보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( ) 발간등록번호(11-B552989-000459-01)
ISBN (9791192252025(95500))

2021

신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 최종보고서

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부

신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 최종보고서

2021. 10. 4.

주관연구기관 / 서울대학교 산학협력단
공동연구기관 / 와이젠글로벌(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 용역'(연구개발 기간 : 20. 10. 5. ~ 21. 10. 4.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 10. 4.

주관연구기관명: 서울대학교 산학협력단 (대표자) 최 해 천 (인)

공동연구기관명: 와이젠글로벌(주) (대표자) 조 경 민 (인)

주관연구기관책임자: 김 호 경

공동연구기관책임자: 조 경 민

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

요 약 문

신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 요약보고서

2021. 10.

국토교통부

국토교통 과학기술진흥원

목 차

Ⅰ. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1.1 과제 개요 ····· 1

1.2 기획의 목표 및 내용 ····· 2

Ⅱ. 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용 ····· 2

2.1 연구 추진체계 및 추진경과 ····· 2

2.2 차세대 교량 트렌드 및 미래전망 ····· 4

2.3 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜 ····· 9

2.4 5K Bridge 중장기 기술 로드맵(2050)의 도출 ····· 10

2.5 전략과제의 도출 ····· 13

Ⅲ. 5K Bridge 단기사업 기획 ····· 16

3.1 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업 ····· 17

3.2 케이블교량 O&M 디지털 전환 실증 기술개발 사업 ···· 23

Ⅰ. 연구개발과제의 개요

1.1 과제 개요

□ **국토교통 2050 50대 전략 프로젝트*로 '신소재 기반 하이브리드 5K Bridge' 선정**

* 국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구 (2020. 6., 국토교통부)

○ 대륙 간 연결 등 근미래의 초연결 프로젝트 증가가 예측됨에 따라 초연결 메가스트럭쳐 시장 선점을 위한 차세대 기술 확보 필요성 증대

* 기존 기술로 가능한 최대 주경간장은 메시나해협 횡단교량 설계안의 3,300m를 한계로 인식

○ 국내 시공, 설계사들은 축적된 기술력을 바탕으로 세계 장대교량 시장에서 중요한 역할을 하고 있으나, 기술적·경제적 부가가치가 가장 높은 리딩 플레이어 위치에는 이르지 못하고 있는 실정

○ 현재의 기술수준을 제고하고, 세계 최고 수준을 뛰어넘는 차세대 교량 핵심기술개발의 선도적 연구목표 도출과 함께 이를 달성하기 위한 구체적인 중장기 연구개발 로드맵 및 비전의 구상 필요

□ **'신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 용역' 기획 추진** (2020. 10. ~ 2021. 10.)

○ **(기획 필요성)** 글로벌 리딩 K 브랜드로서 주경간장 5Km급 차세대 교량 핵심 기술(5K Bridge 기술*)을 개발하기 위한 기술, 시장, 정책 동향 등의 사전기획 필요

* 5K Bridge 기술 : 기존의 한계를 넘는 주경간장 5km급 메가 스트럭쳐 교량 건설 적용 가능한 차세대 핵심 교량 기술

○ **(기획의 내용적 범위)** 5K Bridge 기술적 범위, K-Spec 원천 설계 기술, 5Km급 메가 스트럭쳐 교량 성능 확보 및 평가 기술, 5K Bridge 시공·유지관리 기술 등

○ **(기획 산출물)** 5K Bridge 기술개발 중장기 마스터플랜, 단기실용화 및 미래기술 사업기획(안)

1.2 기획의 목표 및 내용

□ 기획의 목표

○ 차세대 교량 핵심기술개발로 세계 시장에서 국내 기술경쟁력을 제고할 수 있는 연구사업을 기획하고 연구개발 로드맵을 도출함으로써 추진타당성을 확보함

연구목적(Final Goal)

차세대 교량 핵심기술개발로 세계 시장을 선도할 기술력을 갖출 수 있는
「신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발*」의 추진 실현

연구목표(Objective)

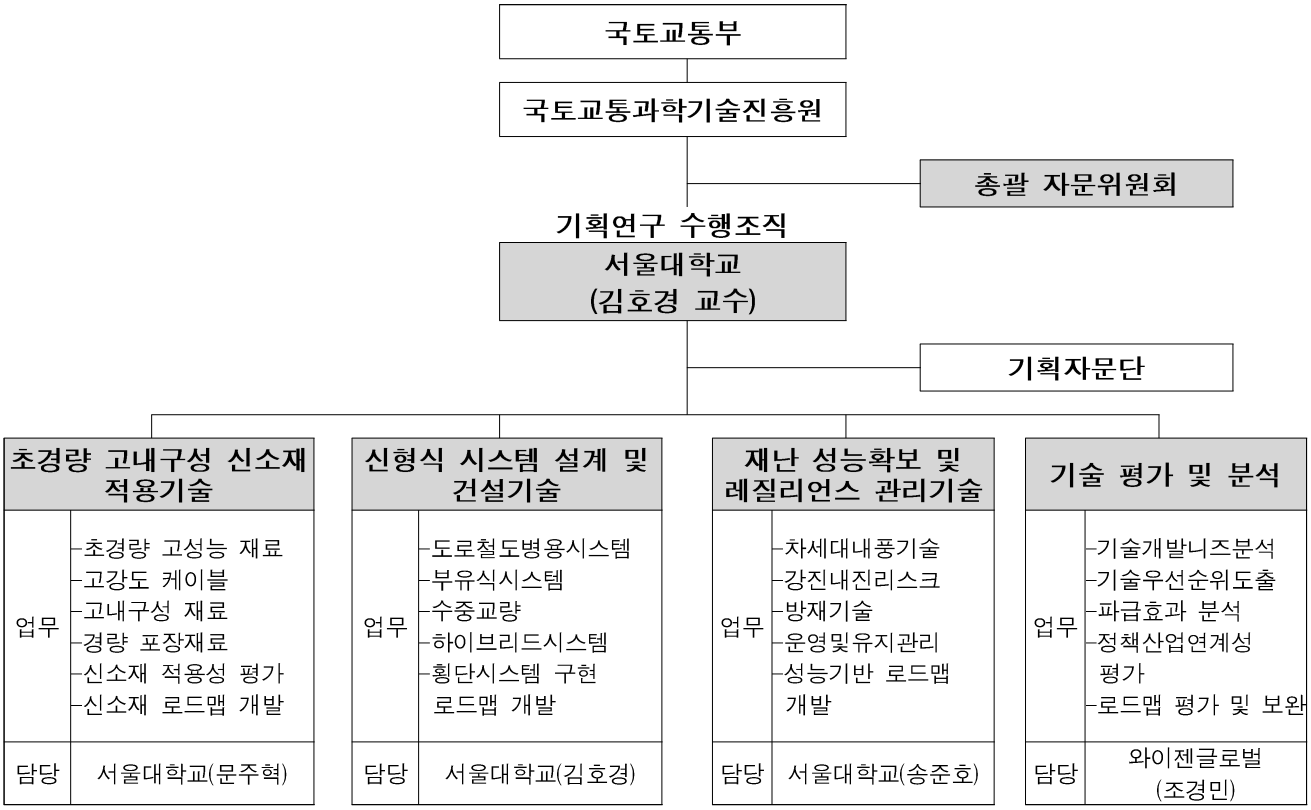
5K Bridge 기술개발 추진타당성 확보 및 예산수립을 위한 연구개발 로드맵 도출

*5K Bridge 기술: 5km+ 초연결 신형식/신소재 적용 교량시스템 구현 기술

II. 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용

2.1 연구 추진체계 및 추진경과

□ 기획 추진체계



○ **(국토교통부・국토교통과학기술진흥원)** 사업 주관부처로서 ‘신소재 기반 하이브리드 5K birdge ...사전기획’ 관련 추진사항 점검 및 방향 논의, 의사결정

○ **(총괄기획위원회)** ‘5K birdge ...사전기획’에 대해 **거시적 관점**에서 **기획방향을 제시**하고, 세부계획 **결과(안) 검토·조정**

○ **(기획자문단)** 사업에 대한 **기술적 관점**에서 **전문적으로 검토**하고, 핵심 워킹그룹으로서 기획대상 기술에 대한 기획 결과(안) 도출

○ **(기획연구 수행조직)** 동향조사, 기술선별 및 사업기획 **총괄 수행**, 중장기 마스터플랜 및 사업계획(안) 도출

□ **추진 경과**

○ **('20년 10월, 착수보고)** 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 착수

○ **('21년 1월, 기술수요 및 전망 수집)** 설문을 통해 차세대 교량과 관련한 미래 전망, 기술개발 아젠다를 고려한 전문가 의견 및 기술수요 수집

○ **('21년 1~5월, 선행 예산사업 선별 및 기획)** 중장기 마스터플랜에 포함될 수요기술 중 시급성・중요성을 고려하여, ‘신소재 기반 부유식 구조체 기술개발 사업*’ 선행 기획

* 22년 중기재정 예산심의 제출

○ **('21년 4월, 중장기 마스터플랜(안) 도출)** 추진 목표와 중점분야를 도출하고 비전 및 최종 목표 설정

○ **('21년 6월, 1차 총괄위원회)** 추진 기본방향, 수요기술로부터 전략과제의 통합, 핵심 전략기술 선별을 통해 도출된 중장기 마스터플랜(안) 및 선행사업 기획(안) 검토

○ **('21년 8~9월, 중장기 마스터플랜 수정(안) 도출)** 총괄위 검토의견을 반영하여 단계별 교량형식의 발전 전망에 따라 중장기 추진 로드맵을 재구성, 3단계별 발전 및 4개 중점분야 도출

○ **('21년 7~8월, 전략과제 재도출)** 미래 기술 아젠다와 로드맵을 고려하여 11개 전략과제로 다시 통합하고, 10년내 시급히 추진되어야 하는 6개의 전략과제를 선별, 도출함

○ **('21년 9~10월, 전략과제 제안요구서 작성)** 6개 전략과제에 대해 세부 구성기술, 중점영역, 기술개발 내용, 방법론, 예산을 포함한 추진계획 작성

○ **('21년 10월 4일, 행정 종료)** 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 과업 완료

2.2 차세대 교량 트렌드 및 미래전망

□ 메가트렌드 분석

메가 트렌드	내용	국토교통 미래이슈	교량관점 이슈
(S) 인구구조, 사회, 가치 변화	100세 시대 보편화(저출산·고령화) 개인 삶의 질 중시 사회적 약자 및 소외계층에 대한 배려 필요성 증대 AI 로봇, 자율주행 차량 등의 사고와 책임 문제	• 인구절벽과 생산성 저하, 산업구조의 혁신 지체 등으로 잠재성장률 하락 추세 지속 • 인구 감소에 따른 생산가능인구의 감소로 고위험 직종 기피현상 심화 • 자율주행자동차 혼재로 인한 사고위험과 책임소재 문제	• 인력 중심 건설 공법 → 기술 중심 건설 공법으로 전환 • 최소한의 인력으로 유지관리 가능한 지능형 교량 개발 • 신 이동수단 확산 대비 디지털 안전 관리 체계 마련
(S) 도시 집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	• 메가시티 리전(Mega-city region)이 글로벌 경제의 주체로 부각	• 대도시의 인구·생산·수요 등을 소화 할 수 있는 유통·이동 연결 루트 확보
(T) 기술 변혁의 가속화와 디지털화	무인화(자율주행, 로봇기술 등) 및 인공지능 보편화 초연결 사회(IoT 등) 도래 ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화(Cloud, 나노기술, 백신 등) 全산업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화 데이터 기반 시대로의 전환 3D 프린팅 기반 제조 혁신	• 무인택시, 무인화물차 등 새로운 형태의 교통·물류서비스가 선보이고, 자동차 소유에서 공유문화로 진화 • 건설 자동화 기술(BIM, 로봇, 드론) 등을 활용한 건설 생산성 혁신 • IT와 전통운송수단이 결합한 신규서비스 등장 • 신기술과의 융·복합을 통한 고부가가치 산업(일자리) 창출 • 초대형 구조물, 극한지역 시공기술 확보, 초경량·고강도 신재료 개발 등 핵심건설 기술 확보 • 빅데이터 활용 교통패턴을 분석·관리하는 기술 등장 • 3D 프린팅을 활용한 맞춤형 자재 생산 및 효율성 증대 • 자율주행의 상용화 • 신기술 확대로 인한 도로 기하구조·시설규모 단순화 • 건설·차량·통신·유지보수 등 이동수단 관련 요소들의 혁명 • 커넥티드 카의 등장으로 스마트시티 조성 확산	• 자율주행 이동수단 확산에 대비한 디지털 교량으로 전환 • 디지털 기술 기반 실시간 정보교환 및 제어가 가능한 커넥티즈 교량 개발 • 신소재, 신기술을 활용 기존대비 고수명·고강도·장대 교량 건설 • ICT 기술 융합을 통해 차세대(4세대 이후) 교량으로 도약
(E) 양극화와 글로벌화	산업/기업간·지역간·직종간 양극화 심화 직업구조 변화 및 실업 증가 국가간 경제·기술협력 확대 및 글로벌 경제 통합 국제사회 다극화	• 보호무역주의 대두, 제조업 중심의 성장 둔화 • 전통 건축 산업의 침체와 새로운 건축물 시장 등장 • 경제적·사회적 양극화에 따른 사회통합 정책요구 증가 • 글로벌 경제통합, 협력 심화 • 극로벌 경제 통합으로 국내·외 시장의 수주경쟁 심화 • 3D 직업에서 고부가가치 전문직업으로 이미지 쇄신 및 글로벌 경쟁력 갖춧 고급 건설인력 양성 • 아시안 하이웨이, 한반도 도로망 구상 등 본격화 • 글로벌 공급사슬(SCM(:Supply chain management) 관리 중요성 증대	• 현재 경제권의 재편 움직임과 주력 산업의 전환 대비 필요 • 신 경제체제로의 전환에 따른 새로운 유통 무력 루트 개척 필요 • 건설 분야 해외 시장 확대를 위해 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보
(E) 신경제 성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력 AI, 자율주행, 로봇의 보편화에 따른 사회·경제 구조 변화	• 사라지는 직업과 신규 창출되는 직업의 혼재로 개인 경제활동의 전환기 도래 • 친환경 녹색인증 제품 수요 증대 • 저성장 극복을 위한 산업전반에 걸친 첨단기술의 활용 확산(생산-제조(조립)-서비스 전과정에 걸쳐 확산)	• 친환경 성장에 따른 친환경 건설 트렌드로의 전환 • ICT
(E) 기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속 친환경/재생에너지 기술개발 가속 온실가스 규제 강화	• 에너지 사용 최소화 및 재난재해로부터 안전한 주택에 대한 수요 증가 • 탄소배출, 에너지소비를 최소화 하는 저탄소 녹색건설 구현 • 친환경 이동수단(자동차, 비행기 등) 개발 경쟁 심화 • 수소, 태양광 등 친환경·재생에너지를 사용하는 교통수단의 활성화 • 전기·수소 자동차 보급 확산으로 소음, 매연 등 환경문제 일부 해소	• 탄소 절감 등 친환경을 고려한 건설 기술 및 유지관리 기술 개발 필요 • 친환경 에너지 활용 유지관리에 저비용 교량 개발
(E) 안전 중요성 증대	자연재해, 사회재난 증가 및 안전우려 증대	• 도시 단위 탄소저감 재해대응 정책 일반화 • 건축물의 안전기준 강화와 환경위험 대응인식 증대 • 재난재해 안전 시설물 관리체계 구축 및 노후시설물 유지관리 재원 마련	• 증가하는 재해 대비 강화된 안전기준에 맞춘 교량 기술 개발
(P) 거버넌스 환경 변화	남북한 협력증진	• 북한지역 개발을 통한 한반도 전체의 산업구조 개편 및 생산성 제고 • 통일, 동북아 경제통합 등에 따른 국제사회 인적·물적 교류 확대	• 통일시대 동북아·시베리아 경제권 대비 무역·이동 루트 확보를 위한 장대교량 기술 확보

□ 국내 정책 트렌드

○ **‘4차 산업혁명 대응계획’에서는 성공적인 정보화·산업화를 위한 첨단 ICT 기술 확보 및 전방위적 적용을 추진**

- 시설물 안전체계 지능화를 통해 사고예방과 피해를 최소화하는 등 첨단기술로 사회문제 해결 기반 삶의 질 제고 및 新성장 촉진

  * 노후 시설물(교량·터널 등)의 이상거동 신속검지·초동대처(경고·교통통제 등)·구조물 영향분석(내구성 등) 지원, IoT 유지관리 시스템 확산 등 추진

○ **‘한국판 뉴딜 종합계획’은 디지털·그린 경제로의 대전환을 천명함**

- SOC 디지털화를 추진하여 국가의 핵심 인프라에 대한 디지털 관리체계 구축
- 탄소중립*의 전세계적인 흐름에 동참하는 한편, 탄소중립을 전략적으로 활용하여 미래 성장동력으로 육성

  * 25개국의 공식적인 탄소중립 선언*과 기후정상회의(‘21.4월), P4G 정상회의(’21.5월) 개최 및 UN 지속가능발편목표 고위급 회의(‘21.9월) 등 탄소중립이 글로벌 뉴노멀로 정착

○ **국토부는 ‘스마트 건설기술 로드맵’을 통해 BIM 활용, 건설기계 자동화, ICT 기술활용 O&M 등을 통한 건설분야 스마트화 추진 중**

- 건설 全프로세스에 걸친 첨단화·디지털화로 건설산업의 생산성을 제고하고 기술혁신을 통한 시장개척 추진

○ **‘제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획’에 따라 대규모·고난이도·고부가가치형 新형식 인프라 건설 원천기술 확보 필요**

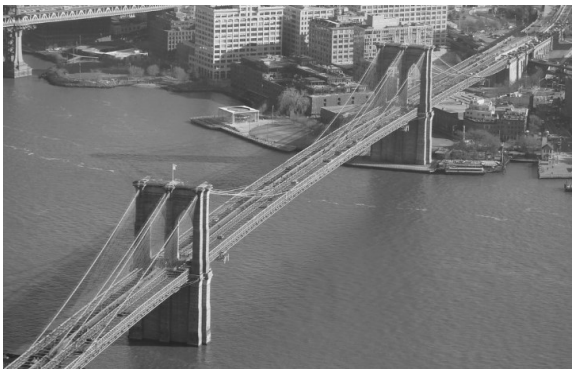
- 신형식 메가 스트럭쳐 개발 및 엔지니어링 기술 국산화 등을 통해 건설시장의 주력상품인 터널, 교량 분야 경쟁력 지속 확보가 요구됨

□ 기술 개발 동향

○ **대수심 횡단 장대교량 기술의 발전추세를 고려할 때 차세대(5세대) 교량에는 주경간 5㎞ 이상의 건설기술이 요구될 것으로 전망**

- (1세대: 주경간 0.5㎞) 근대 도시형성시기의 교량으로 아이바(Eye bar) 체인에서 와이어스트랜드로 설계 형식이 변화
- (2세대: 주경간 1㎞) 산업화와 대량생산시기이며 강선케이블, 트러스 보강 등으로 안전성이 향상되며 주경간도 확대
- (3세대: 주경간 2㎞) 1900년대 중반 시기로 케이블 교량의 보편화와 컴퓨터를 활용한 설계·구조해석이 본격화된 시기

- (4세대: 주경간 2~3㎞) 2000년대 이후 ICT 기술 발전시기로 고강도·고성능 재료, 디지털 기술 활용 등이 진행 중인 현재
- (5세대: 주경간 5㎞) 50년 이내 4차산업혁명 근미래 시기로 고강도 신재료와 AI 등이 적용되고 주경간은 5㎞ 이상으로 전망



Brooklyn Bridge, 1883년, 486m (미국)

Golden Gate Bridge, 1937년, 1280m (미국)

Akashi-kaikyo Bridge, 1998년, 1991m (일본)

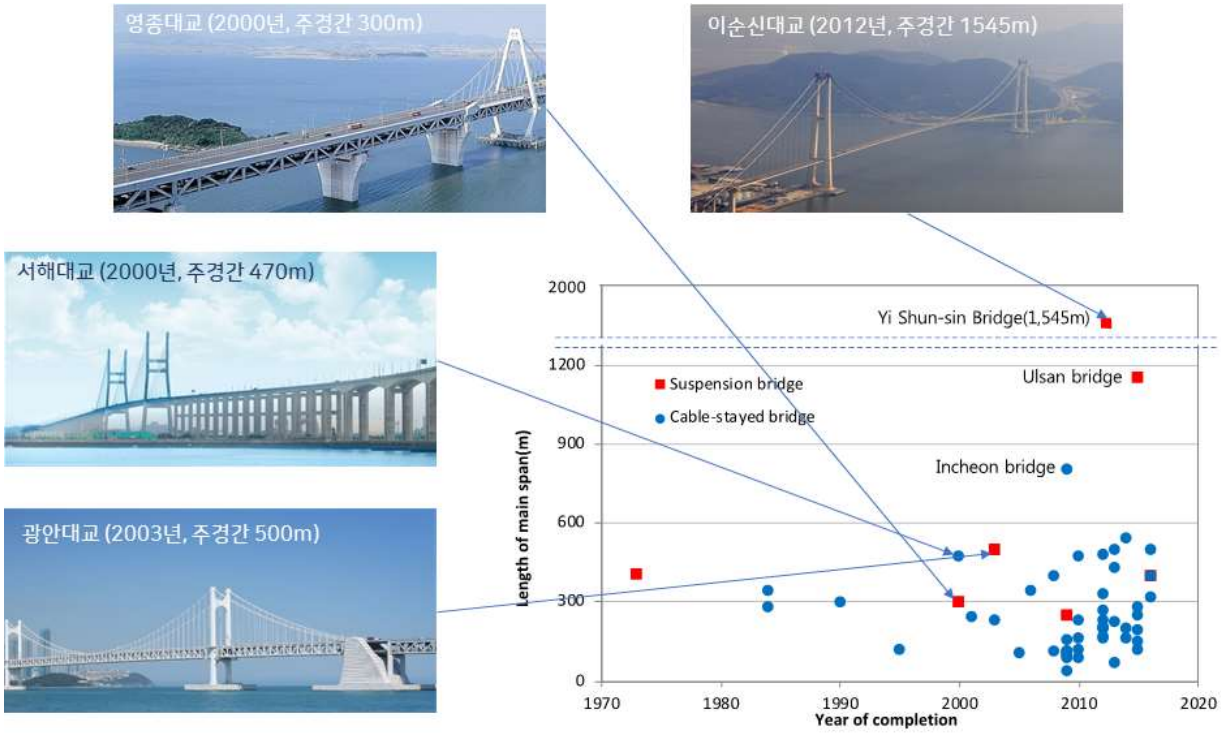
Canakkale 1915 Bridge, 2022년, 2023m (터키)

[그림 2] 세대별 대표 교량 사례

○ **국내 초장대교량 기술 경쟁력**

- 우리나라 장대교량 기술은 1970년대부터 해외기술 의존도를 꾸준히 낮춰왔으며, 현재 기술 자립도와 역량 면에서 세계적 수준
- (초장대교량사업단) 초장대교량의 설계, 시공, 유지관리에 필요한 핵심기술 자립화를 위한 선택과 집중의 결과 비약적 기술발전 달성

  * 건설시장에서의 낮은 인지도를 극복하고 주요 기술보유국 중 하나로 자리매김



[그림 3] 국내 기술로 건설되고 공용 중인 대표 교량 사례

□ 전문가 미래 전망

○ 국내 전문가 대상 미래전망과 기술수요 조사

- 2050년까지의 주요 트렌드와 총 82건의 기술수요 과제 수집
- 중기(~2035) 및 장기(2035~2050)로 구분하여 예상 요구 기술 도출

* 미래전망 및 수요기술·프로젝트 발굴 설문조사 (21년 1월)

□ 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 미래 아젠다 도출

○ **4세대 완성에 필요한 예상 요구 기술 (단중기)**

- 횡단방식 다변화
- 고성능, 고기능, 고강도, 경량, 친환경 신소재
- 스마트팩토리형 유지관리
- 설계 패러다임의 진화
- 자율주행차량 관제 등 사용자/관리자 서비스 플랫폼 구축

○ **4세대 완성 후 예상되는 횡단 기술의 전망 (장기)**

- 2035년 까지 현재 기술에 근거한 5K 기술은 개발 완료될 것
- 5K 수준의 횡단 프로젝트 변화 양상은 물류산업 변화나 사업성 확보 요구

에 따라 다변할 것

- 초장대교량 목적, 용도, 모습의 변화
  - 승객과 물류의 매스 트랜스포테이션 기능
  - 초장거리 물류 효율화를 위한 신형식 도입
  - 하이퍼루프의 대륙간 연결까지 확대
  - 무인유지관리 기본
  - 반영구적 내구성 향상 재료 도입

○ **5K Bridge 장기(2035-2050) 기술 이슈**

- (예상 주요 이슈) 내륙횡단 to 대륙횡단, 탄소중립, 무인화
- (예상 주요 기술)
  - 신형식 교량 (하이퍼루프, 수중교량 등)
  - 신 재료 (초경량+고강도)
  - 신 최적 형상 (Morphology optimization)
  - 신 메가스트럭쳐 (Civil dome 등)
  - 다기능, 다목적 Multifunctional (Network, Pipeline 등)
- 탄소배출 규제 및 신재생에너지 연계

○ **미래 아젠다 - 4대 중점분야 도출**

- 트렌드 종합 분석, 기술 이슈 분석, 전문가 의견 조사 및 연구그룹의 브레인스토밍을 통해 미래 기술 아젠다 - 4대 중점분야를 도출

미래 기술 아젠다 - 4대 중점분야

① 미래형 초연결 교량 기술 선점	② 환경변화 적응형 지속가능 기술 구현	③ 스마트팩토리형 시공 및 유지관리 실현	④ 지능형 정보와 안전한 주행 환경 제공
- 부유식/수중교량 등 미래형 기술 확보 - 5㎞ 대수심 횡단 기술 선점	- 해수면 상승에 탄력적인 기초형식 구현 - 에너지자립형 그린 기술개발	- 프리팹 급속시공의 해양환경 확장 - 디지털 기반 O&M 전환과 무인자동화 실현	- 초장대교량의 관제기술 서비스 제공 - 성능 기반 리스크 관리기술 개발

2.3 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜

□ 5K Bridge 기술개발 중장기 마스터플랜 비전 체계도

비 전

세계를 하나로 이어주는 미래형 초연결 기술 실현

정책목표

미래 교통 수요와 기후변화에 대비하는 최첨단 Giga-Crossing의 글로벌 경쟁력 확보

중점분야

① **미래형 초연결 교량 기술 선점** 부유식/수중교량 등 미래형 기술 확보 5㎞ 대수심 횡단 기술 선점	② **환경변화 적응형 지속가능 기술 구현** 해수면 상승에 탄력적인 기초 형식 구현 에너지자립형 그린 기술개발
③ **스마트팩토리형 시공 및 유지관리 실현** 프리팹 급속시공의 해양환경 확장 디지털 기반 O&M 전환과 무인자동화 실현	④ **지능형 정보와 안전한 주행 환경 제공** 초장대교량의 관제기술 서비스 제공 성능 기반 리스크 관리기술 개발

추진전략

추진전략 1	**10년 단위로 미래교량 형식 순차적 중점 추진** (부유식 교량 -> 수중 및 미래형식 교량 -> 5K Multifunctional Bridge)
추진전략 2	**4대 중점분야를 Value Chain과 연계** (**계획/설계**) 교량형식 다변화 (**소재/제작**) 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 (**시공**) 신속 정밀 자동화 시공 (**운영/유지관리**) 스마트 무인자율형 O&M
추진전략 3	**미래교량 형식별 Value Chain 연계 기술로드맵 구축 및 전략과제 제시**

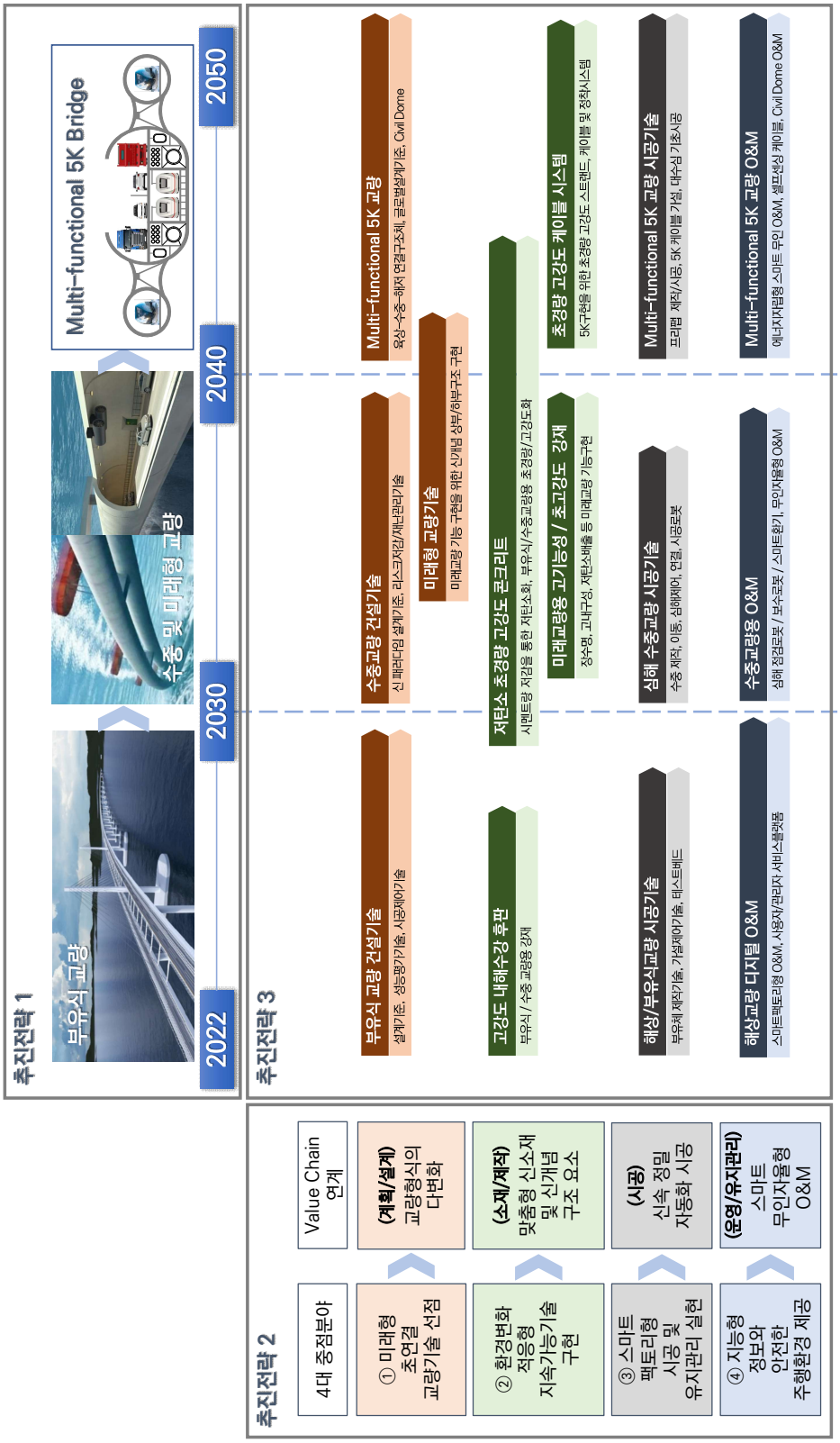
AS-IS	To-be
• 가격 경쟁력 기반의 해외 장대교량 시장 진입 성과 도출 • 대수심에서의 부유식 주탑 사장교 등 해외 시장의 첨단 이슈에는 대응 못함 • 100개의 국내 장대교량 유지관리는 BMS를 갖추고 있지만 인력 점검에 의존 • 고도의 기술력을 갖춘 인력이 양성되었으나 이를 지속시켜줄 건설산업이 소강상태임	• 5K 기술 개발로 해외 시장 선도 및 동남아 장대교량 프로젝트 수주 경쟁력 우위 확보 • 주변국과의 육로 연결 가시화에 따른 건설산업의 대국민 호응도 향상 및 자긍심 고취 • 자동화 무인화에 따른 생산성 향상 및 유지관리 비용 대폭 절감 • 미래 교량시장의 창출로 건설산업의 해외경쟁력을 제고하고 기술인력을 지속적으로 양성함

[그림 4] 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 비전체계

2.4 5K Bridge 중장기 기술 로드맵(2050)의 도출

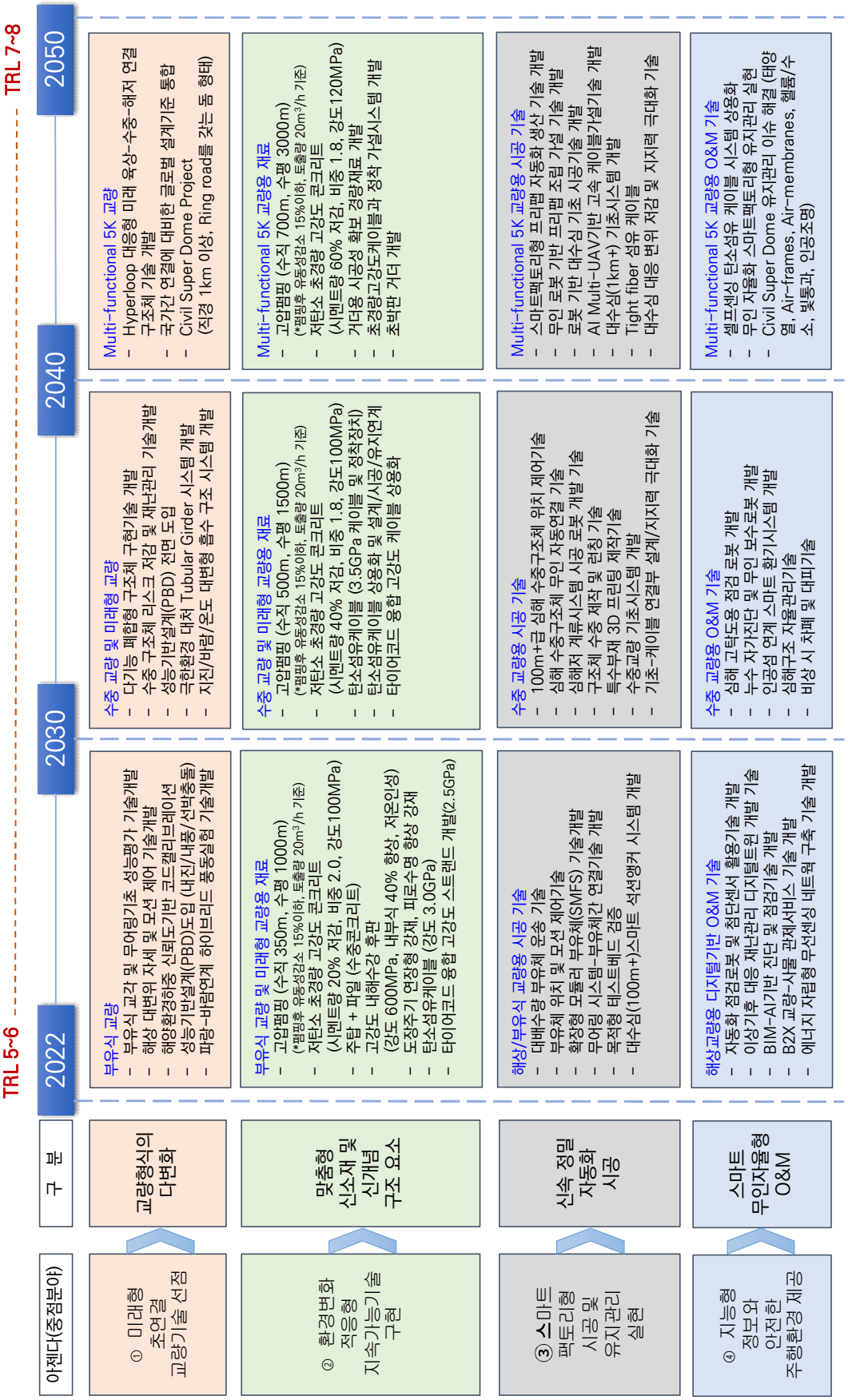
□ 4대 중점분야 기술 로드맵 (매크로 로드맵)

○ 3대 추진전략에 따라 4대 중점분야에 대한 중장기 매크로 기술 로드맵을 구성



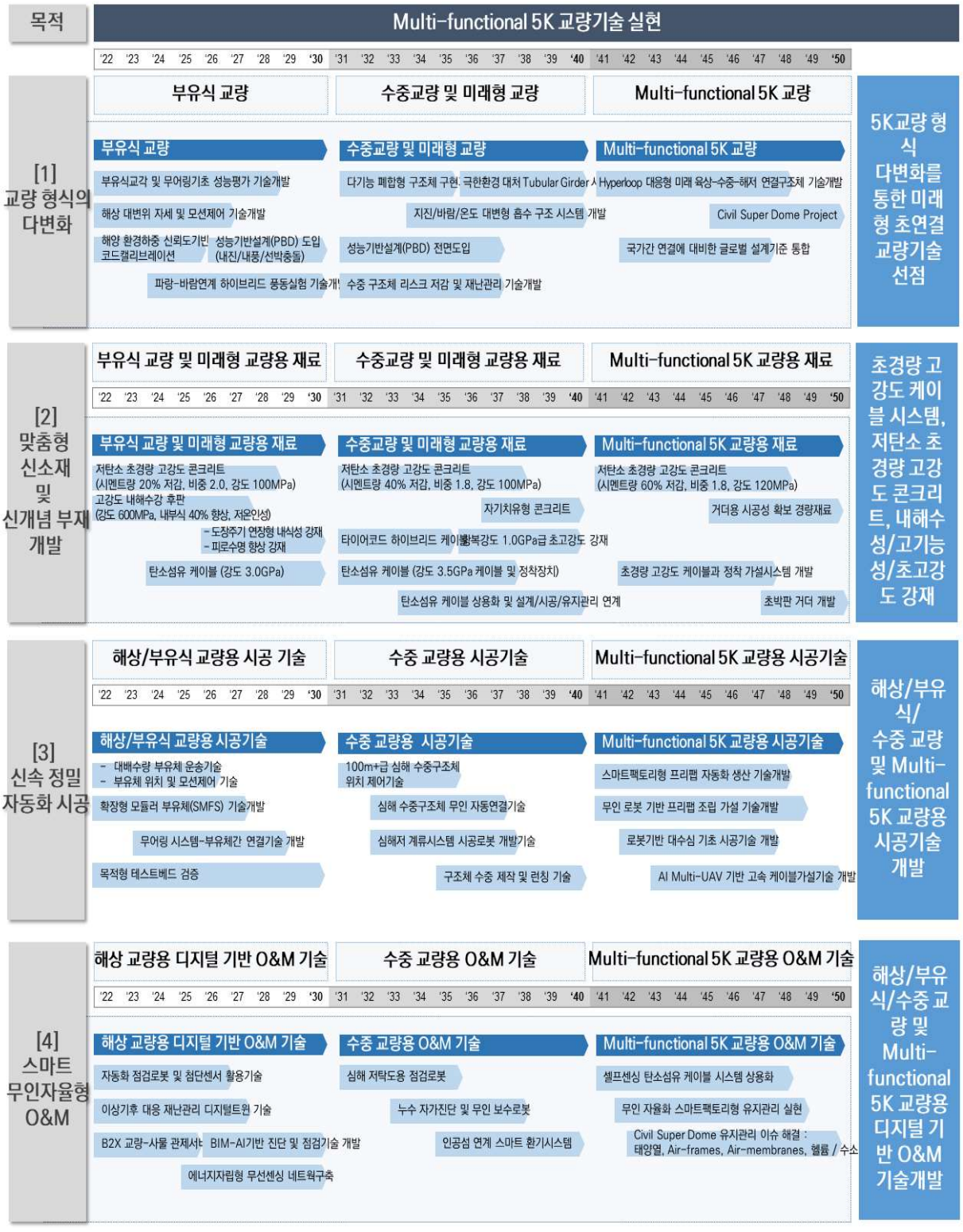
□ 매크로 로드맵 Breakdown 및 목표수준 설정

○ 매크로 로드맵의 Breakdown을 통한 개발기술 구체화 및 정량적 목표수준 설정



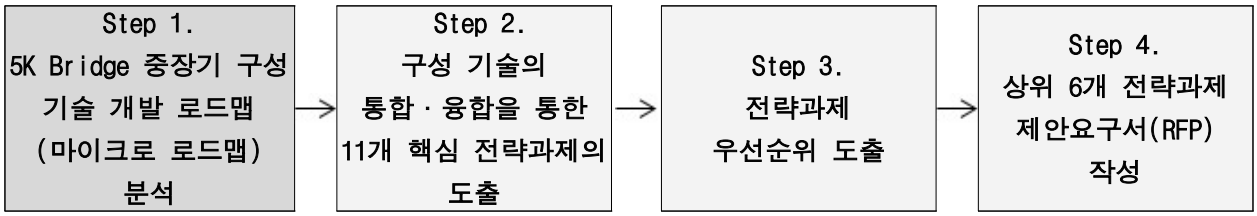
□ 중장기 기술 로드맵(마이크로 로드맵)의 도출

○ 각 세대별 교량형식을 구현하기 위해 도출된 총 53개 구성기술을 각 교량 기술 영역(Ⅰ. 교량 형식의 다변화, Ⅱ. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소, Ⅲ. 신속 정밀 자동화 시공, Ⅳ. 스마트 무인자율형 O&M)에 해당하는 필요기술을 도출하여 구성기술화 시기별 요구수준에 맞추어 배치함으로써 중장기 기술 로드맵을 구성함



2.5 전략과제의 도출

□ 11대 핵심 전략과제 도출



[그림 6] 11대 핵심 전략과제 도출 프로세스

○ **(기술 개발 로드맵 분석)** 연구진 및 국내 교량분야 전문가 자문위원회를 통해 중장기 기술개발 로드맵의 구성 기술 분석

- 4개분야 총 53개의 미래 환경변화에 대응할 수 있는 구성 기술 분석

○ **(로드맵 구성기술로부터 11개 핵심 전략과제 도출)** 유사 기술의 중복 제거등 수차례의 브레인스토밍을 거쳐 연구단급 전략과제로 규모 및 수준 조정

- 중장기 기술개발 로드맵의 전망과 수요를 고려하여 통합(안)을 도출

* 1차 총괄위원회 이후 수정의견과 중장기 로드맵(2050)을 고려하여 11개 핵심 전략과제로 통합, 수정 목록 도출

○ **(핵심 전략과제의 우선순위 도출)** 4대 중점분야, 추진 시급성 및 기술적 대안으로서의 제반 요건들을 종합적으로 고려하여 전략과제의 추진 우선순위를 도출

- 선별의 객관성을 확보하기 위해 AHP 방식으로 선별

○ **(전략과제별 제안요구서(RFP) 도출)** 우선순위 평가 결과 선별된 6개 전략과제에 대하여 5K bridge 전문가 워킹(working) 그룹에서 수요기술을 고려하여 제안요구서를 작성

<표 1> 로드맵 구성기술로부터 전략과제의 통합·융합

로드맵 구성기술(안)		전략과제명
- 설계자동화 - BIM, AR, VR - Morphology optimization		1. 디지털 기반 설계기술 개발
- 저탄소 친환경 구조재료 개발 - 초연결을 위한 고강도 및 경량 시멘트 복합체 개발 - FRP 및 다기능 신소개 개발		2. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발
- 하이퍼루프 교량 요소설계기술 - 시스템 구현기술 - 실증 테스트베드 구현		3. 하이퍼루프 대응 교량기술 개발
- 다차원 O&M 빅데이터 구축기술 - 모델-데이터 상시동화를 통한 디지털 트윈 구축 - 신뢰도기반 케이블교량 종합성능평가 기술 - 선제적 대응조치 및 의사결정 기술 - Resilience 확보 / 재난대응 기술		4. 케이블교량 디지털 O&M 기술개발
- B2Vehicle : 화재, 안개, 강풍, 사고 시 자율주행차량 관제 (속도, 차선) - B2Ship : 선박, 비행체 접근감지 및 충돌경고 - B2Passenger/Pedestrian : 자살방지, 관광정보, 위치정보, 재난시 피난정보, 사진촬영(번지점프) - B2Operator/Owner/Officer : 차량자동인식 통행정보, 이상주행 감시, 이상행동 감시, 이상기후 시 통행 조절 정보제공, 비상시(재난발생시) 유관기관 필요정보		5. B2X 교량-사물 관제서비스 기술개발
- 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발 - 경량 내해수 기능성 신소재 개발 - 신형식 부유식 구조체 가설기술개발 및 테스트베드 검증 - 리스크기반 스마트팩토리형 O&M 기술개발	▶	6. 신소재기반 부유식 구조체 기술개발
- 설계기준에 Risk analysis의 전면도입 - 이상기후에 대응할 수 있는 시방서 및 설계기준 - 기후변화 및 사회 경제적 요인을 고려한 차세대 교량 설계기준 - 경량의 활하중에 대응하는 설계하중 및 설계기준 - 미래 차세대 이동수단, 자율주행차량 및 미래 스마트 교통시스템의 운행 요구조건 정립		7. 차세대 재난대응형 성능기반 설계기술 개발
- 변위수용성 구조시스템 개발 - 교량 설계기준 합리화 기술 - 차세대 신뢰성 기반 교량 설계기술 - 기후변화 대응 교량 설계기술 - 극한사건 대응 교량 설계기술 - 구조 (진동) 제어 기술 고도화		8. Multi-functional 5K 교량 핵심 기술 개발
- 프리팹 및 모듈화 교량 제작 및 시공기술 - 프리팹 및 모듈화 교량 핵심 설계기술 - 차세대 교량 스마트 시공기술		9. 프리팹 자동화 시공기술 개발
- 초대형 풍력터빈 / 소형풍력터빈 / 솔라패널/ 집광형 태양광발전 - 파력 조류력 및 조력 발전		10. 에너지 생산 케이블교량 기술개발
- 해상교량에 통행로를 만들 수 있는 신소재 개발 및 구축기술 - 교량 시설을 활용한 물분수쇼, 번지점프 등 부가기능 구현기술 - 노후 케이블교량 보수보강 및 장수명화 기술		11. 교량 리모델링 및 보수보강 기술개발

○ 상위 전략과제 선별 결과 (가중평균의 총점순 6개)

* 6개 사업에 대하여 작성된 제안요구서(RFP)는 본 보고서 2.5.2절 참고

<표 2> 선정기준별 평가결과_총점(가중평균) 높은 순

순위	전략과제명	총점 (가중평균)	비고
1	**Multi-functional 5K 교량 핵심 기술개발**	**6.814*)**	예타급 대형사업
2	**차세대 재난대응형 성능기반 설계(PBD) 기술개발**	**6.706*)**	
3	**케이블교량 디지털 O&M 기술개발**	**6.648**	예타이하 선행사업
4	**신소재기반 부유식 구조체 기술개발**	**6.395*)**	예타이하 선행사업
5	**맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발**	**6.361*)**	
6	**프리팹 자동화 시공기술 개발**	**6.353*)**	
7	디지털 기반 설계기술 개발	**5.967**	후순위
8	B2X 교량-사물 관제서비스 기술개발	**5.677**	후순위
9	교량 리모델링 및 보수보강 기술개발	**5.501**	후순위
10	에너지 생산 케이블교량 기술개발	**4.994**	후순위
11	하이퍼루프 대응 교량기술 개발	**4.716**	후순위

*) 국내외 전문가의 대다수 의견에 따르면, 해당 기술들을 20-30년에 걸쳐 진행하는 것 보다는 국제적 선점을 위해 향후 7-10년 정도의 예타급 대형사업으로 동시에 진행하는 것이 경쟁력 확보에 바람직한 것으로 드러남.

Ⅲ. 5K Bridge 단기사업 기획

□ 단기 우선 추진 사업 필요성

- ㅇ 5K Bridge 기술 개발 계획은 중장기 계획으로서 하나의 사업으로 추진할 경우 전체 사업 규모나 기간이 매우 커 실제 사업의 착수까지에는 상당한 시간이 소요
- ㅇ 따라서 5K Bridge 구성 기술 중 기술개발의 시급성, 필요성 및 성공가능성을 종합적으로 고려하여 선별한 핵심 기술을 우선 개발 추진하는 것이 5K Bridge 초장대 교량 기술의 연속성과 국제경쟁력을 유지하기 위해 필수적
- ㅇ 단기 우선 추진 사업은 총 사업기간 5년 이내, 국비 200억원 이내의 예타 면제 사업으로 기획하여 기술 개발 사업의 추진력을 극대화

□ 단기 우선 추진 사업 도출

- ㅇ 기 도출된 6개 상위 전략 과제를 대상으로 추진 사업 선정
- ㅇ 연구진 및 자문위원 중심으로 국내외 시장 전망, 추진 시급성, 성공 가능성, TRL 수준, 소요 예산 규모 등을 중점적으로 비교 검토
- ㅇ 검토 결과 6개 중 3순위의 **신소재 기반 부유식 구조체 기술개발**과 4순위의 **케이블교량 디지털 O&M 기술개발** 등 2개 기술을 **예타이하급(국비 200억 이하) 단기(5년이내) 우선 추진 사업으로 도출**
  - 1 순위 Multi-functional 5K 교량 핵심 기술개발은 예타급 대형 사업으로 추진
  - 2 순위 차세대 재난대응형 성능기반 설계(PBD) 기술개발은 기술개발의 중요성과 시급성은 인정되나 시장성 및 상품성, 현 기술수준 및 기술개발에 소요되는 시간을 고려하여 우선 추진 사업으로는 부적합 결론
  - 5 순위 신소재 기술과 6순위 프리팹 기술은 단독 사업으로 추진하지 않더라도 부유식 교량 및 디지털 O&M 기술 개발 사업의 구성 기술로 일부 개발 가능

3.1 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업

- **(목적)** 차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 신소재 기반 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경* 국토활용성** 확장

  * 부유식 구조체는 해저 굴착을 최소화하고 기초공사의 건설물량을 획기적으로 줄이며, 부유시설의 연장, 이동 및 폐기가 용이하여 환경 친화적임

  ** 수심이나 해저지반조건의 영향을 적게 받기 때문에 부유식 교량, 풍력터빈, 접안시설, 공항, 방파제, 플랜트, 군사시설 및 해상공원 등 연안까지 국토확장을 가능하게 하는 미래형 구조기술로서 세계적으로 기술확보가 활발하게 추진 중

- **(기간)** ’23.1월 ~ ’27.12월 (60개월)
- **(예산)** (’23년) 55억원, 총 사업비 미정(국고 280억원, 민간 94억원 이상)
- (**수행방식**) 지정 공모(100%)
- (**연구개발단계**) 개발(100%)
- (**전문기관/수행주체**) 국토교통과학기술진흥원 / 미정

1. 추진배경 및 현황

(1) 추진배경

ㅇ 목표수명 50~100년의 **부유식 구조 구현 기술**은 **노르웨이, 일본, 싱가포르 등이 선점**하여 상용 기술을 **실증하는 단계**로, **관련기술 확보**를 통한 기술 경쟁력 강화 및 국내외 시장 진출을 위한 **기술개발 및 정부투자 필요**

ㅇ **국제선도 수준**의 **초장대교량 기술**을 토대로 **부유식 구조체 기술**을 **단기간**에 **확보**하는 것이 **가능**하며, 향후 **글로벌 메가 인프라 건설시장 선점** 및 지속 가능한 도약을 위한 **기술확보 시급**

(2) 국내외 시장 및 기술동향

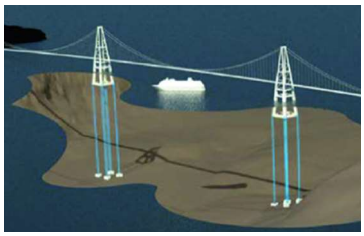
ㅇ **(국외)** 주요 **선진국**은 **친환경 부유식 메가스트럭쳐 기술**을 **차세대** 주요 건설 **기술**로 인식하고 **연구 투자 및 시장 개발** 추진 중

- **(노르웨이)** 1992년 총 연장 845m의 부유식 교량을 건설한 바 있으며, E39 도로 연결사업에 부유식 기초 케이블 교량을 건설할 예정으로, 세계 최고 수준의 부유식 교량 기술을 보유
- **(일본)** 2000년 부유식 활주로 연구를 통해 1km 테스트베드를 건설하였고

2001년 410m 부유식 아치교량인 Yumemai교를 건설하였으며, ’13년 70MW 부유식 태양광 발전단지를 가동하는 등 다양한 부유식 구조체 기술 보유

- **(싱가포르)** ’16년 3,000m 대수심 모사가 가능한 차세대 Deepwater Ocean Basin(DOB)을 갖춘 국가 R&D센터 구축을 통해 국토 확장, 해수면 활용 등을 위한 부유식 구조체 연구 수행 중

노르웨이 Bergsøysund교 (1992)


E-39 부유식 케이블교량 개념

일본의 부유식 활주로 (2000)

일본의 Yumemai 교량 (2001)

부유식 풍력터빈 Hywind (2009)

싱가포르 DOB (2016)

ㅇ **(국내)** 한강 세빛둥둥섬(2014), 탄금호 부유식 교량(2013) 등이 건설된 바 있으나 해양에서는 여수 부유식 해상교량 계획(미시행) 이외에 대형 부유식 구조체 개발사례는 없어, 해양조건 부유식 구조체의 엔지니어링 역량은 낮은 상태

- 부유식 수중교량 기획(’12~’17, 건설연), 수중터널 관련 ERC 연구(’18~, KAIST) 등이 있으나 주로 학술 기초연구로 진행

세빛둥둥섬 (2014)

탄금호 부유식교량 (2013)

2. 사업 내용

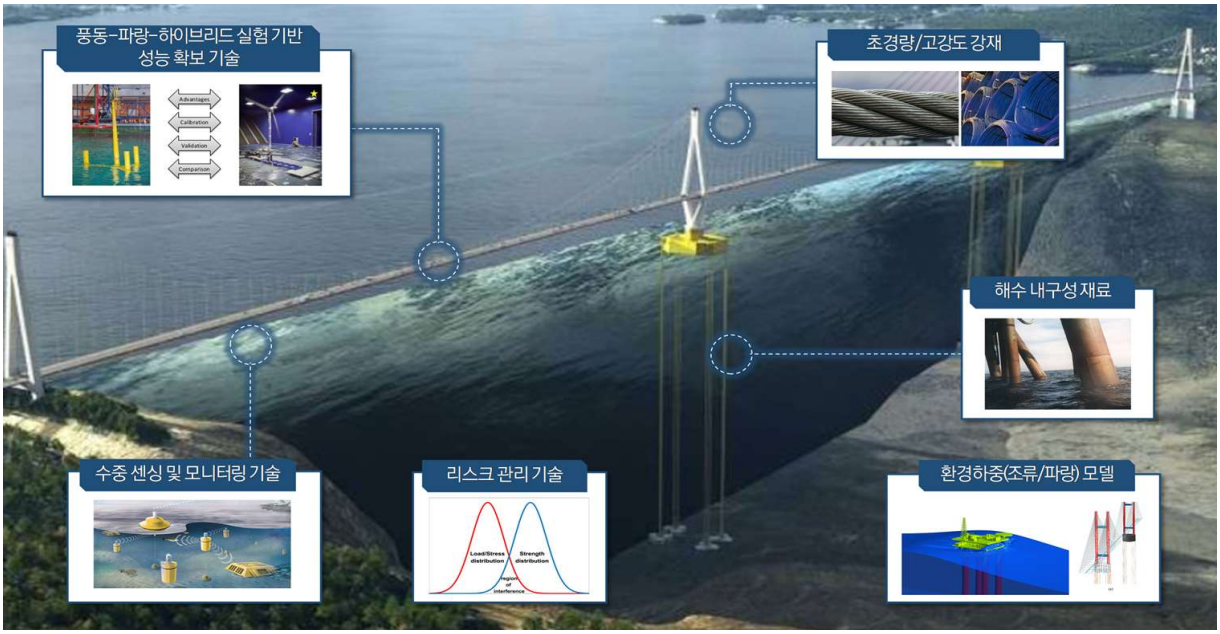
(1) 사업 목표

○ 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 **부유식 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발**

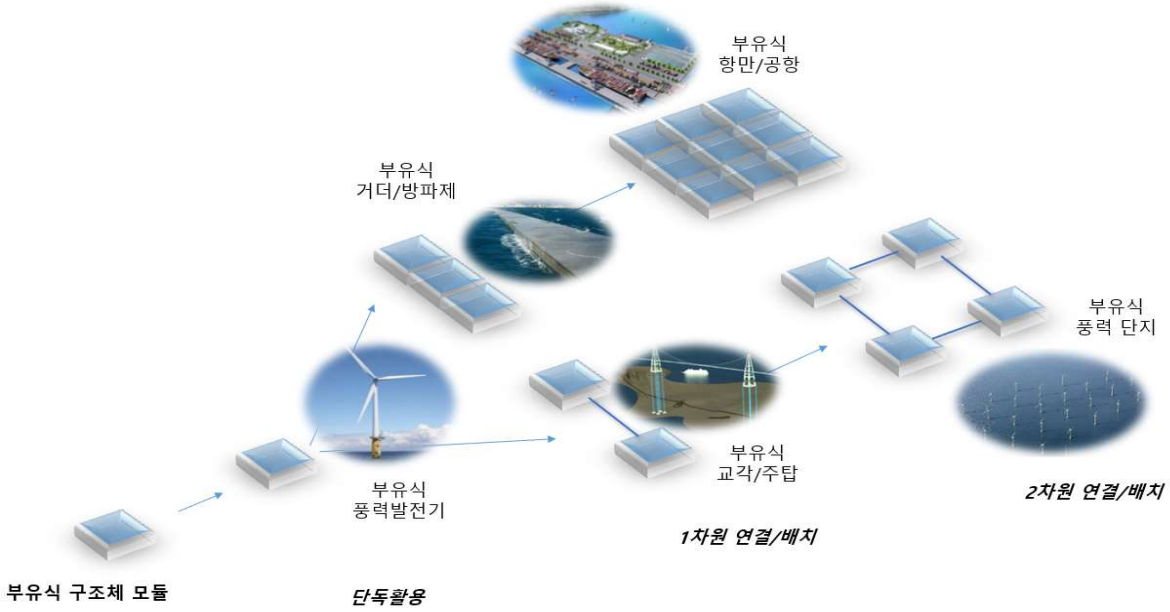
* 부유식 구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보

- 변위 수용성 기초형식을 갖는 **부유식 교량**을 **적용 대상**으로 하되, 전후방 연계분야로서 **부유식 풍력터빈** 및 **접안시설** 등의 확장 가능

【 기술 개념도 】



【 목적물 기반 기술확장 개념도 】



(2) 사업 세부내용

○ **(1세부) 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발**

- **(개발 방향)** 환경하중모델, 성능평가기술 및 설계기준 개발을 통한 반영구적 부유식 인프라 구조체에 대한 핵심 엔지니어링 기술개발
- **(기술 키워드)** 환경하중, 확률모델, 성능평가, 한계상태 설계법, 코드 캘리브레이션, 설계기준

○ **(2세부) 경량 내해수 기능성 신소재 개발**

- **(개발 방향)** 비중 2.0, 강도 100MPa 수준 초경량 고강도 콘크리트 및 인장강도 600MPa, 일반강재 대비 내부식성 40% 수준의 내해수강 개발
- **(기술 키워드)** 초경량, 고강도, 내부식성

○ **(3세부) 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증**

- **(개발 방향)** 부유식 교량 위치 제어 및 형상관리 기술을 통한 확장형 모듈러 부유 구조체 개발 및 테스트베드 건설
- **(기술 키워드)** 부유체 운송, 모션 제어, SMFS, 테스트베드

○ **(4세부) 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발**

- **(개발 방향)** 해상 센싱/모니터링, 리스크 평가, 로봇기술 적용을 통한 리스크 기반 스마트 팩토리형 운영 및 유지관리 기술개발
- **(기술 키워드)** 센서, 컴퓨터 비전, IoT, 데이터 동화, 이상 감지, AI, 로보틱스

(3) 사업 추진방법

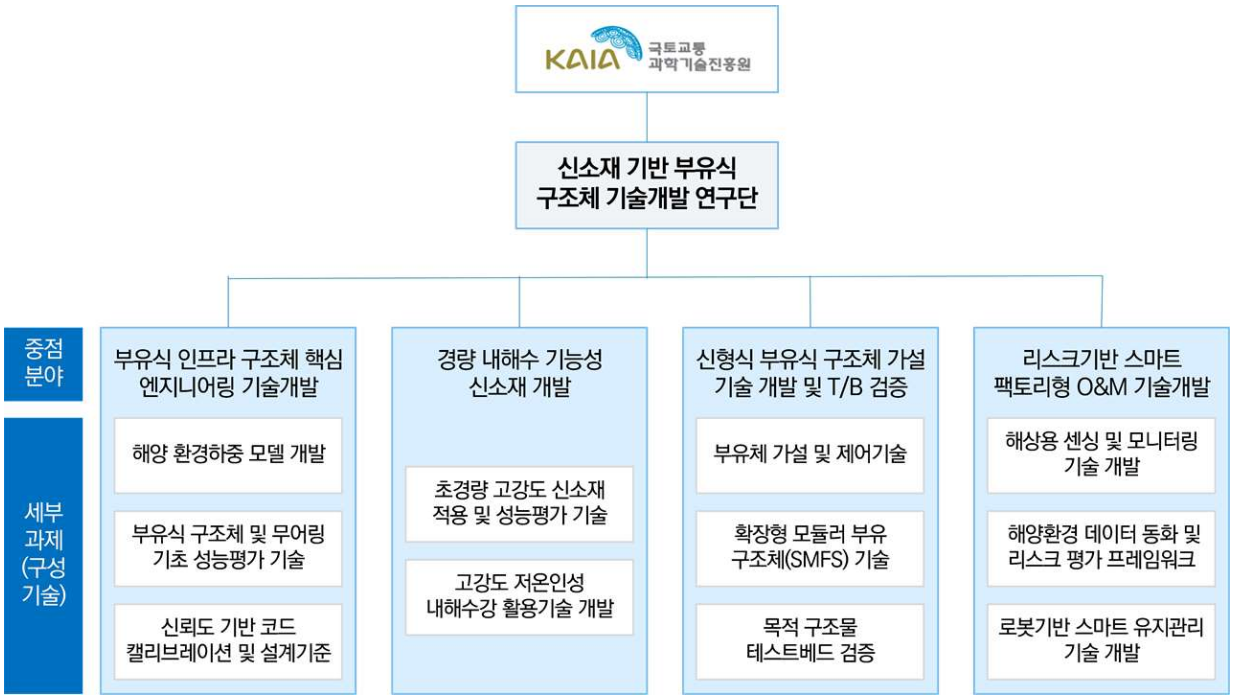
○ 다양한 부유식 구조체 목적물에 **공통으로 적용되는 기술**과 특정 목적물 부유체를 대상으로 하는 **테스트베드 구현기술**로 이원화하여 사업 추진 협업체계 구축

- **(공통 적용기술 집중 개발)** 목적물과 무관하게 공통적으로 적용 가능한 핵심 엔지니어링 기술, 기능성 신소재 및 연결기술, 리스크 기반 O&M 기술을 중점적으로 개발 추진
- **(테스트베드 적용 통한 검증)** 개발 기술의 활용을 주도할 기업체(건설사, 중공업사 등)가 참여하여 민간수요에 기반한 목적물을 제안하도록 유도

  * 테스트베드 적용을 통한 개발기술의 적용성 검증 및 실용화 기반 마련

(4) 사업 추진체계

○ 신소재 기반 부유식 구조체 기술 개발을 위해 4개 세부과제를 운영하고 정량적 성과목표를 연차별로 설정하여 관리/평가



(5) 연차별 투자계획

○ 국비 280억원과 민자(민간매칭) 94억원 이상으로 구성

- 민간매칭은 개발기술을 직접 활용할 참여기업이 부담하며, 국비의 33% 이상 수준으로 분담
- 테스트베드 건설비용은 연관 사업주체(지자체 등)와의 협의를 통해 개발 기술이 구현될 수 있는 방향으로 본 사업 연구비에서 분담

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획				
		'23	'24	'25	'26	'27
○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 ('23~'27)	37,400	5,500	10,400	11,900	5,800	3,800
○ 국 고	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
▪출연	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
○ 민간매칭 등	9,400 이상	1,400	2,600	2,900	1,500	1,000

* 민간매칭은 향후 정부투자 및 참여기업 규모 등에 따라 변경가능

(6) 기대효과

○ **기술적 기대효과**

- 해양 도시 등 **미래 사회 건설을 대비한 기술**이며, 디지털 설계 및 제작, 생산 기술인 프리팹(prefabrication) 및 모듈러(modular) 기술은 **건설산업 디지털 전환의 선도 기술** 역할 수행
- 지진에 대해 격리된 구조형식으로 주요 재난에 강인한 특성을 지니고 있어 **회복탄력적(resilient)**이며, 지구 온난화에 의한 수면 상승으로 인한 영향을 덜 받는 **지속가능(sustainable)**한 기술

○ **경제·사회적 기대효과**

- 대규모 매립이 필요한 공항, 단지 건설, 대수심 횡단이 필요한 교량 건설, 대규모 굴착이 필요한 터널 건설에 비하여 **공사비 및 시공 기간에서 경제적 우위**에 있으며 **확장이나 이동설치**가 가능
- 디지털 엔지니어링 기술을 통한 부유식 구조물 건설은 제작 및 가설단계의 원가절감 및 고품질 모듈러 구성품 제작을 가능하게 함으로써, 이를 활용한 친환경인공경량골재, 초고성능 콘크리트, FRP, 고강도 내해수 후판강 등 부유식 구조물용 신소재 적용에 따른 고성능 Mega-float 시스템 개발을 통한 **고부가가치 건설 산업의 토대**가 될 것으로 기대

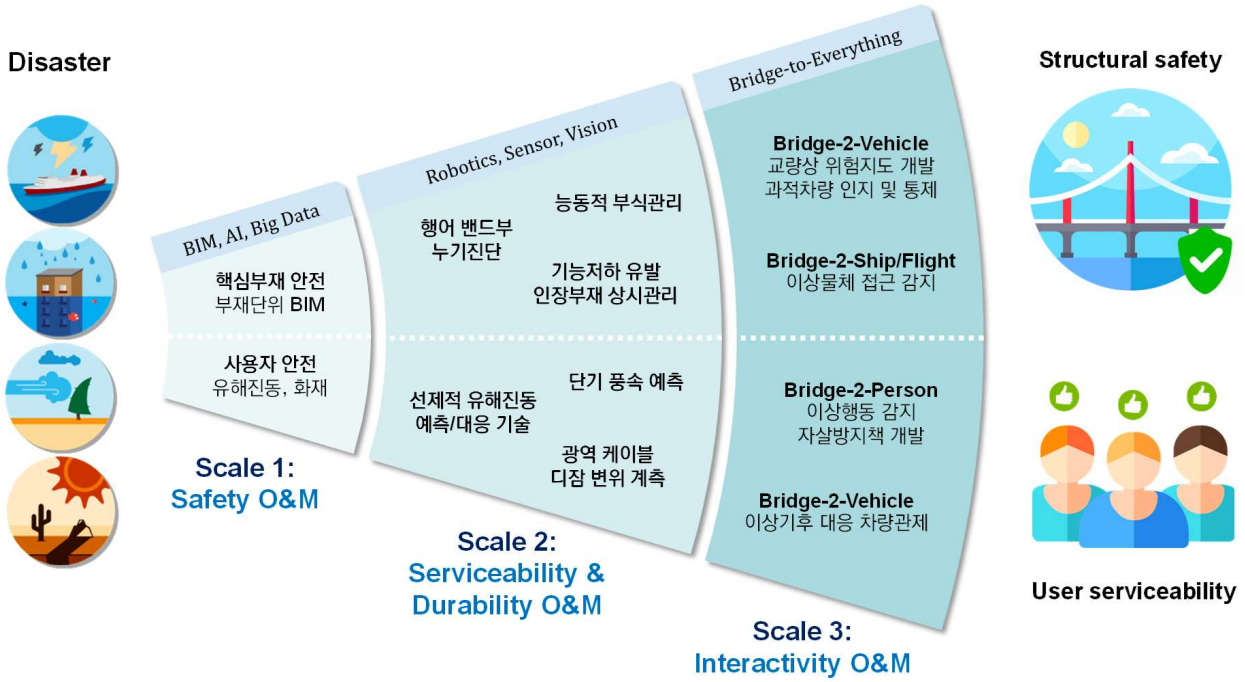
○ **환경적 기대효과**

- 하부구조가 직접 지면에 설치되지 않으므로 일반적인 해상 구조물 설치 방법인 교각 건설, 매립 시 굴착 등으로 인해 발생하는 오탁수 오염 등 **환경오염 최소화** 가능
- 2010년에 **가덕도 해안에 부유식 공항건설이 제안**된 바 있으며, 해상에 부유식 공항을 건설하게 되면 연약지반 극복, 건설비용 절감, 환경파괴 최소화, 해양 생태계 보존 등의 이점이 기대되어 **정책 추진에 기여**할 수 있음

3.2 케이블교량 O&M 디지털 전환 실증 기술개발 사업

- **(목적)** 케이블교량 목표수명까지의 멀티스케일 성능관리*를 위한 데이터 활용 디지털 O&M 기술 개발 및 실증
  * 케이블교량의 안전성, 사용성 및 서비스 성능을 포괄하는 종합 성능관리
- **(기간)** ’23.1월 ~ ’27.12월
- **(예산)** (‘23년) 40억원, 총 사업비 미정 (국고 200억원, 민간 67억원 이상)
- **(수행방식)** 지정 공모(100%)
- **(연구개발단계)** 개발(100%)
- **(전문기관/수행주체)** 국토교통과학기술진흥원 / 미정

1. 추진배경 및 현황



[멀티스케일 성능관리를 위한 O&M기술 디지털 전환 및 실교량 검증 개요도]

○ (데이터 활용) 현재 국내 케이블교량의 O&M 데이터는 교량 모델, 계측 정보, 이미지 정보, 점검 이력 등이 모두 디지털 정보로 구축되고 있으나 **구축된 디지털 정보의 활용은 빈약**하여 임계치 경보, 관리 내역 DB 등 상호 연관이 부족한 비동기화된 데이터 저장에 그치고 있는 수준

○ (성능 관리) 시특법에 의한 수준별 점검 체계로 구조물의 안전성능을 관리하고 있으나, 화재 및 이상 기후 등 재난 상황에 대한 대응은 아직 **수동적 매뉴얼 기반 대응**에 머무는 등 사용성 및 기능성을 포함하는 **종합 성능관리 체계는 미흡**하며 경험에 기반한 간헐적, 단속적 유지관리에 그치고 있는 실정

○ (멀티스케일 성능관리를 위한 데이터 활용 디지털 O&M) **데이터 활용효과를 극대화**할 수 있는 디지털 트윈(DT) 및 인공지능(AI)기술에 기반하여 케이블 교량의 종합 성능관리 체계인 안전성, 사용성 및 서비스 성능을 포괄하는 **멀티스케일 O&M 기술을 개발**하고 운용 중 케이블 교량에 **실증 적용**함으로써 케이블 교량 O&M의 디지털 전환 도약

- (통합 데이터 구축 활용 극대화) 단일 교량의 복합적 데이터 활용을 통한 서비스 모델 개발 뿐만이 아니라 서로 다른 **여러 개의 교량에 대한 DT네트워크를 구축**하여 통합 데이터 활용을 극대화
- (멀티스케일 종합 성능 관리) DT 활용 데이터 기반의 리스크 관리를 통한 선제적 안전 관리, 상시 자동화된 모니터링 및 의사결정 시스템을 통한 사용성·내구성 및 상시 운용성 향상, 교량과 주변객체 사이의 쌍방향 정보 교환을 위한 상호작용체계 구축으로 **새로운 서비스 및 부가가지 창출**

2. 사업 내용

❑ **(스케일 1: DT/Data기반 케이블교량 안전성 확보 O&M)** 데이터·디지털 트윈 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 O&M 기술

○ 구조 안전성 확보를 위한 DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리

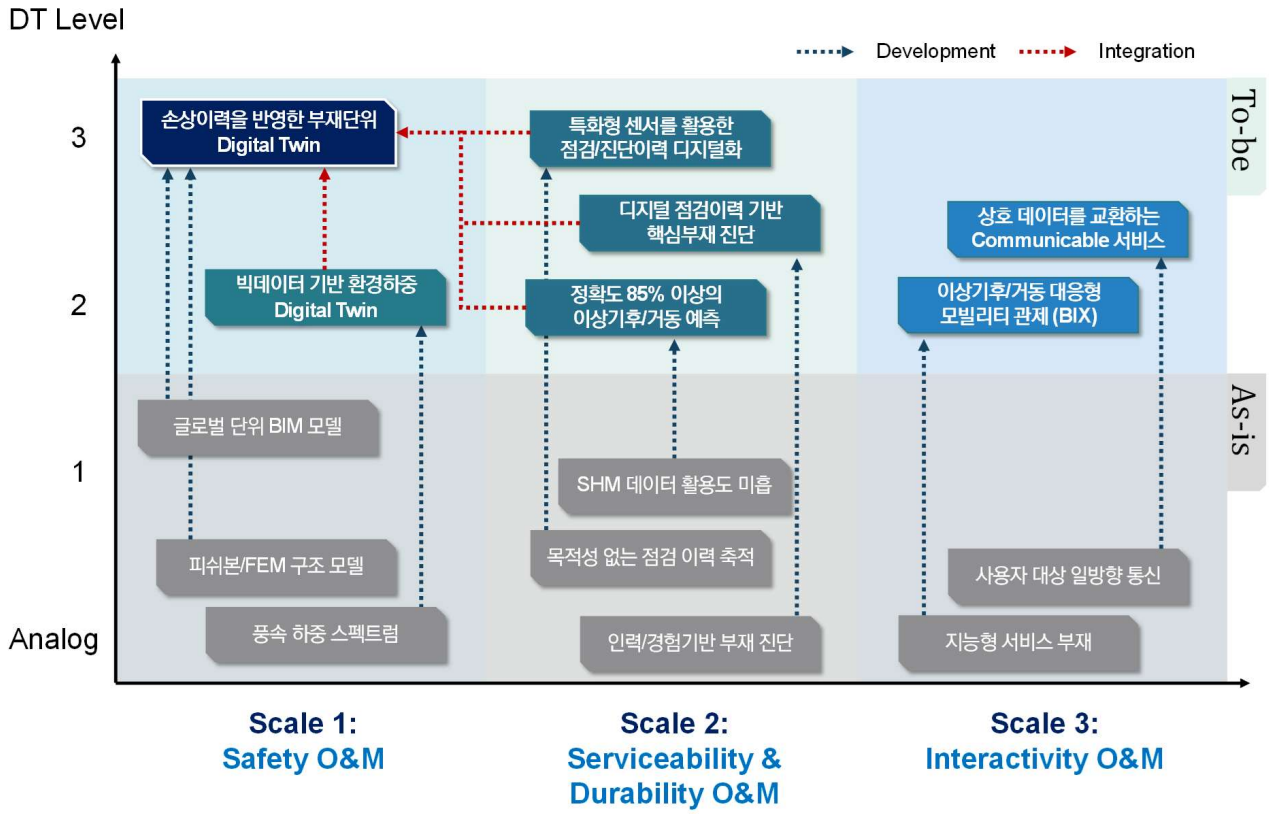
- 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 개발
- 열화성능 평가를 위한 부재 단위 DT 개발 및 BIM 모델로의 확장
- 다중 스케일 DT 기반 강구조 상세 피로 성능 평가 및 수명 예측
- 주요 부재 잔존수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합

○ 사용자 안전을 위한 DT 기반 선제적 리스크 관리

- Level 3 DT(상시동화해석모델)와 실시간 데이터를 이용한 화재, 지진, 충돌,

안개 등 재난 위험도 평가 및 재난 지도 대응 관리 시스템 개발

- 리스크 관리 최적 의사 결정을 위한 전교 단위의 상시동화해석모델 (Level 3: Predictive Twin) 구축



[멀티스케일 O&M의 목표 디지털 트윈 레벨]

❑ **(스케일 2: 자율 센싱 기반 케이블교량 사용성·내구성 향상 O&M)** 이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하기 위한 디지털 O&M 기술

○ 케이블교량 특화 상시 자율 진단 시스템 개발

- 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술 개발
- 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 서비스 기술 개발
- 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 서비스 기술 개발
- 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 서비스 기술 개발
- 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 서비스 기술 개발

○ 데이터 기반 상시 운용성 및 사용성 확보

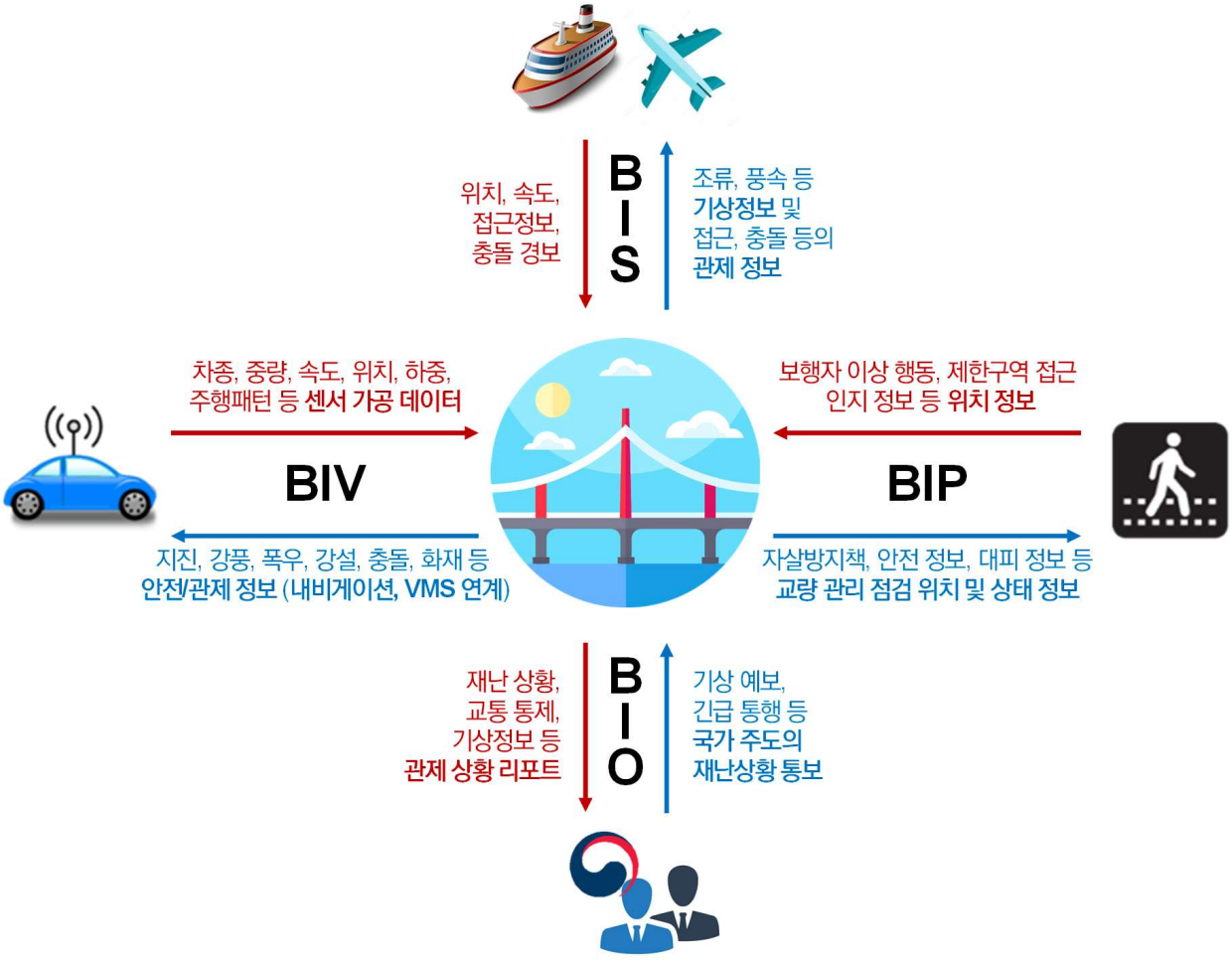
- 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 및 효과 분석
- 유사 교량 핵심 데이터 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축

- 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측
- 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리

❑ **(스케일 3: BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증)** 디지털 상호작용 정보 서비스 O&M 기술

ㅇ BIX 상호작용 정보 서비스 개발

- BIV: 자율/비자율 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 서비스
- BIP: 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 서비스
- BIA/S: 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 서비스
- BIO: 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스



[BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 기술]

3. 소요예산 및 핵심성과물

○ (연구기간 / 연구비) : ‘23.1～’27.12 / 국고 200억원, 민간 67억원 이상

(백만원)

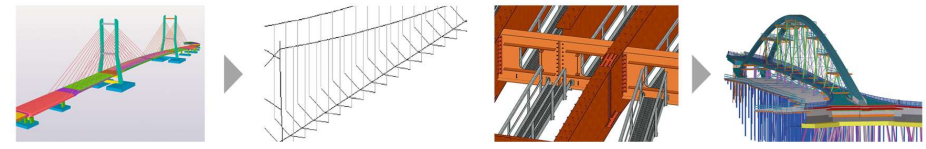
구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획				
		’23	‘24	‘25	’26	’27
○ 국 고	20,000	4,000	4,500	4,500	3,500	3,500
▪출연	20,000	4,000	4,500	4,500	3,500	3,500
○ 민간매칭 등	6,700	1,400	1,550	1,550	1,100	1,100

* 민간매칭은 향후 정부투자 및 참여기업 규모 등에 따라 변경가능

○ 핵심 성과물

Digital Twin with BIM

유형별 BIM으로부터 목적별 구조모델 자동개발 및 전체계 디지털 트윈 구축 파이프라인



유형별 BIM 모델 (Lv. 1-2) | 글로벌: Fishbone model | 핵심: 상세 FEM 모델 | **Digital Twin (Lv. 3)**

데이터 기반 환경하중 예측

빅데이터를 활용한 환경하중(차량, 바람, 공기력, 온도, 재난) 모델링 및 설계 피드백

단기 풍속예측 기반 선제적 교통통제 | 딥러닝 기반 교통류 예측

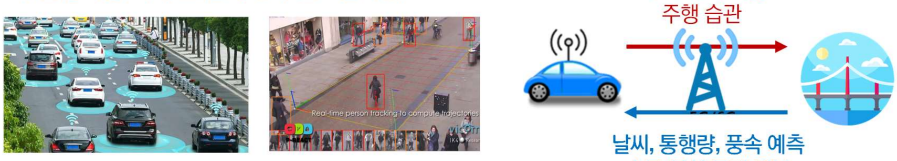
특수구조물 특화형 디지털 점검 및 진단

행어밴드, 케이블, 링크슈 등 핵심부재 대표 열화에 특화된 데이터 주도형 점검 및 관리 체계

온/습도 기반 실링부 점검 및 송기 관리 | 초음파 기반 내부 부식 정보 관리 | 데이터 기반 의사결정/관리 지원

BIX: Bridge-Interaction-to-Everything

4차 산업혁명 시대 모빌리티의 컨트롤타워



주행 차량 관제 | 이상행동 감지 및 자살 예방

4. 예산지원 필요성

○ (특수교량 맞춤형 유지관리 필요성) 현행 국내에서는 목표수명 100년 이상의 93개의 케이블 교량이 공용중이지만, 대상 교량의 특성을 반영한 맞춤형 유지관리 전략은 전무함

- 개별 교량의 목표수명은 100년 이상. 즉 향후 30여년 뒤에는 수십여개의 노후 케이블 교량을 관리해야 하며 이는 자연스럽게 유지관리 비용의 막대한 부담으로 이어질 수 있음
- 특히 케이블 교량은 대체수단이 부족하기 때문에 선제적인 유지관리를 통해 항상 건전한 상태를 유지해야 함
- SOC 안전강화 및 한국판 뉴딜 등 국가정책 목표의 성공적 달성을 뒷받침하기 위한 선제적 O&M으로의 전환을 위한 기술개발이 필요함
- 따라서 향후 유지관리비 및 사용성의 효율성 제고를 위해서는 케이블 교량의 거동 특성을 고려한 맞춤형 유지관리 전략을 세울 골든타임임

○ (건설주도에서 성능주도로의 전환시기) 단기간 급성장한 설계와 시공 결과에 운영관리상 경험 부족이 더하여 예상치 못한 O&M 이슈가 지속적으로 드러나고 있음

- 다수의 케이블교량에서 유해진동, 잦은 볼트 파단과 균열, 극심한 소음 발생 등의 국부적 손상이 보고되고 있음. 정확한 원인 규명과 후속 조치가 미비할 경우 대형 참사로 이어질 우려도 높음
- 또한 설계 및 시공 단계에서의 오류, 상세 구조모델의 부재 등의 원인으로 인하여 예상하지 못한 유해진동이나 핵심 부재(링크슈, 버퍼)에서의 비정상적 거동이 지속적으로 발생함
- 이를 관리하기 위한 건전도 모니터링 시스템이 모든 교량에 구축되어 있으나 실제 O&M에서의 활용도는 극히 저조함. 또한, 다양한 디지털 O&M 기술이 거론되고 있지만 실제 장대교량 현장에서는 거의 활용되지 못하고 있으며 아래와 같은 낮은 수준의 O&M 전략만이 활용됨

  * 임계값 기반의 알람 시스템은 정상적 가동상태를 분별하는 데에 한계를 보임
  * 설계시 예상된 거동과 실제 거동에는 상당한 차이가 존재하기 때문에 예상치 못한 진동이나 손상이 자주 발생하고 있음
  * 글로벌 거동 추적에만 초점을 맞춘 SHM 시스템의 한계로 인해 주요 점검대상 부재 단위에서 발생하는 국부손상 감지는 인력 점검에 의존하고 있음

[최근 10년간 발생한 케이블 교량 주요 이슈]

교량명	형식	주요 이슈	대응전략
제2진도대교	사장교	• 쌍둥이 교량의 간섭효과로 인한 유해진동 발생	• 현상 규명용 2차원 풍동실험 장기간 수행 및 현장 모니터링 데이터와의 검증으로 진동 원인 규명
소록대교	현수교	• 주탑 강도 저하	• 시공 당시부터의 주탑 부분적 강도저하 확인. 제한적 센서를 활용한 민감도 기반 모델 업데이트로 안전성 재평가
이순신대교	현수교	• 에폭시 재도장 및 해당 과정에서 고차모드 와류진동 발생 • 링크슈 앵커볼트, 버퍼 고정볼트 및 지지판 파단 • 박스거더 단부 소음 및 균열 발생 • 풍동실험을 상회하는 풍진동 발생	• 추가 풍동실험 수행 및 계측신호 기반 감쇠비 추정을 통한 진동 원인 규명 • 링크슈에 대한 목적형 상세 모니터링을 통한 설계와 다른 거동 규명 • 설계 피로하중을 상회하는 현상에 대해서는 활하중 모니터링 필요 • 태풍시 지속적 모니터링 및 성능확인 필요
천사대교	사장교	• 케이블의 와류진동 • 케이블의 저차모드 진동(최초보고) • 보강거더 와류진동	• 영상기반 케이블 진동 모니터링 처음 시도로 진동특성 확인 성공. • 주탑에 설치된 CCTV 영상을 육안으로 모두 분석하는 수고를 통하여 진동 원인에 대한 결정적 단초를 획득. 이후 풍공학적 지식을 토대로 각종 진동의 원인 규명.

○ (설계와 실제 교량의 차이점) 다수 케이블 교량의 실제 운용 사례를 통해 현재의 정형화된 설계 프로세스로는 케이블 교량에서 실제 발생하는 이상거동을 충분히 예측할 수 없음을 확인함

- 현재의 피쉬본 모델 및 이를 활용한 모델 업데이트는 시간에 따라 발생하는 부재 단위의 열화 및 손상등을 설계 및 유지관리에 반영할 수 없음
- 상시하중인 통행량, 풍속 등에 대하여 설계시 고려하는 하중의 특성과 실제 발생하는 하중 사이에는 큰 차이가 존재함
- 100년간의 구조물 운용 단계에서는 설계에 반영하지 않은 재난 리스크가 필연적으로 상존함. 실제 20-30년에 접어든 국내 교량에서는 화재, 태풍, 선박충돌, 차량 전복과 같은 재난이 연이어 발생하였음

○ (고급화된 서비스) 4차 산업혁명 시대에 대응할 수 있는 고급화된 서비스에 대한 요구

- 자율주행차량은 V2X (Vehicle to Eveyrhiting) 개념을 통해 스마트 시티 모빌리티 관제의 핵심 요소로 급부상하고 있음

- 교량 기술의 핵심이라 할 수 있는 케이블 교량 역시 이러한 흐름에 발맞추어 이상기후나 유해진동에 대응하여 차량, 보행자, 항만, 비행기 등 각종 모빌리티와 상호작용하는 BIX (Bridge interaction with Everything) 수준의 고급화된 서비스를 제공할 필요가 있음

As-is	To-be
특수교 맞춤형 유지관리 전략의 부재	**핵심 관리 구조요소** 및 주요 손상 모델에 대한 **무인 자동센싱** 수행
구조모델에 열화/손상 적용 불가	**부재 단위의 상세 Digital Twin 구축**을 통한 BIM 기반 열화/손상 관리
설계하중과 실제 하중의 차이	빅데이터를 활용한 케이블교량 특화형 **상시하중의 Digital Twin 모델 개발**
설계시 반영되지 않은 재난 리스크	이상기후에 대한 **주행차량 관제 프레임워크** 및 교량상 **위험지도 도출**
4차 산업혁명 시대에 걸맞는 서비스 부재	**Bridge interaction with Everything (BIX)**

5. 유사 · 중복성 검토

○ 대표적 디지털기반 유지관리 기술개발사업으로 추진된 '기반시설 첨단관리(Total Care)' 에 비해 본 과제는 장대교량에서 발생하는 주요 이슈해결에 집중한 실증형 연구로서의 차별점을 지님

- 기획과정에서 부처별 기 지원된 사업 및 과제를 대상으로 중복성을 검증하여, 개별 유사과제와의 중복성 검토 및 연계방안을 도출함
- 초장대교량사업단 및 글로벌기술연구단과의 연계성을 살리기 위해 중복성 검토 및 연계방안을 기획보고서에 제시하였음
- 기반시설 첨단관리 연구과제가 출범할 경우 개발될 기술을 연계 활용하는 장대교량 특화형 디지털 서비스를 기획보고서에서 제안함

6. 세부과제별 주요 연구내용

세부과제	구성기술	주요 연구내용
[1세부] DT/Data 기반 케이블교량 안전성 확보 O&M	(1-1) 안전성 확보를 위한 DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리	• 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 개발 • 열화성능 평가를 위한 부재 단위 DT 개발 및 BIM 모델로의 확장 • 다중 스케일 DT 기반 강구조 상세 피로 성능 평가 및 수명 예측 • 주요 부재 잔존 수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합
	(1-2) 사용자 안전을 위한 DT 기반 선제적 리스크 관리	• 화재, 지진, 충돌 등 재난 위험도 평가 • 재난 지도 대응 관리 시스템 개발 • 전교 단위 상시동화해석모델 (Level 3: Predictive Twin) 구축
[2세부] 자율 센싱 기반 케이블교량 사용성 내구성 향상 O&M	(2-1) 케이블교량 특화 상시 자율 진단 시스템 개발	• 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술 • 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 서비스 기술 • 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 서비스 기술 • 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 서비스 기술 • 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 서비스 기술
	(2-2) 데이터 기반 상시 운용성 및 사용성 확보	• 유사 교량 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축 • 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 및 효과 분석 • 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측 • 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리
[3세부] BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증	(3-1) BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증	• BIV: 자율 및 비자율 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 서비스 • BIP: 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 서비스 • BIA/S: 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 서비스 • BIO: 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스

목차

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

1.1 과제 개요 ····· 3

1.1.1 기획범위 및 필요성 ····· 3

1.1.2 기획 대상의 범위 ····· 4

1.2 기획의 목표 및 내용 ····· 6

1.2.1 기획 최종 목표 ····· 6

1.2.2 연차별 연구개발 목표 및 내용 ····· 7

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용 ····· 9

2.1 연구 추진체계 및 추진경과 ····· 11

2.1.1 기획범위 및 필요성 ····· 11

2.1.2 추진 방법 ····· 12

2.1.3 추진 경과 ····· 15

2.2 차세대 교량 트렌드 및 미래전망 ····· 17

2.2.1 메가트렌드 분석 ····· 17

2.2.2 국내 정책 트렌드 ····· 63

2.2.3 기술 개발 동향 ····· 88

2.2.4 전문가 미래 전망 ····· 114

2.2.5 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 미래 아젠다 도출 ····· 121

2.3 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜 132

2.3.1 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜의 구성 프로세스 ····· 132

2.3.2 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 중장기 마스터플랜 ····· 134

2.4 5K Bridge 중장기 기술 로드맵(2050)의 도출 ····· 135

2.4.1 4대 중점분야 기술 로드맵(매크로 로드맵) ····· 135

2.4.2. 교량기술 영역별 구성기술의 도출 ····· 136

2.4.3. 중장기 기술 로드맵(마이크로 로드맵)의 도출 ····· 141

2.4.4. 분야별 기술 성과지도 ····· 151

2.5. 전략과제의 도출 ····· 153

2.5.1. 전략과제 도출 프로세스 ····· 153

2.5.2. 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 전략과제 상세 기획(안) ·· 157

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 179

3.1. 연구수행 결과 ····· 181

3.1.1. 정성적 연구개발성과 ····· 181

3.1.2. 정량적 연구개발성과 ····· 182

3.1.3. 세부 정량적 연구개발성과 ····· 183

3.2. 목표 달성 수준 : 100% 달성 ····· 189

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 191

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획 ····· 195

[부록] 메가트렌드 전망 보고서 주요 이슈 정리 ····· 199

[별첨] : 5K Bridge 단기사업 기획보고서

별권.1 신소재 기반 부유식 구조체 기술개발 사업 기획보고서

별권.2 케이블교량 O&M 디지털 전환 실증 기술 개발 사업 기획보고서

표 목차

〈표 1-1〉 기획대상(연구)의 범위 및 핵심 성과물 ····· 5
〈표 1-2〉 연차별 연구개발 목표 및 내용 ····· 7

〈표 2-1〉 연계성 미래 유망 전략프로젝트 개요 ····· 14
〈표 2-2〉 주요 과업내용의 추진 절차 및 결과물 ····· 15
〈표 2-3〉 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획의 추진경과 ····· 15
〈표 2-4〉 STEEP 분석에 활용된 보고서 ····· 18
〈표 2-5〉 STEEP 기반으로 정리된 미래 메가트렌드 이슈 ····· 18
〈표 2-6〉 메가트렌드 이슈 평가결과 ····· 19
〈표 2-7〉 메가트렌드 재분류·정리 및 국토교통·교량 분야 이슈 ····· 21
〈표 2-8〉 라이프스타일 신조어 ····· 25
〈표 2-9〉 2018년 전세계 및 주요국 도시화율 ····· 29
〈표 2-10〉 공유경제 분야별 구분: 사례 ····· 31
〈표 2-11〉 차량공유 종류 및 개념 ····· 32
〈표 2-12〉 코로나19 이후 성장하는 업종 현황 ····· 34
〈표 2-13〉 공유경제 시장 활성화를 위한 정부의 주요정책 ····· 34
〈표 2-14〉 모빌리티 패러다임 분류 ····· 36
〈표 2-15〉 건설분야 디지털 전환의 효과 ····· 40
〈표 2-16〉 건설 단계별 디지털 기술의 활용 ····· 40
〈표 2-17〉 디지털화에 따른 건설산업의 변화 ····· 42
〈표 2-18〉 지역경제 통합의 형태 ····· 45
〈표 2-19〉 바이든의 그린뉴딜 관련 건축·도시 정책 주요 공약 ····· 48
〈표 2-20〉 EU 그린딜 이니셔티브 주요내용 ····· 48
〈표 2-21〉 국내 시공사의 탄소중립 이행을 위한 Activity 사례(예) ····· 49
〈표 2-22〉 교토의정서와 파리협정의 비교 ····· 51
〈표 2-23〉 주요국의 온실가스 감축목표 주요내용 ····· 51
〈표 2-24〉 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035) 분야별 특징 ····· 52
〈표 2-25〉 신재생에너지 종류 ····· 54
〈표 2-26〉 세계권역별 1차 에너지 수요 전망 (NPS) ····· 56
〈표 2-27〉 전통자원과 비전통 자원의 구분 ····· 57
〈표 2-28〉 의사결정과 조직운영 시스템 용어 ····· 59
〈표 2-29〉 기술혁명이 가져온 정부 형태와 정부 운영시스템 ····· 60
〈표 2-30〉 문재인 정부 국정과제 중 건설산업 내용 ····· 63
〈표 2-31〉 제1차 기후변화대응 기본계획 주요과제 ····· 64
〈표 2-32〉 부문별 주요 감축수단 ····· 66
〈표 2-33〉 제2차 기후변화대응 기본계획 중점 추진과제 ····· 67
〈표 2-34〉 주요 건설업체 스마트 건설기술 활용 현황 ····· 73
〈표 2-35〉 건설 단계별 핵심 개발기술 ····· 73
〈표 2-36〉 스마트 인프라 건설시스템 핵심기술 R&D ····· 77
〈표 2-37〉 주요국 디지털 분야 투자 계획 ····· 80

〈표 2-38〉 주요국 탄소중립 추진 동향 ····· 80
〈표 2-39〉 초장대교량사업단 연구내용 ····· 98
〈표 2-40〉 초장대교량 사업단 대표성과 요약 ····· 100
〈표 2-41〉 아카시 대교 제원 ····· 103
〈표 2-42〉 필리핀에서 추진 중인 주요 대형 프로젝트 ····· 105
〈표 2-43〉 고강도/경량 신소재의 물성치 ····· 109
〈표 2-44〉 예비 설계를 통한 5K Bridge 및 대표적인 케이블교량의 제원 비교 ····· 109
〈표 2-45〉 부유식 교량의 총연장 ····· 110
〈표 2-46〉 전문가가 전망한 주요 미래사회 환경변화 요인 요약_미래 교량 관련 ····· 119
〈표 2-47〉 미래 5K Bridge 대응 아젠다(4대 중점분야) 도출 ····· 124
〈표 2-48〉 로드맵 구성기술로부터 전략과제의 통합·융합 ····· 154
〈표 2-49〉 연구주제 적합성 평가기준 ····· 155
〈표 2-50〉 선정기준별 평가결과_총점(가중평균) 높은 순 ····· 156

〈표 3-1〉 세부 정량적 성과 ····· 185

〈표 부록-1〉 메가트렌드 및 세부트렌드 ····· 203
〈표 부록-2〉 미래사회 변화 트렌드 ····· 204
〈표 부록-3〉 미래 환경 변화 전망 ····· 204
〈표 부록-4〉 미래 환경 변화 전망 ····· 205
〈표 부록-5〉 메가트렌드 및 세부트렌드 ····· 207
〈표 부록-6〉 메가트렌드 및 세부트렌드 ····· 208

그림 목차

[그림 1-1] 기획의 연구목표와 연구목적 ····· 6
[그림 1-2] 5K Bridge: 5km+ 초연결 신형식/신소재 적용 교량시스템 구현을 위한 핵심 요소기술(예시) 6

[그림 2-1] 사업 추진체계 ····· 11
[그림 2-2] 첨단기술과 기반기술을 아우르는 기획 개념 ····· 13
[그림 2-3] 20대 미래 유망 전략프로젝트와의 연계성 ····· 13
[그림 2-4] 세계와 한국의 인구구조 ····· 22
[그림 2-5] 세계와 한국의 생산연령인구 구성비 추이 ····· 23
[그림 2-6] 세계와 한국의 고령인구 구성비 추이 ····· 23
[그림 2-7] OECD 주요국 국가별 출산율 추이 ····· 23
[그림 2-8] 출생아수 및 사망자수(1985~2067년) ····· 24
[그림 2-9] 연도별 1인가구 규모 ····· 24
[그림 2-10] 업종별 연평균 생산성증가율 ····· 27
[그림 2-11] 업종별 영업이익률 추이 ····· 27
[그림 2-12] 노동생산성 지수 추이 ····· 28
[그림 2-13] 노동생산성, 취업자수 및 업체수 ····· 28
[그림 2-14] 전세계 주요국가 도시화율(2018년 기준) ····· 29
[그림 2-15] 서울시 나눔카 공유 서비스 사례 ····· 30
[그림 2-16] 차량공유 시장 전망 및 보유대수 비중 ····· 32
[그림 2-17] 지역별 차량 공유 업체 현황 ····· 33
[그림 2-18] 플라잉카 기술방식 및 개발 동향 ····· 38
[그림 2-19] 플라잉카 미래 시장 전망 ····· 39
[그림 2-20] 노년부양비 및 노령화 지수 ····· 43
[그림 2-21] 성별·연령대별 고용률 비교(OECD/대한민국, 2017) ····· 44
[그림 2-22] 세계 최대 경제블록, RCEP(2019년 GDP 기준) ····· 45
[그림 2-23] 분기별 TBT 통보(건) 추이 ····· 46
[그림 2-24] 그린 프라이싱(Green Pricing) 개요 ····· 53
[그림 2-25] 1인당 전력소비량 증가 추이 ····· 56
[그림 2-26] 우리나라 1차 에너지 소비량 변화 추이 ····· 57
[그림 2-27] 2020년 자연재해로 인한 국가별 이재민 발생현황 ····· 58
[그림 2-28] 2017년 자연재해로 인한 국가별 사망자 발생현황 ····· 58
[그림 2-29] 최근 10년간 자연재해 피해액 및 복구비 현황 ····· 59
[그림 2-30] EU 난민 신청 추이, '08~'18년 ····· 61
[그림 2-31] '16~'50 연평균 실질국내총생산의 평균치 전망 ····· 61
[그림 2-32] 중동지역 분쟁지도 ····· 62
[그림 2-33] 분야별 온실가스 감축 목표 ····· 65
[그림 2-34] 2030년 국가 온실가스 감축목표 ····· 67
[그림 2-35] 우리나라 과학경쟁력 순위 변화 ····· 69
[그림 2-36] 시설물 설치 및 교통사고 감소 목표 ····· 72
[그림 2-37] 개방형 메타버스 플랫폼 생태계 (예시) ····· 82
[그림 2-38] 스마트 안전관리 연합 트윈 활용도(안) ····· 83

[그림 2-39] 고부가가치 건설기술(예시) ····· 87
[그림 2-40] 1세대 교량 특징 ····· 88
[그림 2-41] 2세대 교량 특징 ····· 89
[그림 2-42] 3세대 교량 특징 ····· 90
[그림 2-43] 4세대 교량 특징 ····· 91
[그림 2-44] 5세대(미래) 교량 특징 ····· 92
[그림 2-45] 국내 3세대 교량 기술 수준 ····· 93
[그림 2-46] 국내 4세대 교량 기술 수준 ····· 94
[그림 2-47] 현재 국내 교량 기술 수준 ····· 95
[그림 2-48] 초장대교량사업단의 기여와 성과적용 예 ····· 101
[그림 2-49] (좌) 이순신 대교와 (우) 아카시 대교 ····· 102
[그림 2-50] 대륙 간 대형교량 건설 프로젝트 후보지 ····· 103
[그림 2-51] 노르웨이의 E39 Coastal Highway ····· 104
[그림 2-52] 필리핀의 주요 대규모 교량건설 계획 (National Economic Development Authority) · 105
[그림 2-53] 카타르의 Sharq Crossing Project ····· 106
[그림 2-54] Tension Leg Platform 기반 주탑 개념도 (DOI: 10.1016/j.marstruc.2017.11.012) · 110
[그림 2-55] 조류력을 고려한 하이브리드 풍동실험 기법의 개념도 (Argentini et al., 2019) ····· 112
[그림 2-56] 미래사회 환경변화 STEEP 분석 프로세스 ····· 114
[그림 2-57] 트렌드 및 미래전망 종합 ····· 121
[그림 2-58] 미래 교량의 단계별 발전 전망 ····· 122
[그림 2-59] 미래 교량 전망, 하이브리드 5K Bridge 개념도, Multi-functional 교량 단면 예 ····· 123
[그림 2-60] 부문별 이산화탄소 배출 비중(2019년) ····· 127
[그림 2-61] 주요산업의 디지털화 지수와 생산성 증가율 관계 ····· 129
[그림 2-62] 향후 예상되는 모빌리티 플랫폼 발전방향 ····· 130
[그림 2-63] 스마트 교량 개념 ····· 131
[그림 2-64] 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 마스터플랜 도출 프로세스 ····· 133
[그림 2-65] 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 비전체계 ····· 134
[그림 2-66] 11대 핵심전략과제 도출 프로세스 ····· 153

1.
연구개발과제의 개요

1.1 과제 개요
1.2 기획의 목표 및 내용

1. 연구개발과제의 개요

가. 과제 개요

1) 기획범위 및 필요성

가. 추진배경 및 목표

□ 사전기획 배경

○ 지난 10여년 간 초장대교량사업단(2008~2015) 및 케이블교량글로벌연구단(2016~2021) 등의 국책 연구과제를 통해 설계, 재료, 시공, 유지관리를 위한 케이블교량 핵심기술을 개발하였으며, 이를 현장에 적용하여 국내기술 기반의 장경간 케이블교량을 국내외 다수 건설함.

○ 축적된 기술력을 바탕으로 국내의 시공, 설계사들이 세계 장대교량 시장에서 중요한 역할을 하고 있으나 기술 경제적 부가가치가 가장 높은 리딩 플레이어 위치에는 이르지 못하고 있음.

○ 우리나라의 건설산업이 세계 선도적 위치에 오르기 위해서는, 현재 시장 적정 수준에 이른 초장대교량 기술에 신소재, 철도, 해양, IT, AI 등의 융합 기술을 접목하여 차세대 교량 선도기술을 지속적으로 개발하고, 이를 바탕으로 건설분야 세계 시장에서의 미개척분야를 선점함으로써 차세대 리더로서의 국가경쟁력을 배양할 필요가 있음.

○ 이를 위해서는 현재의 기술수준을 제고하고, 세계 최고 수준을 뛰어넘는 차세대 교량 핵심기술개발의 선도적 연구목표 도출과 함께 이를 달성하기 위한 구체적인 중장기 연구개발 로드맵 및 비전을 구상해야 함.

□ 국토교통 2050 50대 전략 프로젝트*로 '신소재 기반 하이브리드 5K Bridge'선정

* 국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구 (2020. 6., 국토교통부)

○ 기존 건설재료 및 설계시공 기술을 사용하여 가능한 최대 주경간장은 메시나해협 횡단을 위해 설계되어 있는 3,300m를 한계로 인식

○ 향후 인적 물적 이동 수요로 인해 대륙 간 연결 또는 이에 준하는 수준의 연결이 예측됨에 따라 시장 선점을 위한 차세대 기술 확보가 시급함

□ **'신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 용역' 기획 추진 (2020. 10. ~ 2021. 10.)**

○ **(기획 필요성)** 글로벌 리딩 K 브랜드로서 주경간장 5Km급 차세대 교량 핵심 기술(5K Bridge 기술*)을 개발하기 위한 기술, 시장, 정책 동향 등의 사전기획 필요

* 5K Bridge 기술 : 기존의 한계를 넘는 주경간장 5km급 메가 스트럭쳐 교량 건설 적용 가능한 차세대 핵심 교량 기술

○ **(기획의 내용적 범위)*** 5K Bridge 기술적 범위, K-Spec 원천 설계 기술, 5Km급 메가 스트럭쳐 교량 성능 확보 및 평가 기술, 5K Bridge 시공·유지관리 기술 등

* 예시로 제시된 것이며, 동향 분석 등을 통해 변경 가능

○ 기존 건설재료 및 설계시공 기술을 사용하여 가능한 최대 주경간장은 메시나해협 횡단을 위해 설계되어 있는 3,300m를 한계로 인식

2) 기획 대상의 범위

□ **차세대 교량 핵심기술 개발로 세계 시장에서 기술경쟁력을 제고할 수 있는 연구 사업을 기획하고 연구개발 로드맵을 도출함으로써 추진 타당성을 확보**

○ **(기술적 범위)** 5K급 초장대 차세대 교량 건설 역량 확보를 위해 필요한 요소기술 도출

- 초고강도·경량·고내구성 등 건설 신재료 개발 기술
- 대수심 횡단 시스템 구현 기술
- K-spec 원천 설계 기술
- 5㎞급 Mega Structure Bridge의 성능 확보 및 평가 기술
- 5K Bridge의 시공 및 유지관리 기술

○ **(전략적 범위)** 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술 개발로 차세대 교량시장 선도

- 국토교통 R&D 사업과 연계한 본 사업의 정의·비전 및 목표 등 전략적 지향점 설정
- 기술 확보를 위한 단계별 로드맵 검토
- 관련 기술개발을 위한 기술 수요자와의 협력방안 검토
- 필요시 국제공동연구 등 글로벌 협력 방안 수립

〈표 1-1〉 기획대상(연구)의 범위 및 핵심 성과물

과업의 범위	기획 과정의 산출물
○ 기술분야 - 초고강도·경량·고내구성 등 건설 신재료 개발 기술 - 대수심 횡단 시스템 구현 기술 - K-Spec 원천 설계기술 - 5Km급 메가스트럭쳐 교량 성능 확보 및 평가 기술 - 5K Bridge 시공·유지관리 기술 ○ 전략적 범위 - 국토교통 R&D 사업과 연계한 본 사업의 정의, 비전 및 목표 등 전략적 지향점 설정 - 기술 확보를 위한 단계별 고드맵 검토 - 관련 기술개발을 위한 기술 수요자와의 협력방안 검토 - 필요시 국제공동연구 등 글로벌 협력방안 수립	○ 5K Bridge 핵심기술 개발 필요성 이슈 및 아젠다 ○ 5K Bridge 기술의 정의 및 개념 - 마스터플랜 기본방향 - 혁신전략 리스트 - 혁신전략 로드맵 ○ 기획의 방향성 도출 - 세부과제 리스트 - 사업기술 토탈 로드맵 - 분야별 기술 로드맵 ○ 우선순위 평가 기준 ○ 중점 추진분야 / 전략 유형별 핵심기술 ○ 기술 및 성과지도

○ **(주요 성과물)** 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술 개발에 필요한 사업 근거 자료, 주요기술(과제), 연도별 사업 추진 로드맵, 주요 과제별 예산 등

나. 기획의 목표 및 내용

1) 기획 최종 목표

□ 차세대 교량 핵심기술개발로 세계 시장에서 국내 기술경쟁력을 제고할 수 있는 연구사업을 기획하고 연구개발 로드맵을 도출함으로써 추진타당성을 확보함

○ 대규모 연구사업비의 투자에 앞서 연구개발 목표의 기술적/경제적/정책적 타당성을 종합적으로 검토하고 목표 성과물의 파급효과를 고려한 객관적 추진전략을 수립하고자 함.

○ 이를 위한 세부 목표는 다음과 같음.

- 5K Bridge의 핵심 요소기술 도출
- 단기(~10년) 실용화기술분야 및 중장기(~30년) 미래기술분야로 구분하여 기술개발 전략도출

[그림 1-1] 기획의 연구목표와 연구목적

[그림 1-2] 5K Bridge: 5km+ 초연결 신형식/신소재 적용 교량시스템 구현을 위한 핵심 요소기술(예시)

2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

〈표 1-2〉 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내 · 외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2021)	5K Bridge 중장기 마스터플랜	기획보고서	-	작성 완료	기획의 완성도 판단 필요	60
	단기실용화 및 미래기술 사업추진(안)	기획보고서	-	작성 완료	기획의 완성도 판단 필요	40

2.
연구개발과제의 수행과정 및 수행내용

2.1 연구 추진체계 및 추진경과
2.2 차세대 교량 트렌드 및 미래전망
2.3 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜
2.4 5K Bridge 중장기 기술 로드맵(2030)의 도출
2.5 전략과제의 도출

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2.1 연구 추진체계 및 추진경과

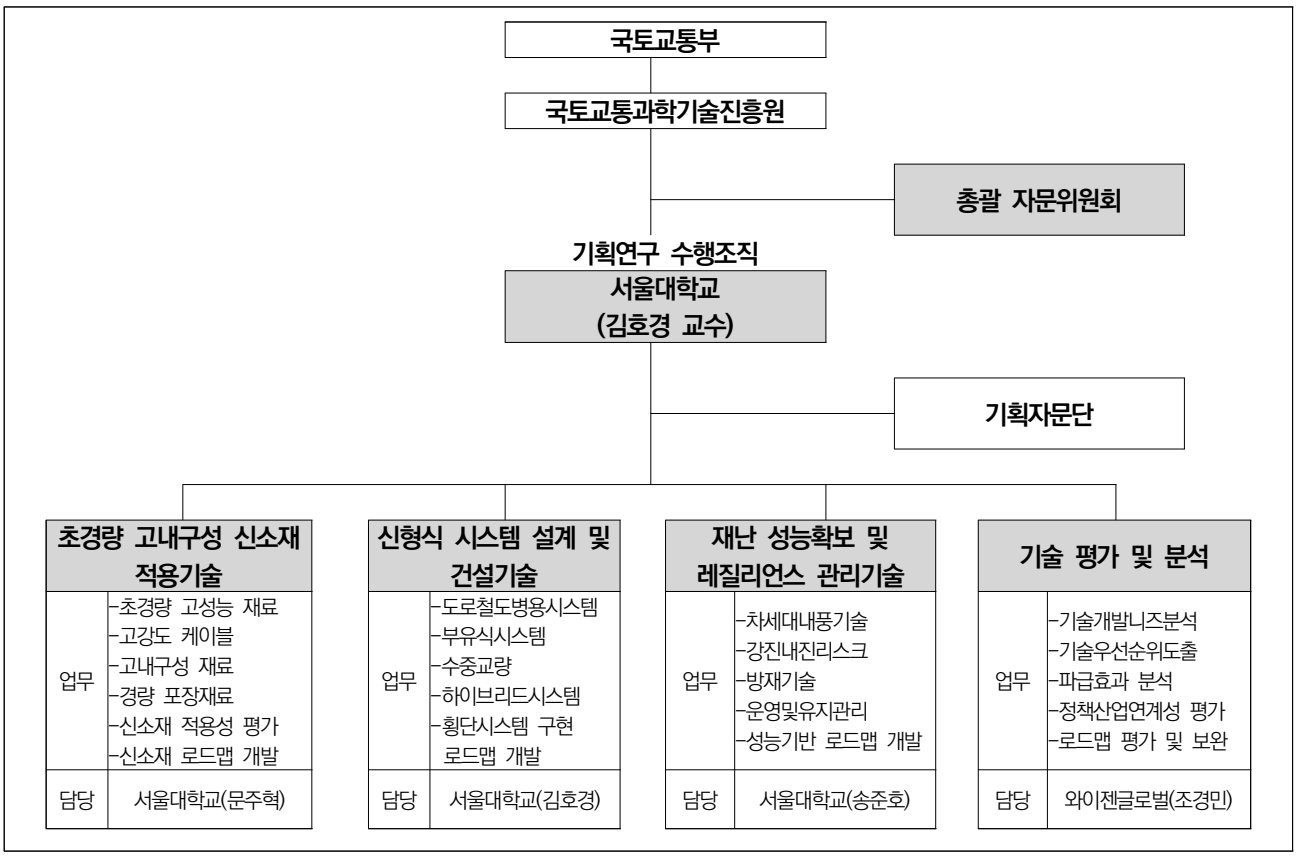
2.1.1 기획범위 및 필요성

○ **(국토교통부·국토교통과학기술진흥원)** 사업 주관부처로서 '신소재 기반 하이브리드 5K birdge ...사전기획' 관련 추진사항 점검 및 방향 논의, 의사결정

○ **(총괄기획위원회)** '5K birdge ...사전기획'에 대해 거시적 관점에서 기획방향을 제시하고, 세부계획 결과(안) 검토·조정

○ **(기획자문단)** 사업에 대한 기술적 관점에서 전문적으로 검토하여 기획대상 기술에 대한 기획 결과(안) 도출

○ **(기획연구 수행조직)** 동향조사, 기술선별 및 사업기획 총괄 수행, 중장기 마스터플랜 및 사업계획(안) 도출



[그림 2-1] 사업 추진체계

2.1.2 추진 방법

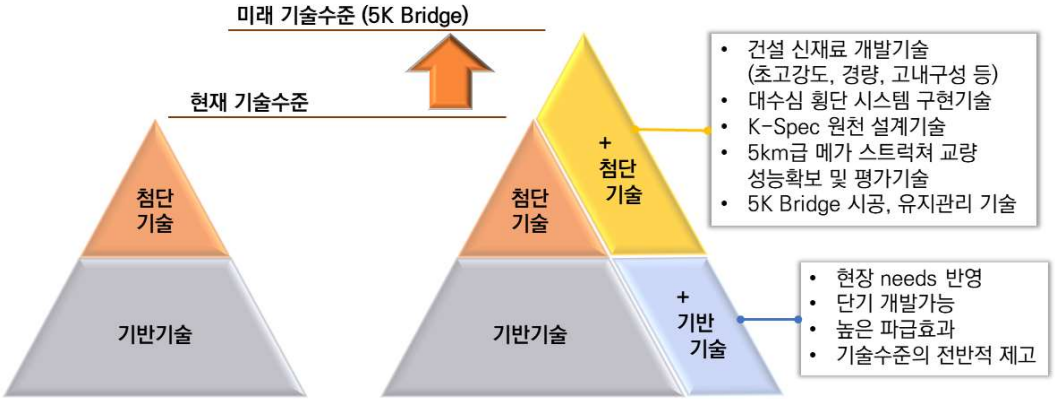
□ 추진 전략

○ **(전략 1) 단기실용화트랙과 미래기술트랙의 Two-Track으로 기획 추진**

- 본 기획과제의 시간적 범위는 2020년~2050년까지의 30년간이며, 단일 컨셉으로 기획을 진행하기에는 그 기간이 길다고 판단됨. 따라서 보다 의미있는 기획 결과를 도출하기 위해 향후 10~20년의 기간 내에 실용화가 가능한 "단기실용화트랙"과 20~30년 기간에 구현을 목표로 하는 "미래기술트랙"의 Two-Track으로 기획을 진행하고자 함.
- "단기실용화트랙"의 기술개발로드맵 및 단위기술 도출은 이전에 진행되어 온 관련 사업단/연구단의 연장선 상에서 니즈를 도출하고, 이를 출발점으로 기획을 진행. 케이블교량 분야의 국내외 사업 추진 경험이 풍부한 자문위원을 활용
- "미래기술트랙"은 교량 및 토목구조 관련 학계 및 연구계의 전문가 뿐만 아니라 연관산업(교통, 물류 등) 및 연관기술분야(4차산업혁명 관련기술 등)의 전문가를 폭넓게 활용하여 융복합적 기술개발 및 새로운 미래시장 창출의 관점에서 추진

○ **(전략 2) 5K Bridge의 의미 재정립 및 첨단기술과 기반기술을 아우르는 기획**

- 단순히 주경간장 5,000m를 구현하는 기술에 한정되지 않고, 새로운 미래교량기술을 통칭하는 상징적 의미의 5K bridge를 새롭게 정의하고 이를 구현하기 위한 기획을 추진.
- 현재의 2K 기술수준에서 목표로 하는 5K 수준으로 도약하기 위해 필수적으로 달성되어야 하는 "첨단기술" 이외에도 이를 뒷받침하기 위한 "기반기술"을 함께 발굴하여 보다 탄탄한 기술체계가 구축되도록 기획을 추진
- "첨단기술"은 5K 수준의 기술을 실현하기 위해 필수적으로 개발되어야 하는 핵심기술로 구성하며, 본 기획과제의 RFP에 예시되어 있는 건설신재료, 대수심 횡단시스템, 원천설계기술, 성능확보 및 평가기술, 시공·유지관리기술 등이 포함됨.
- "기반기술"은 5K 기술수준 달성과의 직접적인 연관성은 상대적으로 낮더라도 첨단기술의 구현을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 기술이며, 비교적 단기간에 실현이 가능하고 그 파급효과가 상대적으로 크기 때문에 우리나라 기술수준의 전반적인 도약에는 기여도가 더욱 큰 기술로 구성함.

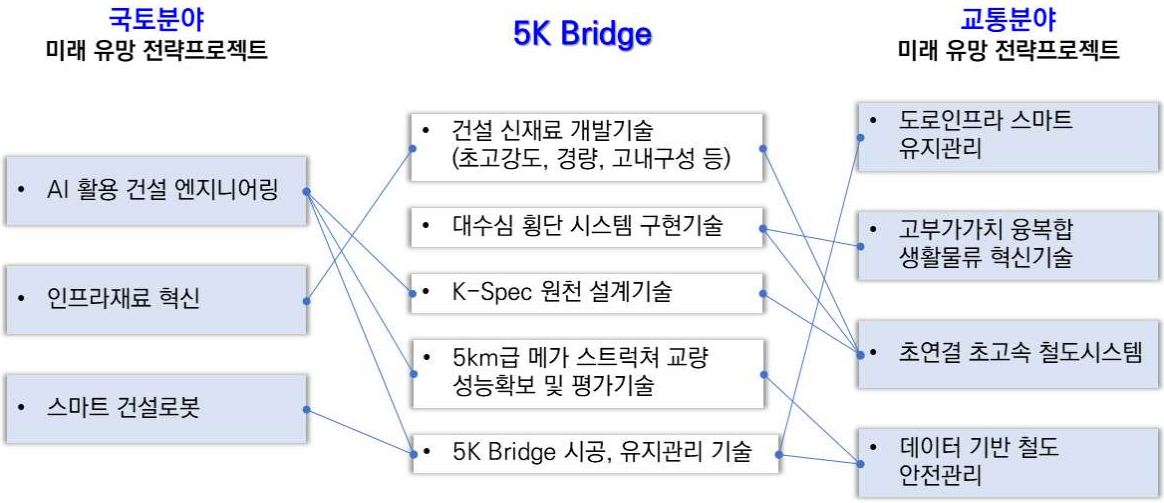


[그림 2-2] 첨단기술과 기반기술을 아우르는 기획 개념

○ **(전략 3) 국토교통 2050 타 기술분야와의 연계성 추구**

- 교량기술은 교통 (도로 및 철도), 물류, 4차산업혁명 관련기술 등과 연계성이 높은 기술이기 때문에 국토교통 2050 보고서에서 다루고 있는 다른 기술분야와의 연계발전이 이루어질 수 있도록 기획해야 함

- 5K Bridge의 5대 요소기술은 'AI 활용 건설 엔지니어링', '인프라재료 혁신', '스마트 건설로봇' 등의 국토분야 전략프로젝트 중 3개, '도로인프라 스마트유지관리', '고부가가치 융복합 생활물류혁신기술' 등 교통분야 전략프로젝트 중 4개, 총 7개의 전략프로젝트와의 기민한 연계가 가능함



[그림 2-3] 20대 미래 유망 전략프로젝트와의 연계성

〈표 2-1〉 연계성 미래 유망 전략프로젝트 개요

분야	전략 프로젝트	프로젝트 정의	사업목표 (정성/정량)	교량기술 연계성
국토 분야	AI활용 건설 엔지니어링	건설 디지털 데이터의 복합 분석·예측을 통한 최적화된 설계자동화 기술 개발	인프라 설계자동화 기술개발로 설계 패러다임 전환·생산성 확보 통한 국가 설계 경쟁력 강화 - 자동화 설계를 통한 설계 품질 15%이상 향상 - 학습된 설계데이터 재이용으로 설계재활용성 20%이상 향상	◎
	인프라재료 혁신	재난재해 대응, 초고층화, 초대형화, 특수화되는 건설구조물에 적합한 고강도 경량화 재료개발	BIPV 고도화, 3D 프린팅 건설재료, 구조물 자기치유기술 등 소재관련 혁신 원천기술개발로 신산업 육성, 구조물 고성능화 - 3D 프린팅 관련 재료개발 10건, 고강도 복합신소재 재료개발 10건, 친환경 소재개발 10건	○
	스마트 건설 로봇	건설인력부족 해결 위한 스마트 건설로봇과 기존 건설장비의 무인·지능화 기술개발	건설자동화 가능한 공종 우선순위 둔 스마트 건설 로봇·무인/지능형 건설장비 개발, 스마트 건설로봇·지능형 장비 적용범위 50% 이상 - 설비 공종 제외 전체 건설 공종 자동화율 50% 이상 - 자동화 공종 투입 인력 기존대비 50% 이상 절감	○
교통 분야	도로인프라 스마트 유지관리	인프라 측면 도로 교통안전 확보 및 효율적 시설 유지관리를 통한 도로 인프라 유지관리 체계 구축	안전하고 지속가능한 인프라 유지관리 및 안전확보를 위한 스마트기술개발, 체계적인 도로 인프라 관리 시스템 구축을 통한 교통안전 도모 - 자동차 1만대당 교통사고 사망자 1.7명 → 1명 (OECD 평균) - 교통지수 30% 감축, 도로 혼잡구간 30% 해소 - 도로유지관리비용 30% 절감 - 도로 소음 20%, 이산화탄소 15% 감축	○
	고부가가치 융복합·생활물류 혁신기술	빅데이터, AI, 블록체인 등 4차 산업혁명 기반 핵심 기술을 물류 현장에 접목한 미래 대응형 융복합 물류 혁신기술	물류산업 스마트화로 택배사고, 교통혼잡 유발 등의 사회문제를 해결하고 사람중심 산업 서장 도모로 혁신적인 생산성 향상과 산업의 지속가능성 확보 - 배송비용 10% - 재고관리, 포장, 하역비용 15% 절감 - 온실가스, 미세먼지 15% 감소	○
	초연결 초고속 철도시스템	아진공 튜브 안을 시속 1,000km 이상의 속도로 주행하는 초고속 신개념 교통시스템 개발	항공기 수준 이상의 안전성을 지니며 1,000km/h 이상의 속도로 아진공 튜브 가이드웨이를 주행하는 초고속 신개념 육상교통기술인 HTX 개발 - 설계최고속도: 1,200km/h, 운행최고속도: 1,000km/h	◎
	데이터 기반 철도 안전관리	철도사고 및 운행장애 요인 사전 파악·예방 위한 지능형 ICT기반 철도안전관리체계 개발	철도안전관리 디지털화와 위험요인 선제대응 통한 안전역량 강화 및 스마트 생태계 조성 - 철도사고 30%, 운행장애 50% 저감 - 철도안전관리체계의 데이터 수집·활용 90% 이상 달성	◎

□ 과업 수행 프레임워크

○ 세부 과업 간 연계성과 일관성을 확보하고 결과도출의 효율을 기하기 위해 아래와 같은 체계와 진행순서(❶~❻)로 과업을 추진함

〈표 2-2〉 주요 과업내용의 추진 절차 및 결과물

구분	연구수행모듈	상세연구추진내용	주요산출물
환경분석	1 이슈 및 니즈	글로벌 메가트렌드 분석(STEEP) 국내외 현황 (정책/기술/ 인프라/시장/R&D) 분석 국내외 기술시장 수요조사/예측 국내외 주요 개발현황 및 경쟁기술	5K bridge 핵심기술 개발 필요성 이슈 및 아젠다
	2 사전기획 방향성 도출	전문가 그룹 자문 유관기관 의견 수렴	5K bridge 핵심기술개발 기획 방향성
추진계획 수립	3 중장기 마스터 플랜	차세대교량 핵심기술개발 마스터플랜 1단계 : ~'30년, 2단계 : '40년, 3단계 : ~'50	차세대교량 핵심기술개발 중장기 마스터플랜
	4 비전, 목적, 목표 설정	비전, 목적 및 목표 도출	5K bridge 핵심기술개발 사업 목표체계
	5 중점분야 도출	중점분야 도출 · 핵심기술(과제) 도출	5K bridge 중점추진분야 및 핵심기술(과제), 성능요구조건
기술확보 전략수립	6 기술·성과지도	중점추진분야-핵심과제-핵심기술간 단계적 기술개발방향, 단계별 성과간 연계도	기술·성과지도

2.1.3 추진 경과

○ '20.10. 착수보고를 시작으로 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 이슈 발굴을 위한 동향조사, 설문조사 등 본격적인 기획을 실시

〈표 2-3〉 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획의 추진경과

시기	주요 추진경과	주요 내용
'20.10.	착수보고	5K Bridge 기술개발 사전기획 착수
	↓	
'21.01.	기술수요 및 전망 수집	향후 30년간 초장대 교량 기술의 발전상에 대한 수요 및 전문가 의견 수집
	↓	
'21.01-05.	선행 예산사업 선별 및 기획	중기예산 신청 일정에 따라 중장기 마스터플랜 포함 기술 중 부유식 기술을 선정하여 단기 사업 선행기획
	↓	
'20.06.	1차 총괄위원회	'신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 사전기획'에 대해 거시적 관점에서 기획방향을 제시, 세부계획(안) 검토
	↓	
'21.07.	중장기 마스터플랜 비전체계 도출	우선순위 평가를 통한 혁신전략별 실천과제 추진 로드맵 수립
	↓	
'21.09.	세부사업별 목표(안) 도출 및 제안요구서 작성	세부사업(전략과제)에 따른 요소기술을 선별하고, 기술개발 방안, 방법론, R&D 추진에 따른 효과 등을 담은 RFP 작성
	↓	
'21.10.	최종보고서 작성	-

○ **(기술수요 및 전망 수집)** 초장대 교량 건설을 위해 기술이 직면한 도전과 기회가 무엇인지, 건설산업 부문에서 글로벌 시장경쟁을 위한 필요 기술은 무엇인지 등에 대한 전문가 기술수요 및 전망을 수집

- 국내외 교량 건설 분야 산·학·연 전문가 30여명을 대상으로 약 4주간 실시하여, 초장대 교량 건설 목표 달성을 위해 당면한 도전과 기획, 기술개발 주제, 기술개발의 예상 효과 등의 의견을 10년 단위(2021~2030년/2031~2040년/2041~2050년)로 나누어 수집
  - 주요 환경변화 트렌드 중 인프라 재료와 관련성이 높은 이슈를 선별하고, 해당 변화가 건설 산업 등 연관산업 전반에 미칠 영향을 전망하도록 함

○ **(선행 예산사업 선별 및 기획)** 중기예산신정 시기 도래에 따라 중장기 마스터플랜에 포함될 수요기술 중 시급성·중요성을 고려하여, '부유식 교량 건설 기술'을 22년 예산사업으로 선행 기획

- 건설산업 혁신의 시급성, 건설 생산성 향상 및 미래 시장 선도 기술개발의 필요성 등을 바탕으로, 우리나라가 교량분야 글로벌 선도국의 지위를 유지하고 초장대 교량 건설 역량 확보를 위한 발판 마련을 위해 부유식 구조체 기술 개발 제안하는 기획보고서 작성

○ **(1차 총괄위원회)** 수요기술로부터 전략과제의 통합, 핵심 전략기술 선별(총 15명의 자문위원들이 후보과제에 대한 정량평가 실시)을 통해 마련한 중장기 마스터플랜(안)에 대하여 해당 세부계획을 검토함

- 추진 방향, 목표 도출 및 구성기술 선별의 적절성, 중장기 마스터플랜(안)의 타당성 등을 검토

○ **(중장기 마스터플랜 비전체계 도출)** 대내외 환경, 이슈 및 니즈 분석, 사전기획 방향성 등의 결과를 기초로 중장기적 관점에서 단계를 구분하고, 예타급 대형사업 또는 소액사업 등을 포함한 마스터 플랜 제시

※ 단계: 20201~2030년 / 2031~2040년 / 2041~2050년

- 전략과제의 통합/융합, 자문위원 평가(아젠다 부합성 / 파급효과의 크기 / 기술개발 성공가능성), 총괄위원회 검토를 통해 최종 중장기 마스터 플랜 비전체계(안)을 도출함

○ **(세부사업별 목표(안) 도출 및 제안요구서 작성)** 5개의 중점분야에 대해 7개의 전략과제를 도출하고, 최종 목표를 설정함

- 중점분야별 특성과 해당 분야의 국내외 현황 및 현재 혹은 향후 추진 예정인 인프라 재료 혁신 기술개발 사업의 특성을 고려하여 실천과제 추진을 위한 분야별 목표(안)을 도출하고, 목표 달성을 위한 요소기술 개발의 RFP를 작성함

2.2 차세대 교량 트렌드 및 미래전망

2.2.1 메가트렌드 분석[1)]

가. 메가트렌드 분석 개요

□ 메가트렌드 도출 방법

○ 메가트렌드와 교량 분야 미래이슈의 상호작용에 기반을 둔 미래 이슈와 대응방안을 도출하기 위해 미래 트렌드에 대한 분석자료를 기반으로 메가트렌드 분석 추진

- 미래 예측 및 국토관련 전망 선행연구 결과를 활용하여 분석 실시
- 주요 기관에서 수행한 미래사회 전망 및 비전과 관련된 자료를 수집, 분석하여 메가트렌드와 이슈 도출

○ 미래전망 내용 및 예측실현시기의 정확성을 높이고자 「국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구(2016)」의 선행 연구 내용을 기초로 분석

- 보고서 발행년도를 고려, 최근 미래 메가트렌드에 대한 전망을 추가하여 보완
- 미래 전망에서 제시된 이슈들을 STEEP(Social, Technology, Economics, Ecology, Politics) 분야별로 정리하여 국토교통, 교량 분야 메가트렌드 도출

○ 「국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구」를 기초로 총 6개의 미래 전망 관련 보고서의 내용을 활용하여 메가트렌드 도출을 위한 STEEP 분석 이슈 발굴·정리

○ STEEP 기반 정리된 이슈는 언급된 횟수(빈도)와 국토교통·교량 분야와의 연관성을 기준으로 평가를 수행하여 선정

- 메가트렌드 이슈의 연관성 평가는 교량분야 전문가인 연구책임자 및 교수 연구진이 직접 수행하여 전문적 평가결과 확보
- 선정된 이슈에 대해 내부 검토 및 동료검토(Peer-review)를 통해서 타당성을 검증한 후 최종 확정

1) 본 연구에서는 2016년 국토부에서 수행한 「국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구」에서 분석된 국내외 미래 예측 및 국토관련 전망 분석결과의 내용을 기초로 최근 트렌드와 이슈 자료를 보완하여 분석 수행

〈표 2-4〉 STEEP 분석에 활용된 보고서

No.	보고서명	발행기관	발행년도
①	국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구	국토교통부	2016
②	2021년과 그 이후를 지배할 7대 메가트렌드	딜로이트(Deloitte Korea)	2021
③	한국 산업발전 비전 2030 메가트렌드	산업연구원	2020
④	데이터 기반 포스트 코로나 이슈 분석과 10대 메가트렌드	한국지능정보사회진흥원	2021
⑤	글로벌 트렌드와 한국: 과학기술적 대응역량 진단의 시사점	과학기술정책연구원	2018
⑥	2040 국가간선도로의 미래상 연구	국토연구원	2018
⑦	제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)	국토교통부	2018
⑧	혁신성장과 미래트렌드 2018 plus	한국과학기술기획평가원	2018
⑨	The Megatrends of Tomorrow's World	Deloitte	2017
⑩	Roland Berger Trend Compendium 2050	Roland Berger	2020

□ 메가트렌드 도출 결과

○ **(STEP 1) 총 10개의 미래전망 보고서 상에서 제시된 이슈를 STEEP에 따라 분류하고 중분류(메가트렌드)로 그룹화 하여 정리**

- 10권의 보고서에서 중복제외 총 53건의 이슈를 발굴하였으며, 정리·분류 과정에서 국토교통·교량과 연관성이 없을 것으로 판단되는 이슈는 1차로 선별하여 소거

〈표 2-5〉 STEEP 기반으로 정리된 미래 메가트렌드 이슈

STEEP	메가트렌드	내용	보고서 No.
S(사회)	인구구조 변화	100세 시대 보편화(저출산·고령화)	①③⑤⑥⑧⑩
		국가별·지역별 인구 감소 추세로 전환	①③
		1인 가구 가속화에 따른 신가족 구조 대두	①⑥⑧
	도시집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	①③⑤⑥⑧⑨
		세계인구 과반수 도시 집중 거주, 비도시권 쇠퇴	①⑥⑦⑧
		지능형, 자립형 스마트 시티의 부상	⑤⑧
	사회 및 가치 변화	개인 삶의 질 중시 (웰빙가치 선호 등)	①④⑤⑥⑦⑧
		소비자 욕구 다양화 및 다변화	①④⑥⑨
		여성지위향상, 남녀평등사회	①⑧⑨⑩
		DIY 열풍	⑨
		사회적 약자 및 소외 계층에 대한 배려 필요성 증대	①④⑧⑨
		새로운 사회질서 대두(사회적 거리두기 협력 등)와 정부-기업-시민 공동 대응	④⑥
		교육수준과 정규교육을 받은 인구의 증가	⑩
		AI 로봇, 자율주행 차량 등의 사고와 책임 문제	③⑤⑩
	새로운 갈등	국제화 및 다문화 확대, 다문화 가구 증가	①④⑥⑧⑨
		국제 난민·이민자의 증가와 난민 수용 문제	⑩
		의료서비스 중요성 증대, 형평성 문제, 정부주도 서비스	④⑤⑩

T(기술)	무인화 및 가상 지능형공간	무인화(자율주행, 로봇기술 등) 및 인공지능 보편화	①③⑥⑧⑨⑩
		초연결 사회(IoT 등) 도래	①③⑤⑥⑧
		가상현실 보편화	①
	기술 융복합화	ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화(Cloud, 나노기술, 백신 등)	①③⑤⑥⑨
		우주시대 개막에 따른 우주 항공 기술 발달	①
	Digitazation	全산업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화	④⑤⑥
		데이터 기반 시대로의 전환	⑥
		3D 프린팅 기반 제조 혁신	⑨
E(경제)	경제 저성장 및 양극화 심화	생산 가능 인구 감소 및 성장 잠재력 둔화	①
		산업/기업간·지역간·직종간 양극화 심화	①④⑤⑥⑧
		직업구조 변화 및 실업 증가(지식·서비스 중심으로 전환)	①③④⑤⑧⑨
		저성장 시대 도래	⑥
	경제 글로벌화	초국경시대 도래	①⑨
		공유경제 심화와 플랫폼 비즈니스 확대	①④⑤⑥⑦⑧⑨
		국가간 경제·기술협력 확대 및 글로벌 경제 통합	①④⑤⑥⑧
		글로벌(국제사회) 다극화	①②③⑤⑥⑨⑩
		신산업, 서비스업, 지식서비스업 중심 경제구조재편	①④⑥⑦⑨
	신경제성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력	②⑤⑩
		녹색 소비운동 확산	⑤⑩
		AI, 자율주행, 로봇의 보편화에 따른 사회·경제 구조 변화	③⑤
		비대면·Ontact 경제의 부상	②④
E(환경)	기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화	①⑤⑥⑦⑩
		화석연료, 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속	①③⑤⑨⑩
		친환경/재생에너지 기술개발 가속	③⑤⑥⑧
		온실가스 규제 강화	①②③
		에너지 자원 부족 및 가격 상승	⑤⑥
	환경 및 안전에 대한 중요성 증대	수자원확보	①⑧
		토양복원 및 생태계 보전 기술개발	①
		국민환경 의식증대	①⑨
		질병부담 및 전염병에 의한 리스크 대응 요구	①⑤⑩
		자원·사회적 재난재해 증가 및 안전우려 증대	①⑥⑧⑩
P(정치)	안보 및 거버넌스 환경 변화	안보 및 보안위험 증대	①③⑥⑦⑧⑨
		지방분권화	①⑤⑧
		국민참여요구 증대	①⑤⑧
		남북한 협력증진	①③⑥⑧
		큰정부/강력한 정부의 귀환	④

자료 : 〈표 14〉에 제시된 보고서 상 미래 이슈를 정리, 재구성

○ **(STEP 2) 도출된 53개의 이슈에 대해 빈도분석과 국토교통·교량 분야와의 연관성에 대한 전문가 평가를 수행하여 연관성이 없는 메가트렌드 이슈는 소거**

- 빈도와 전문가 평가를 각 5점 만점으로 총 10점 만점으로 점수를 산정

〈표 2-6〉 메가트렌드 이슈 평가결과

STEEP	메가트렌드	내용	빈도	전문가 평가	합계
S(사회)	인구구조 변화	100세 시대 보편화(저출산·고령화)	6(2.8)	4.1	6.9
		국가별·지역별 인구 감소 추세로 전환	2(0.6)	4.3	4.9
		1인 가구 가속화에 따른 신가족 구조 대두	3(1.1)	2.2	3.3
	도시집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	6(2.8)	3.2	6.0
		세계인구 과반수 도시 집중 거주, 비도시권 쇠퇴	4(1.7)	3.3	5.0
		지능형, 자립형 스마트 시티의 부상	2(0.6)	4.1	4.7

	사회 및 가치 변화	개인 삶의 질 중시 (웰빙가치 선호 등)	6(2.8)	2.5	5.3
		소비자 욕구 다양화 및 다변화	4(1.7)	2.1	3.8
		여성지위향상, 남녀평등사회	4(1.7)	2.3	4.0
		DIY 열풍	1(0.0)	1.6	1.6
		사회적 약자 및 소외 계층에 대한 배려 필요성 증대	4(1.7)	4.4	6.1
		새로운 사회질서 대두(사회적 거리두기 협력 등)와 정부-기업-시민 공동 대응	2(0.6)	3.3	3.9
		교육수준과 정규교육을 받은 인구의 증가	1(0.0)	3.5	3.5
		AI 로봇, 자율주행 차량 등의 사고와 책임 문제	3(1.1)	5.0	6.1
	새로운 갈등	국제화 및 다문화 확대, 다문화 가구 증가	5(2.2)	2.5	4.7
		국제 난민·이민자의 증가와 난민 수용 문제	1(0.0)	2.2	2.2
		의료서비스 중요성 증대, 형평성 문제, 정부주도 서비스	3(1.1)	1.5	2.6
T(기술)	무인화 및 가상 지능형공간	무인화(자율주행, 로봇기술 등) 및 인공지능 보편화	6(2.8)	5.0	7.8
		초연결 사회(IoT 등) 도래	5(2.2)	5.0	7.2
		가상현실 보편화	1(0.0)	4.4	4.4
	기술 융복합화	ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화(Cloud, 나노기술, 백신 등)	5(2.2)	4.4	6.6
		우주시대 개막에 따른 우주 항공 기술 발달	1(0.0)	4.2	4.2
	Digitazation	全산업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화	3(1.1)	5.0	6.1
		데이터 기반 시대로의 전환	1(0.0)	5.0	5.0
		3D 프린팅 기반 제조 혁신	1(0.0)	5.0	5.0
E(경제)	경제 저성장 및 양극화 심화	생산 가능 인구 감소 및 성장 잠재력 둔화	1(0.0)	4.3	4.3
		산업/기업간·지역간·직종간 양극화 심화	5(2.2)	3.2	5.4
		직업구조 변화 및 실업 증가(지식·서비스 중심으로 전환)	6(2.8)	5.0	7.8
		저성장 시대 도래	1(0.0)	3.6	3.6
	경제 글로벌화	초국경시대 도래	2(0.6)	5.0	5.6
		공유경제 심화와 플랫폼 비즈니스 확대	7(3.3)	1.4	4.7
		국가간 경제·기술협력 확대 및 글로벌 경제 통합	5(2.2)	5.0	7.2
		글로벌(국제사회) 다극화	7(3.3)	3.2	6.5
		신산업, 서비스업, 지식서비스업 중심 경제구조재편	5(2.2)	1.9	4.1
	신경제성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력	3(1.1)	4.2	5.3
		녹색 소비운동 확산	2(0.6)	1.3	1.9
		AI, 자율주행, 로봇의 보편화에 따른 사회·경제 구조 변화	2(0.6)	4.5	5.1
		비대면·Ontact 경제의 부상	2(0.6)	1.6	2.2
E(환경)	기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화	5(2.2)	4.2	6.4
		화석연료, 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속	5(2.2)	4.3	6.5
		친환경/재생에너지 기술개발 가속	4(1.7)	4.5	6.2
		온실가스 규제 강화	3(1.1)	4.1	5.2
		에너지 자원 부족 및 가격 상승	2(0.6)	3.5	4.1
	환경 및 안전에 대한 중요성 증대	수자원확보	2(0.6)	2.5	3.1
		토양복원 및 생태계 보전 기술개발	1(0.0)	2.5	2.5
		국민환경 의식증대	2(0.6)	2.2	2.8
		질병부담 및 전염병에 의한 리스크 대응 요구	3(1.1)	1.6	2.7
		자원·사회적 재난재해 증가 및 안전우려 증대	4(1.7)	5.0	6.7
P(정치)	안보 및 거버넌스 환경 변화	안보 및 보안위험 증대	6(2.8)	1.6	4.4
		지방분권화	3(1.1)	1.1	2.2
		국민참여요구 증대	3(1.1)	1.2	2.3
		남북한 협력증진	4(1.7)	3.8	5.5
		큰정부/강력한 정부의 귀환	1(0.0)	1.2	1.2

* 빈도의 괄호안 점수는 5점 만점으로 변환시 환산 점수, 전문가 평가는 3인의 교수진 평가 결과의 평균 점수

○ **(STEP 3) 평균점 5점 이상을 획득한 이슈를 메가트렌드별로 재그룹하여 조정한 후 각 이슈별로 발생 국토교통·교량 분야 발생가능한 이슈 전망**

- 빈도와 전문가 평가를 각 5점 만점으로 총 10점 만점으로 점수를 산정 24 x 4

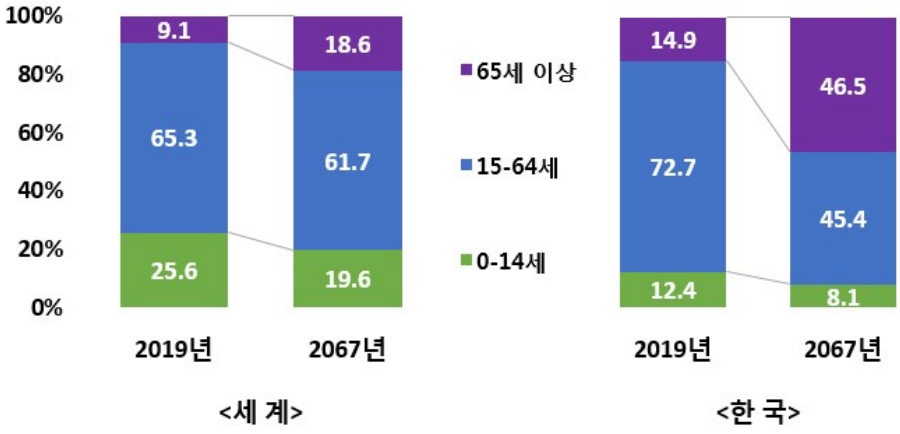
〈표 2-7〉 메가트렌드 재분류·정리 및 국토교통·교량 분야 이슈

메가트렌드	내용	국토교통 미래이슈	교량관점 이슈
(S)인구구조, 사회, 가치 변화	100세 시대 보편화(저출산·고령화) 개인 삶의 질 중시 사회적 약자 및 소외 계층에 대한 배려 필요성 증대 AI 로봇, 자율주행 차량 등의 사고와 책임 문제	• 인구절벽과 생산성 저하, 산업구조의 혁신 지체 등으로 잠재성장률 하락 추세 지속 • 인구 감소에 따른 생산가능인구의 감소로 고위험 직종 기피현상 심화 • 자율주행자동차 혼재로 인한 사고위험과 책임소재 문제	• 인력 중심 건설 공법 → 기술 중심 건설 공법으로 전환 • 최소한의 인력으로 유지관리 가능한 지능형 교량 개발 • 신 이동수단 확산 대비 디지털 안전 관리 체계 마련
(S)도시집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	• 메가시티 리전(Mega-city region)이 글로벌 경제의 주체로 부각	• 대도시의 인구·생산·수요 등을 소화 할 수 있는 유통·이동 연결 루트 확보
(T)기술변혁의 가속화와 디지털화	무인화(자율주행, 로봇기술 등) 및 인공지능 보편화 초연결 사회(IoT 등) 도래 ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화(Cloud, 나노기술, 백신 등) 全산업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화 데이터 기반 시대로의 전환 3D 프린팅 기반 제조 혁신	• 무인택시, 무인화물차 등 새로운 형태의 교통· 물류서비스가 선보이고, 자동차 소유에서 공유문화로 진화 • 건설 자동화 기술(BIM, 로봇, 드론) 등을 활용한 건설 생산성 혁신 • IT와 전통운송수단이 결합한 신규서비스 등장 • 신기술과의 융·복합을 통한 고부가가치 산업(일자리) 창출 • 초대형 구조물, 극한지역 시공기술 확보, 초경량·고강도 신재료 개발 등 핵심건설 기술 확보 • 빅데이터 활용 교통패턴을 분석·관리하는 기술 등장 • 3D 프린팅을 활용한 맞춤형 자재 생산 및 효율성 증대 • 자율주행의 상용화 • 신기술 확대로 인한 도로 기하구조·시설규모 단순화 • 건설·차량·통신·유지보수 등 이동수단 관련 요소들의 혁명 • 커넥티드 카의 등장으로 스마트시티 조성 확산	• 자율주행 이동수단 확산에 대비한 디지털 교량으로 전환 • 디지털 기술 기반 실시간 정보교환 및 제어가 가능한 커넥티즈 교량 개발 • 신소재, 신기술을 활용 기존대비 고수명·고강도·장대 교량 건설 • ICT 기술 융합을 통해 차세대(4세대 이후) 교량으로 도약
(E) 양극화와 글로벌화	산업/기업간·지역간·직종간 양극화 심화 직업구조 변화 및 실업 증가 국가간 경제·기술협력 확대 및 글로벌 경제 통합 국제사회 다극화	• 보호무역주의 대두, 제조업 중심의 성장 둔화 • 전통 건축 산업의 침체와 새로운 건축물 시장 등장 • 경제적·사회적 양극화에 따른 사회통합 정책요구 증가 • 글로벌 경제통합, 협력 심화 • 극로벌 경제 통합으로 국내·외 시장의 수주경쟁 심화 • 3D 직업에서 고부가가치 전문직업으로 이미지 쇄신 및 글로벌 경쟁력 갖춧 고급 건설인력 양성 • 아시안 하이웨이, 한반도 도로망 구상 등 본격화 • 글로벌 공급사슬(SCM(:Supply chain management) 관리 중요성 증대	• 현재 경제권의 재편 움직임과 주력 산업의 전환 대비 필요 • 신 경제체제로의 전환에 따른 새로운 유통 무력 루트 개척 필요 • 건설 분야 해외 시장 확대를 위해 세계 최고 수준의 기술 경쟁력 확보
(E)신경제성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력 AI, 자율주행, 로봇의 보편화에 따른 사회·경제 구조 변화	• 사라지는 직업과 신규 창출되는 직업의 혼재로 개인 경제활동의 전환기 도래 • 친환경 녹색인증 제품 수요 증대 • 저성장 극복을 위한 산업전반에 걸친 첨단기술의 활용 확산(생산-제조(조립)-서비스 전과정에 걸쳐 확산)	• 친환경 성장에 따른 친환경 건설 트렌드로의 전환 • ICT
(E)기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속 친환경/재생에너지 기술개발 가속 온실가스 규제 강화	• 에너지 사용 최소화 및 재난재해로부터 안전한 주택에 대한 수요 증가 • 탄소배출, 에너지소비를 최소화 하는 저탄소 녹색건설 구현 • 친환경 이동수단(자동차, 비행기 등) 개발 경쟁 심화 • 수소, 태양광 등 친환경·재생에너지를 사용하는 교통수단의 활성화 • 전기·수소 자동차 보급 확산으로 소음, 매연 등 환경문제 일부 해소	• 탄소 절감 등 친환경을 고려한 건설 기술 및 유지관리 기술 개발 필요 • 친환경 에너지 활용 유지관리에 저비용 교량 개발
(E)안전 중요성 증대	자연재해, 사회재난 증가 및 안전우려 증대	• 도시 단위 탄소저감 재해대응 정책 일반화 • 건축물의 안전기준 강화와 환경위험 대응인식 증대 • 재난재해 안전 시설물 관리체계 구축 및 노후시설물 유지관리 재원 마련	• 증가하는 재해 대비 강화된 안전기준에 맞춘 교량 기술 개발
(P)거버넌스 환경 변화	남북한 협력증진	• 북한지역 개발을 통한 한반도 전체의 산업구조 개편 및 생산성 제고 • 통일, 동북아 경제통합 등에 따른 국제사회 인적·물적 교류 확대	• 통일시대 동북아·시베리아 경제권 대비 무역·이동 루트 확보를 위한 장대교량 기술 확보

□ 인구구조, 사회, 가치 변화

○ **(인구구조 변화)** 유엔의 「2019년 세계인구전망」에 따르면 전 세계적으로 65세 이상 노년층이 급격히 증가하여 65세 이상 인구 비중은 2019년 9.1% → 2067년 18.6%로 9.5%p 증가 전망

- 국내 고령 인구(65세 이상) 비중은 2019년 14.9% → 2067년 46.5%로 31.6%p 증가할 전망이며, 세계에서 가장 빠른 속도로 고령화 진행 중



[그림 2-4] 세계와 한국의 인구구조

- 65세 인구는 2019년 현재 768만 명으로, 전체 인구의 약 14.9%를 차지하고 있으며, 이미 2018년에 14.3%로 고령사회 진입[2)]

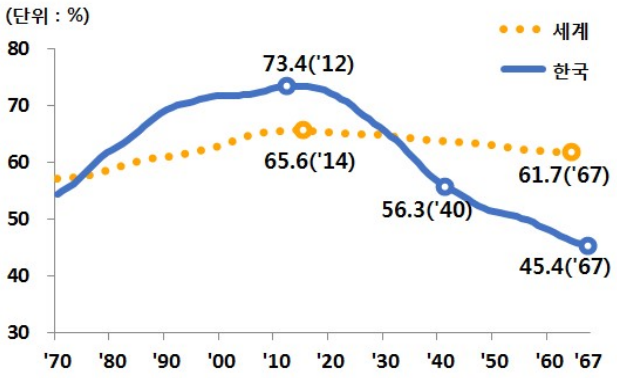
  * 고령화 사회는 총인구 중 65세 이상 인구가 차지하는 비율이 7% 이상, 고령사회는 동 비율이 14% 이상, 초고령사회는 20% 이상 의미

- 고령화 사회 도달 이후 초고령사회 도달까지 프랑스 39년, 미국 21년, 독일 37년, 일본 12년 소요된 반면 우리나라는 7년 소요 예상[3)]

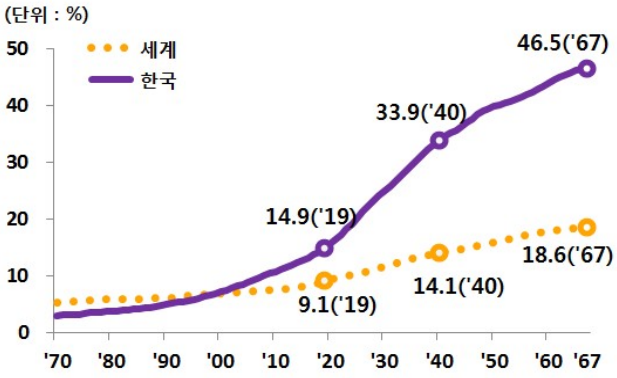
○ **(고령화 진행)** 우리나라 고령화 진행속도는 과거 예측 시점보다 점차 빨라지고 있으며, 예상보다 고령화 수준이 더욱 높아질 가능성 존재

- '11년에는 2060년 65세 이상 고령 인구비율을 40.1%로 전망하였으나, '19년 전망 시 43.9%로 증가할 것으로 전망

2) 더욱 빨라지고 있는 고령화 속도, KDB 미래전략연구소(2019.04)
3) 인구고령화가 기업에 미치는 영향, 산업은행(2019.4)



[그림 2-5] 세계와 한국의 생산연령인구 구성비 추이

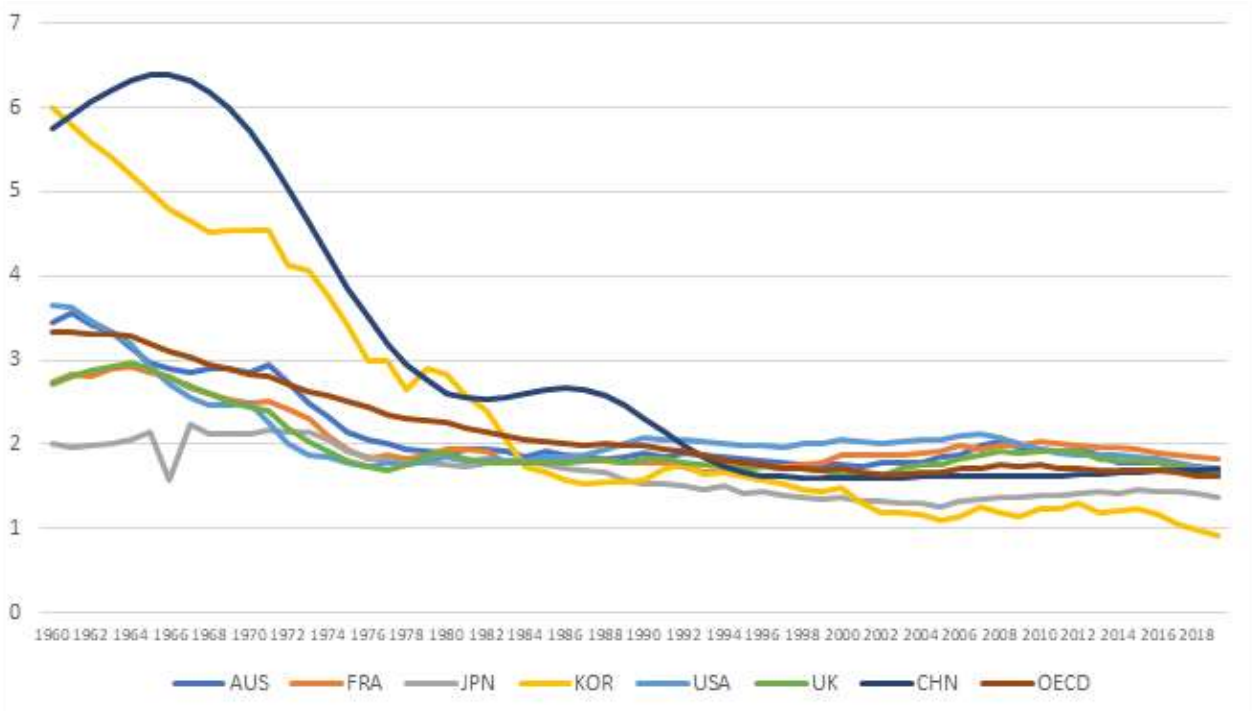


[그림 2-6] 세계와 한국의 고령인구 구성비 추이

○ **(저출산 심화)** 전 세계적으로 OECD 국가의 출산율은 감소하고 있으며, 2016년 기준 OECD 회원국의 합계 출산율 평균은 1.68명이며, 특히 한국, 중국의 합계 출산율이 급격하게 감소 중[4)]

* 저출산 국가는 합계 출산율이 2.1 이하, 초저출산 국가는 합계 출산율이 1.3 이하 기준

- 출산연령 여성 인구의 감소, 고용과 소득 불안정 등의 사회·경제적 요인에 따라 결혼과 출산을 연기하거나 중단하는 현상은 지속적으로 이어져 저출산 심화 가중 전망



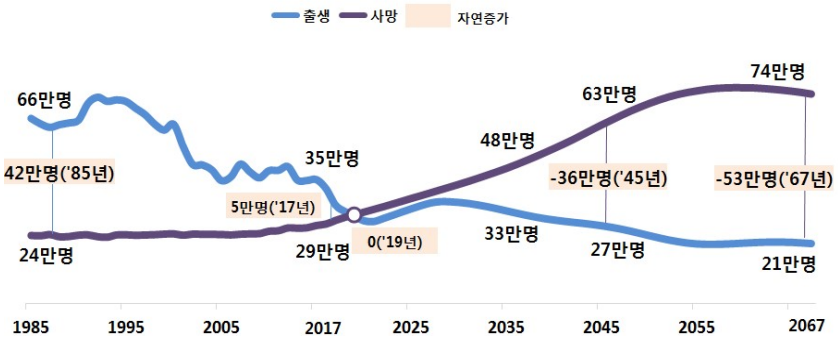
* 자료 : Data OECD(https://data.oecd.org/pop/fertility-rates.htm#indicator-chart)

[그림 2-7] OECD 주요국 국가별 출산율 추이

4) 저출산 정책개선방안에 관한 연구, 한국지방행정연구원(2018.12)

○ **(마이너스 출산율)** 국내 출산율은 합계 출산율이 2001년 1.3명 아래로 떨어진 이래 2020년 1.11명으로 감소,[5] 2029년부터 마이너스로 전환 예상

- 2019년부터 사망자가 출생아보다 많아지는 자연감소가 시작될 전망이며, 출생아 수는 2017년 35만 명에서 2021년 29만 명, 2067년에는 21만 명으로 감소할 것으로 전망



* 자료 : 장래인구특별추계: 2017~2067년, 통계청(2019)

[그림 2-8] 출생아수 및 사망자수(1985~2067년)

○ **(가구 유형의 다양화)** 비혼주의 증가, 만혼화 경향, 이혼율 증가 등 개인의 선택을 중시하는 방향으로 가족 관련 가치관이 변화함에 따라 가구 유형의 다양화 추세는 가속화될 전망

- 일반가구의 가구원수 규모별로는 1인가구(31.7%)가 가장 많고 2인가구(28.0%), 3인가구(20.1%), 4인가구(15.6%), 5인이상 가구(4.5%) 순
  - 가구 구조가 1인·2인 가구를 중심으로 급격하게 변화중이며, 인구감소 추세와 더불어 가구원수의 감소는 개인화된 삶의 증가를 나타내는 대표적 지표
- 시도별로 1인가구 비율이 가장 높은 지역은 대전(36.3%)이며 경기(27.6%)가 가장 낮게 나타남

자료 : 2020 인구주택총조사 결과,통계청(2021.7)

[그림 2-9] 연도별 1인가구 규모

5) 인구정책 및 저출산·고령화 대책 전망, 한국보건사회연구원(2018)

○ **(생산인구의 감소)** 저출산으로 인한 선진국 내 생산가능인구의 감소는 국경을 넘는 이주노동을 증가시켜 다민족·다문화 사회로의 진입 촉진

- 노동력 수급 불균형에 따라 향후 2050년까지 연간 2백만 명의 인구가 개도국에서 선진국으로 이동할 것으로 전망

  * 아시아→유럽, 아시아→북아메리카, 남아메리카→북아메리카, 아시아→오세아니아로의 이주 경향

- 2019년 발표한 「2018년 인구주택총조사」에 따르면 우리나라 다문화 가구원은 전년 대비 4만 5천 명이 증가하여 처음으로 100만 명을 넘어섰으며 총 인구의 2% 차지

○ **(라이프스타일의 변화)** 고속성장시대의 양적·물적 발전에서 벗어나 '일과 생활'의 균형이 중요시됨에 따라 마음의 풍요로움과 문화생활을 추구하는 등 여가의 가치 증대

- 수명 연장에 따라 "얼마나 오래 사는가(기대수명)"에서 "어떻게 오래 사느냐(건강수명)"로 삶의 질에 대한 관심 증가[6)]

- 주 52시간 근로제, 국민소득 3만 달러 시대, 4차 산업혁명 등 사회적 전환기에 핵심키워드로 '여가'의 중요성이 증대되고, 욜로, 휘게 등 새로운 라이프스타일 확산[7)]

  * '19년 1월 1일부터 300인 이상 사업장 대상으로 주 52시간 근로제 시행, '20년부터 50~299인 사업장으로 확대, '21년 7월에는 전체 임금근로자의 73%가 주 52시간 근무제 적용 전망[8)]

〈표 2-8〉 라이프스타일 신조어

구분	의미
욜로(YOLO)	미래 또는 남을 위해 희생하지 않고 현재의 행복을 중시하여 소비하는 라이프스타일(인생은 한 번뿐이다/You only Live Once)
휘게(HYGGE)	가족이나 친구와 함께 또는 혼자서 보내는 소박하고 여유로운 시간, 일상 속의 소소한 즐거움이나 안락한 환경에서 오는 행복 ('편안함, 따뜻함, 아늑함, 안락함'을 뜻하는 덴마크/노르웨이어 명사)
킨포크(KINFOLK)	가까운 사람들과 함께 어울리며 느리고 여유로운 자연 속의 소박한 삶을 지향 ('친척, 친족 등' 가까운 사람을 뜻함
라곰(LAGOM)	너무 욕심내거나 앞서가려 하지 않고 적당한 균형과 조화를 이루며 살아가는 삶 추구 ('적당한, 알맞은, 딱 들어맞는'을 뜻하는 스웨덴어)
오캄(au calm)	현실을 즐겨야 한다는 압박에서 벗어나 심신이 평온한 상태로 느긋하게 보내는 삶 ('고요한, 한적한, 조용한'을 뜻하는 프랑스어)
소확행(小確幸)	일상에서의 작지만 진정한 행복을 말하는 것 (소소하지만 확실한 행복의 약자)

6) 욜로? 이제는 오캄, 킨포크, 라곰, 휘게 시대, 이투데이(2017.8.7.)
7) 국민 여가활성화 기본계획, 문화체육관광부(2018.6)
8) 주 52시간 근무제 시행에 따른 유망업종 분석, 하나금융그룹(2018.12)

자료 : '욜로? 이제는 오캄, 킨포크, 라곰, 휘게 시대', 이투데이(2017.8)

○ **(여가 활동 증가)** 여가활동과 삶의 질을 중시하는 노동문화 확산(재택근무, 건강, 여가 및 문화에 대한 수요 증대[9])

- 노동 중심 사회(노동형 인간, 일의 양 중시, 직장 중심 생활)에서 여가 중심 사회(여가형 인간, 일의 질 중시, 가족 중심 생활)로 국민 생활 및 경제활동 방식 변화
- 국내 여가 시장규모는 2015년 94조 원, 2017년 약 114조 원으로 꾸준히 증가하고 있으며, 전반적 시장 성장 속에 개인이 여가활동에 투자하는 비용과 시간도 증가 추세[10]
  * 여가 시장은 창작, 예술, 여가 관련 서비스업과 스포츠 및 오락 관련 서비스업 포함
- 국내 평균 연간 근무시간은 '16년 2071시간, '17년 2024시간, '18년 1993시간으로 지속적으로 감소하고 있으며 주 52시간 근무제 시행 후 회사 밖에서 보내는 시간이 점차 증가함에 따라 여가활동을 즐길 수 있는 복합문화공간 확산 전망
  * 주 52시간 근무제 시행 후 직장인 10명 중 6명은 기존보다 여가시간 증가
- 가상스포츠, 가상여행체험, 사이버박물관 및 가상공연 관람 등의 문화와 환경의 가상체험 등 시공간의 제약 없이 다양한 여가 활동을 보낼 수 있도록 하는 서비스 제공 증가 예상[11]

○ **(여가관심 증대)** 향후 국내시장의 주력 소비층이 밀레니얼 세대와 Z세대로 전환되며 자신을 위한 '본인 중심적 소비'와 삶의 재미와 만족을 위한 소비 증가 전망[12]
  * 밀레니얼 세대 : 1981~1996년에 출생자로 아날로그와 디지털을 모두 경험한 과도기 세대
  * Z세대 : 1997년 이후 출생자로 태어날 때부터 디지털 환경에 노출된 세대[13]

- 밀레니얼 세대는 레저·엔터테인먼트와 건강·웰빙을 위한 지출 항목에서 다른 세대보다 높은 비중의 소비 경향을 보유하고 있어 소유에서 공유, 경험(체험) 중심으로 소비패턴 이동 전망

○ **(여가활동 확산)** 무인화·자동화 기술의 발달로 인간이 수행하기 힘든 업무를 대체하거나 보완하여 업무 효율을 높여, 업무시간의 감소와 여가시간 증가로 이어질 것으로 전망

- 인공지능 도우미 로봇 기술 등의 발전과 복지서비스 향상으로 초고령화 사회에 복지 업무를 담당하게 되고, 인간이 수행하기 힘든 업무를 대체하거나 보완
- 실시간 모니터링과 개인 맞춤형 등 양질의 서비스를 제공받게 되어 누구나 차별 없이 인공지능의 혜택을 누릴 수 있을 것으로 기대[14]
- 30년 후에는 자율근무가 일반화되어 출근과 야근이 사라지게 되며 인공지능 발달을 통해 AI 비서가

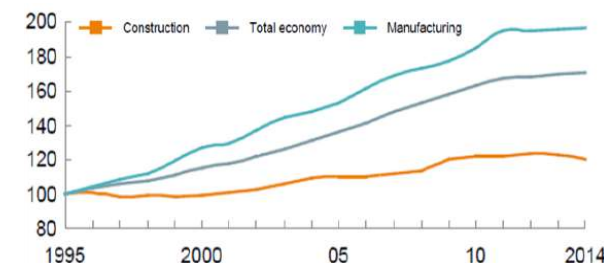
9) 국토교통 미래선도기술 발굴을 위한 사전조사, 국토교통부(2019.8)
10) 솜씨당, 월평균 매출성장률 45%...여가 시장 확대 속 서비스 급성장, 뉴스탭(2019.9.4.)
11) 국토교통 미래선도기술 발굴을 위한 사전조사, 국토교통부(2019.8)
12) 신소비 세대와 의·식·주 라이프 트렌드 변화, 삼정 KPMG 경제연구원(2019.5)
13) 신소비 세대와 의·식·주 라이프 트렌드 변화, 삼정 KPMG 경제연구원(2019.5)
14) 인공지능 기술발전이 가져올 미래사회 변화, KISTEP(2016.3)

생기고 단기간에 세계여행이 가능해질 것으로 전망[15]

○ **(건설산업 노동생산성)** 건설업은 노동력 및 노동투입원가가 높은 산업이기 때문에 노동생산성 제고가 전반적인 산업의 생산성 증대에 필수적 요소

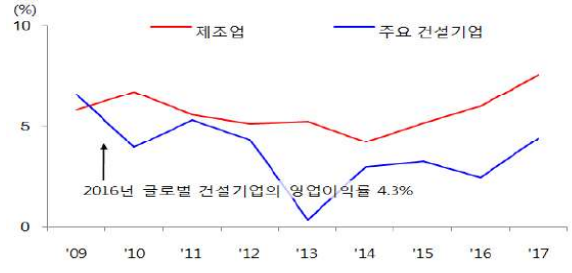
○ **(건설업 생산성 증가 저조)** 전세계적으로 볼 때, 지난 20년간 건설업의 연평균 생산성증가율은 1% 수준에 그친 반면 제조업은 연평균 3.6%씩 상승

- 복잡한 정부의 규제, 다수의 이해관계자 참여에 따른 협력의 어려움, 비효율적 인력운용, 부가가치가 낮은 활동이 과다한 점 등이 생산성 부진의 원인
- 국내 주요 건설기업[16]의 평균 영업이익률도 2009년 6.5%에서 2017년 4.4%로 감소한 반면, 동 기간 동안 제조업은 5.8%에서 7.5%로 증가
- 2016년 글로벌 건설기업[17]의 영업이익률 또한 4.3%에 머물며 저성장·저생산은 전세계 공통으로 나타나고 있는 현상



* 자료 : McKinsey(2017)

[그림 2-10] 업종별 연평균 생산성증가율



* 자료 : 한국은행, ENR(2017)

[그림 2-11] 업종별 영업이익률 추이

* 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안, 산은조사월보(2019.4)에서 재인용

○ **(건설생산성 감소)** 우리나라 건설업 노동생산성은 급격한 하락세를 보이며, 최근 10년 동안 27.9% 감소[18]

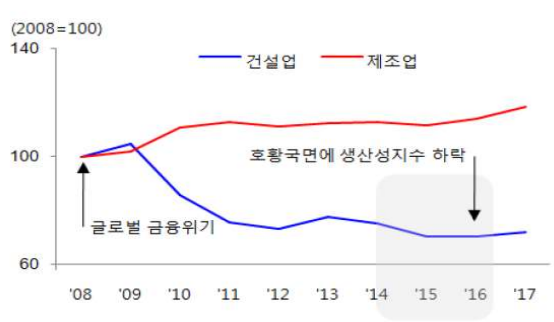
- 2009년부터 건설업 노동생산성이 급격히 하락하고 있으며 제조업이 동 기간 동안 18.5% 증가한 것과 대조적
  - 2008년 글로벌 금유위기 이후 건설수주 규모가 100조원을 하회함의 영향
- 큰 폭으로 하락한 건설업 생산지수는 2013년 이후 부동산경기 회복으로 기업체와 취업자수가 증가하였음에도 불구하고 반등하지 못하고 부진 지속
  - 이는 수주 호황국면에서 노동력 공급부족으로 비숙련노동력 투입이 증가하면서 건설업 생산성 향

15) 2049년 일과 여가의 미래, 과학기술정책연구원(2019.8)
16) 국토교통부 시공능력평가 상위 10대 기업에 해당하는 종합건설기업
17) ENR(Engineering News Record, 건설업 관련 전문저널) 랭킹 상위 20위에 해당하는 건설기업
18) 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안, 산은조사월보(2019.4)

상으로 이어지지 못한 결과

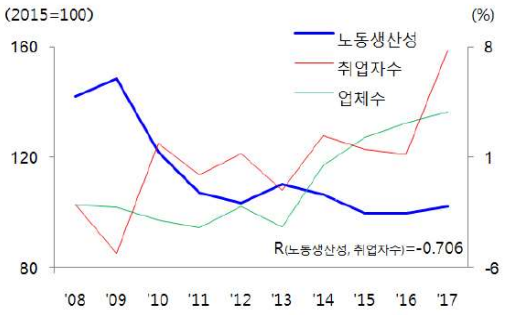
- 복잡한 계약·산업구조의 특성으로 건설투자가 증가하는 동안 산업 안정성을 오히려 저하되고 생산성지수는 하락하는 현상이 발생

- 정부정책 변화와 큰 폭의 수주 변동성은 건설산업의 안정적인 노동생산성 개선에 부정적인 영향을 미치고 있는 것을 시사하며, 노동생산성 개선을 위해서는 예측가능한 일관된 정책의 수립과 시행을 통한 시장의 안정적인 성장이 필요



* 자료 : McKinsey(2017)

[그림 2-12] 노동생산성 지수 추이



* 자료 : 한국생산성본부, 대한건설협회

[그림 2-13] 노동생산성, 취업자수 및 업체수

* 건설산업 고도화를 위한 생산성 제고방안, 산은조사월보(2019.4)에서 재인용

○ **(건설생산성 제고 필요)** 건설업 디지털기술 도입과 제조업화를 통해 생산성 제고 필요

- 건설업은 디지털화가 가장 늦은 산업으로 BIM을 활용하여 건설 전 과정의 오류를 줄이고 로봇, 드론 및 GPS로 오차 없는 시공을 한다면 건설업의 낮은 생산성은 제조업 수준으로 향상 기대 가능

  * McKinsey(2017)[19]에 따르면 기술력의 개선 만으로도 생산성이 14~15% 개선되는 효과 기대 가능

- 4차 산업혁명 중장기 전망에 따르면, 디지털화기술 도입으로 인한 실질부가가치 성장은 주로 제조업과 건설업(SOC분야)에서 발생할 것으로 분석

- 건설업의 제조업화를 통해 건설을 제조업 제품과 같이 공장에서 생산하여 생산성 제고 가능(모듈화)

□ 도시집중화

○ **(도시화 비율의 증가)** 도시화란 한 국가 내의 도시지역에 거주하는 인구 비율의 증가하는 것을 말하며 최근 전세계적으로 도시화가 급증하는 추세

- 20세기 전반에 걸쳐 급속도로 진행된 도시화로 1900년대 세계 15%(15억명 중)였던 도시화율은 2000년 47%(60억명 중)로 급증[20]

19) Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity, McKinsey(2017.2)
20) Urbanization(도시화), 과학기술정책연구원

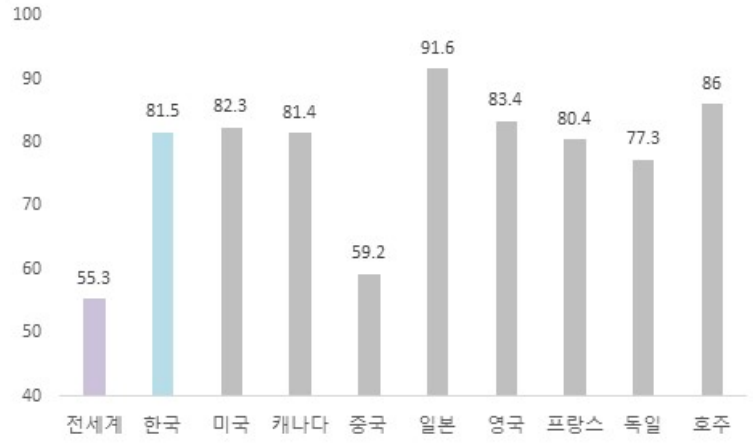
- 2018년 UN 보고서 기준 전세계 도시화율은 55.3%로 집계, 약 절반의 전세계 인구가 도시에 거주하는 것으로 나타남

〈표 2-9〉 2018년 전세계 및 주요국 도시화율

단위 : 명(천명), %

국가명	도시인구(천명)	지방인구(천명)	총인구(천명)	도시인구비율(%)
전세계	4,219,871	3,413,002	7,632,819	55.3
한국	41,678	9,486	51,164	81.5
미국	268,787	57,980	326,767	82.3
캐나다	30,084	6,869	36,954	81.4
중국	837,022	578,024	1,415,046	59.2
일본	116,522	10,664	127,185	91.6
영국	55,521	11,052	66,574	83.4
프랑스	52,476	12,757	65,233	80.4
독일	63,622	18,671	82,293	77.3
호주	21,307	3,465	24,772	86.0

자료 : World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, UN(2018) 재구성



자료 : World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, UN(2018) 재구성

[그림 2-14] 전세계 주요국가 도시화율(2018년 기준)

□ 기술변혁의 가속화와 디지털화

○ **(공유경제 등장)** 2010년 이후 협력 소비(Collaborative Consumption)를 전제로 한 공유경제 급부상, 기존 경제체제 틈새시장을 보완[21)]

21) 공유경제 트렌드 확산에 따른 산업 생태계 변화, 하나금융경영연구소(2015.12)

- 유·무형 자산을 소유하는 대신 서로 대여·차용하여 하나의 제품을 다수가 함께 사용하며, 최근 친환경 트렌드, 경제 저성장, 제공자의 잉여자원 활용을 통한 수익창출 등 요인에 의해 성장

  * 플랫폼(platform) 경제, 협력적 소비(Collaborative Consumption),P2P(peer-to-peer) 경제, O2O(Online-to-offline) 서비스, 온디맨드(on-demand) 서비스 등 다양한 이름으로 지칭[22)]

- 우버(Uber), 에어비앤비(Airbnb), 쏘카(Socar) 등 공유경제 비즈니스의 성장과 함께 공유(Sharing) 개념에 친숙한 사회 분위기를 형성하고 있으며, 기존 기업들도 공유경제 신생 기업에 대한 인수, 투자, 비즈니스모델 재평가 등의 방식으로 상생하며 전체 시장 성장 견인

자료 : 서울시, 차량공유 '나눔카' 1만대로 확대...편도서비스 활성화, 한겨래신문(2019.05.13.)

[그림 2-15] 서울시 나눔카 공유 서비스 사례

- 최근 공유경제 및 컨시어지 서비스를 스마트폰 앱과 연계하여 서비스하는 영역이 확장 중으로 안마사를 불러 주는 '질(Zeel)', 의사를 보내 주는 '힐(Heal)', 주차 대행 '럭스(Luxe)', 시장을 대신 봐 주는 '인스타카트(Instacart)', 빨래는 해 주는 '워시오(Washio)', 요리를 해서 집으로 배달해 주는 '스프리그(Sprig)', '스푼로켓(SpoonRoket)' 등의 서비스가 등장[23)]

○ **(공유경제 확산)** 공유경제 서비스는 상품·공간 등 간단한 서비스를 넘어 금융, 지식, 의료 등 다양한 분야로 확산[24)]

- (영국) 멘체스터 시는 통계 및 지역 의료정보망이 연계된 의료서비스 공유경제 시행으로 의료서비스 불평등 해결, 리즈 시는 지역 민간업체와 협업을 통해 기존 수송경제 활성화 및 카풀 등 온라인 서비스 실시

22) Special report 공유경제와 투자의 기회, 교보증권(2019.4)
23) 21세기 산업혁명 '컨시어지 경제' 자본주의의 미래? 노동의 위기?, 동아닷컴(2015.9.11.)
24) [Hot Issue report 2018-1] 지역경제, 공유경제로 풀다. 한국지능정보사회진흥원(2018.4)

〈표 2-10〉 공유경제 분야별 구분: 사례

No	구분	세부분류
1	차량공유(Vehicle Sharing)	차량임대, 보트임대
2	운송 서비스(Mobility Service)	지원, 발렛서비스, 탑승서비스
3	서비스(Service)	개인,사업
4	음식(Food)	음식 고융·배달·준비 공유
5	제품(Goods)	메이커운동, 제품임대, 중고제품
6	금융(Money)	잔자화폐, 크라우드펀딩, 대금업
7	공간(Space)	개인공간, 사무공간
8	복지·미용(Wellness&Beauty)	미용, 복지
9	물류(Logistics)	해상운송, 시내배달, 보관
10	기업 및 조직(Corporate and Oganization)	플랫폼, 공급망, 고용자 서비스
11	유틸리티(Utilities)	통신, 에너지
12	도시행정(Municipal)	플랫폼, 시 공영 자전거
13	교육(Learning)	강의, P2P, 책공유
14	노동자지원(Workers Support)	임대업바 서비스, 보험, 노동자원
15	분석 및 평판(Analytics and Reputation)	임대업자, 신분·평판, 운전자 서비스
16	의료(Health)	서비스·P2P

* 자료 : 호주의 공유경제활동에 대한 과세제도, 한국법제연구원(최정희, 2019)/ 공유경제 활성화를 위한 법·제도 개선방안, 국회입법조사처(2020)에서 재인용

○ **(차량공유 서비스)** 차량공유(Car Sharing) 및 승차공유(Ride Sharing) 서비스는 공유경제 서비스의 중요한 한 축을 담당하고 있으며 시장규모 및 사용자 숫자는 꾸준한 증가세

- (중국) 의료지식 공유 플랫폼 및 원격의료 플랫폼을 통하여 의료서비스를 공유, 의사-의사 및 의사-환자간 원격의료 서비스 적극 허용으로 환자 부담 경감 및 의료기관-환자간 수요공급 미스매치 해결
- 공유경제 모델을 성공적으로 구현하여 크게 주목받은 미국의 차량공유업체 우버(Uber)는 공유경제의 확산 현상을 일컫는 '우버화(Uberisation)'의 어원이 되었으며[25], 우버와 경쟁사 리프트(Lyft)는 '19년 초 상장하여 완성차기업 이상의 기업 가치를 보유
- 차량공유의 일반적인 정의는 자동차의 소유권을 가진 주체가 서비스에 가입된 회원에게 시간 단위로 차량의 이용 권한을 제공하는 것[26]으로, 렌터카와 비슷한 카셰어링(Car Sharing) 서비스부터 이동을 원하는 소비자와 이동서비스를 연결하는 카헤일링(Car Hailing), 자동차를 함께 타는 라이드셰어링(Ride-Sharing) 등의 서비스로 구분되며, 국내의 카셰어링을 제외한 차량공유 서비스의 제공은 매우 제한적[27]

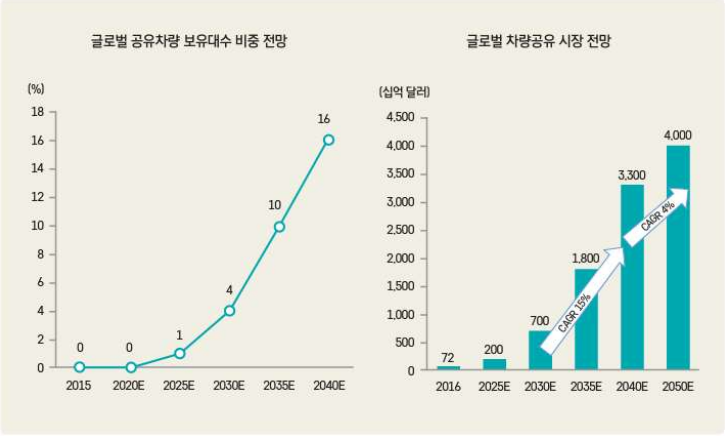
25) 주목할 만한 공유경제 서비스 및 시사점, 디지에코(2018.9)
26) 카셰어링 교통안전 대책 마련을 위한 연구, 한국교통안전공단(2018.10)

- 전 세계 승차공유 서비스 시장은 '18년 613억 달러에서 '25년 2180억 달러로 연평균 19.87%의 성장을 거둘 것으로 보이며[28], 이용자 또한 전 세계적으로 꾸준히 증가하여 '20년에는 5억 명을 넘어설 전망

〈표 2-11〉 차량공유 종류 및 개념

차량공유 종류	내용	대표기업	세부분류
카셰어링 (Car Sharing)	Peer-to-peer car sharing(P2P)	기존 자동차 소유자가 다른 사람들이 짧은 시간 동안 차량을 대여해주는 서비스 방식	스냅카(SnappCar)
	Stationary car sharing(B2C)	이용자가 서비스 지점으로 이동하여 차를 대여 및 이용 후 다시 해당 지점으로 반납하는 방식	집카(Zipcar) 플링스터(Flinkster)
	Free-floating car sharing(B2C)	이용자가 주변에 이용가능한 차량을 검색하여 대여 및 이용 후 반납장소(노상주차장 내 전용주차구역 등)를 검색하여 반납하여 단방향(Oneway) 이용 가능	셰어나우(car2go와 DriverNow 합병) 윗카(Witcar)
라이드셰어링 (RIde Sharing)		카풀의 개념과 같으며 이동을 원하는 차를 보유한 개인과 목적지 방향이 유사한 개인을 연결해주는 서비스	풀러스 우버풀 벅시
카헤일링 (Car Hailing)		이동을 희망하는 고객과 차량을 보유한 사업자를 직접 연결해 주는 서비스로 원하는 위치와 시간에 승차 서비스를 이용할 수 있는 호출형 승차공유 서비스(Ride Hailing)*, 공유 자동차를 원하는 위치로 부르는 호출형 차량공유 서비스(Car Hailing)가 있음 * 기존의 라이드셰어링이 라이드헤일링으로 변화되는 추세	우버(Uber) 리프트(Lyft) 디디(Didi Chuxing) 그랩(Grab) 카카오택시

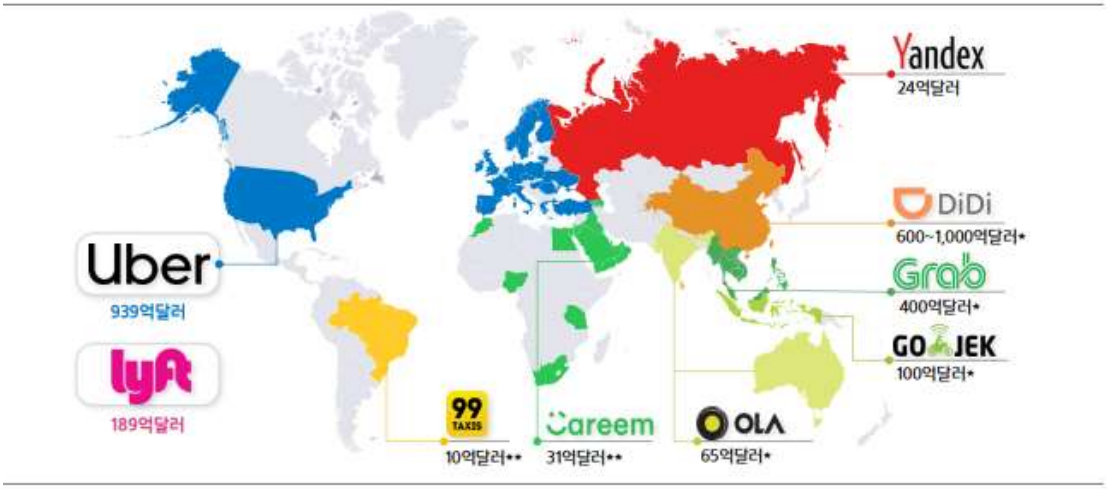
* 자료 : 진화하는 글로벌 차량고용 산업 동향, SPRi(2020.1), KPMG(2019.8)을 재구성 한 내용을 재인용



자료 : TaaS 투자로 본 모빌리티 비즈니스의 미래 재구성, KPMG(2019.8)

[그림 2-16] 차량공유 시장 전망 및 보유대수 비중

27) "오너드라이버가 사라진다"...커지는 공유車시장, CBS뉴스(2019.4)
28) Ride Sharing Market Size, SHare and Market Forecast to 2025, MarketsandMarkets(2018.12)



* 참고: 우버와 리프트, 얀덱스는 6월 4일 기준 시가총액, *sms 언론 및 VC 평가 가치, **는 피인수 당시 가치
* 자료 : 모빌리티 공유의 시대, 누가 승자가 될 것인가?, 삼성증권(2021.7)

[그림 2-17] 지역별 차량 공유 업체 현황

○ **(숙박 공유 서비스)** 대도시 중심의 주거비 및 임대료 상승으로 공유숙박, 쉐어하우스 및 각종 공유공간을 제공하는 사업 모델이 주목

- (공유숙박) 주택의 빈 방을 활용하여 숙박 서비스를 제공하는 방식으로 에어비엔비(AirBnB), HomeAway, Flipkey 등의 플랫폼이 대표적이며[29] 국내 공유경제 규모에서 숙박공유 서비스의 비중은 약 90%에 달하나[30] 각종 규제 등으로 국내 업체의 진출에 한계 발생 문제[31]

- (쉐어하우스) 개인공간(방) 외에 거실, 주방, 화장실, 현관 등을 공유하는 주거 방식으로 경제적으로 취약하면서 주거비 부담이 높은 1인가구 수요에 부합하며[32] 국내에서도 꾸준한 상승세를 지속하여 '19년 쉐어하우스 수가 1천 개를 돌파하는 등 대규모 자본 투입 중[33]

- (공유오피스) 빌딩의 전체 혹은 일부를 장기 임차하여 작게 나눠 개인이나 업체에 재임대하여 다양한 업무지원을 하는 사업 모델로 최근 밀레니얼 세대 주체의 1인기업·소규모 스타트업 증가, 저비용 토탈 솔루션 제공 오피스 수요 증가, 협업 활성화 등의 요인으로 주목받고 있으며 국내 공유오피스 시장은 '18년 600억 원에서 '22년 7,700억 원까지 성장할 것으로 전망[34]
  - 코로나19로 인해 재택근무가 활성화되며 스 서비스도 수요가 증가, 국내에서는 패스트파이브가 코로나19이후 신규 입점이 13% 증가[35]

- (공유주방) 홀 없이 주방만 입정하여 100% 배달로만 음식을 판매하는 방식으로, 개업 장소의 제약이

29) 위기의 공유경제 ③ 정부 늑장에 국내 숙박공유 사실상 공멸... 에어비앤비만 살판, 매일경제(2019.101.3)
30) P2P공유경제 3년새 10배로 성장...공유숙박 비중 90%, 연합뉴스(2019.6.6.)
31) 내국인 공유숙박 서울서 첫 허용, 매일경제(2019.11.27.)
32) 국내 셰어하우스 현황 및 수요자 인식 조사, 건축도시공간연구소(2018.3)
33) 쉐어하우스 트렌드리포트 2019, 컴앤스테이(2019.8)
34) 공유경제 확산에 따른 국내 공유오피스 시장 발전과 향후 전망, 디지에코(2018.1)
35) 코로나19에 맞서는 공유경제의 현재와 미래, 소프트웨어정책연구소(2020.11)

적으며 다품종 소량생산이 가능하고 입점 주방 간 공동구매를 통해 식재료·배달대행료를 절감할 수 있는 소자본 창업 모델로 각광[36]

- 코로나19로 인해 오프라인 매장이 있는 음식점은 큰 타격을 받았으나 배달음식점은 문전성시를 이루고 있으며, 공유주방 서비스도 함께 성황 중
- 위쿡, 배민키친, 고스트키친, 헬로키친 등이 대표적이며, 최근에는 CJ푸드빌이 자사의 빕스 브랜드 배달전문점 오픈, 풀무원의 공유주방 기업들과의 MOU를 통한 풀무원 제품 공급 등 대기업들의 공유주방 시장 진출도 본격화[37]

- (공유창고) 1인 가구 증가로 인한 공간 수요에 대응하여 창고 공간을 공유하는 공유창고 서비스[38] 및 여행자들을 위한 짐 보관용 공유공간 플랫폼[39] 등장

〈표 2-12〉 코로나19 이후 성장하는 업종 현황

공유오피스	공공기관과 대기업들의 비대면 근무 확산에 따른 거점사무실* 수요 증가로 지속 성장 중(패스트파이브, 스파크플러스 등) * 비대면 업무환경(화상회의 전용 회의실, 영상 스튜디오 등)에 적합한 시설 제공
공유퀵보드	대중교통 이용을 꺼리는 사용자, 근거리 사용자 증가로 활황(라임, 빔 등)
공유주방	도시락 등 음식배달의 증가와 맞물려 적은 자본으로 창업 가능한 공유주방 확대, 최근에는 '인빌딩 푸드코트형 공유주방' 형태의 서비스도 등장(먼슬리키친) * 동일 빌딩에서 주방을 공유하여 사용하는 푸드코트형 창업 형태

자료 : 공유경제 위기인가, 기회인가, IBK경제연구소(2020.10.06.)

○ 정부도 공유경제 시장의 확대에 맞춰 기업들의 건강한 성장을 지원하기 위해 다양한 정책적 지원을 추진

- 정부는 정책적으로 공유경제 서비스들이 제도권의 테두리 내에서 소비자들의 이익을 저해시키지 않는 범위 내에서 기존 기업들과 공정하게 경쟁하며 성장할 수 있도록 하는데 집중

〈표 2-13〉 공유경제 시장 활성화를 위한 정부의 주요정책

분야	정책	세부내용
숙박	내국인 대상 도시민박업 제도화	- 도시지역에서 내국인 대상으로 주택의 빈 공간을 숙박용으로 제공하는 도시민박업 허용 추진(관광진흥법 개정) - 지역 숙박시장 상황을 고려해 자치단체별 탄력적 운영 허용 - 투숙객의 안전 보장을 위해 서비스·안전·위생 기준 마련, 범죄 전력자의 도시민박업자 등록 제안 검토
	기존 숙박업계와 상생 강화	- 새로 도입하는 도시민박업과 기존 숙박업계가 상생할 수 있도록 기존 업계 지원책

36) "홀 없이 배달만... 공유주방 전성시대 '소자본 창업' 자영업 구원투수 되나", 매일경제(2019.11.25.)
37) 코로나19에 맞서는 공유경제의 현재와 미래, 소프트웨어정책연구소(2020.11)
38) 좁은 집에 짐 줄이기...1인 가구 겨냥한 짐 보관 서비스, 소비자평가(2019.10.16.)
39) 에어비앤비처럼 시내 곳곳 '공유공간'에 짐 보관...여행자들에게 인기, 한국경제(2019.11.6.)

		마련 - 숙박업 종사근로자에 대한 야간 근로수장 비과세 혜택 - 소규모 숙박업체 대상 신용카드 등 매출세액 우대공제율 적용 연장과 공제한도 확대(500만원 → 1,000만원) - 숙박공유 규제는 완화하되 공정경쟁을 위해 불법업소의 시장진입 금지, 플랫폼 기업의 관리책임 강화
교통	자동차 공유(카셰어링) 활성화	- 지능형도시(스마트시티) 국가시범도시(세종·부산) 내에서 운행하는 공유 차량의 배차·반납장소 자율화 - 편도이용 활성화를 위해 다른 지역의 일시 상주기간 확대(1개월 → 3개월) - 무인화 등 환경변화를 반영해 고지서 발송 장소 변경 허용 - 친환경차량인 수소차 차량공유 촉진을 위한 세제지원 확대 - 개별소비세 면제 여부를 결정하는 사업용 자동차 대여기간의 산정기준을 명확화 하여 세금 부담을 합리적으로 완화
	전세·노선버스 공유를 위한 교통 O2O 서비스 활성화	- 모바일 등 온라인 플랫폼을 통한 전세버스 탑승자 모집 허용(노선화되지 않은 비정기·일회적 운행시에 한정) - 한정면허 제도를 수요자 친화적으로 개선해 노선 운행시 행정·제도 애로사항 해소 - 주요 광역버스(M-bus)에 온라인 좌석 예약제를 단계적으로 확대(2020년까지 17개 노선)
	승차공유는 사회적 대타협을 통해 상생방안 마련	- 국민편의 제고, 교통산업의 발전, 기존산업 종사자 보호의 기본원칙 하에 대타협 추진
공간	거주자 우선주차장 공유 활성화	- 거주자 우선주차장 공유하는 경우 요금감면, 추후 배정시 우대 등 혜택 부여(서울시) - 거주자우선 주차장에 주차센서 설치 등 사물인터넷(IoT) 기술 시범도입('22년)
	(주거) 분쟁방지를 위한 표준계약서 마련	- 주거공유시 입주자 보호를 위해 점유형태, 분쟁유형·빈도 등 실태조사를 바탕으로 주거공유 표준계약서 마련(법무부)
	(공유자원) 공공자원의 개방·공유 확대, 활용도 제고	- 중앙정부·지자체·공공기관 보유자원 개방정보를 통합 제공하고 예약·경제 서비스를 제공하는 시스템 구축('19년) - 해외진출 국내 중소기업이 이용할 수 있도록 공공기관 등의 해외사무소의 유휴공간을 공유 사무소로 전환('19년~) - 자치단체 보유 유휴공간을 이용해 지역사회 활성화를 위한 공유공간 조성 지원 - 초중고교 생활체육시설 개방 촉진을 위한 공유모델 시범도입, 참여 학교에게 안전관리비용 등 지원 확대(서울시)
	청년창업 촉진을 위한 공유재산 사용료 감경	- 청년 창업공간으로 이용시 공유재산의 수의계약을 허용하고, 사용료·대부료 감경 허용(2019년 6월 시행, 공유재산법 시행령 개정)
금융·지식 등 기타	개인간(P2P) 대출 투자자에 대한 이자소득세율 인하	- 관련 법*에 따라 금융위에 등록한 적격 개인간(P2P) 플랫폼에 대해 투자 이자소득세율을 일반 금융기관 이자소득세율과 동일하게 14% 적용** * P2P 대출에 대한 법적 근거 마련 추진, ** 2020년부터 1년간 한시적 시행
	P2P 대출 투자자 보호 강화	- 업체 정보, 연체채권 실태 등 정보제공·공시 강화, 대출 돌려막기로 인한 부실 전가 방지 등 소비자 보호 강화
	창업·중소기업 크라우드펀딩 활성화	- 일반 중소기업의 크라우드 펀딩 허용, 연간 발행한도 대폭 확대(15억원), 중개업자의

		사후 경영자문 허용(자본시장법·시행령 개정)
	온라인 지식공유 플랫폼 K-MOOC를 통한 재능공급 촉진	- 다양한 콘텐츠 확보를 위해 K-MOOC 강좌 개발 주체 다양화 - 전문역량 개발을 위한 심화·직업교육 강좌 등을 확보하고, '한국형 온라인 공개강좌(K-MOOC) 이수결과의 학점 인정 확대
과세체계정보	공유경제 대응 간편 과세기준	- 공유경제 플랫폼을 통해 서비스를 제공하는 종사자의 사회적 보호를 위해 산재보험 적용 범위 단계적으로 확대 - 산재보험 적용 제외 신청 가능 범위도 질병·육아 등 근로가 어려운 경우로 한정 - 장기적으로 산재보험 대상을 현행 근로기준법상 '근로자'에서 다양한 종사형태가 포함된 '피보험자' 개념으로 확대
	플랫폼 노동에 적합한 산재보험 부과·징수 체계 마련	- 주로 고용 관계라 보호하고, 고정 사업장이 없는 플랫폼 노동의 특성을 고려해 거래 건별 산재보험 부과·징수체계 마련 - (추진일정) 노사정 협의 등을 통해 의견수렴에 착수하고 각계 의견수렴 결과를 바탕으로 건별 요율체계 마련
플랫폼 혁신 지원	공유경제 기업 연구·인력개발 세제지원	- 정보통신기술(ICT) 기반 공유경제 플랫폼 기업의 유망 신기술 연구개발비 세액공제 대상 확대(법인세·소득세 중소기업 30~40%, 대·중견 기업 20~30%) - 데이터·보안 등 정보통신(ICT) 역량강화를 위한 인력개발비 세액공제 대상 확대(법인세·소득세 중소기업 25%, 중견기업 8%, 대기업 최대 2%)
	기업 공유·활용 데이터 확대	- 정부 보유 국가중점데이터 개방 확대 및 기업 검색·활용 편의성 증대를 위한 국가데이터맵 공개 - 거대자료(빅데이터)를 생산·관리하는 전문센터 구축(100개)과 주요 산업별 빅데이터 분석·유통 지원하는 플랫폼 구축 - 지능형 서비스로 활용도가 높은 분야의 인공지능 학습용 데이터 제공
	조사·분석기반 구축	- 공유경제 플랫폼 체계적 현황파악을 통한 정책 수립을 위해 O2O 시장동향·이용실태 조사 실시

자료 : 대한민국 정책브리핑 정책위키 내용을 재구성(https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148868025)

○ (모빌리티 진화) 기존 모빌리티 패러다임1.0~3.0)은 자동차산업 관점에서만 논의되어왔으나 모빌리티 4.0은 ICT 기술의 융합이 실현되어 자율주행, 연결성, 공유 모빌리티 중심으로 변모할 전망[40)]

- 자동차의 전장화(Electrification)와 연결성(Connectivity)이 강해지면서 이동수단이 아닌 모바일 디바이스의 개념이 강해질 것

〈표 2-14〉 모빌리티 패러다임 분류

패러다임	특징
모빌리티 1.0	수직 계열화된 자동차산업의 특징 등장, 낮은 수준의 주행기술로 대량생산 추구
모빌리티 2.0	주요 자동차 부품회사 등장. 거대 연관사업의 특징. 대량생산, 운영 효율화
모빌리티 3.0	글로벌 차량제조사(OEM)·부품제조사 발전, 시스템 전장화, 안전성 및 효율성 강화
모빌리티 4.0	ICT와 자동차산업의 융합 실현, 자율주행, 연결성, 공유 모빌리티 등이 자리매김

자료 : 모빌리티 4.0 시대의 혁신과 새로운 기회, 한국지능정보사회진흥원(2016.11) 재구성

40) 모빌리티 4.0 시대의 혁신과 새로운 기회, 한국지능정보사회진흥원(2016.11)

- (산업 측면) 전장화(Electrification)와 연결성(Connectivity) 강화로 기존의 자동차 생산 방식은 내연기관과 하드웨어 부품 확장을 통해 향상되는 이동수단(Auto-'Motive')에서 네트워크 서비스 중심의 소프트웨어적 부가가치 증진 중심의 모바일 디바이스(Auto-'Mobile')로의 관점 전환
  - 모듈화 방식 촉진, 판매 및 수익 모델의 변화로 수직계열화된 기존 자동차산업 가치사슬이 붕괴
- (사회문화적 측면) 자율주행으로 인해 자동차가 위치기반 실시간 수요(On-Demand) 서비스를 제공함으로써 콘텐츠 이용·원격의료·업무·커머스 공간이 되고, 스타트업 및 써드파티(3rd Party) 진입으로 신규 비즈니스 창출
  * 자동차 사고, 혼잡비용·에너지 비용 감소 등 자동차로 인한 사회적 비용 감소, 삶의 질 향상에 기여

○ **(모빌리티 개념 확장)** 모빌리티의 범주가 자동차를 넘어 미래에 등장할 교통수단 전반으로 확장될 전망[41)]

- 스마트 이동성 생태계 내의 교통 사업자들은 디지털화된 정보로 상호 운영될 수 있는 기반을 갖추어야 하며, 모든 교통 데이터는 개방화되어 이용자 편의와 관제, 운영의 지능화를 추구할 것으로 예상
- 기존의 장거리 운송수단인 선박·항공·철도 뿐만 아니라 앞으로 등장할 미래 교통수단에 대한 대응이 필요하며, 미래 교통수단 또한 디지털화된 인터페이스를 갖추어 다른 모든 지하·지상·항공 교통수단과 통합하여 관리될 전망
  * 마하 5 이상의 극초음속 여객기, 시속 1200㎞/h의 하이퍼루프 등 대형 운송수단부터 도심 내에서 운용되는 PAV(Personal Air Vehicle, 개인항공기)와 같은 개인용 이동수단까지 전방위적으로 포괄하는 운항 시스템 발전 예상

○ **(전기자동차)** 공해 배출 감소로 환경 이슈에 대응하며 시장을 지속적으로 확장하여 미래 이동시장을 주도할 것으로 전망

- 전기자동차는 배출가스 규제 정책, 친환경 자동차 도입을 위한 각종 지원과 기술 혁신의 성과로 내연기관차가 100여년간 이룩한 기술 수준 추격에 성공
- 전세계 전기차 시장규모는 '17년 120만 대에서 '25년 연 1100만 대 수준으로 확대 전망(CounterpointResearch, 2019)[42)]
- 2040년 전기자동차는 세계 승용차 판매량의 57%, 사용 중인 승용차의 30% 이상을 차지하며, 하루에 13.7백만 배럴 분량의 연료 소비를 대체하는 효과를 보일 것으로 예측(Bloomberg, 2019)[43)]
- 한국은 친환경차 보급 로드맵(2019.02)을 수립하여 전기차 비중을 지속적으로 높일 방침으로 '25년에는 25만 대 보급(산업수요 14.4%), '39년 국내 신차 33% 친환경차 보급 목표

41) 스마트 모빌리티 서비스의 현황과 미래, 한국지능정보사회진흥원(2019.4)
42) Global Electric Vehicle Car Sales Reach 2 Million Units in 2019, Counterpoint(2019.3.23.)
43) Electric Transport Revolution Set To Spread Rapidly Into Light and Medium Commercial Vehicle Market, Bloomberg New Energy Finance(2019.5.15.)

○ (PAV) 도시 공중 교통수단은 기존의 육상교통 패러다임을 전환, 공간을 극복하여 교통정체를 해소하고 단거리 생활교통 수요를 주도할 것으로 예상[44)]

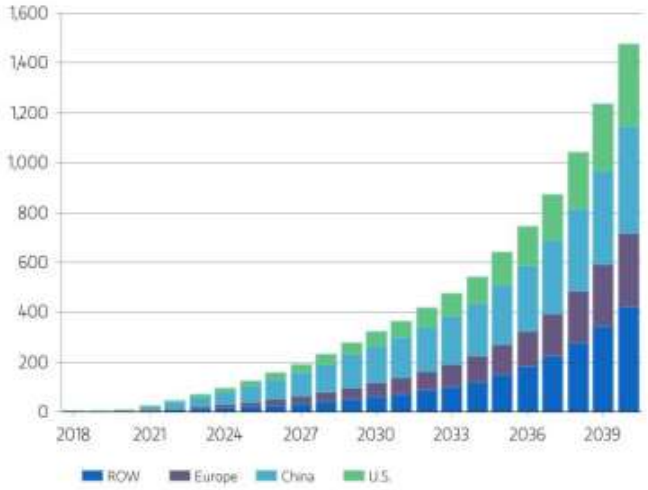
- 도심 및 광역시의 지역 지상교통망은 포화 상태로 증설에 막대한 비용이 소요되나, PAV(플라잉카)를 통해 현 상황을 극복하고 개인의 이동 자유도를 증진 가능
- 무인기와 ICT 기수의 급속발달로 PAV의 개발 방향은 '소형화된 유인 비행기'[45)]일 뿐만 아니라 '사람을 태울 수 있는 자율비행 무인기(드론)'방향으로 전환
- 현재 보잉, 에어버스, 아우디, 도요타 등 세계 150여 기업이 300종의 플라잉카를 개발 중
  - 보잉은 '19년 길이 9m, 폭 8.5m의 플라잉카를 수직 이륙해 1분간 비행 후 착륙에 성공, 200kg 이상의 사람과 짐을 싣고 비행을 목표로 개발 진행 중
  - 토요타는 플라잉카 스타트업 '카티베이터'에 투자했으며, 카티베이터는 최고속도 시속 150㎞, 비행고도 약 10m, 1인 탑승 드론형태의 플라잉카 개발 중
  - 플라잉카 주행방법에 따라 싱글모드(비행)와 듀얼모드(비행+주행)로, 이착륙 방법에 따라 CTOL(활주로이착륙), STOL(단거리이착륙), VTOL(수직이착륙)로 분류

자료 : 188조원 '플라잉카' 시장을 선점하라, 조선일보(2019.10.06.)

[그림 2-18] 플라잉카 기술방식 및 개발 동향

44) 「미래형 자율지행 개인항공시(OPPAV) 안전운항체계 개발 및 인프라 구축」공동기획연구(보완), 과학기술정보통신부(2017.12)
45) SH 영화 속 '플라잉카', 하늘 난다...한국은?, 중앙일보(2019.1.20.)

- 모건 스탠리는 플라잉카 시장이 2030년 3,321억 달로(약 385조원), 2040년 1조 4,739억 달러(약 1,709조원)로 성장할 것으로 전망



자료 : Morgan Stanley Research, 눈 앞에 다가온 플라잉카 시대, 지금이 기회다(자동차연구원, 2020.3)

[그림 2-19] 플라잉카 미래 시장 전망

○ **(하이퍼루프)** 기존 철도의 속도 한계를 극복하는 초고속 교통 네트워크 구축을 통해 여객 및 국가 물류 기간망을 구성하는 튜브 수송 체계 개발

- 하이퍼루프는 공기저항을 극한으로 줄인 감압 터널(튜브) 내에서 부상식 캡슐을 이동시키는 운송수단으로, 현대의 고속철도에 비해 3~4배 빠른 1200㎞/h의 속도 실현 가능[46)]

  * 진공 튜브 운송체계는 오래 된 아이디어이며 기송관(Pneumatic Tube) 등으로 사용되었으나, '13년 일론 머스크(Elon Musk)의 주장으로 재조명

- Virgin Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies 등의 신생 기업들이 거액의 자금을 투입하여 연구개발을 추진 중이며, 물류 운송용 컨테이너(TEU) 탑재용 캡슐 및 도심내 지하 파이프라인 사용 저속 튜브 물류 시스템 등의 응용 분야도 연구 중

- 전세계 하이퍼루프 기술 시장은 '22년 13.5억 달러에서 연평균 45.2% 성장하여 '26년 60억 달러 규모에 이를 것으로 전망(Allied Market Research, 2018)[47)]

- 통신망의 초고속화와 함께 물류의 지속적인 고속화가 예상되며, 초고속 물류 인프라를 구성하는 하이퍼루프 등의 고속 운송수단의 중요성이 증가할 전망

○ **(건설산업 디지털화)** 건설프로젝트는 수요자의 수요가 복합해 짐에 따라 복잡성이 증대되고 자연재해 증가, 도전형(해상, 지하, 험지 등) 건설의 증가에 따라 기술력의 중요성 증대

- 건설사들에게 경쟁력을 유지하기 위해 리스크 관리, 데이터 보안, 안전 향상 등에 대한 역량이 강요되며 디지털 전환을 가속화

46) 주간기술동향 1881호, 정보통신기획평가원(2019.1)
47) Hyperloop Technology Market Size, Share, AlliedMarketResearch(2018.1)

〈표 2-15〉 건설분야 디지털 전환의 효과

구분	내용
생산성 및 성능 향상	더 나은 데이터로 인해 워크플로우 및 리소스 관리가 향상되고 시공 비용이 절감되며 처리 시간이 단축
Connected Construction	클라우드 기반 소프트웨어 및 모바일 앱을 통해 모든 프로젝트 관계자 간의 공동 작업 가능
안전 및 리스크 관리	실시간 장비 추적 및 예측적 유지 관리를 통해 안전성이 향상되고 리스크는 감소

자료 : 디지털 건설 여정의 시작: 디지털 트랜스포메이션 로드맵, Redshift(2020.08.04)내용을 재구성

○ 건설 프로세스 전 과정에 걸쳐 디지털 기술의 활용을 통한 효율성 제고를 추진 중

〈표 2-16〉 건설 단계별 디지털 기술의 활용

구분	내용
설계 (데이터 기반 3D 통합 모델의 개발)	- (디지털 협업) BIM, 클라우드, 가상현실 - (데이터 기반 설계) 데이터 고급분석 - (시뮬레이션 및 프로토타입 제작) 가상현실, 3D 프린팅 - (물리적 구조의 가상화) 무인항공기 - (데이터 분석 및 설계 최적화) BIM, 클라우드
시공 (공사비 절감, 공사기간 단축, 안전성 확보)	- (실시간 데이터 공유 및 조정) BIM, 클라우드, 가상현실, 증강현실 - (데이터 기반 계획 수립 및 적용) 데이터 고급분석, 사물인터넷 - (새로운 제작방식의 적용) BIM, 클라우드, 모듈러, 3D 프린팅 - (시공 자동화) BIM, 클라우드, 로보틱스, 지능형 건설 장비, 무인항공기, 데이터 고급분석 - (시공 모니터링) 증강현실, 무인항공기, 지능형 건설 장비, 사물인터넷
운영·유지관리 (건축물 수명 증가, 유지관리 비용 절감)	- (BIM 및 데이터 기반 유지관리) BIM, 클라우드, 데이터 고급분석 - (가상 핸드오버 및 시운전) BIM, 클라우드 - (스마트 유지관리) BIM, 클라우드, 증강현실 - (성능 모니터링 및 선제적 유지관리) 사물인터넷, 데이터 고급분석 - (유지보수 및 리모델링 효율화) BIM, 클라우드, 데이터 고급분석

자료 : 미래 건설산업의 디지털 건설기술 활용 전략, 건설산업연구원(2019.5)

- 건설사들에게 경쟁력을 유지하기 위해 리스크 관리, 데이터 보안, 안전 향상 등에 대한 역량이 강요되며 디지털 전환을 가속화

- **(설계단계)** 디지털 건설기술 활용의 목적은 '데이터 기반의 3D 통합 설계 모델' 구축
  - **(디지털 협업)** BIM, 클라우드 환경에서 사업 참여자들이 효율적인 3D 통합 설계 모델을 구축하는 것이 목적
    * 예) 가상현실 기술과 연계하여 반복적 설계 과정에서 발생하는 간섭 및 충돌사항 등을 (반)자동으로 체크하여 설계 오류 최소화
  - **(데이터 기반 설계)** 사업 주변 환경, 이용자의 행동, 교통 현황 등에 대한 데이터 분석 결과를 활용

하여 의사결정을 지원하고 최적 설계안을 도출하며, 이 과정에서 인공지능, 빅데이터 등의 데이터 고급분석 기술이 적용

- **(시뮬레이션 및 프로토타입의 제작)** 가상현실, 3D 프린팅 기술을 적용하여 설계안을 시각화하고 이를 통해 복잡한 구성 요소를 포함하는 건축물에 대한 반복적 설계과정 최소화
- **(물리적 구조의 가상화)** 자동 측량 개념으로 드론 등의 무인 항공기를 활용하여 수집한 항공 정보와 데이터를 지도화(Mapping)하여 사업 주변 환경을 3D 모델로 변환
- **(데이터 분석 및 설계 최적화)** 디지털 협업을 통해 도출한 클라우드 환경의 3D 통합 모델을 활용하여 가치공학(Value Engineering, VR), 비용, 에너지 등을 반복적으로 분석하고 최적의 설계안을 도출

- **(시공단계)** 공사비 절감과 공사 기간 단축 및 안전성 확보가 디지털 건설기술 활용의 목적
  - **(실시간 데이터 공유 및 조정)** 클라우드 상의 3D BIM 모델을 활용하여 시공 중 발생하는 데이터를 통합·관리하는 것을 의미
    * 예) 사업 참여자는 증강현실이나 가상현실 기술을 통해 실시간으로 데이터 및 시공 정보를 확인할 수 있으며 문제 발생시 빠르게 대응 가능
  - **(데이터 기반 계획 수립 및 적용)** 인공지능, 빅데이터 등의 데이터 고급분석 기술을 통해 과거 사업의 데이터를 분석하고 이를 신규 사업에 반영하는 것을 의미하며, 이는 시공 수행 시 장비, 자원, 작업자 등에 대한 위치 데이터와 연계하여 자원 운용과 업무의 효율성을 증진
  - **(새로운 제작 방식의 적용)** 3D BIM 모델에 저장된 데이터를 활용하여 모듈러, 3D 프린팅 등의 새로운 공법 또는 제작 방식을 적용하는 것을 의미하며 이를 통해 시공 프로세스 개선, 날씨 등 요인으로 인한 공사 기간 지연 축소, 안전한 작업 환경 제공, 자재 및 장비 운용 최적화 등을 추구
  - **(시공 자동화)** 3D BIM 모델과 인공지능 기반의 원격 제어 시스템을 활용하여 로보틱스, 지능형 건설장비, 무인 항공기 등을 건설 현장 내 적용하고 이를 통해 생산성, 정확성, 안정성을 확보
  - **(시공 모니터링)** 무인 항공기를 통해 수집한 데이터와 증강현실 기술, 3D BIM 모델을 연계하여 진도를 추적·관리하고 오류를 정정

- **(운영 및 유지관리)** 건축물의 생애주기 수명 증진과 유지관리 비용 절감을 목적으로 디지털 기술 활용
  - **(BIM 및 데이터 기반 유지관리)** 선행 단계의 데이터를 저장하고 있는 3D BIM 모델과 시설물 유지관리 시스템 또는 자산관리 시스템을 연계하여 유지관리 비용을 절감하는 것을 의미
  - **(가상 핸드오버 및 시운전)** 시설물의 준공검사시 BIM 소프트웨어를 활용하여 결과를 3D BIM 모델에 저장하고, 이를 기반으로 유지관리 시뮬레이션을 수행함으로써 핸드오버 및 시운전 과정을 간소화하고 효율화
  - **(스마트 유지관리)** 3D BIM 모델과 증강현실 기술을 활용하여 시설물의 기계, 전기, 배관(MEP)

등 보이지 않는 구성 요소에 대한 유지관리를 수행하며 필요시 MRP에 대한 유지관리 매뉴얼, 재고 수준 등에 대한 정보 지원

- **(성능 모니터링 및 선제적 유지관리)** 센서, 사물인터넷 기술을 활용하여 시설물의 성능 데이터를 실시간으로 모니터링하고, 이를 통해 선제적 유지관리 활동 수행. 기존 매뉴얼 기반의 반복적 성능 검사를 지양하고 예상치 못한 결함을 최소화하여 비용 절감
- **(건축물 유지보수 및 리모델링 효율화)** 3D BIM 모델 내 저장된 데이터를 활용한 고급분석을 통해 생애주기 수명을 예측하고 적시에 유지보수 및 리모델링 활동을 수행하여 운영 및 유지관리 비용 최소화

○ **(건설 디지털화의 효과)** 건설사들은 디지털 기술의 활용을 통해 업무 생산성 향상, 원가 절감 및 공기 단축, 건설인력의 양질화 등의 순효과 기대 가능

- 업종 및 기술 융합화를 통한 생산체계의 통합, 건설현장의 OSC와 기업이 스마트 유지보수 투자 및 사업조직 중심체계 구성과 건설인력의 질적 고용의 향상

〈표 2-17〉 디지털화에 따른 건설산업의 변화

구분	기존 건설산업	디지털 건설산업
생산체계	- 생산체계의 분산 및 파편화 - 업종 단순화 및 분업화	- 생산체계의 통합과 융합과 - 업종 통합 및 기술의 융합화
시장	- 경제인프라 중심 기반시설 구축 - 현장중심의 전통산업(근로시간 9to5)	- 사회인프라 중심 스마트시설 공급 - 디지털 기반 스마트산업(off-site, 24h 가동)
기업	- 경영자&경상 조직중심 노동 - 신축(신규) 투자 중심	- 사업조직 중심 - 스마트 유지보수 투자 중점
인력	- 장비중심의 노동집약 - 기능인, 임시직 위주 양적 고용 중심	- 모듈화, 자동화 등 기술 중심 - 운전자(operator), 기술기반 질적 고용

자료 : '디지털 경제'가속화에 따른 건설산업 혁신 방안, 대한건설정책연구원(2020.6)

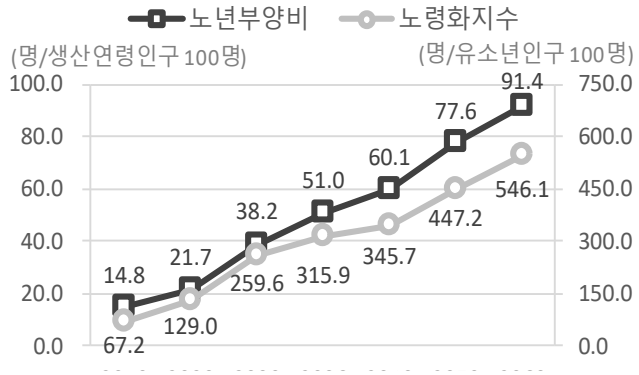
□ 양극화와 글로벌화

○ **(생산인구 감소 심화)** 저출산과 고령화로 생산가능인구(15~64세)가 지속적으로 감소하여 노년부양비가 급격히 증가할 전망

- 2017년과 2067년의 연령별 인구 구성비를 보면, 15~64세 생산연령인구 비중은 감소(73.2%→45.4%), 65세 이상 고령인구 비중은 증가(13.8%→46.5%), 0~14세 유소년인구 비중은 감소(13.1%→8.1%)할 전망

- 생산가능인구 100명당 65세 이상 노인 부양자 수가 2020년 21.7명 → 2036년 50명 → 2060년 91.4명으로 증가 전망[48)]

- 노동공급 층면에서 젊은 층 노동력이 필요한 건설업, 제조업, 의료·보건업, IT통신업 등의 산업에 장기적 인력난이 예상되며, 미래 생산가능인구 감소 및 숙련노동 부족 대처 방안으로 스마트 팩토리, IoT 및 인공지능 등의 도입과 자동화·무인화 기술개발 가속화 전망[49)]



자료 : 2020 고령자통계, 통계청(2020.9)

[그림 2-20] 노년부양비 및 노령화 지수

○ **(사회 양극화)** 고령층 인구 규모가 확대됨에 따라 정치, 경제, 사회 부문 전반에 걸쳐 청년과 노인으로 양분된 세대 간 갈등 양상 증폭[50)]

- 고령화로 건강보험 등 사회보험에 대한 국가 지출이 증가하여 세입·세출의 불균형으로 인한 국가 재정위기 초래 및 조세 부담 가중에 따라 세대 형평성 문제 제기

- 고령화 사회 진입에 따른 정년 연장 시행으로 청년세대와 고령 세대의 일자리 경쟁 심화

- 전체 유권자 중 노인층이 선거에 미치는 영향력 증가, 노인복지 포퓰리즘 정책의 유행에 따른 청년층과의 충돌 가능성 존재

〈인구 고령화가 노동시장에 미치는 영향과 정책방향(OECD)〉

○ OECD는 2018~2019년 회원국의 인구 고령화와 고령자 고용정책에 관한 정책리뷰(Working Better with Ages)를 통해 인구 고령화가 노동시장에 미치는 영향과 정책 방향 제시

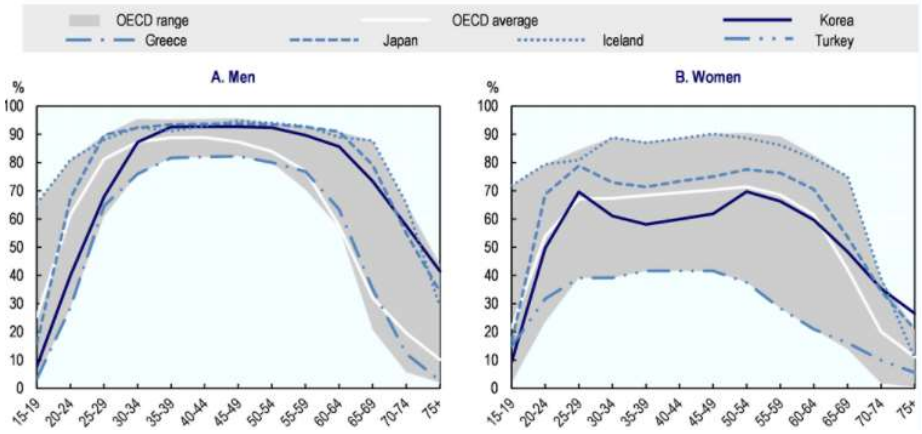
- 우리나라의 경우 55세 이상 고령자의 노동시장 참여는 OECD 평균에 비해 높은 편

  * 55~64세(68.8%), 65~69세(47.6%), OECD: 55~64세(63.9%), 65~69세(27.4%)

- 높은 고용률에도 불구, 고용의 불안정성이 크고 빈곤율이 높아 고령자의 노동시장 참여를 높이려는 여타 OECD 국가와 다른 방향의 정책적 대안 필요

  * 노동시장 은퇴연령(`18년) : 한국(남여 모두 72.3세), OECD(남 65.4세, 여 63.7세)[51)]

48) 2020 고령자통계, 통계청(2020.9)
49) 생산가능인구 감소 시대의 경제성장과 노동시장, LG경제연구원(2017.3)
50) '2065년 노인비중 42%, 노년부양비 5배↑... 老·靑 갈등 경고등, 문화일보(2018.3.13.)



자료 : Working Better with Ages: Korea, OECD(2018.2)

[그림 2-21] 성별·연령대별 고용률 비교(OECD/대한민국, 2017)

○ **(글로벌화 가속화)** ICT 및 교통기술발달로 가속된 세계화 과정은 보호무역주의 등의 대두에도 불구하고 향후 10~15년간 지구상에 지금보다 더 막대한 영향을 끼칠 것으로 전망[52]

- 향후 15년간 연구개발인력의 수요-공급 균형은 불확실하며, 유능한 연구인력 수급을 위한 경쟁이 심화될 것으로 전망
- '19년 실시된 우리나라 산업기술인력 실태조사에 따르면 5대 신산업분야 산업기술인력은 11.1만명 수준이나 향후 10년간 연평균 3.4% 증가하여 '28년에는 15.5만명(+4.4만명, +40%)까지 확대될 것으로 전망[53]
- '19년말 기준 부족한 연구인력은 2,8456명이며 특히 석박사급 인력 공급이 시급한 것으로 나타남

○ **(신경제협력 동맹)** 저성장과 기술발전에 따른 고용시장 붕괴로 인해 민족주의가 촉발되고, 지정학적·경제적 관계와 함께 네트워크와 정보를 이용한 국가 간 경쟁과 협력 발생[54]

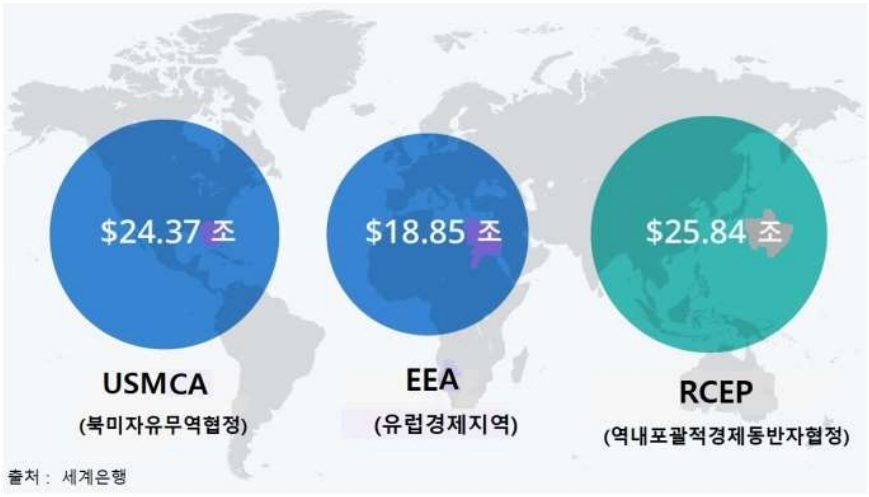
- 미국 중심의 세계 경제 질서에서 유럽, 인도, 중국 등 신흥 경제세력과 EU, ASEAN, NAFTA 등 다자 지배 권력 구조의 시장진출에 따른 글로벌 경쟁 심화[55]
  * BRICS는 세계인구 41.6%, 세계 GDP 32.6%, 전세계 GDP 성장 43% 차지[56]
  * BRICS : 브라질, 러시아, 인도, 중국, 남아공으로 구성되는 신흥국가들의 비공식 모임('01년 골드만삭스에서 빠르게 성장하는 브라질, 러시아, 인도, 중국 경제를 가리켜 만든 용어로, '11년 남아공이 합류하여 5개국이 됨)

51) https://www.oecd-ilibrary.org/employment/working-better-with-age-korea_9789264208261-en?itemId=/content/publication/9789264208261-en&_csp_=7dad315d8139a06c71c5aec882127cc6&itemIGO=oecd&itemContentType=book
52) OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016, OECD(2016.9)
53) 보도자료, 5대 신산업 분야 '29년까지 산업기술인력 15만 5천명 필요, 산업통상자원부(2021.3.4)
54) 美 NIC 글로벌 트렌드 2035 : Paradox of Progress - 주요내용 및 시사점, 한국정보화진흥원(2017.2)
55) 세계경제의 다극화와 한국의 발전전략, 한국개발연구원(2012.12)
56) 2019 브릭스(BRICS) 정상회의 개최 결과와 시사점, 대외경제정책연구원(2019.11)

〈표 2-18〉 지역경제 통합의 형태

자유무역협정	가맹국 간의 무역에 대해서는 관세 및 기타 규제를 철폐하지만 비가맹국에 대해서는 각 가맹국이 독립적으로 관세를 부과하는 경제통합
관세동맹	가맹국 간의 관세 철폐 뿐 아니라 비가맹국에 대한 공동관세 부과까지 이루어지는 경제통합
공동시장	재화의 이동에 대한 규제 철폐는 물론 생산요소의 자유로운 이동까지 보장하는 경제통합
경제동맹 (완전경제통합)	관세 철폐와 생산요소의 자유로운 이동을 넘어서 가맹국들이 초국가적 기구를 설치하여 공동으로 경제정책을 수행하는 경제통합

자료 : KDI 경제정보센터(https://eiec.kdi.re.kr/material/conceptList.do?depth01=00002000010000100011&idx=156)



자료 : [그래프로 보는 세계] 세계 최대 경제 블록 RCEP 탄생, 아이뉴스24(2020.11.18.)

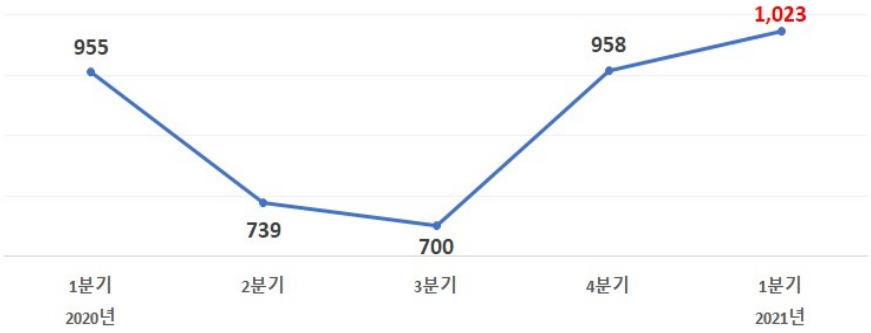
[그림 2-22] 세계 최대 경제블록, RCEP(2019년 GDP 기준)

○ **(규제 강화)** '95년 WTO 출범 이후 관세장벽은 낮아진 반면 비관세장벽인 무역기술장벽(TBT, Technical Barriers to Trade), 위생검역, 통관절차 강화, 수입제한 등을 이용한 규제는 강화되는 추세[57)]

- 일본, EU, 인도네시아, 인도 등을 자국 시장 보호를 위한 환경·안전을 명분으로 까다로운 인증을 오규하고 있어 국내 기업의 수출에 악영향
- 개도국의 기술규제 적극 도입으로 신흥시장에서의 TBT(무역기술장벽) 대응 중요성 증가[58)]
  - '21년 세계무역기구(WTO) 자료를 인용한 산업부 보도자료에 따르면 1분기 TBT 통보문은 1,023건으로 전년(955건) 동기 대비 7% 증가하였으며, 올해 전체 TBT 통보문은 최고치를 경신할 것이라 전망

    * TBT 통보문 발행추이(건): '05년 897 → '15년 1,977 → '18년 3,065 → '20년 3,354

57) 무역기술장벽(TBT) 뛰어넘기 - WTO 분쟁해결 중심, 포스코경영연구원(2019.12)
58) 우리나라 무역기술장벽(TBT) 대응사례 연구, 한국표준협회(2018.1)



자료 : 보도자료, 2021년 1분기 무역기술장벽(TBT) 동향 발표, 산업통상자원부(2021.4.20.)

[그림 2-23] 분기별 TBT 통보(건) 추이

○ **(무역갈등 등의 이슈)** 국내 산업의 해외 의존도 저감에 대한 지속적인 대응 필요성 제기 및 '19년부터 대두된 대일 무역분쟁 등의 여파에 따라 자동차, 항공, 철도 부문 등에서 주요 부품·장비 국산화 추세 지속

* 소재·부품·장비 산업은 국내 제조업의 절반으로 반도체, 자동차 및 제조업의 뿌리에 해당하며[59] 산업통상자원부는 반도체, 디스플레이, 자동차, 전기전자, 기계·금속, 기초화학 등 6대 분야에 단기 20개, 장기 80개 등 총 100대 핵심 품목 공급 안정성 확보 계획 진행

- (항공 분야) 방위산업 중심에서 민수산업 중심으로, 내수 중심에서 수출 중심으로의 패러다임 변화가 요구되고 있으며[60] 정비산업(Maintenance·Repair·Overhaul, MRO)은 빠르게 성장하는 반면 국내 정비역량은 국내 수요를 감당하기에도 벅찬 실정으로 정비여건 조성이 시급[61]
  - 국내 부품사들은 KAI의 영향에서 벗어나 독자 수주 증가세이며 한화 등은 해외업체에 핵심부품 납품 중[62]
  - 정부는 2019년 중반기 MRO 마스터플랜의 조속한 발표를 예고했으며[63], 인천공항에 대규모 정비단지 설치 예정[64]
- (철도 분야) 철도차량은 2만 개 이상의 부품으로 구성된 다부품 산업이나 주요 핵심부품은 해외업체에 의존하는 경우가 상당수로, 단종 및 대체품 개발에 따른 조달 기간 소요, 추가 기술개발 비용 소요 등으로 차량 안정성을 담보하기 어려운 점을 극복하고자 국산화 사업 추진 중[65]

* 국토교통과학기술진흥원 - 철도운영기관 연구개발협의체, 철도용품 국산화 업무협약 체결('19.9)

□ 신경제성장 모델

○ **(그린뉴딜)** 코로나19에 따른 경제적 충격에도 불구하고 기후위기에 대한 인식이 증대하며 초국가적인 환경문제 대응노력과 협력은 강화되는 추세

59) 소재·부품·장비(소부장) 산업 경쟁력 강화대책, 정책위키(2019.11)
60) 국내 항공산업 현황과 전망(요약), IBK경제연구소(2016)
61) 항공산업 성장 못 따라가는 항공정비, 문화일보(2019.1.23.)
62) 한화 부품 달고 나는 비행기...英롤스로이스 엔진 공장 가보니, 연합뉴스(2019.11.11.)
63) 정부 "올해 안에 항공 MRO 마스터플랜 발표", 폴리뉴스(2019.6.13.)
64) 인천공항에 '항공기정비단지(MRO)' 조성한다, 경향신문(2019.11.11.)
65) 2018년도 예비타당성조사 보고서 철도차량 부품개발사업, KISTEP(2019.5)

- 코로나19로 인해 전례 없는 경기침체 및 고용 충격이 발생함에 따라 경제적 충격 완화를 위한 정책 대응 필요성 증대
- 전 지구적 기후변화의 속도와 파급력에 대한 사회적 우려가 커지면서 기후위기에 대한 신속한 대응요구 증가
- 주요국은 단기적으로 코로나19 위기를 극복하고 중장기적으로 저탄소·친환경 경제로 전환을 가속화하는 정책수단으로 그린뉴딜 추진 중

○ **(미국의 그린뉴딜)** 바이든 대통령은 후보시절부터 2050년까지 탄소중립 달성을 위한 그린뉴딜 공약을 발표하여 구체적인 정책방향과 목표 등을 제시하였으며 그린뉴딜 관련 적극적 행보 예상

- 특히, 건물, 주거, 교통 등 건축·도시 부문에 대규모 정부재정 투자계획과 정책방향 제시
- 공약에서 제시한 건축·도시 부문의 정량적인 목표로는 건물 부문 2035년 탄소 배출경로의 50% 감축, 2035년 발전 부문 100% 무공해 탄소 배출월으로 전환 등
- 바이든 정부는 향후 국제사회의 기후위기 대응에 부합하는 적극적 행보 예상
  - 바이든 정부는 공식 출범 후 임기 첫날 파리협정 재가입을 위한 절차를 시작, 다시 미국이 기후행동의 글로벌 리더로 복귀하겠다고 선언
  - 취임 후 100일 내에 미국의 가능한 외교정책 수단을 활용하여 기후 정상회담을 위한 주요탄소배출국 지도자를 소집하는 등 국제사회의 기후위기 대응에 상당 부문 영향력을 끼칠 것으로 예상
- 미국 대내외적으로 강력한 기후·환경규제가 재개될 예정
  - 청정전력계획(Clean Power Plan), 대기오염방지법(Clean Air Act) 등 트럼프 정부가 폐지하거나 완화했던 125개 이상의 기후·환경규제 대부분을 되돌릴 것으로 예상
  - 미국과 교역하려는 국가를 대상으로 석유화학, 철강 등 탄소 집약적 상품에 대해서는 탄소배출 비용에 대한 과세나 할당량을 부과하는 외교통상 정책을 추진할 계획
  - 건축물과 가전기기의 에너지효율 기준 강화, 화석연료 보조금 축소, 자동차 연비 기준 강화 등 기후·환경규제가 대폭 강화될 전망

〈표 2-19〉 바이든의 그린뉴딜 관련 건축·도시 정책 주요 공약

분야	공약사항
인프라 (Infrastructure)	- 보행자, 자전거 이용자, e-스쿠터, 마이크로 모빌리티 인프라 확대 - 재난·재해로부터 습지 보존, 녹지 복원 등을 통한 물 관리 인프라 보호
교통 (Transit)	- 인구 10만 명 이상의 도시에 무공해 탄소 배출원 대중교통 제공 - 50만 개의 전기자동차 충전소 설치
발전 (Power Sector)	- 2035년 무공해 탄소 배출원으로 발전 부문 100% 전환 - 건물 옥상 태양광, 커뮤니티 태양광 시스템 등 수백만 개의 태양광패널 설치
건물 (Building)	- 4년간 400만 동의 기존 건출물 그린리모델링, 주택 200만 호 단열성능 보강(Weatherize) - 고효율 가전제품 업그레이드, 고성능 창호 설치 등에 보조금 지급 - 2030년까지 상업용 신축 건축물의 탄소배출 Net-Zero 법제화 - 국공립 학교 시설의 실내공기질 개선, 에너지효율 강화, 기후 탄력성 구축 - 고효율 에너지성능이 보장된 공공주택 150만 호 공급
혁신 (Innovation)	- 제로에너지건축물의 추가 공사비용 제로 연구 - 철강, 콘크리트 등 탄소중립 건축자재 연구

자료 : THE BIDEN PLAN To BUILD A MODERN, SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE AND AN EQUITABLE CLEAN ENERGY FUTURE, 바이든 시대, 건축·도시 부문 그린뉴딜의 전망과 시사점, 건축공간연구원(2021.2)에서 재인용

○ **(EU의 그린뉴딜)** 집행위원회는 코로나19로 인해 침체된 유럽 경제를 회복하기 위해 유럽회복계획안 발표(Recovery Plan for Europe, '20.7.21)

- 녹색 전환과 디지털 전환을 목표로 일자리 창출, 경제성장, 유럽사회의 복원력 및 환경·건강 증진을 위해 총 1조 8,500억 유로 규모의 재정을 투입하는 계획

  * 단기적으로는 7,500억 유로를 채권 발행으로 조달하고(보조금 3,900억 유로, 대출 3,600억 유로), 장기적으로는 EU '다년도재정운용계획(MFF)' 예산으로 1조 1,000억 유로 편성

- 유럽 그린딜은 '유럽회복계획'의 주요 동력으로서, 그린딜에 포함된 각종 사업의 상당한 예산이 직·간접적으로 투입될 예정

  * 공정전환기금에는 최대 400억 유로의 추가 자금이 투입될 예정인데, 이는 그린딜에서 결정된 75억 유로보다 5배 이상 확대된 규모

〈표 2-20〉 EU 그린딜 이니셔티브 주요내용

정책 과제	주요 내용
리노베이션 웨이브	건물 리모델링을 통해 에너지 효율 개선, 주거부문 에너지가격 적정성 향상
공정전환기금	에너지전환으로 경제와 일자리를 위협받는 국가(지역) 우선 지원
순환경제 액션플랜	폐기된 제품이 재활용 등을 통해 다시 제조나 유통으로 순환되고 철저히 재사용 되게 하는 순환형 경제 시스템을 구축
농장에서 식탁까지 전략	저렴하고 지속가능한 식품 확대, 유기농 농법 확대로 기후변화/환경문제 완화

생물다양성 전략	탄소중립 달성 및 건강한 환경 조성을 위해 삼림자원의 양/질 개선
재생에너지 보급	경기회복을 위해 재생에너지 보급 및 입찰에 지원금을 투입
유럽 청정수소 경제 구현	청정수소분야 연구개발을 지원, 생산규모 확대를 위한 위원회를 출범
청정수송 활성화	전기차 등 청정차량 인프라 확대 및 구입 지원책 마련 및 철도산업 투자로 유럽 내 청정수송능력 확대

자료 : 한국판 그린 뉴딜의 방향: 진단과 제언, 에너지경제연구원(2020.11)

○ **(국내 건설사들의 탄소중립 이행 노력)** 국제사회를 포함한 정부의 탄소중립을 위한 노력에 동참하기 위해 국내 건설사들도 건설소재에서 공정 등에 걸쳐 탄소절감을 위한 노력을 추진 중

〈표 2-21〉 국내 시공사의 탄소중립 이행을 위한 Activity 사례(예)

구분	소속	1차 활동	2차활동	검토의견
배출량 관리	현장운영 지원반	• '20년 온실가스 배출량 산정 및 검증 완료 →최종보고서 정부제출(3/E)	• 최근3년 배출량 실적 비교 및 분석 • 관리지침/매뉴얼 개정. 담당자 교육 • 데이터 관리 휴먼에러 방지 방안 마련	• 온실가스/에너지 관리시스템 고도화 방안 • 온실가스 발생량/에너지 사용량 모니터링 강화방안 • Scope3 및 해외현장 배출량 관리 방안
건물 및 차량	행정지원 그룹	• 본사 업무용차량 감축(77대→54대) • 하이브리드 차량도입(임팔라28대→그랜저 하이브리드 22대로 대체)	• 차량 추가감축 및 하이브리드 차량 추가도입 • 건물 적정온도설정 수립 및 지역사무소 통폐합 • 통근버스 CNG버스 도입	• 건물 및 차량 에너지 저감 방안 • 기후변화 관련 직원 행동개선 활동 발굴 • 자원재활용 계획(분리수거, 현장근무복 재활용 등)
기술개발	R&D센터	• 탄소중립관련 상품별 보유기술 현황 정리(저탄소, 에너지저감, 자원순환, 수소인프라)	• 탄소 및 에너지 저감 관련 기술 발굴 및 기술개발 계획 수립	• 탄소중립관련 기술 적용 PJT 현황 및 활용계획 • 기술적용시 기대효과(탄소저감량, 원가절감 등)
Supply Chain 및 자재	구매기획 그룹	• 협력사 '맞춤형 ESG 평가모델'개발 추진 • ESG+현장 Needs 해결을 위한 기술협력 공모전 추진	• 협력사 ESG 평가 Tool 개발을 위한 사전 실사 • ESG+현장Needs 해결을 위한 기술협력 공모전 평가	• 공급망 지속가능한 전략을 통한 정량적 효과(공급사 에너지 효율 향상, 원가 절감 등)
	자재계약 그룹	• 친환경자재 기준 확립 • 친환경자재 구매실적 집계	• 친환경/저탄소 인증 협력사 리스트 작성 및 입찰/계약시 우대방안 검토 • 친환경/저탄소 인증 자재 추가발굴 및 적용	• 친환경/저탄소 인증 자재 구매시 정량적 효과 • 친환경/저탄소 자재 구매 프로세스 정립(친환경 설계유도-자재구매-시공적용/모니터링)
	건축기술 그룹	• 친환경/저탄소 관련 제도 조사 및 당사 적용 수준파악 • 친환경 인증관련 이슈사항 조사	• 친환경 인증 자재 리스트 작성 및 성적서 확보 • 친환경/저탄소 관련 인증 추가 획득 자재 발굴	• 친환경/저탄소 인증자재 확대시 정량적 효과 • 제로에너지 건축물 확대 관련 차별화 전략
사업본부	플랜트 사업본부	• 업무보고자료 내 탄소중립 관련사항 검토 • 현장 온실가스 매출 관련 현황 조사	• 탄소중립 관련 중장기 전략고가제 작성 • 온실가스 및 에너지 저감활동 추진 • 온실가스 저감관련 아이디어 수합(收合)	• 주요현장 탄소배출량 분석(공종별, 시기 등) • 온실가스 및 에너지 저감활동 추진시 기대효과(탄소저감량, 원가절감, 공기 단축, 폐기물 발생 감축 등) • 탄소중립 전략과제 추진계획
	인프라	• 온실가스 및 에너지 저감사례	• 현장 친환경차량 교체가능여부	• 주요현장 탄소배출량 분석

	사업본부	조사 • 현장 온실가스 배출 관련 현황 조사	검토 • 탄소저감을 위한 시범현장 선정 및 효용성 검토 • 신규 현장 탄소저감 방안 수립 • 태양광 판넬설치, 모듈러 현장숙소	• 온실가스 및 에너지 저감활동 추진시 기대효과 • 탄소중립 전략과제 추진계획
	건축 사업본부	• 업무보고자료 내 탄소중립 관련사항 검토 • 현장 온실가스 배출 관련 현황조사 및 분석(다배출 대형현장 세부공정 연계분석)	• 온실가스 및 에너지 저감사례 조사 • 현장별 온실가스 배출량 등록관련 VOC 취합 • 현장 온실가스 배출 관련 현황조사 및 분석	• 온실가스 및 에너지 저감활동 추진시 기대효과 • 탄소중립 전략과제 추진계획 • - ZEB, 리모델링, 스마트 그린시티
탄소중립 전략	경영기획그룹	• 정부정책 및 그룹사 동향조사 • 중기 매출계획 검토(온실가스 배출량 예측자료)	• 탄소중립 전략과 회사 전략 간 매칭 검토 • 중장기 전략 수립(친환경 포트폴리오)	• 기후변화 대응 관련 사업 중장기 전략 수립 • 타건설사 '기후변화 대응 사업전략' 조사

자료 : 탄소중립향(向) 철강산업 부산물의 건설분야 업싸이클링, 한국건설순환자원학회지(이창홍, 제16권 제2호, 2021.6)

□ 기후변화 및 신재생에너지 확대

○ **(지구온난화 심화)** 기후변화는 글로벌 차원에서 진행되고 있으며, 2050년 온실가스의 배출량이 산업혁명 이전의 2배로 증가할 것으로 예상

- 지구온난화는 인류생존의 위협요인으로 작용할 것이고, 환경오염과 기상이변은 이산화탄소 배출 규모에 따라 국가 간 갈등 야기

  * 2014년 발행된 '기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC) 5차 보고서'는 지구 평균 기온이 2100년까지 현재보다 3.7℃ 올라갈 수 있다고 경고

- 폭설, 폭우, 폭염, 가뭄 등의 기상이변으로 자연재해 발생이 증가하고 인명·재산 피해 급증

  * 2100년 기후변화로 인한 전세계 평균 손실액은 4조 2천억$로 추정, 전세계 평균기온 5℃ 상승 시 7조 2천억$, 6℃ 상승 시 13조 8천 억$의 손실 발생 예상[66]

- 우리나라 온실가스 배출량은 향후 '30년까지 8억 506백만 톤(CO2 eq)까지 증가 전망[67]

○ **(파리협정)** 신기후변화체제인 파리협정('15)이 체결되는 등 전세계적으로 기후변화 발생의 주원인인 온실가스 감축을 위한 규제 강화 추세[68]

- 일부 선진국만 온실가스 감축 의무를 부담하는 기존 기후변화체제인 '교토의정서'를 대체하고 한계를 극복하는 기반을 마련하고자 선진국과 개발도상국 모두 포함된 총 195개국이 참여하는 '파리 협정'채택[69]

66) The Cost of Inaction : Recognising the value at risk from climate change, The Economist(2015)
67) 우리나라 온실가스 배출 정점 도달 시점 분석, 에너지경제연구원(2018.12)
68) 기후체제 협상 극적 타결 "파리 협정" 채택, 관계부처 합동 보도자료(2015.12.12.)
69) 신기후변화체제 파리협정(Paris Agreement) 채택 - 국내 산업에 미치는 영향, SHIN&KIM(2015.12)

〈표 2-22〉 교토의정서와 파리협정의 비교

구분	교토의정서	파리협정
목표	온실가스 배출량 감축(1차:5.2%, 2차:18%)	2℃ 목표, 1.5℃목표 달성 노력
범위	주로 온실가스 감축에 초점	온실가스 감축만이 아니라 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등을 포괄
감축 의무국가	주로 선진국	모든 당사국
목표 설정방식	하향식	상향식
목표 불이행시 징벌 여부	징벌적 (미달성량의 1.3배를 다음 공약기간에 추가)	비징벌적
목표 설정기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약기간에 종료 시점이 있어 지속가능성 의문	종료 시점을 규정하지 않아 지속가능한 대응 가능
행위자	국가 중심	다양한 행위자의 참여 독려

자료 : 교토의정서 이후 신 기후체제-파리협정 길라잡이, 환경부(2016.6)

- 산업화 이전과 대비하여 지구 평균 기온 상승을 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하는 것과 지구 평균 기온 상승을 1.5℃ 이내로 제한하기 위한 노력 지속을 목표로 설정하였으며 한국의 온실가스 감축 목표는 '30년 BAU 대비 37% 감축

〈표 2-23〉 주요국의 온실가스 감축목표 주요내용

국가	감축목표(%)	목표연도	기준연도	목표유형	국제탄소시장
대한민국	37	2030	-	BAU	○
미국	26~28	2025	2005	절대량	×
중국	60~65	2030	2005	집약도	-
RU	40	2030	1990	절대량	×
러시아	25~30	2030	1990	절대량	×
일본	26	2030	2013	절대량	○
인도	33~35	2030	2005	집약도	○
캐나다	30	2030	2005	절대량	○
호주	26~28	2030	2005	절대량	-
멕시코	(無조건)25 (조건부)40	2030	-	BAU	○
스위스	50	2030	1990	절대량	○

자료 : UNFCCC INDC 포털 재구성, 대한민국 정책브리핑 온실가스 감축 페이지에서 재인용
(https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148867400)

1. 목표 연도와 기준 연도
 - 목표 연도 : 2025년 혹은 2030년
 - 기준 연도 : 감축하는 국가가 기준 연도를 설정
2. 목표 유형
 - 절대량 : 기준 연도 배출량에 대비하여 목표 설정
 - BAU : 목표 연도의 배출 전망치(Business As Usual, 온실가스를 감축하기 위한 조치를 취하지 않을 경우의 배출량 추정치)에 대비하여 목표 설정
 - 집약도 : 국내총생산(GDP, Gross Domestic Product) 1단위 당 온실가스 배출량(배출량/GDP)을 기준으로 목표 설정
3. 국제 탄소시장
 ○ : 감축 목표를 달성하기 위하여 국제 탄소시장 활용(예정)
 × : 감축 목표를 달성하기 위하여 국제 탄소시장 활용 안 함
 - : 감축 목표를 달성하기 위하여 국제 탄소시장 활용 여부 언급 없음

○ **(탄소절감 노력)** 세계적 기업들은 재생에너지 생산과 도시 온실가스 저감 등을 고려한 친환경 중심 그리노믹스를 추구하고 있으며, 각국 정부에서도 지속가능 발전 계획을 수립하여 추진 중[70)]

- '15년 제70차 UN총회에서 17개 목표 및 169개 세부목표로 이루어진 지속가능 발전 목표(SDGs, Sustainable Development Goals)를 채택하여 핵심적인 글로벌 의제로 부각[71)]

〈표 2-24〉 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035) 분야별 특징

분야	특징
환경	화학물질 사전관리 및 피해구제, 생태계 서비스기반 국토환경관리, 친환경 자원순환 경제 구축, 건전한 물순환 체계 확립, 시장기반 온실가스 감축 등 정책 강화
사회	양성평등, 장애인·다문화가족 지원, 사회안전 확충, 예방적 건강관리 등 정책 강화
경제	일자리 창출, 비정규직 등 고용안정성, 공정거래 기반 확충 등 정책 강화
종합	환경-사회-경제 각 부문간 통합성 제고정책 강화

자료 : 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035), 관계부처합동(2016.1)

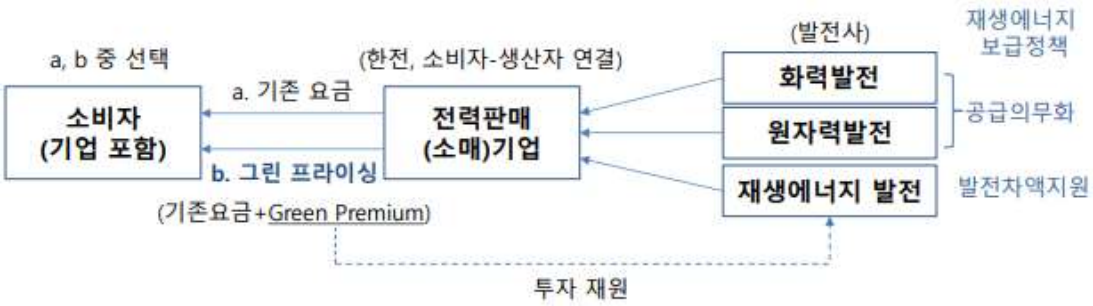
- 독일의 지멘스(Siemens)는 각 도시와 협력하여 탄소제로 하이테크 도시, 저탄소 폐수시스템, 그린버스 등의 도시 온실가스를 저감하는 그린시티를 조성하였으며, 국내의 경우 지속가능 발전 국제적 합의를 이행 및 촉진하기 위해 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035) 수립·시행

  * 계획기간은 20년으로 5년마다 수립·시행하며, 4대 목표, 14개 전략, 50개 이행과제로 구성

- 미국에서 시행하고 있는 그린 프라이싱(Green Pricing) 제도와 관련하여 국내 전력시장 구조 및 수급 등 도입 여건, 가격 등을 검토하여 재생에너지 수요 확대 및 자발적 재생에너지 시장 정착 지원 전망[72)]

  * 미국은 40개 주에서 그린프라이싱을 시행 중(`17말)으로 88만 5천 가구에서 885만 MWh를 구입

70) 글로벌 트렌드와 한국 : 과학기술적 대응역량 진단, 과학기술정책연구원(2017.12)
71) 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035), 관계부처합동(2016.1)
72) 재생에너지 확산을 위한 그린 프라이싱(Green Pricing)제도, 국내 도입 여건은?. 포스코경영연구원(2019.5)



자료 : 재생에너지 확산을 위한 그린 프라이싱 제도, 국내 도입 여건은?, 포스코경영연구원(2019.5)

[그림 2-24] 그린 프라이싱(Green Pricing) 개요

○ **(신재생에너지 개발 가속화)** 신재생에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛·물·지열·강수·생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지[73)]

- 신재생에너지는 미래에너지로 화석연료의 고갈에 따른 새로운 에너지 공급방식의 필요, 기후변화협약 대응 등 장래 지속가능한 성장과 발전의 핵심 분야

○ **(신재생에너지 수요 증가)** 기후변화에 대응하고 주 에너지원(석유, 석탄 등)의 고갈에 대비하기 위해 지속 가능한 신재생에너지에 대한 수요가 지속적으로 증가[74)]

- OECD 국가의 화석에너지 비중은 2016년 79.8% → 2040년 71%, 석탄 비중은 2016년 16.9% → 2040년 11.8%, 석유는 2016년 36.2% → 2040년 27.6%로 모두 감소 전망
- OECD 국가의 재생에너지 분담률은 2016~2040년 기간 중 8.8% 증가하여 2040년에는 17%, 비OECD 국가들의 재생에너지 수요 역시 빠르게 증가하여 재생에너지는 연평균 8.4% 증가 전망

○ **(탄소제로 이행 방안)** 온실가스 배출에 대한 국제규제 강화로 수소 등 대체에너지 개발 및 에너지구조 전환을 통한 에너지 효율화 노력 지속 전망[75)76)]

- 냉난방·조명·환기 등 설비 시스템을 고효율화, 지능화하고 태양열·지열·연료전지 등 신재생에너지 융합기술개발 추진 및 수소 에너지 활용방안 모색 중

  * 수소시장은 '17년 1,292억 달러 → '50년 2.5조 달러 (연평균 6%)로 성장 전망[77)]

○ **(중국의 재생에너지 정책)** 중국은 재생에너지 13·5 계획('16년)을 통하여 '20년과 '30년의 1차 에너지 소비 중에서 재생에너지 달성 목표의 비중을 발표

- '20년 재생에너지 목표 비중은 15%, '30년은 20%이었으나, '18년 계획 수정안 초안에서 '30년의 달성 목표를 35% 상향한 것으로 확인되어 공식 목표가 조만간 조정될 전망

73) 한국전력 홈페이지(https://home.kepco.co.kr/kepco/KE/htmlView/KEDBHP012.do)
74) 세계 에너지수요전망(WEO-2017)과 세계 에너지수급 변화 요인, 에너지경제연구원(2017.12)
75) 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부(2019.1)
76) [초점] 주요 국가의 수소 경제 촉진 전략, 에너지데일리(2019.4.1.)
77) Mekinsey, 2017

- 한편 중국은 '19년 1월 보조금 없는 풍력발전 및 태양광의 발전 촉진 및 계통 연계와 관련한 통지를 발표하며 기존의 정책을 지속 추진
- '20년 말까지 승인을 받아 착공하는 풍력발전, 태양광발전은 운영기간 기존 지원책이 유지되지만, 이후 승인되는 사업은 상황에 맞춰 조정

〈표 2-25〉 신재생에너지 종류

종류	내용
태양광 (Photovoltaic) 발전	태양광 발전은 태양의 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전기술로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용
태양열 (Solar Thermal)	태양으로부터 오늘 복사광선을 흡수해서 열에너지로 변환(필요시 저장)시켜 건물의 냉난방 및 급탕, 산업공정별, 열 발전 등에 활용하는 기술
바이오에너지 (Bio-Energy)	바이오 매스를 직접 또는 생·화학적, 물리적 변환과정을 통해 액체, 갓, 고체연료나 전기·열네어지 형태로 이용하는 화학, 생물, 연소공학 등의 기술
풍력에너지 (Wind Power)	바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생되는 전력을 전력계통이나 수요자에게 공급하는 기술로 바람이 있는 곳이면 쉽게 설치하고 저렴한 가격에 전력을 생산할 수 있다는 점이 장점
해양에너지 (Ocean Energy)	해양에너지는 해양의 조수·파도·해류·온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 기술로 전기 생산 방식에 따라 조력·파력·조류·온도차 발전 등으로 구분
수력발전(Hydro Power)	수력발전은 물의 유동 및 위치에너지를 이용하는 기술로 2005년 이전에는 시설용량 10MW이하를 소수력으로 규정하였으나 법개정으로 수력 전체를 신재생에너지로 정의
수소에너지 (Hydrogen Energy)	무한정인 물 또는 유기물질을 변환하는 등의 다양한 방법을 통해 수소를 생산하여 활용하는 기술로, 수소생산, 저장, 응용, 안전대책 등 많은 기술개발이 필요하지만 미래 에너지 패러다임을 바꿀수 있는 핵심 분야
지열에너지 (Geothermal Energy)	지열에너지는 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술로 태양열 중 지표면을 통해 지하에 저장되는 에너지를 냉난방시스템 또는 발전에 이용하는 기술
폐기물에너지 (Waste Energy)	폐기물을 변환시켜 연료 및 에너지를 생산하는 기술로 사업장 또는 가정에서 열분해에 의한 오일화 기술, 성형 고체연료의 제조기술, 가스화에 의한 가연성 가스 제조기술 및 소각에 의한 열회수 기술 등의 가공·처리 방법을 통해 고체연료, 액체연료, 가스연료, 폐열 등을 생산하고, 이를 산업생산 활동에 필요한 에너지로 이용될 수 있도록 하는 방법
석탄(중질잔사유) 가스화·액화	가스화 복합발전기술(Intergated Gasification Combined Cycle)은 석탄, 중질잔사유 등 저급원료를 고온·고압의 가스화기에서 수증기와 함께 한정된 산소로 불완전연소 및 가스화시켜 일산화탄소와 수소가 주성분인 합성가스를 만들어 정제공정을 거친 후 가스터빈 및 증기터빈 등을 구동하여 발전하는 신기술
연료전지 (Fuel Cell)	수소(천연가스, 메탄올, 석탄, 바이오매스)와 산소의 화학에너지를 전기화학 반응에 의해 전기에너지로 직접 변환하는 발전장치로 열을 동시에 생산하는 기술

자료 : 한국전력공사 홈페이지 신재생에너지 개요(https://home.kepco.co.kr/kepco/KE/htmlView/KEDBHP01208.do)

○ **(일본의 재생에너지 정책)** 일본의 재생에너지 정책은 보급 단가를 낮춰 경제성을 확보하고, 해상풍력 도입을 적극적으로 추진하는 방향으로 시행

- FIT 기준가격 인하 및 경매를 통해 태양광 시장의 가격 경쟁력 강화를 도모하고, 매년 FIT 기준가격을 고시하여 점차 FIT 기준가격을 인하하는 추세
- '18년 3월 「해양재생에너지발전설비 정비 관련 해역 이용 촉진 법률안」을 각의 결정하며, 해상풍력 보급 촉진 정책 도입
  - 기존 점용 허가는 단기(통상 3~5년)로, 중장기적인 사업의 예측가능성이 낮고 자금조달에 어려움이 있었으나, 이번 법률로 최대 30년의 점용이 가능해져 사업 안정성 확보 및 자금조달 문제가 개선될 전망

○ **(미국의 재생에너지 정책)** 미국은 주정부를 중심으로 재생네어지 확대정책을 활발하게 추진하고 있으며, 각 지방정보에서는 재생에너지 목표 발전 비율을 상향

- 코네티컷 주는 '20년까지 재생에너지 발전 비율 목표를 27%로 설정했으나, '30년까지 48%로 목표를 상향 설정하였고, 뉴저지 주는 '24년 24.4%의 달성 목표를 '30년 50%로 상향키로 결정
- 메사추세스 주는 '22년 18%의 목표를 '30년 35%로 상향 조정하였으며, 캘리포니아 주는 '30년 50%의 목표를 '45년 100%로, 워싱턴 D.C.는 '32년 50%의 목표를 '40년까지 발전비율 100%로 상향하기로 결정

○ **(EU의 재생에너지 정책)** EU는 '30년까지 최종에너지 소비 중에서 재생에너지가 차지하는 비중을 27%에서 32%로 확대하는 재생에너지지침의 목표를 '18년 6월에 상향 확정

- EU가 이번에 합의한 새로운 목표는 구속력을 지니며, '23년에는 재생에너지 목표 달성을 위해 재검토 할 수 있다는 조항이 포함
- 또한, 재생에너지 보급 확대를 위해 허가 절차를 간소화하여 정기 프로젝트의 경우에는 최대 2년, 가존설비 현대화(Repowering)는 1년, 10.8kW 이하의 소규모 프로젝트는 간단한 통지절차로 가능하도록 하여 보급 확대 전망
- 한편, 가정부문 자가소비에 대해 30kW까지는 부과금을 면제하되, 자가소비가 커질 경우 회원국이 부과금이나 요금을 부과할 수 있도록 허용

○ **(자원 확보 경쟁 심화)** 중국, 인도, 중동 및 비OECD 국가의 성장으로 세계 에너지 수요가 비약적으로 증가하고 있으며, '18년 전 세계 에너지 소비는 전년 대비 2.9% 증가하였으며[78] '40년까지 전 세계 에너지 수요는 25% 이상 증가 전망[79]

- 특히 중국의 주요 희소금속 및 희토류 등 희소 자원을 무기로 활용하여 배타적 경제연합을 형성하려는 사례 등 희소·유한 자원의 무기화가 확산되는 추세

78) 2019년 BP 전세계 에너지 통계, 한국환경산업기술원(2019.8)
79) 2018년 세계 에너지수요 전망(IEA World Energy Outlook 2018) 분석, 에너지경제연구원(2018.12)

- 중국은 '40년까지 에너지 수요가 2배 이상 증가하고, 동남아는 지역경제와 인구 증가로 '17년~'40년 연평균 2.3% 증가, 인도네시아는 이 지역 전체 에너지 수요의 35% 소비 전망[80)]

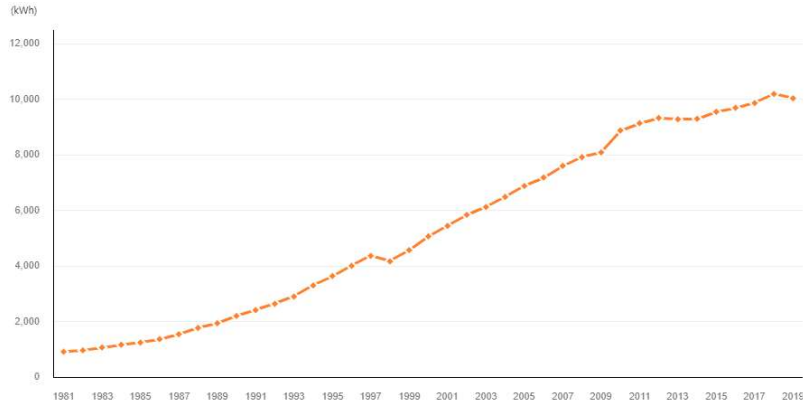
〈표 2-26〉 세계권역별 1차 에너지 수요 전망 (NPS)

(단위 : Mtoe)

구분	2000	2017	2025	2030	2035	2040	2017~2040	
							증감	CAGR(%)
북미	2,678	2,624	2,675	2,667	2,661	2,693	69	0.1
미국	2,271	2,148	2,185	2,162	2,139	2,149	1	0.0
중남미	449	667	730	784	847	916	249	1.4
유럽	2,028	2,008	1,934	1,845	1,779	1,752	-256	-0.6
아프리카	490	829	980	1,086	1,192	1,299	470	2.0
중동	353	740	846	957	1,085	1,200	460	2.1
유라시아	742	911	943	960	986	1,019	108	0.5
아시아·태평양	3,012	5,789	6,803	7,344	7,798	8,201	2,412	1.5
중국	1,143	3,051	3,509	3,684	3,787	3,858	807	1.0
인도	441	898	1,238	1,465	1,683	1,880	982	3.3
일본	518	428	415	403	390	379	-48	-0.5
동남아	383	664	826	923	1,018	1,110	446	2.3
국제 벙커유	274	404	476	525	578	635	231	2.0
총계	10,027	13,972	15,388	16,926	16,926	17,715	3,743	1.0

자료 : World Energy Outlook 2018, IEA(2018.11)

- 국내 전력 사용량은 지난 10년간 연평균 3.5%씩 증가하였으며, 주요 가전기기 보급 증가와 1~2인 가구가 증가하는 생활 패턴 변화로 인해 1인당 주택용 전력 사용 증가 추세

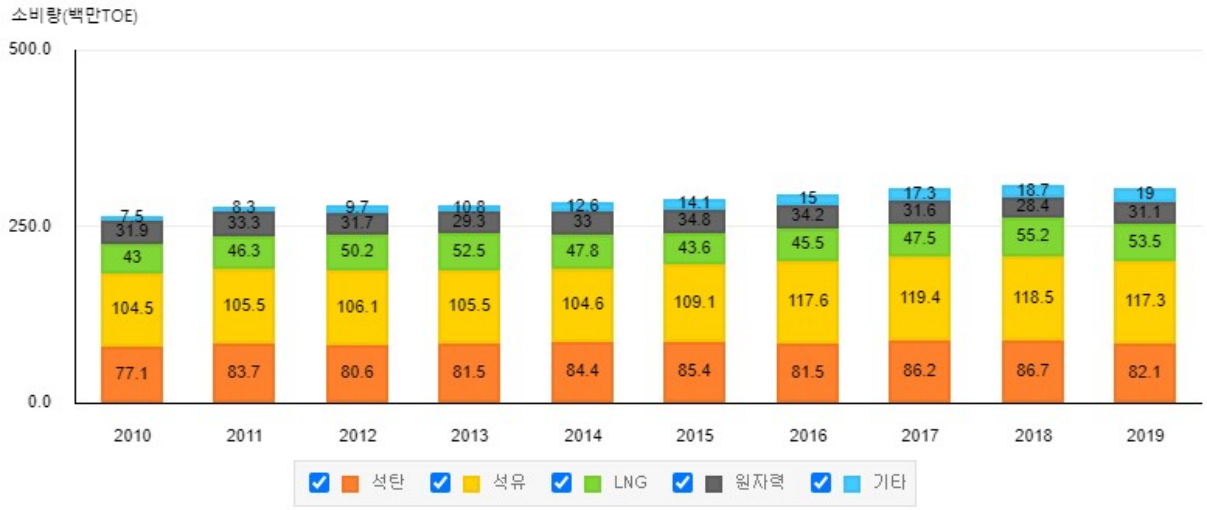


자료 : e-나라지표(https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4291)

[그림 2-25] 1인당 전력소비량 증가 추이

- 1차 에너지 소비량에서는 지난 10년간 대부분의 1차 에너지 자원의 소비가 증가하고 있어, 대도시화·기계화·산업화·디지털화로 요구되는 에너지의 증가가 에너지 자원 수요의 증가로 이어지고 있음을 확인

80) World Energy Outlook 2018, IEA(2018.11)



자료 : Google Data Commons 대한민국 통계

[그림 2-26] 우리나라 1차 에너지 소비량 변화 추이

○ **(화석연료 확보 경쟁)** 매장량이 한정된 화석 에너지원 고갈로 안정적 대체에너지 확보를 위한 국가 간 경쟁 치열

- 석유 소비는 연간 약 300억 배럴, 매년 2% 증가하고 있는 현재 추세로는 40년 후에는 세계 석유 총매장량에 해당하는 1조 2000억 배럴 소비 전망
- 중국이 에너지 소비 블랙홀로 해외 에너지자원 확보에 적극적으로 나서면서 에너지자원시장의 판도 변화와 함께 글로벌 자원확보 경쟁 심화[81)]
- 신흥 개도국의 인구증가 및 경제성장은 천연자원의 수요를 지속적으로 높이고 있으며, 셰일가스 등 비전통적 자원개발 가속화 요인으로 작용

  * 향후 비전통 자원이 석유의 70%, 가스의 50%까지 증가할 것으로 전망

〈표 2-27〉 전통자원과 비전통 자원의 구분

특징	전통자원	비전통 자원
매장 범위	특정 위치에 집중적으로 부존	넓은 지역에 걸친 연속적 분포
개발생산 기술	기존 개발기술로 가능	고도의 채굴기술 및 신기술 필요
개발생산 비용	상대적으로 저비용	상대적으로 고비용
탐사·생산	탐사 리스크는 높으나 성공 시 개발생산 진입이 쉬움	탐사 리스크는 낮으나 개발과 생산이 어려움
종류	경질유, 청정가스 등	오일셰일, 가스하이드레이트, 중질유, CBM, 치밀가스, 셰일가스 등
비고	성공 시 수익성이 우수하지만 전통자원 고갈이 진행 중	회수율·경제성 관련 불확실성 高 대규모 투자비용, 높은 기술력 필요

자료 : 비전통자원의 기술진보와 E&P 사업 전망, 에너지경제연구원(2012), 전통 탄화수소 자원의 지질학적 의의, 지질학회지, 이용일, 임현수, 최태진(2016), 기술과 가치 재구성

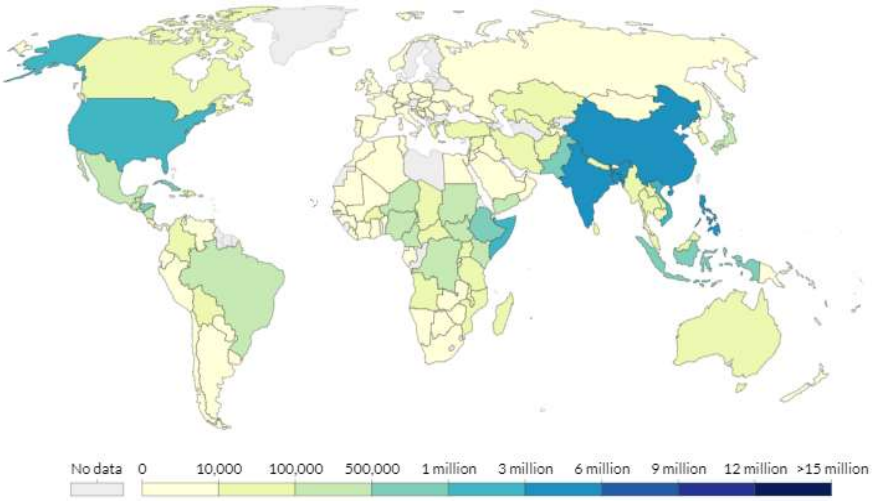
81) 미래산업을 둘러싼 메가트랜드와 우리 산업에의 시사점, 산업연구원(2015.12)

□ 안전중요성 증대

○ **(자연재해 빈도와 규모 증가)** 지구온난화, 이상기후 증가 등으로 태풍, 홍수 등 대규모 자연재해 발생빈도 증가 및 후쿠시마 대재앙과 같은 자연재해와 시스템 취약성이 결합된 초대형 복합재난(X-event) 발생 증가

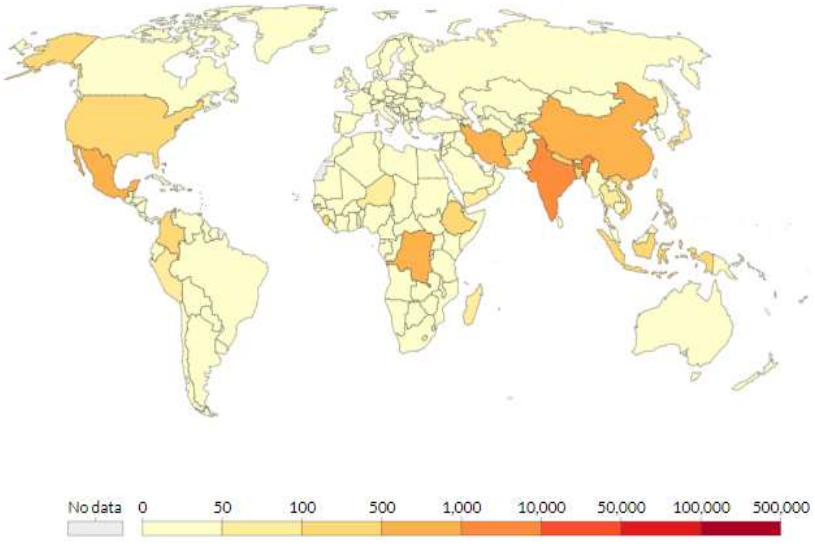
- 1995년부터 2014년까지 20년간 발생한 날씨 관련 재난으로 60만 명이 사망했으며, 2005년부터 2015년까지 전세계에서 발생한 날씨 관련 재난 횟수는 연평균 335회[82)]

  * 가뭄, 홍수, 폭풍우, 산사태, 산불 등 약 8,400건의 자연재해 발생으로 200만 명이 사망하고, 1조 5천억 달러 이상의 재산 손실이 발생한 것으로 추정



자료 : https://ourworldindata.org/natural-disasters#natural-disasters-by-type

[그림 2-27] 2020년 자연재해로 인한 국가별 이재민 발생현황

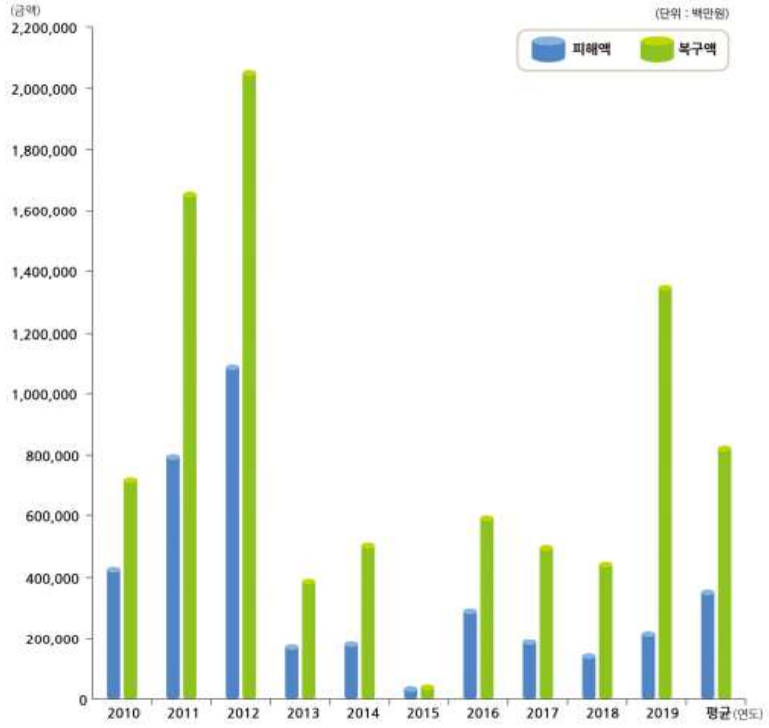


자료 : https://ourworldindata.org/natural-disasters#natural-disasters-by-type

[그림 2-28] 2017년 자연재해로 인한 국가별 사망자 발생현황

82) 날씨 관련 재난으로 인한 인류의 피해(The Human Cost of Weather Related Disasters) 2005-2015, UN

- 국내의 경우 최근 10년('10~'19)간 자연재해로 인해 해마다 '18년 환산가격으로 약 3.5조에 달하는 피해를 입고 있으며, 복구 금액으로는 연평균 8.2조 이상 지출



자료 : 2019 자연재해연보, 행정안전부(2020.12)

[그림 2-29] 최근 10년간 자연재해 피해액 및 복구비 현황

□ 거버넌스 환경변화

○ **(정부의 운영 변화)** 탈중앙화, 전자화 추세 및 기존 국가 구조에 대한 회의 증가로 첨단기술에 의한 미래 정부 구조의 변화 가능성[83)]

- 기술발전에 따라 다양한 의사결정, 지배구조, 조직운영 시스템의 등장

〈표 2-28〉 의사결정과 조직운영 시스템 용어

구분	용어	정리
의사결정 및 지배구조 방식	디지크라시 (Digicracy)	디지털 및 모바일과 직접 민주주의가 결합한 의하결정 방식
	헤테라키 (Hetaracy)	사회 구성원의 통합을 목표로 '다중(Multitude) 지배'에 중점 이 과정에서 IT는 매우 중요한 매개 역할을 하며, 시민들의 민주적 참여 촉진, 정치적 책임성 구현, 참여자 간 협동 촉진, 주권자로서 시민의 영향력 향상, 갈등조정 등 효과 기대
	코즈모크라시 (Cosmocracy)	전문성과 자율성을 갖춘 민간 독립기구, 또는 국제기구가 주권국가를 대신해 글로벌 이슈들을 해결하는 글로벌 지배구조
	사이버크라시 (Cybercracy)	시민이 인터넷을 통해 직접 의사결정에 참여하여 대의 민주주의의 한계를 극복하기 위해 등장

83) 첨단기술의 발전과 미래정부의 역할과 형태, 과학기술정책연구원(2016)

조직운영 시스템	애드호크라시 (Adhocracy)	전통적 조직구조인 관료제와 대비되며 역할이나 직제에 따라 분리되지 않고, 기능별로 유연하게 분화되어 직무를 수행하는 횡적인 조직모형
	홀라크라시 (Holacracy)	관리자가 없는 조직체계로 조직의 위계질서를 배제하면서 모든 구성원들이 동등한 위치에서 업무를 수행하고 의사결정을 내리는 모형

자료 : 서용석(2016), 첨단기술의 발전과 미래정부의 역할과 형태, STEPI Future Horizon 제 28호, 기술과가치 재구성

○ **(정부 역할 변화)** 미래정부의 핵심적 역할은 극심한 소득의 불평등을 조정하는 것이며, 정부의 형태도 부의 공평한 분배에 초점이 맞추어진 '지능형 정부'로 전환될 전망

〈표 2-29〉 기술혁명이 가져온 정부 형태와 정부 운영시스템

기술혁명	시작시점	정부형태	정부 운영시스템
1차 농업혁명	BC 8000년	왕조	귀족 신분제
2차 산업혁명	18세기 중반	근대정부	관료제
3차 정보통신혁명	20세기 중반	전자정부	관료제 Adhocracy
4차 인공지능혁명	21세기 초반	???	???

자료 : 서용석(2016), 첨단기술의 발전과 미래정부의 역할과 형태, STEPI Future Horizon 제 28호, 기술과가치 재구성

- '비트네이션(Bitnation)' 등 현재의 정부 기능을 대체하는 블록체인 등의 ICT 기술에 기반한 온라인 지능형 정부 체제 등장으로 기존 관료제 및 공무원 인사제도 전반에 중요한 변화 동일이 제시될 전망

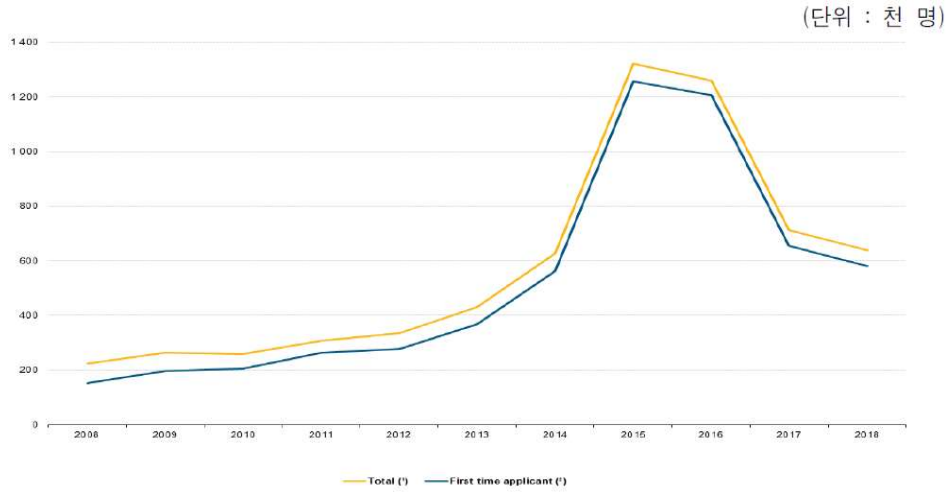
○ **(갈등 심화)** 난민의 증가, 종족 간 갈등, 내전, 국가안보와 정부 리더십의 실패, 전통적 집단 정체성 약화 등 국가-중앙정부의 통제력 및 국가에 대한 신뢰 약화[84)]

- 세계적으로 이민·난민의 완만한 증가 추세가 지속되고 있으며, 멕시고 국경을 통한 미국으로의 불법 이민, 시리아 난민의 지중해 및 터키 루트를 통한 유럽 유입 등이 주된 국내외적 협상 대상 및 분쟁요인으로 작용

  * 전 세계 이민은 '18년 2억 4,890만 명 → '19년 2억 7160만 명, 난민은 '18년 2,590만 명 → '19년 2,870만 명으로 모두 완만한 증가세

  * 국내 체류 외국인 '16년 205만 명으로 처음 200만 명 돌파 이후 '19.10월 현재 248만 명

84) 불법이민과 난민으로 인한 국제분쟁, 국가안보전략연구원(2019.12)



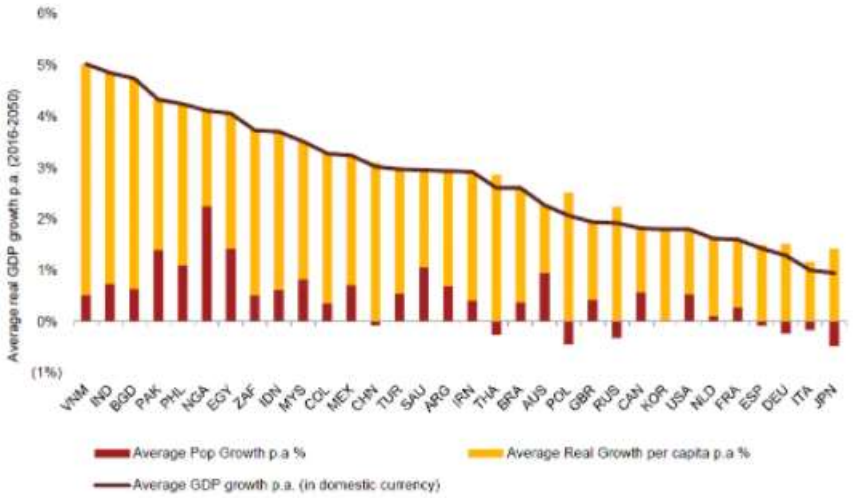
자료 : Eurostat(2019)

[그림 2-30] EU 난민 신청 추이, '08~'18년

○ **(자국우선주의)** 세계적 경제 저성장, 고용시장 붕괴, 각국의 무역적자로 인한 자국우선주의 확산

- 세계 잠재성장률은 1998~2017년 3.0%에서 2018~2027년 2.3%로 하락 전망[85)]

  * E7(브라질, 중국, 인도, 인도네시아, 멕시코, 러시아, 터키) 국가는 평균 3.5%, G7(캐나다, 프랑스, 독일, 이탈리아, 일본, 영국, 미국) 국가는 평균 1.6% 성장 전망[86)]



자료 : 2050 세계 경제 전망, PWC(https://www.pwc.com/kr/ko/publications/research-paper/world2050.html)

[그림 2-31] '16~'50 연평균 실질국내총생산의 평균치 전망

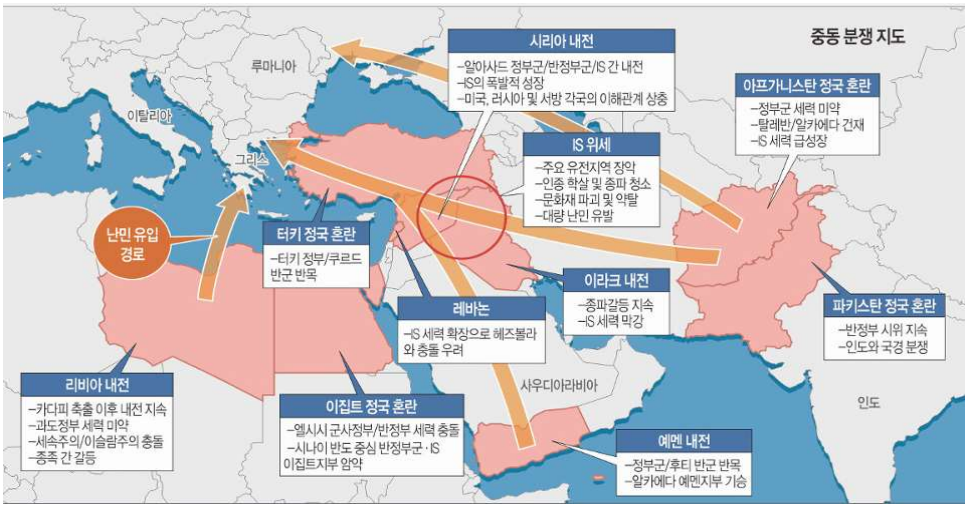
- 국가 간, 지역 간 국제 갈등이 심화되는 가운데 미국, 중국 등 글로벌 경제주도국을 중심으로 무역수지 적자 해소를 위한 자국 우선주의 확산[87)]

  * 자국 우선주의를 기반으로 한 포퓰리스트들이 각국에 두각을 나타내면서 세계 각국에서 대내외 경제 상황 악화 등의 이유로 자국우선주의를 내세우는 후보지지 경향 (美 트럼프, 英 존슨, 브라질 모우소나루 등)

85) 2019년 다보스 포럼의 주요내용과 시사점, 현대경제연구원(2019.1)
86) 2050 세계 경제 장기 전망 - 세계 경제 순위의 변화, PWC(2017.2)
87) 최근 국제통산 환경의 변화에 따른 한국의 새로운 통상정책 방향, 대외경제정책연구원(2017.12)

- 자국 경제성장 중심의 보호무역체제 추구로 무역갈등이 발생하고 국가 간 교육, 투자, 인력, 정보 교류가 감소하면서 난민, 기후변화, 사이버 범죄 등 국제 공조가 불가피한 문제 방치 우려 증가[88)]
- 인류의 오랜 갈등 원인인 종교 또는 종파, 인종 또는 민족 간 갈등 문제는 아직도 해결되지 않은 숙제이며, 극단주의 세력에 의한 테러와 전쟁 등으로 확대되어 인명피해까지 발생

  * 중동지역 외에도 중국 위구트, 몽골 등 소수민족, 아프리카 소말리아·수단 등 내전 및 해적 문제 등



자료 : [IS, 문명을 테러하다] 종파·민족 갈등 얼기설기...'출구 없는 전쟁터'로, 국민일보(2015.11.18.)

[그림 2-32] 중동지역 분쟁지도

88) Globalization has faltered, The Economist(2019.1.24.)

2.2.2 국내 정책 트렌드

가. 문재인 정부 국정 과제

□ 문재인 정부 국정과제 중 건설산업 유망분야 육성

○ 문재인 정부 100대 국정과제 중 32-2번 '건설산업 유망분야 육성 및 해외진출 지원을 통한 일자리 창출'

- 문재인 정부는 「100대 국정과제」를 통해 국토교통산업의 경쟁력을 강화를 통해 건설분야 해외 수주 확대 등 정량적 목표 제시
- 특히, 건설업을 포함한 全산업의 디지털 전환에 맞춘 건설업의 기술개발 강화, 해외진출 지원을 통한 일자리 창출 등에 중점

〈표 2-30〉 문재인 정부 국정과제 중 건설산업 내용

32. 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화 (국토부)

□ 과제목표

○ 건설업을 양질의 일자리로 전환하고 화물종사자 근로 여건 개선

○ 교통의 공공성을 단계적으로 강화하고 노후 인프라 개선

□ 주요내용

○ (건설산업 경쟁력 강화) 간접비 지급방식 개선, 임금지급보증제 도입 등 불공정 해소 및 유망분야 육성, 해외진출 지원 통한 일자리 창출

○ (화물운송 종사자 보호강화) '18년 화물자동차법 개정, '20년 표준운임산정위원회 구성·운영 등을 통해 `21년부터 표준운임제 본격 시행

○ (도로·철도 공공성 강화) 통행료 인하, 벽지노선 운영, 일반철도 서비스 개선 등을 통해 공공성 강화, 간선망 구축 등 교통 네트워크 효율화

○ (SOC 안전 강화) '17년 노후 철도차량·시설 개선을 위한 중장기 개량 계획 수립, 성능기반의 철도시설 관리체계 마련 및 노후도로 개선

- 도로, 철도, 공항, 하천 관리에 디지털 기술을 융합하는 등 안전투자를 확대하여 SOC 안전 관리체계를 고도화

○ (대중교통 낙후지역 해소) '18년부터 공공형 택시를 시·군에 보급

○ (코로나19 극복) 범부처 지원 방안을 마련하여 코로나19로 피해를 입은 버스·항공 등 교통 업계의 위기 극복 및 재도약 지원

○ (비대면 경제 활성화) 비대면 경제 확산을 고려하여 생활물류 산업의 체계적 육성·지원 및 종사자·소비자 보호 강화를 위한 제도 기반 조성

□ 기대효과

○ 건설분야 임금체불 최소화, 4차 산업혁명에 따른 기술 확보 및 5년간 해외건설 수주 2천억 달러 달성

○ '22년 최대 38만명 화물차주의 적정 운임 보장 및 처우 개선

나. 2050 탄소중립- 온실가스 감축[89] 정책 추진

□ 제1차 기후변화대응 기본계획(2016.12)

○ 「저탄소녹색성장기본법」에 따라 수립된 「기본계획」은 신 기후체제(Post 2020)*에 대응하기 위한 우리나라의 중장기 기후변화 전략과 구체적인 이행조치 계획을 담을 첫 번째 종합대책

* 2020년 만료되는 교토체제를 대체해 적용되는 파리협정은 기존 37개 선진국에만 온실가스 감축의무가 발생하던 교토체제와 달리 197개 모든 당사국에 감축의무 발생 → 우리나라는 2030년 37% 감축목표 제시

〈표 2-31〉 제1차 기후변화대응 기본계획 주요과제

과제	세부내용
저탄소 에너지 정책으로의 전환	• 신재생에너지 보급 확대 : 2035년 신재생에너지 보급률 11% 달성 목표 • 청정연료 발전확대와 효율 향상 • 건설·수송·산업 부문에서의 에너지 효율 제고
탄소시장 활용을 통한 비용 효과적 감축	• 배출권거래제 활성화 * 국가온실가스 배출 총량(694.5백 만톤) 중 배출권거래제 관리 67.7%('16년)
기후변화대응 신산업 육성과 신기술 연구투자 확대	• 새로운 성장동력으로서의 에너지 신산업 육성 • 기후기술 기반 조성과 실증·상용화 추진: 기후변화대응기술 확보 이행계획* 수립/활용 * CTR(Climate Technology Roadmap): 3대 분야 (탄소저감·탄소자원화·기후변화 적응), 10대 기후기술(태양전지, 연료전지, 부생가스 전환, CO2 전환 등)에 관한 진행현황과 활용 계획 등
이상기후에 안전한 사회 구현	• 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련 • 지속가능한 자연자원 관리: 생물좀 보전, 생태계 복원 등
탄소 흡수·순환 기능 증진	• 산림 등 탄소 흡수원 기능증진 • 자원순환사회 전환 촉진* * 자원순환기본법 제정('16.5 제정, '18.1 시행)

89) 대한민국 정책브리핑 - 온실가스 감축 인용(https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148867400)

범국민 실천과 참여기반 마련	• 생활 속 온실가스 줄이기 • 기후변환 협치체계(거버넌스) 구축과 기업의 기후변화대응 노력 지원

자료 : 대한민국 정책브리핑 - 온실가스 감축 내용 재구성

□ 2030 국가 온실가스 감축 기본 이행계획(로드맵)(2016.12)

○ 국가 온실가스 감축목표가 2020년 30%에서 2030년 37% 감축(BAU 대비)으로 재설정됨에 따라, 목표 달성을 위해 체계적이고 구체적 이행방안을 마련하기 위한 계획 수립

* BAU(Business Au Usual): 감축을 위한 특별한 조치를 취하지 않을 경우 예상되는 온실가스 '배출전망치'

○ 2030년 온실가스 배출전망치 85백만 톤 대비 37% 감출을 목표로 하고 있으며, 국내 25.7%(219백만 톤) 감축, 국외 11.3%(96백만 톤) 감축을 통해 목표를 달성

- 국내 감축분량은 에너지 전환, 산업, 건물 등 분야별로 구체적 목표 설정

자료 : 2030 국가온실가스감축 기본로드맵 보도자료, 국무조정실(2016.12)

[그림 2-33] 분야별 온실가스 감축 목표

- 국외 감축분은 지속가능개발메커니즘*(SDM), 양자협력, 배출권 직접구매 등이 활용 가능한 감축 수단일 것으로 예상

* 다른 나라의 온실가스 감축사업에 투자하고 이를 자국의 감축으로 인정받는 청정개발사업(CDM)과 유사

□ 2030 온실가스 감축 이행계획(로드맵) 수정안/배출권 할당계획 확정('18.7)

○ '16 수립된 온실가스 감축 이행계획(로드맵)은 국내외로부터 감축의지가 약하다는 비판과 구체적인 감축수단 제시가 미흡하다는 지적으로 한계 발생

○ 문재인 정부 국정과제인 미세먼지 감축과 에너지 정책을 반영하고, 국내 온실가스 감축잠재량 재평가를

통해 감축목표 이행가능성을 높인 수정안 제시

- 기존 로드맵과 감축목표는 동일하지만 감축 수단에서 국내·국외 비율 변화 및 구체적 방법 제시
- 국내 감축량을 기존 25.7%에서 32.5%로 상향 조정하였으며 에너지 효율화와 수요관리 강화, 우수감축 기술 확산 등을 통해 276.5백만 톤 감축

〈표 2-32〉 부문별 주요 감축수단

부문	감축 목표	감축 수단
전환	57.8백만 톤	• 미세먼지 관리 종합대책('17.9), 제8차 전력수급기본계획('17.12) 및 RE3020 이행계획 등 현 정부 기후·대기·에너지정책 반영(23.7백만 톤) • 에너지세제 개편 환경급전 강화 등을 통해 34.1백만 톤 추가감축 추진 ('20년까지 확정)
산업	98.5백만 톤	• 스마트공장 확대 등 에너지 효율화, 우수감축기술 확산 등 생산공정 개선, 제품 고부가가치화 등
건물	64.5백만 톤	• 신출 건축물 에너지 기준 강화, 기존 건축물 그린리모델링 활성화 등
수송	30.8백만 톤	• 전기차 보급 확대(100만대→300만대), 친환경 대중교통 확충, 자동차·선박·항공기 연료효율 개선 등
폐기물	4.5백만 톤	• 폐기물 발생 全부문에서 감량화와 재활용 강화, 매립 최소화, 메탄가스 포집·자원화 등
공공	5.3백만 톤	• 공공기관 목표관리제 강화, LED 조명·가로등 보급 확대, 재생에너지 시설 확충 등
농축산	1.6백만 톤	• 논물관리 감축기술, 양질사료 및 저메탄사료 보급 등
CCUS	10.3백만 톤	• 기존 로드맵 감축량 10.3백만 톤을 반영하되, 관계 부처 합동용역 결과를 토대로 구체화
기타	3.1백만 톤	• 탈루부문 배출량 감소 반영

자료 : 2030 국가 온실가스 감축 로드맵 수정안 보도자료, 환경부(2018.7)

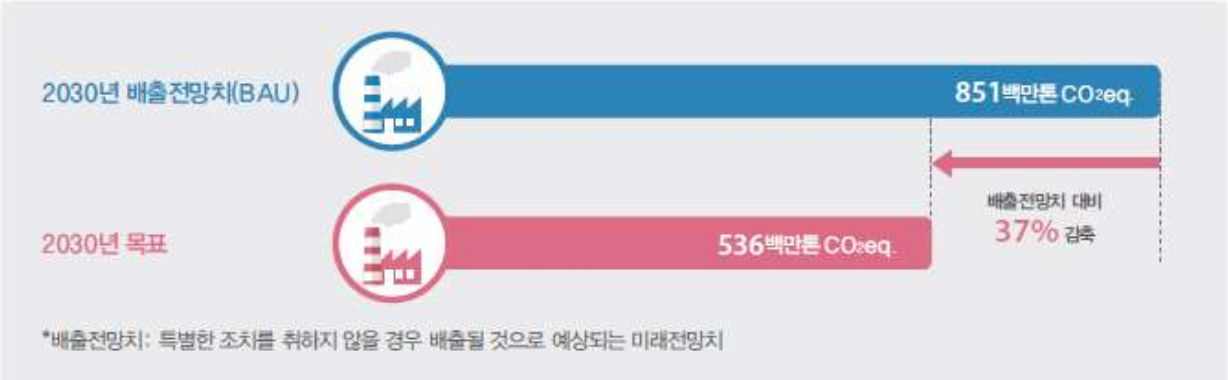
○ 「제2차 계획기간(2018~2020)」국가 배출권 할당 계획안

- 업체들에게 배출권을 전부 무상 할당하던 제1차 계획기간과 달리, 2차 계획기간에는 발전사 등이 속한 26개 업종에 대해 할당량의 3%씩 유상 할당
- 배출효율이 높은 설비일수록 많은 배출권을 할당받게 되는 '과거 활동자료량 기반(Benchmark)' 할당방식의 적용대상을 확대해 할당의 형평성 제고
- 산업은행, 기업은행 등 공적금융기관이 시장조성자 역할을 수행해 배출권 거래시장 활성화
- 잉여배출권을 보유한 업체가 배출권을 매도하지 않고 다음 계획기간으로 이월함으로써 발생되는 거래량 부족 현상을 방지하기위해 이월 승인 기준 강화

□ 제2차 기후변화대응 기본계획('19.10)

○ 정부는 '19년 10월 22일, 신 기후체제 출범에 따른 기후변화 전반에 대한 대응 체계를 강화하고 '2030 국가 온실가스 감축 로드맵'의 이행점검 체계를 구축하기 위해 '제2차 기후변화대응 기본계획'을 조기에 수립

* 문재인 대통령 지시('18.7, 국무회의): 온실가스 감축의 실효성을 높일 수 있도록 범부처 이행점검 체계 마련 및 정기적 이행평가 실시



자료 : 온실가스종합정보센터 국문 브로슈어

[그림 2-34] 2030년 국가 온실가스 감축목표

〈표 2-33〉 제2차 기후변화대응 기본계획 중점 추진과제

추진과제	세부내용
저탄소 사회로의 전환	• 국가온실가스 감축목표 달성을 위한 8대 부문 대책 추진 · (전환) 석탄발전소 감축(신규건설 금지, 노후 폐쇄), 환경급전 실시, 재생에너지 발전 비중 확대를 통한 친환경 에너지믹스로 전환 · (산업) 에너지효율 혁신, 원료·연료 대체*, 신기술 보급 확산을 통한 온실가스 감축 · (건물) 건축물 성능개선 및 기준강화를 통한 에너지효율 향상 · (수송) 친환경차 확산 등 저탄소 중심의 수송체계 실현 · (폐기물) 지속가능한 자원 선순환 체계 구축 · (공공/농축산) 공공부문 목표관리제 강화 및 논물 관리기술 개발 · (CCUS/산림) 비배출원 부문의 온실가스 감축수단 활용 강화 • 국가목표에 상응한 배출허용총량 할당 및 기업 책임 강화 • 신속하고 투명한 범부처 이행점검·평가 체계 구축
기후변화 적응체계 구축	• 5대 부문(국토·물·생태계·농수산·건강) 기후변화 적응력 제고 • 기후변화 감시·예측 고도화와 적응평가 강화 • 모든 부문·주체의 기후변화 적응 주류화 실현
기후변화대응 기반 강화	• 기후변화대응 신기술·신시장 육성으로 미래시장 창출 • 국격에 맞는 신 기후체제 국제 협상 대응과 국제협력 강화 • 전국민의 기후변화 인식 제고와 저탄소 생활문화 확산 • 제도·조직 등 기후변화대응 인프라 구축

자료 : 대한민국 정책브리핑 - 온실가스 감축 내용 재구성

□ 2030 NDC(Nationally Determined Contribution, 국가온실가스감축목표)('20.12)

○ 세계 각국은 2015년 12월 파리협정 채택 이전 국가온실가스감축목표를 유엔에 제출(우리나라 BAU 기준 37% 감축)했으며, 2021년 파리협정의 본격적 이행을 앞두고 2020년까지 이를 갱신하기로 합의

○ 우리나라는 경제성장 변동에 따라 가변성이 높고 불확실한 배출전망치(BAU) 기준의 목표를, 국제사회에서 신뢰가 높은 절대량 방식으로 전환하여 2017년 배출량 대비 24.4% 감축을 2030 NDC로 확정('20.12)

다. 4차 산업혁명 대응계획

□ 추진 배경 및 필요성

○ 성공적인 정보화·산업화로 4차 산업혁명을 선도할 잠재력 확보

- 선제적 국가정보화로 세계 최고수준의 네트워크 인프라, 글로벌 일류산업 육성 등 4차 산업혁명 핵심 동인인 ICT 혁신역량*을 확충

  * ITU ICT 발전지수 1~2위('16~'17)

  * ICT 시장 점유율('16, %): 휴대폰 22.9(2위), 메모리반도체 57.5(1위), 디스플레이 46.9(1위)

- 과거 산업화를 견인해 온 주력산업 중심의 튼튼한 제조기반*을 바탕으로, 지능화 혁신을 통한 4차 산업혁명 신산업 창출 기반을 마련

  * 제조업 경쟁력(딜로이트, '16): 40개국 중 5위

  • 잠재적 혁신원천인 우수 인적자원의 폭넓은 창출 저변 확보

  * (학업성취도) OECD국가 중 2위('15), (인간개발지수) 188개국 중 17위(UNDP, '15)

○ 기술혁신을 통한 경제·사회 전반으로의 성장과실 확산은 한계

- 첨단 과학기술·ICT는 혁신성장과 사회문제 해결을 동시 달성하는 포용적 성장의 핵심수단이자 혁신 촉매제(Enabler) 역할이 기대되나,

  • 우리 ICT 투자는 OECD 회원국 중 최하위권*이며, '01년 이후 지속 감소 중으로 핵심 기술혁신 역량 확충을 위한 투자 확대가 필요

  * GDP 대비 ICT 투자 비중('14, %): (韓)2.1, (美)3.0, (佛)3.0, (英)2.2(OECD, '16.2)

- 지능화 기술의 산업적 활용은 아직 초기단계로 산업 전반의 생산성 제고에 한계가 있고, 각종 사회문제 해결도 부족

  * 융합 접목 수준(정보통신기술진흥센터,'16): 해외 40.2% vs. 국내 9.8%

○ 4차 산업혁명을 촉진할 기술경쟁력 확보·성장동력 발굴은 지연

- 정부주도의 추격형·단기성과 중심전략으로 과학기술 혁신경쟁력이 부족하고, 지능화 기술경쟁력도 낮은 수준(세계최고 대비 70%, '17, IITP)

자료 : 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획 I-KOREA 4.0, 관계부처합동/4차산업혁명위원회(2017.11)

[그림 2-35] 우리나라 과학경쟁력 순위 변화

- '기술혁신 → 산업부가가치 제고 → 일자리 창출'의 선순환을 위한 R&D 기반의 新성장동력 발굴 역시 한계에 직면

  * 19대 미래성장동력('14), 9대 국가전략프로젝트('16.8), 12대 신산업('16.12), K-ICT('15.4) 등 신산업 정책의 중복추진으로 중장기적 일관된 지원 부족

○ 新산업·시장 창출을 촉진하는 산업 인프라·생태계 조성도 미흡

- 4차 산업혁명 기반 인프라인 네트워크의 선제적 고도화가 시급한 가운데, 新제품·서비스 개발이 필수인 영역별 실제 데이터 축적*·활용** 부족

  * (예시) 자율주행차: 정밀지도 데이터, 도로주행 센서·카메라 데이터, 교통사고 데이터 등

  ** 종사자수 50명 이상 기업 빅데이터 활용률 6.5%(한국정보화진흥원, '16)

- 과도한 규제·환행이 새로운 융복합 제품·서비스의 시장진입을 제한하고 고용창출력이 높은 중소·벤처의 질적(Scale-up) 성장 환경조성 역시 미흡

  * 상품시장 규제 OECD 4위, 무역규제 OECD 1위('16.5)

  * 기업가치 10억불 이상 유니콘 스타트업 186개 중 국내는 3곳(2%)에 불과(무역협회, '17.3)

- 지역거점 중심의 핵심역량 확충은 여전히 부족, 균형발전을 제한

  * 규제완화 및 기업 투자유치의 지역 간 차별성 부족 등이 원인(지역발전위원회, '15)

○ 4차 산업혁명 시대의 일자리 변화와 잠재적 역기능 대응 준비는 부족

- 4차 산업혁명 혁신의 주역이 될 미래 수요기반 핵심인재가 부족*하고 고용구조 재편 가능성에 대응한 일자리 안전망 구축 역시 미흡**

  * '22년까지 지능화 기술 분야 연평균 3,290명 부족 전망(정보통신기술진흥센터, '16)

  ** 전체 취업자(1,963만 명) 중 고용보험 가입자는 76.1%(1,244만명) 수준('16.8)

- 인공지능 오작동·남용, 해킹 등 사이버 위협 증대 등의 잠재적 역기능에 대한 선제적 대응도 시급

  * 전세계 AI·로봇공학자 등 2천여 명이 참여, AI 연구의 지향점과 윤리, 개발자간 협력, AI 안전과 핵심 등 인류를 위한 AI 개발원칙 제시(2017 Asiloma Conference, '17.1)

○ 4차 산업혁명 경쟁력 확보는 곧 사람 중심 '혁신성장'으로의 빠른 도약을 의미, 4차 산업혁명 대응역량 강화가 시급한 시점

□ 사회문제 해결 기반 삶의 질 제고 및 新성장 촉진

○ **(스마트시티)** 도시기능을 효율화하고 도시문제를 해결하는 혁신 플랫폼인 스마트시티 확산으로 도시 삶의 질 향상 및 新성장동력으로 육성

- **(스마트시티 확산)** 지자체가 도시기반시설을 ICT로 관리하는 기존의 u-city 수준을 탈피, 지능화 기술 등을 집적·활용하고 시민·기업의 참여로 도시문제를 효율적으로 해결하는 지속 가능한 스마트시티 혁신 모델·플랫폼 구현

  → 스마트시티 통합플랫폼 80여개 지자체 확산 추진('16, 10개 지자체)

  → 4차 산업혁명위 내에 민간 전문가로 스마트시티 특위를 구성·운영('17.11~), 국가 시범사업 등 기본 추진계획 마련(~'17.12)

  - **(국가 시범사업) 새로운 부지에 국가적인 역량을 한데 집적한 세계적 수준의 첨단 스마트시티 신규 조성**
    * 범부처-지자체-민간 협력을 통해 유망미래 기술·서비스, R&D, 새정부 국정과제 등 집적
  - 민관 공동참여 하에 도시 전체를 아우르는 빅데이터 기반 도시운영 체계를 구현하고, 신기술 테스트베드와 시민체감형 서비스 등을 발굴·반영
    * 국가전략 스마트시티 R&D(국토부·과기부, '18~'22, 총 1,159억 원)
  - (스마트 도시재생) 쇠퇴하는 도심의 다양한 문제 해결과 시민 삶의 질 개선을 위해 스마트 기술을 접목
    * 범부처-지자체-민간 협력을 통해 유망미래 기술·서비스, R&D, 새정부 국정과제 등 집적
  - '17년 도시재생 뉴딜공모시 조기 성과창출이 가능한 곳을 선정·지원하고, 대표모델을 발굴하여 타 지자체로 확산 추진

- **(스마트 건설)** 빅데이터, 가상현실(VR) 기술을 건설 생산과정에 접목한 스마트 건설시스템을 구축하여 생산성 향상 및 안전성 제고

  → 건설 생산성 40% 향상을 위한 기술개발('15, 13.6 → '22, 19불/시간)

  - 3차원 가상설계·시공, 모듈화 자동시공, 건설장비간 통신·제어 및 협업 시스템 등 첨단공장형 설계·시공체계 전환 및 건설장비 지능화 촉진 기술개발('19~'25)

  → 생산성 향상, 근무조건 개선, 근로자 안전 확보를 통한 건설산업 체질 개선

  - 인프라 3차원설계(BIM) 적용을 위한 기준* 마련(~'21) 등을 통해 스마트 건설 기반을 구축하고, 500억 이상 도로사업의 BIM 적용 의무화 추진(~'22)
    * 공통 포맷 작성·검토·검증 시스템, 모델링 기준·가이드라인, 설계요령 등

- **(스마트 홈)** 가정 내 생활혁명 실현을 위해, 가전·조명기기 등 원격제어 수준의 스마트홈을 음성·모션

인식 제어 및 자율작동 등을 지원하는 지능형 스마트홈으로 고도화 및 확산 유도

→ 스마트홈을 '22년까지 300만 가구 보급('17, 80만 가구)

- 임대주택·주거복지시설 등 대규모 수요처용 지능형 AI@홈 모델을 발굴('18~'21)하고, 건설사와 지자체에 보급하여 민간 주도의 확산 촉진('18~'21)
- '17년 개선한 홈네트워크건물인증제(홈IoT 등급 신설)를 자율제어 등 지능형 AI@홈 수준까지 반영할 수 있도록 제도개선(~'19)

○ **(스마트 교통)** 교통혼잡 개선 및 안전 확보를 위해 지능형 교통체계, 스마트 신호시스템 등 빠르고 안전한 지능형 교통체계로 전면 전환

- **(차세대 지능형교통체계(C-ITS))** 자율협력주행 도로 구축을 통한 안전서비스 제공으로 교통사고 사망자 감소, 자율주행 안전 및 효율성 향상

  → 스마트도로 '17년 0.2%구축에서 '22년 35% 구축

  - 주요 고속도로*에 자율주행을 지원하는 스마트도로(V2X 기지국 등)를 우선 구축하고, 안전 취약구간** 중심으로 전국 고속도로 전면 스마트화('18~'22)

    * 경부선, 영동선, 서울외곽선, 서해안선, 중부선, 서울양양선 총 1,598㎞

    ** 곡선부, 고갯마루, 분합류 및 엇갈림 구간, 반복정체구간, 사고다발구간 등 5,075㎞

  - 일반차-자율차 혼재시 교통안전 확보를 위한 교통 운영·제어 기술, 자율주행 기반 교통체계 운영관리 및 제어 기술 등 개발('17~'25)

    * 교통정체 해소를 위한 속도 권고, 분합류 구간 등 상충구간 주행 우선순위 결정 등

- **(스마트 신호시스템)** 교통혼잡 등 교통상황에 실시간으로 대응하여 교통신호를 최적화함으로써 교통혼잡 개선 및 교통안전 확보

  → 도심지 교통혼잡 10% 개선('16, 30.3조원 → '22, 27조원)

  - 교통량에 따른 최적신호제어 시스템 개발('17~'19), 정체개선 등 효과실증('20~'21) 및 신호제어기 표준규격 및 설치 의무화 관련 제도개선(도로교통법, ~'19)
  - 신형 최적신호제어기 도입, 원격제어체계 구축 등 도심 신호개선* 및 좌회전이 있을 때만 신호를 부여하는 감응신호 확대 등 지방신호 개선** 추진(~'22)

    * '22년까지 매년 5~6개 지자체를 선정하여 20여개 주요 도시 신호시스템 개선('17~)

    ** '17년까지 161개소 추진, '23년까지 국도 상 주요 교차로에 지속 확대 추진

- **(지능형 교통안전)** 교통안전시설물의 규제정보(속도·회전제한 등)를 자율주행차에 실시간 전달하여 자율주행차의 안전 운행을 지원하고, 졸음운전 등 대형교통사고 예방을 위한 교통안전 기술·서비스 개발·고도화

  → 교통사고 5% 감소, 전체 교통안전시설물 중 52.5% 설치

자료 : 혁신성장을 위한 사람 중심의 4차 산업혁명 대응계획 I-KOREA

[그림 2-36] 시설물 설치 및 교통사고 감소 목표

- 신호기·안전표지판 등 교통안전시설물에 IoT 기술을 적용, 자율주행차와의 실시간 쌍방통신이 가능한 교통정보 제공기술 개발('17~'20)
- 지능형 교통안전시설물 표준규격 및 설치 의무화 관련 제도개선(도로교통법 시행규칙)(~'20) 및 자율차 상용화 시점에 맞춰 전국 주요도로·교차로에 적용(~'22)
- 생체신호(뇌파, 시선 위치 등) 기반 운전자 피로도 감지·경고 기술 개발 및 실증*, 교통사고 위험 예측·예보 서비스 등 개발·고도화('17~'19)

  * 대구시 버스(60대), 화물차(20대), 관광버스(20대) 총 100대 시범 실증('17)

- **(스마트공항)** IoT, AI 등을 활용해 공항이용 전 과정(집→공항→수속→이륙)과 공항운영 서비스 효율화의 체계적 추진을 위한 스마트공항 종합계획 마련('17.12)

  * ('22년 목표) 출국수속 시간 17%↓, 시설 확충비용 연 2,000억원 절감

○ **(시설물)** 안전사고 및 생활범죄 등에 대응, IoT 시설물 유지관리, 지능형 CCTV, 해상 스마트 내비게이션 등 안전체계 지능화로 사고예방과 피해를 최소화하고, 스마트 재난안전 산업 시장 선도

- 노후 시설물(교량·터널 등)의 이상거동 신속검지·초동대처(경고·교통통제 등)·구조물 영향분석(내구성 등) 지원 IoT 유지관리 시스템 확산

  → 시설안전 국민 불만족률(총계청) 14% 개선('16, 34.1% → '22, 29.1%)

  - IoT 센서와 딥러닝 기반으로 시설물의 변형, 변위 등 이상거동 감지 및 예측 시스템을 개발('18~'21)하고, 노후 시설물 대상 시범운영* 및 실증('21~'25)

    * 다양한 시설물의 노후도를 표준적으로 관리할 수 있도록 충분한 수의 교량·터널 등 Test-Bed 선정

  - 터널, 교량 등 주요 시설물 노후화에 선제적이고 체계적인 대응을 위한 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」제정 추진(~'18)

라. 스마트 건설기술 로드맵

□ 추진 배경 및 필요성

○ 민간의 스마트 건설기술 활용은 대기업 중심으로 해외사업 대응 등을 위해 일부 기술이 활용 중이나, R&D와 전면적인 현장 활용은 저조

〈표 2-34〉 주요 건설업체 스마트 건설기술 활용 현황

활용 중인 기술(일부 현장)	연구 중인 기술	연구 희망 기술
- BIM 설계·시공(건축중심) - 드론/스캐닝 측량 - 가상현실기반 시각화 - IoT 자재관리·안전관리	- 모듈화(Pre-fabrication) - IoT 기반 공사관리 고도화 - VR/AR 활용기술	- 빅데이터/AI - 설계/시공 자동화 - 3D Printing - 건설 자동화 로봇

자료 : 스마트 건설기술 로드맵, 국토교통부(2018.10)

- BIM 기술은 건축분야 중심으로 활용 중*이나, 건설 프로세스 전반에 적용되기 보다는 설계 과정에 국한하여 부분적으로 적용

  * 조달청을 업무지침을 마련하고 '맞춤형 서비스' 대상사업(건축) 설계 시 BIM 적용 중

- 건설장비는 자동측량·굴착 기술을 개발 중이나 아직 연구단계에 있으며, 완전 자동화·통합관제를 위해 추가적인 기술개발 필요

- 드론은 측량·토공량 산출 등 일부 현장에 시범 도입된 수준으로 여러 현장에 확대 적용하고 유지관리 등 타 업무에도 접목 필요

- ICT 기술은 일부 기업이 현장관리 목적으로 제한적으로 사용 중

○ 민간에서 스마트 건설기술 적응 활용을 위해 정부의 역할 확대 건의

- 스마트 건설기술 관련 정부의 의지 표출 및 장기 정책방향 제시

- 공공용기술 등 기반기술 개발(R&D), 민간의 자체 기술개발도 유도

- 스마트 건설기술 활용 의무화 등 발주제도 개선 및 각종 기준 정비

- 주요 공유자료 생산(BIM Library 등), 다양한 정보 공유 플랫폼 제공

□ 주요내용

○ ICT 기술의 도입을 통해 건설 全 Process에 걸친 첨단화·디지털화

〈표 2-35〉 건설 단계별 핵심 개발기술

구분	기술	주요내용
계획 설계	드론기반 지형·지반 모델링 자동화 기술	- 융복합 드론이 다양한 경로로 습득한 정보(사진촬영, 스캐닝 등)로부터 지형의 3차원 디지털 모델을 자동 도출 * 카메라, 레이저스캔 장치, 비파괴조사 장치, 센서 등과 결합된 드론 - 공사부지의 지반조사(땅속) 정보를 BIM에 연계하기 위해 측량, 시추 결과를 바탕으로 지반강도·지질상태 등을 보간·예측 - AI를 활용한 형상·속성정보 통합 BIM 모델링
	BIM 적용 표준	- 다른 사용자 간 디지털 정보를 원활하게 인지·교환할 수 있도록 BIM 설계 객체의 분류 및 속성정보에 대한 표준을 구축 - 시간의 경과, 소프트웨어의 종류(버전) 등에 관계없이 동일한 데이터를 저장하고 불러온 수 있는 공통의 파일형식 마련 - 축적된 BIM 데이터를 바탕으로 새로운 정보와 지식을 창출할 수 있는 빅데이터 활용 표준 구축
	BIM 설계 자동화 기술	- 라이브러리를 활용해 속성정보 포함한 3D 모델을 구축(BIM 설계) * 건축분야는 이미 활성화 vs 토목분야는 현재 도입 단계 - 완료된 프로젝트에서 BIM 라이브러리를 자동 생성 - 자체 해석(구조·에너지 등) 기술판단까지 가능한 BIM 설계 * 설계 결과물이 각종 법규, 설계기준 등에 적합한지도 자동으로 검토 - 축적된 사례의 인식·학습을 통한 AI 기반 BIM 설계 자동화 * 제약 조건 및 발주자 요구사항 등을 반영한 최적화된 설계안 자동 도출
시공단계	건설기계 자동화 기술	- 건설기계에 탑재한 각종 센서·제어기·GPS 등을 통해 기계의 위치·자세·작업범위 정보를 운전자에게 제공 - 작업계획에 따라 건설기계가 자율이동·작업, 진행상황 실시간 확인
	건설기계 통합운영 및 관제 기술	- 건설현장 내 다수의 건설기계를 실시간으로 통합 관리·운영 - 센서 및 IoT를 통해 현장의 실시간 공사정보를 관제에 반영 - AI를 활용하여 최적 공사계획 수립 및 건설기계 통합 운영
	시공 정밀제어 및 자동화 기술	- 공장 사전제작-현장조립(Modular 또는 Prefabrication) 공법 확대 적용 - 조립 시공 시 부재 위치를 정밀 제어하고, 접합부를 자동 시공 - 로봇 등을 활용하여 조립 시공(양중·제어·접합 등 일련 과정) 자동화
	ICT 기반 현장 안전사고 예방 기술	- 가시설·지반 등의 취약공종과 근로자 위험요인에 대한 정보를 센서, 스마트 착용 장비 등으로 취득하고 실시간 모니터링 - 축적된 작업패턴·사례(빅데이터) 분석을 통해 얻은 지식과 실시간 정보를 연계하여 위험요인을 사전에 도출하는 예방형 안전관리
	BIM 기반 공정 및 품질 관리	- BIM 기반 공사관리를 통해 주요 공종의 시공간섭을 확인하고, 드론·로봇 등 취득 정보와 연계해 공정진행 상황을 정확히 체크 - 가상시공을 적극 활용하여 조건·환경 변화에 따라 공사관리 최적화

		- AI를 활용해 사업목적·제약조건에 따라 맞춤형 공사관리 방법 도출
유지관리	IoT 센서 기반 시설물 모니터링 기술	- 특정 상황이 발생하였을 때에만 수집된 정보를 전송함으로써 무선 IoT 센서의 전력소모를 줄이는 상황감지형 정보 수집 - 대규모 구조물의 신속·정밀한 정보수집을 위한 대용량 통신 Network - 다양한 객체가 상호작용하는 초연결 IoT로 연결성·안정성 강화
	드론·로보틱스 기반 시설물 상태 진단 기술	- 카메라와 물리적 실험 장비를 장착한 다기능 드론(접촉+비접촉 정보수집)을 통해 시설물 진단 - 드론-로봇 결합체가 시설물을 자율적으로 탐색하고 진단
	시설물 정보 빅데이터 통합 및 표준화 기술	- 시설관리자 판단에 의한 비정형 데이터를 정형 데이터로 표준화 - 산재되어 있는 건설관련 데이터들을 통합하여 빅데이터 구축
	AI 기반 유지관리 최적 의사결정 기술	- 구축된 빅데이터를 바탕으로 AI가 유지관리 최적 의사결정 지원 - 시설물의 3D 모델(디지털트윈)을 구축해 유지관리 기본 틀로 활용

자료 : 스마트 건설기술 로드맵, 국토교통부(2018.10)

마. 제6차 건설기술 진흥 기본계획

□ 추진 배경 및 필요성

○ 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진 등을 통해 기술수준을 향상시키고 경쟁력을 제고하기 위한 목적으로 계획 수립

- 4차 산업혁명 기술을 활용하여 건설 생산성·안전성을 혁신하기 위한 건설기술 개발 전략 및 제도개선 방안 마련 필요
- 계속·건설·운영 각 단계에서 발생하는 정보를 축적·활용할 수 있는 기반을 조성하여 사업관리·기술컨설팅 등 고부가가치 산업 육성
- 기술경쟁 활성화, 발주제도와 건설기준의 글로벌 스텐다드화로 건설엔지니어링 기업의 해외진출 경쟁력 제고
- 건설 엔지니어링 산업구조와 처우 개선으로 젊은 우수인력의 유빙을 유도하고, 경력관리·교육제도 혁신으로 우수기술자를 양성

□ [전략 1 세부] 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상

○ **(스마트 건설자동화)** 현장의존적 생산체계 한계를 극복하는 첨단공장형 건설기술을 스마트시티에 시범적용 후 2025년까지 개발

- **(건설자동화)** 인프라 BIM을 활용한 가상 시공(pre-construction) 후, 3D 프린터를 활용하여 공장에서 건설 부재를 모듈화로 제작하고, AI를 탑재한 다기능 건설로봇에 의해 현장에서 조립하는 스마트 건설 자동화 기술 개발
  * pre-construction: 발주자·설계자·시공자가 함께 가상시공을 통해 설계적정성, 공정성, 안전성, 공사비 등을 종합적으로 검토하여 설계·시공 최적화
- **(IoT 유지관리)** IoT 센서 등을 활용, 인프라의 이상을 신속하게 검지·대응하는 시스템 개발로 유지관리 비용 절감
  * 센싱 기반 점검·진단 도입으로 시설물 스마트 자동화 점검 달성
- **(센서 최적화)** 스마트건설 및 도시, 노후시설물 유지관리 등 건설분야에 필요한 센서 수요조사를 통해 센서 최적화 추진

○ (기술적용 활성화 지원) 성능중심의 기술기준 확대 지속 추진, 시범사업 활성화를 위한 규제 샌드박스 활용 촉진

- (성능기준) 국가건설기준센터의 역량 강화와 성능기준 확대 시행으로 새로운 기술의 현장 적용 기반 마련

- **(규제 샌드박스)** 다양한 국토교통 R&D 성과의 확대 적용을 위한 규제 샌드박스* 제도를 도입·운영

  * R&D 성과를 적용하고자 하는 기업의 제안서를 제출받아, 정부·지자체·기업이 공동으로 최적의 샌드박스를 설계하고 시범사업 실시

○ **(신기술 활성화)** 신기술 신청 과정에서의 개발자 부담을 완화하고, 발주청이 보다 적극적으로 신기술 활용토록 제도 개선

- **(시험시공)** 개발자의 신청을 받아 기술검토와 발주청 협의 등을 통해 선별하여 신기술 시험시공 대상 공사 선정·제공(사공비용을 개발자 부담)
- **(공공구매제도)** 신기술, R&D 등을 대상으로 기술가치 평가를 본격 실시하여 투자유치를 활성화하고 R&D의 사업화 지원

〈표 2-36〉 스마트 인프라 건설시스템 핵심기술 R&D

□ 사업개요

○ (사업목적) SOC 건설 정보를 통합관리하는 EPC 플랫폼*을 기반으로 설계-사전제작-조달-시공에 이르는 건설 과정 최적화는 통해 건설산업의 고부가가치화 및 건설 생산성 40% 향상 추진

* EPC: Engineering, Procurement(조달), Construction

○ (사업기간) 2019 ~ 2025 (7년)

○ (사업비) 1,481억 원(정부 1,140억원, 민간 341억 원)

□ 사업내용

○ (Off-site 설계·시공 연계기술) 현장(on-site) 상황 의존형 건설을 극복하고 첨단공장형으로 진화하기 위한 통합 설계·시공 기술 개발

- SOC 모듈 BIM 통합설계, Off-site 모듈 제작·생산 및 시공 장비 등

  * 생산성 향상, 근무조건, 개선, 근로자 안전확보를 통한 건설산업 체질 개선

○ (EPC 통합정보관리 플랫폼) 설계·시공·유지관리의 분저로하를 극복, 건설 전 과정에서 발생한 정보를 축척·유통하는 기반시스템 구축

- CPS 통합정보관리 플랫폼 구축, 빅데이터 기반 의사결정 지원 등

* 설계·시공·운영 주체 간 소통을 통합 합리적 의사결정, 건설 전 과정에 대한 정보 유통을 활성화항 엔지니어링 경쟁력 강화

○ (건설장비 지능화·관제) 건설장비의 개별적 작업에서 장비 간 통신을 통한 유기적인 관제 기술 개발로 효율성 및 안전성 향상

- 작업 현장 자율계측 시스템, 시공관리 통합관제 및 건설장비 제어 등

  * 건설장비의 최적화된 현장 투입을 통한 토공 생산성 향상, 안전사고 예방

□ [전략 2 세부] 해외 수요 대응형 건설기술 개발

○ **(메가스트럭쳐, 플랜트 R&D)** 기획단계부터 체계적인 시장 수요분석을 실시하고, Track-record 확보가 용이한 분야를 중점 추진

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

  * 일본(도쿄외곽순환고속도로 일부), 노르웨이(E39 고속도로) 등에서는 SOC 건설사업과 R&D 프로젝트를 연계하는 발주방식 기도입·추진 중

○ **(민간 R&D 역량 강화)** 민·관 협력체계 구축, 경쟁형 기술 개발 등을 통해 민간의 기술 수요 반영 및 R&D 역량 강화

- **(민관 협력체계 구축)** 기술개발 수요 발굴, R&D 성과의 원활한 활용 방안 마련 등을 위한 'R&D 민관 협력체계' 구축

- **(경쟁형 기술개발)** 기업의 기술개발 참여 촉진, R&D 역량 강화를 위해 경쟁방식*의 기술개발 촉진

  * 특정 주제를 다수의 연구기관이 경쟁하며 연구를 수행하고 평가를 통해 기관별로 연구 지속·탈락·차등 지원 실시(사례 Google 루나 × 프라이즈)

○ **(수요 대응형 R&D)** 사업 기획시 시장 심층조사와 시장수요, B/C 분석을 의무화하여 수요에 대응하는 R&D 강화

□ [전략 3 세부] 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화

○ **(BIM 활용)** 도로·철도 등 인프라 분야에 대한 BIM 도입 전략 및 설계기준 등을 마련하여 인프라 BIM 활성화 추진

- **(기준 정비)** 인프라 BIM 적용 확대를 위해 BIM 설계기준 제·개정 및 사용 주체별·공사 단계별 가이드라인 등 마련 추진

  * 공통 포맷 작성·검토·검증 시스템, 모델링 기준, 시방서, 설계요령 등

- **(활성화 방안 마련)** BIM 적용을 활성화하기 위한 로드맵 수립하고, '20년까지 500억 이상 도로사업에 대해 BIM 적용 의무화 추진

○ **(Big Data 유통)** 계획·실행(설계, 시공)·운영 단계 정보를 축척·유통하여 설계단계의 가상 건설·운영, 운영에 최적화된 설계 도모

- **(데이터 표준화)** 각 기관이 보유하고 있는 이미지 자료, 비정형 정보를 유통 가능성, 활용성 제고를 위해 건설정보 표준화 추진

- **(Big Data 관리)** 스마트건설의 기반이 되는 통합플랫폼* 관리 및 정보 유통 활성화를 위한 '(가칭)건설정보 공사' 설립 검토

* 현재 민간에서 개별적으로 개발 중인 BIM 설계 프로그램, RFID 자재·노무 관리 시스템, 자동화 장비 등을 유기적으로 연계하여 활용할 수 있는 시스템

○ **(Big Data 활용 기술개발)** 건설CALS, 공간정보 등 다양한 데이터 시스템을 연계·분석하여 인프라 관리 효율화, 대국민 서비스 실시

- **(CALS 민간적용 확대)** 민간 건설관리시스템과 정보연계를 위한 표준개발 및 API* 공개로 민간의 CALS 를 활용한 응용프로그램 개발 유도

  * 응용프로그램 개발 지원 도구(Application Programing Interface): 외부 프로그램에서 CALS에 접근과 정보를 활용할 수 있도록 지원하는 도구

- **(모바일 CALS)** 모바일을 이용한 건설사업관리* 기능을 강화하고, 용지보상, 시설물점검 등에도 활용 가능한 모바일 시스템 개발

  * 보상기본조서 작성 등 현장지원 기능, 시설물 유지관리 결과정보 확인기능 등

- **(도로 안전 확보)** 도로 파손, 교통사고 원인인 과적차량 운행 감소와 도로변 비탈면 안전 확보를 위한 기술 개발

  * CALS, 도로관리시스템, 공간정보·행정정보 등을 연계, 도로점용 가능여부 분석

○ **(제도 유연화)** 분야간 통합, 신기술 활용 등 활성화를 위해 계약·발주방식, 대가기준 등을 유연화하고 설계·시공 통합 발주 활성화

바. 한국판 뉴딜 종합계획 2.0

□ 추진배경 및 필요성

○ 코로나 이후 양극화 해소를 위한 추가적 노력 필요

- 코로나19 충격이 저소득층·청년 등 취약계층에 집중*되는 등 위기 이후 양극화 심화 우려

  * 시장소득 5분위 배율: ('19.3/4) 11.24 (4/4) 10.56 ('20.1/4) 14.77 (2/4) 14.38 (3/4) 13.08 (4/4) 11.85 ('21.1/4) 16.20

  • 코로나19로 인한 학습결손* 및 가정환경·소득수준에 따른 돌봄·문화 격차 심화, 미래인적자산인 청년의 고용·소득 주거 불안이 가중**

  * 20년 국가수준 학업성취도 평가(중3·고2) 결과, 1수준(기초학력 미달) 학생 비율 증가('21.6월)

  ** 청년 취업자수 증감(만명, 전년비): ('19) 4.1 ('20) △18.3 ('21.1분기) △10.3
  청년 학자금 체납규모: 2.7만명, 322억원('19) → 3.6만명, 426억원('20)

- 고용·사회안전망 강화와 사람투자를 통해 격차를 완화해 왔으나 양극화 심화 현상 해소를 위해서는 추가적인 노력 필요

○ 경제·사회 구조 전환을 가속화하기 위해 선제적 대응 필요

- 온라인·비대면 수요 확대로 全분야 디지털화 급속히 확산, 기후변화 대응을 위한 친환경·저탄소 경제

로의 전환 추진 중

- SW 등 신성장 분야을 중심으로 인력수요 급증*

  * SW 인력채용은 SW산업에서 연평균 9.2%, 他산업에서도 19.5% 증가(SW정책硏, '17~'19년)

- 이러한 구조 전환을 가속화하기 위해 선제적인 사업구조 개편 및 인력이동 지원 필요

  - 범부처 통합 수요발굴 등 전략적·선제적 사업구조 개편 지원체계 구축, 효과적인 노동이동을 위한 지원체계 마련 필요
  - 인재양성 확대를 통해 수요에 대응하고, 전국민 역량 제고도 병행

○ 전 세계적인 디지털 경쟁에서 선도적 지위 유지 필요

- 선제적인 디지털 뉴딜 추진('20.7월)으로 우리나라는 글로벌 디지털 경쟁에서 우위를 선점
- 그러나 최근 美·EU 등 주요국들은 초고속 통신망·AI 등 대규모 투자 계약을 경쟁적으로 발표

〈표 2-37〉 주요국 디지털 분야 투자 계획

- (美) 바이든 정부 2조 달러 인프라 재건 계획 발표(American Job plan, '21.3월) * 초고속 통신망 구축 및 AI 등 신기술 R&D에 대규모 투자 - (EU) '2030 디지털 컴퍼스('21.3월), 호라이즌 유럽(Horizon Europe) 등 디지털전환 추진 * 디지털 기술인력 양성, 5G 등 디지털 인프라 구축, 디지털 비즈니스 전환 등 - (中) 14차 5개년('21~'25) 계획 발표('21.3월), 디지털 중국 건설을 표명 * 5G 네트워크, AI 등 디지털 신인프라에 대한 투자 확대(9조 위안, ~'25)

* 자료 : 한국판 뉴딜, 관계부처 합동(2021.7)

- 우리의 선도적 지위를 공고화하기 위해 뉴딜의 보완·발전 필요

○ 탄소중립의 전략적 중요성 증가

- 25개국의 공식적인 탄소중립 선언*과 기후정상회의('21.4월), P4G 정상회의('21.5월) 개최 등 탄소중립이 글로벌 뉴노멀로 정착

  * 英('19.6), 佛('19.11), EU('20.3), 中('20.9), 日('20.10), 韓('20.10), 美('21.1) 등

- 전세계적인 흐름에 동참하는 한편, 탄소중립을 전략적으로 활용하여 미래 성장동력으로 육성

〈표 2-38〉 주요국 탄소중립 추진 동향

- (EU) 유럽연결 프로젝트(Conecting Europe Facility, '21.3월) 발표, * 초고속 통신망 구축 및 AI 등 신기술 R&D에 대규모 투자 - (EU) '2030 디지털 컴퍼스('21.3월), 호라이즌 유럽(Horizon Europe) 등 디지털전환 추진 * 디지털 기술인력 양성, 5G 등 디지털 인프라 구축, 디지털 비즈니스 전환 등 - (中) 14차 5개년('21~'25) 계획 발표('21.3월), 디지털 중국 건설을 표명 * 5G 네트워크, AI 등 디지털 신인프라에 대한 투자 확대(9조 위안, ~'25)

* 자료 : 한국판 뉴딜, 관계부처 합동(2021.7)

□ (주요사업) 디지털 뉴딜 - 메타버스 등 초연결 신산업 육성

○ 메타버스·지능형 로봇 등 ICT융합 비즈니스 파격 지원

- **(메타버스)** 개방형 메타버스 플랫폼 개발 및 데이터 구축*, 관광 유니버스 등 다양한 메타버스 콘텐츠 제작 지원 추진

  * 플랫폼에 내재된 데이터와 저작도구를 제3자 기업이 새로운 서비스 개발에 활용할 수 있도록 공개

- **(지능형로봇)** 농어촌 고령화, 감염병 확산 등 사회적 문제해결을 위한 5G·AI 기반 로봇·서비스 융합실증 신규 추진

○ 클라우드·블록체인·사물인터넷 등 디지털시대 기반기술 육성

- **(클라우드)** 공공수요가 높은 클라우드 서비스 개발 및 보안인증 취득 지원으로 공공부문 민간 클라우드 전환 촉진

  • 민간 기업의 생산성 혁신 및 업무 연속성 보장 등을 위해 SW 기업의 SaaS* 전환 지원

  * 서비스형 소프트웨어(Software as a Service) : 하드웨어나 소프트웨어 등 IT 자원을 소유하지 않고 인터넷에 접속해서 빌려쓰는 서비스 방식

- **(블록체인)** 대규모 확산 프로젝트 추진 및 '기술혁신지원센터' 구축으로 산업초기 성장지원, 블록체인 특성을 고려한 제도개선 병행*

  * 블록에 기록된 개인·위치정보는 정정·삭제가 불가능 → 시간·비용·기술적 한계를 고려하여 개인·위치정보의 파기방법을 폭넓게 인정(개인정보보호법·위치정보법 시행령 개정)

- **(사물인터넷)** 지능형 IoT* 서비스 발굴 및 수요기관 적용·확산을 지원하고, 신기술 실증을 위한 테스트베드 제공

  * 사물이 센싱·전송한 정보를 AI·빅데이터 기반 분석·예측하여 원격·자율제어

- **(기타핵심기술)** 차세대 양자인터넷 구축으로 디지털 한계 극복, AI 신뢰성 확보, 보이스피싱 방지 등 디지털 역기능 대응도 병행

□ (주요사업) 디지털 뉴딜 - SOC디지털화

○ 4대 분야 핵심 인프라 디지털 관리체계 구축

- 자율주행생태계 육성을 위하여 레벨4 자율주행차 제작기준* 및 보험제도** 마련을 위한 연구 등을 추진('21.5~)

  * 주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발('21~'27)

  ** V2E 인지판단 안전성 및 사고대응 평가기술 개발('21~'26)

○ 도시·산단의 공간 디지털 혁신

- **(스마트시티)** 데이터 확보·융합 극대화를 위한 통합플랫폼 기반의 데이터허브 확대 구축 및 AI-IoT

연계·활용방안 연구 추진

- **(스마트산단)** 혁신데이터센터 간 데이터 활용방안 공유, 스마트 제조 전문인력 양성을 위해 기업 현장 교육, 온라인 교육 등 지원
  - 코로나19로 인한 학습결손* 및 가정환경·소득수준에 따른 돌봄·문화 격차 심화, 미래인적자산인 청년의 고용·소득 주거 불안이 가중**

○ 스마트 물류체계 구축

- 수출입 물류 효율화를 위해 인공지능, 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술을 활용하여 항만 물류 인프라 디지털화
  - 해상-항만-육상 물류를 인공지능 기술로 연계·최적화하는 서비스 기술 개발 추진('22~'25)
  - 항만 화물이송의 효율성 향상을 위해 항만내 환적화물 자동운송시스템(무인트렘) 및 자율협력주행 기반 화물이송시스템 개발 추진('22~'24)

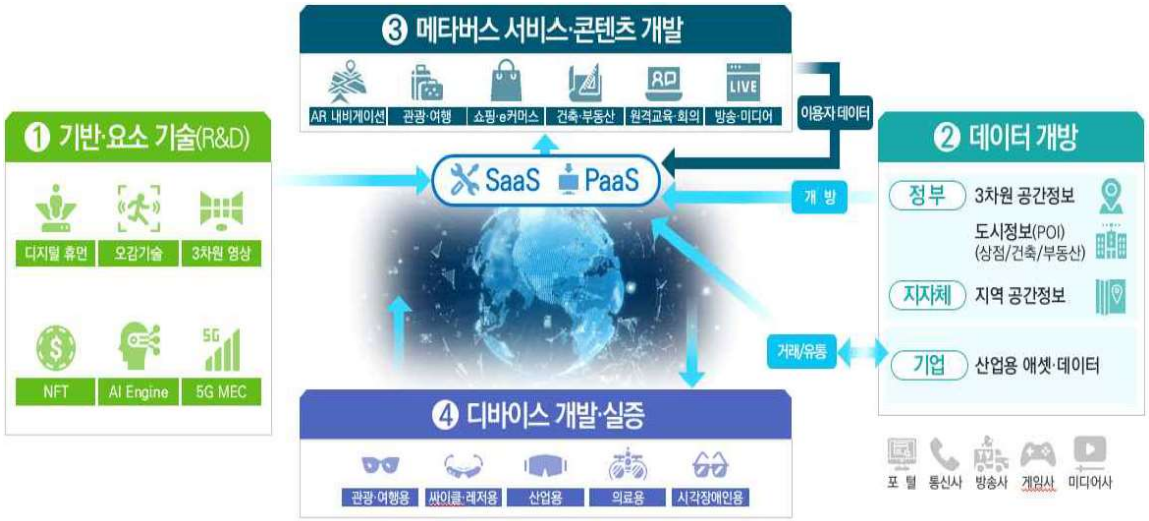
□ (대표과제) 디지털 초혁신(Hyper Innovation) 프로젝트

○ 메타버스·디지털 트윈·클라우드 등 미래 초연결·초지능·초실감 시대로의 대전환을 선도할 핵심 신산업·기술의 성장기반 조성

- **(메타버스)** 개방형 메타버스* 플랫폼 개발 및 데이터 구축**, 다양한 메타버스 콘텐츠(예: 관광 유니버스) 제작 지원 등 생태계 조성

* [메타버스(Metaverse)] : 현실·가상이 결합된 '초월(meta)세계(verse)'를 의미, 5G와 가상기술(AR,VR)을 토대로 여가생활과 경제활동을 하는 가상융합공간으로 부상

** 플랫폼에 내재된 데이터·저작도구를 제3자 기업이 새로운 서비스 개발에 활용하도록 공개



* 자료 : 한국판 뉴딜, 관계부처 합동(2021.7)

[그림 2-37] 개방형 메타버스 플랫폼 생태계 (예시)

- **(디지털트윈)** 다양한 산업 분야별 디지털 트윈 서비스 적용·실증* 및 환경·안전 등 복잡한 사회문제 해결을 위한 연합기술개발**

  * 소·부·장 제조혁신 및 작업현장 개선('21~), 지하배관 개선 및 풍력발전 설계 등('22~)

  ** ①대기·교통 등 각 트윈별 수요데이터 선별 → ②클라우드를 통한 가공 → ③연합 플랫폼상 시뮬레이션을 거쳐 최적의 문제해결 솔루션 도출 및 제공('22~)

- **(지능형로봇)** 농어촌 고령화, 감염병 확산 등 사회적 문제해결을 위한 5G·AI 기반 로봇·서비스 융합실증 신규 추진

- **(사물인터넷)** 지능형 IoT* 서비스 발굴 및 수요기관 적용·확산을 지원하고, 신기술 실증을 위한 테스트베드 제공

  * 사물이 센싱·전송한 정보를 AI·빅데이터 기반 분석·예측하여 원격·자율제어

* 자료 : 한국판 뉴딜, 관계부처 합동(2021.7)

[그림 2-38] 스마트 안전관리 연합 트윈 활용도(안)

사. 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

□ 추진배경 및 필요성

○ 국토교통 과학기술에 관한 장기적·종합적 정책방향 설정을 통해 4차 산업혁명을 새로운 도약기회로 활용하여 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술 개발 전략 수립

□ [전략 1 세부]초연결 도시 구현 기술 개발

○ **(스마트시티)** 도시 전체를 센서 및 네트워크로 연결하고 데이터 통합·관리·제공 플랫폼을 구축하여 민간이 다양한 서비스를 창출할 수 있도록 지원

- **(센서)** 건물, 인프라 등 도시 구성요소에 대한 실시간 데이터를 수집·제어하는 지능형 센서 등을 도시에 적용하여 관리 효율성 제고
  - 도시 인프라에 적합한 초저전력·초소형·지능형 센서 등을 연계·활용하여 스마트시티 관리 비용 최소화 도모
  - 도시 내 상태 및 활동들을 스스로 판단하는 자동감응형 관리센서 등을 연계·활용하고, 센싱 정보의 빅데이터화를 통해 도시 시설물의 종류나 성능에 따른 차별화된 관리기법 등을 개발
- **(네트워크)** IoT 광역 네트워크 기술 검증·활용으로 사람-도시-사물 초연결 신경망을 구축하고, 보안기술 강화로 경제·사회적 비용 최소화
  - 센서 특성별로 스스로 통신방식을 변화하는 자율지능 IoT 네트워크 등을 검증·활용하고 저전력·장거리화 하여 도시 운영비를 최소화
  - 보안 머신러닝(Machine Learning)* 개발 및 실증 등으로 센서나 CCTV 등에서 수집되는 각종 정보의 안전한 연계·유통환경 마련

    * 범죄발생 징조 등을 학습하여 해커 침입을 사전 탐지·대응하는 기술
- **(플랫폼)** 도시 인프라·통합정보와 시민활동 데이터를 패턴 분석하여 지식체계화하고, 개방형 플랫폼을 구축하여 도시 정보의 접근성 향상
  - 클라우드(Cloud) 기술을 바탕으로 주거, 빌딩, 제조, 교통, 에너지, 농업 등 분야별 IoT 표준과 개별 서비스를 통합하는 플랫폼 구축
  - 빅데이터 기반 온톨로지(Ontology)* 구축 등 인공지능을 통한 도시서비스 제공 기반을 마련하고, 엣지 컴퓨팅(Edge Computing)** 기술 등을 고도화하여 제공서비스의 실시간 대응성 강화

    * 집단에서 합의된 지식을 컴퓨터 언어로 표현한 것으로 “컴퓨터가 읽을 수 있는 백과사전”

    ** 센서에서 수집된 데이터를 지연시간 없이 현장에서 바로 분석·처리하는 기술

- **(관리)** 물 - 에너지 - 식량 등 도시 자원을 효율적으로 생산·분배하고, 순환형 관리 시스템 등을 통해 지속가능한 스마트도시 관리 유도
  - 스마트 검침(Metering), 워터·히트·전력 분산형 그리드 기술 등 다양한 자원 관리 실증 프로그램을 적용하여 도시자원 최적화

□ [전략 2 세부] 융합기술을 통한 건설 지능화 실현

○ **(AI 기반 설계·관리)** 우리나라의 약점인 설계·엔지니어링 분야의 경쟁력 확보를 위해 AI 등 4차 산업혁명 기술을 융·복합한 설계·엔지니어링 新모델 개발

- **(설계)** 가상현실(VR), 증강현실(AR), 컨텐츠로 변환가능한 BIM(Building Information Modeling) 기술 등을 통해 설계 검토·검증 프로세스 혁신
  - BIM 설계·시공 기술을 기반으로 설계 → 최적화 → 검증 등 건설 과정 전반을 가상현실화하고, 건축 모형→시제품 등의 제작을 디지털화하여 비용 및 시간을 획기적으로 단축
  - 인공지능을 기반으로 각종 건축조건(법규, 예산, 용적율, 고도제한 등)을 고려한 설계(안) 제작·검증기술 개발 등으로 설계자동화 실현
- **(엔지니어링)** 건설 프로세스 중 다양한 비정형 데이터를 DB화하고 원가·공정·품질관리 등 엔지니어링 요소 최적화 플랫폼 개발
  - 엔지니어링 요소 최적화 뿐 아니라 각 프로젝트별 경험 지식의 디지털화 기술 개발을 통해 예산 배분, 신규사업 기획, 조달관리 등에 사용할 수 있는 “건설 통합관리 플랫폼”으로 단계적 확장

○ **(건설 자동화)** 건설 시공 효율성 향상을 위하여 3D 프린팅용 복합재료, 건설로봇 등 새로운 재료·장비를 개발하고 유지관리 자동화 기술 개발

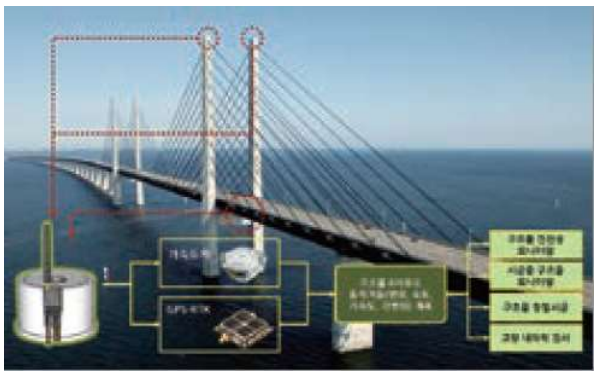
- **(재료)** 3D 프린팅을 위한 건물·구조물 설계, 재료 및 장비 개발을 통해 공기단축 등의 건설 효율성을 향상
  - 3D 프린팅용 건설 복합재료, 3D 프린팅 설계·제어기술 등을 활용한 중소형 건축물, 보행 교량 등의 시공으로 건설 생산성 향상
- **(시공)** 현장 맞춤형 자율계측·관리 시스템, 자율구동 건설 장비·로봇, BIM 기반 시공 검증·평가기술 개발 등으로 안전 및 효율 향상
  - 다중센서를 기반으로 시공 중 작업자 및 구조물 사전위험도 감지기술 등을 개발하고, 위험지역에서 노면 굴착, 건물 철거 등을 자율 수행하는 건설장비·로봇제어기술 등 개발
  - 자동굴착 토공장비, 무인 크레인, 지능형 슬립폼(Slip-Form) 등 기존 건설장비 첨단화와 건설장비 관리시스템 개발도 병행 추진

- **(유지관리)** 센서 네트워크를 통한 빅데이터 기술로 선제적 유지관리시스템을 구축하고, 자기치유 건설재료 등으로 시설물 장수명화
  - 비파괴 방식 시설물 내부 손상 감지·진단과 인공지능을 이용한 시설물 빅데이터 분석 등으로 잔존수명 및 유지관리 최적시점 예측
  - 바이오 기술을 활용한 자가진단·자기치유 콘크리트, 나노 고분자 복합 스마트 건설재료 개발 등으로 시공·유지보수 비용 최소화

□ [전략 2 세부] 고부가가치 건설기술 창출

○ **(고부가가치 인프라)** 해외시장 수익성 제고 및 수주 독점영역 창출을 위해 대규모·고난이도·고부가가치형 新형식 인프라 건설 원천기술 확보

- **(교량터널)** 신형식 메가 스트럭쳐 개발 및 엔지니어링 기술 국산화 등을 통해 건설시장의 주력상품인 터널, 교량 분야 경쟁력 지속 확보
  - 대형 TBM(Tunnel Boring Machinr, Φ15m 이상) 제작·운영 기술 개발과 함께 복층터널, 대심도 해저터널 등 기술 개발 및 실증
  - 초장대 교량, 플로팅 구조물(인공섬 포함) 등의 기획·설계·조달·운영관리·해체 등 전주기 고부가가치 엔지니어링 패키지 기술 국산화
- **(특수구조물)** 우주, 극한지·극서지 등 극한환경에서도 운용가능한 특수목적 구조물 설계·시공·재료 기술 개발
  - 남극·달 기지 등 극한지용 재료 및 건설 기술을 개발하고, 극저온, 고온·고습도 등에서 견딜 수 있는 저장탱크, 파이프라인 기술 등 개발
- **(지하공간)** 지하공간 구축 기술과 가스, 상·하수도 등 지하 라이프라인의 건설·유지관리 기술 개발 등을 통해 도시공간 효율 증대
  - 교통시설, 상업·공연시설 등이 복합된 대심도 지하입체 대공간 구축·유지관리 기술과 지중 인프라 및 인접 구조물 피해 방지 기술 개발
  - 지반정보와 연계한 지하 관망 설계·시공기술, 관내 상태 진단·보수 로봇, 노후 관망의 非개착식 신설·교체 장비 및 공법 등 개발



〈초장대 교량 전주기 패키지 기술〉

〈극한지 자원이송 플랜트〉

* 자료 : 국토교통 R&D 과제 중간보고서 및 발표자료에서 발췌 및 재구성, 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018-2027), 국토교통부(2018)에서 재인용

[그림 2-39] 고부가가치 건설기술(예시)

2.2.3 기술 개발 동향

가. 대수심 횡단 장대교량 기술의 세대별 변천

□ (1세대) 주경간 0.5㎞ 이하 교량

○ **(사회환경)** 근대 도시가 형성되고 인구 및 교통량이 비약적으로 증가하며 전철 등 대중교통과 자동차가 조급되기 시작한 시기

○ **(기술 특징)** 주경간 0.5㎞ 이하의 교량이 주를 이루었으며 아이바(Eye-bar) 체인에서 와이어스트렌드로 설계 형식이 변화

- 비틀림 유연성 문제에 대응하기 위해 트러스 보강형과 추가적 사장케이블 적용 시작
- 주로 경험적 설계와 연속체 해법을 활용한 기획/설계가 주름 이루던 시기

[그림 2-40] 1세대 교량 특징

□ (2세대) 주경간 1㎞ 이상 교량

○ **(사회환경)** 산업화와 대량생산이 본격화 된 1900년대 초반의 시기로 본격적인 현대 사회로의 전환이 시작된 시점

- 도시 지역을 중심으로 고층건물이 건축되기 시작하며 마천루(Skyscraper)가 형성되기 시작
- 말을 대체하는 자동차의 보급 확산은 고속도로 인프라의 확대로 이어지며 본격적인 산업화 시대로의 전환을 맞이

- 기존 대비 대량의 화물을 수송 가능한 자동차, 기차 등의 물류수단의 활용으로 물류량이 폭발적으로 증가하며 경제규모도 급격히 성장

○ **(기술 특징)** 주경간 1㎞ 이상의 교량이 주를 이루는 세대

- 기존 와이어스트렌드보다 강도가 높은 강선 케이블이 활용되기 시작하였으며 안정성 향상을 위한 트러스 보강형, 보강 거더형 교량 개발 본격화
- 1㎞이상 장대교량 개발을 위해 기존과 다른 수학적 모델과 수치 계산을 활용한 설계가 본격적으로 적용되기 시작

  * 현재 교량 설계의 기초라 할 수 있는 선형탄성이론, 현수교 처짐이론 등이 이 시기에 정립

- 교량전문 기술자(엔지니어)에 대한 교육도 본격화 되기 시작한 시기
- 2세대 교량으로는 금문교(Golden Gate Bridge. CA, 1937년, 주경간 1,280m)와 Tacoma Narrow Bridge(WA, 1940년, 주경간 853m) 등이 대표적 사례

[그림 2-41] 2세대 교량 특징

□ (3세대) 주경간 2㎞ 이상 교량

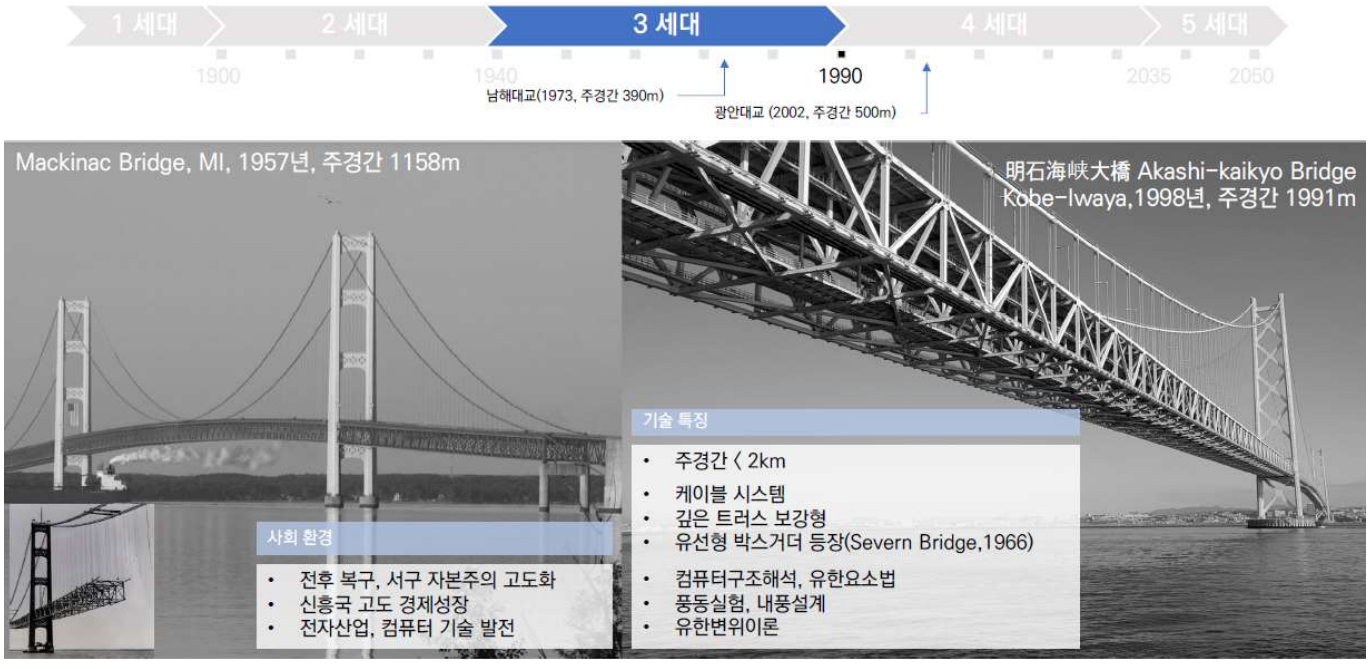
○ **(사회환경)** 1900년대 중반 2차 세계대전의 종전 후 전후 복구와 서구 자본주의에 의한 경제성장 본격화

- 미국, 러시아(구 소련) 등 신흥국이 경제와 정치 모든 측면에서 세계를 주도하며 국제정세가 급격하게 바뀌기 시작
- 컴퓨터가 등장하였으며, TV·라디오 등의 미디어 매체가 본격적으로 일상생활에 침투

- 우리나라는 6·25를 겪은 시기이며, 중국의 공산주의 기반 성장, 일본의 패전 후 경제 회복 등이 주요 이벤트가 발생한 시기

○ **(기술 특징)** 주경간 2㎞ 이상의 교량이 주를 이루는 세대

- 교량 건설에 케이블 시스템이 보편화 되었으며, 깊은 트러스 보강형 교량 건설 확산
- 유선형 박스거더 교량이 처음 등장(Seven Bridge, 1966)한 시기
- 컴퓨터를 활용한 교량 구조해석, 유한요소법 등 전자기기는 과거 대비 복잡하고 정확성을 요구하는 계산이 가능하도록 해 주어 설계 측면에서 교량 안전성 증대
- 교량이 길어지면서 풍동실험, 내풍설계 등 자연환경의 영향에 대해서도 고려하기 시작
- 유한요소법에 의한 대표적 현수교 해석 기법인 유한변위이론이 등장
- 3세대 교량은 Mackinac Bridge(MI, 1957년, 주경간 1158m)와 Akashi-kaikyo Bridge(Kobe-Iwaya, 1988년, 주경간 1991m) 등이 대표적
- 우리나라 대표적인 3세대 교량은 남해대교(1973년, 주경간 390m), 광안대교(2002. 주경간 500m) 등이 있음



[그림 2-42] 3세대 교량 특징

□ (4세대) 주경간 2~3㎞ 이상 교량

○ **(사회환경)** 2000년대 이후 현재 시기로 ICT 기술 발전에 의한 사회, 경제, 문화 등의 변화가 주요 이슈

- 경제성장 시기 건설된 선진국의 도로, 교량, 터널, 마천루를 이루는 건축물 등 주요 인프라들의 노후

문제가 본격적으로 등장하며 건설 유지보수의 중요성 대두

- 4차 산업혁명은 생산, 제조, 서비스 등 모든 산업 분야에서 융합을 통한 효율성과 생산성 향상을 야기하며, 새로운 사회와 경제구조로의 전환을 촉진 중

○ **(기술 특징)** 주경간 2~3㎞ 교량이 주를 이루는 세대

- 광폭 유선형 다중 박스 거더
- 고강도, 고성능 재료
- 풍동, CFD 등 고도화된 내풍설계
- 비선형이론 및 해석
- 신뢰성기반 설계
- SHM, BIM, CPS, DT, AI/ML 등 디지털 기술 활용

[그림 2-43] 4세대 교량 특징

□ (5세대) 주경간 5㎞ 이상 교량

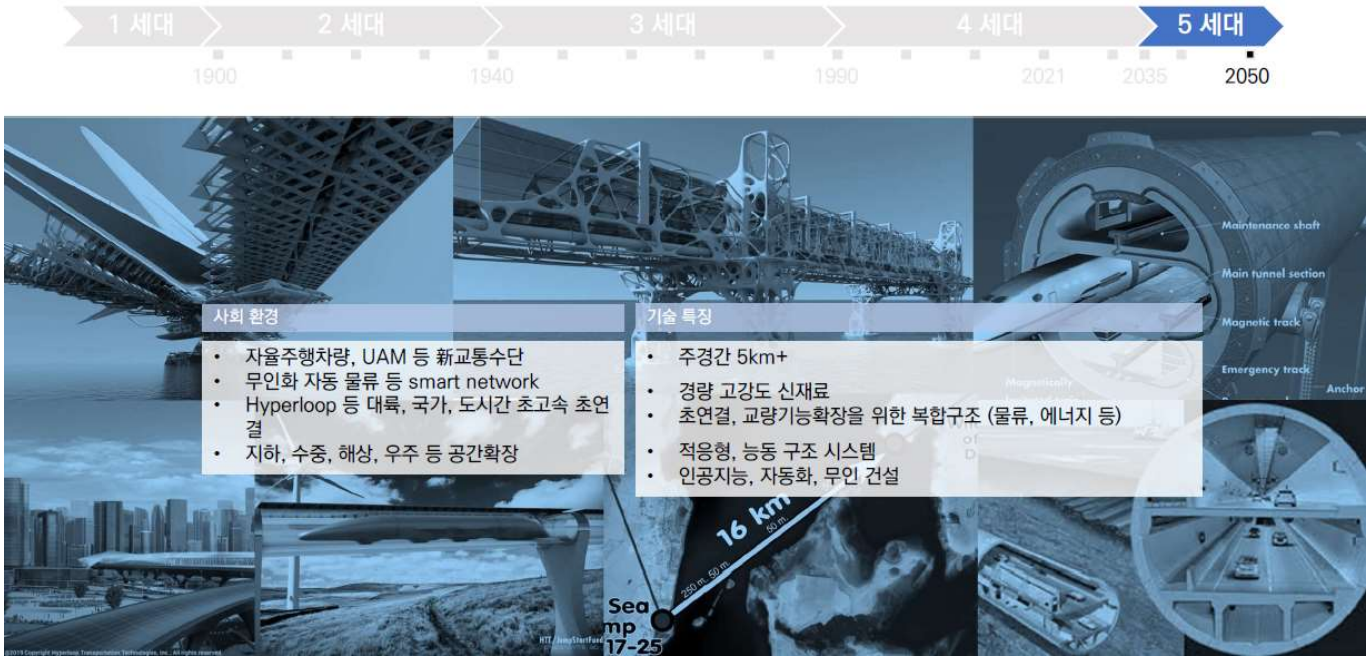
○ **(사회환경)** 50년 이내의 근미래 시대로 4차 산업혁명 이후 기술 중심의 과학사회

- 자율주행차량, UAM 등 신 교통수단이 보편화 되는 등 교통·물류를 시작으로 거의 모든 산업 분야가 인공지능과 로봇의 도입으로 변화
- 인공지능과 로봇이 해결할 수 없는 문제를 해결하거나 대응하는 방향으로 인류의 직업과 연구분야 변화
- 무인화 자동물류 등 스마트 인프라와 Hyperloop와 같은 초고속 이동 수단은 국가와 도시의 개념을 희석시키며 초국경, 초지역 사회로 돌입

- 기존 대지(Land)에서 지하, 수중, 해상, 우주 등으로 인류의 생활 공간 확장

○ **(기술 특징)** 주경간 5㎞ 교량이 주를 이루는 세대

- 길어지는 교량 구간에 대응 가능한 경량 고강도 신재료 적용
- 초연결, 교량기능확장을 위한 복합구조(물류, 에너지 등)
- 적응형, 능동 구조 시스템
- 인공지능, 자동화, 무인 건설



[그림 2-44] 5세대(미래) 교량 특징

나. 국내 초장대교량 기술 경쟁력

□ (3세대) 해외 기술에 의존한 장대교량 기술의 태동기

○ **(사회환경)** 산업화를 통한 고도의 경제성장을 통한 인프라 건설 본격화

- 경공업 중심의 1, 2차 경제개발 5개년 등을 통한 경제 발전
- 본격적인 사회간접자본 및 국토 개발 인프라 건설이 시작되는 시점
- 중공업 기반의 경제개발이 오일쇼크 등으로 인해 막히면서 수출과 건설업의 중동 진출이 장려되었으나, 그로 인해 해외 자본에 대한 의존도가 점차 심해지기 시작함

○ **(기술 수준)** 해외 기술에 의존한 장대교량 건설

- 교량 설계는 외국기술 및 회사의 기술력에 의존함
- 주 시공은 국내 건설사가 수행하였으나 핵심 시공 인력은 국외 기술에 의존함
- 그러나 본격적인 장대교량 핵심 엔지니어링 기술 및 인력이 태동하는 시기

[그림 2-45] 국내 3세대 교량 기술 수준

□ (4세대) 본격적인 국내 자립형 장대교량 기술 개발

○ **(사회환경)** 민주화를 통한 국내자본 성장 및 新 인프라 확충 시작

- 1980년대 이후 이어지던 경제호황이 정점을 이루기 시작하여
- 성수대교, 삼풍백화점 붕괴 등으로 인해 인프라 유지관리의 필요성을 절감하기 시작

- 신공항, 고속도로, 고속철도 등 새로운 인프라가 국가 전체적으로 확충됨

○ **(기술 수준)** 국내 자립기술을 통한 세계 최고 수준의 케이블교량 건설

- 핵심 설계 및 시공 기술의 국산화를 통한 국내 자립형 교량 건설
- 산학연 전반에서의 케이블 교량 연구 인력 양성 본격화
- 선진 기술 학습 및 세계 선도 기술 추격

[그림 2-46] 국내 4세대 교량 기술 수준

□ (현재) 세계 최고 수준의 장대교량 기술 성숙

○ **(사회환경)** 세계 교량 수요의 급증 및 디지털 기술의 발전

- 국내 뿐 아니라 중국, 제3세계 등 새로운 장대교량 수요지가 급증하기 시작함
- 턴키 제도가 도입되며 시공 및 설계사 간의 기술경쟁이 심화됨
- 산업 전분야에서 디지털 기술이 발전함에 따라 토목 인프라에서도 ICT 기술이 본격적으로 도입됨

○ **(기술 수준)** 세계 선도 수준의 기술력 확보

- 핵심 설계 및 시공 기술의 완전 자립화에 성공함
- 국내 공용중인 케이블 교량의 수만 80여개에 이르고 있음
- 중장기 R&D 국책사업을 통한 기술 보유 및 인력 양성 성과의 선순환을 이룸
- 현존 최장 장대교량인 차나칼레의 PPP 사업을 주도하는 성과를 거둠

[그림 2-47] 현재 국내 교량 기술 수준

□ [참고] VC-10 기획 및 초장대교량사업단 R&DB 성과 개요

성과 요약

□ 사업단 개요

○ 장경간 케이블교량 핵심기술 자립화 및 해외 시장 진출을 목표로 출범

- 연구 기간: 2008.12 ~ 2015.12
- 총 연구비: 1,078억 원(정부출연 630억 원, 민간: 448억 원)

□ 주요 성과

○ 초장대교량 설계부터 재료, 시공을 넘어 유지관리까지 우리 기술 확보

- 국내 최고 한계상태설계법이 적용된 설계 기술 확보
- 세계 최고 강도 강선 및 강재 개발
- 세계 수준의 초장대교량 케이블 건설 기술(시공법) 확보
- 세계 최고수준의 유지관리 기술 확보

○ 해외시장 진출 성과

- 핵심요소기술 해외 수주 성공
  - 베트남 밤콩교 및 말레이시아 페낭2교에 유지관리기술 수출
  - 터키 보스포러스 3교에 현수교 케이블 시공법 수출

□ 사업추진효과

○ 기술료 1,938백만원, 매출액 3,611백만원 달성

○ 2016년~2025년의 부가가치 총액은 4,655억 원 규모이며, 생산유발효과는 총 23,108억 원, 고용유발효과는 총 365명에 이를 것으로 전망

□ 향후 추진 과제

○ 통합 Test-bed 확보를 통한 기술 실증 자료 확보 필요

○ 초장대교량 건설기술의 지속적 경쟁력 확보 및 세계시장 진출 확대를 위한 후속과제 발굴

○ 국내 장대교량 산업의 활성화

- 본격적인 연구가 수행된 2000-2010년 이후로 준공 교량수가 5년 단위 기준 3배 이상 꾸준히 증가함
- 2005년 10개 남짓하던 공용 중 케이블 교량의 수가 2021년 현재 93개까지 늘어남
- 해당 R&DB가 국내 장대교량 산업 활성화의 마중물 역할을 하였다 평가할 수 있음

○ 해외 장대교량 시장에서의 성과

- 자립형 장대교량기술을 바탕으로 한 해외 시장에서의 성과 역시 폭발적으로 증가함
- 사실상 전무하던 수주액이 R&DB 이후 최대 170억 USD까지 증가하였음
- 세계 최장 비대칭 3주탑 현수교인 Chacao Bridge, 세계 최장경간 현수교인 Canakkale 1915 Bridge와 같은 교량의 설계 및 시공을 국내 기업이 수주하는 등 질적으로도 세계 최고 수준의 우수성을 갖춤

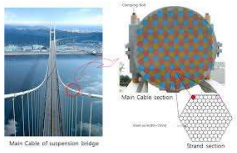
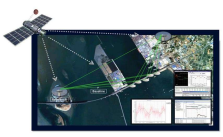
〈표 2-39〉 초장대교량사업단 연구내용

핵심과제	세부과제	내용
(총괄) 기술융합형 장경간 케이블교량 시스템 구축	-	- 각 핵심과제의 원활한 연구진행을 위한 제도적, 행적적 지원 업무 - 핵심과제 연구성과물의 Test Bed 사업 연계 및 실용화를 위한 기술관리 - 사업단 연구 성과물의 대외 홍보 및 전문인력 양성 프로그램 운영
(설계) 핵심엔지니어링 기술 개발	장경간케이블교량 계획 및 설계 핵심기술 개발	- 글로벌 standard에 부합하는 신뢰도 기반 설계 기술개발을 통해 가격경쟁력 확보 및 국제적 기술 선도그룹에 진입하기 위한 기반 구축
	컨버전스형 장경간 케이블교량 모델 개발	- IT/ET등의 첨단기술을 융합한 장대교량 모델을 통해 미래의 장대교량 시장을 선도할 수 있는 차별화 원천기술 확보 - IT를 활용한 지능형 안전시스템을 도입함으로써 차량의 주행안전성을 확보하고 교량 구간 무사고/무재해 구현
	장경간 케이블교량 내풍구조 시스템 개발	- 구조적 안정성 및 경재성을 좌우하는 내풍단면 최적화 기술개발 및 내풍설계 기술 자립 - 교량시스템의 구조적 안정성 및 사용성 확보를 위한 내풍구조 시스템 설계기술 확보
(재료) 고성능 전략소재 및 이용기술 개발	고성능 케이블/강재 및 이용기술 개발	- 세계 최고수준의 고강도 강선 상용제품 개발을 통한 고성능 케이블 시스템 국산화 기반 구축 - 고강도 강재 개발을 통한 물량 절감 도모 및 고내후성 강재를 통한 도장 및 유지관리 비용 절감
	고기능성 콘크리트/포장재료 및 이용기술 개발	- 고기능성 콘크리트 및 현장 타설 기술 실용화로 공사기간 단축 - 박층 교면 포장재료 개발을 통한 고정하중 절감 도모
(시공) 고효율 시공기술 개발	고효율 케이블 가설장비 및 공법 개발	- 장경간 케이블교량 건설의 시장 경쟁력 향상을 위한 고효율 시공법 및 장비 개발
	공기단축형 고주탑 시공기술 개발	- 고주탑 시공의 필수기술인 시공중 형상관리 기술 개발
	비용절감형 대형 해상기초 기술 개발	- 연약지반, 대수심, 빠른 유속에 대응할 수 있는 복합기초 공법의 개발을 통한 해상기초 시공비용 절감 도모
(유지관리) Test Bed 사업지원 및 운영기술 개발	통합형 Test Bed 사업	- 통합형 Test Bed를 통한 사업단 개발기술의 검증
	IT기반 방재 및 유지관리 기술	- IT기술 접목을 통한 장경간 케이블교량의 차세대 운영, 모니터링, 점검시스템 개발

○ 성과명 및 사업화 현황

- 설계, 시공, 재료, 유지관리 전반에 걸쳐 TRL 9단계 수준의 기술 성과를 거두었음
- 각 개발기술은 국가연구개발사업 우수성과로 선정되었을 뿐 아니라 국내외 장대교량 설계 및 시공에서 널리 활용되며 큰 파급효과를 보임

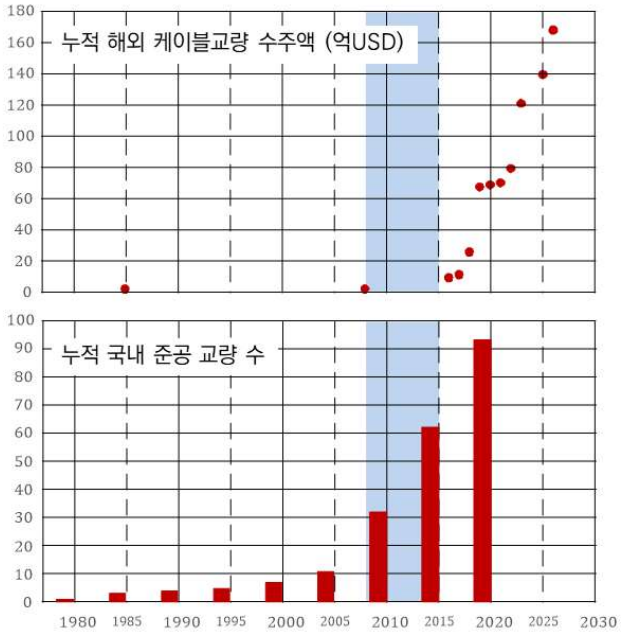
〈표 2-40〉 초장대교량 사업단 대표성과 요약

성과명 (TRL/투입기간/예산)			기술의 내용 및 의의	사업화 현황 및 파급효과
1	초장대교량 엔지니어링 기술(설계, 시공)	한계상태설계법을 적용한 장경간 케이블 교량용 설계지침 (TRL : 9단계/8년/ 156억원)	- 한계상태설계법을 적용한 케이블교량설계기준(설계수명200년) - 확률, 데이터기반 한계상태, 하중조합, 하중계수, 저항계수 등 개발 - 기존 설계법 대비 공사비 5~10% 절감 가능 (개발재료 적용 시 10~15% 절감)	- 「도로교설계기준(한계상태설계법)」을 개정하여, '케이블 교량편' 신설('15.01.01. 이후에 시행하는 모든 설계 용역에 대해 적용) - 1.2km 사장교(거마대교), 2.8km 현수교(여수-남해지역) 시범 설계
		현수교 케이블 공법(AS/PPWS) (TRL : 9단계/5년/ 90억원) 	- 현수교 AS(Air Spinning) 가설장비 및 케이블 형상관리 시스템 개발 - 현수교 PPWS(Prefabricated Parallel Wire Strand) 가설장비 및 케이블 형상관리 시스템 개발	- 해외에 의존하는 케이블 가설장비 및 공법 자립화 - 장비 국산화로 인한 수입대체효과 및 기술료 절감 - AS장비 국산화로 인한 케이블 장비/기술료 약 57%절감 - PPWS장비 국산화로 인한 케이블 장비/기술료 약 35%절감
2	장대교량 핵심요소 기술(재료, 유지관리)	세계최고 강도 및 성능의 강선/강연선 (TRL : 9단계/6년/ 37억원)	- 세계 최고 강도 및 성능의 강선/강연선 개발 - 강선: 2,100MPa(∅5.4mm), 1,900MPA(∅7.0mm) - 강연선: 2,200MPa(∅15.7mm), 2,400MPa(∅15.2mm)	- 2013년 국가연구개발사업 우수성과 100선 선정 - 세계 최고 수준의 고강도 케이블 확보로 해외시장 선도 가능 - 고강도 케이블 적용으로 공사비 절감 가능
		고인성/내후성 교량상판용 강재 (TRL : 9단계/6년/ 54억원)	- 세계 최고 강도 및 고인성의 강재 개발 - 인장강도800MPa 고인성 강재(HSB800L), 인장강도 800MPa 내후성 강재(HSB800W) 및 용접재료 개발	- 2013년 국가연구개발사업 우수성과100선 선정 - 「도로교설계기준」 HSB800L 반영, 「도로교표준시방서」 HSB800L/HSB800W 반영
		GNSS기반 교량 모니터링 시스템 (TRL : 9단계/7년/ 16억원) 	- GNSS(Global Navigation Satellite System)데이터 처리 및 분석 모듈 - GNSS기반 케이블교량 모니터링 시스템	- 말레이시아 제2 페낭대교 적용 - 베트남 밤콩교량 적용 - 중소기업최초 개발기술로 독자 해외사업 수주 - 계측프로그램 관리 및 개발비용 최소화 - 국내 기술자립을 통해 기존 대비 공사비 40%절감 가능

• VC-10(2005)/초장대사업단(2008~2015)의 기여

93 : 공용 중 케이블교량 (2021년 현재)

15.1조원 : 투입 재원



Chacao Bridge, Chile
주경간 1055+1155 m
2025년 완공예정
적용성과:세계 최장 비대칭 3주탑 현수교
설계:AAS JACOBSEN, SYSTRA
시공:현대건설
수주액:6.48억 USD

Çanakkale 1915 Bridge, Turkey
주경간 2023 m
2021년말 완공예정
적용성과:세계 최장경간 현수교
설계:COWI, 평화
시공:대림산업, SK건설, LIMAK, YAPI
수주액:3조 5000억원

[그림 2-48] 초장대교량사업단의 기여와 성과적용 예

다. 최신 교량 건설 시장 동향

대륙간, 국가간, 및 도서간 초연결을 위한 장대교량의 수요는 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 따라 대수심, 초장경간 극복을 위한 기술개발의 필요성 역시 증가하고 있음. 또한, 시장을 선도하는 해외 기술그룹에서는 지속적인 연구개발을 통해 시장의 요구에 대응하기 위한 노력을 지속하고 있으며, 실 프로젝트를 대상으로 한 실용화를 눈앞에 두고 있음.

○ **(메가 스트럭쳐 기술 발전의 고속화)** 대륙간 또는 이에 준하는 초연결 메가 스트럭쳐 기술은 근 미래 기술로 제시되어옴. 주경간장 5km급 메가 스트럭쳐 교량을 위한 차세대 교량 핵심원천기술 개발은 가까운 미래 교량공학의 핵심이자 세계 건설시장 선도 그룹 진입을 위한 필수 요소임

- 현존하는 실체의 장대교량 기술은 아카시 대교가 보여주는 주경간장 2,000m이며, 우리나라도 이순신 대교를 통해 1,500m의 교량기술을 입증하였음

자료 : 위키피디아(https://ko.wikipedia.org/wiki)

[그림 2-49] (좌) 이순신 대교와 (우) 아카시 대교

○ **(아카시 대교)** 현존하는 세계 최장 현수교

- 총 연장길이 3,991m, 주 경간장 1,991m의 초대형 현수교로 건설 당시 일본의 최첨단 내진설계 등이 적용된 기술 집합체
- 보행자는 이용이 불가능한 차량 전용 교량으로 일본의 효고현 고베시에서 아와지시마를 연결

〈표 2-41〉 아카시 대교 제원

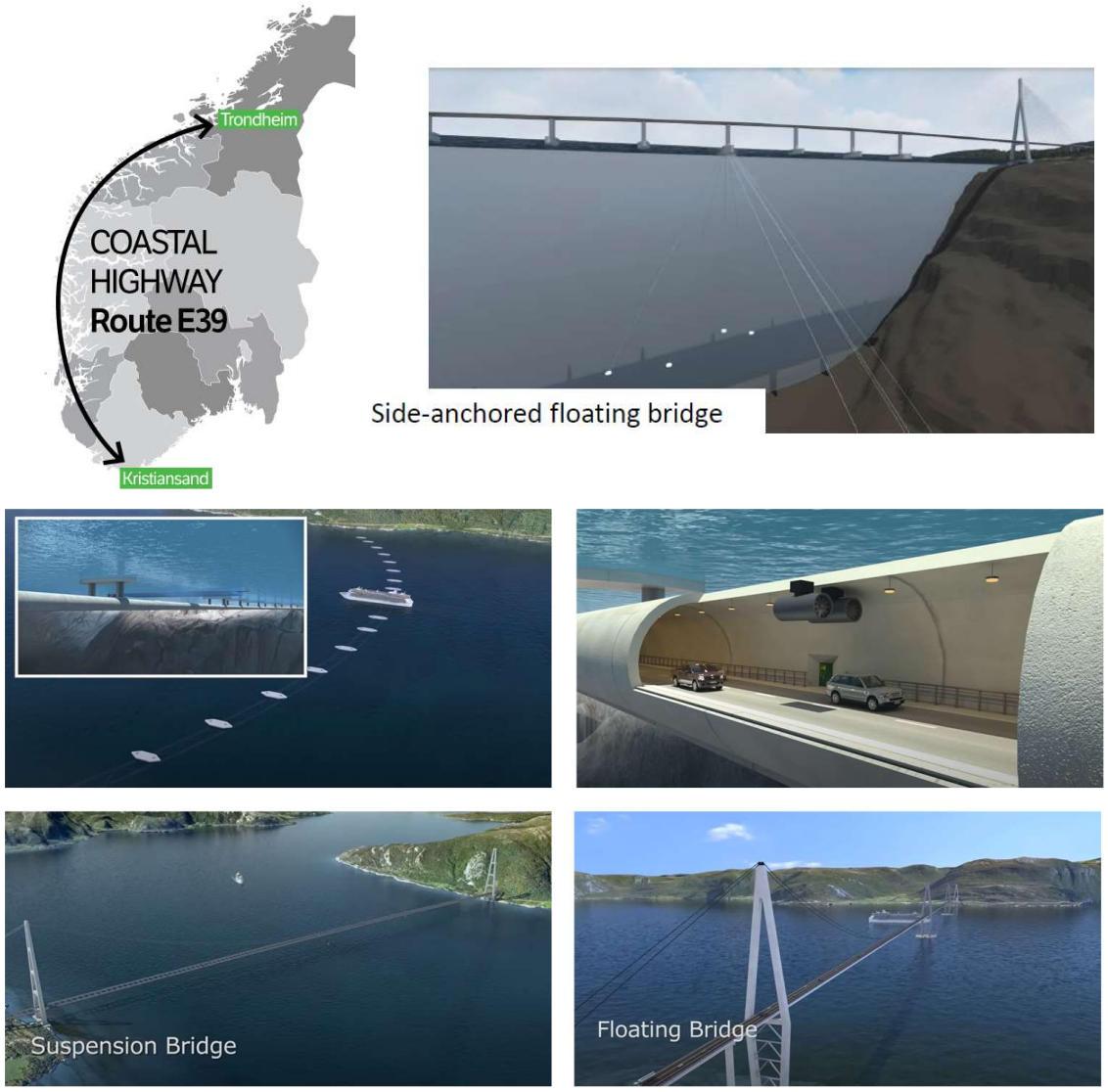
구분	내용
교량명	Akashi Kaikyo Bridge
총길이	3,991m(960m+1,991m+960m)
중앙경간	1,991m(주탑사이)
총철골량	193,200ton
준공일	1998년 4월 5일

- Messina Strait, Gibraltar Strait 교량 등이 최대 주경간 3,000m 이상을 목표로 계획 중이며, 이러한 주경간 추이에 따르면 2030년에는 4,000m까지도 주경간이 증가할 것으로 예상됨.
- 현재 계획 중인 3,000m 이상의 교량 프로젝트는 다음과 같으며, 이 중, Messina Strait 교량의 경우 구체적인 설계 및 시공 계획까지 완료됨.
  - Gibraltar Strait 교(스페인-모로코): 3,500~5,000m
  - 호오유해협대교(일본): 3,000m
  - 츠카루해협대교(일본): 3,000~4,000m
  - Messina Strait 교(이탈리아): 3,300m
  - Sunda Strait 교(인도네시아): 3,000m
- 국내에서도 호남-제주 구간 고속철도 운행에 대한 소요 및 한-중, 한-일 교역 규모 증가에 따른 육상 교통수단 기반의 대륙 간 연결에 관한 수요가 꾸준히 제기됨

[그림 2-50] 대륙 간 대형교량 건설 프로젝트 후보지

○ **(신형식 시스템의 등장)** The E39 Coastal Highway Route

- 노르웨이의 Kristiansand와 Trondheim을 연결하는 총 연장 1100km의 고속도로 건설 프로젝트이며, 2018-2029 국가교통계획(National Transportation Plan, NTP)으로 진행 중.
- 지형적 특성상 수심이 깊은 피오르드(Fjord)를 통과하는 여러 구간이 포함되어 있으며, 대표적인 피오르드는 Sognefjorden로 폭 3.7km, 수심 1300m에 달함.
- 4K급 초장경간 현수교, 부유식주탑 연속현수교, 수중터널 등 다양한 기술적 도전이 진행 중



[그림 2-51] 노르웨이의 E39 Coastal Highway

○ **(필리핀의 도서연결 교량 프로젝트)** 필리핀은 PDP(Philippine Development Plan) 및 IFP(Infrastructure Flagship Project)를 통해 여러 국가개발 사업을 계획 및 진행 중

[그림 2-52] 필리핀의 주요 대규모 교량건설 계획 (National Economic Development Authority)

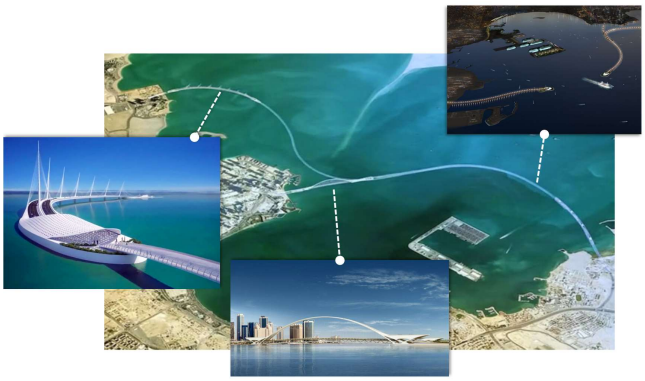
- 진행 중인 대형 사업으로 Nationwide Island Provinces Link Bridges가 있으며, 이를 통해 필리핀의 여러 섬을 교량으로 연결함.
- 필리핀에서 추진 중인 Bil. USD 규모의 주요 대형 프로젝트는 다음과 같음.

〈표 2-42〉 필리핀에서 추진 중인 주요 대형 프로젝트

프로젝트 명	예상 비용 (Bil.$)	예상 기간	비고
Bohol - Leyte Link Bridge	1.4	2021-2027	총 연장 35km 중 교량구간 19km
Luzon - Samar Link Bridge	1.1	2021-2027	총 연장 25.4km 중 교량구간 18.2km
Cebu - Bohol Link Bridge	1.1	2021-2030	총 연장 27.5km 중 교량구간 24.5km
Leyte - Surigao Link Bridge	0.9	2019-TBD	총 연장 23km 중 20km의 교량 및 수중터널 구간

○ **(중동지역에서 추진 중인 대형 교량 프로젝트)**

- Saudi-Egypt Causeway Project : 사우디아라비아와 이집트 사이의 홍해(Red sea)를 횡단(폭 약 16km)하는 4 Bil. USD 규모의 프로젝트. 2016년에 양국이 프로젝트 추진에 합의하였음
- King Hamad Causeway Project : 사우디아라비아와 바레인을 연결하는 총 연장 약 25km, 예산 약 5 Bil. USD 의 프로젝트. 현재 통행 중인 King Fahd Causeway와 나란히 건설되어 교통을 분산시킬 계획이며 2016년에 양국이 프로젝트 추진에 합의하였음
- Sharq Crossing Project : 카타르의 수도 도하 시내와 공항을 연결하는 교량 및 해저터널 프로젝트이며, 3개의 교량과 해저터널로 구성하는 계획으로 총 연장은 약 10km임



[그림 2-53] 카타르의 Sharq Crossing Project

라. 현황 종합 및 시사점

○ **(국내 교량 핵심기술 보유)** 국내에서는 2008년부터 초장대교량사업단 및 케이블교량글로벌기술연구단 등을 통해 초장대교량의 설계, 시공, 유지관리를 위한 핵심기술 자립화에 성공함. 이를 통해 해외 건설시장에서의 낮은 인지도를 극복하고 주요 기술보유국 중 하나로서 자리매김함.

- 당대 최고 수준인 1-2km급 케이블교량 건설을 위해 필요한 핵심기술을 도출하였으며, 다년간의 산학협동연구를 통해 세계 최고 수준의 다양한 초장대교량 핵심기술들을 개발함.
  - 국내 사용환경 및 구조재료의 통계 특성을 반영한 신뢰도 기반 케이블교량 설계기준을 개발
  - 국내 최초 설계, 시공, 건설관리 등 전 공정을 순수 기술로 진행한 이순신대교의 최대 주경간은 약 1,545m로 건설 당시 기준 세계 4위 수준
  - 세계 최초로 2,400MPa의 초고강도 강연선을 활용한 프리스트레스트 콘크리트 기술을 개발
- 이를 바탕으로 국제적 인지도를 확보, 다양한 국제 프로젝트에서 두각을 나타내고 있음.
  - 현대건설은 터키의 '보스포러스 3교' 및 남미 최대인 칠레 '차카오대교' 등을 수주, 초장대교량사업단을 통해 개발한 1960MPa 케이블을 세계 최초로 적용하였음
  - '차나칼레 대교'는 터키 차나칼레에서 다르다넬스 해협을 동서로 횡단하는 교량으로 주경간이 2,023m인 세계 최장의 현수교로 SK건설과 대림산업이 수주함
  - 포스코는 '차나칼레 대교' 건설과 관련하여 터키 최대의 강구조물 제작업체 '심타스 스틸'과 양해각서(MOU)를 체결하고 두께 6mm 이상의 판재 3만 5천 톤을 공급하였음

○ **(국제 경쟁력 확보를 위한 핵심기술의 고도화 요구)** 해외 교량시장에서의 높은 인지도에도 불구하고, 유럽이나 중국과의 기술 및 가격 경쟁에서 향후 지속적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 기개발기술의 지속적인 관리, 고도화, 및 전문인력 배출이 필수적임

- 국내 기업들이 기개발기술을 활용해 해외 현장에 참여함에 따라 시공 및 설계 과정에서의 다양한 공학적 문제들에 당면하지만, 이를 효과적으로 해결할 기술적 전문성은 여전히 부족함.

- 국내 소재 기업들이 우수한 생산 기술을 바탕으로 해외 교량 수주 경쟁에서 최종 후보에 오름에도 불구하고, 기술적/이론적 전문성의 부족함으로 탈락하는 경우가 빈번히 발생
- 즉, 우수한 제품 생산 기술뿐 아니라 각 생산 제품의 품질 관리, 대량생산기술, 각종 해외 시방서 및 코드에 대한 이론적 대응기술이 필요
- 또한, 해외 현장에서 요구하는 풍동실험을 수행할 수 있는 시설이 없어 패스트 트랙으로 진행될 경우 충분한 기술적 검토 없이 시공이 진행되는 경우도 발생
- 국내기술로 교량을 완공하였음에도 불구하고, 향후 운영 과정에서 발생하는 문제를 해결할 전문 엔지니어링 기술의 부재로 인해 해외 전문기술자의 자문이 필요한 실정
- 현장에서의 기술력 부족을 해결하기 위해서는 연구 인력양성을 위한 적극적인 투자가 필요함.
- 과거 초장대교량사업단 및 글로벌기술연구단 등을 통해 산업계 전문 엔지니어들이 학계 전문가와 함께 학술연구를 수행할 수 있었음. 그에 따라 전문성이 대폭 향상되었으며, 실제 당시 배출된 전문 구조공학자들이 현재 각 전문회사 및 해외 현장에서 주역으로 활약하고 있음
- 그러나 지난 몇 년간에 걸친 국내 대형 건설사업의 부재 및 그로 인한 교량 공학에 관한 연구 수요 감소로 인해 전문성을 지닌 기술인력 배출에 어려움을 겪고 있으며, 이는 실제 현장에서의 기술력 감소로 이어지고 있음

○ **(선도적 연구과제를 통한 핵심기술 선점 필요)** 선도기술 개발을 목표로 하는 본 연구는 최첨단, 도전적 연구주제를 통한 파급효과를 지향해야 함

- NASA에서는 최근 우주 공간의 거주지 기술확보를 위해 퍼듀대학교 토목공학과의 Shirley Dyke 교수를 연구책임자로 한 Resilient Extra Terrestrial Habitats institute를 설립함.
  - 5년간 약 170억 원의 연구비가 투입되는 본 연구프로젝트를 통해 연구진은 시스템 차원의 구조물 복원 탄력성 확보, 인간의 시각 및 인식 수준에 준하는 고도화된 시각센서 개발 및 로보틱스 기반의 유지관리 연구를 수행할 계획
- 5K Bridge, 우주 거주지 등의 연구주제는 당면한 산업계 요구를 반영한 사업화에 목적을 두는 것보다 파생되는 연구성과를 통해 해당 분야에서의 선도적 지위를 확보하기 위함.
  - 5K Bridge는 국제적으로도 시도된 사례가 전무한 이상적 구조물로서, 추적연구를 성공적으로 달성한 국내 교량공학계의 향후 선도연구를 위한 지향점이 될 수 있음.
  - 현재 기술 수준을 정밀하게 분석하고, 선도 핵심기술을 선점하기 위해서는 산업계 요구에 기반한 현실적 연구주제를 뛰어넘어 보다 도전적인 연구주제에 대한 고민과 투자가 필요함
  - 5K Bridge 기술의 구현을 통해 지간장 5km의 실제적 건설 외에도 기술의 확보 과정에서의 낙수효과가 신형식 교량의 계획이나 기존 교량의 효율적 유지관리에 크게 기여할 것임

○ **(건설 신재료 개발 필요)** 메가 스트럭쳐의 안전성 및 경제성을 확보하기 위해서는 내부식성의 초고강도 강재, 초고성능 콘크리트, 초경량 포장재료 등의 개발 및 실효성 검증이 요구됨.

- 국내 자립기술로 2km급 케이블교량에 적용가능한 고강도/고성능 재료들을 개발하고 적용하였음
  - 1960MPa급 케이블이 울산대교에 적용되었으며, 이후 2100MPa급 케이블의 시제품/상용품 품질시험을 마침. 그 외 고강도 강재 및 콘크리트, 박층 포장 등 장대교량 핵심기술이 개발됨
  - 한국철도시설공단과 포스코는 저온 파괴인성이 최대 2배 향상되고 강도가 최대 17% 향상된 고성능/저탄소 내후성 강재를 개발, 교량 현장에 적용함
  - 국내 선재 생산업체인 고려제강은 일본 구로사와 건설과의 기술제휴를 통해 세계 최초로 사장교용 아연도금 PC 강연선을 개발, 국내 교량 뿐 아니라 해외 9개 케이블 교량에 공급함
- 그러나 5K Bridge에 적용하기 위해서는 이러한 고강도 재료들의 경제성 및 현장 적용성을 위한 구체적인 설계 가이드 및 글로벌 확장을 위한 설계기준 국제화까지의 고도화가 필요함
  - 포스코의 교량용 판재 생산 능력은 최고 수준이지만, 다양성 측면에서 세계 시장의 수요를 충분히 만족시키지 못함
  - 고려제강의 초고강도 선재 생산능력에도 불구하고 물량 제공의 측면에서 한계를 나타냄. 또한 유로코드에 대한 완전한 기술적 대응의 어려움으로 최종 수주에서 탈락하는 사례가 발생함
- 또한, 친환경적 건설 산업 육성을 위해 환경오염을 최소화하는 시공방법과 친환경 재료개발을 통한 친환경 건설기술 확보가 시급함
  - 스테인리스 강은 내부식성이 높으나 경제성을 이유로 건설 분야에 사용되지 않다가, 최근 기술의 발전으로 가격이 저렴해지면서 영국과 캐나다 등에서 적용되기 시작함
  - 환경영향을 최소화하고 경제적이고 환경 친화적인 콘크리트 재료를 활용하여 지속가능한 건설을 목표하는 세계적인 움직임이 지속적으로 증가하고 있음
  - 현재의 기술수준을 뛰어넘어 5K 수준의 기술을 실현하기 위해서는 현재의 건설재료보다 월등히 고강도이고 경량인 신소재의 개발이 요구됨. 따라서 당장의 시장수요를 초월하는 선도적 신소재에 대한 건설분야 적용 가능성에 대해 연구할 필요가 있음

〈표 2-43〉 고강도/경량 신소재의 물성치

Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Density (g/cm3)
Graphene	N/A	intrinsic 130,000 / engineering 50,000-60,000	1.0
Carbon nanotube	N/A	11,000-63,000	0.037-1.34
Boron nitride nanotube	N/A	33,000	2.62
Aramid (Kevlar or Twaron)	3620	3,757	1.44

○ **(신형식 구조시스템 개발 필요)** 현행 구조시스템으로는 5K Bridge의 구현 가능성이 낮으므로, 신형식 구조 시스템은 목표 달성의 핵심 요소임. 국내외에서 대수심 횡단 시스템 구현 기술을 이용한 장경간 연결 프로젝트가 활발하게 논의되어 왔으나, 구체적인 수행 사례는 미비함

- 현행 기술 및 구조시스템(현수교)에 준한 예비 설계에 따르면, 기존 교량 형식의 5K Bridge 실현 가능성 및 사업타당성은 매우 낮음
  - 고려제강의 최대 선재 강도는 2,060 MPa로, 이를 활용해 5K Bridge를 설계할 경우 주케이블은 자중을 견뎌내기 위해 16㎡의 단면이 요구됨. 이는 Messina Strait 교량의 주케이블 단면의 4배로 현실적으로 구현 가능성이 매우 낮음.
  - CFRP 등의 케이블을 활용할 경우 가능하지만, 가격적인 측면에서 효율성이 떨어짐.

〈표 2-44〉 예비 설계를 통한 5K Bridge 및 대표적인 케이블교량의 제원 비교

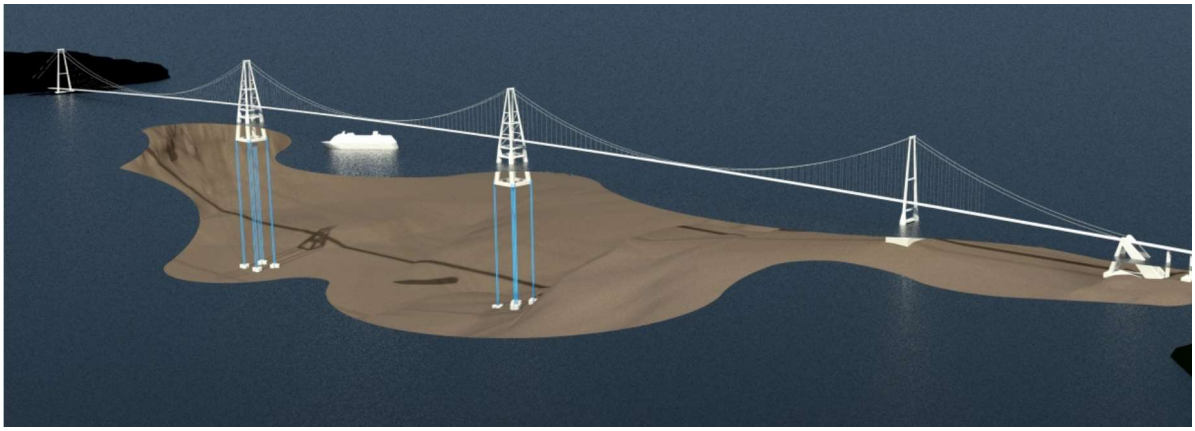
제원	단위	이순신대교	Messina Strait	5K Bridge	Remarks
측경간 길이	m	355.6	183.0	1,200	케이블 지지 구간
주경간 길이	m	1,545	3,300	5,500	
거더 중량	kN/m	136	226	226	사하중
케이블 단면적	㎡	0.2877 × 2EA	1.008 × 4EA	2.0 × 8EA	단위 면적

- 지간장의 한계를 효과적으로 극복하기 위해서는 구조물의 부력과 고정하중 사이의 평형을 활용해 거치된 교각 없이 상부구조물이 자연의 힘에 의해 지지되는 신형식 구조물의 도입이 불가피함.
  - 최근 연구된 Tension Leg Platform (TLP) 기반의 주탑은 대상해역의 지리적 제약을 받지 않아 부유식 케이블교량에 활용할 수 있으며, 특히 지간장이 늘어남에 따라 기하급수적으로 커지는 주탑의 높이와 단면의 효율적 설계를 가능케 할 것으로 기대됨

- 미국과 노르웨이가 부유식 교량의 선도그룹이며, 중국, 인도 및 UAE 등에서도 최근 건설사례가 증가하는 추세임. 해외 부유식 교량을 총 연장길이 순으로 나열하면 아래와 같음

〈표 2-45〉 부유식 교량의 총연장

교량명	총연장	교량형식	위치	준공
Bjønafjord bridge of E39 Fjord Crossing project	5,440 (부유구간=5,130)	Cable-stayed bridge	노르웨이	2022 (예상)
William A. Bugge Bridge	2,398 (부유구간=1,988)	Concrete girder with pontoon	미국	1961
Evergreen Point Floating Bridge	2,310	Concrete girder with pontoon	미국	2016
Lacey V. Murrow Memorial Bridge	1,851	Concrete girder with pontoon	미국	1940
Demerara Harbour Bridge	1,851	Concrete girder with steel pontoon	가이아나	1978
Homer M. Hadley Memorial Bridge	1,772	Concrete girder with steel pontoon	미국	1989
Nordhordland Bridge	1,614 (사장교구간=368)	Cable-stayed bridge with floating tower	노르웨이	1994
Hobart Bridge	961	Concrete girder with pontoon	호주	1943
Bergøysund Floating Bridge	931	Steel truss girder w/ concrete pontoon	노르웨이	1992



[그림 2-54] Tension Leg Platform 기반 주탑 개념도 (DOI: 10.1016/j.marstruc.2017.11.012)

- 다만 이러한 연속교 개념의 다경간 부유식 케이블교량의 성공적 도입에도 불구하고, 주경간 1.0 km의 초장대 케이블교량으로서의 부유식 교량은 건설된 사례가 없음.
- 목포-제주, 한-일, 한-중과 같은 국내 프로젝트는 물론이고, 베링 해협이나 홋카이도 해협 등 해외 선도적 해저터널 프로젝트 역시 논의 및 개념 설계 수준에 그치고 있음.

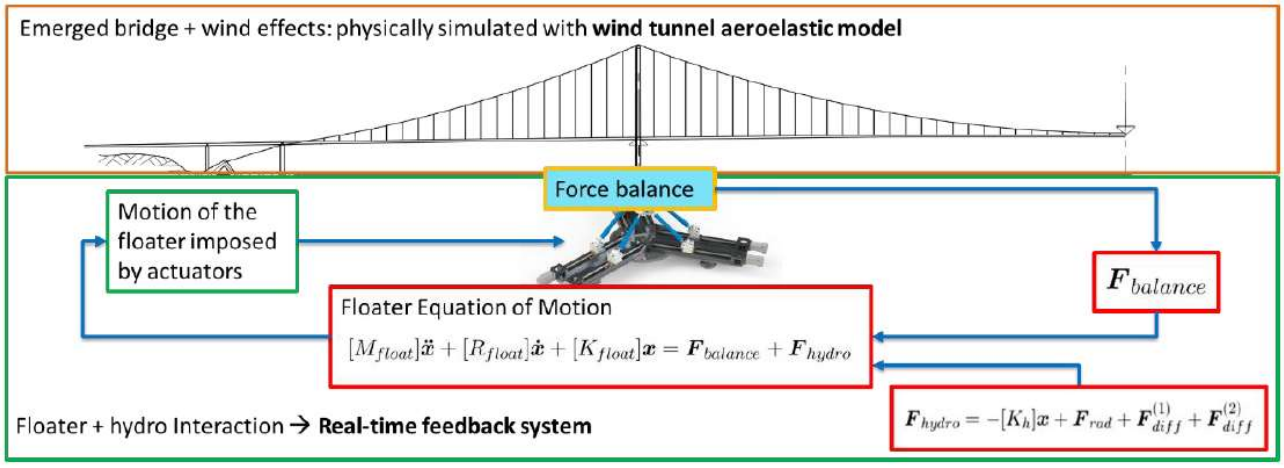
○ **(신뢰도설계법의 적용 현황)** 임의 구조물의 하중-저항계수 결정을 위해 제안한 역신뢰도해석법을 바탕으로, 대수심 5K Bridge의 독특한 하중 특성을 고려한 새로운 신뢰도설계기준 개발이 요구됨

- '19년 교량설계핵심기술연구단은 특정 구조형식에 종속되지 않는 일반적인 하중-저항계수를 결정하기 위하여 한계상태식을 표준화하고 이에 근거한 역신뢰도해석법을 정식화함
  - 기존 설계기법의 재료계수에는 신뢰도 개념이 도입되어 있지 않으며, 유로코드는 파괴점에서의 단위법선 벡터 성분을 철근과 콘크리트에서 동일하게 적용하고 있음
  - 새롭게 제안한 역신뢰도해석법은 결정되는 공칭저항강도를 가장 잘 근사할 수 있는 최적화 기법을 정식화하였고, 이를 통해 다양한 한계상태에서의 최적화된 하중-저항계수를 제시함
- 이를 활용하여 기존의 일반적인 케이블 교량과는 전혀 다른 구조형식 및 하중 조건을 고려한 5K Bridge의 신뢰도 해석 및 하중-저항계수 결정에도 적용할 수 있을 것으로 기대됨

○ **(특수 하중에 대한 교량 성능확보 및 평가기술 확보 필요)** 메가스트럭쳐이자 초유연구조물인 5K Bridge는 자연재해 및 극한하중(태풍, 지진, 충돌, 폭발)과 같은 특수 하중에 대한 보다 높은 안전성을 확보해야 하며 이를 객관적으로 평가할 수 있는 기술개발이 동반되어야 함

- 국제교량및구조공학회(IABSE)에서는 최근 Super-Long-Span-Bridge Aerodynamics를 발족하였으며, 이를 통해 초장대교량의 사용성 및 피로수명에 심대한 영향을 미치는 난류 해석의 정확도 향상을 위한 벤치마크 프로젝트를 진행하고 있음
  - Part 1: 2자유도 교량 데크의 공탄성 해석
  - Part 2: 2차원 풍동실험과의 벤치마크 평가
  - Part 3: 3차원 전교모형 실험과의 벤치마크 평가
- 국내 연구진은 해당 벤치마크 프로그램에 참여하여 기 개발한 시간영역/주파수영역 공탄성 해석기법의 정당성 및 우수성을 입증하였으며, 특히 토론토 대학교와의 협동 연구를 통해 개발한 하이브리드 실험기법을 도입하여 정교한 공탄성 해석변수 추출 기법의 독창성을 검증함.
- 이러한 초장대교량 설계 및 해석을 위한 선도적 기술 개발에도 불구하고, 5K Bridge의 경우 기존 장대교량 설계에서는 심각하게 고려하지 않았던 새로운 내풍안정성 이슈에 대응해야 함.
  - 5K Bridge는 바람에 의한 횡방향 변위 제어가 주요 설계변수가 될 수 있음. 과거 신형식 내풍케이블의 타당성 검토가 수행되었으나 구체적인 설계 및 공탄성 해석은 수행되지 않음
  - 초장대교량 운용의 가장 큰 문제가 되는 사용성 수준에서의 풍피로 평가를 위해서는 정교한 주파수 영역 공탄성 해석을 통한 응력 수준에서의 응답 평가가 요구됨. 또한 플러터 응답 뿐 아니라 교량 내 풍피로를 저감하기 위한 새로운 개념의 단면 최적화가 필요함
  - 기존 하중 뿐 아니라 조류력 및 파랑하중을 동시에 고려한 해석 및 실험기법을 개발해야 함

- 5K Bridge의 지간장 확대에 따른 현존 전교모형 실험의 한계를 극복하기 위하여 Cyber-Physics 하이브리드 풍동실험 및 내풍설계의 개념 정립 및 관련 시스템의 구축이 요구됨
  - 현존하는 하이브리드 풍동실험 기법에 조류력을 동시에 도입할 수 있다면, 제한된 규모의 풍동 내에서도 5K Bridge의 극한 하중에 대한 공탄성 설계를 효율적으로 수행할 수 있음



[그림 2-55] 조류력을 고려한 하이브리드 풍동실험 기법의 개념도 (Argentini et al., 2019)

○ **(4차 산업혁명 관련 기술 도입의 필요성)** AI, BIM, IoT, Big Data, 로봇 등 스마트 기술을 건설 분야에 적용하여 설계-시공-유지관리 전 프로세스를 디지털화, 자동화하기 위한 기술개발이 초기 진행 중이나, 실제 현장 도입을 위해서는 보다 통섭적인 접근법과 적극적인 추진동력이 요구됨

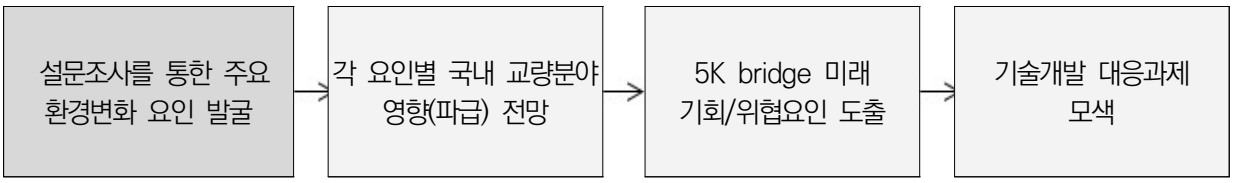
- 건설 및 SOC 유지관리 분야에 4차 산업혁명 혁신기술을 도입하여 건설 전 과정에서 생성되는 정보를 연속성 있게 관리·활용하기 위한 정부 차원의 기술개발이 추진 중임
  - 정부에서는 “스마트 건설기술 로드맵”을 수립, 2025년까지 건설 자동화 기술을 개발하고 2030년에 건설 자동화를 완성하고자 `20년 1월 〈스마트 건설기술 개발사업〉을 시작함
- 학계와 산업계에서도 건설 분야의 다양한 4차 산업혁명 관련기술을 개발하고, 이를 실제 다양한 건설 현장에 적용함.
  - 태풍 시 교량의 교통 통제를 위해, 딥러닝 기반의 단기 풍속예측 및 확률론적 차량-교량 위험도 해석을 통한 선제적 차량통제전략이 개발되어 현재 서해대교에 적용 예정임.
  - CCTV 영상에 컴퓨터 비전 기법을 적용하여 주케이블의 진동 추이를 실시간 모니터링 하는 기법이 개발되어 현재 서해대교에서 운영 중이며, 천사대교에서 적용 예정임.
  - 고덕대교(세종-포천고속도로 내 14공구)에는 시공 중 BIM과 디지털 매핑/스캐닝 기법 등을 활용한 구조물 공정관리와 스마트 안전관제 시스템을 활용한 현장 내 안전관리가 이루어 짐.
- 이러한 기술들은 5K Bridge의 효과적인 유지관리를 위해 현장으로 확산되어야 하지만, 기술의 개발자인 대학 및 연구기관과 달리 실수요자인 정부 및 산업계의 기술 체감도는 여전히 낮음

- 설계사, 시공사, 대학, 연구기관 등을 대상으로 한 설문조사 결과, 산업계에서는 스마트 건설기술에 대한 부정적 인식이 대다수였음(77%). 이러한 부정적 체감의 주 원인은 정부정책(43%) 및 법/제도의 경직성(29%)에 의한 것으로 나타남

2.2.4 전문가 미래 전망

□ 트렌드 및 미래전망 개요

○ 5K Bridge 기술을 둘러싼 거시적인 미래사회 환경변화를 파악하고 이를 바탕으로 기술수요를 이끌어내기 위해 국내 교량분야 전문가를 대상으로 설문을 실시하고, 결과를 활용한 분석 수행



[그림 2-56] 미래사회 환경변화 STEEP 분석 프로세스

[참고] 2050 교량기술 개발전략 미래전망 및 수요기술·프로젝트 발굴*개요

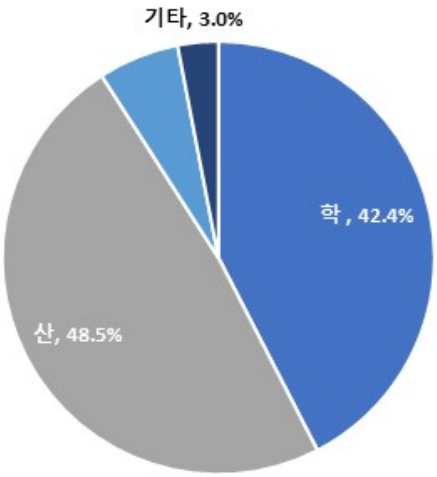
* 설문조사지 첨부
■(목적) 차세대 미래교량의 발전 방향과 수요를 기술적 차원에서 구체화하여 향후 30년간의 기술 로드맵을 구성하고 추진의 실행력을 확보하기 위한 기술수요 수집
■(조사 대상) 국내외 교량분야 산·학·연 전문가 100여명
■(조사 기간) 2021년 1월 5일 ~ 2021년 1월 22일 (약 3주간)
■(조사 방법) 자기기입식 설문조사 (설문지 메일 송부, 응답자 기입 후 회신)
* 미응답자에 대한 독려작업 병행
■(조사 항목)
I. 미래/차세대 교량의 발전에 영향을 미치는 이슈와 이에 따른 R&D 아젠다
II. 미래 차세대 교량 필요기술 제안 (미래 교량 이슈 대응을 위한 R&D (concept paper))

- 교량분야 전문가가 주목하는 주요 환경변화 트렌드 중 5K Bridge 기술과 관련성이 높은 이슈를 선별하고, 해당 변화가 교량분야 전반에 미칠 영향을 전망하도록 함
- 수집된 이슈를 사회적(Social), 기술적 (Technological), 경제적(Economical), 환경적(Environmental), 정치적(Political) 관점에서 분류
- 각 관점별, 주요 환경변화 이슈별 5K Bridge 기술 관련 미래전망을 종합적으로 분석하여 차세대 교량 관점에서 미래 영향 요인을 도출하고 기술적 대응 방안을 모색

□ 설문 결과

○ 대상자 총 111명 중 33명 응답(30%) 하였으며, 응답자들 중에서는 기업 소속(48.5%)이 가장 많았고 그 다음으로 대학 소속(42.4%)이 다수로 나타남

- 산업체 및 대학 연구자가 전망하는 트렌드와 수요기술이 다수 반영되었을 것으로 추정됨



□ 미래전망 및 수요기술/프로젝트 발굴 설문조사지 (Excel 형식으로 배포)

2050 교량기술 개발 전략
미래 전망 및 수요기술·프로젝트 발굴

안녕하십니까.
국토교통과학기술진흥원에서는 차세대 미래교량의 발전 방향과 수요를 기술적 차원에서 구체화하여 향후 30년간의 기술 로드맵을 구성하고, 추진의 실행력을 확보하고자 국내외 관계자 및 전문가들의 의견을 수집하고 있습니다. 바쁘시더라도 시간을 내시어 응답해 주시면 대단히 감사하겠습니다.

본 설문은 국토교통과학기술진흥원에서 발주하여 서울대학교 및 와이젠글로벌(주)이 수행 중인 연구과제를 통해 진행되며, 응답결과는 통계법 제 13조에 의거하여 익명으로 통계 처리되며 오직 연구 목적으로만 사용될 것입니다.

o 담당기관: 국토교통과학기술진흥원
o 연구과제: 신소재기반 하이브리드 5K Bridge 기술*개발 사전기획
* 5K Bridge 기술: 5Km+ 초연결 신형식/신소재 적용 교량시스템 구현 기술
o 수행기관: 서울대학교, 와이젠글로벌(주)
o 조사기간: 2020년 12월 23일(화) - 2020년 12월 30일(화)
o 설문지 회신처: jun.an@wisenglobal.com

※ 본 설문조사와 관련하여 궁금하신 사항이 있으시면 아래의 연락처로 연락해 주시기 바랍니다.
- 와이젠글로벌: 안용준 선임연구원, 010-9134-3287, jun.an@wisenglobal.com

KAIA 국토교통과학기술진흥원

► 질문은 총 3가지로, 'Ⅰ. 미래/차세대 교량의 발전에 영향을 미치는 이슈와 이에 따른 R&D 아젠다' 부터 '기타의견' 까지로 구성되어 있습니다. 응답자께서는 동 설문지의 노란색 셀로 표시된 란에 응답을 작성해 주시면 되며,
응답을 작성하신 후 마지막의 [응답자 정보]까지를 기입해 주시기를 부탁 드립니다.

[참고] 시대별 교량기술의 발전

	과거 50년	과거 30년	현재 (2020)	미래 30년(2050)
대표교량				
주요이슈 & 아젠다	• POSCO 창업(1967) • 경부고속도로 착공 (1968) • 경제개발 5개년 계획 : 후진국 탈피의 심볼(1970) • 장대교량의 태동 : 외국 자본 도입과 기술력 경험(1973) • 관광자원화 : 당시 수학여행 대상지(1975)	• 학계/산업계에서 인력 양성/배출(1988) • MIDAS IT 창업(1989) • 교량 기술자의 이목이 서해대교 건설과 관련된 기술에 집중(1990) • 서해대교, 영종대교 설계(1990) • 경부고속철도 착공 (1992) • 성수대교 붕괴로 시특법 제정(1995) • GNI 1만달러 돌파(1999) • 국도 77호선 승격 및 연육연도교 수요 급증(2000) • 거가대교 침매터널 착공 (2004)	• 1.5Km이순신대교 기술 수직상승(2010) • 조장대사업단 기술 개발(2015) • 해외 프로젝트 수주(2015) • GNI 3만달러 돌파(2018) • 신뢰도 기반 설계 도입(2018) • 케이블교량 70개 육박(2020) • 재난 이슈 경험과 대응 논의(2020) • 계측기술의 고도화/AI 접목(2020) • 손해 보는 해외 사업(2020)	?
요소 기술	• 영국의 설계 • 일본의 시공, 풍동실험 수행 • 현대건설이 시공에 참여 • 수 계산에 의한 해석 • 제철기술	• 1600 및 1800MPa급 케이블 • 80MPa 이상의 고강도 콘크리트 • 고성능 감수제 기술의 발전 및 국산화 • TMCP 등 고성능 강재 • 케이블교량 조기형상/시공단계 해석 • 케이블 가설 및 형상관리 • 케이블강교량설계지침 개발 • 풍동건설 및 실험기술 개발 • 계측, 센싱, 모니터링 기술 개발	• 2060 MPa 강선 기술 • 200 MPa UHPC 기술 • 다경간 현수교, 비대칭도입 형식다변화 • 신뢰도기반 코드캘리브레이션 기술 • 진동원인 분석/대처 기술 • 시스템 역해석 및 디지털 트윈 기술 • BIM 활용 디지털 기술 • 영상기반 계측 기술 • AI, 빅데이터, 확률기반 처리 기술 • 레질리언스 개념의 성능평가 기술	

[참고] 미래 교량시스템 구현을 위한 핵심 요소기술(안)*

*주) 연구그룹 사전 도출(안)으로, 아이디어 도출에 참고하시되 아래 나열된 기술의 범위에 의견을 한정하실 필요는 없습니다.

I. 미래/차세대 교량의 발전에 영향을 미치는 이슈와 이에 따른 R&D 아젠다

※ '트렌드 및 아젠다'는 내외부 환경변화 분석(메가트렌드, 현안이슈, 정책 및 R&D 환경) 및 전문가 제안을 통하여 차세대 교량의 발전과 관련하여 대응하여야 할 주요 이슈를 수집하고자 합니다. 자유롭게 제안해 주십시오.

※ 'R&D 아젠다'는 차세대 교량의 니즈에 부응하기 위한 사업적 아젠다이며, 향후 세부과제 및 기술개발 과제의 우선순위 결정 및 선별 이후 구체적 실행계획 수립을 염두에 두고 있습니다. 이슈와 관련하여 제안해 주십시오.

주요 트렌드 및 이슈 (2020년-2050년)	미래 차세대 교량 R&D 아젠다
(예시) 대수심 해양 횡단 시스템 구현 기술을 이용한 초연결 프로젝트 수요 증대	• 대수심 해양 횡단 다경간 부유식 케이블 교량 시스템 기술 개발 • 신형식 수중 교량(터널) 시스템 기술 개발
(예시) 데이터 사이언스의 급속한 발전과 인프라 생애주기 선제적 리스크관리 필요성 대두	• 교량 해석모델과 데이터 운용 중 상시동화(同和, assimilation) 기술 개발 • 계산역학-데이터-확률론 기반 교량 생애주기 리스크 인지, 추론 및 최적 의사결정 기술 개발
(예시) 나노기술에 기반한 소재산업의 발전에 따른 차세대 인프라 구조재료 적용성 증대	• 경량·초고강도 기반 차세대 구조 복합제 요소 기술 개발 • 친환경성, 자기센싱을 포함한 다기능성 재료합성 기술 개발
(작성 1)	•
(작성 2)	•
(작성 3)	•
(작성 4)	•

II. 미래 차세대 교량 필요기술 제안

미래 교량의 이슈 대응을 위한 R&D를 제안해 주시기 바랍니다(아래 서식). 아래 3개 서식까지를 활용하실 수 있으며,
더 제안하시고자 할 경우 동 파일을 '다른 이름으로 저장'하신 후 추가된 파일까지를 송부해 주시면 됩니다.

미래 교량 이슈 대응을 위한 R&D (Concept Paper)

1	주요 트렌드 및 이슈	작성
2	미래 차세대 교량 R&D 아젠다	작성
3	개발 분야 (택1)	○ 소재·건설재료 ○ 시공 ○ 재난 및 재해 대응 ○ 기타 ○ 설계 ○ 유지관리 ○ 신형식 적용 미래기술 (직접 입력:)
4	추진 시기	○ 지금 ○ 2022년~2030년 (향후 10년) ○ 2031년~2040년 (향후 20년) ○ 2041년~2050년 (향후 30년) ○ 이후
5	주요 개발 내용	○ 작성 ○ 작성

기타 의견

상기 설문에서 제시된 내용들을 포함하여 차세대 교량 이슈 대응과 관련한 정부의 역할, 향후 연구가 나아갈 방향 등과 관련한 의견, 제안 사항 등을 자유롭게 말씀해 주시기 바랍니다.

[응답자 정보]

설문 응답자 정보에 작성해 주신 모든 사항은 연구 목적으로만 사용될 것이며 외부로 절대 노출되지 않음을 약속드립니다.

응답자 성명		E-mail 주소	
소속기관명		소속기관 소재지	○ 국내 ○ 해외
소속기관 구분	○ 대학 ○ 기업(공기업·사기업) ○ 정부·전문기관 ○ 정부출연연구소 ○ 협회 ○ 기타( )		
직무영역	○ 학생 ○ 연구(R&D) ○ 교육 ○ 기획·발주 ○ 설계·예산 ○ 시공·시공관리 ○ 보수·보강 ○ 유지관리·모니터링 ○ 기타( )		
전문분야 (직접 기술)			
교량 관련 전문분야 구분	□ 소재·건설재료 □ 시공 □ 설계 □ 유지관리 □ 재난 및 재해 대응 □ 기타( )		
응답자 경력	○ 2년 미만 ○ 2년~5년 미만 ○ 5년~10년 미만 ○ 10년~15년 미만 ○ 15년 이상		

감사합니다.

□ 분석결과 요약

〈표 2-46〉 전문가가 전망한 주요 미래사회 환경변화 요인 요약_미래 교량 관련

STEEP 구분	메가트렌드	세부 트렌드 및 이슈	교량분야에 미치는 영향 (미래전망)	전문가 제안 빈도 (건)
사회(S)	**저출산·고령화**	생산인구 감소와 양극화 심화	• 건설생산성 제고 요구 심화 • 도심지 공사 공기단축·품질확보 요구 • 건설로봇/작업회소화 수요 증대 • Maintenance-free/장수명 구조재료 필요	6
	도시확대, 비도시권 쇠퇴	도시 노후화	• 노후화 교량 급증 • 스마트 시티용 신형식 구조물 필요 • 유지관리체계/보수·보강/리스크관리 기술 수요 증대 • 기존 교량구조물 활용기술 수요 증대	10
		도시확대	• 도시간 초연결을 위한 기술 필요	2
기술(T)	**빅데이터, 인공지능 등 ICT 기술개발 가속화**	인공지능과 로보틱스를 활용한 산업 지능화	• 첨단기술과의 과감한 융합·접목 • 인공지능·딥러닝 기법 도입 • 도로·교량 인프라 스마트화 • 스마트 유지관리의 일상화	14
		첨단 알고리즘을 활용한 최적화기술 부상	• 새로운 형태의 설계기준 요구 • 스마트솔루션 적용 신개념 교량 건설 가능 • 최적설계 및 초정밀 시공 부상	5
	첨단 소재기술 발전	초고강도·초경량화 신소재	• 새로운 소재/건설재료 현장 도입 제고 • 장경간화·경량화, 조립식 구조 가능	8
	이동 혁명	첨단 신교통수단의 보급	• 자율주행기술 발전에 따른 효율적 교통통제 필요 • 하이퍼루프 차량 운용 인프라 요구 • 소형화·개인화된 vehichle, 활하중 경량화 가능성	10
		모빌리티의 진화	• 무인차량 등 스마트 모빌리티 등장, 도로 인프라의 스마트화 요구 제고	3
경제(E)	**경제 글로벌화**	대륙간 연결수요 증대	• 주요 거점간·대륙간 교통수단으로 미래형 철도교통 수요 증대 • 초고속 지상교통 시스템 등장 • 복합교량형식 등 신공법 수요 대두	3
환경(E)	**기후·환경 변화**	지구 온난화 심화	• 탄소저감을 위한 저탄소 재료 및 구조물 개발 요구 • 신재생에너지 비중 확대 정책	6
		자연재해 빈도와 규모 증가	• 극한기후 대응 교량 설계기준 요구 • 제진대책 및 재난대응 의사결정 필요	5
	자원부족 및 자원수요 증가	자원확보 경쟁 심화	• 건설재료 품질저하 대응 필요	1
	안전·안심 사회 요구	생활위험 저감 요구	• 설계기준에 Risk Analysis 전면도입 • 교량 시공 및 공용중 발생위험 문제화	2
정치(p)	**탈 지구화 / 공간확장**	국토확장·효율적 활용	• 급속시공/모듈화 확대 필요 • 오지·극한지 교량 건설 수요 증대 • 해상교량 관광자원화 • 해저/수중/부유식 구조물 수요 증대	9

□ 전문가 미래 전망에 따른 주요 대응이슈 요약

○ **(사회)** 저출산·고령화에 따른 생산인구 감소, 도시의 확대와 동시에 노후화가 급격하게 진행됨에 따른 대응방안 모색 필요

- 생산인구 감소에 대응하기 위한 건설생산성의 제고 및 작업 최소화를 위한 로봇 개발, 유지관리의 무인화·자동화가 필요
- 도심 시설물의 급격한 노후화 대응을 위한 재생기술, 기존 구조물 활용기술, 스마트 시티화에 따른 신형식 구조물 등의 수요가 예상

○ **(기술)** ICT 기술에 대한 기대가 가장 크게 나타났으며, 첨단 소재기술의 발전, 이동혁명 등을 고려한 혁신 기술개발 필요

- 인공지능과 로보틱스 등 첨단 기술과의 융합·접목을 통해 도로 및 교량의 스마트화, 스마트 유지관리가 이루어질 것으로 예상
- 첨단 알고리즘을 활용한 교량 설계 최적화, 초정밀 시공이 가능해지고, 첨단 건설소재 개발로 신형식 등 교량구조 측면의 자유도가 커질 것으로 예상
- 첨단 신교통수단의 등장, 무인차량 등 모빌리티의 진화와 변화를 충실하게 구현할 수 있는 교량기술의 선제적 확보 필요

○ **(경제)** 경제의 글로벌화에 따라 대륙간·거점간 연결수요가 증대될 것으로 예상되며, 초장대교량 및 복합교량형식 등의 시장이 확대

○ **(환경)** 기후·환경변화 및 자원부족에 대응하고, 안전·안심 사회에 대한 요구에 부응하기 위한 교량기술 확보 필요

- 탄소저감을 위한 저탄소 재료·구조물, 극한 기후 등 재난에 대응하기 위한 교량 유지관리 기법 및 설계기준 개선이 추진될 필요

○ **(정치/정책)** 극한지, 해저·수중 등 국토의 확장 및 국토의 효율적 활용을 위한 교량 및 구조물 건설기술 확보 필요

2.2.5 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 미래 아젠다 도출

□ 종합 분석 및 전략방향 도출

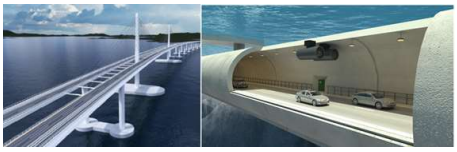
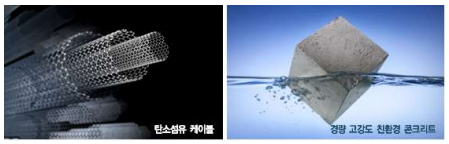
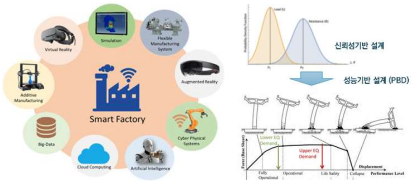
메가 트렌드	• (S) 인구절벽과 생산성 저하, 산업구조의 혁신 지체 등으로 잠재성장률 하락 추세, 인구 감소에 따른 생산가능 인구의 감소로 고위험 직종 기피현상, 자율주행자동차 혼재로 인한 사고위험과 책임소재 문제, 메가시티 리전(Mega-city region)이 글로벌 경제 주체로 부각 • (T) 무인택시, 무인화물차 등 새로운 형태의 교통· 물류서비스가 선보이고, 자동차 소유에서 공유문화로 진화, 건설 자동화 기술(BIM, 로봇, 드론) 등을 활용한 건설 생산성 혁신, IT와 전통운송수단이 결합한 신규서비스 등장, 신기술과의 융·복합을 통한 고부가가치 산업(일자리) 창출, 초대형 구조물, 극한지역 시공기술 확보, 초경량·고강도 신재료 개발 등 핵심건설 기술 확보, 빅데이터 활용 교통패턴을 분석·관리하는 기술 등장, 3D 프린팅을 활용한 맞춤형 자재 생산 및 효율성 증대, 자율주행의 상용화, 신기술 확대로 인한 도로·기하구조·시설규모 단순화, 건설·차량·통신·유지보수 등 이동수단 관련 요소들의 혁명, 커넥티드 카의 등장으로 스마트시티 조성 확산 • (E) 보호무역주의 대두, 제조업 중심의 성장 둔화, 전통 건축 산업의 침체와 새로운 건축물 시장 등장, 경제적·사회적 양극화에 따른 사회통합 정책요구 증가, 글로벌 경제통합, 협력 심화, 글로벌 건설수주 경쟁 심화, 3D 직업에서 고부가가치 전문직업으로 이미지 쇄신 및 글로벌 경쟁력 갖춧 고급 건설인력 양성, 아시안 하이웨이, 한반도 도로망 구상 등 본격화, 글로벌 공급사슬(SCM(:Supply chain management) 관리 중요성 증대, 사라지는 직업과 신규 창출되는 직업의 혼재로 개인 경제활동의 전환기 도래, 친환경 녹색인증 제품 수요 증대, 저성장 극복을 위한 산업전반에 걸친 첨단기술의 활용 확산(생산-제조(조립)-서비스 전과정에 걸쳐 확산) • (E) 에너지 사용 최소화 및 재난재해로부터 안전한 주택에 대한 수요 증가, 탄소배출, 에너지소비를 최소화 하는 저탄소 녹색건설 구현, 친환경 이동수단(자동차, 비행기 등) 개발 경쟁 심화, 수소, 태양광 등 친환경·재생에너지를 사용하는 교통수단의 활성화, 전기·수소 자동차 보급 확산으로 소음, 매연 등 환경문제 일부 해소, 도시 단위 탄소저감 재해대응 정책 일반화, 건축물의 안전기준 강화와 환경위험 대응인식 증대, 재난재해 안전 시설물 관리체계 구축 및 노후시설물 유지관리 재원 마련 요구 • (P) 북한지역 개발을 통한 한반도 전체의 산업구조 개편 및 생산성 제고, 통일, 동북아 경제통합 등에 따른 국제사회 인적·물적 교류 확대
동향분석	**정책** • 문재인 정부는 「100대 국정과제」를 통해 국토교통산업의 경쟁력을 강화를 통해 건설분야 해외 수주 확대 등 정량적 목표 제시 • 세계 각국의 파리협정 채택에 따라 우리나라는 국가온실가스감축목표를 2017년 배출량 대비 24.4% 감축을 2030 NDC로 확정('20.12) • 4차 산업혁명 대응계획을 통해 성공적인 정보화·산업화로 4차 산업혁명을 선도할 잠재력 확보, 스마트 건설기술 로드맵을 통해 ICT 기술의 도입을 통해 건설 全 Process에 걸친 첨단화·디지털화 추진, 제6차 건설기술 진흥 기본계획을 통해 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진 등을 통해 기술수준을 향상시키고 경쟁력을 제고 • 디지털뉴딜을 통해 메타버스 등 초연결 신산업 육성, SOC디지털화 등을 추진 • 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획, 초연결 도시 구현 기술, 융합기술을 통한 건설 지능화 실현, 고부가가치 건설기술 창출 등 추진 **기술** • 국내 초장대교량사업단-케이블교량글로벌기술연구단을 통해 초장대교량 설계·시공·유지관리 핵심기술 자립화에 성공, 해외 건설시장에서 인지도 확보, 주요 기술보유국으로 발돋움 • 유럽이나 중국과의 기술 및 가격 경쟁에서 향후 지속적인 경쟁력을 갖추기 위해서는 기개발기술의 지속적인 관리, 고도화, 및 전문인력 배출이 필수 • 메가 스트럭쳐의 안전성 및 경제성을 확보하기 위해서는 내부식성의 초고강도 강재, 초고성능 콘크리트, 초경량 포장재료 등의 개발 및 실효성 검증이 요구, 5K Bridge의 구현을 위한 신형식 구조 시스템 개발 필요 • 특수 하중에 대한 교량 성능확보 및 평가기술 확보 및 4차 산업혁명 관련 기술 도입 필요
전문가 전망	• (사회) 저출산·고령화에 따른 생산인구 감소, 도시의 확대와 동시에 노후화가 급격하게 진행됨에 따른 대응방안 모색 필요 • (기술) ICT 기술에 대한 기대가 가장 크게 나타났으며, 첨단 소재기술의 발전, 이동혁명 등을 고려한 혁신 기술 개발 필요 • (경제) 경제의 글로벌화에 따라 대륙간·거점간 연결수요가 증대될 것으로 예상되며, 초장대교량 및 복합교량형식 등의 시장이 확대 • (환경) 기후·환경변화 및 자원부족에 대응하고, 안전·안심 사회에 대한 요구에 부응하기 위한 교량기술 확보 필요 • (정치/정책) 극한지, 해저·수중 등 국토의 확장 및 국토의 효율적 활용을 위한 교량 및 구조물 건설기술 확보 필요

[그림 2-57] 트렌드 및 미래전망 종합

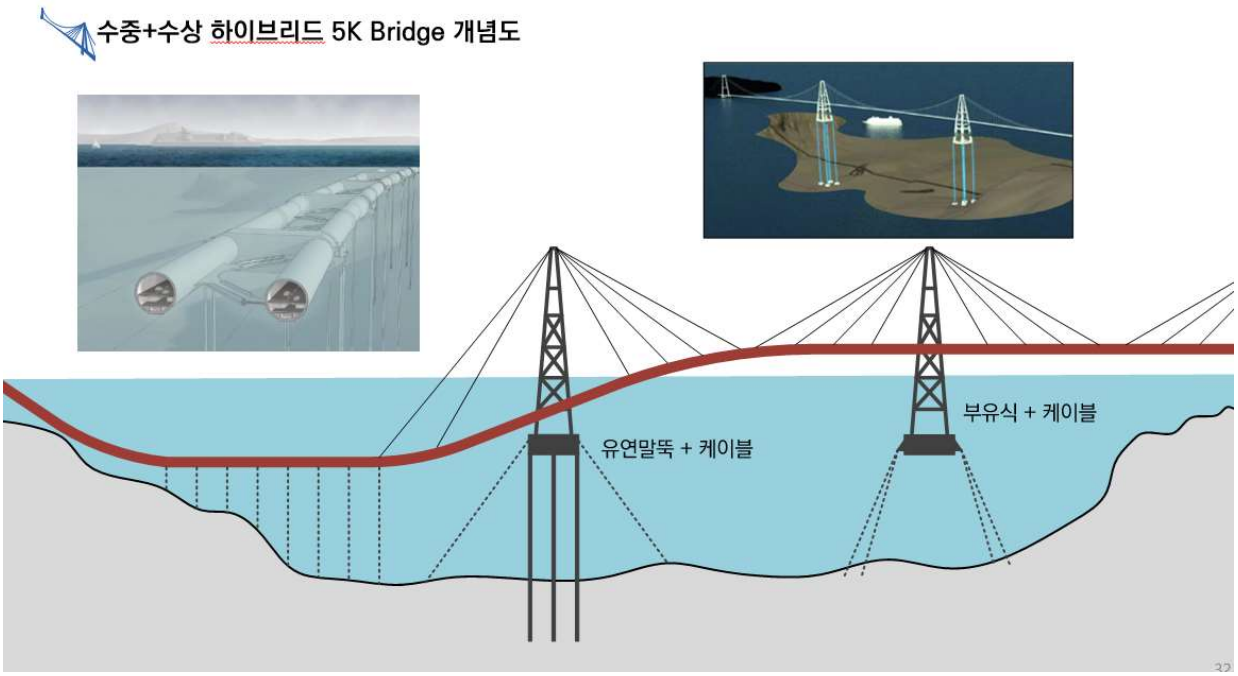
□ 미래 교량 형식의 단계별 발전 전망

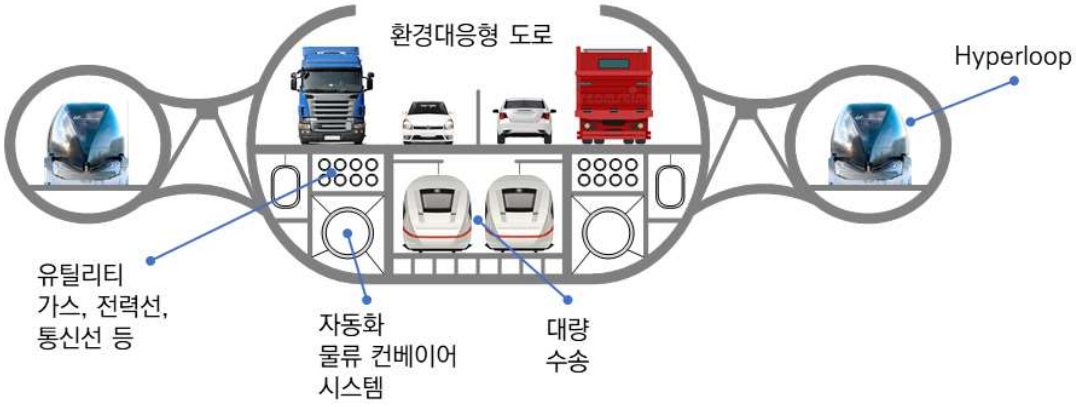
○ 5K bridge 중장기 기술 로드맵(2050)을 위해 기획연구진은 오랜 토론을 통해 향후 30년동안 '초연결'을 위하여 구축될 교량이 형식을 중심으로 기술적 세대교체, 패러다임의 변화가 추동될 것으로 예상하였고, 이에 따라 **각 10년을 교량형식의 변화를 전제로 하여 구성기술을 도출**

- 미래에 등장할 교량형식은 **부유식교량 〉 수중교량〉 및 미래형 교량〉을 거쳐 Multi-fuctional 교량으로 진화할 것으로 전망됨**
- **미래 교량형식의 단계별 발전에 따라 요구되는 기술요소들을 중심으로 구성기술의 풀(pool)을 도출**하되, **이 구성요소들은 각 전략과제의 세부 구성요소들에 포함되도록 하였음**

	부유식 교량	수중교량 및 미래형 교량	Multi-fuctional 5K 교량
예상시기	2022~2030년	2031~2040년	2041~2050년
주요 이슈	- 해상풍력발전의 확대, 대수심 해양으로의 진출로 인해 부유식 구조체에 대한 수요 증대, 조속한 시점에 상용화가 진행될 것으로 예상	- 대수심 횡단을 위한 형식으로 수중교량 건설추진 - 수중+수상 하이브리드 형식 등장 예상	- 교량에 교통수단뿐 아니라 각종 유틸리티, 전력망, 물류망 등이 함께 연결되는 교량 - 초연결 수요의 전방위적 확장에 기인
기술 전망	중기(2022~2035) - 횡단 방식의 다변화  - 고성능/고기능/고강도/경량/친환경신소재  - 스마트 무인자동화 유지관리 - 설계 패러다임의 진화 (-〉 PBD)  - 자율주행차량 관제 등 사용자/관리자 서비스 플랫폼 구축 	장기(2035~2050) - 2035년까지 현재 기술에 근간한 5K 기술은 거의 개발 완료될 것으로 보임 - 5K 수준의 횡단 프로젝트 변화양상은 물류산업의 변화나 사업성 확보 요구에 따라 다변화

[그림 2-58] 미래 교량의 단계별 발전 전망





[그림 2-59] 미래 교량 전망, 하이브리드 5K Bridge 개념도, Multi-functional 교량 단면 예

□ 미래 5kB 관련 대응 아젠다 도출

○ 트렌드의 종합 분석을 통해 차세대 교량기술이 대응해야 하는 아젠다(4대 중점분야)을 도출함

〈표 2-47〉 미래 5K Bridge 대응 아젠다(4대 중점분야) 도출

종합 트렌드	아젠다(4대 중점분야)
○ '자율주행의 본격화 ○ 개인용 모빌리티의 다변화 ○ 하이퍼루프의 실현화 ○ 대형 수송수단의 등장 ○ 미개척 경간장 기술개발로 인한 세계 장대교량 시장 기술력 선점 ○ 동남아 장대교량 시장의 성숙 ○ 경간장/구조형식에서의 예상치 못한 급격한 점프에 대비 ○ 디지털 전환의 의한 관련 요소기술의 빠른 변환 ○ 탄소소재 케이블의 가격 경쟁력 확보 ○ 기능성 바닥판 소재 개발 ○ 콘크리트 경량화와 고강도화 및 경제성 확보 ○ 강재 기능성 강화 (내부식성, 용접성, 스테인레스강, 고망간강, 고감쇠비) ○ 3k, 4k 및 5k의 단계적 실현 ○ 환경제어도시 Civil Dome의 필요성 대두 및 5k 기술의 접목 ○ 부유식 구조체나 기초형식의 확장 ○ 대변위 수용형 기능장치 개발 (신축이음장치, 링크슈, 버퍼, 센터스테이 등) ○ 횡방향 안정성 확보를 위한 신형식 구조계 등장 ○ 연직변형을 수용할 수 있는 신형식 구조계 등장 ○ 강도/변위 기반의 설계법에서 목표성능구현 기반의 창의적 설계법으로의 전환 ○ 설계 자동화 ○ Morphology Optimization ○ 비정형 구조배치로 인한 물량 절감 ○ 횡방향 안정성 확보를 위한 풍하중 저감기술 개발 ○ 하이브리드 풍동실험 ○ 극한환경 속에서의 회복탄력성 확보 ○ …….	**① 미래형 초연결 교량 기술 선점** - 부유식/수중교량 등 미래형 기술 확보 - 5km 대수심 횡단기술 선점 **② 환경변화 적응형 지속가능 기술 구현** - 해수면 상승에 탄력적인 기초형식 구현 - 에너지자립형 그린 기술개발 **③ 스마트팩토리형 시공 및 유지관리 실현** - 프리팹 급속시공의 해양환경 확장 - 디지털 기반 O&M 전환과 무인자동화 실현 **④ 지능형 정보와 안전한 주행 환경 제공** - 초장대교량의 관제 기술 서비스 제공 - 성능 기반 리스크 관리기술 개발

□ [중점분야 I] 미래형 초연결 교량 기술 선점

○ 변화하는 글로벌 시대 대응을 위한 초국가적 연결루트 확보 필요

- 우리나라를 포함한 대부분의 국가의 인구구성이 다인종·다민족화 되고 있으며, 인터넷과 교통수단의 발달은 전지구적 권역으로 비즈니스 환경을 확장하고 있는 상황
- 변화하는 환경에 대응하는 사람·자원의 이동을 위해서는 기존 상식을 돌파할 수 있는 새로운 개념의 운송루트의 확보 필요
  * 부유식, 수중 건설 등 새로운 기술개념이 적용된 교량의 건설로 새로운 연결로 개척
- 사고와 분쟁의 영향을 받지 않고, 대기시간이 없는 안정적인 물류순환 경로 구축 필요
  * 수에즈 운하 사고 사례: 2021년 3월 수에즈 운하 마비로 6일간 통행이 제한되면서 최소 369척이 선박 통행이 지연, 글로벌 물류·원자재 수급에 모두 비상이 걸렸던 사례
  * 이집트 정부에 따르면 수에즈 운하 사고로 하루 피해액이 1,400만 달러(약 158억 원)라고 추정하였으며, 독일 보험사 알리안츠는 무역 손실액은 하루 60~100억 달러(6조 8,000억 원~11조 3,000억 원)에 달할 것으로 예측[90)]
- 남북협력 활성화와 통일시대 탄소절감과 환경보호를 위한 수단으로도 활용 가능
  * 장래 남북협력이 본격화 되고 통일시대를 고려할 경우 물류·운송 등을 위해 현재 DMZ 지역에 인프라 건설이 요구되는 상황 발생 가능
  * 남북 총 4㎞의 DMZ 지역을 통과하는 초장대교량을 건설하여 교량을 통해 물자와 사람의 인원을 제한할 경우 현재 생태와 환경을 유지하면서도 협력 가능

○ 현재 논의 중인 대륙간 연결 프로젝트에는 초장대교량이 필수적으로 포함되어 있으며 향후 新 무역·운송 루트 개척의 근간 기술 중 하나

- 지형과 여건, 경제성 등을 고려 부유식, 수중, 수중+수상 하이브리드형 등 다양한 방식으로 5㎞ 이상의 초장대 교량 건설 역량 확보를 통해 초국가 시대 건설 르네상스 준비

○ 교량 초장대화는 각국의 기술력의 경쟁 지표로서 2050년까지 5km급 초장대교량에 대한 도전이 지속될 것으로 보임

- 지간장 3.3 km의 이탈리아 메시나교를 통해 현재까지의 설계기술의 수준이 확인됨
- 우리나라도 초장대교량사업단을 통하여 3 km+의 설계기술을 입증한 바 있음. 이를 토대로 세계 최장의 주경간 2,023 m의 터키 차나칼레 교량 건설을 수주하였음.

○ 기술을 선도하는 국가 위주로 기술 한계에 도전하는 연구가 지속되고 있음

- 덴마크공대와 COWI는 수퍼컴퓨터를 활용한 morphology 최적화를 통해 주경간 1,550 m의 Osman Gazi 교량의 재료 중량을 28 % 저감할 수 있는 기술을 선보임[91)]

90) 수에즈 운하 사고 수조 원 손실 추정... 손배 책임 가열될 듯, 국제신문(2021.4.1.)

* 강재량 19% 저감 (탄소배출량 18% 저감) 콘크리트량 17% 저감 (탄소배출량 18% 저감)

- 호주 연구그룹은 2050년까지 실현 가능한 기술을 토대로 3,780 m의 주경간을 갖는 신형식 초장대교량의 Feasibility study를 완료함. FRP 케이블의 상용화 수준 개발을 예측하였으며 이를 토대로 강도의 한계를 초과하지 않음을 보임. 이러한 초장대교량의 기술적 한계는 사용성 확보와 풍하중에 의한 변위 제어에 달려있음을 결론으로 제시함.

○ 미래수요에 대응하는 글로벌 교량시장 주도를 위해 5K급 신형식 교량 시스템 실증개발을 목표로 설정함. 특히, 지간장의 확장 외에도 부유식 구조 및 미래 모빌리티 대응을 위한 형식 다변화를 추진함

○ 미래형 초연결 교량의 구현을 위해서는 성능기반설계(Performance-Based Design, PBD)의 개념 및 기존 설계철학을 수용하여 실제 적용을 통해 실용화시킬 필요

- PBD는 외부 하중에 대해 예측 가능한 성능을 확보하도록 설계를 수행함. 즉 '요구성능'으로부터 시작되는 설계는 기존의 설계 패러다임과는 완전히 다른 개념을 수반함
- PBD를 통해 각 구조물의 특성에 따라 재난 대응 요구성능 및 달성도를 구체적으로 정의할 수 있음
- 이를 통해 궁극적으로 개별 구조물 및 지역 단위의 정량적인 복원력 및 지속가능성을 달성하기 위한 신개념 설계법을 도입할 수 있음

○ 전 세계적으로 토목공학 및 건설/구조공학 분야에서 PBD 도입의 필요성이 지속적으로 제기됨

- 미 토목공학회(ASCE)은 2019년 발간된 [A Vision for the Future of Structural Engineering and Structural Engineers]를 통해 구조공학의 10대 비전 중 하나로 "성능기반 코드 및 기준의 적용"을 제시함.
- 이를 위해 ASCE 내 구조공학위원회(Structural Engineering Institute)에서는 2018년에 [Advocating for Performance-Based Design] 보고서를 발간하는 등 PBD 적용 및 설계기준화를 위한 구체적인 방법론 및 액션 플랜을 제시해 옴

○ PBD 관련 선행연구

- 2000년대부터 건물의 내진성능에 관한 PBD 연구가 활발하게 진행된 결과, 기존 구조물의 내진성능 개선에 관한 ASCE 41(Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings)에서는 PBD 개념이 구체적으로 활용됨
- 초고층교량에 대한 PBD 기반 설계 가이드라인을 담은 Pacific Earthquake Engineering Research Center Tall Buildings Initiatives (PEER TBI) 및 Guidelines and the Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC) Tall Building Guidelines이 발간됨.

91) Baandrup et al, 2020 at Nature Communications

- 최근 ASCE에서는 지진 외에도 강풍이나 화재 등 다양한 재난 대응형 PBD 설계 가이드라인을 제시하였으며, 장대교량에 대해서도 강풍 및 지진에 대한 PBD 기반 설계 가이드라인을 개발함.

□ [중점분야 II] 환경변화·적응형 지속가능 기술 구현

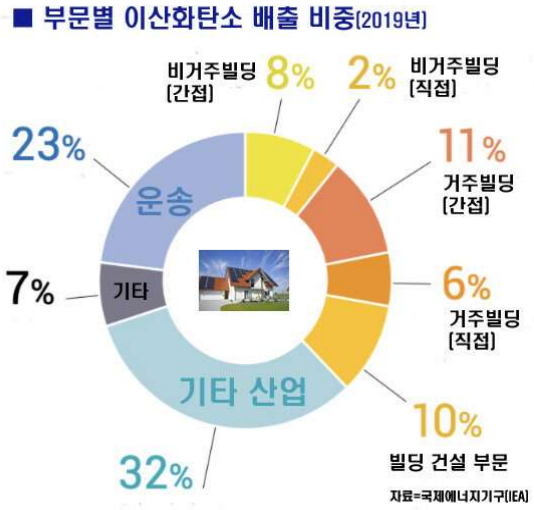
○ 국제사회는 탄소중립·에너지 자원 이슈 등에 공동대응 필요성을 공감하고 우리나라도 적극 동참하고 있는바, 향후 지속 가능한 성장을 위해서는 환경에 대한 고려가 필수

- 건설 기획단계에서부터 디지털 기술을 활용한 불필요한 자원 낭비를 줄이고, 친환경 소재와 자재를 활용하는 방안 고려 필요
- 다목적 초장대 교량의 건설을 위한 소재·자재의 기준에 친환경 요소까지 더해져 극한의 조건을 요구하므로 도전적인 과제로 국가 주도의 기술개발 추진 필요

  * 초장대 교량이 요구하는 극한의 성능을 충족시키는 소재·자재의 경우 다양한 건설 분야(Civil dome과 같은 메가스트럭쳐 포함)에 적용 가능할 것으로 예상

○ 전체 탄소 배출량에서 건물 사용 및 건설 과정에서 발생하는 탄소가 차지하는 비율은 38%로 매우 높은 상황

- 세계 건축 및 건설연맹(GlobalABC)의 '2020년 현황 보고서'를 인용, 건물을 운용하면서 배출되는 양(약 28%)과 건설 부문에서 배출하는 양(10%)을 합하면 38% 차지
- 건물과 건설 부문의 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해서는 건축 환경의 에너지 수요 감축, 전력부문 탈탄소화, 탄소 배출을 줄일 수 있는 친환경 자재 활용 등이 필요한 상황



*자료 : 건물·건설 부문 전체 이산화탄소 배출의 38% 달해, 에너지단열경제(2020.12.18.)

[그림 2-60] 부문별 이산화탄소 배출 비중(2019년)

- UN 보고에 의하면, 현재 인류가 배출하는 탄소의 양은 연간 500억 톤이며, 현재의 추세가 계속되면

2030년에는 600억톤을 넘어설 것으로 예측

○ 건설산업은 대표적인 탄소배출 상위 산업으로서 탄소무역장벽의 지배를 받게 될 것으로 전망

- 탄소국경세와 탄소중립추진 drive 등이 글로벌 통상이슈로 제기되고 있음

○ 국내 건설재료 업체들도 원재료 수급 문제 및 환경규제에 대응한 친환경 소재 사용 요구에 대응하기 위해, 막대한 이산화탄소를 방출하는 콘크리트를 대체하는 재료 개발 추진 중[92)]

- 시멘트 제조공정은 한계에 이르러[93)] 연료 대체 정도로는 이산화탄소 배출 감소가 불가능하며[94)] 환경보호와 파리협약 준수 등을 위한 대체 재료 필요

  * 현재 전 세계에서 연간 약 40억톤의 시멘트가 생산되는 것으로 추산되며, 제조 공정에서 탄산칼슘의 열분해와 가열을 위해 시멘트 무게의 9할에 달하는 이산화탄소가 생성되는 상황

  * 우리나라도 연간 약 5,740만톤의 시멘트 생산을 위해 약 5,000만톤의 이산화탄소 배출

○ 글로벌 기업들은 재생에너지 생산과 도시 온실가스 저감을 위해 친환경 그린노믹스를 추진 중이며, 주요국도 지속가능 발전 계획에 동참 중[95)]

- 2015년 제70차 UN 총회에서는 17개 목표 및 169개 세부목표로 이루어진 지속가능 발전목표(SDGs, Sustainable Development Goals)를 채택, 친환성 성장이 핵심적인 글로벌 의제로 부각[96)]

○ 향후 국가적 탄소저감 목표달성 여부는 세계 무역시장의 중요한 이슈가 될 전망

- 우리나라는 지속가능 발전 국제적 합의를 이행 및 촉진하기 위해 제3차 지속가능 발전기본계획2016~2035) 수립·시행[97)]

- 우리나라의 목표는 2050년까지 탄소중립 달성임

- 기후변화에 대응 가능한 저탄소 · 친환경 교량 건설 기술개발 필요

○ 2050년까지 신소재 적용 5K 기술개발로 탄소배출량 80% 저감을 추진목표로 설정함

- 저탄소 친환경 신소재 개발 (탄소배출량 50% 저감) 및 설계 패러다임 전환을 통한 건설물량 절감 (탄소배출량 30% 저감)을 통해 목표달성을 추진하고자 함

□ [중점분야 III] 스마트 팩토리형 시공 및 유지관리 실현

○ 건설산업은 전체 산업 중에서 디지털화 및 생산성 증가율이 "꼴찌" 수준 (생산성 증가율 1%, 2015년

92) 2020년 건설경기 및 건설자재 전망, 대한건설협회(2020.1)
93) 시멘트 없이 콘크리트 만드는 과학 연금술사, UNIST News Center(2017.2.1.)
94) '뜻밖의 CO2 유발원' 시멘트, 연간 22억t 배출하며 8% 차지, 연합뉴스, (2018.12.18)
95) 글로벌 트렌드와 한국 : 과학기술적 대응역량 진단, 과학기술정책연구원(2017.12)
96) 제3차 지속가능발전 기본계획(2016~2035). 관계부처 합동(2016.1)
97) 제차지속가능발전기본계획2016~2035). 관계부처합동2016.1)

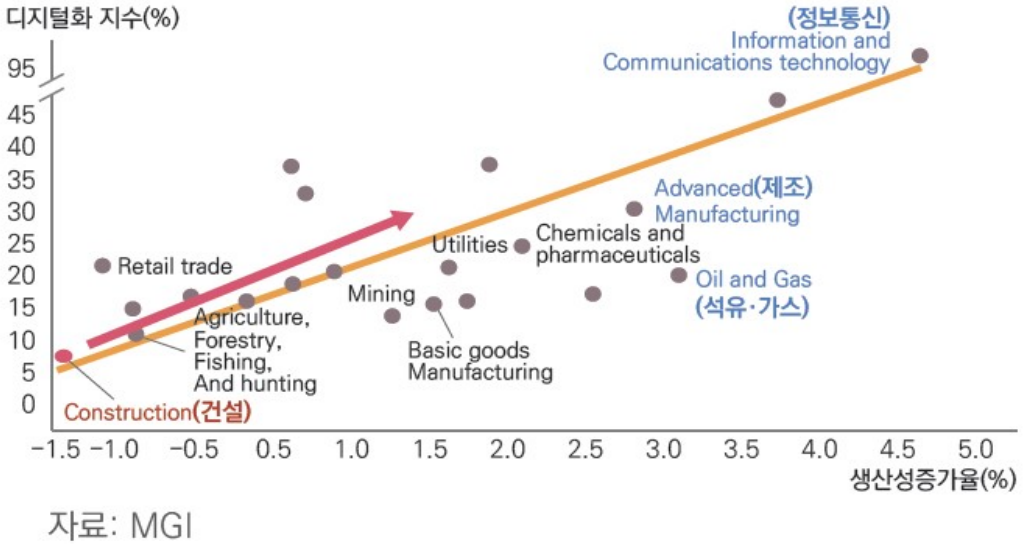
국내건설생산성은 선진국 평균의 절반 수준)

* 생산성(달러/시간) : 한국 18.7, 스페인 42.9, 영국 30.4, 프랑스 37.1, 독일 32.41

○ 선진국은 건설 생산성 혁신과 신시장 선점을 위해 중장기계획을 수립하고, 스마트 건설기술 개발 및 확산 정책 추진 중

* 영국 'Construction 2025'은 건설 원가 및 산업 전주기 비용 33% 절감, 탄소가스 50% 저감, 공기 50% 등을 목표, 일본 'I-Construction'은 2025년까지 건설현장의 생산성 20% 향상

○ 건설산업의 디지털 혁신에 따른 생산성 향상 목표는 2050년까지 제조업 수준의 생산성 (디지털화 지수 30% 이상, 생산성 증가율 3.0% 이상) 을 확보하는 것으로 설정



[그림 2-61] 주요산업의 디지털화 지수와 생산성 증가율 관계

○ 건설 공정 뿐 아니라 교량을 포함한 건설물의 운영과 유지관리에서도 최소한의 인력의 활용 모델이 필요

- 인구 감소 및 교량 등 대형 구조물 유지관리 업무의 위험성 등을 고려할 경우 ICT 기술 및 로봇·드론 등을 활용한 유지관리 방안 마련이 필요
- 센서를 통해 정보를 수집하고 AI·빅데이터 기반의 분석을 통해 교량의 컨디션을 실시간으로 파악할 수 있는 스마트 운영 시스템의 도입이 필요한 시점

□ [중점분야 Ⅳ] 지능형 정보와 안전한 주행환경 제공

○ 모빌리티의 범주가 자동차 분야를 넘어 미래에 등장할 교통수단 전반으로 확장될 전망

- 스마트 이동성 생태계 내의 교통 사업자들은 디지털화된 정보로 상호 운영될 수 있는 기반을 갖추어야 하며, 모든 교통 데이터는 개방화되어 이용자 편의와 관제, 운영의 지능화를 추구할 것으로 예상
- 기존의 장거리 운송수단인 선박 · 항공 · 철도뿐만 아니라 앞으로 등장할 미래 교통수단에 대한 대응이

필요하며, 미래 교통수단 또한 디지털화된 인터페이스를 갖추어 다른 모든 지하·지상·항공 교통수단과 통합하여 관리될 전망

* 마하 5 이상의 극초음속 여객기, 시속 1200㎞/h의 하이퍼루프 등 대형 운송수단부터 도심 내에서 운용되는 PAV(Personal Air Vehicle, 개인항공기)등 전방위적인 운항 시스템의 진화 예상

* 출처 : "AI·빅데이터로 승객이 만족할 '적정 시간' 내 탑승시키는 게 과제"(경향신문, 2019.08.11.)

[그림 2-62] 향후 예상되는 모빌리티 플랫폼 발전방향

○ 도로 인프라 스마트화를 통해 국민이 체감할 수 있는 지능형 인프라 서비스 제공 필요

- 기존 지능형 교통체계(ITS)가 양방향 통신과 V2X 기술을 접목한 차세대 지능형 교통시스템 C-ITS로 진화함에 따라 교량, 터널 등 도로 인프라도 변화 필요

  * 차세대 C-ITS(Cooperative ITS)는 양방향 통신을 통해 도로와 주변 모든 사람·사물과 정보를 주고받아 사고·위험 정보 실시간으로 제공 및 대응

- IT 기업인 Google, IBM, SAP 등과 자동차 기업 BMW, 폭스바겐, 포드, 테슬라 등은 스마트 교통시스템의 기반 중 하나인 스마트교통인프라 기술 상용화에 집중

- 국내 또한 삼성 SDS, LG CNS, 현대자동차 및 3대 통신사 등 다양한 기업이 기술투자에 집중, 다양한 분야의 업체들이 ITS 산업을 신성장동력으로 인식하고 기술교류 및 협력 진행 추세

- 스마트 교량은 유무선 센서와 통신 네트워크를 활용한 사물인터넷 기술로 교량 상태 및 주변 환경 데이터를 수집하고, 인공지능이 이를 분석하여 도로관리자나 주행 차량에 정보를 제공하는 연결성이 특징

* 출처 : U-교량안전관리시스템 개발, I-Eco City 현실화

[그림 2-63] 스마트 교량 개념

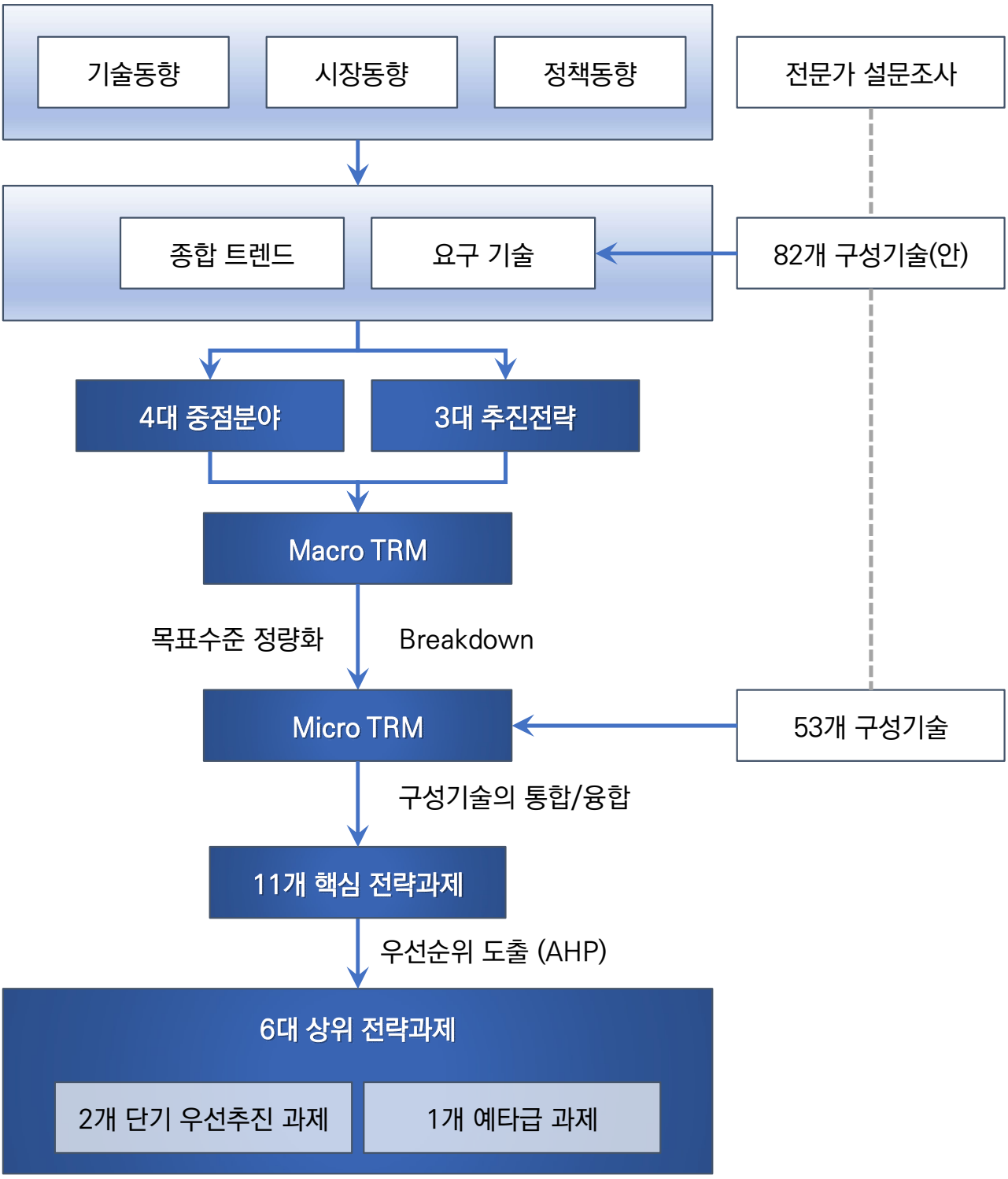
- 이동수단이 스마트화에 맞춰 인프라의 스마트화가 진행되어야 완전 자율주행의 실현, 교통사고·재난사고 예방 등 실현 가능
- 국민들이 도로 및 교량 구조물 인프라를 이용하는 과정에서 안전하고 편리하다고 느낄 수 있도록 진화 필요

2.3 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜

2.3.1 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜의 구성 프로세스

○ '신소재 기반 하이브리드 5K bridge 중장기 마스터플랜'은 기초 동향조사, 전문가 설문조사, 트렌드 분석, 기술로드매핑 및 AHP 등 다양한 방법을 통해 체계적 프로세스를 거쳐 도출됨

- 동향조사 및 전문가 설문조사를 통해 수집된 기초 이슈를 토대로 트렌드와 요구기술을 도출하고, 이를 종합하여 중장기 추진을 위한 4대 중점분야와 3대 추진전략을 구체화하여 거시적 차원에서의 기술로드맵을 구성(Macro TRM)
- Macro TRM을 세부 요소로 breakdown 하고 목표수준을 결정하여 Micro TRM을 구축하고, 이를 토대로 구성기술의 통·융합을 통해 기획그룹이 과제 형태의 기술을 도출함
- 전문가들의 평가를 통하여 향후 10년 이내 추진이 시급하게 이루어져야 하는 우선 순위가 높은 6개 과제를 선별하고 교량분야 중 해당 분야의 전문가의 집필을 통해 상세 기획을 추진하여 제안요구서(RFP) 수준의 상세 추진(안)을 도출하였음



[그림 2-64] 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 마스터플랜 도출 프로세스

2.3.2 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 중장기 마스터플랜

□ 비전체계도

○ 향후 30년간 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 중장기 마스터플랜의 비전으로 '세계를 하나로 이어주는 미래형 초연결 기술을 실현'을 추진

비 전

세계를 하나로 이어주는 미래형 초연결 기술 실현

정책목표

미래 교통 수요와 기후변화에 대비하는 최첨단 Giga-Crossing의 글로벌 경쟁력 확보

중점분야

① **미래형 초연결 교량 기술 선점** 부유식/수중교량 등 미래형 기술 확보 5㎞ 대수심 횡단 기술 선점	② **환경변화 적응형 지속가능 기술 구현** 해수면 상승에 탄력적인 기초 형식 구현 에너지자립형 그린 기술개발
③ **스마트팩토리형 시공 및 유지관리 실현** 프리팹 급속시공의 해양환경 확장 디지털 기반 O&M 전환과 무인자동화 실현	④ **지능형 정보와 안전한 주행 환경 제공** 초장대교량의 관제기술 서비스 제공 성능 기반 리스크 관리기술 개발

추진전략

추진전략 1	**10년 단위로 미래교량 형식 순차적 중점 추진** (부유식 교량 -> 수중 및 미래형식 교량 -> 5K Multifunctional Bridge)
추진전략 2	**4대 중점분야를 Value Chain과 연계** **(계획/설계)** 교량형식 다변화 **(소재/제작)** 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 **(시공)** 신속 정밀 자동화 시공 **(운영/유지관리)** 스마트 무인자율형 O&M
추진전략 3	**미래교량 형식별 Value Chain 연계 기술로드맵 구축 및 전략과제 제시**

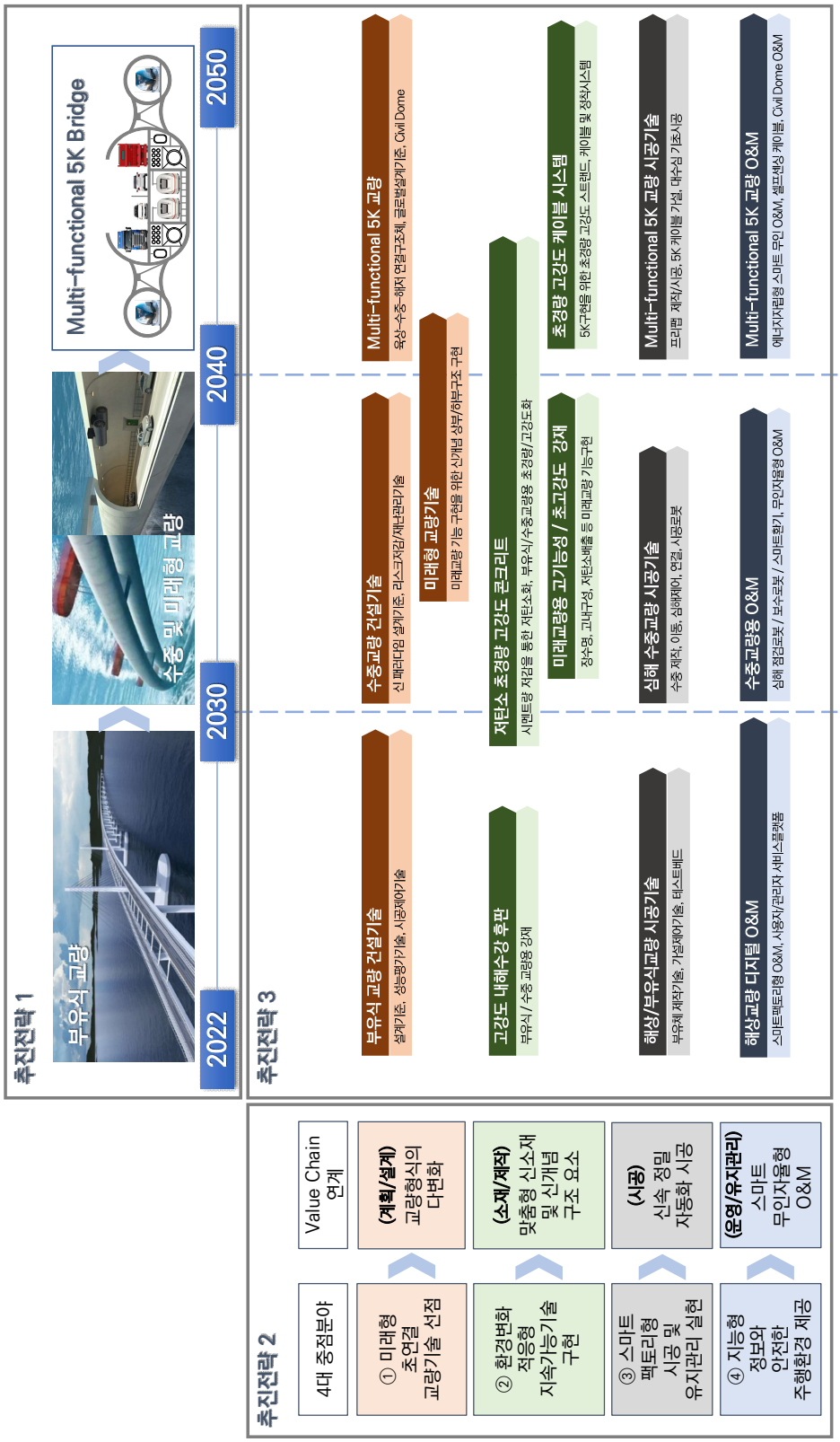
AS-IS	To-be
• 가격 경쟁력 기반의 해외 장대교량 시장 진입 성과 도출 • 대수심에서의 부유식 주탑 사장교 등 해외 시장의 첨단 이슈에는 대응 못함 • 100개의 국내 장대교량 유지관리는 BMS를 갖추고 있지만 인력 점검에 의존 • 고도의 기술력을 갖춘 인력이 양성되었으나 이를 지속시켜줄 건설산업이 소강상태임	• 5K 기술 개발로 해외 시장 선도 및 동남아 장대교량 프로젝트 수주 경쟁력 우위 확보 • 주변국과의 육로 연결 가시화에 따른 건설산업의 대국민 호응도 향상 및 자긍심 고취 • 자동화 무인화에 따른 생산성 향상 및 유지관리 비용 대폭 절감 • 미래 교량시장의 창출로 건설산업의 해외경쟁력을 제고하고 기술인력을 지속적으로 양성함

[그림 2-65] 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 비전체계

2.4 5K Bridge 중장기 기술 로드맵(2050)의 도출

2.4.1 4대 중점분야 기술 로드맵(매크로 로드맵)

○ 3대 추진전략에 따라 4대 중점분야에 대한 중장기 매크로 기술 로드맵을 구성

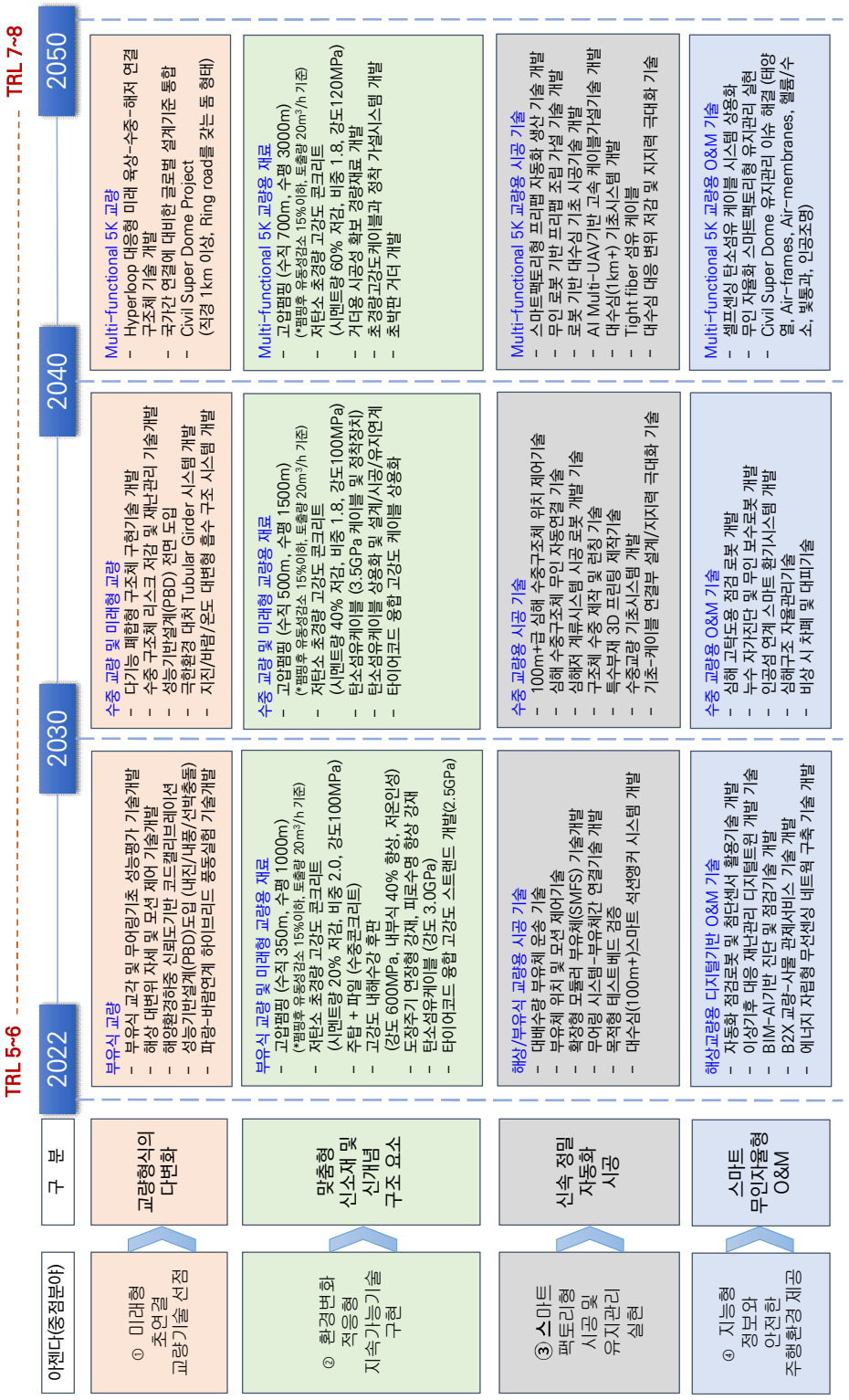


2.4.2. 교량기술 영역별 구성기술의 도출

□ 매크로 로드맵 Breakdown 및 목표수준 설정

○ 매크로 로드맵의 Breakdown을 통한 개발기술 구체화 및 정량적 목표수준 설정

- 구체적 수준에서 중장기 마스터플랜을 구성하기 위해 시기별(발전 형식별) 중점분야 - 전략과제 - 기술성과로 연계되는 가장 작은 단위의 각 세부 기술요소들을 도출



○ **(도출방법)** 수집된 기술수요조사서를 기초로 하여 각 세대별 교량형식을 구현하기 위해 4대 전략방향(**① 미래형 초연결 교량 기술 선점 ② 환경변화·적응형 지속가능 기술 구현 ③ 스마트 팩토리형 시공 및 유지관리 실현 ④ 지능형 정보와 안전한 주행환경 제공)을 구현하기 위하여 각 교량기술의 영역별(Ⅰ. 교량형식의 다변화, Ⅱ. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소, Ⅲ. 신속정밀 자동화 시공, Ⅳ. 스마트 무인자율형 O&M**) 필요기술을 도출하여 구성기술화

- 82건의 기술수요조사 기초로 하여 기본적 기술구성(안)을 구성하되, 각 형식과 시기별 필요한 기술 중 누락된 기술에 대해서는 기획그룹이 일부 추가하여 구성함

○ **(도출결과)** 총 53개 구성기술이 도출됨

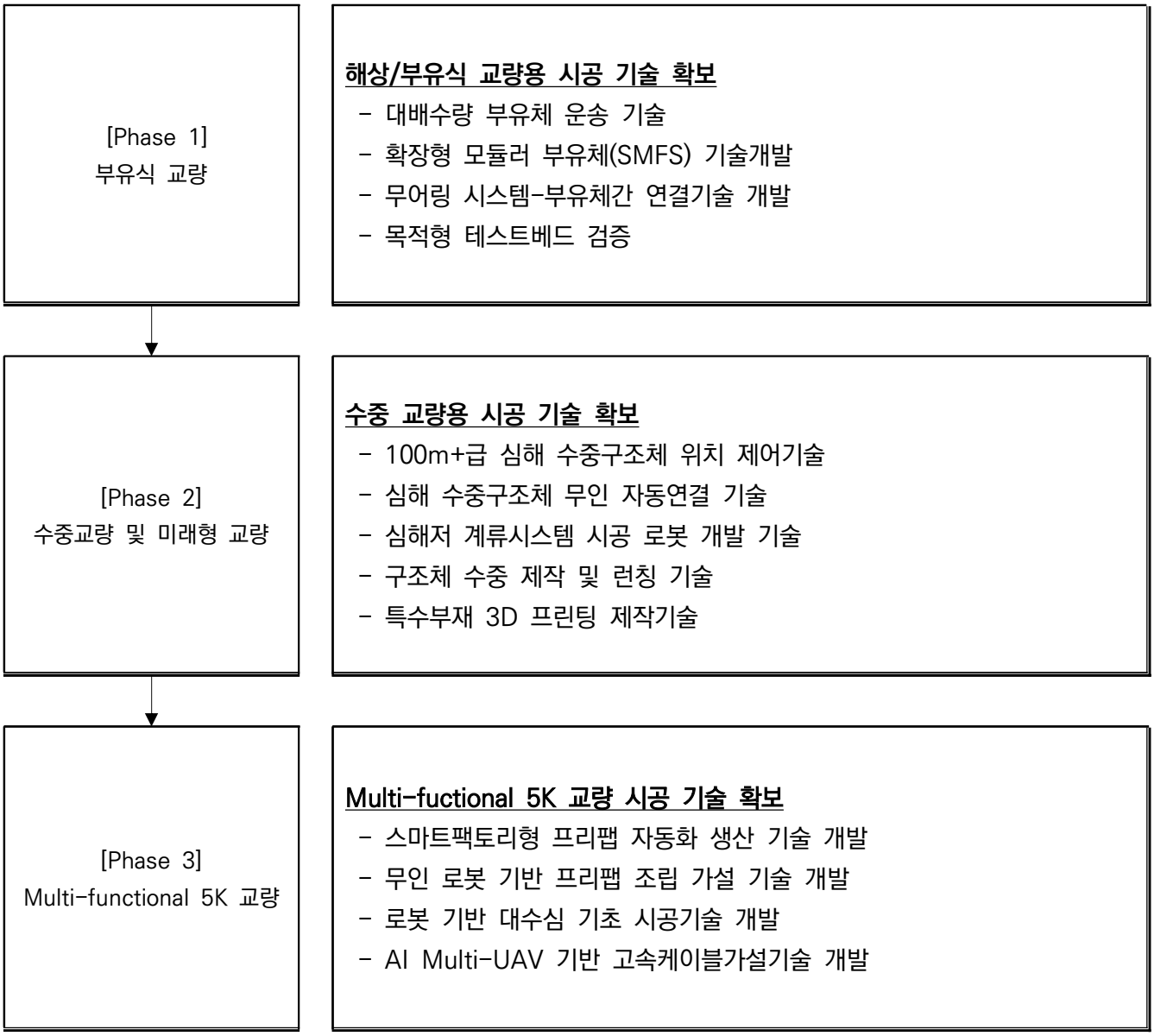
(1) 교량 형식의 다변화와 관련한 구성기술

[Phase 1] 부유식 교량	**부유식 교량 건설 기술 확보** - 부유식 교각 및 무이링 기초 성능평가 기술 개발 - 해상 대변위 자세 및 모션 제어 기술 개발 - 해양환경하중 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 - 성능기반설계(PBD) 도입(내진/내풍/선박충돌) - 파랑-바람연계 하이브리드 풍동실험 기술개발
[Phase 2] 수중교량 및 미래형 교량	**수송 교량 및 미래형 교량 건설 기술 확보** - 다기능 폐합형 구조체 구현기술 개발 - 수중 구조체 리스크 저감 및 재난관리 기술개발 - 성능기반설계(PBD) 전면 도입 - 극한환경 대처 Tubular Girder 시스템 개발 - 지진/바람/온도 대변형 흡수 구조 시스템 개발
[Phase 3] Multi-functional 5K 교량	**Multi-fuctional 5K 교량 건설 기술 확보** - Hyperloop 대응형 미래 육상-수중-해저 연결 구조체 기술 개발 - 국가간 연결에 대비한 글로벌 설계기준 통합 - Civil Super Dome Project(직경 1㎞ 이상, Ring road를 갖는 돔 형태)

(2) 맞춤형 신소재 및 신개념 구조 요소와 관련한 구성기술

[Phase 1] 부유식 교량	**부유식 교량 및 미래형 교량용 재료 기술 확보** - 기능성 지표(고압펌핑 혼화재, Pumpability) - 주탑 + 파일 (수중콘크리트) - 저탄소 초경량 고강도 콘크리트(시멘트량 20% 저감, 비중 2.0, 강도 100MPa) - 고강도 내해수강 후판(강도 600MPa, 내부식 40% 향상, 저온인성) - 탄소섬유케이블(강도 3.0GPa) - 타이어코드 융합 고강도강선 개발(2.5GPa)
[Phase 2] 수중교량 및 미래형 교량	**수중 교량 및 미래형 교량 재료 기술 확보** - 저탄소 초경량 고강도 콘크리트(시멘트량 40% 저감, 비중 1.8, 강도 100MPa) - 탄소섬유케이블 (3.5GPa 케이블 및 정착장치) - 탄소섬유케이블 상용화 및 설계/시공/유지연계 - 타이어코드 융합 고강도 케이블 상용화
[Phase 3] Multi-functional 5K 교량	**Multi-fuctional 5K 교량 재료 기술 확보** - 저탄소 초경량 고강도 콘크리트(시멘트량 60% 저감, 비중 1.8, 강도 120MPa) - 거더용 시공성 확보 경량재료 개발 - 초경량고강도케이블과 정착 가설시스템 개발 - 초박판 거더 개발

(3) 신속 정밀 자동화 시공과 관련한 구성기술



(4) 스마트무인자율형 O&M 기술과 관련한 구성기술

[Phase 1] 부유식 교량	**해상교량용 디지털기반 O&M 기술** - 자동화 점검로봇 및 첨단센서 활용기술 개발 - 이상기후 대응 재난관리 디지털트윈 개발 기술 - BIM-AI기반 진단 및 점검기술 개발 - B2X 교량-사물 관제서비스 기술 개발 - 에너지 자립형 무선센싱 네트워크 구축 기술 개발
[Phase 2] 수중교량 및 미래형 교량	**수중 교량용 O&M 기술 확보** - 심해 고탁도용 점검 로봇 개발 - 누수 자가진단 및 무인 보수로봇 개발 - 인공섬 연계 스마트 환기시스템 개발 - 심해구조 자율관리 기술 - 비상 시 차폐 및 대피 기술
[Phase 3] Multi-functional 5K 교량	**Multi-fuctional 5K 교량 O&M 기술 확보** - 셀프센싱 탄소섬유 케이블 시스템 상용화 - 무인 자율화 스마트팩토리형 유지관리 실현 - Civil Super Dome 유지관리 이슈 해결(태양열, Air-frames, Air-membranes, 헬륨/수소, 빛통과, 인공조명)

2.4.3. 중장기 기술 로드맵(마이크로 로드맵)의 도출

○ 각 세대별 교량형식을 구현하기 위해 도출된 총 53개 구성기술을 각 교량 기술 영역(I. 교량 형식의 다변화, II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소, III. 신속정밀 자동화 시공, Ⅳ. 스마트 무인자율형 O&M)에 해당하는 필요기술을 도출하여 구성기술화 시기별 요구수준에 맞추어 배치함으로써 중장기 기술 로드맵을 구성함

○ **(참고)** 각 구성기술들의 시잔적 배치와 관련한 의사결정 자료 (raw data)

- 동 자료를 기초로 시기별/형식별 요구수준에 맞추어 배치하여 중장기 기술 로드맵 구성

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
2022년~2030년 (향후 10년)	1	Green structures (친자연환경 재료이용 교량구조시스템 개발)	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	재활용 가능한 부재 단위의 모듈 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	3	기존 구조재료의 탄소 저감재료 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	4	구조물 설계에서 탄소함량 최소화 방안	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	미국 하이라인과 같이 기존 교량구조물을 도시재생의 핵심요소로 활용	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	2	기존 교량의 설계수명 평가방안과 목표 설계수명 설정 방법 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	3	기존 교량에 대한 기술적 정보 구축과 교육자료 개발	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	1	태양광 발전 시설이 교량의 구조체로서 작용하는 태양광발전 일체형 교량 개발	신형식
2031년~2040년 (향후 20년)	2	교면 태양열 이용 기술 개발	기타
2022년~2030년 (향후 10년)	1	미래 예측 기반 교량 예방적 유지관리 체계 구축 기술	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	확보 데이터 기반 데이터 구축 범위 확대를 위한 인공지능 응용 기술 등	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	탄소 제로 정책에 대한 선제적 대응	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	2	저탄소 배출 토목 재료 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	3	저탄소 배출 최적화 교량 기술 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	1	도로교 및 철도교 최빈 형식 도출	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	최적 설계 단면안 설계 기술 개발	설계
2022년~2040년 (향후 20년)	1	케이블 교량의 주요 부재인 케이블에 대한 평가 및 잔여수명/설계수명 연장 기술	유지관리
2022년~2040년 (향후 20년)	2	사장교 및 현수교의 주요 부재의 전면 및 부분교체 기술	유지관리
2022년~2040년 (향후 20년)	3	교통체계 변화를 수용할 수 있는 단면 개발 및 교체 기술	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	장기/단기 교량 계측 자료를 활용한 교량의 노후도/내하력 판정 방안	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	잔류 기대 수명을 고려한 신뢰도기반의 기존교량 보강설계 기술 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	도로/철도 교량등 시설물 전반의 노후도 증가에 따른 노후 교량 재활성화 플랜 수립	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	신소재 및 부분 설계 기술을 활용한 노후교량 재활성화 상세 기술 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	스마트솔루션적용 교량의 전생애주기에 최적화된 건설용 후판 및 고강도 케이블 적용기술 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	고강도 케이블 보완기술 개발(부방식성능향상, 연성도 향상 등 수명기간 성능향상, 재난대응솔루션 개발 등)	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	케이블 자중을 줄이기 위해 인장강도 3000MPa 수준의 CFRC 케이블과 화재시 케이블 보호용 내화시스템 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	5K 교량 강재주탑의 지진에 대한 연성도를 높일 수 있도록 인성이 개선된 고인성 고강도 강재의 개발	건설재료

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
2022년~2030년 (향후 10년)	3	5K 교량 콘크리트주탑의 지진력을 저감할 수 있는 설계강도 120MPa 수준의 고강도 경량 현장타설 콘크리트 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	4	부유식 기초가 가능하도록 부식이 없고 균열이 없는 설계강도 200MPa의 탄소섬유보강 콘크리트 개발	건설재료
지금	1	해상교량에 통행로를 만들수 있는 신소재 개발 및 구축기술 개발	건설재료
지금	2	강성과 연성을 모두 갖춘 교면포장재 개발	건설재료
지금	3	교량 시설을 활용한 물분수쇼, 번지점프 등 기술개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	석회석 자원의 저품질화로 인한 시멘트 품질저하가 궁극적으로 콘크리트 품질저하로 이어지고 있음.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	또한, 시멘트 생산과정에서 필연적으로 발생하게되는 이산화탄소는 전세계 이산화탄소 발생량의 5~8%를 차지하고 있음.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	3	이를 혁신적인 재료 개발을 통하여 해결할 수 있는 친환경 차세대 시멘트 및 콘크리트 개발이 필요함.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	4	시멘트를 대체할 수 있는 대량의 산업부산물과 이를 화학적으로 고형화 시킬수 있는 방법이 개발되어야 함.	건설재료
2031년~2040년 (향후 20년)	1	석회석의 소성과정에서 이산화탄소를 배출하는 것이 아닌 공기중의 이산화탄소를 역으로 흡착하여 강도를 발현하는 미래 시멘트 합성 기술 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	기존의 장경간 교량의 한계를 뛰어넘고 내진성능을 근본적으로 강화시키려면 고강도 및 초경량 콘크리트의 개발이 필요함.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	이는 콘크리트의 구성요소인 골재를 자연골재 대신 경량 및 고강도 인공골재의 적용으로 달성 가능함.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	3	따라서 인공골재 제조 및 합성기술 개발이 고강도 경량 콘크리트 기술의 핵심이라고 할 수 있으며, 이에 맞는 고성능 유동화재 개발도 함께 이루어져야 한다고 사료됨.	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	초경량구조가 가능하도록 할 수 있는 구조 형식 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	초고인성, 초고강도 소재의 개발	건설재료
지금	1	고연성 경량 콘크리트 배합기술 및 평가 기술	건설재료
지금	2	기능성 향상을 위한 경량 콘크리트 제조 기술	건설재료
지금	1	나노소재 및 친환경 소재의 적용 타당성 조사	건설재료
지금	2	고감쇠율, 고피로내구성, 고크리프 저항성 및 고인장강도를 갖는 소재 조성 최적화	건설재료
지금	3	내부식성 향상을 위한 코팅소재 적용 기술 개발	건설재료
지금	4	제조 및 공정기술 개발	건설재료
지금	1	국내외 최신 기술 동향 및 성능 요구도 조사	건설재료
지금	2	고성능 FRP케일블 Anchorage 시스템 개발	건설재료
지금	3	고성능 FRP케일블의 진동 저감을 위한 damper 시스템 개발	건설재료
지금	4	고성능 FRP케일블 성능평가 실험 기술 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	FRP 철근, 텐던, 케이블 재료 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	FRP 철근, 텐던, 케이블 사용을 위한 설계기준 정립	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	장수명 강재 코팅 기술 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	초고내구성 콘크리트 재료 기술 개발	건설재료

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
2022년~2030년 (향후 10년)	3	고성능 복합재료를 이용한 고내구성 교량 구조요소 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	알루미늄 등을 활용한 나노 신소재 재료의 교량구조 적용방안 검토	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	신소재별 교량 구성품 적용방안 개발	건설재료
지금	1	전기자동차로 인해 석유산업의 방향이 변화될 예정이며, 이 과정에서 건설분야에서 채택가능한 경쟁력있는 석유화학 재료의 선정 및 활용방안에 대한 연구	건설재료
지금	2	스마트건설과 관련된 3D 프린터를 활용한 건설기술의 개발과 이러한 건설용 프린터에 적합한 건설재료 필라멘트의 개발	건설재료
지금	1	고기능성/고성능 재료 요소기술 개발 및 다기능 재료합성 기술개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	1	초장대 복합 교량 및 철도교량 설계기술 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	초장대 철도교량 주행안전성 확보 기술개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	3	초장대 철도교량 내진안전성 확보 기술개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	Hyperloop용 교량 해석 기술개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	2	Hyperloop용 교량 설계 및 시공 기술개발	설계/시공
2022년~2030년 (향후 10년)	3	Hyperloop 시스템 - 교량 interface 기술개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	교량하부기초 형식관련 신공법 개발(ex: 부유식 기초)	시공
2022년~2030년 (향후 10년)	2	복합형식 교량의 개발(ex: submerged tube bridge)	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	시공 중 발생되는 과변위를 제어할 수 있는 공법개발과 바람 저항을 최소로 하는 구조시스템 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	2	공용 중 상하변위 뿐만 아니라 횡방향 변위를 효과적으로 제어할 수 있는 케이블 및 구조시스템 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	3	공용 중 활하중과 지진에 의한 종방향 변위를 수용할 수 있는 신축장치과 제한하는 이동제한시스템 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	4	케이블과 거더의 진동을 능동적으로 제어할 수 있도록 AI기법이 도입된 Active Damping 시스템 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	아진공 상태 유지 관리를 위한 상세	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	2	테러/재해 시 안전 확보 및 복구 방안	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	1	초저변위 교량 구현 및 주행안정성 확보를 위한 정/동적 변위 저감기술	신형식
2031년~2040년 (향후 20년)	2	내압 및 외압에 대한 튜브형 교량 설계 및 시공기술	신형식/설계/시공
2031년~2040년 (향후 20년)	3	초저변위 교량 구현을 위한 신재료 개발	건설재료
2031년~2040년 (향후 20년)	4	튜브형 교량의 내외부 극한사건(충돌/폭발/화재 등)에 대한 구조거동 평가기술	신형식
지금	1	초대형 부유식 구조체 개발 및 적용기술	신형식
지금	2	수중 및 부유식 구조물 장수명화를 위한 신재료 및 표면처리기술 개발	건설재료
지금	3	수중 및 부유식 교량 설계/시공/유지관리 기술개발	신형식
지금	4	수중 및 부유식 교량의 내외부 극한사건(충돌/폭발/화재 등)에 대한 구조거동 평가기술	신형식
지금	1	대수심 해양 횡단 부유식 교량의 통합 해석 및 설계 기술	설계
지금	2	대수심 해양 횡단 수중 교량의 통합 해석 및 설계 기술	설계

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
지금	3	파랑 및 해류하중, 풍하중, 지진하중, 충돌하중, 차량하중 고려	설계
지금	4	유체-구조물 상호작용, 지반-구조물 상호작용 고려	설계
지금	5	장기 피로 거동 해석	설계
지금	6	부유식 케이블 주탑의 안정성 해석 및 설계 기술	설계
지금	7	장경간 구조물 접합부 설계 기술	설계
지금	8	테더링 거동(slack 포함) 해석 및 구조물/앵커 연결부 설계 기술	설계
지금	9	해저지반 앵커링 해석 및 설계 기술	설계
지금	1	대수심 해양 횡단 부유식 교량의 지진위험 관리 기술	재난
지금	2	대수심 해양 횡단 수중 교량의 지진위험 관리 기술	재난
지금	3	부지 특성을 고려한 지진재해도 산정 기술	재난
지금	4	구조 시스템의 지진취약도, 지진위험도 및 복원력 산정 기술	재난
지금	5	목표 내진성능을 만족시키기 위한 내진설계 기술	재난/설계
지금	6	지진해일 피해저감 기술	재난
지금	7	지진관측망과 연계한 실시간 지진피해예측 및 대응기술	재난/유지관리
지금	1	대수심 해양 횡단 부유식 교량의 진동제어 기술	신형식
지금	2	대수심 해양 횡단 수중 교량의 진동제어 기술	신형식
지금	3	파랑 및 해류하중, 풍하중, 차량하중에 의한 상시 진동제어 기술	신형식
지금	4	외부 진동에 영향을 받지 않는 구조체 및 부유체 설계 기술	설계
지금	5	상시 진동계측 자료를 이용한 실시간 상태진단 기술	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	1	초고속열차 시스템 요구사항을 고려한 최적 교량 시스템 설계	설계
2031년~2040년 (향후 20년)	2	디지털 목업 개발 및 실증	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	1	부유체 및 수중케이블용 초경량 고내구성 신소재 개발	건설재료
2022년~2030년 (향후 10년)	2	사회경제적 최적화에 따른 목표신뢰도 결정 및 주요 하중에 대한 신뢰도 기반 코드켈리브레이션	설계기준
2022년~2030년 (향후 10년)	3	Hydroelastic analysis 기법 개발 / Hybrid wind tunnel test 및 조파수조 실험 및 성능평가 기술 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	4	재난 리스크 해석 및 평가기술 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	5	사용성 평가 및 진동제어 기술 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	6	실증 테스트베드 구현	시공
2041년~2050년 (향후 30년)	1	부유체 및 수중케이블용 초경량 고내구성 신소재 개발	건설재료
2041년~2050년 (향후 30년)	2	사회경제적 최적화에 따른 목표신뢰도 결정 및 주요 하중에 대한 신뢰도 기반 코드켈리브레이션	설계기준
2041년~2050년 (향후 30년)	3	Hydroelastic analysis 기법 개발	신형식
2041년~2050년 (향후 30년)	4	재난 리스크 해석 및 평가기술 개발	설계
2041년~2050년 (향후 30년)	5	인공섬을 활용한 환기기술 개발	신형식
2031년~2040년 (향후 20년)	1	선형 관리 기술 개발	시공
2031년~2040년 (향후 20년)	2	진동 평가 및 관리기술 개발	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	3	하중모델 개발 및 설계기준 개발	설계기준
2031년~2040년 (향후 20년)	4	성능평가 및 리스크 관리 기술 개발	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	5	차량개발팀과의 협업	신형식
지금	1	모듈화된 부유식 교량 개발	신형식

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
지금	2	케이블을 부재를 이용한 모듈 연결 및 해저면 및 지반 앵커링 기술개발	신형식
지금	3	부유를 위해 계획되는 뷰유식 기초 및 구조물을 활용한 친환경 에너지 기술 (태양광, 조력발전)	신형식
지금	4	파랑에 의한 진동에너지를 댐핑장치로 흡수하고 이 에너지를 소규모 발전을 전환시키는 기술개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	첨단 신교통수단 및 자율주행 등 미래형 스마트 교통 시스템 대응 도심지 교량 구조 기술개발(예: Hyper Loop 용 교량 시스템)	신형식
지금	1	초장대 철도 도로 복합 교량 실현을 위한 구조 기준 정립 - 초장대 교량의 철도 차량 통행을 위한 주행 속도별 주행안전성 및 승차감 기준 정립	설계기준
지금	2	초장대 철도 도로 복합 교량의 차세대 궤도 시스템 개발 - 신축 변위와 수직 변위가 큰 초장대 교량의 고속열차 통행 및 고속 주행을 위한 차세대 궤도 시스템 개발	신형식
2022년~2030년 (향후 10년)	1	해양구조물 혹은 대형 선박의 자동 자세 조절 장치를 활용한 교량구조물 설계	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	내진 기초의 성능 및 지반/파동등에 대한 구조물 기초의 성능향상	신형식
지금	1	IoT 기반 계측 시스템 구현을 통한 원격 기반 노후도 평가 시스템 개발	유지관리
지금	2	프로젝트 베이스의 개별 실적을 케이블 교량 일반으로 확대하기 위한 일반화 연구	유지관리
지금	3	구조계의 특성이 일반화 되어 있는 거더교를 그룹핑하고 대표 교량에 대한 빅데이터를 수집	유지관리
지금	4	최소 센싱으로 교량 노후도 및 시간에 따른 구조물 내하력 변화를 손쉽게 모니터링 하는 시스템 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	거더, 주탑, 케이블 도장의 도막상태를 자동계측하는 비파괴 검사기법과 도장보수용 로봇의 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	주케이블과 PSC부재내에 매입된 PS강재의 부식정도를 파악하는 비파괴 검사기법과 교체공법 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	3	콘크리트의 중성화정도를 자동으로 측정하는 비파괴 검사기법과 장기거동 예측 시스템 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	4	요소단위로 점검된 결과를 분석해 부재단위의 성능을 평가하고 대응방안을 수립하는 AI 평가시스템 개발	유지관리
지금	1	드론 활용 외부상태 영상 DB 구축기술 개발	유지관리
지금	2	로보틱 비파괴검사(NDE)장비 활용 케이블 내부상태 검사 DB 구축기술 개발	유지관리
지금	3	고속WIM과 교량계측시스템 활용 부재별 거동 DB 구축기술 개발	유지관리
지금	4	해상교량 구조안전 DB기반 머신러닝 활용 손상평가 및 이상거동 평가기술	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	컴퓨터 비전 및 다수의 고성능 카메라를 활용한 전체 구조계의 진동변위 측정	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	다수 UAV 및 무인점검로봇을 활용한 외관조사의 자동화	유지관리

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
2022년~2030년 (향후 10년)	3	물리기반 그래픽 모델을 활용하여 외관의 손상 및 정도를 시각화	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	4	손상이 반영된 물리엔진 기반의 3D 모델을 통한 전문가의 비접촉(Untact) 외관조사 구현	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	5	구조계의 정/동적 특성, 손상 이력 및 전문가 외관조사 결과를 통합한 3D 구조물 관리모델 구축	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	모니터링 시스템 고도화 (Big data, AI 활용)	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	스마트 건설재료 (손상부위 자체 보수 기능 등) 개발	재료
2031년~2040년 (향후 20년)	1	비파괴 인프라 상태 진단/위험요인 탐지 기술 고도화	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	2	인프라 상태 진단 로봇 개발	유지관리
2031년~2040년 (향후 20년)	3	보수보강 로봇 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	실시간 계측자료와 구조해석 연동기술개발(상용해석 tool 배제)	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	다양한 재난 상황 시뮬레이션 기술 개발(상용해석 tool 배제)	유지관리
지금	1	AI 학습 데이터 생성을 위한 교량 주요 거동의 fast simulation 기술 개발	유지관리
지금	2	교통 및 기후 환경 연계된 온라인 실시간 sensor fusion digital twin 기술 개발	유지관리
지금	3	AI 및 digital twin 시뮬레이션 기술을 활용한 성능 기반 설계 기술 개발	유지관리
지금	4	digital twin 기반 제작, 시공단계 시나리오 simulation 및 최적 solution 개발	유지관리
지금	5	AI digital twin 기반 운영단계 simulation, 예측 및 최적 운영, 유지관리 solution 개발	유지관리
지금	6	AI digital twin 기반 재해, 재난, 손상 식별 및 성능평가 solution 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	도로/철도 교량등 시설물 전반의 노후도 증가에 따른 노후 교량 재활성화 플랜 수립	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	신소재 및 부분 설계 기술을 활용한 노후교량 재활성화 상세 기술 개발	유지관리
지금	1	스마트 모니터링 기술의 실시간 현장 적용을 통한 차세대 교량 진단 시스템 개발	유지관리
지금	2	실시간 계측 빅데이터에 AI 기법을 활용한 차세대 교량 운영 및 유지관리 자동화 시스템 개발	유지관리
지금	3	전생애 주기 구조물 헬스케어 시스템 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	통행 허가 중량 준수 여부의 투명성 확보를 위한 차량의 통행 중량 첨단 센싱 시스템 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	케이블교량 등 특수교를 포함한 교량구조물 및 도로포장에 대한 첨단 센싱 및 정밀 해석을 통한 최대 성능 결정 기술 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	3	계산역학-데이터-확률론 기반 교량 안전성능 확보를 위한 차량별 및 통행 방식별 허가중량 결정 시스템 개발	유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	4	도로인프라 데이터베이스 구축을 통한 차량 중량별 통행가능 노선 개발	유지관리
지금	1	integrated design: 구조물과 교량 부속시설물의 부합화(부가적인 재료사용과 이음의 최소화)	신형식

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
지금	2	free form이 가능한 digital architecture, digital fabrication, digital construction	디지털/IT
지금	3	3d printing construction을 위한 material, robot system 개발	시공
지금	4	구조물의 Life cycle을 고려한 BIM 개발	설계/유지관리
지금	5	스마트 교량건설 교육프로그램 개발	설계/시공
2031년~2040년 (향후 20년)	1	주변 교통상황 분석 및 통신기술 개발	스마트시티
2031년~2040년 (향후 20년)	2	차량감지 및 통행, 속도 제어 기술	스마트시티
지금	1	도로교 및 철도교 최빈 형식 도출	설계
지금	2	기존 설계 자료 분석을 통한 교량 기술 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	1	교량의 디지털 객체화 및 무인차량 혹은 UAM이 객체를 인지하도록 하는 비접촉 센싱 및 통신 기술	디지털/IT
2022년~2030년 (향후 10년)	2	사고나 교량 손상 등 서비스 상태에 대한 인지 능력을 갖는 교량 시스템	디지털/IT
2022년~2030년 (향후 10년)	3	UAM을 위한 착륙 공간 및 스마트 모빌리티 충전 및 서비스 공유 플랫폼 제공 시스템 개발	디지털/IT
2022년~2030년 (향후 10년)	1	BIM 등 3차원 그래픽과 데이터를 이용한 교량 설계, 시공의 검토및 오류 제거와 유지관리 데이터 구축 및 활용	설계/시공
2022년~2030년 (향후 10년)	1	운용 중 데이터(환경, 구조응답, 하중 등)와 교량 해석모델 상시 동화를 통한 노후화 예측 및 업데이트	디지털/IT/유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	2	비정상(abnormal) 상황(예: 충돌, 화재 등) 발생 후 취득 데이터 기반 교량 해석모델의 즉시 업데이트	유지관리/재난
2022년~2030년 (향후 10년)	1	교량의 계산역학모델과 데이터기반모델이 결합된 하이브리드 디지털트윈과 확률론적 추론	디지털/IT
2022년~2030년 (향후 10년)	2	리스크 인지(Identification)-결합(Integration)-추론(Inference)을 통한 교량 생애주기 리스크관리 최적 의사결정(Implementation) 도출 기술	재난
2022년~2030년 (향후 10년)	1	풍하중 및 풍진동 저감에 유리한 주거더/주탑 형상 개발	재난/설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	주거더/주탑/케이블에 대해 풍진동 제진장치 (능동형/수동형) 개발	재난/유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	일반 교량 대상 중저가 다채널 계측 시스템 개발	SHM
2022년~2030년 (향후 10년)	2	상시계측 데이터 및 재난 시 구조해석 결과를 융합, 확률론적 하이브리드 교량 거동 예측을 통한 재난대응 의사결정 기술 개발 (부제: 교량의 스마트워치, Smartwatch on the bridge)	디지털/IT
2022년~2030년 (향후 10년)	3	지자체별/주요거점별 교량 관리 상황실 구축 시스템 개발	재난/유지관리
지금	1	대수심 해양 횡단 부유식 교량의 지진위험 관리 기술	재난/관리
지금	2	대수심 해양 횡단 수중 교량의 지진위험 관리 기술	재난/관리
지금	3	부지 특성을 고려한 지진재해도 산정 기술	재난
지금	4	구조 시스템의 지진취약도, 지진위험도 및 복원력 산정 기술	재난
지금	5	목표 내진성능을 만족시키기 위한 내진설계 기술	재난/설계
지금	6	지진해일 피해저감 기술	재난
지금	7	지진관측망과 연계한 실시간 지진피해예측 및 대응기술	재난
지금	1	BIM 및 구조모델의 통합을 통해 유지관리시 계측결과와 구조모델의 동기화 기술개발	디지털/IT/유지관리

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
지금	2	외부 센서에 의한 측정된 고정하중, 활하중, 풍하중 및 온도하중을 모델에 적용시켜 발생된 변위와 측정된 변위와의 계속적인 Feed Back 을 통해 상시동화 방안 구축	디지털/IT/유지관리
지금	1	계산-데이터-확률론에 기반한 교량 생애주기 리스크 인지, 추론 및 최적 의사결정 기술개발	디지털/IT/유지관리
2022년~2030년 (향후 10년)	1	미래 차세대 이동 수단, 자율 주행 차량, 및 미래 스마트 교통 시스템의 운행 요구 조건 정립	스마트시티
2022년~2030년 (향후 10년)	2	차세대 교량의 서비스 제공 수준 정립 - 미래 교통 수단에 따른 교량 허용 변위, 진동 특성 기준 - 도로 및 궤도 복합 시스템의 공간적/구조적(geometrical/structural) 요구 조건 정립	스마트시티
지금	1	설계기준의 만족이 꼭 사회의 요구사항과 일치하지 않으므로 그 괴리가 있는 부분을 조사하고 대책 마련	설계
지금	2	미래의 교통패턴, 수단에 대한 예측과 사회적인 요구사항 분석	
지금	3	미래의 변화를 예측하고 거기에 맞는 합리적인 설계기준 정비	
지금	1	전통적인 경험과 지식으로는 예측할 수 없는 시대적인 흐름에 필요한 의사결정 체계 마련	설계
지금	2	기존의 다양한 사건들에 대한 분석과 시뮬레이션 등 데이타 수집	
지금	1	미래교량의 주요 도전이슈인 공기역학적, 유체역학적 거동 제어	설계
지금	2	기존의 기술을 뛰어넘는 혁신적인 기술개발	
2031년~2040년 (향후 20년)	1	경량의 활하중에 대응하는 설계하중 및 설계 기준 개발	설계
2031년~2040년 (향후 20년)	2	모듈화 급속시공을 이용한 도심지 급속 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	1	이상기후를 고려한 교량 설계시방서 개정	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	단기 기후/환경 조사/모니터링을 통한 설계파라미터 산정 가이드라인	
지금	1	3D 프린팅 기술을 적용한 신개념 교량 건설 기술의 개발	소재/건설재료
지금	1	그래핀 기술을 활용한 초고강도, 초경량 재료의 개발 및 응용 기술 개발	소재/건설재료
지금	1	BIM 등 3차원 그래픽과 데이터를 이용한 교량 설계, 시공의 검토및 오류 제거와 유지관리 데이터 구축 및 활용	설계
2022년~2030년 (향후 10년)		-	설계
2022년~2030년 (향후 10년)		-	소재/건설재료
지금	1	현재의 보수적인 철도교량 설계 코드 개선을 통한 경제성 향상	설계
지금	1	표준화 기능 모듈 정의 및 이를 기반한 대량 생산 체계 표준 정의	설계
지금	2	모듈 기반 급속 시공 기술 개발	
2031년~2040년 (향후 20년)	1	상세한 구조물 정보를 포함하고 및 시공 과정의 홀로그램 구현이 가능한 설계 및 시공 프로그램 개발	시공
2031년~2040년 (향후 20년)	2	홀로그램을 따라 정밀 시공을 할 수 있는 건설 로봇 및 드론 개발	

추진시기	하위 No.	주요개발내용	구분
2022년~2030년 (향후 10년)	1	풍하중 및 풍진동 저감에 유리한 주거더/주탑 형상 개발	재난 및 재해 대응
2022년~2030년 (향후 10년)	2	주거더/주탑/케이블에 대해 풍진동 제진장치 (능동형/수동형) 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	1	24시간 날씨 제약을 받지 않고 작업할 수 있는 철근 공사용 로봇 개발 (ex. Tybot by AC Robots)	시공
2022년~2030년 (향후 10년)	2	Steel structure 현장 용접 품질을 획기적으로 개선할 수 있는 자동 용접 로봇 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	1	교량 모든 요소의 공장 Precast module화를 위한 연결 구조 개발 (기초와 교각, 교각과 코핑, 코핑과 상부 거더등)	시공
2022년~2030년 (향후 10년)	2	공장 Precast Module화 된 교량의 내구성 확보를 위한 설계 기준 정립	
2022년~2030년 (향후 10년)	1	IoT 기반 하중, 저항 data 자동 수집 및 처리 기술 개발	설계
2022년~2030년 (향후 10년)	2	사회 경제적 요인을 고려한 구조물 신뢰성 기준 설정 기술 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	3	Level III 이상 simulation 기반 교량 설계 기술 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	4	기후 변화 대응 재해 재난 시나리오, 하중 모델 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	5	극한 성능 실험 및 구조 시스템 평가 기술 개발	
2022년~2030년 (향후 10년)	1	신소재 및 디지털 설계기술을 활용한 완전 프리팹 구조 교량 설계기술 개발	시공
2022년~2030년 (향후 10년)	2	임시교량, 영구교량 등에 대한 급속시공 기술 개발	

2.4.4. 분야별 기술 성과지도

○ 각 교량의 기술영역별 구성기술의 획득에 따라 발생하는 기술적 산출 성과를 시기별로 종합하여 나타냄

- 중점추진분야-핵심과제-핵심기술 간 성과 간 연계도를 통해 단계적 기술개발방향을 제시함

가. 교량형식의 다변화

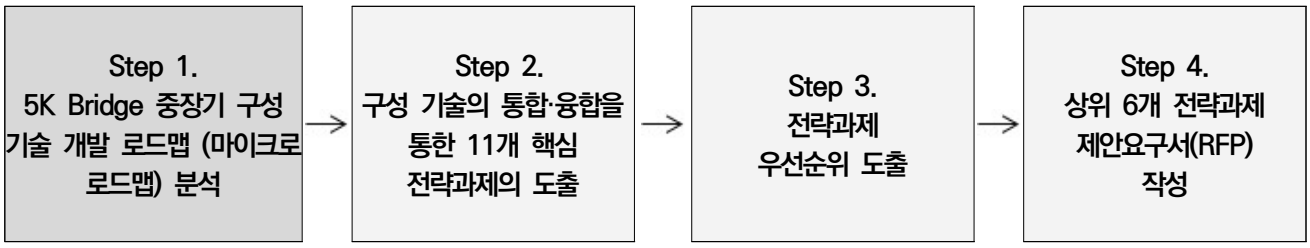
나. 맞춤형 신소재 및 신개념 부재 개발

다. 신속 정밀 자동화 시공

라. 스마트무인자율형 O&M

2.5. 전략과제의 도출

2.5.1. 전략과제 도출 프로세스



[그림 66] 11대 핵심 전략과제 도출 프로세스

○ **(기술 개발 로드맵 분석)** 연구진 및 국내 교량분야 전문가 자문위원회를 통해 중장기 기술개발 로드맵의 구성 기술 분석

- 4개 분야 총 53개의 미래 환경변화에 대응할 수 있는 구성 기술 분석

○ **(로드맵 구성기술로부터 11개 핵심 전략과제 도출)** 유사 기술의 중복 제거등 수차례의 브레인스토밍을 거쳐 연구단급 전략과제로 규모 및 수준 조정

- 중장기 기술개발 로드맵의 전망과 수요를 고려하여 통합(안)을 도출

  * 1차 총괄위원회 이후 수정의견과 중장기 로드맵(2050)을 고려하여 11개 핵심 전략과제로 통합, 수정 목록 도출

○ **(핵심 전략과제의 우선순위 도출)** 4대 중점분야, 추진 시급성 및 기술적 대안으로서의 제반 요건들을 종합적으로 고려하여 전략과제의 추진 우선순위를 도출

- 선별의 객관성을 확보하기 위해 AHP 방식*으로 선별

○ **(전략과제별 제안요구서(RFP) 도출)** 우선순위 평가 결과 선별된 6개 전략과제에 대하여 5K bridge 전문가 워킹(working) 그룹에서 수요기술을 고려하여 제안요구서를 작성

□ 로드맵 구성기술로부터 전략과제의 통합·융합

〈표 2-48〉 로드맵 구성기술로부터 전략과제의 통합·융합

로드맵 구성기술(안)	전략과제명
- 설계자동화 - BIM, AR, VR - Morphology optimization	1. 디지털 기반 설계기술 개발
- 저탄소 친환경 구조재료 개발 - 초연결을 위한 고강도 및 경량 시멘트 복합체 개발 - FRP 및 다기능 신소개 개발	2. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발
- 하이퍼루프 교량 요소설계기술 - 시스템 구현기술 - 실증 테스트베드 구현	3. 하이퍼루프 대응 교량기술 개발
- 다차원 O&M 빅데이터 구축기술 - 모델-데이터 상시동화를 통한 디지털 트윈 구축 - 신뢰도기반 케이블교량 종합성능평가 기술 - 선제적 대응조치 및 의사결정 기술 - Resilience 확보 / 재난대응 기술	4. 케이블교량 디지털 O&M 기술개발
- B2Vehicle : 화재, 안개, 강풍, 사고 시 자율주행차량 관제 (속도, 차선) - B2Ship : 선박, 비행체 접근감지 및 충돌경고 - B2Passenger/Pedestrian : 자살방지, 관광정보, 위치정보, 재난시 피난정보, 사진촬영(번지점프) - B2Operator/Owner/Officer : 차량자동인식 통행정보, 이상주행 감시, 이상행동 감시, 이상기후 시 통행조절 정보제공, 비상시(재난발생시) 유관기관 필요정보	5. B2X 교량-사물 관제서비스 기술개발
- 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발 - 경량 내해수 기능성 신소재 개발 - 신형식 부유식 구조체 가설기술개발 및 테스트베드 검증 - 리스크기반 스마트팩토리형 O&M 기술개발	6. 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발
- 설계기준에 Risk analysis의 전면도입 - 이상기후에 대응할 수 있는 시방서 및 설계기준 - 기후변화 및 사회 경제적 요인을 고려한 차세대 교량 설계기준 - 경량의 활하중에 대응하는 설계하중 및 설계기준 - 미래 차세대 이동수단, 자율주행차량 및 미래 스마트 교통시스템의 운행 요구조건 정립	7. 차세대 재난대응형 성능기반 설계기술 개발
- 변위수용성 구조시스템 개발 - 교량 설계기준 합리화 기술 - 차세대 신뢰성 기반 교량 설계기술 - 기후변화 대응 교량 설계기술 - 극한사건 대응 교량 설계기술 - 구조 (진동) 제어 기술 고도화	8. Multi-functional 5K 교량 핵심 기술 개발
- 프리팹 및 모듈화 교량 제작 및 시공기술 - 프리팹 및 모듈화 교량 핵심 설계기술 - 차세대 교량 스마트 시공기술	9. 프리팹 자동화 시공기술 개발
- 초대형 풍력터빈 / 소형풍력터빈 / 솔라패널/ 집광형 태양광발전 - 파력 조류력 및 조력 발전	10. 에너지 생산 케이블교량 기술개발
- 해상교량에 통행로를 만들 수 있는 신소재 개발 및 구축기술 - 교량 시설을 활용한 물분수쇼, 번지점프 등 부가기능 구현기술 - 노후 케이블교량 보수보강 및 장수명화 기술	11. 교량 리모델링 및 보수보강 기술개발

□ 핵심 전략기술의 우선순위 도출 기준

○ (선별 기준) 전문가 논의를 통해 아래와 같이 핵심 전략과제의 선별기준을 '추진목표 부합성', '파급효과의 크기', '기술개발 성공가능성', '국가적 대응의 필요성'으로 선정하였으며, 관련한 세부 요소는 아래와 같음
- 또한 자문위원 평가를 통해 각 기준에 대한 항목별 가중치를 도출함

〈표 2-49〉 연구주제 적합성 평가기준

평가항목	세부기준	평가의 주안점
추진목표 부합성 (0.64)	전략·영역 적합성* (0.315)	- 미래 전망과 관련 정의한 문제의 해결에 기여할 수 있는 기술인지의 여부
	시급성 (0.154)	- 기술개발이 시급하게 이루어져야 하는 정도 - 해외 기술개발 동향 대비 국내 선제적 기술확보의 필요성
	공공투자 타당성 (0.172)	- 국가적 투자가 반드시 이루어져야 할 필요성 (민간·시장에 맡겨둘 때 기술이 확보되지 않을 가능성)
파급효과의 크기 (0.26)	경제적 파급효과 (0.097)	- 기술확보를 통해 우리나라가 창출할 수 있는 시장가치의 크기(개발기술의 수요산업 규모, 수출 기여, 탄소거래권 확보 등)
	과학기술적 파급효과 (0.158)	- 기술개발을 통해 과학기술 분야의 수준 향상 및 성장에 기여하는 정도
기술개발 성공가능성 (0.10)	해당 분야 국내 연구개발 역량·인프라·기술확보 수준 (0.085)	- 국내에 해당 연구의 선행연구, 유사연구 경험의 확보 정도 및 선진국 대비 연구 수준 - 해당분야 국내 연구자 수(규모), 연구소, 연구 설비 등의 규모
	추진 안정성 (0.018)	- 내·외부적 위험요인이 적어 기술개발이 원활하게 이루어질 수 있는 정도 (진입장벽이 낮거나, 정치적· 외부환경 등에 영향을 크게 받지 않는 정도 등)

* 트렌드·동향분석을 통해 종합·도출된 4대 전략방향(① 미래형 초연결 교량 기술 선점 ② 환경변화·적응형 지속가능 기술 구현 ③ 스마트 팩토리형 시공 및 유지관리 실현 ④ 지능형 정보와 안전한 주행환경 제공)을 고려하여 적합성을 평가함

□ 상위 전략과제 우선순위 도출 결과

○ (평가 결과) 총 15명의 자문위원들이 후보과제에 대하여 개발적으로 정량평가를 수행한 결과를 종합하여 우선순위를 도출함

- 가중평균의 총점순으로 상위 6개 기술을 선별하여 핵심 전략기술 도출

〈표 2-50〉 선정기준별 평가결과_총점(가중평균) 높은 순

순위	전략과제명	총점 (가중평균)	비고
1	**Multi-functional 5K 교량 핵심 기술개발**	6.814	
2	**차세대 재난대응형 성능기반 설계(PBD) 기술개발**	6.706	
3	**케이블교량 디지털 O&M 기술개발**	6.648	예타이하 선행사업
4	**미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발**	6.395	예타이하 선행사업
5	**맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발**	6.361	
6	**프리팹 자동화 시공기술 개발**	6.353	
7	디지털 기반 설계기술 개발	5.967	후순위
8	B2X 교량-사물 관제서비스 기술개발	5.677	후순위
9	교량 리모델링 및 보수보강 기술개발	5.501	후순위
10	에너지 생산 케이블교량 기술개발	4.994	후순위
11	하이퍼루프 대응 교량기술 개발	4.716	후순위

□ 핵심 전략과제의 상세 기획

○ **(전략과제별 상세 기획)** 선별된 6개 전략과제에 대하여 5K bridge 전문가 워킹(working) 그룹에서 전 공분야에 맞추어 심층 기획을 수행하였으며, 각 전략과제를 구성하는 기술들은 4대 추진 방향과의 정합성을 갖도록 유의하여 작성

- 해당 상세 기획(안)에 대하여 기획자문위원회의 검토를 거쳐 내용을 확정함

2.5.2. 신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 전략과제 상세 기획(안)

(1) (과제 1) Multi-functional 5K 교량 핵심 기술개발

과제명	Multi-functional 5K 교량 핵심 기술개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
	√	√		

연구배경	필요성	◦ 교량 초장대화는 각국의 기술력의 경쟁 지표로서 2050년까지 주경간 5 km급 초장대교량에 대한 도전이 지속될 것으로 보임 ◦ 최근의 노르웨이 E39 프로젝트를 비춰볼 때, 횡단의 방식으로 경간장의 확대와 병행하여 향후 10년 내 부유식 교량이 보편화 될 것으로 보임. 향후 20년 이내에는 수중교량도 가시화 될 것으로 보이며, 다양한 형식을 조합한 하이브리드 형태의 교량시스템도 가시화될 것임 ◦ 우리나라는 국내의 실적과 초장대사업단의 성공적 연구 성과를 토대로 현존 최장이 될 터키 차나칼레교량 건설의 주역이 되었지만, 국내 건설시장의 축소로 성장 동력이 약화될 위기에 놓여 있음. 이는 빠른 속도로 변화하는 해외 건설시장에서의 경쟁력 약화로 이어지게 됨 ◦ 차세대 초장대 교량 기술은 기술 선도 국가 중심으로 기술 한계를 극복하는 도전적 시도가 이어지고 있어 현 시점에서 신형식에 대한 기술 이해와 적기에 기술력 확보가 이루어지지 않는다면 그간 구축해 온 해외 장대교량 건설시장에서 자연스럽게 도태될 수 있음. 기술력의 핵심은 경험을 갖춘 엔지니어에 근간하며 탄탄한 기반을 유지하기 위해서는 고급인력을 지속적으로 양성하는 국가 차원의 과감한 R&D 투자가 절실함. 장대교량 기술이 단절, 사멸된 일본의 사례가 반면교사임 ◦ 지난 30년간 국내에서 90여개의 케이블교량을 신설한 기술력과 고급인력을 유지해야만 급성장중인 동남아와 남미 등의 근미래 해외 장대교량 시장에서의 기술 우위를 확보할 수 있으며, 또한 15조원이 투입된 국내 케이블교량의 향후 100년 이상의 기술기반 안전한 유지관리와 운영이 가능함 ◦ 또한 자율 주행 차량 , 하이퍼루프 등 미래 모빌리티 대응 등 차세대 수요에 대응하는 글로벌 교량시장 주도를 위해 5K급 신형식 교량 시스템 개발이 필요
	국내외 동향	◦ (정책 동향) 지속가능 인프라 건설 정책 및 대륙간 연결 구상 - 기후·환경변화 및 자원부족에 대응하고, 안전·안심 사회에 대한 요구에 부응하기 위한 지속 가능한 인프라 건설 정책 방향 - 교량 및 구조물 건설기술을 이용한 극한지, 해저·수중 등 국토의 확장 및 국토의 효율적 활용 정책 수요 증대 - 향후 인적 물적 이동 수요로 인해 대륙 간 연결 또는 이에 준하는 수준의 연결이 예측됨 ◦ (기술 동향) 5K급 장경간 교량 달성을 위한 핵심 기술 개발 경쟁이 치열

		- 덴마크공대와 COWI는 수퍼컴퓨터를 활용한 morphology 최적화를 통해 주경간 1,550 m의 Osman Gazi 교량의 재료 중량을 28 % 저감할 수 있는 기술을 선보임 - 호주 연구그룹은 2050년까지 실현 가능한 기술을 토대로 3,780 m의 주경간을 갖는 신형식 초장대교량의 Feasibility study를 완료 ◦ (산업 동향) 2K급 장대교량 시장은 성숙기 진입 - 우리나라는 2K급 교량기술의 성공적 개발로 세계 장대교량 시장진입에 성공하였으나 초격차 기술로 시장을 선도하지는 못하는 상태 - 2K급 장대 교량 기술은 중국 등 후발국의 빠른 추격으로 가격 경쟁 시장으로 변화

개발목표	최종목표	○ 글로벌 리딩 K 브랜드로서 주경간장 5Km급 차세대 교량 핵심 기술개발 - 주 경간장 5Km+ 다기능 초연결 교량 prototype 계획, 설계(안) 개발			
	핵심 기술	기술명		개발목표 달성시기	시장진입 시기
		핵심기술1	목표 성능기반 설계기준 개발	2030	2030
		핵심기술2	변위 수용형 신형식 구조 및 제어 시스템 개발	2035	2035
		핵심기술3	Multi-functional 최적 형상 개발	2030	2035
		핵심기술4	하이브리드 재난관리 성능평가 기술 개발	2030	2030
		핵심기술5	Multi-functional 5K Bridge 기술 실증 Prototype 개발	2030	2035
		핵심기술6	하이퍼루프 등 미래형 초연결 기술 개발	2050	2050

연구내용	구성 기술	

핵심기술	구성기술
목표 성능기반 설계기준 개발	- 목표 신뢰도지수 및 여용성 지수 개발 - 성능기반(PBD) 적용 화재, 지진, 강풍 재난 대응 설계 기준 개발 - 변위, 진동 등 사용성 평가 기준 개발
변위 수용형 신형식 구조 및 제어 시스템 개발	- 대변위 수용 신형식 유연 구조 및 기초 시스템 개발 - 대변위 수용형 구조 장치 개발 - 강풍, 내진 사용성 및 극한성능 확보 능동형 제어 시스템 개발
Multi-functional 최적 단면 개발	- 환경하중에 강인한 다중교통과 수송기능을 갖춘 단면 개발 - 인공지능 기반 최적 morphology 형상 설계 기술 개발 - 탄소 저감 및 중량 최소화 기술 개발 - 타이어코드 융합 고강도강선 케이블 등 신재료 적용기술 적용
하이브리드 재난관리 성능평가 기술 개발	- 강풍, 지진, 조석, 충돌 등 복합재난 평가기술 개발 - 대테러 위험도 평가기술 개발 - Cyber-Physics 하이브리드 풍동 시스템 개발
Multi-functional 5K Bridge 기술 실증 Prototype 개발	- 생애주기를 고려한 5K Bridge급 교량 개념설계 및 성능평가 - 신형식 구조체 등 실증형 파일럿 시스템 제작 및 평가
미래형 초연결 기술 개발	- 하이퍼루프 등 미래수요 대응형 장경간 교량 구조 형식 개발

성과물

핵심기술	성과물
목표 성능기반 변위 수용형 설계기준 및 제어시스템	- 목표성능설계(PBD) 기반 5K Bridge 교량설계기준 - 5K Bridge 변위수용 구조 시스템 - 5K Bridge 변위 및 진동 제어 시스템
Multi-functional 최적 단면	- Morphology 최적화 기반 Multi-functional 5K Bridge 구조 단면/시스템 - 5K Bridge 구현 고강도 경량 케이블 시스템
하이브리드 성능평가 기술	- 복합재난 성능평가 시험법 및 평가 매뉴얼 - Cyber-Physics 하이브리드 풍동실험 장치 및 가동 프레임웍
5K Bridge 실증 Prototype	- 개발 설계 기준 및 개념 적용 5K Bridge급 교량 Prototype - 5K Bridge 구조체 제작 및 공법 목업 검증
미래형 초연결 Prototype	- 신형식 하이퍼루프 대응형 해상횡단 교량 구조시스템 Prototype

시스템	공법·기법	재료·자재	소프트웨어	장비·장치	기준·지침
5K Bridge 변위수용 구조 및 제어 시스템	5K Bridge 구조체 실현 공법	5K Bridge 구현 고강도 경량 케이블 시스템	Morphology 최적화 SW	하이브리드 교량 성능평가 시험장치	목표성능 기반 5K Bridge 교량설계기준

추진전략

사업 추진방법

◦ 산-학-연-관 협력의 효율적인 개방형 연구체계 구축
- 설계기준 및 요소 기술 개발은 국내외 대학, 출연연 중심으로 개발
- 인공지능 등 디지털 기술의 전면 활용을 위한 다학제간 연구체계 구축
- 설계기준 적용성 검토, Prototype 설계 및 파일럿 제품 제작은 산업계, 국토교통부 등 중앙행정기관 및 지자체와의 협력 연구 추진

◦ 국제 협동 연구
- 유럽, 미국, 동남아시아 등 기술보유국 및 초연결 대상 후보지 인근 국가와 Prototype 설계 등 공동 연구 추진

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (1,102)억 원 (정부출연금(829)억 원+민간매칭(273)억 원)

구분	'22~'25	'26~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	50	40					90
핵심기술2	55	55	60				170
핵심기술3	57	50					107
핵심기술4	55	50					105
핵심기술5	50	60	50				160
핵심기술6			70	200	200		470
합계	267	255	180	200	200		1,102

기대효과

◦ (경제적 기대효과)
- 경제의 글로벌화에 따라 대륙간·거점간 연결수요가 증대될 것으로 예상되며, 이에 따라 확대되고 있는 초장대교량 및 복합교량형식 등의 시장에 주도적 참여
- 한계 기술로 인지되는 5K Bridge 기술 개발로 2~3Km급 장대 교량 시장에서의 우월적 경쟁력 확보

◦ (사회적 기대효과)
- 장대교량 분야에서의 K 브랜드 창출로 국민 자긍심 고취

	- UN SDGs(17개의 지속가능발전목표) 중 하나인 “회복력 있는 사회기반시설 구축, 포용적이고 지속가능한 산업화 증진과 혁신 도모”에 부응 - 시공간을 연결하는 첨단기술로 지구촌의 연결성 향상 - 해외 건설시장 확대로 건설 산업 일자리 창출 ◦ (과학기술적 기대효과) - 도로 및 교량의 스마트화, 스마트 유지관리를 위한 인공지능과 로보틱스 등 첨단 기술과의 융합·접목 기술 발전 - 첨단 신교통수단, 무인차량 등 모빌리티의 진화와 변화를 충실하게 구현할 수 있는 교량기술의 선제적 확보 - 장대교량 분야의 미래기술 국제적 리드

(2) (과제 2) 차세대 재난대응형 성능기반 설계(PBD) 기술개발

과제명	차세대 재난대응형 성능기반 설계(PBD) 기술개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
	√		√	

연구배경	필요성	◦ PBD(Performance-Based Design, 성능기반설계)는 외부 하중에 대해 예측 가능한 성능을 확보하도록 설계를 수행함. 즉 '요구성능'으로부터 시작되는 설계는 기존의 설계 패러다임과는 완전히 다른 개념을 수반함 ◦ PBD를 통해 각 구조물의 특성에 따라 재난 대응 요구성능 및 달성도를 구체적으로 정의할 수 있음 ◦ 이를 통해 궁극적으로 개별 구조물 및 지역 단위의 정량적인 복원력 및 지속가능성을 달성하기 위한 신개념 설계법을 도입할 수 있음 ◦ 국제경쟁력 강화를 위해 창의적 설계와 재난대응설계가 가능한 K-Spec. 원천기술 PBD의 개발 및 전면도입이 필요함
	국내외 동향	◦ (국외) 전 세계적으로 토목공학 및 건설/구조공학 분야에서 PBD 도입의 필요성이 지속적으로 제기됨 - 미 토목공학회(ASCE)은 2019년 발간된 [A Vision for the Future of Structural Engineering and Structural Engineers]를 통해 구조공학의 10대 비전 중 하나로 "성능기반 코드 및 기준의 적용"을 제시함. - 이를 위해 ASCE 내 구조공학위원회(Structural Engineering Institute)에서는 2018년에 [Advocating for Performance-Based Design] 보고서를 발간하는 등 PBD 적용 및 설계기준화를 위한 구체적인 방법론 및 액션 플랜을 제시해 옴. ◦ (PBD 관련 선행연구) 내진설계에서 처음 도입하여 지속 발전 중 - 2000년대부터 건물의 내진성능에 관한 PBD 연구가 활발하게 진행된 결과, 기존 구조물의 내진성능 개선에 관한 ASCE 41(Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings)에서는 PBD 개념이 구체적으로 활용됨. - 초고층빌딩에 대한 PBD 기반 설계 가이드라인을 담은 Pacific Earthquake Engineering Research Center Tall Buildings Initiatives (PEER TBI) 및 Guidelines and the Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council (LATBSDC) Tall Building Guidelines이 발간됨. - 최근 ASCE에서는 지진 외에도 강풍이나 화재 등 다양한 재난 대응형 PBD 설계 가이드라인을 제시하였으며, 장대교량에 대해서도 강풍 및 지진에 대한 PBD 기반 설계 가이드라인을 개발함.

개발목표	최종목표	◦ 창의적 설계와 실거동 기반 재난대응설계가 가능한 K-Spec. 원천기술 PBD의 개발 및 전면도입 - 화재, 지진, 강풍 및 미래교통하중에 대한 PBD 기반기술 확보

		- PBD 전면도입을 위한 기준화 : 화재, 지진, 강풍 설계기준 실용화 - PBD 실증 테스트베드 : PBD 설계기준 전면도입

핵심 기술

기술명		개발목표 달성시기	시장진입 시기
핵심기술1	성능기반설계(PBD) 기반기술	2027	2035
핵심기술2	PBD 설계 전면도입을 위한 기준화	2030	2040
핵심기술3	PBD 실증 T/B	2030	2040

연구내용

구성 기술

핵심기술	구성기술
성능기반설계 (PBD) 기반기술	- 화재하중에 대한 PBD 기반기술 - 지진, 강풍하중에 대한 PBD 기반기술
PBD 설계 전면도입을 위한 기준화	- 목표성능수준 설정 방법론 정립 - 신뢰도 및 리스크 기반 설계 및 성능평가 기법 - PBD 설계법 기준화
PBD 실증 T/B	- PBD 및 디지털/AI 설계기술 활용 신개념 단면도출 - 프로토타입 교량의 전면 PBD 설계

성과물

핵심기술	성과물
성능기반설계 (PBD) 기반기술	- 화재, 지진, 강풍하중에 대한 PBD 설계 가이드
PBD 설계 전면도입을 위한 기준화	- 신뢰도/리스크 기반 성능평가 기법 - PBD 설계기준
PBD 실증 T/B	- PBD 및 디지털/AI 설계기술 활용 5K 신개념 단면 - 전면 PBD 설계 프로토타입 교량

시스템	공법·기법	재료·자재	소프트웨어	장비·장치	기준·지침
- 전면 PBD 설계 프로토타입 교량	- PBD 및 디지털/AI 설계기술 활용 5K 신개념 단면	-	- 화재, 지진, 강풍하중에 대한 PBD 설계 가이드	-	- 신뢰도/리스크 기반 성능평가 기법 - PBD 설계기준

추진전략

사업 추진방법

◦ 학-연-산의 유기적 추진체계 구축
- 기반기술의 개발은 국내외 대학과 출연연을 중심으로 추진
- 설계 기준화 작업은 유관학회 및 출연연에서 담당
- PBD 설계 가이드작성 및 PBD 도입 5K교량 프로토타입 설계는 교량전문 설계사에서 담당

		◦ 유관학회 및 출연연을 중심으로 한 컨센서스 확립 - 설계 철학의 패러다임 shift는 사회적 공감대 형성이 필수적으로 수반되어야 하므로, 현 설계기준의 제, 개정 및 기술적 support를 담당하고 있는 유관학회와 출연연을 중심으로 한 지속적이며 다방면의 교육 및 기술지원 추진 - PBD 설계는 설계자의 높은 기술적 수준 및 책임의식을 필요로 하므로 설계자의 인식개선, 기술수준제고 및 공감대형성을 위한 시스템 구축 추진

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (230)억 원 (정부출연금(172.5)억 원+민간매칭(57.5)억 원)

구분	'22~'26	'27~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	40	20					60
핵심기술2	30	50					80
핵심기술3	20	70					90
핵심기술4							
핵심기술5							
합계	90	140					230

기대효과

◦ (기술적 기대효과)
- 설계 성과물이 보유하고 있는 성능수준에 대한 평가가 설계과정에서 이루어지므로, 새로운 설계개념, 신기술, 신공법, 신재료 등의 도입에 유리함.
- 기존의 사양중심설계(prescriptive design) 기준에 비해 설계의 자유도가 높기 때문에 설계기준에 구속되지 않고 다양한 설계 요구조건 (안전성, 경제성, 사용성, 지속가능성, 회복탄력성, 강인성, 공기단축 등)을 동시에 만족시키는 최적의 솔루션을 도출할 수 있게 됨.

◦ (경제·사회적 기대효과)
- 지진, 화재, 강풍 등 극한사건 발생 시 구조물의 성능을 예측 및 보장할 수 있으므로, 건설 기술에 대한 사회적 신뢰성을 제고할 수 있게 됨
- 신기술/신공법의 적극적인 개발을 유도할 수 있으며, 구조물의 생애주기 비용의 절감을 기대할 수 있음
- 세계적인 표준화의 흐름에 대응할 수 있게 되며, 설계 및 시공기술의 수준이 높아지고, 국가 경쟁력이 강화됨

(3) (과제 3) 케이블교량 디지털 O&M 기술개발

과제명	케이블교량 디지털 O&M 기술개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
				√

연구배경	필요성	◦ 2021년 현재 국내에서는 93개의 케이블 교량이 공용 중으로 향후 30년 뒤에는 수십 여개의 노후 케이블 교량을 관리해야 하며 이는 자연스럽게 유지관리 비용의 막대한 부담으로 이어질 수 있음 ◦ 특히 케이블 교량은 대안 경로가 없는 유일한 연결로(link)인 경우가 대부분이기 때문에 선제적인 유지관리를 통해 항상 건전한 상태를 유지해야 하지만 현재의 유지관리 전략은 정기점검에 기반한 이률적 점검, 보수보강으로 케이블 교량 별 특성이나 상시운용성 향상이 고려되고 있지 않음. ◦ 단기간 급성장한 설계와 시공 결과에 운영관리상 경험 부족이 더하여 다수의 케이블 교량에서 유해진동, 잦은 볼트 파단과 균열, 극심한 소음 등 국부적 손상이 발생하였으며, 정확한 원인 규명과 후속 조치가 미비할 경우 대형 참사로 이어질 우려가 있음 ◦ 이를 관리하기 위한 건전도 모니터링 시스템이 모든 교량에 구축되어 있으나 실제 O&M에서의 활용도는 극히 저조함. 또한, 다양한 디지털 O&M 기술이 거론되고 있지만 실제 장대교량 현장에서는 거의 활용되지 못하고 있음 ◦ 정형화된 고전적 설계 프로세스로는 케이블 교량의 실제 이상거동을 예측할 수 없음. 현행 해석모델은 시간에 따른 부재 단위의 열화 및 손상을 반영할 수 없으며 100년 이상을 운영해야 하는 케이블 교량에는 설계에 미반영된 재난 리스크가 필연적으로 상존함. ◦ 교량 기술의 핵심인 케이블 교량은 이상기후/유해진동에 대응하고 차량, 보행자, 항만, 비행기 등 각종 모빌리티와 상호작용하는 BIX (Bridge interaction with Everything) 수준의 고급화된 서비스를 제공해야 함
	국내외 동향	◦ (국내) - 교량 생애주기 동안의 신뢰성에 대한 관심이 증가하면서 O&M의 필요성이 꾸준히 대두됨 - 한국도로공사에서는 Ubiquitous Bridge Inspection Robot을 활용한 교량 부재의 구조물건전도모니터링(Structural Health Monitoring), Pavement Structure Diagnosis Vehicle을 활용한 교량 상판 포장 균열탐지 등 최신 설비를 이용한 교량 O&M을 운영하고 있음 - 드론과 레이저센서를 이용하여 교량 변위를 모니터링하고 이상 변위를 탐지하는 등, 교량 상태평가에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음 - 그러나 기존 연구들은 재난재해의 지역 특성을 배제한 채 구조물 응답만을 O&M 대상으로 삼았고, 재난에 대응하는 부재와 시스템의 종합적인 능력인 레질리언스 척도를 O&M에 체계적으로 고려하지 못하였음 ◦ (국외) - 시공 직후, 운영 1일차부터 24/7 O&M 서비스를 제공함으로써 장대교량의 지속성, 운영효율성을 확보하였으며, 드론 등의 다양한 수단을 활용해 구조물 건전도모니터링

<table>
<tr><td></td><td></td><td>시스템을 구축함(덴마크, COWI)
- 단일 빌딩에서부터 도시 전체의 디지털 트윈을 확보하여 재난에 효과적으로 대응할 수 있는 데이터기반 O&M에 관한 연구가 활발히 진행 중임(미국, ASCE)
- 구조시스템의 장소 특정적인 조건을 고려한 주기적 O&M 시스템을 구축함(미국 Novelesolution)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개발목표</td><td>최종목표</td><td>o (스케일 1: 안전 확보 O&M) 케이블교량 수명 기간 동안 발생 가능한 자연 재해, 사회 재난 등으로부터 구조·사용자 안전성을 확보하기 위한 데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 O&M 기술
o (스케일 2: 사용성·내구성 향상 O&M) 상시 작용 하중, 환경, 과적 등 비정상 사용으로 인한 구조물의 열화와 노후화를 관리하고 이상 진동에 대한 신속·자동 대응 등 이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하기 위한 디지털 O&M 기술
o (스케일 3: 상호작용 정보 서비스 O&M) 교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 피드백 및 양방향 교류를 통한 BIX(Bridge Interaction with Everything) 디지털 상호작용 정보 서비스 O&M 기술
o (스케일 4: 수중교량 대응형 O&M) 부유식 교량, 해저터널 등 심해 구조물에서 발생 가능한 재난에 특화된 디지털 O&M 기술
o (스케일 5: Multi-functional 5K 교량용 O&M) 주경간 5km+, 하이퍼루프 등 초연결 수단이 포함된 다기능(Multi-functional) 5K 교량에 대응하는 디지털 O&M 기술</td></tr>
<tr><td>핵심 기술</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">기술명</th><th>개발목표
달성시기</th><th>시장진입
시기</th></tr>
<tr><td>핵심기술1</td><td>데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 기술</td><td>2025</td><td>2026</td></tr>
<tr><td>핵심기술2</td><td>이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하는 구조물 열화/노후화를 관리 및 이상진동 자동 대응 기술</td><td>2025</td><td>2026</td></tr>
<tr><td>핵심기술3</td><td>교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 피드백 및 양방향 교류를 통한 디지털 상호작용 정보 서비스</td><td>2025</td><td>2030</td></tr>
<tr><td>핵심기술4</td><td>부유식 교량, 수중교량 등 심해 구조물에 특화된 디지털 O&M 기술</td><td>2030</td><td>2040</td></tr>
<tr><td>핵심기술5</td><td>주경간 5km+의 다기능(Multi-functional) 5K 교량용 디지털 O&M 기술</td><td>2040</td><td>2045</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

연구내용

구성기술

핵심기술	구성기술
데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 기술	- 구조 안전성 확보를 위한 DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리 - 사용자 안전을 위한 DT 기반 선제적 리스크 관리 - DT/Data 기반 안전성 확보 O&M 기술 케이블 교량 실증
이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하는 구조물 열화/노후화를 관리 및 이상진동 자동 대응 기술	- 케이블교량 특화 상시 자율 진단 시스템 개발 - 데이터 기반 상시 운용성 및 사용성 확보 - 자율 센싱 기반 사용성 확보 O&M 케이블 교량 실증
교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 디지털 상호작용 정보 서비스	- BIX 상호작용 정보 서비스 개발 - BIX 서비스 실증
부유식 교량, 수중교량 등 심해 구조물에 특화된 디지털 O&M 기술	- 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 - 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크 - 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발
주경간 5km+의 다기능(Multi-functional) 5K 교량용 디지털 O&M 기술	- 셀프센싱 탄소섬유 케이블 시스템 상용화 - 무인 자율화 스마트팩토리형 유지관리 실현 - Civil Super Dome 유지관리 이슈 해결

성과물

핵심기술	성과물
데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 기술	- 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 - 부재 단위 Level 3 디지털 트윈 및 BIM 연계 모델 - 전교 단위 상시동화해석모델 (Level 3) - 핵심 부재 잔존 수명 예측 및 이력 거동 평가 기술 - 데이터 주도형 재난 위험도 평가 및 재난 지도 대응관리 시스템 - BIM-DT 기반 정보 렌더링 및 대이터 가시화 플랫폼
이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하는 구조물 열화/노후화를 관리 및 이상진동 자동 대응 기술	- 케이블 교량 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술 - 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 서비스 기술 - 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 서비스 기술 - 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 서비스 기술 - 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 서비스 기술 - 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 및 효과 분석 - 유사 교량 핵심 데이터 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축 - 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측 - 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리
교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 디지털 상호작용 정보 서비스	- BIV: 자율 및 비자율 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 서비스 - BIP: 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 서비스 - BIA/S: 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 서비스 - BIO: 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스
부유식 교량, 수중교량 등 심해 구조물에 특화된 디지털 O&M 기술	- 심해 저탁도용 점검로봇 - 누수 자가진단 및 무인 보수로봇 - 인공섬 연계 스마트 환기시스템
주경간 5km+의 다기능(Multi-functional) 5K 교량용 디지털 O&M 기술	- 셀프센싱 케이블 - 스마트팩토리형 O&M - Civil Dome O&M

	성과물	

시스템	공법·기법	재료·자재	소프트웨어	장비·장치	기준·지침
- 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 - 데이터 주도형 재난 위험도 평가 및 재난 지도 대응관리 시스템 - BIM-DT 기반 정보 렌더링 및 대이터 가시화 플랫폼 - 유사 교량 핵심 데이터 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축 - 스마트팩토리형 O&M - Civil Dome O&M	- 핵심 부재 잔존 수명 예측 및 이력 거동 평가 기술 - 케이블 교량 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술 - 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측 - 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리		- 부재 단위 Level 3 디지털 트윈 및 BIM 연계 모델 - 전교 단위 상시 동화 해석 모델 (Level 3) - 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 - 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 - 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 - 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 - 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스	- 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 - 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 - 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 - 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 - 심해 저탁도용 점검로봇 - 누수 자가진단 및 무인 보수로봇 - 인공섬 연계 스마트 환기시스템 - 셀프센싱 케이블	

추진전략	**사업 추진방법**	ㅇ 데이터 활용효과를 극대화할 수 있는 디지털 트윈(DT) 및 인공지능(AI)기술에 기반하여 케이블 교량의 종합 성능관리 체계인 안전성, 사용성 및 서비스 성능을 포괄하는 멀티스케일 O&M 기술을 개발하고 운용 중 케이블 교량에 실증 적용함으로써 케이블 교량 O&M의 디지털 전환 도약 - (통합 데이터 구축 활용 극대화) 단일 교량의 복합적 데이터 활용을 통한 서비스 모델 개발 뿐만이 아니라 서로 다른 여러개의 교량에 대한 DT네트워크를 구축하여 통합 데이터 활용을 극대화 - (멀티스케일 종합 성능 관리) DT 활용 데이터 기반의 리스크 관리를 통한 선제적 안전 관리, 상시 자동화된 모니터링 및 의사결정 시스템을 통한 사용성·내구성 및 상시 운용성 향상, 교량과 주변객체 사이의 쌍방향 정보 교환을 위한 상호작용체계 구축으로 새로운 서비스 및 부가가지 창출

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (400)억 원 (정부출연금(300)억 원+민간매칭(100)억 원)

구분	'22~'26	'27~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	85						
핵심기술2	85						
핵심기술3	97						
핵심기술4		60					
핵심기술5			73				
합계	267	60	73				400

기대효과	◦ (기술적 기대효과) - 핵심 관리 구조요소 및 주요 손상 모델에 대한 무인 자동센싱 수행 - 부재 단위의 상세 Digital Twin 구축을 통한 BIM 기반 열화/손상 관리 - 빅데이터를 활용한 케이블교량 특화형 상시하중의 Digital Twin 모델 개발 - 케이블 및 정착구 부식의 자동 상태 진단 및 관리로 구조 내구성 확보 - 비정상 사용 감지 및 통행제한으로 사용자 이용 편의성 및 상시 운용성 향상 ◦ (경제·사회적 기대효과) - 디지털 환경 기반 O&M 실증을 통한 유지관리 비용의 절감 및 생산성 향상 - 디지털 뉴딜 정책에 따른 O&M 혁신서비스 및 타 산업과의 융합서비스 창출 - 데이터 개방으로 다양한 AI 혁신서비스 창출 및 유지관리 산업 활성화 - 해외 스마트 건설시장의 리딩 그룹의 위치를 차지하고 고부가가치 창출 - 전문인력 활용비용 절감 등 시간적, 비용적 측면의 업무효율성 향상 - 건설산업의 디지털 생산성을 획기적으로 개선할 수 있음 - 공공 시설물과 관련 데이터에 대한 민간의 접근성을 높여 새로운 시장 개척

(4) (과제 4) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발

과제명	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
	√	√		

연구배경	필요성	◦ 목표수명 50~100년의 부유식 구조 구현 기술은 노르웨이, 일본, 싱가포르 등이 선점하여 상용 기술을 실증하는 단계로, 관련기술 확보를 통한 기술 경쟁력 강화 및 국내외 시장 진출을 위한 기술개발 및 정부투자 필요 ◦ 국제선도 수준의 초장대교량 기술을 토대로 부유식 교량 및 구조체 기술을 단기간에 확보하는 것이 가능하며, 향후 글로벌 메가 인프라 건설시장 선점 및 지속가능한 도약을 위한 기술확보 시급
	국내외 동향	◦ (국외) 주요 선진국은 친환경 부유식 메가스트럭쳐 기술을 차세대 주요 건설 기술로 인식하고 연구 투자 및 시장 개발 추진 중 ◦ (국내) 탄금호 부유식 교량(2013), 한강 세빛둥둥섬(2014) 등이 건설된 바 있으나 해양에서는 여수 부유식 해상교량 계획(미시행) 이외에 대형 부유식 구조체 개발사례는 없어, 해양조건 부유식 구조체의 엔지니어링 역량은 낮은 상태 ◦ (최근 국내 시장·기술 동향) 친환경, 지속가능한 국토이용·확장 기술인 부유식 교량·공항·항만·에너지저장·풍력발전·태양광발전 등 부유식 구조체 기술 적용 수요 증가 추세

개발목표	최종목표	ㅇ 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 **부유식 교량·구조체 설계 및 엔지니어링 적용 기술 개발** - 부유식 교량·구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보 - 변위 수용성 기초형식을 갖는 부유식 교량을 적용 대상으로 하되, 전후방 연계 분야로서 부유식 풍력터빈 및 접안시설 등의 확장 가능			
	핵심 기술	기술명		개발목표 달성시기	시장진입 시기
		핵심기술1	부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	2025	2030
		핵심기술2	경량 내해수 기능성 신소재 개발	2025	2030
		핵심기술3	신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	2030	2030
		핵심기술4	리스크기반 O&M 기술개발	2030	2035

연구내용

구성기술

핵심기술	구성기술
부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	- 해양 환경하중 모델 개발 - 부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술 - 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발
경량 내해수 기능성 신소재 개발	- 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발 - 고강도 내해수강 활용기술 개발
신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	- 부유체 가설 제어기술 - 확장형 모듈러 부유 구조체 (SMFS) 기술 - 목적 구조물 테스트베드 검증
리스크기반 O&M 기술개발	- 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 - 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크 - 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발

성과물

핵심기술	성과물
부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	- 풍-파랑 하이브리드 풍동실험법 - 부유식구조체 사용성 평가기술 - 신뢰도기반 설계기준
경량 내해수 기능성 신소재 개발	- 비중 2.0, 강도 100MPa 수준 초경량 고강도 콘크리트 - 인장강도 600MPa, 일반강재 대비 내부식성 60% 이하 수준의 고강도 내해수강
신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	- 확장형 모듈러 부유 구조체 - 부유식 구조체 테스트베드
리스크기반 O&M 기술개발	- 심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 - 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술 - 심해 구조물 점검용 무인검사장비

시스템	공법·기법	재료·자재	소프트웨어	장비·장치	기준·지침
- 부유식 구조체 테스트베드	- 풍-파랑 하이브리드 풍동실험법 - 부유식구조체 사용성 평가기술 - 확장형 모듈러 부유 구조체	- 초경량 고강도 콘크리트 - 고강도 내해수강	- 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술	- 심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 - 심해 구조물 점검용 무인검사장비	- 신뢰도기반 설계기준

추진

사업 추진방법

○ 다양한 부유식 구조체 목적물에 공통으로 적용되는 기술과 부유식 교량을 대상으로 하는 테스트베드 구현기술로 이원화하여 사업 추진 협업체계 구축

전략		- (공통 적용기술 집중 개발) 공통적으로 적용 가능한 핵심 엔지니어링 기술, 기능성 신소재 및 연결기술, 리스크 기반 O&M 기술을 중점적으로 개발 추진 - (테스트베드 적용 통한 검증) 개발 기술의 활용을 주도할 기업체(건설사, 중공업사 등)가 참여하여 민간수요에 기반한 부유식 교량 T/B 제안하도록 유도 * 테스트베드 적용을 통한 개발기술의 적용성 검증 및 실용화 기반 마련 o 추후 수중교량으로 확대 발전 시킬 필요가 있으므로, 이를 염두에 둔 기술개발 추진

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (267)억 원 (정부출연금(200)억 원+민간매칭(67)억 원)

구분	'22~'26	'27~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	60	20					80
핵심기술2	40	13					53
핵심기술3	60	20					80
핵심기술4	40	14					54
핵심기술5							
합계	200	67					267

기대효과

◦ (기술적 기대효과)
- 해양 도시 등 미래 사회 건설을 대비한 기술이며, 디지털 설계 및 제작, 생산 기술인 프리팹(prefabrication) 및 모듈러(modular) 기술은 건설산업 디지털 전환의 선도 기술 역할 수행
- 지진에 대해 격리된 구조형식으로 주요 재난에 강인한 특성을 지니고 있어 회복탄력적(resilient)이며, 지구 온난화에 의한 수면 상승으로 인한 영향을 덜 받는 지속가능(sustainable)한 기술

◦ (경제·사회적 기대효과)
- 대규모 매립이 필요한 공항, 단지 건설, 대수심 횡단이 필요한 교량 건설, 대규모 굴착이 필요한 터널 건설에 비하여 공사비 및 시공 기간에서 경제적 우위에 있으며 확장이나 이동설치가 가능
- 디지털 엔지니어링 기술을 통한 부유식 구조물 건설은 제작 및 가설단계의 원가절감 및 고품질 모듈러 구성품 제작을 가능하게 함으로써, 이를 활용한 친환경인공경량골재, 초고성능 콘크리트, FRP, 고강도 내해수 후판강 등 부유식 구조물용 신소재 적용에 따른 고성능 Mega-float 시스템 개발을 통한 고부가가치 건설 산업의 토대가 될 것으로 기대

◦ (환경적 기대효과)
- 하부구조가 직접 지면에 설치되지 않으므로 일반적인 해상 구조물 설치 방법인 교각 건설, 매립 시 굴착 등으로 인해 발생하는 오탁수 오염 등 환경오염 최소화 가능
- 2010년에 가덕도 해안에 부유식 공항건설이 제안된 바 있으며, 해상에 부유식 공항을 건설하게 되면 연약지반 극복, 건설비용 절감, 환경파괴 최소화, 해양 생태계 보존 등의 이점이 기대되어 정책 추진에 기여할 수 있음

(5) (과제 5) 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발

과제명	맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소 기술개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
		√		

연구배경	필요성	◦ 건설섹터 이산화탄소 배출 및 사회기반시설 노후화와 같은 건설산업에서 직면한 문제들을 해결하기 위해 첨단 소재기술 접목을 통한 해결 방법 모색 ◦ 미래형 사회기반시설 (부유식 교량, 수중교량 및 Mega-float 시스템) 구축을 위한 기존 한계를 뛰어넘는 고강도 경량 복합 구조체 개발이 필요 ◦ 사회기반시설의 유지보수 비용 절감, 내구성 증진, 및 재난재해에 능동적으로 대응하기 위한 자기 감지형 신소재 복합 구조재료 개발이 필요
	국내외 동향	◦ (국외) 전 세계적으로 전방위적 2050년 탄소중립을 실현하기 위한 다각적인 시도가 활발함 - 저탄소 구조재료 개발 및 중량 최소화 기술 개발을 통해 기후변화 및 자원 부족에 대응하려는 적극적인 기술개발이 진행되고 있음 - 미래형 교통수단에 적용하기 위한 새로운 구조재료 개발이 이루어지고 있음 ◦ (국내) 국내 건설산업에서도 원재료 수급 문제 및 환경규제에 대응하기위한 친환경 소재 사용 요구가 늘어나고 있음 - 국내에서 수급 가능한 산업부산물의 품질이 낮음으로 인해, 친환경콘크리트 생산이 제한적이며, 최근까지 일본의 석탄재를 수입하여 시멘트 대체 물질로 활용해왔음 ◦ (최근 국내 시장·기술 동향) 미래형 고부가가치 사회기반시설 구축 수요 증가에 따른 신구조재료 개발 수요가 커지고 있음 - 자연경량골재는 대부분 수입에 의존하고 있는 상황이며, 이마저도 재료분리와 같은 기술적인 문제로 인해 기존 건설재료의 역학적인 한계를 뛰어넘지 못하고 있음 - 플라이애시와 같은 산업부산물을 이용한 인공경량골재 제조는 시장성이 있음에도 불구하고, 부산물 자체의 품질조절(quality control)실패로 인해 현재 국내에서 생산되고 있지 않음 - 따라서 기존의 한계를 뛰어넘는 미래형 사회기반시설 구축은 일반적인 콘크리트 기술로는 달성이 불가하며 경제성을 동반한 새로운 구조체 개발 기술이 이루어져야함

개발목표	최종목표	◦ 첨단 소재기술과의 융합·접목을 통한 차세대 다기능 구조재료를 개발하여 지속가능발전 확보 및 미래교통 인프라시스템 구축 선도 - 탄소배출의 주 요인으로 지목되는 시멘트양을 60% 저감할 수 있는 친환경 구

조재료 개발
- 인공경량골재 적용 및 고성능 펌핑기능을 탑재한 고강도 경량 기능성 시멘트 복합체 개발
- 초박판 고인장 성능을 갖춘 미래형 강재, 고강도 스트랜드, 및 탄소기반 복합 구조체 개발
- 자기감지 기능 등이 탑재된 신소재 기반 다기능 구조 복합체 개발

핵심 기술

기술명		개발목표 달성시기	시장진입 시기
핵심기술1	미래형 저탄소 친환경 구조재료 개발	2045	2050
핵심기술2	초연결을 위한 고강도 경량 시멘트 복합체 개발	2045	2050
핵심기술3	미래형 강재 및 탄소기반 복합 구조체 개발	2040	2045
핵심기술4	신소재 기반 다기능 구조 복합체 개발	2030	2035

연구내용

구성 기술

핵심기술	구성기술
미래형 저탄소 친환경 구조재료 개발	- High-volume 산업부산물 사용을 통한 저탄소 콘크리트 개발 - 시멘트양을 60% 저감시킨 고성능 구조재료 개발 - 이산화탄소 흡착 기반 반응경화재료 개발 및 적용
초연결을 위한 고강도 경량 시멘트 복합체 개발	- 수직 700m, 수평 3000m 펌핑이 가능한 고성능 구조재료 개발 - 고강도 경량 시멘트 복합체를 위한 고강도 인공경량골재 개발 - 유변학적 특성 조절을 통한 고강도 경량 시멘트 복합체 개발
미래형 강재 및 탄소기반 복합 구조체 개발	- 탄소섬유케이블 및 타이어코드 융합 고강도 케이블 상용화 - 초경량고강도케이블과 정착 가설시스템 개발 - 초박판 거더 개발
신소재 기반 다기능 구조 복합체 개발	- 나노재료를 활용한 자기감지 구조재료 개발 - 고강도 내해수강 활용기술 개발

성과물

핵심기술	성과물
미래형 저탄소 친환경 구조재료 개발	- 다양한 산업부산물의 반응성 극대화를 위한 폴리머 복합재 개발 - 화학적 혼화재 사용을 통한 기존 콘크리트 수준 강도를 가지는 저시멘트 구조재료 개발 - 대기중의 이산화탄소를 흡착하여 강도를 발현하는 신구조재료 개발
초연결을 위한 고강도 경량 시멘트 복합체 개발	- 초연결 구조재료용 신혼화재 적용을 통한 고성능 펌핑 기술 개발 및 적용 - 기존 골재 대비 300% 이상의 고강도를 가지는 인공경량골재의 합성 및 대량생산 기술 개발 - 재료분리문제 해결을 위한 구조재료용 폴리머 복합체 개발 및 적용
미래형 강재 및 탄소기반 복합 구조체 개발	- 강도 3.5GPa를 갖는 탄소섬유 케이블 및 그 정착시스템 개발 - 강도 2.5GPa를 갖는 타이어코드 융합 고강도 스트랜드 개발 및 상용화 - 인장강도 600MPa, 일반강재 대비 내부식성 60% 이하 수준의 고강도 내해수강 개발
신소재 기반 다기능 구조 복합체 개발	- 탄소기반 나노소재의 시멘트 복합체 분산도 확보 기술 및 평가 기법 개발 - 기존 소재 대비 압전성능 500% 이상의 자기감지 구조 복합재 개발 및 적용

성과물

		시스템	공법·기법	재료·자재	장비·장치	기준·지침
		- 테스트베드 적용 시스템	- 고강도 경량 시멘트 복합체 제조 기법 - 고성능 펌핑기술 적용된 공법	- 고강도 인공경량 골재 - 목표 강도를 가지는 강재 및 탄소섬유케이블 - 다기능성 폴리머 복합체 - 고강도 내해수강 - 고강도 경량 시멘트 복합체	- 고강도 인공경량골재 대량생산 장비	- 고강도 경량 콘크리트 적용을 위한 지침

추진전략	**사업 추진방법**	ㅇ 신소재 개발 및 적용, 대규모 생산설비 구축, 그리고 부유식 구조 플랫폼 및 수중교량과 같은 미래교통 인프라시스템 적용을 위한 학-연-산 유기적 추진체계 구축 - (공통 적용기술 집중 개발) 소재 개발부터 대량 생산 장비 구축을 포함하는 기능성 신소재 및 복합재 설계기술 개발 추진 - (유관학회 및 출연연) 개발된 소재의 적용성 검증 및 범용적 실용화를 위한 기반 마련 - (테스트베드 적용 통한 검증) 개발 기술의 활용을 주도할 기업체(건설사, 중공업사 등)가 참여하여 민간수요에 기반한 목적물을 제안하도록 유도

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (700)억 원 (정부출연금(525)억 원+민간매칭(175)억 원)

구분	'22~'26	'27~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	40	30	40	40	40		190
핵심기술2	40	30	40	40	40		190
핵심기술3	60	40	60	60			220
핵심기술4	60	40					100
합계	200	140	140	140	80		700

기대효과

◦ (기술적 기대효과)
- 시멘트 사용 감소를 통한 60% 이상 이산화탄소 배출을 저감하는 새로운 구조재료를 개발하여 기존 콘크리트 기반 건설재료에서 탈피한 구조재료의 새로운 패러다임을 제시
- 초장대교량, 부유식 교량, 수중 교량 및 Mega-float 시스템과 같은 미래형 사회기반시설 구축의 토대를 마련
- 신소재 기반 다기능 구조복합체와 고강도 경량 구조재료는 구조물의 위험을 자기감지하거나 구조체의 중량을 획기적으로 줄일 수 있어 지진등 주요 재난에 회복탄력적인 특성을 부여

◦ (경제·사회적 기대효과)
- 신소재 기반 구조복합재료를 이용하여 고품질 모듈러 구성품 제작 및 morphology 기반으로 설계된 구조체에 적용하여 생산비용을 낮출 수 있는 디지털 엔지니어링 기술 확보
- 고강도 경량 구조체 및 신소재 기반 구조재료 적용을 통하여 사회기반시설의 내구수명 증진, 재료 채취 및 건설자재폐기에 따른 환경비용을 줄일수 있어 사회기반시설 구축 및 유지 비용의 절감

	◦ (환경적 기대효과) - 건설섹터에서 발생하는 이산화탄소발생을 줄여 전세계적 아젠다인 2050년 탄소중립을 달성하는데 적극적으로 기여 - 고강도 인공경량골재는 자연골재를 대체하여 경제적임과 동시에 자연골재채취에 따른 환경파괴를 최소화 - 산업부산물의 능동적인 활용으로 지속가능한 개발을 이룰 수 있으며, 부유식 구조체와 같은 미래 사회기반시설은 생태계 보존에 기여

(6) (과제 6) 프리팹 자동화 시공기술 개발

과제명	프리팹 자동화 시공기술 개발

중점 분야	I. 교량 형식의 다변화	II. 맞춤형 신소재 및 신개념 구조요소	III. 신속정밀 자동화 시공	IV. 스마트 무인자율형 O&M
		√	√	

연구배경	필요성	◦ 정보통신, 제조, 석유/가스 등 전체 산업에 걸쳐 4차 산업혁명 기술을 활용한 디지털-자동화 및 생산성의 비약적 증가가 진행되고 있으나, 건설산업은 전체 산업 중에서 디지털화 및 생산성 증가율이 “꼴찌” 수준임. ◦ 선진국에서는 건설 생산성 혁신과 신시장 선점을 위해 중장기계획을 수립하고, 스마트 건설기술 개발 및 확산 정책을 추진하는 중 ◦ 세계적으로 높은 기술력을 보유한 국내 건설산업의 향후 해외 선진국과의 기술경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 4차산업, 디지털 기술을 적극적으로 활용하여 건설 생산성을 향상시켜야 함
	국내외 동향	◦ (국외) 제조업의 디지털 생산 기술을 건설산업에 도입하기 위한 로보틱스, 센싱, 스캐닝 데이터 기반 품질관리, 디지털 가조립 기술 등이 연구 및 테스트베드 단계를 넘어 실제 산업에서의 핵심 기술로 자리매김하고 있음 - 미국의 Accelerated Bridge Construction (ABC)을 비롯하여 영국의 MTC (Manufacturing Technology Centre), 싱가포르의 Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC)과 같은 디지털 건설기술이 실증 단계에 접어들어 다양한 시공 및 산업 현장의 핵심기술로서 활용되고 있음 - 영국 ‘Construction 2025’는 건설 원가 및 산업 전주기 비용 33% 절감, 탄소가스 50% 저감, 공기 50% 등을 목표로 하며, 일본 ‘I-Construction’은 2025년까지 건설현장의 생산성 20% 향상을 추진 중임. ◦ (국내) 생산성 증가율 -1%, 디지털화 지수 10% 미만으로 국내건설생산성은 2015년 기준 선진국 평균의 절반에 미치는 수준임 ◦ (최근 국내 시장·기술 동향) 첨단기술과의 과감한 융합·접목을 통한 인공지능·딥러닝 기법이 도전적으로 시도되고 있으며 도로·교량 인프라의 스마트 유지관리가 제도화 되고 있는 추세임. 그러나 대부분이 단편적 활용에 그치고 있어 실증화 수준을 달성하기에는 미흡한 수준임.

개발목표	최종목표	ㅇ 건설산업의 디지털 혁신에 따른 생산성 향상 목표는 2050년까지 제조업 수준의 생산성을 확보하는 것으로 설정하며, 제작 정밀도 역시 제조업의 해상구조 적용 수준을 확보하는 것으로 함. ㅇ 이를 위해 다양한 차세대 디지털 요소기술을 개발하고, 이를 교량기술에 적용함

으로써 실증화를 이뤄내는 것을 최종목표로 함.

○ 이를 통해 각 전략과제의 최종목표인 시공 정밀도 향상, 중량감소, 탄소배출저감, 현장작업 축소 등의 목표를 달성에 이바지 함.

핵심 기술

기술명		개발목표 달성시기	시장진입 시기
핵심기술1	데이터 주도형 교량 설계기술 (Data-Driven Bridge Engineering) 개발	2030	2035
핵심기술2	디지털 제조기술 기반의 교량 제작, 품질관리 및 시공기술 개발	2030	2035
핵심기술3	핵심관리거동 센싱 연동 디지털트윈 모델 개발	2035	2040

연구내용

구성 기술

핵심기술	구성기술
데이터 주도형 교량 설계기술 개발	- DfMA기술 반영한 디지털 모델 기반의 설계시스템 및 데이터모델 구축 - Morphology/Topology Optimization 기반 최적형상을 통한 물량 최소화
디지털 제조기술 기반의 교량 제작, 품질관리 및 시공기술 개발	- 디지털 제조기술을 활용한 설계-제조장비-디지털 품질검사 데이터 연동 기술 - 시공 현장 스마트화를 위한 건설로봇 및 형상관리 디지털화를 통한 자동화 및 초정밀 시공 구현
핵심관리거동 센싱 연동 디지털트윈 모델 개발	- 제작 및 가설 중 센싱을 통한 구조거동 이력 축적 기술 - 준공시까지의 단계별 거동 모사 디지털 트윈모델 및 모델 업데이트 기술 - 핵심부재 및 전체구조계에 대한 해석-센싱-디지털 트윈모델 연동 기술

성과물

핵심기술	성과물
데이터 주도형 교량 설계기술 개발	- 빅데이터 및 강화학습을 활용한 설계 자동화 - 디지털 트윈 기반 설계-제작-가설 지원 데이터모델 구축 - Morphology Optimization을 활용한 최적형상 설계기술
디지털 제조기술 기반의 교량 제작, 품질관리 및 시공기술 개발	- 부재 제작을 위한 설계 모델과 제작 장비 연동 및 자동화 기술 - 가조립 절차 생략을 위한 디지털 품질검사 및 조립성 자동 검토 기술 - 무인 건설 로봇 조작을 위한 디지털 경로 및 동작 정의 - 무인 건설로봇 경로 최적화 및 자율적 의사결정 모델 - 가설장비의 정밀 위치 인식, 시공 중 위험회피 및 장애물 인지 기술 개발
핵심관리거동 센싱 연동 디지털트윈 모델 개발	- 교량 형식별 핵심관리거동 및 인자 추출 기술 - 교량 부재 및 전체계 시스템에 대한 해석-센싱 직접 연동 가능한 디지털 트윈모델 개발 - 핵심관리거동에 적합한 모니터링 시스템 및 기계화 점검 기술 개발 - 시공 실 이력을 반영한 디지털 트윈 준공 모델 개발

공법·기법	소프트웨어	장비·장치
- 빅데이터 및 강화학습을 활용한 설계 자동화 - Morphology Optimization을 활용한 최적단면 설계기술 - 3D 프린터 및 프리팹을 활용한 주요 부재 생산의 자동화	- 디지털 트윈 기반 전주기 프로세스 관리 모델 - 무인 건설로봇 경로 최적화 및 자율적 의사결정 모델 - 데이터 주도형 구조물 성능평가 및 의사결정 기술 - 환경 및 거동특성을 반영한 인공지능 기반 구조물 수명 예측 기술 - 탐지율 80% 이상의 이미지 기반 손상 탐지 및 정량화	- AR, VR 및 XR, MR, 메타버스를 활용한 건설정보 시각화 기술 - 영상센서를 탑재한 자율형 외관조사 및 상태평가 로봇 - 무인 건설 로봇 조작을 위한

		- 정밀 위치 인식, 시공 중 위험회피 및 장애물 인지 기술	기술 - 열화상 및 딥러닝 기반 강교/복합소재의 내부 손상탐지 정량화 기술 - 예측 정확도 75% 이상을 만족하는 빅데이터 기반 사용성능 예측모델	디지털 경로 및 동작 정의

추진전략	**사업 추진방법**	○ 본 과제는 차세대 디지털 기술의 교량기술 적용 및 실증화를 통해 신소재 기반 하이브리드 5K 마스터플랜 달성을 위한 프리팹 자동화 제작, 시공 기술을 개발함으로써 기타 전략과제의 추진목적 달성을 위한 핵심 요소기술을 보급함. - (디지털 기반 자동화 기술 집중 개발) 5K급 초장대교량, 부유식 구조체 등의 제작 및 시공에 공통 적용 가능한 디지털 자동화 기술을 중점적 개발 추진 - (개발 기술의 실증화) 개발 기술의 테스트베드 적용을 통해 실제 교량 전주기 엔지니어링에 적용할 수 있는 실증화의 기반을 마련함

예산 (억 원)

* 총 소요금액 : (267)억 원 (정부출연금(200)억 원+민간매칭(67)억 원)

구분	'22~'26	'27~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50	합계
핵심기술1	65	20					85
핵심기술2	70	27					97
핵심기술3	65	20					85
핵심기술4							
핵심기술5							
합계	200	67					267

기대효과

◦ (기술적 기대효과)
- 각 핵심기술 및 성과품들은 건설산업의 디지털 전환 및 생산성 향상을 위한 기반기술로서의 역할을 수행할 수 있음.
- 이를 통해 건설생산성의 향상과 건설공기 단축, 재해율 감소, 디지털화등을 통해 건설 생산성 및 안전성의 혁신적 향상을 기대할 수 있음
- 건설분야의 독보적인 국제적 기술력을 확보함으로써, 향후 해외 고부가가치 건설시장에서의 경쟁력을 제고하고 진출의 활로를 모색할 수 있음

◦ (경제·사회적 기대효과)
- 건설산업 특유의 노동집약형 산업구조에서 지식기반, 디지털 기반 고부가가치 산업으로의 전환을 통해 새로운 노동 인력을 유입시키고 고급 기술 기반의 비즈니스 모델을 제안할 수 있음
- 전 세계적인 디지털화/생산성 향상으로의 패러다임 전환기에 다양한 디지털 기술을 교량 기술로 실증화 함으로써 국가의 스마트건설 정책 목표에 기여할 뿐 아니라 양질의 일자리 창출 효과를 기대할 수 있음

3.
연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

3.1 연구수행 결과
3.2 목표달성 수준

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

3.1. 연구수행 결과

3.1.1. 정성적 연구개발성과

□ 국가주도의 차세대 교량 건설 기술 확보를 위한 기반 마련

○ VC-10 등의 국책사업의 결과 우리나라는 교량분야 세계적 기술수준을 달성하였으며, 향후 기술 선도그룹의 지위를 유지하기 위한 발판 바련

- 우리나라가 교량분야 기술선도 국가의 지위를 유지하기 위해서는 미래 교량분야 건설의 이슈를 파악하고 문제를 해결하기 위한 뚜렷한 청사진 필요
- 본 연구를 통해 2050년까지 우리나라가 교량분야 글로벌 리더지위를 유지하기 위한 명확한 개발 목표와 단계별 Milestone을 제시

○ 초장대교량 건설 및 운영에 필요한 핵심 건설 기술(공법), 친환경 고강도 소재, O&M 시스템 등의 개발을 통해 다양한 건설분야 및 메가스트럭쳐 건설 기술의 핵심 기반기술 확보 가능

- 대규모 연구사업비의 투자에 앞서 연구개발 목표의 기술적/경제적/정책적 타당성을 종합적으로 검토하고 목표 성과물의 파급효과를 고려한 객관적 추진전략 수립
- 초장대 교량(5K Bridge) 건설을 위해 필요한 핵심 요소기술을 도출하고 단기(~10년) 중장기(~30년) 미래기술분야로 구분하여 기술개발 로드맵 제시

3.1.2. 정량적 연구개발성과

〈표 3-1〉 세부 정량적 성과

과업내용	정량성과
· 이슈 및 니즈 도출 - 혁신 건설재료 기술 관련 글로벌 트렌드 분석 및 주변 환경변화 분석을 통해 미래 기술이슈를 도출하고, 시장 선점을 위한 기술적 니즈 및 전략적 대안을 제시	1건
· 사전기획 방향성 - 다양한 전문가그룹 자문 및 유관기관 의견 수렴을 통해 사전기획 방향성을 모색	1건
· 중장기 마스터플랜 - 중장기적 관점에서 단계를 구분하고, 예타급 대형사업 또는 소액사업 등을 포함한 마스터 플랜 제시	1식
· 사업정의 및 개념 - 중장기 마스터 플랜에 기반하여 사업의 목적 및 개념, 기획대상의 범위를 정의·설정	1건
· 비전, 목적, 목표의 설정 - 사업을 통해 달성하고자 하는 미래 비전, 목적 및 목표 제시	1건
· 사업 중점분야 도출 - 목적·목표 달성을 위해 개발 및 확보가 반드시 필요한 사업 내 중점분야를 적합한 분석기법을 통해 도출	1건
· 확보전략 - 내·외부 역량(인력·연구인프라 등), 외부환경 변화에 따른 기회·위협 요인 분석 및 투자우선순위 설정, 관련 부처 간 역할분담 등 확보전략 도출	1건
· 기술·성과지도 - 중점추진분야-핵심과제-핵심기술 간 단계적 기술개발방향 제시 및 단계별 성과 간 연계도 제시	중점영역별 1건, 총 4건

3.1.3. 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재 : 없음

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 국내 및 국제 학술회의 발표 : 없음

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
-	-	-	-	-	-	-

□ 기술 요약 정보 : 없음

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 보고서 원문 : 없음

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
-	-	-	-	-

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 : 없음

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도
-	-	-	-	-

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램) : 없음

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

○ 지식재산권 활용 유형 : 없음

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등) : 없음

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율
-	-	-	-	-	-	-	-

□ 신기술 지정 : 없음

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호
-	-	-	-	-

□ 기술 및 제품 인증 : 없음

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		
-	-	-	-	-	-	-

□ 표준화

○ 국내표준 : 없음

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자
-	-	-	-	-	-	-	-

○ 국제표준 : 없음

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[경제적 성과]

□ 시제품 제작 : 없음

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 현장적용 : 없음

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
-	-	-	-	-	-

□ 기술 실시(이전) : 없음

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
-	-	-	-	-	-	-

□ 사업화 투자실적 : 없음

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)
-	-	-	-	-	-	-

□ 사업화 현황 : 없음

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 매출 실적(누적) : 없음

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
-	-	-	-	-	-	-
합계			-	-	-	-

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과 : 없음

성과			-		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		-		
	소요예산(천원)		-		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	-	-
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	-	-
		국외	-	-	-
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		-		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-	-	-
	수 출		-	-	-

□ 고용 창출 : 없음

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
합계			-	-	-

□ 고용 효과 : 없음

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	-
		생산인력	-
	개발 후	연구인력	-
		생산인력	-

□ 비용 절감(누적) : 없음

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
합계				-

경제적 파급 효과 : 없음

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도	-	-	-	-	-	-	-
기대 목표	-	-	-	-	-	-	-

□ 산업 지원(기술지도) : 없음

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

□ 기술 무역 : 없음

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

[사회적 성과]

□ 법령 반영 : 없음

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용
-	-	-	-	-	-	-	-

□ 정책활용 내용 : 없음

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
-	-	-	-	-	-

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영 : 없음

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용
-	-	-	-	-	-

□ 신진연구자 채용 : 없음

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
-	-	-	-	-	-

□ 전문 연구 인력 양성 : 없음

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

□ 산업 기술 인력 양성 : 없음

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원
-	-	-	-	-	-	-	-

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용 : 없음

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)
-	-	-	-	-	-	-

□ 국제화 협력성과 : 없음

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용
-	-	-	-	-	-	-

□ 홍보 실적 : 없음

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
-	-	-	-	-

□ 포상 및 수상 실적 : 없음

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
-	-	-	-	-	-	-

[인프라 성과]

□ 연구시설 · 장비 : 없음

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설 · 장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설 · 장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. 목표 달성 수준 : 100% 달성

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 차세대 교량분야 메가트렌드 도출 및 차세대 교량 미래상 전망	○ STEEP 분야별 메가트렌드 분석 및 건설·교량·교량 분야 이슈 및 메가 드렌드 도출	100%
○ 5K Bridge 기술개발을 위한 중장기 마스터플랜 도출	○ 5K Bridge 미래 아젠다 도출	100%
- 5K Bridge 미래 아젠다 도출: 기술수요조	- 기술수요 조사 및 과제 우선순위 도출	100%
- 미래 이슈별 대응전략	- 이슈별 대응방향 설정 및 전략 수립, 과제 도출	100%
- 중장기 마스터플랜 수립	- 중장기 마스터플랜 수립	100%
○ 5K Bridge 8대 전략과제	○ 5K Bridge 8대 전략과제 수립	100%
- 5K Bridge 건설을 위한 8대 전략과제 도출	- 8대 전략과제 도출	100%
- 과제카드 작성 및 최종목표와의 연계성 확보	- 과제별 과제카드 작성 및 최종목표와의 연계성 검토	100%
○ 분야별 기술 성과지도	○ 분야별 기술 성과지도 작성	100%

4.
연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

□ 국토교통 분야 기술수준 향상에 기여

○ '19년 기준 우리나라의 국토교통 분야 기술수준은 최고기술보유국(미국) 대비 80% 수준

* 미국 100%, 독일 96.2%, 영국·프랑스 92.3%, 일본 92.2%, 대한민국 80.7%, 중국 74.8%

○ '13년 이후 꾸준한 수준 향상(74.8%→80.7%), 격차 해소(4.7년→4.3년) 성과를 이루었으나, 여전히 주요 7개국* 중 6위 수준이며, 7위(중국)와의 격차가 지속 감소 중(9.3%→5.9%)

* 미국, 일본, 중국, 영국, 독일, 프랑스, 대한민국

○ 동 사업을 통한 기초·원천기술 개발 및 전략적 선도 기술 개발을 통해 특허 및 논문경쟁력 향상을 도모하여, 우리나라 전반의 국토교통 기술수준을 향상시킬 수 있을 것으로 기대

* 논문(mrnIF) 및 특허등급(SMART)의 질적 수준을 확보한 기술적 성과 달성 예상

□ 교량 분야 기술개발 주체의 연구개발 활동 참여 촉진·장려

○ 동 기획이 추진된다면 타 사업을 통해 지원받기 어려운 기술 분야(e.g. 교량 성능평가 및 검증 방법 개발, 표준화 등)의 지원을 통해 추가 연구개발 추진이 어려운 주체의 기술개발 부담을 경감

○ 미래 유망 분야이며, 선도적인 기술의 개발에 있어 민간의 재정적 부담을 완화하여, 도전적인 연구개발 추진을 위한 참여 유인을 마련하여 관련 주체의 연구개발 활동을 촉진

□ 교량 분야 분야 연구기반 강화에 기여

○ 동 기획이 추진될 경우 교량분야 기술개발 활동의 촉진과 참여 등을 통해 관련 시설 및 장비의 확보·확충, 연구 참여 인력의 연구역량 강화, 신진 연구자 영입 등을 통해 물적·인적 인프라 수준의 향상 기대

5.
연구개발성과 관리 및 활용 계획

5. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

□ 차세대 교량 기술 확보를 위한 국가사업 추진시 기초자료로 활용

○ 본 기획 연구는 향후 30년간의 교량분야 연구개발 추진을 위한 중장기 로드맵과 신규 사업 추진을 위한 '기획보고서' 등 교량분야 연구개발 추진의 타당성을 입증할 수 있는 각종 근거를 포함

○ 연구 결과물은 신규 R&D 사업 예산 확보를 위한 중기재정 신청시 필수로 제출하는 기초자료로 활용하며, 관련 절차 및 평가항목의 적합 여부를 판별할 수 있는 근거자료로 활용 가능

□ 교량 분야 혁신성장을 지원할 수 있는 기술 분야, 연구개발 계획 등의 참고자료로 활용

○ 본 연구결과에서 선별된 기획(안)을 토대로 신규 R&D 사업으로 예산 확보를 통한 사업 추진 시, 중점투자 분야, 유망 기술 및 과제, 연구개발 추진 계획 등을 참고자료로 활용 가능

부록

메가트렌드 전망 보고서 주요 이슈 정리

〈 별첨 〉 메가트렌드 전망 보고서 주요 이슈 정리

□ [KISTEP 정책총서] 혁신성장과 미래트렌드 2018 plus 10[한국과학기술기획평가원, 2018]

○ 미래의 10가지 중요한 트렌드 및 이슈 제시

- 미래 트렌드 및 이슈에 따른 대응방안과 정책을 제시하여 미래에 나아가야 할 방향을 제안

〈표 부록-1〉 메가트렌드 및 세부트렌드

번호	메가트렌드	세부트렌드
1	인구구조 및 가치변화	저출산·고령화
2		1인 가구 가속화
3		개인 삶의 질 중시
4		다문화 가구 증가
5		사회적 약자 및 소외계층 배려
6		공유경제 심화
7		남녀 평등사회 도래(여성지원 신장)
8	도시 양극화	메가시티 확대
9		비 대도시권 시퇴 및 노후화
10	기술변혁의 가속	무인화 및 인공지능 보편화, 가상현실 보편화
11		스마트시티화
12		초연결 사회 도래
13	경제 글로벌화 및 구조 변화	글로벌 경제협력 확대 및 통합
14		지식 및 서비스 산업 중심의 경제구조 개편
15		산업·기업·지역·직종간 양극화 심화
16	기후변화 심화 및 환경 중요성 증대	에너지 저소비형 개발 확대
17		친환경 기술개발 가속
18		신종·복합 사회적 재난·재해 증대
19		워터그리드 확산
20	안보 및 거버넌스 환경 변화	남북한 협력증진
21		국민참여 요구 증대 및 지방분권화
22		안보 및 보안 위험 증대

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)[국토교통부, 2018)

○ 총 4대 미래사회 변화에서 8개 세부 트렌드 도출

- 유엔미래보고서 2050, 국토교통 비전 2045 등 국내외 미래전망 보고서에서 제시한 메가트렌드 중 정부정책 부합성 및 국토교통 분야 연관도 등을 고려해 선정

〈표 부록-2〉 미래사회 변화 트렌드

번호	메가트렌드	세부트렌드
1	첨단 기술에 기반한 경제·사회 구조의 근본적 변화	4차 산업혁명
2		서비스 산업화
3	사회적 가치에 대한 국민의식 변화	삶의 질 중시
4		공유·플랫폼 경제
5	급변하는 인구구조에 따른 도시구조의 변화	도시화
6		저출산·고령화, 1인 가구
7	지구온난화 등 글로벌 위기요인 상존	기후변화
8		안보위협

□ 2040 국가간선도로의 미래상 연구[국토연구원, 2018]

○ STEEP 분야별 미래 환경변화 분석 결과

- 교통분야 외부에서 양향을 미치는 핵심요인 도출 및 그 영향을 파악하기 위해 미래연구보고서 14종, 해외 미래 사회 전망 보고서 8종에 대한 메타분석으로 요인을 도출해 STEEP 분석 적용

〈표 부록-3〉 미래 환경 변화 전망

STEEP	메가트렌드	세부 변화 요인
사회(S)	인구구조의 변화	저출산·고령화
		1인 가구 가속화
	가치 변화	개인 삶의 질 중시
		다문화 가구 증가
		소비욕구 다양화(합리적 소비)
		공유경제 심화
		사회문제 공동대응
	도시 및 양극화 (집중 및 쇠퇴)	메가시티 확대
		비 대도시권 쇠퇴 및 노후화
기술(T)	기술 변혁의 가속	자동화, 무인화(자율주행, 로봇기술 등)
		AI / IoT / 나노 / AR / 클라우드 / 블록체인 등 기술 발전

		디지털화, 빅데이터, 데이터 접근성 제고
		초연결사회 도래
경제(E)	경제 글로벌화	글로벌 경제 협력 확대 및 통합
	산업구조 변화	지식 및 서비스 산업 중심의 경제구조 개편
		산업/기업/지역/직종간 양극화 심화
	저성상사회	경제 역동성 심화
	디지털경제	전자상거래, 스마트워크, 화상회의, P2P 등
환경(E)	기후변화 심화 및 환경 중요성 증대	에너지 서보시형 개발 확대
		친환경 기술개발 가속
		재난 및 재해 증대
	에너지위기 및 자원 중시	에너지 부족 및 가격
		대체에너지 개발
정치(P)	안보 및 거버넌스 환경 변화	남북한 협력 증진
		국제사회 다극화
		글로벌 거버넌스 형성
		안보 및 보안위험 증대

□ 글로벌트렌드와 한국: 과학기술적 대응역량 진단의 시사점[과학기술정책연구원, 2018]

○ 14개 핵심 트렌드 및 43개 주요이슈 도출

- 7개 해외 문헌과 3개의 국내 문헌으로 추려낸 키워드에 'STEPI 보고서'의 최신 트렌드 키워드를 추가 및 보완하여 148개의 키워드 도출, 전문가 워크숍을 통해 총 14애 트렌드와 이를 구성하는 43개 주요 이슈를 최종 선정

〈표 부록-4〉 미래 환경 변화 전망

번호	핵심 트렌드	주요 이슈
1	그린이코노미로의 이행	그리노믹스의 부상
2		녹색협약체제의 확산
3		재생에너지 개발의 확대
4		녹색소비운동의 확산
5	저탄소 에너지 시스템으로의 전환	에너지 수급의 불안정
6		신에너지 개발 확대
7		에너지 효율화 경쟁의 확대
8	가후변화의 도전	자원안보 이슈의 부상
9		기후복지 이슈의 부상
10		신 기후 체제로의 이행
11	스마트시티의 부상	메가시티의 확대
12		지능형, 자립형 도시의 부상

13		지속 가능한 도시기능의 확대
14	고용의 불안정	노동 인구구조의 변화
15		스마트 팩토리의 확산
16		인간 노동의 지식화, 정보화
17	사회적 불평등의 확대	경제적 양극화의 심화
18		의료 서비스 혜택의 불평등 확대
19		정보 불평등으로 인한 정치적 사회적 불안 증가
20	초고령화 사회의 도래	고령화에 따른 사회구조적 변화
21		고령인구 증가에 따르 ㄴ재정압박 가중
22		청년세대와 고령세대 간의 세대 간 갈등
23	네트워크 경제의 심화	블록체인 혁명
24		공유경제의 확산
25		네트워크 규제 및 보안이슈 증가
26	디지털 문화의 확산 및 다원화	디지털 문화 기술과 콘텐츠의 확산
27		새로운 사이버 집단 정체성의 부상
28		휴머노이드 로봇의 사회적 인간관계 대체
29	기술 융합	사이버-물리시스템(쳰)dl 만나는 사회시스템 변화
30		사물인터넷 활용 확대에 따른 프라이버시 보호 이슈
31		유전자 교정기술의 확대와 생명 윤리 논쟁의 심화
32	자동화 및 인공지능 기반 시대의 도래	자율주행차량의 사고 책임과 규제이슈 부상
33		로봇이용의 확대와 도전
34		인공지능 윤리, 알고리즘 거버넌스 이슈의 부상
35	개인 역량의 확대 및 정치 패러다임의 변화	시민관여의 증대
36		개인의 사회적 지위 향상
37		전통적 패러다임의 변화
38	신흥안보 이슈의 부상	사이버 보안과 사이버 안보문제의 도전
39		테러와 대량살상무기 위협의 증가
40		보건안보와 인간안보 논의의 발전
41	전통적 거버넌스 체계의 악화	국가·중앙정부의 통제력 약화
42		신 교역시스템에 대한 국제 거버넌스 필요성 증대
43		국제질서의 불확실성 심화

□ the Megatrends of Tomorrow's World[Deloitte, 2017]

○ 불확실성이 높아지는 현재의 특성을 고려 다양한 관점에서 미래를 예측하고 35개의 이슈 키워드를 도출하여 제시

〈표 부록-5〉 메가트렌드 및 세부트렌드

번호	대분류	메가트렌드 키워드
1	Society (사회)	Competition for Talent(재능 경쟁)
2		Concentration of Wealth(부의 집중)
3		Crowd Sourcing(크라우드 소싱)
4		Demand for Customization(개인화된 수요)
5		Do It Yourself(DIY) Movement(DIY 열풍)
6		Empowered Women(여권성장)
7		Knowledge Worker(지식노동자 증가)
8		Mass Migration(대규모 이주, 난민)
9		Next-generation Workforce(차세대 직무능력)
10		Partnership Models(파트너십 모델)
11		Sharing Economy(공유경제_
12		Urbanization(도시화)
13	Technology (기술)	Addditive Manufaturing(3D 프린팅)
14		Artificial Intelligence(인공지능)
15		Augmented Reality(증강현실)
16		Automation(자동화)
17		Blockchain(블록체인)
18		Cloud Thechnology(클라우드 기술)
19		Digitization(디지털화)
20		Focus on transparency(보안 문제, 부정·비리 관련 투명성)
21		Geospatial Technology(지리관련 기술)
22		Internet of Things(사물인터넷)
23		Social Media(소셜미디어)
24		Technization of Healthcare(첨단의료기술)
25	Economy (경제)	Data Monetization(금융 데이터, 데이터 경제)
26		Globalization(글로벌화)
27		Industry Consolidation(산업간 융합·통합)
28		Resource Price Volatility(천연자원 가격 급변)
29	Environment (환경)	Climate Change(기후변화)
30		Environmental Awareness(환경에 대한 인식 증대)
31		Resource Scarcity(자원 위협, 고갈)

32	Politics (정치)	Political Fragmentation(정치적 분열, 갈등)
33		Regulatory Landscape(규제 문제)
34		Social Unrest(사회적 불평등 문제, 인종/성평등 등)
35		Terrorist Organization(테러조직)

□ Trens Compendium 2050, Six Megatrends thet will shape the world[Roland Berger, 2020]

○ 로랜드버거 연구소가 정기적으로 실시하는 미래 메가트렌드 전망 보고서의 가장 최신판으로 6가지 분야로 구분하여 미래 이슈와 이에 따른 변화전망을 제시

〈표 부록-6〉 메가트렌드 및 세부트렌드

번호	대분류	키워드	주요내용
1	People & Society	Population	인구증가 및 고령화 추세
2		Migration	국제 난민의 증가와 이민·난민수용 문제
3		Values	인권, 평등 등 가치의 보편화
4		Education	교육수준과 정규교육을 받은 인구의 증가
5	Health & Care	Pandemics & Other Wildcards	COVID-19 글로벌 팬데믹 위협
6		Diseases & Treatment	질병(암 등)과 위협(교통사고 등)의 증가
7		Caregiving	고령화로 노인성 질환자 돌봄 수요 증가
8	Environment & resources	Climate Change & Pollution	기온변화와 환경오염 심화
9		Resources & Raw Materials	에너지 수요 증가와 천연자원 고갈
10		Ecosystems at Risk	생태계 동식물 멸종(기후변화, 밀렵 등)
11	Economics & Business	Globalization Revisited	
12		Power Shifts	경제주도권의 이전(미국→중국)
13		Sectoral Transformations	탄소제로화에 따른 이동수단의 변화(전기자동차 등)
14		Debt Challenge	전체계적인 부채규모의 증대(국가, 가계, 금융 등 모두 포함)
15	Technology & Innovation	Value of Technology	기술 중요성 증대로 기술 경쟁력이 국가경쟁력의 핵심 지표로 대두
16		Artificial Intelligence	인공지능 기반 다양한 기술과 서비스 창출
17		Humans & Machines	사회 급변화와 인간과 AI·로봇 간의 갈등
18	Politics & Governance	Future of Democracy	민주주의 시스템에 대한 회의론적 시각과 독재정치 형태 증가
19		Governance & Geopolitics	정치시스템과 지역에 따른 초국가적 세력화 추세 확대(미국, 러시아, 중국 등 중심)
20		Global Risks	전세계적 위험(기후변화, 바이러스, 해킹 등)

별첨 자료
1. (단기사업 기획보고서) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업 기획보고서
2. (단기사업 기획보고서) 케이블교량 O&M 디지털 전환 실증 기술개발 사업 기획보고서

[별첨 자료]
단기사업 기획보고서

1. 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업 기획보고서
2. 케이블교량 O&M 디지털전환 실증 기술개발 기획보고서

별첨 1

미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업 기획보고서

2021. 09.

목차

제1장 연구개요 ····· 3

1.1 사업추진 배경 ····· 3
1.2 사업추진 필요성 ····· 4

제2장 대내외 환경분석 ····· 9

2.1 국내외 정책동향 ····· 9
2.2 국내외 시장동향 ····· 17

제3장 국내 R&D 역량분석 ····· 27

3.1 R&D 추진 현황 ····· 27
3.2 기술역량분석 ····· 28

제4장 사업 기본방향 및 추진전략 ····· 49

4.1 사업기획 기본방향 ····· 49
4.2 사업 추진체계 및 운영관리 방안 ····· 52

제5장 사업 상세 설계 ····· 57

5.1 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발 ····· 57
5.2 경량 내해수 기능성 신소재 개발 ····· 68
5.3 신형식 부유 구조체 가설기술개발 및 테스트베드 검증 ····· 78
5.4 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발 ····· 87

제6장 사전 타당성 검토 ····· 103

6.1 과학기술적 타당성 분석 ····· 103
6.2 정책적 타당성 분석 ····· 119
6.3 경제적 타당성 분석 ····· 124

제7장 기대효과 ····· 133
7.1 정성적 기대효과 ····· 133
7.2 정량적 기대효과 ····· 134

제1장

연구 개요

1.1 사업추진 배경
1.2 사업추진 필요성

제1장 연구 개요

1.1 사업추진 배경

○ 지난 10여년 간 산학협동연구를 통하여 세계 최고 수준의 초장대교량 핵심기술을 개발하였으며, 축적된 기술력을 바탕으로 국내의 시공, 설계사들이 세계 장대교량 시장에서 중요한 역할을 하고 있음. 그러나 기술 경제적 부가가치가 가장 높은 리딩 플레이어 위치에는 이르지 못하고 있음.

- 초장대교량사업단(2008~2015) 및 케이블교량글로벌연구단(2016~2021) 등의 국책 연구과제를 통해 케이블교량 핵심기술을 개발하였으며, 이를 현장에 적용하여 국내기술 기반의 장경간 케이블교량을 국내외 다수 건설함.
- 국내 기업들이 기개발기술을 활용해 해외 현장에 참여함에 따라 시공 및 설계 과정에서의 다양한 공학적 문제들에 당면하지만, 이를 효과적으로 해결할 기술적 전문성은 여전히 부족함.
- 현재 기술 수준을 정밀하게 분석하고, 선도 핵심기술을 선점하기 위해서는 산업계 요구에 기반한 현실적 연구주제를 뛰어넘어 보다 도전적인 연구주제에 대한 고민과 투자가 필요함

○ 물류 및 교통의 급격한 증가와 그로 인한 항만 및 도로의 포화는 해상공간 활용에 대한 수요를 촉발하였으며, 이는 좁은 국토와 높은 인구밀도를 가진 우리나라 건설산업의 차세대 성장 동력이 될 수 있음

- 국내적으로 한-일, 한-중, 목포-제주 간 연결사업 등 장경간으로 심해를 통과하는 연결 프로젝트가 논의되고 있으며, 국제적으로 베링해협 횡단을 비롯한 심해를 장경간으로 횡단하는 연결프로젝트가 활발하게 논의되고 있음
- 노르웨이는 Kristiansand와 Trondheim을 연결하는 총 연장 1100km의 고속도로 건설 프로젝트 E39를 통해 4K급 초장경간 현수교, 부유식주탑 연속현수교, 수중터널 등 다양한 선도기술을 실증화하는 단계에 이름

○ 국내 역시 친환경, 지속가능한 국토이용·확장 기술인 부유식 교량·공항·항만·에너지저장·풍력발전·태양광발전 등 부유식 구조체 기술 적용의 수요가 지속적으로 증가하는 추세임

- 그린뉴딜 정책에 따라 부유식 해상풍력이 울산 인근에 6GW급 이상으로 추진되고 있고 최근 산업통상자원부에서 관련 요소기술이 기획·추진 중
- 현대건설은 부유식 구조물 설계·시공 핵심기술 확보를 위해 싱가포르 Nanyang Technology University에 공동연구센터를 설치하고, '19년 싱가포르의 부유식 계류장 실증사업에 지원하는 등 국

내 건설사의 부유식 구조체 신시장 진출이 진행 중

- 한국수력원자력은 새만금에 3,000MW 규모의 수상 태양광 설비 구축 추진 중 (총 사업비 4조 6,000억원, 100만 가구에 공급할 수 있는 전력을 생산하는 세계 최대 수상 태양광 발전소)
- 한국전력기술과 대우조선해양은 부유식 원전 개발을 위한 장기 협력 추진
- 제주, 가덕도 등 신공항 건설에 부유식 활주로 건설 제안

○ 국제 경쟁력을 갖춘 초장대 교량기술을 토대로 국제적 메가스트럭쳐 건설시장의 지속가능한 마켓쉐어를 위해 선진국과의 친환경 부유식 구조기술에 대한 경쟁은 당면 과제임

- 부유식 구조체 기술은 부유식 교량 외에도 부유식 풍력터빈, 수상태양발전, 수중교량, 부유식 부두 및 활주로, 부유식 인공도시 등 미래 VLFS (Very Large Floating Structure)에 적용되므로 연안 한반도의 특성상 무한 확장성을 갖고 있고 그린 뉴딜 정책과도 부합함
- 목표수명 50~100년의 부유식 구조 구현 기술은 노르웨이, 일본, 싱가포르 등이 선점하여 상용 기술을 실증하는 단계로, 관련기술 확보를 통한 기술 경쟁력 강화 및 국내외 시장 진출을 위한 기술개발 및 정부투자 필요
- 국제선도 수준의 초장대교량 기술을 토대로 부유식 구조체 기술을 단기간에 확보하는 것이 가능하며, 향후 글로벌 메가 인프라 건설시장 선점 및 지속가능한 도약을 위한 기술확보 시급

1.2 사업추진 필요성

□ 정책적 필요성

○ 우리 정부는 4차 산업혁명 및 국토교통과학 연구개발 종합 계획 등을 통해 메가스트럭쳐 및 신형식 구조물 기술 확보를 핵심 과학기술 정책으로 추진하고 있음

- (제1차 국토교통과학 기술 연구개발 종합계획 ('18.6)) 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위해 수립한 4대 추진전략 중 추진전략2에 신형식 메가 스트럭처, 초장대교량, 플로팅 구조물 등을 제시
- (경제관계장관 회의('18.6)) 4차 산업혁명을 선도하는 글로벌 산업 육성을 위해 「건설산업혁신방안」에서 4대 혁신방안을 제시하고 메가스트럭처 계획을 포함

○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술은 환경파괴를 최소화하는 국토확장성 기술이며, 부유식 해상풍력발전 기술 등과 연계가 가능하여 신재생에너지 분야의 기술 자립화에 기여할 것으로 기대됨

- 부유식 교량을 포함한 Mega-Float 기술은 국내(한반도) 확장성 및 그린뉴딜 정책 부합

- 한국판 뉴딜 10대 대표과제 중 “그린 에너지” 과제에서는 대규모 해상풍력단지(고정식·부유식) 입지 발굴을 위해 최대 13개 권역의 풍황 계측·타당성 조사 지원, 배후 실증단지 단계적 구축을 추진
- 산업부의 『재생에너지 3020 이행계획』 및 『제8차 전력수급 기본계획』에 따르면, 신재생에너지는 태양광·풍력을 중심으로 47.2GW의 신규 설비를 확충하여 ’30년 58.5GW까지 확대해 나가겠다는 목표를 설정

□ 기술적 필요성

○ 신형식 구조 시스템은 향후 글로벌 메가 인프라 건설시장 선점 및 지속가능한 도약의 핵심 요소

- 전통적인 사장교와 현수교는 주탑과 주탑 사이의 지간장(주경간)이 길어질수록 주탑 및 기초구조물 그리고 지반이 부담해야 하는 하중이 급격히 증가하게 됨. 현행 기술 및 구조시스템(현수교)에 준한 예비 설계에 따르면, 기존 교량 형식의 실현 가능성 및 사업타당성은 매우 낮음
- 지간장의 한계를 극복하기 위해서는 구조물의 부력과 고정하중 사이의 평형을 활용해 거치된 교각 없이 상부구조물이 자연의 힘에 의해 지지되는 신형식 구조물의 도입이 불가피함
  - 최근 연구된 Tension Leg Platform (TLP) 기반의 주탑은 대상해역의 지리적 제약을 받지 않아 부유식 케이블교량에 활용할 수 있으며, 특히 지간장이 늘어남에 따라 기하급수적으로 커지는 주탑의 높이와 단면의 효율적 설계를 가능케 할 것으로 기대됨

○ 주요 선진국은 친환경 부유식 메가스트럭쳐 기술을 차세대 주요 건설 기술로 인식하고 연구 투자 및 시장 개발 추진 중이나 국내 해양조건 부유식 구조체의 엔지니어링 역량은 낮은 상태임

- (노르웨이) 1992년 총 연장 845m의 부유식 교량을 건설한 바 있으며, E39 도로 연결사업에 부유식 기초 케이블 교량을 건설할 예정으로, 세계 최고 수준의 부유식 교량 기술을 보유
- (일본) 2000년 부유식 활주로 연구를 통해 1km 테스트베드를 건설하였고 2001년 410m 부유식 아치교량인 Yumemai교를 건설하였으며, ’13년 70MW 부유식 태양광 발전단지를 가동하는 등 다양한 부유식 구조체 기술 보유
- (국내) 해양에서는 여수 부유식 해상교량 계획(미시행) 이외에 대형 부유식 구조체 개발사례는 없으며, 부유식 수중교량 기획(’12~’17, 건설연), 수중터널 관련 ERC 연구(’18~, KAIST) 등의 대형 연구 역시 주로 학술 기초연구로 진행

제2장

대내외 환경분석

2.1. 국내외 정책동향
2.2. 국내외 시장동향
2.3. 기술개발동향
2.4. 시사점

제2장 대내외 환경분석

2.1. 국내외 정책동향

2.1.1. 노르웨이

□ '17년 노르웨이는 도로, 철도, 항공, 항만, 친환경 모빌리티 등 국가 전체 교통·물류와 관련된 종합계획인 「National Transport Plan 2018-2029」를 발표

○ 향후 12년간 '안전하고 가치를 창출하며 저탄소 사회에 기여하는 수송시스템'을 위해 모빌리티, 안전, 친환경 등 3가지 목표를 제시

- (모빌리티) 노르웨이 전역에 대한 사람과 상품의 이동성 향상을 위해 5가지 실행방안 제시
  - 신뢰할 수 있는 운송시스템, 이동시간 단축 및 운송량 향상, 도시 내 자동차 운송을 대중교통/자전거/보행으로 대체, 복합운송망 구축, 화물운송 비용을 절감하여 철도 및 항만 운송 증가
- (안전) '비전 제로(Vision Zero)'에 따른 사고 감축을 위해 3가지 실행방안 제시
  - '30년까지 교통사고 사망자 및 중상자를 350명 이하로 감소, 철도/해상/항공 운송 안전 기준 강화, 심각한 오염을 초래하는 해상 사고 방지
- (친환경) 이산화탄소 및 환경오염 물질 배출 감소를 위해 3가지 실행방안 제시
  - 노르웨이 탄소저감 목표 달성을 위해 이산화탄소 감소 배출, 깨끗한 공기 및 소음의 국가 목표 달성, 생물 다양성 보장

○ 3가지 목표를 달성하기 위한 효율적인 교통망 구축을 위하여 노르웨이는 도로, 철도, 항공, 항만 등의 인프라에 475억 달러 이상을 투자할 계획

- 철도운송을 위한 철도인프라 구축, 여객선 이동의 비효율성을 개선하기 위한 대형 도로인프라 구축, 해상 운송 및 항공을 위한 새로운 프로젝트 등이 주요 프로젝트로 선정
- 도로인프라 구축에 185억 달러, 철도인프라 구축에 217억 달러, 대중교통 인프라 구축에 28억 달러, 도로-철도 인프라에 3억 달러를 투자할 계획

〈표 2-1〉 노르웨이 국가 수송계획 상 주요 인프라 프로젝트

구분	프로젝트명
도로-철도 복합 인프라	- E16 Skaret - Hønefoss and the new Ringerike Line - E16 and double rail tracks Stanghelle - Arna
철도 인프라	- Inner InterCity: Double tracks from Oslo to Hamar (Åkersvika), Fredrikstad (Seut) and Tønsberg in 2024. Track extension to Sarpsborg in 2026 - Outer InterCity: Double tracks from Oslo to Porsgrunn (Eidanger) in 2032 and to Halden and Lillehammer in 2034 - Improved passenger rail services in the Oslo area, on the Voss, Jær and Trønder Lines through smaller schemes (Ruteplan 2027) - Building start for the new tunnel under Oslo - Planning start for the Grenland Line - Electrification of the Trønder and Meråker Lines
도로 인프라	- E39 Rogfast - E39 Ådland - Svegatjørn (Hordfast) - E39 Ålesund - Molde (Møreaksen) - E18 Vestkorridoren - from Lysaker to Slependen
항만 인프라	- Stad ship tunnel - Borg Port - Port and fairway project Longyearbyen - Andenes fishing port
항공 인프라	- Relocation of Bodø Airport - New airport in Mo i Rana

출처: 노르웨이 교통부(2017) "National Transport Plan 2018-2029"

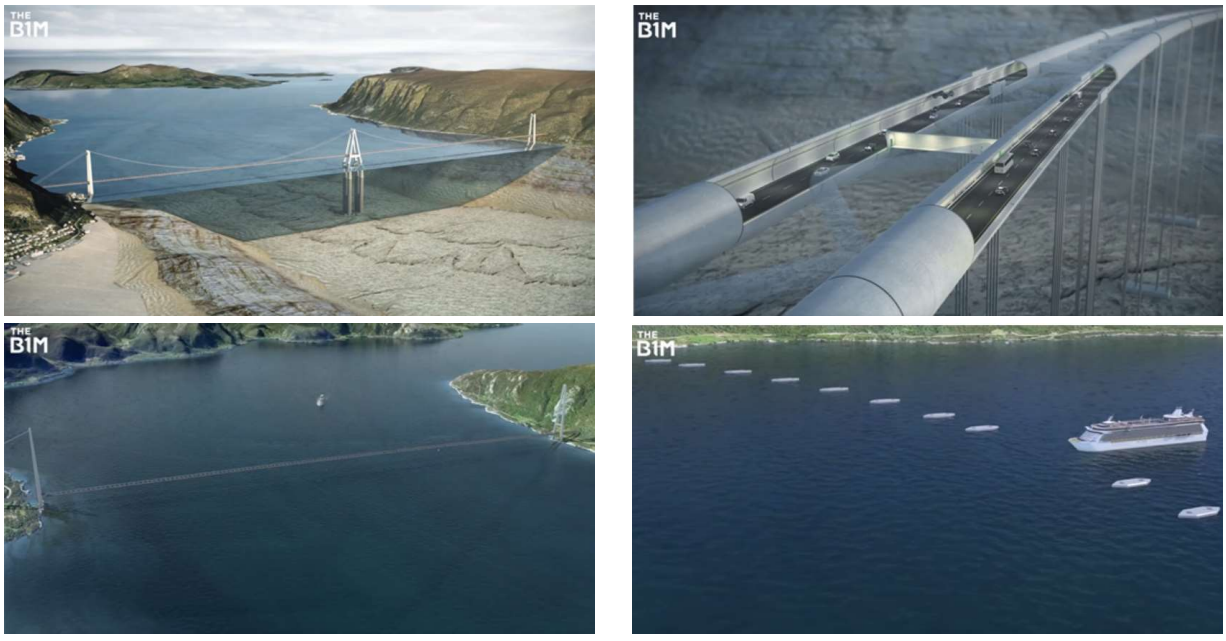
출처: 노르웨이 교통부(2017) "National Transport Plan 2018-2029"

[그림 2-1] 노르웨이 국가 수송 계획 상 인프라 구축 계획

□ 노르웨이는 7번의 페리를 이용하여 횡단하는 피오르드에 해안 고속도로 E39를 건설할 예정

○ 새로운 E39 해안 고속도로는 부유식 교량, 부유식 터널, 현수교 등을 건설하여 페리를 전혀 이용하지 않고 횡단하는 고속도로로 계획

- Rogfast 프로젝트는 '26년에 준공될 예정으로 노르웨이 본토와 Kvitsøy섬을 연결하는 해저터널로 해수면 아래 390m에 건설
- 베르겐 남쪽에 위치한 비요르나피요르드 (Bjornafjord)에는 부유식 교량 또는 부유식 터널이 제안되고 있고 현재 설계를 진행하면서 가능성을 검증 중
  - (1안) 3개의 주탑을 갖는 현수교로 양끝 2개의 주탑은 육지에 고정되고 중앙 주탑은 부유식으로 건설할 예정
  - (2안) 부유식 터널은 고강도 케이블을 사용하여 해저에 나란히 연결된 튜브형태로 건설할 예정
- Romsdalsfjord를 건너기 위해서는 16km의 해저터널과 2km의 현수교로 건설할 예정
- 송네피오르드는 폭은 3.7km 이상, 깊이는 1.3km 이상이며 선박의 이동까지 고려해야하기 때문에 세계에서 가장 긴 다리보다 2배 이상 긴 현수교 또는 부유식 교량/터널로 건설할 예정
  - 현수교는 3,700m 이상의 주경간을 가지려면 주탑의 높이가 최소 450m 이상으로 설계
  - 대안으로 부유식 교량을 고려하고 있으나 선박이 통과하기 위해서는 선박 높이만큼 교량을 높여야 하는데 아직까지는 엔지니어링 문제가 존재하고 부유식 터널은 선박이 부유식 터널 위로 지나갈 수 있게 설계할 예정이며 교량과 터널이 결합하는 하이브리드 형식도 고려 중



출처: The B1M 홈페이지, https://www.theb1m.com/video/norways-47bn-coastal-highway

[그림 2-2] E39 고속도로 교량 및 터널 개념도

2.1.2. 미국

□ 미국 워싱턴주는 '11년부터 공공안전과 이동성을 향상시키기 위해 노후화된 고속도로(부유식 교량 포함)를 교체하고 유지보수하는 「SR520 Bridge Replacement and HOV Program」을 실시

○ '11년 시작된 프로젝트는 I-405와 워싱턴 호수 사이의 고속도로 동쪽 구간을 재건하고 부유식 교량, 유니온베이의 다리를 건설하였으며 향후 4개의 추가 재건사업을 통해 프로젝트 완료 예정

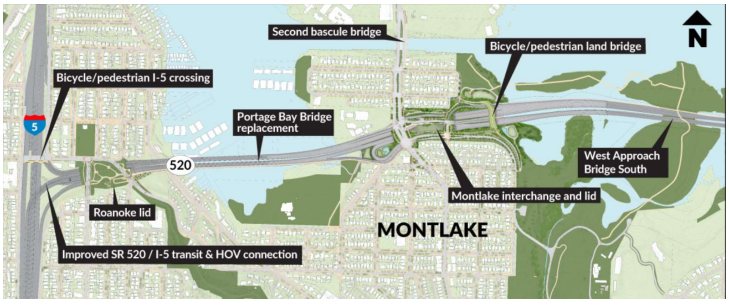
- '16년까지 워싱턴 호수 위의 부유식 교량을 교체하였으며, '17년 부유식 교량과 연결되는 West Approach Bridge North 사업을 완료
- '19년부터 현재까지 Portage Bay Bridge, Montlake Cut Bascule Bridge, I-5 Express Lane Connection, Montlake 재건 등의 사업이 추진 중

○ 프로젝트 총 비용은 약 46억 달러로 이중 SR520 부유식 교량을 교체하는데 28억 달러 이상을 투자하여 '16년에 개통하였으며 이후 기존 교량을 철거

- '11년부터 '15년 3월까지 워싱턴 주 에버딘과 타코마에서 77개의 폰툰을 제작하고 워싱턴 호수로 운반하여 시공
- 50년 이상 된 기존 교량 옆에 지진과 파도에 견딜 수 있고 자전거, 보행자 도로를 추가하는 등 더 넓고 안전한 교량으로 설계된 새로운 6차선 부유식 교량을 '16년에 건설 완료

출처: 워싱턴 주 교통부 홈페이지(https://wsdot.wa.gov/Projects/SR520Bridge)

[그림 2-3] SR520 Bridge Replacement and HOV 프로그램 개요



출처: 워싱턴 주 교통부 홈페이지(https://wsdot.wa.gov/Projects/SR520Bridge)

[그림 2-4] '19년 이후 추가 프로젝트 현황

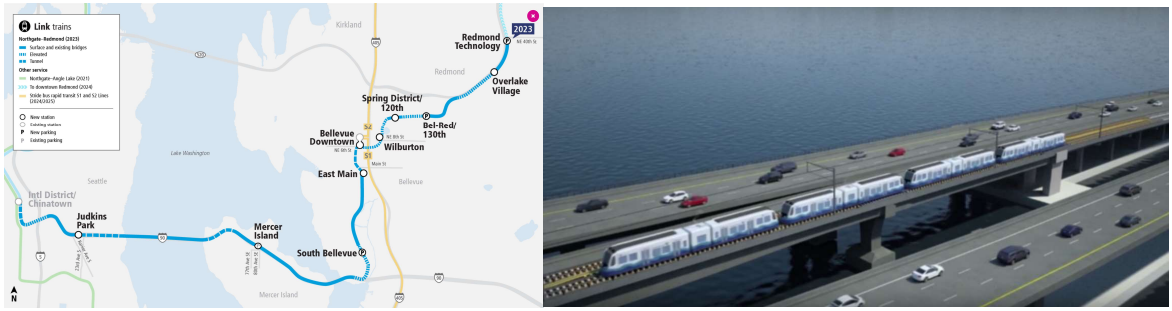
□ **미국 워싱턴 주 시애틀市는 '17년 세계 최초 경량전철이 통과할 수 있는 부유식 철도교량 건설 프로젝트를 착공하였으며 '23년 준공 예정**

○ 해당 프로젝트는 약 '37억 달러가 투입되는 대형 프로젝트로 300톤의 열차가 88km/h로 달릴 수 있는 내구성을 확보한 세계 최초 부유식 철도교량

- 흔들림에 대처할 수 있도록 지진공학의 내진설계 기법을 적용하고 베어링을 이용하는 트랙 브릿지 방식을 활용
- 안정성 확보를 위해 컴퓨터 시뮬레이션은 물론 콜로라도 교통기술센터에서 실물 크기의 실험용 교량을 2개를 제작하여 실험을 수행
- 준공된 이후 안정성 검증을 위해 최소 3개월간 빈 경전철을 운행할 예정

○ 해당 프로젝트가 준공되면 약 22킬로미터에 걸쳐 10개의 역이 신설되고 일일 이용객은 약 4~5만명으로 예상하고 있으며 해당 프로젝트의 성과에 따라 경전철 시스템을 늘릴 계획

- 배차간격은 6분이며 머서 아일랜드에서 워싱턴 대학교까지 20분, 사우스 벨뷰에서 공항까지는 약 50분으로 시애틀시의 교통 서비스를 향상
- 교량 건설 이후 해당 프로젝트의 성과로 승객 수의 증가 및 교통량 감소가 검증된다면 향후 25년간 도시 내 경전철 시스템을 두 배 이상 늘리는 프로젝트 실시 예정



출처: SoundTrandsit 홈페이지(https://www.soundtransit.org/system-expansion/east-link-extension)

[그림 2-5] 세계 최초 부유식 철도교량 프로젝트 현황

□ **'20년 미국 내무부 장관은 미국풍력협회 컨퍼런스에서 캘리포니아, 매사추세츠, 로드아일랜드 등의 해상풍력 건설과 관련된 3가지 주요 계획을 발표**

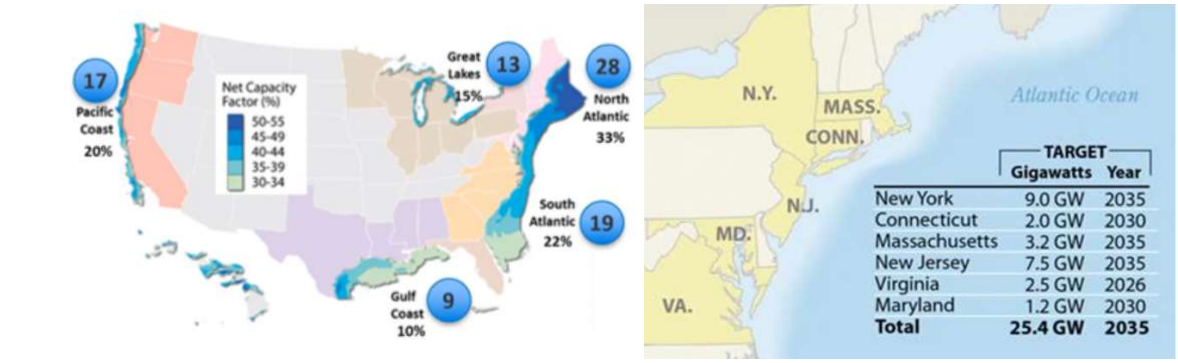
○ 캘리포니아 주 해역의 부유식 해상풍력발전설비 건설 프로젝트는 '45년까지 캘리포니아주 내 전력의 100%를 재생에너지로 충당하는 에너지전환 목표 달성의 핵심 프로젝트

- 건설 후보지는 캘리포니아주 북쪽 해안의 험볼트컨트리, 서쪽 해안의 모로베이와 주에서 운영 중인 마지막 원자력발전소인 디아블로캐넌발전소가 위치한 지역으로 총 면적은 약 2,780km²

- 태평양 연안에 위치한 캘리포니아주 해역은 수심이 깊어 지금까지는 해상풍력발전설비 건설이 어려웠으나 기술의 발전으로 해상풍력발전설비 건설을 위한 절차를 진행 중

○ '35년까지 미 동부 6개 주에서 총 25.4GW의 해상 풍력발전 단지 건설을 계획하고 있으며 뉴욕, 뉴저지, 매사추세츠 등 3개 주가 전체 생산량의 80%를 차지

- 뉴욕주는 '35년까지 해상풍력발전으로 9.0W의 전기를 생산하여 약 6백만 가구에 공급할 예정
- '21년말 운전을 목표로 매사추세츠주 해안에서 22킬로미터 떨어진 해상에 9.5MW급 터빈 84기로 구성된 800MW의 해상풍력발전단지 건설 프로젝트 시행
- 미국 최초의 해상 풍력발전 단지인 로드아일랜드주의 유틸리티 규모 해상풍력 건설 프로젝트에 대한 환경영향평가가 진행될 예정



출처: 주 휴스턴 대한민국 총영사관 홈페이지(https://overseas.mofa.go.kr/)

[그림 2-6] 지역별 해상풍력 발전량

2.1.3. 유럽

□ 독일, 네덜란드, 덴마크는 풍력에너지 생산을 위해 도거 뱅크에 인공섬을 건설할 예정

○ '17년 독일, 네덜란드, 덴마크 3국 관련 기업들은 '풍력에너지 허브(North Sea Wind Power Hub)' 건설을 위해 협약을 체결하고 약 15억 유로를 투자할 계획

- 인공섬 건설은 각국이 국제사회에 자발적으로 제시한 온실가스 감축 목표를 이행하기 위해 추진되는 것으로 영국 동쪽 약 100km에 위치한 도거 뱅크(Dogger Bank)에 건설
- 도거 뱅크는 해수면이 낮고 바람이 많아 풍력발전단지와 섬 건설 비용을 줄일 수 있는 유리한 조건을 갖추고 있는 지역으로 인공섬 면적은 약 6km^{2}으로 여의도의 2배 크기이며 섬 주변에 1km 간격으로 7,000여개의 풍력발전단지가 설치될 예정

※ 광대한 모래퇴로 총 면적이 17,600km^{2}에 달하며 수심이 15~36m로 주변보다 20m 가량 낮고 풍황이 우수해 대규모 해상풍력단지와 인공섬 구축에 유리

- 약 7만~10만 MW전력이 생산될 것으로 예상되며 독일인구인 약 8,000만명의 전력 사용량을 충당할 수 있는 규모로 남은 전력은 섬 안에 저장하거나 다른 에너지원으로 전환

출처: 풍력에너지허브 프로그램 홈페이지(https://northseawindpowerhub.eu/)

[그림 2-7] 풍력에너지허브 인공섬 개념도

□ 덴마크는 서해안에서 80km 떨어진 북해 해상에 초대형 해상풍력단지로 둘러싸인 인공 에너지섬 조성계획을 발표

○ 프로젝트는 380억 달러 규모로 덴마크 역사상 가장 큰 프로젝트로 인공섬은 1차 프로젝트에서 3GW 규모로 조성되며 최소 120,000m^{2}의 크기로 건설 예정

- 1차 프로젝트에는 약 200기의 풍력터빈이 건설될 것으로 예상되며 3GW는 유럽 내 가구별 평균 전기소모량 기준으로 300만 가구에 전력을 공급 가능

- 2차 프로젝트는 설비 용량을 10GW 규모로 확장하며 '33년까지 1,000만 가구에 공급할 수 있는 전력을 생산할 예정

출처: 덴마크 에너지부 홈페이지(https://ens.dk/en)

[그림 2-8] 덴마크 에너지섬 개념도

□ UN의 신규사업인 'New Urban Agenda'에 의거하여 오셔닉스, MIT, The Explorer 클럽이 협력하여 '오셔닉스 수상도시' 프로젝트를 추진

○ 오셔닉스 수상도시는 해수면 상승으로부터 안전한 주거환경을 구축하기 위해 해상에 자급자족이 가능한 부유식 플랫폼을 설치하여 떠다니는 도시를 건설하는 프로젝트

- 약 1만 명의 주민이 자급자족할 수 있는 미래 도시로 6개의 섬이 육각형을 이루고 다시 이 육각형이 6개가 모여 하나의 도시를 이루는 형태로 설계
- 도시에 필요한 에너지를 풍력, 수력 터빈, 태양광 등 재생에너지로 수급하며 물과 식량을 비롯해 생산, 소비재도 자급자족하여 탄소중립을 실현

출처: 오셔닉스 홈페이지(https://oceanix.org/)

[그림 2-9] 오셔닉스 시티 개념도

2.2. 국내외 시장동향

2.2.1. 부유식 구조물

□ 전 세계 부유식 교량 시장은 '14~'19년 27억 달러 규모에서 연평균 39% 증가하여 '20~'24년에는 38억 달러 규모로 성장할 것으로 예측

○ 경간이 가장 긴 10대 교량의 건설비용을 연 단위로 조사하여 부유식 교량 시장을 추정하였으며 조사한 시장 규모의 연평균 증가율을 대입하여 '20~'24년 시장 규모를 예측

- '19년 기준 세계 10대 부유식 교량의 건설비용은 약 20년간 약 63억 달러이며 가장 긴 부유식 교량은 미국 시애틀의 Evergreen Point Floating Bridge로 공사비용은 4억 5천만 달러로 조사

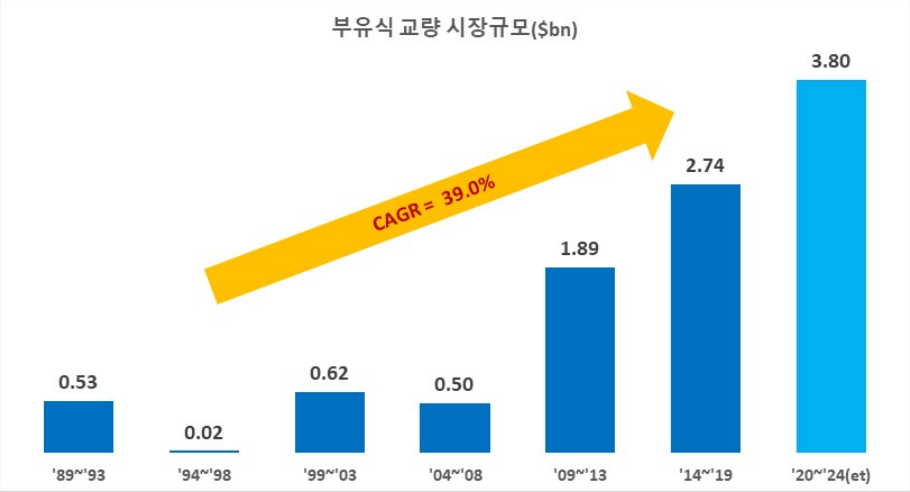
○ 메가시티화, 대륙간 연결 등 교통인프라의 확대 수요에 맞추어 기존 케이블 교량의 한계를 극복하기 위한 신형식 교량인 부유식 교량의 수요가 증가하여 시장은 지속적으로 확대될 전망

- 부유식 교량은 기존 케이블 교량의 한계(경간장 한계)를 극복할 수 있으며 수심이 깊거나 지반이 연약한 곳에서도 건설이 가능하여 새로운 교량으로 각광받고 있는 상황

〈표 2-2〉 세계 10대 부유식 교량 현황

교량 명	경간(m)	국가	건설기간	공사비($bn)
Evergreen Point Floating Bridge	2,350	미국	2012~2016	4.56
Lacey V. Murrow Memorial Bridge	2,020	미국	1989~1993	0.093
Hood Canal Bridge	1,961	미국	2003~2009	0.471
Demerara Harbour Bridge	1,851	가이아나	-	-
Homer m. hadley memorial bridge	1,772	미국	~1989	0.097
Berbice Bridge	1,571	가이아나	1999~2008	0.038
Nordhordland Bridge	1,246	노르웨이	1991~1994	0.081
Bergsøysund Bridge	933	노르웨이	1988~1992	0.277
William R. Bennett Bridge	690	캐나다	2005~2008	0.143
Yumemai Bridge	410	일본	1999~2001	0.53

출처: Engineering News-Record(2018), "The 10 Longest Floating Bridges in the World", 건설기간 및 공사비용은 Wikipedia의 정보를 이용



출처: Wikipedia의 교량 정보를 이용하여 시장 규모 추정

[그림 2-10] 전 세계 부유식 교량 시장규모('20~'24)

※ et: 추정값

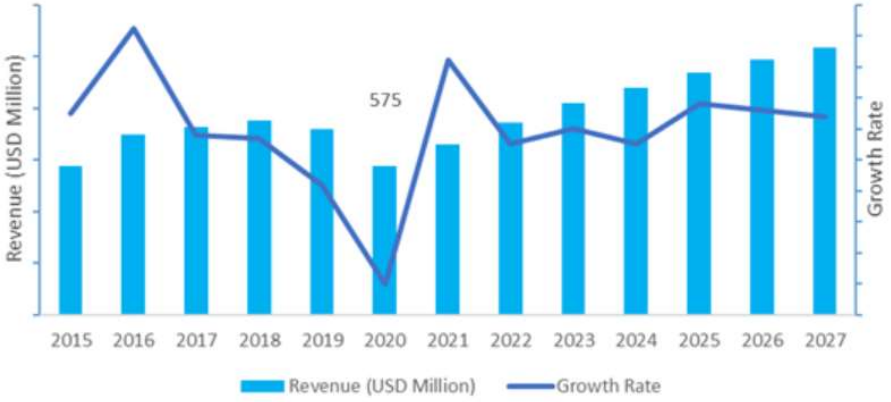
□ **'20년 인공섬 건설 시장은 5억 7천만 달러로 추정되며 현재 계획 중인 인공섬 건설 프로젝트의 사업비가 총 1,750억 달러로 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측**

○ XIREN RESEARCH의 인공섬 건설 시장 보고서에 따르면 '20년 인공섬 건설 시장은 5억 7천만 달러로 추정하고 있으며 공간 부족으로 인공섬의 건설 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예측

- 홍콩, 싱가포르, 일본 등은 주거 및 상업지구 등을 위하여 인공섬을 건설하고 있으며 기후협약으로 인해 신재생에너지 사용의 목표 달성을 위한 발전 단지 인공섬도 증가하는 추세

○ '20년 이후 건설이 진행되고 있거나 계획 중인 프로젝트의 총 사업비는 총 1,750억 달러로 단순 산술평균으로도 연평균 58억 달러 규모로 성장할 것으로 예측

※ 조사된 인공섬 프로젝트는 5개로 총 1,750억 달러이며 마지막 준공연도인 '50년을 기준으로 연평균 시장규모를 구하면 58억 달러



출처: XIREN RESEARCH(2021), "Global Artificial Island Construction Market Size, Share and Growth Analysis by Manufacturers, Type, Application and Region, 2015-2027"

[그림 2-11] 전 세계 인공섬 건설 시장 규모

〈표 2-3〉 인공섬 프로젝트 현황

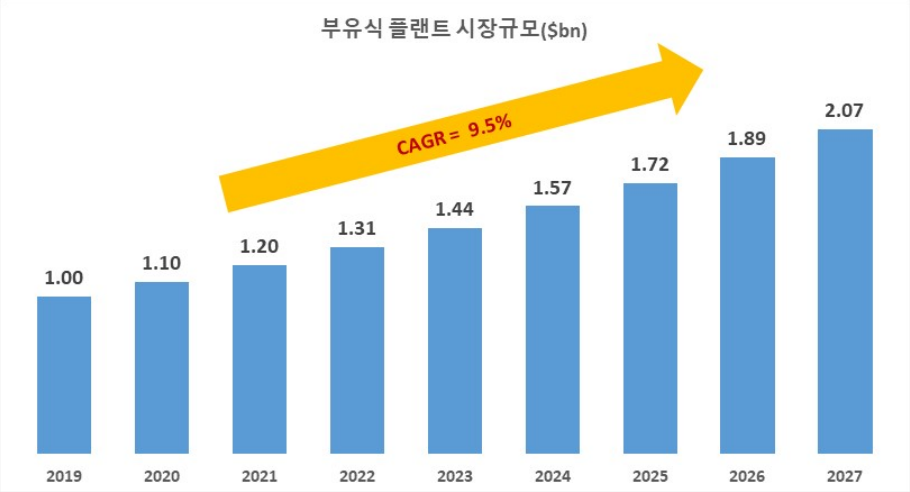
프로젝트 명	국가	용도	준공연도	규모	공사비($bn)	사진
Kola Bay Island	러시아	LNG 생산설비	2021년	1.5km^2	1.0	
First Energy Island	덴마크	해상 풍력 단지	2030년	0.46km^2	34.0	
Lantau Vision Tomorrow	홍콩	주거 및 상업지구	2032년	10km^2	80.0	
Forest City	싱가포르	주거 및 상업지구	2035년	30km^2	50.0	
Chand Taara Island	파키스탄	주거 및 상업지구	2050년	-	10.0	

출처: 각 종 보도자료를 참고하여 작성

□ '19년 전 세계 부유식 플랜트 시장규모는 10억 달러로 추정되며 연평균 9.5% 증가하여 '27년에는 20억 달러로 성장할 것으로 예측

○ 전 세계적으로 사용 전력량이 증가하면서 발전 플랜트의 부족을 극복하기 위해 부유식 플랜트 수요가 증가하면서 관련 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 부유식 플랜트는 효율성이 우수하며 전력설비를 분산할 수 있어 안정성이 우수하여 전 세계적으로 각광받고 있으며 최근에는 신재생에너지의 수요가 증가하면서 시장이 급격히 성장
- 특히 유럽, 동아시아 지역과 같이 대규모 부지가 없는 곳은 시장 성장이 가속화될 것으로 예상
  - 아시아 태평양 지역은 '19년 전체 시장의 38%를 차지하고 있으며 중국, 인도의 재생에너지원의 채택으로 인해 '27년까지 가장 빨리 성장하는 시장으로 예상
  - 유럽은 '19년 전체 시장에서 두 번째로 큰 시장으로 Siemens, Wartsila, Floating Power Plant A/S 등 주요 기업의 대규모 프로젝트로 인해 시장이 지속적으로 성장할 것으로 전망



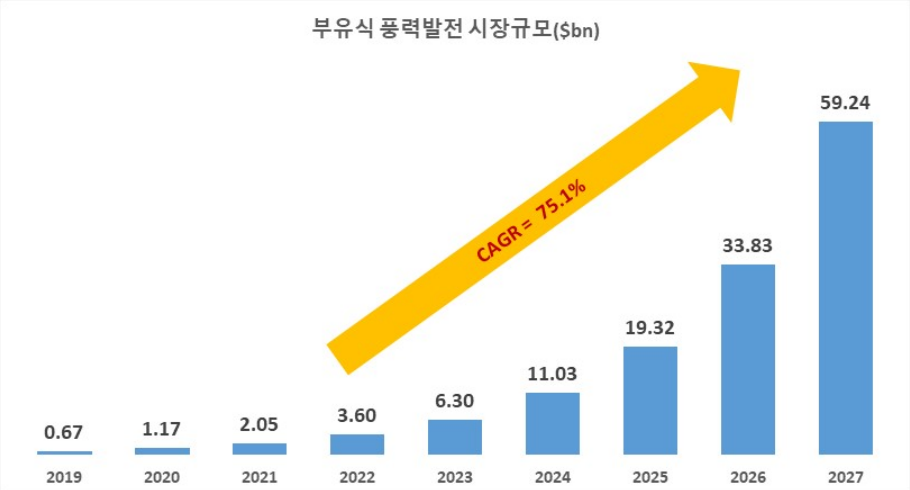
출처: GRAND VIEW RESEARCH(2020), "Floating Power Plant Market Size, Share & Trends Analysis Report By Power Source (Non-renewable, Renewable), By Power Rating (Low-power, Medium-power, High-power), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027"

[그림 2-12] 전 세계 부유식 플랜트 시장규모

□ '19년 전 세계 부유식 풍력발전 시장규모는 6억 7천만 달러로 추정되며 연평균 75.1% 증가하여 '27년에는 592억 달러로 성장할 것으로 예측

○ 전 세계적으로 에너지 수요의 증가와 국가 탄소저감 목표 달성을 위해 풍력발전을 채택하면서 관련 시장이 급격하게 성장할 것으로 전망

- 부유식 풍력발전은 고정식 풍력발전 시설을 설치할 수 없는 수심에도 건설이 가능하고 바닷가에 건설하여 효율을 상승할 수 있어 여러 국가에서 채택
- 특히 영국, 독일, 일본 등은 탄소저감 목표달성을 위해 풍력발전 이니셔티브를 실행



출처: FORTUNE BUSINESS INSIGHT(2021), "Floating Power Plant Market Size, Share & Trends Analysis Report By Power Source (Non-renewable, Renewable), By Power Rating (Low-power, Medium-power, High-power), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027"

[그림 2-13] 전 세계 부유식 풍력발전 시장규모

□ **'19년 전 세계 부유식 태양에너지 발전 시장규모는 6억 9천만 달러로 추정되며 연평균 18.8% 증가하여 '27년에는 27억 달러로 성장할 것으로 예측**

○ 전 세계적으로 태양에너지 발전을 위한 대규모 토지의 부족과 신재생에너지 사용의 정부 지원 정책으로 인해 부유식 태양에너지 발전 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 태양에너지 발전을 상업적으로 이용하기 위해서는 대규모 토지가 필요하나 부유식 태양에너지 발전은 토지를 다른 목적으로 사용할 수 있어 유리함
- 전 세계적으로 탄소저감 목표달성을 위해 신재생에너지에 대한 투자가 증가하면서 태양에너지 발전 시장도 함께 성장
  - 아시아 태평양 지역은 '19년 전체 시장에서 가장 큰 시장을 차지하고 있으며 정부의 신재생에너지 지원 정책, 전기 생산의 가격 경쟁력 향상, 인구증가 및 도시 확장으로 인한 토지 부족 등으로 인해 '27년까지 가장 빨리 성장하는 시장으로 예상

출처: Research and Markets(2020), "Global Floating Solar Panels Market (2020 to 2026) - Industry Analysis and Demand Forecast"

[그림 2-14] 전 세계 부유식 태양에너지 발전 시장규모

2.2.1. 초경량 고성능 콘크리트

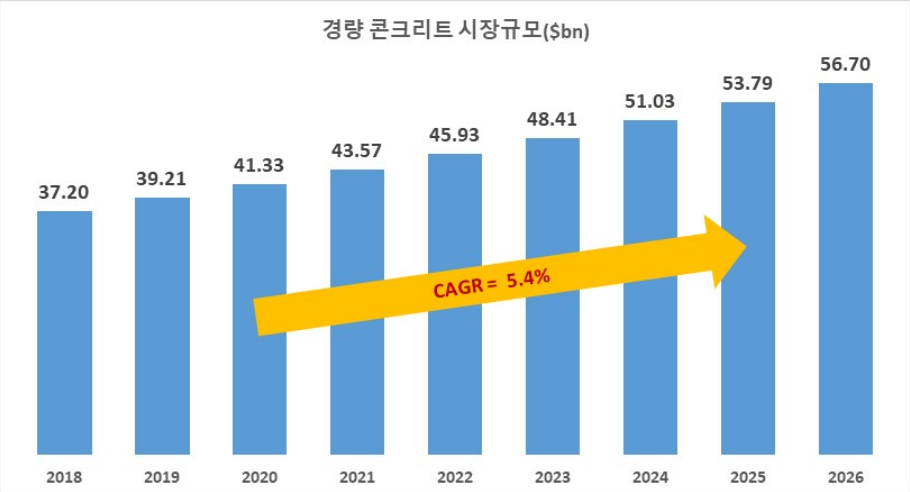
□ **'18년 전 세계 경량 콘크리트 시장규모는 372억 달러로 추정되며 연평균 5.4% 증가하여 '26년에는 567억 달러로 성장할 것으로 예측**

○ 인구 증가로 인한 건설 프로젝트의 증가와 경량 콘크리트 기술의 발전으로 인한 구조물 적용 확대로 인해 경량 콘크리트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 경량 골재의 발전으로 경량 콘크리트의 구조적 사용이 장려되면서 장경간 교량, 고층 빌딩 등에 사용이

증가하여 시장 성장에 기여

- 천연 자원의 고갈, 건설 산업 폐기물의 최소화 및 재활용을 위해 인공 경량 골재 개발 및 사용 수요가 증가하여 시장 성장에 기여
- 중국, 인도 등의 건설 프로젝트 증가와 주거 부문의 경량 골재 활용증가로 아시아 태평양 시장이 전 세계 시장에서 가장 큰 시장을 차지하고 있으며 유럽, 미국이 다음으로 큰 시장을 차지



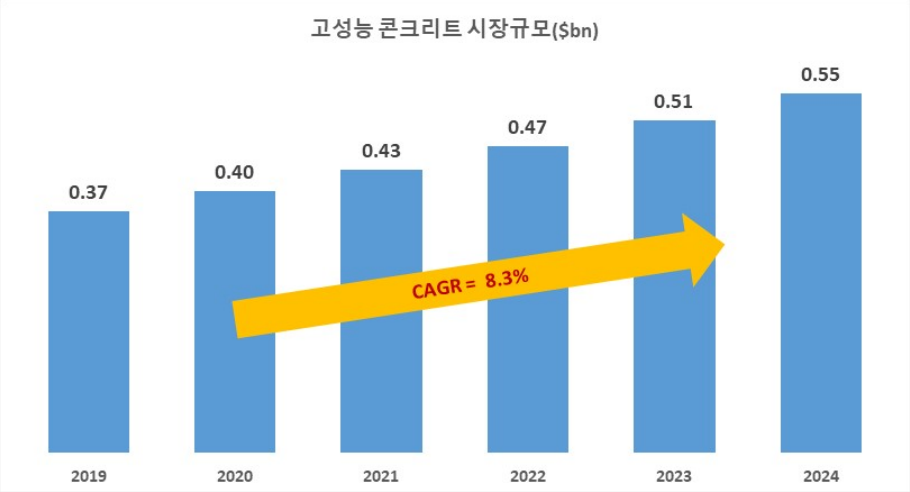
출처: REPORTS AND DATA(2020), "Lightweight Aggregate Concrete Market Analysis, By Material Type (Natural Materials and By-Products), By Air Dry Unit Weight (Low Density Concrete, Moderate Strength Concrete And Structural Concrete), By Application (Civil Construction, Industrial Construction, And Infrastructure Construction), By Regional Outlook And Forecasts To 2026"

[그림 2-15] 전 세계 경량 콘크리트 시장규모

□ '19년 전 세계 고성능 콘크리트 시장규모는 3.7억 달러로 추정되며 연평균 8.3% 증가하여 '24년에는 5.5억 달러로 성장할 것으로 예측

○ 인구 증가로 인한 건설 프로젝트의 증가와 정부 및 민간 기관의 성능 요구가 다양해지면서 고성능 콘크리트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 우수한 내구성, 더 높은 강도, 지속가능성 등 우수한 재료의 성능을 가진 고성능 콘크리트가 건축물, 교량 등 다양한 분야에서 활용되면서 관련 시장이 급격히 성장할 것으로 전망
- 고성능 콘크리트 시장의 주요 플레이어(기업)는 TAKTL(미국), Sika AG(스위스), US Concrete, Inc.(미국), Vicat(프랑스), MC-Bauchemie Müller GmbH&Co. KG(독일) 등 제조업체로 구성
- 중국, 인도, 한국, 일본, 말레이시아 등의 건설 프로젝트 증가와 주택 및 인프라 부문에서의 고성능 콘크리트 활용증가로 아시아 태평양 시장이 전 세계 시장에서 가장 큰 시장을 차지



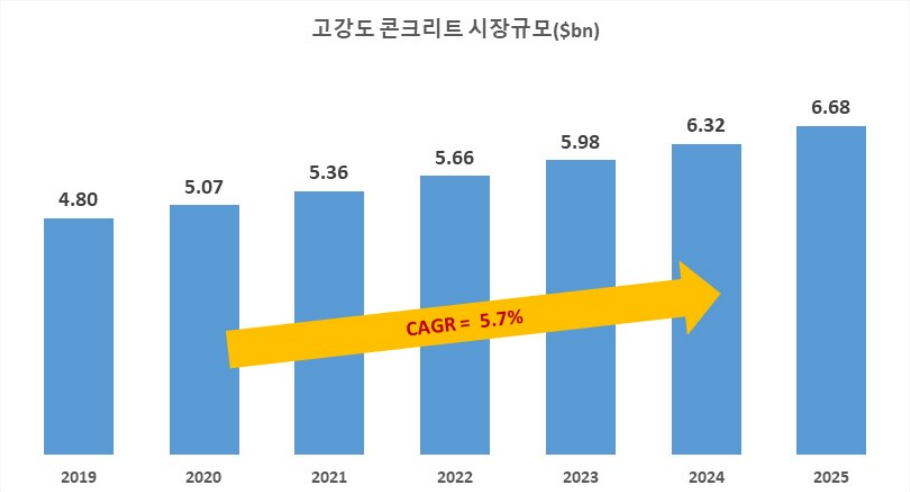
출처: Research and Markets(2019), "Ultra-high Performance Concrete Market by application (Residential, Commercial, Infrastructural, and Others (healthcare, institutional, military, hospitality, and anti-detonating construction)), and Regions - Global Forecast to 2024"

[그림 2-16] 전 세계 고성능 콘크리트 시장규모

□ **'20년 전 세계 고강도 콘크리트 시장규모는 48억 달러로 추정되며 연평균 5.7% 증가하여 '25년에는 66억 8천만 달러로 성장할 것으로 예측**

○ 인구 증가로 인한 고층 건물의 증가와 조기 강도 발현 및 내구성 향상 등의 요구가 증가하면서 고강도 콘크리트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 콘크리트 대비 높은 단가로 인해 설계 적용이 적지만 고층 건물, 장경간 교량 등의 구조물의 증가로 인해 설계에 적용되는 사례가 증가하면서 관련 시장이 지속적으로 성장할 것으로 전망
- 아시아 태평양 지역은 '20년 전체 시장의 절반 이상을 차지하고 있으며 고강도 콘크리트 수요는 중국, 일본, 인도 순으로 높으며 높은 가격으로 인해 개발도상국의 시장 점유율은 낮은 수준



출처: Building and Construction Markets(2020), "igh Strength Concrete Market was expected to reach USD 6.68 Billion in 2025 and expected to growth with a CAGR of 5.66% within the forecasted year (2019 - 2025)"

[그림 2-17] 전 세계 고강도 콘크리트 시장규모

제3장

국내 R&D 역량분석

3.1. R&D 추진현황
3.2. 기술역량분석

제3장 국내 R&D 역량분석

3.1. R&D 추진현황

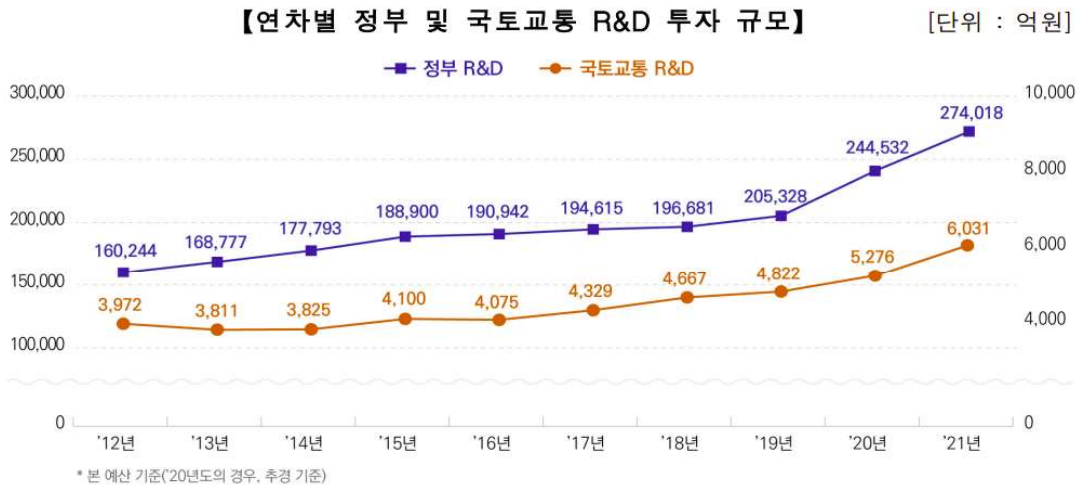
□ 국가연구개발산업 근황

○ '21년 정부연구개발예산은 전년 대비 13.1% 증가한 27.4조원

- 디지털·녹색경제로의 전환 및 친환경 도시·산업 인프라 구축을 위한 한국판 뉴딜에 1조 1,030억원(132.3%) 증가한 1조 9,366억원을 투입하고, 기초연구 및 소재·부품·장비 국산화, 우주·원자력 기술개발, 기술사업화 등에 4,320억원(7.8%)이 증가한 5조 9,938억원을 반영함.

○ '21년도 국토교통 R&D 사업 예산은 전년 대비 14.9% 증가한 6,031억원으로 국가연구개발 사업 예산(27.4조원) 대비 2.2%에 해당함

- R&D 과제는 4차 산업혁명 기술 가속화, 주력산업 경쟁력 강화, 재난재해 대응 및 안전 강화, 생활편익 향상, 기반연구 촉진을 목표로 삼고, 2대 특별 과제로 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜 과제를 동시 추진키로 함
  - 4차 산업혁명 기술을 교통·도시 인프라에 접목시켜 SOC 구축·운영의 효율성 향상
  - 교통·도시·건축물의 에너지 효율 향상, 온실가스·미세먼지 저감 기술개발 중점 추진
- 주력산업 경쟁력 강화를 위해 고부가가치 건설기술인 미래형 건축·구조물과 바이오매스 플랜트 등 미래시장 선도형 고부가가치 핵심기술 개발 및 실증을 지속해서 추진키로 함



출저: 국토교통부, 2021년도 국토교통과학기술연구개발사업 시행계획

3.2. 기술역량분석

가. 유사사업 분석

1) 부유식 구조물 관련 선행과제 성과 현황

(1) 초장대교량 사업단

○ (연구목적) 세계 최고 수준의 경제성 및 기술 경쟁력을 갖춘 장경간 케이블 교량의 자립 건설

○ (범위 및 내용) 초장대교량의 설계, 재료, 시공, 유지관리 관련기술 개발을 통한 핵심기술 자립화

○ (연구기간 및 예산) '08년부터 '15년까지 1,053억원 투자(정부 606억 원 / 민간 447억원)

○ (세부 연구개발과제 현황) 4개의 핵심과제, 9개 세부과제로 구성되며 1핵심은 핵심 엔지니어링 기술, 2핵심은 고성능 전략소재 및 이용기술, 3핵심은 고효율 시공기술, 4핵심은 통합 시범적용 사업지원 운영기술로 구성

〈표 3-1〉 초장대교량 사업단 연구개발과제 구성

구분	과제명
총괄과제	초장대교량 연구과제 관리, 성과확산 및 사업화 총괄지원
1핵심과제	핵심 엔지니어링기술 개발
1-1	장경간 케이블교량 계획 및 설계 핵심기술 개발
1-2	컨버전스형 장경간 케이블 교량 모델 개발
1-3	장경간 케이블교량 내풍구조시스템 개발
2핵심과제	고성능 전략소재 및 이용기술 개발
2-1	고성능 케이블/강재 및 이용기술개발
2-2	고기능성 콘크리트/포장재료 및 이용기술 개발
3핵심과제	고효율 시공기술 개발
3-1	고효율 케이블 가설장비 및 공법 개발
3-2	공기단축형 고주탑 시공기술 개발
3-2	비용절감형 대형 해상기초 기술개발
4핵심과제	통합 시범적용교량 사업지원 및 운영기술 개발
4-1	통합 시범적용교량 사업발굴·지원 및 IT기반 유지관리 기술개발

출처: 초장대교량사업단/케이블교량 글로벌 연구단 홈페이지(https://www.ex.co.kr/cable-bridge/)

○ (주요 연구성과) 설계, 재료, 시공, 유지관리 분야에서 세계최고 기술 확보 및 기술자립화

〈표 3-2〉 초장대교량 사업단 연구성과

구분	개발기술명	개요	기술현황		적용현황
			기존	개선	
1핵심 (설계)	도로교설계기준 케이블교량 편	장케이블 교량의 합리적, 경제적 설계 기술	강도 및 허용응력설계	케이블 교량용 신뢰도 기반 설계기준	Prototype 설계 (거마, 한려대교)
	능동형 난류 발생 장치	자연풍 실모사 가능 풍동 실험 장치	적용 교량 없음	세계 최초 내풍단면 검토용 절단 풍동실험	화양-적금(2공구) 실시설계
	케이블교량 내풍 안전성 평가 기술	내풍 안정성 시험 기술	해외 실험 위주 기술 의존	고등 풍동 실험 기법 확보 및 평가 기술 개선	베트남 빙콩교량, 브루나이 템부롱교량
	내풍설계 및 풍동 해석용 전산유동장 프로그램(CFD)	내풍단면 설계 및 평가를 위한 전산해석 프로그램	해외 사용 프로그램 의존	자체개발 내풍단면 설계 및 풍동해석 프로그램	브루나이 템부롱교량
	ISB 교통관리시스템	지능형 차량 검지, 교통안전 정보 제공	루프코일, 영상검지기 등	TMR 마그네틱 ITS 센서	안양시 평촌 시민로 적용
2핵심 (재료)	인장강도 2400MPa SPC 강연선 및 PT 시스템	강연선 및 PT 시스템	1,860MPa 급	2,400MPa 급	태인2교 적용
	인장강도 2200MPa 사장교용 강연선 및 정착 시스템	강연선 및 정착시스템	1,860MPa 급	2,200MPa 급	태인2교 적용
	고강도 강재 (HSB800L/W)	800MPa급 고인성, 내후성 강재	780MPa급 -40℃	800MPa급 -40℃	제천 소하천교 청년 JCT교
	고내구성 도료	고내구성 중방식도료	B10 수명 15년	B10 수명 20년	하천실험센터 시험시공
	PPWS 케이블	현수교 주케이블	해외의존	국내개발(1,960MPa)	울산대교
	고주탑용 고압송 콘크리트	고압송용 콘크리트 혼화제	높이 300m이상	높이 400m이상	-
	초저발열 콘크리트	초저발열 콘크리트	미소수화열 40cal/g 이하	미소수화열 35cal/g 이하	새천년대교
	수중 불분리성 콘크리트	수중불분리 혼화제	수중슬럼프 플로우 550mm	수중슬럼프 플로우 600mm	새천년대교
	박층포장 및 이용기술	초박층 포장	두께: 80mm 수명: 15년 내외	두께: 40mm 수명: 20년 내외	-
	케이블 성능인증 시스템	피로·파단 및 수밀성 시험장비	해외의존 (미국, 프랑스)	피로: 1.8천톤 인장: 3.0천톤 수밀성: 1.5천톤	구죽대교
3핵심 (시공)	현수교 케이블 가설공법(AS)	케이블 가설 장비(AS)	장비/기술 해외의존	장비제작 및 시공기술 자립	이순신대교, 단등교, 적금대교
	현수교 케이블 가정공법(PPWS)	케이블 가설장비(PPWS)	1,770MPa/ 시공 해외의존	1,960, 2,100MPa/ 시공기술 자립	울산대교
	콘크리트 고주탑 가설장비 및 공법개발	변단면 Slip Form	장비/기술 해외의존	장비제작 및 시공기술 자립	공개 시험시공 완료
	해저지반 조사장비	해저지반 조사장비	장비 해외의존	조사장비 개발로 기술 자립	해상시험 완료
4핵심 (유지 관리)	케이블 영상기반 진동감지 기술	케이블 모니터링 기법	계측센서(레이저 가속도계 등)	영상장치(카메라 등)	거가대교
	GNSS 기반 케이블교량 모니터링 시스템	GNSS 기반 모니터링 기술	H/W, S/W 해외의존	기술자립 및 최고수준 오차 제거기술 확보	광안대교
	케이블 점검용 이동로봇	비파괴점검 로봇개발	비파괴 장비/ 점검기술 해외의존	이동로봇을 이용한 비파괴 점검시스템	인천대교, 영종대교
	BMS 기반 통합운영시스템	3D 기반 교량관리시스템	2차원 도면기반 점검	3차원 모델기반 점검	서해대교 검증

출처: 쌍용(2018), "초장대교량의 소개 및 기술개발 현황"

(2) 케이블교량 글로벌 연구단

○ (연구목적) 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발

○ (범위 및 내용) 글로벌 시장에서의 기술 및 수주 경쟁력 확보를 위해 기존 기술의 고도화, 경제성 제고 및 기술 적용범위 확대와 함께 고부가가치 엔지니어링 기술력 확보

○ (연구기간 및 예산) '16년부터 '21년까지 337억원 투자(정부 234억 원 / 민간 103억원)

○ (세부 연구개발과제 현황) 4개의 세부과제, 11개 세세부과제로 구성되며 1세부는 케이블교량 해외진출 통합 솔루션 개발, 2세부는 재난에 대한 케이블교량 위험도 평가 및 레질리언스 확보기술 개발, 3세부는 케이블교량 하부구조 신뢰도기반 설계엔지니어링 기술 개발, 4세부는 해상교량 기초 대형원형강관 가설공법 개발

〈표 3-3〉 케이블교량 글로벌 연구단 연구개발과제 구성

구분	과제명
1세부과제	케이블교량 해외진출 통합 솔루션 개발
1-1	해외 케이블교량 대상 신뢰도 기반 비교설계를 통한 경쟁력 분석 및 통합솔루션 개발
1-2	케이블 교량 해외 시장 진출을 위한 BIM기반 디지털모델 활용 협업환경 구축
2세부과제	재난(자연, 사회)에 대한 케이블교량 위험도 평가 및 레질리언스 확보기술 개발
2-1	사회재난에 대한 케이블교량 극한성능 평가 및 방재 시스템 기술개발
2-2	케이블교량 빅데이터 활용 상태평가 및 레질리언스 상시확보 기술개발
2-3	자연재난(강풍, 이상진동) 상황 케이블교량 운용기술 개발
3세부과제	케이블교량 하부구조 신뢰도기반 설계엔지니어링 기술 개발
3-1	합리적 앵커리지 설계기술 및 신뢰도기반 토압-얕은기초 설계기술 개발
3-2	국내외 지반특성 및 지반정수 평가기술 개발
3-2	대형 연성기초의 성능향상 기술 및 대구경 항타말뚝 지지력 평가기술 개발
4세부과제	해상교량 기초 대형원형강관 가설공법 개발
4-1	대형 원형강관 가설공법 스마트 설치기술 개발
4-2	대형 원형강관 가설공법 수직도 확보기술 개발
4-3	해상 연약지반 급속 차수 및 안정화 기술 개발

출처: 초장대교량사업단/케이블교량 글로벌 연구단 홈페이지(https://www.ex.co.kr/cable-bridge/)

○ (주요 연구성과 및 계획) 케이블교량 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발

〈표 3-4〉 케이블교량 글로벌 연구단 연구성과 및 계획

구분	과제명
1세부과제	- 해외 케이블교량 대상 국내외 신뢰도 기반 설계기술·기준을 활용한 비교설계 및 개발기술(초장대교량사업단 및 본과제 연구성과 등)을 적용한 적용성·경제성 분석 • 해외 케이블교량: 발주 예정 또는 계획 중인 2개 교량 이상 • 국내외 신뢰도 기반 설계기술·기준 : 도로교설계기준(한계상태설계법) 케이블교량편(한국), AASHTO-LRFD(미국) 및 Euro-code(유럽) 등 상호 비교 - 해외 케이블교량 대상 미래형 케이블교량(신형식, 2km+급 철도병용교 등) 컨셉 개발(개념설계 등) • 해외 케이블교량: 발주 예정 또는 계획 중인 2개 교량 이상 - BIM 기반의 케이블교량 전용 전주기 통합 관리시스템 개발(BMS, WIM, 기후환경, 재난·재해, RISK 데이터 등 활용) - 케이블교량 개발기술 통합 관리 및 활용 지원 시스템 개발 등 - 국내 케이블교량 분야 현안 해결, 한계 극복 및 글로벌 선도 등을 위한 요소기술 개발 • 민간의 창의적인 아이디어 발굴 및 지원(추후 공모)
2세부과제	- 인위재난(폭발, 충돌, 화재 등)에 대한 상부구조 주요 부재요소별 극한성능 평가기술 개발 - 인위재난 시나리오별 교량시스템 붕괴 위험도 평가 및 방재시스템 개발 - 케이블교량 운용중 빅데이터(계측데이터) 활용 신뢰도 기반 상태평가 기술 개발 등 - 자연재해(강풍, 강진 등) 상황 신뢰도 기반 케이블교량 사용 위험도 평가 및 저감 기술 개발 - 이상진동 대응 케이블교량 동특성 평가기술 및 자연재해 발생시 사용성 관리기술 개발 - 인위재난·자연재해 유형별 케이블교량 레질리언스 상시 확보 및 복구기술 개발 등
3세부과제	- 해외 지반특성·지반정수 평가기술 및 토압확률모델 개발 - 타정식 현수교 앵커리지 거동평가 및 설계기술 개발 - 대형 연성기초의 비선형 거동을 고려한 설계기술 및 연약지반 대구경 항타말뚝 지지력 평가기술 개발 - 케이블교량 하부구조 신뢰도 기반 설계지침 개발 등
4세부과제	- 가물막이 및 해상작업 플랫폼 설계기술 개발 - 고내력 슬림화를 위한 신재료 활용 및 구조단면 설계기술 개발 - 구성요소간 밀폐·분리·결합 설계기술 개발 - 급속 조립 및 해체 기술 개발 - 관입·인발 설계 및 시공 기술 개발(수직도 확보 등) - 가물막이 내부 급속 차수 및 시공장비 작업성 확보기술 개발 - 국내외 해상 교량 건설현장 대상 테스트베드 적용·운용을 통한 성능검증 등

출처: 국토교통과학기술진흥원 홈페이지(https://www.kaia.re.kr/)

(3) SUPER Structure 2020 연구단

○ (연구목적) 첨단 재료 기술과 핵심 설계·제작 기술의 융·복합을 통한 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술 개발

○ (범위 및 내용) 압축강도 80~180MPa급의 현장타설 및 공장 제작이 가능한 저비용·장수명·고품질 성능 맞춤형 콘크리트 및 이를 이용한 구조물 기술 개발

○ (연구기간 및 예산) '13년부터 '19년까지 323억원 투자(정부 231억 원 / 민간 91억원)

○ (세부 연구개발과제 현황) 3개의 세부과제로 구성되며 1세부는 80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 및 재료모델·지침 개발, 2세부는 SUPER Concrete 구조 성능검증 및 설계지침 개발, 3세부는 SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발

〈표 3-5〉 SUPER Structure 연구단 연구개발과제 구성

구분	과제명
1세부과제	80~180MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 및 재료모델·지침 개발
연구내용	- 80~120 MPa급 굵은 골재 사용 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 - 120~180 MPa급 섬유보강 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 - SUPER Concrete의 표준시험법 및 재료모델
2세부과제	SUPER Concrete 구조 성능검증 및 설계지침 개발
연구내용	- SUPER Concrete 부재의 휨, 압축, 전단 및 뚫림전단, 비틀림, 합성부재 거동을 평가하고 이에 관한 설계지침 작성 - SUPER Concrete 부재의 균열 및 처짐, 철근상세, 정착 및 이음, PSC 정착구역에 관한 실험을 수행하고 이에 관한 설계지침 작성
3세부과제	SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발
연구내용	- 교량 형고 15 % 축소, 경간장 20 % 이상 확장형 하이브리드 상부구조 - 공사비 10 % 절감형 슬림 장지간 교량 상부 구조 - 상부구조 공사비 10 % 절감형 사장교 구조시스템 - 강재타워 대비 공사비 20 % 절감, 내구수명 100 % 향상형 프리캐스트 풍력타워 - 건설·유지비용 10 % 절감, 내구수명 50 % 향상 부잔교 및 부유식 교량 - 건설·유지관리비용 20 % 이상 절감, 시공기간 10 % 단축 건축 구조요소

출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), "SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발 최종보고서"

○ (주요 연구성과 및 계획) 연구단에서 개발한 UHPC 재료를 적용하여 구조물 설계·시공 성과 달성

〈표 3-6〉 SUPER Structure 연구단 연구성과

구분	성과내용
춘천대교	- 타워형 주탑보다 미관상 우수한 원형 주탑을 사장교에 적용하기 위해 서는 상판의 무게가 상대적으로 가벼워야하므로 연구단 에서 개발한 UHPC 적용을 통해 상판의 무게를 30% 감소시켜 당초 설계대로 원형 주탑으로 시공 - 상판을 지지해주는 케이블 물량도 줄일 수 있어 공사비가 기존 대비 9% 절감되었으며, 상판이 얇아짐에 따라 교량 미관이 개선되는 효과 - 세계 최초로 도로 사장교에 180 MPa급 초고성능콘크리트 적용 - 대형공사(1회 타설량 40m^3, 세그먼트 47개 제작)에 초고성능 콘크리트 적용 - 대규모 실구조물 적용에 따른 현장 품질관리·제작 관련 실용화 노하우 확보
울릉도 힐링스테이 KOSMOS 리조트	- 당초 설계된 벽체 두께 120mm 이내의 쉘형 외벽 구조체 구현을 위해 철근 배근없는 UHPC를 적용하게 되었으며, 이를 통해 기존 대비 벽체 두께를 60%까지 감소 - 본 구조물은 울릉도 바닷가 해안 절벽에 위치하게 되기 때문에 해안가의 염화물 피해를 최소화하기 위해 나노 소재를 사용하여 우수한 내구성을 확보 - 동절기 시공가능성 확인
고덕대교	- 완공 시 콘크리트 사장교로는 세계 최대 주경간장 기록 보유 - 국내 최초로 장대교량에 80MPa급 콘크리트 적용
광명 VR 체험관	- 울릉도 힐링스테이와 같이 건축물에 슈퍼콘크리트 기술의 성공적인 적용을 통해 향후 건축물에 상용화 가능성 확인
Hawkeye Bridge	- 일부 재료(시멘트, 모래)의 현지화 및 레미콘 트럭믹싱 가능성 확인 - 미국 현지조건을 고려한 양생기법 적용(표준 고온양생(90℃)보다 낮은 온도(40~50℃)로 목표 강도 달성 - 연구단 제시 설계기준 및 설계도서, 시방지침에 따라 미국 현지 기술진에 의해 시공 완료 - 교량 선진국에서 설계단계부터 재료 제조 및 부재 제작 전 과정에 대한 검증 완료 → 향후 국내 및 동남아 적용 위한 실적 확보 - 국내 기술로 미국에 건설한 최초의 교량
미얀마-만달레이 고속도로 확장공사	- 일부 재료의 현지화(시멘트, 모래, 충전재) 및 레미콘 트럭 믹싱 - 미얀마 현지조건을 고려한 양생기법 적용 (버블시트 양생 적용을 통해 고온양생 효과) - 연구단 제시 설계기준 및 설계도서, 시방지침에 따라 미얀마 현지 기술진에 의해 시공 완료 - 미얀마 MOC의 요청에 따라 향후 대규모 공사에의 적용을 위한 파일럿 프로젝트의 성격으로 추진 - 향후 미얀마 등 동남아의 교량 프로젝트에 SC적용 추진 기반(실적) 구축
부산에코델타시티 2-3공구 제8교	- 입찰단계부터 기술지원을 하여 수주에 성공 - 거더 형식의 단경간 보도교로는 국내 최대 규모 - 박판 박스 형상의 변단면 형상을 갖는 대블록 공법 적용을 위한 제조 및 가설 기술 지원 예정 - 2020년 하반기 교량 공사 착공 예정

출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), "SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발 최종보고서"

2) 부유식 구조물 관련 선행과제 유사/중복 분석

(1) 초장대교량 사업단

○ 본 사업의 경우 초장대교량의 한계점을 극복하는 미래형 모듈러 부유식 구조체를 개발하는 과제로 초장대교량 사업단 과제와는 대상과 기술개발 내용에서 차별화 가능

〈표 3-7〉 초장대교량 사업단과의 비교

구분	초장대교량 사업단	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
연구목적	세계 최고 수준의 경제성 및 기술 경쟁력을 갖춘 장경간 케이블교량의 자립 건설	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
연구기간	'08~12.26. ~ '15.12.25.	'23.01. ~ '27.12.
사업비	1,053억원(정부 606억원, 민간 447억원)	374억+α(국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
연구내용	초장대교량의 설계, 재료, 시공, 유지관리 관련기술 개발을 통한 핵심기술 자립화 - 핵심 엔지니어링기술 개발 - 고성능 전략소재 및 이용기술 개발 - 고효율 시공기술 개발 - 통합 시범적용교량 사업지원 및 운영기술 개발	장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 부유식 인프라 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발 - 부유식 구조체 핵심 엔지니어링기술 개발 - 경량 내해수 기능성 신소재 개발 - 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 추진 - 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발
차별점	- 신형식을 도입하여 기존 교량형식이 가지는 주경간의 한계를 극복할 수 있음 - 부유식 교량을 적용 대상으로 하되, 부유식 풍력터빈 및 접안시설 등으로의 확장 가능	
미비점 보완대책 및 연계방안	교량 상부구조 관련 엔지니어링 핵심기술 활용	

출처: 초장대교량사업단/케이블교량 글로벌 연구단 홈페이지(https://www.ex.co.kr/cable-bridge/)

(2) 케이블교량 글로벌 연구단

○ 본 사업의 경우 미래형 모듈러 부유식 구조체는 케이블교량과의 형식이 달라 기술개발 내용에서 차별화가 가능하고 케이블교량 글로벌 연구단 과제의 성과 일부를 적용 가능

〈표 3-8〉 케이블교량 글로벌 사업단과의 비교

구분	케이블교량 글로벌 사업단	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
연구목적	케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
연구기간	'16~09.26. ~ '21.09.25.	'23.01. ~ '27.12.
사업비	337억원(정부 234억 원 / 민간 103억원)	374억+α (국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
연구내용	해외 케이블교량 시장 진출 확대 및 재난·재해 대비 안전 제고를 위한 고부가 핵심 엔지니어링 기술 확보 - 케이블교량 전주기 기술 솔루션 개발 - 케이블교량 신뢰도 기반 재난·재해 대응기술 개발 - 케이블교량 하부구조 신뢰도 기반 설계엔지니어링 기술 개발 - 비용절감형 해상 교량기초 가설공법 개발	장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 부유식 인프라 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발 - 부유식 구조체 핵심 엔지니어링기술 개발 - 경량 내해수 기능성 신소재 개발 - 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 추진 - 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발
차별점	- 신형식을 도입하여 기존 교량형식이 가지는 주경간의 한계를 극복할 수 있음 - 부유식 교량을 적용 대상으로 하되, 부유식 풍력터빈 및 접안시설 등으로의 확장 가능	
미비점 보완대책 및 연계방안	신뢰도기반 목표신뢰도지수 결정법 연계	해상 교량기초 가설공법 연계

출처: 초장대교량사업단/케이블교량 글로벌 연구단 홈페이지(https://www.ex.co.kr/cable-bridge/)

(3) SUPER Structure 2020 연구단

○ 본 사업은 새로운 형식의 부유식 구조체를 개발하는 것으로 SUPER Structure 2020 연구단의 SUPER Concrete와 부유식 구조물 설계기술을 기반으로 기술개발을 수행한다면 조기 개발성과 달성이 가능할 것으로 예상

〈표 3-9〉 케이블교량 글로벌 사업단과의 비교

구분	케이블교량 글로벌 사업단	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
연구목적	첨단 재료 기술과 핵심 설계·제작 기술의 융·복합을 통한 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술 개발	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
연구기간	'13~12.24. ~ '19.12.17.	'23.01. ~ '27.12.
사업비	323억원(정부 231억 원 / 민간 91억원)	374억+α(국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
연구내용	첨단 재료 기술과 핵심 설계·제작·시공 기술의 융·복합을 통한 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술 개발, 이를 통한 국가예산 절감 및 해외 건설 수주 견인 - 80MPa~180MPa급 SUPER Concrete 제조기술 및 재료모델·지침 개발 - SUPER Concrete 구조 거동별 성능평가 및 설계지침 개발 - SUPER Concrete 구조 실험 및 상세설계지침 개발 - SUPER Concrete 활용 교량 상부구조 개발 및 실용화 - SUPER Concrete 활용 프리캐스트 풍력타워 - SUPER Concrete 활용 부유식 구조물 개발 - SUPER Concrete 활용 건축 구조요소 및 시공기술 개발	장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 부유식 인프라 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발 - 부유식 구조체 핵심 엔지니어링기술 개발 - 경량 내해수 기능성 신소재 개발 - 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 추진 - 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발
차별점	- 건설재료 뿐만 아니라 구조형식, 설계기준, 시공, 유지관리 등 전주기 엔지니어링을 다룸	
미비점 보완대책 및 연계방안	경량골재 콘크리트의 강도 향상 기법 연계	재료모델에 관한 지침 활용

출처: 국토교통과학기술진흥원(2020), "SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발 최종보고서"

3) 주요부처 유사/중복 사업 분석

○ 현재 추진 중인 주요 부처별 R&D 사업에 대한 조사/분석을 통해 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업과의 유사 중복성을 검토·분석하여 연계성 및 차별화 방안을 도출

- 중점 분석 항목으로는 사업목적, 사업규모, 지원분야, 지원대상, 지원내용, 단계별 지원여부 및 투자연계형 지원여부 등을 분석

〈표 3-10〉 유사사업 분석 대상

부처	사업명	사업기간	사업목적
국토교통부	건설기술연구사업	'07~ 계속	SOC 시설물의 전주기에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발
	국토교통기술촉진연구사업	'07~ 계속	국토교통기술 촉진을 위한 핵심원천기술 개발 및 연구 인프라 구축
해양수산부	나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발	'20~'23년	나노소재 활용 고강도(압축강도 80MPa 이상), 고내구(내구연한 200년 이상), 경량(단위용적중량 1.6t/m^3 이하) 콘크리트 개발
	해양장비개발 및 인프라 구축	'00~'21년('19년 일몰)	해양공간의 이용을 극대화하기 위해 해양 탐사, 해양자원 개발 등을 위한 첨단 해양장비 개발 및 인프라 구축

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획", 해양수산과학기술진흥원(2021), "2021년도 해양수산과학기술육성시행계획"

(1) 건설기술연구사업

○ 국토교통부 건설기술연구사업은 SOC 시설물의 전주기에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발을 목표

〈표 3-11〉 건설기술연구사업

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="9">건설기술연구사업</th></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="9">SOC 시설물의 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지원규모 및 범위</td><td>지원규모</td><td colspan="8">- 내역 5개, 과제 10개, 예산 24,830백만원
- 종료 6개(10,684백만원), 계속 4개(13,278백만원), 기획평가관리비(868백만원)</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td colspan="8">- 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
- 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td>사업시행주체</td><td colspan="9">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td>투자실적 및 계획 (백만원)</td><td colspan="9"><table>
<tr><th>구분</th><th>'07~'16</th><th>'17</th><th>'18</th><th>'19</th><th>'20</th><th>'21</th><th>'22~</th></tr>
<tr><td>건설기술연구</td><td>548,157</td><td>49,847</td><td>51,372</td><td>51,506</td><td>38,506</td><td>24,830</td><td>10,577</td></tr>
<tr><td>설계엔지니어링 및 글로벌 표준화 기술</td><td>103,293</td><td>5,822</td><td>4,488</td><td>3,975</td><td>2,706</td><td>874</td><td>-</td></tr>
<tr><td>건설재료 개발 및 활용 기술</td><td>107,588</td><td>6,356</td><td>9,402</td><td>15,140</td><td>11,042</td><td>10,517</td><td>8,238</td></tr>
<tr><td>시공자동화/효율화 및 특수구조물 구축 기술</td><td>253,617</td><td>27,679</td><td>25,028</td><td>16,097</td><td>7,898</td><td>4,581</td><td>-</td></tr>
<tr><td>재난·재해 대비 시설물 유지관리 및 건설안전기술</td><td>83,659</td><td>9,990</td><td>12,254</td><td>14,217</td><td>15,308</td><td>7,990</td><td>1,913</td></tr>
<tr><td>기획평가관리비</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>2,077</td><td>1,552</td><td>868</td><td>426</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>사업내용</td><td colspan="9">- 고부가가치 설계엔지니어링 기술경쟁력 제고 및 해외시장 진출 지원을 위한 핵심기술 개발
- 신시장 창출을 위한 고성능·다기능·친환경 新 건설재료 개발
- 건설생산성 제고를 위한 첨단기술 융합형 시공 프로세스 혁신 및 특수구조물 자립건설 기술 개발
- 재난·재해로 인한 SOC 시설물 피해 사전예방·응급 복구 및 성능중심의 선제적 유지관리 기술 개발
- 국토교통연구개발 사업의 기획 · 평가 · 관리 등을 효율적으로 추진하기 위한 전문기관 소요경비</td></tr>
<tr><td>'21년도 추진내용</td><td colspan="9">- 재난 재해로부터 SOC시설물의 안전성 강화 및 선제적 유지관리 기술, 다기능·고성능·친환경 新 건설재료 개발 지속 지원
: 박테리아, 무기계 혼합재료, 캡슐 등을 활용하여 스스로 균열치유가 가능한 콘크리트 실용화 제품 및 구조물 적용 기술 개발
: 미세먼지(PM2.5) 저감을 위한 저비용·고성능 광촉매 생산, 건설자재 및 시설물 적용 기술 개발
: EMP(Electro Magnetic Pulse, 전자기파)를 차폐하고 물리적 방호가 가능한 건설재료 및 시설물 건설 기술 개발
: 지반함몰 및 액상화 대비 시설물 안전 확보 기술, 비탈면 붕괴 방지를 위한 조사·점검 기술 개발
: 중소 노후교량 실증기반 성능평가 및 보수·보강 기술, 노후 도로시설의 내진성능관리 의사결정지원 기술 개발
- 건설산업 해외시장 진출 지원을 위한 설계엔지니어링, 고부가 메가스트럭처(케이블교량, 터널 등) 건설 기술 개발 최종 지원
: 도로·하천 시설물의 3차원 BIM 통합관리 체계 및 표준화 기술 개발
: 터널시공 자동화·효율화를 위한 TBM 커터헤드 설계자동화 시스템 및 운전·제어 시스템 개발
: 고부가 특수구조물인 케이블교량의 해외시장 진출 지원을 위한 전주기 엔지니어링(설계, 시공, 유지관리 등) 기술 개발</td></tr>
</table>

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

○ 본 사업은 미래형 모듈러 부유식 구조체를 중점적으로 지원하므로 전체 SOC 시설을 사업범위로 설정하여 지원하는 건설기술연구사업과 차별성을 가지며, '21년 추진내용 상에서도 메가스트럭처(케이블교량, 터널 등) 건설 기술개발을 최종 지원하고 있어 차별성을 가짐

〈표 3-12〉 건설기술연구사업과의 비교

구분	건설기술연구사업	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
사업목적	SOC 시설물의 전주기(설계, 시공, 유지관리 및 해체 등)에 대한 안전성, 고부가가치화, 첨단화 및 글로벌 선도를 위한 핵심요소기술 개발	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
사업기간	'07~ 계속	'23.01. ~ '27.12.
사업비	계속사업 ('20년까지 기투자액: 7,394억원)	374억+α (국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
사업규모	'21년도 248억원 지원	'23년도 41억 지원
차별점	- 고부가 메가스트럭쳐 기술 개발에 대한 중점적 지원 - 민간기업 참여 및 테스트베드를 통한 개발기술의 실증화	

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

(2) 국토교통기술촉진연구사업

○ 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업은 국토교통기술 촉진을 위한 핵심원천기술 개발 및 연구 인프라 구축을 목표

〈표 3-13〉 국토교통기술촉진연구사업

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">국토교통기술촉진연구사업</th></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">국토교통기술 촉진을 위한 핵심원천기술 개발 및 연구 인프라 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지원규모 및 범위</td><td>지원규모</td><td>- 내역 4개, 예산 51,812백만원
- 종료 33,222백만원, 계속 400백만원, 신규 16,531백만원, 기획평가관리비 1,659백만원</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td>- 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
- 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td>사업시행주체</td><td colspan="2">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td>투자실적 및 계획 (백만원)</td><td colspan="2">
<table>
<tr><th>구분</th><th>'07~'16</th><th>'17</th><th>'18</th><th>'19</th><th>'20</th><th>'21</th><th>'22~</th></tr>
<tr><td>국토교통기술촉진연구</td><td>264,425</td><td>54,291</td><td>53,643</td><td>37,718</td><td>37,441</td><td>51,812</td><td>미정</td></tr>
<tr><td>국토교통기술혁신연구</td><td>119,378</td><td>27,975</td><td>32,055</td><td>26,968</td><td>27,062</td><td>44,440</td><td>미정</td></tr>
<tr><td>글로벌 기술협력</td><td>12,714</td><td>2,666</td><td>2,427</td><td>3,262</td><td>2,795</td><td>1,883</td><td>-</td></tr>
<tr><td>연구장비 인프라</td><td>82,092</td><td>23,650</td><td>19,161</td><td>5,989</td><td>6,386</td><td>3,830</td><td>-</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>기획평가관리비</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>1,499</td><td>1,198</td><td>1,659</td><td>미정</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업내용</td><td colspan="2">- 국토교통분야 민간의 독창적이고 혁신적인 아이디어를 활용한 미래 기반기술 확보 및 국민 실생활과 직접적 으로 관련 있는 사회이슈해결 기술 지원
- 국토교통분야 글로벌 기술경쟁력 제고를 위한 해외 우수연구기관과의 국제공동연구 지원
- 국토교통분야 기술 혁신역량 강화를 위한 연구장비, 대형 실험시설 등 연구인프라 구축
- 국토교통연구개발 사업의 기획 · 평가 · 관리 등을 효율적으로 추진하기 위한 전문기관 소요경비</td></tr>
<tr><td>'21년도 추진내용</td><td colspan="2">- 국토교통분야 기술혁신을 위한 핵심 기반기술 지원을 확대하고, 사회이슈해결 기술 지속 지원
: 「국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)」에 제시된 연구주제 관련 창의·도전적 아이디어 발굴 및 기반기술 개발 지원
: 국민의 실생활과 밀접한 관련이 있는 국토교통분야 사회이슈를 연구주제로 선정하여 시의성 있는 기술 개발 지원
- 국토교통분야 글로벌 기술역량 강화와 기술협력 활성화를 위한 국제공동연구 지속 지원
: 기술선도국의 고부가가치 핵심기술 및 수요국 시장 맞춤형 기술 확보를 위한 다자간 국제공동연구 지원
- 기 구축된 대형 실험시설의 성능 고도화, 표준 시험기준 개발 등 연구장비 인프라 지속 지원
: 국토교통분야 연구성과의 성능·안전성 등의 실규모 검증이 가능한 대형 실험장비 성능 고도화 지원
: 국토교통분야 연구성과의 성능·안전성 등의 실규모 검증이 가능한 대형 실험장비 성능 고도화 지원</td></tr>
</table>

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

○ 국토교통기술촉진연구사업은 민간의 아이디어를 활용하여 미래 기반기술 확보 및 사회이슈해결 기술 개발, 연구장비/대형 실험시설 등의 연구인프라 구축을 중점적으로 지원하는 사업으로 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발을 지원하는 본 사업과는 연구대상 및 목적이 상이

〈표 3-14〉 국토교통기술촉진연구사업과의 비교

구분	국토교통기술촉진연구사업	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
사업목적	국토교통기술 촉진을 위한 핵심원천기술 개발 및 연구 인프라 구축	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
사업기간	'07~ 계속	'23.01. ~ '27.12.
사업비	계속사업 ('20년까지 기투자액: 4,475억원)	374억+α (국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
사업규모	'21년도 374억원 지원	'23년도 41억 지원
차별점	- 고부가 메가스트럭쳐 기술 개발에 대한 중점적 지원 - 설계기준, 건설재료, 가설기술, O&M에 이르는 전주기 엔지니어링의 기술 경쟁력 제고 - 민간기업 참여 및 테스트베드를 통한 개발기술의 실증화	

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

(3) 나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업

○ 국토교통부 나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업은 나노소재 활용 고강도(압축강도 80MPa 이상), 고내구(내구연한 200년 이상), 경량(단위용적중량 1.6t/m^3 이하) 콘크리트 개발을 목표

〈표 3-15〉 나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업</th></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">나노소재 활용 고강도(압축강도 80MPa 이상), 고내구(내구연한 200년 이상), 경량(단위용적중량 1.6t/m^3 이하) 콘크리트 개발을 목표</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지원규모 및 범위</td><td>지원규모</td><td>- 내역 2개, 과제 1개, 예산 3,000백만원
- 계속 1개(2,881백만원), 기획평가관리비(119백만원)</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td>- 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
- 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td>사업시행주체</td><td colspan="2">국토교통부, 국토교통과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td>투자실적 및 계획 (백만원)</td><td colspan="2">
<table>
<tr><th>구분</th><th>'07~'16</th><th>'17</th><th>'18</th><th>'19</th><th>'20</th><th>'21</th><th>'22~</th></tr>
<tr><td>나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>3,000</td><td>3,000</td><td>7,500</td></tr>
<tr><td>나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>2,881</td><td>2,881</td><td>7,203</td></tr>
<tr><td>기획평가관리비</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>119</td><td>119</td><td>297</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업내용</td><td colspan="2">- 콘크리트의 고강도·고내구·경량화를 통한 내구연한 증가 및 유지관리비용 절감 등이 가능한 나노소재 활용 콘크리트 재료, 배합설계 및 시공 기술 개발
- 국토교통연구개발 사업의 기획 · 평가 · 관리 등을 효율적으로 추진하기 위한 전문기관 소요경비</td></tr>
<tr><td>'21년도 추진내용</td><td colspan="2">- 건설분야 적용을 위한 저비용 나노소재 생산시스템 설계, 나노소재 성능 최적화 및 나노소재를 활용한 콘크리트 제조 기술 개발 지속 지원
: 건설용 나노소재 품질기준 설정, 대량 생산시스템 설계 및 표면개질 등을 통한 성능 최적화 기술 개발
: 나노소재 활용 고강도·저흡수율 인공경량골재, 솔리드버블 및 고강도·경량 콘크리트 배합설계(안) 개발</td></tr>
</table>

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

○ 나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업은 나노소재를 활용하여 다기능·경량 콘크리트를 개발하는 재료기술개발사업으로 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발을 지원하는 본 사업과는 연구대상 및 연구범위가 상이

〈표 3-16〉 나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업과의 비교

구분	나노기술을 활용한 다기능·경량 하이퍼 콘크리트 기술개발사업	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
사업목적	나노소재 활용 고강도(압축강도 80MPa 이상), 고내구(내구연한 200년 이상), 경량(단위용적중량 1.6t/m^3 이하) 콘크리트 개발을 목표	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
사업기간	'20~'23년	'23.01. ~ '27.12.
사업비	135억원	374억+α (국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
사업규모	'21년도 30억원 지원	'23년도 41억 지원
차별점	- 경량 내해수 기능성 신소재 개발을 목표로 함 (부식속도 40%저감 600MPa 내해수 후판강, 단위중량 2.0 tonf/m^3, 100MPa 콘크리트) - 고부가 메가스트럭쳐 기술 개발에 대한 중점적 지원 - 설계기준, 가설기술, O&M을 포함하는 전주기 엔지니어링의 기술 경쟁력 제고 - 민간기업 참여 및 테스트베드를 통한 개발기술의 실증화	

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

(4) 해양장비개발 및 인프라 구축

○ 해양수산부 해양장비개발 및 인프라 구축 사업은 해양공간의 이용을 극대화하기 위해 해양 탐사, 해양자원 개발 등을 위한 첨단 해양장비 개발 및 인프라 구축을 목표

〈표 3-17〉 해양장비개발 및 인프라 구축사업

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="2">해양장비개발 및 인프라 구축 사업</th></tr>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">해양공간의 이용을 극대화하기 위해 해양 탐사, 해양자원 개발 등을 위한 첨단 해양장비 개발 및 인프라 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지원규모 및 범위</td><td>지원규모</td><td>- 내역 5개, 과제 1개, 예산 7,437백만원
- 계속 3개(7,197백만원), 기획평가관리비(240백만원)</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td>- 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
- 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td>사업시행주체</td><td colspan="2">해양수산부, 해양수산과학기술진흥원</td></tr>
<tr><td>투자실적 및 계획</td><td colspan="2">
<table>
<tr><th>구분</th><th>~'19</th><th>'20</th><th>'21</th><th>'22~</th></tr>
<tr><td>해양장비개발 및 인프라 구축</td><td>425,345</td><td>19,195</td><td>7,437</td><td>-</td></tr>
<tr><td>해양장비기술개발</td><td>287,304</td><td>15,840</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>해양플랜트 운영·서비스</td><td>80,937</td><td>2,059</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>다부처 공동사업</td><td>4,741</td><td>558</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>수중건설로봇사업</td><td>51,310</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>기획평가관리비</td><td>1,053</td><td>738</td><td>240</td><td>-</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>사업내용</td><td colspan="2">- 수중·심해저 등의 관측·탐사를 위한 해양장비 개발을 통한 관련 산업 육성
- 해양플랜트산업 전주기 경쟁력 확보를 위해 해양플랜트 운영, 기자재 인증체계 구축, 서비스산업 등 해양플랜트 운영·서비스 R&D 지원
- 부처 간 협업을 통한 기술 역량 강화
- 수중건설로봇 공통핵심 기술 개발, 해저 중작업용 트랙식 로봇 작업 플랫폼 개발 등 수중건설로봇 핵심원천기술의 국산화를 통해 관련 장비산업 저변 마련</td></tr>
<tr><td>'21년도 추진내용</td><td colspan="2">- 해양장비기술개발 계속과제 지원
: 수중 장거리/근거리 이동통신 시스템(모뎀, 네트워크 등)의 실해역 성능검증
: 수중-육상 연계 통신망 통합 테스트베드 구축 및 실해역 검증
: 시험평가 선박 개조, 시험평가체계 구축 및 시험평가선 시험운항</td></tr>
</table>

출처: 해양수산과학기술진흥원(2021), "2021년도 해양수산과학기술육성시행계획"

○ 본 사업은 미래형 모듈러 부유식 구조체를 중점적으로 지원하므로 해양자원 개발을 위한 장비 및 인프라 구축을 지원하는 해양장비개발 및 인프라 구축 사업과 차별성을 가지며, '21년 추진내용 상에서도 해양플랜트, 수중건설로봇 등이 지원 종료되어 차별성을 가짐

〈표 3-18〉 해양장비개발 및 인프라 구축사업과의 비교

구분	해양장비개발 및 인프라 구축 사업	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업
사업목적	해양공간의 이용을 극대화하기 위해 해양 탐사, 해양자원 개발 등을 위한 첨단 해양장비 개발 및 인프라 구축	차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
사업기간	'00~'21년('19년 일몰)	'23.01. ~ '27.12.
사업비	일몰사업 ('20년까지 기투자액: 4,445억원)	374억+α (국고 280억원, 민간 94억 이상)
사업시행주체	해양수산부, 해양수산과학기술진흥원	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원
사업규모	'21년도 74억원 지원	'23년도 41억 지원
차별점	- 고부가 메가스트럭쳐 기술 개발에 대한 중점적 지원 - 설계기준, 건설재료, 가설기술, O&M에 이르는 전주기 엔지니어링의 기술 경쟁력 제고 - 민간기업 참여 및 테스트베드를 통한 개발기술의 실증화	

출처: 국토과학기술진흥원(2021), "2021년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획"

4) 기타 유사사업 분석

○ 과거 추진되었던 부유식 구조체 관련 R&D 사업에 대한 조사/분석을 통해 본 기술개발 사업과의 유사 중복성을 검토·분석하여 연계성 및 차별화 방안을 도출하였음.

〈표 3-19〉 기타 유사사업 분석 대상

연구명	초대형 부유식 해상구조물 기술개발	콘크리트 부유식 해상 인프라 건설기술 개발	부유식 주탑을 갖는 초장대교량 핵심 해석기술개발	스마트 수중 터널 시스템 연구센터
연구기간	1999 - 2007	2011 - 2014	2018 - 2019	2017 - 2024 (진행중)
주관부처	해양수산부	지식경제부	국토교통부	과학기술정보통신부
총연구비	46.5억원	40.8억원	3.7억원	7.5억 (2017-2020)
개발목표 및 주요 연구내용	▪ 유탄성응답 해석기법 개발 및 해석 성능 고도화 ▪ 설계해석 통합시스템 ▪ 실증구조물 설계/실용화	▪ 파랑운동 저감형 하이브리드 부유구조체 형상 개발 ▪ 부력 및 파랑에 의한 단면력 최소화 구조시스템 개발 ▪ 하이브리드 부유구조체 지능형 구조설계 및 안전성	▪ 부유식 초장대 케이블지지교량 핵심 해석기술 개발 ▪ 부유식 초장대 케이블지지교량 핵심 해석기술 개발	▪ 전용 구조해석프로그램 및 통합설계기술 개발 ▪ 수중 고내구성 건설재료 및 수중시공 통합시스템 개발 ▪ 지능형 수중터널 안전-유지관리 통합시스템 개발 ▪ 지능형, 안전, 지속가능 수중터널 시스템 기반기술 구축
최종 연구 성과물	▪ 구조 및 계류시스템 설계기술 및 SW 개발 ▪ 유탄성응답 해석기법 개발 및 성능 고도화: 다수 소프트웨어 개발 ▪ 성능평가 모형실험 수행 ▪ VLFS용 설계규정 및 기술도서 발간 ▪ DB관리시스템, 설계 통합 시스템 VADA 개발	▪ 파랑운동 저감형 하이브리드 부유구조체 형상 ▪ 부력 및 파랑에 의한 발생 단면력 최소화 구조시스템 ▪ 하이브리드 부유구조체 지능형 구조설계 및 안전성 평가 기술 ▪ Pilot Project 설계 ▪ 하이브리드 부유구조체 구조설계 지침(안)	▪ 부유식 초장대 케이블지지교량 핵심 해석기법 및 전용해석프로그램 ▪ 부유식 초장대 케이블지지교량의 주요 구조거동 ▪ 2.0km 이상 지간장을 갖는 부유식 초장대 케이블지지교량의 실효성 평가	▪ 해석 및 설계 -모듈 접합부 해석 -파랑/해류, 충돌/폭발 해석 -구조물 기초 및 지반설계 ▪ 재료 및 시공 -내염해, 균열 제어 재료 -연속 타설 공법 -수중 부재위치 인식 기술 -해저지반 경계면 시공법 ▪ 안전 및 유지관리 -누수, 균열 감지 모니터링 -내외부 충돌 감지 모니터링
차별화/ 연계방안	▪ 설계기법 및 기준 고도화 -본 연구는 계측데이터에 기반한 하중모델 구축 및 리스크 정의를 목표로 함 -본 연구는 최근의 설계 트렌드인 신뢰도 기반 설계기준 개발을 통한 설계기준 고도화를 목표로 함 ▪ 엔지니어링 수준의 차이 -본 연구는 산업계와의 연계를 통한 핵심 엔지니어링 역량 확보와 실물 테스트베드 검증까지 추진함 -이를 통한 개발기술의 실용성 증대 및 확산에의 강점을 보임	▪ 변위수용형 연결기술 개발 -본 연구에서는 횡방향 대변위를 수용할 수 있는 구조시스템 설계를 목표로 함 -교량, 풍력터빈에 따른 목표 변위성능을 차별화 함 ▪ O&M 기술개발 -본 연구에서는 실제 운용시 발생 가능한 리스크 정량화 및 IoT 기술을 활용한 O&M기술 개발을 목표로 함 ▪ 대상 소재의 확장성 -목표 콘크리트의 성능수준의 차이와 더불어 고강도 내해수강 등 소재 차별화	▪ 대상구조물의 차이 -해당 연구과제는 부유식 교량에 국한된 해석기술 개발에 그침 -본 연구는 다양한 목적물에 적용 가능한 핵심 구조기술을 개발함으로써 적용성 및 확장성을 높이고자 함 ▪ 시공 및 O&M 기술 개발 -해당 연구과제는 소규모의 해석기술 개발에 국한됨 -본 연구는 시공, 기준 개발, 테스트베드 등을 포함하는 종합적 공동연구를 계획함	▪ 엔지니어링 역량개발의 차이 -해당 연구과제는 엔지니어링 기관의 미참여로 학술적 기초연구의 성격이 짙음 -제안 연구의 경우 산업계 및 엔지니어링계와의 연계를 통한 R&BD로의 발전 및 실물 테스트베드 구조물 건설을 목표로 함 -이를 통한 개발기술의 실용성 증대 및 확산에의 강점을 보임

제4장

사업 기본방향 및 추진전략

4.1. 사업기획 기본방향
4.2. 사업 추진체계 및 운영관리 방안

제4장 사업 기본방향 및 추진전략

4.1 사업기획 기본방향

4.1.1 사업 기본방향 설정 프로세스

□ 현황을 종합하여 부유식 구조체의 전주기 엔지니어링 구현을 위한 4대 중점분야를 도출하였으며, 각 분야의 기술개발 기본 방향과 목적 및 대상에 적합한 핵심기술 구성

○ (1세부) 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발

- (개발 방향) 환경하중모델, 성능평가기술 및 설계기준 개발을 통한 반영구적 부유식 인프라 구조체에 대한 핵심 엔지니어링 기술개발
- (기술 키워드) 환경하중, 확률모델, 성능평가, 한계상태 설계법, 코드 캘리브레이션, 설계기준

○ (2세부) 경량 내해수 기능성 신소재 개발

- (개발 방향) 비중 2.0, 강도 100MPa 수준 초경량 고강도 콘크리트 및 인장강도 600MPa, 일반강재 대비 내부식성 40% 수준의 내해수강 개발
- (기술 키워드) 초경량, 고강도, 내부식성

○ (3세부) 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증

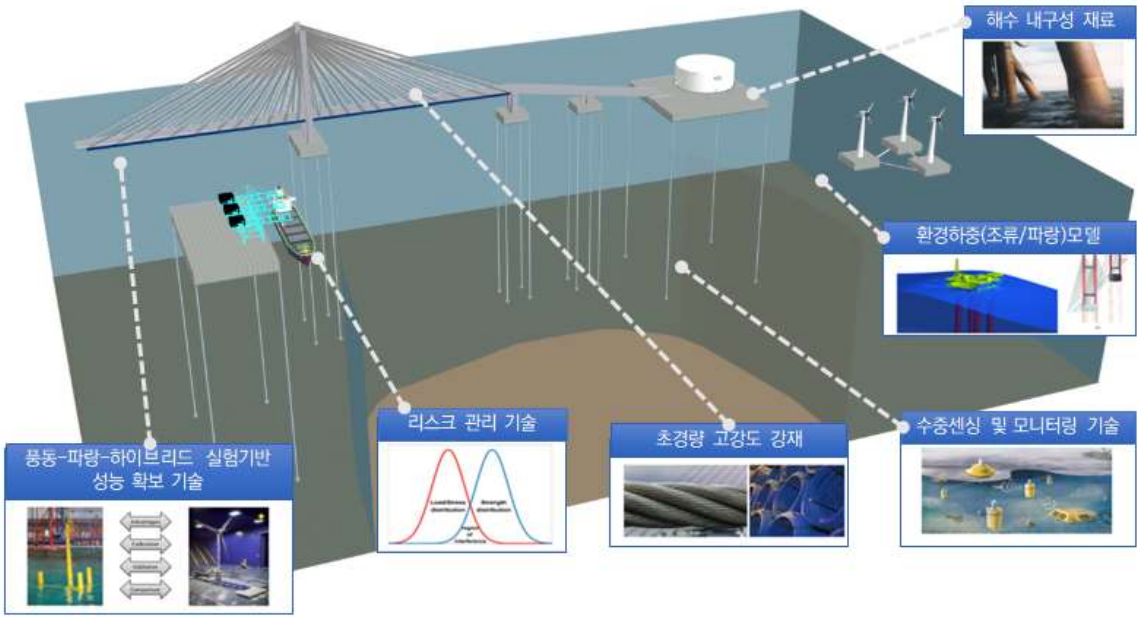
- (개발 방향) 부유식 교량 위치 제어 및 형상관리 기술을 통한 확장형 모듈러 부유 구조체 개발 및 테스트베드 건설
- (기술 키워드) 부유체 운송, 모션 제어, SMFS, 테스트베드

○ (4세부) 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발

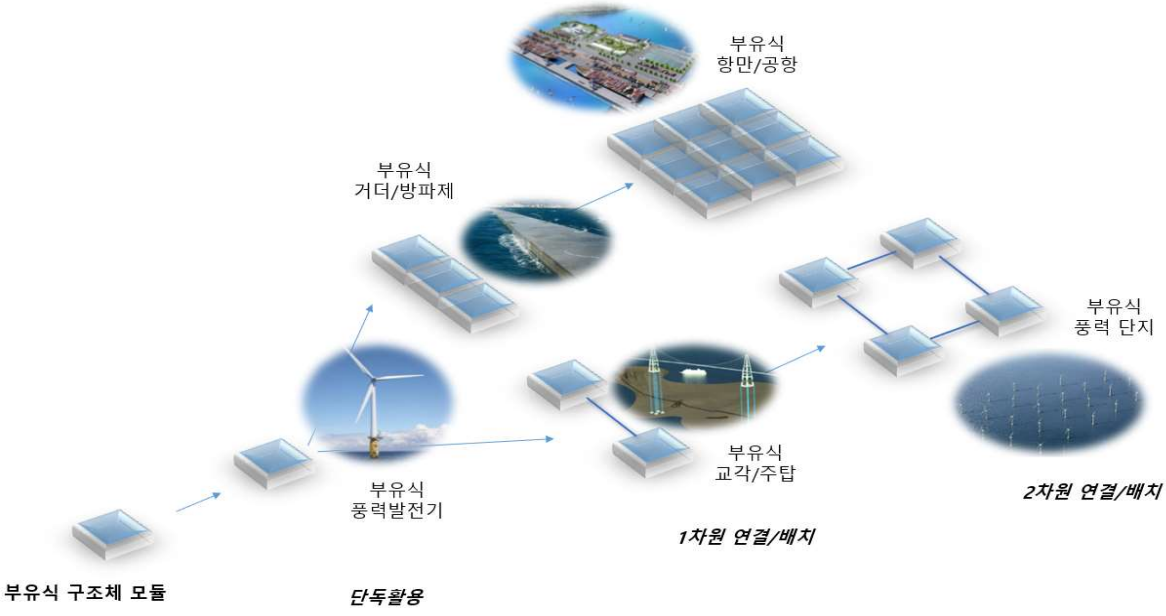
- (개발 방향) 해상 센싱/모니터링, 리스크 평가, 로봇기술 적용을 통한 리스크기반 스마트 팩토리형 운영 및 유지관리 기술개발
- (기술 키워드) 센서, 컴퓨터 비전, IoT, 데이터 동화, 이상 감지, AI, 로보틱스

4.1.2 사업 개념 및 범위

○ 차세대 메가스트럭쳐 핵심 요소인 부유식 구조체 기술 개발을 통한 친환경 국토 활용성 확장 및 미래 인프라 건설 경쟁력 선점



[그림 4-1] 미래형 모듈러 부유체 기술 개념도



[그림 4-2] 목적물 기반 기술확장 개념도

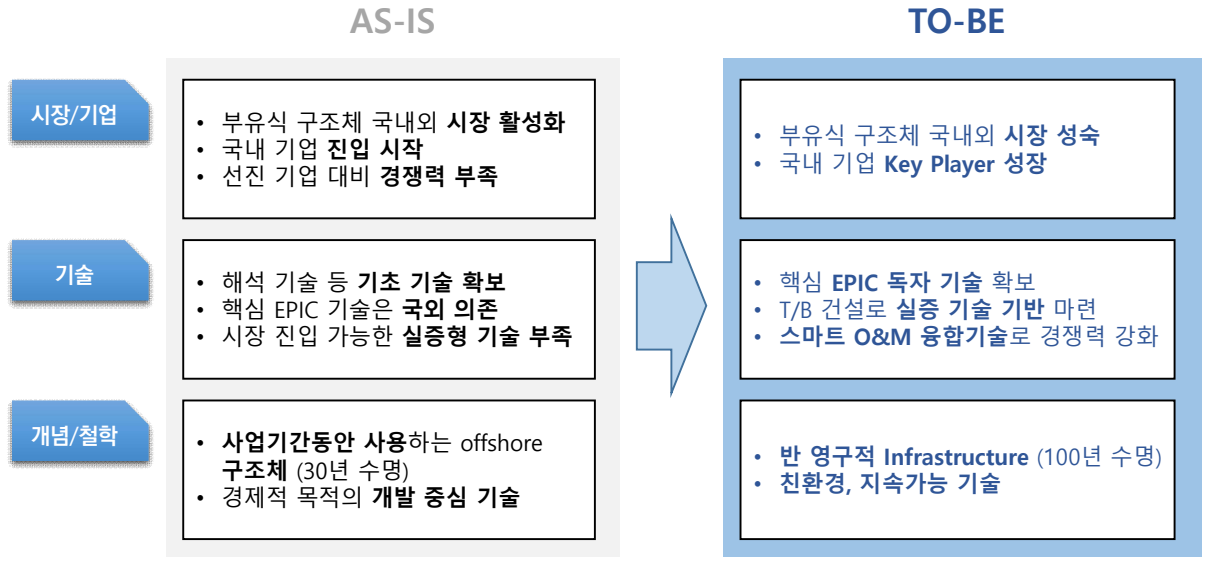
4.1.3 사업 목적 및 추진 전략

(1) 사업의 목적

○ 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 부유식 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발

* 부유식 구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보

- 변위 수용성 기초형식을 갖는 부유식 교량을 적용 대상으로 하되, 전후방 연계분야로서 부유식 풍력터빈 및 접안시설 등의 확장 가능



* EPIC – Engineering, Procurement, Installation and Construction
O&M – Operation and Management

[그림 4-3] 기술 개발 효과

(2) 추진 전략

○ 다양한 부유식 구조체 목적물에 공통으로 적용되는 기술과 특정 목적물 부유체를 대상으로 하는 테스트베드 구현기술로 이원화하여 사업 추진 협업체계 구축

- (공통 적용기술 집중 개발) 목적물과 무관하게 공통적으로 적용 가능한 핵심 엔지니어링 기술, 기능성 신소재 및 연결기술, 리스크 기반 O&M 기술을 중점적으로 개발 추진
- (테스트베드 적용 통한 검증) 개발 기술의 활용을 주도할 기업체(건설사, 중공업사 등)가 참여하여 민간수요에 기반한 목적물을 제안하도록 유도

* 테스트베드 적용을 통한 개발기술의 적용성 검증 및 실용화 기반 마련

4.2 사업 추진체계 및 운영관리 방안

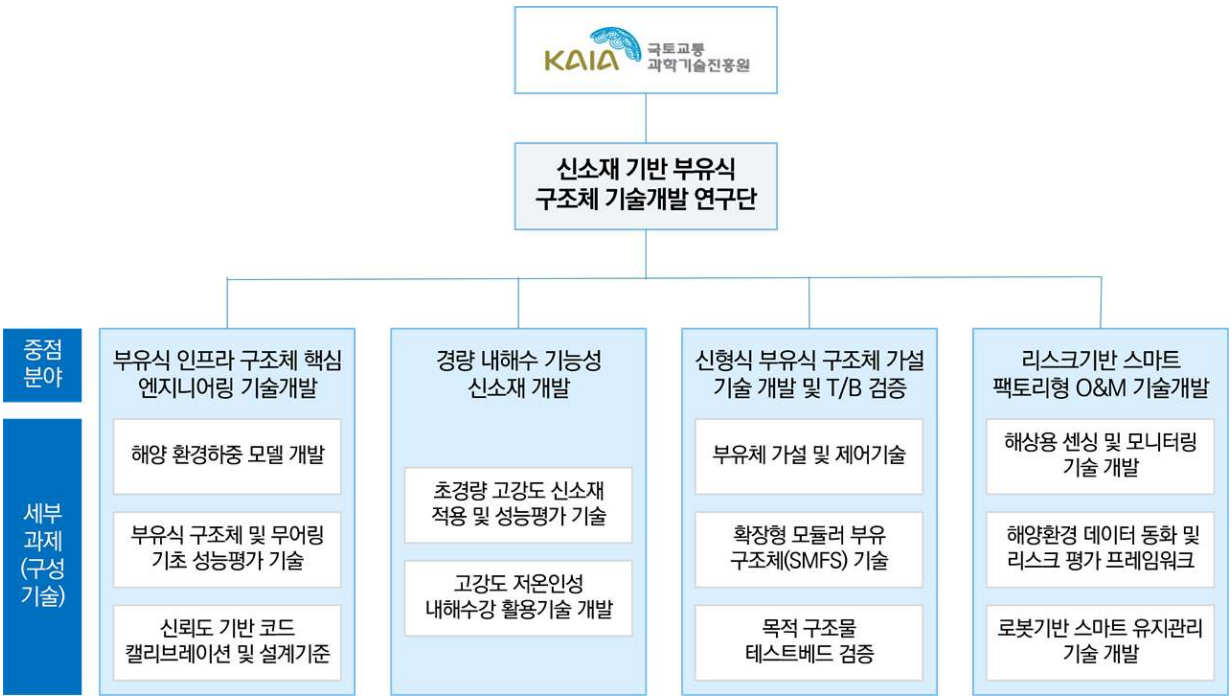
4.2.1 사업 추진체계

○ (추진체계) 다양한 부유식 구조체에 공통으로 적용되는 기술과 특정 목적물을 대상으로 하는 테스트베드 구현기술로 이원화하여 사업 추진 협업체계 구축

- (공통 적용기술 집중 개발) 목적물별 공통적으로 적용 가능한 기반 엔지니어링 기술, 기능성 신소재 및 부재간 연결기술, 리스크-데이터 기반 O&M 기술을 중점적으로 개발 추진
- (목적물별 특화 기술 개발) 목적물별 특화된 핵심 성공 기술 확보 추진
- (테스트베드 추진 통한 개발기술의 적용성 검증) 민간수요에 기반한 테스트베드 목적물 선정 및 협의체를 통한 적용 기술 선정

* 테스트베드 적용을 통한 개발기술의 적용성 검증 및 실용화 기반 마련

○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술 개발을 위해 4개 세부과제를 운영하고 정량적 성과목표를 연차별로 설정하여 관리/평가



[그림 4-4] 사업 세부구성

* 3세부는 기업체 주도로 민간수요기반 목적물(부유식 교량, 부유식 항만, 부유식 풍력터빈 등)을 제안하고, 테스트베드 적용을 통한 기술검증을 구현 예정

4.2.2 투자계획 및 재원확보 방안

□ 4개 중점분야별 핵심기술 특성을 고려, 기존 R&D 소요예산과 비교하여 예산규모를 추정함

○ 「국가연구개발사업 연구비 관리 표준매뉴얼(KISTEP, 2017.6)」 근거하여 기획분과위원회 의견수렴을 통해 최소 연구단위인 구성기술을 수행하는데 소요되는 적정 투입인원과 그에 따른 연구비를 산정하고, 간접비 및 기획평가관리비 등 합을 통해 총 소요 연구비 규모 확정

- (인건비) 각 기관별 유관부서에서 실제 수행할 수 있는 R&D 인력만큼 인력급별로 참여율 및 2020년도 학술연구용역기준단가를 적용하여 산정
- (직접비) 직접비 중 인건비를 제외한 연구장비 및 재료비, 연구활동비, 연구수당, 위탁연구 개발비 등의 합으로 산정
- (간접비) 국가연구개발사업 기관별 간접비 계상기준*의 평균인 직접비의 22.8% 이내인 15%로 산정

* 국가연구개발 간접비 계상기준 고시 (과기부 고시 제 2017-37호, 시행 2017.12.29.)

- (민간부담금) 국가연구개발사업 참여기업의 연구개발비 출연·부담기준을 근거*로 총 사업비의 25.0% 이상인 94억원 이상을 민간투자를 통해 유치

* 참여기업이 모두 대기업인 경우, 총 연구개발비의 50.0% 이내/참여기업이 모두 중견기업인 경우 60.0%/참여기업이 모두 중소기업인 경우 75.0%/참여기업이 복합적으로 구성(대기업 비중 1/3인 경우 60.0%, 중소기업 지중 2/3인 경우 75.0%)/그 밖의 경우 50.0%

○ 사업비는 국비 280억원과 민자(민간매칭) 94억원 이상으로 구성

- 민간매칭은 개발기술을 직접 활용할 참여기업이 부담하며, 국비의 33% 이상 수준으로 분담
- 테스트베드 건설비용은 연관 사업주체(지자체 등)와의 협의를 통해 개발 기술이 구현될 수 있는 방향으로 본 사업 연구비에서 분담

〈표 4-1〉 사업 투자계획

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획				
		'23	'24	'25	'26	'27
○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 ('23~'27)	37,400	5,500	10,400	11,900	5,800	3,800
○ 국 고	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
■ 출연	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
○ 민간매칭 등	9,400 이상	1,400	2,600	2,900	1,500	1,000

* 민간매칭은 향후 정부투자에 따라 변경가능

○ 중점분야/핵심기술/구성기술별 투자계획

- (1세부) 총 130억원(연평균 약 26억원, 총 연구비의 34.7%) 규모

  * 과제 총괄을 담당하는 세부로서 해당 연구추진을 위한 예산 편성

- (2세부) 총 56억원(연평균 약 11.2억원, 총 연구비의 15.0%) 규모

- (3세부) 총 112억원(연평균 약 22.4억원, 총 연구비의 30.0%) 규모

  * 테스트베드 구현 및 기술 실증화를 담당하는 세부로서 해당 예산 및 민간부담금 편성

- (4세부) 총 76억원(연평균 약 15.2억원, 총 연구비의 20.3 %) 규모

〈표 4-2〉 세부 투자계획

내역사업명	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합계
부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	국비	16	30	36	17	11	110
	지방비	-	-	-	-	-	
	민자*)	3	5	7	3	2	20
경량 내해수 기능성 신소재 개발	국비	5	11	13	7	4	40
	지방비	-	-	-	-	-	
	민자*)	2	5	5	3	1	16
신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	국비	13	23	25	11	8	80
	지방비	-	-	-	-	-	
	민자*)	5	9	10	5	3	32
리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발	국비	7	14	16	8	5	50
	지방비	-	-	-	-	-	
	민자*)	4	7	7	4	4	26
합계	국비	41	78	90	43	28	280
	지방비	-	-	-	-	-	
	민자*)	14	26	29	15	10	94
	계	**55**	**104**	**119**	**58**	**38**	**374**

*) 민자(민간매칭)은 향후 정부투자에 따라 변동 가능

제5장

사업 상세설계

5.1. 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발
5.2. 경량 내해수 기능성 신소재 개발
5.3. 신형식 부유 구조체 가설기술개발 및 테스트베드 검증
5.4. 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발

제5장 사업 상세설계

5.1 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발

5.1.1 기술개발 배경 및 필요성

1) 현안 및 이슈

○ (기술 수요 증가) 부유식 교량, 부유식 해상 풍력 단지, 부유식 접안 시설, 부유식 활주로 등 기존 인프라 구조 형식의 한계를 극복할 수 있는 친환경적 대안 기술로서 부유식 구조 시스템에 대한 수요가 증가

- 부유식 교량 시장은 '24년 38억 달러 규모로 성장할 것으로 예측되며, 노르웨이의 E39 프로젝트에는 부유식 교량이 가장 유력한 대안으로 제시
- 홍콩, 싱가포르, 일본 등은 부유식 인공섬, 접안시설, 에너지 단지 등의 건설 수요 증가
- 전세계 부유식 해상 풍력 시장은 '27년 592억 달러로 성장할 것으로 예측되며, 국내에서도 울산 등지에 대규모 해상풍력단지 추진 중

○ (높은 기술 의존도) 부유식 구조체 건설을 위한 핵심 엔지니어링 기술의 국외 기술 의존도가 높아 생산성이 낮고 국제 시장에서의 주도적 참여에 한계

- 부유식 교량을 위한 국내 설계기준은 전무한 상태이나, AASHTO/Eurocode 등은 DNV등 해양 관련 기준을 확장 적용하는 등 부유식 교량 설계 기준 개발에 앞서 나가는 중
- 국내 엔지니어링 기업의 부유식 구조체 설계 경험도 매우 부족
- 바람-파랑-구조물 연계 해석 등 부유식 구조체 설계를 위한 전문 SW는 100% 국외 전문 기업 제품에 의존
- 운반, 설치, 계류 등 시공단계 핵심 엔지니어링 기술도 국외 전문 기업의 기술에 의존

○ (핵심 기술 성숙도) 국내의 부유식 구조체 관련 핵심 엔지니어링 기술은 해석 기술을 중심으로 한 학계 중심의 요소 기술 개발에 머물러 있어 실제 구조체 건설을 위한 기업의 실증 및 상용화 단계에는 못 미치고 있는 실정

2) 기술개발 필요성

○ (기술 자립 필요) 독자적인 국제수준의 설계기준 개발 능력 및 핵심 엔지니어링 기술 자립을 통해 국내 엔지니어링 및 건설기업의 역량 강화 및 부유식 구조체 국제 시장에서 경쟁력 제고 필요

- 우리나라 해양 환경에 적합한 고유의 하중모델 및 신뢰도 기반의 설계기준 개발 및 적용으로 국내 부유식 구조체 건설에서 국외기준 의존시의 부적합성, 비효율성 타파 필요
- 국토교통부 R&D 사업인 초장대교량사업단('08~'15) 등의 사업성과로 케이블교량에 대한 신뢰성기준 설계기준이 개발되었으며 이는 남미 최대 칠레 차카오교, 세계 최대 터키 차나칼레교 등 국내 엔지니어링 및 건설 기업의 세계 장대교량 시장 성공적 진출의 발판이 됨

○ (실증 및 실용화 필요) 성공적인 시장 진입 및 사업을 위해서는 기초 해석 기술 등 요소기술 개발단계에서 발전하여 상업용 부유식 구조체 건설을 위한 실증 및 실용화 단계의 엔지니어링 기술 개발 필요

- 독자 개발 설계기준을 적용한 테스트베드 부유식 구조체 설계를 통한 실증 및 실용화 수준의 핵심 엔지니어링 기술 개발 필요
- 특허 등록 가능한 고유 방식의 부유식 구조체 설계 및 엔지니어링 기술 확보 필요

○ (지속가능 인프라 기술 개발 필요) 사업기간 동안만 사용하는 경제적 목적의 기존 부유식 구조체 기술에서 반영구적으로 지속가능한 인프라구조로서의 역할을 수행할 수 있는 부유식 구조체 기술개발 필요

- 기개발되어 사용중인 연안 해양 구조물 등은 설계 수명 30년 이하의 경제적, 사업적 목적의 구조물이 다수
- 부유식 교량, 접안시설, 활주로 등은 반영구적 인프라구조로서 100년 이상의 설계수명, 친환경, 지속가능 기술로서 개발 필요

5.1.2 기술개발 개요

1) 기술의 정의 및 범위

□ 기술의 정의

○ (개발기술) 해양 환경하중 모델개발, 부유식 구조체 및 무어링(mooring) 기초 성능평가 기술, 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발

□ 기술개발 목표

○ (목표) 환경하중모델, 성능평가기술 및 설계기준 개발을 통한 반영구적 부유식 인프라 구조체에 대한 핵심 엔지니어링 기술개발

2) 추진 전략

○ (핵심 성공 기술) 기존 기초 연구에서 개발된 해석 기술을 최대한 활용하고 설계 기준 등 부유식 구조체 설계에 반드시 필요한 핵심 성공 기술을 중점적으로 개발

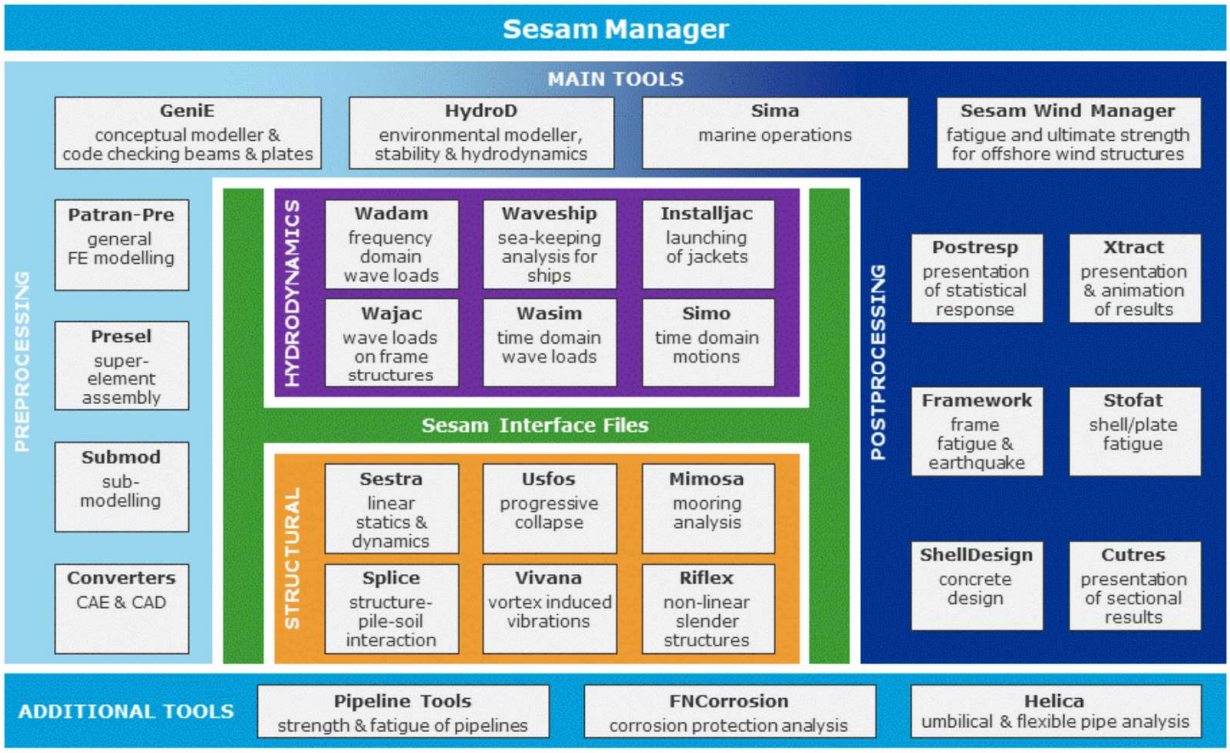
○ (공통 엔지니어링 기술) 교량, 접안시설, 풍력 등 다양한 부유식 구조체 목적물에 공통으로 적용되는 기술을 사업 초반에 개발하여 테스트베드 및 O&M 기술 개발에 적용

○ (성과 공유 및 확산) 개발된 핵심 엔지니어링 기술의 공유 및 확산은 부유식 구조체에 대한 설계 기준 개발 및 공인화로 추진하고, 주요 SW는 오픈소스화 하여 성과 확산 추진

5.1.3 국내외 기술개발 동향

1) 관련 기술개발 및 연구 동향

○ (해석 및 설계 SW 기술) 부유식 구조체 설계를 위한 주요 SW는 유체-바람-구조 상호 작용의 유한요소 해석 프로그램에서 3D 개념 설계, 구조 해석, 시공 단계 해석, 성능 평가를 포함한 전체 lifecycle 에 대한 Full package로 진화



[그림 5-1] DNV사의 Sesam SW Package 구성

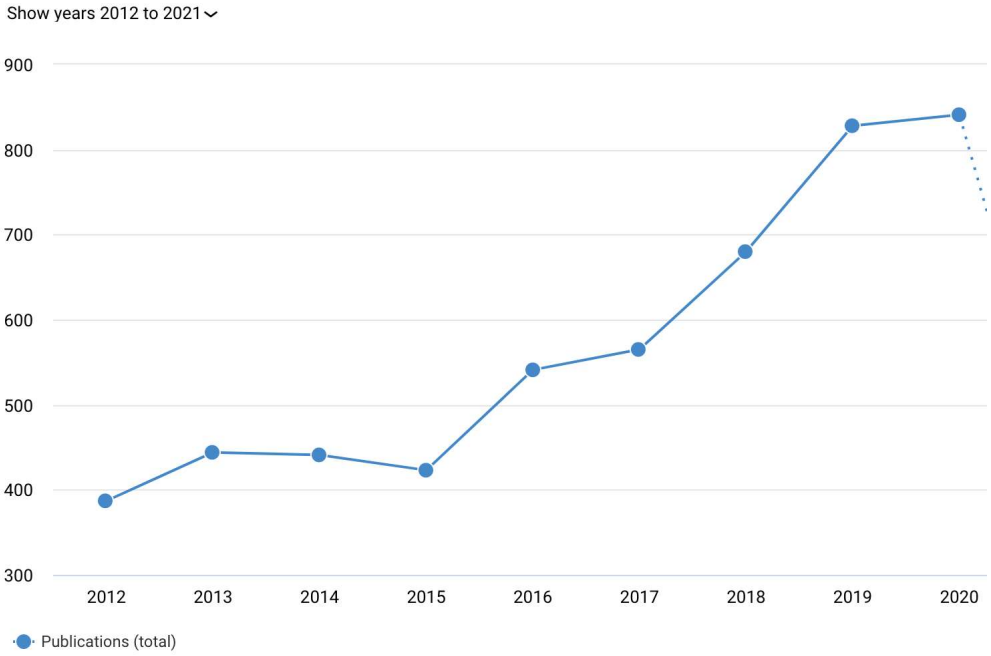
○ (부유식 교량 연구 논문) 부유식 구조체 중 부유식 교량 관련 연구 문헌은 2012년 이후 5500건 이상이 발표되었으며 2015년 이후 급격히 증가하여 2020년에만 800여편 이상의 연구 논문이 발표되고 있는 추세

○ (부유식 교량 연구 동향) 해석 기술은 보다 현실에 가까운 복합적인 효과를 고려한 보다 정밀한 해석 방법이 개발되고 있으며, 설계를 위한 불확실성을 다루는 연구가 진행

- 최근의 부유식 교량의 해석 기법과 관련된 연구에서는 파랑, 조류, 교통, 풍하중 등 하나 이상의 복합적인 하중에 대한 해석 방법들이 제시되고 있음[98)99)]

98) Miao, Yu-ji, et al. "Numerical modeling and dynamic analysis of a floating bridge subjected to wave, current and moving loads." Ocean Engineering 225 (2021): 108810.
99) Dai, Jian, Bjørn Christian Abrahamsen, and Bernt Johan Leira. "Effect of Wave-Current Interaction on Structural Responses of a Very Long and Side-Anchored Floating Bridge." International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Vol. 84331. American Society of Mechanical Engineers, 2020.

- 총연장이 긴 교량에 대해서는 불균질한 파랑 하중(inhomogeneous wave load)의 효과에 대한 연구 결과가 제시됨[100]
- 부유식 교량의 설계에 대해서는 극한 하중의 불확실성에 대한 연구 제시[101]



연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	계
논문 수	387	444	441	423	541	565	680	828	841	403	5553

(출처: dimensions.ai, keyword=floating bridge, field of research=civil engineering)

[그림 5-2] 부유식 교량 관련 연구 논문 수 추이 2012~2020

2) 국내외 기술수준

○ (설계 기준) 해상풍력 부유식 구조체 관련 국제 표준이 IEC(국제전기표준회의) 등을 통해 만들어 지고 있으며, DNV등을 통한 해양 구조 기준이 계속하여 유지 발전 되고 있음.

- 부유식 교량의 경우 미국은 AASHTO LRFD, 유럽은 Eurocode를 근간으로 하여 부유식 교량에 필요한 부분에 대해 DNV등의 항목을 참조하여 설계 기준 적용
- 부유식 풍력의 경우 IEC/TC88에 부유식 해상풍력발전시스템 국제표준개발이 채택되어 우리나라도 참여하는 표준화 작업이 진행 중

100) Dai, Jian, et al. "Inhomogeneous wave load effects on a long, straight and side-anchored floating pontoon bridge." Marine Structures 72 (2020): 102763.

101) Cheng, Zhengshun, Zhen Gao, and Torgeir Moan. "Extreme responses and associated uncertainties for a long end-anchored floating bridge." Engineering Structures 219 (2020): 110858.

○ (해석 기술 및 SW) 상용 부유식 구조 해석 및 설계 SW는 해양 구조물 전문 해석 프로그램인 Orcina사의 Orcaflex, DNV의 Sesam 등 과 고급 구조 해석이 가능한 범용 유한요소해석 SW인 LS-Dyna, Ansys, Abaqus 등이 세계 시장 독점

- 부유식 구조 해석 및 설계가 가능한 국내 개발 상용 및 공개 SW는 없음
- 연구과제를 통해 개발된 특수목적의 전용 해석 프로그램은 존재하나 활용성과 접근성 미비

○ (실험 및 실증 기술) 국내의 실험 및 실증 기술은 축소 모형 실험 수준은 연구된 바 있으나 실규모의 실증 구조체를 통한 기술 검증은 이루어지지 않은 상태

- 풍-파랑 동시 재하 실험 기술은 전세계적으로도 개발 단계에 있는 수준

○ (신형식 시스템) 국외의 경우 고유의 신형식 부유식 구조체를 개발하고 실증, 상용화하고 있으나 국내의 경우 연구 수준으로 제안 개발

WindFloat (미국 MIT)

HyWind (노르웨이 StatoilHydro)

Blue H (네덜란드 Blue H)

링 타입 (프랑스 Ideo)

[그림 5-3] 부유식 풍력 시스템 적용 신형식 부유식 구조체 개발 사례

5.1.4 세부 기술개발 내용

1) (구성기술 1-1) 해양 환경하중 모델 개발

□ 개발목표 및 내용

○ 사용연수 100년을 고려한 교통하중, 파랑, 조류, 바람, 선박충돌 등 극한하중 확률모델 및 통계특성 구축

○ 데이터 기반 인프라 시설물의 설계 재현주기 및 한계상태별 공칭/계수하중 결정

〈표 5-1〉 해양 환경하중 모델 개발 목표

구성기술	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
해양 환경하중 모델 개발	극한하중 확률모델 및 통계특성 구축	설계기준 하중모델 항목 (유/무)	무	유	KDS24 설계기준
	재현주기 공칭/계수하중 결정	설계기준 재현주기 공칭/계수하중 항목 (유/무)	무	유	KDS24 설계기준

2) (구성기술 1-2) 부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술

□ 개발목표 및 내용

○ 파랑하중 및 풍하중의 유탄성/공탄성 주파수 의존성을 고려한 부유식 구조체의 시간/주파수영역 해석기법 개발

- 프로토타입 구조체(부유식교량/부유식풍력터빈) 전체계 해석 및 구조설계 포함

○ 부유식 구조체의 주요 동적 거동 특성 규명

- 내파랑해석, 내풍해석, 내진해석, 차량하중 해석

○ 부유체 및 목적 구조물별 구조체 내풍성 평가를 위한 신개념 풍-파랑 하이브리드 풍동실험법 개발

○ 부유체 지진격리효과 및 내진성능 평가기술 개발

○ 목적 구조물(교량, 풍력터빈 등)별 사용성 평가기술 개발

〈표 5-2〉 부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술	해석기법 및 구조설계	기술수준 (%)	60	100	100
	동적 거동 특성 규명	기술수준 (%)	80	100	100
	하이브리드 풍동실험법	기술수준 (%)	50	100	100
	내진성능 평가	기술수준 (%)	60	100	100
	사용성 평가	기술수준 (%)	30	100	100

3) (구성기술 1-3) 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발

□ 개발목표 및 내용

○ 사회경제적 최적화 기반 목적 구조물별 부유식 구조체의 목표신뢰도지수 결정법 개발

○ 교통하중 및 해양환경하중에 대한 코드캘리브레이션 및 한계상태별 하중조합 개발

○ 파랑하중에 대한 강재 접합부 피로설계법 개발

○ 심해기초 앵커 설계기술 개발

〈표 5-3〉 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발	목표신뢰도지수 결정법	목표신뢰도지수 결정 (유/무)	무	불명	KDS24 적용
	코드캘리브레이션 및 하중조합	신뢰도 기반 계수 및 하종조합 개발 (유/무)	신뢰도 기반 계수 없음	신뢰도 기반 계수 없음	KDS24 적용 신뢰도 기반 계수/조합 KDS24 적용
	접합부 피로설계	기술수준 (%)	80	100	100
	앵커 설계	기술수준 (%)	50	100	100

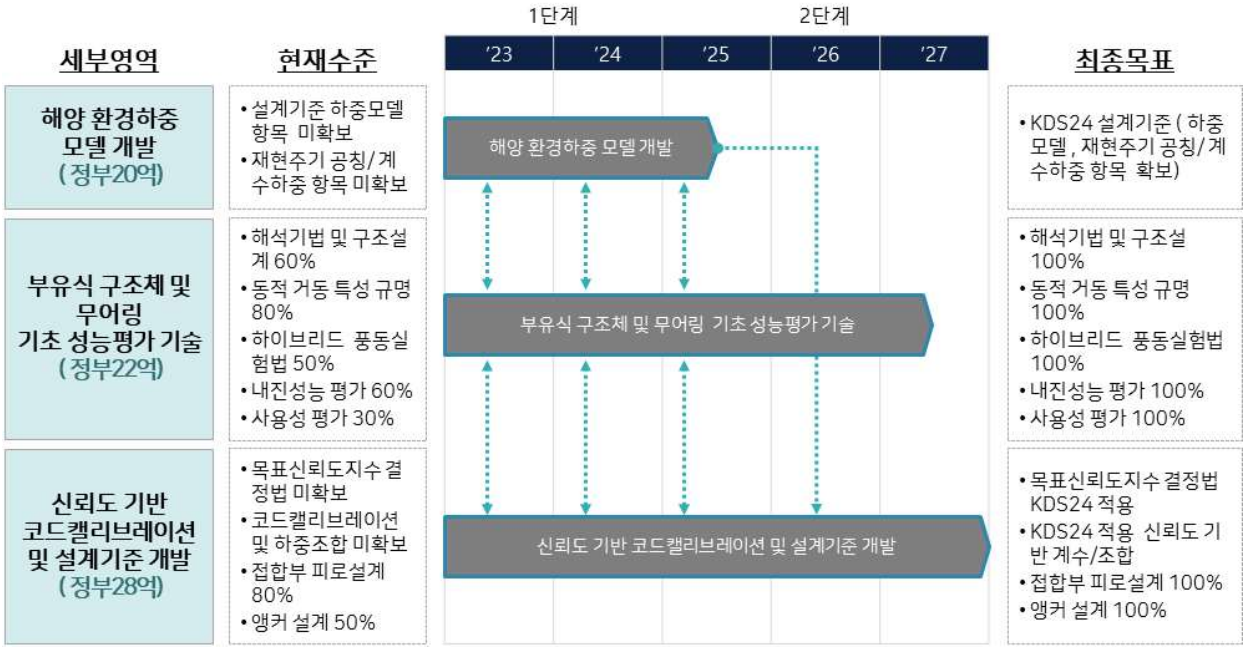
5.1.5 기술 확보 방안

1) 소요 예산

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획					
		'23		'24	'25	'26	'27
		한도내	(한도외)				
합 계							
○ 국 고	11,000	1,600		3,000	3,600	1,700	1,100
(1-1) 해양 환경하중 모델 개발	3,100	600		900	1,200	200	200
(1-2) 부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술	3,600	500		800	800	800	700
(1-3) 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발	4,300	500		1,300	1,600	700	200
기획평가관리비							
○ 민간매칭 등	2,000	300		500	700	300	200

2) 기술개발 로드맵



3) 예상 장애요인

○ 신뢰도 기반 기준 개발에 필요한 통계자료 부족으로 인한 완성도 저하

○ 선진국 비공개 상용 기술 자료 확보 어려움

5.1.6 파급효과

1) 과학기술적 기대효과

○ 세계 최초의 신뢰도 기반 부유식 구조체 설계 기준 개발에 따른 기술 선점 효과 기대

○ 신형식 부유식 구조 시스템 개발 등 따른 독자적 부유체 설계 능력 확보 기대

○ 실증 테스트 베드 설계를 통한 상용화 독자 기술 확보로 부유식 구조체 설계 기술 자립화 기대

○ KDS24 교량설계기준에 부유식 교량 기준 확장으로 표준 기반 기술 확보 및 보급 기대

○ 세계 최고 수준의 하이브리드 풍동실험 기술 개발로 기초 기술 고도화 기대

2) 사회경제적 기대효과

○ 주요 선진국이 점유하고 있는 친환경 부유식 메가 스트럭쳐 기술 시장에 대한 국내 기업의 진입

○ 국제선도 수준의 초장대교량 기술을 토대로 부유식 구조체 기술을 단기간에 확보하여 향후 노르웨이 E39 프로젝트 등 글로벌 메가 인프라 건설시장 마켓쉐어 확보

○ 지진에 대해 격리된 구조형식으로 주요 재난에 강인한 특성을 지니고 있어 회복탄력적(resilient)이며, 지구 온난화에 의한 수면 상승으로 인한 영향을 덜 받는 지속가능(sustainable)한 기술

○ 대규모 매립이나 굴착 없이 교량, 항만, 에너지 단지 등의 건설이 가능하므로 건설비용 절감, 환경 파괴 최소화 기대

○ 부유식 신형식 구조체로의 건설 시장 확대를 통한 설계 기술 분야의 건설 엔지니어링 분야 일자리 창출

5.2 경량 내해수 기능성 신소재 개발

5.2.1 기술개발 배경 및 필요성

1) 현안 및 이슈

○ 철근 콘크리트 구조는 우수한 접근성, 경제성 등으로 가장 널리 쓰이는 건설재료이며 우수한 성형성을 기반으로 유연한 곡선을 포함한 다양한 형태로 설계되어야하는 장대교량의 제작에 있어 이점을 지님

○ 낮은 자중을 요구하는 초고층빌딩과 초장대교량 등 사회구조시설물이 지속적으로 발전하고있는 현 시점에서 본질적으로 중량이 큰 철근 콘크리트 구조는 초경량으로 제작하기에는 한계점이 분명함

- (경량 콘크리트 연구 동향) 철근 콘크리트 구조의 자중 저감을 위해 다양한 경량 골재를 사용한 경량 콘크리트의 개발이 국내외적으로 진행

○ 해양 환경은 극심한 부식환경이므로 강구조물 사용시 중방식 코팅 등 방식처리가 필수이나 해상교량 등 장수명화 추세에 따라 내구수명 30~50년 중방식 코팅으로는 한계가 있으므로 강재 자체의 내식성을 향상시킬 필요가 있음.

- 최근 항만 강관파일을 중심으로 강재에 내식성 성분을 보강하여 해수환경에서 부식이 느리게 진행되는 내해수강의 적용이 확대되고 있음

○ 해양환경에서는 다양한 하중이 반복적으로 작용하고 있으므로 균열을 억제하는 차원에서 저온에서 인성을 확보하는 고강도 강재를 적용하고 있고 이에 대한 성능보증을 강화하는 추세

2) 기술개발 필요성

○ 철근 콘크리트 구조의 근본적인 고중량, 인력작업의 필요 및 염화물 침투로 인한 중성화 등으로 해상교량의 건설에 있어 특별한 주의를 요함

○ 자중의 경감을 위해 경량 콘크리트는 밀도가 낮은 경량 골재를 사용하며 이는 필연적으로 낮은 압축강도를 수반함

- (기존 경량 콘크리트의 압축성능 한계) 기존 경량 콘크리트는 다공성 경량 골재의 사용으로 일반 콘크리트보다 낮은 압축강도를 발현

○ 경량 골재는 특유의 다공성으로 구조부재의 내구성능을 저하시키는 한계점을 지님

- (기존 경량 콘크리트의 내구성능 한계) 일반 콘크리트의 물-시멘트 비와 다공성 경량 골재의 사용은

염화물 침투에 취약하며 현실적으로 해상 교량으로서의 사용이 불가능

○ 위 제반사항들을 고려하여 고강도와 경량을 동시에 만족시키며 염화물에 대한 내구성을 지닌 기능성 신재료의 개발 및 적용이 필요함

○ 해양 환경 구조물에서는 경량 구조 실현을 위해 다양한 해양 플랜트를 통하여 재료의 신뢰성이 검증된 강재를 적용하는 것이 일반적임. 반영구+경량 구조물 실현을 위해서는 해수 환경 下에서도 내부식성을 보유하고 고강도 특성을 갖는 강재 개발이 필요함.

5.2.2 기술개발 개요

1) 기술의 정의 및 범위

□ 기술의 정의

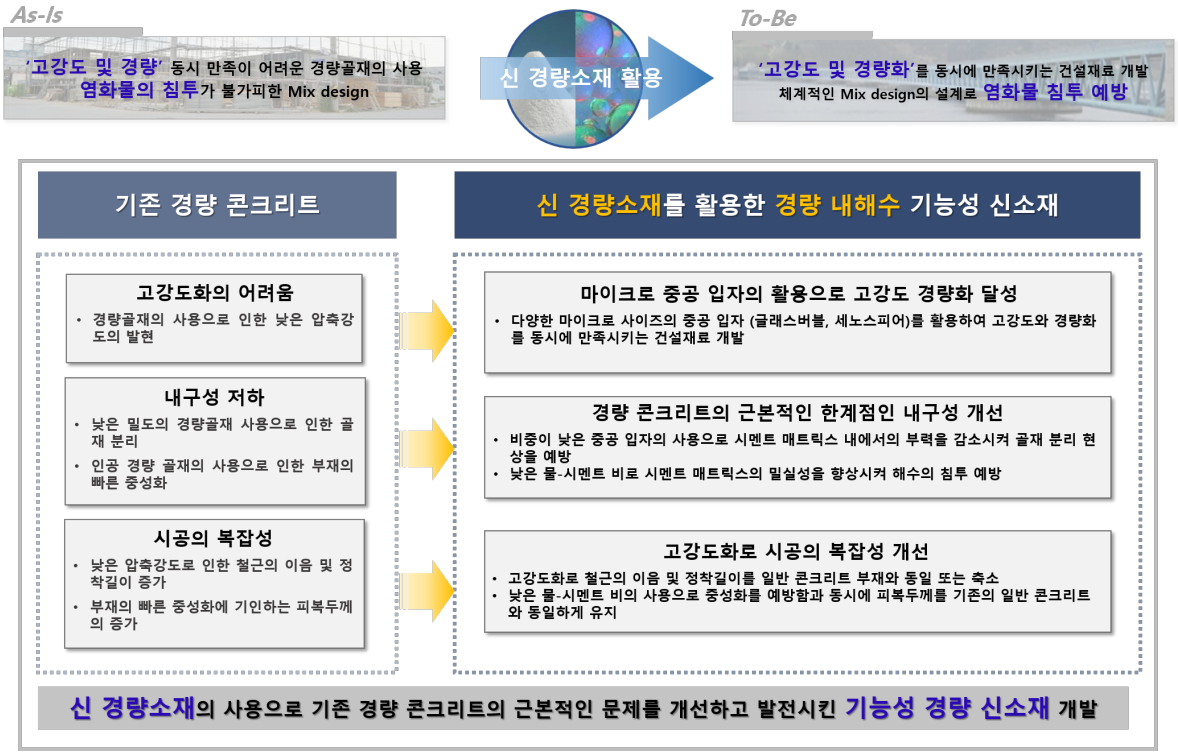
○ (개발기술) 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술개발, 고강도 내해수강 활용기술 개발

□ 기술개발 목표

○ (목표) 비중 2.0, 강도 100MPa 수준 초경량 고강도 콘크리트 및 인장강도 600MPa, 일반강재 대비 내부식성 60% 이하 수준의 고강도 내해수강 개발

2) 추진 전략

○ 경량 기능성 내해수 신소재 개발 과제의 추진 방향은 아래 그림과 같음



[그림 5-4] 경량 기능성 내해수 신소재 개발 추진전략

5.2.3 국내외 기술개발 동향

1) 관련 기술개발 및 연구 동향

○ 국내외 관련 기술 개발 및 연구동향은 아래와 같음

〈표 5-4〉 국내 관련 기술 개발 연구 및 동향

연번	부처명	사업명	과제명	예산(억원)
1	국토교통부	건설기술연구사업	80 MPa~180 MPa 급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델, 지침 개발	221.6
2			고성능 다기능 콘크리트 개발 및 활용기술	126.3
3			나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼 나노 콘크리트 기술개발	142.7

○ 80 MPa~180 MPa 급 맞춤형 SUPER Concrete의 제조기술 및 재료모델, 지침 개발

- 해당 연구는 건설생산성 향상을 목표로 하는 고강도 경량 콘크리트를 개발하는데 목적을 두며 선행연구로서 참고할 가치가 있으나 본 과제는 목표와 같이 내해수성의 기능을 포함한 초경량성을 목표로하

는 점에서 차별성이 있음

○ 고성능 다기능 콘크리트 개발 및 활용기술

- 해당 연구는 고강도 콘크리트를 개발하고자 하여 본 과제와 유사성이 있지만 본 과제에서 적용을 목표로 하는 초경량에 관한 시도가 이루어지지 않았다는 점 및 부유식 구조물에 적용을 목표로 하는 본 과제와 차별성이 있음

○ 나노기술을 활용한 다기능 경량 하이퍼 나노 콘크리트 기술개발

- 해당 연구는 단위용적중량 1.6 tf/m^3, 압축강도 80 MPa 의 고강도 경량 콘크리트를 개발하는 것이 목표이고 본 과제에서 목표로 하는 부유식 구조체 건설을 위한 특징, 즉 내해수성에 대한 평가가 고려되어 있지 않고, 적용하려고 하는 신소재인 중공 마이크로 입자의 검토 및 적용이 반영되어 있지 않다는 점에서 본 과제와 차이점이 있음.

〈표 5-5〉 국외 관련 기술 개발 연구 및 동향

연번	저자	과제명
1	Krakowiak et al.	Engineering of high specific strength and low thermal conductivity cementitious composites with hollow glass microspheres for high-temperature high-pressure applications
2	Brooks et al.	Comparative study of the mechanical and thermal properties of lightweight cementitious composites
3	Dixit et al.	Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal insulation

○ Engineering of high specific strength and low thermal conductivity cementitious composites with hollow glass microspheres for high-temperature high-pressure applications

- 해당 논문은 마이크로 사이즈를 갖는 중공 입자를 사용하여 낮은 열전도성을 갖는 경량 시멘트 복합체를 개발하였으며 중공 입자가 포함된 시멘트 복합체의 밀도-열전도율-압축 강도 간의 상관관계를 밝힘으로써 **본 과제의 선행연구로서 참고할 수 있음**

○ Comparative study of the mechanical and thermal properties of lightweight cementitious composites

- 해당 논문은 다양한 마이크로 사이즈의 중공입자의 파괴율과 압축강도간의 상관관계를 파악하였으며 본 과제에서 개발할 **경량 신소재의 Mix proportion 설계 시 참고할 수 있음**

○ Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal insulation

- 해당 논문은 발포폴리스티렌폼을 이용하여 경량콘크리트를 제작하였으며 CT 실험을 통해 분산도를 시각화하였으며 본 과제의 **분산도 평가 방식에 참고할 수 있음**

○ 내해수강 관련 기술개발 및 연구동향

- 국내에서 비말대에서 내식성이 향상된 인장강도 500MPa급 내해수강이 개발되어 주로 항만 강관파일과 시트파일에 사용 중에 있음
- 해외에서는 대표적으로 인장강도 500MPa급 ASTM A690이라는 내해수강이 있는데 시트파일에만 제한적으로 사용되고 있고 일본에서는 조선용 해수배관으로 인장강도 400MPa급 내해수강을 사용하고 있음
- 최근 유럽에서도 해중부에서 내식성이 강화된 인장강도 500MPa급 내해수강이 개발되었으며 항만 시트파일에 적용하려는 시도를 하고 있음
- 현재까지 내해수강은 강도 향상 보다는 주로 해양 환경별(비말대, 해중부 등) 내식성 향상에 초점을 두고 개발되었으며 항만 구조물, 해수배관에 국한하여 적용함

2) 국내외 기술수준

○ 국내외 기술을 분석한 결과 기존의 경량 콘크리트는 경량골재의 본질적인 특성으로 고강도와 경량을 동시에 만족시키기에 한계점이 있음

○ 또한 기존의 경량 콘크리트의 경우 다공성 경량골재의 사용으로 해수와의 접촉 시 시멘트 매트릭스가 내포하고 있는 공극으로 염화물이 침투하여 빠르게 중성화되는 한계점을 지님

○ 내해수강 기술수준

- 국내외 주요 내해수강의 특징은 표와 같은데 대부분 인장강도 500MPa 수준이며 저온인성 보증수준이 높지 않기 때문에 주로 항만 구조물에 사용되고 있으며 해양 부유식 구조체에 내해수강이 적용된 사례는 없음

〈표 5-6〉 주요 내해수강 특징

구분	국내	해외		
	KS-HSM380	ASTM A690	MSSMC Mariloy	Arcelormittal AMLoCor355
기계적 성질	항복강도 380MPa 인장강도 500MPa	항복강도 345MPa 인장강도 485MPa	항복강도 245MPa 인장강도 400MPa	항복강도 355MPa 인장강도 500MPa
내식성	비말대 내식성 향상	비말대 내식성 향상	해수배관용	해중부 내식성 향상
저온인성	47@-5℃	-	-	27@0℃
용도	항만 강관파일 시트파일	항만 시트파일 H파일	조선용 해수배관	항만 시트파일

5.2.4 세부 기술개발 내용

1) (구성기술 2-1) 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발

□ 개발목표 및 내용

○ 탄소중립형 콘크리트의 경량화, 고강도화 및 장단기 성능평가 기술개발

- 목표 단위중량 2.0 tonf/m^3
- 목표 압축강도 100 MPa

○ 경량 복합소재 적용기술 개발

- (경량골재의 내하성능 한계점 극복) 경량골재는 다공질 구조로 인해 구조물이 요구하는 설계하중을 내하하는데 어려움이 있으나 본 과제에서는 중공 입자를 사용하여 구조물이 요구하는 설계하중을 내하할 수 있는 경량 신소재 개발하고자 함
- (경량골재의 골재분리 해결) 경량골재의 다공질 구조는 낮은 비중으로 인하여 시멘트 매트릭스 내에서 부유하며 재료분리 현상을 야기하지만 부력이 작은 중공 마이크로 입자의 사용으로 골재분리를 해결하고자 함
- (시멘트 매트릭스의 밀실화) 물-시멘트 비가 낮은 Mix proportion의 설계로 시멘트 매트릭스의 밀실화를 통해 염화물 침투를 예방 및 골재분리 현상 예방

〈표 5-7〉 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 압축강도	압축강도	45 MPa	90 MPa	100 MPa
	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 밀도	밀도	1.7 tf/m^3	2.1 tf/m^3	2.0 tf/m^3
	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 흐름성	작업성	-	-	180 mm
	시멘트 복합체 내에서의 중공입자 분산성	분산성	-	-	80 %

2) (구성기술 2-2) 고강도 저온인성 내해수강 활용기술 개발

□ 개발목표 및 내용

○ 해양환경 고강도 내해수강 개발 및 적용성 연구

- 목표 인장강도 : 600MPa (현행 500MPa)
- 목표 강종 : 후판 (현행 500MPa는 열연 코일)
- 목표 내부식성능 : 일반강 대비 부식속도 60% 미만

○ 내해수강의 성능평가

- CCT(Cyclic Corrosion Test) 및 장기 폭로시험을 통한 해수 내구성 및 부식성능 평가
- 내식성 용접재료 활용 용접부 내식성 평가
- 도장 스크래치 부식시험을 통한 도장 손상부 보호 효과 평가
- 압축, 휨, 전단, 접합부, 피로, 좌굴 등 구조성능 평가
- 공진 휨실험 등을 통한 내피로성능 평가

〈표 5-8〉 고강도 내해수강 활용기술 개발 성능목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
고강도 내해수강 활용기술 개발	해양환경 고강도 내해수강 개발 및 적용성 연구	내해수강 인장강도	500MPa	500MPa	600MPa
		내해수강 저온인성	47J@-5℃	27J@0℃	47J@-20℃
	내해수강의 성능평가	CCT를 통한 내식성	일반강 대비 60% 수준	일반강 대비 60% 수준	일반강 대비 60% 이하

5.2.5 기술 확보 방안

1) 소요 예산

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획					
		'23		'24	'25	'26	'27
		한도내	(한도외)				
합 계							
○ 국 고	4,000	500		1,100	1,300	700	400
(2-1) 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발	2,000	250		550	650	350	200
(2-2) 고강도 저온인성 내해수강 활용기술 개발	2,000	250		550	650	350	200
기획평가관리비							
○ 민간매칭 등	1,600	200		500	500	300	100

2) 기술개발 로드맵

3) 예상 장애요인

○ 중공 입자를 포함한 시멘트 매트릭스 제작 시 비중이 작은 중공입자의 다량 혼입으로 인한 작업성능 저하

- (작업성능의 개선) 고성능감수제의 함량 증진 및 나노버블수의 사용으로 작업성능 개선 방안 마련

○ 실리카퓸, 석영질 등 다양한 원재료로인한 단가 상승

- (단면의 축소로 인한 감가) 경량 신소재 활용 시 높은 압축강도로 단면의 획기적인 축소로 설계 비용 절감 방안 마련

○ 내해수강의 장기폭로시험

- 해수에 직접적으로 2년 이상 노출시켜서 시험평가를 해야 하므로 충분한 시간과 비용 투입 필요

5.2.6 파급효과

1) 과학기술적 기대효과

○ 부유식 해상교량 뿐만 아니라 초고층빌딩 및 초장대교량 등 얇은 단면을 요구하는 구조물의 건축 및 건설에 있어서 적합한 신소재 기반 건설재료로서의 적용 가능성

○ 경량 콘크리트의 가장 큰 문제점인 재료분리 현상에 대한 작용기작을 밝히고, 이를 방지하기 위한 매트릭스 유변학적 특성 기반 재료 설계법의 제안이 가능할 것으로 기대되며, 이는 국제적으로도 새로운 재료설계표준이 될 수 있음

○ 중공 입자의 다량 혼입으로 부재 내부에 다량의 공기층을 보유하게되며 내외부간의 열전도율을 낮춰 매우 우수한 단열성능을 확보할 수 있음

○ WB급 고강도 내해수강 및 용접재료 등 고성능 재료를 활용하여 해양 인프라 및 플랜트 분야의 구조설계 경쟁력 향상에 기여

2) 사회경제적 기대효과

○ 초고강도 경량 신소재로 설계된 사회구조시설물의 랜드마크화로 고강도 경량 건설재료 분야에서 세계시장 선도

○ 현재 침체되어있는 건설산업의 생산성 향상을 위한 혁신 기술로서 국내 건설산업 활성화의 초석으로서의 역할

○ 해양 강구조물의 신뢰도 향상 및 장수명화를 통하여 LCC 관점에서 비용 절감

5.3 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증

5.3.1. 기술개발 배경 및 필요성

1) 현안 및 이슈

○ 부유식 구조체의 시공환경은 일반적인 육상 환경과는 다르게 파랑, 바람 등 외부 교란이 상존하는 불안정한 조건이기 때문에 시공의 난이도가 높으며 시공정밀도 확보가 어려움.

○ 수중 및 해저 환경에서는 GPS 활용이 곤란하고 충분한 시야 확보가 되지 않는 경우도 많아 가설 중 정밀한 위치 제어가 어려움.

○ 조수 간만의 차가 큰 지역에서는 시공 중 및 사용 중 수위변동에 대한 대책이 필요함.

2) 기술개발 필요성

○ 본 사업의 성공적 실용화 달성을 위해서는 엔지니어링, 신소재, O&M 기술과 더불어 가설기술이 필수적으로 함께 개발되어야 함. 가설기술은 타 세부과제의 연구개발의 성과를 실증하고, 실제 현장 적용에 필요한 기술을 개발하는 분야이므로 사업성과의 활용을 통한 부가가치 창출을 위해 필수 불가결한 요소임.

○ 본 세부과제에서는 가설기술의 개발과 함께 테스트베드 검증을 수행하고자 함. 이를 통해 타 세부과제의 연구 성과에 대한 개선사항 등을 이끌어 낼 수 있으며, 더욱 완성도 높은 연구성과를 도출할 수 있음.

5.3.2 기술개발 개요

1) 기술의 정의 및 범위

□ 기술의 정의

○ (개발기술) 부유체 가설 제어기술 개발, 확장형 모듈러 부유 구조체(SMFS) 기술, 목적 구조물 테스트베드 검증

□ 기술개발 목표

○ (목표) 부유식 교량 위치 제어 및 형상관리 기술을 통한 확장형 모듈러 부유 구조체 개발 및 테스트베드 건설

2) 추진 전략

○ (수행기관) 연관 기술을 보유하고 있는 기관 및 향후 개발기술 활용 시장진출이 가능한 기관과의 협력을 통하여 단기간에 필수적인 기술 위주의 개발 추진

○ (테스트베드 적용을 통한 검증) 개발 기술의 활용을 주도할 기업체(건설사, 중공업사 등)가 참여하여 민간수요에 기반한 목적물을 제안하고 테스트베드 구현을 적극적으로 주도하도록 추진

5.3.3. 국내외 기술개발 동향

1) 관련 기술개발 및 연구 동향

○ (싱가포르 해양기술센터) 국가 R&D 센터(해양기술센터, TCOMS, Technology Centre for Offshore and Marine, Singapore) 구축을 통한 부유식 구조체 연구 수행 중

- ‘16년 3,000m 대수심 모사가 가능한 차세대 Deepwater Ocean Basin (DOB)을 갖추고 국토확장, 해수면 활용 등을 위한 부유식 구조체 연구 수행 중.
- 이 DOB는 3000m의 대 수심을 모사하는 50m 깊이의 대형 수조로서 다양한 파를 생성할 수 있는 첨단 수조임. 스마트 센싱 및 데이터 분석능력을 가지고 있어 이 분야의 기술을 한 단계 끌어올릴 것으로 기대,

(a) 싱가포르 Deepwater Ocean Basin(DOB)

(b) 싱가포르 해양기술센터 (TCOMS)

[그림 5-5] 싱가포르 해양기술센터 및 차세대 대수심 조파수조

○ (영국의 부유식 풍력단지 Hywind) 상용가동 중인 부유식 해상풍력 단지

- Hywind Scottland는 스코틀랜드 동부 Peterhead 해안에서 약 29km 떨어진 해상에 설치된 30MW 규모의 Hywind 부유식 풍력단지로 2017년 10월 18일 상용가동 시작.
- 이 풍력터빈들은 노르웨이의 해안에서 제작된 뒤 해상으로 이동하여 최대수심 약 129m 지점에 설치됨.

(a) 노르웨이 해안에서 제작 중인 풍력터빈 (b) 설치를 위해 인양 중인 풍력터빈

[그림 5-6] 영국의 부유식 풍력단지 Hywind

○ (현대건설) 싱가포르의 부유식 구조물 신시장 진출을 적극 추진 중

- 현대건설은 2015년부터 싱가포르 부유식 구조물 시장확대를 위해 싱가포르 NTU(Nanyang Technology University)에 국내 건설기업 최초로 공동연구센터(NTU-Hyundai Urban System Centre)를 설치하고 부유식 구조물 설계 및 시공 핵심기술 확보를 추진해 왔음.
- 이 기술을 바탕으로 2019년 싱가포르 해양항만청이 발주한 부유식 계류장 실증사업 1단계 상세설계를 수주하는 등 부유식 구조물 신시장 진출을 적극 추진 중. 이 사업은 선박 계류 시 해양 점유면적을 최소화하고 이동이 가능한 계류시설을 개발, 실증하는 프로젝트로 1단계 상세설계, 2단계 실증 시공사업으로 구성됨.

2) 국내외 기술수준

○ 초대형 부유식 해상구조물 기술개발 (해양수산부, 1999-2007)

- 구조 및 계류시스템 설계기술 및 SW 개발, 유탄성응답 해석기법 개발 및 성능 고도화, 성능평가 모형실험 수행, VLFS용 설계규정 및 기술도서 발간, DB관리시스템/설계통합시스템 VADA 개발 등을 수행하였으나 모형실험 및 실증구조물 설계, 가상목업 구축까지만 수행되고 테스트베드 구현은 포함되지 않았음. 가설기술은 비중있게 다루어지지 않았음.

○ 콘크리트 부유식 해상 인프라 건설기술 개발 (지식경제부, 2011-2014)

◆ 파랑운동 저감형 하이브리드 부유구조체 형상개발, 단면력 최소화 구조시스템 개발, 하이브리드 부유구조체 지능형 구조설계 및 안전성 등 주로 신형식 부유체 개발 및 설계기술에 초점이 맞춰져 있었으며, 최종 성과물로 Pilot poject 설계를 제시하였음. 테스트베드 구현은 포함되지 않음.

○ 스마트 수중터널 시스템 연구센터 (과학기술정보통신부, 2017-2024)

◆ 해석 및 설계, 재료 및 시공, 안전 및 유지관리의 세 분야로 구성되어 연구 진행 중이며, 재료 및 시공 분야에서 연속 타설공법, 수중 부재위치 인식기술 등을 개발하고 있으나, 산업계 및 엔지니어링 업계와의 연계를 통한 테스트베드 구현은 포함되어 있지 않음.

○ 거가대교 침매터널 시공 (대우건설)

가덕해저터널은 육상에서 제작한 침매함(터널 구조물)을 바다로 예인해 목표 지점에 가라앉힌 뒤 바다 속에서 접합하는 방식으로 건설했다.

2007년 경남 통영의 침매 터널 제작 현장에서 길이 180m짜리 침매터널함을 물에 띄워 예인선을 통해 해상으로 운송하고 있다. /연합뉴스

(a) 시공개념도 (b) 운송 중인 침매터널 모듈(침매함)

[그림 5-7] 거가대교 침매터널 시공

5.3.4. 세부 기술개발 내용

1) (구성기술 3-1) 부유체 가설 및 제어기술

□ 개발목표 및 내용

○ 대배수량 부유체 운송 기술

○ 부유체 모션 저감기술

- 요동 저감형 부유체 형상개발, Mooring 케이블 배치설계 및 수리모형실험 검증

○ 시공/운용 중 부유체 위치/모션 제어 기술

- 부유체 위치제어 기술 / ballast 조절 및 부력제어 기술 / Tether 케이블 장력제어 기술

〈표 5-9〉 부유체 가설 및 제어기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
부유체 가설 및 제어기술 (3-1)	대배수량 부유체 운송기술	인양속도	4knot - 4.7만톤	-	기존 대비 120%
	부유체 모션 저감기술	파고 대비 부유체 요동	-	-	기존 대비 85%
		Mooring 케이블 장력저감	-	-	기존 대비 85%
	시공/운용 중 부유체 위치/모션 제어기술	기술수준 (%)	60	100	100

2) (구성기술 3-2) 확장형 모듈러 부유 구조체(SMFS) 기술

□ 개발목표 및 내용

○ 확장형 모듈러 부유 구조체(Scalable Modular Floating Structure) 제작 기술

- 모듈분할 엔지니어링, 생산, 운송, 조립 기술 포함

○ 모듈간 고성능, 고효율 접합 시스템 기술

○ 목적 구조물별(교량, 풍력터빈, 접안시설 등) 목표 변위 성능 결정

- 변형수용적 부유 시스템 상세 및 앵커형식 검증
- 무어링시스템-부유체간 연결기술 개발

〈표 5-10〉 확장형 모듈러 부유 구조체(SMFS) 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
확장형 모듈러 부유 구조체 (SMFS) 기술 (3-2)	SMFS 제작기술	기술 완성도 (%)	-	-	100
	모듈간 접합 시스템 기술	접합부 수밀성 내구연한	-	-	SMFS 본체 동등 이상
		접합부 휨성능	-	-	SMFS 본체 동등 이상
	변형 수용적 시스템 기술	기술 완성도 (%)	-	-	80
	무어링 시스템-부유체간 연결기술	기술 수준 (%)	80	100	100

2) (구성기술 3-3) 목적 구조물 테스트베드 검증

□ 개발목표 및 내용

○ 민간수요 기반의 목적 구조물 선정

○ 공통 핵심엔지니어링 기술 적용 및 검증용 테스트베드 구축 및 성능평가

- 부유식 기초의 보행자 및 자전거 전용 실교량

  * 총연장 100m 내외, 폭원 2m 이상, 지자체 및 건설사 협업, 건설 후 영구 설치 운영

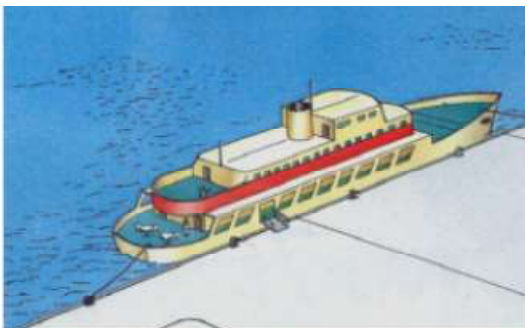
- 접안용 모듈러 부유식 구조체 실증 모형

  * 총 면적 10m x 25m 이상, 기술 실증 임시 구조물, 사업 후 육상 이송 폐기

〈표 5-11〉 목적 구조물 테스트베드 검증 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
목적 구조물 테스트베드 검증 (3-3)	테스트베드 검증	테스트베드 공정률	-	-	100%
		테스트베드 검증 기술 성능지표 달성률	-	-	100%

(a) 부유식 (케이블지지) 보행교



(b) 모듈러 부유식 접안시설

[그림 5-8] 부유식 구조체 Test Bed (안)

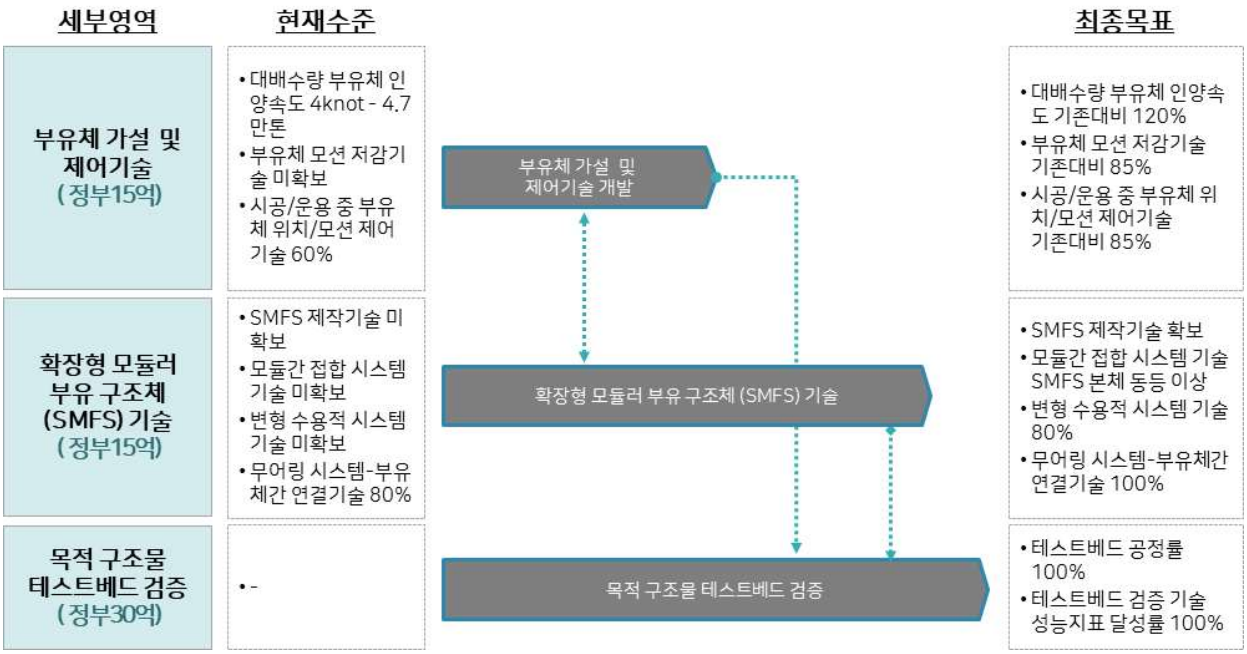
5.3.5. 기술 확보 방안

1) 소요 예산

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획					
		'23		'24	'25	'26	'27
		한도내	(한도외)				
합 계							
○ 국 고	8,000	1,300		2,300	2,500	1,100	800
(3-1) 부유체 가설 및 제어기술	2,000	550		400	450	350	250
(3-2) 확장형 모듈러 부유 구조체(SMFS) 기술	2,000	550		400	450	350	250
(3-3) 목적 구조물 테스트베드 검증	4,000	200		1,500	1,600	400	300
기획평가관리비							
○ 민간매칭 등	3,200	500		900	1,000	500	300

2) 기술개발 로드맵



3) 예상 장애요인

○ T/B는 연구비에서 설계/시공비를 일부 지원하지만, 지자체 등의 예산 협조가 없이는 구현이 어려움. 추진 의지가 있는 지자체 발굴 및 적극적인 협조가 뒷받침 되어야 구현 가능함.

○ 적극적인 T/B 추진의지, 사업화 의지, 자체 투자의지 및 기술력이 뒷받침 되는 기관을 선정하여야 함.

○ 기간 내 T/B구현까지 완료되기 위해서 (3-1) 및 (3-2)는 단기간(초반 3년 내)에 기술개발이 완료되어야 함. 인력 및 비용의 초기 집중투자가 되지 않으면 진행이 어려울 수 있음.

5.3.6 파급효과

1) 과학기술적 기대효과

○ 해양 도시 등 미래사회 건설을 대비한 기술이며, 디지털 설계 및 제작, 생산기술인 프리팹(prefabrication) 및 모듈러(modular) 기술은 건설산업 디지털 전환의 선도 기술 역할 수행

○ 효율적인 가설, 운용, 장수명화에 필요한 첨단기술을 집약하여 해당 기술분야의 최고수준을 구현할 것이며, 이는 세계시장 진출의 발판이 될 것으로 기대

2) 사회경제적 기대효과

○ 대수심 횡단이 필요한 교량건설, 대규모 매립이 필요한 공항, 단지 건설, 대규모 굴착이 필요한 터널건설에 비하여 공사비 및 시공기간에서 경제적 우위에 있으며, 확장이나 이동설치가 가능.

○ 디지털 엔지니어링 기술을 통한 부유식 구조물 건설은 제작 및 가설단계의 원가절감 및 고품질 모듈러 구성품 제작을 가능하게 함으로써, 이를 활용한 친환경 인공 경량골재, 초고성능 콘크리트, FRP, 고강도 내해수성 강재 등 부유식 구조물용 신소재 적용에 따른 고성능 Mega-float 시스템 개발을 통한 고부가가치 건설 산업의 토대가 될 것으로 기대.

○ T/B 구현을 통해 개발기술의 검증이 가능하며, 이를 토대로 기존 시장진출 및 신규시장 창출이 가능할 것으로 기대.

5.4 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발

5.4.1. 기술개발 배경 및 필요성

1) 현안 및 이슈

○ 주요 선진국들은 부유식 구조체 기반기술 및 유지관리기술의 개발 필요성을 인식하고 적극적으로 연구개발에 투자

○ 우리나라의 경우, 부유식 구조체 연구는 기초학술연구에 머물고 있어 국제 시장에서 부유식 구조체 기반기술 및 유지관리기술을 선점하여 점유율을 확보해나가기에는 미흡한 실정

○ 부유식 구조체를 실제 건설 환경에 실용화하기에는 아직 해양 환경 특수성을 고려한 센서기술, 구조물 리스크 평가기술, 유지관리기술 등의 기술개발이 부족

2) 기술개발 필요성

○ 국제선도 수준의 초장대교량 기술을 기반으로 단기간에 부유식 구조체 기술을 확보하는 것이 가능함에 따라 센서기술, 리스크 평가기술, 유지관리기술 개발의 병행이 필요

○ 부유식 구조체 유지관리기술을 확보하기 위해서 센서 기술이 선행되어야 하고, 이에 따른 최적 센싱 항목 도출, 해상 환경 특수성을 고려한 고정밀도의 무선센서 기술, IoT 기반 실시간 모니터링 기술의 개발 필요

○ 불확실성이 큰 해양 환경이 유발하는 외부하중 데이터와 구조물의 계측 데이터의 동화, DB 구축 및 실시간 응답 예측기술의 필요

○ 부유식 구조물의 복잡도 증가, 해상 재난의 극한 하중로 인한 구조물 통합 생애주기 리스크 관리의 필요

○ 직접 점검이 어려운 심해 환경의 특성으로 인해 UAV, 로봇을 이용한 스마트 유지관리기술의 개발이 필요

5.4.2 기술개발 개요

1) 기술의 정의 및 범위

□ 기술의 정의

○ (개발기술) 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술, 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크, 로봇기반 스마트 유지관리 기술개발

□ 기술개발 목표

○ (목표) 해상 센서/모니터링, 통합 생애주기 리스크 평가, 로봇기술 적용을 통한 리스크기반 스마트 팩토리형 운영 및 유지관리 기술개발

2) 추진 전략

○ (해상용 센싱 및 모니터링 기술) 해상용 센서들의 최적화된 대상과 위치를 도출하여 부유식 구조체의 운영 및 유지관리를 위해 필요한 효율적인 건전도평가가 가능하도록 함

○ (해양환경 데이터 동화 기술) 해양 환경과 상호작용하는 구조물의 계측데이터의 DB를 구축하고 디지털 트윈에 실시간 반영

○ (해양환경 데이터 동화 기술) 해양 환경이 유발하는 불확실한 데이터의 실시간 수집이 가능하도록 하여 기존 계측데이터를 활용한 해석모델과의 상시 동화 구현

○ (리스크 평가 프레임워크) 리스크 인지-결합-추론 개념의 도입을 통한 부유식 구조체의 생애주기 리스크 관리 프레임워크 제안

○ (로봇기반 스마트 유지관리 기술) 부유 환경과 심해 환경의 특성을 고려한 로봇검사장비 및 원격제어기술 개발

○ (성과 공유 및 확산) 개발된 유지관리 프레임워크의 공론화를 통해 정부, 민간, 시민을 포함한 여러 이해관계자들의 합의를 도출하고, 가이드라인을 제시하여 기술의 재생산이 가능하도록 추진

5.4.3. 국내외 기술개발 동향

1) 관련 기술개발 및 연구 동향

○ 부유식 구조물을 실제로 구현하는 기술은 노르웨이, 일본, 싱가포르 등에서 개발

○ 특히 노르웨이는 예전부터 피오르드라는 지형적 특성으로부터 부유식 구조물의 필요성을 느끼고 실제 구조물로써 기술의 실증을 이루어냄

○ 기술 실증의 과정에서 해양환경 매니지먼트, 유체역학, 풍공학, 구조 엔지니어 등 다양한 전문가들의 참여로 리스크분석과 선박충돌에 대한 응답해석을 수행함

○ 컴퓨터 구조모델 시뮬레이션을 기반으로 한 응답 모니터링, 변위 및 응력 센서의 적용 등 부유식 구조물 O&M에 관한 연구도 활발히 진행 중

2) 국내외 기술수준

□ 국내 기술수준

○ 부유식 해양구조물에 관한 연구 (신현경, 1995)

◆ 해양 구조물에 작용하는 유체하중에 대한 운동응답을 수치계산하는 프로그램을 구축하였음

◆ 광학계측 장치를 사용해 유체탄성 거동 실험을 실시함

◆ 부유식 해양구조물의 보수 유지 기술개발의 필요성을 역설하였지만, 구체적인 프레임워크를 제시하지 못하였음

○ 부유식 구조물 안전성 평가개발 (조용식, 2011)

◆ 수리모형실험을 통해 부유식 해양구조물의 수리특성과 방파성능을 평가함

◆ 대형 부유식 교량으로의 적용으로 이어지지는 않음

○ 콘크리트 부유식 해상인프라 건설기술 개발 (김성욱 외, 2014)

◆ 부유식 구조물의 100년 내구수명 확보를 위한 부식 모니터링 기법 시험 실시

◆ 갈바닉전류 측정방식을 적용하여 철근부의 염소이온 침적을 감소하여 부식 방지, 탈염효과 등을 확보

◆ 하이브리드 부유구조체 구조 설계 지침 등을 제안함으로써, 구조설계 및 안전성 평가 기술을 확보함

◆ 염화 모니터링 기법을 도입하여 부유식 구조물의 리스크 저감을 시도하였지만, 시스템 신뢰성 관점에서

의 정량적 리스크 평가로 발전시키지는 못함

[그림 5-9] 갈바닉전류 측정방식을 이용한 모니터링 시스템 (김성욱 외, 2014)

○ 부유식 주탑을 가지는 초장대교량 핵심해석기술개발 최종보고서 (대전대학교, 2019)

◆ 부유식 초장대 케이블 교량의 핵심 해석기술을 개발하고, 부유식 초장대케이블교량의 주요 구조거동특성을 규명함

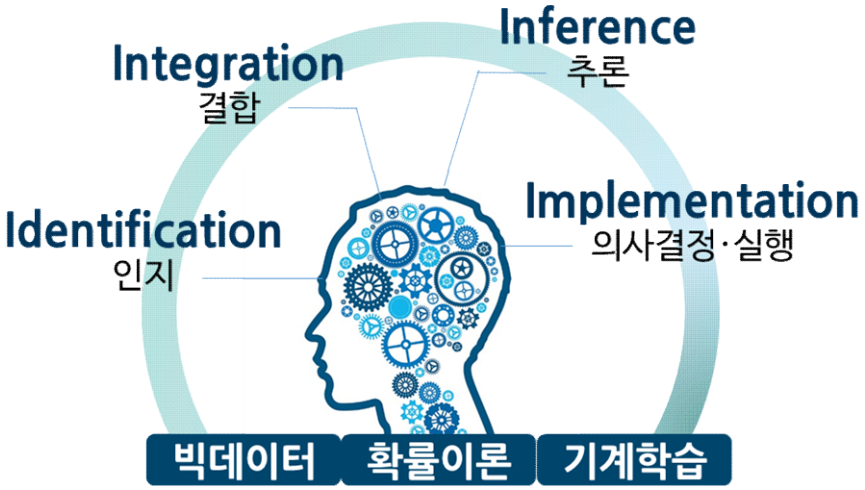
◆ 전용해석프로그램을 확보함

◆ 소규모의 해석기술 개발에 국한되어 O&M에 관한 프레임워크를 제시하지 못하였음

○ 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크평가 프레임워크 (송준호, 2020)

◆ 재난재해로부터 안전한 인프라 구조물이 갖추어야할 필수 역량으로 리스크 인텔리전스를 제안

◆ 인지, 결합, 추론, 의사결정의 네 가지 핵심요소로 리스크 인텔리언스를 정의하여 데이터, 확률, 모형 시뮬레이션 기반 리스크평가 프레임워크를 구축

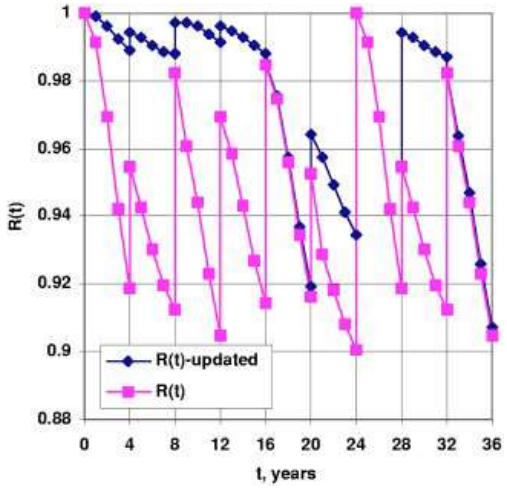


[그림 5-10] 인지, 결합, 추론, 의사결정으로 구성된 리스크 인텔리전스 프레임워크 (송준호, 2020)

□ 국외 기술수준

○ 베이지안 업데이팅 기법 기반 부유식 구조물의 신뢰성 평가 기법 (Garbatov & Soares, 2002)

- 베이지안 기법을 사용하여 부유식 구조물의 피로균열 파라미터를 업데이트하는 연구가 수행됨
- 균열시작시간, 균열성장 탐지는 검사정보로부터 확보하여 파라미터의 확률분포를 업데이트하고 생애주기 동안 발생하는 균열에 대한 신뢰도지수를 계산함



[그림 5-11] 구조물 생애주기 동안의 업데이트된 균열 신뢰도지수 (Garbatov & Soares, 2002)

○ 구조 건전도 평가: 머신러닝의 관점에서 (Farrar & Worden, 2012)

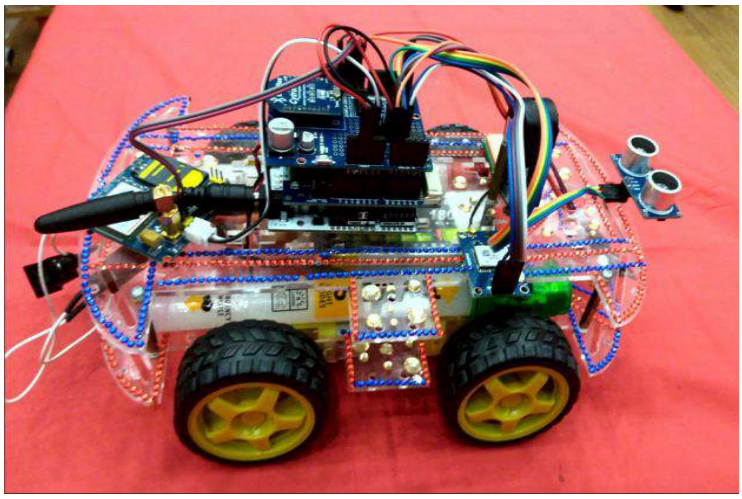
◆ 머신러닝, 패턴인식의 다양한 AI 기반 기법을 통해 구조물의 손상 탐지하고 예방하는 방법들을 집대성 하였음

◆ 그러나 기본적인 구조물의 소개에만 그쳤다는 한계가 있음

○ 파이프라인의 균열과 부식 탐지를 위한 로봇 (Mohammed et al., 2018)

◆ 사람의 손이 닿을 수 없는 파이프라인 내부를 원격 제어가 가능한 로봇을 이용해 균열 및 부식을 탐지함

◆ GSM, GPS를 이용한 위치정보의 전달, IP 카메라를 이용한 시각탐지 기술을 활용하여 로봇 탐지 기술을 개발함

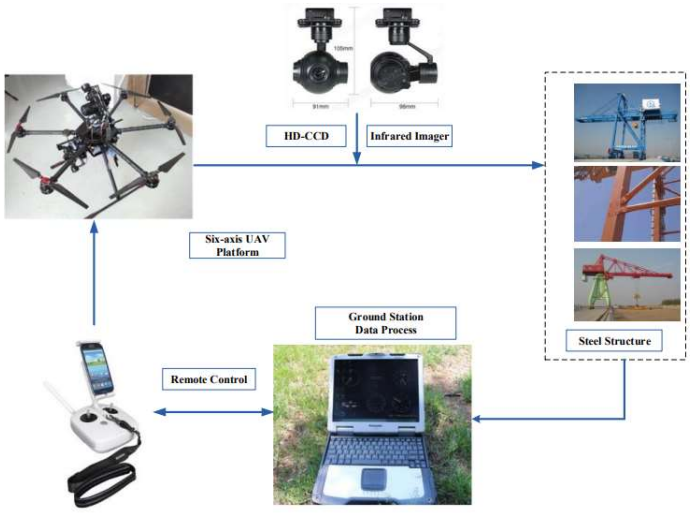


[그림 5-12] 파이프라인 균열, 부식 탐지 로봇의 디자인 (Mohammed et al., 2018)

○ UAV 기반 철골구조물의 부식 탐지 (Chen et al., 2019)

◆ 대형 크레인 등의 대형 옥외 철골 구조물의 부식을 UAV를 이용한 영상처리기법으로 탐지하는 연구가 수행됨

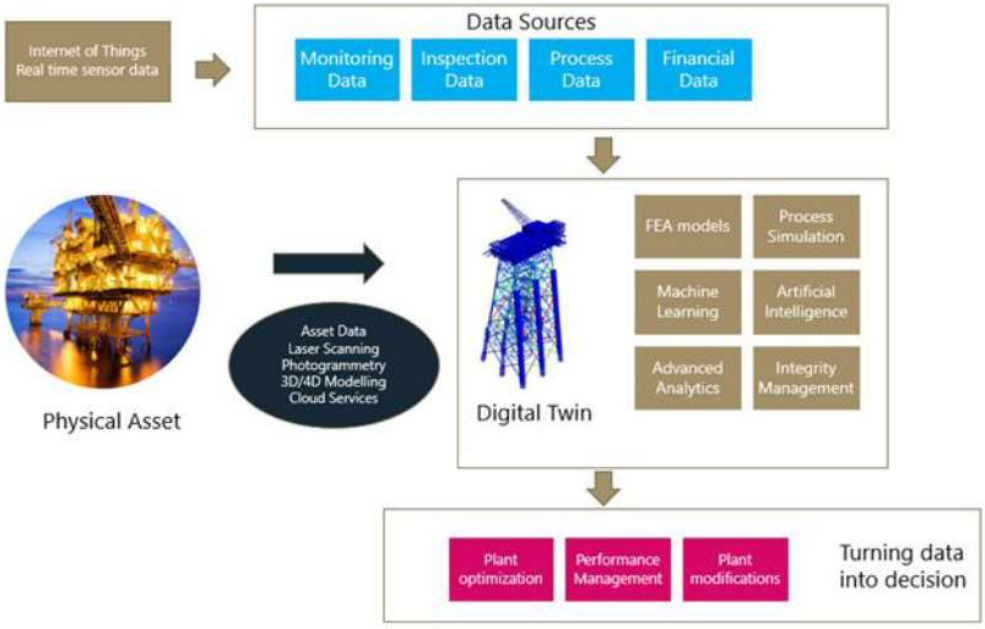
◆ 직접적인 접근이 어렵고, 해수로 인해 부식에 취약한 부유식 구조물의 특성에 알맞은 적용이 가능한 기법을 제시



[그림 5-13] UAV 기반 구조물 부식 탐지 시스템 (Chen et al., 2019)

○ Mooring Sense (Ford et al., 2020)

- 계류 장치의 통합 운영 프레임워크를 제안하였음
- 장력 모니터링 시스템을 활용한 실시간 컨트롤 알고리즘을 확보하고, 이를 디지털 트윈으로 구축하는 등 스마트 O&M 시스템을 구축하였음
- 해양환경에서의 유체하중, 장력 모니터링, 부식 탐지 등의 기술을 선도하였지만, 부유식 구조물이 아닌 해양 계류 장치에 국한된 연구를 수행하였음



[그림 5-14] 고차원 디지털 트윈 아키텍처 (Ford et al., 2020)

○ 클라이밍 시스템을 탑재한 선박 부식 탐지 로봇 (Le et al., 2021)

- 선박 표면을 자유롭게 이동하면서 부식을 탐지하는 로봇을 개발함
- 방수 기능을 탑재하여 부유식 구조물의 심해 부분에 적용 가능

[그림 5-15] 클라이밍 시스템을 탑재한 선박 부식 탐지 로봇 (Le et al., 2021)

5.4.4. 세부 기술개발 내용

1) (구성기술 4-1) 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술

□ 개발목표 및 내용

○ 부유식 구조물의 핵심 유지관리 및 센싱 항목 도출

○ 심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 개발

○ 유무선 데이터 네트워크 플랫폼 구축

○ 영상, IoT 등 스마트 센싱/모니터링 기술 실증

〈표 5-12〉 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 (4-1)	○ 부유식 구조물의 핵심 유지관리 및 센싱 항목 도출	-	없음	없음	-
	○ 심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 유무선 데이터 네트워크 플랫폼 구축	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 영상, IoT 등 스마트 센싱/모니터링 기술 실증	-	미흡	확보	선진국 수준

2) (구성기술 4-2) 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크

□ 개발목표 및 내용

○ 해양환경을 고려한 환경 및 구조물 계측데이터의 DB구축

○ 계측데이터를 활용한 해석모델의 상시동화 구현

○ 부유식 구조물의 실시간 응답 예측 및 이상상태 감지

○ 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술

〈표 5-13〉 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크 (4-2)	○ 해양환경을 고려한 환경 및 구조물 계측데이터의 DB구축	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 계측데이터를 활용한 해석모델의 상시동화 구현	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 부유식 구조물의 실시간 응답 예측 및 이상상태 감지	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술	-	없음	없음	프레임워크 제시 및 예제 적용

2) (구성기술 4-3) 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발

□ 개발목표 및 내용

○ UAV를 활용한 부유식 구조물의 부식점검 및 DB화

○ 심해 구조물 점검용 무인검사장비 개발

○ 부유식 환경에 특화된 원격 제어기술 개발

○ 다수 무인검사장비의 최적 운영 시나리오 개발

○ AI 기반 구조물 상태평가 기술 개발

〈표 5-14〉 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발 (4-3)	○ UAV를 활용한 부유식 구조물의 부식점검 및 DB화	-	없음	미흡	기초 기술 개발
	○ 심해 구조물 점검용 무인검사장비 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 부유식 환경에 특화된 원격 제어기술 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	○ 다수 무인검사장비의 최적 운영 시나리오 개발	-	없음	없음	기초 기술 개발
	○ AI 기반 구조물 상태평가 기술 개발	-	미흡	확보	선진국 수준

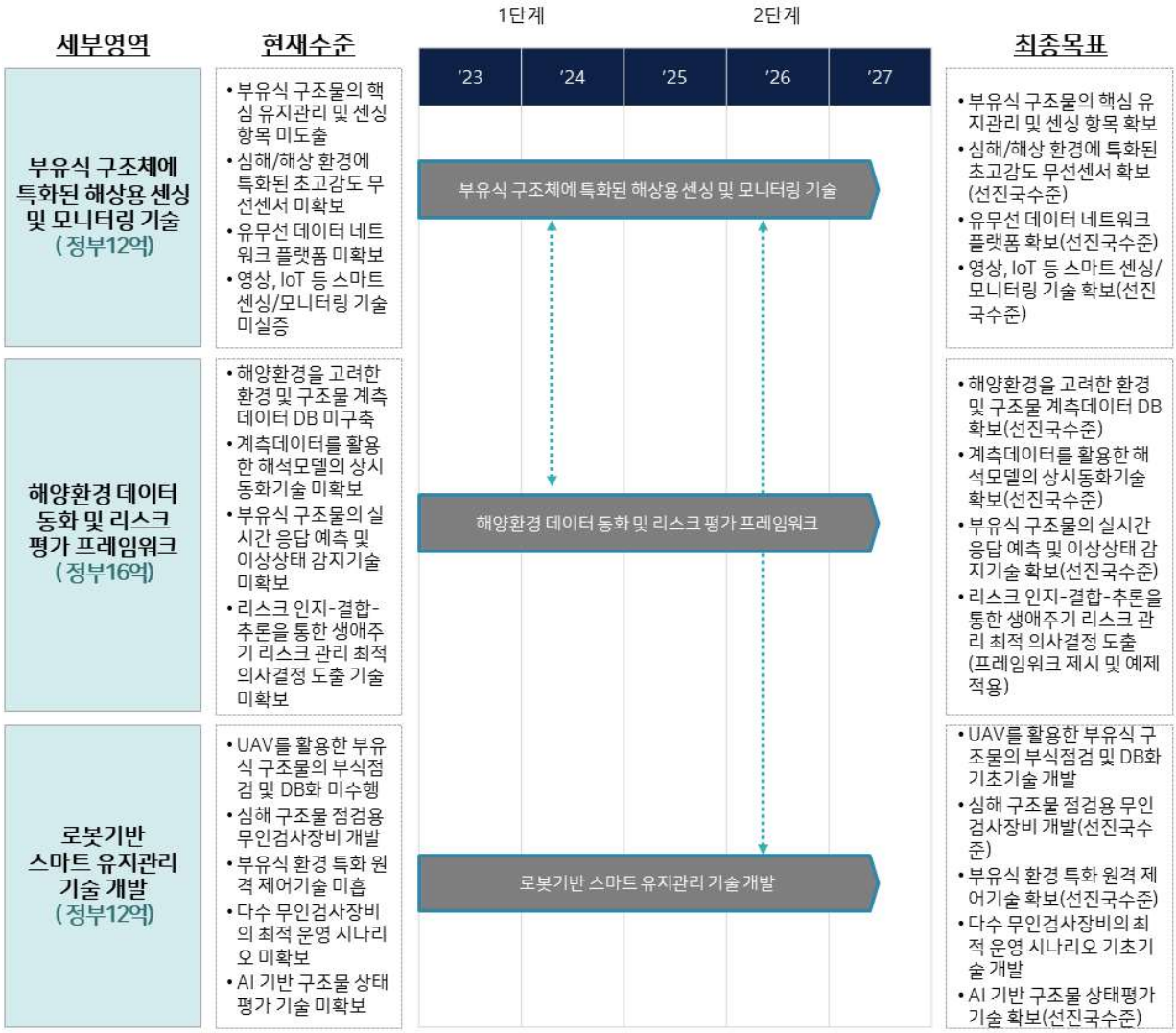
5.4.5. 기술 확보 방안

1) 소요 예산

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획					
		'23		'24	'25	'26	'27
		한도내	(한도외)				
합 계							
○ 국 고	5,000	700		1,400	1,600	800	500
(4-1) 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술	1,500	200		400	500	250	150
(4-2) 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크	2,000	300		600	600	300	200
(4-3) 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발	1,500	200		400	500	250	150
기획평가관리비							
○ 민간매칭 등	2,600	400		700	700	400	400

2) 기술개발 로드맵



3) 예상 장애요인

○ 심해 환경에 특화된 센서 개발 과정에서 센서로부터 받은 데이터 정확도 확인을 위한 기존 센서와의 비교 과정에서 해양 환경 조건에 영향을 받을 것으로 예상됨

○ 구조물의 디지털트윈 실시간 구현에서 데이터 양에 따라 데이터 수집과 동시에 모델에 적용하는 시간 단축 필요할 것으로 예상됨

○ 무인검사장비의 심해 깊이에 따른 이용가능성의 한계가 예상됨

5.4.6 파급효과

1) 과학기술적 기대효과

○ 부유식 구조체에 적용하기 위한 일반 센싱 기술이 아닌 해양에 알맞은 센싱 기술의 개발로 심해 또는 해상에 대한 모니터링으로 해양 사고 등에 적용 가능

○ 스마트 센싱을 사용하여 영상 등 모니터링 기술로 다각도 점검이 가능해져 해양 건설 산업 진행시에 실시간 다각도 모니터링과 피드백 가능

○ 공사 진행과 점검을 동시에 필요로 하는 건설 산업에 있어서 구조물의 해석모델을 상시동화 구현하여 구조물의 생애주기 리스크에 맞는 대응으로 건설 산업의 전반적인 디지털 전환 기술에 기여할 수 있음

○ AI 기반의 운영과 무인검사장비로 안전성 확보가 가능하며 시간에 구애받지 않고 유지관리 가능

2) 사회경제적 기대효과

○ 해양 구조물의 생애주기 확보로 적절한 시기에 리스크 관리가 가능하여 경제적임

○ 심해 구조물에 대한 모니터링이 가능하여 연약지반 극복과 해양 깊이에 따른 개발의 확장이 가능

○ 로봇기반 기술로 주요 재난에 영향을 덜 받는 지속가능한 기술

○ 해양 환경에 특화된 센서와 모니터링 기술 관련 시장 확대를 통해 건설 일자리 창출

○ 리스크-데이터 기반 O&M, AI 기술로 4차 산업혁명 관련 학계 및 산업계의 고부가가치 전문인력 양성

제6장

사전 타당성 검토

6.1 과학기술적 타당성 분석
6.2 정책적 타당성 분석
6.3 경제적 타당성 분석

제6장 사전 타당성 검토

6.1 과학기술적 타당성 분석

(1) 문제/이슈 도출의 적절성

□ 과학기술 기반 문제/이슈 정의의 적절성

○ (검토 방법론) 부유식 구조체 분야의 문제/이슈를 해결하기 위한 R&D 이외의 대안의 존재 여부와 효과성을 검토하여 R&D의 필요성을 재조망

- R&D 이외의 대안으로 재정 투입을 통한 대안을 검토하고, 정책 목표 실현을 위한 R&D의 필요성을 제시함

○ (재정 투입을 통한 대안의 한계점) 법·제도적 대안의 한계 및 R&D사업 추진의 필요성을 아래와 같이 식별하였음

- 동 사업의 목적은 차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통해 친환경 국토활용성을 확장하는 것으로, 현재 국내에서 확보된 기술 수준에서 구현할 수 있는 부유식 구조체에는 한계가 존재하므로, 단순한 재정 투입을 통해 달성이 불가능
- 현재 확보된 선진국의 기술을 도입하여 부유식 메가스트럭쳐를 건설한다고 가정하였을 때에도, 별도의 기술개발 없이 추진될 경우 목표 달성이 불가능하거나 혹은 막대한 예산 투입이 필요할 것으로 예상되며, R&D 사업과의 병행 추진을 통해 한계점을 만회하고 기대 효과를 확보할 수 있음
  - 세계적으로 목표수명 50~100년의 부유식 구조 구현 기술은 노르웨이, 일본, 싱가포르 등이 선점하여 상용 기술을 실증하는 단계로, 현재 시공 및 유지관리까지 가능한 부유식 구조물의 기술은 완전하게 상용화되지 않은 상황

(2) 사업목표의 적절성

□ 사업목표 설정의 적절성

○ 동 사업이 설정한 목표는 R&D 사업을 통해 달성하고자 하는 바를 구체적으로 제시하고 있으며, 동 목표달성을 통해 정책목표 개념의 사업목적을 제시하였음

- 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 사업을 통해 달성하고자 하는 궁극적 목표 및 지향하는 비전

을 명확히 정립하여 사업목표의 구체성과 사업목적 및 비전 간의 유기적 연계성을 확보하고자 하였음

- (사업목적) 차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장
- (사업목표) 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 부유식 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발

* 부유식 구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보

- 사업목표는 각 세부과제별 기술개발의 결과와 연계하여 설정되었으며, 사업이 계획대로 달성되었을 경우 동시에 발생 가능한 효과이며, 사업 내 기술간 연계성을 고려할 때 상호 연관성이 높아 사업의 효율을 저해하지 않음

□ 사업 성과지표의 적절성

○ 동 사업은 공공 R&D로서의 특징을 고려하여 사업목표의 달성여부를 판별할 수 있도록 목표별 지표, 목표 측정방법 및 산식을 구체적으로 제시하고 있음

- SMART 원칙*에 따라 적합성을 점검하여 성과지표 후보군 선정하고, 전문가 검토를 통해 부유식 구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보라는 사업 목표 달성 여부를 측정하기 위한 최종 성과지표를 설정함

* 구체적이고, 측정이 가능하고, 직접적으로 투자한 결과에 따라 도출되었고, 사업기간 안에 객관적 성과창출이 가능한 성과

○ ‘SW 등록’, ‘특허 출원’, ‘특허등급지수’, ‘성능목표 달성도’, ‘현장적용 기술실증 성공률’은 모두 성과지표로서 목표값이 모두 달성되면 사업 전체의 성과목표를 달성한 것으로 평가할 수 있음

○ 성과지표의 단계별 목표는 성과지표의 대표성을 기준으로 상향식(Bottom-Up) 방식으로 도출 하였으며, 중점분야간의 성과 연계 정도를 고려하여 도출

- (1단계) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발의 핵심기술 확보를 위한 본격적인 연구개발 추진 단계로 핵심기술 확보 여부를 측정하기 위한 SW 등록, 특허 출원을 단계 지표로 선정
- (2단계) 전 단계의 확보기술에 대한 고도화 및 검증, 실증을 통해 확보 기술을 종합 검증하는 단계로, SW 등록, 특허 출원, 특허 등급 지수, 성능목표 달성도와 더불어 개발 기술의 현장 적용 가능성을 확보하기 위한 기술실증 성공률을 단계 지표로 설정

〈표 6-1〉 단계별 사업 성과 지표

구 분	내 용					
사업목표	부유식 구조체 목표 성능: 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 2,400년 주기 내진성능 확보					
성과목표	미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발을 위한 핵심기술 확보, 테스트베드 선정			미래형 모듈러 부유식 구조체 기술 테스트베드 적용 및 확산		
단계별 성과지표	1단계('23~'24)			2단계('25~'27)		
	• SW 3건 등록 • 특허 5건 출원			• SW 13건 등록 • 특허 24건 출원 • 특허등급지수 4.51 • 성능목표 달성도 90% • 현장적용 기술실증 성공률 90%		
성과지표	지표명	구분	가중치	지표명	구분	가중치
	SW 등록 건수	양	0.3	SW 등록 건수	양	0.1
	특허출원 건수	양	0.7	특허출원 건수	양	0.1
	-			특허등급지수	질	0.2
	-			성능목표 달성도	질	0.3
				현장적용 기술실증 성공률	질	0.3
	합계		1.00	합계		1.00

○ 성과지표별 설정 근거

지표 ①	SW 등록 건수				
측정산식	= Σ(소프트웨어 등록 건수)				
측정방법	* 관련사업의 최근 6년간 1억 원당 소프트웨어 등록 건수 평균 값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정 * 본 사업이 초기 사업이고 소프트웨어 등록 지표는 연구기간 중 일부 기간 동안 발생하는 지표임을 감안하여 관련 사업의 절반 수준으로 전체 목표를 설정하고 연도별 목표치를 배분 * 국토교통 R&D 사업 관리시스템, NTIS에 소프트웨어 개발 성과로 등록된 건수로 측정				
구분	1단계(건수)		2단계(건수)		
	'23	'24	'25	'26	'27
목표치	-	3	4	5	4

<table>
<tr><th>지표 ②</th><th colspan="5">특허 출원 건수</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="5">= Σ(특허 출원 건수)</td></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="5">* 관련사업의 최근 6년간 1억 원당 특허출원건수 평균 값에 본 사업의 예산을 적용하여 목표치 설정
* 본 사업이 초기 사업이고 특허출원 지표는 연구기간 중 일부 기간 동안 발생하는 지표임을 감안하여 관련 사업의 절반 수준으로 전체 목표를 설정하고 연도별 목표치를 배분
* 국토교통 R&D 사업 관리시스템, NTIS, 특허정보원 DB에 등록된 건수로 측정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계(건수)</td><td colspan="3">2단계(건수)</td></tr>
<tr><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td>-</td><td>5</td><td>7</td><td>9</td><td>8</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>지표 ③</th><th colspan="9">특허 등급 지수</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="9">특허등급지수 = $\sum_i (A_i \times B_i)$ / $\sum_i (B_i)$
* A_i : 특허 등급별 가중치 * B_i : 등급별 특허건수
<table><tr><td>등급</td><td>C</td><td>CC</td><td>CCC</td><td>B</td><td>BB</td><td>BBB</td><td>A</td><td>AA</td><td>AAA</td></tr><tr><td>가중치</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></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="9">* 관련사업의 최근 6년간 평균 특허등급지수 값에 매년 10% 증가한 값을 적용하여 목표치를 설정
* 국토교통 R&D 사업 관리시스템, NTIS, 특허정보원 DB에 등록된 건수로 측정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계(지수)</td><td colspan="3">2단계(지수)</td></tr>
<tr><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>4.10</td><td>4.51</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>지표 ④</th><th colspan="5">성능목표 달성도</th></tr>
<tr><td>측정산식</td><td colspan="5">= (성능목표치 달성 건수 / 총 성능목표 수) × 100</td></tr>
<tr><td>측정방법</td><td colspan="5">* 기반시설 토탈케어 기술의 성능목표 달성 건수로 측정
* 동 사업의 각 세부과제별로 제시한 개발성능목표 중 연차별 달성 가능한 성능목표의 개수(비율)를 목표치로 설정</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">1단계(%)</td><td colspan="3">2단계(%)</td></tr>
<tr><td>’23</td><td>’24</td><td>’25</td><td>’26</td><td>’27</td></tr>
<tr><td>목표치</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>40</td><td>90</td></tr>
</table>

지표 ⑤	현장적용 기술실증 성공률				
측정산식	= Σ(당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 성공 건수 합 / Σ (당해연도 추진과제의 현장적용 기술실증 계획 건수 합) × 100				
측정방법	* 추진 과제들의 전체 현장적용 기술실증 계획 건수 합을 기준으로 당해연도 기술실증 성공 건수를 측정 * 현장적용 기술실증 기준 : 기술개발로 인하여 발생한 기술의 현장적용 기술검증을 위해 실시한 Test Bed 적용실적, 현장시험, 시험시공, 시범사업 수행 실적				
구분	1단계(%)		2단계(%)		
	'23	'24	'25	'26	'27
목표치	-	-	-	60	90

□ 수혜자 표적화의 적절성

○ 동 사업은 공공기술개발 유형으로 최종 수혜자는 광의적 측면에서 대국민, 협의적 측면에서는 국내 건설업체 등으로 정의할 수 있음

- (중앙정부) 국토계획을 수립하는 컨트롤 타워로서, 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술을 통해 환경파괴를 최소화하는 방식으로 국토확장성 기술을 획득, 국토의 효율적 활용을 도모
- (국내 건설 및 엔지니어링 기업) 부유식 교량, 풍력터빈, 접안시설, 공항, 방파제, 플랜트의 설계, 시공 및 건설을 실질적으로 수행하는 업체로서, 부유식 구조체 설계, 시공 및 건설 기술의 확보를 통한 신시장 진출 및 사업 영역의 확장
- (ICT기업) 부유식 구조체의 유지관리(O&M) 시스템(SW, HW, 시스템, 플랫폼 등) 개발업체로, 부유식 구조체를 대상으로 특화된 센싱 및 모니터링 기술, 해양환경 동화 및 리스크 평가 시스템 등의 확보를 통한 신시장 창출

(3) 세부활동 및 추진전략의 적절성

□ 세부활동과 사업목표와의 연관성

○ (사업구성 및 내용의 적절성) 동 사업에서 도출된 4개 세부과제, 11개의 세세부과제는 모두 전체 사업목표 및 목적을 달성하기 위한 세부 활동들로 정의되었으며, 각 구성기술 단위에서 목적 및 목표와의 관련성을 아래와 같이 분석함

* 목적: 차세대 메가스트럭쳐 핵심 기술인 미래형 모듈러 신형식 부유식 구조체 개발을 통한 친환경 국토활용성 확장

** 목표: 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 부유식 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술 개발

*** 부유식 구조체 목표 성능 : (1) 내구수명 100년, 목표신뢰도 3.0 이상, (2) 한계상태 성능제시 및 검증실험법, 교통하중 주행성 및 (3) 2,400년 주기 내진성능 확보

〈표 6-2〉 세부활동과 사업 목표와의 연계성

세부과제	세세부 과제	주요 연구내용	목적과의 관련성	목표와의 관련성*			종합
				①	②	③	
[1세부] 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	(1-1) 해양 환경하중 모델 개발	■ 사용연수 100년을 고려한 교통하중, 파랑, 조류, 바람, 선박충돌 등 극한하중 확률모델 및 통계특성 구축 ■ 데이터 기반 인프라 시설물의 설계 재현주기 및 한계상태별 공칭/계수하중 결정	○	◎	◎	○	○
	(1-2) 부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술	■ 파랑하중 및 풍하중의 유탄성/공탄성 주파수 의존성을 고려한 부유식 구조체의 시간/주파수영역 해석기법 개발 : 프로토타입 구조체(부유식교량/부유식풍력터빈) 전체계 해석 및 구조설계 포함 ■ 부유식 구조체의 주요 동적 거동 특성 규명 : 내파랑해석, 내풍해석, 내진해석, 차량하중 해석 수행 ■ 부유체 및 목적 구조물별 구조체 내풍성 평가를 위한 신개념 풍-파랑 하이브리드 풍동실험법 개발 ■ 부유체 지진격리효과 및 내진성능 평가기술 개발 ■ 목적 구조물(교량, 풍력터빈 등)별 사용성 평가기술 개발	○	◎	◎	◎	◎
	(1-3) 신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발	■ 사회경제적 최적화 기반 목적 구조물별 부유식 구조체의 목표신뢰도지수 결정법 개발 ■ 교통하중 및 해양환경하중에 대한 코드캘리브레이션 및 한계상태별 하중조합 개발 ■ 파랑하중에 대한 강재 접합부 피로설계법 개발 ■ 심해기초 앵커 설계기술 개발	○	○	◎	○	○
[2세부] 경량 내해수 기능성 신소재 개발	(2-1) 초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발	■ 탄소중립형 콘크리트의 경량화, 고강도화 및 장단기 성능평가 기술개발 : 목표 단위중량 2.0 tonf/m3 : 목표 압축강도 100 MPa ■ 경량 복합소재 적용기술 개발	○	◎	○	○	○
	(2-2) 고강도 내해수강 활용기술 개발	■ 해양환경 고강도 후판 내해수강 개발 및 적용성 연구 : 목표 인장강도 600MPa (현행 500MPa) : 목표 강종 -〉 후판 (현행 500MPa은 열연 코일) : 목표 내부식성능 -〉 일반강 대비 부식속도 60% 미만 ■ 내해수강의 성능평가 : 축소 및 실규모 부재 활용, 실내 실험 : 압축, 휨. 전단, 접합부, 피로, 좌굴 등 구조성능 평가 : 공진 휨 실험 등을 통한 내피로성능 평가 : 가속 부식실험 등을 통한 해수 내구성 및 부식성능 평가	○	◎	○	○	○

세부과제	세세부 과제	주요 연구내용	목적과의 관련성	목표와의 관련성*			종합
				①	②	③	
[3세부] 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	(3-1) 부유체 가설 제어기술	■ 대배수량 부유체 운송 기술 ■ 부유체 위치 제어 기술 ■ 시공 중 부유체 모션 제어 기술 : ballast 조절 및 부력 제어 기술 포함 : Tether 케이블 장력 제어 기술 포함	○	◎	○	○	○
	(3-2) 확장형 모듈러 부유 구조체(SMFS) 기술	■ 확장형 모듈러 부유 구조체(Scalable Modular Floating Structure) 제작 기술 : 모듈분할 엔지니어링, 생산, 운송, 조립 기술 포함 ■ 모듈간 고성능, 고효율 접합 시스템 기술 ■ 목적 구조물별(교량, 풍력터빈, 접안시설 등) 목표 변위 성능 결정 : 변형수용적 부유 시스템 상세 및 앵커형식 검증 : 무어링시스템-부유체간 연결기술 개발	○	◎	○	◎	◎
	(3-3) 목적 구조물 테스트베드 검증	■ 민간수요 기반의 목적 구조물 선정 ■ 공통 핵심엔지니어링 기술 적용 및 검증용 테스트베드 구축 및 성능평가	○	○	◎	○	○
[4세부] 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발	(4-1) 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술	■ 부유식 구조물의 핵심 유지관리 및 센싱 항목 도출 ■ 심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 개발 ■ 유무선 데이터 네트워크 플랫폼 구축 ■ 영상, IoT 등 스마트 센싱/모니터링 기술 실증	○	◎	◎	◎	◎
	(4-2) 해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크	■ 해양환경을 고려한 환경 및 구조물 계측데이터의 DB구축 ■ 계측데이터를 활용한 해석모델의 상시동화 구현 ■ 부유식 구조물의 실시간 응답 예측 및 이상상태 감지 ■ 리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술	○	○	◎	◎	○
	(4-3) 로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발	■ UAV를 활용한 부유식 구조물의 부식점검 및 DB화 ■ 심해 구조물 점검용 무인검사장비 개발 ■ 부유식 환경에 특화된 원격 제어기술 개발 ■ 다수 무인검사장비의 최적 운영 시나리오 개발 ■ AI 기반 구조물 상태평가 기술 개발	○	○	◎	○	○

□ 세부활동 도출의 적절성

○ (시스템 구성기술의 기술트리 전개를 통한 기술개발 대안 검토) 동 사업은 부유식 구조체 기술개발 사업으로서 대형 시스템 형태의 사업이며, 세부활동 후보(안) 도출을 위해 하나의 큰 시스템을 세부 구성요소로 나누고, 이 중 필수 확보 구성기술들을 선별하여 과제화함

- 교량을 포함한 건설분야 산·학·연 전문가를 활용하여, 부유식 구조체를 실제 구현할 수 있기 위한 기반 기술들을 '엔지니어링(설계기술)', '소재기술', '구조체 가설기술', '유지관리(O&M) 기술' 및 '실증 테스트베드'로 구분하여 세부 기술들을 목록화함

○ 수집된 기술수요의 분류·평가·선별을 통한 핵심/구성기술 도출

- (1단계 : 세부과제별 배분) 실무위원회에서 4대 세부과제 별로 구성기술 배치
- (2단계 : 우선순위 평가) 각 세부과제 구성기술에 대한 우선순위평가를 실시하여 80점 미만인 기술수요 제외
  - 평가항목: ①영역 적합성, ②핵심성, ③기술개발 성공가능성, ④국가적 확보 필요성
- (3단계 : 세세부과제 및 주요 연구내용) 우선순위평가 결과 80점 이상 기술을 바탕으로 분과위원회에서 세세부과제 및 주요 연구내용을 도출

○ 기획분과 논의를 통한 후보기술 기반 세세부과제 및 연구내용 확정

□ 세부활동별 성과지표의 적절성

○ 4개 세부과제, 11개 세세부과제별 기술적으로 구현하고자 하는 성능지표와 달성하고자 하는 성능목표를 모두 제시하였으며, 해당 성능지표들은 기술개발의 달성 여부를 판별할 수 있는 핵심기능으로 구성됨

- 각 기획위원들이 기술의 내용 및 성과지표를 작성한 후 기획연구진 및 외부 전문가 검토를 통해 아래의 사항들을 점검하고, 일부 지표에 대해 수정을 수행함
  - 구체적이고 계량적인 지표인가?
  - 논리적으로 적절한가?
  - 선진 연구그룹이나 경쟁상대와 비교하여 달성되었거나 수준이 낮은 것은 아닌가?
  - 진부하지 않고, 실현 가능성이 있는가?
  - 사업 목표의 달성과 연계성이 확보되어 있는가?

○ 검토 후 각 세부기술분야별 아래와 같이 성능목표를 확정함

- (세부기술 1) 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발

〈표 6-3〉 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발 성능 목표

구성기술	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
해양 환경하중 모델 개발	극한하중 확률모델 및 통계특성 구축	설계기준 하중모델 항목 (유/무)	무	유	KDS24 설계기준
	재현주기 공칭/계수하중 결정	설계기준 재현주기 공칭/계수하중 항목 (유/무)	무	유	KDS24 설계기준
부유식 구조체 및 무어링 기초 성능평가 기술	해석기법 및 구조설계	기술수준 (%)	60	100	100
	동적 거동 특성 규명	기술수준 (%)	80	100	100
	하이브리드 풍동실험법	기술수준 (%)	50	100	100
	내진성능 평가	기술수준 (%)	60	100	100
	사용성 평가	기술수준 (%)	30	100	100
신뢰도 기반 코드캘리브레이션 및 설계기준 개발	목표신뢰도지수 결정법	목표신뢰도지수 결정 (유/무)	무	불명	KDS24 적용
	코드캘리브레이션 및 하중조합	신뢰도 기반 계수 및 하종조합 개발 (유/무)	신뢰도 기반 계수 없음	신뢰도 기반 계수 없음	KDS24 적용 신뢰도 기반 계수/조합 KDS24 적용
	접합부 피로설계	기술수준 (%)	80	100	100
	앵커 설계	기술수준 (%)	50	100	100

- (세부기술 2) 경량 내해수 기능성 신소재 개발

〈표 6-4〉 경량 내해수 기능성 신소재 개발 성능 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
초경량 고강도 신소재 적용 및 성능평가 기술 개발	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 압축강도	압축강도	45 MPa	90 MPa	100 MPa
	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 밀도	밀도	1.7 tf/m^3	2.1 tf/m^3	2.0 tf/m^3
	중공 입자를 포함한 시멘트 복합체의 흐름성	작업성	-	-	180 mm
	시멘트 복합체 내에서의 중공입자 분산성	분산성	-	-	80 %

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
고강도 내해수강 활용기술 개발	해양환경 고강도 내해수강 개발 및 적용성 연구	내해수강 인장강도	500MPa	500MPa	600MPa
		내해수강 저온인성	47J@-5℃	27J@0℃	47J@-20℃
	내해수강의 성능평가	CCT를 통한 내식성	일반강 대비 60% 수준	일반강 대비 60% 수준	일반강 대비 60% 이하

- (세부기술 3) 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증

〈표 6-5〉 - 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증 성능 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
부유체 가설 및 제어기술 (3-1)	대배수량 부유체 운송기술	인양속도	4knot - 4.7만톤	-	기존 대비 120%
	부유체 모션 저감기술	파고 대비 부유체 요동	-	-	기존 대비 85%
		Mooring 케이블 장력저감	-	-	기존 대비 85%
	시공/운용 중 부유체 위치/모션 제어기술	기술수준 (%)	60	100	100
확장형 모듈러 부유 구조체 (SMFS) 기술 (3-2)	SMFS 제작기술	기술 완성도 (%)	-	-	100
	모듈간 접합 시스템 기술	접합부 수밀성 내구연한	-	-	SMFS 본체 동등 이상
		접합부 휨성능	-	-	SMFS 본체 동등 이상
	변형 수용적 시스템 기술	기술 완성도 (%)	-	-	80
	무어링 시스템-부유체간 연결기술	기술 수준 (%)	80	100	100
목적 구조물 테스트베드 검증 (3-3)	테스트베드 검증	테스트베드 공정률	-	-	100%
		테스트베드 검증 기술 성능지표 달성률	-	-	100%

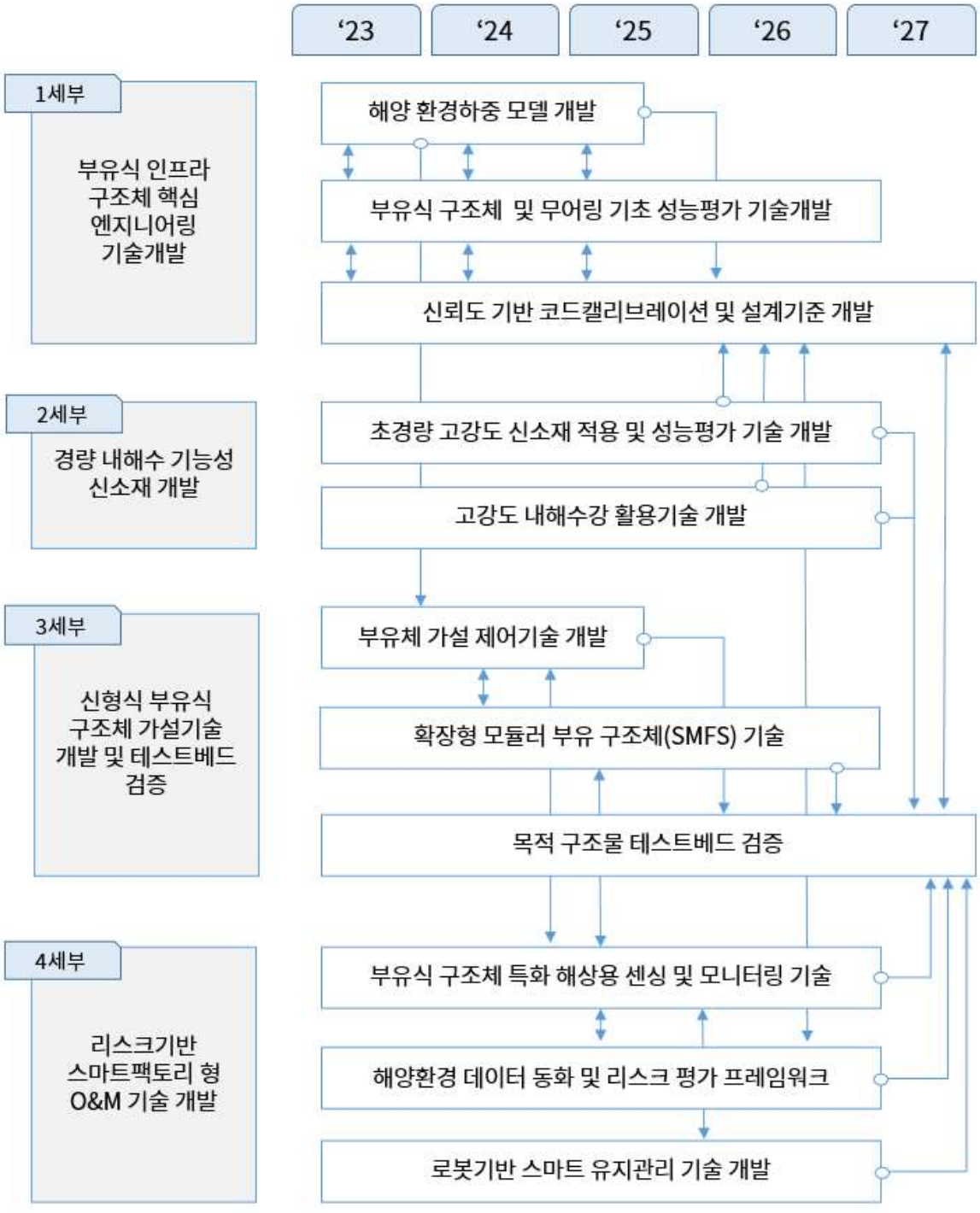
- (세부기술 4) 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발

〈표 6-6〉 부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 개발 목표

세세부과제 (구성기술)	개발내용	성능지표	최고스펙		개발 목표 스펙
			국내	해외	
부유식 구조체에 특화된 해상용 센싱 및 모니터링 기술 (4-1)	부유식 구조물의 핵심 유지관리 및 센싱 항목 도출	-	없음	없음	-
	심해/해상 환경에 특화된 초고감도 무선센서 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	유무선 데이터 네트워크 플랫폼 구축	-	미흡	확보	선진국 수준
	영상, IoT 등 스마트 센싱/모니터링 기술 실증	-	미흡	확보	선진국 수준
해양환경 데이터 동화 및 리스크 평가 프레임워크 (4-2)	해양환경을 고려한 환경 및 구조물 계측데이터의 DB구축	-	미흡	확보	선진국 수준
	계측데이터를 활용한 해석모델의 상시동화 구현	-	미흡	확보	선진국 수준
	부유식 구조물의 실시간 응답 예측 및 이상상태 감지	-	미흡	확보	선진국 수준
	리스크 인지-결합-추론을 통한 생애주기 리스크 관리 최적 의사결정 도출 기술	-	없음	없음	프레임워크 제시 및 예제 적용
로봇기반 스마트 유지관리 기술 개발 (4-3)	UAV를 활용한 부유식 구조물의 부식점검 및 DB화	-	없음	미흡	기초 기술 개발
	심해 구조물 점검용 무인검사장비 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	부유식 환경에 특화된 원격 제어기술 개발	-	미흡	확보	선진국 수준
	다수 무인검사장비의 최적 운영 시나리오 개발	-	없음	없음	기초 기술 개발
	AI 기반 구조물 상태평가 기술 개발	-	미흡	확보	선진국 수준

□ 세부활동기간 추정과 시간적 선후관계의 적절성

○ (기술 및 성과 로드맵) 기술 개발 순서와 기간 및 목표와 성과 달성 시기 등을 고려하여 시간적 선후 관계를 고려한 기술 및 성과 로드맵 도출



[그림 6-1] 세부기술 및 성과 로드맵

□ 추진전략의 적절성

○ 동 사업의 연구개발 추진방안의 적절성을 검토하며, 연구단 형식으로 추진될 경우의 사업운영 절차를

아래와 같이 제시함

- 연구단 운영시 세부과제 선정 및 평가 등 사업운영의 전반적인 절차는 국토교통과학기술진흥원에서 수행
  - (신규사업 공고) 전문기관은 사업목적, 지원대상분야, 세부과제별 RFP, 사업지원 규모 및 기간 등을 포함한 신규지원대상 과제 선정 공고문을 작성하여 홈페이지, 언론매체 등을 통해 30일 이상 공고함
  - (사업계획서 접수) 과제별 수행하는 참여기관은 사업계획서 등을 작성하여 해당 전문기관의 전산시스템에 사업계획서를 접수
  - (참여기관 선정) 세부과제별 참여기관의 선정은 전문기관(KAIA)과 연구단장이 협의하여 세부과제 선정평가 계획을 세운 후 평가·선정
  - (연차·단계·최종 평가) 연구단은 전담평가단을 포함하는 평가위원회를 구성하여 세부과제별 참여기관의 연차 · 단계 · 최종평가를 시행
  - (기술료 징수 및 사후관리) 참여기관은 정부지원 R&D 성과물의 활용과 권리획득 대가로 전문기관에게 기술료를 징수하며, 성과활용 보고 및 평가 등 사후관리 시행

연구단 과제공모	연구단 과제 기획	전문기관/기획위원회
	연구단장 공모·선정 및 연구단 운영관리 협약	전문기관/연구단
세부과제 선정	세부과제 공모 및 선정	전문기관/연구단
	총괄협약 및 세부과제 협약	• 총괄협약 : 전문기관/연구단 • 과제협약 : 연구단/세부과제 주관기관
연구단 운영	사업 진도관리	전문기관/연구단
	세부과제 진도 및 실적점검	연구단
	추가 세부과제 상세기획	연구단장
	세부과제 공모 및 선정	전문기관/기획위원회/연구단장/연구책임자
	연구단 자체평가 및 단계평가	전문기관/연구단
	연구단 최종평가	전문기관/연구단
	사업비 정산	전문기관
성과관리	성과관리 및 활용	전문기관/연구단 세부과제 주관연구기관/공동연구기관
	사후관리	전문기관

(기술료 징수, 성과활용 평가 등)

[그림 6-2] 사업 운영 절차

- (연차평가 계획) 연차별 종료일 1개월 전까지 연차보고서와 차년도 사업계획서 10부와 그 전자파일 제출
  - 연차평가는 절대평가를 원칙으로 하되, 상대평가 등을 병행할 수 있고, 연차평가 결과에 따라 과제의 지속여부가 결정되며, 결과는 6단계에 걸쳐 구분
  - 연차평가는 성과목표 대비 달성도 중심으로 평가하고, 연구수행방법 등을 제외하여 성과중심 사업관리가 이루어지도록 함
- (단계평가 계획) 단계 종료일 1개월 전까지 단계보고서와 차기 단계 사업계획서 10부와 그 전자파일을 제출
  - 동 사업은 단계평가 결과에 따라 과제의 지속여부가 결정되며, 결과는 5단계에 걸쳐 구분
  - 단계평가 항목은 해당단계 목표달성, 차기단계 계획으로 구성

주요 절차	내용
연차(단계)평가 계획수립 (전문기관)	• 연차(단계)평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
연차(단계)평가 자료 제출	• 연차(단계)실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
⇩	
사전검토	• 과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도, - 연구계획 변경내용 - 실용화 점검결과 반영 내용 - 연구비 집행실적 및 이월신청 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	• 전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척(除斥)
⇩	
연차(단계)평가 실시 (전문기관)	• 해당 연도(단계) 실적평가 및 다음 연차(단계) 계획 검토 - 대면(발표)평가, 현장평가 등 적합한 평가방법 선택
⇩	
연차(단계)평가 결과보고 및 통보 (전문기관)	• 연차(단계)평가결과 국토부 보고 - 연차(단계)평가결과 주관기관 통보 및 협약체계 안내
⇩	
협약체결 (전문기관↔주관연구기관)	• 연차(단계)평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

[그림 6-3] 중간평가 프로세스

- (최종평가 계획) 총 수행기간 종료일로부터 45일 이내에 최종보고서 10부와 그 전자파일을 제출

• 총괄과제 및 세부과제 형태로 구성된 사업은 총괄주관기관의 장이 총괄과제 최종보고서 및 세부과제별 최종보고서를 전문기관의 장에게 제출

주요 절차	내용
최종평가 자료 제출 (주관연구기관)	• 최종보고서, 성과점검 기준표, 자체평가보고서, 연구개발결과 활용계획서 등 평가자료 제출
⇩	
최종평가 계획수립	• 최종평가 절차 및 일정 계획수립 및 안내
⇩	
사전검토 (전문기관)	• 과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적·양적 달성도 - 당초 연구개발계획 대비 수행여부 - 연구성과 활용계호기의 적정성 등
⇩	
연구과제 평가단 구성 (전문기관)	• 전문가 중심 연구과제 평가단 구성 - 이해관계인 제척(除斥)
⇩	
최종평가 실시 (연구과제 평가단)	• 연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
⇩	
최종평가 결과보고 및 통보 (전문기관)	• 최종평가결과 국토부 보고 - 최종평가결과 주관기관 통보 및 보완요청
⇩	
최종보고서 발간·배포	• 최종보고서 보완본 필수배포처 배포

[그림 6-4] 최종평가 프로세스

○ 사업진도 및 성과관리 방안

- 성과모니터링 중심 과제 진도관리 체계 도입

• 평가중심이 아닌 성과모니터링 중심 과제 진도관리 체계를 도입하고 세부과제별 5인 이내의 성과모니터링분과위원회를 구성하여 전문성에 입각한 모니터링을 구현함으로써 과제수행에 실질적인 도움이 될 수 있도록 함

- 성과중심 사업관리의 주체인 전문기관은 연구단 및 성과모니터링위원회와 함께 전체 사업 성과관리의 실무를 책임

- 전문기관은 연구개발관리 계획 및 최종평가에 대한 검토·결재와 사업 전반적 성과관리를 수행함

- 전주기 성과중심 사업진도관리
  - 예산규모 확정에 따라 전주기에 대한 상세 연구개발관리 계획을 수립하고, 성과모니터링, 성과조사분석, 성과평가, 성과확산을 추진함
  - (연구개발관리계획 수립) 사업예산의 확정에 따라 연구단은 세부과제별 개발관리계획을 수립하고 사업성과 계획과 부합하는지 점검한 후, 구체적인 성과모니터링 및 성과평가 실시 계획을 수립
  - (성과모니터링) 세부과제 모니터링을 통한 성과통계를 근거로 각 세부과제와 전체 사업의 성과목표 달성가능성을 주기적으로 파악함으로써 효율적인 사업운영 도모
  - (성과조사분석) 매년 개별 과제의 모니터링 결과를 취합하여 성과조사와 성과계획대비 달성도 등을 분석하고 성과모니터링 위원회를 통해 분석 결과를 심의한 후, 전체 사업에 대한 성과분석 보고서 작성

6.2 정책적 타당성 분석

(1) 정책의 일관성 및 추진체계

□ 상위계획과의 부합성

○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업은 현 정부가 설정한 100대 국정과제 및 각 부처의 임무를 체계적으로 수행하기 위하여 수립된 각 상위계획에 대해 그 정책적 기조와 방향성을 같이 함

- 100대 국정과제와 각 상위계획의 내용에 부합하는 국가 및 사회적 기대에 대한 실현 방안으로 세부과제를 설정하고 R&D 기획을 진행

〈표 6-7〉 상위계획 및 부처계획 주요 내용과 부유식 구조체 기술개발사업의 세부과제

상위계획	상위계획 중점 내용	본 사업 세부과제
문재인 정부 100대 국정과제	국정과제 32, 55, 56을 통해 국토교통산업 경쟁력 강화, 국가적 안전제고를 국정 목표 달성의 실천 방안으로 설정	[1세부] 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발 [2세부] 경량 내해수 기능성 신소재 개발 [3세부] 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증 [4세부] 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발
제5차 국토종합계획 ('20~'40)	첨단기술을 활용한 인프라 유지관리 고도화선진화, 미래형 혁신 교통체계 구축을 강조	
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ('18~'27)	4차 산업혁명에 대응하여 기술 융복합을 통해 국가경쟁력, 국토교통 관련 삶의 질, 연구환경 만족도를 제고하는 기술개발 계획을 제시	
스마트건설기술 로드맵, 국토교통부('18.10.)	건설 全 과정에 정보통신기술(ICT) 등 첨단 기술접목을 통해 건설 생산성 및 안전성을 끌어올리고, 지원센터 설치, 건설 전문가 양성 등 스마트한 건설 생태계를 구축하고자 함	
건설산업 생산구조 혁신 로드맵, 국토교통부('18.11.)	2022년까지 '세계 5대 건설강국'으로 도약하기 위해 4대 혁신(기술 혁신/생산구조 혁신/시장질서 혁신/일자리 혁신)을 추진	

〈표 6-8〉 상위계획 및 부처계획과의 부합성

상위계획	본 사업 세부과제별 부합성 (◎ 부합성 높음; ○ 부합성 보통; △ 부합성 낮음)			
	세부과제 1 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	세부과제 2 경량 내해수 기능성 신소재 개발	세부과제 3 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	세부과제 4 리스크기반 스마트 팩토리형 O&M 기술개발
문재인 정부 100대 국정과제	◎	◎	◎	◎
제5차 국토종합계획 ('20~'40)	○	○	○	◎
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획 ('18~'27)	◎	◎	◎	◎
스마트건설기술 로드맵, 국토교통부('18.10.)	○	○	○	◎
건설산업 생산구조 혁신 로드맵, 국토교통부('18.11.)	○	○	◎	◎

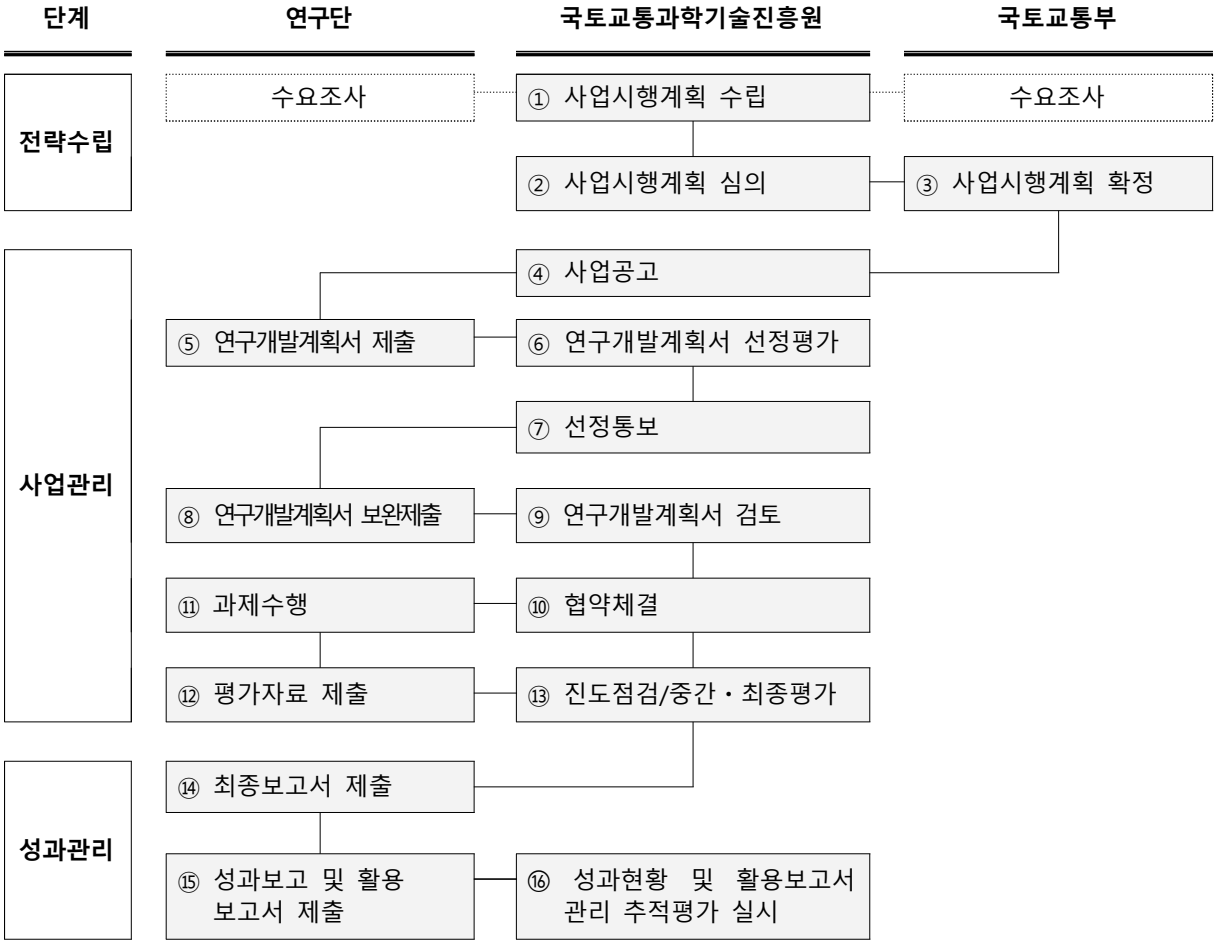
□ 사업 추진체계 및 추진의지

○ 전체적인 사업총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술 개발 사업 관리는 연구단에서 추진

- 사업을 추진함에 있어 효율적이고 효과적인 운영·관리를 위해 각 주체별 역할분담 체계를 마련
- 연구단의 구성은 각 세부과제의 기술개발 단계 및 특성, 그리고 최종 실증 방안에서의 구현까지 고려하여, 각 분야 간 중복성을 배제하고 차별성을 확보하되, 유기적으로 연계되어 차후 통합될 수 있게끔 구성함
  - 세부과제 및 세세부기술(구성기술) 간의 연계와 이를 종합한 테스트베드 실증 추진 등 전체적인 사업 수행을 총괄하기 위한 연구단을 선정하여 추진
  - 연구단의 세부과제 과제(구성기술) 간 협약을 통해 과제 간 유기적 협력체제 구축
  - (국토교통부, 사업주관) 전체적인 기술개발을 주관하고, 실증 등 종합 검증을 담당
    ※ 세부과제 및 핵심·구성기술 간의 연계성 확보 및 종합관리 기술개발 등
  - (국토교통과학기술진흥원) 사업추진 전담 관리기관으로 사업 기획·평가·운영위원회를 구성·운영하고, 연구단/세부과제 선정·평가(단계), 연구단 진도점검 및 성과확산 지원 등을 수행
  - (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 부처(국토부, 과기부, 행안부) 및 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정 수행

• (연구단) 사업수행을 총괄하는 주체로서, 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제 간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등을 수행하며 필요시 진흥원과 협의하여 시장 및 기술 환경변화에 대응하여 부유식 구조체 기술개발 사업을 조정하는 재기획 추진

- 연구의 성과관리는 연구성과의 등록, 모니터링 및 관리를 KAIA의 연구 관리시스템을 통해 그 업무를 수행하며, 단계별 체계 및 절차는 다음과 같음



[그림 6-5] 사업 추진 상 성과관리 체계 및 절차

(2) 사업추진상 위험요인

□ 재원조달 가능성

○ (부담주체의 재원조달 방안 및 분담 방식) 동 사업 추진을 위한 재원으로 중앙정부가 제공하는 국고와 민간이 부담하는 민자로 구분하여 재원별 위험요인 분석

* 동 사업 추진에 필요한 재원투입에서 투입계획 시점과 투입규모 관점에서 문제발생 가능성과 재원조달 문제로 인한 사업지연 등 가능성을 검토하고 사업 추진상의 위험요인 분석

- 연구개발 추진에 필요한 재원 확보를 위해 정부 R&D 예산, 국토부 R&D 예산을 추정하여 동 사업의 운영기간 동안 재원조달 가능성을 연도별로 평가

○ 동 사업 추진을 위해 필요한 재원은 총 5년간('23~'27) 267억 원

- 사업비 총 374억 원 중 정부출연금 280억원(75.0%), 민간부담 94억원(25.0%)으로 구성되며 연도별 필요재원은 아래 표와 같음

〈표 6-9〉 연차별 투자계획

(백만원)

구 분 (사업기간)	총사업비	연차별 투자계획				
		'23	'24	'25	'26	'27
○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발 ('23~'27)	37,400	5,500	10,400	11,900	5,800	3,800
○ 국 고	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
■ 출연	28,000	4,100	7,800	9,000	4,300	2,800
○ 민간매칭 등	9,400 이상	1,400	2,600	2,900	1,500	1,000

* 민간매칭은 향후 정부투자에 따라 변경가능

○ 미래형 모듈러 부유식구조체 기술개발사업의 연도별 필요예산을 국토교통부 R&D 예산과 신규 R&D 가용예산을 비교하여 재원조달 가능성 진단

- 2023년에 1차년도 사업시작으로 총 필요예산은 41억원(국비)으로 국토교통부 신규추진 R&D 가용예산 5,984억원 내(0.69%)에서 수용 가능

- 2023년부터 2027년까지 국토교통부 R&D 신규 가용예산의 0.08%~5.2% 수준을 보이고 있어 동 사업 추진은 국토교통부 R&D 예산 내에서 조달이 가능할 것으로 평가

〈표 6-10〉 국토교통부 신규 R&D 사업 가용예산 대비 동 사업 예산 검토

(단위: 억원)

구분	2023	2024	2025	2026	2027	합계
국토교통부 신규 R&D 예산(전망)*	5,984	8,555	8,757	9,948		
동사업 소요예산(국비)	41	78	90	43	28	280
비율	0.69%	0.91%	1.03%	0.43%	%	%

* 국토 교통 R&D 예산 추정치에서 계속사업('22년~'30년) 소요예산을 제외하여 신규 R&D사업의 가용예산 추정

□ 법/제도적 위험요인

○ (사업추진 근거법령의 적절성) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업의 사업추진 근거법령은 「국토교통과학기술육성법」으로, 동법 제8조와 제9조에서는 연구개발사업의 추진과 공동연구·개발 등을 지원할 수 있다고 명시하고 있음

- 해저터널·인공섬 기술개발 사업은 국토교통과학기술육성법에서 정하는 국토교통 기술에 해당
  - “국토교통과학기술"이란 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통분야 산업의 발전에 관한 과학기술로서 관계 법령에서 정한 기술을 말함

○ (타 법령과의 충돌 가능성) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업의 개발기술의 목적물에 따라 관련 법률을 검토한 결과, 타 법령과의 충돌 가능성은 낮을 것으로 예상

- 검토 법률: 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 교통안전 법, 국가통합 교통체계 효율화법, 건설기술진흥법 등

○ (국가연구개발사업 절차의 누락 가능성) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업은 예비타당성조사 대상에 해당하지 않으며 세부 절차적인 사항은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 근거하고 있어 국가연구개발사업 절차의 누락 가능성은 낮음

- 국가연구개발사업의 추진체계는 중앙행정기관, 연구관리전문기관, 연구기관으로 구분되며, 사업의 기획, 사업의 공고 및 신청, 과제평가 및 선정, 연구협약, 연구비 지급 및 사용, 결과보고 및 최종평가, 연구비 정산 순서의 절차를 따름
- 동 과제는 사업의 기획 단계로서, 세부 절차적인 사항은 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 근거하여 진행됨

6.3 경제적 타당성 분석

(1) 비용 산정

□ 비용산정 기준

○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업의 비용구조는 4개 세부과제 연구비로 구성

- 4개 세부과제별로 연간 R&D 투자금액에 할인율 4.5%를 적용하여 현재가치화한 비용을 최종 비용으로 산정
  - 동 사업은 총 5년('23~'27년)간 정부 출연금 280억원과 민간 94억원으로 총 374억원의 예산을 투입하여 추진할 예정

□ 비용산정 결과

○ 동 사업에 투입될 비용을 현재가치화하면 약 317.01억원

〈표 6-11〉 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업 비용

(단위: 억 원)

차수	연도	비용분석	
		비용	비용현가(2021년 기준)
			할인율 4.5%
1	2023	55.00	50.37
2	2024	104.00	91.13
3	2025	119.00	99.79
4	2026	58.00	46.54
5	2027	38.00	29.18
합계		374.00	317.01

(2) 편익 분석

□ 편익 항목

○ 국가연구개발사업에서 규정하는 편익항목은 가치창출편익과 비용저감편익으로 구분

- (가치창출편익) 연구개발사업의 결과로 소비자의 후생을 향상시키거나 사업의 산출물이 시장을 통해

거래됨으로서 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 사업의 목적으로 할 때 적용

- (비용저감편익) 연구개발사업을 통해 개발된 기술을 적용함으로써 특정분야에서 기존의 비용소요가 감소될 수 있는 경우에 적용

〈표 6-12〉 연구개발부문 예비타당성조사의 편익항목 구분

구분	세부 편익항목	설명
가치창출편익	소비자 중심 편익	• 연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우, 후생경제학에 근거
	생산자 중심 편익	• 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우, 시장수요접근법이 대표적
비용저감편익	생산비용저감 편익	• 자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감
	피해비용저감 편익	• 재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용의 저감

* 자료:「국가연구개발사업 예비타당성 수행 세부지침」, KISTEP, 2020.1

□ 본 사업의 편익 항목 검토

○ 동 사업은 장대 부유식 교량을 대상으로 수중교량, 풍력터빈, 부두·활주로, 인공도시 등에 확장 가능한 반영구적 인프라 부유식 구조체 설계기준 및 엔지니어링 적용 기술을 개발하는 사업으로 4대 세부기술의 통합 시스템인 부유식교량의 구현을 통해 발생하는 가치창출 편익(생산자 중심 편익)을 적용함

□ 분석대상 기간

○ (회임기간) 미래형 모듈러 부유식구조체 기술개발사업의 성과물이 사업화에 필요한 회임기간은 5년으로 가정하여 적용

- 연구개발활동에 대한 투자가 이루어진 후 경제적 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 기간을 회임기간이라고 정의

* 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(2020.1)에서는 일반적으로 기초연구는 5년, 응용·개발연구는 3년을 회임기간으로 설정하도록 제시

- 국토교통기술은 통상적으로 사업화까지 5년 이상 장기간이 소요됨을 고려하였고 또한 부유식 구조체의 구현 및 유지관리 시스템 구축 등 최종 성과에 대한 효과를 기대하기 위해 일반적인 응용·개발연구보다 장시간이 걸릴 것으로 예상되어 회임기간을 5년으로 가정하였음

○ (분석 대상기간) 동 사업이 추진되는 2023년(1차년도)을 시작으로 편익이 발생하는 최종년도까지를 분석대상 기간으로 설정

- 국가연구개발사업 특성상 기술개발분야에 따라 발전속도가 다른 점을 고려하여 기술의 특허분석을

통해 산출되는 기술수명주기를 편익 회임기간 이후부터 적용

- 편익발생기간은 5년을 편익 회임기간으로 설정하고, 이후 특허분석을 통해 산출된 기술수명주기(Technology Cycle Time: TCT)의 중앙값[102] 적용

- 동 사업의 핵심기술별 인용특허수명(Cited Patent Life-Time: CLT)를 기준으로 기술의 수명주기를 적용하여 편익 발생기간을 산정한 결과, 분석대상 기간을 총 9년으로 적용(평균 8.93년으로 도출)

〈표 6-13〉 세부기술별 기술수명주기

구분	특허명	인용수명 (중앙값)	수명주기(년)
[1세부] 부유식 인프라 구조체 핵심 엔지니어링 기술개발	• *E01D 교량*	10	8.72
	• *E01F 도로의 부대설비의 설치 또는 플랫폼*	9	
	• *E04C 구조요소(건축재료: 교량, 터널 등)*	12	
	• *F16G 케이블 또는 로프를 서로 또는 다른 것에 결착하기 위한 수단(교량 케이블을 위한 케이블 클램프)*	10	
	• *G06G 광학적 아날로그 계산장치 및 특정계산식에 기초한 컴퓨터시스템*	8	
	• *G01B 길이, 두께 또는 유사한 직선치의 측정(면적 측정, 표면 또는 윤각의 불규칙성 측정)*	8	
	• *G02B 광학요소, 광학계 또는 광학장치(사진촬영 또는 투사 또는 관찰용 장치 또는 배치)*	6	
	• *G06J 하이브리드 컴퓨터(영상데이터 처리를 위한 신경회로망)*	8	
	• *G06M 계수 메커니즘(디지털정보 전송을 위한 스위칭 네트워크에서 문자, 단어, 메시지를 계수하는 것)*	8	
	• *H03K 펄스(PULSE) 기술(펄스를 갖는 정현파진동의 변조)*	6	
[2세부] 경량 내해수 기능성 신소재 개발	• *E01C 도로, 경기장 또는 그와 유사한 것의 건설 또는 그 표면의 시공*	10	10.75
	• *E01D 교량*	10	
	• *E04C 구조요소(건축재료: 교량, 터널 등)*	12	
	• *E04G 비계; 거푸집; 거푸집 널; 건축용기구 또는 기타 건축용 보조구 또는 그것들의 사용; 현장에서의 건축재료의 취급; 현존하는 보수, 해체, 또는 기타작업*	11	
[3세부] 신형식 부유식 구조체 가설기술 개발 및 테스트베드 검증	• *G08B 신호 또는 호출시스템(지령발신장치 및 경보시스템)*	8	8.44
	• *E01D 교량*	10	
	• *E01F 도로의 부대설비의 설치 또는 플랫폼*	9	
	• *E04C 구조요소(건축재료: 교량, 터널 등)*	12	
	• *E04G 비계; 거푸집; 거푸집 널; 건축용기구 또는 기타 건축용 보조구 또는 그것들의 사용; 현장에서의 건축재료의 취급; 현존하는 보수, 해체, 또는 기타작업*	11	
	• *G06K 데이터의 인식(데이터 표시, 기록매체 및 취급 등)*	7	
	• *G11B 기록매체와 변환기 사이의 상대적인 운동을 기본으로 하는 정보저장*	6	
	• *G06C 모든 계산이 기계적으로 행하여지는 디지털 컴퓨터*	8	
	• *H04W 무선통신네트워크*	5	
[4세부] 리스크기반 스마트	• *E04C 구조요소(건축재료: 교량, 터널 등)*	12	7.86
	• *G01D 특정변량을 위해서 특별히 적용되지 않는 측정*	8	
	• *G01H 기계적 진동 또는 초음파, 음파 또는 이음파 측정*	8	

102) 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 기술가치평가시스템(http://www.starvalue.or.kr) 기술수명 참조

구분	특허명	인용수명 (중앙값)	수명주기(년)
팩토리형 O&M 기술개발	• *G01K 온도의 측정(열량의 측정 및 달리 속하지 않는 감온소자)*	8	
	• *G01Q 스캐닝 프로브 기술 혹은 장치*	7	
	• *G01S 무선의 의한 방위결정(무선전파, 음파 또는 기타의 파의 반사 또는 재반사와 무관한 다른 방법에 의한 물체 또는 목표물 탐지)*	7	
	• *H04W 무선통신네트워크*	5	
평균			8.93

□ 편익 추정

○ 동 사업의 구체적 가치창출 편익(생산자 중심 편익)을 적용하여 산출

사업 편익	=	① 부유식 구조체 시장규모	×	② 국내 점유율	×	③ 사업 기여율	×	④ R&D 기여율	×	⑤ 사업화 성공률	×	⑥ 사회적 할인율

□ 부유식 구조체 시장 규모 추정

○ 미래형 모듈러 부유식구조체 기술개발사업을 통해 적용될 국내 시장의 현황 및 전망치를 기준으로 동 사업의 최종 편익기간까지의 시장규모 추정

- 동 사업에서는 다양한 부유식구조체(부유식 교량, 부유식 인공섬, 부유식 플랜트, 부유식 풍력발전, 부유식 태양에너지 등)를 타깃으로 하고 있으나 부유식 구조체들의 실제 건설 가능성을 고려하여 제3세부과제 테스트베드의 목적물인 '부유식교량'을 중심으로 시장을 추정함
  - 연구개발사업의 경제성분석은 연구개발 수행을 통한 실질적이면서도 직접적인 편익을 고려하여 추정되어야 함

○ 전 세계 부유식 교량 시장은 '14~'19년 27억 달러 규모에서 연평균 39% 증가하여 '20~'24년에는 38억 달러 규모로 성장할 것으로 예측

- '19년 기준 세계 10대 부유식 교량의 건설비용은 20년간 약 63억 달러이며 가장 긴 부유식 교량은 미국 시애틀의 Evergreen Point Floating Bridge로 공사비용은 4억 5천만 달러에 달함
- 현재까지 건설된 경간장 기준 10대 부유식 교량의 건설 기간 및 비용을 토대로 추정한 시장 규모의 선형 증가율을 활용하여 편익 기간인 '20~'24년 시장 규모를 예측

* 연평균 증가율을 사용하지 않는 것은 시장규모의 과대 추정을 방지하기 위함

[그림 6-6] 전세계 부유식 교량 시장규모 예측

□ 기타 변수 추정

〈표 6-14〉 사업 편익도출 주요 항목별 적용값과 근거

항목	적용값	근거
편익기간	2032~2040년	과제완료시점 및 기술수명주기를 고려
국내 기업 시장점유율	4.5%	기준년도의 국내기업의 세계시장 점유율의 평균값을 최초값으로 하여, 편익기간 종료시점까지 상승분 없이 일정한 것으로 가정
기술수명주기	8.93년 = 9년	- 인용특허수명(Cited Patent Life-Time: CLT)를 기준으로 기술의 수명주기를 적용
사업기여율	5.4%	유사사업 예산 대비 동사업의 총사업비 비중을 고려
R&D기여율	35.4%	예타 표준지침(제2판), KISTEP, 2014.11
R&D 사업화 성공률	26.5%	국토교통연구개발사업의 성과물이 사업화에 성공하여 실제 발주현장에 적용되는 비율 26.5% 적용
사회적 할인율	4.50%	예타 수행 총괄지침, KISTEP, 2020.1
기준연도	2021년	사업 기획시점

□ 기타 변수 추정

○ 부유식구조체 기술개발사업의 편익 추정 결과 '32~'40년, 9년간 총 87억원의 편익('21년 현재가치 기준)이 발생할 것으로 예상됨

〈표 6-15〉 사업 편익 분석 결과

(단위 : 억원)

구분	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	합계
부유식 교량 시장규모(십억달러)	3.4769	3.6783	3.8797	4.0810	4.2824	4.4837	4.6851	4.8864	5.0878	38.54
부유식 교량 시장규모(억원)	38961	41218	43474	45730	47986	50243	52499	54755	57011	431,877
시장점유율 (4.5%)	1,753	1,855	1,956	2,058	2,159	2,261	2,362	2,464	2,566	19,434
사업기여율 (9.3%)	163.1	172.5	181.9	191.4	200.8	210.3	219.7	229.2	238.6	1,807.4
R&D 기여율 (35.4%)	57.7	61.1	64.4	67.7	71.1	74.4	77.8	81.1	84.5	639.8
사업화 성공률(26.5%)	15.3	16.2	17.1	18.0	18.8	19.7	20.6	21.5	22.4	169.6
2021 년 현재가치화	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.8	9.7	9.7	**87.0**

(3) 비용-편익 분석

○ 동 사업의 총 비용 및 편익 추정을 통한 경제적 타당성 분석결과, BC Ratio는 0.37로 나타났음

〈표 6-16〉 비용편익분석 결과

(단위 : 억원)

연도	비용(Cost) 합계(NPV)	편익(Benefit) 합계(NPV)	비고
2021	-	-	
2022	37.32	-	사업 운영기간
2023	67.76	-	
2024	75.36	-	
2025	34.38	-	
2026	21.67	-	
2027		-	편익 회임기간
2028	-	-	
2029	-	-	
2030	-	-	
2031	-	-	
2032	-	9.4	편익 발생기간
2033	-	9.5	
2034	-	9.6	
2035	-	9.7	
2036	-	9.7	
2037	-	9.8	
2038	-	9.8	
2039	-	9.7	
2040		9.7	
합계	236.49	87.0	B/C 0.37

제7장

기대효과

7.1 정성적 기대효과
7.2 정량적 기대효과

제7장 기대효과

7.1 정성적 기대효과

(1) 기술적 기대효과

○ 해양 도시 등 미래 사회 건설을 대비한 기술이며, 디지털 설계 및 제작, 생산 기술인 프리팹(prefabrication) 및 모듈러(modular) 기술은 건설산업 디지털 전환의 선도 기술 역할 수행

○ 지진에 대해 격리된 구조형식으로 주요 재난에 강인한 특성을 지니고 있어 회복탄력적(resilient)이며, 지구 온난화에 의한 수면 상승으로 인한 영향을 덜 받는 지속가능(sustainable)한 기술

(2) 경제·사회적 기대효과

○ 대규모 매립이 필요한 공항, 단지 건설, 대수심 횡단이 필요한 교량 건설, 대규모 굴착이 필요한 터널 건설에 비하여 공사비 및 시공 기간에서 경제적 우위에 있으며 확장이나 이동설치가 가능

○ 디지털 엔지니어링 기술을 통한 부유식 구조물 건설은 제작 및 가설단계의 원가절감 및 고품질 모듈러 구성품 제작을 가능하게 함으로써, 이를 활용한 친환경인공경량골재, 초고성능 콘크리트, FRP, 고강도 내해수 후판강 등 부유식 구조물용 신소재 적용에 따른 고성능 Mega-float 시스템 개발을 통한 고부가가치 건설 산업의 토대가 될 것으로 기대

(3) 환경적 기대효과

○ 하부구조가 직접 지면에 설치되지 않으므로 일반적인 해상 구조물 설치 방법인 교각 건설, 매립 시 굴착 등으로 인해 발생하는 오탁수 오염 등 환경오염 최소화 가능

○ 2010년에 가덕도 해안에 부유식 공항건설이 제안된 바 있으며, 해상에 부유식 공항을 건설하게 되면 연약지반 극복, 건설비용 절감, 환경파괴 최소화, 해양 생태계 보존 등의 이점이 기대되어 정책 추진에 기여할 수 있음

7.2 정량적 기대효과

(1) 분석 방법 개요

○ 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업이 경제 전체에 미치는 파급효과 중 R&D 투자 효과만을 산업연관분석을 통해 추정함

- R&D 투자 효과 분석은 R&D 투자 자체를 연구개발산업으로 간주함
- 따라서 R&D 투자 효과는 본 사업의 예산이 연구개발산업의 최종수요로 간주되며, 그것이 경제적 파급영향 경로를 통해 전체 경제에 직·간접적으로 어떠한 영향을 미치는 지를 분석함으로써 그 효과를 추정할 수 있음

○ 본 절에서는 산업연관분석 중 협의 개념을 가지는 생산활동 파급효과를 분석 모형으로 이용함

- 협의의 산업연관분석은 산업연관분석중 생산활동파급효과를 의미함
- 생산활동파급효과는 산업 또는 부문간 투입과 산출 관계를 나타내주는 산업연관표와 투입산출(Input-Output) 모형을 이용함
- 이는 한 산업의 최종수요가 변화할 때 경제에 미치는 직·간접적인 생산, 부가가치, 수입, 고용 등의 유발 효과를 측정하는 방법을 의미함
- 따라서 본 보고서에서의 산업연관효과의 측정은 생산유발액, 부가가치유발액, 취업유발인원으로 평가됨

(2) 유발계수의 도출 방법과 의미

□ 산업연관표의 종류

○ 산업연관표는 산업별 중간투입액 그리고 최종수요(소비, 투자)액에 대하여 국산재와 수입재 구분 여부에 따라 경쟁수입형표(competitive imports type), 비경쟁수입형표(non-competitive imports type)로 구분됨

- 경쟁수입형표란 중간투입재와 최종수요(수출은 제외)재의 국산재와 수입재를 구분하지 않고 하나의 형태로 나타내는 투입산출표(총거래표)를 의미함
- 비경쟁수입형표는 국산재만 포함되는 국산거래표(Transactions Table of Domestic Goods and Suvices)와 수입재만 포함되는 수입거래표(Transactions Table of Imported Goods and Services)의 투입산출표가 존재함

□ 생산유발계수의 도출과 의미

○ 특정 산업의 최종수요가 변화하면서 발생하는 생산유발액을 측정하기 위해서는 생산유발계수 값이 필요

○ 특정 산업의 생산유발계수를 도출하기 위해서는 우선 A^d 즉 국산거래표의 투입계수행렬을 계산

- 이는 비경쟁수입형표중 국산거래표상 내생부문 각 열에 대하여 총거래표상 해당 산업의 총투입액 또는 총산출액 벡터로 나누어 구할 수 있음
- 산업별 중간투입액은 총거래표상 중간수요 행렬을 이용하지 않고 비경쟁수입형표중 국산거래표의 중간수요 행렬을 이용해야 됨
- 위와 같이 다른 종류의 산업연관표를 사용하는 이유는 총거래표상의 중간투입액과 산출액은 수입재가 포함되어 있기 때문에 순수한 국내 산업 활동의 영향을 파악하기 어렵기 때문임

○ 위에서 도출된 국산투입계수행렬(A^d)을 국산생산유발계수행렬(표)로 전환하는 방법은 국산투입계수행렬(A^d)과 동일한 차원을 가지는 항등행렬에서 국산투입계수행렬(A^d)을 빼고 이에 대해 역행렬(Leontief lnverse Matrix)을 구하는 방법을 사용함

- 국산생산유발계수표 : $(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\alpha_{11}\,\alpha_{12}\\ \alpha_{21}\,\alpha_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)
- 국산생산유발계수 행렬의 각각의 원소 α_{ij}는 i 산업부문 생산물의 최종수요 한 단위 증가할 때 j 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 생산파급효과를 의미함

○ 국산생산유발계수표를 열(row)로 볼 때 j 번째의 열의 값을 모두 합하면 그 값은 j 산업의 생산유발계수가 됨

○ 생산유발계수의 의미는 A산업의 생산유발계수가 2라면 A산업에 대한 소비, 투자, 수출의 최종수요가 1원 증가할 때, 승수효과에 의해 A산업과 나머지 다른 산업을 포함한 경제 전체에 직·간접적으로 2원이 유발된다는 것

□ 부가가치유발계수

○ 부가가치유발계수를 구하기 위해서는 부가가치유발계수행렬을 도출해야 하는데, 이는 앞에서 만들어진 국산생산유발계수행렬 ($(I-A^d)^{-1}$)에 부가가치계수벡터의 대각행렬($\widehat{A^v}$)을 곱하여 계산

- 대각행렬이란 주대각원소가 0이 아닌 값을 가지고, 나머지 원소들이 모두 0인 행렬을 의미함
- 부가가치계수란 경쟁수입형표 즉 총거래표 상의 부가가치 벡터를 총거래표상의 총산출 벡터로 나누어 구할 수 있으며, 이에 따라 부가가치유발계수표는 아래와 같은 형태를 가짐

- 부가가치유발계수표: $\widehat{A^v}(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\gamma_{11}\gamma_{12}\\ \gamma_{21}\gamma_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)
- 부가가치유발계수 행렬의 각각의 원소 γ_{ij}는 i 산업부문 생산물의 최종수요 한 단위 증가할 때 j 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 부가가치파급효과를 의미함

○ 부가가치유발계수표를 열(row)로 볼 때 j 번째의 열의 값을 모두 합하면 그 값은 j 산업의 부가가치유발계수가 됨

○ 부가가치유발계수의 의미는 A산업의 부가가치유발계수가 0.5라면 A산업에 대한 소비, 투자, 수출의 최종수요가 1원 증가할 때, A산업을 포함한 경제 전체에 직·간접적으로 0.5원의 부가가치가 유발된다는 것임

□ 수입유발계수

○ 수입거래표를 이용하여 부가가치유발계수를 도출하는 방식과 유사한 방법으로 수입유발계수를 도출할 수 있으나, 보다 간단히는 국산투입산출표와의 정합 관계를 이용하여 계산이 가능함

- 즉 수입유발계수와 부가가치계수와의 합이 1인 점을 이용하여 1에서 부가가치유발계수를 뺌

○ 수입유발계수의 의미는 A산업의 수입유발계수가 0.2이라면 A산업에 대한 소비, 투자, 수출의 최종수요가 1원 증가할 때, 경제 전체에 유발되는 수입액은 0.2원이 된다는 것

□ 취업유발계수

○ 취업유발계수를 구하기 위해서는 취업유발계수행렬을 도출해야 하는데, 이는 앞에서 만들어진 국산생산유발계수행렬 ($(I-A^d)^{-1}$)에 취업계수의 대각행렬($\widehat{l_w}$)을 곱하여 계산함

- 대각행렬이란 주대각원소가 0이 아닌 값을 가지고, 나머지 원소들이 모두 0인 행렬을 의미함
- 취업계수란 산업연관표 부속표중 고용표상의 취업자수를 경쟁수입형표 즉 총거래표 상의 총산출 벡터로 나누어 구할 수 있음
- 취업계수 : $l_w = L_w / X$ (단, l_w: 취업계수, L_w: 총취업자수, X:총산출액)
- 이에 따라 취업유발계수표는 아래와 같은 형태를 가짐
- 취업유발계수표: $\widehat{l_w}(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\theta_{11}\theta_{12}\\ \theta_{21}\theta_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)
- 취업유발계수 행렬의 각각의 원소 θ_{ij}는 i 산업부문 생산물의 최종수요 한 단위 증가할 때 j 산업부문에서 직·간접으로 유발되는 취업유발인원을 의미함

○ 산업별 취업유발계수란 특정 산업의 최종수요가 10억원 증가할 때 해당 산업을 포함하여 경제 전체에 유발되는 취업자수를 의미함

- 예를 들어 A산업의 취업유발계수가 20명이라면 A산업에 대한 소비, 투자, 수출의 최종수요가 10억원 증가할 때, 경제 전체에 직·간접적으로 20명의 취업자가 유발됨을 의미

□ 미래형 모듈러 부유식 구조체 분야는 산업연관표 분류상 건설 분야뿐 아니라 컴퓨터, 전자 및 광학기기(O&M 기술), 비금속 광물제품(경량 내해수 기능성 신소재) 일부를 포함하므로, 각 부문의 비율을 설정하여 추정함

○ 전문가 논의 결과, 동 사업 기술개발 영역 중 컴퓨터·전자 및 광학기기 및 비금속 광물제품과 밀접하게 관련되어 있는 연구영역의 비율을 고려하여 아래와 같이 확정

- 건설 : 0.8
- 컴퓨터·전자 및 광학기기 : 0.1
- 비금속 광물제품 : 0.1

□ 2015년 산업연관표 기준 '건설' 분야와 '컴퓨터·전자 및 광학기기', '비금속 광물제품'의 유발계수 값을 아래와 같이 발췌, 적용함

○ 건설 분야

- 2015년 산업연관표 기준 생산유발계수는 최종수요 단위당 1.997
- 2015년 산업연관표 기준 부가가치유발계수는 최종수요 단위당 0.804
- 2015년 산업연관표 기준 고용유발계수 값은 최종수요 10억원당 9.2명

○ 컴퓨터·전자 및 광학기기 분야

- 2015년 산업연관표 기준 생산유발계수는 최종수요 단위당 1.703
- 2015년 산업연관표 기준 부가가치유발계수는 최종수요 단위당 0.604
- 2015년 산업연관표 기준 고용유발계수 값은 최종수요 10억원당 3.8명

○ 비금속 광물제품 분야

- 2015년 산업연관표 기준 생산유발계수는 최종수요 단위당 2.908

- 2015년 산업연관표 기준 부가가치유발계수는 최종수요 단위당 0.753
- 2015년 산업연관표 기준 고용유발계수 값은 최종수요 10억원당 6.6명

○ 가중치(건설 0.8, 컴퓨터·전자 및 광학기기 0.1. 비금속 광물제품 0.1)를 고려하여 동 사업 최종수요를 기준으로 계수를 산정한 결과

- 2015년 산업연관표 기준 최종 생산유발계수는 최종수요 단위당 1.9777
- 2015년 산업연관표 기준 최종 부가가치유발계수는 최종수요 단위당 0.7789
- 2015년 산업연관표 기준 최종 고용유발계수 값은 최종수요 10억원당 8.4명

〈표 7-1〉 사업 분야의 생산 및 부가가치 및 취업 유발계수

	생산유발계수 (최종수요 단위당)	부가가치유발계수 (최종수요 단위당)	고용유발계수 (최종수요 10억원당)
건 설 (0.8)	1.997	0.804	9.2
컴퓨터, 전자 및 광학기기 (0.1)	1.703	0.604	3.8
비금속 광물제품 (0.1)	2.098	0.753	6.6
가중치 부여 종합	1.8982	0.7638	8.0

출처: 한국은행, 2015년 산업연관표

(3) 유발효과의 추정 방법과 의미

□ 생산, 부가가치, 취업의 유발계수를 이용하여 실제 최종수요가 증가하였을 때 경제 전체적으로 어느 정도 규모의 생산, 부가가치, 고용이 창출되는 지를 계산할 수 있음

○ 특정 산업(부문)의 생산유발액을 계산하기 위해서는 해당 산업의 국산생산유발계수에 최종수요를 곱해서 추정됨

- 이를 수식으로 표현하면 다음과 같음
- $(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\alpha_{11}\,\alpha_{12}\\ \alpha_{21}\,\alpha_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)이라 할때
- 산업의 최종수요에 대한 생산유발액은 $\begin{pmatrix}\alpha_{11}\,\alpha_{12}\\ \alpha_{21}\,\alpha_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ \Delta Y_2\end{pmatrix}$와 같이 계산되는데

- 이 때 1산업의 최종수요에 따른 직·간접적인 생산유발액은 $\begin{pmatrix}\alpha_{11}\alpha_{12}\\ \alpha_{21}\alpha_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ 0\end{pmatrix}$이 되고, 이를 계산하면 $\begin{pmatrix}\alpha_{11}\Delta Y_1\\ \alpha_{21}\Delta Y_1\end{pmatrix}$과 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\alpha_{11}\\ \alpha_{21}\end{pmatrix}$이 됨
- 여기서 $\begin{pmatrix}\alpha_{11}\\ \alpha_{21}\end{pmatrix}$이 1산업의 생산유발계수이므로 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\alpha_{11}\\ \alpha_{21}\end{pmatrix}$은 1산업의 최종수요가 ΔY_1만큼 증가할 때 경제전체에 직·간접적으로 유발되는 생산유발액이 됨

○ 특정 산업(부문)의 부가가치유발액을 계산하기 위해서는 해당 산업의 부가가치유발계수에 최종수요를 곱해서 추정됨

- 이를 수식으로 표현하면 다음과 같음
- $\widehat{A^v}(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\gamma_{11}\gamma_{12}\\ \gamma_{21}\gamma_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)이라 할때
- 산업의 최종수요에 대한 부가가치유발액은 $\begin{pmatrix}\gamma_{11}\gamma_{12}\\ \gamma_{21}\gamma_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ \Delta Y_2\end{pmatrix}$와 같이 계산되는데
- 이 때 1산업의 최종수요에 따른 직·간접적인 부가가치유발액은 $\begin{pmatrix}\gamma_{11}\gamma_{12}\\ \gamma_{21}\gamma_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ 0\end{pmatrix}$이 되고, 이를 계산하면 $\begin{pmatrix}\gamma_{11}\Delta Y_1\\ \gamma_{21}\Delta Y_1\end{pmatrix}$과 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\gamma_{11}\\ \gamma_{21}\end{pmatrix}$이 됨
- 여기서 $\begin{pmatrix}\gamma_{11}\\ \gamma_{21}\end{pmatrix}$이 1산업의 부가가치유발계수이므로 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\gamma_{11}\\ \gamma_{21}\end{pmatrix}$은 1산업의 최종수요가 ΔY_1만큼 증가할 때 경제전체에 직·간접적으로 유발되는 부가가치유발액이 됨

○ 특정 산업(부문)의 고용유발인원을 계산하기 위해서는 해당 산업의 고용유발계수에 최종수요를 곱해서 추정하며 이를 수식으로 표현하면 다음과 같음

- $\widehat{l_w}(I-A^d)^{-1}=\begin{pmatrix}\theta_{11}\theta_{12}\\ \theta_{21}\theta_{22}\end{pmatrix}$ (2부문일 경우)이라 할때
- 산업의 최종수요에 대한 취업유발인원은 $\begin{pmatrix}\theta_{11}\theta_{12}\\ \theta_{21}\theta_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ \Delta Y_2\end{pmatrix}$와 같이 계산되는데
- 이 때 1산업의 최종수요에 따른 직·간접적인 고용유발인원은 $\begin{pmatrix}\theta_{11}\theta_{12}\\ \theta_{21}\theta_{22}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\Delta Y_1\\ 0\end{pmatrix}$이 되고, 이를 계산하면 $\begin{pmatrix}\theta_{11}\Delta Y_1\\ \theta_{21}\Delta Y_1\end{pmatrix}$과 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\theta_{11}\\ \theta_{21}\end{pmatrix}$이 됨
- 여기서 $\begin{pmatrix}\theta_{11}\\ \theta_{21}\end{pmatrix}$이 1산업의 고용유발계수이므로 $\Delta Y_1\begin{pmatrix}\theta_{11}\\ \theta_{21}\end{pmatrix}$은 1산업의 최종수요가 ΔY_1만큼 증가할 때 경제전체에 직·간접적으로 유발되는 고용유발인원이 됨

(4) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업의 R&D 투자 효과 추정 결과

□ **미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업의 R&D 투자 효과는 2023~2027년 기간동안 총 280억원*을 투자할 경우 직접적 생산유발효과는 553.76억원, 부가가치유발효과는 218.09억원 등 총 771.85억 원의 경제적 효과 창출 예상**

* 민간투자 규모 미확정으로, 정부출연금 기준으로 산출함

○ (생산유발액) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업은 '23~'27년 기간동안 280억원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 395.54억원의 생산을 창출할 것으로 추정됨

* 553.76억원(생산유발액) : 280억원(총예산) × 1.9777(생산유발계수)

○ (부가가치유발액) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업은 '23~'27년 기간동안 280억원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 155.78억원의 부가가치를 창출할 것으로 추정

* 218.09억원(생산유발액) : 200억원(총예산) × 0.7789(부가가치유발계수)

○ (고용유발효과) 미래형 모듈러 부유식 구조체 기술개발사업은 '23~'27년 기간동안 280억원이 투입되어 경제 전체에 직·간접적으로 235.2명의 고용을 창출할 것으로 추정

* 235.2명(고용유발효과) : 280억원(총예산) ×8.4(고용유발계수)/10

별첨 2

케이블교량 O&M
디지털 전환 실증 기술개발
기획보고서

2021. 12.

국토교통부

KAIA
국토교통과학기술진흥원

목 차

Ⅰ. 사업추진 개요 ····· 1

1. 추진배경 및 필요성 ····· 1
2. 지원 근거 ····· 8

Ⅱ. 대내외 환경 분석 ····· 9

1. 정책 동향 ····· 9
2. 시장 동향 ····· 13
3. 기술개발 동향 ····· 17

Ⅲ. 사업 기본방향 및 추진전략 ····· 21

1. 사업 개념 및 범위 ····· 21
2. 사업 추진체계 ····· 22
3. 소요 예산 ····· 25

Ⅳ. 중점분야별 상세 추진방안 ····· 26

1. DT/Data기반 케이블교량 안전성 확보 O&M ····· 26
2. 자율센싱 기반 케이블 교량 사용성/내구성 향상 O&M ····· 33
3. BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증 ····· 33

Ⅴ. 사업의 타당성 ····· 48

1. 사업의 목적 ····· 48
2. 사업의 시급성 ····· 48
3. 정부지원의 필요성 ····· 48
4. 기존 유사 사업 현황 및 차별성 ····· 49

Ⅵ. 기대성과 및 기대효과 ····· 51

1. 성과관리 및 평가 방안 ····· 51
2. 기대효과 ····· 53

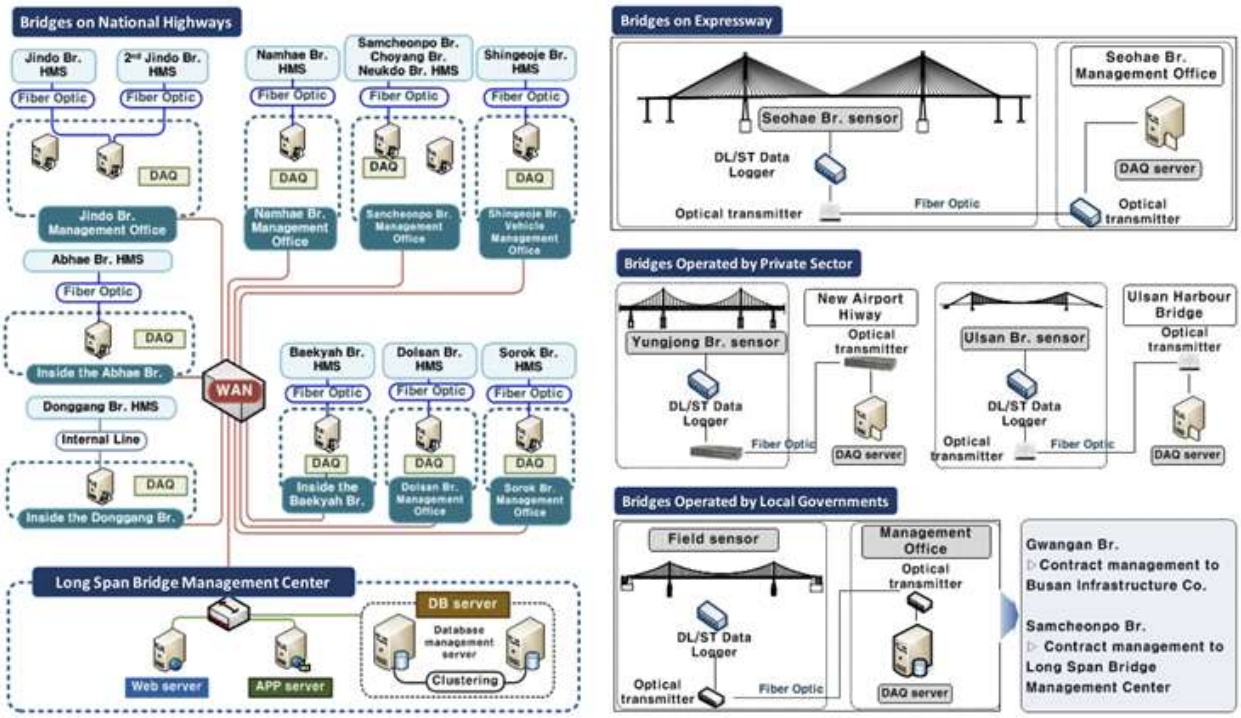
Ⅰ. 사업추진 개요

1. 추진배경 및 필요성

❑ 추진배경

○ (데이터 활용) O&M에서의 낮은 데이터 활용도

- 현재 국내 케이블교량의 O&M 데이터는 교량 모델, 계측 정보, 이미지 정보, 점검 이력 등이 모두 디지털 정보로 구축되고 있음
- 그러나 구축된 디지털 정보의 활용은 빈약하여 임계치 경보, 관리 내역 DB 등 상호 연관이 부족한 비동기화된 데이터 저장에 그치고 있는 수준



[그림 1] 국내 특수교 계측 시설

* 국내 특수교 운영 상황에 대한 개략적 통계 데이터 필요

○ (성능 관리) 시특법 기반 안전성능 관리의 한계

- 시특법에 의한 수준별 점검 체계로 구조물의 안전성능을 관리하고 있음

- 화재 및 이상 기후 등 재난 상황에 대한 대응은 아직 수동적 매뉴얼 기반 대응에 머물고 있음
- 사용성 및 기능성을 포함하는 종합 성능관리 체계는 미흡함
- 경험에 기반한 간헐적, 단속적 유지관리에 그치고 있는 실정

❑ 사업의 필요성

ㅇ (특수교량 맞춤형 유지관리 필요성) 현행 국내에서는 목표수명 100년 이상의 93개의 케이블 교량이 공용중이지만, 대상 교량의 특성을 반영한 맞춤형 유지관리 전략은 전무함

- 개별 교량의 목표수명은 100년 이상. 즉 향후 30여년 뒤에는 수십여개의 노후 케이블 교량을 관리해야 하며 이는 자연스럽게 유지관리 비용의 막대한 부담으로 이어질 수 있음
- 특히 케이블 교량은 대체수단이 부족하기 때문에 선제적인 유지관리를 통해 항상 건전한 상태를 유지해야 함
- SOC 안전강화 및 한국판 뉴딜 등 국가정책 목표의 성공적 달성을 뒷받침하기 위한 선제적 O&M으로의 전환을 위한 기술개발이 필요함
- **따라서 향후 유지관리비 및 사용성의 효율성 제고를 위해서는 케이블 교량의 거동 특성을 고려한 맞춤형 유지관리 전략을 세울 골든타임임**

ㅇ (건설주도에서 성능주도로의 전환시기) 단기간 급성장한 설계와 시공 결과에 운영관리상 경험 부족이 더하여 예상치 못한 O&M 이슈가 지속적으로 드러나고 있음

- 다수의 케이블교량에서 유해진동, 잦은 볼트 파단과 균열, 극심한 소음 발생 등의 국부적 손상이 보고되고 있음. 정확한 원인 규명과 후속 조치가 미비할 경우 대형 참사로 이어질 우려도 높음
- 또한 설계 및 시공 단계에서의 오류, 상세 구조모델의 부재 등의 원인으

로 인하여 예상하지 못한 유해진동이나 핵심 부재(링크슈, 버퍼)에서의 비정상적 거동이 지속적으로 발생함

[최근 10년간 발생한 케이블 교량 주요 이슈]

교량명	형식	주요 이슈	대응전략
제2진도대교	사장교	• 쌍둥이 교량의 간섭효과로 인한 유해진동 발생	• 현상 규명용 2차원 풍동실험 장기간 수행 및 현장 모니터링 데이터와의 검증으로 진동 원인 규명
소록대교	현수교	• 주탑 강도 저하	• 시공 당시부터의 주탑 부분적 강도저하 확인. 제한적 센서를 활용한 민감도 기반 모델 업데이트로 안전성 재평가
이순신대교	현수교	• 에폭시 재도장 및 해당 과정에서 고차모드 와류진동 발생 • 링크슈 앵커볼트, 버퍼 고정볼트 및 지지판 파단 • 박스거더 단부 소음 및 균열 발생 • 풍동실험을 상회하는 풍진동 발생	• 추가 풍동실험 수행 및 계측신호 기반 감쇠비 추정을 통한 진동 원인 규명 • 링크슈에 대한 목적형 상세 모니터링을 통한 설계와 다른 거동 규명 • 설계 피로하중을 상회하는 현상에 대해서는 활하중 모니터링 필요 • 태풍시 지속적 모니터링 및 성능확인 필요
천사대교	사장교	• 케이블의 와류진동 • 케이블의 저차모드 진동(최초보고) • 보강거더 와류진동	• 영상기반 케이블 진동 모니터링 처음 시도로 진동특성 확인 성공. • 주탑에 설치된 CCTV 영상을 육안으로 모두 분석하는 수고를 통하여 진동 원인에 대한 결정적 단초를 획득. 이후 풍공학적 지식을 토대로 각종 진동의 원인 규명.

- 이를 관리하기 위한 건전도 모니터링 시스템이 모든 교량에 구축되어 있으나 실제 O&M에서의 활용도는 극히 저조함.
- 또한, 다양한 디지털 O&M 기술이 거론되고 있지만 실제 장대교량 현장에서는 거의 활용되지 못하고 있으며 아래와 같은 낮은 수준의 O&M 전략만이 활용됨

  * 임계값 기반의 알람 시스템은 정상적 가동상태를 분별하는 데에 한계를 보임
  * 설계시 예상된 거동과 실제 거동에는 상당한 차이가 존재하기 때문에 예

상치 못한 진동이나 손상이 자주 발생하고 있음

* 글로벌 거동 추적에만 초점을 맞춘 SHM 시스템의 한계로 인해 주요 점검대상 부재 단위에서 발생하는 국부손상 감지는 인력 점검에 의존하고 있음

○ (설계와 실제 교량의 차이점) 다수 케이블 교량의 실제 운용 사례를 통해 현재의 정형화된 설계 프로세스로는 케이블 교량에서 실제 발생하는 이상거동을 충분히 예측할 수 없음을 확인함

- 현재의 피쉬본 모델 및 이를 활용한 모델 업데이트는 시간에 따라 발생하는 부재 단위의 열화 및 손상등을 설계 및 유지관리에 반영할 수 없음
- 상시하중인 통행량, 풍속 등에 대하여 설계시 고려하는 하중의 특성과 실제 발생하는 하중 사이에는 큰 차이가 존재함
- 100년간의 구조물 운용 단계에서는 설계에 반영하지 않은 재난 리스크가 필연적으로 상존함. 실제 20-30년에 접어든 국내 교량에서는 화재, 태풍, 선박충돌, 차량 전복과 같은 재난이 연이어 발생하였음

○ (고급화된 서비스) 4차 산업혁명 시대에 대응할 수 있는 고급화된 서비스에 대한 요구

- 자율주행차량은 V2X (Vehicle to Eveyrhiting) 개념을 통해 스마트 시티 모빌리티 관제의 핵심 요소로 급부상하고 있음
- 교량 기술의 핵심이라 할 수 있는 케이블 교량 역시 이러한 흐름에 발맞추어 이상기후나 유해진동에 대응하여 차량, 보행자, 항만, 비행기 등 각종 모빌리티와 상호작용하는 BIX (Bridge interaction with Everything) 수준의 고급화된 서비스를 제공할 필요가 있음

2. 지원 근거

❑ 법적 추진근거

○ 「과학기술기본법」

- 제11조(국가연구개발사업의 추진)

  * 중앙행정기관의 장은 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 그 시책을 세워 추진하여야한다.

○ 「건설기술 진흥법」

  * 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.

- 제3조(건설기술진흥 기본계획)

  * 국토교통부장관은 건설기술의 연구·개발을 촉진하고 그 성과를 효율적으로 이용하며 관련 산업의 진흥을 도모하기 위하여 건설기술진흥 기본계획을 5년마다 수립하여야 한다.

- 제7조(건설기술 연구·개발 사업)

  * 국토교통부장관은 건설기술을 향상시키고 기본계획을 효율적으로 추진하기 위하여 대통령령으로 정하는 기관 또는 단체와 협약을 체결하여 건설기술 발전에 필요한 건설기술 연구·개발 사업을 할 수 있다.

○ 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」

- 제5조(시설물의 안전 및 유지관리 기본계획의 수립·시행)

  * 국토교통부장관은 시설물이 안전하게 유지관리될 수 있도록 하기 위하여 5년마다 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 기본계획을 수립·시행하여야 한다.
  * 4항: 시설물의 안전 및 유지관리에 필요한 기술의 연구·개발에 관한 사항

○ 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」

- 제3조(기본원칙)

* 기반시설의 안전성, 사용성, 내구성 등을 종합적으로 고려하여 선제적 으로 관리함으로써 노후화에 따른 생애주기비용을 최소화한다.

– 제5조(국가 등의 책무)

* 국민이 안전하고 편리한 기반시설 이용을 도모하기 위하여 필요한 종합적인 시책을 수립·시행하여야 한다.

– 제17조(연구개발의 촉진 등)

* 기반시설의 유지관리 및 성능개선에 필요한 연구 및 기술개발과 전문인력 양성 등을 추진할 수 있다

○ 「도로법」

- 제2조(정의)

* 도로란 차도, 보도, 자전거도로, 측도, 터널, 교량, 육교 등 시설로 구성된 것을 의미하며, 도로의 부속물을 포함한다

- 제59조(도로 계획 등의 정보화)

* 국토교통부장관은 도로의 계획, 건설, 보수, 유지·관리 등과 관련하여 다음 각 호의 업무에 관한 정보시스템을 개발하거나 기존 정보시스템을 지정하여 일반에게 보급할 수 있다.
* 도로포장, 도로 비탈면, 교량 및 터널 등 도로시설물의 보수, 유지·관리에 관한 업무

○ 「국토교통과학기술 육성법」

– 제1조(목적)

* 국토교통과학기술 육성을 위한 기반을 조성하여 산업의 경쟁력을 강화함으로써 국민경제의 지속적인 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 한다.

– 제2조(정의)

* 미래 성장동력 창출 및 국민의 삶의 질 향상을 위하여 필요한 국토교통 분야 산업의 발전에 관한 과학기술을 ‘국토교통과학기술’로 정의한다.

– 제8조(연구개발사업의 추진)

* 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업을 추진할 수 있다.

❑ 국가계획 추진근거

○ 「한국판 뉴딜 종합계획('20. 7.)」에서는 선진국가로 도약하기 위한 대전환을 비전으로 디지털 뉴딜, 그린뉴딜, 안전망 강화 등의 정책방향을 설정하고, 이를 추진하기 위한 28개 추진과제와 투자전략을 제시

- 디지털 뉴딜 내에 4대 분야 중 '1. D.N.A 생태계 강화', '4. SOC 디지털화' 분야에서 교량을 비롯한 국가 기반시설의 ICT 인프라 구축과 주력산업의 디지털 전환 가속화 추진과제를 제시

○ 「제4차 국가과학기술기본계획('18~'22)」에서는 지속가능한 인프라 구조물 건설기술, 지능형 건물관리기술 등을 국가차원의 중점 투자 및 육성이 필요한 중점과학기술로 선정

- 대규모 재해로부터 국민을 지키는 안전확보체계 구축

  * 노후 및 신설 도시 인프라의 예방적 유지관리 시스템 개발

○ 「데이터 산업 활성화 전략(I-Korea 4.0 데이터 분야)」에서는데이터 경제의 급속한 진전에 대응, 혁신성장과 국민 삶의 질 향상을 동시에 실현하면서 새로운 기회로 활용하기 위한 전략 제시

  * 3대 전략 중 '데이터 가치사슬 全주기 혁신' 내 추진과제 '1. 양질의 데이터 구축·개방, 3. 데이터 분석·활용 확산' 등을 통해 기기·센서 등을 통해 수집·생성되는 현장 중심의 실제데이터 구축 확산(도시, 교통, 환경 등), 빅데이터 기반의 실시간 모니터링/사전예측/조기대응의 재난안전 대응 강화 등을 제시

❑ 부처계획 추진근거

○ 「스마트 건설기술 로드맵」에서는 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위해 건설 全단계(설계 · 시공 · 유지관리)에 첨단 스마트 기술을 접목한 스마트 건설기술 개발 로드맵 제시

- 로드맵. 설계-시공-유지관리 단계별 2025/2030년 기술개발 로드맵 제시

* (유지관리) IoT・드론 모니터링 및 빅데이터 구축(2025), 로봇 자율진단 및 디지털트윈 관리(2030), (중점분야・핵심기술) 시설물 점검・진단 자동화(IoT 센서 기반 시설물 모니터링, 드론・로봇 기반 시설물 진단), 디지털트윈 기반 유지관리(시설물 정보 통합 및 표준화, AI 기반 최적 유지관리)

○ 「제6차 건설기술진흥기본계획('18~'22)」에서는 국토인프라 지능화 및 시설물 관리자동화, 노후 인프라 관리 효율화, 노후 인프라 증가로 안전 요구 증대, 스마트시티 등을 건설기술 관련 주요 이슈로 선정

- 스마트 건설기술을 통한 생산성 향상

* 시설물의 안전을 확보하고 유지관리 비용을 절감할 수 있는 대응 기술 개발

- 건설 안전·환경 관리

* 시설물 유지관리의 패러다임이 선제적·예방적 유지관리로의 전환

* 시설물 유지관리 수요의 지속적 증가에 따른 대책 마련

* 건설현장의 안전관리 개선을 위한 첨단기술 활용

○ 「제1차 기반시설 관리 기본계획(2020~2025)」에서는 기반시설 지속 가능성 확보를 위한 스마트 유지관리 기반 구축을 위해 4대 목표(새로운 기반시설 관리 거버넌스 정립, 기반시설 안전등급 보통 이상으로 관리, 스마트 유지관리 신기술 개발을 통한 일자리 확대, 선제적 투자를 통한 미래부담 경감)를 제시

○ 「제시설물의 4 안전 및 유지관리 기본계획(2018~2022)」에서는 '미래요구 대응을 위한 지속가능한 시설물 안전관리 기반 구축'이라는 비전을 통해 국민생활과 밀접한 관계를 갖고 있는 시설물에 대한 안전관리 계획 수립

* (추진전략) 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착, 4차 산업혁명 기술을 활용한 시설물 안전·유지관리 고도화, 융·복합을 통한 미래 대비 산업발전 기반조성, 국민 소통형 시설물 안전·유지관리 서비스 지향

Ⅱ. 대내외 환경 분석

○ (국내) O&M 기술에 대한 높은 관심과 수요에도 불구하고 실제 적용 가능한 수준에는 이르지 못 하였음

- 교량 생애주기 동안의 신뢰성에 대한 관심이 증가하면서 O&M의 필요성이 꾸준히 대두됨
- 한국도로공사에서는 Ubiquitous Bridge Inspection Robot을 활용한 교량 부재의 구조물건전도모니터링(Structural Health Monitoring), Pavement Structure Diagnosis Vehicle을 활용한 교량 상판 포장 균열탐지 등 최신 설비를 이용한 교량 O&M을 운영하고 있음
- 드론과 레이저센서를 이용하여 교량 변위를 모니터링하고 이상 변위를 탐지하는 등, 교량 상태평가에 관한 연구가 활발히 진행되고 있음
- 그러나 기존 연구들은 재난재해의 지역 특성을 배제한 채 구조물 응답만을 O&M 대상으로 삼았고, 재난에 대응하는 부재와 시스템의 종합적인 능력인 레질리언스 척도를 O&M에 체계적으로 고려하지 못하였음

○ (국외) 다양한 디지털 기술을 종합, 구조물의 특성에 따른 맞춤형 O&M에 적극적으로 활용

- 시공 직후, 운영 1일차부터 24/7 O&M 서비스를 제공함으로써 장대교량의 지속성, 운영효율성을 확보하였으며, 드론 등의 다양한 수단을 활용해 구조물 건전도모니터링 시스템을 구축함(덴마크, COWI)
- 단일 빌딩에서부터 도시 전체의 디지털 트윈을 확보하여 재난에 효과적으로 대응할 수 있는 데이터기반 O&M에 관한 연구가 활발히 진행 중임(미국, ASCE)
- 구조시스템의 장소 특정적인 조건을 고려한 주기적 O&M 시스템을 구축함(미국 Novelesolution)

1. 정책 동향

○ 「미국」 최근 교통법의 기조로 기존 도로망의 상태를 점검하고 좋은 서비스를 제공할 수 있도록 운영 및 유지관리를 지원하는 사업 발굴과 투자가 강화

- Moving Ahead for Progress in the 21st Century (MAP-21) (2012년 제정)에서는 미국의 교통 시스템이 처한 여러 가지 어려움을 해결하기 위해 성능평가 기반 자산 관리의 개념을 도입한 복합적 프로그램들의 추진을 규정
- 육상교통정비법 (FAST Act, Fixing America's Surface Transportation Act)에서는 새로운 시설의 구축보다 낙후된 교통시설의 안전성 강화가 더욱 중요하다는 선 보수(Fix-It-First) 전략 하에 예산의 1/3 이상을 도로 및 교량의 유지보수에 할애, 낙후된 인프라의 보수를 추진
- 연방고속도로청(FHWA)은 연구개발 사업을 통하여 교량 건설 및 유지관리 비용 감소를 추진 중

○ 「유럽(EU)」 주요 노후 기반 시설물의 효과적인 유지관리와 성능 향상을 위한 기술 개발 관련 연구 적극 투자

- '13년부터 미국을 포함한 연합국 협력 사업으로 Infravation(An Infrastructure Innovation Programme) Project* 추진, 교량, 터널, 도로포장 등 교통 관련 기반시설물 유지관리 및 성능 향상을 위한 기술 연구 진행

  * Infravation Project를 통해 개발된 기술은 차세대 시설물 성능 평가방법, 시설물 내구성 및 수명연장, 비파괴 검사, 교통흐름 저영향 유지관리 기술, 기후변화 대응 시설물 성능 유지, 에너지 효율적 시설물 건설/운영, 재료 재활용 기술 등, 시설물 유지 관리 전 분야를 망라

- 유럽연합은 2010년 1월 이후 철도 및 도로시설물 유지관리와 관련된 37개의 프로젝트에 9,734만 유로를 투자했으며, 이 중 15개 프로젝트가 도로시설물에 중점을 둔 프로젝트

* 유지관리 프로세스 및 방법: 새롭거나 개선된 방법론 또는 접근 방식을 통한 인프라 수리 및 유지관리 비용/효율성 절약에 중점을 둔 프로젝트(예: 수리 및 유지관리에 대한 프로세스 기반 접근 방식, 엔지니어 등 개인의 전문지식 개발 및 수명주기 계획 개발 등)

○ 「일본」 안전성 확보, 지구 온난화, 글로벌 경쟁력 확보 등을 해결하기 위한 신기술·신공법 등의 건설기술개발 및 유지관리 정책 추진

- 제3차 과학기술 기본계획을 바탕으로 'Innovation25' 장기 전략 추진
  * 안전하고 안심할 수 있는 사회형성을 위해 고속도로교통시스템(ITS)의 도입·보급을 위한 이용환경 정비 등 추진
- 제6차 과학기술·혁신 기본계획을 통해 국민의 안전과 안심을 확보하는 지속가능하고 강인한 사회로의 변혁을 추진
  * 사이버공간과 물리적 공간의 융합으로 새로운 가치 창출을 추진, 이를 위해 정부 디지털화, 디지털청 설치, 데이터 전략 수립(공공 기초정보DB 정비 등)
  * 높은 수준의 회복력 확보로 안전·안심 사회를 구축하며 위협에 대응할 중요한 기술의 선정 및 연구개발을 추진
- 아베노믹스 정책에 포함된 주요 건설정책으로 새로운 성장 전략의 일환인 기반 환경 정비를 포괄
  * 인프라 노후화 등의 내부 환경과 국제 경쟁력 강화라는 외부 환경에 대응하고자, 노후 인프라에 대한 집중적인 선투자를 통한 인프라 및 주택의 효용성 극대화

○ 「한국」 교량 등 시설물 유지관리의 안전성 및 지속가능성 확보 추진

- 국정과제를 통해 도로시설물을 포함한 기반시설의 유지·관리 및 재난 안전관리 체계 등을 구축하여 국민의 안전 확보와 산업 경쟁력 강화 도모
  * ㉜ 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화
- 제6차 건설기술진흥기본계획을 수립하여 스마트 건설자동화 등 4차 산업혁명에 대응하는 기술 개발 계획 수립
  * 스마트 건설기술 개발 등으로 시스템, 장비 기반의 안전체계 구축
  * IoT, 드론 등 4차 산업혁명 첨단 유지관리 기술 개발 및 시설물 이상을 신속 검지·대응

- 제4차 시설물 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하여 미래요구 대응을 위한 지속가능한 시설물 안전관리 기반 구축

  * 4대 목표로 안전하고 오래 사용하는 시설물, 스마트한 시설물, 경제 활성화에 보탬이 되는 시설물, 국민이 믿을 수 있는 시설물 등을 제시

  * 시설물 노후화 대비 선제적 관리체계 정착, 4차 산업혁명 기술 활용 시설물 안전, 유지관리 고도화, 융복합을 통한 미래 대비 산업기반 조성 등을 제시

- 국가안전관리기본계획을 수립하여 국가의 재난 및 안전관리의 기본 방향을 설정

  * 4대 전략 중 재난안전 예방 인프라 확충, 시설물 안전관리 강화 등을 세부 추진과제로 포함

- 제1차 기반시설관리 기본계획 (2020 ~2025) 수립하여 대한민국 기반시설 관리의 종합적 추진방향을 제시

  * (선제적 관리체계 마련) 종합적·선제적 유지관리 계획 체계 정립, 유기적 유지관리 이행체계 구축, (기술·산업 육성) 데이터 기반 과학적 관리체계 구축, 스마트 유지관리 신기술 개발·활용 등을 추진

2. 시장 동향

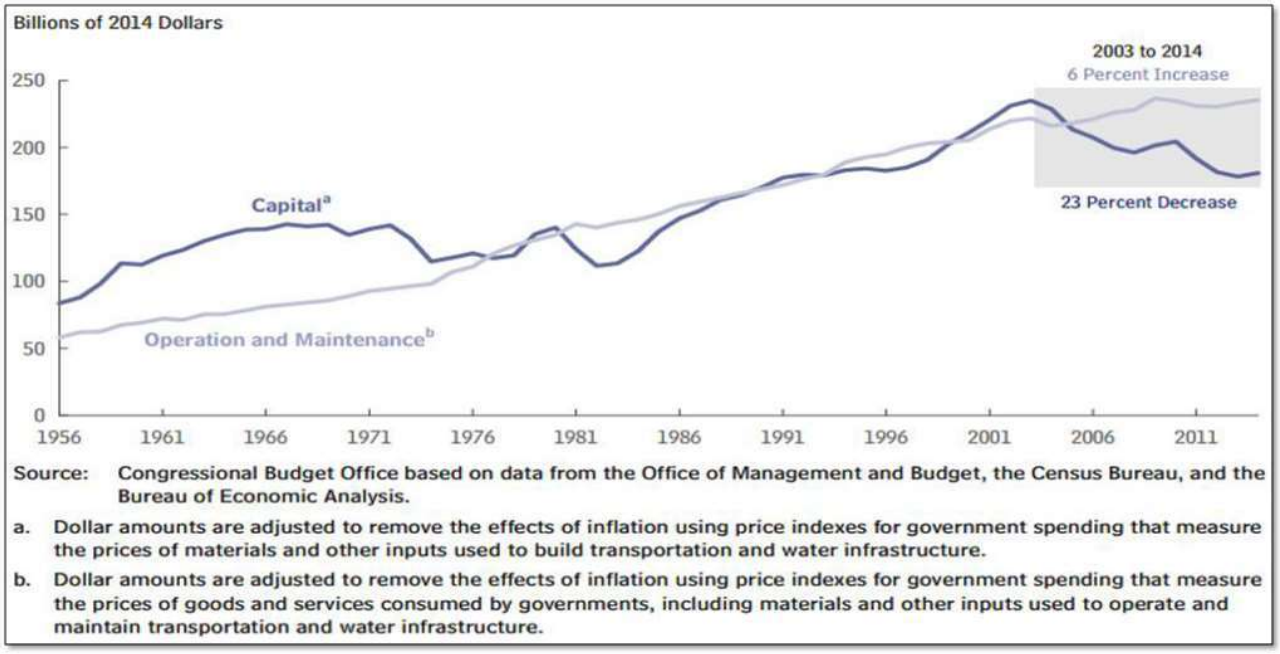
○ 해외 시설물 안전 및 유지관리 산업 동향

- 신규 건설 위주에서 유지관리 투자 확대로 건설 산업의 패러다임 전환, 기반시설물 유지관리 시장 지속 성장 예상

  · (미국) 03년부터 교통 및 수자원 인프라 시설물의 운영 및 관리 예산이 신규 건설 예산을 초과하기 시작

    * 전체 도로건설 예산에서 도로 시설물의 운영 및 유지관리 비용이 차지하는 비중이 약 50%에 달함, '14년 기준 운영 및 유지관리 비용은 960억 달러에 달함

    * 교통시설의 노후화가 진행될수록 주정부의 운영 및 관리 예산의 비중이 점점 더 높아질 것으로 전망되며 년까지 도로부문은 연평균 '30 1,459억 달러, 대중교통부문은 연평균 245억 달러 규모의 유지보수 비용이 소요될 것으로 예상



[그림 10] 미국의 인프라 시설물 관련 공공지출 추이(1956~2014년)

※ 출처 : Congress of the US Congressional Budget Office(2015). Public spending on transportation and water infrastructure, 1956 to 2014.

· (일본) 고도 성장기 중 건설된 사회 기반시설물의 노후화 추세 확연, 공용연수 50년 이상 경과한 노후 기반시설물의 급증 전망에 따라 관련 투자예산 증가로 유지관리시장의 지속적 성장이 예상됨

* 국토교통성의 전망에 따르면, '13년 기반 시설물 유지보수 비용은 약 3.6조엔, '23년에는 4.3~5.1조엔 규모로 증가할 것이며 20년 후에는 4.6~5.5조엔 규모로 증가할 것으로 예상

※ 출처: 国土交通省(2017), 「社会 資本"ㄱ老朽化"ㄱ現状"ㄴ将来」, http://www.mlit.go.jp/sogos

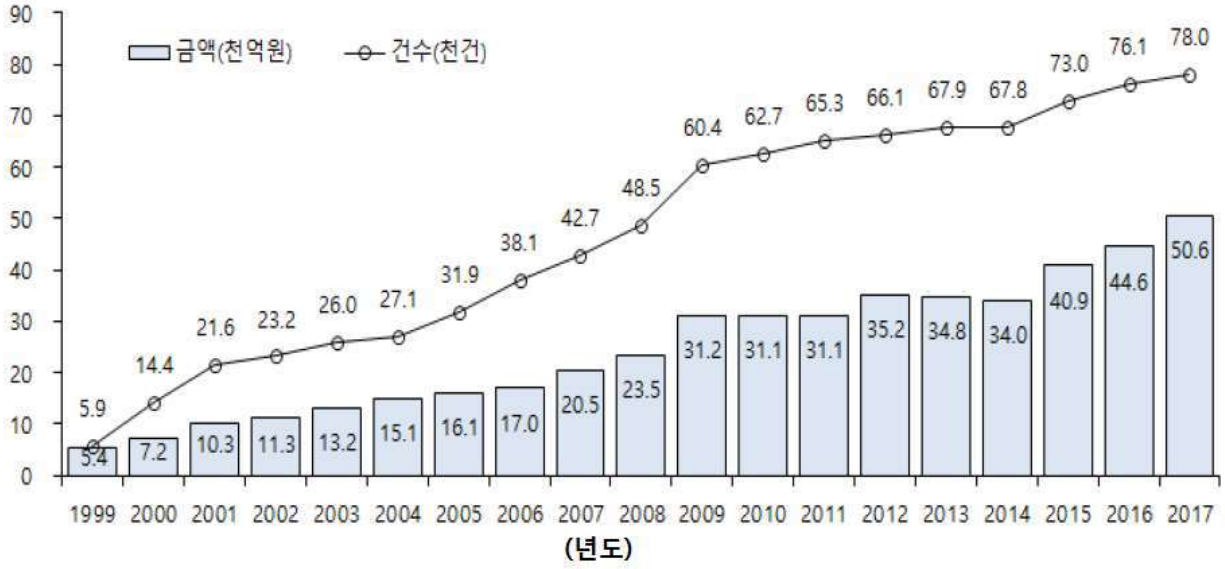
○ 국내 시설물 안전 및 유지관리 산업 동향

- (유지관리 투자의 증가) 지난 6년간('14~'19년) 노후 기반시설 관리에 약 59.3조원이 투입되었으며, 기반 시설의 관리에 투자되는 비용은 매년마다 큰 폭으로 증가

· 노후 기반 시설물이 증가함에 따라 유지관리와 보수보강에 투입되는 예산 증가, 시설물 유지관리 시장은 매년 급성장 하고 있는 추세

- (유지관리 시장의 성장) ’20년 이후 기반시설 노후 기반시설에 대한 유지관리 수요 급증, 관련 예산 투자 증가와 이에 따른 시장 활성화 예상

  · 향후 40년간 시장규모를 개략 추정하면 연간 51조원으로 추산되며 (유지관리비 13.8조원 + 재투자 비용 38조원, 한국시설안전공단) 선제적 유지관리로 최대 60% 비용 절감을 가정하더라도, 최소 연간 20조원의 시장으로 성장할 것으로 추정(51조원의 40%)



[그림 11] 국내 시설물 유지관리 분야 등록 업체 증가 추이

- (운영(O&M)시장 성장) 유지관리와 보수보강을 포함한 운영 시장 확대 예상, 국내 기업이 강점을 갖는 시공 기술과의 시너지 극대화를 통해 해외 진출 모색 필요

  · 사회기반시설을 대상으로 한 민자사업의 증가, 공공시설 위탁 관리 및 민영화 증가에 따라 해당 시설의 운영, 유지보수를 포함한 위탁 관리로 사업 범위를 점차 넓혀가는 건설 기업 등장 예상

    * 빈치(Vinci, 프랑스), FCC (스페인), 부이그(Bouygues, 프랑스) 등 유럽계 대형 기업 그룹의 경우, 전체 매출에서 운영 부분 매출의 비중이 50%를 상회

- (스마트 유지관리 신시장 창출) 4차 산업혁명 등 첨단 기술과의 융복합을 통해 스마트 유지관리 신시장이 형성될 것으로 전망, 유관 산업의 고부가가치화 예상

· 시설물 안전과 유지관리 분야의 고부가가치화를 통한 신 비즈니스 기반 조성을 위해 토털 비즈니스 모델 개발과 Start-up 기업 육성 정책 시행 중으로, 관련한 토털 비즈니스 모델 개발과 적용으로 신 시장 창출이 이어질 것으로 전망

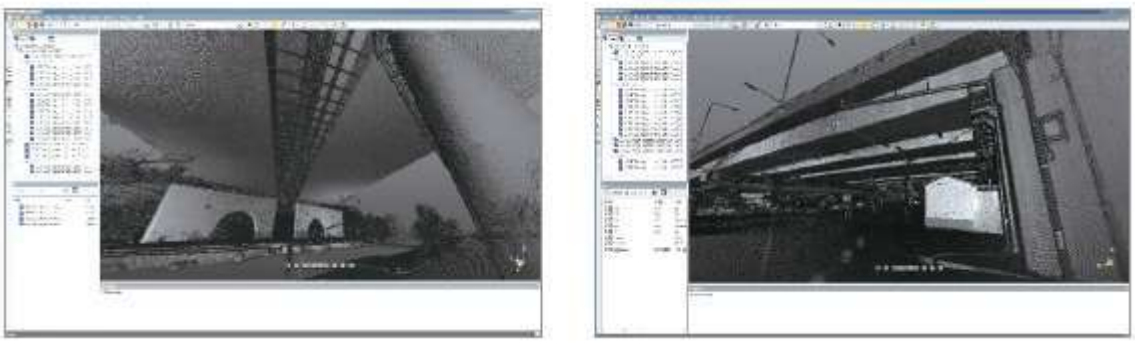
3. 기술개발 동향

○ (디지털트윈(Digital Twin)과 BIM) 디지털 트윈 시스템에서는 내장된 사물인터넷(IoT)센서 실시간 데이터와 연결된 BIM을 통해 빠른 의사결정과 문제 분석이 가능

- 싱가포르 도시 및 영국 크로스레일(Crossrail) 같은 곳에서는 건설 자산의 실시간 성능 측정과 서비스 테스트를 오피스에서 수행가능
- 영국 정부가 후원하고 있는 디지털 프레임워크 태스크 그룹(Digital Framework Task Group)은 데이터 공유로 연결된 디지털 트윈 생태계를 만드는 계획을 발표 (Stephen Cousins, 2019)

○ (Scan-to-BIM 기술) Scan-to-BIM 기반의 기존 모델 구축 기술은 SOC 인프라 분야에 특화된 기술은 개발되지 않은 상황으로 기존 연구에서 수행된 타 분야 연관 요소 기술을 교량에 적용할 수 있도록 연계·확장할 필요성 높음

- 교량을 레이저 스캐닝 작업 후 수작업을 통해 Autodesk Revit으로 BIM 교량 모델링을 진행, 유지관리 측면에 활용 할 수 있도록 한 사례

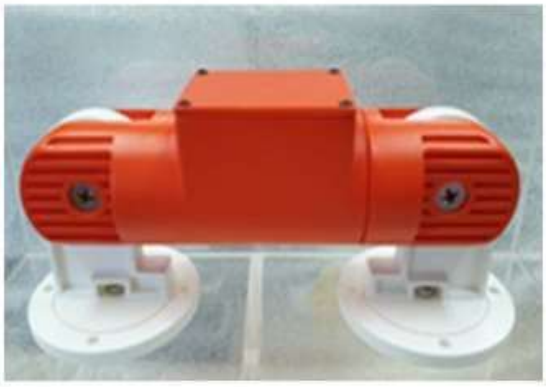


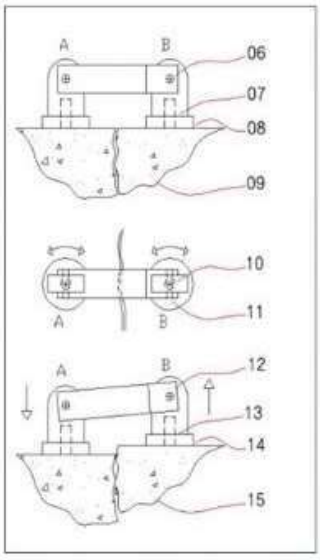
[그림 12] BIM 활용 교량 구조물 안정성 검토 사례

- 드론의 항공사진과 GPS/INS Flight log data를 함께 활용하여 노후화 교량의 외관 사진을 이용하여 공간정보 기반 교량의 크랙 부위를 찾아내는 기술 개발 등

ㅇ (센서 기반 유지관리) IoT, 인공지능 등 첨단기술이 건설산업에 적용되면서 시설물의 유지관리에서도 센서 기반의 자동화, 무인화를 위한 연구는 진행되고 있으며 건축물과 교량 적용이 활발

- (무선 크랙 게이지) 레이컴社에서는 균열지점에 설치된 IoT 센서(크랙모니터)를 활용하여 노후 건물과 시설물의 균열 등 이상 거동 시 해당 변이를 감지해 실시간으로 무선 네트워크를 통해 신호를 송신하며, 진동이나 충격을 동시에 측정하여 진동 데이터와 균열데이터 간의 상관 관계를 분석할 수 있는 기술 개발

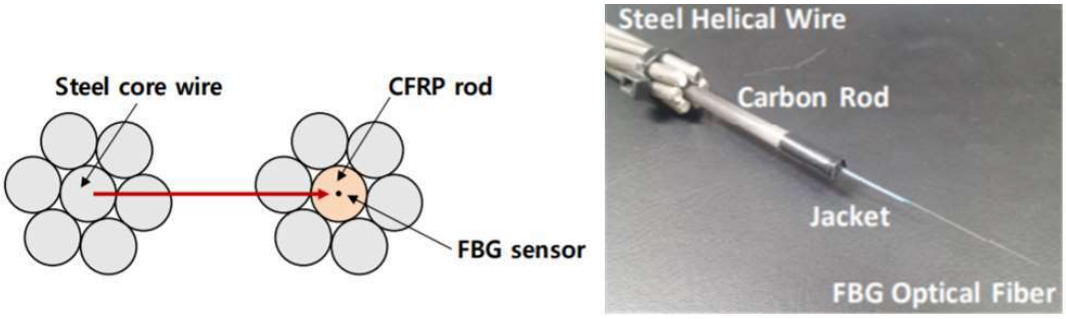




[그림 13] 균열 모니터링 감지 센서 (레이컴)

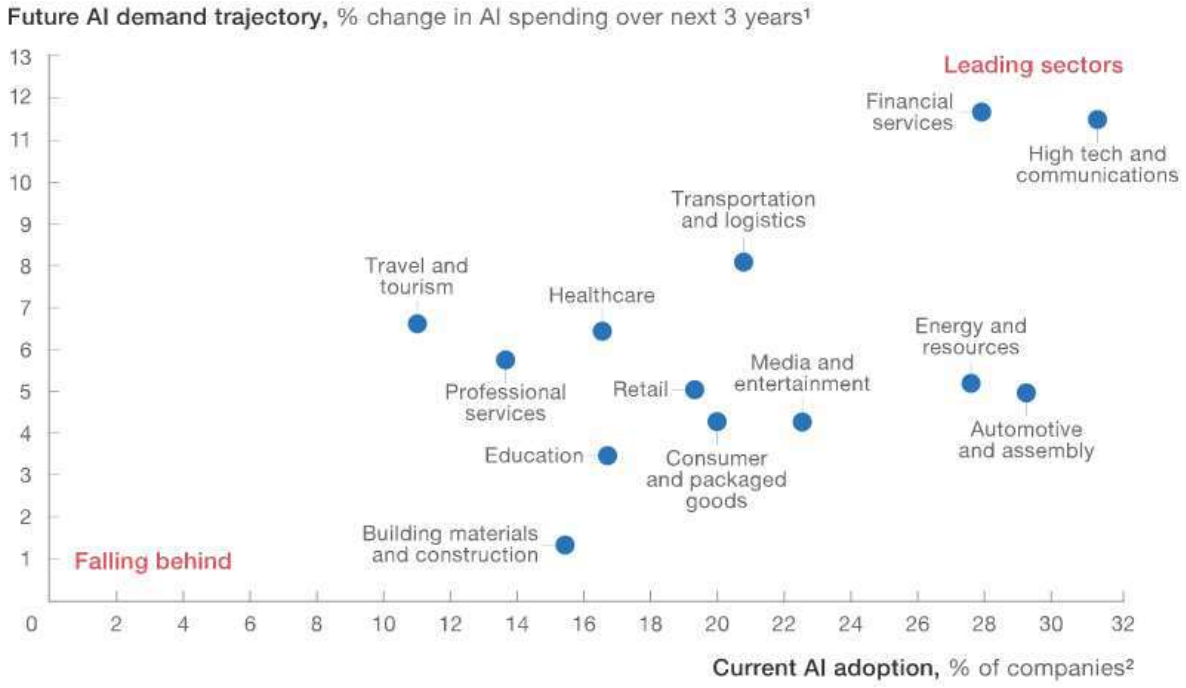
※ 출처 : 한국교통연구원(2015). SOC 노후화 대응을 위한 교통투자평가 패러다임 및 정책 연구.

- (광섬유 기반 센싱 기술) PSC 교량의 긴장력을 측정하여 교량의 안전성을 정확하게 평가할 수 있는 스마트 강연선이 개발되어 정릉천교에 적용된 바 있으며, 기존 강연선의 심선을 광섬유를 매립한 탄소섬유심선(CFRP)으로 대체하는 방식



[그림 14] 스마트 강연선 Optical Fiber 센서

○ (빅데이터, AI와 건설산업) 건설분야 2018년 AI 채택 비율은 약 15%로 추정되며 3년 이후 AI 증가비가 1% 내외로 AI 관련한 기술의 적용은 초기단계



Estimated average, weighted by company size; demand trajectory based on midpoint of range selected by survey respondent. Adopting 1 or more AI technologies at scale or in business core; weighted by company size.

[그림 15] 2018년 AI 적용 산업분야 (출처 : Mckinsey)

※ 출처: Mckinsey Global Institute AI adoption and use survey; McKinsdy Global Institute analysis

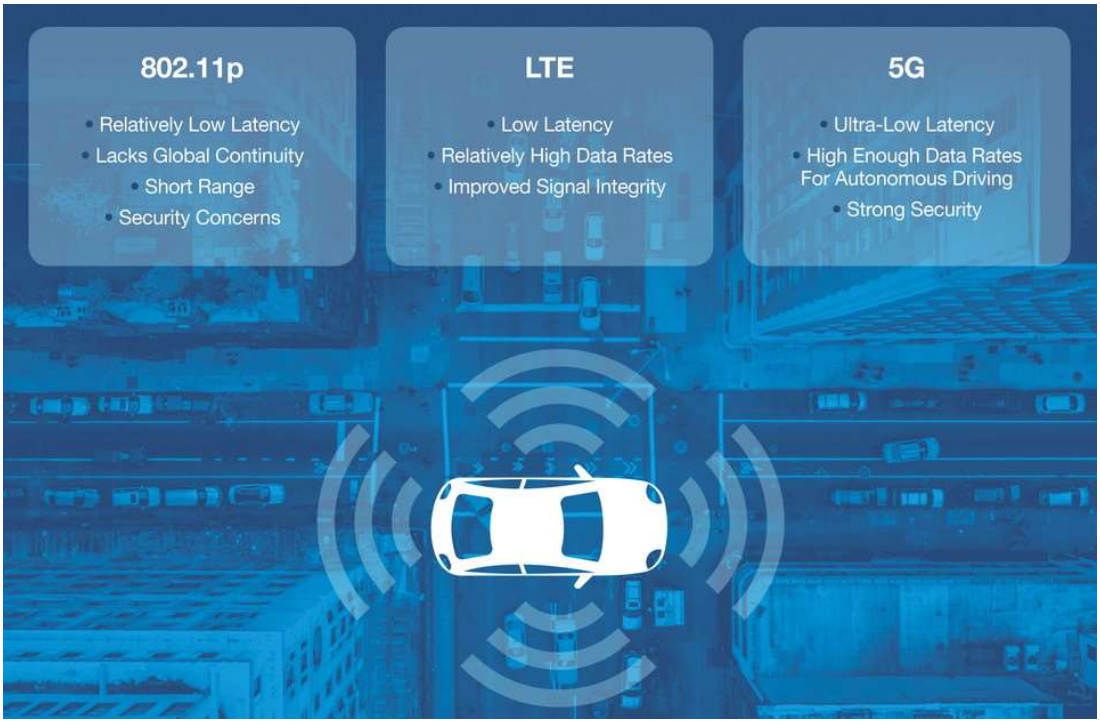
- (건물 노화를 감지하는 원격 감지 시스템) 일본의 시미즈 건설社는 전국의 건물에 진동센서를 설치하고 수집되는 데이터를 분석하고, 지진, 풍속 데이터와 연동시켜 건물의 상태를 실시간 점검

  * 구조물의 철근 상태, 진동 댐퍼의 훼손 상태 등을 추론하는 지능형 안전관리 시스템으로 개발 중

○ (V2X통신기술) 자율적으로 관리되는 교통 시스템 및 도로 시스템 구현을 위해 차량-차량간, 차량-인프라, 차량-보행자 등과 통신하는 기술

* V2X(Vehicle-to-Everything)는 V2V(Vehicle-to-Vehicle), V2I(Vehicle-to-Infrastructure), V2P(Vehicle-to-Pedestrian) 통신으로 구성된 지능형 교통 시스템

- 자동차가 적절한 주행 경로를 판단할 수 있기 위해 근처의 다른 도로 사용자 및 인프라가 제공하는 정보를 사용해서 확장된 주변 맵을 구성



[그림 16] V2X를 지원하기 위한 통신 프로토콜들

- 다양한 형태의 V2V/V2I 기술을 개발하기 위해서 자동차 제조사, 일차 협력사, 실리콘 회사, 통신 회사들이 협력 중
  · DSRC(dedicated short-range communications)는 999년부터 자동차 분야에 도입된 통신기술로 802.11p 무선 통신 프로토콜을 기반으로 하며 거리는 최대 300미터까지 통신 가능
  · 5G는 10Gbps를 넘는 놀라운 데이터 속도, 1ms의 극히 낮은 지연시간, 기존 인프라를 활용할 수 있다는 점 등으로 유망한 V2X 통신 기술로 기대되고 있음
- 자율적 도로시스템 구현을 위해 통신 보안 문제의 해결과 견고하고 밀도있는 네트워크망의 확대 등이 추진될 필요

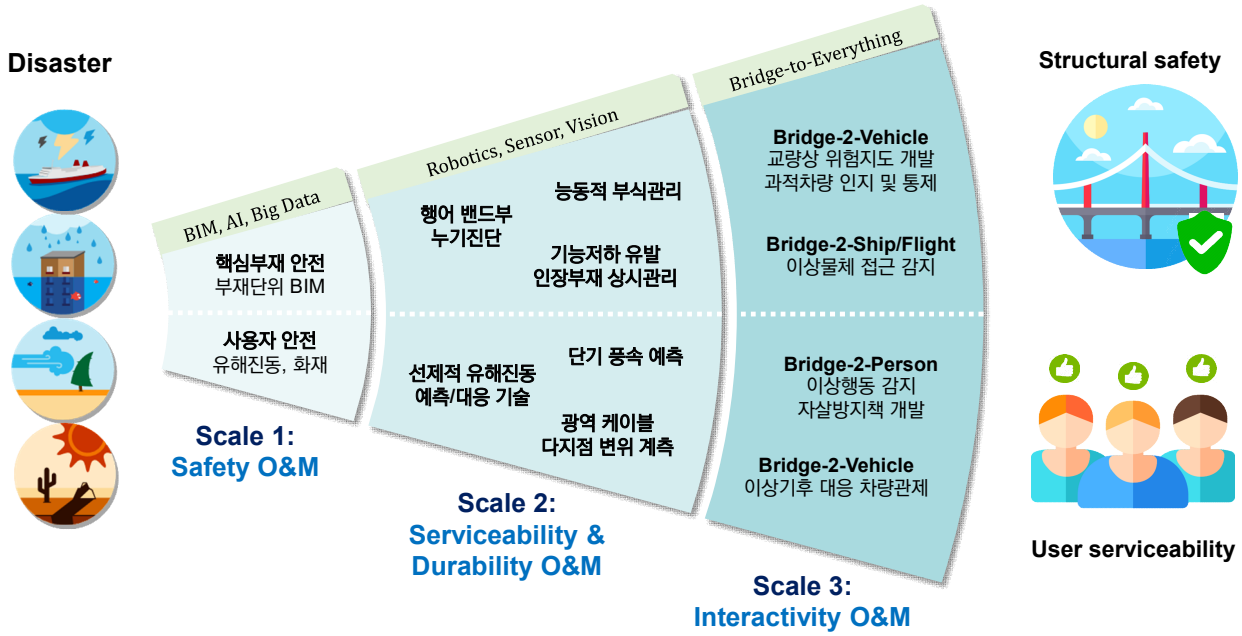
Ⅲ. 사업 기본방향 및 추진 전략

1. 사업 개념 및 범위

가. 사업목표

▸ (통합 데이터 구축 활용 극대화) 서로 다른 여러 개의 교량에 대한 DT네트워크를 구축하여 통합 데이터 활용을 극대화

▸ (멀티스케일 종합 성능 관리) 선제적 안전 관리, 상시 모니터링 및 의사결정 시스템, 사용성·내구성 향상, 교량과 주변객체 사이의 쌍방향 정보 교환을 위한 상호작용체계 구축



[멀티스케일 성능관리를 위한 O&M기술 디지털 전환 및 실교량 검증 개요도]

나. 사업 개념 및 범위

○ 디지털 트윈(DT) 및 인공지능(AI)기술에 기반하여 케이블 교량의 종합 성능관리 체계인 안전성, 사용성 및 서비스 성능을 포괄하는 멀티스케일 O&M 기술을 개발하고 운용 중 케이블 교량에 실증 적용함으로써 케이블 교량 O&M의 디지털 전환 도약

2. 사업 추진체계

가. 사업 추진체계도

비전	케이블교량 목표수명까지의 멀티스케일 성능관리를 위한 데이터 활용 디지털 O&M 기술 개발 및 실증

사업 목적	• DT/Data기반 케이블교량 안전성 확보 O&M • 자율 센싱 기반 케이블교량 사용성 내구성 향상 O&M • BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증

추진 단계	1단계(2021~2024)	2단계(2024~2025)
	기초·원천기술 개발 및 확보	기술 고도화 및 실증을 위한 현장검증

핵심 분야 및 세부 기술	중점분야	세부개발기술
	DT/Data기반 케이블 교량 안전성 확보	• DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리 • DT 기반 선제적 리스크 관리
	자율센싱 기반 케이블 교량 사용성/내구성 향상	• 핵심부재의 열화 특성을 반영한 센서 및 진단 기술 • 데이터 주도형 상시 운용성 및 사용성 확보 기술
	BIX 상호작용 정보 서비스	• BIX 상호작용 정보 서비스 개발

나. 추진 방법

○ 공통기술 및 특정 목적물을 대상으로 하는 테스트베드 구현기술로 이원화하여 사업 추진 협업체계 구축

- (공통 적용기술 집중 개발) 각 개발 세부에 공통적으로 적용 가능한 핵심 엔지니어링 기술, 딥러닝/컴퓨터 비전 등의 기초 원천 기술을 중점적으로 개발 추진
- (테스트베드 적용 통한 검증) 개발 기술의 활용을 주도할 교량 관리주체가 참여하여 민간수요에 기반한 목적물을 제안하도록 유도

  * 테스트베드 적용을 통한 개발기술의 적용성 검증 및 실용화 기반 마련

3. 소요 예산

(단위: 개, 억 원)

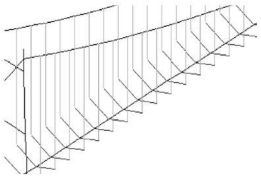
세부기술 분야	과제수	2022	2023	2024	2025	2026	합계
데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 기술	1	15	20	20	10	5	70
이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하는 구조물 열화/노후화를 관리 및 이상진동 자동 대응 기술	1	15	15	15	15	20	80
교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 피드백 및 양방향 교류를 통한 디지털 상호작용 정보 서비스	1	10	10	10	10	10	50
합계	3	40	45	45	35	35	200

Ⅳ. 중점분야별 상세 추진방안

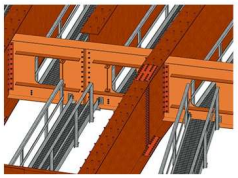
Digital Twin with BIM

유형별 BIM으로부터 목적별 구조모델 자동개발 및 전체계 디지털 트윈 구축 파이프라인

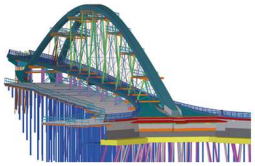
유형별 BIM 모델 (Lv. 1-2)



글로벌: Fishbone model



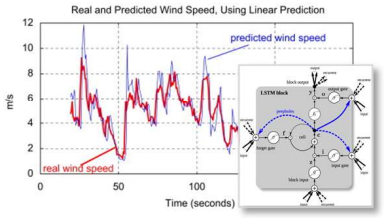
핵심: 상세 FEM 모델

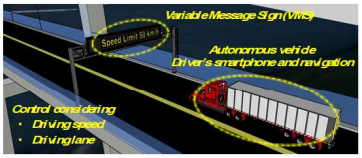


Digital Twin (Lv. 3)

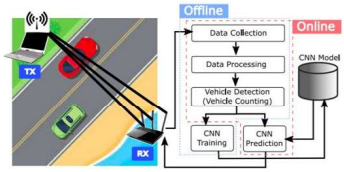
데이터 기반 환경하중 예측

빅데이터를 활용한 환경하중(차량, 바람, 공기력, 온도, 재난) 모델링 및 설계 피드백





단기 풍속예측 기반 선제적 교통통제



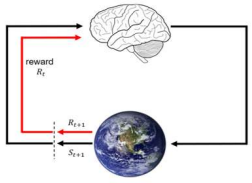
딥러닝 기반 교통류 예측

특수구조물 특화형 디지털 점검 및 진단

행어밴드, 케이블, 링크슈 등 핵심부재 대표 열화에 특화된 데이터 주도형 점검 및 관리 체계

온/습도 기반 실링부 점검 및 송기 관리

초음파 기반 내부 부식 정보 관리



데이터 기반 의사결정/관리 지원

BIX: Bridge-Interaction-to-Everything

4차 산업혁명 시대 모빌리티의 컨트롤타워

주행 차량 관제

이상행동 감지 및 자살 예방

1. DT/Data기반 케이블교량 안전성 확보 O&M

❑ 데이터·디지털 트윈 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 O&M 기술

○ 구조 안전성 확보를 위한 DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리

- 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 개발
- 열화성능 평가를 위한 부재 단위 DT 개발 및 BIM 모델로의 확장
- 다중 스케일 DT 기반 강구조 상세 피로 성능 평가 및 수명 예측
- 주요 부재 잔존수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합

○ 사용자 안전을 위한 DT 기반 선제적 리스크 관리

- Level 3 DT(상시동화해석모델)와 실시간 데이터를 이용한 화재, 지진, 충돌, 안개 등 재난 위험도 평가 및 재난 지도 대응 관리 시스템 개발
- 리스크 관리 최적 의사 결정을 위한 전교 단위의 상시동화해석모델(Level 3: Predictive Twin) 구축

1-1 안전성 확보를 위한 DT 기반 핵심 부재 건전도/성능 관리

❑ 연구개발 목표

○ 구조 안전: DT 기반 핵심 부재 건전도 관리

- 케이블과 링크 슈 등 핵심기능성 부재에 대한 BIM-FEM 연계 디지털 트윈 모델 개발 및 구조물 비정상거동 및 손상을 DT와 계측 데이터의 동기화(Assimilation)를 통해 신속하고 정확하게 감지·파악·예측

○ 구조 성능: DT 기반 공용중 교량 성능 평가 및 관리

- 교량 시스템에 전체에 대한 작용 하중 및 응답 평가를 위한 디지털 트윈 모델 개발 및 DT와 계측 데이터의 동기화를 통한 하중-저항 성능 평가, 잔존 수명 및 이력 거동 평가

❑ 연구개발 내용

○ 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 프레임워크 개발

- DT 모델 및 데이터 기반 케이블 교량 성능 평가 하중 모델 개발
- DT 모델 및 데이터 기반 케이블 교량 성능 평가 저항 모델 개발
- 데이터 기반 케이블 교량 하중-저항 성능 평가 모델 개발

○ 열화성능 평가를 위한 부재 단위 DT 개발 및 BIM 모델로의 확장
- 케이블교량 강부재 데이터 기반 성능 열화 모델 및 DT 모델 개발
- 케이블교량 콘크리트부재 데이터 기반 성능 열화 모델 및 DT 모델 개발
- 케이블교량 부속 장치 데이터 기반 성능 열화 모델 및 DT 모델 개발
- 부재 단위 BIM 및 DT 상호 연계 확장 기술 개발

○ 다중 스케일 DT 기반 강구조 상세 피로 성능 평가 및 수명 예측
- 데이터 기반 피로 하중 모델 개발
- 시스템-상세 연계 다중 스케일 피로 평가 DT 모델 개발
- 데이터 기반 DT 활용 피로 수명 예측 기술 개발

○ 주요 부재 잔존수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합
- 케이블 부재 수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합 기술 개발
- 상부구조 수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합 기술 개발
- 주탑/하부구조 수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합 기술 개발
- 부속 장치 수명 및 이력 거동 평가를 위한 DT/센서 융합 기술 개발

1-2 사용자 안전을 위한 DT 기반 선제적 리스크 관리

❑ 연구개발 목표

○ 사용자 안전: DT 기반 선제적 리스크 관리
- 지진, 태풍, 충돌, 화재 등 재난에 대한 데이터 기반 대응이 가능한 Level 3이상의 DT* 와 빅데이터·AI기반 의사 결정 기술 적용 선제적, 예방적 리스크 관리로 사용자 안전성 확보

❑ 연구개발 내용

○ 화재, 지진, 충돌 등 재난 위험도 평가
- 데이터 및 DT 기반 화재 재난 위험도 평가 기술

- 데이터 및 DT 기반 지진 재난 위험도 평가 기술
- 데이터 및 DT 기반 충돌 재난 위험도 평가 기술

○ 재난 지도 대응 관리 시스템 개발
- 화재 사건 디지털 재난 지도 작성 및 대응 관리 시스템 개발
- 지진 사건 디지털 재난 지도 작성 및 대응 관리 시스템 개발
- 충돌 사건 디지털 재난 지도 작성 및 대응 관리 시스템 개발

○ 전교 단위 상시동화해석모델 (Level 3: Predictive Twin) 구축
- 상시동화 Level 3 DT를 위한 최적 센서-모델 연계 기술 개발
- 데이터 및 DT 기반 단·장기 전교 거동 예측 및 평가 기술 개발
- Level 3 DT 활용 케이블 교량 선제적 유지관리 및 리스크 관리 최적 의사 결정 서비스 기술 개발

2. 자율 센싱 기반 케이블교량 사용성 내구성 향상 O&M

❑ 이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하기 위한 디지털 O&M 기술

○ 케이블교량 특화 상시 자율 진단 시스템 개발
- 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술 개발
- 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 서비스 기술 개발
- 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 서비스 기술 개발
- 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 서비스 기술 개발
- 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 서비스 기술 개발

○ 데이터 기반 상시 운용성 및 사용성 확보
- 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 및 효과 분석
- 유사 교량 핵심 데이터 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축
- 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측
- 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리

2-1 케이블교량 특화 상시 자율 진단 시스템 개발

❑ 연구개발 목표

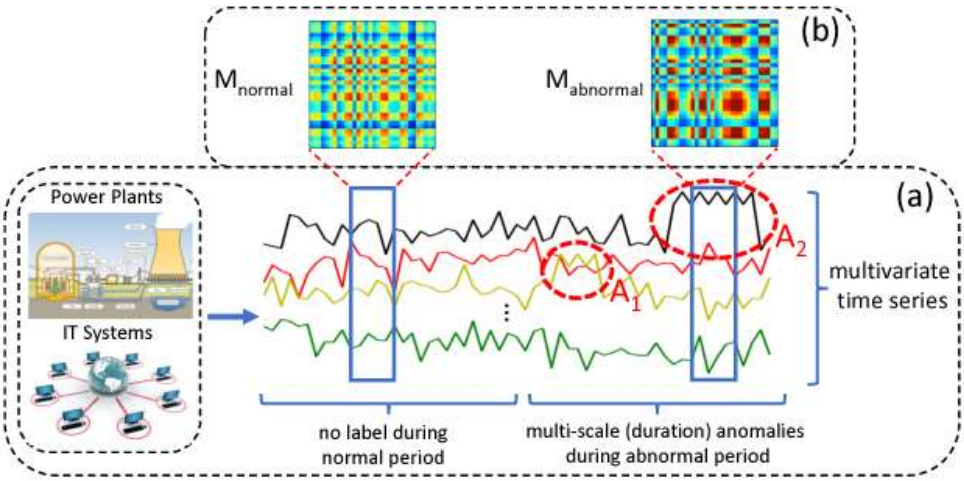
○ 구조 내구성: 케이블교량 특화 상시 자율 진단

- 케이블/정착구 부식 대응을 위한 강제송기, 누기진단 로봇, 영상 기반 변위, 장력 센서 등을 이용한 자동 상태 진단 및 관리로 구조 내구성 확보

❑ 연구개발 내용

○ 가동성 특수기능 부속장치 성능 자율 진단 서비스 기술

- 대상 가동성 특수기능 부속장치에 대한 이상 거동 정의
- 이상 거동에 대한 학습 데이터 수집 및 라벨링 수행
- 데이터 기반 이상 탐지를 위한 딥러닝 아키텍쳐 훈련 및 검증



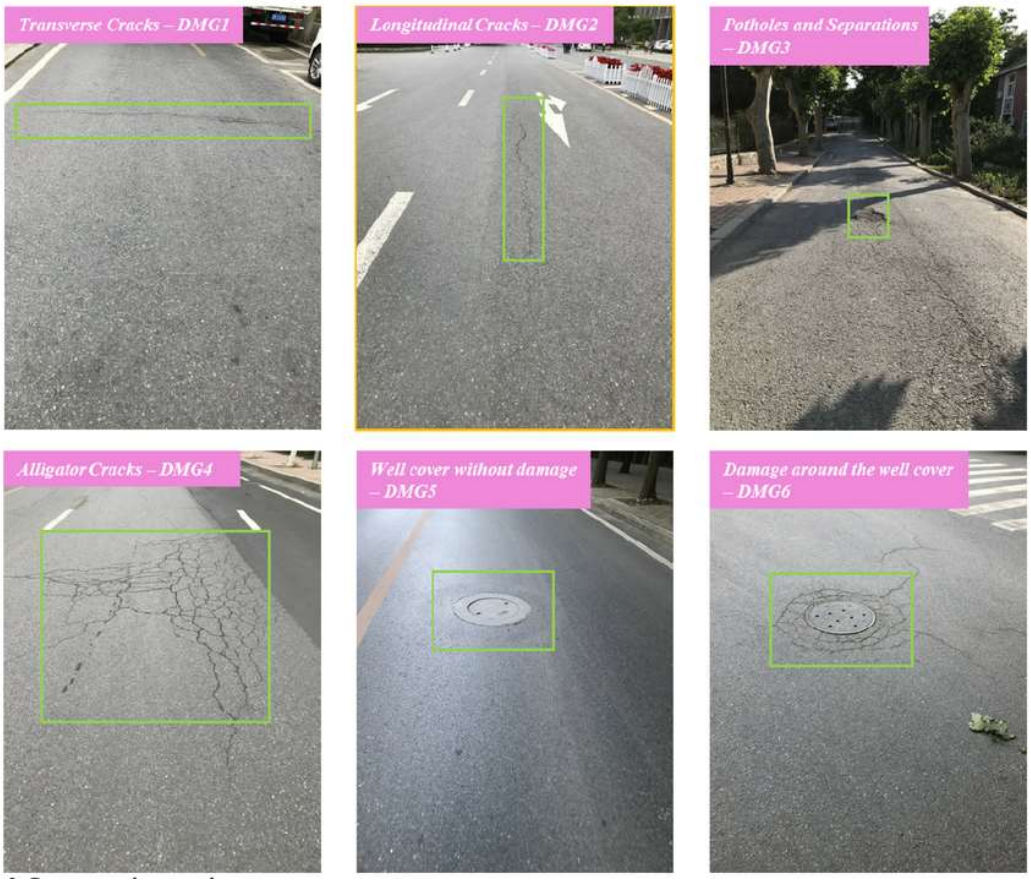
[비지도학습을 활용한 시계열 이상탐지 프레임워크 (Zhang et al., 2019)]

○ 케이블 습윤 환경 및 부식 자동 모니터링 서비스 기술

- 습윤 환경 상시 모니터링을 위한 스마트 모니터링 시스템 구축
- 확률론적 회귀모형을 이용한 환경 및 부식 간 시계열 예측모델 개발
- 케이블 내 습윤 환경에 따른 송기 시스템 운영 전략 도출

○ 교면 포장 상시 자동화 점검 및 최적 관리 서비스 기술

- 교면 포장 손상 정의 및 관련 이미지 수집
- 이미지 증강을 활용한 훈련 데이터 확보 및 라벨링 수행
- 객체 인식 모델을 활용한 교면 포장 내 손상 식별 모델 훈련 및 검증



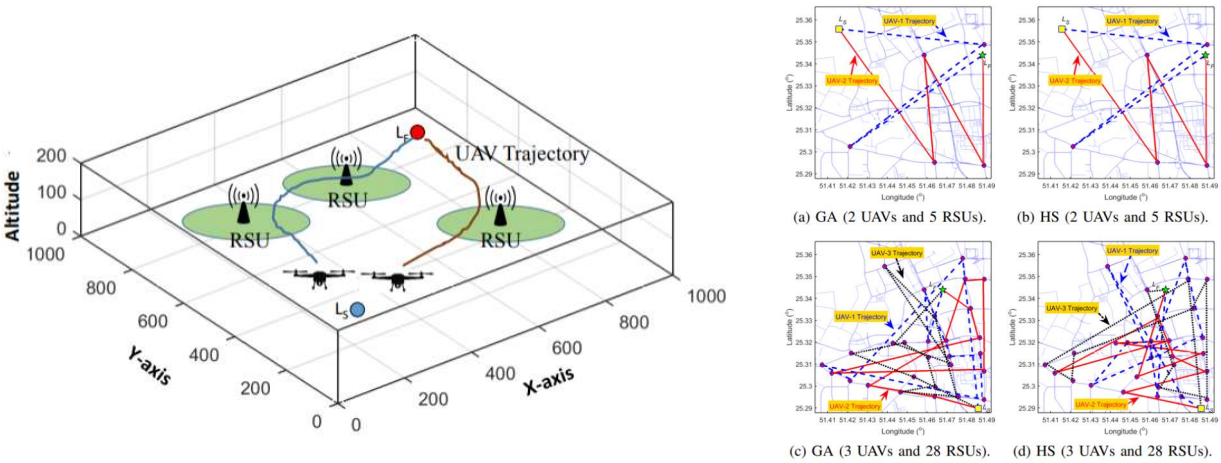
[컴퓨터 비전 기반 교면 포장 모니터링 (Li et al., 2019)]

ㅇ 정착구 부식, 실링 연결부 누기 자율 진단 서비스 기술

- 정착구 부식 관련 정형/비정형 데이터 수집
- 데이터 주도형 정착구 부식 모델 개발 및 검증
- 실링 연결부 누기 검출을 위한 스마트 센서 구축
- 현장 적용을 통한 개발 센서의 적용성 검증

ㅇ 자율주행 로봇/UAV 이용 고속 외관 조사 점검 서비스 기술

- 그래프 이론을 활용한 다수 UAV의 최적 운행 전략 개발
- 케이블 교량 핵심부재 점검용 로봇의 하드웨어 설계 및 제작
- 컴퓨터 비전 및 딥러닝을 이용한 다종류 외관 손상 탐지 모델 구축
- 개발 로봇 및 다수 UAV의 운행 능력 및 손상 검출 성능 평가



[그래프 이론에 기반한 다수 UAV 최적 경로 계획 (Hamidullah et al., 2018)]

2-2 데이터 기반 상시 운용성 및 사용성 확보

❑ 연구개발 목표

○ 사용자 사용성: 데이터 기반 상시 운영성 확보

- 데이터 및 AI 기반의 강풍 등에 의한 이상 진동, 과적 등 비정상 사용 감지 및 통행 제한 관리로 사용자 이용 편의성 및 상시 운용성 향상

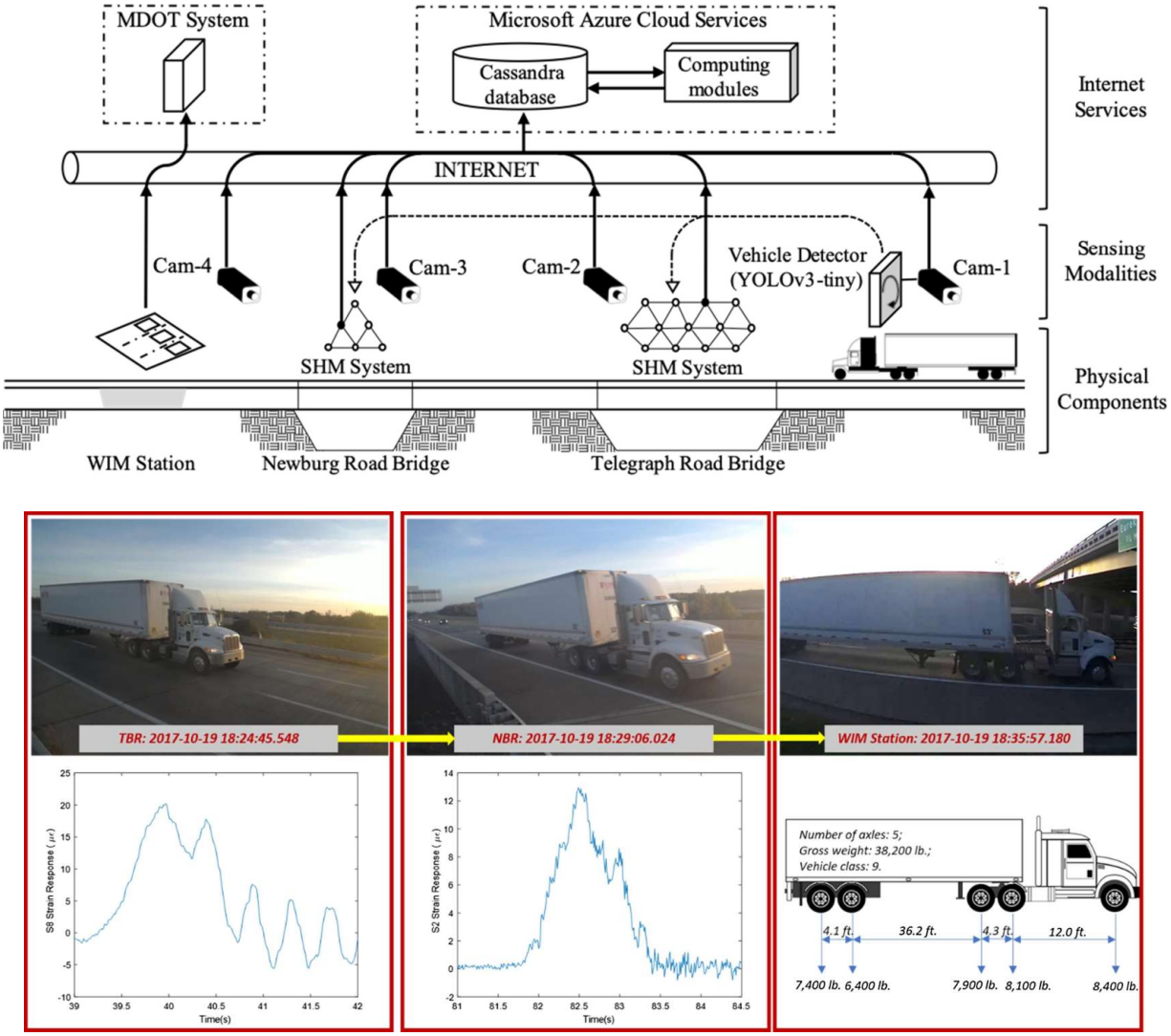
❑ 연구개발 내용

○ 유사 교량 통합분석을 위한 DT 네트워크 시스템 구축

- 공용 중 케이블 교량의 형식, 특징에 따른 유형화
- 개별 DT 통합을 위한 네트워크 구축
- 유사 교량 간 특수부재 거동의 비교 분석을 위한 시각화 솔루션 개발

○ 전교 차량 활하중 데이터 복원 구축 및 효과 분석

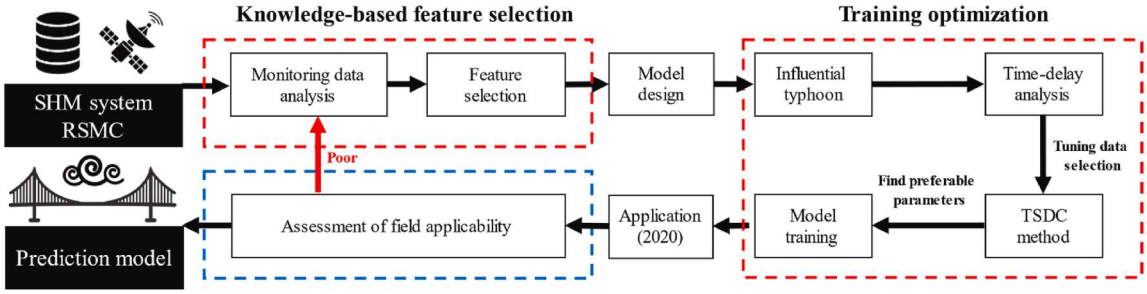
- CCTV+Weigh-In-Motion을 결합한 CPS(Cyber Physics System) 구축
- CPS 기반 중차량 무게 데이터베이스화 및 준실시간 위치 추적 구현
- 상시동화해석모델 기반 실제 중차량에 의한 활하중 효과 분석
- 실측 변위 데이터와의 비교를 통한 준실시간 내하력 평가

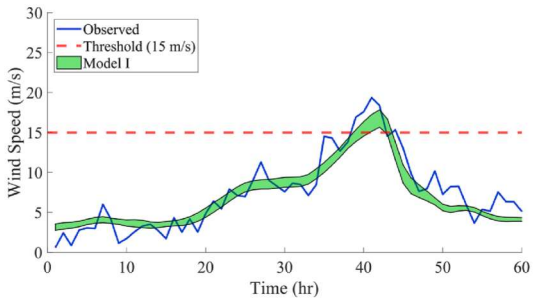


[CCTV+WIM 기반 CPS 개념도 및 이를 통해 구한 활하중 모델 (Hou et al., 2020)]

ㅇ 통행 의사결정 지원을 위한 실시간 단기 풍속 및 데크 진동 예측

- LSTM 및 K-Mean 클러스터링을 활용한 단기 풍속 예측 모델 실증
- 베이지안 최적화 기반 LSTM을 이용한 교량 데크 동적 가속도 예측
- 각 예측 모델을 활용한 이상진동에 대한 선제적 대응체계 지원

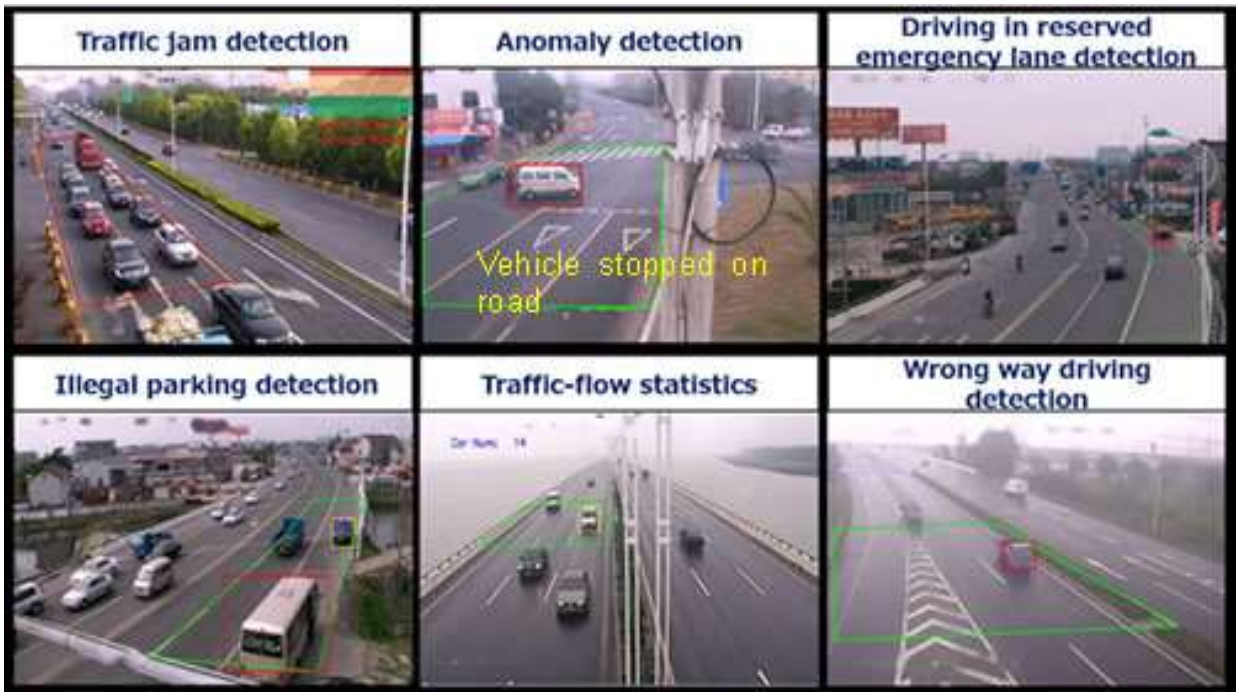




[단기풍속 예측 프레임워크 및 개발 모델의 예측 성능 검토 (Lim et al., 2022)]

○ 비전 기술 적용 이상 주행, 과적 등 비정상 사용 감지 및 관리

- 이상 주행에 해당하는 CCTV 이미지 확보 및 훈련 데이터 확보
- CCTV 기반 비정상적 주행 식별 모델 개발 및 검증
- CPS 기반 식별 정보(차량 무게, 번호판)를 활용한 과적 차량 단속



[도로 CCTV를 활용한 기계학습 기반 이상 주행 검출 모델 (Fujitsu, 2016)]

3. BIX 상호작용 정보 서비스 O&M 및 실증

❑ 디지털 상호작용 정보 서비스 O&M 기술

ㅇ BIX 상호작용 정보 서비스 개발

- BIV: 자율/비자율 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 서비스
- BIP: 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 서비스
- BIA/S: 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 서비스
- BIO: 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스

❑ 연구개발 목표

ㅇ BIX(Bridge Interaction with Everything)

- 교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 피드백 및 양방향 교류

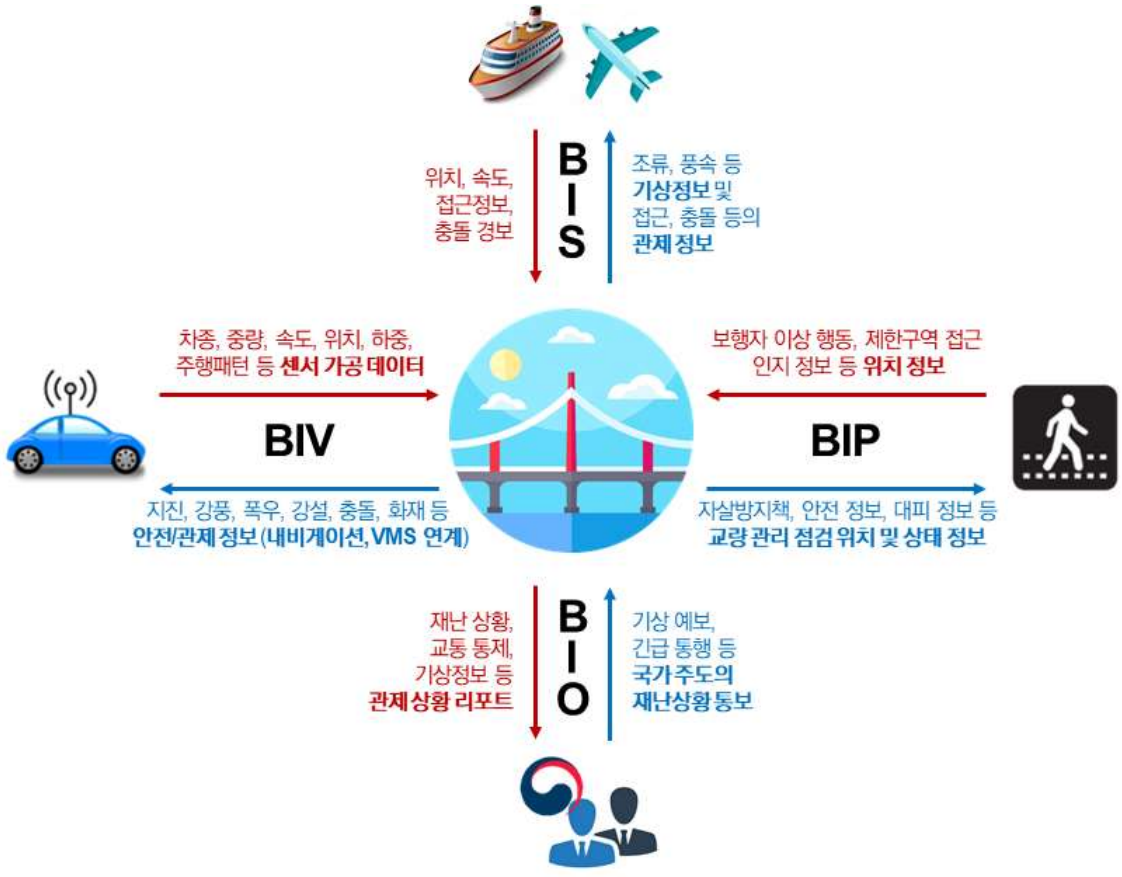
❑ 연구개발 내용

ㅇ BIV: 자율/비자율 주행 차량 대응 교량 관제 정보 전달 서비스

ㅇ BIP: 보행자 이상 감지, 관리자 위치 활동 데이터 통신 서비스

ㅇ BIA/S: 선박 및 항공기 충돌 경보, 환경 정보 제공 서비스

ㅇ BIO: 교량 센서 기반 기상 정보 통신 서비스

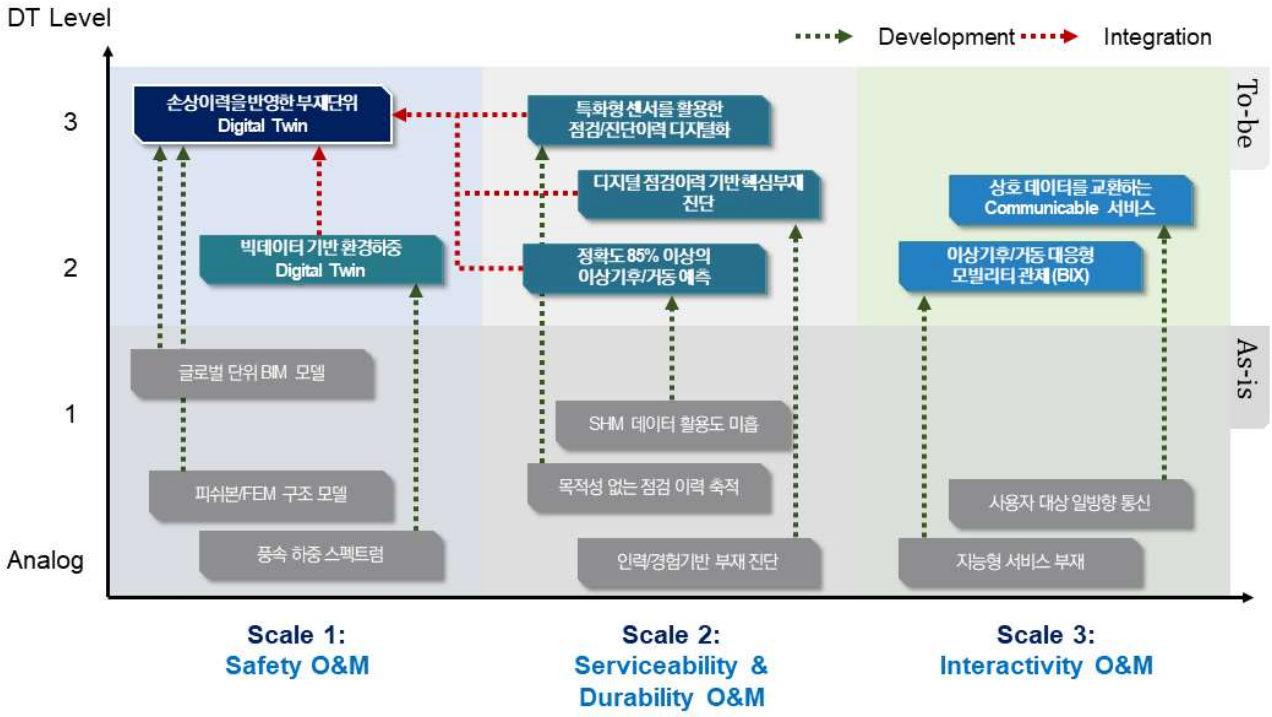


기대효과

❑ Level 3[103] 이상의 디지털 트윈과 빅데이터/AI 기반 의사결정 기술을 통한 선제적/예방적 리스크 관리 구현

○ DT 및 인공지능을 통한 데이터 활용 효과의 극대화
- 단일 교량의 복합적 데이터 활용을 통한 서비스 모델 개발
- 여러 교량간 통합 DT네트워크를 구축, 데이터 활용성 제고
- 정형/비정형데이터를 통한 인공지능 모델의 훈련 및 검증

○ 멀티스케일 종합 성능 관리
- DT 활용 데이터 기반의 리스크 관리를 통한 선제적 안전 관리
- 사용성·내구성 및 상시 운용성 향상
- 교량과 주변객체 사이의 상호작용체계 구축



103) 영국 연구기관 Verdantix가 제안한 5단계 DT발전 모델: Level 1은 구조물 3D 모델을 포함하는 Descriptive Twin, Level 2는 센서 정보가 융합된 Informative Twin, Level 3는 운영 데이터 기반의 예측이 가능한 Predictive Twin, Level 4는 What-if 시나리오 대응 시뮬레이션이 가능한 Comprehensive Twin, Level 5는 자율 판단이 가능한 Autonomous Twin 모델로 구성. Level 4 이상의 DT를 구현하기 위해서는 모델과 적용 교량의 실제 상태 및 운용환경의 격차를 다양한 계측 데이터를 통해 좁혀가면서 이를 기반으로 열화 및 노후화 상태를 정확히 파악하고 예측하여 다양한 상황별 대응방안에 대해 신속 추론할 수 있는 알고리듬을 갖추어야 함.

V. 사업의 타당성

1. 사업의 목적

○ 케이블교량 목표수명까지의 멀티스케일 성능관리*를 위한 데이터 활용 디지털 O&M 기술 개발 및 실증

* 케이블교량의 안전성, 사용성 및 서비스 성능을 포괄하는 종합 성능관리

2. 사업의 시급성

○ 케이블 교량의 전반적 노후화에 대비하여 **'교량 안전성 향상 및 장수명화, 기능 고도화'**를 위한 **선제적·성능중심의 유지관리 및 운영관리 혁신기술 확보 시급**

- 지속가능한 기반시설 관리 기본법('20.1 시행) : 선제적 유지관리로의 전환
- 제1차 기반시설 관리 기본계획('20.4) : 스마트 유지관리 신기술 개발 및 활용
- 제6차 건설기술진흥 기본계획('17.12) : 인프라 노후화 대응 시설물 안전확보
- 제4차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획('17.12) : 인프라 노후화 대응 시설물 안전확보
- 한국판 뉴딜 프로젝트('20.5) : 노후 국가기반시설 디지털화
- 지속가능한 기반시설 안전강화 종합대책('19.6) : 스마트 유지관리 신기술 개발·활용 등
- 건설산업 혁신방안('18.7) : 건설자동화, 유지관리 등 스마트 건설기술 활성화
- 스마트 건설기술 로드맵('18.10) : 스마트 유지관리 등 핵심기술 개발

3. 정부지원의 필요성

○ 케이블교량 O&M 기술은 높은 연구개발 난이도, 연구결과의 불확실성, 대규모·장기 투자 필요 등의 이유로 민간의 초기투자가 어려움

○ 목표 기술개발 성공 시 건설산업뿐 아니라 연계된 다른 산업에

파급효과가 큼

○ 정부의 조속한 투자 및 기술개발로 기존 공용 중 케이블교량 내구성 사용성 확보 및 글로벌 건설시장 주도 필요

4. 기존 유사 사업 현황 및 차별성

연구명	초장대교량 사업단	케이블교량 글로벌 사업단	스마트 건설기술 개발사업
연구기간	2018-2015	2016-2021	2020-2025
주관부처	국토교통부	국토교통부	국토교통부
총연구비	1,053억원	323억원	2,050억원
개발목표 및 주요 연구내용	▪ 세계 최고 수준의 경제성 및 기술 경쟁력을 갖춘 장경간 케이블교량의 자립 건설 ▪ 초장대교량의 설계, 재료, 시공, 유지관리 관련기술 개발을 통한 핵심기술 자립화	▪ 케이블교량 글로벌 경쟁력 강화를 위한 전주기 엔지니어링 및 가설공법 개발 ▪ 해외 케이블교량 시장 진출 확대 및 재난·재해 대비 안전 제고를 위한 고부가 핵심 엔지니어링 기술 확보	▪ 건설산업의 디지털화/자동화를 위한 기술혁신 및 스마트 생태계 조성 ▪ 건설 생산성/안전성의 혁신적 향상 -건설 생산성 25% 이상 향상 -건설 공기 25% 이상 단축 -건설업 재해율 25% 이상 감소 -건설 생산과정의 디지털화 25% 이상 향상
최종 연구 성과물	▪ 핵심 엔지니어링 기술 ▪ 고성능 전략소재 및 이용기술 ▪ 고효율 시공기술 ▪ 통합 시범적용교량 사업지원 및 운영기술	▪ 전주기 기술 솔루션 ▪ 신뢰도 기반 재난/재해 대응기술 ▪ 하부구조 신뢰도 기반 설계엔지니어링 기술 ▪ 비용절감형 해상 교량기초 가설공법	▪ 토공 자동화&디지털 맵핑 ▪ 구조물공 자동화 & 프리팹 ▪ 건설안전 통합 관제 ▪ 디지털 플랫폼 및 기술 실증
차별성	▪ 재난관리 및 O&M에 초점 ▪ 각 요소기술의 디지털화 및 자동화를 통한 실증까지를 목표로 함	▪ 전체계 뿐 아니라 부재 단위에서 발생하는 손상 및 열화에 대한 관리를 목표로 함	▪ 케이블교량에서 발생하는 특수한 손상 및 열화에 대한 O&M 이슈를 해결하는 데 초점
연계방안	▪ 교량 상부구조 관련 엔지니어링 핵심기술을 활용할 수 있음 ▪ 축적된 기술적 노하우를 통해 핵심부재 및 열화를 산정할 수 있음 ▪ 테스트베드 활용	▪ 풍속 예측, 감쇠비 추정과 같은 기개발 요소기술을 활용할 수 있음 ▪ 테스트베드 공동활용	▪ 디지털 플랫폼 및 기술실증에서 개발된 학습용 데이터베이스를 공동활용 할 수 있음 ▪ 테스트베드 공동활용

Ⅵ. 기대성과 및 기대효과

1. 성과관리 및 평가 방안

❑ 성과목표 및 핵심지표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="6">내 용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="6">- 데이터·디지털 트윈(DT) 기반의 선제적, 예방적 리스크 관리 기술 개발
- 이용 편의성 및 상시 운용성을 극대화하는 구조물 열화/노후화를 관리 및 이상진동 자율 센싱 기반 자동 대응 기술 개발
- 교량 생산 데이터와 관리자·사용자 생산 데이터의 피드백 및 양방향 교류를 통한 디지털 상호작용 정보 서비스 개발을 통한 새로운 가치창출</td></tr>
<tr><td>성과목표</td><td colspan="6">케이블교량 목표수명까지의 디지털 기반의 멀티스케일 성능관리를 위한 데이터 활용 디지털 O&M 핵심 기술및 실증 서비스 개발
- 2026년까지 SCI 논문 45건, 특허출원 15건, 기술이전 2건 달성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별
성과목표</td><td colspan="3">1단계(2022~2024)</td><td colspan="3">2단계(2025~2026)</td></tr>
<tr><td colspan="3">디지털 O&M을 위한
기초·원천기술 개발 및 확보</td><td colspan="3">디지털 O&M 기술의 고도화 및 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="6">핵심성과지표</td><td>지표명</td><td>지표구분</td><td>가중치</td><td>지표명</td><td>지표구분</td><td>가중치</td></tr>
<tr><td>논문 (mrnIF)</td><td>질</td><td>0.4</td><td>(mrnIF)</td><td>질</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>논문 편수</td><td>양</td><td>0.4</td><td>특허등급 지수</td><td>질</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td>특허 출원</td><td>양</td><td>0.2</td><td>논문 편수</td><td>양</td><td>0.2</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>특허 출원</td><td>양</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>디지털 서비스 지수</td><td>양</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td></td><td>합계</td><td>-</td><td>1.0</td><td>합계</td><td>-</td><td>1.0</td></tr>
</table>

❑ 성과지표명 및 측정방법

성과지표명(단위)	목표치	측정방법
SCI 논문의 표준화된 순위보정영향력 지수(mrnIF)평균	30.0*	■ SCI 논문의 개재학술지의 우수성 - 측정방법 : Σ(개별 SCI 논문게재저널의 mrnIF) / 총 SCI 논문 게재 건수 - mrnIF = 100 x (N x rnIF - 1) / (N/1) ※ N = 해당분야내 저널 수, rnIF = 순위보정영향력지수
특허등급 지수	4	■ 국내·외 등록특허의 우수성 - 측정방법 : 특허정보원 DB조사 및 증빙자료
디지털 서비스 지수	4	■ 핵심기술의 산업적 응용 및 실증화 - 측정방법 : 디지털 O&M 관리자/사용자 서비스, 웹 또는 앱 개발 건수
논문건수 (건)	45	■ 디지털 O&M 관련 학술지 논문게재 - 측정방법 : SCI(E)논문 게재 학술지 ※ 세부과제별 연 4건
특허출원 (건)	15	■ 디지털 O&M 관련 특허 출원 - 측정방법 : 국내·외 특허 출원증 ※ 세부과제별 연 1건
특허등록 (건)	3	■ 디지털 O&M 관련 특허 출원 - 측정방법 : 국내·외 특허 출원증 ※ 세부과제별 연 0.5건 (2단계 시작)

2. 기대 효과

❑ 기술적 기대효과

ㅇ 핵심 관리 구조요소 및 주요 손상 모델에 대한 자율 점검
- 부재 단위의 상세 Digital Twin 구축을 통한 BIM 기반 열화/손상 관리
- 빅데이터를 활용한 케이블교량 특화형 상시하중의 Digital Twin 모델 개발
- 케이블 및 정착구 부식의 자동 상태 진단 및 관리로 구조 내구성 확보
- 비정상 사용 감지 및 통행제한으로 사용자 이용 편의성 및 상시 운용성 향상

ㅇ 융복합 기술을 통한 첨단 재료 개발 및 글로벌 국가경쟁력 확보
- 미래 건설 환경 조성을 위한 국산화 기술을 통한 지적재산권 확보
- 외국기술과의 기술 격차를 해소함으로 세계시장에서의 시장 점유율 및 국가경쟁력 확대

❑ 경제·사회적 기대효과

ㅇ 디지털 환경 기반 O&M 실증을 통한 유지관리 비용의 절감 및 생산성 향상
- 구조물 장수명화 및 유지관리 건설재료 개발을 통하여 사회기반 시설물의 내구수명 증대 및 이에 따른 유지관리 비용 감소
- 건설산업의 디지털 생산성을 획기적으로 개선할 수 있음
- 전문인력 활용비용 절감 등 시간적, 비용적 측면의 업무효율성 향상

ㅇ O&M 관련 국내 생산산업 활성화 및 고부가가치 신산업 창출을 통한 건설산업의 고용 창출 효과
- 관련분야 석·박사급 고급 인력양성
- 고부가가치 신산업 창출을 통한 대규모 고용 창출 및 일자리 확대

- 데이터 개방으로 다양한 AI 혁신서비스 창출 및 유지관리 산업 활성화
- 건설산업의 활성화 및 고부가가치 신산업 창출을 통한 대규모 고용 창출
- 디지털 뉴딜 정책에 따른 타 산업과의 융합서비스 창출

ㅇ 기술 국산화를 통한 수출경쟁력 강화

- 선진국 환경 및 국제기준을 만족하여 대선진국 수출 경제시장 확보
- 구조물 보수보강의 신공법 개발로 글로벌 유지관리 시장 선점
- 원천소재 수출을 통한 국익 증대
- 미래 건설산업의 시장 경쟁력 강화
- 신시장 창출을 통한 국가 수출경쟁력 강화

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 정책연구용역사업 '신소재 기반 하이브리드 5K Bridge 기술개발 사전기획 용역' 의 최종보고서이다.

2. 이 연구내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 정책연구용역사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.