

21RDPP  
-C1648  
21-01

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( ) 발간등록번호 ( )

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / -

# 그린 해상교량 기술개발 기획 최종보고서

2022. 08. 01.

주관연구기관 / 대진대학교 산학협력단  
공동연구기관 / (주)이니씹크

2022

국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원

국토교통과학기술진흥원  
국토교통부

그린  
해상교량  
기술개발  
기획  
최종보고서



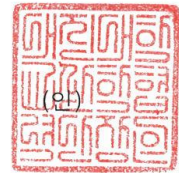
## 제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

'그린 해상교량 기술개발 기획'(연구개발 기간 : 2021. 06. 07. ~ 2022. 06. 06.) 과제의 최종 보고서를 제출합니다.

2022. 08. 01.

주관연구기관명 : 대진대학교 산학협력단 (단 장) 김 명 운



공동연구기관명 : (주)이니씽크

(대표자) 이 기 종



주관연구기관책임자: 김 성 수

공동연구기관책임자: 심 민 규

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.





<ul style="list-style-type: none"> <li>○ ‘그린 해상교량 기술개발’의 연구개발 사업 범위 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>-국내·외 연구동향, 기술 트렌드, 시장보고서 등 환경 분석</li> <li>-분석결과를 반영한 사업 범위와 대상을 제시</li> </ul> </li>   <li>○ 기존 사업과의 차별성 및 연계방안 상세 분석 <ul style="list-style-type: none"> <li>-국토부 뿐만 아니라 타 부처 등에서 진행 중, 완료, 진행예정인 사업(기획사업 포함) 등에 대한 차별화 및 연계방안 상세분석</li> <li>-‘그린 해상교량’ 관련 기술개발 로드맵 수립</li> </ul> </li>   <li>○ 현재까지의 ‘그린 해상교량 기술’ 관련 기술개발 현황을 진단하고, 중장기적인 기술개발 로드맵 마련</li> </ul>	<p>보고서 면수 : 100</p>
---	---------------------

## 요 약 문

<b>사업명</b>	그린 해상교량 기술개발 사업		
<b>총사업비</b>	국비: 280억원	사업기간	23년~27년(총 5년)
<b>수행주체</b>	국토교통부 / 기술정책과 / 문선일 사무관(044-201-3557)		
	국토교통과학기술진흥원 / 기획1그룹 / 김희주 연구원		
<b>사업 목적</b>	저기능, 고탄소 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트베드 실증		
<b>사업 목표</b>	해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구		
<b>성과 목표</b>	<b>① 해상교량 고기능화</b>	<b>② 해상교량 저탄소화</b>	
<b>성과 지표</b>	<b>성과지표</b>	<b>내용</b>	<b>목표치</b>
	<b>① 해상교량품질확보율(%)</b>	기존 해상교량 대비 안전성 및 내구성 향상	30%
	<b>②-1 그린에너지생산율(%)</b>	기존 해상교량 대비 그린에너지 생산량 증가	80%
	<b>②-2 탄소배출저감률(%)</b>	기존 해상교량 대비 탄소배출량 절감	50%
<b>추진 단계</b>	<b>1단계('23-'25)</b>	<b>2단계('26-'27)</b>	
	핵심 구성기술 개발 및 연계	테스트베드 적용 및 검증	
<b>사업 구성</b>	<b>중점과제</b>		<b>세부과제</b>
	1	그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	· 그린 해상교량 상부구조물 발전시스템 기술개발 · 그린 해상교량 결빙방지시스템 기술개발
	2	그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	· 그린 해상교량용 교각구조물 통합 전기 방식시스템 개발 · 그린 해상교량용 교각구조물의 구조 안정성 기술개발
	3	그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	· 그린 해상교량 기초구조물 발전시스템 기술개발 · 그린 해상교량 세굴방지시스템 기술개발
	4	그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	· 해상교량용 그린에너지 전력변환시스템 기술개발 · 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발
<b>성과 창출</b>	그린에너지가 적용된 차세대 해상교량 기술 국외 수출	해상교량 안전성능과 그린에너지 생산 동시 달성	저탄소 시공/유지관리를 통한 전 세계적 '탄소중립'에 기여

**[성과목표]**

○ 해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구

- 해상교량 고기능화(해상교량 품질확보를 증가 - 블랙아이스 사고 감소, 교각 부식 지연, 세굴심도 저하)
- 해상교량 저탄소화(그린에너지 생산을 증가, 탄소배출을 감소)



**[성과지표]**

성과지표명	목표치(%)					측정방법
	'23	'24	'25	'26	'27	
① 해상교량 품질확보율(%)	-	-	10	20	30	$\frac{\text{기술개발 적용후 해상교량품질}}{\text{기존 해상교량 품질}} \times 100$
②-1 그린에너지생산율(%)	-	-	20	50	80	$\frac{\text{기술개발 적용후 해상교량 그린에너지 생산액}}{\text{기존 해상교량 그린에너지 생산액}} \times 100$
②-2 탄소배출저감률(%)	-	-	10	30	50	$\frac{\text{기존 해상교량 탄소배출량}}{\text{기술개발 적용후 해상교량 탄소배출량}} \times 100$

**[정책적 연계성]**

- 본 연구는 해상교량의 핵심기술 개발 및 그린에너지를 통한 필요전력 확보기술 개발을 목표로 하여, 상위 계획의 탄소중립, 친환경·신재생 에너지 보급 등을 통한 건설기술 개발 등 연구개발 목표에 부합
- 법적 근거
  - 국토교통과학기술 육성법 제8조(연구개발사업의 추진), 건설기술 진흥법 제7조(건설기술 연구·개발 사업)
- 정부 정책 및 법정계획
  - (재생에너지 3020 이행계획, '17.12) 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%까지 확대
    - \* 원별 : 신규설비 95% 이상을 태양광, 풍력 등 청정에너지로 공급
    - \* 주체별 : 국민참여형 발전산업, 대규모 프로젝트를 통해 목표 달성
  - (제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획, '18.6) 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위해 4대 추진전략을 수립
    - \* 「전략2 : 기술융합을 위한 새로운 가치창출」 내 '고부가가치 건설기술 창출' 과제 설정
    - \* 「전략3 : 사람 중심의 국토교통 기술개발」 내 '재난, 재해 예방 등 안전기술개발' 과제 설정
  - (정부 2050 탄소중립 추진전략, '21.12) '경제구조의 저탄소화', '신유망 저탄소 산업 생태계 조성', '탄소중립 사회로의 공정전환' 등 3대 정책방향에 '탄소중립 제도적 기반 강화'를 더한 '3+1' 전략으로 구성
    - \* 3대 정책방향에 따른 10대 과제 중 '도시·국토 저탄소화'에 부합
- 관련 신정부 공약
  - 「과학기술 선도국가」 중 ① '국가 난제 해결에 정부 R&D 집중 투자 및 민간 투자 적극 유도' 관련
    - \* 국가 난제(감염병, 저출산, 고령화, 미세먼지, 탄소중립 등)와 디지털(AI, 반도체, 디스플레이), 바이오 등 국가전략기술에 대규모 투자
    - \*\* 바이오헬스, 항공우주, 탄소중립(차세대 원전 등) 등 5대 메가테크 미션지향적 초격차 R&D 추진

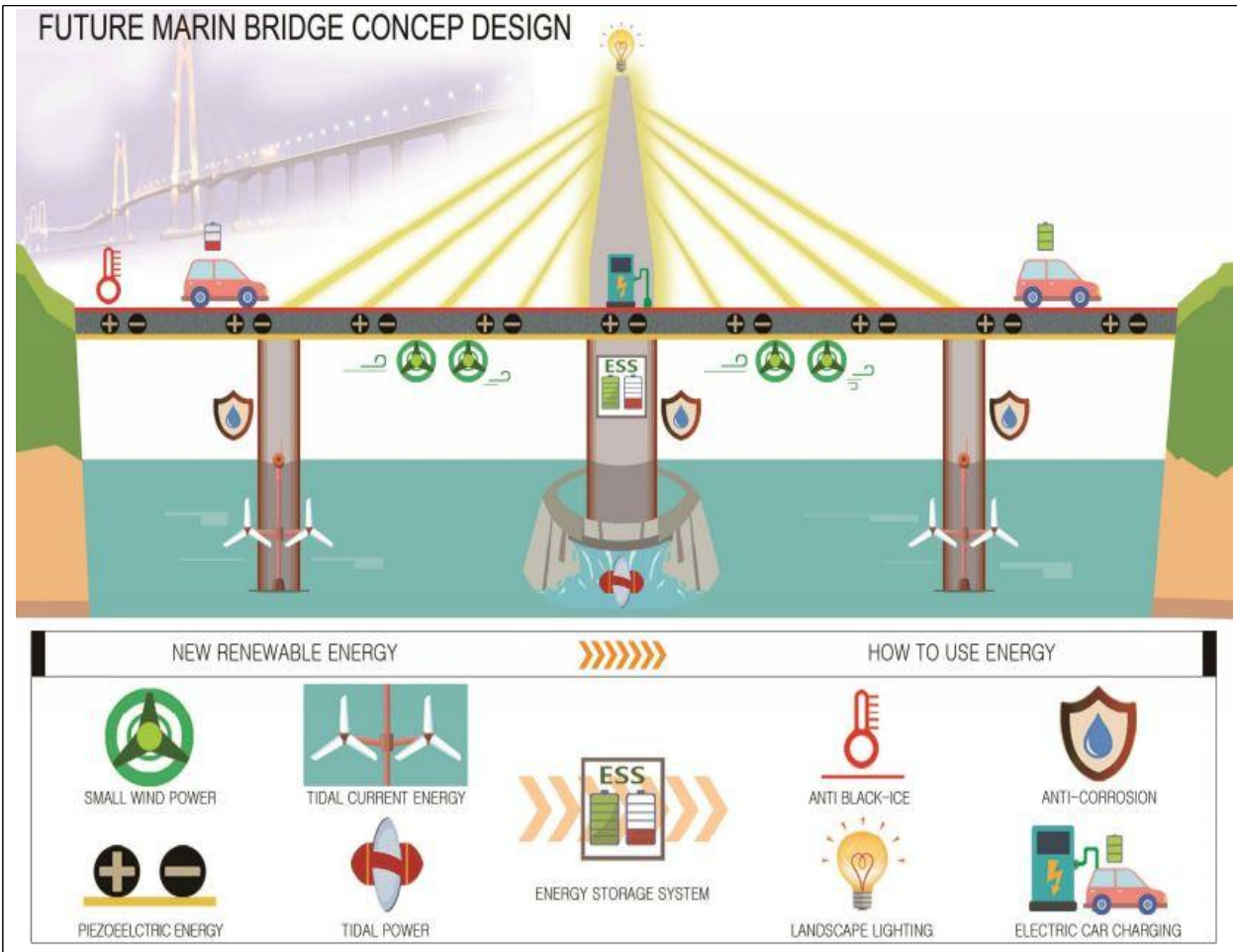
**[중점투자 분야 및 기술]**

- 중점분야별 기술

중점과제	세부과제	구성기술
(중점과제 1) 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	(1-1) 그린 해상교량 상부구조물 발전시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발 및 실증</li> <li>▪ 진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 생산 기술개발</li> </ul>
	(1-2) 그린 해상교량 결빙방지시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발</li> <li>▪ 해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발</li> <li>▪ 해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발</li> </ul>


중점과제	세부과제	구성기술
(중점과제 2) 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	(2-1) 그린 해상교량 교각구조물 통합 전기 방식시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 그린에너지 연계 전기방식 표준화 기술개발</li> <li>▪ 전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발</li> </ul>
	(2-2) 그린 해상교량 교각구조물의 구조안정성 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 그린 해상교량 보강 예측모델시스템 기술개발</li> <li>▪ 내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강구조물 기술개발</li> </ul>
(중점과제 3) 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	(3-1) 그린 해상교량 기초구조물 발전시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 소규모 조력발전 기술개발 및 실증</li> <li>▪ 세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증</li> </ul>
	(3-2) 그린 해상교량 세굴방지시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지선정을 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발</li> <li>▪ 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 연계 세굴 방지구조물 기술개발</li> </ul>
(중점과제 4) 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	(4-1) 해상교량 그린에너지 전력변환시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 그린에너지 저장 클라우드 기술개발</li> <li>▪ 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발</li> <li>▪ 해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발</li> <li>▪ 고효율 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발</li> </ul>
	(4-2) 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발</li> <li>▪ 그린 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발</li> <li>▪ 해상교량용 그린에너지 기술 제도화 방안 마련</li> </ul>

<그린 해상교량 기술개발 개념도>



○ 중점과제와 유사한 기술동향

- (국외) 미국의 경우, 교량의 경관디자인을 위한 조명에 사용되는 소모전력 비용을 절감하기 위해 풍력 터빈 등을 교량에 부착하여 생산 중에 있으며, 유지관리 시 필요한 전력을 생산 및 저장하기 위한 다양한 연구가 전 세계적으로 진행 중

미국 레이텔카스 교량	주요 내용
	<p>(위치) 미국 피츠버그 레이첼 카스 교량                      (설치내용) 300W 수직축 터빈 16대를 설치                      (효과) 연간 약 10,800 kWh의 전기를 생산으로                      27,000개의 다색 LED 조명에 전력을 공급</p>

- (국내) 유지관리 시 필요한 기본적인 전력을 생산할 수 있는 장치, 설치공법 및 안전성 검토 등에 대한 기초연구가 일부 진행 중

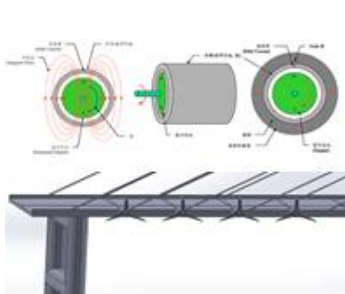
- (특허) 해상교량, 녹색에너지, 발전시스템, 결빙, 세굴, 모니터링을 핵심키워드로 분석한 결과 한국은 미국이나 일본에 비해 상대적으로 출원 활동이 늦게 시작되었으나 최근 특허출원 활동이 증가되었으며, 출원 증가율이 7.4%, 출원 점유율은 25%를 나타내고 있고, 특허 시장 확보력은 오히려 16% 감소하여 해당 기술이 자국 내 출원이 활발한 것으로 분석됨

#### ○ 구성기술의 필요성

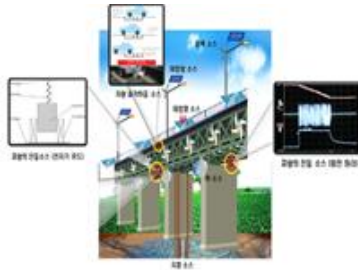
- 해상교량은 환경적 특수성에 의해 시공 및 유지관리가 어렵고, 상시 모니터링, 전기방식 및 도로결빙방지 등을 위한 다양한 기술이 적용되고 있으므로, 이를 운용하기 위한 전기에너지 사용량이 지속적으로 증가될 것으로 예상
- 해상교량을 효율적으로 운용하기 위해서는 필요에너지원에 대해 지속적으로 안정적인 공급이 필요하며, 현재 육상에서 에너지원을 공급하는 방식은 전력수급량에 따른 유연한 대응 등이 어려우므로 이를 해결할 수 있는 기술개발 시급
- 해상교량 상부구조물의 교통 안전성 측면에서 전기 발열 및 해수열 결빙방지시스템 도입 시급하나, 전력 수급 문제로 단순 결빙방지기술인 염화칼슘 포설이나 염수(해수) 분무 진행 중, 이는 블랙아이스 유발로 대형 교통사고 발생원인
- 해상교량 교각구조물의 내구성 측면에서 철근 부식방지를 위한 전기적 철근방식에 대한 방법론은 다양하게 제시되어있고 적용사례도 있으나, 설계기준에 명시되어 있지 않아 구체적인 설계기준 확립 필요
- 해상교량 기초구조물의 구조 안전성 측면에서 초심도 초대형 세굴방지를 위한 대책공법과 결합된 그린에너지 생산 기술개발 및 생산된 전력을 해상교량의 시공 및 유지관리에 지원하는 저장, 분배기술 개발 필요
- 좁은 육지와 부족한 자원 극복을 위해 우리나라는 삼면이 바다인 점을 적극적으로 이용해야 하며, 해상풍력, 해양에너지를 포함하는 해상 그린에너지를 활용한 저탄소, 고기능 해상교량 기술개발 연구는 세계 최초이므로, 전략적인 연구 추진이 절대적으로 필요
- 해상교량의 해양환경에서 자연적, 인공적으로 생산한 그린에너지를 소요전력으로 활용하기 위해서는 건설, 전기, 기계, 해양 등의 융복합 연구 필요

○ 구성기술의 내용

(중점과제 1) 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발



(중소형)풍력기술



진동 및 압전소자 기술



결빙방지시스템 기술

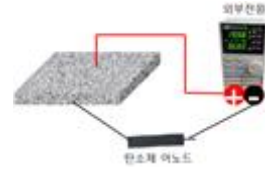
개요	해상교량의 상부구조물에서 생산 가능한 그린에너지 확보 기술 개발 및 실용화를 통해 상부도로의 필요전력(결빙방지, 조명 등) 연계 기술 개발
----	---

구성기술	기술내용
(중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량에서 발생하는 풍속, 풍향, 빈도수, 풍력 에너지밀도 등의 풍자원 조사 및 분석</li> <li>풍자원 분석을 기반으로 적정 발전량을 갖는 가로등 일체형 수직축 풍력발전시스템 개발</li> </ul>
진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 생산 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>바람으로 발생하는 해상교량의 진동에너지를 전기에너지로 전환</li> <li>차량 이동시 발생하는 진동 및 압축 에너지를 전기에너지로 전환</li> </ul>
자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 효율 극대화 재료를 사용한 교면포장 기술 및 교량상판 발열 구조기술 적용</li> </ul>
해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지 연계 PCM/열선 복합프리캐스트 콘크리트 패널 제작 기술</li> <li>PC 콘크리트 패널 급속시공 및 교체 기술</li> <li>지능형 유지 관리 기술</li> </ul>
해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>블랙아이스 생성 알고리즘 적용 및 재결빙 방지시스템 적용</li> <li>융설후 2차 결빙방지기술 적용</li> <li>융설용 열교환기 개발</li> <li>하절기 순환 적용 및 인근 에너지 공급 시스템 개발</li> </ul>

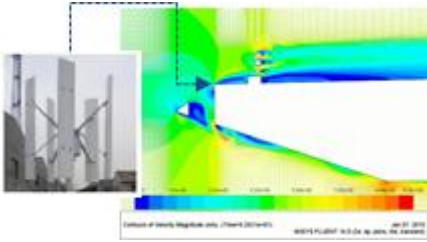
(중점과제 2) 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발



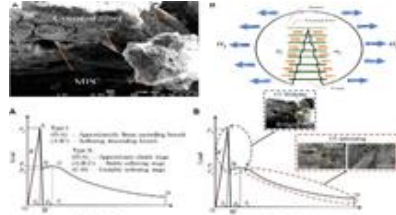
전기방식 표준화



전기방식 유지관리 기술



보강 예측모델시스템 기술

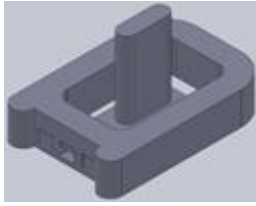


보강재료 및 보강구조물 기술

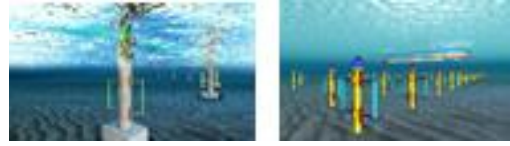
개요	해상교량의 교각구조물의 내구성능 향상을 위한 전기방식기술의 표준화 시스템 개발 및 교각구조물의 보강 기술개발
----	--

구성기술	기술내용
그린에너지 연계 전기방식 표준화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량의 부재별 부식상태 조사를 통한 최적 방식범위 및 공법 선정 검토</li> <li>그린에너지 연계 통합 전기방식 시스템 설계 및 시공 기준 개발</li> <li>전기방식시스템 성능유지를 위한 유지관리 기술개발</li> </ul>
전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>탄소 소재 활용 고내구성/장수명 애노드 개발</li> <li>철근 부식 데이터 세트 구축</li> <li>데이터 필터링 및 철근 부식 상태평가 통계모델</li> <li>데이터 노이즈 제거 및 모니터링 시스템/철근 부식 상태평가</li> </ul>
그린 해상교량 보강 예측모델시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>소형풍력발전 효율 및 해상교량 내풍 안정성 향상 보강 기술(페어링 등) 개발</li> <li>해상교량 형식별 유동특성 분석 및 소형풍력발전기 최적 설계(안) 도출</li> <li>소형풍력발전기 연결부의 구조 데이터 계측 및 최적 설계방법/안전성 평가 및 지침안 제시</li> </ul>
내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강구조물 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린 해상교량의 급속 보수보강용 MPC (magnesium potassium phosphate cement) 복합체 생산 및 배합 기술개발</li> <li>교량의 손상유형별 급속 보수보강용 MPC복합체 시공기술 개발</li> <li>급속 보수보강용 MPC 복합체 시공 및 품질관리 기준 개발</li> </ul>

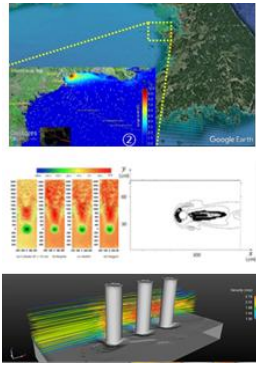
(중점과제 3) 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발



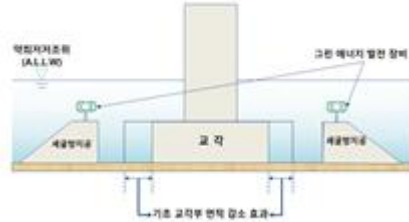
조력발전 기술



조류발전 기술



수치해석 기술



세굴방지구조물 기술

개요	해상교량의 기초구조물에서 생산 가능한 그린에너지 확보 기술 개발 및 실용화를 통해 해상교량 시공 및 유지관리에 필요한 전력으로 활용하고, 해상교량의 안전성 확보를 위한 세굴방지기술 개발
----	---

구성기술	기술내용
신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 소규모 조력발전 기술개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공 시 사용한 물막이댐을 활용한 소규모 조력발전 구조물 기술개발</li> <li>• 소규모 조력발전용 양방향 복류식 수차 개발 및 적용을 통한 발전량 증대</li> </ul>
세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세굴방지형 그린에너지 생산모듈 설계 및 해석 기술 개발</li> <li>• 세굴방지형 그린에너지 생산모듈의 발전 성능 및 세굴방지 성능 모형실험 기술개발</li> <li>• 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 실험역 테스트베드 선정 및 설계/제작/운영/성능평가</li> </ul>
해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지선정을 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해역환경, 해상교량 입지조건 수집·분석 및 hotspot 분석 기술 개발</li> <li>• 수평-연직방향을 동시에 고려하는 3차원 수치모형 개발</li> <li>• 경계조건의 불확실성 해소를 위한 광역-세역 연계모의(네스팅) 기술 개발</li> </ul>
해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 연계 세굴 방지구조물 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장 모니터링, 수리모형 및 수치모형 실험을 활용한 세굴 메뉴얼 수립</li> <li>• 세굴 메뉴얼 기반 한 세굴 방지공 프로토타입 모형 제작</li> <li>• 그린에너지 생산 장비의 설치가 가능한 세굴방지공 설계(안) 수립</li> </ul>

(중점과제 4) 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발



전력변환시스템 기술

관리시스템 기술

기술제도화

개요	해상교량에서 생산한 그린에너지를 저장하고 사용처(시공, 유지관리, 조명, 자동차충전 등)에 분배하는 최적화 통합 기술개발 및 해상기후 적응형 원격 시계열 모니터링 기술을 이용한 빅데이터 네트워크 관리시스템 개발
----	---

구성기술	기술내용
그린에너지 저장 클라우드 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>교량 내 그린에너지 발전시스템과 연계된 시스템 구성안을 도출하고 시스템의 효율적 운용과 피크부하에 대응할 수 있는 적정 용량의 발전시스템 용량 산정기법과 시스템 운용 스케줄 관리 및 제어방안 도출</li> </ul>
전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지의 시간적(야간조명, 전기방식), 계절적(결빙방지) 분배를 위한 최적화 기술개발</li> </ul>
해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지 발전시스템 종류에 따른 전력변환 시스템의 용량 설계 및 구조적인 특성 분석을 통해 에너지 발전시스템 관련 전력변환시스템 플랫폼 개발</li> </ul>
고출력 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 설치와 관련한 공간적 제약사항 극복을 위한 고출력 전력변환시스템의 구성 전력변환 모듈 설계와 모듈 간 통신 및 제어 알고리즘 기술 개발</li> </ul>
그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 시 관리시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량에서 발생할 수 있는 재해 요인에 대한 예방적 재난발생 위험평가를 통해 구조물 피해 최소화를 위한 조기 경보 시스템 개발</li> <li>수중에 감춰진 해상교량의 교각 및 기초부를 조사할 수 있는 수중장비로부터 얻어진 데이터와 드론의 데이터를 결합하여 해상교량의 전체 상태를 시계열적으로 비교 분석</li> </ul>
그린 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지를 사용하는 경관조명디자인 및 관리시스템 기술개발</li> </ul>
해상교량용 그린에너지 기술 제도화 방안 마련	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린 해상교량 개발기술의 도입·확대에 필요한 건설 기준, 품질보증관련규격, 시공지침, 유지관리 지침 등에 대한 제안 및 개발</li> </ul>

**[사업운영 및 소요예산]**

- 사업 추진체계 및 추진방식
- **(추진체계)** 4개의 중점기술 개발을 위해 산·학·연 협동 연구체계로 사업추진
  - (국토교통부) 총괄 부처로 사업 기본·시행계획 수립, 정책적 판단 및 의사결정
  - (국토교통과학기술진흥원) 사업 전담기관으로, 총괄적 사업관리 역할 담당과 기획평가운영위원회 구성 및 운영, 연구단 선정, 평가, 진도관리 등 수행
  - (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 내용변경, 지원 우선순위 등 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정
  - (연구단) 과제별 특성을 반영한 진도관리 계획 수립 및 관리, 세부 기술을 통합 구현하고 단계별 기술 검증 및 실증을 주도
  - (연계협력기관) 지자체 등 연계협력을 통해 기술개발 및 실증을 지원
  - (실증사업추진) 원활한 성과활용·확산을 위한 기술검증, 운영모델수립 및 안전기술 생태계 조성을 위한 실증 추진



- **(추진방식)** 기술수요 조사 등을 반영한 Top-down(지정공모\*) 방식을 통해 평가기준에 따른 선정
  - 개발에 필요한 대상기술과 도전적 기술품목(RFP)를 제시
- **(추진방법)** 그린 해상교량 기술개발 연구와 실증 연구 병행
  - (해상교량에 설치 가능한 그린에너지 기술개발) 상부구조물에 설치되는 소형풍력, 압전소자, 진동소자 및 기초구조물에 설치되는 조력, 조류발전 기술개발
  - (해상교량 안전·유지시스템 기술개발) 생산된 그린에너지 저장하고, 안전 및 유지를 위한 결빙방지시스템, 전기방식시스템, 경관디자인 등 분배하는 기술개발
  - (그린에너지 시공 실증 기술개발) 시공 시 필요 전력을 생산하기 위한 기초부 조력발전 시스템 및 유지관리(경관디자인 포함) 시 필요 전력을 생산하기 위한 소형풍력, 조류발전 실증 기술을 개발



○ 실증 추진방안

- 해상교량 운영 중 빈번하게 발생하는 문제(결빙, 교각부식 및 세굴 등)를 해결할 수 있는 범용적인 기술개발을 목표로 하고 있어, 국내 다양한 해상교량에서 실증 추진 예정
  - \* 서해대교, 천사대교 등 풍력, 조력 및 조류 등의 확보가 용이한 곳을 대상으로 T/B 추진 예정
- 특히, 조력 및 조류를 통한 에너지 생산 기술, 세굴방지공 등의 경우, 대규모 에너지 생산이 가능한 해상교량(천사대교, 서해대교 등)을 대상으로 연구기간 내('23~'27) 현장 적용 및 실증 추진

[민·관 역할분담 및 협업 방안]

○ (민·관 역할분담 및 정부 투자 필요성)

- 기능적으로 상부, 교각, 기초로 분류되는 해상교량은 각각 결빙, 부식, 세굴에 대한 위험에 노출되어 있고, 특히, 결빙 및 부식 방지기술은 고전력 소모가 수반되어 현장에 적용 어려움
- 해상교량은 입지조건 상 풍력, 조력 및 조류 에너지의 수확률이 높고, 특히 조력 및 조류발전은 해상교량의 시공 시부터 전력수급이 가능하나, 내구성 및 안전성 확보 문제가 발생하므로 이를 극복하기 위한 연구 필수적

○ (민·관 협업 방안)

- R&D 주요성과의 신기술 인증, 기술이전·자체실시 등을 통해 상용화하고, 혁신조달 연계 등 해상교량의 시공·유지관리 현장에 즉시 적용 예정

**[사업소요예산]**

○ 동 사업은 5년('23~'27년)간 국고 280억 투입(총 사업비 미정)

(단위 : 백만원)

중점과제	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합 계
그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	인건비	430	629	629	622	612	2,921
	직접비	547	1,046	1,638	668	489	4,389
	간접비	96	169	228	130	111	734
	소 계	1,073	1,844	2,495	1,420	1,212	8,044
그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	인건비	356	502	527	580	504	2,469
	직접비	327	514	570	531	541	2,484
	간접비	68	103	108	112	108	499
	소 계	751	1,119	1,205	1,224	1,152	5,451
그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	인건비	264	709	878	878	868	3,597
	직접비	353	711	1,163	1,832	521	4,580
	간접비	61	143	205	272	140	821
	소 계	678	1,563	2,246	2,982	1,529	8,997
그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	인건비	162	441	441	497	521	2,061
	직접비	291	659	659	693	640	2,942
	간접비	45	111	111	120	117	504
	소 계	498	1,210	1,210	1,310	1,279	5,507
중점과제 합계	인건비	1,212	2,281	2,474	2,577	2,505	11,048
	직접비	1,519	2,930	4,030	3,725	2,191	14,394
	간접비	270	526	652	634	476	2,558
	국고 합계	3,000	5,737	7,156	6,935	5,172	28,000

**[재원조달 방안]**

○ 국가 연구개발사업으로, 국고 지원규모를 연도별로 소요 예산(안)을 구체적으로 제시 하였으며, 관련 규정에 따라 참여기업의 민간부담금을 매칭하여 추진

**[기존 사업과 차별성 및 연계방안]**

○ (차별성) 자연형 그린에너지(풍력, 조력 등)의 해상교량 적용 기술은 국내에서 개발이 시도된 적 없는 기술일 뿐만 아니라, 국외에서도 기본 개념에 대한 연구만을 진행 중 이며 아직 실용화된 적은 없는 기술

- 본 기술과 연관성이 있어 기술개발 시 활용 가능한 그린에너지 개발 및 해상교량 관련 기초

적 기술은 선행 국가 R&D 및 민간기업의 R&D를 통해 존재

- (연계방안) 그린에너지 관련 사업의 풍력, 조력 생산 기술개발과 연계

**[성과 활용방안]**

- 기존 해상교량을 운영하고 있는 정부·지자체(익산관리청, 부산국토관리청 등), 유지관리기관(국토안전관리원 등) 및 해상교량 시공·설계사 등 다양한 이해관계자와 R&D 성과 상용화 및 사업화 가능

**[파급효과]**

- 경제/사회적 파급효과
  - 전 세계적으로 연구개발이 진행되지 않은 해상교량과 그린에너지 융합기술에 대한 기술선도 가능
  - 융복합 기술인 그린 해상교량 기술에서 개발되는 요소기술을 건설기술 전 분야로 보급함으로써 신개념의 미래 건설기술 확보 기대
  - 해상교량의 운영·유지관리에 필요한 에너지를 자력 공급·저장·분배함으로써, LCC 관점에서 해상교량 운영·유지관리 비용 약 20% 이상 절감 기대
  - 해상교량의 그린에너지 자체 수급을 위한 핵심기술 개발을 통해, 탄소중립 실현 및 차세대 해상교량 기술개발 선도 가능
- (직·간접적 고용, 일자리 창출, 인력양성 파급효과)
  - 경제적 파급효과 분석 결과, 생산유발효과 50,241백만원, 부가가치유발효과 23,928백만원, 고용유발효과 325명 창출 예상

국문핵심어 (5개 이내)	해상교량	녹색에너지	전기방식	결빙	세굴
영문핵심어 (5개 이내)	marine bridge	green energy	cathodic protection	bridges freeze	Scour





# 목 차



1장 사업의 개요 .....	1
1절 사업 요약 .....	1
2절 기대효과 .....	2
2장 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용 .....	4
1절 사업추진체계 .....	4
2절 추진경과 .....	6
3장 연구개발과제의 수행결과 및 목표달성 정도 .....	7
1절 기술의 정의 및 필요성 .....	7
1. 동 사업의 정의 및 범위 .....	7
2. 사업 필요성 및 시급성 .....	16
2절 국내외 동향 및 환경분석 .....	29
1. 메가트렌드(STEEP) 분석 .....	29
2. 국내외 정책동향 .....	32
3. 국내외 시장·산업 동향 .....	35
4. 국내외 기술 동향 .....	40
5. 기술수준 및 특허분석 .....	44
6. 유사사업 분석 및 정부 R&D 투자동향 .....	47
7. 종합분석(시사점) .....	49

<b>3절 기술개발 상세계획</b>	<b>50</b>
1. 핵심기술 선정	50
2. 중점추진분야 설정 및 후보과제 도출	53
3. 연구개발과제 구성 및 추진전략	60
4. 과제간 연계성	85
5. 성과 목표 및 지표	86
6. 사업추진체계 및 운영계획	87
7. 사업성과 활용 및 확산계획성과의 활용방안 및 사업화 전략	94
<b>4절 경제성 분석</b>	<b>96</b>
1. 경제적 타당성	96
2. 기대효과 및 파급효과	98
<b>5절 인력투입 소요예산 산정</b>	<b>99</b>
1. 연구일정에 따른 인력투입 계획	99
2. 소요예산 산정	100

# 표 목 차

<표 I-1> 그린 해상교량 기술개발 사업 정량적 기대효과 .....	3
<표 II-1> 기획위원회 참여전문가 리스트 .....	5
<표 II-2> 기획 추진경과(요약) .....	6
<표 III-1> 국내 재생에너지 분류 .....	10
<표 III-2> 국내 재생에너지 분류 .....	10
<표 III-3> 신재생에너지 분야별 기술 개발 주요 내용 .....	11
<표 III-4> 해상교량 가용한 신재생에너지 자원 비교 .....	13
<표 III-5> 최근 5년('16~'20년) 도로형태별 결빙 및 전체 교통사고 현황 ..	17
<표 III-6> 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술수준 비교 .....	21
<표 III-7> 노후교량 현황 .....	21
<표 III-8> 국내외 해상 신재생에너지 도입 현황 .....	22
<표 III-9> 풍력발전 연구 사례 .....	23
<표 II-3> 교량 기술수준 .....	25
<표 II-4> 해상교량에 가용한 신재생에너지 자원 비교 .....	26
<표 III-10> STEEP 구조의 메가트렌드 분석 .....	29
<표 III-11> 그린 해상교량 기술개발 관련 이슈 도출 .....	31
<표 III-12> 국외 주요국의 신재생에너지 및 해상교량 관련 정책 내용 .....	32
<표 III-13> 국내 그린 해상교량 관련 정책 현황 .....	33
<표 III-14> GCC 주요국 신재생에너지 개발 계획 내용 .....	36
<표 III-15> 지역별 해외건설 시장 현황 .....	37
<표 III-16> 최신 도로 결빙 방지 기술 .....	42
<표 III-17> 태양 전지 제조 및 연구 관련 기업 .....	43
<표 III-18> 풍력발전 연구 관련 기업 .....	43
<표 III-19> 주요국 신재생에너지플랜트/교량 분야 기술수준 및 기술격차 ..	44
<표 III-20> 중점과학기술 및 기술수준격차 .....	44
<표 III-21> 검색 DB 및 검색범위 .....	45
<표 III-22> 기술분류 .....	45
<표 III-23> 유효데이터 결과 .....	45
<표 III-24> 부처별 과제수(2018-2022) .....	48
<표 III-25> 정부 R&D 투자 동향(2018-2022) .....	48
<표 III-26> 연구분야별 정부 R&D 투자 동향(2018-2022) .....	48
<표 III-27> 기술수요조사 개요 및 결과 .....	50
<표 III-28> SWOT 분석 .....	51

<표 III-29>	세부과제(1-1)의 개발 목표	.....	61
<표 III-30>	세부과제(1-2)의 개발 목표	.....	64
<표 III-31>	세부과제(2-1)의 개발 목표	.....	69
<표 III-32>	세부과제(2-2)의 개발 목표	.....	71
<표 III-33>	세부과제(3-1)의 개발 목표	.....	75
<표 III-34>	세부과제(3-2)의 개발 목표	.....	77
<표 III-35>	세부과제(4-1)의 개발 목표	.....	81
<표 III-36>	세부과제(4-2)의 개발 목표	.....	83
<표 III-37>	성과 목표 및 지표	.....	86
<표 III-38>	사업 운영체계	.....	87
<표 III-39>	사업추진단계별 절차에 따른 일정(안)	.....	88
<표 III-40>	실증 추진전략	.....	92
<표 III-41>	실증 추진주체별 역할 분담	.....	93
<표 III-42>	총 비용 추정	.....	96
<표 III-43>	비용/편익 분석 결과	.....	97
<표 III-44>	경제적 타당성_과급효과 분석결과	.....	98
<표 III-45>	인력투입 계획	.....	99
<표 III-46>	총 투입예산(국고)	.....	100

# 그림 목 차

[그림 I-1]	그린 해상교량 기술개발 기대효과	2
[그림 II-1]	기획 추진체계	4
[그림 III-1]	그린 해상교량 기술개발 연구 범위	8
[그림 III-2]	신소재 활용 교량 분야	14
[그림 III-3]	해상교량 적용 가능 그린(재생)에너지 기술	15
[그림 III-4]	지능형 교통시장 동향	16
[그림 III-5]	결빙사고 피해 사례	17
[그림 II-2]	시간경과에 따른 기능변화 개념도	21
[그림 III-6]	풍력발전을 통한 유지관리비용 절감 사례	23
[그림 III-7]	해상교량 적용 가능 그린(재생)에너지 기술	25
[그림 III-8]	국고지원의 적합성	28
[그림 III-9]	글로벌 전력생산 공급 비중	35
[그림 III-10]	세계 지역별 신규 발전원	36
[그림 III-11]	해외 케이블교량 시장 규모	38
[그림 III-12]	유사사업 분석결과 요약	47
[그림 III-13]	그린 해상교량 기술 구성	55
[그림 III-14]	그린 해상교량 기술개발 개념도	57
[그림 III-15]	기술수준 예상 변화	57
[그림 III-16]	그린 해상교량 기술개발 추진체계	59
[그림 III-17]	중점분야 간 연계성	85
[그림 III-18]	그린 해상교량 사업 추진체계	89
[그림 III-19]	연구단 추진체계	89
[그림 III-20]	실증추진체계	92
[그림 III-21]	실증연구 참여의향서	93
[그림 III-22]	기술사업화 업무흐름	95



# 1장 사업의 개요

## 1절 사업 요약

사업명	그린 해상교량 기술개발			
주관부처	국토교통부 (관리기관 : 국토교통과학기술진흥원)			
총사업비	280억 원 (국비 280억 원)			
사업기간	2023~2027년(5년)			
사업목적	고탄소, 저기능 해상교량 대응기술 개발과 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술 확보 및 실용화를 위한 테스트베드 실증			
근거법령	국토교통 과학기술육성법 제8조 (연구개발사업의 추진) 건설기술 진흥법 제7조 (건설기술 연구·개발 사업)			
관련정책	주요정책	동 사업 관련성		
	① 재생에너지 2030 이행계획	o 2030년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%까지 확대		
	② 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획	o 혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통을 위해 4대 추진전략을 수립		
	③ 정부 2050 탄소중립 추진전략	o '경제구조의 저탄소화, '신유망 저탄소 산업 생태계 조성, '탄소중립 사회로의 공정전환' 등 3대 정책 방향에 '탄소중립 제도적 기반 강화'를 더한 '3+1' 전략으로 구성		
사업목표	목표	해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구		
	성과 목표	해상교량 품질확보	그린에너지 생산량 증가	탄소배출량 절감
	성과 지표	안전성 및 내구성 향상 30 (%)	에너지생산율 80 (%)	탄소배출저감률 50 (%)
	사업내용	① 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발 ② 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발 ③ 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발 ④ 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발 * 국토부, 지자체, 공공기관, 민간기관 등과 협력을 통한 실증		
사업대상	지자체, 공공기관, 민간건설업체			

## 2절 기대효과



[그림 1-1] 그린 해상교량 기술개발 기대효과

### ■ 도시·국토 저탄소화에 부합하는 그린에너지를 이용한 자립형 해상교량 기술 확보

- 품질확보율 : 기존 해상교량 대비 품질확보 30% 이상 향상
- 탄소배출저감률 : 기존 해상교량 대비 탄소배출 50% 이상 절감
- 에너지생산율 : 기존 해상교량 대비 그린에너지 생산 80% 이상 증가

### ■ 고내구성능이 요구되는 해상교량에 필요한 내구성 향상기술 확보

- 적극적인 방식기술인 전기방식시스템의 개발 및 표준화를 통한 도입확대
- 해양환경에 적합한 보수보강 재료 및 기술을 확보함으로써 교량의 수명연장 가능

### ■ 운용 중인 해상교량에 그린에너지 발전시스템이 장착될 경우 발생 가능한 구조적 문제 해결을 통한 차세대 건설기술 확보

- 보강 예측모델시스템의 적용을 통한 발생 가능한 하중변위 대응
- 보강재료 및 기술을 도입함으로써 환경적, 지형적 특성에 맞는 건설 가능

- 해상교량의 에너지 자급기술을 확보함으로써 미래대응 첨단기술 (전기자동차 충전, 스마트 휴게소 및 전망대 등)을 해상교량에 적용
- 융복합 기술인 그린 해상교량 기술에서 개발되는 요소기술을 건설기술 전 분야로 보급함으로써 신개념의 미래 건설기술 확보 가능
  - 빌딩 등 고층건물에 에너지 생산기술 및 관리시스템 도입을 통한 유지관리의 효율성 증대 및 비용 절감
  - 세굴방지기술 및 예측시스템을 육상교량에 도입함으로써 구조물의 안전성 확보
  - 결빙방지 기술의 적용을 통해 동절기 결빙에 의한 안전성 확보가 필요한 교량 및 산악구간 도로의 안전성 확보
  - 교량의 건설부터 유지관리까지의 전생애주기에 필요한 에너지 확보를 통한 고부가가치 실현 가능한 교량 건설기술 확보
- 에너지 자급형 그린해상교량 기술개발을 통해 확보된 기술을 해외에 수출함으로써 국익창출에 기여
- 전 세계적으로 연구개발이 진행되지 않은 해상교량과 그린에너지 융합기술에 대한 기술선도

<표 1-1> 그린 해상교량 기술개발 사업 정량적 기대효과

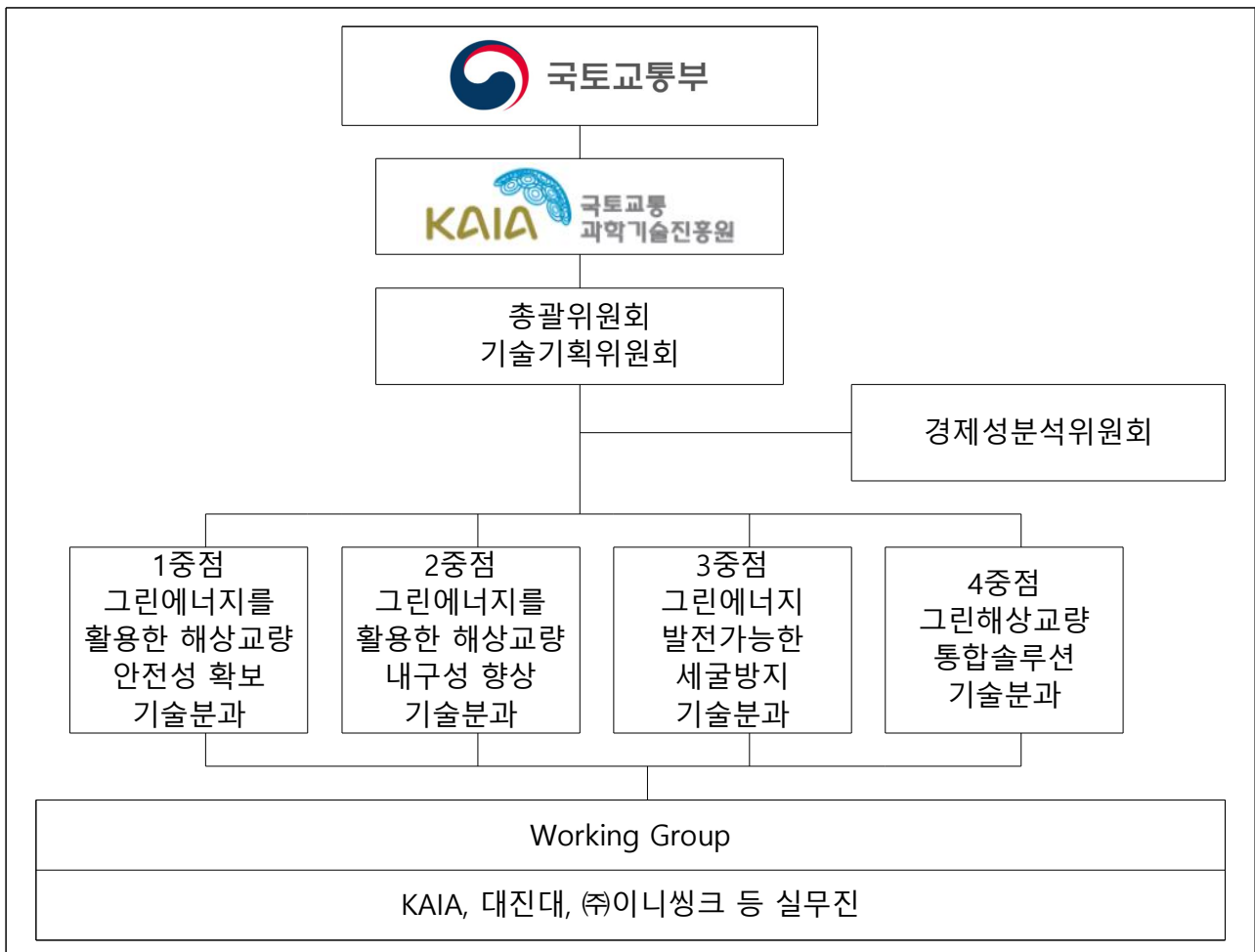
구분	연간 총 전력생산량	서해대교 에너지 소비량(2020년)*	잉여전력
진동 및 압전소자	18,396 KW	1,107,658 KW	17,238,738 KW
Bladeless 풍력발전기	42,000KW		
교량하부 해류	18,000,000 KW		
가물막이 댐	286,000 KW		
합계	18,346,396 KW		

\* 한국도로공사 충청지역본부 서해대교관리소

## 2장 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용

### 1절 사업추진체계

- (사업 추진체계) 총괄위원회와 기술기획위원회를 중심으로 각 전문연구기관별 상호연계 및 명확한 역할 관계 정립을 통해 사업기획을 추진
  - 사업추진 과정의 합리성 및 사업내용의 전문성 확보를 위해 민간전문가를 중심으로 산업계 및 연구계를 안배하여 기획위원회 구성 및 운영
  - 기획위원회는 기획방향 설정, 중점과제 도출, 타당성 분석에 이르는 기획 전 과정에 총괄 자문 및 심의·조정 역할을 수행
    - 그린 해상교량 관점에서 기술방향 제시, 기술적 관점의 전문적 논의를 통한 상세기획(안) 및 세부과제(핵심기술)별 RFP 작성



[그림 II-1] 기획 추진체계

구분		주요 역할
전문위원회	기획위원회	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업기획 전체 과정 총괄 자문</li> <li>-기술방향 또는 운영방안 등 심의·조정 역할 수행 등</li> <li>그린 해상교량 기술개발의 각 중점분야와 세부과제 발굴</li> <li>-기술관련 상세기획 작성 등</li> </ul>
	경제성분석위원회	-경제성분석 총괄 자문 및 방법론에 대한 전문가 의견 제시
전담기관	KAIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>기획 전반 지원 및 최종 검토</li> </ul>
주관기관	대진대학교	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술 상세 기획</li> <li>-기술구성 및 연구개발내용 기획</li> </ul>
공동기관	(주)이니씽크	<ul style="list-style-type: none"> <li>기획전반 총괄</li> <li>-기획위(총괄) 운영, 보고서 작성 총괄 지원 등</li> </ul>

<표 II-1> 기획위원회 참여전문가 리스트

구분	성명	소속	부서	직책	비고
민간기업	이순환	브리콘	대표이사	대표	
	이석진	롯데건설	기업부설연구소	팀장	
	이창신	다운기술주식회사	엔지니어링 사업부	부사장	
	임민규	남광토건	대표이사	대표	
공기업	김홍삼	한국도로공사	도로교통연구원	연구원	
	김낙영	한국도로공사	도로교통연구원	연구원	
대학	류재석	한양대학교	건설환경공학과	교수	
	지광습	고려대학교	건축사회환경공학부	교수	
	김성민	경희대학교	사회기반시스템공학과	교수	
	김운용	충남대학교	토목공학과	교수	
	이승태	군산대학교	토목공학과	교수	
	이재준	전북대학교	토목공학과	교수	
	김진호	영남대학교	기계공학부	교수	
연구기관	윤석준	한국건설기술연구원	국토보전연구본부	연구원	
	최종수	선박해양플랜트연구소	해양에너지연구본부	본부장	
	이진학	한국해양과학기술원	연안개발·에너지연구센터	센터장	
	박병건	한국전기연구원	전동력시스템연구센터	연구원	

## 2절 추진경과

- 주관부처, 전담기관 등 추진주체와 산학연 전문가로 구성된 기획위원회 운영 및 유관기관 자문을 통한 사업 기획 추진

<표 II-2> 기획 추진경과(요약)

연번	날짜	주요내용	비고
1	'21.06	• 그린 해상교량 기술개발 기획연구 착수	
2	'21.06 ~ '21.09	• 사업 컨셉 도출을 위한 유관기관 전문가 자문 추진	
3	'21.09	• 그린 해상교량 기술개발 시나리오(안) 도출	
4	'21.12	• 그린 해상교량 기술개발 수요조사 실시	
5	'22.01	• 그린 해상교량 중점분야 및 세부기술 도출을 위한 기획위원회 운영	
6	'22.01	• 그린 해상교량 기술개발 사업(안) 도출	
7	'22.02	• '21~'25 중기사업계획에 '그린 해상교량 기술개발 반영' 요청	
8	'22.01 ~ '22.04	• 그린 해상교량 기술개발 상세기획	

# 3장 연구개발과제의 수행결과 및 목표달성 정도

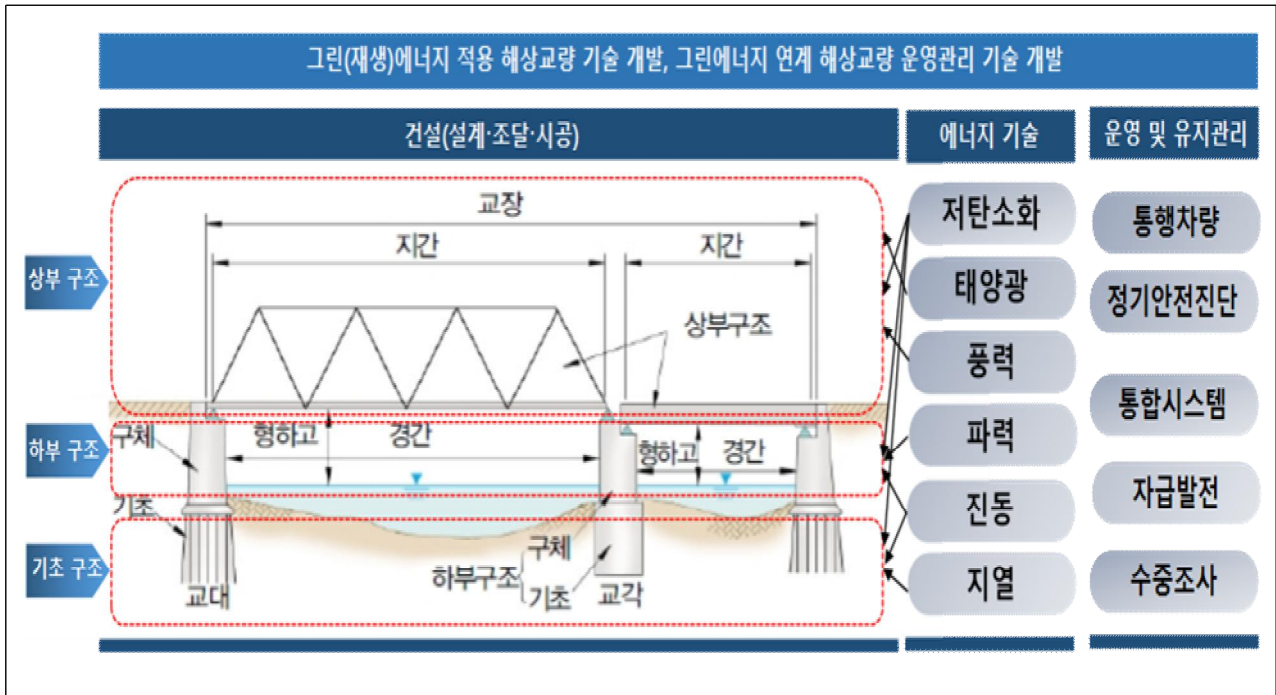
## 1절 기술의 정의 및 필요성

### 1. 동 사업의 정의 및 범위

#### 가. 동 사업의 정의

- (사업정의) 해상교량에 활용 가능한 조력·파력·태양광·풍력 등 그린에너지 생산 및 그린에너지 연계 해상교량 운영/유지관리 기술개발을 지원하는 사업
  - 그린에너지 기술과 해상교량 기술의 융·복합을 통해 해상교량의 건설(설계/조달/시공)부터 운영 및 유지관리까지 그린에너지를 활용하는 기술개발 지원 목적
    - 그린(재생)에너지는 ‘탄소배출 저감’, ‘환경의 지속가능성’ 등을 목적으로 지속적으로 논의되었으며, 구체적인 기술이 존재·발달 중
      - \* 석탄화력발전소를 대체할 태양광, 풍력, 지열, 원자력, 수소 등의 에너지발전 관련 기술과 폐기물관리/자원순환, 에너지/환경, 기계 등 기술 존재
    - 최근 4차산업혁명으로 인해 신재생에너지의 효율성을 높이고, 해상교량 생애주기 전반에 적용 가능한 기술의 등장
      - \* 드론을 활용한 교량 유지관리, 첨단기술 적용 콘크리트 개발, 빅데이터 활용 통행차량 분석, 친환경 교량 해체 및 폐기물 수거, IoT를 활용한 교량 통합 관리시스템 등
    - 현재 교량에 필요한 에너지는 가로등 및 유지관리를 위한 전력 등 소비량은 다소 적은 편이지만, 미래에는 에너지 소비량이 많이 소요될 것으로 예상
      - ◆ 디지털 기술 적용 등을 통한 해상교량의 고질적 문제(기후 영향 등의 안전 문제)를 해결하기 위해 더 많은 에너지가 소비될 것으로 예상
      - ◆ 한편, 해상교량은 낙후된 지역을 연결하는 ‘도서지역간 개발계획’의 중요 역할 및 기능을 담당하기에 향후 많은 교량 건설 예측
    - 새롭게 건설할 해상교량에 있어 그린(재생)에너지의 기술, 지능정보기술 활용 등을 적용·융합할 수 있을 것임
  - 신규 해상교량 건설 시 적용되는 기술뿐만 아니라 기존 해상교량에 그린에너지를 적용하는 기술개발을 지원

- 동 사업은 해상교량의 기초/하부/상부 구조 등을 통해 그린에너지를 생산하고, 생산된 그린에너지를 해상교량의 운영 및 유지관리에 활용하는 기술을 개발



[그림 III-1] 그린 해상교량 기술개발 연구 범위

## 나. 기술개념 및 범위

### 1) 해상교량 건설 기술

- ‘교량’ 혹은 다리는 도로, 철도, 수로 등 운송로 상 장애가 되는 하천, 강, 호수, 해안, 해협 등을 건너거나 다른 도로, 철도, 가옥, 시가지 등을 통과할 목적으로 건설되는 구조물을 총칭
  - 이 중 ‘해상교량’은 바다에 건설되는 교량으로 육지와 섬, 섬과 섬을 잇는 목적이 크며, 이를 통해 낙후지역을 연결하고 도로 및 인프라를 건설한다는 의미에서 중요한 역할
- 해상교량은 건설부터 유지관리까지 고도의 기술을 필요로 하는 토목 기술 결정체
  - 건설 및 토목 사업의 주기인 설계-조달-시공-운영 및 유지관리 등이 모두 포함되며, 해상교량 건설의 모든 과정에서 활용할 수 있는 다양한 기술이 전부 포함
  - 해외 해상교량 수주의 경우에는 국내 제품을 구매/조달하기에 수출·입 산업까지도 연관

- 한편, 해상교량은 바다에 다리를 건설하기 때문에 일반적인 교량에 비해 지역적 조건에 따른 안정성, 내구성, 부식 및 침식 등 고려해야 할 부분이 더 많음
  - 기초 시공, 주탑 시공, 상판, 케이블 연결 등 모든 작업에 있어 지역적 특성(바다, 해안 등)을 고려
    - 바다, 해안의 경우 재해·재난, 기상이변, 부식 및 침식의 가속화(염분 등)로 인한 내구도 급감 등 해상교량 안정성과 내구성에 직결
- 국내 해상교량에 관련한 기술과 연구들은 대체로 유지관리, 안정성 등에서 이뤄지고 있음
  - 선박충돌, 선박통행량, 교통량 등에 따른 유지관리 분석, 콘크리트 및 세굴심의 내구성과 다양한 기후에 따른 충격완화, 안정성 등에 대해 연구

## 2) 그린(재생)에너지 기술

- 그린(재생)에너지는 지구 온난화로 인한 생태계 변화, 미세먼지, 기후위기 등에 대한 위협과 위기로 인해 화석연료 사용 제한을 통한 저탄소, 탄소중립, 온실가스 감축에서 관심을 받음
  - ‘교토의정서’, ‘파리협정’ 이후 전 세계 각 나라에 온실가스 감축목표가 부여되어 화석연료의 사용을 줄이면서 증가하는 에너지 수요를 대비하기 위해 신재생에너지가 대두
- 그린(재생)에너지는 신재생에너지 중 재생가능한 에너지원 종류에 초점을 맞춤
  - 전환수단과 에너지 형태에 따른 신에너지와 에너지원 종류에 따른 재생에너지로 분류
  - 국내의 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법’ 제2조에 의거해 신재생에너지에 대해 총 11개를 정의
    - 신에너지 : 수소에너지, 연료전지, 석탄액화가스화 및 중질잔사유가스화 등 3개 분야 에너지
    - 재생에너지 : 해양에너지, 태양에너지, 풍력에너지, 수력에너지, 지열에너지, 수열에너지, 바이오에너지, 폐기물에너지 등 8개 분야 에너지
- 국내는 ‘국가과학기술표준분류’, ‘산업기술분류표’에서 신에너지와 재생에너지에 대해 구분

- 재생에너지는 석탄, 석유를 통한 에너지를 대체할 수 있는 에너지로 자연 및 환경 자체에서 얻을 수 있는 에너지에 초점
  - 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 자연현상에서 발생 및 지속적 보충 가능한 에너지를 ‘재생에너지’로 정의하고, 가정·산업체·기관 등에서 발생하는 연소 가능한 여러 물질로 구성된 연료로 나타나는 에너지를 ‘폐기물에너지’로 구분

<표 III-1> 국내 재생에너지 분류

구분	에너지원 분류
재생에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해양에너지, 태양에너지, 풍력, 수력, 지열에너지</li> <li>○ 생물자원 변환을 통한 바이오 에너지</li> <li>○ 비재생폐기물을 제외한 폐기물에너지</li> <li>○ 그 밖의 석탄·석유·원자력 또는 천연가스가 아닌 에너지</li> </ul>
신에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수소에너지 연료전지</li> <li>○ 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질잔사유 가스화 에너지</li> <li>○ 그 밖의 석유·석탄·원자력 또는 천연가스가 아닌 에너지</li> </ul>

(자료) 중소기업 전략 기술로드맵 2021-2023: 신재생에너지. 중소벤처기업부(2020)

■ IEA의 경우 신재생에너지의 구분에서 바이오 관련 에너지를 세분화하며, 폐기물에너지 중 정제폐유, 윤활유 등은 신재생에너지로 포함하지 않음\*

\* (자료) 중소기업 전략 기술로드맵 2021-2023: 신재생에너지. 중소벤처기업부(2020).

<표 III-2> 국내 재생에너지 분류

구분	에너지원 분류	분류
재생가능 에너지	태양에너지	○ 태양광, 태양열
	풍력	○ 전기에너지
	수력	○ 전기에너지
	해양에너지	○ 파력, 전기에너지
	지열	○ 발전, 직접 열 이용
	고체 바이오연료	○ 목재연료, 흑액, 동물 폐기물 등
	바이오가스	○ 매립지가스, 하수가스, 기타 혐기성 소화 바이오가스 등
	액체 바이오연료	○ 바이오 가솔린, 바이오 디젤 등
	재생도시폐기물	○ 생분해성을 가진 도시 폐기물
비재생폐기물 에너지	비재생폐기물 에너지	○ 산업폐기물, 비재생 도시 폐기물

(자료) 중소기업 전략 기술로드맵 2021-2023: 신재생에너지. 중소벤처기업부(2020)

■ 현재 국가에서는 전력공급기술 개발을 필두로 신재생에너지핵심기술개발(R&D)사업을 통해 그린(재생)에너지 기술 개발 진행

- 2030년 재생에너지 발전비중 20% 달성을 위한 다양한 에너지의 핵심부품 국산화 기술개발, 글로벌 경쟁력 확보를 위한 기술개발 목적
- 그린(재생)에너지의 각 종류에 관해 에너지 효율 극대화, 통합시스템 개발, 원천 및 핵심기술 개발, 표준 모델 개발 등의 부분에서 다양한 연구 진행
  - 태양광 및 태양열의 경우 태양전지 단가절감, 차세대 태양전지 개발 및 대규모 태양열 시스템 설계, 운영기술 개발 등
  - 풍력의 경우 대형해상풍력발전시스템 개발, 저감 기술 등, 해양의 경우 해양에너지 원천기술 개발 및 실증연구 등 추진

<표 III-3> 신재생에너지 분야별 기술 개발 주요 내용

종류	기술 개발 주요 내용
태양광	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 결정질 실리콘 태양전지 단가 절감, 고효율화 및 Supply chain별 기술개발</li> <li>○ 국내 보급 확대 및 해외 진출을 위한 고부가 시장 확대 기술개발 및 실증</li> <li>○ 신시장 선점을 위한 차세대 태양전지 기술개발 중장기적 추진</li> </ul>
태양열	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 대규모 태양열 시스템 설계 및 운영 기술, 태양열 응용 산업이용 기술 개발</li> </ul>
풍력	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 풍력 수출시장 선점을 위한 대형해상풍력발전시스템 기술개발 추진</li> <li>○ 설치, 시공, 계통연계 등 풍력발전단지 LCOE 저감을 위한 기술개발 및 실증 추진</li> </ul>
지열	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지열에너지 경제성 확보를 위한 지열자원 탐사, 평가기법 등 기술개발</li> <li>○ 고효율 히트펌프, 대체냉매 이용 냉·난방시스템 등 기술개발</li> </ul>
수열	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발전소 온배수 등의 해수 열에너지 활용 극대화 및 운용/유지보수 최소화를 위한 수열에너지 관련 핵심 요소기술 개발</li> </ul>
수력	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수차 등 주요 부품 국산화 및 수차발전기 효율향상 기술개발</li> <li>○ 노후수력 개·대체 시장을 타겟으로 한 대형수력발전시스템 국산화 기술개발</li> </ul>
해양	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조력, 조류, 파력, 해양온도차이용 등 해양에너지 이용 원천기술 개발 및 실험실 실증연구사업 추진</li> </ul>
폐기물	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 다양한 폐기물의 에너지화 효율 향상을 위한 Retrofit 기술 및 수출연계형 기술 개발</li> </ul>
바이오	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이오에너지 생산성 향상 기술개발 및 다양한 원료를 활용한 도시친화형 생산 기술 확보 중점 추진</li> </ul>

(자료) 신재생에너지핵심기술개발사업(R&D) 자체평가보고서. 산업통상자원부(2021). 수정

- 동 사업에서 다른 그린(재생)에너지 기술은 신에너지를 제외한 재생에너지
  - 해상교량에 있어서 수소에너지를 생성하거나 가스화 에너지 등을 활용하기보다는 해상교량을 통한 그린(재생)에너지 생성·저장·활용 부분
  - 이는 해상교량이 건설되는 지리적 위치(해안, 바다)가 그린(재생)에너지의 태양에너지, 풍력, 수력, 해양에너지, 지열에 밀접한 연관
  - 신재생에너지핵심기술개발 사업과 연계하여 해상교량에 적용·융합 가능한 그린(재생)에너지 기술 개발 목적

### 3) 그린(재생)에너지 해상교량 기술

- 그린(재생)에너지 해상교량 기술개발은 해상교량 건설 기술과 그린(재생)에너지 기술을 융·복합한 기술 개발로 이해
  - 온실가스 감축·탄소중립·지속가능성이라는 그린(재생)에너지 가치와 기술을 해상교량 건설 기술과 접목
    - 해상교량 건설 및 유지·관리에 있어 그린(재생)에너지를 생산·배치·저장·활용하는 기술
  - 통상적인 그린(재생)에너지 생산 기반(발전소 등)을 교량에 설치할 기술이 아닌 그린에너지와 해상교량을 적용·융합할 수 있게 만드는 기술 개발
    - 그린(재생)에너지를 생성·적용할 수 있는 교량 설계에 관한 기술
    - 그린(재생)에너지 생성 및 적용할 생산 기반에 관한 기술, 저탄소·온실가스 감축에 이바지하는 제품, 재료 등 개발
    - 운영 상 생성된 에너지의 효율적인 관리, 교량 유지보수에 그린(재생)에너지 활용 등 기술
- 해상교량 주변에는 신재생에너지가 풍부하게 분포
  - 통상적인 교량과 달리 해안에 건설되기에 풍력, 파력, 진동, 태양열 등의 영향을 많이 받기에 신재생에너지가 대두된 시점부터 교량에 재생에너지를 접합하려는 시도는 지속적으로 이뤄짐

<표 III-4> 해상교량 가용한 신재생에너지 자원 비교

구분	태양광	풍력	파력	조류력
연구 내용	고효율화 및 다목적 제품 개발	해상풍력 등 극한조건 적용	현장실증실험 및 성능검증	현장실증실험 및 성능검증
에너지원	태양	바람	해류 및 바람으로 인한 파도의 진동력	태양과 달의 인력
연평균 발전밀도	200~300 W/m <sup>2</sup> (미국 남부&서부)	400~600 W/m <sup>2</sup> (미국 대평원)	20~25 W/m <sup>2</sup> (미국 서부연안) 5~15 W/m <sup>2</sup> (미국 동부연안)	5~10 W/m <sup>2</sup> (알래스카, 펀디만) 1~2 W/m <sup>2</sup> (시애틀, 샌프란시스코)
예측 가능성	분 단위 예측	시간단위 예측	하루 단위 예측	100년 이상 예측

(자료) 에너지 자립형 신재생 에너지 교량 모델 개발. 이진학·김영상(2011) 수정

■ 국내 그린 해상교량에 관련한 기술은 다소 적지만, 실제 ‘에너지 자립형 교량’ 등 교량 건설 시 다양한 에너지 관련 기술의 적용 연구를 수행

- 신재생에너지에 관한 기술 개발과 교량 건설 등에 관한 기술 개발은 각각 활발하게 진행 중이지만, 이를 융·복합하는 그린(재생) 해상교량 기술 연구는 다소 적음
  - '00년대 후반부터 ‘신재생에너지 교량 모델’, ‘녹색교량’, ‘신재생에너지 생산 교량’ 등 연구 진행
  - 저탄소 관련한 재료에 관한 연구, 교량의 진동을 이용한 진동력 활용 기술, 태양광·태양열, 풍력, 파력 등을 적용한 에너지 생산 및 저장 기술 연구 등이 있음

■ 한편, 교량 등에 적용할 수 있는 에너지 하베스팅(Energy Harvesting)에 관해서도 연구가 진행

- 자연계에서 쉽게 얻을 수 있는 빛, 열, 진동, 전류, 압력 등과 같은 미소량의 에너지, 버려지는 에너지를 전기 또는 열에너지 등으로 새롭게 재생산하는 기술\*

\* 정순중(2011), 한혜경 외(2015)

- 웨어러블기기, 사물 인터넷 등 소형 저전력 전자기기 사용에 전력 공급이 가능하며, 이스라엘의 Innowattech의 경우 IPEG 압전 에너지 발전기를 통해 도로, 철도 등에 매설하여 통행하는 기차 및 자동차에 의해 발생하는 진동에너지를 전기에너지로 재생산\*

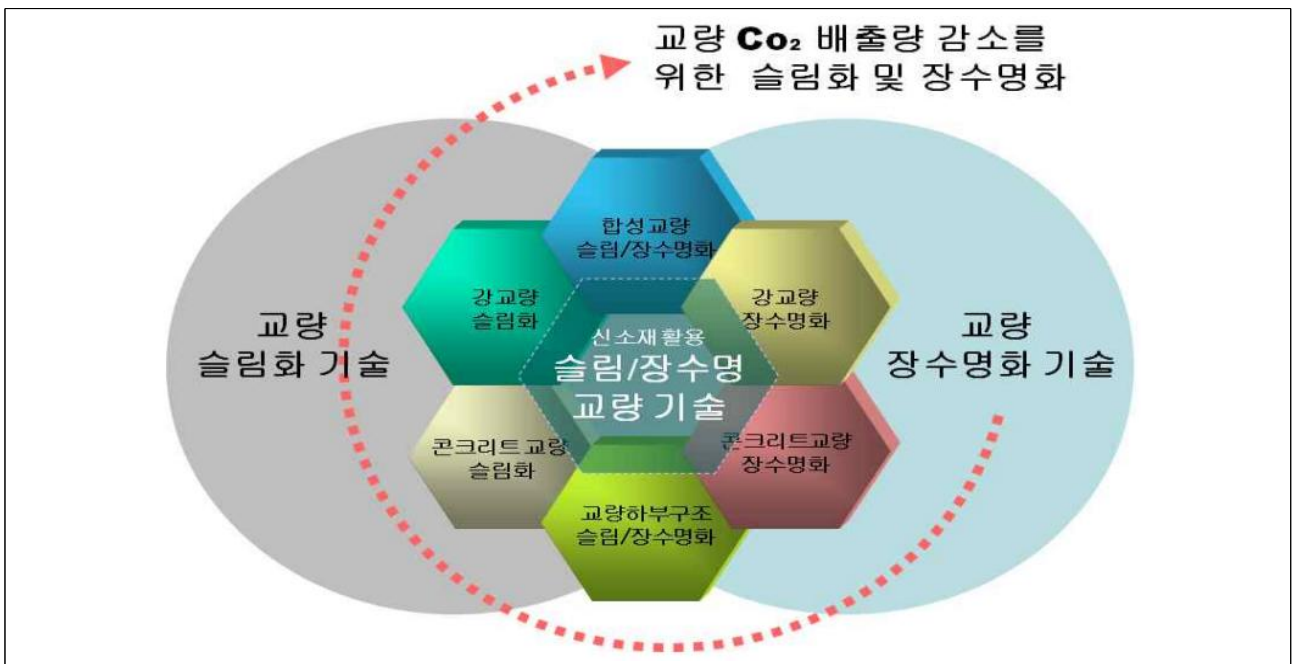
\* 서민성(2016)

- 에너지 하베스팅 기술은 특히, 교량에 적용가능성이 높음

- 교량은 타 시설에 비해 차량, 바람 등에 의해 진동에 상시로 노출되어 있어 에너지 하베스팅 적용 제품, 기술들을 적용하는데 다소 수월

■ 더하여 지능형 친환경 교량기술개발이 연구되었음\*

- 한국건설기술연구원(2012)의 ‘지능형 친환경 교량 기획’은 온실가스 감축 목표, 기술혁신, 교량 신설 및 교체 수요 증가에 따라 탄소배출량을 30% 이상 절감하게 하는 기술 개발을 기획
  - 교량 급속시공분야 / 신소재 교량 분야 / 지능형 교량 분야 / BIM 분야의 4개 중점추진분야를 설정하여 추진
  - 연구단 2개와 일반과제 1개를 제시(콘크리트 교량 장수명화 연구단 / 교량 자가진단치유 및 자동유지보수 연구단 / 교량정보모델 활용 탄소배출량 산정 기술)
- 저탄소·고성능·고내구성의 보수·보강 기술 구축을 통한 교량 수명 보장
  - 신소재 교량 분야에서는 교량의 탄소 배출 저감 등에 관한 기술 존재



(자료) 국토교통과학기술진흥원(2015).

[그림 III-2] 신소재 활용 교량 분야

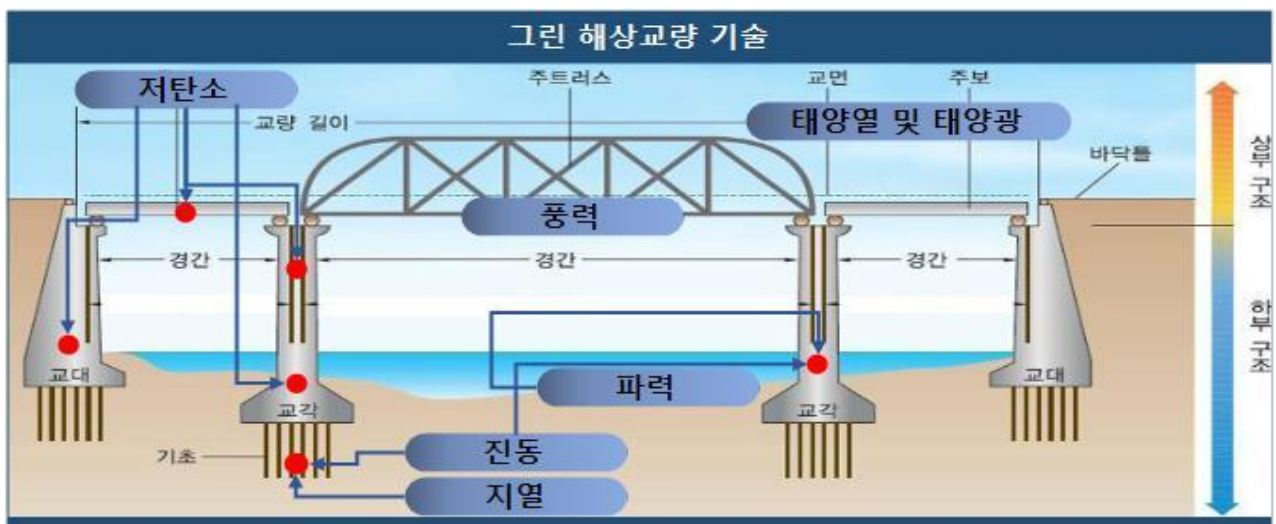
- 다만, 저탄소에 초점을 맞췄기에 교량 재료에 있어 이산화탄소 저감을 위한 기술개발이 주를 이루고 있는 경향

■ 다양한 부분에서 신재생에너지 기술이 개발·발전되고 있으며, 그린 해상교량에 적용할 수 있는 기술을 정리하면 태양열 및 태양광, 풍력, 해양에너지, 진동력 등이라 할 수 있음

- 일반적인 교량이 아닌 해상교량으로 바다와 해안에 건설되기 때문에 파력 및 조력, 조류, 해양온도차와 함께 풍력과 태양열 및 태양광 등을 활용 가능
- 더하여 플랜트 중 하나이기에 설계-구매-시공에 있어 ICT 첨단 기술 활용, 지능정보기술 활용 및 접목과 이를 통해 그린(재생)에너지 기술과 융합 가능
- 또한, 앞선 ‘지능형 친환경 교량 기술개발’의 연속선상에서 그린 재생에너지 기술까지 융·복합할 수 있음

■ 동 사업의 그린 해상교량 기술을 광의의 범위로는 다음과 같이 정의

- 기초 및 하부 구조에서 지열을 활용한 에너지 생산, 교각·교대·주탑·케이블 등에 풍력에너지와 파력으로 인한 진동력을 에너지로 바꾸는 기술 개발 등
- 상부 구조 내에서는 주탑, 교면 등에 태양열 및 태양광의 에너지를 생산·저장할 수 있는 기술 개발 등
- 교량에 있어서 그린(재생)에너지를 활용할 수 있게 하는 설비, 제품, 구조 등의 기술 개발 등
- 저탄소 관련 해상교량 건설에 있어 필수적인 재료라 할 수 있는 콘크리트 및 다양한 재료의 연구로 지속가능 콘크리트, 이산화탄소 저감 그린콘크리트 등 개발뿐만 아니라 다양한 재료의 지속가능성 제고, 저탄소 재료 기술개발 등 포함

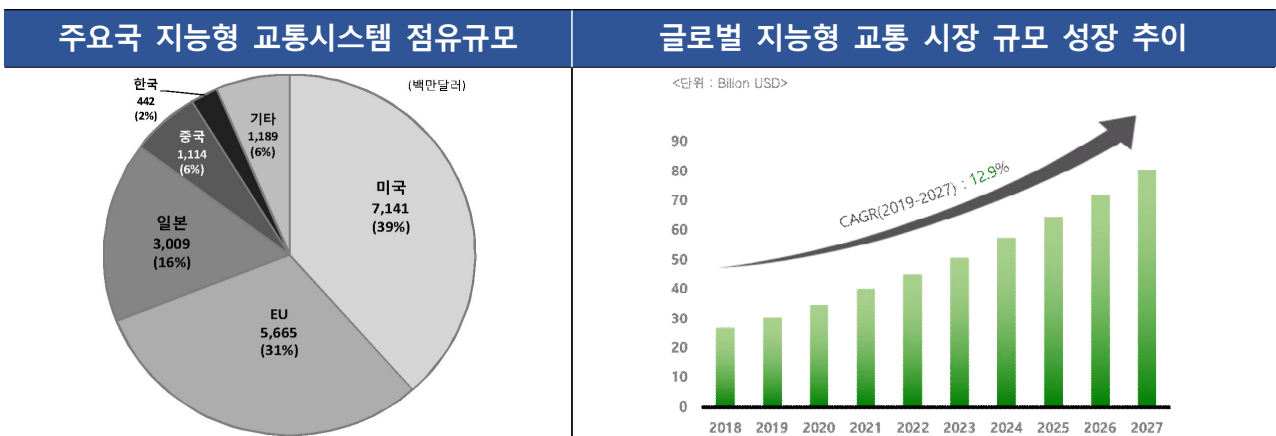


[그림 III-3] 해상교량 적용 가능 그린(재생)에너지 기술

## 2. 사업 필요성 및 시급성

### 가. 사업추진 배경

- **지능형 교통 시장 규모 성장 등으로 인하여 도로·교량에서 활용되는 에너지 소비량은 급증할 것으로 전망**
  - **(세계 도로교통 시장규모)** 도로교통 인프라는 동남아, 남미 등 도로건설 투자 확대에 따라 최근 10년간 2배 이상 성장하여 약 2조 5천억 달러 규모\*
    - \* 2019년 국토교통 R&D 동향조사 보고서(도로교통분야), 국토부·국토교통과학기술진흥원(2019.12)
    - ※ 세계 고속도로(Highway) 및 교량 건설시장은 '17년 1.5조 달러에서 연 8.4%로 성장하여 '22년 2.2조 달러 규모로 성장할 것으로 예상(Global Market to 2022)
  - **(지능형 교통 시장 급증 예상)** 세계 지능형 교통(ITS) 시장은 연평균 12.9%대 고성장 진행 중으로 '27년 약 800억 달러 규모 성장 예상



(출처1) 지능형 교통시스템의 국내외 동향 및 정책적 시사점(현대경제연구원, '14)

(출처2): Transparency Market Research 19년 자료 분석(국토교통부/ITS국제협력센터, '20)

[그림 III-4] 지능형 교통시장 동향

- **안전관리 강화 추세에 따라 도로, 교량 등에서 활용되는 에너지 소비량 급증 예상**
  - 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)에 따르면, 2015년~2018년 4년간 교통사고를 분석한 결과, 서리/결빙으로 인한 사고가 증가하고 있음(연평균 15.9% 증가)
    - 연간 전체 교통사고 발생 수는 감소했으나(연평균 2.4% 감소)
  - 특히, 교량 위는 전체 사고에서 차지하는 비중(0.6%)과 비교하여 노면 결빙사고 비중(5.6%)로 매우 높음
    - 이는 교량 구간은 평지의 토공 구간에 비해 온도가 낮아 결빙 발생이 평지에 비해 발생 확률이 높기 때문으로 확인

<표 III-5> 최근 5년('16~'20년) 도로형태별 결빙 및 전체 교통사고 현황

구분 도로형태	결빙 교통사고				전체 교통사고		
	사고		사망 (명)	부상 (명)	사고		
	(건)	구성비(%)			(건)	구성비(%)	
계	4,868	100.0%	143	8,795	1,093,654	100.0%	
단 일 로	터널안	42	0.9%	5	111	3,585	0.3%
	교량위	274	<b>5.6%</b>	19	600	6,985	<b>0.6%</b>
	고가도로위	79	1.6%	5	181	2,809	0.3%
	지하차도(도로)내	57	1.2%	2	126	7,400	0.7%
	기타단일로	2,912	59.8%	102	5,261	501,886	45.9%
교 차 로	교차로내	683	14.0%	4	1,129	332,645	30.4%
	교차로횡단보도내	42	0.9%	0	49	29,227	2.7%
	교차로부근	585	12.0%	3	987	164,356	15.0%
기타/불명	194	4.0%	1	301	44,761	4.1%	

자료 : 결빙 교통사고 분석결과, 도로교통공단 2021.12.

○ (동절기 안전관리 대책 시급) 결빙 및 적설에 의한 사고 사례가 증가하고 있으며, 특히 교량에서의 결빙사고 비율이 매우 높은 상황

- 교통사고 10건당 결빙·적설 의심사고 비율은 점차 확대되는 추세로\* 최근 발생한 상주-영천 고속도로 44중 추돌사고('19.12.18)를 비롯하여 이에 대한 대책 마련 요구 증가(박경욱, 2021)

\* ('15) 6% → ('16) 8% → ('17) 9.5% → ('18) 10.3%

- 결빙(블랙아이스)은 교통사고의 치사율\*을 높이고 대형사고를 유발하는 위험요인

\* 노면상태별 치사율: 노면결빙(3.6%), 습기(2.9%), 건조(2.1%) 순 (삼성교통안전문화연구소, 2013~2015년 사고데이터 분석 결과)

영종대교	미국 버지니아 교량
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (일시 및 장소) 2015년 02월 11일 인천국제공항 고속도로 영종대교 상부도로 서울 방향 3.8 km 지점</li> <li>• (피해 내용) (사망) 2명, (부상) 130명 106중 추돌사고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (일시 및 장소) 2019년 12월 22일 미국 버지니아 교량</li> <li>• (피해 내용) (부상) 24명 69중 추돌사고</li> </ul>

[그림 III-5] 결빙사고 피해 사례

○ (교량 붕괴 사고 주요 원인인 세굴문제 해결 필요) 세굴은 교량 붕괴의 주요 원인으로 세굴 예방을 위한 대책 마련 필요

- 세굴의 특징은 장기간에 걸쳐 지속적으로 일어날 뿐 아니라 큰 홍수가 있을 때는 실제 발생한 최대 세굴심을 관측하기가 어려움

- 교량 붕괴의 주요 원인인 세굴\*에 대한 예측기법 및 세굴방지공법 개발이 시급한 상황

\* 미국 교량 붕괴 사고의 60%가 세굴이 원인인 것으로 나타남(차철준, 2000)

**【참고】 세굴로 인한 교량 붕괴 사례**

• 2019년 일본 일야시(日野市) 교각 세굴로 인한 상부 침하(5.4m)



○ (해상교량은 염해에 의한 부식위험에 상시 노출) 교량의 노후화에 따른 부식은 붕괴사고의 주요 원인이며, 특히 해상교량의 경우 바닷바람에 노출되어 있어 육상교량보다 부식으로 인한 위험도가 높음

- 서해대교 개통 5년차인 2005년부터 교각의 철근이 부식중인 것으로 나타났으며 총 교각 105개 중 36개 교각이 철근 부식에 노출된 것으로 나타남

\* 서해대교의 사용기간이 2019년 기준 향후 25년에 불과하며 이로 인해 보수비용은 연간 수십억 원이 들어갈 것으로 전망함

- 광안대교의 경우 염해방지에 대한 대책 마련 미흡으로 표면처리 보수비는 38억 원이지만 철근부식이 진행된다면 보수비가 10배가 넘는 391억 원에 이를 전망(부산일보, 2013.12.21.)

【참고】 부식으로 인한 해상교량 붕괴 사례

- 이탈리아 항구 도시인 제노바에서는 철제 케이블 부식으로 인한 교량 붕괴가 발생하여 43명이 사망. 관계 부서는 부식으로 인한 보강작업이 필요하다고 판단하여 사고 발생 4개월 전 약 2천만 유로(256억 원) 규모의 보강공사 입찰을 진행 중이었음



- (안전관리를 위한 전력 소요 급증 예상) 교량 노후화, 결빙방지, 세굴 및 부식방지 등 유지관리를 위한 전력소요 급증 예상

- 교통사고 10건당 결빙·적설 의심사고 비율은 점차 확대되는 추세로\* 최근 발생한 상주-영천 고속도로 44중 추돌사고('19.12.18)를 비롯하여 이에 대한 대책 마련 요구 증가(박경욱, 2021)

\* ('15) 6% → ('16) 8% → ('17) 9.5% → ('18) 10.3%

- 결빙(블랙아이스)은 교통사고의 치사율\*을 높이고 대형사고를 유발하는 위험요인

\* 노면상태별 치사율: 노면결빙(3.6%), 습기(2.9%), 건조(2.1%) 순 (삼성교통안전문화연구소, 2013~2015년 사고데이터 분석 결과)

- (예) 서해대교에 결빙방지장치 적용 시 연간 5,000 MWh의 추가 전력 소요 예상

**【참고】 히트펌프 방식의 열순환 결빙방지장치의 소요전력**

- 용설에 필요한 이론적 전력 약 220 W/m<sup>2</sup> (포장재질 및 주변 상황에 따라 변경될 수 있음)
- 제안공법을 사용할 경우 시간당 소모 전력량 100 Wh/m<sup>2</sup> (설계용량 350 W/m<sup>2</sup>, 효율 3.5)
- 서해대교 적용 시 2,336 kWh
- 연간소모량 : 서해대교 적용 시 2,336 kWh \* 24h \* 90일(겨울철 3개월) = 약 5000 MWh
- 조건
  - 서해대교 7.3 km, 왕복 2차로 적용, 적용 폭 1.6 m = 23,360 m<sup>2</sup>
  - 시간당 소모 전력량 100 Wh × 적용면적 23,360 m<sup>2</sup> / 1,000
- 비용 환산 : 약 4억 9천만원의 추가 비용 발생 (KEPCO 전력요금계산기 활용)

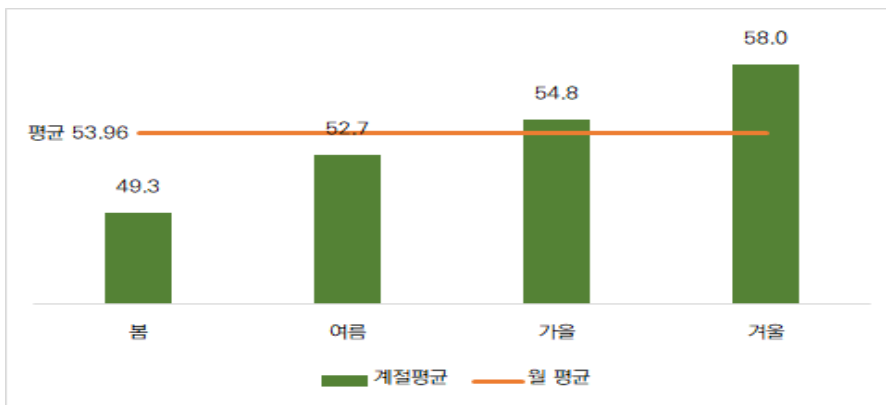
기본요금(원미만 절사) : 5kW x 6,290원 = 31,450원
전력량요금(원미만 절사) : 404,500,000원 : 개편전요금 429,500,000원 - 환경비용차감 25,000,000원
환경비용차감(원미만 절사) : 5,000,000kWh × -5원 = -25,000,000원
기후환경요금(원미만 절사) : 5,000,000kWh × 5.3원 = 26,500,000원
연료비조정액(원미만 절사) : 5,000,000kWh × 0원 = 0원
전기요금계(기본요금+전력량요금+기후환경요금+연료비조정액) : 31,450원 + 404,500,000원 + 26,500,000원 + 0원 = 431,031,450원
부가가치세(원미만 4사 5입) : 431,031,450원 x 0.1 = 43,103,145원
전력산업기반기금(10원미만 절사) : 431,031,450 x 0.037 = 15,948,160원
청구금액(전력요금계 + 부가가치세 + 전력산업기반기금) : 431,031,450원 + 43,103,145원 + 15,948,160원 = 490,082,750원(10원미만 절사)
단일계약 아파트의 경우 평균사용량을 기준으로 요금을 부과하기 때문에 실제 요금과 계산 결과가 상이할 수 있습니다. 단일계약 안내

\* 자료 : KEPCO 전력요금 계산기(<https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/J/A/CYJAPP000NFL.jsp>)

**【참고】 해상교량의 기간별 평균 에너지 소비 금액**

- 최근 교량에는 안전관리를 위한 교량등 설치를 강화하고 있으며, 심미적 기능을 위해 경관 조명이 설치되고 있어 교량의 에너지 소비는 겨울철을 중심으로 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

(단위 : 백만원)



## ■ 선진국 대비 안전관리 기술 수준 미흡

- 국내외 도로, 철도, 교량 등 SOC 시설물의 노후화로 유지·관리 시장이 급증하고 기술개발이 시도되고 있으나, 선진국 대비 안전관리 기술수준은 미흡함

※ (시설물의 안전 및 유지관리 기본계획, 국토부, 2017.2)

<표 III-6> 시설물 안전 및 유지관리 분야 기술수준 비교

국가	미국	EU	일본	한국	중국	기술격차
기술수준	100%	91.6%	94.8%	74.1%	63.2%	6.8년

자료 : 노후인프라 개선을 위한 민간투자사업의 정책방향, 한국건설산업연구원 2021. 3.

- 교량의 노후화 및 태풍, 지진 등 환경 영향으로 인한 유지·관리 시장\*의 급증에 따른 미래의 먹거리로서 새로운 기술개발 방향제시

\* 유지보수 비용(건설시장 규모) : 주요 선진국 40% 상회, 우리나라는 20%

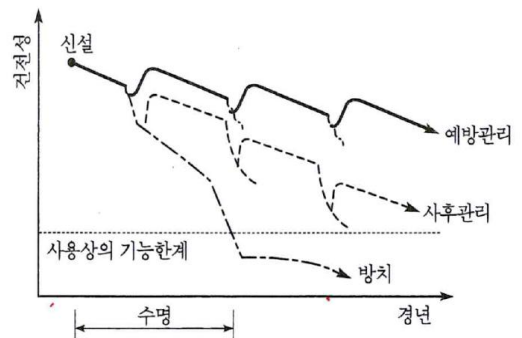
<표 III-7> 노후교량 현황

구분	30년 이상	21~30	11~20	10년 이내	합계
노후화 교량 현황	6,319	10,453	12,146	4,199	33,117
	(19.1%)	(31.6%)	(36.7%)	(12.7%)	(100)

자료 : 노후인프라 개선을 위한 민간투자사업의 정책방향, 한국건설산업연구원 2021. 3.

- 급격하게 증가된 케이블 교량, 해상교량, 특수교량 등의 유지관리를 위하여 계측, 모니터링 시스템의 개발이 광범위하게 이루어지고 있으며, 이를 통해 구조물의 수명을 연장하면서 안전성 및 경제성을 확보(교량공학, 구미서관)

\* 교량 수명 : 일본, 미국 등 선진국 50~100년, 국내 50년(도로공사연구보고서 2015, 연구원 2015-38-534.9607호)



[그림 II-2] 시간경과에 따른 기능변화 개념도

## ■ 해상에 태양광, 풍력 등 도입 가능한 신재생에너지 선정 및 도입 활발

- 해외 선진항만의 경우, 11개 신재생에너지 분류 중 태양광, 지열, 풍력에너지 및 해양에너지 등 4개 에너지를 주로 도입 및 사용

- 국내의 경우, 부산항, 인천항, 여수·광양항에 신재생에너지 도입을 구축하거나 진행 중임
  - 한국신·재생에너지협회는 태양광, 태양열, 바이오에너지, 풍력, 소수력에너지, 연료전지, 석탄가스액화, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열, 수소에너지 등 11개 에너지원을 신재생에너지로 정의
  - ※ 지열에너지의 경우 기술개발의 불안정성, 지진유발에 따른 위험성 등 잠재 적인 문제점이 도입 가능성 낮음

**<표 III-8> 국내외 해상 신재생에너지 도입 현황**

구분	내용
로테르담항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Port Vision 2030 사업(2010~2030년)의 주요 에너지 정책은 2030년까지 항만구역에서 필요한 에너지의 30%(2010년 10%)를 신재생 에너지로 공급하려는 계획</li> </ul>
함부르크항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독일은 2000년 신재생에너지법(EEG)을 제정, 전체 에너지 중 신재생에너지의 발전전력 비중을 2020년 35%, 2030년 50%, 2040년 80%까지 확대하려는 목표를 수립하여 추진</li> <li>• 함부르크항 Eurogate 터미널에서는 풍력과 태양광 발전 설비를 설치</li> </ul>
부산항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 태양광, 태양열, 지열 등의 신재생에너지를 항만구역 내 도입하여 운영 중</li> </ul>
인천항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2012년부터 인천광역시 및 한국남동발전과 함께 '인천항 태양광 발전소 건설사업'을 추진</li> </ul>
여수·광양항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2011년 국내 항만 최초로 컨테이너부두 내 대규모 태양광 발전설비를 구축</li> </ul>

## ■ 해상교량 신재생에너지 확대를 위해 지속적 R&D 사업 추진 필요

- 신재생에너지 설비의 낮은 효율성은 국내 신재생에너지 산업의 성장을 저해하는 것으로 판단
- 지속적인 R&D 사업을 통해 설비의 효율성을 향상시켜야 하며, 신재생 에너지와 전력저장 장치 간 연결기술 개발 등 안정적인 에너지 공급이 가능하도록 지원 필요성이 강조

### 【참고】 해상교량 신재생에너지 도입·확대의 애로요인 분석

- 우리나라의 신재생에너지정책은 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 근거하여 추진되고 있는 실정임
- 산·학·연 관련 전문가들을 대상으로 항만구역 내 신재생에너지 도입·확대 상의 애로요인을 분석한 결과,
  - 공유수면 점사용 허가 취득상 행정절차의 어려움
  - 초기 투자비 경감을 위한 용자지원제도의 개선(용자지원 → 보조금 지원) • 발전차액지원제도(FIT) 폐지
  - 태양광, 풍력에너지 등 일부 신재생에너지 분야에만 R&D 연구 집중 등
  - 항만구역 내 신재생에너지 도입 결정요소

(출처) 친환경에너지 정책 추진강화에 따른 항만의 신재생에너지 확대방안

■ 풍력발전을 통한 시설 유지관리비용 절감 및 국내외 해상교량 등 교량용 풍력발전 연구 진행 중


○ 건물 전력량 비용 절감을 위해 해외에서는 터빈 설치를 통한 풍력발전 기술을 활용

바레인 세계무역센터	레이텔카스 교량
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (위치) 바레인 세계무역센터</li> <li>• (설치내용) 건물 사이(직경 29m)에 3개 터빈 설치</li> <li>• (효과) 건물 전력의 전체 11~15% 담당</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (위치) 피츠버그 레이첼 카슨 교량</li> <li>• (설치내용) 300W WindStax 수직축 터빈 16대를 설치</li> <li>• (효과) 4.8 kW 설비가 27,000개의 다색 LED 조명에 전력을 공급, 연간 약 10,800 kWh의 전기를 생산</li> </ul>

[그림 III-6] 풍력발전을 통한 유지관리비용 절감 사례

○ 유지관리를 위한 기본전인 전력 충당 및 장치 시공 시 발생할 수 있는 안전성 개선 등 다수의 연구가 진행 중

<표 III-9> 풍력발전 연구 사례

구분	연구명	연구배경 및 내용
중국 (2019)	New wind Power Bridge based on double rotor wind turbine (Yuxin Yang)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (연구내용) 풍속이 약한 해풍을 활용한 풍력 발전 교량 기술 개발(10 kW ~ 1,000 kW), 아치구조 형태로 교량 자체 안정성 향상</li> </ul> 
한국 (2017)	교량용 풍력발전기의 진동차감용 완충장치 분석 및 제작 (심현민 외)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (연구배경) 교량용 풍력발전 시 풍력 발전 터빈 내부에서 생성되는 소음 및 진동에 대한 방지</li> <li>• (연구내용) 완충장치인 댐퍼를 설계</li> </ul>
한국 (2012)	고가교량에서의 풍력 에너지 수확	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (연구배경) 대부분의 교량이 전원이나 산악지대에 있어 전기공급이 쉽지 않음</li> <li>• (연구내용) 바람 자원을 통해 교량에 충전식 배터리를 설치하고 전기를 수확하는 기술 개발</li> </ul>
한국 (2010)	소형 풍력발전기를 이용한 교량의 공력성능 개선 및 에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (연구배경) 전력생산 및 내풍안정성 개선(와류진동 억제)</li> <li>• (연구내용) 공기역학적 진동억제 방안을 통한 풍력발전기 방법 및 풍력에너지 추정방법 제시</li> <li>• 브라질 Rio-Niteroi교에서 시험을 진행</li> </ul>
한국	장대교량에 소형풍력기 적용 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (연구배경) 소형충력기 설치 교량의 경우 풍하중이 와류진동 발생(교량 상하 진동 유발)</li> <li>• (연구내용) Drag coefficient 설치를 통한 와류진동 감소</li> </ul>

## ■ 세계적으로 저탄소 녹색성장을 위한 온실가스 감축 목표의 고도화

- '00년대 기후협약 이후 보다 더 온실가스 감축에 박차를 가하기 위해 파리협정('15년), UN 기후정상회의('19년)를 추진
  - 세계적 흐름에 맞춰 우리나라도 전력 수급 및 에너지 수급에 있어 신재생에너지 발전 비중을 늘리고자 함
    - ※ 국내 온실가스 배출량은 '18년 정점으로 감소할 예정이나, 주요국 대비 석탄발전 비중이 높아 타 국가에 비해 온실가스 감축 목표 이행 달성의 시간이 촉박
    - \* 주요국 석탄발전 비중(%,'19): (美)24 (日)32 (獨)30 (英)2 (佛)1
    - \* 온실가스 배출 추이(백만톤) : ('16) 692.6 → ('17) 709.1 → ('18) 727.6 → ('19) 702.8(잠정)
  - 이산화탄소 감소 등 사회적 필요성 강조

### 【참고】 탄소배출 저감 기술 적용 교량 사례

#### ○ 빅토리아 교량

- 개요
  - 영국 런던 내의 블랙프라이어스 정거장의 태양광 패널
- 내용
  - 영국의 Solarcentury사는 테임즈 강을 가로지르는 빅토리아 교량 상부에 6,000 m<sup>2</sup> 이상의 태양광 발전 패널을 설치
  - 매년 900,000 kWh의 전기를 생산하여 정거장에서 사용하는 전력의 절반을 제공하며 연간 이산화탄소 방출량을 약 511 t 절감시킴



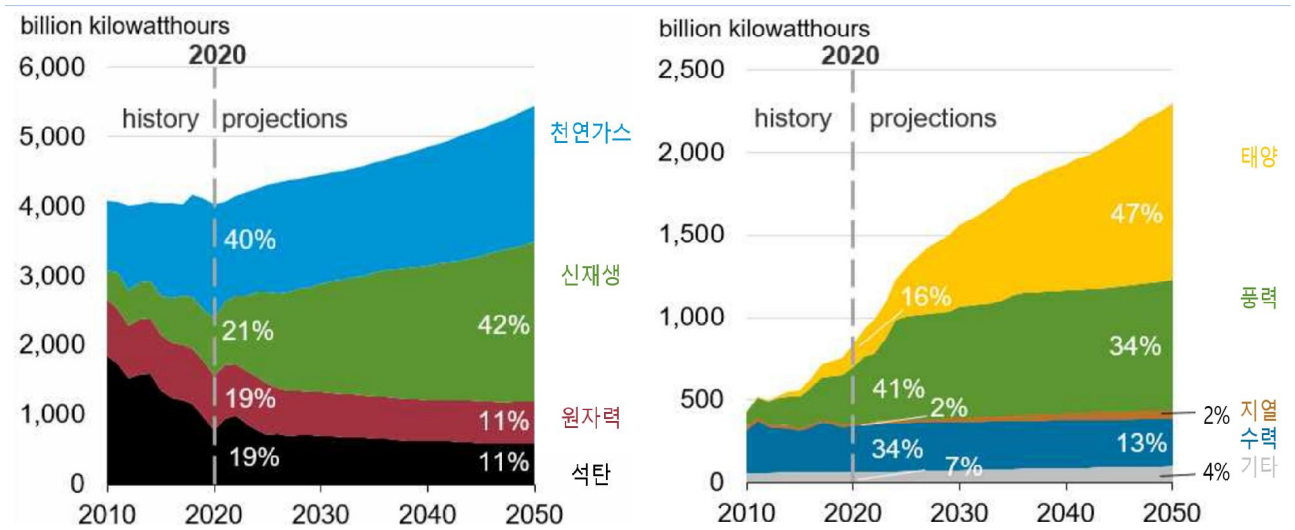
[빅토리아 교량의 태양광 패널]

## ■ 재생에너지의 시장의 확대 및 성장

○ (전망) '50년까지 재생에너지의 발전량은 빠르게 증가 전망

- 재생에너지 발전비중은 '20년 21%에서 '50년 42%로 2배 이상 증가 전망

- '20년에 재생에너지 중 풍력 발전이 41%로 가장 크며 그 다음에는 수력 34%, 태양광 발전이 16%의 순이며, '50년에는 태양광 발전이 47%로 가장 크게 비중이 늘어날 것으로 전망



(자료) EIA(2021), 대한무역투자진흥공사(2021)

[그림 III-7] 해상교량 적용 가능 그린(재생)에너지 기술

## ■ 국내 독자적 기술부족으로 외국업체에 지급 기술비용이 증가하고 있어 장대교량 독자적 기술구현 필요

○ 최근 국토의 가용면적 확대, 낙후지역 개발 및 교통의 신속화 요구로 장대교량 확대 예상

○ 세계최고 기술수준 보유국 미국(100%가정) 대비, 한국은 86.4%, 기술격차는 5.8년으로 다른 선진국 대비 미흡

<표 II-3> 교량 기술수준

국가	미국	독일	일본	프랑스	영국	한국	기술격차
기술수준	100%	95.0%	94.6%	93.0%	92.5%	86.4%	5.0년

자료 : 2019년 국토교통 기술수준분석 보고서, 국토교통과학기술진흥원

■ 해상교량 주변에는 신재생에너지가 풍부하게 분포

- 통상적인 교량과 달리 해안에 건설되는 해상교량 주변에는 풍력, 파력, 진동, 태양열 등의 신재생에너지원이 풍부하며 다양한 연구가 진행

<표 II-4> 해상교량에 가용한 신재생에너지 자원 비교

구분	태양광	풍력	파력	조류력
연구 내용	고효율화 및 다목적 제품 개발	해상풍력 등 극한조건 적용	현장실증실험 및 성능검증	현장실증실험 및 성능검증
에너지원	태양	바람	해류 및 바람으로 인한 파도의 진동력	태양과 달의 인력
연평균 발전밀도	200~300 W/m <sup>2</sup> (미국 남부&서부)	400~600 W/m <sup>2</sup> (미국 대평원)	20~25 W/m <sup>2</sup> (미국 서부연안) 5~15 W/m <sup>2</sup> (미국 동부연안)	5~10 W/m <sup>2</sup> (알래스카, 펀디만) 1~2 W/m <sup>2</sup> (시애틀, 샌프란시스코)
예측 가능성	분 단위 예측	시간단위 예측	하루 단위 예측	100년 이상 예측

(자료) 에너지 자립형 신재생 에너지 교량 모델 개발. 이진학·김영상(2011) 수정

## 그린 해상교량 기술개발 추진

해상교량은 시공조건 및 입지조건 상 내구성 및 안전성 등 저기능성 문제 발생, 이를 극복하기 위한 결빙방지, 부식방지, 세굴방지 등의 고기능성 기술개발 추진



급증할 것으로 예상하는 도로교통 에너지 수요 대응 및 온실가스감축을 위해 신재생에너지 자원이 풍부한 환경의 해상교량에서 그린에너지를 생산하고 이를 해상교량 고기능성 품질확보에 활용하는 기술개발 추진

## 나. 사업추진 필요성 · 시급성

### ■ 그린에너지를 활용한 해상교량 안정성 확보 기술개발의 필요성

- 해상교량은 시공부터 유지관리까지 고도의 기술을 필요로 하는 것으로, 고도화된 설계·시공 기술과 해상이라는 환경요인을 고려한 특별관리가 필요하고 이를 위한 다양한 설비가 필요한 구조물
- 육지교량에 비해 유지관리가 어렵고, 특히 전력난으로 해상교량 상부구조물의 도로 포장면 결빙방지시스템 운용이 불가능하므로, 이를 운용하기 위해 많은 양의 에너지를 그린에너지로 충당할 필요가 있음

### ■ 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발의 필요성

- 철근 부식방지를 위한 전기적 철근방식에 대한 방법론은 다양하게 제시되어있고 적용사례도 있으나, 정확하게 설계기준에 명시된 것이 없으므로 표준화 내용과 맞물려 확고한 설계기준이 확립되어야 할 필요가 있음
- 또한, 전기공급이 중단되는 경우 교각구조물의 철근 부식이 가속화되므로 애노드 교체 도중 철근 부식이 가속화될 수 있다는 점에서 탄소 소재 활용 고내구성/장수명 애노드 개발 필요성 있음

### ■ 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발의 필요성

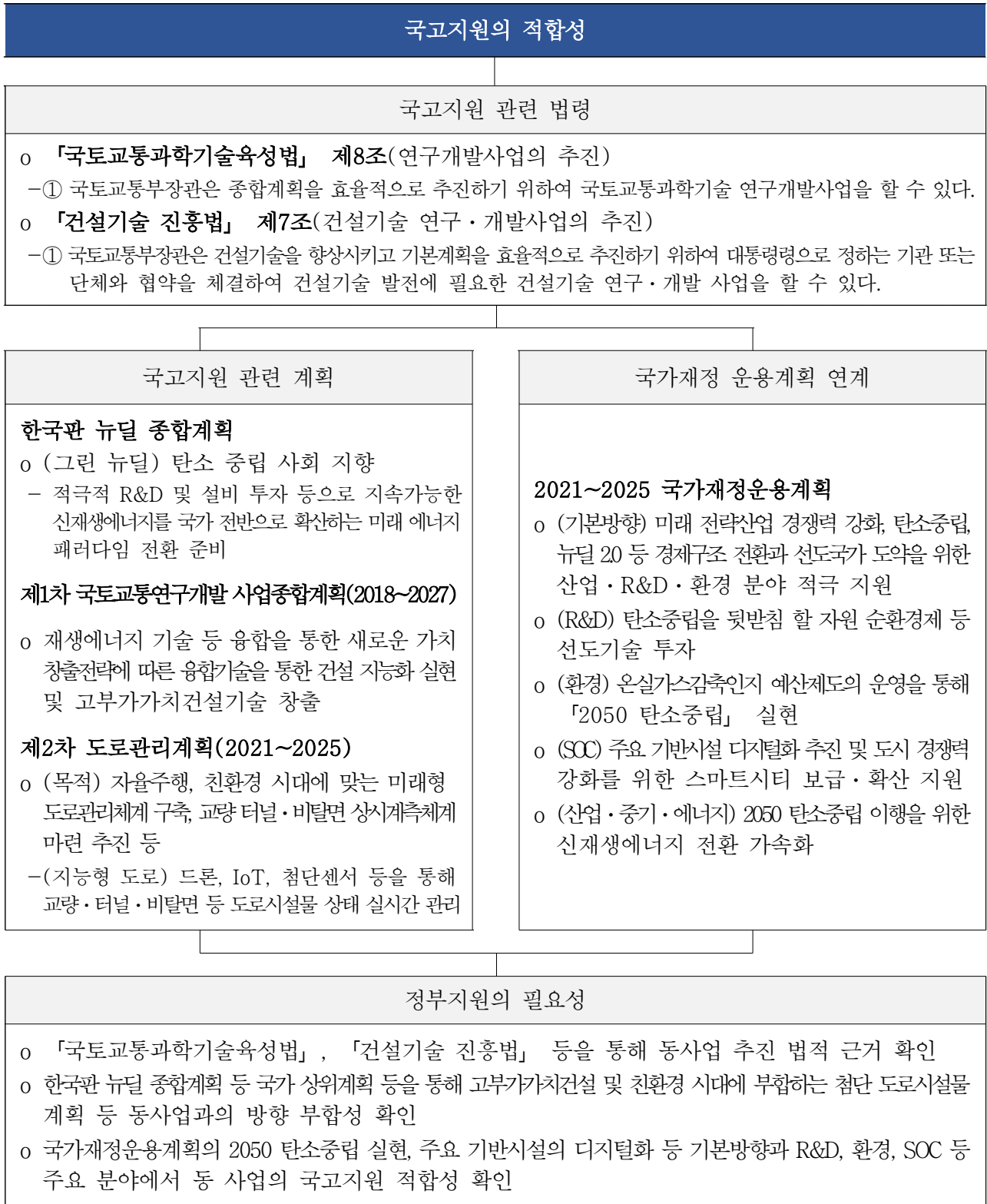
- 기초구조물에서 발생하는 초대형 초심도 세굴 대책공법의 개발과 이와 결합된 자연에너지원을 활용하여 상부구조물의 결빙방지시스템과 교각구조물의 철근방식시스템의 소요전력에 대한 지원이 가능한 보충형 그린에너지 기술에 대한 개발이 필요함
- 좁은 육지와 부족한 자원 극복을 위해 우리나라는 삼면이 바다인 점을 적극적으로 이용해야 하며, 해상풍력, 해양에너지(파력, 조력 등)를 포함하는 해상 그린에너지에 접근하여 전략적인 연구를 고려할 필요가 있음

### ■ 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발의 필요성

- 상부구조물의 결빙방지시스템, 교각구조물의 철근방식시스템 및 기초구조물의 세굴방지시스템을 유지/관리하고, 생산된 그린에너지를 저장/분배하여 그린 해상교량의 고기능화 및 저탄소화 기술개발이 필요함

## 다. 정부지원의 당위성

- 국토교통과학기술법 등 법령 및 한국판뉴딜계획 등 정부 계획을 통해 국고지원 요건을 갖추



[그림 III-8] 국고지원의 적합성

## 2절 국내외 동향 및 환경분석

### 1. 메가트렌드(STEEP) 분석

#### 가. 주요 메가트렌드

- 미래사회 전망 보고서 및 기술예측 보고서 등 문헌분석을 통해 STEEP 분석틀을 활용하여 사회 (Social), 기술(Technological), 경제(Economic), 환경(Environmental), 정책(Political) 관점의 이슈 및 전망 도출
  - 메타정보 조사 결과를 바탕으로 정리된 메가트렌드에 대해 STEEP별 분류 및 유사군에 대한 그룹화
    - 유사 전망 메가트렌드를 기준으로 1차 그룹화 실시, 이를 바탕으로 각 STEEP별 대표적, 포괄적인 메가트렌드 핵심 테마 정리

<표 III-10> STEEP 구조의 메가트렌드 분석

STEEP	메가트렌드	상세내용
사회 Social	인구 구조의 변화	생산인구 감소
	삶의 질 향상	기술혁신제품에 대한 선호
		생활 안전·안심에 대한 사회적 요구 증가
	도시화 및 산업화	초연결 스마트시티의 가속 (디지털트윈 도시 공간 설계 및 구축 운영)
	가치관과 라이프스타일의 변화	공공가치 강조(과학기술 발전에 있어 사회구성원 협력 및 공유를 통해 창출되는 가치 증가)
		합리적 소비 및 소비윤리의식 증대
	사회적 위험요소의 증가 (재해, 재난 등)	안전과 안심에 대한 사회적 욕구 증가
각종 건축물 안전에 대한 사회 요구 증가		
비대면 사회	온라인기반 컨택(Ontact) 사회로의 변화	
	맞춤형서비스의 보편화 (디지털 플랫폼을 통해 시공간제한 없는 물품 및 서비스 제공)	
기술 Technological	ICT 기술의 가속화 (4차 산업혁명)	AI, 빅데이터를 활용한 신산업 창출 연구 지속
		AI, 빅데이터 기술의 발전 및 적용 영역 확대
	첨단(emerging) 기술의 등장	첨단기술 도입 및 제조기술혁신
		안전성능 검증 기술

STEEP	메가트렌드	상세내용
	지식 및 기술발전 속도의 가속화 (기술개발전략의 변화)	지속가능·친환경 확보기술
		기술확보에서 문제해결형 기술전략 강화
		모방형에서 창조형으로
		오픈이노베이션 전략의 증가
	기술개발과 실용화 등 산업간 연계성 강조	
	바이오기술(BT)의 발전	사물인터넷(IoT)과의 융합을 통한 실시간 진단·치료 기술 개발
경제 Economic	GVC 재편	고부가가치 친환경 중심
	다극화	탄소중립 이슈 및 해결방안 중시(화석연료 중심에서 친환경재생에너지로 에너지 시스템 전환)
	양극화	가치에 대한 소비의 확대
환경 Environmental	지구온난화, 이상기후 등 기후변화	기후영향·재해로 자재 수급 불균형 등 사회적 비용 증가
		새로운 유해물질 또는 질병의 등장
	환경오염 및 환경파괴 심화	식품, 물, 공기 내 미세먼지 등 오염물질 함유 위험 증가
		신산업 및 신소재로부터 신종 유해물질 및 오염물질 발생
		에너지 고갈로 인한 원자력 활용 증대. 원전사고·방사능 폐기물 등의 이슈
	자원고갈	에너지 수확기술 등 에너지 재활용의 필요성 증가
		신재생에너지 등 대체에너지 개발
		물 및 식량부족 심화
	지속가능 성장전략 강화	자원확보 경쟁 등 국가간 경쟁 심화
		탄소중립을 위한 에너지 전환 (화석연료에서 친환경 재생에너지로 시스템 전환)
수소에너지 핵융합에너지 등 탈탄소 사회를 위한 미래에너지 개발과 활용		
자원의 선순환(생활, 음식물 쓰레기, 산업폐기물 등 자원 재활용)		
환경파괴 최소화		
		환경국제협력 강화
정책 Political	성장동력산업 발굴정책 지속	과학기술을 통한 신산업성장 기반 조성 전략 강화
	국민이 안심하는 안전관리 수요증가	다양한 차원의 안보 위협(사이버, AI기반 시스템, 데이터, 경제, 환경, 사회·인간, 고령화·전염병 등)
	국가간 환경영향 증대	주변국에 의한 대기오염 물질 유입 증가
		환경 이슈에서의 상호 의존성 증대

## 나. 그린 해상교량 관련 메가트렌트 분석 시사점

- STEEP 관점별 주요 이슈 및 전망을 도출하고, 이를 그린 해상교량 현황과 교차분석하여 주요 이슈 후보군 도출

<표 III-11> 그린 해상교량 기술개발 관련 이슈 도출

STEPP	그린 해상교량 관련 이슈
S(사회)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 저출산·고령화에 따른 해상교량 관련 전문인력 문제</li> <li>○ 생산인구 감소로 인한 그린에너지 및 해상교량 인력 수급 문제</li> <li>○ 그린 해상교량 설계·시공 등에 있어 인력 부족 현상</li> <li>○ 그린에너지 및 해상교량 기술의 초연결 및 초지능 기술개발</li> <li>○ 지방 중소도시 몰락의 해소를 위한 낙후지역 해상교량 건설 이슈</li> <li>○ 해상교량 안전성 점검에 관련한 지능정보기술 개발</li> <li>○ 에너지 자립형 해상교량 설계 및 시공에 관련한 기술 개발</li> <li>○ 교량 노후화에 따른 안정성 점검 기술, 친환경 교량 해체 기술, 지능형 교량 개선 기술 등</li> </ul>
T(기술)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 운영 및 관리에 있어 빅데이터 기술 적용</li> <li>○ 드론을 활용한 해상교량 안전성 점검</li> <li>○ IoT를 활용한 해상교량 노후화 진단, 데이터 수집 등</li> <li>○ 소형 풍력발전 기술을 접목한 그린 해상교량 개발 등</li> <li>○ 태양전지 및 패널의 해상교량 주교 접목 기술 등</li> <li>○ 에너지 하베스팅 기술 활용 자립형 교량</li> <li>○ 구조 진동 및 자연풍 활용한 하이브리드 에너지 수확 교량</li> <li>○ 노후 교량의 안전성 점검을 위한 지능정보기술 활용</li> <li>○ 소형 센서 접목을 통한 구조물 건전도계측시스템 개발 및 발전</li> <li>○ 탄소저감 해상교량 재료 기술 개발</li> <li>○ 탄소배출량 저감 교량 정보 모델 개발</li> <li>○ 그린 해상교량 작업자 AR 교육, AR 시공 및 디지털 트윈, 메타버스 활용</li> <li>○ 해상교량 3D, 4D, 5D 모델과 자동 Progress 측정기술 개발</li> <li>○ 교량 진동을 활용한 전자기 에너지 수확</li> <li>○ 해상교량 기초 및 하부구조의 조류발전 터빈 적용</li> </ul>
E(경제)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린 에너지 활용 해상교량을 통한 해상교량 유지 비용 절감</li> <li>○ 그린 해상교량 관련 신생기업/신산업 육성</li> <li>○ 그린에너지 기술 및 해상교량 기술 접목을 통한 플랜트 비즈니스 모델 진화</li> <li>○ 그린 해상교량 기술 개발을 통한 신흥시장 확보 및 해외수주 제고</li> </ul>
E(환경)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린 해상교량 기술개발을 통한 탄소배출 저감 기여</li> <li>○ 빅데이터 기반 비용 평가 및 예측을 통한 자원 낭비 감소</li> <li>○ 노후화 교량의 친환경 해체 기술을 통한 폐기물 감소</li> <li>○ 그린 해상교량을 통한 신재생에너지 보급 확대 및 비중 증가</li> </ul>
P(정책)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린 해상교량 기술 개발을 위한 협력적 거버넌스 구축(민·관·학·산 등)</li> <li>○ 그린에너지 활용 해상교량 활성화를 위한 국가 연구개발(기본·핵심·원천 기술 등)의 지속적 지원</li> <li>○ 그린 해상교량 확대를 위한 다양한 법·제도적 근간 마련 / 제·개정 필요</li> </ul>

## 2. 국내외 정책동향

### 가. 해외 정책 동향

- 그린 해상교량 관련 별도의 지원 정책은 확인되지 않으나 신재생에너지 및 해상교량 관련 다양한 지원 정책을 시행
  - 주요국은 탄소배출 저감 및 청정에너지 사용 비중 증대 등을 위해 연구개발, 세계지원, 인프라 확충을 추진
  - 주요국은 해상교량과 관련된 성능향상 중심의 기술개발 지원을 하고 있으며, 인프라 관련 환경목표를 달성하기 위한 지원 정책을 추진

<표 III-12> 국외 주요국의 신재생에너지 및 해상교량 관련 정책 내용

정책	주요국	내용
신재생 에너지 정책	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 재생에너지 지원정책은 직접적 지원 정책보단 감세제도 중심</li> <li>○ '21년 재생에너지 산업 활성화를 위한 인프라 투자안 합의</li> <li>○ 각 주는 지속적으로 재생에너지 공급의무화 제도를 개선</li> </ul>
	독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 세계 최초 재생에너지 발전차액지원제도(FIT) 도입 및 보급 성공</li> <li>○ 재생에너지 보급 목표 달성에 따른 주기적인 FIT의 조정</li> </ul>
	일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 독립형 전력계통 보유 및 RPS, FIT 등 다양한 재생에너지 정책 활용</li> <li>○ '12년 신FIT 정책을 펼침에 따라 재생에너지 설비용량이 연 평균 48% 증가</li> </ul>
	GCC 주요국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (UAE) UAE Energy Strategy 2050을 통해 청정에너지 비중 50% 이상 확대 목표</li> <li>○ (사우디) '30년까지 58.7 GW의 재생에너지 개발, 48개 에너지 단지 조성</li> <li>○ (카타르) 국영에너지기업 중심 Qatar National Vision 2030 기후변화 대응 추진</li> <li>○ (오만) '25년도까지 신재생에너지 발전비율 16% 달성, '30년 30%로 확대</li> </ul>
해상 교량 관련 정책	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 도로/교량 성능향상 투자가 중심인 MAP-21를 추진</li> <li>○ 교량 관련해서는 각 주에서 도로, 교량 및 부속시설물의 계획, 시공 등 세부 지침</li> </ul>
	유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (유럽연합) 유럽 전역의 철도, 도로, 교량 개발을 위한 TEN-T 추진, '13년부터 교통인프라 성능향상을 위한 R&amp;D 지원으로 Infravation Project 실시</li> <li>○ (영국) 국가 인프라 시설 개선의 목적으로 NIDP 2016-2021을 실시</li> <li>○ (프랑스) 새로운 인프라 계획인 Mobilite 21을 수립, 인프라의 환경목표와 지속가능한 이동성 달성 목적</li> <li>○ (독일) BVWP 2030을 통해 교통 분야 인프라 개발 확대, 인프라 유지 보수 뿐만 아니라 신규확장, 구축, 성능 개선 등에 예산 투자</li> </ul>
	일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '30년까지 인프라 장수명화 기본계획 실시로 노후화된 인프라 관리</li> <li>○ 도로, 교량, 철도 등의 시설물의 안전점검 실시, 각 지방자치단체는 교량 점검 및 보수 장기화계획 수립 및 실시</li> </ul>
	중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '30년까지 일대일로 정책을 통해 세계 100여개 국과 전력망 연계 목표</li> <li>○ BIMSea 정책을 통해 교량 및 도로 등의 인프라 건설, 스마트 시티 구축 등</li> </ul>

## 나. 국내 정책 동향

- 그린 해상교량 관련한 국내 정책은 대체로 국가 및 지역 발전에서의 인프라 구축, 도로 관련 계획, 균형발전 등에서 부분적으로 등장
- 그린 해상교량에 관련해 집중적으로 정책을 다루기보단 건설 및 건축 계획, 신재생에너지 계획 등에서 교량부분에 관한 계획 등 분석을 통해 시사점을 도출

<표 III-13> 국내 그린 해상교량 관련 정책 현황

계획·정책명		주요내용
국정과제		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (전략 4) 과학기술발전이 선도하는 4차산업혁명</li> <li>- (37. 친환경 미래 에너지 발굴·육성) 재생에너지 발전 비중을 '30년 20%로 대폭 확대 및 에너지 신산업 선도국가 도약, 저탄소·고효율에너지 구조 전환</li> </ul>
한국판 뉴딜		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (그린 뉴딜) 탄소 중립 사회 지향</li> <li>- 적극적 R&amp;D 및 설비 투자 등으로 지속가능한 신재생에너지를 국가 전반으로 확산하는 미래 에너지 패러다임 전환 준비</li> </ul>
해상 교량 건설 · 시공 등 계획	「국가균형발전 프로젝트」	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지역균형발전을 위해 예타 면제된 사업에 관한 입찰 공고</li> <li>- '국도 77호선 신안 압해-해남화원' 해상교량 및 해저터널 공사 입찰 공고 등</li> </ul>
	제5차 국도·국지도 건설계획 (2021~2025)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (목적) '25년까지 국도 신설 등 116개 사업 10조 원 투자</li> <li>- '국도 77호선 단절구간 남해 서면-여수 신덕, 고창 해리-부안 변산 구간'의 해상교량 및 해저터널 공사</li> </ul>
	제2차 도로관리계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (목적) 자율주행, 친환경 시대에 맞는 미래형 도로관리체계 구축, 교량터널비탈면 상시계측체계 마련 추진 등</li> <li>- (지능형 도로) 드론, IoT, 첨단센서 등을 통해 교량터널비탈면 등 도로시설물 상태 실시간 관리</li> </ul>
건설 기술 관련 계획	제6차 건설기술 진흥기본계획 (2018~2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ '4차 산업혁명에 대응하는 기술개발신산업 육성' 전략에 대응하는 중점추진과제 '스마트 건설기술을 통한 생산성 향상의 플랜트 R&amp;D에 분야간 융·복합을 통한 경쟁력 강화 포함</li> <li>- (Big Data 유통) 계획·실행(설계, 시공)·운영 단계 정보를 축적·유통하여, 설계단계의 가상 건설·운영, 운영에 최적화된 설계 도모</li> <li>※ 현재 민간에서 개별적으로 개발 중인 BIM 설계 프로그램, RFID 자재·노동 관리 시스템, 자동화 장비 등을 유기적으로 연계하여 활용할 수 있는 시스템 개발 등</li> </ul>
	제5차 건설산업 진흥기본계획 (2018~2022)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 건설시장 확대를 통해 '낡은 전통산업'에서 '혁신 친화적 산업'으로 전환</li> <li>○ 해외투자개발사업 지원을 통해 4차 산업혁명을 선도하는 글로벌 산업 표방</li> <li>○ (과제7 해외시장 진출 역량 확보) 설계·엔지니어링 글로벌경쟁력 강화</li> <li>○ (과제8 스마트 건설기술 개발 촉진) 핵심 건설기술 개발을 통한 생산성 향상</li> </ul>

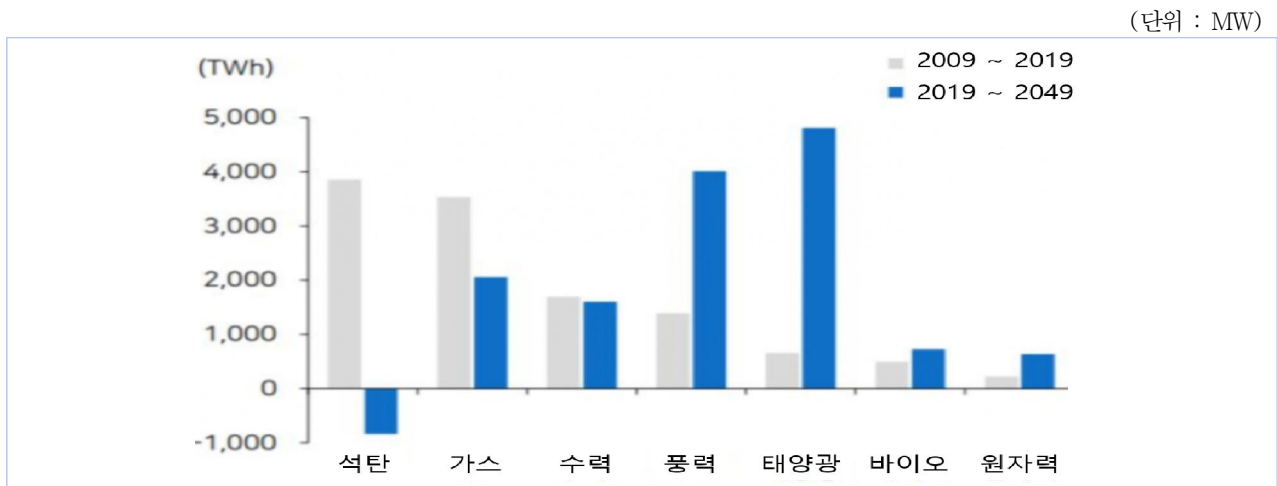
계획·정책명		주요내용
	제1차 국토교통연구개발 사업종합계획 (2018~2027)	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술융합을 통한 새로운 가치 창출전략에 따른 실천과제로 '융합기술을 통한 건설 지능화 실현', '고부가가치건설기술 창출' 등</li> <li>- (AI기반 설계관리) AI등 4차 산업혁명 기술을 융복합한 설계-엔지니어링 新모델 개발</li> </ul>
	2019~2021 산업기술 R&D 투자전략	<ul style="list-style-type: none"> <li>전략적 R&amp;D투자를 위해 5개 영역, 25대 전략투자분야 도출</li> <li>동 사업 관련 '스마트 엔지니어링'을 포함하고 있음</li> <li>지능정보기술을 활용한 고부가가치 설계 자동화, PM 기술 선진화 및 통합-운영(O&amp;M) 고도화를 투자전략으로 설계자동화, PM선진화, 통합운영 고도화 등의 핵심기술에 투자</li> </ul>
	스마트 건설기술 로드맵	<ul style="list-style-type: none"> <li>'Smart Construction 2025' 달성을 위해 건설생애주기 단계별 핵심 기술 및 개발 로드맵을 포함</li> </ul>
신 재생 에너지 기술 관련 계획	제3차 에너지 기본계획('19)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(목적) 에너지 분야를 총망라하는 종합 계획으로 원별 부문별 에너지 계획의 원칙과 방향을 제시하고 거시적 관점에서 조정</li> <li>(중점과제 5) 에너지전환을 위한 기반 구축</li> <li>- 에너지전환을 뒷받침하기 위한 전력·가스·열 시장제도 개선</li> </ul>
	제5차 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(비전) 지속 가능한 신재생에너지 확산 기반 구축으로 저탄소 경제사회로의 이행 가속화</li> <li>(3. 수요혁신) 재생에너지의 다양한 수요기반 창출</li> <li>- 재생에너지 활용도 향상을 위한 융복합 수요 창출</li> <li>(5. 인프라혁신) 계통 보강 및 운영관리 체계 정비</li> <li>- 재생에너지 변동성 대응을 위한 계통 복원력 강화</li> </ul>
	제9차 전력수급 기본계획('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(전력계통) 안정적 전력계통 운영을 위해 신재생에너지 확대에 따른 출력 변동에 대응토록 단시간 내 출력 조정이 가능한 양수·ESS 등 백업설비 구축</li> <li>- 태양광·풍력의 출력변동 특성을 분석하고 이에 대응하기 위해 빠른 출력 조절이 가능한 백업설비로 양수 1.8 GW(펌핑 시 출력조절 가능) 반영</li> </ul>
	재생에너지 3020 이행계획('17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(목표) 2030년 재생에너지 발전량 비중 20%</li> <li>- (분산전원 기반 에너지신산업 육성) 재생에너지 간헐성 극복을 위한 ESS 설치 확대 계획</li> </ul>
	「2050 탄소중립」 추진전략('20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>(에너지 전환 가속화) 기존 화석연료 중심에서 신재생에너지로 공급원을 전환하고, 재생에너지 변동성 대응을 위한 구조혁신 추진</li> </ul>

### 3. 국내외 시장 · 산업 동향

#### 가. 해외 시장 · 산업 동향

##### 1) 그린(재생)에너지 시장 동향

- 온실가스 감축, 저탄소 녹색성장 등을 추진함에 따라 글로벌 전력생산 비중이 점차 풍력과 태양광 등 신재생에너지 증가
  - EIA에서는 ‘09년~‘19년의 경우에는 석탄, 가스를 통한 전력생산이 높았으나, ‘19년부터 향후 ‘49년까지는 석탄·가스의 비중은 줄고 풍력과 태양광이 증가할 것으로 예상

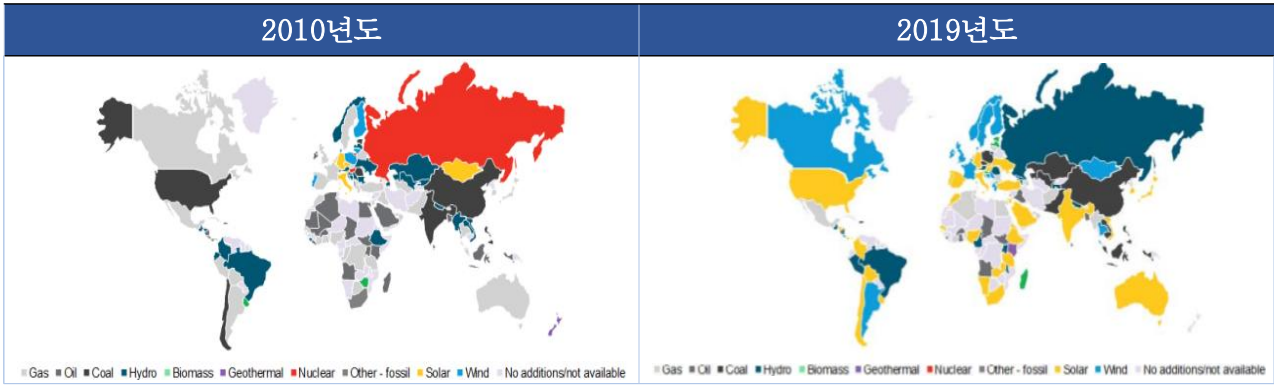


(자료) EIA(2020), 메리츠증권 리서치센터(2020)

[그림 III-9] 글로벌 전력생산 공급 비중

- 전 세계적으로 재생에너지 시장은 크게 성장할 것으로 보이며 그 중심에는 태양광과 풍력이 존재
- 태양광 및 풍력은 세계 다양한 지역에서 대규모뿐만 아니라 가정건물용 소규모 설비까지 다양한 용량 설비가 보급
  - 특히, 일체형태양광시스템(Building Integrated Photovoltaics, BIPV)의 발달은 건물 외벽 시스템에 태양광 모듈을 일체화해 에너지 발생시켜 활용할 수 있게 함\*
  - \* 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석. 에너지경제연구원(2020)
- ‘10년 태양광 및 풍력이 최대 신규 발전원이 아니었으나, ‘19년도에는 미국, 캐나다, 유럽, 아프리카, 호주 등 태양광과 풍력이 최대 신규 발전원

(단위 : MW)



(자료) BNEF(2020), 에너지경제연구원(2020)

[그림 III-10] 세계 지역별 신규 발전원

■ GCC 주요국 신재생에너지 프로젝트 발주 금액은 '19년 대비 '20년에 18% 증가

○ 코로나19 및 저유가로 인한 프로젝트 중단에 불구하고 신재생에너지에 대한 추진은 지속 확대

- GCC 국별 프로젝트 발주 규모는 사우디(48.5억 달러, 31.7%)가 가장 높으며 UAE(40.9억 달러, 26.7%), 쿠웨이트(26.7억 달러, 17.4%), 오만(20.1억 달러, 13.1%), 카타르(13.3억 달러, 8.7%), 바레인(3.8억 달러, 2.5%)\*

\* 국가별 경제개발계획 자료 종합(KOTRA 중동지역본부). 대한무역투자진흥공사(2021)

<표 III-14> GCC 주요국 신재생에너지 개발 계획 내용

(단위 : MW)

국가	2017	2018	2019	2020
<b>전력</b>	<b>13,962</b>	<b>10,475</b>	<b>5,357</b>	<b>7,171</b>
UAE	7,737	5,666	1,914	2,615
사우디	1,026	1,604	1,771	2,142
쿠웨이트	1,482	546	585	997
오만	501	956	509	677
카타르	3,093	-	-	556
바레인	114	1,703	578	174
<b>수력</b>	<b>4,930</b>	<b>8,453</b>	<b>7,635</b>	<b>8,157</b>
UAE	919	2,636	1,239	1,475
사우디	2,647	4,308	4,275	2,711
쿠웨이트	114	80	89	1,668
오만	634	538	595	1,333
카타르	616	527	1,289	766
바레인	-	364	148	204
<b>합계</b>	<b>18,892</b>	<b>18,928</b>	<b>12,992</b>	<b>15,328</b>

(자료) 국가별 경제개발계획 자료 종합(KOTRA 중동지역본부). 대한무역투자진흥공사(2021)

## 2) 해상교량 시장 동향

- 글로벌 인프라 수요 증가와 투자 확대로 교통분야는 꾸준한 성장세를 보이고 있으며, 전기자동차 및 스마트 교통시스템 등 4차 산업혁명 도래와 더불어 새로운 교통인프라 투자 수요가 증가 중\*

\* 2020년 하반기 해외건설 산업동향. 해외경제연구소(2021)

- 신흥국 및 미국, 유럽을 중심으로 경기부양 및 수출경쟁력 강화를 위해 교통인프라 투자를 확대, 교량·터널건설이 포함된 도로/철도 인프라 시장의 성장 지속
- 물류 효율을 높여 수출 경쟁력을 확보하고 대도시를 중심으로 한 교통체계를 효율화하기 위한 목적으로 교통·수송 인프라 신설 및 확장에 대규모 투자 계획
  - 유럽연합은 기업투자 활성화 및 일자리 창출을 목적으로 '15년부터 향후 4년간 3,150억 유로(380조 원)를 인프라 건설에 집중적으로 투자 중이며, 미국은 '09년 경기부양법 제정을 통해 8,310억 달러 인프라 투자계획을 발표하여 추진 중

<표 III-15> 지역별 해외건설 시장 현황

(단위 : 억 달러, %)

구분	2016		2017		2018		2019	
	시장규모	비중	시장규모	비중	시장규모	비중	시장규모	비중
교통	1,444	30.8	1,534	31.8	1,522	31.2	1,466	31.0
석유화학	1,045	22.3	890	18.5	765	15.7	709	15.0
건축	1,014	21.7	1,122	23.3	1,146	23.5	1,235	26.1
발전	456	9.7	500	10.4	507	10.4	486	10.3
산업시설	147	3.1	192	4.0	217	4.4	160	3.4
상수	122	2.6	123	2.6	144	3.0	139	2.9
제조공장	101	2.2	97.4	2.0	161	3.3	108	2.3
하폐수	60	1.3	71.1	1.5	85	1.7	80	1.7
통신	48	1.0	50	1.0	68.7	1.4	78	1.7
폐기물	12	0.3	9	0.2	7.3	0.1	5	0.1
기타	232	5.0	231	4.8	250	5.1	265	5.5
합계	4,681	100	4,824	100	4,873	99.8	4,731	100

(자료) 한국수출입은행. 해외경제연구소(2021)

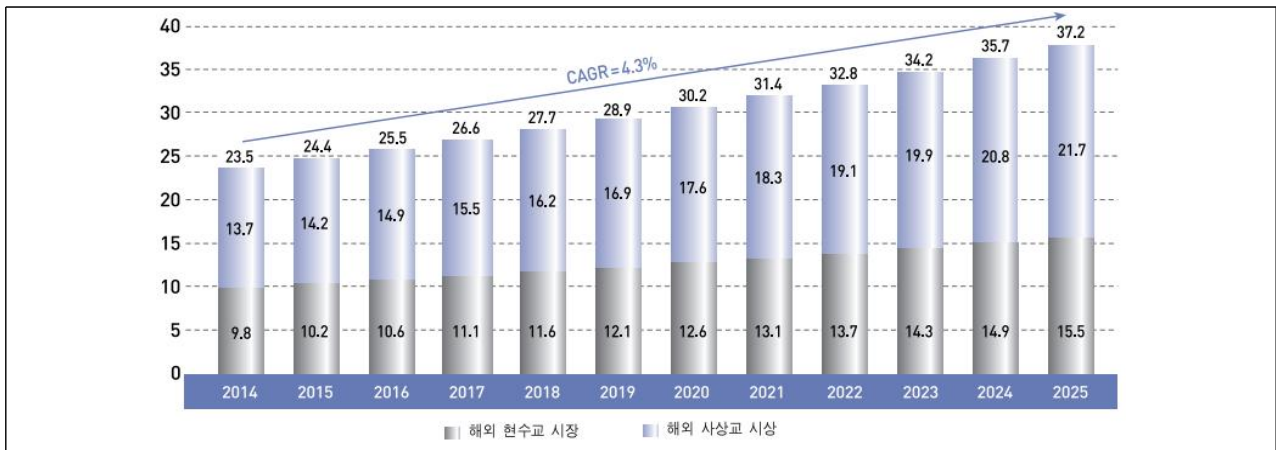
- '16년부터 '19년까지 해상교량과 관련있는 교통과 건축의 경우에는 크게 감소하기 보다는 일정한 수준을 유지
  - 교통분야는 2014년 이후 대체로 매년 증가 추세로 선진국은 4차 산업혁명에 따른 기존 노후화된 인프라의 업그레이드, 개도국은 경제개발을 위한 신규 인프라 건설이 필요한 상황

■ Post-BRICs를 통해 중국, 동남아에서 신규 케이블교량 시장이 활발히 형성되고 기술의 진보로 도전적인 케이블교량 건설 시도가 증가하고 있어 관련시장 전망은 밝음

- 설계 기술, 고성능 재료 및 첨단 시공법 등의 개발 및 발전으로 해상교량에 있어 건설이 불가했던 지역을 대상으로 교량 건설이 증가하고 있으며, 국제 항로 준수 및 극한환경 극복을 위해 주경간장 길이가 늘어나는 등 사업 대형화 지속\*

\* 국토교통 R&D 동향조사: 시설물분야. 국토교통과학기술진흥원(2015)

- '14년 기준 해외 케이블 교량 시장은 23.5조원에서 '25년 시장은 37.2조 원의 규모를 형성할 것으로 전망



(자료) 초장대교량사업단 케이블교량 DB 기반 업데이트 및 재구성(2015), 국토교통과학기술진흥원(2015).

[그림 III-11] 해외 케이블교량 시장 규모

■ 건설시장이 전반적으로 감소세를 가지고 있음에도 신흥국 교통망 확충으로 교량 건설이 지속되는 가운데, 미국, 일본 등 선진국의 경우 교량 교체 및 유지관리 시장이 활성화 될 것으로 전망

- 미국에서는 교량 보수를 위해 연간 205억 달러의 비용이 소요될 것으로 예측
  - 미국 연방 도로 교통부(US Department of Transportation)는 미국 전역에 구조적 결함 또는 붕괴위험이 발견된 교량은 7,795개이며, 이로 인해 발생하는 연간 보수비용이 약 205억 달러 수준임을 발표('15. 01)
- 일본의 공공시설물 보전 시장은 '13년 기준 2,012억 엔 규모를 기록했으며 이중 교량 유지관리시장은 851억 엔으로 이는 전년 대비 50.4% 증가한 수치
  - '30년까지 연장 15 m 이상 교량 중, 50년을 경과한 노후교량이 8만개에 도달할 것으로 예상되며, 이를 통해 지속적 교량 유지관리 시장 확대 예상

## 나. 국내 시장 · 산업동향

### 1) 그린(재생)에너지 시장 동향

- '21년 올해 태양광 설치량은 4 GW를 넘을 것으로 예상하며, '23년 4.5 GW까지 확대 전망에 시장도 확대될 것으로 보임
  - '15년 1 GW를 돌파한 국내 시장은 '18년 2 GW, '19년 3 GW를 빠르게 돌파하였으며, '21년은 4 GW를 넘어설 것으로 예상\*
    - \* 2021년 상반기 신재생에너지 산업 동향 보고서. 해외경제연구소(2021)
  - '20년 기준 국내 태양광 시장규모는 약 3.5조원 추정, 글로벌 기준 약 8위권의 시장으로 성장\*
    - \* 한국에너지공단(2021), 수출입은행(2021)

### 2) 해상교량 시장 동향

- 한편, 국내 장대교량 시장 규모가 지속적으로 증가할 것으로 예상
  - 국내 장대교량 시장규모는 '90년대 약 0.8조 원에서 '00년대에 4.6조 원, '10년대에는 6.7조 원에 달하고 있어 향후에도 지속적으로 증가 예상
    - 국토 가용면적 확대 및 낙후지역 개발을 위한 서남해안 개발 사업추진에 따라 발주횟수가 증가할 것으로 예상\*
      - \* 국토교통 R&D 동향조사: 시설물분야. 국토교통과학기술진흥원(2015)
  - 국내 교량의 노후화의 진행으로 유지관리 시장규모의 증가가 예상
    - '14년도 한국시설안전공단이 제시한 노후 시설물 중 560개가 30년 이상이 경과된 교량으로 파악되었으며, 50년 이상 경과된 교량은 133개
    - 향후 10년간 시설 노후화 시설물은 2배 이상 급증할 것으로 예상되며, 전체시설물의 21.5%에 이를 것으로 판단

## 4. 국내외 기술 동향

### 가. 해외 기술 동향

#### 1) 강구조 및 합성구조 교량

- 한편, 미국에서는 급속시공을 위해 모듈화된 강합성 교량 기술 개발
  - 미국 워싱턴 DC의 SSSBA(Short Span Steel Bridge Alliance)는 강합성교량 PBTG(Press- Brake-formed Steel Tub Girder)를 개발해 시공
    - 노후화된 강합성 교량에 있어 급속 전면교체 및 부분교체를 위한 시공방법을 개발
    - 교량 연결부의 구조성능 개선을 위해 강합성 콘크리트 바닥판 공법 등 개발
- 일본은 고성능 내후성 강재를 활용
  - '15년도 내후성 강교량의 활용성을 높이는 연구를 바탕으로 전체 강교 중 내후성 강교 비율이 지속적 증가
    - 내후성 강재는 강재의 부식저항력을 높인 것으로 미국에서 개발되었으나, '60년 이후 일본에서 교량에 내후성 강재를 활용
    - 내후성강교의 용접재료 및 시험평가 방법, 유지관리 지침서, 구조성능 등을 평가하여 무도장 내후성강을 강교량에 적용하기 위한 연구 진행

#### 2) 콘크리트 구조 및 콘크리트 교량

- 전 세계적으로 친환경 콘크리트 기술 개발 및 활용 사례 증가
  - 환경오염 등의 영향을 최소화하고 고성능·고효율의 경제적인 환경 친화적 콘크리트 재료를 활용해 지속가능성 건설 목표를 이루고자 하는 움직임 증가
    - 미국 UCLA는 이산화탄소를 바인더로 활용하는 친환경 3D 프린트 콘크리트 재료 개발을 목표
    - 산업부산물을 활용한 시멘트 함유율을 줄여 콘크리트 환경부하 축소 기술 개발 및 폐콘크리트 재활용, 순환골재 등의 친환경적 콘크리트 개발 연구 꾸준히 수행
- 중국, 네덜란드 등의 주요국은 3D 프린터를 활용해 콘크리트 교량 건설
  - 네덜란드 공공사업·물관리국과 네이 메헨시 디자이너 미셸 반 데르 클레이는 연장 29 m, 5경간 보행자·자전거 콘크리트 교량을 3D 프린터로 건설

- 중국 칭화대 건축대학은 보행자 전용 콘크리트 교량을 3D 프린터를 이용하여 건설
  - 176개 콘크리트 유닛으로 이루어진 아치형 다리로써 두 대의 로봇팔 3D 프린팅 시스템을 활용하였으며, 전체를 출력하는데 450시간 소요
- 세계 주요 건설기업들은 해상교량 건설의 장대화, 공기단축, 품질향상 등을 위한 모듈화 공법 개발, 스마트 조립 자동화, 용접 자동화, FSLM공법 등 신건설 기술 개발
  - 총 연장 55 km인 강주아오 대교 중 해상교량 부분은 과반이 넘는 35.6 km이며, 대교의 사용수명은 120년, 16급 태풍과 규모 8.0 지진에도 견딜 수 있도록 설계
    - 세계 최초의 스마트 강박스형교 패널 유닛 생산라인을 구축하여 스마트 조립과 용접 로봇 시스템이 도입돼 공기 단축 및 품질향상

### 3) 신소재 복합재료구조 교량 및 특수교량

- 주요국은 나노소재 활용 등을 통해 고강도 콘크리트 개발, 콘크리트 품질향상 등의 연구 개발 추진
  - 해외의 나노소재 이용 콘크리트 기술은 CNTs의 대량합성 및 품질 고도화와 다양한 나노소재 활용 콘크리트의 품질향상(고강도 및 내구성 향상) 측면에서의 기술 개발로 전환
    - 나노 실리카, 개질 유황 및 슬래그 재료 활용한 콘크리트 기술 개발, 나노 섬유 활용 콘크리트 강도 증진 및 염해저항성 개선 연구,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  및  $ZrO_2$  등 나노소재 혼입 콘크리트 연구 등이 진행 중
  - 일본에서는 콘크리트의 강도 향상을 위한 특수강섬유를 혼입하여 보강한 초고강도 섬유보강콘크리트(SUQCEM, Super High-Quality Cementitious Material) 개발
    - 설계기준강도 180 MPa, 휨인장강도 8.8 MPa의 강도를 갖는 콘크리트
    - 한편, 경량골재를 활용하여 단위중량과 압축강도를 획기적으로 개선시킨 콘크리트 개발
      - ※ '13년 도쿄 하베노 하루카스 빌딩 상부에 1.85t/m<sup>3</sup>, 압축강도 21 MPa의 경량고강도 콘크리트를 적용하여 하층부 축력을 20% 절감
  - 유럽은 랜드마크 건축물과 토목 구조물에 경량 콘크리트 적용이 지속적으로 이뤄지고 있으며, fib 2010은 경량 콘크리트 압축강도 등급을 절건밀도 2.0 t/m<sup>3</sup>에서 80 MPa로 제시


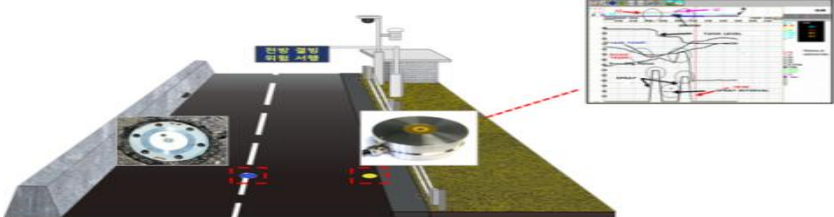

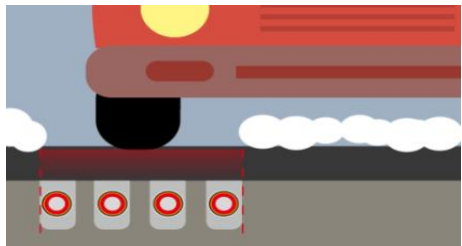
## 나. 국내 기술 동향

### 1) 도로의 결빙 방지 기술 동향

■ 매년 계속되는 이상기후 현상으로 겨울철 폭설에 대응하기 위하여 다양한 도로 결빙 기술들이 연구 개발되어 현장에 도입

- '07~'11년 사이 결빙 방지 관련 출원은 도로포장 분야 총 출원 건수 2천44건의 5.7%(118건)이었으나 '12~'16년에는 1천351건 중 105건으로 7.7%를 차지
- 결빙 방지 포장 출원을 주요기술별로 보면 포장체 내부에 발열체를 구비하는 포장이 61%(137건), 포장 조성물에 발열성 또는 결빙 방지성 첨가제를 적용하는 포장이 21%(47건)를 차지

<표 III-16> 최신 도로 결빙 방지 기술

기술명	기술 내용
<p>건설신기술 제 790 호 (포장도로에서 전기발열선을 활용한 상향열 집중식 융설시스템 설치 기술)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 표면 아래 속에 열손실방지재, 전기발열선 및 열전도체를 매설하여 발열선 아래쪽으로는 열손실은 차단하고 열전도체를 통하여 열을 도로 표면으로 신속하게 전달할 수 있도록 상향열 효과를 가지는 설치 기술</li> </ul> 
<p>겨울철 노면 결빙예측 및 융설액 자동분사장치</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>겨울철 융설액 자동살포 장치로서 기상 정보를 수집, 저장할 뿐만 아니라 결빙이 예상되는 지역과 눈이 내리는 지역에 대하여 융설액을 살포함으로써 겨울철 미끄럼 사고를 대비하기 위한 시스템</li> </ul> 
<p>스노우멜팅 케이블</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>포장면 아래 일정한 깊이에 발열선을 매설해 겨울철 눈이 오거나 결빙 때 온도와 습도, 눈이 내리는 개수를 자동감지</li> </ul>  

## 2) 신재생 에너지 기술 동향

- 국내에서는 엘지전자, 현대중공업, 신성솔라에너지 등 기업과 연구소 및 대학에서 태양전지의 효율 및 성능 향상을 위한 연구를 활발히 진행

<표 III-17> 태양 전지 제조 및 연구 관련 기업

실리콘 태양전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내에서는 엘지전자, 현대중공업, GS E&amp;R, 한화큐셀, 신성솔라에너지 등에서 효율 향상과 원가 경쟁력 극복을 위해 고효율화 기술 개발이 활발히 진행</li> <li>• (엘지전자) 태양광 모듈 최적화 기술과 단결정 웨이퍼 기반의 고효율 셀 기술을 적용하여 250 MW 출력 모듈 기준 국내 최고 효율인 16.89% 효율을 달성함</li> </ul>
비결정질 실리콘 태양전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 출연연, 대학을 중심으로 한 다중접합 연구 및 HIT 태양전지 응용연구가 진행되고 있는 수준</li> <li>• 정부지원 개발사업을 통하여 a-Si/nc-Si/nc-Si 3중접합 구조로 13.4%의 안정화 효율을 달성하였으며, 5세대급 파일릿 모듈에서는 3중접합을 이용하여 11% 효율을 달성</li> </ul>
CIGS 박막태양 전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원익 IPS, LG 이노텍, 태양금속, GS 칼텍스, 한국에너지기술연구원, KAIST 등 국내 여러 기관과 기업에서 활발히 기술 개발을 진행</li> <li>• (원익IPS) Zn(O,S) 버퍼층을 이용하여 902×1602 mm<sup>2</sup> 대면적의 CIGSe 모듈로 16.0% 효율을 달성하였으며, 세계 최고 기록의 231 W 전력 모듈을 생산함</li> <li>• (LG이노텍) 다원 동시증착방식을 사용하여 2012년 30×30 cm<sup>2</sup>에서 16.1%, 60×120 cm<sup>2</sup>에서 13.6% 효율 발표함</li> </ul>
염료감응 태양전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동진썬미켄과 상보, 솔라이엔에스에서 상용화를 추진하고 있으며, 한국과학기술연구원, 한국전자통신연구원, 한국전기연구원, 고려대 등 관련 연구 진행 중</li> <li>• (동진썬미켄) 대면적 고효율 모듈 및 공정 기술을 확보하고, 지상 설치용 박막 태양전지 모듈에 대한 설계 적격성 확인 및 형식 승인 요구 사항인 IEC 61646의 주요 성능 지표를 만족하는 결과를 보고</li> </ul>

- 유니슨, 두산중공업, 효성 등은 풍력발전기 개발을 통한 신재생에너지 수급 기술 확보 연구 진행

<표 III-18> 풍력발전 연구 관련 기업

유니슨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 육·해상 공용 모델인 4.2 MW급 풍력터빈을 개발함</li> <li>• 4.2 MW 풍력발전기는 육상 최대 용량으로 운송 및 설치 제약을 극복하기 위해 모듈식 드라이브 트레인 구조로 개발이며, 해상에도 적용 가능하도록 육·해상 동시 적용 모델로 개발 중</li> </ul>
두산 중공업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최초 개발한 3 MW 풍력발전기의 다양화에 성공하여 현재 3개의 모델을 상용화에 성공함</li> <li>• 블레이드에 작용하는 공력 하중을 저감하기 위해 세계 최초로 비틀림-굽힘 연성(Torsion-Bending Coupling) 방법을 대형 블레이드에 적용함</li> </ul>
효성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 태풍환경에서도 안전성이 보장된 블레이드와 발전량을 향상시킨 5.5 MW 해상용 풍력발전 터빈을 개발 진행 중에 있음</li> <li>• 효성은 해상용 풍력발전 터빈을 2014년 제주 김녕 국가풍력실증단지에서 설치 운영하여 2015년 독일 DEWI-OCC로부터 국제 형식인증을 획득함</li> </ul>

## 5. 기술수준 및 특허분석

### 가. 기술수준

#### ■ 신재생에너지플랜트 및 교량 분야의 최고기술보유국은 미국

- (신재생에너지플랜트) 우리나라의 기술수준은 최고 선진국(미국) 대비 '15년 67.0%, '19년 73.7%
- (교량 분야) 우리나라의 기술수준은 최고 선진국(미국) 대비 '15년 85.3%, '19년 86.4%

<표 III-19> 주요국 신재생에너지플랜트/교량 분야 기술수준 및 기술격차

구분	신재생에너지플랜트 분야				교량 분야			
	2015년		2019년		2015년		2019년	
	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차
한국	67.0	5.5	73.7	4.8	85.3	6.8	86.4	5.8
일본	85.1	2.3	87.9	2.3	95.6	2.1	94.6	2.1
미국	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
중국	67.7	5.5	71.6	5.2	79.2	9.4	81.8	8.1
독일	93.4	0.7	96.8	0.3	95.0	2.2	95.0	2.1
프랑스	87.1	2.0	91.6	1.5	93.4	2.9	92.5	2.5
영국	88.4	2.0	90.5	1.5	92.3	3.1	93.0	2.6

(자료) 각년도 국토교통 기술수준분석 총괄 보고서, 국토교통과학기술진흥원

#### ■ 중점과학기술

- 동 사업 관련 중점과학기술 수준은 75%~96% 수준으로 나타났으며, 이차전지 관련 기술은 90% 이상으로 높은 반면,
  - 풍력발전 기술 및 해양에너지 기술은 각각 75%, 81%로 상대적으로 낮은 수준

<표 III-20> 중점과학기술 및 기술수준격차

분야	중점과학기술	기술수준		기술격차		연구단계별 역량		연구개발 활동경향
		'18	'20	'18	'20	기초	응용개발	
건설·교통	지속가능한 인프라 구조물 건설기술	80	85	5	3.8	우수	우수	상승
우주·항공·해양	지속가능한 해양공간 개발 기술	80.3	80	4	4.5	우수	우수	상승
에너지·자원	대용량 장수명 이차전지 기술	80	96	2	0.5	보통	탁월	상승
	고효율 태양전지 기술	87.5	90	2	1	우수	우수	상승
	풍력발전 기술	74	75	5	5	보통	보통	상승
	해양에너지 기술	81.5	81	4.3	4.5	우수	우수	상승

(자료) 각년도 기술수준평가, KISTEP

## 나. 특허분석

### ■ 특허분석 개요

#### ○ 검색범위

<표 III-21> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPSON	~ 2022.01.	공개 및 등록특허 전체문서
	일본	WIPSON		
	미국	WIPSON		
	유럽	WIPSON		

#### ○ 기술분류

<표 III-22> 기술분류

대분류	중분류	기술내용
그린해상교량	발전시스템 [AA]	- 해상교량 구조물에서 풍력/태양광 등을 이용한 그린에너지 생산 기술 - 해상교량용 전력변환 시스템 - 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템
	구조안정성 [AB]	- 해상교량 세굴 예측 및 모니터링 - 해상교량 세굴에너지를 이용한 탄소배출 저감 수리모형 - 교각 노후화 대처 기술
	통합관리솔루션 [AC]	- 그린에너지 저장 클라우드 기술개발 - 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 - 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 시관리 시스템

### ■ 특허분석 결과

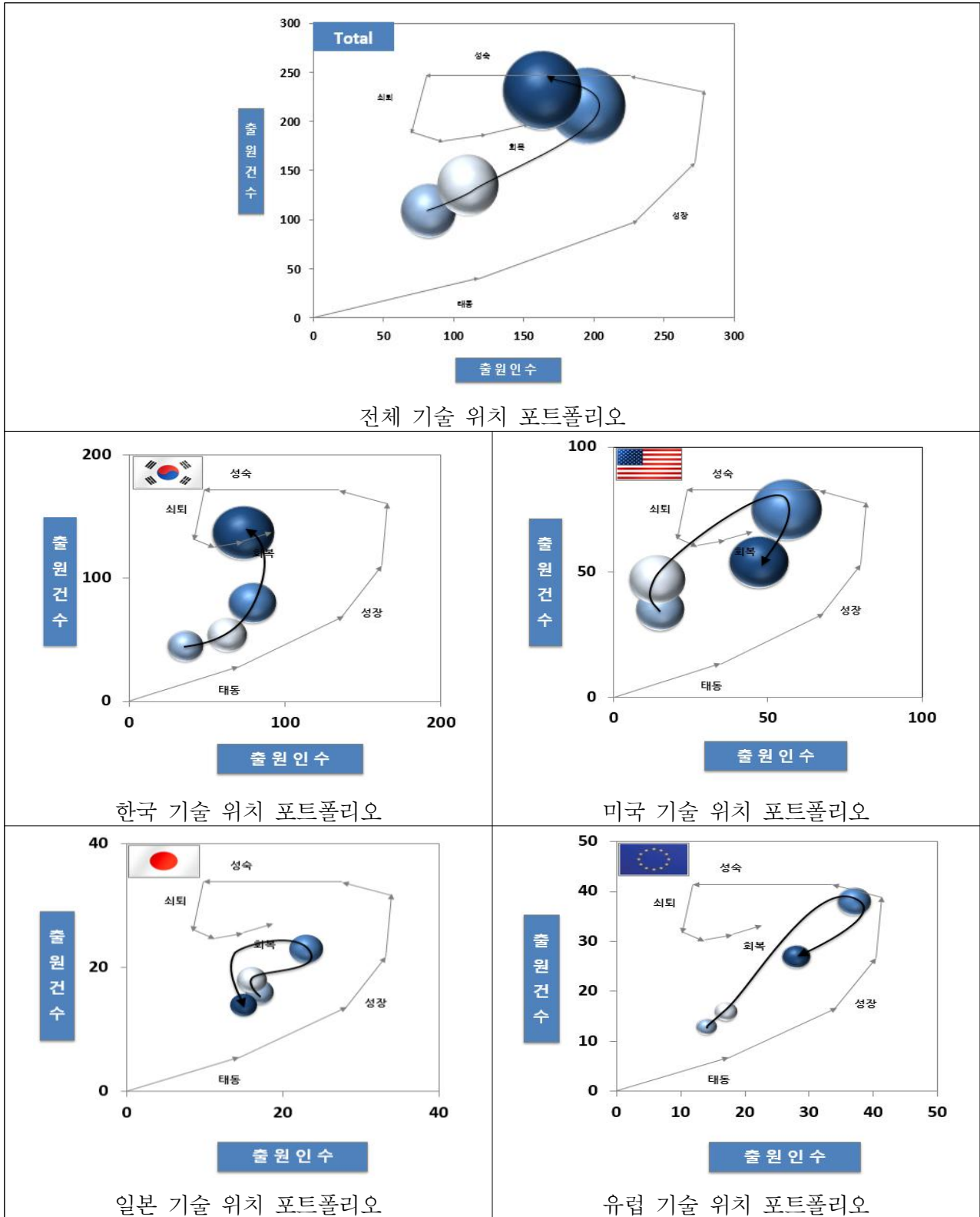
#### ○ 유효데이터 결과

<표 III-23> 유효데이터 결과

기술 분야	유효데이터 건수				
	KIPO	USPTO	JPO	EPO	계
발전시스템 [AA]	130	90	177	69	466
구조안정성 [AB]	219	40	73	39	371
통합관리솔루션 [AC]	5	19	76	18	118
전체	354	149	326	126	955

○ 주요국 특허 출원 현황

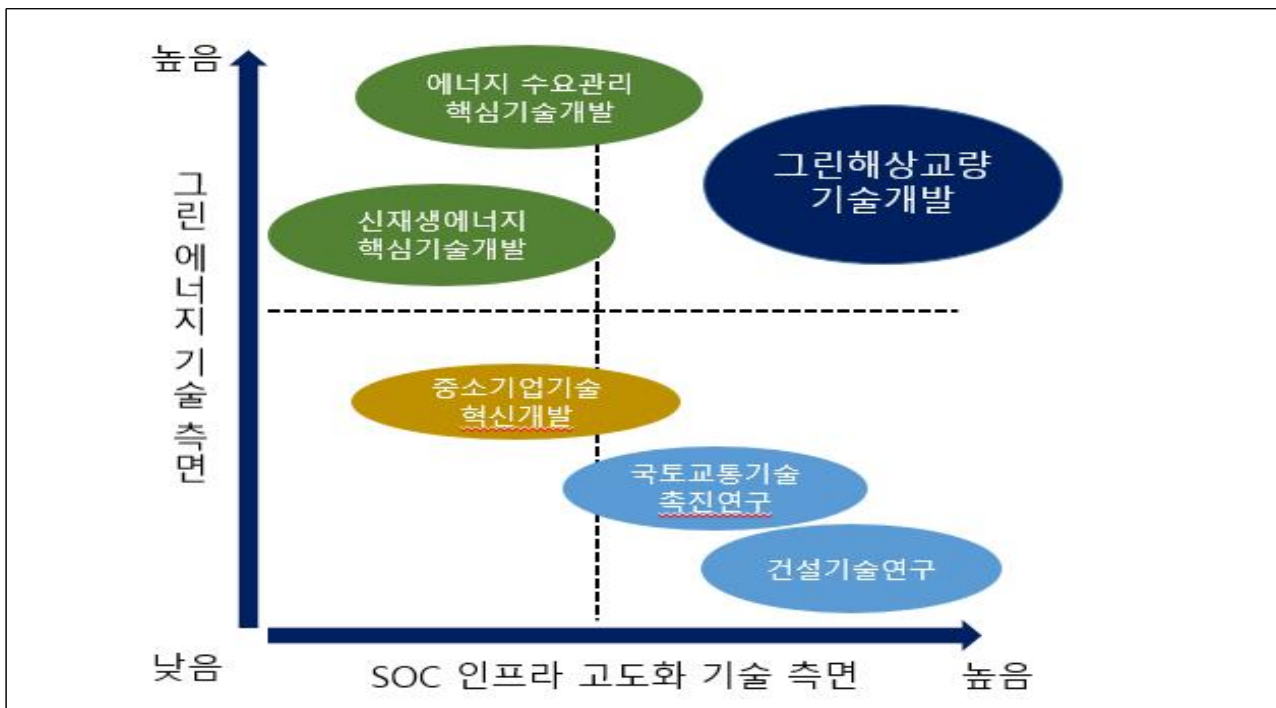
- 2019년까지 공개된 특허 총 955건의 유효데이터를 대상으로 정량적 특허 분석을 실시
- 그린해상교량 기술의 출원 건수는 전체적으로 지속적인 증가 추세



## 6. 유사사업 분석 및 정부 R&D 투자동향

### 가. 유사사업 분석

- 동사업은 그린에너지 기술 활용 측면과 해상교량 구조물 고도화 기술 측면 모두에서 높은 실용적 수준으로 유사사업과 차별성 확보
  - 동사업의 목적은 그린에너지 활용 에너지자립형 해상교량 선도기술 확보로 이를 위한 그린에너지의 활용 기술과 해상교량 구조물 고도화 기술 등 2가지 기술의 융합으로 구성
  - 국토교통부 주관 유사사업은 주로 SOC 구조물의 고도화 측면에 집중
  - 산업통상자원부 주관 유사사업은 주로 재생에너지 기술개발 측면에 집중
  - 중소기업벤처부 주관 유사사업은 각각의 중소기업 단위에서 개발하는 기술들 중 유사 기술이 있으나, 이를 단일과제로 진행하지 않는다는 점에서 동사업과 유사성이 낮음



[그림 III-12] 유사사업 분석결과 요약

## 나. 정부 R&D 투자동향

- (부처별) 과기부 38건(44%), 국토교통부가 23건(27%)으로 가장 높은 비중을 차지했으며 이어 교육부 12건(14%) 순

<표 III-24> 부처별 과제수(2018-2022)

(단위 : 건)

부처명	2018	2019	2020	2021	2022	합계	비중
과학기술정보통신부	8	11	8	9	2	38	44%
교육부	2	3	4	3	-	12	14%
국토교통부	3	4	3	7	6	23	27%
기상청	-	-	-	1	1	2	2%
산업통상자원부	-	1	-	-	1	2	2%
중소벤처기업부	2	2	1	4	-	9	10%
합계	15	21	16	24	10	86	100%

- (투자액) 최근 5년간('18~'22년) 정부 R&D 투자규모는 299억 원 수준

- '18년 이후 투자규모는 증가 추세로 최근 5년간 정부R&D 투자는 연평균 60억 원 수준

※ 2022년 투자규모의 경우, 일부 수행 중인 과제의 누락 가능성이 있음

<표 III-25> 정부 R&D 투자 동향(2018-2022)

(단위 : 백만원)

2018	2019	2020	2021	2022	합계
3,708	4,611	5,384	10,351	5,842	29,897

- (연구분야별) 개발연구가 59%로 가장 높은 비중을 차지하며, 기초 연구 비중은 36%로, 개발연구를 중심으로 투자

<표 III-26> 연구분야별 정부 R&D 투자 동향(2018-2022)

(단위 : 백만원)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	합계	
	투자액	투자액	투자액	투자액	투자액	투자액	비중
기초연구	2,468	3,092	2,425	2,345	305	10,635	36%
개발연구	1,240	1,142	2,959	7,487	4,847	17,675	59%
응용연구	-	-	-	520	690	1,210	4%
기타	-	377	-	-	-	377	1%
합계	3,708	4,611	5,384	10,352	5,842	29,897	100%

## 7. 종합분석(시사점)

환경 분석 결과 주요 이슈	시사점
<p style="text-align: center;"><b>국내외 정책 동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 정책               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (해외) 선진국 및 GCC 주요국은 에너지 전략을 추진하여 탄소배출량 감소 및 재생에너지 비중 확대 추진</li> <li>- (국내) 제3차 에너지 기본계획, 제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 등 재생에너지 정책 및 지원 활발히 진행</li> </ul> </li> <li>○ 해상교량 관련 정책               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (해외) 교통인프라 개선 및 인프라 수명 장기화 등의 차원에서 사회적자본 기술개발 지원</li> <li>- (국내) 인프라 구축, 도로 관련 계획, 균형발전 등에서 부분적으로 등장</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 개발 계획은 활발하지만 해상교량 관련 계획은 부분적으로 등장하는 한계점</li> <li>○ 활발하게 개발되는 신재생에너지 기술을 이용한 해상교량 구조물 구조고도화 추진을 통해 인프라기술 및 경제·사회적 효율성 확보</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>국내외 시장·산업 동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 시장               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재생에너지 시장은 전 세계적으로 크게 성장 중이며, 주요국의 기후협약 이행으로 성장세는 가속화 추세</li> </ul> </li> <li>○ 해상교량 시장               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4차 산업혁명 도래에 따른 노후 인프라 교체수요 및 개도국 중심 경제개발을 위한 신규 수요 증가 예상</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가속화되는 신재생에너지 개발 추세 및 노후 인프라 교체수요 증가에 따라 그린 에너지를 접목한 해상교량 기술로 시장선점 추진</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>국내외 기술 동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양전지, 풍력발전 중심으로 신재생에너지 수급 및 효율 향상 연구개발 진행</li> </ul> </li> <li>○ 해상교량 기술               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 주요국은 나노소재 활용 등 신소재 복합재료구조 교량 개발 추진 중이며 국내는 주로 도로결빙방지 기술에 대한 개발 진행</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 효율이 고도화 되는 추세를 활용한 에너지자립형 해상교량 기술개발 기획 필요성</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>기술수준 및 특허분석</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술수준               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최고 선진국인 미국 대비 우리나라 기술수준은 꾸준히 격차가 감소세</li> </ul> </li> <li>○ 특허분석               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국 및 일본에 비해 상대적으로 특허출원활동이 늦게 시작되었으나 최근 활동이 활발히 증가</li> <li>- 다만, 통합관리솔루션 기술 분야에 대한 경쟁력은 낮은 수준</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발전시스템, 구조안정성 고도화를 위한 통합관리솔루션 기술개발 지원 필요성</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>유사사업 분석</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신재생에너지 기술개발, 해상교량 기술개발 각각의 측면에서는 유사사업이 존재하지만 두 기술의 융합적 측면에서는 유사사업 없는 것으로 파악</li> <li>○ 신재생에너지 기술을 접목하여 해상교량의 구조고도화를 추진하는 융합적 측면에서 동 사업의 차별성 확보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지 발전을 구조물 자체에서 활용함으로써 신산업 및 새로운 비즈니스 모델 창출</li> </ul>

### 3절 기술개발 상세계획

#### 1. 핵심기술 선정

##### 가. 기술수요조사

- 그린 해상교량 기술 발굴을 위해 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 관련 학회, 산·학·연 등의 추천을 받은 발전 및 건설 분야의 전문가 대상으로 실시

<표 III-27> 기술수요조사 개요 및 결과

구분	내용
목적	“그린 해상교량 기술개발” 과제의 기획을 위한 지원 대상 기술 발굴 목적
대상	국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 관련 학회, 산·학·연 등의 추천을 받은 전기 및 건설 분야의 전문가 123명
조사기간	2021. 11. 08. ~ 2021. 11. 19. (2주) - 1차 답변 요청 2021. 11. 22. ~ 2021. 12. 06. (2주) - 2차 답변 요청
조사방법	전자우편 송부 및 회신요청
조사항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기술분류</li> <li>○ 기술의 개요</li> <li>○ 필요성</li> <li>○ 연구개발 목표</li> <li>○ 연구내용</li> <li>○ 산출물</li> <li>○ 기대 및 파급효과</li> <li>○ 예상 과제규모</li> <li>○ 제안자 인적사항</li> <li>○ 2단계 본 과제 참여의향 여부</li> </ul>
설문회수율	87.0% (총 123부 중 107부 회수)

- (조사 결과) 탄소중립을 위한 해상교량용 그린에너지 생산·저장·분배 기술개발(41.1%)의 수요가 가장 많았음 (수요기술 목록 107건 별첨)
  - 이어 저탄소화를 위한 그린 해상교량 운영 및 구조물 안전성 향상 기술개발(36.8%), 탄소배출 제로화를 위한 그린 해상교량 유지관리 및 내구성능 확보 기술개발(20.0%), 기타(필요/요구) 기술(2.1%)
- 제안된 기술 대부분 그린에너지 생산, 해상교량 운영, 안정성 향상 및 유지관리에 대한 연계기술로,
  - 그린에너지 생산 및 이를 활용한 해상교량의 운영 기술, 해상교량 에너지 하베스팅을 통한 해상교량의 안전성 향상 및 유지관리 프로그램 개발 등

## 2) SWOT분석

<표 III-28> SWOT 분석

		내부강점 요인(S)	내부약점 요인(W)
		내부요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 최근 서·남해안 개발 및 간선도로 기능 확충을 위한 연육·연도교의 필요성이 증대되고 건설기술이 발전함에 따라 해상교량 건설이 확대</li> <li>○ 해상교량은 건설, 운영 및 유지관리 전반에 걸쳐 에너지가 소모되는 거대한 에너지 소비 구조물이며, 해상환경은 파력, 조력, 풍력 등의 에너지가 풍부하므로 기술개발 연계가 용이</li> </ul>
외부 요인			
외부 기회 요인(O)	SO전략	WO전략	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정부에서는 탈석탄, 탈핵을 선언하고, 탈석탄과 탈핵 정책 추진에 따른 부족 전력공급을 그린(신재생) 에너지로 충당하는 Re 3020을 수립하는 등 그린에너지에 대한 기술개발에 대한 수요가 급증</li> <li>○ 전 세계적으로 해상교량의 건설이 증대되고 장대화되고 있는 추세이며, 중국 등 시장규모가 급속히 성장하여 세계 최고 시장으로 형성되고, 일본에서 기술개발이 둔화됨에 따라 기술격차가 줄어드는 추세</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 자체에서 자연형, 인공형 그린에너지를 수확·발전(發電)하여 교량의 건설, 운영, 유지관리 및 안전증진에 사용하도록 기술개발 및 기술고도화</li> <li>○ 정부 주도의 대규모 사업을 통해 그린에너지 발굴산업의 육성 및 기술개발을 활성화하고, 체계적으로 전문 인력을 양성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정부가 주도하는 장기적이고 지속적인 투자와 산·학·연의 협동을 통한 기술개발과 기술개발 후 민간의 자발적 참여에 의해 자생적 시장을 형성할 수 있도록 유도</li> <li>○ 그린해상교량 기술개발에 대한 국민 홍보를 통해 해상교량에서 그린에너지 수확 및 활용에 대한 공감대 형성 유도</li> </ul>	
외부 위협 요인(T)	ST전략	WT전략	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 유럽 및 일본은 그간의 기술 확보를 통해 세계최고의 기술력을 확보하고 있으며, 중국의 장대교량 기술은 급속히 성장하는 추세이고 동남아 등은 보호정책으로 자국의 건설시장을 보호</li> <li>○ 국제적으로 그린해상교량에 대한 독보적인 연구개발 실적이 미비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 그린에너지 기술개발을 위해서 정부의 법적, 제도적 지원방안을 모색하여 활성화</li> <li>○ 국내 해상교량 건설 시 그린에너지 하베스트 및 활용기술에 대해 지속적인 연구가 수행될 수 있도록 지원하고 국외에서 활용이 연계될 수 있도록 제도적 지원 장치를 마련</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 외국에 비해 뒤쳐진 요소기술에 대해 외국 기술을 우선 도입하여 시범보급을 추진하고 이 과정에서 새로운 기술을 확보하여 기술의 국산화를 도모</li> <li>○ 동남아 및 중국 등 그린해상교량 시장이 확대되는 나라와 연구 교류를 활성화하고 향후 공동 기술 개발하여 최고수준의 기술을 확보하도록 노력</li> </ul>	

### 3) 문제이슈 도출

미래사회 이슈	산업 이슈
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (사회) 기술혁신제품 선호, 노후 건축물의 급속한 증가 진행</li> <li>○ (기술) 지속가능친환경 기술 확보, 기술개발과 실용화 등 산업간 연계성 강조</li> <li>○ (경제) 고부가가치 친환경 중심 성장전략 변화, 탄소중립 이슈 및 해결방안 중시(화석연료 중심에서 친환경 재생에너지로 시스템 전환)</li> <li>○ (환경) 신재생에너지 등 대체에너지 개발, 탈탄소 사회를 위한 미래에너지 개발과 활용</li> <li>○ (정책) 과학기술을 통한 차세대 성장동력 산업의 지속적 발굴 및 지원, 환경 이슈에서의 상호 의존성 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (국외) 청정 연료 에너지 전환 가속화로 재생에너지 및 수소 등의 사업 확장 추세(재생 에너지 발전 비중 2050년에 62% 전망)</li> <li>- (국내) 태양광 위주의 신재생에너지 시장 성장, 향후 태양광, 풍력, 수소 위주 활성화 전망</li> <li>- 국내 기업에서 신재생에너지를 통한 고효율화 기술개발로 원가 경쟁력 향상 기대</li> <li>- 신재생에너지분야 최고기술보유국은 미국이며, 우리나라는 73.7% 수준</li> </ul> </li> <li>○ 해상교량               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (국외) 미국의 경우 상당수 교량이 준공 약 30년으로 성능 요건 미충족에 따른 시설 유지 보수 필요</li> <li>- (국내) 재생에너지를 활용한 도로결빙방지 기술 연구 활발 및 현장 도입</li> <li>- 교량분야 최고기술보유국은 미국이며, 우리나라는 86.4% 수준</li> </ul> </li> </ul>
정책 이슈	기존 유관사업(R&D) 이슈
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (국외) 세계 주요국(미국, 일본, 뉴질랜드 등) 에너지 정책에서 태양, 바람, 수소 등 재생에너지의 전환 촉진에 따라 정책 비중 확대</li> <li>- (국내) 탄소 중립 기조로 산업 측면에서 재생에너지 기반 정책 확산, 에너지 전환을 위한 R&amp;D 투자 강화</li> </ul> </li> <li>○ 해상교량               <ul style="list-style-type: none"> <li>- (국외) 교량, 터널, 도로포장 등 교통 인프라에 대한 지속적인 유지관리 및 개량 등 성능 향상을 위한 연구지원 지속</li> <li>- (국내) 준공연도 30년 이상의 노후시설 증가에 따른 시설물 안전 저하 우려 관련 유지관리 재정 확보</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (현황/한계점) 신재생에너지의 건축적 활용, 특히 해상교량의 산업적 활용과 연계된 연구사업 부재               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재생에너지의 경우 산업적 활용보다는 기술개발에 중점</li> <li>- 해상교량 기초 가설 공법, 기존 기술을 관리 및 고도화하기 위한 기술 개발 중심</li> </ul> </li> <li>○ (시사점) 친환경 중심의 그린에너지 기술을 해상교량 유지관리 기술과 접목하여 에너지 활용을 통한 사회·경제적 고부가가치를 선점하는 기술개발 연구사업 필요</li> </ul>

동향분석	이슈도출 방향	핵심 문제/이슈
미래 트렌드	<ul style="list-style-type: none"> <li>기존 국내 R&amp;D 한계</li> <li>국내 산업성장 전략 한계</li> </ul>	○ 도로 결빙방지, 세굴방지, 안전관리 등 <b>교량 스마트화</b> 에 따른 유지관리 <b>비용 급증</b> 예상
국내외 산업시장 동향		○ 선진국대비 국내 <b>그린에너지 기술의 혁신속도</b> 및 관련 <b>혁신역량 정체</b>
국내외 정책 동향		○ 교량 운영 및 유지보수 기술의 <b>기술적 자립화</b> 필요
유사사업 분석		○ 전주기적 그린 해상교량 <b>실증성능평가</b> 등을 위한 <b>테스트베드 구축</b> 필요
		○ 해상교량 <b>지급 재생에너지 발전 기술</b> 과 이를 이용한 <b>유지관리 및 개량 기술 체계화</b> 필요

## 2. 중점추진분야 설정 및 후보과제 도출

### 1) 사전조사 및 분석 결과

#### ■ 환경분석, Issue Tree, SWOT 분석 기반 중점분야 및 사업목표 도출

문제/이슈	SWOT Matrix	기술수요	중점분야
<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 결빙방지, 세굴방지, 안전관리 등 교량 스마트화에 따른 유지관리 비용 급증 예상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(SO1) 건설, 운영, 유지관리 및 안전 증진</li> <li>(WO2) 국민 공감대 형성</li> <li>(WO1) 산학연 협력 통한 시장 창출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>풍력에너지 하베스팅을 위한 교량상부구조 기술</li> <li>AI-IoT형 EM센서 기반 해상교량 케이블 안전관리기술</li> <li>⋮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발</li> <li>↕</li> <li>그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발</li> <li>↕</li> <li>그린에너지 발전 가능한 세굴방지 기술개발</li> <li>↕</li> <li>그린 해상교량 통합솔루션 기술개발</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>선진국대비 국내 그린에너지 기술의 혁신속도 및 관련 혁신역량 정체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(ST1) 법제도적 지원 방안 모색</li> <li>(WT1) 선도기술 도입과 신기술 개발 병행</li> <li>(WT2) 국제 공동연구 활성화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량용 Bladeless형 풍력발전 기술</li> <li>그린 해상교량을 위한 소형 파력발전 기술</li> <li>⋮</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>교량 운영 및 유지보수 기술의 기술적 자립화 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(WT2) 국제 공동연구 활성화</li> <li>(SO2) 관련 산업 육성 및 전문인력 양성</li> <li>(SO1) 건설, 운영, 유지관리 및 안전 증진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신설 해상교량 기초구조물에 적용되는 그린에너지 효율성 검토 기술개발</li> <li>100kW급 덕트형 조류발전시스템</li> <li>가물막이를 이용한 중소규모 양수-조력발전시스템</li> <li>⋮</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>전주기적 그린 해상교량 실증·성능평가 등을 위한 테스트베드 구축 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(SO2) 관련 산업 육성 및 전문인력 양성</li> <li>(WO1) 산학연 협력 통한 시장 창출</li> <li>(ST2) 국외 연계 활용 제도 마련</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량에 적용 가능한 그린에너지 생산 및 저장, 활용기술</li> <li>그린 해상교량 전원 공급을 위한 복합 에너지 생산 및 모니터링 기술</li> <li>⋮</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량 자급 재생에너지 발전 기술과 이를 이용한 유지관리 및 개량 기술 체계화 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(WT1) 선도기술 도입과 신기술 개발 병행</li> <li>(SO1) 건설, 운영, 유지관리 및 안전 증진</li> <li>(SO2) 관련 산업 육성 및 전문인력 양성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상교량에 적용 가능한 그린에너지 생산 및 저장, 활용기술</li> <li>그린 해상교량 전원 공급을 위한 복합 에너지 생산 및 모니터링 기술</li> <li>⋮</li> </ul>	

저기능, 고탄소 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트베드 실증 해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구

## 2) 사업 비전 및 목표

- 해상교량의 내구성, 안전성 및 기능성 향상 기술개발 및 도시·국토 저탄소화에 부합하는 그린에너지를 이용한 자립형 해상교량 기술개발

<b>사업 목적</b>	저기능, 고탄소 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트베드 실증
--------------	--

<b>사업 목표</b>	해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구
--------------	--

<b>성과 목표</b>	<div style="display: inline-block; width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <b>① 해상교량 고기능화</b> </div> <div style="display: inline-block; width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <b>② 해상교량 저탄소화</b> </div>
--------------	---

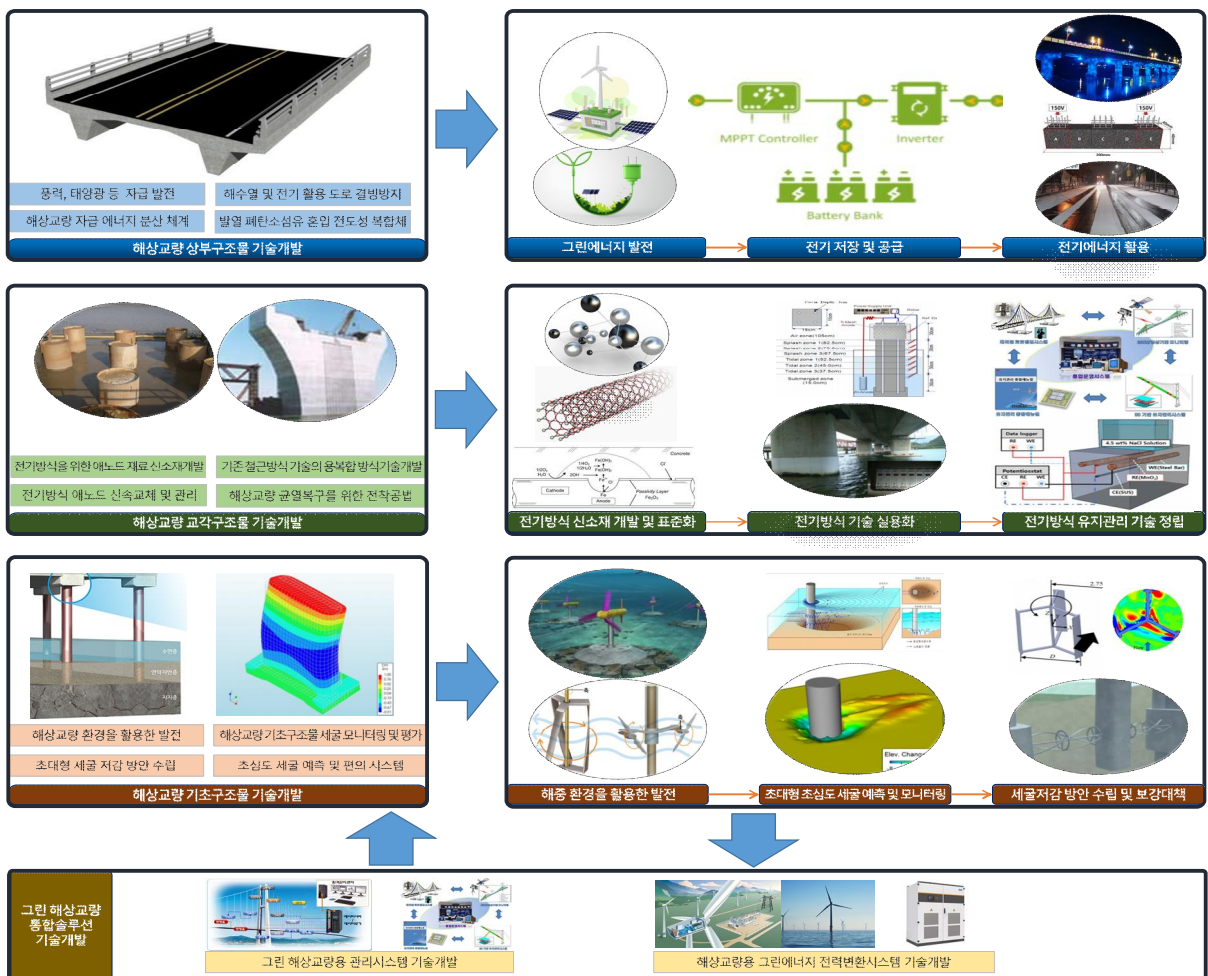
성과 지표	성과지표	내용	목표치
	① 해상교량품질확보율(%)	기존 해상교량 대비 안전성 및 내구성 향상	30%
	②-1 그린에너지생산율(%)	기존 해상교량 대비 그린에너지 생산량 증가	80%
	②-2 탄소배출저감률(%)	기존 해상교량 대비 탄소배출량 절감	50%

추진 단계	1단계('23-'25)	2단계('26-'27)
	핵심 구성기술 개발 및 연계	테스트베드 적용 및 검증

사업 구성	중점과제	세부과제
1	그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그린 해상교량 상부구조물 발전시스템 기술개발</li> <li>· 그린 해상교량 결빙방지시스템 기술개발</li> </ul>
2	그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그린 해상교량용 교각구조물 통합 전기 방식시스템 개발</li> <li>· 그린 해상교량용 교각구조물의 구조 안정성 기술개발</li> </ul>
3	그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 그린 해상교량 기초구조물 발전시스템 기술개발</li> <li>· 그린 해상교량 세굴방지시스템 기술개발</li> </ul>
4	그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 해상교량용 그린에너지 전력변환시스템 기술개발</li> <li>· 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발</li> </ul>

성과 창출	그린에너지가 적용된 차세대 해상교량 기술 국외 수출	해상교량 안전성과 그린에너지 생산 동시 달성	저탄소 시공/유지관리를 통한 전 세계적 '탄소중립'에 기여
-------	------------------------------	--------------------------	----------------------------------

- (사업정의) 저기능, 고탄소 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트베드 실증
- (사업목표) 해상교량의 고기능화를 도모할 수 있는 안전성 및 내구성 핵심기술 개발 및 고기능화를 위한 필요전력을 그린에너지로 생산하는 저탄소화 기술의 실증 연구
  - (규모목표) 사장교, 현수교 타입 철근콘크리트의 구조적 성능기술 및 시공, 유지관리를 위한 그린에너지 확보기술 개발
    - \* TB 대상(예) : 하구역 설치 교량, 해안역 설치 교량 등 바람과 물의 흐름이 원활한 국내 연육교
  - (기술목표)
    - ◆ 품질확보 : 기존 해상교량 대비 품질확보 30% 이상 증가
    - ◆ 에너지생산율 : 기존 해상교량 대비 그린에너지 생산 80% 이상 증가
    - ◆ 탄소배출저감률 : 기존 해상교량 대비 탄소배출 50% 이상 절감



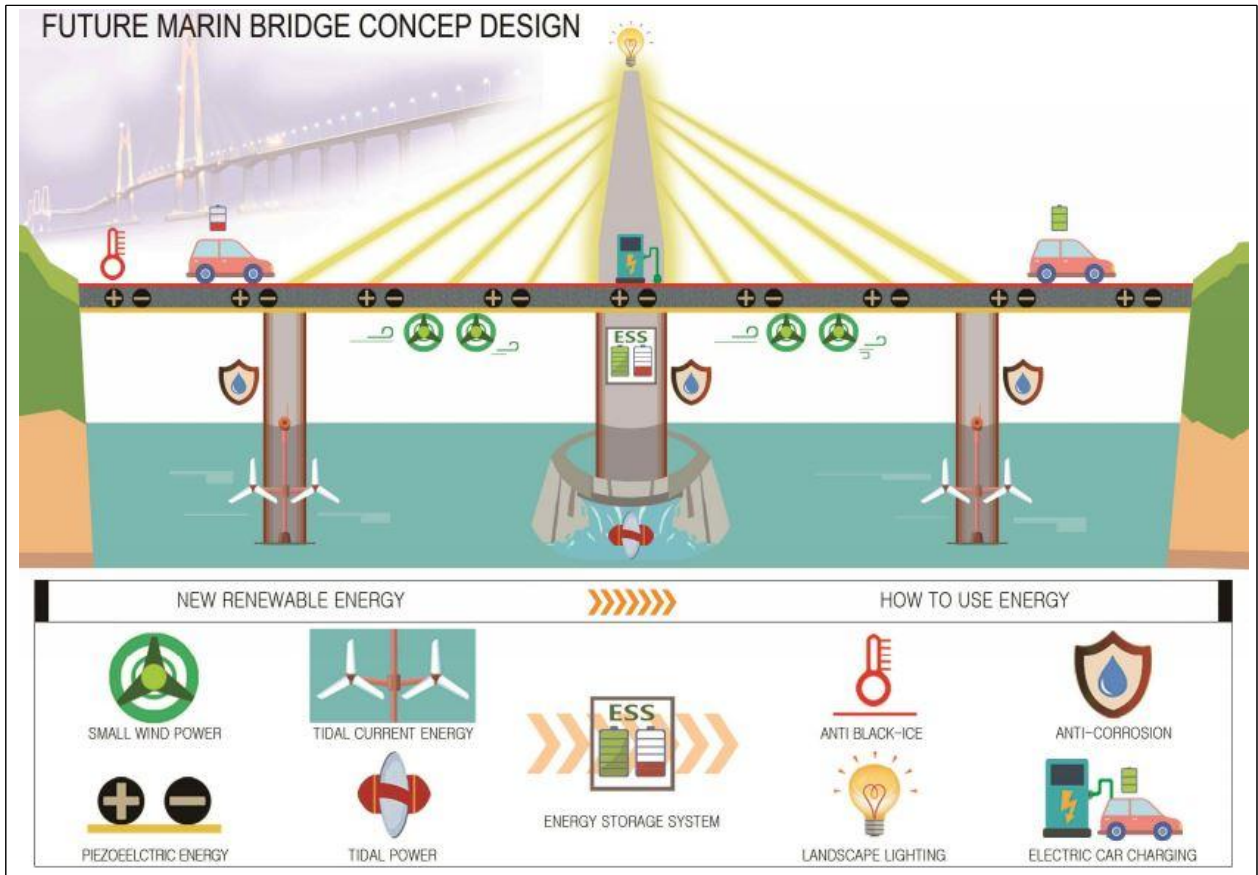
[그림 III-13] 그린 해상교량 기술 구성

### 3) 사업 주요 내용

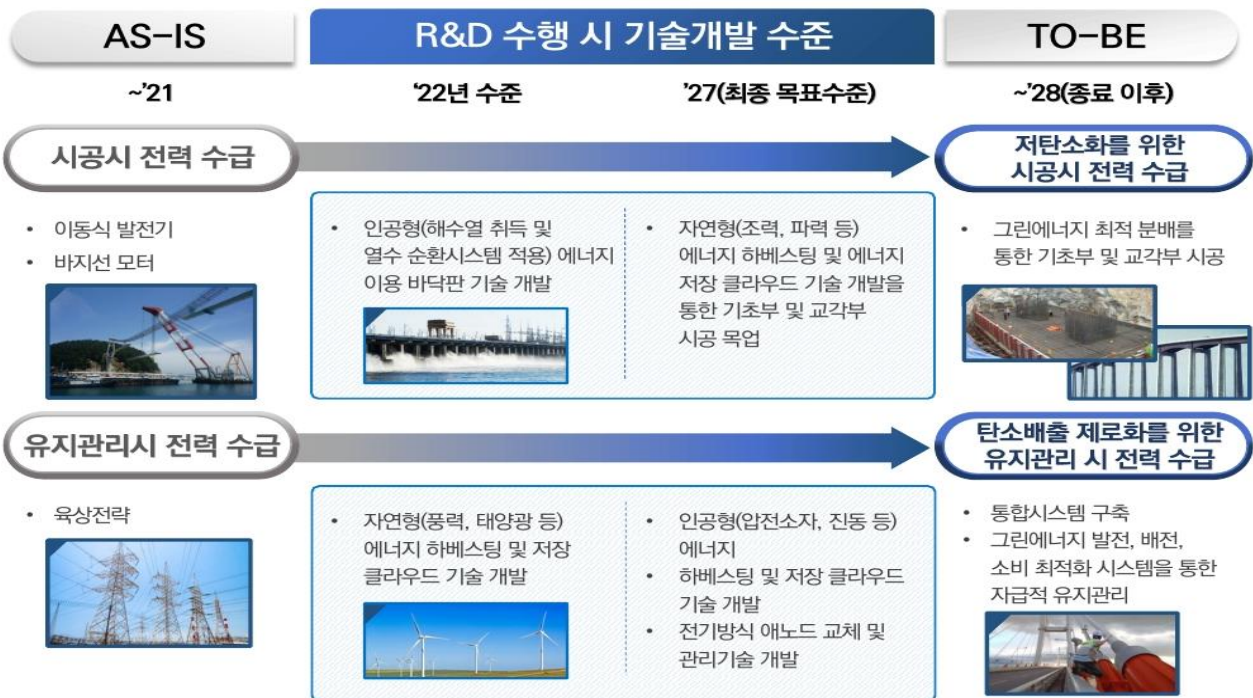
- (기본방향) 해상교량의 유지 및 안전을 위한 성능관리 기술개발과 성능관리에 필요한 에너지는 그린에너지로 생산, 저장, 분배하는 에너지 자립형 해상교량 기술개발
- (사업구성) 해상교량의 내구성, 안전성 및 기능성 향상 기술개발 및 도시·국토 저탄소화에 부합하는 그린에너지를 이용한 자립형 해상교량 기술개발

핵심기술	구성기술	주요 연구내용
(핵심기술1) 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	(1-1) 그린 해상교량 상부 구조물 발전시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ (중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발 및 실증</li> <li>○ 진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 생산 기술개발</li> </ul>
	(1-2) 그린 해상교량 결빙방지시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발</li> <li>○ 해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발</li> <li>○ 해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발</li> </ul>
(핵심기술2) 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	(2-1) 그린 해상교량 교각 구조물 통합 전기방식시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지 연계 전기방식 표준화 기술개발</li> <li>○ 전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발</li> </ul>
	(2-2) 그린 해상교량 교각 구조물의 구조 안정성 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린 해상교량 보강 예측모델시스템 기술개발</li> <li>○ 내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강구조물 기술개발</li> </ul>
(핵심기술3) 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	(3-1) 그린 해상교량 기초 구조물 발전시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 소규모 조력발전 기술개발 및 실증</li> <li>○ 세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증</li> </ul>
	(3-2) 그린 해상교량 세굴 방지시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지 선정을 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발</li> <li>○ 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 연계 세굴 방지구조물 기술개발</li> </ul>
(핵심기술4) 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	(4-1) 해상교량 그린에너지 전력변환시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지 저장 클라우드 기술개발</li> <li>○ 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발</li> <li>○ 해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발</li> <li>○ 고효율 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발</li> </ul>
	(4-2) 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발</li> <li>○ 그린 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발</li> <li>○ 해상교량용 그린에너지 기술 제도화 방안 마련</li> </ul>

## ■ 기술수준 변화(예상)



[그림 III-14] 그린 해상교량 기술개발 개념도



[그림 III-15] 기술수준 예상 변화

## 4) 기술개발로드맵

기술 내용		기초 기술개발 단계			테스트 베드 및 실용화 단계	
중점 과제	요소 기술	2023	2024	2025	2026	2027
1 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	그린 해상교량 상부구조물 발전시스템	해상교량 자연방안공형 그린에너지 분포 조사 및 발전시스템 최적 배치 방안 도출	자연형 그린에너지 적용에 따른 해상교량 공력상능 변화 검토 및 구조설계	풍하중, 위류전동 등에 대한 내풍안전성, 소음 등 사용성을 고려한 블레이크드 설계 및 시제품 제작	프로토타입 증소형 발전기의 해상교량 적용성 확인 및 개선점 도출	해상교량 발전시스템의 실증연구를 통한 보완점 도출 및 ESS 시스템 설계 등 통합솔루션과 연계
	그린 해상교량 결빙방지 시스템	해상환경(염해, 풍랑, 온도 등)의 위부환경 전략별한 장치 및 포장재 개발 해수면 하중/소환 시스템 검토 및 포장재 수축, 이완 거동 CFD 모델링	전열선에 의한 교면 포장재 손상방지 기술개발 및 역학적 특성 분석 블레이크드 및 응결 대응 시스템 설계, 고온용 히트펌프 적용 설계	실내 및 모형 응결 시험을 통한 실시설계자료 취득 및 Test Bed 상세설계	Test bed 시공 및 시연전/시스템 효율성 평가 및 모니터링, 데이터 분석	해상교량 결빙방지시스템의 설계, 시공, 운영자립 최적화 / 매뉴얼 작성 및 통합솔루션과 연계
2 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	그린 해상교량 교각구조물 통합 전기방식 시스템	단소개일 소재의 적용-합성을 통한 전기방식용 에너저 개발	머신러닝(Gaussian process)기법을 활용한 철근 부식상태 평가기법	센서 등을 활용한 교각 구조물의 철근 부식 모니터링 기술개발	철근 부식방지를 위한 전기방식 시스템의 모의부재 실증 및 에너지 소모 최적화 적용성 확인	그린 해상교량 교각 구조물의 통합전기방식 시스템 구축 및 매뉴얼 정립
	그린 해상교량 교각구조물 구조안전성 확보 시스템	해상교량 교각구조물의 긴전도 상태평가 기술개발(센서적용 등) 센서일체형 비부식성 보강재의 일체화 기술 및 현장 적용 설계 해상교량 발전시스템 설치에 의한 응력 증가 및 내구성 저하에 대한 성능 변화 분석	교각 구조물 철근 부식방지 및 콘크리트 균열 해소를 위한 전착 기술 최적화 해상교량 적용하중 및 위치별 센서일체형 비부식성 보강재의 측정 정밀도 향상 해상교량 내력 증가 및 내구성 증진용 보강재, 보강 기술 개발	전착기술 적용에 따른 교각 구조물의 역학내구성 평가/실증시험 계획 비부식성 센서 및 보강재로 시제품 개발 및 적용 매뉴얼 정립 보강재에 대한 신뢰성 인증 및 시제품 설계	전착 기술 실증시험을 통한 기술검증 및 현장적용성 검토(실용화 매뉴얼 개발) 교각 구조물 모니터링 및 보강기법 실증을 위한 모의부재 제작 및 적용성 확인	계측 시스템을 활용한 모니터링 기술의 정밀도 향상 및 실무 적용 안전 권리기준 정립 해상교량 응력 증가 및 내구성 향상 보강 재료공법 매뉴얼 정립
3 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	그린 해상교량 기초구조물 발전시스템	해상교량 해중 자행분석, 세굴 및 조력에너지 분석	세굴에너지는 이양한 발전기술 적용 자점의 득정기법 수립	세굴 에너지 등 해중 자점 지점 선정 기법 개발	세굴 에너지로 발전하는 프로토타입의 수리모형 등 모의부재를 활용한 적용성 확인	세굴에너지 소산 및 발전시스템 최적 운영기술 / 해상교량 통합솔루션과 연계
	그린 해상교량 세굴방지 시스템	해상교량 기초구조물 가동막이 활용 임지분석 해상교량 하상상태 분석에 따른 세굴 영향은 파악하여 세굴 경감 방안 수립 교각 세굴 대책 방안을 반영한 세굴에너지 활용 방안 수립	해수유동 시뮬레이션 등 통한 발전용 분석 및 구조안전성 확보 기초구조부의 위양, 수위변화에 따른 에너지 활용방안 수립 세굴에너지의 효율적인 관리를 위한 세굴에너지 생산시설의 관리 매뉴얼 수립	가동막이 활용 양수-조력 발전시스템 최적 운영 및 부식 등 유지관리 방안 세굴 에너지를 발전 에너지로 전환할 프로토타입의 가변 구조용 검증기법 수립 교량 주변 흐름 및 세굴에너지의 활용 평가를 위한 수리모형 개발	세굴에너지로 발전하는 프로토타입의 수리모형 등 모의부재를 활용한 적용성 확인 세굴에 작용하는 전단력 및 국소 흐름에너지를 발전에너지로 전환할 프로토타입의 가변구조용 수리모형 실험 등 수리공학적 검증	그린 해상 세굴방지 및 세굴에너지 활용 기법 정립 / 교량 국소 세굴 대응 매뉴얼 수립 및 해상교량 통합솔루션과 연계
4 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	그린 해상교량 에너지-전력 변환시스템	그린에너지 별 구조 분석을 통한 전력 변환 모듈 설계	독립운영 및 UPS 기능을 가지는 전력 변환 장치 및 시스템 개발	해상교량용 모듈 타입의 전력 변환 시스템 시제품 개발	해상교량 환경요인 및 생산 시스템 감시를 위한 생산 및 데이터 획득 기술 도출	해상교량 내 에너지 생산 시스템 감시 및 모니터링 시스템 개발
	그린 해상교량 관리 시스템	해상교량 복합발전시스템의 제어 및 통합 운영 계획 수립	해상교량 그린에너지를 통합하여 관리 운영하는 전력변환 시스템 플랫폼 개발	WBG 소자 등을 적용한 해상교량용 고출력 전력변환 모듈 설계	전력변환 모듈 시제품 개발 및 전력변환 시스템 플랫폼화 설계 모델개발	다양한 발전 방식에 최적화된 전력변환 시스템 제어기술 정립

# 5) 기술개발 추진체계

## ■ 기술개발 추진체계

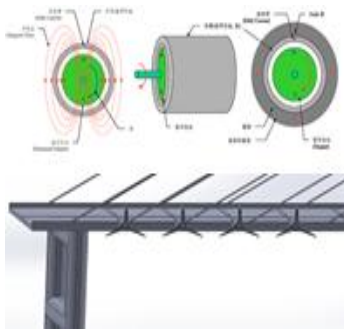


[그림 III-16] 그린 해상교량 기술개발 추진체계

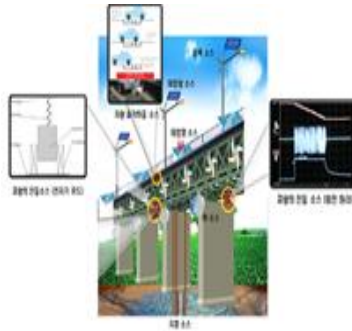
### 3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

#### 1) [중점과제1] 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발

■ (개요) 해상교량의 상부구조물에서 생산 가능한 그린에너지 확보 기술 개발 및 실용화를 통해 상부도로의 필요전력(결빙방지, 조명 등) 연계 기술 개발



<(중소형)풍력기술>



<진동 및 압전소자 기술>



<결빙방지시스템 기술>

#### ■ 세부과제

구분	구성기술
(세부과제 1) 그린 해상교량 상부구조물 발전시스템 기술개발	① (중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발 및 실증 - 해상교량에서 발생하는 풍속, 풍향, 빈도수, 풍력에너지밀도 등의 풍자원 조사 및 분석 - 풍자원 분석을 기반으로 적정 발전량을 갖는 가로등 일체형 수직축 풍력발전 시스템 개발
	② 진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 생산 기술개발 - 바람으로 발생하는 해상교량의 진동에너지를 전기에너지로 전환 - 차량 이동시 발생하는 진동 및 압축 에너지를 전기에너지로 전환
(세부과제 2) 그린 해상교량 결빙방지시스템 기술개발	① 자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발 - 에너지 효율 극대화 재료를 사용한 교면포장 기술 및 교량상판 발열 구조 기술 적용
	② 해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발 - 그린에너지 연계 PCM/열선복합프리캐스트 콘크리트 패널 제작 기술 - PC콘크리트 패널 급속시공 및 교체 기술 - 지능형 유지 관리 기술
	③ 해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발 - 블랙아이스 생성 알고리즘 적용 및 재결빙 방지 시스템 적용 - 융설 후 2차 결빙 방지 기술 적용 - 융설용 열교환기 개발 - 하절기 순환 적용 및 인근 에너지 공급 시스템 개발

## 가) (1-1) 그린 해상교량 상부구조물 발전시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 풍력 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 발전시스템 기술개발

구성기술		기술개발내용
① (중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발	풍자원 분석	○ 해상교량에서 발생하는 풍자원(풍속, 풍향, 빈도수, 풍력에너지밀도) 조사 및 분석
	가로등 일체형 수직축 풍력발전 시스템 개발	○ 가로등 일체형 수직축 풍력발전시스템 설계 ○ 가로등 수직축 풍력발전시스템 구조 건전성 평가 ○ 후류 효과를 반영한 가로등 일체형 수직축 풍력발전시스템 배치 설계 및 용량 선정
	풍열원화장치가 적용된 수평축 풍력발전시스템 개발	○ 회전에너지의 열에너지 직접 변환을 위한 풍열원화장치 설계 및 제작 ○ 풍열원화장치와 연동되는 수평축 풍력발전시스템 설계 및 해석 ○ 해상 환경하의 장기 운영을 위한 수평축 풍력발전시스템 구조 건전성 평가
② 진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린 에너지 생산 기술개발	에너지 하베스팅 기술	○ 인공/자연에서 발생하고 버려지는 에너지를 수확할 수 있는 대면적 에너지 하베스팅 소자 개발
	에너지 저장 기술	○ 에너지 하베스팅 소자와 결합된 고효율 통합형 에너지 저장 시스템 개발

### (2) 구성기술 단계 및 목표

#### ■ 성능목표 및 성능지표

- 목표 설정 근거

<표 III-29> 세부과제(1-1)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙		
			1단계 1	2단계 2	
①(중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발	에너지 하베스팅 및 결빙시스템 연계 기술	실험 및 실증	일반교량에 적용	해상교량 적용 1	및 결빙시스템 연계 2
				2W(단위 미터당) 1	
② 진동 및 압전소자를 이용한 인공형 그린에너지 생산 기술개발	에너지 하베스팅 기술	에너지 생성량	1W(단위 미터당)		
	에너지 저장 기술	에너지 저장량	3000 F		4000F 2

## 나) (1-2) 그린 해상교량 결빙방지 시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 겨울철 폭설상황에 대응하고, 블랙아이스 등 교면 포장의 결빙으로 인한 안전사고 방지 및 강설 시에도 원활한 교통 운영을 위한 그린 해상교량 생산 에너지 활용 교량상관 발열기술 및 신소재를 적용한 결빙방지 교면포장 기술

구성기술		기술개발내용
① 자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발	그린 해상교량 교량상관 발열 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 결빙 모니터링 기술개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해상교량 결빙 취약구간 모니터링을 통한 결빙 위험단계 관리</li> <li>- 기온, 습도, 노면상태 등 결빙 발생 요소에 대한 분석 및 요소별 적합한 센싱 및 평가기술 개발</li> <li>- 적설계, 비주얼 센서 등을 통한 강설상태 및 적설량 검토를 통한 대응 단계 의사 결정체계 개발</li> <li>- 결빙 및 적설 단계에 따른 바닥판 가열, 교면포장 결빙방지 시스템 가동, 강제식 결빙방지 기술 적용 등 결빙방지를 통한 포장 미끄럼 저항성능 관리시스템 개발</li> </ul> </li> <li>○ 결빙억제를 위한 교량상관 발열구조 기술개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 교량상관 발열을 위해 상관재료에 적용 가능한 건설 신기술 재료 적용성 검토</li> <li>- 교량상관 발열 장치 설치에 따른 구조 해석 및 복합적인 발열 장치 설치를 통한 교량상관 발열구조 기술개발</li> <li>- 발열 성능 극대화를 위한 재료 및 구조기술 최적화 기술개발</li> </ul> </li> <li>○ 폭설대비 해수활용 강제식 결빙방지 기술개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 결빙억제 기술로 해소가 불가능한 폭설 및 강한 강설단계에서 적용하기 위한 천연 염화물(해수)을 활용한 제설재료 개발</li> <li>- 천연염화물의 제설성능 확보를 위한 재료 처리기술과 적정 살포 기술개발</li> <li>- 구조물 손상 최소화를 위한 배수구조 적정성 검토</li> </ul> </li> </ul>
	그린 해상교량 결빙방지 교면포장 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해상교량 교면포장 결빙방지 신소재 적용성 평가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 효율적인 결빙방지 교면포장 개발을 위한 에너지 절감형 건설 신소재 조사 및 적용성 검토</li> <li>- 기존 교면포장 형식과 사용 재료 조사 및 분석을 바탕으로 교량상관 발생 에너지의 포장면 최적 공급을 위한 열전도율 향상 재료 기술개발</li> <li>- 결빙방지 관리시스템에 의한 수동적 개입이전, 포장재료 자체적인 발열을 통한 능동적 대응이 가능한 발열재료 기술개발</li> <li>- 신소재별 교면포장 적용성 기초 평가 및 선정</li> </ul> </li> <li>○ 결빙방지 소재 활용 교면포장 최적화 기술개발</li> </ul>

구성기술		기술개발내용
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 그린 해상교량 생산 전력활용형 결빙방지 교면포장 적용 기술개발</li> <li>- 전력활용형 결빙방지 교면포장 기술의 에너지 활용도 제고를 위한 자체발열 및 열전도율 향상 재료 적용 교면포장 기술개발</li> <li>- 선정 신소재별 배합 최적화 기술개발</li> <li>- 결빙방지 성능 최대화를 위한 신소재 융합 기술개발</li> <li>- 결빙방지 최적화를 위한 발열 교량상관과의 병합 기술개발</li> </ul>
② 해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발	PCM encapsulation 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 건설재료 결빙현상 방지를 위한 발열콘크리트용 파라핀 PCM 원료의 물성 증진 기술</li> <li>o 파라핀 함량 70% 이상의 마이크로 캡슐화 기술개발 및 코팅, 마이크로 캡슐화 기술</li> <li>o 경제성 확보를 위한 대량 생산 기술</li> </ul>
	PCM 발열 콘크리트 배합 설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 첨가제 최적화를 통한 과냉각 방지/열전도도 개선/분산 안정성 기술</li> <li>o 콘크리트 내구성 증대를 위한 SOL-GEL PCM 배합 설계 기술</li> </ul>
	골재 내 PCM 함침 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o PCM 유실 방지를 위한 골재내 함침 기술</li> <li>o PCM 손실 방지 및 안정성 향상을 위한 코팅 기술</li> </ul>
	열선 배치 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 높은 열전도도 및 고내구성 확보 기술</li> </ul>
	PCM/열선 복합 콘크리트 발열 제어 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 과열 및 단선 검측 및 정밀 제어 기술</li> <li>o 저전력 발열 능동 제어 기술</li> <li>o 온도 모니터링 및 부분 제어 기술</li> </ul>
	그린에너지 연계 PCM/열선 복합 프리캐스트 콘크리트 패널 제작 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o PCM/열선 복합 프리캐스트 콘크리트 패널 설계 및 제작 기술</li> <li>o 저탄소 고강도 콘크리트 기술</li> <li>o 장수명 강재 하이브리드 접합 및 제작 기술</li> </ul>
	PC 콘크리트 패널 급속시공 및 교체 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 친환경 해체 시스템</li> <li>o 교량 부속 장치 급속 교체 기술</li> <li>o 급속 시공 연속화 기술</li> </ul>
	지능형 유지 관리 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 산업부산물을 활용, 무시멘트계 보수 몰탈 기술</li> <li>o 비 파괴식 수축 및 균열감지를 통한 유지 관리 기술</li> </ul>
③ 해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발	수열원 고온 히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 수열, 해수열용 판형 열교환기 적용 기술 개발</li> <li>o 해수열 취득 기술 개발</li> <li>o R134a 냉매 적용 고온 히트펌프 효율 증대 기술 개발</li> </ul>
	결빙, 블랙아이스 예측 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 외기온도, 외기습도, 도로 표면온도, 풍속, 포장재 재질별 결빙 메카니즘 확인</li> <li>o 각 요소별 블랙아이스 생성 메카니즘 확인</li> <li>o 현상, 상황에 따른 결빙 및 블랙아이스 예방 알고리즘 개발</li> </ul>

구성기술		기술개발내용
	매립용 열교환기 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 포장재별 열 팽창, 수축 거동 CFD 확인</li> <li>매립용 열교환기와 포장재의 팽창, 수축에 따른 안전성 확보 기술 개발</li> </ul>
	도로 냉수 순환시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>히트펌프 냉수 공급으로 도로 포장재의 하절기 변화 모니터링</li> <li>하절기 도로 포장재의 열화 감소 기술 개발</li> </ul>
	시스템 가동율 증대 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>동절기 또는 사계절 에너지 공급 가능 기술로 에너지 활용도 합리화 기술 개발</li> </ul>

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-30> 세부과제(1-2)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 자연형 또는 인공형 그린에너지 연계 해상교량용 발열시스템 기술개발	그린 해상교량 교량상판 발열 기술개발	해상교량 자체 생산 그린에너지의 교량상판 발열 활용	교량상판 발열 적용사례 없음	100% 2
	그린 해상교량 결빙방지 교면포장 기술개발	결빙방지 포장면 온도	제설제 사용에 따라 포장면 온도 기준 없음	0°C 이상 2
② 해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발	PCM encapsulation 기술	SEM 사진	-	1건 1
	PCM 발열 콘크리트 배합 설계 기술	압축강도	35 MPa	45 MPa 1
	골재 내 PCM 함침 기술	PCM 흡수율	55%	70% 1
	열선 배치 기술	설계도	-	1건 1
	PCM/열선 복합 콘크리트 발열 제어 기술	제어프로그램	-	1건 1
	그린에너지 연계 PCM/열선 복합 프리캐스트 콘크리트 패널 개발	패널 제작/실증	-	1건 2

구분		항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
				1단계 1	2단계 2
	PC 콘크리트 패널 급속시공 및 교체기술	기술서	-	1건 2	
	지능형 유지 관리 기술	기술서	-	1건 2	
③ 해상교량용 해수열 순환시스템 기술개발	수열원 고온 히트펌프	냉,온수 공급시 효율(COP)	냉수공급 : 3.5 온수공급 : 3.0	냉수공급: 3.6 1 온수공급: 3.2 1	
	결빙, 블랙아이스 예측 알고리즘	속성정보 추출 및 표준화	없음	1건 1	
	매립용 열교환기 개발	수축, 이완 거동 확인	없음	1건 1	
	도로 냉수 순환시험	하절기 포장재 변화	없음	1건 2	
	관련특허 신기술	지식재산권 및, 방재신기술 확보		1건 2	

## 다) (중점과제1) 그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발 주요 구성기술의 성능지표 근거

주요 구성기술	주요 성능 지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙
(중소형)풍력을 이용한 자연형 그린에너지 생산 기술개발 및 실증	풍력시스템 회전에너지의 열에너지 변환 효율	-	90% 이상

- 열에너지효율 :  $\eta = \frac{Q}{P} \times 100\%$ ,  $Q = \dot{m} C_{p,water} \Delta T$ ,  $P = T_w$

여기서,  $C_{p,water}$  : 물의 정압비열(J/kg),  $\Delta T$  : 물의 입/출구 온도차(°C),  $\dot{m}$  : 질량 유량(kg/s)

$P$  : 입력 회전에너지(W),  $Q$  : 출력 열에너지(W),  $T$  : 토크(Nm),  $\omega$  : 회전각속도, rad/s

- 근거자료 : 윤택한 외 2명, 서로 다른 자석 배열을 가지는 와전류 열원화 장치의 성능 측정, 2013, 신재생에너지, Vol. 9(1), pp.17-24

해상교량용 결빙방지 바닥판 기술개발	결빙 재료 PCM 흡수율	55%	70%
---------------------	---------------	-----	-----

- PCM 흡수율 : 콘크리트에 사용되는 경량 골재를 PCM 함침 기법을 사용하여 PCM을 흡수시켰을 때 이탈되지 않고 함침되는 양이 70% 이상이라는 뜻이며, 평가환경은 일정 시간 시편을 수조에 완전 침지 시킨 후 무게 변화를 측정하여 알 수 있음

- 평가방법 : SPS-KCIC0001-0703

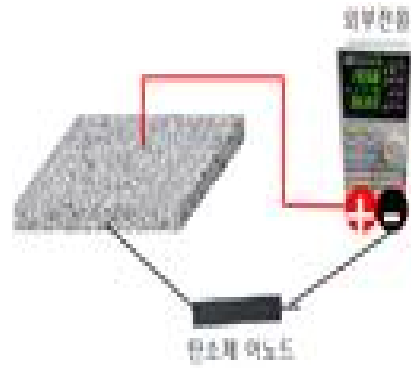
- 근거자료 : 주거공간 성능개선을 위한 상변화물질(PCM)의 건축물 적용 기술개발 기획 최종보고서

## 2) [중점과제2] 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발

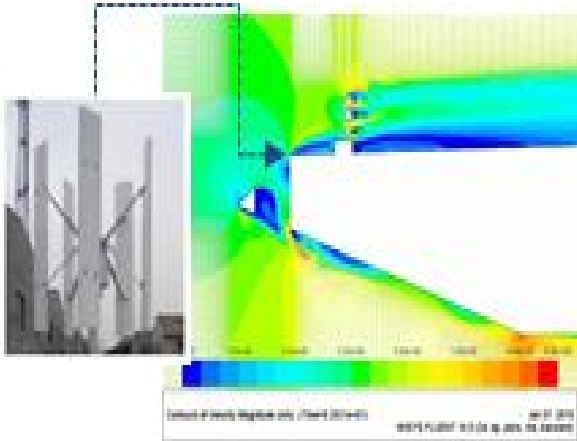
- (개요) 해상교량의 교각구조물 내구성능 향상을 위한 전기방식기술의 표준화 시스템 개발 및 교각구조물 보강 기술개발



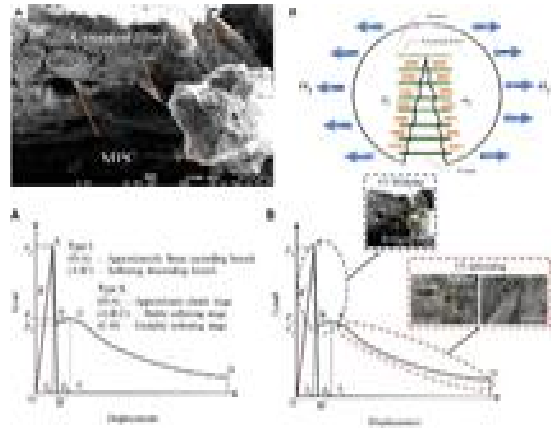
<전기방식 표준화>



<전기방식 유지관리 기술>



<보강 예측모델시스템 기술>



<보강재료 및 보강구조물 기술>

### ■ 세부과제

구분	구성기술
(세부과제 2-1) 그린 해상교량용 교각구조물 통합 전기방식시스템 기술개발	① 그린에너지 연계 전기방식 표준화 기술개발 - 해상교량의 부재별 부식상태 조사를 통한 최적 방식 범위 및 공법 선정 검토 - 그린에너지 연계 통합 전기방식 시스템 설계 및 시공 기준 개발 - 전기방식시스템 성능유지를 위한 유지관리 기술 개발
	② 전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발 - 탄소 소재 활용 고내구성/장수명 애노드 개발 - 철근 부식 데이터 세트 구축 - 데이터 필터링 및 철근 부식 상태 평가 통계 모델 - 데이터 노이즈 제거 및 모니터링 시스템/철근 부식상태 평가

구분	구성기술
(세부과제 2) 그린 해상교량용 교각구조물의 구조안정성 기술개발	① 그린 해상교량 보강 (발전 시스템)시 구조적 안정성 예측 모델/검증 시스템 기술개발 - 소형풍력발전 효율 및 해상교량 내풍 안정성향상 보강 기술(페어링 등) 개발 - 해상교량 형식별 유동특성 분석 및 소형 풍력발전기 최적 설계(안) 도출 - 소형풍력발전기 연결부의 구조 데이터 계측 및 최적설계방법안정성 평가 및 지침안 제시
	② 내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강구조물 기술개발 - 그린해상교량의 급속 보수보강용 MPC 복합체 생산 및 배합기술개발 - 교량의 손상유형별 급속 보수보강용 MPC 복합체 시공기술 개발 - 급속 보수보강용 MPC 복합체 시공 및 품질관리 기준 개발

## 가) (2-1) 그린 해상교량용 교각구조물 통합 전기방식시스템 개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 해상 교량의 내구수명 확보를 위해 전기방식 공법의 성능평가 기반 방식시스템 설계·시공 및 유지관리 기술 및 철근부식방지 기술

구분	구성기술	기술개발내용
① 그린에너지 연계 전기방식 재료 품질 표준화 기술개발	강재부식 및 전기방식 성능평가 기술	○ 강재 또는 콘크리트 중 철근부식에 대한 조사보고서 및 평가기법 체계화 ○ 해상교량에 적용된 기 적용 전기방식 공법별 방식성능 평가(추적조사 또는 니터링)에 근거한 성능유지를 위한 개선사항 도출 및 성능평가 기법 체계화
	해상 그린에너지 연계교량의 전기방식시스템 설계·시공 기술	○ 강재부식 및 방식성능 평가 기반 부재별 최적 전기방식시스템 제안 ○ 전기방식 시스템의 설계·시공 가이드 또는 설계·시공 지침(안) 작성
	건전도 평가 및 유지관리 기술	○ 전기방식 시스템의 성능유지를 위한 건전도 평가 기준 및 유지관리 지침 개발
② 전기방식 유지관리(애 노드교체, 철근부식도) 기술개발	탄소 소재 활용 고내구성/장수명 애노드 개발	○ <b>탄소소재 합성 애노드 개발</b> - 기존의 연구와 현장에서는 Ti 혹은 Al 혹은 Zn이나 이들의 합성금속을 활용한 금속성 희생양극을 위한 애노드로 적용하였음 - 위의 금속재료들은 부식성이 적고 충분히 애노드로서 훌륭한 성능을 지니고 있으나, 적용에 그 수명에 대한 한계가 있음 - 또한, 주로 매립형으로 사용하기 때문에 교체 및 유지보수에 큰 비용 및 인력이 들고 그 난이도가 상당히 높음

구성기술	기술개발내용
	<p>- 이 연구개발에서 목표하고자 하는 애노드는 <b>탄소소재를 활용한 합성 애노드</b>이며, 희생양극법을 활용하지 않는, 오로지 전기적인 방식만을 활용하여 철근부식을 억제하고자 하기 때문에 <b>애노드를 매립하지 않을 수 있으며, 반영구적이고 필요시 교체가 쉽다</b>는 장점이 있음</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="590 436 1021 593"> </div> <div data-bbox="1037 436 1404 571" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>사용수명 도달 시 표층 몰탈을 부수고 교체 후 재설치 및 몰탈 요설</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유지보수비용이 큼</li> <li>- 시스템이 복잡함 (애노드, 레퍼런스 전기극단자, 철근과의 연결이 필요)</li> <li>- 전원이 차단될 경우 그 사이 부식이 가속화 되는 경향이 있음</li> </ul> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="590 638 1021 828"> </div> <div data-bbox="1037 638 1404 795" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>애노드가 외부에 있으므로 교체비용이 크지 않음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유지보수비용 감소</li> <li>- 단순 직렬시스템으로 구조가 간단</li> <li>- 전원 차단 후 상대적 양극화 현상이 일어나는 기존 방식과는 달리, 부식 가속화가 크지 않음</li> </ul> </div> </div>
<p>철근 부식 데이터 세트 구축</p>	<p>o <b>철근 부식 상태 평가를 위한 전류 센싱 데이터 세트</b></p> <p>- 현재까지 철근부식의 상태평가는 하프셀, 분극저항법 등의 방법에 의하여 측정하였음.</p> <p>- 여기서 얻어진 데이터는 부식지도를 그려서 활용하는 방식을 택해왔으나, 이는 구조물의 위치에 따라 적용이 불가능할 수 있음</p> <p>- 따라서 실시간 모니터링을 위하여 설치한 전류/전압 센싱을 통하여 <b>실시간으로</b> 데이터를 로깅하고 시계열 데이터 세트를 구축</p>
<p>데이터 필터링 및 철근 부식 상태 평가 통계 모델</p>	<p>o <b>데이터 필터링</b></p> <p>- 시계열 데이터에서 가장 필요한 부분은 필터링으로, 통계적 필터를 적용하여 시계열 데이터 세트를 구축하는데 적용하고자 함.</p> <p>- 여기서 적용되는 필터는 기존에 존재하는 통계필터로 충분하기에, 데이터 세트를 구축하는데 보조적인 역할의 기술</p>
<p>철근 부식상태 평가 기술개발</p>	<p>o <b>철근 부식 상태 평가 통계모델</b></p> <p>- 시계열 데이터이기 때문에 시계열 데이터를 처리하는데 알맞은 확률밀도함수를 채택하고 각 변수를 한번에 고려하기 위하여 <b>조인트 PDF</b>를 구축</p> <p>- 컨볼루션하여 통합 통계모델을 구축</p> <p>- 본 연구는 데이터의 모니터링 시점이 동일할 것이기 때문에 컨볼루션에 매우 유리하고 그 접근이 매우 용이함</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> </div>

구성기술		기술개발내용
	데이터 노이즈 제거 기술개발	<p>0 데이터 노이즈 제거</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 철근부식에서 가장 영향을 많이 주는 인자가 진동과 온도로, 구조물에서 항상 발생하는 노이즈임</li> <li>- 진동에 의하여 센싱 시 그 진동에 의하여 데이터가 과도한 값으로 도출되기도, 온도 때문에 혼선이 생기기도 하므로 이 두 주요 인자는 확실히 노이즈 제거가 필요한 요소임</li> </ul>
	모니터링 시스템 / 철근부식 상태평가 기술개발	<p>0 모니터링 시스템 / 철근 부식 상태평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 통계적 모델과 노이즈 제거 방식은 머신러닝에 적용하기에 알맞은 기초 연구단계로, 모니터링에서는 실시간 판단이 중요</li> <li>- 따라서 최종 결과물은 인공지능경망을 통하여 구축 모델을 입히고 그 특성에 맞는 모니터링 시스템을 구축하며 실시간 철근 상태평가 시스템의 구축</li> </ul>

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-31> 세부과제(2-1)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 그린에너지 연계 전기방식 재료 품질 표준화 기술개발	강재부식 및 전기방식 성능평가 기술	피방식 대상별 부식 및 전기방식 성능평가 기술	국내 기준 미흡 (산발적)	해상교량 강재 부식 및 방식성능평가 기법의 체계화 1
	그린에너지 연계 전기방식시스템 설계·시공 기술	성능평가 기반 전기방식시스템 설계·시공 기술	기 적용 전기방식 공법의 설계·시공 기술 미흡	그린에너지 연계 해상 교량의 부재별 전기방식 설계·시공 가이드 또는 지침 개발 2
	전기방식시스템 건전도 평가 및 유지관리 기술	전기방식 시스템 성능유지를 위한 건전도 평가 및 유지관리 기술	국내 교량의 부재별 기준 미흡(강관파일만 有) 건전도 평가 기준 無	전기방식시스템 성능기반 건전도 평가 및 유지관리 지침 개발 2

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙		
			1단계 1	2단계 2	
② 전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발	탄소 소재 활용 고내구성/장수명 애노드 개발	탄소소재 합성 애노드 개발	희생양극법에 의한 애노드 수명 : 약 35년	반영구 2	
	철근 부식 데이터 세트 구축	철근 부식 상태 평가를 위한 전류 센싱 데이터 세트	해당 기술과 관련된 데이터 세트는 없음 철근 부식 평가는 하프셀, 분극저항법 등에 의존3	망실율 2% 미만 1	
	데이터 필터링 및 철근 부식 상태 평가 통계 모델	데이터 필터링	해당 기술과 관련된 필터링 기술은 전무하며, 적용 가능성이 높은 부분은 클러스터링을 활용한 필터링	클러스터링 매치율 95% 이상 1	
	철근 부식상태 평가 기술개발	철근 부식 상태 평가 통계모델	염침투의 통계적접근을 활용한 간접적 평가모델에 의존 (예측 정확도: 85%)	직접적인 데이터 활용을 통한 철근상태평가 예측률 95% 이상 2	
	데이터 노이즈 제거 기술개발	데이터 노이즈 제거	기존 온도에 관한 노이즈 제거에 관한 연구가 진행된 바 있으나, 그 제거율 및 정확도는 나타나있지 않음	온도, 습도, 진동 등의 필수 노이즈 제거율 95% 이상 2	
	모니터링 시스템 / 철근부식 상태평가 기술개발	모니터링 시스템 / 철근부식 상태평가	철근부식을 위한 미니센서를 적용하여 철근부식 평가 및 모니터링을 진행한 연구가 존재함 (측정 정확도: 85%)	상태평가 정확도 95% 이상 2	

## 나) (2-2) 그린 해상교량용 교각구조물의 구조 안정성 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 모니터링 센서와 일체화된 비부식성 보강재를 구조부재 또는 비구조부재에 적용하여 보강재 역할을 수행함과 동시에 교량구조물의 거동을 실시간으로 측정하고 구조안전성을 평가하는 기술

구성기술		기술개발내용
① 그린 해상교량 보강 (발전)	장대교량 유동특성	o 국내 해안지역 풍환경 자료 조사

구성기술		기술개발내용
시스템)시 구조적 안정성 예측 모델/검증 시스템 기술개발	과약	<ul style="list-style-type: none"> <li>장대교량 형식별 단면 제원조사 및 대표모델 설정</li> <li>장대교량 단면형식별 공기역학적 유동특성 과약(CFD 해석)</li> </ul>
	차폐율 적용에 따른 내풍 안전성 정량화	<ul style="list-style-type: none"> <li>풍동실험을 통한 유동특성 검증 및 소형풍력발전기 최적 위치 정립</li> <li>차폐율 적용 페어링의 유동특성 과약(CFD 해석)</li> <li>차폐율 적용 페어링 적용에 따른 내풍안정성(항력계수 및 플러터) 향상 정량화</li> </ul>
	최적 소형풍력위치 정립	<ul style="list-style-type: none"> <li>차폐율 적용 페어링의 유동특성, 내풍안정성 평가(풍동실험)</li> <li>차폐율 적용 페어링의 최적 소형풍력발전기 위치 정립</li> <li>국내 해안교량 소형풍력발전기 연결부 안전성 평가</li> </ul>
	소형풍력 연결부 안전성 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 해안교량 소형풍력발전기 연결부 요소의 수직, 수평축 계측데이터 분석</li> <li>국내 해안교량 소형풍력발전기 연결부의 ULS/SLS 상태 정략적 안전성 평가</li> </ul>
	소형풍력 연결부 최적설계	<ul style="list-style-type: none"> <li>사례연구를 통한 소형풍력발전기 연결부 최적설계</li> <li>소형풍력발전기 최적설계 지침안 제시</li> </ul>
	소형풍력 해상 장대교량 가이드라인 제시 및 Test bed 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>소형풍력발전기 해상 장대교량 적용을 위한 가이드라인 제시</li> <li>가이드라인에 따른 Testbed 설계</li> </ul>
② 내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강기술 개발	그린 해상교량용 센서일체형 비부식성 보강재 형성기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>고정밀 센서와 비부식성 보강재의 일체화 기술 및 현장적용 기술개발</li> <li>센서일체형 보강재의 구조부재 및 비구조부재 적용 및 보강기술 개발</li> </ul>
	실시간 계측 정확도 향상 및 모니터링 시스템 구축기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>작용하중 및 위치별 센서일체형 비부식성 보강재의 측정 정밀도 향상기술개발</li> <li>비부식성 보강재 계측결과의 수집, 전송 및 저장을 위한 통합 시스템 개발</li> </ul>
	실시간 계측결과의 빅데이터 분석 구조안전성 평가기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>비부식성 보강재의 실시간 대량 계측결과를 활용한 빅데이터 분석기술 개발</li> <li>빅데이터 분석결과의 실무적용을 위한 구조물 안전도 관리기준 정립</li> </ul>

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

- 목표 설정 근거

<표 III-32> 세부과제(2-2)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 그린 해상교량 보강 (발전 시스템)시 구조적 안정성 예측 모델/검증 시스템 기술개발	차폐율 적용에 따른 내풍 안전성 정량화	내풍성능(항력계수 및 플러터 속도)	-	10% 향상 1
	소형풍력 연결부 최적설계	최적 소형풍력 위치 및 연결부 설계	-	200 kW급 소형풍력발전기 고정 기준 1
② 내구성 확보를 위한 그린 해상교량용 보강재료 및 보강기술 개발	그린 해상교량용 센서일체형 비부식성 보강재 형성기술	센서일체형 보강재 개발 및 보강재의 적용부재의 거동 개선	(일반 보강재 기준) 100%	110% 1
	실시간 정확도 향상을 위한 모니터링 시스템 구축기술	작용응력별 측정 정밀도 향상기술 및 계측결과의 수집, 전송 및 저장을 위한 통합 시스템 개발	(FRP 광섬유 센서 기준) 80%	85% 2
	실시간 계측결과의 빅데이터 분석 구조안전성 평가기술	실시간 대량 계측결과를 이용한 빅데이터 구조안전성 분석기술 및 실무적용을 위한 구조물 안전도 관리기준	현재 관련기준 없음	표준시스템 및 안전도 관리기준 1건 2

### 다) [중점과제2] 그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발 주요 구성기술의 성능지표 근거

주요 구성기술	주요 성능지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙
전기방식 유지관리(애노드교체, 철근부식도 등) 기술개발	탄소소재 합성 애노드 수명	약 35년	반영구

- 합성 애노드 수명 : 
$$T = \frac{W \cdot f_u \cdot e}{I_a \cdot C_r} = \frac{88.27kg \cdot 0.85 \cdot 0.9}{0.1695A \cdot 10.7 \frac{kg}{A \cdot year}} = 37.2년$$

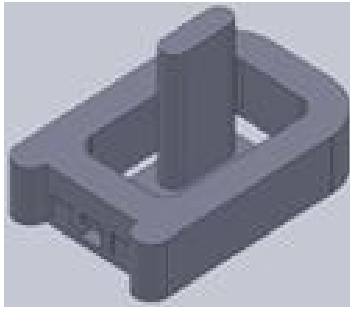
여기서, W : Weight of zinc mesh, e : Zinc mesh efficiency, fu : Utilization factor

I<sub>a</sub> : Required CP current output, Cr : Consumption rate of zinc

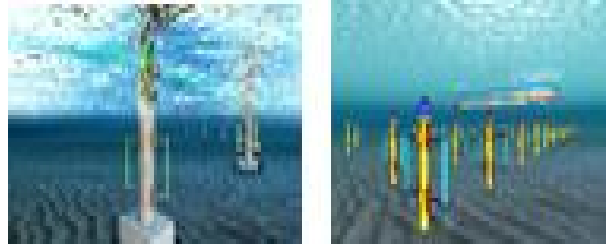
- 근거자료 : 하지명 외 2명. “희생양극식 음극방식이 적용된 해안 교량 구조물의 방식거동, 한국부식방지학회, Vol. 11(6), pp.242-246

### 3) [중점과제3] 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발

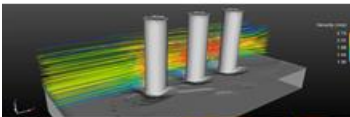
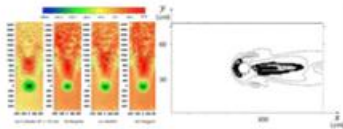
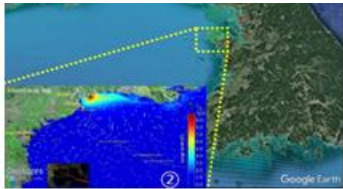
- (개요) 해상교량의 기초구조물에서 생산 가능한 그린에너지 확보 기술을 개발 및 실용화를 통해 해상교량 시공 및 유지관리에 필요한 전력으로 활용하고, 해상교량의 안전성 확보를 위한 세굴방지기술 개발



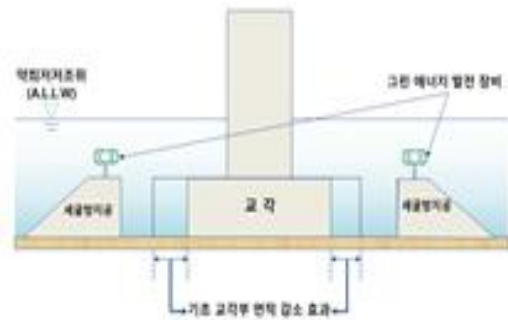
<조력발전 기술>



<조류발전 기술>



<수치해석 기술>



<세굴방지구조물 기술>

#### ■ 세부과제

구분	구성기술
(세부과제 3-1) 그린 해상교량 기초구조물 발전시스템 기술개발	① 신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 소규모 조력발전 기술개발 및 실증 - 시공 시 사용한 물막이댐을 활용한 소규모 조력발전 구조물 기술개발 - 소규모 조력발전용 양방향 복류식 수차 개발 및 적용을 통한 발전량 증대
	② 세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증 - 세굴방지형 그린에너지 생산모듈 설계 및 해석 기술 개발 - 세굴방지형 그린에너지 생산모듈의 발전 성능 및 세굴방지 성능 모형 실험 기술 개발 - 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 실험역 테스트베드 선정 및 설계/제작/운용/성능평가

구분	구성기술
(세부과제 3-2) 그린 해상교량 세굴방지시스템 기술개발	① 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지 선정을 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발 - 해역환경, 해상교량 입지조건 수집·분석 및 hotspot 분석 기술개발 - 수평-연직 방향을 동시에 고려하는 3차원 수치모형 개발 - 경계조건의 불확실성 해소를 위한 광역-세역 연계모의(네스팅) 기술개발
	② 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 연계 세굴 방지구조물 기술개발 - 현장 모니터링, 수리모형 및 수치모형 실험을 활용한 세굴 매뉴얼 수립 - 세굴 매뉴얼 기반으로 한 세굴 방지공 프로토타입 모형 제작 - 그린에너지 생산 장비의 설치가 가능한 세굴방지공 설계(안) 수립

## 가) (3-1) 그린 해상교량 기초구조물 발전시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 신규 해상교량 기초구조물 세굴을 방지하고 다목적 소규모 그린에너지(조력 등)를 생산 하는 기술

구분	구성기술	기술개발내용
① 신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 그린에너지 생산 기술개발	소규모 그린(조력)에너지 생산시스템 최적설계 기술 및 성능평가 기술	○ 소규모 그린(조력)에너지 생산시스템 최적설계 ○ 수치시뮬레이션 및 수리모형실험에 의한 성능평가 ○ 발전량 예측 및 최적운영 기술
	소규모 그린(조력)에너지 생산시스템 기본설계 및 최적운영 기술	○ 시스템 적용 후보해역 선정 ○ 기본설계 및 연간발전량, 설치비용, 운영비용 분석 ○ 경제적 타당성 분석
② 세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증	사업지 설계 기술	○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 사업 적용 후보지 도출 및 설계 데이터 확보 ○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 기본설계
	단위모듈 설계 및 해석 기술	○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 모듈 설계 (설계 스펙터럴 및 최적화) ○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 모듈 발전 성능 해석 ○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 모듈 세굴방지 성능 해석
	모형시험 기술	○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 모듈 발전 성능 해석 모형시험 ○ 세굴방지형 그린에너지 생산시스템 모듈 세굴방지 성능 모형시험
	실해역 시험 기술	○ 실증지 및 실증 테스트베드 선정 ○ 실증장치 설계, 제작, 운용, 성능평가

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-33> 세부과제(3-1)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 그린에너지 생산 기술개발	양방향 복류식 수차 설계기술	단방향 단류식 수차 (효율 80%)	양방향 복류식 수차 (효율 75% 이상) 1	
	구조물 설계기술	만입구를 막는 방조제 또는 하천보 구조물	라군(Lagoon)형 구조물 설계 1	
	발전량 예측 및 최적운영 기술	단류식 발전시스템에 대한 기술	복류식 발전시스템에 대한 발전량 예측 및 최적운영 S/W 1	
	후보해역 선정	-	후보해역 선정 및 환경조건 분석/설계하중 산정 2	
	기본설계	-	기본설계 및 경제성 분석 2	
② 세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증	1차변환 최대효율	45%		54% 1
	세굴 깊이 감소비	-		30% 1
	실증 모듈 정격 용량	1.7 kW		10 kW 2
	실증 데이터취득 시간	-		14일(손실율 20%미만) 2

## 나) (3-2) 그린 해상교량 세굴방지시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 테스트베드의 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지를 수치해석으로 예측하고, 테스트베드의 해상교량 기초구조물 인근의 세굴심 예측과 세굴 방지를 위한 디지털 시뮬레이션을 구축하며, 사용자 편의 시스템을 제공하는 기술
  - 해상교량 교각 주변의 세굴 방지를 위한 세굴관리 매뉴얼 수립, 세굴 조사 및 진단 방법의 고도화, 세굴방지공법 개발을 바탕으로 세굴 에너지를 그린에너지로 전환하여 교량 안전성 제고 및 경제적이면서 장수명 지향의 유지관리에

## 활용할 수 있는 기술개발

구성기술		기술개발내용
① 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지 선정에 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발	테스트베드의 그린에너지 최적지 수치해석 및 보검정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지형, 수심 등의 입지조건과 해양환경 조건 분석</li> <li>○ 수치해석의 보정 및 검정</li> <li>○ 해상교량 인근의 해수유동 패턴 분석과 에너지 분포</li> <li>○ 해상교량에 사용될 그린에너지와 해양환경에 의한 에너지 비교</li> </ul>
	테스트베드의 지형변화, 세굴 예측기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린에너지 최적지 수치해석과 연계된 세굴예측 기술</li> <li>○ 최대세굴심, 세굴심의 시간변화를 고려한 세굴예측 기술</li> <li>○ 해상교량 일대의 지형변화 예측 기술</li> </ul>
	사용자편의시스템 구축기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일반/전문가사용자의 목적에 맞게 입·출력구조의 편의성, 신속성을 고려한 시스템 구축</li> <li>○ 시각, 분석, 입력 등 다양한 제어도구의 탑재 기술</li> </ul>
② 해상교량 세굴 대응기법 마련 및 세굴 방지구조물 기술개발	교각 기초부 세굴 현상 및 교각 형태에 대한 수리 및 수치모형 실험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존의 세굴 모니터링은 직접 측정을 통한 세굴심 측정 방식을 사용</li> <li>○ 국토교통부에서 다년간 연구한 소나를 활용 방식의 세굴 측정 방법 활용</li> <li>○ 기존의 해상도(일반적으로 400 kHz) 보다 더 정밀한 1 MHz 이상의 해상도를 가지는 세굴 심 측정 방법(소나 활용)을 적용하여 세굴 심도 및 세굴 양상의 모니터링 기술 고도화</li> </ul>
	교량 세굴 방지를 위한 매뉴얼 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하천 중심의 기존 세굴 대책안을 해상 교량에 적합한 1차원, 2차원, 3차원의 세굴 대책안으로 확장하여 세굴관리 매뉴얼 수립</li> <li>○ 특히 국내 해상 교량이 위치한 해안과 하구역 인근은 2차원 흐름에 의한 영향이 지배적이므로 이를 중점적으로 분석</li> <li>○ 수리 및 수치모형 실험을 활용하여 다양한 형태의 교각에서 발생하는 세굴 현상 분석</li> <li>○ 기존 하천 중심의 매뉴얼은 조류와 파랑의 영향을 고려하지 못하고 있으므로 이에 대한 세굴 대책(안)을 수립하여 매뉴얼화</li> </ul>
	교량 세굴 현상 방지를 위한 세굴 방지기술(국소 세굴 방지공) 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기존 해상 교량의 세굴 방지 대책은 교각 기초부를 확대하여 세굴 발생 시 교각에 영향을 감소시키는 방안이 지배적임</li> <li>○ 이에 대한 수리 및 수치모형 실험으로 세굴 방지공에 대한 검토 수행</li> <li>○ 본 과제에서 해상 교량에 적합한 세굴 방지공은 교각 기초부의 면적을 감소시키고 인근 흐름을 제어하여 기초부에 집중되는 유속의 방향을 조절하는 방향으로 개발</li> </ul>
교량 세굴 에너지를 그린 에너지로 전환하는 기술과 연계 방안 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린 에너지 해상 교량은 유지관리를 위한 에너지가 요구되므로 세굴을 발생시키는 흐름의 교각 집중을 우회시켜 에너지 발전 시설 방향으로 흐름을 집중시키는 기술이 요구됨</li> <li>○ 세굴을 발생시키는 교각 전면부 와류를 차단하고 이를 에너지 발전 시설로 전환하는 세굴 방지공 개발</li> </ul>	

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-34> 세부과제(3-2)의 개발 목표

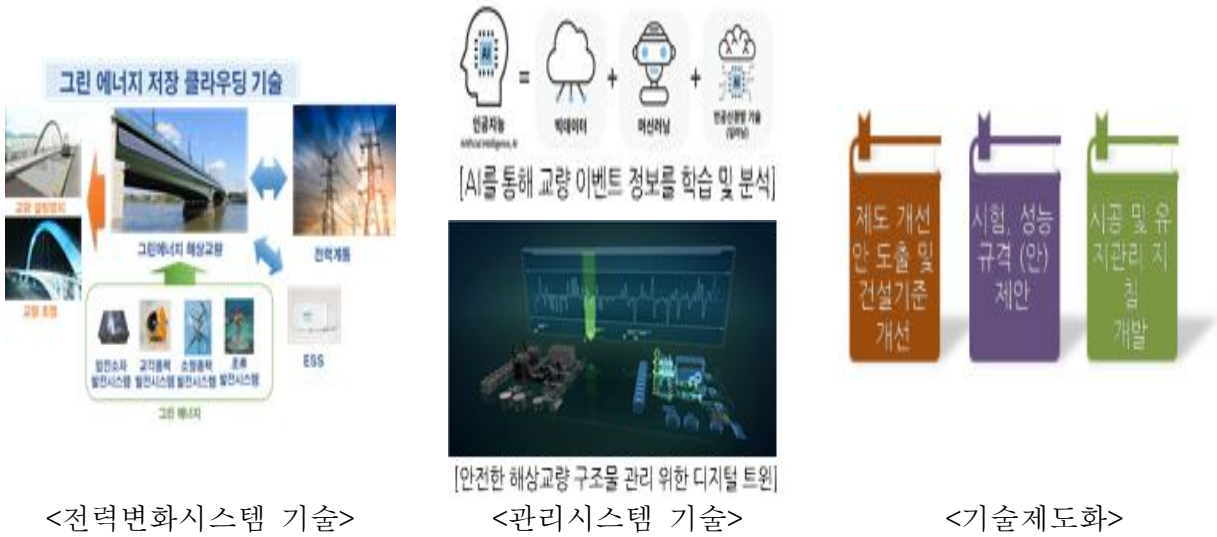
구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 최적지 선정에 위한 공학적 접근법 및 수치해석 기술개발	테스트베드의 그린에너지 최적지 수치해석 및 보검정	조위, 유속, 수온, 염분	-	소프트웨어 1건, 모델 재현율 70% 이상 1
	테스트베드의 지형변화, 세굴 예측기술	지형변화, 최대세굴심	-	소프트웨어 1건, 모델재현율 60% 이상 12
	사용자편의시스템 구축기술	편의시스템 입출력 구조, Visualization system	-	소프트웨어 1건 2
② 해상교량 기초구조물 인근의 그린에너지 연계세굴 방지구조물 기술개발	교각 기초부 세굴 현상 및 교각 형태에 대한 수리 및 수치모형 실험	세굴모니터링 기술 정밀도	전체대비 60% (다이버와 싱글 소나 사용)	80% 건 (듀얼 소나를 활용) 12
	교량 세굴 방지를 위한 매뉴얼 개발	세굴 매뉴얼 개발	(하천설계기준 차용 중) (50%)	(해상 교량 교각용 세굴 설계기준 수립) (80%) 2
	교량 세굴 현상 방지를 위한 세굴 방지기술(국소 세굴 방지공) 개발	세굴 방지공	해상교각 세굴 방지공 전무 (0%)	해상 교각 세굴 방지공 프로토타입 개발 (50%) 1
	교량 세굴 에너지를 그린 에너지로 전환하는 기술과 연계 방안 수립	세굴 에너지 전환 방법	전 세계적으로 시도된 바 없음(0%)	세굴 방지공으로 조류에너지 조절 기능 추가 (50%) 2

## 다) (중점과제3) 그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발 주요 구성기술의 성능지표 근거

주요 구성기술	주요 성능지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙
신규 해상교량 기초구조물에 적용되는 소규모 조력발전 기술개발 및 실증	조력발전 수차 효율	단방향 단류식 수차 (효율 80%)	양방향 복류식 수차 (단방향 대비 효율 150% 이상)
<p>- 수차설계인자 : 유량 1.0 m<sup>3</sup>/s, 출력 : 30 kW, 낙차 : 4.0 m, 회전수 300±50 rpm, Specific Speed : ≒ 900, Max Specific Speed : 1228, Runway Speed : 2.51</p> <p>- 근거자료 : 한국수자원공사 “유수소통을 위한 수문매입식 PMG 일체형 소수력 수차발전기 적용” 최종보고서(‘17.12)에 30 kW급 수문매입식 수차의 효율 80%를 목표로 하고 있으나, 본 과업에서 양방향 복류식 수차를 개발을 통해 단방향 대비 효율 약 2배 상승</p>			
세굴방지공 결합된 조류발전 기술개발 및 실증	조류발전 모듈 정격 용량	1.7 kW	10 kW
<p>1) 현재 최고기술 수준 1.7 kW 근거</p> <p>- 2012년 선박해양플랜트연구소 대형캐비테이션 터널 와유기 진동 발전 실험, 유속 2 m/s(250 mm/100 mm), 링크길이 1444 mm(실린더 대표길이의 5.8배)</p> <p>- 근거자료 : 홍섭외, 와유기진동(VIV) 이용 해양정정 신재생에너지 원천기술개발(2012)</p> <p>2) 개발 목표 스펙 10 kW 근거</p> <p>- 서해대교 또는 천사대교를 대상으로 실증할 경우, 근거자료를 바탕으로 모듈당 발전량을 산정하여 추정 가능</p> <p>- 해양환경 : 조류속 1 m/s</p> <p>- 실린더(블레이드) 및 기구 재원 : 2대 실린더, 600 mm, 길이 6.18 m, 반경 3.6 m, 통합효율 0.29</p> <p>- 발전량 : 10 kW</p>			

#### 4) [중점과제4] 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발

- (개요) 해상교량에서 생산한 그린에너지를 저장하고 사용처(시공, 유지관리, 조명, 자동차충전 등)에 분배하는 최적화 통합 기술개발 및 해상기후 적응형 원격 시계열 모니터링 기술을 이용한 빅데이터 네트워크 관리시스템 개발



<전력변화시스템 기술>

<관리시스템 기술>

<기술제도화>

#### 세부과제

구분	구성기술
(세부과제 4-1) 해상교량용 그린에너지 전력변환시스템 기술개발	① 그린에너지 저장 클라우드 기술개발 - 교량 내 그린 에너지 발전시스템과 연계된 시스템 구성안을 도출하고 시스템의 효율적 운용과 피크부하에 대응할 수 있는 적정 용량의 발전시스템 용량 산정기법과 시스템 운용 스케줄 관리 및 제어방안 도출
	② 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발 - 그린에너지의 시간적(야간조명, 전기방식), 계절적(결빙방지) 분배를 위한 최적화 기술개발
	③ 해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발 - 그린에너지 발전시스템 종류에 따른 전력변환시스템의 용량 설계 및 구조적인 특성분석을 통해 에너지 발전시스템 관련 전력변환시스템 플랫폼 개발
	④ 고효율 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발 - 시스템 설치와 관련한 공간적 제약사항 극복을 위한 고효율 전력변환시스템의 구성 전력변환 모듈 설계와 모듈 간 통신 및 제어 알고리즘 기술 개발
(세부과제 4-2) 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발	① 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발 - 해상교량에서 발생할 수 있는 재해요인에 대한 예방적 재난발생 위험평가를 통해 구조물 피해 최소화를 위한 조기 경보 시스템 개발 - 수중에 감추어진 해상교량의 교각 및 기초부를 조사할 수 있는 수중장비로부터 얻어진 데이터와 드론의 데이터를 결합하여 해상교량의 전체상태를 시계열적으로 비교분석

구분	구성기술
	② 그린 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발 - 그린에너지를 사용하는 경관조명디자인 및 관리시스템 기술개발
	③ 해상교량용 그린에너지 기술 제도화 방안 마련 - 그린 해상교량 개발기술의 도입·확대에 필요한 건설기준, 품질보증 관련 규격, 시공지침, 유지관리 지침 등에 대한 제안 및 개발

## 가) (4-1) 해상교량용 그린에너지 전력변환시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

- (정의) 해상교량용 그린에너지 발전시스템은 해상교량에서 얻을 수 있는 다양한 그린에너지를 활용하기 때문에 전력의 형태와 용량이 다양
  - 이러한 복합 발전시스템의 유지비용과 구축비용을 줄이기 위해 전력변환시스템을 단일 제품으로 구성하여 각각의 발전시스템 운영에 적합한 형태로 구성하고 제어하여 에너지 저장 및 소비의 효율성을 높일 수 있도록 중앙에서 통제하는 기술

구성기술	기술개발내용
① 그린에너지 저장 클라우드 기술개발	○ 그린에너지 저장 클라우드 기술
② 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발	○ 그린에너지 발전시스템 운영관리 기술
③ 해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발	○ 전력변환시스템 플랫폼 기술
④ 고출력 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발	○ 고출력 전력변환모듈 설계 기술

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-35> 세부과제(4-1)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 그린에너지 저장 클라우드 기술개발	그린에너지 저장 클라우드 기술	에너지 운영효율 80%	90%	1
② 전력 안정성 확보 및 분배 최적화 기술개발	그린에너지 발전시스템 운영관리 기술	현재 적용사례 없음	1건	2
③ 해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발	전력변환시스템 플랫폼 기술	전력변환 최대효율 92%	95%	1
④ 고효율 에너지 변환시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발	고출력 전력변환 모듈 설계 기술	출력비(공랭식) 2 kW/L	4 kW/L	2

## 나) (4-2) 그린 해상교량용 관리시스템 기술개발

### (1) 세부과제 구성 및 범위

#### ■ 세부과제 범위 및 구성

##### ○ 정의

#### ① 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발

- 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템을 구성하는 기술

#### ② 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발

- 해상교량 제작 기술력 분석 및 재생에너지 적용 가능 부분 및 적용 범위 조사, 새로운 솔루션 제안
- 미래형 그린 해상교량 컨셉 디자인 제안

#### ③ 해상교량용 그린에너지 기술 제도화 방안 마련

- 그린 해상교량 개발기술의 도입 및 확대에 필요한 제도 개선안을 도출하고, 개발기술의 품질보증에 필요한 시험 및 성능 규정에 관련한 규격(안) 발굴 및 시공·유지관리지침을 개발하는 기술

구성기술		기술개발내용
① 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발	해상교량 주변 그린에너지 수집 및 활용 기술	-교량 주변 그린 에너지 수집 방안 수립 -공학적 접근과 수치해석 결과를 이용한 그린에너지 효율의 정량적 산출 및 활용, 관리 기술 개발 -그린에너지와 항공 및 수중 통합 AI관리 시스템 연계 기술 개발
	AI 성능지표와 이벤트 식별 프로토타입과 학습 알고리즘 구현 기술	-정밀도(precision), 재현율(recall), 정확도 비율과 향상방안 연구 -교량 균열, 망상균열, 박리박락, 철근 노출 등에 대한 식별과 성능 개선을 위한 학습 알고리즘 개발 -머신러닝, 딥러닝 프레임워크 적용 및 개발
	교량 상단(항공) 및 하단(수중)에 대한 이벤트 감지 기술	-Vision, Sound, Vibration 등 이벤트 감지 시스템 개발과 동특성 분석을 통한 임계치 모니터링과 알람 기술 개발 -이벤트 데이터 수집 및 처리 알고리즘 개발, 과대오차 제거를 위한 검증 알고리즘 개발, 멀티패스 제거 알고리즘 개발, 오차요인 분석, 이벤트 정확도 및 정밀도, 민감도 향상 방안 개발 및 반영
	AI 기반 유지관리 기술	-Vision, Sound, Vibration 감지용 비파괴 검사 장비와 바닷물을 이용한 수소연료전지를 이용하는 장치 및 장비 데이터 확보 기술 개발 -구조물의 외부 결함 탐지를 위한 영상센서가 포함된 복합 장비를 이용하여 외관 손상탐지와 내부 결함 탐지를 위한 마그네틱 센서 등이 포함된 부식탐지 장치 인터페이스 기술 개발 (LiDAR, Ladar, Multi Sensor 등) -구조물 외부와 내부를 모니터링하고 이벤트를 관리하며 처리(대응)하는 다목적 로봇 인터페이스 기술
	해상교량 통합 관제 기술	-해상교량 유지 및 안전을 위한 예방적 통합 관제 모니터링 및 이벤트 관리 기술 개발
② 그린 해상교량용 미래 경관시스템(조명 및 디자인) 기술개발		-해상교량 디자인의 이미지화를 통한 미래형 교량 솔루션 제시
③ 해상교량의 그린에너지 연계기술에 대한 제도개선 방안마련	제도 및 건설기준 개선안 마련	o 그린 해상교량 개발기술의 도입·확대에 필요한 제도 개선(안) 도출 - 신재생 에너지 도입·확대 상 애로요인 분석 및 개선방안 도출 o 그린 해상교량 개발기술의 도입·확대에 필요한 건설기준 개정(안) 마련 - 그린 해상교량 관련 기술 적용에 필요한 건설기준 개정방안 도출
	시험·성능 규격(안) 및 시공·유지관리 지침 개발	o 그린 해상교량 품질보증 관련 규격(안) 개발 - 상부구조 및 하부구조 관련 시험 관련 규격(안) 도출 o 그린 해상교량 개발기술 확산을 위한 시공지침(안) 개발 - 상부구조 및 하부구조 관련 기술 시공지침(안) 개발 o 그린 해상교량 유지관리지침(안) 개발 - 그린 해상교량 개발기술의 최적 사용유도를 위한 유지관리지침(안) 개발

## (2) 구성기술 단계 및 목표

### ■ 성능목표 및 성능지표

#### ○ 목표 설정 근거

<표 III-36> 세부과제(4-2)의 개발 목표

구분	항목	현재 스펙	개발 목표 스펙	
			1단계 1	2단계 2
① 그린에너지 연계 항공 및 수중 통합 AI 관리시스템 기술개발	해상교량 주변 그린 에너지 수집 및 활용 기술	에너지 수집 및 활용 효율성	에너지 효율 전체대비 60%	85% 1
	AI 성능지표와 이벤트 식별과 학습알고리즘 구현 기술	프로토타입과 학습알고리즘 정밀도, 재현율, 정확도	정밀도 50% 재현율 50% 정확도 50%	정밀도 80% 1 재현율 80% 1 정확도 80% 1
	교량 상단(항공) 및 하단(수중)에 대한 이벤트 감지 기술	Vision, Sound, Vibration 등 이벤트 수집 및 감지 알고리즘 정밀도, 재현율, 정확도	정밀도 50% 재현율 50% 정확도 50%	정밀도 80% 1 재현율 80% 1 정확도 90% 1
	AI 기반 유지 관리 기술	이벤트 감지 및 동특성 분 석을 통한 임계치 모니터 링과 알림 정확도	정확도 50%	정확도 90% 1 2
	해상교량 통합 관제 기술	예방적 통합관제 시스템 개발	범용적인 관제 시스템	해상교량 특화된 통합관제 시스템 1식 2
② 해상교량용 미래 경관시스템 기술개발	그린에너지를 사용하는 미래형 해상교량 디자인	미래형 해상교량 상부 및 하부의 경관 디자인	-	미래형 해상교량 디자인 컨셉 도출 1
③ 해상교량의 그린에너지 연계기술에 대한 제도개선 방안마련	제도 및 건설기준 개선안 마련	해상교량에 그린에너지 기술 적용에 따른 제도상(건설기준 포함) 애로 분석 및 개선안 마련	국내 기준 無	제도 및 건설기준 개선안 도출 1
	시험·성능 규격 및 시공·유지관리 지침 개발	그린 해상교량 품질보증 관련 규격(안) 및 지침 개발	국내 규격 및 지침 無	규격(안) 및 지침 발간 2

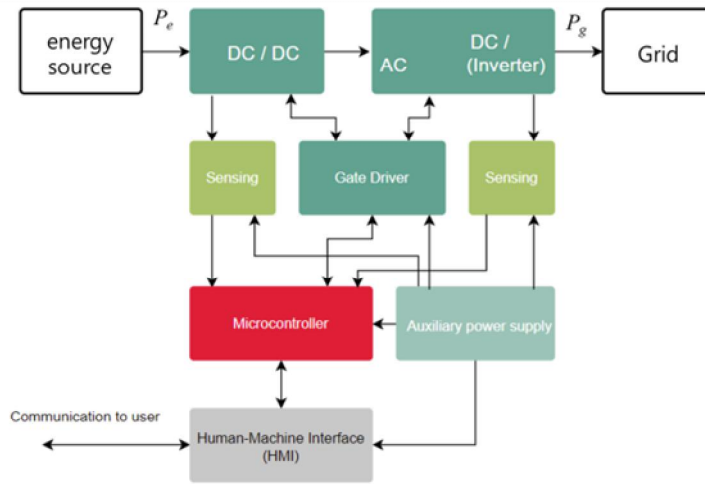
## 다) (중점과제4) 그린 해상교량 통합솔루션 기술개발 주요 구성기술의 성능지표 근거

주요 구성기술	주요 성능지표	현재 최고 기술수준	개발 목표 스펙
해상교량용 전력변환시스템 플랫폼 기술개발	전력변환시스템 플랫폼 최대효율	92%	95% 이상

- 에너지 클라우드용 전력변환시스템 플랫폼은 DC-DC 컨버터와 DC-AC 컨버터로 구성되어 발전된 에너지를 계통으로 연결하는 구성으로 최대전력변환효율은 전력변환시스템의 입력(에너지원)에서 출력단 계통으로 발전되는 전력을 측정하여 평가하도록 함.

$$\eta_m = \frac{P_g}{P_e} \times 100$$

여기서,  $\eta_m$  : 전력변환 효율,  $P_g$  : 계통 발전전력(kW),  $P_e$  : 에너지원 전기적 입력(kW)



고출력 에너지 변환 시스템의 모듈 설계 및 제어기술 개발	고출력 전력변환 모듈 출력밀도 (공랭식)	2.0 kW/L	4.0 kW/L
---------------------------------	------------------------	----------	----------

- 측정된 전력변환시스템 출력값과 전력변환시스템의 외형을 측정하여 산출한 부피(L) 값을 나누어 출력밀도를 산출함

$$\text{출력밀도}[kW/L] = \frac{\text{전력변환시스템의 출력(최대)}[kW]}{\text{발전기의 부피}[L]}$$

# 4. 과제간 연계성



[그림 III-17] 중점분야 간 연계성

## 5. 성과 목표 및 지표

<표 III-37> 성과 목표 및 지표

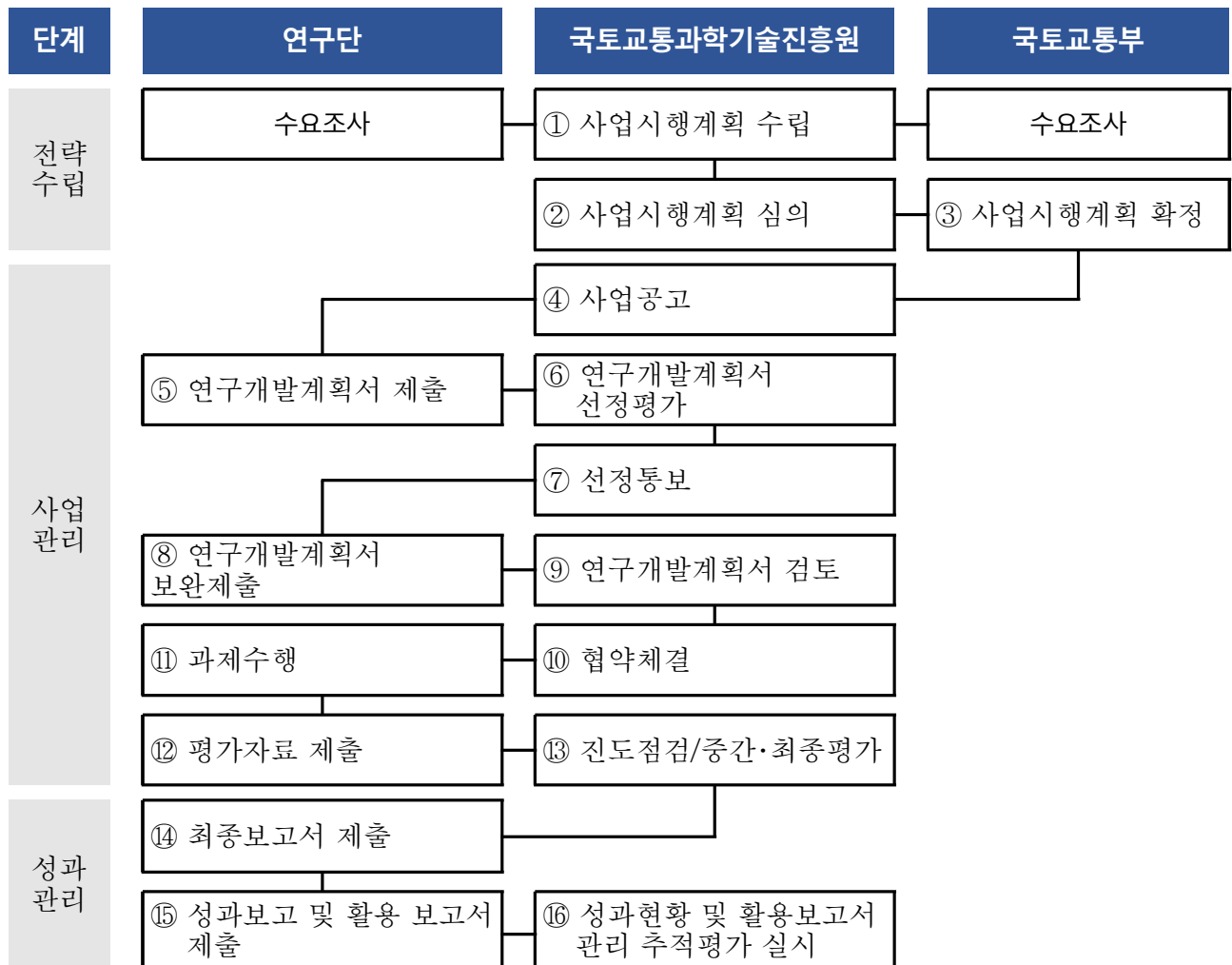
성과지표 1		해상교량 품질확보율(%)													
개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지를 활용한 기능성 해상교량의 기존 해상교량 대비 품질확보율(%)</li> </ul>														
측정방법 및 산출식	$\frac{\text{기술개발 적용 후 해상교량 품질} - \text{기존 해상교량 품질}}{\text{기존 해상교량 품질}} \times 100$														
목표치	'23	'24	'25	'26	'27										
	-	-	10	20	30										
성과지표 2		에너지생산율(%)													
개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지 기술 적용 해상교량의 기존 해상교량 대비 그린에너지 생산량 증가(%)</li> </ul>														
측정방법 및 산출식	$\frac{\text{기술개발 적용 후 해상교량 그린에너지 생산액} - \text{기존 해상교량 그린에너지 생산액}}{\text{기존 해상교량 그린에너지 생산액}} \times 100$														
목표치	'23	'24	'25	'26	'27										
	-	-	20	50	80										
성과지표 3		탄소배출량 저감률(%)													
개념	<ul style="list-style-type: none"> <li>그린에너지 기술 적용 해상교량의 기존 해상교량 대비 탄소배출량 절감률(%)</li> </ul>														
측정방법 및 산출식	$\frac{\text{기존 해상교량 탄소배출량} - \text{기술개발 적용 후 해상교량 탄소배출량}}{\text{기존 해상교량 탄소배출량}} \times 100$ <p>(가정) 현재 해상교량에서 사용되는 전력은 화력발전을 통해 생산한다고 가정하여 동 사업 개발기술을 적용할 시, 100% 이상 필요전력을 재생에너지로 대체 가능하며 해상교량 소요 전력생산에 따른 온실가스 배출을 100% 절감할 수 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>단, 실증대상 해상교량의 현장 여건, 기술개발 단계와 완성도를 고려하여 동 사업 기간내 50%의 탄소배출량 절감을 가정</li> <li>(참고) 발전원별 온실가스 배출량(kg/MWh)</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>발전원</th> <th>온실가스</th> <th>LNG복합</th> <th>무연탄</th> <th>유연탄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>온실가스</td> <td>362.5</td> <td>362.5</td> <td>823</td> <td>823</td> </tr> </tbody> </table> <p>출처 : 발전용 에너지 제세부담금 체계 합리적 조정방안 연구(한국조세재정연구원, 2018.05.)</p>					발전원	온실가스	LNG복합	무연탄	유연탄	온실가스	362.5	362.5	823	823
발전원	온실가스	LNG복합	무연탄	유연탄											
온실가스	362.5	362.5	823	823											
목표치	'23	'24	'25	'26	'27										
	-	-	10	30	50										

## 6. 사업추진체계 및 운영계획

### 1) 사업 추진체계 및 추진 방식

- 동 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 ‘전략수립→사업관리→성과관리’ 3단계의 사업 운영체계를 구축·운영
  - (전략수립) 선행과제와의 중복성 및 차별성 검토를 강화하고 유사과제와의 구체적인 연계·활용방안을 계획함으로써 과제 추진의 목적 지향성 확보
  - (사업관리) 성과창출 및 활용을 장려하기 위해 주기적인 성과조사·관리 및 평가와 연동한 과제 진도수행 점검으로 연구성과의 효과성 강화
  - (성과관리) 연구수행 과정을 평가결과에 반영하고, 단계(연차) 및 최종평가위원회를 구성·운영하여 평가의 내실화와 평가결과 환류체계 등 평가의 실효성 강화

<표 III-38> 사업 운영체계



## 2) 추진 절차 및 일정(안) 수립

■ 동 사업은 총 5년('23~'27년) 사업으로 추진할 계획이며, '22년 예산요구 및 심의·확정을 거쳐 '23년 사업 착수를 목표로 함

○ 주관부처 '23년 예산 및 중기재정 반영

- 예산이 확정·반영되면 이를 고려한 상세(과제) 기획을 추진하고, '23년 초에 연구단장 공모와 연구단 조직·인력을 구성하여 사업 운영·관리를 조기(~'23.3)에 완료

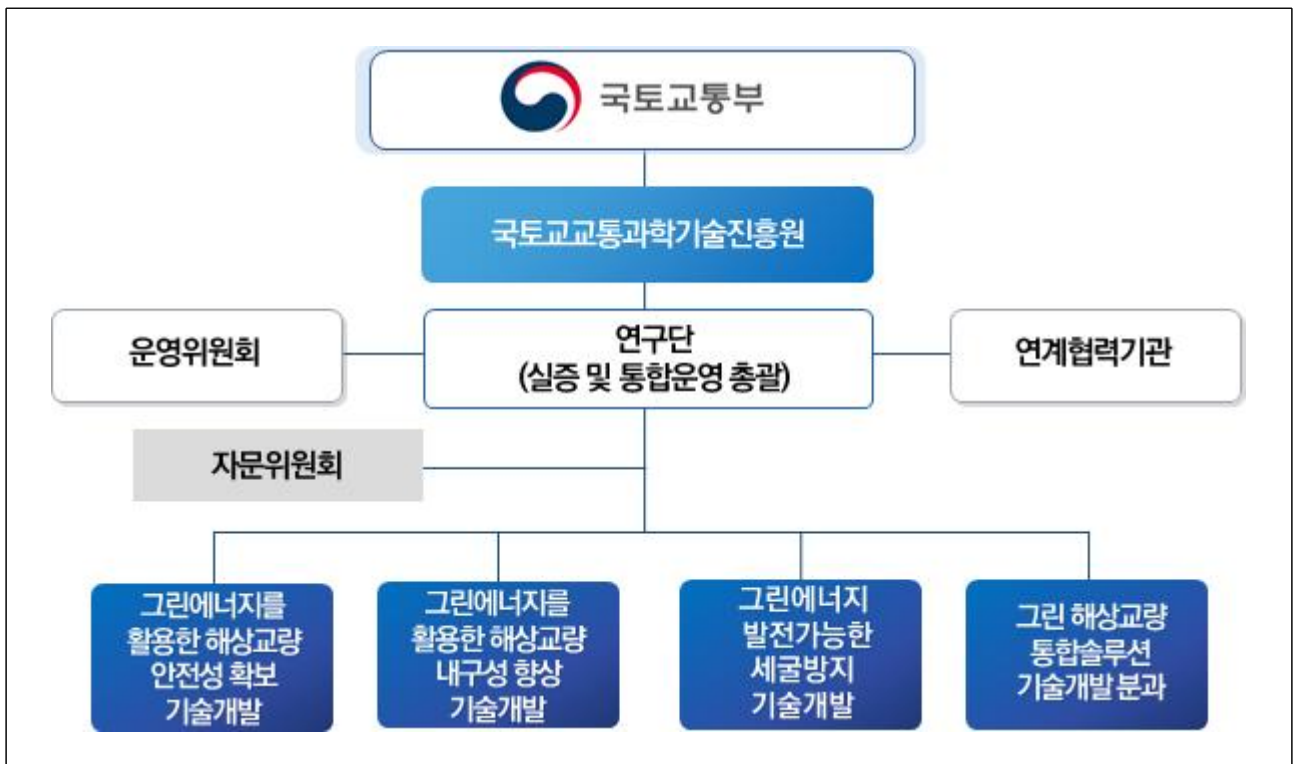
<표 III-39> 사업추진단계별 절차에 따른 일정(안)

단계	절차	일정	주요내용
상세기획 및 예산 확보	예산 요구	'22.04~	• 상세 중기예산 산정
	예산 심사 및 편성	~'22.12	• 심사에 따른 '23년 예산 및 중기재정반영
	연구단장 선정 및 상세기획 준비	~'22.12	• 예산편성을 고려한 연구단장 선정과 상세(과제)기획 준비
사업추진	연구단장 선정 및 연구단 구성	~'23.03	• 연구단장 선정과 연구단 조직 및 인력 구성
	신규과제 공모	전년 12월~당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최·과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년 차인 '23년에는 3월까지 신규과제 선정완료
	연차평가	매년 11~12월	• 연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
실증추진	연구개발 성과물 실증대상 선정	전년 12월~당해 1월	• 기존 실증대상으로 선정된 사업에 대한 중간평가를 기반으로 실증 대상 재선정
	연차평가	매년 11~12월	• 연구목표달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서 제출
	최종평가	'28년 11~12월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한추적평가 계획 수립

### 3) 사업 운영 계획 수립

#### 가) 추진체계

- (추진체계) 4개의 중점기술 개발을 위해 산학연 협동 연구체계로 사업 추진
  - (국토교통부) 총괄 부처로 사업 기본·시행계획 수립, 정책적 판단 및 의사결정
  - (국토교통과학기술진흥원) 사업 전담기관으로, 총괄적 사업관리 역할 담당과 기획평가운영위원회 구성 및 운영, 연구단 선정, 평가, 진도관리 등 수행
  - (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 내용변경, 지원 우선순위 등 전문기관의 요청 사항에 대한 검토·심의·조정
  - (연구단) 과제별 특성을 반영한 진도관리 계획 수립 및 관리, 세부 기술을 통합 구현하고 단계별 기술 검증 및 실증을 주도
  - (연계협력기관) 지자체 등 연계협력을 통해 기술개발 및 실증을 지원
  - (실증사업추진) 원활한 성과활용·확산을 위한 기술검증, 운영모델수립 및 안전기술 생태계 조성을 위한 기술실증 추진



[그림 III-18] 그린 해상교량 사업 추진체계

■ (추진방식) 기술수요 조사 등을 반영한 Top-down(지정공모\*) 방식을 통해 평가기준에 따른 선정

- 개발에 필요한 대상기술과 도전적 기술품목(RFP)를 제시

■ (추진방법) 그린 해상교량 기술개발 연구와 실증 연구 병행

- (해상교량에 설치 가능한 그린에너지 기술개발) 상부구조물에 설치되는 소형풍력, 압전소자, 진동소자 및 기초구조물에 설치되는 조력, 조류발전 기술개발
- (해상교량 안전·유지시스템 기술개발) 생산된 그린에너지 저장하고, 안전 및 유지를 위한 결빙방지시스템, 전기방식시스템, 경관디자인 등 분배하는 기술개발
- (그린에너지 시공 실증 기술개발) 시공 시 필요 전력을 생산하기 위한 기초부 조력발전 시스템 및 유지관리(경관디자인 포함) 시 필요 전력을 생산하기 위한 소형풍력, 조류발전 실증 기술을 개발

■ 민·관 역할분담 및 협업 방안

- (민·관 역할분담 및 정부 투자 필요성)

- 기능적으로 상부, 교각, 기초로 분류되는 해상교량은 각각 결빙, 부식, 세굴에 대한 위험에 노출되어 있고, 특히, 결빙 및 부식 방지기술은 고전력 소모가 수반되어 현장에 적용 어려움
- 해상교량은 입지조건 상 풍력, 조력 및 조류 에너지의 수확률이 높고, 특히 조력 및 조류발전은 해상교량의 시공 시부터 전력수급이 가능하나, 내구성 및 안전성 확보 문제가 발생하므로 이를 극복하기 위한 연구 필수적

- (민·관 협업 방안)

- R&D 주요성과의 신기술 인증, 기술이전·자체실시 등을 통해 상용화하고, 혁신조달 연계 등 해상교량의 시공·유지관리 현장에 즉시 적용 예정

## 나) 실증 추진방안

### (1) 실증추진 개요

- 실증을 통해 그린 해상교량 기술의 통합 적용을 실시하여 기술의 성능검증을 수행하고 통합 기술적용을 위한 실시방안을 개발
  - 성능관리의 핵심구성기술에 대한 개별 운용성 및 성능을 평가
  - 핵심구성기술을 통합하는 시스템을 통해 기술 및 성과물의 통합 운용성을 검증하고 종합적인 기술 구현의 성능을 평가

### (2) 실증대상 및 범위

- 해상교량 운영 중 빈번하게 발생하는 문제(결빙, 교각부식 및 세굴 등)를 해결할 수 있는 범용적인 기술개발을 목표로 하고 있어, 국내 다양한 해상교량에서 실증 추진 예정
- 실증모델 수행내용 대상
  - 서해대교, 천사대교 등 풍력, 조력 및 조류 등의 확보가 용이한 곳을 대상으로 T/B 추진 예정
  - 특히, 조력 및 조류를 통한 에너지 생산 기술, 세굴방지공 등의 경우, 대규모 에너지 생산이 가능한 해상교량(천사대교, 서해대교 등)을 대상으로 연구기간 내('23~'27) 현장 적용 및 실증 추진

### (3) 실증추진방안

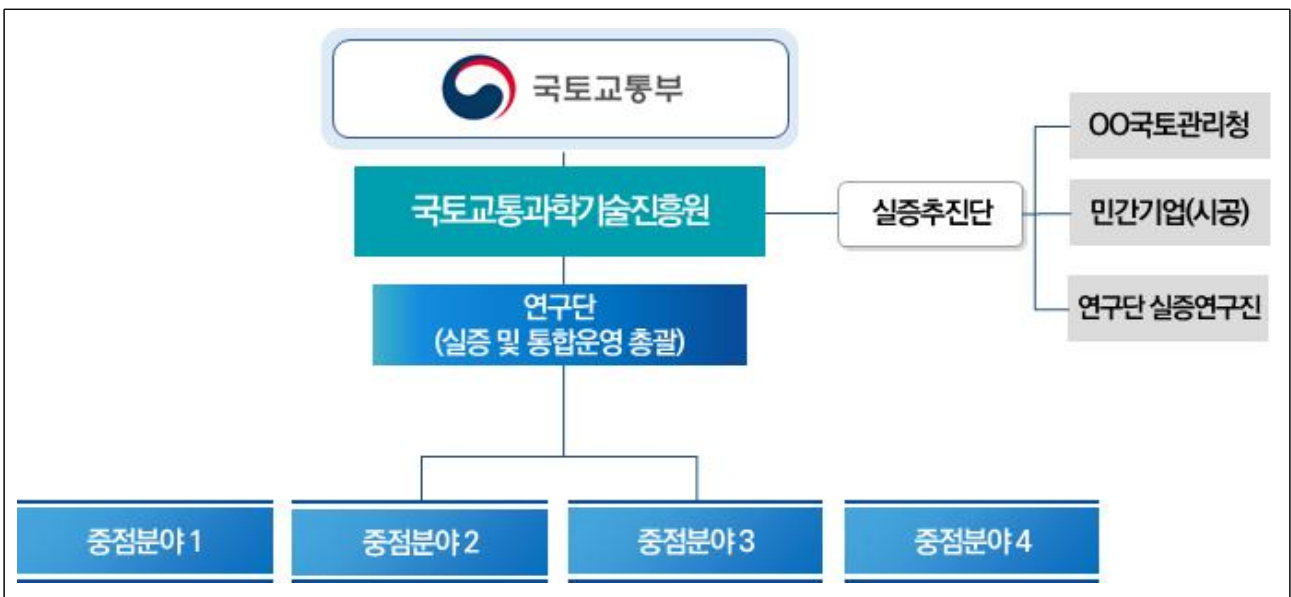
- 국토부, 전담기관과 해상교량 관리기관 등 그린 해상교량 기술과 관련된 기관과 공동 추진
  - 실증을 통한 기술운영모델을 도출하여 사업완료 후 원활한 기술의 활용·확산을 추진
  - 기술실증 시 운영모델(안), 제도(안)와 검증·모니터링 방안을 사전에 수립하여 실무에서 기술의 활용성 및 성능을 사전에 평가하여 기술실시 前 보완
  - 기술성과물 별 모니터링 항목 및 방법을 수립하고, 실증모니터링을 실시
    - 실증을 통한 성과물은 기술검증결과, 기술확산모델, 정책 및 제도안임

<표 III-40> 실증 추진전략

구성기술 성과물	'25년(3차년도)	'26년(4차년도)	'27년(5차년도)
<ul style="list-style-type: none"> <li>교량상판 발열시스템</li> <li>결빙방지 포장 신소재 및 교면포장 기술</li> <li>해상교량용 전기방식시스템</li> <li>해상교량용 소형풍력 기술</li> <li>세굴방지형 그린에너지 생산시스템</li> <li>에너지 클라우드 시스템</li> <li>전력변환 시스템</li> <li>이벤트 정밀 감지 및 관리 기술</li> </ul>	기술개발완료	1차실증적용/ 보완사항도출	실증 결과 검증 및 보완사항 테스트

#### (4) 실증추진체계 및 참여기관

- 실증사업을 통한 기술검증, 기술운영모델, 기술생태계 조성 및 관련 제도(안)의 개발을 위해 정부, 지자체, 공단 및 민간이 함께 참여하는 실증체계 구성



[그림 III-19] 실증추진체계



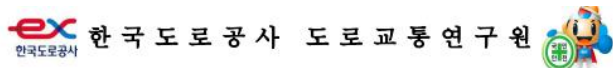

#### ■ 실증참여기관별 역할 및 수행내용

- 실증사업을 통한 기술검증, 기술확산모델, 관련 제도 개선(안)의 개발을 위해 정부, 공공기관, 민간기업이 참여하는 실증체계 구성

<표 III-41> 실증 추진주체별 역할 분담

실증참여기관	역할	수행내용
국토교통부 국토교통과학기술진흥원	실증 지원 총괄운영 정책·제도(안) 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실증을 위한 총괄 검토 및 운영지원</li> <li>• 실증단계 제도(안) 시범운영</li> </ul>
실증추진단	실증 실시 지원 및 요구사항별 기술대안 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실증 시 기술적용을 위한 실증요소 지원 및 요구사항별 기술대안 모색 및 지원</li> </ul>
국토관리청	실증 대상지 제공 실증추진계획 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실증 대상지 지원</li> <li>• 실증추진 총괄 계획 검토 및 지원</li> </ul>
연구단	분야별 추진계획 수립 및 추진, 점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분야별, 기술별 추진계획 수립 및 추진, 점검, 대안 모색</li> </ul>
민간기업	실증 실시 지원 및 요구사항별 기술대안 제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실증 시 기술적용을 위한 실증요소 지원 및 요구사항별 기술대안 모색 및 지원</li> <li>• 민간시장에서의 요구사항 정리 및 대안 검토</li> </ul>

○ 실증관련 기관의 기술개발, 대상제공, 실증참여에 대해 공문으로 참여의향 조사

 <p>수신자 : 대진대학교산학협력단 참조 : 산학협력팀장 제목 : 그린 해상교량 기술개발 실증연구 참여의향 회신</p> <hr/> <p>1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.</p> <p>2. 대진대학교산학협력단 공문 「산학협력팀-788(2022.04.28)」과 관련하여 아래와 같이 회신합니다.</p> <p style="text-align: center;">- 아 래 -</p> <p>가. 기획과제 : 그린 해상교량 기술개발 기획 나. 사업목적 : 고탄소, 저기능 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트베드 실증 다. 연구내용 : 거가대교를 대상으로 개발기술에 대한 실증 연구 라. 회신결과 : 귀 기관에서 기획 중인 과제와 관련하여 거가대교를 대상으로 개발기술에 대한 실증연구를 수행할 의향이 있음. 끝.</p> <p style="text-align: right;"><b>GK해상도로(주) 대표이사</b> </p> <hr/> <p>담당 김경규 협조자 시행 GK2022 - {23 (2022.04.28)} 접수 우 46770 부산광역시 강서구 거가대로 2571(천성동) http://www.gklink.com T : 070-4050-6881 F : 051-832-6050 e-mail : kyeongkyu.kim@koinfra.com</p>	 <p>수신자 : 대진대학교 산학협력단 (경유) 참조 : 제목 : 그린 해상교량 기술개발 실증연구 참여의향 회신</p> <hr/> <p>1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.</p> <p>2. 대진대학교 산학협력단 산학협력팀-763호(2022.04.26.) “그린 해상교량 기술개발 실증연구 참여의향 회신”건과 관련한 검토결과를 다음과 같이 회신합니다.</p> <p style="text-align: center;">- 다 음 -</p> <p>가. 과 제 명 : 그린 해상교량 기술개발 기획 나. 사업목적 : 고탄소, 저기능 해상교량 대응기술 확보와 필요 전력을 그린에너지로 자급하는 해상교량 기술개발 및 실용화를 위한 테스트 베드 실증 다. 참여내용 : 해상교량을 대상으로 개발기술에 대한 실증 라. 회신결과 : 귀 기관에서 기획중인 과제와 관련하여 “중점분야 2 그린 해상교량 교각구조물 기술개발”에 대한 실증 연구에 참여 의사 할 의향이 있음. 끝.</p> <p style="text-align: right;"><b>도 로 교 통 연 구 원 장</b> </p> <hr/> <p>구조물연구실 김홍삼      원장 박장호</p>
---	---

참여기관 ① GK해상도로주식회사

참여기관 ② 한국도로공사 도로교통연구원

[그림 III-20] 실증연구 참여의향서

## 7. 사업성과 활용 및 확산계획성과의 활용방안 및 사업화 전략

### 가) 현장 실증

- 현장실증 reference 확보 및 적극적 활용을 통한 상용화 촉진기능 강화
  - 연구개발 결과가 실제 확대적용 또는 민간/공공 기업의 사업화까지 연결될 수 있도록 실증 테스트베드 운영을 포함하여 사업을 추진
  - 사업을 통해 구축 및 운영하는 테스트베드가 현장 실증 reference의 역할을 충실하게 수행할 수 있도록 집중 관리
    - 테스트베드를 통해 기술 성능을 검증
- 미완성 기술의 실용화를 위한 테스트베드 실증 지원 방안 마련
  - 동 사업을 통한 개발 기술의 성능이 미흡하여 테스트베드 현장에 즉시 적용되지 못하는 경우, 테스트베드에 단계적으로 적용하여 실증 및 사업화까지 이어질 수 있도록 테스트베드 운영계획을 수립
    - 테스트베드 구축 시 당초 적용되지 못했던 기술의 향후 적용이 가능하도록 테스트베드의 확장성 및 유연성을 고려한 구축 및 운영

### 나) 연구개발 성과물의 확산

- 연구개발 성과의 활용 및 확산을 위한 성과정보시스템 운영, 추적평가, 공모전, 전시회 등 활동의 정기적 추진
  - 성과 및 사업화정보 시스템 운영
    - 국토교통 R&D 사업의 성과관리를 위한 국토교통 R&D 사업관리시스템 운영
  - 추적평가 수행
    - 성과의 활용 및 확산을 위하여 종료된 R&D과제를 대상으로 과제 종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평가를 실시하여 성과의 사후관리 수행
  - 국토교통기술 아이디어 공모전 개최
    - 국토교통 기술 분야에 대한 국민 관심 증대와 기술저변 확대를 위해 국토교통기술 아이디어를 발굴
  - 국토교통 R&D 대표성과 사례집 발간

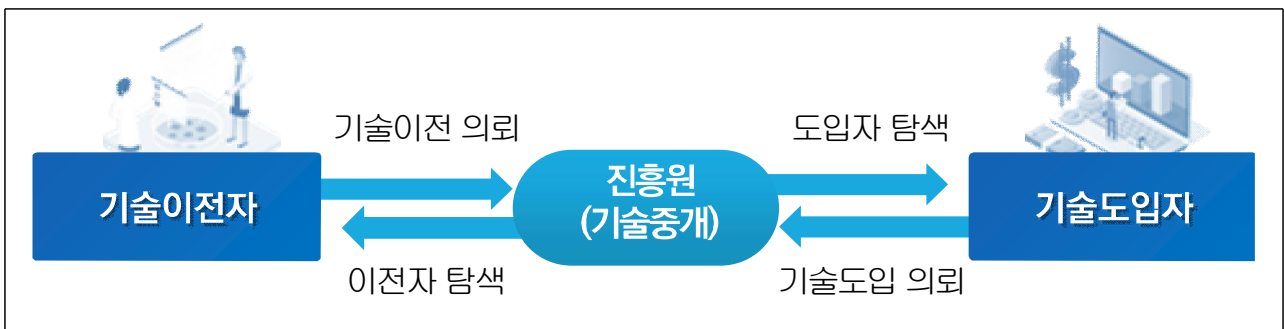
- 매년 대국민을 대상으로 국토교통 R&D 성과물에 대한 홍보추진을 위해 대표성과 사례집 발간

■ 개발된 기술의 업계 개방 및 보급

- 개발된 기술의 이전 또는 도입을 중개·알선하여 연구성과를 개방·보급함으로써 동 사업 참여 기업뿐만 아니라 미참여 기업 모두 수혜를 받을 수 있도록 함
  - 동 사업 참여 기업은 개발 성과에 대한 권리를 직접 보유
  - 미참여 기업에 대한 연구개발 성과의 수혜는 전문기관의 기술거래 중개로 기술이전 실시
- 국내 그린 해상교량 관련 업체의 경쟁력 강화 및 동반 성장 실현
  - 그린 해상교량 분야의 민간 자력 경쟁력 확보의 어려움 및 장기 개발 소요의 애로 등으로 인한 기술경쟁력 부족 해소

■ 전문기관을 통한 기술거래 활성화로 연구개발 성과 공유 확산

- 전문기관의 역할은 국토교통과학기술진흥원이 수행
  - 개발된 기술의 기술평가를 통해 기술거래 촉진
    - ※ 국토교통과학기술진흥원은 「기술이전 및 사업화 촉진에 관한 법률」 제10조에 따른 기술거래 기관지정(산업통상자원부 고시 제2018-214호, 2018.11.30.)에 따라 기술거래 중개를 위한 전문기관 역할 수행
- 진흥원은 기술 이전자와 기술 도입자를 위한 기술 중개를 지원하며, 이를 위한 협의체를 운영
  - 기술보유기관과 협의체를 운영하여 체계적인 기술공급을 추진
  - 수요기업 풀을 구축하여 공급기술 및 니즈기술을 연계하는 협력체계 운영
- 거래가능 기술 및 연구성과물 관리 및 제공을 위해 성과도서관 운영



[그림 III-21] 기술사업화 업무흐름

## 4절 경제성 분석

### 1. 경제적 타당성

#### ■ 분석 개요

- 동 사업의 경제성 분석은 동 사업 추진으로 인해 기대되는 그린에너지 생산편익 (전력금액)과 이로 인한 환경오염물질 배출저감 편익을 통해 효과를 추정함
  - 자료 확보가 가능한 국내 3개 교량(서해대교, 거가대교, 천사대교)을 대상으로 경제성 분석을 실시함
  - 분석기간은 해상교량이 100년을 유지한다고 가정

#### ■ 총 비용

- 동 사업은 2023년부터 2027년까지 총 5년간 280억 원의 총사업비가 소요되는 것으로 계획
- 또한, 동 사업을 통해 개발된 기술이 시장에 진입하기까지의 회임기간 3년을 가정\*하고 회임기간 동안 개발된 기술을 교량에 적용하데 교량당 약 100억 원의 추가공사비 발생을 가정함
- 따라서 경제성 분석을 위한 총비용은 총 사업비 280억 원과 추가공사비 300억 원을 포함한 580억 원으로 설정

<표 III-42> 총 비용 추정

(백만원)

구 분 (사업기간)	동 사업					회임기간		
	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
그린 해상교량 기술개발 ( '23~'27)	3,000	5,737	7,156	6,935	5,172	10,000	10,000	10,000

#### ■ 그린에너지 생산편익

- 동 사업 추진을 통해 개발된 기술을 해상교량에 적용 시, 생산 가능한 전력량을 금액으로 추정하여 편익으로 산정
  - 동 사업 기술개발 대상인 진동 및 압전소자 발전, Bladeless 풍력발전기 발전, 교량하부 해류 활용 발전, 가물막이 댐 활용 발전 등 각 기술별 전력생산량 추정
  - 전력생산량에 KWh 당 전력비용 약 131원을 적용하여 전력금액을 추정

그린에너지 생산편익

$$= \sum_i (\text{에너지 생산량(KWh)} * \text{KWh 당 전력금액})$$

$i$  = 교량하부 해류, 풍력 등 각 발전설비의 연간 에너지 생산량

\* KWh 당 전력금액은 분석대상 해상교량의 KWh 당 131원을 적용

■ 환경오염물질 배출저감편익

- 동 사업 추진을 통해 기존 화력발전으로 생산하던 전력을 그린에너지로 대체함으로써 나타나는 환경오염물질 배출저감에 따른 사회적비용 감소 금액을 편익으로 산정

환경오염물질 배출저감편익

$$= \sum_i (\text{석탄 및 LNG 발전으로 발생하는 오염물질 배출로 인한 사회적비용})$$

$i$  = 온실가스, 황산화물(Sox), 질소산화물(Nox), 초미세먼지(PM2.5) 등

- 화학발전 연료원별 환경오염물질의 사회적비용

(단위: 천원/톤)

연료원	온실가스	황산화물	질소산화물	PM2.5
석탄	43	50,755	36,651	66,352
LNG	43	49,977	36,559	65,564
합계	86	100,732	73,210	131,916
평균	43	50,366	36,605	65,958

자료 : 2021년 제2차 공기업·준정부기관 사업 예비타당성조사 착수회의자료

■ 분석 결과

- 동 사업을 통해 개발된 기술을 3개 교량에 적용 시 B/C Ratio는 1.016, NPV는 734백만 원으로 경제성을 확보
  - 동 사업을 통해 개발된 기술은 3개 교량뿐만 아니라 모든 해상교량에 적용할 수 있는 기술임을 감안하면, 동 사업의 편익은 무한대로 확장 가능
  - \* 추정된 3개 교량의 평균 그린에너지 생산량을 1개 교량에만 추가할 경우 B/C Ratio는 1.169으로 경제성을 확보하는 것으로 나타남

<표 III-43> 비용/편익 분석 결과

(단위 : 천원)

비용(C)	편익(B)	B/C	순현재가치(NPV)
46,403,624	47,138,122	1.016	734,497

## 2. 기대효과 및 파급효과

- (기술적 기대효과) 기존 해상교량 대비 탄소배출 50% 이상 절감, 그린에너지 생산 80% 이상 증가한 도시·국토 저탄소화에 부합하는 그린에너지를 이용한 자립형 해상교량 기술 확보
  - 융복합 기술인 그린 해상교량 기술에서 개발되는 요소기술을 건설기술 전 분야로 보급함으로써 신개념의 미래 건설기술 확보
- (경제·사회적 기대효과) 저탄소·그린에너지 활용으로 사회적 비용 절감 및 잉여전력을 활용하여 경제적 효율성 제고
- (경제적 파급효과) 동 사업은 약 500억 원의 생산유발효과, 약 240억 원의 부가가치 유발효과와 325명의 고용유발효과를 나타냄

<표 III-44> 경제적 타당성\_파급효과 분석결과

(단위 : 백만원)

구분	생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
그린 해상교량 기술개발	50,241	23,928	325
합 계	50,241	23,928	325

참고	파급효과 측정계수		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동 사업 파급효과 측정을 위한 계수는 한국은행 산업연관 실측표(2015년)의 소프트웨어 개발 공급, 산업시설 건설, 연구개발의 평균치를 적용</li> </ul>			
구분	생산유발계수	부가가치유발계수	고용유발계수
소프트웨어 개발 공급	1.4054	0.8946	0.8710
산업시설 건설	2.0338	0.8060	0.9085
연구개발	1.5587	0.8518	0.9884
평균	1.6660	0.8508	0.9226
자료 : 한국은행경제통계시스템			

👉 도시·국토 저탄소화에 부합하는 그린에너지를 이용한 자립형 해상교량 기술 확보

## 5절 인력투입 소요예산 산정

### 1. 연구일정에 따른 인력투입 계획

■ 연평균 약 332M/M의 박사급(책임급) 연구인력이 투입될 것으로 추산

○ 총 연구 기간 박사급(책임급) 연구인력은 1,660 M/M 예상

– 각 세부과제별 연구개발에 필요한 소요인력을 기획분과위원회의 상세기획 내용을 반영하여 산출(행안부 학술연구용역인건비 기준단가 적용)

<표 III-45> 인력투입 계획

(단위 : M/M)

세부과제	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합 계
그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	책임급	65	95	95	93	92	439
	선임급	-	-	-	-	-	-
	소 계	65	95	95	93	92	439
그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	책임급	53	75	79	87	76	371
	선임급	-	-	-	-	-	-
	소 계	53	75	79	87	76	371
그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	책임급	40	107	132	132	130	541
	선임급	-	-	-	-	-	-
	소 계	40	107	132	132	130	541
그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	책임급	24	66	66	75	78	310
	선임급	-	-	-	-	-	-
	소 계	24	66	66	75	78	310
합 계	책임급	182	343	372	387	376	1,660
	선임급	-	-	-	-	-	-
	합 계	182	343	372	387	376	1,660

## 2. 소요예산 산정

■ 동 사업은 5년('23~27년)간 국고 280억 투입(총 사업비 미정)

○ 연평균 약 56억 원대 규모로 4대 중점분야, 8대 세부과제 개발

<표 III-46> 총 투입예산(국고)

(단위 : 백만원)

세부과제	구분	'23	'24	'25	'26	'27	합 계
그린에너지를 활용한 해상교량 안전성 확보 기술개발	인건비	430	629	629	622	612	2,921
	직접비	547	1,046	1,638	668	489	4,389
	간접비	96	169	228	130	111	734
	소 계	1,073	1,844	2,495	1,420	1,212	8,044
그린에너지를 활용한 해상교량 내구성 향상 기술개발	인건비	356	502	527	580	504	2,469
	직접비	327	514	570	531	541	2,484
	간접비	68	103	108	112	108	499
	소 계	751	1,119	1,205	1,224	1,152	5,451
그린에너지 발전가능한 세굴방지 기술개발	인건비	264	709	878	878	868	3,597
	직접비	353	711	1,163	1,832	521	4,580
	간접비	61	143	205	272	140	821
	소 계	679	1,563	2,246	2,982	1,529	8,997
그린 해상교량 통합솔루션 기술개발	인건비	162	441	441	497	521	2,061
	직접비	291	659	659	693	640	2,942
	간접비	45	111	111	120	117	504
	소 계	498	1,210	1,210	1,310	1,279	5,507
합 계	인건비	1,212	2,281	2,474	2,577	2,505	11,048
	직접비	1,519	2,930	4,030	3,725	2,191	14,394
	간접비	270	526	652	634	476	2,558
	합 계	3,000	5,737	7,156	6,935	5,172	28,000

