42.56 |
| 2034 | - | - | 79.36 | 41.01 |
| 2035 | - | - | 79.88 | 39.50 |
| 2036 | - | - | 80.37 | 38.03 |
| 2037 | - | - | 80.84 | 36.60 |
| 2038 | - | - | 81.29 | 35.22 |
| 2039 | - | - | 81.72 | 33.88 |
| 2040 | - | - | 82.13 | 32.59 |
| 합계 | 595.9 | 524.94 | 1,029.03 | 536.67 |

# 1. 과학기술적 기대효과

■ 旣 개발된 해저터널 건설 기술 고도화 및 실증 연구를 진행하여 상용화를 위한 기술 확보

◉ 해저터널 건설 기술을 확보했음에도 불구하고, 실제 적용이 가능한 프로젝트 부재로 산업적 한계에 직면한 상황에서 실증 연구 진행을 통한 새로운 성장동력 창출 및 세계시장 선점을 위한 경쟁우위 확보

◉ 기존의 사업단을 통해 개발된 재료 및 시공기술의 효과를 확인하기 위한 정부 차원의 Test-bed 성격의 실험 인프라를 마련하여 실적 마련

■ 해저터널 건설 기술 고도화 및 실증연구를 통해 기존의 해저터널 건설 기술의 완성도를 높이고 해저터널 건설 관련 산업의 성장을 견인할 경쟁력 확보 가능

◉ 해저터널 건설하기 위해 필수인 해저터널의 환기·방재용 인공섬 건설 기술 개발을 통해, 향후 미래 사회의 니즈에 부응할 수 있는 핵심 원천기술의 확보로 세계시장 선점

◉ 인공섬의 핵심 원천 기술의 개발로 그동안 어업 활동만 가능했던 해양을 국토의 확장 외에도 에너지 자원, 환경 자원 확보 등 다양한 방법으로 활용 가능

■ 일본 및 미국 등 선진국의 기술력에 의존하므로써 기술적으로 종속적인 문제점을 내포하고 있던 인공섬 건설 기술에 대한 독창적인 기술 확보로 국내 기술의 자립화 및 해외 의존에서 탈피

◉ 부유식 인공섬 건설 기술, 신재료 개발 기술, IT 기술을 활용한 환기·방재용 인공섬 건설 기술은 향후 본격적으로 인공섬 개발이 진행될 때 시행착오를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 타 산업에서도 활용도가 높음

◉ 특히 폐기물 처리와 관련하여 인공섬의 개발은 현실화될 경우 막대한 경제적인 이득 확보 가능

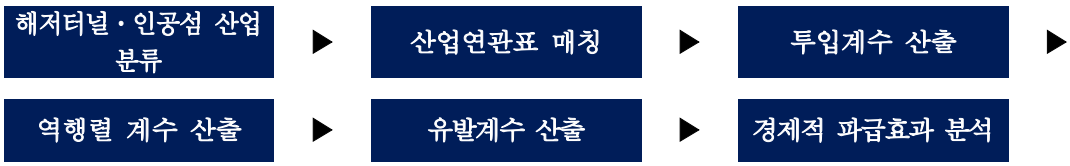
◉ 이를 기반으로 해저터널 및 인공섬 건설 분야에서 글로벌경쟁력 향상 및 브랜드 이미지 제고가 가능

# 2. 경제사회적 기대효과

## 가. 산업연관분석 개요

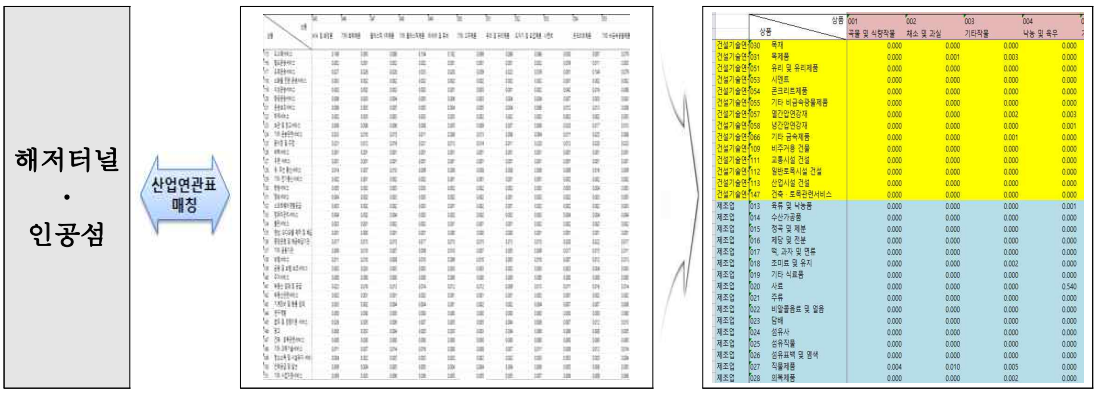
■ 한국은행 2014년 산업연관표를 활용하여 해저터널·인공섬 기술개발 분야의 유발계수를 도출하고, 각 분야별 경제적 파급효과를 분석

◉ 경제적 파급효과 분석 프로세스에 따라 유발계수 산출 및 경제적 파급효과를 분석




<그림 Ⅵ-8> 경제적 파급효과 분석 프로세스

- (해저터널·인공섬 분야 분류 및 산업연관표 매칭) 한국은행 2014년 산업연관표에서 통합소분류 기준 161개 부문에 대하여 해저터널·인공섬 분야에 해당되는 산업을 분류하여 매칭



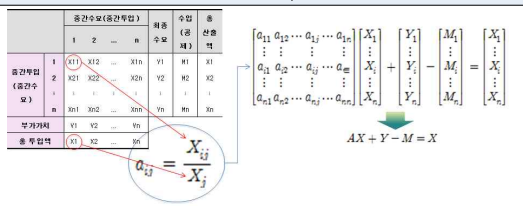

<그림 Ⅵ-9> 해저터널·인공섬 분야 분류 및 산업연관표 매칭

- (유발계수 산출) 산업연관표 상의 투입계수를 활용하여, 해저터널·인공섬 분야의 유발계수*를 산출

* 생산유발계수, 부가가치유발계수, 고용유발계수

- (경제적 파급효과 분석) 산출된 해저터널·인공섬 분야 유발계수를 통해 경제적 파급효과 분석

〈표 Ⅵ-44〉 투입계수 및 유발계수 산출방법

| 구분 | 산출방법 | 산출식 |
|---|---|---|
| 투입계수 | • 산업연관표상의 투입계수 활용<br>• 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 및 부가가치의 단위 |  |
| 생산 유발계수 | • 투입계수의 역행렬을 이용하여 생산유발계수 산출 | $X=(I-A)^{-1}(Y-M)$ |
| 부가가치 유발계수 | • 생산유발계수를 활용하여, 부가가치계수의 대각행렬을 이용 | $\widehat{A^s}(I-A^d)^{-1}=\begin{bmatrix}\widehat{A_1^s} & 0\\ 0 & \widehat{A_2^s}\end{bmatrix}(I-A^d)^{-1}$ |
| 소득 유발계수 | • 생산유발계수를 활용하여, 소득계수(피용자보수)의 대각행렬을 이용 | |
| 취업 유발계수 | • 생산유발계수를 활용하여, 취업계수의 대각행렬을 이용 | $\hat{l}(I-A^d)^{-1}=\begin{bmatrix}\hat{l_1} & 0\\ 0 & \hat{l_1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}B_{11} & B_{12}\\ B_{21} & B_{22}\end{bmatrix}$ |
| 고용 유발계수 | • 생산유발계수를 활용하여, 고용계수의 대각행렬을 이용 | |

## 나. 해저터널·인공섬 R&D 파급효과 분석결과

◉ 본 사업의 경제적 파급효과 분석을 용이하게 하고자 산업연관표상 통합소분류를 기준으로 산업을 재분류함

- 산업연관표상 해당 산업의 유발계수 값을 활용, 파급효과를 계측함

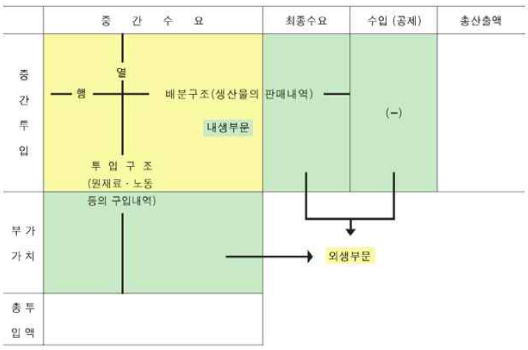
〈표 Ⅵ-45〉 해저터널·인공섬 관련 산업분야 분류표

| 용도 | | 소분류 |
|---|---|---|
| 해저터널·인공섬 기술개발 | | 건축보수 |
| | | 교통시설 건설 |
| | | 일반토목시설 건설 |
| | | 기타 건설 |
| | | 건축·토목 관련 서비스 |
| ※ 참고 | 1차 산업 | 1~9 |
| | 제조업 | 13~100 |
| | 건설 및 기타 | 101~114 |
| | 서비스 | 115~161 |
| | 전 산업 | 162 |

※ 자료 : 산업연관표 부문분류표(2014), 한국은행('18.11월 기준 최신자료)

**[참고] 산업연관분석의 개념[26)]**

- 산업연관표는 국민경제를 분석하기 위한 실증적 도구로서 미국 하버드 대학교 레온티에프 교수(Wassily W. Leontief)에 의하여 창시, 미국정부가 공식적으로 1947년 산업연관표를 최초로 작성한 후 영국(1948년표)과 일본(1951년표) 등을 포함한 많은 국가가 산업연관표를 작성하기 시작함
- 우리나라 산업연관표는 1958년 당시의 부흥부 산업개발위원회가 1957년 및 1958년을 대상으로 작성하면서 시작되었으며, 체계적인 형식과 내용을 갖추게 된 것은 한국은행이 1960년 산업연관표를 작성하면서 부터임
- 산업연관표는 일정기간(보통 1년) 동안 국민경제 내에서의 재화와 서비스의 생산 및 처분과정에서 발생하는 모든 거래를 행렬식으로 기록한 통계표임
- 산업연관표는 재화와 서비스의 거래를 산업 상호간의 중간재 거래부분, 각 산업부문에서의 노동, 자본 등 본원적 생산요소의 투입부분, 각 산업부문 생산물의 최종소비자에게로의 판매부분의 세 가지로 구분하여 기록
- 산업연관표의 세로방향은 각 산업부문의 투입구조, 가로방향은 배분구조를 나타냄
- 또한 산업부문 상호간의 거래인 중간수요와 중간투입을 기록하는 부분을 내생부문, 최종수요와 부가가치를 기록하는 부분을 외생부문으로 구분함




$$\begin{matrix} X_{11} + X_{12} + \cdots + X_{1n} + Y_1 - M_1 = X_1 \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ X_{i1} + X_{i2} + \cdots + X_{in} + Y_i - M_i = X_i \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ X_{n1} + X_{n2} + \cdots + X_{nn} + Y_n - M_n = X_n \end{matrix}$$

$X_i$ : I 부문의 산출액
$Y_i$ : I 부문의 최종 수요액
$M_i$ : I 부문의 수입액

- 산업연관분석은 생산, 고용, 소득 등 국민경제에 미치는 각종 파급효과를 구체화하여 분석할 수 있기 때문에 경제계획 수립과 예측 등에 유용한 분석도구로 널리 활용되고 있음

## (1) 산업별 유발계수 비교

■ 해저터널·인공섬 기술개발 분야는 공공성이 높은 산업 특성상 산업경제에 미치는 직접적인 파급효과가 타 산업에 비해 대체적으로 낮은 수준

◉ 해저터널·인공섬 유발계수 산출과 동일한 방법으로 건설업 및 전 산업(평균)의 유발계수를 산출하여 산업별 유발계수를 비교한 결과, 유발계수* 대체적으로 타 산업에 비해 낮은 수준으로 분석

- 생산유발계수와 부가가치유발계수가 타 산업군에 비해 낮음은 수입 영향이 크다는 것을 의미하며, 해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업의 목표가 '사업수주 연계 R&D 사업' 추진인 점을 고려 → 향후 해저터널·인공섬 관련 기술지원을 통해 파급효과의 지속적 성장이 기대

26) 2009년 산업연관표 해설(2011, 한국은행) 참고

* 생산유발계수, 부가가치유발계수, 고용유발계수

**<표 Ⅵ-46> 산업별 유발계수 비교 분석**

| 구분 | 생산유발계수 | 부가가치유발계수 | 고용유발계수 |
|---|---|---|---|
| 전 산업(평균) | 1.476 | 0.549 | 6.98 |
| 건설업(평균) | 2.173 | 0.721 | 10.2 |
| 해저터널・인공섬(평균) | 1.001 | 0.430 | 7.739 |

■ 생산유발효과

◉ 해저터널·인공섬 관련 산업군의 생산유발효과는 국내생산유발계수 $I-(A^d)^{-1}$형을 활용하여 추정

- 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형표는 순수한 국내 생산유발효과를 정확히 산출하였다고 볼 수 없으며,
- 따라서 국내생산유발효과를 더 정확하기 분석하기 위해서는 국산거래표로부터 도출한 생산유발계수표 $I-(A^d)^{-1}$형을 이용하는 것이 바람직하다고 판단
- 국산거래표의 수급방정식은 $A^dX+Y^d=X$이며, 이 식을 X에 대하여 풀면 생산유발관계식 $X=(I-A^d)^{-1}Y^d$가 도출

◉ 해저터널·인공섬 관련 산업군의 최종수요에 의한 생산유발효과를 나타내는 생산유발계수는 1.002로 나타남

◉ 국내 해저터널·인공섬 시장규모를 총수요액(Yd)으로 대입, 해저터널·인공섬 분야의 생산유발계수 값을 곱하여 전후방 산업에 대한 파급효과를 도출

- 생산유발효과 = 총수요액(Yd) × 해당산업 생산유발계수($I-(A^d)^{-1}$)

## 부가가치유발효과

- 해저터널·인공섬 관련 산업군의 부가가치유발효과는 부가가치계수 $\widehat{A^{A}}(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$을 활용하여 추정

- 부가가치벡터를 V, 부가가치계수의 대각행렬을 $\widehat{A^{A}}$라고 하면 $V=\widehat{A^{A}}X$의 관계식 성립, 이 식에 생산유발관계식 $X=(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$을 대입하여 $V=\widehat{A^{A}}(I-A^{d)^{-1}}Y^{d}$ 도출

  * 이 식에서 $\widehat{A^{A}}(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$을 부가가치유발계수 행렬이라 함

- 해저터널·인공섬 관련 산업군의 부가가치유발계수는 0.430으로 나타냄

- 국내 해저터널·인공섬 분야 시장규모를 총수요액(Yd)으로 대입, 해저터널·인공섬 분야 관련 산업군의 부가가치유발계수 값을 곱하여 전후방 산업에 대한 파급효과를 도출

- 부가가치유발효과 = 총수요액(Yd)×해당산업 부가가치유발계수($\widehat{A^{A}}(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$)

## 고용유발효과

- 해저터널·인공섬 관련 산업군에 대한 지출 증가가 어느 정도 고용을 유발하는지를 계측하기 위해 고용유발계수를 활용하여 추정

- 고용계수는 일정기간 동안 생산 활동에 투입된 산업별 노동량을 산업별 총 산출액으로 나눈 값으로 해당산업의 노동생산성을 의미

  * 어떤 산업의 고용계수가 전 산업의 평균 고용계수보다 크면 노동집약적, 작으면 자본집약적 산업으로 구분될 수 있음

$$I_i = L_i / X_i$$

li : I산업 부문의 고용계수
Li : I산업 부문의 노동투입량(고용인원)
Xi : I산업 부문의 총산출액

- 고용유발계수는 어떤 산업의 생산물 한 단위(산출액 10억원)증가로 인해 발생하는 직·간접 노동수요 증가량을 의미하며 총수요액(Yd)이 주어질 때 이를 충족하기 위해 필요한 노동량을 구할 수 있음

- 노동투입량은 $L=\hat{I}^{*}X$이며 우변에 생산유발관계식 $X=(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$을 대입하여 $L=\hat{I}^{*}(I-A^{d})^{-1}Y^{d}$을 도출

  * 이 식에서 $\hat{I}^{*}(1-A^{d})^{-1}$을 고용유발계수행렬이라 함

- 해저터널·인공섬 분야 관련 산업군의 고용유발계수는 6.25명이며, 해저터널·인공섬 산업에서 기타 건설분야가 18.008명으로 가장 높은 계수를 나타냄

- 해저터널·인공섬 분야 총수요액(Yd)과 관련 산업군의 고용유발계수 평균값을 곱하여 전후방 산업에 대한 파급효과를 도출

- 고용유발효과 = (총수요액(Yd)/10억 원)×해당산업 고용유발계수($\hat{I}^*(1-A^d)^{-1}$)

## (2) 종합결과

■ 본 사업은 2028년부터 2040년까지의 기간 동안 생산유발효과(1,113,269억원), 부가가치유발효과(478,228억원), 고용유발효과(860,698명)를 나타낼 것으로 추정

- 생산유발계수와 부가가치유발계수는 어떤 산업부문의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때 이를 충족하기 위하여, 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준과 부가가치 단위를 나타냄

- 고용유발계수는 어떤 산업부문의 최종수요가 일정금액(10억원) 증가할 경우, 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 고용자수를 나타내며, 상기 분석결과는 단위를 환산하여 제시(억원)

**<표 Ⅵ-47> 지정품목 연관 산업의 산업연관계수**

| 구 분 | 계 수 |
|---|---|
| 생산유발계수 | 1.001 |
| 부가가치율 | 0.430 |
| 고용유발계수 | 7.739명/10억원 |

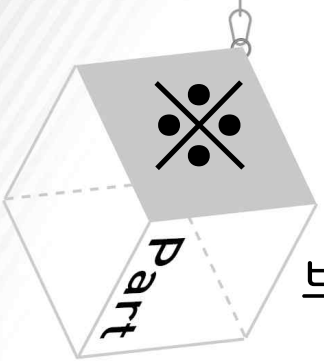
〈표 Ⅵ-48〉 ‘해저터널·인공섬 자립건설 기술개발사업’ 경제적 파급효과

(단위 : 억 원, 명)

| 구 분 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 매출 추정액 | 81,626.1 | 82,435.4 | 83,188.7 | 83,893.5 | 84,555.5 | 85,179.6 | 85,770.0 |
| 생산 유발효과 | 81,707.7 | 82,517.8 | 83,271.9 | 83,977.4 | 84,640.0 | 85,264.8 | 85,855.8 |
| 부가가치 유발효과 | 35,099.2 | 35,447.2 | 35,771.2 | 36,074.2 | 36,358.9 | 36,627.2 | 36,881.1 |
| 고용 유발효과 | 63,170.4 | 63,796.7 | 64,379.7 | 64,925.1 | 65,437.4 | 65,920.5 | 66,377.4 |
| **구 분** | **2035** | **20306** | **2037** | **2038** | **2039** | **2040** | **합계** |
| 매출 추정액 | 86,330.2 | 86,862.9 | 87,370.9 | 87,856.3 | 88,321.1 | 88,766.8 | 1,112,157 |
| 생산 유발효과 | 86,416.5 | 86,949.8 | 87,458.3 | 87,944.2 | 88,409.4 | 88,855.6 | 1,113,269 |
| 부가가치 유발효과 | 37,122.0 | 37,351.1 | 37,569.5 | 37,778.2 | 37,978.1 | 38,169.7 | 478,228 |
| 고용 유발효과 | 66,810.9 | 67,223.2 | 67,616.3 | 67,991.9 | 68,351.6 | 68,696.6 | 860,698 |

| 합 계 | | | |
|---|---|---|---|
| **매출추정액** | **생산유발효과** | **부가가치유발효과** | **고용유발효과** |
| 1,112,157 | 1,113,269 | 478,228 | 860,698 |

* 본 사업은 R&D 이후 회임기간을 지난 시점부터 8년간(2028~2040년) 발생되는 사업화매출액을 기준으로 경제적 파급효과를 추정




# 부록

[부록 1] 기술수요조사지

[부록 2] 기술수준 평가지

[부록 3] 기술우선순위 평가지

[부록 4] 투자의향서

# ※ 부록

## [부록 1] 기술수요조사지

### 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 기술수요조사

안녕하십니까?
귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업은 초광역권 경제시대를 주도하는 국토교통 분야의 핵심 주력산업으로 가치의 전환·거대함을 실현하기 위한 수평적인 연결과 확장의 핵심기술개발을 말합니다.

최근 세계적으로 보다 안정적이고 경제적인 인적·물류 운송시스템을 확보하기 위한 방안으로 국가 또는 대륙·도서 간을 잇는 해저터널에 대한 관심이 증가하는 추세입니다. 이미 미국, 일본, 유럽 등을 중심으로 대규모 해저터널 프로젝트가 발주되고 있음에도 불구하고, 선진국과 달리 국내 기업의 해외 해저터널 사업화 실적은 미비한 상태입니다.

따라서, 기존 연구를 통해 개발된 핵심요소기술의 현장검증(Test-bed) 및 해외시장 진출을 위한 고부가가치 엔지니어링 기술을 개발하고 향후 해외시장 수주 독점영역 창출 및 수익성 제고를 위해 해외수요가 높은 공종(ex. 해저터널, 인공섬 기술개발) 등 집중개발 전략이 필요합니다.

현재 **국토교통과학기술진흥원**에서는 해저터널·인공섬 기술개발을 통한 중장기적 R&D 추진동력 확보 및 다양한 국토 인프라를 구축하여 글로벌 경쟁우위를 유지하고 선도시장을 개척하고자 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"**이라는 국가연구개발사업을 기획하고 있습니다.

본 기획은 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 해저터널·인공섬 핵심기술 및 **Track-record**를 확보함으로써 국가경쟁력 제고를 도모하는데 그 목적이 있습니다.

이에 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"** 기획에 필요한 요소기술 발굴을 위해 산업계, 학계 및 연구계의 수요를 조사하고 있습니다.

본 조사의 결과는 향후 기술개발을 위한 국가지원으로 이어질 수 있으니 바쁘시더라도 시간을 할애하시어 **10월 26일(금)**까지 설문에 적극 협조 부탁드립니다.

아울러 본 조사는 통계법 제33조, 제34조에 근거하여 본 기획 사업 수행 이외의 목적으로 사용되지 않음을 알려드리며, 응답된 자료는 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"** 기획에 중요한 자산이 될 것임을 약속드립니다.

감사합니다.

2018. 10. 12

㈜다원전략컨설팅, (재)한국건설생활환경시험연구원

☞ 문의처
- (주)다원전략컨설팅 황혜림 전임
  : ☎ 070-4404-6652 / E-mail: hrhwang@dawin99.com
- (재)한국건설생활환경시험연구원 김주형 선임연구원
  : ☎ 02-2102-2762 / E-mail: kjhmole@kcl.re.kr

**본 설문은 총 5페이지로 구성되었습니다.**

## Ⅰ 응답자 현황

| | | | |
|---|---|---|---|
| 기관/회사명 | | | |
| 소재지* | | 기관형태** | |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 전화번호 | 사무실 : | 이메일 | |
| | 휴대폰 : | | |

* 소재지 : 1.서울 2.인천 3.부산 4.대구 5. 광주 6.대전 7.울산 8.강원 9.경기 10.경남 11.경북 12.전남 13.전북 14.충남 15.충북 16.제주 17.세종

** 기관 형태 : 1.대기업 2.중소/중견기업 3.대학 4.연구기관 5.기타

- 응답자의 인적사항은 설문응답에 미진한 점이 있을 때 응답자에게 다시 확인하기 위한 정보를 구하는 것으로, 그 외의 목적으로는 사용되지 않습니다.
- 본 수요조사는 귀 기관의 연구개발 및 기술관련 사항과 관련할 수 있으므로 R&D 관련 부서 책임자의 우선 협의 후 작성해 주시면 감사하겠습니다.

## Ⅱ 해저터널·인공섬 관련 정부 지원사업 참여 경험

1. 귀 기관은 정부가 지원하는 해저터널·인공섬 관련 사업에 참여한 경험이 있습니까?

| | |
|---|---|
| ① 있다 (2번 문항으로 가기) ( ) | ② 없다(Ⅲ. 기술수요조사로 가기) ( ) |

2. 귀 기관이 참여한 국가연구개발사업을 통해 확보한 기술에 대해 향후 어떻게 활용할 계획(혹은 활용 중)이십니까?

| | | |
|---|---|---|
| ① 추가 R&D 진행 | ② 기술이전 계획 및 준비 중 | ( ) |
| ③ 기술이전 추진 중이거나 완료 | ④ 사업화를 위한 준비 중 | |
| ⑤ 사업화 추진 중 | ⑥ 기술이전/사업화 포기 | |
| ⑦ 기타 ( ) | | |

3. 국가연구개발사업을 수행하는 과정 및 사업화 하는데 발생한(혹은 발생할 것으로 예상되는) 애로사항에 대해, 다음 항목 중 상위 3순위 까지 선택하여 주십시오.

| | |
|---|---|
| ① 핵심원천기술 확보의 어려움 | |
| ② 시험/인증 등 기술 개발을 위한 시설/장비 부족 | |
| ③ 핵심 개발인력의 부족 | |
| ④ 개발된 제품의 낮은 경쟁력 | 1순위 ( ) |
| ⑤ Value chain 간 연계 부족으로 인한 수요처 확보의 어려움 | 2순위 ( ) |
| ⑥ 법/제도적 한계로 인한 제품 출시의 어려움 | 3순위 ( ) |
| ⑦ 후속사업으로의 연계의 한계 | |
| ⑧ 기타 ( ) | |

## III 기술수요조사

※ 본 사업에서는 해저터널·인공섬과 관련하여 아래와 같이 기술 제안 분야를 설정하였습니다.
아래 내용을 확인하시고 전문 분야에 대한 제안 기술을 작성해주시기 바랍니다.
※ 추가 제안 시 양식을 복사하여 작성하여 주시기 바랍니다.

| 대분야 | 중분야 | |
|---|---|---|
| [A] 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계 및 시공 핵심 요소기술 고도화 | (A-1) | 6D BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 |
| | (A-2) | 해저터널 정밀제어 시공 자동화 및 리스크저감 기술 고도화 |
| | (A-3) | 해저터널 건설용 첨단재료, 요소 및 서브시스템 개발 |
| [B] 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기/화재대응 및 예방적 유지관리 기술 개발 [환기, 화재대응, 유지관리] | (B-1) | 스마트 환기/화재안전 통합 제어 시스템 구축 기술 |
| | (B-2) | RAMS* 기반 해저터널 성능위주설계 및 평가 기술 |
| | (B-3) | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 |
| [C] 초장대 해저터널 건설을 위한 인공섬 기술 개발 | (C-1) | 착저식 인공섬 설계/시공 기술 |
| | (C-2) | 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 |
| | (C-3) | 복합형 인공섬 운영 및 유지관리 기술 |

(* RAMS : Reliability, Availability, Maintainability and Safety)

| 제안기술명 | ※ 제안하는 기술의 가장 핵심적인 내용을 표현 |
|---|---|

| 기술의 정의 | ※ 제안하는 기술에 대한 정의 및 개념 소개 |
|---|---|
| 기술 분류 | □ A-1 □ A-2 □ A-3<br>□ B-1 □ B-2 □ B-3<br>□ C-1 □ C-2 □ C-3<br>※ [3page] 기술수요조사 대분야 및 중분야 코드 참고 |
| 제안 기술 키워드 | ※ 제안하는 기술과 관련된 키워드 5개 이상 |

| 기술개발 목표 | ※ 제안 기술과의 기술 개발 목표<br>(최종 얻을 수 있는 재료/제품, 시스템, 공법/기법, 소프트웨어, 장비/장치, 성능평가법 등) |
|---|---|
| 기술개발 내용 | ※ 제안하는 기술에 대한 세부과제 수준의 내용 및 연구범위 제안 |
| 최종 성과물 | ※ 개발 재료 또는 시스템의 성능 값을 정량적으로 작성 |
| 유사선행연구 | ※ 기존에 수행된 유사 선행 연구 작성 |
| 제안기술의 차별성 | ※ 기존 기술과의 차별성 제시 |
| 기술개발단계 (붙임 참고) | 현재 TRL : ( ), 개발 완료 후 TRL : ( ) |
| 기술개발수준 | ※ 최고 기술 보유 국가 / 최고 기술 보유 기관 (대학, 연구소, 기업 등) /<br>최고 기술대비 현재 기술 수준 (%) / 개발 완료 후 기술 수준 (%) |
| 연구기간 및 비용 | 소요 기간: ( )년, 예산: ( )억원<br>※ 예상되는 연구개발과제의 소요기간 및 예산을 기입해주십시오. |

## 붙임 TRL 단계별 정의

※ TRL(Technology readiness Level) : 핵심요소기술의 기술적 성숙도에 대한 일관성 있는 객관적인 지표

국토교통 R&D 사업은 TRL 2단계~7단계까지 범위의 사업

[ TRL 단계별 정의 ]




[ TRL 단계별 평가지표 예시 ]

| 단계 | TRL 단계 | | | 단계별 정의 |
|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | 기초연구 | 1 | 【기초실험】 기본원리발견 | -기초이론 정립 단계 |
| | | 2 | 【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립 | -기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계 |
| 응용연구 | 실험 | 3 | 【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증 | -실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계<br>-개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하는 단계 등 |
| | | 4 | 【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발 | -시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계<br>-3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택하는 단계<br>-컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계 |
| 개발연구 | 시제품 | 5 | 【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증 | -확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계<br>-개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제품 샘플은 1~수개 미만인 단계<br>-경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계 |
| | | 6 | 【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발 | -파일럿 규모(수개~양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계<br>-파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량 생산수율 불량률 등 제시<br>-파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계<br>-생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장테스트를 실시하여 목표 성능을 만족시킨 단계<br>-성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보 |
| | 실용화 | 7 | 【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모 | -실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계<br>-장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파일롯 시제품을 현장평가(성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가)<br>-가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등 |
| | | 8 | 【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증 | -표준화 및 인허가 취득 단계 |
| - | 양산 | 9 | 【사업화】 상용제품생산 | -본격적인 양산 및 사업화 단계 |

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

**년 월 일**

○ 주 소:

○ 회사명:

[연매출액: (천원), 연구개발 비중: (%)]

○ 대표자: (직인)

# [부록 2] 기술수준 평가지

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 *기술수준 평가*

안녕하십니까?

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

본 설문조사에서는 국가연구개발사업 기획의 일환인 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"과 관련하여 핵심기술의 기술수준을 평가**하고자, 관련된 전문가님을 대상으로 기술의 국가별 비교, 기술격차 추세 등에 대한 평가를 실시하고자 합니다.

본 조사의 **결과는 향후 사업기획의 정책적 의사결정에 기여**될 수 있으니, 바쁘시더라도 잠시만 시간을 할애하시어 설문에 협조해 주실 것을 부탁드립니다.

**아울러 본 조사의 내용은 통계법 제33조, 34조**에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 설문에 대한 모든 내용은 본 사업 수행 이외의 목적 이외에는 절대 사용되지 않음을 알려드립니다. 응답해주신 모든 내용은 본 사업 기획에 중요한 자산이 될 것임을 약속드립니다.

본 조사는 **1월 29일(화) 오전 11시까지 하단의 이메일로 회신**하여주시기 바랍니다. 조사와 관련하여 문의사항이 있으신 경우, 아래의 연락처로 연락주시면 상세히 답변해 드리도록 하겠습니다.
감사합니다.

※ 평가에 성실히 응답해 주신 모든 분들께 **소정의 평가비를** 지급해드립니다.

■ 주관기관 : 국토교통과학기술진흥원
■ 문 의 처 : (주)다원전략컨설팅 황혜림 전임
TEL 070)4404-6652, FAX 02)562-5569
(재)한국건설생활환경시험연구원 김주형 선임연구원
TEL 02)2102-2762
■ e-mail : hrhwang@dawin99.com

2019년 1월 16일

## Ⅰ. 응답자 정보

문) 귀하(응답자)의 정보를 기입해 주시기 바랍니다.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 소속기관명/회사명 | | | |
| 소속기관/회사 형태(선택) | □대기업 □중견기업 □중소기업 □대학 □연구기관 □공공기관 □기타( ) | | |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 사무실 전화번호 | | 휴대폰 번호 | |
| e-mail 주소 | | | |

## Ⅱ. 기술분야 및 평가개요

★ [기술분야] 해저터널·인공섬과 관련하여 아래와 같이 기술분야를 설정하였으며, 기술은 2개 대분야와 7개 중분야로 구성됩니다.

★ [평가개요] ***기술수준은 중분야(7건)를 기준으로 평가***되며, 아래의 중분야와 기술 예시를 참고하시어, 각각의 중분야 기술에 대한 기술수준 평가 내용을 모두 작성하여 주시기 바랍니다.

→ 본 평가는 총 8개 문항(각 기술별)으로 구성되어 있습니다.

| 대분야 | 중분야(평가기준) | 기술 예시 |
|---|---|---|
| [A] 해저터널 건설시장 선도를 위한 설계, 시공 및 유지관리 핵심 요소기술 고도화 | [A-1] BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축 | • BIG DATA 기반 TBM터널 전방 조사/예측 및 굴진 시스템 개발<br>• 해저터널 시공을 위한 완전정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 기술 개발<br>• BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 |
| | [A-2] 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화 | • 지진/고수압 및 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발<br>• 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발<br>• 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발<br>• 터널 시공 중 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발<br>• 터널 내 공동구 급속시공 기술 개발 |

| 대분야 | 중분야(평가기준) | 기술 예시 |
|---|---|---|
| | [A-3]<br>해저터널 스마트 케어 시스템 | ◆ IoT기반 이동식 자동화 점검/진단 장비 개발<br>◆ 구조물 상태 및 성능평가를 위한 고정식 모니터링 센서 개발<br>◆ 빅데이터 기반 구조물 열화 및 상태 예측 모델 개발<br>◆ 자산관리기반 내염 보수 재료 및 시공장비 개발 |
| | [A-4]<br>자산관리기반 유지관리 시스템 | ◆ BIM기반 유지관리 빅데이터 플랫폼 구축<br>◆ 딥러닝(Deep Learning)을 활용한 구조물 성능평가 시스템 구축<br>◆ 생애주기(LCC)기반 구조물 및 부속시설물 유지관리 의사결정 시스템 구축<br>◆ 해저터널 자산관리 모델 및 3D 가시화 모델 개발 |
| [B]<br>해저터널의 효율적 시공 및 안전한 환기·방재를 위한 해상공간 창출형 인공성 기술 개발 | [B-1]<br>해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술 | ◆ 해양구조물에 최적화된 한계상태 설계기술 개발<br>◆ 해양구조물의 안정성 평가 및 확보 기술<br>◆ 모듈형 프리캐스트 구조체 자동화 시공기술<br>◆ 해양환경 특성을 반영한 초경량·고강도 콘크리트 기술<br>◆ 극한환경 대응 가능한 내구성 확보 기술 |
| | [B-2]<br>해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술 | ◆ 부유식 구조물의 부유체 및 연결부 설계 기술<br>◆ 부유식 구조물 고정을 위한 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술<br>◆ 부유식 구조물 이송 및 설치 핵심기술<br>◆ 해양하중에 의한 부유체 구조적 안정성 확보 기술 |
| | [B-3]<br>안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술 | ◆ 에너지 절감형 환기/화재안전 설비 통합 운영 및 제어 시스템 기술<br>◆ AI 기반 해저터널 화재예방 및 조기경보시스템 개발<br>◆ RAMS 기반 해저터널 성능위주 설계/평가 기술 개발<br>◆ 해저터널 내 차세대 동력원(전기, H2 등) 차량의 화재/폭발 위험성 평가 및 안전 기술<br>◆ 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 가압 시스템 개발 |

# 기술수준 평가지

## 기술명: (1) BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축

## 1. 'BIM 플랫폼기반 조사, 설계 및 시공 통합관리시스템 구축기술' 의 기술수준 평가

문1.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문1.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 5개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

# 기술명: (2) 해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화

## 2. '해저터널 급속시공을 위한 첨단재료개발 및 시공기술 고도화기술' 의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 – 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 5개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0-100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

# 기술명: (3) 해저터널 스마트 케어 시스템

## 2. '애저터널 스마트 케어 시스템 기술'의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 6개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

## 기술명: (4) 자산관리기반 유지관리 시스템

## 2. '자산관리기반 유지관리 시스템기술'의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 6개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

## 기술명: (5) 해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계·시공 기술

## 2. '해저터널의 효율적 시공을 위한 착저식 인공섬 설계 · 시공 기술'의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 6개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? ( )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

## 기술명: (6) 해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계·시공 기술

## 2. '해상공간 창출을 위한 부유식 구조물 설계 · 시공 기술' 의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 6개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요되는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 기술수준 평가지

## 기술명: (7) 안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술

## 2. '안전한 해저터널 구축을 위한 스마트 환기 및 화재 대응 기술'의 기술수준 평가

문2.1) 귀하는 해당 기술에 대한 전문지식을 어느 정도 습득하고 있습니까? (  )

① 해당 기술에 대하여 잘 알고 있으며 경험이 풍부함 (경력 7년 이상)
② 해당 기술에 대하여 적정한 전문지식을 가지고 있음 (경력 3년 ~ 7년)
③ 해당 기술에 대하여 기본적인 지식을 확보하고 있음 (경력 3년 미만)

문2.2) 해당 기술에 대한 상대적 기술수준과 기술격차에 대해 평가해 주시기 바랍니다.

[참고]

(1) 최고기술보유국(100%): 괄호 빈칸에 국가명 작성을 부탁드립니다.

(2) 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준: 6개 국가를 제외한 기타 국가는 괄호 빈칸에 주관식으로 작성 부탁드리며, 기술수준은 아래표를 기준으로 최고 기술 보유국 대비 주요국가의 기술수준을 0~100점까지 1점 단위로 괄호 빈칸에 기입해주시기 바랍니다.

| 점수 | 수준 정도 |
|---|---|
| 81점~99점 | 최고 기술 보유국 수준에 근접하거나 대등한 기술 및 개발 능력을 보유 |
| 61점~80점 | 최고 기술 보유국 수준까지 자체 개발할 능력을 상당부분 보유하고 있으며 잠재력을 대외적으로도 인정받음 |
| 41점~60점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 능력 일부 보유 |
| 21점~40점 | 최고 기술 보유국 수준에 도달하기 위한 일부 기반 기술은 있으나 개발능력 불확실 |
| 0점~20점 | 최고 기술 보유국 수준까지 개발할 기반 기술 및 개발능력이 없거나 매우 취약 |

(3) 최고기술보유국과의 기술격차: 최고기술보유국의 현재 수준에 도달하는데 소요는 시간을 주관식으로 작성해주시기 바랍니다.

| 최고기술보유국(1) | (  )/ 100% | |
|---|---|---|
| 항목 / 국가 | 최고기술보유국 대비 주요국 기술수준(2) | 최고기술보유국과의 기술격차(3) |
| 대한민국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 미 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 일 본 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 유 럽 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| 중 국 | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |
| (  ) | (  )% | (  )년 (  )개월 |

문2.3) 해당 기술의 기술격차 주요 원인이 무엇인지 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바라며, 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| | 항 목 | 전혀 주 않음 | 거의 주요하지 않음 | 보통 | 약간 주요한 요인 | 매우 주요한 요인 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 기술 격차 요인 | 연구개발 자금 부족 | | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 인력 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기반 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 정부지원정책 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 연구개발 기술정보 부족 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 개발된 기술의 실용화 미흡 | □ | □ | □ | □ | □ |
| | 산·학·연 협력 취약 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.4) 해당 기술의 국내 및 국외 발전단계를 평가해주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 해당되는 칸에 ■표 또는 √표를 기입해주시기 바랍니다.

| 단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 개발기 | 기술이 개발되고 있는 단계 |
| 도입기 | 기술이 개발되어 시장에 처음 진입하는 단계 |
| 성장기 | 신기술이 본격적으로 상용화 되는 단계 |
| 성숙기 | 어느 정도 기술의 우수성을 인정받아 다양하게 기술이 응용되는 단계 |
| 쇠퇴기 | 기술의 우수성이 떨어져 그 가치가 하락하는 단계 |

| 구 분 | 개발기 | 도입기 | 성장기 | 성숙기 | 쇠퇴기 |
|---|---|---|---|---|---|
| 국 내 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 국 외 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.5) 해당 기술의 연구단계 수준 정도를 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해 주시기 바랍니다.

[참고]

※ 아래표를 참고하시어 각각의 항목에 대해 모두 응답하여 주시기 바랍니다.

| 연구단계 | 상세설명 |
|---|---|
| 기초연구 | 특별한 응용, 용도를 직접적으로 고려하지 않고 가설이나 이론을 형성하기 위해 또는 관찰 가능한 사실에 관한 아이디어를 얻기 위해 행하는 이론적 실험적 연구 |
| 응용연구 | 기초연구에서 얻어진 아이디어를 활용하여 특정한 목표를 정해서 실용화의 가능성을 확보하기 위한 연구와 이미 실용화되어 있는 방법에 관해서 신응용법을 탐구하는 연구 |
| 개발연구 | 기초연구, 응용연구 및 실제의 실험에서 얻어진 지식을 이용하여 신 재료, 장치, 제품, 시스템, 공정 등의 도입 또는 개량을 목표로 하는 기업화 탐구 연구 |

| 연구단계 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 기초연구 | | □ | □ | □ | □ |
| 응용연구 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 개발연구 | □ | □ | □ | □ | □ |

문2.6) 해당 기술의 기술적 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.6-1) 해당 기술의 권리 보유형태는 어떠합니까? ( )

① 특허, 품종등록 ② 실용 실안 ③ 상표의장 ④ 인증 ⑤ 기타

문2.6-2) 해당 기술의 신규성 및 독창성은 어떠합니까? ( )

① 완전 독창적(유사기술 전혀 없음) ② 독창적 부분 많음
③ 일부 독창 부분 확보 ④ 유사 기술 약간 존재
⑤ 유사 기술 많음

문1.6-3) 해당 기술의 모방난이도는 어떠합니까? ( )

① 국내외 모두 기술 모방 어려움 ② 국내에서 기술 모방 어려움
③ 모방 시 난점 존재 ④ 모방 가능성 있음
⑤ 대체기술존재, 기술 노하우 쉽게 얻을 수 있음

문2.6-4) 해당 기술의 파급성(타산업, 제품, 관련 연구 전반에의 응용가능성)은 어떠합니까? ( )

① 해당기술 응용성 큼 ② 해당기술 응용성 어느 정도 있음
③ 일부 분야에 응용가능성 있음 ④ 파급성 미약
⑤ 파급성 없음

문21.7) 해당 기술의 경쟁력 수준에 대해 평가해주시기 바랍니다.

문2.7-1) 해당 기술의 인력확보, 숙련도 여건은 어떠합니까? ( )

① 숙련도 높은 인력 과다 ② 숙련도 높은 인력 많은 편임
③ 숙련도 높은 인력 적당히 있음 ④ 숙련기술 인력 극소수
⑤ 인력부족 극심

문2.7-2) 해당 기술의 국내외 기술, 시장정보 확보 여건은 어떠합니까? ( )

① 필요정보 확보 여건 우위 ② 필요정보 확보 여건 쉬운 편
③ 정보 확보 여건 보통 ④ 정보 획득 어려움
⑤ 정보미약

문2.7-3) 해당 기술의 문제 해결을 위한 인프라 여건은 어떠합니까? (  )

① 문제해결을 위한 여건 충분
② 보통이상 인프라 수준
③ 지원 인프라 보통
④ 어렵지만 해결 가능 인프라
⑤ 지원 인프라 취약

문2.8) 해당 기술의 성과 관련 영향력(파급효과)정도는 어떠합니까? 해당되는 칸에 ■표 또는 √표로 기입해주시기 바랍니다.

| 항 목 | 매우 낮음 | 낮음 | 보통 | 높음 | 매우 높음 |
|---|---|---|---|---|---|
| 해당 기술을 개발하거나 사회적으로 적용하기 전에 기술과 관련된 사회적 합의 및 공감대 형성이 필요한지의 여부 | | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술을 개발하고 사회적으로 적용하는 단계에 있어 이해관계를 갖는 여러 집단의 상이한 이해관계가 존재하는지의 여부 | □ | □ | □ | □ | □ |
| 해당 기술이 사회구성원, 사회·문화적으로 미치는 영향(삶의 질 향상) 및 파급효과의 크기 | □ | □ | □ | □ | □ |

◆ 작성이 끝난 설문지는 이메일 hrhwang@dawin99.com로 보내주시기 바랍니다.
끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

## [부록 3] 기술우선순위 평가지

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 *기술 우선순위 평가*

안녕하십니까?

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

본 설문조사에서는 국가연구개발사업 기획의 일환인 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"과 관련하여 핵심기술의 우선순위를 선정**하고자, 관련된 전문가님을 대상으로 기술의 시장성, 기술성 등에 대한 평가를 실시하고자 합니다.

본 조사의 **결과는 향후 기술개발을 위한 국가지원**으로 이어질 수 있으니, 바쁘시더라도 잠시만 시간을 할애하시어 설문에 협조해 주실 것을 부탁드립니다.

**아울러 본 조사의 내용은 통계법 제33조, 34조**에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 설문에 대한 모든 내용은 본 사업 수행 이외의 목적 이외에는 절대 사용되지 않음을 알려드립니다. 응답해주신 모든 내용은 본 사업 기획에 중요한 자산이 될 것임을 약속드립니다.

본 조사는 **12월 14일(금) 오전 11시까지 하단의 이메일로 회신**하여주시기 바랍니다. 조사와 관련하여 문의사항이 있으신 경우, 아래의 연락처로 연락주시면 상세히 답변해 드리도록 하겠습니다.
감사합니다.

■ 주관기관 : 국토교통과학기술진흥원
■ 문 의 처 : (주)다윈전략컨설팅 황혜림 전임 TEL 070)4404-6652, FAX 02)562-5569
(재)한국건설생활환경시험연구원 김주형 선임연구원 TEL 02)2102-2762
■ e-mail : hrhwang@dawin99.com

2018년 12월 10일

## Ⅰ. 응답자 정보

| | | | |
|---|---|---|---|
| 소속기관명/회사명 | | 소속기관/회사 형태 (선택) | □대기업 □중견기업 □중소기업 □대학 □연구기관 □공공기관 □기타( ) |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 사무실 전화번호 | | 휴대폰 번호 | |
| e-mail 주소 | | | |

## Ⅱ. 평가지표 설명

★ 2개의 평가항목과 5개의 평가지표로 구성

| 평가항목 | 지표 | |
|---|---|---|
| | 평가지표 | 지표설명 |
| 기술개발 필요성 | 시장성장성 | • 기술개발에 의한 국내외 시장성장 및 향후 발전 정도 |
| | 정책부합성 | • 상위정책 및 관련 계획 등에 부합되는 정도 |
| | 기술파급성 | • 기술개발 후 타 시장으로의 확장 적용가능성(기술의 폭과 깊이) |
| 기술개발 시급성 | 시의적절성 | • 해당 기술의 발전도에 따른 기술개발의 시급성 정도 |
| | 개발여건 성숙도 | • 기술개발 성공을 위한 국내 R&D역량 정도 |

## Ⅲ. 지표별 평가

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 해저터널 및 인공섬 분야의 기술 우선순위를 선정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 각 기술(총 00개 기술)과 관련하여 평가지표에 대한 점수를 기입해주시기 바랍니다.

★ 평가점수 기준은 10점/만점입니다.

| 아주낮음 | <---------- | 낮음 | ---------- | 보통 | ---------- | 높음 | ----------> | 아주높음 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| ex | *A 기술* | - | *10* | *5* | *8* | *6* | *4* |
| 1 | Big data 기반 TBM터널 굴착면 전방 조사기술 | TBM굴진시 취득되는 정보(굴진속도, 진동, 회전력 등)를 기반으로 한 굴착면 전방의 지반조건 예측기술 | | | | | |
| 2 | 지질 자율반응 굴진 TBM 시스템 개발 | 지질과 반응하는 TBM 장비의 각종 데이터 조합을 장비 스스로 판단하여 최적의 조건으로 제시 가능한 시스템 구축 | | | | | |
| 3 | 초장대 해저터널의 안전시공을 위한 TBM 전주기 운전정보 4D 가시화 기술 | 해저터널 건설 대상 지반정보를 바탕으로 3D 가시화 지반정보를 구축하고 TBM 굴착 시 굴진공정 등이 실시간으로 업데이트되어, TBM 운전자가 굴진상황에 따라 막장압 예측과 공정관리가 실시간으로 가능하도록 굴착공정과 연계된 4D 가시화 시스템 | | | | | |
| 4 | 완전 정보(Full information) BIM 구현 기반 설계 및 시공 관리 통합플랫폼 개발 | 해저터널·인공섬의 BIM 설계 시 설계에 필요한 다양한 정보 및 구조해석이 BIM 객체와 연동이 가능하도록 하는 것이며, 시공 정보의 통합관리가 가능한 BIM기반 통합플랫폼 개발 | | | | | |
| 5 | BIM 데이터 기반 설계-시공 비교 실시간 리스크 관리 AR 시스템 개발 | 시공중 ASKG은 변수로 인해 설계 일부변경 상황 발생, 시공중 리스크 관리, 설계에 따른 시공을 하지 않은 상태에서 발생하는 안전문제 해결을 위한 핵심 기술 | | | | | |
| 6 | 해저터널 시공 중 쉴드TBM 주변 고수압 파쇄대/막장상태 예측기법 개발 | 전기비저항/시공데이터를 이용한 쉴드TBM 근거리의 해저 고수압 파쇄대 및 막장상태 예측기법 | | | | | |
| 7 | 지진/고수압 포함 복합 지반환경 대응형 세그먼트라이닝 시스템 개발 | 지진, 고수압, 다양한 지중응력 및 지층의 복합조건하에서의 최적성능발휘 세그먼트라이닝 시스템 개발 | | | | | |
| 8 | 해저터널 설계를 위한 신뢰성기반 기계학습기법 적용연구 | - | | | | | |
| 9 | 초급속/초고수압 HIX-TBM 설계 및 시공 기술 | 초장대 대수심 해저터널 시공을 위한 초급속/초고수압용 TBM 기술 | | | | | |
| 10 | 쉴드 TBM공법에서 지반의 Clogging Risk 평가 기술 | Clogging Risk는 원지반, 굴착토사 내에 포함된 세립토의 함량, 종류에 좌우 → 쉴드 TBM의 종류와 지반종류에 따른 Clogging Risk를 예측기술, Risk 최소화를 위한 첨가제 또는 이수 관리 기술 필요 | | | | | |
| 11 | 고수압하에서 저비용 TBM 커터교환 기술 개발 | - | | | | | |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| 12 | 고수압하에서 수압 저감을 위한 막장면 챔버 그라우팅 | 고수압 해저터널에서 막장면 챔버 그라우팅을 통하여 막장면에 작용하는 수압을 일시적으로 감소시킨 이를 통하여 커터 교환, 장비 수리 등을 수행할 수 있도록 하는데 그 목적이 있음. | | | | | |
| 13 | 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 | 해저터널용 해상수직구 접속부 차수장치 개발 | | | | | |
| 14 | 해저터널 건설용 강관보강공법 적용기술 개발 | 해저터널 및 인공섬 건설시 요구되는 터널 보조공법의 설계, 시공 및 보강효과 확인기술 개발 | | | | | |
| 15 | 대심도 해저지반용 급속 동결공법 설계 및 시공 통합관리 시스템 개발 | 고수압 조건에서 확실한 차수 및 보강을 수행할 수 있는 동결공법에 대한 설계 및 시공기술을 확보하고, 시계열을 포함한 통합관리 시스템을 개발 | | | | | |
| 16 | 고수압 조건을 고려한 해저터널 단면 확폭 기술 | TBM으로 굴착되는 본선터널에서 굴착면과 수직갱과 연결부분, 또는 터널간 연결부(cross-passage) 시공을 위한 단면 확폭 기술 | | | | | |
| 17 | 하이퍼 루프 터널 시공을 위한 초정밀 변위관리 기술 | 하이퍼 루프 터널 시공을 위한 초정밀 변위관리 기술 개발 | | | | | |
| 18 | 저함수비 토사 Slurry 고속 이송 시스템 개발 | 터널 굴착시 발생하는 토사 버력을 저함수비 고속이송하여, 폐수로 인한 환경 오염 저감 및 경제성 확보 | | | | | |
| 19 | 해수-미수화 시멘트계 물질의 반응 유도를 통한 해저 구조물용 고수밀성·자기치유 첨단 콘크리트 개발 | 해저 콘크리트 구조물에 대한 염화물 침투 시 콘크리트 내부의 미수화 시멘트계 물질과 해수의 반응을 유도해 콘크리트의 균열 회복 | | | | | |
| 20 | 아진공튜브형 고기밀성 세그먼트라이닝 개발 및 서브시스템 개발 | TBM 터널의 자체 세그먼트라이닝을 아진공 자기보상형의 튜브로 사용 가능하도록 세그먼트라이닝의 격실 확보 기술 및 매립 해저터널에 아진공튜브의 지지방법과 차단특성 저감을 위한 세그먼트라이닝 하이퍼튜브의 연결부재의 개발 | | | | | |
| 21 | 균열 및 방식 자기치유 기술을 활용한 고내구성 해저터널용 처보재 및 시공법 개발 | 해저터널의 장기적인 내열해 및 구조적 안정성을 확보하기 위하여, 콘크리트의 균열을 스스로 자기치유형 숏크리트 및 강섬유용 자기치유 피복재 개발 및 활용 시공법의 개발 | | | | | |
| 22 | 터널내 공동구 급속시공 방안 수립 | 라이닝 콘크리트 하부의 공동구 급속시공 방안 | | | | | |
| 23 | 고성능 팽창구조체를 이용한 스마트 재해 대응 시스템 개발 및 기술 | 해저터널 시공 및 운영 중 붕괴, 누수, 침, 화재 및 터널(굴착 등에 따른 돌발재해에 대해 구조물 자체에 대응할 수 있는 팽창구조체 재료 개발 및 시스템 적용, 이에 의한 구조적 안전성에 문제를 일으키는 위험 감지 및 방지 설계 인적 자원의 피해를 최소화할 수 있는 지진방재 | | | | | |
| 24 | 해저터널 세그먼트라이닝 이음부 누수 위험도 평가 및 최적 대응방안 개발 | 이음부 형식 및 강성에 따라 최적 설계시스템을 평가하고, 이음부 개수를 감소시킬 수 있는 공폭 세그먼트라이닝 기술 개발 | | | | | |
| 25 | 최적의 고성능·고내구성 지수재 개발 | 고성능·고내구성 지수재 제품 개발 | | | | | |
| 26 | Slurry TBM용 소형 Slurry 처리 고도화 모듈 개발 | Slurry TBM의 Slurry 처리를 위한 주계 펌프, 송·배관, 배니관의 시공 및 유지관리 비용의 최소화가 가능하도록 지상 또는 터널 내에 최적 기능모듈 조합으로 Slurry 처리를 모듈화하여 컨테이너 박스 또는 광차를 통해 배출될 수 있도록 하는 소형 Slurry 처리 모듈 개발 | | | | | |
| 27 | 해저터널 면진용 seismic joint 개발 및 설계 | 해저터널 내진설계에 반영할 수 있는 flexible segment (seismic joint) 개발 | | | | | |
| 28 | 해저터널 부식방지를 고려한 세그먼트 및 숏크리트 보강용 합성섬유(fiber) 개발 | 해저터널 부식방지를 고려한 세그먼트 및 숏크리트 보강용 합성섬유(fiber) 개발 | | | | | |
| 29 | 해저 터널용 수압저감 하이브리드 지보 시스템 개발 | 시공 및 운영 중인 터널에 굴착으로 고수압이 작용하는 공간에서 수압을 저감시켜주는 동시에 구조적 안정성을 향상시켜주는 해저터널용 매립형 장수명(반영구) 하이브리드 지보 시스템 개발 | | | | | |
| 30 | 50km급 장대해저터널 환기를 위한 고압 축류 팬 개발 및 성능검증 | 50km급 장대해저터널 환기를 위한 고압 축류 팬 개발 및 성능검증 기술 개발 | | | | | |
| 31 | 탄소섬유(graphite fiber)를 활용한 초고강도/강성 세그먼트 개발 | 탄소섬유(graphite fiber)를 활용한 초고강도/강성 세그먼트 기술 개발 | | | | | |

## Ⅳ. 평가지표간 중요도 조사

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 각 평가항목 간 비교를 통해 평가항목 A가 B에 비해 상대적으로 얼마나 중요한지(또는 적절한지)를 측정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 평가항목간의 상대적 중요도를 전문가의 관점에서 판단하여 주시기 바랍니다.

ex) 항목 A가 항목 B보다 매우 중요하다고 생각하시면 아래와 같이 기입하면 됩니다.

| 평가항목 | 절대중요 | ≪ | 매우중요 | ≪ | 중요 | ≪ | 약간중요 | < | 같다 | > | 약간중요 | ≫ | 중요 | ≫ | 매우중요 | ≫ | 절대중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 항목 A | | | √ | | | | | | | | | | | | | | | 항목 B |

| 평가항목 | 절대중요 | ≪ | 매우중요 | ≪ | 중요 | ≪ | 약간중요 | < | 같다 | > | 약간중요 | ≫ | 중요 | ≫ | 매우중요 | ≫ | 절대중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 기술개발 필요성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술개발 시급성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 정책부합성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 정책부합성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 시의적절성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 개발여건 성숙도 |

◆ 작성이 끝난 설문지는 **이메일 hrhwang@dawin99.com**로 보내주시기 바랍니다.

끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 *기술 우선순위 평가*

안녕하십니까?

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

본 설문조사에서는 국가연구개발사업 기획의 일환인 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"과 관련하여 핵심기술의 우선순위를 선정**하고자, 관련된 전문가님을 대상으로 기술의 시장성, 기술성 등에 대한 평가를 실시하고자 합니다.

본 조사의 **결과는 향후 기술개발을 위한 국가지원**으로 이어질 수 있으니, 바쁘시더라도 잠시만 시간을 할애하시어 설문에 협조해 주실 것을 부탁드립니다.

**아울러 본 조사의 내용은 통계법 제33조, 34조**에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 설문에 대한 모든 내용은 본 사업 수행 이외의 목적 이외에는 절대 사용되지 않음을 알려드립니다. 응답해주신 모든 내용은 본 사업 기획에 중요한 자산이 될 것임을 약속드립니다.

본 조사는 **12월 14일(금) 오전 11시까지 하단의 이메일로 회신**하여주시기 바랍니다. 조사와 관련하여 문의사항이 있으신 경우, 아래의 연락처로 연락주시면 상세히 답변해 드리도록 하겠습니다.
감사합니다.

■ 주관기관 : 국토교통과학기술진흥원
■ 문 의 처 : (주)다윈전략컨설팅 황혜림 전임 TEL 070)4404-6652, FAX 02)562-5569
(재)한국건설생활환경시험연구원 김주형 선임연구원 TEL 02)2102-2762
■ e-mail : hrhwang@dawin99.com

2018년 12월 10일

## Ⅰ. 응답자 정보

| | | | |
|---|---|---|---|
| 소속기관명/회사명 | | 소속기관/회사 형태 (선택) | □대기업 □중견기업 □중소기업 □대학 □연구기관 □공공기관 □기타( ) |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 사무실 전화번호 | | 휴대폰 번호 | |
| e-mail 주소 | | | |

## Ⅱ. 평가지표 설명

★ 2개의 평가항목과 5개의 평가지표로 구성

| 평가항목 | 지표 | |
|---|---|---|
| | 평가지표 | 지표설명 |
| 기술개발 필요성 | 시장성장성 | • 기술개발에 의한 국내외 시장성장 및 향후 발전 정도 |
| | 정책부합성 | • 상위정책 및 관련 계획 등에 부합되는 정도 |
| | 기술파급성 | • 기술개발 후 타 시장으로의 확장 적용가능성(기술의 폭과 깊이) |
| 기술개발 시급성 | 시의적절성 | • 해당 기술의 발전도에 따른 기술개발의 시급성 정도 |
| | 개발여건 성숙도 | • 기술개발 성공을 위한 국내 R&D역량 정도 |

## Ⅲ. 지표별 평가

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 해저터널 및 인공섬 분야의 기술 우선순위를 선정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 각 기술(총 00개 기술)과 관련하여 평가지표에 대한 점수를 기입해주시기 바랍니다.

★ 평가점수 기준은 10점/만점입니다.

| 아주낮음 | <---------- | 낮음 | ---------- | 보통 | ---------- | 높음 | ----------> | 아주높음 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| ex | *A 기술* | - | *10* | *5* | *8* | *6* | *4* |
| 1 | PID 제어를 이용한 초장대 터널 운영중 환기/방재 설비 최적운전 기술 개발 | 초장대 터널에서는 환기/방재 설비의 운영을 100%로 사용할 경우, 유지보수 비용이 엄청나게 들다. 또한 길기 때문에 운전 특성에 적합한 PID 제어 운영을 통해 효율을 최적화할 수 있는 기술임 | | | | | |
| 2 | 해저수를 이용한 터널내 온도 제어 시스템 | 해저터널의 경우 주로 고속주행이 운영되기 때문에 일반적인 철도터널의 운영물질인 일산화탄소, 질소산화물, 분진의 환기보다는 터널내 복열을 고려하여야 함 | | | | | |
| 3 | AI 기반 에너지 절감형 해저터널 환기운용시스템 개발 | 빅데이터 및 인공지능을 기반으로 에너지 절감형 환기운용 시스템 개발 | | | | | |
| 4 | 위험물 차량 감지기술 및 설비개발 | 초장대 터널에 진입되는 차량을 대상으로 위험물 차량 감지 | | | | | |
| 5 | A·I(Artificial Intelligent)기반 해저터널 화재예방 및 소기경보시스템 구축 | ICT 자능 정보화기반의 예측을 통한 "해저터널 화재안전" 실현이 가능한 시스템 터널내 자동화재, 전기설비에 의한 전기화재 등 선제적 대응 | | | | | |
| 6 | Big Data 기반의 성능기반 화재안전 설계(PBD) 기반 확보 | Big Data를 활용한 성능기반 화재안전 설계(PBD)기반 기술 확보 (PBD, Performance Based Fire Protection Design), | | | | | |
| 7 | 터널 내 차세대 동력(전기, H2 등)을 활용한 운송수단(자동차, 기차 등)의 화재/폭발 위험성 평가 | 차세대 동력으로 운행되는 운송수단(자동차, 기차 등)으로 인해 발생 가능한 화재 및 폭발 위험성 예측 및 평가 기술 | | | | | |
| 8 | 가상현실 기반 해저터널 환기/화재 유지관리 운영자 교육 시뮬레이터 개발 | 초대형 복합시설의 긴급 상황(화재) 모사가 가능한 시설 운영자 교육 시뮬레이터(Operator Training Simulator) | | | | | |
| 9 | 해저터널 공간내 공기질 확보를 위한 공기오염물질 실시간 측정 및 측정데이터 기반 스마트 공기질 정보제공기술 개발 | 스마트 환기를 위한 공기오염물질 실시간 측정기술로 오염물질의 종류, 농도, 발생원 환경조건을 측정하여 오염물질의 특성을 이용, 발생원지, 제거여부에 대한 데이터를 실시간 제공하여 스마트 환기를 위한 기본데이터 제공 및 이에 기반한 공기질 활용 정보제공기술 | | | | | |
| 10 | 화재진압/구난 특수 차량 개발 | 해저터널과 같은 초장대 터널에서 신속한 진압 및 구난을 위한 특수 차량 개발 | | | | | |
| 11 | 해저터널 구난역 설계 기술 개발 | 해저터널에 적용 가능한 구난역 설계 기준 및 시스템 설계 기술 개발 | | | | | |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| 12 | 초장대 해저터널에 적합한 피난연결통로 화재연기 유입방지 기업시스템 개발 | 초장대 해저터널에 화재시 대인 피난을 위해 설치되는 피난연결통로(Cross Passage) 내 화재연기 유입을 방지하기 위한 기업시스템 개발 | | | | | |
| 13 | 하이브리드형 화재확산 방지 및 구획 기술 개발 | 기존 에어커튼 등의 환기 시스템을 고도화하여 스마트 방재설비 구축 | | | | | |
| 14 | 해저터널용 접이식 비상대피통로 최적화 모델( | 평상시 터널 단면 손실이 없도록 벽면에 접히었다가, 화재나 터널등 비상상황시에 펼쳐져서 통로를 형성하여 안정을 보장하는 해저터널 구조에 최적화된 접이식 비상대피통로 시스템 | | | | | |
| 15 | 해수를 이용한 대용량 소화용수 공급이 가능한 고속이동형 소화시스템 개발 | 해수와 고속레일을 이용한 이동식 소화시스템 개발 | | | | | |
| 16 | IOT 기반 초장대 해저터널 통합 유지관리 기술 개발 | 설계 시공 데이터를 바탕으로 정보화된 가상 모델과 변형률, 응력 등 계측데이터를 무선 연동하여 해저터널 라이닝에 대한 구조적 안정성을 수학적으로 분석하여 전체 안정을 실시간으로 관리하는 기술 | | | | | |
| 17 | 초고속카메라 및 레이저스캔을 이용한 유지관리 기술 | 달리는 기차에 초고속카메라를 탑재하여 track 및 터널 내부의 이상여부를 감지하거나, 자속의 유지관리 열차에 레이저스캔을 탑재하여 터널 내 이상유무를 감지하는 기술 | | | | | |
| 18 | 영상기반 자동화 점검/진단 장비 구축 | - | | | | | |
| 19 | 초장대 해저터널 시공 중 및 유지관리 모니터링 센서 시스템 개발 | 기존 터널 시공 중 및 유지관리 계측용 센서를 대체가능한 비용 효율적인 무선 센서 시스템 개발 | | | | | |
| 20 | ICT 기반 해저터널의 성능중심 평가기법 개발 | 해저터널의 성능중심 관리·운영을 위한 ICT 기반의 최첨단 진단장비 활용 성능평가 프로세스 및 성능등급 산정기술 개발 | | | | | |
| 21 | 초장대 해저터널내 광섬유 센서를 사용한 아스팔트 포장체 공용성 실시간 평가 및 유지보수 전략 수립 | 실시간 차륜하중 데이타 수집과 그로 인한 아스팔트 포장체의 파손 및 공용성을 광섬유 센서를 통해 실시간으로 측정 및 모니터링을 통하 공용성 예측을 기반으로, 해저터널 내의 도로의 유지 및 보수 계획을 수립하고 예산을 체계적으로 관리하는 기술 | | | | | |
| 22 | 염소이온 감지센서를 활용한 라이닝 콘크리트의 열화예측 및 상태지수 평가 기술 | - | | | | | |
| 23 | 자산관리기반 내염해 보수보강 재료 및 공법 개발 | - | | | | | |
| 24 | 해저터널 적용을 위한 HAC(High Aluminate Cement)계 내염 보수재료 및 시공기술 개발 | - | | | | | |
| 25 | 이력관리기반 점검/진단/보수보강/평가 DB 구축 | - | | | | | |
| 26 | 딥러닝(Deep Learning)기반 해저터널 구조물 성능평가 시스템 구축 | - | | | | | |
| 27 | 빅데이터 기반의 해저터널 최적 유지관리 의사결정 모델 개발 | 해저터널을 대상으로 부재별 잔존수명 예측 및 가치평가 기법 개발을 통해 최적의 유지관리 의사결정을 지원하는 모델 개발 | | | | | |
| 28 | 생애주기기반 해저터널 부대시설물 유지관리 시스템 구축 | - | | | | | |
| 29 | 자산관리기반 해저터널 유지관리 시스템 구축 기술 | 해저터널에서의 자산관리개념을 도입한 유지관리 시스템 구축 | | | | | |
| 30 | 해저터널 유지보수용 선형자산관리시스템 (LAMS) 구축 | 해저터널 구조물의 세그먼트별 BIM 기반 자산관리시스템 (Asset Management System)을 구축하고 빅데이터 기반 유지보수체계 구축 | | | | | |

## Ⅳ. 평가지표간 중요도 조사

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 각 평가항목 간 비교를 통해 평가항목 A가 B에 비해 상대적으로 얼마나 중요한지(또는 적절한지)를 측정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 평가항목간의 상대적 중요도를 전문가의 관점에서 판단하여 주시기 바랍니다.

ex) 항목 A가 항목 B보다 매우 중요하다고 생각하시면 아래와 같이 기입하면 됩니다.

| 평가항목 | 절대중요 | ⟪ | 매우중요 | ⟪ | 중요 | ⟪ | 약간중요 | ⟨ | 같다 | ⟩ | 약간중요 | ⟫ | 중요 | ⟫ | 매우중요 | ⟫ | 절대중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 항목 A | | | √ | | | | | | | | | | | | | | | 항목 B |

| 평가항목 | 절대중요 | ⟪ | 매우중요 | ⟪ | 중요 | ⟪ | 약간중요 | ⟨ | 같다 | ⟩ | 약간중요 | ⟫ | 중요 | ⟫ | 매우중요 | ⟫ | 절대중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 기술개발 필요성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술개발 시급성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 정책부합성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 정책부합성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 시의적절성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 개발여건 성숙도 |

◆ 작성이 끝난 설문지는 **이메일 hrhwang@dawin99.com**로 보내주시기 바랍니다.

끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 *기술 우선순위 평가*

안녕하십니까?

귀사의 무궁한 발전을 기원합니다.

본 설문조사에서는 국가연구개발사업 기획의 일환인 **"(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업"과 관련하여 핵심기술의 우선순위를 선정**하고자, 관련된 전문가님을 대상으로 기술의 시장성, 기술성 등에 대한 평가를 실시하고자 합니다.

본 조사의 **결과는 향후 기술개발을 위한 국가지원**으로 이어질 수 있으니, 바쁘시더라도 잠시만 시간을 할애하시어 설문에 협조해 주실 것을 부탁드립니다.

**아울러 본 조사의 내용은 통계법 제33조, 34조**에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 설문에 대한 모든 내용은 본 사업 수행 이외의 목적 이외에는 절대 사용되지 않음을 알려드립니다. 응답해주신 모든 내용은 본 사업 기획에 중요한 자산이 될 것임을 약속드립니다.

본 조사는 **12월 14일(금) 오전 11시까지 하단의 이메일로 회신**하여주시기 바랍니다. 조사와 관련하여 문의사항이 있으신 경우, 아래의 연락처로 연락주시면 상세히 답변해 드리도록 하겠습니다.
감사합니다.

■ 주관기관 : 국토교통과학기술진흥원
■ 문 의 처 : (주)다원전략컨설팅 황혜림 전임 TEL 070)4404-6652, FAX 02)562-5569
(재)한국건설생활환경시험연구원 김주형 선임연구원 TEL 02)2102-2762
■ e-mail : hrhwang@dawin99.com

2018년 12월 10일

## Ⅰ. 응답자 정보

| | | | |
|---|---|---|---|
| 소속기관명/회사명 | | 소속기관/회사 형태 (선택) | □대기업 □중견기업 □중소기업 □대학 □연구기관 □공공기관 □기타( ) |
| 응답자 성명 | | 소속부서/직위 | |
| 사무실 전화번호 | | 휴대폰 번호 | |
| e-mail 주소 | | | |

## Ⅱ. 평가지표 설명

★ 2개의 평가항목과 5개의 평가지표로 구성

| 평가항목 | 지표 | |
|---|---|---|
| | 평가지표 | 지표설명 |
| 기술개발 필요성 | 시장성장성 | • 기술개발에 의한 국내외 시장성장 및 향후 발전 정도 |
| | 정책부합성 | • 상위정책 및 관련 계획 등에 부합되는 정도 |
| | 기술파급성 | • 기술개발 후 타 시장으로의 확장 적용가능성(기술의 폭과 깊이) |
| 기술개발 시급성 | 시의적절성 | • 해당 기술의 발전도에 따른 기술개발의 시급성 정도 |
| | 개발여건 성숙도 | • 기술개발 성공을 위한 국내 R&D역량 정도 |

## Ⅲ. 지표별 평가

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 해저터널 및 인공섬 분야의 기술 우선순위를 선정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 각 기술(총 00개 기술)과 관련하여 평가지표에 대한 점수를 기입해주시기 바랍니다.

★ 평가점수 기준은 10점/만점입니다.

| 아주낮음 | <---------- | 낮음 | ---------- | 보통 | ---------- | 높음 | ----------> | 아주높음 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| ex | *A 기술* | - | *10* | *5* | *8* | *6* | *4* |
| 1 | 해상구조물 한계상태 설계법 개발 | 인공섬은 주로 해상에 설치됨에 따라, 해양구조물 설계를 위한 선진화된 설계방법이 필요하며, 현재는 허용응력법(또는 강도설계법)을 사용하고 있으나, 합리적이고 경제성있는 설계수행이 가능한 한계상태설계법 개발 | | | | | |
| 2 | 모듈형 수중 구조체 설계/시공 기술 개발 | 수중에 건설되는 착저식 인공섬과 해저터널의 연결을 위한 각 구조모듈의 모듈화 시공과 이를 조립/연결하는 기술 | | | | | |
| 3 | 초장대 해저터널과 착저식 인공섬 연결부의 수리-구조적 거동 | 해양 외부환경에 대한 연결부의 안정성 최적화를 위한 수치해석 | | | | | |
| 4 | 인공섬에 작용하는 해양외력연구 및 구조물 안전성·내구성 평가 | 일반 해양외력 (파랑, 조류 등) 및 극한 해양상황 (태풍, 쓰나미)에서 인공섬 및 연결부에 작용하는 외력 연구 및 최적형상 제안 | | | | | |
| 5 | 착저식 인공섬 시공을 위한 무인장비 자동화 시공 기술 확보 | 수중 30m 이상 굴착 작업시 사용 가능한 장비의 무인 자동화 시공기술 | | | | | |
| 6 | 친환경 착저식 고속시공 융합 구조물을 이용한 인공섬 설계 및 시공기술 | 폐기물 플라스틱과 폐지등을 사용한 친환경 인공섬용 재료와 고속 시공이 가능한 SRC 융합 유닛구조물 시공 및 설계기술 개발 | | | | | |
| 7 | 고심도 해중 인공섬 건설을 위한 착저식 PC 수직구 설계 및 시공에 대한 국내기술 확보 | 해저터널 건설을 위한 인공섬은 해상 인공섬과 해저면(seabed) 하부의 해저터널 연결을 위한 수직구가 필요하며, 수직구는 최소 15m이상의 직경이 요구됨 | | | | | |
| 8 | 환경 친화적·경제적인 대면적 해상공간 창출을 위한 부유식 인공섬 설계·시공 및 유지관리 기술 | 해저터널 등 국가기간시설물의 해상 유치 수요에 대응하여 부유식 인공섬의 안전성 확보 및 효율적 대형화 기술 | | | | | |
| 9 | 인공섬 건설을 위한 신형식 복합구조 설계기술 개발 | 수압과 외부충격 및 수중환경에 적합한 강·콘크리트 합성구조 또는 복합재료를 적용한 수중구조물을 설계하는 기술 | | | | | |
| 10 | 착저식 해양 콘크리트 인공섬 해석 및 설계 기술 | 해양 구조물 해석 및 설계 기술 및 소프트웨어 개발 | | | | | |
| 11 | 극한 해양환경 대응 초경량·고내구성 콘크리트 기술 | 나노소재 등 첨단소재를 활용하여 극한 해양환경에 위치한 구조물(해저터널 등)의 유해물질 침투를 차단하여 부식저항성을 향상시킬 수 있는 초고내구 콘크리트 기술 | | | | | |

| No | 기술명 | 기술정의 | 평가지표 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 사업추진 매력도 | | | 기술개발 가능성 | |
| | | | 시장성장성 | 정책부합성 | 기술파급성 | 개발시급성 | 실현가능성 |
| 12 | 대형 부유체 건설을 위한 초경량·고강도 콘크리트 기술 | 나노소재 등 첨단소재를 활용한 해저 터널 등 대형 부유체 건설을 위한 초경량·고강도 콘크리트 기술 | | | | | |
| 13 | 극한 환경 대응 부식제로 탄소섬유 보강재 기술 | 비부식성의 탄소섬유강화복합재료를 활용하여 극한 해양환경에 위치한 구조물(해저터널 등)의 염해를 근본적으로 차단할 수 있는 콘크리트용 탄소섬유 보강재 기술 | | | | | |
| 14 | 해양구조물 오염 방지 및 수명 연장을 위한 나노코팅 기술 개발 | 해양구조물은 염분에 의한 부식이 되기 쉬워 해양구조물의 수명을 단축시키고 있기 때문에 이를 방지하는 새로운 코팅 기술 개발 | | | | | |
| 15 | 해양 구조물 건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석 | 해양구조물 건설을 위한 건설재료(자재)에 대한 해저환경/해양생물의 영향 분석 | | | | | |
| 16 | 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 핵심기술 개발 | 부유식 인공섬 구조물의 이송 및 설치 작업에 대한 설계 및 평가 핵심기술 개발 | | | | | |
| 17 | 파랑 및 흐름 하중에 대한 인공섬 수리성능 평가 기술 | 초장대 해저터널 인공섬에 파랑 및 흐름 작용 시 구조물에 미치는 외력 평가 및 구조물의 안전성에 직결되는 수리성능 평가 기술 | | | | | |
| 18 | 연중 인공섬 주변 operability 평가 방법 | 연중 환경외력에 대응하는 인공섬의 동적거동을 해석하여 운영가능 기간에 대한 작업성을 정량적으로 평가함 | | | | | |
| 19 | 부유식 인공섬을 위한 복합형 계류시스템 및 앵커링 핵심 기술 개발 | 부유식 인공섬에 적용가능한 복합형 계류시스템과 앵커링의 평가 및 설계 핵심기술 개발 | | | | | |
| 20 | 부유식 인공섬 자율 자세 제어 기술 개발 | 재해 재난 및 이상 기후 시를 대비한 부유식 구조체의 자율 자세 제어 기술 개발 | | | | | |
| 21 | 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 | 해저터널 건설 전후 작업공간으로 활용되는 확장형 부유식 인공섬 설계/시공 기술 | | | | | |
| 22 | 부유식 인공섬을 위한 모듈 확장형 부유체 및 연결부 설계 핵심기술개발 | 부유식 인공섬에 활용가능한 모듈 확장형인 부유체와 부유체간의 연결부를 설계 및 평가하는 핵심기술 개발 | | | | | |
| 23 | 신형식 부유식 인공섬 구조 부재 및 모듈화 기술 개발 | 급속시공 및 안전성 확보가 가능한 모듈형 부유식 구조체 개발 | | | | | |
| 24 | 자립형 부유식 인공섬 운용을 위한 해양 에너지 활용 기술 개발 | 부유식 인공섬의 에너지 자립 운용을 위한 해양 에너지 적용 기술 | | | | | |
| 25 | 인공섬용 신재생에너지 적용방안 및 소형 해수담수화 시설 운영 기술 | 부유식 인공섬에 적용 가능한 신재생에너지 활용방안 및 해수 담수화 시설 적용방안 연구 | | | | | |
| 26 | 사고(충돌, 충격)하중에 의한 부유식 인공섬 구조물손상 예측 및 방지대책 | 바다 한가운데 설치되는 부유식 인공섬은 선박충돌 등 사고가 발생될 수 있으며, 이에 해상구조물과 관련된 설계에서는 accident limit state 대응 기술 | | | | | |
| 27 | 인공섬의 자연재해 예측 및 방지기술 개발 | 해저에 건설되는 구조물의 재해에 대한 예방 및 방지 기술 개발 | | | | | |
| 28 | ICT 기반 AR을 이용한 인공섬 시설물 점검 및 유지관리 시스템 개발 | 복합형 인공섬 시설물에 Tag 소켓과 Tag 설치기술 및 ICT 기반 AR을 이용한 시설물 점검/유지관리 통합 플랫폼 개발 | | | | | |
| 29 | 수중 구조물 건전성 모니터링 기술 개발 | 수중 구조물의 안전성 확보를 위하여 변형률, 변형, 진동 등 구조물 건전성을 분석할 수 있는 응답을 상시 모니터링하는 기술 | | | | | |
| 30 | 에너지 자립형 AI-IoT 기반 인공섬 운영 및 유지관리 기술 | 신재생에너지 중심의 에너지 자립형 인공지능(AI)-사물인터넷(IoT) 기반의 인공섬 운영 및 유지관리 기술 | | | | | |

## Ⅳ. 평가지표간 중요도 조사

★ 평가지표에 대한 상세한 내용은 2Page를 참고바랍니다.

★ 아래는 각 평가항목 간 비교를 통해 평가항목 A가 B에 비해 상대적으로 얼마나 중요한지(또는 적절한지)를 측정하기 위해 조사되는 설문으로, 응답자님께서는 평가항목간의 상대적 중요도를 전문가의 관점에서 판단하여 주시기 바랍니다.

ex) 항목 A가 항목 B보다 매우 중요하다고 생각하시면 아래와 같이 기입하면 됩니다.

| 평가항목 | 절대 중요 | ≪ | 매우 중요 | ≪ | 중 요 | ≪ | 약간 중요 | < | 같 다 | > | 약간 중요 | ≫ | 중 요 | ≫ | 매우 중요 | ≫ | 절대 중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 항목 A | | | √ | | | | | | | | | | | | | | | 항목 B |

| 평가항목 | 절대 중요 | ≪ | 매우 중요 | ≪ | 중 요 | ≪ | 약간 중요 | < | 같 다 | > | 약간 중요 | ≫ | 중 요 | ≫ | 매우 중요 | ≫ | 절대 중요 | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ⑨ | ⑧ | ⑦ | ⑥ | ⑤ | ④ | ③ | ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | |
| 기술개발 필요성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술개발 시급성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 정책부합성 |
| 시장성장성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 정책부합성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 기술파급성 |
| 시의적절성 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 개발여건 성숙도 |

◆ 작성이 끝난 설문지는 **이메일 hrhwang@dawin99.com**로 보내주시기 바랍니다.

끝까지 응답해주셔서 대단히 감사합니다.

# [부록 4] 투자의향서

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018년 10월 26일

○ 주 소: 서울시 금천구 가산디지털1로 233, 1107호

○ 회사명: ㈜세니츠코퍼레이션

[연매출액: 1,302,925 (천원), 연구개발 비중: 15 (%)]

○ 대표자: 김 기 중 (인)

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018년 10월 19일

○ 주 소: 서울시 강남구 봉은사로 423

○ 회사명: (주)건화

[연매출액: 20,000,000(천원), 연구개발 비중: 3(%)]

○ 대표자: 최 진 상 (직인)

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018년 10월 25 일

○ 주 소: 서울특별시 강남구 강남대로 126길 63 굿라이프빌딩 101호

○ 회사명: 테코랩

[연매출액: 500,000 (천원), 연구개발 비중: 60 (%)]

○ 대표자: 유 영 선 (직인)

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

**2018년 10월 23 일**

○ **주 소: 대전광역시 유성구 대학로 99, 902호**

○ **회사명: ㈜엔엔에프텍**

**[연매출액: 760,000 (천원), 연구개발 비중: 37 (%)]**

○ **대표자: 문 성 모** (직인)

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널·인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018 년 10 월 24 일

○ 주 소: 대전시 유성구 문지로 193 KAIST 문지캠포스 창조과 2221, 2222호

○ 회사명: 주식회사 에이치비씨

[연매출액: 5억, 000 (천원), 연구개발 비중: 5 (%)]

○ 대표자: 김 한 성 (직인)

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

**2018년 10월 31일**

○ 주 소: 서울 송파구 백제고분로7길7 민들레빌딩 5층

○ 회사명: 주식회사 네오시티

[연매출액 : 500,000 (천원), 연구개발 비중: 10 (%)]

○ 대 표 자 : 고 염 식 (직인)

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

**2018년 10월 24일**

○ **주 소:** 경기도 수원시 영통구 창룡대로 256번길 91
(이의동 1286-1) 에이스광교타워2차 B205호~B207호

○ **회사명:** 주식회사 위드엠텍

**[ 연매출액:** 1,800,000(천원), **연구개발 비중:** 15(%) **]**

○ **대표자:** 박 동 철 (직인)

## 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018년 10월 26일

○ 주 소: 인천시 미추홀구 인하로 313, 은성빌딩 3층

○ 회사명: 유씨아이테크(주)

[연매출액: 1,000,000(천원), 연구개발 비중: 35(%)]

○ 대표자: 김기성 (직인)

# 『(가칭)해저터널 · 인공섬 기술개발 연구사업』 투자의향서(산업체 限)

당사는 해저터널·인공섬의 수요가 증가함에 따라 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에서 국내 해저터널 건설·운영기술 선진화를 위해 추진하고 있는 『(가칭)해저터널인공섬 기술개발 연구사업』의 산·학·연 관련 주요기술개발 프로젝트에 참여를 희망합니다.

※ 본 의향서는 어떠한 의무 및 법률적으로 적용되지 않으며, 단지 본 사업의 파급효과를 알아보기 위한 투자 의향을 확인하는 설문임을 알려드립니다.

2018년 10월 26 일

○ 주 소: 서울특별시 서초구 잠원로 14길 29

○ 회사명: 롯데건설(주)

[연매출액: 5,301,777,000(천원), 연구개발 비중: 4.5(%)]

○ 대표자: 하 석 주 (직인)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.