보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )
발간등록번호(11-B552989-000449-01)
국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 1615011073

미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획

최종보고서

2021. 11. 4.

주관연구기관 / 한국에너지기술연구원
공동연구기관 / ㈜테크노베이션파트너스
위탁연구기관 / 한국가스안전공사, 한국건설기술연구원

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' (연구개발 기간: 2019. 11. 8. ~ 2021. 6. 7.) 과제의 최종보고서 7부를 제출합니다.

2021년 11월 4일

주관연구기관명: 한국에너지기술연구원 (대표자: 김종남) (인)

공동연구기관: ㈜테크노베이션파트너스 (대표자: 현재호) (인)

위탁연구기관1: 한국가스안전공사 (대표자: 주원돈) (인)

위탁연구기관2: 한국건설기술연구원 (대표자: 김병석) (인)

주관연구기관 책임자: 정성욱
공동연구기관 책임자: 현재호
위탁연구기관1 책임자: 이재훈
위탁연구기관2 책임자: 김양균

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' (연구개발 기간: 2019. 11. 8. ~ 2021. 6. 7.) 과제의 최종보고서 7부를 제출합니다.

2021년 11월 4일

주관연구기관명: 한국에너지기술연구원 (대표자: 김종남) (인)

공동연구기관: ㈜테크노베이션파트너스 (대표자: 현재호) (인)

위탁연구기관1: 한국가스안전공사 (대표자: 주원돈) (인)

위탁연구기관2: 한국건설기술연구원 (대표자: 김병석) (인)

주관연구기관 책임자: 정성욱
공동연구기관 책임자: 현재호
위탁연구기관1 책임자: 이재훈
위탁연구기관2 책임자: 김양균

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' (연구개발 기간: 2011. 8. ~ 2021. 6. 7.) 과제의 최종보고서 7부를 제출합니다.

2021년 11월 4일

주관연구기관명: 한국에너지기술연구원 (대표자: 김종남) (인)

공동연구기관: ㈜테크노베이션파트너스 (대표자: 현재호) (인)

위탁연구기관1: 한국가스안전공사 (대표자: 주원돈) (인)

위탁연구기관2: 한국건설기술연구원 (대표자: 김병석) (인)

주관연구기관 책임자: 정성욱
공동연구기관 책임자: 현재호
위탁연구기관1 책임자: 이재훈
위탁연구기관2 책임자: 김양균

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' (연구개발 기간: 2019. 11. 8. ~ 2021. 6. 7.) 과제의 최종보고서 7부를 제출합니다.

2021년 11월 4일

주관연구기관명: 한국에너지기술연구원 (대표자: 김종남) (인)

공동연구기관: ㈜테크노베이션파트너스 (대표자: 현재호) (인)

위탁연구기관1: 한국가스안전공사 (대표자: 주원돈) (인)

위탁연구기관2: 한국건설기술연구원 (대표자: 김병석) (인)



주관연구기관 책임자: 정성욱
공동연구기관 책임자: 현재호
위탁연구기관1 책임자: 이재훈
위탁연구기관2 책임자: 김양균

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>1615011073</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2019.11.8.
~ 2021.6.7.</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 1/
(총단계) 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">정성욱</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 30명
내부: 29명
외부: 1명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부: 300,000천원
민간: 0천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계: 300,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 30명
내부: 29명
외부: 1명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 300,000천원
민간: 0천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계: 300,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">(주관) 한국에너지기술연구원 수소연구단
(공동) ㈜테크노베이션파트너스</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">1 위탁연구기관명:한국가스공사
2 위탁연구기관명:한국건설기술연구원</td><td colspan="2">1 위탁연구책임자: 이재훈
2 위탁연구책임자: 김양균</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
보안등급 및
사유</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

본 기획연구를 통해 수소도시 기반 시설 및 수소그리드 기술 개발에 대한 비전 및 목표를 설정하고 기술적, 환경적, 경제적 분석을 통한 신규 연구개발 사업의 필요성, 타당성, 기술개발 범위를 도출하고 이를 실현할 추진전략과 체계 마련함. 구체적으로 중요 기술개발 요소 도출, 기술개발 전략 수립 그리고 수소시범단지 인프라 기술개발 기획에 대한 연구가 수행됨.

보고서 면수: 893

요약문

연구의 목적 및 내용	[목적] 수소도시 기반 시설 및 수소그리드 기술 개발에 대한 비전 및 목표를 설정하고 기술적, 환경적, 경제적 분석을 통한 신규 연구개발 사업의 필요성, 타당성, 기술개발 범위를 도출하고 이를 실현할 추진전략과 체계 마련 [주요연구내용] ○ 대내외 수소 도시 및 교통관련 기술과 환경 분석에 따른 이슈의 도출과 이의 해결을 위한 연구 분야를 도출하고, [사전기획], [수소경제활성화 로드맵(19.1)], [범부처 민관 합동 R&D 로드맵(19.10 발표예정)]에 따른 예타 사업과 연계한 기획안 도출과 기술로드맵 수립 ○ 수소도시 연구 분야별 기술수준 분석과 기술수요조사를 통한 기술개발 방향, 중점 분야 도출 및 기술개발 전략 수립 ○ 기술개발 계획 도출을 위한 상세 수소조사 및 핵심 기술 분야 도출 ○ 수소도시 연구분야 도출 및 이에 따른 상세 기술 로드맵 작성 ○ 수소도시 연구개발사업에 대한 기대효과 분석 및 타당성 분석 ○ 주요 기술개발을 위한 과제제안 요구서 및 전략계획서 도출
연구개발성과	○ 도시기반 수소인프라 구축을 위한 기술개발계획 수립 ○ 수소도시 교통 인프라 구축을 위한 기술개발계획 수립 ○ 수소 시범도시 조성 및 실증을 실증 기술 선정 및 유형 개발 ○ 해외 수소도시 진출을 위한 도시 실증기술 개발계획 수립 ○ 수소 기반 인프라 안전기술 및 안전기준, 인증제도 수립 ○ 기술개발에 대한 과제제안요구서(RFP) 및 전략계획서 도출 ○ RE100 기반의 수소 시범단지 인프라 기술개발 기획
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 수소활용의 확대를 통한 지속 가능하면서 친환경적인 도시 기반시설 및 교통수단을 갖추어 국민의 삶과 도시의 가치를 향상 ○ 범부처 로드맵 연계를 통한 도시 및 교통 분야에서 수소경제활성화 로드맵의 실현 ○ 주거, 교통 등 시민이 직접 체험할 수 있는 리빙랩 개념의 실증 연구 방향 기획를 통한 수소에너지의 수용성 제고 ○ 수소도시 핵심기술개발을 통해, 1) 도시 규모의 수소인프라 구축 및 상용화를 위한 실증 데이터 확보, 2) 각 수소 생산, 저장, 공급/활용 분야 기술개발 목표 달성 그리고 3) 차세대 경제 성장 동력으로써 수소사회 구현을 위한 발판 확보 가능

국문핵심어 (5개 이내)	수소도시	수소교통	수소인프라	도시가치향상	수소경제
영문핵심어 (5개 이내)	Hydrogen City	Hydrogen Transport	Hydrogen Infrastructure	City value improvement	Hydrogen Economy

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

목 차

제1장 사업 개요 ····· 1

1.1 사업 주요 내용 ····· 3

1.2 추진배경 및 필요성 ····· 4

1.3 추진목적 및 범위 ····· 11

1.3.1 사업 목적 ····· 11

1.3.2 수소도시 및 수소그리드의 개념 ····· 11

1.3.3 사업의 정의 및 범위 ····· 12

1.3.4 사업 계획 수립 방법 ····· 14

제2장 국내외 주요 동향분석 ····· 17

2.1 정책동향 ····· 19

2.1.1 국외 온실가스감축 정책동향 ····· 19

2.1.2 국외 수소 정책동향 ····· 21

2.1.3 국내 정책동향 ····· 37

2.2 기술동향 ····· 58

2.2.1 국외 기술동향 ····· 58

2.2.2 국내 기술동향 ····· 78

2.2.3 국내외 기술동향 비교 분석 ····· 86

2.3 특허동향 ····· 88

2.4 시장동향 ····· 93

2.4.1 국외 시장동향 ····· 93

2.4.2 국내 시장동향 ····· 102

2.5 R&D동향 ····· 110

2.5.1 국외 R&D투자 동향 ····· 110

2.5.2 국내 R&D투자 동향 ····· 119

2.6 환경분석 종합시사점 ····· 138

제3장 문제·이슈 및 해결방안 ····· 139
3.1 문제·이슈 ····· 141
3.2 해결방안 ····· 155
3.3 사업 논리모형 ····· 156
제4장 사업 목표 체계 ····· 157
4.1 사업 범위 및 구조 ····· 159
4.1.1 사업 범위 ····· 159
4.1.2 사업 구조 ····· 161
4.2 사업 목표 및 지표 ····· 163
4.2.1 사업 비전·목표 체계 ····· 163
4.2.2 사업 비전 및 목표 설정근거 ····· 164
제5장 사업 세부추진 계획 ····· 167
5.1 수소도시 인프라모델 개발 ····· 169
5.1.1 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 ····· 169
5.1.2 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 ····· 207
5.1.3 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 ····· 265
5.2 수소도시 교통모델 개발 ····· 296
5.2.1 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 ····· 296
5.2.2 Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 ····· 327
5.2.3 공항 내 수소 모빌리티 실증 ····· 351
5.2.4 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 ····· 386
5.3 수소도시 연관모델 개발 ····· 411
5.3.1 액화수소충전소 개발 및 실증 ····· 411
5.3.2 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 ····· 435
5.3.3 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 ····· 469
5.4 과제제안요구서(RFP) ····· 508
5.5 전략계획서 ····· 628

제6장 사업 추진체계 및 관리방안 ····· 707
6.1 사업 추진체계 ····· 709
6.2 사업 운영관리 방안 ····· 714
6.2.1 사업 진행절차 및 일정 ····· 714
6.2.2 사업 운영·관리 계획 ····· 715
6.3 단계별 성과관리 방안 ····· 721
6.4 범부처 사업과 연계방안 방안 ····· 722
6.4.1 범부처 사업의 구조 ····· 722
6.4.2 범부처 사업과의 연계성 및 차별성 ····· 723
제7장 소요 예산 ····· 727
7.1 소요예산 총괄 ····· 729
7.2 내역사업별 소요예산 ····· 731
7.2.1 수소도시 인프라모델 개발 ····· 731
7.2.2 수소도시 교통모델 개발 ····· 734
7.2.3 수소도시 연관모델 개발 ····· 737
제8장 사업타당성 분석 ····· 741
8.1 과학기술적 타당성 분석 ····· 743
8.2 정책적 타당성 분석 ····· 751
8.3 경제적 타당성 분석 ····· 767
제9장 기대효과 ····· 775
9.1 과학기술적 기대효과 ····· 777
9.2 산업·경제적 기대효과 ····· 778
9.3 정책적 기대효과 ····· 779
9.4 환경적 기대효과 ····· 780
[부록1] RE100 기반의 수소 시범단지 인프라 기술개발 기획 ····· 783
[부록2] 주관연구기관 자체평가 의견서 ····· 855

표 목 차

<표 2-1> 파리 협정 개요 ····· 19
<표 2-2> 주요 11개국의 자발적 감축 목표 ····· 20
<표 2-3> 미국 국가수소에너지로드맵 부문별 수소 에너지 개발 전략 ····· 21
<표 2-4> 미국의 부문별 수소에너지 기술개발 목표 ····· 22
<표 2-5> 미국의 '18년도 수소 및 연료전지 관련 예산 ····· 23
<표 2-6> EU의 FCH JU 개요 ····· 25
<표 2-7> 독일의 연료전지 투자액 현황 ····· 26
<표 2-8> '18년 이후 유럽 주요국 수소관련 정부 정책방안 ····· 27
<표 2-9> 일본 제5차 에너지기본계획의 수소사회 실현전략 ····· 31
<표 2-10> 일본 수소·연료전지 전략로드맵의 단계별 주요 목표 ····· 32
<표 2-11> 일본 수소·연료전지 전략로드맵 주요내용 ····· 33
<표 2-12> 네덜란드 Hydrogen Roadmap 구성 ····· 34
<표 2-13> 중국 지방정부별 수소산업 육성 정책 ····· 36
<표 2-14> 중국 정부의 신에너지차 목표 ····· 36
<표 2-15> 수소경제마스터플랜의 주요 내용 ····· 38
<표 2-16> 수소경제 마스터플랜 이후, 부처별 관련 정책 및 주요 내용 ····· 39
<표 2-17> 수소경제 활성화 로드맵 비전 및 추진 방안 ····· 41
<표 2-18> 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안 ····· 42
<표 2-19> 제3차 에너지기본계획 비전 및 중점추진분야, 수소관련 지원 정책 ····· 43
<표 2-20> 수소경제 표준화 전략 로드맵 ····· 44
<표 2-21> 수소경제 표준화 전략 로드맵 세부추진 내용 ····· 45
<표 2-22> 미래 자동차산업 발전전략 ····· 48
<표 2-23> 수소 인프라 및 충전소 구축방안 ····· 49
<표 2-24> 수소기술개발로드맵 ····· 50
<표 2-25> 수소기술개발로드맵(수소생산기술) ····· 51
<표 2-26> 수소기술개발로드맵(수소저장·운송기술) ····· 51
<표 2-27> 수소기술개발로드맵(수소활용(수송)기술) ····· 52

<표 2-28> 수소기술개발로드맵(수소활용(발전)기술) ····· 52
<표 2-29> 수소기술개발로드맵(안전·환경·인프라기술) ····· 53
<표 2-30> 제4차 에너지기술개발계획 ····· 55
<표 2-31> 제4차 에너지기술개발계획 16대 에너지 중점기술분야 및 50대 추진과제 ····· 56
<표 2-32> 수소 안전관리 종합대책 ····· 57
<표 2-33> 해외 주요 수소실증 도시 ····· 58
<표 2-34> 환경성 수소사회 모델 8곳 ····· 63
<표 2-35> 해외 수소도시 모델 조건 검토 ····· 76
<표 2-36> 국내 수소도시 실증 사례 ····· 78
<표 2-37> 국내 수소 시범도시 및 R&D 특화도시 사업개요 ····· 80
<표 2-38> 국내 수소도시 모델 조건 검토 ····· 85
<표 2-39> 국내외 기술동향 비교 ····· 86
<표 2-40> 수소산업 5대 분야별 전체 출원 동향 ····· 88
<표 2-41> 주요 완성차 제조사별 수소전기차 판매현황 ····· 100
<표 2-42> 국내 수소생산 능력 ····· 102
<표 2-43> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력 ····· 102
<표 2-44> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력 ····· 103
<표 2-45> 수소 파이프라인 및 튜브트레일러의 공급량 ····· 104
<표 2-46> 국내 산업용 수소 파이프라인 설치 현황 ····· 104
<표 2-47> 국내 수소차 및 충전소 보급현황('19년 11월 기준) ····· 104
<표 2-48> 국내 수소차 보급 현황('20년 3월 기준) ····· 105
<표 2-49> NEDO의 수소·연료전지 관련 프로젝트 ····· 115
<표 2-50> 일본의 수소 및 연료전지 R&D 투자 ····· 116
<표 2-51> 일본의 수소전략 이행 재정투입 ····· 118
<표 3-1> 수소 전기차 및 수소 충전소 공급 계획 ····· 142
<표 4-1> 사업 구조 ····· 161
<표 5-1> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 구성요소 ····· 169
<표 5-2> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 세부과제 및 주요내용 ··· 170
<표 5-3> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 현재수준 및 개선목표 ··· 171

<표 5-4> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 성능지표 및 목표치 ···· 186
<표 5-5> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 연도별 기술개발 내용 ····· 186
<표 5-6> 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 187
<표 5-7> 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 연도별 추진계획 ····· 188
<표 5-8> 스마트 에너지 그리드 운영기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 189
<표 5-9> 스마트 에너지 그리드 운영기술 개발 연도별 추진계획 ····· 189
<표 5-10> 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 성과물 및 성과지표 ····· 191
<표 5-11> 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 연도별 추진계획 ····· 191
<표 5-12> 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 192
<표 5-13> 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 연도별 추진계획 ····· 192
<표 5-14> 난방·열 그리드 기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 193
<표 5-15> 난방·열 그리드 기술 개발 연도별 추진계획 ····· 194
<표 5-16> 수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 195
<표 5-17> 수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 연차별 소요예산 ····· 200
<표 5-18> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 204
<표 5-19> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 시설·장비 구축 계획 ····· 205
<표 5-20> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 구축장비 목록 ····· 206
<표 5-21> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 구성요소 ····· 207
<표 5-22> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 세부과제 및 주요내용 ····· 208
<표 5-23> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 현재수준 및 개선목표 ····· 209
<표 5-24> 2018년 도시재생 활성화 지역 분포 ····· 212
<표 5-25> 열저장 방식에 따른 장·단점 비교 ····· 234
<표 5-26> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 성능지표 및 목표치 ····· 238
<표 5-27> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 연도별 기술개발 내용 ····· 239
<표 5-28> 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 성과물 및 성과지표 ····· 240
<표 5-29> 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 연도별 추진계획 ····· 240
<표 5-30> 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 성과물 및 성과지표 ····· 241

<표 5-31> 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 연도별 추진계획 ····· 241
<표 5-32> 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 242
<표 5-33> 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 연도별 추진계획 ····· 242
<표 5-34> 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 성과물 및 성과지표 ····· 243
<표 5-35> 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 연도별 추진계획 ····· 243
<표 5-36> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 245
<표 5-37> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 연차별 소요예산 ····· 248
<표 5-38> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상입지 ····· 249
<표 5-39> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 252
<표 5-40> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 시설·장비 구축 계획 ··· 253
<표 5-41> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 구축장비 목록 ····· 255
<표 5-42> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 구성요소 ····· 265
<표 5-43> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 세부과제 및 주요내용 ··· 266
<표 5-44> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 현재수준 및 개선목표 ··· 266
<표 5-45> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 성능지표 및 목표치 ····· 276
<표 5-46> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 연도별 기술개발 내용 ··· 277
<표 5-47> 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 278
<표 5-48> 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 연도별 추진계획 ····· 278
<표 5-49> 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 성과물 및 성과지표 ····· 280
<표 5-50> 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 연도별 추진계획 ····· 280
<표 5-51> 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 성과물 및 성과지표 ···· 281
<표 5-52> 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 연도별 추진계획 ····· 282
<표 5-53> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 284
<표 5-54> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 연차별 소요예산 ····· 287

<표 5-55> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 대상입지 ····· 288
<표 5-56> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 시설·장비 구축 계획 ····· 290
<표 5-57> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 구축장비 목록 ····· 291
<표 5-58> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 구성요소 ····· 297
<표 5-59> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 세부과제 및 주요내용 ···· 297
<표 5-60> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 현재수준 및 개선목표 ···· 298
<표 5-61> 해외 수소전기기관차 개발 현황 ····· 305
<표 5-62> 국내외 수소철도차량 개발 현황 ····· 307
<표 5-63> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 성능지표 및 목표치 ····· 308
<표 5-64> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 연도별 기술개발 내용 ···· 309
<표 5-65> 수소철도용 수소생산/저장인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 310
<표 5-66> 수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 310
<표 5-67> 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 311
<표 5-68> 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 312
<표 5-69> 수소전기기관차 설계/제작 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 313
<표 5-70> 수소전기기관차 설계/제작 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 313
<표 5-71> 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가의 성과물 및 성과지표 ····· 315
<표 5-72> 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가의 연도별 추진계획 ····· 315
<표 5-73> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 318
<표 5-74> 2018년도 디젤기관차 및 디젤동차의 오염물질 배출량 ····· 320
<표 5-75> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 연차별 소요예산 ····· 321
<표 5-76> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상입지 ····· 322
<표 5-77> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 323
<표 5-78> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 시설·장비 구축 계획 ····· 323
<표 5-79> 대용량 수소연료전지 하이브리드 철도차량 추진시스템 성능검증 통합 플랫폼 ····· 324

<표 5-80> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 구축장비 목록 ····· 325
<표 5-81> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 구성요소 ····· 328
<표 5-82> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 세부과제 및 주요내용 ····· 328
<표 5-83> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 현재수준 및 개선목표 ····· 329
<표 5-84> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 성능지표 및 목표치 ····· 338
<표 5-85> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 연도별 기술개발 내용 ····· 338
<표 5-86> 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 339
<표 5-87> 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 339
<표 5-88> 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 340
<표 5-89> 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 340
<표 5-90> Inter-City 수소철도차량 제작 및 실증의 성과물 및 성과지표 ····· 341
<표 5-91> Inter-City 수소철도차량 제작 및 실증의 연도별 추진계획 ····· 341
<표 5-92> Inter-City 수소철도차량 운영 및 RAMS 평가의 성과물 및 성과지표 ····· 342
<표 5-93> Inter-City 수소철도차량 운영 및 RAMS 평가의 연도별 추진계획 ····· 343
<표 5-94> 수소 Inter-City 개발 및 운영의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 345
<표 5-95> 2018년도 디젤기관차 및 디젤동차의 오염물질 배출량 ····· 347
<표 5-96> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 연차별 소요예산 ····· 348
<표 5-97> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상입지 ····· 349
<표 5-98> 수소 Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 350
<표 5-99> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 시설·장비 구축 계획 ····· 350
<표 5-100> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 구성요소 ····· 351
<표 5-101> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 세부과제 및 주요내용 ····· 352
<표 5-102> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 현재수준 및 개선목표 ····· 353
<표 5-103> 김포, 제주 및 인천 공항의 온실가스 배출현황 ····· 355
<표 5-104> 한국형 이동식 수소충전소 개발 목표 ····· 360
<표 5-105> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 성능지표 및 목표치 ····· 363
<표 5-106> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 연도별 기술개발 내용 ····· 363
<표 5-107> 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 성과물 및 성과지표 ····· 364

<표 5-108> 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 연도별 추진계획 ····· 364
<표 5-109> 100kg급 이동식 수소충전소 성과물 및 성과지표 ····· 365
<표 5-110> 100kg급 이동식 수소충전소 연도별 추진계획 ····· 365
<표 5-111> 연료전지 지게차 실증 성과물 및 성과지표 ····· 366
<표 5-112> 연료전지 지게차 실증 연도별 추진계획 ····· 366
<표 5-113> 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발의 성과물 및 성과지표 ····· 367
<표 5-114> 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발의 연도별 추진계획 ····· 367
<표 5-115> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 373
<표 5-116> 공항 내 수소 모빌리티 실증 연차별 소요예산 ····· 377
<표 5-117> 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상입지 ····· 378
<표 5-118> 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상지구 수소 공급 계획 ····· 379
<표 5-119> 공항 내 수소 모빌리티 실증 시설·장비 구축 계획 ····· 380
<표 5-120> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 구축장비 목록 ····· 381
<표 5-121> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 구성요소 ····· 386
<표 5-122> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 세부과제 및 주요내용 ····· 386
<표 5-123> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 현재수준 및 개선목표 ····· 387
<표 5-124> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 성능지표 및 목표치 ····· 396
<표 5-125> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 연도별 기술개발 내용 ····· 397
<표 5-126> 수소생산 플랜트 구축 성과물 및 성과지표 ····· 397
<표 5-127> 수소생산 플랜트 구축 연도별 추진계획 ····· 398
<표 5-128> 충전소 공급 네트워크 구축 성과물 및 성과지표 ····· 398
<표 5-129> 충전소 공급 네트워크 구축 연도별 추진계획 ····· 398
<표 5-130> 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 성과물 및 성과지표 ····· 399
<표 5-131> 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 연도별 추진계획 ····· 399
<표 5-132> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 401
<표 5-133> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 연차별 소요예산 ····· 403
<표 5-134> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상입지 ····· 403
<표 5-135> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상지구 수소 공급 계획 ····· 404
<표 5-136> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 시설·장비 구축 계획 ····· 405

<표 5-137> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 구축장비 목록 ····· 406
<표 5-138> 액화수소충전소 개발 및 실증의 구성요소 ····· 411
<표 5-139> 액화수소충전소 개발 및 실증의 세부과제 및 주요내용 ····· 412
<표 5-140> 액화수소충전소 개발 및 실증의 현재수준 및 개선목표 ····· 412
<표 5-141> 국내 수소액화플랜트 구축 계획 (민간/지자체 계획) ····· 414
<표 5-142> 수소충전소별 비교, 수소인프라 및 충전소 구축방안 발췌 ····· 415
<표 5-143> 해외 L 사의 충전소 모델 및 압축 방식 ····· 419
<표 5-144> 액화수소충전소 개발 및 실증의 성능지표 및 목표치 ····· 420
<표 5-145> 액화수소충전소 개발 및 실증의 연도별 기술개발 내용 ····· 420
<표 5-146> 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 성과물 및 성과지표 ····· 422
<표 5-147> 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 연도별 추진계획 ····· 422
<표 5-148> 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 성과물 및 성과지표 ····· 423
<표 5-149> 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 연도별 추진계획 ····· 424
<표 5-150> 액화수소충전소 개발 및 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 426
<표 5-151> 액화수소충전소 개발 및 실증 연차별 소요예산 ····· 430
<표 5-152> 액화수소충전소 개발 및 실증 대상입지 ····· 430
<표 5-153> 액화수소충전소 개발 및 실증 대상지구 수소 공급 계획 ····· 432
<표 5-154> 액화수소충전소 개발 및 실증 시설·장비 구축 계획 ····· 433
<표 5-155> 액화수소충전소 개발 및 실증의 구축장비 목록 ····· 433
<표 5-156> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 구성요소 ····· 435
<표 5-157> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 세부과제 및 주요내용 ····· 436
<표 5-158> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 현재수준 및 개선목표 ····· 436
<표 5-159> 국내 폐기물 가스화 용융 관련 기술개발 현황 ····· 441
<표 5-160> 오염물질 종류별 정제기술 동향 ····· 443
<표 5-161> CO/CO2 분리에 관련된 한국화학연구원의 촉진수송 분리막 관련 연구 ····· 444
<표 5-162> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 연구설비 현황 ····· 446
<표 5-163> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 상용설비 현황 ····· 447
<표 5-164> 해외 폐기물 가스화기술의 대표적인 기술개발 사례 ····· 448
<표 5-165> 일본의 가스화플랜트 가동현황 ····· 450

<표 5-166> 해외 오염물질 정제기술 동향 ····· 452
<표 5-167> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 성능지표 및 목표치 ····· 455
<표 5-168> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 연도별 기술개발 내용 ····· 456
<표 5-169> 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 성과물 및 성과지표 ····· 457
<표 5-170> 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 연도별 추진계획 ····· 457
<표 5-171> 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 성과물 및 성과지표 ····· 458
<표 5-172> 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 연도별 추진계획 ···· 458
<표 5-173> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 461
<표 5-174> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 연차별 소요예산 ····· 465
<표 5-175> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 대상입지 ····· 465
<표 5-176> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 466
<표 5-177> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 시설·장비 구축 계획 ····· 467
<표 5-178> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 구축장비 목록 ····· 468
<표 5-179> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 구성요소 ····· 470
<표 5-180> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 세부과제 및 주요내용 ····· 471
<표 5-181> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 현재수준 및 개선목표 ····· 471
<표 5-182> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 성능지표 및 목표치 ····· 489
<표 5-183> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 연도별 기술개발 내용 ····· 490
<표 5-184> 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발을 위한 성과물 및 성과지표 ····· 491
<표 5-185> 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발을 위한 연도별 추진계획 ····· 491
<표 5-186> 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 성과물 및 성과지표 ····· 492
<표 5-187> 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 연도별 추진계획 ····· 492
<표 5-188> 수소 융복합에너지 자립사회 조성 성과물 및 성과지표 ····· 493
<표 5-189> 수소 융복합에너지 자립사회 조성 연도별 추진계획 ····· 493
<표 5-190> 통합관리운영센터 구축 성과물 및 성과지표 ····· 494
<표 5-191> 통합관리운영센터 구축 연도별 추진계획 ····· 494

<표 5-192> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략 ····· 497
<표 5-193> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 연차별 소요예산 ····· 500
<표 5-194> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상입지 ····· 501
<표 5-195> 실증 대상지 현황 ····· 501
<표 5-196> 실증 대상지 발전 설비 구축 현황 ····· 502
<표 5-197> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상지구 에너지 공급 계획 ····· 503
<표 5-198> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 시설·장비 구축 계획 ····· 503
<표 5-199> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 구축장비 목록 ····· 504
<표 6-1> 사업 추진주체별 주요 역할 ····· 710
<표 6-2> 단계별 사업 추진 절차 및 일정 ····· 714
<표 6-3> 성과활용 및 평가지표 ····· 721
<표 6-4> 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업과의 비전·목표 연계 ····· 723
<표 6-5> 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업의 구조 ····· 723
<표 7-1> 내역사업별 소요예산 ····· 729
<표 7-2> 수소도시 인프라모델 개발의 추진과제별 소요예산 ····· 731
<표 7-3> 수소도시 교통모델 개발 추진과제별 소요예산 ····· 734
<표 7-4> 수소도시 연관모델 개발 추진과제별 소요예산 ····· 737
<표 8-1> 기술분야별 기획위원회 구성 ····· 745
<표 8-2> 친환경 수소 경제 구현을 위한 마스터플랜과의 부합성 ····· 752
<표 8-3> 수소경제 활성화 로드맵과의 부합성 ····· 753
<표 8-4> 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안과의 부합성 ····· 753
<표 8-5> 제3차 에너지 기본계획과의 부합성 ····· 754
<표 8-6> 수소경제 표준화 전략 로드맵과의 부합성 ····· 755
<표 8-7> 미래 자동차산업 발전전략과의 부합성 ····· 755
<표 8-8> 수소 인프라 및 충전소 구축방안과의 부합성 ····· 756
<표 8-9> 수소기술개발로드맵과의 부합성 ····· 757
<표 8-10> 제4차 에너지기술개발계획과의 부합성 ····· 758
<표 8-11> 수소 안전관리 종합대책과의 부합성 ····· 758
<표 8-12> 사업의 재원분담 비율 ····· 765

<표 8-13> 국토교통부 최근 5년간 R&D 예산운용 추이 ····· 765
<표 8-14> 국토교통부 R&D 예산운용 계획 ····· 765
<표 8-15> 국토교통부 신규 R&D사업 가용예산 규모 ····· 766
<표 8-16> 기술수명주기 검토 ····· 768
<표 8-17> 총 비용 ····· 769
<표 8-18> 수소 생산방식별 비중 추정 ····· 770
<표 8-19> 수소 생산분야 부가가치 창출 편익 ····· 771
<표 8-20> 수소 저장·운송분야 부가가치 창출편익 ····· 772
<표 8-21> 총 편익 ····· 772
<표 8-22> 경제적 타당성 분석 결과 ····· 773
<표 9-1> 사업추진으로 인한 이산화탄소 저감량 ····· 780
<표 9-2> 국가온실가스 부문별 감축목표 ····· 781

그 림 목 차

[그림 1-1] 수소도시 개념도 ····· 12
[그림 1-2] 사업 시스템 구성도(예시) ····· 14
[그림 2-1] 파리기후협정의 주요 조항 ····· 20
[그림 2-2] 미국의 수소 기술 개발 및 시장 변화에 대한 가능한 시나리오 ····· 22
[그림 2-3] 미국 DOE의 수소생산 R&D 투자분야 ····· 23
[그림 2-4] 미국 DOE의 수소저장 R&D 투자분야 ('18년) ····· 24
[그림 2-5] 미국 DOE의 수소연료전지 R&D 투자분야 ····· 24
[그림 2-6] 'UK H2 Mobility'의 로드맵 ····· 26
[그림 2-7] EU Hydrogen Roadmap Europe의 수소 에너지 공급 목표 ····· 28
[그림 2-8] EU 수소전략 3단계 계획 ····· 29
[그림 2-9] 일본 수소기본전략에서 제시된 발전 시나리오 ····· 30
[그림 2-10] 일본 에너지기본계획 / 수소기본전략 / 수소·연료전지 전략 로드맵의 관계 ···· 32
[그림 2-11] 일본 수소·연료전지 전략로드맵 액션플랜 ····· 33
[그림 2-12] 네덜란드 수소기술 적용 이행방안 ····· 35
[그림 2-13] 기타큐슈 수소 타운 개념도 ····· 59
[그림 2-14] 일본의 수소충전소 및 수소연료전지자동차 보급 현황 ····· 61
[그림 2-15] 일본과 우리나라의 수소충전소 설치 시 정부보조금 지원 방법 ····· 62
[그림 2-16] 일본 수소사회 개념도 및 프로젝트 추진 지역 ····· 62
[그림 2-17] 풍력발전 및 수전해 그린수소 활용 연료전지 지게차 활용 모델 ····· 64
[그림 2-18] 축산분뇨 기반 수소공급을 통한 농장 및 연료전지차 공급 모델 ····· 64
[그림 2-19] 부생수소 활용 액화저장 및 파이프라인 운송 실증 ····· 65
[그림 2-20] 폐플라스틱 기반 수소생산 및 파이프라인 공급 실증 ····· 66
[그림 2-21] 수력발전 기반 그린수소 생산 플랜트 실증 ····· 66
[그림 2-22] 태양광 기반 그린수소 생산 및 금속저장 실증 프로젝트 ····· 67
[그림 2-23] 풍력기반 그린수소 생산 및 천연가스 혼합 공급 실증 ····· 68
[그림 2-24] 풍력기반 그린수소의 금속저장 및 저압 수송을 통한 도시기반시설 공급 실증 ····· 68

[그림 2-25] 수소 CGS 시스템의 흐름 ····· 69
[그림 2-26] 일본 올림픽 선수촌 에너지정비계획 전체상 ····· 70
[그림 2-27] Leeds 시 가스 공급 조감도 및 H21 프로젝트에 의한 수소 공급 ····· 72
[그림 2-28] 덴마크 롤랜드 섬 프로젝트 모식도 ····· 74
[그림 2-29] 네덜란드 Hystock 프로젝트 개념도 ····· 74
[그림 2-30] 호주 수소도시 개념도 ····· 75
[그림 2-31] 울산 수소타운 사업 요약 ····· 79
[그림 2-32] 울산수소타운 개요도 ····· 79
[그림 2-33] 안산 수소시범도시 사업 계획 ····· 81
[그림 2-34] 울산 율동의 수소시범도시 주거모델 종합 구상도 ····· 82
[그림 2-35] 전주·완주 수소시범도시 구상 조감도 ····· 83
[그림 2-36] 삼척 수소R&D특화 도시 사업 기본 개념도 ····· 84
[그림 2-37] 국가별 출원 동향 ····· 89
[그림 2-38] 국가별 특허영향력 비교 ····· 89
[그림 2-39] 수소산업 부문별 특허 현황 ····· 90
[그림 2-40] 외국인 진입도 현황 ····· 91
[그림 2-41] 공동출원 현황 ····· 91
[그림 2-42] 공동출원 비중 현황 ····· 92
[그림 2-43] 부문별 특허경쟁력 현황 ····· 92
[그림 2-44] 세계 수소 사용량(1975~2018) ····· 93
[그림 2-45] 세계 수소에너지 수요 전망 ····· 94
[그림 2-46] 수소생산방식별 생산단가 전망 ····· 95
[그림 2-47] 연료전지시스템 세계 시장 규모 전망 ····· 96
[그림 2-48] 지역별 연료전지 시장 비중 전망 ····· 97
[그림 2-49] 지역별 연료전지 출하량 추이 ····· 97
[그림 2-50] 용도별 연료전지 출하량 추이 ····· 98
[그림 2-51] 용도별 연료전지 시장 전망 ····· 98
[그림 2-52] 연료전지 종류별 출하량 추이 ····· 99
[그림 2-53] 연료전지 종류별 시장 전망 ····· 99

[그림 2-54] 세계 수소전기차 판매 현황 ····· 100
[그림 2-55] 지역별 수소저장시스템 시장 ····· 101
[그림 2-56] 기업별 및 지역별 수소유통량 비율 ····· 103
[그림 2-57] 국내 연료전지 시장 규모 ····· 106
[그림 2-58] 국내 수소 수요 전망 ····· 107
[그림 2-59] 부문별 수소 기술 상업화 시작 ····· 108
[그림 2-60] 생산기술별 수소 생산비용 ····· 109
[그림 2-61] 주요국 정부 수소 및 연료전지 R&D 예산 ····· 110
[그림 2-62] 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program R&D 투자 ····· 111
[그림 2-63] '13~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program R&D 분야별 투자 ····· 112
[그림 2-64] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 생산 R&D 분야 투자 ····· 112
[그림 2-65] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 저장 R&D 분야 투자 ····· 113
[그림 2-66] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 운송 R&D 분야 투자 ····· 113
[그림 2-67] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 연료전지 R&D 분야 투자 ····· 114
[그림 2-68] 일본의 수소 및 연료전지R&D 투자 ····· 115
[그림 2-69] '02~'19 수소기술 정부 R&D투자액 ····· 119
[그림 2-70] '02~'19 수소기술분야별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 120
[그림 2-71] '02~'19 수소 생산기술 정부 R&D투자액 ····· 120
[그림 2-72] '02~'19 수소생산 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 121
[그림 2-73] '02~'19 연료이용 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 122
[그림 2-74] '02~'19 폐자원/바이오매스 가스화 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 122
[그림 2-75] '02~'19 물분해 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 123
[그림 2-76] '02~'19 수소저장·운송기술 정부 R&D투자액 ····· 124
[그림 2-77] '02~'19 수소저장·운송 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 124
[그림 2-78] '02~'19 물리적 저장 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 125
[그림 2-79] '02~'19 화학적 저장 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 125
[그림 2-80] '02~'19 수소운송 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 126
[그림 2-81] '02~'19 수소 활용(수송)기술 정부 R&D투자액 ····· 126

[그림 2-82] '02~'19 수소활용(수송) 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 127
[그림 2-83] '02~'19 육상용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 127
[그림 2-84] '02~'19 해상용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 128
[그림 2-85] '02~'19 항공용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 128
[그림 2-86] '02~'19 수소활용(발전) 중분류 기술별 정부 R&D투자액/비중 ····· 129
[그림 2-87] '02~'19 수소활용(발전) 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 130
[그림 2-88] '02~'19 연료전지 공통기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ··· 130
[그림 2-89] '02~'19 고정형 연료전지 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 131
[그림 2-90] '02~'19 융복합 발전 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 131
[그림 2-91] '02~'19 수소터빈 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 132
[그림 2-92] '02~'19 수소 안전·환경·인프라 기술 정부 R&D투자액 ····· 132
[그림 2-93] '02~'19 수소 안전·환경·인프라 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 133
[그림 2-94] '02~'19 안전기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 134
[그림 2-95] '02~'19 표준화 및 인증기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 134
[그림 2-96] '02~'19 환경/경제성평가 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 135
[그림 2-97] '02~'19 수소인프라 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 135
[그림 2-98] '02~'19 수소시범도시 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중 ····· 136
[그림 2-99] 국토부 사업 중 수소기술개발과제의 연구비 추이 및 현황 ····· 136
[그림 2-100] 국토부 사업 중 수소기술개발과제의 기술분야별 연구비 비중 및 추이 ····· 137
[그림 3-1] 수소 파이프라인 프로젝트 및 참여 국가 ····· 142
[그림 3-2] 연료전지 특허경쟁력 현황 ····· 153
[그림 3-3] 사업 논리모형 ····· 156
[그림 4-1] 사업 추진과제 기술 및 성과 연계 로드맵 ····· 162
[그림 5-1] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 172
[그림 5-2] 수소 도시 구축을 위한 리빙랩 구성도 ····· 180
[그림 5-3] 메가스테이션 개념 및 ICT 운영 기술 개념도 ····· 181
[그림 5-4] 메가스테이션 개념 및 ICT 운영 기술 개념도 ····· 182
[그림 5-5] 네덜란드에서 추진하는 도시 리빙랩의 사례 ····· 182
[그림 5-6] 일본 기타큐슈 수소 타운 개념도 ····· 184

[그림 5-7] 해외 열 그리드 개념 ····· 185
[그림 5-8] 수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발의 기술개발 로드맵 ····· 194
[그림 5-9] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 대상지구 개요 ····· 202
[그림 5-10] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 설비 배치도 ····· 203
[그림 5-11] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 시설·장비 배치도 ····· 205
[그림 5-12] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 210
[그림 5-13] 분산형 4세대 지역난방 사례 ····· 213
[그림 5-14] 2020~2024년 최종에너지 기준수요 전망 및 목표 수요 ····· 213
[그림 5-15] 제5차 집단에너지 기본계획의 방향 및 정책과제 개요 ····· 214
[그림 5-16] CHP 기반 에너지 생산 및 소비 형태의 진화 ····· 216
[그림 5-17] 지역난방시스템의 변화 추이 ····· 218
[그림 5-18] 화학 열저장에 사용 가능한 대상 물질 및 성능 비교 ····· 219
[그림 5-19] 구역 내 전기, 열, 수소 생산설비 및 수요 패턴을 고려한 최적화 운영 기법 개발 ····· 220
[그림 5-20] 예측 및 운영을 위한 최적화 고려 사항 ····· 221
[그림 5-21] 조합최적화 기법을 이용한 의사결정 최적화 ····· 222
[그림 5-22] 4세대 저온 열공급 기반의 구역형 집단에너지 공급 시스템 ····· 223
[그림 5-23] Heat intelligence 기법을 이용한 사용자 수요 예측 분석 ····· 223
[그림 5-24] 한국지역난방공사의 용인 스마트 변온소 실증사업 구성도 ····· 224
[그림 5-25] 산업부 지원 스마트제로에너지 시티(Smart ZEC) 구성도 ····· 225
[그림 5-26] 한국에너지기술연구원의 고온기반 및 중·저온 기반 화학열저장 장치 및 성능 실험 ····· 225
[그림 5-27] 한국에너지기술연구원의 친환경 에너지 타운 신재생 에너지 및 계간축열 실증지 ····· 226
[그림 5-28] 한국건설기술연구원의 에너지 공유 커뮤니티 계획 ····· 227
[그림 5-29] 제주 스마트그리드 실증단지 위치 및 구성도 ····· 228
[그림 5-30] 서울시 마곡 4세대 지역난방 실증사업 개념도 ····· 229
[그림 5-31] GS파워 부천 연료전지 저온 배열 공급사업 ····· 229
[그림 5-32] 한국지역난방공사 농업용 4세대 집단에너지 실증사업 ····· 230

[그림 5-33] 한국지역난방공사 공동주택 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템 설치 및 실증 ····· 230
[그림 5-34] 캐나다 Vergent Power Solution의 마이크로 터빈 기반 분산형 CHP 시스템 ····· 232
[그림 5-35] 미국 Crouse 커뮤니티센터의 Space Heating and Hot Water System (Ingersoll Rand Micro gas turbine) ····· 232
[그림 5-36] PV, SOFC and ESS system in the Marcus Garvey Village ····· 233
[그림 5-37] 독일 ZAE Bayern의 고정형 저온 흡·탈착 기반 화학열저장 시스템 ····· 234
[그림 5-38] 덴마크 Marstal의 태양열 집열 기반 PTES 계간 현열 저장 시스템 ····· 235
[그림 5-39] 수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 기술개발 로드맵 ····· 244
[그림 5-40] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상지구 개요 ····· 249
[그림 5-41] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 토지이용계획 ····· 250
[그림 5-42] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 인구수용 및 주택계획 ····· 251
[그림 5-43] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 시설·장비 배치도 ····· 254
[그림 5-44] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 267
[그림 5-45] 국내 지상식 수소충전소 ····· 271
[그림 5-46] 울산 부생수소 5MW 연료전지 실증단지 ····· 272
[그림 5-47] 미국 수소 설비 지하화 연구 ····· 273
[그림 5-48] 독일 지하 수소 충전 구상 ····· 273
[그림 5-49] Linde사의 액화수소충전소 부품 소개 ····· 274
[그림 5-50] Leeds 시 가스 공급 조감도 ····· 275
[그림 5-51] 키타큐슈 수소타운 조감도 및 실증 사례 ····· 275
[그림 5-52] 롤란드 섬 수소 그리드 프로젝트 ····· 276
[그림 5-53] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 기술개발 로드맵 ····· 282
[그림 5-54] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 대상지구 개요 ····· 289
[그림 5-55] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 토지이용계획 ····· 290
[그림 5-56] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 시설·장비 배치도 ····· 291
[그림 5-57] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 299
[그림 5-58] 국내 수소연료전지 성능개선 방향 ····· 303
[그림 5-59] 신재생에너지를 이용한 On-site 수소 생산 및 공급 ····· 303

[그림 5-60] 액체수소 저장 및 사용의 장점 ····· 304
[그림 5-61] 수소연료전지 철도차량을 위한 인프라 솔루션 ····· 305
[그림 5-62] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 기술개발 로드맵 ····· 316
[그림 5-63] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상지구 개요 ····· 322
[그림 5-64] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 토지이용계획 ····· 323
[그림 5-65] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 시설·장비 배치도 ····· 324
[그림 5-66] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 330
[그림 5-67] Inter-City 수소철도차량 기대효과 ····· 332
[그림 5-68] 국내 수소연료전지 성능개선 방향 ····· 334
[그림 5-69] 대표적인 수소 충전소 방식 (On-site, Off-site) ····· 335
[그림 5-70] 액체수소 저장 및 사용의 장점 ····· 335
[그림 5-71] 수소 충전 프로토콜 개략도 (SAE J2601) ····· 336
[그림 5-72] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 기술개발 로드맵 ····· 343
[그림 5-73] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상지구 개요 ····· 349
[그림 5-74] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 토지이용계획 ····· 350
[그림 5-75] 공항 내 수소 모빌리티 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 354
[그림 5-76] 인천국제공항 탑승교에 설치된 AC-GPS ····· 360
[그림 5-77] 제주 500kW급 풍력-수소에너지 연계 시스템 ····· 361
[그림 5-78] 일본의 이동식 수소충전소 ····· 361
[그림 5-79] 풍력발전과 대용량 PEM 수전해를 연계한 시스템 개발사례 ····· 362
[그림 5-80] 공항 내 수소 모빌리티 실증의 기술개발 로드맵 ····· 368
[그림 5-81] 인천국제공항공사 친환경차량 전환 계획 ····· 375
[그림 5-82] 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상지구 개요 ····· 378
[그림 5-83] 도시형 수소트램 개발 및 실증 토지이용계획 ····· 379
[그림 5-84] 공항 내 수소 모빌리티 실증 시설·장비 배치도 ····· 381
[그림 5-85] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 387
[그림 5-86] 전과정 평가 개념의 개질수소 생산 시 이산화탄소 배출량 ····· 388
[그림 5-87] 가능한 충전소용 개질수소 생산장치와 이산화탄소 포집의 연계 공정들 ····· 389
[그림 5-88] 현대차와 도로공사가 구축한 "H하남 수소충전소 ····· 392

[그림 5-89] 독일 Linde 사의 HydroPrime ····· 393
[그림 5-90] 미국 캘리포니아 주 및 EU의 수소충전소 보급현황(2020.9) ····· 394
[그림 5-91] 도쿄가스와 미쓰비시중공업의 개질기-이산화탄소 액화공정 연계 시스템 ····· 395
[그림 5-92] H21 North of England 프로젝트 ····· 395
[그림 5-93] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 기술개발 로드맵 ····· 399
[그림 5-94] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상지구 및 설비 배치도 ····· 404
[그림 5-95] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 시설·장비 배치도 ····· 405
[그림 5-96] 액화수소충전소 개발 및 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 412
[그림 5-97] 국내 충전소 구축 현황 ····· 413
[그림 5-98] 기체수소 충전소와 액화수소 충전소 비교 ····· 416
[그림 5-99] Munich Airport에 설치된 액체수소 기반 충전소 개념도 ····· 418
[그림 5-100] 액화수소충전소 개발 및 실증의 기술개발 로드맵 ····· 424
[그림 5-101] 액화수소충전소 개발 및 실증 대상지구 개요 ····· 431
[그림 5-102] 액화수소충전소 개발 및 실증 토지이용계획 ····· 431
[그림 5-103] 액화수소충전소 개발 시설장비 구축 범위 ····· 433
[그림 5-104] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 개요도 ····· 435
[그림 5-105] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 436
[그림 5-106] 포항산업과학연구원에서 개발한 흡착제의 CO, CO2, N2 흡착 특성 및 사진 ····· 445
[그림 5-107] 캐나다 Enerkem사의 폐기물 가스화 화학원료회수 시스템 ····· 449
[그림 5-108] 일본 UBE사의 폐기물 가스화 화학원료회수 시스템 ····· 450
[그림 5-109] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 기술개발 로드맵 ····· 459
[그림 5-110] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 토지이용계획 ····· 466
[그림 5-111] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 시설·장비 배치도 ····· 467
[그림 5-112] 재생에너지원을 이용한 수소의 생산 및 저장 개념 ····· 470
[그림 5-113] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도 ····· 472
[그림 5-114] 수소 에너지의 공급 방식과 공급 가격 목표 ····· 475
[그림 5-115] 재생에너지 발전시설과 연계한 수소 생산, 저장 및 이용 개념도 ····· 479
[그림 5-116] 도시발전 시범프로젝트의 차세대 기술개발 방향(과기부) ····· 481
[그림 5-117] 가파도의 마이크로 그리드 구축사업 ····· 482

[그림 5-118] 가사도 에너지 자립섬 구성도 ····· 483
[그림 5-119] Energiepark Mainz 프로젝트의 개념도 ····· 484
[그림 5-120] INGRID 프로젝트에서 구상하는 재생에너지원-수전해-수소저장-
수소이용 value chain ····· 485
[그림 5-121] McPhy사의 수소저장장치 ····· 485
[그림 5-122] 일본 홋카이도의 소형 수력발전을 통한 수소 생산 및 이용 개념도 ····· 486
[그림 5-123] 네덜란드의 HyStock 프로젝트 개념도 ····· 487
[그림 5-124] 재생에너지원으로부터 수소 및 전기를 생산하는 여러 시나리오 ····· 488
[그림 5-125] 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 모식도 ····· 492
[그림 5-126] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 기술개발 로드맵 ····· 495
[그림 5-127] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상지구 ····· 502
[그림 5-128] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 설비 배치도 ····· 504
[그림 6-1] 범부처 사업 추진체계 ····· 712
[그림 6-2] 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업의 구조 ····· 722
[그림 6-3] 범부처 사업과 과제 연계 ····· 725
[그림 7-1] 연도별 사업 소요예산 추이 ····· 729
[그림 7-2] 재원별 비중 추이 ····· 730
[그림 7-3] 내역사업별 소요예산 추이 ····· 730
[그림 7-4] 수소도시 인프라모델 개발의 연도별 소요예산 추이 ····· 732
[그림 7-5] 수소도시 인프라모델 개발의 재원별 비중 추이 ····· 732
[그림 7-6] 수소도시 인프라모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이 ····· 733
[그림 7-7] 수소도시 교통모델 개발의 연도별 소요예산 추이 ····· 735
[그림 7-8] 수소도시 교통모델 개발의 재원별 비중 추이 ····· 735
[그림 7-9] 수소도시 교통모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이 ····· 736
[그림 7-10] 수소도시 연관모델 개발의 연도별 소요예산 추이 ····· 738
[그림 7-11] 수소도시 연관모델 개발의 재원별 비중 추이 ····· 738
[그림 7-12] 수소도시 연관모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이 ····· 739
[그림 8-1] 사업기획 추진체계 ····· 746
[그림 8-2] 사업단 추진체계 ····· 751

제 1 장 사업 개요

1.1 사업 주요 내용

1.2 추진배경 및 필요성

1.3 추진목적 및 범위

1.1 사업 주요 내용

사업명	미래 수소사회 대비 수소도시 실증 기술개발 사업
추진근거	○「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ○「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ○「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ○「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ○「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ○「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ○「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ○「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ○「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
사업 기간	○ 2023년~2031년 (9개년)
추진단계	○ 1단계('23~'26: 4년), 2단계('27~'31: 5년)
투입예산	○ 총 예산: 5,115억원 (국고 3,868억원, 민자 1,247억원) ○ 단계별 예산: 1단계 3,504억원, 2단계 1,611억원
사업의 비전	○ 수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계 조성을 통한 수소 에너지 기반 에너지 전환 달성
사업의 목표	○ 수소도시 시스템 기술의 검증 및 수소경제 기술성·경제성·안전성 확보
대표 성과지표	○ 수소도시 운영 시스템 및 액화수소 충전소 등 10개 핵심기술 확보 ○ 표준 3건 반영 ○ 국외특허등록 94건
단계별 목표	○ 1단계: 수소도시 구성요소 개발 및 신뢰성 검증 - 수소도시 운영 시스템 및 액화수소 충전소 핵심기술: 5건 - 국외특허등록: 40건 ○ 2단계: 수소도시 운영 능력 및 경제성 확보 - 수소도시 운영 시스템 및 액화수소 충전소 핵심기술: 6건 - 표준: 3건 - 국외특허등록: 54건
추진 기술체계	○ 3대 중점추진분야 및 10대 핵심기술로 구성 ※ 3대 중점추진분야: 수소도시 인프라모델 개발, 수소도시 교통모델 개발, 수소도시 연관모델개발
사업 운영관리 거버넌스 체계	○ 정부(과기부·국토부 등 6개 부처), 이사회, 운영위원회, 관리기구(전문기관협의체), 사업단장, PM 등으로 구성

1.2 추진배경 및 필요성

□ **단계적, 계획적 수소도시 모델 개발로 규모의 경제 달성을 위한 기술성, 경제성 확보 과정 필요**

○ 수소차 수요에 기반한 R&D(산업부), 보조금 지급(환경부) 등 단편적 정책으로 근본적인 수요 창출 및 조기 양산 체계 구축에 한계

- 수소경제 활성화 로드맵의 핵심인 수소승용차, 수소버스의 보급, 수소충전소 확대를 유도하기 보조금을 지급 중이나 보조금 이후 자생적 시장 확대 한계

○ 경제성있는 수소의 가격 달성을 위해서는 대량의 수소를 소비할 수 있는 사업영역이 필요하며 이를 위해서는 산업영역과 도시생활 영역에서의 수소확대가 반드시 필요

○ 석유, 천연가스 등 화석연료 중심의 도시 에너지원을 수소화하여 주택, 교통 등 전 분야에서 활용하는 종합적 접근 필요

□ **수소에너지 시스템 구축과 운영을 연계하고 지속가능성 확보를 위해 민간에서 공공영역의 산업 시스템까지 연계할 수 있는 R&D 플랫폼 구축이 필요함**

○ 수소에너지 사용확대를 위해서는 시스템적으로 기술/경제/인문/사회적 가치관 형성이 필수적이며, 이를 위한 시범사업을 통해 경제적 그리고 기술적 평가가 필수적임

- 추가적으로 경제성 확보 가능성 평가는 단일 기술보다는 시스템적인 구성요소를 함께 평가하는 것이 현실적이며, 이를 위한 도시적 수소에너지 구성요소 평가는 반드시 수행되어야 하는 필연적 요소임

○ 국내 수소에너지 기술 개발은 개별적인 과제 단위로 구성되는 경우가 대부분이며, 이는 수소에너지가 전주기적인 관점의 통합 시스템에 대한 기술성 평가를 통해 지속가능성을 확보해야 함

○ 현 추진되는 단일 기술이 아닌 시스템적으로 운영될 수밖에 없는 에너지 산업 생태계에 대한 기반 구축이 시급한 상황임

○ 따라서 다양한 부처에서 시행되었거나 혹은 시행될 예정인 수소에너지 관련 기술의 통합 운영의 장에 대한 고민이 시급한 상황임

□ **수용자 및 기술개발자 간 밀접한 연계를 통해 연구성과의 완성도를 높이고, 연구성과의 활용도를 높이기 위해서는 대규모 및 생활 근접형 테스트베드 구축 과제가 필요함**

○ 대다수 R&D 성과와 산업 연계 미비는 실 사용자와의 소통부재로 인한 것으로 기술 활용성에 대한 사용자 혹은 수용자 의견 반영이 부족

○ 수소에너지는 국가 차원의 패러다임 전환 정책의 일환이므로 실 사용자의 니즈 반영이 필수적인 상황임

○ 기술 개발 성과에 대한 지속가능성을 확보하기 위한 일환으로 실 사용자와의 소통 수단 개발과 이를 통한 성과의 보완이 필수적임

□ 도시단위 에너지 공급 및 시설배치 등 관제 경험 미비로 효과적인 공급체계 마련이 어려운 실정

○ 국내 정책적 수소 공급량 목표는 존재하나 지역별 인구, 경제규모 등을 고려한 예측 규모는 아직까지 정확하지 않음

- 각 지자체별로 수소자동차 공급대수에 따른 수소에너지 공급량을 추산하고 있으며 연료전지 발전량은 도시 계획에 의하지 않고 민간 사업자의 사업에 의해 단순히 결정되는 문제를 가지고 있음

○ 수소에너지의 생산과 각 건물의 수소에너지 수요를 도시 계획 단계에서부터 준비하여야 하며 이를 조절할 수 있는 수단 마련이 필요

- 지역별 수소 사용량 예측 뒤 도시 내 수소를 공급하기 위한 시설의 배치 전략이 미흡하며 수소에너지 관련 DB 혹은 관제 시스템에 대한 진지한 접근은 없음

- 국내에서 진행된 울산수소타운의 경우 연료전지에 의한 주거 모델 시범사업을 실시하였으며 울산시 부생수소를 기반으로 공급하여 다양한 수소생산과 수요에 대한 연구는 진행되지 않음

○ 도시의 에너지는 기존의 열, 전기, 가스 기반의 시설을 기반으로 수소 네트워크가 추가되는 구조로 진행될 것이며 이에 대한 연구가 진행되지 않을 경우 도시에 대량의 수소공급 체계 마련 불가

□ 수소도시 실증 건설에 앞서서 사고원인 파악 및 재발 방지를 위한 도시 차원의 건설지침, 매뉴얼, 안전 운영기술 확립 및 사고감시 대응 연구가 필요

○ 주거 등 생활 밀집 지역과 직접 연결되는 도심 내 검증되지 않은 기술을 적용하기 위한 실증 중 강릉사고와 유사한 사고 제발 시 수소경제 전반에 심각한 타격 우려

○ 대용량의 수소사용을 전제로 추진되는 수소도시 실증연구는 과제의 자율성을 침해하지 않는 범위 내에서 안전성을 제고하기 위한 안전한 관리 기술 개발 병행이 필요

□ 구역단위 복합(주거·비주거) 건물과 연계된 트라이젠(전기·온열·냉열) 및 수요대응을 위한 서브스테이션 기술 실증 필요

○ 우리나라 기존 에너지 시스템은 대규모 설비 기반의 통합적이고 중앙 집중적인 공기업의 B2B 위주로 운영

○ '3차 에너지 기본계획'은 에너지정책을 소비구조 혁신 중심으로 전환하고 분산형 참여형 에너지 시스템 확대 목표를 설정하였으며 '제5차 집단에너지 공급 기본계획'에서는 집단에너지 저온열 공급에 연계한 연료전지 열을 최대한 활용하는 중장기 로드맵 제시

○ 국토부의 제로에너지 건물 로드맵은 25년부터 민간건축물과 공동주택을 제로에너지건물 의무대상으로 포함하고 건축물 단위에서 지구·도시 단위로 확산 계획 발표

○ 현재 연료전지에서 생성되는 열 에너지는 계절과 수요에 따라 버려지는 양이 대부분으로 실제적인 연료전지의 총괄 효율을 모두 사용하지 못하는 문제가 발생하여 연료전지의 경제성 도달의 문제점 발생

○ 연료전지에서 발생되는 열을 효율적으로 활용하기 위해서는 연료전지 열 온도, 양에 따른 축열시스템, 열을 효율적으로 이용할 수 있는 건물 구조 등에 대한 연구는 진행된바 없음

○ 연료전지 열을 이용한 4세대 지역난방은 공급사가 저온열(50~80℃)을 세대까지 직접 공급하는 방식으로 서로 다른 온도대의 열을 사용하는 건물들을 묶어서 공급하는 것으로 국내 실증 사례가 없음

○ 두산, 포스코 등 국내업체 열병합 시스템은 개발/보급 후 충분한 열공급이 어려운 경우가 많아 설치 후 미운영 사례 다수 존재

○ 소규모 건물용/대규모 발전용 열병합발전 시스템의 개발 사례가 있으나 구역단위 시스템 개발이나 수소 직공급 방식의 발전시스템 연구는 현재 미비

○ 부하 특성이 다양한 주거, 상업, 공공용 건물들을 대상 구역 안에 혼입하여 주·야간 및 일간 열수요 배분을 통한 연료전지 가동률 향상과 구역 내 열구동 냉방기 활용을 통한 계절간 열수요 격차 완화 필요

○ 수소기반 열병합발전 효율을 극대화하기 위한 방안으로 수소 기반 공급 에너지 목표를 공급이 아닌 사용관점으로 설정하는 것이 적합

- 생산된 전기는 기저부하를 담당하고, 계절별·시간별 부하특성이 상이하여 남는 배열을 효과적으로 저장/공급/운영/제어 하는 관점으로 시스템 설계·운영 필요

○ 서브스테이션 실증에서 열 및 전기 부하에 대한 요구량과 연료전지특성에 따른 열/전기 생산량을 분석하여, 수소 열병합발전 용량을 최적화

- 시스템 가동시간, 시스템 효율 및 경제성 향상, 자가소비율 향상 등 다양한 시너지 효과를 기대

□ **기술적 측면과 지역주민의 정서적 측면의 접근, 예방적 기술성능(기준, 방호격리 등), 지하화를 통한 위험영향 격리 등 저변확산 등 종합적인 resilience 기술체계 구축 필요**

○ 교통·주거·산업 분야에서 수소 수요가 급격히 증가할 것으로 전망되나, 수요처에 수소를 안전하고 효율적으로 공급하는 인프라에 투자가 미흡한 실정

○ 수소경제 조기실현을 위해서는 수소수요의 비약적 확대를 통한 新산업 생태계 창출과 이를 지원할 안전한 수소 생산과 근접 공급체계의 구축이 중요함

○ 수소 공급 인프라 구축에 있어서, 기존 지상설비방식 보다는 수요처 근접 지하에 수용하는 방식을 국민의 눈높이에서 적극 검토 필요

○ 기존 지상설치방식은 넓은 부지 요구, 시설기준(설계·시공·유지관리, 안전) 미비, 주민 반대 및 사회갈등 등으로 수용성이 매우 낮음

□ **다양한 교통시설에서의 수소 모빌리티 적용 및 실증 필요**

○ (항공교통) 김포와 제주 공항의 경우 항공기를 제외하고 연간 5만 ton 이상의 이산화탄소가 배출되는 등 수송분야 중 항공교통 인프라인 공항에서 발생 가능한 온실가스 등의 대기오염 물질 배출 감축 필요

- 국내 최대규모인 인천공항도 항공기를 제외하고 연간 70만 ton 이상의 이산화탄소가 배출되고 있으며 이중 공항 내 모빌리티 부분에서만 연간 30만 ton 이상의 이산화탄소가 배출됨

○ 공항은 물류의 중심 역할을 하며 이로 인해 사용되는 실내 물류지게차 전기기게차를 이용하고 있으나 충전시간, 빈도 등의 문제로 이용율 감소 문제가 있음

○ (철도) 철도 분야가 직면한 환경부담 문제에 대한 해법으로 온실가스 저감을 위해 가장 우수한 수단인 수소연료전지를 적용한 철도차량 도입 필요한 상황

○ 수소철도차량은 외부 전력공급이 필요 없는 에너지 독립형 차량으로 기존 및 신설 노선에 쉽게 적용이 가능

- 중/소도시의 교통서비스 확대를 통한 국민의 삶의 질 향상 및 전력설비에 인한 사고발생 원인 제거로 안전향상과 철도 주변 도시 미관 향상

○ 해외에서 수소연료전지는 철도차량의 친환경 독립전원으로서 실용화가 급속히 진행되고 있어

- 관련분야 기술적 격차 확대 및 시장경쟁력 약화에 따른 관련 국내산업의 축소 등이 우려됨에 따라 국가적 대책마련이 시급히 요구됨

○ 전차선 등 급전 설비가 필요 없어 경원선 등의 비전철화 구간이나 신규 노선 적용 시 인프라 구축비용 및 유지보수비가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율을 갖는 수소 활용으로 운영기관의 에너지비용 경감

○ 내구연한 도래에 따른 디젤철도차량 대체 시(2025년 기준) 예상되는 물량은 디젤기관차 153량(58억/대), 디젤동차 80량(9억/대) 등 총 9,594억원 규모로 수입 대체 등 경제적 파급효과가 높음

○ 국내 수송분야 수소연료전지 적용은 현대자동차가 상용화를 주도하고 있으나 자동차 이외의 교통수단에 실용화 연구가 진행된 사례는 없음

- 수소에너지 적용 확대와 해외 철도 기술경쟁력 확보를 위하여 연구개발 추진이 필요함

○ (트램) 트램은 세계 404개 도시에서 운영 중이며 현재 85개 도시 건설 중이고 향후 10년간 약 200개 이상 도시에서 도입예정

- 국내에서도 서울시, 부산시, 대전시, 성남시, 수원시, 창원시, 울산시와 위례신도시 등에서 트램 도입 검토 중

○ 트램은 도시 미관개선과 친환경성을 고려하여 무가선 타입의 트램을 우선적으로 고려

- 무가선트램 구현을 위해서는 배터리나 슈퍼캐퍼시터를 이용한 에너지저장 방식 트램과 에너지 발생장치인 수소연료전지와 에너지저장장치를 혼용한 하이브리드 방식 트램이 개발 중

○ 배터리구동 트램은 단거리 수송수단으로 장점이 있으나 트램 운영 효율성 및 가용성을 극대화 하고 장거리 운행을 위해서는 에너지 밀도가 높은 수소연료전지 트램 개발이 시급

□ 블루수소(개질수소+CCS) 실증함으로써 경제성과 문제점 파악이 필요

○ 천연가스 수증기 개질은 경제성과 대량생산 측면에서 가장 유리하나 탄소배출이 수반

○ 만 Nm^3/h 이상의 대용량 생산기술은 상용화 완성, 천 Nm^3/h 이하의 소용량 생산기술은 효율향상 및 가격저감을 목표로 기술개발이 활발, 수천 Nm^3/h 규모의 중용량 수소생산 기술은 상용화 되어 있으나 아직 효율의 개선 여지가 있음

□ 대형 모빌리티 수소 이용 확대와 해외기술 의존 탈피를 위해 액화충전소 연계 실증 필요

○ 수소버스, 수소도시, 수소선박 등 향후 대용량 사용처의 수소공급을 위하여 경제성을 갖춘 액체수소 기반의 대용량 저장, 공급 인프라 구축 필요

○ 기존 기체수소 충전소의 경우 수소는 약 200 bar의 고압 기체수소 튜브트레일러로 소량 운송되어, 대용량 수소 공급이 필요한 도심지에의 적용에 있어 경제성, 주민 수용성 등의 단점이 존재

○ 현재 액화수소 충전소 관련 국내 기술은 초기 연구단계로, 정부 계획에 의한 2022년 까지의 액화수소충전소 구축시 관련 모든 기술의 해외도입 불가피

○ 향후 경제성·안전성을 가지는 액화수소 충전소의 확대가 예상되나, 현시점에서 국내 기업의 경쟁력을 확보하지 않으면 기체수소충전소(현재 부품 국산화율 40%)보다 심각하게 해외 기술 및 제품에 의존하게 됨

□ 미래 수소기반 자립형 에너지 모델에 대한 선제적 실증 필요

○ 소비자 중심의 소규모, 친환경, 지역 중심의 자립형 분산형 스마트 에너지시스템을 보여주는 최적의 모델이 필요함

○ 에너지 자립을 요구하는 지역은 대부분 수려한 자연환경을 가지고 있으나 에너지 공급시스템의 부재로 인하여 지역발전의 저해요소로 작용

- 자연환경을 해치지 않는 재생에너지와 수소에너지를 활용한 그린수소기반 에너지 자립 도시의 실증은 그 지역의 경제와 주민 복지에 기여
- 도서지역은 신·재생에너지 보급을 위한 종합적이고 효율적인 계획 수립 및 관리를 위한 컨트롤 타워가 부재

○ 신재생에너지의 불안정성으로 디젤 수요의 증가 및 잉여전력 손실로 에너지효율이 낮음

- 국내 에너지 자립 지역의 주 전원인 디젤발전시스템의 경우 환경문제를 유발하며 육지로부터의 디젤연료의 수송비용이 발전비용에 포함되고 있어 발전단가를 높이고 있음

○ 현재 구축된 재생에너지 이용 에너지 자립섬은 실질적인 적용이나 민간사업자의 참여 확대가 저조함

- 수요에 맞는 에너지 공급의 지속성 부족, 리튬배터리를 활용한 에너지저장장치의 고비용과 화재의 불안정성, 높은 유지관리비 등이 한계

○ 기존의 도서의 전력 수요만을 충족하는 직접적 경제모델은 경제성이 낮으며, 수요와 공급의 부조화를 통해 발생하는 에너지손실량이 많음

- 지리적 여건으로 신·재생에너지 설비 구축 및 보수를 위한 특수 장비 반출입이 용이하지 않으며 발생되는 비용이 높아 안정적으로 전력을 공급하고 운영하기 곤란

1.3 추진목적 및 범위

1.3.1 사업 목적

○ 다양한 수소도시 모델 통합실증을 통해 국내 수소 인프라 관련 기술의 상용화를 촉진하고, 안전대책을 마련해 국민 수용성 제고 및 해외수출 가능한 국산기술의 개발을 지원

1.3.2 수소도시 및 수소그리드의 개념

□ 수소도시의 정의

○ 수소가 도시에 사용되는 에너지의 20% 이상을 담당하는 ICT 연계 스마트 수소에너지 융합 도시

□ 수소도시 미래 모습

- (생산) 부생수소, 추출수소 뿐만 아니라 신재생 에너지를 활용한 수소생산 기술이 발전하여 도시단위의 그린수소 생산
- (저장·이송) 액화·고체 저장기술을 활용하여 도시내·도시간 대용량 수소 저장·이송이 가능해져 가격 경쟁력 확보
- (활용) 수소 발전시설, 수소 메가스테이션* 등 핵심 기반시설을 통해 주거·교통·산업 등 도시활동 전반에서 수소를 안전하게 활용

* 대용량 수소저장, 저장된 수소를 건축물·충전소 등에 공급, 안전 모니터링 등

□ 수소도시의 의의

- 수소활용 확대를 통해 지속가능하며 친환경적인 도시 기반시설 및 대중교통 수단을 갖추어 국민의 삶과 도시의 가치 향상
- 기존 에너지 및 데이터 기반 스마트시티 기술과 융합을 통해 안정적이고 친환경적이며 편리한 도시 환경
- 수소를 활용하여 미세먼지, 이산화탄소를 최소화하는 에너지 최적화 도시 구축을 통한 국민 복지 실현
- 수소도시 세계 시장 선점을 위한 기술적 토대 마련



[그림 1-1] 수소도시 개념도

□ 수소 그리드의 범위

○ (에너지 공급) 수소 발전시설에서 생산된 전력 혹은 수소를 이송하기 위한 수단으로, 파이프라인, 수소이송 교통수단 그리고 전력선 등을 포함

○ (교통 시스템) 도시내 공간을 이동할 수 있는 수단으로서 수소 자동차가 운행할 수 있도록 수소 등을 충전할 수 있는 수소 충전소

1.3.3 사업의 정의 및 범위

가. 사업의 정의

○ 단위 개별 기술에 대해 커뮤니티 단위에서 생산-이송·저장-활용의 전주기적 수소 시스템 상업적 검증이 가능한 도시 실증 사업

나. 사업의 범위

□ 공간적 범위

○ (소규모 커뮤니티단위 실증) 수소도시를 조성하기 위해 도시 내 생활권 단위공간에 도시 활동의 핵심인 주거, 교통 분야에 집중하여 수소 활용 기술을 실증하고 안전성 등 검증

○ (사업종료 후 활용가능 입지 중심) 규모 확장이 비교적 용이한 대중교통 시스템, 공동주택 등에 적용 가능한 모델 발굴로 수소전주기 경제성 확보 추진

○ (기존 교통인프라 활용중심) 공항, 고속도로 유휴지, 철도기지 등에 인프라를 설치·운용하고 대중교통시설을 활용함으로써 국민이 자연스럽게 수소시설을 이용할 수 있는 환경 조성

○ 모델별 공간적 범위

- (수소도시 인프라 모델) 공동주택 단지 및 버스차고지 등 도심지
- (수소도시 교통 모델) 철도차량기지, 국제공항공사, 고속도로 유휴부지 등 국가핵심교통 거점
- (수소도시 연관 모델) 출연연 극저온 시험인증센터, 도시 생활폐기물 집적지, 150세대 규모 도서

□ 시간적 범위

○ 2023년~2031년 (9개년)

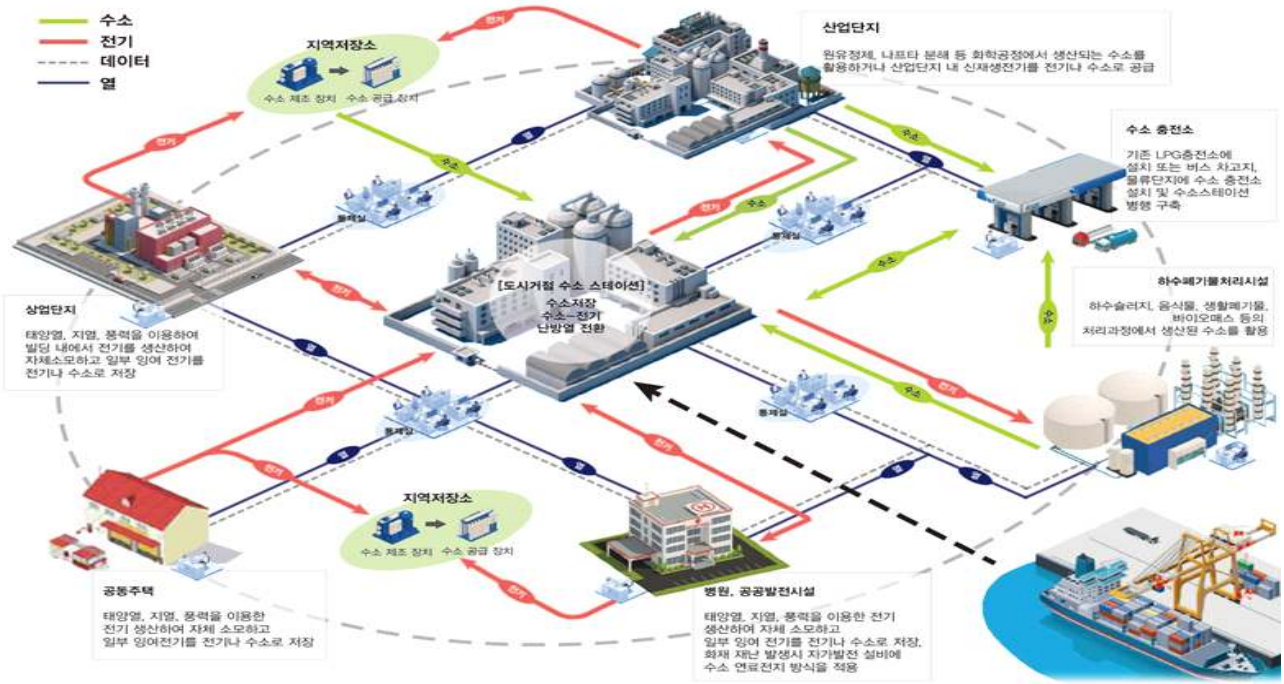
- 1단계 : 2023년~2026년(4년)
- 2단계 : 2027년~2031년(5년)

□ 기술적 범위

○ 지속가능한 수소 도시를 위한 전주기적 통합 시스템 실증

- (생산) 도시단위의 수소를 생산할 수 있는 설비로 각 지역적 특색에 적합한 수소추출설비, 수전해 설비, 부생수소 생산설비 등을 포함
- (저장) 도시 구성물 등에 수소 공급을 위해 생산설비로부터 생산된 수소를 저장할 수 있는 설비로 수소압축 저장설비와 수소액화 저장설비, 기타 LOHC, 금속수화물 저장설비 등을 포함
- (이송) 수소생산 거점으로부터 도시 내·외에 수소를 이송하기 위한 설비로 수소배관과 수소이송트레일러 등을 포함

- (활용) 수소터빈 및 연료전지를 통한 전력 생산, 수소자동차와 충전소 등을 포함하고 열, 전기, 냉방에너지 공급이 가능한 서브스테이션 실증
- (안전) 비정상적 취급 시 사고의 위험성이 상존하므로 수소도시 건설, 운영, 사고대응 등 과제기획 시 필요한 안전성 확보



[그림 1-2] 사업 시스템 구성도(예시)

1.3.4 사업 계획 수립 방법

○ 지속가능성을 갖는 과제 기획

- 실증 R&D 종료 후 성과물이 지속적으로 사용도록 과제를 설계 지속적 관리 비용이 필요한 과제 배제
- R&D 활동비용, 실증을 위한 설치 비용, 실증 비용 등을 지원하여 과제기간 종료 후 수혜 기업, 지자체의 지속적 운영 가능의 과제 개발

○ 규모의 경제로 확대 가능한 과제 기획

- 규모 확장이 비교적 용이한 대중교통 시스템*, 공동주택 등에 적용 가능한 모델 발굴로 수소전주기 경제성 확보 추진

  * 철도, 고속도로, 공항 등에 우선 적용 가능 모델 선정

❍ 실증 대상지 확보 가능 과제 기획

- 수소에 대한 막연한 불안감으로 도심 시설 구축 시 주민수용성 확보에 어려움 존재
- 공항, 고속도로 유휴지, 철도기지 등에 인프라를 설치·운용하고 대중교통시설을 활용하여 자연스럽게 수소시설을 이용할 수 있는 환경 조성

※ 혐오 시설로 인식되는 수소생산시설, 충전소 등은 민원이 없는 제한구역 내에 설치하며, 시민이 일상적으로 사용하는 버스 등을 우선적으로 검토

- 국토부 관리 대상인 공항, 철도, 고속도로 등 특수대상지역은 인천공항공사, 철도청, 한국도로공사와 협의하여 선정
- 나머지 대상지는 사전기획*에서 조사한 지자체의 참여 의향을 토대로 기획위원회의 의견을 수렴하여 후보지를 제시하고 실제 대상지는 과제 공고단계에서 공모를 통해 선정

* 국토교통과학기술진흥원(2019), 미래 수소사회 대비 수소도시 기반 시설 및 수소 그리드 기술 개발 사전 기획

❍ 수용성을 우선으로 하는 안전대책과제 기획

- 수소는 가연성 가스로 비정상적 취급 시 사고의 위험성은 상존하므로 안전성 확보 방안 마련 필요
- 수소도시 건설, 운영, 사고대응 등 수소도시 안전관련 과제 기획

제 2 장 국내외 주요 동향분석

2.1 정책동향

2.2 기술동향

2.3 특허동향

2.4 시장동향

2.5 R&D동향

2.6 환경분석 종합시사점

2.1 정책동향

2.1.1 국외 온실가스감축 정책동향

○ `20년 만료 예정인 교토의정서를 대체하기 위해 프랑스 파리에서 개최된 제21차 기후변화협약(UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change) 당사국총회(`15.12)에서 파리협정(Paris Agreement) 채택

○ `20년 만료 예정인 기존의 교토의정서를 대체하고, 선진국과 개도국 모두가 자국의 상황을 반영하여 참여하는 보편적인 체제 마련

○ `23년부터 5년 단위로 파리협정 이행 및 장기 목표 달성가능성을 평가하기 위해 전지구적 이행점검(Global stocktake) 실시

<표 2-1> 파리 협정 개요

구분	세부 내용
개최국	프랑스 파리(제21차 기후변화협약 당사국 총회)
세부 구성	전문 및 29조항으로 구성
채택/발효 시기	(채택) 2015.12 / (발효) 2016.11
대상 국가	195개 모든 당사국(NDC)
범위	온실가스 감축을 위한 이행수단(재원, 기술이전, 역량배양) 포괄
목표	① 지구 평균 기온 상승 억제(2℃ 이하, 1.5℃ 추구) ② 기후변화 적응력 강화, 기후 회복력 증진, 온실가스 감축, 지속가능발전, 빈곤 퇴치 지원 마련
감축량 설정방식 및 보고	각 국가의 자발적 감축목표(NDC) 결정에 의한 5년 단위 상향식 결과보고
적용 시기	2021년 ~ 종료 시점 없음

자료) 오진규, Journal of Climate Change Research 2018, Vol. 9, No. 4



[그림 2-1] 파리기후협정의 주요 조항

○ 파리협정 발효에 따라 세계 각 국은 자국의 여건을 고려하여 자발적으로 감축 목표를 설정하였으며, 각 국은 감축 목표 달성을 위해 온실가스 감축 로드맵 수립을 통한 부문별(전환, 산업, 건물, 수송 등) 감축 목표 설정

○ 선진국들은 절대량 목표를 제출하였으며, 우리나라와 멕시코는 BAU 대비 감축목표, 중국, 인도는 탄소집약도 감축 목표 제출

<표 2-2> 주요 11개국의 자발적 감축 목표

구분	한국	EU	미국	일본	호주	캐나다	러시아	브라질	중국	인도	멕시코
Type*	BAU	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Intensity	Intensity	BAU
기준 연도	-	1990	2005	2013	2005	2005	1990	2005	2005	2005	-
목표 연도	2030	2030	2025	2030	2030	2030	2030	2025/ 2030	2030	2030	2030
감축 목표	-37%	-40%	-26%~ -28%	-26%	-26%~ -28%	-30%	-25%~ -30%	-37%~ -43%	-60%~ -65%	-33%~ -35%	-25%~ -40%

주) 1) Absolute : 선진국들이 제출한 절대량 감축 목표로 Absolute Target을 의미
2) BAU(Business-As-Usual) : 목표 연도의 BAU 배출량 대비 감축비율 설정
3) Intensity : Carbon Intensity로 탄소집약도를 의미

자료: 오진규, Journal of Climate Change Research 2018, Vol. 9, No. 4

2.1.2 국외 수소 정책동향

가. 미국

○ 미국은 ‘01년 ‘National Hydrogen Vision Meeting’에서 수소경제의 비전을 제시하고 이를 체계적으로 수행하기 위하여 ‘02년 ‘국가 수소 에너지 로드맵(National Hydrogen Energy Roadmap)’을 발표

○ 미국의 에너지 안보, 에너지 다양성 및 환경 문제를 해결하기 위하여 수소 에너지 개발을 위한 청사진 제시

- 전주기에 관한 수소개발 영역 및 향후 도전과제에 관한 내용을 포함

<표 2-3> 미국 국가수소에너지로드맵 부문별 수소 에너지 개발 전략

구분	주요 내용
수소생산	화석연료(특히, 석탄)을 원료로 한 수소생산에 주력
수소운반	파이프라인, 트럭, 철도, 분산형 발전설비, 수소스테이션 등의 통합 네트워크를 구성
수소저장	수송용 연료전지 부문에 필수적 요소
수소전환	직접연소, 연료전지의 양산으로 단가 저렴화
응용분야	우주선용, 발전용 및 가정·상업용 등

○ `06년 에너지부(DOE)는 수소 생산·운반·저장 등 전주기 R&D 및 인프라 구축 지원 방안을 구체화한 Hydrogen Posture Plan을 발표하였고, `11년 이를 수정 보완한 ‘Hydrogen and Fuel Cells Program Plan’ 발표

○ Hydrogen Posture Plan(2006)은 에너지원 수입을 최소화하기 위한 공급원 확대와 에너지 안보 강화, 환경오염을 최소화하기 위한 재생에너지원의 확보 및 사용을 목적으로 한 등의 로드맵 제시

○ 수소 생산·운반·저장 등 전주기 R&D 이외 모든 프로그램 요소 (수소 생산, 공급 및 저장, 연료 전지, 안전, 표준 및 규칙, 교육)를 통합하고 기술 목표에 대한 진행 상황을 모니터링하기 위한 시스템 분석 및 통합 (system analysis & integration)을 도입

○ 수소 생산 및 소비 관련 기술표준 및 규제를 제정하고 각종 안전장치 마련을 추진

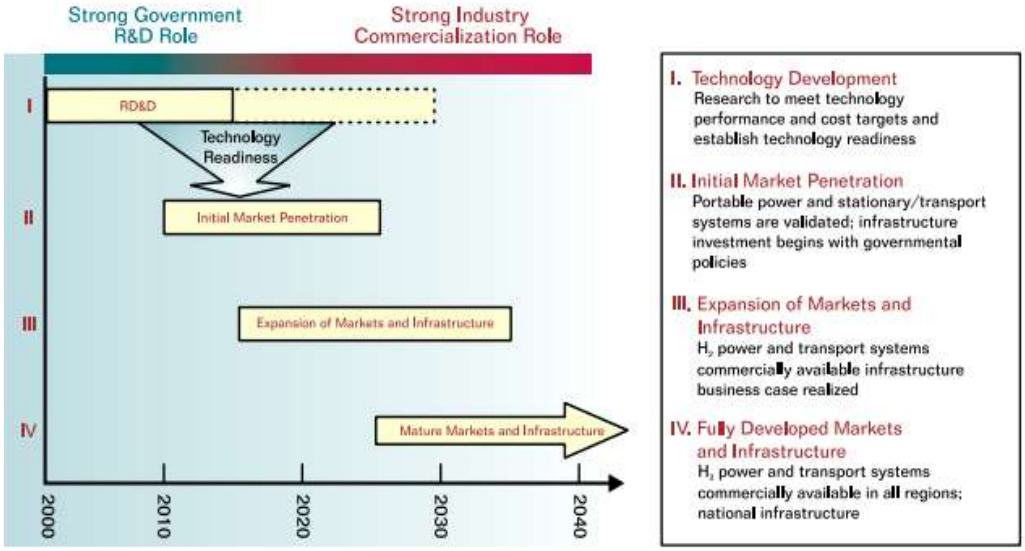
○ 관련 단체의 수소 및 연료전지 기술수용성 향상을 위한 교육·훈련활동 등을 수행

○ 에너지부(DOE)는 ’00년부터 `40년까지 수소에너지관련 기술개발의 목표치를 상업화까지의 장기 전략을 제시

<표 2-4> 미국의 부문별 수소에너지 기술개발 목표

구분	주요 내용
수소생산	- 천연가스로부터 수소 생산: 원가(공급가격 아님) 2010년까지 $2.50/gge 이하 목표 - 석탄으로부터 수소 생산: 2015년까지 공급가격 $1.80/gge 이하 목표 - 수전해 등 재생에너지로부터 수소 생산: 2017년까지 공급가격 $3.00/gge 이하 목표 - 열화학적 수소 생산: 2020년까지 공급가격 $3.00/gge 이하 목표
수소운반	- 수소 운반비(차량 및 파이프라인 포함): 2017년까지 $1.00/gge 이하 목표
수소저장	- 2010년까지 저장용량 1,500Wh 시간/리터, 가격 $4.00/kWh, 2015년까지 저장용량 2,500Wh 시간/리터, 가격 $2.00/kWh
수소전환	- 2015년까지 PEM 연료전지 발전원가 $30/kW, 산업공정용 가스터빈 발전원가:$400/kW
응용분야	- 2018년 수소충전소 71개소에서 2020년까지 수소충전소 123개소 설립 목표 - 2018년 수소전기차 1500대에서 2020년까지 수소전기차 3~6만 대 목표

자료: DOE Hydrogen Posture Plan, 2004



자료: United States Department of Energy(2006), Hydrogen Posture Plan

[그림 2-2] 미국의 수소 기술 개발 및 시장 변화에 대한 가능한 시나리오

○ 'Hydrogen and Fuel Cells Program.'은 연료전지의 재료에서 수소 인프라 기술까지 상용화 목표달성을 위해 필요한 핵심기술의 개발과 투자 지원

○ (관련지원부서) DOE내 재생에너지국(EERE), 기초과학국(SC), 화석에너지국(FE), 원자력국(NE) 및 에너지-혁신연구부(ARPA-E)가 프로그램 지원

○ ('18년 예산) '18년 미국 에너지부(DOE)의 수소 및 연료전지 관련 총 투자액은 약

1억 8,500만 달러이며, 재생에너지국(EERE)의 수소 및 연료전지 투자 예산은 전체의 약 62%를 차지

<표 2-5> 미국의 '18년도 수소 및 연료전지 관련 예산

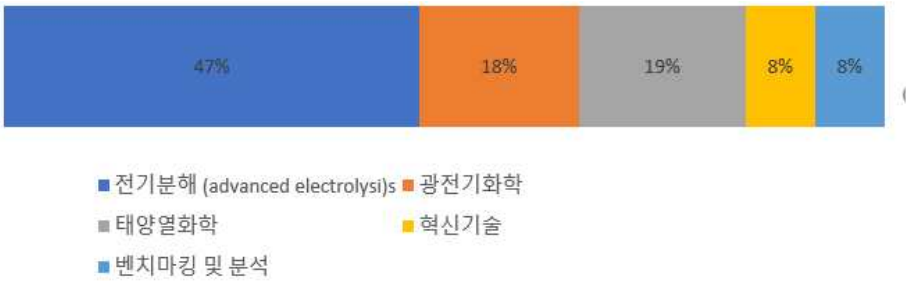
(단위: 백만달러)

지원국	지원부분	FY 2018
EERE	수소 및 연료전지 관련	115
FC	고체산화물 (연료전지)관련	30
ARAPA-E	수소 및 연료전지 관련	20
NE	수소 및 연료전지 관련	2
SC	수소 및 연료전지 관련	19
합계		185

자료: DOE(2019), 2018 Annual Progress Report

○ '18년 미국 에너지부(DOE)의 수소연료기술개발(Hydrogen Fuel R&D)의 총 투자는 3,800만 달러로 수소생산분야에 2,200만 달러, 수소저장분야에 1,600만 달러를 투자

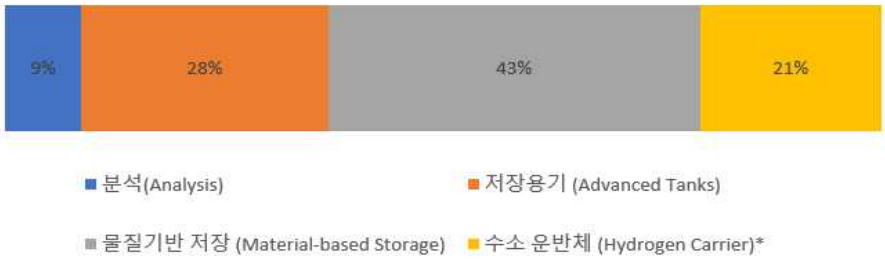
- 전기분해(advanced electrolysis)는 '18년 수소생산 R&D분야에서 가장 많이 투자된 분야로 총 수소생산 R&D 투자의 47% (약 1,020만 달러)를 차지
- '18년 수소저장 R&D분야에서 가장 많이 투자 된 분야는 물질기반 저장(Material-based Storage)으로 총 수소저장 R&D 투자의 43%인 약 680만 달러를 투자



자료: DOE (2019), 2018 Annual Progress Report

주: 2018년 기준

[그림 2-3] 미국 DOE의 수소생산 R&D 투자분야



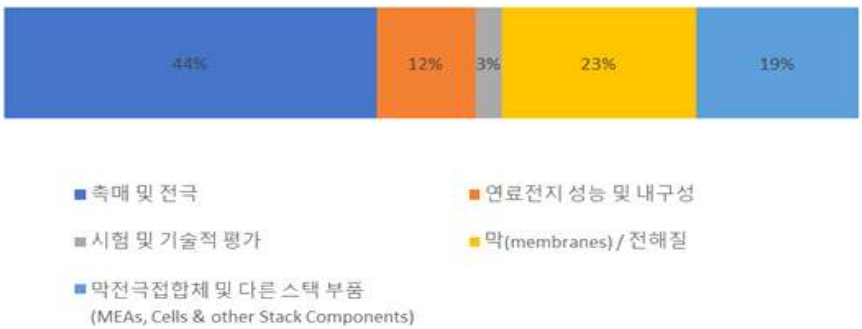
주 1) 수소운반체(Hydrogen Carriers)는 수소가 풍부한 액체상태나 고체상태의 물질로 필요시 수소를 방출할 수 있는 물
2) 2018년 기준

자료: DOE (2019), 2018 Annual Progress Report

[그림 2-4] 미국 DOE의 수소저장 R&D 투자분야 ('18년)

○ '18년 미국 에너지부(DOE)의 연료전지 기술개발관련 총투자는 3,200만 달러로 연료전지 스택 부품의 비용 절감 및 성능과 내구성 향상에 중점을 둠

○ '18년 연료전지분야에서 가장 많이 투자 된 분야는 촉매 및 전극분야로 총 투자의 44%인 약 1,400만 달러를 투자했으며 그 뒤를 이어 막 및 전해질 분야에 투자



자료: DOE (2019), 2018 Annual Progress Report

주: 2018년 기준

[그림 2-5] 미국 DOE의 수소연료전지 R&D 투자분야

○ 에너지부(DOE)는 '13년 5월, 민관협동체제인 'H2USA'컨소시엄을 발족시키고 수소전기차(FCEV) 및 수소인프라 보급을 촉진하기 위한 'H2FIRST 프로젝트'를 추진

○ 'H2USA'컨소시엄은 도요타, 벤츠 등 완성차 업체와의 파트너십을 구축하고 수소충전 인프라의 구축과 FCEV의 대규모 도입 및 온실가스 배출 저감, 청정 에너지원 관련 기술 개발을 추진

나. EU

○ EU는 연료전지와 수소에너지 기술 개발 연구 등의 지원을 위해 ‘08년 민관파트너십인 FCH JU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking)를 설립

- FCH JU은 수소에너지와 연료전지의 기술 개발 지원을 통하여 관련 기술들의 시장 진입을 가속화하고 이를 통해 청정에너지 시스템을 달성하는 것을 목표로 함

<표 2-6> EU의 FCH JU 개요

개요	FCH JU는 EC에 의하여 2008년 5월에 설립되었으며 유럽의 유일한 공공-민간 협력체계이며 기술의 개발과 실증을 통하여 저탄소 에너지 시스템의 시장 진입 가속화를 지원하는 것을 그 기본 목적으로 하고 있음
참여주체	European Commission The New Energy World Industry Grouping (NEW IG) N.ERGHY –Research community
목적	수소 에너지 시스템 조기 구축 및 산업 경쟁력 제고
이행방안	수소·연료 전지 기술의 상용화를 위한 수소에너지 기술개발, 수소플랫폼 설립과 공공-민간 협력체계 구축, EU회원국에 1,000개 수소충전소 건설 및 수소전기차 보급 실증프로젝트를 추진
FCH JU의 H2020계획	2014년 수소연료전지산업 공동기술개발 발안(Joint Technology Initiative) EU Horizon 2020 Framework Program을 승인하고 2014년부터 2020년까지 EC와 민간기업 연구기관이 50:50으로 공동 투자해 총13.3억 유로의 예산을 책정하였음

자료: 호서대학교 (2016)

○ 유럽은 ZEFER(Zero Emission Fleet Vehicles for European Roll-Out) 프로젝트를 통해 수소 연료전지차 확산을 추진

- ZEFER 프로젝트는 영국의 Element Energy사와 Air Liquide, ITM Power Trading Ltd, Green Tomato Cars 등이 이끄는 컨소시엄에 의해 ‘17년 9월부터 ’22년 9월까지 운영 될 예정이며 FCH JU는 공동 투자자로 참여

- 2,600만 유로를 투자하여 브뤼셀, 런던, 파리에 택시나 경찰차등 180대의 수소연료전지 자동차를 도입하고 범유럽 차원의 수소 충전소 네트워크 구축을 위한 H2ME(Hydrogen Mobility Europe)를 추진

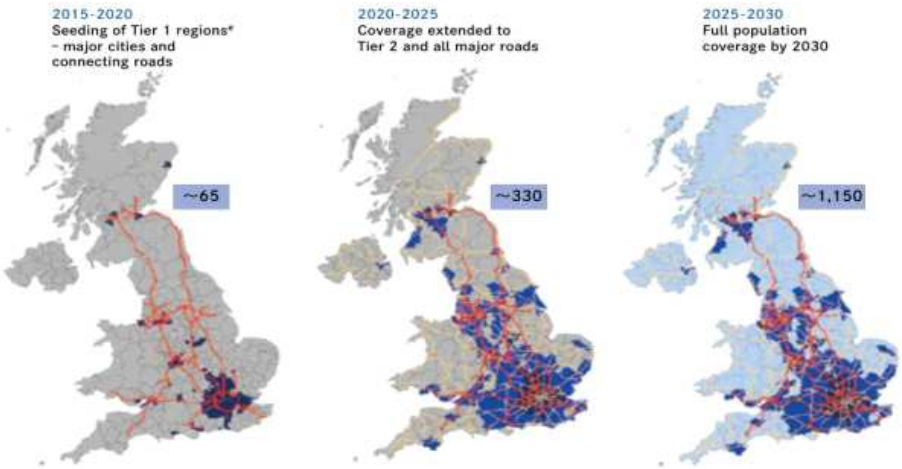
- H2ME(Hydrogen Mobility Europe) : Horizon 2020 프로그램 및 공공-민간 파트너십인 Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking(FCH JU)에서 1억 7,000만 유로를 공동 투자, 프랑스, 덴마크, 스웨덴, 영국, 독일 등에 수소충전소를 설치

- 영국, 독일 등은 H2ME 프로젝트 이행을 위한 국가별 전략을 마련해 수소전기차, 충전소 확대 및 실증사업 추진을 지원

○ 영국은 ‘UK H2 Mobility'를 통하여 수소전기차와 충전소의 보급 확대를 추진 중이며 관련 세제 개편을 통한 친환경차 보급 확대 및 이산화탄소의 감축을 도모

- ‘17년 배출가스 무배출 차량(Zero Emission Vehicle, ZEV) 이외의 모든 차량에 보유세 부과를 시작하였으며, 관련 세제 개편을 통한 친환경차 보급을 확대

※ ‘20년까지 65개, ‘25년 330개, ’30년까지 1,150개소의 수소충전소를 단계적으로 확대



자료: DOE UK H2 Mobility

[그림 2-6] ‘UK H2 Mobility’의 로드맵

❍ 독일은 H2 Mobility와 Clean Energy Partnership(CEP)을 통하여 수소전기차 및 수소스테이션 등의 수소 인프라 구축을 추진

- CEP는 수소스테이션의 실증 프로젝트로 수소스테이션을 포함한 수소인프라를 구축하고 수소전기차 수요 대응에 대한 계획을 포함
- ‘23년까지 수소충전소 400개소 및 수소전기차(FCEV) 20만대 보급 계획

<표 2-7> 독일의 연료전지 투자액 현황

지원 정책	주요 내용
클린 에너지 파트너십 (CEP, 2004~2016)	- FCEV 및 수소충전소 실증 프로젝트 - 수소 충전소 확충, 연료전지자동차 시범주행 등 3단계로 진행 - 총 14억 유로 투자
H2Mobility (2017~)	- Air Liquid, Daimler, Linde, OMV, Shell, Total 6개사가 참가한 공동 출자회사 - 수소인프라 사업계획 책정과 보급 지역 분석 - 2020년까지 약 20만대의 FCEV 보급과 400개소의 수소충전소 설치 목표

자료: 산업연구원(2016)

❍ 유럽은 ’18년, Horizon 2020의 ’H2Future‘ 프로젝트를 통하여 녹색수소 활용·확산을 지원[1)]

1) H2Future 프로젝트 홈페이지(http://www.h2future-project.eu)

- ’H2Future‘ 프로젝트는 재생에너지 발전을 통해 수소를 생산하고, 생산된 수소를 철강업체가 활용하는 것을 모색하여 그린수소의 활용·확산을 촉진함과 동시에 세계 이산화탄소 배출의 상당부분(7%)을 차지하는 철강산업의 탈탄소화를 유도
- VERSTUND, Voestalpine, Siemens가 협력하여 오스트리아 Linz 제철소에 6 MW 용량의 대규모 PEM 전기분해 시스템을 설치했으며 전력 배송 기업 APG가 전기분해 시스템에 대한 사전 인증을 지원
- 향후, H2Future 실험결과를 바탕으로 모든 EU회원국의 철강산업에 적용방안을 모색
- 총 1,800만 유로 규모의 예산이 투입되며, 전체 예산의 66.6%에 해당하는 1,200만 유로를 유럽 연합에서 지원
- 80%의 효율로 전기를 수소로 전환하는 것이 목표로 6 MW 용량의 PEM 전기분해 시스템을 통해 시간당 1,200 m^3의 수소를 생산

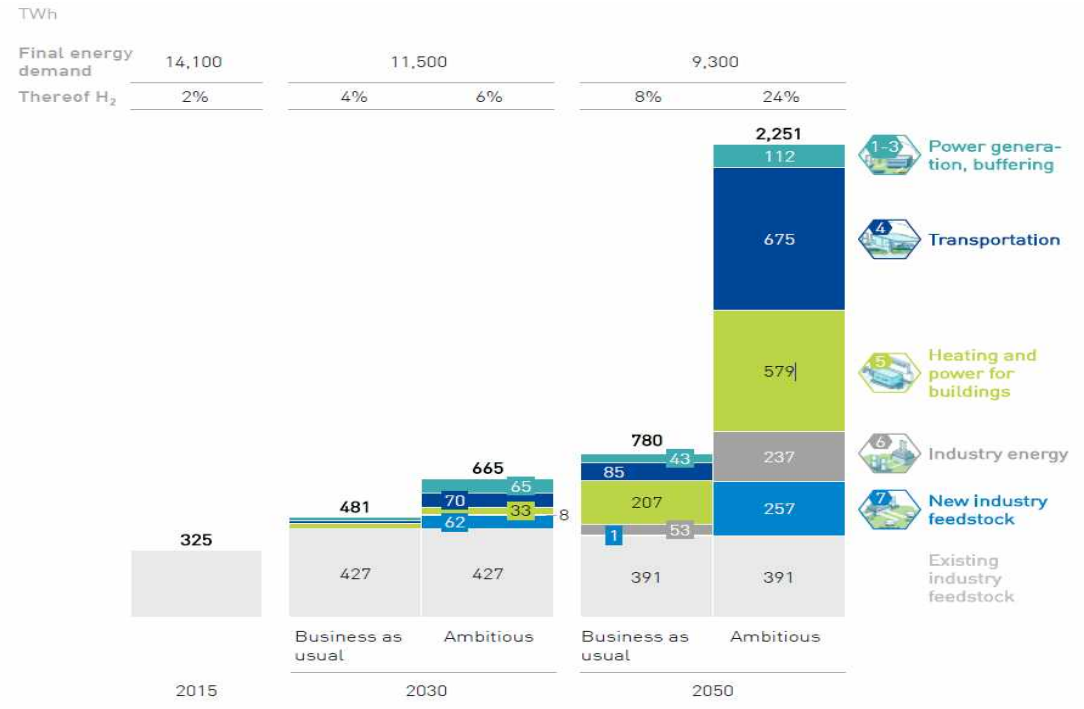
<표 2-8> ’18년 이후 유럽 주요국 수소관련 정부 정책방안

국가	수소관련 정부 발표
EU	-EU 집행위원회(EC)는 탄소배출제로(carbon neutrality) 달성을 위해 수소활용 방안을 포함하는 탈탄소 장기전략 발표 -EU 회원국간 수소도입과 활용방안 논의를 위한 Hydrogen Energy Network 설립 -지속가능한 수소기술을 위한 협력인 Hydrogen Intiative를 추진하는 Linz선언서명 (100여개의 기업과 기관들이 참여, 28개 회원국 서명)
독일	-향후 10년간 14억유로를 투자하여 수소 및 연료전지 기술개발을 지원하는 국가 혁신 프로그램(National Innovation Program for Hydrogen and Fuel Cell Technologies) 승인 -H2 Mobility Program을 통해, 수소를 동력으로 사용하는 기차의 최초 상업적 운영 및 수소 충전소 설치 추진
프랑스	-수소 보급 계획 및 1억 유로 기금 조달 계획 발표 -’23년과 ’28년의 산업 및 수송 부문의 저탄소 수소 보급 목표 및 재생에너지 저장 시설 설치 목표 발표
영국	-저탄소 수소 공급 및 대규모 저장시설 설치를 위한 2,000만 파운드 기금 설립 -수소에너지 사용 건물을 포함한 열에너지의 장기 탈탄소 달성 방안 검토

자료: IEA (2019) The Future of Hydrogen

○ EU는 기후변화 대응을 위한 청정에너지로의 전환 과정에서 수소에너지가 중추적 역할을 할 것으로 판단하고, Hydrogen Roadmap Europe을 수립

- `50년까지 총 에너지 수요의 24% 혹은 유럽에서 최대 2,250 TWh 에너지 공급을 목표로 설정
- 목표 달성을 통해 `50년까지 약 560 Mt의 CO_2 배출량을 감축할 수 있을 것으로 예상
- Hydrogen Roadmap Europe은 수소에너지가 ‘50년 유럽 총 에너지수요의 24%를 차지하고 540만개의 일자리를 창출 할 것으로 전망



자료: FCH(2019.1,), HYDROGEN ROADMAP EUROPE

[그림 2-7] EU Hydrogen Roadmap Europe의 수소 에너지 공급 목표

❍ EU 집행위원회는 ’20년 7월, 2020년 7월, EU집행위는 에너지 부문의 온실가스배출량 감축을 위한 EU에너지시스템통합전략과 수소전략을 발표[2)]

- EU 에너지 시스템 통합 전략(EU Strategy for Energy System Integration)dms 순환에너지시스템 구축과 수소에너지 활용을 강조하고 있으며, 수소전략(EU Hydrogen Strategy)은 수소 생산량을 증대하기 위한 규정 마련, 투자 유치, 수소 수요촉진 및 연구 개발 방안을 제시

❍ EU의 수소전략에 따르면 청정수소기술이 성숙단계에 진입하기까지 시간이 소요될 것으로 전망됨에 따라, 단기간 내 수소생산량 증대를 위해 화석연료를 이용한 기존방식의 수소생산을 당분간 활용하는 대신, 탄소포집 및 저장(CCS, Carbon Capture and Storage)기술을 이용하여 생산과정에서 발생하는 탄소배출량을 최소화할 계획

- EU 수소전략은 과잉 생산된 재생에너지를 전기분해에 이용하여 생산단가를 낮춘 청정 수소를 상용화가고 청정수소 생산인프라를 단계적으로 확대하는 3단계 계획을 포함

2) KOTRA(2020), 유럽연합, 수소경제 활성화 본격화

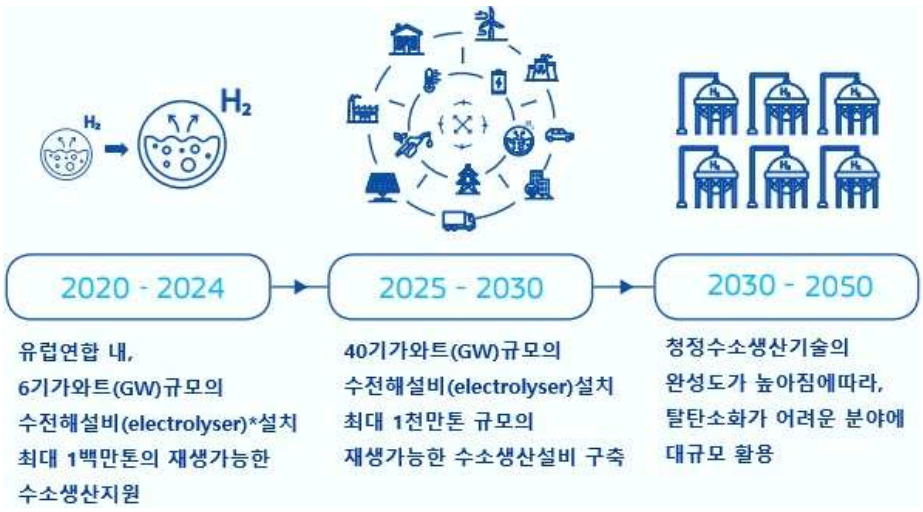
○ 2020~2024년 동안 유럽연합 내 6 기가와트(GW)의 수전해설비를 설치하여 1백만 ton의 수소생산을 지원

○ 2025~2030년까지 최소 40 기가와트(GW)의 수전해설비를 확보하고 생산량을 최대 1만 ton까지 확대

○ 2030~2050년에는 완성도가 높아진 청정수소기술이 탈탄소화가 어려웠던 화학, 철강분야에서 대규모로 활용 가능해짐에 따라, 에너지믹스의 2%를 차지하고 있는 수소의 비중을 2050년까지 23% 이상으로 확대

○ 수소산업에 대한 투자유치 및 공급망 확대를 지원하기 위해 유럽청정수소연맹(European Clean Hydrogen Alliance)을 결성했으며, '24년까지 50~90억 유로, '30년까지 260~440억 유로의 기금을 조성해 수전해 설비 인프라에 투자할 계획

○ 유럽의 경우, 정부는 생산 인프라 투자에 집중하고 기존 가스 파이프라인을 수소 전용 파이프라인으로 전환하는 사업은 민간기업이 주도, 다만 정부(독일)는 해당 지역을 수소네트워크 확대 시범지역(독일 사아르, 프랑스 로레인, 룩셈부르크 남부지역)으로 지정하고 소재기업에 R&D 등을 별도로 지원



자료: KOTRA

[그림 2-8] EU 수소전략 3단계 계획

다. 일본

○ '17년, 'CO_2 無배출 수소사회 구현'을 목표로 하는 "수소기본전략"을 발표하고, 수소연료전지 및 수소연료전지차 보급 확산, 대규모 수소공급시스템 기반 수소에너지원 활용 정착, 녹색수소공급시스템 실현의 단계적 발전 로드맵을 제시[3)]

3) KIAT(2019), 일본의 수소사회 구현정책

○ 수소기본전략은 수소의 제조부터 이용까지 각 부처에서 추진하고 있는 규제개혁, 기술개발, 인프라 정비 등 관련 정책들을 동일한 목적에서 종합적으로 추진하기 위한 계획

○ 수소기본전략은 2050년을 지향하여 추진목표, 정부-국민이 공유할 방향성, 비전과 2030년까지의 실천계획을 제시

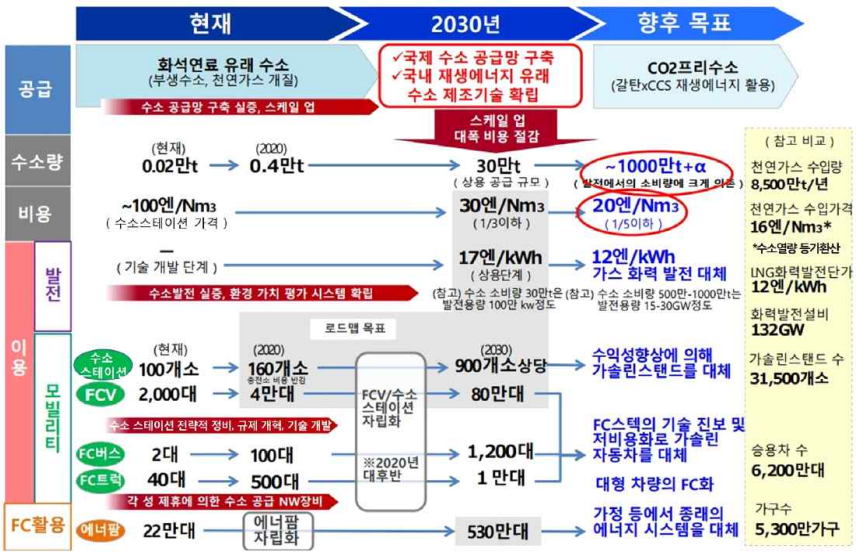
- (1단계: 현재 ~ 2020년) 수소이용의 비약적 확대: 현 단계에서 실현되고 있는 고정용 연료전지 및 FCV 이용을 확대하여 세계 수소·연료전지 분야에서 선도적 위상을 확립

- (2단계: 2020년 ~ 2020년대 후반) 수소의 대규모 공급시스템 확립: 수소에너지 공급체제에 미 이용 에너지원 확대 및 기존 '전력 및 열' 중심의 최종에너지 소비구조에서 '수소'를 새로운 에너지원으로 정립

- (3단계: 2050년 경 실현) CO_2-free 수소공급시스템 확립: CCS결합 수소제조공정 및 재생에너지원 활용 CO_2 無배출 수소공급시스템 확립

○ 수소기본전략은 수소가 안정적 에너지 확보(에너지 시큐리티), 자급율 향상, CO_2 배출감소 등 일본이 직면한 과제 해소에 기여할 것으로 인식

○ 수소는 해외 및 일본 내 공급이 가능한 에너지로 공급·조달처를 다양화하여 조달·공급이 위험을 근본적으로 감소시킬 수 있으므로 수소를 일본이 직면한 에너지 문제를 해결할 중요한 에너지원



자료: 일본의 수소사회 구현 정책 분석, 한국산업기술진흥원(2019)

[그림 2-9] 일본 수소기본전략에서 제시된 발전 시나리오

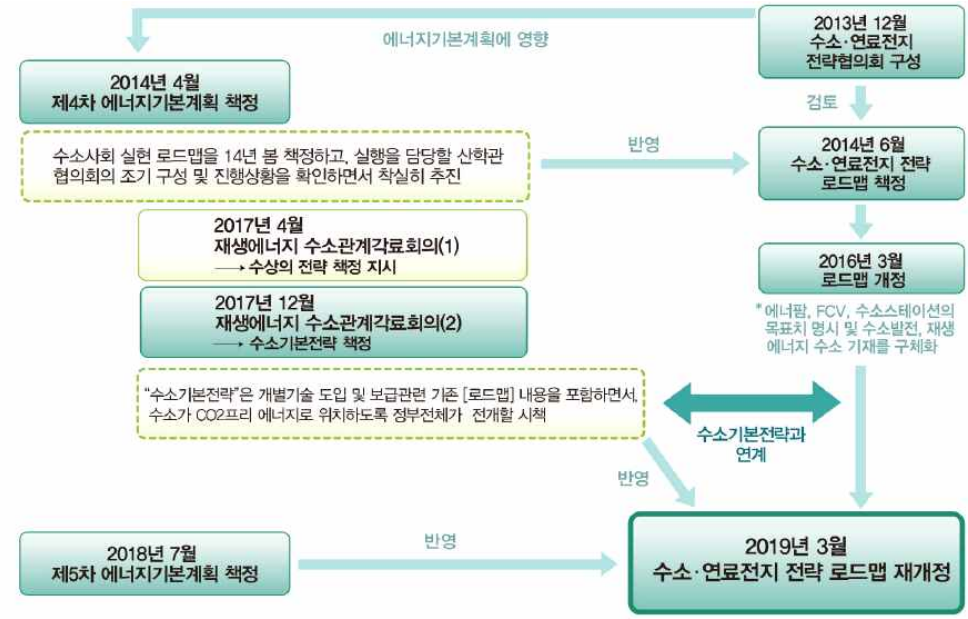
❍ ‘18년, ’수소기본전략‘의 연속선상에서 발표된 ’제5차 에너지기본계획‘은 수소 공급비용을 기존 에너지에 준하는 수준으로 절감하기 위한 수요창출, 국제공급망 조성 등 구체적 이행계획을 포함

❍ ’제5차 에너지기본계획‘은 근미래에 연료전지자동차 등 모빌리티 부분의 수소수요를 창출하고, 수소이용비용 절감, 수소의 제조・저장・운송・이용 체계를 정비하고 수소 국제 공급망을 구축할 계획

<표 2-9> 일본 제5차 에너지기본계획의 수소사회 실현전략

구분	내용
연료전지를 활용한 에너지절약 추진	○ 에너팜은 2020년경 시장자립화 실현 ○ 발전효율 향상, 열이용율 향상 기술개발, 우위시장 개척, 잉여전력거래를 통하여 타 수요에 융통하는 거래 확대 ○ 업무, 산업용 연료전지 보급은 조기 시장자립화를 목표로, 초기비용절감을 위한 기술개발, 발전효율(60%)에 대응하는 기기개발, 사회실장 추진
이동(모빌리티)에 수소이용 가속	○ 2020년대 후반까지 수소스테이션 비즈니스 자립화 ○ 규제개혁, 기술개발, 관·민일체의 의한 수소스테이션의 전략적 정비 추진 ○ 다른 어플리케이션을 병행하여 추진하는 것이 중요 - 2030년까지 연료전지 버스 1,200대, 연료전지지게차 1만대 보급, 연료전지 트럭의 도입을 위한 기술개발 추진
저비용의 수소이용을 위한 국제 수소공급망 구축과 수소발전 도입	○ 2030년경 상용규모의 국제 수소공급망을 구축하여 연간 30만의 수소를 조달함과 동시에, 30엔/N㎥의 수소공급비용 실현 ○ 도입초기는 소규모 가정발전설비에 수소 혼합연소를 포함하여 도입확대를 추진하고, 동시에 수소연소특성에 대응하는 연소기 개발추진 - 2030년경 상용화를 실현(17엔/kWh 목표)
재생가능에너지의 수소이용확대를 위한 기술개발 추진과 지역자원을 활용한 지방창생	○ 일본 및 구주 등 해외시장전개를 포함한 상용화 추진 - 수전해시스템은 2020년까지 5만엔/kW를 달성하는 기술의 조기 확보 ○ 2020년 이후 후쿠시마 실증 프로젝트 등 실증성과도 포함하여, Power-to-Gas 시스템의 사업화・사회실장 대책 추진(2030년 상용화 목표) ○ 지역은 수소를 활용한 분산형 에너지 시스템의 장래수요, 시장규모를 상정하여 중요한 수전해 시스템의 저비용화, 수전해시스템의 규모 최적화, 부품・기술의 공통화 등 대책 마련
도쿄올림픽에 수소사회 쇼케이스화	○ 도쿄올림픽을 계기로 일본의 수소・연료전지기술을 전세계에 알리고, 수소・연료전지 관련 이노베이션을 더욱 가속화
국제 수소 활용 실현을 위한 국제연계강화	○ IPHE등 기존의 틀을 활용하면서 타국과 공동연구의 실시, 규제,규칙의 하모니, 국제표준화 등을 추진 ○ 2019년 G20 오사카 서밋에서 일본의 수소・연료전지기술을 세계를 알림

자료: 한국산업기술진흥원(2019)



[그림 2-10] 일본 에너지기본계획 / 수소기본전략 / 수소 · 연료전지 전략 로드맵의 관계

❍ 제5차 에너지기본계획 및 기본전략 목표 달성을 위해 「수소·연료전지 전략 로드맵」 개정발표(2019.3월)

- 제5차 에너지기본계획(`18.7)에 근거한 "3E+S"[4] 기조 하에 `50년까지 지향해야할 수소사회 실현 정책 목표, 정책방향, 비전을 제시하고, 이를 달성하기 위한 행동계획 포함

- 교통, 공급체인 및 각종 활용분야에서 기본기술 사용, 비용 등 구체적인 목표를 재설정하고, 전문가 평가그룹을 구성하여 분야별 추진현황 점검

<표 2-10> 일본 수소 · 연료전지 전략로드맵의 단계별 주요 목표

단계	시기	주요 목표
1단계	현재 ~	- 수소 이용의 비약적 확대 - 현 단계에서 실현되고 있는 고정용 연료전지 및 FCV 이용을 확대하여 세계 수소·연료전지 분야에서 일본의 선도적 위상 확립
2단계	~ '20년대 후반	- 수소의 대규모 공급시스템 확립 - 수소에너지 공급체제에 未이용 에너지원 확대 및 기존 '전력 및 열' 중심의 최종에너지 소비구조에서 '수소'를 새로운 에너지원으로 정립
3단계	'40년 경 실현	- CO_2-free 수소공급시스템 확립 - CCS결합 수소제조 공정 및 재생에너지원 활용 CO_2 無배출 수소 공급 시스템 확립

자료: 에너지경제연구원 (2018)

4) Energy Security(안정 공급), Economy Efficiency(효율성), Environment(친환경), Safety(안전성)



자료: S&T GPS(2019)

[그림 2-11] 일본 수소 · 연료전지 전략로드맵 액션플랜

<표 2-11> 일본 수소 · 연료전지 전략로드맵 주요내용

분야			주요 목표 및 내용
수소 이용	전력		- '30년 수소 발전의 상용화, '20년 기존 화력발전 설비에 수소 혼소발전 도입 조건 제시 - '19년 수소공급시스템, 한계 혼소율, 사업성 등에 대한 타당성 조사를 실시
	모빌리티	연료전지차	- '20년까지 약 4만대, '25년까지 약 20만대, '30년까지 약 80만대 보급 추진 - 연료전지시스템은 전해질막을 박막화 시키면서 cross leak을 방지하고, 내구성을 유지/향상시키는 기술 개발
		수소충전소	- '20년까지 160개, '25년까지 320개, '30년까지 900개를 설치하여 '20년대 후반까지 수소충전소 사업의 자립화, 수소조달비용은 '20년대 후반 수소판매차익 약 500엔/kg 목표 - 수소충전소 정비지역을 확대하여 전국적 수소충전소 네트워크 구축 검토
	산업 프로세스·열이용에서 수소 활용		- 산업 분야에서 장기적으로 CO_2를 방출하지 않는 수소 이용 - 각 단계별 CO_2 무배출 수소 이용에 대해 순도 및 유입 방법 확보
	연료전지 기술 활용		- '20년 가정용 연료전지(에네팜) 시장자립화 실현, '30년까지 530만 대 도입 - 셀 스택 고효율화 기술개발 및 시스템 소형화, 간소화
수소 공급	저비용으로 수소공급		- 수소비용을 '30년 약 30엔/N㎥, 장기적으로 20엔/N㎥까지 감축 목표 - 요소기술의 필요 사양 및 가격목표 달성
	국제적 수소공급망 개발		- '22년까지 주요 요소기술의 필요 사양 목표 결정 - 수소 제조 : 갈탄 가스화에 의한 수소제조 비용의 경우 가스화로의 효율 향상 등을 통해 12엔/N㎥ 목표 - CCS : '20년 CCS 기술 실용화 목표 - 저장·운송 : 지상용 액화수소탱크 용량은 5만㎥를 제조할 수 있는 요소기술 개발, 수소액화원단위는 13.6kgWh/kg를 6kgWh/kg까지 향상
	재생에너지 수소 이용 확대		- 물 전기분해 장치시스템 비용 5만엔/kW 목표 및 알칼리성 물 전기분해 장치에 대해 각각 에너지 소비량 '30년 4.3kWh/N㎥ 목표 - NEDO 프로젝트 성과를 반영하여 전류밀도 효율, 내구성 향상 기술개발

주) 혼소발전: 천연가스나 석탄과 혼합하여 발전 설비에 투입하는 혼합연소 발전

자료) S&T GPS, 2019.3, 일본 수소연료 전략 로드맵 발표

라. 네덜란드

○ 네덜란드 산업부(Ministries of Economic Affairs & Climate Policy and Infrastructure & Water Managements)는 수소 로드맵(Hydrogen Roadmap) 제정을 통해, 네덜란드 내 수소기술 개발 및 상용화를 추진

- ① 비전 및 계획, ② 수소기술 상용화 지원, ③ 수소기술 R&D 및 실증 지원으로 구성된 수소기술로드맵을 제정하여 수소 기술 개발을 위한 구체적 이행방안 마련(`18)

<표 2-12> 네덜란드 Hydrogen Roadmap 구성

구분	① 비전 및 계획	② 수소기술 상용화 지원	③ 수소기술 R&D 및 실증 지원
목표	탄소 배출이 없는 지속 가능한 에너지 시스템 구축으로 신뢰성 및 경제성 기준 수립	수소기술 개발 및 상용화 전주기 지원	수소생산 비용 절감 및 수소 효율 증대
내용	- 연안 풍력 발전 연계 수소 생산 - CCS결합 천연가스를 통한 수소 생산기술 개발 - 수소 수입 기반 시설 개발 - 탄소 저감 기술 연계 화석연료 이용 수소 생산기술 개발 - 바이오매스 수소 생산 기술 개발 - 수소 연료전지 개발 및 선박, 항공, 차량 대상 적용방안 연구 - 기존 천연가스 및 항만 설비 활용 수소 수입방안 연구	- 상용화 지원 프로젝트 추진 - 전기분해 수소 생산기술 - 수소 결합 부산 가스 재사용 기술 - 암모니아 활용 수소 생산기술 - 수소 기술의 교통 및 수송분야 상용화 기반 구축 - 공공 수소 연료 충전 네트워크 구축 - 수소 실증 도시 3-5곳 조성 - 수소 공급체인 구축 - 사하라 및 중동, 호주 등 근/원거리에 생산 수소의 저장 및 운송기반 마련	- 에너지 운반체 및 원료로써의 수소기술 R&D(TRL 2-5/6) 지원 - 기존 기술을 응용한 수소기술 R&D 지원 - 선박, 차량, 기차 등 수소 연료 전지 탑재 및 구동 기술 - CCUS*기술을 적용한 바이오매스, 천연가스 추출 수소 생산

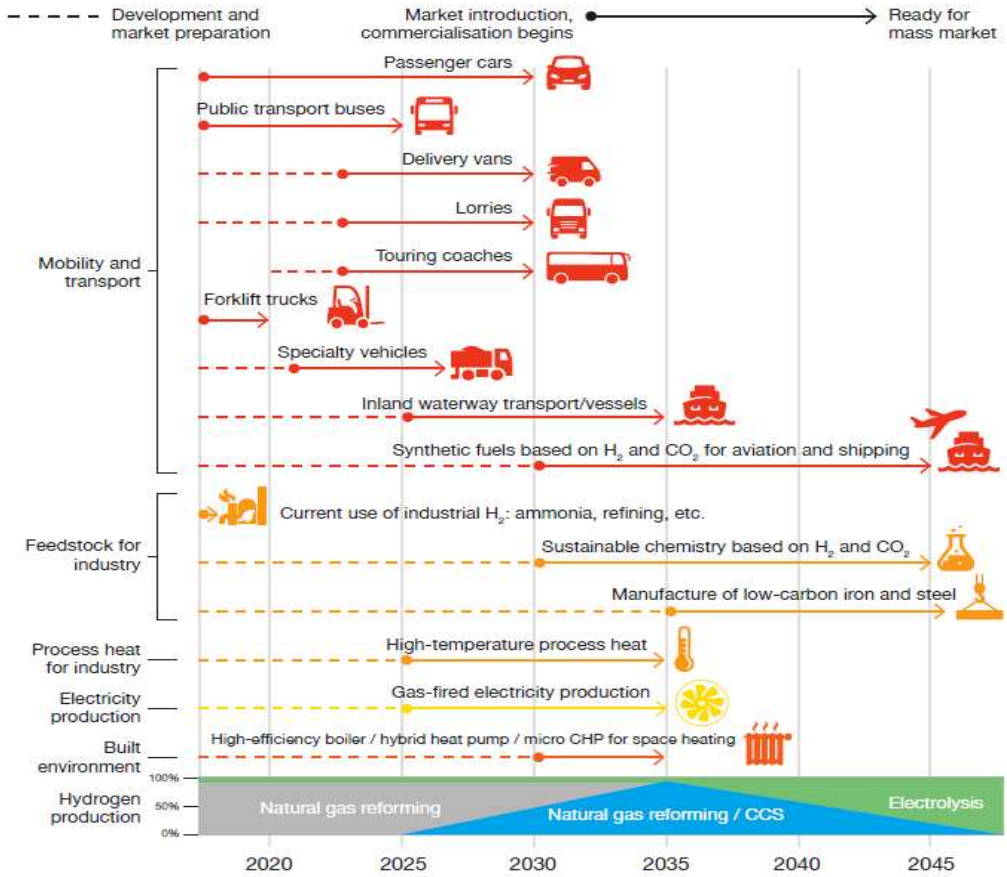
주) CCUS: Carbon Capture Utilization and Storage
자료) TKI Nieuw Gas Topsector Energie, 2018.05, Outlines of a Hydrogen Roadmap

○ 생산, 교통 및 수송, 산업원료 등 다양한 분야 내 수소기술 적용 및 응용을 위한 연도별 목표를 수립

- 수소 생산(Hydrogen Production) : 천연가스 개질 수소기술 개발(~`25)→ 천연가스 개질법에 CCS 기술을 접목한 수소 기술 개발(~`35)→전기 분해를 통한 수소 생산기술 개발(~`50)

- 교통 및 수송 : 수소연료 추진 내륙 교통수단 기술 개발 및 상용화 추진(~`30)→ 2035년까지 수소 선박 내륙 수송 및 운행 추진(~`35)→수소 및 이산화탄소 기반 합성연료를 탑재한 항공 및 선박운행 추진(~`50)

- 산업 원료 : 암모니아, 화석연료 개질 등 산업적으로 수소를 이용하기 위한 기반을 마련



자료: TKI Nieuw Gas Topsector Energie, 2018.05, Outlines of a Hydrogen Roadmap

[그림 2-12] 네덜란드 수소기술 적용 이행방안

마. 중국

○ 중국은 '15년 「중국제조 2025」를 발표, 신에너지 자동차에 대한 취득세 감면을 시행하면서 수소연료전지차 확산을 위한 기술개발, 창업 및 성장 등 지원을 본격화

○ 중국은 제조대국에서 제조강국으로의 전환을 목적으로 발표한「중국제조 2025('15)」에서 10대 핵심산업분야 중, 하나로 "에너지 절약 및 신에너지 자동차"를 포함시키고 수소연료전지자동차 핵심기술 개발, 충전 인프라 구축, 창업 및 기업 성장 지원을 강화[5)]

○ 지역별로 이행계획을 마련해 수소연료전지 자동차 부품 및 완성차 기업의 성장에 투자

5) 「중국제조 2025」 문건의 내용 및 평가, 대외경제정책연구원, 2015

<표 2-13> 중국 지방정부별 수소산업 육성 정책

구분	수소산업 육성 및 인프라 조성 목표
상하이·저장성·장쑤성	-'19년까지 수소에너지 관련 기업 68개 설립 -'19년까지 역내 563대의 수소차를 운용, '20년까지 50개('19년 8개)로 확충
저장성 타이저우시	-'16년부터 수소에너지 타운 조성에 160억 위안
후베이성 우한시	-'20년까지 수소차 3,000대, '25년까지 1만~3만 대 운용
상하이	-'25년까지 수소에너지관련 산업을 3,000억 위안

자료: 아주경제, 2018. 3. 20

○ '17년, 국가발전 개혁위원회와 국가에너지국은 에너지 기술 혁명의 혁신 행동 계획(2016~2030)과 '에너지 기술혁명의 중요한 혁신 행동 노선도' 공표를 통하여 수소에너지 및 연료전지 연구개발을 추진

- '20년까지 수소경제시대 달성을 위해 수소차 상용화를 위한 연구개발 및 수소차 시제품에 대한 실증 사업을 추진
- '50년까지 수소 에너지와 연료전지의 보급과 응용 달성을 목표로 태양 에너지의 고효율 이용 기술, 수소에너지 및 연료전지 기술 등의 15개 중점 추진 목표를 수립
- 수소에너지 및 연료전지 기술 분야에서는 신재생 에너지, 메탄의 개질이나 산화에 의한 수소 제조 기술을 개발하고 저장, 운송 및 수소 스테이션 관련 핵심 기술 개발을 추진

○ 신에너지차량 확대보급 사용계획(2016~2020)을 통하여, 수소차 및 수소차 충전소 구축의 보조금 지원을 통한 수소차산업 활성화 정책을 추진

- 중국 정부는 자동차산업의 육성과 환경문제 개선을 위한 전기차, 하이브리드전기차(PHEV), 수소전기차 등의 신에너지차 보급 확대 정책을 시행 중

<표 2-14> 중국 정부의 신에너지차 목표

구분	2016년	2020년 목표	2025년 목표	2030년 목표
중국시장규모	51만대, 자동차 시장의 2%	200만대, 자동차 시장의 5%	자동차시장의 20%	1천만대 시장 규모 도달
중국 자주브랜드 판매와 점유율	42만대 (82%)	100만대 (70%)	300만대 (80%)	자동차시장 주력제품 생산의 30% 수출
완성차 업체	수출 미미	히트모델의 세계 10위 진입. 대량 수출 추진	2개 업체가 세계 10위 진입, 판매 중 수출 비중 10%	세계 최첨단 신에너지차 기술 보유
부품 국산화율	약 50% 추정	80%	80% 초과	
	-	연료전지(30%)	연료전지(50%)	연료전지(70%)

자료: 한국산업연구원(2017)

2.1.3 국내 정책동향

○ 국내에서는 산업통상자원부가 ’05년, ‘친환경 수소 경제 강국’ 구현을 목적으로 연료전지 및 수소생산기술 R&D와 산업화를 지원하는 「친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜」 발표

○ 산업부는 ‘마스터플랜’에서 우리 사회를 수소가 다양한 분야의 에너지로 활용하는 미래 경제사회로 전환하기 위해 연료전지 및 수소 제조·저장·공급 등 전반에 걸쳐 R&D, 인프라 구축, 보급 및 산업화를 지원하는 데 총 3.2조원(’06~’12)을 투자할 계획임을 발표[6)]

○ 원천기술이 확보된 연료전지의 적용분야를 확대하고 성능을 개선하기 위한 응용기술과 다양한 제조원을 통해 수소를 생산할 수 있는 기술, 수소를 다양한 방식으로 저장하는 기술을 개발

- (연료전지) 수소전기차의 연료전지 핵심부품 및 주변장치의 단계적 국산화를 추진하고 가정·발전·휴대용 연료전지의 원가절감, 대형화, 효율성 향상 기술개발
- (생산) 천연가스 개질 용량 확대(on-site용), 부생가스내 수소 추가 생산, 여유전력의 수소전환(수전해), 석탄 가스화 수소생산, 재생에너지 기반 수소생산기술을 개발
- (저장) 고압 압축저장 용량 확대, 저온액체저장, 신재료를 이용한 수소저장 기술 개발

○ 국내외 전략적 파트너십 적극 추진을 통해 기술개발의 효율성을 제고하고 성과의 원활한 확산을 위한 실증 및 시범사업을 추진함과 동시에 수소공급 인프라 확충 지속

- (연료전지(수송)) 해외 선진기업과의 전략적 제휴 추진, R&D성과의 실증 단지 조성, 기초기술의 원활한 확보를 위한 산학연 파트너십 구성
- (연료전지(활용)) 가정용 연료전지 시범보급사업 추진, 발전용 연료전지 해외진출을 위한 JV 구성, 휴대용 연료전지 시스템 효율화를 위한 산업 내 협력 네트워크 구축
- (생산) 신재생에너지 중심 수소생산 확대를 위해 발전차액제도 및 의무할당제 등 단계적 제도 강화
- (저장) 천연가스 개질형(On-site) 수소스테이션 보급, 부생가스, 원자력, 석탄, 재생에너지 기반 수소스테이션 보급(off-site), 수소 파이프라인 및 튜브트레일러 확충

6) 수소경제마스터플랜, 산업통상자원부, 2005

<표 2-15> 수소경제마스터플랜의 주요 내용

비전	친환경 수소경제 강국 건설 ▪ 수소(H2)를 기반으로 에너지자립도를 제고하고 경제성장 및 환경개선을 달성

(단위: %)

	구분	2020년	2040년
목표	연료전지 산업 GDP 비중	3	5
	수송용 *총 자동차 중 비중	8	54
	발전용 *총 전력수요 비중	7	22
	가정용 *주거전력수요 비중	5	23
	최종에너지 중 수소 비중	3	15
	수소제조 중 신재생비중	22	60
	BAU대비 CO_2 저감 비중	5	20

	구분	세부내용
추진 방안	연료전지 개발 및 산업화 전략	▪ 연료전지 저가 양산 기반 마련을 위한 전략적 기술개발 및 국내외 파트너십 구축 - 수소전기차의 연료전지 핵심부품 및 주변장치의 단계적 국산화를 추진하고 가정·발전·휴대용 연료전지의 원가절감, 대형화, 효율성 향상 기술개발 - 수송용 연료전지와 관련해 해외 선진기업과의 전략적 제휴 추진, R&D성과의 실증 단지 조성, 산학연 파트너십 구성 등 추진 - 가정용 연료전지 시범보급사업 추진, 발전용 연료전지 해외진출을 위한 JV 구성, 휴대용 연료전지 시스템 효율화를 위한 산업내 협력 네트워크 구축
	연료전지 산업화 지원을 위한 수소제조전략	▪ 화석연료 대비 경제성 확보, 단계적으로 신재생에너지 기반 수소생산 확대 - 천연가스 개질 용량 확대(on-site용), 부생가스내 수소 추가 생산, 여유전력의 수소전환(수전해), 석탄 가스화 수소생산, 재생에너지 기반 수소생산기술을 개발 - 신재생에너지 중심 수소생산 확대를 위해 발전차액제도 및 의무할당제 등 단계적 제도 강화
	연료전지 산업화 지원을 위한 수소저장·공급 전략	▪ 저장능력 향상을 위한 신기술 R&D 및 물류비용 최적화를 고려한 공급체계 구축 - 고압 압축저장 용량 확대, 저온 액체저장, 신재료를 이용한 수소 저장 기술 개발 - 천연가스 개질형(On-site) 수소스테이션 보급, 부생가스, 원자력, 석탄, 재생에너지 기반 수소스테이션 보급(off-site), 수소 파이프라인 및 튜브트레일러 확충
	수소경제에 대비한 기반강화	▪ 법령 제정 및 전담조직 신설 ▪ 대국민 홍보 추진 ▪ 인적 역량 강화

자료: 수소경제 마스터플랜, 산업통상자원부, 2005

○ 안정적 추진체계 마련을 위한 법령 제정 및 전담조직 시설, 안전성 규정 마련, 대국민 홍보 강화, 인적 역량강화를 위한 지원

○ 에너지 환경변화에 따른 '수소경제'에 대한 정책적 관심 감소로 '10년대 말까지 수소관련 정책은 분절적으로 추진되어 왔으며 대부분의 정책은 수소자동차 확산을 지원

○ '00년대 초, 셰일가스 생산 확대로 인한 석유 가격 안정화, 온실배출 감소 등 에너지 환경 변화로 세계적 화두로 떠올랐던 '수소경제'에 대한 관심이 감소

○ '00년대 전세계적으로 화두로 떠올랐던 '수소경제'는 석유자원의 한계성과 석유가격의 불안정성, 온실가스 다배출로 인한 1차 에너지의 전환 수요 등이 추동의 주요 요인

○ 미국을 중심으로 한 셰일가스 혁명으로 가스 이용이 증가하면서 온실가스 배출 부담이 단기적으로 감소하고 석유가격이 안정화면서 수소에 대한 관심 저하

<표 2-16> 수소경제 마스터플랜 이후, 부처별 관련 정책 및 주요 내용

관련 정책 명	수소관련 지원내용
항공산업 발전 기본계획(2010)	- 미래형 비행기 선도개발을 목적으로 친환경 연료전지 기반 PAV 개발
제4차 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 계획(2014)	- 울산 수소타운에 부생수소 기반 연료전지 충전소 등 시범사업 추진 - 연료전지 스택 고효율화 및 대형화 기술개발, 테스트베드 구축
제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획(2015)	- 기존 내연자동차에서 친환경자동차로의 패러다임 변화를 주도하기 위해 전기자동차 및 수소자동차의 경쟁력 향상과 충전인프라 확충을 지원하고 기타 보조금 지급 및 법제도 등을 개선 - 친환경자동차 및 인프라 확산 지원의 일환으로 수소자동차 및 충전소의 경제성 향상, 내구수명 및 안전성 향상, 모델 다양화 기술개발을 지원
전기 · 수소차 보급 확산을 위한 정책 방향(2018)	- 수소자동차의 우선보급 대상을 중장거리 승용 및 대형버스로 구체화 - 기존 「제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획」에 포함되었던 수소자동차 및 충전소의 경제성 및 내구성 향상 R&D, 보조금 지급 등의 지원책을 연속성 있게 추진하면서 수소 구매·공급 전담기관 신설, 수소자동차 유통체계 마련 등 지원책을 추가 - 「제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획」에 비해 수소자동차 및 충전소의 성능 및 생산 목표를 구체화하고 차량의 가격 절감 목표를 도전적으로 설정
미래소재 원천기술 확보전략(2018)	- 환경변화 대응소재 개발의 일환으로 상온 고용량 수소저장 소재 - 자연의 태양광·진동 등을 이용하여 수소 에너지로 변환이 가능한 소재 - 대용량 수소를 상온에서 저장할 수 있는 소재 개발
기후변화대응 기본계획(2016)	- 신재생에너지 활용을 통한 저탄소 사회 구현을 위해 수소차 보급(~'30년, 64만대) 지원 - 청정에너지 관련 R&D 투자 확대 및 실증 지원을 통해 시장진입을 촉진하고, 철강산업내 수소환원기술 도입을 촉진해 에너지 소비를 최적화
제1차 국가도로망 종합계획(2016)	- 미래도로 구축 전략 중 에너지 생산 도로 조성을 위해, 고속도로 휴게소 등에 수소차 충전시설 등을 확대하고, 친환경 차량 안전·충전시설 등에 대한 기준마련, 제도화 - 도로환경 개선의 일환으로 친환경차량 활성화 지원 - 수소차 충전소 경우, 거점지역을 중심으로 '20년까지 단계적으로 확대, CNG(압축천연가스) 충전소도 민간사업자를 유치하여 확대 - 친환경 차량 확대를 위한 통행료 감면 등 인센티브 방안 검토

○ 주요국에서 수소에 대한 정책적 관심이 저하됨에 따라 국내에서도 ‘마스터플랜’에 근거한 통합적 지원이 아닌, 수소활용 제품을 중심으로 한 분절적으로 지원으로 전환국내에서는 온실가스 감축 의무의 강화, 새로운 성장동력 창출 등 수요에 힘입어 ’수소경제‘에 대한 관심이 다시 고조되었으며 ’19년 「수소경제 활성화 로드맵」이 발표됨

○ 신기후체제 출범으로 인한 온실가스 감축 이행 의무화로 에너지 전환 요구가 강화됨에 따라 수소에 대한 관심 재고조

○ 「수소경제 활성화 로드맵」은 안정적이고 경제성 있는 수소 저장·운송 체계의 확립, 수소산업 생태계 조성, 전주기 안전관리, Green 수소생산 확대 등 수소차·수소연료전지 경쟁력을 기반으로 수소활용 범위를 에너지(전기·열) 등으로 확대하는 종합 전략

○ 「수소경제 활성화 로드맵」은 수소 활용 및 확산을 위한 지원을 강화함과 동시에 수소를 경제적으로 공급하기 위해 해외수소 도입을 포함한 대규모 수소 생산시스템을 구축하고 이를 그린수소로 단계적으로 전환하는 계획을 포함

○ 다양한 수소저장/운송방안을 보급해 효율성을 제고하고 전주기 안전을 확보해 수소의 수용성을 제고함으로서 규모의 경제를 달성함으로써 균형있는 수소산업 생태계를 조성하고 나아가 세계 최고 수준의 수소경제 선도국가로 도약하고자 함

○ ‘19년 4월, 정부는 관계부처 합동으로 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」을 발표하고 재생에너지산업의 새로운 성장동력으로 육성하기 위한 방안의 일환으로 수전해 수소 생산 기술의 상용화를 지원

○ 세계 발전산업의 패러다임이 재생에너지 중심으로 전환됨에 따라 정부는 재생에너지산업을 새로운 성장동력으로 육성하기 위해 재생에너지 신서비스 시장 육성, 산업생태계 경쟁력 강화 등을 골자로 하는 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안」을 발표

○ 「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(2019)」는 재생에너지 신서비스 시장 형성을 위한 기반으로 재생에너지 고품질화 기술개발을 지원하고 있으며, 수소관련 신서비스 시장의 빠른 성장을 위해 수전해 방식을 활용한 그린(Green) 수소생산 기술개발 및 실증을 지원

○ ‘19년 6월, 관계부처 합동으로 발표된 「제3차 에너지 기본계획」은 ’에너지 전환‘을 가속화하기 위해 에너지 소비구조 및 에너지믹스 개선, 분산 에너지 확대 등을 지원할 계획이며, 「수소경제 활성화 로드맵」의 분야별 과제를 연계해 지원

- 「제3차 에너지 기본계획」은 ’에너지 전환을 통한 지속가능 성장 및 국민 삶의 질 제고‘를 목적으로 에너지 수요관리 시장 활성화 등 소비구조 혁신, 재생에너지 발전비중 확대, 분산형 전원 확대 내실화, 에너지 산업 육성 등을 지원
- 에너지산업 글로벌 경쟁력 강화를 지원하는 방안으로 「수소경제 활성화 로드맵」과 연계해 생산, 수송, 활용, 안전 등 전주기 지원 추진

<표 2-17> 수소경제 활성화 로드맵 비전 및 추진 방안

비전	수소차·연료전지를 양대 축으로 “세계 최고 수준의 수소 경제 선도국가로 도약” 수소차·연료전지 세계시장 점유율 1위 달성 / 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

추진 방향	① 수송, 에너지 등 활용 확대로 세계 시장 점유율 1위 ③ 안정적이고 경제성있는 수소 저장·운송 체계 확립	② Grey 수소에서 Green 수소로 수소생산 패러다임 전환 ④ 수소산업 생태계 조성 및 전주기 안전관리 체계 확립

	구분	세부내용
목표	수소 모빌리티	· 수소차 : ('18) 1.8천대 ⇒ ('22) 8.1만대 ⇒ ('40) 620만대 이상 · 충전소 : ('18) 14개소 ⇒ ('22) 310개소 ⇒ ('40) 1,200개소 이상 · 열차·선박·드론 : R&D 및 실증을 통해 '30년 이전 상용화 및 수출 프로젝트 추진
	수소 에너지	· 발전용 연료전지 : ('18) 307.6MW ⇒ ('22) 1.5GW ⇒ ('40) 15GW 이상 · 가정·건물용 연료전지 : ('18) 7MW ⇒ ('22) 50MW ⇒ ('40) 2.1GW 이상 · 수소 가스 터빈 : '30년까지 기술개발 완료 ⇒ '35년경 상용 발전
	수소 공급 및 가격	· 공급량 : ('18) 13만톤/년 ⇒ ('22) 47만톤/년 ⇒ ('40) 194만톤/년 ⇒ ('40) 526만톤/년 · 공급방식 : ('18) 부생수소(1%)/추출수소(99%) ⇒ ('40) 부생수소/수전해/해외생산(70%)/추출수소(30%) · 수소가격 : ('18) - ⇒ ('22) 6,000원/kg ⇒ ('40) 4,000원/kg ⇒ ('40) 3,000원/kg

	구분	세부내용		
추진 방안	활용	· 모빌리티, 에너지 등 수소 활용 가속화 · (모빌리티) 수소차 양산체계 구축 및 보급 확대, 수소 택시·버스 등 대중교통 전환, 공공부문 수소 트럭 활용, 수소 충전소 전국 확대 및 자생력 확보, 선박, 열차, 드론 등 기타 활용 분야 확대 · (에너지) 발전용 연료전지 보급 확산 및 수출 산업화, 가정·건물용 연료전지 확대, 수소가스터빈 기술개발 및 상용화		
	생산	· Grey 수소에서 Green 수소로 생산 패러다임 전환		
		· (Grey 수소) 부생수소 활용 및 대규모 추출 수소 생산	· (Green 수소) 수전해 대량 생산 및 경제성 확보, 해외 CO_2 free 수소의 본격 도입 등	
	저장·운송	· 안정적이고 경제성 있는 수소 유통 체계 확립		
		· (저장) 고압기체 외 고효율 액체·액상·고체 등 다양화	· (운송) 파이프라인 전국망, 수소운반선 등 대규모 유통	
	안전	· 수소안전에 대한 국민 인식 제고 및 수소 전주기 안전관리 체계 확립		
	산업 생태계	· 기술경쟁력 제고 및 핵심인력 양성, 법적 기반 마련 등 생태계 조성 지원		
		· (기술) 범부처 기술로드맵 수립 · (표준) 글로벌 수소 표준 선점	· (법) 수소경제법·안전법 완비 · (수출) 대·중소기업 동반진출	· (기반) 수소경제 이행 기반 구축 · (국제) 선도 국가로 참여·주도 · (생태계) 촘촘한 밸류체인 구축

자료: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 2019

<표 2-18> 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안

비 전	친환경에너지를 넘어 미래를 책임질 새로운 성장동력으로 육성

목 표	산업생태계 고도화를 통해 재생에너지 기술강국으로 도약 수출: '17년 37억불 ⇒ '22년 50억불 ⇒ '30년 100억불 고용: '17년 9,375명 ⇒ '22년 22,000명 ⇒ '30년 40,000명

방향	시장 창출을 산업생태계 재편 및 확충의 기회로 활용 국내 생태계 혁신을 토대 적극적인 세계시장 진출

	구분	세부내용
추진 전략	제품 효율·품질 기반으로 시장 경쟁구도를 전환	- 재생에너지 공급인증서(REC)제도 개편 등을 통한 제품 및 산업 전주기의 친환경화 추진 - 태양광 모듈 최저효율제 신설 및 사후관리 강화 등 제품 고품질화 - 융·복합 신기술 제품 및 신서비스 시장 육성 – BAPV*, 통합 모니터링, 대규모 풍력단지 최적화, 그린수소 생산 ▪ 제품 효율·품질 기반으로 시장 경쟁구도를 전환 가운데 재생에너지로 생산된 전기를 활용해 수전해 방식(Power to Gas)의 청정(Green) 수소 생산 상용화 추진 - ('19~'21) 수전해 및 제어기술 개발 ('22~'23)MW급 실증 - 재생에너지 잉여전기를 수소로 전한·저장함으로써 재생에너지의 단점을 보완
	시장·기술·기업체질 등 산업생태계 경쟁력 보강	- 재생에너지 투자확대 모멘텀을 통해 내수시장의 안정적 확대 - 민간주도 R&D 로드맵을 수립하여 가격·기술 격차 조기 극복 및 선진기업과의 전략적 제휴 병행을 통해 기술 고도화 - 글로벌 경쟁이 가능토록 구조를 혁신하여 기업의 체질 개선 추진 - 지역별 차별화된 생태계 구축 및 혁신 거점화를 통한 지역기반의 혁신 생태계 조성
	해외진출 촉진	- 전략시장별 맞춤형 진출 지원 - 전략별 5개 시장으로 구분 후 진출대상 및 진출전략 맞춤화 - 무역금융 확대 및 해외 동반진출을 통해 단기 수출활력 제고

주) BAPV(Building Applied Photovoltaic): 건물형 태양광

자료: 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안, 관계부처합동, 2019

<표 2-19> 제3차 에너지기본계획 비전 및 중점추진분야, 수소관련 지원 정책

비전	에너지 전환을 통한 지속가능한 성장과 국민 삶의 질 제고

	구분	세부내용
중점 추진 분야	에너지 소비구조 혁신	· 소비효율 38% 개선('17년 대비), 수요 18.6% 감축('40, BAU 대비) · 공공기관 의무구매 확대, 수소버스 보급 지원, 수소충전 및 정비 인프라 확충, 안전성 평가기술 개발, 수소버스 복합환승센터 구축 등 을 통해 '40년까지 수소차 290만대 보급(누적/내수) · 부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화, 에너지 가격체계 합리화, 비전력 에너지 활용 확대
	깨끗하고 안전한 에너지 믹스로 전환	· 석탄 및 원전 감축, 재생에너지의 꾸준한 확대를 통해 지속가능 에너지 믹스 달성함오서 온실가스 감축로드맵 이행 · 재생에너지 발전비중 30~35%('40)로 확대 · 수소의 수송연료·발전용 활용을 확대, '40년까지 국내 526만톤 활용 · 에너지 공급 안정성 제고를 위한 공급선 다변화 등 추진 · 에너지 시설의 안전관리 투자 확대
	분산형·참여형 에너지 시스템 확대	· 분산형 에너지 공급시스템를 확대하고 계통체계 정비 · 수요지 인근 분산형 전원 발전량 비중을 '40년 30%로 확대('17년 12%) · 전력 프로슈머 확대 지원
	에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화	· 재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 경쟁력 강화를 통해 미래 에너지 산업 육성 · 「재생에너지 3020 이행계획('17. 12)」와 연계해 재생에너지를 미래성장 동력으로 육성 · 모빌리티, 발전, 주택 등 수소 활용을 확대하여 세계 최고 활용 환경 조성 · 수소생산방식 다양화 및 유통체계 확립을 통한 안정적이고 보편적인 수소공급 시스템 확충 · 산업생태계 조성 및 전주기 안전관리체계 확립, 연계사업 육성 추진 · 전통 에너지 산업 고부가가치화, 원전산업 핵심생태계 유지
	에너지 전환을 위한 기반 구축	· 전력.가스.열 시장제도 개선 · 에너지 기술개발 및 인력양성 · 대형 R&D 및 실증 연구 확대, 수소에너지 등 R&D 투자의 선택과 집중 · 융합/산학/글로벌 협력 기술개발 확대 · 에너지 빅데이터 플랫폼 구축

자료: 제3차 에너지기본계획, 관계부처합동, 2019

○ ‘19년 4월, 산업통상자원부는 “국제표준 선점을 통해 수소산업 글로벌 시장 선도”로의 도약을 수소 생산·수송·활용 관련 향후 국제표준 15건 이상을 목표로 하는 「수소경제 표준화 전략 로드맵(’19)」을 발표

- 산업통상자원부는 수소 관련 국제표준 선점과 수소산업의 글로벌 시장 선도를 위해 국제 표준경쟁력 강화 전략을 포함한 해당 정책을 수립·추진

○ 향후 수소산업 관련 국제표준 선점을 위해 수소 생산·수송 분야 3건, 수소 이동충전소 등 활용분야 12건 이상의 국제표준화 제안을 목표로 함

<표 2-20> 수소경제 표준화 전략 로드맵

비 전	국제표준 선점을 통해 수소산업 글로벌 시장 선도 우리 기술을 국제표준으로 15건 이상 제안: 국제표준(ISO/IEC) 제안 - (~‘22년) 5건 이상, (~’23년~‘30년) 10건 이상

	구분	세부내용
추진 과제	국내 기술의 국제 표준화 제안시스템 구축	· R&D와 국제표준화 연계 ‘일체형’ 표준 개발 · 수소는 수소추출기, 충전소 압축기·저장용기 등 기술 고도화, 연료전지는 드론·선박 등의 성능·안전성 강화 기술을 개발 · 국제표준 제안 전주기 지원 확대 · ‘수소경제 활성화 로드맵’ 수립 시, 수전해 기술, 수소산박 기술 등 개략적인 중장기 기술전망 중심으로 40여건 과제 제시 · 다자간 국제표준 협력 활동 강화
	수소 제품 서비스 품질·안전 확보	· 수소 제품·서비스의 KS표준 확대 · 시장 창출형 제품의 KS인증 기반 구축 · 수소·연료전지 ‘상호운용성·인증 협의회’를 구성하여, 상호운용성 실증 대상품목, 인증 품목을 발굴 · 수소충전의 거래 신뢰성 확보를 위한 수소차 충전기 보급
	수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성	· 중소·중견기업의 표준화 활동 지원 · 수소경제 표준포럼 운영 및 표준전문가 육성 · 수소산업 안전성 시험기반 구축

자료: 수소경제 표준화 전략 로드맵, 산업통상자원부, 2019

<표 2-21> 수소경제 표준화 전략 로드맵 세부추진 내용

1. 부문별 표준화 계획

○ 수소 모빌리티

- 국제표준 : ('22년까지) 2건 → ('30년까지) 총 8건 이상 제안
- KS 인증 : ('22년까지) 8건 → ('30년까지) 총 20건 이상 품목

○ 수소 에너지

- 국제표준 : ('22년까지) 2건 → ('30년까지) 총 4건 이상 제안
- KS 인증 : ('22년까지) 5건 → ('30년까지) 총 10건 이상 품목

○ 수소 공급 및 계량

- 국제표준 : ('22년까지) 1건 → ('30년까지) 총 3건 이상 제안

			2022년	2030년
모빌리티	국제표준	충전소	❶ 이동식수소충전소 성능·안전 1건	❸ 수소충전소 안전 모니터링 1건
		드론·선박 기계 등	❷ 드론용 연료전지 요구사항, 건설기계용 연료전지 요구사항 및 성능 등의 분야에서 1건	❹ 건설기계용 연료전지 안전 1건 ❺❻ 드론용 연료전지 성능·안전 2건 ❼❽ 선박용 연료전지 안전 등 2건
	KS 인증	수소 충전소	①~③ 밸브류(체크, 수동, 유량제어) 3건 ④~⑦ 호스, 디스펜서 등 4건	⑨~⑫ 충전소 압축기, 수소탱크 등 4건
		드론·선박 기계 등	⑧ 지게차용 연료전지(DMFC)	⑬ 드론용 연료전지 ⑭ 건설기계용 연료전지 ⑮~⑳ 기타 굴삭기·농기계 등 6건
에너지	국제표준	발전용 가정·건물용 등	❶ 전기·열·수소 생산시스템, 트라이젠 연료전지시스템, 연료전지복합발전 시스템 등 분야의 성능 표준 1건	❸❹ 전기·열·수소생산시스템, 트라이젠 연료전지시스템, 연료전지 복합발전 시스템 등 분야의 안전 표준 2건
		이동형	❷ 노트북용 마이크로형 연료전지 1건	
	KS 인증	가정·건물용 등	①~② 연료전지(DMFC, SOFC, ~10kW) 2건 ③~⑤ 연료전지(PEMFC,~50kW급) 3건	⑥~⑦ 연료전지(SOFC 등, 10~50kW) 2건 ⑧~⑩ 연료전지(PEMFC 등, 100KW급) 3건
수소공급/계량	국제표준	생산	❶ 재생전력연계 수전해(SOFC, PEMFC, 알칼라인) 시스템, 대용량(400㎥/h) 추출기 등 분야의 성능 표준 1건	❷ 재생전력 연계 수전해(SOFC, PEMFC, 알칼라인) 시스템, 대용량(400㎥/h) 추출기 등 분야의 안전 표준 1건
		저장·운송		❸ 초고압(700bar) 튜브트레일러, 충전소용 복합재료 저장용기, 액체수소 설비 등 분야의 안전 표준 1건
		계량	수소 유량계측기 성능(OIML 표준제안)	

2. 표준화 전략로드맵 요약

○ 국제표준: ('18) 1건 → (~'22) 5건 → (~'30) 총 15건 이상 제안 (누적) <전체 국제표준 제안의 20%>

○ KS인증 : ('18) 1건 → (~'22) 13건 → (~'30) 총 30건 이상 (누적)

국제표준

구분			완료	진행중	우리의 목표(~'30)
활용	모빌리티	충전소	4건(밸브 등)	3건(압축기 등)	2건 이상 (이동충전소 등)
		열차·선박·드론, 기계	2건(산업용트럭)	-	6건 이상 (드론·건설기계 등)
	에너지	발전·가정·건물용 등	14건 (성능·안전·설치 등)	9건 (환경성 평가 등)	4건 이상 (트라이젠 시스템 등)
수소 공급		생산·저장·운송/계량	14건 (수소품질 등)	5건 (수소발생기 개정 등)	3건 이상 (P2G 수전해 등)

KS인증

구분			완료	진행중	우리의 목표(~'30)
활용	모빌리티	충전소	-	1건 (밸브)	11건 이상 (압축기 등)
		열차·선박·드론, 기계	-	-	9건 이상 (지게차, 드론 등)
	에너지	발전·가정·건물용 등	1건 (연료전지(PEMFC))	2건 (지게차용(DMFC) 등)	10건 이상 (대용량 연료전지 등)

기반조성

구분	내용	목표
R&D 표준 연계	표준연계 확대	○ 총26건: (~'18) 4건 → ('22) 12건 → ('30) 26건
표준화 전주기 지원	개발→제안→등록의 全주기 지원	○ 총20건: ('19) 2억원 → ('20~'22) 30억원 → ('23~'30) 130억원
국제협력 강화	작업반 임원수임, 포럼개최, 회의유치 등	○ WG 컨비너 ('19) 1명 → ('22) 3명 → ('30) 7명 (20% 수준) ○ 국제포럼 년1회, 표준작업반 회의 유치 년1회 이상
KS표준 확대	KS표준 제정	○ KS표준 ('19) 19종 (50%) → ('21) 37종 (70%) → ('22) 54종 (100%)
인증기반 구축	KS인증 도입 상호운용성 실증 등	○ KS인증 ('19) 1개 품목 → ('22) 13개 품목 → ('30) 30개 품목 ○ 인증대상 품목 상호운용성 실증 (시험·연구기관 협력)
계량 신뢰성 확보	수소충전기(계량기) 제도화	○ 계량오차 실태조사, 제도정비, 형식승인기관 지정 등 제도화를 추진(~'25)
업계 표준화 주도	중소·중견기업 표준활동 지원	○ 지원업체수 ('20) 10개 업체/년 → ('22) 30개 업체/년 → ('30) 50개 업체/년
표준포럼 운영	포럼운영, 표준전문가 육성	○ 포럼 연간 4회 개최 ○ 표준전문가를 '20년까지 100명 이상 육성·확대
안전성 시험기반	시험 실증데이터 확보 안전성 시험평가 지원	○ 국제표준 제안분야 제품 실증시험 데이터 확보 ○ 인증제품 안전성 시험평가 협력

자료: 수소경제 표준화 전략 로드맵, 산업통상자원부, 2019

❍ 19년 10월, 관계부처 합동으로 발표된「미래 자동차산업 발전전략('19)」은 친환경차 세계 시장 선도의 일환으로 수소상용차 개발, 내구성 향상 및 부품국산화 등을 지원[7)]

❍ 정부는 '19년 10월, 전기수소차 보급 세계 1위, 점유율 10% 달성 등을 목표로 하는 「미래 자동차산업 발전전략」을 발표

❍ 수소자동차의 국내 보급 확산 및 글로벌 경쟁력 향상을 위해 라인업 확대, 내구성 향상, 가격인하를 위한 대체소재 연료전지시스템 개발 등을 지원하고 인프라 구축 등을 지원

❍ '19년 10월, '수소의 생산 및 가격 안정화와 충전소의 균형 배치 및 자생적 확산을 목표'로 「수소 인프라 및 충전소 구축방안('19)」이 발표되었으며 이를 통해 수소 이용의 경제성, 편의성, 안전성 향상을 위한 핵심부품 국산화, 모니터링 시스템 구축 등을 지원할 계획

❍ '19년 10월 관계부처 합동으로 '수소의 생산 및 가격 안정화와 충전소의 균형 배치 및 자생적 확산을 목표'로 하는「수소 인프라 및 충전소 구축방안」이 발표

❍ 「수소 인프라 및 충전소 구축방안」은 수소의 대국민 수용성에 초점을 맞추어, 충전소 핵심부품 국산화를 통한 경제성 향상, 충전소 확충 및 정보시스템 운영을 통한 편의성 향상, 안전기준 강화 및 전담기관 지정을 통한 안전성 제고를 지원

❍ 정부는 '19년 10월, '세계 최고 수준 기술력 확보'를 비전으로 수소 전주기 기술개발, 소재부품 해외 의존 해소 등을 지원하는 「수소기술개발로드맵('19)」을 발표

- 「수소기술개발로드맵3('19)」은수소가치사슬별 성능 및 경제성 향상 등의 고도화 기술개발 및 핵심부품 국산화, 미래유망 기술개발을 추진

7) 미래 자동차 산업 발전전략, 관계부처 합동, 2019

<표 2-22> 미래 자동차산업 발전전략

비 전	2030년 「미래차 경쟁력 1등 국가」로 도약 - 2030년 5-F(ree) 사회 구현 - 사고(Accident), 장벽(Barrier), 정체(Congestion), 지연(Delay), 배출(Emission)
목 표	전기·수소차 보급 세계 1위 국가, 세계시장 점유율 10% 달성 전기·수소차 판매비중(%): ('19)2.6 → ('20)4.9 → ('22)9.9 → ('25)18.3 → ('30)33.3 전국 주요도로의 완전자율주행(레벨4) 세계 최초 상용화('27) '21년 레벨3 자율차 출시 → '24년 레벨4 일부 상용화 → '27년 레벨4 전국 상용화
추 진 전 략	친환경차 기술력과 국내보급 가속화를 기반으로 세계시장 적극 공략 완전자율주행 법제도.인프라(주요도로)를 세계에서 가장 먼저 완비('24) 민간투자(60조원)를 기반으로 개방형 미래차 생태계로 신속 전환

	구분	세부내용
추 진 과 제	친환경차 세계시장 선도	· (생산.수출) 가격.성능 혁신, 차종 다변화 등 글로벌경쟁력 확보 · (라인업 확대) '30년까지 모든 세그먼트의 친환경차 라인업을 구축하며 수소차는 SUV 및 중대형 상용차 중심 개발·출시, 10톤 트럭 수출 · (성능개선) 세계 최고 성능 우위 달성을 목표로 수소차 내구성을 50만Km로 강화, 부품 국산화 100% 달성, 대체소재 및 차세대 연료전지 적용을 통해 가격 인하 · (국제표준) 국내외 표준연계를 통해 수소차 및 충전소분야 국제 표준 리더십 강화 · (국내보급) 보조금 등 다양한 혜택 및 충전인프라 구축 · (수요창출) Cost-Parity 달성시점까지 구매 보조금 지급 및 세제지원을 추진, 버스 및 택시 등 대량 수요를 발굴하고, 유통비 절감으로 수소가격을 인하(50%) · (충전인프라) 규모의 경제 도달까지 수소 공급가격 인하, 재정 지원, 핵심부품 국산화 등 핵심과제 추진, 이용자 접근성 향상을 위해 충전소 확충, 수소법 제정 및 안전관리 전담기관 지정 등 법적근거 강화 < 전기차/수소차 국내 연간 판매 목표 > 구분 | 2019 | 2020 | 2022 | 2025 | 2030 | 누적 전기차(만 대) | 4.2 | 7.8 | 15.3 | 27 | 44 | 300 수소차(만 대) | 0.6 | 1 | 2.5 | 6 | 16 | 85 판매비중(%) | 2.6 | 4.9 | 9.9 | 18.3 | 33.3 | -
	자율주행차 미래시장 선점	· (인프라) 자율주행 4대 국가 핵심인프라 구축('24) · (제도) 자율차 제작 . 성능검증 . 보험 . 보안체계 마련 ('24) · (기술) 완전자율주행 상용화('24) 및 기술강국 도약('27)
	미래차 서비스 시대 준비	· (커넥티드) 서비스 걸림돌 제거하여 조기 확산 · (자율주행) 교통약자 지원 등 3대 선도서비스 추진
	산업 생태계 대전환 지원	· (부품) 부품기업의 미래차 전환 가속화 지원 · (신사업) 개방형 협력을 통한 중소.중견기업 기회 확대 · (수소버스) 중소 전기버스 제조기업의 수소버스 시장 참여 지원 · (소재.부품) 핵심 소재.부품 자립도 50 → 80%로 제고

자료: 미래자동차 산업 발전 전략, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-23> 수소 인프라 및 충전소 구축방안

비 전	경제성·편의성·안전성에 기반한 수소 공급 및 충전 인프라 - 2030년 5 - F(ree) 사회 구현 - 사고(Accident), 장벽(Barrier), 정체(Congestion), 지연(Delay), 배출(Emission)
목 표	효율적인 수소 생산·공급 및 수소가격 안정화, 수소충전소 균형 배치 및 자생적인 확산 기반 마련 수소차(대) : ('19) 1.8천대 ⇒ ('22) 8.1만대 ⇒ ('40) 620만대 이상
4 대 기 본 방 향	① 수소 생산·공급의 효율성 및 규모의 경제 달성 ② 전국 주요 도시는 15분 이내 이용 가능한 충전 환경 조성 ③ '30년까지 수소충전소 핵심부품 100% 국산화 ④ 세계 최고수준의 수소 안전관리 기준 마련·시행

	구분	세부내용
세 부 과 제	경제성	· 경제성을 조기에 확보하기 위해 정부 지원을 확대하고 수소충전소 핵심부품 국산화율 제고 · 수소충전소 구축 비용 절감을 위해 융복합·패키지형 충전소 확대 · 수소충전소 핵심부품 국산화율을 현재 40%에서 단계적으로 향상('30년 100%) 시켜 충전소 구축비용을 70% 절감 · 중·장기적으로 액화수소 비중 확대
	편의성	· 수소 충전소를 확대하고 실시간 충전소 운영 현황 등 정보제공 · 350bar, 700bar의 표준 모델을 개발, 표준 모델 적용을 의무화 · 수소충전소의 운영현황, 대기차량 수, 수소 저장용량 등을 수소차운전자가 실시간으로 확인할 수 있는 인터넷 플랫폼 마련 · 공공시설을 중심으로 충전소를 우선 구축하는 등 속도감 있는 확충 추진
	안전성	· 안전관리 강화를 위한 법적 근거 마련 · 국민들이 안심하고 사용중인 '천연가스' 수준의 안전성 확보를 위해 수소 안전관리에 대한 법적 근거 마련 · 미국, 일본, 유럽 등 수소경제 선진국 수준으로 안전기준 강화 · 안전관리 강화 및 홍보를 통한 수용성 제고 · 수소 생산 및 충전소 등의 체계적인 안전 확보를 위해 가스안전공사 內 수소안전센터를 신설하는 방안 검토 · 수소 안전 R&D, 안전기준 마련, 국제협력 등을 지원하는 전담기구 설립 검토 · 지자체 수소안전 콘텐츠 지원, 권역별 설명회 개최 등

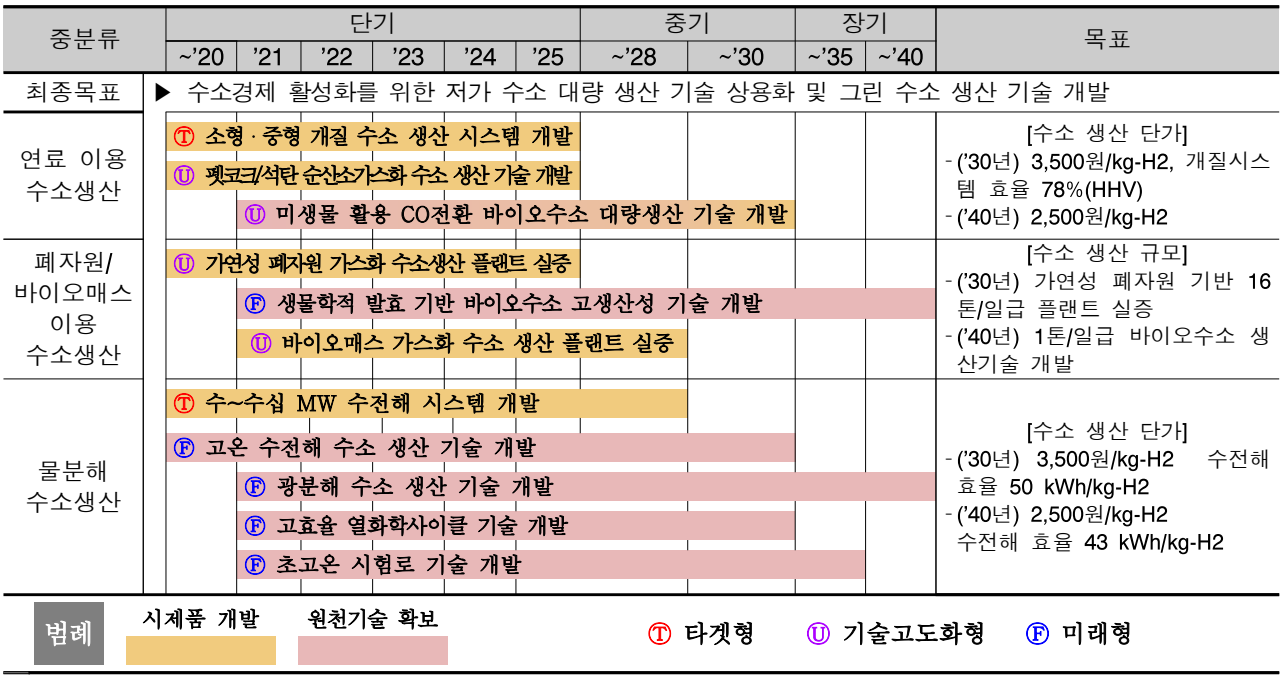
자료: 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-24> 수소기술개발로드맵

비 전	세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약
목 표	1. 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발 On-site / Off-site 충전소 평균 수소 공급가격 : ('30) 4,000원/kg → ('40) 3,000원/kg 2. 다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축 '30년 차량용 탱크가격 45만원/kg / '40년 트레일러 운송비 700원/kg / 40년 배관망 구축 비용 4억 원/kg(100bar) 3. 연료전지시스템 기반의 수송수단 저변 확대 4. 발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보 5. 수소 안전·제도 완비 / 표준 선점 / 보급기반 확대 '30년 데이터 베이스 구축률 100% / 국제 표준 제안 30건 / 충전소 구축 비용 300만원/kg
중점 추진 전략	① 수소 전 주기(생산-저장 · 운송-활용-인프라) 분야별 목표 달성을 위해 필요한 핵심기술 개발 · 재정지원 등을 통해 수소차 보급을 확대함으로써 수소충전소의 수익성 제고 · (생산) 수소 수요량 대응, 화석연료 수준의 가격경쟁력 확보, 기후변화 대응을 위한 단계별 기술 개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환 · (저장·운송) 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진 · (활용(수송)) 수송수단에 모두 연료전지시스템이 적용되므로 타 분야로의 확장성이 큰 연료전지 시스템을 전략적으로 활용하여 중복투자 방지 및 가격 저감 유도 · (활용(발전)) 발전용 연료전지시스템(가정.건물용, 분산 발전용, 대규모 발전용)의 경제성 확보를 통해 설치비와 발전단가를 절감 · (안전·환경·인프라) 수소 전 주기 기술개발을 위한 기반이므로 '30년까지 완비 ② '30년까지 수소산업 핵심 소재 · 부품의 기술자립도 제고 · 독점성이 강하고 가격 비중이 높은 핵심 소재.부품에 대해 국산화 및 성능개량(고효율.저가.장수명) · 소재.부품.장치 국산화를 통해 제품 개발 후 상용화 단계에 진입 시, 내구성.품질.가격 등의 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발 ③ 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 미래 유망기술 개발 및 시장 확대형 기술개발 · 시장은 형성되지 않았으나 성장 가능성이 있는 장기 유망분야에 대해 원천기술 확보 · 수송.발전용 연료전지 분야는 가격저감 및 고부가가치화 등 고도화를 통해 경쟁국과 초격차 유지 · 해외에 적합하고 우리가 개발 경험을 가지고 있는 분야는 고도화를 통해 해외 및 틈새시장 공략

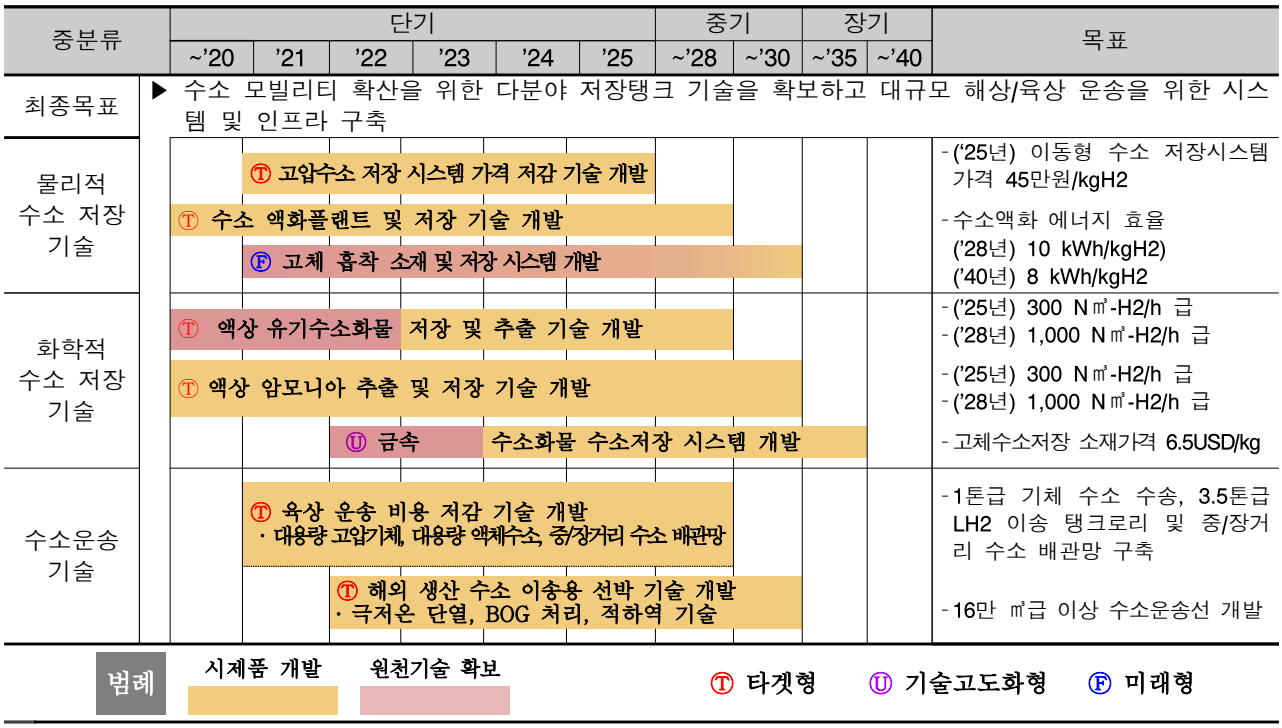
자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-25> 수소기술개발로드맵(수소생산기술)



자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-26> 수소기술개발로드맵(수소저장·운송기술)



자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-27> 수소기술개발로드맵(수소활용(수송)기술)

중분류	단기						중기		장기		목표
	~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
최종목표	▶ 수소에너지를 사용하는 연료전지시스템 기반 육상/해상/항공용 수송수단 저변확대 및 기술선도										
육상용 수송수단	Ⓤ 승용 연료전지시스템 가격저감 기술 개발					Ⓤ 수소택시					- 시스템 가격: 5만원/kWsys.(승용, 80만대/년) - 시스템 효율: 70%(LHV, 승용차), 65%(LHV, 상용차, 철도) - 시스템 국산화: '22년 100%(승용), '30년 100%(상용)
	Ⓤ 상용 연료전지시스템 및 전장장치 기술 개발						Ⓤ 특장차, 중대형트럭				
	Ⓣ 수소열차용 파워팩 및 시스템 기술 개발						Ⓣ 고속철도용 파워팩 및 시스템 개발				
	Ⓣ 중대형 건설기계 파워팩 및 전동장치 개발 (중형 건설기계 적용)					Ⓣ 대형 건설기계 적용					
		Ⓕ 웨어러블 로봇용 연료전지시스템 및 전력제어시스템 기술 개발									
해상용 수송수단	Ⓣ 소형선박용 파워팩 및 시스템 기술 개발					Ⓣ 연안선박용 시스템 기술 개발					- 시스템 가격: 50만원/kWsys. - 시스템 내구: 20년
						Ⓣ 대양선박용 연료전지모듈 및 시스템 기술 개발					
항공용 수송수단	Ⓣ 일반 및 특수목적용 수소드론 시스템 개발			Ⓣ 대형물류 운송용 수소드론 시스템 개발							- 출력밀도: 1kW/kg.sys(드론), 2kW/kg.sys(유인기)
		Ⓕ 1~2인승 유인항공기 원천기술 개발				Ⓕ 유인항공기 시스템 설계 및 제어기술 개발			Ⓕ 경량화		

범례: 시제품 개발 / 원천기술 확보 — Ⓣ 타겟형 Ⓤ 기술고도화형 Ⓕ 미래형

자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-28> 수소기술개발로드맵(수소활용(발전)기술)

중분류	단기						중기		장기		목표
	~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
최종목표	▶ 수소 발전 산업 글로벌 경쟁력 강화를 위한 고효율·저가화 시스템 기술 확보										
수소활용 공통기술	ⓉⓊ 핵심 소재·부품·장치(촉매, 전해질, 분리판, 개질기 등) 국산화 및 고도화										- 핵심 소재 국산화율 100%, 가격저감 및 수명향상 달성
	ⓉⓊ 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발										
고정형 연료전지		Ⓣ 제품 경량화 및 고부가가치화									- 연료전지 발전단가: ('30년) 141원/kWh, - ('40년) 131원/kWh
		Ⓣ 고효율·고신뢰성 시스템 모듈화									
					Ⓣ 대용량 스택 및 시스템 개발						
융·복합 발전			Ⓤ 전기·열·수소 동시 생산 시스템 개발								- 상용화 기술 개발 및 실증
		Ⓤ 연료전지 기반 가상발전소 실증									
수소터빈			Ⓕ 50% 수소 혼소 중대형 GT 기술 개발 및 실증								- 수소 혼소 및 전소 가스터빈 기술개발 및 실증
			Ⓕ 100% 수소 전소 소형 및 중대형 GT 기술개발								

범례: 시제품 개발 / 원천기술 확보 — Ⓣ 타겟형 Ⓤ 기술고도화형 Ⓕ 미래형

자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

<표 2-29> 수소기술개발로드맵(안전·환경·인프라기술)

중분류	단기						중기		장기		목표
	~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
최종목표	▶ 전 주기 수소 안전관리체계 및 안전제도 완비/국내·외 수소 표준 선점/실증 및 기반 구축을 통한 수소의 안전성, 경제성, 환경성 등의 개선을 통한 수소경제 활성화 이행										
안전기술		소재, 부품, 시스템 안전평가 기술 개발					DB구축				-데이터베이스 구축률 : 100% -수소인프라 생애주기내 안전성평가 기술수준 선진국 대비 98% 이상 달성 -측정표준/장비 개발 : 10건(누적)
		잔주기 설치, 안전 및 사고예방 기술 개발									
				전주기 안전 모니터링 및 관리 실증								
		품질 및 측정기술(시험법/장비) 개발									
표준화 및 인증기술		모빌리티, 에너지 및 공급/계량 등 표준 개발									-수소 국제 표준 15건 이상 및 KS 인증 30 건 개발 -소재/부품/제품 시험 평가 및 인증 10건 이상 개발
		소재/부품/제품 시험 평가 및 인증 개발									
환경 및 경제성 평가		전주기 환경성 분석 프로그램 개발					검증 및 보완				-수소 전주기 환경성 및 경제성 평가 프로그램 개발 및 체계 구축 -실측 데이터 기반 환경·경제성 통합 분석 프로그램 개발 및 수정·보완
		전주기 경제성 분석 프로그램 및 비즈니스 모델 개발					검증 및 보완				
							잔주기 환경경제성 통합 분석 프로그램 개발				
수소 공급 인프라		수소 충전 기술 개발					평가 및 실증				-수소 충전 기자재 국산화 (100%) 및 수출 -충전소 구축비용: 300만원/kg -수소벙커링 해상터미널 설계 및 벙커링 선박 설계/항만실증/운영
		수소벙커링 기술 개발					검증 및 항만실증				
수소사회 기반구축		도시기반 건물/교통의 수소 활용·공유 기술 및 최적 운영시스템 실증							상용화 및 해외시장진출		-도시 온실가스 및 미세먼지 발생 저감 -국내 수소경제 활성화 달성 및 해외 수소도시 건설시장 선점
		도시기반 수소 전주기 인프라 구축 및 최적 운영시스템 실증							상용화 및 해외시장진출		
		생산/저장·운송/수송/발전·산업의 기관·기업·연구소 집적 클러스터 실증									-클러스터 내 산업 인프라 구축, 관련 기업 유치, 육성 및 관련 산학연 N/W 구축

범례 시제품 개발 원천기술 확보 Ⓣ 타겟형 Ⓤ 기술고도화형 Ⓕ 미래형

자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

○ ‘19년 12월 발표된「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」은 에너지 전환을 위한 집중 투자대상분야에 ‘수소’를 포함하여 수소생산·저장/운송·활용기술 인프라 기술개발과 핵심소재 해외 의존을 해소하고 R&D성과의 실증을 강화함으로써 신산업 창출을 지원[8)]

○ 산업통상자원부는 ‘19년 12월, 「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」을 발표했으며 비전인 ‘에너지 전환과 신산업 선도를 위한 에너지기술 강국 도약’과 중장기 에너지 정책목표 달성을 위한 4대 추진 전략을 제시

○ 4대 추진전략 중, 첫 번째 추진전략인 ‘에너지전환을 뒷받침할 R&D투자강화’에서 ‘30년까지 16대 에너지 중점기술분야와 수소기술을 포함한 50개 추진과제를 선정해 지원

○ ‘에너지 신산업 육성’ 대상 분야에 수소를 포함하여 저가 수소생산기술을 상용화하고 그린수소 대량생산기술, 대규모 육상수소 운송기술, 고효율·저가 연료전지 발전 시스템 기술을 개발하는 한편 발전용 연료전지 분리판·촉매·전극을 국산화하여 핵심소재의 대외의존도를 해소할 계획

- (수소생산) 수전해 효율 (’30) 80%, 추출수소규모 (’30) 5,000 kg/일
- (수소 저장/운송) 1 ton급 기체 수송(’30), 3.5 ton급 LH2 이송 탱크로리 및 배관망 구축(’30)
- (수소 활용(발전)) 연료전지 발전효율 (’19) 47% → (’30) 60%

○ ‘깨끗하고 안전한 에너지 공급’을 달성하기 위한 방안으로 수소생산시스템의 안전성 확보를 위한 기술을 개발할 계획

○ 수소그리드 기반 DC시스템(‘30) 100MW이상급 안전성 확보(‘30)

○ ’에너지 고효율 저소비 구조 혁신‘을 달성하기 위한 방안으로 수소충전소 핵심부품을 국산화하고 안전기술을 확보할 계획

○ 수소 충전 가격 4,000원/kg(’30), 충전소 핵심부품 국산화율 100%(’30)

○ 세 번째 추진전략인 ‘신산업 창출을 위한 R&D기반 강화’는 에너지분야 기술개발 성과의 사업화 촉진을 위해 실증연구에 대한 투자를 확대하고 R&D 전단계에서의 안전관리를 강화하는 한편 ‘에너지 빅데이터 플랫폼’을 구축해 기업의 비즈니스 모델 창출을 지원

○ ’19년 12월, ‘안전과 산업이 균형 발전하는 수소강국 실현을 목표’로 「수소 안전관리 종합대책(‘19)」이 발표되었으며 수소안전시스템 구축, 수소 핵심시설 중점관리, 안전생태계 조성, 안전문화확산 등을 지원할 계획

8) 제4차 에너지기술개발계획, 산업통상자원부, 2019. 12

○ ‘19년 12월 산업통상자원부는 ‘안전과 산업이 균형 발전하는 수소강국 실현을 목표’로 하는「수소 안전관리 종합대책」을 발표

○ 「수소 안전관리 종합대책」은 국민의 수소 안전성에 대한 신뢰 확보를 위해 수소안전관리 체계 구축과 전담기구 설치, 전문인력양성, 안전기술개발 추진 등을 통해 수소안전관리의 전문성 제고를 지원

<표 2-30> 제4차 에너지기술개발계획

<table>
<tr><td>비 전</td><td>에너지 전환과 新산업 선도를 위한 에너지기술 강국 도약</td></tr>
<tr><td>목 표</td><td>1. 에너지 전환 중점기술 집중 투자 : 중점 16개 분야 90% 이상 지원
2. 미래 에너지 기술혁신 선도 : 에너지 기술수준 10%p 향상
3. 에너지 산업 시장경쟁력 제고 : 경제적 성과 57조 원 달성</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4 대 추 진 전 략</td><td>에너지전환을 뒷받침할 R&D투자강화</td><td>· 에너지 기본계획의 중점과제 추진을 위한 16대 에너지 중점기술 분야를 제시하고, 분야별 기술로드맵에 따라 50개 추진과제 도출
<table>
<tr><th>중점과제</th><th>에너지 신산업 육성</th><th>고효율 저소비 구조 혁신</th><th>깨끗·안전한 에너지 공급</th><th>분산형 에너지 확산</th></tr>
<tr><td>중점기술</td><td>· 태양광
· 풍력
· 수소
· 에너지신소재</td><td>· 산업효율
· 건물효율
· 수송효율
· 빅데이터</td><td>· 원자력
· 청정화력
· 에너지안전
· 자원개발
· 순환자원</td><td>· 지능형전력망
· 에너지저장
· 사이버보안</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>국가적 역량 결집을 위한 R&D체계 구축</td><td>· 대형·장기 기술개발 과제인 ‘플래그쉽 프로젝트’를 추진하고, 기술 수요기업(대/공기업)이 참여하는 ‘수요연계형 R&D’ 활성화
· 초고난도 한계돌파 기술개발을 위한 ‘도전적 R&D’를 적극 지원하고, 에너지-타산업 간 공동 기획을 통한 ‘융·복합 연구’ 추진
· 실생활 공간에서 사용자가 공동 개발자, 실험자, 소비자로서 참여하는 ‘리빙랩’ 형태의 연구개발 확대</td></tr>
<tr><td>신산업 창출을 위한 R&D기반 강화</td><td>· 사업화 촉진을 위해 실증연구에 대한 투자를 확대하고, 안전사고 예방을 위해 R&D 전단계에서의 안전관리를 강화
· 에너지 스타트업·벤처기업을 육성하고, ‘에너지 빅데이터 플랫폼’을 구축하여 기업들의 새로운 비즈니스 모델 창출을 지원
· 기술확산을 저해하는 규제는 완화하고, 고효율·친환경 기술기준은 강화하는 등 규제/제도의 조화를 통해 신기술의 시장 진입 촉진</td></tr>
<tr><td>미래 지향적 에너지 R&D 저변 확대</td><td>· 에너지분야 앵커기업(대기업, 공기업 등)을 중심으로 관련 중소기업, 연구소 등이 집적된 ‘에너지산업 융복합단지’ 조성
· ‘에너지 융합대학원’ 설립, 에너지 융·복합 교육과정 신설 등을 통해 에너지 신산업 분야 전문인력 양성
· 선진기술 획득, 해외시장 진출 목표의 공동연구를 강화하고, 양자 협력과 다자 협의체 활동 활성화</td></tr>
</table>

<표 2-31> 제4차 에너지기술개발계획 16대 에너지 중점기술분야 및 50대 추진과제

정책방향	16대 기술분야	50대 추진과제	R&D 목표
에너지 신산업 육성	태양광	① 글로벌 경쟁돌파 고효율 태양광	페로브스카이트/실리콘 셀 효율: ('19) 23% → ('30) 35%
		② 수상 해상 영농형 등 입지다변화용 태양광모듈 개발	수상·해상·영농형 설비이용률: ('30) 17%
		③ 초경량, 고감도 태양전지 개발	무게당/저조도 발전량: ('30) 1.6W/g / 30uW/㎠
		④ Post-결정질 미래원천기술 확보	초고효율 다중접합 소자: ('19) 6.7~37.9% → ('30) 40%
	풍력	① 초대형 풍력발전 시스템 국산화	터빈용량: ('30) 12MW 이상
		② 차세대 풍력기술(부유식 풍력) 확보	부유식풍력 용량: ('30) 8MW 이상
		③ 풍력 핵심부품 국산화	블레이드, 증속기, 발전기, 전력 변환기 및 제어시스템 국산화
		④ 풍력단지 운영 최적화 기술개발	운영비용: ('19) 4,000 → ('30) 2800만원/MW
	수소	① 수소차 충전소용 저가 수소 생산 기술 상용화 및 그린수소 대량 생산기술 확보	('30) 수전해 효율 80%, 추출수소규모 5,000kg/일
		② 대규모 육상수소 운송기술	('30) 1톤급 기체 수송, 3.5톤급 LH_2 이송 탱크로리 및 배관망 구축
		③ 고효율·저가 연료전지 발전 시스템 기술 확보	연료전지 발전효율: ('19) 47% → ('30) 60%
	소재	① 대외의존도 해소 핵심소재 기술	발전용 연료전지 분리판, 촉매/전극
		② 신시장 창출 차세대 원천기술 확보	차세대 이차전지 소재
		③ 응용분야 확대 소재 크로스커팅 기술 개발	WBG 전력반도체 가격 0.4$/A 3D 프린팅 복합소재 개발
깨끗하고 안전한 에너지 공급	원자력	① 글로벌 시장진입 원전해체 기술	(~'21) 17개 미확보 기술 확보, 34개 필수 상용화 기술 고도화
		② 원자력 시설 안전성 강화기술	('30) 원전 방사능 누출사고 빈도 현재 대비 1/100 수준
		③ 국민안전 방사성폐기물 관리 기술	사용후핵연료관리 표준화 시스템
		④ 방사선 산업 응용 기술	의료/산업용 동위원소 생산 방사선 방호 안전 강화
	청정 발전	① 화력발전소 미세먼지 원천저감/후처리기술	('30) 석탄화력 발전kW당 미세먼지 90% 감축
		② 고효율 발전용 가스터빈 국산화 및 효율향상	('30) 효율 65%급 가스터빈 실증, 1600℃급 외산 고온부품 대체 완료
		③ 재생에너지 간헐성 대응용 유연발전기술	('30) 100MW 이하급 중형 가스터빈 10분 이내 100% 출력 도달
		④ CO_2 배출 저감을 위한 연료다변화 기술개발	가스터빈 연료다변화용 연소기 및 핵심부품 국산화
	자원 개발	① 세일가스 및 희소금속 생산 기술	('30) '19년 대비 생산성 10% 향상
		② AI기반 차세대 자원개발 플랫폼 구축	('30) 스마트 자원시장 10% 점유 및 10명/100만명당 재해율 감소
	순환 자원	① 에너지 주요 모듈 부품 재제조·재이용 산업기술 확보	신품 대비 제품 효율: ('19) 50% → ('30) 90%
		② 에너지 전략금속 자급형 생태계 구축	재활용 태양광 실리콘 소재 생산: ('19) 1,800톤/년→ ('30) 1만톤/년
		③ 첨단기술 융합형 재제조 신시장 창출	노후 부품제품 고장 원인 진단율: ('19) 70% → ('30) 99%
	에너지 안전	① 에너지시설 위험 전조예측 및 예방	위험전조 예측 및 사전대응: ('19) 예측신뢰도 70% → ('30) 90%
		② 수소생산 시스템 안전성 확보기술	수소그리드 기반 DC시스템: ('30) 100MW이상급 안전성 확보
		③ 에너지 설비 안전 생애이력체계 구축	설비안전진단 수명예측정확도: ('19) 30% → ('30) 90%
에너지 고효율 저소비 구조 혁신	건물 효율	① 에너지 네트워크 활용 플러스 건물 실현	신축건물 에너지자립도: ('19) 10% → ('30) 110%
		② 효율개선을 통한 기축 건물 제로에너지화	기축건물 최적화 기술 적용률: ('19) 1% → ('30) 30%
		③ 통합운영·관리시스템 기반 에너지 커뮤니티 플랫폼 구축	('30) 에너지 거래·공유 비율 30% 이상
	산업 효율	① 공통기기·제품 효율 극대화로 시장경쟁력 제고	('30) 유체기기 최적화 기술 소비에너지 저감율 30%
		② 산업공정 고도화를 통한 에너지 사용량 최소화	('30) 정밀화학공정 에너지절감 20% 이상
		③ IoT 기반 스마트 에너지 산업단지 구축	('30) 산업단지 에너지절감 10%
	수송 효율	① 전기자동차 스마트 충전플랫폼 고도화	('30) 전기차 급속 충전기 출력 500kW
		② 수소충전소 핵심부품 국산화 및 안전기술 확보	('30) 수소충전가격 4,000원/kg, 충전소 핵심부품 국산화율 100%
		③ 무선충전기술 고도화 및 상용화	('30) 주행중 무선충전 효율 87%
	빅데이터	① 에너지 빅데이터 공급/소비, 기기정보 플랫폼	빅데이터 구축: ('19) 전력데이터 → ('30) 전력/가스/열 통합데이터
		② 빅데이터 기반 에너지 운영/관리 서비스	발전량 예측 및 공급신뢰도: ('19) 60% → ('30) 97%
분산형 에너지 확산	지능형 전력망	① 전력망 안정성 확보 지능형 운영 플랫폼	재생에너지발전량 예측 오차: ('19) 10% → ('30) 5%
		② 신재생 수용성 확대 직류 송배전 시스템	('30) MVDC 직류배전 운영 시스템 AC/DC 배전망 혼용 운전
		③ 에너지커뮤니티 기반 프로슈머·서비스 확대	에너지 커뮤니티 기반 분산자원: ('19) MW급 → ('30) 1GW 이상
	에너지 저장	① 화재사고 예방을 위한 기반기술 강화	(~'21)ESS 안전성 검증센터 구축, ('30) IEC/UL 국제표준
		② 신재생 확대 대응 전력계통 안정화 ESS 시스템	전력계통 안정화 운용기술: ('19) 1MW급 → ('30) 10MW급
		③ 해상, 군수용, EV 고속충전 등 어플리케이션 다변화	전기차 급속충전 ESS: ('19) 2C-rate→ ('30) 6C-rate
	사이버 보안	① 초연결 IoE 환경대비 에너지데이터망 보안 강화	('30) 5G/6G 기반 암호 시스템
		② 에너지 사이버공격 대응 에너지 인프라 보호	인공지능 탐지기술 정확도: ('19) 60% → ('30) 95% 이상
		③ 사이버보안 체계 기반 구축	국가 사이버보안 컨트롤센터: ('30) 인터넷망+업무망+제어망

<표 2-32> 수소 안전관리 종합대책

목표	안전과 산업이 균형 발전하는 수소강국 실현	
추진 전략	1. [글로벌 스탠더드] 全주기 안전시스템, R&D시설 안전관리제 2. [국민안전 최우선 확보] 국민 안전과 관련된 시설 특별관리 3. [지속가능한 안전생태계] 인력 · 안전기술 · 실증지원 · 안전문화	
추진 과제	구분	세부내용
	글로벌 수준의 안전시스템 구축	- 수소 안전관리의 법적 기반 마련('20. 上) - (수소법 제정) 저압수소 관리를 위해 수소법 제정을 통해 고압가스안전법과 함께 수소 안전관리의 법적기반 마련 - (수소법 시행 전 조치) 수소법 시행 전까지 저압수소 설비의 안전확보를 위해 관계부처, 업계와 협력 등을 통해 안전관리 - 수소 밸류체인별 全주기 관리체계 마련('20. 下) - (생산설비) 美·日·EU 등 해외 선진기준에 따라 수소 추출기, 수전해설비 등 주요 저압 생산설비에 대한 제조 및 시설기준 마련, 제조단계에서 공장심사(전수검사)와 유통 중 샘플조사, 시공단계에서 가스안전공사가 기술검토를 거쳐 완성검사 추진 - (운송관리) 튜브트레일러, 용기, 수소배관에 대한 안전관리, 신속한 공급을 위한 수소배관의 제조·설치기준을 마련 - (저장시설) 충전소 저장탱크는 글로벌 수준의 고압가스안전법상 안전기준에 따라 제작, 이격거리 확보, 긴급차단장치 등 각종 안정장치 부착 - (활용단계) 충전소와 산업용은 고압가스안전법에 따라 안전기준 운영 중, 충전소 연료전지 등 특성에 따른 맞춤형 관리체계 구축 - 수소안전관리 전담기구 설치('20. 上) - (글로벌 수준의 안전시스템) 수소법 제정을 계기로 수전해설비, 추출 설비 등에 대한 안전기준과 제품검사, 정밀진단 등 관리체계 마련 - (전문인력 양성) 수소 교육시설 설치, 현장 중심의 맞춤형 교육 시행 - (수소 안전기술개발) 수소 생산·저장·운송·활용 등에 필요한 안전관리 핵심기술 개발 - (안전 인프라) 수소업체의 수소부품·제품 개발 촉진을 위해 안전성 신뢰성 평가지원 - R&D과제 분류와 안전관리계획 수립('20. 上) - R&D과제 기획 단계에서 안전과제와 非대상과제 분류, 수소 상용설비 안전기준 동일 적용 - R&D과제 수행중 안전점검 실시('20. 上) - 연구책임자의 책임성 확보 및 사후관리 강화('20. 上)
	3대 핵심시설 중점관리	- 주민참여와 공개를 통한 충전소 시공관리 - 충전소 설계 및 시공 단계 안전성 평가 시범사업 추진('20. 上) - 충전소 관리체계 고도화('20. 上) - 시공 및 유지관리 전문역량 확충('20. 上) - 「충전소 표준 시공·유지관리 매뉴얼」 제작·보급 - 충전소 부품 및 설비 품질관리('20. 上) - 안정적인 수소공급을 위한 수소생산기지 구축 추진('21. 下) - 거점형 생산기지 구축('22년 9개, '25년 15개, '30년 25개 구축 예정(가스공사)) - 실시간 이중 모니터링 점검(울산, 광주, 창원 복합충전소 3개소에 대해 시범사업 중 - 가정- 건물 -발전용으로 활용되는 수소연료전지 안전관리 기준 마련('21. 下)
	지속가능한 안전생태계 조성	- 안전관리 전문인력 양성 - 인력양성 로드맵 수립('20. 下) - 안전관리 핵심기술개발 추진('20. 上) - 부품·제품의 안전성 실증지원(Test Bed) - 수소산업 전주기 제품 안전성 지원센터 건립('21. 下) - 수소안전관리 지원 프로그램 추진 검토
	소통·협력을 통한 안전 문화 확산	- 충전소 등 인프라 구축에 대한 이해와 수용성 제고('21. 下) - 실생활 체험 위주의 수소교육·홍보('21. 下) - 기업의 자발적 안전문화 확산('21. 上)

자료) 수소 안전관리 종합대책. 산업통상자원부. 2019.12.26.

2.2 기술동향

2.2.1 국외 기술동향

○ 세계적으로 수소 관련 실증사업이 다양하게 이루어지고 있으며, 대표적인 도시로는 일본 기타큐슈, 영국 애버딘과 리즈, 덴마크 롤랜드, 미국 캘리포니아 등이 있음

○ 각 국가의 대표 실증도시를 통해서 지속적인 data 창출과 브랜드 가치화가 되는 등 긍정적인 요소가 발생

- (일본) 기타큐슈는 최초의 종합 수소 타운으로서 타 국가에서 수소 로드맵 구축 시 반드시 참고하는 우수 사례임
- (유럽) 네덜란드의 HyStock과 영국의 Leeds City Gate 프로젝트는 유사한 내용의 프로젝트로 유럽 로드맵상의 파이프라인 활용에 대한 근거로서 활용
- (미국) 미국 캘리포니아는 현재 최대 수소 자동차 보급 현황을 가지고 있으며, 수소충전소 표준화 등 타 국가들이 수소 교통을 위해 벤치마킹하고 있음

<표 2-33> 해외 주요 수소실증 도시

국가	도시	실증모델명	구성요소				모델 특징
			생산	이송·저장	활용	안전	
일본	기타큐슈	기타큐슈 수소타운	부생수소	파이프라인 탄소강관	주택·상업·업무용 연료전지	광섬유 진동센서	주거 및 교통형
	요코하마	풍력-수전해 연계	풍력, 전기분해	저장배터리, 저장탱크	물류·냉동·창고의 연료전지 지게차	-	교통형
	홋카이도 외 2곳	축산분뇨 활용	축산분뇨	저장탱크	전기·열공급, 수소차 운영	-	농업형
	야마구치 외 2곳	수산화소듐 활용	부생수소	파이프라인, 가스탱크, 액화	충전소 공급, 연료 공급	-	충전소형
	가와사키	재활용 플라스틱 활용	폐플라스틱 분해	파이프라인, 튜브트레일러	호텔연료전지, 충전소공급	-	주거형
	홋카이도 외 2곳	소수력 발전소 활용	소수력 발전	튜브트레일러	연료전지차 연료공급	-	교통형
	도미야, 미야기	태양광 활용	태양력 발전, 수전해	합금 카트리지 저장	연료전지	-	주거형
	노시로	풍력-수전해 연계 혼합 공급	풍력, 수전해	파이프라인	가스 활용 장비	-	천연가스 혼합형
	홋카이도	풍력 활용	풍력, 수전해	합금 탱크	연료전지	-	저압 온천형
	고베	고베 수소 스마트시티	가스터빈	액화수소 탱크로리	공공시설 건물 및 수소차	-	주거 및 교통형
	도쿄	올림픽 선수촌 정비사업	재생에너지, 태양광	수소탱크, 파이프라인	연료전지, 태양전지	-	주거 및 교통형
영국	리즈	H21 Leeds City Gate	스팀 메탄 개질	중압배관, 파이프라인	가정용 전기 생산	정수압테스트, CP시스템	주거형
덴마크	롤랜드	Nakskov 수소사회	풍력, 수전해	수소배관 / 탱크	가정용 수소 연료전지 실증	-	주거형
네덜란드	흐로닝언	Hystock 프로젝트	수전해, 태양광	-	-	-	도시형
호주	톤슬리	톤슬리 혁신지구 시범사업	풍력, 태양광	-	-	-	-
미국	캘리포니아	수소 교통 및 충전소 구축	천연가스 개질, 부생수소	천연가스 배관혼합, 튜브트레일러 /CNG 충전소 활용	수소연료전지, 수소차, 공공 충전소	-	교통형

가. 일본

□ 기타큐슈 수소 타운

○ 일본은 4차 에너지 기본 프로그램 중 JHFC 프로젝트[9]와 수소 고속도로 프로젝트를 토대로 수소시티를 진행하였으며, 기타큐슈 수소 타운이 대표적인 실증모델임

- 일본은 경제산업성의 '수소이용 사회시스템 구축 실증사업'의 일환으로 수소에너지 모델 타운 구축을 위한 사회 실증 사업인 '기타큐슈 수소타운 프로젝트('11~'15)를 수행함
- '11년 수송공급 이용기술 연구조합(The Association of Hydrogen Supply and Utilization Technology; HySUT)과 후쿠오카 수소에너지 전력회의와 기타큐슈 시가 협력하여 실증 시험 실시
- 일본은 수소사회 조기 구현을 위하여 정부차원에서 로드맵을 구축하고 직접 도시에 인프라를 구축하는 등 적극 지원하고 있으며 지난 20여 년간 로드맵에 따라 연료전기 기술개발, 다양한 실증사업을 통해 수소사회를 준비



자료: 충남리포트 187호

[그림 2-13] 기타큐슈 수소 타운 개념도

9) 수소·연료전지 실증 프로젝트(Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project): '02-'05년 1기, '06-'10년 2기 프로그램으로 수행. 수소 생산, 수소연료전지자동차의 성능, 환경 영향, 에너지 효율 및 안전에 대한 기본 데이터의 수집이 주로 이루어짐

○ 생산 단계

- 기타큐슈 시내의 신일본 야하타 제철소 등에서 발생하는 연간 5억m^3의 부생수소를 사용
- 생산 단계에서 수소타운 실험은 연료전지차를 이용한 자가발전과 수전해를 통해 수소를 생산했음에 의의가 있음
  - (자가 발전) 재해대비 독립 전원으로서 연료전지차를 이용하여 주택에 전력공급을 실증
  - (수소생산) 고령자임대주택에 태양광, 풍력 등으로 지역잉여전력 발생 시 2 Nm^3/h 수전해 장치로 수소 20 Nm^3를 저장 후 전력수요 증가 시 4.5 kW 연료전지를 이용하여 전력 공급 실증

○ 이송·저장 단계

- 전국에서 유일하게 기타큐슈 시 시가지를 통과하는 수소 파이프라인을 사용하여 일반가정 상업시설, 공공시설에 수소를 공급함
- 기타큐슈 도심에 수소충전소 2기를 이와타니, JXTG에서 운영 중에 있으며, 수소차 10대가 운행 중에 있음
- 이송·저장 단계에서 수소타운 실험은 수소파이프라인을 공급 및 실증했음에 의의가 있음

○ 활용 단계

- 기타큐슈 수소 스테이션에서 인근주택, 상업시설, 업무용 순수소형 연료전지 운전 실증시험과 '연료전지-태양광발전-축전기'의 연계운전에 의한 공급 시스템 검증
- 활용 단계에서 수소타운 실험은 연료전지 실증과 소형이동수단을 개발 및 실증했음에 의의가 있음
  - (연료전지 실증) 순수 수소 연료전지 다용도 병렬운전을 실증하여 주거공간에 태양광 축전지 등과 병렬로 운전하며 1 kW급과 100 kW급을 설치하여 시스템으로서의 성능을 평가
  - (이동수단 개발 및 실증) 수소연료를 사용하는 소형이동수단을 Prototype으로 개발하고 실증운영, 수소지게차, 수소자전거, 수소오토바이를 주 대상으로 운영

    ※ 실효성 부족에 따른 자전거 실증 중단 및 스즈키에서 수소전지 스쿠터는 상용화 개발 중

○ 안전 단계

- 부생수소에 부취제를 첨가한 후 시내까지 1.2 km를 매립 탄소강관으로 이송, 수소관 위에는 광섬유로 진동센서를 부착하여 진동을 감지하고 공사 등으로 일정이상 진동이 감지될 경우 수소누설을 확인 후 배관의 50 cm 상부에 '수소관주의' 경고 띠를 같이 매설

- 안전한 수소연료전지 운영을 위해 수소의 안전성 및 기술검증을 수행함

□ 수소 고속도로

○ 일본은 JHFC 프로젝트를 통해 2005년 최초로 수소충전소를 건설하고 교통 분야의 수소연료전지 자동차의 보급을 위해 수소 고속도로 프로젝트를 추진

- 일본은 경제산업성과 국토교통성이 주도하고 토요타, 닛산, 혼다 등의 완성차 제조사, JX 일본 석유 및 에너지 공사, 도쿄 가스, 오사카 가스 등의 에너지 공급 전문회사, 이와타니 등의 회사들이 참여하여 수소에너지의 교통 분야 활용을 위한 기술 및 산업생태계 구축을 위해 노력을 기울임
- '18년 기준, 일본 전역에 110여개 수소충전소가 운영 중
- (생산) 오사카 가스 등의 회사에서 개발한 천연가스-수증기 개질기술을 이용한 수소생산 유닛 등을 수소충전소 설치하여 수소의 수요처에서 직접 수소를 생산/공급이 가능함
- (활용) 현장 수소생산방식의 수소충전소와 튜브트레일러로 공급받은 수소를 판매하는 수소충전소에 대한 각각의 보조금 정책과 혼다 등의 자동차 제조사의 수소충전소 관련 기술 개발 등으로 수소연료전지자동차의 보급을 가속화함

✓ JHFC Phase II : 14기 (2010)

✓ HySUT : 운영 101기, 계획 13기 (2018.11)



[일본 수소충전소 보급 현황]

구분	운영	계획	합계
On-site* + Off-site	62	13	75
이동식	39	0	39
합계	101	13	114

*2017.1 기준 On-site 15기이고 on-site 생산 방식은 전량 천연가스-수증기 개질

구분	운영
수소차	3521
수소버스	22

2019.11 기준 일본 내 수소차 보급현황

출처 (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan, 2018.11) : http://fccj.jp/hystation/

[그림 2-14] 일본의 수소충전소 및 수소연료전지자동차 보급 현황

		일본의 수소인프라 지원										국내 수소인프라 지원
판매 (충전소)	형태	개질방식 충전소 (On-Site)				튜브트레일러 방식 충전소 (Off-Site)				이동형		튜브트레일러 방식 충전소 (Off-Site)
		패키지형		非 패키지형		패키지형		非 패키지형				
		중형	소형	중형	소형	중형	소형	중형	소형	중형	소형	
	보조율	2/3		1/2		2/3		1/2		2/3		1/2
	보조금 상한(억엔)	2.9	2.2	2.9	2.2	2.5	1.8	2.5	1.8	2.5	1.8	15억 원
생산/ 운송	형태	대용량 수소 생산 설비				액화 수소 설비						X
	보조율 (%)	1/2				1/2						
	보조금 상한(억엔)	6				4						

*출처) 수송용 수소연료의 가격설정 및 수급체계 구축방안, H2KOREA 권성욱(2018.7.20)

주) 일본은 상기 정부 보조금 외에 지방정부의 추가 보조금이 지급되고 있음

[그림 2-15] 일본과 우리나라의 수소충전소 설치 시 정부보조금 지원 방법

□ 환경성 수소사회 모델

○ 일본 환경성은 소형 커뮤니티 수준의 8개 지역에 각 수소사회 모델을 건설하여 이를 하나로 통합하는 대규모 수소 도시로의 확장을 계획함



[그림 2-16] 일본 수소사회 개념도 및 프로젝트 추진 지역

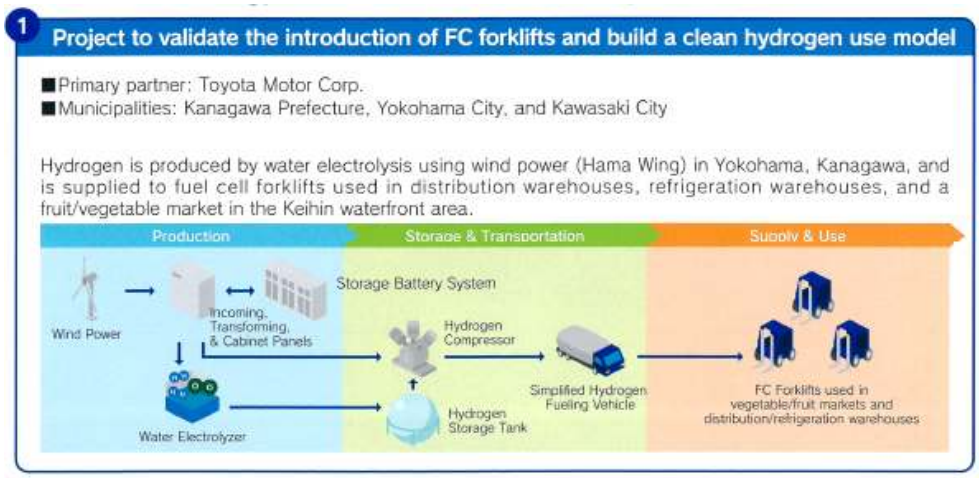
<표 2-34> 환경성 수소사회 모델 8곳

실증 모델명	구성요소				기관			모델 특징
	생산	이송·저장	활용	안전	주관기관	참여기관	지자체	
풍력-수전해 연계 모델	풍력, 전기분해	저장배터리, 저장탱크	물류·냉동·창고 연료전지 지게차	-	Toyota Motor Corp.	-	가나가와현, 요코하마시, 가와사키시	교통형
축산분뇨 활용 모델	축산분뇨	저장탱크	전기·열공급, 수소차 운영	-	Air Water Inc	Kajima, Nippon steel 외 3곳	홋카이도, 시카오이정, 오비히로시	농업형
수산화소듐 활용 모델	부생수소	파이프라인, 가스탱크, 액화	충전소 공급, 연료 공급	-	Tokuyama Corp.	Tosoh, 야마구치시, 슈난시, 시모노세키시	-	충전소형
재활용 플라스틱 활용 모델	폐플라스틱 분해	파이프라인, 튜브트레일러	호텔연료전지, 충전소공급	-	Showa Denko K.K.	-	가와사키시	주거형
소수력 발전소 활용 모델	소수력 발전	튜브트레일러	연료전지차 연료공급	-	Toshiba Energy Systems, Solutions	Iwatani Corp.	홋카이도, 구시로시, 시라누카정	교통형
태양광 활용 모델	태양력 발전, 수전해	합금 카트리지 저장	연료전지	-	Hitachi Ltd	Marubeni Corp., Miyagi Coop., 도미야시	-	주거형
풍력-수전해 연계 혼합 공급 모델	풍력, 수전해	파이프라인	가스 활용 장비	-	NTT 데이터 경영 연구소	Dainichi	노시로시	천연가스 혼합형
풍력 활용 모델	풍력, 수전해	합금 탱크	연료전지	-	Taisei Corp.	무로란시, 규슈대 외 4곳	홋카이도	저압 온천

○ (풍력-수전해 연계 모델) 연료전지 지게차 도입과 청정수소 활용 모델 구축을 입증하기 위한 프로젝트

- 주관 기관 : Toyota Motor Corp.
- 지방자치단체 : 가나가와 현, 요코하마 시, 가와사키 시
- (생산) 요코하마, 가나가와의 풍력(Hama Wing)과 물 전기분해로 생산

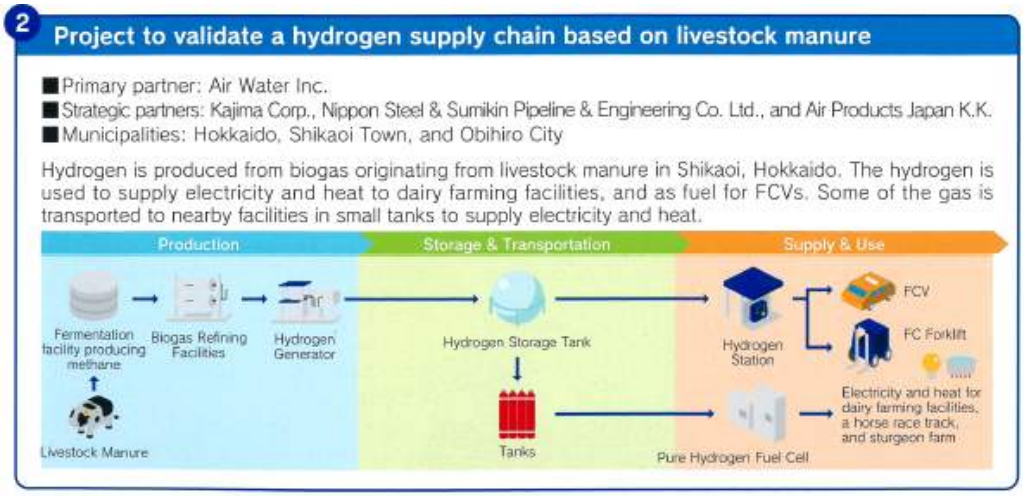
- (활용) 게이힌 친수지역의 물류창고, 냉동창고, 청과시장에서 사용되는 연료전지 지게차에 공급



[그림 2-17] 풍력발전 및 수전해 그린수소 활용 연료전지 지게차 활용 모델

○ (축산분뇨 활용 모델) 축산분뇨 기반 수소 공급 체계 실증을 위한 프로젝트

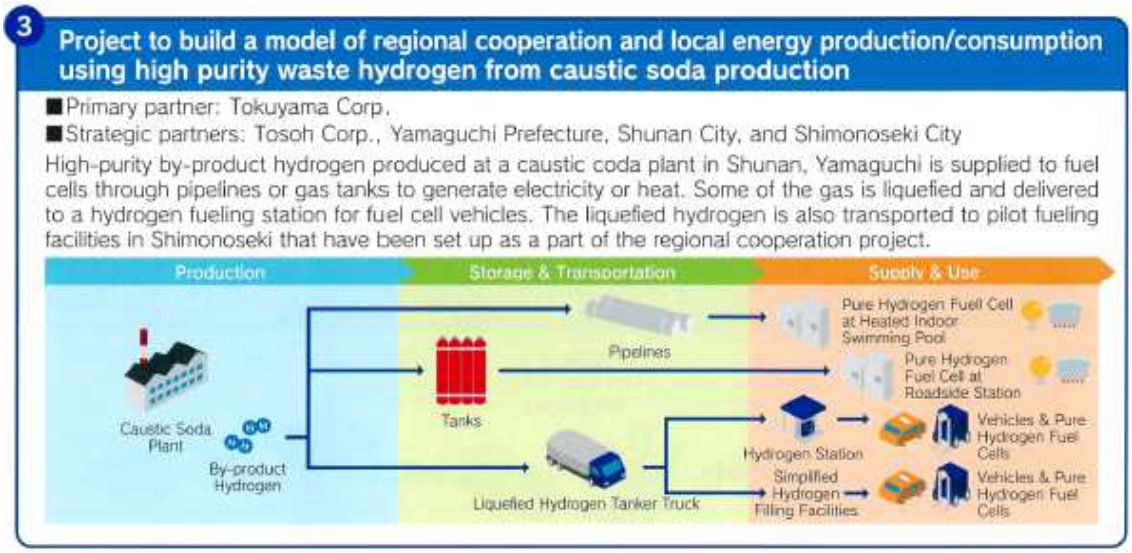
- 주관 기관 : Air Water Inc
- 참여 기관 : Kajima Corp., Nippon steel & Sumikin Pipelin & engineering co. Ltd., Air Products japan K.K.
- 지방자치단체 : 홋카이도, 시카오이 정, 오비히로 시
- (생산) 시카오이, 홋카이도의 축산분뇨기반으로 생산
- (활용) 낙농업 시설에 전기와 열 공급 및 수소차 운영



[그림 2-18] 축산분뇨 기반 수소공급을 통한 농장 및 연료전지차 공급 모델

○ (수산화소듐 활용 모델) 고순도 폐기물 수소를 사용한 지역 협력 및 지역 에너지 생산·소비 모델 구축 프로젝트

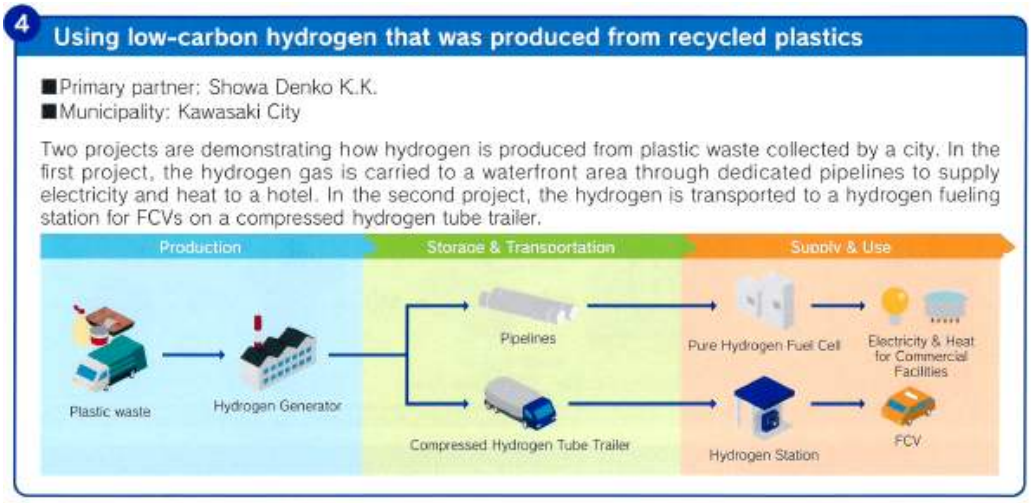
- 주관 기관 : Tokuyama Corp.
- 참여 기관 : Tosoh Corp., 야마구치 시, 슈난 시, 시모노세키 시
- (생산) 슈난, 야마구치의 수산화소듐 생산 공정의 부생수소
- (이송·저장) 파이프라인이나 가스탱크를 통한 연료 전지로의 수소 공급과 액화이송
- (활용) 연료전지에 의한 전기 또는 열 생산, 수소 연료 충전소 내 공급과 시모노세키의 파일럿 연료 공급시설로 액화 수소 운송



[그림 2-19] 부생수소 활용 액화저장 및 파이프라인 운송 실증

○ (재활용 플라스틱 활용 모델) 폐플라스틱의 재활용을 위한 저탄소 수소 생산

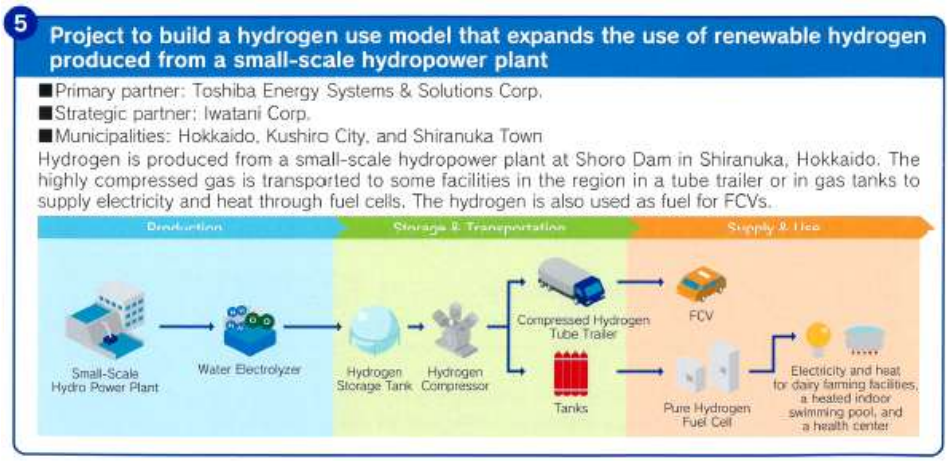
- 주관 기관 : Showa Denko K.K.
- 지방자치단체 : 가와사키 시
- (생산) 폐플라스틱 분해를 통한 수소 생산
- (이송·저장) 파이프라인을 통한 공급, 튜브 트레일러를 통한 압축 수소 이송
- (활용) 호텔 연료전지에 수소 공급을 통한 전기 및 열 공급, 수소 연료 충전소에서 활용



[그림 2-20] 폐플라스틱 기반 수소생산 및 파이프라인 공급 실증

○ (소수력 발전소 활용 모델) 수력발전-수전해를 통해 생산된 재생 가능 수소의 활용을 확대하기 위한 프로젝트

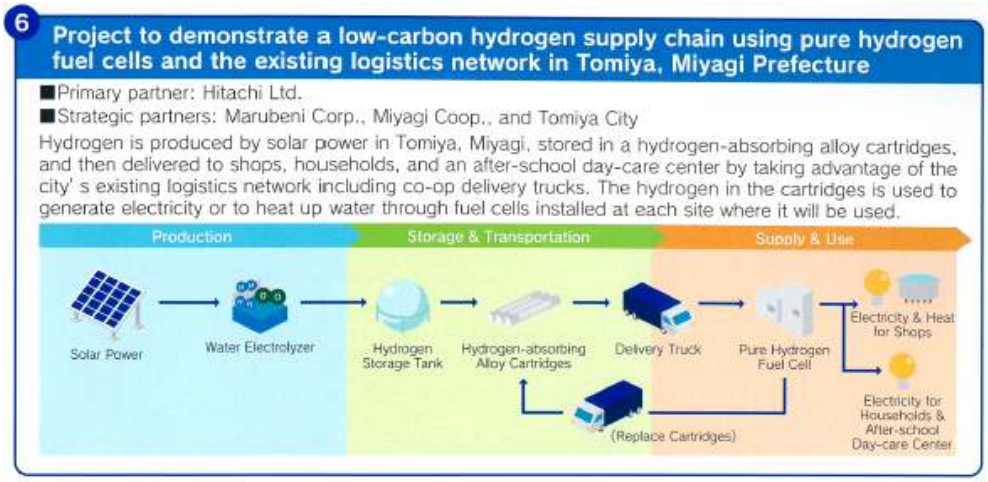
- 주관 기관 : Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.
- 참여 기관 : Iwatani Corp.
- 지방자치단체 : 홋카이도, 구시로 시, 시라누카 정
- (생산) 시라누카, 홋카이도의 쇼로 댐에 위치한 소규모 수력 발전소의 전력 활용을 통한 수전해 수소 생산
- (이송·저장) 고압 압축 수소의 튜브 트레일러를 통한 이송
- (활용) 연료전지를 통해 전력 또는 열을 공급, 연료전지차 연료로 사용



[그림 2-21] 수력발전 기반 그린수소 생산 플랜트 실증

○ (태양광 활용 모델) 도미야, 미야기 현의 순수 수소 연료전지와 기존 물류 네트워크를 사용하여 저탄소 수소 공급 사슬을 입증하는 프로젝트

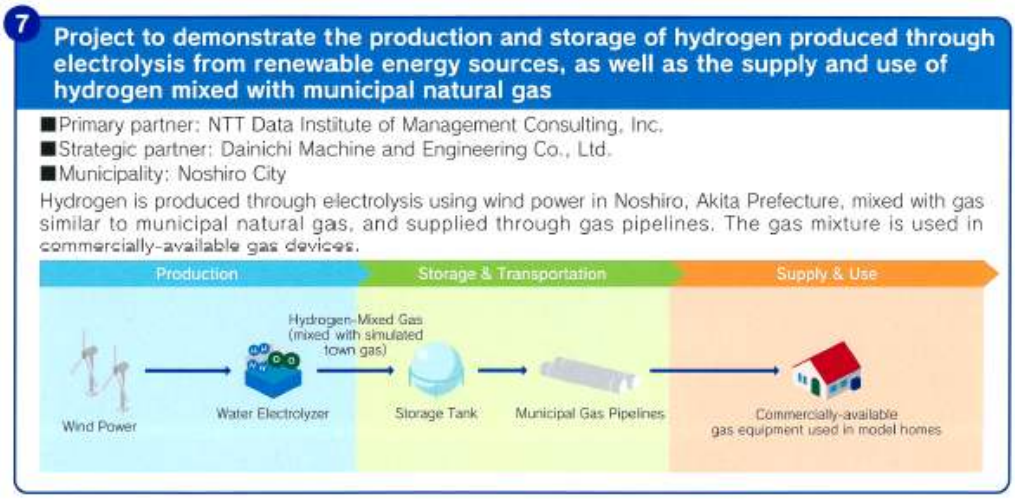
- 주관 기관 : Hitachi Ltd
- 참여 기관 : Marubeni Corp., Miyagi Coop., 도미야 시
- (생산) 도미야, 미야기에 위치한 태양력 발전소와 수전해 플랜트의 결합에 의한 그린 수소 생산
- (이송·저장) 수소 흡장 합금 카트리지에 저장된 뒤 협동조합 배달 트럭을 포함한 도시의 기존 물류 네트워크를 이용하여 공급
- (활용) 매장, 가정, 방과 후 탁아소로 공급된 후 연료전지를 통해 전력 및 열 공급



[그림 2-22] 태양광 기반 그린수소 생산 및 금속저장 실증 프로젝트

○ (풍력 - 수전해 연계 혼합 공급 모델) 풍력과 수전해 기술을 통한 그린수소의 천연가스 혼합 공급 및 사용을 입증하기 위한 프로젝트

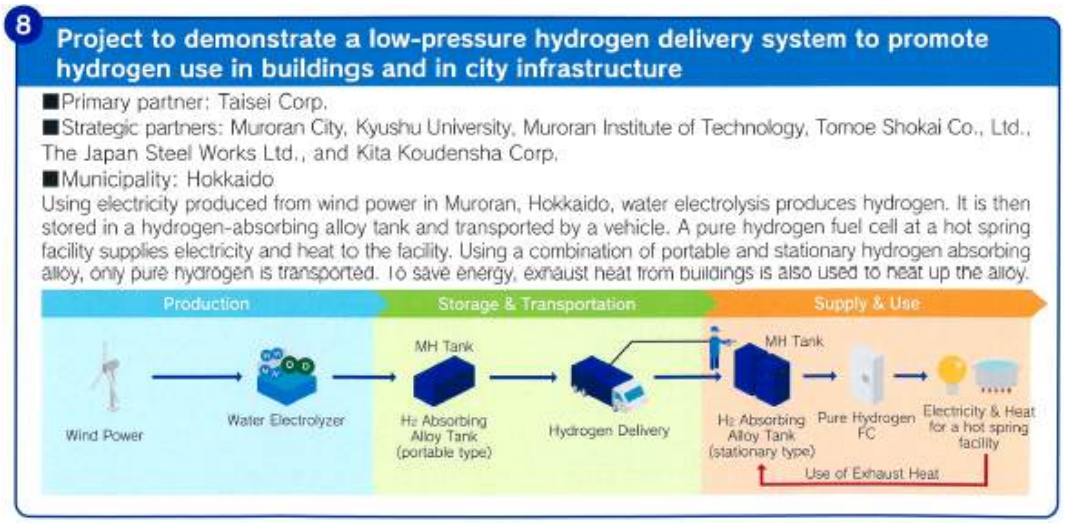
- 주관 기관 : NTT Data Institute of management Consulting, Inc.
- 참여 기관 : Dainichi Machine and Engineering Co., Ltd.
- 지방자치단체 : 노시로 시
- (생산) 아키타, 노시로 시의 풍력을 이용한 전기분해에 의해 생산
- (이송·저장) 천연가스와 혼합되어 가스 파이프라인을 통해 공급
- (활용) 상업적으로 이용 가능한 가스 활용 장비에 적용하여 가능성 검토



[그림 2-23] 풍력기반 그린수소 생산 및 천연가스 혼합 공급 실증

○ (풍력 활용 모델) 건축물과 도시 기반시설에서의 수소 사용 증진을 위한 저압력 수소 공급 시스템 입증을 위한 프로젝트

- 주관 기관 : Taisei Corp.
- 참여 기관 : 무로란 시, 규슈 대학교, Muroran Institue of tecyhnology, Tomoe Shokai Co., Ltd., The japan Steel works ltd., and Kita Koudensha Corp.
- 지방자치단체 : 홋카이도
- (생산) 무로란, 홋카이도의 풍력과 수전해를 통한 그린수소 생산
- (이송·저장) 수소 흡장 합금 탱크에 저장되고 차량으로 운송
- (활용) 온천 시설 내 연료 전지를 통해 전기와 열 공급

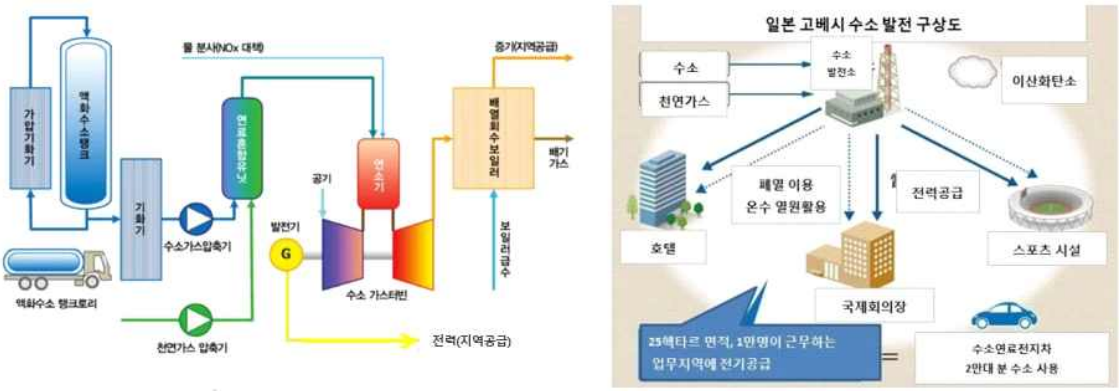


[그림 2-24] 풍력기반 그린수소의 금속저장 및 저압 수송을 통한 도시기반시설 공급 실증

□ 고베 수소 스마트 시티 계획

○ 시가지 내 수소 가스터빈을 이용해 전기, 열에너지를 주변 공공시설에 공급하는 “수소 CGS(Co-Generation System) 활용 스마트 커뮤니티 기술개발 사업” 추진

- 수소와 천연가스를 연료로 하는 1 MW급 가스터빈 개발 및 수소 CGS 실증으로 구성
- 가스터빈의 발전효율은 약 30%로 연료전지 시스템에 비해 낮지만 유닛·발전비용이 저렴하고 크기가 커질수록 효율이 높아 대량발전에 적합함



[그림 2-25] 수소 CGS 시스템의 흐름

□ 도쿄 올림픽 선수촌 정비사업(신재생에너지 정비계획)

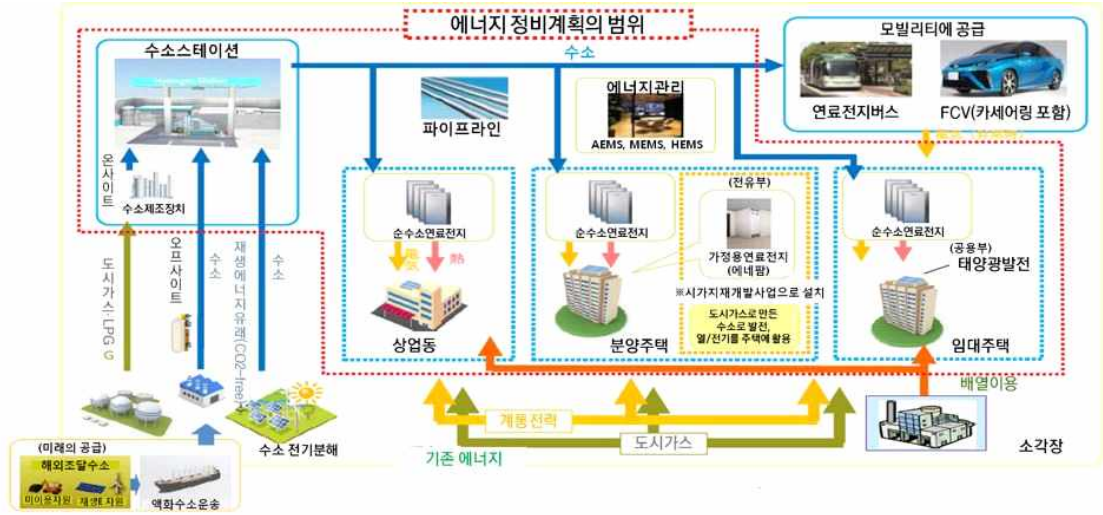
○ 2020년 도쿄 올림픽 기간에 선수들의 편의시설로 사용 및 경기 종료 후 일반거주지로 변경함

- 도쿄 하루미 5초메 지구에 1급 도시 재개발 프로젝트 추진
- 선수촌에 공급되는 에너지로 수소를 사용하여 수소도시 사회 구축을 선도하고, 환경선진도시의 모범이 될 도시 실현 노력
- 세 가지의 지역공급시설, 차량공급시설, 인포메이션 시설로 구성됨
  - 지역공급시설은 일반주택에서의 수소이용 모델로 태양광에 의한 수소생산, CO_2-free 수소 반입, 수소탱크에 저장, 수소 파이프라인, 전자간판 등으로 구성됨
  - 차량공급시설은 미래수소스테이션 이미지로 차량에 연속적으로 공급
  - 인포메이션시설은 기술혁신·실용화 진전이 가져다주는 신수소사회 시설로, 일반운용 모델 전시, 최신기기 전시 시설 등으로 이루어짐
  -

○ 도로 및 기타시설의 인프라와 건물이 통합되어 도관으로 연결하여 에너지 공급시스템 도입이 가능해짐

- 대부분의 시설과 건물은 주거용이며 수소와 같은 공통의 에너지 사용 형태를 보유함

- BRT(Bus Rapid Transit)의 연료전지버스를 도입하여 연료전지 자동차(FCV)의 이용을 촉진함



[그림 2-26] 일본 올림픽 선수촌 에너지정비계획 전체상

○ 수집된 데이터를 기초로 순수한 수소 연료전지 및 태양전지와 같은 공급 장치는 수요에 기초하여 도시의 에너지 소비에 따라 제어

- 정점에 도달했을 때 제어하여 적절한 공급을 수행해 최적의 도시 에너지 이용을 실현할 수 있음

나. 영국 H21 Leeds City Gate 프로젝트 (H21 Leeds City Gate Project)

○ 영국은 기존 인프라를 활용하여 2030년까지 리즈시 기존 천연가스를 100% 수소로 전환 및 공급하는 'H21 Leeds City Gate 프로젝트' 추진 중임

- 기존 천연가스 배관을 이용해 천연가스를 100% 수소로 전환 및 공급하여 도시 천연가스 사용량과 CO_2 발생량 감소에 대한 의의가 있음

- H21 Leeds City Gate 프로젝트는 '14년 10월 애버딘시의 LCNI회의를 통해 출범하였고 '16년 7월에 착수함

○ 생산 단계

- 연간 평균 전력사용량을 통한 소비 패턴을 바탕으로 Teesside에 위치한 4개의 스

팀 메탄 개질 (Steam Methane Reformer, SMR) 플랜트를 통하여 수소 공급

· 정부 통계자료를 기반으로 연간 평균 전력사용량은 5.9 TWh가 소비될 것으로 계산되며, 계절에 따른 피크기간에는 6.4 TWh가 소비될 것으로 나타남

○ 이송·저장 단계

- 기존 8개 지역의 천연가스 중압 배관(Medium pressure(MP) network)을 개·보수하고 1개 지역에 17 bar 신규 파이프라인을 건설하여 생산된 수소에 대해 이송 계획 수립

  · 천연가스 배관 개선과 메탄개질 플랜트를 구축하는데 2.3억 파운드가 예상되며 각종 CAPEX 및 OPEX를 고려한 결과 총 20.5억 파운드가 소비될 것으로 예상됨

- Teesside에 위치한 소금 동굴을 이용하여 지하에 수소 가스 저장소를 통해 저장 및 공급하고 계절간의 저장을 위해서는 East riding에 위치한 해변에 저장소를 통해 하루 분량의 저장 및 공급 진행

- 본 프로젝트는 수소를 전송·분배하는 파이프라인 네트워크 구성에 적합한 파이프라인 안전규정과 PD8010, BS EN14161와 같은 영국 표준을 기반으로 함

○ 활용 단계

- 가정용 전기를 생산함

- 6대 변수에 대한 검토

  · 100% 수소전환 관련 타당성 검토를 위한 기존 천연가스 배관 사용 가능 여부

  · 기존 도시의 에너지 사용량을 수소로 전부 대체 가능한지 여부와 사용자의 수용성 여부

  · 수소생산량이 대도시의 에너지 사용량을 충족시킬 수 있는지 여부

  · 메탄 추출을 통한 문제 해결 가능성 여부

  · 적용 기술들의 실현 가능성 여부

  · 영국 모든 도시에 적용이 가능한지 여부

○ 안전 단계

- 파이프라인 설치 후 물로 파이프라인을 채워 정수압 테스트 및 진공건조

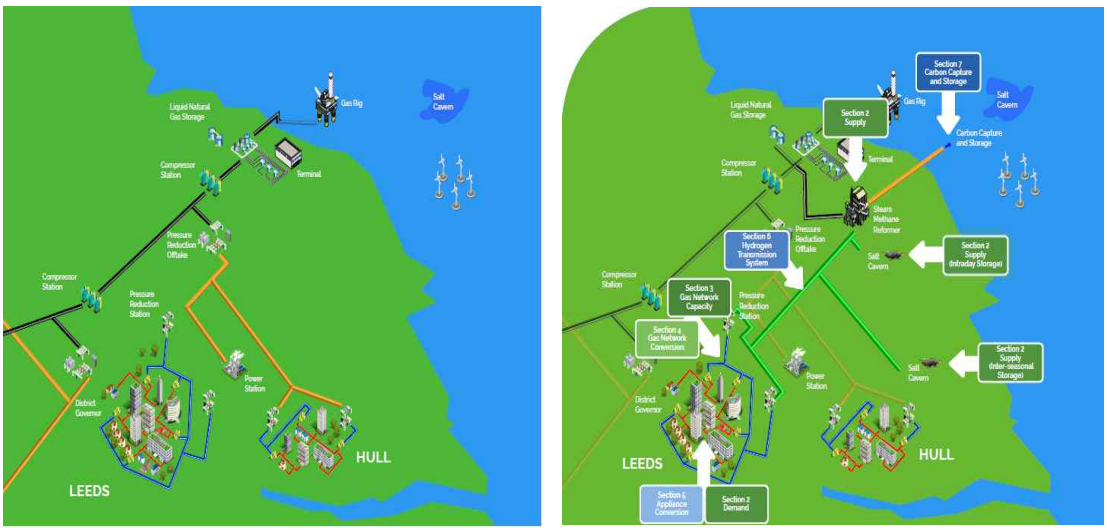
- Cathodic Protection(CP) 시스템을 설치하여 파이프라인의 결함 없음을 확인

  · CP시스템은 에폭시 코팅이 된 파이프라인에 결함이 있을 때 토양인 음의 전위로 관을 생성함으로써 토양에 존재하는 부식 전류를 역전시키는 파이프라인을 통해 작은 전류가 통과되어 작동함

- 시운전 후 파이프라인 검사 게이지(PIG, Pipeline Inspection Gauge)라고 알려진 인라인 검사 도구를 사용하여 파이프라인 내부를 검사함
  - PIG는 새로 설치된 파이프라인을 통과하여 파이프라인 작동 첫 1년의 초기상태를 나타내는 '지문'을 생성하며 유지보수체제를 위해 지속적으로 '지문'정보를 현재조건과 비교하여 성능저하 및 유지관리 요구사항을 보여줌

○ 이송을 위한 파이프 부재와 수용할 수 있는 시장의 규모가 작아 현시점에서는 수소 활용이 어려운 것으로 나타나고 있으나, 장기적인 관점에서 기술의 개발과 국제적인 기후변화협약으로 인해 지속적으로 활용처가 증가할 것으로 예상

- 결과에 따라 대표적인 도시 내 공급 시스템 구축을 위해서 구축비 260억 파운드, 운영고정비 240억 파운드, 매년 운영비용 28억 불 소요 예측



자료: Leeds City Gate, H21, 프로젝트 보고서

[그림 2-27] Leeds 시 가스 공급 조감도 (좌)및 H21 프로젝트에 의한 수소 공급(우)

다. 덴마크 Nakskov 수소사회 프로젝트 (Nakskov Hydrogen Society Project)

○ 덴마크는 가정용 수소 연료전지 시스템 실증을 위한 'Nakskov 수소사회 프로젝트'를 추진

- 덴마크 롤랜드 섬의 재생에너지를 이용한 수소기반의 전력 및 난방 등 에너지 자립 섬 모델임
- 롤랜드 섬 Nakskov 지역에서 풍력과 수전해를 통해 수소를 생산하고 수소배관으로 Vestenskov 지역의 40여개의 가정에 수소를 공급, 가정에 설치된 수소 연료전지를 통해 전기와 열을 생산하여 사용함(투입예산 약 25억 원)

○ 생산 단계

- 수소는 롤랜드 섬의 풍력을 활용하여 수전해 플랜트에 의해 생산되며, 각 가정과 산업용을 위해 설치된 연료전지 모듈에 생산된 수소를 공급함

○ 이송·저장 단계

- 가정용으로 공급될 때 공급방식은 천연가스 공급방식과 동일하며 수소가 각 가정에 공급되기 전에 탱크에 저장되며 파이프를 통해 공급하는 방식을 채택하여 운영

○ 활용 단계

- 수소공급을 통한 실규모 수소 연료전지 실증 시스템 구축을 목표로 하며 총 3단계로 구성됨
  - (1단계) Danish사에서 제공하는 연료전지 시스템을 실험실 수준에서 실증하고, 수소 생산 플랜트를 지역 거점에 건설
  - (2단계) 13개의 마이크로 연료전지를 가정용으로 설치하여 운영
  - (3단계) 80개의 연료전지를 가정용으로 공급하고, PEM연료전지 시스템, 천연가스 SOFC연료전지 시스템, 천연가스 HT PEM 연료전지 등의 3종류를 비교



자료: 덴마크 롤랜드 시(www.lolland.dk)

[그림 2-28] 덴마크 롤랜드 섬 프로젝트 모식도

라. 네덜란드 Hystock 프로젝트

○ 네덜란드의 첫 번째 수전해 활용 수소생산 프로젝트로, 유럽 내 2위 수소 에너지 생산국으로서 북부지역 중심으로 친환경 수소 경제도시를 목표로 함

- 12,500개의 태양광 패널을 설치 및 1 MW 용량의 태양광 에너지를 활용하여 연 27만 ton의 수소를 생산 및 활용한다는 계획
- 해상풍력발전, 천연가스 개질 등 2050년까지 수소대량 생산을 통해 1 kg 당 2~3 유로의 수소 에너지 가격 경쟁력 확보 함



[그림 2-29] 네덜란드 Hystock 프로젝트 개념도

마. 호주 수소도시 프로젝트

○ 국가 수소로드맵에 따라 수소도시 조성을 위한 타당성조사를 추진함

- 수소도시 지정 타당성 조사 수행 및 시범도시 지정 사업 착수 등 수소사용 시연, 주거용 설비의 공동 설치 계획을 추진함



[그림 2-30] 호주 수소도시 개념도

○ 현재 추진 중인 호주 수소산업의 사례로 호주에서 가장 큰 가스공급사인 AGN (Australian Gas Networks)는 아들레이드 톤슬리 혁신지구에 1,140만 호주달러 규모의 수소생산시설 착공에 들어감

- 물을 수소와 산소로 분할하는 1.25 MW 규모의 전해질 설비를 갖춰 규모에 있어 호주 최초의 시범사업임

- 에너지그룹 AGIG를 중심으로 세계 최초 전기·수소·가스 통합프로젝트이자 신재생 에너지로 수소를 생산하는 '톤슬리 수소공원사업'도 진행 중임

바. 시사점

<표 2-35> 해외 수소도시 모델 조건 검토

국가	도시	실증 모델명	수소도시 모델 검토 항목		
			기술요소	입지	사후활용
일본	기타큐슈	기타큐슈 수소타운	생산단계가 부재한 요소기술	대형마트 1대, 수소스테이션 1대 에코하우스 8대 등	지속활용 목표
	요코하마가 나가와	풍력-수전해 연계	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	홋카이도 외 2곳	축산분뇨 활용	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	야마구치 외 2곳	수산화소듐 활용	생산단계가 부재한 요소기술	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	가와사키	재활용 플라스틱 활용	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	홋카이도 외 2곳	소수력 발전소 활용	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	도미야, 미야기	태양광 활용	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	노시로	풍력-수전해 연계 혼합 공급	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	홋카이도	풍력 활용	시스템 실증	소형 커뮤니티 수준	지속활용 목표
	고베	고베 수소 스마트 시티	시스템 실증	고베시	지속활용 목표
	도쿄	올림픽 선수촌 정비사업	시스템 실증	하루미 지구 올림픽 선수촌 수준	지속활용 목표
영국	리즈	H21 Leeds City Gate	시스템 실증	-	지속활용 목표
덴마크	롤랜드	Nakskov 수소사회	시스템 실증	-	지속활용 목표
네덜란드	흐로닝언	Hystock 프로젝트	시스템 실증	-	지속활용 목표
호주	톤슬리	톤슬리 혁신지구 시범사업	시스템 실증	톤슬리 혁신지구 수준	지속활용 목표
미국	캘리포니아	수소 교통 및 충전소 구축	시스템 실증	캘리포니아 주	지속활용 목표

○ 유럽, 일본, 미국은 수소사회 대비를 위한 지원을 정부 주도 및 민·관 합동으로 추진하고 있으나 수소도시 실증에 비해 소규모이거나 교통에 치중되어 있는 모습을 보임

- (일본) 다양한 방식의 정부주도 수소도시 구축 프로젝트를 통해 안전한 수소 공급

검증, 연료전지 설치 관련 수소이용시스템 평가, 원격집중관리시스템과 같은 주변기술을 검증하였으나, 대부분 소형 커뮤니티 수준의 실증이라는 점에 한계가 있음

- (덴마크) 각 가정에 연료전지 모듈을 설치 후 수소 파이프로 수소를 공급하는 방식으로 수소 연료전지 시스템 실증을 하였고 지속적으로 성장 중이나, 가정용 소규모('08년 4가구, '09년 35가구)실증이라는 점에 한계가 있음

- (미국) 타 국가들이 수소교통을 벤치마킹 할 정도로 현재 최대 수소 자동차 보급 현황을 가지고 있으나, 수소도시 실증보다는 교통에 치중된 형태를 띰

○ 유럽의 대표적인 국가들은 지속가능한 수소도시를 건설하는 것을 목표로 기존 시설을 활용해 실현가능성이 있는지 철저한 타당성 조사를 토대로 프로젝트를 시행중임

- (영국) 리즈시를 '30년까지 세계최초로 '수소도시'로 전환시키는 목표를 가지고 도시 에너지원을 100% 수소로 전환하기 위해 기술적·경제적 타당성 검토 중임

- (네덜란드) 친환경 수소 경제 도시 구현을 목표로 현재 유럽 내 2위 수소 에너지 생산국이며 2050년을 목표로 수소를 대량생산하여 지역의 난방을 해결할 계획임

- (호주) 국가 수소로드맵에 따라 수소도시 조성을 위한 타당성 조사가 추진 중

○ 수소도시 시범사업을 주도하는 선진국을 대상으로 수소도시 실증사례를 분석한 결과, 국가별 경쟁이 치열하나 아직 소형커뮤니티 수준 혹은 가정용 수준의 소규모 실증이거나 기술적·경제적 타당성 조사 중인 초기 단계에 있음

- 수소산업 선진국인 일본(2050 수소기본전략, '17), 미국(CaFCP, '12), 독일(H2 Mobility, '17), 호주(호주국가수소전략, '19) 중국(중국제조 2025)등은 수소기술로드맵 및 수소관련 정책을 통해 국가적으로 상용급 수소기술의 대규모 실증 및 경제성을 확보할 계획

- 따라서 우리나라는 수소도시 모델을 통해 수소 산업생태계를 조성하고 글로벌 시장을 선점하기 위해 장기적이며 경제성 확보가 가능한 전주기적 수소생태계를 육성할 수 있는 도시차원의 모델을 서둘러 개발할 필요가 있음

2.2.2 국내 기술동향

<표 2-36> 국내 수소도시 실증 사례

도시	추진기간	실증 모델명	구성요소				모델 특징
			생산·공급	이송·저장	활용	안전	
울산	'12~'18 (7년)	울산 수소타운	부생수소	파이프라인	건물 및 충전소	희생양극법을 통한 부식방지	주거형
안산	'20~'22 (3년)	수소 시범도시	조력발전 연계 수전해, LNG 개질	배관 및 기체 압축 운송, 탱크 저장	난방·온수공급, 수소충전소	통합운영 관리센터, 자동안전 제어시스템	주거 및 교통형
울산	'20~'22 (3년)	수소 시범도시	석유화학단지 부생수소	사물인터넷 기술 적용된 배관망	주거 및 교통분야	통합운영 관리센터, 자동안전 제어시스템	주거 및 교통형
전주·완주	'20~'22 (3년)	수소 시범도시	완주군 수소생산 공장	수소차의 수소저장용기 기술개발	대중교통, 공동주택 수소연료전지	통합운영 관리센터, 자동안전 제어시스템	주거 및 교통형
삼척	'20~'23 (4년)	수소R&D 특화도시	신재생에너지 활용	잉여전력을 수소, 전기, 열로 저장	주거지통합 에너지관리 체계 개발	통합운영 관리센터, 자동안전 제어시스템	주거 및 교통형

가. 울산 수소타운

○ 울산은 `14년에 1차 수소타운에 대한 잠재적 가능성을 평가하였으며, 현재는 수소 시범도시 사업을 통해 2차 수소타운 확대 계획

- 산업체 등에서 발생하는 부생수소를 활용해 신규 연료전지 신시장 모델을 구현하여 녹색국토 및 그린도시를 구현하고 신성장 산업 육성 목표
- '12.8.~'18.4. 동안 정부 52억 원, 울산시 19억원, 민간 17억 원 등 88억 원 투입

○ (수소생산) 삼성 BP화학 등 인근 석유화학단지에서 생산된 부생수소 공급

○ (수소저장·이송) 파이프라인을 통해 ㈜덕양에서 수소를 공급하고 도심 내 건물과 충전소에 활용하기 위하여 사물인터넷 기술이 적용된 배관망 구축

- (공급용량 및 압력) 10,000 Nm^3/hr, 20 bar
- (배관직경 및 길이) 6 inch(150 mm), 3 km
- (배관재질) 스테인리스 스틸(압력조정설비 및 건물실내 수소 배관) 및 폴리에틸렌 피복강관(수소공급관)으로 구성되어 있으며, 희생양극법을 적용한 부식방지[10]

- (설계업체 및 구축 단가) 세원이앤이, 10 억원/km
- (컨소시엄) 울산시, 울산 테크노파크, LS, 두산 퓨어셀, S-퓨어셀, 현대스틸, 효성

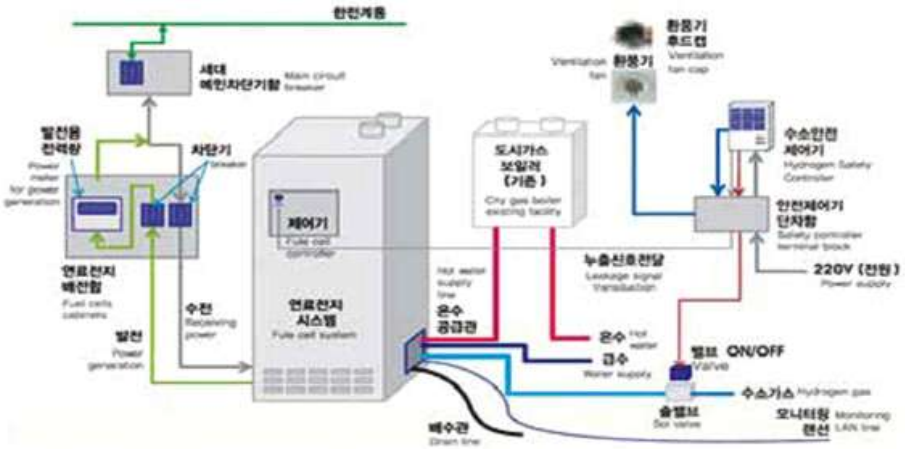
마 을 명	○ 울산시 온산읍 덕신마을		
설치장소	○ 장소명 : LS니꼬동제련(주) 사택 및 주변건물 ○ 소재지 : 울산광역시 울주군 온산읍 덕신리		
참여업체 (컨소시엄 구성)	○ 울산광역시 ○ 울산테크노파크 ○ 연료전지 제조업체 : GS칼텍스, 퓨얼셀파워, 효성, 현대하이스코 ○ 순수수소 공급 : 주배관(SPG 산업), 수소공급(삼성BP) ○ 수소인프라 구축(배관 및 설비) : 효성(백옥건설) ○ 안전관리 : ㈜SDG		
세부사업	사 업	호수(개소)	용량
	그린홈 100만호	(단독) 140개소	140kW
	일반보급	2개소	45kW
	지방보급	1개소	10kW
	합 계	143개소	195kW

자료: 울산 수소타운 시범사업 현황, 전기저널, 2014

[그림 2-31] 울산 수소타운 사업 요약

○ (수소활용) 수소 실증화 단지를 구축하여 울산시 울주군 온산읍 LS 니코동제련 사택 140가구 등에 연료전지 설치

- 1 kW급 140기 가정 설치, 5 kW급 9기 공공기관 설치, 10 kW급 1기 체육관 설치



[그림 2-32] 울산수소타운 개요도

- 기존에 도시가스를 이용하는 시스템과 달리 수소를 연료로 바로 이용하기 때문에 개질과정이 불필요하며, 산업체에서 발생한 부생수소는 정제과정만을 거쳐 고순도 수소로 공급

10) 국내 수소타운내 0.1MPa 이하 저압 수소사용시설의 안전관리 항목분석, KIGAS, Vol. 19. 2019

- 보급된 4개사 연료전지 시스템은 별도 개질과정이 필요 없기 때문에 발전효율은 49~50%, 총 효율은 84~93%로 향상

- 연평균 가동률 66%, 발전량 983,324 kWh, 세대별 전기요금 85만 7천원 절감, CO_2 감축량 444.15 ton/d

※ 초기 2년간 가동률 평균 78%, 후기 3년간 평균 59%로 감소

나. 수소시범도시 사업·수소R&D 특화도시

○ 국토교통부는 '수소시범도시 사업'에 경기 안산, 울산, 전북 완주·전주를 선정하였고, 수소 R&D 특화도시로 삼척 선정

○ 각 지자체는 주요 사업내용을 바탕으로 '20년 상반기에 구체적인 수소도시 계획을 담은 구상과 기본설계 등을 마련하여, '20년 하반기 조성 공사 착수, '22년까지 수소도시 조성 완료 계획

○ 국토부는 통합운영관리센터 운영과 자동안전제어시스템을 의무화하고 향후 종합계획 수립 등 모든 단계별로 안전성 평가와 컨설팅 등을 지원해 안전 최우선 전략

<표 2-37> 국내 수소 시범도시 및 R&D 특화도시 사업개요

지자체	사업개요	
안산시	기본요소	○ 주거: 경기행복주택 232세대, 제조혁신창업타운 등 ○ 교통: 수소충전소 3개소, 수소버스 2대, 수소지게차 10대 등 ○ 인프라: LNG추출기 1기, 수소배관 8km 신설 등
	특화요소	○ 조력발전과 연계한 그린수소 생산, 수소선박 등
울산 광역시	기본요소	○ 주거: 공공임대주택 373세대, 국민임대주택 437세대 등 ○ 교통: 수소시내버스 10대, 수소시티투어버스 1대 등 ○ 인프라: 수소배관 10km 구축 등
	특화요소	○ 수소지게차, 수소연료전지 선박, 수소유람선 운영 등 지역특화사업 연계
완주군· 전주시	기본요소	○ 주거: 공동주택 408세대, 상업시설 및 공공시설 등 ○ 교통: 수소버스 49대, 수소셔틀·테마버스 3대 등 ○ 인프라: 충전소용 배관 750m, 연료전지용 배관 3km 등
	특화요소	○ 수소운송용 고압용기, 수소저장용기, 수소홍보관 등
삼척시	기본요소	○ 주거: 공동주택 442세대, 기숙사 3개동 368실 등 ○ 교통: 수소시내·시외버스 2대, 수소자전거 10대 등 ○ 인프라: 액체수소 충전트럭, 수소충전소 및 생산시설 구축 등
	특화요소	○ 에너지자립형 수소주택단지, 액화수소 생산실증, 수소드론 체험관 등

□ 안산 수소시범도시 사업

○ 안산은 주거·교통부문에 수소 생태계를 구축하는 기본요소와 시화조력발전소의 잉여전력을 활용한 수전해 수소생산 실증 등의 특화요소로 진행

- 3년간('20~'22) 290억원 투입

○ (수소생산) 시화조력발전소 잉여전력을 이용한 그린수소 생산 (특화요소)

- 수전해 설비 3기 구축

○ (수소활용) 주거 및 교통부문 활용

- (주거부문) 경기행복주택 232세대 연료전지 설치, 안산스마트허브 제조혁신창업타운 난방·온수공급, 안산시 공공하수처리장 복합체육시설 등
- (교통부문) 안산도시개발(주) 내 유휴부지에서 LNG 개질 추출수소 생산기지 및 수소충전소 구축, 수소버스(2대)·수소지게차(10대)·수소선박 실증

○ (수소저장·이송) 수소배관 8 km를 구축하여 3개 수소충전소 등에 공급



[그림 2-33] 안산 수소시범도시 사업 계획

□ 울산 수소시범도시 사업

○ (수소생산) 석유화학단지에서 발생하는 부생수소 활용

○ (수소저장·이송) 사물인터넷 기술이 적용된 수소배관 10 km 구축

○ (수소활용) 주거 및 교통부문 활용

- (주거부문) 공공임대주택 373세대, 국민임대주택 437세대 등
- (교통부문) 수소시내버스 10대, 수소시티투어버스 1대 등

○ (수소저장·이송) 수소배관 10 km 구축 등

○ (특화요소) 수소지게차, 수소연료전지 선박, 수소유람선 운영 등



[그림 2-34] 울산 율동의 수소시범도시 주거모델 종합 구상도

□ 전주·완주 수소시범도시 사업

○ 완주군은 수소생산 공장 및 광역공급 기지, 전주시는 수소이용·홍보 도시로 기초자치단체 간 상생협력 모델 추진

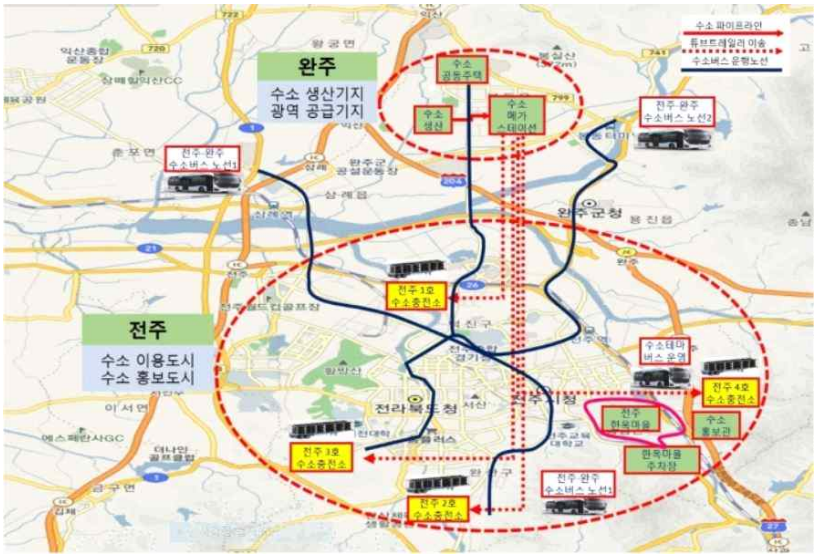
- 완주군은 공동주택 등의 수소연료전지 발전 실증과 수소 메가스테이션 구축
- 전주시는 친환경 수소버스 대중교통 기반 구축과 한옥마을 수소 홍보관 구축, 한옥마을 내 셔틀버스 운영, 수소저장용기 기술개발 등 추진
- 3년간('20~'22) 320억원 투입

○ (수소활용) 주거 및 교통부문 활용

- (주거부문) 공동주택 408세대, 상업시설 및 공공시설 등
- (교통부문) 수소버스 49대, 수소셔틀·테마버스 3대 등

○ (수소저장·이송) 충전소용 파이프라인 750 m, 연료전지용 파이프라인 3 km 등

○ (특화요소) 수소운송용 고압용기, 수소저장용기 기술개발, 수소홍보관 설치 등



[그림 2-35] 전주·완주 수소시범도시 구상 조감도

□ 삼척 수소R&D 특화도시 사업

○ 신재생에너지를 통해 주거지 통합에너지관리체계를 개발하는 사업으로 향후 수소도시 개발을 위한 국산기술 개발을 선도하는 발판 마련

- 국가R&D사업에 에어택시, 수소드론, 수소어선 등 지역특화산업과 혁신산업을 연계해 삼척시를 친환경 수소에너지 도시로 발전시킬 계획
- 4년간('20~'23) 국·도비, 민간자본 등 포함한 총 166억원을 투입하여 통합 에너지센터 및 자동안전제어시스템 등을 통해 설계될 계획

○ (수소생산) 신재생에너지를 통한 수소생산

○ (수소활용) 주거 및 교통부문 활용

- (주거부문) 공동주택 442세대, 기숙사 3개동 368실 등
- (교통부문) 수소시내·시외버스 2대, 수소자전거 10대 등

○ (수소저장·이송) 통합에너지센터에서 생산한 잉여전력을 수소, 전기, 열로 저장 후 필요시 사용하는 시스템

- 액체수소 충전트럭, 수소충전소 및 생산시설 구축 등

○ (특화요소) 에너지자립형 수소주택단지, 액화수소 생산실증, 수소드론 체험관 등



[그림 2-36] 삼척 수소R&D특화 도시 사업 기본 개념도

다. 시사점

○ 울산 수소타운은 수소생산 단계가 부재(부생수소 활용)하고 수소활용 위주의 사업을 추진하여 구축한 인프라를 사업 이후 활용하지 못함

○ 수소시범도시 및 R&D특화도시는 통합운영센터를 통해 안전성 확보와 시민들의 수용성 확보를 강조하고 있으나, 수소 전주기 모델 시스템을 검증하기에는 소규모 시설에 국한

○ 수소생산은 부생수소와 그린수소 중심이며 생산방식의 다각화 및 대량생산에 대한 고려 미흡

○ 수소저장·이송은 대부분 파이프라인과 고압충전방식 충전소를 고려하고 있으며, 삼척은 소규모 액화수소 생산 및 충전방식 고려

○ 수소활용은 주거부문와 교통부문을 중심으로 수소를 활용하도록 설계되었으며, 육상교통 이외에 선박도 일부 고려

- 주거부문은 다양한 규모의 연료전지를 설치하여 가정, 상업, 공공시설 등에 전기를 공급하고 일부 사업은 온수 등 열도 공급

- 교통부문은 충전소를 설치하고 버스를 중심으로 구성되어 있으며, 사업에 따라 자전거, 택시, 드론, 지게차, 선박 등도 고려

<표 2-38> 국내 수소도시 모델 조건 검토

도시	실증 모델명	수소도시 모델 검토 항목		
		기술요소	입지	사후활용
울산 ('12~'18) 7년	울산 수소타운	생산단계가 부재한 요소기술	일반가정 140세대, 공공기관 9기, 체육관 1기	사후 불용
안산 ('20~'22) 3년	수소 시범도시	시스템 실증	행복주택 232세대, 충전소 3개소, 버스2대, 수소지게차 10대 등	지속활용 목표
울산 ('20~'22) 3년	수소 시범도시	생산단계가 부재한 요소기술	공공주택 373세대, 국민주택 437세대, 수소시내버스 10대 등	지속활용 목표
전주·완주 ('20~'22) 3년	수소 시범도시	시스템 실증	공동주택 408세대, 상업시설, 공공시설, 수소버스 49대 등	지속활용 목표
삼척 ('20~'23) 4년	수소R&D 특화도시	시스템 실증	공동주택 442세대, 기숙사 368실, 수소버스 2대, 수소자전거 10대 등	지속활용 목표

2.2.3 국내외 기술동향 비교 분석

<표 2-39> 국내외 기술동향 비교

기술분야	글로벌 기술개발 동향	국내 기술개발 동향
생산 기술	○ 독일/일본 등 연료이용 수소생산기술의 다양화 선도, 상용급 기술 확보 - (일/독) 중/대형 가스개질기, 합성가스개질기 상용화 - (일/캐) CO전환 수소생산기술 실증 ○ 유럽/일본 등 폐자원 이용 수소생산 기술의 상용화 - (독/일/스위스) 가연성 폐자원가스화 플랜트 상용화 - (네/스웨덴) 바이오매스 가스화 플랜트 상용화 ○ 미국 PEM 수전해 기술 선도, 상용화 진입, 일본 등 알칼리 수전해 고용량화 주도, 고온수전해는 내구성 및 신뢰성 향상 기술개발 진행 ➡ **수소생산방법 다양화와 효율성 개선을 위한 기술개발 지속**	○ 정부 R&D를 통해 연료이용 수소생산 기술 원천/파일럿 규모 실증, 상용화 미흡 - 중형가스개질기 기술이/사업화 이후, 안정화 지연 - 생물학적 전환 수소생산기술 실증 ○ 가연성 폐자원 가스화 실증 ○ 수전해기술은 원천기술개발(저온) 또는 실험실 수준(고온) ➡ **선진국 추격, 상용급 수소생산기술 확보 지연**
저장·운송 기술	○ 고압 기체 저장용으로 탄소섬유 복합소재 용기 및 파이프(Type4)상용화 ○ 일본 등 수소액화 및 액체수소 저장기술 실증, 해외 수소 개발 등으로 연계하여 국제협력 주도 ○ 차세대 수소 저장기술로서 미국, 일본 등 수소액상화 기술 실증('25년 상용화 목표) ➡ **고효율 차세대 저장/운송기술로 진화, 해외 수소 도입과 연계해 발전**	○ 일부 저장용기 Type4 상용화 대부분 외산제품 도입 ○ 수소액화기술은 원천기술 확보단계 ○ 수소액상화 기술은 실험실 수준 ➡ **수소저장용기, 수소상태변환 기술 등에서 선진국과 격차**
모빌리티 활용기술	○ (자동차) 유럽/일본/미국 등 수소자동차 상용화 ○ (철도) 중국 상용화, 유럽, 일본 등 하이브리드 열차 실증 진입 ○ (기계) 미국, 일본 등 물류센터, 공항 등에서 사용되는 특수목적기계 상용화 ○ (선박) 노르웨이/덴마크/독일 등 연안선박 실증 ○ (드론) 상용화 ➡ **적용 수단의 확대가속화, 기술 실증/상용화 단계 진입**	○ (자동차) 수소자동차 상용화 ○ (철도) 해외 부품 도입 등을 통해 철도연에서 시제열차 제작 중 ○ (선박) 실험실 수준 ○ (드론) 상용화 ➡ **자동차, 드론 등 상용화, 열차 등 해외기술 추격 단계**

기술분야	글로벌 기술개발 동향	국내 기술개발 동향
발전 및 산업 활용기술	○ 미국, 일본 등 스택 비용 절감, 신뢰성/내구성/효율성 향상 기술개발 ○ 융복합 발전 및 기존전력계통 연계 등 기술개발 활발 ○ 민간기업 중심 수소터빈 기술개발 추진 ➡ **단위시스템 성능 및 시스템간 연계 연구 활발**	○ 상용화, 연료전지 양산기술 우수 ○ 신뢰성/내구성 향상기술개발 ○ Stack 등 핵심부품 해외 의존 ➡ **연료전지시스템의 효율성, 시스템간 연계기술 등에서 격차**
안전 ·환경· 인프라 기술	○ (안전) 미국, 일본 등 수소, 안전, 품질, 인증 등 연구 주도 ○ (표준) 수소표준관련 글로벌 협력연구 진행 ○ (환경/경제성) 미국 도시단위 수소시뮬레이션 도구 활용, ○ 수소 인프라 운영시스템 연구 ○ (충전) 일본 등 자국 기술을 기반으로 수소충전소 구축 ○ (도시) 독일, 일본 등 다양한 모델의 수소도시 모델 구현 ➡ **안전/표준 등 연구와 국제협력이 활발하며, 도시/시뮬레이션 시스템을 기반으로 수소 에너지에 대한 시스템적 접근 확대**	○ (안전) 가스안전공사 중심 연구 일부 수행 ○ (충전) 일부 해외 설비/부품 도입을 통해 충전소 구축 ➡ **충전소를 제외한 분야에서 글로벌 수준과 격차**

2.3 특허동향

가. 수소산업 분야 전 세계 특허출원 동향

○ 수소생산·연료전지 부문은 특허출원 지속, 수소저장 및 인프라·안전 부문에 대한 특허출원은 급격히 증가하는 것으로 나타나, 전 세계적으로 수소산업 체계구축이 가속되고 있음을 시사

○ 최근 20년('99~'18)간, 수소 생산(67,465건) 관련 출원이 가장 많고, 연료전지(65,671건), 수소 저장(14,265건), 수소 인프라·안전(11,999건), 수소 발전(909건) 순

- 최근 16년('01~'16) 수소산업의 전체 연평균 증가율은 4.7%이고, 수소 저장(6.8%), 수소 인프라·안전(6.3%), 수소 생산(5.8%) 순

※ 최근 10년간('07~'16) 전 산업 특허출원 연평균 증가율은 5.9%

<표 2-40> 수소산업 5대 분야별 전체 출원 동향

분류	대분류	특허출원 건수('01~'16)	연평균 증가율	
			최근 16년('01~'16)	최근 4년('13~'16)
수소공급	수소 생산	57,257	5.8%	3.3%
	수소 저장	12,125	6.8%	11.4%
수소활용	연료전지	65,671	2.9%	4.0%
	수소 발전	909	4.1%	1.6%
수소 인프라·안전	수소 인프라·안전	9,554	6.3%	15.2%
수소산업 전체		145,516	4.7%	5.1%

주) 미공개구간 제외한 최근 16년('01~'16) 기준

나. 주요 국가의 수소산업 경쟁력

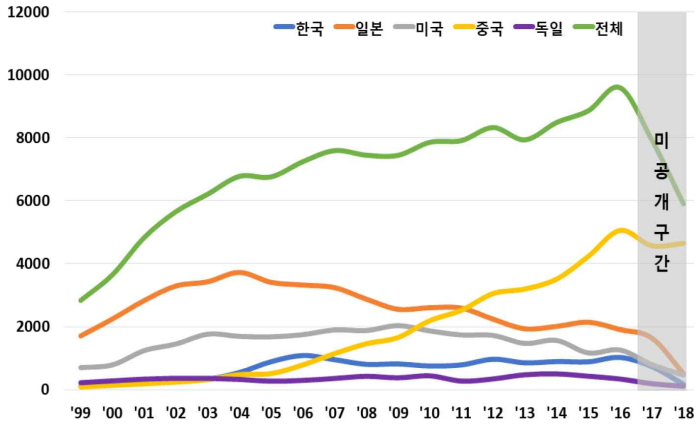
○ 특허출원 점유율은 일본과 중국, 질적 수준은 캐나다과 미국이 높으며, 한국은 출원 점유율 8.4%로 4위권이나 질적 수준은 미흡

○ (특허출원 현황) 16년간('01~'16) 출원순위는 일본의 출원량(30%)이 가장 많으나, 실증·사용화 단계 이행으로 '04년 이후 출원이 지속적으로 감소 추세이고, 중국의 경우 최근 4년간 전체 출원의 53%를 차지하여 급속히 성장

- 최근 4년 출원순위는 中(37%)>日(19%)>美(14%)>韓(9%)>獨(4%) 순

국적	16년간('01~'16) 출원수 및 점유율	최근 4년 ('13~'16) 출원수 및 점유율
미국	26,161 (18.0%)	5,456 (12.6%)
중국	30,522 (21.0%)	16,005 (37.0%)
일본	44,072 (30.3%)	7,986 (18.5%)
한국	12,214 (8.4%)	3,678 (8.5%)
독일	6,002 (4.1%)	1,773 (4.1%)

< 국가별 출원 점유율 >

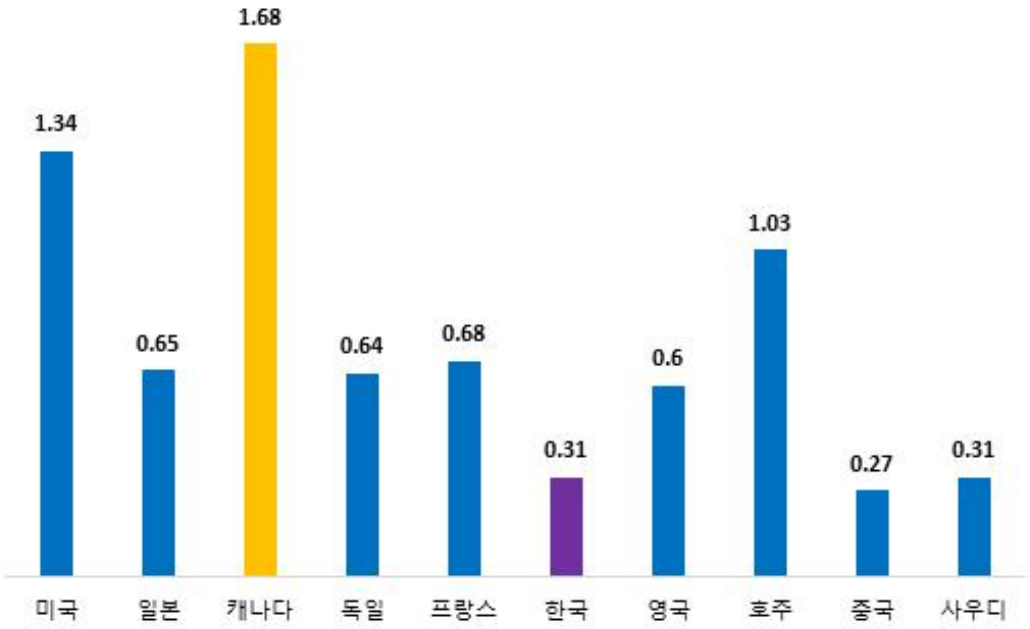


< 출원인 국적별 출원동향 >

[그림 2-37] 국가별 출원 동향

❍ (특허영향력) 특허영향력은 캐나다, 미국이 높고 한국은 하위권

※ 미국에 등록된 전체 특허의 피인용 비율에 대한 해당 국가 특허의 피인용 비율로서, 피인용률이 1 이상이면 해당 국가의 특허영향력이 높다고 평가



[그림 2-38] 국가별 특허영향력 비교

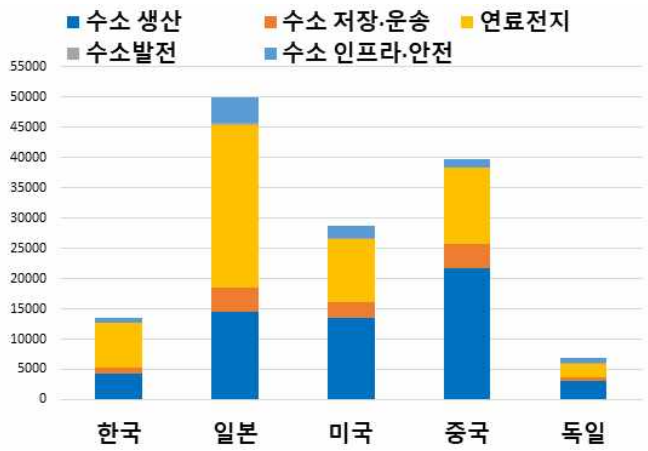
다. 특허로 본 한국 수소산업의 현 주소

○ 한국 수소산업은 외국인 진입도가 높은 수준이며, 수소 활용 부문에 특허출원이 집중되어 있어, 수소 공급부문에 대한 특허기술 확보 취약

- 한국 수소산업의 특허출원이 주로 주체별 단독연구에 의해 이루어지고 있으며, 기술 공급자-수요자인 중소기업-대기업간 공동연구개발 및 기술선도국과의 공동연구가 매우 미흡한 것으로 평가

○ (부문별 특허 출원 현황) 한국 특허출원은 수소활용 분야인 연료전지 부문에 집중, 공급 부문(생산-저장·운송-인프라)은 매우 저조한 수준

국가	수소 생산	수소 저장·운송	연료 전지	수소 발전	수소 인프라·안전
한국	32.0%	7.7%	54.3%	0.4%	5.7%
일본	29.1%	8.1%	53.6%	0.8%	8.4%
미국	47.2%	8.8%	36.5%	0.7%	6.7%
중국	54.7%	10.0%	31.5%	0.2%	3.5%
독일	43.9%	10.7	31.6%	0.6%	13.2%

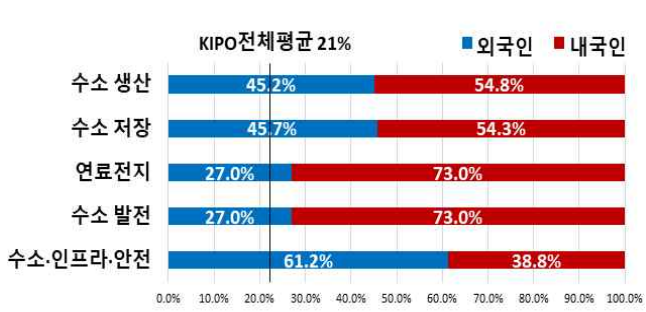


[그림 2-39] 수소산업 부문별 특허 현황

○ (외국인 진입도) 한국특허청 외국인 출원비중은 연료전지·수소 발전 외에는 한국특허청 전체 평균에 비해 높은 수준으로 나타남

※ 한국특허청에 출원되는 전체 특허의 외국인 비중 평균은 2.1%(특허청, 2017)

※ 외국인 진입도: (외국인 출원건수)/(내국인 출원건수)로, 1 이상이면 외국인 진입도가 높은 것으로 해석



<KIPO 내외국인 비중>



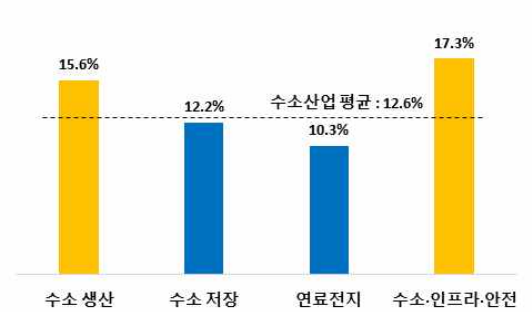
<외국인 진입도>

[그림 2-40] 외국인 진입도 현황

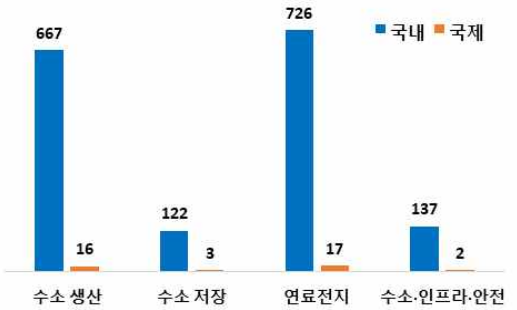
○ (공동출원 현황) 한국의 전체 특허출원 중 공동출원은 12.6%(1,697건)이며, 대부분 국내 기관간 공동출원으로 국제 공동출원은 0.3%(38건)에 불과

※ 공동출원 비중은 일본의 12.8%와 유사한 수준, 미국(3%)보다 높은 수준

※ 국제공동출원 비중은 일본(3.2%), 미국(34.6%)에 비해 낮은 수준



<부문별 공동출원 현황>

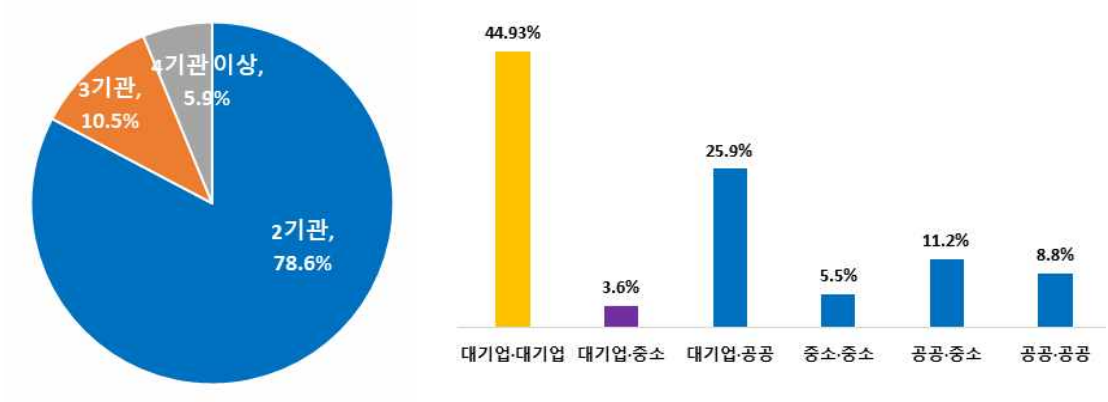


<부문별 국내-국제 공동출원 현황>

[그림 2-41] 공동출원 현황

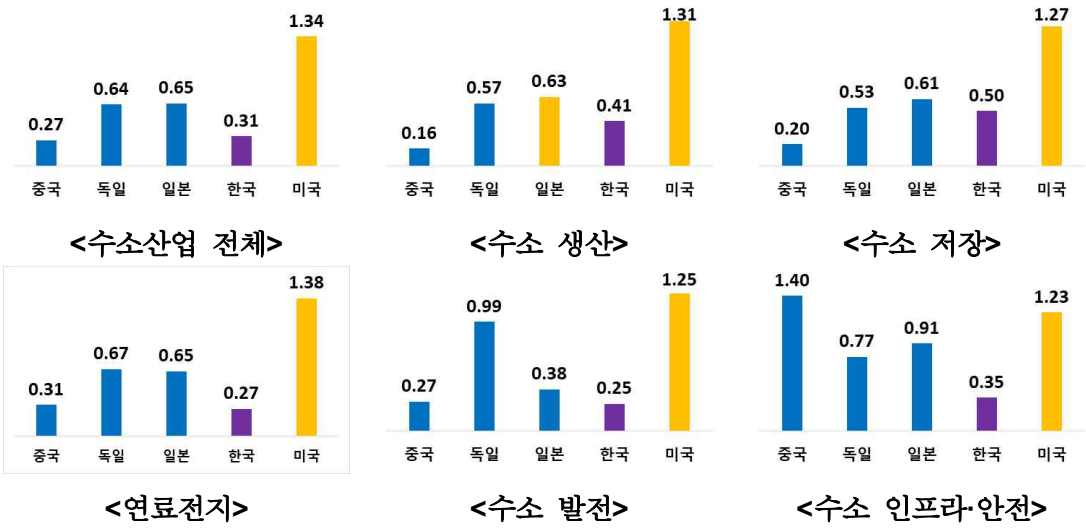
- 2개 기관간 공동출원(1,124건)이 가장 많으며, 공동연구 주체별 비중은 대기업간 공동출원(44.9%) > 대기업-대학·공공연(25.9%) > 중소기업-중소기업(11.9%) 순

※ 가장 높은 비중을 차지하는 2개 기관간 공동출원을 대상으로 분석



[그림 2-42] 공동출원 비중 현황

○ (부문별 특허경쟁력) 일본, 미국, 독일 등 선도국과의 특허경쟁력 격차가 상대적으로 적은 부문은 수소 생산 및 저장 분야이며, 연료전지 및 수소 인프라·안전 부문은 격차가 큰 편임



[그림 2-43] 부문별 특허경쟁력 현황

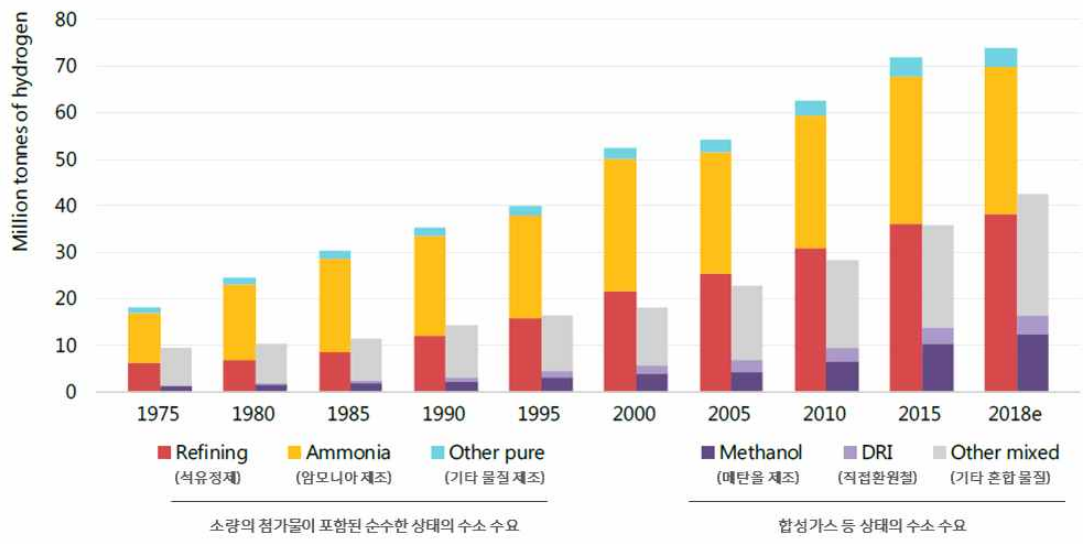
2.4 시장동향

2.4.1 국외 시장동향

○ 세계 수소 사용량은 ’75년 약 3,800백만 ton에서 ‘18년 1억 1,500백만 ton으로 40년간 4배 증가, 대부분의 수소는 산업용 원료로 사용되고 있음[11)]

- 수소는 대부분 산업용 원료로 사용되고 있으며 크게 첨가물이 거의 없는 순수한 수소와 수소가 포함된 합성가스 상태로 공급됨

※ ‘17년 순수한 상태의 수소는 약 7,100만 톤 사용되었으며, 합성가스 상태의 수소는 약 3,600만 톤 사용되었음



자료: IEA (2019)

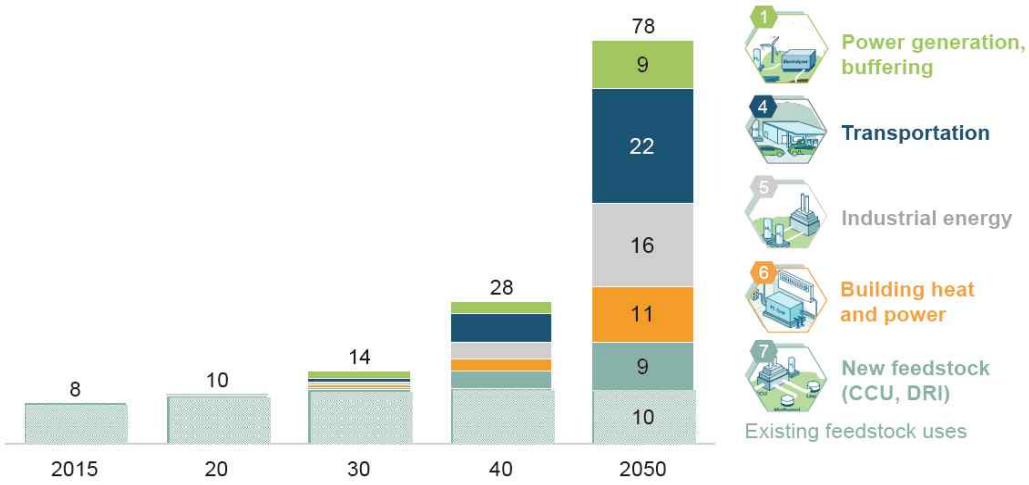
[그림 2-44] 세계 수소 사용량(1975~2018)

○ 수소위원회(Hydrogen Council)는 세계 수소 에너지[12)] 수요가 주요국의 정책적 지원에 힘입어 ’15년 56백만 ton(8EJ)에서 ‘50년 546백만 ton(78EJ)[13)]까지 증가할 것으로 전망

- 수소위원회는 수소 관련 산업 분야의 지속적인 확대로 수소로 공급되는 에너지의 수요가 ‘50년 급격히 증가 될 것으로 예상

※ 최종 에너지 수요의 약 18%를 차지

11) IEA(2019), The Future of Hydrogen
12) 수소로부터 공급되는 에너지
13) 석유로 환산시 약 132억 6,000만 배럴



자료: IEA (2019)

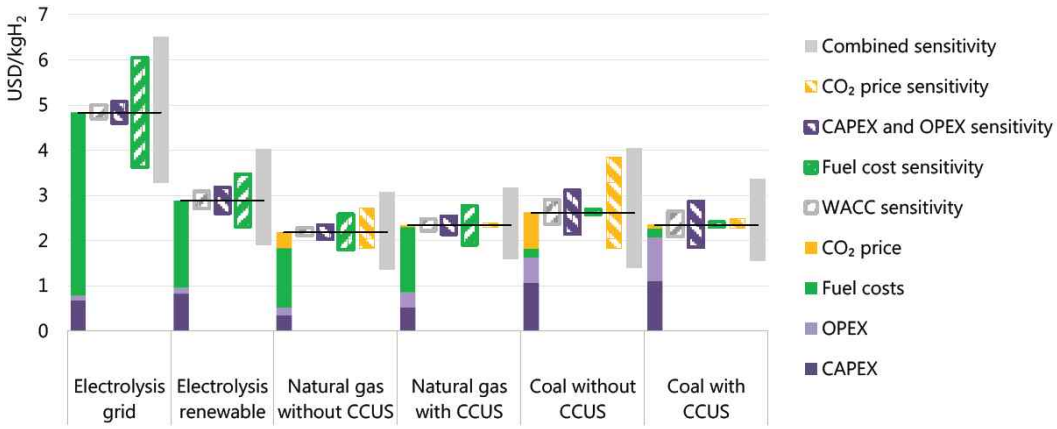
[그림 2-45] 세계 수소에너지 수요 전망

- IEA는 Global Trends and Outlook for Hydrogen(2017)에서 수소시장 규모가 '17년 1,152.5억 달러에서 '22년 1,547.4억 달러의 규모로 '17년 대비 34% 성장할 것으로 전망[14)]

○ 수소 생산단가는 수전해 방식을 이용한 수소 생산단가가 '30년까지 가장 비쌀 것으로 전망[15)]

※ 맥킨지는 한국수소산업로드맵(2018)에서 '35년 경, 수전해 생산방식과 개질수소생산방식의 국내 수소생산단가가 비슷해질 것으로 전망[16)]

14) IEA Hydrogen (2017) Global Trends and Outlook for Hydrogen
15) IEA(2019), The Future of Hydrogen
16) 맥킨지(2018), 한국 수소산업 로드맵



자료: IEA (2019)

[그림 2-46] 수소생산방식별 생산단가 전망

□ 연료전지시장

○ 글로벌 연료전지 시장은 '30년 약 50조원 규모로, '18년부터 12년동안 연평균 약 30%의 급격한 성장이 예상 되며, 아시아 시장이 강한 성장세로 글로벌 연료전지 시장을 선도 할 것으로 전망

- 일본 후지경제는 글로벌 연료전지 시장이 '18년 2,184억 엔에서 `30년 4조 9,275억 엔(약 49조 912억원) 으로 연평균 29.6% 성장 전망
  - · 최근 주요국들의 연료전지 보급 목표 실현을 위한 기술 지원 추진과 연료전지 자동차 시장의 확대 및 상용차의 보급, 가정용 및 발전용 연료전지보급 등으로 인하여 연료전지 시장 규모가 급격히 증가 할 것으로 전망

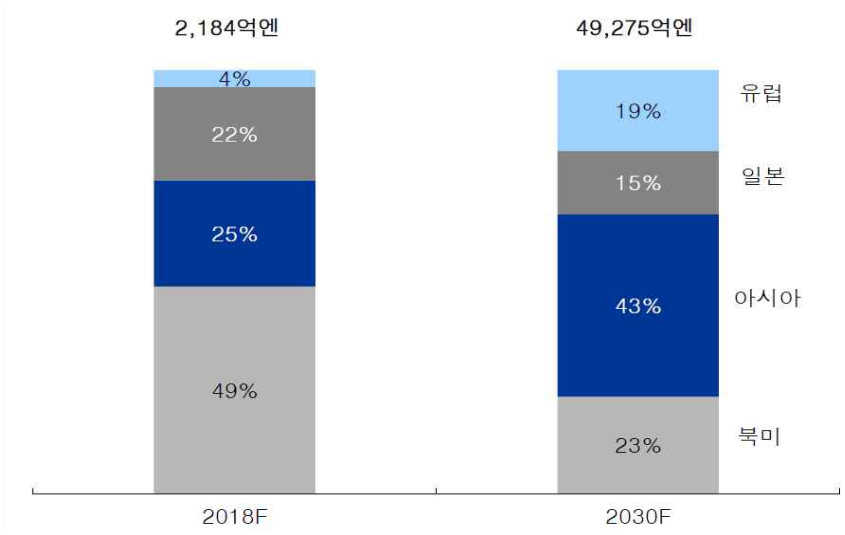


자료: 후지경제(2018) 한국IR협의회(2019) 재인용

단위: 억엔

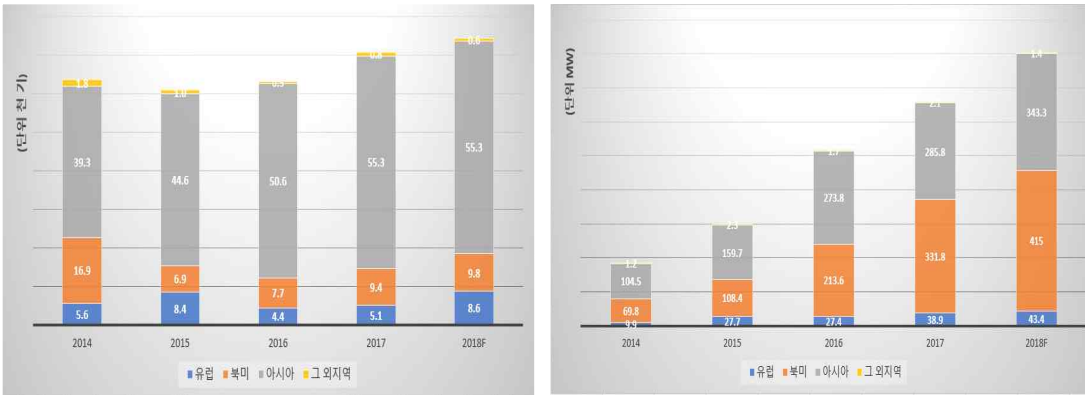
[그림 2-47] 연료전지시스템 세계 시장 규모 전망

- 지역별 시장 규모의 비중은 한국과 일본을 포함한 아시아시장이 '18년 47%에서 '30년 절반을 넘는 58%를 차지하며 글로벌 연료전지시장을 선도
  - 연간 연료전지 출하량은 시스템 (unit)기준으로는 아시아시장이 '18년 55,300기로 전체 출하량의 74%를 차지하며 두 번째로 많은 출하량을 보인 북미(9,800기)의 약 5.6배임
  - 용량 기준으로는 '18년 북미시장이 415 MW로 아시아 343.3 MW보다 앞서며 전년대비 25% 성장
  - 후지경제에 따르며, 아시아시장(일본 포함)은 '30년 세계시장의 58%를 차지하며 세계에서 가장 큰 시장으로 성장 할 것으로 예상되는 반면, 북미지역은 '18년 49%에서 '30년 23%로 글로벌 시장에서 차지하는 비중이 줄어 들것으로 전망



자료: 후지경제, IBK투자증권(2019) 재인용

[그림 2-48] 지역별 연료전지 시장 비중 전망



<시스템 기준(Unit)> <용량기준 (MWatts)>

자료: E4Tech(2018)

[그림 2-49] 지역별 연료전지 출하량 추이

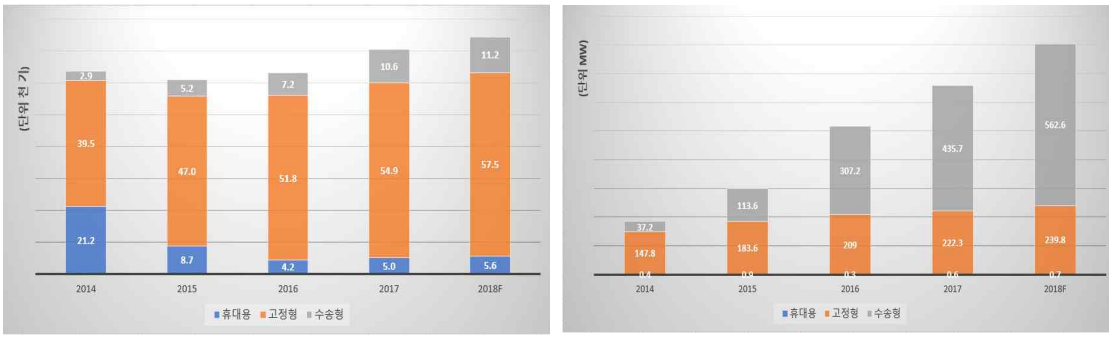
❍ 용도별 연료전지시장은 고정형과 수송형의 성장세가 두드러지는 가운데 수송형의 시장 점유율이 크게 성장 할 것으로 전망

- 연료전지 시스템(unit)기준의 출하량을 기준으로 고정형 연료전지는 '18년 57,500기로 '14년 39,500기 대비 약 46% 성장하였으며, 연료전지의 용량면에서 '18년부터 '23년까지 연평균 12% 성장 전망

- 용량기준의 출하량으로 볼 때 '15년까지 고정형 연료전지가 가장 우세하였으나, 점차로 수송용 연료전지 시장이 확대되면서 '17년 수송용 연료전지시장은 용량면에서 고정형의 두배로 성장, 수송용은 '17년 전체연료전지시장의 66%를 차지

※ 수송용 연료전지시장은 자동차용 시장의 급격한 성장으로 '17년 이후부터 수송형의 시장 점유율이 크게 성장

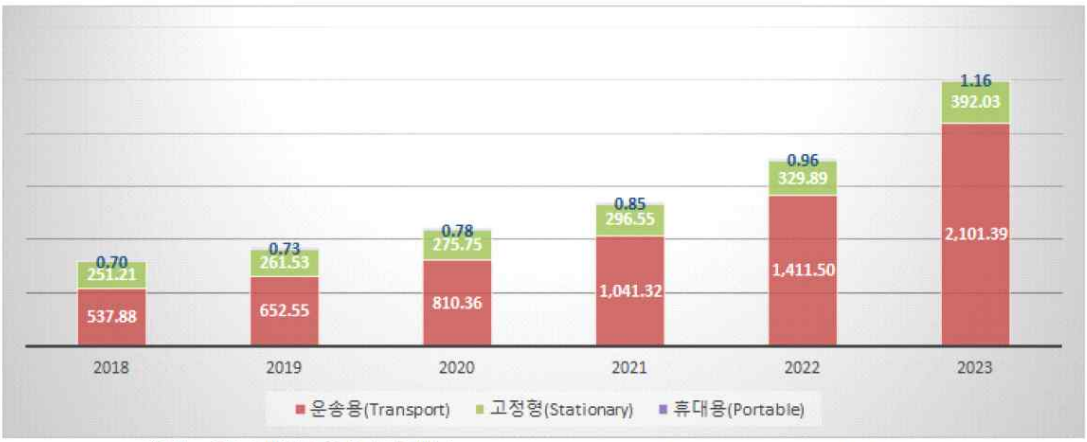
- 수송용 연료전지는 용량기준으로 '23년 2,101 MW로 전체 용량의 84%를 차지할 것으로 예상되며 '18년부터 '23년까지 연평균 41% 성장 전망



<시스템 기준(Unit)> <용량기준 (MW)>

자료: E4Tech (2018)

[그림 2-50] 용도별 연료전지 출하량 추이

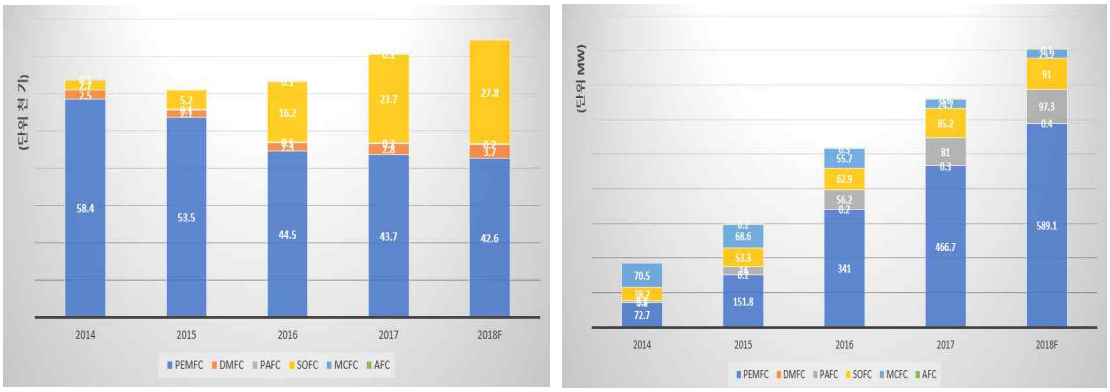


자료: TechNavio (2019) 한국IR협의회 (2019) 재인용

단위: MW

[그림 2-51] 용도별 연료전지 시장 전망

○ 연료전지를 종류별로 비교할 때, 고분자 전해질 연료전지(PEMFC)와 고체산화물 연료전지(SOFC)가 시장 성장을 주도



<시스템 기준(Unit)> <용량기준 (MWatts)>

자료: E4Tech (2018)

[그림 2-52] 연료전지 종류별 출하량 추이



자료: TechNavio (2019) 한국IR협의회 (2019) 재인용

단위: MW

[그림 2-53] 연료전지 종류별 시장 전망

□ 수송(Mobility)시장

○ ’19년 10월 기준, 세계 수소차 판매 대수는 전년도 대비 두 배가량 증가한 6,126대이며, 한국, 현대자동차가 세계 1위 시장, 제조사 지위를 차지[17)]

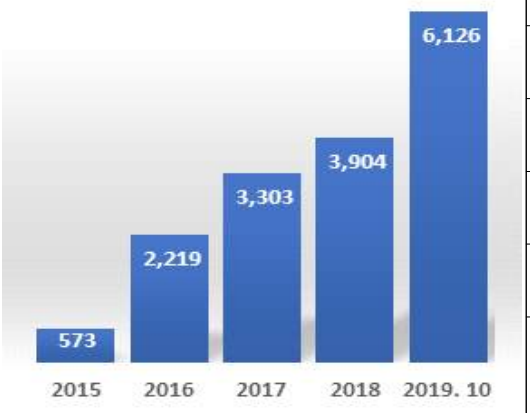
- ’19년(10월 기준) 세계 수소차 판매 대수는 6,126대이며 한국은 전년도 같은 기간 판매량(444대) 대비 7.2배 증가한 3,207대의 수소전기차를 판매하여 세계 1위 시장으로 성장

  · 한국자동차산업협회의 발표에 따르면 ‘19년 세계 수소전기차 판매 대수는 6,126대로 전년도 같은 기간 판매량(3,025대) 대비 2배 이상 증가

17) 한국 세계 1위 수소차 시장으로... 판매량 622% 급성장, IT조선, 2019. 12. 2

· 한국은 전년도 같은 기간 판매량(444대) 대비 7.2배 증가한 3,207대의 수소전기차를 판매하여 세계 시장의 절반 이상을 차지하는 등 세계 1위 시장으로 성장

(단위 : 대, %)



구분		2015	2016	2017	2018	2018.10	2019.10
한국	대수	41	80	61	744	444	3,207
	비중	7%	4%	2%	19%	15%	52%
미국	대수	108	1,042	2,298	2,368	1,932	1,798
	비중	19%	47%	70%	61%	64%	29%
일본	대수	411	1,055	849	575	488	596
	비중	72%	48%	26%	15%	16%	10%
EU	대수	13	32	78	157	115	397
	비중	2%	1%	2%	4%	4%	6%
기타	대수	-	10	17	60	46	128
	비중	0%	0%	1%	2%	2%	2%
합계	대수	573	2,219	3,303	3,904	3,025	6,126
	비중	100%	100%	100%	100%	100%	100%

자료: Marketlines.com, 한국자동차산업협회, IT조선에서 재인용

[그림 2-54] 세계 수소전기차 판매 현황

<표 2-41> 주요 완성차 제조사별 수소전기차 판매현황

(단위 : 대, %)

구분	2015	2016	2017	2018	2018.10	2019.10	점유율
현대	41	80	99	887	542	3,666	59.8%
도요타	496	2,026	2,682	2,393	1,861	2,174	35.5%
혼다	2	113	522	624	622	286	4.7%

(*LH2: Liquid hydrogen, 액화수소 / **ZEFF: Zero Emission Fast Ferry)

□ 수소의 저장운송시스템 시장

○ 수소 저장운송시스템 시장은 ’26년 약 10억 달러 규모를 형성할 것으로 전망되며 지역별로 구분 시, 아시아 태평양 시장이 가장 큰 비중을 차지

- 수소저장시스템 시장은 ’16년 4.67억 달러에서 연평균 8%로 성장하여 ’26년 10.11억 달러 규모를 형성할 것으로 전망

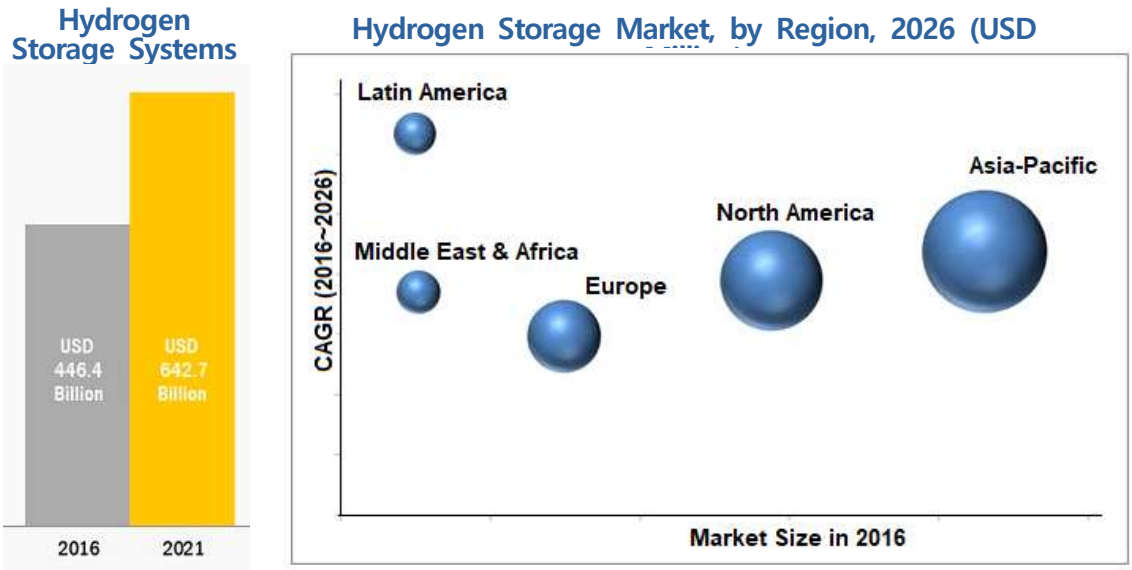
- ‘26년 지역별 수소저장시스템시장을 권역별로 구분할 경우, 아시아태평양 지역이 가장 큰 시장 규모를 차지

  · 아시아태평양 시장이 여타의 지역 대비 큰 비중을 차지한 것은 일본이 2050

년까지 160,000 m^3급 액체수소운송선 80척을 포함한 40개의 수소에너지 공급 체인 확보를 계획을 수립한 것에 기인

※ 2030년 구축이 예정된 일본의 개별 수소에너지 공급 체인은 160,000m^3 급 액체수소운송선 2척을 포함하며, 70억 달러 규모의 소요 예산 계획에서 운송선은 전체 13%, 즉 약 9억 달러의 예산이 책정되어 있음(척당 4.5억 달러)

※ 유사 규모의 LNG운반선 가격이 척당 2~3억 달러로 형성되어 있으므로 선체 건조 비용이 같은 조건이라 가정하면 LNG운반선 대비 액체수소운송선의 저장 용기를 포함한 화물창 설비(CCS) 가격이 1.5~2.5억 달러 증가



[그림 2-55] 지역별 수소저장시스템 시장

2.4.2 국내 시장동향

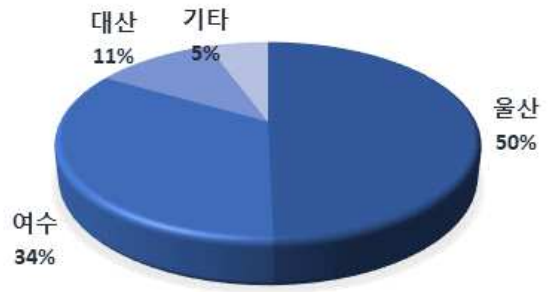
○ ’17년 기준, 국내 수소생산량은 164만 ton, 유통되는 수소량은 23만 ton으로 수소 공급가격을 기준으로 추산한 국내 수소시장은 2조 3천 8백억 원임

- ’17년 기준, 국내 수소생산량은 약 164만 ton(생산능력은 연간 192만 ton)이며 석유화학업체 등의 자체소비량(141만 ton)을 제외한 외부 유통량은 약 23만 ton임[18)]

  · ‘17년 기준 국내 수소 생산능력은 연간 192만 ton 수준이며, 지역별로 수소생산능력은 울산 50%, 여수 34%, 대산 11% 등 석유화학단지에 집중되어 있음

※ 주요 수소생산업체는 덕양, SPG, 에어리퀴드, 린데 등으로 국내 수소의 95%는 철강 및 석유화학업체에서 이루어지는 나프타 분해과정에서 생산되는 부생수소임

<표 2-42> 국내 수소생산 능력

지역	생산능력 현황(톤/년)	지역별 생산 비중(%/년)
울산	949,677	
여수	645,626	
대산	210,222	
기타	106,764	
합계	1,912,289	

자료: 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

<표 2-43> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력

업체	생산량(㎥/h)	생산량(만톤)	점유율(%)
덕양	9,600	0.75	37%
SPG케이칼, SPG산업	6,500	0.51	25%
창신화학	5,200	0.41	20%
SDG	3,150	0.25	12%
에어리퀴드	1,000	0.08	4%
린데	300	0.02	1%
합계	25,750	2.01	100%

자료: 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

· 국내에서 생산된 수소 중, 생산업체가 자체 소비(정유, 석유화학 업체 등)하는 수소가 141만 ton이며 유통되어 활용되는 수소량은 생산량의 14%인 23만 ton임

※ 국내에서 유통되는 수소량 23만 톤은 제강산업, 반도체, 용접 및 절단, 광섬유, 유리제조 식품

18) 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

산업 등에서 사용되고 있음

※ 국내에서 유통되는 수소는 덕양이 50%, SPG가 22%, 에어리퀴드 18% 등이 공급

※ 지역별로 울산, 여수가 42%, 대산에서 14% 등 수소생산지역을 중심으로 유통되고 있음

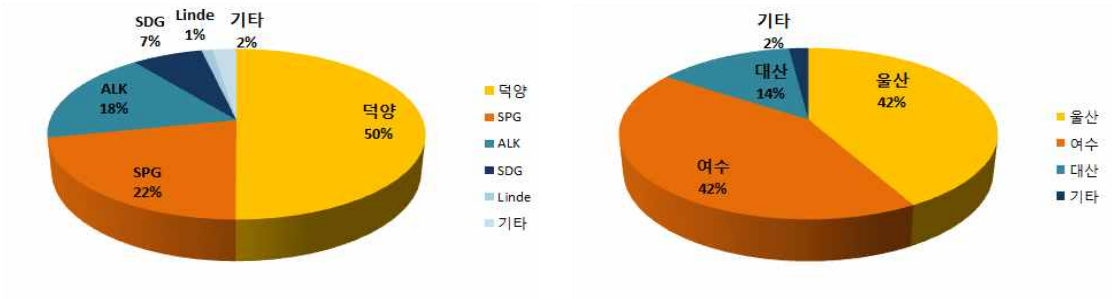
- 외부로 유통되는 수소량을 kg당 공급비용을 고려해 시장규모로 변환할 수 있으며, 이 경우, 국내 수소 생산시장 규모는 약 2조 3천 8백억 원임

  · '18년 기준, 수소연료 공급가격(생산-수송(튜브트레일러))은 10,755 원/kg임[19]이며 '할인율(4.5%)을 반영한 '17년 기준 가격은 10,292원임

<표 2-44> 국내 주요 수소생산 업체의 부생수소 생산 능력

생산량(톤)	공급가격(원/kg, 18년)	공급가격(원/kg, 17년)	시장규모(억 원)
231,655	10,755	10,292	23,838

자료: '18년 기준 수소 공급가격 10,755원, 수소전기차 보급 확산, 결국 '수소 가격'이 좌우, 월간수소경제, 2018. 7



<기업별 수소유통량 비율> <지역별 수소유통량 비율>

자료: 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업자원통상부, 2019

[그림 2-56] 기업별 및 지역별 수소유통량 비율

○ 국내에서 유통되는 수소는 대부분 수소 파이프라인을 통해 공급되고 있음[20]

- 국내에서 유통되는 수소 23만 ton 중, 21.5만 ton(92.7%)는 수소 파이프라인을 통해 공급되고 있으며, 1.7만 ton(7.3%)은 튜브 트레일러를 통해 공급되고 있음

19) 수소전기차 보급 확산, 결국 '수소 가격'이 좌우, 월간수소경제, 2018. 7, 수소연료 가격(원/kg)을 계산하면 5만 5,019원으로 추정됨. 수소 제조가격은 3,099원, 수소 운송비용(7,656원)이 포함된 수소충전소 공급 가격은 1만 756원이며 20% 수준의 낮은 가동률을 기준해 인건비 및 판매관리비 등 비용과 마진(10%)을 붙이면 판매가격은 44,263원이 더해진 총 5만 5,019원임. 부생수소의 생산시장 규모는 수소의 생산 이후, 튜브 트레일러를 통해 수요처에 공급되기까지의 '공급가격'인 10,755원/kg을 기준으로 연간 유통되는 수소량(23만 톤)을 곱하여 산출

20) 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

<표 2-45> 수소 파이프라인 및 튜브트레일러의 공급량

공급방식	수소 파이프라인		수소 튜브트레일러	
	물량(톤/년)	비율(%)	물량(톤/년)	비율(%)
공급량	214,655	92.7	16,967	7.3

자료: 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

○ 국내 수소 파이프라인 연장은 193 km이며 튜브트레일러는 약 500대가 운영되고 있음

- 국내 수소 파이프라인은 울산, 여수, 대산/서산, 안산, 군산 등에 설치되어 있음

<표 2-46> 국내 산업용 수소 파이프라인 설치 현황

(단위 : km)

구분	울산	여수	대산/서산	안산	군산	합계
덕양	42.4	33.1	4.0	-	3.8	83.3
SPG	26.6	10.2	9.6	12.9	-	59.3
SDG	30.0	-	-	-	-	30.0
에어리퀴드	-	20.0	-	-	-	20.0
합계	99.0	63.3	13.6	12.9	3.8	192.6

자료: 수소경제활성화로드맵 수립 연구 최종보고서, 산업통상자원부, 2019

- 국내 튜브 트레일러는 총 500여대로 고압가스용기 전문업체인 엔케이가 한국특장차와 협력해 제작·공급하고 있음

※ 엔케이는 2,290리터급 수소저장용기 10개를 장착한 튜브 트레일러(수소 330kg, 200bar)를 제작해 공급하고 있으며 향후 2,240리터급 수소저장용기 8기(250bar)를 장착한 튜브트레일러를 출시할 계획. 엔케이는 현재 노르웨이 업체와 협력해 복합소재를 이용한 350bar급 튜브트레일러를 개발 중[21)]

○ '19년 11월 기준, 수소차 보급 대수는 4,663대로 '18년 말 5배이상 증가

- 환경부의 발표에 따르면 '19년(~11월) 국내에 보급된 수소자동차는 총 3,755대로 전년 대비 5배 증가했으며 누적 보급된 차량 대수는 4,663대로 전년말 대비 5배 이상 증가

<표 2-47> 국내 수소차 및 충전소 보급현황('19년 11월 기준)

구분		'13년	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년
수소차	연도별	-	6	42	48	83	729	3,755
	누계	-	6	48	96	179	908	4,663

자료: 환경부

21) 이제 수소경제다. 수소운송을 위한 '튜브 트레일러' 시장 꿈틀, 환경경찰뉴스, 2019. 7. 27

○ 수소 자동차 이용자를 위한 충전소는 ’20년, 1월 기준 34개소가 구축되어있으며, 이 중, 일반인이 사용가능한 충전소는 26개소, 그 외 착공 중인 충전소는 22개소임[22)]

- ‘20년 1월 기준, 국내에 구축된 수소충전소는 총 34개소 이며 이 중, 연구용 충전소 8개소를 제외하고 일반인이 사용가능한 충전소는 모두 26개소임
  - · 일반인이 사용가능한 수소충전소는 울산 6개소, 경남/경기지역이 각각 4개소, 서울 3개소, 광주/부산 2개소, 인천/대전/충남/전남/경북 각 1개소 운영 중
  - · 일반인이 사용할 수 없는 연구용 수소충전소는 경기 3개, 인천/광주/충북/충남/경감에 각각 1개소가 있음
- ’20년 1월 국내에 운영, 구축 중인 수소충전소는 모두 56개소임(착공(22개)

<표 2-48> 국내 수소차 보급 현황('20년 3월 기준)

구분	승용			승합			합계		
	비사업용	사업용	계	비사업용	사업용	계	비사업용	사업용	합계
서울	600	21	621	2	-	2	602	21	623
부산	701	4	705	-	5	5	701	9	710
대구	9	-	9	-	-	-	9	-	9
인천	310	7	317	-	-	-	310	7	317
광주	435	49	484	-	-	-	435	49	484
대전	230	-	230	-	-	-	230	-	230
울산	1,430	5	1,435	-	3	3	1,430	8	1,438
세종	19	-	19	-	-	-	19	-	-
경기	856	3	859	-	-	-	856	3	859
강원	262	1	263	-	-	-	262	1	263
충북	108	-	108	-	-	-	108	-	108
충남	314	1	315	-	-	-	314	1	315
전북	16	-	16	-	-	-	16	-	16
전남	15	-	15	-	-	-	15	-	15
경북	9	-	9	-	-	-	9	-	9
경남	702	2	704	-	5	5	702	7	709
제주	1	-	1	-	-	-	1	-	1
계	6,017	93	6,110	2	13	15	6,019	106	6,125

자료: 2020년 3월 자동차 등록자료 통계, 국토교통부

○ 국내 연료전지 시장은 ‘13년, 1억 9천만 달러(2,315억 원)에서 ‘15년, 4억 1,350만 달러(5,038억 원)로 2년간 2배이상 성장했으며 ’19년 12억 5,400만 달러 규모(1조 5,280억 원)를 형성할 것으로 전망됨

※ 보급량 기준 연료전지 시장은 ‘14년 19만 3,369 toe에서 ’17년 31만 3,303 toe로 증가했으며 연료전지가 재생에너지에서 차지하는 비중도 ‘13년 1.2%에서 ’17년 1.9%로 증가

22) 수소충전소 없으면 수소차도 없다. 투데이에너지, 2020. 1. 31



< 연료전지 시장 > < 응용분야별 연료전지 시장 >

자료: 연료전지 시장의 현재와 미래, 삼정KPMG, 2019.8

[그림 2-57] 국내 연료전지 시장 규모

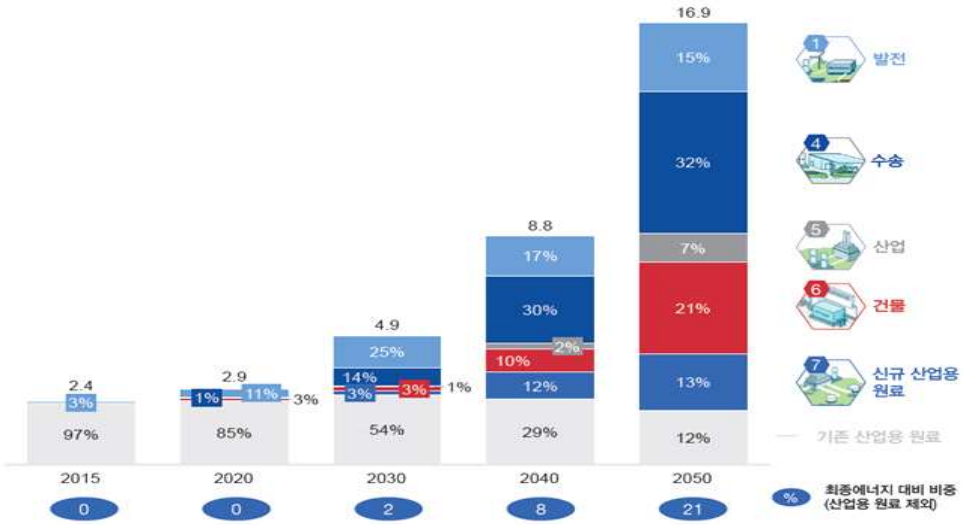
❍ 국내에서 수소는 수소 자동차 및 발전용 연료로 활용되고 있음

- '20년 3월까지 국내에는 6,125대의 수소자동차가 보급되어 있으며 이중 대부분은 비사업용 승용차임[23)]
  - · 국내수소자동차를 유형에 따라 구분하면 승용차가 6,110대, 승합차가 15대임
  - · 국내 수소자동차를 용도에 따라 구분하면 비사업용 6,019대, 사업용 106대임
- 지역별로는 울산(1,430대), 경기(856대), 경남(702대), 부산(701대), 서울(600대순으로 많은 수소자동차가 보급되어 있음
- 정부의 신재생에너지 공급인증서(REC) 지원 등에 힘입어 발전용, 가정·건물용 연료전지가 보급되고 있으며 '18년까지 발전용 연료전지는 41개소 307.6 MW, 가정·발전용 연료전지는 3,127개소 7 MW가 설치되어 운영되고 있음[24)]

❍ 한국의 수소 총수요는 현재 약 240만 ton으로 '30년 이후 급격한 증가를 할 것으로 예측되며, 수송 및 건물에 특히 높은 수요가 기대됨

- 한국의 수소 총수요는 현재 약 240만 ton '30년까지 서서히 증가한 후 투자, 기술발전, 고객 확보, 누적된 최종 소비 어플리케이션 구매로 이어지는 선순환으로 인해 '30년 이후 급격히 증가할 것으로 기대
- 발전, 수송 및 건물에서 특히 높은 수요가 기대되는데, 이는 한국이 고정형 및 이동형 연료전지 기술에 있어 선도적인 위치를 차지하고 있기 때문

23) 2020년 3월 자동차 등록자료 통계, 국토교통부
24) 수소경제 활성화 로드맵, 산업통상자원부, 2019



자료: 맥킨지(2018)

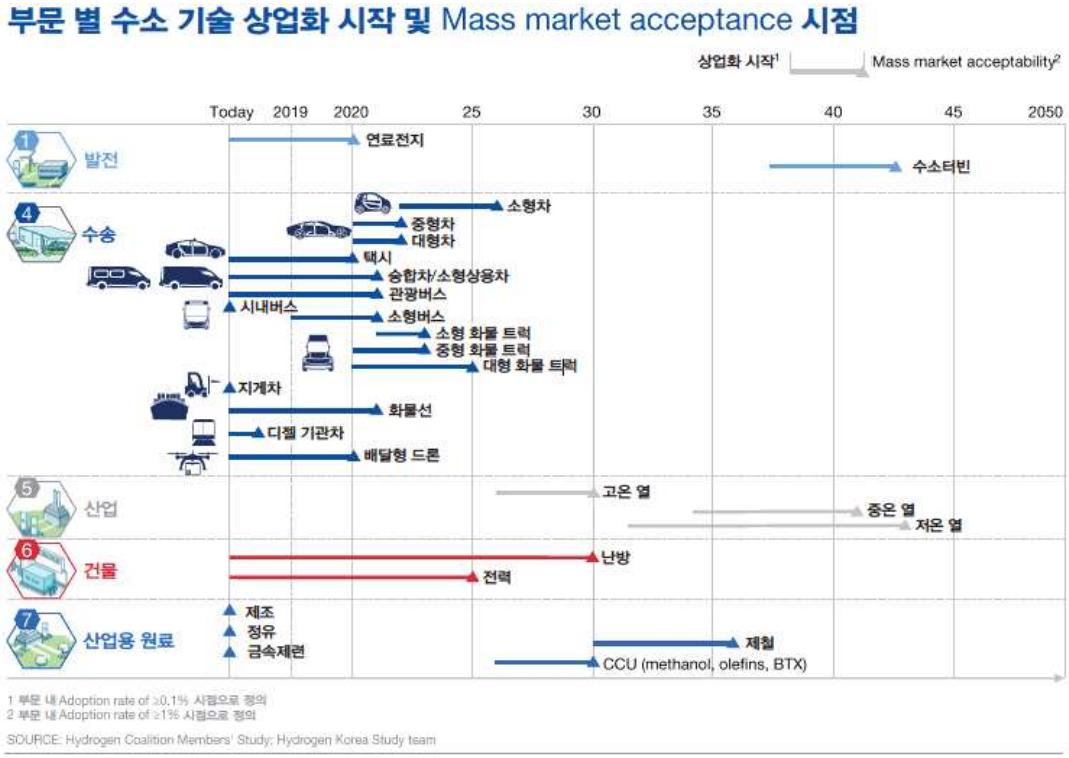
[그림 2-58] 국내 수소 수요 전망

- 발전 부문의 수소 수요는 '30년에 약 120만 ton, '50년에는 약 260만 ton에 달할 것으로 전망되며, 이를 통해 '50년 한국의 전체 중앙 발전량의 약 10%에 해당하는 전력을 생산할 것으로 추정
  - · 발전 부문의 수소 수요는 초기 몇 년간은 연료전지 발전소가 수요의 대부분을 차지하여 '30년 약 120만 ton, '50년 약 160만 ton 정도일 것으로 추정
  - · 발전 부문의 수소 터빈은 '40년부터 본격적인 상용화가 시작되어'50년에는 약 100만 ton 수준의 수소 수요를 담당할 것으로 기대
- 수송 부문의 수소 수요는 '30년 약 70만 ton, '50년에 약 540만 ton까지 증가할 것으로 추정, 국내에 약 800만 대 이상의 수소차가 운행
  - · 국내 약 800만 대 이상의 수소차 운행, 수소버스는 '30년 약 2만 ton, '50년 약 20만 ton의 수소 수요를 가질 것으로 추정
  - · 수소차용 연료전지 파워트레인은 여전히 내연기관 파워트레인 보다 비싸지만 '30년 내연기관 대비 비용이 110% 미만까지 감소할 것으로 전망

○ 부문별 수소 수요는 석유화학 부문의 수소 소비가 가장 높을 것으로 예상되며, 제철 부문의 수소 수요가 증가할 것으로 예상

- 산업용 원료에서의 수소 수요는 '30년 약 280만 ton, '50년 약 420만 ton으로 기대
- 석유화학 부문에서의 수소 소비는 '30년 약 230만 ton, '50년 약 170만 ton으로 가장 많이 소비할 것으로 추정되며, 향후 친환경 연료시장이 성장하면서 한국의 석유 의존도가 감소할 것으로 예상
- 제철부문에서의 수소 수요는 '50년 약 110만 ton으로 기대되며, 이러한 급격한

성장은 ‘30년 이후 각종 수소 제철 관련 기술이 완성되고 수소 가격은 낮아질 것으로 예상된 결과에 기인



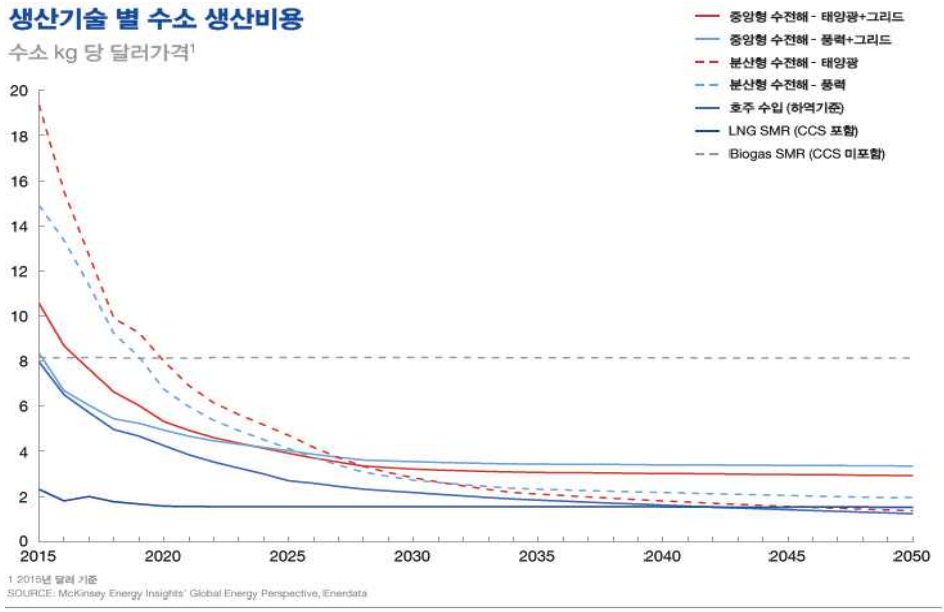
자료: 맥킨지(2018)

[그림 2-59] 부문별 수소 기술 상업화 시작

○ 단기적으로 충전소의 이상적 수소생산방법은 CCS를 갖춘 개질수소생산시스템으로 , 수전해는 그리드 제약에서 발생하는 잉여 재생에너지 기반 전기를 활용하지 않는 한 단기적으로 경제성이 낮아 수소 유통 인프라 장벽을 넘어서기 위한 기술 발전 필요

- 재생에너지원으로부터의 LCOE가 급격히 낮아지면 수전해가 경쟁력이 있지만, 재생에너지는 발전에 변동성이 큼
  - · 재생에너지 변동성으로 인한 수전해 장치 사용율이 낮아지는 문제를 해결하기 위해 보완적으로 그리드 전력이나 배터리를 사용할 수 있으나 전력이나 배터리 가격 관련 비용으로 인해 LCOH가 증가할 수 있음
  - · 배터리를 사용해 재생에너지가 풍부한 때에 이 전력을 저장했다가 부족한 때에 사용하는 방식은 그리드로부터 전력의 보조를 받는 것보다 항상 더 높은 비용을 유발시킬 것으로 전망

- 개질기는 CCS공정을 추가해야 저탄소 수소를 만들 수 있으며, CCS가 없을 경우 LNG 직접 사용의 경우보다 생산되는 에너지 대비 CO_2 배출량이 높음
- 호주 등의 해외에서 수소를 수입하는 방안은, 해당 국가에서 생산비용과 운송비용을 낮출 수 있을 때 실행 가능할 것으로 예상되며, 호주의 중앙형 수전해 방식 LCOH는 풍부하고 저렴한 태양광 에너지원으로 인해 급격하게 하락할 것으로 전망
- 액화 수소의 해상수송은 현재까지 경제적인 측면에서 불가능하지만, 액화 및 저장기술이 발달하면 비용은 낮아질 것으로 예상되며, 액화 및 저장비용은 전체 액화수소 수입 수송비에서 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상



자료: 맥킨지(2018)

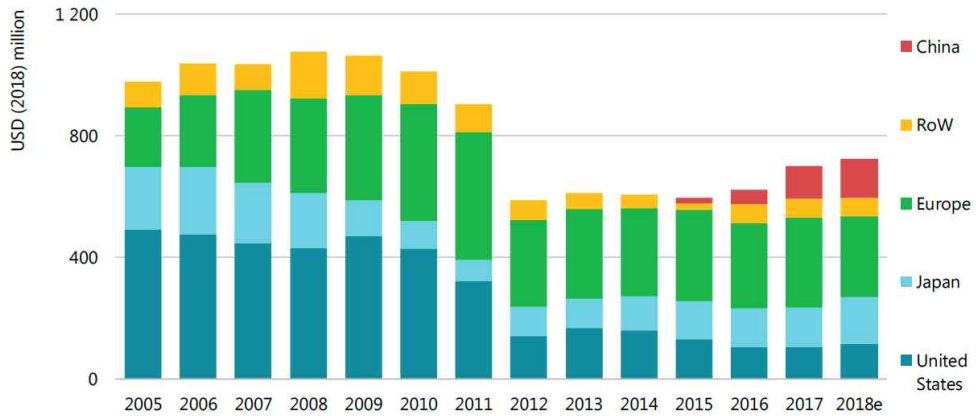
[그림 2-60] 생산기술별 수소 생산비용

2.5 R&D동향

2.5.1 국외 R&D투자 동향

○ 수소 및 연료전지분야 글로벌 R&D 투자는 ‘08년, 10억 달러 수준에 도달, 이후 글로벌 R&D 투자는 약 6억 달러(’12년)로 감소했으며 ’15년 이후, 중국·일본의 적극적 투자에 기인해 증가 추세로 전환

- 수소 및 연료전지 관련 정부 R&D 투자가 가장 많이 일어난 ’08년은 한 해 10억 달러 이상의 투자가 이루어졌으나, `12년 세계적으로 가장 큰 투자국이었던 미국의 투자가 크게 감소하면서 글로벌 투자 규모가 크게 감소
- ’15년 이후 중국, 일본의 투자 규모가 증가하면서 글로벌 수소 R&D 투자액도 증가 추세로 전환



자료: IEA (2019) The Future of Hydrogen

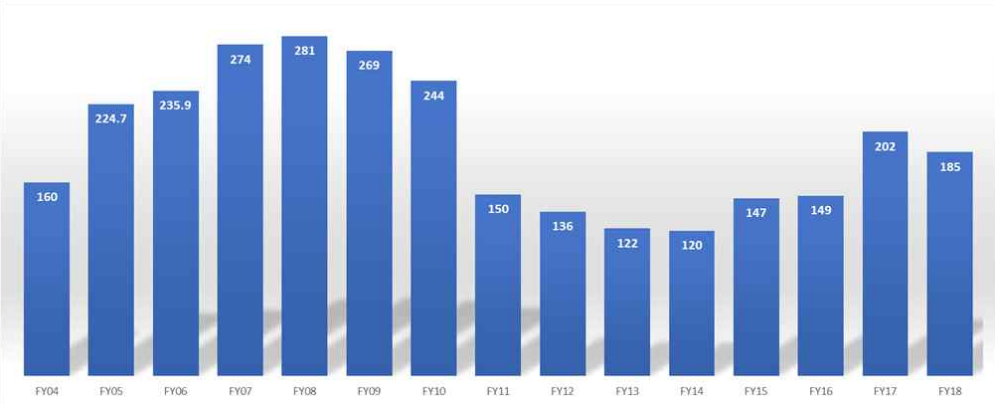
[그림 2-61] 주요국 정부 수소 및 연료전지 R&D 예산

○ 미국은 에너지부(DOE)에서 수소 및 연료전지 프로그램을 통해 15년 동안 약 28억 달러를 투자

- 미국은 에너지부(DOE)에서 수소 및 연료전지 프로그램(Hydrogen & Fuel Cell Program)을 통해 연방정부의 R&D투자를 추진
- 연료전지, 수소연료, 인프라 R&D에 ‘04년부터 ’18년까지 15년 동안 약 28억 달러를 투자[25)]

- 미국의 수소관련 R&D 투자는 '08년 2.8억 달러에서 '14년 1.2억 달러로 감소한 이후, 최근 2억 달러 수준을 유지

※ 청정에너지 기술개발에 대한 우선정책의 변화로 부시행정부에서 우선정책으로 추진되던 수소에너지 연구개발이 이후 전기차등의 다른 청정에너지 기술개발 우선으로 정책 기조변화에 따른 투자 감소가 나타남



자료: DOE Annual Progress Report[26)]

단위 : 백만달러

[그림 2-62] 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program R&D 투자

○ 최근 5년간('13년~'17년) 미국 에너지부의 기술 분야별 투자 중 가장 많은 투자가 이루어 진 분야는 연료전지분야로 최근 5년간 약 1억 8,600만 달러가 투자 됨

- 최근 5년간('13년~'17년) 생산, 저장·운송, 연료전지(활용), 안전 분야에서 가장 많은 투자가 이루어 진 분야는 연료전지분야로 최근 5년간 약 1억 8,600만 달러가 투자되었으며 이는 두 번째로 많은 투자가 진행된 저장(Storage)분야보다 2배 이상임

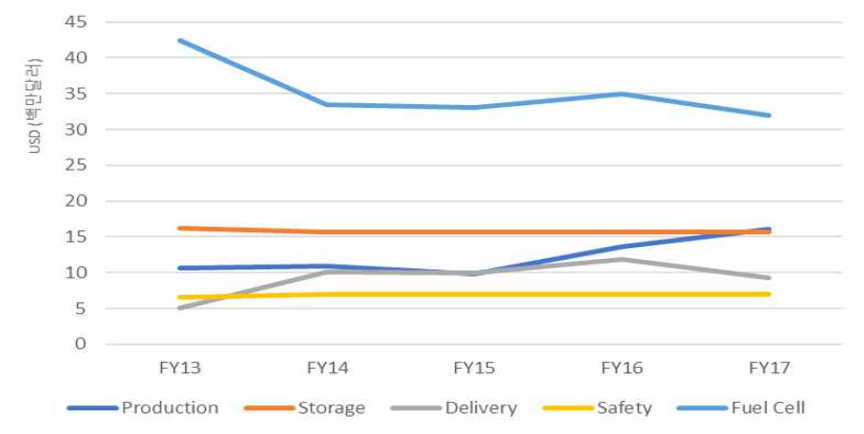
○ 최근 5년간 연료전지, 저장, 생산, 운송 안전분야 순으로 많은 투자가 이루어지고 있으며, 연료전지분야의 투자는 감소, 투자가 증가한 분야는 운송분야임

- 최근 5년간 생산과 운송 분야의 투자는 증가 추세로, '17년 생산과 운송 분야의 투자금액은 '13년 대비 각각 약 34%, 46% 증가

- 연료전지(활용)분야의 R&D 투자는 감소했으며 저장 및 안전분야의 R&D투자는 비슷한 수준을 유지

25) 에너지부(DOE)를 통한 투자는 연방정부차원의 투자이며 주정부차원의 투자는 포함되지 않음

26) https://www.hydrogen.energy.gov/annual_progress.html 20/1/27 웹사이트 접속

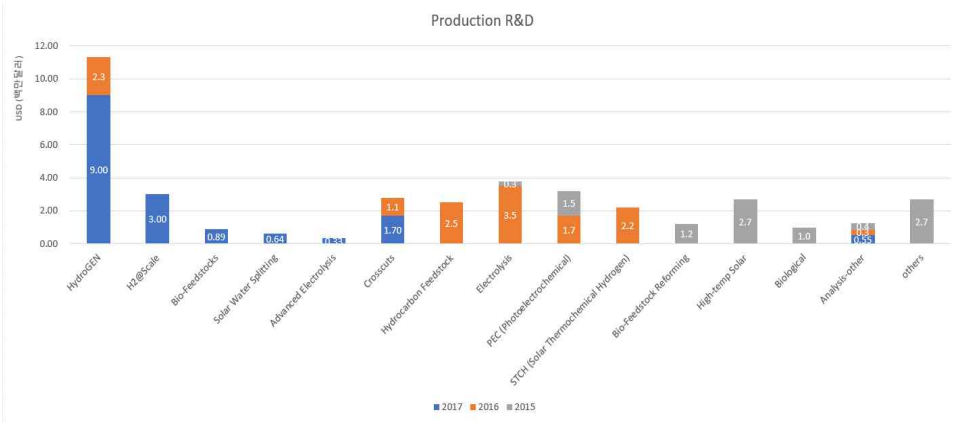


자료: DOE Annual Progress Report

[그림 2-63] '13~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program R&D 분야별 투자

❍ 최근 3년간('15년~'17년) 생산 R&D 분야 투자는 약 3,950만 달러가 투자 되었으며 다양한 미래 수소생산기술에 대한 투자가 이루어지고 있는 것이 특징

- (생산) 수소생산 R&D분야는 가장 다양한 분야의 투자 포트폴리오를 형성하고 있으며, HydroGEN[27]에 `16~`17년 2년동안 가장 많이 투자 됨 (1,130만달러)
  - · 수전해, 탄화수소 공급원료(Hydrocarbon Feedstock), 전기분해, 광 전해, STCH (광 열화학 수소), 바이오 개질 등의 분야에 투자
  - · 신재생에너지, 화석 및 원자력을 포함한 광범위한 수소 생산 방법을 가능하게 하기 위해 기초·응용 연구지원



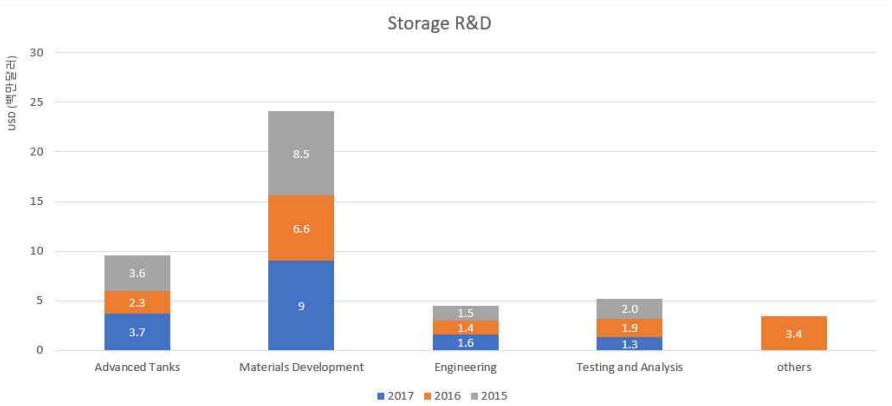
자료: DOE Annual Progress Report

[그림 2-64] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 생산 R&D 분야 투자

27) HydroGen : 첨단 수전해 재료 컨소시엄(advanced water splitting materials consortium)으로 재생가능한 수소생산을 위한 첨단 수전해 기술과 재료 R&D

- (저장) 수소저장 R&D분야는 소재개발 분야에 가장 많이 투자

  · 수소저장 R&D분야에서는 소재개발 분야에 3년동안 총 투자액의 51% 이상인 2,400만 달러가 집중 투자되었으며 뒤를 이어 저장용기(advanced tanks)에 투자

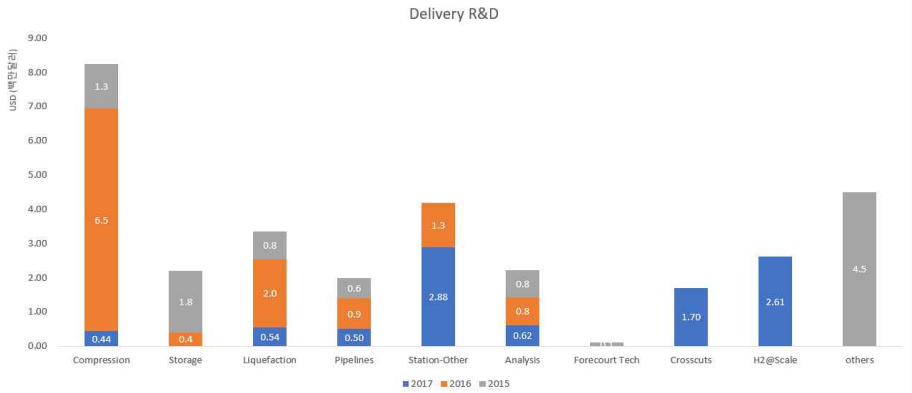


자료: DOE Annual Progress Report

[그림 2-65] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 저장 R&D 분야 투자

- (운송) 수소 운송 R&D분야는 압축 기술개발 분야에 가장 많이 투자 됨

  · 수소 파이프라인에 고강도 강재 사용, 신뢰성 향상을 위한 신개념 압축(전기화학적, 금속 수소화물) 기술개발, 자본비용 절감을 위한 스테이션 압축 및 스토리지 통합등에 중점[28]



자료: DOE Annual Progress Report

[그림 2-66] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 운송 R&D 분야 투자

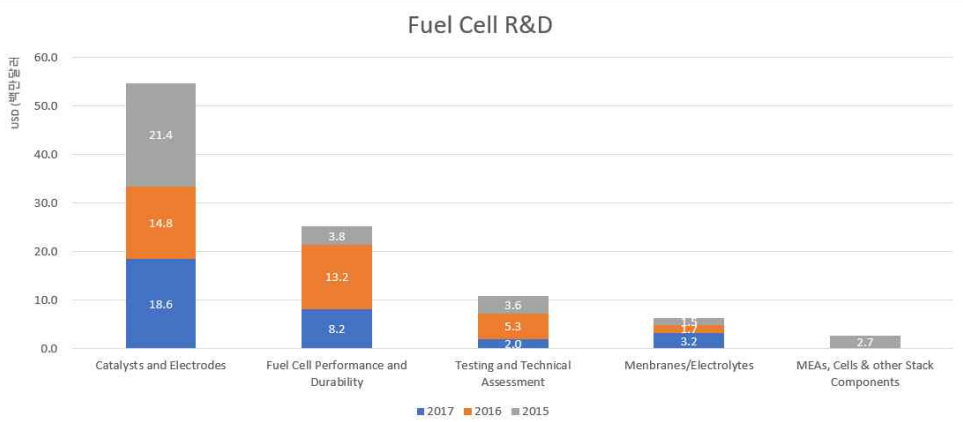
- (연료전지) 연료전지분야는 촉매 및 전극분야에 가장 많은 연구비가 투자

  · 연료전지 R&D는 연료전지 성능 및 내구성, 촉매, 전해질/막, MEA 및 스택

28) GLOBALTECH KOREA 심층분석보고서 (2018) "2018 미국 에너지부 R&D 프로그램(수소연료전지) 현황

구성요소와 핵심재료영역 R&D에 투자하고 있으며 촉매 및 전극분야는 3년간 총 투자액의 51% 이상을 차지

- `17년도 연료전지 R&D는 총 57개의 프로젝트 중 24개의 프로젝트가 촉매 및 전극 부문[29)]



자료: DOE Annual Progress Report

[그림 2-67] '15~'17 미국 DOE Hydrogen & Fuel Cell Program 연료전지 R&D 분야 투자

□ 일본 R&D 투자 동향

○ 일본은 수소 및 연료전지 기술개발사업, SIP 등 사업을 통해 수소기술개발을 지원

- 일본은 '13년부터 '18년까지 6년동안 약 15억 달러를 수소 및 연료전지 기술개발 사업[30)]에 투자 하였으며 '16년에는 전년 대비 2배 증가한 3억 3천만 달러를 투자
- 일본은 '18년 경제산업성(METI)을 통해 약 2억 7천만 달러의 예산을 사용하였으며 이는 에너지 예산의 3.5%에 해당하는 것으로 `13년부터 6년간 경제산업성을 통해 가장 많은 약 11억 달러를 투자
- 수소관련 사업 중 태양광을 이용한 수소생산 기술, 암모니아를 이용한 수소저장 운송기술 등은 총리내각산하의 다부처사업인 SIP(Strategic Innovation Program)프로그램에 선정되어 `14년부터 `18년까지 5년동안 1억 5천만 달러 투자 됨
- P2G(Power to Gas)는 '14년 10만 달러의 투자를 시작으로 `17년 1,200만 달러로 증가하며 경제산업성에서 4년간 총 3,400만 달러가 투자 됨

29) GLOBALTECH KOREA 심층분석보고서 (2018) "2018 미국 에너지부 R&D 프로그램(수소연료전지) 현황

30) 보조금 포함



자료: "Japan's Hydrogen Strategy and Its Economic Geopolitical Implications", IFRI (2018)

[그림 2-68] 일본의 수소 및 연료전지R&D 투자

<표 2-49> NEDO의 수소·연료전지 관련 프로젝트

프로젝트명	주요내용	기간	예산(억엔)
고체 산화물 연료전지 등 실용화추진 기술개발	○ SOFC 에너팜의 본격보급 및 중대용량 시스템의 전개를 위한 기술개발 및 실증연구 - SOFC의 내구성 신속평가방법 관련 기술개발 - SOFC를 이용한 업무용시스템의 실용화기술개발 - SOFC를 이용한 사업용 발전시스템의 요소기술개발	2013 ~ 2019	7
수소이용 기술연구 개발 사업	○ 2020년도 연료전지자동차와 수소공급 인프라의 본격 보급을 위해, 국내규제 적정화·국제기준 조화·국제표준화에 관한 연구개발, 이동체 및 수소스테이션의 저비용기기, 부품 등 연구개발을 수행하여 비용절감, FCV 보급, 국제경쟁력 확보 - FCV 및 수소공급인프라의 국제규제 적정화, 국제 기준조화 등에 관한 연구개발 - FCV 및 수소스테이션용 저비용기기, 시스템에 관한 연구개발 - 수소스테이션 안전기준 정비관련 연구개발 - CO2-free 수소 및 국제기관 등 관련 정책, 시장, 연구개발동향 조사	2013 ~ 2018	41 (2017년 예산)
수소이용 등 선도 연구 개발사업	○ 2040년 장기관점에서, 수소 등을 탄소 없는 새로운 에너지원으로 확립시킬 목적으로, 재생가능에너지원의 고효율저비용 수소제조기술, 수소 장거리이동기술, 장시간저장을 용이하게 하는 에너지 이동기술 및 대규모 수소이용기술의 연구개발 - 수전해 수소제조기술고도화를 위한 고도기술연구개발 - 대규모 수소이용기술의 연구개발 - 초고효율 발전시스템기반기술 연구개발 - 에너지 캐리어시스템 조사·연구	2014 ~ 2022	9
수소사회 구축 기술개발 사업	○ 수소발전분야의 활용이 확대되어, 2030년경 세계를 선도하는 수소 공급망을 구축하고, 에너지공급시스템의 유연성을 확립하여, 에너지 안보 확립에 공헌하는 기술개발 - 수소에너지 시스템(수소의 제조, 수송·저장, 이용기술) 기술개발 - 대규모 수소에너지 이용기술 개발 - 미활용에너지의 수소 공급망 구축 : 국내외 수소의 제조, 수송·저장, 이용기술까지 공급체계 구축 관련 기술개발 - 수소연료 가스터빈을 활용한 발전시스템 등 에너지 이용시스템 개발 - 수소에너지 관련 주요국 정책, 기술개발동향 등 조사	2014 ~ 2020	89.3

프로젝트명	주요내용	기간	예산(억엔)
고체 고분자형 연료전지 이용고도화 기술개발	○ PEFC의 사회실장을 위해 고효율, 고내구성, 저비용의 연료전지 시스템 실현을 위한 기술개발 및 대량생산을 위한 실용화기술개발을 통해 대량보급 - 보급확대화 기반기술개발 - 프로세스실용화 기술개발	2015 ~ 2019	22
초고압 수소인프라 본격 보급 기술연구 개발사업	○ 연료전지자동차의 빠른 보급을 위해 수소스테이션 관련 초고압수소기술, 규제완화 추진, 수소스테이션 정비 및 운영비 저감에 관한 기술개발, 국제기준완화 및 표준화 등에 관한 기술개발 - 국내규제적정화에 관한 기술개발 - 수소스테이션 비용저감 관련 기술개발 - 국제전개, 국제표준화 등 관련 연구개발	2018 ~ 2022	24
환경조화형 프로세스 기술개발	○ 제철과정에서 발생하는 CO2를 감소하고, 폐열, 부생 가스이용에 의한 에너지절약(성(省)에너지)을 위한 제철프로세스 기술개발 - 수소환원 등 프로세스 기술개발(phase 2, 진행 2018년 이후) - 수소환원 요소기술개발에 이어 실증실험(기미쓰제철소, '08~'17 - 페로 코크스 활용 프로세스 기술개발('17~)	2017 ~ 2022	30

자료: NEDO, KIAT(2019) 재인용
주: 2018년 기준

<표 2-50> 일본의 수소 및 연료전지 R&D 투자

Public Body	Budget type	Sector	Project description	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
METI	R&D	Power to Gas	Power to Gas, including Renewables to Gas	-	0.1	14	8	12	-	34
METI	R&D	Supply Chain	Development of supply chains for hydrogen production, import and application	18	44	107	25	42	85	321
Cabinet	R&D	Supply Chain	Technology development for H2 production from solar power; transportation and application of ammonia; organic hydride; liquid hydrogen	-	30	30	32	33	26	150
METI	R&D	Fuel Cells	R&D on durability and cost reduction of "next generation fuel cells"	40	-	-	33	28	26	127
METI	Subsidy/ R&D	Enefarm	Subsidies for residential enefarm; and since 2017, R&D budget and subsidy for commercial and industrial CHP	156	153	135	86	84	80	385
METI	R&D	Fueling Stations	Fueling stations R&D, e.g. automation, safety	-	29	37	-	-	22	88
METI/ MoE	Subsidy	Fueling Stations	Fueling station construction and operation	41	65	123	114	90	106	539
METI	Subsidy	Mobility	FCV subsidies as part of clean vehicle program (BEVs, hybrids included)	-	-	-	123	111	117	351
METI	R&D	Power generation	Improvement of thermal power generation, including Integrated Gasification Fuel cell Cycle (IGFC)	63	56	-	108	119	129	475
Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)				106	149	107	237	241	272	1,112
Ministry of Environment (MoE)				-	-	24	59	49	63	195
Prime Minister's Cabinet				-	30	30	32	33	26	150
Total				106	178	161	327	324	361	1,458

자료: "Japan's Hydrogen Strategy and Its Economic Geopolitical Implications", IFRI (2018)

❍ `18년 일본정부의 수소전략관련 사업 중 가장 많은 투자가 이루어진 사업은 청정 에너지자동차 도입 사업비 보조금 (130억엔)이었으며, 연구개발 사업으로는 미이용 에너지를 활용 수소공급망 구축 실증사업 (89.3억엔)임

- 일본 정부는 수소전략 이행을 위한 사업을 1개년 사업과 중기 사업기간으로 구분하여 추진
- 정부의 수소사회 실현을 위한 사업은 연료전지 자동차의 보급 확대, 연료전지 및 수소공급 인프라 등 연구개발, 수소 공급망 구축, 수소 제조 수송 저장 기술 개발 등의 목표하에 사업 영역별로 예산 투입[31)]
- 세부 연구개발 사업에는 초고압 수소충전기술 활용, 저비용 수소 공급인프라 구축 연구 개발 사업(‘18~`22), 수소에너지 제조 저장 이용 관련 선진 기술 개발 사업(`14~`22), 미이용에너지를 활용 수소 공급망 구축 실증사업(`15~`22) 등

31) 세계에너지시장 인사이트 제18-45호 (2018)

<표 2-51> 일본의 수소전략 이행 재정투입

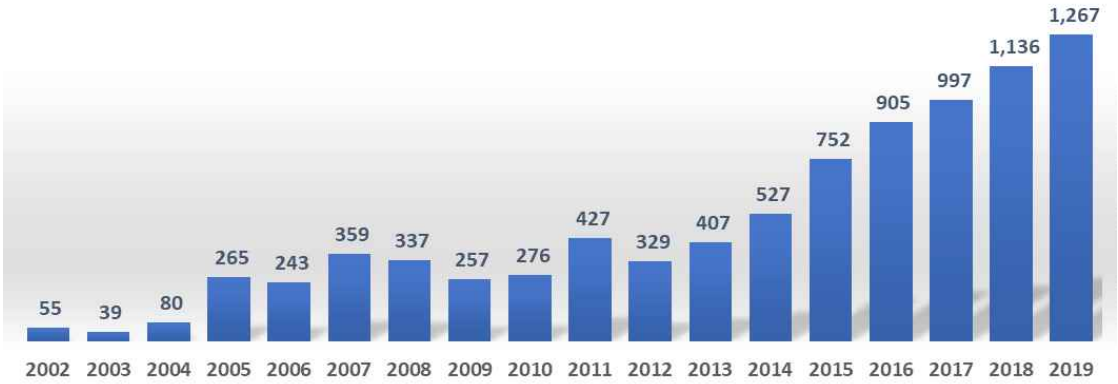
재정지원 사업명	예산(억엔)		사업목적
	2018	2019	
연구개발 및 미활용 에너지 수소화 지원			
초고압 수소충전기술 활용, 저비용 수소 공급 인프라 구축 연구개발사업 (2018~2022)	24.0	29.9	- 수소를 안전하고 저렴하게 제조 저장 수송하기 위한 초고압 수소기술 등의 연구 개발 지원 - 규제 개정 추진 및 수소 충전소 정비 운영비 절감을 도모 - 민간기업 등의 초고압 충전기술 개발 비용 1/2수준의 보조금을 지급 - 원격 감시등을 통한 무인 수소충전소 실현을 위한 기술개발 및 기술의 안전성 실증 지원 - 현재 사용되는 호스의 내구성 향상 관련 연구 개발 - 수소의 전기화학적 압축을 위한 PEM 펌프의 고압화 대용량화 관련 연구 개발 지원 - 수소충전소 관련 기술의 ISO등 표준화 추진 등의 사업 지원
수소에너지 제조 저장 이용 관련 선진 기술 개발 사업 (2014~2022)	9.0	14.0	- 메탄의 열분해 등 저비용으로 대량의 수소 제조를 실현하는 수소 제조기술에 관한 실현 가능성 조사 - 재생에너지 전원이용 수소제조공정(전기분해) 고도화 기술개발 연구 지원
미이용에너지를 활용 수소공급망 구축 실증사업 (2015~2022)	89.3	207.4	- 갈탄 및 부생수소 등 해외 미이용 에너지 활용 국제 수소 공급망 구축 실증사업 지원 - 수소발전 등 관련 기술 실증 사업 전력망 계통 안정화, 재생에너지 활용 P2G기술 실증 지원 - 향후 수소 공급 비용을 현행의 100엔/N㎥에서 2030년까지 30엔/N㎥ 까지 감축 추진
연료전지 및 충전소 확충			
청정에너지 자동차 도입 사업비 보조금	130.0	140.0	- 에너지효율 개선 및 CO2 배출량 감축에 기여하는 청정에너지 자동차 도입 지원
연료전지 이용 확대를 위한 에네팜등 도입 지원사업비 보조금	76.5	58.2	- 에너지 고효율 및 CO2 감축에 기여하는 에네팜(가정용 연료전지)이 2020년부터 보조금 지원 없이도 보급될 수 있도록 지원 - 2017년부터 시장에 투입된 고효율 사업 산업용 연료전지의 보급 확대를 위한 지원
차세대 연료전지의 실용화(저비용화 내구성 향상 등)를 위한 연구개발 사업비	29.0	40.0	- 고효율 및 내구성 저비용의 차세대형 연료전지 시스템 실현을 위한 촉매 전해질 등 관련 기반 기술 개발 및 실용화 기술 개발 지원 - 고발전 효율(65%이상) 연료전지 기술개발 지원
연료전지 자동차 보급 촉진을 위한 수소충전소 정비 사업비 보조금	56.0	100.0	- 연료전지자동차의 보급 확대를 위한 지자체 수소충전소 정비사업 보조 - 신규 사업자의 수소공급 사업 촉진을 도모하기 위해 수소충전소 확충 활동 지원 - 2020년까지 수소충전소를 160곳까지 , 2025년에 320곳까지 확대 목표
신에너지 등 보안규제 고도화 사업 위탁비 지원	6.0	6.4	- 수소충전소의 원격감시 및 신기술 도입 등과 관련된 기술의 기준 검토 등 - 수소충전소 및 연료전지 자동차 수소배관공급시스템 보급에 필요한 규제 완화 및 안전성 관련 기술기준 재고 등을 위한 조사 지원

자료: 세계에너지시장 인사이트 제18-45호 (2018)

2.5.2 국내 R&D투자 동향

○ ‘02년부터 ’19년까지 수소기술분야 정부 연구비는 총 8,657억 원이며 ‘10년 이후, 꾸준히 증가하는 추세

- ’00년 이후, 수소기술관련 정부 연구비 투자를 조사한 결과, ‘02년부터 수소기술에 대한 투자가 진행된 것으로 파악됨
- 수소기술관련 연구비는 ‘05년부터 ’13년까지 400억 원 내외로 투자되었으며 ‘15년부터 빠르게 증가하여 ’18년, ‘19년은 연간 1,000억 원을 넘는 연구비가 투자되었음
- ’02년부터 ’19년까지 투입된 수소기술관련 정부 연구비는 총 8,657억 원임

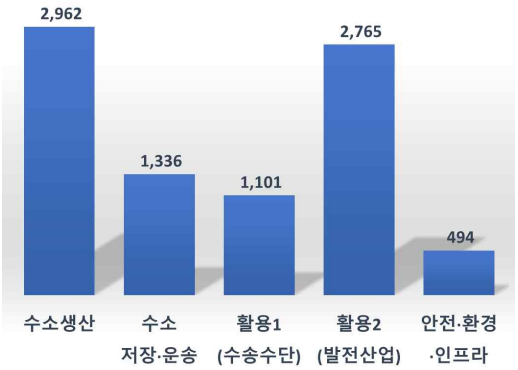


단위: 억원

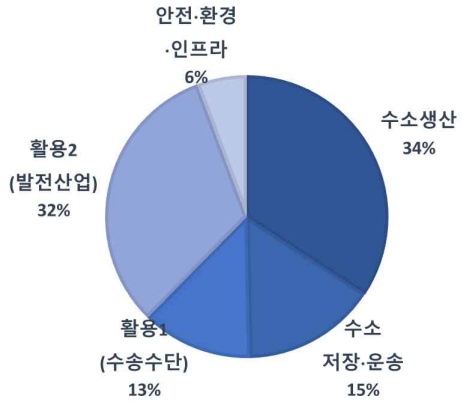
[그림 2-69] ’02~’19 수소기술 정부 R&D투자액

○ 수소기술관련 정부 연구비를 기술분야별로 구분할 경우, 수소활용(수송/발전)분야 비중이 가장 크며, 안전·환경·인프라분야에 투자된 비중이 가장 작음

- 정부 R&D투자액에서 수소활용(발전)기술, 수소활용(수송)기술분야에 투입된 비중은 각각 32%와 13%임
- 수소생산기술분야에 투입된 비율은 34%로 활용분야 다음으로 많은 연구비가 투자됨
- 수소저장·운송기술, 안전·환경·인프라기술분야에 투입된 비중은 각각 15%, 6%로 수소기술에 대한 정부 R&D투자 중, 안전·환경·인프라기술분야에 대한 투입이 가장 적음



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



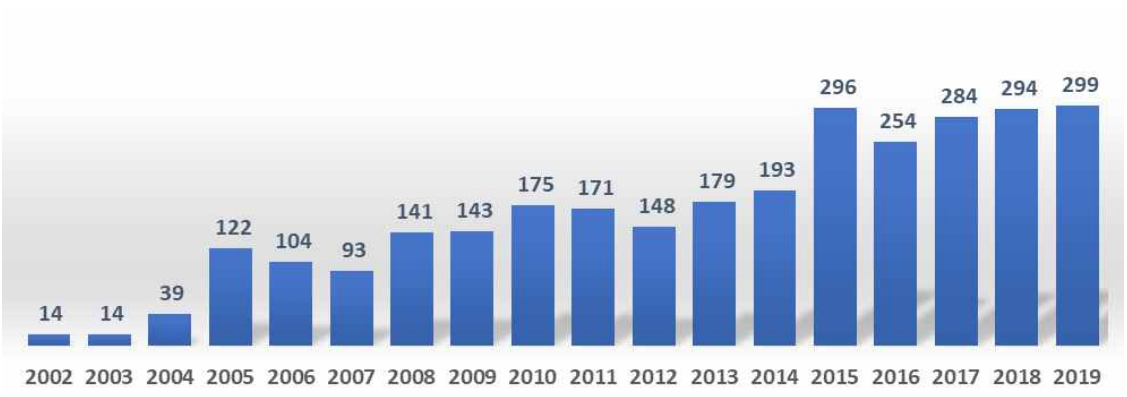
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-70] '02~'19 수소기술분야별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 수소생산기술분야

○ '02년부터 '19년까지 수소생산기술에 투자된 정부 연구비는 총 2,962억 원이며, 15년 이후 매년 약 300억 원의 연구비가 투자되고 있음

- 수소생산기술분야 R&D투자는 '14까지 점진적으로 증가 한 후, '19년까지 약 300억원 수준에서 지속되고 있음
- '02년부터 '19년까지 수소생산기술분야의 R&D 투자액은 총 2,962억 원임

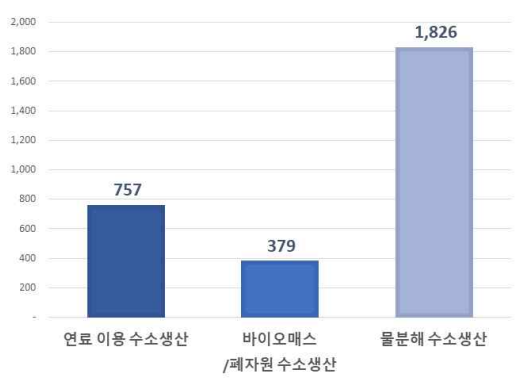


단위: 억원

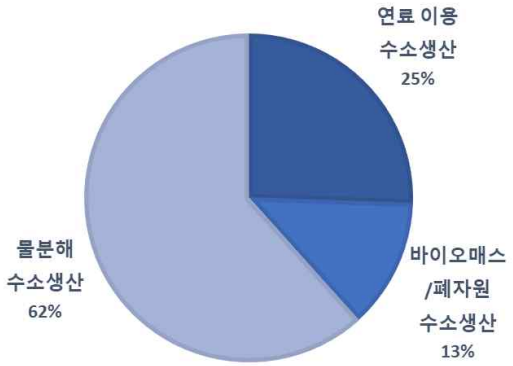
[그림 2-71] '02~'19 수소 생산기술 정부 R&D투자액

○ 수소생산기술분야 정부 연구비를 하위 기술분류에 따라 구분할 경우, 물분해 수소생산, 연료이용 수소생산, 바이오매스/폐자원이용 수소생산기술 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 특히 물분해 수소생산기술에 투자된 연구비는 전체 연구비의 절반이상을 차지

- 물분해 수소생산기술분야는 1,826억 원의 정부 연구비가 투자되었으며, 수소생산기술분야 정부 연구비에서 물분해 수소생산기술분야에 대한 연구비가 차지하는 비중은 62%임
- 연료이용 수소생산기술분야에는 757억 원의 정부 연구비가 투자되었으며 수소생산기술분야 정부 연구비 중, 연료이용 수소생산기술분야 연구비가 차지하는 비중은 25%임
- 바이오매스/폐자원이용 수소생산기술분야에는 수소생산기술 중, 가장 적은 379억 원의 연구비가 투자되었으며 수소생산기술에 대한 연구비 중 바이오매스/폐자원 수소생산기술분야 연구비가 차지하는 비중은 13%임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

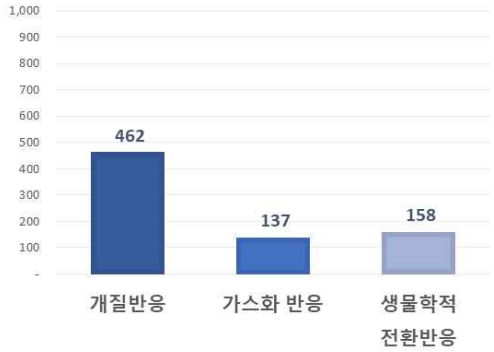


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

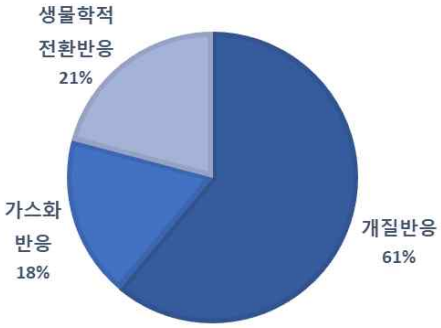
[그림 2-72] '02~'19 수소생산 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 연료이용 수소생산기술분야 정부 연구비를 하위 기술분류에 따라 구분할 경우, 개질반응, 생물학적 전환반응, 가스환반응 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 개질반응기술에 투자된 연구비는 전체 연구비의 절반이상을 차지

- 개질반응기술에 투자된 정부 연구비는 462억 원으로 연료이용 수소생산기술에 대한 정부연구비 중, 개질반응에 대한 정부 연구비가 차지하는 비중은 61%임
- 가스화반응기술, 생물학적 전환반응기술에 투자된 정부연구비는 각각 137억 원, 158억 원으로 개질반응기술에 투자된 연구비의 약 1/3 수준



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

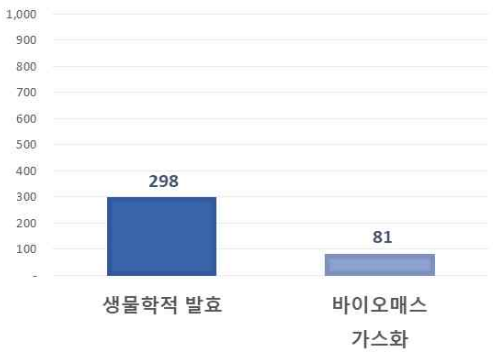


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-73] '02~'19 연료이용 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 폐자원/바이오매스 이용 수소생산기술분야 정부 연구비를 하위 기술분류에 따라 구분할 경우, 생물학적 발표기술분야 정부 연구비가 대부분을 차지하는 것으로 나타남

- 생물학적 발효 기술에 투자된 정부 연구비는 298억원으로 전체 바이오매스/폐자원 이용 수소생산기술에 투자된 정부연구비의 79%임
- 바이오매스 가스화 기술에 투자된 정부연구비는 81억 원으로 생물학적 발효 기술에 투자된 연구비의 1/4 수준임
- 조사기간 내 가연성 폐자원 가스화를 이용한 수소생산기술에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

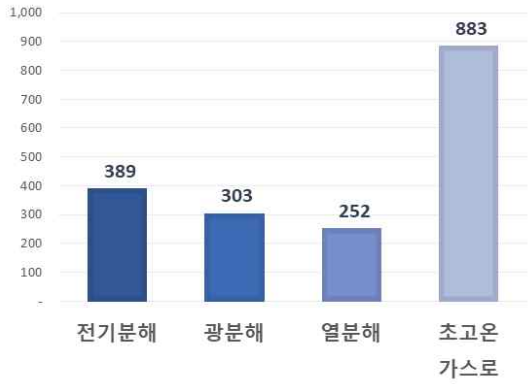


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

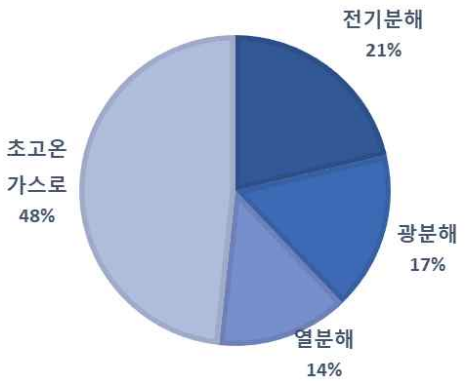
[그림 2-74] '02~'19 폐자원/바이오매스 가스화 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 물분해 수소생산기술분야 정부 연구비를 하위 기술분류에 따라 구분할 경우, 초고온가스로, 전기분해, 광분해, 열분해 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 초고온가스로 기술에 대한 투자가 타 물분해 기술에 대한 투자와 비슷한 수준인 것으로 나타남

- 초고온 가스로를 이용한 수소생산기술에 투자된 정부 연구비는 883억 원으로 물분해 수소생산기술 중, 가장 많은 정부 연구비가 투자되었으며, 전체 물분해 수소생산기술에 투자된 정부 연구비에서 초고온가스로를 이용한 수소생산기술에 투자된 정부 연구비가 차지하는 비중은 48%임
- 초고온 가스로를 이용한 수소생산기술에 이어 전기분해, 광분해, 열분해 수소생산기술 순으로 많은 정부연구비가 투자됨
  - 전기분해 수소생산기술에 투자된 정부연구비는 389억 원으로 전체 물분해 수소생산기술에 대한 정부 연구비 투자 중, 21%의 비중을 차지
  - 광분해 수소생산기술에 투자된 정부 연구비는 303억 원으로 전체 물분해 수소생산기술에 대한 정부 연구비 투자 중, 17%의 비중을 차지
  - 열분해 수소생산기술에 투자된 정부 연구비는 252억 원으로 전체 물분해 수소생산기술에 대한 정부 연구비 투자 중 14%의 비중을 차지



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



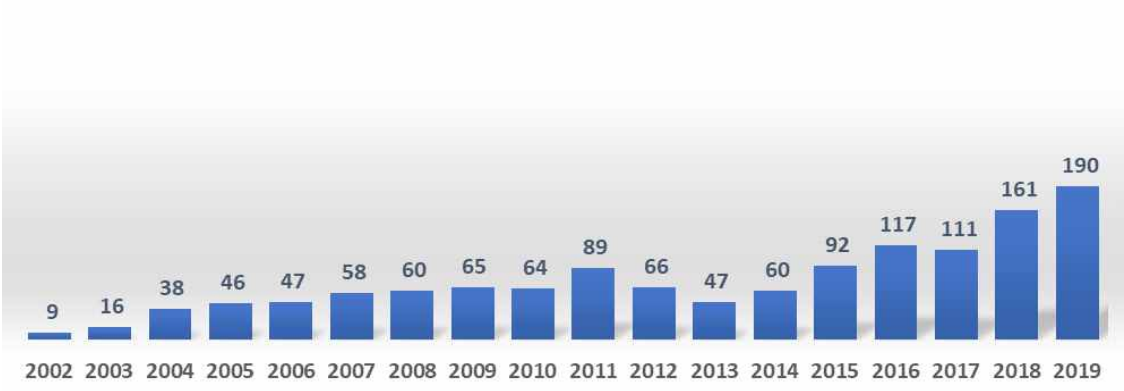
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-75] '02~'19 물분해 수소생산 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 수소 저장·운송기술분야

○ '02년부터 '19년까지 수소 저장·운송기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 총 1,826억 원으로 수소 저장·운송에 대한 정부 연구비 투자는 최근 증가 추세에 있는 것으로 나타남

- 수소 저장·운송기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 '02년 9억 원에서 '11년 89억 원까지 증가
- 수소 저장·운송기술에 대한 투자는 '13년 47억원으로 감소했으나 이후 빠르게 연구비가 증가하여 '19년, 190억원 수준에 도달
- '02년부터 '19년까지 투자된 수소 저장·운송기술분야에 대한 정부 연구비는 총 1,826억 원임

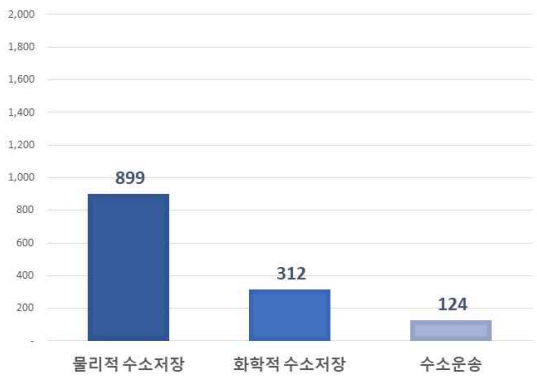


단위: 억원

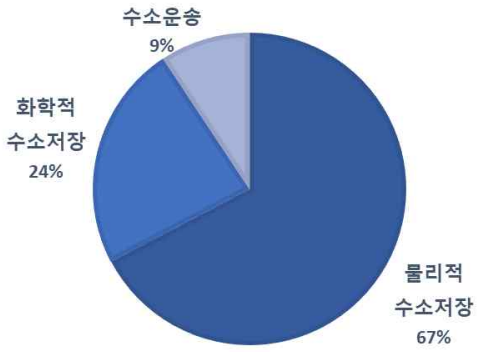
[그림 2-76] '02~'19 수소저장·운송기술 정부 R&D투자액

❍ 수소 저장·운송기술분야 하위 기술 중, 가장 많은 연구비가 투자된 기술분야는 물리적 수소저장기술분야이며, 전체 수소 저장·운송기술분야 연구비의 67%를 차지

- 수소 저장·운송기술분야 정부 연구비 투자 중, 가장 큰 비중을 차지하는 기술분야는 물리적 수소저장기술분야임
  - · 물리적 수소저장기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 899억 원으로 수소 저장·운송기술분야 정부 연구비 중 67%를 차지
  - · 화학적 수소저장, 수소운송기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 312억 원, 124억 원으로 수소 저장·운송기술분야 정부 연구비에서 차지하는 비중은 각각 24%, 9%임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

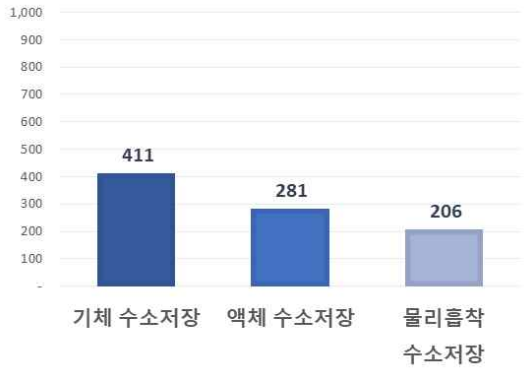


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

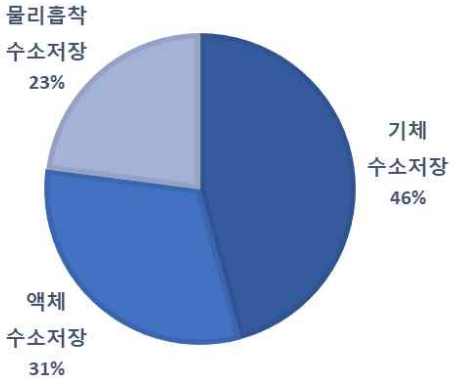
[그림 2-77] '02~'19 수소저장·운송 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 물리적 수소저장기술분야의 경우, 기체 수소저장, 액체 수소저장, 물리흡착 수소저장기술 순으로 많은 연구비가 투자됨

- 기체 수소저장기술분야에 투자된 정부 연구비는 411억 원으로 물리적 수소 저장기술분야에 투자된 정부 연구비에서 차지하는 비중은 46%임
- 액체 수소저장, 물리흡착기술분야에 투자된 정부 연구비는 281억 원, 206억 원으로 물리적 수소 저장기술분야에 투자된 정부 연구비에서 차지하는 비중은 각각 31%, 23%임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

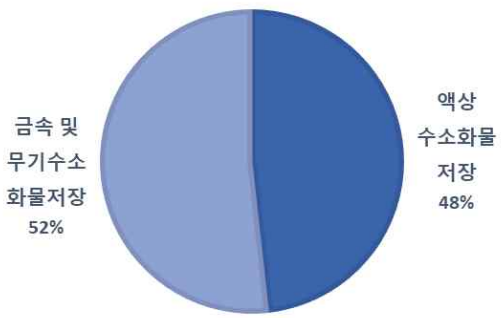
[그림 2-78] '02~'19 물리적 저장 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 화학적 수소저장기술의 경우, 하위 기술분류인 금속 및 무기수소화물 저장, 액상 수소화물 저장기술에 투자된 정부 연구비가 151 ~ 162억 원으로 유사한 수준

- 금속 및 무기수소화물 저장, 액상 수소화물 저장기술에 투자된 정부연구비는 162억 원, 151억 원이며 전체 정부 연구비에서 차지하는 비중 또한 52%, 48%로 비슷한 수준



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

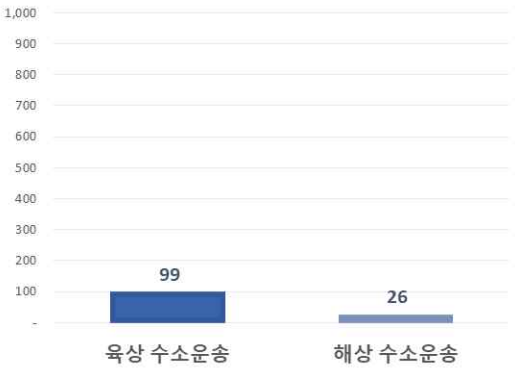


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

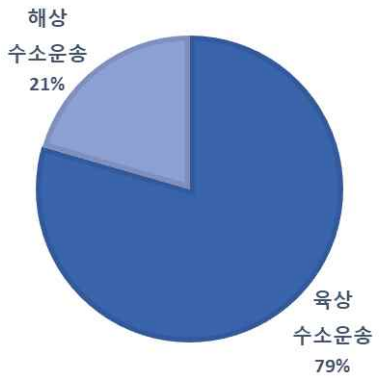
[그림 2-79] '02~'19 화학적 저장 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 수소운송기술분야의 경우, 육상수소운송기술에 대부분의 정부 연구비가 투자됨

- 육상 수소운송, 해상 수소운송 기술에 대한 정부 연구비 투자는 각각 99억 원, 26억 원으로 육상 수소운송기술분야에 대한 정부 연구비 투자가 해상 수소운송 기술에 대한 정부 연구비 투자의 약 4배 수준임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

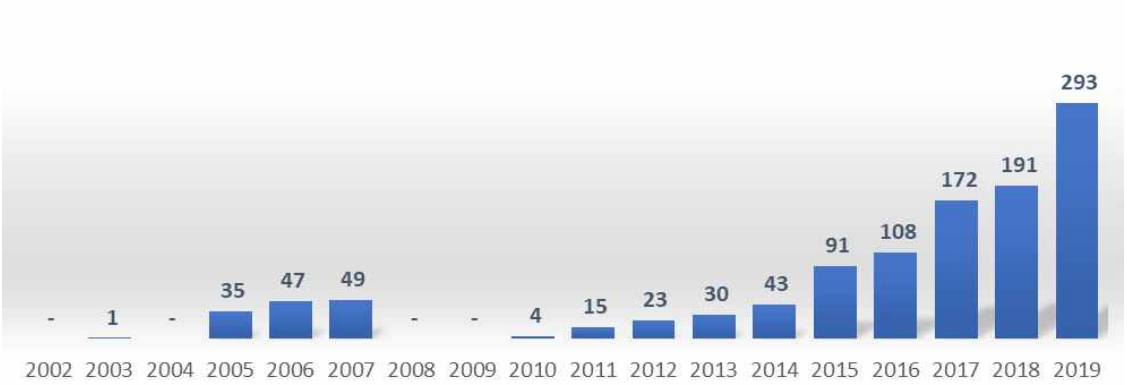
[그림 2-80] '02~'19 수소운송 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 수소활용(수송)기술분야

○ '02년부터 '19년까지 수소활용(수송)기술분야에 투자된 정부 연구비는 1,101억 원으로 '10년 이후 빠르게 증가하는 추세

- 수소 활용(수송) 기술분야에 대한 정부연구비 투자는 '10년 이후, 빠르게 증가하여 '19년 293억 원까지 증가

- 수소 활용(수송) 기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 총 1,101억 원임

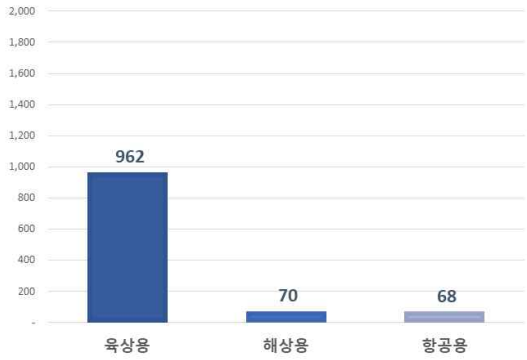


단위: 억원

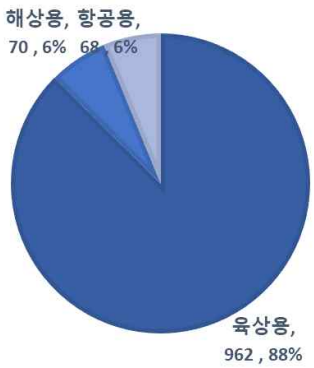
[그림 2-81] '02~'19 수소 활용(수송)기술 정부 R&D투자액

❍ 수소활용(수송)기술분야의 경우, 육상용 이동수단에 정부 연구비 투자가 집중됨

- 육상용 수송수단에 투자된 정부 연구비는 962억 원으로 수소활용(수송)기술분야에 대한 정부 연구비 투자 중, 88%를 차지
- 해상용, 항공용 수송수단에 투자된 정부 연구비는 70억 원, 68억 원으로 각 기술에 투자된 정부 연구비는 전체 수소활용(수송)기술분야에 대한 정부 연구비 투자의 6%임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

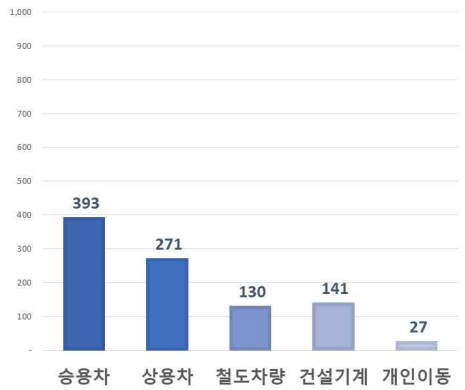


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

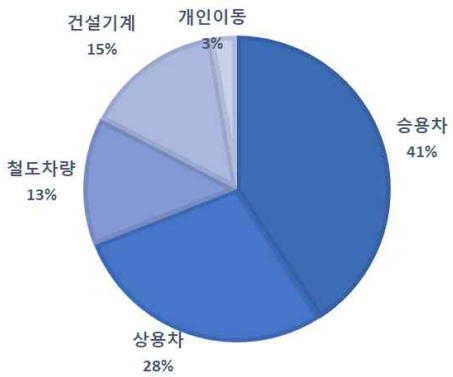
[그림 2-82] '02~'19 수소활용(수송) 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 육상용 이동수단의 경우, 승용차 및 상용차 등 수소자동차분야에 집중

- 승용차 및 상용차 등 수소자동차분야에 투자된 정부연구비는 총 664억 원으로 전체 육상용 수송수단에 투자된 정부 연구비의 69%를 차지
- 철도차량, 건설기계, 개인이동 수단에 투자된 정부연구비는 130억 원, 141억 원, 27억 원으로 각 기술에 대한 정부 연구비 투자가 전체 육상용 이동수단에 투자된 정부 연구비에서 차지하는 비중은 13%, 15%, 3%임



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

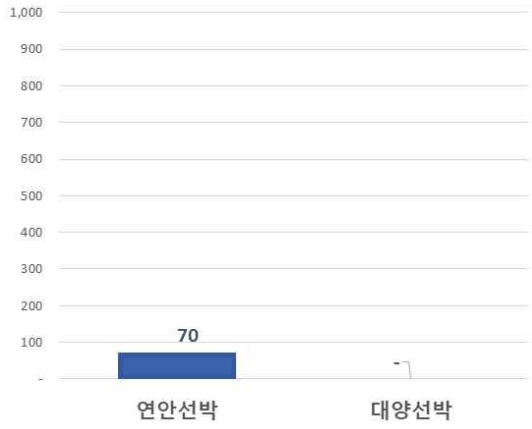


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

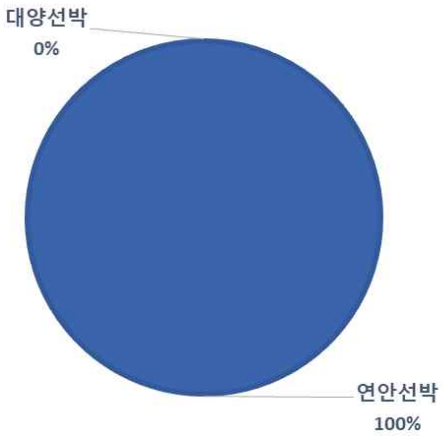
[그림 2-83] '02~'19 육상용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 해상용 수송수단에 대한 정부 연구비 투자는 연안선박에 한정

- 연안선박에 투자된 정부 연구비는 70억 원임
- 조사기간 내 대양선박에 대해 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

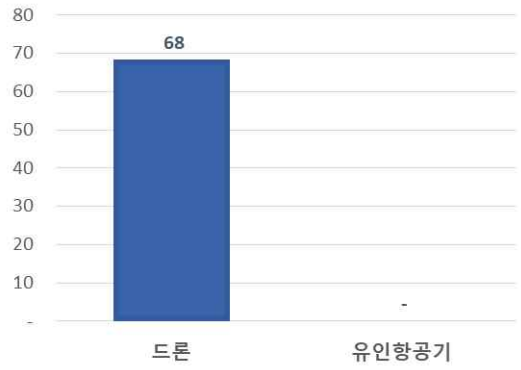


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

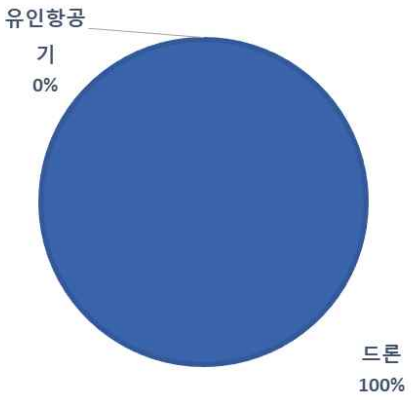
[그림 2-84] '02~'19 해상용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 항공용 수송수단에 대한 정부 연구비 투자는 드론에 한정

- 드론에 투자된 정부 연구비는 68억 원임
- 조사기간 내 유인항공기에 대해 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



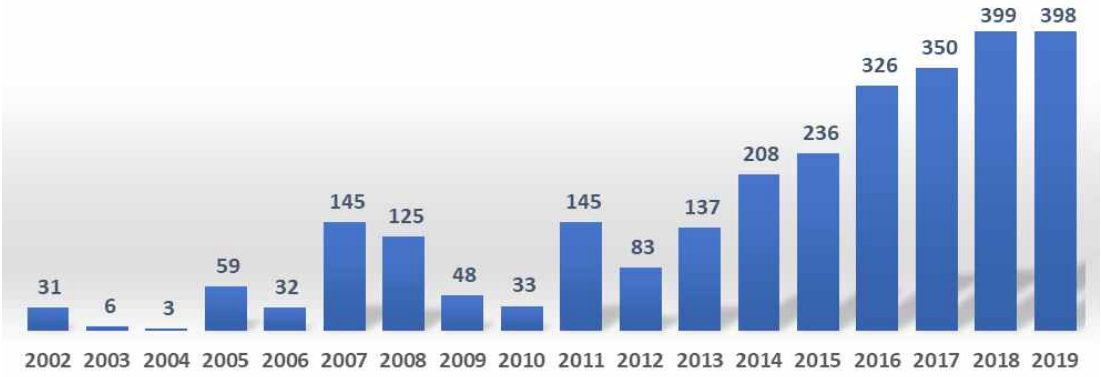
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-85] '02~'19 항공용 수송수단 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 수소활용(발전)기술분야

○ ’02년~‘19년까지 수소활용(발전)기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 총 2,765억 원이며, ’12년 이후 정부 연구비 투자가 빠르게 증가하여 ‘18년 이후, 연 400억 수준의 정부연구비가 기술개발에 투입되고 있음

- 수소활용(발전) 기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 ’07년 145억 원으로 증가한 이후, ‘10년 33억 원까지 감소
- ’11년부터 수소활용(발전)기술분야에 대한 정부 연구비 투자가 빠르게 증가했으며, ’18년, ’19년의 경우, 연간 약 400억 원의 정부연구비가 투자됨
- ’02년부터 ’19년까지 수소활용(발전)기술분야에 투자된 정부 연구비는 총 2,765억 원임

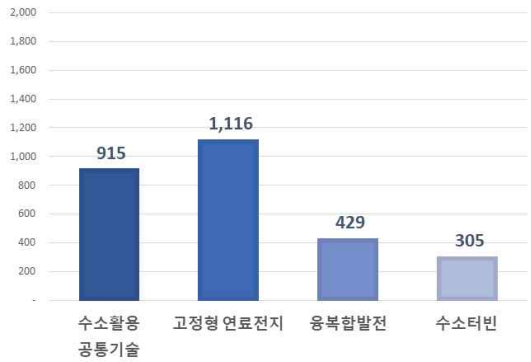


단위: 억원

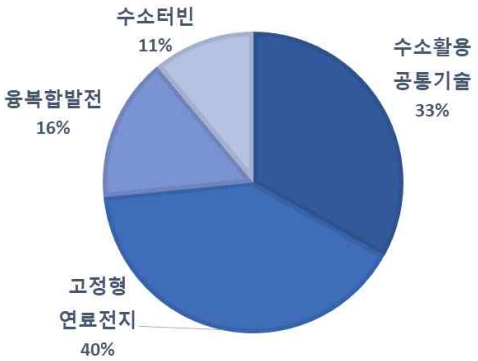
[그림 2-86] ’02~’19 수소활용(발전) 중분류 기술별 정부 R&D투자액/비중

○ 수소활용(발전)기술에 대한 정부 연구비 투자를 하위 기술분야로 구분할 경우, 고정형 연료전지, 수소활용 공통기술, 융복합발전, 수소터빈 순으로 많은 연구비가 투입된 것으로 나타남

- 고정형 연료전지기술에 투자된 정부 연구비는 1,116억 원으로 수소활용(발전)기술분야에 투자된 정부 연구비의 40%를 차지
- 수소활용 공통기술에 투자된 정부 연구비는 915억 원으로 수소활용(발전)기술분야에 투자된 정부 연구비의 33%를 차지
- 융복합발전, 수소터빈 기술에 투자된 정부 연구비는 429억 원, 305억 원으로 각 기술별로 투자된 정부 연구비는 전체 수소활용(발전)기술분야에 투자된 정부 연구비의 16%, 11%에 해당



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

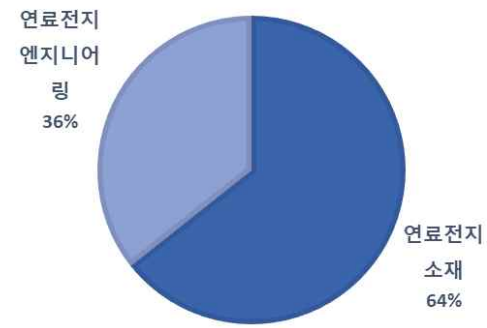
[그림 2-87] '02~'19 수소활용(발전) 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 수소활용공통기술의 경우, 연료전지 소재, 연료전지 엔지니어링 기술 순으로 많은 연구비가 투입된 것으로 나타남

- 연료전지 소재, 연료전지 엔지니어링 기술에 투자된 정부 연구비는 589억 원, 326억 원으로 각 기술별 정부 연구비 투자는 수소활용 공통기술 전체 정부 연구비 투자의 64%, 36%를 차지



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



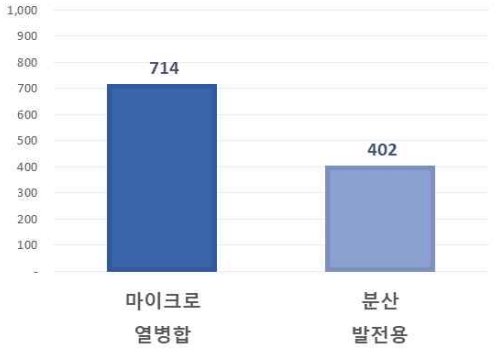
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

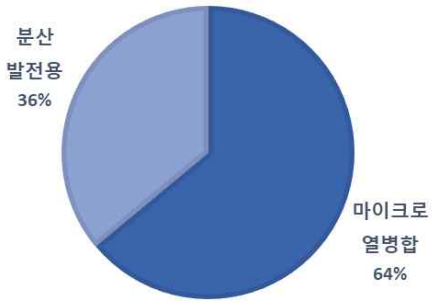
[그림 2-88] '02~'19 연료전지 공통기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 고정형 연료전지 기술의 경우, 마이크로 열병합, 분산발전용 연료전지 기술 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 대규모 발전용 연료전지에 대한 정부 연구비 투자는 없는 것으로 나타남

- 마이크로 열병합용 연료전지와 분산발전형 연료전지에 투자된 정부 연구비는 각각 714억 원, 402억 원으로 전체 고정형 연료전지 정부 연구비 투자 중, 64%, 36%를 차지

- 조사기간 내 대규모 발전용 연료전지에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



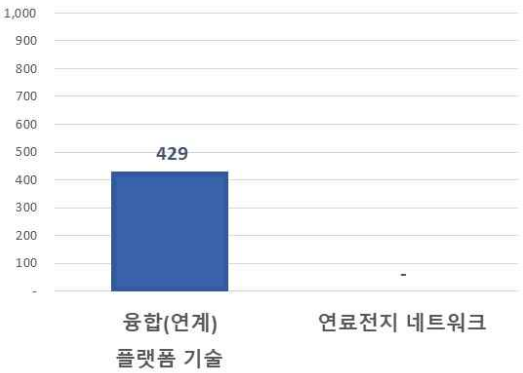


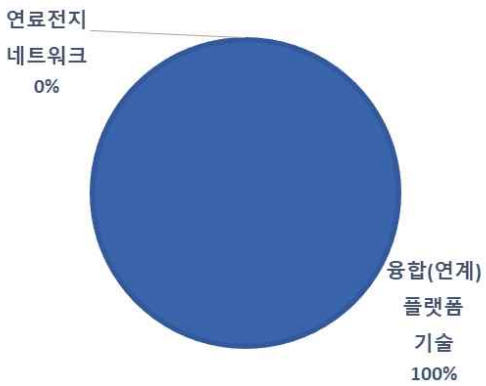
<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)> <기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-89] '02~'19 고정형 연료전지 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 융복합 발전기술분야의 경우, 융합(연계)플랫폼 기술에 한정해 정부 연구비가 투자되고 있는 것으로 나타남

- 융·복합 발전 기술 중, 융합(연계) 플랫폼 기술에 429억 원의 정부 연구비가 투자됨



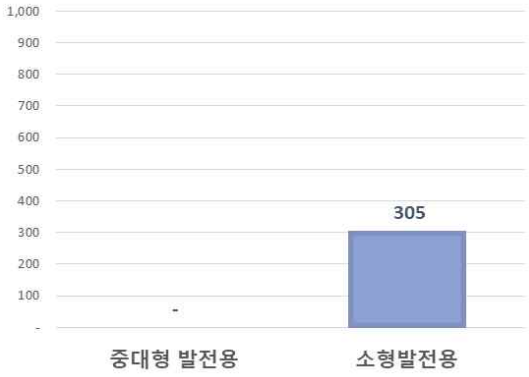


<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)> <기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

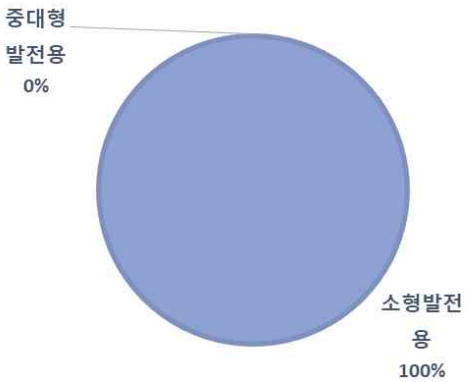
[그림 2-90] '02~'19 융복합 발전 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 수소터빈기술분야의 경우, 소형발전용 터빈기술에 한정해 정부 연구비가 투자되고 있는 것으로 나타남

- 수소 터빈 기술 중, 소형 발전용 수소 터빈 기술에만 305억 원의 정부 연구비가 투자됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



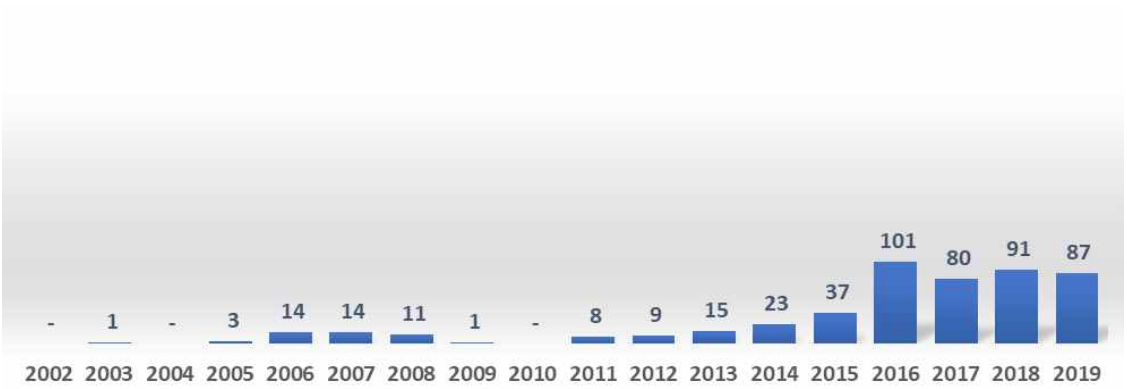
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-91] '02~'19 수소터빈 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 수소안전·환경·인프라기술분야

○ '02~'19년까지 수소안전·환경·인프라기술분야에 대한 정부 연구비 투자는 총 494억원이며, 대부분 연구비는 최근 4년내 투자된 연구비임

- 수소안전·환경·인프라기술에 대한 정부 연구비 투자는 '12년까지 10억 원 내외 수준을 유지
- 수소안전·환경·인프라기술에 대한 정부 연구비 투자는 '13년 15억원에서 '16년 101억으로 증가했으나 이후 감소하여 '19년까지 90억 내외의 정부 연구비가 투자되었음
- '02년부터 '19년까지 수소안전·환경·인프라기술분야에 투자된 정부 연구비는 총 494억 원임

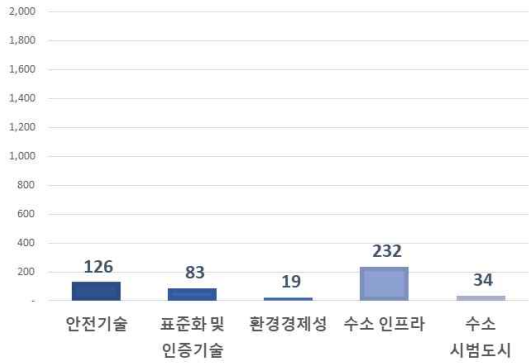


단위: 억원

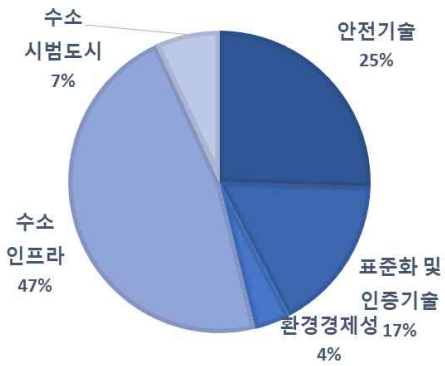
[그림 2-92] '02~'19 수소 안전·환경·인프라 기술 정부 R&D투자액

❍ 수소안전·환경·인프라기술분야 정부 연구비를 하위 기술분류로 구분할 경우, 수소인프라, 안전, 표준화 및 인증, 시범도시, 환경경제성평가 순으로 많은 연구비가 투자된 것으로 나타남

- 수소인프라기술에 투자된 정부 연구비는 232억 원으로 전체 수소안전·환경·인프라기술분야에 투자된 정부 연구비의 47%를 차지
- 안전기술에 투자된 정부 연구비는 126억 원으로 전체 수소안전·환경·인프라기술분야에 투자된 정부 연구비의 25%를 차지
- 표준화 및 인증기술에 투자된 정부 연구비는 83억 원으로 전체 수소안전·환경·인프라기술분야에 투자된 정부 연구비의 17%를 차지
- 수소시범도시, 환경경제성기술에 투자된 정부 연구비는 각각 34억 원, 19억 원으로 전체 수소안전·환경·인프라기술분야에 투자된 정부 연구비의 7%, 4%에 해당



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-93] '02~'19 수소 안전·환경·인프라 중분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

- 안전기술분야의 경우, 시설 및 설치 안전, 사고예방기술, 소재부품 및 시스템안전기술분야 순으로 많은 정부 연구비가 투자되었으며 품질 및 측정기술에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 나타남
- 소재부품 및 시스템 안전, 시설 및 설치 안전, 사고예방기술에 대한 정부 연구비 투자는 각각 26억 원, 56억 원, 44억 원으로 각 기술별 연구비는 안전기술에 대한 정부 연구비의 20%, 45%, 35%를 차지
- 조사기간내 품질 및 측정기술에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



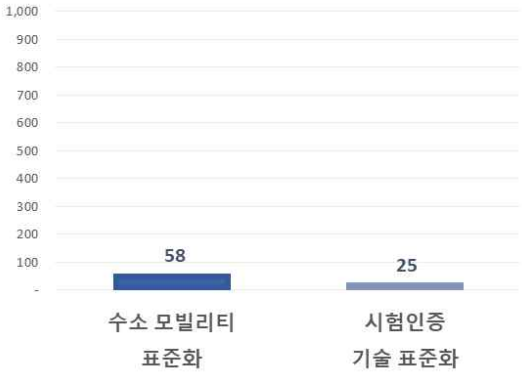
<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

[그림 2-94] '02~'19 안전기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 표준화 및 인증기술의 경우, 수소 모빌리티 표준화, 시험인증기술 표준화기술 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 수소공급 및 계량 표준화, 시험인증기술표준화 기술에 투자된 연구비는 없는 것으로 나타남

- 수소 모빌리티 표준화, 시험인증기술표준화에 투자된 정부 연구비는 58억 원, 25억 원으로 각 기술의 연구비는 수소표준 및 인증기술에 투자된 정부 연구비의 70%, 30%를 차지

- 조사기간내 수소공급 및 계량 표준화, 시험인증 기술 표준화에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

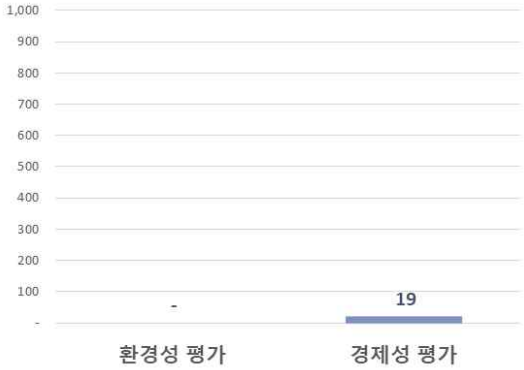


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

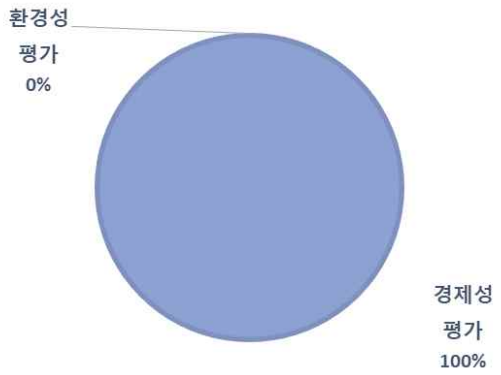
[그림 2-95] '02~'19 표준화 및 인증기술 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

❍ 환경·경제성평가 기술의 경우, 경제성 평가기술에 한정해 정부연구비가 투자되었음

- 환경·경제성평가 기술 중, 경제성 평가기술에만 19억 원의 정부 연구비가 투자되었으며 환경성 평가 기술에 투자된 정부 연구비는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

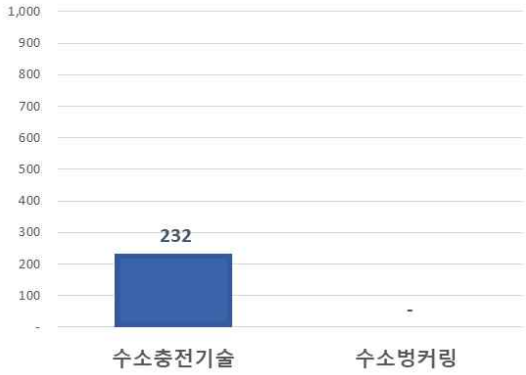


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

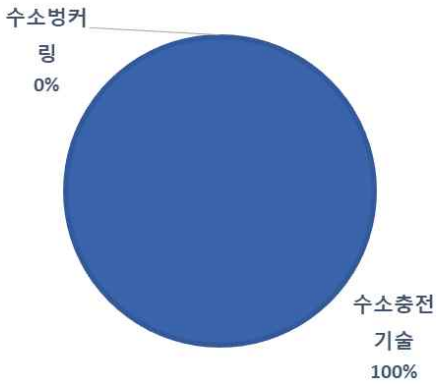
[그림 2-96] '02~'19 환경/경제성평가 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 수소 인프라 기술의 경우, 수소 충전기술에 한정해 정부 연구비가 투자되었음

- 수소 인프라기술 중, 수소충전기술에만 232억 원의 정부 연구비가 투자되었으며 수소 벙커링 기술에 대한 투자는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>

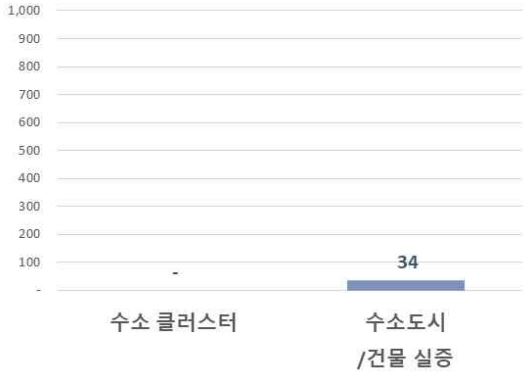


<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

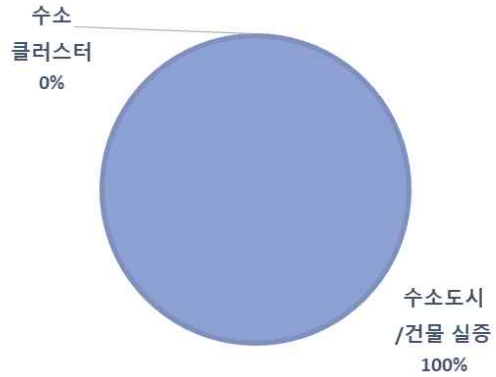
[그림 2-97] '02~'19 수소인프라 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

○ 수소시범도시 기술의 경우, 수소도시기술에 한정해 정부 연구비가 투자되었음

- 수소 시범도시기술 중, 수소도시기술에만 34억 원의 정부 연구비가 투자되었으며 수소 클러스터 기술에 대한 투자는 없는 것으로 파악됨



<기술분야별 R&D투자액(억원, '02~'18)>



<기술분야별 R&D투자액 비중(%, '02~'19)>

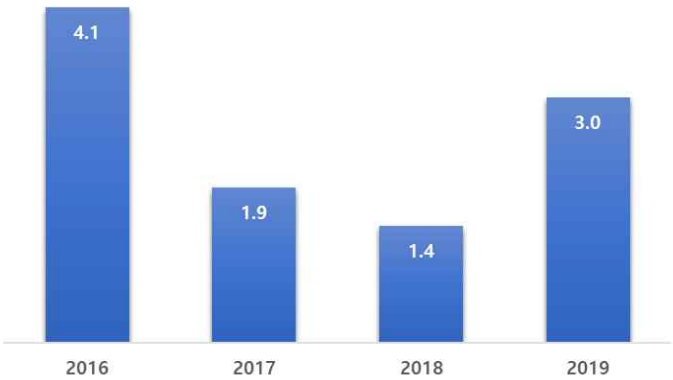
[그림 2-98] '02~'19 수소시범도시 소분류 기술별 정부 R&D투자액 및 비중

□ 국토교통부 R&D 현황

○ 국토교통부는 '07년부터 "철도기술연구사업"을 통해 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 운용 기술개발 및 추진시스템 최적화 기술개발 중

○ 국토교통부는 '16년부터 '19년까지 5개의 수소기술개발과제를 대상으로 10.4억 원의 연구비를 투자

- 국토교통부는 '16년부터 '19년까지 5개의 수소기술개발과제를 지원함
- 국토교통부 사업 중 수소기술개발과제 대상 연구비는 10.4억 원이며, '16년 이후 감소하는 추세를 보이고 있으나, '19년도 다시 증가함을 보임



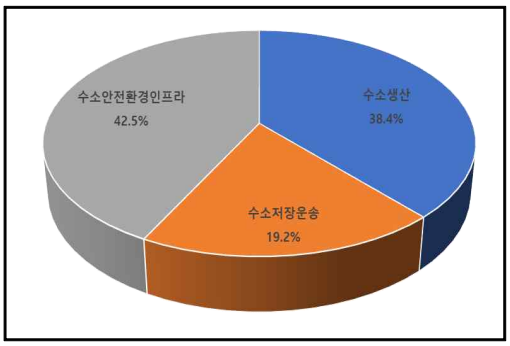
구분		연구비(억원)				
사업명	과제수	2016	2017	2018	2019	합계
국토교통연구기획사업	5개	4.1	1.9	1.4	3.0	10.4
총합계	5개	4.1	1.9	1.4	3.0	10.4

자료: 전문기관 제공(국비 기준)

[그림 2-99] 국토부 사업 중 수소기술개발과제의 연구비 추이 및 현황

○ 국토교통부 사업 중 수소기술개발과제 연구비를 기술분야별로 구분할 경우 수소안전환경인프라 분야에 가장 많은 연구비가 투입됨

- 국토교통부 사업 중 수소기술개발과제 기술분야별 연구비 비중은 수소안전환경인프라 분야 42.5%, 수소생산 38.4%, 수소저장운송 19.2% 순임
- 국토교통부 사업 중 수소기술개발과제 기술분야별 연구비 추이는 '16~'17년은 수소생산, 수소저장운송 분야에만 연구비가 투입되었으며, '18~'19년에는 수소안전환경인프라 분야에만 연구비가 투입됨





구분	연구비(억원)									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	계
수소생산	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.9	0.0	0.0	4.0
수소저장운송	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0
수소안전환경인프라	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.0	4.4
합계	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	1.9	1.4	3.0	10.4

자료: 전문기관 제공(국비 기준)

[그림 2-100] 국토부 사업 중 수소기술개발과제의 기술분야별 연구비 비중 및 추이

2.6 환경분석 종합시사점

□ 지속가능성 확보를 위한 수소도시 실증 R&D사업 필요

○ 실증 R&D 종료 후 성과물이 지속적으로 사용도록 과제를 설계 지속적 관리 비용이 필요한 과제 배제

○ R&D 활동비용, 실증을 위한 설치 비용, 실증 비용 등을 지원하여 과제기간 종료 후 수혜 기업, 지자체의 지속적 운영 가능의 과제 개발

※ 대규모 공사가 필요한 과제는 지양하고 필요시 별도 과제로 제시

□ 규모의 경제로 확대 가능한 수소도시 실증 R&D사업 기획 필요

○ 규모 확장이 비교적 용이한 대중교통 시스템*, 공동주택 등에 적용 가능한 모델 발굴로 수소전주기 경제성 확보 추진

* 철도, 트램, 버스차고지 등에 우선 적용 가능 모델 선정 (예시) 300Nm^3/hr 수소 생산시설 30억, 1300Nm^3/hr 수소 생산 시설 50억

□ 실증공간 확보 가능한 사업 기획 필요

○ 수소에 대한 막연한 불안감으로 도심 시설 구축 시 주민수용성 확보에 어려움 존재

※ 수소의 위험도는 도시가스보다 낮은 수준으로 보고됨

○ 공항, 고속도로 유휴지, 철도기지 등에 인프라를 설치·운용하고 대중교통시설을 활용하여 자연스럽게 수소시설을 이용할 수 있는 환경 조성

※ 혐오 시설로 인식되는 수소생산시설, 충전소 등은 민원이 없는 제한구역 내에 설치하며, 시민이 일상적으로 사용하는 버스 등을 우선적으로 검토

□ 국산기술기반 해외수출이 가능한 수준으로 기술력 제고 필요

○ 재생에너지를 활용한 그린수소는 최종적으로 지향해야할 목표임에도 불구하고 현재 국내 환경은 이를 실현하기에는 한계 존재

○ 재생에너지 환경이 좋은 국가(중동, 호주 등)에 적용가능한 해외 수출 모델 우선 검토

※ (예시) 중동지역에 수소버스-수소충전소-수소생산 시설을 패키지화하여 해외 시장 선점

□ 수용성 있는 안전 기술 확보 필요

○ 수소는 가연성 가스로 비정상적 취급 시 사고의 위험성은 상존하므로 안전성 확보 방안 마련 필요

○ 수소도시 건설, 운영, 사고대등 등 수소도시 안전관련 과제 기획 추진 필요

제 3 장 문제·이슈 및 해결방안

3.1 문제·이슈

3.2 해결방안

3.3 사업 논리모형

3.1 문제·이슈

가. 수소생산

1 한국은 수소 경제 활성화를 위한 로드맵을 갖추었으나 수소 산업 생태계가 수소 활용 분야에 치중

○ 정부 수소경제 활성화 로드맵은 수소 전기차와 연료전지 산업 육성에 초점이 맞춰져 수소 수요를 어떻게 충족할 것인지 구체적이지 않음

○ 우리나라는 수소 경제 구축의 목표로 에너지 자립을 추진하고 있어 자체적인 수소 생산 기술 확보가 중요하나, 정부 R&D 투자가 수소 활용분야에 편중

- 최근 5년('16~'20) 간 정부 R&D 투자규모의 52%가 수소 활용 분야에 투자되고 있는 반면, 수소 생산과 인프라 부문 비중은 각각 22.9%와 12.9% 수준

○ 유럽연합(EU), 독일, 미국, 일본 등 주요국은 수소 생산기술 개발과 해외 수입을 통한 수소 확보에 주력

- 유럽연합은 생산 과정에서 탄소가 발생하지 않는 그린수소 개발에 집중해 2030년까지 20~40 GW 규모의 물분해 발전주 시스템을 설치한다는 계획
- 미국은 Wind2H2 프로젝트를 통해 풍력 발전 기반 수소생산 기술 개발을 추진
- 후쿠시마 실증 프로젝트 등 일본 내 재생에너지 활용 수소생산 기술개발

⇒ 에너지 자립 목표에 도달하기 위해서는 생산·저장·운송 부분에 대한 투자 확대 필요

2 수소 공급 인프라 및 충전소 부족 및 국내 수소 인프라 역량 저하로 안정적인 수소 공급을 저해

○ 2050년 글로벌 에너지 수요량의 약 20%를 수소가 전담할 것으로 전망되면서 세계 각국은 수소경제를 부흥하기 위해 수소 공급망 구축에 집중

- 중국은 2030년까지 전기차 100만대를 보급하고 수소충전소 1,000개를 설치할 계획
- 일본은 2030년까지 수소충전소를 112개에서 900개로 확대할 계획
- 미국은 캘리포니아를 중심으로 수소 인프라 확산에 주력하고 있으며, 수소충전소 구축에 2023년까지 2,000억 원을 지원할 계획

<표 3-1> 수소 전기차 및 수소 충전소 공급 계획

구분	미국	영국	독일	프랑스	중국	일본
수소 전기차	100만대	160만대	180만대	80만대	100만대	80만대
수소 충전소	1,000개소	1,000개소	1,000개소	600개소	1,000개소	900개소

○ 주요 선진국은 수소충전소 확충과 동시에 수소 파이프라인을 구축

- EU 국가는 수소 대량 공급을 위해 국가 및 지역간 파이프라인 구축 프로젝트를 진행 중이며, 2040년까지 수소파이프라인은 1,600 km에서 23,000 km까지 확대 안정적인 공급망을 구축할 계획

  · 파이프라인의 75%를 기존 천연가스 배관을 개보수하여 구축하되, 배관 내부에 특수강화 코팅을 통해 부식을 방지하고 연성이 강화된 배관소재로 교체 작업을 진행할 예정



[그림 3-1] 수소 파이프라인 프로젝트 및 참여 국가

○ 현재 국내 수소생산 및 수송 인프라는 대부분 원료로 사용되는 수소를 위한 것으로, 수소를 에너지 전달체의 용도로 사용하기 위한 인프라는 부족

※ '19년 10월기준 총 22개의 충전소가 설치

○ 우리나라는 난방시스템과 수소차 기술에 있어서는 경쟁력을 보유하고 있으나 수소생산, 유통, 인프라, 수소생산장비 등의 역량은 미비

- 국내 수소 인프라는 국외 제작사 제품들이 주도하고 있어 구축이 완료된 이후 운영상 문제에 대한 즉각적인 조치가 어려워 안정적인 수소 공급이 어려움
- 수소의 생산, 저장/운송, 충전 기술은 상용화 단계에 이르지 못했거나 상용화 단

계에 도달했어도 안전성 검증, 경제성이 미흡하여 즉시 적용이 어려운 수준

○ 수소 인프라는 수급방식에 따라 Off-SIte 방식(외부로부터 공급)과 On-Site 방식이 있으며 각기 주민 수용성이나 경제성 측면에서 단점이 존재

- (오프사이트) 튜브트레일러 방식은 운송비용이 발생하지만 인프라 구축을 위한 설비 투자가 발생하지 않은 장점이 있으며, 파이프라인 공급 방식은 초기 막대한 투자 비용이 발생하지만 대규모 공급이 가능

- (온사이트: 천연가스 추출) 개질 방식은 천연가스 공급망을 활용해 효율적이나 생산시설에 수반되는 저장소로 인해 충전소가 비교적 외곽에 위치해야 하므로 일반 사용자 측면에서 편의성이 저하되고 CO2 배출관리에 어려움이 발생

- (온사이트: 수전해) 수전해 충전소는 생산 설비 구축 비용이 발생한다는 단점이 있지만 심야 잉여 전력을 활용해 수소를 생산할 수 있으며, 완전한 친환경적인 방식

※ 생산한 수소를 수소충전소까지 운반해 공급하는 방식은 오프사이트 방식(파이프라인, 튜브 트레일러)이며, 수소충전소에서 직접 수소를 생산해 공급하는 방식은 온사이트 방식(천연가스 추출, 수전해)

⇒ 교통, 주거, 산업 분야 등 여러 수요처에 공급하는 다양한 형태의 인프라 실증사업을 통해 안전성 및 경제성을 검증하고, 수소 인프라의 설비 및 부품의 낮은 국산화율을 극복

3 CO_2-free 그린수소는 기후변화를 늦출 수 있지만 높은 생산단가 때문에 상용화하기 까지 10년 이상이 걸릴 것으로 예측되어 탈탄소화에 걸림돌로 작용

○ 수소가 차세대 청정 에너지원으로 각광받고 있지만 화석연료를 사용한 수소 생산 방식은 온실가스를 다량으로 배출한다는 문제가 있음

- 온실가스 배출이 없는 수전해 수소 가격은 1 kg당 10~15달러 수준으로 천연가스에서 추출하는 그레이 수소보다 가격이 5배 높음

○ '23년 미국 캘리포니아주 랭커스터시에 폐휴지로 친환경 수소를 생산하는 세계 최대 규모의 수소 생산시설이 구축될 예정

- 재활용 종이와 플라스틱을 고온(섭씨 3,870℃)에 가열한 뒤 얻은 바이오가스에서 수소를 뽑아내 인근 수소 충전소에 공급하고 지역의 전기를 생산

- 재활용 종이, 플라스틱 등 바이오매스를 원료로 수소로 생산하는 방식은 온실가스를 적게 배출하고 수전해 수소보다 비용이 5-7배 저렴하다는 장점이 있으며, 재활용 폐기물 처리 측면에서 쓰레기 매립 비용 절감

○ 폐기물에서 나오는 바이오가스를 활용하여 수소를 생산하는 시도도 확산

- 호주의 수소 스타트업인 헤이저 그룹은 하수처리장에서 얻은 바이오가스에서 수소를 추출하여 연간 100 ton 규모의 상업용 수소를 생산할 계획
- 미국 SGH2는 5,500만 달러를 투입해 바이오가스 기반 그린 수소 생산시설을 준공하여 연간 380 kg의(약 2,200대 수소차 연료 공급할 수 있는 양) 그린수소를 생산할 예정

○ 재생에너지를 활용해 수소를 생산할 경우 온실가스를 전혀 배출하지 않으며, 태양광 풍력 등 재생에너지의 간헐성을 극복하는데 도움

- 풍력 및 태양광으로 전기를 생산하고 그 전기로 물을 분해해 수소를 만드는 수전해 방식은 온실가스 배출이 없음
- 재생에너지는 일조량 및 풍속에 따라 발전 출력 등 품질이 저하되고 수요-공급 간 불균형이 발생하는 간헐성 문제가 있으나 수소와 통합하여 생산된 전력을 장기간 저장하여 전력 운영의 유연성 제고

⇒ 도시 내 폐자원 활용 및 재생에너지 연계한 수소 생산 등 새로운 시도를 통해 온실가스 배출이 없는 그린 수소의 가격 경쟁력을 확보하고 그린 수소 보급을 확대

4 수소 로드맵에 따른 그린 수소 보급에 한계가 존재

○ 정부 수소 로드맵에 따르면 2040년까지 수소공급 목표 526만 ton의 30%를 그린수소로 충당해야하나 수전해 기술에 대한 해외 기업과 국내 기업과의 기술격차가 크고 주요 핵심 소재들도 모두 해외에 의존

○ (부생수소) 현재 국내 수소전기차에서 사용되고 있는 수소연료는 석유화학 및 제철 공정 등에서 나오는 부생수소가 대분이나 부생수소로는 미래 수요를 감당하기 어려움

- 부생수 석유화학 및 제철 공정에서 자체적으로 활용되고 남은 물량이 외부로 공급되어 수소 수요가 증가할 경우 부생수소로는 한계가 있음

○ (추출수소) 추출수소는 석탄이나 천연가스 등 화석연료에서 생산된 수소로, 현재 전 세계적으로 천연가스 추출수소가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 수소 생산 방식 중 가장 저렴하면서도 대량으로 수소 생산이 가능하나 이산화탄소 발생문제가 있음

○ 유럽의 경우 천연가스 추출수소 생산과정에서 발생하는 이산화탄소를 포집한 블루 수소를 그린 수소 범주에 포함시켜 육성하는 중

- 추출수소는 생산과정에서 이산화탄소가 발생하나 이산화탄소를 분리·포집하는 기술 개발을 통해 추출수소를 친환경에너지원으로 활용할 수 있음
- 블루수소(개질수소+CCS) 실증함으로써 경제성과 문제점 파악이 필요

⇒ **완전한 친환경 수전해 수소 시대가 오기 전까지 블루수소 실증사업을 통해 문제점을 파악하고 개선하여 저탄소 수소생산의 상용화 및 보급 확대**

나. 수소 저장 및 이송

1 현재 저장기술은 기체수소 저장기술에 머물러 있어 경제성·안정성 측면에서의 새로운 기술개발이 시급

○ 현재 기체수소 저장기술 대비 액체수소 저장기술의 확보 및 R&D 투자는 부족함

- 기체수소 저장기술의 경우 실증단계에 있으나 액체수소 저장기술은 원천기술개발 진행단계
- 기체수소저장에 대한 R&D 투자액(411억)은 액체수소저장 투자액(281억)의 약 1.5배 ('02~'19)
- 현재 국내에서는 상용화된 액체수소가 존재하지 않아 모든 수소 공급이 기체수소를 통해 이루어짐

○ 소형 액화기 개발 외에 수소액화 플랜트 기술개발 추진 중

- 한국기계연구원은 헬륨냉각공정을 적용한 수소액화 공정 설계기술을 연구 진행
- 한국과학기술연구원과 ㈜하이리움사업에서 G-M (Gifford-McMahon) 극저온냉동기를 이용한 소형 수소액화시스템을 개발
- 국토교통과학기술진흥원은 상용급 액체수소 플랜트 핵심 기술개발 사업을 통해 '23년 수소액화플랜트 기술개발을 목표로 진행 중

○ 미국, 일본 등 기술 선도국들의 액체저장 기술은 우주개발 등과 관련한 국책사업과 맞물려 성장하여 현재 실증화 단계

- (미국) '60년대 우주개발 프로그램과 맞물려 액체저장 기술이 급격하게 성장
- (일본) 액체수소 해상운송에 필요한 운반선 건조기술 및 액체수소 펌프 기술에 대하여 기술 확보

○ 기술 선도국들을 중심으로 수소액화플랜트 건설 진행 중

- (미국) Praxair는 6～35 ton/day의 수소액화플랜트를 5기 이상 설치하였으며 Air Product & Chemicals는 30～35 ton/day의 수소액화플랜트를 4기 이상 설치
- (일본) 대형 수소액화 플랜트 개발을 위해 미쓰비시 중공업, 일본 Air Liquide 및 일본산소 등 3개 회사가 분담하여 진행 중
- (프랑스) Air Liquide는 수소액화플랜트를 프랑스와 캐나다에 각각 1기 설치
- (독일) Ingolstadt와 Leuna에 수소액화플랜트를 건설하고, LNG 냉열과 질소냉동기에 의한 액체질소의 냉열을 이용하는 수소액화플랜트를 계획 중

○ 기체수소 저장방식은 상용화 단계에서 사용되는 충전소 기준으로 공급량, 경제성, 안전성 측면 액체수소 저장방식에 비해 불리

- 액화수소 충전소는 기체수소대비 설비면적 1/20 이하, 충전용량 3배 이상, 상압 수준의 공급과 저장압력, 낮은 설치비 (동용량 900 kg/day의 경우 기본 기체수소 충전소 대비 55% 수준), 900 kg/day의 경우 기체수소는 21회/주, 액체수소의 경우 2회/주 공급으로 운송비 등의 장점 보유

- 수소운송 측면에서도 액화수소는 고압 기체수초 운송 용량 대비 10배 운송, 가능하며 운송비 측면에서도 1/3보다 적은 수준(710원/kg, 2,600원/kg)

○ 현재 국내 대용량 수소액화플랜트는 없으나 창원, 울산 등에서 해외 회사와 협력하여 플랜트 건설 추진 중

- 수소액화플랜트 건설에 따라 액화수소충전소 구축의 필요성 증가

⇒ 액화수소충전소 및 제반기술에 대한 실증 R&D 지원을 통한 경제성 및 안전성이 우수한 액체수소 저장기술 확보 필요

2 수소도시 실현에 필요한 파이프라인 등의 인프라 부족과 액화수소 저장기술이 요구하는 튜브트레일러 등의 기술 부족

○ 파이프라인, 수소 튜브트레일러 등 인프라 구축이 수반되어야 하나, 현재는 대규모 석유화학단지(울산, 여수, 대산 등)를 중심으로만 수소 파이프라인 및 수소생산 기술이 확보되어 있음

○ 필요에 맞는 복합적인 수소운송수단 개발이 필요

- 파이프라인은 운송 경제성이 낮아 단거리 수송에서 유리하며, 일정량 이상의 수소 수요가 확보되는 경우에는 초기 투자비 등을 감수하고 파이프라인 설치가 비용 측면에서 유리

- 튜브트레일러는 장거리에서 파이프라인보다 경제적이며 기체와 액체수소를 모두 수송 가능

○ 국내에서 유통되는 수소는 대부분(92.7%)) 파이프라인을 통해 공급되고 있음

- 현재 수소운송에서 튜브트레일러가 차지하는 비중은 7.3%로 낮은 편이며, 튜브트레일러 수는 약 500여대로 수소 300 kg 수송가능

○ 액화수소 저장기술 발전에 따라 액화수소 수송을 위한 튜브트레일러 저장용기 등의 기술개발이 필요

- 1 ton급 대용량 튜브트레일러를 개발하여 운송비를 낮추고 파이프라인 연결 지역 이외에 수소를 공급

- 현재까지 경제성을 갖춘 복합소재 용기는 해외에 의존 중이며, 복합소개 재발, 용기 설계, 실증 필요

⇒ 수소 수요 증가에 따른 파이프라인 증설과 액화수소 기술개발에 따른 새로운 튜브트레일러 기술 연구개발 필요

3 도시 내 수소 파이프라인 등 공급·운송 인프라 구축에 대한 사회적 인식 및 경험 부족

○ 수소 생산·저장·운송·활용·인프라 등 전주기에 이르는 수소 밸류체인 모델 연구 필요

- 수소저장·운송 기술의 독립적인 기술개발에서 벗어나 수소 수요 증가에 따른 연속적인 측면에서의 접근 필요
- 수소도시와 연계된 수소 저장·운송 실증 모델 필요
- 단일 기술이 아닌 시스템적으로 운영되는 수소에너지 산업 생태계에 대한 기반 구축이 필요

○ '16년 기준으로 전 세계 4,500여 km의 수소 파이프라인이 설치되어 있으며 미국이 2,600여 km로 가장 많은 파이프라인 보유 중

- (유럽) 정부는 생산 인프라 투자에 집중하고 기존 가스 파이프라인을 수소전용 파이프라인으로 전환하는 사업은 민간기업이 주도
- (일본) 전국에서 유일하게 시가지를 통과하는 수소 파이프라인을 활용하여 '키타큐슈 수소 스테이션'에서 인근주택, 상업시설, 업무용의 순 수소형 연료전지 운전실증시험과 '연료전지-태양광발전-축전기'의 연계운전에 의한 공급 시스템을 검증
- 기존 도시가스 파이프라인 등을 이용할 수 있는 기술개발 등 인프라 구축을 위한 기회비용 확보 가능

○ 수요처에 근접하고 주민 수용성이 높은 방식으로 기술개발 설정

- 수요처 이용 시나리오에 따른 수소 운송거점 스테이션과 지하매설 수소망을 연계하는 공급체계 및 운용기술이 필요
- 향후 대용량 사용처의 수소공급을 위한 경제성을 갖춘 액체수소 기반의 대용량 저장, 공급 인프라 구축이 필요

⇒ 수요에 맞춘 수소 저장·운송 인프라 확보와 수소도시 등에 사용가능한 전주기적·복합적인·생활연계적 기술 실증 필요

4 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 연관 수소 저장 데이터베이스 부족

○ 수용자 및 기술개발자의 연계유도와, 연구성과의 완성도 및 활용도를 높이기 위해 생활 근접형 테스트베드의 구축 필요

- 소규모 도시 커뮤니티에 사용되는 저장·운송 기술개발
- 수요처 특성을 반영한 장·단기 수요예측 및 데이터 연계 방안 수립

○ 공급시설의 안전 프로세스 기술 개발 필요

- 독일 Wasserstoff 등 유럽에서 수소 저장시설을 지하 격납 건물로 방호하거나 실시간 집약형 안전관리 프로세스를 개발 중
- 인프라 구축을 위해 안전관리 위험 및 사고 요인 시나리오 개발 필요
- 공급배관용 센서 네트워크용 통신 시스템 기반 데이터베이스 및 분석 시스템 필요

⇒ 수소공급 비율 및 도시 수요에 따른 공급망 계획 등 새로운 배치계획 개발 필요

다. 수소활용

1 수소경제 및 도시 구현을 위한 수소전기차 외에 다양한 수소 모빌리티 기술을 적용할 실증R&D 필요성에 비해 지원이 미흡

○ 국내외 수소 활용분야에 대한 투자, R&D는 모두 교통분야, 그 중에서도 수소전기차에 집중돼 있음

- (미국) 수소전기차 및 충전소 보급 확대 정책 추진
- (EU) 프랑스, 덴마크, 스웨덴, 영국, 독일 등 수소충전소 인프라를 설치하고 수소연료전지차 확산을 추진하기 위한 실증사업을 추진
- (일본) 가까운 미래에 연료전지자동차 등 모빌리티 부분의 수요 창출을 위한 정책 추진
- (중국) 수소연료전지차 보급을 확대하기 위해 국가 핵심산업분야로 자동차 산업을 설정하고, R&D지원 뿐만 아니라 세제 감면 정책, 부품 및 완성차 기업에 대한 투자 등 종합정책지원을 추진

○ 수소도시 및 수소경제 구현을 위해 글로벌 경쟁이 가속화되고 있고, 기술 경쟁력을 확보하기 위해 가장 기술개발이 진전된 교통 분야의 경우 다양한 수소 모빌리티 기술개발 및 실증에 대한 투자가 필요

- 수소 활용 측면에서 기술개발이 가장 진전된 교통 분야의 경우 보다 다양한 수소 모빌리티에 대한 기술개발을 통해 수소도시 구현에 필요한 기술 확보가 필요
  - 수소 실증 사례 측면에서 선진적이라 할 수 있는 일본, 네덜란드의 사례를 보면 구체적인 추진계획 하 승용차 외에 수소지게차, 수소트럭, 수소기관차, 수소철도 등 다양한 수소 모빌리티 기술 실증에 나서고 있음
  - (일본) 「수소·연료전지 전략 로드맵」 개정을 통해 교통, 공급체인 및 각종 활용분야에서의 기술 사용, 비용 등 구체적인 목표를 재설정하고 추진현황을 점검하는 등 수소도시 구현을 위한 구체적인 노력을 기울이고 있음
  - (네덜란드) 수소 활용 측면에서 교통 및 수송 분야의 기술개발을 위해 수소연료전기차 뿐만 아니라 수소버스, 배달용 밴, 여행버스, 수소지게차, 트럭, 선박, 항공 모빌리티 등 다양한 모빌리티 유형별 기술로드맵을 수립하고 이에 대한 지원을 추진 중
- 국내 수송 분야 수소 활용 R&D 투자도 승용차 및 상용차 등 수소자동차 중심으로 이루어져 있어 다양한 수소 모빌리티 기술 확보를 위한 지원 확대가 필요
  - ’02~’19년 간 국내 수송 분야 수소 활용 기술에 투입된 정부 연구비 1,101억 원 중 승용차 및 상용차 등 수소자동차분야에 69%가 투입
  - 철도차량, 건설기계, 개인이동 수단에 대한 투입 비중은 각각 13%, 15%, 3%로 다양

한 수소 모빌리티 기술 확보를 위한 지원 비중 확대가 필요

- 해상용, 항공용 수송수단에 대한 정부 연구비 투자는 각각 70억 원, 68억 원으로 수송 분야 수소 활용 기술 투자액의 6%에 그치고 있으며, 세부 투자 분야 또한 각각 연안선박, 드론으로 한정적임

○ 국내의 경우 안산, 울산, 전주·완주, 삼척에 걸쳐 수소시범도시 및 R&D특화도시를 지정해 수소 실증을 추진하고 있으나 수소버스, 수소자전거 등 수소도시 내 교통수단 중심 소규모 실증에 그치고 있어 보다 광역단위의 수소 모빌리티 기술 실증 대한 추가적인 지원이 필요

- 울산 수소타운의 경우 후속사업의 부재로 사후 활용이 어려운 실정
- 안산, 전주·완주, 삼척의 수소시범도시의 경우 수소버스, 수소자전거 등 수소 모빌리티의 다양화를 추구하고 있으나 수소도시 내 교통수단으로 그 범주가 한정적임

⇒ 수소도시 실증에 적용할 수소트램, 수소전기기관차, 수소철도차량, 공항 내 모빌리티 등 국가기간산업과 연관된 대형 모빌리티 유형별 기술실증에 대한 구체적인 계획과 추진이 필요

2 다양한 형태의 수소 모빌리티 유형 및 특성에 맞게 환경성과 경제성을 갖춘 수소 인프라 구축 기술을 확보하기 위한 실증사업 지원체계 미비

○ 전 세계 주요국은 수소연료전기차의 보급 확대를 위해 다양한 형태의 충전 인프라 구축을 실현하기 위해 광역으로 수소충전소 설치 및 실증사업을 추진하고 있음

- (EU) H2ME는 Horizon 2020 프로그램 및 FCH JU로부터 공통 투자를 통해 프랑스, 덴마크, 스웨덴, 영국, 독일 등에 수소충전소 설치를 추진
- (영국) ’20년 65개, ’25년 330개, ’30년 1,150개로 수소충전소의 단계적 확대를 추진
- (독일) 수소스테이션 실증 프로젝트를 통해 수소스테이션 뿐만 아니라 다양한 형태의 수소 인프라를 구축해 수소전기차 수요에 대응하기 위한 계획을 수립
  - ’23년까지 수소전기차 20만대 보급에 따른 수소충전소 400개소 보급 계획
- (일본) 수소충전소 사업의 자립화를 목표로 ’20년부터 ’30년까지 5년 단위로 수소 충전소 설치를 단계적으로 확산하고, 이를 위해 수소충전소 정비지역 확대 및 전국적 수소충전소 네트워크 구축을 검토 중
- (중국) 수소연료전기차의 보급 확산을 위해 수소 스테이션 관련 핵심 기술개발을 지원

○ 국내에서도 향후 수소 트램, 수소기관차, 수소철도 등 광역 단위의 수소 모빌리티 기술개발 및 실증이 예상됨에 따라 그에 맞는 수소 인프라 구축 기술의 실증이 병행되어야 함

- (국내) 울산, 안산, 전주·완주, 삼척 등에서 수소타운, 수소시범도시, R&D특화도시 등에서 실증이 이루어지고 있으나 수소도시 내 교통수단 중심으로 소규모로 사업이 진행되고 있어 실증을 통한 수소 활용 기술의 경제성 검증 등의 측면에 한계가 있음
  - 안산, 울산, 완주·전주, 삼척의 실증 사례는 수소버스, 수소지게차, 수소시티투어버스, 수소자전거 등 다양한 수소 모빌리티 기술 실증을 계획했으나 도시 내 교통수단으로 한정적
- (국외) 일본, 덴마크, 미국, 영국, 네덜란드, 호주 등의 사례가 있으며, 국내와 다르지 않게 교통 분야를 중심으로 소규모 실증이 이루어지고 있는 현황이나, 각국 지원 하 상용급 수소기술 실증을 통해 경제성을 확보할 것으로 전망됨

⇒ 수소 모빌리티 유형별 다양한 수소 인프라 구축 기술을 검증하고 구축 인프라의 환경성과 경제성을 확보할 수 있도록 수소도시 단위의 실증R&D 지원이 필요

3 수소도시 구현의 핵심 기술인 연료전지발전 기술 경쟁력 확보 시급

○ 가정용 및 산업용 전기를 공급하기 위한 수소 발전기술인 연료전지발전 기술은 수소도시 구현을 위한 핵심기술 중 하나로 글로벌 연료전지 시장규모의 성장세를 감안해 기술 경쟁력을 확보해야 할 핵심 기술 분야

- 글로벌 연료전지 시장규모는 ’18년부터 12년 간 연평균 약 30%의 급성장을 통해 ’30년에는 약 50조 원으로 성장할 것으로 전망되는 만큼 연료전지발전 기술 경쟁력 확보가 필수적인 상황
  - 최근 주요국들의 연료전지 보급 목표 실현을 위한 기술 지원과 연료전지 자동차 시장의 확대 및 상용차의 보급, 가정용 및 발전용 연료전지보급 등으로 인해 연료전지 시장 규모가 급격히 증가할 것으로 전망

○ 연료전지 기술을 고도화하기 위한 글로벌 경쟁력이 가속되고 있으나 국내 연료전지 발전 기술 경쟁력은 글로벌 선도수준에 미치지 못하는 실정

- 전 세계적으로 출원된 수소 관련 특허 중 연료전지에 대한 각 국의 특허 출원 비중이 가장 높고, 점차 증가하는 추세로 연료전지에 대한 글로벌 경쟁이 가속화되고 있음
  - 최근 20년(’99~’18) 간 수소 활용 분야라고 할 수 있는 연료전지 관련 특허 건수는 총 65,671건이며, 특허 연평균 증가율은 최근 16년(’01~’16) 간 2.9%인데

반해 최근 4년('13~'16) 간 4.0%로 높아져 연료전지 기술개발에 대한 글로벌 경쟁이 심화되고 있음을 보임

- 연료전지 부문에 대한 국내 특허 경쟁력은 일본, 미국, 독일 등 선도국과 격차가 큰 편으로 기술개발 및 실증을 통한 기술 경쟁력 확보가 시급한 상황



[그림 3-2] 연료전지 특허경쟁력 현황

○ 수소의 활용 및 확산을 강화하기 위한 국내외 정책적 지원이 추진되고 있으나 이를 상용화하기 위한 실증사업에 대한 지원은 아직까지 미흡

- 산업통상자원부는 '19년 「수소경제 활성화 로드맵」을 통해 수소차 및 수소연료전지 경쟁력을 기반으로 수소 활용범위를 에너지(전기 및 열) 등으로 확대하기 위한 종합 전략을 수립해 수소 활용 및 확산에 대한 지원을 강화
  - (중점추진전략) 발전용 연료전지시스템(가정·건물용, 분산 발전용, 대규모 발전용)의 경제성 확보를 통해 설치비와 발전단가를 절감
  - (추진방안) 발전용 연료전지 보급 확산 및 수출 산업화, 가정·건물용 연료전지 확대, 수소가스터빈 기술개발 및 상용화
- 발전 분야 수소 활용 R&D에 대한 정부 연구비 투자는 R&D 중요성에 따라 '12년 이후 투자가 빠르게 증가해 '18년 이후 연간 400억 원 규모를 보이고 있으나 수소도시 구현에 필수적인 대규모 발전용 연료전지 등의 R&D 및 실증에 대한 지원은 이루어지지 않는 상황
  - 기술 분야별로는 **고정형 연료전지, 수소활용 공통기술, 융복합발전, 수소터빈** 순으로 많은 연구비가 투입된 것으로 나타남

※ **고정형 연료전지** 기술의 경우, **마이크로 열병합, 분산발전용 연료전지 기술** 순으로 많은 연구비가 투자되었으며 대규모 발전용 연료전지에 대한 정부 연구비 투자는 없는 것으로 나타남

※ **수소활용공통기술**의 경우, **연료전지 소재, 연료전지 엔지니어링 기술** 순으로 많은 연구비가 투입

※ **융복합 발전기술**분야의 경우, **융합(연계)플랫폼 기술에 한정**해 정부 연구비가 투자

※ **수소터빈기술**분야의 경우, **소형발전용 터빈기술에 한정**해 정부 연구비가 투자

○ 선진국 실증사례 또한 소규모에 그쳐 글로벌 산업 성장세에 발맞춰 에너지 자립 및 에너지 수출국으로 경쟁력을 갖추기 위해서는 수소도시 단위로 실증 규모를 확대하고 상용화 단계의 기술 확보 필요

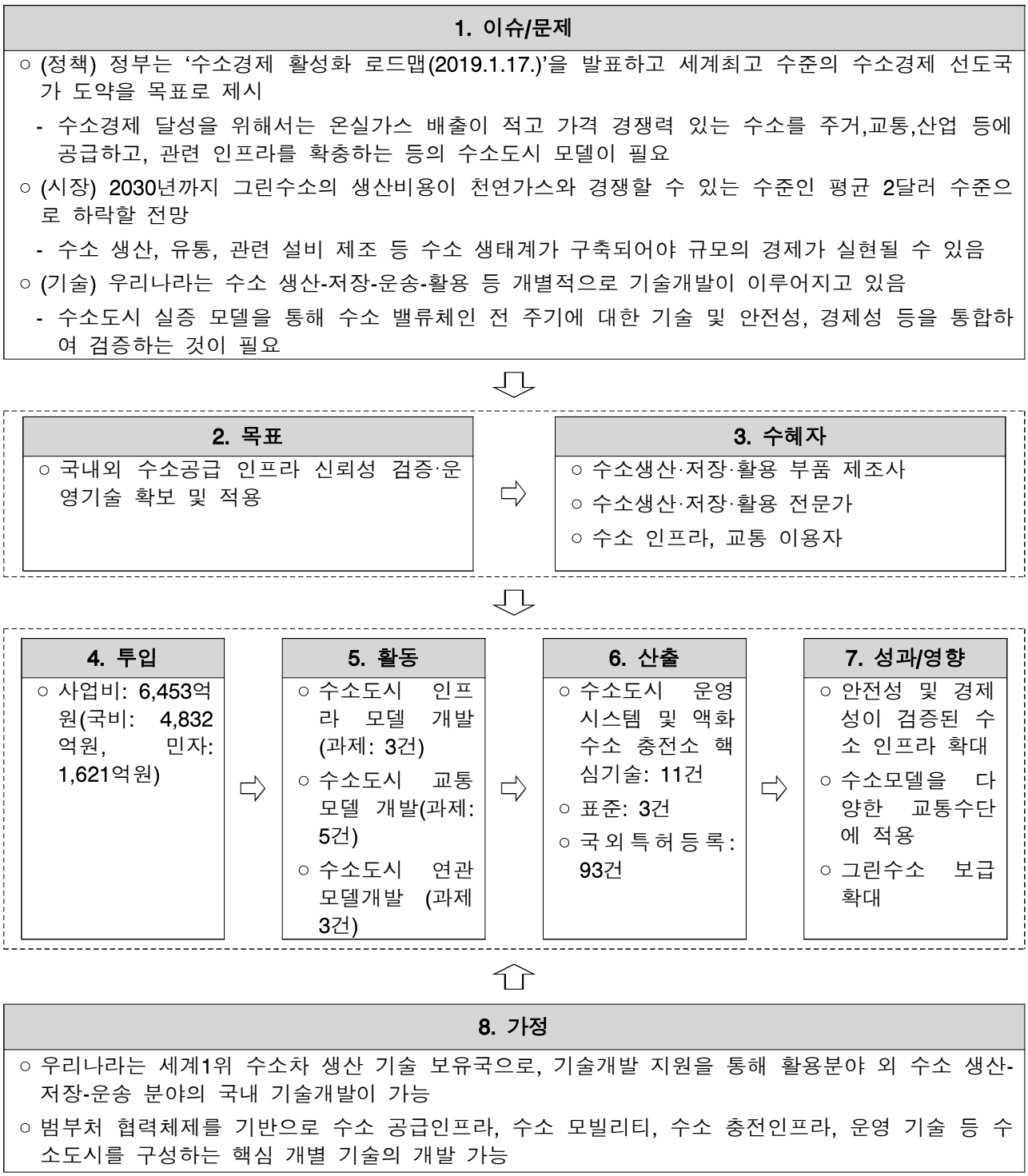
- (덴마크) 각 가정에 연료전지 모듈을 설치 후 수소 파이프로 수소를 공급하는 방식으로 수소 연료전지 시스템 실증을 하였고 지속적으로 성장 중이나, **가정용 소규모**('08년 4가구, '09년 35가구)실증이라는 점에 한계가 있음
- (네덜란드) 친환경 수소 경제 도시 구현을 목표로 현재 유럽 내 2위 수소 에너지 생산국이며 2050년을 목표로 수소를 대량생산하여 **지역의 난방을 해결**할 계획임

⇒ 모빌리티 외 핵심 수소 활용 기술인 수소연료발전 상용화 기술의 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해서는 수소도시 단위로 규모를 확장한 실증 기술개발을 지원

3.2 해결방안

한계점	해결방안	개발전략	
• 수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 연관 수소 저장 데이터베이스 부족	• 수소공급 비율 및 도시 수요에 따르 공급망 계획 등 새로운 배치 계획 필요	[1] 수소도시 인프라모델 개발	• 수소도시 운영 및 수소 그리드 기술개발 • 수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 • 수요지 지하 수소충전소 및 허브스테이션 실증
• 수소공급 인프라 및 충전소 부족 • 국내 수소 인프라 역량 수준 저하로 안정적 수소 공급을 저해	• 교통, 주거, 산업분야의 인프라 실증사업을 통한 수소 인프라 증설 및 수소 인프라 설비 및 부품의 국산 기술력 제고		
• 도시 내 수소 파이프라인 등 공급 인프라 구축에 대한 사회적 인식 및 경험 부족	• 수요에 맞춘 수소 저장 운송 인프라의 확보와 수소도시에 적용할 전주기 복합적 생활연계적 기술 실증 필요		
• 수소경제 및 도시 구현을 위한 수소전기차 외 다양한 수소 모빌리티 기술 실증 R&D 지원 미흡	• 수소트램, 수소전기기관차, 수소철도차량, 공항 내 모빌리티 등 교통유형별 기술실증이 필요	[2] 수소도시 교통모델 개발	• 도시형 수소트램개발 및 실증 • 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 • Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 • 공항 내 수소 모빌리티 실증 • 고속도로 블루소 충전소 네트워크 구축
• 환경성과 경제성을 갖춘 다양한 수소 모빌리티 인프라가 미비	• 수소 모빌리티 유형 및 특성에 맞게 환경성 및 경제성을 확보할 수 있도록 수소도시 단위 실증 R&D 필요		
• 수소도시 구현의 핵심 기술인 연료전지 발전 기술 경쟁력 확보 시급	• 모빌리티 외 수소연료 발전 상용화 기술 경쟁력을 확보하기 위해서는 수소단위로 규모를 확장한 실증 기술 개발이 필요		
• 현재 수소 저장기술은 기체수소 저장기술에 머물러 있음 • 액화수소저장기술이 요구하는 튜브트레일러 기술 부족	• 액화수소충전소 및 제반기술에 대한 실증 R&D 지원을 통한 경제성 및 안전성이 우수한 액체수소 저장기술 확보 필요 • 액화수소 기술개발에 따른 새로운 튜브트레일러 기술개발 필요	[3] 수소도시 연관모델 개발	• 액화수소충전소 개발 및 실증 • 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 • 그린수소기반 에너지 자립도시 실증
• 화석연료를 사용한 수소 생산 방식은 온실가스를 다량으로 배출 • 온실가스 배출이 없는 수전해 수소는 가격 경쟁력이 낮음(천연가스보다 5배 높음)	• 도시 내 폐자원을 활용한 친환경 수소생산시설 구축이 필요 • 재생에너지와 연계한 수소생산방식의 실증을 통해 수전해 수소 가격 경쟁력 및 그린수소 생산 기술력 제고가 필요		

3.3 사업 논리모형



[그림 3-3] 사업 논리모형

제 4 장 사업 목표 체계

4.1 사업 범위 및 구조

4.2 사업 목표 및 지표

4.1 사업 범위 및 구조

4.1.1 사업 범위

□ 공간적 범위

○ (소규모 커뮤니티단위 실증) 수소도시를 조성하기 위해 도시 내 생활권 단위공간에 도시 활동의 핵심인 주거, 교통 분야에 집중하여 수소 활용 기술을 실증하고 안전성 등 검증

○ (사업종료 후 활용가능 입지 중심) 규모 확장이 비교적 용이한 대중교통 시스템, 공동주택 등에 적용 가능한 모델 발굴로 수소전주기 경제성 확보 추진

○ (기존 교통인프라 활용중심) 공항, 고속도로 유휴지, 철도기지 등에 인프라를 설치·운용하고 대중교통시설을 활용함으로써 국민이 자연스럽게 수소시설을 이용할 수 있는 환경 조성

○ (모델별 공간적 범위)

- (수소도시 인프라 모델) 공동주택 단지 및 버스차고지 등 도심지
- (수소도시 교통 모델) 철도차량기지, 국제공항공사, 고속도로 유휴부지 등 국가 핵심교통 거점
- (수소도시 연관 모델) 출연연 극저온 시험인증센터, 도시 생활폐기물 집적지, 150세대 규모 도서

□ 시간적 범위

○ 2023년~2031년 (9개년)

- 1단계 : 2023년~2026년(4년)
- 2단계 : 2027년~2031년(5년)

□ 기술적 범위

○ 지속가능한 수소 도시를 위한 전주기적 통합 시스템 실증

- (생산) 도시단위의 수소를 생산할 수 있는 설비로 각 지역적 특색에 적합한 수소추출설비, 수전해 설비, 부생수소 생산설비 등을 포함
- (저장) 도시 구성물 등에 수소 공급을 위해 생산설비로부터 생산된 수소를 저장할 수 있는 설비로 수소압축 저장설비와 수소액화 저장설비, 기타 LOHC, 금속수

화물 저장설비 등을 포함

- (이송) 수소생산 거점으로부터 도시 내·외에 수소를 이송하기 위한 설비로 수소 배관과 수소이송트레일러 등을 포함
- (활용) 수소터빈 및 연료전지를 통한 전력 생산, 수소자동차와 충전소 등을 포함하고 열, 전기, 냉방에너지 공급이 가능한 서브스테이션 실증
- (안전) 비정상적 취급 시 사고의 위험성이 상존하므로 수소도시 건설, 운영, 사고대응 등 과제기획 시 필요한 안전성 확보 방안

4.1.2 사업 구조

<표 4-1> 사업 구조

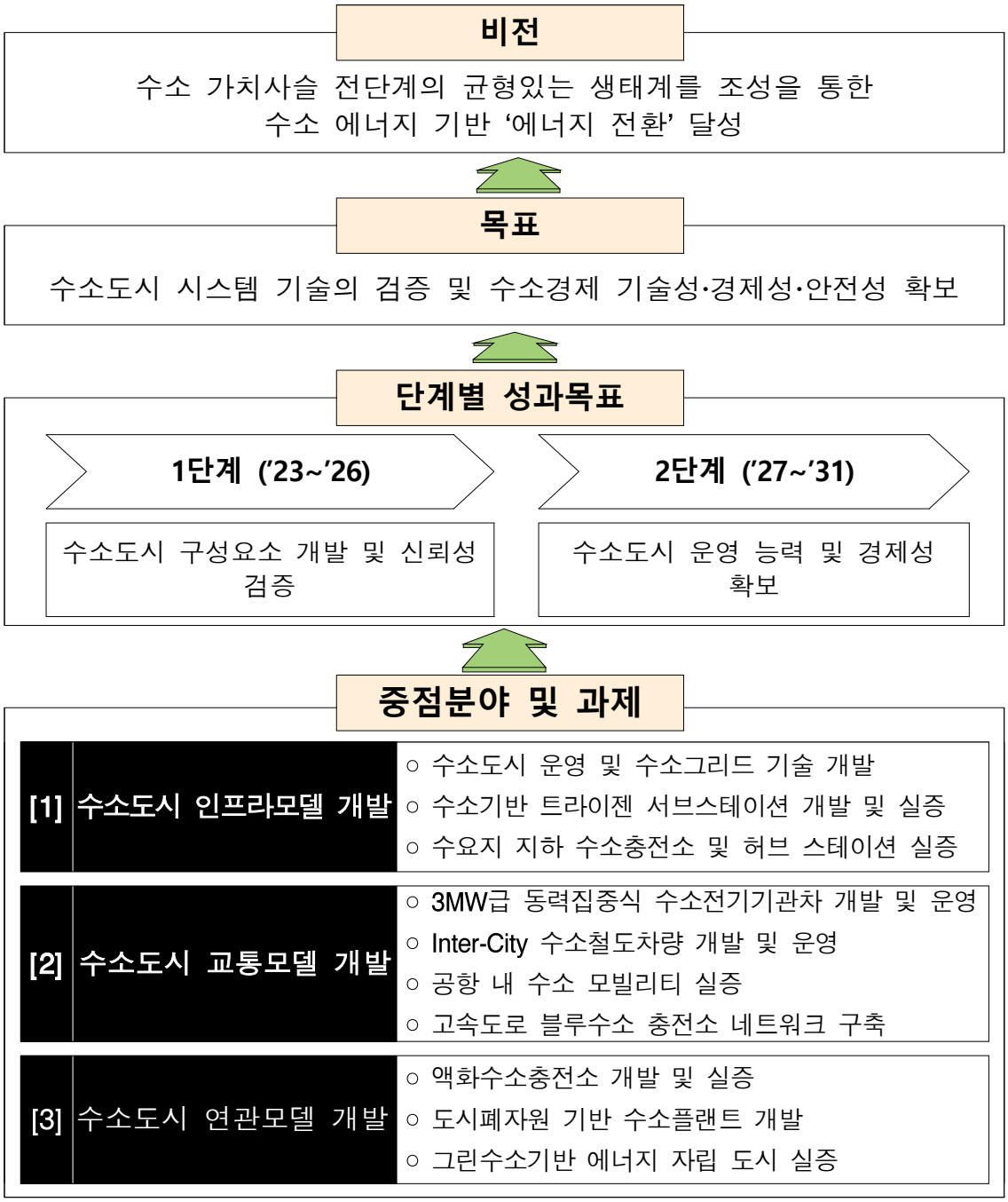
내역사업	추진과제	목표	추진기간
수소도시 인프라모델 개발	수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발	○ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 인프라 구축 플랫폼 개발 ○ 수소 활용 20% 이상의 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증 ○ ICT 기반 수소 그리드 운영 및 최적화 기술 개발	’23~’28
	수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증	○ 메가스테이션 연계 수소 직공급 열병합발전 기반 구역형 서브스테이션’ 개발 및 ‘건물용 트라이젠 (전기·온열·냉열) 공급 실증	’23~’27
	수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증	○ 스마트 수소시티 내 설치가 가능한 용량 3 ton/day급 지하 수소 충전소 설계기술 개발, 기준 제정, 실증 및 hub-station 설계(안) 제시	’23~’27
수소도시 교통모델 개발	3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영	○ 수소철도용 On-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 구축 및 수소전기기관차 실증을 통한 운영 및 안전성 평가 기술개발	’23~’31
	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영	○ 수소철도용 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축 및 수소 Inter-City 실증을 통한 운영 및 RAMS 평가 기술개발	’27~’31
	공항 내 수소 모빌리티 실증	○ 태양광 연계 그린수소를 활용한 공항 내 교통 및 물류 인프라 구축	’23~’26
	고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축	○ 1,300N㎥/h급 개질수소 생산 시설 실증 및 운용 데이터 확보 ○ 저가 친환경성을 동시에 달성하는 개질수소 공정 및 이산화탄소 공정 연계 시스템 최적 설계/실증	’25~’28
수소도시 연관모델 개발	액화수소충전소 개발 및 실증	○ 주민 수용성, 경제성을 고려한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 구축, 운영 및 핵심 설비(액화수소 운송 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 액화수소 고압기화기) 국산화 개발	’23~’27
	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발	○ 수소도시의 안정적인 수소공급을 위한 도시폐자원 가스화를 통한 합성가스에서 수소 생산 공급 통합 Test-Bed 플랜트 개발	’23~’27
	그린수소기반 에너지 자립 도시 실증	○ 그린수소기반 저장, 발전, EMS, 안전 등 에너지 자립 도시 기술개발 및 종합 실증	’23~’27



[그림 4-1] 사업 추진과제 기술 및 성과 연계 로드맵

4.2 사업 목표 및 지표

4.2.1 사업 비전·목표 체계



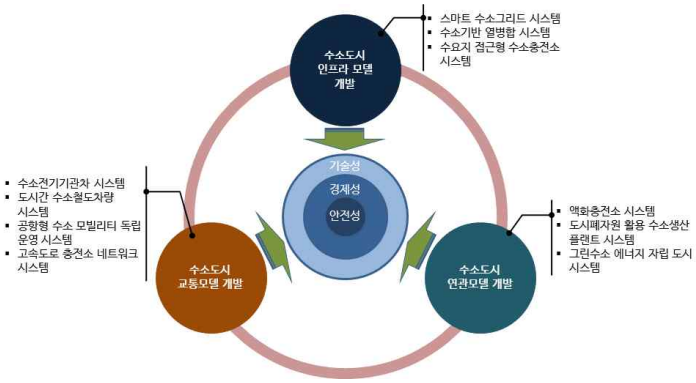
4.2.2 사업 비전 및 목표 설정근거

가. 비전 설정 근거

비전	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성
도출 근거	○「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ○「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ○「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ○「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ○「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ○「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ○「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ○「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ○「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥) ○ 수소경제 활성화 로드맵 ('19.1.)

나. 성과목표 설정 근거

성과목표	수소도시 시스템 기술의 검증 및 수소경제 기술성·경제성·안전성 확보	목표기한 / 사업종료시점	2031년
설정 근거	○ 3대 내역사업에서 수소도시 인프라, 교통, 연관모델을 개발하여 수소도시 시스템 기술을 검증함으로써 수소기술 상용화를 위한 기술적 완성도 및 경제성, 안전성 확보		



As-Is	To-Be
○ 수소차, 연료전지 등 활용 분야의 단품 실증 완료 ○ 대규모 연계 실증 부재	○ 대규모 도시 실증을 통한 통합 연계 기술 확보 ○ 수소도시의 수출 모델 개발 ○ 실증 단지를 기본으로 한 수소도시의 확산

다. 단계별 성과목표 설정근거

구분	1단계 ('23~'26)	2단계 ('27~'31)
성과목표	수소도시 구성요소 개발 및 신뢰성 검증	수소도시 운영 능력 및 경제성 확보
설정근거	○ 수소기반 열병합 시스템, 수요지 접근형 수소충전소 시스템 및 수소모빌리티 실증 완료 ○ 스마트 수소그리드 시스템, 수소전기기관차, 액화수소충전소, 도시폐자원 활용 수소생산플랜트 개발 완료	○ 스마트 수소그리드 시스템, 수소전기기관차, 도시간 수소철도차량, 고속도로 수소충전소 네트워크, 액화수소충전소, 도시폐자원 활용 수소생산플랜트, 그린수소 에너지 자립 도시 시스템 실증 및 운영

제 5 장 사업 세부추진 계획

5.1 수소도시 인프라모델 개발

5.2 수소도시 교통모델 개발

5.3 수소도시 연관모델 개발

5.1 수소도시 인프라모델 개발

5.1.1 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발

가. 개요

1) 정의

○ 수소 저장 및 공급 시스템을 위한 메가 스테이션 및 공급 그리드 구축기술과 도시 계획 및 운영 빅데이터 축적을 통한 수소 도시 운영 기술 개발

- 빅데이터 구축을 통한 수소 공급 최적화 제어기술 구현
- 디지털 오픈 데이터 시스템 구현을 통해 실 수용자의 간접적인 체험의 장을 구현하여 장기적인 리빙랩 전략 구현

2) 목적

○ 수소 타운내 메가스테이션 구축을 통한 수소 에너지 저장/이송/공급 시스템의 운영/통합 관리 기술 개발과 4차산업 혁명 기술을 통한 수소 인프라 실증 및 수소도시 계획 구축

- 4차산업 및 디지털 기술을 활용한 에너지 시스템 실 수용자의 사전 체험을 통한 시행착오 저감과 기술개발자와의 연계 네트워크 구축
- 수소 저장/공급/활용을 위한 메가스테미션 구축 및 운영기술과 수소 타운의 각 목적별 구성 요소(주거/오피스/상가 등)를 위한 연료전지 시스템의 활용 기술 개발

3) 구성요소

<표 5-1> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	수소추출기 혹은 그린수소 생산 시스템	1,000kg/d × 2기
저장	압축저장용기	200kg × 10기
이송	파이프라인(탄소강 및 FRG)	5~10km
활용	발전용 연료전지	50kW급 × 3기
	건물용 연료전지	10kW급 × 1기
	수소충전소	1 기
	수소자동차	2~3대
	전기충전소	5kW
	전기자동차	2~3대
운영	통합관제센터	165㎡
	수소메가스테이션	100㎡

4) 세부과제 구성

<표 5-2> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
수소타운 리빙랩 전략기술 개발	○ 기술개발자, 사용자, 지자체 등의 의사결정 플랫폼 구축 ○ 디지털 트윈과 디지털 리빙랩 구축 및 연계을 통한 간접 체험 플랫폼 구축 ○ 리빙랩을 통한 실 사용자 의견과 수소 그리드 운영 시스템 연계를 위한 의사결정 및 양방향 AI 알고리즘 개발
스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발	○ 디지털 트윈 기반 열/전기/수소의 시간별 부하 분석 및 예측기법 개발 및 운영 AI 연계 시스템 개발 ○ 신재생에너지 원별 용량기반 생산량 분석을 통해 복합 에너지 믹스 그리드 운영 기술 확보 ○ 수소타운 구성 요소내 수소 공급 최적화를 위한 그리드 운영 AI 알고리즘 개발 ○ 가스 네트워크 펌프스테이션 및 크리티컬 포인트 들의 센서 정보 취합을 통한 압력 변동 및 온도, 유량 모니터링 기반 상태진단 기술 개발 및 디지털 트윈 연계 기술 개발 ○ 서브스테이션들의 시간-일 단위 고해상도 실시간 사용 상태 모니터링 데이터 기반 수요 예측 모델 확보 및 생산-수송-분배 데이터 연계 운영 시스템 확보 ○ 도시가스와 수소 혼합 공급 시스템을 위한 원천기술 개발 및 확보
수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축	○ 수소/전력 저장 및 에너지 원별 공급을 위한 통합 모듈화 설계 및 구축 기술 확보 ○ 도시 기반 수소 사회/도시 구축 모델링 및 디지털 트윈 구축 기술 개발 ○ 수소 공급 및 저장 인프라 운영 시뮬레이션 및 AI 연계 툴 구축 ○ 수소 사용량 별 도시 계획 수립 로드맵 구축
메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발	○ 디지털트윈 기반 수소 커뮤니티 별 부하 분석 및 최적 용량 설계 기술 개발 ○ 메가스테이션 내 수소 관리를 위한 수소 생산 시스템과 연계기술 개발 ○ 수소 커뮤니티 열관리 및 열 공급 시스템 구축 ○ 메가 스테이션, 신재생에너지, 전력 충전시스템 등 복합시스템 연계를 통한 유연성 확보 기술 ○ 수소 교통을 위한 복합 충전소 구축 기술
난방 및 열 그리드 기술 개발	○ 4/5세대 열그리드 기술 확보 ○ 축열 시스템 요소별 운영기술 확보 ○ FC Tri-Gen 시스템 기술 확보 ○ 열 그리드 와 지역냉난방 연계기술 확보

5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

○ 국내 수소에너지 활용에 대한 수용자 혹은 사용자의 높은 거부감으로 인하여 기술 개발 및 실증에 한계가 존재

- 일반적인 리빙랩은 기술 사용으로 기반으로 추진되나 수소는 기술 적용 자체가 어렵기 때문에 디지털 기술을 적극 활용한 전략으로 극복

○ 메가 스테이션의 개념은 국내에서 처음 도입하여 추진되는 상황이며, 이는 도시 타운 운영에 요소기술로 작용할 가능성이 높지만, 국산화 기술 미비

- 현재 수소 스테이션을 국내 환경 여건상 수소 활용을 위한 저장, 공급, 활용 역할을 집중할 수 있는 다목적 메가 스테이션으로 기술 고도화

○ 안정적인 도시 운영을 위한 에너지 믹스 추진을 위해 필연적이나, 실제 재생에너지 등은 전력 그리드를 통해 공급되어 도시에는 전력으로서만 공급

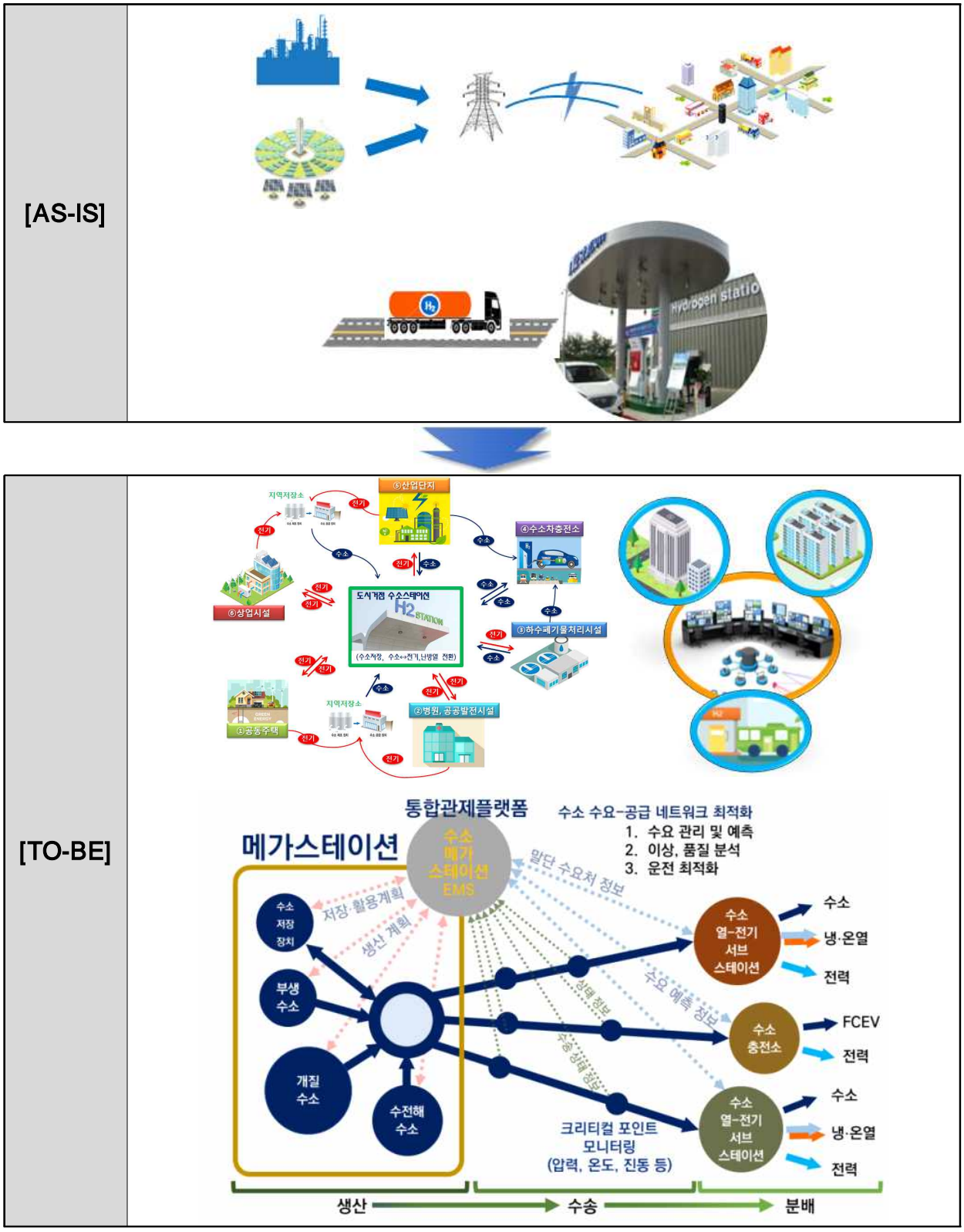
- 에너지 믹스는 다양한 에너지원 활용과 CO_2 저감을 위해 필수적이나, 아직 인프라 구축이 없거나 혹은 미비

- 초기 직접적인 인프라 구축 보다는 디지털 트윈 등의 4차산업 기술을 활용한 도시계획과 함께 운영을 위한 빅데이터 축적 및 AI 알고리즘 개발이 필연적

<표 5-3> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
수소 도시 디지털 리빙랩	○ 리빙랩의 보급 시작 단계로 일부 영역에서 활용 ○ 재건축을 포함한 도시 재생 등에 국한되며, 최근 스마트시티에서 일부도입을 통한 연구 시작	○ 지역내 리빙랩 플랫폼 보급 ○ 디지털 리빙랩을 통한 사업화 플랫폼 및 자유로운 사이버 공간의 의사교환 플랫폼 보급 ○ 지역 갈등 해소를 위한 리빙랩 모델로서 표준화
메가 스테이션	○ 개념적으로 존재 ○ 수소 스테이션으로서의 단일 목적의 스테이션 보급 ○ 수소와 전기 자동차를 위한 복합스테이션이 최근 공급	○ 수소 스테이션과 함께 지역 복합 스테이션으로 기술 개발 ○ 해외 수소 활용 기술의 주도권 확보 및 수소 교통을 위한 기술 선도
수소/에너지 그리드 및 AI 운영기술	○ 연료전지 활용을 위한 수소 파이프라인 보급이 일부 지자체에서 시행 ○ 경험은 있으나, 수소 보급을 위한 운영기술은 초보 단계 ○ 에너지 그리드 자체가 없으며, 한전에서 재생에너지를 전력으로 구매하여 일반 전력과 함께 공급	○ 도시내 공급 에너지 다변화를 위한 인프라 구축 ○ AI를 활용한 도시 에너지 공급 및 운영기술 확보 ○ 데이터 축적에 따른 도시내 CO2 저감을 위한 실질적 수단으로 보급
도시계획을 위한 디지털 트윈	○ 일부 플랜트에 국한하여 활용 ○ AI와 결합을 통한 운영기술 개발에 활용하기 위한 단계	○ 도시 설계를 위한 4차 산업 기술 분야 창출 및 도시 재생 사업 등의 응용 분야에 적극 활용
에너지 믹스를 위한 통합 모니터링 기술	○ 수소, 재생에너지 등의 에너지 공급을 위한 통합 운영은 스마트시티에서 일부 개념적으로 존재	○ 운영을 위한 센서 및 타운 모니터링/운영기술 확보 ○ 재생에너지와 연계된 통합 그리드를 위한 4차산업 기술 확보

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-1] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ 파리협정에 따른 CO_2 저감을 위한 정책적/기술적 방향성 도출이 시급

- 현재 CO_2 저감의 정책적 방향성은 에너지 효율화와 신재생에너지 활용으로 구분될 수 있음
- 에너지 효율화는 에너지 사용시 낭비되는 에너지 량을 감소하는 것으로 직접적인 CO_2 저감이라기보다는 간접적인 방식으로 분류될 수 있음
- 화석연료 대체라는 직접적인 CO_2 저감은 신재생에너지 활용으로 귀결될 수 있으며, 신재생에너지 공급확대를 위해서는 에너지 Carrier로서 수소에너지 사용 확대는 필연적일 수밖에 없음
- 수소에너지는 에너지 저장 면에서 배터리 등에 비해 탁월한 효율성이 있는 반면에 전기에너지의 변환에 따른 손실 등의 경제성 면에서 단점이 존재
- 또한 사회적/인문적 관점에서 에너지 패러다임 전환에 대한 거부감 해소가 필연적인 요소임
- 따라서 신재생에너지와 수소에너지 사용확대를 위해서는 시스템적으로 기술/경제/인문/사회적 가치관 형성이 필수적이며, 이를 위한 시범사업을 통해 경제적 그리고 기술적 평가가 필수적임
- 추가적으로 경제성 확보 가능성 평가는 단일 기술보다는 시스템적인 구성요소를 함께 평가하는 것이 현실적이며, 이를 위한 도시적 수소에너지 구성요소 평가는 반드시 수행되어야 하는 필연적 요소임

○ 국내 수소에너지 기술 개발은 개별적인 과제 단위로 구성되는 경우가 대부분이며, 이는 수소에너지가 전주기적인 관점의 통합 시스템에 대한 기술성 평가를 통해 지속가능성을 확보해야 하는 관점에서 적절치 못한 방향성임

- 현 추진되는 단일 기술이 아닌 시스템적으로 운영될 수밖에 없는 에너지 산업 생태계에 대한 기반 구축이 시급한 상황임
- 따라서 다양한 부처에서 시행되었거나 혹은 시행될 예정인 수소에너지 관련 기술의 통합 운영의 장에 대한 고민이 시급한 상황임
- 특히, 수소에너지 시스템 구축과 운영을 연계하고 지속가능성 확보를 위해 민간에서 공공영역의 산업 시스템까지 연계할 수 있는 R&D 플랫폼 구축이 필요함

○ 대다수 R&D 성과와 산업 연계 미비는 실 사용자와의 소통부재로 인한 것으로 기술 활용성에 대한 사용자 혹은 수용자 의견 반영이 부족

- 수소에너지는 국가 차원의 패러다임 전환 정책의 일환이므로 실 사용자의 니즈 반영이 필수적인 상황임
- 따라서 기술 개발 성과에 대한 지속가능성을 확보하기 위한 일환으로 실 사용자와의 소통 수단 개발과 이를 통한 성과의 보완이 필수적임

2) 추진 필요성

○ 수용자 및 기술개발자 간 밀접한 연계를 통해 연구성과의 완성도를 높이고, 연구성과의 활용도를 높이기 위해서는 대규모 및 생활 근접형 테스트베드 구축 과제가 필요함

- 수소에너지 연구는 생활과 밀접한 연계형 연구과제이므로, 실 사용자의 활용성이 중요하며, 이를 통한 기술개발 단계의 보완이 필요
- 따라서, 수소에너지 접목이 가능한 소규모 도시 생태 구축 및 이와 관련된 산업 생태계 구성 기관 들의 산업 네트워크 조성을 위한 테스트 베드형 과제가 필요함
- 1차적으로 시민의 자발적인 참여 유도를 위해 위험성 평가와 제도적 안정성 확보가 가능한 테스트베드 확보 전략을 추진

□ 수소타운 리빙랩 분야

○ 기존기술의 한계

- 수소에너지에 대한 실 사용자의 거부감 극대화
- 기술개발자, 사업자, 실 사용자간의 의사소통구조 부재에 따른 부작용
- 리빙랩의 중요성은 강조되고 있으나, 표준화된 사례 그리고 성공사례가 드물어 벤치마킹에 대한 전략 부재
- 일부 재건축, 고령화 등에 대한 적용사례외 기술적 분야에 대한 접근 방법 수립이 필수

○ 기술개발 필요성

- 환경단체, 사용자, 기술개발자 등의 통합 의사 소통 기구 수립
- 수소에너지 관련 중앙 전담 기구 설치를 통한 국내 정책 기구의 일원화
- 과제 실시 중 리빙랩을 통해 자연스러운 사용자 유입을 통한 산업 생태계 구축 전략을 적극적으로 추진
- 1차적으로 기술개발 거부감을 최소화할 수 있는 기관 및 수용자를 우선으로 리빙랩 전략 개발
  · 연구기관들 간 컨소시엄을 통한 테스트베드 구현

· 연구개발자 위주에서 시민의 참여까지 확대가 가능한 리빙랩 플랫폼 구현

· 수소타운에 대한 디지털 오픈 데이터 플랫폼 구현을 통해 전국 잠재적 수용자의 자발적 간접 체험의 장을 구현

□ 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 국가 단위 정책적으로 추진하는 수소 사용량은 존재하나, 실제 수소도시에 장래에 필요한 수소 사용량 예측 방법은 미비

  · 필요량에 따른 에너지 그리드 운영방법에 대해 진지한 고려 필요

- 지역에 필요한 수소 사용량 예측에 따라 시설물별 용량, 부지 접근성, 수용 가능성 등을 고려한 배치계획 미흡

  · 수소와 신재생 및 화석 에너지 운영시 에너지 요구량 별 필요한 각 에너지 공급 비율 결정 프로세스는 없음

  · 수소의 생산량 등을 고려할 때 수소만 사용하는 것은 불가능함에도 불구하고 현 R&D 대부분은 에너지 그리드적인 측면에 대해 고려하지 못함

- 국내 수소에너지 활용에 대한 DB는 전무한 것으로 조사되며, 일부 산업단지에서 공업용으로 활용

- 실제 통합관제 시스템은 스마트 시티 분야에서 기술 개발 중으로, 통신을 제외하면 경험 부족

- 다양한 에너지의 통합 연계 및 운영에 대한 기술적 방안 부족

- 수소도시의 도시적용을 위한 단위기술의 통합부재, 도시내 다양한 정보시스템과의 연계부족

- 수소사고예방과 안전성 평가를 위한 데이터베이스 구축률 선진국 대비 10% 수준

- 국내는 기초연구 단계 수준

- 에너지부문 운영 기술이 전력부문에 치중되는 경향이 있음

○ 기술개발 필요성

- 지역별 인구, 경제, 사회 변화 등을 예측하여 해당 도시의 장래 수소 수요예측 방법론 개발

  · 수소 타운 운영 결과에 따른 기관별 예측 data 시스템 및 프로그램 개발을 통해 해결

- 도시의 수요에 따라 배분 시설 위치, 공급망 계획 등 배치계획 개발

  · 도시 계획 단계에서 활용

· 각 그리드별 에너지 배치 계획을 통한 시스템화를 추진

- 수소에너지를 활용할 수 있는 시범지구 선정과 각 분야 별 운영 data의 축적을 통한 통합 연계 전략 도출
  · 적용 분야별 운영에 대한 다양한 국내·외 data를 보호할 수 있는 클라우드 시스템 구축과 피드백 시스템 구축
- 다양한 수소활용분야의 기술을 연계할 수 있는 수소 타운 혹은 클러스터 개념의 구역 선정을 통해 기술간 연계 전략을 도출
- 도시내 에너지 별 사용량과 활용성평가를 통해 분산 에너지 전략 및 수소에너지 활용성의 기준을 도출
- 스마트시티 기법 중 하나인 그리드 기술을 화석, 신재생 및 수소에너지에 응용함으로써 통합 에너지 운영기술을 개발
- 수소기술 적용을 위해 도시관련 다양한 단위기술과 기존의 정보시스템과의 연계 통합
- 안전성 확보를 위한 실증 데이터베이스 구축, 데이터 센싱 및 데이터베이스 분석 기술 개발 필요
- 다양한 국내 환경 맞춤형 환경, 경제성 평가 방법에 관한 연구 필요
- 전력, 가스 및 열네트워크에서 구축한 그리드 운영방식을 활용한 수소그리드 기반 운영 최적화 기술 개발 필요

□ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 분야

○ 기존기술의 한계

- 도시내 실증을 위한 인프라는 주민 수용성을 기반으로 구축되어야 하나, 수소에너지에 대한 부정적인 인식이 높음
- 수소 생산 시설 미비 등으로 인하여 원활한 공급 체계 구축 기반 미비
- 도시내 수소 인프라 구축을 위한 제도적 기반이 미비
- 도시내 수소 공급을 위한 수소 저장 시설 기반 구축시 안전 기준 등의 시설 기준에 대한 면밀한 검토 부족
- 복잡한 도시내 수소 파이프라인 등 공급 인프라 구축에 대한 사회적 인식 부족 및 경험 부족

○ 기술개발 필요성

- 대덕연구단지 등을 위주로 거부감이 최소화된 지역 우선으로 TB 검토

· 리빙랩 등과의 연계를 위해 도시 계획 및 구축 로드맵을 통한 주민 수용성 확보 전략

· 간접적인 체험의 장을 마련

- 시급한 인프라 구축을 위한 제도적 기반 구축을 토대로 도시 실증 계획 구축

· 생산시설은 연구보다는 실증이 가능한 형태로 진행

· 메가 스테이션 플랫폼 구축을 통한 저장 및 공급 시설의 일원화

- 국내·외 수소 운반 및 공급 라인 구축에 대한 벤치마킹을 통한 시행착오 최소화 전략 구축

- 도시 주요설비 보호를 위한 안전망 구축과 배관 설비의 구축

- 기존 도시가스 파이프라인 등을 이용할 수 있는 기술개발을 통해 인프라 구축을 위한 기회비용 확보

· 메탄과 수소의 혼합 이송 기술 등을 파일럿 형태로 구축

· 향후 수소 사회를 대비하기 위한 지향 기술로 활용

□ 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 메가 스테이션에 대한 정의 자체가 없으며, 저장/공급/이송 및 수소 스테이션으로서 명확할 역할론에 대한 진지한 고민이 필요

- 저장시스템으로서 메가 스테이션까지 대용량 이송방법, 그리고 활용처까지의 이송체계 관리에 대한 경험이 전무

- 전체적인 data 및 경험 부재로 인한 전략 구축 자체가 어려움

· 단, 현재 수소스테이션에서 수소차량 공급에 대한 단편적인 경험 축적

○ 기술개발 필요성

- (저장/공급/이송) 메가스테이션의 용량별 외부 공급 방안에 대해 고려 필요

· 자체 생산설비를 구축하되, 연구로서가 아닌 인프라로 구축하여 중복성 회피

· 각 건물별 연료전지 및 수소 활용 시스템과 연동을 통한 활용시스템 구축

- 저장 시스템과 이송시스템 간의 상호 연동을 통해 수용처의 신호체계 구축

- 신재생에너지와 화석에너지의 연동 역할을 위한 전기에너지 저장시스템으로 수소에너지의 flexibility 확보

- 수소타운 구성 건물 외적으로 수소연료전지 차량 구동을 위한 충전시스템 활용 시스템 확보

- 중대형 및 소형 차량 (마을버스 및 개인차량) 충전에 따른 멀티 수소 활용 시스템 구축

  · 개별적인 시스템 구동이 아닌 한 개의 저장시스템으로부터 차량 및 건물 용 수소 에너지 공급 시스템 구축

□ 난방 및 열 그리드 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 기존 열그리드와 같이 90℃ 이상의 온수를 열수요처에 공급하는 경우 열손실이 매우 높게 나타나게 되며, 분산형의 신재생열에너지의 온도수준과 조화롭게 구성할 수 없음
- 따라서 기존 열그리드와 분산형의 저온열그리드를 별도로 구성하고 상호 열그리드간의 열적 교환을 통한 열에너지의 공급방안의 한계를 가지게 됨
- 연료전지 운전에 따른 열에너지의 하절기 활용이 매우 저조하며 기존LNG 열병합발전에 비하여 낮은 효율로 경쟁력 감소 문제
- 이에 따라 연간 연료전지 이용율이 감소할 수 있으며 전기 위주의 에너지 공급으로 활용 시 보급에 한계를 가지게 됨.
- 하절기 냉방부하가 지속적으로 증가함에 따른 전기냉방수요 확대 및 이에 따른 신규 발전소 구축 요구 증가

○ 기술개발 필요성

- 신재생에너지를 통한 4세대 저온열그리드를 분산형으로 구성하고 열에너지의 안정적인 공급을 위하여 버퍼조와 계간축열조를 추가하는 접근방식이 필요
- 또한 열수요처의 히트펌프에 열원으로 열에너지를 공급할 수 있는 지열원온도와 유사한 수준의 5세대 저온열그리를 버퍼조와 계간축열조를 포함하거나 냉열원 및 온열원 열그리로 구성할 수 있음
- 연료전지의 배열을 이용한 하절기 냉방과 동절기 난방에 사용할 수 있어야 하며 이를 위하여 연료전지와 흡수식 히트펌프의 연계 운전이 필요
- 또한 연료전지+히트펌프의 패키지 시스템을 축열조 및 열그리드와 연계하여 운영이 필요
- 지역냉방 기술을 통한 집단에너지공급량 증대가 필요

다. 기술개발 동향

○ 수소에너지 활용을 위한 생활 연계형 테스트베드 구축에 요구되는 기술의 범위는 “연료전지 활용 분야”, “수소 생산 및 이송 분야”, “수소 저장 분야” “인프라 유지 관리 및 운영기술 분야”, “기술-사회 협업 플랫폼 분야”, “수소 교통 플랫폼” 등으로 정리될 수 있음

○ 요구되는 기술 분야에 대한 각 부처별 연구 기획 혹은 진행 중에 있으며, 국토교통부 만의 차별화를 위해서는 통합 시스템적인 토탈 기술개발 측면으로 진행할 필요가 있음

1) 국내

□ 수소타운 리빙랩 분야

○ 신재생에너지 관련 리빙랩 과제가 성공적으로 추진되었으나, 최종 지속가능성 확보까지는 실패

○ 고령화 등의 주제에 대해 리빙랩 추진 사례가 존재

○ 전반적인 리빙랩에 의한 다양한 사업이 추진되고자 하나, 표준화된 리빙랩 프로세스 수립이 시급

○ 신재생에너지 분야에 대한 리빙랩 도입에 대한 논의가 활발

□ 스마트 에너지 그리드 운영기술 분야

○ 국내 정책적 수소 공급량 목표는 존재하나 지역별 인구, 경제 규모 등을 고려한 예측 규모는 아직 없음

○ 각 지자체 별로 수소 자동차 공급대수에 따른 수소에너지 공급량에 대하여 자체적으로 용역 추진

○ 지역별 수소 사용량 예측 뒤 도시내 수소를 공급하기 위한 시설의 배치 전략 미흡

○ 수소에너지 관련 DB 혹은 관제 시스템에 대한 진지한 접근은 없음

○ 현재 스마트시티 사업단내 control center 운영을 위한 DB 구축과제 등이 시행되나, 실질적인 에너지 분산과는 무관

○ 스마트 전력 그리드 과제가 진행되나 이는 분산 운영기술까지 접근하기 위한 진지한 고찰이 더 필요



[그림 5-2] 수소 도시 구축을 위한 리빙랩 구성도

○ 우리나라에서는 에너지부문 지능형 기술 적용이 스마트그리드와 같은 전력부문에서 먼저 논의되어 왔고, 관련 연구나 정책개발도 전력부문에서 보다 활발하게 이루어짐

○ 유럽, 일본, 미국 대비 추격 단계에 있으며, 실증 성과가 부족한 상황

○ '15년 KT는 개방형 복합에너지 관리플랫폼인 KT-MEG 센터를 이용하여 열과 전기에너지 생산-소비-거래 통합 관제 플랫폼 구축

○ '17년 중앙대학교에서 100만명 도시형 복합 수소 네트워크의 설계를 위한 경제성 평가 및 망 최적화 연구를 수행함

○ '19년 한국가스공사는 '지능형 통합에너지플랫폼 기반 복합에너지 허브 시범구축 및 기술 실증' 사업에 착수했으며, 전력, 수소, 열, 천연가스 등 복합에너지 공급 마이크로그리드 운영을 목표로 하고 있음

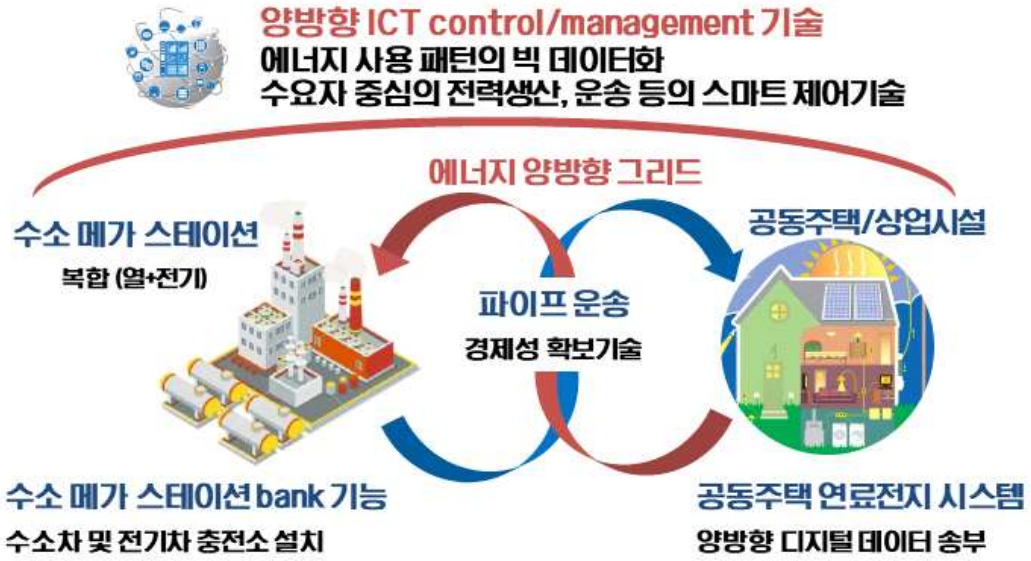
□ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 분야

○ 울산 소수타운에 연료전지에 의한 주거 모델 시범사업 실시. 울산시 부생수소를 기반으로 공급하였으며, 2단계 계획이 수립되었으나 도시계획보다는 커뮤니티 수준임

○ 메가 스테이션에 대한 개념은 지속적으로 도출되었으나, 실질적으로 구현된 적은 없음

○ 연료전지의 각 가정 적용 사례가 있으며, 연료전지 발전사업자에 의해 개별적으로 전력 공급에 대한 경험 축적

○ 수소 스테이션은 몇몇 지자체를 중심으로 구성되고 있으며 각 사이트별로 운영



[그림 5-3] 메가스테이션 개념 및 ICT 운영 기술 개념도

□ 난방·열 그리드 기술 분야

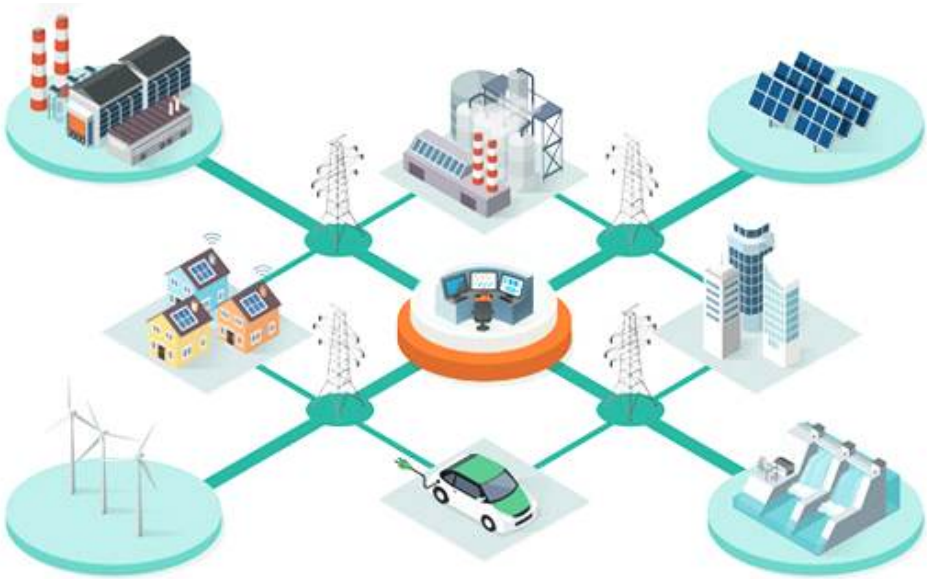
○ 국내에서 진천 친환경에너지타운에서 태양열 계간축열조와 지열 히트펌프를 복합 구성하여 중앙열에너지공급시스템에서 열그리드를 통하여 주변 학교 및 소수의 공공건물에 직접 난방 및 급탕을 위한 55℃ 이상의 온수를 공급하기 위한 4세대 저온열그리드 실증이 이루어진 바 있음

- 허브축열과 같은 개념이 도입된 양방향 열교환이 가능한 스마트시티기술을 위한 4세대 열그리드 기술 개발 중

○ 기존 열그리드와 4세대 열그리드간의 열교환 등의 연구가 이루어지고 있음

○ 연료전지와 CO-Gen시스템을 이용한 전기, 열에너지 공급시스템에 대한 연구는 진행되었으나 연료전지+Tri-Gen 시스템에 대한 개발 및 실증 연구는 제안되었으나 실제 진행되지 못함

○ 다만 Aspen을 이용한 HT-PEMFC 연계 Tri-Gen 시스템에 대한 성능분석 등이 최근 진행되었음

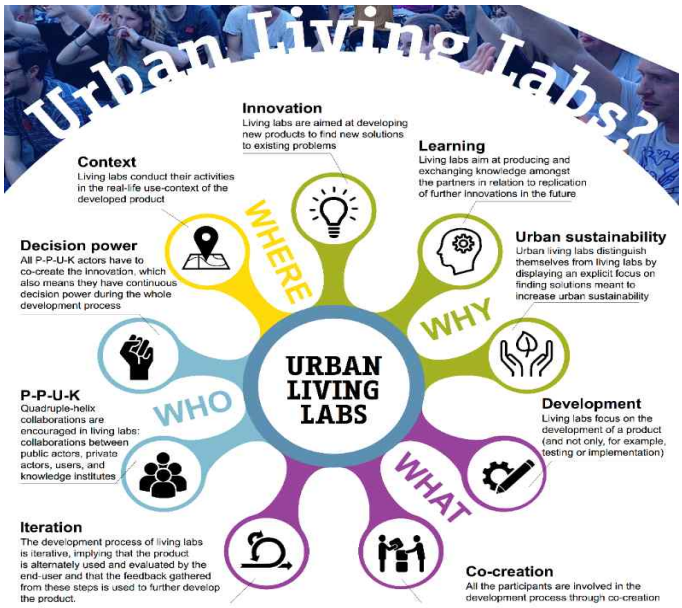


자료: 한국에너지공사 홈페이지

[그림 5-4] 메가스테이션 개념 및 ICT 운영 기술 개념도

2) 국외

□ 수소타운 리빙랩 분야



자료: Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions(2017). Urban Living Labs: A living lab way of working

[그림 5-5] 네덜란드에서 추진하는 도시 리빙랩의 사례

○ 스마트시티내 소형 리빙랩 과제가 성공적으로 추진

○ 일반적으로 유럽을 중심으로 장기적인 리빙랩이 추진되고 있음

○ 일반적으로 공공건물 중심의 리빙랩 과제로 장기간에 걸쳐 진행됨

○ 재건축을 포함한 도시 재생 사업 등에서 성공적인 리빙랩 사례

○ 수소에너지 중점의 리빙랩은 찾아보기 어려움

□ 스마트 에너지 그리드 운영기술 분야

○ 대다수 국가가 수소 교통에 중점을 두고 수소에너지 사용 예측을 실시

○ 수소 자동차 공급에 따른 필요수소량 및 수소 충전소 구축 수에 중점

○ 미국 캘리포니아지역의 10-20년의 중기 수소 에너지 수요 예측 모형 구축

○ 미국 각 주를 클러스터링 한 지역별 2050까지 수소 사용량 및 비용 예측

○ 수소도시 관련으로는 DB와 도시 전반적인 관제 시스템 연구가 없음

○ 스마트 시티 분야의 control center 관련 기술이 유사한 분야로 도출

○ 전반적으로 스마트 미터링을 기반으로 하는 신재생에너지 정책의 일환으로 추진

○ 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 기업 컨소시엄 중심으로 국제표준화가 진행 중이며 미국・일본・유럽이 주도

○ ‘00년대 초반부터 유럽에서는 가스 공급망의 수요와 공급 최적화 모델링에 관한 연구를 진행해 왔으며 다양한 실증 경험 및 운영기술을 보유하고 있음

- 가스 네트워크 모델
- 가스 수요 예측 모델
- 누설 감지 및 이상진단
- 센서 설계 및 최적 위치 구성

○ ‘19년 호주는 천연가스 공급 배관에 수소를 주입하는 네트워크 구성및 운영기술 연구 사례 소개

○ ‘20년 독일의 최대 에너지공급사인 RWE는 수소 공급 네트워크 건설에 착수, 운영 공식화함

□ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 분야

○ (일본) 기타큐슈 수소 타운으로 대변되며, 신일본 제철의 부생수소 기반으로 다양한 도시내 수소에너지 활용정책 실험으로 커뮤니티 단위에 그침으로 도시 계획이라하기에는 미흡

○ (영국) 리드시에 도시내 파이프라인을 통한 수소 공급에 대한 실험

○ (미국) 실증 도시라기 보다는 수소 교통 도입을 캘리포니아 주에서 실시

○ (덴마크) 롤랜드 시를 중심으로 주거에 대한 수소 공급 모델을 검증하였으나, 커뮤니티 단위임

○ 미국, 유럽 등은 수소자동차를 위한 스테이션 개념으로 설치 및 운영



자료: 충남리포트 187호

[그림 5-6] 일본 기타큐슈 수소 타운 개념도

□ 난방·열 그리드 기술 분야

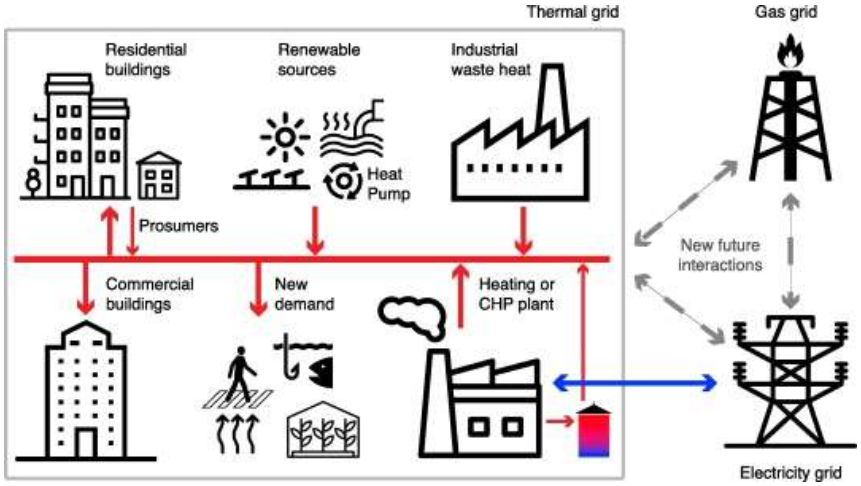
○ 유럽에서는 저온열공급을 위한 4세대 열그리드인 저온 열공급 네트워크, 저온 재생에너지열원과의 연계, 열저장설비 등의 기술이 실용화 연구 수준에 이르러있으며, 시장에 적합한 사업모델 개발 중에 있음

○ 유럽에서는 또한 4세대 열그리드[32]에서 한 세대 더 진보한 스마트 열그리드라고 할 수 있는 5세대 열그리드[33]에 대한 개발과 40여 군데의 실증연구를 진행하고 있음

32) 저온 열공급(60~80℃), 서로 다른 온도대의 열을 사용하는 건물들을 묶어서 공급(캐스캐이드식 공급)
33) 20℃ 지중온도수준의 열그리드로서 신재생열원과 지중축열 등의 열원이 통합연결되고 열그리드에 연결된 각 건물 열수요처의 서브스테이션에 설치된 히트펌프 열원 공급으로 고효율 운전가능하고, 열그리드 배관망 주변의 지중축열 효과 및 배관단열이 불필요

○ 다양한 연료전지(PEMFC, PAFC, MCFC, SOFC)와 연계된 Tri-gen 시스템 구성 방안 및 성능 예측에 대한 논문이 제시되고 있음

○ 연료전지(SOFC)와 제습냉방 시스템을 연계하여 주택용 Tri-gen을 구현하는 연구가 진행되었으나 성능향상, 규모확대, 시스템 최적화 등이 필요한 단계로 연구 초기 단계에 있음



자료: Hennessy, J. Li, H. Wallin, F. and Thorin, E., “Towards smart thermal grids: Techno-economic feasibility of commercial heat-to-power technologies for district heating”, Applied Energy, Vol. 228, No 15, pp. 766-776, 2018.

[그림 5-7] 해외 열 그리드 개념

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 인프라 구축 플랫폼 개발

- 수소 타운내 수소 기술 국산화 80% 이상

○ 수소 활용 20% 이상의 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증

- CO_2 저감을 위한 지표 개발 및 표준화

○ ICT 기반 수소 그리드 운영 및 최적화 기술 개발

- 블록체인 기반 수소 그리드 운영 AI 운영 플랫폼 개발

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-4> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발	수소 타운 내 수소 기술 국산화율 80% 이상	없음	없음
수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증	수소 활용도 20% 이상	없음	없음
에너지 그리드 운영을 통한 CO_2 저감	CO2 저감율 50% 이상	없음	없음

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-5> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 수소타운 구축을 위한 테스트 베드 대상 지역 선정 및 리빙랩 구축 최적 전략 도출 ○ 수소 및 신재생 에너지원별 설계 알고리즘 개발과 실측 기반 주거 및 비주거 건물 열/전기/수소(연료) 월별·시간별 부하 분석 및 예측을 위한 시뮬레이션 프로그램 개발 ○ 수소주거-교통-빌딩 등의 체계적인 수소 활용 시스템 구축 및 DB를 위한 제어 소프트웨어 개발 ○ 4, 5세대 열그리드 및 축열 개념설계와 적용성 검토 ○ FC Tri-Gen 시스템 기본설계 및 적용성 검토 ○ 수소 타운 및 그리드 구축을 위한 디지털 트윈 개념 도출 및 AI 운영 알고리즘 연계 전략 개발
2024년	○ 리빙랩 전략 구축을 위한 오픈 디지털 데이터 시스템 구축 전략 ○ 디지털 트윈 기반 건물 용도별 부하분석 및 최적 시스템 용량 설계 ○ 수소도시 대상 디지털트윈 적용 동특성, 위험, 사고 모델 고도화 및 안전시스템 구축 ○ 수소도시 건물+모빌리티 에너지 시스템 설계 및 신재생에너지원별 그리드 개념 설계 - 수소 및 재생에너지 공급 인프라 설계 및 구축과 AI 기반 중앙 제어/운영 시스템 설계 ○ 4, 5세대 열그리드와 축열시스템 기본 및 상세 설계, 운전제어기술 개발 ○ FC Tri-Gen 시스템 상세설계 및 운전제어기술 개발 ○ 크리티컬 포인트 모니터링용 센서 및 실시간 통신구조 설계 및 제어시스템 개발
2025년	○ 수소 타운을 위한 테스트베드 구축 및 오픈 디지털 데이터 시스템과 운영제어 시스템 연계 ○ 디지털트윈 기반 도시 모니터링·관제 시스템 개발 및 AI 알고리즘 연계 ○ 수소 타운 건물+모빌리티내 에너지 공급을 위한 메가스테이션 및 에너지 그리드 시스템 구축 - 수소 기반 신재생에너지 통합 운영 프로그램 개발 및 내부 연결 망 구축 ○ 운영 제어룸 및 그리드를 통한 각 소규모 제어룸의 연계 망 구축 및 시운전 ○ 4, 5세대 열그리드/축열 시스템 설치 및 시운전 성능분석, 보완 ○ FC Tri-Gen 시스템 제작 및 시운전
2026년	○ 디지털 트윈 기반 메가스테이션용 통합관제 운영 플랫폼 제작 및 시뮬레이션 ○ 리빙랩 연계 및 수소타운을 위한 테스트베드 운영 및 관리 기법 개발 - 수소 타운내 지역별, 시스템 별 개별 운영 및 데이터 축적 시작 ○ 수소도시 건물 열/전기/수소(연료) 및 구성요소간 에너지 공유를 위한 운영 ○ 공급배관용 센서 네트워크용 통신 시스템 기반 데이터베이스 및 분석 시스템 시작품 개발 ○ 4, 5세대 열그리드 및 축열 실증시험 성능 평가 및 운전제어기술 적용 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 구축 및 시운전

추진연도	기술개발 내용
2027년	○ 실증사이트 수소생산장치 통합관제 운영·수요예측 플랫폼 구축 및 시운전 ○ 공급배관 및 센서네트워크 구축, 플랫폼 신호 연동 ○ 5세대 열그리드의 열수요 건물측 열적 인터페이싱 실증시험 성능 평가 및 운전제어기술 적용 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 실증운전, 성능평가 및 운전제어기술 적용 ○ 디지털 트윈과 AI 운영 알고리즘 연계 및 DB 구축
2028년	○ 통합 운영시스템 운영 및 DB 구축을 통한 수소도시 확산 로드맵 구축 ○ 수소도시 건물 총 에너지 20%이상 수소에너지 공급 실증 및 운영 ○ 통합플랫폼 안정화 및 고도화 그리고 경제성 평가를 통한 수요예측 알고리즘 고도화 ○ 각 시스템 별 운영 고도화를 위한 보완 전략 수립

마. 세부과제 추진계획

1) 수소타운 리빙랩 전략기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’28년

□ 연구목표

○ 수소도시 구축을 위한 디지털 리빙랩 플랫폼 표준화

○ 수소 타운 테스트베드 운영 결과 기반의 탄소 배출권 사업화 전략 도출 및 탄소 중립을 위한 평가 기술 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-6> 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치					
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년	‘28년
수소타운 전환 디지털 리빙랩	리빙랩 플랫폼			사용자네트워크 구축	블록체인 모델 연계	주민참여율 및 의견수렴 반영율	테스트베드 장기 운영전략
블록체인 기반 오프 데이터 플랫폼	외부 주민 활용도	플랫폼 설계	알고리즘 개발	수소타운 디지털 플랫폼	블록체인 확립	리빙랩 연계 및 주민체험율	
국가 수소타운 탄소세 사업화	수소 타운 탄소 배출권 사업 표준화	친환경인증 및 탄소세 확보 로드맵		수소 사용량 DB구축	탄소저감 평가 툴 도출	탄소저감 효과 시뮬레이션	CDM 사업화
경제성 평가 기반 에너지 믹스 전략	에너지 믹스를 위한 경제성 평가 툴			시물레이션 툴 개발	DB 연계 시뮬레이션	도시규모, 인구별 경제적에너지 믹스운영방안	

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-7> 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 국내외 리빙랩 사례 분석 및 벤치마킹 전략 수립 ○ 섹터 별 블록체인 전용 네트워크 및 중앙 제어시스템 연계를 위한 요소기술 개발 ○ 수소에너지 활용을 위한 도시계획 수립 ○ 테스트베드내 최적의 수소에너지 활용처를 위한 모델링
2024년	○ 에너지 분야 리빙랩을 위한 기술개발자/수용자 간의 소통기구 구성 ○ 주요 수소 에너지 설비에 대한 의견 수렴 및 맵핑 설계 ○ 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 내부 수소 공급/이송 체계를 위한 메가스테이션 설계 ○ 블록체인 구성을 위한 알고리즘 개발 ○ 탄소 마켓 적용을 위한 전략 도출
2025년	○ 리빙랩 전략에 따른 수소타운 구축 전략 도출 ○ 국내 수소 타운 후보지 관련 수소에너지 특화 맵핑 추진
2026년	○ TB 구축/운영 데이터에 따른 리빙랩 전략 보정 및 사이버 리빙랩 구성 ○ 블록체인 시스템 구축 및 오픈 데이터 구축완료 및 운영데이터 연계 ○ 디지털 트윈 구축과 오픈 데이터 시스템 연계 운영 ○ 국내 수소타운 지역 특화 맵 도출개인 사업자를 위한 사이버 수소마켓 활성화 방안 도출 ○ 경제성 분석 툴 개발 및 분석에 따른 수소타운 운영 전략 도출 (2세부과제와 연계)
2027년	○ 리빙랩 운영을 통한 테스트베드 고도화 추진 ○ 블록체인 오픈 데이터 플랫폼 활성화 ○ 블록체인 활용 비즈니스 마켓 전략 도출
2028년	○ CDM 사업화 및 테스트베드 향후 운영을 위한 전략 도출 ○ 경제성 평가 및 리빙랩 전략 에 따른 수소도시 구축전략

2) 스마트 에너지 그리드 운영기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’28년

□ 연구목표

❍ 테스트베드 구성요소 별 열/전기/수소 월별, 시간별 부하 분석 및 예측을 위한 운영 기술 개발

❍ 신재생에너지 원별 용량에 따른 생산량 분석 툴 개발 및 재생에너지, 수소 공급을 위한 에너지 믹스 통합 그리드 운영을 위한 통합 관제 시스템 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-8> 스마트 에너지 그리드 운영기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치					
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년
통합관제 시스템 DB 및 운영기술	수소에너지 활용처별 DB	시스템 설계	제어 시스템 설치	네트워크 연결	각 활용처별 DB 축적	DB통합 연계	통합 운영 SW
메탄/수소 혼합 이송 파이프라인 운영기술	수소분리95% 이상	수소 분리막 소재 조사	세미 파일럿설계	분리막 프로토타입	파일럿 구축	파일럿 운영	혼합 이송 가이드
공간정보 통합플랫폼	통합 플랫폼	설계		50%			100%
에너지 그리드 운영 모니터링 및 커미셔닝 시스템	수소에너지 활용도 및 에너지 그리드 운영 매뉴얼	에너지 모니터링 설계 (안) 도출	인프라 구축과 모니터링 시스템 연계	수소 에너지 20% 이상 활용도 확보			에너지 믹스 체계를 통한 탄소저감 20% 달성
메가스테이션용 통합관제플랫폼	S/W	-	-	시스템 개발	D/B확보		S/W

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-9> 스마트 에너지 그리드 운영기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 TB 내 에너지 그리드 구성 요소 파악 ○ 기존 천연가스 배관을 통한 수소이송 가능성 분석 ○ 수소주거-교통-빌딩 등의 체계적인 수소 활용 시스템 구축 및 DB를 위한 소프트웨어 개발 ○ 통합 관리를 위한 AI 및 딥러닝 기본 구상 ○ (생산) 메가스테이션 적용 수소생산기술에 따른 주요 모니터링 및 제어 요소에 대한 측정방법 및 데이터 수집주기, 방법 도출 ○ (수송) 가스 배관 네트워크 상태파악용 센싱기법 및 분석방법 도출 ○ (분배) 수요처에 따른 부하패턴 설정 및 다중 수요 분석을 통한 수소수요 예측 모델 수립
2024년	○ 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 구축 및 중앙 제어 시스템 설계 ○ TB내 신재생에너지 및 수소 간 연계 그리드 기본 설계 및 운영 컨셉 도출 ○ 빅데이터 구축 방안 및 디지털 트윈 기본 설계 ○ 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - 혼합 가스내 수소 분리 시스템 설계 ○ DB 구축을 위한 수소 시스템 센서 개발 ○ (생산) 메가스테이션용 온도, 압력, 유량 센서 및 다수의 SCADA 연계를 위한 OPC 연결 플랫폼 개발 ○ (수송) 크리티컬 포인트 모니터링용 센서 및 실시간 통신구조 설계 ○ (분배) 수요처 특성을 반영한 단-장기 수요예측 및 메가스테이션과의 데이터 연계 방안 수립

연도	추진계획
2025년	○ 수소 타운내 수소에너지 활용처 및 재생에너지 간의 내부 연결 망 구축 ○ 에너지 그리드 운영을 위한 중앙제어시스템과 AI 운영 알고리즘 연계 구축 ○ 수소 타운내 재생에너지 및 수소 등 지역별, 시스템 별 개별 운영 및 데이터 축적 시작 ○ 수소에너지 전용 센서 적용성 검증 및 국산화 ○ 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - 혼합 가스내 수소 분리 시스템 파일럿 설계 및 구축 ○ (생산) 메가스테이션용 통합관제 운영 플랫폼 시작품 제작 및 가상 모사 환경 테스트 ○ (수송) 공급배관 센서 기반 DB 및 운영 데이터 분석 기술 ○ (분배) 메가스테이션-수요처 연계 데이터 통신 시스템 및 데이터베이스 시작품 개발 및 테스트
2026년	○ 수소 교통, 주거, 빌딩 등의 수소에너지 활용처와 수소/재생에너지 공급/이송 시스템 그리고 통합 운영시스템 연계 및 종합 운영 ○ 스마트 미터링 기법 도입을 위한 중앙 집중형 모니터링 시스템 및 통합 제어시스템 설계 및 AI 알고리즘 고도화 ○ 리빙랩, 디지털 트윈 운영 결과 등을 통한 운영 및 보완요소 피드백 ○ CO2 저감량 및 경제성 평가 툴 개발 ○ 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - 파일럿 운영 및 핵심 요소 도출 ○ (생산) 실증사이트 메가스테이션용 통합관제 운영·수요예측 플랫폼 구축 및 시운전 ○ (수송) 공급배관 및 센서네트워크 구축, 플랫폼 신호 연동 ○ (분배) 서브스테이션 구축 및 메가스테이션과 신호 연계 및 시운전
2027년	○ 설비 운영 및 메가스테이션 통합운영 플랫폼 연간운영 검증 및 보완 ○ 시스템 시운전 데이터 확보 ○ 수요예측 알고리즘 고도화
2028년	○ 경제성 평가에 따른 운영전략 리뉴얼 및 수소 타운 운영 경제성 확보 전략 ○ 수소 타운의 에너지 믹스에 따른 탄소세 확보를 위한 사업 표준화 ○ 수소타운내 에너지 그리드를 위한 운영 로드맵 도출

3) 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축

□ 연구기간 : ’23~’28년

□ 연구목표

○ 1 ton/d 규모의 메가 스테이션 건설기술 개발

○ 메가 스테이션 구축 및 실증

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-10> 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치					
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년
수소 메가스테이션	1 ton/d 용량	설계	시공	설치완료	시범운영	DB 구축	설계/운영 매뉴얼
수소 그리드	테스트베드 구축	설계		설치완료		파이프라인 구축	운영에 따른보완

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-11> 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 도시의 수소 사용 예측량 산정을 위한 실측 기반 주거건물 열/전기 월별·시간별 부하 분석 (인구, 토지이용계획, 경제 등의 기초자료포함) ○ 신재생에너지원별 용량에 따른 생산량 및 설치비 분석 - 설계 시 주요항목 및 설계 우선순위 선정 ○ 에너지원별 설계 알고리즘 개발 ○ 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 내부 수소 공급/이송 체계를 위한 메가스테이션 설계
2024년	○ 시뮬레이션 기반 다양한 건물 용도별 부하분석 ○ 수소도시 건물+모빌리티 에너지 시스템 설계 및 신재생에너지원별 1차 설계를 통한 수소 메가스테이션 구축 ○ 실증 대상후보지 도시단위 열/전기부하 및 시스템 용량 검토 ○ 시범도시 기준 수소 사용 예측량 산정 ○ 수소 관련 시설(도시근접 스테이션, 충전소 등) 기술 수준 파악 ○ 재생에너지원별 1차 설계 프로그램 개발 및 평가 ○ 파라미터 스터디를 통한 최적 설계 유효성, 신뢰성 검증
2025년	○ 수소 타운 건물+모빌리티 에너지 시스템 구축을 위한 메가스테이션 및 에너지 그리드 시스템 구축 완료 ○ 수소 타운을 위한 테스트베드 구축 ○ 운영 제어룸 및 그리드를 통한 각 소규모 제어룸의 연계 망 구축 및 시운전
2026년	○ 수소 타운 복합 운영 및 결과 DB 구축 ○ 도시 특성에 따른 수소 사용 예측량 및 시설물 배치계획 시뮬레이션 ○ 수소타운을 위한 테스트베드 운영 및 관리 기법 개발 - 수소 타운내 지역별, 시스템 별 개별 운영 및 데이터 축적 시작
2027년	○ 실증시스템 구축 및 열/전기 운영 알고리즘 검증 ○ 그리드 구축을 위한 제도/법 검토 및 기술 사용자의 검토 결과 반영 ○ 운영결과에 따른 메가 스테이션 기술 고도화
2028년	○ 도시 특성에 따른 수소 사용 예측량 및 시설물 배치계획 등 그리드 구축을 위한 도시 계획 매뉴얼(안) ○ 실증시스템 운영 및 알고리즘 보완

4) 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’28년

□ 연구목표

○ 메가스테이션과 연료전지간 양방향 실시간 통신 및 운영 기술 개발

○ 복합 충전소 연속 충전 기술 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-12> 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치					
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년	‘28년
건물 용도별 열/전기 부하분석 및 운영기술	보고서 및 실증 Data	주거·공공 건물	건물 용도별	최적운영 방안		전기 에너지 20%이상	총에너지 20%이상
가변 운영기술	운영매뉴얼			신재생에너지 시스템 연동			시간대별 전력/수소 가변 운영 매뉴얼
복합충전소 운영기술	수소 및 전기동시 충전	설계		설치완료			2대 동시 충전 실증

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-13> 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소에너지 활용을 위한 도시계획 수립 ○ 테스트베드내 최적의 수소에너지 활용처를 위한 모델링
2024년	○ 건물/공동주택/상가 등의 적용 유형에 따른 수소에너지 활용을 위한 에너지 공유 최적 비율 모델링 ○ 수소 온사이트 생산/공급/이송을 위한 최적화 모델링에 따른 경제성 평가 모델 수립 ○ 에너지 분산화 정책에 따른 사용자 활성화를 위한 정책 모델 제시 ○ 메가 스테이션 내 복합 자동차 충전을 위한 전력 보급 시스템 설계
2025년	○ 복합 충전소 운영 시스템 구축 ○ 실증 대상 총 전기부하 20%공급을 위한 수소연료전지 최적 용량 산정 ○ 열/전기 운영 AI 알고리즘 개발 및 통합 관제 시스템과 연계 ○ 수소기반 신재생에너지 통합 보급 및 활용을 위한 시스템 설계

연도	추진계획
2026년	○ 복합 충전 기술의 실증 (전기차 및 수소차 동시 충전) ○ 에너지 그리드와의 통합 시스템 구축 및 디지털 트윈 모델 도출 ○ 수소도시 건물 열/전기/수소(연료) 에너지 공유를 위한 운영 - 메가 스테이션의 부하 및 각 수소 타운 구성요소 간 연계 운영 ○ 메가 스테이션용 스마트 미터링 기법 개발 및 중앙 제어 시스템 연계 고도화
2027년	○ 총 에너지 20%이상 달성(제로에너지 건축물 인증기준) ○ 탄소 배출권 확보를 위한 데이터 공유 및 사업 표준화 (1세부 공통) ○ 수소 도시 계획 구현을 위한 실증도시 후보지 선정 및 디지털 트윈 가능성 분석
2028년	○ 연료전지 및 수소/전기 자동차 이용률에 따른 메가 스테이션 사용량 모델 도출 ○ 수소도시 확대를 위한 디지털 트윈 확대 모델 - 20,000 세대 기준 수소도시 계획(안)에 따른 TB 구축 지역 설정 및 도시 특화 설계 계획 - 대상 TB 지역에 따른 디지털 트윈 구축 설계(안) 특화

5) 난방·열 그리드 기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’28년

□ 연구목표

○ 4, 5세대 열그리드 및 축열 시스템 기술 개발 및 운영기술 개발

○ 지역 냉난방 연계 그리드 구축 및 실증

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-14> 난방·열 그리드 기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치					
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년	‘28년
4, 5세대 열그리드 및 축열 기술	시제품 제작 및 실증	설계안	설계도	시제품	운영	실증결과 DB	data 확보
4, 5세대 열그리드의 열수요측 인터페이싱	시제품 제작 및 실증	설계안	설계도	시제품	운영	실증결과 DB	data 확보
FC Tri-Gen 및 지역냉난방 연계 기술	시제품 제작 및 실증	설계안	설계도	시제품	운영	실증결과 DB	data 확보

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-15> 난방·열 그리드 기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 4세대 및 5세대 열그리드 공급회수 및 축열 적용 분석 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 및 인터페이싱 기술 적용 분석 ○ FC Tri-Gen 시스템 기본설계 및 성능분석 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 기본설계
2024년	○ 4세대 및 5세대 열그리드 및 축열 설계, 운전제어기술 개발 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 및 인터페이싱 설계, 운전제어기술 개발 ○ FC Tri-Gen 시스템 상세설계 및 운전제어기술 개발 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 상세설계 및 운전제어기술 개발
2025년	○ 4세대 및 5세대 열그리드와 축열 설치 및 시운전 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요처 인터페이싱 설치 및 시운전 ○ FC Tri-Gen 시스템 제작 및 시운전 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 구축 및 시운전
2026년	○ 4세대 및 5세대 열그리드와 축열 설치 및 운전 고도화 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요처 인터페이싱 운영에 따른 안정성 평가 ○ FC Tri-Gen 시스템 운영 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 운영
2027년	○ 4세대 및 5세대 열그리드 와 축열 실증시험 및 분석 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 인트페이싱 실증시험 및 분석 ○ FC Tri-Gen 시스템 실증운전 성능 평가 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 실증운전 성능 평가
2028sus	○ 4세대 및 5세대 열그리드 및 축열 설계, 운전기술 보완 최적화 ○ 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 인터페이싱 설계, 운전기술 보완 최적화 ○ FC Tri-Gen 시스템 및 운전제어기술 최적화 ○ FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 운전제어기술 최적화

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-8] 수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발의 기술개발 로드맵

사. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-16> 수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL[34])	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소 타운 디지털 리빙랩 표준화	8		◐	●	○
수소 타운 디지털 트윈 및 오픈 데이터 시스템	7		○	●	
통합 수소 및 에너지 그리드 관제 및 모니터링 기술	7			●	
메가스테이션 설계 및 구축 기술	8			●	
수소타운 파이프라인 연계 네트워크	8		○	●	
통합 그리드 연계 운영을 위한 AI 운영기술및 빅데이터 구축	8		○	●	
CO_2 저감 및 탄소세 확보를 위한 사업 표준화	8		◐	●	

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

○ 수소 타운 디지털 리빙랩 기술

- 국내외 다양한 분야에서 활용되는 리빙랩 기법을 응용하여 기술 확보
- 대표적으로 도시 재생 및 고령화 사업에 선행되었던 리빙랩 사례를 응용하여 수소타운 및 도시용 리빙랩으로 응용하여 디지털 플랫폼으로 개발

○ 디지털 트윈 및 오픈 데이터 시스템

- 플랜트 시스템에 주로 적용되는 디지털 트윈 기법을 도시 타운 및 파이프라인 모델화에 적용하고, AI와 연계할 수 있는 가상 데이터 확보 기술로 고도화
- 디지털 트윈과 리빙랩을 연계함으로써 가상 수소 타운 및 운영에 대한 간접적 체험 기술을 확보

○ 통합 수소 및 에너지 그리드 관제 및 모니터링 기술

- 각 그리드 별 스마트 미터링 기법이 가능한 센서 및 데이터 통합이 가능한 모니터링 시스템을 응용하여 기술 개발

34) TRL정의 : (9) 상용규모 생산/가동, (8) 준상용화(1:1~1:2 scale), (7) 실규모 실증(1:3~1:5 scale), (6) 시스템 기술 검증, (5) 요소 기술 검증, (4) 개념 검증, (3) 초기 설계, (2) 개념 정의, (1) 원리 발견 (이하 본 보고서에서는 동일하게 적용)

- 스마트 시티에서 개발 중인 기술을 벤치마킹하여 기술을 확보

○ 메가 스테이션 설계 및 구축

- 현재 운영중인 수소 스테이션과 전기 충전소의 사례를 벤치마킹하여 복합 메가 스테이션 구축을 위한 기술 확보
- 연속 충전을 위한 기존 기술 개발 사례를 분석하고 기술 고도화를 위한 기술개발 포인트를 확보

○ 수소 타운 파이프라인 연계 네트워크

- 울산, 일본 등에서 활용되었던 수소 파이프라인 이송에 대한 장단점을 분석하고 파이프라인 구축을 위한 기술 확보 및 기존 기술 고도화
- 수소 이송을 위한 다양한 해외 사례를 조사하고, 분석함으로써 재질 등의 업그레이드와 센서 활용 가능성을 분석하여 기술 개발

○ 통합 그리드 연계 운영을 위한 AI 운영 기술 및 빅데이터 구축

- 다양한 분야에서 활발하게 개발 중인 AI 운영 프로그램 사례를 벤치마킹
- 수소 타운 운영사례로서 울산 등의 운전 data 등을 확보하여 빅데이터 구축

○ CO_2 저감 및 탄소세 확보를 위한 사업화 표준화

- 다양한 RPS 사업화 및 해외 탄소세 확보를 위한 CDM 사업화 사례를 벤치마킹
- CO_2 저감 및 경제성 평가 툴에 대한 해외 사례 벤치마킹

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 전문기관 및 지자체의 수소 타운 설치를 위한 법/제도 분야 협력 체계구축

○ 테스트 베드 구축을 위하여 국토 교통부와 지자체의 현 제도적 문제를 사전 검토 이후 해결방안 논의

○ 수소 활용시 위험성 체크를 위한 안전성 진단을 상시할 수 있는 전문가 및 전문기관 협력체계구축

○ 메가스테이션을 구축하기 위한 차고지 등의 소유기관과의 협력 체계구축

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 테스트베드 내 수소 및 에너지 그리드 사용자와의 사전 협력 체계 구축을 위해 지자체와 R&D 총괄 기관의 긴밀한 의사 결정 구조를 위한 TF 팀 구축

○ R&D 종료 이후 원만한 테스트베드 활용 방안을 위한 관리주체를 사전에 결정하고, 사후 운영을 위한 의견 반영 구조 구축

□ 기술수요자와 협력체계

○ 주민과의 의사소통을 위한 리빙랩 수단을 적극 활용하고, R&D 성과 도출을 위한 기술 수요자의 의사를 적극 반영할 수 있는 구조 활성화

○ 지자체와 기술 수요자간 상시 의사 소통 기구를 별도로 설치하고 지원

○ 수소 차량 확보 및 운영을 위한 기업 등과 운영 결과 등을 공유할 수 있는 협력 체계를 구축하고 기술 개발에 반영

□ 세부과제간 연계방안

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

3) 실용화 전략

○ 본 과제의 성격상 원천기술 확보보다는 실용화 기술의 실증이 강조될 수 있도록 TRL 7 이상의 기술로 구성

○ 따라서, 기술간의 시스템화 및 장기적인 운영을 통하여 안정성 확보에 중점을 두고 기술 개발 전략을 수립

○ 기술 개발 중간 단계에 해외 사례와의 비교 평가, 별도의 경제성 평가 및 기술 가치 평가를 실시함으로서 기술 개발의 방향성을 실시

○ 지역 주민의 리빙랩 등의 수단을 통한 기술 개발 참여를 통해 수소에너지에 대한 거부감을 최소화함으로써, 기술 개발 이후 테스트베드를 지자체에 이관할 때 부작용을 최소화

○ 지역 주민의 수용성 확대를 위한 제도적 지원 방안을 R&D 초기 단계부터 논의

○ 일본의 키타큐슈 등의 현 활용 방안, 유럽의 다양한 수소 도시 모델 등의 활용 방

안을 벤치마킹하여 사업화 모델을 지자체와 함께 개발

○ 각 기관별 개발되는 성과들을 테스트베드를 통해 실증하고, 국제 박람회, 국제 워크숍 등을 통해 실증 현황 및 결과를 공개함으로써 해외 수출 및 사업화를 추진

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ R&D 종료 시점에서 지자체에 전체 시설을 이관하여 지속적으로 활용할 수 있도록 총괄기관과 지자체간 기구를 구성하고, 향후 지자체에서 테스트베드를 적극적으로 운영할 수 있도록 지원

○ 지자체에서 수소타운 테스트베드를 운영할 수 있도록, 각 기술 소유 기관은 사후 지원방안 및 체계를 구축

○ 특히, 메가 스테이션을 중심으로 하는 복합 스테이션은 수소 차량 및 전기차량 소유자가 활용할 수 있도록 제도적 장치를 지자체에서 사전 구축

○ 지역내 수소, 재생에너지 등을 활용하여 탄소세 확보를 위한 CDM 사업화 등의 사업화를 통해 지역 주민에게 직접적인 혜택이 갈 수 있도록 지원제도 구축

아. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 현재 수소 활용에 대한 지역 주민의 거부감 극복이 기술 개발에 가장 큰 장애로 판단됨

- 강릉시의 폭발사고로 인한 위험성이 극대화되어 실질적인 기술 개발 수용자의 거부감도 극대화 됨
- 다양한 지자체에서 연료전지를 통한 전력 공급이 중단되는 등의 사례에서 알 수 있듯이 수소 활용에 대한 거부감 극복 방안을 고려해야 함

○ 수소 에너지의 경제성 확보가 미비

- 수소 자체가 기존 화석연료 등에 비해 고가의 에너지임. 특히 그린 수소의 경제성 확보 자체가 불투명하기 때문에 향후 테스트베드를 통해 실증된 기술의 사업화가 미비할 가능성이 있음
- 현 수소 생산의 경제성이 비교적 높은 것이 수소 추출기술이나, 이는 CO_2가 발생된다는 단점이 있으므로 수소 활용에 대한 타당성에 대한 장애가 될 수 있음

○ 향후 사업화를 위한 수소 공급 체계 구축이 필수

- 수소 타운 운영이 원활하기 위해서는 반드시 수소 공급 체계가 확보되어야 하

나, 국내 수소를 원활하게 확보할 수 있는 지자체가 소수에 불과하기 때문에 사업화 자체가 제한될 가능성이 있음

□ 대응방안

○ 울산에서 진행된 수소 타운은 지역 주민과 협력이 비교적 원활했던 것으로 조사되므로 이를 벤치마킹하여 지역 주민의 협조 체계를 유도

- 파이프 라인 설치 등의 애로사항 등을 사전에 조사하고, 이를 통한 시행착오 극복방안을 확보
- 사전 주민과의 협력 체계 및 리빙랩 기구를 활용한 지역주민과의 협력체계 구축
- 지자체의 의사소통 기구 설치를 통한 상시 의견수렴 절차 마련

○ 수소 경제성 보완을 위한 국가적 차원의 보조금, CDM 사업화 등의 별도의 사업화 추진전략을 확보

- 현재 소수의 지자체에서 지역 주민 이익 공여제를 재생에너지 사업에 도입한 바 있으므로 이를 통해 제도적으로 보완하여 별도의 경제성 확보 정책을 추진
- 수소 타운 전체를 통한 CDM 사업화 등을 추진하여 탄소세 확보 전략을 추진
- 현재 수소 및 전기 자동차 등에 치우친 국가 보조금을 수소 타운에 적용될 수 있도록 제도적 보완책 검토

○ 사업화 초기 단계에서 수소 공급이 원활하게 진행될 수 있는 지자체 선정요건을 준비하여 추진

- 테스트베드 인근 수소 생산과 공급에 대한 항목을 테스트베드 선정시 추가하여 요건 강화
- 지자체 사업 의지 항목에 반드시 수소 공급 체계를 추가하여 테스트베드 선정

자. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- ‘수소경제 활성화 로드맵’에 따른 수소 도시 구축을 위한 로드맵 구축
- 리빙랩 기반의 테스트베드 구축으로 연구결과와 실 사용자에 의한 활용에 따른 연구결과 적용의 명확성 확보로 상용화 가능성 증대
- 수소 에너지 인프라 확대를 위한 주민 수용성 문제 해결

○ 경제적 기대효과

- 세계적으로 상용화되지 않은 수소 커뮤니티 기술 개발로 관련 기술시장 선점 및

해외시장 진출 교두보 마련

- 에너지 수입국에서 에너지 기술 관련 수출국으로 세계 에너지 시장을 리딩할 수 있는 기술 확보

○ 과학기술적 기대효과

- 수소커뮤니티 관련 에너지 생산/저장/활용 기술의 확보로 차세대 에너지 관련 기술 선도

차. 소요예산

<표 5-17> 수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소타운 리빙랩 전략기술 개발	국고	100	500	500	500	500	500				2,600
	민자	34	167	167	167	167	167				869
	합계	134	667	667	667	667	667				3,469
스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발	국고	2,000	2,800	3,500	7,000	5,000	1,500				21,800
	민자	670	933	1,167	2,333	1,667	500				7,270
	합계	2,670	3,733	4,667	9,333	6,667	2,000				29,070
수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축	국고	2,400	3,500	7,000	10,000	2,500	1,500				26,900
	민자	800	1,167	2,333	3,333	833	500				8,966
	합계	3,200	4,667	9,333	13,333	3,333	2,000				35,866
메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발	국고	1,500	2,500	2,500	3,000	5,000	1,500				16,000
	민자	696	833	833	1,000	1,667	500				5,529
	합계	2,196	3,333	3,333	4,000	6,667	2,000				21,529
난방 및 열 그리드 기술 개발	국고	1,500	2,200	2,200	2,100	2,000	1,000				11,000
	민자	500	733	733	700	667	333				3,666
	합계	2,000	2,933	2,933	2,800	2,667	1,333				14,666
합계	국고	7,500	11,500	15,700	22,600	15,000	6,000				78,300
	민자	2,700	3,833	5,233	7,533	5,001	2,000				26,300
	합계	10,200	15,333	20,933	30,133	20,001	8,000				104,600

카. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 수소에 대한 거부감이 없으며, 전체적인 수소시스템 운영과 운영결과 수집이 용이한 곳을 대상으로 검토가 이루어야 함

- (대덕 연구단지) 주로 대학, 연구기관 및 기업 연구소로 구성되어 있어 수소에너지에 대한 거부감이 적다는 장점이 부각

  · 교통이 비교적 혼잡하지 않으며, 주변에 다양한 건물이 밀집한 상황으로 수소

타운 구축시 다양한 경우의 data 수집이 용이

- 도심지에서 비교적 거리가 있어, 주민 수용성 확보에 최적화된 것으로 사료
- 연구단지 지명도에 따른 주민간의 간극 완화 전략 추진이 용이
- 연구단지내 입주 연구기관간 수소에너지 인프라 구축이 비교적 용이하며, 일부는 경우에 따라 현물로 활용이 가능
- 각 연구기관 내 원활한 네트워크로 인한 교통수단 왕복을 통한 수소교통 운영이 비교적 용이
- 일반 주민이 직접적인 체험하기에는 테스트베드와 비교적 거리가 있어 홍보효과 감소 및 직접적인 시장 진출을 위한 적용성 평가를 위해서는 추가 연구가 필요

- (산업단지) 풍부한 수소 공급이 원활하다는 장점이 있으나, 다양한 건물 조합이 비교적 미비
  - 일부 수소 인프라가 기 갖추어진 상태에서 운영이 가능하며, 기 수소 활용시스템 등이 있어 연구비 절감이 가능
  - 산업단지내 왕복 공공 교통수단에 대한 수소 교통적용이 용이한 장점
  - 수소에 대한 거부감이 적오 수소 타운 구축이 용이
  - 부생 수소는 대부분 시장 가격에 따른 판매 상태로 구매해야 하는 단점이 존재하며, 수소 인프라 구축시 각 사업장 관통에 따른 부작용 발생 가능성
  - 산업단지 내 대부분이 영업 비밀로 연구기관의 원활한 연구진행에 방해
- (도심지) 다양한 건물 조합에 따른 다양한 연구결과와 실 사용자에 의한 활용에 따른 연구결과의 명확성으로 인한 상용화 가능성 증대의 장점이 있음
  - 수소 에너지 인프라 건설 자체가 주민수용성 문제 해결을 바탕으로 진행되어야 함
  - 다양한 수소 인프라 건설 시, 도심지내 건설을 위한 제도적/법적 문제가 선결되어야 할 가능성이 높음
  - 결론적으로, 연구 진행에 따른 이득에 비해 선결되어야 하는 문제가 많을 것으로 예상됨

○ 대덕 연구단지 등이 연구개발 착수에는 비교적 용이한 TB 요건을 가지고 있으며, 기본 수소인프라를 구축한 기관 등을 중심으로 검토

- (타당성) 다양한 수소 인프라가 기 갖추어진 기관을 중심으로 구축할 경우 연구비 절감이 가능
- 수소 생산설비: 수소 추출기 등을 현물로 제공하거나, 구축할 수 있는 기관 혹은 지자체를 대상 (본 연구과제에서 연구비 적용대상이 아님)

- 신재생에너지 생산설비: 각 기관내 신재생 에너지 생산이 가능한 설비 등을 갖추고 있는 기관 혹은 지자체를 대상
  - 본 연구과제 연구비 적용대상이 아니나, 수소 메가스테이션과 에너지 그리드를 위한 부대설비에 대해서는 연구비를 투입
  - 에너지 그리드 운영을 위한 제어룸에 대한 연구를 중심으로 구성할 수 있는 요건이 필요
- 수소 공급 배관: 주민 수용성을 해결할 수 있는 기관 및 지자체 중심
  - 주변 상업시설, 오피스, 다양한 건물간 배관 건설이 일반 도로를 피해 건물 주변에 설치가 용이한 지역
- 수소 연료전지: 각 기관별 전력 및 열 공급을 위한 소규모 연료전지 구축 및 수소 메가스테이션에서 수소를 공급할 수 있도록 구성이 가능한 지역



※ 대상지구 : 한국에너지기술연구원을 중심으로 주변 2-3개의 기관

[그림 5-9] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 대상지구 개요



[그림 5-10] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 설비 배치도

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 수소 수요/공급 계획

○ 실증지구 내 에너지 공급은 기존 전력, 신재생에너지, 수소에너지 등의 에너지간 그리드를 기본으로 공급

- (주간) 에너지 수요가 높은 오피스, 상가를 중심으로 신재생에너지, 수소 공급을 통한 연료전지 위주의 에너지 공급
- (야간) 메가 스테이션 내 저장된 전력과 기존 전력 위주의 공급
  - 저장된 신재생에너지와 심야전력을 활용한 에너지 공급
  - 수소 생산과 메가 스테이션 내 저장

<표 5-18> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 실증 대상지구 에너지 공급 계획

구분	에너지구분	단위	에너지량	주요 가정
수요	열	Gcal/년	14,400	- 공동주택 2,400 세대 기준 - 가구당 열사용량 500Mcal/월 - 가구당 전기사용량 300kW/월 - 두산퓨얼셀 수소타입 연료전지 적용 - 연료전지 용량: 3.52MW(440kW X 8대) - 수소LHV 2,584.558kcal/N㎥ 기준 - 수소 순도 99.99%이상 기준
	전기	MWh/년	7,640	
공급계획	수소량	톤/년	1,964	
	FC(열)	Gcal/년	14,400	
	FC(전기)	MWh/년	28,800	

□ 시설·장비 구축 계획

○ (건물 3개동) 수소 연료전지 50 kW급 연료전지 (SOFC) × 3기

- 오피스내 냉/난방 포함 전력 공급
- 연료전지 발생 열 공급
- 건물 1개동은 신재생에너지와 수소 공급 등 복합에너지 공급체계 구축

○ (주거 건물 : 10개 세대 이상) 수소 연료전지 10 kW급 연료전지 (SOFC) 1기 혹은 1 W급 연료전지 10기 이상

- 각 주거시설 내 냉/난방 포함 전력 및 열 공급

○ (상가) 수소 연료전지 5 kW급 연료전지 (SOFC) 1기

- 연구단지내 소규모 상가를 중심으로 공급 계획 수립
- 신재생에너지와 복합 공급 계획

○ 수소 충전소 역할을 위해 기본적으로 메가 스테이션내 2~3대의 수소 자동차와 2~3대의 전기자동차 충전을 위한 전력 상시 공급

- 메가 스테이션 내 수소 요구량을 위한 수소 생산설비 (수소 추출 설비 등)의 야간 운영을 통한 수소 생산 및 저장
- 신재생 에너지 생산 설비 운영을 통해 전기자동차 충전용 전력을 수소 메가스테이션내 야간 저장

○ 수소 및 에너지 그리드 메인 제어시스템 및 통합관제 센터

- 신재생에너지, 수소공급, 보조 전력 등의 에너지 그리드 통합 관제를 위한 센터
- 데이터 수집을 위한 빅 데이터 룸 및 제어 시스템
- 에너지 그리드 운영 및 예측을 위한 딥러닝 운영 제어 센터

<표 5-19> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 시설·장비 구축 계획

수소 메가스테이션	○ 수소 저장용량 : 1ton ○ 배터리 용량 : 5kW ○ 면적 : 100㎡
생산	○ 수소 추출기 규모 : 1,000kg/d 2기 ○ 수소 생산량 : 2,000kg/d ○ CO_2 발생량 : 17,000kg/d
저장	○ 고압저장 방식 저장용기 : 200kg 10기
이송	○ 탄소강 및 FRG 파이프라인 : 5~10km
활용	○ 발전용 연료전지 : 50kW급 3기 ○ 건물용 연료전지 : 10kW급 1기 ○ 수소충전소 및 수소자동차 : 2~3대 ○ 전기충전소 및 전기자동차 : 2~3대
운영	○ 통합관제 센터 (면적 : 165m^2)

주) 추출기 CO2 발생량: 8.5kg-CO2/kg-H2(출처: 경향신문, 2019.10.23.)



[그림 5-11] 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-20> 수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
분산 열병합용 서브스테이션	**2023~2024년**	○ 해당 부지 사용자 시설에 열/전기를 공급하기 위한 설비
서브스테이션 통합 관제 센터	**2023~2024년**	○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어
복합 축열조	**2023~2024년**	○ 발전설비, 수소기반 부생열 등 서브스테이션 내 잉여열 저장 및 연계 ○ 발전설비의 잉여전기를 열로 전환하여 저장 (Power 2 Heat)
복합 축열조용 제어 시스템	**2023~2024년**	○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어 ○ 상위 데이터 전달 및 최적화 스케쥴에 따른 운전 수행
실시간 데이터베이스 프로그램	**2024년**	○ 구축 DB 로부터 데이터 취득 ○ 단위 시간 데이터 가공 및 RDB 데이터 추출 ○ 특정 관제점에 대한 Trend 데이터 제공 ○ 리포트 툴 제공
HMI 프로그램	**2024년**	○ 원격 모니터링 구성, 통합센터 구축
건물 열교환 시설	**2023~2024년**	○ 원격 모니터링 중간 노드 구성, 개별 빌딩별 열 및 냉열 공급 ○ 건물별 에너지 사용 최적화 및 모니터링
사용자용 세대 열교환 시설	**2023~2024년**	○ 원격 모니터링 구성, 세대 냉난방 및 급탕 공급 ○ 세대 열사용 패턴 분석 결과 수신 및 자동 운전
건물 및 세대 스마트미터링 시스템	**2023~2024년**	○ 원격 모니터링을 통한 개별 세대별 열 및 냉열 사용 상태 파악 ○ 건물별 에너지 사용 최적화 및 모니터링을 위한 기초자료 수집

5.1.2 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증

가. 개요

1) 정의

○ 수소 에너지 직공급 기반의 트라이젠 열병합발전과 열저장 시스템을 결합하여 수요처의 전력, 온열, 냉열을 공급하는 분산형 도시기반시설 구축

○ 서브스테이션에서 공급하는 전력 및 냉·난방 에너지의 효과적인 활용을 위한 사용자 설비 및 에너지 최적 운영 시스템 구축

2) 목적

○ 신도시·도시재생 1,000～2,000세대규모 구역별 수소기반 분산형 서브스테이션 개발

○ 서브스테이션 설비 운영플랫폼 및 에너지 운영 기술개발

3) 구성요소

<표 5-21> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	수소추출기	500kg/d × 2기 = 1,000kg/d
이송	파이프라인(탄소강, 150mm)	650m
활용	발전용 연료전지	440kW × 8기
	열교환기 난방	1Gcal/h × 4기
	축열조	5,000㎥
	냉동기(흡수식, 흡착식)	3000RT × 1기
	냉동기(제습식 세대용)	997기
관리·운영	통합관제센터	165㎡

4) 세부과제 구성

<표 5-22> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발	○ 수소 직공급 기반 구역형 열병합발전 서브스테이션 개발 ○ 서브스테이션 건설 기준 수립 ○ 부생열 기반 냉열공급 시스템 선정 및 플랫폼 구축 ○ 구역내 주거·비주거 건물 온열·냉열 공급을 위한 최적 운영시스템 개발
수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	○ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 축열조 개발 ○ 온도 성층화 분배용 디퓨져 개발 ○ 단기(현열·상변화) 및 장기(열화학) 대응용 복합 열저장 장치 개발 ○ 서브스테이션 맞춤형 축열시스템 개발 및 실증
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	○ 서브스테이션 최적 에너지 운영 알고리즘 개발 ○ 신재생에너지 전기(DC/AC)변환 효율 향상 방안 ○ 열/전기 수요 및 생산관리를 통한 부하매칭 기술 개발 ○ 전기 및 열수요 최적화 예측 및 운전스케쥴 산출 기술 개발 ○ 서브스테이션 내 통합 모니터링시스템 구축 및 운영·커미셔닝
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	○ 서브스테이션의 온열/냉열 공급을 위한 건물 내 공급설비(배관, 밸브, 펌프, 계량기 등) 기준 수립 및 실증 ○ 건물 에너지 측정설비 및 데이터 취득/연산 시스템 개발 및 구축 ○ 최종 사용자용 BEMS(HEMS) 시스템 개발 및 실증

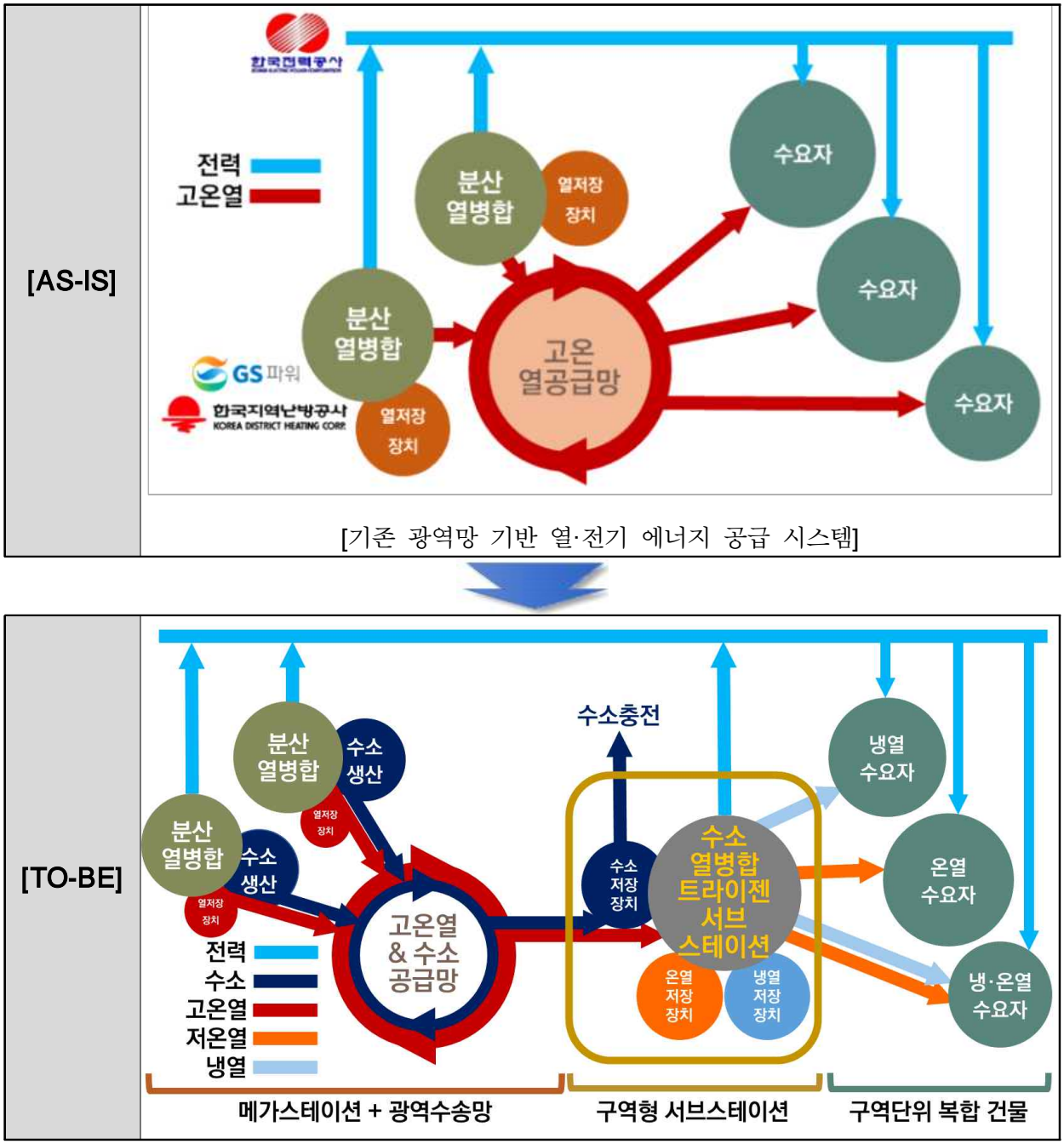
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-23> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
중앙집중식 에너지 공급체계에서 사용자 중심의 분산형 시스템으로 전환	○ 대형 열병합 발전소 기반의 수직형 에너지 공급시스템 ○ 대규모 광역 공급망을 통한 에너지 유통구조 ○ 중온수(100~120℃) 공급으로 신재생 기반의 미활용열 수용이 어려움	○ 건물, 커뮤니티 단위 분산형 열병합 발전 기반의 구역형 에너지 공급 ○ 소규모 마이크로 그리드 기반 에너지 유통구조 ○ 저온(60~70℃) 공급을 통하여 신재생 기반의 미활용열 수용 가능
수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	○ 대형 열병합 시설에서 대규모로 고온저장하여 저온열의 활용이 어려움 ○ 물을 활용한 현열저장 시스템으로 온도차가 높을수록 많은 열 저장하며, 열저장을 위하여 시설의 부피가 큼	○ 마이크로그리드 기반으로 저온 열의 저장과 활용이 가능 ○ PCM, 화학축열 등 새로운 축열체를 활용하여 저장장치의 소형화, 장기-단기 축열시스템 운영 효율화
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	○ 대규모 에너지 공급자 위주의 부하 예측 및 운영기술 위주 ○ 일부 BEMS, HEMS 기술 역시 대규모 공급자의 에너지 공급을 전제로 개발됨 ○ 열, 전기, 냉방 등 다양한 에너지 통합형 운영 기술의 개발 필요	○ IoT, Big-data 기술 활용한 적극적 부하 예측 통한 사용자 편의성 제공 ○ 분산형 마이크로 그리드 시스템에 적합한 운영 시스템의 개발로 효율 최적화
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	○ 대규모 공급자의 에너지 공급을 전제로한 시스템 개발로 개별 사용자 편의성 부족 ○ 소규모 에너지 공급 시스템과 연계된 수용가 실증 사례 극히 부족	○ 사용자 중심의 에너지 이용 설비 구축 ○ 서브스테이션과 사용자 에너지 사용 패턴에 기반한 최적 에너지 분배

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-12] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

□ 출산 고령화로 중소형 도시개발사업 및 도시재생사업으로 도시개발 패러다임 변화와 기후재난과 미세먼지 방지를 위한 구역 단위의 효율적 분산형 스마트 그린에너지 도시 시스템 개발이 필요한 시점

○ 도시재생종합정보체계의 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 시행령 제17조에 의한 도시쇠퇴현황자료('18.12 기준)에서처럼 전국의 도시쇠퇴 읍면동은 모두 50%를 상회

○ 한국고용정보원에서 발표한 '지방소멸지수 2019'에 의하면 수도권조차도 지방소멸의 위험에 직면해있으며 기초자치단체의 42.8%가 지방소멸위험 도시에 속함

○ 저출산·고령화와 대형 신도시개발 필요성 감소에도, 에너지 다 소비형 생활구조로 인한 지속적인 온실가스 증가로 국가 온실가스 감축과 기후변화 대응 측면에서 분산형 스마트 그린에너지 도시로의 시스템 전환이 시급함

○ 기존도시와 1, 2기 신도시의 인프라가 30여 년을 넘어 수명이 다하고 수선보수가 아닌 대규모 인프라 교체 시기가 도래함에 따라 4차 산업혁명 기술 기반의 스마트 그린에너지 시스템 개발을 통해 향후 100여 년간은 사용할 수 있고, 미세먼지, 온실가스, 기후재난 등으로부터 안전한 도시 시스템 구축 필요

○ 기존도시(1, 2기 신도시 포함)에 바로 적용하기 어려운 스마트 그린에너지 시스템을 중소규모 도시개발사업 등에 적용하여 실증을 통하여 향후 기존도시의 에너지 시스템 인프라 교체를 위한 원천기술 확보가 필요

<표 5-24> 2018년 도시재생 활성화 지역 분포

(단위 : 읍면동 수)

지자체	기준 부합 지역	기준 미부합 지역	총합계	비율
총합계	2,389	1,115	3,504	68.2%
서울특별시	344	80	424	81.1%
부산광역시	175	31	206	85.0%
대구광역시	108	31	139	77.7%
인천광역시	103	48	151	68.2%
광주광역시	66	29	95	69.5%
대전광역시	61	18	79	77.2%
울산광역시	32	24	56	57.1%
세종특별자치시	4	13	17	23.5%
경기도	237	326	563	42.1%
강원도	105	88	193	54.4%
충청북도	103	50	153	67.3%
충청남도	119	88	207	57.5%
전라북도	182	59	241	75.5%
전라남도	252	45	297	84.8%
경상북도	259	73	332	78.0%
경상남도	217	91	308	70.5%
제주특별자치도	22	21	43	51.2%

주 1) 지표구축 기준연도 : 2018년(2018.12월 기준)
2) 분석 단위 : : 읍면동(행정동)

□ 온실가스 감축, 미세먼지 저감, 발전효율 향상 등 미래형 에너지 기술과 4차 산업혁명 기술 기반의 높은 안전성 및 편의성이 적용된 스마트 그린에너지 도시로의 전환을 위해서는 수소에너지 기반의 분산형 4세대 지역난방 실증사업이 필요

○ 탈 화석연료 저탄소 미래 도시에서는 신재생에너지의 확충과 연계한 분산형 에너지시스템 기반의 도시개발 적용이 필요한 시점으로 연료전지, 태양열, 지열 등 지역난방과 연계 가능한 신재생 에너지원이 존재하나 실증이 미흡한 단계로서 현재 미래 에너지원으로 전 세계가 기술개발에 중점을 두고 있는 수소에너지 기반의 연료전지와 연계한 4세대 지역난방 시스템 기반의 중·소형 도시 실증이 필요함

○ EU와 덴마크 등과 같은 지역난방 선도 국가들은 4세대 지역난방 시스템과 기술이 미래형 스마트 그린에너지 도시 내에서 저비용, 고효율의 지속 가능한 에너지 시스템으로써 큰 역할을 할 것이며, 화석연료 사용량을 줄이고, 덴마크를 포함한 유럽 내에서 일자리를 창출하고, 경제 성장을 주도할 것이라는 기조 하에 다양한 기술개발과 실증연구를 추진 중임



[그림 5-13] 분산형 4세대 지역난방 사례

□ 우리나라 기존 에너지시스템은 대규모 설비 기반의 통합적이고 중앙 집중적인 공기업의 B2B 위주로 운영

○ 정부는 도심 건물에너지 수요대응이 가능한 분산발전 확대를 통해 재생에너지 3020 정책에 따른 에너지 그리드 불안정성 문제 해결 희망

○ '3차 에너지기본계획'('19) 은 에너지 정책을 소비구조 혁신 중심으로 전환하고 분산형 참여형 에너지시스템 확대 목표 설정



출처 : 제6차 에너지이용 합리화 기본계획

[그림 5-14] 2020~2024년 최종에너지 기준수요 전망 및 목표 수요

○ 제6차 에너지이용 합리화 기본계획(2020. 08)에서는 적극적이고 유연한 효율·수요관리정책 추진하기 위해 효율 향상, 수요관리 및 제도개선을 통해 부문별 온실가스 감축을 계획 중이며 건물 분야는 2024년 절감 목표량 중 20%에 해당하는 3.7백만 TOE 절감을 목표로 제시하고 있음

○ 제5차 집단에너지 공급 기본계획(2020. 02)의 5대 세부 정책과제 중 하나로 '깨끗한 에너지를 활용한 분산에너지 확산'을 위해 수소연료전지, 재생에너지와의 연계를 강화하여 친환경성을 높이고 고효율화를 통해 친환경적 열 공급 체계를 정착시키는 것을 제안하고 아래와 같은 달성방안을 제안



[그림 5-15] 제5차 집단에너지 기본계획의 방향 및 정책과제 개요(2020.2.)

- 집단에너지사업자의 발전용 연료전지 활용을 확대
- 집단에너지 열 공급과 연계하여 건물용 연료전지 열을 최대한 활용하기 위한 중장기 로드맵 마련
- 4세대 지역난방 시스템 활용 기반 구축 등 열 분야 에너지 전환 추진 시 재생열에너지 활용 확대 방안 검토

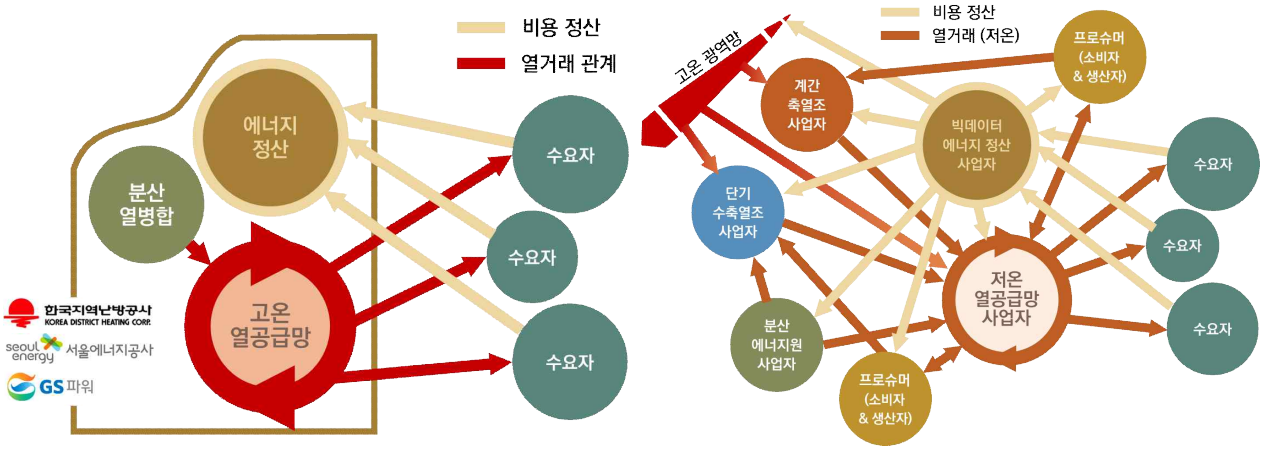
○ 수소 기반 신재생에너지 중심 수요관리 및 에너지 생산·전환·공급 기술 필요

- 정부는 '재생에너지 3020 이행 계획' ('17) 에 따라 우리나라 재생에너지 보급비율을 확대하는 목표 제시
- '수소 기술 로드맵' ('19) 에서 화석연료 수준 가격경쟁력 확보 (3,000 원/kg)을 확보해서 수요 (526만 ton/년, '40)에 대응 목표 수립
- '제5차 집단에너지 공급 기본계획' ('20) 에서 집단에너지 4세대 저온 열 공급에 연계한 연료전지 열을 최대한 활용하는 중장기 로드맵 목표 제시
- 이러한 에너지 환경 변화에 따라 국가에너지 수급에 효율적 대응하기 위해 에너지 자립화, 지역 간 에너지 공유, 프로슈머 등에 관한 기술개발 필요
- 국토부의 제로 에너지건물 로드맵은 '25년부터 민간건축물과 공동주택을 제로에너지건물 의무대상으로 포함하고 건축물 단위에서 지구·도시 단위로 확산 계획을 발표하였으며, 이에 대한 대응 기술 및 실증 필요

2) 추진 필요성

○ 분산발전 시스템에서 발생하는 폐열을 활용하여 열과 냉방, 전력을 모두 공급하는 시스템을 '트라이젠 시스템'이라고 칭하며, 본 기획에서는 이를 "서브스테이션"으로 칭함

- 기본적으로 기존의 발전시스템은 중·대형 설비에 기반한 대량 생산 구조이며, 이는 본 기획에서 말하는 메가스테이션과 유사함
- 이 메가스테이션이 100% 담당하던 에너지 생산 로드를 분산형 에너지시스템을 이용하여 에너지 생산 및 공급을 담당하게 하는 것이 분산화의 주된 목표임
- 이를 통하여 ①송전손실의 절감 및 무효전력 감소, ②수요지 인근에서 생산, 공급함으로써 수요 변화에 능동적으로 대응, ③신재생에너지 연계 용이, ④생산시설 인근 천재지변 등 문제 발생 시에도 전체 망이 아닌 일부만 셧다운 됨으로써 에너지 안보에 유리, ⑤송전선 건설 회피 가능, ⑥에너지 프로슈머와 에너지거래 활성화 가능 등의 장점을 활용할 수 있음



<(현재) 중대형 가스복합 CHP 기반 계층적·일방향 에너지 생산 및 소비>

<(미래) 분산형 CHP 기반 수평적 에너지 생산·소비>

[그림 5-16] CHP 기반 에너지 생산 및 소비 형태의 진화

○ 대체로 분산 에너지원에서 생산하는 에너지는 대규모로 생산하는 방식에 비하여 비쌀 것은 자명하므로 경제성을 고려한다면 분산형으로 100%의 에너지를 공급하는 방향으로 확대하는 것은 다소 무리가 있으므로, 메가스테이션과 서브스테이션을 적절히 조합하여 중앙집중식 에너지 생산방식의 장점과 분산형 에너지 생산방식의 장점을 적절히 조합하는 것이 바람직함

○ 탄소 저감의 측면에서 분산발전시스템은 무효전력 및 송전손실 감소에 따른 전력생산량 감소 측면에서 탄소 생산량의 저감에 이바지한다고 할 수 있으나, 대체로 대형 발전설비(최근 복합화력 기준 60% 이상) 대비 낮은 전력효율(약 43%, 두산퓨얼셀)을 가지고 있어 단순히 분산발전이 공급된다고 해서 탄소 저감 측면에서 유리하다고 볼 수 없음

- 다만 열병합으로 활용하는 경우 거의 동일한(약 90%) 효율을 보이므로 분산발전을 적용하기 위해서는 반드시 열과 전기를 동시에 생산·공급해야 함
- 또한 대규모로 수소를 생산하는 경우 탄소 포집·처리장치를 이용하여 탄소를 거의 배출하지 않고 에너지를 생산하는 시스템 구축이 가능함

○ 구역 단위 복합(주거·비주거) 건물과 연계된 트라이젠(전기·온열·냉열) 및 수요대응을 위한 서브스테이션 기술 실증 필요한 구성요소

- 수소 기반 신산업 생태계 대상 다양한 형태의 에너지공급 플랫폼
  - 마이크로 가스터빈, 수소 연료전지 열병합발전 시스템 등
- 수소 도시의 효율적 에너지공급을 위한 트라이젠 운영 기술
  - 열원의 가동률을 높이기 위한 단기 및 장기 냉·온열 저장장치
  - 다양한 생산시스템, 에너지생산비용 및 구역 내 수요 패턴에 따라 운영최적화

스케쥴 구성 및 조절 가능한 구역형 에너지관리 시스템

- 미래 수소 도시 대비 에너지/연료(수소) 양방향 네트워크 및 공유 기술

  · 4세대 저온 집단에너지 네트워크 (통합배관, 냉·온수 수요처 직공급)

□ 서브스테이션 분야

○ 현재 서브스테이션에 관한 연구는 국내·외 모두 분산형 발전시스템을 이용한 마이크로 그리드의 구성 및 최적 운영과 관련되어 있으며, 전력과 열을 동시에 소비하는 형태의 CHP(Combined Heat and Power)를 통하여 효율을 극대화하는 방향으로 진행되고 있음

○ 대체로 주로 고려되고 있는 시스템은 마이크로 가스터빈, 연료전지 및 가스엔진 시스템을 기본으로 하여 태양광, 풍력 등 재생에너지를 보조로 활용하고, ESS (Energy Storage System), TESS(Thermal Energy Storage system) 등과 결합하여 시스템 운영을 최적화하고 지능화하는 방향으로 연구가 진행되고 있으며 선진국들을 중심으로 실증연구 및 상용화 진행 중

○ 국내의 몇몇 분산발전 실증 사례에서 확인할 수 있는 바와 같이 열의 사용에 대한 고려 없이 전력만을 고려하여 시스템을 구성하는 경우 운영 경제성이 맞지 않아 고가의 연료전지 설비를 갖추고도 연료전지를 구동하지 못하는 경우가 빈번하게 발생하고 있음

  - 수소를 에너지 캐리어로 하는 발전시스템의 경우 가장 현실적인 에너지 생산 설비인 연료전지를 기반으로 수소에너지 시스템을 구축하기 위해서는 열의 활용에 대한 고민이 필요하며 더불어 냉방까지 고려한 Multi-generation을 고려하여 시스템을 구성할 필요가 있음

○ 분산형 전원과 재생에너지 시스템을 기반으로 마이크로 그리드를 구성하는 경우, 특히 사용자가 직접 전력 혹은 열을 직접 생산하거나 판매하는 프로슈머 개념까지 도입하게 된다면, 작게는 약 500세대에서 많게는 약 2,000세대 규모의 에너지 자립 커뮤니티 도입을 검토할 수 있음

  - 단위 커뮤니티가 마이크로 그리드를 직접 소유하고 여기에서 생산되는 전력, 열을 직접 소비하며, 남는 에너지를 인근 마이크로 그리드에 판매하고, 부족한 에너지는 인근 커뮤니티에서 사 오거나, 기존의 대규모 사업자에게서 공급받는 방식으로 커뮤니티의 에너지 비용을 최소화하는 방식으로 에너지시스템을 재편하는 것이 바람직

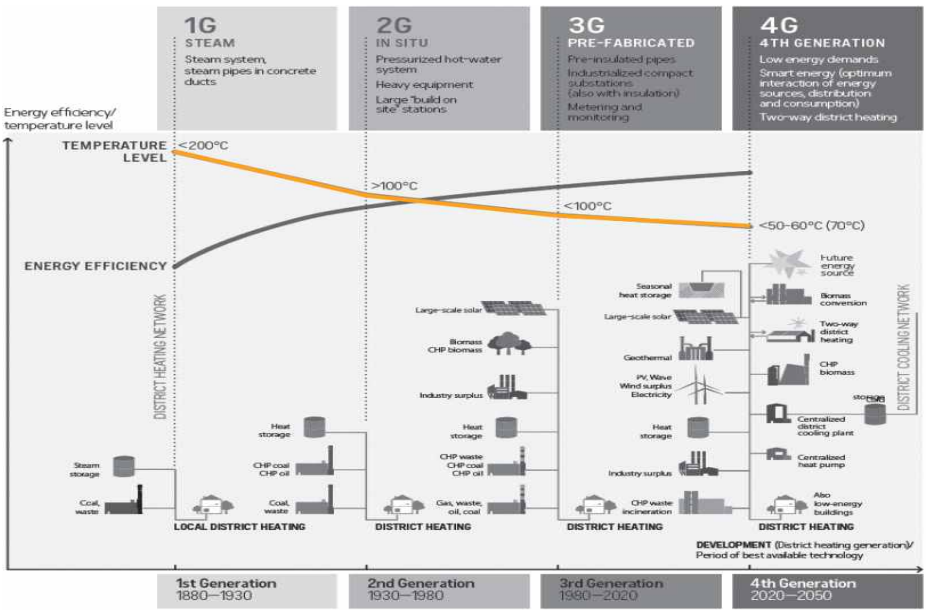
  - 이 경우 고압 송전선로 및 상대적으로 고온인 지역난방 열 배관은 커뮤니티 중앙의 분배센터(혹은 서브스테이션)로만 연결되고, 각 가정은 저압 배전선로와 저온 열 공급 관으로 직접 연결되어 망 전체에 대한 안전성은 증대되고, 송전손실이나 열 손실에 따른 비효율성은 감소되는 효과 확보 가능

○ 특히, 수소를 에너지 캐리어로 할 때는 이러한 방향이 더욱 효과적임

- 커뮤니티의 중앙에 위치하는 서브스테이션으로 대규모 에너지 사업자의 전력, 열, 수소 등의 공급이 이루어지고, 서브스테이션에서의 에너지는 수소 기반으로 생산되며, 일부 수소는 운송수단에 충전됨
- 서브스테이션에 공급되는 수소는 대규모 수소생산기지에서 생산되며 이때 발생하는 이산화탄소는 탄소 포집/저장 및 재이용시설(CCUS, Carbon Capture, Utilization and Storage)을 통하여 90% 이상 제거됨
- 이를 통해 커뮤니티 단위에서의 탄소배출 및 미세먼지 배출을 거의 0 수준으로 유지할 수 있음

○ 수소에너지 사회로의 전환은 마이크로 그리드, 즉 서브스테이션이 중심이 됨

- 이에 더해 에너지 피크를 줄여 서브스테이션의 생산 용량을 줄여주기 위한 에너지 저장장치(ESS/TESS)와 지능형 운영 최적화 시스템으로 생산 및 사용효율을 극대화하는 노력도 필요
- 아울러 수소 기반 에너지 생산설비와 재생에너지 설비 등 미활용 열을 활용한 열에너지 공급을 위해서는 사용자에게 기존의 중온수(100℃ 이상) 공급방식이 아닌 더 낮은 온도(70℃ 미만)로 공급하는 4세대 지역난방 시스템의 도입이 필수적임



[그림 5-17] 지역난방시스템의 변화 추이

□ 열저장 기술 분야

○ 열저장 기술은 현열, 상변화, 열화학 방식으로 구분되며 현열 및 상변화의 경우 국내·외에서 다양한 연구가 이루어져서 상용화가 이루어진 상태이며, 화학열저장은 아직은 몇몇 기관 위주로 연구가 이루어지고 있는 상태임

○ 상업적으로는 현열 열저장이 방식이 일반적이며, 상변화 열저장은 상용화 초기단계임

- 현열 및 상변화 열저장은 열손실문제로 단기저장에 대부분 한정되어 있음
- 현열 열저장의 경우 EU의 경우 태양열 등과 결합한 대형 계간 수축열 시스템 운영 중이지만 높은 열손실에 대한 대책 필요한 상태임

○ 화학열저장 방식은 높은 축열밀도 및 무손실 열저장이 가능하나 아직 연구 단계 수준임

- 화학열저장의 경우 흡착 방식을 이용한 저온 열저장방식이 주를 이루며, 열저장 밀도가 타방식에 비해 높고, 열 손실 없이 장기간 열을 저장할 수 있어 차세대 열저장 기술로 많은 연구가 이루어지고 있음

Materials used in thermochemical heat storage studies.

Phenomena	Sorbent	Sorbate	Charging temperature (°C)	Discharging temperature (°C)	Energy density (kWh/m^3)
Adsorption					
	silica gel	H_2O	88	32	50–125
	zeolite 13X[a]	H_2O	160–230	20–40	97–160.5
	zeolite 4A[b]	H_2O	180	65	130–148
	zeolite 5A[c]	H_2O	80–120	20–30	83
	APO-n[d]	H_2O	95–140	40	240
	SAPO-n[d]	H_2O	95–140	40	–
	MeAPO-n[d]	H_2O	95–140	40	–
Absorption					
	$CaCl_2$	H_2O	45–138	21	120–381
	LiCl	H_2O	66–87	30	253–400
	$LiCl_2$	H_2O	46–87	30	253
	LiBr	H_2O	40–90	30	252–313
	NaOH	H_2O	50–95	70	154–250
	$SrBr_2$	H_2O	80	–	60–321
Chem. react.					
	$BaCl_2$	NH_3	56–70	40	787
	$CaCl_2$	NH_3	95–99	–	673
	$CaSO_4$	H_2O	–	89	390
	$CuSO_4$	H_2O	92	–	575
	Li_2SO_4	H_2O	103	–	255
	$MgCl_2$	H_2O	130–150	30–50	556–695
	$MgSO_4$	H_2O	122–150	120	420–924
	$MnCl_2$	NH_3	152	–	624
	Na_2S	H_2O	80–95	80–110	780

[그림 5-18] 화학 열저장에 사용 가능한 대상 물질 및 성능 비교

- 저온 영역을 대상으로 하는 물질들은 대부분 흡·탈착 반응에 기반을 두고 있어 100～200℃의 축열 온도가 필요한 수준이며, 이러한 물질들의 에너지밀도는 대략 200～300 kWh/m^3(0.7～1.0 GJ/m^3) 수준임
- 전력-열 변환(Power-to-Heat)의 고려가 가능한 경우 고온을 이용하여 흡·탈착 시

간을 단축하거나, 화학반응을 대상으로 하는 무기산화물 사용 고려 가능함. 이러한 물질들의 에너지밀도는 대략 300~900 kWh/m^3(1.0~3.0 GJ/m^3) 수준임

※ 물의 현열 축열 에너지 밀도: 25℃ 온도차에서 0.1 GJ/m^3 (29 kWh/m^3)수준

○ 현열 축열은 축열재를 이용해서 열을 저장하는 방식으로 축열 원리가 단순하여 기상용화 되어 있음

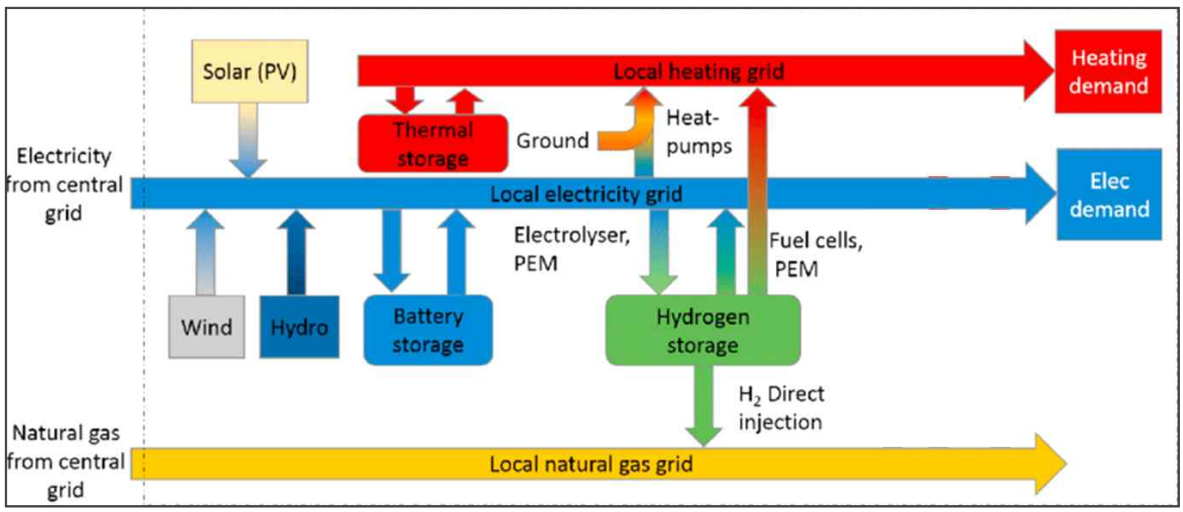
- 물, 자갈 등과 같이 쉽게 구할 수 있고 화학적으로 안정된 축열재가 많다는 장점이 있으며 축열과 방열 과정이 가역적임
- 따라서 한번 축열 시스템을 구성하면 별도의 개보수가 필요 없다는 장점도 있지만 단위 부피당 열을 저장할 수 있는 열량이 적어 큰 용량의 축열조가 필요함
- 또한 열 손실이 커서 일반적으로 수만~수십만 ton 규모로 만드는 경우가 대부분으로서 분산형으로 사용하기에 어려운 점이 있음

○ 상변화 축열(잠열 축열)은 물질의 상변화 또는 전이 과정에서 발생하는 잠열을 이용하여 열을 저장하는 방법임

- 상변화 과정에서는 온도변화가 없는 것이 가장 큰 장점임. 하지만 잠열재가 가진 부식성과 상변화 시 발생하는 부피 변화 등에 대응할 수 있는 용기가 필요하다는 단점을 가지고 있음

□ 운영 기술 분야

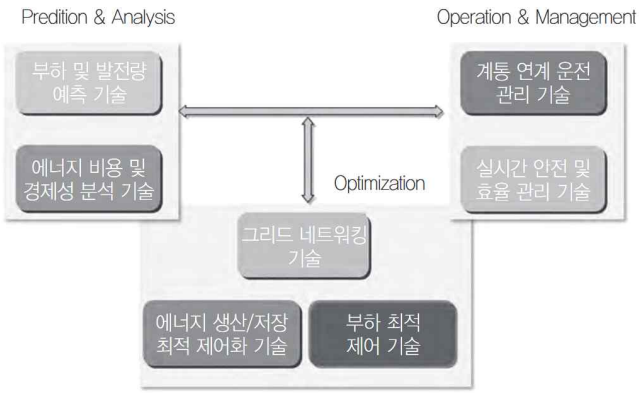
○ 최근의 에너지 그리드는 단방향에서 양방향, 중앙전원에서 분산전원으로 흐름이 옮겨가면서 그에 맞는 운영 기술을 필요로 함



[그림 5-19] 구역 내 전기, 열, 수소 생산설비 및 수요 패턴을 고려한 최적화 운영 기법 개발

○ 기존의 에너지 그리드 운영플랫폼은 주로 전력의 수요 및 공급에 초점을 맞추고 있으며 온열 및 냉열, 연료 등의 수요 모델이 포함된 통합 에너지 그리드 운영플랫폼의 실증 사례는 거의 전무함

- 또한, 단순히 에너지 수요에 대응하는 운영이 아닌 미래 수요 예측 망 최적화를 통한 에너지 절감을 위한 운영이 필수임



[그림 5-20] 예측 및 운영을 위한 최적화 고려 사항

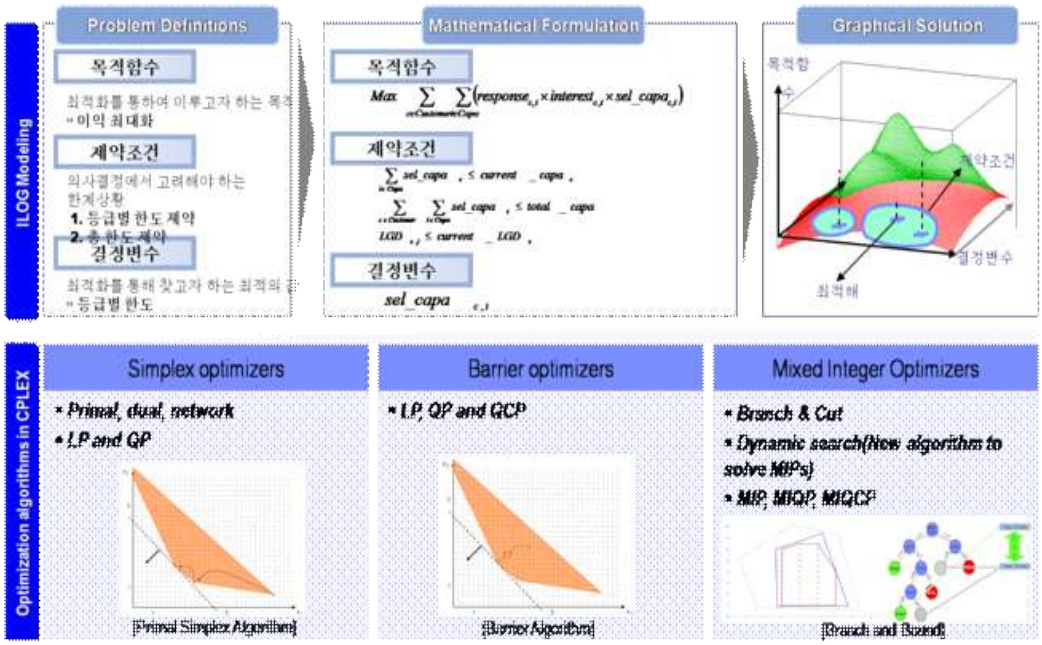
○ 공급의 측면에서, 재생에너지는 친환경적이지만 에너지 생산량을 정확히 예측하고 제어할 수 없는 문제가 존재함

- 재생에너지의 비중이 높아지면서 전력에너지의 수요와 공급의 불일치로 인해 이를 해결할 만한 기술이 필요함
- 남는 에너지를 부족한 에너지로 변환하는 에너지 변환 장치, 일시적으로 에너지를 저장해 두었다가 필요할 때 꺼내 쓰는 에너지 저장장치, 에너지 수급을 차질 없이 운영할 수 있는 고도의 플랫폼 운영기술이 필요함

○ 수요의 측면에서, 전력 외에도 냉열, 온열, 가스등의 다양한 에너지 수요가 존재하며 각 수요 패턴의 특성은 시간, 계절, 재실, 환경 등에 따라 다양하게 나타나기 때문에 수요를 정확하게 예측하고 최대수요 억제(Peak Clipping), 최대부하 이전(Load shifting), 기저부하 증대(Valley Filling) 등의 고난이도 수요관리 기술이 필요

○ 에너지 플랫폼의 운영은 에너지 종류별 특성, 에너지 수요와 공급 예측, 각종 에너지 시스템의 성능 및 손실률, 에너지 변환 및 저장장치의 운전 특성 등을 모두 고려해야 하는 매우 복합한 망 최적화 기술을 필요로 함

○ 수소 기반의 트라이젠 스테이션은 기존의 비 수소 스테이션 대비 에너지의 다양성이 증대되어 에너지 변환을 통해 유동적인 수요 및 공급에 대응할 수 있는 장점이 있음



[그림 5-21] 조합최적화 기법을 이용한 의사결정 최적화

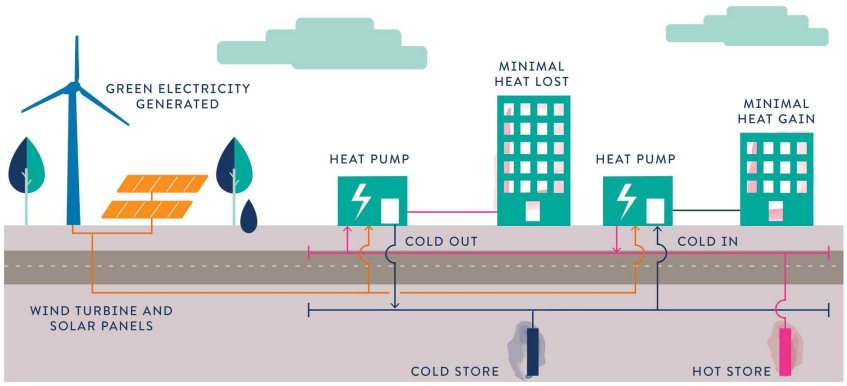
○ 각종 최적화 기법 (LP(Linear programming)와 MIP(Mixed Integer Programming) 등)을 이용하여 복수의 열원과 수요처에 대한 수요-공급 매칭에 대한 의사결정을 신속하게 최적화할 수 있는 모델을 개발 및 배치하며 비즈니스 성과를 올려줄 수 있는 시스템 개발이 필요함

- 이러한 조합최적화 기법은 작게는 소규모 공장의 공정 프로세스, 넓게는 도시 단위의 망을 최적화하는 데에 필수적이며 운영 기술은 다음의 특성을 보유해야 함
  - · 공급처의 에너지원별 발전설비 종류 및 용량 특성과 수요처의 수, 수요 패턴 및 용량 등을 자유롭게 설정 가능해야 함
  - · 각종 에너지 변환 장치와 저장장치의 운전 성능 특성 및 운영 비용 등의 설정 가능해야 함
  - · 수소 네트워크에 필요한 각종 전후 인프라를 고려하여 수소 생산처와 수요처를 구현할 수 있어야 함
  - · 첨부부하 등을 사전에 고려하는 최적 그리드 운영 기술 내장
  - · 에너지 생산 공급장치의 운전 스케줄링 최적화를 통한 시간-일 단위 에너지 시스템 운영
  - · 기기 운전 비용, 연료 가격, 손실률, 거래비용을 고려한 통합운영 시스템

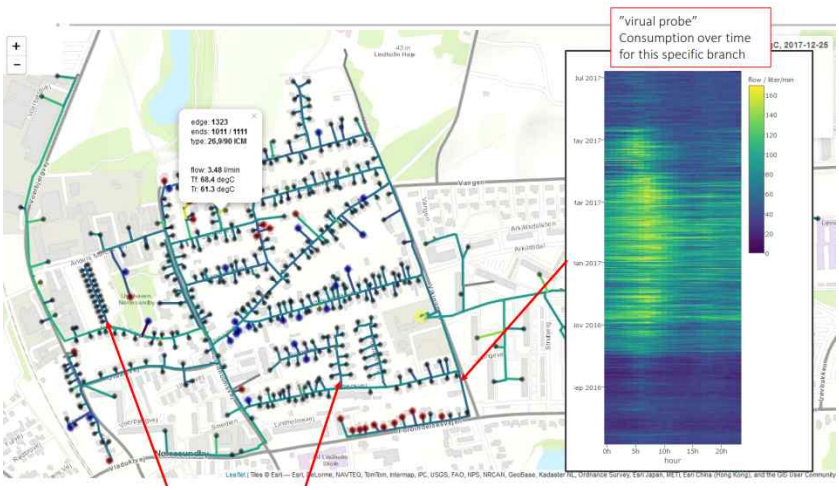
□ 사용자 분야

○ 4세대 저온 배관망에 연결된 사용자 간 열거래 필요한 연구개발 필요.

- (열사용 시설기준) 저온 열교환기 공급/회수 압력/온도 및 설치기준, 저온 열교환 시스템 주요기기(밸브 등) 설치 위치, 양방향 열 계량 장치 설치기준, 세대 내 통합열교환기 공급/회수 압력/온도 및 설치기준
- (장치 개발) 사업자-사용자용 양방향 거래용 열계량 장치 개발 및 사용자 말단의 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 분배용 열계량 장치 (스마트미터) 개발 필요
- (배관망) 저온 배관망 공급비용 및 공사비 부담금 산정, 저온 배관망 사용비 산정
- (요금) 사용자가 저온 수열/송열 시 요금 기준 산정, 사용자 생산 잉여 열량을 사업자에게 공급 시 요금 기준



[그림 5-22] 4세대 저온 열공급 기반의 구역형 집단에너지 공급 시스템



[그림 5-23] Heat intelligence 기법을 이용한 사용자 수요 예측 분석

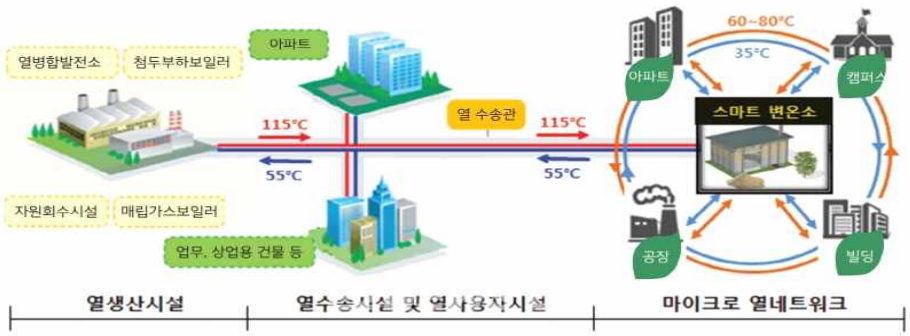
다. 기술개발 동향

1) 국내

□ 서브스테이션 분야

○ 한국지역난방공사의 용인 스마트 변온소 실증사업

- 한국지역난방공사는 용인 미래개발원에 스마트 변온소 실증사업을 진행
- 연료전지, 저온발전설비(ORC), 신재생에너지 등을 결합한 4세대 지역난방 네트워크 및 공급시스템 실증
- 기존에는 여러 수요처를 동일 온도로 공급했으나, 해당 실증단지는 수요처의 요구온도에 따라 캐스케이드(cascade) 방식의 변온 공급개념으로 전환하여 에너지 효율 향상 도모
- 숙소동의 각 실에 IoT 실내온도 센서를 설치하고 IoT 외기온도 센서와 결합하여 열사용 모니터링시스템 구축
- 수요처별 열사용 빅데이터와 IoT 센싱정보를 결합하여 딥러닝 기반 열수요 예측 기술 개발



[그림 5-24] 한국지역난방공사의 용인 스마트 변온소 실증사업 구성도

○ 산업부 지원 스마트제로에너지 시티(Smart ZEC)

- GS파워, 서울에너지공사 등은 산업부·한국에너지기술평가원 2018년 브랜드 과제로 진행되는 프로젝트를 통하여 도시 단위에서 IoT·빅데이터·AI를 기반으로 미활용 및 신재생에너지를 포함한 다양한 분산자원들에 대한 통합 에너지의 지능적인 관리 및 거래가 가능한 도시 단위 통합운영 시스템 개발 추진 중.



[그림 5-25] 산업부 지원 스마트제로에너지 시티(Smart ZEC) 구성도

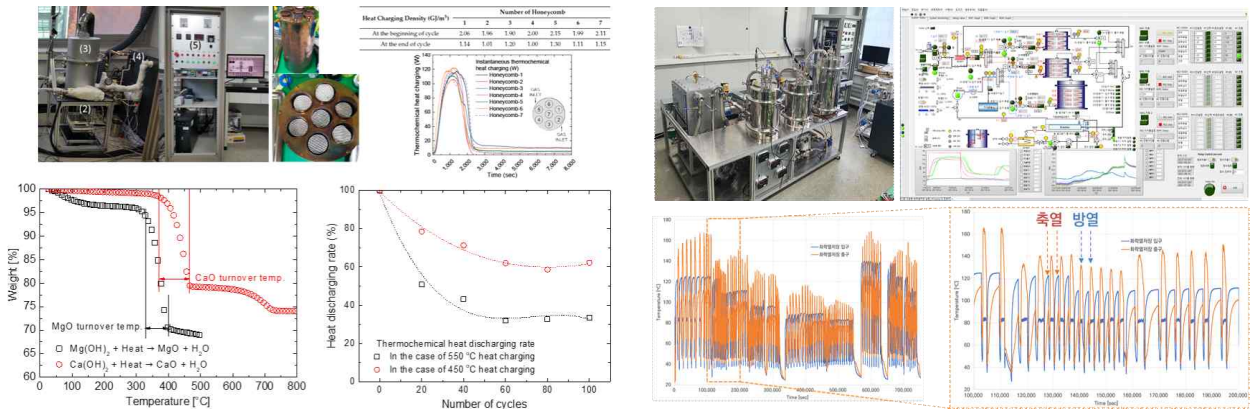
□ 열저장 기술 분야

○ 한국에너지기술연구원의 폐열 및 잉여열 기반 단기·장기용 화학열저장 기술

- 한국에너지기술연구원은 제철소 산업 폐열 및 잉여열 또는 전력 변동성 발생에 따른 전력-열 변환 기법(Power-to-Heat)이 사용 가능한 상황에서 MgO(산화마그네슘) 및 Zeolite/Silica-gel 기반 이용하는 화학열저장장치 제작 및 평가를 수행함

- 해당 물질은 허니컴 형태의 카트리지 및 beads 기반 packed bed 형태로 MgO 기반의 화학열저장 성능은 1~2 GJ/m^3 이며, Zeolite/Silica-gel의 경우는 0.4 ~ 0.5 GJ/m^3 수준

※ 물을 이용한 현열 축열 대비 10배 수준



[그림 5-26] 한국에너지기술연구원의 고온기반 (왼쪽) 및 중·저온 기반 (오른쪽) 화학열저장 장치 및 성능 실험

○ 한국에너지기술연구원의 태양열 집열시스템 기반 탱크방식 계간 현열 축열 기술

- 72,000 m^{2}에 공공건물군에 열과 전기를 100% 친환경 에너지로 공급하기 위해 태양열 집열 시스템과 계간 축열 시스템을 결합하여 진천 친환경 에너지 타운을 조성하는 연구과제를 통해 국내 최초 계간 축열 시스템을 실증함

- 태양열 집열판 1,600 m^{2}에서 연간 856 MWh의 열을 생산하고, 이 열은 4,200m^{3}의 계간 축열조에 저장되하여 동절기에 직접 이용되거나 고온 히트펌프의 열원으로 활용함

- 사용 온도는 53℃ 이상이며, 동절기 후반부에 온도가 낮아 직접 이용하기 어려운 열은 고온 히트펌프를 통하여 승온되어 버퍼 축열조에 저장되었다가 수요처인 각 공공건물로 보내지는 방식으로 활용함

  · 열의 규모는 163 MWh이며, 이때 히트펌프에서는 31 MWhe 전기 사용



[그림 5-27] 한국에너지기술연구원의 친환경 에너지 타운 신재생 에너지 및 계간축열 실증지

□ 운영 기술 분야

○ 정부에서는 '재생에너지 3020' 이행을 위해 실증사업 기반의 대규모 프로젝트를 추진 중이며, 특히 재생에너지 클러스터 조성을 통한 종합적인 산업 생태계 강화를 목적으로 다양한 정책들을 추진 중

- 신축과 기존 건축물을 대상으로 저탄소 에너지 효율화 기술과 에너지 공유 플랫폼 기술 등을 적용한 최적의 에너지 공유 커뮤니티 구축과 보급모델 개발을 'Cloud SHARE(Smart, Humanity, AICBM, Renewable Energy, Efficiency) Community'로 정의하고, 규제샌드박스가 적용되는 스마트시티 국가 시범도시를 대상으로 추진

- 이 같은 Cloud SHARE Community는 다양한 분산자원과 프로슈머의 수요·공급 운영데이터를 빅데이터 플랫폼을 통해 수집한 후 커뮤니티 에너지 공유 최적화에 활용

- 세부적으로는 에너지 공유 커뮤니티 계획·설계를 위한 기반 기술을 비롯해 커뮤니티 내 에너지 연계·공유 최적화 기술, 에너지 공유 플랫폼 통합운영·관리시스템과 보급모델, 저탄소 에너지 효율화 기술 기반의 에너지 공유 커뮤니티 실증 포함

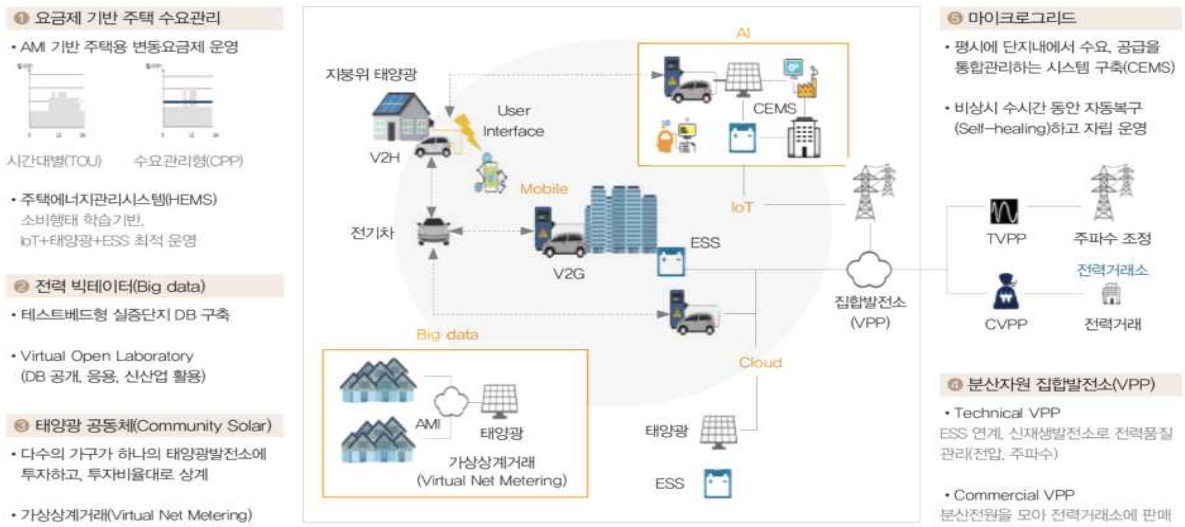
○ 한국건설기술연구원에서는 Cloud SHARE 플랫폼 실용화와 확산을 위한 통합 실증 부문을 맡아 '에너지 공유 커뮤니티 계획·설계를 위한 기반 기술 기초연구'를 수행 중

- ‘커뮤니티 내 건축물 유형별 에너지 부하 패턴 및 에너지 밸런스 분석 기술 기초연구’ 부문에서는 국내외 사례를 통한 커뮤니티 에너지 부하 패턴 등에 대한 현황 분석을 비롯해 국내외 건축물 에너지 부하 패턴과 에너지 밸런스 분석기법 조사, 실증 대상건축물 유형별 에너지 부하 프로파일 구축 등의 연구를 진행 중

- ‘커뮤니티 내 건축물 유형별 규모와 상주 인원 등과의 연계를 통한 최적의 에너지 소요량 예측기술 연구’ 부문에서는 실증 사이트 등과의 연계를 통한 에너지 부하 프로파일 DB를 바탕으로 에너지 소요량 분석 연구를 진행 중

○ 스마트그리드 운영기술은 시장 창출 성과가 아직은 미흡한 것으로 평가되나, 세계 스마트그리드 시장의 성장으로 높은 잠재성을 보유

- 수요반응 기술은 미국 대비 90% 수준, ICT를 활용한 수요반응 기술 잠재력 큼, 다만 PMS, SCADA 분야는 소프트웨어 융합 프로젝트 관리기술의 개발이 저조하여 기술 열위에 있음



[그림 5-28] 한국건설기술연구원의 에너지 공유 커뮤니티 계획

○ EMS 분야는 원천기술의 높은 해외의존도로 산학연 공동개발체계 구축이 필요

- 특수센서와 제어기술 분야의 기술 경쟁력 확보를 위해 마이크로 그리드(K-MEG) 사업을 통해 기술개발 및 실증사업 지원 중 (지능형 전력망계획, 2019~)

○ 제주 스마트그리드 실증사업

- ICT, 전력, 가전, 자동차 산업 등 이종 산업 간의 융합이 특징인 대 규모 실증사업. 12개의 공모 컨소시엄이 참여하여 지능형 소비자, 지능형 운송, 지능형 신재생에너지, 지능형 전력망, 지능형 전력서비스 등 비즈니스 모델 실증



자료원 : 제주도 스마트그리드사업단

[그림 5-29] 제주 스마트그리드 실증단지 위치 및 구성도

○ SK 가스

- ICT, 전력, 가전, 자동차 산업 등 이종 산업 간의 융합을 통한 대규모 실증 추진
- AI·빅데이터 분석 소프트웨어를 기반으로 각 산업체의 데이터를 분석해 최적의 솔루션을 제공해 에너지공급과 소비를 최적화할 수 있는 사업 모델 개발
- AI가 에너지 사용과 생산 데이터를 실시간으로 분석해 에너지 효율을 높일 방안을 제안하는 시스템
- 특히 실시간으로 분석되는 에너지 사용 현황 데이터가 기업 담당자들에게 공유돼 데이터 기반의 기업 의사결정 능력을 높일 수 있다는 것이 장점

□ 사용자 분야

○ 서울시 마곡 4세대 지역난방 실증사업

- 서울시는 마곡지구 내 농업 공화국에서 4세대 지역난방 실증사업을 진행
- 지역난방 공급수를 활용한 저온발전설비(ORC), 마이크로 가스터빈 등을 실증
- 60℃ 저온수 스마트 열 네트워크 구축을 통한 에너지 프로슈머 간 열거래 실증. 스마트 에너지시스템을 통해 4세대 지역난방 최적 공급을 실증



[그림 5-30] 서울시 마곡 4세대 지역난방 실증사업 개념도

❍ GS파워 부천 연료전지 저온 배열 공급사업

- GS파워는 부천 열병합발전소에 열병합발전소 회수계통의 50℃ 저온수를 흡수식 히트펌프를 사용하여 60℃로 승온하여 공급
- 흡수식 히트펌프 증발계통의 30℃ 저온열을 연료전지 저온계통(50℃)의 온수로 회수



[그림 5-31] GS파워 부천 연료전지 저온 배열 공급사업

❍ 한국지역난방공사 농업용 4세대 집단에너지 실증사업

- 아파트단지에서 회수되는 지역난방 환수를 인근 원예 농가에 공급하는 농업용 4세대 지역난방 실증사업을 수행
- 시설 원예 농가의 유류 난방 비용 대비 지역난방 환수 활용 난방 비용이 경제적, 환경적으로 우수함을 확인
- 새만금 간척지 내 농업용지, 농업시설 원예 단지 등 큰 규모의 수요처를 대상으로 실증사업 수행



[그림 5-32] 한국지역난방공사 농업용 4세대 집단에너지 실증사업

❍ 한국지역난방공사 공동주택 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템 설치 및 실증

- 분당 공동주택 단지 1,000세대 (2017년 ~), 수원 공동주택 단지 350세대(2020년~)를 대상으로 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템을 설치하여 실증 운영 및 데이터 수집·분석에 따른 수요반응 효과 파악 및 에너지 효율 향상 기법을 적용하는 연구 수행 중
- 해당 시스템을 통해 유·무선 통신기법 및 보안 적용에 따른 각종 효과와 함께 스마트미터 사용에 따른 각종효과(열요금 0원 세대 분석, 스마트미터 앱 사용에 따른 수요반응)을 정량적으로 파악하는 효과를 확인함



[그림 5-33] 한국지역난방공사 공동주택 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템 설치 및 실증

2) 국외

□ 서브스테이션 분야

○ ‘00년 초반 미국·유럽을 중심으로 마이크로 가스터빈, 연료전지 등 다양한 분산형 발전시스템 관련 연구 및 실증화 진행

- 특히 최근에는 주로 연료전지 기반 열병합 발전시스템 상업화 진행

① 마이크로 터빈 열병합발전 시스템

○ 1988년 미국 Capstone 사가 30 kW급 마이크로 가스터빈을 이용한 분산발전 시스템을 세계 최초로 상용화한 이후 다양한 회사들이 경쟁적으로 개발

○ 현재 대표적인 마이크로 터빈 제작사는 Capstone과 Ingersoll-Rand Energy system이 있으며 30~250 kW급 열병합용 마이크로 가스터빈을 생산하고 있음

○ 대표적인 실증 사례는 다음과 같음

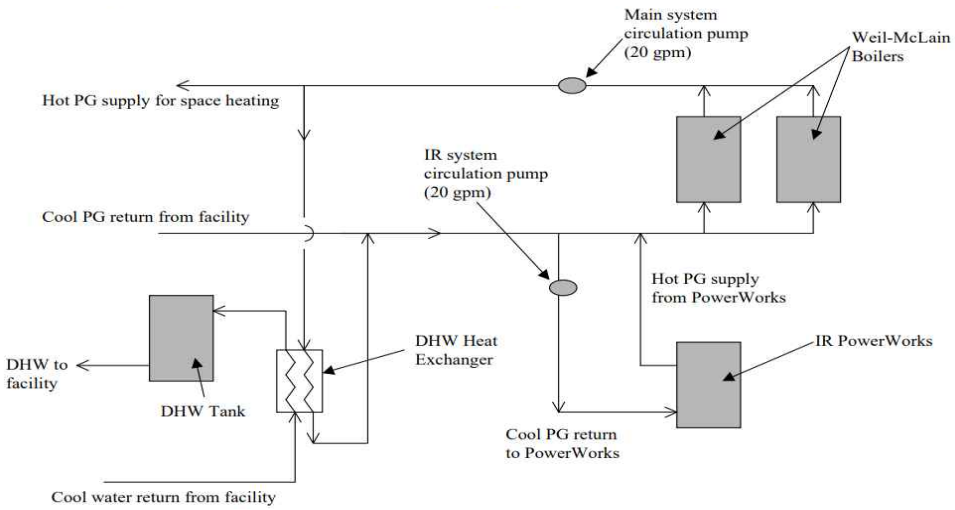
- 캐나다 Vergent Power Solutions
  - · 캐나다 최대 부동산 투자 신탁(REIT)이 관리하는 다세대 주택에 Capstone 65 kW급 마이크로 터빈 4기를 이용하여 열병합발전 시스템 구축
  - · 2018년 10월 시작하여 캐나다의 다세대 주거 산업에서 최초로 도입
  - · 해당 파일럿 CHP 시스템은 토론토 공항 근처에 있는 35층짜리 아파트단지인 North York 건물에 설치되었으며, 연간 190만 kWh 이상, 즉 건물 기저부하의 약 60%를 담당
  - · 현재까지 터빈은 거의 연속운전 15,000 h 달성하였으며, 전기 사용량이 58% 감소하고, LHV 기준 80% 이상의 총 시스템 효율을 달성하였음
  - · 그 결과 전체 에너지 비용은 24% 절감되어 연간 약 $168,000 CAD의 절감을 기록하였으며, 약 5년의 투자 회수 기간 예상됨[35)]

35) 출처: https://www.capstoneturbine.com/



[그림 5-34] 캐나다 Vergent Power Solution의 마이크로 터빈 기반 분산형 CHP 시스템

- 미국 Crouse 커뮤니티센터
  - 뉴욕주 Morrisville에 위치한 약 120명의 주민을 돌보는 60,000 제곱피트 규모의 전문 간호 시설로서 진료 시설, 주거 공간, 사교 및 여가 공간, 산업 규모의 세탁 시설 및 카페테리아가 포함
  - 해당 시설에 IR PowerWorks의 75 kW급 마이크로 터빈 시스템이 설치되어 시설에 전기를 공급하고 난방 및 급탕 공급
  - 시설의 전력수요가 70 kW 미만으로 떨어지는 경우 초과 전력은 그리드로 판매



[그림 5-35] 미국 Crouse 커뮤니티센터의 Space Heating and Hot Water System(Ingersoll Rand Micro gas turbine)

② 연료전지 열병합발전 시스템

❍ 1960년도 우주선의 에너지 공급장치로 처음 활용된 이후 다양한 기업에서 다양한 제품군 출시됨

❍ PEMFC, PAFC, SOFC, MCFC등 다양한 방식의 연료전지를 활용하여 소형 분산

형 열병합발전 시스템 보급 중임

- The Marcus Garvey Village
  - · 연료전지를 기반으로 분산발전 시스템을 구축한 다양한 사례가 있으며, 이 중 해당 사이트는 뉴욕 브루클린 주에 있는 625세대급 커뮤니티 시설
  - · 400 kW 천장 태양광 패널, 400 kW급 SOFC(Bloom Energy), 300 kW/1,200 kWh 리튬이온 배터리 ESS 시스템을 기반으로 분산 발전설비를 구축하여 실증 운영 중



[그림 5-36] PV, SOFC and ESS system in the Marcus Garvey Village

□ 열저장 기술 분야

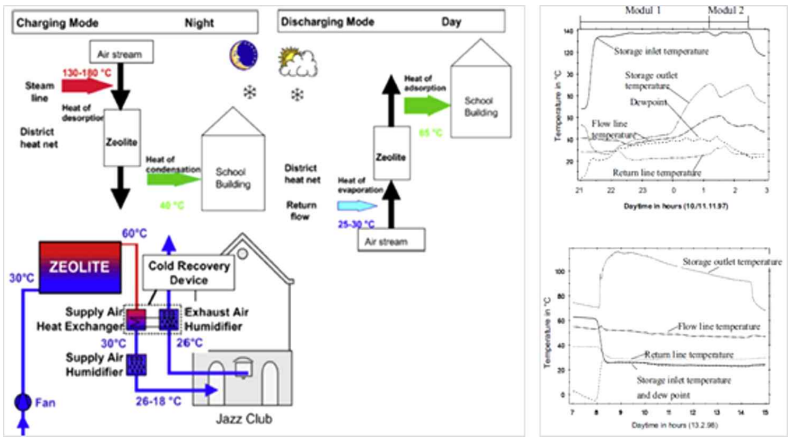
○ 일반적인 열저장장치의 경우 집단에너지 열원설비에 인접한 단기 축열 (수시간 ~ 수일) 또는 계간 축열(하절기 - 동절기) 방식이 있으며, 물의 현열 사용 방식, 물질의 상변화 방식 외에 물질의 화학반응이나 흡·탈착 반응을 이용한 화학열저장 방식이 있음

○ 독일 ZAE Bayern의 저온 열원 기반 화학열저장

- 독일 뮌헨 학교 건물 대상의 지역난방 열공급시스템에 결합하여 저녁 시간에 축열하고 낮에 사용하는 1일 사이클용으로 테스트를 수행
- 열원으로 130～180℃의 지역난방열(스팀)과 열교환된 공기를 이용하였고, 화학열저장 대상 물질은 Zeolite 13X를 사용
- 낮에는 화학열저장 장치로부터 나오는 100℃ 전후의 건공기를 이용하여 난방하는 방식으로 실험이 이루어짐
- 열 저장장치는 7 t 용량으로, 열용량은 약 1.3～1.4 MWh, 열출력은 130 kWh (125 kWh/m^3) 수준으로 테스트를 수행

<표 5-25> 열저장 방식에 따른 장·단점 비교

열저장 방식	화학열저장	상변화	현열
활용 원리	두 가지 물질(화학열저장 물질+반응물) '반응' 이용	물질의 온도 변화 없이 '상태 변화'만을 이용	물질의 상태 변화 없이 '온도 변화'만을 이용
대상 물질	열저장물질: 산화물, 무수염, 흡착제 반응물: 물, 산소, 수소, 이산화탄소 등	사용 온도대에 적합한 화합물	물, 고체 산화물
열저장 밀도	0.3 ~ 4.5 GJ/㎥	0.1 ~ 0.3 GJ/㎥	0.1 ~ 0.2 GJ/㎥
사용 방법	고정 설치형, 수송형	고정 설치형, 수송형	고정 설치형
장점	-축열 후 저장중 무손실 -높은 열저장밀도 -반복 축방열 사용 가능 -직·병렬 모듈 사용 가능	-축열 및 방열 온도 동일 -상업화 초기 -고가 물질 사용	-상용화 검증 완료
단점	-반응물질 제어 필요 -연구 초기 단계	-낮은 열저장 밀도 -고른 반응 유도 어려움 -축열 후 지속적 열손실	-낮은 열저장밀도 -축열 후 지속적 열손실

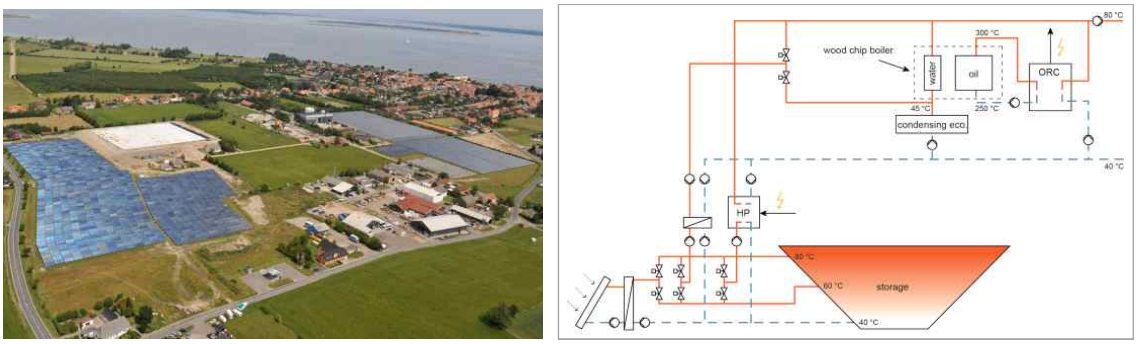


[그림 5-37] 독일 ZAE Bayern의 고정형 저온 흡·탈착 기반 화학열저장 시스템

❍ 덴마크 Marstal의 태양열 집열 기반 PTES 계간 현열 저장

- EU의 SUNSTORE 4 프로젝트로 100% 재생에너지로 열을 공급하는 시스템을 구축
- Marstal 지역난방은 열에너지의 55%를 태양에너지로, 45%를 현지에서 생산한 바이오매스로 공급
- 계간축열을 위해 태양열 집열기 33,300 m^2와 PTES 계간 수축열로 75,000 m^3의 축열조에 열공급 수행
- 여름철 축열 온도는 80~85℃이고 겨울철 방열 온도는 약 10℃ 낮음

- 지역난방의 공급온도는 72~76℃ 이며 회수온도는 33~40℃의 범위로 운영
- 여름에는 태양열로 지역난방을 직접 공급하면서 잉여열을 계간 축열조에 저장하고, 9월 말부터 우드 칩 보일러 또는 히트펌프의 열과 함께 저장된 열을 공급하는 구조로 운영 평가



[그림 5-38] 덴마크 Marstal의 태양열 집열 기반 PTES 계간 현열 저장 시스템

□ 운영 기술 분야

○ 빌딩 에너지 관리시스템(BEMS) 부문에서는 Building Control 기반 기업들과 IT 기반 기업 모델 유형이 있는데, 빌딩 영역에서는 Johnson Control, Schneider Electric, Honeywell 등이, IT 기반 모델에서는 Google, IBM, Cisco, Accenture 등이 주요 기업들임

○ 센트리카(Centrica)

- 영국의 다국적 에너지 및 서비스 회사이며, 영국, 아일랜드 및 북미 기업과 소비자에게 전기 및 가스를 공급하는 영국 최대의 전기 공급업체 중 하나임
- 스마트 미터를 통해 수집한 30분 단위 에너지 소비량을 근거로 피크시간대 실시간 전력수요 동향을 분석하고 시간대와 전력수요에 따라 동적으로 변하는 전기요금 설계하여 이에 근거한 전력수요 관리와 사용시간대 분산 등에 활용
- 스마트 미터는 하루 48회, 30분 1회 간격으로 에너지 소비 데이터를 수집하며, 소비자는 댁내 기기에서 실시간 소비량 및 요금을 확인할 수 있음
- 센트리카는 에너지 소비 패턴 분석을 위해 수집된 스마트 미터 데이터를 인 메모리 데이터베이스에서 처리하고, 패턴 분석 프로그램을 고속으로 실행해 에너지 소비 패턴을 요약하여 소비자 그룹화, 요금 메뉴 개발, 미래 소비 동향 예측 등을 수행
- 소비자는 센트리카 서비스를 이용해 시간, 날짜, 월별 전기 및 가스 소비량을 확인하거나 전년도 동월 소비량과 비교 분석하며, 연간 최대 190파운드(약 34만원)의 에너지 비용을 절약할 수 있다고 밝힘

○ 제너럴일렉트릭(General Electric; GE)

- 발전 및 에너지공급과 관련한 광범위한 기술을 통해 이미 태양광과 풍력 등의 재생자원, 바이오가스 및 기타 대체연료, 석탄, 석유, 천연가스 및 원자력 에너지 등 에너지 산업 모든 분야에 걸쳐 사업을 운영 중

- 2015년 5월, 빅데이터와 IoT 기술이 적용된 신개념의 디지털 풍력발전소 모델인 “디지털윈드팜(Digital Wind Farm)”을 도입했는데 이는 전통적인 풍력단지에 센서와 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big data) 분석 기술을 더해 ‘디지털 트윈(Digital Twin)’이라는 홀로그램 시뮬레이션 기술을 가능하게 함

- 2015년 디지털윈드팜을 적용한 미국 동부 풍력발전소는 연간 에너지 생산량이 16% 증가함

- 기상 예측과 사이버 보안 기술이 적용된 최적화 운영 시스템이 2016년 6월 출시, 운영 중.

○ 베스타스(Vestas)와 IBM의 운영 효율화

- 덴마크의 풍력발전용 터빈 제조업체이면서 개발사인 베스타스는 부지 선정을 위해서 빅데이터 분석모델을 운영

- 정형·비정형 데이터를 활용하는 모델링 기법을 개발하고, 부지 선정 외에 최적의 운영방안을 도출하는 데 활용

- 날씨, 조수간만의 차, 위성, 산림 정도를 분석해 풍력 발전원에 적합한 지리를 추천해주는 시스템을 갖추었으며, 이외에도 기후, 발전원 상황 등의 정보를 기반으로 에너지 생산 패턴을 추출한 후 신재생에너지 발전원의 에너지 생산량을 예측해 공급의 안정성 확보

○ 하와이 Sunshot Smart Grid Project

- 미국 에너지부(DOE)가 주관하는 태양에너지 개발 사업 SunShot Initiative 산하 6개 프로젝트 중 하나

- 하와이 전력망 내 태양광+ESS 활용도를 높이기 위해 EMS 도입

- 하와이 전력공사는 Siemens의 DERMS 시스템을 이용하여 전력데이터를 수집 및 관리

○ 요코하마 Micro Grid Project

- 요코하마 전역에 4,000여 가구가 참여하는 435 km^2 규모의 실증사업으로 수요반응 서비스 검증용 전기차와 충전소를 포함한 차세대 인프라 구축 및 대규모 수요관리 시스템, 인센티브 프로그램 등을 개발 중

○ 스웨덴 Stockholm Project

- 유럽 최대의 도시개발 프로젝트로, 지속개발 가능성에 방점을 두고 스마트그리

드 관련 운영 기술의 개발 및 실증 진행 중

- 재생에너지 사용량 50% 이상을 목표로 두고 있고, 재생에너지 분산발전으로 환경친화적 에너지 소비를 위한 연구가 수행됨

○ 그로닝겐 Powermaching City Project

- 화석연료 중심의 에너지시스템을 스마트에너지 인프라로 전환하는 프로젝트
- 차세대 에너지시스템을 검증하고 소비자 참여를 유도하는 서비스 모델 개발
- 스마트미터기를 활용한 수요반응 및 전력거래 시스템 구현

○ 호주 Newcastle Project

- 호주 최초의 상용화 단계 실증단지이며 참여 세대수가 15,000세대, 총사업비가 4천 4백만 달러에 이르는 프로젝트
- 분산전원 등을 고려한 합리적인 전력공급 계획 수립 및 스마트그리드 비즈니스 모델 발굴을 목표로 함
- 스마트그리드 기술의 비용 편익 및 에너지 사용패턴 분석 결과를 바탕으로 정보포탈을 개설할 계획

□ 사용자 분야

○ 분산발전 기반의 열병합시스템을 활용하여 열을 공급하기 위해서는 기존 100℃ 이상 중온수를 이용한 3세대 지역난방 방식에서 70℃ 이하의 저온수를 공급하는 4세대 지역난방 시스템의 보급이 동시에 수행되어야 함

- 그러나 4세대 지역난방은 아직 대규모 운영 사례는 없으나 독일, 네덜란드 등 유럽의 지역난방 선진국을 중심으로 부분적인 열 그리드 실증사업을 진행 중임
- 독일은 4세대 지역난방 시스템을 통해 기존 열 네트워크의 회수열을 소넨베르크 지구의 신축 건물에 저온으로 공급하여 에너지 손실 최소화
- 네덜란드 헤이그는 ’15년 스마트 열 그리드로의 발전 전망을 포함한 열 이니셔티브 선언을 통해 열에너지 최적 이용과 수요관리 강조

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 메가스테이션 연계 수소 직공급 열병합발전 기반 구역형 서브스테이션 개발 및 건물용 트라이젠 (전기·온열·냉열) 공급 실증

- 구역형 서브스테이션으로 연간 구역 열· 전기 에너지 수요 20% 담당
- 열병합발전 배열 기반 냉·온열 사용으로 서브스테이션 가동률 90% 확보

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-26> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발	수소 기반 에너지 공급 서브스테이션 유닛의 개발 및 실증	- 일부 건물에서 개별 건물 단위의 LNG기반 연료전지 단독 운전 설비 운영 중 - 미활용열 이용 4세대 지역난방 연구로 에너지 프로슈머 개념을 도입한 스마트 변온소 연구 실증 수행	- (미국) '00년 초반부터 다양한 에너지원을 활용한 분산형 열병합발전 연구 수행으로 이미 상용화완료 - (EU) 미활용열 이용 4세대 지역난방 연구로 에너지 프로슈머 개념을 도입한 서브스테이션의 상용화 단계
수소 열병합 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	현열, 상변화, 열화학 등 다양한 방식을 활용한 서브스테이션용 축열 시스템의 개발/실증	- 축열시스템은 지역난방용 단기 축열, 한전 심야전력 기반 수요관리 목적 축냉설비, 태양열용 축열 설비 등에 제한적 사용 - 열화학 열저장의 경우 한국에너지기술연구원등의 수 kWh 정도의 실험실 수준 연구 실적은 있지만 상용화 이전 단계	- (EU) 태양열 등과 결합한 대형 계간 수축열 시스템 상용화, Zeolite를 이용한 100 kWh/㎥급 화학열저장 시스템 구현 및 실증 운영 사례 보고
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	서브스테이션 설비 운영플랫폼 및 최적 에너지 운영 기술 개발	- 단위건물과 커뮤니티단의 자가소비율 (LCF, Load Cover Factor) 향상을 위해 최근 'ESS + Power2Heat + 열저장' 등의 연계성 강화 기술 개발 진행	- (EU) 신재생에너지 발전 사업의 지역 수급상황(심화/완화)에 따라 차등가격을 적용하고, ESS 설치 의무화, 실시간 차등가격 관련 연구 진행
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	실증 연계건물 시스템 구축 및 건설기준 확립	- 저온 공급을 대비한 플렉서블 배관(Flexible pipe – 플라스틱 배관), 온도압력 동시제어 밸브 등의 적용 타당성 연구 및 배관 압력조절용 수차 개발 연구 수행	- (스웨덴, 덴마크 등) 선진 지역난방 도입국가들은 건물과 건물이 캐스케이드 방식으로 연계된 지역난방 공급 실증 연구 수행 및 상용화 평가 중

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-27> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 트라이젠 서브스테이션 및 서브스테이션 건물 연계 기술 개발 ○ 건물 유형별 에너지사용량 분석 시뮬레이션 통한 최적 운영방안 수립 ○ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 건물 열공급 방안 도출 ○ 복합 축열방식에 따른 시스템 용량 및 적용성 검토 ○ 실증 서브스테이션 대상 열/전기 수요량 분석 ○ 건물부하 열/전기 추종방식에 따른 에너지 생산량 분석
2024년	○ 서브스테이션 실증 ○ 냉열 제조기술 선정(흡수식, 흡착식, 제습식 등) 및 실증방안 확립 ○ 수소 직공급 열병합발전 부하 20% 추종비율에 따른 열생산량 분석 ○ 잉여 열부하에 따른 축열조 및 시스템 용량 설계 ○ 복합 축열시스템 요소기술 설계 및 시작품 제작/평가 ○ 수소에너지 기반 전기부하 공급 목표에 따른 시스템 설계 ○ 수소 직공급 열병합발전 특성에 따른 열/전기 최적 운영모델 도출
2025년	○ 서브스테이션 실증, 설비 시운전 데이터 취득 및 분석 ○ 시운전 데이터를 활용한 설비 운영 플랫폼 개발 ○ 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 복합 축열시스템 제작 ○ 시뮬레이션 기반 실증모델 운영기술 평가 ○ 실증 열/전기 부하매칭 및 운영 알고리즘 개발
2026년	○ 건물 에너지 공급 시스템 실증 및 사용자용 HEMS 시스템 구축 ○ 설비 운영 플랫폼 개발, 검증 및 운영 플랫폼 안전기준 개발 ○ 복합 축열시스템 실증 및 시운전/보완 ○ 서브스테이션 건물 열/전기/수소 에너지 공유를 위한 운영시스템 구축 및 시운전/보완
2027년	○ 설비 운영 플랫폼 및 사용자 HEMS 검증 및 적용 ○ 시스템 시운전 데이터 확보 ○ 복합 축열시스템 실증 적용 Data 확보, 최적화 제작 기술 확보 ○ 서브스테이션 운영기술 실증, 최적 알고리즘 확보, 지속 모니터링

마. 세부과제 추진계획

1) 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 수소 직공급 기반 구역형 열병합발전 서브스테이션 개발 및 건설 기준 수립

○ 부생열 기반 냉열공급 플랫폼 구축 및 구역내 주거·비주거 건물 온열·냉열 공급을 위한 최적 운영시스템 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-28> 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
서브스테이션 유닛	실증유닛	기초설계	실시설계 및 공사착공	준공	시운전	운전실증
설계도 및 건설기준	도면/백서	설계안	설계도	건설기준 초안수립	시운전 결과 반영된 수정기준	실증 데이터 기반 건설 백서 확립
운영 플랫폼	S/W	시스템설계	시스템개발	운전모사 D/B확보	운전실증	S/W

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-29> 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 트라이젠 서브스테이션 개발 ○ 유형별 에너지사용량 분석 시뮬레이션 통한 최적 운영방안 수립
2024년	○ 서브스테이션 실증 ○ 냉열 제조기술 선정(흡수식, 흡착식, 제습식 등) 및 실증방안 확립
2025년	○ 서브스테이션 실증, 설비 시운전 데이터 취득 및 분석 ○ 시운전 데이터를 활용한 설비 운영 플랫폼 개발
2026년	○ 설비 운영 플랫폼 개발, 검증 ○ 운영 플랫폼 안전기준 개발 및 검토
2027년	○ 설비 운영 플랫폼 검증 및 적용 ○ 시스템 운전 데이터 확보

2) 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 축열조 및 온도 성층화 분배용 디퓨져 개발

○ 단기(현열·상변화) 및 장기(열화학) 대응용 복합 열저장 장치 개발 및 서브 스테이션 맞춤형 축열시스템 실증

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-30> 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
복합 축열조 및 요소기술	시제품 제작 및 실증	설계안	시작품	시제품	-	-
수소기반 부생열 및 P2Heat 기반 축열조	시제품 제작 및 실증	-	설계도	시제품	실증 설비 설치	운영 D/B 확보

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-31> 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 건물 열공급 방안 도출 - 열병합발전 방식 검토 - 배열 온도별 적용 방안 ○ 현열 및 화학열저장 축열 방식별 시스템용량 및 적용성 검토
2024년	○ 전기부하 20%추종에 따른 수소 직공급 열병합발전 열 생산량 분석 ○ 부생 열부하에 따른 축열조 및 시스템 용량 설계 ○ P2Heat 기술을 활용하는 축열조 및 시스템 용량 설계 ○ 복합 축열시스템 요소기술 설계 및 시작품 제작, 평가
2025년	○ 실증 대상지 맞춤형 열저장 및 공급 최적화 복합 축열시스템 개발
2026년	○ 실증시스템 구축 및 시운전 ○ 시운전에 따른 핵심 요소기술 검증 및 보완
2027년	○ 실증시스템 운영 및 실증 Data확보 ○ 축열시스템 최적화 제작 기술 확보

3) 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발

□ 연구기간 : '23~'27년

□ 연구목표

○ 신재생에너지 전기(DC/AC)변환 효율 향상 방안, 열/전기 수요 및 생산관리를 통한 부하매칭 기술 개발 등 서브스테이션 최적 에너지 운영 알고리즘 개발

○ 전기 및 열수요 최적화 예측 및 운전스케쥴 산출 기술 개발 및 서브스테이션 내 통합 모니터링시스템 구축, 운영·커미셔닝

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-32> 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년
수소 열병합발전 종류 및 특성에 따른 열/전기 생산율	프로그램, 실증 결과 90%이상	열병합발전 특성 DB구축	프로그램 설계	프로그램 등록	실증 설계	실증 결과값 비교 (90%이상)
건물용도별 조합에 따른 열/전기 수요율	보고서, 실증 결과 90%이상	주거건물평가	비주거 건물평가	통합 열/전기 수요량	실증 설계	실증 결과값 비교 (90%이상)
수소기반 열/전기 자가소비율(LCF)	LCF 90%이상	기본 설계안	전기/열추종 평가	운영 방안 도출	LCF 90%이상	LCF 95%이상

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-33> 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 실증대상 열/전기 수요량 분석 ○ 수소 직공급 열병합발전 건물부하 열/전기 추종방식에 따른 열/전기 에너지 생산량 및 부생 에너지 분석 - 전기부하 추종운전에 따른 잉여 열 - 열부하 추종운전에 따른 잉여 전기
2024년	○ 복합건물군을 위한 온열·냉열·전기 소비 부하 패턴 분석 ○ 수소 직공급 열병합발전 온열·냉열·전기 생산량 분석 및 계절별 최적 운영모델 도출
2025년	○ 최적 부하(열 or 전기)공급 방안 및 모델 도출 ○ 시뮬레이션 기반 실증모델 운영 기술 평가 ○ 실증 열/전기 부하매칭 및 운영 알고리즘 개발
2026년	○ 실증시스템 구축 및 시운전 ○ 실증 모니터링 결과에 따른 운영시스템 보완
2027년	○ 실증시스템 운영 및 실증 Data확보 ○ 운영알고리즘 확보 ○ 모니터링 및 운영 계속

4) 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 서브스테이션의 온열/냉열 공급을 위한 건물 내 공급설비(배관, 밸브, 펌프, 계량기 등) 기준 수립 및 실증

○ 건물 에너지 측정설비, 데이터 취득/연산 시스템 및 최종 사용자용 BEMS(HEMS) 시스템 구축

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-34> 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
연계 건물 시스템	실증유닛	기초설계	실시설계	시제품	시운전	실증건물
설계도 및 건설기준	도면/백서	설계안	설계도	건설기준 초안수립	시운전 결과 반영된 수정기준	실증 데이터 기반 건설 백서 확립
HEMS	S/W	-	-	시스템개발	D/B확보	S/W

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-35> 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 서브스테이션 연계 건물 개발
2024년	○ 서브스테이션 연계 건물 설계 및 건설 ○ 열사용시설 배관시스템, 유무선 스마트미터링 시스템 설계
2025년	○ 서브스테이션 연계 건물 건설 ○ 배관 및 열사용시설 구축, 유무선 스마트미터링 시스템 구축 ○ 사용자용 HEMS 시스템 개발
2026년	○ 서브스테이션 연계 건물 건설 및 서브스테이션 연계 시운전 ○ 미터링 데이터 분석 기반 열사용시설 시운전 및 안정화 ○ 사용자용 HEMS 시스템 구축/ 시운전
2027년	○ 사용자 HEMS 검증, 보완, 시스템 운전 데이터 확보

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-39] 수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 미활용열과 지역난방을 연계한 IoT 융복합 도심형 열네트워크 모델 개발

○ 주요 내용

- 다양한 미활용열과 지역난방이 연계되어 양방향으로 거래할 수 있는 도심형 열네트워크 모델의 개발
- 지역난방과 신재생 및 미활용에너지의 연계가 가능한 실증 설비의 구축
- 열공급모델과 미활용에너지 연계 모델의 세부기술 기준 및 가이드라인 실증

○ 차별성

- 과제의 초점이 에너지의 생산/ 공급이 아닌 신재생간의 연계 방안 연구에 맞춰짐
- 신재생 에너지원에 수소 활용은 고려되있지 않음
- 업무용 건물에만 에너지를 공급하며, 공공주택 등 도시에 적합한 시스템 연구는 고려되고 있지 않음

○ 연계방안

- 다양한 신재생을 연계한 분산형 에너지 시스템 구축에 대한 사전 연구로서 관련 데이터 확보가 가능

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-36> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소 기반의 트라이젠 에너지 생산시설	7	◐	●		○
서브스테이션에 최적화된 축열시스템	7	●	○	◐	
부하매칭 기술 및 운영기술	7	◐	○	●	
서브스테이션 연계를 위한 실증 건물	7	◐		●	○

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 산학연 협동을 통한 협력체계 구축

- 산업체(집단에너지 사업자): 광역망 연계 및 운영
- 지자체 및 도시개발 사업자: 실증부지 확보 및 주민 동의 및 행정편의 제공
- 연구소(출연연): 시스템 설계, 운영 알고리즘 개발
- 대학교: 도시개발 측면에서의 주민 편의성 및 수용성 연구

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 운영주체 및 지자체간 협력체계 구축

- 집단에너지 사업자: 인프라 구축 및 최적운영 O&M
- 지자체 및 도시개발 사업자: 실증부지 확보 및 주민 동의 및 행정편의 제공

□ 기술수요자와 협력체계

○ 기기개발업체와 과제 연구 그룹 간의 협력

- 연료전지 개발 업체: 효율적인 열생산에 초점을 맞추는 운전 기법 개발
- 축열조 개발 업체: 복합 열저장 기법 적용을 위한 시스템 개발

- 사용자시설 설비 업체: 직공급을 위한 열교환 설비 및 운영 기술 개발
- 집단에너지 사업자: 통합 운영 시스템 결합으로 밸류체인 및 비즈니스 모델 개발

3) 실용화 전략

○ 실용화 및 사업화 전략

- 본 과제를 통해 구축된 실증시스템을 통해 운영 및 제어기법에 대한 track record로 개발 기술의 신뢰성 및 대형화 기술 확보
- 단위 요소기술 (복합축열조, 제어알고리즘)의 경우 민간에 기술이전을 통해 기술사업화 전략 확보

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 수소기반 트라이젠 서브스테이션 실증설비, 축열 시스템 및 연계되는 실증 건축물 및 단지

- 해당 과제의 특성 상 리빙랩으로서 실제 사용자에게 에너지를 공급하는 설비가 구축되는 것이므로 SPC(특수목적법인)등을 이용한 O&M 서비스를 준비하거나, 관리 주체가 직접 설비를 유지하도록 만드는 사전 준비 작업 필요
- 이후 다양한 P2X 기법을 결합할 수 있는 reference site로 운영하여 추가적인 데이터 확보
- 지속적인 운영을 통해 국내 및 해외 사업 확대를 위한 장기 O&M 비용 산출 등 track record 확보

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 도시내 수소 전주기 생태계 책임관리 주체

- 현재는 고압가스안전법 근거로 수소생산자가 공급관리의 주체로서 수소공급에 따른 수요처 안전관리가 어려움
- 수소공급자(생산·이송) 안전관리 주체와 수소 사용처의 주체가 분리되어 있어 실증시 분리에 따른 사고대응 지연 가능성 있음

□ 대응방안

○ 실증연구시에는 고압가스 안전관리법에 따른 법령상 공급자 배관소유 및 안전관리책임여부의 일원화를 통한 통합관리

- 수소가스 공급, 배관소유 및 안전·유지관리 주체가 동일해야함을 연구개발에 명시하여 규제완화를 추진
- 안전관리자가 본 연구를 수행하는 동안은 연구책임기관이 직무를 수행할 수 있도록 조치가 필요함

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 수소경제, 그린뉴딜 정책에 최적화된 수소기반의 분산형 에너지 공급 모델 개발로 성공적인 정책 추진 가능
- 신재생 에너지 보급률 20% 달성 조건에 부합하면서 주민의 편의성을 최대한 고려할 수 있는 에너지 공급 가능
- 에너지의 공급, 사용과 함께 에너지의 피크부하 감소에 적합한 에너지 저장기술 다변화를 통하여 에너지 시장 포트폴리오 확대

○ 경제적 기대효과

- 신규시장 및 신사업 창출을 통한 일자리 창출 가능
- 과제를 통하여 확보된 에너지 공급모델의 표준화를 통한 해외 건설시장 진출 가능
- 연료전지 : 전력생산량(1 MWh), 열생산량(950 Mcal) 수소사용량(1.7 ton/d) 장기운전 8,600시간이상
- 예상매출액: 17억 원/년

※ 전력 10.4억, 열 6.6억, 전력단가 1kWh당 120원, 열단가 1Gcal당 80,000원 기준

○ 과학기술적 기대효과

- 친환경 에너지 공급을 통하여 에너지 사용자의 탈 탄소화가 가능
- 제로에너지건물에서 진보된 제로에너지 시티 구축에 필요한 기초 데이터의 확보
- 다양한 신재생 에너지원과의 연계가 가능한 에너지 플랫폼의 확보

카. 소요예산

<표 5-37> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발	국고	1,619	4,063	4,858	4,063	1,847					16,450
	민자	694	1,741	2,082	1,741	792					7,050
	합계	2,313	5,804	6,940	5,804	2,639					23,500
수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	국고	400	1,003	1,199	1,003	456					4,061
	민자	171	430	514	430	195					1,740
	합계	571	1,433	1,713	1,433	651					5,801
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	국고	358	899	1,075	899	409					3,640
	민자	154	385	461	385	175					1,560
	합계	512	1,284	1,536	1,284	584					5,200
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	국고	1,612	4,045	4,838	4,046	1,839					16,380
	민자	691	1,734	2,073	1,734	788					7,020
	합계	2,303	5,779	6,911	5,780	2,627					23,400
합계	국고	3,989	10,010	11,970	10,011	4,551					40,531
	민자	1,710	4,290	5,130	4,290	1,950					17,370
	합계	5,699	14,300	17,100	14,301	6,501					57,901

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

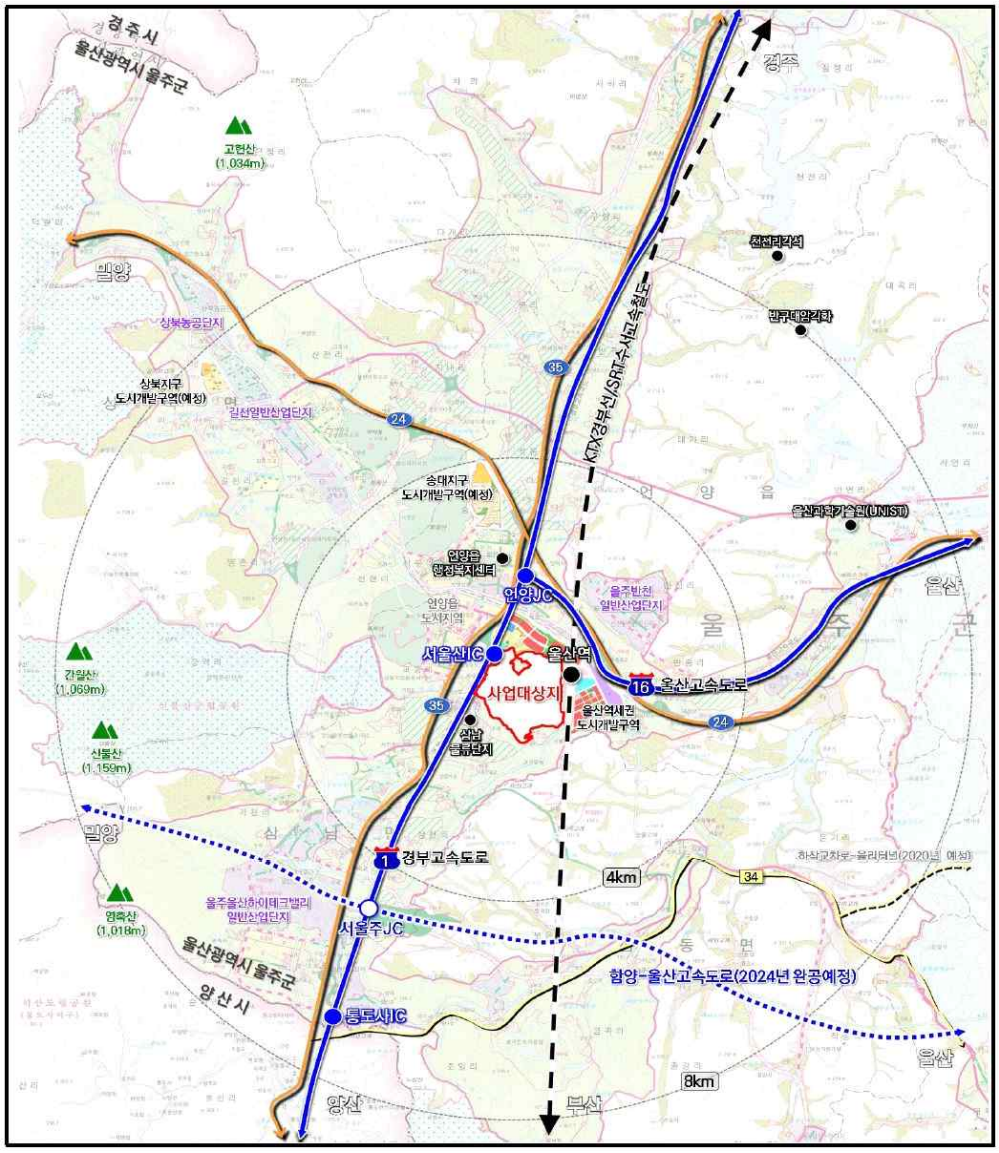
○ 개발사업 관련법에 근거한 사업추진 구역을 해당 지자체 및 개발사업자와 협업하여 지정

- 택지개발촉진법, 공공주택특별법, 도시개발법, 도시재생활성화 및 지원에 관한 특별법, 스마트도시 조성 및 산업진흥등에 관한 법률 등과 연관된 도시개발사업 구역으로 신규 또는 기준 사업지 확보
- 사전에 도시개발사업 일정을 충분히 검토하여 협업을 통하여 실증기간내에 계획, 설계, 시공, 운영, 관리 및 결과도출이 가능한 사업지역을 선정해야함
- 향후 저출산 고령화에 따른 소규모 도시개발, 도시재생사업, 스마트시티 사업 등이 추진되는 지역을 우선적으로 고려해야함
- 인구이동 및 활동이 왕성하여 실증에 따른 효과가 뛰어나고 향후 트라이센 서브스테이션 확산을 위한 고려가 필요한 지역을 우선 선정해야함

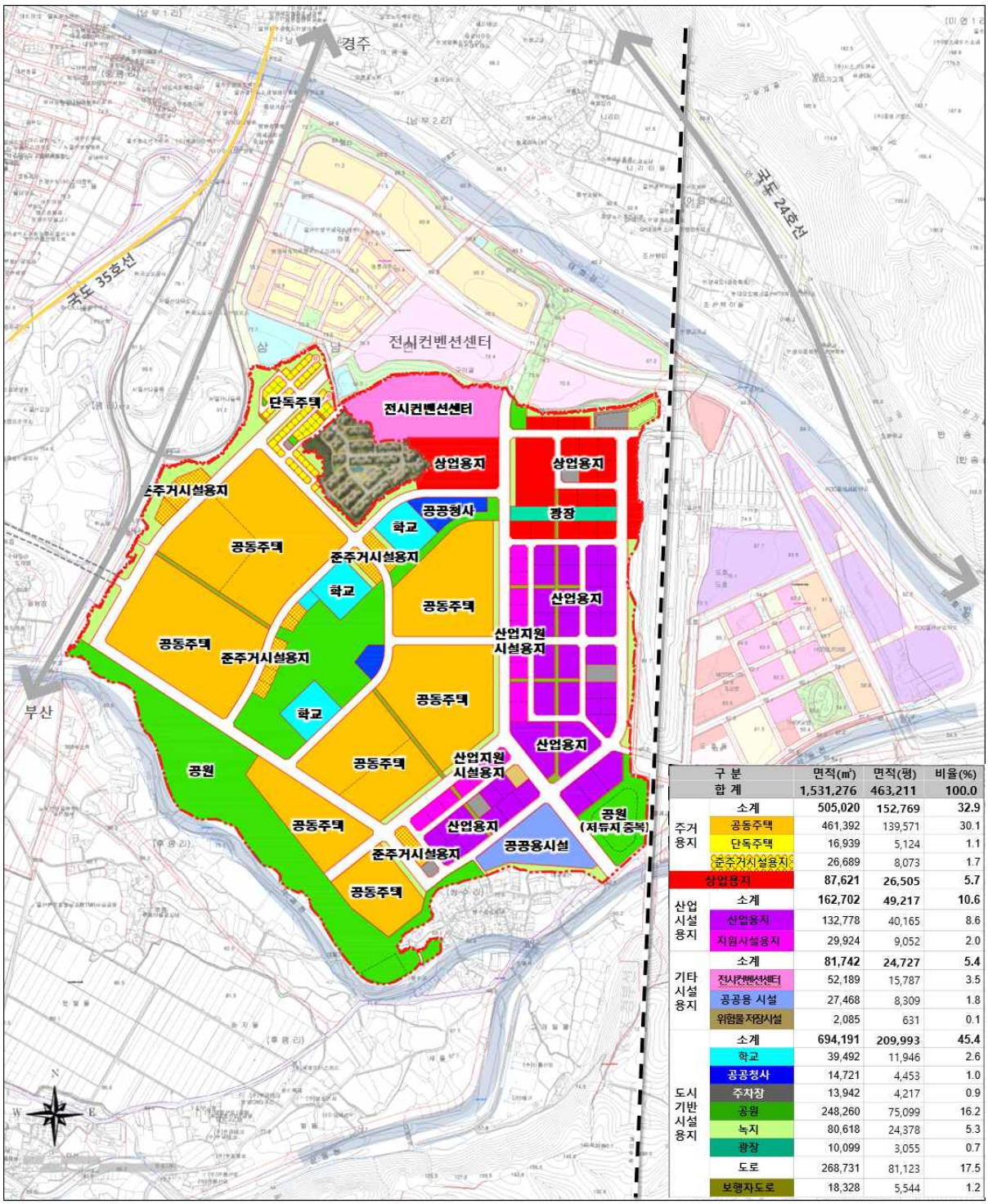
<표 5-38> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상입지

실증 대상 지역		울산 KTX역세권 복합특화단지			
대상부지면적		총 1,531,276 ㎡ 中 임대주택용지 69,700㎡			
세대규모		총 12,500 세대 中 임대주택 2,400세대			
토지 이용 계획	**주거용지**	**면적**	478,331㎡	**대상시설**	공동주택(임대포함), 단독주택
	산업용지	**면적**	162,702㎡	**대상시설**	산업시설, 산업지원시설
	지원용지	**면적**	166,499㎡	**대상시설**	상업, 준주거, 컨벤션 등
	기반시설	**면적**	723,744㎡	**대상시설**	학교, 주차장, 공원 등
유관 법률		도시개발법, 산업입지 및 개발에 관한 법률 등			

주: 현재 관련 인허가 진행중으로 추후 개발계획 변경 시 변동가능

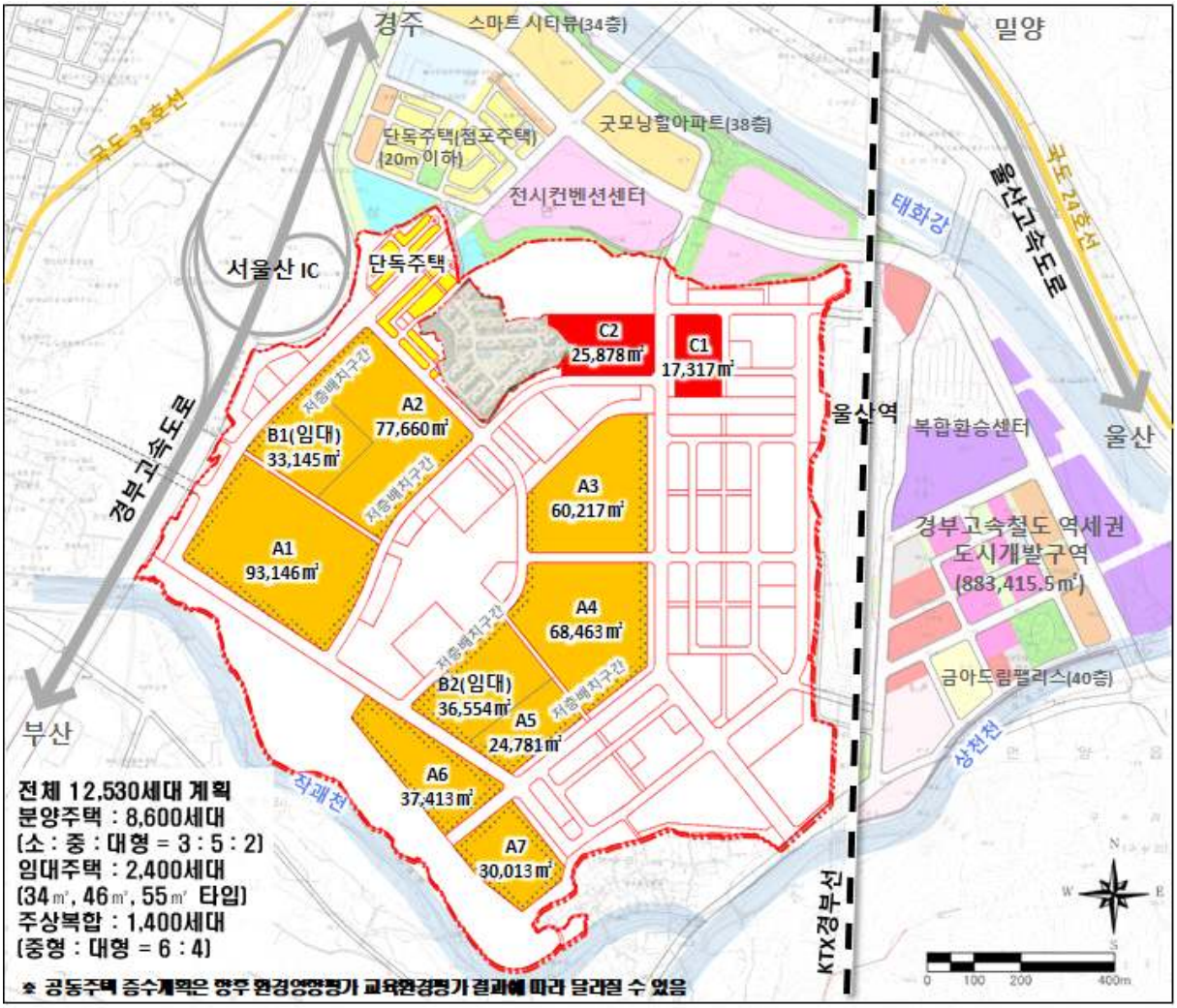


[그림 5-40] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상지구 개요



구 분		면적(㎡)	면적(평)	비율(%)
합 계		1,531,276	463,211	100.0
주거용지	소계	505,020	152,769	32.9
	공동주택	461,392	139,571	30.1
	단독주택	16,939	5,124	1.1
	준주거시설용지	26,689	8,073	1.7
상업용지		87,621	26,505	5.7
산업시설용지	소계	162,702	49,217	10.6
	산업용지	132,778	40,165	8.6
	지원시설용지	29,924	9,052	2.0
기타시설용지	소계	81,742	24,727	5.4
	전시컨벤션센터	52,189	15,787	3.5
	공공용 시설	27,468	8,309	1.8
	위험물저장시설	2,085	631	0.1
도시기반시설용지	소계	694,191	209,993	45.4
	학교	39,492	11,946	2.6
	공공청사	14,721	4,453	1.0
	주차장	13,942	4,217	0.9
	공원	248,260	75,099	16.2
	녹지	80,618	24,378	5.3
	광장	10,099	3,055	0.7
	도로	268,731	81,123	17.5
	보행자도로	18,328	5,544	1.2

[그림 5-41] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 토지이용계획



유형		대지면적 (㎡)	용적률 (%)	비율 (%)	인구수	세대수	최고층수	비고
총 계		520,650	-	100	32,100	12,500		
단독주택	소계	16,939	200	3.3	330	130	15m이하 4층이하	1필지 2세대
공동주택	합계	461,392		88.6	27,900	11,000		
	분양	391,692	250	75.2	21,700	8,600	15층이상~ 35층이하	60-85, 85초과
	임대	69,700	200	13.4	6,200	2,400	15층이상~ 25층이하	60이하
복합	소계	42,319	500~ 600	8.1	3,700	1,400	45층 이하	60-85, 85초과

※주요 간선도로변(20m이내) 공동주택 저층 배치 구간(12층~20층)설정
※공동주택 층수계획은 향후 환경영향평가 교육환경평가 결과에 따라 달라질 수 있음

[그림 5-42] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 인구수용 및 주택계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 에너지 공급 계획

○ 일반적인 공공주택의 전력 사용량은 가구 당 약 300 kW/월, 열 사용량은 0.1~0.5 Gcal/월 수준이며 2,400세대 규모의 공공주택에 전력 및 열을 공급하기 위해서 필요한 전력수요는 연간 약 7,640 MWh, 열수요는 연간 약 9,300 Gcal로 가정하였음

○ 수소타입의 두산 퓨얼셀은 시간당 440 kWh 전력 생산이 가능하며 열은 약 0.22 Gcal/h 생산이 가능하므로 연간 정지 없이 생산할 수 있는 열량은 15,417 Gcal 규모임 가동율을 93%로 가정하면 약 14,400 Gcal의 열생산이 가능, 전력은 연간 약 30,000 MWh 생산되고 가동율을 93%로 가정하면 약 28,800 MWh의 전력이 생산됨

○ 전력의 일부는 공동주택에 공급하여 7,640 MWh의 전력을 감당하고 나머지는 HPS 수립에 맞춰 판매

○ 열은 동절기, 오후에서 새벽 시간대에 주로 사용하게 됨에 따라 하절기에는 지역냉방을 활용하여 열수요를 확보하고, 낮 시간대 축열을 통하여 열수요를 Sector Coupling 기법으로 최적화하여 열 공급이 가능하나, 동절기 피크 시에 대부분의 열 수요가 발생하는 점을 고려하면 일부 계간 축열 및 광역망과의 열 연계를 통하여 동절기 부족열을 확보하고, 하절기 및 동절기 저수요 구간은 100% 서브스테이션에서 열을 공급하는 구조로 시스템 구축

○ 수소의 발열량은 저위발열량 2,584.558 kcal/Nm^3, 순도 99.99%로 가정하여 매년 필요한 수소의 양은 약 1,964 ton임

<표 5-39> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 대상지구 에너지 공급 계획

구분	에너지구분	단위	에너지량	주요 가정
수요	열	Gcal/년	14,400	- 공동주택 2,400 세대 기준 - 가구당 열사용량 500Mcal/월 - 가구당 전기사용량 300kW/월 - 두산퓨얼셀 수소타입 연료전지 적용 - 연료전지 용량: 3.52MW(440kW X 8대) - 수소LHV 2,584.558kcal/N㎥ 기준 - 수소 순도 99.99%이상 기준
	전기	MWh/년	7,640	
공급계획	수소량	톤/년	1,964	
	FC(열)	Gcal/년	14,400	
	FC(전기)	MWh/년	28,800	

□ 시설·장비 구축 계획

○ 수소 생산을 위한 수소 스테이션은 개질을 기준으로 현 기술수준을 고려하여 약 500 kg/day 수준이 될 것으로 가정하고 2기를 확보하여 일 1,000 kg/d 생산

○ 수소 저장설비는 고려하지 않으며, 수소 생산을 위한 수소 스테이션에서 에너지 생산을 위한 서브스테이션까지 약 650 m 이격을 가정, 수소 스테이션 2기 설치를 위하여 약 2,800 m^2 부지 필요하며, 수소 연료전지 및 전력 배전설비, 열생산 설비 및 열 공급 시설과 통합관제를 위한 건물 내 사무실 부지를 포함하여 약 6,600 m^2에 3층 규모 건물 설치하여 시스템 구축

○ 에너지 생산설비의 지하화도 가능하며 이 경우 수소 연료전지 설치에 따른 방폭 설비 및 실내 시설 설치에 따른 법령 확인 필요

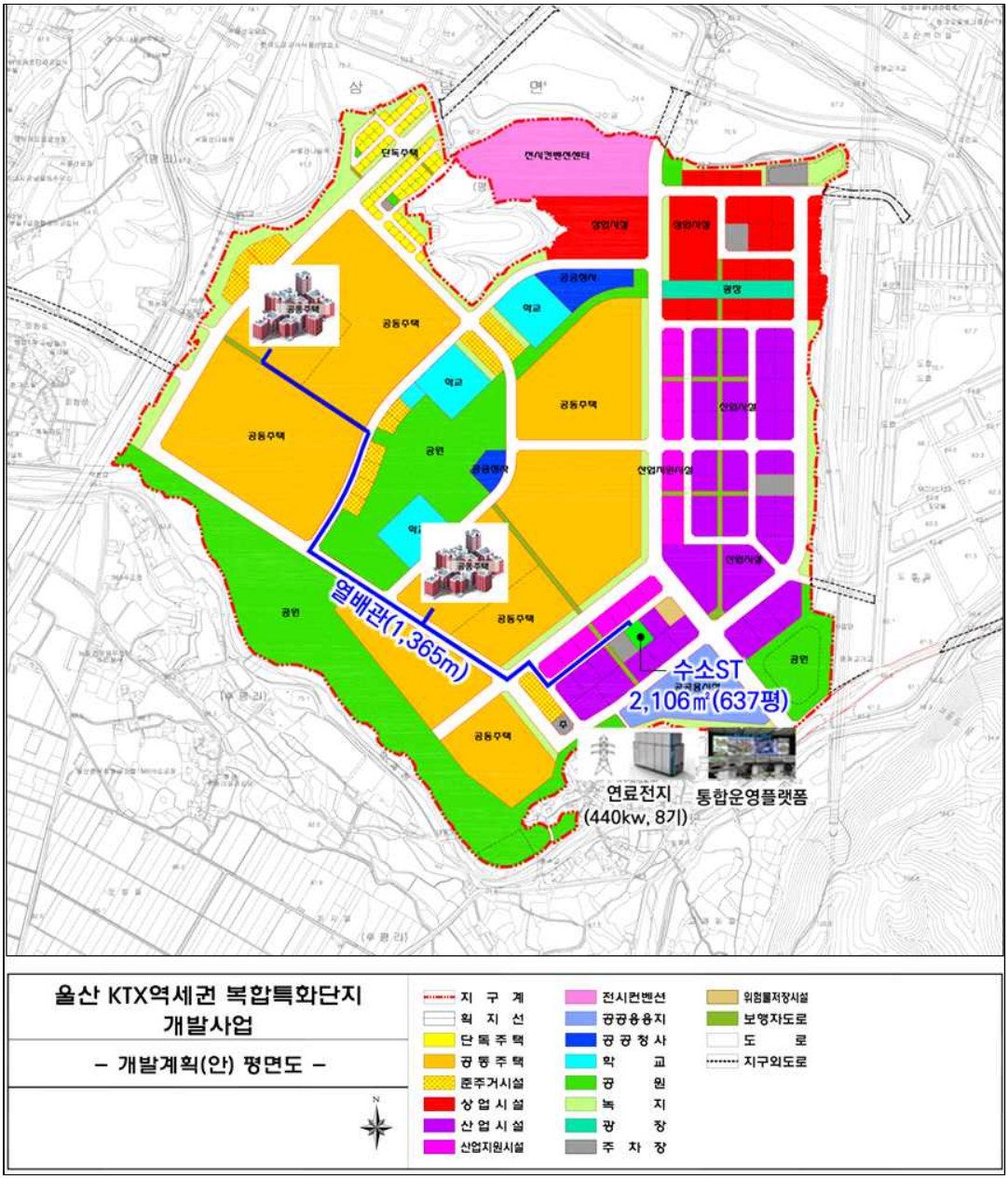
○ 축열조는 수축열 방식과 PCM 또는 화학열저장 방식을 같이 적용하는 복합축열조 방식으로 구현하며, 수축열 방식의 수두압의 활용을 위하여 지상에 설치하고 PCM 이나 화학축열 등은 압력식 탱크로 대체하고 지하화 가능

○ 연료전지 8기와 흡수식 냉동기 등은 건물 상부에 설치하거나, 미관을 고려하여 수소도시법, 수소안전법 등의 기준을 참고하여 건물 내 설치하고, 상부 공원화하여 주민 수용성을 확보하고, 민원을 최소화 할 필요 있음

<표 5-40> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 시설·장비 구축 계획

수소 스테이션	○ 수소 생산용량 : 500kg/d ○ 면적 : 2,800㎡
생산	○ 수소 추출기 규모 : 500kg/d 2기 ○ 수소 생산량 : 1,000kg/d ○ CO_2 발생량 : 8,500kg/d
이송	○ 탄소강 파이프라인(150mm) 650m
활용	○ 수소 서브스테이션 : 6,600㎡(3층규모) ○ 발전용 연료전지 440kW급 8기 ○ 열교환기 난방 1Gcal/h 4기 ○ 복합축열조 5,000㎥ (200 Gcal) ○ 냉동기(흡수식, 흡착식) 3000RT급 1기 ○ 냉동기(제습식 세대용) 997기
운영	○ 통합관제 센터 (면적 : 165㎡)

주) 추출기 CO2 발생량: 8.5kg-CO2/kg-H2(출처: 경향신문, 2019.10.23.)



[그림 5-43] 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-41> 수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
분산 열병합용 서브스테이션	**2024~2025년**	○ 해당 부지 사용자 시설에 열/전기를 공급하기 위한 설비
서브스테이션 통합 관제 센터	**2024~2025년**	○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어
복합 축열조	**2024~2025년**	○ 발전설비, 수소기반 부생열 등 서브스테이션 내 잉여열 저장 및 연계 ○ 발전설비의 잉여전기를 열로 전환하여 저장 (Power 2 Heat)
복합 축열조용 제어 시스템	**2024~2025년**	○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어 ○ 상위 데이터 전달 및 최적화 스케쥴에 따른 운전 수행
실시간 데이터베이스 프로그램	**2025년**	○ 구축 DB 로부터 데이터 취득 ○ 단위 시간 데이터 가공 및 RDB 데이터 추출 ○ 특정 관제점에 대한 Trend 데이터 제공 ○ 리포트 툴 제공
HMI 프로그램	**2025년**	○ 원격 모니터링 구성, 통합센터 구축
건물 열교환 장치	**2024~2025년**	○ 원격 모니터링 중간 노드 구성, 개별 빌딩별 열 및 냉열 공급 ○ 건물별 에너지 사용 최적화 및 모니터링
사용자용 세대 열교환 장치	**2024~2025년**	○ 원격 모니터링 구성, 세대 냉난방 및 급탕 공급 ○ 세대 열사용 패턴 분석 결과 수신 및 자동 운전
건물 및 세대 스마트미터링 시스템	**2024~2025년**	○ 원격 모니터링을 통한 개별 세대별 열 및 냉열 사용 상태 파악 ○ 건물별 에너지 사용 최적화 및 모니터링을 위한 기초자료 수집

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>분산 열병합용 서브스테이션
(인산형 연료전지, 펌프 등 Aux, 열공급배관)</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Substation for Distributed Cogeneration(PAFC, Aux, Heat pipes)</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>두산퓨얼셀/PureCell® Model 400 등(기타 주문제작)</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>Fuel Cell</td><td>4,000</td><td>8</td><td>32,000</td></tr>
<tr><td>Aux for Substation</td><td>1,000</td><td>8</td><td>8,000</td></tr>
<tr><td>Supply heat Pipe</td><td>1</td><td>2,000</td><td>2,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 수소기반 서브스테이션과제의 핵심 설비
○ 열과 전기를 생산하고 안정적으로 공급</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 해당 부지 사용자 시설에 열/전기를 공급하기 위한 설비</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 연료전지
- 전력(440kW/기) 및 열(0.2Gcal/기) 생산
- 종합효율 80%이상
- 수소 직접 사용 가능
○ Auxiliary system
- 효율 80%이상
○ Supply Heat pipes
- 단열성능 80%이상</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>서브스테이션 통합 관제 센터</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Integrated monitoring center</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>공사비</td><td>800</td><td>1</td><td>800</td></tr>
<tr><td>자재비</td><td>300</td><td>1</td><td>200</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 수소기반 서브스테이션 제어
○ 사용자 데이터의 수집, 분석을 위한 통합관제센터 구축 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 관련법에 따른 건설 기준 충족</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>복합 축열조</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Multi-role heat accumulator</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/주문제작</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>현열 축열조
(현열 또는 상변화)</td><td>500</td><td>1</td><td>500</td></tr>
<tr><td>화학열저장
축열조</td><td>500</td><td>1</td><td>500</td></tr>
<tr><td>열공급용 배관 및
펌프 시스템</td><td>1,000</td><td>1</td><td>1,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 서브스테이션 내에서 발전 설비들의 가동률을 높일 때 발생하는 각종 잉여열을 저장하였다가 초단기(수시간) ~ 초장기(계간, 연간) 피크 부하에 대응할 수 있는 복합 열저장 장치가 필수적임
○ 서브스테이션내 설비들의 가동률 및 종합운전효율을 극대화하기위한 필수 설비</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 발전설비, 수소기반 부생열 등 서브스테이션 내 잉여열 저장 및 연계
○ 발전설비의 잉여전기를 열로 전환하여 저장 (Power 2 Heat)</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 현열 및 화학열저장 축열조를 연계하여 열을 공급할 수 있는 배관 및 펌프 시스템은 제어 시스템과 연계가 가능할 것
○ 축열조는 서브스테이션 내 설비들과 연계가 가능할 것</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>복합 축열조용 제어 시스템</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Control system for multi-role heat accumulator</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/주문제작</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>축열조 상태 모니터링용 센서</td><td>0.5</td><td>100</td><td>50</td></tr>
<tr><td>센서 데이터 수집용 유무선 통신 시스템</td><td>100</td><td>2</td><td>200</td></tr>
<tr><td>데이터 수집 및 제어 시스템</td><td>200</td><td>2</td><td>400</td></tr>
<tr><td>데이터 연계 분석 시스템</td><td>100</td><td>2</td><td>200</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 현열 및 화학열저장 축열저장장치 연계 제어 시스템 필요
○ 종합관제 시스템에서 내려오는 장비 제어용 시스템 및 상위로 보내기 위한 센서 데이터 수집 시스템 구성 필수 요소</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 시스템 운영, 모니터링 및 통합 제어
○ 상위 데이터 전달 및 최적화 스케쥴에 따른 운전 수행</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 현열 및 화학열저장 시스템의 상태를 정확히 파악하기 위한 온도, 압력, 유량 센서 및 통신시스템을 적절히 갖춰야 함
○ 상위 관제시스템과의 연계를 통해 제어가 원활히 이루어져야 함</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>HMI 프로그램</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Proficy CIMPLICITY HN WebSpace</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>GE/Proficy CIMPLICITY HMI Unlimited Developer</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>280</td><td>2</td><td>560</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ RTU, 에너지 생산 / 소비자, Community 단위의 에너지 생산 / 소비 및 상태에 대해 빠르고 효율적인 구현 가능
○ 웹 브라우저에 별도의 프로그래밍 없이 원격 모니터링 구현</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 원격 모니터링 구성, 통합센터 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 웹 브라우저, 안드로이드, iOS 원격 모니터링 지원</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>실시간 데이터베이스 프로그램</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Historian RTDB Program</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>GE/ Proficy Historian Enterprise</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>280</td><td>2</td><td>560</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ RTU로부터 취득한 각 커뮤니티 단위의 데이터를 취합하기 위한 Process 용 Big Data 처리 데이터베이스 필요.
○ 10만 태그까지 ‘초’단위 데이터 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 구축 DB 로부터 데이터 취득
○ 1시간, 1일, 1개월, 1년 단위의 데이터 가공 및 RDB 데이터 추출
○ 특정 관제점에 대한 Trend (Time Chart)소스 데이터 제공
○ 리포트 툴 제공</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 10만 태그
○ 2백만 데이터 저장 / Sec</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>건물 열교환 시설</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Heat supply unit for building</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/주문제작</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>건물 열교환기
(서브스테이션->기계실)</td><td>150</td><td>10</td><td>1,500</td></tr>
<tr><td>공용배관 설비
(기계실->세대)</td><td>3</td><td>1,000</td><td>3,000</td></tr>
<tr><td>자동제어 시스템</td><td>100</td><td>6</td><td>600</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 각 건물별 냉·난방/급탕 공급시설 필요
○ 모니터링 결과 및 데이터 취득 중간 노드 구축 필요
○ 각 구역별 계량치 분석 및 운영 최적화 결과 적용 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 개별 빌딩별 열 및 냉열 공급
○ 건물별 에너지 공급 최적화 및 모니터링</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 직공급 시스템에 적합한 압력과 온도를 조절할 수 있는 서브스테이션 시설과 연계 가능해야 함
○ 기계실의 각종 데이터를 수집하여 서브스테이션 관제실로 연계가 가능해야 함</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>사용자용 세대 열교환 시설</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Substations for households</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/주문제작</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>세대 열교환기
(난방/냉방/급탕)</td><td>0.5</td><td>1,000</td><td>500</td></tr>
<tr><td>통합배관 분배기,
온도조절기(각 방) 등</td><td>1</td><td>1,000</td><td>1,000</td></tr>
<tr><td>급탕 재열기</td><td>1</td><td>1,000</td><td>1,000</td></tr>
<tr><td>난방 코일(각 방)</td><td>3</td><td>1,000</td><td>3,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 사용자 시설의 각 세대에 냉·난방/급탕 공급 필요
○ 통합 모니터링 시스템에 사용자 데이터 전송 필요
○ 모니터링 결과 수신 및 그에 따른 자동 운전 제어(HEMS) 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 세대 냉난방 및 급탕 공급
○ 세대 열사용 패턴 분석 결과 수신 및 자동 운전</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 세대 내에 설치되는 가정용 서브스테이션
○ 난방교환유닛, 냉방교환유닛, 급탕교환유닛 또는 난방·냉방·급탕 교환 유닛
○ 각방 제어기와 연계되어 세대별 통합 운영이 가능할 것
○ 해당 데이터를 중앙에서 확인하는 설비와 연계될 것</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>건물 및 세대 스마트미터링 시스템</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Metering and sub-metering system for heat distrubution and consumption</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>해당없음/주문제작</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>거래용 스마트미터</td><td>100</td><td>2</td><td>200</td></tr>
<tr><td>분배용 스마트미터</td><td>0.5</td><td>1,000</td><td>500</td></tr>
<tr><td>세대용 IHD</td><td>0.3</td><td>1,000</td><td>300</td></tr>
<tr><td>스마트미터용
유·무선통신 시스템</td><td>150</td><td>1</td><td>150</td></tr>
<tr><td>데이터 연계
분석시스템</td><td>150</td><td>1</td><td>150</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 양평, 삼척, 화성, 평택(동탄), 충남(내포), 전북(전주, 완주), 울산, 대전 등 선정된 입지
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 각 건물별 냉·난방/급탕 사용상태 및 사용량 측정 필요
○ 모니터링 결과 및 데이터 취득 통신시스템 구축 필요
○ 각 세대별 사용량을 수집하고, 상태를 분석하여 피드백함과 동시에 중앙으로 데이터를 전송해서 효과를 파악하기 위한 연계 시스템 구축이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 원격 모니터링을 통한 개별 세대별 열 및 냉열 사용 상태 파악
○ 건물별 에너지 사용 최적화 및 모니터링을 위한 기초자료 수집</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 세대별 열사용량 데이터를 빠른 주기로 수집 (최소 1분/회)
○ 거래용 열사용량과 분배용 열사용량의 차이를 분석하여 문제점을 진단하고 해결하기 위해 서브스테이션에 제안
○ 세대 열사용 상태를 진단하여 문제점을 관리자에게 안내하여 빠른 조치 유도</td></tr>
</table>

5.1.3 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증

가. 개요

1) 정의

○ 수소 수요처 근접하여 지하공간에 수소 저장·분배 기능설비를 집적하는 스테이션 기술로, 구역 내 신재생에너지, 수소배관망, 전력망 등 복합기능을 연계한 지하화 수소 허브-스테이션* 설계 포함

* 허브-스테이션(hub-station) : 수소 수요처에 근접한 시설로, 입지/지하시설, 운송경로, 수요-공급 매칭, 유휴공간을 이용한 수소생산, 기저/피크 부하 대응 수소 저장, 유휴 에너지변환, 운송·공급(액체·기체 수소 선택적 공급체계), 전력망 연계 등 수요처 시나리오에 따른 다기능 최적화 스테이션 모델

2) 목적

○ 도심지 등의 수요처 근접지역 내 설치되는 수소충전소 주요 설비를 지하화할 수 있는 설계기술, 핵심설비, 허브스테이션 운용 기술 개발을 통해 사고 위험성을 획기적으로 낮춰 주민 수용성을 확보

3) 구성요소

<표 5-42> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 구성요소

전과정	구성	용량
저장	액화수소 저장탱크	400 kg × 8EA
	액화수소 펌프	300 kg/h, 90 MPa
이송	액화수소 튜브트레일러	3,000 kg
활용	수소버스(10여대) 충전	29 kg × 100 대
관리·운영	통합관리실	30 ㎡

4) 세부과제 구성

<표 5-43> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
지하 수소스테이션 설계 기술 개발	○ 지하·지상 안전을 위한 공간설계, 방호를 위한 구조재료, 안전성 기술 - 지하입지, 지하시설의 공간, 기능설비 배치, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보 ○ 지상 공간에 배치되는 시설 및 기능설비(분배, 인입 등) 최소화, 수용안전성, 지하공간 연계 통합 설계 기술 ○ 지하 및 지상 시설의 규모, 설비배치, 주변영향, 유틸리티 연계, 환경유해성, 사고 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 등에 관한 시설기준과 표준시방서, 인허가 가이드라인 등 ○ 외부적인 영향(재해, 고장 등)에 견디며, 기능 중단 시 원상으로 복구하는 수용력(물리적, 사회적 시스템 간에 강건성, 예비성, 수용성, 신속성 등) 지표를 고려한 contingency 등 구역 내 종합 resilience
지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	○ 지하공간에 수용성이 높은 수소스테이션 주요설비의 핵심요소 기술 - 지하공간에 집적배치를 위한 모듈화·컴팩트화, 내구수명, 고장빈도, 유지관리 등을 고려한 특성화 요건 충족 ○ 주민 수용성을 고려시, 스테이션에서 고압기체 운용보다는, 이와 동등 이상의 단위용량 및 기능을 가지고 위험도가 낮은 액체 또는 흡착/합금 수소저장 기술 등 ○ 지하공간, 설비배치, 설비구성의 특성을 고려한 고신뢰 누출수소 센싱 및 공간 모니터링, 용량 가변형 신속배출 기술 ○ 스테이션 계통상 구동부와 boil-off 가스를 최소화, 방폭, 역화방지, 내구수명시험DB, 신뢰성/위험성/안전성 평가기법 등 계통설계의 정량적 건전성 평가기술
마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발	○ 수요처 에너지 시나리오에 따라 수소 운송경로, 지하 공급거점 및 수요처 근접망 최적화, 지하매설 수소관망, 전력망 등을 통합 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술 ○ 도로망, 물류기지 등 SOC 시설을 연계한 수소 수요처 근접 지하 마이크로 공급체계, 에너지 수요 및 공급을 고려한 에너지변환체계(가스, 액체⇒가스 전환, 가스 ⇒전력 변환 등) 등 최적화 분석 기술 ○ 구역 내 신재생에너지, 수소배관망, 매크로-마이크로 전력망 연계, 다중 수소 수요-공급 매칭 기능 융복합 수소 허브 스테이션(hub station) 설계 기술 - 다중 수요·공급 : residence, mobility, storage, power, renewable, etc. ○ 다목적 에너지 기능을 결합한 소규모(micro) 수소 기반 허브 스테이션 표준모델 및 관제시스템, 사업화 모델 구축 등

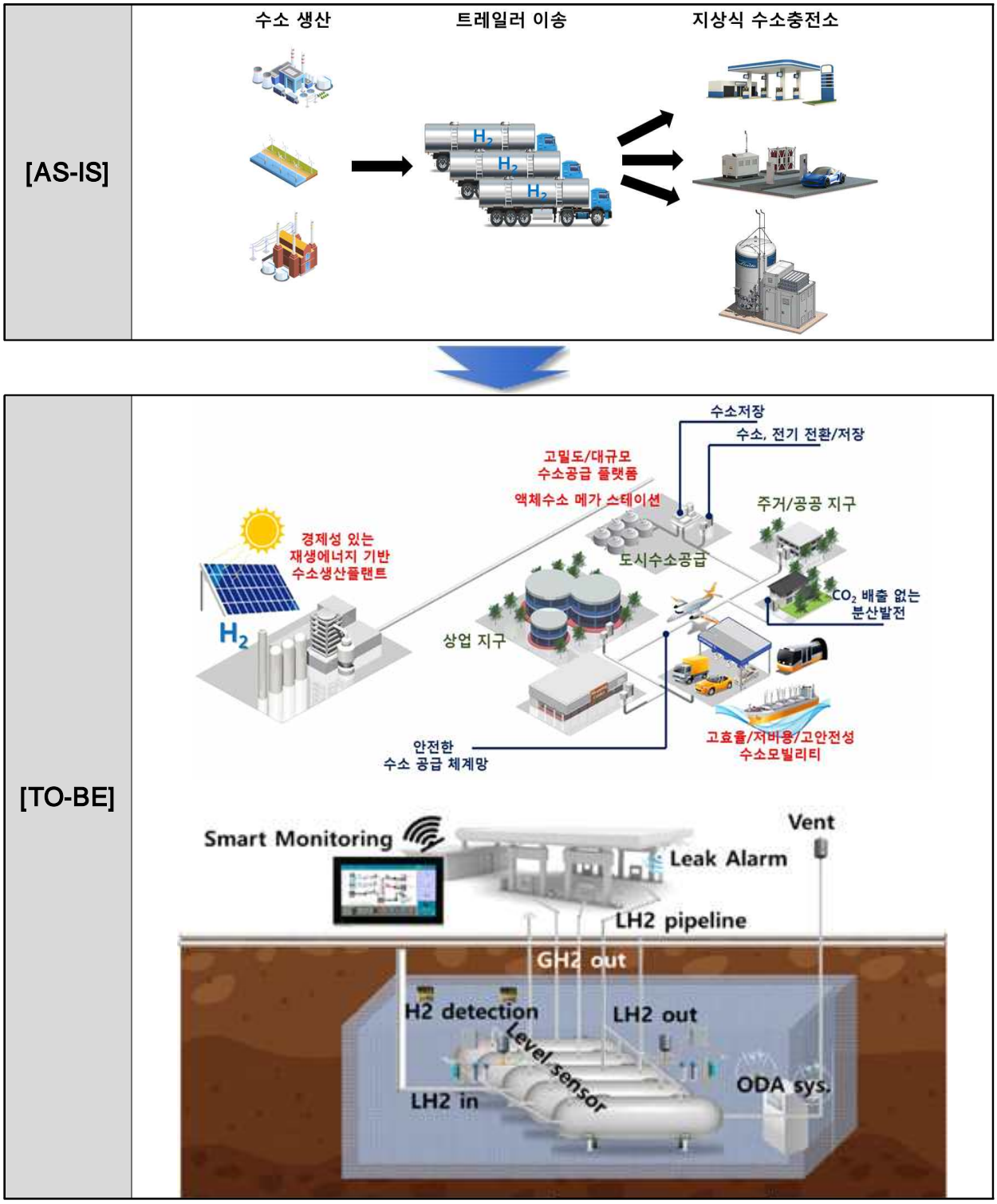
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-44> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
용량(ton/day)	○ 0.5 ton/day	○ 3 ton/day
전파 진도 (사고시)	○ 예측/측정값이 존재하지 않음	○ 진도 1 이하(PGA 0.003g)
안전이격거리	○ 지상식 수소충전소를 기준으로 한 누출, 화재, 폭발 기반 이격거리	○ 지상대비 50% 축소
수용력 지표	○ 없음	○ 수용력 지표 4종 개발 (강건성, 예비성, 수용성, 신속성)
제도	○ 지상수소충전소 관련 기준만 존재 (KGS FP217)	○ 지하 수소충전소 설치 기준 제정 [규제샌드박스(2년) + (2년)]

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-44] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ 교통·주거·산업 분야에서 수소 수요가 급격히 증가할 것으로 전망되나, 수요처에 수소를 안전하고 효율적으로 공급하는 인프라에 투자가 미흡한 실정

- 글로벌 선도 국가들을 중심으로 수소 공급체계와 관련 거점시설 및 핵심 기자재에 관한 기술적 니즈가 증가

- 수소 이용의 비약적 확대를 통한 新산업 생태계 창출을 위해서는 다양한 형태의 수소 공급 플랫폼 기술 개발과 건설투자가 필요

○ 수소경제 조기실현을 위해서는 수소수요의 비약적 확대를 통한 新산업 생태계 창출과 이를 지원할 안전한 수소 생산과 근접 공급체계의 구축이 중요함

- 수소산업 생태계 창출에 있어서 기존 수소차 기반 교통부문을 확대하고, 주거·상업부문을 통합하여 다양한 가치사슬을 창출, 생태계를 활성화 필요

- 수소 공급 인프라 구축에 있어서, 기존 지상설비방식 보다는 수요처 근접 지하에 수용하는 방식을 국민의 눈높이에서 적극 검토 필요

○ 수소공급 인프라 건설에 있어, 수요처에 근접하고 주민 수용성이 높은 방식으로 고려되어야 하며, 지하시설로 구축을 위한 기술개발이 필요

- 기존 지상설치방식은 넓은 부지 요구, 시설기준(설계·시공·유지관리, 안전) 미비, 주민 반대 및 사회갈등 등으로 수용성이 매우 낮음

- Sandia National Lab(미국) 등에서는 도시영역에서 수소 스테이션을 지하화하는 방안을 연구하고 있으며, 위험지표 및 기준 개발 등을 추진

○ 우리나라의 수소 인프라 관련 하위 코드는 아래 5개로 파악되나 관련 내용은 극히 미비함

① 기계설비 일반사항(KDS 31 10 00)

② 환기설비 설계기준(KDS 31 25 20)

③ 배관설비 설계기준(KDS 31 25 25)

④ 가스설비 설계기준(KDS 31 50 05)

⑤ 건축물 전원설비 설계(KDS 31 60 00)

- (산업부) 고압가스안전관리법, 가스안전공사 기준 등

① 저장식/제조식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준(KGS FP217)

② 저장탱크 및 압력용기 기준(KGS AC111 AC118)

③ 가스시설 방폭에 관한 기준(KGS GC101 GC201)

④ 고압가스 안전밸브 기준(KGS AA319)

⑤ 연료전지 설치기준(KGS FU551, FU431, FU432, FU433)

⑥ 고압가스 저장의 시설·기준·검사·안전성평가 기준(KGS FU111)

○ 수요처 근접 지하 수소 스테이션은 구역 내 신재생에너지, 수소배관망 등 기능을 복합적으로 연계한 허브 스테이션(hub station)으로 개발이 필요

- 경제성, 실용성 측면에서 수소 저장·분배 기능설비에 신재생에너지설비를 계통 연계하고 전력·수소 생산, 저장 등 기능을 고도화가 기술추세임
- 또한 수요처 이용 시나리오에 따라 수소 운송거점 스테이션과 지하매설 수소관망을 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술을 개발 필요

2) 추진 필요성

○ 안전성 및 수용성의 획기적 개선 필요

- 수소 인프라는 설치시 충분한 안전거리가 필요하나 국내 국토공간 및 도시계획 여건상 고밀화 개발로 지상공간 확보에 애로
- 인접 주민/이해 관계자간 빈번한 민원 발생
- 지하는 자체로서 방호기능을 가지며, 안전성을 획기적으로 개선 가능하여 선진국가(독일 린데사, 미국 샌디아랩 등)은 지하화 수소 저장소 및 설비에 대한 연구개발, 시범적용, 국제기준 개발 등을 선도적으로 추진 중으로, 이러한 기술변화에 빠른 대응 필요

□ 지하 수소스테이션 설계 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 旣형성 지역 및 도시·단지에 에너지시스템 대체에 따른 주민 수용성 저하문제, 사고 전·후의 대책 미비
- 수요처 내 지상에 수소 충전소 등은 안전관리 상 넓은 입지를 요구함. 그러나 강릉 폭발사례에서, 이를 수용한 도심지 면적은 불가능
- 수소시티나 광역 단위에서 관리주체(지자체, 사업자, 위임주체 등)의 종합적인 resilience 관리체계 미비

○ 기술개발 필요성

- 지하시설의 규모, 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 기준 개발

- 수소 수요와 경로를 고려한 지하입지, 지하시설의 공간, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보
- 기술적 측면과 지역주민의 정서적 측면의 접근, 예방적 기술성능(기준, 방호격리 등), 지하화를 통한 위험영향 격리 등 저변확산 등 종합적인 resilience 기술체계 구축

□ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 모빌리티용으로 저밀도 소용량 기체수소 공급이 가능한 스테이션 시범 구축 중이나, 설비요소기술을 대부분 해외 선진기업에 의존
- 수요처 근접 수용성 향상을 위한 장치 요구사양 및 안정성 특성화 미흡(주로 고압기체저장탱크, 기계적 구동부를 가지는 회전기계류 등)

○ 기술개발 필요성

- 수소설비 핵심요소기술의 국산화 개발, 지하공간에 집적을 위한 모듈화, 컴팩트화, 소재측면 고내구성 개발
- 주민 수용성을 고려시, 스테이션에서 고압기체 운용보다는 액체 또는 흡착/합금 저장수소 방식을 도입
- 스테이션 계통상 구동부와 boil-off 가스를 최소화, 계통설계의 건전성을 정량적 확보

□ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 안정적인 수소 생산·공급체계 미비, 광역, 도시단지 등에 산재한 에너지 소스를 이용한 수소생산방법 및 시설입지 다변화 추세
- 수소 융합 복합 에너지 수요 대비 체계적인 공급체계 및 시설의 계획 및 설계기술 미비

○ 기술개발 필요성

- 에너지 수요를 고려한 수소유통체계(액체수소-기체수소-전력 계통연계 기능 등) 개발
- 수요-공급 매칭, 수요처 이용 시나리오에 따라 수소 운송거점과 지하매설 수소관망을 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술을 개발
- 구역 내 신재생에너지, 수소배관망 등 기능을 복합적으로 연계한 허브 스테이션(hub station)으로 개발

다. 기술개발 동향

1) 국내

□ 지하 수소스테이션 설계 기술 분야

○ (지하 수소스테이션 설계) 시범사업, 도로 휴게소 등에 지상식으로 다수 설치하여 운용 중

- (현재) 모든 설비들은 KGS 코드에 따라 지상에 설치되도록 설계되어 있으며, 규정에 따라 방호벽 등 안전조치가 존재하나 지상식에 한해서 설계 기술 존재



[그림 5-45] 국내 지상식 수소충전소

○ (제도) 지하 수소스테이션 관련 규정

- (기체수소충전소) 지상식 고압가스 기반 수소충전소 관련 규정 존재 (제조식, 생산식, 융복합식 수소충전소 규정 등)
- (액화수소충전소) 린데, 에어프로덕트, 에어리퀴드 등의 기술 자문과 함께 효성 등에서 액화수소충전소 관련 기준을 규제샌드박스를 이용해 개발 중
- (지하수소충전소) 지하 수소충전소 관련 규정 없음

□ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 분야

○ (수소액화플랜트연구단) 국토교통부 지원으로 액체수소저장탱크, 압축기 등 개발 (2019-)

○ 설비설계기준(KDS 31 00 00) : 국토교통부 국가건설기준센터(건설기술진흥법 제44조의2)

- 주택단지에서 수소 및 신재생에너지 복합이용에 관한 설비설계기준은 미비한 실정임
- 신전원설비 코드(KDS 31 60 30)에 태양광, 연료전지, 전기자동차 충전시설에 관한 내용이 포함되어 있으나 주택단지 및 적용설비의 활용을 위해서는 보다 구체적인 성능 및 안전기준과 시방을 제시할 필요가 있음

□ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 분야

○ 울산테크노산업단지 내 '친환경 전지융합 실증화 단지 구축, 2014.12~2019.11, 총 사업비 272.5억 원(정부출연금 175.5억원, 지자체출연금 97억 원)

- 10,000 Nm^3/h급의 부생수소 공급 가능(공급압력 20 bar, 수소 순도 99.99% 이상), 총 5 MW급의 연료전지 단지 계획 중 현재 1 MW급 연료전지(PEMFC, PAFC, SOFC) 실증
- 석유화학단지 내에서 외부로 연결되는 국내 최초의 약 3 km의 수소 배관 구축



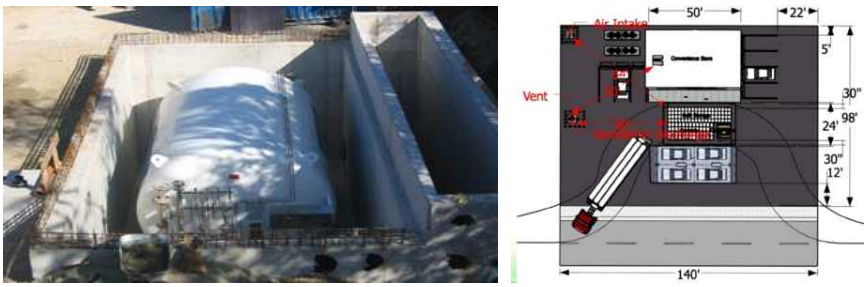
[그림 5-46] 울산 부생수소 5MW 연료전지 실증단지

2) 국외

□ 지하 수소스테이션 설계 기술 분야

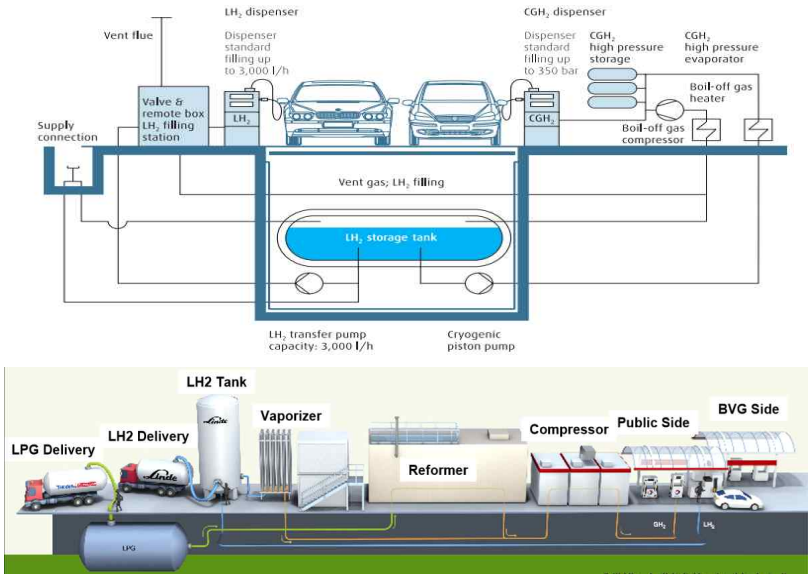
○ (미국) Sandia National Lab 등에서는 도시영역에서 수소 스테이션을 지하화하는 방안을 연구하고 있으며, 이에 다른 위험성에 대한 정량적인 성능지표 및 기준 개발, 공간배치, 안전설비(감지센서 및 환기 배출 등)에 관한 연구를 수행하여 국제규격 등에 반영을 추진하고 있음

○ (미국) 캘리포니아 주정부에서는 수소스테이션의 허용(가)에 관한 가이드북을 제공. 주요내용으로는 수소설비 사전 검토, 입지/zoning, architectural Review, California Environmental Quality Act, 화재 및 유틸리티 연결, 설치, 커미셔닝 등에 관한 내용을 담고 있음



[그림 5-47] 미국 수소 설비 지하화 연구

○ (독일) 뮌헨공항에 테스트 단계의 지하 수소 인프라(기체 및 액체)위한 주유소를 설치하여, 2004년 말까지 6,000회 이상의 충전 수행



[그림 5-48] 독일 지하 수소 충전 구상

□ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술

○ (미국) 액체수소 펌프를 통한 차량용 수소탱크(23 K, 350 bar, 초임계수소) 고속 고밀도 충전 실험, 700 bar 왕복동 액체수소 펌프 성능 및 내구성 시험(2018)

○ (독일) Linde사는 액체수소충전소에 들어가는 핵심부품(저장용기, 액체펌프 및 관련 모듈)을 상용화 시작



[그림 5-49] Linde사의 액화수소충전소 부품 소개

○ 수소 및 수소에너지 장치류 관련 국제적인 코드로는 International Fire Code, International Building Code, International Fuel Gas Code, International Residential Code, International Mechanical Code, NFPA 2 Hydrogen Technologies Code, NFPA 1 Fire Code, FPA 55 Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code 등이 제·개정을 지속하고 있음

□ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용기술

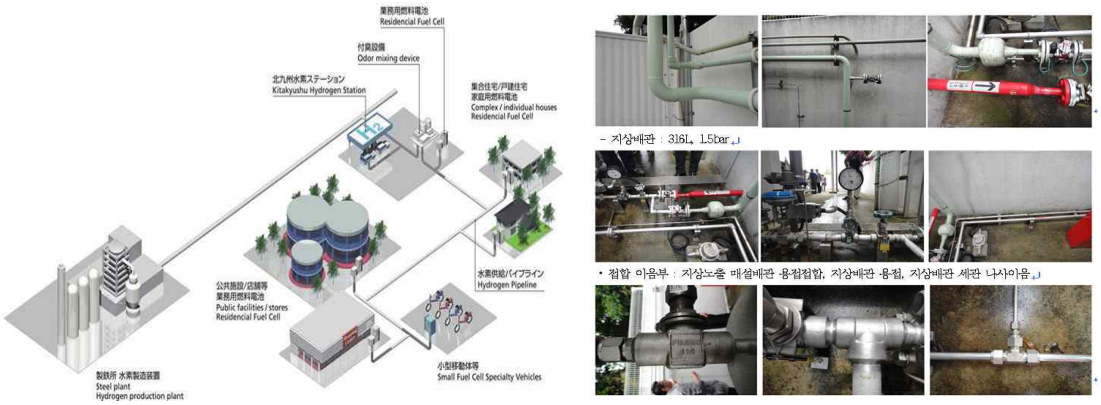
○ (영국) Leeds시의 경우에 H21 Leeds City Gate project(2016.7)를 통해 수요에너지를 100% 수소로 공급하기 위해 기존 천연가스 배관 활용한 수소 공급 후 가정 및 산업에 활용방안 실증 추진 중

○ (일본) 기타큐슈(北九州) 수소타운’ 프로젝트 추진 및 후쿠오카 현 수소캠퍼스 구축 : 수소 스테이션에서 파이프라인으로 주택지 및 공공시설에 수소를 공급하여 순수소형 연료전지 운전, 태양광 발전 및 축전지와의 연계 운전을 통해 전력공급 시스템을 검증



자료: Leeds City Gate, H21, 프로젝트 보고서

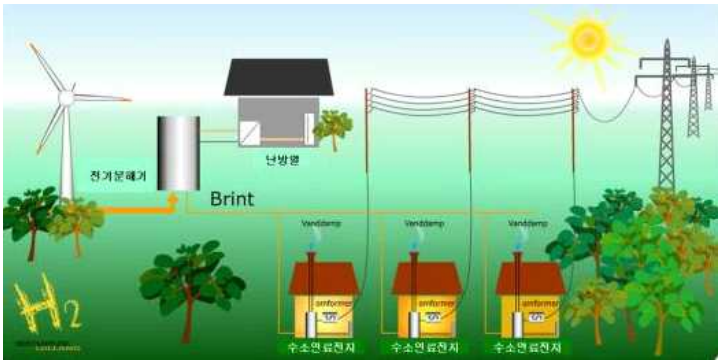
[그림 5-50] Leeds 시 가스 공급 조감도

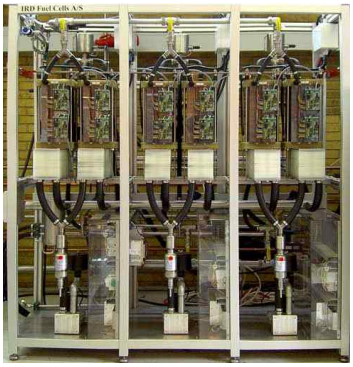


[그림 5-51] 키타큐슈 수소타운 조감도 및 실증 사례

○ (덴마크) 덴마크 롤란드섬 Vestenskov 마을 수소연료전지 프로젝트 추진

- 마이크로 수소연료 열병합발전소 설치(35세대) 및 수소 공급망 설치
- 공급 방식은 천연 가스 공급방식과 동일하여, 수소가 각 가정에 공급되기 전에 탱크에 저장되며, 파이프를 통해 공급





[그림 5-52] 롤란드 섬 수소 그리드 프로젝트

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 스마트 수소시티 내 설치가 가능한 용량 3 ton/day급 지하 수소 충전소 설계기술 개발, 기준 제정, 실증 및 hub-station 설계(안) 제시

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-45> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
용량	3 ton/day	0.5 ton/day	2 ton/day
전파 진도(사고시)	진도 1 이하 (PGA 0.003g)	없음	진도 1 이하 (PGA 0.003g)
방출압력 (사고시, 방출압력을1/30로 축소)	0.2 bar	없음	0.8 bar
수용력 지표	4종 개발 (강건성, 예비성, 수용성, 신속성)	없음	4종 제안 (강건성, 예비성, 수용성, 신속성)

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-46> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 수요근접 수소스테이션의 지하공간 계획 및 방호구조 개념설계 개발 ○ 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 ○ 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 ○ 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 ○ 수요처 근접 수소공급체계 검토
2024년	○ 수요근접 수소스테이션의 지하공간계획 및 방호구조 개념설계 개발 ○ 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 ○ 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 ○ 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 ○ 지하 수소 허브-스테이션 개념설계 ○ 지하 수소 허브-스테이션 개념설계
2025년	○ 지하공간 규모별 수소스테이션 설비집적 및 내충격 복합재료 개발 ○ 지하 수소스테이션의 능동적 방호구조 및 시설·안전 기준(안) 개발 ○ 지하 수소스테이션 주요설비의 모듈화, 독자설계·제작 기술 개발 ○ 지하 수소스테이션 주요설비의 사용 적합성 확보기술 개발 ○ 다기능 지하 수소 허브-스테이션의 핵심기능 configuration ○ 수소 운송 기술 개발
2026년	○ 지하 수소 스테이션의 국가건설기준 제·개정, 테스트베드 설계 ○ 지하 수소 스테이션 테스트베드 실시설계 및 시공 개발 ○ 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 설계 ○ 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 제작 및 설치 ○ 지하 수소 허브 스테이션 최적화 설계 시나리오 개발
2027년	○ 지하 수소 허브-스테이션 장기 운전 및 평가 ○ 지하 수소 허브-스테이션 상용화 및 종합적인 Resilience 개발 ○ 지하 수소스테이션 핵심설비 장기 운전 및 평가 ○ 지하 수소 스테이션 핵심설비 상용화 및 사업화 추진 ○ 지하 마이크로 수소 허브 스테이션 통합설계 개발 ○ 수소 공급을 위한 최적 경로 안내 제공

마. 세부과제 추진계획

1) 지하 수소스테이션 설계 기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 수소 스테이션 지하공간 수용공간 표준모델, 지하 수소 스테이션 시설 및 안전기준, contingency&resilience 가이드라인 : 국가건설기준에 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 건설 및 엔지니어링 기업의 설계 및 시공 사업모델로 활용

○ 지하 수소 스테이션 방호구조 및 재료 : 국가건설기준에 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 건설 및 엔지니어링, 구조 및 재료 유관 기업의 설계 및 시공 사업모델로 활용

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-47> 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 성과물 및 성과지표

<table>
<tr><th rowspan="2">성과물</th><th rowspan="2">성과지표</th><th colspan="5">목표치</th></tr>
<tr><th>’23년</th><th>’24년</th><th>’25년</th><th>’26년</th><th>’27년</th></tr>
<tr><td>수소 스테이션
지하수용공간 표준모델</td><td>공간확보율</td><td colspan="2">10%</td><td colspan="2">20%</td><td>30%</td></tr>
<tr><td>지하 수소 스테이션
방호구조</td><td>충격흡수율</td><td colspan="3">20%</td><td colspan="2">40%</td></tr>
<tr><td>지하 수소스테이션
방호재료</td><td>내충격완화</td><td colspan="3">20 MPa</td><td colspan="2">250 MPa</td></tr>
<tr><td>지하 수소 스테이션
시설 및 안전기준</td><td>기준 제정</td><td>기준(안) 개발</td><td colspan="2">규제샌드박스 통과</td><td colspan="2">기준 제정 1건</td></tr>
</table>

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-48> 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수요근접 수소스테이션의 지하공간계획 및 방호구조 개념설계 개발 - 수소 스테이션 및 구성설비 지하공간 수용, 연구사례 벤치마킹 - 수소스테이션 배치 및 구성설비 지하공간 계획 - 수소스테이션 지상공간 설계안 도출 및 지상부 외곽 친환경 방호차폐물 적용성 검토 ○ 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 - 지반 환경과 폭발압력 지상 분출을 고려한 지하 심도 결정 - 수소 스테이션의 중대사고 해석 - 지하 수소스테이션 관련 국내·외 기준 분석

연도	추진계획
2024년	○ 수요근접 수소스테이션의 지하공간계획 및 방호구조 개념설계 개발 - 지하공간 수소스테이션 배치 및 구성설비 요건의 적절성 평가 - 누출 수소 폭발 특성 시험 및 폭발압, 방호 시나리오 - 수소스테이션 지상부 외곽 친환경 방호차폐물 방폭성능 해석기술 정립 ○ 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 - 수소 스테이션의 기능중단, 물리적 피해 등 연쇄효과 예측 - 폭발압의 방출압력 최소화 수동/능동 구조시스템 설계 - 지하 수소스테이션 설계·시공 기준 핵심요소 정립 및 기준(안) 개발
2025년	○ 지하공간 규모별 수소스테이션 설비집적 및 내충격 복합재료 개발 - 지하 수소스테이션의 기능설비 배치계획, HSE, 위험도 평가 - 고성능 방폭 콘크리트 및 복합재료 구성과 역학적 특성 시험평가 - 수소 누출사고 시 지반 및 구조재료(온도, 충격 등) 안정성 평가 ○ 지하 수소스테이션의 능동적 방호구조 및 시설·안전 기준(안) 개발 - 사고 시 충격흡수 능동구조 설계 및 방호재료 성능 평가 - 수소스테이션 지상부 외곽 친환경 방호차폐물 설계 및 배치(안) 제시 - 사고시 피해규모 평가 및 적정 이격거리 설계 - 사고요인 예방 모니터링 및 사고 시 신속 대응 시나리오 - 지하 수소스테이션 설계·시공 기준(안) 고도화
2026년	○ 지하 수소 스테이션의 국가건설기준 제·개정, 테스트베드 설계 - 지하 수소 스테이션 국가시설 및 안전 기준, 표준시방(안) 재정(입지/조닝, 시설물, HSE, 안전/유틸리티, 시공, 커미셔닝 등) - 수소 허브-스테이션의 지하방호구조 및 지하공간집적 기본설계 - 수소스테이션 지상부 외곽 친환경 방호차폐물 설계/시공 기준(안) 개발 ○ 지하 수소 스테이션 테스트베드 실시설계 및 시공 개발 - 지하 수소 스테이션 상세설계 및 설비 형상·조달 관리 - 테스트베드 시공 및 품질관리, 시운전 및 준공
2027년	○ 지하 수소 허브-스테이션 장기 운전 및 평가 - 장기 운전 및 종합성능(설계, 유지관리, 품질, 안전 등) 평가 - 운영 DB 구축, 비상 시 조치계획(contingency) 검증 ○ 지하 수소 허브-스테이션 상용화 및 종합적인 Resilience 개발 - 지하 수소 허브-스테이션 상용모델 및 활용 가이드라인 보급 - 비상 시 조치계획, 관리지침 등 종합적인 회복력 관리체계

2) 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 지하공간에 적합한 수소스테이션 및 핵심설비 : 국가건설기준에 설비 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 엔지니어링 및 제작 기업의 설계 및 제작, 설치 사업모델로 활용

○ 수소누출 모니터링 및 능동안전 시스템, 수소설비 건전성 진단 및 관리시스템 :

국가건설기준에 설계 및 시공기준의 안전항목으로 반영, 국내 방재, 유지관리 유관기업의 사업모델로 활용

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-49> 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년
지하 수소스테이션 및 핵심설비(저장시스템)	저장용량	1000 kg/d		2000 kg/d		3000 kg/d
지하 수소스테이션 및 핵심설비(액체펌프)	토출량	100 kg/hr		200 kg/hr		300 kg/hr
수소누출 모니터링 및 능동안전 시스템	수소검출 농도(체적당)	5%		3%		1%

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-50> 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 - 지하 설치용 수소핵심설비 선진사례, 사양 등 벤치마킹 - 수소 스테이션 주요 설비 지하적용 적합성 평가 ○ 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 - 수소스테이션 모듈 및 집적 관련 설계요소 선행연구 분석 - 지하공간에 집적배치를 위한 모듈화·컴팩트화 요건 및 수준 - 육안 검사가 가능한 형태의 구조 및 지하설비 개념 개발
2024년	○ 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 - 경제성 분석 반영 설비 핵심 성능 설계 제시 - 수소 스테이션 통합에 다른 연결배치모듈, 요구기능 반영 ○ 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 - 형상, 형식, 내구수명, 고장빈도, 유지관리 등 기술적 사양 - 설계 핵심요소 최적화 시뮬레이션 및 실험 평가 - 모니터링, 유지·보수 개념설계 개발
2025년	○ 지하 수소스테이션 주요설비의 모듈화, 독자설계·제작 기술 개발 - 고용량/고밀도 수소저장탱크 설치 - 초저온/고압 수소저장탱크 대비 저온/저압 운용 저장탱크 - 지하저장&지상분배 연결설비 및 전자식 제어설비 - 지하공간 적용설비의 방폭, 역화방지, 계통안전설비 등 ○ 지하 수소스테이션 주요설비의 사용 적합성 확보기술 개발 - 지하 수소 스테이션 공간 레이아웃 및 사용기준 적합성 평가 - 개발설비의 설계성능, 내구수명시험DB, 정량적 건전성 평가 - 누설을 방지하는 수소공급 배관소재 및 부속기기, 백업장치 - 수소 누출 영향 최소화를 위한 누출감지 및 급속 환기 시스템

연도	추진계획
2026년	○ 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 설계 - 테스트베드용 핵심설비 용량, 성능, 기능 등 기본설계 요건서 - 수소핵심설비 제작용 기본설계도서(계통, 단위설비, 형상, 형식 등) ○ 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 제작 및 설치 - 수소핵심설비 제작 및 형상 관리 - 수소핵심설비 현장조달 및 설치, 계통연결, 시운전
2027년	○ 지하 수소스테이션 핵심설비 장기 운전 및 평가 - 핵심설비 장기운전 종합성능(설계, 유지관리, 품질, 안전 등) 평가 - 운전 DB 구축, 설계 및 제작 피드백 ○ 지하 수소 스테이션 핵심설비 상용화 및 사업화 추진 - 수소핵심설비 장기운전성능 종합 평가 및 설계 피드백 - 수소핵심설비 상용모델 보급 사업화 추진

3) 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 지하 수소 허브-스테이션 개념 설계 및 표준모델 검토, 다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘, 수소 허브-스테이션 관제 시스템 : 설계 및 시공, 운영 및 유지관리 사업모델 제시

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-51> 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘	신뢰성, 정확성	80%		87%		90%
수소 허브-스테이션 관제 시스템	기준용량, 시스템 신뢰성	70%	85%		90%	95%

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-52> 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수요처 근접 수소공급체계 검토 - 도로망, 물류기지 등 SOC 시설을 연계, 수소 수요처에 근접한 지하 공급·분배시설, 초근접 마이크로 스테이션 등 미래 수요 분석을 위한 데이터 수집
2024년	○ 지하 수소 허브-스테이션 개념설계 - 지구단위 공급체계 연계 수소 허브-스테이션 입지 검토(수요처 에너지 시나리오, 수소 운송경로, 근접시설 요건 등) - 수소 수요 예측 모형 개발 - 단위시설로 저장·분배 외 복합적인 기능결합 효용성 제고
2025년	○ 다기능 지하 수소 허브-스테이션의 핵심기능 configuration - 지하 저장, 분배설비로서 기본기능 설계 및 요구기술 벤치마킹 - 구역 내 에너지 복합기능을 결합한 수소 허브-스테이션 기능설계 - 지하화, 지상화 기능구분, 지상과 지하 연결 등 기능설계 - GIS 매핑, 배분 모형 등을 통한 지역별 수요 결과 및 적정 시설 위치 제안 - 수소 도로망을 위한 도로 기능 검토 및 운송을 위한 안전 기술 개발
2026년	○ 지하 수소 허브 스테이션 최적화 설계 시나리오 개발 - 신재생에너지, 수소배관망, 매크로-마이크로 전력망 연계 - 수소 기반 에너지변환체계 및 요구설비 최적화 시뮬레이션 - 지하 수소 허브-스테이션 레이아웃 및 설비 configuration - 지역별 시설 배치를 위한 병합(Covering) 및 시설 배치 계획 - 단계별 시설 배치 전략 마련
2027년	○ 지하 마이크로 수소 허브 스테이션 통합설계 개발 - 지하 수소 스테이션 기능모듈 및 통합 시스템 설계 - 지하 수소 스테이션 운영 알고리즘 통합 및 관제시스템 - 수소 운송차량을 위한 교통정보 및 도로정보 수집 기술 - 실시간 운송 경로 배분 기술

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-53] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 수소버스용 충전소 실증사업

○ 주요 내용

- (충전소실증) 버스노선에 따른 350 기압, 700 기압 수소 충전소 운영 방법 및 충전설비 고장 시 긴급 충전을 위한 운영방안 확보
- (부품실증) 수소버스용 충전소 구축 시 국산부품을 적용하여 수소충전소를 실증함으로 부품성능 및 신뢰성 확보
- (수소확보) 본 과제 수행 시 소요되는 수소를 안정적으로 공급받을 수 있는 방안 제시
- (장비구축) 수소버스용 충전소 실증사업의 장비 세부내용

○ 차별성

- 기존 과제는 350+700 기압, 700+700 기압의 수소버스용 충전소를 구축·운영하는 실증사업
- 기존 과제에 포함되지 않은 충전소 설비 지하화 설계 및 실증을 통한 안전성 및 주민 수용성 확보

○ 연계방안

- 기존 과제 수행으로 축적된 설계·실증 know-how로 지하 수소 충전소 시스템 요구사항 및 사양 선정, 시스템 엔지니어링 활용
- 기존 과제의 수소충전설비 설계·실증 방안 연구내용 활용 가능

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

□ 지하방호구조 설계 시공 기술

○ 방호방폭 연구단(2015~2019) 연구결과 활용

- 내화성능이 확보된 방호방폭용 고성능 섬유보강 시맨트 복합 재료

○ 지하 방호 설계 핵심 기술 개발

- 사고 시 전파진도를 1 이하(PGA 0.003 g)가 될 수 있는 방호 구조 설계 자체 개발

□ 지하 수소충전소 설치 및 운용 기준

○ 지하수소충전소 기준 제정

- 한국가스안전공사(KGS)와 기술위원회 구성. 규제 샌드박스를 통해 지하수소충전소 신규 기준 제정. 현재 효성중공업과 한국가스안전공사가 진행 중인 액화수소 충전소 기준을 활용.
- 규제 샌드박스를 통해 개발된 기준을 2년 내 정식 기준으로 제정

□ 액화수소 설비(저장탱크, 수소펌프, 기화기 등) 실증

○ 선행연구 연계/활용

- 액화수소 플랜트 연구단(2019~2023) 및 기계연구원(2021~2025)에서 개발 중인 Zero Boil-off 액체수소 저장탱크, 액체수소 가압시스템, 액체수소 기화기, 안전밸브 활용

○ 해외기술 도입

- 선진 기술(Linde, Air Product, Air Liquide 등) 적용 검토

<표 5-53> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
지하방호구조 설계 시공 기술	8	●	◐	●	
지하 수소충전소 설치 및 운용 기준	8	●	○	●	
액화수소 설비(저장탱크, 수소펌프, 기화기) 실증	7	●	●		◐

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 액화수소충전소 핵심 부품 및 충전소 건설 관련 노하우를 갖고 있는 기업과의 긴밀한 협력체계 구축

○ 한국가스안전공사

- 기술위원회 구성부터 신규 기준 제정까지 협력체계 구축

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 서울주택도시공사 및 강일버스차고지

- 차고지 관리 주체인 서울주택도시공사와 과제 실증에 필요한 프로세스의 원할한 진행을 위한 협력체계 구축(MOU 등)
- 강일버스차고지 및 지상행복주택 주민과의 원할한 소통체계 구축

□ 기술수요자와 협력체계

○ 지하수소충전소 건설을 원하는 기업을 과제 실증 부분에 참여해서 개발-실증을 함께 진행

3) 실용화 전략

○ 지하수소충전소 설계/실증 기술 민간 기술이전

- 설계 및 실증 관련 기술을 민간에 이전하는 기술사업화 추진

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 차고지 수소충전소로 활용

- 강일버스차고지 수소충전소로 활용

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 지하수소충전소 기준 개발

- 액화수소충전소 관련 기준 개발시기가 2024년 이후로 예상되어 본 과제에서 규제샌드박스를 신청해 기준(안)을 개발할 때 마땅한 레퍼런스 부재
- 지하수소충전소 관련 규정은 전혀 없어 CNG 혹은 LPG 지하저장고 정도를 참고해야함

○ 충전소 지하화에 대한 선행연구 부족

- 국내외에서 부분적인 연구는 되어 있으나 실질적으로 충전소를 지하에 건설하는 첫 번째 실증사업으로 관련 선행사업 자료가 없음

□ 대응방안

○ 한국가스안전공사 및 산학연 기술 위원회와 유기적 협력

- 규제샌드박스를 이용해서 개발된 기준(안)을 빠르게 제정
- 전문가 그룹을 구성해 기술 위원회의 빠른 결정에 도움이 될 수 있는 근거자료 준비

○ 과학적 근거 자체적 마련 및 전문가 그룹 검증

- 선행연구가 거의 없으므로 개발되는 설계도서, 설비, 실증 관련 자체적인 과학적 근거 마련 및 전문가 그룹을 통한 검증

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 정부의 탄소중립, 지속 가능한 환경 조성 등 기후변화와 에너지 전환 정책을 기술적으로 뒷받침
- 수소 기반 에너지 자립 및 온실가스, 미세먼지, 대기 오염 배출가스 저감으로 세계 환경규제에 적극 대응
- 한국판 뉴딜, 산업 활성화 정책 관련, 수소 수요·공급 기반 확충을 위한 기술적 지원과 더불어 안전한 전주기 인프라 수용성 확보
- 경제적인 최적화 기술, 국가건설기준 등 확립
- 지하시설의 규모, 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 기준 개발
- 기술적 측면과 지역주민의 정서적 측면의 접근, 예방적 기술성능(기준, 방호격리 등), 지하화를 통한 위험영향 격리 등 저변확산 등 종합적인 resilience 기술체계 구축

○ 경제적 기대효과

- 한국판 뉴딜, 산업 활성화 정책에 따른 수소차 20만대, 충전 인프라 450대 설치를 위한 수소 유통기반 마련에 기여
- ‘25년까지 수소도시 3개 추가 조성계획에 따라, 국산 공급 플랫폼 도입을 통한 실용화 실적 확보
- 수소에너지 기반 에너지 구조 전환으로 에너지 자원 빈국에서 수입 의존도를 낮출 수 있을 뿐 아니라 차세대 성장 동력으로 기대됨
- 수출 규제 및 기술 이전 회피에 대응한 국내 대규모 수소 공급 플랫폼(그리드&노드) 기술 확보에 기여

○ 과학기술적 기대효과

- 수소 수요와 경로를 고려한 지하입지, 지하시설의 공간, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보
- 수소설비 핵심요소기술의 국산화 개발, 지하공간에 집적을 위한 모듈화, 컴팩트화, 소재측면 고내구성 개발
- 에너지 수요를 고려한 수소유통체계(액체수소-기체수소-전력 계통연계 기능 등) 개발
- 수요-공급 매칭, 수요처 이용 시나리오에 따라 수소 운송거점과 지하매설 수소관망을 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술을 개발
- 구역 내 신재생에너지, 수소배관망 등 기능을 복합적으로 연계한 허브 스테이션(hub station)으로 개발 가능성 검토
- 수소 공급 플랫폼 시장 수요 대응 원천기술 확보, 기술 한계 돌파가 가능한 대용량 수소공급 플랫폼기술을 TRL 5 수준으로 개발(뉴딜정책, ‘25년까지 원천기술 보유)

카. 소요예산

<표 5-54> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
지하 수소스테이션 설계 기술 개발	국비	1,600	2,400	2,400	4,000	3,000					13,400
	민자	200	200	400	800	400					2,000
	소계	1,800	2,600	2,800	4,800	3,400					15,400
지하 수소스테이션 핵심설비기술	국비	1,000	1,200	2,000	5,000	3,000					12,200
	민자	200	200	400	800	400					2,000
	소계	1,200	1,400	2,400	5,800	3,400					14,200
지하 수소 허브-스테이션 설계 기술	국비	400	400	600	1,000	1,000					3,400
	민자	100	100	100	100	100					500
	소계	500	500	700	1,100	1,100					3,900
합계	국비	3,000	4,000	5,000	10,000	7,000					29,000
	민자	500	500	900	1,700	900					4,500
	합계	3,500	4,500	5,900	11,700	7,900					33,500

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 수요 근접 대용량 충전소

- 강일 도시개발사업지구
- 강일차고지는 서울 강동구 강일동에 위치함. 주변지역은 각종 개발사업이 진행되어 차고지를 둘러싼 인접지역이 모두 시가지로 변모
- 도시입체화 사업을 통해 지상은 행복주택 및 생활형 SOC 시설이 설치되고 차고지 시설은 지하에 구성될 예정임
- 최근 시내버스 압축천연가스 내압용기 파열 사고 때문에 지상 수소충전소가 설치될 경우 화재 및 폭발 위험성에 따른 반발이 예상됨

○ 수소버스 충전시설 부지

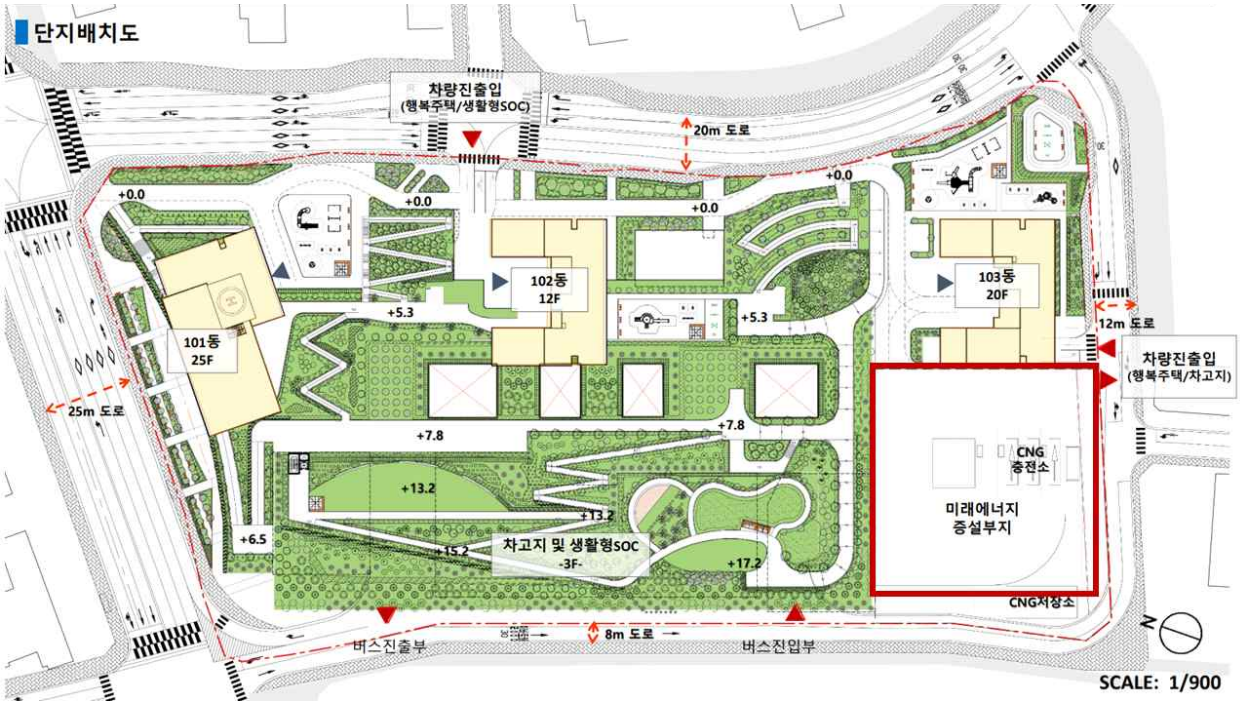
- 총 35,804m^2 버스공영차고지 면적 중 4,700 m^2의 면적에 기존의 CNG 충전소와 수소충전소가 위치할 수 있게 계획됨
- “융·복합, 패키지형 및 이동식 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준”에 따라 수소+CNG 복합충전소 설치가 가능
- 현재 운용중인 260여대의 CNG 버스에서 수소버스 비중 확대 계획 중

<표 5-55> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 대상입지

실증 대상 지역		강일 버스공영차고지			
대상부지면적		35,804 ㎡(차고지) 중 4,700 ㎡			
운용 차량 수		현재 CNG 버스 264대(수소버스 운행 계획) 중 수소버스 비중 확대			
토지 이용 계획	**충전시설**	**면적**	4,700 ㎡	**대상시설**	공영차고지
	주거용지	**면적**	32,000 ㎡	**대상시설**	행복주택, 커뮤니티 시설
	기반시설	**면적**	3,000 ㎡	**대상시설**	도로, 공공공지, 경관녹지 등



[그림 5-54] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 대상지구 개요

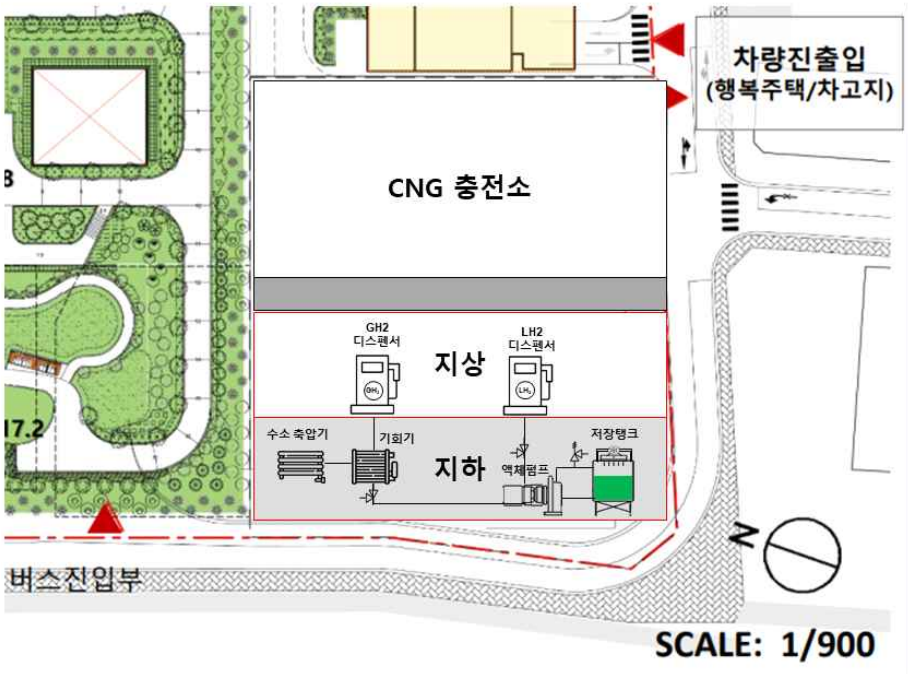


[그림 5-55] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

<표 5-56> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 시설·장비 구축 계획

수소 스테이션	○ 수소 저장용량 : 3,000 kg/d ○ 면적(H_2+CNG) : 4,700 ㎡
저장	○ 액화수소 저장탱크 (400 kg × 8EA) ○ 액화수소 펌프 (300 kg/h, 90 MPa)
이송	○ 액화수소 튜브트레일러 1대 (3,000 kg)
활용	○ 수소버스(10여대) 충전
운영	○ 통합관리실 (면적 : 30 ㎡)



[그림 5-56] 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-57> 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
액체수소 저장용기	**2026년**	○ 시내버스(29 kg) 100대 충전 가능한 3,000 kg/d급 액화수소 저장 용기로 활용
액체수소 극저온 펌프	**2026년**	○ 시내버스(29 kg) 100대를 90 MPa까지 승압시켜 충전이 가능한 펌프로 활용(3 car/hr)
기화기	**2026년**	○ 액체수소 기화를 통한 고압 저장방식 구축에 활용
압축기	**2026년**	○ 기화(Boil-off)되는 수소 압축용 수소충전소 내 버스 충전을 위한 고압 압축(90 MPa)
냉각기	**2026년**	○ 차량에 공급되는 온도 조절을 위한 필수 장비 충전을 위한 저온(-40 ℃) 유지
우선순위제어 판넬	**2026년**	○ 고압과 저압 기체수소 공급 컨트롤
디스펜서	**2026년**	○ 버스에 수소 주입 용도
고압수소 저장용기	**2026년**	○ 수소충전소 기체 수소 저장용

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>액체수소 저장용기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Liquid Hydrogen Tank</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>Linde</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>미정</td><td>8</td><td>미정</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 시내버스(29 kg) 100대 충전 가능한 3,000 kg/d 급 액화수소 저장 용기 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 시내버스 수소충전소용 액체수소저장용기</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ Design pressure: 6 bar(g), Storage capacity: 400 kg LH2</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>액체수소 극저온 펌프</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Cryo pump</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>Linde</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>미정</td><td>3</td><td>미정</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 시내버스(29 kg) 100대를 90 MPa까지 승압시켜 충전이 가능한 펌프 필요(3 car/hr)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 시내버스 수소충전소용 액체수소 펌프</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 90 MPa, 100 kg/hr</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">기화기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Gasifier</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">미정</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>미정</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 액체수소 기화를 통한 고압 저장방식 구축에 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 시내버스 수소충전소용 설비</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">압축기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Compressor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">지티씨</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>1</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 기화(Boil-off)되는 수소 압축용</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소충전소 내 버스 충전을 위한 고압 압축(90 MPa)</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 90 MPa, 350 N㎥/hr</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>냉각기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Chiller</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>삼정이앤씨</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>1</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 차량에 공급되는 온도 조절을 위한 필수 장비</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 충전을 위한 저온(-40 ℃) 유지</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 5㎏/3min</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>우선순위제어 판넬</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Priolity pannel</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>엔케이</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>1</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 기체수소 공급파트 필수 구성품</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 기체수소 공급경로 결정 컨트롤</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 3 Bank Cascade방식</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">디스팬서</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Dispensor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">엔케이/NKH2-DP01</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>3</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소충전소 구성품</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 버스에 수소 공급 용도</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td colspan="5"><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 설계압력: 99 MPa 온도범위: -40 ~50 (H70 - T40), (디스팬서: SAE J2601, 무선통신: SAE TIP J2799) 충족</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">고압수소 저장용기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen storage tank</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">엔케이/ASME 350</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>미정</td><td>5</td><td>미정</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 효성중공업(강일차고지 수소충전소)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소충전소 기체 공급파트 구성품</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 버스에 공급되는 기체수소 저장용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td colspan="5"><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 형식: Type1, 설계압력: 99 MPa</td></tr>
</table>

5.2 수소도시 교통모델 개발

5.2.1 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영

가. 개요

1) 정의

○ 철도 전력인프라/신재생에너지 활용 수소생산/저장/충전 인프라 실증

- 도심 인근 철도역사나 거점 변전소를 기반으로 철도 전력인프라와 잉여전력, 그리고 철도차량기지 내 구축된 태양광 등의 신재생에너지를 활용하여 수전해 방식 그린수소를 생산하고 이를 고압 배관으로 운송하는 인프라 구축 및 실증
- 수소 철도용 수소생산/저장 인프라와 연계하여 대용량 On-site 충전소를 구축하고 운영기관의 유지보수 기술 및 관리방안 도출

○ 수소전기기관차 제작, 기술기준(안) 개발 및 안전성 평가

- 3 MW급 수소전기기관차 개발 및 기술기준(안) 수립하여 성능검증 및 형식승인 추진
- 수소 철도차량 운영을 위하여 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소전기기관차 적용 수소시스템 안전성 평가 추진

2) 목적

○ 철도 전력인프라와 유휴전력, 신재생에너지를 활용한 On-site 수소생산/저장/운송/충전 인프라 구축

- 국내 철도 전력인프라 운영 특성상 심야에 사용하지 않는 전력과 철도차량기지 내 구축된 태양광 등의 신재생에너지를 활용하여 수소생산 및 저장 인프라를 구축하고 운영
- 자동차 대비 대량 승객/화물 장거리 운송수단인 철도차량용 수소 충전을 위해서는 필요한 수소를 1회에 충전할 수 있도록 저장용기 및 충전기, 충전 프로토콜 등이 대용량 충전에 적합하도록 구축

○ 철도분야 수소 인프라 활용 수소전기기관차 운영 및 안전성 확보

- 수소전기기관차 설계 및 제작, 수소도시 기반 실증을 진행하여 시스템 성능보완(개량) 과정을 거쳐 양산형 수소전기기관차 모델 구축
- 수소전기기관차 실증을 통하여 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템의

track data를 확보하고 이를 기반으로 철도용 수소시스템 개발 방향 도출

- 수소전기기관차 운영을 위하여 규제/법령 정비, 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소전기기관차 적용 수소시스템 안전성 확보

3) 구성요소

<표 5-58> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	수소추출기 2대	500kg/day
저장	고압기체	4,000kg
이송	탄소강 150mm	650m
활용	수소전기기관차용 연료전지	1MW급 1기

4) 세부과제 구성

<표 5-59> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증	○ 수소생산/저장 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 수소전기기관차 운영시나리오별 수소생산/저장 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증 ○ 수소생산/저장 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소생산/저장 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 수소생산/저장 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증	○ 대용량 수소충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 실증 노선 운영 기반 대용량 수소충전 인프라 구축 방안(사양포함) 도출 ○ 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증 ○ 대용량 수소충전 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 대용량 수소충전 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 대용량 수소충전 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소전기기관차 설계/제작 및 실증	○ 실증용 수소전기기관차 설계/제작 ○ 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 ○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
수소전기기관차 운영 및 안전성 평가	○ 시운전 포함 수소전기기관차 운영 방안 도출 ○ 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출 ○ 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-60> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 현재수준 및 개선목표

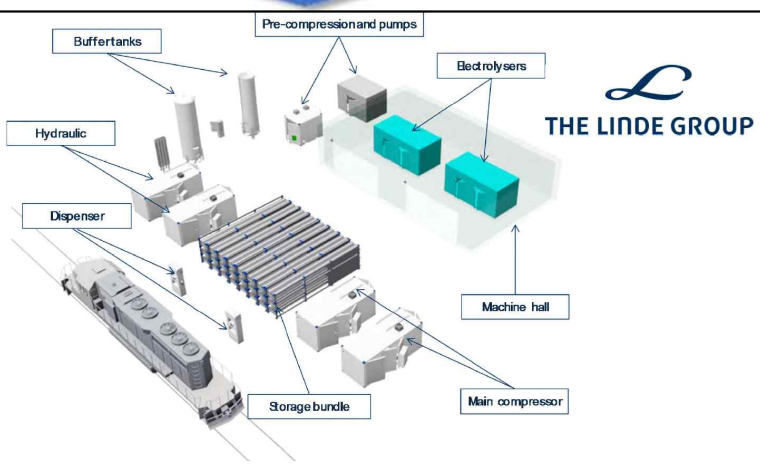
구분	AS-IS	TO-BE
수소생산	○ CNG/LPG를 개질하거나 물을 전기분해하여 수소 생산(큰 전력비용) ○ 튜브 트레일러 또는 배관을 통해 수소 공급 (Off-site 방식) ○ 수소차용 수소생산/저장 인프라 기술 ○ 수소차용 수소충전 인프라 기술	○ 철도 전력인프라와 유휴전력, 태양광 등 신재생에너지를 이용한 수소생산/저장 인프라 기술 ○ 수소철도 운영을 위한 On-site 대용량 충전 인프라 기술
수소연료전지 - 2차전지 하이브리드 추진시스템	○ 자동차용 수소연료전지 기술 확보 ○ 1.2MW 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기반 추진시스템 개발 진행 중('22년 완료)	○ 동력집중식 수소전기기관차 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 시스템 기술 확보 ○ 수소전기기관차 운행환경에 적합한 주변장치(BOP) 기술 확보 ○ 동력집중식 철도차량의 장거리 운행을 위한 단위 부피당 수소저장용기 구성 최적화 기술 확보 ○ 동력집중식 철도차량용 대용량 고전압 배터리팩 설계 최적화 기술 확보 ○ 동력집중식 수소전기기관차용 소형/경량화/고효율화 전장품 설계기술 확보 ○ 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 핵심기술 및 주요 전장품 국산화
제도(법령)	○ 철도분야 수소 철도차량 및 인프라 관련 법령 부재 ○ 수소열차 적용 추진시스템 철도차량 기술기준(안) ○ 수소철도차량 운영 및 유지보수 기술 부재	○ 철도안전법 형식승인을 위한 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 확보 ○ 철도안전법 내 수소 인프라 및 차량 관련 규정 제·개정 ○ 수소전기기관차 운영을 위한 규제, 법령 제·개정(안) 도출 ○ 철도분야 적용 수소시스템에 대한 안전성 평가 방안 확보 ○ 수소전기기관차 운영/유지보수 방안

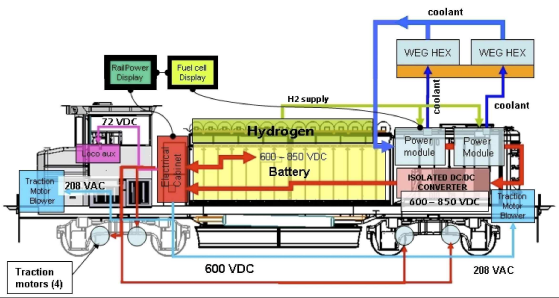
□ AS-IS/TO-BE 개념도

[AS-IS]



[TO-BE]





[그림 5-57] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ “파리협정”(`15.12.)에 따라 우리나라 온실가스 감축 목표(`20년까지 배출전망치 대비 30% 감축) 달성을 위해 철도 분야 온실가스 배출 감축 필요

○ “미세먼지 관리 종합대책”(`17.09)에 따라 `19년 이후 신규 제작·수입되는 디젤철도차량을 대상으로 배출가스 인증 및 배출허용기준 준수 의무가 부여되어 선제적인 대응 필요

※ 환경부공고 제2017-694호(2017.10.20.) 대기환경보전법 일부개정법률(안) 입법예고

- 탄소배출량: 디젤철도차량 19 kg/km*, 전기철도차량 10.6 kg/km*, 수소철도차량: 9.1 kg/km**

* 디젤기관차 탄소직접배출량과 전기철도 탄소간접배출량 비교: [국토교통부-보고서]철도전철화 효과분석(2007)

** 전기차와 수소차 탄소간접배출량 비교(전기차 대비 CO2 배출 13.7% 낮음): [Union of Concerned Scientists] How Clean Are Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles

- `19.1.17. 정부의 「수소경제 활성화 로드맵」 발표에 ‘안전하고 깨끗한 철도 환경 조성’을 목표로 한 수소열차 추진방안* 포함

구분	현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술 목표	수소열차 R&D 진행	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	실증을 통한 기술 검증 및 성능개선	디젤열차를 수소열차로 대체하는 등 보급 확대

* 정시성과 안정성을 특징으로 하는 대량 승객/화물 운송수단인 철도는 수소 전주기(생산-저장-운송-활용) 기술개발, 적용/실증에 최적화된 수소 모빌리티임

- 국내 대중교통 수송분담률*은 철도 18.7%, 버스 24.1%, 택시 2.6%, 승용차 54.6%로 일본의 철도 수송분담률 72%**에 비하여 매우 낮은 상태로 전차선, 변전소 등의 전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축이 절실함

* 대중교통 수송분담률, 국가지표체계, 2018년 기준

** 운수종합연구소 ‘숫자로 보는 철도 2016’

○ 친환경 수소철도차량은 전 세계적으로 대기환경문제(이산화탄소, 미세먼지 등) 해결을 위한 디젤철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 기술 및 시장 선도를 위한 정부 지원이 필요하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것임

- 수송 분야에서는 연료를 LNG, 수소로 전환하여 친환경 연료 이용률을 20%에서 60%까지 상향 계획을 세웠으며 철도 수송부문은 온실가스 배출량 24.6% 감축을

목표로 하고 있어 환경오염 배출의 주원인을 제공하고 있는 디젤철도차량을 친환경 수소철도차량으로 대체 필요

- 비전철화구간 및 혼합구간을 운영 중인 디젤철도차량(디젤기관차, 디젤동차) 내구연한* 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원방식**의 철도차량 필요

* 제3차 국가철도망 구축계획(2016-2025) 완료 시 전철화율 82%, `30년 기준 내구연한 도래 노후 철도차량은 디젤기관차 227량(58억/량), 디젤동차 121량(9억/량)으로 총 119,583억원의 수입 대체 효과

** `18년 기준 충무 4600 국토해양시행계획(철도수송 및 긴급 복구계획)에 따른 전시대비용 디젤기관차는 256량을 보유하고 있으며, 노후 차량 폐차에 따른 전시의무보유량 227량 유지를 위해서는 수소철도차량 등의 독립전원 철도차량 도입 필요

2) 추진 필요성

○ 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 `35년에서 `40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화가 급속히 진행 중

- 독일 : 2018년부터 상업 운행 시작 (세계 첫 번째 철도 인증 사례)
- 오스트리아 : 2020년 11월 시험 운행 완료 (세계 두 번째 철도 인증 사례)
- 네덜란드 : 2020년 Groningen과 Leeuwarden에서 시험 운행 완료
- 이탈리아 : 2021년 롬바르디아 지역에 12량 공급 예정
- 영국(Breeze) : Class 321 차량 개조, 2022년 시험 운행 예정

○ 수소전기기관차 운영을 위해 필요한 수소생산, 저장, 충전시설은 철도차량기지가 보유한 전력인프라, 신재생에너지 등을 연계하여 구축 및 실증 가능하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것

- 철도차량기지 내 운영 중인 대규모 태양광과 전력인프라를 이용한 그린수소 생산을 포함하여 on-site형 충전시설을 구축하고 철도운영에 적합한 대용량 고압기체/액체 수소저장용기를 적용하여 수소 생산-저장-충전기술 실증 가능

※ 디젤기관차의 평균 주행거리(기관차키로, 예비율 12%, 주5일 운행 기준)는 약 450km/day로 수소 생산-저장-활용 사이클 순환 운영 가능(철도통계연보 2019)

○ 수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증

- 유럽에서는 신재생에너지 기반 수소생산/충전 인프라가 운영 중이며, 국내에서는 수소 버스용 충전 인프라 시범 구축함.
- 국내 철도 전력인프라 운영 특성상 심야에 사용하지 않는 전력과 철도차량기지 내 구축된 태양광 등의 신재생에너지를 활용하여 수소생산 및 저장 인프라를 구축하고 운영/실증

○ 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증

- 자동차 대비 대량 승객/화물 장거리 운송수단인 철도차량용 수소 충전을 위해서는 필요한 수소를 1회에 충전할 수 있도록 저장용기 및 충전기, 충전 프로토콜 등이 대용량 충전에 적합하도록 구축 및 실증
- 수소 철도용 수소생산/저장 인프라와 연계하여 On-site 충전소를 구축하고 운영기관의 유지보수 기술 및 관리방안 도출

○ 수소전기기관차 제작 및 실증

- 독일에서는 1.2 MW급 수소 여객열차가 실용화되어 영업 운행 중이고, 미국에서는 1.2 MW급 수소전기기관차가 시험운행 중임
- 국내에서 `22년까지 1.2 MW급 수소연료전지 기반 추진시스템 기술개발 진행 중으로 개발된 기반 기술을 이용하여 3 MW급 수소전기기관차 개발에 활용
- 독일에서는 Coradia iLint 수소 여객열차 상업 운행을 위하여 유럽의 TSI와 수소 관련 자동차 표준을 철도에 적용하여 인증을 완료하였으며, 국내에서는 국가 R&D로 진행 중인 수소열차에 대한 기술기준(안) 개발을 진행 중임. 이를 기반으로 수소전기기관차 기술기준(안)을 개발하여 성능검증 및 형식승인 추진

○ 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가

- 국내 최초 도입되는 수소 철도차량 운영을 위하여 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소전기기관차 적용 수소시스템 안전성 평가 추진

다. 기술개발 동향

1) 국내

○ 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2 MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 진행 중

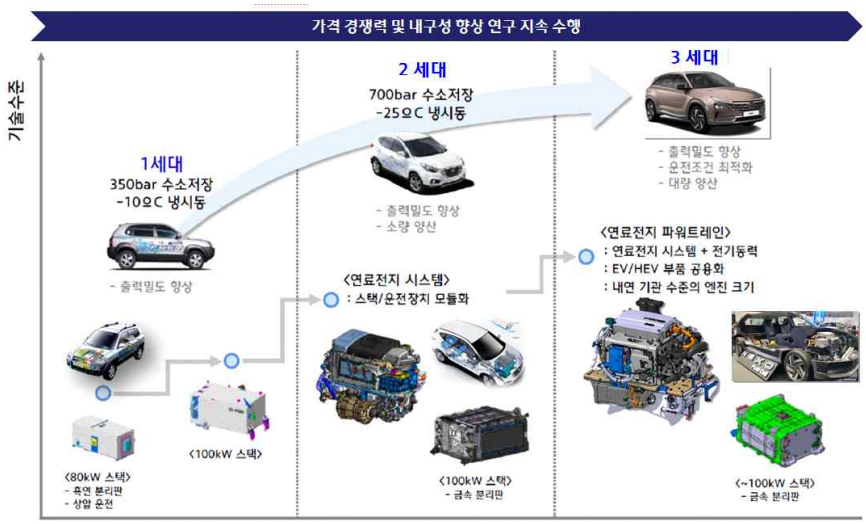
- ’18년 4월부터 디젤철도차량 대체를 목표로 개발 진행 중이며, ’22년까지 기술개발 후 실증 추진 예정

○ `21년 민간주도의 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발

○ 자동차용 수소연료전지의 경우 국내에서는 3세대에 걸친 성능개선 기술개발을 통해 성능 안정화 및 수명향상 도모

- 수소버스 1회 수소 충전(33.44 kg)으로 300 km 주행, 넥쏘는 1회 수소 충전(6.33 kg)으로 600 km 주행

- 승용차 (5,000시간/160,000 km), 버스 (25,000시간/1,000,000 km) 달성



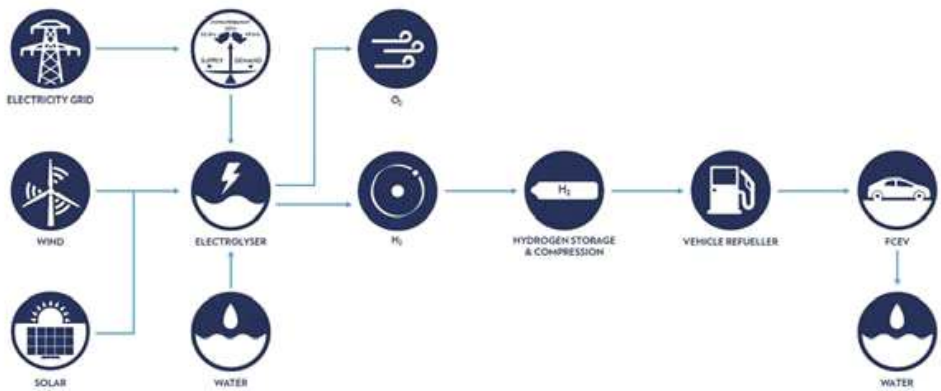
[그림 5-58] 국내 수소연료전지 성능개선 방향

2) 국외

○ 수소 생산 및 공급

- 현재 구축된 수소차용 충전소는 튜브 트레일러 또는 수소 배관을 통해 수소를 공급받는 Off-site 방식을 사용함
- CNG/LPG를 개질하거나 물을 전기분해 하여 수소를 자체적으로 생산하는 On-site 방식으로의 연구가 진행 중임. 특히 물을 전기분해* 하는 경우 이산화탄소 배출이 없고, 전력만 공급할 수 있으면 운영이 가능한 장점이 있음.

* 현재 전력비용의 부담이 크지만, 향후 태양광 등 신재생에너지 발전 등을 통해 전력공급이 원활하게 이루어지면 궁극적인 친환경 수소생산 방식이 될 가능성이 큼



[그림 5-59] 신재생에너지를 이용한 On-site 수소 생산 및 공급

- 대량 승객/화물 운송수단인 철도의 경우 외부에서 수소를 공급받는 방식에는 한계가 있고 수소 생산/저장/충전이 가능한 on-site 수소충전 인프라 구축이 필요함.

○ 수소 저장 및 충전

- 수소의 저장 방식에는 고압 기체수소 저장과 액체수소 저장 방식이 대표적이며, 현재는 고압 기체수소 저장이 보편적으로 사용되고 있음

- 최근 대용량 저장*이 가능하고 안전성이 높은 액체수소 저장 및 충전에 관한 연구가 진행되고 있으며 모빌리티 분야에 액체수소가 직접 적용된 사례는 없으나 독일 Linde 社에서 액체수소 저장용기를 적용한 수소충전소를 운영 중임

* 액체수소(1기압)는 고압수소(700기압) 대비 약 2배의 저장밀도, 약 7배의 수송효율 향상 가능



[그림 5-60] 액체수소 저장 및 사용의 장점

○ (중국) `21년 1월, CRRC 다퉁에서 최대 속도 80 km/h, 연속 출력 700 kW급, 최대 견인 하중 5,000 ton 수소연료전지 하이브리드 기관차 생산

○ (미국) `03년부터 BNSF는 국방부 지원으로 1.2 MW급 연료전지 기관차 개발, 최대 속도 64 km/h, 35 MPa 고압기체 수소, 납축전지와 하이브리드 구성, 민간 재난 구조에 차량 예비 동력원으로 사용 계획

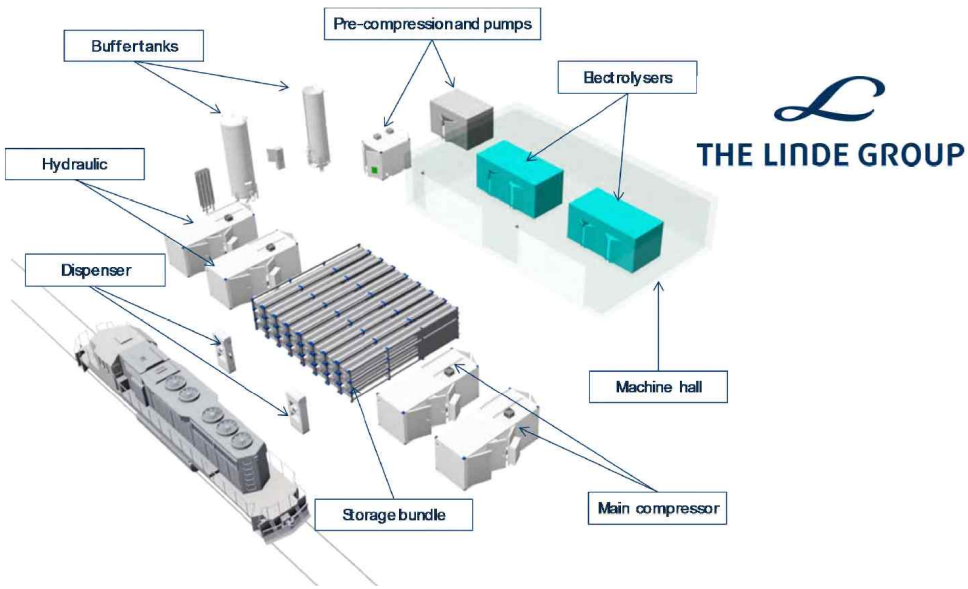
○ (캐나다) Canadian Pacific社는 `20년 12월에 수소연료전지 화물 기관차 개발 착수 발표(일정 미정)하였고, 자사의 Line-haul 기관차를 수소연료전지 및 배터리로 동력 공급 장치를 개조하여 개발 예정

<표 5-61> 해외 수소전기기관차 개발 현황

사진	국가/열차명	열차종류	사양/비고
	중국 CRRC	수소전기 기관차	○ 최고속도 80km/h ○ 최대출력 700kW ○ '21년 1월 생산
	미국 BNSF	수소전기 기관차	○ 최고속도 64km/h ○ 최대출력 1.2MW ○ '03년부터 개발
	캐나다 Canadian Pacific	수소전기 기관차	○ '20년 12월 개발 착수 발표 ○ 기존 Line-haul기관차 개조 예정

○ (프랑스) Alstom은 지난 `14년부터 수소연료전지 전동차 개발을 위해 독일 정부와 협력해왔으며, 열차 지붕에 있는 연료전지에서 수소와 산소를 결합해 전기에너지를 만들고, 이를 리튬이온배터리로 전송하여 한 번 충전으로 승객 300명을 태우고 하루 최대 800 km(약 500마일)를 달릴 수 있는 수소연료전지 철도차량(Coradia Lint)을 개발하여 현재 독일에서 상업 운영 중임

- 수소철도차량 운영을 위해 차량유지보수 뿐만 아니라 수소연료공급시스템 관리 및 유지보수까지 패키지로 포함하여 제시



[그림 5-61] 수소연료전지 철도차량을 위한 인프라 솔루션

○ (독일) 독일 교통부는 Siemens社와 Aachen 공대를 수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 수소연료전지 하이브리드 철도차량(Mireo Plus H) 개발 프로젝트를 진행 중이며, `24년부터 Baden-Wuttemberg에서 1년 동안 약 120,000 km 시험 운전을 진행 계획

○ (영국) `40년까지 디젤철도차량 퇴출을 위하여 프랑스 Alstom과 함께 Class 321을 개조한 수소연료전지 철도차량(Breeze) 제작에 돌입하여 `22년 시험운행 예정이며, 자국 철도차량 제작사 Porterbrook의 HydroFLEX 프로젝트를 통해 Class 319를 개조한 수소철도차량 개발 수행 중

○ (오스트리아) Zillertal 철도는 `22년까지 Tyrol 지역에 수소철도차량 5개 편성을 도입하기 위하여 `18년 발주 완료. 또한, Alstom의 Coradia iLint는 OBB(오스트리아 연방 철도)의 지역 라인에서 `20년 9월부터 3개월동안 시범운영을 완료하였으며, 이는 세계에서 2번째로 Coradia iLint가 영업 운전이 가능한 철도차량으로 인증 받은 사례임.

○ (스페인) Talgo社는 `23년 시험운행 목표로 수소철도차량 개발을 착수하였으며, `22년까지 기술검증 후 포르투갈과 접경한 스페인 서부 Extremadura철도에서 시범운행 예정

○ (스코트랜드) `20년 12월, Scottish Enterprise, Transport Scotland, Hydrogen Accelerator, Arcola Energy와 컨소시엄을 맺고 스코틀랜드 최초의 수소연료전지 철도차량 개발 착수하였고, 퇴역한 ScotRail Class 314 전기 철도를 수소연료전지 철도차량으로 개조하여 `21년 11월 글래스고에서 주최하는 COP26에 공개할 예정

○ (일본) `01년부터 RTRI에서 세계최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술을 확보하였으며, `20년부터 동일본여객철도(JR East)는 Hitachi, Toyota 등과 협업하여 HYBARI 수소연료전지 철도차량을 개발, `22년 3월부터 JR동일본 쓰루미선과 남부선 등에서 시험 운영할 예정

○ (중국) `15.3월 중국 칭다오의 시팡 공장에서 수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량)이 발표되었으며, 3분 충전으로 최고운행속도 70 km/h 속도로 100 km 주행할 수 있고 최대 380명까지 탑승 가능하며, `19년 12월 30일부터 중국 포산시에서 상업운전 시작

<표 5-62> 국내외 수소철도차량 개발 현황

사진	국가/열차명	열차종류	사양/비고
	한국 KRRI	일반철도	○ 최고속도 110km/h ○ 주행거리 600km ○ '22까지 기술개발 완료 예정
	프랑스 Alstom (Coradia iLint)	일반철도	○ 최고속도 140km/h ○ 스택용량 200kW x 2 ○ '14년부터 개발, 영업 운행 중
	독일 Siemens (Mireo Plus H)	일반철도	○ '24년 시험 운행 계획
	영국 Porterbrook (HydroFLEX)	도시철도	○ Class 319 개조 ○ '22년 시험 운행 계획
	오스트리아 Zilertal Railway	일반철도	○ '22년 5개 편성 도입 예정 ○ '20년 9월부터 Coradia iLint 시범운행 완료 (세계 2번째)
	스페인 Talgo	일반철도	○ '23년 시험 운행 계획
	스코트랜드	도시철도	○ '20년 12월 컨소시엄 형태로 개발 착수 ○ '21년 11월 COP26 공개 예정
	일본 JR East	도시철도	○ 최고속도 100km/h ○ 스택용량 120kW ○ '22년 시험 운행 계획
	중국 CRRC (Skoda15T)	도시철도 (노면전차)	○ 최고속도 70km/h ○ 주행거리 100km ○ 탑승인원 380명 ○ '19년 12월 상업 운행 계획

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 수소철도용 On-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 구축 및 수소전기기관차 실증을 통한 운영 및 안전성 평가 기술개발

- 철도 전력인프라/신재생에너지 활용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증
- 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증
- 3 MW급 수소전기기관차 설계/제작 및 실증
- 수소철도 운영을 위한 철도차량/철도시설 기술기준(안)
- 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가 기술개발

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-63> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
3MW급 동력집중식 수소전기기관차	세계 최초 3MW급 수소전기기관차 실증	- 1.2MW 수소연료전지 기반 추진시스템 개발 진행 중	- (프랑스) 1.2MW급 여객열차 영업운전 중 - (미국) 1.2MW급 수소전기기관차 시험 운행
수소철도용 대용량 수소생산/충전 인프라	철도 전력인프라를 활용한 on-site 수소생산 및 충전 인프라 실증	- 수소버스용 충전인프라 시범 구축	- (유럽) 신재생에너지 기반 수소 생산/충전 인프라 운영 중
수소전기기관차 성능검증 및 안전성 평가 표준화	철도차량/철도시설 기술기준 개발	- 국가 R&D로 진행 중인 시험차량에 대한 철도차량 기술기준(안) 개발 진행 중	- (독일) 유럽의 TSI와 수소 관련 자동차 표준을 적용하여 수소 여객열차를 인증함

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-64> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 수소생산/저장/충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 실증용 수소전기기관차 설계 ○ 철도 적용 수소시스템 안전요구사항 분석
2024년	○ 수소생산/저장/충전 인프라 구축방안 및 기본/상세설계 ○ 실증용 수소전기기관차 구성품 제작 및 성능검증 ○ 철도 적용 수소시스템 위험도 평가모델 개발
2025년	○ 수소생산/저장/충전 인프라 구축 ○ 실증용 수소전기기관차 구성품 조합시험 및 완성차 제작 ○ 철도 적용 수소시스템 위험원 발생빈도 및 심각도 정량화 실증
2026년	○ 수소생산/저장/충전 인프라 성능검증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 대용량 수소충전 프로토콜 개발 및 운영(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증용 수소전기기관차 완성차 및 시운전 성능검증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 철도 적용 수소시스템 위험도 허용수준 정립
2027년	○ 수소생산/저장/충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 대용량 수소충전 프로토콜 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 수소전기기관차 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 철도 적용 수소시스템 수명주기 단계별 안전관리 가이드라인 개발
2028년	○ 수소철도용 on-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 수소전기기관차 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(1단계) ○ 철도 적용 수소시스템 설계/제작/설치/운영 표준화(안) 개발
2029년	○ 성능개선 사항 반영 수소철도용 on-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 설계/구축/성능검증(2단계-성능개선) ○ 성능개선 사항 반영 수소전기기관차 설계/제작/성능검증(2단계-성능개선) ○ 철도 적용 수소시스템 주요장치 내외부 인터페이스 표준(안) 개발
2030년	○ 수소철도용 on-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 수소전기기관차 실증(2단계-성능개선) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(2단계) ○ 실증을 통한 철도차량/철도시설 유지보수 개선사항 도출(2단계) ○ 철도 적용 수소시스템 데이터 수집 및 분석 기술 개발
2031년	○ 수소철도용 on-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 수소전기기관차 실증(2단계-성능개선) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(2단계) ○ 실증을 통한 철도차량/철도시설 유지보수 개선사항 도출(2단계) ○ 철도 적용 수소시스템 고장정보 수집 및 분석체계 구축

마. 세부과제 추진계획

1) 수소철도용 수소생산/저장인프라 구축 및 실증

□ 연구기간 : ’23~’31년

□ 연구목표

○ 수소생산/저장 인프라 설계 및 구축

○ 수소생산/저장 인프라 기술검증 및 성능평가

○ 수소생산/저장 인프라 실증

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 운영 및 유지보수 기술개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-65> 수소철도용 수소생산/저장인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치								
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년
수소생산/저장 인프라	수소생산/저장 인프라 운영데이터	수소생산/저장 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석	수소생산/저장 인프라 구축방안 및 기본/상세 설계	수소생산/저장 인프라 구축	수소생산/저장 인프라 성능검증	수소생산/저장 인프라 실증 (1단계)	수소생산/저장 인프라 실증 및 성능개선 사항 도출 (1단계)	수소생산/저장 인프라 성능개선 및 성능검증 (2단계)	수소생산/저장 인프라 실증 및 개선사항 도출 (2단계)	실증을 통한 수소생산/저장 인프라 유지보수 개선

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-66> 수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소 생산/저장 인프라 운영 방안 조사 분석 ○ 수소철도 운영을 위한 수소 생산/저장 인프라 개념도 설계
2024년	○ 수소철도용 대용량 수소 생산/저장 방안 연구 ○ 수소 생산/저장 인프라 기본설계, 관련 제도 및 법령 조사 (인허가 절차 등) ○ 수소전기기관차 운영시나리오별 수소 생산/저장 인프라 구축방안 수립
2025년	○ 수소 생산/저장 인프라 구축
2026년	○ 수소 생산/저장 인프라 구축 및 성능검증

연도	추진계획
2027년	○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증을 통한 수소 생산/저장 인프라 유지보수 개선사항 도출(1단계)
2028년	○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증을 통한 수소 생산/저장 인프라 유지보수 개선사항 도출(1단계)
2029년	○ 성능개선 사항 반영 실증용 수소 생산/저장 인프라 2차 설계, 구축 및 성능검증 ○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 생산/저장 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)
2030년	○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 생산/저장 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)
2031년	○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 생산/저장 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)

2) 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증

□ 연구기간 : ’23~’31년

□ 연구목표

○ 대용량 수소충전 인프라 설계 및 구축

○ 대용량 수소충전 인프라 기술검증 및 성능평가

○ 대용량 수소충전 인프라 실증

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 운영 및 유지보수 기술개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-67> 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치								
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년	’28년	’29년	’30년	’31년
On-site 대용량 수소충전 인프라	On-site 수소충전 인프라 운영데이터	대용량 수소충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석	대용량 수소충전 인프라 구축방안 및 기본/상세 설계	대용량 수소충전 인프라 구축	대용량 수소충전 인프라 성능검증	대용량 수소충전 인프라 실증 (1단계)	대용량 수소충전 인프라 실증 및 성능개선 사항 도출 (1단계)	대용량 수소충전 인프라 성능개선 및 성능검증 (2단계)	대용량 수소충전 인프라 실증 및 개선사항 도출 (2단계)	실증을 통한 대용량 수소충전 인프라 유지보수 개선

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-68> 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 대용량 On-site 수소 충전 인프라 운영 방안 조사 분석 ○ 수소철도 운영을 위한 On-site 대용량 수소 충전 인프라 개념도 설계
2024년	○ 수소철도용 대용량 수소 충전 방안 연구 ○ 수소 충전 인프라 기본설계 및 관련 제도 및 법령 조사(인허가 절차 등) ○ 수소전기기관차 운영시나리오별 수소 충전 인프라 구축방안 수립
2025년	○ 대용량 수소 충전을 위한 프로토콜 구축 방안 ○ 수소 충전 인프라 구축 및 성능검증
2026년	○ 대용량 수소 충전을 위한 프로토콜 개발 ○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(1단계)
2027년	○ 대용량 수소 충전을 위한 프로토콜 개발 ○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(1단계)
2028년	○ 대용량 수소 충전을 위한 프로토콜 개선 및 성능검증 ○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(1단계)
2029년	○ 성능개선 사항 반영 실증용 수소 충전 인프라 2차 설계, 구축 및 성능검증 ○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)
2030년	○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)
2031년	○ 수소철도용 On-site 대용량 수소 충전 인프라 실증(2단계-성능개선) ○ 실증을 통한 수소 충전 인프라 유지보수 개선사항 도출(2단계)

3) 수소전기기관차 설계/제작 및 실증

□ 연구기간 : ’23~’31년

□ 연구목표

❍ 실증용 수소전기기관차 설계/제작

❍ 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발

○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가

○ 수소전기기관차 실증

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-69> 수소전기기관차 설계/제작 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치								
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년
수소전기기관차 실증차량 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안)	수소전기기관차 운영데이터, 철도차량 기술기준(안)	실증용 수소전기기관차 설계	구성품 제작 및 성능검증	구성품 조합시험 및 완성차 제작	실증용 수소전기기관차 완성차 및 시운전 성능검증	수소전기기관차 실증 (1단계)	수소전기기관차 실증 (1단계) 및 성능 개선사항 도출	실증용 수소전기기관차 성능개선(2단계)	수소전기기관차 실증 (2단계) 및 개선사항 도출	수소전기기관차 실증 (2단계) 및 유지보수 개선

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-70> 수소전기기관차 설계/제작 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 철도차량용 수소저장용기-연료전지 공급 및 재순환 배관 최적화 설계 ○ 고효율/경량화/고승압비 모듈형 전력변환장치 설계 ○ 수소연료전지 기반 동력시스템 제어기술 설계 ○ 수소연료전지-2차전지 시스템 최적 구성 비율 도출 및 설계사양 결정 ○ 수소전기기관차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 검토
2024년	○ 고효율/경량화/고승압비 모듈형 전력변환장치 제작 및 성능검증 ○ 철도차량 운행패턴을 고려한 연료전지-2차전지 동력시스템 최적관리/제어 알고리즘 개발 ○ 장치간 기기배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정 ○ 동력시스템 인터페이스 설계
2025년	○ 철도차량 운행패턴 기반 수소연료전지 발전팩 통합 열관리 설계 최적화 ○ 수소전기기관차 모의환경 기반 에너지 제어기술 개발 및 검증 ○ 실증용 수소전기기관차 제작 및 성능검증
2026년	○ 수소전기기관차 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운행조건에 따른 수소/공기공급, 물/열관리 프로세스 예측 시뮬레이션 ○ 실증용 수소연료전지 동력시스템 제어기술 개발 및 검증 ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(1단계)

연도	추진계획
2027년	○ 수소전기기관차 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운행조건에 따른 수소/공기공급, 물/열관리 프로세스 예측 시뮬레이션 ○ 실증용 수소연료전지 동력시스템 제어기술 개발 및 검증 ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(1단계)
2028년	○ 철도차량용 최적화 및 블록화된 연료전지 운전장치 모듈 설계 ○ 실증용 수소연료전지 동력시스템 제어기술 개선 및 검증 ○ 수소전기기관차 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(1단계)
2029년	○ 성능개선 사항 반영 실증용 수소전기기관차 2차 설계, 제작(개량) 및 성능검증 ○ 운행 프로파일 기반 연료전지 운전장치(BOP) 최적 매핑 및 제어기술 ○ 실증용 수소연료전지 동력시스템 내구성 향상을 위한 제어기술 개발 ○ 수소전기기관차 실증(2단계-성능개선) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(2단계)
2030년	○ 철도차량 하이브리드 동력시스템 내구성 향상을 위한 통합 제어기술 ○ 실증용 수소연료전지 시스템 내구성 향상을 위한 제어기술 개발 ○ 수소전기기관차 실증(2단계-성능개선) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(2단계)
2031년	○ 철도차량 하이브리드 동력시스템 내구성 향상을 위한 통합 제어기술 ○ 수소전기기관차 실증(2단계-성능개선) ○ 운영데이터 취득 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출(2단계)

4) 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가

□ 연구기간 : ’23~’31년

□ 연구목표

❍ 시운전 포함 수소전기기관차 운영 방안 도출

❍ 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출

❍ 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-71> 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치								
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년
수소철도 운영 및 유지보수 방안	수소철도 운영 및 유지보수 매뉴얼	철도 적용 수소시스템 안전요구사항 분석	철도 적용 수소시스템 위험도 평가모델 개발	철도 적용 수소시스템 위험원 발생빈도 및 심각도 정량화 실증	철도 적용 수소시스템 위험도 허용수준 정립	철도 적용 수소시스템 수명주기 단계별 안전관리 가이드라인 개발	철도 적용 수소시스템 설계/제작/설치/운영 표준화(안) 개발	철도 적용 수소시스템 주요장치 내외부 인터페이스 표준(안) 개발	철도 적용 수소시스템 데이터 수집 및 분석 기술 개발	철도 적용 수소시스템 고장정보 수집 및 분석체계 구축
수소전기기관차 안전성 평가	수소시스템 안전성 평가 및 검증 플랫폼									

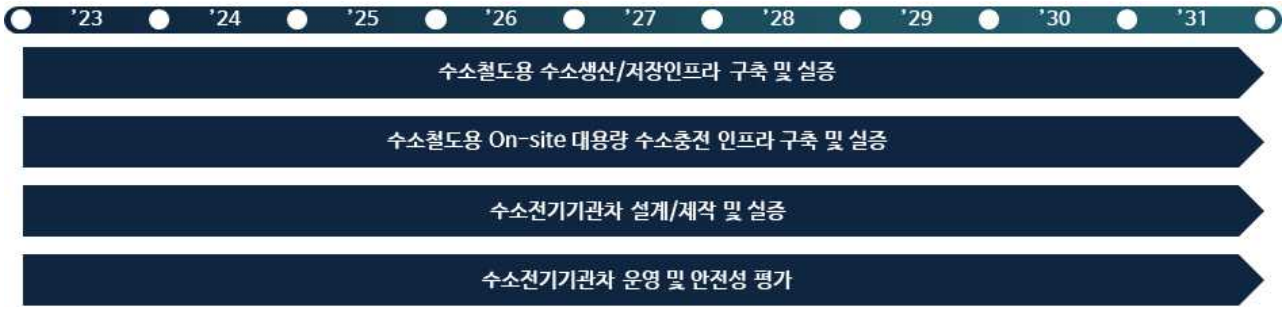
□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-72> 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 실증 차량 사양 선정 및 시스템 엔지니어링 ○ 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 방안 ○ 수소시스템 안전요구사항 분석 및 표준 위험원(Hazzard) 목록 개발 ○ 수소 생산/충전인프라 사양 선정 및 시스템 엔지니어링 ○ 수소 생산/충전인프라 형식승인을 위한 철도시설 기술기준(안) 설계
2024년	○ 철도차량/철도시설 장치별 인터페이스 방안 선정 ○ 조합시험설비 기본설계 및 상세설계 ○ 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 검토 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 기술개발 ○ 사고/장애 원인분석을 통한 RAMS 기반 위험도 평가모델 및 정량화 기술개발
2025년	○ 조합시험 설비와 시험품 간 인터페이스 설계 및 제작 ○ 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 개발 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 구축 ○ 시험, 시뮬레이션 등을 통한 대표 위험원 발생빈도 및 심각도 정량화 실증 연구
2026년	○ 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 해설서 개발 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 개선 ○ 철도적용 수소시스템의 안전기준인 위험도 허용수준(Acceptable Risk Level) 정립 ○ 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

연도	추진계획
2027년	○ 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 해설서 개발 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 개선 ○ 철도적용 수소시스템의 안전기준인 위험도 허용수준(Acceptable Risk Level) 정립 ○ 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가
2028년	○ 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 고시 ○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 표준화 개선 ○ 철도적용 수소시스템 설계/제작/설치/운영 표준화(안) 개발
2029년	○ 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 표준화 체계 실증 적용 ○ 철도적용 수소시스템 주요장치 내외부 인터페이스 표준(안) 개발
2030년	○ 실증을 통한 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 표준화 체계 검증 ○ 위험도 평가를 위한 철도 적용 수소시스템 데이터 수집 및 분석 기술
2031년	○ 실증을 통한 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 표준화 체계 개선 ○ 예측고장률 입증을 위한 고장정보 수집 및 분석체계(FRACAS) 구축

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-62] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2 MW이상)을 적용한 철도차량 추진 시스템 최적화 및 운용 기술개발

○ 주요 내용

- 전력인프라(전차선, 변전소 등)가 없는 에너지 독립형 수소연료전지/2차전지 친

환경 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 기술개발, 철도용 수소 충전 인프라 구축방안 확보 및 실차 검증

- 동력시스템 출력 1,500 마력(1.2 MW), 최고속도 110 km/h, 1회 충전주행거리 600 km 이상 추진시스템 및 시험차량, 철도차량 기술기준(안), 임시충전설비 구축 및 철도용 수소충전소 구축방안 등

○ 차별성 및 연계방안

- 1.2 MW 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 구축 기술을 기반으로 수소전기기관차 운행 프로파일에 적합한 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 구성방안 도출
- 고효율 DC/DC 컨버터, 고출력밀도 추진제어장치, 계통연계형 보조전원장치 설계 기술을 통하여 독립전원방식 수소전기기관차 전장품 국산화 개발 진행
- 수소연료전지와 2차전지 두가지 에너지매체를 기반으로 최적 운행 알고리즘 개발 및 유지보수/기대수명 연장을 위한 에너지 관리 기술 개발

□ 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발

○ 주요 내용

- 전기철도 에너지의 안정적 확보를 위한 대책 마련
- 새로운 에너지 개발을 촉진하는 방향으로 에너지 정책 설정
- 철도전용 이동식 수소연료전지 발전소에 대한 기술개발로 철도변전소 부하관리, 에너지수급에 대한 문제 해결

○ 차별성 및 연계방안

- 전기철도 전력계통의 부하에 따른 운영 보조로서 고정식 수소연료전지발전시스템 내용으로 철도차량 적용과는 관계 없음
- 수소도시 실증을 위한 전력 시스템 설치 및 운용기술 개발에 활용 가능
- 친환경 발전계통과 연계한 수소 생산 설비 및 수소 공급 설비기술 개발

□ 수소전기버스용 충전소 실증사업(자동차부품연구원)

○ 주요 내용

- 수소 충전설비 구축 가이드 라인
- 25 kg/20분 이내 수소버스 충전 가능한 설비
- 수소버스 충전 프로토콜

○ 차별성 및 연계방안

- 수소버스용 충전 프로콜을 기반으로 철도차량용 대용량 고속 수소 충전 프로토콜 개발 시 활용
- 수소 충전시설 확보 시 비용 저감을 위해 검토

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-73> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소철도용 수소생산/저장 인프라 설계기술	8	●	◐		○
수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 설계기술	7	●	◐		○
동력집중식 수소전기기관차 설계기술	7	◐	○	●	
수소전기기관차 안전성 평가기술	8	○		●	◐

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 수소 생산/저장/운송/활용 인프라 설비 설계/제작/구축 민간기업과 기술개발을 위한 학계/연구계와의 협력체계를 구성하여 상호보완 추진

○ 동력집중식 수소전기기관차 설계/제작을 위한 민간기업 및 운영기관의 공동참여로 연구기관 중심의 수행체계에 수요자 의견을 반영하여 추진

○ 철도분야 최초 도입되는 수소전기기관차의 안전성 평가를 위하여 해외기관의 사례를 검토하고 연구계/학계의 협력체계로 추진

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 철도 운영기관의 참여로 연구계/산업계/학계의 의견과 운영기관의 관점을 상호보완하여 개발 추진

○ 연구개발 결과의 실용화 및 운영/유지보수 체계를 구축하여 성공적인 비즈니스 모델 제시

□ 세부과제간 연계방안

○ 수소철도용 수소 생산/저장 인프라를 구축하여 on-site 대용량 수소 충전 인프라에 수소전기기관차 운영을 위한 수소를 공급하고 실증을 통하여 운영데이터를 수집하고 이를 기반으로 성능개선 및 안전성 평가 진행

3) 실용화 전략

○ 연구계/학계, 민간기업과 운영기관의 참여로 구축된 수소전기기관차 및 수소 생산/저장/운송/충전 인프라에 대한 기술이전을 통하여 기술사업화 추진

○ 실증을 통해 확보한 운영데이터를 기반으로 제품 개발 방향 및 개선방안을 도출하여 철도분야에 적합한 양산형 모델을 개발함으로써 적용 제품의 신뢰성을 확보하고 국내외 시장 진출 교두보 마련

○ 철도안전법 형식승인에 따른 철도차량/철도시설 기술기준을 적용하고 국내외 표준을 기반으로 제품의 성능을 검증함으로써 국내외로 확대되고 있는 신시장 진입이 용이하도록 진행

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 관련 후속 연구개발사업에 활용

○ 민간기업에 이전하여 사업화 활용

○ 철도박물관 등에 전시

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 철도분야 수소 관련 규제/법령/기준 부재

○ 철도차량 운행에 적합한 수소연료전지, 2차전지 기술 부재

□ 대응방안

○ 철도안전법, 고압가스안전관리법, 위험물관리법 등 관련 법령 제·개정 방향 제안 및 철도차량/철도시설 기술기준(안) 개발

○ 철도차량의 운행특성에 적합한 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 및 2차전지 시스템 구축을 위해서는 수소연료전지 스택은 상용차급의 내구성이 보완된 제품을 적용하고 주변장치(BOP 등)는 철도차량에 적합하도록 재설계하며 2차전지는 화재의 위험도를 낮추기 위한 강제냉각방식 적용, 사용범위 제한, 전력변환장치 연계 구성 등의 방안으로 대처

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립
- 전차선이 필요 없기 때문에 전력인프라가 서로 다른 기존 구간(북방철도, 대륙철도 등)을 운행하는 것이 가능
- `18년 기준 수소철도차량으로 디젤철도차량(기관차, 동차) 대체 시 대기오염물질[36](직접배출(PM10, PM2.5) 724 ton/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH_3) 9,320 ton/년) 저감 효과 기대

※ 비도로 부문 수송 분야 중 철도 부분은 디젤동차와 디젤기관차에 대한 직접 배출 오염물질과 간접 배출 오염물질의 배출량 조사

<표 5-74> 2018년도 디젤기관차 및 디젤동차의 오염물질 배출량

차종	철도 키로 (km)	기관차 키로 (천km)	연료 사용량 (천L)	간접배출					직접배출	
				CO (톤)	NOx (톤)	SOx (톤)	VOC (톤)	NH3 (톤)	PM10 (톤)	PM2.5 (톤)
디젤 기관차	3,574.1	28,100.2	88,826.7	2,341.5	5,716.9	145.6	946.9	9.8	369.5	339.9
디젤 동차	2,606.8	8,512.6	6,857.9	40.3	107.6	3.0	8.4	0.8	7.8	7.2

○ 경제적 기대효과

- 내구연한 도래에 따른 디젤철도차량 대체 시 기관차 58 억/량, 동차 9 억/량으로 총 15,529억 원 규모의 수입 대체 등 경제적 파급효과가 높음
  - · 2018년 철도통계연보 기준 보유 디젤기관차 265량 중 2030년 내구연한 도래 디젤기관차가 240량이며, 2030년 기준 충무 4,600 국토해양시행계획(철도수송 및 긴급 복구계획)따른 전시대비용 디젤기관차 전시의무보유량 227량 확보를 위해서는 독립전원 방식 철도차량 202량 도입 필요
  - · 2018년 철도통계연보 기준 보유 디젤동차 83량 전량이 2030년에 내구연한이

36) 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 조사 기준(2015년), 오염물질 배출량은 오염물질 배출 계수 X 연료 사용량으로 계산, 오염물질 배출 계수는 2015년 2월 국립환경과학원에서 발간한 "대기오염물질 배출계수" 참고

도래되어 동일 운송서비스 유지를 위해서는 83량 도입 필요

- 신규노선 적용 시 철도 구축비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축/유지보수비가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율을 갖는 수소연료 활용으로 에너지비용 절감
  - · 전철화 사업비: 경원선(연천-월정리, 29.9 km) 371억 원(일반/도시비율=9:1), 전철화 비용(복선): 일반지역 24.3억 원/km, 도시지역 29.1억 원/km, [한국개발연구원] 도로 및 철도부문 비용 추정 지침(2014)
  - · 에너지효율: 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%, 에너지비용: 디젤 3,000 원/km, 수소: 1,730 원/km (디젤 1,200 원/L, 수소연료 6,000 원 /kg 기준)

○ 과학기술적 기대효과

- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 국내 에너지는 95.2%(2014년도 기준)를 해외에서 수입하고 전체 사용량 중 수송부문은 약 17.6%를 점유하고 있어 수소를 활용함에 따라 에너지 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능

카. 소요예산

<표 5-75> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증	국고	1,000	2,000	3,000	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000	1,000	13,000
	민자	250	500	750	250	250	250	500	250	250	3,250
	합계	1,250	2,500	3,750	1,250	1,250	1,250	2,500	1,250	1,250	16,250
수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증	국고	1,000	2,000	3,000	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000	1,000	13,000
	민자	250	500	750	250	250	250	500	250	250	3,250
	합계	1,250	2,500	3,750	1,250	1,250	1,250	2,500	1,250	1,250	16,250
수소전기기관차 제작 및 실증	국고	2,000	10,000	13,000	2,000	2,000	2,000	5,000	2,000	2,000	40,000
	민자	500	2,500	3,250	500	500	500	1,250	500	500	10,000
	합계	2,500	12,500	16,250	2,500	2,500	2,500	6,250	2,500	2,500	50,000
수소전기기관차 운영 및 안전성 평가	국고	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	9,000
	민자	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2,250
	합계	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	11,250
합계	국고	5,000	15,000	20,000	5,000	5,000	5,000	10,000	5,000	5,000	75,000
	민자	1,250	3,750	5,000	1,250	1,250	1,250	2,500	1,250	1,250	18,750
	합계	6,250	18,750	25,000	6,250	6,250	6,250	12,500	6,250	6,250	93,750

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

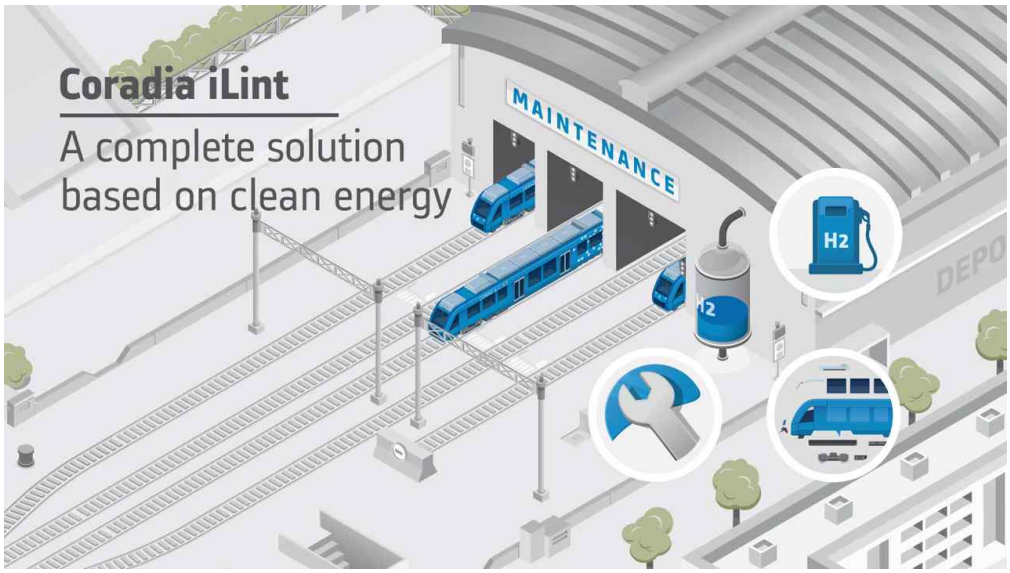
○ 철도 전력인프라와 신재생에너지를 활용한 철도차량 기지 중심 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 구축 및 수소전기기관차를 활용한 운영 실증

○ 실증 철도차량 기지

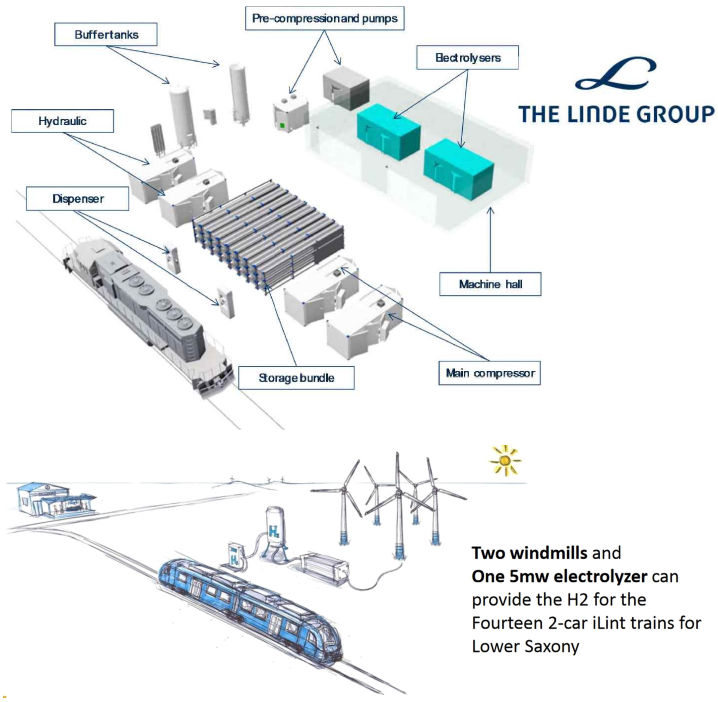
- 한국철도공사 부산철도차량정비단, 제천차량사업소 등 기관차 경정비를 수행하고 있는 철도차량기지를 기반으로 실증 대상지 선정 및 인근 노선 운영 실증
- 선정사유: 철도차량기지를 기반으로 구축된 전력인프라와 태양광 등 신재생에너지를 이용하여 On-site 그린수소 생산/저장/활용 인프라를 구축하여 수소철도차량에 수소를 공급하는 수소생산/저장/활용 순환주기 실증 가능

<표 5-76> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상입지

대상부지면적		20만 9,900m^2			
세대규모		철도차량기지			
토지이용계획	기반시설	면적	1,650m^2	대상시설	수소충전인프라



[그림 5-63] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상지구 개요



[그림 5-64] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 에너지 공급 계획

<표 5-77> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 대상지구 에너지 공급 계획

에너지구분	단위	생산량	주요 가정
수소	톤/년	82t/량	○ 디젤기관차의 평균 주행거리(기관차키로, 예비율 12%, 주5일 운행 기준)는 약 450km/day ○ 용량 3MW급, 수소 소모량 315kg/day

□ 시설·장비 구축 계획

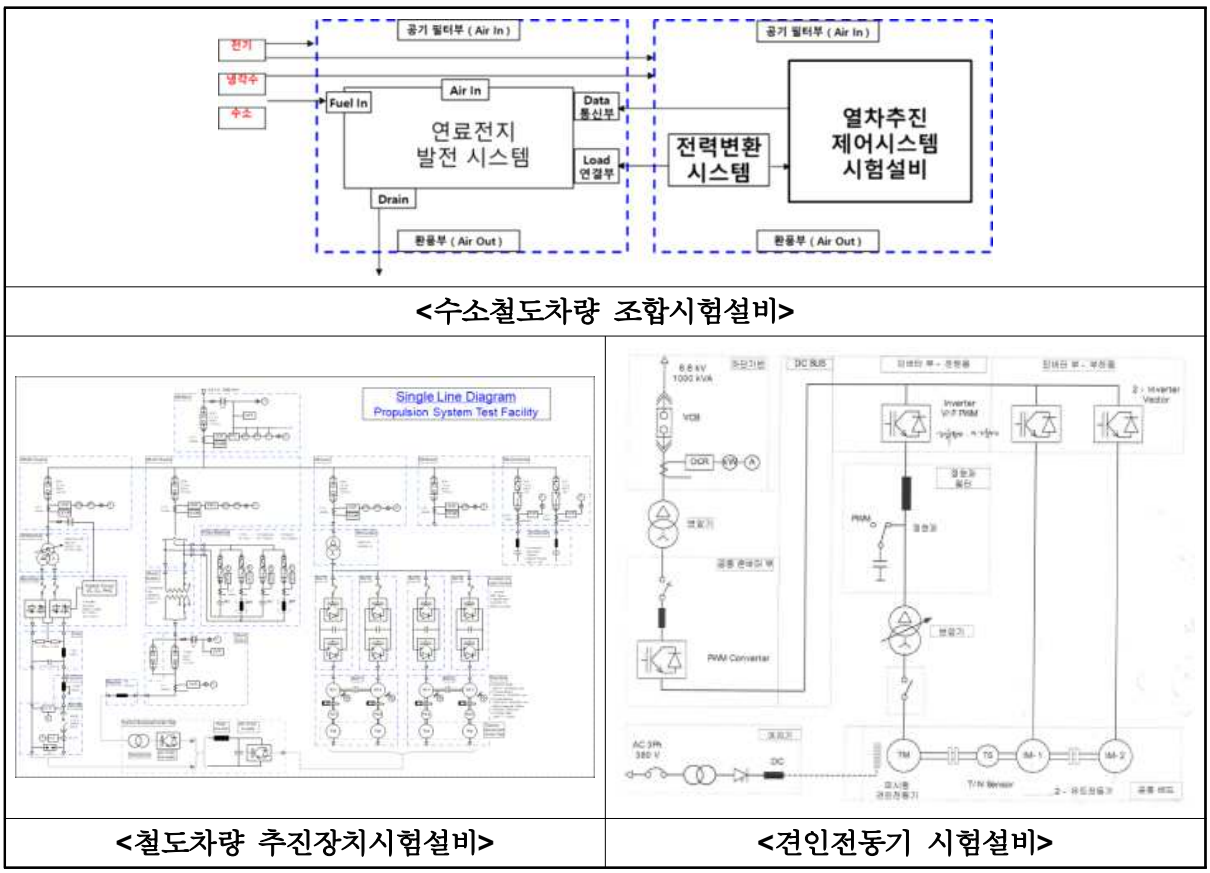
<표 5-78> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 시설·장비 구축 계획

생산	○ 수소 추출기 규모 : 500kg/d 2기 ○ 수소 생산량 : 1,000kg/d ○ CO2 발생량 : 8,500kg/d
저장	○ 고압기체 : 4,000kg
이송	○ 탄소강 파이프라인(150mm) 650m
활용	○ 수소전기기관차용 연료전지 1MW급 1기

주) 추출기 CO2 발생량: 8.5kg-CO2/kg-H2(출처: 경향신문, 2019.10.23.)

<표 5-79> 대용량 수소연료전지 하이브리드 철도차량 추진시스템 성능검증 통합 플랫폼

필요성	○ 친환경 동력원으로 기존 내연기관 또는 전차선 없이 독립적으로 운행 가능한 수소 연료전지를 철도차량에 적용하려는 초기 연구는 진행되고 있으나 향후 다양한 대량 승객/화물 수송용 철도차량 개발 및 상용화를 본격화하기 위한 성능검증 설비는 현재까지 국내에서 구축된 사례가 없음 ○ 기존 철도차량 제작사 중 전기철도차량에 대한 추진시스템 중 일부를 조합한 시험은 진행되고 있으나 철도차량 운행환경에서 수소연료전지 및 2차전지를 기반으로한 철도차량 추진시스템에 대한 통합된 성능검증용 플랫폼은 없으므로 향후 수소사회로의 진입에 따른 국제경쟁력 제고 및 선도적 국제표준 확보를 통한 우월한 지위 획득을 위해 필요함
주요 사양	○ 수소발생 및 공급용량 : 500kg 이상 ○ 전원설비 : 교류입력 AC 22.9kV, 교류출력 AC 750V ~ 3,000V(정현파/PWM), 직류출력 DC 500V ~ 3,000V(2,000A), 회생가능 ○ 부하설비 : 견인부하(1MW이상 x 6대, 3MW이상 PMSM 및 유도전동기 시험용 x 1대), 교류(3상, 0~440Vac, 300kW이상), 직류(0 ~ 150Vdc, 100kW이상)
주요 용도	○ 수소전기기관차의 수소연료전지 발전시스템을 포함한 주요 구성품에 대한 개별 성능평가 및 조합된 상태의 성능평가
설치예정 지역	○ 한국철도기술연구원 ○ 충북(오송), 충남, 세종시등 선정된 입지



<수소철도차량 조합시험설비>

<철도차량 추진장치시험설비>

<견인전동기 시험설비>

[그림 5-65] 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-80> 3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
수소발생 및 저장	**2023~2024년**	○ 연료전지 발전시스템 수소연료 공급용
연료전지 발전시스템 시험설비	**2023~2025년**	○ 연료전지 발전시스템 자체 시험용
수소전기기관차 조합시험설비 (수소연료전지 발전시스템 + 열차추진제어시스템 시험설비 + 견인전동기 시험설비)	**2023~2027년**	○ 개발된 철도차량에 대한 주요 구성품 개별조합시험 및 시스템 통합시험 - 고용량 수소연료전지 발전팩, 대용량 2차전지, DC/DC컨버터, 추진제어시스템(견인전동기 포함), 보조전원장치 등 ○ 국내외 표준에 적합한 국제적 수준의 열차추진제어시스템 시험평가기반 구축 - 국내 관련업체의 해외 경쟁력 확보 및 시장진출 지원

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">고용량 수소연료전지 하이브리드 열차추진제어시스템 성능평가용 통합 테스트베드</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Complex Test Bed for Combined Performance Evaluation of Hybrid Train Propulsion Control System with High Capacity Hydogen Fuel Cell</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">효성 / 미정</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>15,000</td><td>1 세트</td><td>15,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 한국철도기술연구원
○ 충북(오송), 충남, 세종시 등 선정된 입지</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 친환경 동력원으로 기존 내연기관 또는 전차선 없이 독립적으로 운행 가능한 수소 연료전지를 철도차량에 적용하려는 초기 연구는 진행되고 있으나 향후 다양한 대량수송용 철도차량 개발 및 상용화를 본격화 하기 위한 성능검증설비는 아직까지 국내에서 구축된 사례가 없음.
○ 기존 철도차량 제작사 중 전기철도차량에 대한 열차추진제어시스템 중 일부를 조합한 시험은 진행되고 있으나 수소연료전지 및 2차전지를 적절한 운용환경에서 열차추진제어시스템에 대한 통합된 성능검증용 테스트 배드는 없으므로 향후 수소사회로의 진입에 따른 국제경쟁력 제고 및 선도적 국제표준 확보를 통한 우월한 지위 획득</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 개발된 철도차량에 대한 주요 구성품 개별조합시험 및 시스템 통합시험
- 고용량 수소연료전지 발전팩, 대용량 2차전지, DC/DC컨버터, 추진제어시스템(견인전동기 포함), 보조전원장치 등
○ 국내외 표준에 적합한 국제적 수준의 열차추진제어시스템 시험평가기반 구축
- 국내 관련업체의 해외 경쟁력 확보 및 시장진출 지원</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 수소공급용량 : 500kg이상
○ 전원설비 : 교류입력 22.9kV, 교류출력 750Vac ~ 3,000Vac(정현파/PWM), 직류출력 500 Vdc ~ 2,000Vdc(1,000A),회생가능
○ 부하설비 : 견인부하(1.4MW이상 x 4대), 교류(3상, 0~440Vac, 200kW이상),+직류(0 ~ 100Vdc, 50kW이상)</td></tr>
</table>

5.2.2 Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영

가. 개요

1) 정의

○ 수소철도용 수소저장/운송 및 고속충전 인프라 실증

- 철도차량용 대량 수소 운송 및 물류비용 저감을 위하여 철도망 기반 고압기체/액체 수소 거점 운송을 위한 복합 연계운송 네트워크 구축 및 실증
- 대용량 수소를 단시간에 충전할 수 있는 한국형 고속 수소 충전 프로토콜 개발 및 실증

○ 세계 최초 180 km/h급 Inter-City 수소철도차량 실증 및 RAMS 평가

- 180 km/h급 Inter-City 수소철도차량 개발 및 기술기준(안) 수립하여 성능검증 및 형식승인 추진
- 수소 철도차량 운영을 위하여 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소 시스템 RAMS 평가 추진

2) 목적

○ 수소 Inter-City 철도차량 운영을 위해 필요한 수소저장/운송/충전 인프라 구축

- 도로교통수단을 이용한 수소 운송은 물류비용과 운송수단 제한에 따른 한계로 철도망 기반 도로교통 연계 복합 운송체계를 구축하고 이를 위한 고압기체/액체 수소용기(화차)와 고속충전기술을 개발하여 수소저장-운송-충전기술 실증

※ 디젤동차의 평균 주행거리(기관차키로, 예비율 12%, 주5일 운행 기준)는 약 268km/day로 수소 저장-운송-활용 사이클 순환 운영 가능

- 미국*과 일본**에서 적용 중인 수소 충전 프로토콜을 분석 및 개선하여 철도 운영에 적합한 한국형 수소 충전 프로토콜***을 개발하고, 주행 거리 확보를 위해 안전하고 빠르게 수소를 충전할 수 있는 기술 실증

* 미국의 수소 충전 프로토콜(SAE J2601)은 충전속도 5kg/3분, 자동차 적용 프로토콜로 35MPa 충전 시 1.2~6kg, 70MPa 충전 시 2~10kg까지 적용 가능

* SAE J2601-2는 최고충전압력 35MPa 이하, 충전용량 10kg~30kg 미만 저장용기 탑재 중형자동차 적용, ISO 인증 제품으로 충전 시 7kg/분 속도로 충전 가능

** 일본의 수소 충전 프로토콜(JPEC-S 0003)은 SAE J2601 기반 제정, 10kg~30kg 미만 저장용기 탑재 수소전기버스 등 대상, 충전속도 34kg/17분(70MPa 기준)

*** 이를 개선하여 35kg/15분(70MPa) 이내 고속 충전이 가능한 수소철도차량용 충전 프로토콜을 개발하여 실증

○ 철도분야 수소 인프라 활용 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가

- 수소 Inter-City 설계 및 제작, 수소도시 기반 실증을 진행하여 시스템 성능보완(개량) 사항 도출
- 수소 Inter-City 운영을 위하여 규제/법령 정비, 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소 Inter-City 적용 수소시스템 RAMS 평가

3) 구성요소

<표 5-81> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 구성요소

전과정	구성	용량
저장	고압기체/액체	4,000kg
운송	화차	450L (4.5MPa)
활용	수소 Inter-City용 연료전지	400kW급 2기

4) 세부과제 구성

<표 5-82> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증	○ 수소저장/이송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 수소 Inter-City 운영시나리오별 수소저장/이송 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증 ○ 수소저장/이송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소저장/이송 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 수소저장/이송 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증	○ 고속충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 수소 Inter-City 운영시나리오별 고속충전 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소철도용 고속충전 프로토콜 개발 ○ 고속충전 인프라 구축 및 실증 ○ 고속충전 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 고속충전 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 고속충전 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소 Inter-City 설계/제작 및 실증	○ 수소 Inter-City 실증차량 설계/제작 ○ 수소 Inter-City 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소 Inter-City 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가	○ 수소철도 및 수소인프라 운영을 위한 방안 마련 ○ 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출 ○ 철도 분야 적용 수소시스템 RAMS 평가

5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-83> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 현재수준 및 개선목표

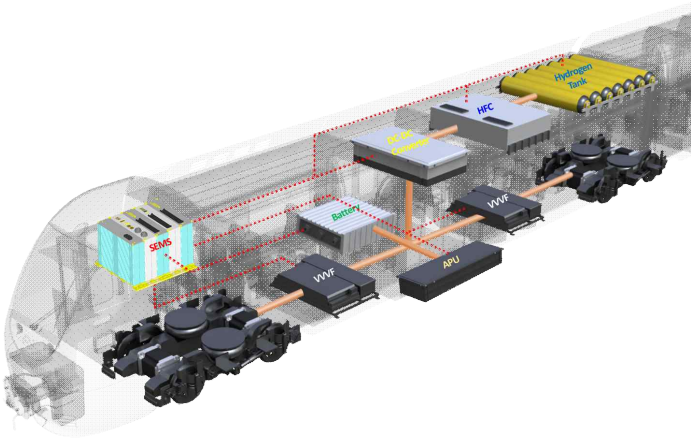
구분	AS-IS	TO-BE
수소저장/운송	○ 튜브 트레일러 또는 배관을 통해 수소 공급 (Off-site 방식)	○ 철도망 기반 수소 저장/운송 네트워크 구축
수소충전	○ 수소차 기준 5kg/3분 수준 ○ 수소버스 기준 34kg/17분 사양 제시	○ 수소철도용 35kg/15분 고속충전 기술 확보
하이브리드 동력시스템 (수소연료전지-2차전지)	○ 자동차용 수소연료전지 기술 확보 ○ 1.2MW 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기반 추진시스템 개발 진행 중('22년 완료)	○ 동력분산식 철도차량용 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 시스템 기술 확보 ○ 수소 Inter-City 운행환경에 적합한 주변장치(BOP) 기술 확보 ○ 동력분산식 철도차량의 장거리 운행을 위한 단위 부피당 수소저장용기 구성 최적화 기술 확보 ○ 동력분산식 철도차량용 대용량 고전압 배터리팩 설계 최적화 기술 확보 ○ 동력분산식 수소 Inter-City용 소형/경량화/고효율화 전장품 설계 기술 확보 ○ 180km/h급 동력분산식 수소 Inter-City 핵심기술 및 주요 전장품 국산화
제도(법령)	○ 철도분야 수소 철도차량 및 인프라 관련 법령 부재 ○ 수소열차 적용 추진시스템 철도차량 기술기준(안) ○ 수소철도차량 운영 및 유지보수 기술 부재	○ 철도안전법 형식승인을 위한 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 확보 ○ 철도안전법 내 수소 인프라 및 차량 관련 규정 제·개정 ○ 수소 Inter-City 운영을 위한 규제, 법령 제·개정(안) 도출 ○ 철도분야 적용 수소시스템에 대한 안전성 평가 방안 확보 ○ 수소 Inter-City 운영/유지보수 방안

□ AS-IS/TO-BE 개념도

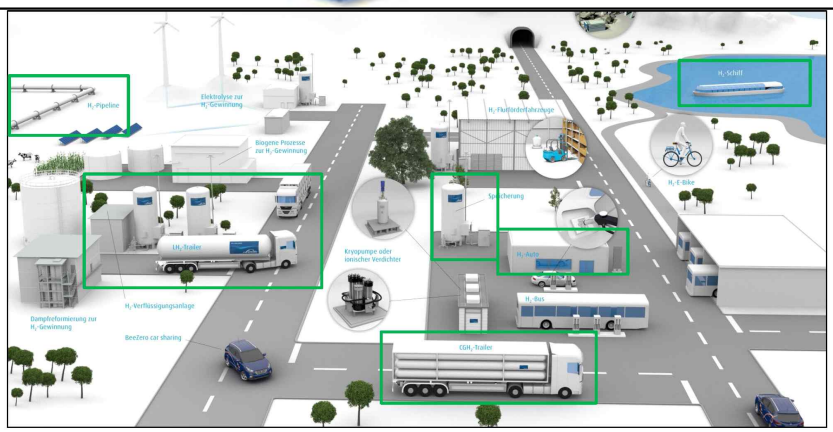
[AS-IS]







[TO-BE]





[그림 5-66] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ “파리협정”(`15.12.)에 따라 우리나라 온실가스 감축 목표(`20년까지 배출전망치 대비 30% 감축) 달성을 위해 철도 분야 온실가스 배출 감축 필요

○ “미세먼지 관리 종합대책”(`17.09)에 따라 `19년 이후 신규 제작·수입되는 디젤철도차량을 대상으로 배출가스 인증 및 배출허용기준 준수 의무가 부여되어 선제적인 대응 필요

※ 환경부공고 제2017-694호(2017.10.20.) 대기환경보전법 일부개정법률(안) 입법예고

- 탄소배출량: 디젤철도차량 19 kg/km*, 전기철도차량 10.6 kg/km*, 수소철도차량: 9.1 kg/km**

* 디젤기관차 탄소직접배출량과 전기철도 탄소간접배출량 비교: [국토교통부-보고서]철도전철화 효과분석(2007)

** 전기차와 수소차 탄소간접배출량 비교(전기차 대비 CO2 배출 13.7% 낮음): [Union of Concerned Scientists] How Clean Are Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles

- `19.1.17. 정부의 「수소경제 활성화 로드맵」 발표에 ‘안전하고 깨끗한 철도 환경 조성’을 목표로 한 수소열차 추진방안* 포함

구분	현재	2022년	2025년	2030년 이후
기술 목표	수소열차 R&D 진행	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	실증을 통한 기술 검증 및 성능개선	디젤열차를 수소열차로 대체하는 등 보급 확대

* 정시성과 안정성을 특징으로 하는 대량 승객/화물 운송수단인 철도는 수소 전주기(생산-저장-운송-활용) 기술개발, 적용/실증에 최적화된 수소 모빌리티임

- 국내 대중교통 수송분담률*은 철도 18.7%, 버스 24.1%, 택시 2.6%, 승용차 54.6%로 일본의 철도 수송분담률 72%**에 비하여 매우 낮은 상태로 전차선, 변전소 등의 전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축이 절실함

* 대중교통 수송분담률, 국가지표체계, 2018년 기준

** 운수종합연구소 ‘숫자로 보는 철도 2016’

○ 친환경 수소철도차량은 전 세계적으로 대기환경문제(이산화탄소, 미세먼지 등) 해결을 위한 디젤철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 기술 및 시장 선도를 위한 정부 지원이 필요하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것임

- 수송 분야에서는 연료를 LNG, 수소로 전환하여 친환경 연료 이용률을 20%에서 60%까지 상향 계획을 세웠으며 철도 수송부문은 온실가스 배출량 24.6% 감축을 목표로 하고 있어 환경오염 배출의 주원인을 제공하고 있는 디젤철도차량을 친

환경 수소철도차량으로 대체 필요

- 비전철화구간 및 혼합구간을 운영 중인 디젤철도차량(디젤기관차, 디젤동차) 내구연한* 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원방식**의 철도차량 필요

* 제3차 국가철도망 구축계획(2016-2025) 완료 시 전철화율 82%, `30년 기준 내구연한 도래 노후 철도차량은 디젤기관차 227량(58억/량), 디젤동차 121량(9억/량)으로 총 119,583억원의 수입 대체 효과

** `18년 기준 충무 4600 국토해양시행계획(철도수송 및 긴급 복구계획)에 따른 전시대비용 디젤기관차는 256량을 보유하고 있으며, 노후 차량 폐차에 따른 전시의무보유량 227량 유지를 위해서는 수소철도차량 등의 독립전원 철도차량 도입 필요

2) 추진 필요성

○ 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 `35년에서 `40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화*가 급속히 진행 중

- 독일 : 2018년부터 상업 운행 시작 (세계 첫 번째 철도 인증 사례)
- 오스트리아 : 2020년 11월 시험 운행 완료 (세계 두 번째 철도 인증 사례)
- 네덜란드 : 2020년 Groningen과 Leeuwarden에서 시험 운행 완료
- 이탈리아 : 2021년 롬바르디아 지역에 12량 공급 예정
- 영국(Breeze) : Class 321 차량 개조, 2022년 시험 운행 예정

○ 수소 Inter-City 철도차량 운영을 위해 필요한 수소저장, 이송, 충전시설은 고압기체/액체 수소용기(화차)를 적용한 철도망 기반 복합 이송, 고속 충전 등으로 구축 및 실증 가능하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것

○ 수소 Inter-City 수소철도차량은 친환경 교통수단으로써 온실가스, 매연 등의 배출이 전혀 없으며 가선 및 무가선 방식 전기철도에 비해서도 탄소배출이 낮음

- 현재 디젤열차가 운행 중인 국내 노선에 별도의 인프라 구축 없이 즉시 투입 가능하며, 세계 최고 수준의 국내 수소연료전지 기술 적용으로 국내 및 해외시장 수요 대응 가능



[그림 5-67] Inter-City 수소철도차량 기대효과

○ 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증

- 철도차량용 대량 수소 운송 및 물류비용 저감을 위하여 철도망을 기반으로 고압 기체/액체 수소 거점 운송 및 도로교통 연계 최종 수요 지점까지 운송하는 복합 연계운송 네트워크 구축 및 실증

※ 디젤동차의 평균 주행거리(기관차키로, 예비율 12%, 주5일 운행 기준)는 약 268km/day로 수소 저장-운송-활용 사이클 순환 운영 가능

- 철도망 수소 운송을 위한 화차 형태의 고압기체/액체 수소 저장용기 및 상/하역 시스템 구축 및 실증

○ 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증

- 수소 충전 인프라 기술의 신뢰성 향상을 위해 수소 충전량을 정확하게 계량하고 충전할 수 있는 디스펜서 등의 충전시스템 개발 및 실증

○ 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증

- 국내에서 `22년까지 1.2 MW 수소연료전지 기반 추진시스템 기술개발 진행 중으로 개발된 기반 기술을 이용하여 180 km/h급 동력분산식 수소 Inter-City 철도차량 개발에 활용

- 독일에서는 Coradia iLint 수소 여객열차 상업 운행을 위하여 유럽의 TSI와 수소 관련 자동차 표준을 철도에 적용하여 인증을 완료하였으며, 국내에서는 국가 R&D로 진행 중인 수소열차에 대한 기술기준(안) 개발을 진행 중임. 이를 기반으로 수소 Inter-City 기술기준(안)을 개발하여 성능검증 및 형식승인 추진

○ 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가

- 국내 최초 도입되는 수소 철도차량 운영을 위하여 유지보수 요소기술 및 관리방안을 도출하고 수소 Inter-City 철도차량 적용 수소시스템 RAMS 평가 추진

다. 기술개발 동향

1) 국내

○ 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2 MW 이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 진행 중

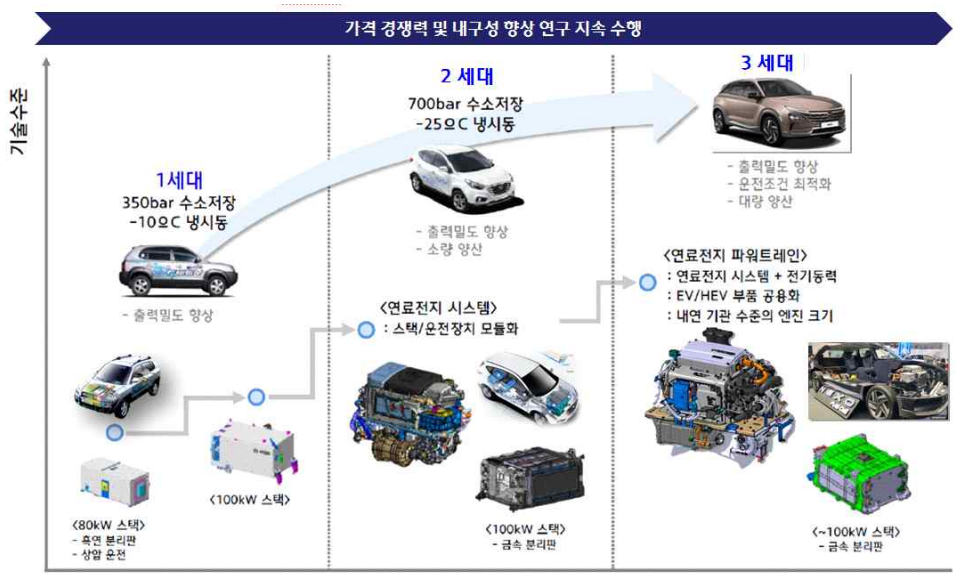
- ’18년 4월부터 디젤철도차량 대체를 목표로 개발 진행 중이며, ’22년까지 기술개발 후 실증 추진 예정

○ `21년 민간주도의 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발

○ 자동차용 수소연료전지의 경우 국내에서는 3세대에 걸친 성능개선 기술개발을 통

해 성능 안정화 및 수명향상 도모

- 수소버스 1회 수소 충전(33.44 kg)으로 300 km 주행, 넥쏘는 1회 수소 충전(6.33 kg)으로 600 km 주행
- 승용차 (5,000 시간/160,000 km), 버스 (25,000 시간/1,000,000 km) 달성



[그림 5-68] 국내 수소연료전지 성능개선 방향

2) 국외

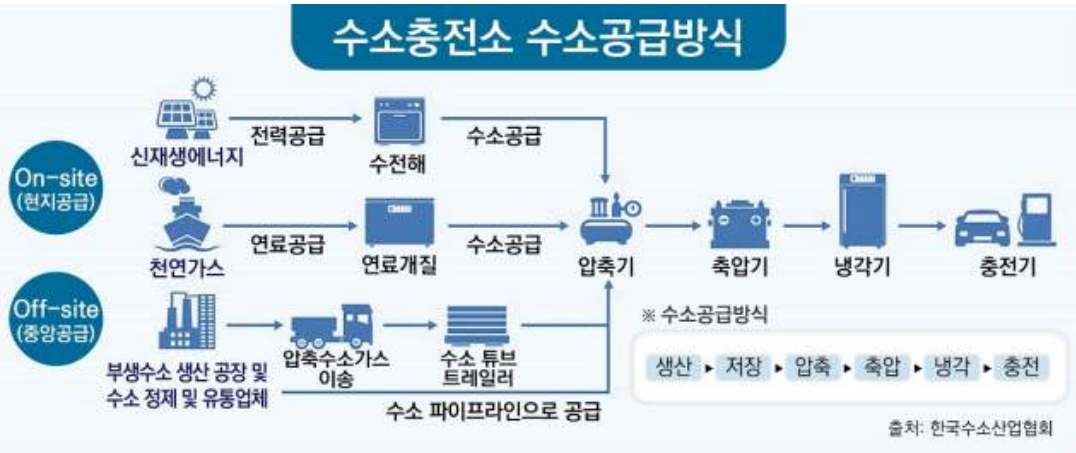
○ 수소 저장 및 운송

- 현재 국내 구축된 대부분의 충전소는 튜브 트레일러* 또는 수소 배관을 통해 수소를 공급받는 Off-site 방식을 사용함.

* 튜브 트레일러에 의한 공급 방식은 운송 비용이 발생하지만 인프라 구축을 위한 설비 투자 비용이 발생하지 않고, 수소 배관 공급 방식은 초기 투자 비용이 크지만 안정적으로 많은 양의 수소 운송 가능

- 운송 비용의 저감과 친환경 에너지를 바탕으로 미래지향적인 수소 충전소 구축을 위해 CNG/LPG를 개질하거나 물을 전기분해 하여 수소를 자체적으로 생산하는 On-site 방식으로의 연구가 진행 중임. 특히 물을 전기분해* 하는 경우 이산화탄소 배출이 없고, 전력만 공급할 수 있으면 운영이 가능한 장점이 있음

* 현재 전력비용의 부담이 크지만, 향후 태양광 등 신재생에너지 발전 등을 통해 전력공급이 원활하게 이루어지면 궁극적인 친환경 수소생산 방식이 될 가능성이 큼



[그림 5-69] 대표적인 수소 충전소 방식 (On-site, Off-site)

- 수소의 저장방식은 기체, 액체, 고체 저장방식이 대표적이며, 이 중 고압기체 저장 기술이 현재 보편적으로 상용화되고 있음. 최근 국내에서도 액체수소 저장방식*과 고체수소 저장방식** 상용화를 위하여 기술개발이 진행되고 있으며, 해외의 경우 액체수소 저장방식을 적용한 충전소가 운영 중임.

* 액체수소(1기압)는 고압수소(700기압) 대비 약 2배의 저장밀도, 약 7배의 수송효율 향상 가능

** 수소를 고체 물질의 내부 또는 표면에 낮은 압력을 주어 고체형태로 안전하게 저장하고, 필요할 때 저장된 수소를 재방출하는 기술로 고압기체 저장 기술보다 안전성 확보를 목표로 기술개발 진행 중



[그림 5-70] 액체수소 저장 및 사용의 장점

○ 수소 충전

- 수소 충전 시 빠른 충전시간과 충분한 주행거리 확보*를 위한 '완전 충전'을 위해서는 수소 충전 프로토콜에 대한 기술 개발과 표준화가 이뤄져야 함. 미국(SAE의 J2601)과 일본(JPEC-S 0003)에서는 각각 2010년과 2012년에 수소충전 프로토콜을 표준화 했지만 세계 최초로 수소전기자동차를 상용화한 국내에서는 아직 표준화하지 못한 실정

※ 수소차의 경우 5kg/3분 이내 1회 충전 시 500km 주행 가능



[그림 5-71] 수소 충전 프로토콜 개략도 (SAE J2601)

○ (프랑스) Alstom은 지난 `14년부터 수소연료전지 전동차 개발을 위해 독일 정부와 협력해왔으며, 열차 지붕에 있는 연료전지에서 수소와 산소를 결합해 전기에너지를 만들고, 이를 리튬이온배터리로 전송하여 한 번 충전으로 승객 300명을 태우고 하루 최대 800 km(약 500마일)를 달릴 수 있는 수소연료전지 철도차량(Coradia Lint)을 개발하여 현재 독일에서 상업 운영 중임

○ (독일) 독일 교통부는 Siemens社와 Aachen 공대를 수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 수소연료전지 하이브리드 철도차량(Mireo Plus H) 개발 프로젝트를 진행 중이며, `24년부터 Baden-Wuttemberg에서 1년 동안 약 120,000 km 시험 운전을 진행 계획

○ (영국) `40년까지 디젤철도차량 퇴출을 위하여 프랑스 Alstom과 함께 Class 321을 개조한 수소연료전지 철도차량(Breeze) 제작에 돌입하여 `22년 시험운행 예정이며, 자국 철도차량 제작사 Porterbrook의 HydroFLEX 프로젝트를 통해 Class 319를 개조한 수소철도차량 개발 수행 중

○ (오스트리아) Zillertal 철도는 `22년까지 Tyrol 지역에 수소철도차량 5개 편성을 도입하기 위하여 `18년 발주 완료. 또한, Alstom의 Coradia iLint는 OBB(오스트리아 연방 철도)의 지역 라인에서 `20년 9월부터 3개월동안 시범운영을 완료하였으며, 이는 세계에서 2번째로 Coradia iLint가 영업 운전이 가능한 철도차량으로 인증 받은 사례임.

○ (스페인) Talgo社는 `23년 시험운행 목표로 수소철도차량 개발을 착수하였으며, `22년까지 기술검증 후 포르투갈과 접경한 스페인 서부 Extremadura철도에서 시범 운행 예정

○ (스코틀랜드) `20년 12월, Scottish Enterprise, Transport Scotland, Hydrogen Accelerator, Arcola Energy와 컨소시엄을 맺고 스코틀랜드 최초의 수소연료전지 철도차량 개발 착수하였고, 퇴역한 ScotRail Class 314 전기 철도를 수소연료전지 철도차량으로 개조하여 `21년 11월 글래스고에서 주최하는 COP26에 공개할 예정

○ (일본) `01년부터 RTRI에서 세계최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술을 확보하였으며, `20년부터 동일본여객철도(JR East)는 Hitachi, Toyota 등과 협업하여 HYBARI 수소연료전지 철도차량을 개발, `22년 3월부터 JR동일본 쓰루미선과 남부선 등에서 시험 운영할 예정

○ (중국) `15.3월 중국 칭다오의 시팡 공장에서 수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량)이 발표되었으며, 3분 충전으로 최고운행속도 70 km/h 속도로 100km 주행할 수 있고 최대 380명까지 탑승 가능하며, `19년 12월 30일부터 중국 포산시에서 상업운전 시작

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 수소철도용 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축 및 수소 Inter-City 실증을 통한 운영 및 RAMS 평가 기술개발

- 철도망 기반 수소저장/운송 네트워크 구축 및 실증
- 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증
- 180km/h급 동력분산식 듀얼모드 Inter-City 수소철도차량 실증
- 수소 Inter-City 적용 수소시스템 철도차량 기술기준(안)
- 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 표준화(안) 도출

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-84> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
철도망 기반 수소저장/운송 인프라	철도망 기반 도로교통연계 복합 연계운송 네트워크 구축	- 튜브트레일러를 이용한 수소 운송	- 튜브트레일러를 이용한 수소 운송
수소철도용 고속 수소 충전 인프라	35kg/15분 고속 수소 충전 인프라 실증	- 수소버스용 충전인프라 시범 구축	- (유럽) 신재생에너지 기반 수소 생산/충전 인프라 운영 중
180km/h급 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City	세계 최초 180km/h급 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 실증	- 1.2MW 수소연료전지 기반 추진시스템 개발 진행 중	- (프랑스) '20년부터 운영사 SNCF가 160km/h TER (수소+전기) 듀얼모드 수소 여객열차 실증 테스트 진행 예정
철도차량/철도시설 수소시스템 성능검증 및 RAMS 평가	철도차량/철도시설 기술기준 및 RAMS 요구사항 표준화(안) 도출	- 국가 R&D로 진행 중인 시험차량에 대한 기술기준(안) 개발 진행 중	- (독일) 유럽의 TSI와 수소 관련 자동차 표준을 적용하여 수소 여객열차를 인증함

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-85> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2027년	○ 수소저장/운송/고속충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 설계 ○ 철도 적용 수소시스템 RAMS 평가 절차서/지침서 개발
2028년	○ 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축방안 및 기본/상세설계 ○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 구성품 제작 및 성능검증 ○ 철도 적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발
2029년	○ 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축 ○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 구성품 조합시험 및 완성차 제작 ○ 철도 적용 수소시스템 안전 인증 체계 구축
2030년	○ 수소저장/운송/고속충전 인프라 성능검증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 완성차 성능검증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 철도 적용 수소시스템 수명주기 단계별 산출 문서 표준화
2031년	○ 수소저장/운송/고속충전 인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 시운전 성능검증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 철도 적용 수소시스템 RAMS 요구사항 표준화

마. 세부과제 추진계획

1) 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증

□ 연구기간 : ’27~’31년

□ 연구목표

○ 철도망 기반 수소저장/운송 네트워크 구축 및 실증

○ 수소 Inter-City용 고속충전 인프라 구축 및 실증

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 운영 및 유지보수 기술개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-86> 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’27년	’28년	’29년	’30년	’31년
철도망 기반 수소저장/운송 인프라	도로교통 복합 연계운송 네트워크 구축	수소저장/운송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석	수소저장/운송 인프라 구축 방안 및 기본/상세설계	수소저장/운송 인프라 구축	수소저장/운송 인프라 성능검증	수소저장/운송 인프라 실증

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-87> 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2027년	○ 수소저장/운송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 국가철도망 기반 도시간 철도 수소 운송망 체계화 확립 ○ 수소 공급처와 수요처의 수소저장 방식에 따른 수소 운송 체계 분석
2028년	○ Inter-City 수소철도차량 운영시나리오별 수소저장/운송 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소저장/운송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 (1단계)
2029년	○ 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 ○ 수소저장/운송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 (2단계) ○ 수소저장/운송 인프라 기술검증 및 성능평가 (1단계)
2030년	○ 수소저장/운송 인프라 기술검증 및 성능평가 (2단계) ○ 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 개발(1단계)
2031년	○ 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 기술 개발 ○ 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 개발(2단계) ○ 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 고시(지원)

2) 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증

□ 연구기간 : ’27~’31년

□ 연구목표

○ 고속충전 인프라 기술검증 및 성능평가

○ 고속충전 인프라 실증

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 운영 및 유지보수 기술개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-88> 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’27년	’28년	’29년	’30년	’31년
수소철도용 고속충전 인프라	35kg/15분	고속충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석	고속충전 인프라 구축 방안 및 기본/상세설계	고속충전 인프라 구축	고속충전 인프라 성능검증	고속충전 인프라 실증

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-89> 수소철도용 고속 충전 인프라 구축 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2027년	○ 고속 충전인프라 사양 선정 및 시스템 엔지니어링 ○ 철도차량용 고속 충전인프라 설계 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 설계
2028년	○ 철도차량용 고속 충전인프라 구축 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 설계 검토
2029년	○ 철도차량용 고속 충전인프라 성능검증 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 개발
2030년	○ 철도차량용 고속 충전인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(1단계) ○ 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 해설서 개발
2031년	○ 철도차량용 고속 충전인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(2단계) ○ 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 고시(지원)

3) Inter-City 수소철도차량 제작 및 실증

□ 연구기간 : ’27~’31년

□ 연구목표

○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 제작

○ 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발

○ Inter-City 수소철도차량 기술검증 및 성능평가

○ 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-90> Inter-City 수소철도차량 제작 및 실증의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’27년	’28년	’29년	’30년	’31년
Inter-City 수소철도차량 실증차량	180km/h 이상	실증용 Inter-City 수소철도차량 설계	구성품 제작 및 성능검증	구성품 조합시험 및 완성차 제작	실증용 Inter-City 수소철도차량 완성차 및 시운전 성능검증	Inter-City 수소철도차량 실증
Inter-City 수소철도차량 기술기준(안)	철도차량 기술기준(안)					

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-91> Inter-City 수소철도차량 제작 및 실증의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2027년	○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 설계 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 설계 ○ 철도차량용 연료전지 운전장치(BOP) 시스템 고효율 설계 ○ 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 에너지 운영기술
2028년	○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 구성품 제작 및 성능검증(조합시험 포함) ○ 철도차량용 연료전지 운전장치(BOP) 및 냉난방환기장치(HVAC) 통합 설계 ○ 조합시험 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 설계 검토

연도	추진계획
2029년	○ 실증용 Inter-City 수소철도차량 완성차 제작 및 성능검증 ○ 운행패턴에 따른 수소연료전지 운영 관련 빅데이터 분석 기술개발 ○ 에너지 운영기술 완성차 적용 및 성능검증 ○ 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 개발
2030년	○ 수소연료전지 운전장치(BOP) 및 냉난방환기장치(HVAC) 통합 운영/관리 기술 ○ 실증 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 ○ 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(1단계) ○ Inter-City 수소철도차량 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 해설서 개발
2031년	○ 열차 운행 및 에너지 소비 패턴 기반 연료전지 고효율 운영 AI 알고리즘 개발 ○ 운행 프로파일 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 ○ 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(2단계) ○ Inter-City 수소철도차량 실증(1단계-기술검증/성능평가) ○ Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 고시(지원)

4) Inter-City 수소철도차량 운영 및 RAMS 평가

□ 연구기간 : ’27~’31년

□ 연구목표

❍ 시운전 포함 Inter-City 수소철도차량 운영 방안 도출

❍ 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출

❍ 철도 분야 적용 수소시스템 RAMS 표준화(안)

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-92> Inter-City 수소철도차량 운영 및 RAMS 평가의 성과물 및 성과지표

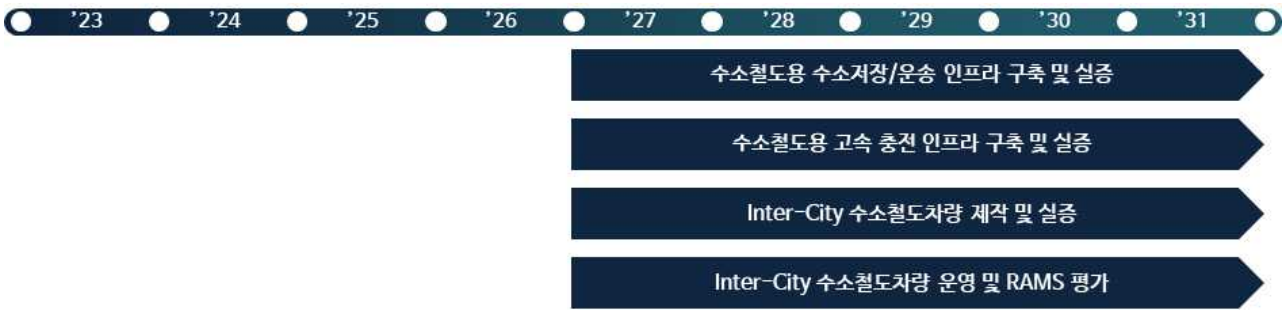
성과물	성과지표	목표치				
		’27년	’28년	’29년	’30년	’31년
Inter-City 수소철도차량 운영 및 유지보수 방안	운영 및 유지보수 매뉴얼	철도 적용 수소시스템 RAMS 평가 절차서/지침서 개발	철도 적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발	철도 적용 수소시스템 안전 인증 체계 구축	철도 적용 수소시스템 수명주기 단계별 산출 문서 표준화	철도 적용 수소시스템 RAMS 요구사항 표준화
철도 적용 수소시스템 RAMS	RAMS 표준화(안)					

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-93> Inter-City 수소철도차량 운영 및 RAMS 평가의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2027년	○ RAMS 국제 표준 적용 평가 스킴(절차서, 지침서 등) 개발 ○ 대용량 고속 수소 충전 프로토콜 안전성 평가 ○ 철도적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발
2028년	○ 철도적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발 ○ 하드웨어 및 소프트웨어 RAMS 요구사항 표준화(1단계)
2029년	○ 철도적용 수소시스템 안전 인증 체계 구축 ○ 하드웨어 및 소프트웨어 RAMS 요구사항 표준화(2단계) ○ 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화(1단계)
2030년	○ 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화(2단계) ○ RAMS 국제 표준 인증 지원을 위한 수명주기 단계별 산출 문서 표준화
2031년	○ Inter-City 수소철도차량 및 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-72] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2 MW 이상)을 적용한 철도차량 추진 시스템 최적화 및 운용 기술개발

○ 주요 내용

- 전력인프라(전차선, 변전소 등)가 없는 에너지 독립형 수소연료전지/2차전지 친환경 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 기술개발, 철도용 수소충전 인프라 구축방안 확보 및 실차 검증

- 동력시스템 출력 1,500 마력(1.2 MW), 최고속도 110 km/h, 1회 충전주행거리 600 km이상 추진시스템 및 시험차량, 철도차량 기술기준(안), 임시충전설비 구축 및 철도용 수소충전소 구축방안 등

○ 차별성 및 연계방안

- 1.2 MW 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 구축 기술을 기반으로 수소전기기관차 운행 프로파일에 적합한 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 구성방안 도출
- 고효율 DC/DC 컨버터, 고출력밀도 추진제어장치, 계통연계형 보조전원장치 설계 기술을 통하여 독립전원방식 수소전기기관차 전장품 국산화 개발 진행
- 수소연료전지와 2차전지 두가지 에너지매체를 기반으로 최적 운행 알고리즘 개발 및 유지보수/기대수명 연장을 위한 에너지 관리 기술 개발

□ 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발

○ 주요 내용

- 전기철도 에너지의 안정적 확보를 위한 대책 마련
- 새로운 에너지 개발을 촉진하는 방향으로 에너지 정책 설정
- 철도전용 이동식 수소연료전지 발전소에 대한 기술개발로 철도변전소 부하관리, 에너지수급에 대한 문제 해결

○ 차별성 및 연계방안

- 전기철도 전력계통의 부하에 따른 운영 보조로서 고정식 수소연료전지발전시스템 내용으로 철도차량 적용과는 관계 없음
- 수소도시 실증을 위한 전력 시스템 설치 및 운용기술 개발에 활용 가능
- 친환경 발전계통과 연계한 수소 생산 설비 및 수소 공급 설비기술 개발

□ 수소전기버스용 충전소 실증사업(자동차부품연구원)

○ 주요 내용

- 수소 충전설비 구축 가이드 라인
- 25 kg/20분 이내 수소버스 충전 가능한 설비
- 수소버스 충전 프로토콜

○ 차별성 및 연계방안

- 수소버스용 충전 프로콜을 기반으로 철도차량용 대용량 고속 수소 충전 프로토

콜 개발 시 활용

- 수소 충전시설 확보 시 비용 저감을 위해 검토

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-94> 수소 Inter-City 개발 및 운영의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소철도용 수소저장/운송 인프라 설계기술	8	●	◐		○
수소철도용 고속충전 인프라 설계기술	7	●	◐		○
동력분산식 수소 Inter-City 설계기술	7	◐	○	●	
수소 Inter-City RAMS 평가기술	8	○		●	◐

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 수소 저장/운송/활용 인프라 설비 설계/제작/구축 민간기업과 기술개발을 위한 학계/연구계와의 협력체계를 구성하여 상호보완 추진

○ 동력분산식 수소 Inter-City 설계/제작을 위한 민간기업 및 운영기관의 공동참여로 연구기관 중심의 수행체계에 수요자 의견을 반영하여 추진

○ 철도분야 최초 도입되는 수소 Inter-City의 안전성 평가를 위하여 해외기관의 사례를 검토하고 연구계/학계의 협력체계로 추진

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 철도 운영기관의 참여로 연구계/산업계/학계의 의견과 운영기관의 관점을 상호보완하여 개발 추진

○ 연구개발 결과의 실용화 및 운영/유지보수 체계를 구축하여 성공적인 비즈니스 모델 제시

□ 세부과제간 연계방안

○ 수소철도용 수소 저장/운송 인프라를 구축하여 수요지까지 수소를 경제적으로 운송하고 고속충전 인프라에 수소 Inter-City 운영을 위한 수소를 공급하고 실증을 통하여 운영데이터를 수집하고 이를 기반으로 성능개선(안) 도출 및 RAMS 평가 진행

3) 실용화 전략

○ 연구계/학계, 민간기업과 운영기관의 참여로 구축된 수소전기기관차 및 수소 생산/저장/운송/충전 인프라에 대한 기술이전을 통하여 기술사업화 추진

○ 실증을 통해 확보한 운영데이터를 기반으로 제품 개발 방향 및 개선방안을 도출하여 철도분야에 적합한 양산형 모델을 개발함으로써 적용 제품의 신뢰성을 확보하고 국내외 시장 진출 교두보 마련

○ 철도안전법 형식승인에 따른 철도차량/철도시설 기술기준을 적용하고 국내외 표준을 기반으로 제품의 성능을 검증함으로써 국내외로 확대되고 있는 신시장 진입이 용이하도록 진행

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 관련 후속 연구개발사업에 활용

○ 민간기업에 이전하여 사업화 활용

○ 철도박물관 등에 전시

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 철도분야 수소 관련 규제/법령/기준 부재

○ 철도차량 운행에 적합한 수소연료전지, 2차전지 기술 부재

□ 대응방안

○ 철도안전법, 고압가스안전관리법, 위험물관리법 등 관련 법령 제·개정 방향 제안 및 철도차량/철도시설 기술기준(안) 개발

○ 철도차량의 운행특성에 적합한 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 및 2차전지

시스템 구축을 위해서는 수소연료전지 스택은 상용차급의 내구성이 보완된 제품을 적용하고 주변장치(BOP 등)는 철도차량에 적합하도록 재설계하며 2차전지는 화재의 위험도를 낮추기 위한 강제냉각방식 적용, 사용범위 제한, 전력변환장치 연계 구성 등의 방안으로 대처

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립
- 전차선이 필요 없기 때문에 전력인프라가 서로 다른 기존 구간(북방철도, 대륙철도 등)을 운행하는 것이 가능
- `18년 기준 수소철도차량으로 디젤철도차량(기관차, 동차) 대체 시 대기오염물질[37](직접배출(PM10, PM2.5) 724 ton/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH_3) 9,320 ton/년) 저감 효과 기대

※ 비도로 부문 수송 분야 중 철도 부분은 디젤동차와 디젤기관차에 대한 직접 배출 오염물질과 간접 배출 오염물질의 배출량 조사

<표 5-95> 2018년도 디젤기관차 및 디젤동차의 오염물질 배출량

차종	철도 키로 (km)	기관차 키로 (천km)	연료 사용량 (천L)	간접배출					직접배출	
				CO (톤)	NOx (톤)	SOx (톤)	VOC (톤)	NH3 (톤)	PM10 (톤)	PM2.5 (톤)
디젤 기관차	3,574.1	28,100.2	88,826.7	2,341.5	5,716.9	145.6	946.9	9.8	369.5	339.9
디젤 동차	2,606.8	8,512.6	6,857.9	40.3	107.6	3.0	8.4	0.8	7.8	7.2

○ 경제적 기대효과

- 내구연한 도래에 따른 디젤철도차량 대체 시 기관차 58 억/량, 동차 9 억/량으로 총 15,529억 원 규모의 수입 대체 등 경제적 파급효과가 높음
  - · 2018년 철도통계연보 기준 보유 디젤기관차 265량 중 2030년 내구연한 도래 디젤기관차가 240량이며, 2030년 기준 충무 4,600 국토해양시행계획(철도수송 및 긴급 복구계획)따른 전시대비용 디젤기관차 전시의무보유량 227량 확보를 위해서는 독립전원 방식 철도차량 202량 도입 필요
  - · 2018년 철도통계연보 기준 보유 디젤동차 83량 전량이 2030년에 내구연한이 도래되어 동일 운송서비스 유지를 위해서는 83량 도입 필요

37) 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 조사 기준(2015년), 오염물질 배출량은 오염물질 배출 계수 X 연료 사용량으로 계산, 오염물질 배출 계수는 2015년 2월 국립환경과학원에서 발간한 "대기오염물질 배출계수" 참고

- 신규노선 적용 시 철도 구축비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축/유지보수비가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율을 갖는 수소연료 활용으로 에너지비용 절감

  · 전철화 사업비: 경원선(연천-월정리, 29.9 km) 371억 원(일반/도시비율=9:1), 전철화 비용(복선): 일반지역 24.3 억원/km, 도시지역 29.1 억원/km, [한국개발연구원] 도로 및 철도부문 비용 추정 지침(2014)

  · 에너지효율: 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%, 에너지비용: 디젤 3,000 원/km, 수소: 1,730 원/km (디젤 1,200 원/L, 수소연료 6,000 원/kg 기준)

○ 과학기술적 기대효과

- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련

- 국내 에너지는 95.2%(2014년도 기준)를 해외에서 수입하고 전체 사용량 중 수송부문은 약 17.6%를 점유하고 있어 수소를 활용함에 따라 에너지 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능

카. 소요예산

<표 5-96> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소철도용 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증	국고					1,000	2,000	2,000	2,000	1,000	8,000
	민자					250	500	500	500	250	2,000
	합계					1,250	2,500	2,500	2,500	1,250	10,000
수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증	국고					1,000	2,000	2,000	2,000	1,000	8,000
	민자					250	500	500	500	250	2,000
	합계					1,250	2,500	2,500	2,500	1,250	10,000
수소 Inter-City 제작 및 실증	국고					2,000	5,000	10,000	5,000	2,000	24,000
	민자					500	1,250	2,500	1,250	500	6,000
	합계					2,500	6,250	12,500	6,250	2,500	30,000
수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가	국고					1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000
	민자					250	250	250	250	250	1,250
	합계					1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	6,250
합계	국고					5,000	10,000	15,000	10,000	5,000	45,000
	민자					1,250	2,500	3,750	2,500	1,250	11,250
	합계					6,250	12,500	18,750	12,500	6,250	56,250

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 철도차량 기지와 주요 거점역사 중심 수소저장/운송/충전 인프라 구축 및 Inter-City 수소철도차량을 활용한 운영 실증

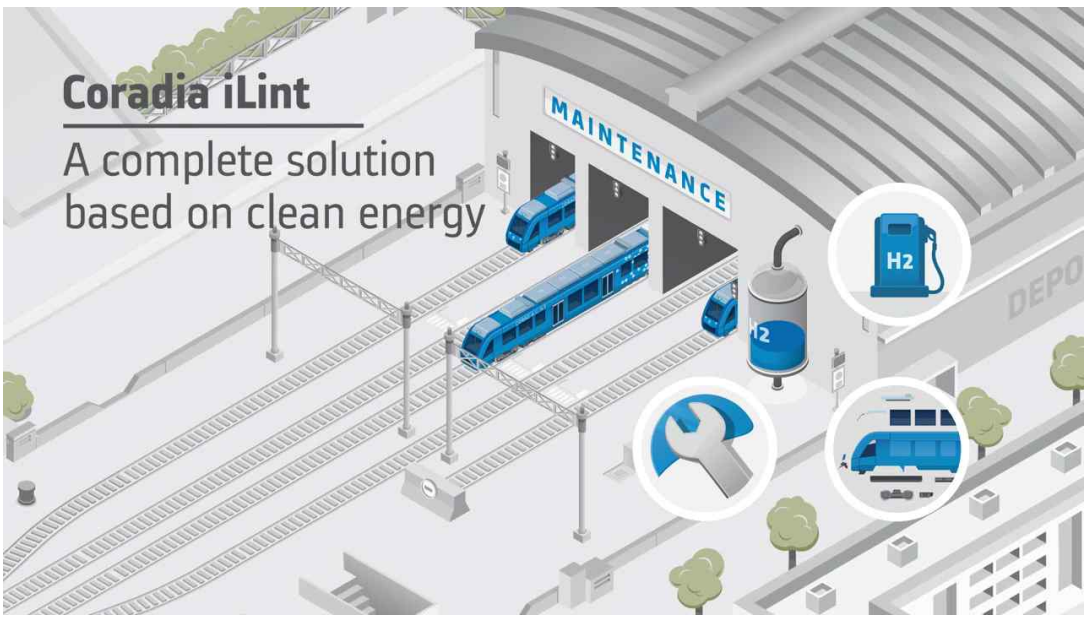
○ 실증 대상지 : 동해선 삼척 - 포항 구간(삼척 - 영덕 `22년 개통 예정, 영덕 - 포항 `18년 개통)

※ 설계 최대 속도 : 삼척 – 영덕 200km/h (1급선), 영덕 – 포항 150km/h(2급선),
노선거리 : 165.8km, 현재 삼척역 인근 수소차용 충전소 운영 중

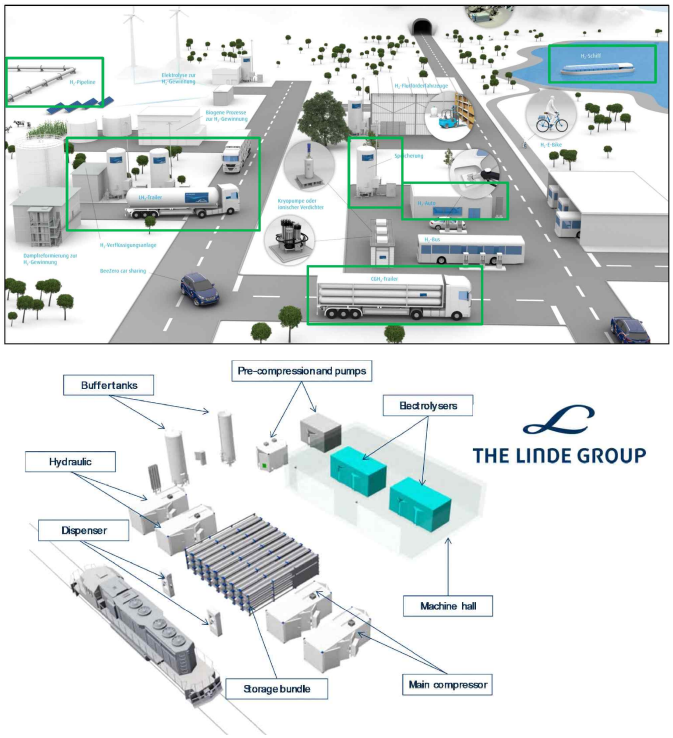
○ 선정사유 : 액화수소 규제자유특구로 지정된 강원도와 동해선을 기반으로 수소저장/운송 그리고 고속충전 인프라를 구축하고 수소 Inter-City를 운영하여 수소 전주기 실증 가능

<표 5-97> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상입지

대상부지면적		덕하차량기지(33만㎡)			
세대규모		철도차량기지			
토지이용계획	**기반시설**	**면적**	1,650㎡	**대상시설**	수소충전인프라



[그림 5-73] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상지구 개요



[그림 5-74] Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 에너지 공급 계획

<표 5-98> 수소 Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 대상지구 에너지 공급 계획

에너지구분	단위	생산량	주요 가정
수소	톤/년	52t/편성	○ 경유동차의 평균 주행거리(기관차키로, 예비율 12%, 주5일 운행 기준)는 약 268km/day ○ 용량 3.2MW(4량 1편성), 수소 소모량 200kg/day

□ 시설·장비 구축 계획

○ 수소철도차량 성능검증을 위한 장비는 1단계 수소전기기관차 사업에서 구축된 장비를 활용하여 수소 Inter-City 성능검증 계획

<표 5-99> Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영 시설·장비 구축 계획

저장	○ 고압기체/액체 : 4,000kg
운송	○ 화차 : 450L (4.5MPa)
활용	○ 수소 Inter-City용 연료전지 400kW급 2기

5.2.3 공항 내 수소 모빌리티 실증

가. 개요

1) 정의

○ 공항 내 대기환경 개선을 위한 재생에너지와 고분자전해질(PEM) 수전해를 이용한 공항 및 지역 발전을 위한 on-site 그린수소 생산

○ 그린 수소 활용을 위한 공항 내 수소 인프라 구축

- 연료전지 지게차
- 미니트램
- 연료전지 항공기 지상전원공급장치
- 이동식 수소충전소

2) 목적

○ 해외에서 적극 도입하고 있는 PEM 수전해 시스템의 국내기술 개발 및 해외 기업과 기술 격차 감소

○ 생산된 근린 수소는 이동식 수소충전소를 이용하여 공항 내 수소 모빌리티 실증에 사용

3) 구성요소

<표 5-100> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	태양광	1MW
	전력변환기	1MW
	수전해 시스템	수소 생산 50kg/day
저장	수소 정제	100kg/day
	압축기	450bar
	저장탱크	350kg, 200bar
이송	이동식 수소충전소	100kg (한국가스안전공사에서 진행 중)

전과정	구성	용량
활용	수소충전소(일반, 업무용 및 공항 운항 버스)	250kg/day (기존 충전소 활용)
	공항 내 연료전지 지게차	이동식 수소충전소 활용
	공항 내 연료전지 지상조업 차량	이동식 수소충전소 활용
	공항 내 연료전지 미니트램	이동식 수소충전소 활용
	연료전지 발전을 통한 항공기 지상전원공급장치	이동식 수소충전소 활용
	연료전지 발전을 통한 전기차 급속충전	350kW(향후)
관리·운영	- 전력변환기 운전 및 수소 공급 관리 모니터링 - 센서를 이용한 데이터를 통하여, 부품 수명 확인 및 안전 운영 관리 - 유지보수에 필요한 MTBF를 고려하여 발전량에 따른 전력변환기 및 수전해 스택 운전 시간 관리	
기반시설	중수도처리시설(수자원 활용) 물류창고(태양광 설치)	

4) 세부과제 구성

<표 5-101> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발	○ 안전성 확보를 위한 센서를 활용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발 ○ 수전해 온도 특성을 이용한 전력 시스템 운영 최적화 기술 개발 ○ 센서와 모니터링 프로그램을 통한 데이터 확보, 유지보수 주기 확보 ○ 재생에너지 발전량 변동에 따른 수전해 내구성 관리를 위한 사용시간 관리 운전
100kg급 이동식 수소충전소 구축	○ 재생에너지 발전량에 필요한 수전해 기술 개발 및 저장 용기 개발 ○ 저장된 수소를 이동식 수소충전소로 이송 기술 개발
연료전지 지게차 실증	○ 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발, 인허가 및 활용 ○ 공항공사 물류 협력 업체 4곳에 연료전지 지게차 적용 ○ 공항공사 업무용 차량 및 버스 적용 ○ 항공사 물류 창고에 연료전지 지게차 확대 적용 ○ 공항-도심간 리무진 버스에 수소 버스 확대 적용
이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	○ 90kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 ○ 이동식 수소 충전소와 연계한 지상전원 공급장치 운영 연구
통합관리 운영 센터	○ 수소 생산 및 충전소 통합관리 운영 센터에서 모니터링

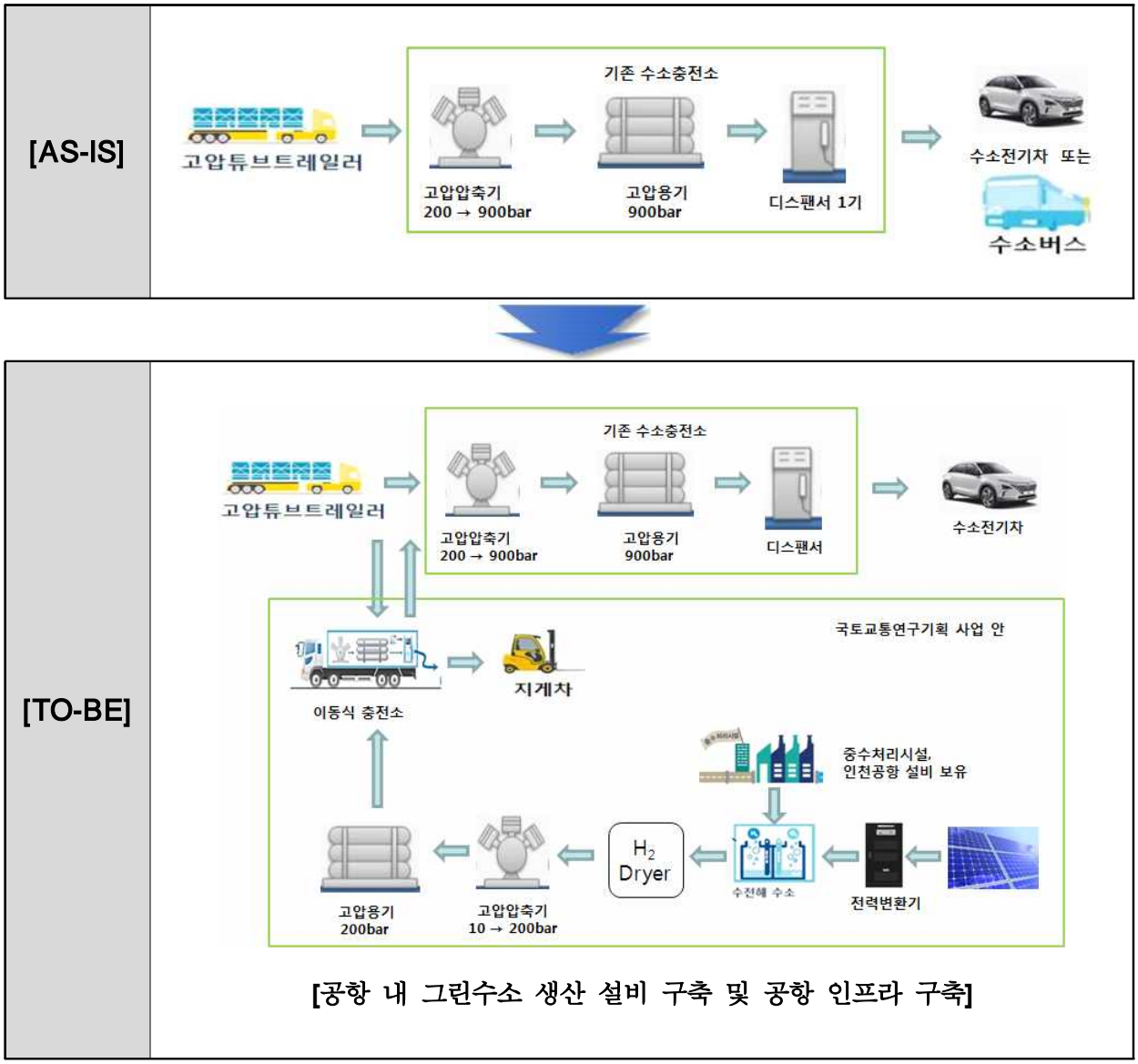
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-102> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
기반시설	○ 중수도처리시설을 통해 재활용 되나 일부는 바다로 버려짐	○ 버려지는 물을 전기분해로 자원 재활용 ○ 보세 구역의 건물에 태양광 설치하여 수소 생산(건축물 활용) ○ 제2터미널 확장으로 중수도처리시설 추가 건설
수소충전 인프라	○ 1기 운영 중, 1기 공사 중(인천공항) ○ 공사 업무용 및 공항내 수소저상버스 용으로 사용 ○ 업무용 84대 100% 수소차 전환 ○ 수소저상버스 7대 ○ 일반 시민도 이용	○ 수소저상버스 100% 전환(2030년) ○ 충전 대기 시간 감축을 위해 디스펜서 추가 설치하여 차량 증가 대응 ○ 그린 수소 생산으로 모빌리티에 확대 적용 ○ 수소트럭, 청소차, 전기트럭 확대
이동식 수소충전소	○ 현재 40kg급 개발 중	○ 보세 구역내 도로주행이 불가능한 지게차 및 조업차량 등에 수소 충전
물류조업	○ 전동 또는 디젤 지게차 사용 ○ 디젤 지상조업 차량	○ 물류협력업체 4곳에 연료전지 지게차 실증 후 100% 친환경 전환(2030년) ○ 공항 특수차량 100% 친환경 전환(2030년)
온실가스(CO_2)	• Scope별 공항 온실가스 배출량(tCO_2) ※ ACI 공항탄소 인증 배출량 산정 가이드라인에 따라 산정 Scope / 2016년 / 2017년 / 2018년 / 2019년 / 2020년 Scope 1 / 22,637 / 23,346 / 28,131 / 27,476 / 18,114 Scope 2 / 141,288 / 172,276 / 213,536 / 205,249 / 172,929 Scope 3 / 1,070,124 / 1,131,579 / 1,193,121 / 1,242,697 / 690,036 ▪ SCOPE 1 : 직접 온실가스 배출, 기업이 소유하고 통제하는 배출원에서 발생한 온실가스 배출(보일러 연료, 차량 연료, 소각) ▪ SCOPE 2 : 간접 온실가스 배출, 기업이 구입하여 소비한 전기와 스팀 사용으로 인한 온실가스 배출(전력, 중온수) ▪ SCOPE 3 : 기타 간접 온실가스 배출, 기업 활동의 결과이지만, 기업이 소유하지 않고 통제하지 않는 시설에서 발생한 온실가스 배출 (항공기 배출, 입주사 사용 전력 및 중온수, 지상조업차량, 승객 및 임직원 이동) ※출처 : 인천국제공항공사 그린리포트 2021	○ scope 1 8,000t 이하/2030년 ○ scope 2 100,000t 이하/2030년 ○ scope 3 300,000t 이하/2030년

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-75] 공항 내 수소 모빌리티 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ 수송분야 중 항공교통 인프라인 공항에서 발생 가능한 온실가스 등의 대기오염물질 배출 감축 필요

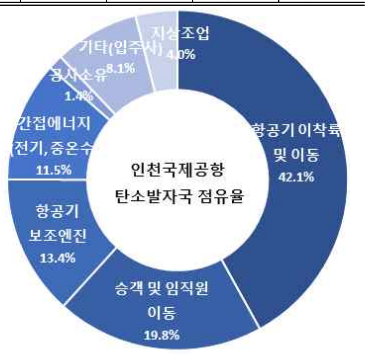
- 김포와 제주 공항의 경우 항공기를 제외하고 연간 5만 ton 이상의 이산화탄소가 배출됨
- 또한 국내 최대규모인 인천공항도 항공기를 제외하고 연간 70만 ton 이상의 이산화탄소가 배출되고 있으며 이중 공항 내 모빌리티 부분에서만 연간 30만 ton 이상의 이산화탄소가 배출됨

<표 5-103> 김포, 제주 및 인천 공항의 온실가스 배출현황

	구분	에너지소비량(TOE)									온실가스배출량(tCO2)		
		계	건물부문					운송부문			계	건물부문	운송부문
			소계	전력	도시가스	석유류	기타	소계	석유류	비석유류			
김포공항	2016년	11,641	11,234	9,409	1,808	17	-	408	204	204	31,009	30,114	895
	2017년	17,160	16,792	13,970	2,759	58	5	368	207	161	35,457	34,675	782
	2018년	18,549	18,165	15,337	2,771	53	5	384	174	211	39,524	38,535	989
	2019년	18,743	18,575	16,216	2,289	63	5	168	168	-	39,066	38,226	840

	구분	에너지소비량(TOE)									온실가스배출량(tCO2)		
		계	건물부문					운송부문			계	건물부문	운송부문
			소계	전력	도시가스	석유류	기타	소계	석유류	비석유류			
제주공항	2019년	7,872	7,862	7,167	645	3	-	60	60	-	15,979	15,847	1,324

	SCOPE	구분	2013	2014	2015	2016	2017
인천공항	1	공사소유	19,732	20,951	20,923	22,637	23,346
	2	간접에너지(전기,중온수)	133,281	134,754	134,987	141,288	188,987
	3	입주사	1,116,180	1,196,466	1,259,463	1,406,103	135,741
		항공사					931,062
		조업사					66,581
		승객 및 임직원 이동					332,949
	공항탄소총계		1,269,193	1,352,171	1,415,373	1,570,028	1,678,666



자료 1) 김포/제주공항 : 한국공항공사(https://www.airport.co.kr/www/main.do)
2) 인천공항 : 인천국제공항공사 그린리포트 2018)

○ 인천공항공사의 경우, 대기환경 관리 및 개선 방안으로 공항 내 2곳의 수소충전소 설치를 결정하였으며 지상조업장비 등의 관리를 적극적으로 시행 중

○ 공항 내 모빌리티 인프라의 수소에너지 시스템 실증을 통한 대기환경 개선 및 수소에너지에 대한 수용성 제고 가능

- 경유를 사용하는 지상 조업장비의 에너지원을 수소로 활용 : 승객수송차량, 물류지게차, 공항 특수차량 등을 연료전지자동차로 활용
- 수소차량의 원활한 운용과 친환경성의 극대화를 위한 재생에너지 발전시설과 수전해시스템을 연계한 그린수소 생산시설 및 이동형 수소충전소 구축
- 인천국제공항에는 탑승객을 태우고 내리는 탑승교 하부에 국내에서 개발된 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS)가 설치되어 운용중에 있으며, 승강장이 없는 주기장의 경우, 항공기 정비를 위하여 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)를 이용하여 항공기 정비를 하고 있음.
- 국내공항의 경우, 국내에서 개발된 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS)가 설치되어 있지 않으며 항공기 정비 시 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)를 이용하여 항공기 정비를 하고있음.
- 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)의 사용은 엔진을 이용하여 전원을 생성/공급 하기 때문에 이산화탄소가 지속적으로 배출되고 있으며, 이산화탄소 저감을 위하여 이동형 수소충전소와 연계한 이동형 항공기 지상전원장치의 개발이 필요함.

  ※ 이동용 전원공급장치(APU)는 여객기 및 화물 하기 장소에 도착한 후 30분 이상 사용하지 못하도록 하고, 계류장을 출발하기 30분 이내, 대형항공기는 60분전에 시동을 하도록 해 배기가스 배출을 감축 중.
- 항공기 지상전원공급장치의 경우 항공기 급수에 따라 정비시 필요한 전원 용량이 상이함.

  ※ C, D 급 : 90kVA 항공기 지상전원공급장치 1대 필요

  ※ E급 : 90kVA 항공기 지상전원공급장치 2대 필요

  ※ F급 : 90kVA 항공기 지상전원공급장치 4대 필요
- 국민 참여형 리빙랩 실증을 통한 국민 수용성 제고 : 공항-도심간 리무진 버스 수소버스로 전환 확대 및 외국인의 국내입국 관문인 국제공항에서 수소에너지 인프라 국내기술의 우수성을 해외에 홍보하여 수소에너지에 대한 국민 수용성을 제고

2) 추진 필요성

□ 공항 내 대기질 개선을 위한 친환경 에너지 시스템 필요

○ 공항 내 대기오염 물질 배출원

- 항공기
- 지상조업장비

- 자동차
- 자원회수시설(소각시설)

○ 인천공항공사 대기환경 관리 및 개선 - 현재

- 항공기: 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS) 사용으로 항공기 배출가스 저감
- 지상조업장비: 공항내 다양한 디젤 특수차량 배기가스 검사
- 자동차: 친환경 자동차 도입 및 충전 인프라 구축
- 자원회수시설(소각시설): 배출기준 강화

○ 인천공항공사 대기환경 관리 및 개선 - 지속

- 수소충전소: 하늘 공원에 1기 구축, T2 진입로에 2021년 3월 준공 목표로 수소충전소 2기 운영
- 지상조업장비: 공사에서 운영 업체에 지속적으로 대기 환경 개선 방안 요청, 물류 회사는 여기에 동참할 적극적인 의지 표명
- 인천공항에 입주한 기업들에게 공항 내 대기환경 개선을 위한 방법 지속적으로 요구
- 인천공항 제2터미널 확장 공사로 친환경차 확대에 대비한 전기자동차용 인프라 확대 구축

□ 공항 내 친환경 에너지 시스템

○ 경유를 사용하는 지상 조업장비의 에너지원을 수소로 활용

- 물류지게차
- 공항 특수차량

○ 대기환경 개선

- 경유사용 노후 경유 장비 사용 제한
- 20년 이상 경유 사용 지상조업장비 1,290대 중 205대(15.9%) - 인천공항

○ 국민 참여형 리빙랩 실증을 통한 국민 수용성 제고

- 공항-도심간 리무진 버스 수소버스로 전환 확대
- 외국인의 국내입국 관문으로 국내기술의 우수성을 해외 홍보

○ 인천국제공항공사 친환경 경영 성과

- 비전: 글로벌리딩 저탄소・친환경 공항

- 친환경 에너지 경영 ISO50001, ISO1400
- 2017년 글로벌 탄소경영인증(CTS)취득
- 제2여객터미널 녹색건축인증 최우수 등급 취득
- US LACP 그린리포트 5년 연속 Platinum Winner 대상 수상
- 2017년 탄소·친환경공항 Green World Award 금상 수상
- 2017년 ACI 공항탄소인증 Level3 인증 갱신

□ 재생에너지 연계 수소 생산 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 재생에너지 발전량의 간헐성

○ 기술개발 필요성

- 발전량에 맞게 전력변환기 및 수전해 운전을 통한 운전 알고리즘 개발, 및 수전해 내구성 운전을 위해 사용 시간 관리 운전

□ 수소이용 물류 지게차 분야

○ 기존 기술의 한계

- 경유 사용 지상조업장비
- 수소 인프라 부족
- 도로 주행 불가

○ 기술개발 필요성

- 대기환경 개선을 위한 경우 지게차와 같은 지상조업장비 배출가스 검사 의무화
- 도로교통법 상 도로 주행을 위해서는 번호판 필요하므로 지게차 조업 지역으로 이동용 수소 충전소 필요

□ 수소 이송 연계 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 배관에 의한 이송

○ 기술개발 필요성

- 수소 생산 후 압축기를 통해서 저장

- 저장된 수소를 이동식 수소충전소로 충전하여 필요 지역으로 수소 이송 및 활용

□ 수소전기 미니트램용 하이브리드 파워모듈 및 전장품 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 수소전기차 시장 중 10 kW ~ 100 kW급 사이의 제품군을 위한 연료전지 시스템 및 핵심 부품의 개발이 미흡한 상태

○ 기술개발 필요성

- 미니트램 차량 사양 및 주행환경에 최적화된 수소연료전지 시스템 기반 하이브리드 추진시스템 및 전장품 핵심 기술 개발

□ 수소전기 미니트램 시험평가 및 제도기준 수립 분야

○ 기존 기술의 한계

- 차량의 요구조건 (연료 급속주입, 장거리 주행, 편의성, 안전성 및 10년 이상의 장기신뢰성)을 만족시키기 위한 시험평가 및 제도 미비

○ 기술개발 필요성

- 국내 자율주행기반 미니트램 교통시스템 및 미니트램용 수소전기 추진시스템의 성능사량 검증 및 상용노선 운영을 위한 평가 및 제도기준 개발

□ 수소전기 미니트램 실증 및 운영기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 대중교통 시스템은 최종 목적지까지 연계되는 수단 및 시간이 만족스럽지 못한 현실이며, 자가용 등 개인용 교통수단이 편의성의 선호에 따라 주로 이용됨.
- 대중교통운영 주체별/수단별 이동을 위한 연계를 고려하지 않고 운영됨에 따라 대중교통 연계방안 도출 및 개선 필요

○ 기술개발 필요성

- 무선통신 방식을 통한 양방향 통신 및 고신뢰성 마커 기반 융합 (GPS, 영상, 라이다 등) 자동주행시스템을 적용하여 국내 수소도시 등 수요지에 최적화된 친환경 고성능 자율주행 수소전기 미니트램 시스템 구축

다. 기술개발 동향

□ 국내

○ 이동식 수소충전소 개발

- 한국가스안전공사에서 이동식 수소충전소 구축 및 실증 사업 진행(2019~2022년 4월) 중
- 위험성 분석, 설계 최적화, 화재폭발 시뮬레이션, 충전프로토콜 검증 등의 연구 수행
- 산업부 과제로 충청북도에 이동식 수소충전소 구축을 계획 중

<표 5-104> 한국형 이동식 수소충전소 개발 목표

항목	단위	개발 목표
충전최대압력	MPa	70 이상
최대충전속도	kg/min	3.6
압축기 처리용량	kg/h	10.8
차량총중량	ton	40 미만

○ 고정식 항공기 지상전원 공급장치의 경우 국산화개발 완료 후, 인천국제공항에 100여대 이상 설치, 운용 중

- 이를 활용하여 이동식에 따른 수소 연료전지체계에서 필요한 전력을 생산, 주기장에 대기 중인 항공기에 공급이 가능할 것으로 판단됨
- 이를 이용한 이동식 항공기 지상전원 공급장치는 국내 개발된 사례는 없으며, 신재생에너지 및 친환경 분야 적용을 위해서라도 개발 및 실증이 필요



[그림 5-76] 인천국제공항 탑승교에 설치된 AC-GPS

○ 재생에너지 연계 수전해 수소생산기술 개발

- 제주도에 500 kW 규모의 알카라인 수전해 장치와 3 MW 규모의 풍력발전기가 연계된 실증 시스템의 개발이 이루어졌고 전북 군산에 750 MW 규모의 육상풍력단지와 연계하는 수전해 수소생산 시스템 구축의 개발 및 실증이 계획됨



[그림 5-77] 제주 500kW급 풍력-수소에너지 연계 시스템

○ 공항 내 물류이동 관련 연료전지 지게차 보급사업 : 전북 등의 지자체에서 연료전지 지게차 시범 사업 진행

□ 국외

○ 이동식 수소충전소

- 일본 : 39개 이동식 수소충전소 운영 중. 수소차가 많지 않은 보급초기에 원활한 수소 공급을 위해 운영 중.



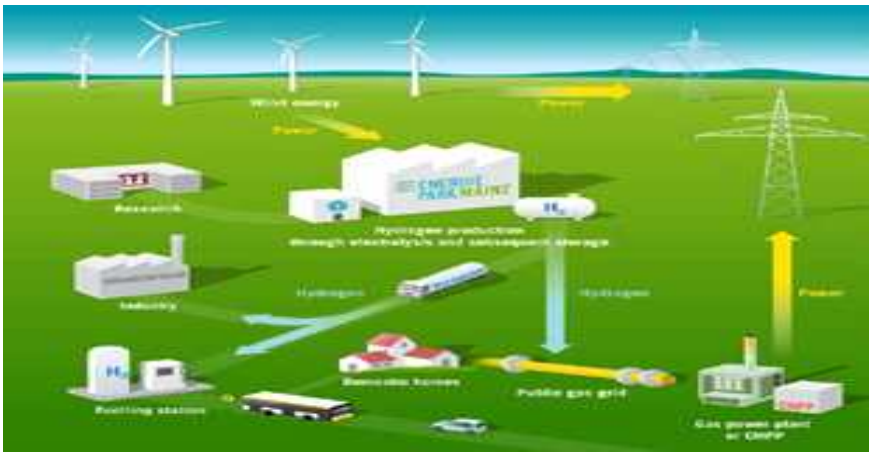
[그림 5-78] 일본의 이동식 수소충전소

○ 이동형 항공기 지상전원 공급장치

- 전투기 등 항공기용으로 사용하는 이동식 지상전원 공급장치는 있으나, 수소 연료전지체계를 적용한 지상전원 공급장치는 없으며, 수소 공항 모빌리티에 연계성으로 개발 필요

○ 재생에너지 연계 수소생산 시스템

- 독일 : 대용량 PEM 수전해 기반의 연산 200 ton 규모의 수소생산 시스템을 풍력발전단지와 연계하는 프로젝트를 진행 중 (좌측 그림 참고)
- 덴마크 : 해상풍력을 통해 수전해 수소 생산, 2023년까지 1단계 완공, 2030년까지 증설해 1.3 GW 수전해 설비 확보 예정
- 태양광/풍력 등의 재생에너지 전력과 수전해 수소생산 시스템의 연계를 위한 실증연구 과제 다수 진행 중



주: 독일 Energiepark Mainz 프로젝트

[그림 5-79] 풍력발전과 대용량 PEM 수전해를 연계한 시스템 개발사례

○ 수소 지게차

- 미국 : 플러그 파워 지게차 공급
- 일본 : 도요다 지게차 개발 및 실증

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 태양광 연계 그린수소를 활용한 공항 내 교통 및 물류 인프라 구축

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-105> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
MW급 재생에너지 전력 연계 고분자전해질 수전해 시스템 구축	3MW급 태양광 등 재생에너지 전력 연계 고분자전해질 수전해 시스템 구축	- 1MW급 PEM 수전해 연구과제 진행	- 3MW급 PEM 수전해 (HYDORGENICS, 미국)
이동식 수소충전소 구축	공항 내 지게차 및 지상조업차용 충전압력 기준 700기압 이상 이동식 수소충전소 2기 설치	- 충전압력 기준 700기압 이상 이동식 충전소 구축 및 실증사업 진행 (한국가스안전공사)	- 충전압력 기준 800기압 이상 이동식 충전소 구축 (니모히스, 일본)
수소지게차 및 지상조업차	64대 수소지게차 공항 내 운영	- 5kW급 PEMFC 탑재 또는 1.5kW급 DMFC 탑재 지게차 제품 기출시(가온셀)	- 5kW급 PEMFC 및 1.2 kg 수소저장탱크 탑재 지게차 (토요타, 일본)
90kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	90kVA 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	- 90kVA 고정식 항공기 지상전원 공급장치 국산화 완료, 운용 중	- 60~90kVA 고정식 항공기 지상전원 공급장치 운용 중

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-106> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 수전해 병렬 시스템 개발 ○ 수소 연료전지 지게차 개발(2.5kg) ○ 이동식 수소충전소 개발(100kg) ○ 실증 대상지구 환경 분석 및 인프라 모델링
2024년	○ 발전량 변동에 따른 수전해 운영 기술 개발 ○ 수전해 온도 특성을 이용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발 ○ 병렬 수전해 운전시간 관리 알고리즘 기술 개발 ○ 수소 연료전지 지게차 개발(2.5kg) ○ 이동식 수소충전소 개발(100kg) ○ 수소전기 미니트램 시험평가 기준 개발 ○ 실증노선 인프라 구축안 제시
2025년	○ 안전성 확보를 위한 유지보수 운전 알고리즘 기술 개발 ○ 수소 생산 통합운영시스템 개발 ○ 이동식 수소충전소 개발(100kg) 및 활용 ○ 수소 연료전지 지게차 개발 및 활용 ○ 수소전기 미니트램 시작차량 제작 및 성능시험 ○ 실증노선 인프라 및 운영시스템 구축
2026년	○ 그린수소 생산, 이동식 수소충전소 이송, 연료전지 지게차 활용 ○ 실증 적용 시험 ○ 수소전기 미니트램 시험평가 및 제도 기준 수립

마. 세부과제 추진계획

1) 1 MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발

□ 연구기간 : ’23~’26년

□ 연구목표

- ○ MPPT 기능을 가진 LLC 공진형 컨버터 기술로 모듈형 전력변환기 개발
- ○ 효율 향상을 위해 전력반도체는 SiC 또는 GaN 소자 적용 검토
- ○ 발전량 변동에 대응하기 위해 수전해 병렬 시스템 개발(단위 스택 48 V 200 A, 사용전압 36~52 V)
- ○ 안전성 확보 및 수전해 내구성 향상을 위한 운전 알고리즘 기술 개발
- ○ PEM 수전해 효율(LHV) 70%

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-107> 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		’23년	’24년	’25년	’26년
전력변환기 10kW	효율	92%	93%	94%	
PEM 수전해 장치	효율(LHV)	단위셀 효율 75%	스택 효율 75%	시스템 효율 70%	
수소	순도(수분제거후)			99.9%	
스택	셀 전류 용량		200A		400A

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-108> 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 고분자 전해질 수전해 병렬 시스템 개발 ○ 통합 운영 시스템 구성
2024년	○ 재생에너지 발전량에 따른 전력 변환 알고리즘 기술 개발 ○ 수전해 온도 특성을 이용한 전력 시스템 운영 최적화 기술 개발 ○ 재생에너지 발전량 변동에 따른 수전해 내구성 관리를 위한 사용시간 관리 운전(AI 기반) ○ 통합 운영시스템 구성 기술
2025년	○ 안전성 확보를 위한 센서를 이용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발 ○ 1MW 수전해 시스템 태양광 연동 시험 및 실증 ○ 통합 운영시스템 기술 개발
2026년	○ 1MW 수전해 시스템 태양광 연동 시험 및 실증 ○ 통합 운영시스템 기술 개발

2) 100 kg급 이동식 수소충전소 구축

□ 연구기간 : ’23~’26년

□ 연구목표

○ 수소연료전지 내장하여 수소충전에 필요한 설비 전원 공급 연구

○ 표준 컨테이너 크기 또는 5 ton 윙바디 화물차 규격에 맞는 연구

○ 유지보수를 위해 저장용기, 칠러, 디스펜서등의 설비 배치에 관한 연구

○ 자동차 관련법 및 수소 안전 이동에 필요한 안전기준 연구

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-109> 100kg급 이동식 수소충전소 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		’23년	’24년	’25년	’26년
충전압력	압력			70Mpa	
충전속도	속도			3.6kg/min	

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-110> 100kg급 이동식 수소충전소 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 ○ 압축기 없는 이동식 충전소로 개발
2024년	○ 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 ○ 압축기 없는 이동식 충전소로 개발
2025년	○ 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 ○ 이동식 수소 충전소 활용
2026년	○ 이동식 수소 충전소 활용

3) 연료전지 지게차 실증

□ 연구기간 : ’23~’26년

□ 연구목표

○ 경유 주 원료로 하는 2.5 ton 이상 지게차를 연료전지로 대치하기 위한 연구

○ 수소연료전지와 이차전지의 추진시스템에 관한 연구

○ 물건 운반에 필요한 지게차 하중에 관한 연구

○ 연료전지 및 구동에 필요한 BOP 연구

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-111> 연료전지 지게차 실증 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		’23년	’24년	’25년	’26년
연료전지	효율(%)			60	
전력변환기	효율(%)			94	
주행소음	소음(dB)			68	

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-112> 연료전지 지게차 실증 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발
2024년	○ 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발 및 인허가
2025년	○ 연료전지 지게차 활용
2026년	○ 연료전지 지게차 활용

4) 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발

□ 연구기간 : ’23~’26년

□ 연구목표

❍ 90 kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발

❍ 이동식 수소 충전소와 연계한 지상전원 공급장치 운영 연구

❍ 공항내 운영을 위한 인증 체계 연구

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-113> 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발의 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		’23년	’24년	’25년	’26년
연료전지	용량(kW)		60	90	
전원공급 시간	시간(hr)	1	2	4	

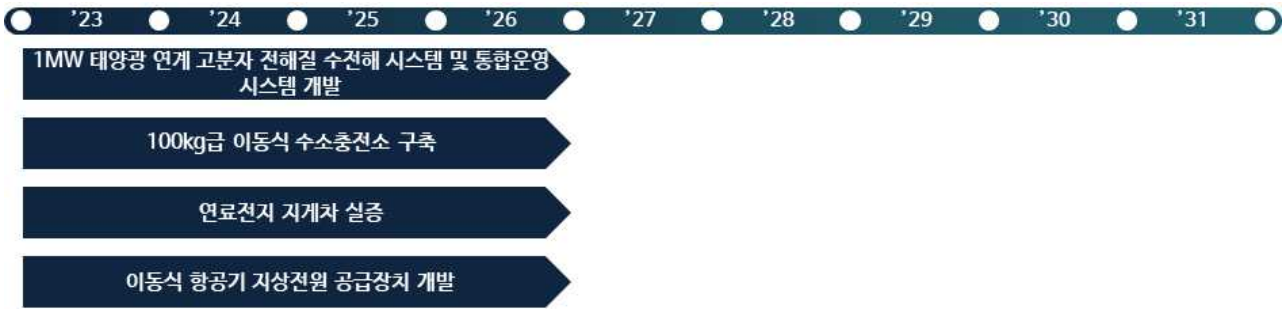
□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-114> 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발의 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 실증용 이동형 항공기 지상전원 공급장치 설계 - 실증용 이동형 전원공급장치 사양 선정 및 시스템 엔지니어링 - 안정적인 전력변환을 위한 제어방식 선정 및 검증 - 제어 알고리즘 기본 설계 및 검증 - 고효율 및 경량화 이동형 전원공급장치 설계 · 전원공급장치, 케이블 이동설비 · 부수장치인 수소 배관, 센서 등 안정장치 구성
2024년	○ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 구성품 제작 및 성능검증 - 고효율 및 경량화 설계 최적화 - 이동형 전원공급장치 Proto Type 제작 및 성능검증 - 전원공급장치 제어기술 구현 및 검증 - 이동용 전원장치 등 안전성 평가 기술개발 - 안전성 운영 시스템 구축 기술개발 - 일반성능, 특수성능, 환경 및 안전 영향성 평가를 통한 개선사항 도출 및 분석

연도	추진계획
2025년	○ 이동형 항공기 지상전원 공급장치 완성차 제작 및 성능검증 - 개선사항 설계 반영 및 동형 항공기 지상전원 공급장치 완성차 제작 - 기술검증 및 성능평가 체계 구축 - 수소저장용기, 수소 공급배관 기술검증 및 성능평가 체계 구축 - 이동용 항공기 지상전원 공급장치 복합충전인프라 성능검증 - 이동용 항공기 지상전원 공급장치 기본성능, 특수성능, 운용환경 및 안전성 평가
2026년	○ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 실증(1단계 - 기술검증/성능평가) - 실증을 통한 기술검증 및 성능평가 체계 표준화 - 항공기 급수에 따른 전력 생산 및 공급 프로세스 모니터링 및 분석 - 운영데이타 구축 및 분석을 통한 성능 개선사항 도출 - 실증을 통한 유지보수 개선사항 도출 - 이동용 수소시스템 안전성 평가 - 복합충전인프라 평가

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-80] 공항 내 수소 모빌리티 실증의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 재생에너지 이용극대화를 위한 2 MW급 Power to Gas 시스템 엔지니어링 기술 및 비즈니스 모델 개발

○ 주요 내용

- 재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 Power to Gas 기술개발(R&D)
- 과제수행기관 한국전력공사
- 총 연구기간: 2019.05.01.~2022.04.30.

- 1세부 및 2세부 요소기기 사양 확인 및 운전지원
- P2G 연계를 위한 실증부지 구축 및 주요 BOP 설치
- 통합 수소에너지 시스템 설계(안) 검토 및 운전 방안 수립
- 2단계 실증 계획 및 비즈니스 모델 기반 사업화 전략 수립

○ 차별성

- 기존 건물과 주차장과 같은 유휴 부지를 활용하여 재생에너지 설치
- 수소연료전지를 확대 적용에 필요한 E-mobility 활용을 위한 재생에너지 연계 수소 생산 및 저장
- 저장된 수소는 기존 수소충전소와 연계하여 수소 공급 인프라 구축
- 용수 확보가 용이한 기반 시설을 활용한 수소 생산 및 저장

○ 연계방안

- 연구된 자료를 활용한 수소 인프라 구축이 용이한 곳의 비즈니스 모델 개발

□ 재생에너지 이용 극대화를 위한 2 MW급 하이브리드 수전해 그린수소 생산 및 저장 기술 개발

○ 주요 내용

- 재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 Power to Gas 기술개발(R&D)
- 과제수행기관 한국전력공사
- 총연구기간: 2019.05.01.~2022.04.30
- 1 MW급(200 Nm^3H_2/hr) 알카리 전해조 시스템 + 1 MW급(200 Nm^3H_2/hr) PEM 전해조 시스템 하이브리드 미 통합 운전, 실증
- 2 MW급(400 Nm^3/hr) 수전해 시스템 BOP 연계 및 제작
- LOHC 수소화/탈수소화 반은 촉매 개발 및 성능평가
- PEM 수전해-LOHC 연계 시스템 실증설비 구축, 20 Nm^3H_2/hr급 LOHC 시스템 구축 및 성능평가-Lab. 스케일급 PEM-LOHC 연계 시스템 성능 평가
- P2G 시스템 제어 알고리즘 및 재생E 연계 성능 평가
- 재생에너지 연계 통합 전력 변환/관리 PMS 구축 및 운영 최적화

○ 차별성

- PEM 수전해 국내 제작
- 재생에너지가 연계된 계통에서 전원공급이 아니라 재생에너지에서 직접 전력 공급
- 재생에너지 발전량에 따라 전력변환기 운전을 통해 수전해 전원 공급
- 재생에너지 발전량 사용을 최대화 하기 위해 10 kW(48 V 200 A) 수전해 병렬로 1 MW 구성
- 전력변환기와 수전해 내구성 향상을 위해 데이터 기반 동작 시간을 카운터 하여 운전 시간 관리(유지보수 데이터로 활용)

○ 연계방안

- 계통 안정화를 위한 빅데이터 기반의 재생에너지 예측 발전량 대응 운전 기술
- 디지털 트윈 기반 에너지 통합관리 시스템 개발

□ 이동식 수소충전소 성능평가 및 안전관리 기술 개발

○ 주요 내용

- 에너지안전관리핵심기술개발, 과제수행기관 (재)충북테크노파크
- 총연구기간: 2019.05.01.~2022.04.30.
- 이동식 수소충전소 설계・제작・실증을 통해 이를 검증하고 제도화하기 위한 실증연구 및 운영
- 이동식 수소충전소 안전기준 도출(시행규칙, KGS CODE)
- SAE J 2601 프로토콜 적용 타당성 모니터링 분석
- 자동차관리법시행규칙 제37조 제1항의 규정에 의한 기술검토 및 안전 검사
- 안전관리 O&M 훈련 시나리오 콘텐츠 5종 개발

○ 차별성

- 이동과 내부 유지보수 확보 및 외부 오염 방지를 위해 5 ton플축 윙바디 형태
- 차체 크기(mm) W2,400 × L8,500 × H2,400, CBM 30
- 수소 저장 100 kg 목표
- 수소연료전지 내장하여 이동식 충전에 필요한 전원 공급
- 압축기 없는 방식

○ 연계방안

- 자동차관리법, 안전관리 및 실증 운영 데이터 연계
- 융복합, 패키지형 충전소 시설기준 특례 개정·공포로 이동식 수소충전소 도입 가능
- 이동식 충전소가 자동차로 한정되어 있는 것을 산업기계 및 수소트램과 같이 수소를 원료로 하는 모빌리티에 모두 적용 가능한 안전기준 마련
- 표준화에 맞는 표준 규격 컨테이너 또는 화물차에 설비 내장이 가능하도록 표준화 설계 필요
- 수소 원료로 운행하는 수소 이동충전소 개발 필요, 충전에 필요한 전원은 차량에서 사용되는 수소 연료전지를 통해 공급

□ 5 kW급 수소연료전지 파워팩 적용 지게차 실증

○ 주요 내용

- 규제자유특구혁신사업육성, 과제수행기관 (주)가온셀 울산지사
- 총연구기간: 2020.01.01 ~ 2021.12.31
- 중기부에서 진행한 실증 3개 사업중 하나로 울산 규제자유특구에서 운행 실증 진행(2021.03)
- 수소연료전지파워팩 제작 및 지게차 탑재, 환경 적용 평가 및 최적화
- 세계 최초 100 bar 이하 고체수소저장시스템 개발 및 지게차 적용 가능성 검증
- 국산 소재 적용 수소연료전지용 지게차용 국산 MEA 개발 및 적용 가능성 검증
- 전기 기반 지게차를 수소연료전지를 적용

○ 차별성

- 2.5 t 이상의 경유 연료를 사용하는 지게차를 대상으로 진행

○ 연계방안

- 실증 특례를 통한 수소연료전지 지게차 실증 데이터를 기반 상용화 모델 도출

□ 지게차용 10 kW급 수소연료전지(PEMFC) 파워팩 제어 시스템 개발

○ 주요 내용

- 고용위기기업부설연구소R&D전문인력활용지원, 과제수행기관 지티엠
- 총 연구기간: 2020.08.01.~2021.07.31

- 2.5 ton급 지게차용 수소연료전지 10 kW급 파워팩 제어 시스템 개발
- CAN 통신 기반 수소연료전지 파워팩 제어 알고리즘 개발
- LCD 디스플레이를 적용한 파워팩 제어보드의 상태 모니터링 보드 개발
- RS422/232 통신 기반 파워팩 상태 모니터링 프로그램 개발

○ 차별성

- 수소연료전지와 이차전지 하이브리드 추진 시스템 개발

○ 연계방안

- 연료전지 파워팩 제어 시스템과 이차전지의 제어 시스템 고도화
- 이차전지 상태가 포함된 상태 모니터링

□ 수소연료전지 지게차(현대차, 현대모비스, 현대건설기계)

○ 주요 내용

- 현대차와 현대모비스에서 스택 개발
- 현대건설기계에서 차체 설계, 제작 및 성능평가 수행
- 지게차는 최대하중 5 ton으로 시제품 개발 및 실증, 2023년 양산 목표
- 굴삭기로 확대 적용 예정

○ 차별성

- 중소기업의 PEM 연료전지 기반으로 개발

○ 연계방안

- 설계된 수소연료전지 기술을 통한 5 ton 이하는 중소기업과 연계

□ 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS) 국산화 개발

○ 주요 내용

- 중소기업상용화기술개발지원, 과제수행기관 이화전기공업(주)
- 총연구기간 2011.06.01.~2014.05.31
- 인천국제공항공사 개항 시 수입 제품을 사용하던 항공기 지상전원공급장치의 문제점을 해결하기 위해 국산화 개발
- 요구되는 옥외 사용환경 및 유지편의성에 맞춘 설계

- 항공기 엔진 가동 없이 탑승교 밑에 설치하여 항공기 대기 중에 항공기 점검을 위한 전원 공급
- 최대크기의 여객 기종인 A380까지 사용
- 전기 사용량 징수를 위한 전력량 데이터 전송 패키지 개발과 운용자 편의를 위한 원격감시 프로그램 개발

○ 차별성

- 기존 항공기 지상전원공급장치는 전기공사가 필요한 고정식, 이를 해결하기 위해 이동식으로 개발
- 상용전원 공급 방식이 아닌 수소연료전지방식
- 탑승장이 아닌 곳에 주기되어 있는 비행기에 전원공급
- 재생에너지를 이용해 생산된 수소를 사용하여 환경 문제 대응에 더 진보한 제품

○ 연계방안

- 이동식 수소충전소 안전 기준 및 자동차 관리법 적용
- 선행기술로 축적된 항공기용 전원장치에 대한 다양한 지식과 know-how로 수소연료전지 체계 요구사항 및 사양 선정 활용
- 해군 잠수함(장보고-III) 국산화 개발 시 개발된 수소 연료전지체계 전력변환장치 개발 know-how를 적용, 활용 가능

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-115> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소 이송과 관련된 안전 관리	8	●			
연료전지파워팩	9		●		
전력변환기	8			◐	
데이터 기반 에너지관리	7		◐		

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 각 분야 별로 전문분야 주관 수행 주체 선정

○ 하위 세부 분야 별로 협력체계 구성

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 각 분야 별로 주관 기관이 관리주체로 선정

○ 세부 분야 별 관련 기관이 주관 기관으로 관리 내용 보고

○ 실증지는 공항이므로 공사내 관리 주체 부서 선정하여 기반 시설 사용 및 관련 분야에 협력

□ 기술수요자와 협력체계

○ 민간 기업이 기술수요자가 될 것이고 이를 통해서 사업화를 진행할 것으로 예상

○ 각자 전문 분야에서 수요자간 기술 협력하여 사업화 진행

□ 세부과제간 연계방안

○ 세부과제는 모두 수소연료전지 기반의 모빌리티와 연계

○ 관련 안전, 자동차 법규등 선행 R&D 사업과 연계

3) 실용화 전략

□ 공항 대기환경 개선

○ 국내 공항뿐만 아니라 해외에서도 공항 대기환경 개선을 위해 준비 중

○ 본 과제를 통해 공항이라는 특성에 맞는 실증 시스템의 구성 필요

○ 신규 공항 구축과 기존 공항 개보수라는 2가지 측면에서 실용화 전략 검토 필요

○ 실증을 통한 개발 기술의 신뢰성을 확보하고 교통기술 인증을 통해 국내 신규 건설 공항에 적용 및 해외 공항에 진출

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 저탄소 분산형 에너지 확대

- 국민 생활 안전 및 친환경 교통 인프라 구축에 절대적으로 필요
- 공항 대기 환경 개선을 위해 수소연료전지 기반 모빌리티를 지속적으로 사용
- 수소 경제성 확보를 위해 그린수소와 블루수소 사용하여 모빌리티 운영
- 수소연료전지 모빌리티는 항공사 또는 공항 협력 업체에서 운영
- 인천공항공사 디젤조업장비 100% 친환경 전환(2030년), 공항지역 운행차량 그린 모빌리티 전환 노력(2030년)

○ 수소생산 운영 주체

- 민간 기업에 이전하여 수소 생산 후 판매 사업에 활용
- 공항은 인프라 구축이 용이하여 수소 수요가 확대될 것으로 예상
- 여객용 수소버스 도입, 경유지상조업 장비 친환경으로 교체

○ 그린 수소 생산 확대를 위한 기반 시설 사용 협력

- 중수도 처리 시설을 활용하여 버려지는 원수를 전기 분해로 활용
- 보세구역 물류 창고 및 주차장 부지에 태양광 설치 활용



자료: 그린리포트 2021

[그림 5-81] 인천국제공항공사 친환경차량 전환 계획

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 법/제도

- 공항 인근 그린 수소 생산 설비 구축 규제

○ 부지확보

- 그린 수소 생산을 위한 태양광 설치 부지
- 분산된 태양광을 이용하여 그린수소 생산 시스템 통합 구축 부지
- 이동식 수소충전소 정차 위치 부지

○ 적용 확대

- 실증은 R&D 사업으로 진행이 되지만 연료전지 모빌리티 구매 비용 문제
- 그린 수소 생산 비용

□ 대응방안

○ 법/제도

- 미래교통, 바이오, 에너지·자원, ICT 4대 신기술 분야에 실증을 위한 규제 자유특구 지정으로 규제 특례 요청

○ 부지확보

- 자유무역지역내 물류창고와 주차장 부지에 태양광 설치, 공항공사와 민간기업과 사용 협의 필요(공사에서 민간기업에 임대)
- 공항 인근에서 공사에서 보유한 유휴 부지 확보하여 통합 그린수소 생산 시스템 구축, 공항공사와 임대 협의 필요
- 기 설치된 수소충전소 부지 활용

○ 적용 확대

- 지게차의 경우 공항내 물류회사에서 직접 구매 운영하게 되므로 자동차와 같이 구매 비용 지원 필요
- 그린 수소 생산 비용은 블루수소 또는 그레이수소에 비해 경제성 확보가 어려우므로 여기에 필요한 비용 지원 필요

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술의 공항 내 모빌리티 인프라에 적용
- 수소 에너지 보급과정의 수용성 문제 해결을 위한 리빙랩 구현
- 공항 내 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 에너지 시스템 구축

○ 경제적 기대효과

- 공항 내 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 에너지 시스템 구축을 통한 온실가스 감축 효과
- 수소의 생산, 저장, 활용 기술의 공항 내 모빌리티 인프라에 적용하여 관련 소재, 부품, 장비 산업의 국내 기업 경쟁력 강화
- 수소차나 수소버스 이외에 수소 모빌리티 분야의 새로운 시장 창출을 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

카. 소요예산

<표 5-116> 공항 내 수소 모빌리티 실증 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발	국고	500	4,500	4,500	500						10,000
	민자	160	1,500	1,500	160						3,320
	합계	660	6,000	6,000	660						13,320
100kg급 이동식 수소충전소 구축	국고	500	2,000	2,000	500						5,000
	민자	160	660	660	160						1,640
	합계	660	2,660	2,660	660						6,640
연료전지 지게차 실증	국고	300	2,500	1,700	500						5,000
	민자	100	830	560	160						1,650
	합계	400	3,330	2,260	660						6,650
이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	국고	500	4,000	5,000	500						10,000
	민자	160	1,300	1,600	160						3,220
	합계	660	5,300	6,600	660						13,220
합계	국고	1,800	13,000	13,200	2,000						30,000
	민자	580	4,290	4,320	640						9,830
	합계	2,380	17,290	17,520	2,640						39,830

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

<표 5-117> 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상입지

실증 대상 지역		영종도 인천국제공항공사			
대상부지면적		미정			
세대규모		해당없음			
토지 이용 계획	**주거용지**	**면적**	미정	**대상시설**	수전해 설비, 수소저장시설, 이동식 수소충전소
	근린생활 용지	**면적**	미정	**대상시설**	
	기반시설	**면적**	미정	**대상시설**	중수처리시설, 보세창고, 건물, 수소충전소 등



⑰ 공항물류단지(3단계)
⑱ 항공유 저장시설
⑲ 인천공항 물류단지(1,2단계) : 물류 창고에 태양광 설치, 수소 지게차를 사용하는 장소
⑳ T1 수소충전소 위치 : 이동식 수소충전소 주차로 활용, 물류단지와 그린수소 저장 장소로 이동하여 수소 충전
㉑ T2 수소충전소 예정 위치
㉒ 중수도처리시설 위치(제1터미널) : 오수 및 하수 처리하는 시설, 정화된 중수는 화장실 세정용수, 기계설비냉각 및 조경용수로 사용되고 잉여 중수는 해양으로 방류
㉓ 중수도처리시설 위치(제2터미널) 4단계 공사에서 건설 예정

[그림 5-82] 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상지구 개요



주: 재생에너지 설치(물류단지) 및 실증 건물 이용 계획

[그림 5-83] 도시형 수소트램 개발 및 실증 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 수소 공급 계획

○ 1 MW 태양광을 이용하여 그린 수소 생산

- R&D 과제 시작 후 3년차부터 모빌리티에 그린 수소 공급 시작

<표 5-118> 공항 내 수소 모빌리티 실증 대상지구 수소 공급 계획

구분	연도	단위	에너지량	주요 가정
수요	2022년	톤/년	10	- 그린수소 공급: 2024년 50kg, 2026년 150kg, 2028년 300kg/일(추후 확장 사업) - 부족한 수소는 튜브트레일러를 통해 공급 - 공항공사 업무 차량(승용, 버스) 및 지상조업장비인 연료전지 지게차
	2024년	톤/년	80	
	2026년	톤/년	150	
그린수소 공급계획	2024년	톤/년	18	
	2026년	톤/년	50	
	2028년	톤/년	100	

□ 시설·장비 구축 계획

○ 그린 수소 생산 시설

- 태양광 발전 1 MW와 같은 규모로 설비 구성
- 용량: 50 kg/day
- 전력변환기(1 MW), 압축기(200 Bar), 저장용기(200 bar 330 kg)
- 부지 면적: 200 m^2

○ 태양광 발전 시설

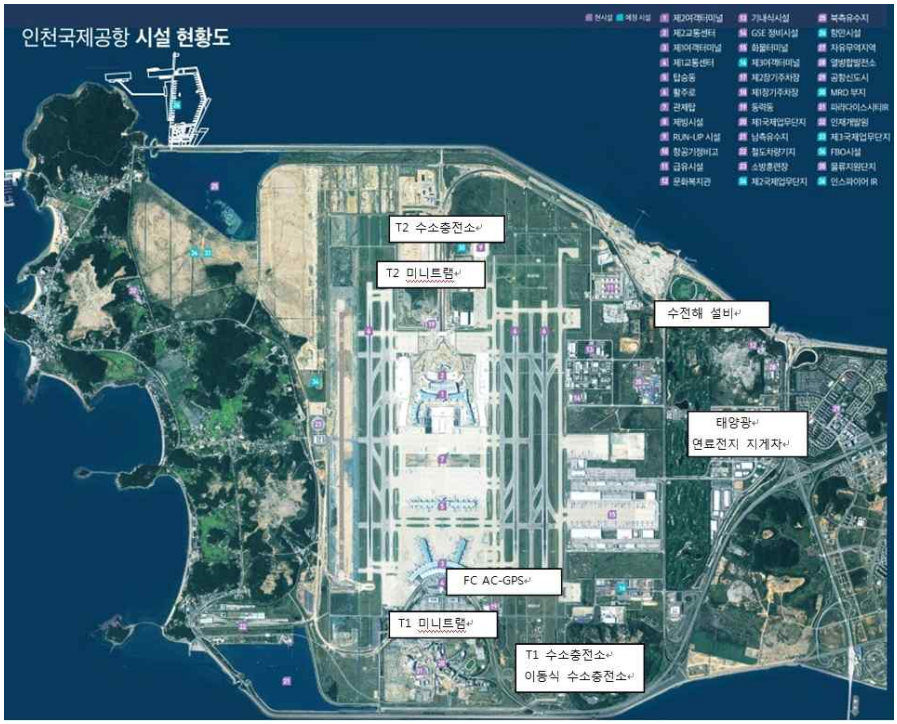
- 자유무역지구내 물류단지 건물 활용

○ 활용 장비

- 이동식 수소충전소 100 kg급 2대, 5 kW급 연료전지 발전 내장
- 연료전지 지게차 2.5 ton급 16대
- 이동식 연료전지 발전 항공기 지상전원공급장치 : 90 kW급 2대

<표 5-119> 공항 내 수소 모빌리티 실증 시설·장비 구축 계획

생산	○ 태양광 발전시설 규모 : 1MW ○ 그린수소 생산시설 규모 : 50kg/d 1기 ○ 수소 생산량 : 50kg/d ○ 수전해 시설 부지 (면적 200㎡)
저장	○ 압축기를 통해 저장 : 200Bar(다이아프램 방식) 1기 ○ 고압저장 방식 저장용기 : 200bar 330kg 2기
이송	○ 이동식 충전소 100kg 2기
활용	○ 연료전지 지게차 수소자동차 : 2.5ton 16대 ○ 이동식 연료전지 발전 항공기 지상전원공급장치 : 90kVA 2대
운영	○ 통합관제 센터 (면적 : 165㎡)



[그림 5-84] 공항 내 수소 모빌리티 실증 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-120> 공항 내 수소 모빌리티 실증의 구축장비 목록

구축 장비명	규격	수량	가격	비고
태양광 발전	1MW		15억	제작, 설치
수전해 시스템	1MW		40억	자체 제작
압축기	200bar	1	6억	제작 의뢰
저장용기	200bar 350kg	2	6억	제작 의뢰
이동식 충전소	100kg	2대	40억	산업부 사업 과제 활용
연료전지 지게차	2.5톤	16대	20억	연료전지 지게차
연료전지발전	90kVA	2대	50억	이동식 항공기 지상전원공급
기타 시설비			25억	수도 배관 공사등
수전해 시설	1MW	200㎡	20억	저압수소 사용시설 건축
통합관제센터		165㎡		
합계			387억	

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">1MW 태양광 발전 설비</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">국내 생산 모듈 사용</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>1,500</td><td>1</td><td>1,500</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 인천공항 내 자유무역 물류 창고</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 태양광을 이용한 그린 수소 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 그린수소 생산 후 기존 수소충전소로 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td>●</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">1MW 전력변환기 및 고분자전해질 수전해 시스템</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">국내 생산 모듈 사용</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>4,000</td><td>1</td><td>4,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 인천공항 내 자유무역 지구</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 태양광을 이용한 그린 수소 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 태양광 발전의 전력 변동에 따라 수소 생산을 위한 수선해 시스템에 전원 공급하여 그린 수소 생산 및 배관을 통해 이송하여 공항 내 수소 인프라에 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td>●</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 100kW 전력변환기 및 수전해 구성, 이를 병렬 연결하여 1MW 시스템 구성</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소압축기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">PDC 13모델</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>600</td><td>1</td><td>600</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 인천공항 내 자유무역 지역</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소 순도 정제 후 압축하여 수소 저장탱크에 저장하기 위해 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 재생에너지에서 생산된 수소를 압축기를 통해서 저장 탱크에 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>●</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 533Nm/h, 다이아프램 방식
○ 450bar</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">저장탱크</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">NK사 200bar, 330kg</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>300</td><td>1</td><td>300</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 인천공항 내 자유무역 지역</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 압축된 수소를 저장하기 위해 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 재생에너지로 생산된 수소는 한계가 있고 생산된 수소를 저장할 버퍼 역할을 하며 압축기를 통해 이동식 수소충전소로 이송</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>●</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 330kg, 200bar</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>이동식 수소 충전소</td></tr>
<tr><td>영문</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>충북에서 산업부와 사업 진행 중</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>2,000</td><td>2</td><td>4,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 인천공항 내 자유무역 지역</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 도로교통법 상 도로를 운행 하려면 지게차도 번호판 등록이 필요
○ 자유무역 지구는 물류 이송을 위한 도로가 있고 광범위하게 많은 물류 창고가 위치</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 연료전지 지게차 충전용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>●</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 수소 100kg 급, 압축기, 저장용기, 디스펜서 내장</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>연료전지 지게차</td></tr>
<tr><td>영문</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>가온셀</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>125</td><td>16</td><td>2,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 인천공항 내 자유무역 지구
○ 인천공항공사 협력 업체 4곳에 4대씩 배정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 디젤 연료 지게차의 대기환경 개선을 위해 연료전지 지게차로 전환 사용
○ 협력업체에서 디젤 지게차 105대 사용 이를 점차적으로 연료전지 지게차로 전환 필요(전동 140대 사용)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 물류 창고 내부는 전동 지게차, 외부는 디젤 지게차를 사용하므로 디젤 지게차를 대신하여 연료전지 지게차 사용
○ 인천공항공사에서 대기환경 개선을 위해 지속적으로 노력하고 있으므로 협력업체들은 여기에 공사의 환경 개선의지를 반영하여 지속적으로 연료전지 지게차를 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>개발의뢰</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 2.5톤, 연료전지 10kW, 저장용기 4.2kG
○ 수소만을 사용하는 연료전지 지게차로 개발 필요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>이동식 연료전지 발전 항공기 지상전원공급 장치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>이화전기/FC AC-GPS</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>2,500</td><td>2</td><td>5,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 인천공항 내 화물계류장 또는 원격계류장</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 화물 계류장 또는 원격계류장에 주기 되어 있는 항공기의 전원공급을 위해 사용
○ 이동식으로 제작 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 탑승교에 주기 되어 있는 항공기는 탑승교 밑에 설치된 지상전원장치에서 전원을 공급 받지만, 계류장에 주기 되어 있는 항공기는 디젤 발전기를 통해 전원공급을 받음
○ 공항내 대기 환경개선을 위해 디젤 발전기를 대치한 연료전지 발전으로 활용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>●</td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 연료전지 파워팩 95kW, 수소저장용기 4.2kG x 2
○ 용량 90kVA, 출력 주파수 400Hz</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>기타 시설비/수도배관</td></tr>
<tr><td>영문</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>2,500</td><td>1</td><td>2,500</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 인천공항 내 자유무역지역 수소 생산 및 저장 설비 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 압축기 및 저장탱크 내장을 위한 컨테이너등
○ 중수도처리 시설에서 수전해 설비까지 배관 공사
○ 통합안전운영센터 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 구축 설비간 연결을 위한 공사 비용</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td><table><tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr><tr><td></td><td></td><td>●</td><td></td><td></td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td></td></tr>
</table>

5.2.4 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축

가. 개요

1) 정의

○ 블루수소 생산 설비를 구축하여 인근의 수소충전소와 공급 네트워크 구성

○ 블루수소 생산 및 공급 네트워크 운영 최적화

2) 목적

○ 고속도로 유휴부지를 이용한 수소 생산 플랜트 및 충전소 공급 네트워크 구축

3) 구성요소

<표 5-121> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	천연가스 개질기	1,300N㎥/h급 × 1기
	수소 압축설비	450기압 500N㎥/h급 × 3기
	수소 출하설비	500N㎥/h급 × 3기
	CO2 포집설비	1,000kg/h급 × 1기
저장	고압저장 방식 저장설비	450기압 36㎥
이송	튜브트레일러	200기압 330kg × 3대 450기압 1ton × 2대
	파이프라인	5km (20기압)

4) 세부과제 구성

<표 5-122> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
블루 수소 생산 플랜트 구축	○ 1,300 N㎥/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축 (1,000 kg/h급 이산화탄소 회수 설비 포함) ○ 수소 저장 및 출하 설비 구축 ○ 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축
수소 공급 네트워크 구축	○ 수소 파이프라인 5km 구축(버스충전소용) ○ 300kg 및 1톤급 수소 튜브트레일러 운영 ○ 수소 파이프라인 구축 및 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축
수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영	○ 수소생산 플랜트 운영 및 대상 도시의 수소공급 네트워크 시범 운영

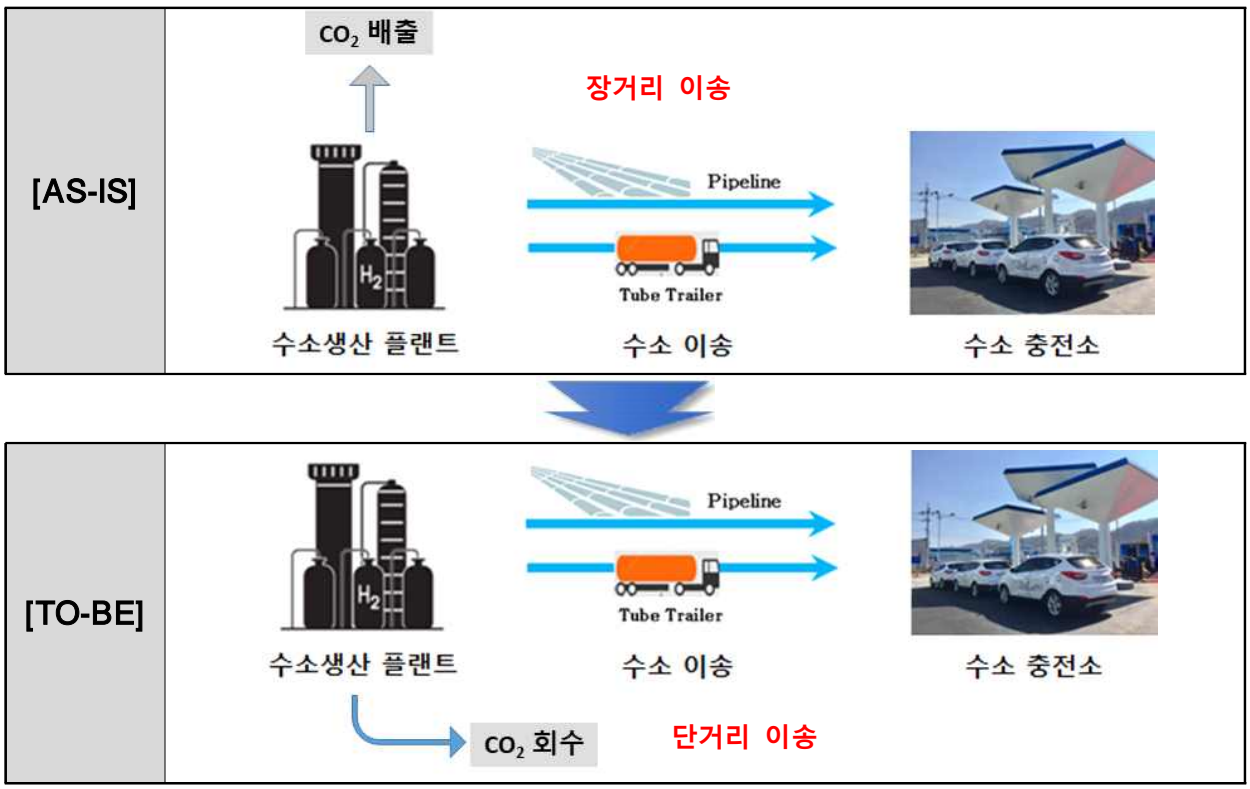
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-123> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
수소 생산	○ 수소 생산 설비 없음	○ 블루수소 생산 설비 구축
수소 공급	○ 장거리 튜브트레일러로 수소 공급	○ 단거리 튜브프레일러 및 파이프라인으로 수소 공급
수소 공급 네트워크 운영	○ 가스 회사에 주문으로 공급	○ 블루수소 생산 설비를 중심으로 로컬 수소 공급 네트워크 운영 및 최적화

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-85] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

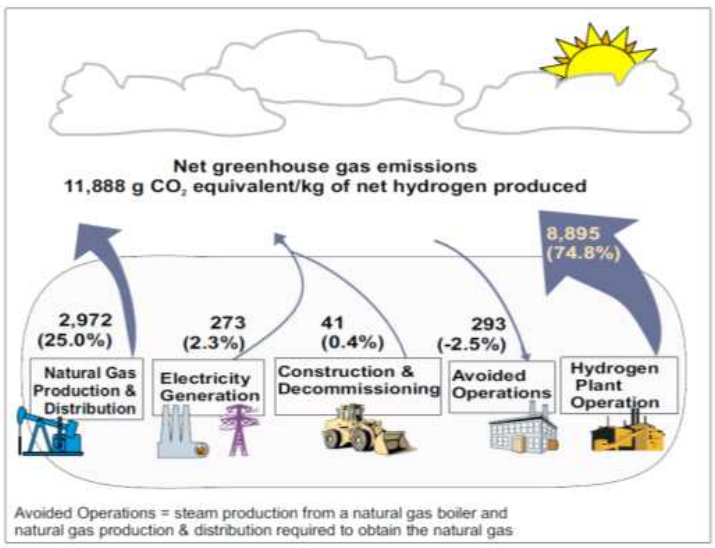
1) 추진 배경

□ 수소에너지

○ 수소에너지의 활용은 이산화탄소 저감을 통해 지구온난화를 감소시키는 목적으로 활발히 진행되고 있으나 수소의 경제성 확보를 위해서는 화석연료에서 수소를 추출하는 방식이 현재 시점에서는 가장 적합

○ 그러나 화석연료로부터 수소의 생산은 수소생산 시 이산화탄소를 발생시킴으로 인해 원래의 수소에너지 활용 목적에 적합지 않은 문제점 발생

○ 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 2030년까지는 50%의 수소를 화석연료로부터 제조해야 하므로 이에 필요한 Low carbon 수소생산기술 필요



자료: Spath & Mann, NREL/TP-570-27637, 2001

[그림 5-86] 전과정 평가 개념의 개질수소 생산 시 이산화탄소 배출량

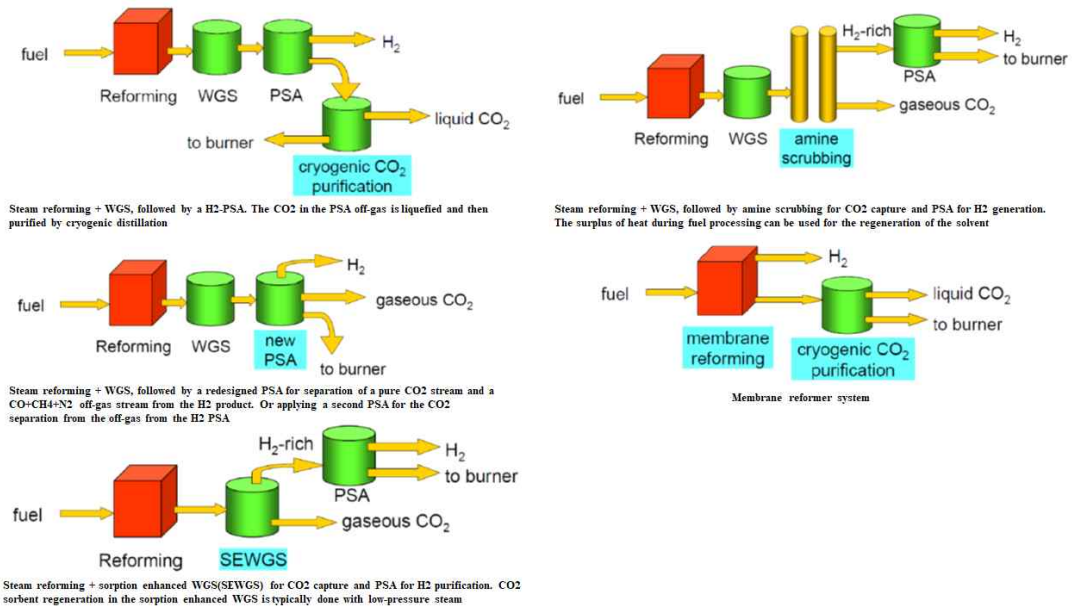
- 전과정 평가 개념으로 천연가스-수증기 개질기술을 이용하여 수소 생산 시 1 kg 생산 수소 당 약 12 kg의 이산화탄소가 배출되고 이 중 공정 운전에서 발생하는 이산화탄소는 약 9 kg 수준
- 화석연료를 이용하는 동시에 이산화탄소의 배출량을 줄일 수 있는 경제성

□ 수소충전소

○ 수소 경제 활성화에 따라 수소차의 보급과 이에 따른 수소충전소의 수요가 증가하여 경제적이고 안정적이며 친환경성이 담보된 수소공급기술이 필요함

○ 따라서 고속도로에 수소생산시설-이산화탄소포집 시설-수소충전소를 연계한 저가, 친환경 수소공급 인프라 기술의 개발이 요구됨

- 대량의 수소를 안정적인 가격으로 공급하기 위해서 중형 천연가스-수증기 개질 방식의 수소생산 기술(고순도 수소생산량 1,300 Nm^3/h급)을 사용
- 천연가스-수증기 개질공정에서 발생한 이산화탄소의 포집을 위한 흡착/흡수 기술 등을 사용
- 그리고 고속도로에 복수의 수소충전소로 수소 생산장치에서 생산된 수소를 파이프라인(근거리 수소배관망 구축)을 통해서 공급하고 초과 생산되는 수소는 튜브트레일러로 수소 수요처에 공급 및 판매



자료: IEA-HIA Task 23 Small-scale Reformers for On-site Hydrogen Supply, 2006-2011, Final report)

[그림 5-87] 가능한 충전소용 개질수소 생산장치와 이산화탄소 포집의 연계 공정들

2) 추진 필요성

○ 본 과제는 지역 단위의 수소생산설비 구축을 목표로 하며, 중용량 수소생산설비 구축이 필요함

- 중용량 수소생산설비는 수 천 Nm^3/h급의 용량으로, 천연가스의 수증기 개질공정이 가장 적합함

- 현재까지 중용량의 수소생산설비를 국내기술로 구축한 실적이 없으며, 린데사의 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질시스템을 평택에 구축할 예정임

○ 1,300 Nm^3/h급의 수소생산설비를 구축할 경우, 300 Nm^3/h 용량의 수소충전소 7개까지 안정적으로 수소 공급이 가능함

- 수소생산 설비 24시간 가동 시 수소 생산은 31,200 Nm^3/day, 300 Nm^3/h 수소충전소를 1일 15시간 가동 시 수소 사용량은 4,500 Nm^3/day임
- 버스용 수소충전소는 일반 수소충전소 2배 이상의 용량을 가짐
- 생산된 수소의 공급은 튜브트레일러 또는 근거리 배관망의 이용이 가능함
- 수소생산설비와 수소충전소간에 무거운 중량의 튜브 트레일러가 이동할 수 있도록 도로망이 확보되어야 함

○ 1,300 Nm^3/h급의 수소생산설비를 구축할 경우, 25 ton/day의 이산화탄소가 발생하며 이를 이산화탄소 포집 기술을 통하여 저감시킬 필요가 있음

- 메탄을 이용한 개질 공정은 1 kg의 수소를 생산 시 약 9 kg의 이산화탄소가 발생하며 발생한 이산화탄소를 저감시킬 수 있는 이산화탄소 포집 기술 필요
- 현재까지 포집된 이산화탄소를 원천적으로 필요한 물질로 전환하는 기술은 국내외에 존재하지 않으며 포집된 이산화탄소를 산업적으로 다른 용도로 사용하는 방법을 이용
- 산업에 필요로 하는 이산화탄소는 냉동포장 산업의 발달로 인해 드라이아이스로 제조하여 사용 중

□ 수소생산 분야

○ 기존기술의 한계

- 국내기술로 중용량 수소생산설비를 구축한 실적이 없음
- 수소생산 시 발생하는 이산화탄소 포집기술 적용 사례 없음
- 수소의 생산과 수요를 실시간 모니터링하여 수소의 공급량을 적용한 경우가 없음

○ 기술개발 필요성

- 실증과제 수행을 통한 국내기술 개발
- 충전소의 수소 판매량과 수요모니터링을 ICT기술을 이용하여 공급하는 프로그램 개발

□ 수소 저장·이송 분야

○ 기존기술의 한계

- 튜브 트레일러로 이송할 수 있는 수소의 양이 300 kg 이하로 운송비용이 높음

○ 기술개발 필요성

- 1 ton급 대용량 튜브 트레일러 개발 필요하며, 산업부에서 추진 중임
- 경제성을 검토하여 필요 시 근거리 수소 배관망 구축

□ 수소공급 네트워크 실증 분야

○ 기존기술의 한계

- 지역 단위의 수소생산 및 공급 네트워크 운영 사례가 없음

○ 기술개발 필요성

- 도시와 고속도로망을 포함하는 지역에 수소 생산 및 공급 네트워크를 시범운영하여 데이터 확보

다. 기술개발 동향

1) 국내

□ 1,000 Nm^3/h 이상급 중형 개질수소 생산기술

○ 국내 기술개발 실적 없음

※ 평택에 3,000N㎥/h급 중형 개질 시스템 설치 예정이며, 이는 독일의 Caloric사의 기술임

□ 수소 공급 파이프라인

○ 울산, 여수, 대산 등 석유화학 단지 내에서 산업체에 필요한 수소를 총 길이 약 193 km의 파이프 라인을 통해서 공급 중

○ 대산에서는 한화토탈에서 생산된 부생 수소를 50.16 MW PAFC 분산발전소에 파이프라인을 통해 공급 중

□ 수소 튜브트레일러

○ 현재 국내에 약 500여대의 튜브트레일러가 사용 중

○ 튜브트레일러로 1회에 이송할 수 있는 수소의 양이 300 kg 이하로 운송비용이 높음

○ 1 ton급 대용량 튜브트레일러 개발이 필요하며, 산업부에서 추진 중임

- 토우프레그 적용 압력용기(700 기압 1,400 L급)를 활용한 1회 수소운송량 1 ton 이상 총중량 20 ton 이하의 튜브스키드 개발 (2019-10-01 ~ 2022-12-31)

□ 수소충전소

○ 휴게소는 경부선, 남해선, 호남선, 중부선, 중부내륙선 등에서 11개의 수소충전소가 개장함 (2021.7)

○ 2022년까지 전국에 310기 구축을 목표로 하고 있으며, 국토부는 이 중 60기를 휴게소에 설치할 예정

○ 현재 개장한 수소충전소는 튜브트레일러로 수소를 공급받아 판매하는 off-site 수소 충전소임



[그림 5-88] 현대차와 도로공사가 구축한 "H하남 수소충전소

□ 개질수소 생산과 이산화탄소 포집의 연계

○ 2010년부터 Korea CCS 2020 사업단(현재, KCRC (재)한국이산화탄소 포집 및 처리 연구센터)이 시작되어 10년째 관련분야의 연구와 기술실증이 이루어지고 있음

○ 건식, 습식, 분리막, 융합 기술 등을 활용하여 이산화탄소 포집 기술에 대한 개발이 진행 중

○ 현재까지 개질수소 생산시설과 이산화탄소 포집기술을 연계한 사례

- 산업부 과제(이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발, 2018-05-01 ~ 2021-04-30)가 수행되고 있으나 수소분리막과 이산화탄소 흡수제를 이용한 2 Nm^3/h급 시스템에 대한 연구로 실험실 수

준의 장치 스케일임

2) 국외

□ 1,000 Nm^3/h 이상급 중형 개질수소 생산기술

○ Linde, Caloric 등의 회사에서 중형급 개질수소 생산 플랜트 원천 설계 기술을 가지고 있음



[그림 5-89] 독일 Linde 사의 HydroPrime

□ 수소 공급 파이프라인

○ 2016년 기준으로 전 세계에 4,500여 km의 수소 파이프라인이 설치되어 있음

○ 국가들 중 미국이 2,600여 km로 가장 긴 수소 파이프라인을 보유 중임

○ 궁극적으로는 가스 수송비를 최대한 낮출 수 있는 방법이므로 일정량 이상의 수소 수요가 확보되는 경우에는 초기 투자비를 감수하고 파이프라인을 설치하는 것이 비용측면에서 가장 유리함

□ 수소충전소

○ 일본: JHFC 및 HySUT 프로그램을 통해 수소에너지 보급 확산 정책을 10여년 이상 수행

- 전국에 100여개의 수소충전소를 설치하였고 15개의 충전소는 현장에서 수소를

생산하여 공급하는 on-site 수소충전소임

○ 미국: 연방정부 및 각 주별로 친환경에너지 활성화 프로그램 등에 의해 수소충전소 보급사업을 진행 중

- 캘리포니아 주에서 가장 활발하게 진행하고 있으며, 2019년 기준 수소전기차 6천여 대, 39개의 수소충전소를 운영 중



<미국 캘리포니아 주> **<EU>**

[그림 5-90] 미국 캘리포니아 주 및 EU의 수소충전소 보급현황(2020.9)

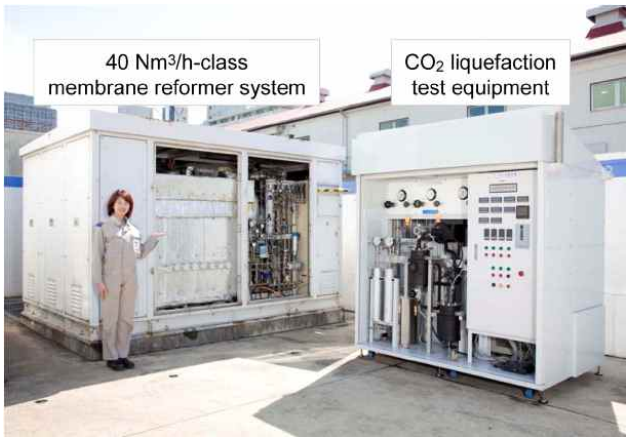
○ 독일 등 EU

- 2018년 11월: EU 국가 내 49개의 수소충전소를 운영(독일 20개)
- 2020년 9월: EU 국가 내 133개의 수소충전소를 운영(독일 85개)
- 현재 수소충전소 46개 구축 진행 중임

□ 개질수소 생산과 이산화탄소 포집의 연계

○ 일본: 도쿄 가스와 미쓰비시 중공업이 40 Nm^3/h급 멤브레인 개질기와 이산화탄소 액화공정을 실증

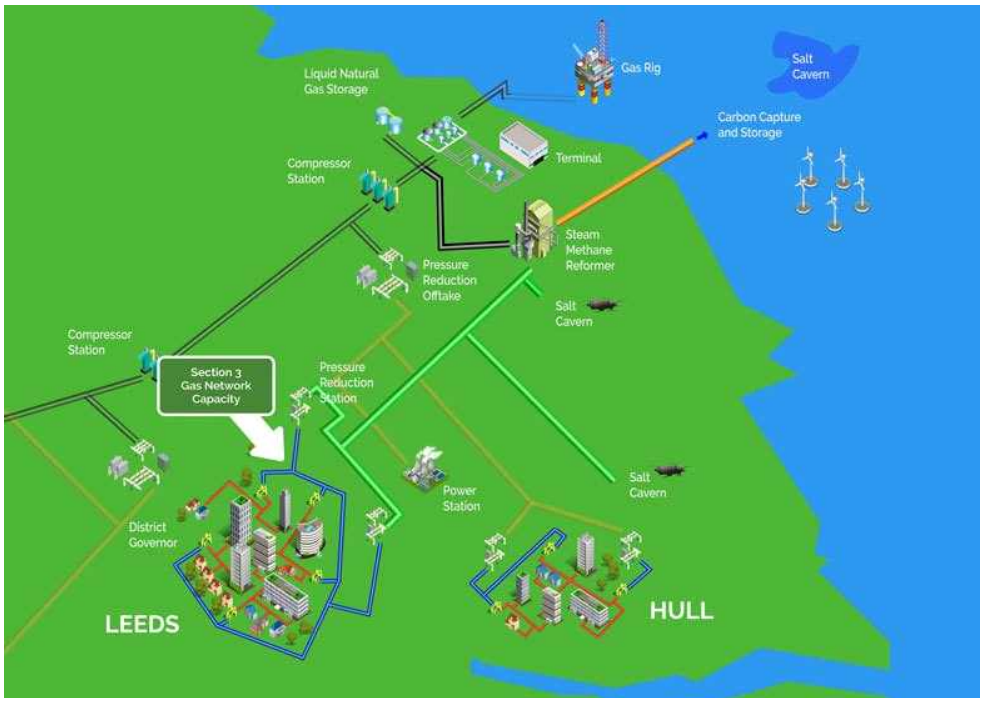
- 이산화탄소 포집공정이 없는 기존 공정 대비 이산화탄소 배출량을 50% 감소시키고 수소 생산효율은 단 3% 수준만 감소함



[그림 5-91] 도쿄가스와 미쓰비시중공업의 개질기-이산화탄소 액화공정 연계 시스템

❍ 영국에서는 H21 North England 프로젝트(2028~2035) 추진 중

- England 북부 지역에 12.15 GW급의 천연가스로부터 수소를 생산하는 플랜트 구축하여 천연가스 그리드를 수소 그리드로 변경하고자 함
- 8 TWh의 계절간 에너지 저장
- 2035년까지 연간 2천만 ton의 이산화탄소 포집 및 저장



[그림 5-92] H21 North of England 프로젝트

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 1,300 Nm³/h급 개질수소 생산 시설 실증 및 운용 데이터 확보

○ 저가 친환경성을 동시에 달성하는 개질수소 공정 및 이산화탄소 공정 연계 시스템 최적 설계/실증

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-124> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
1,000 N㎥/h (이상)급 중형 개질수소 생산기술	1,300 N㎥/h급 개질수소 생산 시설 도입 및 구축, 수소공급가 5,000원/kg 이하	시스템 개발 국책과제 진행 중(KIER, '21.5~'24.12)	Linde, Caloric 등 1,000N㎥/h 이상급 개질수소 생산 플랜트 원천 설계 기술 보유
수소 공급 파이프라인	고속도로 인근 6개 (일반 수소충전소 및 버스 전용 수소충전소)에 파이프라인으로 수소 공급, 총 연장 5 km 이하	수소배관망 구축 기술 보유	수소배관망 구축 기술 보유
수소 이송/판매용 튜브트레일러	300kg 및 1톤급 수소 튜브트레일러 운영	수소운송량 기준 300 kg급 튜브트레일러 운용 중 수소운송량 기준 1톤급 튜브트레일러 개발 중	1.1톤급 튜브트레일러 (린데, 독일)
개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 개발	1,300N㎥/h급 개질수소 생산 시설에 이산화탄소 포집 설비 연계로 기존 이산화탄소 배출량 대비 90 % 수준 절감	시스템 개발 국책과제 진행 중(KIER, '21.5~'24.12)	40N㎥/h급 멤브레인 개질기와 이산화탄소 액화공정을 실증(도쿄가스-미쓰비시 중공업, 일본)

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-125> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2025년	○ 1,300 N㎥/h급 개질수소 생산 시설 설계 ○ 수소충전소 구축 및 수소공급 파이프라인 설계 ○ 개질수소 공정과 이산화탄소 포집의 연계공정 기본 및 상세설계 ○ 수소생산시설과 충전소간 모니터링 프로그램 개발
2026년	○ 1,300 N㎥/h급 개질수소 생산 시설 구축 ○ 수소충전소 구축 및 수소공급 파이프라인 구축 ○ 수소 파이프라인 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축 ○ 개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 시운전 ○ 충전소 수요예측 데이터 수집 및 수소생산기지 운전 시뮬레이션
2027년	○ 개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 trouble shooting 및 시스템 최적화 ○ 수소생산 플랜트에 운영센터를 구축 ○ 수소생산 및 공급 네트워크 운영 최적화
2028년	○ 개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정의 경제성 분석 기반 사업화 모델 개발 ○ 수소생산 및 공급 네트워크를 시범운영 데이터기반 실증

마. 세부과제 추진계획

1) 블루 수소 생산 플랜트 구축

□ 연구기간 : ’25~’27년

□ 연구목표

○ 1,300 Nm^3/hr급 블루수소 생산 공정 구축 및 수소/이산화탄소 출하설비 구축

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-126> 블루 수소 생산 플랜트 구축 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치		
		’25년	’26년	’27년
천연가스 수증기 개질 공정	설계도면	작성		
천연가스 수증기 개질 공정	용량(N㎥/h)			1,300
수소 저장 설비	용량(㎥, 450기압)			36
수소 출하 설비	용량(N㎥/h)			1,500
CO2 포집공정	용량(ton/h)			1.2

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-127> 블루 수소 생산 플랜트 구축 연도별 추진계획

연도	추진계획
2025년	○ 1,300 N㎥/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 설계 완료 ○ 향후 개질기 1기 추가 가능하게 부지 구축 ○ 1 ton/h급 이산화탄소 포집 설비 설계 완료(향후 2 ton/h급으로 확장 가능하게 구축)
2026년	○ 1,300 N㎥/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축완료 및 시운전 ○ 1 ton/h급 이산화탄소 포집 설비 구축완료 및 시운전
2027년	○ 수소 저장 및 출하 설비 구축 ○ 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축

2) 수소 공급 네트워크 구축

□ 연구기간 : ’26~’28년

□ 연구목표

○ 튜브트레일러와 배관망을 이용하여 블루수소 생산 설비와 인근 수소충전소와의 수소 공급 네트워크 구축

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-128> 수소 공급 네트워크 구축 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치		
		’26년	’27년	’28년
튜브 트레일러 차량	대수		5	5
튜브 트레일러	기		10	10
수소 배관망	길이(km)	2	3	3

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-129> 수소 공급 네트워크 구축 연도별 추진계획

연도	추진계획
2026년	○ 수소 파이프라인 2 km 구축(버스충전소용) ○ 수소 파이프라인 구축 및 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축
2027년	○ 200기압, 450기압 수소 튜브트레일러 차량 5대 확보 ○ 튜브 트레일러 10기 확보
2028년	○ 수소 파이프라인 3 km 추가 구축

3) 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영

□ 연구기간 : ’27~’28년

□ 연구목표

○ 블루수소 생산 설비와 인근 수소충전소와의 수소 공급 네트워크 운영 최적화

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-130> 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 성과물 및 성과지표

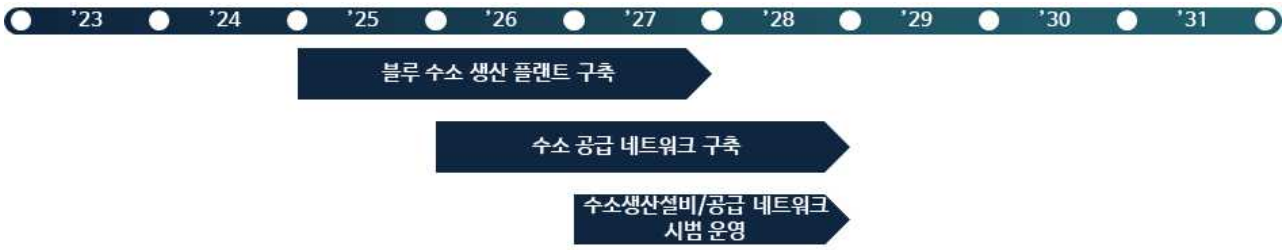
성과물	성과지표	목표치	
		’27년	’28년
실증 보고서	수소공급 단가 (원/kg)	5,000	5,000

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-131> 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 연도별 추진계획

연도	추진계획
2027년	○ 수소생산 플랜트에 운영센터를 구축 ○ 수소생산 및 공급 네트워크 운영 최적화
2028년	○ 수소생산 및 공급 네트워크를 시범운영하여 실증보고서 작성

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-93] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 유사 기술개발 과제

○ (수소튜브트레일러 기술) 토우프레그 적용 압력용기(700 Bar 1,400 L급)를 활용한 1회 수소운송량 1 ton 이상 총중량 20 ton 이하의 튜브스키드 개발

- (부처) 산업통상자원부
- (과제수행기관) (재)한국탄소융합기술원
- (연구기간) 2019-10-01 ~ 2022-12-31.
- (주요내용) 700 기압 용기를 이용한 수소운송량 기준 1 ton급 튜브 스키드 개발

○ (개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 개발) 이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발

- (부처) 산업통상자원부
- (과제수행기관) 프로파워
- (연구기간) 2018-05-01 ~ 2021-04-30
- (주요내용) 수소분리막과 이산화탄소 흡수제를 이용한 2 Nm^3/h급 시스템

□ 차별성 및 연계성

○ 차별성

- 개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 개발
  - 본 연구개발을 통해서, 실험실 수준의 소규모 테스트 베드가 아닌 현존하는 중형 개질공정과 이산화탄소 포집 공정을 이용하여 개질 수소 생산 시 배출되는 이산화탄소의 대부분을 포집하는 기술을 개발하고자 함

○ 연계방안

- 수소튜브트레일러 기술
  - 1 ton급 튜브트레일러 개발 시, 파이프라인으로 연결된 지역 이외의 수소 수요처에 현재의 튜브트레일러보다 저렴한 운송비로 수소를 공급할 수 있음
- 개질수소 공정과 이화탄소 포집의 연계공정 개발
  - 다양한 개질공정과 이산화탄소 포집 공정의 조합을 고려할 수 있고 기 수행된 과제의 실험 데이터를 최적 설계에 활용가능

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-132> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
천연가스 개질	9	○			◐
이산화탄소 포집 및 출하	9		◐		
수소 출하 설비	9		◐		
수소 공급 네트워크 운영 최적화	7		◐	◐	

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 블루수소 생산설비 및 수소 공급네트워크 운영 사업자

- 한국가스공사(수소유통전담센터), 하이넷, 코하이젠, 한국가스기술공사 참여

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 지역 내 관리 기관 또는 한국가스공사(수소유통전담센터)와 협력

3) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 블루수소 생산 설비 및 수소공급네트워크는 지속적으로 운영

- 필요시 블루수소 생산 설비를 추가로 구축하여 수요 증가에 대응

○ 수소공급 네트워크 운영 방안은 한국가스공사와 협의를 통해 결정

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 블루수소 생산 설비를 구축할 입지의 확보가 어려움

- 수소생산 설비 구축이 가능해야 하며, 향후 증설도 가능하여야 함
- 인근의 버스용 수소충전소와 수소 배관망을 구축할 수 있을 정도로 거리가 인접하여야 함
- 튜브트레일러의 진출입이 용이하여야 함

□ 대응방안

○ 지역 내 공사(예를 들면 대전도시공사)를 활용하여 최적 입지 도출이 필요함

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도로교통 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 이송 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축
- 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

카. 소요예산

<표 5-133> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
블루 수소 생산 플랜트 구축	국비			5,000	2,300	1,100					8,400
	민자			2,100	1,200	500					3,800
	소계			7,100	3,500	1,600					12,200
수소 공급 네트워크 구축	국비				4,200	5,900	3,300				13,400
	민자				1,600	2,500	1,400				5,500
	소계				5,800	8,400	4,700				18,900
수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영	국비					500	700				1,200
	민자					200	300				500
	소계					700	1,000				1,700
합계	국비			5,000	6,500	7,500	4,000				23,000
	민자			2,100	2,800	3,200	1,700				9,800
	합계			7,100	9,300	10,700	5,700				32,800

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 수소생산설비는 대전과 세종의 사이에 구축

○ 수소충전소 네트워크는 대전, 세종, 호남고속도로, 당진영덕고속도로, 경부고속도로와 연계 가능함

<표 5-134> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상입지

대상부지면적		10,000㎡			
충전규모		2,500kg/day			
토지 이용 계획	기반시설	면적	충전소 부지 10,000㎡	대상시설	고속도로 유휴부지



주) 대상지구(안): 대전(세종)지역, P: 수소생산설비, S: 수소충전소

[그림 5-94] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상지구 및 설비 배치도

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 수소 수요/공급 계획

○ 블루수소 생산량은 연간 920 ton이며, 이를 인근의 수소충전소에 공급

- 일반용 수소충전소에 튜브트레일러로 연간 600 ton 공급
- 버스용 수소충전소에는 파이프라인으로 연간 300 ton 공급
- 여분의 수소는 외부의 수소충전소에 판매

<표 5-135> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 대상지구 수소 공급 계획

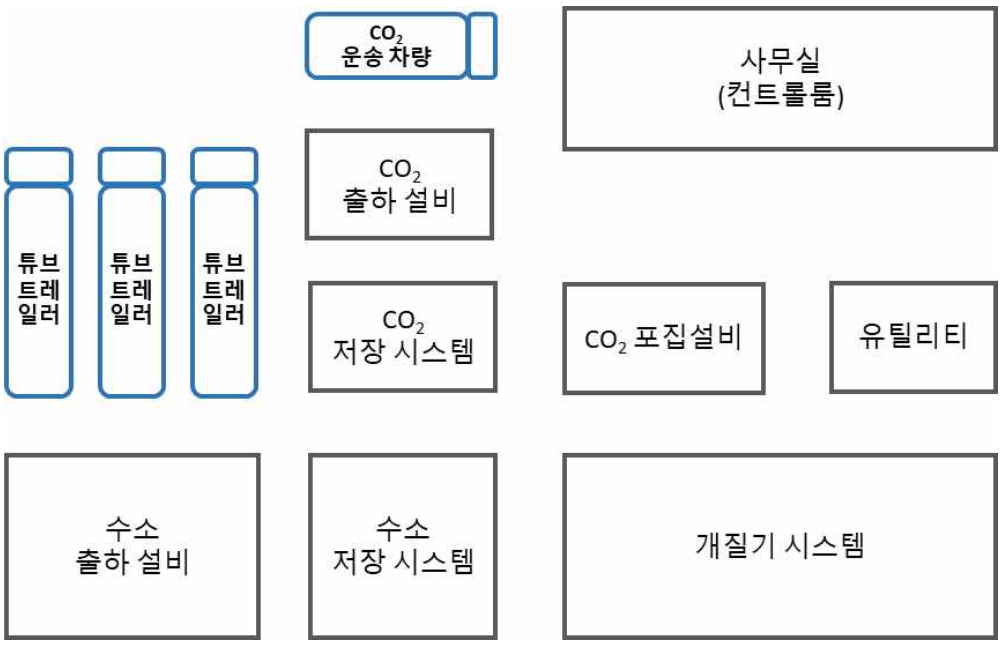
구분	종류	단위	수소량	주요 가정
수요	일반 수소충전소	톤/년	75 × 6	- 충전소 15시간 운영, 가동률 50% 가정 - 일반 수소충전소(300 N㎥/h) 6기, 버스용 수소충전소(600 N㎥/h) 2기 가정 - 수소생산 플랜트 1,300 N㎥/h급 1기를 330일 24시간 가동 가정 - 수소생산 플랜트는 1기 우선 건설하고, 1기를 추가 건설할 수 있도록 부지 확보 - 인근에 공급하고 남는 수소는 외부 지역에 튜브 트레일러로 판매 - 버스용 수소충전소는 파이프라인으로 공급
	버스용 수소충전소	톤/년	150 × 2	
공급 계획	수소생산량	톤/년	920	
	튜브 트레일러	톤/년	620	
	파이프라인	톤/년	300	

□ 시설·장비 구축 계획

<표 5-136> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 시설·장비 구축 계획

생산	○ 천연가스 개질기 규모 : 1,300N㎥/h급 1기 ○ 수소 생산량 : 2,800kg/day(24시간 가동시) ○ 수소 생산 부지 면적 : 10,000㎡ ○ CO_2 발생량 : 25,000kg/day ○ 수소 압축설비 : 450기압 500N㎥/h급 3기 ○ 수소 출하설비 : 500N㎥/h급 3기 ○ 수소 출하량 : 3,200kg/day (24시간 가동시) ○ CO_2 포집설비 : 1,200kg/h급 1기 (액화탄산, 출하설비 포함)
저장	○ 고압저장 방식 저장설비 : 450기압 36㎥ (12시간 생산량)
이송	○ 튜브트레일러 : 200기압 330kg 3대, 450기압 1ton 2대 ○ 파이프라인 : 5km (20기압)

주) 추출기 CO_2 발생량: 8.5kg-CO_2/kg-H2(출처: 경향신문, 2019.10.23.)



[그림 5-95] 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-137> 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
천연가스 수증기 개질 플랜트	**2026년**	○ 수소 생산
이산화탄소 포집 장치	**2026년**	○ 개질기에서 발생하는 이산화탄소를 액화탄산으로 포집
입축기	**2026년**	○ 수소를 고압으로 압축
수소 저장 탱크	**2026년**	○ 수소 저장
수소 출하 설비	**2026년**	○ 튜브 트레일러 수소 충전
튜브 트레일러 차량	**2026년**	○ 튜브 트레일러 운송
수소 튜브 트레일러	**2026년**	○ 수소 저장 및 이송
수소 배관	**2026년**	○ 수소 외부 이송

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">천연가스 수증기 개질 플랜트</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Steam Methane Reforming Plant</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">린데/1,300 N㎥/h 급</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>5,000</td><td>1</td><td>5,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 안정적인 수소 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 수소생산량 1,300 N㎥/h
○ 수소 순도: 99.995 % 이상
○ 천연가스 수증기 개질
○ PSA 포함</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>이산화탄소 포집 장치</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>CO_2 Capture System</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>한전 전력연구원</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>3,000</td><td>1</td><td>3,000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 배출되는 이산화탄소 포집</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 개질기에서 발생하는 이산화탄소를 액화탄산으로 포집</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ CO2 포집량 1,200 kg/h
○ 액화 탄산으로 포집
○ 출하설비 포함</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>입축기</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Compressor</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>PDC(효성중공업)/13model</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>600</td><td>3</td><td>1,800</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 출하를 위해서 수소를 고압으로 압축</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 수소를 고압으로 압축</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 압축기 용량: 533 N㎥/h
○ 450기압</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 저장 탱크</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen Storage Tank</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">FIBA</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>1,300</td><td>1 세트</td><td>1,300</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소 생산 및 공급의 안정성을 위한 저장설비 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 수소저장 탱크: 12시간 생산량 저장
○ 36 ㎥, 500기압</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 출하 설비</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen Loading Terminal</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">효성중공업</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>200</td><td>3 세트</td><td>600</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소 튜브 트레일러를 위한 출하설비 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 튜브 트레일러 수소 충전</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 충전용 압축기 및 튜브 트레일러 충전장치
○ 150 % 용량</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>튜브 트레일러 차량</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Tube Trailer Truck</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>엔케이</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>100</td><td>5</td><td>500</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 수소 운송</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 튜브 트레일러 운송</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 차량 1대당 튜브트레일러 2기
○ 200기압(330 kg)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td>수소 튜브 트레일러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td>Hydrogen Tube Trailer</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td>엔케이/200기압</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td>
<table>
<tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr>
<tr><td>200</td><td>10</td><td>2000</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td>○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td>○ 수소의 외부 공급을 위해 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td>○ 수소 저장 및 이송</td></tr>
<tr><td colspan="2">취득방법</td><td>
<table>
<tr><th>구매</th><th>임대</th><th>제작의뢰</th><th>자체제작</th><th>기타
(직접기재)</th></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td>○ 차량 1대당 튜브트레일러 2기
○ 200기압(330 kg)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 배관</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen Pipeline</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">미정/12 km</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>1,000</td><td>12 km</td><td>12,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 대전(세종)
※ 구축예정기관은 공모를 통해 주관연구기관 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소를 대량으로 사용하는 버스용 수소충전소에 수소 배관으로 공급</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소 외부 이송</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 20기압</td></tr>
</table>

5.3 수소도시 연관모델 개발

5.3.1 액화수소충전소 개발 및 실증

가. 개요

1) 정의

○ 수소연료전지차에 연료인 수소를 충전하기 위한 대용량 수소충전소의 국산화 개발

○ 액화수소를 기반으로 한 수소충전소의 핵심 설비 국산화 및 국산설비를 활용한 액화수소 기반 수소충전소 실증

2) 목적

○ 도심지내 경제성, 안정성을 확보한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 건설

3) 구성요소

<표 5-138> 액화수소충전소 개발 및 실증의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	대용량 LNG 추출 기체수소 생산	
	재생에너지 기반 수전해 수소 생산	
저장	수소액화플랜트	5 ton/day
	대용량 액화수소 저장탱크	350 ㎥
이송	액화수소 운송 탱크로리	3,500 kg
활용	충전소용 저장탱크	3,000 kg
	액화수소 고압 펌프	90 Mpa, 100 kg/hr
	액화수소 고압 기화기	90 Mpa, 100 kg/hr
	수소 디스팬서	70 Mpa, 1,000 kg/day
운영	충전소 운영센터를 통합운영센터(EMS)와 연계	
	기체수소충전소 안전기술, 액화수소 안전 기술	

4) 세부과제 구성

<표 5-139> 액화수소충전소 개발 및 실증의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
액화수소 충전소 핵심 설비 개발	○ 액화수소 운송 탱크로리 개발 ○ 액화수소 운송 탱크로리 개발 ○ 액화수소 극저온 펌프 개발(기존 산업부 진행과제 연계) ○ 액화수소 고압 기화기 개발
액화수소 충전소 설계 및 도시 실증	○ 액화수소 기반 수소충전소 설계기술 개발 ○ 액화수소 기반 수소충전소 건설 ○ 액화수소 기반 수소충전소 운영 실증

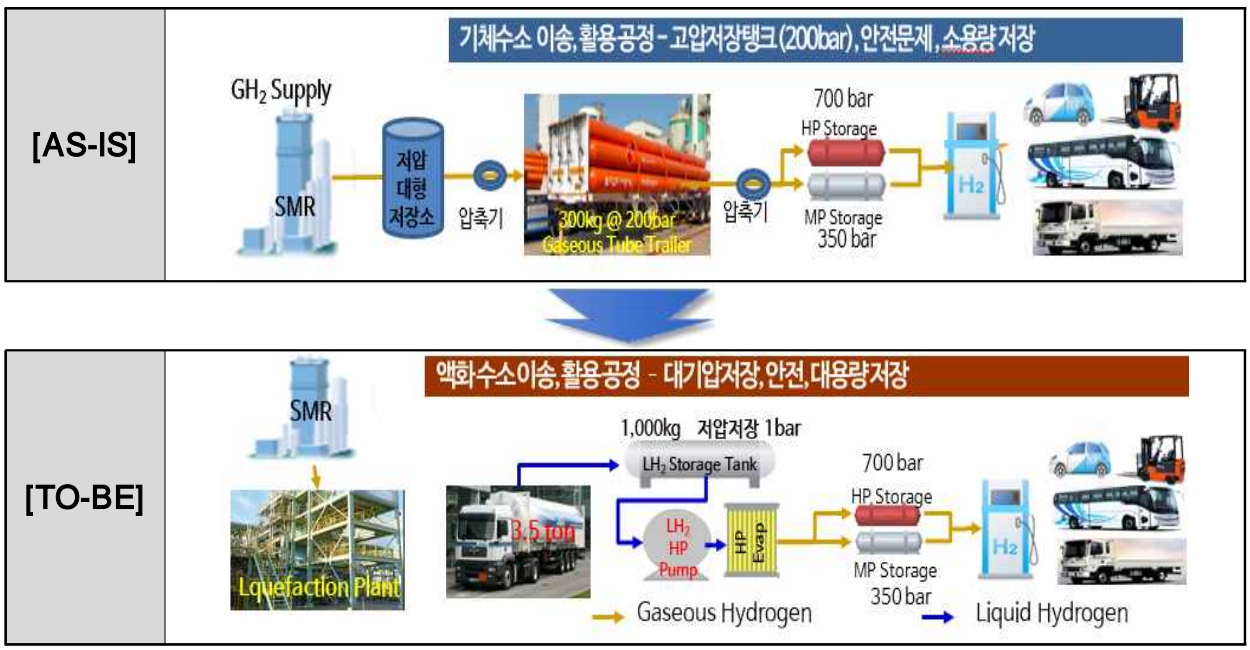
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-140> 액화수소충전소 개발 및 실증의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
수소의 운송	○ 튜브트레일러 (200 bar, 300 kg)	○ 액화수소 탱크로리 (1bar, 3,500kg)
수소의 저장	○ 튜브트레일러 (200 bar, 300 kg)	○ 액화수소 저장탱크 (1bar, 3,000 kg)
수소의 압축	○ 압축기	○ 액화수소 고압 펌프 및 고압 기화기
충전 용량	○ 250 kg/day	○ 1,000 kg/day

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-96] 액화수소충전소 개발 및 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

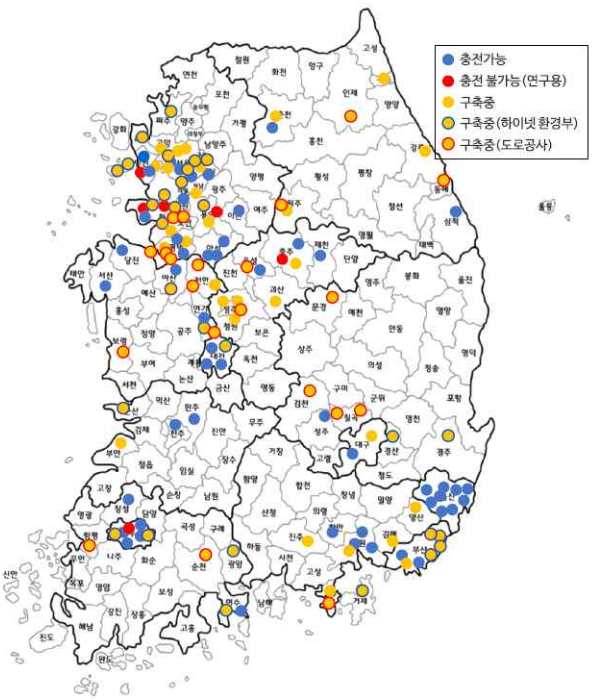
1) 추진 배경

○ 정부는 수소경제, 빅데이터, 인공지능을 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼 (인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정 (`18.8, 제5차 혁신성장 관계장관 회의)

○ 2021년 현재 국내 수소충전소 구축 사업 현황

- 현재 운영중인 기체충전소는 전국에 58개소이며 건설중인 84개소임 (21년 3월기준). 이 중 승용충전소(25 kg/hr급)은 124개소이고 상용충전소(50 kg/hr급) 은 8개소임(구축중)
- 하이넷 수소 충전소 구축사업 : 현대차, 가스공사, 효성 등 13개사가 참여하는 하이넷은 수소 충전소 100개소 구축을 목표로 하고 있으나 주주사(투자사) 모집 지연으로 인해 100개소 구축은 힘들 것으로 보이며 현재 39개소가 건설 중에있음 (21년 3월기준)
- 코하이젠 충전소 사업 : 지역난방공사, 현대차, GS 칼텍스, SK 가스, S-Oil, 효성/Linde, 에어리퀴드, 에어프로덕트 등이 참여하여 21년 2월 합작법인을 설립하였고 21년 4월 특수 충전소(50 kg)이상 공모를 통해 수소 충전소 건설사업을 시작함

지역	수소차 대수 ('21.3월 기준)	2021년 차량 보급계획	~21년 누적계획	수소충전소			하이넷 구축중
				운영	구축 중	합계	
서울	1,697	2,030		4	6	10	3
경기도	1,995	3,712		8	18	26	9
인천	571	1,012		2	4	6	2
울산	1,985	1,010		8		8	
광주	736	606		4	2	6	2
부산	1,021	1,225		2	5	7	4
대구	133	302		1	1	2	
경상남도	1,070	531		6	5	11	2
경상북도	20	100			2	2	1
충청남도	540	610		4	3	7	2
충청북도	422	902		5	4	9	1
전라남도	196	300		1	2	3	2
전라북도	522	617		2	2	4	1
강원도	968	1,307		1	4	5	
대전	508	621		3	1	4	1
세종	53	300		1	1	2	1
제주	2						
기타				6	24 (휴게소)	30	8
합계	12,439	15,185		58	84	142	39



[그림 5-97] 국내 충전소 구축 현황

○ 액화수소 충전소 구축

- 정부는 수소충전소 보편화 및 대규모 수요대응을 위한 경제성·안전성 있는 액화수소충전소를 2025년까지 40기 이상 구축할 계획 ('20. 7, 1차 수소경제위원회)
- 창원 : '22년까지 창원 두산중공업 부지에 연간 1,800여 ton(5 ton/일) 규모의 수소 액화플랜트 건립 및 실증 추진 (투자금 950억원), 두산중공업이 EPC 총괄 책임을 담당하나, 에어리퀴드의 기술을 적용할 예정임, 액화플랜트의 운영을 토대로 액화수소 기반 수소충전소 구축을 예정
- 효성/린데 합자법인 추진 계획 : 효성은 Global 가스 1위 기업인 Linde와 합작으로 효성 울산 석유화학 공장의 부생수소를 액화하는 액화설비를 건설(일 30 ton)하고 액화충전소를 구축하여 수소충전사업을 추진.
- 현재 액화수소 충전소 관련 국내 기술은 초기 연구단계로, 정부 계획에 의한 2025년 까지의 액화수소충전소 구축시 관련 모든 기술의 해외도입 불가피
- 향후 경제성·안전성을 가지는 액화수소 충전소의 확대가 예상되나, 현시점에서 국내 기업의 경쟁력을 확보하지 않으면 기체수소충전소(현재 부품 국산화율 40%)보다 심각하게 해외 기술 및 제품에 의존하게 됨

○ 액체수소 충전소의 핵심부품인 고압 액체수소 펌프(기체수소 충전소의 압축기 대체)는 해외 L사만이 상용화한 기술로 국내 경쟁기업과 제품이 없는 경우 향후 가격협상력, 액체수소 충전소 구축시 독과점이 예상

- LNG 추진선의 핵심 부품인 LNG 고압펌프의 경우 전량 해외 수입 중

○ 정부의 수소경제 활성화 정책 및 액화수소 기반 충전소 확충 계획에 따라 전세계에서 가장 큰 용량의 수소액화 플랜트 건설을 계획 중

- 이런 계획에 따라 향후 액화수소 충전소 등 액화수소 활용 산업의 급격한 성장이 예상되며, 관련 산업의 국내 경쟁력 확보가 시급함
- 장기적으로 향후 확대될 세계 액화수소 인프라 건설 시장에서의 국내 기업의 경쟁력 확보를 위해 R&D와 국내기업 주도의 실증 사업에 지원이 시급함.

<표 5-141> 국내 수소액화플랜트 구축 계획 (민간/지자체 계획)

위치	구축 규모	구축기간	추진 국내기업	설비 기업
창원	5 ton/day	'20~'22	두산중공업	에어리퀴드
평택	30 ton/day	'22~'24	가스기술공사, 한국지역난방공사	미정
인천	90 ton/day	'21~'23	SK E&S	에어리퀴드
보령	130 ton/day	'23~'25	SK E&S	미정
울산	35ton/day	'21~'23	효성	린데
울산	30 ton/day	'23~'25	SK가스	미정

2) 추진 필요성

○ 수소버스, 수소도시, 수소선박 등 향후 대용량 사용처의 수소공급을 위하여 경제성을 갖춘 액체수소 기반의 대용량 저장, 공급 인프라 구축 필요

○ 특히, 기체수소 기반의 압축수소를 이용한 충전소는 공급량 및 경제성, 안전성 측면에서 한계 표출

- 액체수소 충전소는 기체수소대비 설비면적 1/20 이하, 충전용량 3배 이상, 상압 수준의 공급과 저장압력, 낮은 설치비(동용량 900 kg/day의 경우 기본 기체수소 충전소 대비 55% 수준)
  - · 900 kg/day의 경우 기체수소는 21회/주, 액체수소의 경우 2회/주 공급으로 운송비 등의 장점 보유

<표 5-142> 수소충전소별 비교, 수소인프라 및 충전소 구축방안 발췌

구 분	고압기체수소 충전소	액체수소 충전소
충전소 설비 면적	420㎡ (28m×15m)	20.4㎡ (6m×3.4m)
충전소 용량	250kg/day	900kg/day 이상
공급압력 / 저장압력	200~450bar / 200~950bar	2bar / 2bar
충전소 설치비	30억 (250kg/day)	60억 (900kg/day)
튜브트레일러, 탱크로리 가격	1.5 ~ 2억	6.5 ~ 7억
운송 용량	300kg	3,300kg
운송비	2,600원/kg	710원/kg

○ 국내 액체수소 관련 기술은 초기 연구단계로 관련기술의 내재화 및 기술선도, 소부장 국산화를 위해서는 정부의 선제적 지원이 필요

□ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 분야

○ 기존 기술의 한계

- 현재 국내 수소 충전소의 경우 기체수소 기반의 충전소로 액화수소 충전소는 전무함
- 기존 기체수소 충전소의 경우 수소는 약 200 bar의 고압 기체수소 튜브트레일러로 소량 운송되어, 대용량 수소 공급이 필요한 도심지에의 적용에 있어 경제성, 주민 수용성 등의 단점이 존재함

○ 기술개발 필요성

- 액화수소 기반 충전소는 수소를 액체 상태로 저장하므로 대용량 수소를 작은 공간에 낮은 기압으로 보관이 가능하여 경제성·안전성이 높음
- 기체수소 충전소 대비 설비 면적 1/20 이하, 충전용량 3배 이상, 상압 수준의 공

급·저장압력, 낮은 설치·운송비 등의 장점 보유

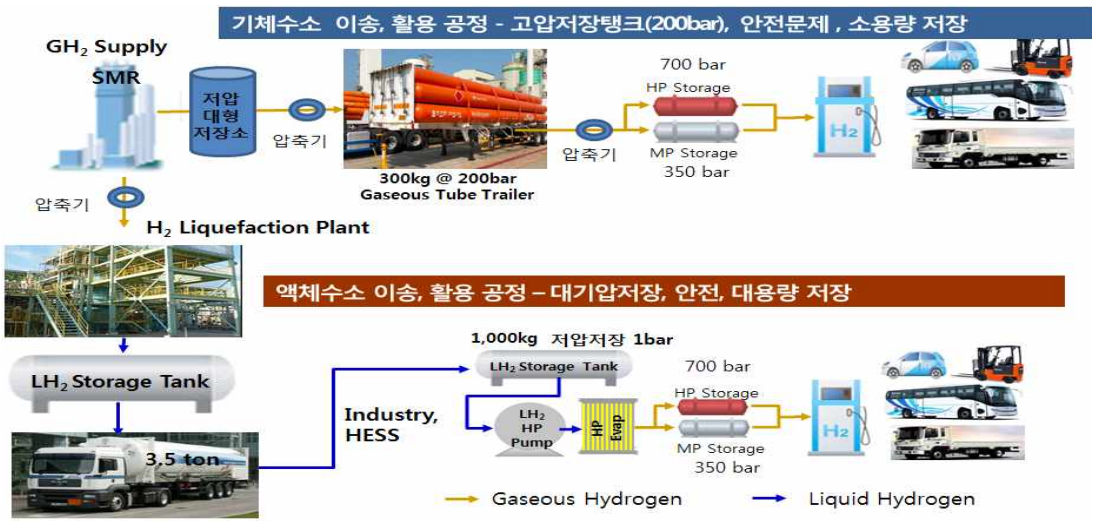
□ 액화수소 충전소 핵심 설비 기술 분야

○ 기존 기술의 한계

- 기존 기체수소 충전소의 경우 수소는 기체수소 튜브트레일러(200 bar, 300 kg)로 운송되며, 소요동력이 큰 압축기에 차량에 충전됨
- 수소액화플랜트의 경우 국산화 R&D가 진행중이나, 액화수소 충전소의 핵심설비인 액체수소펌프, 고압기화기의 경우 국산화 개발 실적 전무
- 기체수소 충전소용 핵심부품의 국산화율을 현재 40% 수준으로, 액체 수소 충전소의 경우에는 핵심 설비의 국산화가 이루어지지 않으면 대부분의 핵심 부품을 해외에 의존해야 함

○ 기술개발 필요성

- 액화수소 충전소의 경우 저압(1-2 bar)의 액체수소를 액체수소탱크로리로 약 3,500 kg 운송
- 액화수소는 액체수소펌프와 기화기에 의하여 700 bar로 가압되어 수소차량에 충전. 액체수소를 700 bar로 압축하는데 필요한 에너지는 기체수소를 700 bar로 압축하는데 필요한 에너지의 약 10% 수준으로 경제성이 높음
- 정부 계획에 의하여 확대가 예정된 액화수소 충전소의 핵심 부품 국산화율을 높이기 위하여 선제적인 기술개발이 필요



[그림 5-98] 기체수소 충전소와 액화수소 충전소 비교

다. 기술개발 동향

1) 국내

○ 대용량 수소액화 플랜트는 현재 없으나, 창원, 울산 등에서 해외 회사와 플랜트 건설 추진 중

- 액화수소플랜트 건설에 따라 국내에도 액화수소충전소 구축이 예상됨

○ 현재 국내에서는 상용화된 액체수소가 존재하지 않아 액체수소 공급 시스템 관련 기술 개발은 전무

- 현재 국내에서는 상용화된 액체수소가 존재하지 않아 모든 수소 공급 시스템은 기체수소를 이용함. 따라서 액체수소 공급 시스템 관련 기술 개발은 전무한 실정임

○ 산업적으로 국내 중소기업에서 액체수소 드론 등의 사업을 진행하고 있으나, 액체수소 저장용량, 액체수소 공급 시스템의 사양 (압력, 유량) 측면에서 액체수소 충전소 산업은 전무

□ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 분야

○ 국내 수소충전소는 ’18년 누적 14기에서, ‘19년 17기가 신규로 구축되어, ’19.10월초 현재 총 31기의 수소충전소가 구축·운영 중

○ 현재까지는 기체수소 Tube Trailer 기반의 기체수소 충전소 위주 건설

○ 수소차 보급 확대를 위해 전국 주요 도시, 고속도로에 ’22년까지 310기, ’30년까지 660기 ’40년까지 1,200기의 충전소 구축 계획. 안전성 및 경제성 확보방안으로 ’22년까지 3기 이상의 액화수소 충전소를 구축하고, 중·장기적으로 액화수소 비중 확대 계획 (수소경제 활성화를 위한 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 2019. 10, 관계부처합동)

□ 액화수소 충전소 핵심 설비

○ 기체수소 충전소 설비 (압축기, 고압기체 저장탱크, 프리쿨러, 디스팬서, 고압밸브 등) 위주로 개발되고 있으나, 핵심부품 국산화율은 현재 40% 수준

○ 액체수소 충전소 구축을 위한 수소액화플랜트는 국토교통부에서 2023년 소규모 (0.5 ton/day) pilot 플랜트 구축을 목표로 진행되고 있으나, 기타 액체수소 충전소 핵심설비 개발은 전무

2) 국외

○ Air Liquid, Linde, Praxair, Air Products 4개사만 액화수소플랜트 상용화 기술 확보

- (린데) 수소충전소의 액체수소 공급 비율 : 미국 87%, 유럽 12%

○ 미국

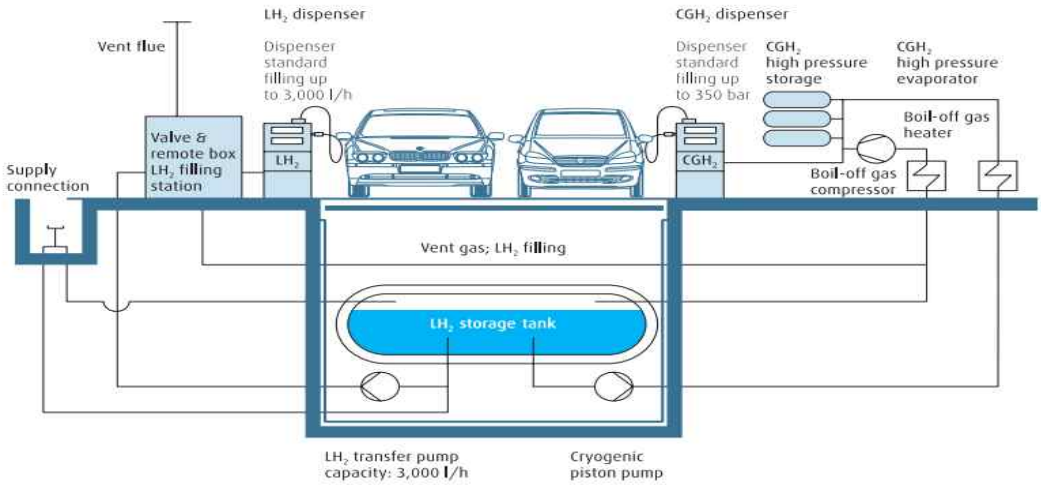
- 2050년까지 Carbon Free 5,000만 ton의 수소 생산을 통해 50%의 온실가스를 저감하는 그린에너지 계획을 수립하였으며, 특히, 캘리포니아는 2050년까지 자동차의 27%를 친환경차로 보급하는 계획을 추진 중

- California Air Resources Board에 따르면 수소전기차의 도입율과 무관하게 대부분의 수소 스테이션은 액체수소 스테이션이 될 것으로 전망

○ 유럽

- 재생에너지 중심 수소정책을 추진해 오고 있으며, 독일은 2060년 재생에너지 비율 목표치가 60%로, 재생에너지 활용 수소를 생산하고 대용량 수소 저장소를 구축하여 그리드를 통해 공급할 계획

- 독일의 경우 액체수소 기반 충전소를 이미 운영하고 있으며, 이중 두 곳에서 100 kg/hr 수준의 액체수소 및 액체수소펌프를 이용한 충전소를 운영하고 있음



[그림 5-99] Munich Airport에 설치된 액체수소 기반 충전소 개념도

- 해외 L사의 경우 액체수소 펌프를 활용한 액체수소 충전소 모델을 제시하고 상업적인 건설을 시작

  · 해외 L사의 사양서를 보면 현재 고압액화수소펌프의 최고 기술사양은 900기압 50~100 kg/hr 수준

<표 5-143> 해외 L 사의 충전소 모델 및 압축 방식

Product name	CP 90	IC 90	MF 90	CP 50	IC 50	CP 30
Operating pressure	90 MPa	90 MPa	90 MPa	50 MPa	50 MPa	30 MPa
Gas type	CGH_2/CCH_2	CGH_2	CGH_2	CGH_2/CCH_2	CGH_2	CGH_2/CCH_2
Typical capacity per unit	50–100 kg/h	33.6 kg/h	10 kg/h	120 kg/h	10 kg/h	120 kg/h
Compression technology	Cryo pump	Ionic compressor	Piston compressor	Cryo pump	Ionic compressor	Cryo pump

○ 일본

- 수소경제 실현을 위한 정책인 '수소2030 로드맵'을 세워 수소전기자동차 및 가정용 연료전지 보급 추진 중
- 2030년까지 충전소 900기 건설을 추진하고 있으며, 2040년까지 CO_2 없는 수소공급 시스템구축과 2020년 도쿄올림픽에서 그 가능성을 보여주기 위해 노력 중

○ 중국

- 2017년 수소전기차 로드맵을 확정하고 2030년 수소전기차 100만대 시대를 공식화하고 수소전기차의 3대 핵심 부품인 연료전지 스택, 운전 장치 및 수소저장장치 개발에 적극적 지원 계획을 수립

□ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 분야

○ '19년 7월 현재 전세계에서 운영중인 수소충전소는 총 402기

○ 액화수소 기반 충전소는 수소를 액체 상태로 저장하므로 대규모의 수소를 작은 공간에 낮은 기압으로 보관이 가능하여 경제성·안전성 있는 충전소

○ 미국, 유럽, 일본은 현재 도심지 등에서 액화수소 충전소 운영중.

○ 해외 수소충전소 액화수소 공급 비율은 미국 (87%), 일본 (63%), 유럽 (12%) 수준이며, 향후 액체수소 공급 비율 증가 예상

□ 액화수소 충전소 핵심 설비

○ Linde, Air Liquid 등 해외 선진사의 경우 수소액화플랜트, 액화수소 운송 트레일러, 액화수소 저장탱크, 액화수소 펌프, 액화수소 기화기를 독자모델로 개발하여 액체수소 기반 수소충전소를 건설, 운영하고 있음

○ 액체수소의 저장, 가압, 기화 이후의 수소충전소 설비(기체수소 700 bar 저장탱크, 디스팬서 등)는 기존의 기체수소 설비와 동일

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 주민 수용성, 경제성을 고려한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 구축, 운영 및 핵심 설비(액화수소 운송 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 액화수소 고압기화기) 국산화 개발

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-144> 액화수소충전소 개발 및 실증의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
액화수소 운송용량	3,500 kg	-	3,500 kg
충전소 액화수소 저장 용량	3000 kg	7 kg	1,000 kg
충전 용량	1,000 kg/day	250 kg/day	1,000 kg/day
수소충전시간(승용차 기준)	3분	5분	3분

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-145> 액화수소충전소 개발 및 실증의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 액체수소 충전소 개념/기본 설계 - 1,000kg/day급 액체수소 충전소 열·물질수지 Simulation 기반 개념 설계 - 액체수소 충전소 위해도 평가 기법 정립 - 액체수소 충전소 안전설비 기본 설계 ○ 1000kg/day 액화수소 충전소 개념설계 연계 핵심설비 사양 선정 및 기본설계 - 액화수소 운반 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 기화기

추진연도	기술개발 내용
2024년	○ 액체수소 충전소 기본 설계 / 상세 설계 - PFD, P&ID, Data Sheet 등 기본설계집 완성 - 핵심 설비 국산 개발품 활용계획 수립, 기성제품 구매 조달 계획 - 액체수소 저장, 배관, 고압기체수소저장탱크, 충전기 상세 설계 ○ 액체수소 충전소 안전 기본 설계 - 액체수소 충전소 위해도 평가, RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety) 분석 ○ 1000kg/day 액화수소 충전소 핵심설비 상세설계 - 액화수소 운반 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 기화기 ○ 1000kg/day급 핵심설비 부분품 제작
2025년	○ 액체수소 충전소 건설을 위한 상세 설계 / 구매조달 - 실증부지 구축, 실증부지에 따른 기본설계 보완 - Layout 설계, 액체수소 저장, 배관, 고압기체수소저장탱크, 충전기 상세 설계 - 핵심 설비 국산 개발품 활용계획 수립, 기성제품 구매 조달 ○ 1000kg/day급 핵심설비 시제품 제작 및 성능평가
2026년	○ 액체수소 충전소 설비 구매/조달 - 국산 개발 설비, 핵심 설비 기성제품 구매 조달 - Dispenser, Utility, 안전설비 구매 조달 ○ 1,000kg/day급 액체수소 충전소 건설 ○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 공급용 시제품 인증 - 액화수소 운반 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 기화기 ○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 공급 및 건설 참여
2027년	○ 1,000kg/day급 액체수소 충전소 실증 운영 ○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 운영을 통한 핵심설비 Track Record 확보

마. 세부과제 추진계획

1) 액화수소 충전소 핵심 설비 개발

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

❍ 1,000 kg/day 급 액화수소 기반 충전소의 핵심 설비 국산화 개발 및 실증

❍ 액화수소 탱크로리, 액화수소 고압펌프, 액화수소 고압 기화기 국산화 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-146> 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년
액화수소 운송 탱크로리	운송용량(kg)	기본설계	상세설계, 부분품제작	3,500 (시제품)	인증	충전소 운영 실증
	단열성능(J/h·oC·L)			8.37 (시제품)		
액화수소 저장탱크	저장용량(kg)	기본설계	상세설계, 부분품제작	시제품 (3,000)	인증	충전소 운영 실증
	Boil-Off Ratio(%/day)			1		
액화수소 극저온 펌프 (산업부 기존과제 연계)	토출압력(MPa)	기본설계	상세설계, 부분품제작	시제품 (90)	인증	충전소 운영 실증
	질량유량(kg/hr)			시제품 (100)		
액화수소 고압 기화기	내압(MPa)	기본설계	상세설계, 부분품제작	시제품 (90)	인증	충전소 운영 실증
	직접도(㎡/㎥)			시제품 (1,000)		

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-147> 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 1000kg/day 액화수소 충전소 개념설계 연계 핵심설비 사양 선정 ○ 기존 해외 기성품 분석 및 운전데이터 수집/분석 ○ 1000kg/day급 핵심설비 기본설계 - 액화수소 운송을 위한 액화수소 운반 탱크로리 - 액화수소 저장을 위한 액화수소 저장탱크 - 고압 펌핑을 위한 액체수소 펌프 - 고압기체 공급을 위한 액체수소 고압 기화기
2024년	○ 1000kg/day급 핵심설비 상세설계 - 액화수소 운송을 위한 액화수소 운반 탱크로리 - 액화수소 저장을 위한 액화수소 저장탱크 - 고압 펌핑을 위한 액체수소 펌프 - 고압기체 공급을 위한 액체수소 고압 기화기 ○ 1000kg/day급 핵심설비 부분품 제작 - 액화수소 운반 탱크로리내의 컨테이너 제작 - 액화수소 저장탱크 내압구조 제작 및 단열 기술 개발 - 액체수소 왕복동 펌프 성능평가 (산업통상자원부 과제 연계) - 액체수소 고압 기화기 lab scale 제작 및 성능실험

연도	추진계획
2025년	○ 1000kg/day급 핵심설비 시제품 제작 및 성능평가 - 액화수소 운반 탱크로리 (트레일러+컨테이너) 제작 및 성능평가 - 액화수소 저장탱크 실 스케일 제작 및 성능평가 - 액체수소 왕복동 펌프 성능평가 (산업통상자원부 과제 연계) - 액체수소 고압 기화기 실스케일 제작 및 성능평가
2026년	○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 공급용 시제품 인증 - 액화수소 운반 탱크로리 - 액화수소 저장탱크 - 액체수소 펌프 - 액체수소 고압 기화기 ○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 공급 및 건설 참여
2027년	○ 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 운영을 통한 핵심설비 Track Record 확보

2) 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

❍ 1,000 kg/day 급 액화수소 기반 충전소 설계기술 개발

❍ 1,000 kg/day 급 액화수소 기반 충전소 건설 및 운영

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-148> 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 성과물 및 성과지표

<table>
<tr><th rowspan="2">성과물</th><th rowspan="2">성과지표</th><th colspan="5">목표치</th></tr>
<tr><th>’23년</th><th>’24년</th><th>’25년</th><th>’26년</th><th>’27년</th></tr>
<tr><td rowspan="2">액화수소 기반
수소충전소
설계기술</td><td>스테이션 용량
(kg/day)</td><td rowspan="2">개념설계</td><td>1,000
(기본설계집)</td><td rowspan="2">가스공사
기술검토
PSM
(Prosess
Safety
Management)</td><td rowspan="2">충전소 건설</td><td rowspan="2">기본설계
Packkage</td></tr>
<tr><td>안전설계</td><td>QRA
(정량적
위험도 분석)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상용급 액체수소
기반 수소충전소</td><td>액화수소 저장용량
(kg)</td><td rowspan="2">부지선정</td><td rowspan="2">기본설계/상세
설계</td><td rowspan="2">구매/조달</td><td>3,000
(구축)</td><td>3,000
(운영)</td></tr>
<tr><td>스테이션 용량
(kg/day)</td><td>1,000
(구축)</td><td>1,000
(운영)</td></tr>
</table>

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-149> 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 액체수소 충전소 개념/기본 설계 - 기존 액체수소 충전소 공정 분석 - 1,000kg/day급 액체수소 충전소 열·물질수지 Simulation 기반 기본설계 - 핵심기자재 운전데이터 수집/분석, 상용급 핵심 기자재 선정 기준 도출 ○ 액체수소 충전소 안전 기반 설계 - 액체수소 충전소 위해도 평가 기법 정립 - 액체수소 충전소 안전설비 기본 설계 : ESD (Emergency Shutdown System), 누출감지, 화재폭발 방호구역 등
2024년	○ 액체수소 충전소 기본 설계 / 상세 설계 - PFD, P&ID, Data Sheet 등 기본설계집 완성 - 핵심 설비 국산 개발품 활용계획 수립, 기성제품 구매 조달 계획 - 액체수소 저장, 배관, 고압기체수소저장탱크, 충전기 상세 설계 ○ 액체수소 충전소 안전 기본 설계 - 액체수소 충전소 위해도 평가, RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety) 분석 - 액체수소 충전소 위해도 평가, RAMS 결과에 따른 안전설비 기본 설계 보완
2025년	○ 액체수소 충전소 건설을 위한 상세 설계 / 구매조달 - 실증부지 구축, 실증부지에 따른 기본설계 보완 - Layout 설계, 액체수소 저장, 배관, 고압기체수소저장탱크, 충전기 상세 설계 - 핵심 설비 국산 개발품 활용계획 수립, 기성제품 구매 조달 (1)
2026년	○ 액체수소 충전소 설비 구매/조달 - 국산 개발 설비, 핵심 설비 기성제품 구매 조달 (2) - Dispenser, Utility, 안전설비 구매 조달 ○ 1,000kg/day급 액체수소 충전소 건설
2027년	○ 1,000kg/day급 액체수소 충전소 실증 운영

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-100] 액화수소충전소 개발 및 실증의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 / 국토교통부, 2019~2023

○ 주요 내용

- LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술 개발 및 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 구축 운용
- 수소액화플랜트 핵심 설비 개발 : 극저온 콜드박스, 팽창기, 열교환기, 밸브, 플랜트용 저장탱크 개발

○ 차별성

- 액화수소 생산을 위한 수소액화플랜트 기술개발 과제로 액화수소 활용을 위한 액체수소 충전소 과제와 차별됨

○ 연계방안

- 해당 과제에서 생산된 액화수소를 활용하여 액화수소 충전소용 핵심 설비의 개발 및 실증에 활용
  - · 또한 액화수소 충전소 실증 시 액체수소를 공급
  - · 플랜트용 저장탱크 기술을 활용하여 액화수소 충전소용 액화수소 저장탱크 및 탱크로리의 액체수소 컨테이너 개발에 활용

□ 액화수소 충전소용 100 kg/h, 90 MPa 급 극저온 왕복동 펌프 개발 / 산업통상자원부, 2020~2024

○ 주요 내용

- 액화수소 충전소용 극저온 펌프 설계기술 개발
- 100 kg/h, 90 MPa급 극저온 고압 왕복동 펌프 제작 및 성능평가
- 액화수소 충전소용 극저온 펌프 성능평가 및 인증기술 개발

○ 차별성

- 액화수소 충전소의 핵심 설비로 산업통상자원부에서 선행으로 과제를 시작함. 다만 해당설비는 충전소에 직접 적용되기 전까지의 성능평가에 중점을 두고 있음

○ 연계방안

- 해당 과제에서 개발된 액화수소 펌프를 성능평가, 인증을 거쳐 본 과제에 직접 활용. 해당 과제의 국산화 개발품을 활용하여 상용화 후 본 액화수소 충전소 건설에 직접 활용

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-150> 액화수소충전소 개발 및 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
액화수소 충전소 설계 기술 * 액화수소 충전소 중 액화수소 연계 부분은 자체개발, 기체수소 부분은 기존 기체수소 충전소 설계민간 기술 활용	7		○	●	
액화수소 저장탱크 /탱크로리 기술 * 저장탱크 단열기술 및 구조체 기술은 선행 R&D 연게, 탱크로리 기술은 자체 개발	7	◐		●	
액화수소 고압펌프 기술 * 액화수소 펌프 핵심기술은 선행 R&D 결과물 활용, 실증 충전소 적용은 자체 개발	7	●		◐	
액화수소 고압 기화기 기술	7			●	
액화수소 충전소 밸브 및 디스펜서 - 기체수소 연관 핵심 부품(디스펜서, 배관, 밸브 등)은 국내 민간기술 적용 조달, 국내 조달 불가능시 해외 수입	7		●		○

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 국외 기관과의 협력체계

- 2022년 해외기술로 구축예정인 액체수소 기반 수소스테이션 건설(수소인프라 및 충전소 구축 방안 ('19.10., 관계부처 합동)사업 참여를 통한 선진기술 습득
- 액체수소 기반 수소충전소 선두주자인 Linde, 국내외 액체수소 안전기술 전문기관(독일 BAM, 미국 Sandia Lab, 국내 가스안전공사 등)과의 기술 협력 추진

○ 국내 기관과의 협력체계

- 국내 산·학·연 협력네트워크를 구축하여 공동연구 및 기술교류 추진, 특히 시장의 요구를 반영하는 방향으로 기술개발을 추진
- 액체수소저장탱크 : KAIST, 가스안전공사, 에이원, 두산메카텍 등

- 액체수소 기화기 : 탱크테크, 동화엔텍, 두산중공업 등
- 액하수소 탱크로리 : 기존의 액화헬륨, LNG ISO탱크로리 제작 업체 (대웅 CT 등)와의 기술 및 상용화 협력
- 기술 수요자와의 협력 : 액화수소기반 수소스테이션의 실용화를 위하여 수소산업 육성기관인 수소융합얼라이언스, 수소충전소 건설 보급 사업자인 HYNET 등과 연계

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 관리주체 : 과제 주관기관

- 본 사업의 주관기관이 관리하며, 실증지 지자체와와 상호 협조

※ (예시) 사업 예정지(예시)인 한국기계연구원 LNG 극저온 기계기술 성능평가센터는 김해시에 위치하고 있으며, 현재 김해시와의 협력에 의하여 LNG 극저온 성능평가를 실시하고 있음. 김해시의 경우 사업 인허가, 사업 결과물의 활용에 관하여 협조

※ (예시) 김해시의 경우 사업 추진시 지방비 매칭을 통하여 실증에 참여하고, 결과물을 김해시 관내에 보급하는 역할을 담당

□ 세부과제간 연계방안

○ 본 과제는 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 세부과제와 액화수소 충전소를 설계하고 개발된 핵심기자재를 활용하여 액화수소 충전소를 건설/실증하는 세부과제로 구성

- 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 세부과제에서는 충전소의 기본 설계를 진행하여 핵심 설비의 사양을 핵심 설비 개발 세부과제에 제공
- 핵심 설비 개발과제는 기업 위주로 과제를 진행하여 설비를 개발하고 상용화 제품을 개발
- 충전소 건설 및 도시 실증 과제에서는 개발된 핵심 설비 개발 세부과제의 결과물을 우선 활용하여 해당 설비의 성능을 실증.
- 각 세부과제간의 긴밀한 연계는 필수적으로 과제 공고 단계에서 전체 과제의 컨소시엄 공모를 추진

3) 실용화 전략

○ 현 시점에서 액체수소 연관 시장은 거의 없으므로, 미래 액체수소 수요 증가에 대비하여 철저한 국산화 기술 확보

○ 국가 수소경제 활성화 로드맵 (2019. 01)의 중장기 방향으로 예상되는 액체수소

기반 인프라 구축과 관련된 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박 등) 및 국내 수소충전소 보급계획(액체수소기반 수소충전소 보급 추진) 등의 정부 사업 참여

○ 실용화 방안

- 실증을 통한 상용급 액체수소 충전소 핵심 기자재 설계/제작/건설기술 확보
- 액체수소 충전소 및 기자재 Track Record 확보
- 실용화 주체 : 기술개발결과를 기업에 이전, 미래 액체수소 공급시스템 및 기자재 시장 진출
  - · 충전소 건설회사/엔지니어링 회사, 가스공사 등 국내 가스 공급회사, 수소 생산/유통기업
  - · 액화수소 연관 기자재 생산기업

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 본 사업은 향후 활성화 될 액화수소 기반의 수소 충전소의 설계 기술 및 핵심 설비를 국산화하고 이를 토대로 액화수소 충전소를 실증/운영하는 것을 기본 목표로 함

○ 사업종료 후 활용 방안

- 구축된 시설은 국산제품 위주의 액화수소 충전소의 핵심 설비가 설치되어 있음. 국산화 실증된 핵심 설비의 장기 성능평가를 위하여 지속적으로 운영될 필요가 있음
- 과제 종료 후 3년간 주관기관의 책임 하에 실증 수소 충전소를 운영하여, 액화수소 충전소 설계 기술 및 핵심 설비의 중장기 Track Record 확보를 추진
- 충전소 실증이 완료 된 후 관련 기술을 민간 기업에 기술이전 하여 국내외 액화수소 충전소 건설시장에 참여
- 실증이 완료된 액화수소 충전소는 향후 국내에서 개발될 액화수소 연관 기가재의 성능평가 설비로 활용, 이를 위하여 성능평가 설비로의 인허가 변경

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 국내 액화수소 연관 법/제도의 부재

- 현재 국내에는 액체수소 연관 법/제도가 없어 연구개발 및 실증이 어려움
- 최근 SK, 효성 등 민간기업은 액하수소 플랜트 및 액화수소 충전소 투자계획을

발표하였으나, 현재 사업추진에 필요한 국내 안전기준이 없는 상태

- 정부는 규제샌드박스를 통하여 201년까지 실증기준을 먼저 마련하고 안전성 실증 후 안전기준으로 2023년까지 제도화를 계획하고 있음

□ 대응방안

○ 사업 추진 시 정부의 안전기준 제도화 현황 파악 및 필요시 규제 샌드박스 신청

- 2021년까지의 규제 샌드박스 실증 결과를 토대로 사업계획 수립 후 규제 샌드박스 신청을 통하여 우선 사업 시작.
- 향후 제도화되는 기준에 맞추어 사업 관련 내용 수정

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도로교통 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 이송 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축
- 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

카. 소요예산

<표 5-151> 액화수소충전소 개발 및 실증 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
액화수소 충전소 핵심 설비 개발	국비	2,450	4,900	5,880	1,680	280					15,190
	민자	1,050	2,100	2,520	720	120					6,510
	합계	3,500	7,000	8,400	2,400	400					21,700
액화수소 충전소 설계 및 도시 실증	국비	650	1,300	1,920	3,520	220					7,610
	민자	450	900	1,080	1,680	180					4,290
	합계	1,100	2,200	3,000	5,200	400					11,900
합계	국비	3,100	6,200	7,800	5,200	500					22,800
	민자	1,500	3,000	3,600	2,400	300					10,800
	합계	4,600	9,200	11,400	7,600	800					33,600

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 본 사업은 R&D 사업으로 R&D가 가능한 공공기관 입지 우선 활용

- R&D 실증 후 민간기업 기술이전을 통하여 상용화

○ 입지(예시)

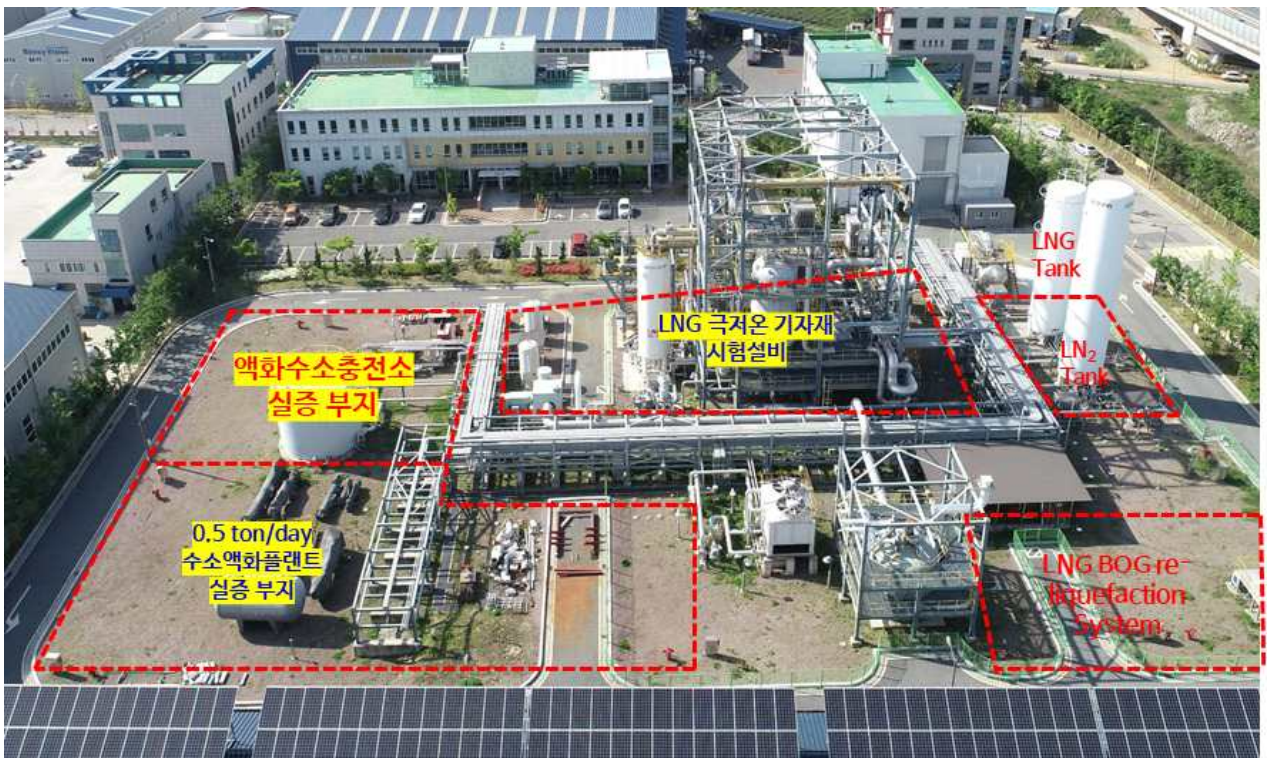
- 김해 골든루트 일반산업단지 (1,502,209m^2, 경상남도 김해시 주촌면 망덕리, 농소리 일원) 내 한국기계연구원 LNG·극저온기계기술 시험인증센터

<표 5-152> 액화수소충전소 개발 및 실증 대상입지

대상부지면적		한국기계연구원 LNG·극저온기계기술 시험인증센터(13,800)㎡ 내 1,400㎡			
충전규모		1,000 kg/day			
토지 이용 계획	충전시설	면적	1,400㎡	대상시설	액화수소충전소
	생산시설	면적	2,000㎡	대상시설	수소액화플랜트 (기존)
	성능평가시설	면적	4,800㎡	대상시설	LNG 극저온 성능평가 설비 (기존)
	기반시설	면적	5,600㎡	대상시설	연구동 및 기반시설 (기존)



[그림 5-101] 액화수소충전소 개발 및 실증 대상지구 개요



[그림 5-102] 액화수소충전소 개발 및 실증 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 수소 수요/공급 계획

○ 실증 부지내 기존 0.5 ton/day 수소액화플랜트로부터 액화수소를 공급

- R&D 사업으로 실증 시 까지 기존 국가 R&D 성과물 (국토교통부 “상용급액세추소플랜트 핵심기술개발 사업”) 활용
- 필요시 시설 구축예정인 국내 민간기업의 대용량 수소액화플랜트에서 생산되는 액화수소 구입 활용

<표 5-153> 액화수소충전소 개발 및 실증 대상지구 수소 공급 계획

구분	종류	단위	수소량	주요 가정
수요	기체수소	ton/day	0.5	-기존 수소액화플랜트의 용량, R&D 단계에서 활용
	액화수소	ton/day	0.5	-기존 수소액화플랜트의 용량, R&D 단계에서 활용
	액화수소	ton	3	-실증목표
공급계획	기체수소	ton/day	0.5	-Tube Traler로 공급, 기존 수소액화플랜트의 용량, R&D 단계에서 활용
	액화수소	ton/day	0.5	-기존 수소액화플랜트의 운영을 통한 공급, R&D 단계에서 활용
	액화수소	ton	3	-실증목표, 기존 수소액화플랜트의 6일분 운영을 통한 공급, 필요시 구축예정인 국내 민간기업의 대용량 수소액화플랜트에서 생산되는 액화수소 구입 활용

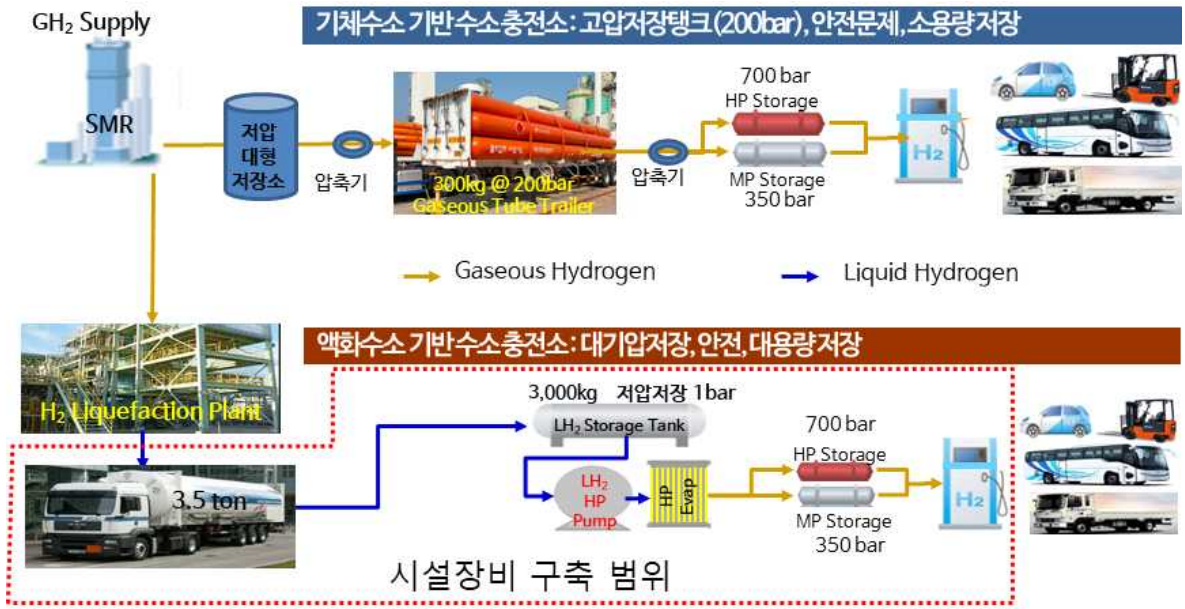
□ 시설·장비 구축 계획

○ 1,000 kg/day 충전용량의 액화수소 충전소 건설 및 실증

- 액화수소 연관 설비의 경우 자체 개발 및 제작, 실증 (액화수소저장탱크, 액화수소펌프, 액화수소 기화기, 액화수소 탱크로리)
- 기존 기체수소 연관설비인 디스팬서의 경우 국내외 기성품 구매
- 국내 실증부지에 자체 개발된 액화수소 연관 기자재 및 기존의 기체수소 충전소 부품을 배치하여 실증 충전소 건설
- 이를 통한 액화수소 충전소 기술 실증 및 개발된 핵심 기자재의 Track Record 확보

<표 5-154> 액화수소충전소 개발 및 실증 시설·장비 구축 계획

생산	○ 기체수소 tube trailer (300kg) 2대로 기체수소 공급 ○ 수소액화플랜트(기존 국가 R&D 결과물) 0.5 ton/day 액화수소 생산
저장	○ 수소액화플랜트의 2.5 ton 액화수소 저장탱크 (기존 R&D 결과물) ○ 액화수소 충전소 부지에 실증을 위한 3 ton 저장탱크 설치
이송	○ 실증 단지내 액체수소 배관을 통한 공급 (수소액화플랜트 2.5 ton 저장탱크에서 액화수소충전소의 3 ton 저장탱크) ○ 3.5ton 액화수소 운송 탱크로리



[그림 5-103] 액화수소충전소 개발 시설장비 구축 범위

3) 장비구축계획서

<표 5-155> 액화수소충전소 개발 및 실증의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
액화수소 저장용기	**자체 개발**	○ 액화수소 저장용기 3,000kg 1기
액화수소 펌프	**자체 개발**	○ 액화수소를 900bar 까지 가압, 용량 100kg/hr
액화수소 고압기화기	**자체개발**	○ 액화수소의 고압 기화(900bar)
액화수소 운송 탱크로리	**자체개발**	○ 용량 3,500kg
디스팬서	**2026**	○ 고압기체수소의 차량 충전 (250kg/day * 4)

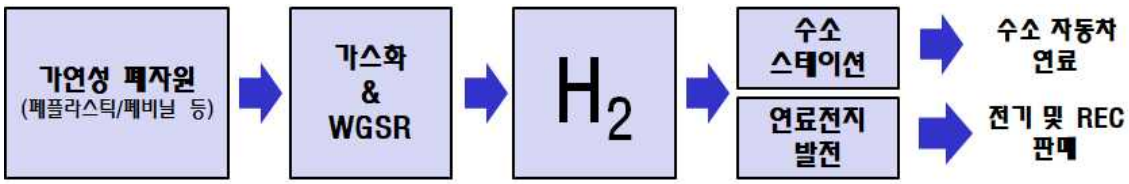
<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소충전소용 디스팬서</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Dispenser for Hydrogen Refueling Station</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Nel / 70MPa KR</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>150</td><td>4</td><td>600</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 한국기계연구원(경상남도 김해시 LNG 극저온 기계기술 성능 평가 센터)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 본 사업은 액화수소 충전소를 개발하는 과제로 이의 실증을 위하여 고압 기체수소를 차량에 충전할 수 있는 디스팬서 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 액화수소 충전소의 실증을 위하여 액화수소 펌프, 액화수소 고압 기화기를 거친 고압의 기체수소를 차량에 충전</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ Fuelling Protoco : SAE J2601-1/2
○ Nozzle Pressure : 700bar
○ Approval : KGS</td></tr>
</table>

5.3.2 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발

가. 개요

1) 정의

○ 도시 내에서 발생하는 가연성 폐자원을 활용하여 지속적이고 저렴한 수소생산 기술 개발 및 생산된 수소의 이송과 수소충전소 또는 연료전지 발전 이용의 전과정에 대한 기술 검증



[그림 5-104] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 개요도

2) 목적

○ 수소도시 내에서의 안정적이고 저렴한 수소 공급

○ 안전한 수소이송 및 활용을 통한 주민 수용성 제고

3) 구성요소

<표 5-156> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	도시폐자원 가스화 및 수소추출 시스템	50ton/d급 × 1기
이송	저압 파이프라인(탄소강 150mm)	50m
	튜브트레일러	450bar/450L
활용	수소충전소	500kg-H_2/d급
	발전용 연료전지	1,000kW급(450kW×2기, 100kW×1기)
운영	통합관제 센터	165㎡

4) 세부과제 구성

<표 5-157> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증	○ 국산 고유모델 50톤/일급 도시폐자원 합성가스 생산 기술 ○ 국산 고유모델 합성가스 고도정제 기술 ○ 국산 고유모델 합성가스 수성가스 전환 기술 ○ 국산 고유모델 수소분리 기술
도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계	○ EPC 설계 기술 ○ ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 기술

5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-158> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
국산화율	○ 도시폐자원 기반 수소생산 전무	○ 도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 구축 및 운영: 70%
설비용량	○ 도시폐자원 기반 수소생산 전무	○ 4톤-H2/일급
수소단가	○ 8,000원/kg(천연가스 개질 기준)	○ 3,000원/kg(폐기물 처리비용 고려시)
탄소저감	○ CO2 전량 배출	○ CO2 활용 설비 적용시 75% 저감

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-105] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

○ 폐기물의 사회적 이슈 해소

- 폐플라스틱/폐비닐 및 유기성바이오매스의 처리/활용 방안 모색 시급
- 폐기물 소각, 고형연료에 대한 부정적인 인식 확산 및 소각세/매립세 도입
- 자원순환기본법 정책에 맞는 화학적 재활용 기술의 보급 필요

○ 폐자원의 친환경적인 처리 및 고부가가치 활용

- 폐자원에 대한 긍정적인 인식으로의 전환 필요
- 수소와 같은 고부가가치 활용이 가능한 친환경 화학적 재활용 기술 도입 필요

○ 폐자원의 청정가스 연료화

- 폐자원 이용하여 청정 가스 연료인 수소 생산 공급

○ 수소사회경제 전환에 있어서 수소 생산의 풍부한 원료

- 수소산업 활성화 로드맵의 수소 공급 가격 목표 달성 가능한 기술 보급
  ※ 폐자원 수소 생산의 경우, 수소 공급가격(2040년 3,000원/kg)달성 가능
- 수소경제활성화 정책의 수소 공급원으로서 폐자원 활용
- 각 지역별 폐자원에서 고순도 수소 제조 공급 가능

○ 미세먼지 및 온실가스의 대기배출 환경부하 최소화

- 고순도 CO2 회수가 가능한 Waste to Hydrogen기술에 CCU 적용 용이
- 미세먼지, 다이옥신 등 문제 해소로 국민 생활환경 개선

○ 고 함수율 유기성 폐바이오매스의 효율적 활용

- 고 함수율의 유기성 폐바이오매스(하수슬러지 등)를 수소 생산에 유용한 원료로 건조없이 공급 가능

○ 폐자원 가스화 수소 및 CCU를 연계한 수소도시 기반 연계 사업모델 개발 필요

- 수소도시 모듈로서 도시폐자원 가스화 수소생산시스템 개발 필요
- 수소도시 연계한 순환사회 구축을 위한 도시폐자원 수소시스템 연계 필요

○ 국내외 시장 성장에 대응 필요

- 국내, 가연성폐기물의 10%(229만 ton/년)를 수소 생산시, 18.3만 ton/년 생산 가능
- 세계 수소 소비 시장규모 2020년 기준 92,147 kton/년으로 국외 수소 수요의 폐기물/바이오매스 합성가스 대체 잠재 시장

○ 도시 폐자원의 가스화 합성가스를 이용하는 기술은 주로 단순 열에너지를 이용한 발전 또는 스팀 활용기술 위주로 진행되었으며, 고부가가치 화학원료 및 수소생산을 위한 기술개발은 매우 부족한 실정임

○ 도시 폐자원으로부터 수소를 생산하기 위한 순산소 가스화 기술의 경우, Pilot급 수준의 핵심기술 및 시스템 기술은 확보 되었으나, 사업화 보급하기 위해서는 test-bed 구축 및 연속운전을 통한 신뢰성 검증이 시급히 필요함

2) 추진 필요성

○ 지역 내에서 발생하는 가연성 폐자원을 활용하여 지속적이고 생산단가가 저렴한 수소생산 및 경제적이고 안정적인 안정적 수소공급이 가능

- 지역내 근거리 수소 생산 공급 필요
- 정부의 수소경제로드맵상 수소 생산단가 목표 달성이 가능한 기술
- 수소도시 내 발생 폐자원을 이용하여 수소 생산/공급 자급자족 순환시스템 구축
- 폐플라스틱/폐비닐 등 재활용품 해외수출 중단, 국내 재활용 한계성 문제 해결

○ 폐자원의 친환경적인 처리함에 따라 지역주민의 부정적인 인식의 긍정적인 인식 전환으로 사회 현안 문제 해결 필요

- 폐자원 소각, 고형연료 열병합연소 등 NIMBY 현상 심화

○ 고상폐기물을 기체연료로의 전환 및 오염물질을 정제하여 LNG수준의 청정한 합성가스로 생산/이용하므로 미세먼지 저감 등 환경오염물질에 대한 해결 가능

○ 폐자원의 가스화 수소생산은 LNG개질 수소생산량을 대체할 수 있고, 기존의 폐기물 소각처리를 대체할 수 있어서 온실가스/미세먼지를 저감 가능

- 폐기물 환경문제 해결 및 친환경 에너지 수요 동시 충족
- 폐기물 순환경제 창출로 수소 도시 에너지 자급화에 기여

○ 국내 5 ton/일급 규모의 파일럿 수준을 상업용 규모인 50 ton/일급 규모의 Test-bed 구축 및 운영을 통한 Track Record 필요

○ 국내 및 해외 폐자원 가스화 합성가스 생산기술에 대한 Needs로 시장규모가 성장하고 있어서 국내 모델의 시장경쟁력 확보를 위해 정부주도 개발이 필요함

□ 폐자원 가스화 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 폐자원 가스화 위주로 연구가 진행되었으나 Pilot규모(5 ton/일급) 플랜트 개발 위주로서 상용규모 가스화 플랜트 기술개발 실적 부족
- 국내 부생가스 수소생산 PSA는 상용규모 개발 운영되고 있으나 폐자원 합성가스 적용은 상용규모는 없음

○ 기술개발 필요성

- 기존 국가 R&D로 TRL 6 이상 기술 연계 및 활용 극대화
- 외국기술 도입 상용급 폐자원 가스화 플랜트 건설 경험 활용
- 모듈화, 표준화, ICT 적용 등 국내 고유기술 접목으로 해외 경쟁력 확보

□ 합성가스 고도정제 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 장기 내구성 있는 소재 및 부품 기술 부족
- 축적된 장기간 운전자료 및 노하우 기술 부족

○ 기술개발 필요성

- Test-bed 운전을 통한 내구성 검증 및 실증화 기술 확보
- 설비의 표준화/모듈화 기술 확보

□ 수성가스전환 반응공정 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 핵심기술인 촉매 개발보다는 주요 공정과 연계하여 안정적으로 운전하는 데에만 초점을 두고 있음.
- 국산화 촉매 개발은 되어 있으나 상용규모에 적용한 운전자료 및 내구성 검증 부족

○ 기술개발 필요성

- 반응기뿐만 아니라 고유의 촉매기술 확보
- 국내 고유 촉매의 적용 운전을 통한 내구성 검증 및 실증화 기술 확보

□ 수소분리(PSA) 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 폐자원 합성가스의 실증규모 설비 설계/시공/운전 기술 부족
- Supply chain, 전문가 및 인력 부족

○ 기술개발 필요성

- 설비의 표준화/모듈화 기술 확보
- 기 확보된 국내 부생가스 적용 상용기술의 폐자원 합성가스에의 적용을 통한 검증을 통한 기술 확보

□ 폐자원 합성가스 활용 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 통합 플랜트 설계 및 운전 경험 전무

○ 기술개발 필요성

- 개발 초기부터 모듈화/ICT화 등 국내 고유의 특화된 기술을 포함하여 국내/해외 기술경쟁력 확보
- 유사 해외기술도입 폐자원 가스화 플랜트 경험 활용
- Pilot급 시스템 설계 및 운전 기술 경험 활용

다. 기술개발 동향

1) 국내

□ 폐자원가스화 기술 분야

○ 폐기물/바이오매스 가스화 관련 연구는 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되었으며, 현재 가스화 용융로, 합성가스 정제 및 이용 기술에 대하여 Pilot 규모의 연구가 주로 진행

- 폐기물 가스화는 주로 Pilot Plant급 위주로 연구가 진행
- 합성가스를 이용한 발전기술은 스팀발전, 가스엔진 발전 등이 이루어지고 있으나, 합성가스를 이용하여 고부가가치 연료회수 기술은 현재까지 미미한 수준으로 개발되고 있는 실정

○ 에너지기술연구원에서는 5 ton/일급 폐자원 가스화기술 개발

○ 고등기술연구원에서는 5 ton/일급 순산소 가스화 시스템 개발하였으며, 50 ton/일급 적용용 핵심 단위장치를 개발하여 5 ton/일급에서 적용을 통한 기술 검증하였음

○ 2015년까지는 삼성비피화학과 고등기술연구원, 대우건설에서 초산생산 공장의 화학원료 적용을 위한 폐기물 가스화를 통한 고품질 합성가스 생산기술을 파일럿 규모로 개발하였고 100 ton/일급 플랜트 기본 설계를 수행

○ 창광실험은 25 ton/일급 병원성 폐기물을 가스화 하면서 산화제로 순산소를 사용하여 합성가스를 생산하는 기술을 개발

○ GS플라텍에서 5 ton/일급 플라즈마 순산소 가스화로 개발

○ 국내의 폐기물 가스화 기술 개발을 선도하는 연구기관으로는 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국기계연구원, 생산기술연구원 등

○ 국내 폐기물 가스화 기술개발을 선도하는 기업으로는 삼호환경, 롯데BP, 대원GSI, 에틴시스템, 대우건설, GS플라텍, (주)유성, ㈜서울암면, 삼양에코너지 등

<표 5-159> 국내 폐기물 가스화 용융 관련 기술개발 현황

연구기관	연구개발 내용
고등기술연구원	○ 사업장폐기물을 대상으로 한 화학원료 전환을 위한 고품질 폐기물 가스화 합성가스 생산기술 개발(주관기관: 삼성비피화학) - 100톤/일급 이상 폐기물 가스화, 합성가스 정제 및 생산 설계기술 개발 ○ 폐기물 합성가스를 이용한 수성전환반응기술과 메탄올 전환기술 개발 - 0.5 TOE/일급 ○ 복합폐기물 가스화 기술을 이용한 고부가가치 화합물 제조를 위한 폐기물 자원화 네트워크 구축(삼성비피화학, 신흥유업, 삼성에버랜드) - 100~200톤/일 복합폐기물 가스화를 통합 고품질 합성가스 생산 시스템 구축을 통한 고부가가치 화학원료 생산시스템의 기술적, 환경적, 경제성 타당성분석 ○ 고발열량폐기물 및 슬러지 혼합가스화 및 H2/CO 생산비 제어기술개발 ○ 3-5톤/일급 고정층 폐기물 가스화 용융시스템 개발(생활폐기물, 사업장폐기물, RDF, RPF, 자동차파쇄폐기물, 등) ○ 50톤/일급 적용용 핵심장치 개발 및 성능 실증 ○ 액상 폐기물 처리를 위한 5톤/일급 가연성 폐기물 가스화용융 플랜트 개발(국가지정연구실(NRL) 사업) ○ 난분해성 액상폐기물 처리시스템 개발 참여(환경부 차세대 핵심환경기술개발사업) ○ 5톤/일급 하수슬러지 용융 시스템 개발(특허, 환경신기술지정)
롯데비피화학	○ 사업장폐기물을 대상으로 한 화학원료 전환을 위한 고품질 폐기물 가스화 합성가스 생산기술 개발(주관기관: 삼성비피화학) - 100톤/일급 이상 폐기물 가스화, 합성가스 정제 및 생산 설계기술 개발
한국환경공단	○ 중소규모 생활폐기물 가스화 발전 플랜트 개발(가스화 30톤/일급, 800 kW발전) (환경부)
효성에바라엔지니어링	○ 10톤/일급 하수슬러지 유동층 가스화 시스템 개발(환경부)
코오롱건설	○ 5톤/일급 생활폐기물 로타리킬른 가스화 시스템 개발(환경부)

연구기관	연구개발 내용
한국에너지 기술연구원	○ 2002년 50 kg/일급 이산화탄소를 이용한 DME 생산 pilot플랜트건설 ○ 2002년 가연성 폐기물의 가스화에 의한 합성가스 제조 및 원료물질 회수를 위한 5톤/일급 pilot 플랜트 건설 ○ 1995년부터 0.5톤/일급 석탄 가스화용융로 개발을 진행
창광실업	○ 24톤/일급 규모의 고칼로리 유해폐기물의 열분해 용융 자원화설비 실증플랜트 개발(환경부 차세대 핵심환경기술개발 사업)
(주)GS플라텍	○ 10톤/일급 생활폐기물 공기이용 플라즈마 가스화 용융시스템 개발(민간독자 개발) ○ 30 kg/h 용량의 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의한 수성가스전환과 PSA를 통해 CO2를 분리하여 수소 제조 기술 개발(지식경제부 신재생에너지기술개발 사업) ○ 5톤/일급 폐기물 플라즈마 가스화, 수소생산 및 연료전지(50 kW)발전
(주)대우건설	○ 열분해 용융시설의 배출가스 및 잔유물 활용기술 개발(환경부 차세대 핵심환경기술개발) ○ 5톤/일급 Thermoselect 방식 가스화 용융시스템 국산화 기술 개발
(주)유성	○ 3톤/일급 난분해성 액상폐기물 가스화 용융시스템 개발
삼호환경기술	○ 8톤/일급 비성형 고형연료 공기사용가스화 가스엔진 발전 기술개발

□ 합성가스 고도정제 기술 분야

❍ Pilot 규모의 합성가스 및 바이오가스의 초정밀 정제 기술에 대한 기술개발이 주로 진행되고 있으며, 상용화 보급 실적은 아직 부족함

❍ 합성가스 정제 및 분리기술 연구는 30 kg/h 용량의 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의한 수성가스전환과 PSA를 통해 CO_2를 분리하여 수소 제조 기술 연구가 최근에 진행

❍ 고등기술연구원에서 2009년까지 35 Nm^3/h급의 폐기물 가스화 합성가스의 H_2/CO 생산비 제어시스템 개발을 진행

❍ 전력연구원, 한국에너지기술연구원, 고려대학교, 영남대학교, 경북대학교에서는 합성가스 내 탈황제 개발에 관한 연구를 수행하였고 국제 경쟁력을 보유

❍ 폐기물 열분해 가스화를 통해 얻어진 합성가스 정제공정에 대해서는 고등기술연구원에서 연료가스를 발전시스템 연료로 사용 가능한 수준의 급냉, 집진, 탈염, 탈황 정제 시스템을 개발

❍ 또한, 연료전지의 연료로 사용하기 위하여 HCl, H_2S, COS, 분진, 중금속 등 물질에 대해서 ppb 수준까지 정제 가능하게 합성가스 고도 정제 시스템 개발

<표 5-160> 오염물질 종류별 정제기술 동향

분야	기술동향	연구기관
분진	○ 석탄가스화 입자상물질 제거기술개발 ○ 가압유동층 연소배가스 입자상 물질 제거시스템 ○ 고온세라믹필터시스템 ○ 특정대기오염물질 동시제거기술 ○ monolithic oxide filter 개발 ○ monolithic Sic filter 개발 ○ 섬유강화 세라믹필터개발 ○ 고온용 금속필터개발	○ 한전/고등기술연구원 등 ○ 에너지기술연구원/경상대학교 ○ 에너지기술연구원 ○ (주)대우건설 ○ 아주대/명지대등 ○ 에너지기술연구원/경상대 ○ 한국과학기술연구원 ○ 화이버텍
황화합물	○ 고온건식 탈황제 개발 사업수행(산학연) ○ 전력연구원과 한국에너지기술연구원 탈황제 특허 4건 ○ 고내마모도 유동층용 아연계 탈황제 ZAC개발 ○ 기포유동층 탈황공정개발 및 300시간 연속운전 ○ 아연계/비아연계 탈황제 조성개발 ○ 유동층방식의 독자적인 고온건식탈황 연속공정 ○ 국내 고온정제 탈황분야 국제경쟁력 보유가능	○ 한전 등 ○ 전력연구원/에너지기술연구원 ○ 전력연구원 ○ 전력연구원/에너지기술연구원 ○ 영남대/충남대/한양대/경북대 등 ○ 전력연구원/고등기술연구원/ ○ 한국에너지기술연구원
HCl등 할로겐 화합물	○ 소각배가스 제어공정 ○ 합성가스 고심도 정제기술개발	○ 보편화된 기술 ○ 한전/에너지기술연구원
중금속 미량물질 등	○ 수은등 중금속 및 미량 물질 ○ 백필터등 저온용공정 활용개발단계 ○ 고온/고압 가스화 제어공정은 없음 ○ 수은흡착제는 개발단계임	○ (주)대우건설/고등기술연구원 ○ 충북대 등

□ 수성가스 전환 공정기술 분야

○ 연구기관(KIER, IAE, RIST 등)에서 합성가스나 부생가스를 사용하여 상용촉매를 적용한 수성가스전환공정 운전 경험 보유

○ 해외 사용촉매 사용한 수성전환 공정을 Pilot급으로 개발하였음

○ 합성가스 개질기술 중 수성가스전환반응의 촉매에 대해서는 서울대에서 $Cu/ZnO/Al_2O_3$ 촉매에 대한 연구를 수행

○ 한국과학기술원에서는 금속 위에 세라믹이 담지된 형태의 촉매 제조 방법에 대한 연구를 수행

○ 연세대에서는 PAS(Photoacoustic spectroscopy)를 사용하여 철촉매의 철의 화학적 상태에 따른 연구를 수행

○ 연세대학교와 고등기술연구원에서는 컴팩트 개질기 개발을 위한 Single stage

WGS 반응용 귀금속 촉매를 연구한 경험이 있으며 세계적 수준의 촉매 개발

○ 한국전력연구원 및 한국에너지기술연구원에서는 가스화 생성 합성가스를 대상으로 하여 CO 전환반응과 CO_2 포집반응을 동시에 실현할 수 있는 촉진수성가스전환(SEWGS) 연구를 수행

□ 수소분리 기술 분야

○ 수소 PSA의 경우 상용화 진입단계에 도달 중

○ 에너지기술연구원에서 부생가스 적용한 수소 PSA 상용화 실적 있음

○ 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업을 통해 가연성 폐자원으로부터의 수소생산을 위한 요소기술의 기초연구는 완료된 상황임

○ (주) 애드플라텍에서 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의해 발생하는 합성가스를 PSA 장치를 이용하여 순도가 99.99% 이상의 수소를 분리하는 20 Nm^3/h 규모의 시스템 및 공정 개발 수행

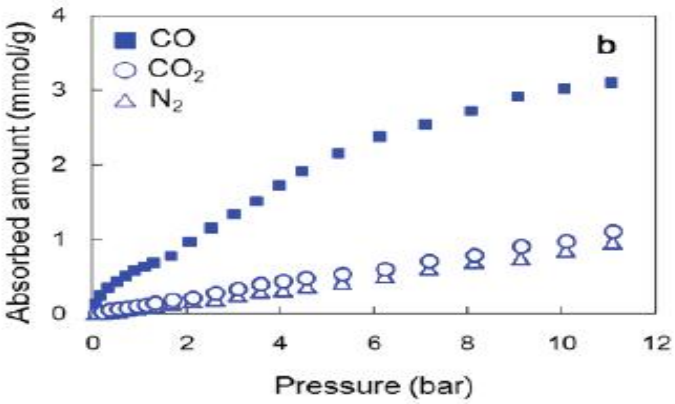
○ 한국화학연구원에서는 N_2의 투과도에 비해 CO의 투과도가 상대적으로 11.78 정도로 높아 CO의 선택성이 매우 좋은 CO/CO_2 분리에 관련된 촉진수송 분리막을 개발

<표 5-161> CO/CO2 분리에 관련된 한국화학연구원의 촉진수송 분리막 관련 연구

Membrane	Membrane area	Pressure	Permeance (GPU)			Selectivity	
	㎠	bar-g	N2	CO	CO2	CO/N2	CO/CO2
Chitosan@ Ag	238	1	0.73	0.72	4.76	0.99	0.15
		2	0.42	2.68	34.72	6.33	0.08
		3	0.40	3.83	16.39	9.52	0.23
		4	0.37	4.30	10.81	11.78	0.40
3%PEI/ Chitosan@ Ag	235	1	0.72	0.26	11.20	0.36	0.02
		2	0.45	1.50	13.69	3.35	0.11
		3	0.31	2.16	13.56	6.86	0.16
		4	0.25	2.74	11.52	11.13	0.24

자료: NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS, Vol. 36, No. 2, 2018

○ 포항산업과학연구원에서는 중/소규모 설비에 적합한 PSA 공정에서 우수한 분리성능의 흡착제 개발을 통해 대용량 CO 분리정제기술에 적용하고자 선행연구를 진행하였고, LDG로부터 CO에 대한 흡착능이 사용 흡착제보다 우수한 PSA용 CO 흡착제 개발





$CuCl/Al_2O_3$

자료: NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS, Vol. 36, No. 2, 2018

[그림 5-106] 포항산업과학연구원에서 개발한 흡착제의 CO, CO2, N2 흡착 특성 및 사진

○ 연세대학교는 LDG에서의 CO 분리는 PSA 공정으로 해결 가능하지만, CO 분리에 앞서 LDG 중 CO_2 제거를 위해서는 추가의 분리공정이 필요하며 이를 위해 막분리 공정을 적용하는 통합 분리공정모듈(막분리 + PSA)을 제시하였고 선행연구로 막분리흡착 전산모사프로그램 개발

□ 폐자원 합성가스 활용 기술 분야

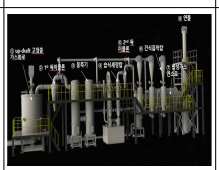
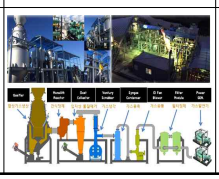
○ Pilot급 시스템 설계 및 운전 기술 경험만 있음

○ 현재까지 천연가스 혹은 석탄에서 유래된 합성가스를 이용하여 메탄올을 합성하는 연구가 한국화학연구원, 한국에너지기술연구원, 고등기술연구원에서 일부 수행

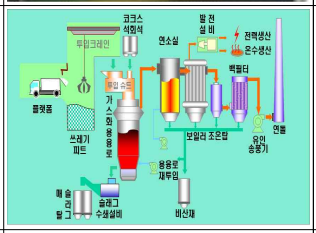
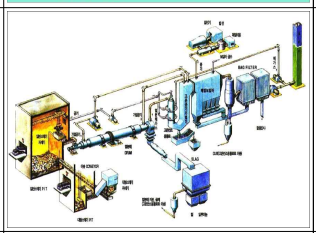
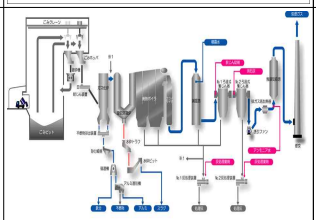
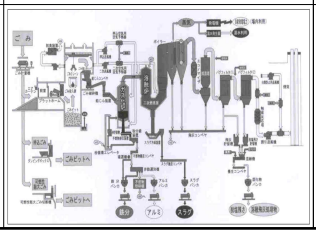
○ 폐기물을 이용한 가스화로부터 생산된 합성가스를 이용하여 메탄올을 생산하는 파일럿급 연구를 삼성BP와 고등기술연구원에서 2011년부터 진행

○ 서울시립대는 이산화탄소로부터 메탄올을 합성하는 촉매 개발에 대한 연구를 수행한 경험이 있으며, 높은 활성을 지닌 촉매를 개발

<표 5-162> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 연구설비 현황

NO	기관명	용량	방식	개발단계	대상원료	생산품	이미지	부처	비고
1	고등기술연구원/대우건설	5톤/일	고정층	파일럿	MSW, ISW, ASR, RDF, RPF 등	전기, 메탄올, 수소, 일산화탄소		산업부/환경부	순산소 가스화용융 설비보유
2	창광실업(구, 에틴시스템)	25톤/일	로타리킬른	실증 후 상용운영	감염성 폐기물	전기		환경부	순산소 가스화용융 설비철거
3	한라산업개발/한국기계연구원	30톤/일	스토카	실증 후 상용운영	MSW	열병합발전		환경부	공기 소각용융 현재 소각로만 운영중(강원 양양군)
4	고등기술연구원/대원GSI	2톤/일	유동층	파일럿	염색슬러지/왕겨	전기, 스팀		산업부	공기 가스화비용융 대원GSI부지 설비철거
5	효성에바라엔지니어링	2.2톤/일	유동층	파일럿	건조 하수슬러지	전기		환경부	공기 가스화비용융 수도권매립지 설비철거
6	코오롱글로벌	5톤/일	로타리킬른	파일럿	비성형SRF	전기		환경부	공기 가스화+연소 수도권매립지 설비철거
7	㈜삼호환경기술/고등기술연구원	8톤/일	고정층	파일럿	비성형SRF	전기		환경부	공기 가스화비용융 여수산업단지 설비철거
8	㈜대원GSI/고등기술연구원	20톤/일	고정층	실증	왕겨	전기		산업부	공기 가스화비용융 대원GSI 부지 설비보유 미확인
9	한국에너지기술연구원/삼양에코너지	20톤/일	고정층	실증	바이오매스	전기		산업부	공기 가스화비용융 설비보유 미확인

<표 5-163> 국내 폐기물/바이오매스 가스화 상용설비 현황

NO	기관명	용량	방식	대상원료	생산품	원천기술	설비위치	이미지	비고
1	㈜GS 플라텍	10톤/일	플라즈마	MSW	전기 수소	한국 ㈜GS플라텍	청송		순산소 가스화용융 운영종료
2	포스코 건설	100톤/일 2기	고정층	MSW	열병합 발전	일본 신일본제출	양산, 고양		공기 소각용융 운영중
3	동부건설	100톤/일 2기	로타리 킬른	MSW	열병합 발전	일본 미쓰이조선	양주		공기, 소각용융 운영중
4	GS건설 /효성에바라	150톤/일 2기	유동상	MSW	열병합 발전	일본 에바라	화성, 은평, 대구		공기, 소각용융 운영중
5	한라산업 개발	45톤/일 2기	유동상	MSW	열병합 발전	일본 코벨코	판교		공기, 소각용융 운영중

2) 국외

□ 폐자원가스화 기술 분야

○ EU, 일본 및 캐나다를 중심으로 30～300 ton/일급 폐기물 처리 용량의 합성가스 생산 기술을 개발하여 시장에 진출 중

○ 스위스는 1990년대 후반에 상용화 하였으며, 일본은 2000년대 초반에 개발/상용화, 캐나다는 2010년대 초반에 상용화 진행됨

○ (유럽) 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술은 유럽이 가장 선진기술을 가지고 있으

며, 특히 독일, 오스트리아, 네덜란드의 기술력이 가장 높은 곳에 위치

- 독일은 도시폐기물과 biomass, 석탄 등을 가스화 연구개발을 추진하고 있으며, 330 ton/일급 고정층 폐기물 가스화기를 상용화하여, 100,000 Nm^3/h의 합성가스를 공급할 수 있는 능력 확보
  - · 또한 독일 Lurgi사는 SVZ Schwarze Pumpe에 50 MW 가스화시설을 건설 운영 중
- 네덜란드는 1940년대 후반부터 가스화에 대한 연구를 시작하여 1999년 이탈리아에 500 MW급 플랜트를 건설하는 등 세계적으로 100여개의 상용화 플랜트를 건설
  - · 특히, 최근에는 유해폐기물이나 슬러지, 폐플라스틱 등을 가스화하여 생성되는 합성가스를 이용하여 메탄올 혹은 수소 등을 제조하는 공정을 개발
- 이태리 Grave-in-Cianti에는 1992년부터 가스화 플랜트 운전 중
- 핀란드는 Lahti에 산업폐기물 가스화 플랜트 50 MW급을 1998년부터 운전 중이며, 국가연구소인 VTT에서는 기존 바이오매스 가스화공정 효율을 높일 수 있는 새로운 방식의 가스화 반응기 개발

<표 5-164> 해외 폐기물 가스화기술의 대표적인 기술개발 사례

업체명	내용
Austrian Energy & Environment	CFBC 기반 간접 가스화 열병합 발전 시스템 및 합성가스의 활용 기술
Carbonan	CFBC 기반 가스화 발전 시스템 개발
Foster Wheeler	CFBC 기반 가스화 및 합성가스를 topping 하는 복합 기술 개발
Metso(Valment)	FBC 기반 가스화 및 Bio-SNG 플랜트를 공급
Chemrec	분류층 가스화 기술을 이용한 펄프 공정에서 발생되는 흑액의 가스화 기술 개발
Pepotec	간접 가스화 기술을 이용한 열병합 발전 및 수소, SNG 생산기술

자료: 산업통상자원부, 2016 신·재생에너지 백서, 2016, p.60

○ (캐나다) 캐나다의 경우, R&D 프로그램을 통해 개발된 폐기물 가스화 기술이 상업화 단계에 있으므로 자국내 보급과 캐나다 접근 지역의 미국에의 플랜트 보급을 추진하고 있으며, 동남아시아 정부와의 협력으로 자본과 기술 투자를 추진

- 가스화 기술은 MSW, 바이오폐기물, 폐타이어에 주로 적용되고, 멕시코도 폐타이어 가스화 설비를 도입한 경험 보유



자료: 고등기술연구원 정리

[그림 5-107] 캐나다 Enerkem사의 폐기물 가스화 화학원료회수 시스템

❍ (일본) 일본의 경우, 최근에는 가스화 용융방식의 폐기물 처리 시스템이 활발히 보급

- JFE은 1997년도 TS 기술과 제휴하여 전 세계 10여 곳에 폐기물가스화 설비를 건설, 가동 중
  - · 치바현 제철소공장 내에 150 ton/일 2기 가스화 용융 플랜트를 건설 가동 중
  - · 현재는 9~11기의 상용급 폐기물 가스화 플랜트가 상업운전 중
- 폐기물 가스화 합성가스 생산을 통해 300 kW급 연료전지 발전 실증플랜트 가동
- EBARA와 UEDE는 200 ton/일급 폐기물 가스화 시스템과 합성가스를 이용한 연료회수 플랜트가 상업운전 중
- 폐기물에너지 고부가가치 이용으로 전환으로 방향성 설정
- 폐기물 가스화 합성가스 생산시스템이 다수의 플랜트가 상업운전 중
- 폐기물 가스화 합성가스로부터 연료회수 플랜트로서 EBARA와 UEDE가 쇼와덴코 공장에 200 ton/일급 플랜트 건설하여 상업운전 중



자료: 고등기술연구원 정리

[그림 5-108] 일본 UBE사의 폐기물 가스화 화학원료회수 시스템

- 일본의 경우 대부분 유럽에서 기술을 도입한 후에 그 기술에 대하여 추가적으로 별도의 연구를 수행하여 상용화에 따르는 문제점을 해결하고 자체 기술화하는 방식을 주로 선택
- 생활폐기물 및 사업장 폐기물 가스화 플랜트 가동현황을 다음의 표에 정리

<표 5-165> 일본의 가스화플랜트 가동현황

Location	Capacity (Tpa)	Process	Year	Type
Ibaraki	135,000	Nippon Steel	1980	Gasification+Melting
Amori	135,000	Ebara	2001	FB Gasification+Combustion+Melting
Kawasaki	125,000	Ebara	2002	FB Gasification+Combustion+Melting
Toyohashi	120,000	Mitsui	2002	Pyrolysis+Combustion+Melting
Akita	120,000	Nippon Steel	2002	Gasification+Melting
Oita	115,000	Nippon Steel	2003	Gasification+Melting
Chiba	100,000	Thermoselect	2002	Gasification+Melting
Kawasaki	66,000	Ube	2005	Gasification+Melting+Chemical
Ube	33,000	Ube	2003	Gasification+Melting+Chemical

○ (미국) 미국의 경우, 폐기물로부터 발생한 합성가스를 자원화 사례는 국내와 마찬가지로 부족한 실정이며, 합성가스를 혼합된 상태에서 연료화

- 벨트란, PRME 등 가스화 시설 보급업체에서 폐기물을 이용한 합성가스 생산을 통해 가스엔진 발전 및 스팀발전을 터키, 이태리 등에 보급하여 상업운전 중
- 2005년에 설치된 실적이 폐기물 가스화 시설이 설치되어 운전 중에 있으며, 폐기물 가스화에 대해서는 일본 및 유럽에 비해 미흡한 실정
- 가스화의 이미지는 좀 더 긍정적이나 고가이며 복잡하고 특정화된 산업폐기물의 취급에 보다 유용할 것으로 여겨짐. 여기서 특정화된 산업폐기물이란 하수슬러지나 목질계 바이오매스보다 석유화학 산업에서 배출되는 폐기물을 지칭
- 최근 폐기물가스화 기술 보급을 위해 DOE 및 지방정부에서 적극 검토 추진을 진행중이며, 뉴욕 R&D 센터에서는 폐기물 가스화 기술 개발 및 보급을 위해 추진 중
- 미시시피주의 경우 300 ton/일급 폐기물 가스화 및 합성가스를 이용한 메탄올, 에탄올 생산을 위한 플랜트가 건설 중

□ 합성가스 고도정제 기술 분야

○ 폐자원 가스화 합성가스와 연계한 상업운전 설비 운전중

○ 습식정제기술과 건식 집진은 상용화 적용되고 있으나 건식 가스정제는 개발 단계임

○ 합성가스 정제기술은 합성가스 내 분진제거 관련 연구는 대부분 집진설비를 산업체에 적용하여 연구하고 있으며, 건식 및 습식 집진 기술 분야는 해외기술과 국내기술이 거의 동등한 수준

○ 합성가스 정제 분야의 국외 기술 수준

- 집진: 건식 습식기술 분야 국내기술 해외기술과 거의 동등수준
- 탈황(H_2S): 대규모 상업화 기술은 미국(메르켐) 혹은 네덜란드(Shell 사)
- 산알칼리 정제: 일반화된 상용기술로 국내외 기술 동등 수준

<표 5-166> 해외 오염물질 정제기술 동향

분야	기술동향	연구기관
분진	○ IGCC용 합성가스 정제장치개발,실증 ○ 가압유동층 연소배가스 입자상 물질 제거시스템 ○ monolithic oxide filter 개발 ○ monolithic Sic filter 개발 ○ 섬유강화 세라믹필터개발	○ Ville/Berrenrath ○ Tidd/Grimethrope ○ Coors ceramic Co. 등 ○ Schumacher 등 ○ 3M 등
황화합물	○ 고온건식 탈황제 개발/공정개발 ○ 상업용급 유동층용 EX-SO3와 RTI-3개발 ○ 탈황공정 및 탈황제 개발 ○ 유동층고온건식탈황과 재생반응기 2단연구 ○ Vision21 program(합성가스 고온정제) ○ 고온정제분야를 가스화,연료정지,고온정제로 나누어 각 분야에 맞는 기술수준과 단계별 기술개발 추진중	○ PPCo 등 ○ RTI ○ MHI, IHHI, Hitachi 등 ○ KEMA(네덜란드) ○ GTI,SWPC 등
HCl 등 할로겐 화합물	○ 소각배가스 제어공정 ○ 합성가스 고심도 정제기술개발	○ 보편화된 기술 ○ 한전/에너지기술연구원
중금속 미량물질 등	○ 수은등 중금속 및 미량 물질 분석기술 ○ 고온가스중 HG제거기술개발 ○ Hg 등 흡착제 제조기술개발	○ NETL, RTI, GTI 등

□ 수성가스 전환 공정기술 분야

○ 슈트켐, 존슨매티 등에서 수성전환 촉매와 공정을 상업화하여 보급 중

○ 일본 EUP는 200 ton/일급 폐자원 가스화 합성가스 연계 상업운전 중

○ 독일의 Sud-Chemie사의 WGS 공정에서 핵심인 촉매기술이 전 세계에서 거의 독보적

○ 암모니아 합성공정 중 WGS 촉매로 개발된 Fe_3O_4/Cr_2O_3이 수십년 동안 가장 좋은 상업적 촉매로 사용되고 있는 중

○ 최근에 promoter로 CuO가 2 wt% 포함된 $CuO/Fe_3O_4/Cr_2O_3$이 상용촉매로 쓰이고 있음

- 낮은 공간속도를 사용하는 단점이 있으며, 후단에 저온 전이 반응기를 설치함에 따라 장치비용이 비싸지고 공간을 많이 차지하는 단점 존재
- 2성분계 CuO/ZnO와 3성분계 $CuO/ZnO/Al_2O_3$, $CuO/ZnO/Cr_2O_3$ 촉매가 1960년대 초부터 상용공정에 사용 중
- 온도 영역이 제한적이며 공정 조건의 변화에 민감해 촉매가 쉽게 변성되는 단점 존재

○ 미국, 일본, 유럽 등에서는 Fe/Cr 계의 촉매를 이용한 수성가스전환반응에 대한 연

구가 활발하게 진행되고 있으며, 미국의 Lund 등은 Pd 멤브레인 반응기를 이용하여 반응 최적화 수행

○ 러시아의 Andreev 등은 CuO, CoO, Zno 등의 첨가에 의한 Fe_3O_4/Cr_2O_3 촉매의 활성 향상에 대한 연구를 수행하였으며, 최근에는 Au/α-Fe_2O_3 촉매가 110~360℃의 넓은 온도 범위에서 높은 활성을 보인다고 보고

○ 최근, 폐기물 가스화로부터 생산된 합성가스의 효율적 활용을 위해 HTS 반응용 촉매 개발에 대한 연구가 진행되었으나 낮은 선택도와 안정성으로 특정 반응기에서 제한적으로 경제성을 갖는 단점 내재

○ 또한, 합성가스를 WGS 반응에 적용하여 황에 대한 저항성을 지닌 촉매 개발에 대한 연구가 최근 진행되고 있으나 아직까지 낮은 공간속도에서 만족스럽지 못한 CO 전환율을 나타내고 있어 연구 개발이 미흡한 실정

○ 천연가스의 개질로부터 수소를 생산하기 위한 WGS 반응용 촉매에 대한 연구는 많이 이뤄지고 있으나, 합성가스의 고부가가치 연료전환을 위한 WGS 반응용 촉매의 연구개발은 초기 시작 단계이며, 최근 관련 연구가 증가하는 추세

□ 수소분리 기술 분야

○ 고순도 수소 분리 기술을 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중

○ (CO_2 분리) 합성가스 내 CO_2 분리기술은 주로 미국이 주도하고 있으며, 대표적인 IGCC 공정으로는 GE Texaco 공정이 있으며, 1983년 최초 공장을 설립하였고 현재는 약 100기 정도의 상업화 공장이 운전 중

- 탄소연료로 합성한 가스 중 CO_2를 연소 전에 포집하는 공정에서 액상 흡수법의 대표적인 공정은 UOP 사의 Selexol 공정, Kerr McGee/ABB Lummus 사의 아민 이용공정, activated MDEA 공정, Rectisol 공정, Purisol 공정, Benfield 공정 등이 있음
- 고체흡수법의 대표적인 공정으로는 미국의 Airproduct사의 SERP(Sorption Enhanced Reaction Process)연구에서 수행한 PVSA 공정
- 연소 전 CO_2 분리 공정은 반드시 WSR(Water shift reaction) 장치와 CO_2 포집장치를 수반해야 효율적으로 운용, 가동될 수 있다고 보고

○ (H_2/CO 분리) 합성가스 내 H_2/CO 분리 기술은 에어리퀴드(AIR LIQUIDE)사에서 50여개의 상용화 플랜트에서 H_2/CO를 분리하여 산업용 가스를 공급

○ 미국 MEDAL과 RTI는 DOE/NETL의 지원 하에 각각 내열성 고분자와 실록산계 막을 IGCC에 적용하기 위한 연구를 수행하여 $H_2/CO/CO_2/H_2S$ 등을 동시에 분리하

는 연구를 수행

○ 최근 고순도의 H_2를 분리회수하기 위한 금속막을 이용한 분리공정이 개발

- 금속막의 경우 고온, 고압의 폐가스처리에 유용한 장점이 있는 반면에 박막화에 따른 가공의 난이성과 가격이 비싼 단점이 있어 아직 상용화 기술개발은 부재

○ 폐기물로부터 H_2를 분리·회수한 예는 미국의 Startech사가 기체분리막을 이용한 공정이 유일하나 분리막 공정의 경우 저순도의 H_2를 생산하는 한계 존재

○ 비록 코크스오븐가스를 비롯한 합성가스로부터 H_2를 분리·회수하는 기술은 이미 여러 나라에서 상용화되어 있으나 폐기물 가스화를 통한 합성가스로부터 고순도의 H_2를 분리·회수하는 상용화기술의 사례는 거의 없는 실정

□ 폐자원 합성가스 활용 기술 분야

○ (Velocys) 마이크로 채널 반응기를 이용한 FT 합성

- 열발생을 억제할 뿐만 아니라 제어하는 것이 용이하며, 그 결과 촉매가 반응하는 최적의 온도를 유지하여 전환율이 크게 향상

- FT 반응기의 단위 무게당 생산성은 고정상과 슬러리상의 7～8배 수준

○ (Enerkem) 폐기물 합성가스를 이용한 에탄올 합성 관련 촉매의 종류, 반응온도, 압력 등을 극비사항으로 분류하여 미공개

- 실증 플랜트는 먼저 메탄올 플랜트를 건설하고 이어서 에탄올 플랜트를 완성, 즉, 메탄올에서 에탄올을 생산하는 것으로 예측

○ (BioDME) Haldor Topsoe는 DME 합성 기술에 대해 20년 이상의 경험을 가지고 있으며, 2006년에 이란에서 800,000 ton/년 플랜트를 도입

- 종래의 방법은 합성가스의 H_2와 CO의 비율을 2:1로 메탄올 합성을 실시한 후 DME를 합성하는 방법이지만, Haldor Topsoe는 동시에 이를 한 번에 하는 직접 합성법을 제안

○ (Envergent Technologies) 제조된 열분해유를 현재 보일러용 연료로 이용하고 있으며, 또한 가스터빈의 연료로도 사용 가능

- 열분해 오일을 가스터빈에서 연소시킨 경우 운전상황에 문제가 없고 발전기의 출력도 손색이 없는 결과를 보여주며, 배기가스 중의 NOx가 경유의 1/5 정도인 것으로 보고

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 수소도시의 안정적인 수소공급을 위한 도시폐자원 가스화를 통한 합성가스에서 수소 생산 공급 통합 Test-Bed 플랜트 개발

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-167> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
폐자원 순산소 가스화 공정	50톤/일급 개발	- 5톤/일급 용량 개발	- (유럽, 일본) 240-300톤/일 용량 상업 운전 중
합성가스 정제 처리용량 및 정제성능	3,000 N㎥/h급 개발 (H2S/HCl 0.5ppm 이하)	- 380N㎥/h급 개발, H2S/HCl 0.5ppm 이하	- (유럽, 일본) 18,000~22,000N㎥/h급 상업 운전 중이며 H2S/HCl 0.5ppm 이하
CO의 수소 전환 시스템 용량	3,000 N㎥/h급 개발	- 150N㎥/h급 개발	- (일본) 22,000N㎥/h급 상업 운전 중
생산 수소 순도	99.99% (합성가스 처리용량 3,000 N㎥/h급)	- 부생가스 이용 공정에서 99.999%	- 폐자원 수소 생산 공정 99.99%
냉가스효율	65%	- 60%	- > 60%
미세먼지 대기 배출량	소각기술 대비 99% 저감	- 소각기술 대비 90% 저감	- 소각기술 대비 99% 저감

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-168> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 국내 고유 기술 활용 수소 4 톤/일급 생산 플랜트 scale-up - 대상폐기물 선정 및 특성 조사 - 설치부지 선정, 조사, 부지정리 및 인허가 - 기본설계 및 상세설계(부분)
2024년	○ 상세설계(계속) 및 주요설비 부분 제작 - 폐자원 저장/공급시스템 - 폐자원 가스화 용융설비 - 합성가스 정제설비 - WGSR 설비 - PSA 설비 - 잉여 합성가스 연소보일러 설비 - 부대설비 - CCU 설비 ○ 토목공사 및 유틸리티 공사
2025년	○ 주요설비 제작 및 설치 - 주요 기계설비 제작 - 전기 및 제어시스템 제작 - 설치 ○ 주요 기자재 구매 - 주요 분석기 등
2026년	○ 시운전 및 운적 최적화 ○ 시스템 개선
2027년	○ 신뢰성 운전 및 운전데이터 확보/검증 ○ 도시폐자원 수소 생산 표준화 설계 패키지 개발

마. 세부과제 추진계획

1) 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 도시폐자원 기반 합성가스 생산 및 수소추출 전과정에 대한 기술 검증

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-169> 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		'23년	'24년	'25년	'26년	'27년
고유모델 50톤/일급 도시폐자원 가스화 공정	냉가스효율 (%)	-	55 (파일럿)	57 (파일럿)	60	65
	탄소전환율 (%)	-	70 (파일럿)	75 (파일럿)	80	85
고유모델 고도정제 공정	H2S/HCl (ppm)	-	1.0 (파일럿)	0.5 (파일럿)	0.2	0.1
	처리용량 (합성가스, N㎥/h)	-	200 (파일럿)	230 (파일럿)	2,500	2,500
고유모델 수성가스 전환공정	CO전환율 (%)	-	80 (파일럿)	85 (파일럿)	90	90
	처리용량 (톤/일-수소기준)	-	0.30 (파일럿)	0.35 (파일럿)	4.0	4.0
고유모델 수소분리 공정	수소순도 (%)	-	90 (파일럿)	95 (파일럿)	99.97	99.99
	처리용량 (합성가스, N㎥/h)	-	200 (파일럿)	230 (파일럿)	2,500	2,500

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-170> 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 국내 고유 파일롯급 가스화 기술 활용 중형급인 도시폐자원 50톤/일급 사용 합성가스 생산 가스화 시스템 scale-up 설계 ○ 도시폐자원 대상 국내기술 기반 정제기술 활용 2,500 N㎥/h급 합성가스 고도 정제 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ○ 수성가스전환용 촉매 개발 및 반응기의 형상설계 (열회수 방식 선정 등) ○ 국내 기술 기반 수소 PSA 기술 활용 2,500 N㎥/h급 고순도 수소 분리 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영)
2024년	○ 50톤/일급 도시폐자원 사용 합성가스 생산 test-bed 제작 (공정률 약 20%) ○ 모듈화/IT화 기초설계 기반 합성가스 고도 정제 설비 상세설계, 제작(공정률 약 40%) ○ 수성가스전환용 촉매의 대량생산 기술 개발, 반응기의 열/구조해석 및 재질 선정 ○ 모듈화/IT화 기초설계 기반 고순도 수소 분리 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 40%)
2025년	○ 합성가스 생산 test-bed 설치(공정률 약 80%) 및 단위 설비 시운전 ○ 2,500 N㎥/h급 합성가스 고도 정제 설비 설치 및 단위 설비 시운전 ○ Test-bed급 수성가스 전환 공정 설계
2026년	○ 합성가스 생산 test-bed 설치 완료 및 도시폐자원 가스화 성능 시험 ○ 합성가스 생산 플랜트 연계 합성가스 고도 정제 설비 운전안정화 시험 ○ Test-bed급 수소생산을 위한 수성가스전환 공정 구축/시운전 ○ 합성가스 생산플랜트 연계 고순도 수소분리 설비 운전안정화 시험
2027년	○ 전 단위공정을 연계하여 수소 4톤/일급 생산 test-bed(실증 플랜트) 성능 최적화 시험 ○ 수소 4톤/일급 생산 플랜트 표준화 설계

2) 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 도시폐자원 기반 수소 생산 플랜트 표준모델 설계 및 운영관리 최적화 등 기반 기술 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-171> 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
EPC 설계 기술	모듈화 설계기술 자립도 (%)	-	60	75	90	100
	EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율(%)	-	20	30	40	50
	가상플랜트 정확도(%)	-	50	60	75	85
ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 시스템	대용량 data 실시간 진단 및 예측(%)	-	60	70	85	100
	안전성평가 프로그램 가용도(%)	-	20	30	40	50
	피해영향 평가예측 DB 구축률(%)	-	30	40	50	70

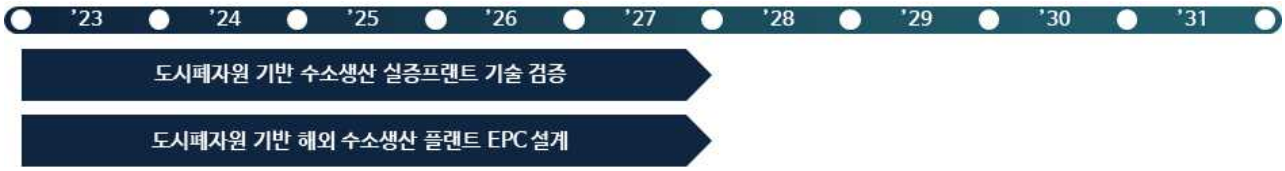
□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-172> 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈화 플랜트 최적화/표준화 개념 설정, 현장 조립 최소화할 수 있는 연결 기술 개발 및 별도 운반용 자재 최소화 기술 개발 ○ 수소생산 모듈화 플랜트 사업화 모델 연구 ○ ICT/IoT/빅데이터 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 기초 설계 ○ ICT/IoT 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 설계, 빅데이터 분석 및 진단 체계 설계
2024년	○ 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈 부재 구조해석, 구조성능시험 및 모듈 프레임 Mock-up 테스트 ○ 모듈화율 향상을 위한 기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 ○ 기존 구축된 pilot 설비 활용 운영관리 최적화 시스템 프로토타입 시범 운영, 설계 보완 및 실증플랜트 구현 ○ 빅테이터 플랫폼 프로토타입 시범운영 및 실증플랜트 빅데이터 플랫폼 구축

연도	추진계획
2025년	○ 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈 프레임 Mock-up 테스트 (계속) 및 국산 자재 100% 적용을 위한 자재 분석 및 적용 기술 개발 ○ 시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 : 모듈 연결기술에 대한 표준화 개념 설정 ○ 모듈화율 향상을 위한 기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 (계속) ○ 운송 중 지지 구조재 개발 ○ Pilot 설비 운영 결과 반영 ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 보완, 실증플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 시스템 보완 및 구축 ○ 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 체계확립 및 분석, 조기 진단, 시각화 시스템 구축/시운전
2026년	○ 시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 : 모듈 연결기술에 대한 구조성능시험 및 검증 ○ 한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 : 한국형 고유 모듈 최적화/표준화 기술 개발 및 Pilot test 설비 구축 ○ 운송 중 지지 구조재 개발 (계속) ○ 기능형 설비 구성 모듈 테스트 ○ 합성가스 기반 수소생산 실증플랜트 운전결과 반영 운영관리 최적화 시스템 운영 및 검증 ○ 실증플랜트 연계 빅데이터 플랫폼 운영을 통한 분석/진단 체계 개발
2027년	○ 한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 : 한국형 표준화 모듈의 구성 모듈 파일럿 테스트 방안 구축, Pilot test 및 결과 피드백을 통한 최적화/표준화 모델 보완 ○ 구성 모듈에 대한 파일럿 테스트, 결과 분석 및 feed-beck을 통한 기능형 설비 최적화 설계 방안 도출 ○ ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 확립 ○ 실증플랜트 적용을 통한 플랜트 빅데이터 플랫폼 체계 완성 및 분석/진단 체계 검증

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-109] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 폐기물의 플라즈마 가스화 용융-수소회수-연료전지 발전 실증시설 구축

○ 주요 내용

- 폐기물의 플라즈마 열분해 가스화에 의한 수소회수개발 사업으로 실증시설의 전

단계인 Pilot 규모의 수소회수 시설을 건설하고 회수되는 수소를 사용한 연료전지 발전의 기술 개발

- 수성가스 전환용량과 수소분리용량이 각각 150 Nm^3/h과 60 Nm^3/h의 Pilot 수준의 연구임

○ 차별성

- 기존 기술개발은 TRL 5-6 단계의 파일럿 기술개발로, 실증연구인 2,500 Nm^3/h급의 본 연구와는 규모 측면에서 차이가 있음

○ 연계방안

- 합성가스의 수소분리기술 기존 기술개발과제의 성과를 활용/적용
- 폐자원 합성가스의 수소분리 기술에 대한 결과를 활용

□ 고열량 폐기물 합성가스로부터 메탄올 회수 기술 개발

○ 주요 내용

- 0.5 TOE/일급의 폐기물 가스화 시스템 최적화 및 가스화 연계 메탄올 전환시스템 구축/개발
- 폐플라스틱과 같은 고질의 고열량 폐기물을 대상으로 한 가스화 기술개발로 파일럿급 과제임
- 합성가스로부터 메탄올 회수 및 CO 회수가 최종목표

○ 차별성

- 기존 기술은 파일럿급 가스화 설비의 고도 정제기술 및 WGS 기술 개발을 통한 메탄올 제조가 목적이며 실증규모의 수소 추출이 목표인 본 과제와는 차이가 있음

○ 연계방안

- 순산소 가스화 시스템의 운전 및 설계기술 개발결과를 활용하여 50 ton/일급 가스화 시스템의 설계에 적용
- 메탄올 회수를 위한 합성가스 정제기술 및 CO의 수소전환 개발 결과 활용

□ 비성형 고형연료의 혼합산화제 가스화를 통한 고품질 합성가스 제조 기술 개발

○ 주요 내용

- 비성형 고형연료를 이용한 8 ton/일급 공기사용 가스화 발전 및 열이용 시스템의 설계 및 최적화 운전기술 확보를 통한 국내 고유모델 개발

○ 차별성

- 공기사용 가스화 기술로서 타르가 생성되는 분위기의 가스화로 개발로 본 과제의 순산소 가스화 기술과는 차별화됨

○ 연계방안

- 도시폐자원의 공급특성 및 가스화로 운전 특성을 본 과제의 test-bed 설계시 활용
- 합성가스 정제기술에 대한 연구결과와 데이터 수집/모니터링 기술 등을 본 과제 수행에 활용

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-173> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
도시폐자원 기반 합성가스 생산 기술	8	●		◐	○
도시폐자원 기반 합성가스 고도정제 기술	8	●		◐	○
도시폐자원 기반 수성가스 전환 기술	8	●		◐	○
도시폐자원 기반 수소분리 기술	8	◐	●		○
도시폐자원 기반 수소생산 EPC 설계 기술	8	●		○	◐
ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 기술	7	○	◐	●	

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 산학연의 역할 분담

- 세부 요소 기술은 연구소, 대학이 담당하고 사업화 모델 및 사업화 투자는 중견·중소기업이 역할을 분담
- 해외 전문가 활용을 위한 유관기관과의 업무협약, 공동연구 등을 통한 교류 및 협력 추진

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 도시폐자원을 관리하는 지자체와 연구개발 초기 단계부터 협업체계 구축

- 실증부지 활용계획 수립, 인허가 지원 및 주민설명회를 개발 초기 단계부터 함께 수행
- 수요자로서 개발기술의 단계적 검증 및 활용방안 협력

□ 기술수요자와 협력체계

○ 중견·중소기업 주도의 현지 수요기반 융복합 R&D 추진

- 수요자 관점의 연구개발을 확대하기 위해 가치사슬과 연관성이 높은 중견·중소기업이 주도적으로 컨소시엄을 형성

□ 세부과제간 연계방안

○ 핵심기술과 기반기술 간의 단계적 연계 추진

- 기술의 완성도 제고를 위해 연구기반구축, 핵심설비 국산화, 기존 파일럿 설비 운전, 실증설비 검증 등의 단계적 또는 동시 병행적 연계 추진
- 개발기술의 완성도 제고를 위한 세부과제간 단계적 검증과 실증을 통해 상용화 기반 마련

3) 실용화 전략

○ 현장 실증 실적 확보

- 현장실증 실적 확보 및 적극적 활용을 통한 상용화 촉진
- 테스트베드 실증 및 기술검증을 통한 미완성 기술의 실용화 제고

○ 사용자/수요자에 대한 명확한 타겟팅 및 협력체계 구축

- 연구성과물의 수요자를 명확히 하여 본 사업의 성과 활용 가능성 강화
- 실증 테스트베드의 성과검증 시 수요자와 공동검증 실시

○ 연구개발 성과물의 확산

- 연구개발 성과의 확산을 위해 개발된 기술을 업계에 기술 이전 및 보급
- 연구개발 성과의 지자체 등에 기부체납을 통한 연구개발 성과 공유 및 타지자체로의 확산

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ 시설의 유지주체는 지자체 또는 부지소유 사업자로 계획

- 연구성과물의 유지주체를 명확히 하여 사업종료 후의 성과 활용성 제고

○ 연구개발 주체와 시설의 유지 주체에 대한 권리 부여

- 연구개발 주체는 설비 운영 자료에 대한 접근 권한을 갖고, 설비 유지 주체는 생산물에 대한 권리 부여로 실증설비 활용 근거 마련

○ 수소생산을 위한 운영비 조달

- 실증설비를 지자체에 기부체납하여 상용급으로 확장 운영할 경우, 수소 판매 또는 매전을 통해 운영비용 조달 가능

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 도시폐자원의 분산형 수소 추출 플랜트 기술/시장에 대한 위험요인

- 대형규모는 해외 기술선진사(미국, 네덜란드, 독일, 일본)의 독과점 체제 시장

○ 도시폐자원의 안정적인 원료확보 위험요인

□ 대응방안

○ 도시폐자원의 분산형 수소 추출 플랜트 기술/시장에 대한 위험요인 대응 방안

- 국내 test-bed 실증플랜트 건설 운영을 통해 사업수행 실적을 확보함으로써 본격적 시장에 대응
- 선진기술사 독과점체제 시장에 진입 시 대규모 해외사업 참여기회 가능
- 시장의 위협을 회피하고 약점을 최소화할 수 있는 국내기반 기술 기반의 모듈화 기술 개발 추진

○ 도시폐자원의 안정적인 원료확보 위험요인 대응 방안

- 원료 수급 가능 규모로부터 적정 설비규모 산정 : 50 ton/일
- 대상 도시/지역의 인구수 : 100,000명(중소도시 규모)
- 대상 도시/지역의 폐기물 발생량 원단위 : 0.93 kg/인·일(동남아 국가 : 0.8 kg/인·일 수준)
- 폐기물 전처리(파쇄, 선별, 건조) 후 생산 수율 : 50～60%

- 필요 설비규모 : 46.5～55.8 ton/일(본 기획에서는 설비규모를 50 ton/일로 산정)
- 50 ton/일급 기본 모듈을 연계하여 100 ton/일 이상 사업에 적용

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 개발되는 Test-bed (상용급 폐자원 50 ton/일급 용량, 수소 4 ton/일 생산용량) 도시 폐자원 이용 수소도시의 수소 공급원 기술 검증 및 국내모델 확보
  - · 수소도시의 단위 모듈로서 자원순환 사회 구축과 안정적인 수소 공급원 확보
  - · 대중소 도시의 지역 분산형 수소 공급 모듈 체계 구축
- 온실가스 감축 및 미세먼지 저감 효과
  - · 소각대비 90% 이상 미세먼지 배출을 저감시킬수 있으며, 이산화탄소 저감이 용이하여 온실가스 감축에 기여

○ 경제적 기대효과

- 폐자원 합성가스의 고부가가치화 플랜트의 해외시장 급성장에 대응
- 국내 고유모델의 건설기술 확보로 국내 기업의 경쟁력 확보
  - · 기술경쟁력과 가격경쟁력을 통한 국내보급 및 해외시장 진입 가능
- 상용급 플랜트 기술의 신뢰성 확보로 선진 해외기술과의 동등이상의 경쟁력 확보

○ 과학기술적 기대효과

- 국내 원천기술과 기본설계, 상세설계 기술 확보 및 핵심장치 제작, 건설, 운전기술 확보
- ICT 기반의 4차산업과 연계한 통합공정의 운전제어기술 및 모니터링/제어 기술 확보

카. 소요예산

<표 5-174> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증	국비	3,000	4,875	5,250	4,875	3,000					21,000
	민자	1,286	2,089	2,249	2,089	1,286					8,999
	합계	4,286	6,964	7,499	6,964	4,286					29,999
도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계	국비	1,000	1,625	1,750	1,625	1,000					7,000
	민자	429	696	750	696	429					3,000
	합계	1,429	2,321	2,500	2,321	1,429					10,000
합계	국비	4,000	6,500	7,000	6,500	4,000					28,000
	민자	1,715	2,785	2,999	2,785	1,715					11,999
	합계	5,715	9,285	9,999	9,285	5,715					39,999

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 대상지구는 약 15만명 인구가 거주하는 대단지로 1일 약 140 ton의 생활폐기물이 발생

- 대상지구의 토지이용계획에는 열병합발전소, 자원순환센터 및 쓰레기소각시설이 계획
- 환경기초시설 등의 기반시설은 2023년 착공하여 2026년에 준공될 계획

<표 5-175> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 대상입지

대상부지면적		11,000㎡			
토지 이용 계획	관리동	면적	2,000㎡	대상시설	관리사무실, 시청각실, 홍보실, 실험실, 데이터센터 등
	플랜트 용지	면적	5,000㎡	대상시설	폐자원보관시설, 가스화시설, 수소 저장/이송 설비, 제어실
	기반시설	면적	4,000㎡	대상시설	도로, 조경, 주차장, 계근대 등



[그림 5-110] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 토지이용계획

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 에너지 공급 계획

○ 대상지구 소요전기의 약 3.3%를 도시폐자원 기반 수소로 공급

- 도시폐자원을 활용하여 생산한 수소 4 ton/일은 수소충전소용과 연료전지 발전용으로 사용
- 수소 2.5 ton/일은 수소충전소에 판매하고 나머지 1.5 ton/일은 연료전지발전을 통해 연간 6,930 MWh의 전력을 생산

<표 5-176> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 대상지구 에너지 공급 계획

에너지구분	단위	에너지량	주요 가정
수소충전소	톤/년	825	- FC발전효율: 42%, FC열효율: 48%, FC 가동률: 90%, 수소발열량: 28,671kcal/kg(LHV), 350kwh/세대/월 - 총 전기수요 대비 3.33%를 수소로 공급
수소량(FC용)	톤/년	495	
FC(열)	Gcal/년	6,820,000	
FC(전기)	MWh/년	6,930	

□ 시설·장비 구축 계획

○ 도시폐자원 기반 수소플랜트 시설·장비는 수소 생산설비, 이송설비, 활용설비, 운영설비로 구성

- 수소 생산설비는 4 ton/일급 규모
- 수소충전소는 500 kg/d급
- 발전용 연료전지는 450 kW 2기, 100 kW 1기로 총 1,000 kW급

<표 5-177> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 시설·장비 구축 계획

수소 메가스테이션	○ 사양 : 500kg/day급 ○ 면적 : 2,800㎡ (플랜트 부지 외 별도)
생산	○ 수소 추출기 규모 : 4ton/d급 1기 ○ 수소 생산량 : 4,000kg/d
이송	○ 탄소강(150mm) 파이프라인 50m ○ 튜브트레일러
활용	○ 발전용 연료전지 1,000kW급(450kW 2기, 100kW 1기)
운영	○ 통합관제 센터 (면적 : 165㎡)



[그림 5-111] 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발 시설·장비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-178> 도시폐자원 기반 수소플랜트 개발의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
폐자원 순산소 가스화 및 수소분리 시스템	2025	○ 수소추출

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">폐자원 순산소 가스화 및 수소분리 시스템</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Waste Resource Gasification and Hydrogen Separation System</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">제작사는 공모를 통해 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>27,000</td><td>1</td><td>27,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 창원시, 울산시, 광주시, 전주시, 3기 신도시 등
○ 구축예정기관은 공모를 통해 선정 예정</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소도시의 도시내 발생 폐자원 이용 수소 생산으로 다양하고 안정적인 수소 공급 시스템 구축
○ 도시폐자원 친환경 고도처리와 청정연료가스화로의 재활용을 통한 도시순환시스템 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소생산 및 공급</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 가스화기 처리용량 : 50톤/일
○ 가스화기 냉가스효율 : 65%
○ 합성가스 정제시스템 처리용량 : 2,500 S㎥/h
○ WGS CO 전환효율 : 90%
○ 수소 순도 : 99.99%</td></tr>
</table>

5.3.3 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증

가. 개요

1) 정의

○ 그린 수소에너지의 조기 보급 및 확산을 실증 모델

- 재생에너지 이용률 제고시 수요에 맞는 에너지 공급의 지속성 부족, 리튬배터리를 활용한 에너지저장장치의 고비용과 화재의 불안정성, 높은 유지관리비 등 큰 한계점으로 실질적인 적용이나 민간사업자의 참여 확대가 저조함
- 수소 에너지를 이용하여 화석연료 중심의 중앙집중형 에너지에서 재생에너지와 수소를 연계한 분산형 에너지시스템 활용 사회의 실증모델 제시

○ 그린 수소의 에너지 생태계 (생산-저장-이송-이용) 및 밸류 체인 구축으로 미래 에너지 자립사회의 비전 제시

- 도시 수소 에너지 기반의 에너지 인프라를 구축하여 수소 에너지 생태계와 밸류체인의 구축
- 재생에너지원을 적극적으로 활용하기 위한 방법으로서 수소를 에너지 캐리어로 활용하는 개념을 적용하여 도시의 미래 에너지 인프라를 구축
- 재생에너지원과 수소를 바탕으로 완전한 에너지 자립 시스템을 구축 및 운영하여 저탄소 에너지 자립 사회의 비전 제시

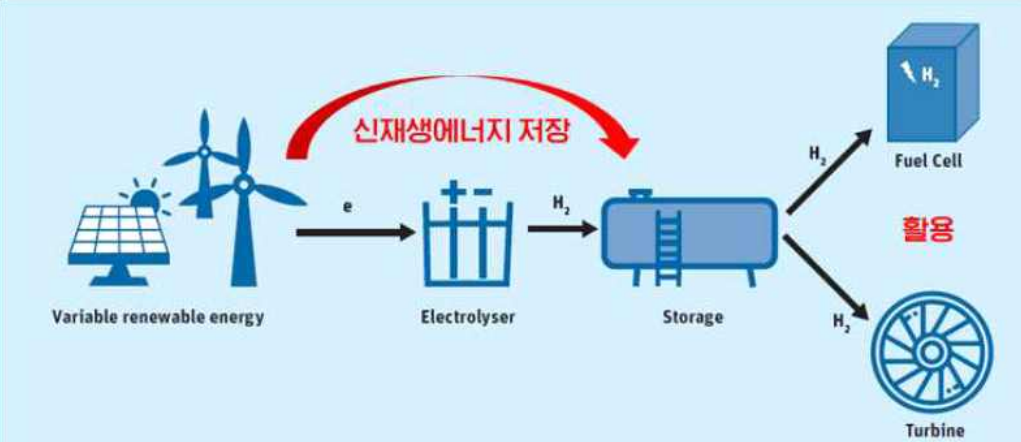
2) 목적

○ 재생에너지원과 수소를 연계 활용한 미래의 저탄소 도시에너지 인프라 모델 제시

- 그린 수소의 생산 : 태양광, 풍력 등의 주요 재생에너지원으로부터 생산된 전력을 활용하여 수전해 등의 전기에너지를 수소로 변환하는 시스템을 이용하여 수소를 생산(그린 수소 대량생산)하여 재생에너지 발전의 그리드 불안정성을 해소하는 동시에 활용성을 제고함.
- 그린 수소의 저장 : ESS가 가지는 대용량 장기간 에너지 저장의 불리함을 수소 저장기술을 통해서 극복하고 수요 대응의 유연성을 확보하여 재생에너지원 및 수소 활용률과 에너지 자립도 제고 가능.
- 그린 수소의 이송 : 건물용 연료전지, 수소차 충전소 등에 수소를 공급하기 위한 고압 튜브트레일러, 저압 파이프라인 등의 다양한 수소 이송 공급기술의 실증.
- 그린 수소의 이용 : 수소 충전소에서 수소차에 수소를 공급하고 건물용 연료전

지에 수소를 공급하여 연료전지에서 발생하는 열 및 전기를 활용하여 교통 및 주거 에너지의 자립도를 제고.

- 이상의 그린 수소 기반 에너지 인프라 기술의 조합 및 최적화를 위해 에너지 자립을 목표로 하는 도시 단위의 실증 시스템 구축으로 다양한 상황에 따른 기술의 조합 및 최적화에 대한 연구 가능.



주) 예: National Hydrogen Roadmap, 2018, www.csiro.au

[그림 5-112] 재생에너지원을 이용한 수소의 생산 및 저장 개념

○ 미래 친환경적 도시 비전 제시

- 그린수소 기반의 지속 가능하면서 친환경적인 에너지 자립 도시 모델 제시.
- 미래 도시의 에너지 인프라 모델 실증을 통해, 국민의 삶과 미래 도시의 가치 향상에 대한 비전 제시.

3) 구성요소

<표 5-179> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 구성요소

전과정	구성	용량
생산	재생에너지 연계 수전해	MW급 수전해 장치 (수소생산량: 100 kg/day)
저장	튜브트레일러	200기압 저장용기
이송	파이프라인	10 km
활용	연료전지	100 kW급 1기
운영	통합관리운영센터	자동제어 및 모니터링 시스템 일체 및 방폭시설 등

4) 세부과제 구성

<표 5-180> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 세부과제 및 주요내용

세부과제명	주요 내용
수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	○ 재생에너지원-수소생산, 저장 및 이송 시스템에 대한 수학적 모델 수립 ○ 에너지 수요 모니터링 및 예측을 위한 수학적 모델 수립 ○ 에너지 수요 예측 모델 기반 에너지 공급망 최적설계 및 운영 기법 개발
수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축	○ 소재·제품·장치 시험·평가 테스트 베드 구축 ○ 장주기(1년) 현장 실증을 통한 시스템 평가 및 실증
그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성	○ 대상지역 내 그린수소 기반 에너지 자립도시 실증을 위한 인프라 설계, 구축 및 운용 ○ 설비 관리, 운영을 위한 모니터링 시스템 개발 및 안전설비 설계 및 구축
통합관리운영센터 구축	○ 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계, 구축 및 실증 ○ 운영 관리 및 운영인력 교육 ○ 홍보 시설 구축 ○ 도시 확장형 모델 개발

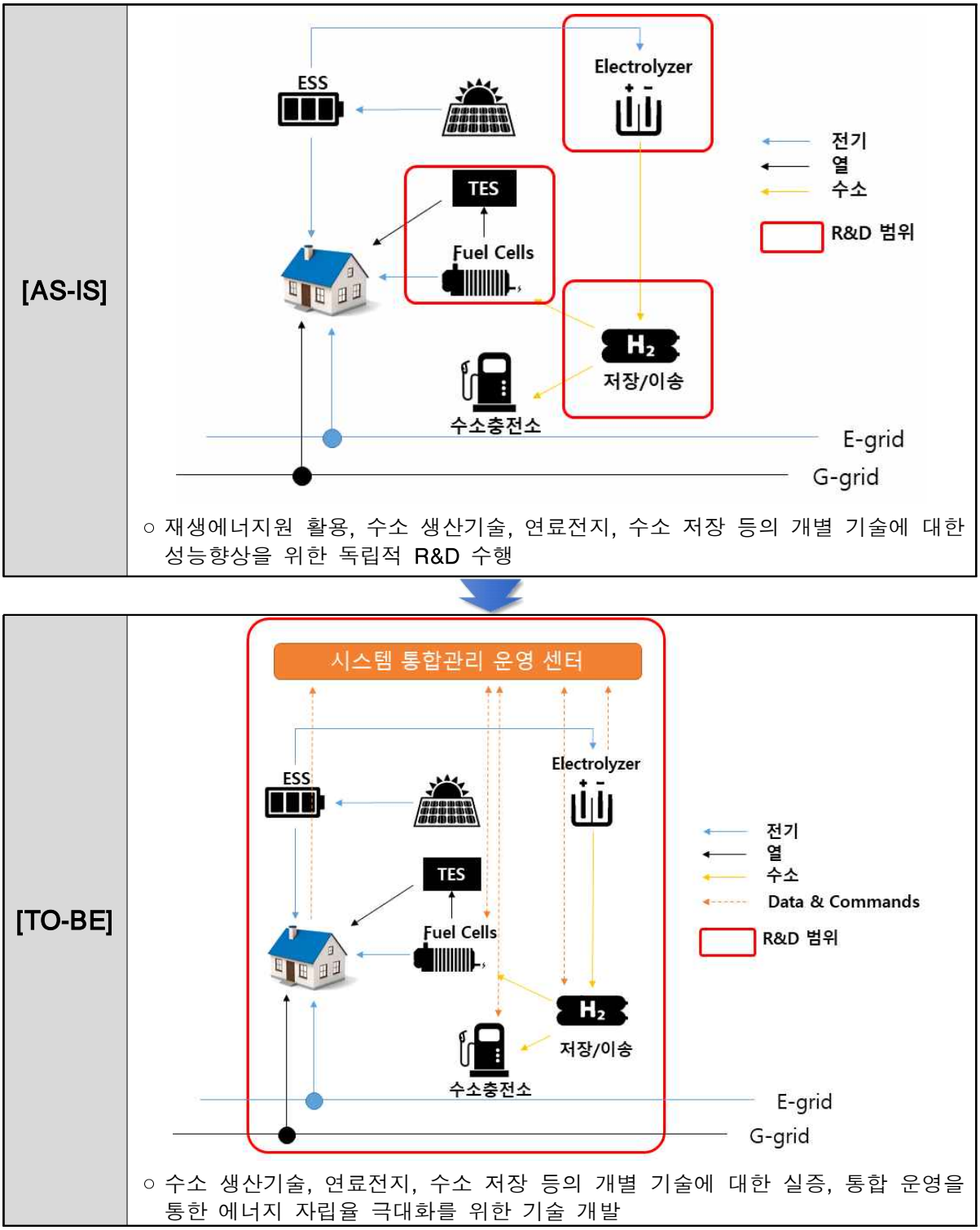
5) 기술 개선 내용 (AS-IS/TO-BE)

□ 현재 수준 및 개선목표

<표 5-181> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 현재수준 및 개선목표

구분	AS-IS	TO-BE
재생에너지 공급방식	○ 산발적, 간헐적 재생에너지원(풍력, 태양광 발전) 활용 ○ 국내 발전설비 총량 대비 약 10 % 수준으로 재생에너지원 활용량 저조	○ 2034년까지 신재생에너지원 발전비중 25 % 이상을 목표로함에 따라, 에너지 수요에 따라 에너지 생산, 저장, 공급의 최적화 필요
수소 또는 연료전지	○ 가정용 연료전지 보급사업, 수소차 및 충전소 보급사업 기 시행 ○ 수소에너지의 생산부터 이용에 이르는 value chain 구축 수준 낮음	○ 재생에너지원의 비율 및 활용을 제고를 위해 수소를 기반으로 하는 에너지 생산-저장-이용 통합 시스템을 구축
열에너지	○ 화석연료 중심의 난방 및 급탕에너지 공급 ○ 제한적 수준의 태양열, 지열 등의 활용	○ 연료전지의 CHP 이용 열 공급
에너지 저장	○ ESS 의존으로 대용량 저장 시 비용 부담 증가	○ 수소 저장을 이용한 대용량, 장기간 에너지 저장 시스템을 활용하여 재생에너지원의 활용성을 제고하고 에너지 수요 변동에 대한 대응 가능
그리드 통합관리 및 최적화	○ 제주에 스마트 그리드 실증 단지 구축	○ 기존 재생에너지원 활용 중심의 스마트 그리드에서 수소 에너지 플랫폼(수소 생산, 저장 및 연료전지 이용 등)이 추가되어 에너지 생산-수요 변동성에 최적으로 대응하여 지역사에 에너지 자립도 극대화

□ AS-IS/TO-BE 개념도



[그림 5-113] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 AS-IS/TO-BE 개념도

나. 배경 및 필요성

1) 추진 배경

□ 안전하고 깨끗한 에너지로의 전환

○ 기후변화 대응, 미세먼지 저감, 원전 안전 등에 대한 국민적 요구에 따라 신재생에너지와 에너지효율 중심의 안전하고 깨끗한 미래에너지시스템으로의 전환 추진

- (소비구조의 전환) OECD 최하위 수준(36개국 중 33위)인 에너지효율 향상을 통해 선진국형 에너지 저소비·고효율 소비구조로 전환
- 에너지 수요관리 강화, 효율 연관산업 육성을 통해 경제성장세를 유지하면서 ’28년부터 에너지소비 감소세로 전환
- (공급구조의 전환) 원전·화석연료발전 비중을 점진적으로 감축하고, 친환경 에너지원인 재생에너지 비중의 확대를 추진
- 제8차 전력수급기본계획에 따라 ’30년까지 재생에너지 발전 비중을 20%로 확대
- 제3차 에너지기본계획에서는 재생에너지 발전 비중을 ’40년까지 30~50%로 확대 계획
- (전달체계의 전환) 대규모 발전소 중심의 중앙집중형 전달체계에서 재생에너지 중심의 소규모 분산형 시스템으로 전환
- 수요지 인근에 재생에너지·집단에너지·연료전지 등 분산형 전원 비중 확대 (’17) 12% → (’40) 30%
- (산업구조의 전환) 재생에너지, 수소산업을 새로운 성장동력으로 육성하고, 4차 산업혁명 기술을 활용한 신서비스 산업을 육성

□ 친환경 미래에너지 산업 발굴 육성

○ 정부는 재생에너지 3020 이행계획을 수립하고, 2030년까지 신재생에너지를 통한 발전량 비중 20%의 확대 목표 달성을 위한 에너지신산업 육성 등 다양한 정책 추진

○ 온실가스 배출 감축 및 에너지안보 제고 등을 목적으로 한 신재생에너지 기반 분산형 전원의 비중 확대가 중요한 의제로 부상

- (사회적 편익) 자원의 효율적 활용, 망비용 감소, 환경영향 감소, 발전비용 감소, 피크수요 절감, 투자위험 감소, 신뢰도 및 전력 품질 향상, 국가안보 편익, 수요조정 유인에 의한 절감

○ 4차 산업혁명시대 신산업 창출을 위한 에너지산업의 변화

- 글로벌 산업 환경 변화에 대응한 새로운 생존·경영 전략으로 스마트화, 서비스화, 친환경화, 플랫폼화 등 4대 트렌드 가속화
  - (스마트화) 초연결과 지능화 확산
  - (서비스화) 제품 중심 → 제품 + 서비스 또는 서비스 중심
  - (친환경화) 온실가스 감축·환경규제 → 저탄소·친환경 신산업 창출
  - (플랫폼화) 제품·서비스 네트워크를 통한 가치 창출 확산

○ 일자리 창출을 위한 신성장산업 육성 선봉장 에너지신산업

- 정부 일자리 창출 신재생에너지 산업 일자리 5만개 창출
  - 소규모 신재생설비 발전차액지원제도(FIT) 도입 및 신재생에너지 공급 의무화 제도(RPS) 강화
  - 중소·개인·마을 단위 에너지 프로슈머 활성화
  - 사물인터넷(IoT)과 에너지를 융합한 에너지인터넷산업(IoE)
  - 남해안의 풍부한 풍력 자원 바탕 해상풍력 사업 확대
  - 농촌 태양광 등 국민참여형 신재생에너지 사업 적극 추진
  - 친환경 에너지자립 도시 사업을 통한 분산형 전원시스템 확장
  - 신재생에너지 분야 기업투자 여건 조성을 위한 친환경 에너지 펀드 조성
- 에너지 분야 4차산업 혁명 지원
  - 신재생에너지 · 분산전원시스템 · 에너지저장장치(ESS) · 소비자선택이 융합한 4차 산업혁명 시대 에너지 체계인 에너지인터넷(IoE) 산업을 육성
  - 분산형 에너지시스템과 ICT를 융합한 '가상발전소'나 '실시간 전력소매시장' 등 '플랫폼 기반 에너지시스템' 구축
- 신재생/에너지/ICT 등의 기반기술을 보유한 다양한 산업군의 기술력 융합 가능
  - 전 산업군의 산업 활성화를 통한 일자리 창출 및 전문인력 수요 증대
  - 기존 관리 인원의 전문인원으로 변경 또는 주민 신규 일자리 창출

□ 탄소 사회에서 수소 사회로 에너지 패러다임 전환

○ 세계 경제의 저성장국면 진입으로 대외의존도가 높은 우리 경제의 향후 지속 성장을 위한 산업 전환과 시장 선점을 통한 신성장동력 산업 육성과 일자리 창출

○ 수소 경제는 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제 산업구조를 칭하며, 화석연료 중심의 에너지 경제에서 수소를 에너지원으로 활용하는 산업구조로 전환하는

경제 시스템 구축과 에너지 패러다임 전환

- 국가의 주 에너지원을 친환경 에너지로 전환
- 원유와 천연가스 같은 수입에너지원의 의존도를 감소시켜 에너지자립 가능
- 수소차나 연료전지 등 경쟁력 있는 미래유망 기술 및 산업 육성, 일자리 창출

○ 수소 경제를 우리 경제의 신성장동력으로 작용하고 산업구조를 혁명적으로 변화 가능

- 우리나라는 세계 최초 수소차 양산 및 핵심 부품 국산화 등 수소 활용에서 이미 세계적인 기술을 확보하고 있어, 이를 자동차, 선박 등 전통 주력 산업과 연계하는 융합기술을 통해 세계 수소 경제 선도 가능

○ (국내시장) 맥킨지가 전망한 국내 수소 시장 또한 지속성장하여 '50년 70조 매출, 누적 60만 개의 일자리 창출 전망하며, 국내에서 사용되는 에너지의 약 21%를 수소에너지에 의존 예상

○ (국내정책) 「친환경 수소 경제 구현을 위한 마스터 플랜('05)」 발표 이후 지속적인 R&D 지원을 통해 세계 최고수준의 수소차·연료전지 기술의 확보하였으며, 이를 기반으로 수소 경제 선도국가로 도약하기 위한 「수소 경제 활성화 로드맵('19.1)」 발표

○ 그린 수소에너지의 조기 보급 및 확산을 실증 모델

- 수소경제 활성화 로드맵(2017)에 따르면, 현재 수소 에너지의 주요 공급방식은 추출이지만 친환경 저탄소를 지향하는 정책 및 기술개발 방향에 따라 재생에너지 전기를 활용한 '그린 수소' 생산 활성화가 반드시 필요함.

		2018년	2022년	2030년	2040년
공급·가격	공급량 (=수요량)	13만톤/年	47만톤/年	194만톤/年	526만톤/年 이상
	공급방식	①부생수소(1%) ③추출수소(99%)	①부생수소 ③추출수소 ④수전해	①부생수소 ③추출수소 ④수전해 ⑤해외생산 ※ ①+③+④ : 50% ② : 50%,	①부생수소 ③추출수소 ④수전해 ⑤해외생산 ※ ①+③+④ : 70% ② : 30%,
	수소가격	- (정책가격)	6,000원/kg (시장화 초기가격)	4,000원/kg	3,000원/kg

자료: 수소경제 활성화 로드맵, 2017

[그림 5-114] 수소 에너지의 공급 방식과 공급 가격 목표

- 재생에너지 3020 이행으로 재생에너지원의 생산 규모가 커짐에 따라, 재생에너지원의 가용량이 커지고 재생에너지원 발전이 가지고 있는 불규칙한 전기 생산 등에 대한 대응 또는 에너지 저장개념으로 그린수소 생산 기술의 활용도가 제고될 것으로 전망함.

○ 그린 수소의 에너지 생태계 (생산-저장-이송-이용) 및 밸류 체인 구축과 미래 에너지 자립사회의 비전 제시

- 그린수소의 보급과 활용을 위해서 수소의 생산, 저장, 이용을 모두 포함하는 에너지 생태계 및 밸류 체인이 필요함.

- 에너지의 수요가 높은 도시에 수소 에너지 기반의 에너지 인프라를 구축하여 수소 에너지 생태계와 밸류 체인의 구축이 가능함.

- 재생에너지원을 적극적으로 활용하기 위한 방법으로서 수소를 에너지 캐리어로 활용하는 개념을 적용하여 도시의 미래 에너지 인프라를 구축할 수 있고 이를 통해 저탄소 에너지 자립 사회에 대한 비전을 제시.

2) 추진 필요성

○ 국가의 온실가스 감축 목표 달성 등을 위해 정부에서는 신재생에너지 보급이 활성화되도록 유인책 강구 정책을 펼침

- 독립계통으로 운영 중인 도서의 주 발전원을 디젤엔진 발전기에서 저탄소·친환경 발전 설비인 신재생에너지로 대체하고자 관련 지침을 마련하고 ‘친환경 에너지 자립섬 조성사업’과 ‘신재생에너지 융복합지원사업’을 추진 중임

- 재생에너지 이용 에너지 자립섬은 수요에 맞는 에너지 공급의 지속성 부족, 배터리를 활용한 에너지저장장치의 고비용과 불안전성, 높은 유지관리비 등의 큰 한계점으로 실질적인 적용이나 민간사업자의 참여 확대가 저조함

- 기존의 도서의 전력 수요만을 충족하는 직접적 경제모델은 경제성이 낮으며, 수요와 공급의 부조화를 통해 발생하는 에너지손실량이 많음

- 직접적 경제적 효과와 관광 등 지역산업과 연계한 간접적 경제성 확보를 위한 모델이 필요함

- 현재 일반적인 도서는 전력 생산공급(디젤발전)을 통해 발생하는 결손액을 전기사업자(한국전력공사)가 보존을 해주고 있으나 신재생에너지 발전시설에는 투자비와 발전단가 결손액을 보존해주지 않음

- 신재생에너지 발전시설 투자를 통해 남는 전력기금을 시설 운영비로 지급하거나 수익 사업에 지원할 수 있는 법제가 마련이 되어야 도서의 신재생에너지 보급이 확대될 것임

○ 현재 도서 지역 신·재생에너지 보급을 위한 종합적이고 효율적인 계획 수립 및 관리를 위한 컨트롤 타워가 부재한 실정

- 충분한 사전 검토를 통해 도서 지역에 대한 맞춤형 계획 수립을 통해 성공적인 보급이 이루어질 수 있도록 법률을 정비하고 사업 주체를 일원화하는 등의 노력이 필요

- 기업의 시장 진입 벽을 낮추기 위한 다양한 사업이 마련되고 정부의 지원이 필요

○ 지리적 여건으로 신·재생에너지 설비 구축 및 보수를 위한 특수 장비 반·출입이 용이하지 않으며 발생하는 비용이 높아 안정적으로 전력을 공급하고 운영하기 곤란

- 성능저하, 고장 등의 돌발 변수뿐만 아니라, 신재생에너지 기후 환경이 발전 효율에 큰 영향을 주기 때문에 전력 공급의 안전성 떨어짐

- 수소에너지를 활용한 안전성을 확보가 필요

- 재생에너지, 수소, 디젤발전 등을 병행하여 최적화된 융복합 형태의 전력계통 시스템 적용

- 초기 대상도서의 기상, 청명도, 풍향, 풍속, 전력 부하 등의 데이터를 수집/분석하여 최적의 설비를 설계하여 손실을 최소화

- 에너지 자립섬의 모니터링, 데이터 수집, 자동운전 시스템 및 운영관리기술 개발

○ 수소에너지 기술의 성숙도가 낮아 안전성 및 경제성 확보에 어려움이 있어 수소 생태계 조성을 위한 인프라 확대가 미비

- 현재 수소 산업은 수송용과 계통연계형 연료전지발전 시장만이 형성되어 있음

- 신속한 수소 경제 사회 전환을 위해서는 새로운 시장과 제품의 개발이 이루어져야 함

- Biz Model 개발과 제품·설비 기업 육성을 위한 다양한 테스트 베드 구축 필요

- 특히 그린 수소인 재생에너지 연계 수전해 기술은 기술개발 단계로 장기적인 운용 경험이 적어 시스템의 안정화 및 내구성을 판단하기가 어려움

- 재생에너지는 설비 및 구축 비용이 높고, 지역에 따라 발전패턴이 다양함으로 지역별 기상, 환경, 부하 종류, 부하 용량 등의 데이터를 연계 시뮬레이션을 통해 최적화 설계를 통해 사전에 경제성 및 안전성 평가 필요

- 시뮬레이션 연계 모사 전력 공급 시스템을 통해 수전해 제품·장치를 시험평가를 함으로 사업의 리스크를 줄이고, 기업의 상용화 지원 가능

□ 재생에너지 이용 수전해 기술 분야

○ 기존기술의 한계

- 소재 부품 개발의 연구 중점 사업 편중
- 시제품의 시험평가를 통한 정확한 기준 및 시설의 부족으로 사업화가 늦어짐
- 재생에너지 연계 최적화 시스템 개발사업의 부재
- 지역별, 설비특성별, 활용모델별 시험·평가 및 실증시설 부재
- 수소에너지 기술의 성숙도가 낮아 안전성 및 경제성 확보에 어려움이 있어 수소 생태계 조성을 위한 인프라 확대가 미비

○ 기술개발 필요성

- 재생에너지 연계 최적화 시스템 설계를 위한 데이터 수집 및 분석을 통해 안정성 및 경제성 확보
- 데이터 연계 시스템 설계 평가 기술 개발을 통해 기업 제품 실증
- 수전해 시스템의 내구성 및 안전성 확보를 위한 실증
- 직역별, 활용모델별 실증을 위한 데이터적용기반 통합시스템 구축 및 Biz 모델 개발과 기업육성을 위한 테스트 베드 구축

□ 수소 에너지 이용 에너지 자립율 극대화

○ 재생에너지원과 수소를 연계 활용한 미래의 저탄소 도시에너지 인프라 모델 제시

- 그린 수소의 생산-저장-이송-이용 인프라 기술의 조합 및 최적화를 위해 에너지 자립을 목표로 하는 도시 단위의 실증 시스템 구축으로 다양한 상황에 따른 기술의 조합 및 최적화에 대한 연구 가능.

○ 미래 친환경적 도시 비전 제시

- 그린수소 기반의 지속 가능하면서 친환경적인 에너지 자립 도시 모델 제시.
- 미래 도시의 에너지 인프라 모델 실증을 통해, 국민의 삶과 미래 도시의 가치 향상에 대한 비전 제시.

○ 기술개발 필요성

- 기상, 환경, 에너지 부하특성등의 데이터를 수집 분석하여 도서특성별 최적화 시스템 설계 필요
- 수전해, 연료전지를 통한 전력생산 불안전성 확보 및 손실전력 활용 에너지효율 상승 가능

- 사전 최적화 설계·시험 평가를 통해 시스템의 안전성을 확보하여 구추기간 단축, 유지보수 비용 감소를 통해 경제성 상승 필요
- 통합운영관리, 전문인력교육 등을 위한 환경 조성
- 지역산업과 연계한 사업모델 개발

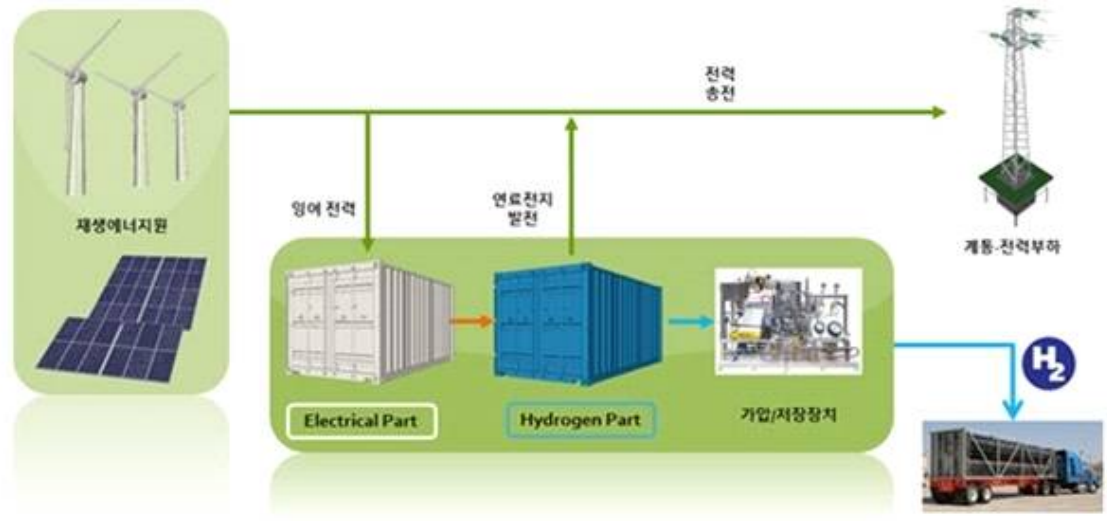
다. 기술개발 동향

1) 국내

□ 재생에너지 이용 수전해 기술 분야

○ 풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500 kW급 하이브리드 수소 변환 및 발전 시스템 기술 개발 (주관: 지필로스, ‘17-‘20)

- 재생에너지원으로 생산된 전기를 통해 수소를 생산한 후, 연료전지로 전기를 생산하거나 가압 저장한 수소를 수요처에 이송하여 사용
- 제주도에 500 kW 규모의 알카라인 수전해 장치와 3 MW 규모의 풍력발전기가 연계된 실증 시스템의 개발이 이루어졌고 전북 군산에 750 MW 규모의 육상풍력단지와 연계하는 수전해 수소생산 시스템 구축의 개발 및 실증이 계획됨



자료: https://www.sisaweek.com/news/curationView.html?idxno=132259

[그림 5-115] 재생에너지 발전시설과 연계한 수소 생산, 저장 및 이용 개념도

○ 차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발 (주관: 한국에너지기술연구원, ‘15-‘21)

- 2 Nm^3/h급 고효율 수전해 스택의 제작 및 1,000 h 운전을 통안 0.3% 이하의 열화율 달성
- On/off 운전에대한 열적/화학적/기계적 안정성을 극대화하여 100 cycles동안 열화율 5% 이하의 부하변동 대응 기술개발

○ 다차원 산화물 기반 양방향 수전해 기술(주관: 한국에너지기술연구원, ‘16-’23)

- 1 kW급 단위 스택 모듈화를 통한 30 kW급 중대형 스택 모듈 고도화

○ 통합 신재생에너지 시스템 설계구성 및 운영 최적화 모델 개발 (주관: 포항공대 ‘17-’20)

- 신재생 에너지 시스템의 안정적 조업을 위한 신재생 에너지의 특성 분석과 모델링, 그리고 얻어진 특성을 기반으로 한 신재생 에너지 시스템의 최적 설계

○ IoT 기반 전원 독립형 연료전지-태양광-풍력 하이브리드 발전기술 개발 (주관: 에스에너지, ‘15-’19)

- 전원 독립형 연료전지-태양광-풍력 하이브리드 시스템 기술개발

○ 수소생산단가 저감을 위한 350 기압급 고분자 전해질 수전해조 스택 기술 개발 (주관: 엘켐텍, ‘15-’18)

○ 상용 모재(母材) 기반 알칼라인 수전해 전극 제조 기술 개발(주관: 한국에너지기술연구원, ‘15-’19)

□ 에너지 자립 사회 (도시 또는 도서지역 에너지자립화 정책 실행사례)

○ 충북진천 친환경에너지 타운

- 진천읍·이월면·광혜원면에 에너지 자립마을 조성 (산업부 사업 선정, ‘21)
- 55억원(국·도비 30억원, 군비 17억원, 자부담 8억원) 투입
- 태양광 275곳 1,725 kW(주택 3 kW), 지열 51곳 893 kW(주택 17.5 kW), 태양열 2곳 81 m^2, 연료전지 1곳 10 kW 등 모두 329곳 2,628 kW, 81 m^2의 신재생에너지 설비를 설치

○ 광주 2045 탄소중립 에너지자립도시

- 2035 RE100 목표, 재생에너지와 수소에너지의 적극적 활용 계획
- 하남, 첨단 등 기존 산업단지 내 기업 공장옥상 등 유휴부지 활용, 2045년까지 587 MW 규모의 태양광 발전시설 설치

- 빛그린산단 등 신규 산업단지는 2040년까지 548 MW 규모의 태양광 발전시설 설치 계획

- 수소생산기지 구축계획 : ‘22년까지 일일 4 ton 생산규모 구축예정, 국비 78억원, 가스공사 116억원, 광주시 24억원(부지 매입비) 등 218억원 투입

○ 도시발전 시범프로젝트(과기부, 2018)

- 2025년까지 도시발전 실증단지 구현을 목표, 태양전지, ESS, 연료전지, 에너지하베스팅, 신재생 하이브리드 등을 활용.

- 도시발전을 위한 기술들의 현황과 차세대 기술개발 방향을 제시

구 분	현황	차세대 기술개발 방향
태양전지	▸설치 공간이 부족한 도시에 대규모 확산이 어렵고, 미(美)적으로 아름답지 못함	▸다양한 건물 형태, 도로에 일체형으로 설치 가능한 차세대 태양전지 기술
에너지저장 (ESS)	▸리튬-이온전지는 폭발위험성이 있고, 소재 국산화율이 낮은 상황	▸차세대 소재 원천기술 및 신재생에너지+ESS 융·복합을 위한 시스템 기술
수소 연료전지	▸보조금을 지원해도 비싸고, 연료(수소) 공급을 위한 인프라도 부족한 상황	▸연료전지의 저가·고성능 기술 및 도시 내 친환경 수소 충전소 확대를 위한 기반 기술
에너지 하베스팅	▸독립전원으로서의 발전량이 부족하고 내구성이 낮아 상용화에 한계	▸고효율 소자 기술 및 대용량 출력을 위한 에너지 전달-충전-활용 기반 기술
신재생 하이브리드	▸전기, 열, 연료 등 이종(異種) 에너지를 통합, 최적 관리하는 기술은 아직 초기 연구 단계	▸ICT 기술을 활용한 에너지 통합 운영·관리 기술개발 및 에너지거래에 대한 기반 기술

[그림 5-116] 도시발전 시범프로젝트의 차세대 기술개발 방향 (과기부)

○ 마라도 청정발전시스템 구축 사업(‘04)

- 태양광, 전망대, 산책로 구성

- 관광산업 육성 청정자연환경 유지

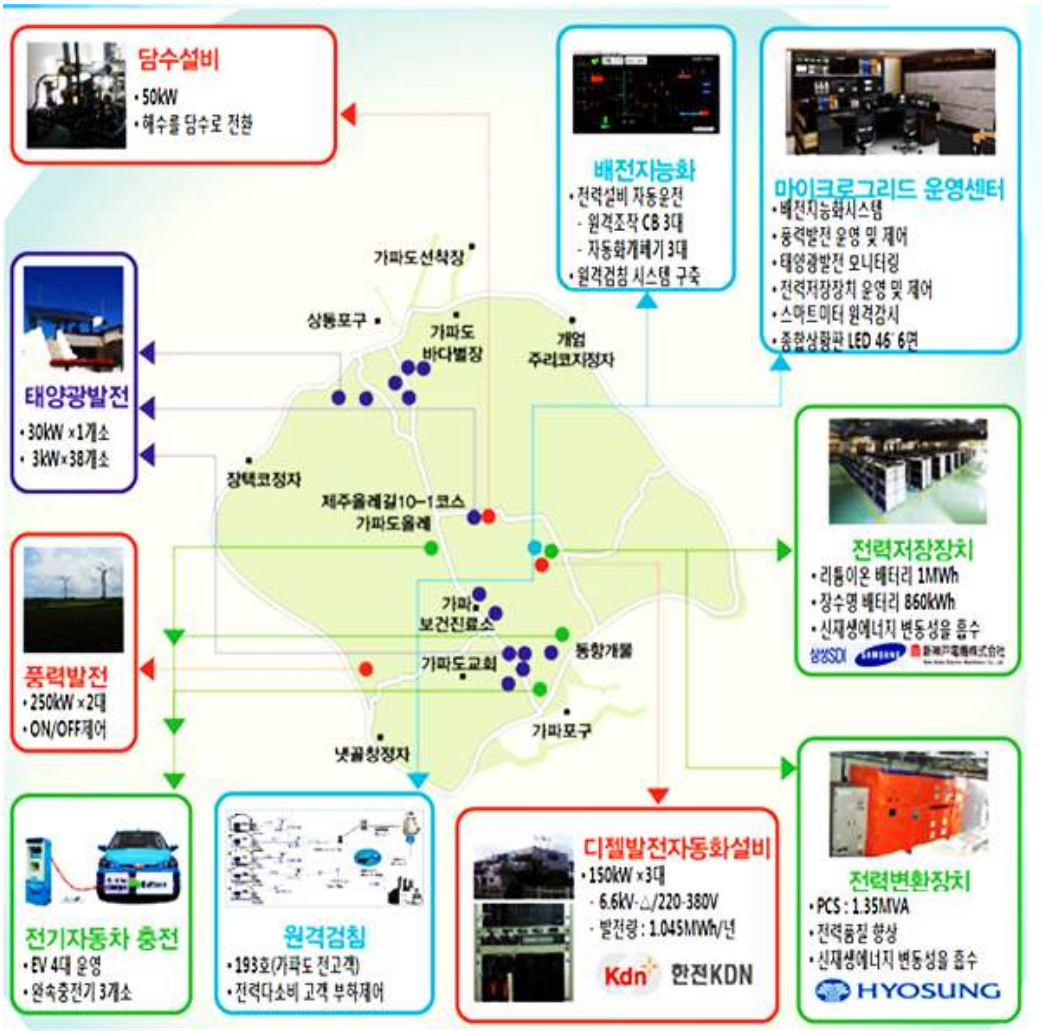
○ 가파도 마이크로그리드 구축사업(‘11)

- 1세대 신재생에너지 마이크로그리드 구축 사업

- 풍력 발전, 태양광발전, 전력저장장치, 배전 지능화 구성

- 디젤발전을 신재생에너지로 100% 대체

- 전기자동차 대체, 전선 지중화 조림사업, 경관개선 등 녹색섬 조성

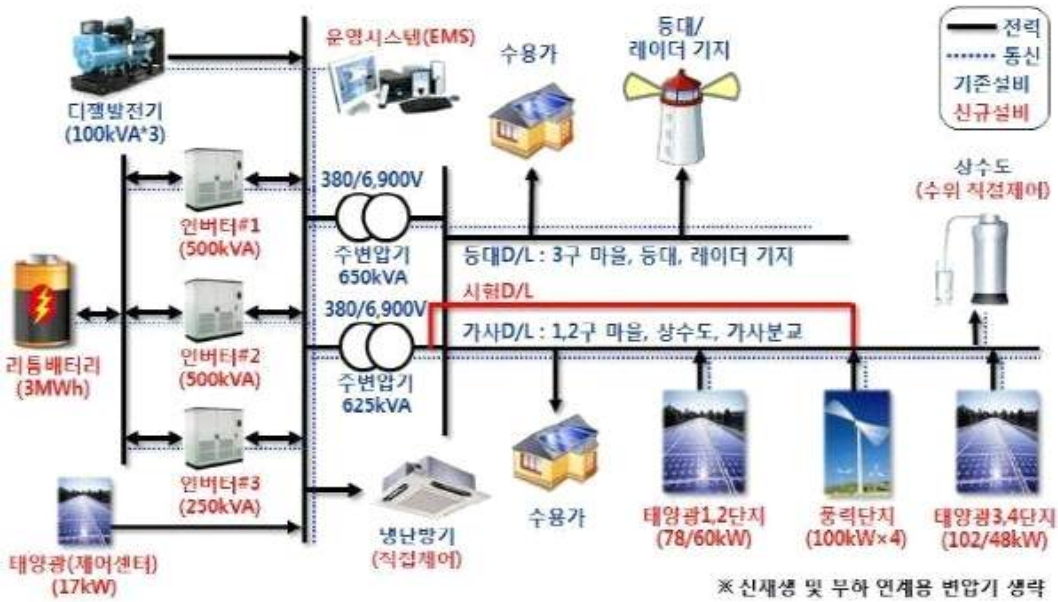


자료: 한국전력공사

[그림 5-117] 가파도의 마이크로 그리드 구축사업

○ 가사도 에너지 자립섬 구축사업('12)

- 2세대 독립형 마이크로그리드 사업
- 풍력, 태양광, 전력저장장치, 운영센터(EMS) 구성
- 마이크로그리드 엔지니어링 기술 검증, EMS 적용 장기 실증 수행
- 신재생에너지 100% 전력공급, 발전연료비 50%(연간 3.1억원) 절감 목표



자료: 스페셜경제, 2014.10.2. http://www.speconomy.com/news/articleView.html?idxno=37659

[그림 5-118] 가사도 에너지 자립섬 구성도

○ 거차도 에너지 자립섬 구축('14)

- 태양광, 풍력, ESS, 직류배전망
- 직류배전망 구축으로 에너지 손실 최소화 실증

○ 삼마도 융복합지원 사업('14)

- 태양광, 풍력, ESS 구성
- 주 발전으로 재생에너지발전, 보조발전으로 디젤발전 사용
- 안정적 전기공급으로 주민편의 증대

□ 도시 수소에너지 시스템 구축관련 사업

○ 울산 수소타운 : 정부 52억, 울산시 19억, 민간 17억 등의 88억을 투자하여, `12년 프로젝트 출범. 울산시 울주군 온산읍 LS 니코동제련 사택 140가구를 대상으로 삼성 BP 화학에서 생산하는 '부생수소'를 공급하여 운영함.

○ 타운하우스형 수소 생산-저장-공유 기술과 다중 열원 이용 열관리 시스템의 통합 기술 개발 및 실증 (국토교통부, 2020-2023)

- 재생에너지 기반 안전한 수소생산기술, 금속수소화물을 이용한 안전한 수소저장, 다양한 연료를 활용하는 연료전지개발, 재생열원 및 수소에너지를 동시에 활용하는 고효율의 열에너지 이용 시스템의 통합 시스템 개발 및 실증을 목표로 함

2) 국외

□ 재생에너지 이용 수전해 기술 분야

○ Energiepark Mainz 프로젝트-풍력발전과 연계한 수전해 수소생산 시스템 (독일)

- 연산 200 ton 규모의 대용량 PEM 수전해 시스템을 풍력발전단지와 연계
- 최대 6 MW 수전해 장치 구성 : 전력 그리드의 안정화에 기여 가능
- 현재 독일은 재생에너지원으로 전체 전력의 25% 정도를 공급하고 있으며 2005년까지 80%까지 확대할 것을 목표로 하고 있음
- 따라서 재생에너지원을 통한 전력 공급 계통의 안정성 강화를 위해서 수소 생산을 더욱 활용할 수 있을 것으로 기대함.



주: 풍력발전단지와 대용량 PEM 수전해를 연계하여 연 200톤 수소생산을 목표로 함

[그림 5-119] Energiepark Mainz 프로젝트의 개념도

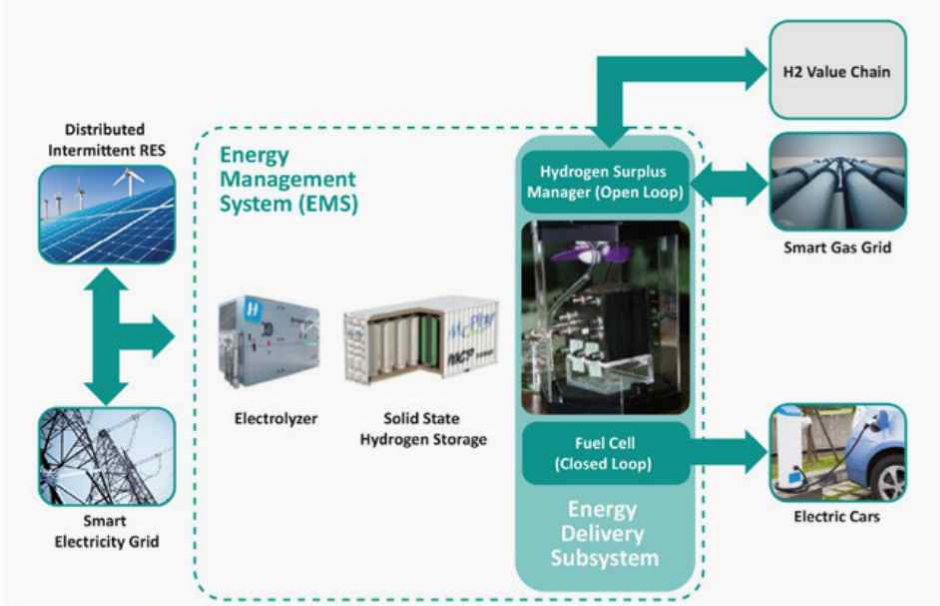
○ 해상풍력 발전단지와 연계한 대용량 수전해 시설 (덴마크)

- 2023년까지 1단계 완공 (10 MW급 수전해), 2030년까지 증설해 3 GW 규모의 해상풍력 설비와 1.3 GW 수전해 설비 확보 예정
- 6개 덴마크 기업이 참여

○ INGRID 프로젝트-재생에너지원을 이용한 수전해 수소생산 시설과 수소 저장 시스템의 활용 (이탈리아)

- 1.2 MW급 알칼라인 수전해 시스템과 고체 매체 수소저장 시스템을 구축하여 대규모 장기간 에너지 저장 기술의 구현이 목적. 2016년말 Troia (이탈리아) 지역에

750 kg 규모의 수소저장 시설 설치.



자료: INGRID consortium

[그림 5-120] INGRID 프로젝트에서 구상하는 재생에너지원-수전해-수소저장-수소이용 value chain



주: 1 유닛에 150 kg 수소 저장

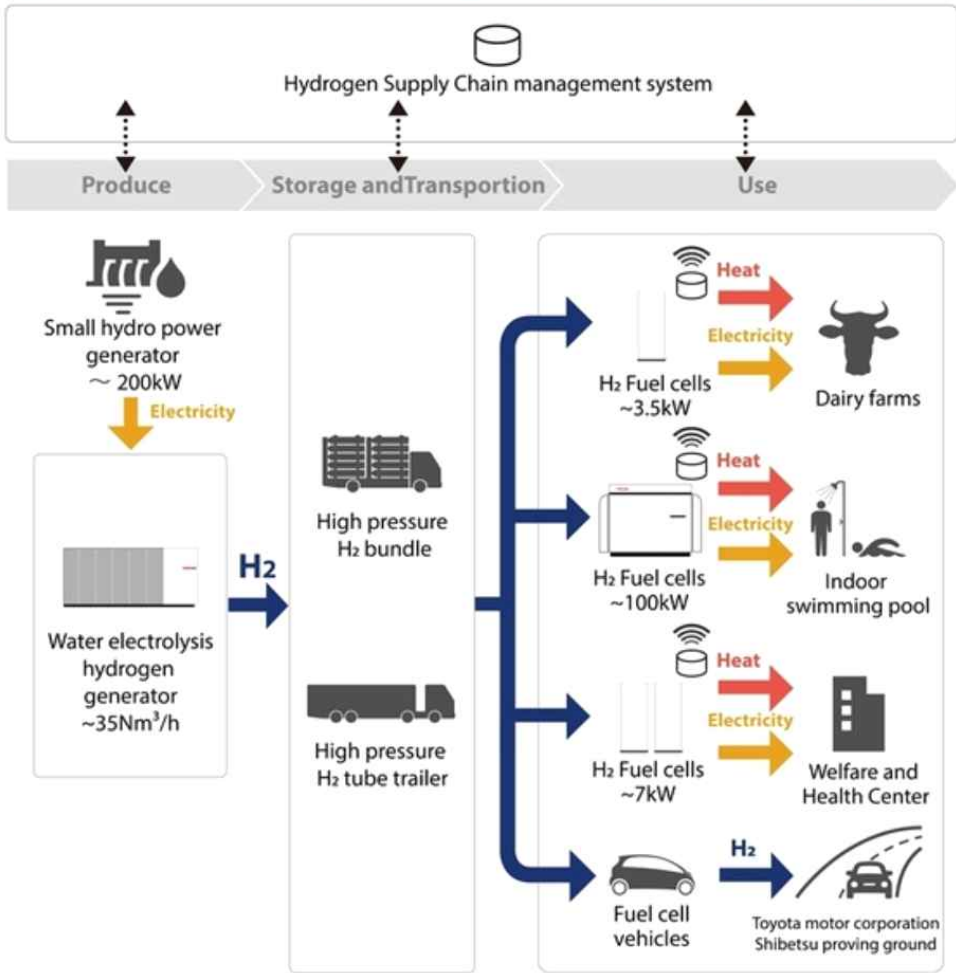
[그림 5-121] McPhy사의 수소저장장치

❍ 1MW급 재생에너지 수전해 연계 장치로 수소를 생산해 배관으로 운송하는 ‘Jupiter 1000’ 프로젝트 시행 중 (프랑스)

❍ AkzoNobel과 가스회사 Gasunie의 공동 프로젝트로 20 MW 규모 재생에너지-수전해 연계 프로젝트 진행 중. 주관 풍력 발전 에너지로 수소를 생산해 천연가스 망을 통해 공급하는 ‘Wind2H2’ 프로젝트 진행 중 (네덜란드)

❍ 소규모 수력발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용 (일본)

- 시라누카, 홋카이도의 쇼로 댐에 위치한 소규모 수력 발전소에서 수소를 생산하여 공급(35 Nm^3/h급의 소형)하고 연료전지 발전을 통해 전력과 열을 동시에 활용함
- 도시바 ESS, 이와타니 등이 참여함. 수전해 수소 생산 장치와 연료전지는 도시바 ESS, 수소의 저장 및 이송은 이와타니가 담당하고 있음



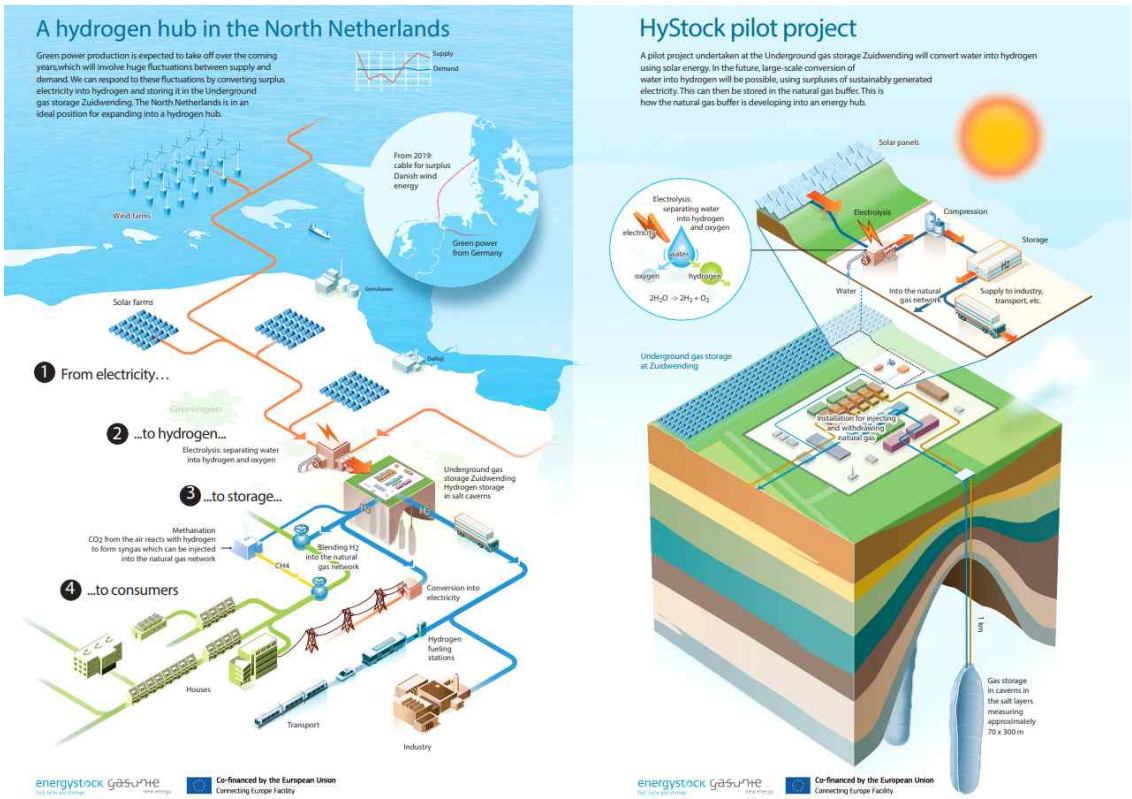
[그림 5-122] 일본 홋카이도의 소형 수력발전을 통한 수소 생산 및 이용 개념도

○ 태양광 발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용 (일본)

- 도미야, 미야기 현의 순수 수소 연료 전지와 기존 물류 네트워크를 사용하여 저탄소 수소 공급 사슬을 입증하는 프로젝트
- 태양력 발전소의 전력을 이용한 수전해 장치에서 수소를 생산하여 수소 흡착 합금 카트리지에 저장된 뒤 배달 트럭 등 도시의 기존 물류 네트워크를 이용하여 매장, 가정, 방과 후 탁아소 등에 공급하고 지역에 설치된 연료전지를 통하여 전기와 열을 공급

○ HyStock 프로젝트-태양광 발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용 (네덜란드)

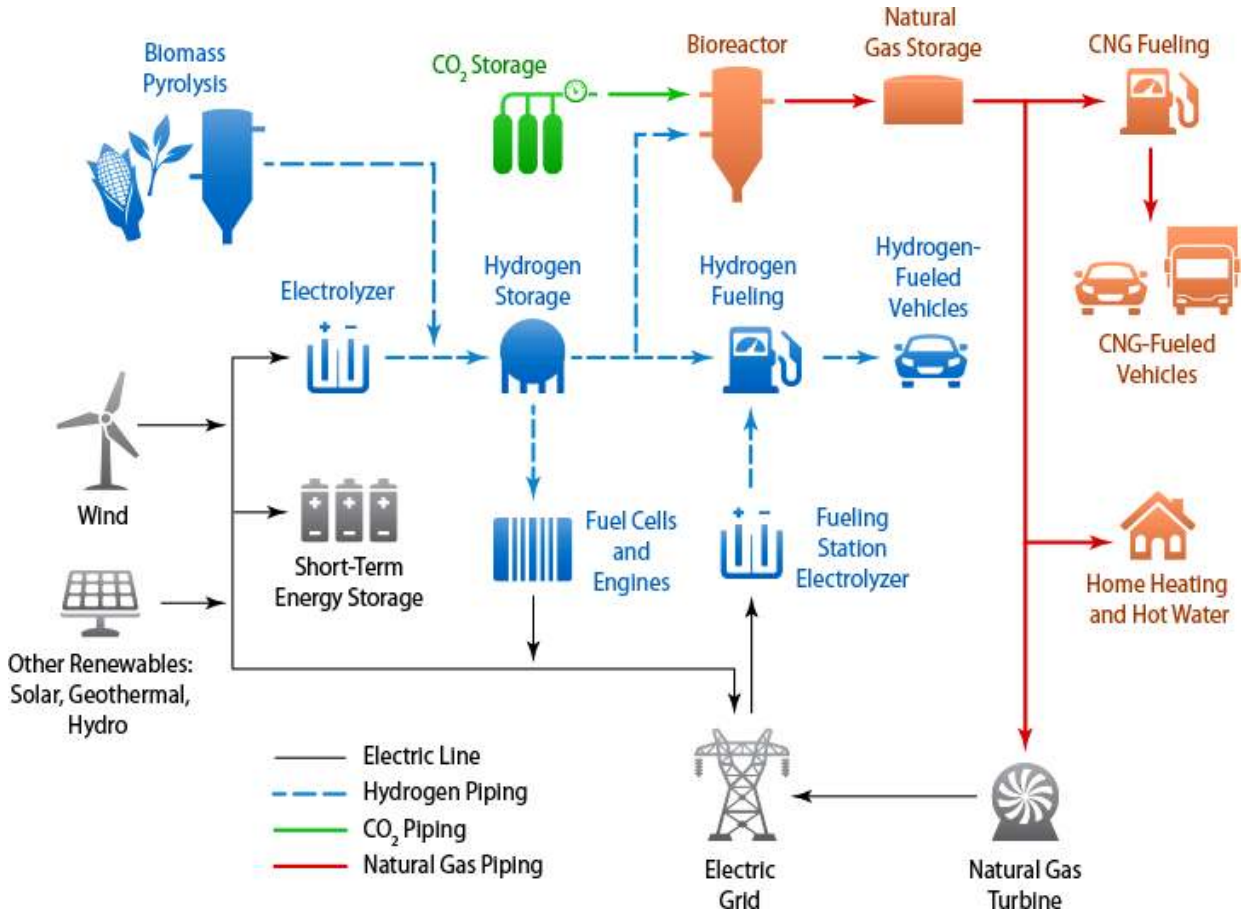
- 1 MW 용량(12,500개의 태양광패널 설치)의 태양광 에너지를 활용한 수소 생산 (연 27 만ton) 및 활용
- 해상풍력발전, 천연가스 개질 등 2050년까지 수소대량 생산을 통해 kg 당 2~3유로의 수소 에너지 가격 경쟁력 확보
- 수소의 지하 저장 개념 구현



자료: https://www.energystock.com/about-energystock/the-hydrogen-project-hystock

[그림 5-123] 네덜란드의 HyStock 프로젝트 개념도

○ (미국) NREL(신재생에너지연구소)은 태양광, 풍력 발전 등의 에너지로 수소를 생산하는 연구 개발을 지속해서 추진 중.



자료: NREL, https://www.nrel.gov/hydrogen/renewable-electrolysis.html

[그림 5-124] 재생에너지원으로부터 수소 및 전기를 생산하는 여러 시나리오

□ 에너지 자립 사회 (도시 또는 도서지역 에너지자립화 정책 실행사례)

○ 덴마크 삼소섬('97.)

- 탄소 중립적 무공해 섬 조성을 위한 '삼소섬 개발 프로젝트' 선정, 삼소섬 에너지 자립마을 프로젝트
- 전력 수요 풍력, 난방수요 태양열/바이오매스/열펌프, 차량 및 농기계 바이오오일 사용 100% 충당
- 에너지 아케데미 설립하여 사업의 중추적 역할을 하고 연구·교육·홍보·전시 등을 목적

○ 피지, Nobouwalu의 풍력-태양광-디젤 하이브리드 시스템('97. 12)

- 풍력, 태양광, 베터리, 인버터, 데이터 취득, 모니터링 시스템, 제어, 디젤 발전기 구성
- 전력생산량 720 kWh급/day, 신재생에너지 비중 60%

○ 카나리아 제도 엘 이에로 섬

- 풍력 및 양수발전 신재생융합 프로젝트
- 풍력 발전 전력 공급, 잉여전력 양수발전 동력 사용 후 전력 수요에 따라 전력 발전
- 기존 연간 4만 배럴의 유류 소비 대체

○ 남태평양 토켈라우

- 기존 디젤발전을 100% 신재생에너지를 통해 전력 공급 목표
- 섬 주요전력의 1.5배 설비 구축, 기상악화 시 코코넛 오일을 이용한 발전기 가동

라. 기술개발 목표 및 내용

1) 목표

○ 그린수소기반 저장, 발전, EMS, 안전 등 에너지 자립 도시 기술개발 및 종합 실증

2) 성능지표 및 목표치

<표 5-182> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 성능지표 및 목표치

성능지표	최종 목표치	현재 수준	
		국내	해외
MW급 재생에너지원 발전연계 수전해	100kg/day급 그린수소 생산시설 도입 및 구축	1MW급 PEM, 알카라인 수전해 개발 연구과제 진행	3MW급 PEM 수전해 (HYDORGENICS, 미국)
수소 압축저장	450기압 튜브로 4톤 수소 저장	200기압 튜브 현재 운용 450기압 튜브 개발 중	500기압 (비트코비체 머시너리 그룹, 체코)
연료전지 분산발전	300MWh 연료전지 발전	400 kW급 PAFC 판매 중	수백 MW급 SOFC 시스템 판매 중
전기공급 EMS 구축	풍력, 태양광, 연료전지 발전량과 전력 수요(건물전기 사용 및 수전해)에 대응한 EMS 구축	없음	없음
수소통합안전설비	센서, 모니터링, 방폭시설 등 구축	없음	없음
자립화 모델 개발	도서 등 3곳 이상 모델	없음	없음

3) 연도별 기술개발 내용

<표 5-183> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 연도별 기술개발 내용

추진연도	기술개발 내용
2023년	○ 대상지역 데이터 수집 분석 기반 시설 구축 ○ 에너지 시스템 분석/설계를 위한 시뮬레이션 시스템 개발 ○ 그린수소 기반 융복합에너지 소재, 부품, 장치 및 시스템 시험/평가 기술 개발 ○ 통합관리운영센터 인프라 설계 및 구축 ○ 모사 전력 공급 시스템 개발
2024년	○ 그린수소 생산, 저장 및 이용 시스템의 평가 플랫폼 구축 ○ 그린수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 구축 ○ 에너지 자립도시 실증을 위한 지역 (도서 지역 등) 선정 ○ 그린수소 기반 에너지 자립 시스템 설계
2025년	○ 그린수소 생산, 저장 및 이용을 위한 모듈화 시스템 개발 ○ 자동운전 시스템 개발 ○ 모니터링 시스템 개발
2026년	○ 대상지역 그린 수소 기반 융복합에너지 실증 시스템 구축 ○ 설비 손실 방지 대책 시설 구축 ○ 설비 운영 및 유지보수 계획 구축 ○ 데이터 수집 시스템 구축
2027년	○ 그린수소 기반 융복합에너지시스템 장기운전 평가 및 실증 ○ 실제 데이터와 시뮬레이션 데이터의 보정 및 최적 운전 기술개발 ○ 데이터 수집·분석 활용 유지관리 및 사업화 기반 구축 ○ 지역 특화 에너지 자립 모델 개발 및 사업화를 위한 모델 확장

마. 세부과제 추진계획

1) 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발

□ 연구기간 : ’23~’26년

□ 연구목표

○ 에너지 수요, 재생전력 및 수소 생산 시계열 데이터 수집·분석 시스템 개념 설계

○ 그린수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 및 유지보수

○ 에너지 시스템 시뮬레이션 기술 기반 에너지 네트워크 설계 및 운영 최적화

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-184> 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발을 위한 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		'23년	'24년	'25년	'26년
대상지역 선정	선정여부	대상지역 선정			
재생에너지 자원 및 에너지 수요 데이터 수집·분석 시스템	진행율(%)	70	100		
대상지역 그린수소 기반 융복합 에너지 시스템 디지털 트윈	진행율(%)	25	50	100	
디지털 트윈 개선 등 유지보수 계획	진행율(%)			50	100
디지털 트윈 기반 에너지 네트워크 설계 및 운영최적화 기법			25	50	100

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-185> 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발을 위한 연도별 추진계획

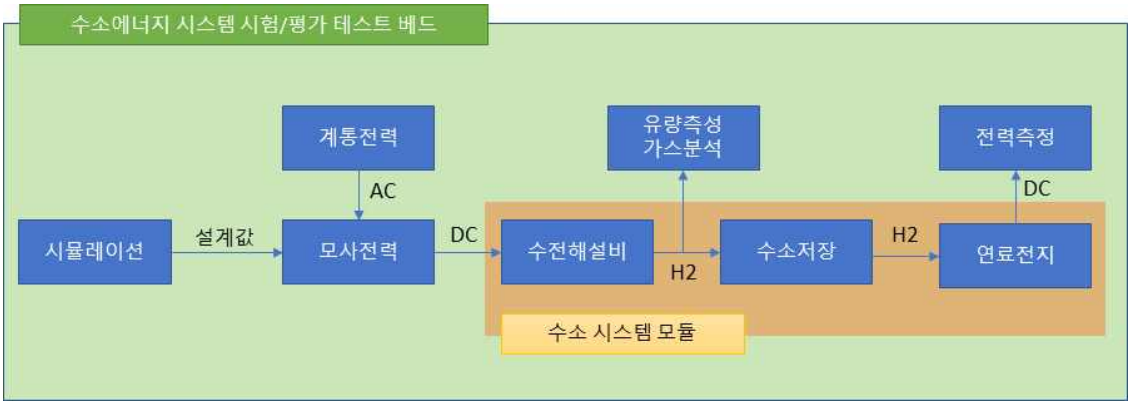
연도	추진계획
2023년	○ 대상지역 선정 ○ 대상지역의 재생에너지 자원 분석 ○ 에너지 수요 분석 ○ 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템 구축을 위한 대상지역 에너지 시스템 디지털 트윈의 개념설계
2024년	○ 대상지역 재생에너지 자원 및 에너지 수요 데이터 수집/분석 시스템 구축 ○ 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템 구축을 위한 대상지역 에너지 시스템 디지털 트윈의 프로토타입 개발 ○ 디지털 트윈 기술 기반 에너지네트워크 최적 설계를 위한 방법론 도출
2025년	○ 실제 데이터를 반영한 디지털 트윈 보완 및 향후 유지보수 계획 수립 ○ 디지털 트윈 기술 기반 최적 에너지네트워크 설치 및 시운전
2026년	○ 디지털 트윈 업데이트 및 보완 ○ 디지털 트윈 기술 기반 그린수소 기반 에너지네트워크 운영 최적화

2) 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축

□ 연구기간 : '23~'26년

□ 연구목표

○ 대상지역의 에너지 전력 공급 최적 시스템 및 소재·부품·장치 시험/평가 기술개발을 위한 테스트 베드 구축 및 장주기(1년) 연계 시스템 평가/실증



[그림 5-125] 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 모식도

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-186> 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치			
		'23년	'24년	'25년	'26년
모사 전력 공급 시스템	진행율(%)	70	100		
모듈화 기술	진행율(%)	30	70	100	
시험·평가 시스템	진행율(%)	50	70	90	100

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-187> 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 에너지패턴 분석을 통한 모사 전력 공급 시스템 개발 ○ 수소 에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 ○ 인프라 설계 및 구축
2024년	○ 수소에너지 시스템 시험/평가 설비 구축 ○ 수소에너지 시스템 모듈화 기술 설계
2025년	○ 수소에너지 시스템 모듈화 기술 개발(200 MWh/년) ○ 수소에너지 시스템 시험·평가 및 기업 지원 프로그램 개발 ○ 수소 산업의 지속적 성장을 위한 기업의 소재·제품·장치 시험·평가 테스트 배드 구축
2026년	○ 장주기(1년)도서 현장실증을 통한 시스템 시험/평가 및 최적화 ○ 시험/평가 인증 시스템 구축 및 운영 ○ 수소에너지 시스템 소재·부품·장치 성능 인증 및 표준화 방안 연구

3) 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템을 적용한 에너지 자립사회 실증 모델 조성

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-188> 수소 융복합에너지 자립사회 조성 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
그린수소 생산시설	생산 및 저장량 (톤/년)				10	20
수소저장 시설						
발전용 연료전지	발전량 (MWh/년)				200	300

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-189> 수소 융복합에너지 자립사회 조성 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 수소 융복합에너지 자립사회 조성 지역 타당성 사전조사 ○ 재생에너지 생산 및 에너지 수요 데이터 수집 기반 시설 구축
2024년	○ 대상지역 데이터 수집 분석
2025년	○ 데이터 분석 및 디지털 트윈 활용 수소 융복합에너지 자립사회 조성 지역 에너지 시스템 설계 ○ 수소에너지 실증 시스템 모듈 제작 ○ 실증 시스템 구축을 위한 인프라 조성
2026년	○ 수소 융복합에너지 자립사회 조성 및 실증 (에너지시스템 발전량 규모: 200 MWh/년) ○ 운용 데이터 기반 시스템 보정 및 최적화
2027년	○ 수소 융복합에너지 실증시스템 보완 및 확장 (에너지시스템 발전량 규모: 300 MWh/년) ○ 장주기(1년) 현장실증을 통한 시스템 및 장치 시험/평가 ○ 실제 데이터 분석 디지털 트윈 등 설계 및 운영최적화 기법 보완

4) 통합관리운영센터 구축

□ 연구기간 : ’23~’27년

□ 연구목표

○ 수소 융복합에너지 자립사회의 에너지 생산/수요 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 구축 및 향후 사업화를 위한 확장형 모델 개발

□ 성과물 및 성과지표

<표 5-190> 통합관리운영센터 구축 성과물 및 성과지표

성과물	성과지표	목표치				
		’23년	’24년	’25년	’26년	’27년
모니터링 및 운전자동화	진행율(%)		20	80	100	
데이터 플랫폼	진행율(%)	10	20	50	70	100
운영인력교육	횟수 (회)		2	2	2	2
홍보						

□ 연도별 기술개발 추진계획

<표 5-191> 통합관리운영센터 구축 연도별 추진계획

연도	추진계획
2023년	○ 재생에너지원 활용 및 에너지 수요 데이터 수집/분석 설비 구축계획 수립 ○ 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계 개념 도출
2024년	○ IoT기반 수소 융복합에너지 시스템의 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계
2025년	○ 수소 융복합에너지 자립사회 실증 시스템의 모니터링 및 유지관리 통합 시스템 구축 ○ 인력(시공/운영관리/안전)교육 및 기업지원 프로그램 개발 및 운용
2026년	○ 운용 데이터 공유 및 활용 플랫폼 구축 ○ 수소에너지 창업·기업 지원센터 구축 및 홍보 프로그램 개발 ○ 운영인력 교육 훈련을 위한 매뉴얼 구축
2027년	○ 데이터 분석을 통한 시스템 운영기법 보정 및 운전관리 매뉴얼 최적화 ○ 기업지원, 시험평가 등 사업화 프로그램 개발 ○ 산·학·연 네트워크를 활용한 에너지자립도시 사업화 확장 모델 개발

바. 기술개발 로드맵



[그림 5-126] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 기술개발 로드맵

사. 유사기술과의 차별성 및 연계성

□ 충북진천 친환경에너지 타운

○ 주요 내용

- 진천읍·이월면·광혜원면에 에너지 자립마을 조성 (산업부 사업 선정, '21)
- 55억원(국·도비 30억원, 군비 17억원, 자부담 8억원) 투입
- 태양광 275곳 1,72 5kw(주택 3kw), 지열 51곳 893 kw(주택 17.5 kw), 태양열 2곳 81 m^2, 연료전지 1곳 10 kw 등 모두 329곳 2,628 kw, 81m^2의 신재생에너지 설비를 설치

○ 차별성

- 해당 사업에서 그린수소 생산 및 저장을 위한 실증 설비는 포함되지 않음.
- 해당 사업에서는 에너지 자립율 극대화를 위한 통합에너지 시스템의 설계 및 운영최적화 기법에 대한 R&D 활동 없음.
- 본 기술은 에너지 자립사회를 위한 그린수소 기반 융복합에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 솔루션을 제공함.

○ 연계방안

- 실제 설비 운용 사례를 바탕으로 유지 보수 전략 수립
- 운용기간 동안 수집된 에너지 생산 및 수요 변동 데이터를 활용하여 디지털 트윈 등의 시스템 해석기법 개발

□ 울산 수소타운

○ 주요 내용

- 정부 52억, 울산시 19억, 민간 17억 등의 88억을 투자하여, `12년 프로젝트 출범.
- 울산시 울주군 온산읍 LS 니코동제련 사택 140가구를 대상으로 삼성 BP 화학에서 생산하는 '부생수소'를 공급하여 운영함.
- 연료전지 1곳 10 kw 등 모두 329곳 2,628 kw 에너지 설비를 설치.

○ 차별성

- 해당 사업에서 부생수소만을 활용하고 그린수소 생산 및 저장을 위한 실증 설비는 포함되지 않음.
- 해당 사업에서는 에너지 자립율 극대화를 위한 통합에너지 시스템의 설계 및 운영최적화 기법에 대한 R&D 활동 없음.
- 본 기술은 에너지 자립사회를 위한 그린수소 기반 융복합에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 솔루션을 제공함.

○ 연계방안

- 가정용 연료전지 설비 운용 사례를 바탕으로 유지 보수 전략 수립

□ 가사도 에너지자립섬 구축사업

○ 주요 내용

- 2세대 독립형 마이크로그리드 사업 (2012년)
- 풍력, 태양광, 전력저장장치, 운영센터(EMS) 구성
- 마이크로그리드 엔지니어링 기술 검증, EMS 적용 장기 실증 수행
- 신재생에너지 100%전력공급, 발전연료비 50% (연간 3.1억원) 절감 목표

○ 차별성

- 해당 사업에서 그린수소 생산 및 저장을 위한 실증 설비는 포함되지 않음.
- 본 기술은 에너지 자립사회를 위한 그린수소 기반 융복합에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 솔루션을 제공함.

○ 연계방안

- 그린수소 기반 융복합에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 솔루션 개발에 마이크로그리드 엔지니어링 기술 및 운용 데이터 활용

아. 기술확보 및 실용화 전략

1) 핵심기술 확보 전략

<표 5-192> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 핵심기술 수준 및 확보전략

핵심기술	기술수준 (TRL)	핵심기술 확보 전략			
		선행R&D 연계	민간기술 활용	자체개발	해외기술 도입
수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈	7	◐	◐	●	○
수소에너지 시스템 시험·평가 기술	9	●	◐	●	○
그린수소 기반 에너지 자립사회 실증/사업화 모델	7	○	◐	●	○
통합관리운영센터 구축	8		●	◐	◐

주) ●: 핵심역할, ◐: 보통, ○: 부가역할

2) 추진체계 및 협력방안

□ 국내·외 기관 및 전문가 협력체계

○ 그린수소 생산 및 수소 저장/이용 기술 전문 연구기관들의 R&D 협력 체계 구축

○ 지자체의 그린수소 기반 융복합에너지 시스템 설치를 위한 정책적 협력 체계구축

○ 테스트 베드 구축을 위하여 국토 교통부와 지자체의 현 제도적 문제를 사전 검토 이후 해결방안 논의

○ 기술 및 정책 이슈 해결을 위한 산학연-정부 협의체 구축

□ 관리주체와 실증지 이용 협력체계

○ 실증사업 시작 전, 실증지역 사용자 및 이해관계자들과의 사전 협력 체계 구축을 위해 지자체와 R&D 총괄 기관의 협의체 구축

○ R&D 종료 이후 시설 활용 방안을 위한 관리주체 사전 결정

□ 기술수요자와 협력체계

○ 주민과의 의사소통을 위한 리빙랩 수단을 적극 활용하고, R&D 성과 도출을 위한 기술 수요자의 의사를 적극 반영할 수 있는 구조 활성화

○ 지자체를 통해 기술 수요자와 상시 의사 소통 창구 개설

□ 세부과제간 연계방안

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 시설물 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

3) 실용화 전략

○ 실증 대상지역에서 기술들 간의 시스템화 및 장기적인 운영을 통하여 안정성 확보에 중점을 두고 기술 개발 전략 및 사업화 모델을 동시에 수립

○ 기술 개발 중간 단계에 해외 사례와의 비교 평가, 별도의 경제성 평가 및 기술 가치 평가를 실시함으로서 기술 개발의 방향성을 실시

○ 본 과제를 통해 구축된 실증시스템을 통해 운영 및 제어기법에 대한 실제 운영 데이터, 개별 개발 기술의 신뢰성 및 확장형 사업모델 확보

○ 지역 주민의 수용성 확대를 위한 제도적 지원 방안을 R&D 초기 단계부터 논의

○ 각 기관별 개발되는 성과들을 테스트베드를 통해 실증하고, 통합관리운영센터를 통한 그린수소기반 에너지 자립도시 운영 솔루션을 기반으로 사업화 모델을 도출하고 실증 시설을 통한 대외 홍보전략을 수립하여 사업화를 추진

4) 사업종료 후 구축시설 활용 방안

○ R&D 종료 시점에서 지자체에 전체 시설을 이관하여 지속적으로 활용할 수 있도록 총괄기관과 지자체간 기구를 구성하고, 향후 지자체에서 테스트베드를 적극적으로 운영할 수 있도록 지원

○ 지자체 단독 또는 공공 에너지 사업관련 기관의 협력 하에서 그린수소 기반 에너지자립도시를 운영할 수 있도록, 각 기술 소유 기관은 사후 지원방안 및 체계를 구축

○ 시공 경험 및 운영 데이터를 바탕으로, 지역 내 수소 및 재생에너지 등을 활용하여 탄소세 확보를 위한 CDM 사업화, 인구 밀집지역 등의 적용을 위한 다양한 사업화 모델과 통합운영 솔루션 개발 등을 통하여 사업화를 위한 다양한 수소기반 자립도시 포트폴리오 구축

자. 위험요인 및 대응 방안

□ 위험요인

○ 그린수소 기반 에너지 융복합시스템의 구성요소 책임관리를 위한 복수 기관 존재로 업무 혼선 가능성 존재

- R&D 기간 동안, 수소생산, 저장, 이송 및 이용 시설별로 별도의 관리 주체로서 수소공급에 따른 수요처 안전관리가 어려움
- 수소공급자(생산·이송) 안전관리 주체와 수소 사용처의 주체가 분리되어 있어 실증시 분리에 따른 사고대응 지연 가능성 있음

○ 수소 기반 에너지 시스템의 주민 수용성 문제

- 강릉 수소 폭발사고 (2019) 후, 수소에너지 이용에 대한 위험성 제기
- 실시대상 지역의 지역주민들의 반대 우려

□ 대응방안

○ 실증연구시에는 고압가스 안전관리법에 따른 법령상 공급자 배관소유 및 안전관리책임여부의 일원화를 통한 통합관리

- 수소가스 공급, 배관소유 및 안전·유지관리 주체가 동일해야함을 연구개발에 명시하여 규제완화를 추진
- R&D 총괄 주관기관 및 실시지역 지자체 간 관련 대응체계 구축을 위한 사전 협의를 반드시 수행
- 총괄 주관기관에서 안전관리자 책임자를 임명하고 본 연구를 수행하는 동안은 책임자가 원활히 직무를 수행할 수 있도록 업무 조정 권한 등의 필요한 조치가 필요함

○ 수소 기반 에너지 시스템의 주민 수용성 강화

- 지역 주민의 수용성 확대를 위한 제도적 지원 방안을 해당 지자체 및 주민 대표 등과 R&D 초기 단계부터 논의
- 에너지 자립도 제고에 의해 발생한 이익의 지역사회 환원
- 통합관리 운영센터를 홍보시설로도 활용하여 수소 에너지 안전성 및 편의성 적극 홍보

차. 기대효과

○ 정책적 기대효과

- 그린 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도시 에너지 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 활용 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 친환경 수소 도시 모델의 제시로 민간참여 촉진 및 시장 확대 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 도시 단위 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

카. 소요예산

<표 5-193> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 연차별 소요예산

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	국고	300	1,000	1,000	400						2,700
	민자				100						100
	합계	300	1,000	1,000	500						2,800
수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축	국고	700	750	1,200	1,200						3,850
	민자		250	500	500						1,250
	합계	700	1,000	1,700	1,700						5,100
그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성	국고	500	700	1,500	1,200	500					4,400
	민자			500	500	500					1,500
	합계	500	700	2,000	1,700	1,000					5,900
통합관리운영 센터 구축	국고	300	700	1,200	1,500	500					4,200
	민자			250	500	500					1,250
	합계	300	700	1,450	2,000	1,000					5,450
합계	국고	1,800	3,150	4,900	4,300	1,000					15,150
	민자		250	1,250	1,600	1,000					4,100
	합계	1,800	3,400	6,150	5,900	2,000					19,250

하. 대상입지 및 시설·장비 구축 계획

1) 대상입지

○ 전라남도 진도군 가사도

<표 5-194> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상입지

대상부지면적		5.559㎢			
세대규모		144세대			
토지 이용 계획	대상도서	면적	5.559km^2	대상시설	주택, 공공시설, 기반시설 등
	발전시설	면적	1,000m^2	대상시설	수전해, 저장설비,연료전지 등
	기반시설	면적	2,500m^2	대상시설	통합운영관리센터(내륙)

○ 가사도 현황

- 가사도는 165세대에 303명의 주민이 거주하고 있으며, 평균 부하량은 95kW, 최대 및 최저부하는 170 kW, 40 kW 정도임
- 공공기관, 교육기관, 공공시설, 의료시설, 종교시설, 항만시설, 종교시설, 상업시설, 기반시설 등을 보유
- 도서에 필요한 연간 발전량은 831 MW이며, 에너지 자립섬 사업을 통해 풍력, 태양광, ESS 설비가 구축되어 재생에너지를 통해 50%의 전력을 공급 중
- 현재 풍력 발전의 불안전성을 보완하고, 손실전력 활용을 위한 수소에너지 시스템을 구축이 필요하며, 도서의 수소 기반 융복합발전시스템 실증 가능
- 기구축된 설비를 활용함으로 인허가, 재생에너지발전설비 구축 등에 대한 시간 단축을 통한 빠른 사업 추진이 가능하고, 인프라 활용에 따른 예산 절감 가능

<표 5-195> 실증 대상지 현황

구분	단위	계	현황
세대수	가구	165	총인구 303명
부하용량	MWh	1,512	가사도 부하량
공공기관	개	4	읍면동자치센터출장소, 치안센터, 목포지방항만청, 가사도항로표지관리소
교육기관	개	1	초등학교
의료시설	개	1	보건지소·진료소
공공시설	개	3	마을회관, 경로당, 노인정
항만시설	개	5	선착장, 물양장(4), 등대
종교시설	개	1	교회
상업시설	개	5	숙박 시설, 일반음식점
생활기반	개	-	풍력발전, 태양광, 디젤발전, 지방상수도, 농어촌도로
차량/어선	대	166	동력 (83) / 5t 미만 (80), 5~10t 미만 (3)

<표 5-196> 실증 대상지 발전 설비 구축 현황

발전원			인버터 (kVA)	ESS (kWh)	특징
풍력 (kW)	태양광 (kW)	디젤 (kW)			
100x4	314	100x4	500x2 250x1	3,000	-상업운전 및 Test 실증 가능 -EMS 구성으로 발전 및 부하제어 가능 -기구축된 인프라를 활용한 수소에너지시스템 구축 및 실증 가능



[그림 5-127] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상지구

2) 시설·장비 구축 계획

□ 대상지구 에너지 공급 계획

○ (1단계) 가사도에는 재생에너지발전 설비가 구축되어 있지만, ESS의 불안전으로 용량의 70% 이하로 운용하고 있고, 풍력 발전(400 kW)은 간헐성이 심하여 손실량이 많음으로 이를 연계한 수전해 시스템을 통해 수소를 생성하고 연료전지발전을 통해 피크 부하 및 재생에너지발전량이 낮은 시간에 전력을 생산 가능

○ (2단계) 풍력 발전 설비를 추가(200 kW)하고, 태양광발전 전력 중 부하량보다 높은 시간에 수전해 시설을 통해 MW급 재생에너지 활용 수소생산과 연료전지를 활용하여 전력을 생산 가능

○ 에너지 수요를 최적화하여 에너지효율을 높이고 디젤발전 운용을 낮추어 친환경 에너지 시스템 구축

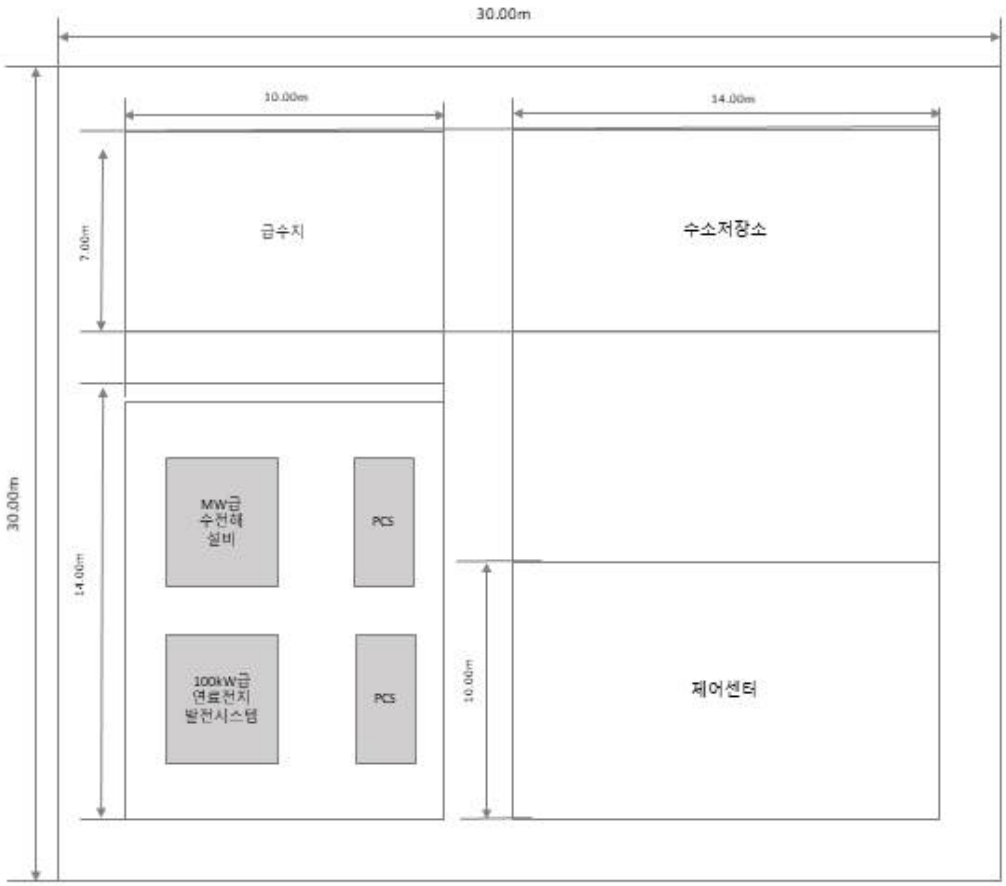
<표 5-197> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 대상지구 에너지 공급 계획

구분	에너지구분	단위	생산량	주요 가정
1단계	수소	톤/년	13	- 풍력(400kW) + 수전해를 통해 수소생산 - 연료전지(100kW)를 통해 전력생산 - 풍력만을 활용하여 수소생산 (풍력용량의 25%를 활용 수소 생산) - 피크 부하 또는 재생에너지발전효율이 높지 않을 시 활용 - 일 평균 약 7.5시간 운전 가능
	전력	MWh	200	
2단계	수소	톤/년	21	- 풍력(600kW), 태양광(314kW) + 수전해를 통해 수소생산 - 연료전지(100kW)를 통해 전력생산 - 풍력과 태양광의 피크 전력 활용 수소생산 (풍력용량 25%, 태양광 3.5시간 * 0.28%) - 부하 패턴 분석 연료전지발전 이용 하루 평균 약 13시간 전력 공급 가능
	전력	MWh	330	

□ 시설·장비 구축 계획

<표 5-198> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 시설·장비 구축 계획

수소융복합 발전시스템	○ 사양 : MW급 수전해 ○ 면적 : 400㎡
생산	○ 수전해 설비 : MW급 재생발전연계 ○ 수소 생산량 : 100kg/d
저장	○ 고압저장 방식 저장용기 : 800kg (22.9㎥ × 200bar × 2set)
이송	○ 파이프라인 : 3km
활용	○ 연료전지 : 100kW급 1기 (발전량 연간 300MWh)
운영	○ 수소통합안전설비 : 센서, 모니터링, 방폭시설 등



[그림 5-128] 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 설비 배치도

3) 장비구축계획서

<표 5-199> 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증의 구축장비 목록

장비명	구입시점	용도
MW급 수전해 설비	**2024**	○ 재생에너지 전원과 연계하여 수전해 수소 생산 ○ 생산용량 : 200 kg/day급
200기압 고압수소저장 튜브트레일러	**2025**	○ 수소 저장, 2세트
수소 출하설비	**2025**	○ 튜브 트레일러에 수소 압축 저장
수소이송 파이프라인	**2025**	○ 총 연장 3 km
발전용 연료전지	**2024**	○ 100 kW급 발전용 연료전지

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">MW급 수전해 설비</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">MW-class electrolysis system</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">Nel</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>2,000</td><td>1</td><td>2,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 한국에너지기술연구원, 에너지밸리산학융합원, 녹색에너지연구원(전라남도 목포시)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 재생에너지 전력을 이용한 수전해 수소 생산</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템의 수소 생산 시설</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>○</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 재생에너지 전력을 이용한 수전해 수소 생산</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 튜브 트레일러</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen Tube Trailer</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">엔케이/200기압</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>200</td><td>2</td><td>400</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 전남 가사도 (구축지역 지정 시)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 그린수소의 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 수소 저장</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 차량 1대당 튜브트레일러 2기
○ 200기압(330 kg)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 출하 설비</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen Loading Terminal</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">효성중공업/-</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>200</td><td>1 세트</td><td>200</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 전남 가사도 (구축지역 지정 시)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 수소 튜브 트레일러를 위한 출하설비 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 튜브 트레일러 수소 충전</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 충전용 압축기 및 튜브 트레일러 충전장치
○ 150 % 용량</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">수소 파이프 라인</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Hydrogen pipeline</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">개발 실증</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>1,000/km</td><td>3</td><td>3,000</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 전라남도, 진도군, 한전, 한국에너지기술연구원, 녹색에너지연구원(전라남도 진도군 가사도: 구축지역 지정 시)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 그린수소 상시 공급망 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 도서 전력 공급 및 그린 수소시스템 실증</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>O</td><td></td><td>O</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 수소 누출안전시스템 (모니터링 설비 등 일체)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="5">내용</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구축장비명</td><td>한글</td><td colspan="5">분산발전용 연료전지</td></tr>
<tr><td>영문</td><td colspan="5">Fuel cell stacks for distributed power generation</td></tr>
<tr><td colspan="2">제작사/모델명</td><td colspan="5">에스퓨얼셀 FP-100iH</td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예상가격</td><td colspan="5"><table><tr><th>단가(백만원)</th><th>수량</th><th>총 금액(백만원)</th></tr><tr><td>1,500</td><td>1</td><td>1,500</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="2">구축예정기관명
(설치예정지역)</td><td colspan="5">○ 전라남도, 진도군, 한전, 한국에너지기술연구원, 녹색에너지연구원 (전라남도 진도군 가사도: 구축지역 지정 시)</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비구축의 필요성</td><td colspan="5">○ 저장된 그린 수소를 이용한 지역사회 전기 및 열 공급</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비의 주요 용도
(동 사업에서의 활용 용도)</td><td colspan="5">○ 에너지 자립도시 내 수소를 이용한 전기 및 열 공급</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">취득방법</td><td>구매</td><td>임대</td><td>제작의뢰</td><td>자체제작</td><td>기타
(직접기재)</td></tr>
<tr><td>●</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">주요사양</td><td colspan="5">○ 모니터링 설비 및 운전자동화 시스템</td></tr>
</table>

5.4 과제제안요구서(RFP)

연구과제명	수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발
1. 연구목표	

○ 수소 타운내 메가스테이션 구축을 통한 수소 에너지 저장/이송/공급 시스템의 운영/통합 관리 기술 개발과 4차산업 혁명 기술을 통한 수소 인프라 실증 및 수소도시 계획 구축

- 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 인프라 구축 플랫폼 개발
- 수소 활용 20% 이상의 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증
- ICT 기반 수소 그리드 운영 및 최적화 기술 개발

○ 1세부

- 수소도시 구축을 위한 디지털 리빙랩 플랫폼 표준화
- 수소 타운 테스트베드 운영 결과 기반의 탄소 배출권 사업화 전략 도출 및 탄소 중립을 위한 평가 기술 개발

○ 2세부

- 테스트베드 구성요소 별 열/전기/수소 월별, 시간별 부하 분석 및 예측을 위한 운영기술 개발
- 신재생에너지 원별 용량에 따른 생산량 분석 툴 개발 및 재생에너지, 수소 공급을 위한 에너지 믹스 통합 그리드 운영을 위한 통합 관제 시스템 개발

○ 3세부

- 1 ton/d 규모의 메가 스테이션 건설기술 개발
- 메가 스테이션 구축 및 실증

○ 4세부

- 메가스테이션과 연료전지간 양방향 실시간 통신 및 운영 기술 개발
- 복합 충전소 연속 충전 기술 개발

○ 5세부

- 4, 5세대 열그리드 및 축열 시스템 기술 개발
- 운영기술 개발 및 지역 냉난방 연계 그리드 구축 및 실증

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 파리협정에 따른 CO2 저감을 위한 정책적/기술적 방향성 도출이 시급

○ 국내 수소에너지 기술 개발은 개별적인 과제 단위로 구성되는 경우가 대부분이며, 이는 수소에너지가 전주기적인 관점의 통합 시스템에 대한 기술성 평가를 통해 지속가능성을 확보해야 하는 관점에서 적절치 못한 방향성임

- 현 추진되는 단일 기술이 아닌 시스템적으로 운영될 수밖에 없는 에너지 산업 생태계에 대한 기반 구축이 시급한 상황임
- 따라서 다양한 부처에서 시행되었거나 혹은 시행될 예정인 수소에너지 관련 기술의 통합 운영의 장에 대한 고민이 시급한 상황임
- 특히, 수소에너지 시스템 구축과 운영을 연계하고 지속가능성 확보를 위해 민간에서 공공영역의 산업 시스템까지 연계할 수 있는 R&D 플랫폼 구축이 필요함

○ 대다수 R&D 성과와 산업 연계 미비는 실 사용자와의 소통부재로 인한 것으로 기술 활용성에 대한 사용자 혹은 수용자 의견 반영이 부족

- 수소에너지는 국가 차원의 패러다임 전환 정책의 일환이므로 실 사용자의 니즈 반영이 필수적인 상황임
- 따라서 기술 개발 성과에 대한 지속가능성을 확보하기 위한 일환으로 실 사용자와의 소통 수단 개발과 이를 통한 성과의 보완이 필수적임

○ 수용자 및 기술개발자 간 밀접한 연계를 통해 연구성과의 완성도를 높이고, 연구성과의 활용도를 높이기 위해서는 대규모 및 생활 근접형 테스트베드 구축 과제가 필요함

- 수소에너지 연구는 생활과 밀접한 연계형 연구과제이므로, 실 사용자의 활용성이 중요하며, 이를 통한 기술개발 단계의 보완이 필요
- 따라서, 수소에너지 접목이 가능한 소규모 도시 생태 구축 및 이와 관련된 산업 생태계 구성 기관 들의 산업 네트워크 조성을 위한 테스트 베드형 과제가 필요함
- 1차적으로 시민의 자발적인 참여 유도를 위해 위험성 평가와 제도적 안정성 확보가 가능한 테스트베드 확보 전략을 추진

□ 기술동향 [국내 기술동향]

○ 수소타운 리빙랩 분야

- 신재생에너지 관련 리빙랩 과제가 성공적으로 추진되었으나, 최종 지속가능성 확보까지는 실패
- 고령화 등의 주제에 대해 리빙랩 추진 사례가 존재

○ 스마트 에너지 그리드 운영기술 분야

- 국내 정책적 수소 공급량 목표는 존재하나 지역별 인구, 경제 규모 등을 고려한 예측 규모는 아직 없음
- 각 지자체 별로 수소 자동차 공급대수에 따른 수소에너지 공급량에 대하여 자체적으로 용역 추진
- '17년 중앙대학교에서 100만명 도시형 복합 수소 네트워크의 설계를 위한 경제성 평가 및 망 최적화 연구를 수행함
- '19년 한국가스공사는 '지능형 통합에너지플랫폼 기반 복합에너지 허브 시범구축 및 기술 실증' 사업에 착수했으며, 전력, 수소, 열, 천연가스 등 복합에너지 공급 마이크로그리드 운영을 목표로 하고 있음

○ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 분야

- 울산 소수타운에 연료전지에 의한 주거 모델 시범사업 실시. 울산시 부생수소를 기반으로 공급하였으며, 2단계 계획이 수립되었으나 도시계획보다는 커뮤니티 수준임
- 메가 스테이션에 대한 개념은 지속적으로 도출되었으나, 실질적으로 구현된 적은 없음

○ 난방·열 그리드 기술 분야

- 국내에서 진천 친환경에너지타운에서 태양열 계간축열조와 지열 히트펌프를 복합 구성하여 중앙열에너지공급시스템에서 열그리드를 통하여 주변 학교 및 소수의 공공건물에 직접 난방 및 급탕을 위한 55℃ 이상의 온수를 공급하기 위한 4세대 저온열그리드 실증이 이루어진 바 있음

[국외 기술동향]

○ 수소타운 리빙랩 분야

- 스마트시티내 소형 리빙랩 과제가 성공적으로 추진
- 일반적으로 유럽을 중심으로 장기적인 리빙랩이 추진되고 있으며, 공공건물 중심의 리빙랩 과제로 장기간에 걸쳐 진행

○ 스마트 에너지 그리드 운영기술 분야

- 대다수 국가가 수소 교통에 중점을 두고 수소에너지 사용 예측을 실시
- 수소 자동차 공급에 따른 필요수소량 및 수소 충전소 구축 수에 중점
- 미국 캘리포니아지역의 10~20년의 중기 수소 에너지 수요 예측 모형 구축
- '00년대 초반부터 유럽에서는 가스 공급망의 수요와 공급 최적화 모델링에 관한 연구를 진행해 왔으며 다양한 실증 경험 및 운영기술을 보유하고 있음
- '19년 호주는 천연가스 공급 배관에 수소를 주입하는 네트워크 구성및 운영기술 연구 사례 소개
- '20년 독일의 최대 에너지공급사인 RWE는 수소 공급 네트워크 건설에 착수, 운영 공식화함

○ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 분야

- (일본) 기타큐슈 수소 타운으로 대변되며, 신일본 제철의 부생수소 기반으로 다양한 도시내 수소에너지 활용정책 실험으로 커뮤니티 단위에 그침으로 도시 계획이라하기에는 미흡
- (영국) 리드시에 도시내 파이프라인을 통한 수소 공급에 대한 실험
- (미국) 실증 도시라기 보다는 수소 교통 도입을 캘리포니아 주에서 실시
- (덴마크) 롤랜드 시를 중심으로 주거에 대한 수소 공급 모델을 검증하였으나, 커뮤니티 단위임

○ 난방·열 그리드 기술 분야

- 유럽에서는 저온열공급을 위한 4세대 열그리드인 저온 열공급 네트워크, 저온 재생에너지열원과의 연계, 열저장설비 등의 기술이 실용화 연구 수준에 이르러있으며, 시장에 적합한 사업모델 개발 중
- 유럽에서는 또한 4세대 열그리드에서 한 세대 더 진보한 스마트 열그리드라고 할 수 있는 5세대 열그리드에 대한 개발과 40여 군데의 실증연구 진행 중

3. 연구내용

○ (1세부) 수소타운 리빙랩 전략기술 개발

- 기술개발자, 사용자, 지자체 등의 의사결정 플랫폼 구축
- 디지털 트윈과 디지털 리빙랩 구축 및 연계을 통한 간접 체험 플랫폼 구축

- 리빙랩을 통한 실 사용자 의견과 수소 그리드 운영 시스템 연계를 위한 의사결정 및 양방향 AI 알고리즘 개발

○ (2세부) 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발

- 디지털 트윈 기반 열/전기/수소의 시간별 부하 분석 및 예측기법 개발 및 운영 AI 연계 시스템 개발
- 신재생에너지 원별 용량기반 생산량 분석을 통해 복합 에너지 믹스 그리드 운영 기술 확보
- 수소타운 구성 요소내 수소 공급 최적화를 위한 그리드 운영 AI 알고리즘 개발
- 가스 네트워크 펌프스테이션 및 크리티컬 포인트 들의 센서 정보 취합을 통한 압력 변동 및 온도, 유량 모니터링 기반 상태진단 기술 개발 및 디지털 트윈 연계 기술 개발
- 서브스테이션들의 시간-일 단위 고해상도 실시간 사용 상태 모니터링 데이터 기반 수요 예측 모델 확보 및 생산-수송-분배 데이터 연계 운영 시스템 확보
- 도시가스와 수소 혼합 공급 시스템을 위한 원천기술 개발 및 확보

○ (3세부) 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축

- 수소/전력 저장 및 에너지 원별 공급을 위한 통합 모듈화 설계 및 구축 기술 확보
- 도시 기반 수소 사회/도시 구축 모델링 및 디지털 트윈 구축 기술 개발
- 수소 공급 및 저장 인프라 운영 시뮬레이션 및 AI 연계 툴 구축
- 수소 사용량 별 도시 계획 수립 로드맵 구축

○ (4세부) 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발

- 디지털트윈 기반 수소 커뮤니티 별 부하 분석 및 최적 용량 설계 기술 개발
- 메가스테이션 내 수소 관리를 위한 수소 생산 시스템과 연계기술 개발
- 수소 커뮤니티 열관리 및 열 공급 시스템 구축
- 메가 스테이션, 신재생에너지, 전력 충전시스템 등 복합시스템 연계를 통한 유연성 확보 기술
- 수소 교통을 위한 복합 충전소 구축 기술

○ (5세부) 난방 및 열 그리드 기술 개발

- 4/5세대 열그리드 기술 확보
- 축열 시스템 요소별 운영기술 확보
- FC Tri-Gen 시스템 기술 확보
- 열 그리드 와 지역냉난방 연계기술 확보

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행

- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ 추진체계 **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 전문기관 및 지자체의 수소 타운 설치를 위한 법/제도 분야 협력 체계구축

○ 테스트 베드 구축을 위하여 국토 교통부와 지자체의 현 제도적 문제를 사전 검토 이후 해결방안 논의

○ 수소 활용시 위험성 체크를 위한 안전성 진단을 상시할 수 있는 전문가 및 전문 기관 협력체계구축

○ 메가스테이션을 구축하기 위한 차고지 등의 소유기관과의 협력 체계구축

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 테스트베드 내 수소 및 에너지 그리드 사용자와의 사전 협력 체계 구축을 위해 지자체와 R&D 총괄 기관의 긴밀한 의사 결정 구조를 위한 TF 팀 구축

○ R&D 종료 이후 원만한 테스트베드 활용 방안을 위한 관리주체를 사전에 결정하고, 사후 운영을 위한 의견 반영 구조 구축

[기술수요자와 협력체계]

○ 주민과의 의사소통을 위한 리빙랩 수단을 적극 활용하고, R&D 성과 도출을 위한 기술 수요자의 의사를 적극 반영할 수 있는 구조 활성화

○ 지자체와 기술 수요자간 상시 의사 소통 기구를 별도로 설치하고 지원

○ 수소 차량 확보 및 운영을 위한 기업 등과 운영 결과 등을 공유할 수 있

는 협력체계를 구축하고 기술 개발에 반영

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ **세부과제별 최종성과물**

○ (1세부) 수소타운 리빙랩 전략기술 개발

- 수소타운 전환 디지털 리빙랩

- 블록체인 기반 오프 데이터 플랫폼
- 국가 수소타운 탄소세 사업화
- 경제성 평가 기반 에너지 믹스 전략

○ (2세부) 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발
- 통합관제 시스템 DB 및 운영기술
- 메탄/수소 혼합 이송 파이프라인 운영기술
- 공간정보 통합플랫폼
- 에너지 그리드 운영 모니터링 및 커미셔닝 시스템
- 메가스테이션용 통합관제플랫폼

○ (3세부) 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축
- 수소 메가스테이션 (용량 1 ton/일)
- 수소 그리드

○ (4세부) 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발
- 건물 용도별 열/전기 부하분석 및 운영기술 (총 에너지의 20% 이상)
- 가변 운영기술
- 복합충전소 운영기술 (2대 동시 충전)

○ (5세부) 난방 및 열 그리드 기술 개발
- 4, 5세대 열그리드 및 축열 기술
- 4, 5세대 열그리드의 열수요측 인터페이싱
- FC Tri-Gen 및 지역냉난방 연계 기술

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ R&D 종료 시점에서 지자체에 전체 시설을 이관하여 지속적으로 활용할 수 있도록 총괄기관과 지자체간 기구를 구성하고, 향후 지자체에서 테스트베드를 적극저적으로 운영할 수 있도록 지원

○ 지자체에서 수소타운 테스트베드를 운영할 수 있도록, 각 기술 소유 기관은 사후 지원방안 및 체계를 구축

○ 특히, 메가 스테이션을 중심으로 하는 복합 스테이션은 수소 차량 및 전기 차량 소유자가 활용할 수 있도록 제도적 장치를 지자체에서 사전 구축

○ 지역내 수소, 재생에너지 등을 활용하여 탄소세 확보를 위한 CDM 사업화 등의 사업화를 통해 지역 주민에게 직접적인 혜택이 갈 수 있도록 지원제도 구축

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 수소 도시 구축을 위한 로드맵 구축
- 리빙랩 기반의 테스트베드 구축으로 연구결과와 실 사용자에 의한 활용에 따른 연구결과 적용의 명확성 확보로 상용화 가능성 증대
- 수소 에너지 인프라 확대를 위한 주민 수용성 문제 해결

○ 경제적 기대효과

- 세계적으로 상용화되지 않은 수소 커뮤니티 기술 개발로 관련 기술시장 선점 및 해외시장 진출 교두보 마련
- 에너지 수입국에서 에너지 기술 관련 수출국으로 세계 에너지 시장을 리딩할 수 있는 기술 확보

○ 과학기술적 기대효과

- 수소커뮤니티 관련 에너지 생산/저장/활용 기술의 확보로 차세대 에너지 관련 기술 선도

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2028.12 (6년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)
- 6차년도 연구개발기간 : 2028.01.01 ~ 2028.12.31 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 78,300백만원 이내

- (1세부) 2,600백만원 이내
- (2세부) 21,800백만원 이내
- (3세부) 26,900백만원 이내
- (4세부) 16,000백만원 이내
- (5세부) 11,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 7,500백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 70,800백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실

1. 연구목표

○ 메가스테이션 연계 수소 직공급 열병합발전 기반 구역형 서브스테이션' 개발 및 '건물용 트라이젠 (전기·온열·냉열) 공급 실증

- 구역형 서브스테이션으로 연간 구역 열· 전기 에너지 수요 20% 담당
- 열병합발전 배열 기반 냉·온열 사용으로 서브스테이션 가동률 90% 확보

○ 1세부

- 수소 직공급 기반 구역형 열병합발전 서브스테이션 개발 및 건설 기준 수립
- 부생열 기반 냉열공급 플랫폼 구축 및 구역내 주거·비주거 건물 온열·냉열 공급을 위한 최적 운영시스템 개발

○ 2세부

- 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 축열조 및 온도 성층화 분배용 디퓨져 개발
- 단기(현열·상변화) 및 장기(열화학) 대응용 복합 열저장 장치 개발 및 서브 스테이션 맞춤형 축열시스템 실증

○ 3세부

- 신재생에너지 전기(DC/AC)변환 효율 향상 방안, 열/전기 수요 및 생산 관리를 통한 부하매칭 기술 개발 등 서브스테이션 최적 에너지 운영 알고리즘 개발
- 전기 및 열수요 최적화 예측 및 운전스케쥴 산출 기술 개발 및 서브스테이션 내 통합 모니터링시스템 구축, 운영·커미셔닝

○ 4세부

- 서브스테이션의 온열/냉열 공급을 위한 건물 내 공급설비(배관, 밸브, 펌프, 계량기 등) 기준 수립 및 실증
- 건물 에너지 측정설비, 데이터 취득/연산 시스템 및 최종 사용자용 BEMS(HEMS) 시스템 구축

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발

○ 출산 고령화로 중소형 도시개발사업 및 도시재생사업으로 도시개발 패러

필요성

다임 변화와 기후재난과 미세먼지 방지를 위한 구역 단위의 효율적 분산형 스마트 그린에너지 도시 시스템 개발이 필요한 시점

○ 온실가스 감축, 미세먼지 저감, 발전효율 향상 등 미래형 에너지 기술과 4차 산업혁명 기술 기반의 높은 안전성 및 편의성이 적용된 스마트 그린에너지 도시로의 전환을 위해서는 수소에너지 기반의 분산형 4세대 지역난방 실증사업이 필요

○ 우리나라 기존 에너지시스템은 대규모 설비 기반의 통합적이고 중앙 집중적인 공기업의 B2B 위주로 운영

○ 국토부의 제로 에너지건물 로드맵은 '25년부터 민간건축물과 공동주택을 제로 에너지건물 의무대상으로 포함하고 건축물 단위에서 지구·도시 단위로 확산 계획을 발표하였으며, 이에 대한 대응 기술 및 실증 필요

○ 분산발전 시스템에서 발생하는 폐열을 활용하여 열과 냉방, 전력을 모두 공급하는 시스템을 '트라이젠 시스템'이라고 칭하며, 본 기획에서는 이를 "서브스테이션"으로 칭함

○ 대체로 분산 에너지원에서 생산하는 에너지는 대규모로 생산하는 방식에 비하여 비쌀 것은 자명하므로 경제성을 고려한다면 분산형으로 100%의 에너지를 공급하는 방향으로 확대하는 것은 다소 무리가 있으므로, 메가스테이션과 서브스테이션을 적절히 조합하여 중앙집중식 에너지 생산방식의 장점과 분산형 에너지 생산방식의 장점을 적절히 조합하는 것이 바람직함

○ 탄소 저감의 측면에서 분산발전시스템은 무효전력 및 송전손실 감소에 따른 전력 생산량 감소 측면에서 탄소 생산량의 저감에 이바지한다고 할 수 있으나, 대체로 대형 발전설비(최근 복합화력 기준 60% 이상) 대비 낮은 전력효율(약 43%, 두산퓨얼셀)을 가지고 있어 단순히 분산발전이 공급된다고 해서 탄소 저감 측면에서 유리하다고 볼 수 없음

○ 구역 단위 복합(주거·비주거) 건물과 연계된 트라이젠(전기·온열·냉열) 및 수요대응을 위한 서브스테이션 기술 실증 필요한 구성요소

- 수소 기반 신산업 생태계 대상 다양한 형태의 에너지공급 플랫폼(마이크로 가스터빈, 수소 연료전지 열병합발전 시스템 등)
- 수소 도시의 효율적 에너지공급을 위한 트라이젠 운영 기술
- 미래 수소 도시 대비 에너지/연료(수소) 양방향 네트워크 및 공유 기술

□ 기술동향 **[국내 기술동향]**

○ 서브스테이션 분야

- 한국지역난방공사의 용인 스마트 변온소 실증사업

  · 한국지역난방공사는 용인 미래개발원에 스마트 변온소 실증사업을 진행

  · 연료전지, 저온발전설비(ORC), 신재생에너지 등을 결합한 4세대 지역난방 네트워크 및 공급시스템 실증

- 산업부 지원 스마트제로에너지 시티(Smart ZEC)

  · GS파워, 서울에너지공사 등은 산업부·한국에너지기술평가원 2018년 브랜드 과제로 진행되는 프로젝트를 통하여 도시 단위에서 IoT·빅데이터·AI를 기반으로 미활용 및 신재생에너지를 포함한 다양한 분산자원들에 대한 통합 에너지의 지능적인 관리 및 거래가 가능한 도시 단위 통합운영 시스템 개발 추진 중.

○ 열저장 기술 분야

- 한국에너지기술연구원의 폐열 및 잉여열 기반 단기·장기용 화학열저장 기술

  · 한국에너지기술연구원은 제철소 산업 폐열 및 잉여열 또는 전력 변동성 발생에 따른 전력-열 변환 기법(Power-to-Heat)이 사용 가능한 상황에서 MgO(산화마그네슘) 및 Zeolite/Silica-gel 기반 이용하는 화학열저장장치 제작 및 평가를 수행

- 한국에너지기술연구원의 태양열 집열시스템 기반 탱크방식 계간 현열 축열 기술

  · 72,000㎡에 공공건물군에 열과 전기를 100% 친환경 에너지로 공급하기 위해 태양열 집열 시스템과 계간 축열 시스템을 결합하여 진천 친환경 에너지 타운을 조성하는 연구과제를 통해 국내 최초 계간 축열 시스템을 실증

○ 운영 기술 분야

- 정부에서는 '재생에너지 3020' 이행을 위해 실증사업 기반의 대규모 프로젝트를 추진 중이며, 특히 재생에너지 클러스터 조성을 통한 종합적인 산업 생태계 강화를 목적으로 다양한 정책들을 추진 중

- 한국건설기술연구원에서는 Cloud SHARE 플랫폼 실용화와 확산을 위한 통합 실증 부문을 맡아 '에너지 공유 커뮤니티 계획·설계를 위한 기반 기술 기초연구'를 수행 중

- 스마트그리드 운영기술은 시장 창출 성과가 아직은 미흡한 것으로 평가되나, 세계 스마트그리드 시장의 성장으로 높은 잠재성을 보유

- EMS 분야는 원천기술의 높은 해외의존도로 산학연 공동개발체계 구축이 필요

- 제주 스마트그리드 실증사업

  · ICT, 전력, 가전, 자동차 산업 등 이종 산업 간의 융합이 특징인 대 규모 실증사업. 12개의 공모 컨소시엄이 참여하여 지능형 소비자, 지능형 운송, 지능형 신재생에너지, 지능형 전력망, 지능형 전력서비스 등 비즈니스 모델 실증

- SK 가스

  · ICT, 전력, 가전, 자동차 산업 등 이종 산업 간의 융합을 통한 대규모 실증 추진

  · AI·빅데이터 분석 소프트웨어를 기반으로 각 산업체의 데이터를 분석해 최적의 솔루션을 제공해 에너지공급과 소비를 최적화할 수 있는 사업 모델 개발

○ 사용자 분야

- 서울시 마곡 4세대 지역난방 실증사업

  · 서울시는 마곡지구 내 농업 공화국에서 4세대 지역난방 실증사업을 진행

  · 지역난방 공급수를 활용한 저온발전설비(ORC), 마이크로 가스터빈 등을 실증

- GS파워 부천 연료전지 저온 배열 공급사업

  · GS파워는 부천 열병합발전소에 열병합발전소 회수계통의 50℃ 저온수를 흡수식 히트펌프를 사용하여 60℃로 승온하여 공급

  · 흡수식 히트펌프 증발계통의 30℃ 저온열을 연료전지 저온계통(50℃)의 온수로 회수

- 한국지역난방공사 농업용 4세대 집단에너지 실증사업

  · 아파트단지에서 회수되는 지역난방 환수를 인근 원예 농가에 공급하는 농업용 4세대 지역난방 실증사업을 수행

  · 새만금 간척지 내 농업용지, 농업시설 원예 단지 등 큰 규모의 수요처를 대상으로 실증사업 수행

- 한국지역난방공사 공동주택 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템 설치 및 실증

  · 분당 공동주택 단지 1000세대 (2017년 ~), 수원 공동주택 단지 350세대 (2020년~)를 대상으로 세대 분배용 난방 및 온수 스마트미터 시스템을 설치하여 실증 운영 및 데이터 수집·분석에 따른 수요반응 효과 파악 및 에너지 효율 향상 기법을 적용하는 연구 수행 중

[국외 기술동향]

○ 서브스테이션 분야

- '00년 초반 미국·유럽을 중심으로 마이크로 가스터빈, 연료전지 등 다양한 분산형 발전시스템 관련 연구 및 실증화를 진행하였으며, 최근에는 주로 연료전지 기반 열병합 발전시스템 상업화 진행
- (마이크로 터빈 열병합발전 시스템 사례) 캐나다 Vergent Power Solutions, 미국 Crouse 커뮤니티센터
- (연료전지 열병합발전 시스템 사례) The Marcus Garvey Village

○ 열저장 기술 분야

- 독일 ZAE Bayern는 독일 뮌헨 학교 건물 대상의 지역난방 열공급시스템에 결합하여 저녁 시간에 축열하고 낮에 사용하는 1일 사이클용으로 테스트 수행
- 덴마크 Marstal은 EU의 SUNSTORE 4 프로젝트로 100% 재생에너지로 열을 공급하는 시스템을 구축

○ 운영 기술 분야

- 영국의 다국적 에너지 및 서비스 회사 센트리카(Centrica)는 스마트 미터를 통해 수집한 30분 단위 에너지 소비량을 근거로 피크시간대 실시간 전력수요 동향을 분석하고 시간대와 전력수요에 따라 동적으로 변하는 전기요금 설계하여 이에 근거한 전력수요 관리와 사용시간대 분산 등에 활용
- 제너럴일렉트릭(General Electric; GE)은 2015년 5월, 빅데이터와 IoT 기술이 적용된 신개념의 디지털 풍력발전소 모델인 "디지털윈드팜(Digital Wind Farm)"을 도입했는데 이는 전통적인 풍력단지에 센서와 클라우드(Cloud), 빅데이터(Big data) 분석 기술을 더해 '디지털 트윈(Digital Twin)'이라는 홀로그램 시뮬레이션 기술을 가능하게 함
- 덴마크의 풍력발전용 터빈 제조업체이면서 개발사인 베스타스는 부지 선정을 위해서 빅데이터 분석모델을 운영하였으며, 정형·비정형 데이터를 활용하는 모델링 기법을 개발하고, 부지 선정 외에 최적의 운영방안을 도출하는 데 활용
- 하와이 Sunshot Smart Grid Project는 미국 에너지부(DOE)가 주관하는 태양에너지 개발 사업 SunShot Initiative 산하 6개 프로젝트 중 하나이며, 하와이 전력공사는 Siemens의 DERMS 시스템을 이용하여 전력데이터를

수집 및 관리

- 요코하마 Micro Grid Project는 요코하마 전역에 4,000여 가구가 참여하는 435㎢ 규모의 실증사업으로 수요반응 서비스 검증용 전기차와 충전소를 포함한 차세대 인프라 구축 및 대규모 수요관리 시스템, 인센티브 프로그램 등을 개발 중
- 스웨덴 Stockholm Project는 유럽 최대의 도시개발 프로젝트로, 지속개발 가능성에 방점을 두고 스마트그리드 관련 운영 기술의 개발 및 실증 진행 중
- 그로닝겐 Powermaching City Project는 화석연료 중심의 에너지시스템을 스마트에너지 인프라로 전환하는 프로젝트로 차세대 에너지시스템을 검증하고 소비자 참여를 유도하는 서비스 모델 개발
- 호주 Newcastle Project는 호주 최초의 상용화 단계 실증단지이며 참여 세대수가 15,000세대, 총사업비가 4천4백만달러에 이르는 프로젝트로 분산전원 등을 고려한 합리적인 전력공급 계획 수립 및 스마트그리드 비즈니스 모델 발굴을 목표로 함

○ 사용자 분야

- 분산발전 기반의 열병합시스템을 활용하여 열을 공급하기 위해서는 기존 100℃ 이상 중온수를 이용한 3세대 지역난방 방식에서 70℃ 이하의 저온수를 공급하는 4세대 지역난방 시스템의 보급이 동시에 수행되어야 함
- 그러나 4세대 지역난방은 아직 대규모 운영 사례는 없으나 독일, 네덜란드 등 유럽의 지역난방 선진국을 중심으로 부분적인 열 그리드 실증사업을 진행 중임
- 독일은 4세대 지역난방 시스템을 통해 기존 열 네트워크의 회수열을 소넨베르크 지구의 신축 건물에 저온으로 공급하여 에너지 손실 최소화
- 네덜란드 헤이그는 '15년 스마트 열 그리드로의 발전 전망을 포함한 열 이니셔티브 선언을 통해 열에너지 최적 이용과 수요관리 강조

3. 연구내용

○ (1세부) 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발

- 수소 직공급 기반 구역형 열병합발전 서브스테이션 개발
- 서브스테이션 건설 기준 수립
- 부생열 기반 냉열공급 시스템 선정 및 플랫폼 구축

- 구역내 주거·비주거 건물 온열·냉열 공급을 위한 최적 운영시스템 개발

○ (2세부) 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발

- 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 축열조 개발
- 온도 성층화 분배용 디퓨져 개발
- 단기(현열·상변화) 및 장기(열화학) 대응용 복합 열저장 장치 개발
- 서브스테이션 맞춤형 축열시스템 개발 및 실증

○ (3세부) 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발

- 서브스테이션 최적 에너지 운영 알고리즘 개발
- 신재생에너지 전기(DC/AC)변환 효율 향상 방안
- 열/전기 수요 및 생산관리를 통한 부하매칭 기술 개발
- 전기 및 열수요 최적화 예측 및 운전스케쥴 산출 기술 개발
- 서브스테이션 내 통합 모니터링시스템 구축 및 운영·커미셔닝

○ (4세부) 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증

- 서브스테이션의 온열/냉열 공급을 위한 건물 내 공급설비(배관, 밸브, 펌프, 계량기 등) 기준 수립 및 실증
- 건물 에너지 측정설비 및 데이터 취득/연산 시스템 개발 및 구축
- 최종 사용자용 BEMS(HEMS) 시스템 개발 및 실증

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ **추진체계** **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 산학연 협동을 통한 협력체계 구축

- 산업체(집단에너지 사업자): 광역망 연계 및 운영
- 지자체 및 도시개발 사업자: 실증부지 확보 및 주민 동의 및 행정편의 제공
- 연구소(출연연): 시스템 설계, 운영 알고리즘 개발

- 대학교: 도시개발 측면에서의 주민 편의성 및 수용성 연구

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 운영주체 및 지자체간 협력체계 구축

- 집단에너지 사업자: 인프라 구축 및 최적운영 O&M
- 지자체 및 도시개발 사업자: 실증부지 확보 및 주민 동의 및 행정편의 제공

[기술수요자와 협력체계]

○ 기기개발업체와 과제 연구 그룹 간의 협력

- 연료전지 개발 업체: 효율적인 열생산에 초점을 맞추는 운전 기법 개발
- 축열조 개발 업체: 복합 열저장 기법 적용을 위한 시스템 개발
- 사용자시설 설비 업체: 직공급을 위한 열교환 설비 및 운영 기술 개발
- 집단에너지 사업자: 통합 운영 시스템 결합으로 밸류체인 및 비즈니스 모델 개발

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ **세부과제별 최종성과물**

○ (1세부) 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발

- 서브스테이션 유닛
- 설계도 및 건설기준
- 운영 플랫폼

○ (2세부) 수소 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발

- 복합 축열조 및 요소기술
- 수소기반 부생열 및 P2Heat 기반 축열조

○ (3세부) 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발

- 수소 열병합발전 종류 및 특성에 따른 열/전기 생산율 (실증값 대비 90% 이상)
- 건물용도별 조합에 따른 열/전기 수요율 (실증값 대비 90% 이상)
- 수소기반 열/전기 자가소비율 (LCF 90% 이상)

○ (4세부) 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증

- 연계 건물 시스템
- 설계도 및 건설기준
- HEMS

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 수소기반 트라이젠 서브스테이션 실증설비, 축열 시스템 및 연계되는 실증 건축물 및 단지

- 해당 과제의 특성 상 리빙랩으로서 실제 사용자에게 에너지를 공급하는 설비가 구축되는 것이므로 SPC(특수목적법인)등을 이용한 O&M 서비스를 준비하거나, 관리 주체가 직접 설비를 유지하도록 만드는 사전 준비 작업 필요
- 이후 다양한 P2X 기법을 결합할 수 있는 reference site로 운영하여 추가적인 데이터 확보
- 지속적인 운영을 통해 국내 및 해외 사업 확대를 위한 장기 O&M 비용 산출 등 track record 확보

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 수소경제, 그린뉴딜 정책에 최적화된 수소기반의 분산형 에너지 공급 모델 개발로 성공적인 정책 추진 가능
- 신재생 에너지 보급률 20% 달성 조건에 부합하면서 주민의 편의성을 최대한 고려할 수 있는 에너지 공급 가능
- 에너지의 공급, 사용과 함께 에너지의 피크부하 감소에 적합한 에너지 저장기술 다변화를 통하여 에너지 시장 포트폴리오 확대

○ 경제적 기대효과

- 신규시장 및 신사업 창출을 통한 일자리 창출 가능
- 과제를 통하여 확보된 에너지 공급모델의 표준화를 통한 해외 건설시장 진출 가능
- 연료전지 : 전력생산량(1MWh), 열생산량(950Mcal) 수소사용량(1.7ton/d) 장기운전 8,600시간이상
- 예상매출액: 17억원/년

  ※ 전력 10.4억, 열 6.6억, 전력단가 1kWh당 120원, 열단가 1Gcal당 80,000원 기준

○ 과학기술적 기대효과

- 친환경 에너지 공급을 통하여 에너지 사용자의 탈 탄소화가 가능

- 제로에너지건물에서 진보된 제로에너지 시티 구축에 필요한 기초 데이터의 확보
- 다양한 신재생 에너지원과의 연계가 가능한 에너지 플랫폼의 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2027.12 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 40,531백만원 이내

- (1세부) 16,450백만원 이내
- (2세부) 4,061백만원 이내
- (3세부) 3,640백만원 이내
- (4세부) 16,380백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 3,989백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 36,542백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증

1. 연구목표

○ 스마트 수소시티 내 설치가 가능한 용량 3 ton/day급 지하 수소 충전소 설계기술 개발, 기준 제정, 실증 및 hub-station 설계(안) 제시

○ 1세부

- 수소 스테이션 지하공간 수용공간 표준모델, 지하 수소 스테이션 시설 및 안전기준, contingency&resilience 가이드라인 : 국가건설기준에 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 건설 및 엔지니어링 기업의 설계 및 시공 사업모델로 활용

- 지하 수소 스테이션 방호구조 및 재료 : 국가건설기준에 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 건설 및 엔지니어링, 구조 및 재료 유관 기업의 설계 및 시공 사업모델로 활용

○ 2세부

- 지하공간에 적합한 수소스테이션 및 핵심설비 : 국가건설기준에 설비 설계 및 시공기준으로 반영, 국내 엔지니어링 및 제작 기업의 설계 및 제작, 설치 사업모델로 활용

- 수소누출 모니터링 및 능동안전 시스템, 수소설비 건전성 진단 및 관리시스템 : 국가건설기준에 설계 및 시공기준의 안전항목으로 반영, 국내 방재, 유지관리 유관기업의 사업모델로 활용

○ 3세부

- 지하 수소 허브-스테이션 개념 설계 및 표준모델 검토, 다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘, 수소 허브-스테이션 관제 시스템 : 설계 및 시공, 운영 및 유지관리 사업모델 제시

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 교통·주거·산업 분야에서 수소 수요가 급격히 증가할 것으로 전망되나, 수요처에 수소를 안전하고 효율적으로 공급하는 인프라에 투자가 미흡한 실정

○ 수소경제 조기실현을 위해서는 수소수요의 비약적 확대를 통한 新산업 생태계 창출과 이를 지원할 안전한 수소 생산과 근접 공급체계의 구축이 중요함

○ 수소공급 인프라 건설에 있어, 수요처에 근접하고 주민 수용성이 높은 방

식으로 고려되어야 하며, 지하시설로 구축을 위한 기술개발이 필요

○ 수요처 근접 지하 수소 스테이션은 구역 내 신재생에너지, 수소배관망 등 기능을 복합적으로 연계한 허브 스테이션(hub station)으로 개발 필요

○ 수소 인프라는 설치시 충분한 안전거리가 필요하나 국내 국토공간 및 도시계획 여건상 고밀화 개발로 지상공간 확보에 애로가 있으며, 인접 주민/이해 관계자간 빈번한 민원 발생

○ 지하는 자체로서 방호기능을 가지며, 안전성을 획기적으로 개선 가능하여 선진국가(독일 린데사, 미국 샌디아랩 등)은 지하화 수소 저장소 및 설비에 대한 연구개발, 시범적용, 국제기준 개발 등을 선도적으로 추진 중으로, 이러한 기술변화에 빠른 대응 필요

□ 기술동향 **[국내 기술동향]**

○ 지하 수소스테이션 설계 기술 분야

- (지하 수소스테이션 설계) 시범사업, 도로 휴게소 등에 지상식으로 다수 설치하여 운용 중
  - 모든 설비들은 KGS 코드에 따라 지상에 설치되도록 설계되어 있으며, 규정에 따라 방호벽 등 안전조치가 존재하나 지상식에 한해서 설계 기술 존재
- (제도) 지하 수소스테이션 관련 규정
  - (기체수소충전소) 지상식 고압가스 기반 수소충전소 관련 규정 존재 (제조식, 생산식, 융복합식 수소충전소 규정 등)
  - (액화수소충전소) 린데, 에어프로덕트, 에어리퀴드 등의 기술 자문과 함께 효성 등에서 액화수소충전소 관련 기준을 규재샌드박스를 이용해 개발 중
  - (지하수소충전소) 지하 수소충전소 관련 규정 없음

○ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 분야

- (수소액화플랜트연구단) 국토교통부 지원으로 액체수소저장탱크, 압축기 등 개발(2019-)
- 설비설계기준(KDS 31 00 00) : 국토교통부 국가건설기준센터(건설기술진흥법 제44조의2)
  - 주택단지에서 수소 및 신재생에너지 복합이용에 관한 설비설계기준은 미비한 실정

· 신전원설비 코드(KDS 31 60 30)에 태양광, 연료전지, 전기자동차 충전 시설에 관한 내용이 포함되어 있으나 주택단지 및 적용설비의 활용을 위해서는 보다 구체적인 성능 및 안전기준과 시방을 제시할 필요

○ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 분야

- 울산테크노산업단지 내 '친환경 전지융합 실증화 단지 구축, 2014.12~2019.11, 총 사업비 272.5억원(정부출연금 175.5억원, 지자체출연금 97억원)

· 10,000 Nm^3/h급의 부생수소 공급 가능(공급압력 20bar, 수소 순도 99.99% 이상), 총 5MW급의 연료전지 단지 계획 중 현재 1MW급 연료전지(PEMFC, PAFC, SOFC) 실증

· 석유화학단지 내에서 외부로 연결되는 국내 최초의 약 3㎞의 수소 배관 구축

[국외 기술동향]

○ 지하 수소스테이션 설계 기술 분야

- (미국) Sandia National Lab 등에서는 도시영역에서 수소 스테이션을 지하화하는 방안을 연구하고 있으며, 이에 다른 위험성에 대한 정량적인 성능지표 및 기준 개발, 공간배치, 안전설비(감지센서 및 환기 배출 등)에 관한 연구를 수행하여 국제규격 등에 반영을 추진하고 있음

- (미국) 캘리포니아 주정부에서는 수소스테이션의 허용(가)에 관한 가이드북을 제공. 주요내용으로는 수소설비 사전 검토, 입지/zoning, architectural Review, California Environmental Quality Act, 화재 및 유틸리티 연결, 설치, 커미셔닝 등에 관한 내용을 담고 있음

- (독일) 뮌헨공항에 테스트 단계의 지하 수소 인프라(기체 및 액체)위한 주유소를 설치하여, 2004년 말까지 6,000회 이상의 충전 수행

○ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술

- (미국) 액체수소 펌프를 통한 차량용 수소탱크(23K, 350bar, 초임계수소) 고속 고밀도 충전 실험, 700bar 왕복동 액체수소 펌프 성능 및 내구성 시험(2018)

- (독일) Linde사는 액체수소충전소에 들어가는 핵심부품(저장용기, 액체펌프 및 관련 모듈)을 상용화 시작

○ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용기술

- (영국) Leeds시의 경우에 H21 Leeds City Gate project(2016.7)를 통해 수요에너지를 100% 수소로 공급하기 위해 기존 천연가스 배관 활용한 수소 공급 후 가정 및 산업에 활용방안 실증 추진 중

- (일본) 기타큐슈(北九州) 수소타운' 프로젝트 추진 및 후쿠오카 현 수소 캠퍼스 구축 : 수소 스테이션에서 파이프라인으로 주택지 및 공공시설에 수소를 공급하여 순수소형 연료전지 운전, 태양광 발전 및 축전지와의 연계 운전을 통해 전력공급시스템을 검증

- (덴마크) 덴마크 롤란드섬 Vestenskov 마을 수소연료전지 프로젝트 추진

3. 연구내용

○ (1세부) 지하 수소스테이션 설계 기술 개발

- 지하·지상 안전을 위한 공간설계, 방호를 위한 구조재료, 안전성 기술
  - 지하입지, 지하시설의 공간, 기능설비 배치, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보
- 지상 공간에 배치되는 시설 및 기능설비(분배, 인입 등) 최소화, 수용안전성, 지하공간 연계 통합 설계 기술
- 지하 및 지상 시설의 규모, 설비배치, 주변영향, 유틸리티 연계, 환경유해성, 사고 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 등에 관한 시설기준과 표준시방서, 인허가 가이드라인 등
- 외부적인 영향(재해, 고장 등)에 견디며, 기능 중단 시 원상으로 복구하는 수용력(물리적, 사회적 시스템 간에 강건성, 예비성, 수용성, 신속성 등) 지표를 고려한 contingency 등 구역 내 종합 resilience

○ (2세부) 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발

- 지하공간에 수용성이 높은 수소스테이션 주요설비의 핵심요소 기술
  - 지하공간에 집적배치를 위한 모듈화·컴팩트화, 내구수명, 고장빈도, 유지관리 등을 고려한 특성화 요건 충족
- 주민 수용성을 고려시, 스테이션에서 고압기체 운용보다는, 이와 동등 이상의 단위용량 및 기능을 가지고 위험도가 낮은 액체 또는 흡착/합금 수소저장 기술 등
- 지하공간, 설비배치, 설비구성의 특성을 고려한 고신뢰 누출수소 센싱 및 공간 모니터링, 용량 가변형 신속배출 기술
- 스테이션 계통상 구동부와 boil-off 가스를 최소화, 방폭, 역화방지, 내구수

명시험DB, 신뢰성/위험성/안전성 평가기법 등 계통설계의 정량적 건전성 평가기술

○ (3세부) 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발

- 수요처 에너지 시나리오에 따라 수소 운송경로, 지하 공급거점 및 수요처 근접망 최적화, 지하매설 수소관망, 전력망 등을 통합 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술
- 도로망, 물류기지 등 SOC 시설을 연계한 수소 수요처 근접 지하 마이크로 공급체계, 에너지 수요 및 공급을 고려한 에너지변환체계(가스, 액체⇒가스 전환, 가스 ⇒전력 변환 등) 등 최적화 분석 기술
- 구역 내 신재생에너지, 수소배관망, 매크로-마이크로 전력망 연계, 다중 수소 수요-공급 매칭 기능 융복합 수소 허브 스테이션(hub station) 설계 기술
  - 다중 수요·공급 : residence, mobility, storage, power, renewable, etc.
- 다목적 에너지 기능을 결합한 소규모(micro) 수소 기반 허브 스테이션 표준모델 및 관제시스템, 사업화 모델 구축 등

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ 추진체계 **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 액화수소충전소 핵심 부품 및 충전소 건설 관련 노하우를 갖고 있는 기업과의 긴밀한 협력체계 구축

○ 기술위원회 구성부터 신규 기준 제정까지 한국가스안전공사와 체계 구축

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 서울주택도시공사 및 버스차고지

- 차고지 관리 주체인 서울주택도시공사와 과제 실증에 필요한 프로세스의 원할한 진행을 위한 협력체계 구축(MOU 등)
- 버스차고지 및 지상행복주택 주민과의 원할한 소통체계 구축

[기술수요자와 협력체계]

○ 지하수소충전소 건설을 원하는 기업을 과제 실증 부분에 참여해서 개발-

실증을 함께 진행

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ **세부과제별 최종성과물**

○ (1세부) 지하 수소스테이션 설계 기술 개발

- 수소 스테이션 지하수용공간 표준모델 (공간확보율 30%)

- 지하 수소 스테이션 방호구조 (충격흡수율 40%)
- 지하 수소스테이션 방호재료 (내충격완화 250MPa)
- 지하 수소 스테이션 시설 및 안전기준 (기준 제정 1건)

○ (2세부) 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발

- 지하 수소스테이션 및 핵심설비(저장시스템) (저장용량 3,000 kg/d)
- 지하 수소스테이션 및 핵심설비(액체펌프) (토출량 300 kg/hr)
- 수소누출 모니터링 및 능동안전 시스템 (수소검출 농도 체적당 1%)

○ (3세부) 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발

- 다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘 (신뢰성 90%)
- 수소 허브-스테이션 관제 시스템 (시스템 신뢰성 95%)

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 버스차고지 수소충전소로 활용

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 정부의 탄소중립, 지속 가능한 환경 조성 등 기후변화와 에너지 전환 정책을 기술적으로 뒷받침
- 수소 기반 에너지 자립 및 온실가스, 미세먼지, 대기 오염 배출가스 저감으로 세계 환경규제에 적극 대응
- 한국판 뉴딜, 산업 활성화 정책 관련, 수소 수요·공급 기반 확충을 위한 기술적 지원과 더불어 안전한 전주기 인프라 수용성 확보
- 경제적인 최적화 기술, 국가건설기준 등 확립
- 지하시설의 규모, 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 기준 개발
- 기술적 측면과 지역주민의 정서적 측면의 접근, 예방적 기술성능(기준, 방호격리 등), 지하화를 통한 위험영향 격리 등 저변확산 등 종합적인 resilience 기술체계 구축

○ 경제적 기대효과

- 한국판 뉴딜, 산업 활성화 정책에 따른 수소차 20만대, 충전 인프라 450대 설치를 위한 수소 유통기반 마련에 기여
- ‘25년까지 수소도시 3개 추가 조성계획에 따라, 국산 공급 플랫폼 도입을 통한 실용화 실적 확보
- 수소에너지 기반 에너지 구조 전환으로 에너지 자원 빈국에서 수입 의존도를 낮출 수 있을 뿐 아니라 차세대 성장 동력으로 기대됨
- 수출 규제 및 기술 이전 회피에 대응한 국내 대규모 수소 공급 플랫폼(그리드&노드) 기술 확보에 기여

○ 과학기술적 기대효과

- 수소 수요와 경로를 고려한 지하입지, 지하시설의 공간, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보
- 수소설비 핵심요소기술의 국산화 개발, 지하공간에 집적을 위한 모듈화, 컴팩트화, 소재측면 고내구성 개발
- 에너지 수요를 고려한 수소유통체계(액체수소-기체수소-전력 계통연계 기능 등) 개발
- 수요-공급 매칭, 수요처 이용 시나리오에 따라 수소 운송거점과 지하매설 수소관망을 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술을 개발
- 구역 내 신재생에너지, 수소배관망 등 기능을 복합적으로 연계한 허브 스테이션(hub station)으로 개발 가능성 검토
- 수소 공급 플랫폼 시장 수요 대응 원천기술 확보, 기술 한계 돌파가 가능한 대용량 수소공급 플랫폼기술을 TRL 5 수준으로 개발(뉴딜정책, ‘25년까지 원천기술 보유)

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2027.12 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 29,000백만원 이내

- (1세부) 13,400백만원 이내
- (2세부) 12,200백만원 이내
- (3세부) 3,400백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 3,000백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 26,000백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영

1. 연구목표

○ 수소철도용 On-site 대용량 수소생산/저장/충전 인프라 구축 및 수소전기기관차 실증을 통한 운영 및 안전성 평가 기술개발

- 철도 전력인프라/신재생에너지 활용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증
- 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증
- 3MW급 수소전기기관차 설계/제작 및 실증
- 수소철도 운영을 위한 철도차량/철도시설 기술기준(안)
- 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가 기술개발

○ 1세부

- 수소생산/저장 인프라 설계 및 구축
- 수소생산/저장 인프라 기술검증 및 성능평가
- 수소생산/저장 인프라 실증
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 운영 및 유지보수 기술개발

○ 2세부

- 대용량 수소충전 인프라 설계 및 구축
- 대용량 수소충전 인프라 기술검증 및 성능평가
- 대용량 수소충전 인프라 실증
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 운영 및 유지보수 기술개발

○ 3세부

- 실증용 수소전기기관차 설계/제작
- 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가
- 수소전기기관차 실증
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 4세부

- 시운전 포함 수소전기기관차 운영 방안 도출
- 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출
- 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ "파리협정"('15.12.)에 따라 우리나라 온실가스 감축 목표('20년까지 배출전망치 대비 30% 감축) 달성을 위해 철도 분야 온실가스 배출 감축 필요

○ "미세먼지 관리 종합대책"('17.09)에 따라 '19년 이후 신규 제작·수입되는 디젤철도차량을 대상으로 배출가스 인증 및 배출허용기준 준수 의무가 부여되어 선제적인 대응 필요

- 탄소배출량: 디젤철도차량 19kg/km, 전기철도차량 10.6kg/km, 수소철도차량: 9.1kg/km
- '19.1.17. 정부의 「수소경제 활성화 로드맵」 발표에 '안전하고 깨끗한 철도 환경 조성'을 목표로 한 수소열차 추진방안 포함
- 국내 대중교통 수송분담률은 철도 18.7%, 버스 24.1%, 택시 2.6%, 승용차 54.6%로 일본의 철도 수송분담률 72%에 비하여 매우 낮은 상태로 전차선, 변전소 등의 전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축이 절실함

○ 친환경 수소철도차량은 전 세계적으로 대기환경문제(이산화탄소, 미세먼지 등) 해결을 위한 디젤철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 기술 및 시장 선도를 위한 정부 지원이 필요하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것임

- 수송 분야에서는 연료를 LNG, 수소로 전환하여 친환경 연료 이용률을 20%에서 60%까지 상향 계획을 세웠으며 철도 수송부문은 온실가스 배출량 24.6% 감축을 목표로 하고 있어 환경오염 배출의 주원인을 제공하고 있는 디젤철도차량을 친환경 수소철도차량으로 대체 필요
- 비전철화구간 및 혼합구간을 운영 중인 디젤철도차량(디젤기관차, 디젤동차) 내구연한 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원방식의 철도차량 필요

○ 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 '35년에서 '40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화가 급속히 진행 중

○ 수소전기기관차 운영을 위해 필요한 수소생산, 저장, 충전시설은 철도차량 기지가 보유한 전력인프라, 신재생에너지 등을 연계하여 구축 및 실증 가능하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것

□ 기술동향 **[국내 기술동향]**

○ 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 진행 중

- '18년 4월부터 디젤철도차량 대체를 목표로 개발 진행 중이며, '22년까지 기술개발 후 실증 추진 예정

○ '21년 민간주도의 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발

○ 자동차용 수소연료전지의 경우 국내에서는 3세대에 걸친 성능개선 기술개발을 통해 성능 안정화 및 수명향상 도모

- 수소버스 1회 수소 충전(33.44kg)으로 300km 주행, 넥쏘는 1회 수소 충전(6.33kg)으로 600km 주행

- 승용차 (5,000시간/160,000km), 버스 (25,000시간/1,000,000km) 달성

[국외 기술동향]

○ 수소 생산 및 공급

- 현재 구축된 수소차용 충전소는 튜브 트레일러 또는 수소 배관을 통해 수소를 공급받는 Off-site 방식을 사용함

- CNG/LPG를 개질하거나 물을 전기분해 하여 수소를 자체적으로 생산하는 On-site 방식으로의 연구가 진행 중임. 특히 물을 전기분해하는 경우 이산화탄소 배출이 없고, 전력만 공급할 수 있으면 운영이 가능한 장점이 있음

- 대량 승객/화물 운송수단인 철도의 경우 외부에서 수소를 공급받는 방식에는 한계가 있고 수소 생산/저장/충전이 가능한 on-site 수소충전 인프라 구축이 필요함.

○ 수소 저장 및 충전

- 수소의 저장 방식에는 고압 기체수소 저장과 액체수소 저장 방식이 대표적이며, 현재는 고압 기체수소 저장이 보편적으로 사용되고 있음

- 최근 대용량 저장이 가능하고 안전성이 높은 액체수소 저장 및 충전에 관한 연구가 진행되고 있으며 모빌리티 분야에 액체수소가 직접 적용된

사례는 없으나 독일 Linde 社에서 액체수소 저장용기를 적용한 수소충전소를 운영 중임

○ (중국) ‘21년 1월, CRRC 다퉁에서 최대 속도 80km/h, 연속 출력 700kW급, 최대 견인 하중 5,000 ton 수소연료전지 하이브리드 기관차 생산

○ (미국) ‘03년부터 BNSF는 국방부 지원으로 1.2MW급 연료전지 기관차 개발, 최대 속도 64km/h, 35MPa 고압기체 수소, 납축전지와 하이브리드 구성, 민간 재난구조에 차량 예비 동력원으로 사용 계획

○ (캐나다) Canadian Pacific社는 ‘20년 12월에 수소연료전지 화물 기관차 개발 착수 발표(일정 미정)하였고, 자사의 Line-haul 기관차를 수소연료전지 및 배터리로 동력 공급 장치를 개조하여 개발 예정

○ (프랑스) Alstom은 지난 ‘14년부터 수소연료전지 전동차 개발을 위해 독일 정부와 협력해왔으며, 열차 지붕에 있는 연료전지에서 수소와 산소를 결합해 전기에너지를 만들고, 이를 리튬이온배터리로 전송하여 한 번 충전으로 승객 300명을 태우고 하루 최대 800㎞(약 500마일)를 달릴 수 있는 수소연료전지 철도차량(Coradia Lint)을 개발하여 현재 독일에서 상업 운영 중임

- 수소철도차량 운영을 위해 차량유지보수 뿐만 아니라 수소연료공급시스템 관리 및 유지보수까지 패키지로 포함하여 제시

○ (독일) 독일 교통부는 Siemens社와 Aachen 공대를 수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 수소연료전지 하이브리드 철도차량(Mireo Plus H) 개발 프로젝트를 진행 중이며, ‘24년부터 Baden-Wuttemberg에서 1년 동안 약 120,000km 시험 운전을 진행 계획

○ (영국) ‘40년까지 디젤철도차량 퇴출을 위하여 프랑스 Alstom과 함께 Class 321을 개조한 수소연료전지 철도차량(Breeze) 제작에 돌입하여 ‘22년 시험운행 예정이며, 자국 철도차량 제작사 Porterbrook의 HydroFLEX 프로젝트를 통해 Class 319를 개조한 수소철도차량 개발 수행 중

○ (오스트리아) Zillertal 철도는 ‘22년까지 Tyrol 지역에 수소철도차량 5개 편성을 도입하기 위하여 ‘18년 발주 완료. 또한, Alstom의 Coradia iLint는 OBB(오스트리아 연방 철도)의 지역 라인에서 ‘20년 9월부터 3개월동안 시범운영을 완료하였으며, 이는 세계에서 2번째로 Coradia iLint가 영업 운전이 가능한 철도차량으로 인증 받은 사례임.

○ (스페인) Talgo社는 ‘23년 시험운행 목표로 수소철도차량 개발을 착수하였으며, ‘22년까지 기술검증 후 포르투갈과 접경한 스페인 서부 Extremadura 철도에서 시범 운행 예정

○ (스코트랜드) ‘20년 12월, Scottish Enterprise, Transport Scotland, Hydrogen Accelerator, Arcola Energy와 컨소시엄을 맺고 스코틀랜드 최초의 수소연료전지 철도차량 개발 착수하였고, 퇴역한 ScotRail Class 314 전기 철도를 수소연료전지 철도차량으로 개조하여 ‘21년 11월 글래스고에서 주최하는 COP26에 공개할 예정

○ (일본) ‘01년부터 RTRI에서 세계최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술을 확보하였으며, ‘20년부터 동일본여객철도(JR East)는 Hitachi, Toyota 등과 협업하여 HYBARI 수소연료전지 철도차량을 개발, ‘22년 3월부터 JR 동일본 쓰루미선과 남부선 등에서 시험 운영할 예정

○ (중국) ‘15.3월 중국 칭다오의 시팡 공장에서 수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량)이 발표되었으며, 3분 충전으로 최고운행속도 70km/h 속도로 100km 주행할 수 있고 최대 380명까지 탑승 가능하며, ‘19년 12월 30일부터 중국 포산시에서 상업운전 시작

3. 연구내용

○ (1세부) 수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증

- 수소생산/저장 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석
- 수소전기기관차 운영시나리오별 수소생산/저장 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출
- 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증
- 수소생산/저장 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 수소생산/저장 인프라 기술검증 및 성능평가
- 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 실증을 통한 수소생산/저장 인프라 운영 및 유지보수 기술개발

○ (2세부) 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증

- 대용량 수소충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석
- 실증 노선 운영 기반 대용량 수소충전 인프라 구축 방안(사양포함) 도출
- 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증
- 대용량 수소충전 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 대용량 수소충전 인프라 기술검증 및 성능평가

- 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 실증을 통한 대용량 수소충전 인프라 운영 및 유지보수 기술개발

○ (3세부) 수소전기기관차 설계/제작 및 실증
- 실증용 수소전기기관차 설계/제작
- 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ (4세부) 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가
- 시운전 포함 수소전기기관차 운영 방안 도출
- 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출
- 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시
- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진
- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법,

	일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진 ※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시 ○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축 - 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행 - 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악 ○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
□ 추진체계	**[연구단 구성 및 공모방안]** ○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행 - 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행 - 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함 - 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립 **[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]** ○ 수소 생산/저장/운송/활용 인프라 설비 설계/제작/구축 민간기업과 기술개발을 위한 학계/연구계와의 협력체계를 구성하여 상호보완 추진 ○ 동력집중식 수소전기기관차 설계/제작을 위한 민간기업 및 운영기관의 공동참여로 연구기관 중심의 수행체계에 수요자 의견을 반영하여 추진 ○ 철도분야 최초 도입되는 수소전기기관차의 안전성 평가를 위하여 해외기관의 사례를 검토하고 연구계/학계의 협력체계로 추진 **[관리주체와 실증지 이용 협력체계]** ○ 철도 운영기관의 참여로 연구계/산업계/학계의 의견과 운영기관의 관점을 상호보완하여 개발 추진 ○ 연구개발 결과의 실용화 및 운영/유지보수 체계를 구축하여 성공적인 비즈니스 모델 제시

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ **세부과제별 최종성과물**

○ (1세부) 수소철도용 수소생산/저장 인프라 구축 및 실증

- 철도용 수소생산/저장 인프라

○ (2세부) 수소철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라 구축 및 실증

- 철도용 On-site 대용량 수소충전 인프라

○ (3세부) 수소전기기관차 설계/제작 및 실증

- 수소전기기관차 실증차량
- 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안)

○ (4세부) 수소전기기관차 운영 및 안전성 평가

- 수소철도 운영 및 유지보수 방안
- 수소전기기관차 안전성 평가

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 관련 후속 연구개발사업에 활용

○ 민간기업에 이전하여 사업화 활용

○ 철도박물관 등에 전시

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립
- 전차선이 필요 없기 때문에 전력인프라가 서로 다른 기존 구간(북방철도, 대륙철도 등)을 운행하는 것이 가능
- '18년 기준 수소철도차량으로 디젤철도차량(기관차, 동차) 대체 시 대기오염물질(직접배출(PM10, PM2.5) 724 ton/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 9,320 ton/년) 저감 효과 기대

○ 경제적 기대효과

- 내구연한 도래에 따른 디젤철도차량 대체 시 기관차 58억/량, 동차 9억/량으로 총 15,529억원 규모의 수입 대체 등 경제적 파급효과가 높음
- 신규노선 적용 시 철도 구축비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축/유지보수비가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율을 갖는 수소연료 활용으로 에너지비용 절감

○ 과학기술적 기대효과

- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 국내 에너지는 95.2%(2014년도 기준)를 해외에서 수입하고 전체 사용량 중 수송부문은 약 17.6%를 점유하고 있어 수소를 활용함에 따라 에너지 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2031.12 (8년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)
- 6차년도 연구개발기간 : 2028.01.01 ~ 2028.12.31. (12개월)
- 7차년도 연구개발기간 : 2029.01.01 ~ 2029.12.31. (12개월)
- 8차년도 연구개발기간 : 2030.01.01 ~ 2030.12.31. (12개월)
- 9차년도 연구개발기간 : 2031.01.01 ~ 2031.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 75,000백만원 이내

- (1세부) 13,000백만원 이내
- (2세부) 13,000백만원 이내
- (3세부) 40,000백만원 이내
- (4세부) 9,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 5,000백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 70,000백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방

안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영

1. 연구목표

○ 수소철도용 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축 및 수소 Inter-City 실증을 통한 운영 및 RAMS 평가 기술개발

- 철도망 기반 수소저장/운송 네트워크 구축 및 실증
- 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증
- 180km/h급 동력분산식 듀얼모드 Inter-City 수소철도차량 실증
- 수소 Inter-City 적용 수소시스템 철도차량 기술기준(안)
- 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 표준화(안) 도출

○ 1세부

- 철도망 기반 수소저장/운송 네트워크 구축 및 실증
- 수소 Inter-City용 고속충전 인프라 구축 및 실증
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 운영 및 유지보수 기술개발

○ 2세부

- 고속충전 인프라 기술검증 및 성능평가
- 고속충전 인프라 실증
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 운영 및 유지보수 기술개발

○ 3세부

- 실증용 Inter-City 수소철도차량 제작
- 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- Inter-City 수소철도차량 기술검증 및 성능평가
- 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ 4세부

- 시운전 포함 Inter-City 수소철도차량 운영 방안 도출

- 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출

- 철도 분야 적용 수소시스템 RAMS 표준화(안)

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ "파리협정"('15.12.)에 따라 우리나라 온실가스 감축 목표('20년까지 배출전망치 대비 30% 감축) 달성을 위해 철도 분야 온실가스 배출 감축 필요

○ "미세먼지 관리 종합대책"('17.09)에 따라 '19년 이후 신규 제작·수입되는 디젤철도차량을 대상으로 배출가스 인증 및 배출허용기준 준수 의무가 부여되어 선제적인 대응 필요

- 탄소배출량: 디젤철도차량 19kg/km, 전기철도차량 10.6kg/km, 수소철도차량: 9.1kg/km

- '19.1.17. 정부의 「수소경제 활성화 로드맵」 발표에 '안전하고 깨끗한 철도 환경 조성'을 목표로 한 수소열차 추진방안 포함

- 국내 대중교통 수송분담률은 철도 18.7%, 버스 24.1%, 택시 2.6%, 승용차 54.6%로 일본의 철도 수송분담률 72%에 비하여 매우 낮은 상태로 전차선, 변전소 등의 전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축이 절실함

○ 친환경 수소철도차량은 전 세계적으로 대기환경문제(이산화탄소, 미세먼지 등) 해결을 위한 디젤철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 기술 및 시장 선도를 위한 정부 지원이 필요하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에도 이바지할 것임

- 수송 분야에서는 연료를 LNG, 수소로 전환하여 친환경 연료 이용률을 20%에서 60%까지 상향 계획을 세웠으며 철도 수송부문은 온실가스 배출량 24.6% 감축을 목표로 하고 있어 환경오염 배출의 주원인을 제공하고 있는 디젤철도차량을 친환경 수소철도차량으로 대체 필요

- 비전철화구간 및 혼합구간을 운영 중인 디젤철도차량(디젤기관차, 디젤동차) 내구연한 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원방식의 철도차량 필요

○ 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 '35년에서 '40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화가 급속히 진행 중

○ 수소 Inter-City 철도차량 운영을 위해 필요한 수소저장, 이송, 충전시설은 고압기체/액체 수소용기(화차)를 적용한 철도망 기반 복합 이송, 고속 충

	전 등으로 구축 및 실증 가능하며 정부가 추진 중인 수소 경제 활성화에 도 이바지할 것
□ 기술동향	**[국내 기술동향]** ○ 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 진행 중 - '18년 4월부터 디젤철도차량 대체를 목표로 개발 진행 중이며, '22년까지 기술개발 후 실증 추진 예정 ○ '21년 민간주도의 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발 ○ 자동차용 수소연료전지의 경우 국내에서는 3세대에 걸친 성능개선 기술개발을 통해 성능 안정화 및 수명향상 도모 - 수소버스 1회 수소 충전(33.44kg)으로 300km 주행, 넥쏘는 1회 수소 충전(6.33kg)으로 600km 주행 - 승용차 (5,000시간/160,000km), 버스 (25,000시간/1,000,000km) 달성 **[국외 기술동향]** ○ 수소 저장 및 운송 - 현재 국내 구축된 대부분의 충전소는 튜브 트레일러 또는 수소 배관을 통해 수소를 공급받는 Off-site 방식을 사용함. - 운송 비용의 저감과 친환경 에너지를 바탕으로 미래지향적인 수소 충전소 구축을 위해 CNG/LPG를 개질하거나 물을 전기분해 하여 수소를 자체적으로 생산하는 On-site 방식으로의 연구가 진행 중임 - 수소의 저장방식은 기체, 액체, 고체 저장방식이 대표적이며, 이 중 고압기체 저장 기술이 현재 보편적으로 상용화되고 있음. 최근 국내에서도 액체수소 저장방식과 고체수소 저장방식 상용화를 위하여 기술개발이 진행되고 있으며, 해외의 경우 액체수소 저장방식을 적용한 충전소가 운영 중 ○ 수소 충전 - 수소 충전 시 빠른 충전시간과 충분한 주행거리 확보를 위한 '완전 충전'을 위해서는 수소 충전 프로토콜에 대한 기술 개발과 표준화 필요 - 미국(SAE의 J2601)과 일본(JPEC-S 0003)에서는 각각 2010년과 2012년에 수소충전 프로토콜을 표준화 했지만 세계 최초로 수소전기자동차를 상용화한 국내에서는 아직 표준화하지 못한 실정

○ (프랑스) Alstom은 지난 ‘14년부터 수소연료전지 전동차 개발을 위해 독일 정부와 협력해왔으며, 열차 지붕에 있는 연료전지에서 수소와 산소를 결합해 전기에너지를 만들고, 이를 리튬이온배터리로 전송하여 한 번 충전으로 승객 300명을 태우고 하루 최대 800㎞(약 500마일)를 달릴 수 있는 수소연료전지 철도차량(Coradia Lint)을 개발하여 현재 독일에서 상업 운영 중임

○ (독일) 독일 교통부는 Siemens社와 Aachen 공대를 수소철도차량 개발지원 기관으로 선정하여 수소연료전지 하이브리드 철도차량(Mireo Plus H) 개발 프로젝트를 진행 중이며, ‘24년부터 Baden-Wuttemberg에서 1년 동안 약 120,000km 시험 운전을 진행 계획

○ (영국) ‘40년까지 디젤철도차량 퇴출을 위하여 프랑스 Alstom과 함께 Class 321을 개조한 수소연료전지 철도차량(Breeze) 제작에 돌입하여 ‘22년 시험운행 예정이며, 자국 철도차량 제작사 Porterbrook의 HydroFLEX 프로젝트를 통해 Class 319를 개조한 수소철도차량 개발 수행 중

○ (오스트리아) Zillertal 철도는 ‘22년까지 Tyrol 지역에 수소철도차량 5개 편성을 도입하기 위하여 ‘18년 발주 완료. 또한, Alstom의 Coradia iLint는 OBB(오스트리아 연방 철도)의 지역 라인에서 ‘20년 9월부터 3개월동안 시범운영을 완료하였으며, 이는 세계에서 2번째로 Coradia iLint가 영업 운전이 가능한 철도차량으로 인증 받은 사례임.

○ (스페인) Talgo社는 ‘23년 시험운행 목표로 수소철도차량 개발을 착수하였으며, ‘22년까지 기술검증 후 포르투갈과 접경한 스페인 서부 Extremadura 철도에서 시범 운행 예정

○ (스코틀랜드) ‘20년 12월, Scottish Enterprise, Transport Scotland, Hydrogen Accelerator, Arcola Energy와 컨소시엄을 맺고 스코틀랜드 최초의 수소연료전지 철도차량 개발 착수하였고, 퇴역한 ScotRail Class 314 전기 철도를 수소연료전지 철도차량으로 개조하여 ‘21년 11월 글래스고에서 주최하는 COP26에 공개할 예정

○ (일본) ‘01년부터 RTRI에서 세계최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술을 확보하였으며, ‘20년부터 동일본여객철도(JR East)는 Hitachi, Toyota 등과 협업하여 HYBARI 수소연료전지 철도차량을 개발, ‘22년 3월부터 JR 동일본 쓰루미선과 남부선 등에서 시험 운영할 예정

○ (중국) ‘15.3월 중국 칭다오의 시팡 공장에서 수소연료전지 추진 트램 Skoda15T(3량)이 발표되었으며, 3분 충전으로 최고운행속도 70km/h 속도로 100km 주행할 수 있고 최대 380명까지 탑승 가능하며, ‘19년 12월 30

일부터 중국 포산시에서 상업운전 시작	
3. 연구내용	

○ (1세부) 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증

- 수소저장/이송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석
- 수소 Inter-City 운영시나리오별 수소저장/이송 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출
- 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증
- 수소저장/이송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 수소저장/이송 인프라 기술검증 및 성능평가
- 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 실증을 통한 수소저장/이송 인프라 운영 및 유지보수 기술개발

○ (2세부) 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증

- 고속충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석
- 수소 Inter-City 운영시나리오별 고속충전 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출
- 수소철도용 고속충전 프로토콜 개발
- 고속충전 인프라 구축 및 실증
- 고속충전 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 고속충전 인프라 기술검증 및 성능평가
- 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)
- 실증을 통한 고속충전 인프라 운영 및 유지보수 기술개발

○ (3세부) 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증

- 수소 Inter-City 실증차량 설계/제작
- 수소 Inter-City 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발
- 수소 Inter-City 기술검증 및 성능평가
- 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

○ (4세부) 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가

- 수소철도 및 수소인프라 운영을 위한 방안 마련

- 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출
- 철도 분야 적용 수소시스템 RAMS 평가

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ 추진체계 [연구단 구성 및 공모방안]

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 수소 저장/운송/활용 인프라 설비 설계/제작/구축 민간기업과 기술개발을 위한 학계/연구계와의 협력체계를 구성하여 상호보완 추진

○ 동력분산식 수소 Inter-City 설계/제작을 위한 민간기업 및 운영기관의 공동참여로 연구기관 중심의 수행체계에 수요자 의견을 반영하여 추진

○ 철도분야 최초 도입되는 수소 Inter-City의 안전성 평가를 위하여 해외기관의 사례를 검토하고 연구계/학계의 협력체계로 추진

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 철도 운영기관의 참여로 연구계/산업계/학계의 의견과 운영기관의 관점을 상호보완하여 개발 추진

○ 연구개발 결과의 실용화 및 운영/유지보수 체계를 구축하여 성공적인 비즈니스 모델 제시

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ **세부과제별 최종성과물**

○ (1세부) 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증

- 철도망 기반 수소저장/운송 인프라

○ (2세부) 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증

- 수소철도용 고속충전 인프라

○ (3세부) 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증

- Inter-City 수소철도차량 실증차량
- Inter-City 수소철도차량 기술기준(안)

○ (4세부) 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가

- Inter-City 수소철도차량 운영 및 유지보수 방안
- 철도 적용 수소시스템 RAMS

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 관련 후속 연구개발사업에 활용

○ 민간기업에 이전하여 사업화 활용

○ 철도박물관 등에 전시

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립
- 전차선이 필요 없기 때문에 전력인프라가 서로 다른 기존 구간(북방철도, 대륙철도 등)을 운행하는 것이 가능
- '18년 기준 수소철도차량으로 디젤철도차량(기관차, 동차) 대체 시 대기오염물질(직접배출(PM10, PM2.5) 724 ton/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 9,320 ton/년) 저감 효과 기대

○ 경제적 기대효과

- 내구연한 도래에 따른 디젤철도차량 대체 시 기관차 58억/량, 동차 9억/량으로 총 15,529억원 규모의 수입 대체 등 경제적 파급효과가 높음
- 신규노선 적용 시 철도 구축비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축/유지보수비가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율을 갖는 수소연료 활용으로 에너지비용 절감

○ 과학기술적 기대효과

- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 국내 에너지는 95.2%(2014년도 기준)를 해외에서 수입하고 전체 사용량 중 수송부문은 약 17.6%를 점유하고 있어 수소를 활용함에 따라 에너지 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2027.01 ~ 2031.12 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2028.01.01 ~ 2028.12.31 (12개월)

- 3차년도 연구개발기간 : 2029.01.01 ~ 2029.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2030.01.01 ~ 2030.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2031.01.01 ~ 2031.12.31. (12개월)

❍ 총 정부출연금 : 45,000백만원 이내

- (1세부) 8,000백만원 이내
- (2세부) 8,000백만원 이내
- (3세부) 24,000백만원 이내
- (4세부) 5,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 5,000백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 40,000백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

❍ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

❍ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

❍ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

❍ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는

경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	공항 내 수소 모빌리티 실증

1. 연구목표

○ 태양광 연계 그린수소를 활용한 공항 내 교통 및 물류 인프라 구축

○ 1세부

- MPPT 기능을 가진 LLC 공진형 컨버터 기술로 모듈형 전력변환기 개발
- 효율 향상을 위해 전력반도체는 SiC 또는 GaN 소자 적용 검토
- 발전량 변동에 대응하기 위해 수전해 병렬 시스템 개발(단위 스택 48V 200A, 사용전압 36~52V)
- 안전성 확보 및 수전해 내구성 향상을 위한 운전 알고리즘 기술 개발
- PEM 수전해 효율(LHV) 70%

○ 2세부

- 수소연료전지 내장하여 수소충전에 필요한 설비 전원 공급 연구
- 표준 컨테이너 크기 또는 5 ton 윙바디 화물차 규격에 맞는 연구
- 유지보수를 위해 저장용기, 칠러, 디스펜서등의 설비 배치에 관한 연구
- 자동차 관련법 및 수소 안전 이동에 필요한 안전기준 연구

○ 3세부

- 경유 주 원료로 하는 2.5ton 이상 지게차를 연료전지로 대치하기 위한 연구
- 수소연료전지와 이차전지의 추진시스템에 관한 연구
- 물건 운반에 필요한 지게차 하중에 관한 연구
- 연료전지 및 구동에 필요한 BOP 연구

○ 4세부

- 90kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발
- 이동식 수소 충전소와 연계한 지상전원 공급장치 운영 연구
- 공항내 운영을 위한 인증 체계 연구

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 수송분야 중 항공교통 인프라인 공항에서 발생 가능한 온실가스 등의 대

기오염 물질 배출 감축 필요

- 김포와 제주 공항의 경우 항공기를 제외하고 연간 5만 ton 이상의 이산화탄소가 배출됨
- 또한 국내 최대규모인 인천공항도 항공기를 제외하고 연간 70만 ton 이상의 이산화탄소가 배출되고 있으며 이중 공항 내 모빌리티 부분에서만 연간 30만 ton 이상의 이산화탄소가 배출됨

○ 인천공항공사의 경우, 대기환경 관리 및 개선 방안으로 공항 내 2곳의 수소충전소 설치를 결정하였으며 지상조업장비 등의 관리를 적극적으로 시행 중

○ 공항 내 모빌리티 인프라의 수소에너지 시스템 실증을 통한 대기환경 개선 및 수소에너지에 대한 수용성 제고 가능

- 경유를 사용하는 지상 조업장비의 에너지원을 수소로 활용 : 승객수송차량, 물류지게차, 공항 특수차량 등을 연료전지자동차로 활용
- 수소차량의 원활한 운용과 친환경성의 극대화를 위한 재생에너지 발전시설과 수전해시스템을 연계한 그린수소 생산시설 및 이동형 수소충전소 구축
- 인천국제공항에는 탑승객을 태우고 내리는 탑승교 하부에 국내에서 개발된 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS)가 설치되어 운용중에 있으며, 승강장이 없는 주기장의 경우, 항공기 정비를 위하여 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)를 이용하여 항공기 정비를 하고 있음
- 국내공항의 경우, 국내에서 개발된 항공기 지상전원공급장치(AC-GPS)가 설치되어 있지 않으며 항공기 정비 시 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)를 이용하여 항공기 정비를 하고 있음
- 항공기 내부 보조엔진 또는 이동형 전원공급장치(APU)의 사용은 엔진을 이용하여 전원을 생성/공급 하기 때문에 이산화탄소가 지속적으로 배출되고 있으며, 이산화탄소 저감을 위하여 이동형 수소충전소와 연계한 이동형 항공기 지상전원장치의 개발이 필요함

○ 국민 참여형 리빙랩 실증을 통한 국민 수용성 제고 : 공항-도심간 리무진 버스 수소버스로 전환 확대 및 외국인의 국내입국 관문인 국제공항에서 수소에너지 인프라 국내기술의 우수성을 해외에 홍보하여 수소에너지에 대한 국민 수용성을 제고

□ **기술동향 [국내 기술동향]**

○ 이동식 수소충전소 개발

- 한국가스안전공사에서 이동식 수소충전소 구축 및 실증 사업 진행 (2019~2022년 4월) 중
- 위험성 분석, 설계 최적화, 화재폭발 시뮬레이션, 충전프로토콜 검증 등의 연구 수행
- 산업부 과제로 충청북도에 이동식 수소충전소 구축을 계획 중

○ 고정식 항공기 지상전원 공급장치의 경우 국산화개발 완료 후, 인천국제공항에 100여대 이상 설치, 운용 중

- 이를 활용하여 이동식에 따른 수소 연료전지체계에서 필요한 전력을 생산, 주기장에 대기 중인 항공기에 공급이 가능할 것으로 판단됨
- 이를 이용한 이동식 항공기 지상전원 공급장치는 국내 개발된 사례는 없으며, 신재생에너지 및 친환경 분야 적용을 위해서라도 개발 및 실증이 필요

○ 재생에너지 연계 수전해 수소생산기술 개발

- 제주도에 500 kW 규모의 알카라인 수전해 장치와 3 MW 규모의 풍력발전기가 연계된 실증 시스템의 개발이 이루어졌고 전북 군산에 750 MW 규모의 육상풍력단지와 연계하는 수전해 수소생산 시스템 구축의 개발 및 실증이 계획됨

○ 공항 내 물류이동 관련 연료전지 지게차 보급사업 : 전북 등의 지자체에서 연료전지 지게차 시범 사업 진행

[국외 기술동향]

○ 이동식 수소충전소

- 일본 : 39개 이동식 수소충전소 운영 중. 수소차가 많지 않은 보급초기에 원활한 수소 공급을 위해 운영 중.

○ 이동형 항공기 지상전원 공급장치

- 전투기 등 항공기용으로 사용하는 이동식 지상전원 공급장치는 있으나, 수소 연료전지체계를 적용한 지상전원 공급장치는 없으며, 수소 공항 모빌리티에 연계성으로 개발 필요

○ 재생에너지 연계 수소생산 시스템

- 독일 : 대용량 PEM 수전해 기반의 연산 200 ton 규모의 수소생산 시스템을 풍력발전단지와 연계하는 프로젝트를 진행 중 (좌측 그림 참고)

- 덴마크 : 해상풍력을 통해 수전해 수소 생산, 2023년까지 1단계 완공, 2030년까지 증설해 1.3GW 수전해 설비 확보 예정
- 태양광/풍력 등의 재생에너지 전력과 수전해 수소생산 시스템의 연계를 위한 실증연구 과제 다수 진행 중

○ 수소 지게차

- 미국 : 플러그 파워 지게차 공급
- 일본 : 도요다 지게차 개발 및 실증

3. 연구내용

○ (1세부) 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발

- 안전성 확보를 위한 센서를 활용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발
- 수전해 온도 특성을 이용한 전력 시스템 운영 최적화 기술 개발
- 센서와 모니터링 프로그램을 통한 데이터 확보, 유지보수 주기 확보
- 재생에너지 발전량 변동에 따른 수전해 내구성 관리를 위한 사용시간 관리 운전
- 수소 생산 및 충전소 통합관리 운영 센터에서 모니터링

○ (2세부) 100kg급 이동식 수소충전소 구축

- 재생에너지 발전량에 필요한 수전해 기술 개발 및 저장 용기 개발
- 저장된 수소를 이동식 수소충전소로 이송 기술 개발

○ (3세부) 연료전지 지게차 실증

- 저장용기 4.2kg급 2.5 ton 연료전지 지게차 개발, 인허가 및 활용
- 공항공사 물류 협력 업체 4곳에 연료전지 지게차 적용
- 공항공사 업무용 차량 및 버스 적용
- 항공사 물류 창고에 연료전지 지게차 확대 적용
- 공항-도심간 리무진 버스에 수소 버스 확대 적용

○ (4세부) 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발

- 90kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발

- 이동식 수소 충전소와 연계한 지상전원 공급장치 운영 연구

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ **추진체계 [연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 각 분야 별로 전문분야 주관 수행 주체 선정

○ 하위 세부 분야 별로 협력체계 구성

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 각 분야 별로 주관 기관이 관리주체로 선정

○ 세부 분야 별 관련 기관이 주관 기관으로 관리 내용 보고

○ 실증지는 공항이므로 공사내 관리 주체 부서 선정하여 기반 시설 사용 및 관련 분야에 협력

[기술수요자와 협력체계]

○ 민간 기업이 기술수요자가 될 것이고 이를 통해서 사업화를 진행할 것으로 예상

○ 각자 전문 분야에서 수요자간 기술 협력하여 사업화 진행

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ 세부과제별 최종성과물

○ (1세부) 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발

- 10kW 전력변환기 (효율 94%)
- PEM 수전해 (시스템 효율(LHV) 70%)
- 수소 (수분제거후 순도 99.9%)
- 스택 (셀 전류 용량 400A)

○ (2세부) 100kg급 이동식 수소충전소 구축

- 충전압력 (70Mpa)
- 충전속도 (3.6kg/min)

○ (3세부) 연료전지 지게차 실증

- 지게차용 연료전지 (효율 60%)

- 지게차용 전력변환기 (효율 94%)
- 지게차 수행소음 (68dB)

○ (4세부) 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발

- 이동식 지상전원 공급을 위한 연료전지 (90kW)
- 이동식 지상전원 공급장치 (공급시간 4시간)

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 저탄소 분산형 에너지 확대

- 국민 생활 안전 및 친환경 교통 인프라 구축에 절대적으로 필요
- 공항 대기 환경 개선을 위해 수소연료전지 기반 모빌리티를 지속적으로 사용
- 수소 경제성 확보를 위해 그린수소와 블루수소 사용하여 모빌리티 운영
- 수소연료전지 모빌리티는 항공사 또는 공항 협력 업체에서 운영
- 인천공항공사 디젤조업장비 100% 친환경 전환(2030년), 공항지역 운행차량 그린 모빌리티 전환 노력(2030년)

○ 수소생산 운영 주체

- 민간 기업에 이전하여 수소 생산 후 판매 사업에 활용
- 공항은 인프라 구축이 용이하여 수소 수요가 확대될 것으로 예상
- 여객용 수소버스 도입, 경유지상조업 장비 친환경으로 교체

○ 그린 수소 생산 확대를 위한 기반 시설 사용 협력

- 중수도 처리 시설을 활용하여 버려지는 원수를 전기 분해로 활용
- 보세구역 물류 창고 및 주차장 부지에 태양광 설치 활용

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술의 공항 내 모빌리티 인프라에 적용
- 수소 에너지 보급과정의 수용성 문제 해결을 위한 리빙랩 구현

- 공항 내 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 에너지 시스템 구축

○ 경제적 기대효과

- 공항 내 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 에너지 시스템 구축을 통한 온실가스 감축 효과
- 수소의 생산, 저장, 활용 기술의 공항 내 모빌리티 인프라에 적용하여 관련 소재, 부품, 장비 산업의 국내 기업 경쟁력 강화
- 수소차나 수소버스 이외에 수소 모빌리티 분야의 새로운 시장 창출을 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2026.12 (4년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 30,000백만원 이내

- (1세부) 10,000백만원 이내
- (2세부) 5,000백만원 이내
- (3세부) 5,000백만원 이내
- (4세부) 10,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,800백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 28,200백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

  ※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축

1. 연구목표

○ 1,300 Nm^3/h급 개질수소 생산 시설 실증 및 운용 데이터 확보

○ 저가 친환경성을 동시에 달성하는 개질수소 공정 및 이산화탄소 공정 연계 시스템 최적 설계/실증

○ 1세부

- 1,300 Nm^3/h금 블루수소 생산 공정 구축 및 수소/이산화탄소 출하설비 구축

○ 2세부

- 튜브트레일러와 배관망을 이용하여 블루수소 생산 설비와 인근 수소충전소와의 수소 공급 네트워크 구축

○ 3세부

- 블루수소 생산 설비와 인근 수소충전소와의 수소 공급 네트워크 운영 최적화

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 수소에너지의 활용은 이산화탄소 저감을 통해 지구온난화를 감소시키는 목적으로 활발히 진행되고 있으나 수소의 경제성 확보를 위해서는 화석연료에서 수소를 추출하는 방식이 현재 시점에서는 가장 적합

○ 그러나 화석연료로부터 수소의 생산은 수소생산 시 이산화탄소를 발생시킴으로 인해 원래의 수소에너지 활용 목적에 적합지 않은 문제점 발생

○ 수소경제 활성화 로드맵에 따르면 2030년까지는 50%의 수소를 화석연료로부터 제조해야 하므로 이에 필요한 Low carbon 수소생산기술 필요

- 전과정 평가 개념으로 천연가스-수증기 개질기술을 이용하여 수소 생산 시 1 kg 생산 수소 당 약 12 kg의 이산화탄소가 배출되고 이 중 공정 운전에서 발생하는 이산화탄소는 약 9 kg 수준

○ 수소 경제 활성화에 따라 수소차의 보급과 이에 따른 수소충전소의 수요가 증가하여 경제적이고 안정적이며 친환경성이 담보된 수소공급기술이 필요함

○ 따라서 고속도로에 수소생산시설-이산화탄소포집 시설-수소충전소를 연계

한 저가, 친환경 수소공급 인프라 기술의 개발이 요구됨

- 대량의 수소를 안정적인 가격으로 공급하기 위해서 중형 천연가스-수증기 개질방식의 수소생산 기술(고순도 수소생산량 1,300 Nm^3/h급)을 사용
- 천연가스-수증기 개질공정에서 발생한 이산화탄소의 포집을 위한 흡착/흡수 기술 등을 사용
- 고속도로에 복수의 수소충전소로 수소 생산장치에서 생산된 수소를 파이프라인(근거리 수소배관망 구축)을 통해서 공급하고 초과 생산되는 수소는 튜브트레일러로 수소 수요처에 공급 및 판매

○ 중용량 수소생산설비 구축 필요

- 중용량 수소생산설비는 수 천 Nm^3/h급의 용량으로, 천연가스의 수증기 개질공정이 가장 적합함
- 현재까지 중용량의 수소생산설비를 국내기술로 구축한 실적이 없으며, 린데사의 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질시스템을 평택에 구축할 예정임

○ 1,300 Nm^3/h급의 수소생산설비를 구축할 경우, 300 Nm^3/h 용량의 수소충전소 7개까지 안정적으로 수소 공급이 가능

- 수소생산 설비 24시간 가동 시 수소 생산은 31,200 Nm^3/day, 300 Nm^3/h 수소충전소를 1일 15시간 가동 시 수소 사용량은 4,500 Nm^3/day임
- 버스용 수소충전소는 일반 수소충전소 2배 이상의 용량을 가짐
- 생산된 수소의 공급은 튜브트레일러 또는 근거리 배관망의 이용이 가능함
- 수소생산설비와 수소충전소간에 무거운 중량의 튜브 트레일러가 이동할 수 있도록 도로망이 확보되어야 함

○ 1,300 Nm^3/h급의 수소생산설비를 구축할 경우, 25 ton/day의 이산화탄소가 발생하며 이를 이산화탄소 포집 기술을 통하여 저감시킬 필요

- 메탄을 이용한 개질 공정은 1kg의 수소를 생산 시 약 9kg의 이산화탄소가 발생하며 발생한 이산화탄소를 저감시킬 수 있는 이산화탄소 포집 기술 필요
- 현재까지 포집된 이산화탄소를 원천적으로 필요한 물질로 전환하는 기술은 국내외에 존재하지 않으며 포집된 이산화탄소를 산업적으로 다른 용도로 사용하는 방법을 이용
- 산업에 필요로 하는 이산화탄소는 냉동포장 산업의 발달로 인해 드라이

아이스로 제조하여 사용 중

□ 기술동향 [국내 기술동향]

○ 1,000 Nm^3/h 이상급 중형 개질수소 생산기술

- 국내 기술개발 실적 없음

○ 수소 공급 파이프라인

- 울산, 여수, 대산 등 석유화학 단지 내에서 산업체에 필요한 수소를 총 길이 약 193 km의 파이프 라인을 통해서 공급 중
- 대산에서는 한화토탈에서 생산된 부생 수소를 50.16 MW PAFC 분산발전소에 파이프라인을 통해 공급 중

○ 수소 튜브트레일러

- 현재 국내에 약 500여대의 튜브트레일러가 사용 중
- 튜브트레일러로 1회에 이송할 수 있는 수소의 양이 300 kg 이하로 운송비용이 높음
- 1 ton급 대용량 튜브트레일러 개발이 필요하며, 산업부에서 추진 중임
  - 토우프레그 적용 압력용기(700 기압 1,400 L급)를 활용한 1회 수소운송량 1 ton 이상 총중량 20 ton 이하의 튜브스키드 개발 (2019-10-01 ~ 2022-12-31)

○ 수소충전소

- 휴게소는 경부선, 남해선, 호남선, 중부선, 중부내륙선 등에서 11개의 수소충전소가 개장함 (2021.7)
- 2022년까지 전국에 310기 구축을 목표로 하고 있으며, 국토부는 이 중 60기를 휴게소에 설치할 예정
- 현재 개장한 수소충전소는 튜브트레일러로 수소를 공급받아 판매하는 off-site 수소 충전소임

○ 개질수소 생산과 이산화탄소 포집의 연계

- 2010년부터 Korea CCS 2020 사업단(현재, KCRC (재)한국이산화탄소 포집 및 처리연구센터)이 시작되어 10년째 관련분야의 연구와 기술실증이 이루어지고 있음
- 건식, 습식, 분리막, 융합 기술 등을 활용하여 이산화탄소 포집 기술에 대한 개발이 진행 중

- 현재까지 개질수소 생산시설과 이산화탄소 포집기술을 연계한 사례
  - 산업부 과제(이산화탄소포집과 수소생산 동시공정을 위한 수소분리/이산화탄소 흡수 하이브리드 공정개발, 2018-05-01 ~ 2021-04-30)가 수행되고 있으나 수소분리막과 이산화탄소 흡수제를 이용한 2 Nm^3/h급 시스템에 대한 연구로 실험실 수준의 장치 스케일임

[국외 기술동향]

○ 1,000 Nm^3/h 이상급 중형 개질수소 생산기술

- Linde, Caloric 등의 회사에서 중형급 개질수소 생산 플랜트 원천 설계 기술을 가지고 있음

○ 수소 공급 파이프라인

- 2016년 기준으로 전 세계에 4,500여 km의 수소 파이프라인이 설치되어 있음
- 국가들 중 미국이 2,600여 km로 가장 긴 수소 파이프라인을 보유 중임
- 궁극적으로는 가스 수송비를 최대한 낮출 수 있는 방법이므로 일정량 이상의 수소 수요가 확보되는 경우에는 초기 투자비를 감수하고 파이프라인을 설치하는 것이 비용측면에서 가장 유리함

○ 수소충전소

- 일본: JHFC 및 HySUT 프로그램을 통해 수소에너지 보급 확산 정책을 10여년 이상 수행
  - 전국에 100여개의 수소충전소를 설치하였고 15개의 충전소는 현장에서 수소를 생산하여 공급하는 on-site 수소충전소임
- 미국: 연방정부 및 각 주별로 친환경에너지 활성화 프로그램 등에 의해 수소충전소 보급사업을 진행 중
  - 캘리포니아 주에서 가장 활발하게 진행하고 있으며, 2019년 기준 수소전기차 6천여 대, 39개의 수소충전소를 운영 중
- 독일 등 EU
  - 2018년 11월: EU 국가 내 49개의 수소충전소를 운영(독일 20개)
  - 2020년 9월: EU 국가 내 133개의 수소충전소를 운영(독일 85개)
  - 현재 수소충전소 46개 구축 진행 중임

○ 개질수소 생산과 이산화탄소 포집의 연계

- 일본: 도쿄 가스와 미쓰비시 중공업이 40 Nm^3/h급 멤브레인 개질기와 이산화탄소 액화공정을 실증
  - 이산화탄소 포집공정이 없는 기존 공정 대비 이산화탄소 배출량을 50 % 감소시키고 수소 생산효율은 단 3 % 수준만 감소함
- 영국에서는 H21 North England 프로젝트(2028~2035) 추진 중
  - England 북부 지역에 12.15 GW급의 천연가스로부터 수소를 생산하는 플랜트 구축하여 천연가스 그리드를 수소 그리드로 변경하고자 함
  - 8 TWh의 계절간 에너지 저장
  - 2035년까지 연간 2천만 ton의 이산화탄소 포집 및 저장

3. 연구내용

○ (1세부) 블루 수소 생산 플랜트 구축

- 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축 (1,000 kg/h급 이산화탄소 회수 설비 포함)
- 수소 저장 및 출하 설비 구축
- 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축

○ (2세부) 수소 공급 네트워크 구축

- 수소 파이프라인 5km 구축(버스충전소용)
- 300kg 및 1ton급 수소 튜브트레일러 운영
- 수소 파이프라인 구축 및 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축

○ (3세부) 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영

- 수소생산 플랜트 운영 및 대상 도시의 수소공급 네트워크 시범 운영

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시

- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보

- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행

- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ **추진체계** **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행

- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함

- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 블루수소 생산설비 및 수소 공급네트워크 운영 사업자

- 한국가스공사(수소유통전담센터), 하이넷, 코하이젠, 한국가스기술공사 참여

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 지역 내 관리 기관 또는 한국가스공사(수소유통전담센터)와 협력

[기술수요자와 협력체계]

○ 한국도로공사와 협력

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될

경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ 세부과제별 최종성과물

○ (1세부) 블루 수소 생산 플랜트 구축

- 천연가스 수증기 개질 공정 (1,300Nm^3/h)
- 수소 저장 설비 (36m^3, 450기압)
- 수소 출하 설비 (1,500Nm^3/h)
- CO2 포집공정 (1.2ton/h)

○ (2세부) 수소 공급 네트워크 구축

- 튜브 트레일러 차량 (5대)
- 튜브 트레일러 (10기)
- 수소 배관망 (3km)

○ (3세부) 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영

- 실증 보고서 (수소공급 단가 5,000원/kg)

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 블루수소 생산 설비 및 수소공급네트워크는 지속적으로 운영

- 필요시 블루수소 생산 설비를 추가로 구축하여 수요 증가에 대응

○ 수소공급 네트워크 운영 방안은 한국가스공사와 협의를 통해 결정

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도로교통 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 이송 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축

- 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2025.01 ~ 2028.12 (4년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2028.01.01 ~ 2028.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 23,000백만원 이내

- (1세부) 8,400백만원 이내
- (2세부) 13,400백만원 이내
- (3세부) 1,200백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 5,000백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 18,000백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	액화수소충전소 개발 및 실증

1. 연구목표

○ 주민 수용성, 경제성을 고려한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 구축, 운영 및 핵심 설비(액화수소 운송 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 액화수소 고압기화기) 국산화 개발

○ 1세부

- 1,000kg/day 급 액화수소 기반 충전소의 핵심 설비 국산화 개발 및 실증
- 액화수소 탱크로리, 액화수소 고압펌프, 액화수소 고압 기화기 국산화 개발

○ 2세부

- 1,000kg/day 급 액화수소 기반 충전소 설계기술 개발
- 1,000kg/day 급 액화수소 기반 충전소 건설 및 운영

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

○ 정부는 수소경제, 빅데이터, 인공지능을 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼 (인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정 ('18.8, 제5차 혁신성장 관계장관회의)

○ 액체수소 충전소의 핵심부품인 고압 액체수소 펌프(기체수소 충전소의 압축기 대체)는 해외 L사만이 상용화한 기술로 국내 경쟁기업과 제품이 없는 경우 향후 가격협상력, 액체수소 충전소 구축시 독과점이 예상

○ 정부의 수소경제 활성화 정책 및 액화수소 기반 충전소 확충 계획에 따라 전세계에서 가장 큰 용량의 수소액화 플랜트 건설을 계획 중

- 향후 액화수소 충전소 등 액화수소 활용 산업의 급격한 성장이 예상되며, 관련 산업의 국내 경쟁력 확보가 시급함
- 장기적으로 향후 확대될 세계 액화수소 인프라 건설 시장에서의 국내 기업의 경쟁력 확보를 위해 R&D와 국내기업 주도의 실증 사업에 지원이 시급함

○ 수소버스, 수소도시, 수소선박 등 향후 대용량 사용처의 수소공급을 위하여 경제성을 갖춘 액체수소 기반의 대용량 저장, 공급 인프라 구축 필요

○ 특히, 기체수소 기반의 압축수소를 이용한 충전소는 공급량 및 경제성, 안

전성 측면에서 한계 표출

- 액체수소 충전소는 기체수소대비 설비면적 1/20 이하, 충전용량 3배이상, 상압수준의 공급과 저장압력, 낮은 설치비(동용량 900kg/day의 경우 기본 기체수소충전소 대비 55% 수준)

○ 국내 액체수소 관련 기술은 초기 연구단계로 관련기술의 내재화 및 기술 선도, 소부장 국산화를 위해서는 정부의 선제적 지원이 필요

□ 기술동향 [국내 기술동향]

○ 대용량 수소액화 플랜트는 현재 없으나, 창원, 울산 등에서 해외 회사와 플랜트 건설 추진 중

- 액화수소플랜트 건설에 따라 국내에도 액화수소충전소 구축이 예상됨

○ 현재 국내에서는 상용화된 액체수소가 존재하지 않아 액체수소 공급 시스템 관련 기술 개발은 전무

- 현재 국내에서는 상용화된 액체수소가 존재하지 않아 모든 수소 공급 시스템은 기체수소를 이용함. 따라서 액체수소 공급 시스템 관련 기술 개발은 전무한 실정임

○ 산업적으로 국내 중소기업에서 액체수소 드론 등의 사업을 진행하고 있으나, 액체수소 저장용량, 액체수소 공급 시스템의 사양 (압력, 유량) 측면에서 액체수소 충전소 산업은 전무

○ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 분야

- 국내 수소충전소는 '18년 누적 14기에서, '19년 17기가 신규로 구축되어, '19.10월초 현재 총 31기의 수소충전소가 구축·운영 중

- 현재까지는 기체수소 Tube Trailer 기반의 기체수소 충전소 위주 건설

- 수소차 보급 확대를 위해 전국 주요 도시, 고속도로에 '22년까지 310기, '30년까지 660기 '40년까지 1,200기의 충전소 구축 계획

- 안전성 및 경제성 확보방안으로 '22년까지 3기 이상의 액화수소 충전소를 구축하고, 중·장기적으로 액화수소 비중 확대 계획 (수소경제 활성화를 위한 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 2019. 10, 관계부처합동)

○ 액화수소 충전소 핵심 설비

- 기체수소 충전소 설비 (압축기, 고압기체 저장탱크, 프리쿨러, 디스팬서, 고압밸브 등) 위주로 개발되고 있으나, 핵심부품 국산화율은 현재 40% 수준

- 액체수소 충전소 구축을 위한 수소액화플랜트는 국토교통부에서 2023년 소규모(0.5ton/day) pilot 플랜트 구축을 목표로 진행되고 있으나, 기타 액체수소 충전소 핵심설비 개발은 전무

[국외 기술동향]

○ Air Liquid, Linde, Praxair, Air Products 4개사만 액화수소플랜트 상용화 기술 확보

- (린데) 수소충전소의 액체수소 공급 비율 : 미국 87%, 유럽 12%

○ 미국

- 2050년까지 Carbon Free 5,000만 ton의 수소 생산을 통해 50%의 온실가스를 저감하는 그린에너지 계획을 수립하였으며, 특히, 캘리포니아는 2050년까지 자동차의 27%를 친환경차로 보급하는 계획을 추진 중

- California Air Resources Board에 따르면 수소전기차의 도입율과 무관하게 대부분의 수소 스테이션은 액체수소 스테이션이 될 것으로 전망

○ 유럽

- 재생에너지 중심 수소정책을 추진해 오고 있으며, 독일은 2060년 재생에너지 비율 목표치가 60%로, 재생에너지 활용 수소를 생산하고 대용량 수소 저장소를 구축하여 그리드를 통해 공급할 계획

- 독일의 경우 액체수소 기반 충전소를 이미 운영하고 있으며, 이중 두 곳에서 100kg/hr 수준의 액체수소 및 액체수소펌프를 이용한 충전소를 운영하고 있음

- 해외 L사의 경우 액체수소 펌프를 활용한 액체수소 충전소 모델을 제시하고 상업적인 건설을 시작

  · 해외 L사의 사양서를 보면 현재 고압액화수소펌프의 최고 기술사양은 900기압 50~100 kg/hr 수준

○ 일본

- 수소경제 실현을 위한 정책인 '수소2030 로드맵'을 세워 수소전기자동차 및 가정용 연료전지 보급 추진 중

- 2030년까지 충전소 900기 건설을 추진하고 있으며, 2040년까지 CO2 없는 수소공급 시스템구축과 2020년 도쿄올림픽에서 그 가능성을 보여주기 위해 노력 중

○ 중국

- 2017년 수소전기차 로드맵을 확정하고 2030년 수소전기차 100만대 시대를 공식화하고 수소전기차의 3대 핵심 부품인 연료전지 스택, 운전 장치 및 수소저장장치 개발에 적극적 지원 계획을 수립

○ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 분야

- '19년 7월 현재 전세계에서 운영중인 수소충전소는 총 402기
- 액화수소 기반 충전소는 수소를 액체 상태로 저장하므로 대규모의 수소를 작은 공간에 낮은 기압으로 보관이 가능하여 경제성·안전성 있는 충전소
- 미국, 유럽, 일본은 현재 도심지 등에서 액화수소 충전소 운영중.
- 해외 수소충전소 액화수소 공급 비율은 미국 (87%), 일본 (63%), 유럽 (12%) 수준이며, 향후 액체수소 공급 비율 증가 예상

○ 액화수소 충전소 핵심 설비

- Linde, Air Liquid 등 해외 선진사의 경우 수소액화플랜트, 액화수소 운송 트레일러, 액화수소 저장탱크, 액화수소 펌프, 액화수소 기화기를 독자모델로 개발하여 액체수소 기반 수소충전소를 건설, 운영하고 있음
- 액체수소의 저장, 가압, 기화 이후의 수소충전소 설비(기체수소 700bar 저장탱크, 디스팬서 등)는 기존의 기체수소 설비와 동일

3. 연구내용

○ (1세부) 액화수소 충전소 핵심 설비 개발

- 액화수소 운송 탱크로리 개발
- 액화수소 운송 탱크로리 개발
- 액화수소 극저온 펌프 개발(기존 산업부 진행과제 연계)
- 액화수소 고압 기화기 개발

○ (2세부) 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증

- 액화수소 기반 수소충전소 설계기술 개발
- 액화수소 기반 수소충전소 건설
- 액화수소 기반 수소충전소 운영 실증

4. 연구 추진방법

□ 추진전략

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ 추진체계 **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사

업을 책임지고 진행

- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 국외 기관과의 협력체계

- 2022년 해외기술로 구축예정인 액체수소 기반 수소스테이션 건설(수소인프라 및 충전소 구축 방안 ('19.10., 관계부처 합동)사업 참여를 통한 선진기술 습득
- 액체수소 기반 수소충전소 선두주자인 Linde, 국내외 액체수소 안전기술 전문기관(독일 BAM, 미국 Sandia Lab, 국내 가스안전공사 등)과의 기술 협력 추진

○ 국내 기관과의 협력체계

- 국내 산·학·연 협력네트워크를 구축하여 공동연구 및 기술교류 추진, 특히 시장의 요구를 반영하는 방향으로 기술개발을 추진
- 액체수소저장탱크 : KAIST, 가스안전공사, 에이원, 두산메카텍 등
- 액체수소 기화기 : 탱크테크, 동화엔텍, 두산중공업 등
- 액하수소 탱크로리 : 기존의 액화헬륨, LNG ISO탱크로리 제작 업체 (대웅 CT 등)와의 기술 및 상용화 협력
- 기술 수요자와의 협력 : 액화수소기반 수소스테이션의 실용화를 위하여 수소산업 육성기관인 수소융합얼라이언스, 수소충전소 건설 보급 사업자인 HYNET 등과 연계

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 본 과제의 주관기관이 관리하며, 실증지 지자체와와 상호 협조

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ 세부과제별 최종성과물

○ (1세부) 액화수소 충전소 핵심 설비 개발

- 액화수소 운송 탱크로리 (운송용량 3,500kg, 단열성능 8.37J/h·oC·L)
- 액화수소 저장탱크 (저장용량 3,000kg, Boil-Off Ratio 1%/day)
- 액화수소 극저온 펌프 (토출압력 90MPa, 질량유량 100kg/hr)
- 액화수소 고압 기화기 (내압 90MPa, 직접도 1,000㎡/m^3)

○ (2세부) 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증

- 액화수소 기반 수소충전소 설계기술 (스테이션 용량 1,000kg/day)

- 상용급 액체수소 기반 수소충전소 (액화수소 저장용량 3,000kg, 스테이션 용량 1,000kg/day)

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 구축된 시설은 국산제품 위주의 액화수소 충전소의 핵심 설비가 설치되어 있음. 국산화 실증된 핵심 설비의 장기 성능평가를 위하여 지속적으로 운영될 필요가 있음

○ 과제 종료 후 3년간 주관기관의 책임 하에 실증 수소 충전소를 운영하여, 액화수소 충전소 설계 기술 및 핵심 설비의 중장기 Track Record 확보를 추진

○ 충전소 실증이 완료 된 후 관련 기술을 민간 기업에 기술이전 하여 국내외 액화수소 충전소 건설시장에 참여

○ 실증이 완료된 액화수소 충전소는 향후 국내에서 개발될 액화수소 연관 기가재의 성능평가 설비로 활용, 이를 위하여 성능평가 설비로의 인허가 변경

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도로교통 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 이송 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축
- 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용효과 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2027.12 (4년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 22,800백만원 이내

- (1세부) 15,190백만원 이내
- (2세부) 7,610백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 3,100백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 19,700백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

  ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

  ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

  ※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발

계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발

1. 연구목표

○ 수소도시의 안정적인 수소공급을 위한 도시폐자원 가스화를 통한 합성가스에서 수소 생산 공급 통합 Test-Bed 플랜트 개발

○ 1세부

- 도시폐자원 기반 합성가스 생산 및 수소추출 전과정에 대한 기술 검증

○ 2세부

- 도시폐자원 기반 수소 생산 플랜트 표준모델 설계 및 운영관리 최적화 등 기반 기술 개발

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ **연구개발 필요성**

○ 폐기물의 사회적 이슈 해소

- 폐플라스틱/폐비닐 및 유기성바이오매스의 처리/활용 방안 모색 시급
- 폐기물 소각, 고형연료에 대한 부정적인 인식 확산 및 소각세/매립세 도입
- 자원순환기본법 정책에 맞는 화학적 재활용 기술의 보급 필요

○ 폐자원의 친환경적인 처리 및 고부가가치 활용

- 폐자원에 대한 긍정적인 인식으로의 전환 필요
- 수소와 같은 고부가가치 활용이 가능한 친환경 화학적 재활용 기술 도입 필요

○ 폐자원의 청정가스 연료화

- 폐자원 이용하여 청정 가스 연료인 수소 생산 공급

○ 수소사회경제 전환에 있어서 수소 생산의 풍부한 원료

- 수소산업 활성화 로드맵의 수소 공급 가격 목표 달성 가능한 기술 보급
- 수소경제활성화 정책의 수소 공급원으로서 폐자원 활용
- 각 지역별 폐자원에서 고순도 수소 제조 공급 가능

○ 미세먼지 및 온실가스의 대기배출 환경부하 최소화

- 고순도 CO2 회수가 가능한 Waste to Hydrogen기술에 CCU 적용 용이

- 미세먼지, 다이옥신 등 문제 해소로 국민 생활환경 개선

○ 고 함수율 유기성 폐바이오매스의 효율적 활용

- 고 함수율의 유기성 폐바이오매스(하수슬러지 등)를 수소 생산에 유용한 원료로 건조없이 공급 가능

○ 폐자원 가스화 수소 및 CCU를 연계한 수소도시 기반 연계 사업모델 개발 필요

- 수소도시 모듈로서 도시폐자원 가스화 수소생산시스템 개발 필요

- 수소도시 연계한 순환사회 구축을 위한 도시폐자원 수소시스템 연계 필요

○ 국내외 시장 성장에 대응 필요

- 국내, 가연성폐기물의 10%(229만 ton/년)를 수소 생산시, 18.3만 ton/년 생산 가능

- 세계 수소 소비 시장규모 2020년 기준 92,147 킬로톤/년으로 국외 수소 수요의 폐기물/바이오매스 합성가스 대체 잠재 시장

○ 도시 폐자원의 가스화 합성가스를 이용하는 기술은 주로 단순 열에너지를 이용한 발전 또는 스팀 활용기술 위주로 진행되었으며, 고부가가치 화학원료 및 수소생산을 위한 기술개발은 매우 부족한 실정임

○ 도시 폐자원으로부터 수소를 생산하기 위한 순산소 가스화 기술의 경우, Pilot급 수준의 핵심기술 및 시스템 기술은 확보 되었으나, 사업화 보급하기 위해서는 test-bed 구축 및 연속운전을 통한 신뢰성 검증이 시급히 필요함

○ 지역 내에서 발생하는 가연성 폐자원을 활용하여 지속적이고 생산단가가 저렴한 수소생산 및 경제적이고 안정적인 안정적 수소공급이 가능

○ 폐자원의 친환경적인 처리함에 따라 지역주민의 부정적인 인식의 긍정적인 인식 전환으로 사회 현안 문제 해결 필요

○ 고상폐기물을 기체연료로의 전환 및 오염물질을 정제하여 LNG수준의 청정한 합성가스로 생산/이용하므로 미세먼지 저감 등 환경오염물질에 대한 해결 가능

○ 폐자원의 가스화 수소생산은 LNG개질 수소생산량을 대체할 수 있고, 기존의 폐기물 소각처리를 대체할 수 있어서 온실가스/미세먼지를 저감 가능

○ 국내 5 ton/일급 규모의 파일럿 수준을 상업용 규모인 50 ton/일급 규모의

Test-bed 구축 및 운영을 통한 Track Record 필요

○ 국내 및 해외 폐자원 가스화 합성가스 생산기술에 대한 Needs로 시장규모가 성장하고 있어서 국내 모델의 시장경쟁력 확보를 위해 정부주도 개발이 필요함

□ 기술동향 [국내 기술동향]

○ 폐자원가스화 기술 분야

- 폐기물/바이오매스 가스화 관련 연구는 2000년 이후부터 본격적인 연구가 시작되었으며, 현재 가스화 용융로, 합성가스 정제 및 이용 기술에 대하여 Pilot 규모의 연구가 주로 진행
- 에너지기술연구원에서는 5 ton/일급 폐자원 가스화기술 개발
- 고등기술연구원에서는 5 ton/일급 순산소 가스화 시스템 개발하였으며, 50 ton/일급 적용용 핵심 단위장치를 개발하여 5톤/일급에서 적용을 통한 기술 검증하였음
- 2015년까지는 삼성비피화학과 고등기술연구원, 대우건설에서 초산생산 공장의 화학원료 적용을 위한 폐기물 가스화를 통한 고품질 합성가스 생산기술을 파일럿 규모로 개발하였고 100 ton/일급 플랜트 기본 설계를 수행
- 창광실험은 25 ton/일급 병원성 폐기물을 가스화 하면서 산화제로 순산소를 사용하여 합성가스를 생산하는 기술을 개발
- GS플라텍에서 5 ton/일급 플라즈마 순산소 가스화로 개발
- 국내의 폐기물 가스화 기술 개발을 선도하는 연구기관으로는 고등기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국기계연구원, 생산기술연구원 등
- 국내 폐기물 가스화 기술개발을 선도하는 기업으로는 삼호환경, 롯데BP, 대원GSI, 에틴시스템, 대우건설, GS플라텍, (주)유성, ㈜서울암면, 삼양에코너지 등

○ 합성가스 고도정제 기술 분야

- Pilot 규모의 합성가스 및 바이오가스의 초정밀 정제 기술에 대한 기술개발이 주로 진행되고 있으며, 상용화 보급 실적은 아직 부족
- 합성가스 정제 및 분리기술 연구는 30 kg/h 용량의 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의한 수성가스전환과 PSA를 통해 CO2를 분리하여 수소제조 기술 연구가 최근에 진행
- 고등기술연구원에서 2009년까지 35Nm^3/h급의 폐기물 가스화 합성가스의

H2/CO 생산비 제어시스템 개발 진행

- 전력연구원, 한국에너지기술연구원, 고려대학교, 영남대학교, 경북대학교에서는 합성가스 내 탈황제 개발에 관한 연구를 수행하였고 국제 경쟁력 보유
- 폐기물 열분해 가스화를 통해 얻어진 합성가스 정제공정에 대해서는 고등기술연구원에서 연료가스를 발전시스템 연료로 사용 가능한 수준의 급냉, 집진, 탈염, 탈황 정제 시스템 개발
- 연료전지의 연료로 사용하기 위하여 HCl, H2S, COS, 분진, 중금속 등 물질에 대해서 ppb 수준까지 정제 가능하게 합성가스 고도 정제 시스템 개발

○ 수성가스 전환 공정기술 분야

- 연구기관(KIER, IAE, RIST 등)에서 합성가스나 부생가스를 사용하여 상용촉매를 적용한 수성가스전환공정 운전 경험 보유
- 해외 사용촉매 사용한 수성전환 공정을 Pilot급으로 개발하였음
- 합성가스 개질기술 중 수성가스전환반응의 촉매에 대해서는 서울대에서 Cu/ZnO/ Al2O3 촉매에 대한 연구를 수행
- 한국과학기술원에서는 금속 위에 세라믹이 담지된 형태의 촉매 제조 방법에 대한 연구를 수행
- 연세대에서는 PAS(Photoacoustic spectroscopy)를 사용하여 철촉매의 철의 화학적 상태에 따른 연구를 수행
- 연세대학교와 고등기술연구원에서는 컴팩트 개질기 개발을 위한 Single stage WGS 반응용 귀금속 촉매를 연구한 경험이 있으며 세계적 수준의 촉매 개발
- 한국전력연구원 및 한국에너지기술연구원에서는 가스화 생성 합성가스를 대상으로 하여 CO 전환반응과 CO2 포집반응을 동시에 실현할 수 있는 촉진수성가스전환(SEWGS) 연구를 수행

○ 수소분리 기술 분야

- 수소 PSA의 경우 상용화 진입단계에 도달 중
- 에너지기술연구원에서 부생가스 적용한 수소 PSA 상용화 실적 있음
- 지식경제부의 신재생에너지기술개발사업을 통해 가연성 폐자원으로부터의 수소생산을 위한 요소기술의 기초연구는 완료된 상황임
- (주) 애드플라텍에서 폐기물 플라즈마 열분해 가스화에 의해 발생하는 합성가스를 PSA 장치를 이용하여 순도가 99.99% 이상의 수소를 분리하는

20 Nm^3/h 규모의 시스템 및 공정 개발 수행

- 한국화학연구원에서는 N2의 투과도에 비해 CO의 투과도가 상대적으로 11.78 정도로 높아 CO의 선택성이 매우 좋은 CO/CO2 분리에 관련된 촉진수송 분리막을 개발
- 포항산업과학연구원에서는 중/소규모 설비에 적합한 PSA 공정에서 우수한 분리 성능의 흡착제 개발을 통해 대용량 CO 분리정제기술에 적용하고자 선행연구를 진행하였고, LDG로부터 CO에 대한 흡착능이 사용 흡착제보다 우수한 PSA용 CO 흡착제 개발
- 연세대학교는 LDG에서의 CO 분리는 PSA 공정으로 해결 가능하지만, CO 분리에 앞서 LDG 중 CO2 제거를 위해서는 추가의 분리공정이 필요하며 이를 위해 막분리 공정을 적용하는 통합 분리공정모듈(막분리 + PSA)을 제시하였고 선행연구로 막분리흡착 전산모사프로그램 개발

○ 폐자원 합성가스 활용 기술 분야

- Pilot급 시스템 설계 및 운전 기술 경험만 있음
- 현재까지 천연가스 혹은 석탄에서 유래된 합성가스를 이용하여 메탄올을 합성하는 연구가 한국화학연구원, 한국에너지기술연구원, 고등기술연구원에서 일부 수행
- 폐기물을 이용한 가스화로부터 생산된 합성가스를 이용하여 메탄올을 생산하는 파일럿급 연구를 삼성BP와 고등기술연구원에서 2011년부터 진행
- 서울시립대는 이산화탄소로부터 메탄올을 합성하는 촉매 개발에 대한 연구를 수행한 경험이 있으며, 높은 활성을 지닌 촉매를 개발

[국외 기술동향]

○ 폐자원가스화 기술 분야

- EU, 일본 및 캐나다를 중심으로 30~300 ton/일급 폐기물 처리 용량의 합성가스 생산 기술을 개발하여 시장에 진출 중
- (유럽) 폐기물 및 바이오매스 가스화 기술은 유럽이 가장 선진기술을 가지고 있으며, 특히 독일, 오스트리아, 네덜란드의 기술력이 가장 높은 곳에 위치
  - 독일은 도시폐기물과 biomass, 석탄 등을 가스화 연구개발을 추진하고 있으며, 330 ton/일급 고정층 폐기물 가스화기를 상용화하여, 100,000Nm^3/h의 합성가스를 공급할 수 있는 능력을 확보하였으며, Lurgi사는 SVZ Schwarze Pumpe에 50MW 가스화시설을 건설 운영 중

· 네덜란드는 1940년대 후반부터 가스화에 대한 연구를 시작하여 1999년 이탈리아에 500MW급 플랜트를 건설하는 등 세계적으로 100여개의 상용화 플랜트를 건설

· 이태리 Grave-in-Cianti에는 1992년부터 가스화 플랜트 운전 중

· 핀란드는 Lahti에 산업폐기물 가스화 플랜트 50MW급을 1998년부터 운전 중이며, 국가연구소인 VTT에서는 기존 바이오매스 가스화공정 효율을 높일 수 있는 새로운 방식의 가스화 반응기 개발

- (캐나다) R&D 프로그램을 통해 개발된 폐기물 가스화 기술이 상업화 단계에 있으므로 자국내 보급과 캐나다 접근 지역의 미국에의 플랜트 보급을 추진하고 있으며, 동남아시아 정부와의 협력으로 자본과 기술 투자를 추진

- (일본) 최근에는 가스화 용융방식의 폐기물 처리 시스템 활발히 보급

· JFE은 1997년도 TS 기술과 제휴하여 전 세계 10여 곳에 폐기물가스화 설비를 건설·가동 중

· EBARA와 UEDE는 200 ton/일급 폐기물 가스화 시스템과 합성가스를 이용한 연료회수 플랜트가 상업운전 중

- (미국) 폐기물로부터 발생한 합성가스를 자원화 사례는 국내와 마찬가지로 부족한 실정이며, 합성가스를 혼합된 상태에서 연료화

○ 합성가스 고도정제 기술 분야

- 폐자원 가스화 합성가스와 연계한 상업운전 설비 운전중

- 습식정제기술과 건식 집진은 상용화 적용되고 있으나 건식 가스정제는 개발 단계임

- 합성가스 정제기술은 합성가스 내 분진제거 관련 연구는 대부분 집진설비를 산업체에 적용하여 연구하고 있으며, 건식 및 습식 집진 기술 분야는 해외기술과 국내 기술이 거의 동등한 수준

○ 수성가스 전환 공정기술 분야

- 슈트켐, 존슨매티 등에서 수성전환 촉매와 공정을 상업화하여 보급 중

- 일본 EUP는 200 ton/일급 폐자원 가스화 합성가스 연계 상업운전 중

- 독일의 Sud-Chemie사의 WGS 공정에서 핵심인 촉매기술이 전 세계에서 거의 독보적

- 암모니아 합성공정 중 WGS 촉매로 개발된 Fe3O4/Cr2O3이 수십년동안

가장 좋은 상업적 촉매로 사용되고 있는 중

- 최근에 promoter로 CuO가 2wt% 포함된 $CuO/Fe_3O_4/Cr_2O_3$이 상용촉매로 쓰이고 있음
- 미국, 일본, 유럽 등에서는 Fe/Cr 계의 촉매를 이용한 수성가스전환반응에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 미국의 Lund 등은 Pd 멤브레인 반응기를 이용하여 반응 최적화 수행
- 러시아의 Andreev 등은 CuO, CoO, Zno 등의 첨가에 의한 Fe3O4/Cr2O3 촉매의 활성 향상에 대한 연구를 수행하였으며, 최근에는 Au/α-Fe2O3 촉매가 110-360℃의 넓은 온도 범위에서 높은 활성을 보인다고 보고
- 최근 폐기물 가스화로부터 생산된 합성가스의 효율적 활용을 위해 HTS 반응용 촉매 개발에 대한 연구가 진행되었으나 낮은 선택도와 안정성으로 특정 반응기에서 제한적으로 경제성을 갖는 단점 내재
- 합성가스를 WGS 반응에 적용하여 황에 대한 저항성을 지닌 촉매 개발에 대한 연구가 최근 진행되고 있으나 아직까지 낮은 공간속도에서 만족스럽지 못한 CO 전환율을 나타내고 있어 연구 개발이 미흡한 실정
- 천연가스의 개질로부터 수소를 생산하기 위한 WGS 반응용 촉매에 대한 연구는 많이 이뤄지고 있으나, 합성가스의 고부가가치 연료전환을 위한 WGS 반응용 촉매의 연구개발은 초기 시작 단계이며, 최근 관련 연구가 증가하는 추세

○ 수소분리 기술 분야

- 고순도 수소 분리 기술을 상용화 보급중이며, 효율적이면서 저비용인 기술 확보를 위한 개발 추진 중
- (CO2 분리) 합성가스 내 CO2 분리기술은 주로 미국이 주도하고 있으며, 대표적인 IGCC 공정으로는 GE Texaco공정이 있으며, 1983년 최초 공장을 설립하였고 현재는 약 100기 정도의 상업화 공장이 운전 중
- (H2/CO 분리) 합성가스 내 H2/CO 분리 기술은 에어리퀴드(AIR LIQUIDE)사에서 50여개의 상용화 플랜트에서 H2/CO를 분리하여 산업용 가스를 공급
- 미국 MEDAL과 RTI는 DOE/NETL의 지원 하에 각각 내열성 고분자와 실록산계 막을 IGCC에 적용하기 위한 연구를 수행하여 H2/CO/CO2/H2S 등을 동시에 분리하는 연구를 수행
- 최근 고순도의 H2를 분리회수하기 위한 금속막을 이용한 분리공정이 개발

- 폐기물로부터 H2를 분리·회수한 예는 미국의 Startech사가 기체분리막을 이용한 공정이 유일하나 분리막 공정의 경우 저순도의 H2를 생산하는 한계 존재

- 비록 코크스오븐가스를 비롯한 합성가스로부터 H2를 분리·회수하는 기술은 이미 여러 나라에서 상용화되어 있으나 폐기물 가스화를 통한 합성가스로부터 고순도의 H2를 분리·회수하는 상용화기술의 사례는 거의 없는 실정

○ 폐자원 합성가스 활용 기술 분야

- (Velocys) 마이크로 채널 반응기를 이용한 FT 합성

- (Enerkem) 폐기물 합성가스를 이용한 에탄올 합성 관련 촉매의 종류, 반응온도, 압력 등을 극비사항으로 분류하여 미공개

- (BioDME) Haldor Topsoe는 DME 합성 기술에 대해 20년 이상의 경험을 가지고 있으며, 2006년에 이란에서 800,000 ton/년 플랜트를 도입

- (Envergent Technologies) 제조된 열분해유를 현재 보일러용 연료로 이용하고 있으며, 또한 가스터빈의 연료로도 사용 가능

3. 연구내용

○ (1세부) 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증

- 국산 고유모델 50 ton/일급 도시폐자원 합성가스 생산 기술

- 국산 고유모델 합성가스 고도정제 기술

- 국산 고유모델 합성가스 수성가스 전환 기술

- 국산 고유모델 수소분리 기술

○ (2세부) 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계

- EPC 설계 기술

- ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 기술

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ **추진체계** **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 세부 요소 기술은 연구소, 대학이 담당하고 사업화 모델 및 사업화 투자는 중견·중소기업이 역할을 분담

○ 해외 전문가 활용을 위한 유관기관과의 업무협약, 공동연구 등을 통한 교류 및 협력 추진

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 도시폐자원을 관리하는 지자체와 연구개발 초기 단계부터 협업체계 구축

- 실증부지 활용계획 수립, 인허가 지원 및 주민설명회를 개발 초기 단계부터 함께 수행
- 수요자로서 개발기술의 단계적 검증 및 활용방안 협력

[기술수요자와 협력체계]

○ 중견·중소기업 주도의 현지 수요기반 융복합 R&D 추진

- 수요자 관점의 연구개발을 확대하기 위해 가치사슬과 연관성이 높은 중견·중소기업이 주도적으로 컨소시엄을 형성

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ 세부과제별 최종성과물

○ (1세부) 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증

- 고유모델 50 ton/일급 도시폐자원 가스화 공정 (냉가스효율 65%, 탄소전환율 85%)
- 고유모델 고도정제 공정 (H2S/HCl 0.1ppm, 합성가스 처리용량 2,500Nm^3/h)
- 고유모델 수성가스 전환공정 (CO전환율 90%, 처리용량 4.0t on/일-수소기준)
- 고유모델 수소분리 공정 (수소순도 99.99%, 합성가스 처리용량 2,500Nm^3/h)

○ (2세부) 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계

- EPC 설계 기술 (모듈화 설계기술 자립도 100%, EPC-O&M 연계 데이터 활용 자동화율 50%, 가상플랜트 정확도 85%)
- ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 시스템 (대용량 data 실시간 진단 및 예측 100%, 안전성평가 프로그램 가용도 50%, 피해영향 평가예측 DB 구축률 70%)

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 시설의 유지주체는 지자체 또는 부지소유 사업자로 계획

- 연구성과물의 유지주체를 명확히 하여 사업종료 후의 성과 활용성 제고

○ 연구개발 주체와 시설의 유지 주체에 대한 권리 부여

- 연구개발 주체는 설비 운영 자료에 대한 접근 권한을 갖고, 설비 유지 주체는 생산물에 대한 권리 부여로 실증설비 활용 근거 마련

○ 수소생산을 위한 운영비 조달

- 실증설비를 지자체에 기부체납하여 상용급으로 확장 운영할 경우, 수소 판매 또는 매전을 통해 운영비용 조달 가능

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 개발되는 Test-bed (상용급 폐자원 50 ton/일급 용량, 수소 4 ton/일 생산용량) 도시 폐자원 이용 수소도시의 수소 공급원 기술 검증 및 국내모델 확보
- 온실가스 감축 및 미세먼지 저감 효과

○ 경제적 기대효과

- 폐자원 합성가스의 고부가가치화 플랜트의 해외시장 급성장에 대응
- 국내 고유모델의 건설기술 확보로 국내 기업의 경쟁력 확보
- 상용급 플랜트 기술의 신뢰성 확보로 선진 해외기술과의 동등이상의 경쟁력 확보

○ 과학기술적 기대효과

- 국내 원천기술과 기본설계, 상세설계 기술 확보 및 핵심장치 제작, 건설, 운전기술 확보
- ICT 기반의 4차산업과 연계한 통합공정의 운전제어기술 및 모니터링/제어 기술 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2027.12 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)

- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 28,000백만원 이내

- (1세부) 21,000백만원 이내
- (2세부) 7,000백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 4,000백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 24,000백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로

As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

연구과제명	그린수소기반 에너지 자립 도시 실증

1. 연구목표

○ 그린수소기반 저장, 발전, EMS, 안전 등 에너지 자립 도시 기술개발 및 종합 실증

○ 1세부

- 에너지 수요, 재생전력 및 수소 생산 시계열 데이터 수집·분석 시스템 개념 설계
- 그린수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 및 유지보수
- 에너지 시스템 시뮬레이션 기술 기반 에너지 네트워크 설계 및 운영 최적화

○ 2세부

- 대상지역의 에너지 전력 공급 최적 시스템 및 소재·부품·장치 시험/평가 기술개발을 위한 테스트 베드 구축 및 장주기(1년) 연계 시스템 평가/실증

○ 3세부

- 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템을 적용한 에너지 자립사회 실증 모델 조성

○ 4세부

- 수소 융복합에너지 자립사회의 에너지 생산/수요 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 구축 및 향후 사업화를 위한 확장형 모델 개발

2. 연구 필요성 및 기술동향

□ **연구개발 필요성**

○ 안전하고 깨끗한 에너지로의 전환

- 기후변화 대응, 미세먼지 저감, 원전 안전 등에 대한 국민적 요구에 따라 신재생에너지와 에너지효율 중심의 안전하고 깨끗한 미래에너지시스템으로의 전환 추진

○ 친환경 미래에너지 산업 발굴 육성

- 정부는 재생에너지 3020 이행계획을 수립하고, 2030년까지 신재생에너지를 통한 발전량 비중 20%의 확대 목표 달성을 위한 에너지신산업 육성 등 다양한 정책 추진

- 온실가스 배출 감축 및 에너지안보 제고 등을 목적으로 한 신재생에너지 기반 분산형 전원의 비중 확대가 중요한 의제로 부상
- 4차 산업혁명시대 신산업 창출을 위한 에너지산업의 변화
- 일자리 창출을 위한 신성장산업 육성 선봉장 에너지신산업
  - 정부 일자리 창출 신재생에너지 산업 일자리 5만개 창출
  - 신재생에너지 · 분산전원시스템 · 에너지저장장치(ESS) · 소비자선택이 융합한 4차 산업혁명 시대 에너지 체계인 에너지인터넷(IoE) 산업을 육성

○ 탄소 사회에서 수소 사회로 에너지 패러다임 전환

- 세계 경제의 저성장국면 진입으로 대외의존도가 높은 우리 경제의 향후 지속 성장을 위한 산업 전환과 시장 선점을 통한 신성장동력 산업 육성과 일자리 창출
- 수소 경제는 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제 산업구조를 칭하며, 화석연료 중심의 에너지 경제에서 수소를 에너지원으로 활용하는 산업구조로 전환하는 경제 시스템 구축과 에너지 패러다임 전환
- 수소 경제를 우리 경제의 신성장동력으로 작용하고 산업구조를 혁명적으로 변화 가능
- 수소경제 활성화 로드맵(2017)에 따르면, 현재 수소 에너지의 주요 공급방식은 추출이지만 친환경 저탄소를 지향하는 정책 및 기술개발 방향에 따라 재생에너지 전기를 활용한 '그린 수소' 생산 활성화가 반드시 필요함
- 그린 수소의 에너지 생태계 (생산-저장-이송-이용) 및 밸류 체인 구축과 미래 에너지 자립사회의 비전 제시

○ 국가의 온실가스 감축 목표 달성 등을 위해 정부에서는 신재생에너지 보급이 활성화되도록 유인책 강구 정책 추진

- 독립계통으로 운영 중인 도서의 주 발전원을 디젤엔진 발전기에서 저탄소·친환경 발전 설비인 신재생에너지로 대체하고자 관련 지침을 마련하고 '친환경 에너지 자립섬 조성사업'과 '신재생에너지 융복합지원사업'을 추진 중
- 현재 도서 지역 신·재생에너지 보급을 위한 종합적이고 효율적인 계획 수립 및 관리를 위한 컨트롤 타워가 부재한 실정
- 지리적 여건으로 신·재생에너지 설비 구축 및 보수를 위한 특수 장비 반·출입이 용이하지 않으며 발생하는 비용이 높아 안정적으로 전력을 공급하고 운영하기 곤란

- 수소에너지 기술의 성숙도가 낮아 안전성 및 경제성 확보에 어려움이 있어 수소 생태계 조성을 위한 인프라 확대 미비

□ 기술동향 [국내 기술동향]

○ 재생에너지 이용 수전해 기술 분야

- (지필로스) 풍력에너지 잉여전력 활용을 위한 500kW급 하이브리드 수소 변환 및 발전 시스템 기술 개발 ('17-'20)
- (한국에너지기술연구원) 차세대 알칼라인 수전해 원천기술개발 ('15-'21)
- (한국에너지기술연구원) 다차원 산화물 기반 양방향 수전해 기술 ('16-'23)
- (포항공대) 통합 신재생에너지 시스템 설계구성 및 운영 최적화 모델 개발 ('17-'20)
- (에스에너지) IoT 기반 전원 독립형 연료전지-태양광-풍력 하이브리드 발전기술 개발 ('15-'19)
- (엘켐텍) 수소생산단가 저감을 위한 350기압급 고분자 전해질 수전해조 스택 기술 개발 ('15-'18)
- (한국에너지기술연구원) 상용 모재(母材) 기반 알칼라인 수전해 전극 제조 기술 개발 ('15-'19)

○ 에너지 자립 사회 (도시 또는 도서지역 에너지자립화 정책 실행사례)

- (과기부) 2025년까지 도시발전 실증단지 구현을 목표, 태양전지, ESS, 연료전지, 에너지하베스팅, 신재생 하이브리드 등을 활용한 도시발전 시범 프로젝트 ('18)
- (충북) 진천읍·이월면·광혜원면에 에너지 자립마을 조성 (산업부 지원, '21)
- (광주) 2045 탄소중립 에너지자립도시
  - 하남, 첨단 등 기존 산업단지 내 기업 공장옥상 등 유휴부지 활용, 2045년까지 587MW 규모의 태양광 발전시설 설치
  - 빛그린산단 등 신규 산업단지는 2040년까지 548MW 규모의 태양광 발전시설 설치 계획
  - 수소생산기지 구축계획 : '22년까지 일일 4 ton 생산규모 구축예정
- (마라도) 태양광, 전망대, 산책로 구성된 청정발전시스템 구축 사업 ('04)
- (가파도) 풍력 발전, 태양광발전, 전력저장장치, 배전 지능화로 구성된 1세대 신재생에너지 마이크로그리드 구축 사업 ('11)

- (가사도) 풍력, 태양광, 전력저장장치, 운영센터(EMS)로 구성된 2세대 독립형 마이크로그리드를 통한 에너지 자립섬 구축사업 ('12)
- (거차도) 태양광, 풍력, ESS, 직류배전망으로 구성된 에너지 자립섬 구축 ('14)
- (삼마도) 태양광, 풍력, ESS로 구성된 융복합 사업 ('14)

○ 도시 수소에너지 시스템 구축관련 사업

- (울산 수소타운) 울산시 울주군 온산읍 LS 니코동제련 사택 140가구를 대상으로 삼성 BP 화학에서 생산하는 '부생수소'를 공급하여 운영

[국외 기술동향]

○ 재생에너지 이용 수전해 기술 분야

- (독일) Energiepark Mainz 프로젝트-풍력발전과 연계한 수전해 수소생산 시스템
  - 연산 200 ton 규모의 대용량 PEM 수전해 시스템을 풍력발전단지와 연계
  - 최대 6 MW 수전해 장치 구성 : 전력 그리드의 안정화에 기여 가능
- (덴마크) 해상풍력 발전단지와 연계한 대용량 수전해 시설
  - 2023년까지 1단계 완공 (10MW급 수전해), 2030년까지 증설해 3GW 규모의 해상풍력 설비와 1.3GW 수전해 설비 확보 예정
- (이탈리아) INGRID 프로젝트-재생에너지원을 이용한 수전해 수소생산 시설과 수소 저장 시스템의 활용
  - 1.2 MW급 알칼라인 수전해 시스템과 750kg 규모의 고체매체 수소저장 시스템을 구축하여 대규모 장기간 에너지 저장 기술 구현
- (프랑스) 1MW급 재생에너지 수전해 연계 장치로 수소를 생산해 배관으로 운송하는 'Jupiter 1000' 프로젝트 시행 중
- (네덜란드) AkzoNobel과 가스회사 Gasunie의 공동 프로젝트로 20MW 규모 재생에너지-수전해를 연계한 'Wind2H2' 프로젝트 진행 중
  - 풍력발전 전력으로 그린수소를 생산해 천연가스망을 통해 공급
- (일본) 소규모 수력발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용
  - 시라누카, 홋카이도의 쇼로 댐에 위치한 소규모 수력 발전소에서 수소를 생산하여 공급(35 Nm^3/h급의 소형)하고 연료전지 발전을 통해 전력과 열을 동시에 활용

- (일본) 태양광 발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용
  - 태양력 발전소의 전력을 이용한 수전해 장치에서 수소를 생산하여 수소 흡착 합금 카트리지에 저장된 뒤 배달 트럭 등 도시의 기존 물류 네트워크를 이용하여 매장, 가정, 방과 후 탁아소 등에 공급하고 지역에 설치된 연료전지를 통하여 전기와 열을 공급
- (네덜란드) HyStock 프로젝트-태양광 발전과 연계한 수전해 수소생산 및 활용
  - 1MW 용량(12,500개의 태양광패널 설치)의 태양광 에너지를 활용한 수소 생산(연 27만 ton) 및 활용
- (미국) NREL(신재생에너지연구소)은 태양광, 풍력 발전 등의 에너지로 수소를 생산하는 연구 개발을 지속해서 추진 중

○ 에너지 자립 사회 (도시 또는 도서지역 에너지자립화 정책 실행사례)

- (덴마크 삼소섬) 탄소 중립적 무공해 섬 조성을 위한 '삼소섬 개발 프로젝트' 선정, 삼소섬 에너지 자립마을 프로젝트 ('97)
  - 전력 수요 풍력, 난방수요 태양열/바이오매스/열펌프, 차량 및 농기계 바이오오일 사용 100% 충당
- (피지) Nobouwalu의 풍력-태양광-디젤 하이브리드 시스템 ('97)
  - 풍력, 태양광, 베터리, 인버터, 데이터 취득, 모니터링 시스템, 제어, 디젤 발전기 구성
- (카나리아 제도 엘 이에로 섬) 풍력 및 양수발전 신재생융합 프로젝트
  - 풍력 발전 전력 공급, 잉여전력 양수발전 동력 사용 후 전력 수요에 따라 전력 발전
- (남태평양 토켈라우) 기존 디젤발전을 100% 신재생에너지를 통해 전력 공급 목표
  - 섬 주요전력의 1.5배 설비 구축, 기상악화 시 코코넛 오일을 이용한 발전기 가동

3. 연구내용

○ (1세부) 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발

- 재생에너지원-수소생산, 저장 및 이송 시스템에 대한 수학적 모델 수립
- 에너지 수요 모니터링 및 예측을 위한 수학적 모델 수립

- 에너지 수요 예측 모델 기반 에너지 공급망 최적설계 및 운영 기법 개발

○ (2세부) 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축

- 소재·제품·장치 시험·평가 테스트 베드 구축
- 장주기(1년) 현장 실증을 통한 시스템 평가 및 실증

○ (3세부) 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성

- 대상지역 내 그린수소 기반 에너지 자립도시 실증을 위한 인프라 설계, 구축 및 운용
- 설비 관리, 운영을 위한 모니터링 시스템 개발 및 안전설비 설계 및 구축

○ (4세부) 통합관리운영센터 구축

- 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계, 구축 및 실증
- 운영 관리 및 운영인력 교육
- 홍보 시설 구축
- 도시 확장형 모델 개발

4. 연구 추진방법

□ **추진전략**

○ 과제 전 기간 동안 세부과제들의 연구개발 연계에 대한 통합적이고 세부적인 추진 계획을 수립하여 제시

○ 핵심기술의 연차별 목표 및 성능 수준 등 제시

- 핵심기술 제시 및 그에 따른 연차별 목표를 수립하고, 그에 적합한 연차별 세부 추진전략 및 일정계획, 핵심성과, 로드맵(TRL 반영) 제시
- 연차별 달성목표(마일스톤)를 구체적으로 제시하고 성과평가 방법 명시
- 연구 목표를 정량적으로 제시

※ 예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상, 00까지 00% 보급 등

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 표출되도록 기술개발·성과로드맵 및 연차별 성과 평가지표(안) 제시

※ 단계별/연차별 성과 평가 지표(안)은 향후 단계/중간 평가시 참고 예정

○ 기존에 수행되었거나 국외 및 국내에서 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발결과의 구체적인 연계 또는 통합 활용방안을 연구계획에 포함시켜 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력 방안 또는 공동 활용방안 등 제시

○ 개발기술의 실증에 대한 추진계획(세부 실증대상지, 실증규모, 실증방법, 일정 등)은 연구추진과정에서 국토교통부, 연구관리전문기관(국토진흥원), 지자체와 협의를 통해 추진

※ 실증대상 후보지 : 수소 R&D 특화도시

○ 정부 및 관련 기업 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축

- 기술수요기관의 충분한 의견수렴을 통하여 실용성 확보
- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
- 관련 업계 전문가로 구성된 포럼 등을 구성하여 요구조건 파악

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행. 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

□ **추진체계** **[연구단 구성 및 공모방안]**

○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행

- 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행
- 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
- 2~5 세부과제는 1세부과제 주관기관과 협의하여 연구계획 수립

[국내·외 기관 및 전문가 협력체계]

○ 그린수소 생산 및 수소 저장/이용 기술 전문 연구기관들의 R&D 협력 체계 구축

○ 지자체의 그린수소 기반 융복합에너지 시스템 설치를 위한 정책적 협력 체계구축

○ 테스트 베드 구축을 위하여 국토 교통부와 지자체의 현 제도적 문제를 사전 검토 이후 해결방안 논의

○ 기술 및 정책 이슈 해결을 위한 산학연-정부 협의체 구축

[관리주체와 실증지 이용 협력체계]

○ 실증사업 시작 전, 실증지역 사용자 및 이해관계자들과의 사전 협력 체계

구축을 위해 지자체와 R&D 총괄 기관의 협의체 구축

○ R&D 종료 이후 시설 활용 방안을 위한 관리주체 사전 결정

[기술수요자와 협력체계]

○ 주민과의 의사소통을 위한 리빙랩 수단을 적극 활용하고, R&D 성과 도출을 위한 기술 수요자의 의사를 적극 반영할 수 있는 구조 활성화

○ 지자체를 통해 기술 수요자와 상시 의사 소통 창구 개설

[세부과제간 연계방안]

○ 각 세부과제가 상호 보완적인 성격을 가지고 있으므로, 총괄 기관을 중심으로 상시 의사 결정이 가능한 기구 설치

○ 최종 성과의 사업화를 위한 기관간의 기술 개발 일정 조정 및 최종 테스트베드 운영을 위한 지자체 의견 반영/중재를 통해 상호 연계성 확보

[기타 사항]

○ 수소 및 가스 관련시설에 대한 고압가스안전관리법 등 관련법을 만족하고, 수소 시범도시 안전관리 가이드라인('20 상반기 수립) 등을 준수하여 설비, 건물, 부지에 대한 설정 필요

○ ESS의 안전성 확보와 ESS와 가스 설비 간 안전을 고려한 설치 안 마련

○ 본 연구 성과의 실용화 및 사업화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 권장

○ 정부(지자체) 및 관련 기업·공사 등 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축

○ 연구성과를 추후 현장에 적용할 수 있도록 관련 기업 의견수렴

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국 선진 기관 활용

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 산·학·연 간의 긴밀한 협력, 기술공급자와 수요자 간의 긴밀한 협력을 통한 수요 지향적 기술개발 및 수행 체계 구축 필요(지속적인 기술 동향 조사 및 수요 조사 등)

○ 주관연구기관은 과제 시점부터 종료까지 동일기관이 연구를 수행하여야 하며, 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하

여 연구추진의 효율성을 도모

※ 연구기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며 연구내용 및 역할이 중복된다고 판단될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음

5. 최종성과물

□ 세부과제별 최종성과물

○ (1세부) 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발

- 재생에너지 자원 및 에너지 수요 데이터 수집·분석 시스템
- 대상지역 그린수소 기반 융복합 에너지 시스템 디지털 트윈
- 디지털 트윈 개선 등 유지보수 계획
- 디지털 트윈 기반 에너지 네트워크 설계 및 운영최적화 기법

○ (2세부) 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축

- 모사 전력 공급 시스템
- 모듈화 기술
- 시험·평가 시스템

○ (3세부) 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성

- 그린수소 생산시설 (생산용량 20 ton/년)
- 수소저장 시설 (저량용량 20 ton/년)
- 발전용 연료전지 (발전량 300MWh/년)

○ (4세부) 통합관리운영센터 구축

- 모니터링 및 운전자동화
- 데이터 플랫폼

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ R&D 종료 시점에서 지자체에 전체 시설을 이관하여 지속적으로 활용할 수 있도록 총괄기관과 지자체간 기구를 구성하고, 향후 지자체에서 테스트 베드를 적극저적으로 운영할 수 있도록 지원

○ 지자체 단독 또는 공공 에너지 사업관련 기관의 협력 하에서 그린수소 기반 에너지자립도시를 운영할 수 있도록, 각 기술 소유 기관은 사후 지원방안 및 체계를 구축

○ 시공 경험 및 운영 데이터를 바탕으로, 지역 내 수소 및 재생에너지 등을 활용하여 탄소세 확보를 위한 CDM 사업화, 인구 밀집지역 등의 적용을 위한 다양한 사업화 모델과 통합운영 솔루션 개발 등을 통하여 사업화를 위한 다양한 수소기반 자립도시 포트폴리오 구축

[기대효과]

○ 정책적 기대효과

- 그린 수소의 생산, 저장, 활용 기술을 도시 에너지 인프라에 적용
- 경제성과 친환경성을 동시에 만족시키기 위한 수소 생산 및 활용 기술의 실증

○ 경제적 기대효과

- 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화
- 친환경 수소 도시 모델의 제시로 민간참여 촉진 및 시장 확대 기대

○ 과학기술적 기대효과

- 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인
- 향후 도시 단위 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : 2023.01 ~ 2027.12 (5년)

- 1차년도 연구개발기간 : 2023.01.01 ~ 2023.12.31 (12개월)
- 2차년도 연구개발기간 : 2024.01.01 ~ 2024.12.31 (12개월)
- 3차년도 연구개발기간 : 2025.01.01 ~ 2025.12.31 (12개월)
- 4차년도 연구개발기간 : 2026.01.01 ~ 2026.12.31. (12개월)
- 5차년도 연구개발기간 : 2027.01.01 ~ 2027.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 15,150백만원 이내

- (1세부) 2,700백만원 이내
- (2세부) 3,850백만원 이내
- (3세부) 4,400백만원 이내

- (4세부) 4,200백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,800백만원 이내
- 2차년도 이후 정부출연금 : 13,350백만원 이내

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 "국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정"의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반 과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시

○ 연구개발계획서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과

물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용 계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정・보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음

- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 추진할 과제의 기술성숙도(TRL) 범위를 설정 및 제안하고 전문기관 및 연구단과 협의하여 확정

5.5 전략계획서

수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 사업

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 사업
	세부사업	수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 사업
	내역사업	수소 도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발 사업

2 사업목적

사업목적	수소 타운내 메가스테이션 구축을 통한 수소 에너지 저장/이송/공급 시스템의 운영/통합 관리 기술 개발과 4차산업 혁명 기술을 통한 수소 인프라 실증 및 수소도시 계획 구축

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵('19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안('19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획('19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵('19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략('19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략('19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안('19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵('19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책('19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획('19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안('20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략('21)

4 사업 현황

사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2028	**총사업비**	1,046억원 (국고 783억원, 민자 263억원)
사업규모	5개 세부과제	**지원대상**	산·학·연
지원형태	출연	**지원조건**	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

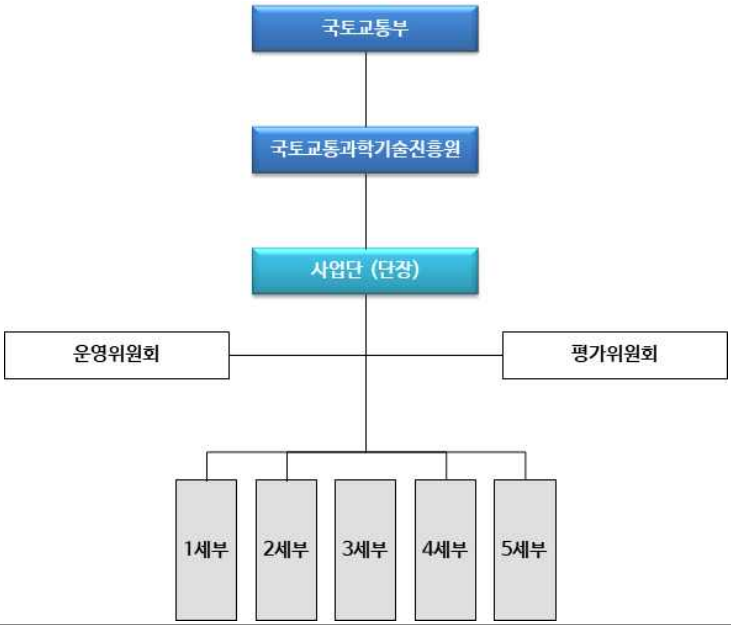
5 사업추진체계 및 전략

사업수행주체

수행주체	역할 세부내용
부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'28)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'29년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
수소 활용에 대한 지역 주민의 거부감	울산에서 진행된 수소타운을 벤치마킹하여 지역 주민의 협조 체계 유도
수소 에너지의 경제성 확보 미비	국가보조금, CDM 사업화 등의 별도의 사업화 추진전략 확보

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	○ 수소커뮤니티 관련 에너지 생산/저장/활용 기술의 확보로 차세대 에너지 관련 기술 선도
사회경제적 기대효과	○ 세계적으로 상용화되지 않은 수소 커뮤니티 기술 개발로 관련 기술시장 선점 및 해외시장 진출 교두보 마련 ○ 에너지 수입국에서 에너지 기술 관련 수출국으로 세계 에너지 시장을 리딩할 수 있는 기술 확보

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

구분	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	합계
수소도시 운영 및 스마트 수소 그리드 기술 개발	국고	7,500	11,500	15,700	22,600	15,000	6,000	78,300
	민자	2,700	3,833	5,233	7,533	5,001	2,000	26,300
	합계	10,200	15,333	20,933	30,133	20,001	8,000	104,600
수소타운 리빙랩 전략기술 개발	국고	100	500	500	500	500	500	2,600
	민자	34	167	167	167	167	167	869
	합계	134	667	667	667	667	667	3,469
스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발	국고	2,000	2,800	3,500	7,000	5,000	1,500	21,800
	민자	670	933	1,167	2,333	1,667	500	7,270
	합계	2,670	3,733	4,667	9,333	6,667	2,000	29,070
수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축	국고	2,400	3,500	7,000	10,000	2,500	1,500	26,900
	민자	800	1,167	2,333	3,333	833	500	8,966
	합계	3,200	4,667	9,333	13,333	3,333	2,000	35,866
메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발	국고	1,500	2,500	2,500	3,000	5,000	1,500	16,000
	민자	696	833	833	1,000	1,667	500	5,529
	합계	2,196	3,333	3,333	4,000	6,667	2,000	21,529
난방 및 열 그리드 기술 개발	국고	1,500	2,200	2,200	2,100	2,000	1,000	11,000
	민자	500	733	733	700	667	333	3,666
	합계	2,000	2,933	2,933	2,800	2,667	1,333	14,666

세부내용

내역사업	주요 내용
수소타운 리빙랩 전략기술 개발	○ 기술개발자, 사용자, 지자체 등의 의사결정 플랫폼 구축 ○ 디지털 트윈과 디지털 리빙랩 구축 및 연계을 통한 간접 체험 플랫폼 구축 ○ 리빙랩을 통한 실 사용자 의견과 수소 그리드 운영 시스템 연계를 위한 의사결정 및 양방향 AI 알고리즘 개발
스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발	○ 디지털 트윈 기반 열/전기/수소의 시간별 부하 분석 및 예측기법 개발 및 운영 AI 연계 시스템 개발 ○ 신재생에너지 원별 용량기반 생산량 분석을 통해 복합 에너지 믹스 그리드 운영 기술 확보 ○ 수소타운 구성 요소내 수소 공급 최적화를 위한 그리드 운영 AI 알고리즘 개발 ○ 가스 네트워크 펌프스테이션 및 크리티컬 포인트 들의 센서 정보 취합을 통한 압력 변동 및 온도, 유량 모니터링 기반 상태진단 기술 개발 및 디지털 트윈 연계 기술 개발 ○ 서브스테이션들의 시간-일 단위 고해상도 실시간 사용 상태 모니터링 데이터 기반 수요 예측 모델 확보 및 생산-수송-분배 데이터 연계 운영 시스템 확보 ○ 도시가스와 수소 혼합 공급 시스템을 위한 원천기술 개발 및 확보

내역사업	주요 내용
수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축	o 수소/전력 저장 및 에너지 원별 공급을 위한 통합 모듈화 설계 및 구축 기술 확보 o 도시 기반 수소 사회/도시 구축 모델링 및 디지털 트윈 구축 기술 개발 o 수소 공급 및 저장 인프라 운영 시뮬레이션 및 AI 연계 툴 구축 o 수소 사용량 별 도시 계획 수립 로드맵 구축
메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발	o 디지털트윈 기반 수소 커뮤니티 별 부하 분석 및 최적 용량 설계 기술 개발 o 메가스테이션 내 수소 관리를 위한 수소 생산 시스템과 연계기술 개발 o 수소 커뮤니티 열관리 및 열 공급 시스템 구축 o 메가 스테이션, 신재생에너지, 전력 충전시스템 등 복합시스템 연계를 통한 유연성 확보 기술 o 수소 교통을 위한 복합 충전소 구축 기술
난방 및 열 그리드 기술 개발	o 4/5세대 열그리드 기술 확보 o 축열 시스템 요소별 운영기술 확보 o FC Tri-Gen 시스템 기술 확보 o 열 그리드 와 지역냉난방 연계기술 확보

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	o 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 - 국내외 리빙랩 사례 분석 및 벤치마킹 전략 수립 - 섹터 별 블록체인 전용 네트워크 및 중앙 제어시스템 연계를 위한 요소기술 개발 - 수소에너지 활용을 위한 도시계획 수립 - 테스트베드내 최적의 수소에너지 활용처를 위한 모델링 o 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 - 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 TB 내 에너지 그리드 구성 요소 파악 - 기존 천연가스 배관을 통한 수소이송 가능성 분석 - 수소주거-교통-빌딩 등의 체계적인 수소 활용 시스템 구축 및 DB를 위한 소프트웨어 개발 - 통합 관리를 위한 AI 및 딥러닝 기본 구상 - (생산) 메가스테이션 적용 수소생산기술에 따른 주요 모니터링 및 제어 요소에 대한 측정방법 및 데이터 수집주기, 방법 도출 - (수송) 가스 배관 네트워크 상태파악용 센싱기법 및 분석방법 도출 - (분배) 수요처에 따른 부하패턴 설정 및 다중 수요 분석을 통한 수소수요 예측 모델 수립 o 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 - 도시의 수소 사용 예측량 산정을 위한 실측 기반 주거건물 열/전기 월별·시간별 부하 분석 (인구, 토지이용계획, 경제 등의 기초자료포함) - 신재생에너지원별 용량에 따른 생산량 및 설치비 분석 - 에너지원별 설계 알고리즘 개발 - 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 내부 수소 공급/이송 체계를 위한 메가스테이션 설계 o 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 - 수소에너지 활용을 위한 도시계획 수립 - 테스트베드내 최적의 수소에너지 활용처를 위한 모델링

연도	핵심목표 및 내용
	ㅇ 난방 및 열 그리드 기술 개발 - 4세대 및 5세대 열그리드 공급회수 및 축열 적용 분석 - 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 및 인터페이싱 기술 적용 분석 - FC Tri-Gen 시스템 기본설계 및 성능분석 - FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 기본설계
2024	ㅇ 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 - 에너지 분야 리빙랩을 위한 기술개발자/수용자 간의 소통기구 구성 - 주요 수소 에너지 설비에 대한 의견 수렴 및 맵핑 설계 - 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 설계 및 내부 수소 공급/이송 체계를 위한 메가스테이션 설계 - 블록체인 구성을 위한 알고리즘 개발 - 탄소 마켓 적용을 위한 전략 도출 ㅇ 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 - 수소 타운내 수소 전주기 기술에 따른 시스템 구축 및 중앙 제어 시스템 설계 - TB내 신재생에너지 및 수소 간 연계 그리드 기본 설계 및 운영 컨셉 도출 - 빅데이터 구축 방안 및 디지털 트윈 기본 설계 - 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - DB 구축을 위한 수소 시스템 센서 개발 - (생산) 메가스테이션용 온도, 압력, 유량 센서 및 다수의 SCADA 연계를 위한 OPC 연결 플랫폼 개발 - (수송) 크리티컬 포인트 모니터링용 센서 및 실시간 통신구조 설계 - (분배) 수요처 특성을 반영한 단-장기 수요예측 및 메가스테이션과의 데이터 연계 방안 수립 ㅇ 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 - 시뮬레이션 기반 다양한 건물 용도별 부하분석 - 수소도시 건물+모빌리티 에너지 시스템 설계 및 신재생에너지원별 1차 설계를 통한 수소 메가스테이션 구축 - 실증 대상후보지 도시단위 열/전기부하 및 시스템 용량 검토 - 시범도시 기준 수소 사용 예측량 산정 - 수소 관련 시설(도시근접 스테이션, 충전소 등) 기술 수준 파악 - 재생에너지원별 1차 설계 프로그램 개발 및 평가 - 파라미터 스터디를 통한 최적 설계 유효성, 신뢰성 검증 ㅇ 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 - 건물/공동주택/상가 등의 적용 유형에 따른 수소에너지 활용을 위한 에너지 공유 최적 비율 모델링 - 수소 온사이트 생산/공급/이송을 위한 최적화 모델링에 따른 경제성 평가 모델 수립 - 에너지 분산화 정책에 따른 사용자 활성화를 위한 정책 모델 제시 - 메가 스테이션 내 복합 자동차 충전을 위한 전력 보급 시스템 설계 ㅇ 난방 및 열 그리드 기술 개발 - 4세대 및 5세대 열그리드 및 축열 설계, 운전제어기술 개발 - 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 및 인터페이싱 설계, 운전제어기술 개발 - FC Tri-Gen 시스템 상세설계 및 운전제어기술 개발 - FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 상세설계 및 운전제어기술 개발
2025	ㅇ 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 - 리빙랩 전략에 따른 수소타운 구축 전략 도출

연도	핵심목표 및 내용
	- 국내 수소 타운 후보지 관련 수소에너지 특화 맵핑 추진 o 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 - 수소 타운내 수소에너지 활용처 및 재생에너지 간의 내부 연결 망 구축 - 에너지 그리드 운영을 위한 중앙제어시스템과 AI 운영 알고리즘 연계 구축 - 수소 타운내 재생에너지 및 수소 등 지역별, 시스템 별 개별 운영 및 데이터 축적 시작 - 수소에너지 전용 센서 적용성 검증 및 국산화 - 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - (생산) 메가스테이션용 통합관제 운영 플랫폼 시작품 제작 및 가상 모사 환경 테스트 - (수송) 공급배관 센서 기반 DB 및 운영 데이터 분석 기술 - (분배) 메가스테이션-수요처 연계 데이터 통신 시스템 및 데이터베이스 시작품 개발 및 테스트 o 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 - 수소 타운 건물+모빌리티 에너지 시스템 구축을 위한 메가스테이션 및 에너지 그리드 시스템 구축 완료 - 수소 타운을 위한 테스트베드 구축 - 운영 제어룸 및 그리드를 통한 각 소규모 제어룸의 연계 망 구축 및 시운전 o 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 - 복합 충전소 운영 시스템 구축 - 실증 대상 총 전기부하 20%공급을 위한 수소연료전지 최적 용량 산정 - 열/전기 운영 AI 알고리즘 개발 및 통합 관제 시스템과 연계 - 수소기반 신재생에너지 통합 보급 및 활용을 위한 시스템 설계 o 난방 및 열 그리드 기술 개발 - 4세대 및 5세대 열그리드와 축열 설치 및 시운전 - 4세대 및 5세대 열그리드 열수요처 인터페이싱 설치 및 시운전 - FC Tri-Gen 시스템 제작 및 시운전 - FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 구축 및 시운전
2026	o 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 - TB 구축/운영 데이터에 따른 리빙랩 전략 보정 및 사이버 리빙랩 구성 - 블록체인 시스템 구축 및 오픈 데이터 구축완료 및 운영데이터 연계 - 디지털 트윈 구축과 오픈 데이터 시스템 연계 운영 - 국내 수소타운 지역 특화 맵 도출개인 사업자를 위한 사이버 수소마켓 활성화 방안 도출 - 경제성 분석 툴 개발 및 분석에 따른 수소타운 운영 전략 도출 o 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 - 수소 교통, 주거, 빌딩 등의 수소에너지 활용처와 수소/재생에너지 공급/이송 시스템 그리고 통합 운영시스템 연계 및 종합 운영 - 스마트 미터링 기법 도입을 위한 중앙 집중형 모니터링 시스템 및 통합 제어시스템 설계 및 AI 알고리즘 고도화 - 리빙랩, 디지털 트윈 운영 결과 등을 통한 운영 및 보완요소 피드백 - CO2 저감량 및 경제성 평가 툴 개발 - 내부 수소 공급망내 메탄/수소 혼합 이송 기술 개발 - (생산) 실증사이트 메가스테이션용 통합관제 운영·수요예측 플랫폼 구축 및 시운전

연도	핵심목표 및 내용
	-(수송) 공급배관 및 센서네트워크 구축, 플랫폼 신호 연동 -(분배) 서브스테이션 구축 및 메가스테이션과 신호 연계 및 시운전 o 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 -수소 타운 복합 운영 및 결과 DB 구축 -도시 특성에 따른 수소 사용 예측량 및 시설물 배치계획 시뮬레이션 -수소타운을 위한 테스트베드 운영 및 관리 기법 개발 o 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 -복합 충전 기술의 실증 (전기차 및 수소차 동시 충전) -에너지 그리드와의 통합 시스템 구축 및 디지털 트윈 모델 도출 -수소도시 건물 열/전기/수소(연료) 에너지 공유를 위한 운영 -메가 스테이션용 스마트 미터링 기법 개발 및 중앙 제어 시스템 연계 고도화 o 난방 및 열 그리드 기술 개발 -4세대 및 5세대 열그리드와 축열 설치 및 운전 고도화 -4세대 및 5세대 열그리드 열수요처 인터페이싱 운영에 따른 안정성 평가 -FC Tri-Gen 시스템 운영 -FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 운영
2027	o 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 -리빙랩 운영을 통한 테스트베드 고도화 추진 -블록체인 오픈 데이터 플랫폼 활성화 -블록체인 활용 비즈니스 마켓 전략 도출 o 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 -설비 운영 및 메가스테이션 통합운영 플랫폼 연간운영 검증 및 보완 -시스템 시운전 데이터 확보 -수요예측 알고리즘 고도화 o 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축 -실증시스템 구축 및 열/전기 운영 알고리즘 검증 -그리드 구축을 위한 제도/법 검토 및 기술 사용자의 검토 결과 반영 -운영결과에 따른 메가 스테이션 기술 고도화 o 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 -총 에너지 20%이상 달성(제로에너지 건축물 인증기준) -탄소 배출권 확보를 위한 데이터 공유 및 사업 표준화 (1세부 공통) -수소 도시 계획 구현을 위한 실증도시 후보지 선정 및 디지털 트윈 가능성 분석 o 난방 및 열 그리드 기술 개발 -4세대 및 5세대 열그리드 와 축열 실증시험 및 분석 -4세대 및 5세대 열그리드 열수요 인트페이싱 실증시험 및 분석 -FC Tri-Gen 시스템 실증운전 성능 평가 -FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 실증운전 성능 평가
2028	o 수소타운 리빙랩 전략기술 개발 -CDM 사업화 및 테스트베드 향후 운영을 위한 전략 도출 -경제성 평가 및 리빙랩 전략 에 따른 수소도시 구축전략 o 스마트 에너지 및 수소 그리드 운영기술 개발 -경제성 평가에 따른 운영전략 리뉴얼 및 수소 타운 운영 경제성 확보 전략 -수소 타운의 에너지 믹스에 따른 탄소세 확보를 위한 사업 표준화 -수소타운내 에너지 그리드를 위한 운영 로드맵 도출 o 수소타운 메가 스테이션 및 공급 인프라 구축

연도	핵심목표 및 내용
	- 도시 특성에 따른 수소 사용 예측량 및 시설물 배치계획 등 그리드 구축을 위한 도시 계획 매뉴얼(안) - 실증시스템 운영 및 알고리즘 보완 o 메가스테이션 및 연료전지 활용기술 개발 - 연료전지 및 수소/전기 자동차 이용률에 따른 메가 스테이션 사용량 모델 도출 - 수소도시 확대를 위한 디지털 트윈 확대 모델 o 난방 및 열 그리드 기술 개발 - 4세대 및 5세대 열그리드 및 축열 설계, 운전기술 보완 최적화 - 4세대 및 5세대 열그리드 열수요 인터페이싱 설계, 운전기술 보완 최적화 - FC Tri-Gen 시스템 및 운전제어기술 최적화 - FC Tri-Gen 시스템과 지역냉난방 연계 운전제어기술 최적화

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발	가중치	0.5	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임
성과목표-2	수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증	가중치	0.3	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임
성과목표-3	에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	가중치	0.2	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2023	2024	2025			
성과목표-1	도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발	0.5	수소 타운 내 수소 기술 국산화율	%	목표	-	40	50	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증	0.3	수소 활용도	%	목표	-	10	10	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	0.2	CO2 저감율	%	목표	-	30	30	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소그리드 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2028

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발	가중치	0.3	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임
성과목표-2	수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증	가중치	0.4	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임
성과목표-3	에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	가중치	0.3	설정 근거	국내외 사례가 없어 설정 필요	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	2027	2028	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발	0.3	수소 타운 내 수소 기술 국산화율	%	목표	60	70	80	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증	0.4	수소 활용도	%	목표	20	20	20	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	0.3	CO2 저감율	%	목표	50	50	50	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소그리드 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적						
계											

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">도시 구축을 위한 특화 수소 도시 인프라 구축 플랫폼 개발 및 수소 활용 20% 이상의 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발</td><td>0.5</td><td>수소 타운 내 수소 기술 국산화율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증</td><td>0.3</td><td>수소 활용도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감</td><td>0.2</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="4">2단계(2026년도~2028년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발</td><td>0.3</td><td>수소 타운 내 수소 기술 국산화율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증</td><td>0.4</td><td>수소 활용도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감</td><td>0.3</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발 ▪ 수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증 ▪ 에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	1단계 사업 종료 시점
2029년도	2026년도~2028년도 (총 3년)/2단계	▪ 도시 구축을 위한 특화 수소 도시 플랫폼 개발 ▪ 수소활용도 높은 에너지 믹스 및 에너지 그리드 구축 및 실증 ▪ 에너지 그리드 운영을 통한 CO2 저감	사업 종료 시점

수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증
	세부사업	수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증
	내역사업	수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증

2 사업목적

사업목적	신도시·도시재생 1,000~2,000세대규모 구역별 수소기반 분산형 서브스테이션 개발 및 서브스테이션 설비 운영플랫폼 및 에너지 운영 기술개발

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

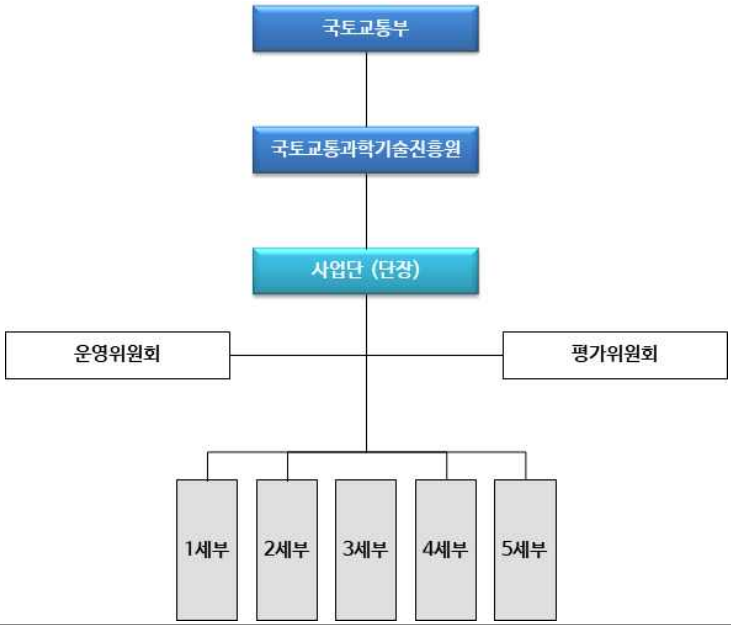
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2027	총사업비	579.0억원 (국고 405.3억원, 민자 173.7억원)
사업규모	4개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'27)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'28년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
고압가스안전법 근거로 수소생산자가 공급관리의 주체로서 수소공급에 따른 수요처 안전관리가 어려움	수소가스 공급, 배관소유 및 안전·유지관리 주체가 동일해야함을 연구개발에 명시하여 규제완화 추진
수소공급자(생산·이송) 안전관리 주체와 수소 사용처의 주체가 분리되어 있어 실증시 분리에 따른 사고대응 지연 가능성	안전관리자가 본 연구를 수행하는 동안은 연구책임기관이 직무를 수행할 수 있도록 조치가 필요

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 친환경 에너지 공급을 통하여 에너지 사용자의 탈 탄소화가 가능 ㅇ 제로에너지건물에서 진보된 제로에너지 시티 구축에 필요한 기초 데이터의 확보 ㅇ 다양한 신재생 에너지원과의 연계가 가능한 에너지 플랫폼의 확보
사회경제적 기대효과	ㅇ 신규시장 및 신사업 창출을 통한 일자리 창출 가능 ㅇ 과제를 통하여 확보된 에너지 공급모델의 표준화를 통한 해외 건설시장 진출 가능 ㅇ 연료전지 : 전력생산량(1MWh), 열생산량(950Mcal) 수소사용량(1.7ton/d) 장기운전 8600시간이상 ㅇ 예상매출액: 17억원/년 (전력 10.4억, 열 6.6억)

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	합계
수소 기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증	국고	3,989	10,010	11,970	10,011	4,551	40,531
	민자	1,710	4,290	5,130	4,290	1,950	17,370
	합계	5,699	14,300	17,100	14,301	6,501	57,901
복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발	국고	1,619	4,063	4,858	4,063	1,847	16,450
	민자	694	1,741	2,082	1,741	792	7,050
	합계	2,313	5,804	6,940	5,804	2,639	23,500
수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	국고	400	1,003	1,199	1,003	456	4,061
	민자	171	430	514	430	195	1,740
	합계	571	1,433	1,713	1,433	651	5,801
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	국고	358	899	1,075	899	409	3,640
	민자	154	385	461	385	175	1,560
	합계	512	1,284	1,536	1,284	584	5,200
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	국고	1,612	4,045	4,838	4,046	1,839	16,380
	민자	691	1,734	2,073	1,734	788	7,020
	합계	2,303	5,779	6,911	5,780	2,627	23,400

세부내용

내역사업	주요 내용
복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발	ㅇ 수소 직공급 기반 구역형 열병합발전 서브스테이션 개발 ㅇ 서브스테이션 건설 기준 수립 ㅇ 부생열 기반 냉열공급 시스템 선정 및 플랫폼 구축 ㅇ 구역내 주거·비주거 건물 온열·냉열 공급을 위한 최적 운영시스템 개발
수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발	ㅇ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 축열조 개발 ㅇ 온도 성층화 분배용 디퓨져 개발 ㅇ 단기(현열·상변화) 및 장기(열화학) 대응용 복합 열저장 장치 개발 ㅇ 서브스테이션 맞춤형 축열시스템 개발 및 실증
서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발	ㅇ 서브스테이션 최적 에너지 운영 알고리즘 개발 ㅇ 신재생에너지 전기(DC/AC)변환 효율 향상 방안 ㅇ 열/전기 수요 및 생산관리를 통한 부하매칭 기술 개발 ㅇ 전기 및 열수요 최적화 예측 및 운전스케쥴 산출 기술 개발 ㅇ 서브스테이션 내 통합 모니터링시스템 구축 및 운영·커미셔닝
서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증	ㅇ 서브스테이션의 온열/냉열 공급을 위한 건물 내 공급설비(배관, 밸브, 펌프, 계량기 등) 기준 수립 및 실증

내역사업	주요 내용
	ㅇ 건물 에너지 측정설비 및 데이터 취득/연산 시스템 개발 및 구축 ㅇ 최종 사용자용 BEMS(HEMS) 시스템 개발 및 실증

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	ㅇ 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 - 트라이젠 서브스테이션 개발 - 유형별 에너지사용량 분석 시뮬레이션 통한 최적 운영방안 수립 ㅇ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 - 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 건물 열공급 방안 도출 - 현열 및 화학열저장 축열 방식별 시스템용량 및 적용성 검토 ㅇ 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 - 실증대상 열/전기 수요량 분석 - 수소 직공급 열병합발전 건물부하 열/전기 추종방식에 따른 열/전기 에너지 생산량 및 부생 에너지 분석 ㅇ 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 - 서브스테이션 연계 건물 개발
2024	ㅇ 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 - 서브스테이션 실증 - 냉열 제조기술 선정(흡수식, 흡착식, 제습식 등) 및 실증방안 확립 ㅇ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 - 전기부하 20%추종에 따른 수소 직공급 열병합발전 열 생산량 분석 - 부생 열부하에 따른 축열조 및 시스템 용량 설계 - P2Heat 기술을 활용하는 축열조 및 시스템 용량 설계 - 복합 축열시스템 요소기술 설계 및 시작품 제작, 평가 ㅇ 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 - 복합건물군을 위한 온열·냉열·전기 소비 부하 패턴 분석 - 수소 직공급 열병합발전 온열·냉열·전기 생산량 분석 및 계절별 최적 운영모델 도출 ㅇ 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 - 서브스테이션 연계 건물 설계 및 건설 - 열사용시설 배관시스템, 유무선 스마트미터링 시스템 설계
2025	ㅇ 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 - 서브스테이션 실증, 설비 시운전 데이터 취득 및 분석 - 시운전 데이터를 활용한 설비 운영 플랫폼 개발 ㅇ 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 - 실증 대상지 맞춤형 열저장 및 공급 최적화 복합 축열시스템 개발 ㅇ 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 - 최적 부하(열 or 전기)공급 방안 및 모델 도출 - 시뮬레이션 기반 실증모델 운영 기술 평가 - 실증 열/전기 부하매칭 및 운영 알고리즘 개발 ㅇ 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 - 서브스테이션 연계 건물 건설 - 배관 및 열사용시설 구축, 유무선 스마트미터링 시스템 구축

연도	핵심목표 및 내용
	-사용자용 HEMS 시스템 개발
2026	o 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 -설비 운영 플랫폼 개발, 검증 -운영 플랫폼 안전기준 개발 및 검토 o 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 -실증시스템 구축 및 시운전 -시운전에 따른 핵심 요소기술 검증 및 보완 o 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 -실증시스템 구축 및 시운전 -실증 모니터링 결과에 따른 운영시스템 보완 o 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 -서브스테이션 연계 건물 건설 및 서브스테이션 연계 시운전 -미터링 데이터 분석 기반 열사용시설 시운전 및 안정화 -사용자용 HEMS 시스템 구축/ 시운전
2027	o 복합 건물 트라이젠을 위한 서브스테이션 개발 -설비 운영 플랫폼 검증 및 적용 -시스템 운전 데이터 확보 o 수소 직공급 열병합발전 부생열 저장 및 공급을 위한 최적 축열시스템 개발 -실증시스템 운영 및 실증 Data확보 -축열시스템 최적화 제작 기술 확보 o 서브스테이션 열/전기/수소 최적 공급을 위한 부하매칭 기술 및 운영기술 개발 -실증시스템 운영 및 실증 Data확보 -운영알고리즘 확보 -모니터링 및 운영 계속 o 서브스테이션 연계를 위한 건물 운영 실증 -사용자 HEMS 검증, 보완, 시스템 운전 데이터 확보

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	구역형 서브스테이션 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	가중치	0.2	설정 근거	사업의 파급효과 창출 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2023	2024	2025			
성과목표-1	구역형 서브스테이션 개발	0.5	구역 열·전기 에너지 수요 점유율	%	목표	-	-	10	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급	0.3	서브스테이션 가동률	%	목표	-	40	50	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	0.2	CO2 저감율	%	목표	-	50	60	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	구역형 서브스테이션 개발	가중치	0.4	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급	가중치	0.4	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	가중치	0.2	설정 근거	사업의 파급효과 창출 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	실적 및 목표치 2027	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	구역형 서브스테이션 개발	0.4	구역 열·전기 에너지 수요 점유율	%	목표	10	20	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급	0.4	서브스테이션 가동률	%	목표	80	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-3	트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	0.2	CO2 저감율	%	목표	70	80	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="3">메가스테이션 연계 수소 직공급 열병합발전 기반 구역형 서브스테이션 개발 및 건물용 트라이젠(전기·온열·냉열) 공급 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="3">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 구역형 서브스테이션 개발</td><td>0.5</td><td>구역 열·전기 에너지 수요 점유율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급</td><td>0.3</td><td>서브스테이션 가동률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감</td><td>0.2</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계(2026년도~2027년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 구역형 서브스테이션 개발</td><td>0.4</td><td>구역 열·전기 에너지 수요 점유율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급</td><td>0.4</td><td>서브스테이션 가동률</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감</td><td>0.2</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 구역형 서브스테이션 개발 ▪ 열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급 ▪ 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	1단계 사업 종료 시점
2028년도	2026년도~2027년도 (총 2년)/2단계	▪ 구역형 서브스테이션 개발 ▪ 열병합발전 배열 기반 냉·온열 공급 ▪ 트라이젠 서브스테이션 운영을 통한 CO2 저감	사업 종료 시점

수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증
	세부사업	수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증
	내역사업	수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증

2 사업목적

사업목적	도심지 등의 수요처 근접지역 내 설치되는 수소충전소 주요 설비를 지하화할 수 있는 설계기술, 핵심설비, 허브스테이션 운용 기술 개발을 통해 사고 위험성을 획기적으로 낮춰 주민 수용성을 확보

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵('19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안('19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획('19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵('19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략('19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략('19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안('19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵('19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책('19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획('19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안('20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략('21)

4 사업 현황

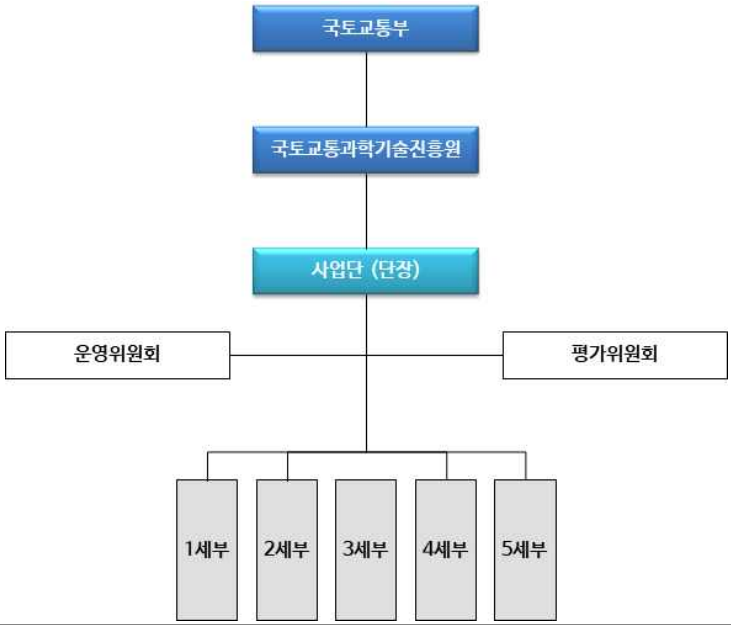
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2027	총사업비	335억원 (국고 290억원, 민자 45억원)
사업규모	3개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'27)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'28년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
규제샌드박스를 신청해 기준(안)을 개발 시 선행사례 부재	전문가 그룹을 구성해 기술 위원회의 빠른 결정에 도움이 될 수 있는 근거자료 준비
충전소를 지하에 건설하는 첫 번째 실증사업으로 관련 선행사업 자료 부재	개발되는 설계도서, 설비, 실증 관련 자체적인 과학적 근거 마련 및 전문가 그룹을 통한 검증

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 수소 수요와 경로를 고려한 지하입지, 지하시설의 공간, 방호벽 구축, 누출수소 신속배출, 폭발 사고시 지상영향 제로 안정성 확보 ㅇ 수소설비 핵심요소기술의 국산화 개발, 지하공간에 집적을 위한 모듈화, 컴팩트화, 소재측면 고내구성 개발
사회경제적 기대효과	ㅇ 한국판 뉴딜, 산업 활성화 정책에 따른 수소차 20만대, 충전 인프라 450대 설치를 위한 수소 유통기반 마련에 기여 ㅇ '25년까지 수소도시 3개 추가 조성계획에 따라, 국산 공급 플랫폼 도입을 통한 실용화 실적 확보 ㅇ 수출 규제 및 기술 이전 회피에 대응한 국내 대규모 수소 공급 플랫폼(그리드&노드) 기술 확보에 기여

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	합계
수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증	국비	3,000	4,000	5,000	10,000	7,000	29,000
	민자	500	500	900	1,700	900	4,500
	합계	3,500	4,500	5,900	11,700	7,900	33,500
지하 수소스테이션 설계 기술 개발	국비	1,600	2,400	2,400	4,000	3,000	13,400
	민자	200	200	400	800	400	2,000
	소계	1,800	2,600	2,800	4,800	3,400	15,400
지하 수소스테이션 핵심설비기술	국비	1,000	1,200	2,000	5,000	3,000	12,200
	민자	200	200	400	800	400	2,000
	소계	1,200	1,400	2,400	5,800	3,400	14,200
지하 수소 허브-스테이션 설계 기술	국비	400	400	600	1,000	1,000	3,400
	민자	100	100	100	100	100	500
	소계	500	500	700	1,100	1,100	3,900

세부내용

내역사업	주요 내용
지하 수소스테이션 설계 기술 개발	ㅇ 지하·지상 안전을 위한 공간설계, 방호를 위한 구조재료, 안전성 기술 ㅇ 지상 공간에 배치되는 시설 및 기능설비(분배, 인입 등) 최소화, 수용안전성, 지하공간 연계 통합 설계 기술 ㅇ 지하 및 지상 시설의 규모, 설비배치, 주변영향, 유틸리티 연계, 환경유해성, 사고 위험도 등을 고려한 성능설계·시공품질·유지관리(안전) 등에 관한 시설기준과 표준시방서, 인허가 가이드라인 등 ㅇ 외부적인 영향(재해, 고장 등)에 견디며, 기능 중단 시 원상으로 복구하는 수용력(물리적, 사회적 시스템 간에 강건성, 예비성, 수용성, 신속성 등) 지표를 고려한 contingency 등 구역 내 종합 resilience
지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	ㅇ 지하공간에 수용성이 높은 수소스테이션 주요설비의 핵심요소 기술 ㅇ 주민 수용성을 고려시, 스테이션에서 고압기체 운용보다는, 이와 동등 이상의 단위용량 및 기능을 가지고 위험도가 낮은 액체 또는 흡착/합금 수소저장 기술 등 ㅇ 지하공간, 설비배치, 설비구성의 특성을 고려한 고신뢰 누출수소 센싱 및 공간 모니터링, 용량 가변형 신속배출 기술 ㅇ 스테이션 계통상 구동부와 boil-off 가스를 최소화, 방폭, 역화방지, 내구수명시험DB, 신뢰성/위험성/안전성 평가기법 등 계통설계의 정량적 건전성 평가기술

내역사업	주요 내용
마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발	ㅇ 수요처 에너지 시나리오에 따라 수소 운송경로, 지하 공급거점 및 수요처 근접망 최적화, 지하매설 수소관망, 전력망 등을 통합 연계하는 지구단위의 공급체계 및 운용기술 ㅇ 도로망, 물류기지 등 SOC 시설을 연계한 수소 수요처 근접 지하 마이크로 공급체계, 에너지 수요 및 공급을 고려한 에너지변환체계(가스, 액체⇒가스 전환, 가스 ⇒전력 변환 등) 등 최적화 분석 기술 ㅇ 구역 내 신재생에너지, 수소배관망, 매크로-마이크로 전력망 연계, 다중 수소 수요-공급 매칭 기능 융복합 수소 허브 스테이션(hub station) 설계 기술 ㅇ 다목적 에너지 기능을 결합한 소규모(micro) 수소 기반 허브 스테이션 표준모델 및 관제시스템, 사업화 모델 구축 등

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	ㅇ 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 - 수요근접 수소스테이션의 지하공간계획 및 방호구조 개념설계 개발 - 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 ㅇ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 - 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 - 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 ㅇ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 - 수요처 근접 수소공급체계 검토
2024	ㅇ 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 - 수요근접 수소스테이션의 지하공간계획 및 방호구조 개념설계 개발 - 지하 수소스테이션 방호구조시스템 및 안전성 평가 기술 개발 ㅇ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 - 지하 수소스테이션에 적합한 주요설비의 핵심기능설계 개발 - 지하 수소스테이션의 모듈화, 컴팩트화 설계요소 기술 개발 ㅇ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 - 지하 수소 허브-스테이션 개념설계
2025	ㅇ 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 - 지하공간 규모별 수소스테이션 설비집적 및 내충격 복합재료 개발 - 지하 수소스테이션의 능동적 방호구조 및 시설·안전 기준(안) 개발 ㅇ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 - 지하 수소스테이션 주요설비의 모듈화, 독자설계·제작 기술 개발 - 지하 수소스테이션 주요설비의 사용 적합성 확보기술 개발 ㅇ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 - 다기능 지하 수소 허브-스테이션의 핵심기능 configuration
2026	ㅇ 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 - 지하 수소 스테이션의 국가건설기준 제·개정, 테스트베드 설계 - 지하 수소 스테이션 테스트베드 실시설계 및 시공 개발 ㅇ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 - 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 설계 - 지하 수소 스테이션 테스트베드용 핵심설비 제작 및 설치 ㅇ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 - 지하 수소 허브 스테이션 최적화 설계 시나리오 개발

연도	핵심목표 및 내용
2027	○ 지하 수소스테이션 설계 기술 개발 - 지하 수소 허브-스테이션 장기 운전 및 평가 - 지하 수소 허브-스테이션 상용화 및 종합적인 Resilience 개발 ○ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 - 지하 수소스테이션 핵심설비 장기 운전 및 평가 - 지하 수소 스테이션 핵심설비 상용화 및 사업화 추진 ○ 마이크로 수소 허브-스테이션 및 운용 기술 개발 - 지하 마이크로 수소 허브 스테이션 통합설계 개발

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	지하 수소스테이션 설계 기술 확보	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2023	2024	2025	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	지하 수소스테이션 설계 기술 확보	0.5	수소 스테이션 지하수용공간 표준모델 공간확보율	%	목표	-	10	20	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	0.3	지하 수소스테이션 저장설비 저장용량	kg/d	목표	-	1,000	2,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
			지하 수소스테이션 액체펌프 토출량	kg/hr	목표		100	200	산출		사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	0.2	다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘 신뢰성	%	목표	-	80	87	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	지하 수소스테이션 설계 기술 확보	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	실적 및 목표치 2027	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	지하 수소스테이션 설계 기술 확보	0.2	수소 스테이션 지하수용공간 표준모델 공간확보율	%	목표	20	30	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발	0.3	지하 수소스테이션 저장설비 저장용량	kg/d	목표	2,000	3,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
			지하 수소스테이션 액체펌프 토출량	kg/hr	목표	200	300	산출		사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-3	마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	0.5	다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘 신뢰성	%	목표	87	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="3">스마트 수소시티 내 설치가 가능한 용량 3 ton/day급 지하 수소 충전소 설계기술 개발, 기준 제정, 실증 및 hub-station 설계(안) 제시</td></tr>
<tr><td rowspan="9">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="3">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 지하 수소스테이션 설계 기술 확보</td><td>0.5</td><td>수소 스테이션 지하수용공간 표준모델 공간확보율</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발</td><td rowspan="2">0.3</td><td>지하 수소스테이션 저장설비 저장용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>지하 수소스테이션 액체펌프 토출량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발</td><td>0.2</td><td>다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘 신뢰성</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계(2026년도~2027년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 지하 수소스테이션 설계 기술 확보</td><td>0.2</td><td>수소 스테이션 지하수용공간 표준모델 공간확보율</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발</td><td rowspan="2">0.3</td><td>지하 수소스테이션 저장설비 저장용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>지하 수소스테이션 액체펌프 토출량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발</td><td>0.5</td><td>다기능 수소 허브-스테이션 운용 알고리즘 신뢰성</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 지하 수소스테이션 설계 기술 확보 ▪ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 ▪ 마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	1단계 사업 종료 시점
2028년도	2026년도~2027년도 (총 3년)/2단계	▪ 지하 수소스테이션 설계 기술 확보 ▪ 지하 수소스테이션 핵심설비 기술 개발 ▪ 마이크로 수소 허브스테이션 운용 기술 개발	사업 종료 시점

Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영
	세부사업	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영
	내역사업	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영

2 사업목적

사업목적	도심지내 경제성, 안정성을 확보한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 건설

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

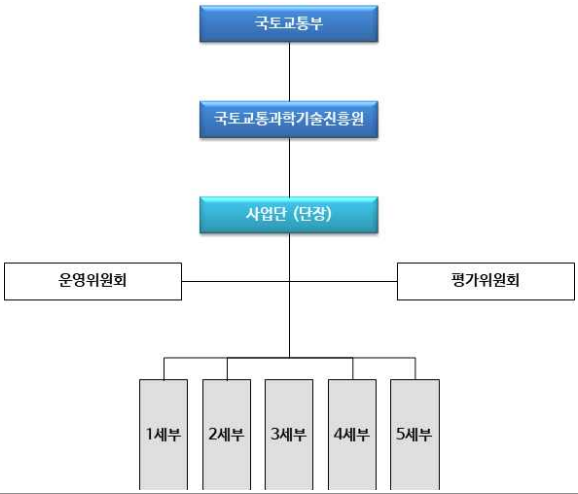
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2027~2031	총사업비	625억원 (국고 500억원, 민자 125억원)
사업규모	4개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('27-'29)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'27.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'30년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('30-'31)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'32년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
국내 액화수소 연관 법/제도의 부재	사업 추진 시 정부의 안전기준 제도화 현황 파악 및 필요시 규제 샌드박스 신청

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	○ 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인 ○ 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보
사회경제적 기대효과	○ 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화 ○ 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축 ○ 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용 창출

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영	국고	5,000	10,000	15,000	10,000	5,000	45,000
	민자	1,250	2,500	3,750	2,500	1,250	11,250
	합계	6,250	12,500	18,750	12,500	6,250	56,250
수소철도용 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증	국고	1,000	2,000	2,000	2,000	1,000	8,000
	민자	250	500	500	500	250	2,000
	합계	1,250	2,500	2,500	2,500	1,250	10,000
수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증	국고	1,000	2,000	2,000	2,000	1,000	8,000
	민자	250	500	500	500	250	2,000
	합계	1,250	2,500	2,500	2,500	1,250	10,000
수소 Inter-City 제작 및 실증	국고	2,000	5,000	10,000	5,000	2,000	24,000
	민자	500	1,250	2,500	1,250	500	6,000
	합계	2,500	6,250	12,500	6,250	2,500	30,000
수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가	국고	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000
	민자	250	250	250	250	250	1,250
	합계	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	6,250

세부내용

내역사업	주요 내용
수소철도용 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증	○ 수소저장/이송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 수소 Inter-City 운영시나리오별 수소저장/이송 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소저장/이송 인프라 구축 및 실증 ○ 수소저장/이송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소저장/이송 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 수소저장/이송 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증	○ 고속충전 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 ○ 수소 Inter-City 운영시나리오별 고속충전 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 ○ 수소철도용 고속충전 프로토콜 개발 ○ 고속충전 인프라 구축 및 실증 ○ 고속충전 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 고속충전 인프라 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량) ○ 실증을 통한 고속충전 인프라 운영 및 유지보수 기술개발
수소 Inter-City 제작 및 실증	○ 수소 Inter-City 실증차량 설계/제작 ○ 수소 Inter-City 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 ○ 수소 Inter-City 기술검증 및 성능평가 ○ 실증 운영데이터 분석을 통한 성능개선(개량)

내역사업	주요 내용
수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가	ㅇ 수소철도 및 수소인프라 운영을 위한 방안 마련 ㅇ 유지보수 요소기술 및 관리방안 도출 ㅇ 철도 분야 적용 수소시스템 RAMS 평가

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2027	ㅇ 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - 수소저장/운송 인프라 성능 및 안전 요구사항 분석 - 국가철도망 기반 도시간 철도 수소 운송망 체계화 확립 - 수소 공급처와 수요처의 수소저장 방식에 따른 수소 운송 체계 분석 ㅇ 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증 - 고속 충전인프라 사양 선정 및 시스템 엔지니어링 - 철도차량용 고속 충전인프라 설계 - 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 설계 ㅇ 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증 - 실증용 Inter-City 수소철도차량 설계 - 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 설계 - 철도차량용 연료전지 운전장치(BOP) 시스템 고효율 설계 - 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 에너지 운영기술 ㅇ 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가 - RAMS 국제 표준 적용 평가 스킴(절차서, 지침서 등) 개발 - 대용량 고속 수소 충전 프로토콜 안전성 평가 - 철도적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발
2028	ㅇ 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - Inter-City 수소철도차량 운영시나리오별 수소저장/운송 인프라 구축 방안(사양 포함) 도출 - 수소저장/운송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 (1단계) ㅇ 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증 - 철도차량용 고속 충전인프라 구축 - 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 설계 검토 ㅇ 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증 - 실증용 Inter-City 수소철도차량 구성품 제작 및 성능검증(조합시험 포함) - 철도차량용 연료전지 운전장치(BOP) 및 냉난방환기장치(HVAC) 통합 설계 - 조합시험 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 - 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 설계 검토 ㅇ 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가 - 철도적용 수소시스템 안전 인증 평가 기준 개발 - 하드웨어 및 소프트웨어 RAMS 요구사항 표준화(1단계)
2029	ㅇ 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - 수소저장/운송 인프라 형식승인을 위한 기술기준(안) 개발 (2단계) - 수소저장/운송 인프라 기술검증 및 성능평가 (1단계) ㅇ 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증

연도	핵심목표 및 내용
	- 철도차량용 고속 충전인프라 성능검증 - 철도안전법 형식승인을 위한 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 개발 o 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증 - 실증용 Inter-City 수소철도차량 완성차 제작 및 성능검증 - 운행패턴에 따른 수소연료전지 운영 관련 빅데이터 분석 기술개발 - 에너지 운영기술 완성차 적용 및 성능검증 - 철도안전법 형식승인을 위한 Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 개발 o 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가 - 철도적용 수소시스템 안전 인증 체계 구축 - 하드웨어 및 소프트웨어 RAMS 요구사항 표준화(2단계) - 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화(1단계)
2030	o 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - 수소저장/운송 인프라 기술검증 및 성능평가 (2단계) - 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 실증 운영데이터 분석을 통한 성능 개선(개량) - 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 개발(1단계) o 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증 - 철도차량용 고속 충전인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) - 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(1단계) - 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 해설서 개발 o 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증 - 수소연료전지 운전장치(BOP) 및 냉난방환기장치(HVAC) 통합 운영/관리 기술 - 실증 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 - 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(1단계) - Inter-City 수소철도차량 실증(1단계-기술검증/성능평가) - Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 해설서 개발 o 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가 - 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화(2단계) - RAMS 국제 표준 인증 지원을 위한 수명주기 단계별 산출 문서 표준화
2031	o 수소철도용 수소저장/운송 인프라 구축 및 실증 - 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 기술 개발 - 철도안전법에 부합한 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 개발(2단계) - 수소저장/운송 인프라 유지보수 기술기준(안) 고시(지원) o 수소철도용 고속충전 인프라 구축 및 실증 - 철도차량용 고속 충전인프라 실증(1단계-기술검증/성능평가) - 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(2단계) - 고속 충전인프라 철도시설 기술기준(안) 고시(지원) o 수소 Inter-City 설계/제작 및 실증 - 열차 운행 및 에너지 소비 패턴 기반 연료전지 고효율 운영 AI 알고리즘 개발 - 운행 프로파일 기반 철도차량 에너지 운영기술 적용 및 성능검증 - 운영데이터 분석을 통한 성능 및 유지보수 개선사항 도출(2단계) - Inter-City 수소철도차량 실증(1단계-기술검증/성능평가) - Inter-City 수소철도차량 기술기준(안) 고시(지원) o 수소 Inter-City 운영 및 RAMS 평가 - Inter-City 수소철도차량 및 고속 수소 충전 인프라 RAMS 요구사항 표준화

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2027~2029

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치 2027	2028	2029	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발	0.5	수소 충전속도	kg/15분	목표	-	20	20	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발	0.3	Inter-City 속도	km/h	목표	-	100	150	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	0.2	CO2 저감율	%	목표	-	50	60	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소철도차량 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2030~2031

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발	가중치	0.4	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2030	실적 및 목표치 2031	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발	0.3	수소 충전속도	kg/15분	목표	30	35	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발	0.3	Inter-City 속도	km/h	목표	170	180	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-3	수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	0.4	CO2 저감율	%	목표	65	72	결과	질	수소경제활성화 로드맵 및 탄소중립 등 정부 정책목표 달성을 위해 수소철도차량 운영을 통한 온실가스 저감 효과 측정 필요
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="3">수소철도용 수소저장/운송/고속충전 인프라 구축 및 수소 Inter-City 실증을 통한 운영 및 RAMS 평가 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="3">1단계(2027년도~2029년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발</td><td>0.5</td><td>수소 충전속도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발</td><td>0.3</td><td>Inter-City 속도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감</td><td>0.2</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계(2030년도~2031년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발</td><td>0.3</td><td>수소 충전속도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발</td><td>0.3</td><td>Inter-City 속도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감</td><td>0.4</td><td>CO2 저감율</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2030년도	2029년도~2029년도 (총 3년)/1단계	▪ 수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발 ▪ 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발 ▪ 수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	1단계 사업 종료 시점
2032년도	2030년도~2031년도 (총 2년)/2단계	▪ 수소철도용 고속 수소충전 인프라 개발 ▪ 동력분산식 듀얼모드 수소 Inter-City 개발 ▪ 수소철도차량 이용을 통한 CO2 저감	사업 종료 시점

공항 내 수소 모빌리티 실증

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	공항 내 수소 모빌리티 실증
	세부사업	공항 내 수소 모빌리티 실증
	내역사업	공항 내 수소 모빌리티 실증

2 사업목적

사업목적	해외에서 적극 도입하고 있는 PEM 수전해 시스템의 국내기술 개발 및 해외 기업과 기술 격차 감소 및 생산된 근린 수소는 이동식 수소충전소를 이용하여 공항 내 수소 모빌리티 실증에 사용

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵('19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안('19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획('19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵('19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략('19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략('19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안('19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵('19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책('19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획('19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안('20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략('21)

4 사업 현황

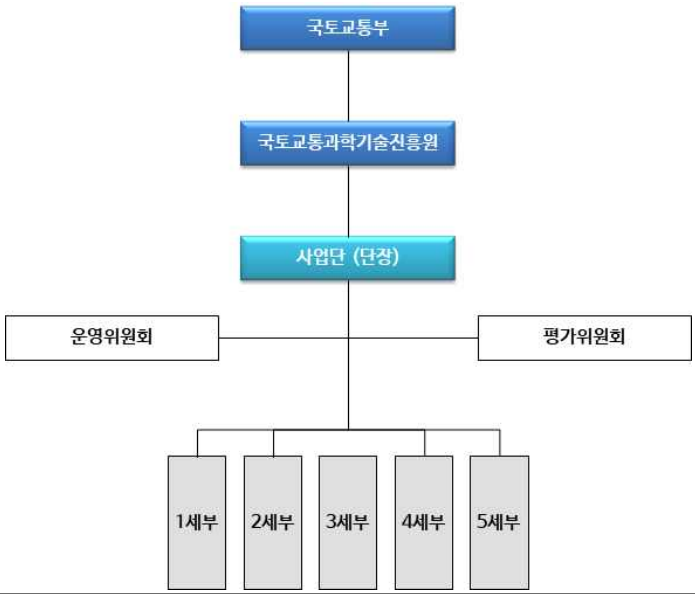
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2026	총사업비	398억원 (국고 300억원, 민자 98억원)
사업규모	4개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'26)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'27년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
공항 인근 그린 수소 생산 설비 구축 규제	미래교통, 바이오, 에너지·자원, ICT 4대 신기술 분야에 실증을 위한 규제 자유 특구 지정으로 규제 특례 요청
부지확보 문제	공항 인근에서 인천공항공사에서 보유한 유휴 부지 확보 등

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확보 ㅇ 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보
사회경제적 기대효과	ㅇ 공항 내 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 에너지 시스템 구축을 통한 온실가스 감축 효과 ㅇ 수소의 생산, 저장, 활용 기술의 공항 내 모빌리티 인프라에 적용하여 관련 소재, 부품, 장비 산업의 국내 기업 경쟁력 강화 ㅇ 수소차나 수소버스 이외에 수소 모빌리티 분야의 새로운 시장 창출을 위한 지원 및 고용효과 기대

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	합계
공항 내 수소 모빌리티 실증	국고	1,800	13,000	13,200	2,000	30,000
	민자	580	4,290	4,320	640	9,830
	합계	2,380	17,290	17,520	2,640	39,830
1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발	국고	500	4,500	4,500	500	10,000
	민자	160	1,500	1,500	160	3,320
	합계	660	6,000	6,000	660	13,320
100kg급 이동식 수소충전소 구축	국고	500	2,000	2,000	500	5,000
	민자	160	660	660	160	1,640
	합계	660	2,660	2,660	660	6,640
연료전지 지게차 실증	국고	300	2,500	1,700	500	5,000
	민자	100	830	560	160	1,650
	합계	400	3,330	2,260	660	6,650
이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	국고	500	4,000	5,000	500	10,000
	민자	160	1,300	1,600	160	3,220
	합계	660	5,300	6,600	660	13,220

세부내용

내역사업	주요 내용
1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발	ㅇ 안전성 확보를 위한 센서를 활용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발 ㅇ 수전해 온도 특성을 이용한 전력 시스템 운영 최적화 기술 개발 ㅇ 센서와 모니터링 프로그램을 통한 데이터 확보, 유지보수 주기 확보 ㅇ 재생에너지 발전량 변동에 따른 수전해 내구성 관리를 위한 사용시간 관리 운전
100kg급 이동식 수소충전소 구축	ㅇ 재생에너지 발전량에 필요한 수전해 기술 개발 및 저장 용기 개발 ㅇ 저장된 수소를 이동식 수소충전소로 이송 기술 개발
연료전지 지게차 실증	ㅇ 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발, 인허가 및 활용 ㅇ 공항공사 물류 협력 업체 4곳에 연료전지 지게차 적용 ㅇ 공항공사 업무용 차량 및 버스 적용 ㅇ 항공사 물류 창고에 연료전지 지게차 확대 적용 ㅇ 공항-도심간 리무진 버스에 수소 버스 확대 적용
이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	ㅇ 90kVA급 수소 연료전지체계 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 ㅇ 이동식 수소 충전소와 연계한 지상전원 공급장치 운영 연구

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	ㅇ 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 - 고분자 전해질 수전해 병렬 시스템 개발 - 통합 운영 시스템 구성 ㅇ 100kg급 이동식 수소충전소 구축 - 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 - 압축기 없는 이동식 충전소로 개발 ㅇ 연료전지 지게차 실증 - 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발 ㅇ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 - 실증용 이동형 항공기 지상전원 공급장치 설계
2024	ㅇ 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 - 재생에너지 발전량에 따른 전력 변환 알고리즘 기술 개발 - 수전해 온도 특성을 이용한 전력 시스템 운영 최적화 기술 개발 - 재생에너지 발전량 변동에 따른 수전해 내구성 관리를 위한 사용시간 관리 운전(AI 기반) - 통합 운영시스템 구성 기술 ㅇ 100kg급 이동식 수소충전소 구축 - 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 - 압축기 없는 이동식 충전소로 개발 ㅇ 연료전지 지게차 실증 - 저장용기 4.2kg급 2.5톤 연료전지 지게차 개발 및 인허가 ㅇ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 - 이동식 항공기 지상전원 공급장치 구성품 제작 및 성능검증
2025	ㅇ 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 - 안전성 확보를 위한 센서를 이용한 전력변환기 운전 알고리즘 기술 개발 - 1MW 수전해 시스템 태양광 연동 시험 및 실증 - 통합 운영시스템 기술 개발 ㅇ 100kg급 이동식 수소충전소 구축 - 2019년 산업부 과제 “이동식 수소충전소 개발 실증시설 구축 사업” 활용 - 이동식 수소 충전소 활용 ㅇ 연료전지 지게차 실증 - 연료전지 지게차 활용 ㅇ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 - 이동형 항공기 지상전원 공급장치 완성차 제작 및 성능검증
2026	ㅇ 1MW 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 및 통합운영 시스템 개발 - 1MW 수전해 시스템 태양광 연동 시험 및 실증 - 통합 운영시스템 기술 개발 ㅇ 100kg급 이동식 수소충전소 구축 - 이동식 수소 충전소 활용 ㅇ 연료전지 지게차 실증 - 연료전지 지게차 활용 ㅇ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발 - 이동식 항공기 지상전원 공급장치 실증(1단계 - 기술검증/성능평가)

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2026

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	이동식 수소충전소 실증	가중치	0.1	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	연료전지 지게차 실증	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-4	이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2023	2024	2025	2026	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템	0.3	PEM 수전해 장치 시스템 효율	% (LHV)	목표	-	-	70	70	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
성과목표-2	이동식 수소충전소 실증	0.1	충전압력	Mpa	목표	-		70	70	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
			충전속도	kg/min	목표			3.6	3.6	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
성과목표-3	연료전지 지게차 실증	0.3	주행소음	dB	목표			68	68	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
성과목표-4	이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	0.3	전원공급 시간	hr	목표	-	2	4	4	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
계												

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">태양광 연계 그린수소를 활용한 공항 내 교통 및 물류 인프라 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="6">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계(2023년도~2026년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템</td><td>0.3</td><td>PEM 수전해 장치 시스템 효율</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 이동식 수소충전소 실증</td><td rowspan="2">0.1</td><td>충전압력</td><td>질</td></tr>
<tr><td>충전속도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 연료전지 지게차 실증</td><td>0.3</td><td>주행소음</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발</td><td>0.3</td><td>전원공급 시간</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027년도	2023년도~2026년도 (총 4년)/1단계	▪ 태양광 연계 고분자 전해질 수전해 시스템 ▪ 이동식 수소충전소 실증 ▪ 연료전지 지게차 실증 ▪ 이동식 항공기 지상전원 공급장치 개발	사업 종료 시점

고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축
	세부사업	고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축
	내역사업	고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축

2 사업목적

사업목적	고속도로 유휴부지를 이용한 수소 생산 플랜트 및 충전소 공급 네트워크 구축

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

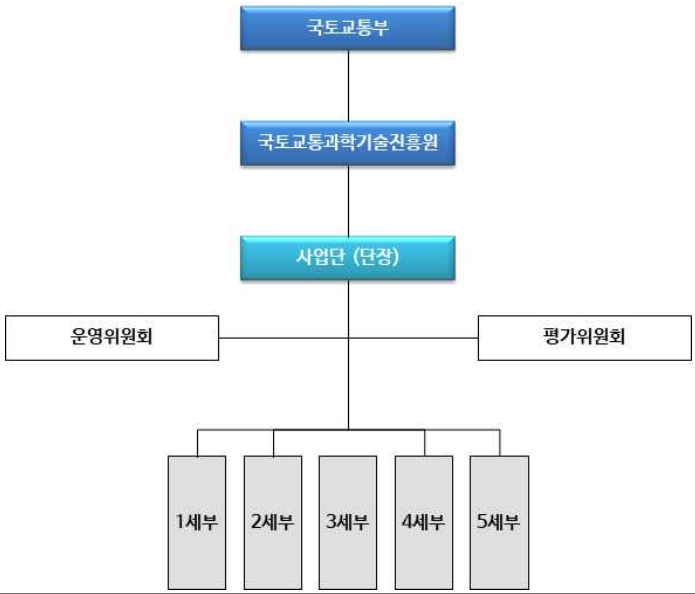
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2025~2028	총사업비	328억원 (국고 230억원, 민자 98억원)
사업규모	3개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('25-'28)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'25.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'29년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
블루수소 생산 설비를 구축할 입지의 확보가 어려움	지역 내 공사(예를 들면 대전도시공사)를 활용하여 최적 입지 도출이 필요

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인 ㅇ 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보
사회경제적 기대효과	ㅇ 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화 ㅇ 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축 ㅇ 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용효과 기대

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'25년	'26년	'27년	'28년	합계
고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축	국비	5,000	6,500	7,500	4,000	23,000
	민자	2,100	2,800	3,200	1,700	9,800
	합계	7,100	9,300	10,700	5,700	32,800
블루 수소 생산 플랜트 구축	국비	5,000	2,300	1,100		8,400
	민자	2,100	1,200	500		3,800
	소계	7,100	3,500	1,600		12,200
수소 공급 네트워크 구축	국비		4,200	5,900	3,300	13,400
	민자		1,600	2,500	1,400	5,500
	소계		5,800	8,400	4,700	18,900
수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영	국비			500	700	1,200
	민자			200	300	500
	소계			700	1,000	1,700

세부내용

내역사업	주요 내용
블루 수소 생산 플랜트 구축	ㅇ 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축 (1,000 kg/h급 이산화탄소 회수 설비 포함) ㅇ 수소 저장 및 출하 설비 구축 ㅇ 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축
수소 공급 네트워크 구축	ㅇ 수소 파이프라인 5km 구축(버스충전소용) ㅇ 300kg 및 1톤급 수소 튜브트레일러 운영 ㅇ 수소 파이프라인 구축 및 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축
수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영	ㅇ 수소생산 플랜트 운영 및 대상 도시의 수소공급 네트워크 시범 운영

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2025	ㅇ 블루 수소 생산 플랜트 구축 - 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 설계 완료 - 향후 개질기 1기 추가 가능하게 부지 구축 - 1 ton/h급 이산화탄소 포집 설비 설계 완료(향후 2 ton/h급으로 확장 가능하게 구축)

연도	핵심목표 및 내용
2026	ㅇ 블루 수소 생산 플랜트 구축 - 1,300 m^3/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축완료 및 시운전 - 1 ton/h급 이산화탄소 포집 설비 구축완료 및 시운전 - 수소 저장 및 출하 설비 구축 - 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축 ㅇ 수소 공급 네트워크 구축 - 수소 파이프라인 2 km 구축(버스충전소용) - 수소 파이프라인 구축 및 관리에 대한 안전 매뉴얼 구축
2027	ㅇ 블루 수소 생산 플랜트 구축 - 1,300 Nm^3/h급 천연가스 수증기 개질 플랜트 구축완료 및 시운전 - 1 ton/h급 이산화탄소 포집 설비 구축완료 및 시운전 - 수소 저장 및 출하 설비 구축 - 이산화탄소 저장 및 출하 설비 구축 ㅇ 수소 공급 네트워크 구축 - 200기압, 450기압 수소 튜브트레일러 차량 5대 확보 - 튜브 트레일러 10기 확보 - 수소 파이프라인 3 km 추가 구축 ㅇ 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 - 수소생산 플랜트에 운영센터를 구축 - 수소생산 및 공급 네트워크 운영 최적화 - 수소생산 및 공급 네트워크를 시범운영하여 실증보고서 작성
2028	ㅇ 수소 공급 네트워크 구축 - 200기압, 450기압 수소 튜브트레일러 차량 5대 확보 - 튜브 트레일러 10기 확보 - 수소 파이프라인 3 km 추가 구축 ㅇ 수소생산설비/공급 네트워크 시범 운영 - 수소생산 플랜트에 운영센터를 구축 - 수소생산 및 공급 네트워크 운영 최적화 - 수소생산 및 공급 네트워크를 시범운영하여 실증보고서 작성

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2025~2028

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	블루 수소 생산 플랜트 구축	가중치	0.7	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	수소생산설비/공급 네트워크 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치				지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2025	2026	2027	2028			
성과목표-1	블루 수소 생산 플랜트 구축	0.7	천연가스 수증기 개질 공정 용량	Nm^3/h	목표	-	-	1,300		산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
			수소 저장설비 용량	$-m^3$ (450기압)	목표			36		산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
			수소 출하설비 용량	Nm^3/h	목표			1,500		산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
성과목표-2	수소생산설비/공급 네트워크 개발	0.3	수소공급 단가	원/kg	목표			5,000	5,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적							
계												

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">블루수소 생산 시설 실증 및 운용 데이터 확보 및 저가 친환경성을 동시에 달성하는 개질수소 공정 및 이산화탄소 공정 연계 시스템 최적 설계/실증</td></tr>
<tr><td rowspan="5">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계(2025년도~2028년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td rowspan="3">▪ 블루 수소 생산 플랜트 구축</td><td rowspan="3">0.7</td><td>천연가스 수증기 개질 공정 용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>수소 저장설비 용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>수소 출하설비 용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소생산설비/공급 네트워크 개발</td><td>0.3</td><td>수소공급 단가</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2029년도	2025년도~2028년도 (총 4년)/1단계	▪ 블루 수소 생산 플랜트 구축 ▪ 수소생산설비/공급 네트워크 개발	사업 종료 시점

액화수소충전소 개발 및 실증

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	액화수소충전소 개발 및 실증
	세부사업	액화수소충전소 개발 및 실증
	내역사업	액화수소충전소 개발 및 실증

2 사업목적

사업목적	도심지내 경제성, 안정성을 확보한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 건설

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

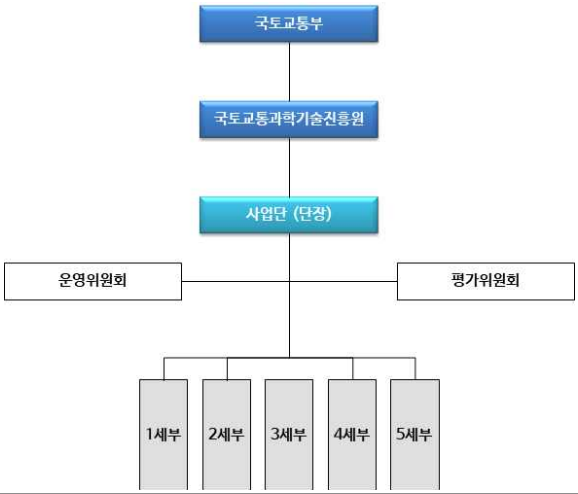
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2027	총사업비	336억원 (국고 228억원, 민자 108억원)
사업규모	2개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'27)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'28년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
국내 액화수소 연관 법/제도의 부재	사업 추진 시 정부의 안전기준 제도화 현황 파악 및 필요시 규제 샌드박스 신청

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	○ 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인 ○ 향후 수송 분야에서의 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보
사회경제적 기대효과	○ 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화 ○ 수소차나 수소버스의 보급확대를 위한 인프라 구축 ○ 수소 모빌리티 분야의 시장 확대를 위한 지원 및 고용 창출

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	합계
액화수소충전소 개발 및 실증	국비	3,100	6,200	7,800	5,200	500	22,800
	민자	1,500	3,000	3,600	2,400	300	10,800
	합계	4,600	9,200	11,400	7,600	800	33,600
액화수소 충전소 핵심 설비 개발	국비	2,450	4,900	5,880	1,680	280	15,190
	민자	1,050	2,100	2,520	720	120	6,510
	합계	3,500	7,000	8,400	2,400	400	21,700
액화수소 충전소 설계 및 도시 실증	국비	650	1,300	1,920	3,520	220	7,610
	민자	450	900	1,080	1,680	180	4,290
	합계	1,100	2,200	3,000	5,200	400	11,900

세부내용

내역사업	주요 내용
액화수소 충전소 핵심 설비 개발	○ 액화수소 운송 탱크로리 개발 ○ 액화수소 운송 탱크로리 개발 ○ 액화수소 극저온 펌프 개발(기존 산업부 진행과제 연계) ○ 액화수소 고압 기화기 개발
액화수소 충전소 설계 및 도시 실증	○ 액화수소 기반 수소충전소 설계기술 개발 ○ 액화수소 기반 수소충전소 건설 ○ 액화수소 기반 수소충전소 운영 실증

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	○ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 - 1000kg/day 액화수소 충전소 개념설계 연계 핵심설비 사양 선정 - 기존 해외 기성품 분석 및 운전데이터 수집/분석 - 1000kg/day급 핵심설비 기본설계 ○ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 - 액체수소 충전소 개념/기본 설계 - 액체수소 충전소 안전 기반 설계
2024	○ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 - 1000kg/day급 핵심설비 상세설계 - 1000kg/day급 핵심설비 부분품 제작

연도	핵심목표 및 내용
	ㅇ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 - 액체수소 충전소 기본 설계 / 상세 설계 - 액체수소 충전소 안전 기본 설계
2025	ㅇ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 - 1000kg/day급 핵심설비 시제품 제작 및 성능평가 ㅇ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 - 액체수소 충전소 건설을 위한 상세 설계 / 구매조달
2026	ㅇ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 - 1000kg/day급 액화수소 충전소 공급용 시제품 인증 - 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 공급 및 건설 참여 ㅇ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 - 액체수소 충전소 설비 구매/조달 - 1,000kg/day급 액체수소 충전소 건설
2027	ㅇ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 - 1000kg/day급 액화수소 충전소 설비 운영을 통한 핵심설비 Track Record 확보 ㅇ 액화수소 충전소 설계 및 도시 실증 - 1,000kg/day급 액체수소 충전소 실증 운영

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	액화수소 충전소 핵심 설비 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	액화수소 충전소 실증	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2023	2024	2025			
성과목표-1	액화수소 충전소 핵심 설비 개발	0.5	액화수소 운송 탱크로리 운송용량	kg	목표	-		3,500	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
			액화수소 고압 기화기 내압	MPa	목표			90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	액화수소 충전소 실증	0.5	액화수소 저장용량	kg	목표	-		3,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
			액화수소 스테이션 용량	kg/day	목표			1,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	액화수소 충전소 핵심 설비 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	액화수소 충전소 실증	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	실적 및 목표치 2027	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	액화수소 충전소 핵심 설비 개발	0.5	액화수소 운송 탱크로리 운송용량	kg	목표	3,500	3,500	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
			액화수소 고압 기화기 내압	MPa	목표	90	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	액화수소 충전소 실증	0.5	액화수소 저장용량	kg	목표	3,000	3,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
			액화수소 스테이션 용량	kg/day	목표	1,000	1,000	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">주민 수용성, 경제성을 고려한 액화수소 기반 대용량 수소충전소 구축, 운영 및 핵심 설비(액화수소 운송 탱크로리, 저장탱크, 액화수소펌프, 액화수소 고압기화기) 국산화 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발</td><td rowspan="2">0.5</td><td>액화수소 운송 탱크로리 운송용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>액화수소 고압 기화기 내압</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 액화수소 충전소 실증</td><td rowspan="2">0.5</td><td>액화수소 저장용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>액화수소 스테이션 용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="4">2단계(2026년도~2027년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발</td><td rowspan="2">0.5</td><td>액화수소 운송 탱크로리 운송용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>액화수소 고압 기화기 내압</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 액화수소 충전소 실증</td><td rowspan="2">0.5</td><td>액화수소 저장용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td>액화수소 스테이션 용량</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 ▪ 액화수소 충전소 실증	1단계 사업 종료 시점
2028년도	2026년도~2027년도 (총 2년)/2단계	▪ 액화수소 충전소 핵심 설비 개발 ▪ 액화수소 충전소 실증	사업 종료 시점

도시폐자원 기반 수소플랜트 개발

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발
	세부사업	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발
	내역사업	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발

2 사업목적

사업목적	수소도시 내에서의 안정적이고 저렴한 수소 공급 및 안전한 수소이송 및 활용을 통한 주민 수용성 제고

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

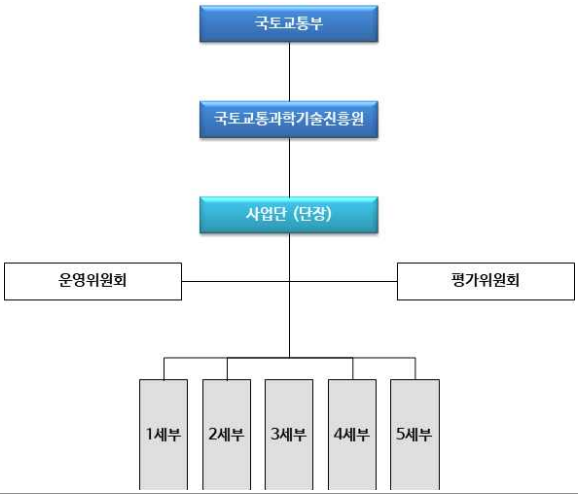
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2027	총사업비	400억원 (국고 280억원, 민자 120억원)
사업규모	2개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'27)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'28년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
도시폐자원의 안정적인 원료 확보 문제	• 원료 수급 가능 규모로부터 적정 설비규모 산정 : 50톤/일 • 대상 도시/지역의 인구수 : 100,000명(중소도시 규모) • 대상 도시/지역의 폐기물 발생량 원단위 : 0.93 kg/인·일(동남아 국가 : 0.8 kg/인·일 수준) • 폐기물 전처리(파쇄, 선별, 건조) 후 생산 수율 : 50 ~ 60% • 필요 설비규모 : 46.5 ~ 55.8톤/일(본 기획에서는 설비규모를 50톤/일로 산정) • 50톤/일급 기본 모듈을 연계하여 100톤/일 이상 사업에 적용

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 국내 원천기술과 기본설계, 상세설계 기술 확보 및 핵심장치 제작, 건설, 운전기술 확보 ㅇ ICT 기반의 4차산업과 연계한 통합공정의 운전제어기술 및 모니터링/제어 기술 확보
사회경제적 기대효과	ㅇ 폐자원 합성가스의 고부가가치화 플랜트의 해외시장 급성장에 대응 ㅇ 국내 고유모델의 건설기술 확보로 국내 기업의 경쟁력 확보 ㅇ 상용급 플랜트 기술의 신뢰성 확보로 선진 해외기술과의 동등이상의 경쟁력 확보

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	합계
도시폐자원 기반 수소플랜트 개발	국비	4,000	6,500	7,000	6,500	4,000	28,000
	민자	1,715	2,785	2,999	2,785	1,715	11,999
	합계	5,715	9,285	9,999	9,285	5,715	39,999
도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증	국비	3,000	4,875	5,250	4,875	3,000	21,000
	민자	1,286	2,089	2,249	2,089	1,286	8,999
	합계	4,286	6,964	7,499	6,964	4,286	29,999
도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계	국비	1,000	1,625	1,750	1,625	1,000	7,000
	민자	429	696	750	696	429	3,000
	합계	1,429	2,321	2,500	2,321	1,429	10,000

세부내용

내역사업	주요 내용
도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증	ㅇ 국산 고유모델 50톤/일급 도시폐자원 합성가스 생산 기술 ㅇ 국산 고유모델 합성가스 고도정제 기술 ㅇ 국산 고유모델 합성가스 수성가스 전환 기술 ㅇ 국산 고유모델 수소분리 기술
도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계	ㅇ EPC 설계 기술 ㅇ ICT/IoT/빅데이터 기반 운영관리 최적화 기술

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	ㅇ 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 - 국내 고유 파일롯급 가스화 기술 활용 중형급인 도시폐자원 50톤/일급 사용 합성가스 생산 가스화 시스템 scale-up 설계 - 도시폐자원 대상 국내기술 기반 정제기술 활용 2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도정제 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) - 수성가스전환용 촉매 개발 및 반응기의 형상설계 (열회수 방식 선정 등) - 국내 기술 기반 수소 PSA 기술 활용 2,500 Nm^3/h급 고순도 수소 분리 설비 scale-up 기본설계 (모듈화 및 IT화 개념 반영) ㅇ 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 - 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈화 플랜트 최적화/표준화 개념 설정, 현장 조립 최소화할 수 있는 연결 기술 개발 및 별도 운반용 자재

연도	핵심목표 및 내용
	최소화 기술 개발 - 수소생산 모듈화 플랜트 사업화 모델 연구 - ICT/IoT/빅데이터 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 기초 설계 - ICT/IoT 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 설계, 빅데이터 분석 및 진단 체계 설계
2024	o 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 - 50톤/일급 도시폐자원 사용 합성가스 생산 test-bed 제작 (공정률 약 20%) - 모듈화/IT화 기초설계 기반 합성가스 고도 정제 설비 상세설계, 제작(공정률 약 40%) - 수성가스전환용 촉매의 대량생산 기술 개발, 반응기의 열/구조해석 및 재질 선정 - 모듈화/IT화 기초설계 기반 고순도 수소 분리 설비 상세설계, 제작 및 설치(공정률 약 40%) o 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 - 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈 부재 구조해석, 구조성능시험 및 모듈 프레임 Mock-up 테스트 - 모듈화율 향상을 위한 기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 - 기존 구축된 pilot 설비 활용 운영관리 최적화 시스템 프로토타입 시범 운영, 설계 보완 및 실증플랜트 구현 - 빅데이터 플랫폼 프로토타입 시범운영 및 실증플랜트 빅데이터 플랫폼 구축
2025	o 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 - 합성가스 생산 test-bed 설치(공정률 약 80%) 및 단위 설비 시운전 - 2,500 Nm^3/h급 합성가스 고도 정제 설비 설치 및 단위 설비 시운전 - Test-bed급 수성가스 전환 공정 설계 o 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 - 수소생산 모듈화 플랜트 표준화 모델 개발 : 모듈 프레임 Mock-up 테스트 (계속) 및 국산 자재 100% 적용을 위한 자재 분석 및 적용 기술 개발 - 시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 : 모듈 연결기술에 대한 표준화 개념 설정 - 모듈화율 향상을 위한 기능형 설비 모듈 분할 기술 개발 (계속) - 운송 중 지지 구조재 개발 - Pilot 설비 운영 결과 반영 ICT/IoT 기반 빅데이터 진단결과 유·무선 공유시스템 및 의사결정/조치사항 체계 보완, 실증플랜트 유비쿼터스 유지보수 관리 시스템 보완 및 구축 - 합성가스 기반 수소생산 플랜트 빅데이터 플랫폼 체계확립 및 분석, 조기 진단, 시각화 시스템 구축/시운전
2026	o 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 - 합성가스 생산 test-bed 설치 완료 및 도시폐자원 가스화 성능 시험 - 합성가스 생산 플랜트 연계 합성가스 고도 정제 설비 운전안정화 시험 - Test-bed급 수소생산을 위한 수성가스전환 공정 구축/시운전 - 합성가스 생산플랜트 연계 고순도 수소분리 설비 운전안정화 시험 o 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 - 시공성 향상을 위한 모듈연결 표준화 기술 개발 : 모듈 연결기술에 대한 구조성능 시험 및 검증 - 한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 : 한국형 고유 모듈

연도	핵심목표 및 내용
	최적화/표준화 기술 개발 및 Pilot test 설비 구축 - 운송 중 지지 구조재 개발 (계속) - 기능형 설비 구성 모듈 테스트 - 합성가스 기반 수소생산 실증플랜트 운전결과 반영 운영관리 최적화 시스템 운영 및 검증 - 실증플랜트 연계 빅데이터 플랫폼 운영을 통한 분석/진단 체계 개발
2027	o 도시폐자원 기반 수소생산 실증프랜트 기술 검증 - 전 단위공정을 연계하여 수소 4톤/일급 생산 test-bed(실증 플랜트) 성능 최적화 시험 - 수소 4톤/일급 생산 플랜트 표준화 설계 o 도시폐자원 기반 해외 수소생산 플랜트 EPC 설계 - 한국형 수소생산 모듈화 플랜트 최적화/표준화 모델 개발 : 한국형 표준화 모듈의 구성 모듈 파일럿 테스트 방안 구축, Pilot test 및 결과 피드백을 통한 최적화/표준화 모델 보완 - 구성 모듈에 대한 파일럿 테스트, 결과 분석 및 feed-beck을 통한 기능형 설비 최적화 설계 방안 도출 - ICT/IoT/빅데이터 기반 합성가스 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화 시스템 확립 - 실증플랜트 적용을 통한 플랜트 빅데이터 플랫폼 체계 완성 및 분석/진단 체계 검증

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2023	2024	2025	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증	0.5	CO 전환율	%	목표	-	80	85	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
			수소순도	%	목표		90	95	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	0.5	EPC 설계기술 자립도	%	목표	-	60	75	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
			안전성평가 프로그램 가용도	%	목표		20	30	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	실적 및 목표치 2027	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증	0.5	CO 전환율	%	목표	90	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
			수소순도	%	목표	99.97	99.99	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	0.5	EPC 설계기술 자립도	%	목표	90	100	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
			안전성평가 프로그램 가용도	%	목표	40	50	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="4">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="4">수소도시의 안정적인 수소공급을 위한 도시폐자원 가스화를 통한 합성가스에서 수소 생산 공급 통합 Test-Bed 플랜트 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="4">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증</td><td rowspan="2">0.5</td><td>CO 전환율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>수소순도</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화</td><td rowspan="2">0.5</td><td>EPC 설계기술 자립도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>안전성평가 프로그램 가용도</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="4">2단계(2026년도~2027년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증</td><td rowspan="2">0.5</td><td>CO 전환율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>수소순도</td><td>질</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▪ 도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화</td><td rowspan="2">0.5</td><td>EPC 설계기술 자립도</td><td>질</td></tr>
<tr><td>안전성평가 프로그램 가용도</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증 ▪ 도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	1단계 사업 종료 시점
2028년도	2026년도~2027년도 (총 2년)/2단계	▪ 도시폐자원 기반 수소생산 전과정 기술 검증 ▪ 도시폐자원 기반 수소생산 플랜트 운영관리 최적화	사업 종료 시점

그린수소기반 에너지 자립 도시 실증

1. 사업개요

1 사업명

사업명	단위사업	그린수소기반 에너지 자립 도시 실증
	세부사업	그린수소기반 에너지 자립 도시 실증
	내역사업	그린수소기반 에너지 자립 도시 실증

2 사업목적

사업목적	재생에너지원과 수소를 연계 활용한 미래의 저탄소 도시에너지 인프라 모델 제시

3 사업추진경위

추진근거	법적 근거	ㅇ「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성), 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결) ㅇ「에너지법」 제12조(에너지 기술개발) ㅇ「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제10조(조성된 사업비의 사용), 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원) ㅇ「환경 친화적 자동차 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제6조(기술개발을 위한 지원 시책) ㅇ「폐기물 관리법」 제3조의 2(폐기물관리 기본원칙), 제4조(국가와 지방자치단체의 책무) ㅇ「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조(수소산업관련 기술개발의 촉진) ㅇ「국토교통과학기술 육성법」 제8조(연구개발사업의 추진), 제9조(융복합 연구개발의 추진), 제13조(연구기반의 확충) ㅇ「환경기술 및 환경산업 지원법」 제5조(환경기술개발의 추진) ㅇ「환경정책기본법」 제28조(환경과학기술의 진흥)
	상위계획	ㅇ「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」 ㅇ「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(’19)」 ㅇ「제3차 에너지 기본계획(’19)」 ㅇ「수소경제 표준화 전략 로드맵(‘19)」 ㅇ「수소 시범도시 추진전략(’19)」 ㅇ「미래 자동차산업 발전전략(’19)」 ㅇ「수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19)」 ㅇ「수소 기술개발 로드맵(’19)」 ㅇ「수소 안전관리 종합대책(‘19)」 ㅇ「제4차 에너지 기술개발 계획(’19)」 ㅇ「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(‘20) ㅇ 탄소중립 기술혁신 추진전략(’21)

4 사업 현황

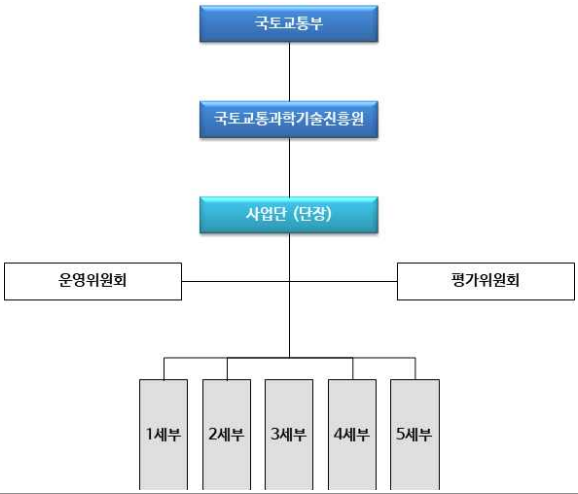
사업구분	계속사업 □ 기한사업 ■		
사업추진방식	상향식 □ 혼합식 □ 하향식 ■		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 □	참여부처	국토교통부
사업기간	2023~2027	총사업비	193억원 (국고 152억원, 민자 41억원)
사업규모	4개 세부과제	지원대상	산·학·연
지원형태	출연	지원조건	민간 매칭
사업시행주체	국토교통부 (국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) □		

5 사업추진체계 및 전략

	수행주체	역할 세부내용
사업수행주체	부처	ㅇ 사업 추진계획 ㅇ 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ㅇ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ㅇ 사업단 조직, 구성 및 운영
	전문기관	ㅇ 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ㅇ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ㅇ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ㅇ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ㅇ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ㅇ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
	사업단	ㅇ 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ㅇ 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ㅇ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ㅇ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

사업추진전략

추진전략



R&D 전주기 사업관리 계획

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23-'25)	사업단장 선정 및 사업단 구성	-'23.03.	• 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 • 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정 • 사업 1년차에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 1-2월	• 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('26-'27)	신규과제 공모	전년 12월 -당해 1월	• 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 • 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11-12월	• 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 최종평가 및 상위평가	'28년 1-8월	• 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업 효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

위험요인 및 극복방안

위험요인	극복방안
그린수소 기반 에너지 융복합시스템의 구성요소 책임관리를 위한 복수 기관 존재로 업무 혼선 가능성 존재	실증연구시에는 고압가스 안전관리법에 따른 법령상 공급자 배관소유 및 안전관리책임여부의 일원화를 통한 통합관리
수소 기반 에너지 시스템의 주민 수용성 문제	지역 주민의 수용성 확대를 위한 제도적 지원 방안을 해당 지자체 및 주민 대표 등과 R&D 초기 단계부터 논의, 에너지 자립도 제고에 의해 발생한 이익의 지역사회 환원 등

수혜자

수소 생산, 저장, 운송 및 서비스 사업자

6 사업기대효과

과학기술적 기대효과	ㅇ 수소에너지 관련 현행 기술의 실증을 통한 기술의 실제적 경쟁력 확인 ㅇ 향후 도시 단위 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영 위한 실증 데이터 확보
사회경제적 기대효과	ㅇ 수소 에너지 보급 활성화를 위한 수소 공급비용 최소화 ㅇ 친환경 수소 도시 모델의 제시로 민간참여 촉진 및 시장 확대 기대

7 사업 내용

예산 규모

(단위 : 백만원)

세부과제명	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	합계
그린수소기반 에너지 자립 도시 실증	국고	1,800	3,150	4,900	4,300	1,000	15,150
	민자		250	1,250	1,600	1,000	4,100
	합계	1,800	3,400	6,150	5,900	2,000	19,250
수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	국고	300	1,000	1,000	400		2,700
	민자				100		100
	합계	300	1,000	1,000	500		2,800
수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축	국고	700	750	1,200	1,200		3,850
	민자		250	500	500		1,250
	합계	700	1,000	1,700	1,700		5,100
그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성	국고	500	700	1,500	1,200	500	4,400
	민자			500	500	500	1,500
	합계	500	700	2,000	1,700	1,000	5,900
통합관리운영 센터 구축	국고	300	700	1,200	1,500	500	4,200
	민자			250	500	500	1,250
	합계	300	700	1,450	2,000	1,000	5,450

세부내용

내역사업	주요 내용
수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	ㅇ 재생에너지원-수소생산, 저장 및 이송 시스템에 대한 수학적 모델 수립 ㅇ 에너지 수요 모니터링 및 예측을 위한 수학적 모델 수립 ㅇ 에너지 수요 예측 모델 기반 에너지 공급망 최적설계 및 운영 기법 개발
수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축	ㅇ 소재·제품·장치 시험·평가 테스트 베드 구축 ㅇ 장주기(1년) 현장 실증을 통한 시스템 평가 및 실증
그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성	ㅇ 대상지역 내 그린수소 기반 에너지 자립도시 실증을 위한 인프라 설계, 구축 및 운용 ㅇ 설비 관리, 운영을 위한 모니터링 시스템 개발 및 안전설비 설계 및 구축
통합관리운영센터 구축	ㅇ 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계, 구축 및 실증 ㅇ 운영 관리 및 운영인력 교육 ㅇ 홍보 시설 구축 ㅇ 도시 확장형 모델 개발

연차별 추진내용(로드맵)

연도	핵심목표 및 내용
2023	ㅇ 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발

연도	핵심목표 및 내용
	- 대상지역 선정 - 대상지역의 재생에너지 자원 분석 - 에너지 수요 분석 - 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템 구축을 위한 대상지역 에너지 시스템 디지털 트윈의 개념설계 o 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 - 에너지패턴 분석을 통한 모사 전력 공급 시스템 개발 - 수소 에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 - 인프라 설계 및 구축 o 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성 - 수소 융복합에너지 자립사회 조성 지역 타당성 사전조사 - 재생에너지 생산 및 에너지 수요 데이터 수집 기반 시설 구축 o 통합관리운영센터 구축 - 재생에너지원 활용 및 에너지 수요 데이터 수집/분석 설비 구축계획 수립 - 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계 개념 도출
2024	o 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 - 대상지역 재생에너지 자원 및 에너지 수요 데이터 수집/분석 시스템 구축 - 그린수소 기반 에너지 융복합 시스템 구축을 위한 대상지역 에너지 시스템 디지털 트윈의 프로토타입 개발 - 디지털 트윈 기술 기반 에너지네트워크 최적 설계를 위한 방법론 도출 o 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 - 수소에너지 시스템 시험/평가 설비 구축 - 수소에너지 시스템 모듈화 기술 설계 o 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성 - 대상지역 데이터 수집 분석 o 통합관리운영센터 구축 - IoT기반 수소 융복합에너지 시스템의 모니터링, 데이터 수집·분석, 유지관리를 위한 통합관리운영센터 설계
2025	o 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 - 실제 데이터를 반영한 디지털 트윈 보완 및 향후 유지보수 계획 수립 - 디지털 트윈 기술 기반 최적 에너지네트워크 설치 및 시운전 o 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 - 수소에너지 시스템 모듈화 기술 개발(200 MWh/년) - 수소에너지 시스템 시험·평가 및 기업 지원 프로그램 개발 - 수소 산업의 지속적 성장을 위한 기업의 소재·제품·장치 시험·평가 테스트 배드 구축 o 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성 - 데이터 분석 및 디지털 트윈 활용 수소 융복합에너지 자립사회 조성 지역 에너지 시스템 설계 - 수소에너지 실증 시스템 모듈 제작 - 실증 시스템 구축을 위한 인프라 조성 o 통합관리운영센터 구축 - 수소 융복합에너지 자립사회 실증 시스템의 모니터링 및 유지관리 통합 시스템 구축 - 인력(시공/운영관리/안전)교육 및 기업지원 프로그램 개발 및 운용
2026	o 수소 기반 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 - 디지털 트윈 업데이트 및 보완

연도	핵심목표 및 내용
	- 디지털 트윈 기술 기반 그린수소 기반 에너지네트워크 운영 최적화 o 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 및 테스트 배드 구축 - 장주기(1년)도서 현장실증을 통한 시스템 시험/평가 및 최적화 - 시험/평가 인증 시스템 구축 및 운영 - 수소에너지 시스템 소재·부품·장치 성능 인증 및 표준화 방안 연구 o 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성 - 수소 융복합에너지 자립사회 조성 및 실증 (에너지시스템 발전량 규모: 200 MWh/년) - 운용 데이터 기반 시스템 보정 및 최적화 o 통합관리운영센터 구축 - 운용 데이터 공유 및 활용 플랫폼 구축 - 수소에너지 창업·기업 지원센터 구축 및 홍보 프로그램 개발 - 운영인력 교육 훈련을 위한 매뉴얼 구축
2027	o 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 조성 - 수소 융복합에너지 실증시스템 보완 및 확장 (에너지시스템 발전량 규모: 300 MWh/년) - 장주기(1년) 현장실증을 통한 시스템 및 장치 시험/평가 - 실제 데이터 분석 디지털 트윈 등 설계 및 운영최적화 기법 보완 o 통합관리운영센터 구축 - 데이터 분석을 통한 시스템 운영기법 보정 및 운전관리 매뉴얼 최적화 - 기업지원, 시험평가 등 사업화 프로그램 개발 - 산·학·연 네트워크를 활용한 에너지자립도시 사업화 확장 모델 개발

2. 단계별 성과목표 및 지표

1 전략목표

전략목표	수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성

가. 1단계 성과목표 및 지표

2 단계별 성과목표

단계(평가주기)	1단계	기간	2023~2025

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	가중치	0.3	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발	가중치	0.5	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

3 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2023	2024	2025			
성과목표-1	융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	0.3	디지털트윈 시스템 개발율	%	목표	-	50	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-2	수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발	0.5	시험·평가 시스템 개발율	%	목표	-	70	90	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적						
성과목표-3	그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	0.2	그린수소 생산시설용량	톤/년				5	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
계											

나. 2단계 성과 목표 및 지표

1 단계별 성과목표

단계(평가주기)	2단계	기간	2026~2027

단계별 성과목표						관련 내역사업명
성과목표-1	융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-2	수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발	가중치	0.2	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임
성과목표-3	그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	가중치	0.6	설정 근거	사업의 핵심목표 달성 검증	단일 내역사업임

2 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 / 연도	실적 및 목표치 2026	실적 및 목표치 2027	지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
성과목표-1	융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발	0.2	디지털트윈 시스템 개발율	%	목표	100		산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-2	수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발	0.2	시험·평가 시스템 개발율	%	목표	100		산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
성과목표-3	그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	0.6	그린수소 생산시설용량	톤/년	목표	10	20	산출	질	사업의 핵심 성과목표 달성 여부 측정
					실적					
계										

[참고] 성과목표 및 지표 총괄표

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="3">내용</th></tr>
<tr><td>전략목표</td><td colspan="3">수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 ‘에너지 전환’ 달성</td></tr>
<tr><td>(최종)
성과목표</td><td colspan="3">그린수소기반 저장, 발전, EMS, 안전 등 에너지 자립 도시 기술개발 및 종합 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="8">단계별
성과목표
및 지표</td><td colspan="3">1단계(2023년도~2025년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발</td><td>0.3</td><td>디지털트윈 시스템 개발율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발</td><td>0.5</td><td>시험·평가 시스템 개발율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증 모델 개발</td><td>0.2</td><td>그린수소 생산시설용량</td><td>질</td></tr>
<tr><td colspan="3">2단계(2026년도~2027년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단계별 성과목표</td><td rowspan="2">가중치</td><td colspan="2">성과지표</td></tr>
<tr><td>지표명</td><td>지표
구분</td></tr>
<tr><td>▪ 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발</td><td>0.2</td><td>디지털트윈 시스템 개발율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발</td><td>0.2</td><td>시험·평가 시스템 개발율</td><td>질</td></tr>
<tr><td>▪ 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증 모델 개발</td><td>0.6</td><td>그린수소 생산시설용량</td><td>질</td></tr>
</table>

3. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2026년도	2023년도~2025년도 (총 3년)/1단계	▪ 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 ▪ 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 ▪ 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	1단계 사업 종료 시점
2028년도	2026년도~2027년도 (총 2년)/2단계	▪ 융복합에너지 시스템 디지털 트윈 개발 ▪ 수소에너지 시스템 시험·평가 기술 개발 ▪ 그린수소 기반 에너지 자립사회 실증모델 개발	사업 종료 시점

제 6 장 사업 추진체계 및 관리방안

6.1 사업 추진체계

6.2 사업 운영관리 방안

6.3 단계별 성과관리 방안

6.4 범부처 사업과 연계방안 방안

6.1 사업 추진체계

※ 동 사업은 범부처사업으로 추진될 예정이므로 범부처사업(수소 공급 인프라 구축 핵심기술개발 및 실증 사업)의 추진체계를 준용하여 기술함

□ 범부처 사업의 추진체계

○ 동 사업은 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부, 환경부, 특허청이 참여하는 6개 부처(청)이 공동으로 추진하는 범부처사업으로 '부처 매칭형 협력 모델'을 기반으로 추진

○ 주관부처, 전문기관, 사업단 등으로 구성된 협의체로 단일 관리체계를 구축하고, 동 사업의 추진에 관하여 협의체에서 논의한 주요 의사결정사항을 따름

- 부처, 전문기관, 사업단의 단일 공동의사결정을 통해 각 부처의 정책 및 제도적 수단을 연계하고 운영주체 간 소통과 참여를 강화하여 사업 운영의 안정성 도모

○ 주관부처 및 전문기관은 본 사업의 원활한 추진을 위해 사업단을 운영

- 기존 개별 부처가 추진 중인 수소공급 관련 연구개발 사업과 민간의 성과를 동 사업과 연계하고 후속 지원하는 체계 및 정보를 제공

- 사업단의 독립성과 자율성을 보장하기 위해 노력하되, 사업단 운영의 안정성·중립성 및 평가·선정의 공정성을 위하여 사업단-전문기관 간 역할과 책임의 균형을 유지

  · 사업단 운영의 안정성과 공정성 확보를 위해 과제 기획·선정·평가·관리 등에 필요한 단일 통합 관리 규정을 마련하고 규정에 따른 일부 업무*를 전문기관과 협력·분담 수행

  * 신규과제의 상세기획 및 평가·선정 관련 업무

○ 사업단은 동 사업의 R&D 전주기에 대한 전방위 지원과 인프라 및 인적 자원의 효율적 활용, 사업단의 독립성 확보를 기본 방향으로 추진

- 연구개발 관리 감독이 아닌 연구개발 활동 지원 역할에 중심을 두며, 조직 규모를 최소화하여 운영하고 기존 유관 기관의 조직, 시스템, 인력 등을 연계 활용

- 개별 부처의 기존 영역, 역할 보다 국가 차원의 수소공급 인프라 구축 핵심기술 개발 및 실증을 위한 R&D 통합 거점으로서 기능에 중점을 둠

<표 6-1> 사업 추진주체별 주요 역할

구분	구성	역할 및 기능
이사회	이사장, 사업단장, 주무부처 국장, 민간위원	○ 사업의 연도별 추진방향 및 예산(안) 수립 등 주요사항 확정 (법인 설립 시 구성)
운영위원회	당연직(사업단장(위원장), 주무부처 과장), 민간위원(2년), 전문기관	○ 이사회 상정 안건 사전 검토 등 주요사항 심의 · 조정 ① 사업 추진계획 ② 과제 발굴 기획, 선정 및 평가, 관리 등의 절차 및 기준 ③ 연구비 배분 · 관리 절차 및 기준 ④ 사업단 조직, 구성 및 운영
전문기관 협의체	6개 전문기관	○ 주무부처로부터 위탁받은 업무 수행 시 실무사항 협의 ① 사업단 및 사업단장 평가에 관한 사항 ② 사업단 신규 연구개발과제 상세기획 및 선정평가에 관한 사항 ③ 사업단 총괄협약 체결에 관한 사항 ④ 사업단 출연금 지급, 정산, 잔여사업비 이월에 관한 사항 ⑤ 사업단 운영비 사용실적에 관한 정밀검증 ⑥ 사업단이 징수한 기술료 관리에 관한 사항 ⑦ 사업단 연구성과 관리에 관한 사항 ⑧ 사업단 추진을 위한 법 · 제도 개선에 관한 지원 사항 ⑨ 사업단 추진을 위한 지자체 인가 등에 관한 지원 사항
사업단장	사업단장 1인	○ 사업단 업무 총괄 ① 사업단 조직 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항 ② 본 사업에 속하는 연구개발과제 진도관리 및 평가, 정산 등에 관한 사항 ③ 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 홍보에 관한 사항 ④ 본 사업의 전략 수립에 관한 사항 ⑤ 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등
사업총괄실 경영지원팀	팀장 1인 포함 총 3인 내외	○ 사업추진 관련 기본적 행정업무 ○ 사업비 운영 · 관리, 인사, 총무, 회계/재무 등 총괄 지원
사업총괄실 정책지원팀	팀장 1인 포함 총 5인 내외	○ 세부 사업 성과관리 통합 ○ 세부과제 평가 기준 및 가이드라인 수립 ○ 사업 목표달성에 필요한 규제 · 제도 개선사항 발굴 및 정책 제안 ○ 과제 기획을 위한 기술수요 · 전망 조사 및 과제의 기술적 · 경제적 타당성 조사 지원 ○ 대외 협력 업무(부처 · 전문기관 대응, 국내 · 외 행사, 홍보, 네트워킹 등)
PM (Project Manager)	세부사업 당 PM 1인, 총 3인	○ 세부사업 별 성과관리 및 확산 업무 총괄 ① 세부 사업의 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산에 관한 사항 ② 세부 사업의 전략 수립에 관한 사항 ③ 세부 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등
PM1~3팀	팀장(PD) 제외 총 3인 내외	○ R&D운영 - 매년 정부 예산에 따라 사업계획 수립 - 사업의 단계별 목표 · 성과지표 설정, 과제 평가, 주관연구기관의 과제계획 검토 · 보완 등 과제 관리에 관한 사항 - 세부과제 목표 관리, 일정 및 사업비 관리 등 사업 전반 관리 - 주관연구기관과의 과제협약 및 협약변경 관리에 관한 사항 - 주관연구기관이 수행하는 과제에 대한 실태점검, 평가 및 진도관리, 사업비 지급 및 정산 등 사업의 수행관리에 관한 사항 ○ 성과확산 - 사업의 성과분석, 성과의 관리 · 활용 및 사업화 촉진에 관한 사항 - 사업의 기술개발과 사업화를 연계한 기술사업화 전략 수립 - 연구개발 성과의 실용화를 위한 수요자 및 관련기관 연계지원 - 기술료 징수에 관한 사항 ○ IP전략 : 특허 동향분석, 특허 포트폴리오 구축 등 특허 성과 출원을 위한 IP 사업화 목표 및 전략 수립(특허전략개발원 협업)

□ 범부처 사업의 사업단 운영 방안

○ 사업단은 이사회와 운영위원회, 투자심의회를 설치·운영하여 사업단 운영과 방향성 등을 결정하고, 사업단장은 필요시 자문위원회를 구성하여 기술적 자문을 얻을 수 있음

- (이사회) 최고 의결기관으로 부처(국장급) 및 전문기관(본부장급), 사업단장, 외부 전문가 등으로 구성하며 사업단 운영에 대한 전반적인 검토 및 주요사항 확정

  ※ 법인 설립 시 구성

- (운영위원회) 사업단장, 부처(과장급), 전문기관(실장급), 기술 분야 전문가 등으로 구성하며, 사업 추진 계획, 과제 발굴·기획·평가, 연구비 배분·관리 절차, 사업단 조직·구성·운영 등을 심의·조정

- (전문기관협의체) 6개 부처(청)의 전문기관으로 구성하며, 주무부처로부터 위탁받은 업무 수행 시 실무사항 협의하고, 동 사업단의 통합 관리 규정에 따른 일부 업무*를 사업단과 협력·분담 수행

  * 신규과제의 상세기획 및 평가·선정 관련 업무

- (사업단) 사업의 평가·관리 및 사업화 지원 등의 기능을 수행할 수 있도록 다음과 같이 조직과 인력을 구성함

  · 사업총괄실(경영지원팀, 정책지원팀 포함), PM1~3팀으로 구성하고, PM1~3팀의 팀장은 세부사업 별 PM이 3년 임기제(공모직, 연임 가능)로 수행

□ 사업단장 역할과 권한

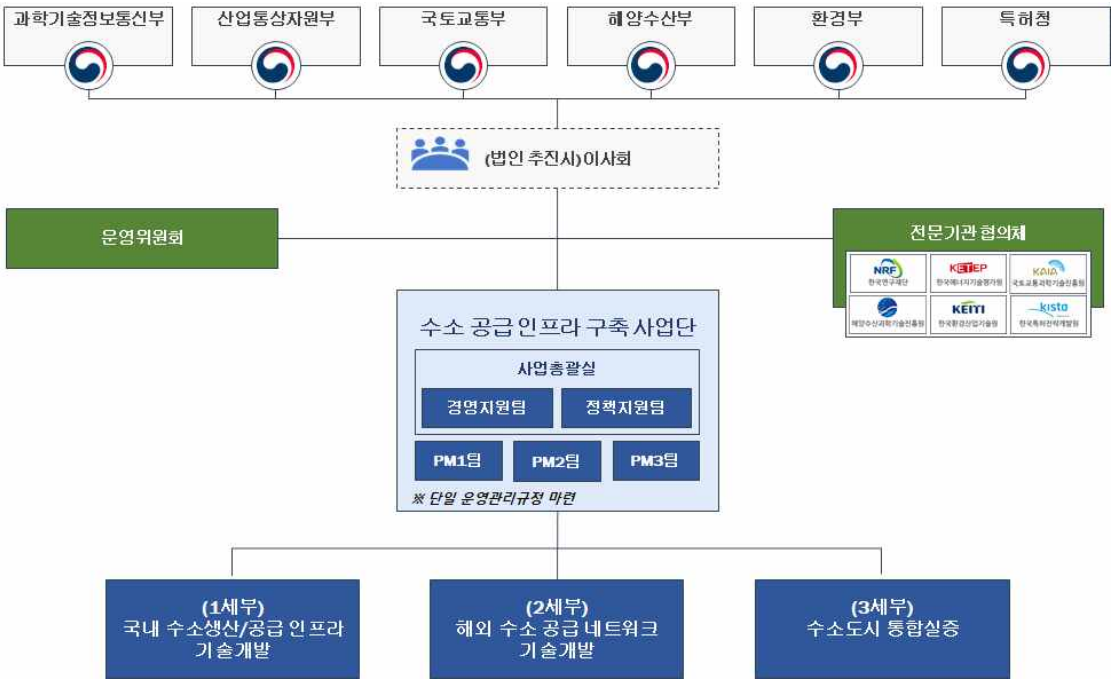
○ 사업단장은 해당 사업단을 대표하며 사업 운영 · 관리 업무 전반을 총괄

- 동 사업단의 조직, 운영관리 등 사업단 경영 전반에 관한 사항
- 본 사업에 속하는 연구과제의 평가, 협약, 진도관리, 정산 등에 관한 사항
- 연구개발 성과의 보급·확산·홍보 및 지식재산권 관리 등에 관한 사항
- 본 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토·보고에 관한 사항
- 본 사업과 관련된 분야의 전략 수립 및 정책 지원에 관한 사항
- 기타 해당 분야 사업의 효율적 추진을 위해 이사회에서 필요하다고 정하는 사항 또는 주무부처로부터 수탁 받은 사항 등

○ 사업단장의 모든 역할과 권한은 전문기관과 사업단장 간 협약 이후에 부여되며, 효율적인 사업 추진을 위해 사업단 운영 · 관리 직무 이외의 업무는 최소화

- 사업단장은 사업단 연구개발과제 및 타 국가연구개발사업의 연구과제 참여 등 겸직을 원칙적으로 금지

- 단, 사업단의 목표달성을 위해 필요한 조사·기획·정책 등의 기반연구 과제는 예외적으로 수행할 수 있으며, 사업단장 선정 전 기 수행중인 국가연구개발사업 과제는 협약일로부터 3개월 내로 정리



[그림 6-1] 범부처 사업 추진체계

□ PM(Project Manager) 역할과 권한

○ PM은 동 사업의 3개 세부사업별 성과관리 업무 전반을 총괄

- 세부 사업의 전략 수립에 관한 사항
- 세부 사업의 연구개발 성과의 관리 · 보급 · 확산 및 지식재산권 관리 등에 관한 사항
- 세부 사업의 진행과정 및 연구결과의 검토 · 보고에 관한 사항 등

○ PM의 모든 역할과 권한은 사업단장과 PM 간 계약 이후에 부여되며, 효율적인 사업 추진을 위해 세부사업 운영·관리 직무 이외의 업무는 최소화

- PM은 사업단 연구개발과제 및 타 국가연구개발사업의 연구과제 참여 등 겸직을 원칙적으로 금지
  - 단, 사업단의 목표달성을 위해 필요한 조사·기획·정책 등의 기반연구 과제는 예외적으로 수행할 수 있으며, PM 선정 전 기 수행중인 국가연구개발사업 과제 중 1개에 한해 참여율 30% 내에서 해당 과제의 종료시점까지 예외적으로 수행할 수 있음(그 외 기 수행과제는 협약일로부터 3개월 내에 정리)

- PM은 본래의 소속기관(대학, 기업, 연구소 등)의 업무를 최소화해야 하며, 해당 기관장은 이를 보장하여야 함

□ 사업단 운영 규정

○ 사업단에 대한 별도의 운영관리규정을 수립

- 예비타당성조사 통과 후, 전문기관 협의체에서 관련 규정의 초안을 작성하고, 6개 부처(청) 공동의 행정규칙을 정함

○ 부처(전문기관)와 사업단의 균형적인 역할과 사업단 운영에 대해 사업단장의 권한을 보장할 수 있는 관련 근거 명시

- 사업단장이 세부과제, 기업 지원을 위한 업무에 대해서는 자율적 범위 내에서 권한을 행사할 수 있도록 보장
- 역할 분담, 위원회 운영 등으로 견제와 균형을 유지할 수 있도록 관련 근거 마련

6.2 사업 운영관리 방안

6.2.1 사업 진행절차 및 일정

❍ 1단계('23~'26)에서는 사업단장 선정 및 사업단 구성, 사업 중간(단계)평가를 수행하고, 2단계('27～'31)에서는 사업 중간(상위)평가 및 최종평가를 수행하며, 단계와 무관하게 신규과제 공모 및 연차평가는 매년 수행

<표 6-2> 단계별 사업 추진 절차 및 일정

단계	절차	일정	내용
1단계 ('23～'26)	사업단장 선정 및 사업단 구성	～'23.03.	○ 사업단장 선정 및 사업단 설립, 조직·인력 구성 ○ 세부사업 관리 중점인력인 PM은 5월까지 구성 완료
	신규과제 공모	전년 12월 ～당해 1월	○ 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 ○ 과제별 공고, 평가 및 선정 ○ 사업 1년차인 '23년에는 신규과제 선정을 3월까지 완료
	연차평가	매년 11～12월	○ 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(단계)평가	'26년 11～12월	○ 1단계 사업의 목표달성도 및 목적부합성을 점검하고, 점검결과를 바탕으로 2단계 사업계획 조정 및 상세 수행계획 수립
2단계 ('27～'31)	신규과제 공모	전년 12월 ～당해 1월	○ 사업 시행계획 공고 및 사업설명회 개최 ○ 과제별 공고, 평가 및 선정
	연차평가	매년 11～12월	○ 연구목표 달성도, 차년도 계획의 적절성을 중심으로 연차실적보고서를 제출
	사업 중간(상위)평가	'28년 11～12월	○ 총 사업기간(9년)의 1/2 이후 시점에서의 사업 중간평가 대응
	최종평가	'31년 1～2월	○ 최종 목적 및 목표 달성여부를 평가하고, 사업효과 평가를 위한 추적평가 계획을 수립

6.2.2 사업 운영·관리 계획

가. 선정평가 계획

(1) 사업단장 선정

○ 사업단장의 자격조건

- 본 사업의 대표로서 사업단 운영, 사업기획, 세부추진계획 수립, 사업관리, 사업화 지원 등 사업 총괄 경험이 있는 자
- R&D 기획 및 인프라 구축을 최적 운영·관리할 수 있는 능력을 가진 자
- 법률적 기준 : 「국가공무원법」 제33조 해당하지 않는 자로서, 접수 마감일 현재 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제27조에 의하여 참여제한 대상이 아니어야 하며, 「공익법인의 설립·운영에 관한 법률」에 따른 임원 결격 사유에 해당하지 않는 자 등

○ 사업단장의 선정기준

- 수소공급 관련 연구실적, 경영능력 등을 종합적으로 고려하여 선정
  - · 기술적 전문성 : 동 사업 관련 분야 전문성(연구성과 및 연구역량 우수성)과 비전 및 통찰력, 과학기술분야에서 국내외 인지도 및 활동범위(학회/위원회/국제기구/회의 활동 등) 보유
  - · R&D 및 경영 관리능력 : R&D 기획·관리·평가에 대한 이해도 및 총괄지휘 가능성과 기업지원 등 경영관리 능력
  - · 연구개발계획 능력 : 연구내용 및 추진전략의 체계성/구체성, 예산활용의 적정성
  - · 도덕성 : 정부 R&D 과제 관리의 공정성 유지 방안, 과거 업무수행 과정 상 도덕성

※ 필요시, 사업지원능력(사업단장 원 소속기관의 사업단 지원 의지 및 역량)도 추가 고려할 수 있음

○ 사업단장 관리방안

- 사업 성과목표 달성 여부 및 사업 수행 능력 등에 대해 단계별로 사업단장을 선정
  - 사업 단계(4+5)에 맞춰 다양한 산학연관 전문가로 구성된 평가위원회에서 단계평가를 실시하며, 연차평가는 진도 보고서 등으로 갈음함
  - 평가 항목은 사업단 운영 실적과 함께 사업단을 통해 과제 또는 컨설팅을 지원받은 연구자 및 기업의 만족도를 반영
  - 4+5 사업 단계에 따른 단계평가 후 단계별 목표 성과가 우수한 경우 사업단장은 연임 가능하며, 결과는 연구개발비 조정 등에 활용

(2) PM 선정

○ PM의 자격조건

- 세부사업의 성과관리 및 확산 업무 총괄로서, 세부추진계획 수립, 사업관리 등 경험이 있는 자
  - 해당 분야의 주요 대형연구과제 책임자(급) 또는 우수 국제학술지 편집위원 수준에 준하는 학문적 수월성을 성취한 박사학위 소지자로 연구경력 또는 연구행정경력이 10년 이상이거나 석사학위 소지자로 해당 분야 연구경력 또는 연구행정경력이 15년 이상인 전문가

○ PM의 선정기준

- 수소공급 관련 연구실적, 경영능력 등을 종합적으로 고려하여 선정
  - 기술적 전문성 : 동 사업 관련 분야 전문성(연구성과 및 연구역량 우수성)과 비전 및 통찰력, 과학기술분야에서 국내외 인지도 및 활동범위(학회/위원회/국제기구/회의 활동 등) 보유
  - R&D 관리능력 : R&D 기획·관리·평가에 대한 이해도 및 관리 능력
  - 연구개발계획 능력 : 연구내용 및 추진전략의 체계성/구체성, 예산활용의 적정성
  - 도덕성 : 정부 R&D 과제 관리의 공정성 유지 방안, 과거 업무수행 과정 상 도덕성

○ PM의 임기 및 관리방안

- PM 임기는 임용일로부터 3년이며, 매년 PM 외부평가를 실시하고 평가 결과에 따라 해촉 또는 연임(최대 3년) 가능

(3) 과제 선정

○ 사업단 하위의 연구과제 선정평가는 향후 수립할 동 사업단에 대한 별도의 운영관리규정을 제정하고 진행할 계획

- 사업단 운영의 안정성과 공정성 확보를 위해 신규과제 선정·평가 업무는 전문기관에서 협력·분담 수행

  · 일반적인 현행 신규과제 공모·선정 절차를 기준으로 추진할 계획 : 사전검토, 서면평가, 발표평가, 평가결과 종합, 결과심의 및 과제확정, 과제 협약

나. 사업 진도 및 성과 평가·관리 계획

(1) 사업(단) 진도 및 성과 평가·관리

○ 사업단 진도 및 성과 평가·관리는 추후 예비타당성 조사를 통과한 후, 별도의 운영관리규정을 제정하고 진행할 계획

○ (중간점검) 전문기관 협의체는 사업단 선정 후 6개월 이내 중간점검을 실시하여 사업단 구성 및 운영에 대한 이행여부를 확인

- 사업단 운영의 적정성, 연구비의 효율적 관리 및 집행 등 사업단 운영 실태에 대한 점검과 필요시 연구과제들에 대한 중간점검을 실시할 수 있으며, 점검결과에 대한 시정을 요구하거나 연차점검 및 단계·최종평가 시의 참고자료로 활용할 수 있도록 함

○ (진도관리 계획 수립) 사업단장은 매 연차별 사업개시일로부터 2개월 이내에 진도관리 계획을 수립하고 관련 업무를 진행토록 하고, 그 결과를 자체 심의하여 당해연도 연구종료 60일 전까지 이사회 및 전문기관협의체에 보고토록 함

○ (연차평가) 사업단장은 연차별로 각 연구과제 책임자들에게 '연차실적 및 계획서'와 주요 성과에 대한 증빙자료를 제출받아 당해연도 연구종료 40일 전까지 연차평가를 완료토록 함

※ 단, 단계·중간·최종평가를 실시하는 연도의 연차평가는 이사회 또는 전문기관의 장의 승인을 받아 생략 또는 점검으로 대체할 수 있음

○ (단계평가) 사업단장은 사업단계가 종료되는 해당연도에 각 연구과제 책임자들에게 '단계 실적 및 계획서'와 주요 성과에 대한 증빙자료를 당해연도 연구종료 80일 전까지 제출받고 60일 전까지 전문기관의 장에게 보고토록 함

- 전문기관은 단계종료 30일 전까지 단계평가를 실시하고 장관에게 보고하며, 그 결과에 따라 과제의 계속 지원여부, 사업단장 연임여부 및 연구개발비 등을 심의·조정할 수 있도록 함

○ (중간평가) 사업단장은 전체 사업기간의 2/3 시점이 되는 사업 2단계 2년차(2027년)에는 사업의 총괄 목표 달성도 및 연구성과의 우수성 등에 대한 정량·정성적 평가와 사업 잔여 기간에 대한 사업 추진계획을 당해연도 연구종료 80일 전까지 전문기관의 장에게 보고토록 함

※ 국가연구개발사업 예비타당성조사 제도 혁신방안('18.3.)에서 밝히는 바와 같이 예타를 거쳐 시행중인 사업에 대한 환경변화 대응력 강화, 사업중단 검토 등을 위한 특정평가나 적정성 재검토 등이 이뤄질 경우 자체적으로 실시하는 중간평가를 해당 상위평가와 연동시켜 진행

○ (최종평가) 사업단장은 사업이 최종 종료되는 시점까지 각 연구과제 책임자들에게 '최종 실적 및 성과 활용계획서'와 주요 성과에 대한 증빙자료를 제출받고, 최종보고서를 작성하여 협약 종료 1개월 이내에 전문기관의 장에게 제출·보고하도록 함

- 전문기관의 장은 이를 토대로 최종평가를 실시하여 장관에게 보고하고, 그 결과에 따라 과제의 성공/실패 여부 및 성과관리·후속지원 방안 등을 결정하며 후속 연계사업 지원 및 참여제한 조치 등을 할 수 있도록 함

(2) 국가연구개발사업 중간평가(상위평가) 대응

○ 모든 국가연구개발사업은 중간평가를 받도록 하고 있으며, 체계적인 중간평가를 위해 예비타당성 조사를 통과한 사업은 예타통과 다음해 즉, 사업시행 첫 해에는 성과복표 및 성과지표를 점검하고 있음

- (성과목표와 성과지표 확정) 동 사업이 예비타당성 평가를 통과할 경우, 2022년 과기정통부의 성과목표 및 성과지표 점검에 대응
  - · 예비타당성 조사를 거치면서 조정된 사업내용 및 사업규모, 실제 확보한 사업예산규모에 맞게 상세 사업계획의 수정과 함께 성과목표와 성과지표, 성과지표별 목표치를 최종 확정
  - · (중간평가 대응) 동 사업은 총 9년의 사업기간 중 2번의 중간평가를 받게 될 것으로 예상
  - · 동 사업은 4+5의 2단계로 추진하며, 4년차에 진행 예정인 자체 1단계 평가 일정과 과기정통부의 첫 번째 중간평가 일정을 상호 일치시킬 수 있도록 할 계획임
  - · 부처 자체의 단계평가 일정과 과기정통부의 중간평가 일정을 일치시킴으로써 사업단 및 부처의 평가대응 부담을 최소화하고, 과기정통부의 중간평가 결과가 보다 실질적으로 사업운영체계에 환류될 수 있도록 운영함
- (종료추적평가 대응) 동 사업의 자체 최종평가 결과를 바탕으로 과기정통부의 종료평가에 대응하고, 향후 추적평가에 대응하기 위해 사업종료(사업단 해체) 이후에도 전문기관을 통한 성과 모니터링을 지속 추진

다. 사업성과 활용・확산 계획

□ 주요 성과 관리 및 활용 방안

○ 전주기적 성과관리를 위한 연구성과 통합추적관리시스템 구축・운영

- 연구성과 실시간 조사・분석・추적 관리시스템, 논문 및 특허 등 성과검증시스템, 기술이전 및 기술마케팅 지원 성과 활용 시스템을 구축 및 운영

○ 연구성과 확산 전문컨설팅 지원

- 사업단이 창출한 연구성과의 확산 및 실용화 촉진을 위한 전문컨설팅 수요를 발굴하고, 해당 컨설팅을 제공할 기관을 선정하여 용역 수행경비 지원
- 해당 기술에 대한 특허조사・분석 및 권리화 전략을 수립하고, 기술 및 시장동향을 조사・분석하며, 사업성, 기술가치를 평가하여 기술이전・사업화에 대한 전략 수립
- 기술이전 수요를 탐색 및 발굴하고, 발굴된 수요에 상응하는 기술마케팅 자료준비와 기술이전 협상 대행 및 자문 수행

○ 연구성과의 일관성 있는 관리 체계 구축 및 기술 실용화 활성화를 위해 사업단 내에 세부사업별 PM팀이 성과관리와 연계하여 통합 추진

- 특허 성과 출원을 위한 IP 사업화 목표 및 추진전략 수립
  - 특허관리 기반 마련
  - 엄정한 발명평가 심의로 우수특허 선별력 및 연구자 평가결과 강화
  - 국외출원 대상 2차 발표심의 및 외부전문가 심의 참여
  - 발명평가 이외(B급 등) 해외출원 불허
- 유망 특허 발굴을 위한 라운드테이블 운영
  - 성과의 기술성 뿐 아니라 제품화 가능성, 시장성, 권리성 등에 관하여 관련 분야의 전문가 그룹에 의한 종합적인 기술 보급・확산 전략 추진
  - 기술마케팅을 위한 기능/부문별 전문가를 활용하고, 기술가치 고도화 및 기술의 사업화 가능성 제고

○ 유효 지적재산권 창출 방안

- 초기 지적재산권 아이디어 창출단계에서 공백기술 분야 분석
- 공백기술 분야에 대해 특허전략개발원의 IP-R&D 포트폴리오 컨설팅을 통한 지적재산권 창출
- 지적재산권의 검증, 구현을 목표로 한 개별/집단 과제수행으로 지적재산권의 가

치를 높임

- 지적재산권 출원 시부터 수요기업과의 긴밀한 논의를 통해 유효한 지적재산권 확보
- 필요시, 유효 지적재산권을 대상으로 지적재산권 망구축을 위한 내부과제 운영

□ 주요 성과 후속 사업화 지원 방안

○ 동 사업은 원천기술개발부터 실증까지 추진하므로, 사업단 내 및 사업단 간의 유기적인 협조를 통해 주요성과가 수소경제 실현에 기여할 수 있도록 아래와 같이 다각적인 지원방안을 수립

- 원천기술의 상용화 개발 : 원천기술개발 과제 중 성숙도가 높아지거나 응용가능성이 높은 기술은 분기별 평가위원회를 통해 발굴하여, 사업단 내 연계과제로 후속개발 추진
- 상용화기술의 기술이전 : 기술이전이 가능한 결과들은 사업단이 분기별, 반기별 기술교류회를 통해 수요자에게 일괄 이전
- 실증 모델의 사업화 : 사업 공고 시 사업 이후 과제 성과물을 지속적으로 운영관리가능한 기관을 선정하고, 사업 이후 지자체화 협의하여 수소도시 실증 인프라를 지속적으로 유지하도록 유도. 실증 모델 중 경제성을 확보한 실증 모델은 해외 수출 및 재정사업으로 추진 중인 수소 시범도시와 연계하여 추진 예정

6.3 단계별 성과관리 방안

○ 정부업무평가 기본법은 성과관리를 “정부업무를 추진함에 있어 기관의 임무, 중장기 목표, 연도별 목표 및 성과지표를 수립하고 그 집행과정 및 결과를 경제성, 능률성, 효과성의 관점에서 관리하는 일련의 활동”이라고 정의(정부업무평가기본법 제2조 6항)

○ 본 사업의 성과관리 계획은 정부 업무평가기본법의 기본철학을 준수하여 도출

- 국토교통부는 매년 자체적으로 성과계획을 수립하고, 매년 당해 연도 협약종료 1개월 전에 최종보고서, 주관기관 자체평가 의견서, 세부과제별 연구개발결과 활용계획서를 제출 받음
- 세부과제별로 연구성과 활용유형 및 성과지표를 설정하여 체계적으로 관리

○ 추적평가 및 성과활용 관리

- 본 사업의 기술이전확산, 기술혁신 성공사례발굴, 우수과제 인센티브 부여 등 연구개발결과의
  활용을 촉진하기 위해 추적평가 실시
- (체계 및 담당기관) R&D 전담기관 성과활용조사·평가 전문가가 성과평가 실무 담당하고, 사업단과 유기적으로 협력하여 성과평가 실시

○ 성과활용 추적평가 시, 사업 특성을 고려하여 평가항목 및 평가지표를 구성

<표 6-3> 성과활용 및 평가지표

평가항목		평가지표
지식창출	특허출원 및 등록	· 수행과제와의 관련성 및 투입대비 특허성과의 적정성 · 특허확보에 따른 기술선점 효과
	논문실적	· 수행과제와의 관련성 및 내용의 우수성 · 투입대비 논문성과의 적정성
활용전망		· 응용기술로서 타 분야 파급효과

6.4 범부처 사업과 연계방안 방안

6.4.1 범부처 사업의 구조

비전	**수소 생산·저장·운송 가치사슬 전단계의 세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선진국으로 도약**		
사업 목적	**경제성을 갖춘 수소를 안정적으로 공급하기 위한 핵심기술을 개발 및 통합 실증을 통한 그린수소 경제 활성화**		
사업 목표	• **그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 핵심기술 확보 및 실증** - 수전해 수소 활용 공급망 구축 및 실증 - 해외 생산 수소 활용 공급망 구축 및 실증 - 폐자원·바이오매스 수소 활용 공급망 구축 및 실증 • **수소 공급 전단계 효율 향상을 통한 공급 가격 절감** - '31년 수소 공급가격 4,000원/kg (충전소 공급가 기준)		
구분	**(1세부) 수전해 수소 활용 공급망 구축 및 실증** - 3개 프로젝트 - 11개 세부과제	**(2세부) 해외 생산 수소 활용 공급망 구축 및 실증** - 4개 프로젝트 - 13개 세부과제	**(3세부) 폐자원·바이오매스 수소 활용 공급망 구축 및 실증** - 2개 프로젝트 - 7개 세부과제
기술 정의	국내 다양한 수소원으로부터 대량 생산 및 효율적 운송을 통해 수요처의 용도 맞추어 공급하는 기술	해외 생산 수소의 저장, 운송 및 도입 후 국내 수요 맞춤형 공급망 구축 기술	국내 그린수소 외에 블루수소 생산원료에 대한 친환경적 수소 생산 및 공급을 실용화할 수 있는 기술
성과 목표	• **국내 그린수소 공급망 구축 핵심기술 확보 및 실증** - 수소생산시스템 및 고압 복합재료 용기 등 21개 핵심기술 확보 - 표준 6건, 기준 4건 반영 - 국외 특허 등록 67건 • **수소 경제성 제고** - 수전해 수소 3,550원/kg - 해양바이오수소 2,785원/kg - 국내 수소운송가 700원/k원	• **해외 수소공급 네트워크 핵심 기술확보 및 실증** - 수소액상화 저장기술 및 액체수소 운송선 등 9개 핵심기술 확보 - 표준 4건, 기준 3건 반영 - 국외 특허 등록 52건 • **수소 경제성 향상** - 수소생산가 2$/kg - 수소운송비 1$/kg	• **국내 블루수소 공급망 구축 핵심기술 확보 및 실증** - 액화수소 충전소 등 7개 핵심기술 확보 - 표준 1건, 기준 2건 반영 - 국외 특허 등록 31건 • **수소 경제성 제고** - 폐자원 수소 3,100원/kg - 바이오매스수소 2,550원/kg - 국내 수소운송가 700원/k원

[그림 6-2] 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업의 구조

6.4.2 범부처 사업과의 연계성 및 차별성

가. 비전 및 목표의 연계성 및 차별성

<표 6-4> 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업과의 비전·목표 연계

구분	본사업	범부처 사업	연계성	차별성
비전	○ 수소 가치사슬 전단계의 균형있는 생태계를 조성을 통한 수소 에너지 기반 '에너지 전환' 달성	○ 수소 생산·저장·운송 가치사슬 전단계의 세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선진국으로 도약	○ 본 사업의 수소에너지 전환을 통해 범부처사업의 수소경제 선진국 도약으로 연계	○ 범부처 사업은 다양한 부처의 기술이 포함되기 때문에 기술수준 향상도 비전으로 제시
목적	○ 다양한 수소도시 모델 통합실증을 통해 국내 수소 인프라 관련 기술의 상용화를 촉진하고, 안전대책을 마련해 국민 수용성 제고 및 해외수출 가능한 국산 기술의 개발을 지원	○ 경제성을 갖춘 수소를 안정적으로 공급하기 위한 핵심기술을 개발 및 통합 실증을 통한 그린수소 경제 활성화	○ 본 사업의 통합실증을 통해 범부처 사업의 경제성 확보, 그린수소 경제 활성화 가능	○ 본 사업은 통합실증을 중심으로 상용화 및 국민수용성 제고를 핵심목적으로 하고 있으며, 범부처 사업은 핵심기술 개발과 경제성 확보를 목적으로 함
목표	○ 수소도시 시스템 기술의 검증 및 수소경제 기술성·경제성·안전성 확보	○ 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 핵심기술 확보 및 실증 ○ 수소 공급 전단계 효율 향상을 통한 공급 가격 절감	○ 범부처 사업에서는 요소기술 혁신 및 검증을 수행하고 본 사업에서는 수소도시 수준에서 시스템 기술의 검증을 수행함으로써 상호 연계	○ 본 사업은 수소도시 시스템 기술의 검증을 목표로 하며, 범부처 사업은 그린수소 등 공급망 구축, 핵심기술 확보 및 수소공급 효율향상을 목표로 함

나. 사업내용의 연계성 및 차별성

○ 범부처 수소기술개발사업인 「그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업」(이하 범부처 사업)은 3개 세부사업, 9개 프로젝트, 31개 세부과제로 구성

<표 6-5> 그린수소 등 저탄소 수소 공급망 구축 기술개발 및 실증사업의 구조

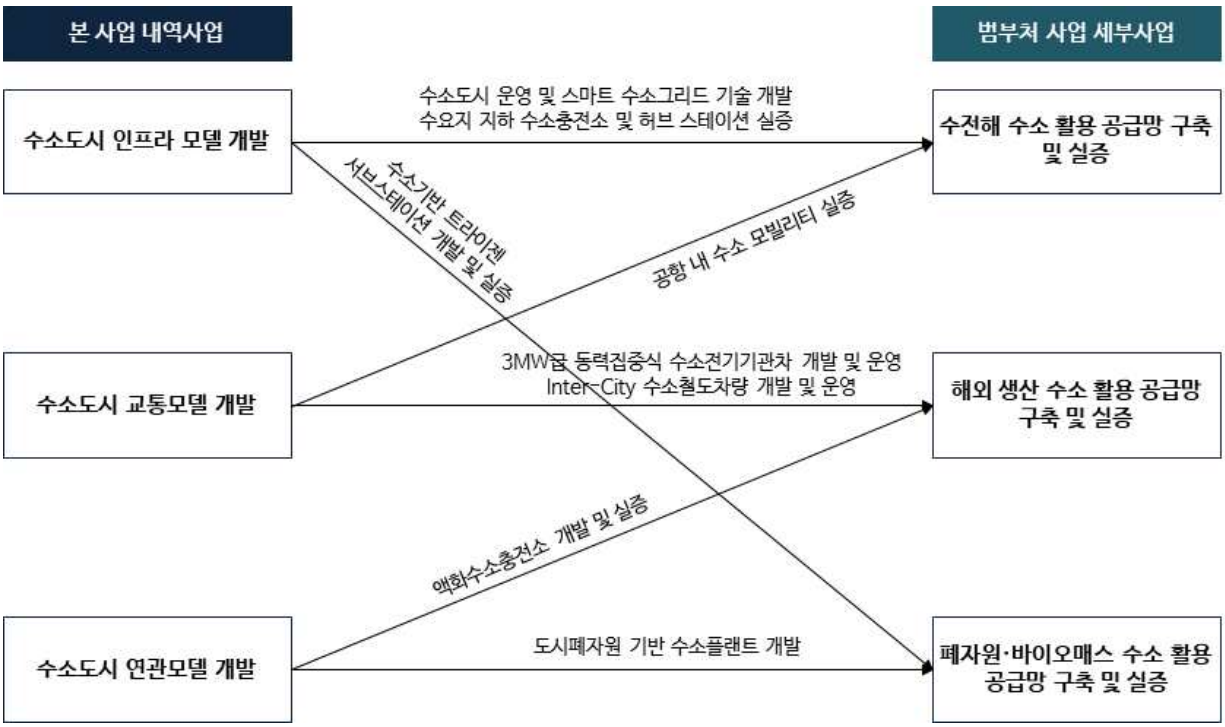
세부사업	프로젝트	세부과제	본 기획 추진과제명	비고
수전해 수소 활용 공급망 구축 및 실증	알칼라인수전해 기반	알칼라인 수전해 시스템 개발 및 실증		
		액체수소 생산을 위한 5톤/일, 수소액화 에너지 11.4kWh/kgH2 수소액화 플랜트 개발 및 실증		
		1,000cbm 액체수소 벙커링 전용 선박 시스템 개발/실증 및 위험도평가기반안전운영기술개발		
		클린항만 구현을 위한 해양 인프라 기반 구축 및 실증		
		알칼라인수전해-액체수소-벙커링 연계 실증		
	PEM수전해 기반	고분자전해질(PEM) 수전해 시스템 개발 및 실증		
		수소융복합스테이션 구축 및 운영 실증	수소도시 운영 및 스마트	국토부

세부사업	프로젝트	세부과제	본 기획 추진과제명	비고
			수소그리드 기술 개발 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증	단독
		PEM수전해-융복합스테이션 연계 실증		
	고온수전해(SOEC) 기반	200kW급 고온 수전해 모듈시스템 개발 및 MW급 확장성 검증		
		수소 공항 모빌리티 실증	공항 내 수소 모빌리티 실증	산업부 공동
		고온수전해-항공용 충전인프라-드론 연계 실증		
해외 생산 수소 활용 공급망 구축 및 실증	해외 액화수소 기반	30 TPD(톤/일) 대규모 수소액화 플랜트 핵심기술 국산화 개발 및 실증		
		액체수소 운송선박 및 주요 기자재 선급 승인 절차 및 검증 방법 개발		
		대용량 액체수소 운송선박 핵심기술개발 및 주요 기자재 개발		
		대용량 액체수소 운반선박 건조 및 실증		
		해외수소 인수기지용 대용량 액체수소 육상저장 핵심기술 개발		
		저압 액체수소 공급시스템(액체수소 충전소) 개발 및 실증	액화수소충전소 개발 및 실증	산업부 공동
	해외 PtoX 기반	해외그린수소기반 1,500Nm^3/hr급 탄소중립 그린메탄 생산기술개발		
	해외 LOHC 기반	1,000 Nm^3-H_2/h급 LOHC 기반 고효율 '수소저장'-'추출' 통합 연계 시스템 개발 및 실증		
		수소철도 운영을 위한 대용량 고속 수소충전소 구축 실증		
		내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 3MW급 동력집중식수소전기기관차개발및실증	3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영	국토부 단독
		전철화 및 비전철화 구간 운행이 가능한 180km/h급 동력분산식듀얼모드수소 Inter-City 개발 및 실증	Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영	국토부 단독
		도심 친화형 600kW급 수소전기트램 실증		
	해외 암모니아 기반	고순도 수소생산량 20,000 Nm^3/h급 그린암모니아 기반 수소추출 핵심기술 국산화 및 실증		
폐자원·바이오매스 수소 활용 공급망 구축 및 실증	가연성폐자원 기반	가연성폐자원 순산소 가스화 수소 생산 및 최적 컴팩트 CO2 포집·활용 실증 기술개발	도시폐자원 기반 수소플랜트 개발	환경부 공동
		농촌 폐자원(폐비닐 등) 열분해 오일 및 슬러지 직접가스화 수소 생산 및 활용 실증 기술개발		
		비금속 수소 배관 개발 및 실증		
		폐자원 기반 수소-비금속 배관 연계 트라이젠 연료전지 서브스테이션 실증	수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증	국토부 단독
	바이오매스 기반	고함수 유기성폐자원 (음식물쓰레기 등) 바이오가스화를 통한 수소 생산 및 활용 실증 기술개발		
		중·저함수 유기성폐자원(우분 등) 스팀가스화 및 생물학적 수성가스 전환을 통한 청정수소 생산 및 활용 실증 기술개발		
		오프로더 건설기계용 저장용량 60kg급 이동형 수소충전 시스템 개발		

○ (연계성) 본 사업의 10개 추진과제 중 8개가 범부처 사업에 반영되어 타 세부과제와 통합 추진

- 반영된 8개 추진과제 중 수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발과 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증은 「수소융복합스테이션 구축 및 운영 실증」으로 통합되어 범부처 사업에는 7개 세부과제로 반영됨

※ 본 사업의 고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축, 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증은 번부처 사업에 미반영



[그림 6-3] 범부처 사업과 과제 연계

○ (차별성) 본 사업 추진과제가 범부처사업 3개 세부사업의 목적에 부합되도록 재배치되었으며, 타 부처와 공동추진을 통해 기술적 완성도 제고 가능

- 범부처 사업 7개 세부과제 중 4개는 국토부 단독추진 과제이며, 2개는 산업부와 공동추진 과제, 1개는 환경부와 공동추진 과제로 기획됨

제 7 장 소요 예산

7.1 소요예산 총괄

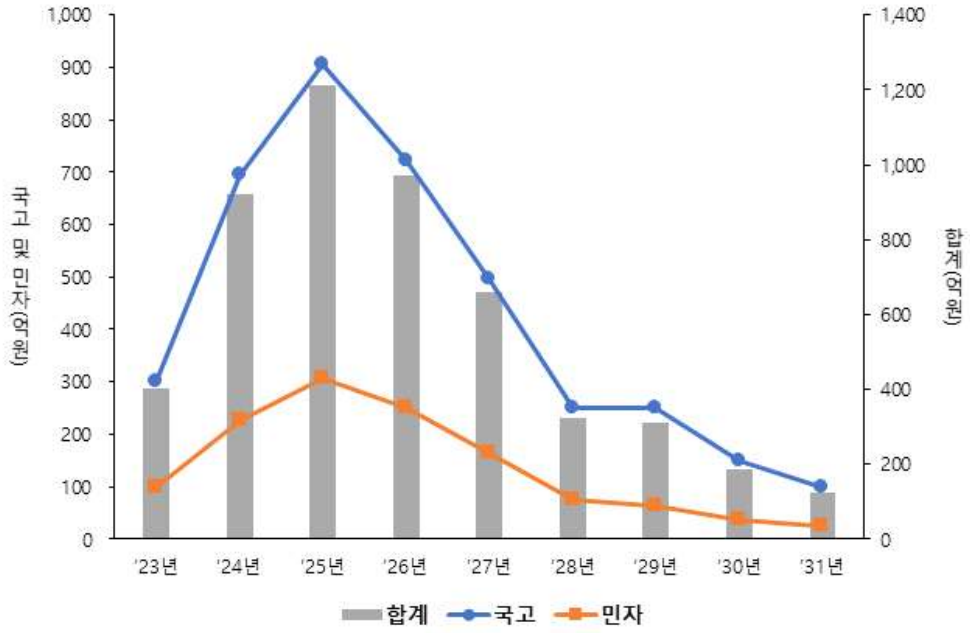
○ 동 사업의 소요예산은 총 5,115억원 (국고 3,868억원(75.6%), 민자 1,247억원(24.4%))

- (수소도시 인프라모델) 1,960억원 (국고 1,478억원(75.4%), 민자 482억원(24.6%))
- (수소도시 교통모델) 2,226억원 (국고 1,730억원(77.7%), 민자 496억원(22.3%))
- (수소도시 연관모델) 928억원 (국고 660억원(71.0%), 민자 269억원(29.0%))

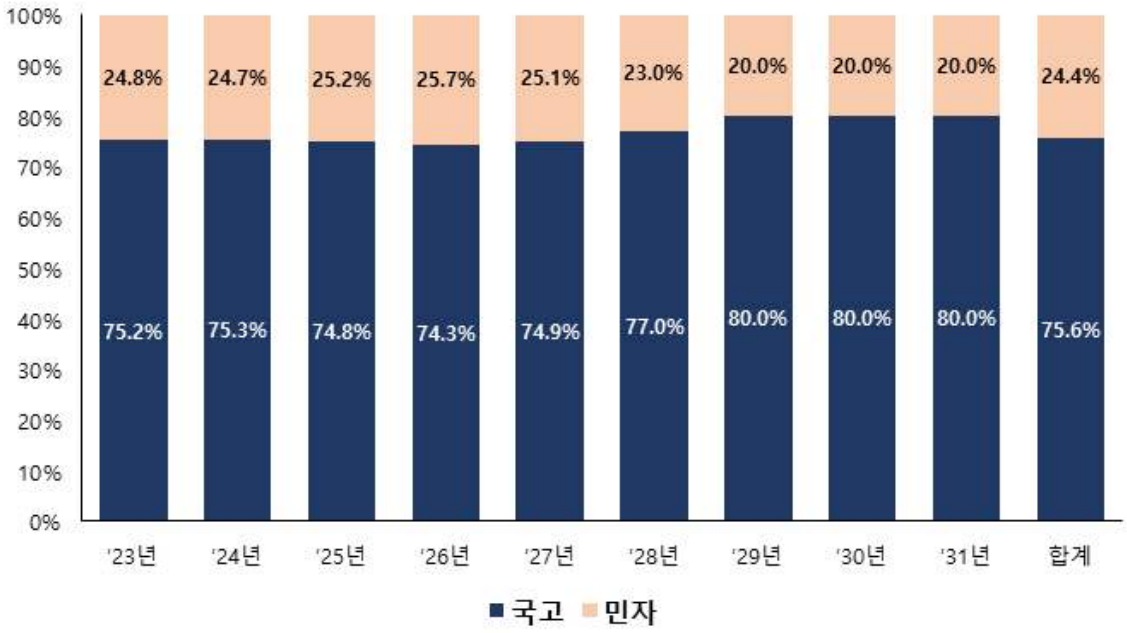
<표 7-1> 내역사업별 소요예산

(단위 : 억원)

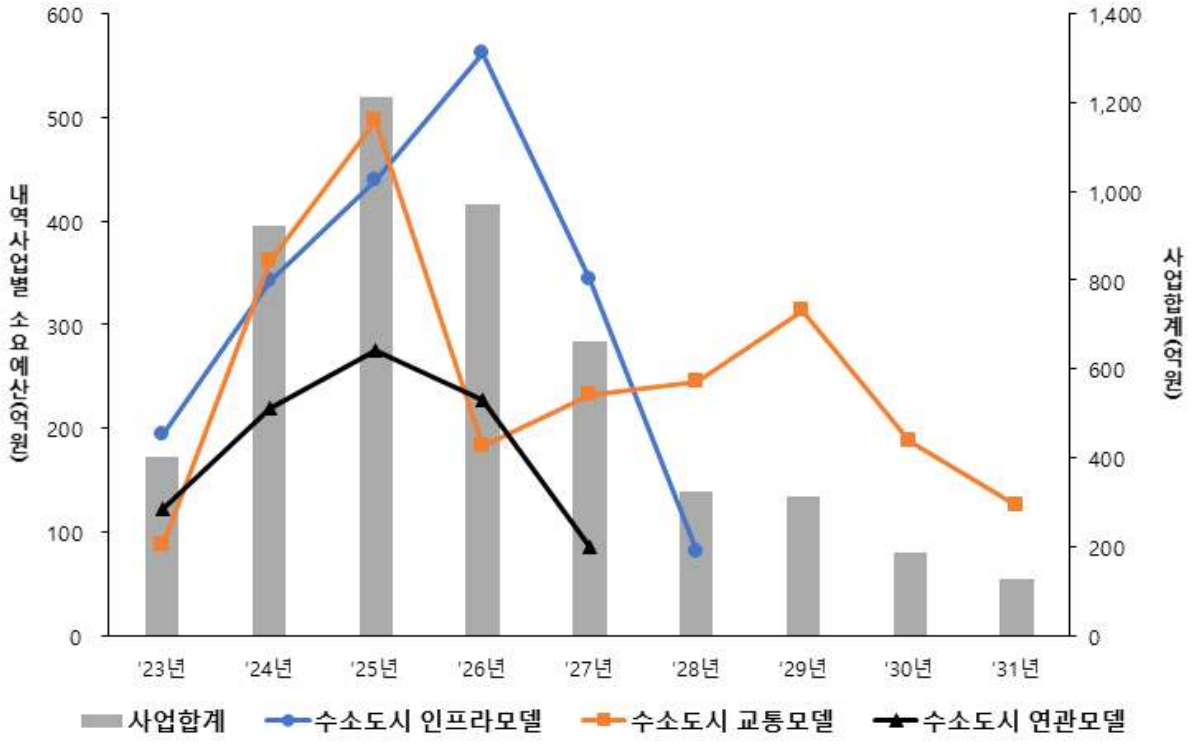
내역사업	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소도시 인프라모델 개발	국고	145	255	327	426	266	60	0	0	0	1,478
	민자	49	86	113	135	79	20	0	0	0	482
	합계	194	341	439	561	344	80	0	0	0	1,960
수소도시 교통모델 개발	국고	68	280	382	135	175	190	250	150	100	1,730
	민자	18	80	114	47	57	55	63	38	25	496
	합계	86	360	496	182	232	245	313	188	125	2,226
수소도시 연관모델 개발	국고	89	159	197	160	55	0	0	0	0	660
	민자	32	60	78	68	30	0	0	0	0	269
	합계	121	219	275	228	85	0	0	0	0	928
사업합계	국고	302	694	906	721	496	250	250	150	100	3,868
	민자	100	227	305	250	166	75	63	38	25	1,247
	합계	401	921	1,211	971	661	325	313	188	125	5,115



[그림 7-1] 연도별 사업 소요예산 추이



[그림 7-2] 재원별 비중 추이



[그림 7-3] 내역사업별 소요예산 추이

7.2 내역사업별 소요예산

7.2.1 수소도시 인프라모델 개발

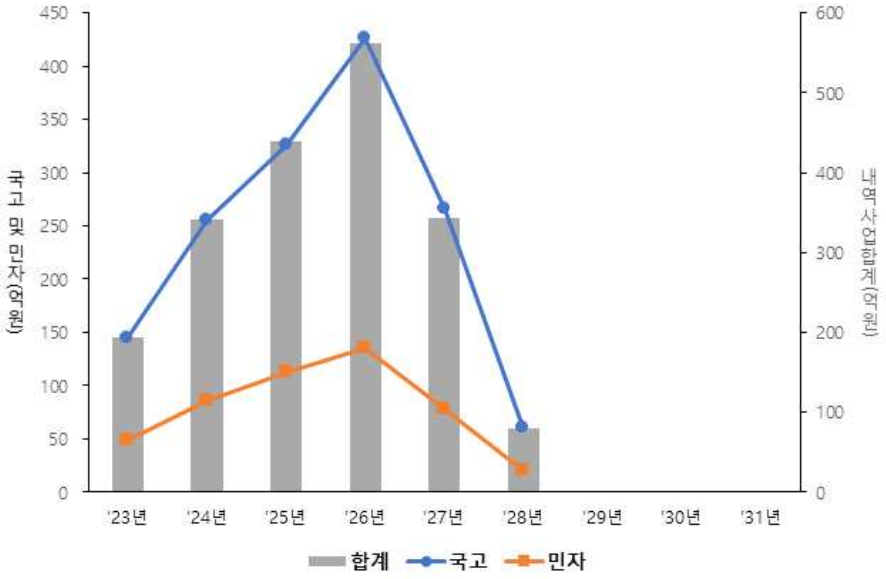
○ (수소도시 인프라모델) 1,960억원 (국고 1,478억원(75.4%), 민자 482억원(24.6%))

- (수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발) 1,046억원 (국고 783억원(74.9%), 민자 263억원(25.1%))
- (수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증) 579억원 (국고 405억원(70.0%), 민자 174억원(30.0%))
- (수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증) 335억원 (국고 290억원(86.6%), 민자 45억원(13.4%))

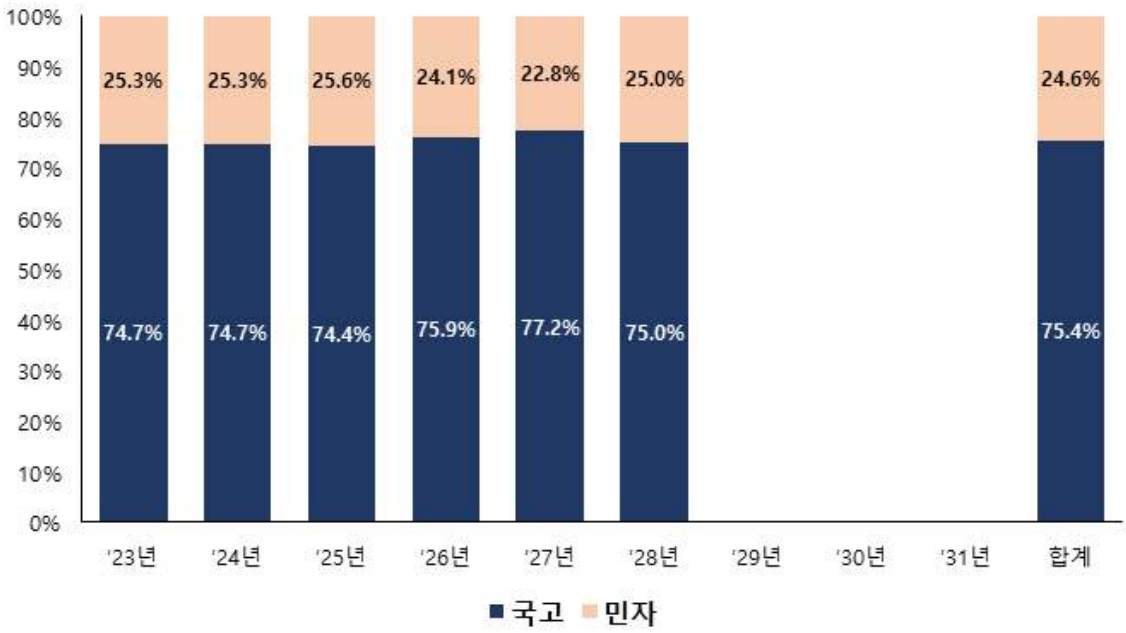
<표 7-2> 수소도시 인프라모델 개발의 추진과제별 소요예산

(단위 : 억원)

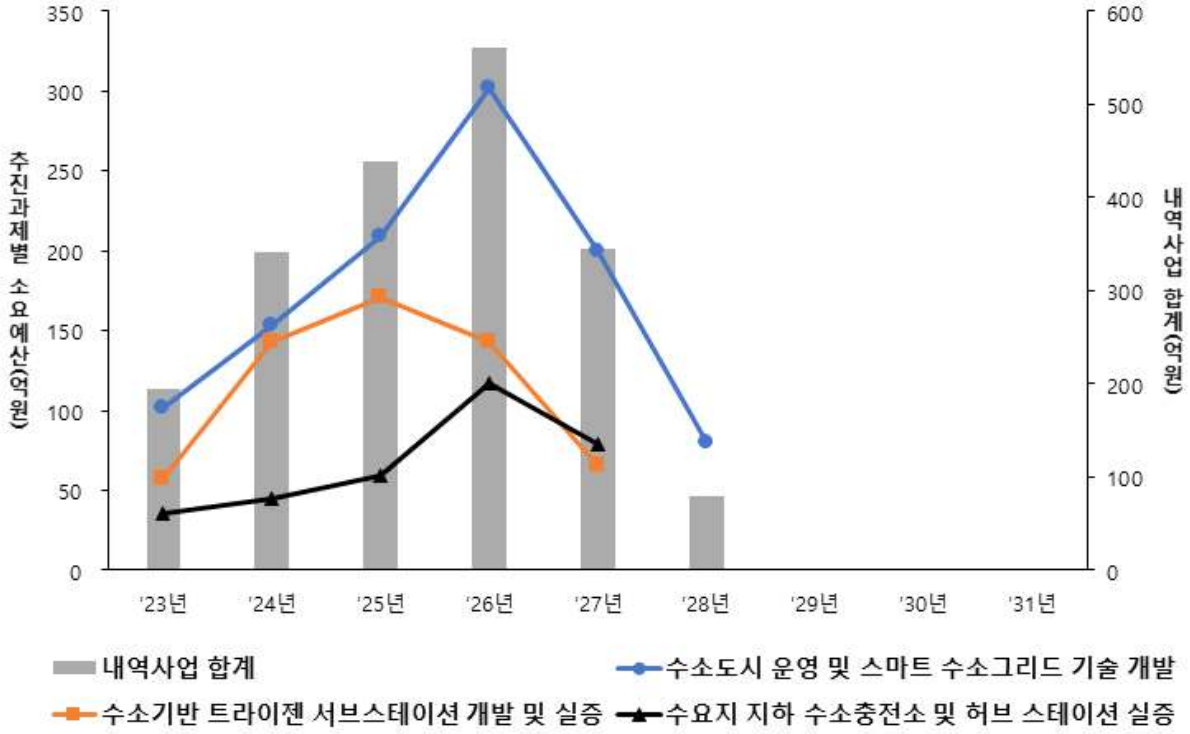
추진과제	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발	국고	75	115	157	226	150	60	0	0	0	783
	민자	27	38	52	75	50	20	0	0	0	263
	소계	102	153	209	301	200	80	0	0	0	1,046
수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증	국고	40	100	120	100	46	0	0	0	0	405
	민자	17	43	51	43	20	0	0	0	0	174
	소계	57	143	171	143	65	0	0	0	0	579
수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증	국고	30	40	50	100	70	0	0	0	0	290
	민자	5	5	9	17	9	0	0	0	0	45
	소계	35	45	59	117	79	0	0	0	0	335
합계	국고	145	255	327	426	266	60	0	0	0	1,478
	민자	49	86	113	135	79	20	0	0	0	482
	합계	194	341	439	561	344	80	0	0	0	1,960



[그림 7-4] 수소도시 인프라모델 개발의 연도별 소요예산 추이



[그림 7-5] 수소도시 인프라모델 개발의 재원별 비중 추이



[그림 7-6] 수소도시 인프라모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이

7.2.2 수소도시 교통모델 개발

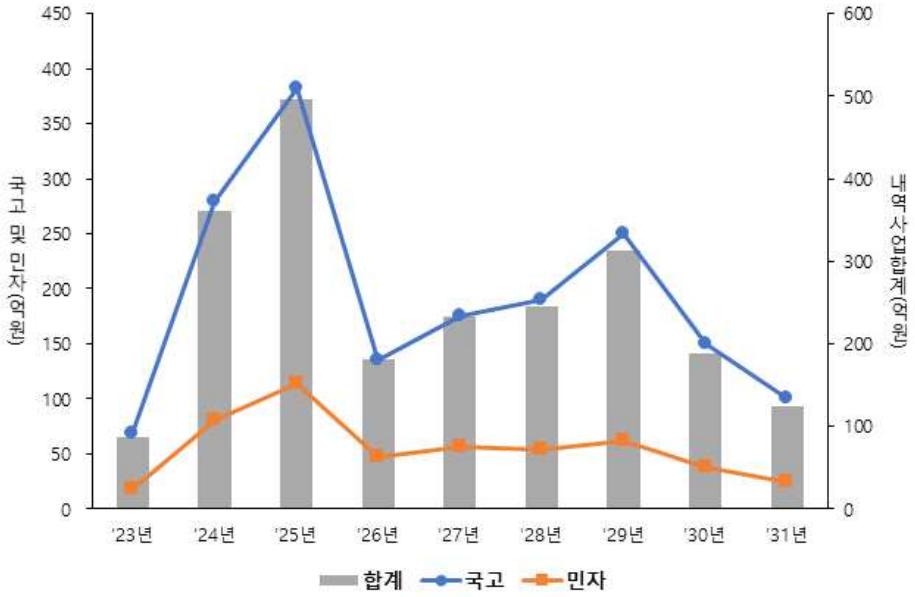
○ (수소도시 교통모델) 2,226억원 (국고 1,730억원(77.7%), 민자 496억원(22.3%))

- (3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영) 938억원 (국고 750억원(80.0%), 민자 188억원(20.0%))
- (Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영) 563억원 (국고 450억원(80.0%), 민자 113억원(20.0%))
- (공항 내 수소 모빌리티 실증) 398억원 (국고 300억원(75.3%), 민자 98억원(24.7%))
- (고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축) 328억원 (국고 230억원(70.1%), 민자 98억원(29.9%))

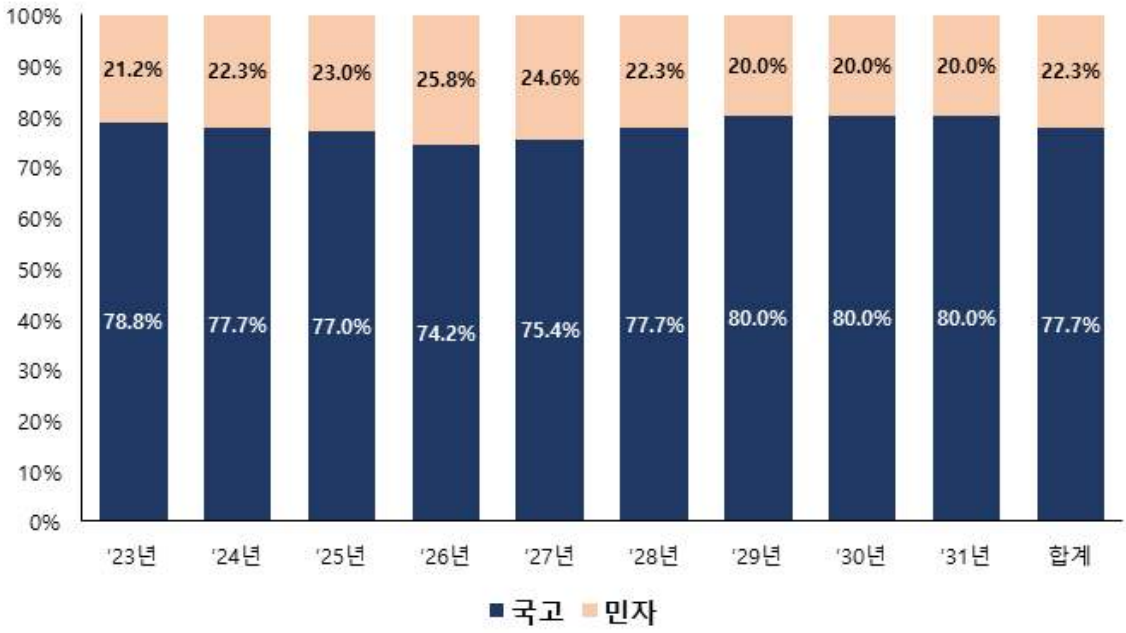
<표 7-3> 수소도시 교통모델 개발 추진과제별 소요예산

(단위 : 억원)

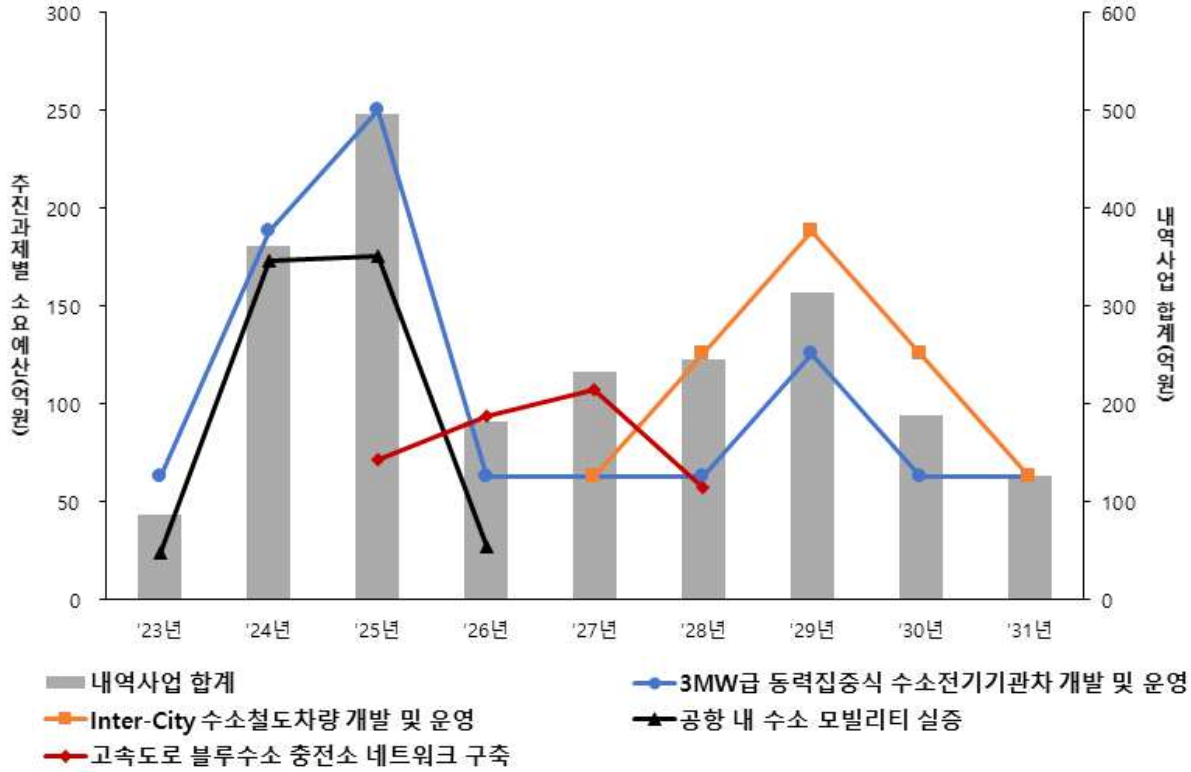
추진과제	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영	국고	50	150	200	50	50	50	100	50	50	750
	민자	13	38	50	13	13	13	25	13	13	188
	소계	63	188	250	63	63	63	125	63	63	938
Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영	국고	0	0	0	0	50	100	150	100	50	450
	민자	0	0	0	0	13	25	38	25	13	113
	소계	0	0	0	0	63	125	188	125	63	563
공항 내 수소 모빌리티 실증	국고	18	130	132	20	0	0	0	0	0	300
	민자	6	43	43	6	0	0	0	0	0	98
	소계	24	173	175	26	0	0	0	0	0	398
고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축	국고	0	0	50	65	75	40	0	0	0	230
	민자	0	0	21	28	32	17	0	0	0	98
	소계	0	0	71	93	107	57	0	0	0	328
합계	국고	68	280	382	135	175	190	250	150	100	1,730
	민자	18	80	114	47	57	55	63	38	25	496
	합계	86	360	496	182	232	245	313	188	125	2,226



[그림 7-7] 수소도시 교통모델 개발의 연도별 소요예산 추이



[그림 7-8] 수소도시 교통모델 개발의 재원별 비중 추이



[그림 7-9] 수소도시 교통모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이

7.2.3 수소도시 연관모델 개발

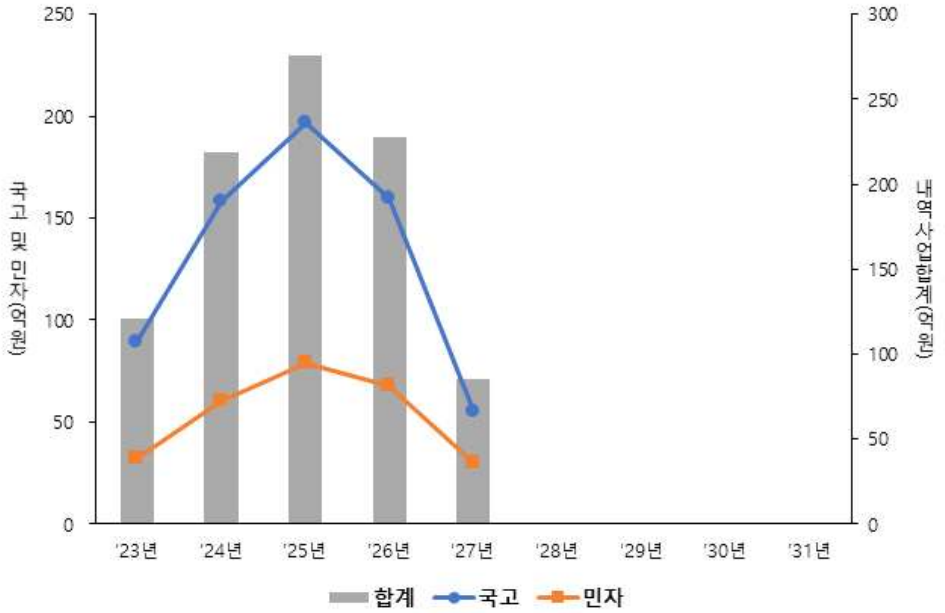
○ (수소도시 연관모델) 928억원 (국고 660억원(71.0%), 민자 269억원(29.0%))

- (액화수소충전소 개발 및 실증) 336억원 (국고 228억원(67.9%), 민자 108억원(32.1%))
- (도시폐자원 기반 수소플랜트 개발) 400억원 (국고 280억원(70.0%), 민자 120억원(30.0%))
- (그린수소기반 에너지 자립 도시 실증) 193억원 (국고 152억원(78.7%), 민자 41억원(21.3%))

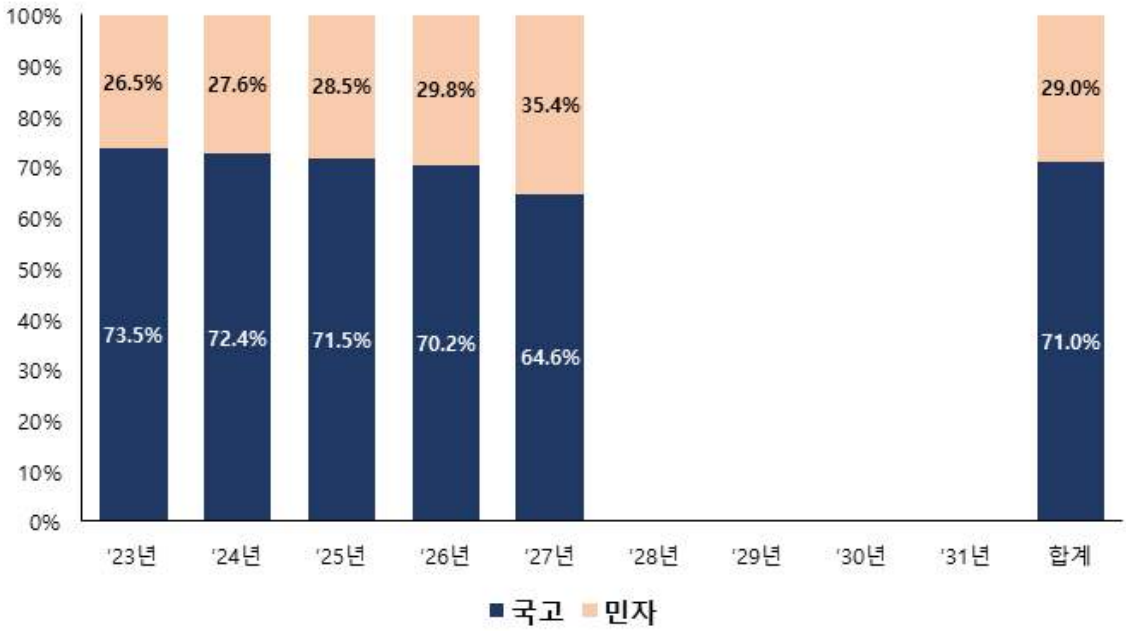
<표 7-4> 수소도시 연관모델 개발 추진과제별 소요예산

(단위 : 억원)

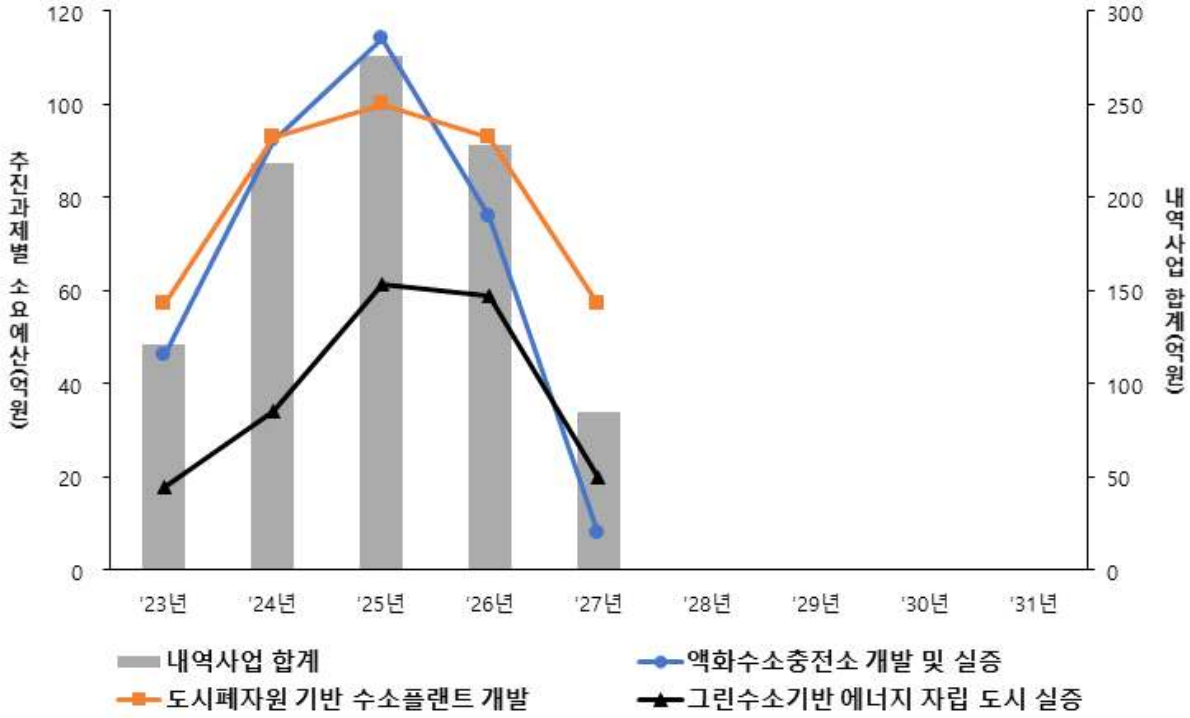
추진과제	재원	'23년	'24년	'25년	'26년	'27년	'28년	'29년	'30년	'31년	합계
액화수소충전소 개발 및 실증	국고	31	62	78	52	5	0	0	0	0	228
	민자	15	30	36	24	3	0	0	0	0	108
	소계	46	92	114	76	8	0	0	0	0	336
도시폐자원 기반 수소플랜트 개발	국고	40	65	70	65	40	0	0	0	0	280
	민자	17	28	30	28	17	0	0	0	0	120
	소계	57	93	100	93	57	0	0	0	0	400
그린수소기반 에너지 자립 도시 실증	국고	18	32	49	43	10	0	0	0	0	152
	민자	0	3	13	16	10	0	0	0	0	41
	소계	18	34	62	59	20	0	0	0	0	193
합계	국고	89	159	197	160	55	0	0	0	0	660
	민자	32	60	78	68	30	0	0	0	0	269
	합계	121	219	275	228	85	0	0	0	0	928



[그림 7-10] 수소도시 연관모델 개발의 연도별 소요예산 추이



[그림 7-11] 수소도시 연관모델 개발의 재원별 비중 추이



[그림 7-12] 수소도시 연관모델 개발의 추진과제별 소요예산 추이

제 8 장 사업타당성 분석

8.1 과학기술적 타당성 분석

8.2 정책적 타당성 분석

8.3 경제적 타당성 분석

8.1 과학기술적 타당성 분석

가. 문제·이슈 도출의 적절성

□ 사업기획 배경 및 경위의 적절성

① 사회적 니즈

○ 지구 온난화로 인해 기록적인 폭염과 홍수, 가뭄 등의 자연재해가 전 세계에서 지속적으로 발생하고 있으며, 이에 따른 인명 및 경제적 피해 규모가 커지고 있음

- 자연재해의 원인으로 전문가들은 지구 온난화를 지목하고 있으며, 지면과 해수면 온도상승이 기후변화를 초래

○ 온실가스의 대부분을 차지하는 이산화탄소는 산업 및 경제활동을 통해 계속적으로 배출되고 있으며, 기후변화로 인한 손실을 최소화하기 위해 정부와 기업은 탄소배출 저감을 위해 노력

- 온실가스의 약 80%를 차지하는 이산화탄소 대부분 산업 및 경제활동으로 인해 배출되기 때문에 기업들은 사회적 책임을 다하고 탄소 배출량 저감을 위해 적극적 동참

○ 현재 탈탄소화를 위한 정부와 기업의 노력만으로는 불충분한 상황이며, 근본적인 에너지 전환을 위한 핵심 수단이자 새로운 혁신성장동력으로 수소에너지 부상

- 수소는 화석연료에서 추출되더라도 에너지 전환과정의 효율이 높아 기존 연료보다 온실가스를 적게 배출하며, 재생에너지를 활용해 수소를 생산할 경우 온실가스를 전혀 배출하지 않음

- 수소는 전기를 보조하는 우수한 에너지 전달체로서 태양광, 풍력 등 재생에너지의 간헐성 문제를 극복하는 대안이자 산업 분야 탈탄소화를 달성하는 수단

○ 수소기술개발을 통해 탄소배출저감으로 국민의 건강권 제고와 사회경제적 비용을 절감 등 사회적 문제를 해결하고 관련 신산업 발굴을 통해 미래 신재생에너지로의 고부가가치 창출에 대한 사회적 기대치가 상승하고 있음

② 기술적 니즈

○ 국내 수소기술수준은 최고기술국인 일본 대비 78.3% 수준으로 추격 단계에 위치, 수소충전인프라 기술력 저조, 자체 기술 확보 미흡 등이 기술격차 발생의 주요 원인

※ 국내 수소·연료전지 기술 수준은 `18년 기술 선도국가인 일본 기술수준(100%) 대비 78.3%의 기술 수준 보유하고 있으며 기술격차년은 3년

○ 국내 수소기술력 부족으로 정부 정책 목표 달성을 위한 수소 인프라 구축 시, 해외 기술 도입 및 종속 우려

- 국내 수소기술은 난방 시스템과 수소차 기술에 있어서는 경쟁력을 보유하고 있으나 수소생산, 유통 인프라, 수소 생산장비 등 업스트림 부문에 대한 역량은 타국가 대비 열위

- 대규모 수소를 안정적·경제적으로 공급하기 위한 인프라 구축 시, 국내 기술의 성숙도가 미흡하여 해외 기술에 의존할 수밖에 없는 실정

○ 축적된 원천기술과 가스 등 에너지운영 노하우가 수소기술개발 투자와 결합될 경우, 수소경제 선도국가 도약 가능

- 부처별로 수소생산, 저장/운송 등 가치사슬별 기술개발 투자를 진행하여 원천기술을 확보하고 있으며 수소 활용분야의 경우, 민간 기업이 이미 세계적 경쟁력을 보유

- 국내에는 전국적인 가스망이 구축되어 있으며 운영한 노하우를 보유하고 있어 수소 공급망 관련 기술개발 지원 시, 빠른 시일 내 경쟁력 확보 가능

③ 산업적 니즈

○ 수소산업은 지속적으로 성장하는 미래유망 산업분야로 기술혁신과 함께 규모와 범위가 동시에 확대되는 분야임

- 수소는 전·후방 경제적·산업적 파급효과가 큰 미래 성장동력으로서 잠재력을 보유

- 수소를 에너지 전달체로 활용하기 위한 대규모 인프라 투자가 수반 시, 수소 생산·저장·운송(튜브 트레일러, 파이프라인), 수소 충전소 등과 관련된 새로운 시장 창출 가능

- 또한 수소 인프라 시장의 형성은 금속·화학·기계 설비 등 연관산업의 투자와 시장의 성장을 촉진하고 고용을 확대할 수 있음

○ 국내 수소기술의 성장과 더불어 수소연관업체도 매출 측면에서 증가 추세를 보이고 있지만, 대부분의 업체가 영세한 업체로 이들의 경쟁력을 향상시키기 위한 지원이 필요

- 수소연관 기업 매출은 ’19년 1조 5,831억 원으로 증가 추세, 그러나 수소 연관기업은 인력/매출 측면에서 영세한 업체로 이들이 자체적으로 수소산업 생태계를 활성화시키기에는 한계가 있음

- 따라서 이들의 성장을 통해 국내 수소 산업의 발전을 이끌어내기 위해서는 정부의 지원이 필요

□ 문제·이슈 식별 과정의 적절성

○ 동 수소도시 실증R&D사업은 범부처 사업인 수소기술개발사업 기획의 일환으로, 추진 방안 검토를 위한 부처 및 전문기관 실무회의('19.4 ~ '19.6)를 통해 수소도시 실증R&D 사업의 필요성 검증

- 범부처 수소 기술개발 사업' 추진을 위한 추진체계 구성 및 추진일정 등 논의('19.4)

※ (참석자) 과기부 · 해수부 · 특허청 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가위원회 총괄위원 및 5개 분과위원장

- 기획 주관기관 선정 기준 등 검토('19.5)

※ (참석자) 과기부 · 해수부 · 특허청 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가위원회 총괄위원 및 5개 분과위원장

- 예타 대응 기획 용역제안요구서 및 표준협정서(안) 검토

※ (참석자) 과기 · 산업 · 국토 · 해수 · 환경부 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가위원회, 총괄위원

○ 추진 주체들의 유기적인 협업 및 다양한 수요조사를 통해 수소도시 실증 R&D 사업의 상세 기획 진행

- 총괄기획위원회 구성 : 기술 분야별 기획위원장과 부처 추천 자문위원 등 기술분야의 전문성 및 공정성을 보유한 인사로 구성하여 사업방향을 총괄 자문

- 기획위원회 구성 : 수소기술분류를 감안해 5개 기술분야로 구분되었으며 분야별 기술전문가 10~17인으로 구성되어 세부기술이슈 검토, 필요기술 도출, 기술개요서 작성 등 역할 수행

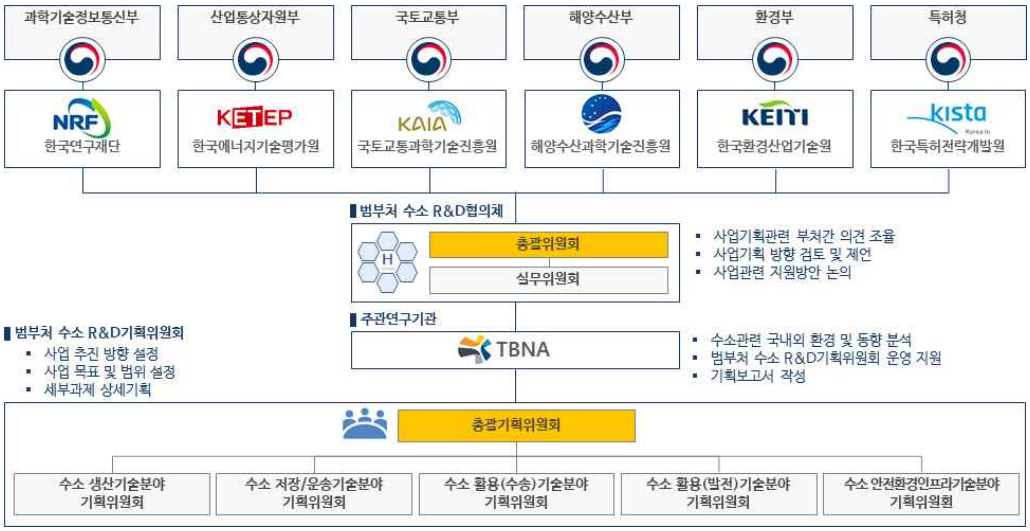
<표 8-1> 기술분야별 기획위원회 구성

구분	합계	총괄	생산	저장운송	활용(수송)	활용(발전)	안전환경 인프라
위원수(명)	75	5	17	15	11	10	17
구성비(%)	100%	7%	23%	20%	15%	13%	23%

- 중점 지원분야 선정 : 총괄기획원위원회를 중심으로 사전 중점 지원분야 선정 및 과제 발굴 추진

- 수요조사 : 사업기획을 위한 연구자 대상 기술수요조사를 비롯하여 총괄 및 기획위원화, 전문기관 회의 등을 통해 사업기획 방향성 및 내용 협의

- 5개 기획위원회 구성 및 기술분야별 작업반을 구성을 통한 세부사업, 연구과제 도출



[그림 8-1] 사업기획 추진체계

○ 동 사업은 효율적 기획을 추진하기 위해 상향식, 하향식 기획을 병행하는 방식으로 사전 단계를 포함해 총 3단계로 구분하여 추진

○ **사전단계**

- 수소기술개발사업 기획 추진 방안 검토를 위한 부처 및 전문기관 실무회의 ('19. 4 ~ '19. 6)
  - ('19.4.) 범부처 수소 기술개발 사업' 추진을 위한 추진체계 구성 및 추진일정 등 논의
    ※ (참석자) 과기 · 해수부 · 특허청 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가위원회 총괄위원 및 5개 분과위원장
  - ('19.5.) 기획 주관기관 선정 기준 등 검토
    ※ (참석자) 과기 · 해수부 · 특허청 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가위원회 총괄위원 및 5개 분과위원장
  - ('19.6.) 예타 대응 기획 용역제안요구서 및 표준협정서(안) 검토
    ※ (참석자) 과기 · 산업 · 국토 · 해수 · 환경부 및 전문기관, 수소기술개발로드맵 전문가 위원회, 총괄위원

○ **본 기획(하향식)**

- 수소경제 현황 및 관리체계 분석('19. 11)
  - 수소관련 법령 체계, 수소산업 가치사슬 및 국내 인프라 현황 분석
- 환경 및 동향분석('19. 12 ~ '20. 2)
  - 수소관련 국내외 정책·시장·기술·산업동향 분석

- 사업추진방향 및 세부사업 도출(‘20. 3 ~ 5)

  · 국내외 수소공급 인프라 핵심기술 확보를 위한 R&D사업 추진 결정

  ※ (’20. 3, 1차 총괄기획위원회) 수소기술/R&D 투자 이슈 검토

  ※ (‘20. 5, 수소 R&D협의체 3차 실무회의) 부처별 수소경제관련 R&D현안 재검토

  ※ (’20. 5, 2차 총괄기획위원회) 수소 정책/산업 이슈 검토, 사업추진방향 및 세부사업 구성(안) 논의

○ 본 기획(상향식)

- 연구자 대상 기술수요조사(’20. 1. 31 ~ 2. 21)

  · 공동 기술수요조사, 부처별 기획 등을 통해 273개 후보기술 발굴

- 전문가 제안기술의 적절성 검토(’20. 2 ~ 3)

  · (‘20. 3, 범부처 수소R&D 협의체 2차 실무회의) 공동기술수요조사 결과 및 수소기술개발로드맵 기술개요서의 기존 기술 중복성 검토 1차

  · (‘20. 5, 부처별 전문기관 및 자문위원회의) 공동기술수요조사 결과 및 수소기술개발로드맵 기술개요서의 기존 기술 중복성 검토 2차

○ 세부사업별 기획

- 세부사업별 기획(‘20. 5 ~ 7)

  · 분야별 기획위원회 운영을 통한 세부기술이슈 검토, 이슈해결을 위한 필요기술 발굴

※ 필요기술은 상향식 검토를 통해 선별된 전문가 제안기술 Pool에서 선별

  · 필요기술 목록은 총괄기획위원회(3차) 검토를 통해 확정하고 분야별 기획위원이 기술개요서 작성

  · 기술개요서는 분야별 기획위원회 정독을 통해 1차 검토 후, 총괄기획위원회 검토(4~5차)를 통해 기술개발 적절성을 검토으로 우선추진과제(55개) 선정

※ 총괄기획위원회 검토 시, 기술개발 내용 및 연구개발비의 적절성을 검토하고 조정

  · 부처 및 전문기관 검토(실무회의 4, 5, 6차)를 통해 우선추진과제의 정책적 타당성을 논의하고 최종 추진과제 45개 선정

※ 45개 과제 중, 3개 과제는 부처 예산 심의 과정 중, 21년 추진과제로 결정되어 사업내용에 포함되나 예산에서 배제

- 범부처 수소 예타 사업 공청회(’20. 7. 28)

  · 온/오프라인 공청회 실시

□ 과학기술기반 문제·이슈 정의의 적절성

○ 수소도시 실증R&D사업은 생산, 저장·운송, 활용의 수소산업 전주기에 걸친 기술

개발을 종합해 수소도시 규모로 적용 시 기술의 환경성, 경제성 등을 검증하는 사업

○ 동 사업은 글로벌 신규시장 창출 및 선점을 위한 필수적인 단계의 사업으로, 기존에는 없던 신기술의 개발과 실증을 통한 검증이 주된 사업의 내용으로 R&D사업의 형태 이외 일반 사업의 형태로 추진하기 어려운 사업 특성을 지님

- 수소산업 가치사슬 전단계에 걸친 수소 인프라 및 활용 분야의 신기술을 개발하고, 수소도시 규모의 기술 실증을 통해 기술의 환경성 및 경제성을 확보하기 위한 것으로 R&D사업 이외의 다른 정책대안이 있다고 보기 어려움

○ 동 수소도시 실증R&D사업은 수소산업 가치사슬 전주기에 걸친 신기술을 개발하고 실증해 국가 수소 기술 경쟁력을 세계 최고 수준으로 확보하기 위한 것으로 개별 민간 기업 수준에서 수행하기 어려운 특성을 가짐

- 도시형 수소트램, 수소전기기관차, 수소철도차량, 공항 내 모빌리티 등 대규모 수소 모빌리티는 국가기간산업과 연계된 R&D 및 실증과제로 개별 민간 기업이 단독 사업 형태로 추진하기 어려움

- 수소도시 운영 및 스마트그리드 기술, 블루수소 충전소 네트워크, 그린수소기반 에너지 자립 도시 실증 등 복합 수소 인프라 구축 기술

나. 사업목표의 적절성

□ 식별된 문제·이슈와의 연관성

○ 동 사업은 수소도시 시스템 기술을 검증해 수소경제를 구현하기 위한 기술성, 경제성, 안전성을 확보하기 위한 것

- 국내외 수소공급 인프라의 신뢰성 검증 및 운영기술의 확보·적용을 단계적으로 달성해 사업 최종목표를 달성할 계획

- 이를 위해 수소도시 운영시스템 및 액화 수소 충전소 등 11개 핵심기술을 확보, 표준 3건 반영, 국외특허등록 94건을 사업의 성과목표로 설정

○ 동 사업목표는 수소경제 달성을 위한 생산, 저장, 운송의 종합 인프라 구축 및 주거, 교통, 산업에의 활용 기술 개발과 실증이 필요라는 동 사업기획의 문제 및 이슈의 해결과 잘 부합하고 있음

- 세계 최고 수준의 수소경제 달성을 위한 기술개발 및 실증이 필요하다는 문제 및 이슈를 해결하기 위해 수소공급 인프라의 신뢰성을 검증하고 운영기술의 확보 및 적용을 단계별 목표로 설정해 동 사업의 문제 및 이슈와 사업 목표 간 연관성을 확보
  · 수소도시 운영시스템 및 액화 수소 충전소 등 11개 핵심기술 확보라는 성과목표를 통해 수소도시 규모의 종합 인프라 기술의 개발과 실증이 필요하다는

문제 및 이슈를 해결 가능

· 표준 3건 반영 및 국외특허등록 94건이라는 성과목표 설정을 통해 글로벌 시장 창출이 가능한 기술개발 및 실증이 필요하다는 동 사업기획의 문제 및 이슈 해결 정도를 적절하게 측정할 수 있음

□ 사업목표 설정의 적절성

○ 동 사업은 기술성, 경제성, 안전성을 지닌 수소도시 시스템 기술을 개발하고 검증하는 것을 목표로 설정

- 기술개발 및 검증의 방향성을 기술성, 경제성, 안전성으로 설정함으로써 실증사업에 적합하게 방향성을 구체적으로 제시

○ 수소 도시 운영 시스템 및 충전 인프라 구축을 위한 핵심기술의 확보, 기술표준의 반영, 국외특허등록을 통해 사업의 효과를 구체적으로 제시할 수 있음

- 성과목표는 동 사업을 통한 기술개발 및 실증의 대상인 수소 인프라, 교통 및 연관모델이 기술성, 경제성, 안전성을 갖추었는지를 측정하는 데 구체적이고 적절하게 제시됨

○ 동 사업은 수소 인프라, 교통, 연관모델 기술을 개발하고 이를 검증해 수소경제를 구현할 수 있는 수소도시 시스템 기술의 기술성, 경제성, 안전성을 확보해 수소산업 가치사슬 전주기에 걸친 부품 제조사, 산·학·연 전문가, 수소 인프라 및 교통 이용자에게 직접적인 혜택을 제공

- 동 사업은 수소산업 가치사슬 전주기에 걸친 신기술의 개발뿐만 아니라 수소도시에 적용 및 검증을 수행하는 것으로 유관 전문가뿐만 아니라 부품 제조사가 직접 수혜자로 표적될 수 있음

- 동 사업을 통해 구현되는 수소도시의 인프라 및 교통시스템의 이용 대상 또한 동 사업의 직접 수혜자라고 할 수 있음

다. 세부활동 및 추진전략의 적절성

□ 세부활동 구성 및 내용의 구체성과 연계성

○ 동 사업은 수소 인프라모델, 교통모델, 연계모델의 3개 내역사업으로 구성돼 있으며, 기술개발 및 실증 측면에서 내역 사업 간 및 추진과제 간 구체성과 연계성을 갖추도록 함

- 수소도시를 구현하는 데 필수적인 도시 에너지 공급, 운영, 저장 시스템을 수소 인프라 모델의 구성요소로 설정해 수소 교통모델이 구현될 수 있는 에너지 시스템 기술을 개발하고 실증할 수 있도록 함

- 수소 인프라모델 사업 추진에 기반해 수소 트램, 기관차, 철도차량, 공항 내 모빌리티의 대규모 수소 모빌리티 기술을 개발하고 실증할 수 있도록 해 수소 기반 교통 모델의 실현성을 고려해 내역사업과 추진과제를 설정함

- 현재 기술 수준 상 기술개발 난이도가 가장 높지만 수소경제 구현을 최종 완성하는 데 필요한 블루 및 그린수소, 폐자원을 활용한 수소 생산 시스템을 수소 인프라 및 교통 모델에 적용할 수 있도록 함으로써 내역사업 및 추진과제 간 구체성과 연계성을 확보함

□ 사업목표 달성을 위한 추진전략의 적절성

○ 실증사업의 특성을 고려해 2단계로 사업을 추진하여 기존 기술과 연계 가능한 기술과 신기술 간의 기술개발 및 실증이 동 사업 내 통합적이고 유기적으로 이루어질 수 있도록 함

- 수소도시 에너지 운영 기술, 수소 분산형 에너지 공급 시스템, 수소 지하충전소 구축 기술로 기존 에너지 운영, 공급, 저장방식을 응용한 수소 에너지 운영, 공급, 저장 인프라 기술을 1단계 중 개발하고 실증해 수소도시 에너지 운영 시스템을 구축

- 수소트램 및 공항 내 모빌리티 기술을 1단계에, 기관차 및 도시 간 철도차량 기술을 2단계에 걸쳐 개발하고 실증함으로써 대규모 수소도시 모빌리티 시스템을 구축

- 신재생에너지 기반 수소 생산 및 공급을 실현해 환경성까지 갖춘 수소도시 시스템 기술을 완성하기 위해 2단계 해당 기술을 개발하고 실증하도록 함

8.2 정책적 타당성 분석

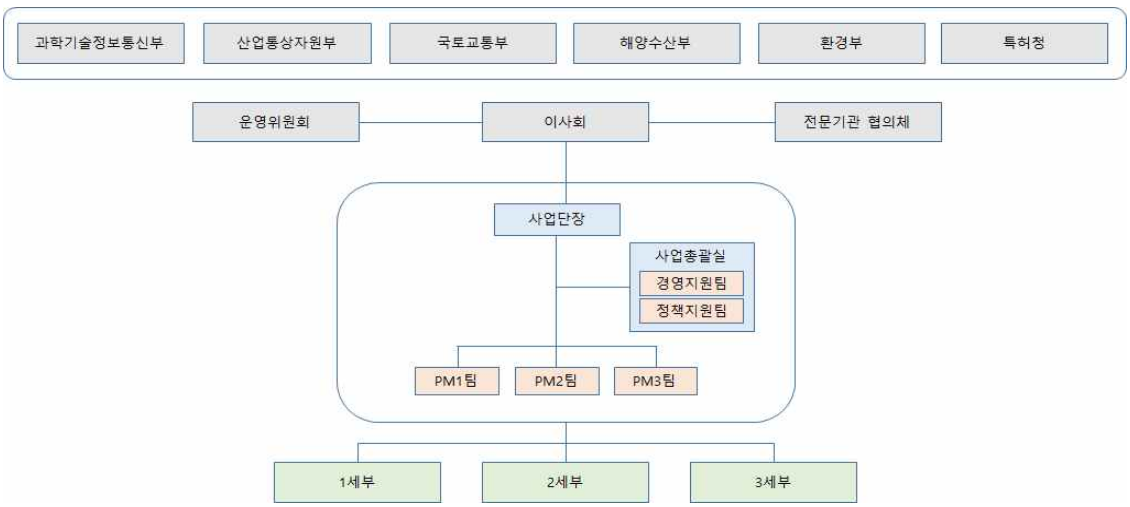
가. 정책의 일관성 및 추진체제

□ 상위계획과의 부합성(정부차원의 정책적 합의)

○ 국내 수소정책 방향은 신기후체제 출범으로 인한 온실가스 감축 이행 의무화로 에너지 전환 요구가 강화됨에 따라, 대내외 요구에 순응 및 선도하고자 수소 전주기 가치사슬 생태계 육성을 목적으로 전환

- '05년 산업통상자원부는 수소를 기반으로 에너지 자립도를 제고하고 경제성장 및 환경개선을 달성하여 친환경 수소경제 강국 건설을 목표로 하는 수소경제마스터플랜 발표
- '15년 12월 채택된 파리협정으로 세계 각국은 적극적인 온실가스 감축 목표를 세우고 있으며, 기후변화 대응·기후재원 조성 등 지속가능한 발전을 위한 노력
- 이에 '19년 정부는 온실가스 감축 의무의 강화, 새로운 성장동력 창출 등 수요에 힘입어 새로운 성장동력으로의 육성 가능성이 높은 수소에 주목해 '수소경제' 에너지 전환, '세계 최고 수준의 수소경제 국가'를 비전으로 하는「수소경제 활성화 로드맵(2019)」을 발표

○ 과기부, 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청은 범부처 수소공급 인프라 구축 핵심기술개발 및 실증 사업의 원활한 추진을 위해 운영 및 지원에 관한 협의를 마치고 사업 착수를 준비 중



[그림 8-2] 사업단 추진체계

- 동 사업은 6개 부처(청) 공동기획 사업 형태로 추진주관부처, 전문기관, 사업단 등으로 구성된 협의체로 단일 관리체계 구축

- 수소공급 인프라 구축을 위한 핵심기술 개발과 실증을 위해 부처·단계별 칸막이가 없고 주요 성과가 유기적으로 연결될 수 있도록, 범부처 사업에 함께 예산을 투입하고 운영하여 수소경제의 조기 활성화 추진

① 친환경수소경제 구현을 위한 마스터플랜

❍ 산업통상자원부는 '05년, '친환경 수소 경제 강국' 구현을 목적으로 연료전지 및 수소생산기술 R&D와 산업화를 지원하기 위한 마스터플랜 제시

- 연료전지의 적용분야를 확대하고 성능을 개선하기 위한 응용기술과 다양한 제조원을 통해 수소를 생산할 수 있는 기술, 수소를 다양한 방식으로 저장하는 기술 개발을 지원

❍ 동 사업은 연료전지 및 수소 제조·저장·공급 등 전반에 걸쳐 R&D, 인프라 구축을 목표로 하는 점에서 친환경 수소경제 구현을 위한 마스터플랜과의 정합성이 있음

<표 8-2> 친환경 수소 경제 구현을 위한 마스터플랜과의 부합성

추진전략	추진내용
연료전지 산업화 지원을 위한 수소제조전략	○ 화석연료 대비 경제성 확보, 단계적으로 신재생에너지 기반 수소생산 확대 - 천연가스 개질 용량 확대(on-site용), 부생가스내 수소 추가 생산, 여유전력의 수소전환(수전해), 석탄 가스화 수소생산, 재생에너지 기반 수소생산기술을 개발
연료전지 산업화 지원을 위한 수소저장·공급 전략	○ 저장능력 향상을 위한 신기술 R&D 및 물류비용 최적화를 고려한 공급체계 구축 - 고압 압축저장 용량 확대, 저온 액체저장, 신재료를 이용한 수소저장 기술 개발 - 천연가스 개질형(On-site) 수소스테이션 보급, 부생가스, 원자력, 석탄, 재생에너지 기반 수소스테이션 보급(off-site), 수소 파이프라인 및 튜브트레일러 확충

자료: 수소경제 마스터플랜, 산업통상자원부, 2005

② 수소경제 활성화 로드맵

❍ 신기후체제 출범으로 인한 온실가스 감축 이행 의무화로 에너지 전환 요구가 강화됨에 따라 관계 부처가 공동으로 '세계 최고 수준의 수소 경제 선도국가로 도약'하기 위한 수소경제 활성화 로드맵을 수립

- 수소활용 가속화, 경제적 그린수소로의 전환, 경제적 수소 유통체계 구현, 수소산업 생태계 조성을 추진

○ 동 사업은 수소 저장·운송·체계의 확립, 수소산업 전주기 안전관리, 그린수소생산 확대를 목표로 하는 점에서 수소경제 활성화 로드맵과의 정합성이 있음

<표 8-3> 수소경제 활성화 로드맵과의 부합성

중점추진 분야	추진방안
활용	○ 모빌리티 수소 활용 가속화 - 수소차 양산체계 구축 및 보급 확대, 수소 택시·버스 등 대중교통 전환, 공공부문 수소 트럭 활용, 수소 충전소 전국 확대 및 자생력 확보, 선박, 열차, 드론 등 기타 활용 분야 확대
생산	○ Grey 수소에서 Green 수소로 생산 패러다임 전환 - 수전해 대량 생산 및 경제성 확보, 해외 CO2 free 수소의 본격 도입 등
저장운송	○ 안정적이고 경제성 있는 수소 유통 체계 확립 - (저장) 고압기체 외 고효율 액체·액상·고체 등 다양화 - (운송) 파이프라인 전국망, 수소운반선 등 대규모 유통
안전	○ 수소안전에 대한 국민 인식 제고 및 수소 전주기 안전관리 체계 확립

자료: 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처 합동, 2019

③ 재생에너지산업 경재력 강화 방안

○ 정부는 관계부처 합동으로 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안('19)을 발표하고 재생에너지산업의 새로운 성장동력으로 육성하기 위한 방안의 일환으로 수전해 수소 생산 기술의 상용화를 지원

○ 동 사업은 수전해 기술개발과 재생에너지 기반 그린수소 생산 기술개발 및 실증을 목표로 하는 점에서 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안과의 정합성이 있음

<표 8-4> 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안과의 부합성

추진전략	추진내용
제품 효율·품질 기반으로 시장 경쟁구도를 전환	○ 융·복합 신기술 제품 및 신서비스 시장 육성(통합 모니터링, 그린수소 생산) - 제품 효율·품질 기반으로 시장 경쟁구도를 전환 가운데 재생에너지로 생산된 전기를 활용해 수전해 방식(Power to Gas)의 청정(Green) 수소 생산 상용화 추진

자료: 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안, 관계부처합동, 2019

④ 제3차 에너지 기본계획

○ 정부는 관계부처 합동으로 제3차 에너지 기본계획을 수립하고, 에너지 전환을 가속화하기 위해 에너지 소비구조 및 에너지믹스 개선, 분산 에너지 확대 등을 지원

- 에너지 수요관리 시장 활성화 등 소비구조 혁신, 재생에너지 발전 비중 확대, 분

산형 전원 확대 내실화, 에너지 산업 육성 등을 지원

○ 동 사업은 수소 활용 확대와 수소 안전환경인프라 구축, 수소도시 통합 실증을 목표로 하고 있는 점에서 제3차 에너지 기본계획과의 정합성이 있음

<표 8-5> 제3차 에너지 기본계획과의 부합성

중점추진분야	추진내용
에너지 소비구조 혁신	○ 수소충전 및 정비 인프라 확충, 안전성 평가기술 개발
깨끗하고 안전한 에너지 믹스로 전환	○ 수소의 수송연료·발전용 활용을 확대
에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화	○ 재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 경쟁력 강화를 통해 미래 에너지산업 육성 - 모빌리티, 발전, 주택 등 수소 활용을 확대하여 세계 최고 활용 환경 조성 - 수소생산방식 다양화 및 유통체계 확립을 통한 안정적이고 보편적인 수소공급 시스템 확충 - 산업생태계 조성 및 전주기 안전관리체계 확립, 연계사업 육성 추진
에너지 전환을 위한 기반 구축	○ 에너지 기술개발 - 대형 R&D 및 실증 연구 확대, 수소에너지 등 R&D 투자의 선택과 집중

자료: 제3차 에너지기본계획, 관계부처합동, 2019

⑤ 수소경제 표준화 전략 로드맵

○ 산업통상자원부는 수소 관련 국제표준 선점과 수소산업의 글로벌 시장 선도를 위해 국제 표준경쟁력 강화 전략을 포함한 수소경제 표준화 전략 로드맵을 수립

○ 동 사업은 수소 핵심시스템의 국산화 모델 개발과 표준 및 인증 기반 구축을 통해 해외 시장 진출을 목표로 하고 있다는 점에서 수소경제 표준화 전략 로드맵과의 정합성이 있음

<표 8-6> 수소경제 표준화 전략 로드맵과의 부합성

추진과제	추진내용
국내 기술의 국제 표준화 제안시스템 구축	○ R&D와 국제표준화 연계 '일체형' 표준 개발 - 수소는 수소추출기, 충전소 압축기·저장용기 등 기술 고도화, 연료전지는 드론·선박 등의 성능·안전성 강화 기술을 개발 ○ 국제표준 제안 전주기 지원 확대 - '수소경제 활성화 로드맵' 수립 시, 수전해 기술, 수소산박 기술 등 개략적인 중장기 기술전망 중심으로 40여건 과제 제시
수소 제품 서비스 품질·안전 확보	○ 수소 제품·서비스의 KS표준 확대 ○ 시장 창출형 제품의 KS인증 기반 구축
수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성	○ 수소산업 안전성 시험기반 구축

자료: 수소경제 표준화 전략 로드맵, 산업통상자원부, 2019

⑥ 미래 자동차산업 발전전략

❍ 정부는 관계부처 합동으로 미래 자동차산업 발전전략을 수립하고, 친환경 세계 시장 선도의 일환으로 수소상용차 개발, 내구성 향상 및 부품국산화 등을 지원

- 수소자동차의 국내 보급 및 확산 및 글로벌 경쟁력 향상을 위하 라인업 확대, 내구성 향상, 가격인하를 위한 대체소재 연료전지시스템 개발 등을 지원

❍ 동 사업은 수소 운송기술 개발 및 공급 인프라와 모빌리티 연계 실증 등을 목표로 국내보급 가속화를 기반으로 세계 시장 선점을 목표로 하고 있다는 점에서 미래 자동차산업 발전전략과의 정합성이 있음

<표 8-7> 미래 자동차산업 발전전략과의 부합성

추진과제	추진내용
친환경차 세계시장 선도	○ (생산・수출) 가격・성능 혁신, 차종 다변화 등 글로벌경쟁력 확보 ○ (국내보급) 보조금 등 다양한 혜택 및 충전인프라 구축
산업 생태계 대전환 지원	○ 부품기업의 미래차 전환 가속화 지원

자료: 미래 자동차산업 발전전략, 관계부처 합동, 2019. 10

⑦ 수소 인프라 및 충전소 구축방안

❍ 수소의 생산 및 가격 안정화와 충전소의 균형 배치 및 자생적 확산을 목표로 정부는 관계부처 합동으로 수소 인프라 및 충전소 구축방안을 수립

- 수소 이용의 경제성, 편의성, 안정성 향상을 위한 핵심부품 국산화, 모니터링 시스템 구축 등을 지원

❍ 동 사업은 효율적 수소 생산·공급 및 수소 충전 효율성 향상을 통한 경제성 향상 등을 목표로 하고 있다는 점에서 수소 인프라 및 충전소 구축방안과의 정합성이 있음

<표 8-8> 수소 인프라 및 충전소 구축방안과의 부합성

추진과제	추진내용
수소 경제성 향상	○ 경제성을 조기에 확보하기 위해 정부 지원을 확대하고 수소충전소 핵심부품 국산화율 제고 - 수소충전소 구축 비용 절감을 위해 융복합·패키지형 충전소 확대 - 수소충전소 핵심부품 국산화율을 현재 40%에서 단계적으로 향상('30년 100%)시켜 충전소 구축비용을 70% 절감 - 중·장기적으로 액화수소 비중 확대
수소 편의성 향상	○ 수소 충전소를 확대하고 실시간 충전소 운영 현황 등 정보제공
수소 안전성 향상	○ 안전관리 강화를 위한 법적 근거 마련 - 국민들이 안심하고 사용중인 '천연가스' 수준의 안전성 확보를 위해 수소 안전관리에 대한 법적 근거 마련 - 미국, 일본, 유럽 등 수소경제 선진국 수준으로 안전기준 강화 ○ 안전관리 강화 및 홍보를 통한 수용성 제고 - 수소 안전 R&D, 안전기준 마련, 국제협력 등을 지원하는 전담기구 설립 검토

자료: 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019. 10

⑧ 수소기술개발로드맵

❍ 정부는 세계 최고 수준의 기술력 확보를 비전으로 수소 전주기 기술개발, 소재, 부품 해외 의존 해소 등을 지원하기 위한 수소기술개발로드맵 수립

❍ 동 사업은 수소가치사슬별 성능 및 경제성 향상 등의 고도화 기술 개발 및 핵심부품 국산화, 미래유망 기술개발을 추진한다는 점에서 수소기술개발로드맵과의 정합성이 있음

<표 8-9> 수소기술개발로드맵과의 부합성

중점추진전략	추진내용
수소 전 주기(생산-저장·운송-활용-인프라) 분야별 목표 달성을 위해 필요한 핵심기술 개발	○ (생산) 수소 수요량 대응, 화석연료 수준의 가격경쟁력 확보, 기후변화 대응을 위한 단계별 기술 개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환 ○ (저장·운송) 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진 ○ (활용(수송)) 타 분야로의 확장성이 큰 연료전지시스템을 전략적으로 활용하여 중복투자 방지 및 가격 저감 유도 ○ (활용(발전)) 발전용 연료전지시스템(가정·건물용, 분산 발전용, 대규모 발전용)의 경제성 확보를 통해 설치비와 발전단가를 절감 ○ (안전·환경·인프라) 수소 전 주기 기술개발을 위한 기반이므로 '30년까지 완비
'30년까지 수소산업 핵심 소재·부품의 기술자립도 제고	○ 독점성이 강하고 가격 비중이 높은 핵심 소재·부품에 대해 국산화 및 성능개량(고효율·저가·장수명)
미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 미래 유망기술 개발 및 시장 확대형 기술개발	○ 성장 가능성이 있는 장기 유망분야에 대해 원천기술 확보 ○ 수송·발전용 연료전지 분야는 가격저감 및 고부가가치화 등 고도화를 통해 경쟁국과 초격차 유지 ○ 해외에 적합하고 우리가 개발 경험을 가지고 있는 분야는 고도화를 통해 해외 및 틈새시장 공략

자료: 수소기술개발로드맵, 관계부처 합동, 2019. 10

⑨ 제4차 에너지기술개발계획

❍ 산업통상자원부는 제4차 에너지기술개발계획을 발표했으며, 에너지 전환과 신산업 선도를 위한 에너지기술 강국 도약과 중장기 에너지 정책목표 달성을 위한 4대 추진 전략을 제시

- 4대 추진전략 중, '에너지 전환을 뒷받침할 R&D투자강화'에서 '30년까지 16대 에너지 중점기술분야와 수소기술을 포함한 50개 추진과제를 선정해 지원

- '에너지 신산업 육성' 대상 분야에 수소를 포함하여 저가 수소생산기술을 상용화하고 그린수소 대량생산기술, 대규모 육상수소 운송기술, 고효율·저가 연료전지 발전 시스템 기술을 개발하는 한편 발전용 연료전지 분리판·촉매·전극을 국산화하여 핵심소재의 대외의존도 해소

❍ 동 사업은 수소생산 효율성 향상 및 Scale-up, 육상수소 운송기술 개발 및 실증을 목표로 하고 있다는 점에서 제4차 에너지기술개발계획과의 정합성이 있음

<표 8-10> 제4차 에너지기술개발계획과의 부합성

추진전략	추진내용
에너지전환을 뒷받침할 R&D투자강화	○ 수소 R&D 중점기술 분야 제시 및 분야별 기술로드맵에 따른 50개 추진
신산업 창출을 위한 R&D기반 강화	○ 사업화 촉진을 위해 실증연구에 대한 투자를 확대하고, 안전사고 예방을 위해 R&D 전단계에서의 안전관리를 강화
미래 지향적 에너지 R&D 저변 확대	○ 선진기술 획득, 해외시장 진출 목표의 공동연구를 강화하고, 양자 협력과 다자 협의체 활동 활성화

자료: 제4차 에너지기술개발계획, 산업통상자원부, 2019. 12

⑩ 수소 안전관리 종합대책

❍ 산업통상자원부는 수소안전시스템 구축, 수소 핵심시설 중점관리, 안전생태계 조성 안전문화학산 등을 지원하기 위한 수소 안전관리 종합대책을 발표

- 국민의 수소 안전성에 대한 신뢰 확보를 위해 수소 안전관리 체계 구축과 전담기구 설치, 전문인력양성, 안전기술개발 추진 등을 통해 수소 안전관리의 전문성 제고를 지원

❍ 동 사업은 국내 수소생산/공급 인프라 기술개발과 수소 안전 기준 확립을 통한 수소안전환경인프라 구축을 목표로 하고 있다는 점에서 수소 안전관리 종합대책과의 정합성이 있음

<표 8-11> 수소 안전관리 종합대책과의 부합성

추진과제	추진내용
글로벌 수준의 안전시스템 구축	○ 수소 안전관리의 법적 기반 마련 ○ 수소 밸류체인별 全주기 관리체계 마련 ○ 수소안전관리 전담기구 설치
3대 핵심시설 중점관리	○ 안정적인 수소공급을 위한 수소생산기지 구축 추진 ○ 가정- 건물 -발전용으로 활용되는 수소연료전지 안전관리 기준 마련
지속가능한 안전생태계 조성	○ 안전관리 핵심기술개발 추진 ○ 부품·제품의 안전성 실증지원(Test Bed)

자료: 수소 안전관리 종합대책. 산업통상자원부. 2019.12.26.

□ 사업 추진체제 및 추진의지

① 기존사업과의 중복성

○ 수소 R&D지원 사업 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부, 환경부의 주요 사업들을 조사하여 동 사업의 추진내용과 비교 분석

- 기존 5개 부처의 지원 사업에 대한 목적 및 내용 분석을 통해 동 사업과의 차별성 및 연계방안을 제시

○ (사업명) 기후변화대응기술개발

- (부처) 과학기술정보통신부
- (사업목적) 기후변화 위기에 대응하여 온실가스 저감·자원화 및 기후변화 적응 분야에서 세계 선도적 원천기술 확보 및 미래 성장 동력 창출 지원
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산) 수전해 원천기술개발
  - (저장·운송) 금속 및 무기수소 화물 저장 기술개발(정치형 수소저장 원천기술개발)
  - (활용(발전)) 연료전지의 성능 및 내구성, 경제성 향상을 위한 소재기술 개발로 특히 MEA에 사용되는 촉매 소재의 (저백금 비귀금속 소재등) 개발 및 고분자 전해질막 내구성 강화 기술 개발 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안) 기후변화 대응기술개발사업은 수전해, 수소저장 원천기술 확보에 주력
  - 동 사업은 기확보된 원천기술의 규모, 효율성 향상 기술을 개발해 실증까지 연계하고 있어 기술개발의 목적과 목표 수준, 기술개발 단계 등에서 차별화
  - 수전해 원천기술 등 기술개발성과를 연계해 활용

○ (사업명) 원자력 기술개발사업

- (부처) 과학기술정보통신부
- (사업목적) 국민이 신뢰하는 원자력 안전을 확보하고 원자력 기술 고도화를 통한 세계 원자력 기술 선도
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산) 물분해 수소생산의 초고온가스로 설계 및 요소기술개발, 열분해, 원자력수소생산연계기술개발

- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 원자력 기술개발사업은 초고온가스로 및 열분해 등 원자력기반 수소생산 원천/응용기술개발
  - 동 사업은 초고온가스로 및 열분해 수소생산기술을 포함하지 않아 기술개발 분야에서 차별화

○ (사업명) 신재생에너지 핵심기술개발

- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적)
  - 신재생에너지기본계획의 개발 ·보급 목표 (’35년 11.0%) 구현을 위한 기술개발 지원
  - 국가 신성장동력산업 으로의 육성을 위한 신재생에너지 기술경쟁력 확보
  - 기후변화 대응 및 에너지 저소비형 사회구조로의 전환 촉진
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산) 수소충전소형 수소제조장치, 전기분해장치 기술개발
  - (저장·운송) 암모니아(NH3) 분해 수소 생산/정제 시스템 개발, 수소저장용기 개발, 가역적 수소저장 시스템, 바이오가스 개질용 촉매원천기술 등
  - (활용(수송)) 승용차, 연안선박, 건설기계등 의 연료전지 기술개발
  - (활용(발전)) 3kW/L 출력밀도 연료전지 스택 핵심기술 개발, 300 mW/㎠급 알카라인 직접 액체 연료전지용 MEA 원천 핵심기술 개발, 저온용 SOFC 요소기술개발, 비백금 촉매개발, kW급 PEMFC, SOFC 시스템 및 핵심기술개발, 발전용·주택보급용 연료전지 개발 및 실증 등
  - (인프라) 수소 충전소용 부품 국산화 기술개발, 액체연료를 이용한 수소스테이션 건설 및 실증연구, 수소연료전지 안정성연구 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 신재생에너지 보급목표 달성의 일환으로 수소 가치사슬(생산, 저장/운송, 충전, 활용) 전단계 원천/응용/실증기술개발
  - 신재생에너지핵심기술개발사업은 동 사업과 범위와 목적이 유사하나 ‘25년 일몰이 예정된 사업임
  - 수소 개질기, 수전해시스템 등 성과를 기반으로 Scale-up 등 기술개발로 연계
  - 승용차, 연안선박 등을 도시 및 항만내 수소공급시스템과 연계해 실검증
  - 고효율 연료전지 기술개발 성과를 도시실증단지에 적용해 시스템내에서 안정성을 장기 실검증 등

○ (사업명) 권역별 신산업육성사업

- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적) 권역별 전략산업 육성을 통해 신성장 산업기반 마련 및 지역경제 발전
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  · (활용(수송)) 자동차용 연료전지 부품 기술개발 및 부품 소형화 기술개발
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  · 권역별 신산업 육성사업과 자동차산업 핵심기술개발사업은 활용(수송)분야 자동차용 연료전지 기술을 개발
  · 동 사업은 수소 생산, 저장/운송, 충전 등 인프라 분야 기술개발을 추진하므로 기술개발분야에서 차별화
  · 수소버스를 도시 내 수소공급 시스템과 연계해 실검증

○ (사업명) 자동차산업 핵심기술 개발사업

- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적) 주요 수출국의 환경 안전규제 대응 및 신 시장 조기선점을 위한 미래형 수송시스템(그린카, 스마트카, 그린쉽 등) 핵심기술개발
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  · (활용(수송))수소연료전지차용 400V 스택의 적층수 감소를 위한 스택 및 부품 설계 기술개발, 도심주행용 수소전기버스 핵심기술 개발, 수소충전시스템 기술 개발 실증 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  · 권역별 신산업 육성사업과 자동차산업 핵심기술개발사업은 활용(수송)분야 자동차용 연료전지 기술을 개발
  · 동 사업은 수소 생산, 저장/운송, 충전 등 인프라 분야 기술개발을 추진하므로 기술개발분야에서 차별화
  · 수소버스를 도시 내 수소공급 시스템과 연계해 실검증

○ (사업명) 소재부품 기술개발

- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적)
  · 소재 특성을 고려하여 장기간에 걸친 지속적인 투자로 기술개발 지원
  · 글로벌소싱 참여가 유망하고 소재·부품산업 경쟁력 제고에 긴요한 핵심 소재·부품 기술개발

- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (저장운송) 연료전지 자동차용 작동 온도 100℃급 고용량 고체 수소저장 소재 개발, 금속/탄소 복합소재 수소저장시스템 기술,
  - (활용(발전)) All-Ceramic SOFC 단위 전지 제품 기술 개발 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 소재부품기술개발사업은 연료전지 및 수소저장장치 소재 부품 등 개발에 집중
  - 동 사업은 수소 생산, 저장/운송, 충전 등 인프라 분야의 기 개발된 기술의 규모, 효율성 향상 기술을 개발해 실증까지 연계하고 있어 기술개발의 목적과 목표 수준, 기술개발 단계 등에서 차별화

○ (사업명) 광역경제권 선도산업육성
- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적) 광역경제권별로 기업, 대학, 연구소가 서로 협력하여 글로벌 경쟁력을 갖춘 유망제품을 개발함으로써 기업의 고용 매출을 확대시키고 지역 경제 활성화에 기여
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산/인프라) 알칼리 수전해를 활용한 50Nm^{3}급 수소스테이션 개발 및 실증
  - (저장운송) 수소공급을 위한 제조와 저장 연계 시스템 기술 개발, 물리적/화학적 수소저장,
  - (활용(수송)) 선박(유람선) 추진용 50kW급 하이브리드 PEMFC시스템 개발
  - (활용(발전)) 발전용 연료전지 시스템 기술개발 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 광영경제권 선도사업육성은 기술개발분야 및 내용 등이 동 사업과 유사하나 기 일몰된 사업
  - 사업의 추진시기가 상이함에 따라 기술개발 목표 수준, 적용 방법론 등에서 차별화

○ (사업명) 에너지자원순환기술개발
- (부처) 산업통상자원부
- (사업목적) 산업생산 과정에서 에너지 및 자원의 순환이용을 촉진하기 위한 기술을 개발·보급·확산함으로써 에너지 및 자원 사용량을 원천 감축하고 순환형 산업경제구조 구축

- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산) 개질 반응 및 생물학적 발효를 이용한 수소생산 기술개발 등
  - (동 사업과 차별성 및 연계방안) 에너지 자원순환 기술개발사업은 에너지 순환을 목적으로 개질반응 및 생물학적 발효를 이용한 수소생산기술을 개발
  - 동 사업은 산업공정과정에서 생산되는 수소생산방법의 Scale-up기술은 포함하지 않아 기술개발 범위에서 중복되지 않음

○ (사업명) 철도기술연구사업
- (부처) 국토교통부
- (사업목적) 국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도시스템 개발 및 강소기업 기술경쟁력 제고를 통한 철도산업의 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (활용(수송)) 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 운용 기술개발 및 추진시스템 최적화 기술개발
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 철도기술연구사업은 활용분야 수소이용 철도차량 및 운용기술 등을 개발
  - 동 사업은 수소공급인프라 구축 기술개발에 집중하고 있어 기술개발분야에서 차별화

○ (사업명) 해양수산생명공학기술개발사업
- (부처) 해양수산부
- (사업목적) 해양생명공학산업을 고부가가치 융복합 산업으로 육성하기 위해 해양생명자원 확보, 자원을 활용한 신소재, 바이오 에너지 원천기술 및 산업화 기술 개발
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  - (생산) 해양 고세균이용 바이오수소 생산 기술개발 및 생산 실용화 기술개발, 고압 수성가스 전환 생물반응기 개발
  - (인프라) 경제성 분석 및 비즈니스모델 개발 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  - 해양수산생명공학기술개발사업은 소규모 해양바이오수소 생산기술을 개발 및 실증
  - 동 사업은 해양바이오 수소생산기술의 Scale-up 및 수소인프라내 연계를 포함

하고 있어 목표수준 및 범위 등 상이

· 해양바이오 수소생산기술의 성과를 동 사업에서 Scale-up개발하고 이를 실증

○ (사업명) 폐자원 에너지화 기술개발사업

- (부처) 환경부
- (사업목적) 폐자원의 매립·해양배출을 최소화하고 발생폐자원을 환경오염 없이 에너지 자원으로 이용하기 위한 한국형 실증기술 개발
- (수소기술 R&D 지원 내용)
  · (생산) 한국형 유기성 폐자원 바이오가스 에너지화 시스템 및 운영기술 개발, 바이오가스 고품질화 및 CO2 회수·이용 기술 개발 등
- (동 사업과 차별성 및 연계방안)
  · 폐자원 에너지화 기술개발사업은 폐자원 에너지화의 일환으로 폐자원을 이용한 소규모 폐자원 이용 수소생산기술을 개발/실증, 에너지 시스템내 연계는 미흡
  · 동 사업은 폐자원 에너지화 수소생산기술의 Scale-up 및 수소인프라내 연계를 포함하고 있어 목표수준 및 범위 등 상이
  · 가연성 폐자원 가스화 수소생산기술의 성과를 동 사업에서 Scale-up개발하고 이를 실증

② 유사사업과의 연계 협력 방안 제시

○ 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 국토교통부, 해양수산부, 환경부에서 지원했던 수소 R&D 주요 사업들은 일몰 후 본 사업에서 연계하여 진행할 예정이며, 기존 사업 성과물의 구체적 검토로 통한 기술개발 추진

- 사업 특성에 따라 본 사업에서 고도화 하여 사업내용을 연계하여 진행할 예정
- 기존사업에서 도출된 R&D 성과들 또한 기술의 활용성을 높이기 위한 Scale-up, 실증 등을 통한 사업화로의 연계를 지원할 예정

나. 사업 추진상의 위험요인

□ 재원조달 가능성(정부/지자체/민간의 재정 여력)

○ (재원조달 방법) 국토부가 범부처 수소 기술개발 사업 추진을 위해 필요로 하는 재원은 9년간 6,453억 원으로 연 평균 717억 원 규모

<표 8-12> 사업의 재원분담 비율

국비 (연구비)	국비 (기평비)	국비* (IP-R&D)	민자	계
5,701	4,832	-	1,621	6,453

○ (재원조달 계획) 최근 5년간 예산 증가율, 중기사업계획('20~'24), 계속사업 일몰 등을 고려할 때 재원 확보가 가능할 것으로 기대

- 국토교통 R&D 예산의 최근 5년간 연평균 증가율은 6.5% 수준

<표 8-13> 국토교통부 최근 5년간 R&D 예산운용 추이

(단위 : 억 원, %)

구분	'16실적	'17실적	'18실적	'19예산	'20예산	연평균 증가율
국토교통 R&D 예산 총계*	4,075	4,329	4,667	4,822	5,247	6.5%

주) 물관리 일원화에 따른 환경부 이관사업 예산을 제외한 국토부 예산 기준

- 국토교통 R&D 중기사업계획('20～'24)을 기본으로, '25년 이후 예산은 국토교통 R&D 예산의 최근 5년 연평균 증가율(6.5%)을 적용하여 예산 추정

<표 8-14> 국토교통부 R&D 예산운용 계획

(단위 : 억 원)

구분	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
국토교통 R&D 예산 추정치	5,247	6,528	7,944	8,611	9,249	9,852	10,495	11,180	11,909	12,686	13,514

- 국토교통 R&D 장기계속사업의 일몰제 시행으로 계속과제 소요예산이 단계적으로 감소함에 따라 신규 R&D사업 추진을 위한 소요예산 반영 가능

- 즉, 국토교통 R&D 예산 추정치에서 계속사업('22～'30) 소요예산을 제외하여 신규 R&D사업 가용예산 추정

<표 8-15> 국토교통부 신규 R&D사업 가용예산 규모

(단위: 억 원)

구분	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	합계
국토교통 R&D 예산 추정치(A)	7,944	8,611	9,249	9,852	10,495	11,180	11,909	12,686	13,514	95,440
계속사업 소요예산*(B)	3,783	2,627	1,805	1,297	547	430	196	196	196	11,078
신규 R&D사업 가용예산 추정치 (C=A-B)	4,161	5,984	8,555	8,757	9,948	10,750	11,713	12,490	13,317	74,147

주) '19년 제4차 국가연구개발사업 예비타당성조사에서 시행 확정된 사업의 연차별 소요예산 포함

- 범부처 수소 기술개발 사업의 총 소요액(6,453억 원)은 동 기간 동안 국토교통 신규 R&D사업 가용예산 추정치(74,147억원)의 10% 미만

□ 법·제도적 위험요인

○ 주요 선진국 특허침해에 따른 기술개발 또는 활용 미흡 가능성

- 개발 기술의 주요 선진국 특허 침해에 따른 기술개발 또는 활용 미흡
  - · 동 사업에서 개발하고자 하는 수소 공급 인프라 핵심기술은 주요 선진국이 상용화한 경우가 많아 기술을 개발하고자 하는 분야에서 유사한 선행특허가 존재할 가능성이 높음
  - · 이로 인해 기술개발을 진행하지 못하거나 개발 후 특허분쟁으로 인해 개발된 기술의 활용 미흡할 가능성 존재

8.3 경제적 타당성 분석

가. 분석 방법

□ **경제적 타당성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit Analysis)을 실시**

○ 비용편익분석에서 이용되는 기준으로는 비용-편익 비율(B/C ratio)을 이용하여 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단

$$\frac{B}{C}=\sum_{t=0}^{T}\frac{B_t}{(1+r)^t}/\sum_{t=0}^{T}\frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- (총 비용) 편익발생 기간을 기준으로 사업기간 내 투입되는 모든 비용을 포함하여 총 비용을 추정하였으며, 편익발생을 위해 추가적인 비용이 불필요하므로 본 사업의 사업비를 총 비용으로 적용
- (편익대상) 동 사업 추진에 따른 편익대상은 사업완료 편익이 산출될 것을 예상되는 산출물을 선정
- (편익발생 기간) 각 중점추진 과제별 중점 투자분야의 기술적 특성을 고려한 기술수명주기(TCT)를 기준으로 적용
- (편익추정) 사업의 궁극적인 목표에 따라 편익대상을 미래시장에서 예상되는 부가가치 창출로 설정하여 분석을 수행
  - 각 기술개발과제는 대부분 신기술을 기반으로 하는 신산업 분야로 현재 시장이 존재하지 않거나, 시장수요의 계량화에 한계
  - 현재 시장이 존재하는 경우에 한해 일부 산출물만 한정하여 경제적 편익을 추정
  - 수소생산으로 인한 부가가치 창출 및 수소 저장·운송으로 인한 부가가치 창출 편익으로 설정

□ **비용편익 분석을 위해 분석대상기간, 회임기간, 할인율, 기여율을 다음과 같이 설정**

○ (분석대상기간) 동 사업의 비용-편익분석 대상기간은 사업의 시작시점인 ‘23년부터 편익이 발생하는 최종년도까지로 설정

○ (편익발생기간) 편익발생기간은 동사업의 산출물인 수소생산시스템, 수소저장용기, 육상수소운송수단과 유사한 기술의 TCT 평균인 13년으로 설정

<표 8-16> 기술수명주기 검토

구분	IPC	내용	TCT (년)
수소생산시스템	C10G	탄화수소유의 분해 증류; 액체 탄화수소 혼합물의 제조	12.08
수소저장용기	B65G	운반 또는 저장 장치	12.77
육상수소운송수단	B60P	하물이송에 적합한 차량 또는 특수하물 또는 특수목적물을 이송, 운반 또는반입하는 데 적합한 차량	12.98
평균			13

○ (회임기간) 동 사업은 응용기술개발사업 및 실증사업으로 국가연구개발사업 예비타당성 조사 수행 세부지침(20.1)에 따라 사업종료 후 2년으로 설정

- (편익기간) 2034~2046년

○ (사회적 할인율) 한 사회적 할인율은 기획재정부의 예비타당성 수행 총괄지침(`18.04)에 따라 4.5%를 적용하여 추정

○ (사업기여율) 기존 정부투자와 민간투자 규모를 추정하여 전체 투자와 본 사업이 점유하는 비율을 산정

$$\text{사업기여율} = \frac{\text{본 사업의 연평균 투자 규모}}{\text{본 사업의 연평균 투자 규모} + \text{유사사업의 연평균 투자규모(정부+민간)}}$$

- 부처별 전문기관 담당자 협조를 통해 부처별 수소기술개발 R&D과제 정보를 제공받았으며, 이를 통해 집계한 최근 5년간('15~'19)간 수소기술 분야 정부 R&D 투자는 2,989.2억 원임
- '2021년도 정부연구개발 투자방향 및 기준(안)(국가과학기술자문회의, 2020)'에 따르면 신재생에너지 부문의 (민간 R&D)/(정부 R&D) 비율인 2.0을 적용하여 유사사업의 민간 투자액 도출
- 동 사업의 연평균 투자액 568.3억 원, 유사사업 정부 연평균 투자액 597.8억, 유사사업 민간 연평균 투자액 1,195.7억 원을 적용하면 사업기여율은 24.1%

○ (R&D 기여율) 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, `20.1)에서 제시된 35.4%를 적용

○ (사업화 성공률) 동 사업은 에너지 기술분야로 응용개발단계에 가까우므로 국회예산정책처 국가연구개발사업분석(2019)의 산업통상자원부 국가연구개발사업 사업화 성공률('13~'17)인 23.5%를 적용

나. 총 비용

○ 본 사업의 총 비용(사업비)은 5,115억원이며, 총 비용의 현재가치는 4,142억원

<표 8-17> 총 비용

(단위: 억원)

연도	사업비				현재가치
	수소도시 인프라모델 개발	수소도시 교통모델 개발	수소도시 연관모델 개발	합계	
2023년	194	86	121	401	368
2024년	341	360	219	921	807
2025년	439	496	275	1,211	1,016
2026년	561	182	228	971	779
2027년	344	232	85	661	508
2028년	80	245		325	238
2029년		313		313	220
2030년		188		188	126
2031년		125		125	80
합계	1,960	2,226	928	5,115	4,142

다. 총 편익

□ 수소생산 부가가치 창출 편익 추정 결과

○ 「수소경제 활성화 로드맵(‘19)」에 따르면 2030년 연간 194만 ton의 수소를 4,000원/kg의 가격으로 생산하고, 2040년에는 526만 ton의 수소를 3,000 원/kg의 가격으로 생산

○ (수소공급량 추정) 2030~2040년 수소공급량 연평균 증가율(10.5%)을 계산하여 2031~2045년 수소공급량 추정

○ (수소가격 추정) 2030~2040년 수소가격 연평균 증가율(-2.8%)을 계산하여 2031~2039년 수소가격을 추정하고, 2040년 이후에는 3,000 원/kg이 유지되는 것으로 가정

○ (국내기술의 시장점유율) 정부에서 제시한 수소 및 탄소중립 정액을 바탕으로 추정

- 「수소경제 활성화 로드맵(’19)」에서는 2030년 수소 194 만ton을 부생수소, 수전해, 해외생산을 통해 50%를 공급하고 50%는 추출수소로 공급할 계획이며, 2040년에는 526 만ton을 부생수소, 수전해, 해외생산을 통해 70%를 공급하고 30%는 추출수소로 공급할 계획

  · 부생수소는 국내 여유생산능력이 연간 5만 ton 규모이며, 장기적으로 자체소비 이외의 외부유통량(23만 ton/년)도 수소경제에 활용할 수 있을 것으로 전망

하고 있어 매년 28 만ton을 부생수소로 공급하는 것으로 가정

· 해외생산 수소는 2030년부터 본격 도입할 계획이므로 초기에는 비중이 낮고 점차 확대되는 것으로 가정

- 「대한민국 2050 탄소중립 전략('20)」에서는 2040년까지 탄소를 40% 감축하고 2050년에는 순배출량 0를 목표로 설정

· 이에 따라 수소생산 과정에서 탄소를 배출하는 추출수소 비중은 점진적으로 축소될 것으로 가정하여 2030년 50%, 2040년 30%에서 2046년 20%까지 완만하게 축소

· 추출수소 비중 축소는 수전해 수소의 비중 확대로 대체하는 것으로 가정

- 위와 같은 가정에 따라 생산방식별 수소공급 비중은 다음과 같이 추정하였으며 이 중 부생수소, 수전해, 추출수소의 비중을 합산하여 국내기술로 생산된 수소의 시장점유율을 추정

<표 8-18> 수소 생산방식별 비중 추정

연도	수소공급량 (만톤)	국내생산				해외수입	합계
		부생수소	수전해	주출수소	소계		
2030년	194	14.4%	30.6%	50.0%	95.0%	5%	100.0%
2031년	214	13.1%	32.6%	47.5%	93.2%	6.8%	100.0%
2032년	237	11.8%	34.5%	45.1%	91.5%	8.5%	100.0%
2033년	262	10.7%	36.3%	42.9%	89.9%	10.1%	100.0%
2034년	289	9.7%	38.0%	40.8%	88.4%	11.6%	100.0%
2035년	319	8.8%	39.5%	38.7%	87.0%	13.0%	100.0%
2036년	353	7.9%	41.0%	36.8%	85.7%	14.3%	100.0%
2037년	390	7.2%	42.4%	35.0%	84.5%	15.5%	100.0%
2038년	431	6.5%	43.6%	33.2%	83.3%	16.7%	100.0%
2039년	476	5.9%	44.8%	31.6%	82.2%	17.8%	100.0%
2040년	526	5.3%	45.9%	30.0%	81.2%	18.8%	100.0%
2041년	581	4.8%	47.3%	28.0%	80.2%	19.8%	100.0%
2042년	642	4.4%	48.6%	26.2%	79.2%	20.8%	100.0%
2043년	709	3.9%	49.9%	24.5%	78.3%	21.7%	100.0%
2044년	784	3.6%	51.4%	22.9%	77.8%	22.2%	100.0%
2045년	866	3.2%	52.8%	21.4%	77.4%	22.6%	100.0%
2046년	957	2.9%	53.6%	20.0%	76.6%	23.4%	100.0%

○ (부가가치율) 수소생산에 필요한 산업의 평균 부가가치율인 17.7%로 설정

○ (편익) 국내 기술로 수소를 생산함으로써 발생하는 부가가치 편익은 6,470.0억원

<표 8-19> 수소 생산분야 부가가치 창출 편익

연도	수소 공급량 (만톤)	수소 공급가격 (원/kg)	수소 시장규모 (억원)	사업 기여율	R&D 기여율	사업화 성공률	부가 가치율	시장 점유율	편익 (억원)
2034년	289	3,565	103,077	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	88.4%	323.5
2035년	319	3,464	110,658	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	87.0%	341.8
2036년	353	3,366	118,798	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	85.7%	361.4
2037년	390	3,270	127,536	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	84.5%	382.4
2038년	431	3,178	136,917	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	83.3%	404.9
2039년	476	3,088	146,988	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	82.2%	428.9
2040년	526	3,000	157,800	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	81.2%	454.6
2041년	581	3,000	174,351	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	80.2%	496.0
2042년	642	3,000	192,639	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	79.2%	541.5
2043년	709	3,000	212,844	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	78.3%	591.4
2044년	784	3,000	235,169	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	77.8%	649.5
2045년	866	3,000	259,836	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	77.4%	713.8
2046년	957	3,000	287,090	24.1%	35.4%	23.5%	17.7%	76.6%	780.1
편익합계									6,470.0

□ 수소 저장·운송 분야의 편익 추정

○ (튜브 트레일러 규모) 「수소경제 활성화 로드맵('19)」는 2018년 기준 튜브 트레일러는 500대, 수소공급량 13 만ton으로 조사하였으며, 튜브 트레일러 1대당 수소유통량(대당 260 ton/년)을 감안해 늘어나는 공급량에 대한 필요 튜브 트레일러 대수를 추산

○ (튜브 트레일러 가격) 기술개발을 통해 type 4 복합재 등 고효율 용기가 보급되므로 운송효율은 15배 향상되고 튜브 트레일러 가격은 현재 17.5억 원에서 낮아질 것으로 전망되므로, 2030년 17.5억 원에서 10년 후인 2039년에는 절반으로 낮아지며, 동일한 비율로 지속적으로 낮아지는 것으로 가정

○ (국산 튜브 트레일러의 시장점유율) 현재 튜브 트레일러는 전량 수입에 의존하고 있으나 14년 후인 2034년에는 국산화가 진행되어 30%를 국산 튜브 트레일러로 대체하는 것으로 가정하였으며, 2046년에는 80%까지 국산화할 것으로 가정

- 500bar 이상의 튜브 트레일러 기술을 이미 확보하고 있으며, 경제성 확보를 위해 트레일러의 경량화를 통해 운송비용을 절감하고 수소공급 가능지역을 확대하며, 700bar 이상의 튜브 활용을 확산할 계획 (수소경제 활성화 로드맵('19))

○ (부가가치율) 수송수단의 평균 부가가치율인 27.4% 적용

○ (편익) 국내 기술로 수소를 저장·운송함으로써 발생하는 부가가치 편익은 6,271.1억원

<표 8-20> 수소 저장·운송분야 부가가치 창출편익

연도	수소 공급량 (만톤)	튜브 트레일러 수 (대)	튜브 트레일러 가격 (억원)	튜브 트레일러 시장규모 (억원)	사업 기여율	R&D 기여율	사업화 성공률	부가 가치율	시장 점유율	편익 (억원)
2034년	289	11,120	13.0	144,806	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	30.0%	238.6
2035년	319	12,286	12.1	148,599	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	32.6%	265.8
2036년	353	13,575	11.2	152,492	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	35.3%	295.9
2037년	390	14,999	10.4	156,486	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	38.3%	329.6
2038년	431	16,572	9.7	160,586	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	41.6%	367.0
2039년	476	18,310	8.8	160,215	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	45.1%	397.3
2040년	526	20,231	8.1	164,411	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	49.0%	442.5
2041년	581	22,353	7.5	168,718	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	53.2%	492.7
2042년	642	24,697	7.0	173,138	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	57.7%	548.7
2043년	709	27,288	6.5	177,673	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	62.6%	611.0
2044년	784	30,150	6.0	182,327	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	67.9%	680.4
2045년	866	33,312	5.6	187,104	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	73.7%	757.7
2046년	957	36,806	5.2	192,005	24.1%	35.4%	23.5%	27.4%	80.0%	843.8
편익합계										6,271.1

□ 총 편익 추정

○ 본 사업의 총 편익은 1 조2,741.0억 원이며, 총 비용의 현재가치는 5,299.4억 원

<표 8-21> 총 편익

(단위: 억원)

연도	편익			현재가치
	수소생산 편익	수소 저장·운송 편익	합계	
2034년	323.5	238.6	562.1	317.2
2035년	341.8	265.8	607.6	328.1
2036년	361.4	295.9	657.4	339.7
2037년	382.4	329.6	712.0	352.1
2038년	404.9	367.0	771.9	365.2
2039년	428.9	397.3	826.2	374.1
2040년	454.6	442.5	897.0	388.7
2041년	496.0	492.7	988.8	410.0
2042년	541.5	548.7	1,090.2	432.6
2043년	591.4	611.0	1,202.4	456.6
2044년	649.5	680.4	1,330.0	483.2
2045년	713.8	757.7	1,471.6	511.7
2046년	780.1	843.8	1,623.9	540.3
합계	6,470.0	6,271.1	12,741.0	5,299.4

라. 경제적 타당성

<표 8-22> 경제적 타당성 분석 결과

총비용 (현재가치)	총편익 (현재가치)	비용편익비	NPV	IRR
4,142	5,299	1.280	1,158	6.25%

○ 현재가치 기준 본 사업의 총 비용은 4,142억 원, 총 편익은 5,299억 원이며, 비용편익비, NPV, IRR을 검토한 결과 사업의 경제적 타당성을 확보함

- (비용편익비) 1.280 (1을 초과)
- (NPV) 1,158 (0을 초과)
- (IRR) 6.25% (4.5%를 초과)

제 9 장 기대효과

9.1 과학기술적 기대효과

9.2 산업·경제적 기대효과

9.3 정책적 기대효과

9.1 과학기술적 기대효과

□ 핵심 수소기술 국산화를 통해 에너지에 대한 해외 기술 의존성 해소 및 기술 수출을 통한 해외시장 진출

○ R&D를 통해 글로벌 경쟁력을 갖춘 수소 기술을 확보하고 수소 기술 선도국으로 가는 기틀 마련

- 국내 독자 기술 구축을 통한 해외시장 선점 및 진출 교두보 마련

○ 에너지 해외 의존도 감소를 통한 에너지 자립도 확보

- 수소 전주기 기술 개발 및 실증을 통해 수소 수입량 감소 및 수소 저장·활용 인프라 구축에 필요한 수입 의존도 감소
- 액화수소 생산 및 저장, 수소 모빌리티 시장 등 해외 의존적인 수소기술 자립

□ 도시 규모의 수소인프라 구축 및 상용화를 위한 실증 데이터 확보

○ 생산·저장·운송·활용의 수소산업 가치사슬 전반에 활용을 위한 실증 기술 확보

- 수소에너지 시스템 전주기 실증 평가로 수소도시의 지속가능성을 확보하기 위한 과학기술적 기반 마련
- 수소도시 운영에 필요한 전주기 수소 활용 기술 실증 및 설비구축의 기술개발을 통해 수소 실증 기술개발에 대한 성공 경험 축적 및 기술경쟁력 확보

○ 향후 수소에너지 시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 실증 데이터 확보

- 수소인프라 구축과 운영을 연계할 수 있는 R&D 플랫폼 구축
- 수소에너지 활용에 따른 주요 모니터링 및 제어 요소 등에 대한 측정방법 및 DB 수집

9.2 산업·경제적 기대효과

□ 글로벌 신규시장 개척 및 선점을 통한 경제적 파급효과

○ 세계 에너지 시장을 리딩할 수 있는 기술 확보

- 세계적으로 상용화되지 않은 미래 유망기술 개발로 관련 기술시장 선점
- 성장 가능성이 높은 미래시장 유망분야에 대한 원천기술 확보

○ 글로벌 신규시장 개척을 통한 미래 신산업 및 일자리 창출 가능

- 실증연구에 대한 투자 확대를 통해 에너지 분야 기술개발 성과의 사업화 촉진 및 글로벌 신규시장 개척 가능성 제고
- 에너지 빅데이터 플랫폼 구축을 통한 기업의 비즈니스 모델 창출을 지원 가능

○ 민간참여 촉진에 따른 시장 확대 기대

- 에너지 분야 기업을 중심으로 관련 기업·연구소가 집적된 에너지산업 융·복합단지 조성
- 기술 안전성 검증 및 사업화 모델 구축으로 민간의 참여 유도 가능

□ 기술 개발을 통한 환경 비용·에너지 비용 절감

○ 온실가스 및 탄소 감축을 통한 사회 환경비용 절감

- 인프라 기술 개발로 수입대체를 통한 수소 수입비용 절감
- 수소경제 활성화에 따른 경제적 효과의 국내 환수

○ 수소경제 운영에 대한 데이터를 토대로 경제성 분석

□ 차세대 경제 성장 동력으로써 수소사회 구현을 위한 발판 확보

○ 수소 스마트그리드 등 타 에너지 분야에 활용 가능한 ICT 기술 확보

9.3 정책적 기대효과

□ 수소경제 활성화 로드맵에 따른 각 수소 활용 분야 기술개발 목표 달성

○ 수소도시 계획을 기반으로 통합운영에 대한 방법론/운영론에 대한 경험 획득

- 다양한 수소 분야의 통합 연계를 통한 운영에 대한 기술 확보

○ 수소 생산·저장·운송·활용·인프라 등 전주기 분야별 핵심기술 개발을 통한 정책 목표 달성

- 폐자원 기반 수소생산 시제품 개발
- 수소 모빌리티 확산을 위한 액화수소 저장탱크 기술 확보
- 수소전기기관차·수소철도 등 수소에너지를 사용하는 연료전지시스템 기반의 수송수단 저변확대 및 기술선도

□ 친환경 정책(탄소중립, 지속 가능한 환경 등) 및 에너지 전환 정책에 최적화된 기술적 기반 확보

○ 수소 모빌리티 분야 기술개발로 수송 분야 온실가스 배출량을 감축해 국가 온실가스 저감 목표 달성 기반 마련

○ 수소 모빌리티 구축을 통해 기존 내연기관 모빌리티 배출 질소산화물로 인한 미세먼지 발생 감소 효과

□ 수소경제 사회기반 구축

○ 제4차 에너지 기술개발 계획에 따른 에너지 전환과 에너지기술 강국으로 도약하기 위한 발판 마련

- 수소기술 및 핵심소재의 대외의존도 문제 해소 및 국내 수소산업 생태계 조성
- 수소 기반 융·복합발전 시스템 설계

○ 기존 1세대 신재생에너지와 연계 가능한 그린수소 기반 에너지 발전기술 확보

9.4 환경적 기대효과

□ 본 사업의 환경적 기대효과는 사업추진으로 인한 이산화탄소 저감효과로 도출

○ **(CO_2 저감효과)** 본 사업 수소도시 실증지에서는 연간 CO_2 발생량 139,594 ton 저감

※ 10개 추진과제 중 CO2 저감효과 측정이 어려운 수요지 지하 수소충전소 및 허브 스테이션 실증과 액화수소충전소 개발 및 실증은 제외

<표 9-1> 사업추진으로 인한 이산화탄소 저감량

추진과제	추진과제를 통한 수소이용시 CO_2 발생량			기존 에너지 이용시 CO_2 발생량[주] (kg/day)	CO_2 저감량 (ton/yr)	CO_2 저감율 (%)	비고 (주요가정 및 조건)
	최대 발전량 또는 소비전력 (kWh/day)	최대 열공급량 (kWh/day)	CO_2 빌생량 (kg/day)				
수소도시 운영 및 스마트 수소그리드 기술 개발	3,840.0	2,856.0	1,542.9	2,359.0	298	34.6	수소생산량 중 50%는 그레이수소, 나머지 50%는 그린수소
수소기반 트라이젠 서브스테이션 개발 및 실증	12,000.0	9,000.0	1,350.0	7,393.0	2,206	81.7	100% 블루수소
3MW급 동력집중식 수소전기기관차 개발 및 운영	3,600.0	-	425.3	1,526.0	402	72.1	100% 블루수소
Inter-City 수소철도차량 개발 및 운영	2,300.0	-	270.0	975.0	257	72.3	100% 블루수소
공항 내 수소 모빌리티 실증	8,000.0	-	-	3,392.0	1,238	100.0	100% 그린수소
고속도로 블루수소 충전소 네트워크 구축	수소생산 2,700kg/d	-	3,685.5	35,100.0	11,466	89.5	100% 블루수소이며, 넥쏘 운행가능 총 거리를 가솔린 차량으로 운행했을 때의 CO_2 배출량 산출
도시폐자원 기반 수소플랜트 개발	수소생산 50,000kg/d		112,500.0	450,000.0	123,188		그레이수소 대비 CO_2 75% 저감
그린수소기반 에너지 자립 도시 실증	2,400.0	1,800.0	-	1,479.0	540	100.0	100% 그린수소
합계					139,594		

주) 한국전력 CO2배출 계산기 : https://home.kepco.co.kr/kepco/SM/C/D/SMCDPP00101.do?menuCd=FN29030401

○ **(국가온실가스감축목표 기여도)** 연간 CO_2 139,594 ton 저감은 2030 국가온실가스 총배출량 감축목표(220.6 백만ton/년) 대비 0.063%에 해당

- 본 사업의 성과물이 주거, 교통, 수소생산 등으로 확산될 경우 국가온실가스감축목표 기여도가 증가할 것으로 전망

※ 2021.10.18. 탄소중립위원회는 '2030 국가온실가스감축목표'(NDC)를 2018년 온실가스 총 배출량 대비 40%로 상향조정 하였으며, 이에 따라 2030년까지 연간 220.6백만톤의 CO_2 감축 필요

<표 9-2> 국가온실가스 부문별 감축목표

(단위: 백만톤CO_2eq)

구분	부문	2018년 (기준연도)	2030년 (목표연도)	목표 감축량	주요 감축 방안
배출	전환	269.6	149.9	119.7	석탄발전 축소, 신재생에너지 확대 등
	산업	260.5	222.6	37.9	철강공정 전환, 석유화학 원료 전환, 시멘트 연·원료 전환 등
	건물	52.1	35.0	17.1	제로에너지 건축 활성화 유도, 에너지 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리
	수송	98.1	61.0	37.1	친환경차 보급 확대, 바이오디젤 혼합률 상향 등
	농축수산	24.7	18.0	6.7	논물 관리방식 개선, 비료사용 저감, 저메탄 사료공급 확대, 가축분뇨 질소저감 등
	폐기물	17.1	9.1	8.0	폐기물 감량 및 재활용, 바이오 플라스틱 확대 등
	수소		7.6	-7.6	수전해 수소 기술개발·상용화 지원, 부생/해외수입 수소공급 확대
	기타(탈루 등)	5.6	3.9	1.7	
	소계(총배출량)	727.7	507.1	220.6	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-26.7		
	CCUS		-10.3		
	국외감축		-33.5		
	소계	-41.3	-70.5		
순배출량		686.4	436.6	249.8	

자료: 탄소중립위원회(2021.10.18.), 2030 국가온실가스 감축목표 상향한, 재구성

부 록 1

RE100 기반의 수소 시범단지 인프라 기술개발 기획

※ 본 사업 기획에서 파생된 R&D 과제 기획 결과물임

〈 목 차 〉

기획연구 요약 ····· 787

1. 연구의 필요성 ····· 797
1.1 기술개발 방향 선정 ····· 797
1.1.1 추진배경 ····· 797
1.1.2 기술개발 방향 도출 ····· 798
1.2 기술의 개요 ····· 800
1.2.1 도시형 수소 생산–저장–공유 시스템 기술개발 ····· 802
1.2.2 에너지 통합 네트워크 및 타운하우스 기술개발 ····· 803
1.2.3 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발 ····· 804
1.3 기술개발의 필요성 ····· 805
1.4 기술개발의 시급성 및 중요도 ····· 807

2. 환경 분석 ····· 810
2.1 국내외 기술 개발 동향 ····· 810
2.2 국내외 관련분야 정책동향 ····· 822
2.3 시장동향 ····· 830
2.4 국가정책 부합성 ····· 838

3. 연구개발 목표 및 내용 ····· 843
3.1 연구개발목표 ····· 843
3.2 연구단 구성 및 세부과제 내용 ····· 845

4. 세부추진계획 ····· 846
4.1 세부과제별 추진계획 ····· 846
4.2 세부과제간 기술 연계성 ····· 849
4.3 기술로드맵 ····· 851

5. 정부지원 필요성 ····· 852
5.1 정부정책과의 정합성 ····· 852
5.2 기존 유사사업과의 연계성 및 차별성 ····· 853

6. 기대효과 및 활용 방안 ····· 854
6.1 기대효과 ····· 854
6.2 활용 방안 ····· 854

기획연구 요약

1. 기술의 정의

□ 기술의 정의

○ 범위 : 재생에너지의 간헐성을 극복하고 그리드 안정성에 기여하기 위한 재생에너지의 ESS와 수소에너지로의 전환 및 연료전지를 활용한 출력 조정 등을 포함한 RE100 에너지 공급 인프라 기술 개발

○ 목표 : 재생에너지의 간헐성을 극복하기 위해서 단주기 및 장주기 에너지 저장과 ICT 기술을 활용한 에너지의 균질화 및 RE100 달성 기술 개발

※ (정량목표) ① 재생에너지 활용 12시간 2MW급 안정적 전력 공급 시스템 개발 (실증 시스템의 100% 무탄소 배출)
② 1분당 개별 분산전원 정격의 10% 이하의 변동률 만족 및 공통 연결점에서 12시간 평균 출력 2MW (24MWh/1일) 달성
③ 경제성 확보를 위한 국산 RE100 거래 시스템 2건 이상 개발 및 적용

○ 연구내용 : 1) 물리적 RE100을 위한 장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

2) 수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발

3) 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발로 수소경제 실현 모델 및 관련 시스템 기술 개발

○ 효과 : 세계 선도형 수소 도시 실증 플랫폼 구축을 통하여 완성된 수소 관련 기술의 실증 사이트 제공 및 수소경제의 실현을 위한 산업단지에 적용 가능한 기술 구현

□ 연구의 필요성

○ (탄소중립) 세계적 지구 온난화의 주범인 온실가스 감축을 위해 CO2를 배출하지 않는 재생에너지 및 이를 기반으로 하는 수소의 필요성 증대
* 탄소중립을 지향하는 국제 경제질서 대전환 시대로 저탄소 기술 등 선제적 대응 필요

○ (수소경제 활성화) 수소를 중요한 에너지원으로 사용하고, 수소가 국가경제, 사회전반, 국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여, 경제성장과 친환경 에너지의 원천이 되도록 하는 수소경제 활성화 로드맵 발표('19.1)

– 우리나라의 수소 자동차 기술은 세계 최고 수준이나 이의 보급을 위한 관련 인프라 산업(수소 생산, 이송, 저장 등)은 선진국과 격차가 큼
– 이를 극복하기 위한 fast-follow 전략과 기술적 우위성이 있는 분야를 구분함으로써 상황에 맞는 로드맵 실현이 시급한 상황임

○ (그린산단 조성) “수소도시 추진현황 및 확산전략” 새만금 그린산단 조성 계획에 따라 신재생에너지를 활용하는 RE100 산단 조성 발표(’20.7)

– 실질적인 산업 생태계 부재 : 사업화 모델 부재로 인하여 경제성 확보가 가능한 시장 창출이 불가능

– 확실한 대안으로서 도시라는 생태계 내 수소에너지의 결합성을 가지는 것은 시너지 효과를 일으킬 수 있음

– 도시 및 산단에서 구성되는 수소 생태는 수소에너지 플랫폼을 통해 에너지 생산자와 소비자의 경계가 자연스럽게 허물어지고 에너지의 생산-저장-활용-공유가 ICT 기술과 에너지 인프라 기술의 융합을 통해 달성되어 미래 에너지 패러다임을 구현 할 수 있음

○ (RE100 확대) 전 세계적으로 애플, 구글 등 글로벌기업 중심으로 RE100을 기본적으로 요구하고, 이를 위한 국내 기반 마련 필요

– RE100 체계를 국내에서 구현하지 못할 경우, 국내 산업의 핵심인 제조업의 오프쇼어 가속화와 국내 산업의 경쟁력 악화 초래

– 애플, 구글 등 글로벌기업 중심으로 RE100 체계로 개편하고 있으며, 이로 인해 국산제품의 수출 진입장벽으로 작용하기 전에 선제적인 대응이 필요

○ (탄소 국경세 등장) EU를 중심으로 탄소 국경세를 적용하기 위한 움직임이 가시화되고 있으며, 선제적 대응 필요

– 21년 3월 10일 탄소 국경세에 대한 EU 의회 통과로 인하여 구체적인 탄소 국경세 움직임이 가속화 예상

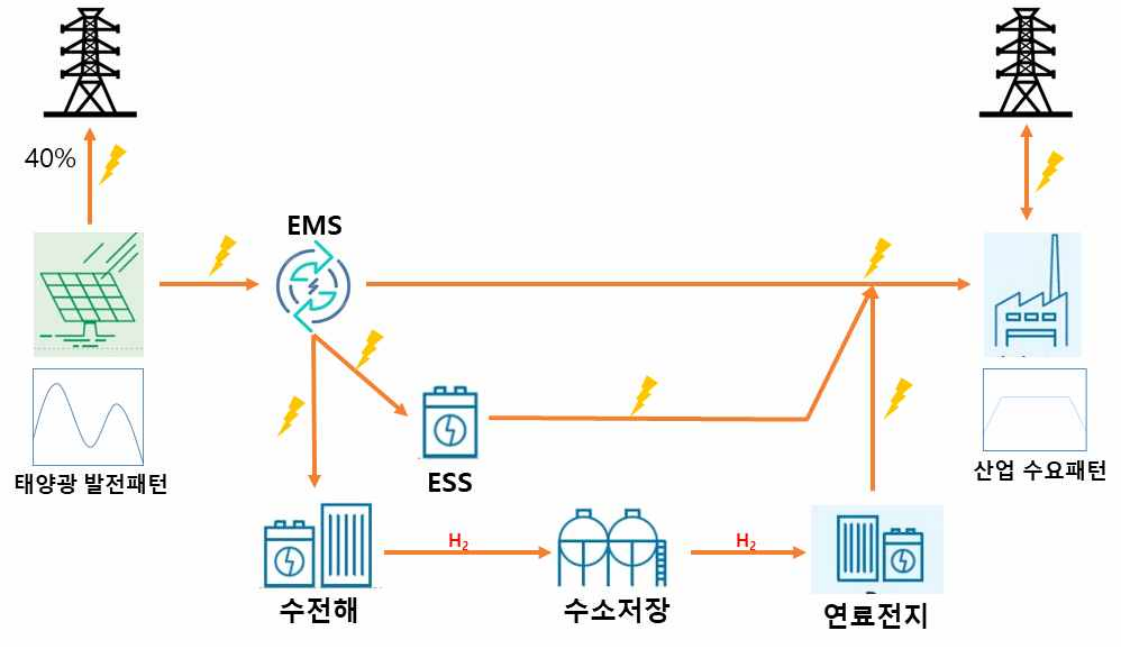
– 중공업 분야에 해당하는 시멘트, 철강 분야에서 국내 수출 경쟁력이 지속적으로 약화 될 것으로 예상

○ 기획연구를 통해 진행 될 연구개발과제의 주요 구성

– 물리적 RE100을 위한 장 · 단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발 및 실증

– 수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발

– 한국형 RE100 에너지 거래 시스템 개발



〈그린산단 RE100 시스템의 구성〉

2. 국내외 정책동향 및 환경분석

□ 국내 정책동향

○ 정부의 3대 혁신성장 전략투자(2018.8.13. 기획재정부)인 수소경제의 조기 구현 모델로 도시 내 주거 · 교통 · 산업 등 전분야에 수소가 적용되는 수소 시범도시 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요

– 신재생에너지 패키지 투자모델(수소분야) 중 · 장 · 단기 에너지 활용극대화 과제에 포함(단기 : 수소시범도시 플랫폼 개발, 장기 : 수소도시 보급 확대 및 해외수출모델 개발)

– 수소경제 로드맵 관련내용 : 2022년까지 3개 시범도시 구축

– (목적) 수소 활용 기술 · 제품 · 시스템을 실제 적용한 수소 도시 조성

– (구축 전략) 신도시 및 혁신도시, 수소 활용 선도지역 등을 대상으로 수소 시범도시를 조성하고 인프라 구축 지원, 규제특례 등 제공 (규제 샌드박스 1호 : 도심 수소차 충전소 설치)
· (구축 일정) 수소시범도시 설계 (2019.6) → 도시별 수소 생산 · 공급 여건, 수

용성 검토(2019.下) → 1기 시범도시 선정(2019.下) → 2기 시범도시 선정(2020.上) ※ 일정 변경 가능

– 2019년 경제정책방향(2018.12, 기재부) : 교통·난방 등 수소기반 시범도시 3개소 조성(~ 2022년)

□ 해외 정책동향

○ 선진국에서는 장기적인 투자를 통해 수소 사회를 구현하고자 계획하고 실현 중에 있으나 현재까지 추진 중인 대부분의 수소도시는 수소스테이션을 중심으로 수소자동차 인프라에 집중되어 있음.

– 일본 : 수소타운을 위한 시범도시 실증과 수소고속도로를 통한 수소차 조기 보급

– 미국 : 캘리포니아 주의 수소자동차의 확대 보급을 위한 정책

– 유럽 : 수소 구역에 대한 계획과, MW 단위의 발전설비의 실증

□ 국내외 시장 및 기술동향

○ 국내외 수소 에너지 시장

– 전세계 수소시장의 규모는 2022년까지 1500억달러로 성장할 것으로 예측됨. 이 시장의 대부분은 암모니아 플랜트 및 정유공정에 사용됨.

– 국내 전체 수소시장의 규모는 약 8,000억원 수준.연간 160만톤 이상이 산업용으로 생산되며, 대부분 화학플랜트, 석유 정제공정 등에서 소비하고 이중 22만 톤 정도를 수소 에너지 시장 공급 가능한 양으로 추측.

– 수소제조 방식별 단가: 현재까지 천연가스 개질이 가장 저렴한 방법으로 알려져 있으며, 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 양에 따라 다르지만, 대략 kg 당 3~6천원 수준.

– 수소 충전소 및 수소연료전지차의 보급은 미국, 일본에 비해 부진한 상황. 현재 충전소는 12기. 2022년까지 수소 충전소 누적 310기 건설과 수소연료전지자동차 1만 5천대 보급을 목표로 하고 있음.



〈수소도시 구축을 위한 선진국 정책 동향〉

○ 국내 스마트 그린산단 추진 현황

○ 산업통상자원부는 산업단지의 3대 요소인 산업•공간•사람을 키워드로 디지털전환•에너지혁신•친환경화를 주요골자로 '20년 9월 17일 ' 스마트그린산단 실행전략 '을 발표

○ 스마트그린산단은 고탄소•저효율 에너지와 환경오염 다발 지역인 산업단지를 첨단•신산업이 육성되는 친환경 제조공간으로 전환하는 것을 목표

– 산업단지 내 '산업' 은 디지털화해 첨단산업 거점으로 육성하고, '공간' 은 그린과 디지털의 융합을 통해 저탄소 친환경 공간으로 전환하고, '사람' 은 산업단지 재직자의 디지털•그린전환과 연구인력 육성•보급에 나서고, 창업 지원을 통해 일자리 창출과, 건강센터, 문화체육시설 등 정주 여견도 조성할 계획

– 정부는 창원, 반월, 시화. 구미. 인천 남동, 광주, 여수, 대구 성서 등 기존 7개 스마트산단을 스마트그린산단으로 전환하고, 이를 포함해 '25년까지 15개 스마트그린산단 구축을 목표로 하고 있다. 이를 통해 ' 25년까지 3만 3천여명의 일자리와 신재생에너지 생산 10%, 에너지효율 16%향상 등을 기대

〈스마트그린산단 추진전략〉

구분		추진전략
산업	디지털 뉴딜	**1. (산업) 글로벌 선도 첨단산단 전환** ㅇ 산업 밸류체인 전단계 디지털인프라 구축 ㅇ 산업 전주기 디지털 혁신생태계 조성 ㅇ 산단별 데이터 연계·활용 체계 마련
공간	그린뉴딜	**2. (공간) 저탄소 친환경 산단으로 혁신** ㅇ (에너지) 저탄소·고효율의 에너지혁신 선도기지 구축 ㅇ (환경) 산단별 특화된 자원순환·친환경 청정산단 구현
	디지털뉴딜	ㅇ (안전) 통합안전관제시스템 및 재난대응인프라 구축 ㅇ (물류) 산단형 스마트·친환경 물류체계 구축
사람	휴먼뉴딜	**3. (사람) 청년 희망 키움 공간으로 탈바꿈** ㅇ (인재) 청년 스마트 고급인재 양성 ㅇ (일자리) 산단 일자리 창출 강화 ㅇ (정주) 문화·생활·복지 등 살기 좋은 정주여건 조성

※자료: 스마트그린산단 실행전략(산업통상자원부 '20.9.17)

〈스마트그린산단 지정 7개 산단별 실행계획 요약〉

구분		세부내용
창원 국가산단	비전	• 친환경 디지털 기반 기계산업 중심 글로벌 산단
	전략	• 기계산업, 대중소 가치사슬 중심의 신제조 생태계(ICT+제조)창출, 에너지 자립형 친환경 제조공간 구축
반월시화 국가산단	비전	• 국내 최대 뿌리공정 데이터 댐 구축 산단
	전략	• 뿌리산업 중심 데이터 종합지원 신산업 생태계 조성, 산단 차원의 에너지·온실가스 데이터 수집 및 감축
인천남동 국가산단	비전	• 소재·부품·장비 및 바이오헬스 신산업 전진기지
	전략	• 제조공정의 디지털전환, 융복합신산업 창출을 통한 신성장동력 확보, 저탄소·녹색산단 구현을 통한 도심속의 클린산단 조성
경북구미 국가산단	비전	• 친환경 디지털 기반 기계산업 중심 글로벌 산단
	전략	• 5G기반 디지털화, 친환경 에너지효율화, 스마트 제조혁신, 청년친화 고부가가치 산단 구축
대구성서 일반산단	비전	• 디지털기반 주력산업 고도화 및 에너지전환 특화 산단
	전략	• 주력산업 디지털전환을 통한 공정혁신·고도화, 마이크로그리드 등 기 추진 사업성과와 연계된 에너지 효율화 추진
광주첨단 국가산단	비전	• AI기반 미래형 자동차산업 선도 산단
	전략	• AI기반 자동차산업 가치사슬 고도화로 신산업 창출, 산단RE100 프리존 적용 모델을 정립하여 확산
전남여수 국가산단	비전	• 화학산업 중심 자원순환·신산업 창출 산단
	전략	• 고기능성 정밀화학 소재·부품산업으로 전환, 폐플라스틱등 폐자원을 활용해 자원순환 및 에너지신산업 육성

※자료: 스마트그린산단 실행전략(산업통상자원부 '20.9.17)

❍ 에너지 선진국의 수소도시 및 수소에너지 보급확산 전략 및 정책 현황

– 일본 : 2020년 도쿄올림픽을 기점으로 수소에너지 사회로의 전환 시도. JHFC 및 HySUT 프로그램을 통해 꾸준한 수소에너지 인프라 개발진행, 수소에너지 기반 도시 모델과 관련하여 기타큐슈에 제철소 부생가스를 활용한 수소도시의 시범적 모델(부생수소를 수소 스테이션에 공급하고 인근 가구, 공공시설 등에 파이프라인 공급망을 설치하는 수소 공급계획)을 선보임.

– 미국 : 캘리포니아 주의 수소충전소 및 수소자동차 보급 계획(California Fuel Cell Partnership)으로 대표되는 수송에너지 중심의 수소에너지 보급 추진

– 유럽 : 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program(FP)에서 FP2 단계(1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint–Undertaking) 프로그램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입됨.

· 수소 및 연료전지의 시장 보급 및 상용화 촉진을 위해 공공 영역과 회사들의 파트너쉽을 강화하는 프로그램들이 진행 중.

· 수송, 산업 및 가정용 발전, 에너지 저장 등 에너지 시스템 전 분야를 걸쳐 수소 에너지의 비중을 높이고 수소를 미래 사회의 주요 에너지 플랫폼으로 정의.

· 수소연료전지 자동차는 H2Mobility 프로그램으로 보급 확대를 꾀하고 있으며, combined heat and power 시스템을 통한 건물용 연료전지, 그리고 재생에너지 비중의 증가에 따른 유연성 확보를 위한 PtoG 기술 등을 개발 확대하여 수소에너지 기반 사회의 핵심기술을 확보하고 있음.

☞ 현황 : 에너지 선진국의 수소에너지 인프라 구축을 위한 요소기술 개발이 선제적으로 이루어지고 있음. 일본의 경우, 부생 수소를 활용한 수소에너지 기반 사회의 모델이 제안됨. 그러나 그 활용범위가 매우 제한적이며 개별 기술의 개발위주로 이루어졌고 수송에너지와 관련한 인프라 기술이 주를 이룸.

☞ 시사점 : 수소를 에너지 플랫폼으로 재생에너지원의 간헐성과 불안전성을 해소하여 산업단지에 안정적인 에너지원으로 공급하고 거래하는 종합적인 RE100 거래 시스템을 구현한 사례는 아직 없음.

3. 연구개발과제 구성 및 추진전략

□ 연구개발과제 구성

○ (1세부) 물리적 RE100을 위한 장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

– (목표) 재생에너지 활용 12시간 2MW급 안정적 전력 공급 시스템 개발 및 실증(실증 시스템의 100% 무탄소 배출)

– (개발기술)

· 단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작

· 장주기 재생에너지 저장을 위한 부하대응 모듈형 수전해 시스템의 개발/저장장치 설계 및 제작

· 수요 대응형 연료전지의 설계 및 제작

· 각 단위 시스템의 연계 기술 개발

· 장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증

· 무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증

○ (2세부) 수소 기반 공급형 가상발전소[38]의 출력 안정화 제어 기술개발

– (목표) 개별 분산전원 정격의 10%/1분[39] 이하의 변동률을 만족하는 동시에 공통 연결점 (PCC, Point of Common Coupling)에서 12시간 평균 출력 2MW (24MWh/1일) 달성

– (개발기술)

· 실시간 관제 · 예측 · 제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 및 검증

· 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발

· 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계

· 전력계통에 제공할 수 있는 보조서비스(Ancillary Service)[40] 제어 기술 탐색 및 적용, 이를 검증하기 위한 실시간 시뮬레이터 운용

· 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용

38) 분산형 에너지 자원을 정보통신기술을 이용해 통합하여 하나의 발전소처럼 관리하는 시스템
39) Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA), TenneT 기관의 재생에너지(태양광, 풍력) 변동률 제한 권고사항
40) 전력계통의 물리적 안정성 및 전기품질 유지를 위해 제공되는 서비스

○ (3세부) 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발

– (목표) 경제성 확보를 위한 RE100 거래 시스템 2건 이상

– (개발기술)

· 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구

· 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계

· 국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구

· RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발

· RE100 달성을 위한 신규 거래 시스템 제안

□ 추진전략

연구개발 과제		
RE100 기반의 수소 시범단지 인프라 기술개발		
중점기술 1	중점기술 2	중점기술 3
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발	수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발	한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발
·단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작 ·장주기 재생에너지 저장을 위한 수전해 시스템/저장장치 설계 및 제작 ·수요 대응형 연료전지의 설계·제작 ·각 단위 시스템의 연계 기술 개발 ·장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증 ·무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증	·실시간 관제·예측·제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술 개발 및 검증 ·계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발 ·개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계 ·에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용	·대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구 ·경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계 ·국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구 ·RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발 및 제안

□ TRM



4. 소요예산(안)

○ 과제 총연구비 : 37,300백만원(정부 : 28,000백만원/민간 : 9,300백만원)

[백만원]

구 분	총연구비	’ 20	‘21	‘22	‘23
정부투자 실적·계획	28,000	4,000	7,000	11,000	6,000

○ 세부별 연구비 편성 계획 : 총 3개의 핵심연구분야로 구성한 연구단 (산학연으로 구성)

[백만원]

구 분	총연구비	’ 22	‘23	‘24	‘25
1세부	190	20	50	75	45
2세부	70	15	25	20	10
3세부	20	5	5	5	5

* ‘23년은 개발된 성과물의 운전 실증으로 연구개발비 감소

1. 연구의 필요성

1.1 기술개발 방향 선정

1.1.1 추진 배경

○ 인류가 당면하고 있는 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 청정에너지원으로서 수소에너지 대두 및 미래 수소사회 대비 필요

– 2017년 다보스 포럼에서 탄소경제사회를 수소경제사회로 이행하기 위한 '수소위원회(Hydrogen Council)' 신설하여 운영

– 2050년 글로벌 수소경제 규모는 2조5,000억 달러(약 2,670조원), 에너지 수요비중 18%, 이산화탄소 저감 연간 6Gt(60억톤), 일자리 창출 3천만명으로 전망('17.1, 다보스포럼)

– 미국, EU, 일본 등 수소사회 대비를 위한 지원을 정부주도 및 민관 합동으로 적극 추진 중으로 국가별 경쟁이 치열하나, 아직 초기 단계₩

○ 정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델로 도시 내 주거·교통·산업 등 전분야에 수소가 적용되는 수소 시범도시* 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요(수소경제 로드맵 주요내용**)

* 신재생에너지 패키지 투자모델(수소분야) 중 장·단기 에너지 활용극대화 과제에 포함
(단기 : 수소시범도시 플랫폼 개발, 장기 : 수소도시 보급 확대 및 해외수출모델 개발)

** 수소경제 로드맵 관련내용 : 2022년까지 3개 시범도시 구축(55 ~ 56쪽)

○ **(목적) 수소 활용 기술 · 제품 · 시스템**을 실제 적용한 수소 도시 조성
○ **(구축 전략) 신도시·혁신도시, 수소 활용 선도지역** 등을 대상으로 **수소 시범도시**를 조성하고 **인프라 구축 지원**, 규제특례 등 제공

*** 2019년 경제정책방향('18.12, 기재부) : 교통·난방 등 수소기반 시범도시 3개소 조성(~ 2022년)

○ 재생에너지를 주된 에너지원으로 사용하기 위한 에너지 저장 및 최적화 기술 필요

– 애플, 구글 등 글로벌기업 중심으로 RE100 체계로 개편하고 있으며, 이로 인해 국산제품의 수출 진입장벽으로 작용하기 전에 선제적인 대응이 필요

– 재생에너지는 간헐성으로 인해 주요 에너지원으로 활용하기에 한계가 존재하여,

– 대규모 재생에너지의 전력연계를 위한 RE100 산업단지의 재생에너지 균질화 및 안정성 기술개발 및 실증 필요

* 새만금 등 국내 재생에너지 발전단지와 연계한 RE100 인프라를 시범 구축·운영하여 RE100 체계로 전환 기반 마련

1.1.2 기술개발 방향 도출

○ 재생에너지 발전 증가 대비 융합기술 필요

○ 새만금 등 대규모 재생에너지 발전단지의 건설로 인하여 재생에너지에 의한 전력그리드의 부담이 증가될 것으로 예상 되며 이를 대비한 그리드 강화 및 효율적 에너지 사용으로 대비 필요

– 정부에서는 '30년까지 재생에너지 발전량 비중을 20%, '40년까지 30~35%까지 확대하는 계획을 세우고 있으며 이에 따라 재생에너지의 비균질에너지를 섹터 커플링을 통한 안정적 에너지로의 저장, 전환이 필수적임

– 비균질 에너지를 균질화 함으로써 그리드 부하 감소 및 RE100 산단에 안정적 에너지 공급이 가능하여 산업단지의 예측 가능한 산업 생산활동 가능

○ 산업단지 및 수소도시 실증에 필요한 국내외 수소 생태계를 구축하여 탄소중립 정책에 부합하여 환경오염 저감, 에너지 활용 극대화, 국민 안전 향상 도모

○ 수소사회의 구축

– 수소도시는 수소경제라는 새로운 미래에너지 패러다임이 구현된 미래 청정에너지 기반의 생활 환경

– 우리 정부도 3대 혁신성장 전략투자(2018.8.13. 기획재정부)인 수소경제의 조기 구현 모델로 도시 내 주거 · 교통 · 산업 등 전분야에 수소가 적용되는 수소 시범도시 인프라 기술개발 및 실증 강조

– 수소경제 시대의 수소도시는 과거의 화석연료나 원자력과 같은 에너지 생산자와 소비자가 구분되지 않는 에너지프로슈머의 개념 도입

○ 재생에너지 전력과의 섹터 커플링을 통한 미래기술 부재

– 재생에너지원 및 기존의 전력/가스 그리드 등을 통합적으로 활용한 에너지 활용 시스템을 구축하고 에너지 수요에 따라 최적 에너지 포트폴리오를 구축할 수 있는 ICT 기술 기반의 에너지 생태계 구축

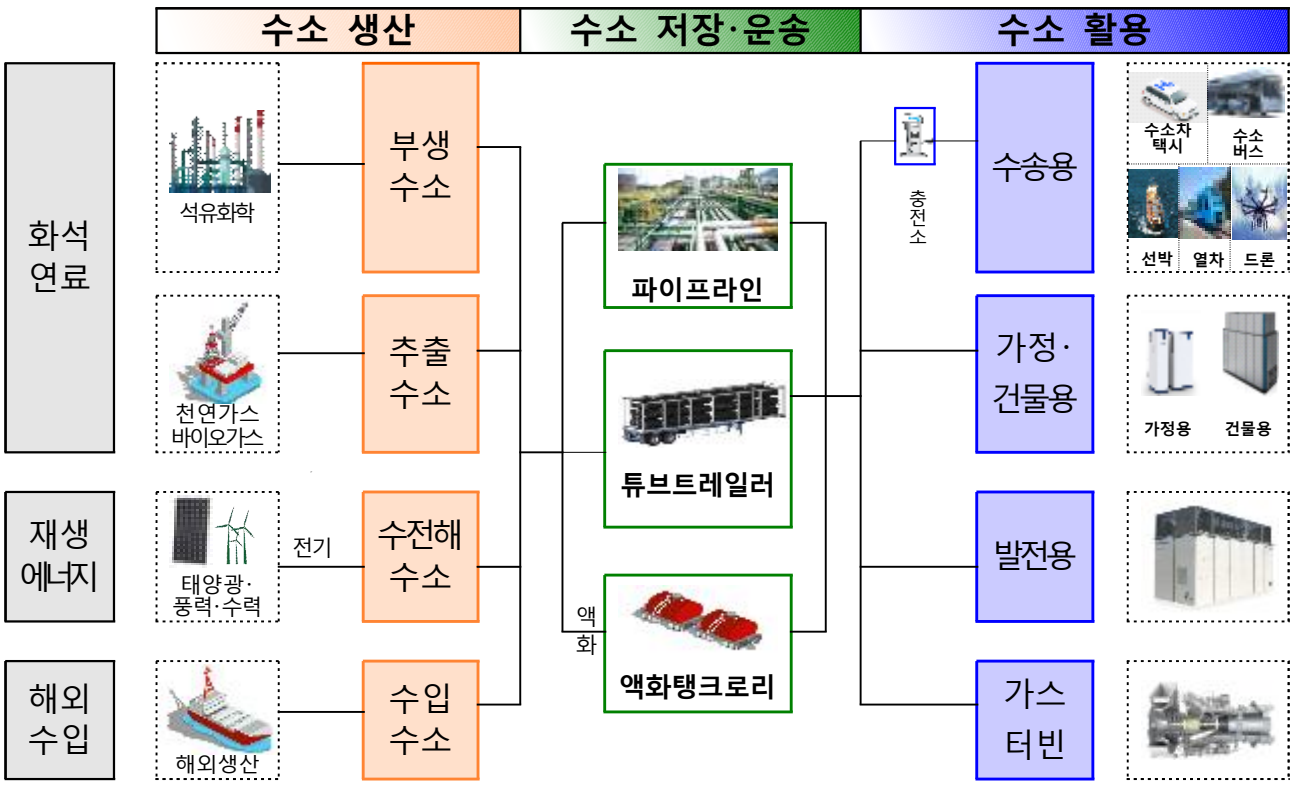
– 에너지 매개체(carrier)로서의 수소를 기반으로 에너지의 생산, 저장, 공유가 이루어져 에너지 생산자와 소비자의 경계를 허물고 분산발전의 효율성을 극대화하여 에너지 안보 강화 및 자립화에 기여

– 청정 에너지인 수소 에너지를 바탕으로 온실가스 감축, 미세먼지 저감에 기여하여 친환경적 도시환경 조성

○ 재생에너지 발전부분과 수전해, 연료전지 등의 기존 장치개발에 비해 이를 운용한 섹터 커플링을 위한 국내 기술 부족

○ 실증 경험 축적을 통한 기술 자립화와 해외 재생에너지 자원이 풍부한 도시 및 산업단지에 적용할 미래기술 확보

– 국내 대용량 재생에너지 발전단지인 새만금을 통해 재생에너지 이용한 섹터커플링 기술개발로 설계 및 운영기술의 습득과 핵심 장치의 요구내용 확보



새로운 성장동력

- 수소생산, 저장·운송 등 인프라 산업 시장 창출
- 소재·부품·시스템 등 기술개발 및 수요 촉진 등
- 수소차, 연료전지를 미래유망 품목으로 육성

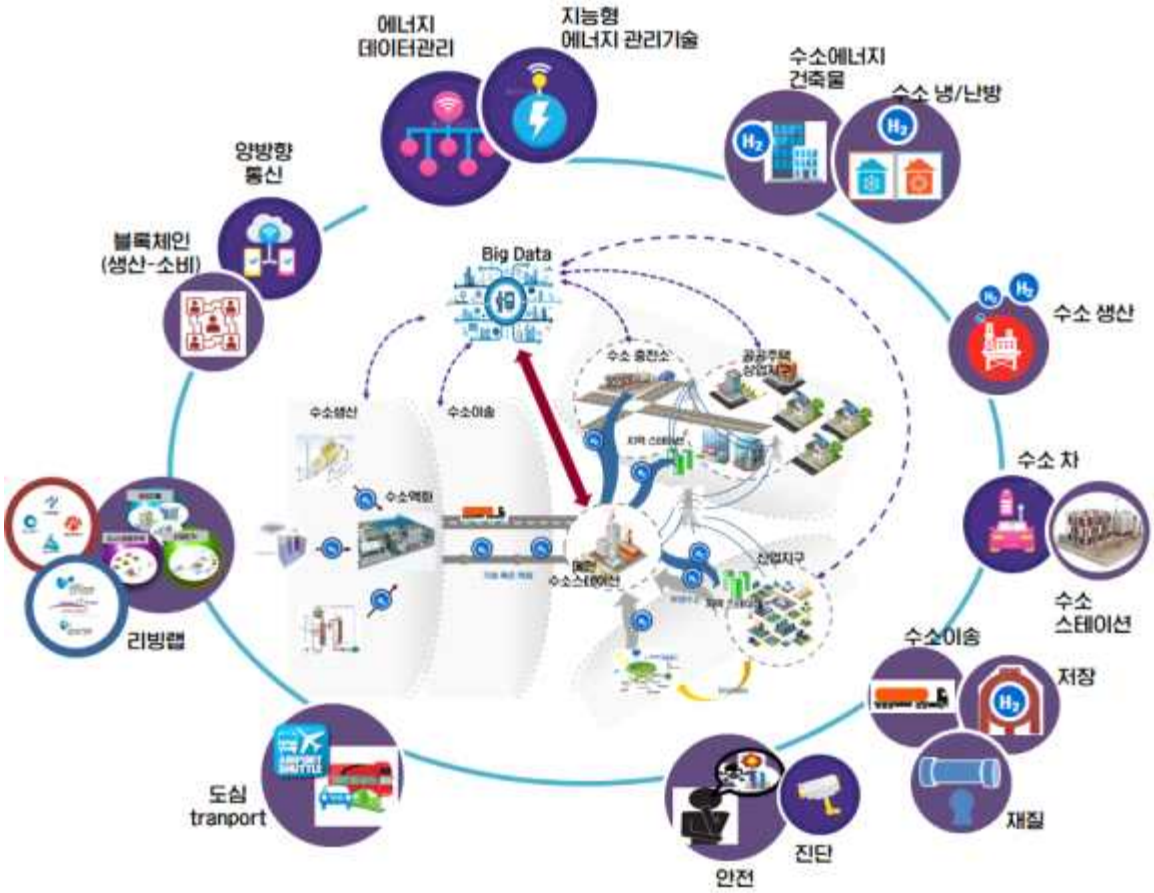
에너지 자립

- 에너지원 다각화
- 해외 의존도 감소
- 재생에너지 이용 제고

친환경 에너지

- 높은 에너지효율
- 탈탄소화, 온실가스 감축
- 미세먼지 저감

〈수소경제의 구성과 의미 (수소경제활성화 로드맵, 2019. 1. 17)〉



〈수소 사회 건설의 위한 수소 도시의 컨셉〉

1.2 기술의 개요

○ (1세부) 물리적 RE100을 위한 장, 단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

– (정량목표) 재생에너지 활용 12시간 2MW급 안정적 전력 공급 시스템 주요 핵심 시스템 개발(실증 시스템의 100% 무탄소 배출)

– 단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작

– 장주기 재생에너지 저장을 위한 수전해 시스템/저장장치 설계 및 제작

– 수요 대응형 연료전지의 설계 및 제작

– 각 단위 시스템의 연계 기술 개발

– 장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증

– 무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증

○ (2세부) 수소 기반 공급형 가상발전소[41]의 출력 안정화 제어 기술개발

– (정량목표) 개별 분산전원 정격의 10%/1분[42] 이하의 변동률을 만족하는 동시에 공통 연결점 (PCC, Point of Common Coupling)에서 12시간 평균 출력 2MW (24MWh/1일) 달성

– 실시간 관제 · 예측 · 제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 및 검증

– 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발

– 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계

– 전력계통에 제공할 수 있는 보조서비스(Ancillary Service)[43] 제어 기술 탐색 및 적용, 이를 검증하기 위한 실시간 시뮬레이터 운용

– 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용

○ (3세부) 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발

– (정량목표) 경제성 확보를 위한 RE100 거래 시스템 2건 이상

– 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구

– 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계

– 국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구

– RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발

– RE100 달성을 위한 신규 거래 시스템 제안

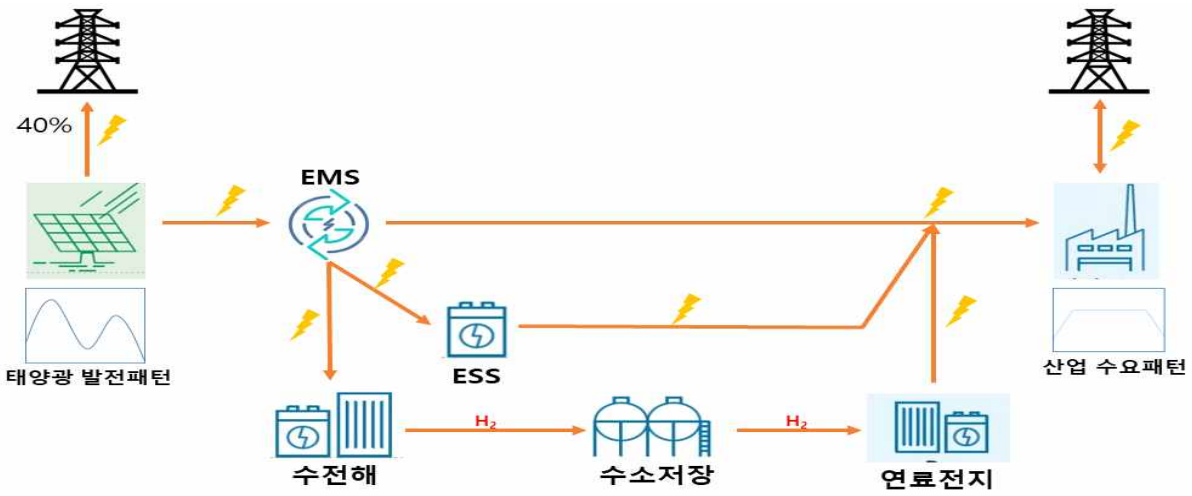
41) 분산형 에너지 자원을 정보통신기술을 이용해 통합하여 하나의 발전소처럼 관리하는 시스템
42) Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA), TenneT 기관의 재생에너지(태양광, 풍력) 변동률 제한 권고사항
43) 전력계통의 물리적 안정성 및 전기품질 유지를 위해 제공되는 서비스

○ 연구단 구성

연구개발 과제		
RE100 기반의 수소 시범단지 인프라 기술개발		
중점기술 1	중점기술 2	중점기술 3
담당연구개발내용	담당연구개발내용	담당연구개발내용
장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발	수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발	한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발
· 단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작 · 장주기 재생에너지 저장을 위한 수전해 시스템/저장장치 설계 및 제작 · 수요 대응형 연료전지의 설계·제작 · 각 단위 시스템의 연계 기술 개발 · 장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증 · 무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증	· 실시간 관제·예측·제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술 개발 및 검증 · 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발 · 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계 · 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용	· 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구 · 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계 · 국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구 · RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발 및 제안

1.2.1 장, 단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

○ 목표 : 재생에너지 활용 12시간 2MW급 안정적 전력 공급 시스템 주요 핵심 시스템 개발(실증 시스템의 100% 무탄소 배출)



〈그린산단 내 수소 에너지 공급–저장–활용 및 재생에너지 연계 통합 시스템〉

○ 주요 R&D 내용

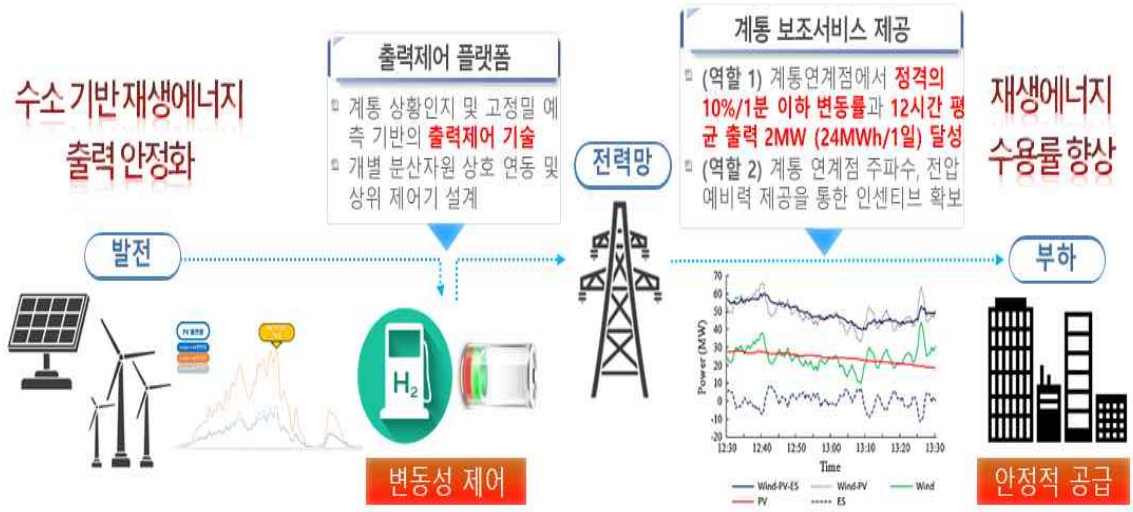
- 단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작
- 단주기 에너지 저장을 위한 제어 및 상위 제어기와의 상호 제어 능력 검증
- 장주기 재생에너지 저장을 위한 수전해 시스템/저장장치 설계 및 제작
- 부하 변동성에 대응하기 위한 모듈형 스택을 적용한 수전해 장치의 설계 및 운전 방법 연구
- 수요 대응형 연료전지의 설계 및 제작
- 부하 변화에 따른 연료전지의 단계적 운용 방법 및 ESS, 재생에너지와 연계를 통한 에너지 공급 시나리오 연구
- 각 단위 시스템의 연계 기술 개발
- 장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증
- 무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증

1.2.2 수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발

○ 목표 : 개별 분산전원 정격의 10%/1분[44] 이하의 변동률을 만족하는 동시에 공통 연결점 (PCC, Point of Common Coupling)에서 12시간 평균 출력 2MW (24MWh/1일) 달성

- 실시간 관제·예측·제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 및 검증
- 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발
- 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계
- 전력계통에 제공할 수 있는 보조서비스(Ancillary Service) 제어 기술 탐색 및 적용, 이를 검증하기 위한 실시간 시뮬레이터 운용
- 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용

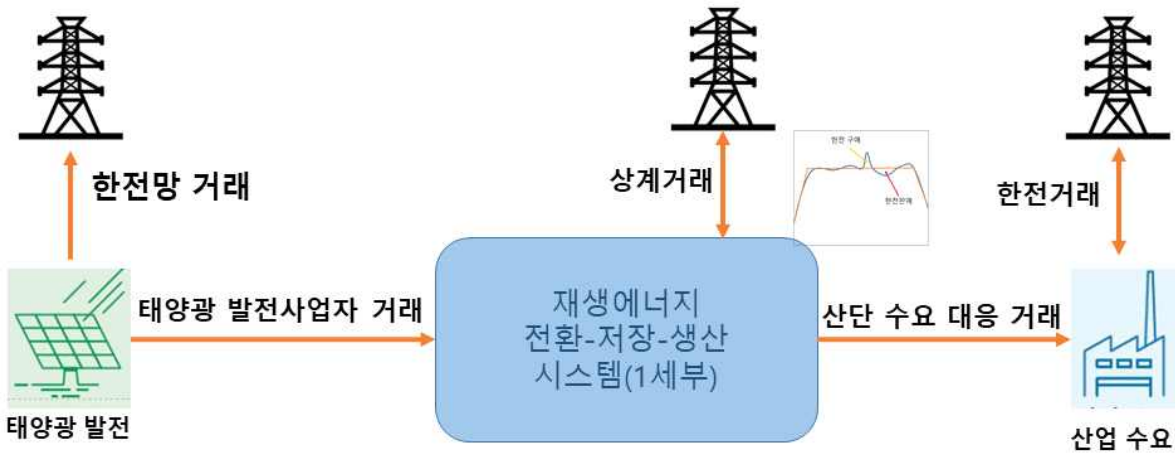
44) Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA), TenneT 기관의 재생에너지(태양광, 풍력) 변동률 제한 권고사항



〈수소기반 재생에너지 출력 안정화〉

1.2.3 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발

- (정량목표) 경제성 확보를 위한 RE100 거래 시스템 2건 이상
  - 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구
  - 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계
  - 국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구
  - RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발
  - RE100 달성을 위한 신규 거래 시스템 제안



〈RE100 산단의 전력 거래 예〉

1.3 기술의 필요성

❍ 선진국의 수소경제를 위한 수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소 스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대로 초점이 맞추어져 있음

– (일본) JHFC 및 HySUT (The Association of Hydrogen Supply & Utilization Technologies) 프로그램을 통해 수소경제 관련 수소인프라 기술의 보급확대 사업 지속 중. 수소충전소 (H2 stations)의 상용화 연구 : 수소에너지의 광범위한 보급을 위한 목적으로 2009년 7월이후 지속적으로 실행. 2016년부터 HySUT라는 프로그램을 시작하여, 35개 산업계의 연합체(에너지 기업, 엔지니어링 전문업체, 수소 충전소 운영사 그리고 자동차 제조사 등을 포함)를 구성하여 수소충전소와 같은 수소에너지 인프라의 개발 및 시장보급 촉진을 위한 다양한 프로젝트들을 발굴/진행 중임. 도시 인프라와 관련해서는 기타큐슈의 제철소 부생가스에서 나오는 수소를 활용하는 도시 모델을 실증한 사례가 있음. 그리고 수송 에너지와 관련하여 일본 내 고속도로에 수소 충전소 100기 건설을 진행 중.

– (미국) 캘리포니아 주의 수소 충전소 및 수소자동차 보급 계획 (California Fuel Cell Partnership)으로 대표됨. 이는 연료전지 자동차 보급 활성화 그리고 이를 위한 수소충전소 보급에 대한 프로그램으로 1999년부터 시작됨. 2018년 7월까지, 약 5,000대의 연료전지 자동차가 주 내에 등록되어 있으며 30여개의 수소 충전소을 이용할 수 있으며 29개소의 충전소가 추가될 계획. 기본적인 도시 내 수소에너지 사용의 주체를 연료전지 자동차로 보고 있으며 이에 따라 공공부분이나 상용 수송 수단에서의 연료전지 자동차 보급도 추진과 이를 위한 인프라로 수소충전소의 확대 설치에 초점. 수송에너지 분야로 주력하고 있으며 도시 에너지 시스템 전반을 수소경제의 플랫폼으로 구축하기 위한 계획과는 상당한 차이가 있음.

– (유럽) 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program (FP)에서 FP2 단계 (1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint–Undertaking) 프로그램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입. 수소 및 연료전지의 시장 보급을 위한 프로그램을 꾸준히 진행함. PtoG, 건물용 연료전지 발전 등 수소에너지의 보급과 시장화에 주력하고 있음. 그러나 역시 도시 수준의 에너지 운영 시스템을 수소 에너지 플랫폼에서 운영하기 위한 모델의 제안이나 실증 사례는 없거나 매우 제한적인 사례만 있음.

❍ 국내 산업 계획의 핵심도 수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점을 맞추어져 있음

– 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보유한 수소차 및 관련 분야에 치우침

– 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨

· 공동주택, 공공건물에 10kW, 100kW급 수소기반 중앙집중식 연료전지시스템 구축

· 100kW급(1기) 연료전지 시스템 공동주택(LS 니꼬동제련) 설치 및 운영

· 중앙집중식 연료전지 구축하여 세대별 전기 공급 및 독신자숙소 등에 열공급을 통한 에너지 효율 극대화

· 10kW급(2기) 연료전지 시스템 공공건물(온산소방서) 설치 및 운영

❍ 전세계 수소에너지 관련 기술은 수소의 생산–저장–이송–활용 등의 모든 면에서 정립단계에 있으나, 태생적으로 수소 생산을 위해서는 에너지가 투입되어야 하므로 경제성 확보가 불투명한 상황임

– 선진국의 기술 개발 초점은 모두 시장이 형성되는 단계인 자동차 산업 쪽으로 초점이 맞추어져 있음

❍ 선진국의 수소경제를 위한 수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소 스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대로 초점이 맞추어져 있음

– 부가적인 산업으로 fuel cell과 수소 자동차외 타 산업까지 확대 적용이 어려움

– 수소 생태계에 대한 가치사슬 등의 구조적인 생태 조성에 대한 진지한 고민이 없음

❍ 국내 산업 계획의 핵심도 수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점을 맞추어져 있음

– 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보유한 수소차 및 관련 분야에 치우쳐 짐

– 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨. 따라서 지속적으로 성장할 수 있는 모델 구성이 어려움

❍ 기술 개발이 발생분야, 이송분야, 저장분야, 연료전지 분야 등 개별적인 방향성으로 추구되어 통합 system적인 면이 부족함

❍ 제도/법률적인 면이 모두 부족하고, 보조금 지원등에 치우쳐 있어, 수소자동차와 교통인프라 위주로만 발전하고 있으므로 도시라는 측면에서 다양한 분야로 확대 적용 필요

1.4 기술의 시급성 및 중요도

❍ 지속적으로 온난화에 대한 위험성과 탈탄소의 중요성이 강조되는 시점에서 신재생에너지만을 활용하기에는 기술적, 경제적 문제를 완전히 극복할 수 없음

– 신재생에너지는 대부분 전력생산이 초점이며, 이는 저장이라는 개념을 도입할 수 있는 기술적 한계가 있음.

– 신재생에너지는 대부분 환경적 요인에 따른 연속적인 생산/소비가 어려움. 따라서 보조적인 수단으로 외에는 활용 면에서 한계가 있음

– 한편, 수소는 에너지 carrier로서의 활용되어, 현재 화석연료뿐만 아니라 P–to–G 기술 등을 이용한 재생에너지의 이용, 저장에 활용하여 재생에너지의 유용성을 대폭 제고하여 친환경 탈탄소 에너지패러다임의 실현을 앞당길 수 있음

❍ 현재 선진국은 약 20년전부터 수소경제 실현을 위해 로드맵을 구축하고 기술 개발을 시작하였으나, 국내는 비교적 최근 대규모의 투자를 계획함으로서 후발주자의 지휘를 가지게 됨

– 수소 자동차 분야는 유일하게 선진국과 기술자웅을 겨룰 수 있는 분야이나, 이에 따른 부차적인 산업 즉 수소의 생산, 이송, 저장 등의 2차 산업은 격차가 발생됨

– 이를 극복하기 위한 fast follow전략과 기술적 우위성이 있는 분야를 구분함으로써 상황에 맞는 로드맵 구성이 시급한 상황임

– 모든 전략적인 핵심을 현 단계에서 구현할 수 있는 분야를 위주로 통합시스템 구축 로드맵 구성과 핵심기술 개발의 로드맵 구성을 구분하여 2원화 하는 concurrent 전략을 추진할 필요성이 있음

❍ 수소 경제실현의 핵심은 경제성 확보가 가능한 기술과 실질적인 탈탄소 전략

– 현재 공급되는 대부분의 수소는 화석연료를 월료로서 생성되고 있기 때문에 “탈탄소화” 라는 대명제에 있어 약점이 될 수 밖에 없음. 따라서 안정적인 가격의 수소 확보를 위해 수소 생산기술의 포트폴리오 중 하나로 구성되겠으나 수소도시가 지향하는 목표점에 따라 재생에너지로부터 생산되는 수소와의 비중을 단계별로 최적화할 필요가 있음.

– 장기적인 면에서 수소 생산을 전기분해로 초점을 맞추고, 에너지 저감을 위한 신재생에너지와의 연계 기술 개발 방향성을 설정해야 함.

❍ 개별적인 기술과 함께 생태계를 구성할 수 있는 통합적인 산업영역을 구성하는 것은 향후 수소 경제에 있어 성패를 좌우할 수 있는 중요한 분야임

– 선진국에서 주장하는 수소 시티의 시범이후 실패의 원인은 크게 2가지로 구분할 수 있음

· (사용자와의 의사소통) 경제성이 비교적 부족한 수소에너지를 공급하기에는 사용자와의 괴리가 커서 이를 극복하기 어려움. 복지적인 측면에 대한 강조와 이에 대한 사회적 인식도 만족이 가능한 플랜 제시하거나, 수소 사회를 왜 구축해야 하는 가에 대한 사회적 인식 제고 필요.

· (실질적인 산업 생태계 부재) 산업과 2차산업을 연계할 수 있는 사업화 모델 부재로 인하여 경제성 확보가 가능한 시장 창출이 불가능하였음. 유일하게 1차와 2차산업이 연계될 수 있도록 구성된 자동차 산업만 활성화

– 확실한 대안으로서 재생에너지의 전력과 수소로의 전환을 통한 결합성을 가지는 것은 시너지 효과를 일으킬 수 있음

– 산업단지에서 RE100을 위한 수소 생태는 자연스러운 생산자와 소비자 연계가 가능하지만, 생소한 에너지 활용에 대한 사회적 동의에 대한 필요성이 강조됨

❍ 시범산단 등을 통한 리빙랩 형태의 수용성 강화가 필요

– 위험함 물질로서의 인식이 될 수 있는 수소에 대한 거부감을 없앨 수 있는 모델 제시가 필요, 이는 리빙랩 구성에 대한 당위성을 의미

❍ 정부지원의 필요성

– 수소 생태계 구현은 새로운 에너지원 공급정책이 우선되어야 하며, 이는 민간영역이 아닌 국가적 차원의 대규모 사업이 될 수 밖에 없음

– 수소에너지는 현 단계에서 경제성이 없어 민간에서 순수하게 투자하기에는 정책적/제도적/사회적/산업적 기반이 없는 현 상황의 위험성이 너무 큼

– 국가 차원의 로드맵 개발이 필요함

– 민간과 산업계를 연결시키는 것은 정부의 중요한 미션임

❍ 기획연구내용의 추진전략 : 기획 패러다임의 전환

– 현행 국토교통부의 플랜트 관련 기획은 테스트베드를 중심으로 이루어짐. 따라서

시장 수요자와의 의사소통을 간과하는 결과를 가져옴. 이는 최종적으로 개발한 기술의 시장 진입 및 지속성 창출에 대한 장벽으로 작용함으로서 기술 개발 이후 시장/수요자까지의 연계 단절의 주요요인으로 작용

- 현 시장 지배적 기술 중심에서 수요자 중심의 기술 수요를 적극 반영할 수 있는 기획으로 전환
- 현 기업 맞춤형 기술에서 소비자 맞춤형 기술기획으로 전환
- 현행 기술 중심의 테스트베드 구현에서 사용자 중심의 Living Lab구현으로 초점을 맞추어 실질적으로 활용 가능한 기술 중심으로 기획
- 수요자/사회 구성인의 니즈(NEEDS)에 대한 반영을 통해 일상생활 속 기술실증 구현 전략 추진 : 지속가능성 확보



〈R&D 기획의 패러다임 추구 전략〉

2. 환경분석

2.1 국내외 기술 개발 동향

❍ 수소생산 기술

– 수소 생산기술은 크게 전기화학적, 열화학적 방법으로 구분될 수 있음

– (전기화학적 방법) 전기분해 방식을 의미함. 수소 1 kg 생산을 위해 물 9L가 요구되며 효율의 향상을 위해 고순도의 물이 필요함. 따라서 일반적인 전기 분해 방식은 전처리로서 탈이온 장치를 필요로 하고 있음.

· 전기분해는 크게 Alkaline Electrolysis (AE) 방식과 Polymer Electrolysis Membrane (PEM) 방식으로 구분됨. 두 기술에 대한 장단점은 표 2에 요약되어 있음

· 기본적으로 현재시점에서는 AE 방식의 전기분해가 더 경제적이나, 향후 R&D 적인 관점에서 추측할 경우에는 PEM 방식으로 전환해야 함. 특히 도심 등에서 사용을 위한 관점에서는 더욱 PEM 방식이 돋보일 것으로 사료.

· 호주의 National Hydrogen Roadmap 2018은 현 기술 개발의 초점을 PEM 방식으로 맞출 경우 그림 9과 같이 향후 경제성 면에서 더욱 유리할 것으로 예측함



〈PEM과 AE의 R&D 관점에서 기술 개발 및 최종 목표 생산단가
(호주의National Hydrogen Roadmap 2018 참고)〉

– (열화학적 방법) 화석연료 혹은 바이오매스 등을 열/화학물질들을 사용하여 수소, 일산화탄소/이산화 탄소의 혼합가스로 변환시키고, 그 중 수소를 분리하는 방법으로 상대적으로 현 시점에서는 물분해에 비해 약 3배의 경제성을 가짐

· (천연가스–수증기 개질) 천연가스–수증기 혼합물을 고온과 촉매를 활용하여 수소, 일산화탄소, 이산화탄소로 변환 시키는 방법

· (석탄가스화) 분쇄된 석탄을 고온과 고압하에 가스화하여 합성 가스로 변환시키는 방법

– 현재 시점에서 수소 생산기술은 열화학적 방법이 상대적으로 저렴하나, 신재생에너지를 활용할 경우, 그림 9에서 전력비 소모를 저감할 수 있으며, 장기적인 관점에서는 기술개발 요소가 많은 전기분해에 의한 경제성과 유사할 것으로 전망됨.

· 수소를 화석연료로부터 생산할 경우 온실가스 저감, 탈탄소화 등의 목적이 퇴색하는 의미가 강함. 따라서 장기적으로는 신재생에너지와 결합한 수소 생산 방식으로 초점을 맞추어야 함.

· 화석연료로 부터의 생산은 필연적으로 CO2 포집기술과의 조합이 요구됨. 특히 이는 수소생산의 약 20%를 차지하므로 효율적인 CO2 포집기술은 중요함

❍ 수소저장 기술

– 저장기술은 수소에너지를 도심지까지 혹은 활용지까지 저장 및 이송하는 기술로 향후 수소 스테이션등을 활성화하기 위한 가장 중요한 기술 중 하나임

– 물리적 저장방법은 제한된 용기에 저장하는 기술로 압축수소저장과 액화수소 저장으로 구분

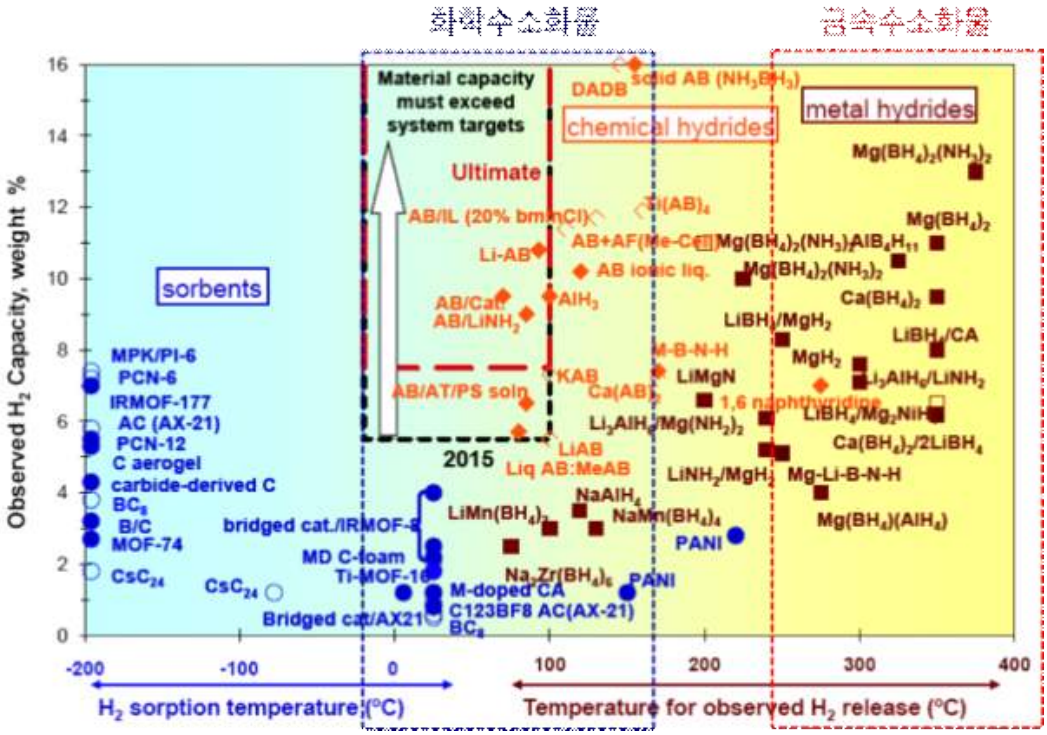
· 고압수소저장 : 압축수소저장기술은 고압으로 수소기체를 압축하여 저장하는 방식으로 최근 상용화된 수소 전기차 용으로 활용됨. 초기 350 bar에서 현재 700 bar까지 기술 개발되었음

· 액화수소저장 : 수소기체를 극저온 (–253℃, 20 ° K)으로 냉각시켜 액체 형태로 저장하는 기술로 무게 및 부피대비 수소저장밀도가 상대적으로 높다는 장점에 비해 에너지 (10–14 kW/kgH2) 및 비용 면에서 불리한 것으로 알려짐

– 재료 기반 수소저장 및 이송기술은 고압수소저장기술의 한계를 극복하기 위해 소재기반의 대용량 수소저장 기술로 개발된 것임. 일반적으로 금속수소화물 및 화학수소화물로 구분

· 금속수소화물 (고체수소저장) : 금속(혹은 합금, M)이 수소기체(H2)와 반응하여 금속수소화물(MHn)을 형성함으로써 수소를 저장하며, 필요 시 에너지를 공급하여 저장된 수소를 재방출하는 할 수 있는 수소저장·재방출 가역성이 확보된 소재를 활용하는 기술임. 부피대비 수소저장밀도가 압축수소 및 액화수소보다 높으나, 무게대비 수소저장밀도는 다소 낮고, 소재가 고가이며, 동시에 반복되는 수소의 흡·탈착 과정에서 소재가 열화될 수 있는 단점이 존재. 현재 가장 대표적인 금속수소화물은 Mg–M (M = Li, Cu, LaNi5, etc), M–B (M = Li, Mg, Ca, etc; 예, LiBH4, Ca(BH4)2, 및 Mg(BH4)2), Ti–M (M = Fe, Mn) 등이 있음

· 화학수소화물 (액상수소저장) : 화합물에 기반한 수소의 탈착 혹은 가역적인 수소의 저장·재방출이 가능한 소재를 의미하며, 액체 화합물에 기반한 액상수소 저장기술의 경우, 상온 및 상압에서 수소를 저장하고 이송한 후 필요 시 저장된 수소를 재방출하여 사용하는 수소저장·이송·재방출 기술을 구현할 수 있음. 대표적으로 화학수소화물인 톨루엔 (toluene)–메틸시클로헥산 (methylcyclohexane), 암모니아 등이 개발되고 있음



〈다양한 금속수소화물의 수소저장밀도 및 수소 흡·탈착 온도 비교〉
(빨간색 점선, US DOE)

· 저장 방식별 장단점의 비교

기술	설명	장/단점
압축 방식		
저압탱크	– 부가적인 압력 없이 수소 저장	– 기술의 정립이 우수 – 낮은 에너지 밀도
	– 2.77 kg/m^3 (30–35 bar, 25℃) – 3.95–10.9 kg/m^3 (50–150 bar, 25℃)	– PEM을 통한 생산 압력 – 0.2–0.8 kWh/kg
고압탱크	고압하에 수소를 저장하며, 압력정도에 따라 cylinder 형과 composite 형으로 구분	– 기술의 정립이 우수 – 낮은 밀도와 추가 에너지 소요
	– 23 kg/m^3 (350 bar, 25℃)	4.4 kWh/kg
지하저장	지하의 암반 층에 구멍을 뚫어서 저장	– 낮은압력과 저비용으로 많은 부피저장 – 지형적 요인에 의존
액화 방식		
극저온 탱크	– 253℃ 조건에서 수소를 압축하여 저장	– 높은 에너지 밀도 – 기화에 의한 손실이 많음 – 경제적인 단점
	70.8 kg/m^3 (1 bar, –253℃)	10–13kWh/kg
저온압축	저온과 300bar의 고압에서 저장	– 높은 저장 밀도 – 기화에 의한 손실이 적음 – 경제적 단점
기타		
암모니아	수소를 암모니아로 전환하여 저장	– 이미 있는 정립된 기술 – 높은 수소의 밀도 – 이론적인 효율성의 제한 – 전환을 위한 에너지 소요 – 독성물질
	121 kg/m^3 (1 bar, –33℃)	2–3 kWh/kg (단 다시 수소전환시 약 8kWh/kg 소요)

○ 수소운송 기술

– 운송기술은 가스상을 운송하는 튜브트레일러, 액화 수소 운송 트레일러, 파이프라인 등으로 크게 3개로 구분

– 전체 운송 기술은 전반적으로 효율개선이 되어야 하나 소규모로 운송되는 튜브트레일러가 가장 많이 이용됨.

– 대량 운송을 위해서는 별도로 파이프라인 구성에 대한 고민이 있어야 함

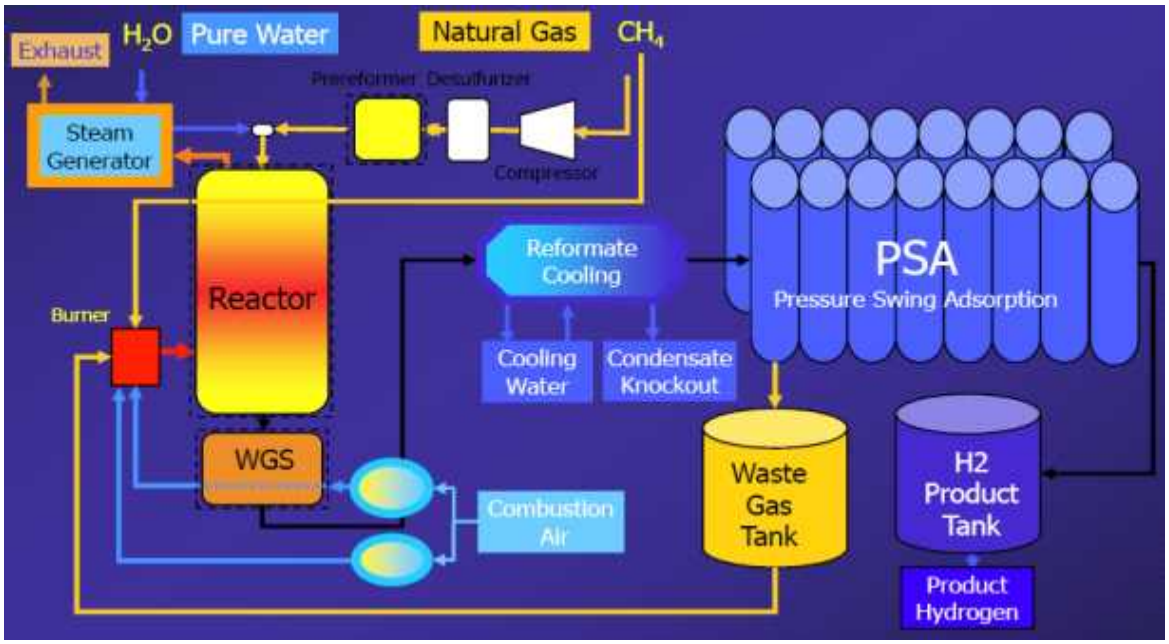
– (현 경제성) 운송수단 중 파이프 라인을 제외하면, 트럭이 압축 수소 운송비용이 약 4배 비싼 것으로 조사됨. 액화 수소를 운송할 경우 유사한 비율을 갖지만 트럭은 2.33 $/ton/km에서 0.912 $/ton/km로 2배이상 저렴한 것으로 조사됨

– 파이프 라인에 의한 공급은 FRP를 이용할 경우 가장 저렴한 것으로 조사되었으며, 이는 현재 천연가스 공급라인을 이용하는 방안을 가능하게 함. 단 이 경우 약 20% 내외의 수소를 천연가스와 함께 공급하는 것이므로 다양한 고려사항이 존재함

방법	조건	압력 (bar)	비용 ($/ton/km)
강철파이프	전송	103	0.82
FRP 파이프	전송	103	0.61
RE 파이프	분배	20	2.58
Truck			2.33 (430bar 압축), 0.92 액화시
Rail			0.55 (430bar 압축), 0.28 액화시
Shipping			0.52 (430bar 압축), 0.09 액화시

○ 수소스테이션용 현장수소생산 시스템

- 수소 스테이션은 일반적으로 수소의 생산과 압축, 저장, 공급이 이루어 질 수 있는 기술의 집약체로 볼 수 있으며, 여기에서 전력이라는 관점에서 수소연료전지 자동차 시장의 확대와 함께 성장하고 기술 개발이 형성됨.
- 수소연료전지 자동차의 보급 확대를 위해서는 차량 운행의 인프라 역할을 하는 수소스테이션의 보급이 필수적이며 수소 수요의 확대에 따라 현장 생산방식의 수소 공급이 경제성이 우수해짐
- 미국 DOE는 2006년에 현장생산형(on-site) 고순도 수소생산 유닛의 상용화 선결조건으로 2017년 예상 수소 가격을 동일 발열량의 가솔린 대비 2배 이하의 가격 절감 가능성을 중요 기술 목표로 설정
- 특히 생산 방법과 무관하게 $3/kg-H2 이하를 요구하였으며 천연가스 개질에 의한 생산 기술의 경우 목표치의 달성이 가능한 것으로 판단
- US DOE의 수소생산 목표 가격을 달성한 H2Gen Innovation Inc.는 2009년에 Air Liquide사로 기술을 이전하였고 현재 HYOS-R 10k라는 제품명으로 판매 중
- HYOS-R 10k의 수소 생산 용량은 574 kg/day 이며 수소생산 효율 75%(HHV)으로 99.999% 순도의 수소 생산이 가능
- HYOS-R의 기술 특징은 대량 제작 시 가격 저감 효과가 큰 일체형 반응기 구조를 채택하여 장치를 고효율화 및 컴팩트화하여 개발



〈HYOS-R 10k 수소생산 유닛 구성도〉

- Mitsubishi Kakoki Kaisha, Ltd(이후 MKK)는 자사의 산업용 대형 개질기 설계기술을 활용하여 1999년부터 On-site 방식 수소 생산유닛 개발 추진(최대 용량 643 kg/day)



〈MKK의 수소충전소용 수소생산유닛 사양과 외형 (MKK, 2015)〉

- Osaka Gas Co.는 2000년대 초반부터 현장 생산 방식 수소생산 유닛 개발을 진행하여 2014년 HYSERVE-300을 개발(643 kg/day, 수소생산효율은 72%(HHV))



〈HYSERVE-300〉

– 화석연료를 이용한 소형(43~64 kg/day급) 수소생산 유닛은 한국에너지기술연구원, 한국가스공사, SK이노베이션, GS Caltex에서 수소충전소 구축에 활용한 바 있음

❍ 수소 연료전지차 기술 현황

– 우리나라의 수소연료전지차 기술은 세계 최고 수준임. 그림 15는 이러한 현황을 보여주는 것으로 수소에너지 활용면에서 유일하게 선진국과 경쟁이 가능한 분야임

· 2013년 세계 최초로 투싼 iX 수소연료전지차 양산을 시작하였으며, 2018년 2세대 수소연료전지차 넥소를 발표함.

· 투싼 iX 의 일충전 주행거리는 415 km 정도였으며, 넥소는 600 km 이상임 (충전시간: 약 3분).

구분	현대	도요타	혼다	닛산	다임러	GM
차량 형태						
출시 시기	'13.2월	'14.12월(일) '15.9월(미)	'16년 3월	'17년 출시	'17년 출시	'20년 출시
차량 가격	8,500만원 ('15)	700만엔	Mirai 수준예상	가격에 관한 정보 없음		
주행거리	440km	480km	700km	500km (실연비)	400km	300마일 (483km)
판매/생산 목표	'18년 수천대	'15년 700대 '17년 3천대	'20년까지 5천대 생산	부품공용화로 '17년 연간 10만대 생산		
출력	100kw	114kw	100kw	80kW(추정)		80kW(추정)
최고시속	160km	175km	160km	사양에 관한 정보 없음		

〈각국의 수소연료전지차 성능 비교〉

– 우리나라의 수소 충전소 및 수소연료전지차 보급은 미국, 일본에 비해 부진한 상황임.

– 국내 수소자동차는 207대로 일본 대비 7.8% (2,667대), 미국 대비 4.9% (4,215대)로, 아직까지 국내 판매는 부진한 상황임.

– 국내 충전소는 12기로 상업용으로는 7기만 사용 가능하며 (나머지 5기는 연구용), 일본대비 12% (고정식 60기, 이동식 40기, 총 100 기) 수준의 인프라가 확보된 상황임. 2018년도에 고속도로 휴게소 등에 8기를 추가 건설할 계획임.

– 정부에서는 2022년까지 수소충전소 310기 건설(누적)과 수소연료전지차 1만5천대, 2030년까지 63만대 보급 계획을 발표하였음. (친환경차 보급계획, 2018.06)

년도	2018	2019	2020	2021	2022	2030
수소전기차(천대) *()안은 당해년도	0.9 (0.7)	2 (1.1)	5 (3)	9 (4)	15 (5)	630
수소전기버스(천대)					1	n.a
충전소/누적(개소) *()안은 당해년도	39 (18)	80 (41)	130 (50)	200 (70)	310 (110)	520

– 일본은 2020년 도쿄올림픽을 기점으로 수소에너지 사회로의 전환을 시도하고 있음.

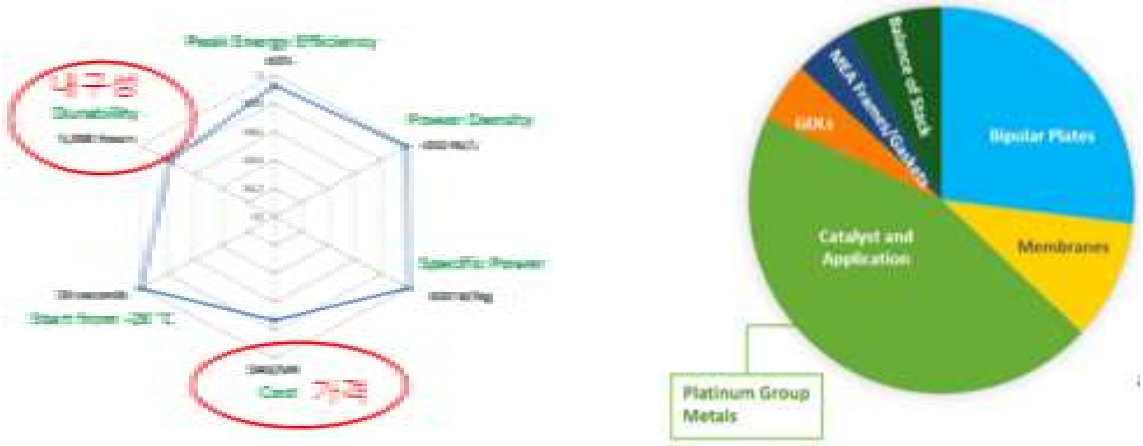
– “차세대 저공해 자동차개발” 을 통해 1998년부터 `12년까지 하이브리드자동차와 수소연료전지자동차 기술개발에 1,060억 엔(약 1조 원)을 지원함.

– NEDO에 차세대 배터리 수소부서 설치(`18)를 통한 EV/FCEV 보급 확대 핵심기술 개발 및 EV용 차세대 배터리 개발을 위해 경제산업성이 16억 엔을 투자함.

– 토요타와 혼다에서 판매하고 있는 수소전기차도 충전시간(3분)과 주행거리(약 600 km), 판매가격(약 700만엔) 는 우리나라의 넥소와 비슷한 수준임.

– 가격 저감을 위해서는 연료전지스택 가격의 50% 정도를 차지하는 백금 촉매의 사용량을 낮추거나 저가 소재로 대체하려는 연구가 활발함. 또한 현재 사용하고 있는 고가의 나피온 전해질 막을 대체할 수 있는 고분자 개발도 꾸준히 진행되고 있음

– 내구성 향상을 위해서는 고내구성 막전극접합체(MEA) 제조 기술, 고내구 고강성 기체확산층, 고내식성 금속분리판 및 가스켓 일체형 모듈, 저진동 고내구 공기압축기, 스택 열관리 부품 개발, 스택 내구성 향상 운전 기술 등의 개발이 필요함.



〈수소연료전지차 기술수전 분석 및 가격구조 (DOE AMR, 2017)〉

❍ 도시구성과 신재생에너지

– 목적 : 일반적으로 도시/산업단지 내 신재생에너지 도입은 탄소저감을 최우선적 목적으로 제안되고 있음. 그러나 실질적으로는 환경오염 저감에 따른 생활의 복지 증진이라는 측면이 강함. 이런 측면에서 산업단지 내에서 현 화석연료에서 발생되는 에너지 사용이 온실가스 발생량의 주범이며, 온실가스는 이산화탄소의 구성비가 가장 높은 것으로 조사됨.

– 이러한 관점에서 신재생에너지 혹은 수소에 의한 산업단지 내 에너지 공급은 전세계적으로 추진의 목적성 면에서 타당한 면이 존재함.

· 그리드적인 관점에서는 열병합 발전과의 조합으로 열원을 공급하며, 냉/난방수 공급에 의해 해결

· 태양광과 풍력 등으로 대표되는 신재생에너지는 전기를 공급하는 수단이 일반적이므로 열원으로서의 가치는 다소 낮은 것으로 판단됨. 지열/태양열은 복합발전이 가능한 몇 안되는 신재생에너지원이나 지역적 환경에 크게 의존하는 경향이 있음

· 수소의 경우 복합발전이 가능하기 때문에 산업단지내 에너지 분배라는 측면으로 전략적 접근이 가능함 (복합 수소 스테이션의 대형화)

· 화석연료는 일반적으로 발전소 등으로 운송되고 저장되어 활용

· 재생에너지는 전기저장의 방식으로 운용이 되어야 하나 상대적으로 대형화에 대한 R&D적인 관점에서 더 많은 진보가 요구되며, 실제 냉/난방이라는 부분에서 부족

· 현재 배터리, 연료전지라는 관점에서 빠른 발전가능성을 보여주고 있으나, 대

형화라는 관점에서 더 많은 투자가 요구됨

· 수소에너지는 화석연료와 같은 방식의 저장과 연료전지를 통해 저장과 공급이 가능한 유일한 에너지원으로서 가치가 뛰어남. 또한 수소에너지 저장 시스템은 그림 에서와 같이 도심내 에너지 공급원으로서 대형화의 가능성이 가장 높다는 장점이 있음. 다만 이런 장점은 화석연료에서 수소가 생성될 때 의미가 퇴색함

· 신재생에너지원과 수소에너지를 적절하게 연계 활용하기 위해서는 분산형 에너지 공급 시스템을 고려해서 추진해야 함. 단 이러한 시스템을 위해서 필수적인 것이 초전도 케이블과의 연료전시 시스템의 결합으로 적은 용량에서 발생하는 손실 최소화가 중요한 목표임

· 에너지 소비량의 측정 및 예측 분산형 혹은 하이브리드형 에너지 공급을 위해 반드시 요구되는 것으로 양방향의 통신이 가능하게 하여 주는 수단으로 개발이 필요함

· 분산형 시스템 구축에 대한 전략은 총 3가지로 구분될 수 있음

: (분산발전) 섹터별 공급이 가능한 소규모 발전 시스템 구축 전략

: (분산 냉난방) 화석연료의 에너지 소모 대체를 위한 것으로 발전과 냉각/히팅 시스템의 지역화 추진 전략

: (분산에너지 시스템) 상기 발전과 냉/난방의 복합시스템을 분산형으로 설치하는 전략 추진. 이는 수소 복합스테이션 추진 전략과 동일

– 공공건물들 조합 등의 마이크로 그리드 구성과 전기차 : 소규모이나 가장 많은 전기 등의 에너지를 요구하는 곳으로 구분되며, 복합 하이브리드 측면에서 적용성이 높은 곳으로 분류

· 몇몇의 공공건물 조합을 통한 소규모의 분산형 시스템을 구축하여 하이브리드 전력 시스템을 구축, 평시에는 일반 전력을 소모하나 수소의 저장능력을 활용하여 필요시 사용량을 늘릴 수 있는 flexibility 확보.

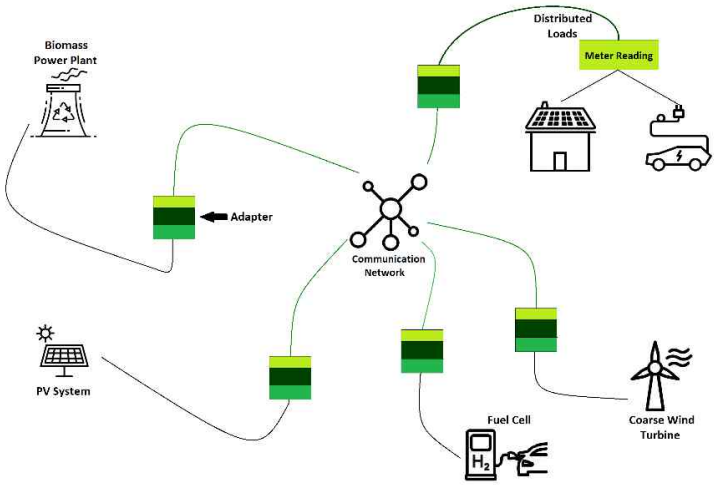
❍ 수소 이용 대단위 실증시도

– 전 세계적으로 공급되어지는 전력(power)의 약 75%가 도시에서 소비되고 있어서, 에너지 소비가 이루어지는 도시 내에서 에너지를 생산하는 분산형 에너지 공급 시스템은 에너지 효율성을 높이는 데 큰 역할을 함. 재생에너지 기반 도시 통합형 에너지 공급시스템 개발의 가장 큰 기술적 문제점은 지역마다 에너지 요구량 및 가능한 에너지 자원이 다양하고, 불확실하다는 점을 들 수 있음.

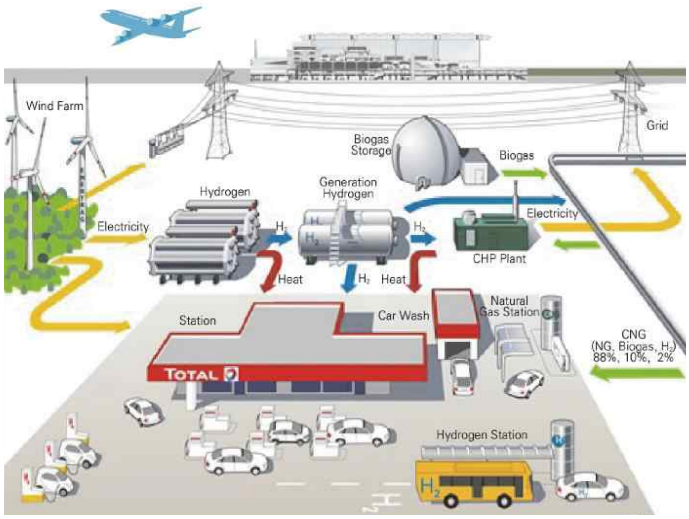
– 하르츠(Harz)에 도입된 RegModHarz는 태양광 발전소, 풍력 발전소, 바이오가스 발

전소, 연료전지를 이용한 분산형 융복합 시스템을 개발 및 적용하였음. 이 프로젝트는 태양에너지와 풍력에너지와 같이 에너지 생산량이 일정하지 않은 시스템의 에너지 생산량 균형을 맞추는데 바이오가스 및 연료전지를 이용하여 에너지 수요와 공급의 균형을 맞추어 융복합 시스템의 효용성을 입증하였음.

– 베를린 브란덴부르크 공항은 수소 실증 단지로, 500kWe 수전해, 100kg 수소 저장장치, 바이오가스, 태양광을 동시에 이용할 수 있는 연료전지 열병합 발전 시스템을 구축하였음. 풍력과 태양광에서 공급되는 에너지의 불확실성을 극복하고자, 수소를 이용한 연료전지를 도입하였고, 수소를 발생시키는데 사용되는 에너지는 재생에너지원을 통해서 공급되도록 하이브리드 에너지 공급시스템을 개발하였음.



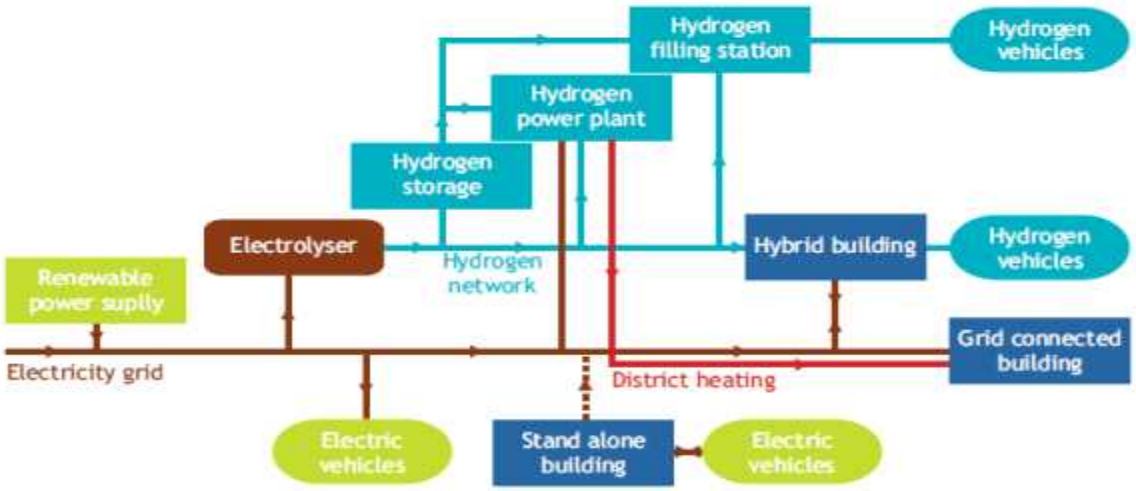
〈RegModHarz 분산형 에너지 공급시스템 개념도 〉



〈브란덴부르크 공항 신재생 하이브리드 시스템 (from Total Website)〉

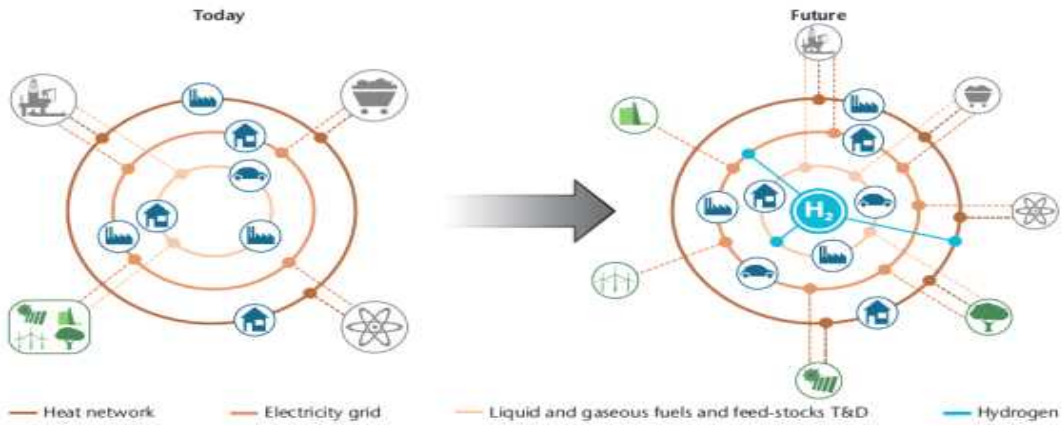
– 일본의 기타큐슈시의 수소타운은 400kW 태양광 발전소, 800kW 축전지 와 110kW 연료전지를 이용한 지역 에너지 관리 시스템으로 스마트 커뮤니티 센터 설립하였음. 기타큐슈시에 있는 제철소의 부생수소가스를 수소스테이션에 공급 및 인근 건물에 공급하는 공급망을 설치하여, 건물 단위의 연료전지 발전시스템과 태양광시스템 및 축전지와 연계된 복합형 에너지 시스템을 구축하였음. 세계 최소의 수소 도시 실증 사례이긴 하나, 수소공급 경제성 부족으로 도시 단위로의 확장성에 문제가 있음.

– 다음 그림은 수소에너지를 활용하는 도시의 개념을 보여주고 있음. 단순한 수소에너지의 흐름을 보여주는 것으로, 전기분해에 의한 수소생산과 수소 자동차, 수소발전소의 연계를 나타낸 것이고 또한 난방 시스템의 흐름을 함께 보여줌.



〈Danish 사에서 제시한 수소시티 H2PIA의 컨셉〉

– 다음 그림은 수소와 기존 에너지 등을 활용한 하이브리드 에너지도시에 대한 컨셉을 보여 주고 있음. 전체 컨셉의 특징은 수소활용 면에서 분산화이며, 각각의 에너지, 전력 등의 흐름에 대한 지역적 그리드를 나타냄.



〈수소도시 구축을 위한 에너지 분산 컨셉 (Hydrogen and fuel cells technical roadmap 참조)〉

2.2 국내외 관련분야 정책 동향

○ 선진국의 수소 산업 육성책

– 수소경제 활성화의 실증 모델로서 도시 구축의 선진국은 일본, 미국, 유럽 등으로 요약될 수 있으며, 각각의 국가별 특성은 아래와 같이 요약 정리되어있음

	일본	미국	유럽
대표 정책	• 4차 에너지 기본계획 • 2020년(도쿄올림픽) 수소사회 진입	• Hydrogen Posture Plan Department of Energy (DOE) • CaFCP(California Fuel Cell Partnership)	• 유럽: FCH JU • 독일: NIP, • 영국: UK H2 Mobility, • 프랑스: H2 Mobility France
배경	• 수소, 연료전지 기술 선도 • 수소전기차 상용화, 보급중 → 수소 수요 확대에 대응	• 셰일 혁명에 의한 천연가스 가격 하락 • 천연가스 활용방안 모색 • 석유화학 산업 부활	• 신재생에너지산업 성숙 단계에 진입 • 신재생에너지 잉여전력 활용방안 모색
생산	• 부생수소 활용 (단기) • 해외생산 수소 대량 수입 (중장기)	• 천연가스 개질 방식 확산 • 대규모 풍력단지 중심 생산 • 부생 수소 활용	• 신재생에너지의 잉여전력을 활용한 수소 집중형 대량생산 (Power to Gas)
운송	• 튜브 트레일러 및 수소 파이프 라인 활용 (현재) • 액화수소, 액상수소 기반 운송 (미래)	• 천연가스 배관 활용 • 튜브 트레일러 활용	• 천연가스 그리드 활용 • 수소 파이프라인 활용(북유럽 일부지역)
저장	• 대용량 저장소 구축 • 수소 탱크 활용 (고압방식, 액화수소, 톨루엔 전환 방식)	• CNG충전소 활용(HCNG) • 주유소 연계방식 (수소탱크 활용)	• 열병합 발전소와 연계 • 복합형 클러스터 구축(수소/CNG/전기/열)
정책 특징	• 수소전기차용 수소 충전소 확충 • 가정용/발전용 등 포괄적인 수소산업 시장 창출 추진	• 캘리포니아 주에서 미국 전역으로 확산 • 수소전기차용 수소 충전소 확충	• 신재생에너지 활용 • 가스그리드 활용 • 대용량 수소 저장소 구축 • 수소전기차용 수소 충전소 확충

〈수소사회 구축을 위한 에너지 분산 컨셉〉

○ 일본

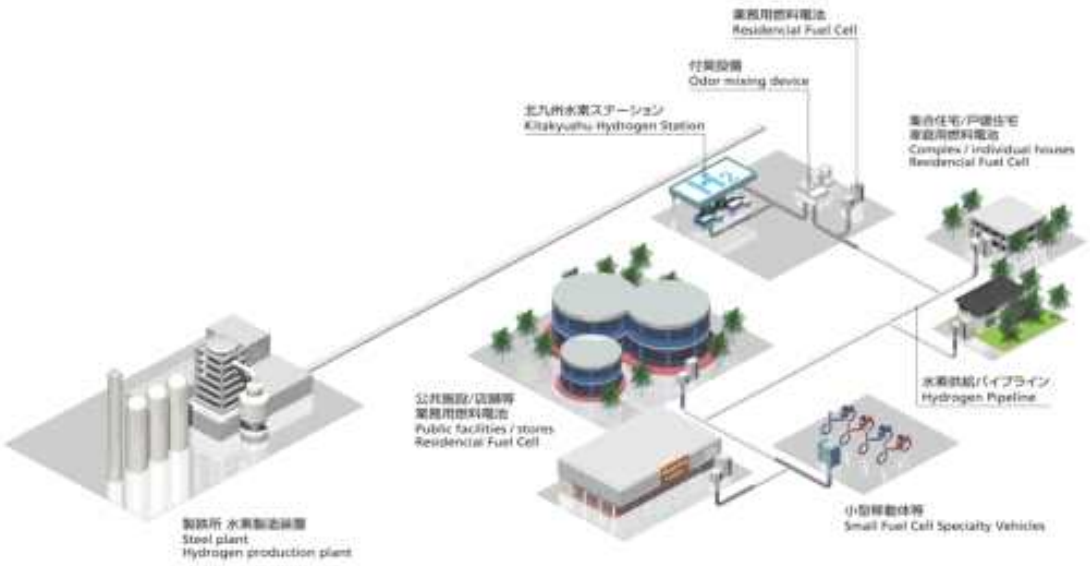
– 수소에너지 인프라 개발관련 프로그램 개요

· JHFC project(Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) : 연료전지 자동차 및 수소에너지 인프라의 실증 관련 연구로 2002년부터 2010년까지 실행됨. 연료전지 자동차와 수소 충전소 운영에 따른, 실질적 효율 (well–to–wheel efficiency)을 정의하고, 실제 운용환경에서의 문제점 파악, 규제, 표준화를 시작한 프로젝트임.

· 수소충전소(H_2 stations)의 상용화 연구 : 수소에너지의 광범위한 보급을 위한 목적으로 2009년 7월이후 지속적으로 실행. 2016년부터 HySUT(The Association of Hydrogen Supply & Utilization Technologies)라는 프로그램을 시작하여, 35개 산업계의 연합체(에너지 기업, 엔지니어링 전문업체, 수소 충전소 운영사 그리고 자동차 제조사 등을 포함)를 구성하여 수소충전소와 같은 수소에너지 인프라의 개발 및 시장보급 촉진을 위한 다양한 프로젝트들을 발굴/진행 중임

– 수소 인프라 구축 관련 대표 프로젝트

· 기타큐슈 수소타운 : 제철소 부생수소가스 활용 수소도시 계획. 부생수소를 수소 스테이션에 공급하고 인근 가구, 공공시설 등에 파이프라인 공급망을 설치하는 수소 공급계획이 주된 내용임. 핵심은 연료전지를 이용한 수소발전으로 가정용/상업용 연료전지 발전설비의 실증을 위한 설비와 건물용 태양광 발전 및 이차전지 등과 연계한 에너지 시스템을 구축함. 도시 내 수소 공급망을 통한 수소 에너지 기반 도시의 실증으로는 세계 최초 사례임.



〈기타큐슈 수소 타운 개념도〉
(https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id030826.html)

· 수소 고속도로(Hydrogen highway in Japan) : 일본의 주요 고속도로에 연료전지 자동차를 위한 수소 충전소를 건설하여 연료전지 자동차의 조기 보급을 촉진하기 위한 프로젝트. 일본 전역에 걸쳐 100기 건설을 계획하고 있으며 2016년까지 약 80여기가 구축되어 운영 중

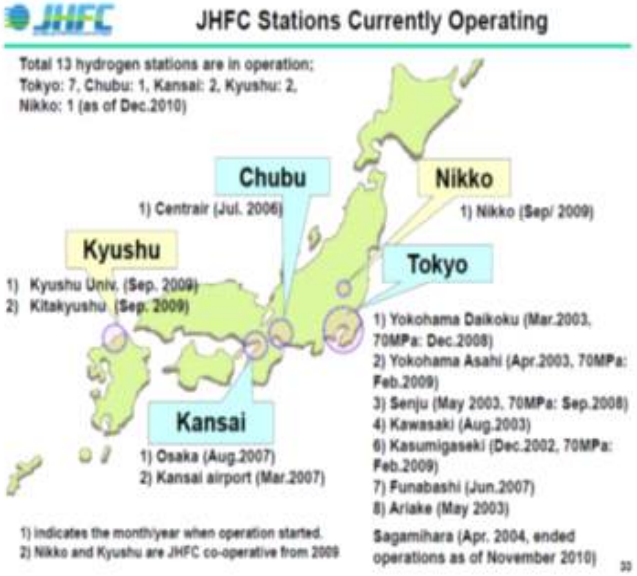
– 시사점

· 2000년대 초반부터 도시가스로부터 fuel processor(연료개질기)를 활용하여 수소를 생산하고 고분자전해질연료전지를 이용해서 가정용 발전 및 온열 공급시스템을 상용화하기 위한 프로그램 (ENE-FARM, https://www.tokyo-gas.co.jp/techno/english/menu3_/2_index_detail.html)을 실시

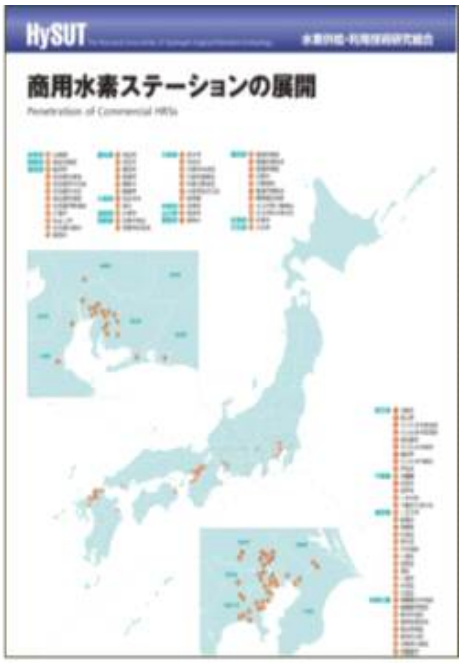
· 최근에는 연료전지 자동차 보급을 촉진하며 전국에 수소 충전소 시설을 확충하기

위한 실증 프로젝트 및 연구 개발이 꾸준하게 이루어지고 있을 정도로 지속적인 투자/연구개발을 진행중

・ 2020 도쿄올림픽에서 본격 수소에너지 사회를 보여주는 것을 목표 진행 중.



[JHFC Phase II 수소충전소 : 13기(2010)]



[HySUT 수소충전소 : 82기(2016)]

〈Hydrogen Highway 건설 전략에 따른 일본의 수소충전소 현황 (2010년 및 2016년)〉

– 한계점

・ 지난 20년간의 꾸준한 연구를 통한 세계 최고 수준의 완성도에 비해 아직 도시 (또는 대단위 지역 공동체) 규모로서 수소 사회 구현에는 못미침

・ 연료전지 자동차와 수소 충전소를 통한 수소 에너지의 상용화에 주력.

・ 기타큐슈에서 보여준 제한적인 의미(철강공정에서 발생한 코크오븐가스 등을 활용해서 생산된 비교적 저렴한 수소를 소규모 지역 발전에 사용하는 수준)의 수소도시 test bed만 있음.

・ 수소의 경제성 부족에 따른 도시내 에너지 생태계를 실현에 대한 한계점을 드러냄.

・ 따라서, 현재 접근 가능한 수소 생산(개질 및 수전해 기반 수소충전소), 저장(고압, 액화, 암모니아), 이용 (연료전지 자동차, 건물용 연료전지 시스템) 기술의 조합을 보급하기 위한 단계로 평가

・ 본격적인 수소 에너지 사회의 “설계”를 위해서는, 1) 수소 에너지의 생산, 저장, 이용 기술의 최적 포트폴리오 구축과 2) 확보 가능한 재생에너지원과 전통적 에너지(화석연료 및 원자력)의 최적 연계를 통해 도시 수준 또는 국가 수준의 수소가 에너지 시스템의 중심인 사회 설계도를 구축하기 위한 방법론이 필요함.

○ 미국

– 캘리포니아 주의 수소 충전소 및 수소자동차 보급 계획 (California Fuel Cell Partnership)으로 대표됨

· 연료전지 자동차 보급 활성화 그리고 이를 위한 수소충전소 보급에 대한 프로그램으로 1999년부터 시작됨.

· 연료전지 자동차의 보급과 이를 위한 수소 생산방식에 따른 전과정 평가(life cycle assessment; LCA)를 통해 연료전지 자동차의 보급을 통한 친환경 정책 목표의 제안과 정책 효과의 계량을 제시 함

· 2018년 7월까지, 약 5,000대의 연료전지 자동차가 주 내에 등록되어 있으며 30여개의 수소 충전소을 이용할 수 있으며 29개소의 충전소가 추가될 계획

· 기본적인 도시 내 수소 에너지 사용의 주체를 연료전지 자동차로 보고 있으며 이에 따라 공공부분이나 상용 수송 수단에서의 연료전지 자동차 보급도 추진과 이를 위한 인프라로 수소 충전소의 확대 설치에 초점.

– 시사점

· 수소에너지 확산효과의 정량화 : 연료전지 자동차로 수소에너지 이용의 주체를 한정하기는 하였으나, 이러한 친환경 자동차의 보급을 통해서 얻게 되는 환경적 이득을 LCA적 기법으로 정량화하였으며, 이를 통해 개발 목표의 설정이 이루어짐.

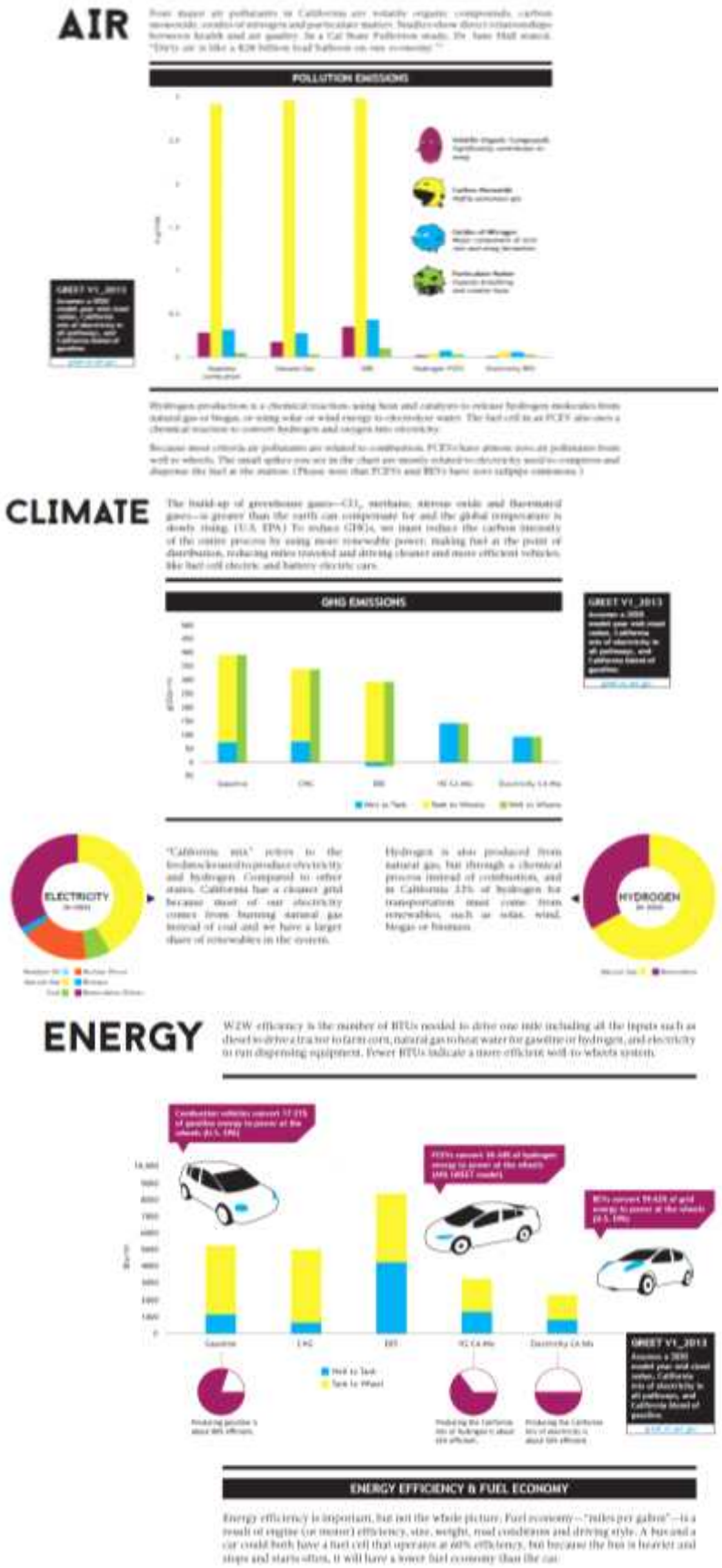
· 지향점에 따른 연구개발의 다양성 확보. 예를 들면, 온실가스 감축 목표에 대한 비중이 높을 경우, 수소 생산방식에서 개질 방식보다는 재생에너지원 기반의 수전해 방식을 지향 등의 방향성 설정과 온실가스 감축 목표에 따라 연료전지 차량의 보급 목표, 그리고 이에 따른 수소 충전소와 같은 인프라 확충 계획 등이 타당성을 가진 숫자를 제시함으로써 체계적인 도시 개발 프로젝트 진행

· 재생에너지원을 활용한 발전비중의 증가 시 발생할 수 있는 전력공급을 불안정성과 재생에너지원의 최적활용을 위해서 수소를 에너지 캐리어 또는 저장매체로 활용할 계획을 가지고 있음.

– 한계점

· 일본의 프로그램들과 달리, 수소에너지 사회를 목표로서 지향한다기 보다는 수송에너지로서 수소 에너지의 활용을 주 목표.

· 재생에너지 기반 사회의 구현 시 요구되는 에너지 저장 및 이송 방법으로서 수소를 활용하는 것을 고려하고 있음.



〈연료전지 자동차 사용에 의한 대기오염물질 발생 저감효과(상),
온실가스 저감 효과 예상 (중) 및 Well–to–wheel 효율 개념의 수송에너지 비교〉

○ 유럽

– 수소에너지 인프라 개발관련 프로그램 개요

· 4년 단위 혁신연구 프로그램인 Framework Program(FP)에서 FP2 단계(1986 – 1990년)부터 FCH JU를 거쳐 현재 실행 중인 Horizon 2020의 FCH2 JU (Fuel Cells & Hydrogen Joint–Undertaking) 프로그램까지 11억 유로 이상의 연구비가 투입

· 수소 및 연료전지의 시장 보급 및 상용화 촉진을 위해 공공 영역과 회사들의 파트너쉽을 강화하는 프로그램들이 진행 중임.

· 수송, 산업 및 가정용 발전, 에너지 저장 등 에너지 시스템 전 분야를 걸쳐 수소 에너지의 비중을 높이고 수소를 미래 사회의 주요 에너지 플랫폼으로 정의



〈EU의 FCH2JU 프로젝트 개요 (생산방법의 다양성)〉

– 시사점

· 연료전지 자동차와 수소충전소의 보급 : 2017년 기준 수소차 가격은 7만 유로 수준이고 2016년말 기준으로 500여대가 운영 중임. 그리고 시범 및 실증 사업으로 도입된 연료전지 버스의 경우 2016년 기준 67대가 EU 국가에서 운영 중임. 이러한 연료전지 자동차의 보급 확산을 위해서 연구 프로그램을 통해 수소 충전소의 요소 기술을 개발하고 표준화 및 상용화하는 것에 집중.

- H2Mobility(2015.1월 6개 수소연료전지 자동차 기업이 설립한 Joint Venture)를 통해 독일의 경우 2023년까지 4억유로를 투자하여 400개의 수소충전소(2015년 기준 100여개)를 구축하는 것을 목표
- (건물용 연료전지 발전시스템 보급)연료전지로부터 발생하는 열과 전기를 모두 사용하여 에너지 사용효율을 극대화(약 80 % 수준)하는 combined heat and power 시스템의 보급을 목표로 연구개발. 현 수준으로 5 kW 이하의 가정용 시스템부터 MW 규모의 산업용 시스템까지 보급
- (PtoG 연계)독일 등을 비롯하여 재생에너지의 비중이 높은 EU 국가의 경우 전력 공급의 안정성 제고를 위해 에너지 저장 및 캐리어로서 수소를 활용하고 있음. 독일은 이미 MW 규모의 알칼라인 수전해 및 PEM 수전해 시스템을 운영 중임.

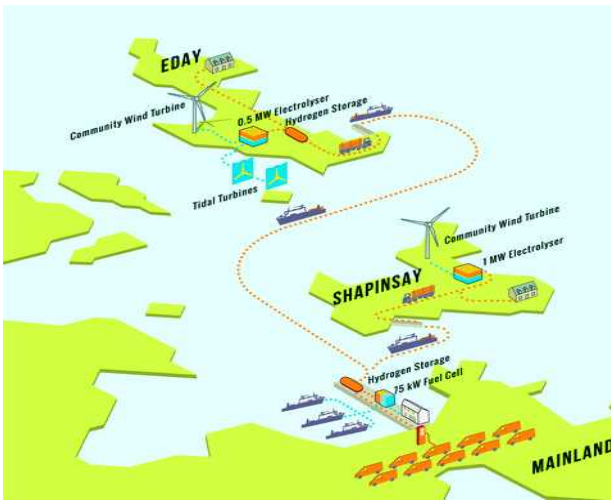
- Hydrogen Territories (수소구역) : EU Horizon 2020 프로그램의 연구개발 과제 중 하나로 2015년부터 시작된 수소 에너지기반의 사회 구현을 위한 실증적 연구 프로그램. 현재, 스코틀랜드의 Orkney에서 BIG HIT(Building Innovative Green Hydrogen Systems in Isolated Territories, https://www.bighit.eu/about/)라는 이름의 프로젝트를 진행 중. 섬 지역에 설치된 풍력 발전기와 조력 발전기를 통해서 생산한 전기를 MW 규모의 PEM 수전해 시설을 이용하여 수소를 생산(연간 50 톤 규모)하고 가압한 수소 탱크를 페리선에 싣고 항구에 도착하면 75 kW 규모의 연료전지를 통해서 열과 전기를 지역사회에 공급하고 지역에서 사용 중인 10여대의 연료전지 자동차에 공급함.

– (시사점) 일본, 미국에 비해서 수소 및 연료전지와 관련한 에너지 시스템에 대한 관심을 보다 일찍 보이기 시작했고 이를 바탕으로 수소 에너지 인프라와 재생에너지의 연계 등과 같은 종합적인 미래 에너지 포트폴리오 구축의 한 부분으로 수소 에너지를 효과적으로 활용하는 것에 더 초점을 맞춤

– (한계점) 수소 및 연료전지의 보급 확산을 위해 30여년간 범국가적 프로젝트가 진행되어 온 덕분에 상당 수준의 요소기술에 대한 개발이 이루어졌고 이러한 요소기술들의 실증사업 및 상용화가 이루어질 정도로 TRL이 높은 단계이며, 재생에너지의 발전 비중이 높아짐에 따라 수소를 에너지원이자 저장 및 캐리어 수단으로서 활용하는 부분이 상당히 많음. 이러한 관점의 연장선 상에서 구현된 “수소구역” 프로젝트에서도 재생에너지 (풍력 및 조력) 기반의 수소 생산 기술(Power to Gas)을 구현한 것으로 이해. 그러나 도시에서의 수소 에너지 공급이나 공공 건물용 및 가정용 수소에너지 활용에 대한 부분은 부분적인 연료전지 CHP 시설의 적용 수준에 그치고 있음. 따라서, 일본 및 미국과 같이, 수소 공급 인프라와 관련한 내용 중 가장 활발한 부분은 연료전지 자동차의 보급을 위한 수소 충전소의 확충과 요소 기술의 개발에 집중이 되어 있음.



〈Alkaline 수전해 기술: 2 MW Power–to–Gas project 및
PEM 수전해 기술 1.5 MW Power to Gas project〉



기술개발 목표

- 천연가스, 바이오가스 또는 수소 등을 이용한 50 kW – 수 MW 수준의 열 및 전력 생산 시스템의 개발
- 연료전지 발전 시스템과 산업용 공정의 연계
- 실제 산업용 목적으로 설계된 실증용 유닛의 성능 평가 및 운전경험 확보
- 시스템의 상용화를 위한 비즈니스 모델, 서비스 전략 등을 개발하고 전과정평가(life cycle analysis) 기법을 활용한 시스템의 활용성 평가

〈BIG HIT 프로젝트로 구현한 수소 도시 사례〉

2.3 시장 동향

○ 수소에너지 시장

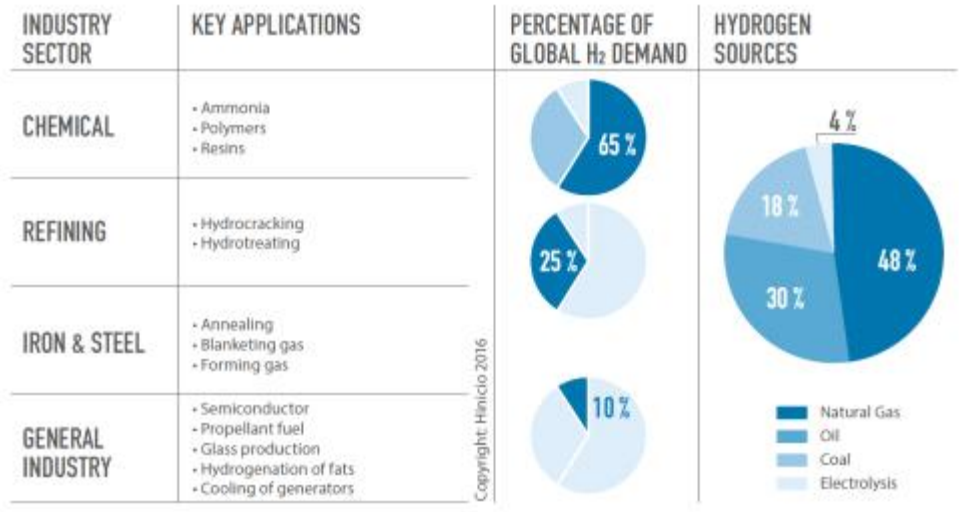
– 국외

· 현재 수소에너지 시장은 신재생에너지 시장에 포함되어 분석되지 않는 것으로 조사되었음. 따라서 자체 생산 등의 단독 시장을 가지고 있으나, 실제 연료전지 외에는 타 사용처에 대한 조사가 어려움

· Global trends and outlook for hydrogen은 향후 신재생에너지를 포함한 에너지 전체의 시장이 20년 이후 성장률이 감소하고 있는 상황에서 수소에너지는 저장이라는 특장점으로 인하여 성장가능성은 충분한 것으로 제시되고 있음. 즉 수소는 전기에너지 혹은 화석에너지의 투입이 필요한 연료로 경제성면에서는 불리할 수 있지만, 화석이나 신재생에너지의 경우 한번 생산된 전기는 비가역적인 에너지가 되나, 수소는 전기를 만들고 다시 수소로 재생될 수 있는 장점에서 잉여 전기의 저장이라는 특징을 가짐

· 수소를 원료로 하는 산업은 약 1150억 $에서 2022년까지 1500억 $로 성장할 것으로 예측됨. 이 시장의 대부분은 화학약품 제조 (특히 암모니아)를 위해 사용되며, 기타는 이에 비해 비교적 소규모를 구성함.

· 수소의 제조는 2016년 현재 천연가스로부터 가장 많이 생산되고 있으며, 오일과 석탄 등에서 주로 생산되는 등, 화석연료를 원료로 96%가 생산되고 있음. 물을 원료로 하는 전기분해로부터 4% 내외의 소규모로 생산되고 있음

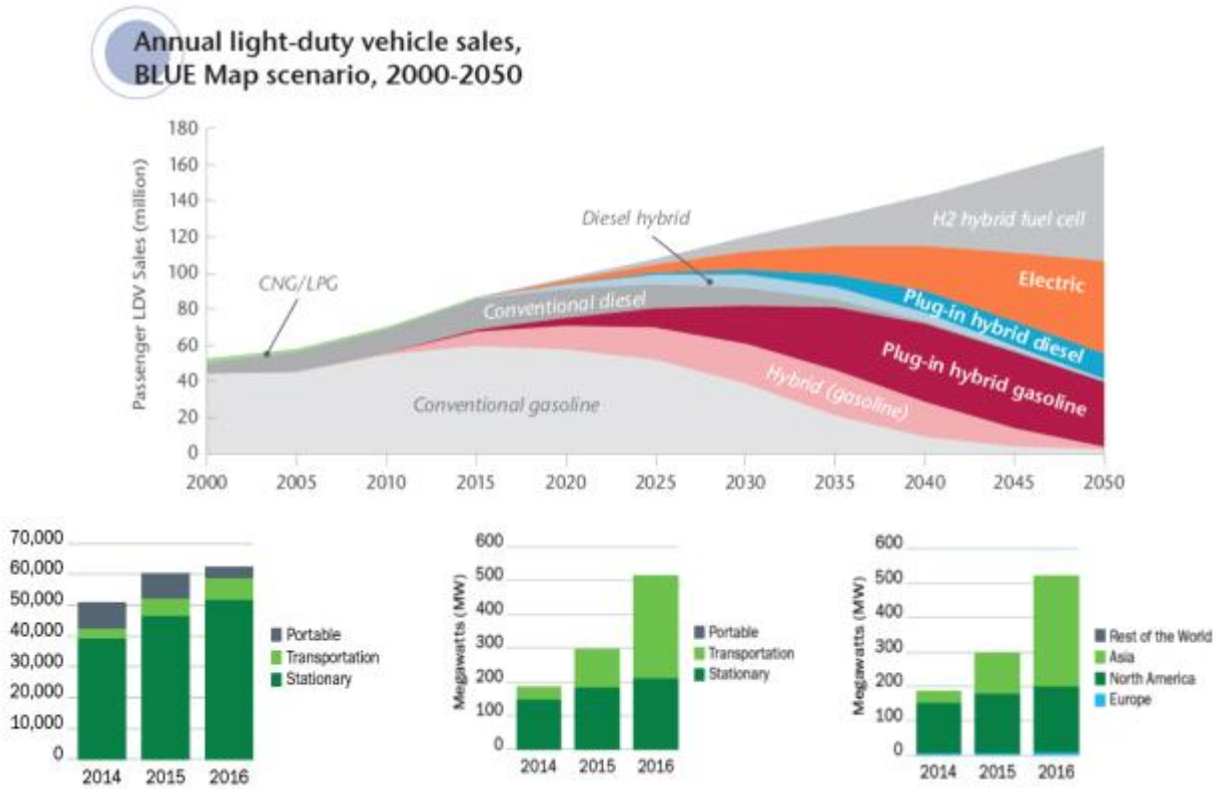


〈수소 산업 및 원료별 수소 생산 (Hydrogen from renewable power, IRENA)〉

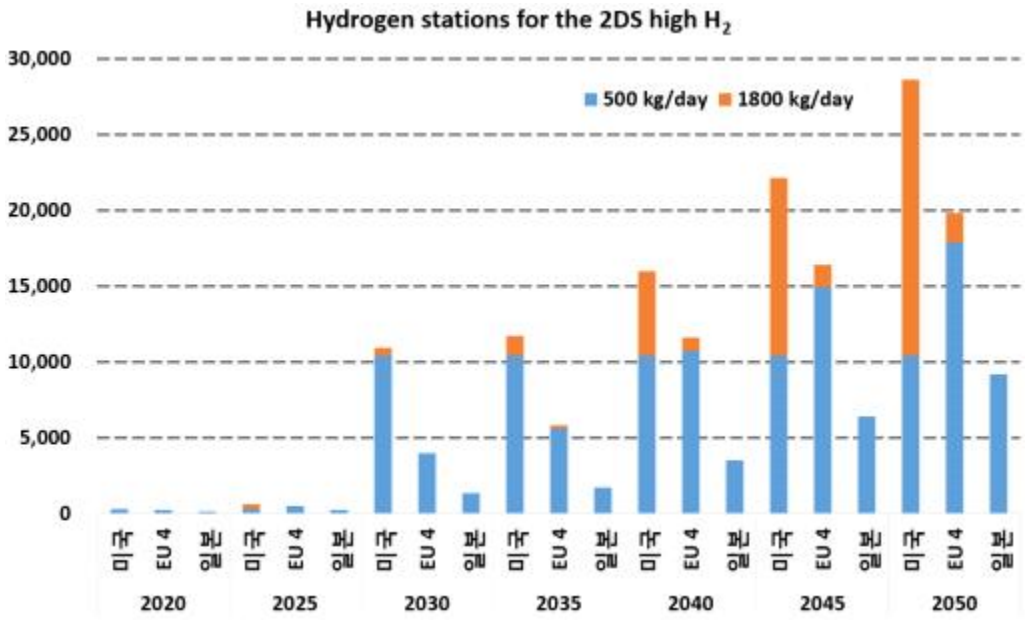
· 상대적으로 현재 시점에서 수소를 에너지로 활용하는 산업은 전체적으로 연료전지 및 전기차 시장과 연동될 수 밖에 없는 상황으로 그림에서 보여주는 것처럼 2020년 이후로 이 시장이 거대하게 성장할 가능성을 가지고 있음을 암시함. 또한 미국 DOE에서 분석한 연료전지 시장현황에 따르면, 대부분의 연료전지는 수소 스테이션에 사용되었으나, 생산되는 전기는 대부분 교통을 위해 사용되었음. 또한 아시아의 시장이 지속적으로 발전되고 있음을 보여주고 있음

· 수소연료전지 자동차 시장은 2050년까지 꾸준하게 증가될 것으로 전망이 되고 있으며, 이는 수소스테이션 보급수와 일치하는 것으로 조사됨. 전체 수소 자동차 보급이 급격하게 증가되는 2030년 이후 수소 충전소도 급격하게 증가될 것으로 예측됨.

· 결론적으로 수소연료전지는 수소자동차 시장 보급 정책에 따라 시장 성장이 결정될 가능성이 높음.



〈연료전지 자동차 개발 로드맵 및 2016까지 연료전지 시장의 성장〉
(Electric and Plug-in Hybrid Vehicle Roadmap, IEA & fuel cell market report, DOE)

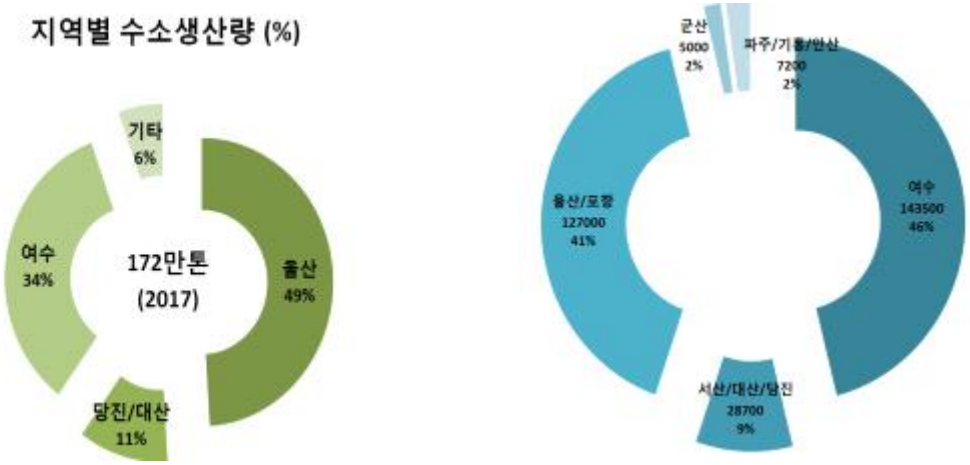


〈수소 충전소 보급 전망〉

– 국내

· 수소시장 규모는 산업용 유통량만으로도 세계시장 $208억(자체소비량 230억 포함 총 $438억, 국내는 적어도 8,000억 원 수준이며, 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준히 이용

· (수소 공급가능량) 조사 시기와 기관에 따라 다르지만, 그림 26과 같이 연간 160만 톤 ~171만톤 정도가 생산되며, 대부분 자체 공정에서 소비하므로 이중 22만 톤 정도를 시장 공급 가능한 양으로 추측.



〈지역별 수소생산량 및 수소공급량 (2017. 신소재경제의 자료 활용하여 재구성함)〉

· (수소제조 방식별 단가) 나프타개질, 소금물전해, 천연가스 개질의 순이며, 공급단가는 배관, 튜브트레일러 등 공급방식과 양에 따라 다르지만, 대략 kg 당 3~6천원 수준이며, 현재 충전소에서의 수소판매가격은 8천원/kg 내외임.

· (국내 수소생산 및 소비) 2015년에서 2017년까지 2년간 수행된 한국에너지공단의 「부생수소를 활용한 실증단지 산업발전 로드맵 수립」 과제에서 주관기관인 한국수소산업협회는 NCN(울산전문경력인사지원센터)와 협력하여 국내 수소생산 및 소비 현황을 조사함. 2016년의 국내 수소생산량은 2,428,770 N㎥/h 로 생산설비의 연간 가동시간을 8,000시간(대략 330일)으로 가정했을 때 약 171만 톤의 수소가 생산되며, 대부분 자체 공정에서 소비하고, 약 14%(약 24만 톤)만이 외부로 판매되고 있다고 보고됨

· (수소차 연료용 수소 공급의 잠재성) 시장공급 가능량중 이미 국매수요처에 판매하고 있는 물량을 제외 한다면 국내 수소전기차에 연료로 사용할 수 있는 수소의 양은 12,216N㎥/h (8,636톤/년)으로 5~6만대 정도의 수소전기차를 운행하는 정도의 수준으로 평가됨.

〈국내 산업용 수소중 유통판매량〉

업체명	원료공급처	지역	제조방식	생산능력(㎥/hr)	
				2017	비고
덕양	한화케미칼	여수	소금물분해	35,000	190,000* (덕양 홈페이지 자료)
	SK 어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	롯데정밀화학	울산	소금물분해	13,000	
	한화토탈	서산	나프타분해	9,000	
	태광화학	울산	프로판탈수소	13,000	
	LG화학	여수	소금물분해	11,000	
	백광화학	군산	소금물분해	5000	
		여수	소금물분해	1500	
	롯데케미칼	서산	나프타분해	3000	
		여수	나프타분해	3000	
	롯데BP화학	울산	B-C분해	2500	
	덕양(울산3공장)(자체생산)	울산	NG(LPG)분해	50000	
	덕양(남동공단)*	인천		100	
	소계			156,100	
SPG케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올개질	2000	
	현대제철	당진	COG정제	1500	
	롯데케미칼, LG화학	대산	나프타분해	10000	
	현대오일				
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타분해	45000	
	소계			58,500	

에어리퀴드	에어리퀴드1	여수	개질	10,000	
	에어리퀴드2	여수	개질	38,000	
	소계			48,000	
린데	린데	기흥	천연가스개질	1200	
	린데	포항	나프타분해	1200	
	소계			2,400	
SDG	대한유화	울산	나프타분해	5,300	
	태광산업	울산	나프타분해	2,000	
	효성	울산	프로판탈수소	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	10,000	
	소계			23,300	
대성산업가스	대성산업가스	파주	메탄올	2000	
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타분해	5200	
SPG산업	롯데BP화학	울산	나프타분해	6,000	
	SK어드밴스드	울산	프로판탈수소	8,000	
	효성	울산	프로판탈수소	2,000	
	소계			16,000	
총계**				311,500	

* 덕양 자료

** 총 유통가능량: 311,500㎥/hr은 24시간, 년 330일 가동 기준 220,275ton H_2/yr 에 해당 (자료: 산소재경제신문, '18.3)

*** 24만톤 (부생수소를 활용한 실증화단지 산업발전 로드맵 수립, 한국에너지공단, 2017)

○ 신재생에너지산업

- 정부의 적극적인 지원을 바탕으로 기업의 신규 참여와 투자가 대폭 확대되고 있는 상태로, 관련 기업체 수는 2008년 134개에서 2013년 245개로, 고용인원은 2008년 6,496명에서 2013년 기준 11,962명으로 증가함.[45)]
- 매출액은 2008년 3.27조원에서 2013년 기준 7.5조원으로 약 2.3배 성장하였으며, 특히 태양광 분야의 대기업 및 중소·중견기업의 참여 빈도가 활발함.
- 국내 · 외적으로 신재생에너지 분야는 태양광과 풍력을 중심으로 정부정책과 시장규모가 형성되어 있으며, 건축 산업에서는 태양광, 지열, 태양열, 소형풍력 등 건축물 융/복합이 유리한 스마트 신재생에너지 시스템 분야의 기술 개발이 중요시되고 있음.
- 2015년 1,063억 달러로 추정된 세계 태양광 산업은 정부의 지원 및 규제 그리고 지속가능한 발전에 대한 요구가 증가함에 따라 스마트 신재생에너지 시스템의 발전이 가속화되고 있으며 따라서, 미래 신재생에너지 산업 시장의 선점을 위해 태양광/열 및 신재생에너지자원을 이용한 핵심기술의 개발이 필요함.
- 건물 일체형 신재생에너지시스템의 시장규모도 지속적으로 성장하고 있으며 세계시장 규모는 2015년 7,000백만 달러에서 2020년 43,041백만 달러 규모로 40% 증가할 것으로 전망됨.
- 또한 늘어나는 재생에너지원 비중에 따라, 기존 에너지 공급망과의 연계를 위한 1) 재생에너지원의 자원량 예측 2) 에너지 수요 예측 및 공급 포트폴리오의 최적화 3) 수소 에너지를 이용한 재생에너지원의 유연성 강화 등이 필요함.

○ 수소에너지 활용시장

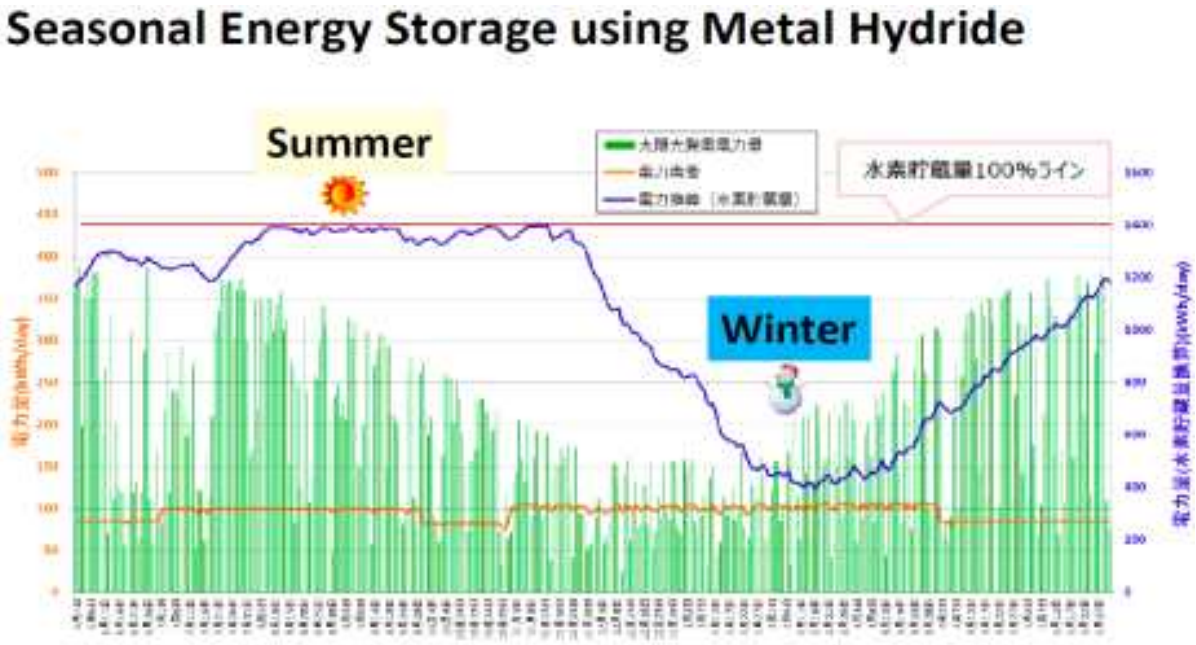
- 수소연료전지 자동차라는 수송 분야를 제외하고, 국내 주택·건물용 연료전지 시장은 초기형성 단계이나 최근 공공건물 신재생에너지 설치의무화 제도, 서울시 녹색건축물 설계 기준 등으로 건물용 연료전지 시장이 본격화될 전망임.
- 주택·건물용 연료전지의 경우 주택지원사업 (그린홈 100만호 사업)을 중심으로 가정용 연료전지 열병합 시스템의 보급이 이루어지고 1kW급 소형 연료전지 누적설치량은 3천대 수준으로 확대됨.
- 연평균 8% 수준의 성장률과 함께 2020년에 최대 1,000억원이상 수준의 시장이 형성될 전망임.
- 정부는 발전용 연료전지도 2040년까지 15GW(내수 8GW) 보급을 목표로 함 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)

45) 중소기업기술로드맵, 2017 (신재생에너지코리아 산업통계 2014)

– 에너지 프로슈머 시장 확대에 따라 개인 또는 건물 등에서 직접 생산한 소규모 전력이나 잉여 전력을 팔 수 있는 분산자원 거래시장 확대가 전망되며 이는 수소에너지 플랫폼을 통해서 가장 친환경적이고 효율적인 방식으로 달성될 것으로 예상하며 이를 통해 플러스에너지 건물의 보급도 확산될 전망.

– 그리고 잉여 재생에너지원을 이용한 수소의 생산과 재생에너지원 부족 시 저장한 수소의 활용을 통한 방법으로 재생에너지원의 활용률과 유연성을 제고하기 위한 시스템도 보급 중.

· 일본 토시바의 규슈 호텔에 설치된 metal hydride를 이용한 수소저장 시스템은 잉여 전력으로 수소를 생산, 저장하여 전력 부족기간에 수소연료전지를 이용한 발전으로 재생에너지의 활용의 효율성을 극대화함.



〈토시바의 규슈 호텔에 설치된 H2One 제품의 여름/겨울 계절 간 에너지 저장 이용 결과〉

– 수송분야에서는 연료전지 승용차 및 버스의 보급에 대한 정부 계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)이 발표되어 수송분야에서의 연료전지 시장도 크게 성장할 것으로 전망함.



〈수소차 보급계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)〉

		2018년	2022년	2040년
모빌리티	수소차	1.8천대 (0.9천대)	8.1만대 (6.7만대)	620만대 이상 (290만대)
	승용차	1.8천대 (0.9천대)	7.9만대 (6.5만대)	590만대 (275만대)
	택시	–	–	12만대 (8만대)
	버스	2대 (전체)	2,000대 (전체)	6만대 (4만대)
	트럭	–	–	12만대 (3만대)
	수소충전소	14개소	310개소	1,200개소 이상
	열차 · 선박 · 드론	R&D 및 실증을 통해 ’30년 이전 상용화 및 수출프로젝트 추진		

* 위 수소차 목표는 내수와 수출을 포함한 생산량임

〈수소모빌리티 확산계획 (수소경제 활성화 로드맵, 20191.17)〉

2.4 국가정책 부합성

○ 국내 수소전략은 그림 32에 있는 것처럼 수소사회 진입을 위한 경제성 확보 전략에 있음. 총 3단계로 구분되어 기반구축–경제성 확보–상용화 등으로 구성되어 제시됨

– 전체적인 방향성은 수소충전소와 수소차 위주의 산업 기반구축과 그 이후의 시장 창출로 되어 있음.



〈국내 수소 사회 진입을 위한 3단계 계획〉

○ 우리나라의 전체 수소에너지 분야 기술수준은 최고기술 보유국(미국) 대비 77.7% 수준이며, 기술격차는 3.9년이며 연료전지가 3.0년으로 분석

○ 국가별 기술수준은 미국(100.0%) 〉 일본(99.9%) 〉 EU(93.5%) 〉 한국(77.7%) 〉 중국(71.1%) 순으로 조사(’ 16년 기술수준 평가 보고서, KISTEP)

○ 국가 R&D현황

– (과기정통부) 1989년 당시 과기처의 지원을 받아, 한국에너지기술연구원이 연구총괄하여 수소관련기초연구(열화학/광화학/생물학적 수소생산, 수소저장, 안전기술 등 9개 과제)를 대학 및 연구소와 공동 수행하였으나 1단계(1989–92년)의 연구지원 (총 약 3.5억 원 규모)으로 중단된 이후 G7 과제에 채택되지 않음에 따라 산업부로 이관됨

– (미래부) 1999년 새천년기획조사연구를 통해 수소에너지분야를 유망기술 후보로 선정, 수소에너지의 중요성을 인식하였으며, 2000년 “수소제조 기술개발 기획연구”를 거쳐 “고효율제조기술 개발사업”을 광화학수소, 생물학적 수소, 열화학적 수소 등 3개 분야에 대해 기술 개발을 시작함. “고효율수소제조개발사업(2000.10– 2005. 9)”을 3년간 25억 원을 투입한 후 2003년 9월 조기종료하고, 이 사업내용을 포함시켜, 2003년 10월부터 “21세기 프론티어사업”으로서, 9년 6개월간 연 1백억 원 규모의 투자 계획으로 “고효율 수소에너지제조저장이용기술개발사업단(이하 수소에너지사업단)”을 출범시켰으며, 2013년 9월 종료후에도 표 7과 같이, 요소기술 분야에 지속적인 지원을 실시

〈과기정통부의 대표적인 연구개발 사업 내용〉

사업명	사업기간 및 예산	내용
고효율 수소에너지 제조 저장 이용기술개발사업단 (수소에너지사업단)	2003.10~2013.3 국비 870억원	– 열화학, 광화학, 생물학적 수소제조 성능향상 – 금속 수소화물 및 나노재료 등을 이용한 수소저장기술 개발 – 리니어동력/발전(5kW) 및 수소센서 고성능화
자기냉각액화물질 사업단	2011~2016 2014년 40.3억원 2015년 42.3억원	– 수소액화기술, 액화물질 저장용기, 액화용기 건정성 평가 및 안전, 수소저장용 수소차단층,자기냉각재료 및 기술개발
차세대 수소에너지 원천기술개발	2015~2020년 총140억원 내외	– 세계 최고 수준의 수소생산 원천기술 확보 – 차세대 고용량 수소저장 원천기술 확보
수소융복합스테이션 신뢰성 측정표준기술개발	2017~2025 연 24억 내외	– 수소에너지의 민간보급과 안전한 수소사회 건설을 목표로 수소융복합스테이션 핵심 부품·소재 신뢰성 확보를 위한 측정표준 기술 개발
시장 보급형 고효율/컴팩트 가압 고순도 수소생산 유닛 집적화 설계기술 개발	2017~2022, 연 20억원내외	– 용량 : 500 kg/day, 개질효율 : 75% HHV 이상 – 고효율/컴팩트 반응기 및 흡착탑 모듈 원천설계 – 전처리, 개질 및 정제용 촉매 및 흡착제 원천소재 국산화 설계 – 열 및 시스템 통합 고순도 수소생산 유닛 최적구성 및 엔지니어링 설계 패키지
신재생 하이브리드 이용 미래에너지저장 기술	2016~2022 40억 내외 (4+3)	– 다차원 산화물 기반 양방향 중온 수전해기술 – 폐기물 이용 고온 스팀 생산 기술 – 신재생에너지 하이브리드 운영 고도화 기술 (다부처사업: 과기정통부,산업통상자원부, 환경부)

– (산업부) 1988년부터 시작된 산업부의 대체에너지기술개발사업으로 수소분야의 연구지원이 이루어졌으며, 2000년대 이전의 대학중심 기초연구에서, 2000년 이후는 단기실용화위주로 개편. 수소연료전지사업단을 2004년 출범시켰으며, 미국이 주도하고 창설한 IPHE 뿐만 아니라 IEA-HIA에도 가입하는 등 수소연료전지 분야의 연구개발에 중점을 두었음. 이후 수소연료전지분야 연구를 계속해서 지원중임.

〈산업통상자원부 수소분야 연구개발비 지원실적 ('10~'18)〉

(단위 백만원)

연도	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18
연구비	2,881	3,499	1,850	4,460	2,250	5,100	9,900	10.800	9.800

(자료: 에너지기술평가원 신재생기획실 자료)

– (울산시 수소시티 조성) 부생수소 인프라를 활용한 친환경 시티 조성 사업으로 계획

· 공동주택, 공공건물에 10kW, 100kW급 수소기반 중앙집중식 연료전지시스템 구축
· 100kW급(1기) 연료전지 시스템 공동주택(LS 니꼬동제련) 설치 및 운영
· 중앙집중식 연료전지 구축하여 세대별 전기 공급 및 독신자숙소 등에 열공급을 통한 에너지 효율 극대화
· 10kW급(2기) 연료전지 시스템 공공건물(온산소방서) 설치 및 운영
· ICT 기반 통합 에너지 수요관리 및 안전모니터링 시스템 구축
· 수소품질 모니터링 및 품질 관리
· 수소배관 인프라 구축 및 가격경쟁력을 갖춘 수소 공급

〈울산시 수소시티 조성을 위한 예산 투입 계획 (단위 백만원)〉

	계	'19	'20	'21	'22	'23	'24
계	4,840	3,140	340	340	340	340	340
국 비	1,702	1,702	–	–	–	–	–
시 비	2,563	1,213	270	270	270	270	270
민 자	575	255	70	70	70	70	70

○ 현 상황적 한계

– 전세계 수소에너지 관련 기술은 수소의 생산–저장–이송–활용 등의 모든 면에서 정립단계에 있으나, 태생적으로 수소 생산을 위해서는 에너지가 투입되어야 하므로 경제성 확보가 불투명한 상황임
  · 선진국의 기술 개발 초점은 모두 시장이 형성되는 단계인 자동차 산업 쪽으로 초점이 맞추어져 있음
  · 대량 공급을 위한 생산 기술은 경제적인 이유로 인하여 천연가스 개질 등 화석연료 개질에 초점이 맞추어져 있으므로 실질적인 “탈탄소”의 의미가 퇴색되고 있음

– 선진국의 수소경제를 위한 수소인프라 구축계획의 중심도 실질적으로는 수소 스테이션을 이용한 수소자동차 산업 증대로 초점이 맞추어져 있음
  · 부가적인 산업으로 fuel cell과 수소 자동차외 타 산업까지 확대 적용이 어려움
  · 수소 생태계에 대한 가치사슬 등의 구조적인 생태 조성에 대한 진지한 고민이 없음

– 국내 산업 계획의 핵심도 수소차와 수소 스테이션 보급계획에 초점을 맞추어져 있음
  · 현 단계에서는 모든 수소에너지 공급의 방향성이 선진국과 유사한 기술력을 보유한 수소차 및 관련 분야에 치우쳐 짐
  · 울산에서 추진한 모험적인 수소타운 조성은 한분야 즉 부생수소가 있을 경우에만 한하는 것으로 부생수소 발생량에 의존해서 사업 규모가 결정됨
  · 따라서 지속적으로 성장할 수 있는 모델 구성이 어려움

– 기술 개발이 발생분야, 이송분야, 저장분야, 연료전지 분야 등 개별적인 방향성으로 추구되어 통합 system적인 면이 부족함
  · 각 분야에 있어 개발된 기술의 연계와 조합에 대한 고찰이 없어 단편적인 개발에 그치고 있음
  · 수소 자동차 분야처럼 수소 활용을 위한 생태사슬을 도출함으로써 큰 그림에서 기술개발 구성이 이루어지도록 추진해야 함

– 도시라는 측면에서 다양한 분야로 확대 적용을 위한 에너지 패러다임의 전환을 위한 개념을 정립할 필요가 있음

– 수소 도시/생태계 구현은 새로운 에너지원 공급정책이 우선되어야 하며, 이는 민간영역이 아닌 국가적 차원의 대규모 사업이 될 수 밖에 없음
  · 현 모든 국가를 구성하는 화석연료 체계를 벗어나 새로운 에너지정책 국면을 맞이하는 것은 산업계에서 추진할 수 있는 영역이 아님 – 국가 차원의 로드맵 개발이 필요함
  · 현재, 재생에너지 사용량의 제고를 위한 정책의 가속화를 위해서도 수소 에너지 기반의 에너지 생산–저장–활용–공유 플랫폼을 통한 에너지 시스템의 정립과 구현이 요구됨

❍ 스마트그린산단이라는 에너지 시스템의 실현을 통해 재생에너지원을 이용한 분산전원 공급 계통안정성 확보와 신산업 육성 및 창출을 위한 네트워크를 이용한 에너지 전환/저장관련 기술개발 필요성 확대

– 에너지 프로슈머(energy prosumer)

· 아파트 단지, 단독주택, 빌딩 등에서 태양광, 풍력 발전 시설로 개인 등이 생산한 소규모 전력을 직접 사고팔 수 있음.

· 에너지 프로슈머 확산을 위해 신재생에너지 발전이나 지능형 전력망 등을 통해 전력을 자체 생산한 후 소비하는 독립적 전력 시스템인 마이크로그리드 사업도 확대됨.

· 에너지 프로슈머가 확산되며 자발적인 온실가스 감축 환경 조성

· 또한, 신재생에너지와 단열기술을 접목한 제로에너지빌딩을 공공주택에 시범 적용하고, 이를 기반으로 2025년부터는 신축 건물의 제로에너지 빌딩을 의무화함.

· 이상과 같은 국가 정책에 부응하기 위해 신재생자원 예측기술이 적용된 프로슈머형 제로에너지하우스 구축을 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있음.

– 지속가능한 신재생 에너지 시스템 구축

· 수소를 매개체로 생산된 신재생에너지를 저장하고 필요할 때 사용하는 에너지저장 시스템은 에너지의 효율적 이용과 기존 전력시스템 안정화에 필요함.

· 불안정한 신재생 전력의 계통안정화 가능하고 이를 통한 신재생에너지 보급 확대 가속

❍ 정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델로 RE100 기반의 수소인프라 기술개발 및 실증 지원 필요

❍ 수소에너지 플랫폼 구축과 관련한 민간 영역의 투자 활성화에 호응하여 정책적 효과를 극대화할 필요가 있음.

– 하이넷 : 수소충전소 보급사업을 위한 특수목적법인 하이넷이 2019년부터 출범하여 한국가스공사를 비롯한 14개 사가 참여, 1350억원을 출자함

– 지자체 수소에너지 관심제고 : 울산광역시의 수소타운 사업 및 수소도시계획 선포, 대전광역시의 수소산업전주기실증센터 구축 등으로 탈탄소 친환경 수소경제의 구축에 대한 관심이 제고됨.

3. 연구개발 목표 및 연구내용

3.1 연구개발 목표

<table>
<tr><td>목적</td><td colspan="2">재생에너지 발전단지의 에너지를 균질화하고, 안정적이고 경제적인
RE100 구현을 위한 인프라 기술개발 및 실증</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개요</td><td>지원규모</td><td>■ '22년 40억, 총사업비 미정(국고 280억원)</td></tr>
<tr><td>지원범위</td><td>■ 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
■ 참여기업이 있는 경우 Matching</td></tr>
<tr><td rowspan="3">중점
지원
분야</td><td>분야</td><td>주요내용</td></tr>
<tr><td>수소 시범도시
인프라 기술개발</td><td>■ 장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발
■ 수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발
■ 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발</td></tr>
<tr><td>기획평가관리비</td><td>■ 사업(과제) 기획, 평가, 관리, 성과활용 등의 업무 수행에
필요한 소요경비</td></tr>
</table>

□ 연구개발과제 구성

○ (1세부) 물리적 RE100을 위한 장·단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

- (목표) 재생에너지 활용 12시간 2 MW급 안정적 전력 공급 시스템 개발 및 실증(실증 시스템의 100% 무탄소 배출)

- (개발기술)
  · 단주기 재생에너지 저장/공급을 위한 ESS(배터리, flow battery) 시스템 설계 및 제작
  · 장주기 재생에너지 저장을 위한 수전해 시스템/저장장치 설계 및 제작
  · 수요 대응형 연료전지의 설계 및 제작
  · 각 단위 시스템의 연계 기술 개발
  · 장단주기 시스템의 연계 운전 및 실증
  · 무탄소 기저 발전용 연료전지 시스템 개발 및 실증

○ (2세부) 수소 기반 공급형 가상발전소[46]의 출력 안정화 제어 기술개발

- (목표) 개별 분산전원 정격의 10%/1분[47] 이하의 변동률을 만족하는 동시에 공통 연결점 (PCC, Point of Common Coupling)에서 12시간 평균 출력 2 MW (24 MWh/1일) 달성

- (개발기술)
  · 실시간 관제·예측·제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 및 검증
  · 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발
  · 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계
  · 전력계통에 제공할 수 있는 보조서비스(Ancillary Service)[48] 제어 기술 탐색 및 적용, 이를 검증하기 위한 실시간 시뮬레이터 운용
  · 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용

○ (3세부) 한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발

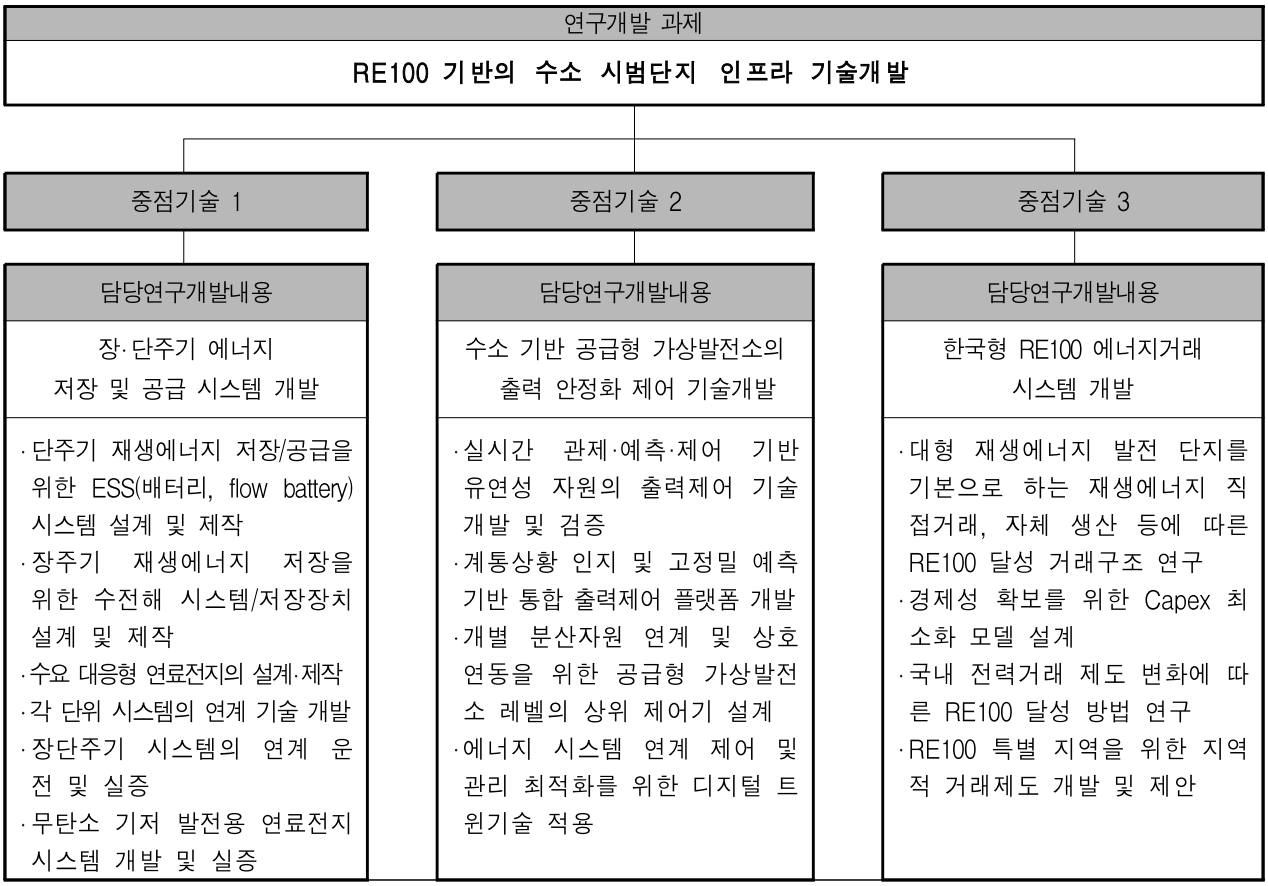
- (목표) 경제성 확보를 위한 RE100 거래 시스템 2건 이상

– (개발기술)
  · 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구
  · 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계
  · 국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달성 방법 연구
  · RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발
  · RE100 달성을 위한 신규 거래 시스템 제안

46) 분산형 에너지 자원을 정보통신기술을 이용해 통합하여 하나의 발전소처럼 관리하는 시스템
47) Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA), TenneT 기관의 재생에너지(태양광, 풍력) 변동률 제한 권고사항
48) 전력계통의 물리적 안정성 및 전기품질 유지를 위해 제공되는 서비스

3.2 과제 구성 및 연구내용

□ 과제 구성



□ 과제 총연구비 : 28,000백만원(정부 : 28,000백만원/민간 : 미정)

[백만원]

구 분	총연구비	'22	'23	'24	'25
정부투자 실적·계획	28,000	4,000	7,000	11,000	6,000

□ 세부별 연구비 편성 계획 : 총 3개 기술로 구성(모두 산학연으로 구성)

[백만원, %]

구 분	총연구비	'22	'23	'24	'25
중점기술 1	19,000	2,000	5,000	7,500	4,500
중점기술 2	7,000	1,500	2,500	2,000	1,000
중점기술 3	2,000	500	500	500	500
합계	28,000	4,000	8,000	10,000	6,000

* '25년은 운전 실증으로 연구개발비 감소, 국고기준이며 민간 매칭은 참여기업에 따라 변경

4. 세부추진계획

4.1 세부과제별 추진계획

중점기술 1	물리적 RE100을 위한 장 단주기 에너지 저장 및 공급시스템 개발
□ 목표 및 내용	
목표	재생에너지 활용 12시간 2MW급 안정적 전력 공급 시스템 개발 및 실증(실증 시스템의 100% 무탄소 배출)
주요 연구내용	① 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구 ② 장, 단주기 에너지 저장 시스템의 연계 운전 및 실증 ③ 안전한 수소 활용을 위한 안전 모니터링 및 비상 조치 운전 기술 개발
□ 기술개발 최종 성과물	
· 재생에너지 연계 수소 생산–저장– 활용 인프라 설계 및 실증 · 재생에너지 대응 수소생산을 위한 모듈형 수전해 시스템 설계 및 실증 · 그린수소–다수 연료전지 연계를 위한 수소 공급시스템 설계 및 실증 · 재생에너지–ESS–연료전지 연계 전력변환 장치의 설계 및 실증	

□ 세부과제 예산

연구비	'20 주요연구내용		'21 주요연구내용		'22 주요연구내용		'23 주요연구내용	
소계	내역	소요	내역	소요	내역	소요	내역	소요
6000	◦재생에너지 연계 수소 생산–저장–공급 인프라 설계	1000	◦재생에너지 연계 수소 생산–저장–공급 인프라 제작 완료	1500	◦재생에너지 연계 수소 생산–저장–공급 인프라 부하변동 운전	2500	◦통합시스템 운전 실증 및 안전 모니터링	1500
7000	◦ 부하대응 수소생산을 위한 다용량 모듈형 수전해 시스템 설계	500	◦ 부하대응 수소생산을 위한 다용량 모듈형 수전해 시스템 제작	2000	◦ 부하대응 수소생산을 위한 다용량 모듈형 수전해 시스템 부하변동 운전	2500	◦통합 실증 운전 시험 및 안전성 모니터링	1500
6000	◦재생에너지–ESS–연료전지 연계 전력변환 장치의 설계	500	◦재생에너지–ESS–연료전지 연계 전력변환 장치의 제작	1500	◦재생에너지–ESS–연료전지 연계 전력변환 장치의 제부하변동 운전	2500	◦통합 실증 및 안전 모니터링	1500
19,000		2,000		5,000		7,500		4,500

단위: 백만원
* 기획평가관리비 포함

□ 기대효과

– 재생에너지 기반의 수소를 생산 저장하여 공급전력 안전화 및 간헐성을 해소할 수 있는 플랫폼 구축
– 수소에너지를 통한 재생에너지원의 활용성 강화
– 그리드 안정화 기여

중점기술 2	수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발

□ 목표 및 내용

목표	개별 분산전원 정격의 10%/1분 이하의 변동률을 만족하는 동시에 공통 연결점 (PCC, Point of Common Coupling)에서 12시간 평균 출력 2MW (24MWh/1일) 달성
주요 연구내용	① 실시간 관제 · 예측 · 제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 ② 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 개발 ③ 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기 설계

□ 기술개발 최종 성과물

· 계통상황 인지 및 고정밀 예측 기반 통합 출력제어 플랫폼 실증
· 실시간 관제 · 예측 · 제어 기반 유연성 자원의 출력제어 검증
· 에너지 시스템 연계 제어 및 관리 최적화를 위한 디지털 트윈기술 적용
· 개별 분산자원 연계 및 상호 연동을 위한 공급형 가상발전소 레벨의 상위 제어기

□ 세부과제 예산

연구비	’20 주요연구내용		’21 주요연구내용		’22 주요연구내용		’23 주요연구내용	
소계	내역	소요	내역	소요	내역	소요	내역	소요
7,000	◦출력제어 기반 재생 에너지 발전·저장·소비연계 기본 구조 설계	1,500	◦분산자원 상호 연동·제어를 위한 상위 제어기 및 보조서비스 기술 설계	2,500	◦공급형 가상발전소 레벨의 디지털 트윈 기반 에너지 시스템 구현	2,000	◦실시간 관제·예측·제어 기반 유연성 자원의 출력제어 기술개발 및 검증	1,000
7,000		1,500		2,500		2,000		1,000

단위: 백만원

□ 기대효과

– 재생에너지–수소 기반의 완전 무탄소 에너지 공급 시스템의 산단 적용 모델 제안
– 에너지시스템 연계제어 및 관리 최적화
– 그린산단 적용을 위한 상위제어기 설계

중점기술 3	수소 기반 공급형 가상발전소의 출력 안정화 제어 기술개발

□ 목표 및 내용

목표	한국형 RE100 에너지거래 시스템 개발
주요 연구내용	① 대형 재생에너지 발전 단지를 기본으로 하는 재생에너지 직접거래, 자체 생산 등에 따른 RE100 달성 거래구조 연구 ② 경제성 확보를 위한 Capex 최소화 모델 설계 ③ RE100 특별 지역을 위한 지역적 거래제도 개발

□ 기술개발 최종 성과물

· 사업자간 경제성을 확보 위한 RE100 제도
· RE100 달성을 위한 신규 거래 시스템 제안

□ 세부과제 예산

연구비 소계	’20 주요연구내용		’21 주요연구내용		’22 주요연구내용		’23 주요연구내용	
	내역	소요	내역	소요	내역	소요	내역	소요
7,000	◦국내외 RE100 거래제도 분석	1,500	◦독립적 공간에서의 물리적 RE100 달성을 위한 Capex 최소화 모델 개발	2,500	◦국내 전력거래 제도 변화에 따른 RE100 달설 방법 연구	2,000	◦RE100 특별 지역을 위한 거래제도 개발 및 신규 거래 시스템 제안	1,000
7,000		1,500		2,500		2,000		1,000

단위: 백만원

□ 기대효과

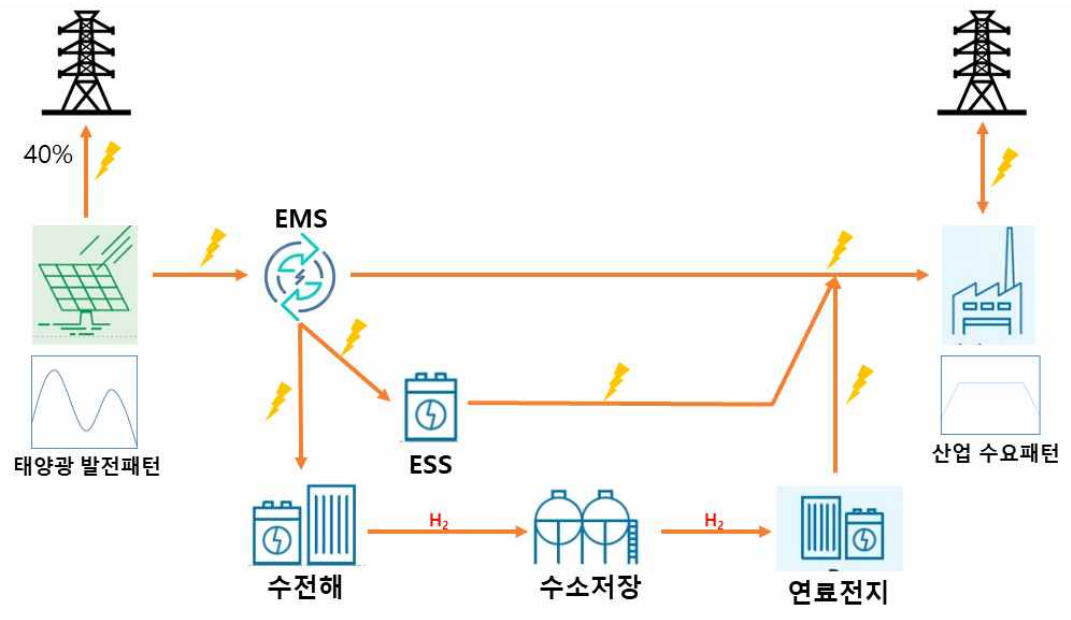
– 재생에너지 확대에 따른 신규 에너지 거래제도 확립
– 한국형 RE100 기업 이익 증대

4.2 세부과제간 기술연계성

□ 물리적 RE100을 위한 장 단주기 에너지 저장 및 공급 시스템 개발

○ 단주기 에너지 저장을 위한 ESS와 계간 에너지 저장을 위한 수소를 활용한 에너지 공급 시스템의 설계

○ 태양광 발전의 부하 변동에 적응 가능하도록 다 용량의 스택 및 시스템을 구성하여 수소생산량 조절 및 저장



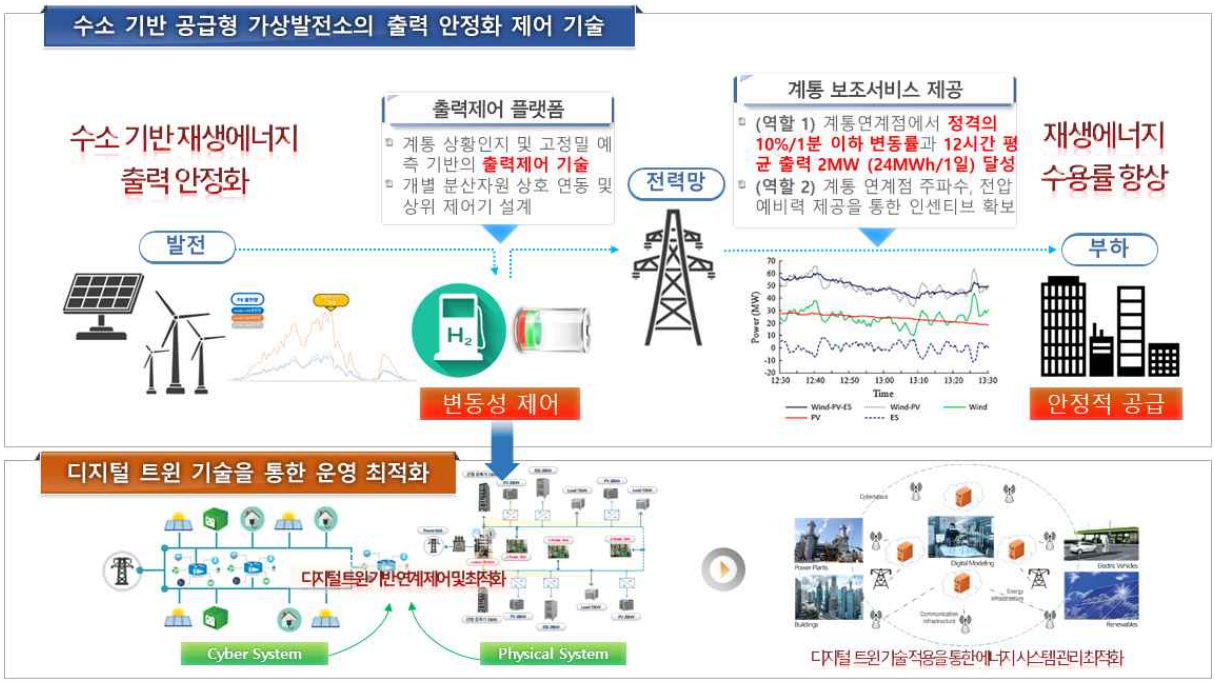
○ 멀티 스택의 연료전지에 수소를 공급할 수 있는 수소공급 로직 개발과 이를 통한 연료전지의 안정적 운용 및 수요변동 대응

○ 그린산단의 부하변동에 적응가능한 전력 변환장치의 구성 및 ESS, 연료전지의 통합적 운영 및 최적화 기술 필요(핵심2기술 연계)

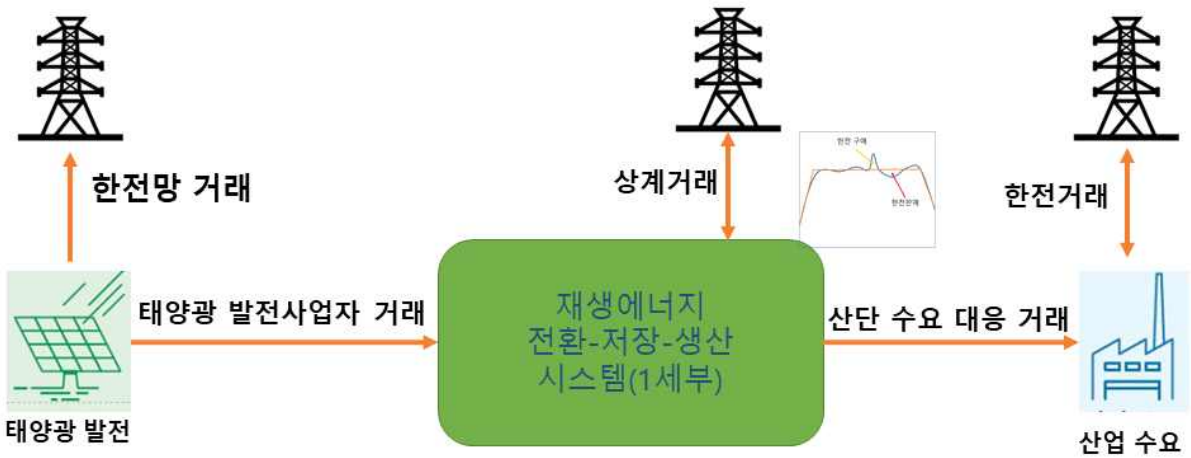
□ 수소 기반 공급형 가상 발전소의 출력 안정화 제어 기술 개발

○ 실시간 관측, 예측, 제어를 통한 태양광 발전의 출력제어를 통한 그린산단의 안정적 에너지 공급기술이 필요(핵심1의 ESS연계)

○ 그린산단의 피크 부하 대응을 위한 계통상황 인지 및 통합 제어



○ ESS, 수소저장 상태 및 예측을 통한 출력 가능 범위 산정과 그리드 연계 출력 조정



○ 구성된 시스템의 운전 로직을 통한 가장 경제적인 RE100 달성 거래 제도 연구 필요

4.3 기술로드맵


세부기술
2022
2023
2024
2025
연구개발목표
RE100 에너지 저장 공급 시스템 개발
핵심 설비의 기본 성능 및 연계 데이터 확보
핵실 설비의 설계/제작
설치 및 단동 시험
2MW 급 무탄소 에너지 공급 시스템 총괄 연계 운전 및 최적화
2MW, 100% 무탄소 에너지 공급
RE100 전력 출력안정화 제어 기술개발
실증 지역 재생에너지 변동 및 수요 파악
출력 안정화 제어 기술 개발
가상 시스템을 이용한 제어 기술 운전
분산전원 정격의 10%/1분 이하의 변동률 제어
한국형 RE100 에너지 거래 시스템 개발
국내외 RE100 거래 제도 분석
실증 지역 적합형 에너지 거래 제도 연구
한국형 RE100 거래 제도 연구
한국형 RE100 거래 제도 2건 이상

5. 정부지원 필요성

5.1 정부정책과의 정합성

- ㅇ 정부의 3대 혁신성장 전략투자인 수소경제의 조기 구현 모델: 수소 도시 인프라 기술개발 및 실증을 위한 신규 지원 필요

- ㅇ 재생에너지의 보급 확대(RE 3020)에 따라 ICT 기술–재생에너지 발전–수소에너지 시스템을 융합하여 에너지의 생산–저장–이용이 용이한 수소경제 플랫폼을 구축하여 탈탄소 에너지 사회로의 전환을 요구하는 시대적 요구 및 정부정책에 부합

- ㅇ 수소에너지 플랫폼 구축과 관련한 민간 영역의 투자 활성화: 수소충전소 보급사업을 위한 특수목적법인 하이넷이 2019년부터 출범하여 한국가스공사를 비롯한 14개 사가 참여, 1,350억원을 출자함

- ㅇ 지자체 수소에너지 관심제고 : 울산광역시의 수소타운 사업 및 수소도시계획 선포, 대전광역시의 수소산업전주기실증센터 구축 등으로 탈탄소 친환경 수소경제의 구축에 대한 관심이 제고됨

- ㅇ 현재까지 국내외 진행되고 있는 그린산단은 완전한 재생에너지를 이용한 RE100 구현이 아니며 일부 신재생에너지를 활용하는 경우에도 이산화탄소를 배출시키는 연료전지를 활용하여 완전한 무탄소 배출 연구라고 할 수 없음

- ㅇ 수소 사회의 구현을 위해 기존의 에너지시스템과 융합할 수 있는 플랫폼 개념을 정립하고, 실제 그린산단에 적용하는 연구가 필요

5.2 기존 유사사업과의 연계성 및 차별성

유사과제명	수행기관명	수행기간	차별성
재생에너지연계 그린수소생산 기술을 활용한 수소(600 kg) 및 배터리(2MWh) 저장 시스템 기술개발 및 실증	제주에너지공사, 한국중부발전, (주)지필로스, 두산중공업, 한국조선해양기자재연구원, 제주대학교, 한국가스공사	'20. 10 ~ '22. 12.	· 선행연구에서 풍력발전단지 연계형 그린수소 생산·저장 기술개발 및 실증의 연구분야에는 유사성이 존재 · 동 사업은 적응형 출력제한을 위한 정밀한 계통상황 인지기술과 운영 플랫폼 연계에 진보성을 가짐
신재생발전 통합 관제 시스템용 계통안정화 핵심요소 기술 개발	한국전기연구원, 상명대학교, 홍익대학교, (주)알고리고, 국민대학교, 한국에너지기술연구원, 한국전력거래소, (주)장인의공간, 서울대학교	'19. 12. ~ '24. 11	· 선행연구에서 태양광·풍력 출력예측 모델에 기반하여 재생에너지 출력 변동성 분석 등 일부 연구내용에 유사성이 존재 · 선행연구는 계통 영향성과 출력제한을 시뮬레이션 기반으로 모사하고 있으나 동 사업은 정밀분석을 통한 출력제어기술 검증 및 실증연구를 수행하는 상용화 기술개발임
분산전원-ESS 통합 제어 및 전력 서비스 운영을 위한 VPP기술 개발	누리텔레콤, 인천대학교, 한국에너지공단, (주)제이에이치에너지	'17. 12. ~ '20. 11	· 선행연구에서는 ESS를 포함하는 분산전원 통합 제어 및 운영 기술개발을 수행하였으나, 모니터링 중심의 통합운영센터 구축과 BM 도출에 초점을 맞춤. · 동 사업은 실시간 관측 뿐만 아니라 시스템의 신뢰성과 경제성을 동시에 고려한 유연한 플랫폼 개발을 포함하고 있어 차별성을 가짐
재생에너지 국가 종합 실증단지 구축	예타 진행 중	22 ~ 26	· 수상태양광 및 ESS 설비, 연구단지 내 전력망, 전력변환 및 관제 시스템 등 실증연구를 위한 인프라 구축 · 동사업은 재생에너지 전력을 이용한 공급자 측면과 수요자 측면을 모두 고려한 수소자 맞춤형 RE100 기반 시설 구축 및 운영 방법에 대한 실증 연구임
그린수소 생산클러스터	예타 진행 중	22 ~ 26	· 새만금 재생에너지를 활용한 그린수소 생산 기술개발 및 상용화를 위해 국내 최초의 그린수소 생산클러스터 조성 · 동 사업은 수소를 장주기 에너지저장의 관점에서 접근하며 수소 생산에 목적을 두는 것이 아닌 산단의 에너지 수용 변화에 따른 에너지공급에 필요한 수소를 제조하는 연구임

6. 기대효과 및 활용 방안

6.1 기대효과

○ (기술적) 세계수준의 국산 기술력 확보로 글로벌 시장 진입 가능

○ (경제 · 사회적) 저비용 · 안정적인 공급시스템 구축으로 수소경제사회 활성화 및 탄소중립(Net Zero) 정책에 기여

○ (정책적) 그린 산단의 필요 에너지를 재생에너지를 이용하여 물리적으로 안정적인 에너지 공급 기술 확보

6.2 활용 방안

○ 새만금 RE100 그린산단 구축과 연계한 플랫폼 R&D로, 새만금개발청 참여를 통해 부지 등을 지원받아 개발된 기술을 접목하여 실증하고, 연구 종료 이후에 지속적으로 활용하도록 추진

○ 검증된 국산화 기술을 후속 그린산단 구축사업에도 연계토록 추진할 뿐 아니라 해외 수출형 사업 모델로도 활용

○ 수소를 매개체로 한 에너지 생산–저장–공유 플랫폼을 통해 재생에너지의 안정적 보급과 분산발전용 마이크로 그리드를 통한 전력안정화에 기여

– 한국전력공사는 지난 2016년 '변동성 전원의 계통영향 평가 및 대책방안 연구'에서 ‘신재생에너지 발전량 비중이 11.7%로 확대되면 2024년부터 주파수 변동이 계통의 수용한계를 넘어선다’ 고 결론.

* 출처 : 에너지데일리(http://www.energydaily.co.kr)

– 잉여 전력의 수소 저장–활용–공유로 재생에너지원의 사용 효율 및 유연성 제고

– 대규모 재생에너지 발전단지 인근 산업단지의 에너지 믹스 포트폴리오 최적화로 탈탄소 에너지 사회 구축

○ 수소를 기반으로 하는 에너지의 생산–저장–활용–공유를 통해 프로슈머 개념이 도입된 새로운 분산전원 기반의 에너지 생태계가 구축하여 수소경제의 실현 가능

부 록 2

주관연구기관 자체평가 의견서

※ 본 사업의 RFP 대비 수행내용

■ RFP 대비 수행내용

항목	과제제안요구서(RFP)	수행내용
1.연구 기획 목표	수소도시 R&D 사업인 「미래수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드기술개발」 상세기획	연구보고서의 제 1장 사업개요 및 제 4장 사업목표 체계에 1) 기획 연구의 전체 목표와 2) 이를 구성하는 핵심 기술개발 사업의 목표 및 범위 설정.
2.연구 기획 필요성	(수소사회 대비) 인류가 당면하고 있는 에너지 문제와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 저탄소 청정에너지원으로서 수소에너지 대두 및 미래 수소사회 대비 필요	제 1장 사업개요의 1.2. 추진배경 및 필요성에서 수소에너지 사회 가능성과 이를 위한 기술적 사회적 대비의 당위성 기술.
	(수소 경제 구현)「수소경제활성화 로드맵('19.1)」 및 「범부처 민관 합동 R&D 로드맵('19.8 발표예정)」에 따른 범부처예타 사업*과 연계하여 국토부R&D 사업의 상세기획 필요	제 1장의 사업 추진배경과 제 2장의 정책 동향에 해당내용에 대한 분석 및 본 기획 연구의 당위성 기술.
	(수소도시 모델의 추진전략) 사전기획 연구를 통해 도출한 수소도시 모델과 대내외 환경*에 따른 수소도시 모델의 상세 기술개발 추진 전략 마련 필요	제 3-5장에서 이슈도출, 기술개발 목표 그리고 기술개발을 위한 세부계획 수립
	(수소도시 선점) 국내 건설산업의 신성장 동력 확보를 위한 토대 마련	제 5장의 개별 핵심기술 개발 계획을 기반으로 국내 수소도시 관련기술 수준 제고를 목표로 함 제 8장에서 수소도시 관련 기술 개발의 타당성 분석
3. 연구 기획 범위	수소도시 실증사업의 정의 및 범위 제시	제 1장의 사업개요와 제 4장의 사업목표 체계 제시
	수소도시 기술개발 동향 및 환경분석	제 2장의 국내외 주요 동향분석 내용 제시
	수소도시 실증사업의 비전 및 목표 도출	제 4장의 4.2 장에 해당 내용 제시
	수소도시 실증사업의 추진전략 및 세부 추진체계 마련	제 5장 세부 사업 추진 내용 제시
	사업의 개념, 개발기술, 기대효과 등에 관한 이해를 높이기 위한 시나리오 등 작성	제 5장 세부 사업 추진 내용에, 개발기술 개념, 기술개발에 의한 기대효과, 연차별 연구목표 등을 상세히 제시

항목		과제제안요구서(RFP)	수행내용
4. 연구 기획내용	사업개요 및 기획내용	이슈 및 니즈 분석	제 3장 내용 반영
		정의 및 개념	제 1장 내용 반영
		현황 및 발전전망	제 2장의 국내외 주요 동향분석 내용 제시
		범부처 연계	제 6장의 6.1장에 범부처 연계와 관련한 전략 등의 세부 내용 기술
		수소도시 실증사업 상세기획 :	제 3-5장에서 이슈도출, 기술개발 목표 그리고 기술개발을 위한 세부계획 수립
	정책적 타당성	정부정책과의 부합성 및 사업추진 타당성	제 1장의 1.2장및 제 8장의 8.2장에 해당 내용 반영
	기술적 타당성	비전 및 목표 설정	제 4장의 4.2장 내용 반영
		사업추진(운영)체계 도출	제 6장 사업추진체계 및 성과관리 방안 수립
		중점추진분야 도출	제 3-5장에서 이슈, 핵심 개발기술개발 내용 도출 및 기술개발을 위한 목표 등의 세부계획 수립
		확보전략(기존 사업(과제)과의 연계·중복선 검토 포함)	제 5장의 세부추진 계획에 개별 핵심 기술 개발 전략에 내용 반영
	경제적 타당성	소요예산 : 기술적 난이도에 따른 연구기간, 투입인력 및 장비 등을 분석하여 과제별 연구개발비 소요예산을 산출	제 5장의 세부추진 계획에 개별 핵심 기술 개발 전략에 따른 소요예산 산출
		편익분석	제 8장의 8.3장 내용 반영
	주요 산출물	기획연구보고 예비타당성 조사 대응 관련 작성 자료	관련자료 기 제출
	보고서 제출	중간보고서 : 전문기관 요청시 단계별 제출 최종보고서 : 연구과제 종료 시까지	최종보고서 제출

항목	과제제안요구서(RFP)	수행내용
5. 연구 기획 추진 방법	다부처예타 사업인 “수소 전 주기 범부처 기술개발 사업 기획 연구(‘19.9 착수예정)”와 연계하여 실증기반의 국토부R&D 사업 추진	핵심 기술 도출 과정 등에 내용 반영 제 8장의 8.1장에 “수소 전 주기 범부처 기술개발 사업 기획 연구(‘19.9 착수예정)” 등을 비롯한 기획연구의 배경과 연구내용의 타당성에 대한 내용 기술
	국내외 동향조사 및 기술예측, 사업추진전략 및 연구개발과제 도출 등을 위하여 전문 연구기관 및 관련 전문가들로 구성된 기획 연구진을 구성	기획연구진 구성하여 2019. 12 최초 회의 이후 수시 온오프라인 회의를 개최하여 이슈 분석 및 핵심 기술개발 계획 수립 (제 8장의 8.1장 참조)
	실용적인 연구결과 도출을 위하여 산·학·연 등 기술수요처 자문위원을 반드시 포함시키고 수소 핵심기술 관련 전문가를 최대한 활용	2020. 1 자문위원단 회의 최초 개최 후, 수시 온오프라인 자문회의로 기획연구 방향 및 세부 내용 검토 (제 8장의 8.1장 참조)
	기획연구 수행 시 건설교통 관련 기관, 전문가 검토, 공청회 등을 실시할 수 있도록 제안서에 반영	기획연구과제 계획서에 기 반영, 기획연구 수행 중 수시 실시
	정책적・기술적・경제적 타당성 검토결과의 객관성 확보를 위해 외부전문가(경제, 기술가치평가, 정책 등)를 통해서 검증 필요	자문위원단 활용
	기 수행되었거나(종료과제, 중단과제 등) 현재 수행중인 관련 연구개발과제와의 중복성 검토를 통해 중복투자 배제 및 연계방안 제시	제 5장의 세부추진 계획에 개별 핵심기술 개발 전략에 내용 반영
6. 연구기간 및 소요예산	총 연구기간: ’ 19.10 ~ ’ 21.1(15개월)	COVID-19 등의 상황으로 기획연구 기간의 연장이 필요하여 21.6까지 1회 연구기간을 연장
	총 정부출연금: 300백만원 ※과제특성상정부출연금을 총 연구개발비의 100%까지 지원가능	변동사항 없음.
7.기타	기획과정 중 착수 및 최종보고회, 단계별 기획타당성 검토회의, 기획현황 보고 수시 실시	기 실시
	연구개발비 중 연구장비·재료비, 지식재산권 출원·등록비, 과학문화활동비는 원칙적으로 계상하지 않음	해당내용 준수

주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 '미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' 과제의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 '미래 수소사회 대비 수소도시 기반시설 및 수소그리드 기술개발 기획' 과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.