

21RDPP-
C165338-
01

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()
국토교통연구기획사업 제2차 2021 최종보고서

R&D / 21RDPP-C165338-01

수소도시의 수소관망 구축 · 운영기술 개발 및 실증 방안 기획 최종보고서

2022.12.21.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 주식회사 포스코
공동연구기관 / 한국가스안전공사 가스안전연구원
공동연구기관 / 사단법인 한국지식서비스연구원

실증
구축 · 운영
수소도시의
기술
수소관망
방안
기획
최종보고서
및

2022
국토교통과학기술진흥원

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획’(연구개발 기간 : 2021.09.27.
~ 2022.09.26.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2022. 12. 21.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 김 병 석 (인)
공동연구기관명 : 주식회사 포스코 (대표자) 김 학 동 (인)
공동연구기관명 : 한국가스안전공사 가스안전연구원 (대표자) 유 방 현 (인)
공동연구기관명 : 사단법인 한국지식서비스연구원 (대표자) 이 성 환 (인)

주관연구기관책임자: 황 인 주
공동연구기관책임자: 조 우 연
공동연구기관책임자: 이 재 훈
공동연구기관책임자: 고 민 구

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	21RDPP-C165338-01	해당 단계 연구 기간	2021.09.27. - 2022.09.26	단계구분	1단계/ 1단계
연구사업명	중사업명	2021 국토교통연구기획사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	수소도시의 수소관망 구축 · 운영기술 개발 및 실증 방안 기획			
연구책임자	황 인 주	해당단계 참여연구원 수	총: 22명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 150,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 150,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부: 150,000 천원 민간: 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 150,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국건설기술연구원			참여기업명 주식회사 포스코 한국가스안전공사 가스안전연구원 사단법인 한국지식서비스연구원	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내 · 외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록 · 기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록 · 기 탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설 · 장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	① 최종 목표 - 본 기획연구를 통한 기술개발은 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 수소이송을 위해 고강도·내수소취성의 도시규모 수소관망 구축·운영기술 개발하고자 기획 ② 전체 내용 - 본 기획연구는 2050 탄소중립 추진전략 이행 및 국내 수소도시 발전·확대를 목적으로 수소도시에서 활용 가능한 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실제 수소도시 실증을 위한 기술개발 기획을 추진
연구개발성과	① 수소도시 적용 가능 수소관망 구축·운영 기술개발의 정의 및 범위 제시 ② 수소관망 구축·운영 기술개발 관련 국내외 산업 동향 및 환경 분석 - 메가트렌드, 국내외 정책/산업·시장/기술 동향 - 기술수준/유사과제/특허 분석 - 국외 수소 파이프라인 구축 사례 ③ 수소도시 적용 가능 수소관망 구축·운영 기술 및 실증 방안 전략 수립 및 연구내용 설정 및 중장기 기술개발 로드맵 작성 - 기술개발 대상 선정의 타당성 확보를 위한 근거와 논리 제시 - 설정된 비전 및 목표 달성을 위한 사업추진 및 기술개발 전략 등 사업목표의 성공적 달성을 위한 체계적 전략 수립 - 중점분야별 목표 달성을 위한 세부과제와 구성기술 내용 도출 및 과제별 추진 체계(사업단, 연구단, 일반과제 등) 설정 - 중점분야-세부과제-구성기술 연차별·단계별 기술개발 로드맵 및 성과 로드맵 제시 - 과제구성에 따른 인력투입 계획 및 소요예산 산정
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	① 연구개발성과의 활용방안 - 연구개발결과에 따른 성과활용 및 사업화 방안 · 본 개발기술은 탄소중립, 친환경 에너지 활용, 수소도시 실현 등을 위해 수소 공급에 활용되는 수소배관 기술개발 및 실증체계 구축하는 기획사업으로, 결과물은 수소공급을 위한 모든 분야에서 활용 가능 · '50년까지 수소도시 공급계획이 총실행될 경우, 설계분야(조관 기업), 조달분야(지자체), 시공분야(배관망 구축 기업, 도시가스사) 등과 연계하여 수소배관망 구축 가능 ② 연구개발성과의 기대효과 - 과학기술적 기대효과 · 도시 내 안전한 수소공급 가능 및 수소도시 기반 기술 마련 · 배관 성능·평가 기준 및 표준화를 통해 수소배관의 안전성 확보와 실용화 가능 · 안전성 검증기술 개발을 통한 평가 기술 체계 구축 및 글로벌 인증 취득 기대 · 수소도시에 적용이 가능한 수소 배관망 구축 및 운영기술 확보 - 사회적/환경적 기대효과 · 세계 최고 수준의 친환경 수소경제 시대 조기 실현 기대 · 국가차원에서 추진 중인 수소경제 활성화에 따라 증가하는 수소의 운송 범위를 전국적인 범위로 확대 가능 · 안전 확보 및 실증체계 구축을 통해 국민 인식 개선 및 안전한 수소경제 제공

	· 수소산업 육성의 일부분으로 에너지산업 기반 약화 극복 · 수소 저장·운송산업의 육성을 통해 관련 산업의 동반성장으로 신성장동력 확보 · 친환경산업 육성을 통해 청정국가, 친환경 에너지 국가로서의 이미지 재도약 가능 · 전체적인 수소산업의 안정적인 도입을 통해 국가에서 추진 중인 탄소중립 정책의 CO₂ 저감효과 목표 달성에 기여 · 수소경제의 실현으로 경제적이고 안전한 수소 공급, 주민의 수소 수용성 제고, 관련 인프라 구축 등을 통해 수소 생태계 구축 - 경제적 기대효과 · 수소산업의 선점을 통해 수소산업 선도 및 급성장하는 수소산업 육성으로 국가경제 성장에 기여 · 신시장 창출, 대규모 고용창출, 고급 전문기술인력에 대한 일자리 창출 효과 기대 · 수소 저장·운송산업의 육성을 통해 관련 산업의 동반성장으로 신성장동력 확보 · 안정적인 수소 공급을 통한 수소 가격 안정화 추구 · 동 사업 기간 동안 생산유발효과 404.0억 원, 부가가치유발효과 114.3억 원의 경제적 파급효과 발생 및 고용유발효과 97명, 취업유발효과 87명 일자리 창출 효과 발생 · 기존 km 당 10.04억 원의 구축비용은 본 기획과제를 통해 km 당 8.03억 원으로 2.01억 원의 절감이 가능하다고 예상되며, 절감 비율을 20.0%으로 기술의 상용화를 통해 최대 58%의 비용절감 효과 기대				
국문핵심어 (5개 이내)	수소	관망	배관재	시공	실증
영문핵심어 (5개 이내)	Hydrogen	Pipeline	Pipe materials	Construction	Demonstration

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

요약문

1. 사업개요

- 사업명 : 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획
- 총사업비 : 280억 원 (정부 280억 원, 민간 93.4억 원)
- 사업기간 : 2023년 ~ 2026년 (4년)
- 사업목적 : 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위해 고강도·내수소취성* 수소관망** 구축·운영기술 개발
 - * 수소가 금속소재에 침투하여 물성을 약화시키는 수소취성에 대한 내구성
 - ** 수소관 및 공급계통(승압설비, 정제설비, 제어밸브, 정압기, 안전설비 등)으로 구성
- 추진주체
 - 주관부처 : 국토교통부
 - 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원
- 추진근거

추진근거	내용
관계 법령	◆ 국토교통과학기술육성법 제8조(연구개발사업의 추진) ◆ 건설기술진흥법 제7조(건설기술 연구·개발사업) ◆ 기계설비법 제8조(기계설비산업의 연구·개발 등)
국정 과제	◆ 문재인정부 국정운영 5개년 계획 - 20대 국정전략 중 “과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명”, “국민안전과 생명을 지키는 안심사회”와 관련 - 100대 국정과제 중 “소프트웨어 강국, ICT 르네상스로 4차 산업혁명 선도 기반 구축”, “고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성” 등 5개 과제와 관련 - 4대 복합·혁신과제 중 “4차 산업혁명을 선도하는 혁신 창업국가”와 관련
법정 계획	◆ 「제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(‘18~’27)」 ◆ 「제1차 기계설비 발전 기본계획(‘21~’25)」 ◆ 「제1차 수소경제 이행 기본계획(‘21~’25)」
정부 정책	◆ 「수소경제 활성화 로드맵(‘19.01)」 ◆ 「신재생에너지 R&D 패키지 투자 모델(‘19.01)」 ◆ 「수소 기술개발 로드맵(‘19.10)」 ◆ 「탄소중립 연구개발 투자전략(‘21.3)」
국토교통부 추진 사항	◆ 수소버스 및 충전소 보급 확대 추진 방안(‘18.8, 국토부 교통정책조정과) ◆ 지역사업과 연계한 수소차 충전소 확충방안 검토(‘18.8, 국토부 도시정책과) ◆ 수소 시범도시 추진전략(‘19.10, 합동부처(국토부 도시활력지원과)) ◆ 수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19.10, 합동부처(국토부 도시정책조정과)) ◆ 수소도시 추진현황 및 확산전략(안) (‘20.7 합동부처(국토부 도시활력지원과)) ◆ 수소시범도시 기본계획 및 수소도시법 제정방안 (‘20.10 합동부처(국토부 도시활력지원과)) ◆ 수소교통 복합기지 구축사업 선정(평택) (‘20.12 국토부 교통정책총괄과) 등

○ 주요 사업내용

－ (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발

： 수소도시 내 수소공급용 중·대구경 수소관망의 입지·경로 및 열수력·공급효율 최적화, 관망 건전성 설계(신뢰성·내구수명·복구력), 관망 시공성 및 장기 안정성(품질) 확보기술

－ (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발

： 수소시설 및 배관망의 압력, 온도, 결함, 설치위치 등의 다양한 원인으로 발생할 수 있는 수소 취성 발생에 따른 가스 누출, 폭발 등의 사고 예방을 위한 성능평가, 수명 예측 및 안전성을 검증하는 기술

－ (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

： 수소도시에서 수소관망의 수용성(기술·사회) 향상을 위한 실규모 현장을 대상으로 입지·경로, 기본·실시설계, 시공(용접·매설), 운용시험, 진단·관리 시스템 등 실증기술

참고 : 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증방안 개념도



2. 배경 및 필요성

□ 정부는 `40년 수소 수요 526만톤 예정에 따라 수소산업 생태계 경쟁력 강화를 위해 수소 수입 방안을 발표(`20.7), 이는 대용량 수소 수급계획 마련의 일환

○ 526만톤은 `22년 대비 11배 증가한 물량으로 이송과 분배용 인프라에 대한 투자확대 예상

	2018년	2022년	2030년	2040년
공급량 (=수요량)	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년 이상
공급방식	① 부생수소 (1%) ② 추출수소 (99%)①	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해 ④ 해외생산 ※ ② : 50% (나머지 50%)	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해 ④ 해외생산 ※ ② : 30% (나머지 70%)

출처: 수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정, 에너지경제연구원, 2019

<수소경제 활성화 로드맵의 수소공급 확대로드맵(요약)>

- `50년까지 40개소 해외수소 공급망 구축 예정에 따라 지속 가능한 수소 활용을 위해서는 생산 방식(부생, 추출, 신재생, 수입)별 중·장기 공급인프라 구축 방안 마련 필요
 - 튜브트레일러를 통한 부생수소 운송·충전은 생산 지역 반경 100km 이내 공급은 가능하나 지역편중, 생산량 변동에 따른 수급불안 및 운송비용 문제 상존
- 대용량 수요처인 수소도시는 수소생산 방식과 무관하게 주거지역의 수소공급을 위한 저장시설 없이 배관만으로 공급이 가능한 안전한 도시 구축 요구
 - 배관을 통한 배관망 구축으로 수소도시에 수소공급을 위해서는 생산지부터 수소도시까지 배관연결이 필요
 - 배관은 위치에 따라 크기, 두께, 내부 압력 등의 스펙차이가 발생하기 때문에 안전관리 문제가 중요하며, 시민들의 불안감을 조성하던 수소저장 탱크를 대신하여 수소도시 지하 내 배관망 구축을 통한 수소 공급으로 주민 수용성 제고
- 주거지 인근 수소 생산 및 충전소 설치 시 극심한 민원 발생으로 주택 수요 충족을 위해서는 도시가스 배관망과 유사하게 중·저압(2MPa이하) 배관 연결 필요
 - 안산시(생산량 1.5톤/일급 압력 0.7MPa 수소추출기 이용 경기행복주택(232세대)에 공급, 울산시는 0.87톤/일급 부생수소를 울동 공공택지지구(810세대)등에 공급
- 그러나, 국내 수소배관 개발·공급 및 실증 생태계 구축 미비에 따른 원가 경쟁력 하락으로 수소 시범도시 배관의 경우 전량 일본 등 국외에서 수입하여 건설 중
 - * 수소시범도시: 울산 10km(설계 포함 138억), 안산 16.3km(111억), 전주·완주 3.7km(21억), 삼척 1km
 - 따라서, 수소도시에 경제적이고 안정적인 수소공급, 주민수용성 제고와 중·장기 수소도시 전환 인프라 구축의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소배관 공급생태계 육성 필요

- 1기 수소 시범도시에 국외에서 수입된 배관이 전량 투입되고 있는 상황이며, 수소 시범 도시 구축계획은 지속해서 국토부에서 추진하고자 하는 중장기 계획
- 배관망 구축 관련 기술의 국산화가 진행되지 않을 경우 향후 구축되는 모든 수소 시범도시에 해외 수입 배관 사용 및 기술 격차 해소가 어려워 기술 종속 우려
- 울산 수소 시범도시의 경우 배관 자재 구매 비용(10.5km)만 9.6억 원이 발생하였으며 향후, 본격적인 수소도시 건설시 수소배관 공급은 국외 기업 독점 우려

□ 정부지원의 타당성

- 정부는 우리나라의 미래 성장동력 사업으로 수소경제를 선정하고 수소경제 활성화 로드맵, 수소기술로드맵을 수립하고 이를 법적으로 뒷받침하기 위하여 세계최초로 [수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률]을 제정하고 시행 (2020. 2)
- **(수소공급망 확대)** 정부는 「수소법」 제5조(기본계획의 수립)에 따라 수소를 `30년 390만 톤, `50년 2,790만톤 공급계획 수립
 - * 산업용 1,060만톤, 발전용 1,350만톤, 수송용 220만톤, 기타 160만톤 순
- **(수소도시계획)** 수소도시 확대 강화를 위해서는 수소생산(석유화학, LNG, 신재생설비 등), 수소거점(저장·공급), 수소산단, 수소항만, 수소항공, 수소물류, 수소농업 등의 핵심 요소가 결합되어야 가능
- **(국제동향)** 미국 및 유럽은 수소전용 공급망에 대한 기술개발 및 인프라 구축이 완성단계이며 천연가스 공급망에 수소를 혼입하기 위한 단계로 진입 중이나 국내는 수소전용망 및 혼입망 모두 구축 초기단계
- **(플랜트 수출)** ‘수소경제이행 기본계획’에 중동지역에서 블루수소 생산플랜트 추진을 통한 `50년까지 해외 수소공급망 40개를 구축하여 수소자급률 60% 이상 확보 포함
- **(국내산업 활성화)** 수소차, 충전소 등 개별 수소인프라 확충만으로는 수소경제 확산에 한계가 있으며, 이를 위해 도시 내 수소 에너지 시스템으로의 전환이 가능한 수소 시범도시 조성 사업 추진 중
- 국내 수소배관 인프라는 산업용에 한정되어 시장형성 초기단계인 점을 감안기술격차 해소, 시장 확대 및 안전성 확보를 위해 수소전용 강재 개발 정부지원 시급
- 배관망을 이용한 도시내 수소공급 인프라 확대를 위해서는 수소취성* 문제 극복과 고기능성 배관 대비 상대적으로 저렴한 수소전용 고강도 강재 개발이 선결 요건
 - * 수소가 금속소재에 침투하여 재료의 기계적 물성을 현저히 약화시키는 현상
- 개발된 수소배관의 안전성 확보와 사업화 촉진을 위해서는 투명한 성능평가 기준 정립,

실증을 통한 수용성 확보가 필요하며 이에 수반되는 성능평가 체계 구축 등은 민간에서 수행곤란



출처 : 수소 경제의 본격화 시점, 결코 먼 미래가 아니다, Deloitte, 2020

<신기술 도입 및 시장 확산의 3단계 계곡>

□ 정부정책의 부합성

- **(수소사회로 재편)** 미래 경제체제는 저탄소 청정에너지원인 ‘수소에너지’ 공급 시스템에 기반한 「수소경제사회」로의 재편이 예상
- **(수소도시법 입법 중)** 수소경제 대응을 위해 「수소도시 건설 및 운영에 관한 법률」 제정으로 도시 에너지원의 수소로 전환을 위한 제도적 기반 마련 방안 발표(제2차 수소경제위원회, `20.10.15)
- **(도시에너지 전환)** 수소도시 건설을 위한 배관인프라 구축은 도시에너지 전환 대응의 핵심 수단이며, 입법을 통해 입지규제, 기술개발, 재정 지원 등을 위한 근거 규정 마련 예상

□ 국토부 지원의 타당성

- 수소도시는 국토부가 세계 최초로 시도하고 있는 수소경제 선도전략 모델로 주거·교통 모델에 특화 요소를 추가하여 도시 내 에너지 변환을 선도하는 사업
- 수소도시에 경제적이고 안정적인 수소공급, 주민수용성 제고와 중·장기 수소도시 전환 인프라 구축의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소배관 공급생태계 육성 필요
- 국토부가 세계 최초로 시도중인 수소도시 모델의 3기 신도시 적용을 통한 성공적인 개발을 위해서는 핵심부품 국산화 및 개발된 기술의 실증으로 국제경쟁력 확보 필요

3. 사업개요 및 범위

- (목적) 대용량 수소 이송을 위한 수소관 국산화 및 수소관망 건설·운영기술 개발과 도시 내 실증을 통한 안전성, 사용 적합성, 수용성 확보

- (민간/전문가) 다양한 수소이송 기술 확보로 기업성장·고용창출 기반마련
- (정부/지자체) 수소경제·탄소중립 등 정책목표 달성을 위한 핵심기술 확보
- (국민) 도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 통한 구매비용 절감
- (추진 필요성) 수소도시 등 수소의 수요 증가에 따라 수소관망 등 다양한 공급기술 확보를 위한 핵심기술 개발 및 실증 필요
 - * 활용중인 튜브트레이러 등의 경우 지역편중, 생산량 변동에 따른 수급변동, 운송비용 이슈발생
 - * 일 소비량 12톤 이상인 경우 수소배관망 이송방안이 타 수단 대비 가격 경쟁력 높음

☞ 수소의 수요-공급 증가 등에 따른 대용량 수소의 경제적 이송을 위한 인프라 구축 기술 개발 필요

- (목표) 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위한 고강도·내수소취성의 수소관망 구축·운영기술 개발
 - * ① (대용량 수소이송) 소구경(6인치)→대구경(20인치), 저압(20bar)→고압(100bar) 환경 시험검증/사용(운영)압력 80bar / ② (사용적합성) 내구수명 30년 이상 / ③ (시공관리) 자동화율 70% 이상 등
- (연구내용) 수소도시 적용을 위한 고기능·대구경 수소관 국산화, 수소관망 설계·시공·운영기술 개발 및 실증 (도시 내 5km 이상)

<주요 기술개발 추진 내용>

- ① (수소관 국산화) 대구경·내수소취성 수소관 및 구조성능(변형·파괴·피로 등) 평가기술 개발 등
- ② (수소관망 설계) 대용량 수소관망 설계 및 신뢰성·가용도 최적화 기술개발 등
- ③ (수소관망 시공·운영) 수소관망 자동화 시공 기반 테스트베드 구축 및 사용적합성 평가, 지능형 유지보수·성능관리 플랫폼 기술개발 등
- ④ (안전성 강화) 저·고압가스 환경 특성 평가기술(수소관망 건전성, 용접부 등) 및 누출, 폭발, 화재 위험성 및 유동(유속, 온도 변화) 안전성 평가기술 개발 등

□ (연구기간 / 연구비) `23.4 ~ `27.12 / 28,000백만 원

4. 비전 및 목표

- (비전) 수소 배관망 구축기술 실증개발을 통해 친환경 수소도시 활성화, 도시 국토 저탄소화 실현
 - 수소도시에 적용 가능한 수소관망 설비 및 이의 설계 시공 운영기술 실증 개발
- (사업목표) 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위한 고강도·내수소취성의 수소관망 구축·운영기술 개발

- (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발
- (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발
- (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

비전	수소 배관망 구축기술 실증개발을 통해 친환경 수소도시 활성화, 도시·국토 저탄소화 실현 -수소도시에 적용 가능한 수소관망 설비 및 이의 설계·시공·운영기술 실증 개발-		
사업목표	수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위한 고강도 내수취성의 수소관망 구축 운영 기술 개발		
성과목표	① 수소도시용 수소관망 설계 시공 기술 개발 상세설계 자동화(70%) 설계영역 시뮬레이션(70%) 대상 관로 직경(8, 20인치) 등	② 수소시설 및 배관망 안전성 국내기준, 평가 기술 확보 사용압력(80기압급) 수소시설 및 수소배관 수소취성 및 대체시험 DB 구축(국내사용재료) 가압 반복횟수(12,000회) 등	③ 수소도시 수소관망 수용성 향상 실증 기술 확보 수소 시범도시 내 실증(5km, 8인치) 지중 수소배관(감시구간 300m, 정밀도 99%) 국가건설기준 마련 등

3대 중점 8대 세부과제

중점분야 및 세부과제	중점 1 도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발 • (1-1) 수소관망 열/수력 설계 기술 • (1-2) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술 • (1-3) 수소관로 효율적 비개착 시공/보수 기술	중점 2 도시 내 수소활용을 위한 안전 관리 기술 개발 • (2-1) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술 • (2-2) 지상 및 지하 관망 시공조건 하 관망 및 압력별 안전성 검증 기술	중점 3 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영기술 개발 • (3-1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술 • (3-2) 수소관 현장 적용성 평가 기술 • (3-3) 수소관망 이상상태 진단 및 유지 관리 기술
예상 결과물	수소관망 디지털 설계 플랫폼 및 데이터 관리 기술 수소관망 선형 최적화 기술 수소관망 정밀시공 및 장비 조합 운영 기술 수소관망 정밀 lowering 기술 등	수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 지상/지하 매설설치 수소관 안전성 검증 기술 등	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술 수소도시 수소관망 건설기술 실현장 수소관/정압기 등 수소관망 성능평가 기술 수소관 시제품 생산품질 및 정압기 국산화 기술 등
사업기간	 2023-2026년(총 4년)		
사업예산	 국고 280억 원(총 사업비 미정)		

<본 기획과제 비전 및 사업내용>

5. 중점분야별 핵심기술 개발내용

□ 과제구성도

중점분야	핵심과제	구성과제
1. 도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발	1-1. 수소관망 설계 시뮬레이터 기술	1-1-1. 수소관망 열·수력 설계 기술
		1-1-2. 수소관망 선형 최적화 기술
		1-1-3. 지능형 수소관망 건전성 평가기술
	1-2. 수소관망 정밀시공 품질검사 기술	1-2-1. 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
		1-2-2. 수소관망 정밀 lowering 기술
		1-2-3. 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술
	1-3. 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	1-3-1. 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술
		1-3-2. 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술
2. 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	2-1. 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	2-1-1. 수소관망의 수소취성 및 한계수명 예측 기술
		2-1-2. 수소관망의 수소취성 대체시험·평가 기술
	2-2. 지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술	2-2-1. 지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술
		2-2-2. 수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술
3. 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	3-1. 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술	3-1-1. 수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술
		3-1-2. 수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)
		3-1-3. 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술
	3-2. 수소관 현장 적용성 평가 기술	3-2-1. 실현장 수소관 성능평가 기술
		3-2-2. 수소관 시제품 생산공정 기술
		3-2-3. 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술
	3-3. 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	3-3-1. D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술
		3-3-2. D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술

□ (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발

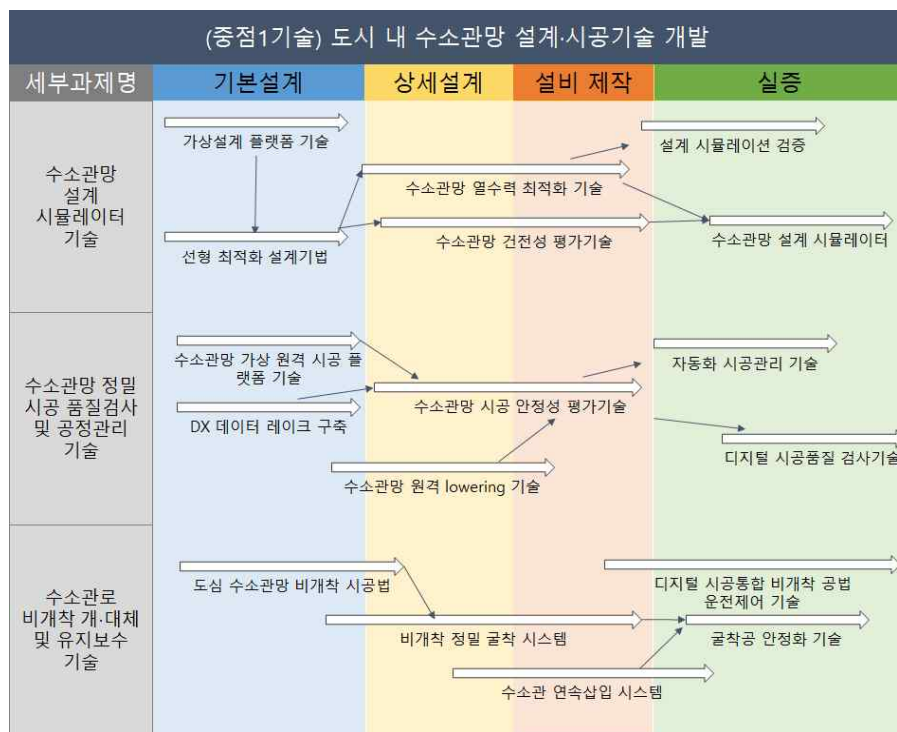
○ (정의) 수소도시 내 수소공급용 중·대구경 수소관망의 입지·경로 및 열수력·공급효율 최적화, 관망 건전성 설계(신뢰성·내구수명·복구력), 관망 시공성 및 장기 안정성(품질) 확보기술

○ (기술현안) 수소도시 등 수요처와 생산지 연결특성을 고려한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보, 수소도시에 경제성과 수용성이 높은 수소관망 설계·시공 기술 개발이 필요

○ 중점 및 단계별 목표

<중점분야 1 중점 및 단계별 목표>

성능지표	해외 기술수준	개발 목표 스펙
데이터 관리 수준	BIM LOD 7	BIM LOD 6
설계 자동화 정도	상세설계 70% 이상	상세설계 70%
시물레이션 역량	설계영역 80%	설계영역 70%
디지털 시공 및 품질검사 시스템	80% 수준 자동화	70% 자동화
DX 기술기반 스마트 품질/공정 검사 기술	현재 실무 적용 수준	시범적 연구개발 수행 수준
수소관망 및 부대설비 설계 가용도	97% 이상	97% 이상
수소관망 및 부대설비 설계수명	30년 이상	30년 이상
수소관 직경(용량별)	8, 20인치 등	8, 20인치



※ : 기본설계 → : 상세설계 → : 설비제작 → : 현지실증

<중점분야1 연차별 주요기술 로드맵>

□ (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발

○ (정의) 수소시설 및 배관망의 압력, 온도, 결함, 설치위치 등의 다양한 원인으로 발생할 수 있는 수소 취성 발생에 따른 가스 누출, 폭발 등의 사고 예방을 위한 성능평가, 수명예측

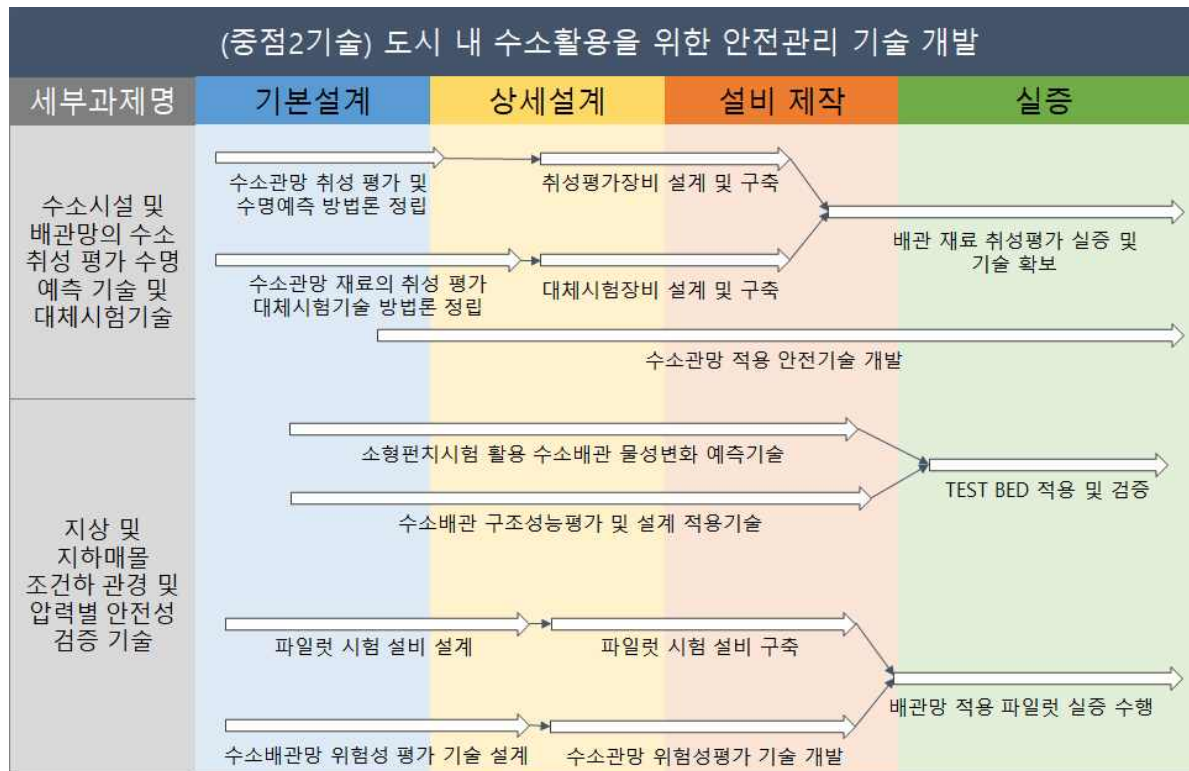
및 안전성을 검증하는 기술

○ (기술현안) 수소시설 및 배관망의 안전성 평가 국내 기준 및 평가 설비 미비에 따른 기술 확보 필요

○ 중점 및 단계별 목표

<중점분야 2 중점 및 단계별 목표>

성능지표		해외 기술수준	개발 목표 스펙
압력	시험검증	100기압급	100기압급
	사용(운영)	80기압급	80기압급
수소시설 및 수소배관 수소취성 DB구축		API 5L 강종 취성평가	API 5L 강종 등 국내 사용 재료
수소시설 및 수소배관 수소취성 대체시험 DB구축		-	API 5L 강종 등 국내 사용 재료
가압반복횟수		-	12,000회 이상



※ ■ : 기본설계 → ■ : 상세설계 → ■ : 설비제작 → ■ : 현지실증

<중점분야 2 연차별 주요기술 로드맵>

□ (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

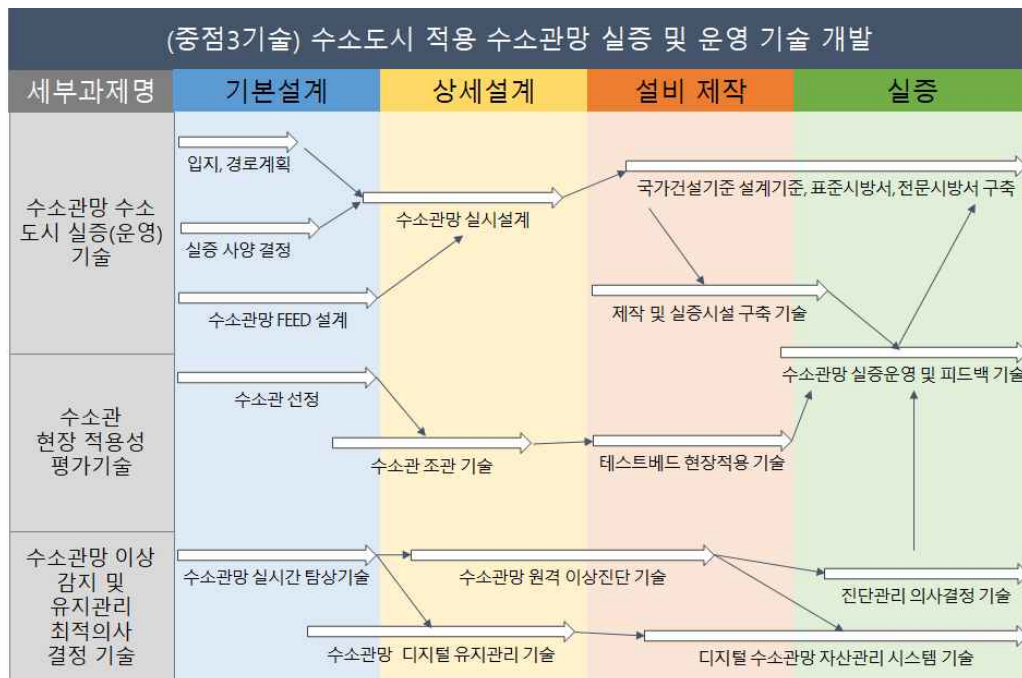
○ (정의) 수소도시에서 수소관망의 수용성(기술·사회) 향상을 위한 실규모 현장을 대상으로 입지·경로, 기본·실시설계, 시공(용접·매설), 운용시험, 진단·관리 시스템 등 실증기술

- (기술현안) 국내 수소관은 산업단지에 주로 적용(고압가스안전관리법)하고 있으나 수소 시범도시 내 저압 수소관 계획 중으로 별도 지침, 매뉴얼, 건설기준 등 미비

- 중점 및 단계별 목표

<중점분야 3 중점 및 단계별 목표>

성능지표	해외 기술수준	개발 목표 스펙
테스트베드 실증시스템	-	수소시범도시 내 구간 5 km, 8인치
수소배관의 실수율 향상 위한 조관물성 예측 정밀도	-	항복강도 오차 5% 이하
수소취화 파괴인성(KIH) 평가/예측 소요시간	42일 (ASME B31.12)	7일 (SPT+FEM)
지중 수소배관 변형 진단	레이저광채분사 영상해석을 통한 관내부변형률 계산기법	감시구간 300m, 진단정밀도 95%
지중 수소배관 누출 진단	감시구간 100m, 진단정밀도 90~97%	감시구간 300m, 진단정밀도 99%
지중 수소배관 피로 진단	차량 구조물에 대한 피로수명 예측에서 예측 정확도 95.18% 달성	감시구간 1km, 피로수명예측 90%
국가건설기준	-	건설기준 코드체계 신설, 수소시범도시 내 수소관망 운용 및 관리지침, 매뉴얼



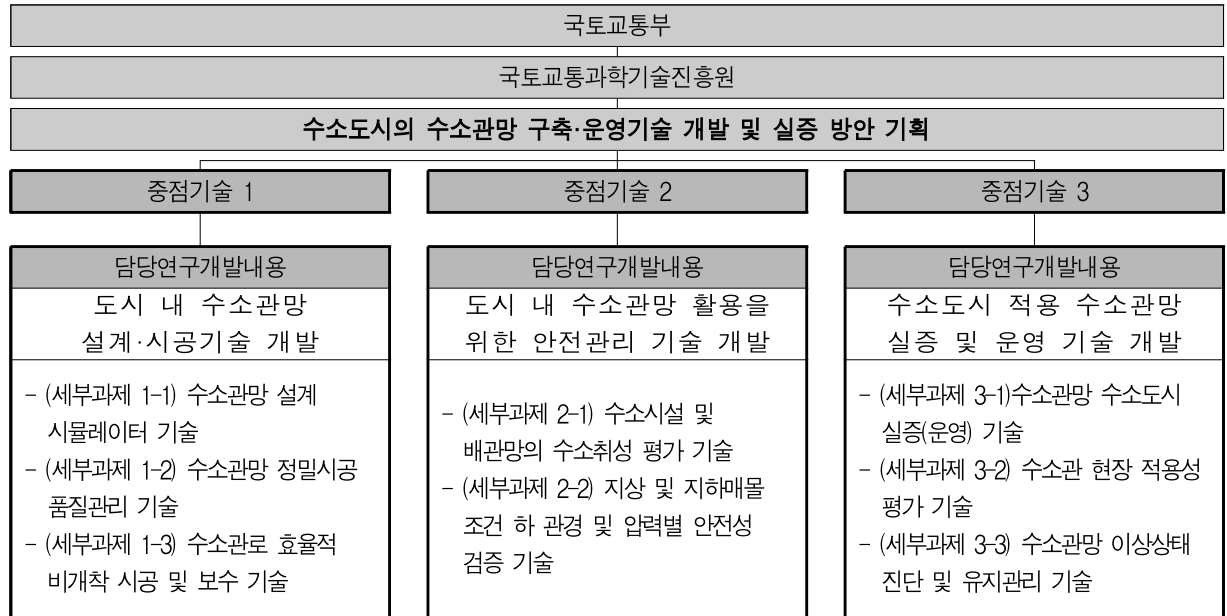
※ 기본설계 → 상세설계 → 설비제작 → 현지실증

<중점분야 3 연차별 주요기술 로드맵>

6. 사업 추진체계 및 전략

□ 사업추진체계

○ 3개의 중점기술 개발을 위해 산·학·연 협동연구체계로 사업추진



<주체별 역할 및 기능>

주체	역할 및 기능
주관부처 (국토교통부)	- 사업총괄 부처(최상위 의사결정기관) - 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 - 사업 시행계획 수립 - 사업 투자우선순위 결정 등
전문기관 (국토교통과학기술진흥원)	- 연구단 기획·평가·운영위원회 구성·운영 - 연구단 진도 및 실적 점검 - 연구단 및 중점, 세부과제 선정·단계·최종평가 - 사업진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행 - 각 기술 분야 산학연 전문가들로 구성된 평가위원회를 이용하여 관계법령에 따라 선정평가, 연차 단계평가, 최종평가 등을 시행(연차평가, 현장실태 점검, 중간실적 및 계획 평가, 최종성과 평가) - 기술 확산 및 정책 활용성 검토 등
산학연 협동연구체계	- 주관기관 - 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 - 세부과제 진도관리·자체평가·참여기관 간 역할배분 등 - 상세설계, 제작 및 성능시험 - 연구성과 관리 및 사업화 지원 - 연구성과 보급·확산 및 홍보 - 대학: 촉매 개발, 데이터 해석, 가스 분석 등 - 출연연: 라이선스 확보, 기본설계, 최적화
연구개발사업 협의체 (사업협력기관)	- 주관기관과 참여기관 간 사업추진 방향과 운영에 대한 실무 협의 - 참여기관 간 과제, 예산 조정 협의 - 후속과제 기획 협의

7. 소요예산 및 기대효과

□ 4년('23~'26년)간 280억원(국고 280.0억원, 민자 93.4억 원), 연평균 373.4억원 규모로 3대

중점분야, 8개 세부과제, 20개 구성기술을 선정

< 중점기술-세부과제별 소요예산(안) >

(단위 : 억 원)

핵심기술명	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		총연구비	
	정부	기업	정부	기업	정부	기업	정부	기업	정부	기업
1. 대용량 수소이송용 수소관망 설계·시공기술 개발	11.96	3.97	27.74	9.27	40.50	13.52	20.80	6.94	101.00	33.70
1-1. 수소관망 설계 시뮬레이터 기술	3.92	1.31	11.09	3.70	16.17	5.40	9.07	3.02	40.25	13.43
1-2. 수소관망 정밀시공 품질검사 기술	5.50	1.84	9.50	3.17	14.50	4.84	8.00	2.67	37.50	12.52
1-3. 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	2.54	0.82	7.15	2.40	9.83	3.28	3.73	1.25	23.25	7.75
2. 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	4.00	1.35	21.50	7.16	9.50	3.17	6.00	2.02	41.00	13.70
2-1. 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	1.50	0.51	10.00	3.33	5.00	1.67	3.00	0.99	19.50	6.50
2-2. 지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술	2.50	0.84	11.50	3.83	4.50	1.50	3.00	1.03	21.50	7.20
3. 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	9.54	3.18	45.26	15.07	6.00	20.01	23.20	7.74	138.00	46.00
3-1. 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술	-	-	27.00	9.00	35.00	11.67	13.00	4.33	75.00	25.00
3-2. 수소관 현장 적용성 평가 기술	3.04	1.02	10.66	3.54	17.40	5.80	5.70	1.90	36.80	12.26
3-3. 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	6.50	2.16	7.60	2.53	7.60	2.54	4.50	1.51	26.20	8.74
계	25.50	8.50	94.50	31.50	110.00	36.70	50.00	16.70	280.00	93.40

※ 기업부담금은 중소기업 기준으로, 실제 협약에 따라 변경될 수 있음

□ 과학기술적 기대효과

○ 도시 내 안전한 수소공급 가능 및 수소도시 기반 기술 마련

○ 배관 성능·평가 기준 및 표준화를 통해 수소배관의 안전성 확보와 실용화 가능

- 안전성 검증기술 개발을 통한 평가 기술 체계 구축 및 글로벌 인증 취득 기대
- 수소도시에 적용이 가능한 수소 배관망 구축 및 운영기술 확보

□ 사회적/환경적 기대효과

- 세계 최고 수준의 친환경 수소경제 시대 조기 실현 기대 및 수소산업 육성의 일부분으로 에너지산업 기반 약화 극복
- 국가차원에서 추진 중인 수소경제 활성화에 따라 증가하는 수소의 운송 범위를 전국적인 범위로 확대 가능
- 안전 확보 및 실증체계 구축을 통해 국민 인식 개선 및 안전한 수소경제 제공
- 친환경산업 육성을 통해 청정국가, 친환경 에너지 국가로서의 이미지 재도약 가능
- 전체적인 수소산업의 안정적인 도입을 통해 국가에서 추진 중인 탄소중립 정책의 CO₂ 저감효과 목표 달성에 기여
- 수소경제의 실현으로 경제적이고 안전한 수소 공급, 주민의 수소 수용성 제고, 관련 인프라 구축 등을 통해 수소 생태계 구축

□ 경제적 기대효과

- 수소산업의 선점을 통해 수소산업 선도 및 급성장하는 수소산업 육성으로 국가경제 성장에 기여
- 신시장 창출, 대규모 고용창출, 고급 전문기술인력에 대한 일자리 창출 효과 기대
- 수소 저장·운송산업의 육성을 통해 관련 산업의 동반성장으로 신성장동력 확보
- 안정적인 수소 공급을 통한 수소 가격 안정화 추구
- 동 사업 기간 동안 생산유발효과 404.0억 원, 부가가치유발효과 114.3억 원의 경제적 파급효과 발생 및 고용유발효과 96명, 취업유발효과 86명 일자리 창출 효과 발생
- 기존 km 당 10.04억 원의 구축비용은 본 기획과제를 통해 km 당 8.03억 원으로 2.01억 원의 절감이 가능하다고 예상되며, 절감 비율을 20.0%으로 기술의 상용화를 통해 최대 58%의 비용절감 효과 기대

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 기획연구의 배경 및 필요성	1
(1) 기획연구의 배경	1
(2) 기획연구의 필요성	3
(3) 미시행시의 문제점	13
나. 기획연구의 내용 및 범위	14
(1) 기획연구의 목표	14
(2) 기획연구의 범위	14
다. 기획연구의 결과	17
라. 기획추진 체계	18
마. 기획추진 경과	22
2. 환경분석 및 시사점 도출	33
가. 메가 트렌드	33
(1) 메가트렌드 분석 과정	33
(2) 메가트렌드 분석 및 최종 메가트렌드 확정	36
나. 국내외 정책 동향	39
(1) 국외 정책 동향	39
(2) 국내 정책 동향	57
다. 국내외 산업·시장 동향	72
(1) 수소산업 개념	72
(2) 국내외 산업·시장 동향	77
(3) 국내외 수소배관망 현황	96
라. 국내외 기술 동향	105
(1) 국외 기술 동향	109

(2) 국내 기술 동향	120
마. 기술수준 및 유사과제 분석	133
(1) 한국과학기술평가원 2020년 기술수준 평가	133
(2) 국토교통과학기술진흥원 2019 국토교통 기술수준분석	136
(3) 유사과제 분석	145
바. 특허 분석	149
(1) 분석 개요	149
(2) 분석 결과	154
사. 국외 수소 파이프라인 구축 사례	240
(1) 유럽	240
(2) 아시아	245
아. 시사점 도출	250
3. 기술개발 내용 도출	257
가. 산업계 의견수렴 및 기술수요조사	257
(1) 수요조사 개요	257
(2) 수요조사 분석 결과	258
나. 우선순위 도출 및 중복성 검증	264
(1) 세부과제 선정을 위한 수요조사	264
(2) 세부과제 및 구성기술 최종선정	270
4. 기술개발 내용	273
가. 비전 및 목표	273
나. 총괄 기술 로드맵	274
다. 중점분야 및 세부과제 내용	275
(1) (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발	275
(2) (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	321
(3) (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	347

5. 실증계획 수립	397
가. 실증계획 개요	397
나. 실증 가능부지	404
다. 실증부지 공모 방안	410
6. 사업 운영 체계 및 관리 방안	415
가. 사업 추진 체계	415
나. 사업성과 관리 방안	417
다. 예산 및 인력 투입 계획	421
7. 타당성 분석 및 기대효과	431
가. 타당성 분석	431
(1) 정책적 타당성	431
(2) 기술적 타당성	449
(3) 경제적 타당성	459
(4) 파급효과	470
나. 기대효과 및 성과 활용방안	477
(1) 기대효과	477
(2) 성과 활용방안	478
 붙임. 참고 문헌	 485

〈 표 목 차 〉

<표 1> 개착식 공법과 비 개착식 공법 비교	12
<표 2> 기술총괄위원 명단	19
<표 3> 분과위원 명단	20
<표 4> 기획추진 경과 및 활동 사진 자료	22
<표 5> 메가트렌드 분석 대상	35
<표 6> 주요 미래트렌드 보고서의 STEEP 분석 종합(안)	36
<표 7> 주요 미래트렌드 보고서의 STEEP 분석 종합(안)	37
<표 8> 수소관망 메가트렌드	38
<표 9> 수소경제 이행을 위한 4단계 국가비전	39
<표 10> EU HyLaw 플랫폼 제공 법·제도 내용	42
<표 11> EU HyLaw 플랫폼 제공 법·제도 내용	43
<표 12> 「EU 수소전략」의 단계별 추진전략	46
<표 13> 독일 BMVI 수소모빌리티 프로젝트 지원 현황	48
<표 14> 일본의 수소사회 실현을 위한 규제완화 전략	51
<표 15> 중국의 수소차 기술개발 계획	52
<표 16> 중국의 수소차 기술개발 계획	52
<표 17> 중국의 수소차 보급계획	53
<표 18> 수소연료공급 보장시스템 구축	54
<표 19> 중국의 수소에너지 및 연료전지산업발전로드맵	55
<표 20> 정부의 수소경제 관련 분야별 세부대책 마련 현황	57
<표 21> 수소 생산·공급 현황 및 추진계획	66
<표 22> '20년 수소충전소 구축 계획(안)	67
<표 23> 에너지 패러다임의 변화	72
<표 24> 수소 저장기술의 분류 및 특징	74
<표 25> 수소 운송방식의 분류 및 특징	74
<표 26> 수소충전소의 종류 및 충전방식	75
<표 27> 수소에너지의 장점	76
<표 28> 심리스 강관 생산량 추이	77
<표 29> 글로벌 파이프라인 시장 규모 및 전망	78
<표 30> 세계 수소산업 분야별 산업 전망	80
<표 31> 국내 수소산업의 경쟁력	84
<표 32> 국내 수소 생산 방식별 단가	86
<표 33> 국내 수소저장·운송 분야 주요 목표	88
<표 34> 국내 수소 충전소 관련 생태계 현황	89
<표 35> 국내 가스이송용 강관 제조사 현황	90
<표 36> 국내 도시가스사 현황	91
<표 37> 수소산업 분야별 산업전망	94
<표 38> 미국에 설치 및 운영 중인 수소배관	96
<표 39> 미국 내 수소배관 구축 및 관리 기업	97
<표 40> 유럽에 설치 및 운영 중인 수소배관	97

<표 41> 유럽 내 수소배관 구축 및 관리 기업	97
<표 42> 유럽 주요국가 수소인프라 개발 내용	99
<표 43> 아시아에 설치 및 운영 중인 수소배관	100
<표 44> 아시아 내 수소배관 구축 및 관리 기업	100
<표 45> 국내 수소배관 구축 현황	102
<표 46> 국내 수소배관 구축 및 운영 기업	102
<표 47> 국내 수소배관 재질 기준	103
<표 48> 국내 수소배관 합금조성	103
<표 49> 수소배관 재료 기계적 특성	104
<표 50> 국내 수소배관 재질 기준	104
<표 51> 국내 가스 이송용 간관 소재의 재질 특성	106
<표 52> HMSA 수소 관련 연구 목록	109
<표 53> 유럽의 배관망이용 주택 및 산업용 수소혼입 실증연구 추진 현황	110
<표 54> 수소취성 평가 관련 국제 표준 현황	111
<표 55> 실험 조건	112
<표 56> 각 분야 세계 최고 기술 국가 및 기업	119
<표 57> 수소취성 안전성 평가방법 다양화를 위한 대체시험방안 국제기준 목록	122
<표 58> 배관 매설 기준	123
<표 59> 배관 용접 방식별 기준	123
<표 60> 개착식과 비개착식 관매설 공법	124
<표 61> 관 추진공법별 진행 방식 및 추진공법 비교	125
<표 62> 수평지향성 압입공법(HDD) 해외시공사례	127
<표 63> 국내외 배관 용접 및 연결 기술 비교	130
<표 64> 수소 기술 기술수준 및 기술격차	133
<표 65> 국내 정책 우선순위	133
<표 66> 논문 등재 건수 TOP 기관	134
<표 67> 특허 출원 건수 TOP 기관	134
<표 68> 특허 등록 건수 TOP 기관	135
<표 69> 본 기획과제 관련 분야	136
<표 70> 국내 수소배관 관련 과제수 및 연구비	145
<표 71> 국내 수소배관 관련 과제 정보	145
<표 72> NTIS 수소 배관 관련 과제 검색 결과	145
<표 73> 특허 분석 분야별 기술분류	149
<표 74> 검색 DB 및 검색범위	150
<표 75> 특허 분석 기술분류별 검색식	150
<표 76> 소재 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	159
<표 77> 소재 분야 금속소재 기술 내외국인 분석	164
<표 78> 소재 분야 금속소재 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	165
<표 79> 소재 분야 비금속소재 기술 내외국인 분석	169
<표 80> 소재 분야 비금속소재 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	170
<표 81> 소재 분야 소재평가 기술 내외국인 분석	174
<표 82> 소재 분야 소재평가 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	175

<표 83> 조관 전체 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	181
<표 84> 조관 분야 성형 기술 내외국인 분석	185
<표 85> 조관 분야 성형 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	186
<표 86> 조관 분야 용접 기술 내외국인 분석	190
<표 87> 조관 분야 용접 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	191
<표 88> 조관 분야 성능평가 기술 내외국인 분석	196
<표 89> 성능평가 분야 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	197
<표 90> 건설 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	202
<표 91> 건설 분야 설계 기술 내외국인 분석	207
<표 92> 건설 분야 설계 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	208
<표 93> 건설 분야 시공 기술 내외국인 분석	212
<표 94> 건설 분야 시공 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	213
<표 95> 운영·관리 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	218
<표 96> 운영·관리 분야 운영 기술 내외국인 분석	223
<표 97> 운영·관리 분야 운영 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	224
<표 98> 운영·관리 분야 유지관리 기술 내외국인 분석	228
<표 99> 운영·관리 분야 유지관리 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	229
<표 100> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 내외국인 분석	233
<표 101> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	234
<표 102> 운영·관리 분야 표준화 기술 내외국인 분석	238
<표 103> 운영·관리 분야 표준화 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준	239
<표 104> 기술수요조사 도출 기술	258
<표 105> 조관 기술 개발 분야 도출 기술	259
<표 106> 기술 개발 분야 도출 기술	260
<표 107> 운영관리 기술 개발 분야	261
<표 108> 중복성 검토 및 과제의 범위를 고려해 제외된 기술	263
<표 109> 후보기술 선정을 위한 평가항목·지표·기준 및 가중치 도출 결과	264
<표 110> AHP 적용 도출과제 우선순위(전체)	264
<표 111> AHP 적용 도출과제 우선순위(조관 기술 개발 분야)	267
<표 112> AHP 적용 도출과제 우선순위(건설 기술 개발 분야)	267
<표 113> AHP 적용 도출과제 우선순위(운영관리 기술 개발 분야)	268
<표 114> 중점분야별 세부기술-구성과제	270
<표 115> 중점분야 1의 개요	277
<표 116> 중점분야1의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색	285
<표 117> 중점분야 1의 기술개발 전후 변화	286
<표 118> 중점분야 1의 단계별 목표	287
<표 119> 중점분야 1 세부과제 구성	287
<표 120> 중점분야 1 주요용어 설명	291
<표 121> 세부과제 1-1 연구의 소요예산	298
<표 122> 수소관망 열·수력 설계 기술 추진계획	299
<표 123> 수소관망 선형 최적화 기술 추진계획	299
<표 124> 지능형 수소관망 건전성 평가기술 추진계획	299

<표 125> 세부과제 1-2의 전후방 기술과 연계 활용방안	306
<표 126> 세부과제 1-2의 한계점 및 기술개발전략	307
<표 127> 세부과제 1-2의 확보전략	307
<표 128> 세부과제 1-2 연구의 소요예산	308
<표 129> 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술 추진계획	309
<표 130> 수소관망 정밀 lowering 기술 추진계획	309
<표 131> 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술 추진계획	310
<표 132> 세부과제 1-3의 전후방 기술과 연계 활용방안	316
<표 133> 세부과제 1-3의 한계점 및 기술개발전략	317
<표 134> 세부과제 1-3의 확보전략	317
<표 135> 세부과제 1-3 연구의 소요예산	318
<표 136> 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술 추진계획	319
<표 137> 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술 추진계획	319
<표 138> 중점분야 2의 개요	322
<표 139> 중점분야 2의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색	325
<표 140> 중점분야 2의 기술개발 전후 변화	326
<표 141> 중점분야 2의 단계별 목표	326
<표 142> 중점분야 2 세부과제 구성	327
<표 143> 중점분야 2 주요용어 설명	328
<표 144> 수소 생산지역 구축계획	332
<표 145> 세부과제 2-1의 한계점 및 기술 개발전략	335
<표 146> 세부과제 2-1 연구의 소요예산	336
<표 147> 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술 추진계획	337
<표 148> 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 추진계획	337
<표 149> 수소 생산지역 구축계획	340
<표 150> 세부과제 2-2의 한계점 및 기술 개발전략	343
<표 151> 세부과제 2-2 연구의 소요예산	344
<표 152> 지상 및 지하매설 설치 배관 안전성 검증 기술 추진계획	345
<표 153> 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발 추진계획	345
<표 154> 중점분야 3의 개요	348
<표 155> 중점분야 3의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색	352
<표 156> 중점분야 3의 기술개발 전후 변화	354
<표 157> 중점분야 3의 단계별 목표	354
<표 158> 중점분야 3 세부과제 구성	356
<표 159> 중점분야 3 주요용어 설명	358
<표 160> 세부과제 3-1의 유사기술 분석	363
<표 161> 세부과제 3-1의 한계점 및 기술 개발전략	364
<표 162> 세부과제 3-1 연구의 소요예산	365
<표 163> 수소관망 테스트베드 실증 및 운영기술 추진계획	366
<표 164> 수소도시 수소관망 건설기술(기준, 지침 등) 추진계획	366
<표 165> 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술 추진계획	366
<표 166> 세부과제 3-2 중복성/연계성 검토	375

<표 167> 세부과제 3-2의 한계점 및 기술개발전략	377
<표 168> 세부과제 3-2의 확보전략	377
<표 169> 세부과제 3-2 연구의 소요예산	378
<표 170> 실현장 수소관 성능평가 기술 추진계획	379
<표 171> 수소관 시제품 생산공정 기술 추진계획	379
<표 172> 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술 추진계획	379
<표 173> 세부과제 3-3의 목표 설정 근거	387
<표 174> 세부과제 3-3의 유사기술 분석	388
<표 175> 세부과제 3-2의 전후방 기술과 연계 활용방안	389
<표 176> 세부과제 3-3의 한계점 및 기술개발전략	390
<표 177> 세부과제 3-3의 확보전략	391
<표 178> 세부과제 3-3 연구의 소요예산	392
<표 179> D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술 추진계획	393
<표 180> D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술 추진계획	393
<표 181> 지자체 제안 수소 시범도시 모델	399
<표 182> 화성시 수소도시 모델	402
<표 183> 화성시 수소도시 운영방안	403
<표 184> 평택·당진·화성시의 생산·소비시설 및 수소배관망 구축 계획	405
<표 185> 수소배관망 성능평가·지표(안)	409
<표 186> 수소 시범도시 전주기 건설운영 체계 보완 내용	410
<표 187> 공모 신청 유의사항	412
<표 188> 서면·발표 평가기준표	412
<표 189> 안전관리검토표 체크리스트	413
<표 190> 최종항목 평가	419
<표 191> 기술료 징수 방식	421
<표 192> 전체 소요예산 산정	422
<표 193> 중점분야 1 소요예산 산정	423
<표 194> 중점분야 2 소요예산 산정	424
<표 195> 중점분야 3 소요예산 산정	425
<표 196> 전체 인력투입 계획	426
<표 197> 중점분야 1 인력투입 계획	427
<표 198> 중점분야 2 인력투입 계획	427
<표 199> 중점분야 3 인력투입 계획	428
<표 200> 3기 신도시 현황	446
<표 201> 수소배관 건설 계획	447
<표 202> 단계별 수소 배관망 구축 로드맵	448
<표 203> 기획위원회 구성	450
<표 204> 분석을 통한 중점분야도출	454
<표 205> 수소경제 이행을 위한 4단계 국가비전	458
<표 206> 국내 수소배관 시장 규모 전망치	465
<표 207> 부가가치율	466
<표 208> 사업기여율	466

<표 209> 편익산정 기준 및 지표	467
<표 210> 연도별 비용 편익 분석	468
<표 211> 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 국내 수소배관 시장 규모 전망치	469
<표 212> 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 연도별 비용 편익 분석	470
<표 213> 세부내역 절감비용 및 절감율	472
<표 214> 수소관망 관련 상품분류 코드	475
<표 215> 수소관망 관련 분석지표(2019년 기준 투입산출표 및 고용표)	476
<표 216> 본 기획과제 경제적 파급효과	477
<표 217> 예상매출액 추정	479
<표 218> 국내 가스이송용 조관 제조업체 현황	480
<표 219> 국내 배관설비 제조업체 현황	481
<표 220> 국내 배관 시공업체 현황	481
<표 221> 국내 도시가스사 현황	481
<표 222> 중점분야별 핵심 성과물	484

〈 그림 목 차 〉

<그림 1> 수소경제 활성화 로드맵의 수소공급 확대로드맵(요약)	1
<그림 2> 제1차 수소경제 이행 기본계획 주요 계획	8
<그림 3> 유럽 수소관망 구축 계획	9
<그림 4> 수소 운송방법에 따른 경제성 비교	10
<그림 5> 운송거리 및 방식에 따른 탄소배출량	10
<그림 6> 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획연구 추진 범위	16
<그림 7> 기획추진 구성도	19
<그림 8> 메가트렌드, 미래전망 자료별 분석의 구조	34
<그림 9> 국가 수소에너지 로드맵	40
<그림 10> H2USA 참여기관	41
<그림 11> 캘리포니아 수소차, 충전소 보급계획	42
<그림 12> FCH의 최종 목표	45
<그림 13> 「수소기본전략」의 수소사회 실현을 위한 단계별 로드맵	50
<그림 14> 「에너지 절약 및 신에너지차 기술 로드맵 2.0버전」 연구 분야	54
<그림 15> 「수소경제 활성화 로드맵」의 비전 및 추진목표	59
<그림 16> 「수소경제 활성화 로드맵」의 추진방안	60
<그림 17> 「수소 기술개발 로드맵」의 기술개발 최종목표	63
<그림 18> 「수소경제 표준화 전략 로드맵」의 기대효과	64
<그림 19> 「수소경제 표준화 전략 로드맵」의 목표 및 추진전략	65
<그림 20> 2030, 2040년 수소충전소 배치(안)	67
<그림 21> 「수소 인프라 및 충전소 구축 방안」의 목표 및 추진방향	69
<그림 22> 수소생산기지 구축을 위한 단계별 로드맵	70
<그림 23> 「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안」의 비전 및 목표	71
<그림 24> 수소산업 생태계 개념도	73
<그림 25> 2030년 전세계 수소 수요 예측	79
<그림 26> 세계 수소 생산시장 전망	81
<그림 27> 국내 수소 운송업체의 수소 배관 구축 사례(울산)	83
<그림 28> 국내 수소기업 기술수준	92
<그림 29> 국내 수소산업 투자 현황	93
<그림 30> 지역별 수소기업 현황	94
<그림 31> 미국 수소배관 지역별 분포 및 미국 걸프 연안 수소배관 현황('20년 기준)	96
<그림 32> 유럽 수소 배관 인프라 구축 예정도('30~40년)	98
<그림 33> 중국 천연가스 파이프라인	101
<그림 34> 천연가스와 비교하여 수소 환경에서 배관의 설계수명	105
<그림 35> 수소취성 원인 요소 및 메카니즘	105
<그림 36> 파이프 결함 요소	107
<그림 37> 수소유기 크랙 초음파 탐상 결과	111
<그림 38> 굴착 시공 기술	113
<그림 39> Lowering 자동화 기술	114

<그림 40> 접합 자동화 기술	115
<그림 41> Trimble 社의 굴삭기 버킷 끝단 위치 측정 장치 1	115
<그림 42> Trimble 社의 굴삭기 버킷 끝단 위치 측정 장치 2	116
<그림 43> 인텔리전트 피깅 구성 사례	117
<그림 44> PAC의 휴대용, 거치형 누설 탐지 장치 사례	117
<그림 45> 비파괴 정밀진단 사례	118
<그림 46> MicroCorr 센서 배치 및 측정 장비 사례	119
<그림 47> 울산지역 수소배관 공급압력 및 관경 현황	120
<그림 48> 국제기준 적용 KGS AC111 수소취성 평가 흐름도	121
<그림 49> 도시가스 배관공사 주요 공정 Flow Chart	122
<그림 50> 시공 시뮬레이터 사례	126
<그림 51> 수평지향성 공법 및 모식도	126
<그림 52> 배관자동정렬 및 관자동용접 장치	128
<그림 53> 삼성중공업 배관 TIG 용접 자동화 장비	128
<그림 54> 다관절 로봇용 자동 티그(TIG) 용접로봇(WELBOT)	129
<그림 55> 삼천리 스마트배관망시스템 기본 구성 및 시스템 기본 화면	131
<그림 56> 울산 수소배관 설치작업	131
<그림 57> 통합 관리 체계도	132
<그림 58> 수소 기술의 기술 포트폴리오 분석	135
<그림 59> 국토교통 분야 기술수준 및 기술격차	136
<그림 60> 본 기획과제 관련분야의 기술수준	137
<그림 61> 시설물 분야 최고기술 보유국	137
<그림 62> 시설물-특수구조물 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력	138
<그림 63> 시설물 분야 기술적 중요도, 기술확보 시급성, 사회경제적 파급효과 매트릭스	138
<그림 64> 시설물-특수구조물 분야 기술격차 발생원인	140
<그림 65> 플랜트 분야 최고기술 보유국	140
<그림 66> 자원개발플랜트 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력	141
<그림 67> 신재생에너지플랜트 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력	141
<그림 68> 플랜트 분야 기술적 중요도 매트릭스	142
<그림 69> 플랜트 분야 기술확보 시급성 매트릭스	142
<그림 70> 플랜트 분야 사회경제적 파급효과 매트릭스	143
<그림 71> 플랜트 분야 기술격차 발생원인	144
<그림 72> 소재 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이	154
<그림 73> 소재 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	155
<그림 74> 소재 분야 전체 기술 기술성장 단계	155
<그림 75> 소재 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	156
<그림 76> 소재 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석	157
<그림 77> 소재 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	157
<그림 78> 소재 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율	158
<그림 79> 소재 분야 금속소재 기술 연도별 특허 동향	160
<그림 80> 소재 분야 금속소재 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	160
<그림 81> 소재 분야 금속소재 기술 전체 기술성장 단계	161

<그림 82> 소재 분야 금속소재 기술 주요국 기술성장 단계	162
<그림 83> 소재 분야 금속소재 기술 특허출원인 동향 분석	162
<그림 84> 소재 분야 금속소재 기술 주요국 기술성장 단계	163
<그림 85> 소재 분야 비금속소재 기술 연도별 특허 동향	165
<그림 86> 소재 분야 비금속소재 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	166
<그림 87> 소재 분야 비금속소재 기술 전체 기술성장 단계	166
<그림 88> 소재 분야 비금속소재 기술 주요국 기술성장 단계	167
<그림 89> 소재 분야 비금속소재 기술 특허출원인 동향 분석	168
<그림 90> 소재 분야 비금속소재 기술 주요국 기술성장 단계	168
<그림 91> 소재 분야 소재평가 기술 연도별 특허 동향	170
<그림 92> 소재 분야 소재평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	171
<그림 93> 소재 분야 소재평가 기술 전체 기술성장 단계	172
<그림 94> 소재 분야 소재평가 기술 주요국 기술성장 단계	172
<그림 95> 소재 분야 소재평가 기술 특허출원인 동향 분석	173
<그림 96> 소재 분야 소재평가 기술 주요국 기술성장 단계	174
<그림 97> 조관 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이	176
<그림 98> 조관 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	177
<그림 99> 조관 분야 전체 기술 기술성장 단계	177
<그림 100> 조관 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	178
<그림 101> 조관 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석	179
<그림 102> 조관 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	179
<그림 103> 조관 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율	180
<그림 104> 조관 분야 성형 기술 연도별 특허 동향	181
<그림 105> 조관 분야 성형 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	182
<그림 106> 조관 분야 성형 기술 전체 기술성장 단계	183
<그림 107> 조관 분야 성형 기술 주요국 기술성장 단계	183
<그림 108> 성형기술 분야 특허출원인 동향 분석	184
<그림 109> 조관 분야 성형 기술 주요국 기술성장 단계	185
<그림 110> 조관 분야 용접 기술 연도별 특허 동향	187
<그림 111> 조관 분야 용접 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	187
<그림 112> 조관 분야 용접 기술 전체 기술성장 단계	188
<그림 113> 조관 분야 용접 기술 주요국 기술성장 단계	189
<그림 114> 조관 분야 용접 기술 특허출원인 동향 분석	189
<그림 115> 조관 분야 용접 기술 주요국 기술성장 단계	190
<그림 116> 조관 분야 성능평가 기술 연도별 특허건수 추이	192
<그림 117> 조관 분야 성능평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	193
<그림 118> 조관 분야 성능평가 기술 전체 기술성장 단계	193
<그림 119> 조관 분야 성능평가 기술 주요국 기술성장 단계	194
<그림 120> 조관 분야 성능평가 기술 특허출원인 동향 분석	195
<그림 121> 조관 분야 성능평가 기술 주요국 기술성장 단계	195
<그림 122> 건설 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이	197
<그림 123> 건설 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	198

<그림 124> 건설 분야 전체 기술 기술성장 단계	199
<그림 125> 건설 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	199
<그림 126> 건설 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석	200
<그림 127> 건설 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	201
<그림 128> 건설 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율	201
<그림 129> 건설 분야 설계 기술 연도별 특허 동향	203
<그림 130> 건설 분야 설계 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	204
<그림 131> 건설 분야 설계 기술 전체 기술성장 단계	204
<그림 132> 건설 분야 설계 기술 주요국 기술성장 단계	205
<그림 133> 건설 분야 설계 기술 특허출원인 동향 분석	206
<그림 134> 건설 분야 설계 기술 주요국 기술성장 단계	206
<그림 135> 건설 분야 시공 기술 연도별 특허 동향	208
<그림 136> 건설 분야 시공 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	209
<그림 137> 건설 분야 시공 기술 전체 기술성장 단계	209
<그림 138> 건설 분야 시공 기술 주요국 기술성장 단계	210
<그림 139> 건설 분야 시공 기술 특허출원인 동향 분석	211
<그림 140> 건설 분야 시공 기술 주요국 기술성장 단계	211
<그림 141> 운영·관리 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이	213
<그림 142> 운영·관리 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	214
<그림 143> 운영·관리 분야 전체 기술 기술성장 단계	215
<그림 144> 운영·관리 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	215
<그림 145> 운영·관리 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석	216
<그림 146> 운영·관리 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계	217
<그림 147> 운영·관리 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율	217
<그림 148> 운영·관리 분야 운영 기술 연도별 특허 동향	219
<그림 149> 운영·관리 분야 운영 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	219
<그림 150> 운영·관리 분야 운영 기술 전체 기술성장 단계	220
<그림 151> 운영·관리 분야 운영 기술 주요국 기술성장 단계	221
<그림 152> 운영·관리 분야 운영 기술 특허출원인 동향 분석	222
<그림 153> 운영·관리 분야 운영 기술 주요국 기술성장 단계	222
<그림 154> 운영·관리 분야 유지관리 기술 연도별 특허 동향	224
<그림 155> 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	225
<그림 156> 운영·관리 분야 유지관리 기술 전체 기술성장 단계	226
<그림 157> 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요국 기술성장 단계	226
<그림 158> 운영·관리 분야 유지관리 기술 특허출원인 동향 분석	227
<그림 159> 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요국 기술성장 단계	227
<그림 160> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 연도별 특허 동향	229
<그림 161> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	230
<그림 162> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 전체 기술성장 단계	231
<그림 163> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요국 기술성장 단계	231
<그림 164> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 특허출원인 동향 분석	232
<그림 165> 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요국 기술성장 단계	232

<그림 166> 운영·관리 분야 표준화 기술 연도별 특허 동향	235
<그림 167> 운영·관리 분야 표준화 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향	235
<그림 168> 운영·관리 분야 표준화 기술 전체 기술성장 단계	236
<그림 169> 운영·관리 분야 표준화 기술 주요국 기술성장 단계	236
<그림 170> 운영·관리 분야 표준화 기술 특허출원인 동향 분석	237
<그림 171> 운영·관리 분야 표준화 기술 주요국 기술성장 단계	238
<그림 172> 가스운송 시스템 및 향후 계획	240
<그림 173> 100% 수소공급 실증 사이트 전경	241
<그림 174> 그린 수소 생산 및 운송	242
<그림 175> 단계별 오크니 발전 계획	243
<그림 176> Hydrogen pilot project	243
<그림 177> 덴마크 롤란드섬 위치 및 수소도시 구상안	244
<그림 178> 기타큐슈 수소타운 구성도	245
<그림 179> 수소사회 조성사업에 포함된 기타큐슈 그린수소 사업	246
<그림 180> 호주-일본 수소에너지 공급망 시범사업 개략도	247
<그림 181> HARUMI FLAG 수소관망 모식도	247
<그림 182> 수소 에너지 활용처	248
<그림 183> 야마나시 연료전지 밸리 조감도	249
<그림 184> FH2R 수소 공급 개념도	249
<그림 185> 본 기획과제 비전 및 사업내용	273
<그림 186> 총괄 기술 로드맵	274
<그림 187> 건설산업 BIM 기본지침 주요 내용 및 위계	279
<그림 188> BIM 기반의 전주기 관리 가능 분야(예시)	280
<그림 189> 3D 가상현실 촬영 로봇을 이용한 3차원 가상공간	283
<그림 190> 중점분야 1 세부과제 간 연계 개념	290
<그림 191> 세부과제 1-1 연구의 기술개발 로드맵	298
<그림 192> 세부과제 1-2 연구의 기술개발 로드맵	308
<그림 193> 세부과제 1-3 연구의 기술개발 로드맵	318
<그림 194> 수소취성평가 장비 구조 및 대체시험방법의 디스크파열시험 장비	321
<그림 195> 영국 리즈시티 PE재질 수소배관 파일럿 테스트 모습	322
<그림 196> 세부과제 2-1 연구의 기술개발 로드맵	336
<그림 197> 수소도시 배관 및 설비 실증을 위한 파일럿 장치 예시	339
<그림 198> 영국의 H21 Leeds City Gate Project 계통도	342
<그림 199> 세부과제 2-2 연구의 기술개발 로드맵	344
<그림 200> 조관 및 성능평가 절차 개요도	347
<그림 201> 국내 대표적 NIMBY 현상 발생 사례	363
<그림 202> 세부과제 3-1 연구의 기술개발 로드맵	365
<그림 203> 소형 펀치 시험을 이용한 수소취화상수 (CH) 결정 및 파괴 인성 예측	373
<그림 204> 유한요소 손상해석을 이용한 연성-취성 파손모델링과 배관 균열 진전 예측	373
<그림 205> 비파괴 기술을 활용한 수소배관 미세구조 변화 및 상태 예측	374
<그림 206> 정압기의 구성도(예시)	374
<그림 207> 수소연료전지용 정압기(좌), 천연가스관망 정압기(우)	374

<그림 208> 세부기술 3-2 연구의 기술개발 로드맵	378
<그림 209> 기술의 범위(수소도시 도심지 내 수소 주 배관망 및 정압기)	383
<그림 210> Pipetel Technologies의 자가추진 배관검사 로봇	384
<그림 211> 세부과제 3-3 연구의 기술개발 로드맵	392
<그림 212> 수소 시범도시 기대효과	398
<그림 213> 수소 시범도시 연계방안	400
<그림 214> 평택시 수소산업 육성방안	400
<그림 215> 평택시 수소 특화단지 구축방안 및 지역연계방안 및 평택항 수소배관 매설 노선도	401
<그림 216> 화성시 수소배관 활용방안 및 수소배관 설치 노선도	402
<그림 217> 당진시 수소시범도시 구축방안	403
<그림 218> 당진시 수소배관 설치 예정지	404
<그림 219> 평택시 탄소중립 수소복합지구 구축 계획	406
<그림 220> 울산광역시 수소시범도시 계획	408
<그림 221> 사업 추진 일정	411
<그림 222> 사업추진 체계도	417
<그림 223> 신기술 도입 및 시장 확산의 3단계 계곡	433
<그림 224> 수소배관 공급 생태계	445
<그림 225> 주요 검토 항목	461
<그림 226> 세부 편익 및 비용 항목	462
<그림 227> 비용편익분석 프로세스	463
<그림 228> 건설공사 시공과 관련한 지하매설물 안전관리 요령	471
<그림 229> 심도별 개착식-비개착식 공사비용	472
<그림 230> km당 항목별 구축 비용 기술 적용 비교	473
<그림 231> 각 단계별 사업 범위	483



제1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발과제의 개요

가. 기획연구의 배경 및 필요성

(1) 기획연구의 배경

- 정부는 ‘40년 수소 수요 526만톤 예정에 따라 수소산업 생태계 경쟁력 강화를 위해 수소 수입 방안을 발표(‘20.7), 이는 대용량 수소 공급계획 마련의 일환
- 526만톤은 ‘22년 대비 11배 증가한 물량으로 이송과 분배용 인프라에 대한 투자 확대 예상

	2018년	2022년	2030년	2040년
공급량 (=수요량)	13만톤/년	47만톤/년	194만톤/년	526만톤/년 이상
공급방식	① 부생수소 (1%) ② 추출수소 (99%)①	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해 ④ 해외생산 ※ ② : 50% (나머지 50%)	① 부생수소 ② 추출수소 ③ 수전해 ④ 해외생산 ※ ② : 30% (나머지 70%)

출처: 수소경제 이행을 위한 과제: 적정 수소생산 포트폴리오 결정, 에너지경제연구원, 2019

〈그림 1〉 수소경제 활성화 로드맵의 수소공급 확대로드맵(요약)

- ‘50년까지 40개소 해외수소 공급망 구축 예정에 따라 지속 가능한 수소 활용을 위해서는 생산방식(부생,추출,신재생,수입)별 중·장기 공급인프라 구축 방안 마련 필요
- 튜브트레일러를 통한 부생수소 운송·충전은 생산 지역 반경 100km 이내 공급은 가능하나 지역편중, 생산량 변동에 따른 수급불안 및 운송비용 문제 상존
 - 석화·정유·제철 업황 및 설비 점검(3년마다 2~3개월)에 따른 생산량 변동 가능성
- 부생수소 거점과 100km 이상 떨어진 전북등의 경우 신재생에너지 활용 공급 인프라 구축이 대안
- 천연가스 개질을 통한 추출수소는 Grey 수소라는 비판(추출 시 CO₂발생)에 따라 징검다리 역할
- 대용량 수요처인 수소도시는 수소생산 방식과 무관하게 주거지역의 수소 공급을 위해서는 저장시설 없이 배관만으로 공급이 가능한 안전한 도시 구축 요구

- 배관을 통한 배관망 구축으로 수소도시에 수소공급을 위해서는 생산지부터 수소 도시까지 배관연결이 필요
- 배관은 위치에 따라 크기, 두께, 내부 압력 등의 스펙차이가 발생하기 때문에 안전관리 문제가 중요하며, 시민들의 불안감을 조성하던 수소저장 탱크를 대신 하여 수소도시 지하 내 배관망 구축을 통한 수소 공급으로 주민 수용성 제고
- 주거지 인근 수소 생산 및 충전소 설치 시 극심한 민원 발생으로 주택 수요 충족을 위해서는 도시가스 배관망과 유사하게 중·저압(2MPa이하) 배관 연결 필요
- 안산시는 생산량 1.5톤/일급 압력 0.7MPa 수소추출기 이용 경기행복주택(232세대)에 공급, 울산시는 0.87톤/일급 부생수소를 울동 공공택지지구(810세대)등에 공급
- 그러나, 국내 수소배관 개발·공급 및 실증 생태계 구축 미비에 따른 원가 경쟁력 하락으로 수소시범도시 배관의 경우 전량 일본 등 국외에서 수입 하여 건설 중
 - * 수소시범도시: 울산 10km(설계 포함 138억), 안산 16.3km(111억), 전주·완주 3.7km(21억), 삼척 1km
- 따라서, 수소도시에 경제적이고 안정적인 수소공급, 주민수용성 제고와 중·장기 수소도시 전환 인프라 구축의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소배관 공급 생태계 육성 필요
- 1기 수소 시범도시에 국외에서 수입된 배관이 전량 투입되고 있는 상황이며, 수소 시범도시 구축계획은 지속해서 국토부에서 추진하고자 하는 중장기 계획
- 배관망 구축 관련 기술의 국산화가 진행되지 않을 경우 향후 구축되는 모든 수소 시범도시에 해외 수입 배관 사용 및 기술 격차 해소가 어려워 기술 종속 우려
- 울산 수소 시범도시의 경우 배관 자재 구매 비용(10.5km)만 9.6억 원이 발생하였으며 향후, 본격적인 수소도시 건설시 수소배관 공급은 국외 기업 독점 우려
- 따라서, 수소도시에 경제적이고 안정적인 수소공급, 주민수용성 제고와 중·장기 수소도시 전환 인프라 구축의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소 배관 공급생태계 육성 필요
- 관련 기술개발이 진행되지 않으면, 기술 격차 해소가 어려워 기술 종속 우려
- 향후, 본격적인 수소도시 건설시 수소배관 공급은 국외 기업 독점 우려

(2) 기획연구의 필요성

(가) 추진 필요성

□ 추진 필요성

- **(탄소중립)** 세계적 지구 온난화의 주범인 온실가스 감축을 위해 CO₂를 배출하지 않는 재생에너지 및 이를 기반으로 하는 수소*의 필요성 증대

* '50년 에너지원의 약 30%의 비중을 차지할 것으로 전망되는 등 탄소중립 실현과 에너지 안보 구현을 위한 핵심기술(10개 국가 필수전략기술)

- CO₂의 지속적인 증가로 기온과 해수면인 지속적으로 높아지고 있으며, 코로나로 인한 대부분의 산업이 일시적인 영업 정지에도 불구하고 전세계 CO₂ 농도는 증가
- CO₂가 포함된 온실가스의 증가는 해수면 상승, 기후변화, 지구온난화, 생태계 파괴 등의 문제들의 원인으로 CO₂ 저감을 위한 탄소중립 정책들이 수립·추진

- **(수소경제 활성화)** 수소를 에너지원으로 사용하고, 국가경제, 사회전반, 국민생활 등에 근본적 변화를 초래하여 친환경 에너지의 원천이 되는 경제 제시

- 탄소배출 저감을 위한 방안으로 수소경제가 대두되고 있으며, 전세계적으로 기존 에너지원을 대체하는 수단으로 수소의 도입을 위한 기반 마련 투자 확대
- 수소는 청정, 다용도 에너지 운반체이면서 에너지 밀도가 높으며, 생산 규모 확장에 필요한 원료 가용성이 뛰어나 다른 에너지원 대비 경쟁력을 확보

- **(수소 시범도시)** 화석연료 중심의 도시 에너지원을 상당부분 수소화하여 주택, 교통 등 전 분야에서 활용하는 종합적 접근 추진 중

- 수소 도시는 도시에서 필요한 에너지를 수소를 활용하여 제공하며 이로 인하여 도시의 주거·교통 등에서 배출되는 CO₂ 저감 효과 기대
- 주민 수용성 확보가 중요한 주거지역 등의 수소공급을 위해서는 별도의 저장 시설이 없도록 수소 전용 배관망 등의 안전한 인프라 구축 필요

* 기술적 제약, 안전성 우려가 있는 상황으로 도시 전반에 적용을 위해 단계적·전략적 접근 필요

- **(기술수요 증대)** 수소 운송방식 효율화를 위해 주요 수요처에 수소배관망을 설치하고 경제성 확보를 위한 고압, 대용량화 등의 기술개발 필요성 증대

☞ 주요 수요처에 파이프라인을 우선 설치하고, 중장기에는 LNG 생산기지, 수소 인수기지 등 대규모 공급과 연계하는 주배관 구축 제시 (수소경제 활성화 로드맵, '19.01)

☞ (전략적 운송 인프라) 수소를 대량으로 운송할 수 있는 중·장거리 수소 배관망 구축 등 운송비용 저감 기술개발(10억/km, 20bar → 4억/km, 100bar) 제시 (수소 기술개발 로드맵, '19.10)

□ 추진근거

○ **(법령)** 국토교통과학기술육성법 제8조(연구개발사업의 추진), 건설기술진흥법 제7조(건설기술 연구·개발사업), 기계설비법 제8조(기계설비산업의 연구·개발 등) 등

○ **(법정계획)** 배관망 관련 설계·시공·운영 관련 R&D 추진 필요성 제시

- 「제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(‘18~‘27)」 ‘고부가가치 건설기술 창출’

* (지하공간) 지하 관망 설계·시공 기술 등 개발 등을 통해 도시공간 효율 증대

- 「제1차 기계설비 발전 기본계획(‘21~‘25)」 ‘연구개발 및 보급 활성화’

* (유지관리) 사용연한 평가 기술, 노후 설비의 교체~리모델링 기술개발 등

- 「제1차 수소경제 이행 기본계획(‘21~‘25)」 ‘빈틈없는 인프라 구축’

* 수소생산지역별 수요 특성에 맞춰 배관망 구축(~‘30) / 수소항만·도시·산단 등 중심으로 거점화(‘25년)

○ **(정부정책)** 수소도시 조성 등에 필요한 국산화 R&D 추진 필요성 제시

- 「수소경제 활성화 로드맵(‘19.01)」 ‘배관 이송 수소도시 실증’ 등 주요과제 제시

- 「신재생에너지 R&D 패키지 투자 모델(‘19.01)」에서 수소분야의 ‘50bar 이상 파이프이송 기체수소 배관망 설계, 제작, 시공 기술’ 추진

* 수소시범도시 실증 및 안전성 확보기술 등 연계·포함

- 「수소 기술개발 로드맵(‘19.10)」에서 기체저장·운송 고도화 기술개발 제시

* 육상 운송비용 저감 기술 개발(대용량 기체 / 대용량 액체 / 수소 배관망)

- 「탄소중립 연구개발 투자전략(‘21.3)」에서 국내 적합한 대용량 수소 이송·저장 기술 개발과 연관기업 투자·실증을 연계한 핵심기술 및 인프라 구축 제시

* (단기) 액체수소 생산 플랜트·저장·이송 → (중장기) 대용량 이송(수소 배관망 기술)

○ **(국토부)** 도시기반의 수소 활용 및 보급 확대를 위한 ‘수소도시·교통 정책’ 수립과 가용성·안정성·수용성 등 확인을 위한 R&D 추진 중

- ☞ 수소버스 및 충전소 보급 확대 추진 방안(‘18.8, 국토부 교통정책조정과)
- ☞ 지역사업과 연계한 수소차 충전소 확충방안 검토(‘18.8, 국토부 도시정책과)
- ☞ 수소 시범도시 추진전략(‘19.10, 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ☞ 수소 인프라 및 충전소 구축방안(‘19.10, 합동부처(국토부 도시정책조정과))
- ☞ 수소도시 추진현황 및 확산전략(안) (‘20.7 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ☞ 수소시범도시 기본계획 및 수소도시법 제정방안 (‘20.10 합동부처(국토부 도시활력지원과))
- ☞ 수소교통 복합기지 구축사업 선정(평택) (‘20.12 국토부 교통정책총괄과) 등

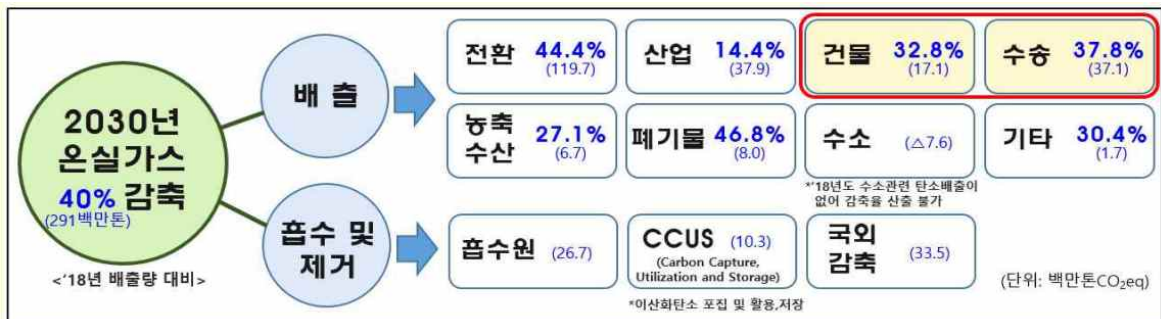
- (2022년 국토교통부 업무계획) 한국판 뉴딜 2.0 안착 및 신산업 육성을 위해 국토교통 2050 탄소중립 전략 추진 (그린뉴딜)

□ 주요 내용

- (목적) ‘완전한 회복과 국가의 미래’를 위한 정책계획 수립
- (정책 목표) ❶경제활력 제고, ❷포용적 민생회복, ❸미래 성장동력 확충, ❹국민 안전 및 삶의 질 제고라는 정책목표를 중점 추진
- (정책 과제) 지역 중심의 경제 활성화 및 교통인프라 확충, 서민 주거 안정 및 코로나 위기분야 지원, 한국판 뉴딜 2.0 안착 및 신산업 육성, 사람 중심의 안전하고 편리한 생활환경 조성

□ 관련 내용

- 한국판 뉴딜 2.0 안착 및 신산업 육성 - 국토교통 2050 탄소중립 전략 추진 그린 뉴딜



☞ 국가 NDC의 본격 이행을 위해 수립('21.12)한 「국토교통 탄소중립 로드맵」에 따라 **국토 공간(도시·건물)**과 **이동(교통체계)의 탄소중립화**

- 이를 위해 ❶탄소중립 교통체계로의 전환, ❷건물의 탄소중립 성능 개선 추진, ❸국토·도시 탄소 중립 기반 구축

- (수소도시) 도시의 주에너지원을 수소로 전환하는 ‘수소시범도시’ (울산, 안산, 전주·완주) 조성 완료('22.12), 성과확산 방안도 수립('22.10)
- (전기·수소차 확대) 내연차 중심에서 전기·수소차 중심 교통체계로 전환을 위해 안전관리 체계 개선안 마련('22.上), 검사·정비 체계 강화*
- (수소차 충전 인프라 확대) 고속도로 휴게소, 터미널 등 교통거점을 중심으로 수소·전기 충전시설을 지속 확충*하고, 도심 내 충전시설 확충을 위한 제도 개선**

* 고속도로 전기충전기: 現 780기 → '22. 1,100기 / 수소충전기 : 現 17기 → '22. 43기

** 공공주택 전기콘센트 설치기준 강화(4%→10%), GB·도시공원 충전소 설치 규제 완화 등

(나) 시급성

□ **(탄소중립 정책 수요 증가)** 파리협정을 시작으로 전세계 국가들은 탄소중립을 위한 정책을 수립·추진하고 있으며, 하나의 방안으로 수소경제 필요성 증대

○ 향후 2050까지 수소 생산, 공급, 저장분야 인프라 구축, 활용 분야 시범사업 등에 있어 대용량화 연구개발-산업/기술 분야에서 획기적인 패러다임 변화 추진

○ 국내의 경우 도심·거점별 수소충전소, 그린수소 생산시스템 등 3대 인프라 완비, 도시내 체계적인 신재생에너지시설 공급을 통해 에너지 자립률을 높이고, 수소 도시 등 생산-공급-사용까지 친환경E 기반도시 확산 계획

□ **(기술경쟁력 확보)** 대량의 수소 공급체계 및 기술적 공급방식 미비* 등 정부 정책의 목표 달성에 우려가 있으므로, 조속한 국산화 기술개발 필요성 증대

* 수소도시 등 대용량 수요에 적합한 대구경 수소관 및 수소관망 건설·운영기술 미 확보

○ 국내의 공급 인프라 기술의 발전주기는 성장기로 국고지원의 적기

○ 선진기술수준 대비 낮은 기술수준으로 개선이 시급하고, 공급인프라 분야에 대한 기술수준 향상을 위하여 투자 1순위로 제시

○ 관련 기술 성숙도는 도입-성장 단계로 분석되며, 기술수준은 선진국 대비 70% 수준으로 다소 기술격차가 존재 (KISTEP 기술수준평가 보고서('20) 등)

□ **(도시기반 안전성 강화)** 대용량 수요처인 수소도시는 주거지역을 포함하고 있어 천연가스과 유사하게 배관망으로 공급되는 안전한 도시 구축 요구

○ 별도의 저장시설 없는 배관망을 선호하나, 도시 적용을 위한 안전기준 부재 및 대규모 건설·운영 실증실적 미비로 민간 주도 활성화에 어려운 상황

- 도시 내 적용 및 실증기반으로 기준을 마련하고, 경제적·안정적인 수소공급과 주민인식 개선을 통한 수용성 제고 필요

○ 수소에 대한 기본적인 주민인식과 간헐적으로 발생하는 수소 관련 사건·사고* 들로 인하여 수소도시 추진을 위해서는 수소 관련 안전기준 마련이 필수적인 상황

* (수소가스 관련 사고발생 추이, 인명·재산피해 또는 화재가 발생한 사건 기준) '17년 3건 → '18년 5건 → '19년 1건 → '20년 2건

☞ 도시 내 안전한 수소공급, 주민수용성 제고와 수소도시 전환 인프라 구축 등의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소배관망 생태계 기반 마련 시급

(다) 국고지원 타당성

- (민간 독자수행 불가) 장기·집중투자가 요구되는 핵심기술 및 대규모 실증* 연구로, 민간기업만의 단기투자는 성과 도출이 어려우며, 독자기술도 역량부족**

* 수소배관망 성능평가 기준 정립, 현장 실증을 통한 안전성·수용성 확보 등

** 수소도시 현장모사 사전 안전검증, 수소도시 적용을 위한 안전관리 시스템 구축 등

- 현재 수소기술 전분야에 대해서 국외 의존도가 높은 상황으로 국내 기업의 역량이 낮은 상태에서 민간 독자수행을 추진하기에는 어려울 것으로 판단
- 수소도시에 적용하고자 하는 수소관망 관련 기술의 경우 개발기간이 장기간 필요하기 때문에 국고지원의 실증 연구 사업으로 전략적인 투자 필요

- (정부주도 시장기반 마련) 수소경제 활성화(시장성숙) 기반 마련과 기술개발 난이도(국산화) 등을 고려하여 정부주도의 R&D 先 투자 필요

- 수소사회 전환과 수소도시 확장을 위해 정부 주도의 실용화 기술개발 및 실증으로 기술공급자 역할* 수행 필요

* 산업화 속도가 빠른 시장추세와 민간 기술역량을 고려하여 정부는 기술을 시장에 공급하는 기술공급자, 민간은 기술이전을 통한 상용제품(기자재) 판매 역할 등 수행

- 또한, 수소배관망 구축·운영 관련 제도·표준 정립, 국가건설기준* 마련 및 안전성 확보방안 수립 등도 수반될 필요

* 건설공사 설계·시공기준, 표준시방서 등의 기준(자재 선정, 배관설치, 배관망 시공, 시운전, 품질관리, 보수 등)

- (정부주도 성과확산 기반마련) 세계 최초로 추진 중인 수소도시 모델의 성공적인 보급·확산을 위한 기반 마련 필요

- 수소도시 조성을 위한 핵심부품 국산화 및 안전성이 검증된 기술의 경제성 확보를 위해 인접 단지·마을·도시 등 확대 구축추진(수소 시범도시 추진 전략, '19.1)

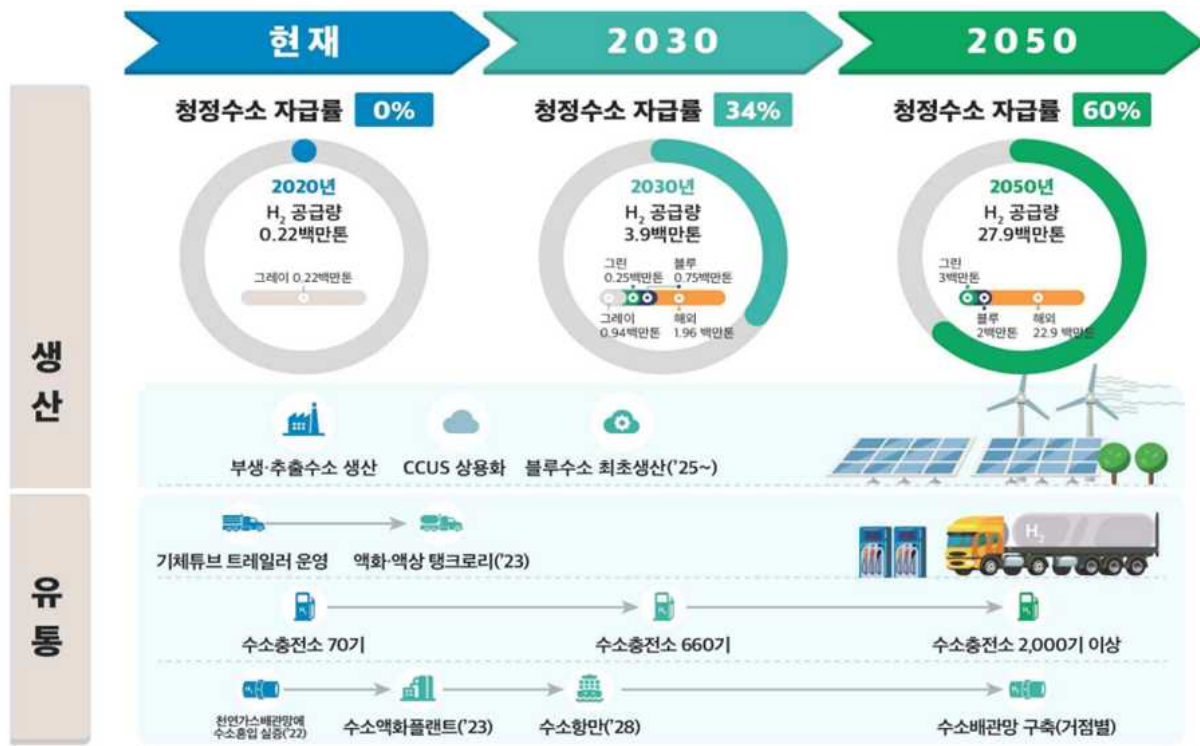
- 수소 시범도시는 '40년까지 계획*·추진되고 있으며, 해당 전략의 목표인 수소도시 세계시장 선점을 위해서는 수소관망 관련 기술 확보가 시급

* (수소 시범도시 추진전략 목표) '22년 수소 시범도시 3개 → '30년 전국 지자체(시·군·구)의 10%를 수소도시로 조성 → '40년 전국 지자체(시·군·구)의 30%를 수소도시로 조성

☞ 본격적인 수소경제 활성화('30년, 수소경제 선도기) 시점까지 정부투자 필요
- 해외의존 핵심기술의 국산화, 국내·외 수소 이송 시장형성 등 정부차원에서의 기반 마련 후 민간에서의 활성화 주도역할 기대

(라) 기술개발 필요성

- '20년 7월 정부는 「수소경제 활성화 로드맵」을 통하여 '40년 수소 수요 526만 톤을 예측하고 있음에 따라 수소산업 생태계 경쟁력 강화를 위한 수소 수입 방안을 발표하였으며, 이는 향후 국내 대용량 수소 도입을 시사
 - 526만 톤은 '22년의 목표 공급량인 47만 톤 대비 약 11배 증가한 물량으로 이송과 분배용 인프라에 대한 투자확대 필수적인 상황
 - 수소 수요 확대 계획에 따라 지속 가능한 수소 활용을 위해서는 중·장기 운송 인프라 구축 방안 마련 필요
- 이후 '21년 11월 「제1차 수소경제 이행 기본계획」을 통하여 '30년 390만톤, '50년 2,790만톤으로 수소 공급량을 확대하며, 수소경제 구축 촉구



출처: 제1차 수소경제 이행 기본계획, 관계부처 합동, 2021

〈그림 2〉 제1차 수소경제 이행 기본계획 주요 계획

- 대용량 수소 공급을 위해서는 경제적이고 안정적인 유통 체계 구축이 필수적이며, 유통 방식으로 배관망 구축, 트레일러, 탱크로리가 포함
- 이에 '50년까지 대용량 수소의 경제적이고 안정적인 공급이 가능한 거점별 수소 배관망 구축을 통해 수소 공급 계획 수립

□ 수소관망을 통한 대용량 수소의 안정적인 공급을 위해서는 소구경 배관으로는 한계가 있기 때문에 대구경 배관 국산화 및 기반 마련 시급

- 대구경 배관은 대용량 수소공급을 위해서는 필수적인 요소이며, 현재 대부분의 배관이 수입되는 상황에서 수소 시범도시의 계획 수립*을 위해서는 수소도시의 수소 수요량을 감당할 수 있는 대용량 배관이 필요

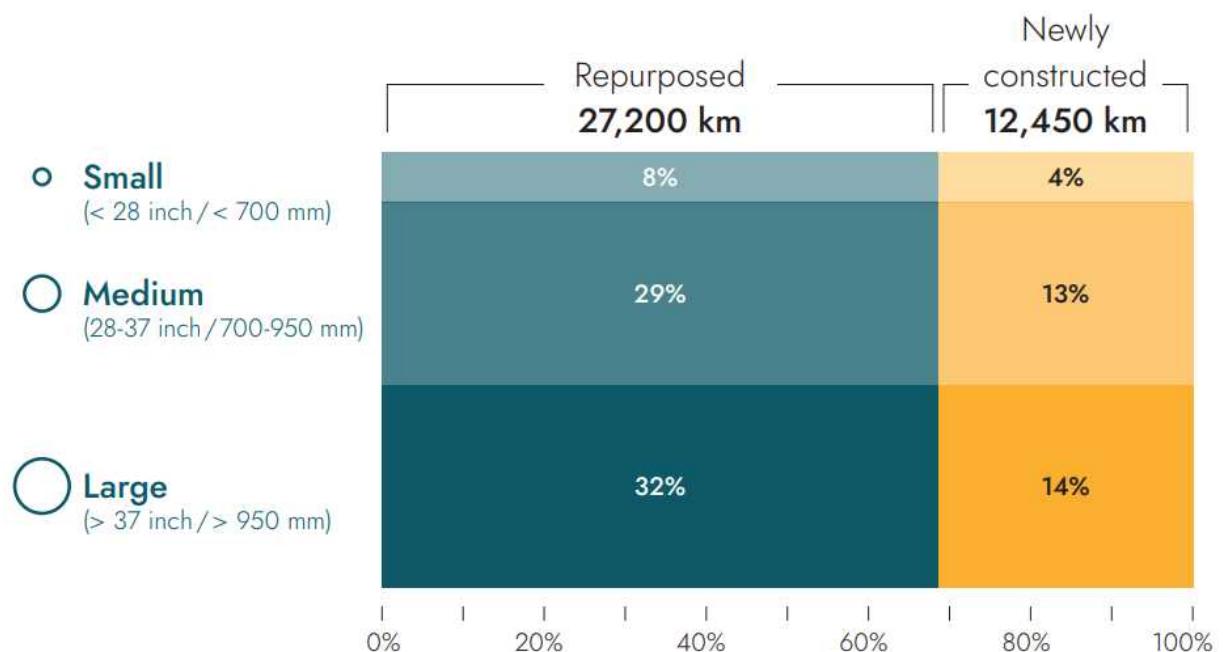
* '30년 전국 지자체(시·군·구) 10%, '40년 전국 지자체(시·군·구) 30% 수소도시화

- 본 기획과제에서 대구경 배관의 실증을 통하여 현장적용 및 반응여부를 검증하고 향후 추진될 연구*에서 중·대용량 수소 설비가 구축되는 수소 시범도시 적용 연계 추진

* 본 보고서의 실행전략 및 중장기 연계 로드맵 참고

- 유럽의 수소관망 구축 계획인 european hydrogen backbone을 통해 구축되는 유럽 수소 배관망은 '40년 기준 평균 28~48인치의 대구경 배관을 도시·국가 상황에 맞추어 도시·국가 간 수소 운송 계획

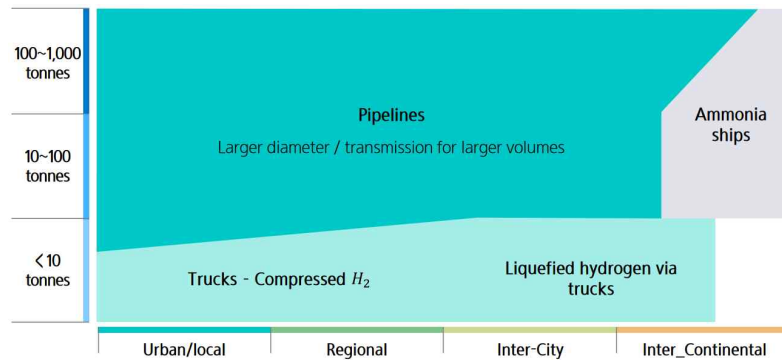
- 유럽은 기존 가스배관의 용도변경과 신규 수소관망 구축을 통하여 수소 공급을 위한 수소배관망 구축 계획을 수립
- 도시·국가 간 대용량 수소공급을 위한 최소 구경을 20인치(~500mm)로 설정하고 중형을 36인치(900mm), 대형을 48인치(1,200mm)로 설정



출처: Extending the European Hydrogen Backbone, Guidehouse, 2021

〈그림 3〉 유럽 수소관망 구축 계획

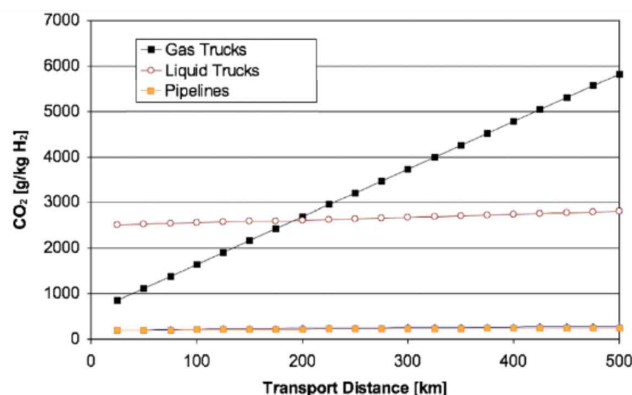
- 향후 국내에 구축될 수소 도시의 안정적인 수소 공급을 위해서는 대구경 배관 확보가 필수적이며, 본 기획과제를 통하여 수소 도시에 적용될 대구경 배관의 검증 및 기반 마련을 추진
- 또한, 도시간 대구경 배관망, 도심내 중·소구경 배관망 구축은 수소 운송의 경제성을 확보 할 수 있으며, 지하에 매립되어 주민 수용성 확보 가능



출처 : ESG 시대, 에너지 대전환, 삼성증권, 2021

〈그림 4〉 수소 운송방법에 따른 경제성 비교

- 수소를 공급하는 방식은 수소관망, 튜브 트레일러, 액화 수소 운송 트럭 등의 방식이 있으나 대용량 수소의 안정적인 공급을 위해서는 파이프라인 구축을 통한 수소관망이 가장 큰 경제성을 확보
 - 수소는 고압 수소, 액화 수소, 액상 유기화합물, 암모니아 등의 형태로 운송되며 형태에 따라 효율적인 운송 방식이 변화
 - 현재 가장 많이 활용하는 고압수소의 경우 약 7톤 이상의 용량부터는 수소 관망을 통해 공급하는 것이 가장 경제적인 상황
- 또한, 수소 상태, 운송 수단에 따라 배출 탄소량이 변화하며, 구축 후 배출되는 탄소량이 적은 배관망이 수소경제의 목적성과 부합



출처 : 수소관망 조건별 CAPEX/OPEX 비교, 조선대학교, 2022

〈그림 5〉 운송거리 및 방식에 따른 탄소배출량

- 수소 운송거리와 운송량이 높아짐에 따라 배관운송과 트레일러 운송의 경제성 편차가 커지며 수소배관망을 통한 운송이 높은 경제성을 확보

□ 효율적 비개착 공법의 개발의 필요

- 지하에 매설된 가스/수소 관로 및 상하수도 관로는 대부분 도로를 따라 구축되기 때문에 관의 균열이나 파손으로 누수나 누기가 발생할 경우 이를 개·대체 또는 보수를 하기 위하여 일반적으로 도로를 개착
- 그러나 이러한 개착으로 인하여 도로를 폐쇄함에 따른 사회, 경제 및 환경 비용이 급속히 증가하고 있으며 장래에 더욱 심화될 것으로 예측
- 수소관의 개대체 시 효율적 비개착 공법을 개발하여 시공시간 및 시공비용을 절감하는 것이 본 기술 개발의 목적
 - 지하 관로의 개대체 또는 보수 시 기존의 개착식 공법에서 발생하는 공사장 주변의 소음, 분진 등의 환경적 비용과 교통장애로 인한 사회 및 경제적 비용 발생
 - 이러한 불필요 비용을 제거하고, 시공시간 단축 및 시공비용을 절감하기 위한 효율적인 비개착 공법의 개발이 요구
 - 관의 신설 또는 교체를 위한 비개착공법으로는 관 추진방법과 잔토의 처리 방법 등에 따라 Horizontal Directional Drilling, Micro-tunneling), Pneumatic Pipe Ramming, Impact Moling 등의 공법이 사용
 - 관의 유지보수 또는 개량을 위한 비개착공법으로는 Cured-in-Place Pipe (CIPP), Pipe Bursting, Close-Fit-Lining 및 Robotic Pipe Repair 공법들이 사용

□ 비개착공법은 도로, 주택 밀집지역 등 협소한 구간의 경우 장비의 진입이 어렵고 인력으로 굴착 시 벽, 담 등의 붕괴와 같은 안전사고가 발생할 수 있는 곳에 소규모 시공이 가능

- 개착식 시공은 굴착심도 15~20m 범위에서 가장 경제적인 공법이나 기존 도심의 경우 지하 지장물 이설 등과 같은 관리 방안이 필요
- 굴착심도가 2m 이상일 때 지반변형과 지하수 유입을 최소화하는 흠막이 공법 필요
- 상·하수관의 경우 전용지지 Pile 설치 및 Grouting을 통한 배면침하 방지
- 가스관의 경우 누출경보기 설치, 매달기 전용보 설치, 점검통로 설치
- 전력·통신의 경우 원위치 매달기 보호공, 광케이블은 전파장애차단용 보호관 설치 후 보호공 설치

□ 수도권의 경우 대부분의 도로 폭이 4m 이상이다 보니 상·하수도 및 통신 관련 지장물들 또한 대부분 0.8~1m 사이에 매설되고 있어 신규배관을 매설하기 위한 공간 확보가 더욱 어려워 매설 심도가 점진적으로 증가

○ 개착식 시공의 경우 되메우기를 잘못하면 주변 지반이 침하되거나 배관의 변형 및 응력 유발하여 수소취성이 유발되어 관이 파괴되기도 하므로 철저한 시공 필요

〈표 1〉 개착식 공법과 비 개착식 공법 비교

구분	비 개착식	개착식	비고
시공성	• 교통영향 없음 • 지반침하 없거나, 미미 • 인접구조물 영향 없음	• 교통영향 극심(정체, 위회 등) • 지반침하, 접속부 단차 발생 • 인접구조물 침하, 균열 등 발생	단, 경제성은 지하수위 존재여부, 토질, 현장 환경조건 및 시공규모에 따라 다름
경제성	• 공기단축 효과 • 도심지, 중장거리에 유리	• 산간, 농촌 등에 유리 • 소규모, 단거리에 경제성	
안전성	• 시공시 안전위험요소 미미 (기계적 굴착 매설)	• 개착 시공시 안전위험요소 상존(작업자, 통행인 및 개착구조물 등) • 잦은 도로굴착 및 포장공사로 지장물의 위치와 심도가 변경	
환경·민원	• 친환경적(생태 하천 보존) 시공 • 민원발생 적음	• 개착공사로 인한 하천 등 생태계 파괴 • 민원발생 빈번	
적용성	• 도심지 관로 매설 등의 공사에 적합 • 상·하수도, 전기, 가스, 통신, 전력구관로의 비개착 지중 매설공사 • 도로, 하천, 철도의 횡단 관로매설	• 일반공사의 복합공정 • 시공성과 경제성을 고려한 일반개착가능 조건의 공사	
지하 지장물 보호관리 방안	• 작업공간의 지장물 보호관리 방안 마련	• 지상돌출부 저축구간 이설 • 전용지지 Pile 설치 • Grouting을 통한 배면침하 방지 • 광케이블은 저파장애 차단용 보로관 설치	

(3) 미시행시의 문제점

- **(수소경제 손실)** '19년 발표한 「수소경제 활성화 로드맵」부터 「수소 기술 개발 로드맵」, 「수소법」 등 정부는 지속적으로 수소경제 실현을 위한 기반 마련 시도
 - 수소경제 실현을 위해서는 안정적인 수소 운송이 필수적이지만 현재 수소 운송 및 저장 기술은 한정적이며, 공급 범위가 매우 좁은 상황
 - 수소 운송은 대체로 기체 상태로 많이 이루어지고 있으며 기체수소의 안정적인 공급은 수소관망이 제일 적합하지만 관련 기술 수준이 낮아 기술개발이 시급
- **(수소관망 관련 기술 경쟁력 약화)** 해외 기술에 의한 수소관망 관련 기술 및 국내 시장 종속 우려
 - 수소관망 관련 기술 성숙도는 도입-성장 단계로 분석(건설연 특허분석 사전조사), 기술수준(KISTEP, KAIA 보고서)이 70% 수준으로 낮고 기술격차가 존재
 - 수소기술 전분야에 국외 의존도가 높고 국내 기업의 역량이 낮아 도입 설치하는 수준으로 분석
 - 특히 수소관망 등 인프라 분야는 개발기간이 장기 소요되는 리스크가 존재 및 장기소요 실증 연구사업으로 전략적 투자를 통해 기술 확보 가능한 것으로 분석
- **(수소 시범도시 정책 추진 리스크)** 관련 기술이 미흡한 상황에서 추진된 1기 수소 시범도시 구축 과정에서 다양한 이슈 및 문제점 발견
 - 수소 시범도시는 '40년까지 전국 지자체의 30%를 수소도시로 조성하기 위하여 지속적으로 추진될 예정이므로 관련 기술 확보 및 국산화 시급
 - 안정적인 수소 시범도시 구축을 위한 실증 실적 확보 및 국가건설기준마련 필요
- **(민간·재정사업 리스크)** 민간·재정사업으로 추진할 경우 지속력 확보 어려움
 - 민간(기업)에서 자력으로 개발할 경우 수소산업 생태계 미성숙, 전문가·역량 부족으로 대규모 투자에 대한 리스크 발생 우려
 - 일반 재정사업으로 개발할 경우 높은 국외 의존도, 국내 독자 기술체계 미흡 등 핵심기술 미비과 기술이전 기피로 핵심기술 확보가 어려움
 - 검토결과 대규모 투자리스크, 역량부족, 경쟁국으로 인식, 기술이전 기피 등으로 추진이 어려운 대안으로 분석

나. 기획연구의 내용 및 범위

(1) 기획연구의 목표

□ **대용량 수소이송을 위한 고강도 및 내수소취성의 배관 개발과 안전성 검증을 통한 수소도시에 실증을 위한 연구개발사업 상세기획**

○ “수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획” 연구사업의 상세기획을 통해 본사업의 원활한 추진기반을 마련

○ 궁극적으로 국내에서 개발된 배관자재 활용 및 건설·운영 기술로 수소도시 등 중장거리·대량 수요처에 수소관망을 통해 수소공급이 실증적으로 가능케 하고 관련 산업 생태계를 활성화하기 위함

* RFP 목표 : 대용량 수소이송을 위한 고강도 및 내수소취성의 배관 개발과 안전성 검증을 통한 수소도시에 실증을 위한 연구개발 사업 기획

(2) 기획연구의 범위

□ **1단계 : 기술개발 동향 및 환경 분석을 통한 사업목표와 범위 제시 등**

○ (이슈 및 니즈 분석) 기술개발 동향 및 환경 분석을 통해 미래 이슈와 니즈 도출 및 이슈해결을 위한 대안 제시

- 국·내외 시장, 정책, 기술, 환경 및 특허 동향 분석

- 국내 인프라(기업, 연구소, 대학 등) 현황 분석

- 개발기술에 대한 국내 수요처 의견수렴 및 시장 요구사항 분석

○ (기술의 정의 및 범위) 환경 및 동향 분석을 통해 도출된 미래이슈와 니즈를 기반으로 사업의 목적 및 개념, 기술정의 및 기술개발 범위 제시

- 기술의 개념, 정의 및 범위를 기존 및 최신 자료와 동향을 반영하여 검토하고 세분화하여 제시

- 기존 기술 수준 및 현황 등의 분석 결과를 기반으로 해당 기술개발 가능성에 대해 심층 검토

○ (사업추진방향 정립) 탄소중립, 국토교통 관련 정부 정책과의 관련성 및 연계성을 분석하고, 미래이슈 및 니즈, 정부정책과의 부합성 등을 토대로 이슈 해결을 위한 사업추진방향 및 기술대안의 타당성 제시

□ **2단계 : 기술개발 전략수립, 연구내용 설정**

- 기술개발사업 전략 수립 및 연구내용 설정
 - 비전 및 목표 제시를 통한 기술개발 전략 수립
- 연구개발 후보과제 우선순위 도출
 - 중점 추진분야별 연구개발 후보과제 설정 및 우선순위 도출
 - 후보과제 도출 및 과제별 추진체계(사업단, 연구단, 일반과제 등) 설정
- 연구개발 후보과제별 과제카드 작성
 - 연구개발목표, 기술개발 및 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보 전략, 과제규모, 최종성과물 및 활용방안 등
 - 후보과제별 연구유형(응용, 실용화, 사업화 등), 성과물유형(시제품, S/W, 기준·지침 등), 시장경쟁력 확보방안, 실용화방안, 목표 TRL 단계, 제도개선 사항 등 제시

□ 3단계 : 연구개발과제 기획

- 연구 목표 및 범위 설정
 - 목표 및 연구범위 설정(정량적이고 구체적인 목표 설정)
 - 연구범위 및 핵심과제 설정(아래의 연구범위에 대해서 실현 가능한 수준을 고려한 구체적 연구 범위 및 방법 등 설정)
- 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정
 - 세부과제 연차별·단계별 기술개발 로드맵 및 성과 로드맵 제시
 - 과제구성에 따른 인력투입계획 및 소요예산 산정
- 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립
 - 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립
 - 컨소시엄 형태 등 최적 연구추진체계 제안
- 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
 - 성과분석 및 검증방안 제시
 - 제도·정책 활용, 현장적용, 시범운행사업 등 구체적인 실용화 방안
 - 관련제품/기술의 해외시장 진출전략

○ 사전타당성 검토

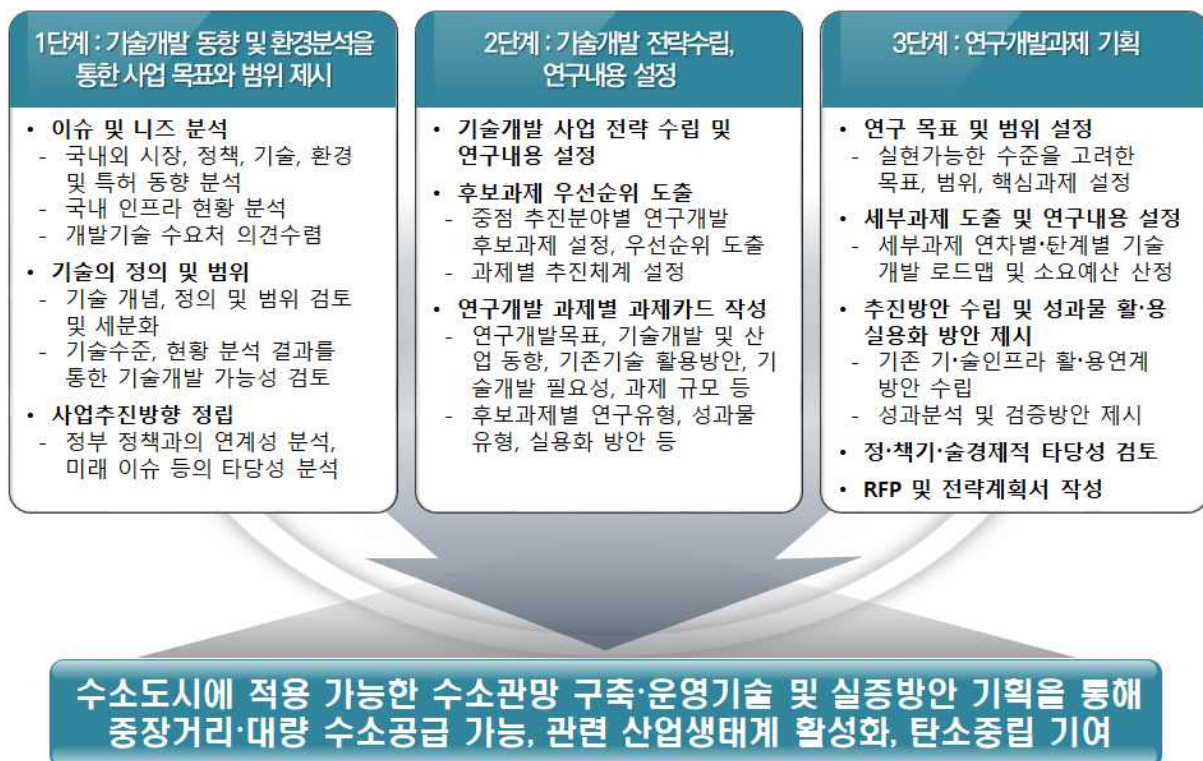
- (정책적 타당성) 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토
- (기술적 타당성) 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토
- (경제적 타당성) 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토

○ 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정

- 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성
- 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정

○ 「제4차 국가연구개발 성과평가 기본계획(’21~’25)」에 따른 사업평가를 위해 ‘전략계획서’ 작성

- 사업기획의도-수행내용-성과 간 연계성 확보를 위해 도출된 예산규모에 따라 사업 기획내용을 반영하여 작성(별도 서식)



〈그림 6〉 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획연구 추진 범위

다. 기획연구의 결과

- ☐ 본 기획연구는 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증에 필요한 관련산업 환경분석 및 수요조사, 기술 정의, 기술개발 전략 수립, 연구 내용 등을 설정하여 세부과제를 제시
 - 각 중점분야는 (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발, (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발, (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발 등 3개로 분류
- ☐ (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발
 - (세부과제 1-1) 수소관망 설계 시뮬레이터 기술
 - (세부과제 1-2) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술
 - (세부과제 1-3) 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술
- ☐ (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발
 - (세부과제 2-1) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술
 - (세부과제 2-2) 지상 및 지하매몰 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술
- ☐ (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발
 - (세부과제 3-1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술
 - (세부과제 3-2) 수소관 현장 적용성 평가 기술
 - (세부과제 3-3) 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술

라. 기획추진 체계

□ 기술총괄위원회

- 기술총괄위원회는 수소관망 관련 산·학·연 전문가, 분과위원장, 주관·공동연구기관 연구책임자로 구성
- 기술총괄위원회 역할
 - 과제기획 총괄
 - 연구과제 목표 및 범위 설정
 - 기술개발 및 실용화 전략 검토
 - 최종보고서 검토·확정

□ 분과위원회

- 분과위원회는 효율적인 국내외 기술동향조사, 중점분야 및 세부과제 도출 등을 위하여 중점분야별 관련 산·학·연 전문가로 구성
 - 중점분야 관련 기술인 수소관망 설계·시공기술 개발, 도시내 수소활용 안전 관리 기술개발, 수소관망 실증 및 운영기술 개발 등의 경험이 있는 인원
 - 분과위원회에는 주관·공동연구기관의 기획 주도성을 위하여 주관·공동연구기관 연구책임자 포함
- 분과위원회 역할
 - 관련 기술 동향 조사
 - 기술수요조사 지원
 - 중점분야 및 세부과제 도출
 - 중점분야 및 세부과제 추진체계 설정
 - 중점분야 및 세부과제 목표 및 범위 설정
 - 중점분야 및 세부과제 전략 수립
 - 기술적 타당성 작성
 - 사전 타당성 검토 및 최종보고서 검토

□ 기획추진 구성

○ 기획추진 구성도



〈그림 7〉 기획추진 구성도

○ 기술총괄위원 명단

〈표 2〉 기술총괄위원 명단

구분	이름	소속	직급	비고
기술총괄위	조영화	비츠로넥스텍	본부장	총괄위원
기술총괄위	박재철	동해종합기술	전무이사	총괄위원
기술총괄위	신영재	네이버시스템	상무이사	총괄위원
기술총괄위	오희재	디앤샤인	대표이사	총괄위원
기술총괄위	이광민	태성에스앤이	이사	총괄위원
기술총괄위	원서경	공간건축연구소	이사	1분과장

기술총괄위	오윤석	포항산업 과학연구원	수석연구원	2분과장
기술총괄위	박미연	승화기술	대표	3분과장
기술총괄위	황인주	한국건설 기술연구원	선임연구위원	주관연구기관 연구책임자
기술총괄위	이재훈	한국가스 안전공사	부장	공동연구기관 연구책임자
기술총괄위	고민구	한국지식서비스 연구원	본부장	공동연구기관 연구책임자

○ 분과위원 명단

〈표 3〉 분과위원 명단

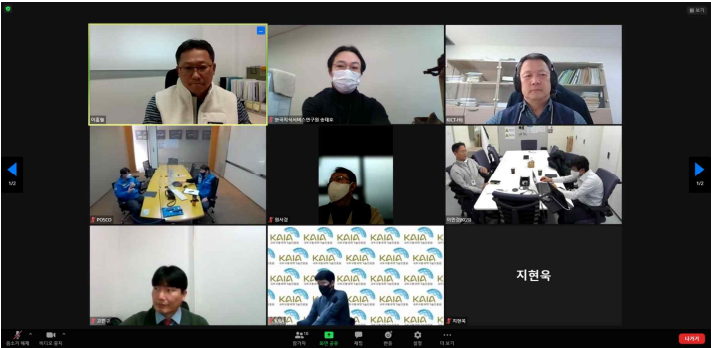
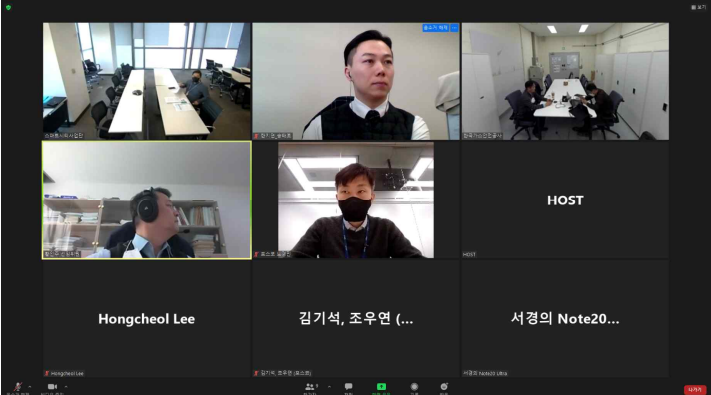
구분	이름	소속	직급	비고
1분과	원서경	공간건축연구소	이사	1분과장
	석현수	비지웰	소장	-
	이광민	태성이앤씨	이사	-
	장우식	조선대학교	교수	-
	노선균	호남대학교	교수	-
	정문	한영대학교	교수	-
	정희정	헤세드전기	상무	-
	강원영	헥사곤	대표	-
	이상준	엔츠이앤씨	소장	-
	박광호	날코코리아	차장	-
	오재영	한국스즈	대표	-
	박상일	금강	대표	-
	임공섭	위드유	대표	-

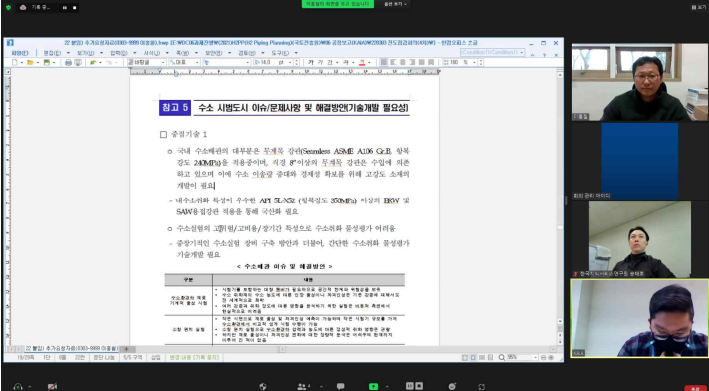
2분과	오윤석	포항산업 과학연구원	수석연구원	2분과장
	박현준	래티스 테크놀러지	소장	-
	홍성모	세창스틸	소장	-
	전준혁	한국건설생활 환경시험연구원	책임	-
	이승훈	수소융합 얼라이언스	본부장	-
	송민호	완주군청	주무관	-
	조영화	비츠로넥스텍	본부장	-
3분과	박미연	승화기술	대표	3분과장
	박재철	동해종합기술	전무	-
	이승민	동해종합기술	책임	-
	정재우	제타시스템	대표	-
	김윤제	성균관대학교	교수	-
	신영재	네이버시스템	상무	-
	정재동	세종대학교	교수	-
	정진홍	가온이앤에스	이사	-
	신현돈	인하대학교	교수	-
	심재광	세아제강	차장	-
	김완근	포스코	수석연구원	-
	신형섭	안동대학교 기계공학과	교수	-
	김건	울산과기대 도시환경공학과	교수	-

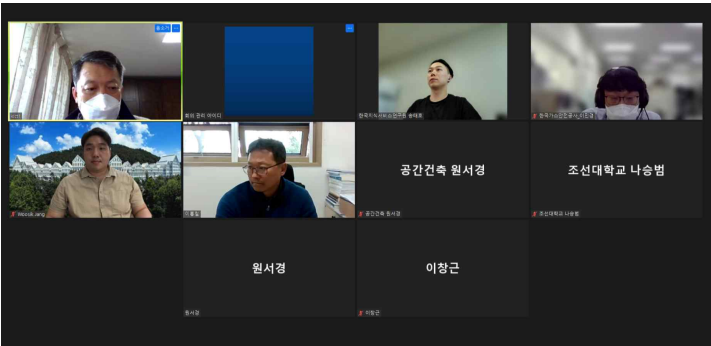
마. 기획추진 경과

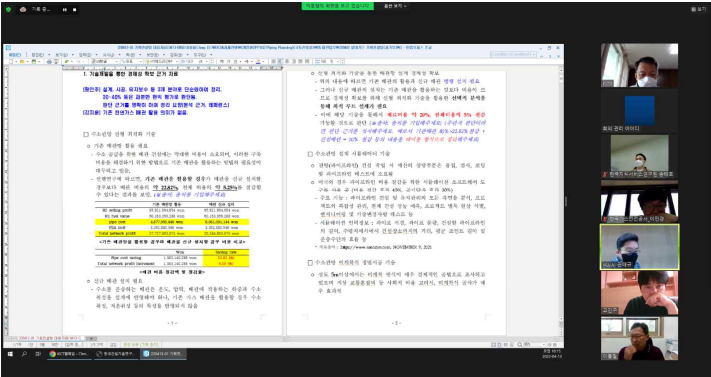
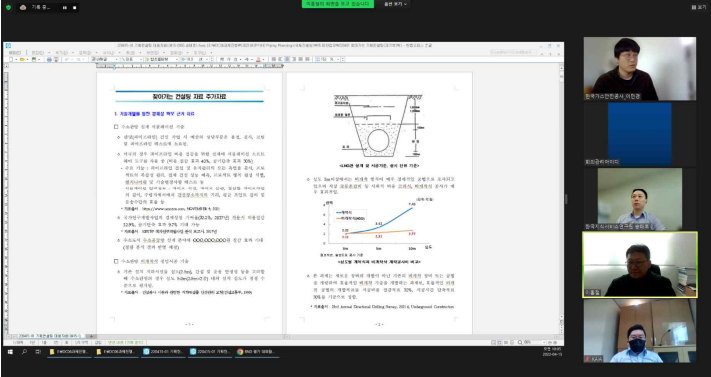
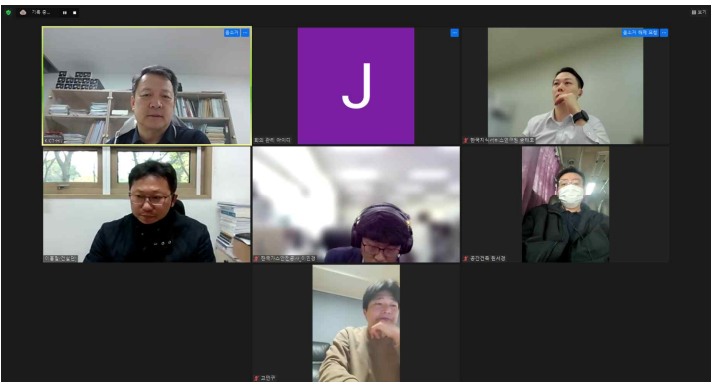
□ 기획추진 경과 및 활동 사진 자료

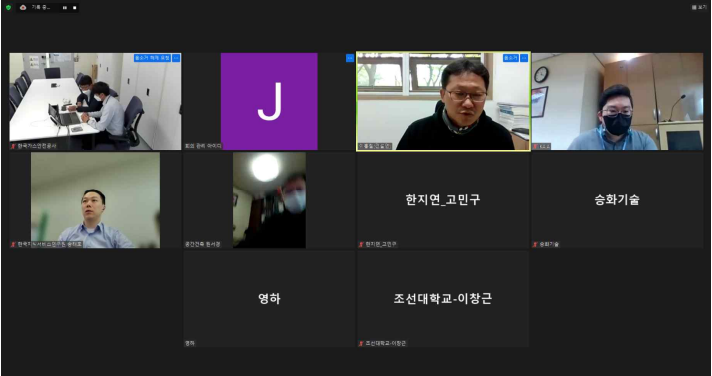
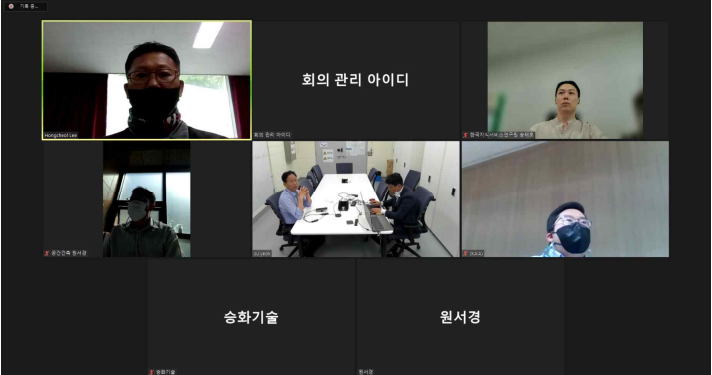
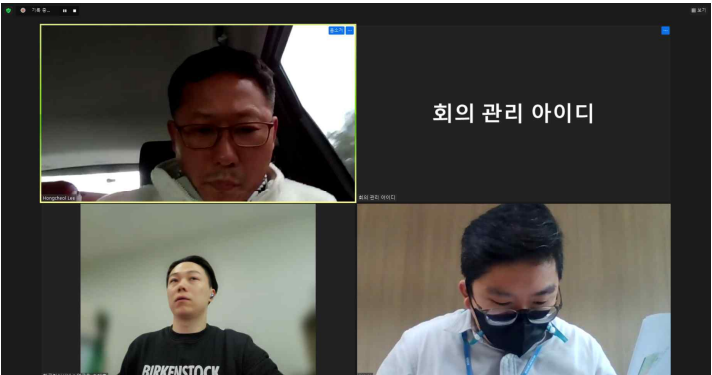
〈표 4〉 기획추진 경과 및 활동 사진 자료

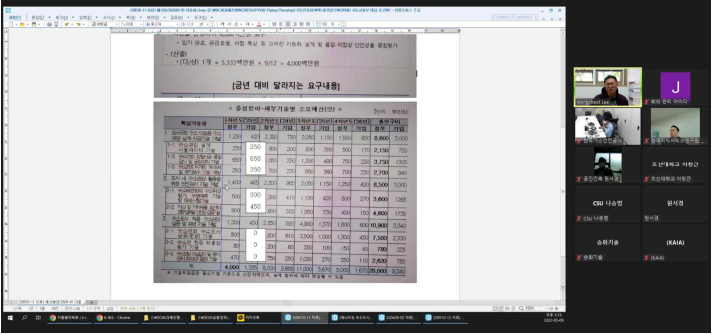
일자	기획 추진 활동	추진 내용
'21.12.07	과제 착수보고 회의	- 연구추진방향, 연구추진 계획의 적정성 점검 - 향후 추진계획 논의
'21.12.~22.01	1차 기술수요조사	전문가 Pool, 관련 학회 및 협회 회원을 대상으로 수소관망 관련 기술수요조사 진행
'22.01.13	1차 진도점검회의	- 현재까지 추진된 진행상황 보고 및 향후 추진 방향성 논의 - 예산요구를 위한 국토부 진행 필요성, 기술개발 필요성, 타부처와의 차별성, 타사업 성과 이어달리기 등의 사업추진 필요성 보완 
'22.01.14	1차 총괄위원회	- 진도점검 회의결과 조치방안 및 중기예산 신청자료의 논리 및 근거 수립에 관한 자문을 진행 * 기존 가스관 설계, 시공, 운영 기술과 수소관망 설계, 시공, 운영 기술의 차이점과 기술개발요소 측면의 차별성 등 모색 필요
'22.01.21	2차 진도점검회의	예산요구를 위한 국토부 진행 필요성, 기술개발 필요성, 타부처와의 차별성, 타사업 성과 이어달리기 등의 사업추진 필요성 자료 검토 

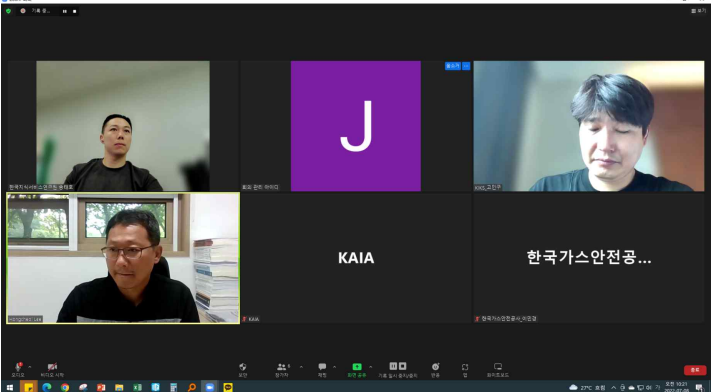
‘22.02.04	1차 기획진 회의	■ ‘수소도시의 수소관망 구축·운용기술 개발 및 실증 방안 기획’ 과제의 ‘23년 예산 대응을 위한 자료 작성 및 점검 
‘22.02.09	3차 진도점검회의	■ 본 기획과제 예산 확보를 위한 정부대응 자료 방향성 및 작성 논의 * 산업부 수소배관 과제와의 차별성 및 연계성 추가 논의 * 천연가스관망 및 수소관망 건설 및 운영 중 기술적 부분에서의 차이점 추가 * 본 사업을 통한 비용절감 기반의 경제성 분석 필요 등 
‘22.03.03	1차 실무진 회의	■ 배관 및 관련 기술의 국산화 시급성을 표현하고 싶은 자료이며, 본 기획과제와 이후의 후속 사업에 대한 내용 논의 ■ 안산, 울산, 평택의 수소도시에 요청하여 수소배관 건설 때의 전적서 요청하여 근거로 활용 

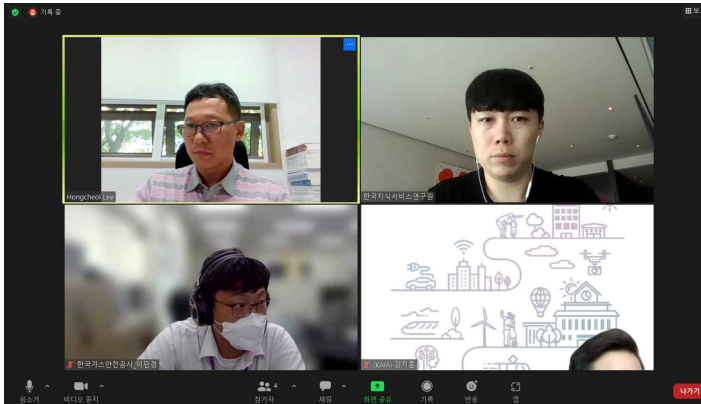
‘22.03.18	2차 기획진 회의	수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획 과제의 예산 확보 제출용 기획보고서 작성 계획 논의 
‘22.03.22	4차 진도점검 회의	- 본 기획과제 예산 확보를 위한 정부대응 자료 방향성 및 작성 논의 * 수소경제·탄소중립 정부정책 및 가스공사의 ‘수소사업 추진 로드맵’ 등에서 수소관망 관련 내용 추가·보완 필요 “광역단위 수소 공급관망 핵심설비 국산화 개발 및 실증”의 경우 수요처(가스공사, 가스기술공사 등)와의 상세논의 등 
‘22.03.25	2차 총괄위원회	예산요구용 요약 보고서 및 공급방식별 타당성 검토
‘22.03.31	1차 3분과 기획위원회	수소배관의 강관제조 분야의 기술수요조사 검토 및 우선순위 도출
‘22.04.11	3차 기획진 회의	효율적인 ‘23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 작성을 위한 파트별 작성자 분배 및 방향성 논의 

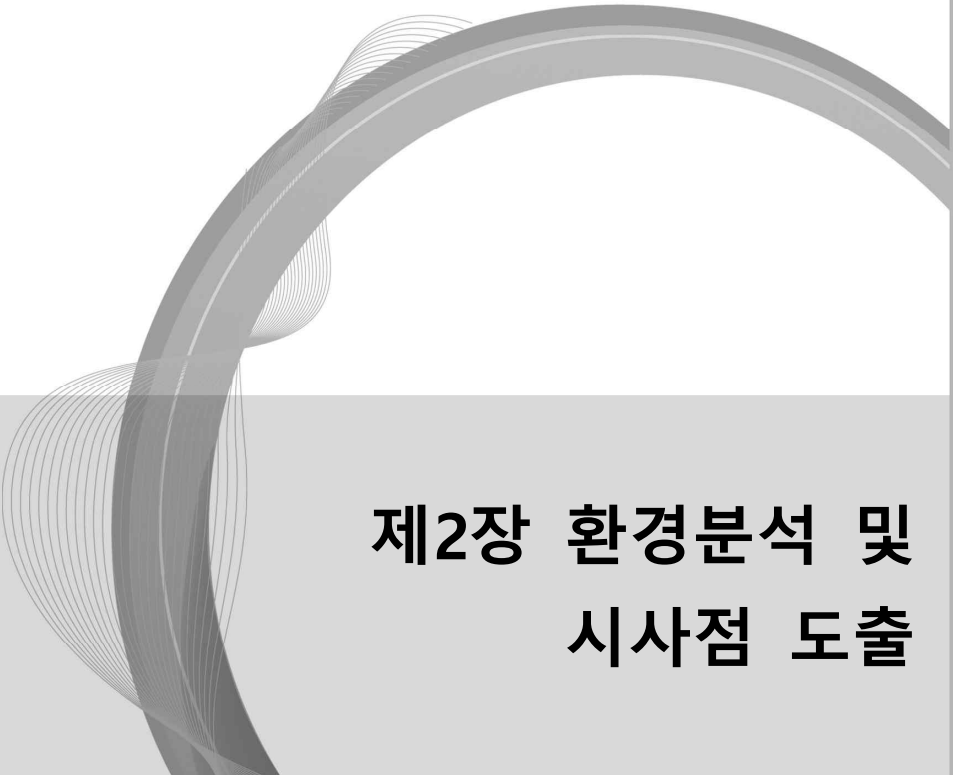
'22.04.13 5차 진도점검 회의		■ 작성된 '23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 초안에 대한 추가 보완사항 도출(KAIA 피드백) 
'22.04.15 2차 실무진 회의		■ 작성된 '23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 추가 보완사항 논의 1 * 기술개발을 통한 경제성 확보 근거 자료 보완 * 각 분야 기술개발 대상의 국산화 현황 및 기여도 자료 보완 * 배관망의 안전기준 개발 여부 확인 * 수소생산과 활용이 가능한 부지 확보 여부 확인 * 본 과제를 포함한 2단계(광역)-3단계(에타)를 모두 설명 할 수 있는 이미지 자료 필요 
'22.04.22 4차 기획진 회의		■ 사업 종료를 3개월 앞둔 시점에서 각 기관별 예산 집행 관리 강화 및 기획 보고서 최종 마무리, 최종보고서 작성 계획·일정 필요 ■ 중점분야별 기술 범위 재설정·확정을 통한 세부내용 방향성 도출 

'22.04.25	6차 진도점검회의	■ 작성된 '23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 추가 보완사항 논의 2 * 기술개발을 통한 경제성 확보 근거 자료 보완 * 각 분야 기술개발 대상의 국산화 현황 및 기여도 자료 보완 * 기술개발을 통하여 절감되는 1km 당 구축 비용 자료 보완 
'22.04.27	7차 진도점검회의	■ 작성된 '23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 추가 보완사항 논의 3 * 기술개발을 통한 경제성 확보 근거 자료 보완 * 각 분야 기술개발 대상의 국산화 현황 및 기여도 자료 보완 * 기술개발을 통하여 절감되는 1km 당 구축 비용 자료 보완 
'22.04.29	3차 실무진 회의	■ 작성된 '23년 예산 요구 대응 자료(찾아가는 컨설팅 자료) 최종 보완 * 기술개발을 통한 경제성 확보 근거 자료 보완 * 기술개발을 통하여 절감되는 1km 당 구축 비용 자료 보완 
'22.04.~22.05	2차 기술수요조사	■ 추가 기술기획(안) 확보를 위한 기술수요조사 진행

'22.05.03	1차 1분과 기획위원회	중점분야-세부과제-구성기술별 기술개요서 작성
'22.05.09	5차 기획진 회의	1차년도 예산 변경(40.0억 원 → 20.0억 원)에 따른 관련 자료 수정 - 예산 감축에 따른 사업 추진 문제점 도출 
'22.05.26	2차 1분과 기획위원회	수소관망 비개착 시공 타당성 검토
'22.06.08	1차 지자체 방문	국토부 지원 수소도시 추진 지자체(전북 완주) 방문 및 실증분야 전문가 자문 진행
'22.06.13	6차 기획진 회의	(사업 연장) 추가적으로 진행될 기재부 예산 심의 대응을 위하여 KAIA의 요청으로 사업 종료시점을 2달 연장 합의 (최종보고서) 사업종료 시점에 따라 KAIA에서 기술 상세내용, 기술로드맵, 과제제안요구서, 전략계획서 등의 미작성 부분에 대한 작성 요청 (공청회, 총괄위, 기획위) 공청회의 경우 일정 및 진행 사항이 계획되어 총괄위와 기획위는 담당 기관에서 자체적인 진행 및 보고서화 필요 (실증부지) 수소도시의 추가에 따라 향후 구축되는 수소도시에 본 과제가 참여하여 진행하는 방향으로 지자체와의 협의 필요
'22.06.23	1차 공청회	'22년 하계 대한설비공학회에서 관련 전문가를 대상으로 분기획과제에 대한 공청회 진행 

'22.07.08	4차 실무진 회의	▪ (최종보고서) 효율적인 최종보고서 작성을 위해 집체 추진을 제안하며, 7월 27 ~29일에 진행될 예정 ▪ (공청회) 예정대로 2차 공청회가 진행될 예정('22.07.14)이며, 장소 변경으로 인한 관련 서류 재공지 및 사무관님 참석여부 재확인 필요 ▪ (실증지) 수소 시범도시와 같이 공모형태로 실증후보지 선정이 필요할 것이라 판단되며 이에 따라 관련 평가지표(안) 필요 
'22.07.14	2차 공청회	▪ 기획 결과물에 대하여 각 분야 관계자 및 전문가의 의견을 수렴·반영하기 위해 공청회를 실시 
'22.07.27~28	1차 최종보고서 작업 회의	▪ 최종보고서 자료 준비·검토, 진도 점검 및 향후 방향성 등에 대한 논의
'22.07.29	2차 3분과 기획위원회	▪ 수소배관의 강관제조 분야 과제 구성 협의
'22.08.08	2차 최종보고서 작업 회의	▪ 중점분야-세부과제-구성기술별 예산, 구성기술별 담당기관 및 최종보고서 보완

'22.08.18	8차 진도점검회의	■ 최종보고서 작성 현황 점검 및 수정 사항 도출 
'22.09.01	9차 진도점검회의	■ 중점분야 구성 및 총괄위원회 발표자료 점검 및 수정 사항 도출
'22.09.06	최종 총괄위원회	■ 과제의 추진경과, 연구성과 적정성 점검 및 분야별 의견 수렴 
'22.10.19	3차 공청회	■ HARFKO 2022 학술강연회에서 관련 전문가를 대상으로 본기획과제에 대한 공청회 진행



제2장 환경분석 및 시사점 도출

2. 환경분석 및 시사점 도출

가. 메가트렌드

(1) 메가트렌드 분석 과정

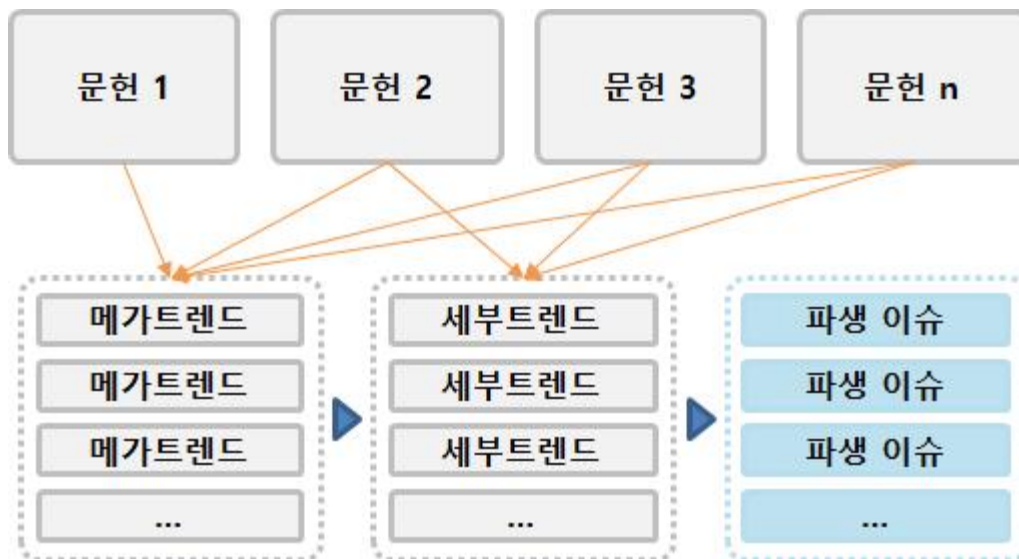
- 수소산업 미래비전을 위해 현재 다양한 모습들에서 기인하는 미래상과 국민이 희망하는 모습들을 고려한 미래의 트렌드를 제시하기 위하여 국내·외 미래 예측 및 트렌드 분석관련 선행국 기반 메가트렌드 분석 실시
- 메가트렌드와 수소산업 미래이슈의 상호작용에 기반을 둔 ~2050년의 미래 비전을 제시하기 위하여 다양하고 상세한 자료조사를 기반으로 정확한 메가트렌드와 수소산업의 트렌드 분석을 추진
 - 국내외 미래 예측 및 수소산업 전망 관련 선행연구 결과에 대한 메타분석(Meta-Analysis)을 토대로 STEEP(Social, Technology, Economics, Ecology, Politics) 분야별 메가트렌드(안) 도출
- 국내외 공신력 있는 공공·민간 연구기관에서 발간한 미래 전망 및 수소산업 관련 전망 보고서 수집
- 미래 전망 내용 및 예측실현시기의 정확성을 높이고자 국내외 주요 미래 예측 및 수소산업 전망 관련 선행연구 문헌 조사를 대상으로 설정
- 국내뿐만 아니라 주요 선진국에서 추진한 정부 및 민간기관의 미래예측 및 트렌드 관련 연구에서 메가트렌드 현황 조사
 - 선행연구 자료는 발행연도와 연구에서 Target으로 설정한 전망시기, 발행국가 및 기관, 수소산업 관련 분야 등을 고려하여 분석 대상을 설정
- 국토교통과학기술진흥원 기관의 ‘국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사 분석 연구’를 포함한 11개의 국내 주요 메가트렌드, 미래전망 자료 수집
 - ‘15~‘20년 발간된 보고서를 수집하였으며, 각 보고서는 최대 ‘50년까지 미래에 대한 전망을 진행
- 딜로이트 기관의 ‘2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드’를 포함한 5개의 국외 주요 메가트렌드, 미래전망 자료 수집
 - ‘16~‘21년 발간된 보고서를 수집하였으며, 각 보고서는 최대 ‘60년까지 미래에 대한 전망을 진행

□ 메가트렌드는 수집된 자료를 바탕으로 각 자료별 발행년도, 전망시기, 본 사업과의 연관성 등을 고려하여 1차 Screening 후 분석을 수행

○ 메가트렌드의 결과 도출을 위해 발행 국가 및 기관, 미래트렌드 분석 범위 등을 고려하여 1차 Screening 진행

- 미국, 일본, 유럽 등 주요 선진국 및 국내 사회 전반에 대한 이슈를 조사한 문헌과 중·장기 전망을 수행한 미래보고서를 대상으로 Screening 진행
- 메가트렌드는 사회·경제시스템 전반에 걸쳐 영향을 줄 수 있는 트렌드를 대상으로 도출함에 따라 특정 분야에 한정된 전망을 기반으로 전략을 수립한 문헌의 경우 메가트렌드 분석 시 제외
- 보고서 발행 국가, 기관의 공신력 및 신뢰성을 고려하여 추가로 Screening을 진행하고 전체 문헌 중 약 16개 문헌을 대상으로 메가트렌드 분석을 수행

○ 자료별 메가트렌드, 세부트렌드, 파생 이슈 등에 대해 구분 후 정리를 진행



〈그림 8〉 메가트렌드, 미래전망 자료별 분석의 구조

○ 분석대상 문헌을 기준으로 메타분석을 수행하여 최근 제기되고 있는 국내외 공통적 이슈들을 수소산업의 트렌드에 반영하고자 핵심 현안 분석 수행

- 미래사회에서 거대하게 변화하는 흐름을 분석하고 공통적으로 논의가 진행되고 있는 이슈를 분석하고자 선행연구에 대한 메타분석을 수행

- 선행연구에서 분석하고 있는 주요 메가트렌드와 메가트렌드에서 파급되는 영향력, 메가트렌드의 범위 및 세부 내용 등을 다각적으로 분석하여 메가트렌드가 수소산업 분야에 끼치는 영향에 대해 분석 실시

〈표 5〉 메가트렌드 분석 대상

구분	발행기관	보고서명	발행년
국내	국토교통과학기술진흥원	국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구	2020
	한국연구재단	지능연결사회 대비 과학자가 바라본 미래기술	2018
	한국기술기획평가원	혁신성장과 미래트렌드 2018 plus 10	2018
	국토교통부	제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018~2027)	2018
	국토연구원	2040 국가간선도로의 미래상 연구	2018
	과학기술정책연구원	글로벌트렌드와 한국: 과학기술적 대응역량 진단의 시사점	2018
	한국과학기술평가원	제5회 과학기술 예측조사 2016~2040	2017
	한국문화관광연구원	미래지향적 정책수립을 위한 현장중심형 문화정책 연구	2017
	토지주택연구원	미래 국토 전망과 LH 역할	2017
	국토교통부	국토교통 비전 2045 수립을 위한 연구	2016
	산업연구원	미래산업을 둘러싼 메가트렌드와 우리 산업에서의 시사점	2015
국외	딜로이트	2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드	2021
	OECD	Global Material Resources Outlook to 2060	2018
	PWC	The world in 2050	2017
	OECD	OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016	2016
	The Millennium Project	2015 State of the Future(유엔미래보고서2050)	2016

(2) 메가트렌드 분석 및 최종 메가트렌드 확정

□ 1차 Screening된 국내외 선행연구 자료를 기반으로 검토된 메가트렌드에 대해 STEEP별로 분류 및 유사 군에 대해 Grouping 실시

○ STEEP 접근 방식은 분야별 트렌드·이슈를 사회, 기술, 경제, 환경, 정치 등 5개 분야로 구분하여 파악하는 방법으로서 미래 예측 연구에 많이 활용되고 있으며, 트렌드 변화에 따른 분야를 포괄적으로 검토 가능

〈표 6〉 주요 미래트렌드 보고서의 STEEP 분석 종합(안)

분야	미래트렌드 보고서명	STEEP 기준 분류				
		Social	Technology	Economy	Environment	Political
일반	유엔미래보고서 2050	인구구조 및 라이프 스타일의 변화	과학기술 융합 가속화	지식기반사회 진전과 글로벌화	기후변화 및 환경문제 심화	새로운 안보이슈 등장
	Global Europe 2050	저출산·고령화	네트워크, 컨버전스	양극화 지식기반경제 글로벌 인재 부상	환경과 자원문제 이슈화	정치 다극화
	2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드	-	변곡점에 선 제조업	기술이 불러온 금융산업 재편	강화되는 탈탄소화 기조	국제질서 변화
	OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016	고령화, 인구증가	의학 연구 및 기술 발전	세계 경제의 중심 변화	폐기물 재활용 및 순환경제의 전제	국제 국가 체제의 불안전성 증가
	국토교통 2050 미래기술 도출을 위한 조사분석 연구	고령화 및 저출산 심화	스마트시티와 도시, 인공지능·로봇화	국경해체	자원 부족, 기후변화 지구온난화 심화	사이버전쟁
	혁신성장과 미래트렌드 2018 plus 10	인구구조 및 가치 변화	기술변혁의 가속	경제 글로벌화 및 구조 변화	기후변화 심화 및 환경 중요성 증대	안보 및 거버넌스 환경 변화
	제1차 국토교통 과학기술 연구개발 종합계획 (2018~2027)	급변하는 인구구조에 따른 도시구조의 변화	첨단기술에 기반한 경제·사회 구조의 근본적 변화	-	지구온난화 등 글로벌 위기요인 상존	-
	글로벌트렌드와 한국: 과학기술적 대응역량 진단의 시사점	초고령화 사회의 도래	저탄소 에너지 시스템으로의 전환	고용의 불안정	그린이코노미로의 이행	전통적 거버넌스 체계의 악화
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

- 주요 미래트렌드 보고서에 대한 STEEP 분석을 통해 도출한 메가트렌드 Pool을 기준으로 STEEP별 트렌드를 선정하여 기준에 따라 Grouping을 수행
 - 유사 전망 메가트렌드를 기준으로 1차 Grouping을 실시하며, 1차 Grouping된 메가트렌드를 바탕으로 각 STEEP별 대표적이며 포괄적인 메가트렌드 핵심 테마로 설정
 - 각 STEEP별 테마를 기준으로 메가트렌드를 정리하며, 메가트렌드의 세부 내용 및 범위를 확정하여 최종 Grouping을 수행
- 메가트렌드는 인구·도시구조의 변화, 기술 발전의 가속·융복합화, 경제 위기 대응, 기후변화 대응을 위한 자원·에너지 관리, 글로벌 경쟁 심화 등 총 5개의 핵심 STEEP을 도출
 - 사회 트렌드는 고령화 및 저출산, 초연결사회, 삶의 질 중시 문화 및 전통적 가족 개념 변화 등의 트렌드를 도출
 - 기술 트렌드는 ICT 융합으로 제조업 혁신, 경제·사회·환경 현안 해소를 위한 기술 개발, 기존자원 대체 기술 개발 등의 트렌드를 도출
 - 경제 트렌드는 저성장의 고착화, 글로벌 경제 시대 도래, 공유경제 확산 등의 트렌드를 도출
 - 환경 트렌드는 에너지 자원 확보 경쟁 심화, 청정에너지 개발 가속화, 자원 부족 등의 트렌드를 도출
 - 정치 트렌드는 민족·종교·국가 간 갈등의 심화, 사회 안전 요구 증대, 국가 간 에너지·자원 갈등 증가 등의 트렌드를 도출

〈표 7〉 주요 미래트렌드 보고서의 STEEP 분석 종합(안)

사회 (Society)	기술 (Technology)	경제 (Economy)	환경 (Environment)	정치 (Politics)
인구·도시 구조의 변화	기술 발전의 가속·융복합화	경제 위기 대응	기후변화 대응을 위한 자원·에너지 관리	글로벌 경쟁 심화
▪ 고령화 및 저출산 ▪ 초연결사회 ▪ 삶의 질 중시 문화 및 전통적 가족 개념 변화	▪ ICT 융합으로 제조업 혁신 ▪ 경제·사회·환경 현안 해소를 위한 기술 개발 ▪ 기존자원 대체 기술 개발	▪ 저성장의 고착화 ▪ 글로벌 경제 시대 도래 ▪ 공유경제 확산	▪ 에너지 자원 확보 경쟁 심화 ▪ 청정에너지 개발 가속화 ▪ 자원 부족	▪ 민족·종교·국가 간 갈등의 심화 ▪ 사회 안전 요구 증대 ▪ 국가 간 에너지·자원 갈등 증가

〈표 8〉 수소관망 메가트렌드

구분	주요 메가트렌드	주요 전망	본 기술 기획 연관 이슈 및 해소 방향
사회 (S)	인구·도시 구조의 변화	■ 세계인구 증가로 에너지/식량/물 부족 초래 ■ 과도한 도시화, 환경오염, 빈곤 등 문제가 지속 발생 ■ 코로나-19 이후 원유수요 감소로 인해 비화석에너지로의 사회 전환 가속	■ 에너지 효율, 지능적 관리를 위한 4차 산업혁명 스마트 기술의 접목 ■ 지역에너지 자립을 위한 수소기술 및 시스템 적용에 따른 안전성 및 주민 수용성 확보
	■ 고령화 및 저출산 ■ 초연결사회 ■ 삶의 질 중시 문화 및 전통적 가족 개념 변화		
기술 (T)	기술 발전의 가속·융복합화	■ IoT, 인공지능, 가상·원격, 통신 등 융·복합기술 확산 ■ 탄소중립, 수소기술 경제성 증대, 기술변화 및 환경오염, 에너지 위기, 기술변화로 안전 위험성 증대 ■ 그리드패리티 달성에 따른 경제성 확보로 민간자본의 자발 참여	■ 수소경제로 전환에 필수적인 수소 생산, 공급체계 및 인프라 기술에 대한 투자 확대 ■ 기술 의존도 개선, 국제표준 활동 활성화, 해외 선진기관과 교류협력 강화
	■ ICT 융합으로 제조업 혁신 ■ 경제·사회·환경 현안 해소를 위한 기술 개발 ■ 기존자원 대체 기술 개발		
경제 (E)	경제 위기 대응	■ 물·에너지·자원 수요 증가에 따라 생산투자 지속 증가 ■ 탄소중립, 수소경제 활성화, 장기적 수소 수요와 생산 증가 ■ 신에너지 산유국이 되기 위한 경쟁 심화 예상	■ 수소관련 해외 의존도(약 70%) 심화를 개선 ■ 수소 수요 증가에 대비한 전주기 인프라 네트워크 및 안전한 도로교통 운송체계 구축 ■ 수소산업 생태계 조성 및 활성화, R&D를 통하여 기반을 조성할 필요
	■ 저성장의 고착화 ■ 글로벌 경제 시대 도래 ■ 공유경제 확산		
환경 (E)	기후변화 대응을 위한 자원·에너지 관리	■ 지구온난화 대응 글로벌 환경규제 및 인증제도 강화 ■ 에너지 기술(대체에너지), 에너지원의 다원화, 청정생산 연구 ■ 지역 자립형 에너지 네트워크 ■ 그린에너지 실현을 위한 재정정책 지속 전망	■ 신재생에너지 적용에 따른 생태계 보호, 도시발생 폐자원의 순환활용 및 환경오염 저감 ■ 부족한 수소설비 입지공간의 지하 입체화를 통한 확보, 방호/안전 성능 향상기술 개발
	■ 에너지 자원 확보 경쟁 심화 ■ 청정에너지 개발 가속화 ■ 자원 부족		
정치 (P)	글로벌 경쟁 심화	■ 국가별 에너지원, 에너지 시설 안보 강화 ■ 글로벌 인증기준 및 표준화 시스템 강화 ■ 효율적인 신에너지 활성화를 위한 국민 인식 제고 정책 필요	■ 에너지 안보차원의 수소 인프라 구축 및 안전성 확보 접근 ■ 해외 선진 연구기관의 교류협력 강화, 관련 글로벌 표준화, 기술무역장벽 해소노력
	■ 민족·종교·국가 간 갈등의 심화 ■ 사회 안전 요구 증대 ■ 국가 간 에너지·자원 갈등 증가		

나. 국내외 정책 동향

(1) 국외 정책 동향

(가) 미국

□ 정부는 '02년 '수소경제 이행을 위한 국가비전(National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy)' 을 발표하고 수소사회로 전환하기 위한 장기 비전을 제시

○ 세계 에너지 소비 증가로 자원의 고갈 우려 및 지구 온난화에 따른 환경 위험이 증가함에 따라 장기적으로 대응하기 위해 수소경제로 이행할 것을 선언

- 미국은 부시 정권 당시 수소에너지 분야를 에너지 정책의 최우선 과제로 삼을 만큼 '00년대 초반부터 수소에너지에 큰 관심을 두고 연구개발을 시행
- 이후, DOE(Department of Energy, 에너지부)를 중심으로 수소생산, 연료전지, 수소차 등 분야별 R&D 및 실증연구를 수행

○ 수소에너지 시스템에 대한 7가지 요소를 제시, 각 요소들에 대한 구체적 목표를 명기한 '국가 수소에너지 로드맵' 을 제시

- '국가 수소에너지 로드맵' 은 수소를 생산, 운송, 저장, 전환, 이용, 교육, 표준화의 7가지 요소로 구분하여 각각 세부 목표를 제시

〈표 9〉 수소경제 이행을 위한 4단계 국가비전

제1단계 (‘00~‘15)	제2단계 (‘10~‘25)	제3단계 (‘15~‘35)	제4단계 (‘25~)
수소 기술개발	초기시장침투	시장확대 및 인프라 정비	수소경제의 실현
본격적 인프라 투자에 앞서 애로기술의 해결과 안전성 확보와 교육 홍보, 기술 및 제품 표준화	휴대용, 가정상업용, 수송용 시스템의 상업화와 정부주도의 인프라 투자 개시	발전용, 수송용 연료전지 상업화, 인프라의 상업적 운영	연료전지 시장성숙과 수소공급 인프라 완비로 수소경제의 정착

출처 : A NATIONAL VISION OF AMERICA'S TRANSITION TO A HYDROGEN ECONOMY — TO 2030 AND BEYOND, DOE, 2002

○ 수소생산 현지공급(On-Site)방식이 높은 경제성을 가진다고 판단, 이를 위해 기존 공정의 개조 및 새로운 수소 제조원을 찾기 위한 투자 및 연구개발을 지속

- 미국은 풍부한 천연가스 매장량을 바탕으로 천연가스를 활용한 수소 제조가 수소 생산 분야에서 95%를 차지할 정도로 많은 부분을 차지하고 있으며, 화석 연료의 에너지 변환을 통해 수소 생산 계획을 꾸준히 확대 예정
- 한국, 일본 등과 같이 해외에서 생산된 수소를 수입하는 방식보다 자국 내 천연가스 등을 활용한 방식이 더 높은 경제성을 가진다고 판단
- * DOE(에너지부)는 미국에서 생산된 수소의 최종적 가격 목표치를 4달러/kg로 설정

공공정책 기조		2000~	2010~	2020~	2030~	2040~
		에너지원보 대기오염 기후변화 H2 안전성	홍보 및 국민수용		에너지캐리어로서 H2에 대한 신뢰구축	
수소·연료전지산업	생 산	최신 천연가스 처리공정	바이오페스/석탄가스화 개질 에너지와 원자력 이용 물분해	열저장 이용 열화학적 물분해	생물분해	물의 광분해
	운 반	· 파이프라인 · 트럭, 철도 버지선			현지 '분산형' 설비	중앙집중/분산형 통합네트워크
	저 장	가압액화(가스 및 액체) 화학적 저장(메탄올, 디젤)	금속 (metal hydrides)	양산을 위한 성숙단계의 기술 고체상태(탄소, 유리구조)		
	전 환		· 연료전지 · 최신 연소 기술	양산을 위한 성숙단계의 기술		
	이 용	· 연료전지 · 우주왕복선 · 휴대용 전원 · 공공부문 발전용 및 차량 fleet	· 분산형 전원 · 버스fleet · 자동차fleet · 군용	· 상업용 fleet · 분산형 CHP · 개인용 승용차 시장도입	· 전력사용 발전시스템 · 통합형 연료/전원 시스템	

출처 : 충남 수소경제사회 구현 전략 수립, 호서대학교, 2016

〈그림 9〉 국가 수소에너지 로드맵

□ DOE는 미국 전역에서 수소 인프라 조기 구축을 위한 공공-산업계 간의 공동 활동체 ‘H2USA’ 발족(‘13)

○ H2USA는 미국 전역 FCEV의 상용화와 보급 확대를 목적으로 하는 민간 파트너십 조직으로 ‘13년 5월 미국 DOE(에너지부)는 도요타, 닛산, 벤츠 등과 파트너십을 맺고 H2USA를 결성

- H2USA의 미션은 수소 충전 인프라 확립에 대한 장애물을 제거하고, FCEV의 대규모 도입을 촉진하는 것
- 구체적으로는 미국 전역에 걸친 FCEV 보급, 미국의 에너지 안정성 및 경제적 안정성 향상, 온실가스 배출저감, 청정에너지원 개발 및 고용창출, 신기술 검증과 친환경에너지 분야의 강력한 공급 토대 구축 등에 기여

* 해당 프로젝트에 투입되는 연료전지 차량은 현대 Tucson, 도요타 미라이, 혼다 Clarity, 폭스 바겐 Gold SportWagen Hymotion, 쉐보레 Feul Cell EV, 벤츠 B-Class F-Cell, 닛산 X-trail 등



출처 : H2USA 홈페이지(www.h2usa.org), H2USA, 2021

〈그림 10〉 H2USA 참여기관

- DOE는 액체화 기술을 비롯한 생산·저장 기술 개발을 통해 ‘50년까지 수소 상용화 및 정착을 위한 정책을 추진
 - 현재 1kg당 13~16달러 수준의 수소 유통가를 ’ 25년까지 1kg당 7달러로 낮추기 위한 기술개발 추진 중
 - ‘50년까지 수소 액체화 기술을 비롯해 생산·저장 기술을 개발하여 유통가를 낮춘다면, 산업 공급 원료, 건물 난방, 산업 에너지, 전력 생산 등의 다양한 분야에서 수요는 점차 높아질 전망
- 캘리포니아 주는 민관 합동기구인 ‘캘리포니아 연료전지 파트너십(California Fuel Cell Partnership, CaFCP)를 결성하여 수소에너지 생산·보급 확대정책 추진
 - 수소충전소 인프라 확충을 위해 매년(‘13~‘24년) 약 200억 원 투자 중에 있으며, ‘30년까지 단계적으로 수소충전소 1,000기, 수소차 100만대 보급 목표를 제시
 - 저탄소 연료표준을 개정하여 ‘30년까지 탄소 집약도를 엄격하게 낮추고 수소 저장소의 개발을 장려할 뿐만 아니라 CCUS 운영자가 저탄소 수소로부터 크레딧을 받을 수 있도록 지원
 - 수소경제 확산을 위한 일련의 조치로서 이산화탄소의 지중 저장(CCS)에 대한 보상으로 45Q 세액 공제가 확대되었으며, 이산화탄소를 다른 제품으로 전환(CCU)하는 것에 대한 보상조항 추가



출처 : A Vision for Freight Movement in California—and Beyond, California Fuel Cell Partnership, 2021

〈그림 11〉 캘리포니아 수소차, 충전소 보급계획

(나) 유럽

□ EU는 '06년 유럽 수소 및 연료전지 기술 플랫폼을 발족, '07년 수소·연료 전지를 포함한 에너지 정책 추진 중

○ 유럽은 신재생에너지의 잉여전력을 통해 수소를 생산하고 동시에 신재생에너지의 출력 변동성을 보완하는 기재로서 수소를 활용하여 대규모 전력저장과 친환경 수송연료로 이용

- 신재생에너지 활용 측면뿐만 아니라 가스 그리드 활용, 대용량 수소저장소 구축, 수소충전소 확충 등에 중점을 두고 수소에너지 정책을 실행

〈표 10〉 EU HyLaw 플랫폼 제공 법·제도 내용

구분	내용
수소 제조	전기분해, 증기 메탄을 개질 및 H₂ 액화를 통한 중앙 집중 및 현지 수소 생산 방식 포괄
수소 저장장치	가압가스 형태 및 액화 상태 또는 금속 수소화물 저장
수소의 수송·분배	벌크 수소가스, 금속 수소화물 저장 수소, 액화수소의 실린더 및 튜브트레일러의 도로 운송 포괄
충전 인프라	이동성을 목적으로 연료 보급 인프라에 사용되는 연료로서의 수소 충전시설
차량	자동차, 버스 및 트럭, 선박 등 포함

출처 : 안전한 수소사회 실현을 위한 모빌리티 정책 제언, 국토연구원, 2019

- EU 내 18개국의 수소 에너지 사용에 관한 법적 체계와 관리 절차를 조사하고 상호 공유하기 위해 HyLaw(Hydrogen Law, 수소법) 프로젝트를 추진
 - EU의 수소에너지 활용 방식의 특징 중 하나인 ‘공유’ 방식은 법률적인 측면에서도 활용하기 위해 지속적으로 노력하고 있는데, 법적인 장벽을 제거
 - 수소 및 연료전지기술의 보급 및 확대를 촉진하여 시장 흡수를 촉진함으로써 시장 수요자에게 관련 규정에 대한 명확한 견해를 제공하는 동시에 정책 입안자의 관심 증대를 도모하고자 추진
 - 수소에너지 사용에 관한 이슈를 수소 저장 장치, 모빌리티를 위한 수소충전 인프라 등의 범주로 나누어 각 범주 내의 법적인 제도와 관리 절차 등을 소개하고 있으며, 안전성 등에 대한 각국의 규정을 정리하여 비교 제시
- ‘02년부터 수소·연료전지 분야의 산학연 전문가를 모아 HLG(High-Level Group)를 결성하고 전략적인 수소경제 대응을 준비
 - EU 집행위원회는 ‘06년 ‘HFP(European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform)’를 출범하고 수소연료전지기술 로드맵을 구축

〈표 11〉 EU HyLaw 플랫폼 제공 법·제도 내용

구분	내용
수소생산	▪ 경쟁력이 있는 중앙 공급형 100MW(50ton/day) 규모의 수전해 기술개발 ▪ 2020년까지 GWh 규모의 4개 지하 저장설비 실증, 100+MWe 규모의 화석연료 개질 설비 실증 ▪ 2020년까지 10개의 3ton/day 규모 바이오매스/바이오가스 기반 수소 생산 설비 실증 ▪ 2020년까지 10개의 2ton/day 규모 수전해 설비 보급(2015년에 2기 운영) ▪ 두 가지 콘셉트의 수소 생산, 저장 기술 실증(수전해, 천연가스 개질, CCS를 겸한 석탄가스화 기술) ▪ 무탄소 ‘Hydrogen Production to Car’ 실증(2015년까지 10개소, 2020년까지 50개소)

수소의 수송과 충전	▪ 연료전지차량 기술개발(비용 저감, 수명 장기화 등) 및 부품·시스템 대량 생산을 통한 가격 저감 촉진 ▪ 2020년까지 3개의 연료전지차량 부품조립 자동화 라인 실증, 비용 절감기술 통합 ▪ 유럽 내 건설하고 경쟁력 있는 FCEV 부품 공급 서플라이체인 구조 달성 ▪ EU의 한 회원국 내에 전국적으로 1,000여 개의 수소충전소 건설 ▪ 2020년까지 수천 대의 수소차 보급 실증(2015년까지 약 100개의 충전소와 3,000대의 차량 보급) ▪ EU 내 다른 한 개의 회원국 내에 2015년부터 2018년까지 100여 개의 수소충전소 건설, 운영 실증 ▪ 2020년까지 약 100개의 보조동력원(Auxiliary Power Unit, APU) 보급(2015년까지 10개의 실증설비)
정치형 연료전지 시스템	▪ 소형 열병합 연료전지시스템 기술의 연구개발 계속(가격 저하, 수명 장기화, 유용성 및 효율 제고) ▪ 2015년까지 가정용 1,000여 개의 m-CHP를 유럽 내 20여 개 도시에 보급(2020년까지 5만여 개 보급) ▪ 산업용 CHP 기술의 연구개발(저가격, 고수명, 유용성 및 효율 제고) ▪ 2020년까지 200여 개의 세계 최초 상업용 시스템 보급
법규 코드 표준 및 사회 수용성	▪ 산업계가 선도하는 RCS(Regulation, Code and Standards) 전략 조정기능의 수행 ▪ 표준 전 연구의 필요성에 대응하는 활동과 표준 적용 후의 효율적인 피드백 활동 ▪ 수소와 연료전지기술의 홍보, 교육, 초기 보급 및 사회적 수용성을 제고하기 위한 활동

출처 : 유럽의 수소이용 기술개발과 산업화 활동, 충남연구원, 2015

- 「에너지 2020 전략(2010)」을 통해 신재생에너지 기술개발 투자를 확대하였으며, 연료전지에 대한 효과적인 지원을 위해 FCH JU(Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) 설립
- FCH JU는 수소에너지와 연료전지 분야에 관련된 연구, 개발 및 상용화 연계를 지원하는 민관 파트너십으로 FECV 및 수소연료전지 보급 인프라 확장을 추진
 - 재생에너지를 활용한 수소생산, 다른 자원을 이용한 수소생산, 발전용 연료전지 기술개발, 수소저장, 처리 및 공급 등 4개 분야에 프로젝트를 지원
 - FCH JU는 재생에너지 20% 증가, 에너지효율 20% 증가, 탄소배출 20% 감소를 목표로 수소에너지 전반의 로드맵 추진 등의 역할을 수행



출처 : FCH 홈페이지(www.fch.europa.eu), FCH, 2021

〈그림 12〉 FCH의 최종 목표

□ EU 집행위원회는 2050년 탄소중립 목표로 탄소중립 달성을 위한 청정수소 계획 「수소전략(Hydrogen Strategy, '20.07)」을 수립

- EU 집행위원회는 수소분야 투자를 촉진하고, 전력화가 어려운 부분의 탈탄소화 도모를 위한 「수소전략」을 발표, 그린수소 대규모 생산을 위한 투자확대와 재생에너지 기반 수소개발을 위한 R&D 혁신 추진
 - 「수소전략」은 ‘보다 깨끗한 지구’와 ‘더욱 강력한 경제’라는 두 가지 목표 달성을 위해 유럽 에너지 부문을 더욱 효율적이고 상호 연결된 형태로 만드는데 비전을 설정
 - 코로나19 대응 경제 회복책 ‘차세대 EU(Next Generation EU)’와 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’의 연장선상에 있으며, 새로운 청정에너지 투자 의제를 제시
- 「수소전략」은 에너지시스템 통합 과정에서 전력화가 어려운 부문인 정유, 철강, 화학단지 등의 탄소 집약적 산업과 수송부문의 저탄소화에 기여할 수 있다는 관점에서 마련
 - 수송부문의 경우 버스, 특수목적차량, 대형화물 차량 등 이들이 배출하는 온실

가스 저감에 수소가 활용될 것으로 기대

- 재생에너지(태양광과 풍력) 기반 수소 개발에 대한 중단기적 투자를 통해 탄소 배출량을 줄이고 시장 확대에 기여하고자 함

○ 「수소전략」은 정유, 철강, 화학단지 등 수요처 중심의 청정수소 가격경쟁력 확보 및 개발·상용화를 위해 단계별 로드맵을 제시

- **(1단계)** 연간 1GW를 밑도는 수준인 유럽의 수전해를 통한 청정수소 생산능력을 ‘24년까지 유럽 내 6GW 규모 청정수소 생산시설을 확보, 연간 약 100만 ton의 청정수소 생산
- **(2단계)** ‘30년까지 총 40GW의 청정수소 생산시설을 확보해 연간 1,000만 ton 수준까지 청정수소 생산능력을 확보
- **(3단계)** ‘50년에 이르러서는 앞선 기술을 성숙시켜 상업이용 가능 수준의 대규모 청정수소 생산시설을 확보해 수소 에너지 활용 활성화

〈표 12〉 「EU 수소전략」의 단계별 추진전략

제1단계(‘20~‘24)	제2단계(‘25~‘30)	제3단계(‘30~‘50)
재생에너지 기반 수전해 설비 6GW, 재생에너지 기반 수소 백만 ton 생산	▶ 재생에너지 기반 수전해 설비 40GW, 재생에너지 기반 수소 천만 ton 생산	▶ 재생에너지 기반 수소 기술이 성숙단계 돌입, 탈탄소하기 어려운 부문까지 대규모로 수소 보급

○ 「수소전략」의 단계별 전략 이행을 위해 ‘유럽 청정수소 연맹(European Clean Hydrogen Alliance)’ 출범, 산업계, 시민사회, 국가·지역 장관, 유럽 투자은행 참여를 도모

- 청정수소의 대규모 생산을 위한 투자 계획을 수립하고 유럽 내 청정 수소에 대한 수요 지원 예정
- 다수의 유럽 국가들이 그린수소 개발 및 상용화에 높은 관심을 표명하고 있으며, 특히 독일 정부는 ‘30년까지 전체 수소생산량 중 20%를 그린수소로 충족한다는 목표를 설정
- 북유럽 국가들도 해상풍력을 이용한 그린수소 확보 계획을 발표하는 등 유럽 연합(EU)의 탄소중립 대륙을 향한 중장기적 계획에 발맞춰 추진

① 영국

□ 영국정부는 ‘50년 온실가스 순배출량 제로를 목표로 ‘청정 성장전략(The Clean Growth Strategy, 2017)’ 를 통해 청정기술 개발 지원

- ‘17년 3월, ‘Hydrogen for Transport Programme’ 을 통해 수소차의 수용성 제고 및 수소충전소 구축을 위해 ‘ 20년까지 23억 파운드 지원을 추진
 - ‘40년부터 내연기관 차량의 판매 금지를 발표하는 등 수소 부문의 온실가스 배출량 감축을 목표로 4개의 신규 수소충전소 구축 및 기존 5개의 충전소 업그레이드, 193대의 수소차 보급 등을 지원
- ‘18년 5월, 영국의 수소경제 활성화를 위해 2,000만 파운드 규모의 ‘수소공급 프로그램(Hydrogen Supply Programme)’ 을 추진
 - 수소 사용 확대를 통해 180억 파운드(230억 달러)의 경제효과와 ‘35년까지 7만 5,000개의 일자리 창출을 목표로 2건의 그린수소 사업(Gigastack, Dolphyn)과 3건의 블루수소(HyNet, Acorn, HyPER) 개발·생산 프로젝트 추진
 - 312만 파운드가 지원되는 Dolphyn 사업은 부유식 풍력 발전기에서 해수를 이용해 그린수소를 생산하는 방안을 모색할 계획
- ‘19년 3월, ‘영국 국가 에너지 및 기후 계획(NECP, UK National Energy and Climate Plan)’ 을 통해 ‘50년에 최소 온실가스 배출량의 80%를 감축하기 위한 이행수단으로 전기부문, 수소부문, 배출량 제거 부문으로 구분하여 주요 역할 및 목표를 발표
 - 모든 차량을 수소연료화하고 주요 건물에 대해 수소의 사용 및 CCUS 도입을 추진
 - ‘H21 Leeds City Gate’ 시범사업을 통해 도시 전체에 화석연료나 전기에너지를 사용하지 않고 전체 난방망을 100% 수소에너지로 전환하는 실증사업을 수행 중
- 범부처적 협력을 위해 ‘18년 ‘수소경제팀(Hydrogen Economy Team)’ 을 설립하는 등 부문별 정책 협의체 지원을 통해 수소 부문별 다양한 정책을 추진 중
 - 수소 및 연관 기술의 혁신은 물론 열사용의 탈탄소화(Heat Decarbonization), CCU 등에 대한 정부 간 협의 사항을 논의하고 전략을 수립
 - 모빌리티 부문 ‘UK H2Mobility’, 연료전지 부문 ‘UK HFCA(UK Hydrogen and Fuel Cell Association)’, 열소비 부문 ‘Hy4HEAT’, ‘H2FC SUPER GEN’ 등의 협의체 지원을 통해 수소 보급 확대 및 산업 육성을 위해 노력

② 프랑스

- 「수소 연료 발전계획(Hydrogen Deployment Plan, 2018)」을 통해 프랑스의 수소 상용화 기술을 세계적인 수준으로 끌어올리기 위한 정책 추진 중
 - 수소자동차 기술 상용화를 위해 '23년, '28년 산업·수송 부문의 저탄소 수소 보급 목표를 설정하였으며, 에너지 전환청(ADEME)은 총 8,000만 유로 규모의 수소충전소 43개와 158개의 중형교통 충전소 설치를 추진 중
 - (목표 1) '23년까지 영업용 소형차량 5,000대와 영업용 대형교통수단(버스, 트럭, 열차, 선박) 200대 및 수소연료 충전소 100개소 설치
 - (목표 2) '28년까지 소형차량 2만~5만대, 대형교통수단 800~2,000대, 수소연료 충전소 400~1,000개소 설치
 - 프랑스 국회는 전기 및 가스 등의 생산, 수입 및 판매, 관련 기업에 대한 규제와 신재생 에너지, 바이오 연료 등에 대한 규정을 제시하는 에너지법(Loi energie, 2019),을 발효
 - 수소 에너지와 관련하여 ' 23년까지 저탄소 수소가 산업화 수소 전체 소비량의 20~40%에 도달하는 것을 목표로 규정

③ 독일

- (독일) '23년까지 400개 수소 연료전지 충전소 건립 지원 등을 목표로 수소인프라 확충에 총력

〈표 13〉 독일 BMVI 수소모빌리티 프로젝트 지원 현황

프로젝트	지원내용	지원금(유로)
GHT Mobility GmbH	▪ 50대의 연료전지차량(CleverShuttle) 구매	754,622
Deutsche Post DHL Group	▪ 소포배달서비스에 사용될 500대의 연료전지 차량(Streetscooter) 구매	9,822,330
HGVs: MAN & Shell with Anleg GmbH and TU Branschweig	▪ 화물차 등을 위한 연료전지시스템 및 이 동식 충전소 개발 및 시운전	8,121,251
FAUN Umwelttechnik GmbH & Co. KG	▪ 수소연료전지 쓰레기 수거 차량 운전자 트레이닝 및 개발 펀드	521,241
EvoBus GmbH	▪ 연료전지를 활용한 도심 전기버스 개발	3,309,652
Gunsell Fordertechnik und Fahrzeugbau GmbH	▪ BMW 공장에서 물류 프로세스에 활용될 수소 관련 자재 취급 차량 펀딩	1,024,094

- 독일은 '07년부터 수소 인프라 건설을 위해 연방정부 차원의 「수소 및 연료전지 기술 국가 혁신 프로그램(National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology, NIP)」을 시행 중
- 해당 프로그램은 초기부터 연구기술 분야에 대한 포괄적인 지원 계획을 다루고 있으며, '07년~'16년까지 수소 인프라의 기반 마련에 5억 유로 지원
 - * (NIP 프로그램 보조금 지원 분야) ① 교통수단(도로, 철도 및 수상) 및 항공기 중 수소연료장치 장착, 그에 따른 연료공급 및 유지에 필요한 인프라, ② 물류를 위한 특수 수송차량 중 수소연료장치 장착, 그에 따른 연료공급 및 유지에 필요한 인프라, ③ 선박, 차량, 항공기에 에너지 공급을 위한 고효율 열병합발전(CHP, Combined Heat & Power) 투자 보조금 등
- '16년~'25년까지는 양산을 위한 기술개발과 인프라 구축 등을 위한 2차 프로젝트를 추진 중이며, 수소 자동차 보급의 증가 추세에 맞춰 '25년까지 충전소를 400여 곳으로 확충하는 것을 목표로 설정
- 독일의 에너지 전환 정책에 따라 향후 풍력발전 설비용량은 더욱 커질 것으로 전망되며, 수소 생산 능력 또한 더욱 향상될 것으로 전망
 - 유럽의 수소연료전지 정책 방향과 마찬가지로 독일 역시 연방정부가 목표로 하는 저탄소에너지 전환을 위한 주요 활용 방안으로 수소에 대한 중요성 인지

(다) 일본

- 일본정부는 후쿠시마 사고 후, 자립형 에너지 공급을 위해 수소공급(국제 공급망 구축), 수소 활용(수소발전, 모빌리티 등) 중심의 수소경제 집중 육성
- '11년 후쿠시마 원전사고 이후 전체 에너지의 30%의 해당하던 원전 재가동이 지연됨에 따라 일본정부는 대체 에너지 확보 차원에서 수소 에너지에 큰 기대
 - 석유화학단지/제철소 부생수소 활용과 저품질 석탄 활용(석탄가스화 기술)으로 수소를 생산하고 분산형 전원 비상 전원, 수송 연료로 활용하려는 계획
- 일본정부는 「제4차 에너지 기본계획(2014)」에 수소사회 실현을 국가적으로 아젠다로 설정하여 세계 최초 국가차원의 구체적인 실행단계에 돌입하였으며, 이를 바탕으로 「수소·연료전지 전략 로드맵(2014)」을 발표
 - 「제4차 에너지기본계획」에서 일본의 에너지 정책기조를 안정공급, 효율성, 친환경 등 3개의 유형에 안전성을 더하는 SE+S로 설정하였으며, 수소를 에너지로 이용하는 수소사회 추진 필요성을 제기
 - 「수소·연료전지 전략 로드맵」을 통해 3단계의 수소사회 실현 목표 및 이행과제를 설계

□ 일본정부는 자국의 에너지정책 목표(3E+S)하에 ‘50년까지 지향할 「수소 기본전략(2017)」을 수립·발표

- 에너지안보에 구조적 취약성을 가지고 있는 일본은 수소 에너지를 통해 1차 에너지 공급구조를 다각화하여 에너지 공급 리스크를 축소하고 저탄소화를 추진
- 저비용 수소 공급체제 구축, 국제 수소 생산·공급망 개발, Energy Career 개발, 재생에너지원 전력의 수소화 기술 개발, 발전부문 수소 이용확대 등을 포함한 수소사회 실현 발전단계별 비전을 제시
 - (1단계) 수소 이용의 비약적 확대를 위해 연료전지 및 수소연료자동차(FCV) 도입 확대(‘30년까지 FCV 80만대 보급, 수소충전소 900개 확보) 추진
 - (2단계) 대규모 수소공급 시스템 확립 등 수소 발전 본격 도입
 - (3단계) 재생에너지에서 발생하는 수소 이용을 확대하는 등 이산화탄소 배출 없는 수소 공급 시스템 확립



출처 : 日, 수소사회 실현 다가오나, KOTRA, 2017

〈그림 13〉 「수소기본전략」의 수소사회 실현을 위한 단계별 로드맵

- 이를 달성하기 위해 ‘30년까지 해외수입을 통한 수소제조, 운송, 저장을 포함한 수소 공급망을 본격적으로 도입하기 위해 호주 갈탄(매장량: 400억 ton)에서 수소를 생산하여 액화 후 일본으로 운송하는 전략을 마련
 - ‘16년 호주 정부와 액체수소 수입 사업에 대한 합의를 마친 후 기본설계 계획에 착수하였으며, 호주 정부와 빅토리아주는 기본설계 비용 중 일부인 300만 달러 (25억 원)투자
 - ‘17년에는 일본 국토교통성과 호주 해사안전청이 ‘액체수소 운반선’ 안전 기준관련 양해각서를 체결

- 또한, 수소기차와 가정용 연료전지 보급 확대를 기반으로 저비용 수소 이용과 액체수소, P2G, 해외 수소생산을 통한 자국 수소 공급망 개발에 주력
- 일본에서 수소충전소를 건설하는 비용은 한 곳당 4억~5억엔으로 유럽과 미국의 2배 수준이며, 일본 정부는 규제완화를 통해 건설비용을 ‘20년까지 절반까지 줄인다는 목표 수립
- 일본정부는 ‘10년부터 수소 충전소 관련 법규를 개정해 소재, 입지, 안전, 운영 규제를 대폭 완화
- 이를 통해 수소 충전소의 건설비용 절감, 운영 수익성 개선, 고객 편의성 제고 효과 달성을 도모
- 향후, 주요 소비자지역 인근에서 다양한 방식의 충전 사업이 가능해져 수소 충전소가 빠르게 확충될 전망
- 국제 수소생산·공급망 확보 및 수소 산업을 선도하기 위해 수소기술 관련 국제표준 설정을 정부 차원에서 주도할 계획
- 일본 정부는 UN의 국제기술표준(GTR: Global Technical Regulation) 개정 과정(ISO/TC197)에서 자국의 수소 및 연료전지 관련 기술표준이 적용되도록 하여, 국제 표준 설정을 주도할 계획
- 또한, 수소충전소 및 FCV에 관련된 자국 기준 표준을 정비하여 국제표준화를 도모할 계획

〈표 14〉 일본의 수소사회 실현을 위한 규제완화 전략

구분	내용
소재규제	▪ 수소 충전소 금속재료 허용 강종 확대(강재 용기, 배관 등) ▪ 수소 충전소 복합용기 기준 완화(저가/경량 소재 사용 허용) ▪ 복합용기 압축기의 설비 기준 완화(복합소재 허용 등)
입지규제	▪ CNG충전소 병설 시 설비 간 이격거리 축소 ▪ 가솔린 주유소 병설 관련 규제(이격거리, 충전기 설치 등)완화 ▪ 공공도로와 충전기(디스펜서)의 이격거리 축소
안전규제	▪ 압력설비의 설계 계수를 유럽/미국 수준으로 저감 ▪ 충전기 방폭 준 완화(부분별로 안전 재평가) ▪ 공공도로에서의 임시 수소충전 허용 ▪ 냉각설비의 안전거리 규제완화
운영규제	▪ 35MPa 수소스탠드 및 실증 기준 재정 ▪ 70MPa 수소스탠드 및 실증 기준 재정 ▪ 35MPa 수소스탠드 안전검사 완화(검사항목 축소 등) ▪ 압축수소 운송 트레일러 복합용기의 안전기준 완화 ▪ 셀프 수소충전 허용 수소 충전소의 최대 수소저장용량 제한 철폐 ▪ 완전히 충전이 가능하도록 규정 초과압력(70MPa)이상 충전 허용

출처 : 충남 신재생에너지 산업화 발전계획과 수소경제사회 구현 전략 수립 연구용역, 호서대학교, 2016

(라) 중국

□ 중국은 수소 에너지를 국가의 경제 발전을 위한 핵심 산업으로 주목, 「제조 2025」에서 신에너지 자동차를 핵심 사업으로 선정

- ‘16년 「에너지 절약 및 신에너지차 기술 로드맵」을 통해 수소 이니셔티브를 선언, 2030년까지 수소차 100만대 보급, 수소충전소 1,000개 구축을 목표로 신재생에너지 및 메탄의 개질 등을 통한 수소 생산기술 개발 추진
- ‘30년 수소차의 상용화를 목표로 하고 있으며, 신재생에너지 및 원자력 이용, 메탄의 개질 등을 통한 수소 제조 기술을 중점 개발할 계획

〈표 15〉 중국의 수소차 기술개발 계획

구분	내용
‘16~‘20년	▪ 대용량 전력 배터리와 혼합된 중형 연료 전지를 특정 지역의 공공 차량 서비스에서 대규모 연료전지 차량 시연을 실현해 나갈 것으로 기대
‘21~‘25년	▪ 중형 전력 배터리와 혼합된 대용량 연료 전지를 연료 전지 자동차의 대규모 상업화를 실현할 것으로 기대
‘26~‘30년	▪ 풀 파워 연료 전지가 민간 승용차와 대형 상용차 백만 단위 상용화 추진을 실현해 나갈 것으로 예상 ▪ 수소 에너지 공급 시스템은 주로 연료 전지 차량 개발을 지원할 재생 에너지로 공급될 예정

출처 : 수원형 수소생태계 모델 구축 계획수립, 수원시, 2020

- 베이징, 상하이, 청두 등지에 수소 수송을 위한 정책을 적용할 계획이며, 우한은 ‘25년까지 최대 100개의 연료전지 자동차 제조업체와 관련 기업, 최대 300개의 충전소를 갖춘 최초의 중국 수소 도시로 육성 추진

〈표 16〉 중국의 수소차 기술개발 계획

구분	내용
베이징, 허베이성, 랴오닝성	▪ 수소 연료전지 산업 발전에 대규모 투자를 단행할 방침
저장성 타이저우시	▪ 수소에너지 산업 지원책을 시행 중이며, ‘16년부터 수소에너지 타운 조성에 160억 위안을 투입
후베이성 우한시	▪ ‘18년 ‘수소산업 발전계획 방안’을 통해 ‘20년까지 수소차 3,000대, ‘25년까지 1만~3만 대 운용 청사진을 제시

출처 : 오염퇴치·지속발전 쫓아 '수소의 길' 접어든 중국, 아주경제, 2019

- ‘20년까지 5,000대, 2030년까지 1백 만대의 의 FCEV 보급 및 1,000개의 수소연

료 충전소 보급 예정

〈표 17〉 중국의 수소차 보급계획

구분	‘18년	‘20년	‘25년	‘30년
수소차	60대	5,000 ~ 1만 대	5만 대	100만 ~ 200만 대
충전소	5개소	100개 이상	300개 이상	1,000개 이상
시장규모	-	3,000억 위안	5,000억 위안	1조 위안

출처 : 오염퇴치·지속발전 쫓아 '수소의 길' 접어든 중국, 아주경제, 2019

- 중국 정부는 현재 기술발전 추세를 고려했을 때 도시 내 단거리 승용차 영역에서는 순수 전기차가, 장거리 대형 상용차 영역에서는 수소 전기차가 사업성이 밝다고 전망
 - 중국 내 25개의 연료전지 시스템 기업은 있지만 핵심기술이 부재해 Ballard(캐나다)나 Hdrogenics(캐나다), PowerCell(스웨덴) 등 글로벌 업체와의 제휴를 통한 기술 확보 노력을 지속
 - 수소차를 핵심 육성산업으로 활성화시키기 위해 중국은 연간 생산량 혹은 수입량이 5만대 이상인 기업에게 의무적으로 신에너지차(전기차, 수소차)를 전체 판매대수 중 일정비율이상 판매하도록 하는 의무 판매제를 실시
 - * 수소차 구매 보조금은 ‘20년까지 20만 위안(약 3,400만원), 수소 미니버스 및 트럭은 30만 위안 (약 5,000만원), 수소버스는 50만 위안 지급 예정(약 8,400만원)
 - ‘17년 중국은 캐나다 발라드社와 기술합작을 통해 연간 5,000대 규모의 수소버스용 연료전지 공장을 완공하였으며, 약 13개의 자동차 제조사가 수소승용차, 수소승합차, 수소버스 등을 개발 중
- 이후 ‘20년 「신에너지자동차산업발전계획(2021~2035)」을 통해 수소연료전지차를 포함한 신에너지자동차의 ‘35년까지의 발전 방향을 확정
 - 로드맵에서는 ‘35년까지 연료전지차의 상용화 실현을 목표로 제시
 - 추가적으로 지능형인프라서비스플랫폼 개발을 통해 수소충전기술과 인터페이스를 포함한 인프라 구축하여 종합서비스시범사업을 추진 및 관리를 실현

〈표 18〉 수소연료공급 보장시스템 구축

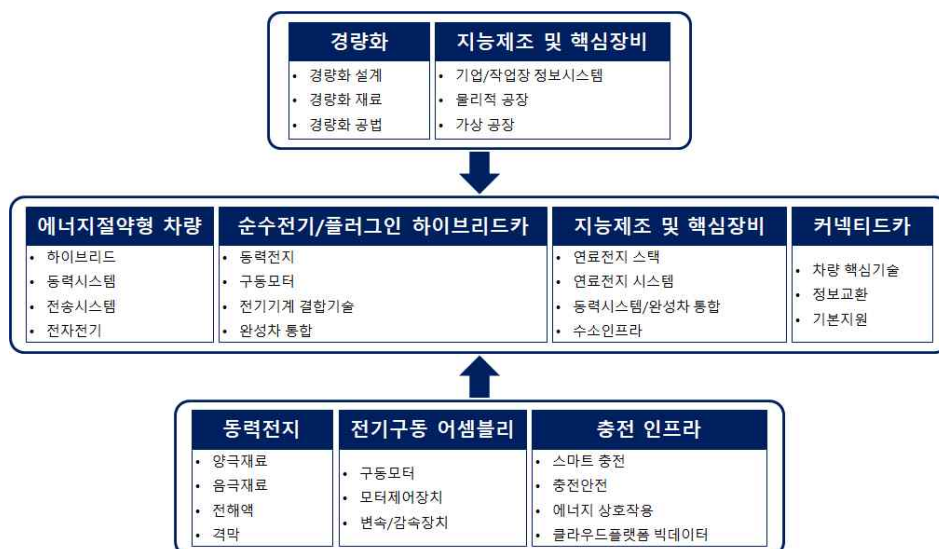
수소연료 생산, 저장 및 운송의 경제성 향상	수소충전 인프라 구축 사업 가속화
▪ 공업부생수소 및 신재생에너지 수소생산 기술 응용의 현지화 실현 및 첨단 수소 저장재료 산업화 촉진 ▪ 고압가스, 극저온가스, 저온액체 및 고체 등 다양한 형태의 저장 및 운송기술 시연 및 응용, 수소수송 파이프라인 구축을 통한 수소연료저장 및 운송비용 절감 ▪ 수소연료 생산, 저장 및 운송, 충전 등 표준화 시스템 정립	▪ 수소충전인프라사업의 추진, 심사, 검수 및 시운전 등 관리규범화 강화 ▪ 기업의 수소연료공급 및 소비수요에 기반한 수소연료보급인프라의 합리된 배치 유도, 안전운영 실현 ▪ 석유, 가스, 수소 및 전기의 통합공급서비스개발을 위한 기존장소 및 시설의 활용 지원 ▪ 수소연료 생산, 저장 및 운송의 조화로운 발전촉진 정책메커니즘 구축

출처 : 중국의 수소에너지 및 연료전지차 발전동향, KOSTEC, 2021

○ 같은 해 「에너지 절약 및 신에너지차 기술 로드맵 2.0버전」을 제시하며 글로벌 자동차기술의 ‘저탄소화, 정보화 및 지능화’를 고려하여 수소연료전지차를 포함한 신에너지차의 발전목표를 확정

- 수소연료전지차는 ‘25년까지 10만대, ‘35년까지 100만대를 보유할 목표를 수립하였으며 상용차의 수소동력으로의 전환을 위한 계획을 제시
- 기술로드맵의 연구분야는 산업전반적인 분야와 수소연료전지차, 충전인프라를 포함한 총 9개 세부기술 분야*를 제시하며 집중적인 기술개발을 추진

* 수소연료전지차, 순수전기차, 플러그인 하이브리드카, 커넥티드카, 동력전지, 전기구동 어셈블리, 충전인프라, 경량화, 지능제조, 및 핵심장비 등



출처 : 중국의 수소에너지 및 연료전지차 발전동향, KOSTEC, 2021

〈그림 14〉 「에너지 절약 및 신에너지차 기술 로드맵 2.0버전」 연구 분야

□ ‘19년 중국수소에너지연맹은 「중국 수소에너지 및 연료전지산업백서」에서 수소에너지 및 연료전지산업발전 총체목표 및 기술로드맵을 공식 발표

○ ‘50년까지 중국 에너지시스템의 수소에너지 차지 비중을 10%로 증가시키고 수소 수요량 6천만 톤, 연간 경제가치를 12조 위안으로 끌어올릴 계획

○ 중국 전역에 수소충전소 1만개 이상 설치, 수소차 500만대, 고정식 발전장치 2만 세트, 연료전지시스템 생산량 550만 세트 달성을 목표로 수립

〈표 19〉 중국의 수소에너지 및 연료전지산업발전로드맵

구분		단기목표(‘20~‘25)	중기목표(‘26~‘35)	장기목표(‘36~‘50)
총체 목표		- 수소에너지비중 4% - 산업생산액 1조위안 - 장비제조규모 - 수소충전소 200기 - 연료전지차 5만대 - 고정식 전원/발전소 1천개 - 연료전지시스템 6만세트	- 수소에너지비중 5.9% - 산업생산액 5조위안 - 장비제조규모 - 수소충전소 1,500기 - 연료전지차 130만대 - 고정식 전원/발전소 5천개 - 연료전지시스템 150만세트	- 수소에너지비중 10% - 산업생산액 12조위안 - 장비제조규모 - 수소충전소 1만기 - 연료전지차 500만대 - 고정식 전원/발전소 2만개 - 연료전지시스템 550만세트
기술 지표	수소 에너지 생산	- 현지 여건에 부합한 최적의 수소생산 로드맵 개발, 산업부생 수소의 적극적 이용, 재생에너지·수전해 수소생산 시범사업 발전 추진 - 수소생산비용 kg당 20위안	- 재생에너지·수전해 대규모 수소생산, 석탄을 이용한 수소생산 및 중앙집중식 수소공급 적극 발전 - 수소생산비용 kg당 15위안	- 재생에너지·수전해 수소 연속 생산, 생물학적 수소생산, 태양광 전기분해 수소생산, 청정석탄 수소생산기술 적극 발전 - 수소생산비용 kg당 10위안
	운송·저장	70MPa 기체, 저온액체수소저장, 고체 수소저장 40MPa 긴튜브 트레일러, 극저온 액체수소, 파이프라인(시연) 운송 - 수소저장밀도 4.0wt%	- 극저온 액체수소, 고체 수소저장 - 액체수소 탱크, 파이프라인 운송 - 수소저장밀도 5.5wt%	- 고밀도 고도 안전 수소저장 - 수소에너지 파이프라인망 - 수소저장밀도 6.5wt%
	연료전지시스템	- 비출력 : 3.5kw/L - 수명 : > 5천h(승용차), 1만5천h(상용차), 2만h(고정식 발전) - 환경적응성 : -30℃ - 생산비용 : 4천위안/kw	- 비출력 : 4.5kw/L - 수명 : > 6천h(승용차), 2만h(상용차), 5만h(고정식 발전) - 환경적응성 : -30℃ - 생산비용 : 800위안/kw	- 비출력 : 6.5kw/L - 수명 : > 1만h(승용차), 3만h(상용차), 10만h(고정식 발전) - 환경적응성 : -40℃ - 생산비용 : 300위안/kw

정 책 시 스 템	정 책 시 스 템	45MPa기체수소운송, IV형 수소저장 탱크, 수소충전소 안전, 기술검증표준, 액상수소 민용표준	- 수소연료표준 - 고체수소, 유기액상수소 등 저장 및 운송 표준 - 파이프라인 운송 표준
		교통, 공역 및 건설 등 말단영역에 근거해 표준시스템 지속적 완비, 새로운 응용시나리오 표준화 적시 확장 및 후속 조치	
	법 률 법 규	수소충전소 관리부문 확정, 수소충전소 건설계획 및 경영보조표준 통일	- 수소에너지를 에너지제품 관련 법규시스템으로 확정 - 수소에너지관리 관련 법률 법규시스템 지속적 완비
		- 관련기술의 지속적 업그레이드 전제하에서 연료전지 제품구매 보조금유지 ('25년까지 지속적 보조) - 연료전지 말단사용자에 대한 경영보상 혹은 세금수입 등 정책을 적용해 시장수요 진작 - 자동차 분야를 제외한 기타 분야의 핵심과학기술 특별프로젝트 추가 입안	
	국 가 지 점 시 범 단 지	6~10개의 시범도시를 선정해, 수소에너지생산, 수소충전시설 및 말단응용분야에 대한 보조금 지급을 통해 산업체인 전반기술 확보	- 여러 지방에 수소에너지시범단지 조성 - 수소에너지인프라 점진적 완비
		- 전국적으로 수소에너지공급망 형성 - 수소에너지 및 연료전지 응용시나리오의 다양화 촉진	

출처 : 중국의 수소에너지 및 연료전지차 발전동향, KOSTEC, 2021

(2) 국내 정책 동향

□ 정부는 세계 최고수준의 수소경제 선도국가 도약을 위해 정부의 역량을 집중한 선제적 투자를 확대

- 수소경제를 혁신성장의 성장 동력 및 친환경 에너지의 원동력으로 인식, 수소 경제 활성화 실현을 위해 유관부처에서는 부처별 특성을 반영한 정책을 추진
 - '19년 1월 정부는 수소차와 연료전지를 양대 축으로 세계 최고 수준의 수소 경제 선도국가로 도약하기 위한 「수소경제 활성화 로드맵」을 제시하였으며, 기술개발 이행계획인 「수소 기술개발로드맵」을 마련

〈표 20〉 정부의 수소경제 관련 분야별 세부대책 마련 현황

분야	추진계획	발표	분야	추진계획	발표
표준	수소경제 표준화 로드맵	'19.04	R&D	수소 기술개발 로드맵	'19.10
수소차	미래자동차 산업 발전전략	'19.10	인프라	수소 시범도시 추진전략	'19.10
충전소	수소 인프라·충전소 구축방안	'19.10	안전	수소 안전관리 종합대책	'19.12

□ 「수소경제 활성화 로드맵(범부처, '19.01)」

- 수소 모빌리티, 에너지 공급·가격을 주요 내용으로 수소 경제를 선도할 수 있는 산업생태계 구축을 목표로 하는 「수소경제 활성화 로드맵('19.10)」 수립
 - 우리나라가 강점이 있는 수소차·연료전지를 양대 축으로 ‘세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약’을 비전으로 설정
 - 수소차와 연료전지를 중심으로 산업생태계 구축을 통해 수소차 누적 생산량을 ‘40년 620만대(내수290만대, 수출 330만대)로 확대하고, 수소차·연료전지 세계 시장 점유율 1위 달성을 목표로 함
 - (수소 모빌리티) ‘40년까지 수소차 620만대 생산 및 수소충전소 1,200개소 구축
 - (수소 에너지 보급) ‘40년까지 연료전지 발전용 15GW, 가정·건물용 2.1GW 보급
 - (수소 생산) ‘40년까지 그린수소 확대로 공급량 526만 ton/year, 가격 3,000원/kg 달성
- * (수소 승용차) ‘18년 1.8천대 → ‘22년 8.1만대(내수 6.5만대) → ‘40년 620만대(내수 290만대)
- * (수소 버스) ‘19년 35대 → ‘22년 2,000대 → ‘40년 4만대

* (수소 택시) '19년 시범사업 → '21년 주요 대도시 보급 → '40년 8만대

* (수소 트럭) '20년 개발·실증 → '21년 공공부문 보급 → '40년 3만대

- CO₂ 배출이 전혀 없고 도심지에 소규모로도 설치가 가능한 발전용 연료전지를 재생에너지 활용 수소 생산과 연계하여 '40년까지 15GW(수출 7GW 포함) 이상으로 확대하고 수출산업화 추진

○ 이를 위해, 경제적·안정적인 수소 생산 및 공급·유통체계를 확립하고자 함

- 수소 공급은 수전해 및 해외생산·수입 등 CO₂ Free 그린(green)수소 비중을 확대하여 '18년 13만 ton 수준에서 '40년 526만 ton 이상으로 확대

- 수소 저장방식을 현재의 저용량·기체에서 고효율·액체 등으로 다양화하고, 전국적인 파이프라인 공급망도 구축

* (단기) 민간주도로 수소 수요가 많은 곳에 파이프라인 건설 → (장기) 전국 확대

- 원활하고 경제적인 수소 유통체계 구축을 통해 수소 가격을 '40년까지 3,000 원/kg 이하로 하락 유도

○ 국민이 안심하고 신뢰할 수 있는 수소경제 이행 기반 마련을 위해 안전관리 기준 및 법 제정, 중소·중견기업 생태계 조성 등을 추진

- 수소 생산·저장·운송·활용 전 주기에 걸쳐 안전관리 기준 및 부품·제품의 안전성 평가를 강화하고, 안전관리 법 제정

- 범부처 수소 기술개발 로드맵 수립, 국제표준 선도, 촘촘한 중소·중견기업 생태계 조성, 범부처 협력추진체계 운영 등

- 관련부처 공동 수소경제 이행을 위한 상세 기술로드맵을 수립하고, 안전관리 및 핵심기술개발 전문 인력 양성

○ 「수소경제 활성화 로드맵」을 차질 없이 이행하여, 명실상부한 수소경제 선도 국가로 도약하고, '40년에는 연간 43조원의 부가가치와, 42만개의 새로운 일자리를 창출하는 혁신성장의 원동력이 될 것으로 기대

< 비 전 >

세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약

- 수소차 · 연료전지 세계시장 점유율 1위 달성
- 화석연료 자원 빈국에서 그린 수소 산유국으로 진입

		2018년	2022년	2040년
목표	수 소 차 (수출) (내수)	1.8천대 (0.9천대) (0.9천대)	8.1만대 (1.4만대) (6.7만대)	620만대 (330만대) (290만대)
	연 료 전 지	307MW (전체)	1.5GW (1GW)	15GW (8GW)
		발전용 (내수) 가정 · 건물용	7MW	50MW
	수 소 공 급	13만톤/年	47만톤/年	526만톤/年 이상
	수 소 가 격	-	6,000원/kg	3,000원/kg

추진 전략	기본 방향	전주기 안전성 확보 중소 · 중견 산업생태계 조성			
	추진 전략	'18 수소경제 준비기 • 수소산업생태계 조성 • 제반 인프라 구축 및 법·제도적 기반완비	'22 수소경제 확산기 • 수소이용 비약적 확대 • 대규모 수요·공급 시스템 구축	'30 수소경제 선도기 • 해외 수소 생산 및 수전해 본격화 • 탄소프리 수요공급 시스템	'40
	민관 역할 분담	정부 • 지원 및 규제완화 • 대규모 인프라 투자 민간 • 핵심기술 내재화 • 투자확대	• 산업생태계 보완 • 국제표준 선점 • 상업적 생산 체계구축 • 수소 비즈니스 플랫폼 구축	• 수소사회 이행 • 국제 리더십 확보 • 민간 주도 시장 확대 • 글로벌 시장 선도	

출처 : 「수소경제 활성화 로드맵」, 산업통상자원부, 2019

〈그림 15〉 「수소경제 활성화 로드맵」의 비전 및 추진목표

활용	■ 모빌리티, 에너지 등 수소 활용 가속화			
	모빌리티	❶ 수소차 양산체계 구축 및 보급 확대 ❷ 수소 택시·버스 등 대중교통 전환 ❸ 공공부문 수소 트럭 활용 ❹ 수소충전소 전국 확대 및 자생력 확보 ❺ 선박, 열차, 드론 등 기타 활용분야 확대		
	에너지	❶ 발전용 연료전지 보급 확산 및 수출산업화 ❷ 가정·건물용 연료전지 확대 ❸ 수소가스터빈 기술개발 및 상용화		
생산	■ Grey 수소에서 Green 수소로 생산 패러다임 전환			
	Grey 수소	부생수소 활용 및 대규모 추출수소 생산		
	Green 수소	❶ 수전해 대량 생산 및 경제성 확보 ❷ 해외 CO ₂ free 수소 본격 도입		
저장·운송	■ 안정적이고 경제성있는 수소 유통 체계 확립			
	저장	고압기체 외에 고효율 액체·액상·고체 저장으로 다양화		
	운송	파이프라인 전국망 구축, 수소운반선 등 대규모 유통 추진		
안전	■ 수소안전에 대한 국민 인식 제고 및 수소 전주기 안전관리 체계 확립			
산업생태계	기술혁신	범부처 기술로드맵 수립	전문인력	안전 및 핵심기술인력 양성
	표준화	글로벌 수소 표준 선점	기반조성	수소경제 이행 기반 구축
	법적기반	수소경제법·안전법 완비	국제협력	선도국가로 적극 참여·주도
	수출산업	대·중소기업 동반진출	생태계	층층한 밸류체인 구축

출처 : 「수소경제 활성화 로드맵」, 산업통상자원부, 2019

〈그림 16〉 「수소경제 활성화 로드맵」의 추진방안

□ 「수소 기술개발 로드맵(범부처, '19.10)」

- 과기정통부(주관), 산업부, 국토부 등 부처가 합동하여 수소에너지 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소 경제이행을 뒷받침하고자 범부처 수소 기술개발 로드맵 수립
 - 수송, 건물, 발전용 등 수소 활용처 확대 등에 따라 세계 수소시장 규모 또한 확대('17년 1,292억 달러 → '50년 2.5조 달러 : 연평균 6% 성장)가 예상됨에 따라 수소 기술개발 로드맵 수립이 필요
 - 민·관 합동 추진체계 구성을 통해 기술 분류체계 마련 및 세부 기술별 종합 진단 수행 → 단기·중기·장기 기술개발 추진전략 도출
- 수소경제 활성화 로드맵의 기본방향을 토대로 5개 대분류를 마련하고 각각의 과학기술적, 산업적 특성을 고려하여 세부기술을 분류
- (생산) 수소를 포함한 화합물로부터 수소를 제조하는 기술로, 제조 원료(화석 연료, 폐자원/바이오매스, 물 등) 및 제조 방법(열화학적, 생물학적, 광화학적, 전기분해 등)을 기준으로 기술 세분화
 - 수요량(526만 ton/year('40)) 대응, 화석연료 수준의 가격경쟁력(3,000원/kg('40)) 확보, 기후변화 대응(온실가스 저감)을 위한 단계별 기술개발
 - '30년까지 수소 생산량 증대를 위한 고효율·대용량 수전해 시스템 (50kWh/kg-H₂, 100MW급) 기술을 개발, 태양광·풍력 등 다양한 재생에너지 원과의 연계 실증 추진
- (저장·운송) 수소를 용도에 맞게 저장하고 운송·분배·공급하는 기술로, 수소의 물리적·화학적 특성과 운송수단을 고려하여 기술 세분화
 - 기체저장·운송 기술을 고도화해 수소 운송량 증대, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발
 - 각 기술은 대규모 인프라 구축이 수반되므로 기술실증 전 경제성·환경성 분석 ('25년까지 프로그램 개발) 추진, 이를 기반으로 국가 수소공급 전략 수립 후 중점기술 재정비
 - 차량용 저장용기 가격저감 등 기체저장·운송 기술 고도화(고압·대용량) 및 독일·미국·일본에서 활발한 연구가 진행 중인 액상유기수소화물 분야는 원천기술 확보, 상용화된 액체수소 분야는 제품화 추진
- (활용 - 수송수단) 수소를 활용하여 발생한 전기로 모터를 구동하는 방식으로 운행하는 교통수단으로, 육상용·해상용·항공용 수송수단 각각에 대해 연료전지

시스템 출력과 용도를 고려하여 기술 세분화

- 다른 분야로 확장성이 높은 연료전지시스템 전략적으로 활용해 중복투자 방지와 가격저감 유도, 독점성이 높은 부품은 국산화 추진
- 승용차/상용차용 연료전지시스템 기반으로 플랫폼 기술을 개발·응용해 다양한 수송수단에 적용하고, 각 제품별 운영환경에 따른 성능구현 위한 기술개발 추진
- 소수 기업 의존도가 높은 연료전지 스택 소재(촉매, 이오노머 등), 상용차용 전자장치는 국산화와 성능개량(고효율, 저가, 장수명)

○ **(활용 - 발전·산업)** 수소를 활용하여 전기와 열을 생산하는 발전시스템으로, 발전 설비용량 및 활용 분야, 타 시스템과의 융·복합 등을 고려하여 기술 세분화

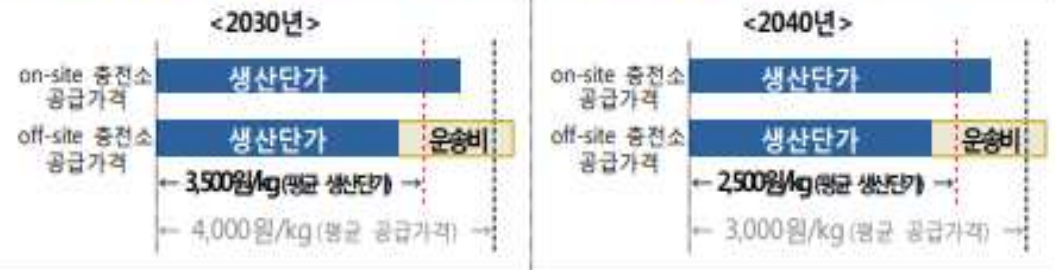
- 연료전지시스템 핵심부품 모듈화, 양산화, 시스템 효율 향상 및 내구성 향상을 위한 기술 개발
- 연료전지시스템 스택 소재(전극, 촉매) 및 주변장치(연료변환기, 기계적 구성 장치)를 국산화하고, 이후 상용화 단계 진입 시 품질·가격 등 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발('30년까지 선진국 수준)

○ **(안전·환경·인프라)** 수소 전주기 기술개발을 뒷받침하기 위해 안전, 표준화/인증, 환경/경제성, 인프라 및 기술실증 등으로 분류

- 안전성 확보를 위한 실증 데이터베이스 구축과 평가시스템 도입, 국내 기술의 국제표준 전략적 선점과 더불어 국내 인증품목 확대
- 해외 의존도 높은 수소충전소 기자재 국산화와 수소추진선박 운항에 필요한 병커링(선박·항만설비에 수소 공급) 기술개발 수소생산, 저장·운송, 활용 각 분야에서 개발된 제품을 실증지에 적용

세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약

1. 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발



2. 다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축

차량용 탱크 가격	충전소용 탱크 용기	트레일러 운송비	배관망 구축 비용
'30년 45만원/kg (현재 100만원/kg)	'30년 type 4 복합소재 (현재 type 1 금속소재)	'40년 700원/kg (off-site 기준)	'40년 4억원/km, 100bar (현재 10억원/km, 20bar)

3. 연료전지시스템 기반의 수송수단 저변 확대

현재	승용차	상용차	소형건설기계
2030	육상수송수단	연안선박	수소드론
2040	대양선박	유인항공기	상용화가 가능한 원전·제품화 기술개발

4. 발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보



5. 수소 안전·제도 완비 / 표준 선점 / 보급 기반 확대

안전 확보를 위한 데이터베이스 구축률	국제표준 제안	충전소 구축비용
'30년 100%	'30년 15건	'30년 300만원/kg

출처 : 「수소 기술개발 로드맵」, 과학기술정보통신부, 2019

〈그림 17〉 「수소 기술개발 로드맵」의 기술개발 최종목표

□ 「수소경제 표준화 전략 로드맵(산업부, '19.04)」

- 산업자원통상부는 ‘세계 최고수준의 수소경제 선도국가 도약’ 실현 및 글로벌 시장우위를 점하기 위한 「수소경제 표준화 로드맵」을 수립
- 우리나라가 기술을 주도할 수 있는 분야 중심으로 국제표준을 제안해 수소분야 전체 국제 표준의 약 20%이상 획득 추진을 목표로 제시
 - ‘22년까지 드론·굴삭기용 연료전지 등 5건, ‘30년까지 재생전력 연계 수전해 차세대 연료전지 등 10건, 총 15건 이상
- 목표달성을 위한 추진과제로 국내 선도기술의 국제표준화 제안 시스템 구축, 수소 제품·서비스의 품질·안전 확보, 수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성을 추진과제로 제시
 - (추진과제 1. 국내 선도기술의 국제표준화 제안 시스템 구축) R&D와 국제표준화 연계 ‘일체형’ 표준 개발 및 표준안의 개발→제안→등록까지 쏙주기 지원
 - (추진과제 2. 수소 제품·서비스의 품질·안전 확보) 수소 제품·서비스의 KS 표준 확대 및 인증기반 구축, 수소차 충전기 보급
 - (추진과제 3. 수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성) 업계 주도의 표준 매치업 제도 운영 및 국제표준 대응 등 중소·중견기업의 표준화 활동 지원
- 수소기술 국제표준을 선점하여 ‘수소경제 선도국가 도약’에 기여하고, 국가 표준·인증 도입하여 수소산업 생태계 구축 촉진이 가능할 것으로 기대



〈그림 18〉 「수소경제 표준화 전략 로드맵」의 기대효과

**비
전**

국제표준 선점을 통해 수소산업 글로벌 시장 선도

**기본
방향**

글로벌 시장 선점을 위해 우리나라가 강점을 가진 건설기계 등
신수요분야에서 국제표준으로 선점, '30년까지 전체의 20% 점유

**목
표**

**우리 최고기술을 국제표준으로 15건 이상 제안(전체의 20%)
안전한 제품의 보급을 위해 KS인증 품목 30건 확대**

국제표준(ISO/IEC) 제안 [~22년] 5건 이상, [23~30년] 10건 이상
국가표준(KS) 인증품목 [~22년] 13건 이상, [23~30년] 17건 이상

3대 전략 9개 추진 과제

**추
진
과
제**

① 국내 선도기술의 국제표준화 제안 시스템 구축

- ① R&D와 국제표준화 연계 '일체형' 표준 개발
- ② 국제표준 제안 쏠주기 지원 확대
- ③ 다자간 국제표준 협력 활동 강화

② 수소 제품·서비스의 품질·안전 확보

- ④ 수소 제품·서비스의 KS표준 확대
- ⑤ 시장 창출형 제품의 KS인증 기반 구축
- ⑥ 수소충전의 거래 신뢰성 확보를 위한 수소차 충전기 보급

③ 수소산업의 표준 경쟁력 강화 기반 조성

- ⑦ 중소·중견기업의 표준화 활동 지원
- ⑧ 수소경제 표준포럼 운영 및 표준전문가 육성
- ⑨ 수소산업 안전성 시험기반 구축

출처 : 「수소경제 표준화 전략 로드맵」, 산업통상자원부, 2019

〈그림 19〉 「수소경제 표준화 전략 로드맵」의 목표 및 추진전략

□ 「수소 인프라 및 충전소 구축 방안(범부처, '19.10)」

- 산업부, 국토부, 환경부 등 관계부처는 「수소경제 활성화 로드맵」의 후속조치로 「수소 인프라 및 충전소 구축 방안」을 수립
- 지자체와 민간 사업자, 수소차 이용자의 수소경제에 대한 불확실성을 해소하기 위해 전국 각지의 수소 공급 인프라 및 충전소 구축 계획을 구체적으로 제시
- ① (수소 생산·공급) 수소 생산 방식 다양화, 저장·운송 인프라 확충을 통해 증가되는 수소 수요에 적절히 대응하고, 수소 가격을 지속 안정화 추진
 - '22년 이후 연간 약 3만 ton의 수소 수요가 발생할 것으로 예상되는 바, 향후 지역별 특화된 방식의 수소 생산 및 저장·운송 방식을 통해 수요에 대응
 - * '22년 수소차 누적 목표 : (승용차) 6.5만대, (버스) 0.2만대

〈표 21〉 수소 생산·공급 현황 및 추진계획

구분	현황	추진계획
수도권	부생수소(대산, 울산 등) 위주	인천에서 생산되는 부생수소 활용 ‘수소 유통 허브’ 및 파이프라인 구축
중부권	충청도는 부생수소(대산) 위주 강원도는 추출수소(삼척) 위주	지역 내 LNG 인수기지에서 해외수소 도입
영남권	부생수소(울산), 추출수소(창원) 위주	지역 내 LNG 인수기지에서 해외수소 도입 액화수소의 도입 및 활용 확대
호남권	부생수소(여수) 위주	재생에너지 활용, 친환경 수전해 확대

출처 : 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019

- 또한, ‘수소유통센터’ 설치를 추진하여 적정 수준의 수소 가격을 유지·관리하고, 장기적으로 대용량 튜브트레일러 제작, 파이프라인 건설, 액화 운송 확대 등을 통해 시장 중심의 수소 가격 체계를 구축 예정
- ② (수소 충전소) ‘22년까지 일반 수소 충전소 및 버스 전용 충전소를 주요 도시, 고속도로·환승센터 등 교통거점에 총 310기를 구축 추진
 - 또한, 등록자동차 수, 인구 수, 지자체 면적, 수소차 보급량, 교통량 등을 종합적으로 고려하여 광역지자체별로 균형 있게 수소충전소를 구축

〈표 22〉 `20년 수소충전소 구축 계획(안)

(단위 : 대)

구분		~'19	~'20	~'21	~'22	누계
주요도시	일반 충전소	68	47	35	40	190
	버스 충전소	-	18	22	20	60
	소계	68	65	57	60	250
고속도로 · 환승센터	국비 지원	10	16	13	-	39
	국비 지원 외	8	-	-	13	21
	소계	18	16	13	13	60
합계		86	81	70	73	310

출처 : 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019

- 장기적으로는 '30년까지 누적 660기를 구축하여 주요 도시에서 20분 내, 고속도로에서 75km 내 충전소 이용이 가능하도록 배치하고, 2040년에는 누적 1,200기를 구축하여 이를 15분, 50km 이내로 단축할 예정



〈 2030년 660기 〉



〈 2040년 1,200기 〉

출처 : 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019

- : 일반충전소
- : 고속도로 충전소
- ⇒ (주요 도시) '30년 20분, '40년 15분 내 이용
- ⇒ (고속도로) '30년 75km, '40년 50km 내 이용
- ⇒ 버스 충전소는 노선별로 구체화

〈그림 20〉 2030, 2040년 수소충전소 배치(안)

- 수소 충전소의 속도감 있는 확산과 안심하고 수소를 이용할 수 있는 환경 조성을 위해 수소충전소의 경제성, 편의성, 안전성을 적극적으로 제고 예정
- ① (경제성) 수소 충전소 구축 초기에는 구축 목표 달성과 원활한 충전 서비스

제공을 위해 정부 재정을 적극 지원

- 또한, 융복합·패키지형 수소충전소를 확대하여 입지 및 구축비용 부담을 완화하고, 수소충전소의 장기적인 구축비용 절감을 위해서 핵심부품 국산화 적극 추진

* (융복합 수소충전소) 기존 주유소·LPG충전소·CNG충전소에 수소충전소 구축

* (패키지형 수소충전소) 충전소 설비를 컨테이너 안에 배치하여 설치 간소화

- 장기적으로는 기체수소 충전소 대비 설비 면적은 1/20, 충전용량은 3배, 상압 수준의 저장압력, 낮은 설치·운송비 등의 장점이 있는 액화수소 충전소도 '22년까지 3기 이상 구축하는 등 적극 추진해 나갈 계획

○ ② (편의성) 수소차 이용자가 보다 편리하게 충전소를 이용할 수 있도록 양방향 정보제공 플랫폼을 구축하고, 충전 속도를 향상한 충전소 모델을 개발하여 수소 충전 대기시간 절감 추진

- 이 외에도, 수소 충전 인프라 확대를 위해 공공청사와 혁신도시, 수소 시범도시 등에 충전소를 우선 구축하고, 충전소 관련 애로사항을 신속히 해결하기 위한 ‘수소충전소 정책 협의회(가칭)’를 설치

○ ③ (안전성) 최근 수소 설비 관련 국내·외 사고로 관심이 높아진 수소충전소의 안전에 대해서는 법·기준을 선진국 수준 이상으로 강화하고, 수소 안전관리 전담기관을 설치하여 철저하게 관리 추진

- (안전기준) 저장탱크·배관의 취성 검사, 내부 이물질 검사 기준 마련 등

- (안전관리) 첨단장비를 활용한 정밀 안전진단, 실시간 안전 모니터링 등

- (사고대응) 지역별 긴급대응체계 구축, 사고대응 표준매뉴얼 제정 등

- (수소안전센터) 가스안전공사 내 법정검사 통합관리, 수소안전 119센터 운영 등

- 이와 함께, 관계부처와 지자체가 수소의 안전성과 수소 관련 시설의 안전관리 방안을 인근 주민과 일반 국민에게 적극 홍보하고, 수소차 시승, 수소 충전 시연 등 전 국민 체험 이벤트도 활성화할 예정

비 전

경제성 · 편의성 · 안전성에 기반한 수소 공급 및 충전 인프라

목표

- ◆ 효율적인 수소 생산 · 공급 및 수소가격 안정화
- ◆ 수소충전소 균형 배치 및 자생적인 확산 기반 마련

		2019년	2022년	2030년	2040년
충전소(기)	[누적]	86	310	660	1,200
수소차(대)	[누적]	6,395	6.7만	85만	290만

4대 기본 방향

- 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

세부 과제

경제성

- 수소충전소 핵심부품 국산화율 제고
- 경제성 조기 확보를 위한 정부 지원 강화

편의성

- 조속한 수소충전소 구축 및 확대
- 실시간 충전소 운영 현황 정보제공

안전성

- 안전관리 강화를 위한 법적 근거 마련
- 안전관리 강화 및 홍보를 통한 수용성 제고

출처 : 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 관계부처 합동, 2019

〈그림 21〉 「수소 인프라 및 충전소 구축 방안」의 목표 및 추진방향

□ 「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안(범부처, '20.07)」

- 수소 경제 이행 가속화 및 글로벌 수소 선도국가 도약을 위하여 ‘수소경제 활성화 로드맵’의 취약 분야를 보완한 「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안」을 수립
 - ‘수소경제 활성화 로드맵’을 통해 우리 수소경제의 글로벌 위상이 빠르게 높아지는 추세이지만, 일부 수소활용 분야를 제외하고는 생산·저장·운송·충전 등 수소경제 인프라 분야의 경쟁력은 취약하다는 평가
 - 이를 보완하기 위해 전문기업 육성, 지역별 확산 여건 마련, 글로벌 Value-Chain 확장 등의 수소생태계 전략을 수립
- (기업) 생산·운송·활용 등 분야별로 글로벌 선도기업을 육성하고 다양한 기업들이 수소 경제에 참여할 수 있도록 관련 정책 마련
 - 수소 소·부·장 R&D 및 혁신조달 등 → '40년 수소전문기업 1,000개 육성
 - 기술경쟁력 제고를 위한 스마트한 규제 정책(수요창출형, 기술혁신형) 추진
 - 수소 창업박람회, 기술이전(기보의 테크브릿지 활용), 업종 전환시 인센티브 검토·지원 등 창업·업종다각화로 진입 확대, 인력·금융 지원강화
- (지역) 지역별 안정적인 수소 공급 계획을 제시하고, 정부·지자체·지역혁신기관의 연계 강화를 통한 지역 생태계 조성
 - 수소클러스터(수소기업·연구기관이 혁신 창출), 규제특구(수소 신기술, 신사업 실증), 수소도시(생활형 수소인프라 보급)를 통해 지역 생태계 조성



출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 관계부처 합동, 2020

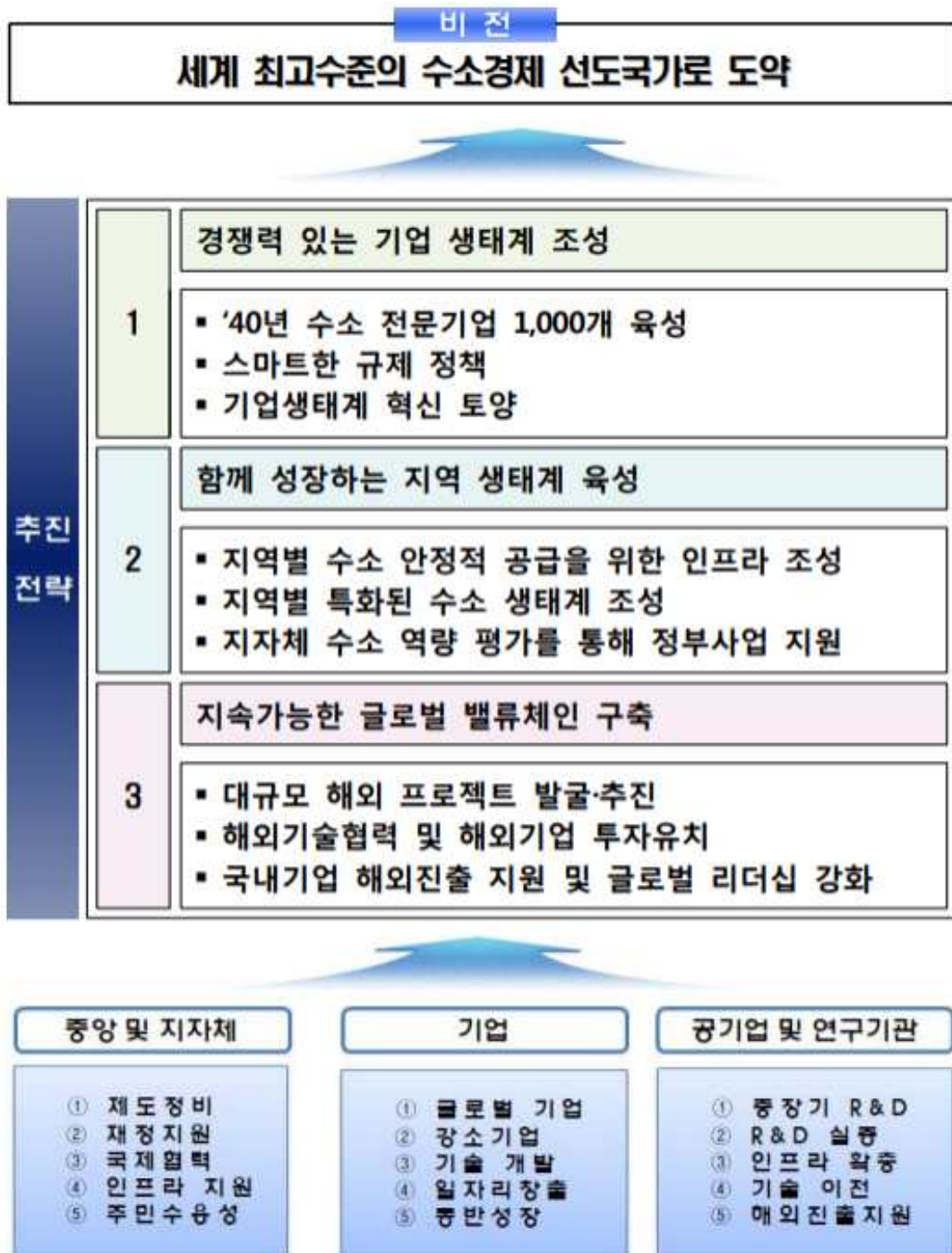
〈그림 22〉 수소생산기지 구축을 위한 단계별 로드맵

* 수소클러스터(수소기업·연구기관이 혁신 창출), 규제특구(수소 신기술, 신사업 실증), 수소도시(생활형 수소인프라 보급)를 통해 지역 생태계 조성

- (해외) 구체적인 해외 프로젝트* 추진을 통해 국내 수소산업 생태계를 한 단계

도약시키고 글로벌 수소경제 선도 추진

* 프로젝트 예시 : 해외 생산된 재생에너지 활용 수전해 기반 대용량 그린수소 생산 기술 개발 및 운송방식 최적화를 위한 국제 공동연구 추진 (유럽, 브루나이, 호주 등)



출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 관계부처 합동, 2020

〈그림 23〉 「수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안」의 비전 및 목표

다. 국내외 산업 · 시장 동향

(1) 수소산업 개념

- 세계적으로 온실가스, 미세먼지 등 에너지 환경 변화가 가속화됨에 따라 환경규제가 강화되고 화석연료의 고갈문제가 대두되면서, 그 대안으로 친환경성이 매우 높은 수소에너지가 부상
- 원유 수입국인 한국은 화석연료를 대체하여 수소를 에너지원으로 활용함으로써 에너지 자립에 기여할 수 있다는 점에서 수소에너지의 중요성이 강조
 - 수소를 주요 에너지원으로 사용하는 경제 산업구조를 ‘수소경제’라고하며, 화석연료 중심의 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 안정적으로 생산, 저장·운송하는데 필요한 분야의 산업과 시장을 새롭게 만들어내는 경제시스템을 의미
 - ‘수소’ 관련 기술적 우위를 점하고 있는 선도국가들은 ‘수소경제(Hydrogen economy)’의 구축뿐만 아니라 가치사슬의 전반적인 범위에서 기술적·산업적 완성도를 높이기 위한 노력을 전개
 - 글로벌 수소시장은 주요 활용분야인 수소차와 연료전지를 중심으로 체계화를 진행하는 추세

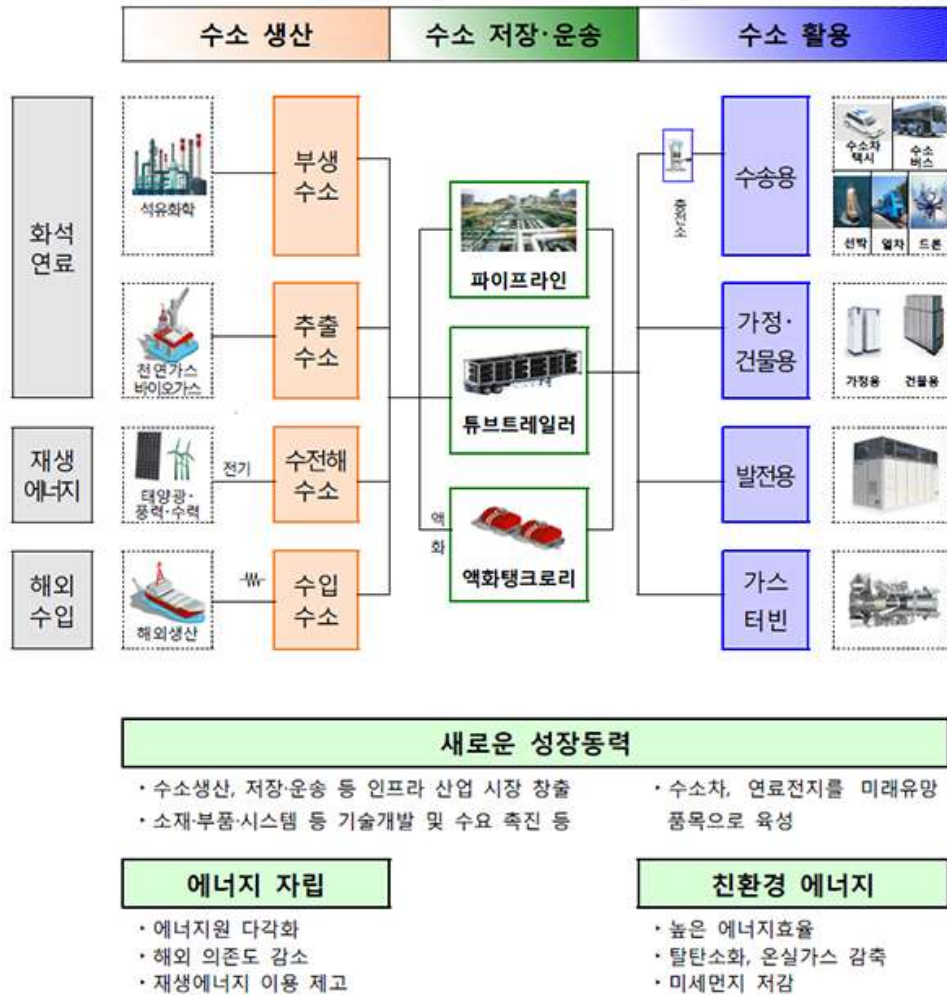
〈표 23〉 에너지 패러다임의 변화

	탄소 경제	수소 경제
에너지 패러다임	탄소자원(석유, 석탄가스 중심) ▶	탈탄소화 수소 중심
에너지 공급	대규모 투자가 필요한 중앙집중형 에너지 수급 ▶	소규모 투자로 가능한 분산형 에너지 수급
경쟁양상	자원개발 및 에너지 확보 경쟁 ▶	기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁
환경성	온실가스, 대기오염물질(CO ₂ , NO _x , SO _x 등) 배출 ▶	온실가스 배출이 적어 친환경적

출처 : 탄소 경제에서 수소 경제로 이동하는 세계, HMG JOURNAL, 2020

- 수소 산업은 크게 수소에너지를 공급하는 부문과 수소를 활용하는 수요 부문으로 구성 가능
- 수소 산업에 대한 국가 차원의 통일된 정의는 없지만, 일반적으로 수소의 생산 및 저장, 활용하는 부문과 관련된 산업으로 정의

- 공급 부문은 수소에너지를 생산하고, 생산된 수소가 최종 구매자(소비처)에 의해 활용되기 전까지의 과정으로 저장, 운송 등의 활동으로 정의되며, 이동 및 운반을 위해 필요한 저장용기 등 다양한 장치 및 인프라를 활용
- 수요 부문은 수소를 연료로 활용하는 부문으로 수소자동차, 수소선박, 수소드론 등 수소모빌리티와 연료전지(건물용, 발전용, 산업용, 생활용품용 등) 관련 산업을 중심으로 구성



출처 : 수소경제, 대한민국 정책브리핑, 2020

〈그림 24〉 수소산업 생태계 개편도

- (저장·운송) 수소의 공급은 크게 저장과 운송 부문으로 구분 가능하며, 저장은 수소의 상태에 따라 기체·액체·고체 저장, 물질변환 저장 등으로 구분 가능
- 기체수소는 파이프라인과 튜브트레일러 방식으로 운송되며, 액체수소는 탱크로리 방식을 주로 활용

〈표 24〉 수소 저장기술의 분류 및 특징

구분		방식	특징
기체수소		가장 일반적으로 사용하는 방식으로 기체 수소를 고압에서 압축하여 저장	기술이 상용화되어 있으나, 저장량의 한계, 용기의 경제성으로 인해 대용량 저장에 한계가 있음
액체수소	액화	-253℃ 까지 수소를 냉각하고 보온병과 같은 이중 구조의 용기에 넣어 보관	저장밀도가 높고 안전하며, 폭발 위험이 낮으나 대규모 시설투자 필요
	액상유기수소저장(LOHC)	톨루엔 등을 활용하여 수소를 화학적으로 저장 및 이송	상온·상압의 조건에서 대규모이송이 가능하며, 가연성이 낮고 안전하나 낮은 운송효율, 수소화와 탈수소화 공정이 필요
	암모니아 저장	수소를 암모니아 형태로 변환하여 저장	높은 온도에서 저장 및 운송이 가능하나 독성에 따른 위험성이 있으며, 탈수소화 공정이 필요
고체수소		금속에 수소를 흡착시켜 저장하는 방법	가장 안전한 기술이나 저장량에 한계가 있음

출처 : 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원, 2019

〈표 25〉 수소 운송방식의 분류 및 특징

구분		방식	특징
기체운송		파이프라인	- 소규모·단거리, 대규모·장거리에 연속 공급하는 경우 - 장거리 공급이 가능하고 에너지 손실이 적음 - 고정비가 높으며, 변동비는 낮음
		튜브트레일러	- 중·소규모, 중·장거리에 간헐적으로 공급하는 경우 - 저장용량이 작고 단거리 운송에 적합하며, 에너지 손실이 적음 - 고정비는 낮지만 변동비가 높음 330kg, 200bar 용기가 1억 8,000만 원 ~ 2억 원 수준
액체운송	액화	탱크로리	- 액화 제조 및 저장 시설과 연계되는 경우 - 중·대규모, 중·장거리에 공급하는 경우 - 액화 시, 소요되는 전력에 의한 온실가스 배출량 증가 고려 필요 - 튜브트레일러와 파이프라인의 중간정도의 저장 용량을 가지며, 장거리 운송이 가능하나 에너지 손실이 많음 - 고정비가 높으나, 변동비가 낮음
	액상	탱크로리	- 액상물질(암모니아, 액체유기금속 등) 제조시설과 연계되는 경우에 적합 - 중·대규모, 중·장거리에 공급하는 경우

출처 : 수소의 저장, 운송 및 충전, 한국산업기술진흥협회, 2019

□ (수소충전) 수소차에 수소를 충전할 수 있는 수소충전소는 수소의 공급 방식(자체 수소 생산 여부)과 고정 또는 이동성 여부에 따라 구분

- 수소 공급 방식에 따라 중앙공급방식(Off-site), 현지공급방식(On-site)으로 구분되며, 국내에서는 부생수소의 중앙공급방식을 이용한 고정형 충전소가 주로 설치
- 중앙공급방식은 일정 지역에서 대량 생산한 수소를 수소충전소까지 파이프라인 또는 튜브트레일러로 이송하는 형태
- 현지공급방식은 수소 충전소에서 천연가스, LPG 등을 개질하거나 수전해 방식으로 수소를 생산하여 수소차 및 수소버스에 충전하는 방식

〈표 26〉 수소충전소의 종류 및 충전방식

구분	수소 공급 방식		충전방식	비고
고정형 충전소	현지 공급방식 (On-site)	수증기개질	CGH ₂	■ 천연가스, 메탄, 메탄올, LPG 등
		전기분해	CGH ₂	■ 일반전력, 풍력, 태양력 등
	중앙 공급방식 (Off-site)	액화수소	LH ₂ LCGH ₂	■ 액화수소 직접충전 ■ 압축기체수소로 변환 후 충전
		기체수소	CGH ₂	■ 실린더 ■ 트레일러 ■ 파이프라인
이동형 충전소	현지 공급방식 (On-site)	수증기개질	CGH ₂	■ 천연가스 등
	중앙 공급방식 (Off-site)	액화수소	LH ₂ LCGH ₂	■ 액화수소 직접충전 ■ 압축기체수소로 변환 후 충전
		기체수소	CGH ₂	■ 실린더 수급

출처 : 친환경자동차(전기차, 수소차) 활성화를 위한 충전시설 확충방안, 대전세종연구원, 2018

- 수소는 기술적 한계와 높은 가격 문제 등이 있지만, 환경 친화적이며, 에너지 고효율성, 장기간·대용량 저장이 가능한 에너지원으로 경제적 효과를 보유
- 세계적으로 친환경 및 에너지 전환의 미래 트렌드와 함께 4차 산업혁명에 따른 경제·산업 패러다임의 변화로 신산업 발굴과 육성이 중요
 - 주요국들은 미래의 새로운 성장 동력으로서 수소에너지를 활용한 수소차와 수소연료전지 육성, 수소 연계 스마트도시 등 새로운 비즈니스 모델 발굴 등 수소산업 육성 정책을 마련하여 추진

- 수소 에너지를 중심으로 한 수소 산업은 에너지 고효율성, 산업 파급효과 등이 우수한 경제적 효과를 지니고 있어 국가차원에서 육성이 필요
- 수소 에너지는 탈탄소화를 실현시켜 온실가스 감축에 기여하며, 수송, 발전 등 다양한 분야에서 미세먼지 저감으로 수도권 자동차 운행 제한이나 노후 석탄 화력발전 가동 제약 등 사회적 비용을 절감하는 역할을 수행
 - 수소 에너지는 화석연료를 대체할 수 있으며, 다양한 방식으로 국내 생산이 가능하다는 점에서 97% 이상으로 높은 화석연료의 수입의존도 저감 가능
 - 생산, 저장·운송, 활용 등 공급사슬 또는 Value-Chain 전반에서 다양한 산업과 연계되어 있어 연관 산업의 성장, 고용 창출 등 파급효과가 클 것으로 기대

〈표 27〉 수소에너지의 장점

구분	주요 장점
생산	▪ 국내 생산으로 에너지 자립에 기여 가능 ▪ 수소는 다양한 에너지원 및 방식으로 생산 가능
친환경성	▪ 사용 과정에서 유해한 부산물이 없어 친환경적 * CO2 Free(온실가스 미배출), 부산물 = 물(H₂O) ▪ 수송분야 등에서 미세먼지 저감 및 대기질 향상 ▪ 재생에너지 보급을 가속화
저장운송	▪ 에너지 장기·대용량 저장 가능(전기에너지의 단점 보완) ▪ 압축기체, 액체 등으로 탱크 및 파이프라인 등을 통해 운송 가능
효율성	▪ 수소연료전지의 종합에너지효율은 80% 수준(전기와 열 이용 시) * 발전소로부터 전기에너지 이용 효율은 35% 수준 ▪ 단위 발전량당 설치 면적이 풍력, 태양광보다 적음
활용성 (신성장 모멘텀)	▪ 모든 화석연료 내연기관(연소엔진) 대체가능 ▪ 기존 선지국에 의존하던 원천기술 확보 가능(자동차, 선박 등)

출처 : 신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제, 산업연구원, 2016

(2) 국내외 산업 · 시장 동향

(가) 국외 산업 · 시장 동향

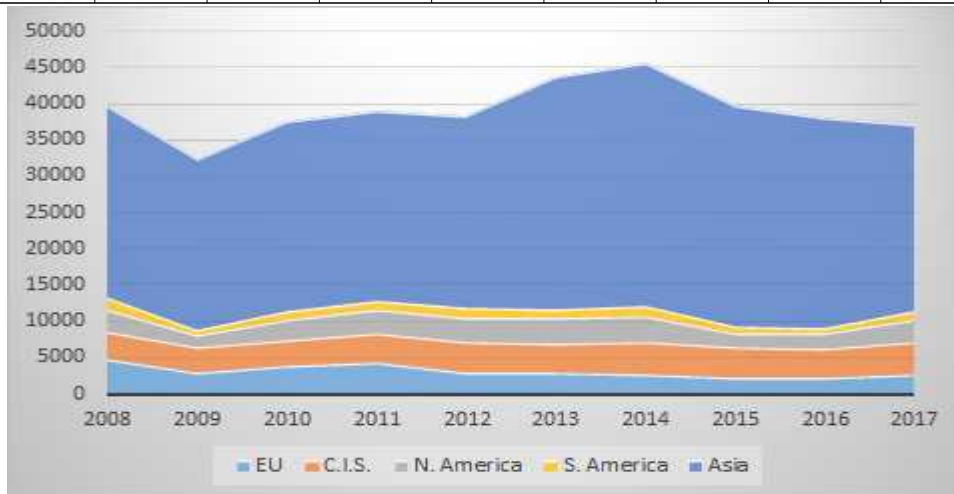
□ 글로벌 수소배관 시장 규모 현황

- 전 세계 심리스 강관 시장은 '14년까지 연평균 약 2.5%로 꾸준한 성장세를 보였으나, 최근 중국의 심리스 시장수요 및 생산량이 감소함에 따라 이후 생산량 감소
- '17년 기준으로 전 세계 심리스 강관 생산량은 약 3700 만톤 규모로, 이중 중국, 일본 등 아시아의 생산량이 약 2,574만톤으로 세계 생산량의 약 70%를 차지

〈표 28〉 심리스 강관 생산량 추이

(단위 : 천 톤)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
EU	4,952	2,940	3,839	4,273	3,003	2,870	2,815	2,375	2,340	2,640
C.I.S.	3,743	3,485	3,663	4,061	4,264	4,098	4,290	4,121	3,899	4,526
북미	3,054	1,696	2,664	3,246	3,323	3,505	3,636	1,919	2,110	3,071
남미	1,529	852	1,263	1,332	1,440	1,321	1,407	933	767	1,177
아시아	26,500	23,450	26,335	26,046	26,303	32,091	33,605	30,323	28,982	25,742
전체	39,778	32,423	37,763	38,957	38,332	43,884	45,753	39,672	38,098	37,155



출처 : Steel Statistical yearbook 2018

- 글로벌 파이프라인 시장은 '20년 163.0억 달러에서 '30년까지 7.88%의 연평균 성장률을 기록하며 348.0억 달러 규모에 도달할 것으로 전망
 - 원유 및 천연가스에 대한 수요 증가, 세계 각국의 천연가스, 수소 파이프라인 구축사업 등으로 파이프라인 시장의 성장은 가속화

〈표 29〉 글로벌 파이프라인 시장 규모 및 전망

(단위 : 10억 달러, %)

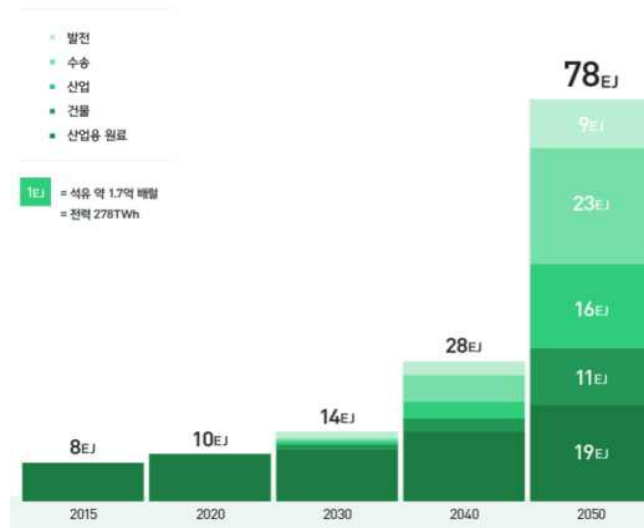
구분	‘16	‘17	‘18	‘19	‘20	‘30	CAGR (‘16~‘20)	CAGR (‘20~‘30)
기름, 가스	6.96	7.71	8.47	9.24	10.77	23.03	11.5	7.88
석탄	1.91	2.05	2.18	2.32	2.71	5.78	9.1	
화학	1.47	1.59	1.70	1.82	2.12	4.53	9.6	
물	0.38	0.42	0.46	0.50	0.58	1.23	11.3	
기타	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.23	23.6	
합계	10.77	11.83	12.89	13.98	16.30	34.80	10.9	

출처 : Pipeline transportation Market Outlook - 2021-2030, Allied Market Research, 2021

- 아시아·태평양 지역이 ‘20년 세계 파이프라인 시장의 29%를 차지했으며, 중국·인도와 같은 인구 밀도가 높은 국가의 파이프라인 수요가 증가
- 파이프라인은 석유·가스 운송을 위한 수단으로 활용되며 미국에서는 화석 연료의 70%, 캐나다에서는 천연가스·화석연료의 97%를 파이프라인 활용

□ 전 세계적인 수소 수요 증가로 ‘50년 연간 2.5조 달러의 부가가치와 3,000만 개의 신규 일자리 창출을 전망

- 글로벌 시장조사 기관 맥킨지(Hydrogen Scaling up, 2017)에 따르면 전 세계 수소 수요는 ‘15년 기준 8EJ(엑사줄)에서 ‘50년 연간 78EJ(석유로 환산 시 약 132억 6,000만 배럴) 규모에 이를 것으로 전망
- ‘50년 전 세계 에너지 수요의 18~20% 가량이 수소에너지로 대체될 것으로 전망
- 주요 선진국들은 수소경제를 선도하기 위해 생산, 운송·저장, 활용 등 수소 Value-Chain 전 단계에서 기술적, 산업적 완성도를 높이기 위해 막대한 시간과 비용을 투자



출처 : Hydrogen Meets Digital, Mckinsey & Company, 2018

〈그림 25〉 2030년 전세계 수소 수요 예측

- 특히, 시장초기 수소차 부문의 시장수요 확대를 견인하고 중장기적으로 연료전지 보급이 빠르게 성장하여 수소소비 촉진을 전망
 - 수소자동차 분야를 살펴보면 수소사회가 도래할 경우, 수소차가 전 세계 자동차의 25%를 차지할 것으로 전망
- 세계 각국은 기후환경 변화와 자원 고갈 등의 문제에 대응하는 방안으로 수소 에너지를 활용한 수소경제에 진입하기 위해 노력
 - 세계 각국은 기후환경 변화와 자원 고갈 등의 문제에 대응하는 방안의 하나로 수소에너지를 활용한 수소 경제에 진입하기 위해 노력하는 추세
 - 수소선도국 외에도 점차 다양한 국가에서 수소 에너지를 활용하기 시작하며, 수소 산업은 확장될 전망
 - 세계 수소시장은 수소차와 연료전지를 중심으로 가파르게 성장하는 추세이며, 생산, 저장·운송, 활용을 포함한 수소 경제 Value-Chain 쉘 분야에서 기술의 발전이 이뤄지며, 수소에너지의 안정적인 정착과 수소경제 실현을 위한 기술은 계속 발전될 전망

〈표 30〉 세계 수소산업 분야별 산업 전망

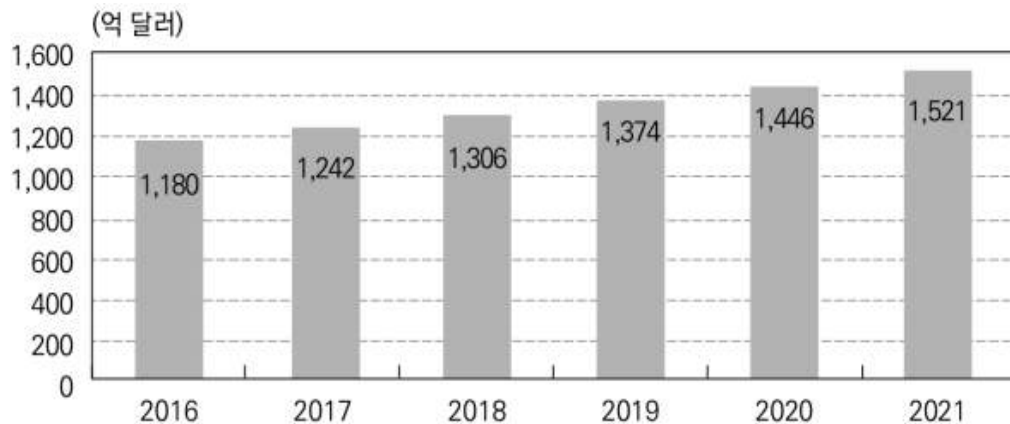
구분	주요장점	주요 기업
생산	‘17년 1,032억 달러에서 ‘26년 2,075억 달러로 연평균 약 8% 성장 전망	MKK, 에어리퀴드, 밀러 등
저장·운송	‘16년 4.7억 달러에서 ‘26년 10.1억 달러로 연평균 약 8% 성장 전망	에어리퀴드, 이와타니, APCL, JSW, 린데 등
수송수단 활용	육상용 승용차를 중심으로 초기시장이 형성되어 있으나, 해상·항공용은 연구개발 및 실증단계	도요타, 혼다, BMW, 벤츠, 파나소닉 등
발전·산업 활용	‘17년 11억 달러에서 ‘30년 115억 달러로 성장 전망	에어리퀴드, 이와타니, 넬, H2D, SPC, FEF 등
안전·환경·인프라	- 수소 선진국은 소재·부품 안전성 확보를 위한 지원센터를 구축하고 관련 법·제도를 운영 중 - 국제표준화기구(ISO) 등은 수소 활용·공급 분야의 국제 표준 37종을 제정	에어리퀴드, 이와타니, 넬, H2D, SPC, FEF 등

출처 : 수소 기술개발 로드맵(안), 관계부처 합동, 2019

□ (수소 생산 - 공급) 전 세계의 수소생산 시장은 ‘21년까지 5.2%의 연평균 성장률을 지속할 것으로 보이며, 친환경 수소에너지 수요증가 등으로 인해 지속적으로 성장할 전망

○ 수소 생산시장의 연간 수소 생산량은 약 6,500만 ton이며, ‘21년경 수소생산 시장 규모는 1,520억 9,000만 달러 규모에 달할 것으로 전망

- 수소생산 시장의 꾸준한 성장은 친환경 수소에너지에 대한 수요 증가와 암모니아 및 메탄올 공정에서 수요 증가, 오일샌드 정유와 석탄가스화 공정 수요 증가 등에 의한 것으로 판단
- 셰일가스 혁명으로 천연가스 가격이 하락하고 신재생에너지 확대에 따른 잉여 전력을 수전해 생산방식에 활용하기 시작하면서 수소생산의 경제성이 크게 개선
- ‘00년대 중반 약 8달러/백만Btu이었던 천연가스의 가격은 셰일혁명의 영향으로 ‘15년에는 2.62달러/백만Btu까지 하락



출처 : Hydrogen Meets Digital, Mckinsey & Company, 2018

〈그림 26〉 세계 수소 생산시장 전망

- 신재생에너지의 잉여전력을 활용한 수소생산은 유럽을 중심으로 확대
 - 현재, 유럽은 신재생에너지의 잉여전력을 이용해 수소를 생산하고 활용하는 P2G (Power to Gas) 프로젝트를 적극적으로 추진 중
 - 미국은 천연가스 개질 방식으로 연간 1,200만 ton의 수소를 생산하고 있으며, 2,600km에 이르는 파이프라인을 통해 수소를 운송
 - 유럽은 '17년 기준 연간 900만 ton의 수소를 생산하고 있으며, 주로 신재생 에너지를 이용한 수전해 방식으로 수소를 생산하여 900여 대의 수소차, 106개의 수소충전소, 40여 대의 수소버스의 연료로 활용
 - 일본은 '18년 기준 연간 300만 ton의 수소를 생산하고 있으며, 부생수소 및 천연가스 개질이 주요 생산 방법으로 활용
- 국제적 에너지 기업 SGH2가 미국 캘리포니아 주 랭커스터시에 세계최대 규모의 녹색수소 생산시설 구축을 추진
 - SGH2의 독자적 기술로 플라스틱에서 종이, 타이어, 직물까지 모든 종류의 폐기물을 가스화하여 수소를 생산
 - 재활용 혼합지폐물을 이용해 전기분해와 재생에너지를 생산하는 녹색수소보다 탄소배출을 2~3배 이상 줄이는 '녹색보다 녹색' 수소를 생산하는 SGH2의 선도 기술이 적용되어 5~7배 저렴
 - SGH2 녹색수소는 미국에서 사용되는 수소의 대부분을 차지하는 화석연료에서 생산되는 '회색' 수소에 비해 가격 경쟁력을 보유
- 미국 최대 천연가스사 SoCalGas는 미국 내에서 수소제조 기술 분야를 선도하고 있으며, 수소충전사업과 수소타운을 계획

- 프랑스의 유틸리티기업 Engergir는 칠레의 아타카마 사막과 같은 곳에 태양광 발전에 의해 대규모로 수소를 생산하고 경쟁력 있는 가격으로 해외로 운송할 사업을 구상 중
 - 이미 칠레에서 전력망 운영과 LNG 시설 및 재생에너지 사업자산을 운영하고 있고 수소 기술, 특히 수전해 분야의 신생업체를 인수 중
- (수소 수요 - 수소충전) 보급 현황을 살펴보면 '18년 기준 전 세계에 370곳이 있으며, 한국은 14곳이 가동 중인 것으로 확인
- 향후, 수소 활용의 증가를 통하여 '50년 CO2 필요 감축량의 20% 가량(연간 60억 ton)을 감축할 것으로 기대
- 글로벌 석유메이저인 로열더치셸은 '20년까지 재생에너지와 친환경수송연료에 연간 약 10억 달러 투자 추진
 - 셸은 '11년 첫 번째 수소충전소를 독일에서 개설한 이래 유럽 및 미국 등 여러 시장에서 수소사업 및 계획에 참여 중
 - 현재까지 독일 6개소, 영국 2개소, 미국 LA 2개소와 캘리포니아 북부 7개소에 타 기업들과 협업해 수소충전소 건설 및 운영 중
- 프랑스 최대 에너지기업 토탈은 '02년 베를린에 수소버스에 주입하기 위한 수소충전소를 개장한 이후 15년 넘게 대부분 독일에서 수소충전소 구축에 참여

(나) 국내 산업 · 시장 동향

□ 수소 공급 인프라

- '20년 12월 기준, 국내에는 총 63기의 충전소가 설치되어 있으며 환경부(39기)와 민간(24기)로 구분되어 충전소 보급 · 관리를 진행
 - 가장 많이 수소 충전소가 설치된 지역은 울산으로 총 13개의 충전소가 설치되었으며, 그 뒤를 이어 경기 9기, 충남 6기, 광주/경남/전북 5기가 설치 · 운영
- 울산시 남구에는 국내 최초로 배관을 통해 수소를 공급 받는 수소충전소가 설치되었으며, 수소 생산공장에서 1.3km의 배관을 통해 수소를 공급받는 충전소
 - 배관을 통해 수소를 공급받는 충전소는 일본 후쿠오카, 미국 캘리포니아로 2군데가 존재하였으며, 울산시 남구의 충전소가 세계 기준으로 3번째 충전소
 - 울산시는 수소배관망 구축 계획을 통해 '30년까지 도심에 총 63km의 수소배관망을 구축할 전망이며, 구축되는 수소배관을 기반으로 수소충전소를 확대할 예정

□ 수소 관련 기업



(주)덕양 수소배관(42.4km)
출처 : 에너지경제연구원(2020)



(주)SPG 수소배관(26.6km)



(주)SDG 수소배관(30km)

<그림 27> 국내 수소 운송업체의 수소 배관 구축 사례(울산)

- ((주)덕양) 울산공업단지에 위치하고 있으며, 석유화학단지를 포함한 40km 규모의 배관망을 활용하여 시간당 19만Nm³의 수소를 생산·공급하고 있으며 장거리 운송을 위해 튜브트레일러를 이용
 - 덕양은 석유화학 공장에서 발생하는 부생수소를 정제하여 공급하고 있으며, 수소의 생산과 공급 분야에서는 국내 최대 규모
- ((주)SPG) '75년부터 현재까지 공업용 고순도 수소를 생산하고 있으며, 4개의 국내 공업단지에 구축된 수소 생산시설을 통해 수소를 생산·공급
 - '13년 국내 최초로 메탄올을 원료로 사용하여 수소를 생산하는 플랜트를 준공
- ((주)SDG) '05년부터 수소공장 준공을 통해 영업을 시작하였으며, 수소에너지기술 연구소 설립을 통한 수소연료전지, 충전소, 저장 기술 등 다양한 연구개발을 진행
 - 현대기아자동차와 연계하여 수소충전소 보급 등 사업 확장에 적극적인 입장

□ 국내 수소 산업은 현재 시제품 생산 단계에 위치한 것으로 평가되며, '25년 시장에 진입하여 '30년부터 본격적인 성장기에 들어설 것으로 전망

- 국내 수소 산업은 공급 및 수요 Value-Chain 내에 단기적 수익성이 기대되는 분야에서 부분적으로 글로벌 경쟁력을 구축
- 공급부문의 경우, 수소경제시대 초기에 충분한 부생수소 생산설비를 보유하고 있으며, 수요부문은 발전용 연료전지 산업을 중심으로 연료전지 산업의 전반적인 부문에 있어 일정 수준의 경쟁력을 확보
 - 수소 생산에서 저장·운송, 수소모빌리티, 수소연료전지 등 활용 분야의 생태

계는 일정 수준 조성되어 있지만 여전히 실증·상용화 초기 단계로 평가

- 수소모빌리티 분야에서 수소차의 국내 생태계는 이미 형성되었다는 의견이 지배적인 반면 이 외에 수소선박, 열차, 드론 등은 연구개발 시작단계에 불가
- 반면, 생산 관련 제조업 부문의 산업생태계 구축은 초기 수준이며, 수소 저장·운송 관련 인프라 등도 아직 연구개발 단계 수준이며 국내 산업생태계 미 조성

○ 하지만, 단기적 수익성이 불확실하고 장기적 및 계획적 투자가 필요한 수소공급 인프라 및 수요기기 등의 경쟁력은 전반적으로 취약

〈표 31〉 국내 수소산업의 경쟁력

구분			우위성
수소의 공급	생산	▪ 부생수소 생산량	◎
		▪ 대용량 수전해	▲
	저장 및 운송	▪ 저압배관	○
		▪ 고압 및 중압배관	▲
		▪ 고압 배관 및 복합용기	▲
		▪ 액화설비 및 운반	▲

구분			우위성
수소의 수요	수소충전	■ 설치비용	▲
		■ 충전소 설치수	▲
	가정용	■ 보급대수	▲
		■ 기업경쟁력 및 관련 기술	○
	발전용	■ 보급대수 및 용량	◎
		■ 기업경쟁력 및 관련 기술	◎
	수송용	■ 보급대수	▲
		■ 기업경쟁력 및 관련 기술	◎
	수소발전	■ 기업경쟁력 및 관련 기술	▲

출처 : 신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제, 산업연구원, 2016

① 수소의 생산(공급)

□ 글로벌 수소시장 5위 규모인 국내 수소수요는 444만 ton이며, 수소생산 규모는 유통량 기준 8,000억 원 수준

○ 국내의 수소 생산량은 연간 125만 ton 정도로 이 중 21만 ton 정도가 시장 공급이 가능한 양으로 추산

- 부생수소의 공급량은 21만 ton 중 약 76%인 16만 ton 정도로 수소자동차 1대의 연간 주행거리를 15,000km로 가정할 경우, 연간 약 8만 5,000대의 FCEV를 운행할 수 있는 규모

- 정부가 설정한 '20년 FCEV 보급 목표가 9,000대, '25년 10만대인 것을 고려할 때, 수소산업 형성기에 필요한 수소생산 역량을 보유

○ 석유화학, 전자, 재료, 반도체 제조, 제철공업, 우주항공 산업에서 주로 이용되며, 향후, 수소차의 확산뿐만 아니라 트럭, 버스, 기차, 선박 등 다양한 운송 분야에서 활용도가 높아질 전망

* 시중 유통량 22만ton, 3,000~6,000원/kg 수준으로 평균단가를 4,000원으로 기준

- 국내에서 생산되는 수소의 양은 수소차를 연간 약 820만 대 운행할 수 있는 규모 대부분의 수소 생산방식은 부생수소이고 연간 약 192만ton 수준
 - 따라서, 중화학공업단지가 위치한 곳에서 주로 생산되고 있으며, 그 지역은 울산, 여수, 대산 등으로 확인
 - 국내 수소 생산에서 부생수소의 비율이 높은 이유는 중화학공업시설의 발달에 의한 것으로, 향후에는 부생수소보다 천연가스와 공급망 등에 기인하여 천연가스 개질을 통한 생산이 주력이 될 것으로 예상
- 국내 수소생산 분야의 기업들은 최근 '17년 91억 7,000만 원에서 '18년 192억 5,000만 원으로 약 2배 이상 투자를 크게 늘리고 있는 것으로 파악
- 국내 수소생산 분야가 아직 초기단계에 위치해 있어 수출 여건을 갖추지 못해 수출액은 거의 발생하지 않는 것으로 파악되며, 향후, 본격적인 수소 분야의 투자 및 시장 확대에 대비할 필요성이 증대
 - 국내 수소 생산 분야 기업들은 비교적 높은 연구개발 투자 기반을 갖추고 있지만, 원천기술이 미흡한 분야가 많은 것으로 평가
- 국내 수소의 생산 방식별 단가 '18년 기준으로 부생수소 2,000원/kg 미만으로 가장 저렴하며, 천연가스 추출 방식의 경우 2,700~5,100원/kg, 수전해 방식의 경우 9,000~1만 원/kg 수준으로 확인
- 생산방식별 단가는 전 세계적으로 매우 큰 차이가 나타나며, 각국의 전력 공급방식이나 화석연료 공급 가격, 그리고 기술력 차이 등 다양한 요인에 기인

〈표 32〉 국내 수소 생산 방식별 단가

(단위 : 원/kg)

구분	'18년	'22년	'30년	'50년
부생수소	1,500~2,000	1,500~2,000	1,500~2,000	1,500~2,000
천연가스 추출	2,700~5,100	2,600~4,800	2,500~4,300	2,400~3,900
수전해	9,000~10,000	7,000~8,000	3,000	2,000
수입	-	-	3,000	2,000

출처 : 수소경제 활성화 로드맵 수립 연구, 에너지경제연구원, 2019

- 국내 대표적 수소 생산 및 공급업체는 덕양과 SPC케미칼, 에어리퀴드코리아, 창신산업 등이 존재
- (덕양) 울산공업단지에 위치하여 주변의 석유화학단지 등을 둘러싼 40km 규모의 배관망을 이용해 시간 당 19만 Nm³의 수소를 생산·공급하며, 원거리의 경우 튜브트레일러를 이용하여 공급

- (SPG케미칼) '75년부터 현재까지 약 40년간 공업용 고순도 수소를 생산해오고 있으며, 국내 4개의 공업단지에 수소생산시설 보유
 - * '13년 국내 최초로 메탄올을 원료로 사용하여 초고순도 수소를 생산하는 신규 플랜트를 준공하였으며, 수소차 에너지 실용화에도 앞장
 - * 현재, SPG케미칼은 일반순도 99.99% 이상, 초고순도 99.9999% 이상의 수소 제품을 판매
- (에어리퀴드코리아) 산업용 및 의료용 가스, 기술, 서비스 분야 기업인 에어리퀴드그룹의 자회사로서 정유, 화학, 철강 및 에너지 분야의 기업들에게 파이프라인을 이용하여 수소(고순도 99.999% 이상)를 제공
 - * 수소생산 뿐만 아니라 수소충전소 사업도 함께 진행 '11년 경기도 화성의 자동차 시험
 - * 연구원에 설치된 수소충전소 ' 16년 현대자동차 북미연구소의 수소충전소 등을 설치
- (SDG) '05년부터 수소공장 준공 및 영업을 시작한 수소 및 아세틸렌 전문 제조업체로 수소에너지기술연구소 설립 및 수소연료전지, 충전소, 저장기술, 액화기술, 고순도정제 설비 등에 대한 연구개발을 진행
- (대성산업가스) 프랑스에어리퀴드社, 일본 에어리퀴드 재팬과의 자본 합작 및 기술제휴를 통해 설립된 기업으로 온-사이트(On-Site) 공급방식과 파이프라인 공급방식을 통해 수소가스를 공급하기 위한 노력을 지속
- (창신화학) 액화탄산가스 및 드라이아이스 전문 생산기업으로 시작하였으나, 충남 대산에 신규 플랜트를 준공한 이후 수소 전문 기업으로 변화하기 위해 노력
 - * 영국의 하우든 버튼 코블린사의 다이아프램 컴프레서 4대를 통해, 1일 7만 6,800Nm³의 수소를 생산할 수 있는 시설을 갖추고 있으며, 국내의 수소 생산과 충전시설 면에서 높은 수준으로 평가

② 수소 저장·운송

□ 최근 주요국을 중심으로 신재생에너지로부터 생산되는 전기와 잉여전력을 수소 형태로 저장하는 P2G(Power to Gas)에 대한 활용성 증가

- 수소저장시스템 시장은 '16년 4억 7,000만 달러에서 '26년 10억 1,000만 달러로 연평균 8.0%의 증가율에 따라 확대될 것으로 기대되며, 수소 저장 분야에 대해서도 산업 육성의 필요성이 대두
- 향후, 다양한 부문의 수소 수요확대에 대비한 국내 신재생에너지 활용 및 해외 수입과 관련된 생산, 저장·운송 기술 및 인프라 구축은 아직 미흡한 수준
 - 신재생에너지를 활용하여 수소를 생산하는 대용량 수전해 방식의 경우, 주요국

들이 '90년대부터 관련 기술을 개발해온데 반해 국내에서는 '03년 수소 에너지 사업단이 처음 프로젝트를 시작

- 수소 가격 중 운송비용은 수소 가격 차이의 주원인으로 작용하지만 수소의 경제성 확보를 위한 국내의 저장·운송기술 경쟁력은 미흡한 것으로 확인
- 국내외 수소 저장·운송 분야는 기존의 부생수소 유통을 담당하였던 주요 공급지와 수요지 간의 파이프라인 유통 방식과 고압저장용기방식의 튜브트레일러 방식만 존재
 - 국내 석유화학공장에서 발생하는 부생수소를 기체 저장하여 운송하는 부문에서는 경험을 보유한 것으로 확인
 - 부생수소의 93%는 울산 및 여수 등의 공단 지역을 중심으로 구축된 파이프라인을 통해 운송되며, 7%는 고압저장용기 방식의 튜브트레일러를 이용하여 운송
- 최근, 튜브트레일러 방식의 수소충전소가 보급되며, '19년 7월 기준 전국에 약 500대 정도가 운행 중
 - 수소저장 및 운송과 관련한 기회는 확대되었으나, 기체 저장과 관련한 사업 외에는 경험이 없어 미국, 일본 등과 비교했을 때 상대적으로 관련 산업 육성에 추가적인 노력이 필요

〈표 33〉 국내 수소저장·운송 분야 주요 목표

구분	현재	'22년	'30년 이후
튜브트레일러	500대	대규모 기체 저장·운송	액화, 액상 및 고체수소 저장·운송
파이프라인	200km	부생수소 갯머(울산, 여수, 대산) 인근에 수소파이프라인 구축	전국 단위의 고압용 수소 파이프라인 구축 검토
추진방향	-	수요처 중심의 공급 기반	구축 전국 단위의 공급 인프라 구축

출처 : 수소경제 활성화 로드맵, 관계부처합동, 2019

③ 수소 충전

□ 국내 수소충전 분야는 수소 저장·운송 분야와 같이 중소기업 비중이 높은 구조

- 국내 수소충전소는 '18년 14기에서 2배 정도 늘어난 총 31기가 구축 및 운영 중이며, 아직 전국적으로 충전 인프라가 많이 부족한 보급 초기 단계

* 서울, 경기, 인천 등 수도권에서 11기가 운영되고 부산, 대전, 광주, 울산, 충청권과 경상권, 전남 등으로 점차 구축 지역 확대 중

* 현재, 운영 중이거나 계획 중인 국내 수소충전소는 거의 대부분 부생수소를 공급

- 수소충전소는 크게 부지, 건설, 설비로 구분이 가능하고 설비에는 압축기, 저장용기, 필터, 디스펜서, 운영제어시스템 등으로 구성되며, 현재 수소충전소 구축비용은 약 26억~31억 원이 소요되는 것으로 확인
- 국내외 수소충전소 관련 주요 기업으로는 효성중공업이 대표적이며, 이엠코리아, 제이앤케이히터, 에코바이오, 디케이락, 엔케이 등이 존재
- 효성중공업은 충전기, 압축기 등 자체 모델로 국산화를 상당 부분 이룬 것으로 평가 받고 있으며, 국내 수소충전소 구축 실적도 가장 높은 것으로 파악
- 수전해 방식의 충전소 구축은 이엠코리아가 강점을 가지고 있는데, 이엠코리아는 물을 분해하여 수소를 생산하는 자체 기술력을 보유
- 하이넷은 자동차 완성차업체와 수소 공급 업체, 충전소 설비업체 등 수소충전소 생태계를 구성하는 여러 부문의 기업들이 협업을 통해 충전소 구축비용을 낮추어 '22년 까지 수소충전소 100기를 구축할 계획

〈표 34〉 국내 수소 충전소 관련 생태계 현황

모듈	주요구성품	대표기업
수소저장·공급모듈	튜브 트레일러	▪ NK, 한화솔루션, 일진복합소재, 롯데케미칼
	충전호스	-
	가스유량계	-
수소압축모듈	압축기	▪ 광신기계공업, 범한산업, GTC
	전동모터	▪ 효성중공업, 현대일렉트릭시스템, 하이젠
압축수소저장모듈	중압용기	▪ NK
	고압용기	▪ NK, 두산중공업, 한화솔루션, 일진복합소재
수소냉각모듈	급속냉각	▪ 한국마이콤, 현대ENG, 삼성이엔씨
	프리쿨러	▪ 두산중공업, 동화엔텍
수소충전모듈	디스펜서	▪ 효성중공업, 광신기계공업, 범한산업, JNK히터
	충전호스	-
	충전노즐	-
	적외선 무선통신	-

출처 : 수소모빌리티의 성패를 좌우할 수소충전소 기술, 한국자동차연구원, 2020

④ 강관 및 배관망

- 국내 강관 시장은 '19년 내수 부진과 무역규제에 따른 수출 급감으로 4,692천 톤의 생산을 기록, 수소산업 발전, SOC 투자* 확대 등 증가 전망

* '20년 SOC 예산 23.2조원(전년비 +14.7%)

- (생산) 국내 강관 시장은 내수침체와 수출 급감에 따라 강관사 감산이 지속되어 생산*과 수출** 모두 지속적으로 감소

* '17년 5,640천톤 → '18년 5,007천톤(△11.2%) → '19년 4,692천톤(△6.3%)

** '17년 3,089천톤 → '18년 2,037천톤(△34.1%) → '19년 1,728천톤(△15.2%)

- (내수) 수출 감소에 따른 피해 상쇄를 위하여 내수 전환을 통한 시장 회복을 추진하였지만, 건설, 자동차 등의 관련 산업 수요 침체로 내수량* 유지

* 건설수주액 '17년 160.4조 → '18년 154.5조 → '19년 148.9조, 자동차 생산 '17년 411만대 → '18년 403만대 → '19년 400만대

- 국내 강관제조를 위한 조관 기업은 16개사로 파악

〈표 35〉 국내 가스이송용 강관 제조사 현황

번호	제조사	제조규격
1	하이스틸	일반 및 압력배관용 강관 (ASTM A53), ERW
2	세아제강	탄소용접강관(API 5L), ERW
3	현대제철	API 5L
4	휴스틸	API 5L, ERW
5	EEW코리아	API 5L
6	금강공업	압력 및 연료가스배관용 탄소강관 등
7	동양철관	가스수송용 강관 및 일반배관용 강관 (API 5L)
8	현대RB	API 5L B ~ X80 등
10	창원밴딩	API 5L, (SAW)
11	삼강엠앤티	API 5L, B~X80 (SAW)
12	웰텍	SAW강관(API)
13	성원제강	API 5L, KS D 3507 , KS D 3562
14	MS파이프	ASTM A53, ERW

출처 : 한국철강협회 및 각사 홈페이지

○ 향후 수소배관망을 구축하거나 활용이 예상되는 국내 도시가스사는 34개사로 파악

〈표 36〉 국내 도시가스사 현황

번호	회 사 명	대표자명	본사 소재지
1	코원에너지서비스(주)	배명호	서울 강남구 남부순환로 3165
2	(주) 예 스 코	정창시	서울 성동구 자동차시장길 23
3	서울도시가스(주)	박근원, 김진철	서울 강서구 공항대로 607
4	(주)귀뚜라미에너지	이명호	서울 구로구 경인로46길 51
5	(주) 대륜 E&S	전동수	경기 의정부시 민락로 244-6
6	(주)삼 천 리	이찬의, 유재권	서울 영등포구 국제금융로6길 42
7	인천도시가스(주)	정진서	인천 서구 백범로934번길 23
8	(주)부산도시가스	구태고	부산 수영구 황령대로 513
9	대성에너지(주)	김영훈, 윤홍식	대구 중구 명덕로 85
10	(주)해양에너지	김형순	광주 광산구 손재로287번길 59
11	CNCITY에너지	황인규, 손동식	대전 중구 유등천동로 762
12	(주)경동도시가스	송재호, 나윤희	울산 북구 염포로 260-10
13	강원도시가스(주)	박경식	강원 춘천시 삭주로 163
14	참빛원주도시가스(주)	김문택	강원 원주시 호저면 원문로 376-27
15	참빛영동도시가스(주)	김복천	강원 강릉시 동해대로 3291
16	참빛도시가스(주)	김복천	강원 속초시 미시령로 3198
17	명성파워그린(주)	엄정환	강원 평창군 대관령면 송전1길 81-3
18	충청에너지서비스(주)	사극진	충북 청주시 흥덕구 산단로 244
19	참빛충북도시가스(주)	신동식	충북 충주시 국원대로 344
20	J B (주)	한권희	충남 아산시 음봉면 산동안길 14
21	(주)미래엔서해에너지	박영수	충남 당진시 시곡로 348
22	전북도시가스(주)	김홍식	전북 전주 덕진구 장재안길 31
23	군산도시가스(주)	김동수, 윤인식	전북 군산시 해망로 178
24	전북에너지서비스(주)	김기영	전북 익산시 석암로3길 80
25	목포도시가스(주)	정경오	전남 목포시 영산로 742
26	전남도시가스(주)	김은규	전남 순천시 장선배기길 31
27	대화도시가스(주)	정치훈	전남 여수시 만성로 178
28	영남에너지서비스(주) 구미	양영철	경북 구미시 1공단로6길 94
29	영남에너지서비스(주) 포항	이경남	경북 포항시 북구 소티재로208
30	대성청정에너지(주)	박문희	경북 안동시 모래골1길 61
31	서라벌도시가스(주)	조항선	경북 경주시 유림로 5번길 183
32	경남에너지(주)	정 회	경남 창원시 성산구 연덕로 18
33	(주)지에스이	유석형	경남 사천시 사천읍 구암두문로 412-30
34	(주)제주도시가스	김문수, 김민수	제주 제주시 미리내길 153

⑤ 국내 수소산업 기업구조

- 국내 수소산업의 기업구조를 살펴보면 중소기업 비중이 높으나 수소공급과 활용분야에서 사업을 영위하는 기업이 풍부하지는 않지만 일정수준 분포해 있는 것으로 파악

◆ 수소산업 국내기업 실태조사 실시개요

- (조사대상) 수소 연관 분류기업 1,000개(※산업분류 체계 적용 대상선정)
- (조사기간) '20.04.11. ~ '20.05.15(약 35일)
- (조사방법) 온라인, 팩스 등
- 1,000개 기업 중 402개 응답(생산 35, 저장·운송 54, 충전 22, 활용 239, 기타 52)

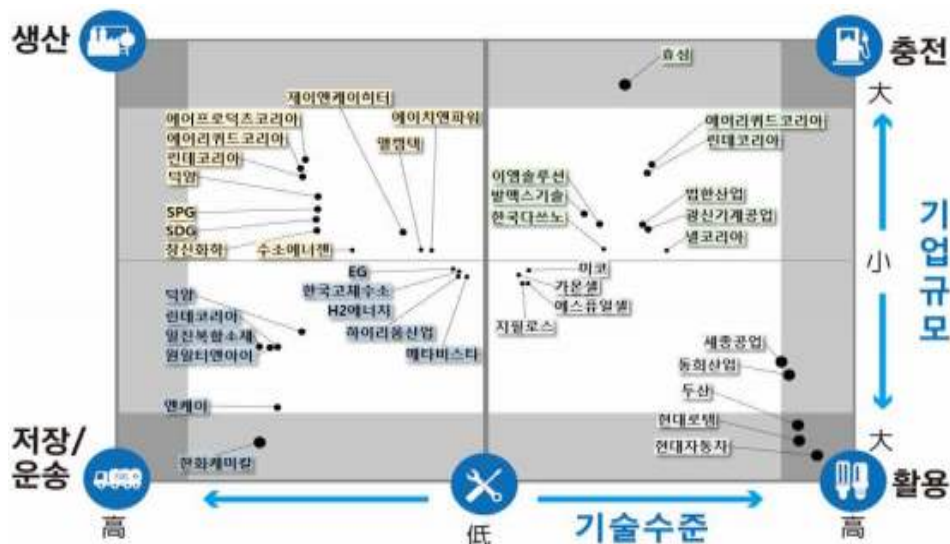
출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 산업통상자원부, 2020

- 국내 수소 산업은 생산, 저장·운송, 충전 분야의 중소기업 위주로 구성되어 있으며, 활용분야는 대기업 주도로 생태계를 형성 중

- 분야별 기업분포(1,000개)는 활용 69%, 생산 3%, 충전 6%, 저장·운송 10%, 규모별 분포는 대기업 7%, 중견기업 7%, 중소기업 86%

* 주요기업 : (활용) 현대차, 현대모비스, 현대로템, 두산퓨얼셀, (충전) 효성, 광신, (생산, 저장·운송) 덕양, SPG, 일진복합소재, 엔케이, 이엠코리아 등

- 기술수준 또한 대기업이 주도 중인 모빌리티 수소차와 발전용 연료전지 부분에서만 높은 것으로 확인



출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 산업통상자원부, 2020

〈그림 28〉 국내 수소기업 기술수준

- 기업의 인력 중 수소분야 인력은 15,006명(약 3.17%)이며, 수소분야 인력 중

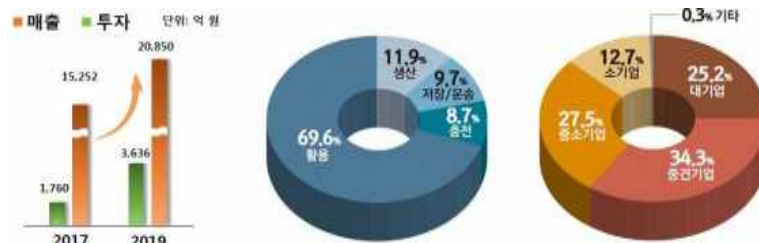
R&D 인력은 44.1%(6,619명)으로 확인

- 수소산업 투입인력(15,006명)은 활용(85.6%) > 충전(8.1%) > 생산(3.6%) > 저장·운송(0.01%) 순으로 저장 운송 분야의 비중이 가장 저조
- 수소 산업을 전담하는 인력 중 R&D 인력이 차지하는 비중이 비교적 높은데 이는 연구개발이 진행 중인 초기 단계에 있기 때문으로 판단
- 또한, 수소 산업분야에서 R&D인력 부족률이 24.9%로 높게 나타나는데 이는 외국 기술의존도가 높은 생산·수송 분야의 R&D 인력 확충이 필요함을 시사
- 재직자 재교육, 학교-기업 연계 취업을 통한 인력개발 요구

○ 수소산업 분야에 대한 기업의 투자비중은 증가하고 있으나, 모빌리티 및 연료 전지 등 활용분야 69.6%, 대기업·중견기업 59.5%에 집중

* '17년 → '19년 : 매출액 (1조 5,252억 → 2조 850억), 투자액 (1,760억 → 3,636억)

- 현재, 수소분야 매출이 있는 기업은 수소 연관기업의 7.1%(2,253개)로 추정되며, 수소전문기업에 관심이 높은 기업은 12.9%(4,094개)로 확인



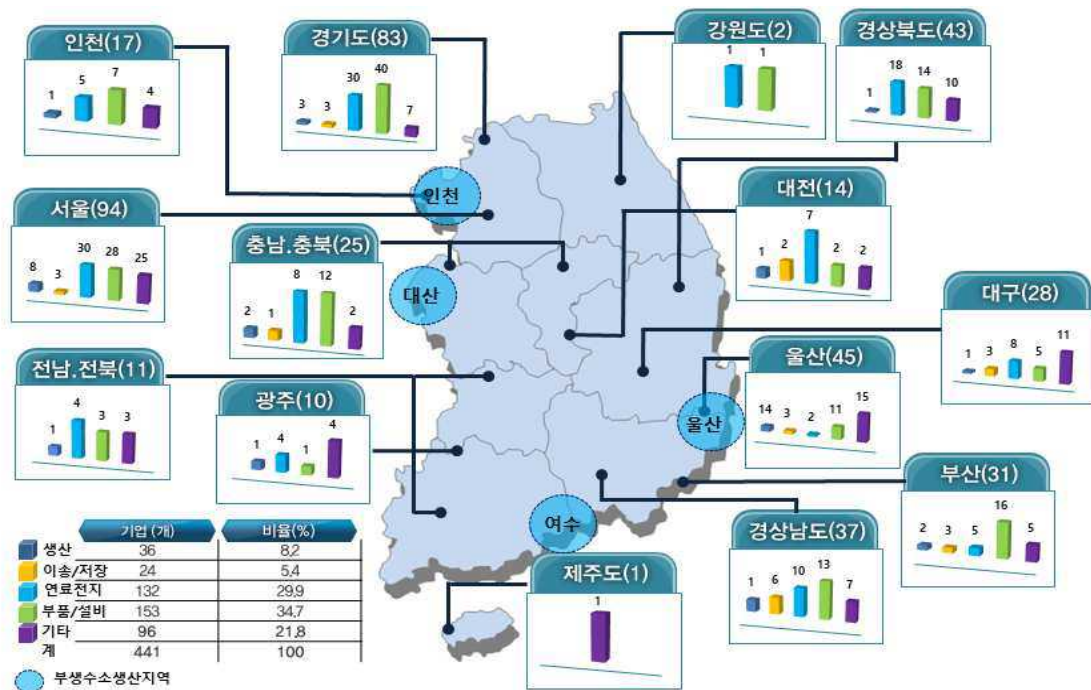
출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 산업통상자원부, 2020

〈그림 29〉 국내 수소산업 투자 현황

□ 서울, 경기, 인천 등 수도권에 전체 기업 중 45% 정도가 위치하고 있으며, 울산, 경상남도, 부산, 대구 등 경상권에 약 40%의 업체가 집적해 있는 것으로 확인

- 부생수소 공급 가능 지역은 해안선(당진, 울산 등)을 따라서 U자형으로 분포하고 있으며, 일부 내륙지역에는 수소 공급 공백지역 발생
- 또한, 수소 운송비용 문제 및 부생수소의 생산 변동성으로 인한 지역 내 수소 수급 불안 문제가 상존
- 현재, 수소관련 기업은 주로 수도권·경상권에 위치하고 있으나, 지역별 공공기관을 중심으로 수소 관련 사업들이 활발히 추진 중

* (기업분포) 수도권 44%, 경상권 42%, 중부권 9%, 호남권 5%



출처 : 수소산업 생태계 경쟁력 강화 방안, 산업통상자원부, 2020

〈그림 30〉 지역별 수소기업 현황

- 수소도시, 규제특구, 지자체별 육성계획 등 지역 수소 산업 육성이 진행 중에 있으나 사업간 연계 및 시너지 효과 제고 미흡
- 중앙정부는 수소시범도시, 수소 클러스터 및 규제자유특구 등을 통해 수소 기반 도시 실증 및 지역 산업 육성을 함께 추진
 - * 수소시범도시(국토부) : 울산, 전주·완주, 안산 → 1곳 당 국비 145억 원 지원 / 삼척 R&D 특화도시
 - * 수소클러스터(산업부) : 5개 지자체 선정(인천, 전북, 강원, 울산, 경북) 및 기획 지원
 - * 규제자유특구(중기부) : '19.11 울산시, '수소그린모빌리티' 2차 규제자유특구 지정
- 현재 부처 간 협업을 통해 수소시범도시를 플랫폼으로 각 산업간 연계성을 강화시켜 나가고 있는 중

〈표 37〉 수소산업 분야별 산업전망

구분	내용	주요기업
생산	▪ 부생수소 및 개질 기반의 수소생산 산업 위주로 형성 ▪ 약 164만 ton('17)생산량 중 대부분은 석유·화학업체가 자체 소비, 약23만 ton을 외부에 유통	▪ 중소기업 중심 ▪ 덕양, SPG케미칼, 창신화학 등

구분	내용	주요기업
저장 · 운송	- 수소 운송 및 대규모 저장 관련 산업여건은 매우 취약 - 석유화학단지를 중심으로 수소배관망이 집중형성되어 있으며, 외부 유통 수소(약 23만ton)는 수소배관망(약93%), 튜브트레일러(약7%)를 통해 공급	- 중소기업 중심 - 이엔케이, 일진복합소재, SPG, SDG, 덕양, 두산중공업 등
수송수단 활용	- 육상용 중 승용차 분야만 시장이 형성(누적 3,436대, '19) - 해상용은 기술개발 단계에 있고, 항공용은 수소드론이 초기시장 진입을 준비	- 시스템 · 부품 다수 기업 형성 - 현대자동차, 현대모비스, 코오롱, 세종공업, 한온시스템, 현대제철, 동아공업 등
발전 · 산업 활용	신재생에너지공급의 무화제도(RPS) '가정 · 건물용 설치 보조금 지원 등으로 보급 확대 추세에 시장 확대 전망	- 중소 · 중견기업 중심 - 효성중공업, 이엠코리아, 광신기계, 제이엔케이히터, 엔케이 등
안전 · 환경 · 인프라	- 수소를 포함한 고압가스용 제품 · 부품에 대한 안전특성 평가를 위한 지원센터를 운영 중이며, 수소 활용 · 공급 분야의 국제표준에 부합하는 국가표준(KS), 19종을 제정 - 전 과정 평가에 대해 연구한 바 있으나 DB 부족 및 실제 기술개발과의 연계 미흡하며, 육상용 수소충전소 31기를 운영 중이며, 해상용 충전시설 전무	- 중소 · 중견기업 중심 - 효성중공업, 이엠코리아, 광신기계, 제이엔케이히터, 엔케이 등

출처 : 미래 시장 선도형 수소 에너지 융합 인프라 핵심기술 기획연구, 한국건설기술연구원, 2020

(3) 국내외 수소배관망 현황

(가) 미국

□ '20년 미국은 전체 2,588km(1,608mile)의 수소 배관을 설치 및 운영

- 전체 수소배관 중 약 94%는 텍사스, 루이지애나 및 앨라배마주가 위치한 걸프 연안에 설치, 그 외는 캘리포니아, 인디애나 등 7개 주에 설치

〈표 38〉 미국에 설치 및 운영 중인 수소배관

(단위 : km, %)

구분	텍사스	루이지애나	앨라배마	캘리포니아	인디애나	기타	합계
길이	2,426.89			25.75	22.53	112.65	2,587.82
점유율	93.8			1.0	0.9	4.4	100

출처 : Pipeline Transportation of Hydrogen: Regulation, Research, and Policy, Congressional Research Service, 2021



출처 : Pipeline Transportation of Hydrogen: Regulation, Research, and Policy, Congressional Research Service, 2021

〈그림 31〉 미국 수소배관 지역별 분포 및 미국 걸프 연안 수소배관 현황('20년 기준)

- 수소배관을 구축 및 관리하는 기업은 '16년 2,608km 기준 Air Products社 37.7%, Praxair社 26.1%, Air Liquide社 20.9%, Linde社 2%, 기타 13.3% 점유('16년 대비 '20년 전체 20km 배관 감소)

〈표 39〉 미국 내 수소배관 구축 및 관리 기업

(단위 : km, %)

구분	Air Products	Praxair (현 Linde)	Linde	Air Liquide	기타	합계
길이	983	680	52	545	348	2,608
점유율	37.7	26.1	2	20.9	13.3	100.0

출처 : Hydrogen Pipelines, Hydrogen Tools, 2016

- 미국의 수소배관 향후 확장 계획은 기 구축된 천연가스 배관망을 이용한 수소 배관 공급 방안 검토
 - 신규설치보다는 천연가스 공급망 (482,803km)에 수소를 혼합(약 10%)하여 공급하는 방안 검토

(나) 유럽

- 유럽은 현재 벨기에, 독일, 프랑스, 네덜란드, 영국 등의 나라에서 수소 배관을 구축하여 운영 중이며 추가적인 수소배관 계획을 지속적으로 발표
- 유럽 8개국 중 벨기에가 613km로 가장 길며, 독일(390km), 프랑스(303km) 순으로 나타남

〈표 40〉 유럽에 설치 및 운영 중인 수소배관

(단위 : km, %)

국가	벨기에	독일	프랑스	네덜란드	영국	스웨덴	이탈리아	스위스	합계
길이	613	390	303	237	40	18	8	2	1,611
점유율	38.1	24.2	18.8	14.7	2.5	1.1	0.5	0.1	100

출처 : Hydrogen Pipelines, Hydrogen Tools, 2016

- 유럽의 수소배관 중 Air Liquide社가 1,351km (83.8%), Linde社가 172km, Air Products社가 57km로 총 1,580km로써, 유럽의 약 98.1% 점유

〈표 41〉 유럽 내 수소배관 구축 및 관리 기업

(단위 : km, %)

구분	Air Liquide	Linde	Air Products	기타	합계
길이	1,351	172	57	31	1,611
점유율	83.9	10.7	3.5	1.9	100.0

출처 : Hydrogen Pipelines, Hydrogen Tools, 2016

□ 유럽의 수소배관 확장 계획

○ 네덜란드 소재의 Guidehouse 社에서 ‘20년 07월 발간한 “European Hydrogen Backbone” 보고서에 따르면 2030년까지 6,800km, ‘40년까지 23,000km까지 확장 가능

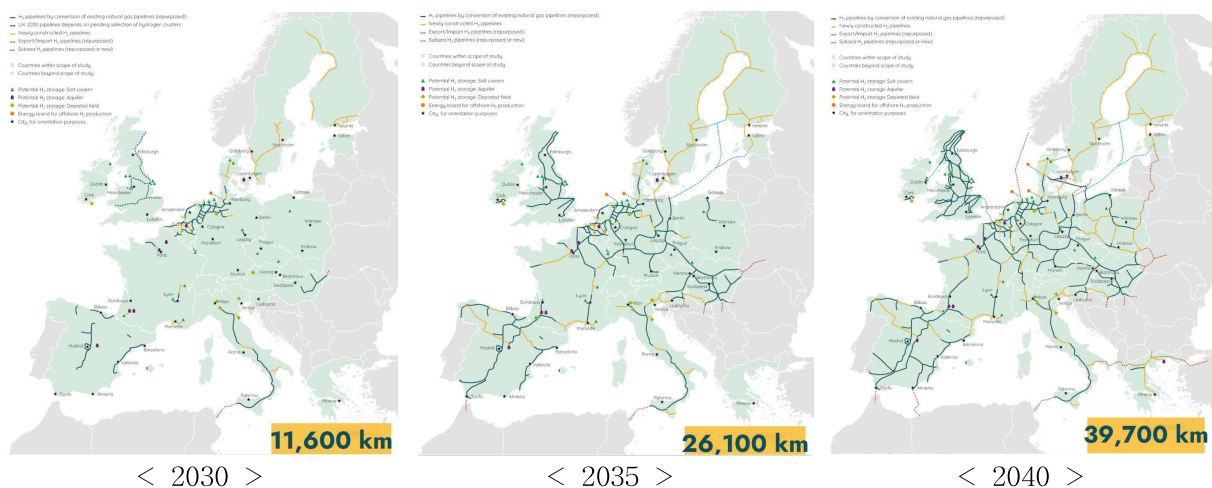
- 보고서의 수소배관 확장은 유럽의 천연가스 배관을 기초로 신규 배관을 신설 연결하여 유럽의 수소 공급 인프라를 구축하는 계획
- 분석 대상 국가는 독일, 프랑스, 이탈리아, 스페인, 네덜란드, 벨기에, 체코, 덴마크, 스웨덴, 스위스 등 10개국
- 유럽에 분포된 천연가스 배관을 이용하여, '40년까지 23,000km의 36~48인치*의 수소 배관으로 확장하는 것에 총 270억 ~ 640억 유로**가 소요될 것으로 전망

* 유럽의 도시가스 배관은 20 ~ 48 인치까지 다양한 구경이 존재하나, 충분한 수소 공급량을 위해서는 36 ~ 48 인치 구경의 수소배관이 적합할 것으로 판단

** 2021년 8월 2일 환율 기준 약 37조 ~ 84조, 비용 산출은 기존 천연가스 배관 확장에 75%, 신규 배관에 25%의 비율을 적용해 도출

○ 해당 프로젝트를 통해 대규모 재생 에너지인 수소 통합 및 국경을 초월한 유통이 가능한 수소배관망 인프라 구축을 추진

○ '40년 기준 총 21개의 나라가 참여하고 총 39,700km의 수소배관망이 구축 및 운영될 예정이며, 그 중 70%는 기존 천연가스 파이프라인을 활용할 예정



출처 : European Hydrogen Backbone, Guidehouse, 2020

〈그림 32〉 유럽 수소 배관 인프라 구축 예정도(‘30~40년)

- '21년 4월에 발간된 개정판에서는 국가별 개발 내용이 포함

〈표 42〉 유럽 주요국가 수소인프라 개발 내용

구분	내용
오스트리아	• ('30) 슬로바키아, 헝가리, 슬로베니아, 이탈리아, 독일을 연결하는 기존 인프라와의 연계를 통한 수소네트워크 구축 • ('35) 가스 파이프라인 중 하나를 수소 수송용으로 변경 • ('40) 우크라이나에서 독일로 연결되는 파이프라인을 대체할 수 있는 파이프라인을 추가하여 수소 허브 역할 계획
덴마크	• ('30) 기존 천연가스 네트워크를 활용하여 새로운 파이프라인 구축 후 대규모 저장 시설과 연결 • ('35) 동부 기존 파이프라인을 개조하여 스웨덴과 연결하고 발트해 파이프는 폴란드 공급용으로 용도 변경 • ('40) 북해의 에너지 섬의 확장에 대비하여 연안 수소 생산처와 에너지 섬 간의 수소 파이프라인 연결 구상
핀란드	• ('30) 남서부, 북서부, 스웨덴과의 연결지점에 수소 네트워크 구축 • ('35) 핀란드 서해안의 풍력은 수소 생산에 활용이 가능하기 때문에 서해안을 따라 수소 네트워크 구축을 통하여 남북간 에너지 전달 계획 • ('40) 수소 네트워크 확장에 따라 남북 파이프라인 추가 개발
독일	• ('30) 수소 사용의 증가 예측에 따라 네덜란드와의 파이프라인 연결을 통한 수소 수입 및 풍력 발전 단지 추가 공급 예상 • ('35) 남부, 동부에서 체코를 거쳐 수소 수입을 하기 위해서 체코 국경에 구축된 파이프라인의 용도 변경 및 연결 • ('40) 벨기에, 스위스, 오스트리아와의 여러개의 파이프라인 상호 연결을 통한 수소 공급 안정성 강화
영국	• ('30) 5개의 산업 클러스터 중 최대 4개의 산업 클러스터간 수소 네트워크 형성을 통해 기반 마련 • ('35) 모든 산업 클러스터가 연결되며, 동해안에 위치한 파이프라인의 용도 변경으로 벨기에, 네덜란드와의 수소 운송 가능 • ('40) 추가적인 파이프라인 용도 변경으로 천연가스와 함께 아일랜드와 수소 운송 가능

출처 : European Hydrogen Backbone, Guidehouse, 2021

(다) 아시아(호주 포함, 한국 제외)

□ 아시아에는 싱가포르, 중국, 태국, 호주, 베트남 등의 국가에서 수소배관을 구축하여 운영 중이며, 관련 투자 및 연구를 진행

○ '16년 기준 아시아 국가 중 싱가포르가 23.5km로 가장 길며, 중국(25km), 태국(7.6km) 였으나 '19년 중국에서 100km까지 확장하며 가장 긴 수소배관망을 운영

〈표 43〉 아시아에 설치 및 운영 중인 수소배관

(단위 : km, %)

구분	싱가포르	중국	태국	호주	베트남	파키스탄	일본	합계
길이	40	(100)* 25	13	8	3	5	1	(170)* 95
점유율	'16	23.5	58.8	7.6	4.7	1.8	2.9	0.6
	'19	42.1	26.3	13.7	8.4	3.2	5.3	1.1

출처 : Hydrogen Pipelines, Hydrogen Tools, 2016

Prospects of a hydrogen economy with chinese characteristics, Center for Energy & Climate, 2020

○ 아시아의 수소배관 중 Air Liquide社가 40km(42.1%), PetroChina社가 25km, Linde社가 16km로 총 95km의 수소배관이 구축 및 운영

〈표 44〉 아시아 내 수소배관 구축 및 관리 기업

(단위 : km, %)

구분	Air Liquide	PetroChina	Linde	Air Products	IWATANI	합계
길이	40	25	16	13	1	95
점유율	42.1	26.3	16.8	13.7	1.1	100.0

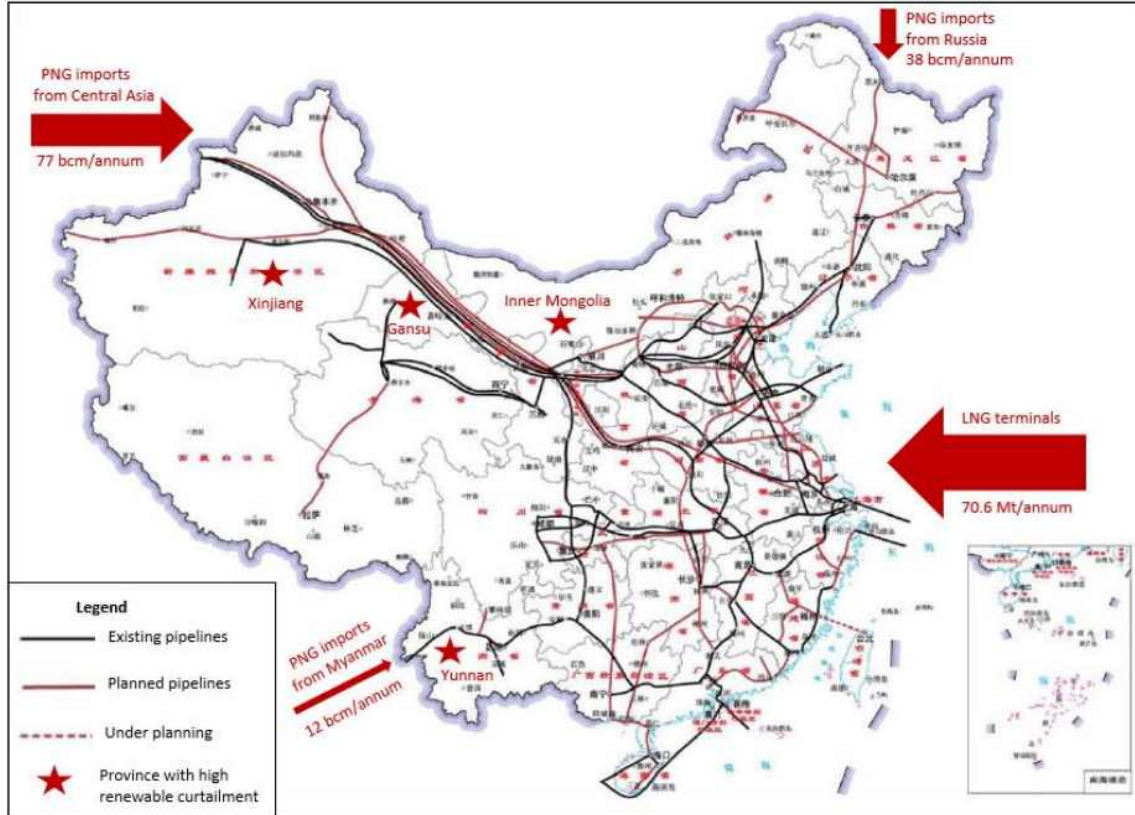
출처 : Hydrogen Pipelines, Hydrogen Tools, 2016

□ 아시아(호주 포함)의 수소배관 확장 계획

○ (호주) 호주는 파이프라인을 활용하여 수소를 수송하기 위한 방안으로 사용 중인 천연가스 파이프라인에 일정 농도 수소 주입 및 수소 운송을 위하여 신규 파이프라인 건설 및 기존 파이프라인을 활용 등을 제시

- 호주의 수소로드맵에 의하면 메탄 배관(천연가스)에 허용범위의 수소를 주입하여 공급하는 방법
- 파이프라인 소유자는 수소 프로젝트 자금지원을 통해 가스와 혼합된 수소를 제공하는 것을 목표로 하며 일부 주(州)에서는 2030년까지 가스 파이프라인에 10%의 수소를 함유할 수 있도록 추진

- (중국) 2019년 수소 전용배관(1~4MPa)은 약 100km 건설되었으며, 향후 약 8만 1천 km의 기존 천연가스 배관에 수소를 혼합(Blending)하여 배관 인프라를 확충하고자 계획 추진



출처 : Prospects of a hydrogen economy with chinese characteristics, Center for Energy & Climate, 2020

〈그림 33〉 중국 천연가스 파이프라인

- (중국 수소배관 확장 계획) 중국의 수소생산지는 북부 내륙지역에 밀집되어 있으나 대량 소비지는 동부 연안지역에 위치하여 수소 수급이 원활하지 않은 상황¹⁾
 - 연료전지차와 수소충전소 보급규모가 가장 큰 도시인 광둥省 포산市の 경우, 수소가 부족하여 대부분의 연료전지차 차량 운행이 중단
 - 2050년에는 최종에너지에서 수소의 비중이 최소 10%에 달할 것으로 보여, 수소 수급의 불안성이 더욱 높아질 전망
 - 이를 타개하기 위한 최적의 수송 수단으로 효율이 가장 높은 수소파이프라인이 주목받고 있지만 수소파이프라인은 초기 투자비용 및 안정성 요구수준이 높아 건설 확대가 어려운 상황
 - 중국석유·가스파이프라인공정유한공사(CPPE)가 최근 수소 장거리 파이프라인 타당성 연구사업*을 낙찰받아 수소파이프라인을 건설할 계획

1) 세계 에너지시장 인사이트(제21-14호), 에너지경제연구원, 2021

- * 허베이성 덩저우시 에너지산업단지와 바오딩시 가오잉톈 물류단지를 연결하는 동 파이프라인의 총 연장은 145km, 직경은 508mm, 연간 수송량은 10만 톤에 달함
- * 허베이성의 남과 북을 잇는 수소파이프라인 건설 계획 중 첫 번째 공정이며, 모든 공정이 완료되면 징진지(京津冀: 베이징, 톈진, 허베이) 지역 내 수소 수급 문제를 해결할 수 있을 전망

(라) 국내

□ 국내 울산 및 여수 산업단지 내 사업소의 수소 배관 현황

- 수소배관 전체(매설) 204.8(199.2)km 중 울산 198.3(193.3)km, 여수 6.5(5.9)km
- 1972년 울산 SK에서 최초로 1.6km, 3.5MPa의 파이프라인을 설치하였으며, 1989년부터 지속해서 파이프라인을 증설

〈표 45〉 국내 수소배관 구축 현황

(단위 : km, %)

구분	울산		여수		합계	
	매설 · 노출	매설	매설 · 노출	매설	매설 · 노출	매설
길이	198.3	193.3	6.5	5.9	204.8	199.2
점유율	96.8	94.4	3.2	2.9	100	97.3

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2018

- 수소배관 소유자* 기준 SDG 70.5km, 덕양 50.1km, SPG 33.4km 순

* 사업소의 배관은 공급자와 사용자간 소유관계 불명확하여 공급자관 점유율 증가 가능

〈표 46〉 국내 수소배관 구축 및 운영 기업

(단위 : km, %)

구분	SDG	덕양	SPG	롯데	이수화학	SK	기타	합계
길이	70.5	50.1	33.4	26.6	10.5	6.2	7.5	204.8
	70.0	50.1	32.1	23.4	10.4	6.2	7.0	199.2
점유율	34.4	24.5	16.3	13.0	5.1	3.0	3.7	100.0
	34.2	24.5	15.7	11.4	5.1	3.0	3.4	97.3

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2018

- 국내에서 사용 중인 수소배관의 재질 기준은 절반 이상이 A106 Gr.B를 사용

〈표 47〉 국내 수소배관 재질 기준

(단위 : km, %)

구분	A106 Gr.B	A53 Gr.B	A53 Gr.A	API 5L Gr.B	A135 Gr.A	기타/ 미파악	합계
길이	114.7	32.3	26.3	17.4	6.6	7.5	204.8
	112.6	31.9	26.2	14.8	6.2	7.5	199.2
점유율	56.0	15.8	12.8	8.5	3.2	3.7	100.0
	55.0	15.6	12.8	7.2	3.0	3.7	97.3

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2018

- 고압수소배관용 합금소재의 조성은 철(Fe)을 기반으로 탄소(C), 인(P), 황(S), 망간(Mn)이 기본을 이루고 있으며, 합금소재의 내식성 향상을 위해서 니켈(Ni), 크롬(Cr), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo), 및 바나듐(V) 등이 0.5 % 이하로 첨가되어 배관 특성을 결정

〈표 48〉 국내 수소배관 합금조성

구분	Fe	C	P	S	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	V
API 5L Gr.B	Bal.	0.28	0.03	0.03	1.20	0.50	0.50	0.50	0.15	-
A53 Gr.A	Bal.	0.25	0.05	0.045	0.95	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
A53 Gr.B	Bal.	0.30	0.05	0.045	1.20	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
A106 Gr.B	Bal.	0.25	0.035	0.035	0.95	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
A135 Gr.A	Bal.	0.25	0.035	0.035	0.95	-	-	-	-	-

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2019

- 고압수소배관의 기계적 물성은 항복강도와 인장강도로 표현할 수 있으며, 항복강도는 205~240 MPa, 인장강도는 330~415 MPa 수준의 물성을 나타냄

〈표 49〉 수소배관 재료 기계적 특성

구분	항복강도 [MPa]	인장강도 [MPa]
API 5L Gr.B	240	415
A53 Gr.A	205	330
A53 Gr.B	240	415
A106 Gr.B	240	415
A135 Gr.A	205	330

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2019

○ 국내의 수소배관은 운전 압력 기준 약 88로 주로 2~3.5 MPa으로 운영

〈표 50〉 국내 수소배관 재질 기준

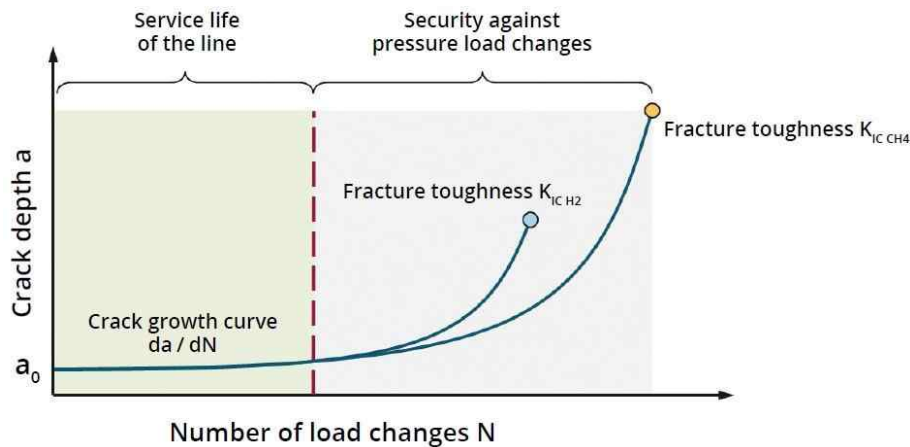
(단위 : km, %)

구분	0.7~2	2.1~3	3.1~3.5	3.6~4	합계
길이	20.4	100.0	59.6	24.7	204.8
	18.9	98.7	56.9	24.6	199.2
점유율	10.0	48.8	29.1	12.1	100.0
	9.2	48.2	27.8	12.0	97.3

출처 : 자체 조사 결과, 한국가스안전연구원, 2018

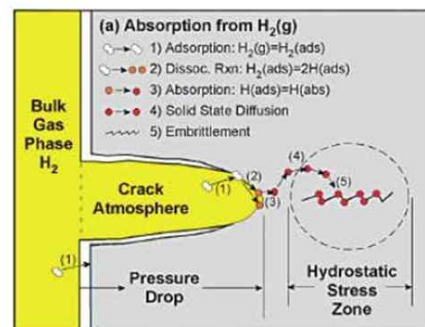
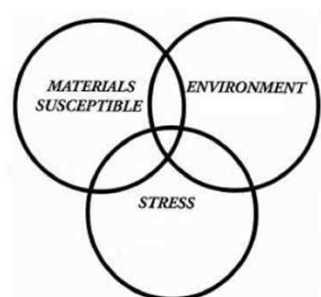
라. 국내외 기술 동향

- 수소배관은 농도 10% 이상인 수소를 수명주기(30년) 동안 안전하게 이송하기 위한 배관으로 정의(ASME B31.12)



〈그림 34〉 천연가스와 비교하여 수소 환경에서 배관의 설계수명

- (수소 취성) 수소가 파이프라인에 침투하여 물성이 변화되고 내구성에 문제가 발생
 - 수소 취성(Hydrogen Embrittlement)은 금속재료 특히 철강 중에 흡수된 수소에 의하여 강재의 연성과 인성이 저하하고 소성변형 없이도 파괴되는 경향이 증대되는 현상
 - 수소 흡수에 의한 파괴를 지연파괴라고도 부르며 이는 주로 결정입계나 응력 집중 또는 인장응력이 걸리는 부위에서 주로 발생



〈그림 35〉 수소취성 원인 요소 및 메카니즘

- (위험성) 수소 취성이 발생, 취성 발현 시 배관 균열에 따른 가스 누출, 폭발 우려가 있어 수소 안전관리의 핵심요소
 - 수소취성은 수소의 물질특성으로 인해 필연적으로 발생되나 ①배관 재질 ② 수소압력 ③수소량에 따라 발현 정도가 다름
 - 따라서, 수소취성에 따른 사고를 예방하기 위해서는 먼저 취성 에 강한 재질과

사용 환경을 만드는 것이 중요하고 수소취성에 따른 균열이 발생 시, 균열의 정도를 평가하여 배관의 향후 수명을 예측하는 기술이 중요

- 국내는 최근 수소충전소용 압력용기의 대한 취성 및 수명평가 기준은 마련했으나, 배관에 대한 취성 및 수명평가 기준이 없어 대안마련 필요

* 미국 ASME 기준은 수소에 적합한 배관조건을 제시하고 있음

- 국내 천연가스 배관망의 경우 강도는 높으나 수소취성 검증이 부족한 재질(API X65이상)을 주로 사용 중이며 반면, 산업단지 수소전용배관은 수소취성에 적합한 사용가능 재질(ASTM A106 Gr.B)을 주로 사용 중

- 따라서, 배관에 대한 수소취성 및 배관수명 평가를 통해 향후 수소취성에 따른 안전관리 방안* 마련 필요

* 배관재질 등을 고려한 적정 배관사용수명을 정하고, 취성에 따른 균열을 확인방법, 균열발생 시 배관의 잔여수명을 예측하여 적절한 시점에 배관교체 실시

○ (수소배관망 소재) 전통적으로 재료의 강도가 증가하면 수소취성 민감도도 증가

- 수소 공급망에 적용 가능한 배관 소재는 수소취성 고려시 최소항복강도의 30%~50% 선에서 운전토록 하고 있으며, API X42는 수소환경에서 사용 검증(14MPa까지), X52(특정제조조건)에서 사용가능함
- EIGA와 CGA, ASME는 수소배관의 재료로 X42와 X52를 추천

〈표 51〉 국내 가스 이송용 강관 소재의 재질 특성

Pipe grade		X42	X65	X70
Requirement				
Service pres./Design pres. (kg/cm ²)		30 / 33	70 / 80	-
Design temperature (°C)		-29 ~ 38	-29 ~ 38	-
Mechanical properties requirement	Min. YS (MPa)	289 (42,000psi)	448 (65,000psi)	485 (70,300psi)
	Min. UTS (MPa)	413 (60,000psi)	530 (77,000psi)	565 (82,000psi)
	Min. elongation (%)	* see below	* see below	* see below
	Impact energy (0°C, J)	ave. 68, each 27	ave. 68, each 27	-
Pipe diameter (inch)		20, 24	24, 26, 30	24, 26, 30
Pipe thickness (mm)		6.4, 7.1, 8.7, 10.3	11.9, 14.3, 15.9, 17.5	11.9, 12.7, 14.3, 15.9

* Elongation = 625,000 x A0.2/U0.9

A : cross-section area of specimen (inch²)

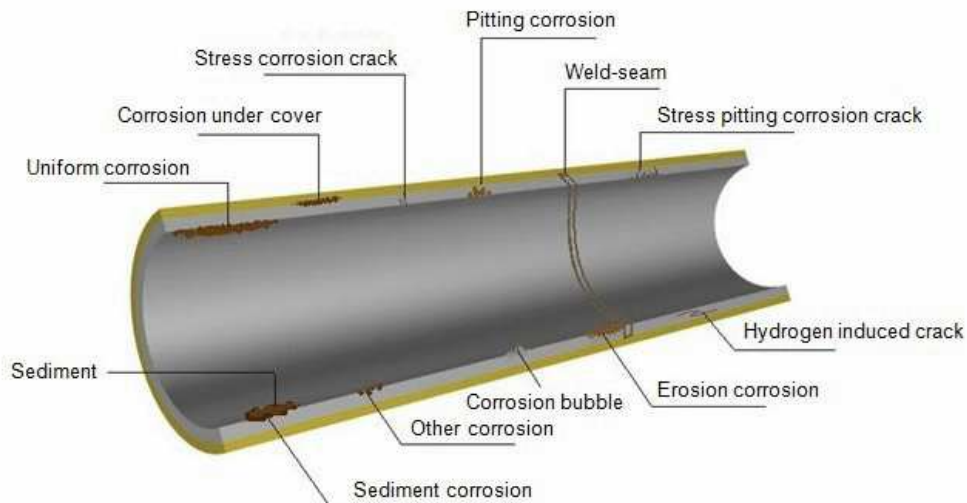
U : specified minimum tensile strength (psi)

○ (배관분야 고려사항) 유럽 Air Liquid社에서 API-X42/X52 탄소강 용접배관 적용

하여 100% 수소 8~10bar로 안정적 수송중인 사례 존재

- 해외 강관사의 경우 -30도 DWTT 인성 및 수소분위기 K1H 평가/보증을 요구하며, 수소관용 소재 수요증가
- 수소배관으로 적용하기 위해서는 소재개발 뿐 아니라 규격등록 및 실증이 필요하므로 소재개발과 동시에 KS표준등록 및 실증이 진행이 필수적인 상황
- 수소 수송용 용접강관 제조기술 확립을 통해 경제적이면서, 안정성을 확보할 수 있는 제조 기술의 개발이 필요
- 안전하고 경제적인 파이프라인 설치가 가능한 개착 및 비개착 시공장비 운용 기술 개발이 중요하며, 시공 난이도가 높은 수소배관에 대한 장비 및 시스템의 정교한 운용기술 개발이 필수적인 상황

○ 필요한 데이터 및 정보의 획득, 이의 분석을 통한 정확한 제어인자 계산 및 출력, 조작자의 편의성을 도모하여 불필요한 실수를 최소화하는 것이 필요



〈그림 36〉 파이프 결함 요소

- 또한, 시공 중 획득된 지반조건 및 위치정보, 시공방법, 시설물 현황정보 등 다양한 정보를 체계적으로 축적하여 향후 인근지역 지하관망 공사시 활용하도록 하여 파이프라인 신규·교체 건설의 효율성 확보가 필요
- 불연속적인 지반조건에 실시간 제어 애로, 비개착 굴착공사에 필요한 다양한 정보 분석 및 활용 시스템 미비, 다양한 지하 인접 구조물의 위치확인 및 효율적인 방향제어 기술을 개발 필요
- 지리정보, 시설물 데이터, 현장 조사 데이터 등을 토대로 시공계획, 관로 및 지반 응력 시뮬레이션을 통한 경로 최적화, 가상환경 및 물리적인 출력신호를 이용한

조작자 훈련 시스템으로 이용 가능한 시뮬레이터의 개발과 보급이 필요

- 기존·신설 매설관의 이력정보 디지털화 관리(속성정보 특성화), 실시간 계측 데이터의 활용, 원격 선형 감시 시스템, AI 기반 모델링 및 시뮬레이션 예측 기법 접목, 디지털 환경에서 원격 관망 진단·관리 효율화 등 기술수요 증가
- 센서 네트워크, 능동적 모니터링, 이력 데이터 기반 속성정보를 디지털화 활용, DNA 접목을 통해 진단 및 예측 정확성 향상 필요
- **(수소관망 선형 최적화)** 디지털 기술을 활용한 수소관망 최적경로 설계 기술 필요
 - 수소경제가 1000만톤 수요를 넘어설 경우, 튜브트레이일러(TT)나 탱크로리(TL) 방식으로의 공급에 한계 발생
 - 따라서 원활한 수송을 위해 수소 배관망 구축이 필수적이며 수소 공급시 발생하는 운송료의 대폭 절감을 위해 인근 수소 생산단지 및 수소공급처에 저렴한 수소 공급체계를 위한 배관망 필요
 - 국내 경우 도시가스 배관, 지역난방용 배관, 송유관 등 수송용 배관의 설치가 많은 상태이며 수소가스와 같은 폭발성이 있는 에너지원의 경우, 안전관리에 더욱 주의가 필요
 - 또한, 새로 건설하는 수소관망의 경우, 기존 설치된 다른 배관과 그 외에도 지형적 특성 등의 요소를 고려하여 설치하기 위한 최적경로 설계가 필요(최재봉, 2001)
 - 지하에 설치된 상하수도관, 전력시설, 가스관, 통신시설 등의 시설물은 필수적인 도시기반시설이나 상당수 시설물들의 위치정보가 누락 되어 있으며, 종류가 다양하고 좁은 공간에 집중적으로 설치되어 있어 매우 복잡
 - 이에, 지하 매설관의 정확한 위치정보와 속성정보들을 3차원으로 시각화하는 GIS 등의 기술을 활용한 데이터 관리의 필요성이 대두(유병현 외, 2021)
 - 전국에 설치된 도시가스 지하시설물 중 77.8%가 수치지도화(GIS)된 것으로 나타남
 - 국내 수소배관은 울산, 여수, 광양, 군산 등 석유화학산업단지 내에 최대 관경 300mm인 작은 배관 위주로 약 240km 설치 운영 중
 - 관로의 수치지도를 작성할 수 있는 맵핑 관련 기술을 개발하고 보유하고 있는 기관은 국내(대한민국)에서 한국가스공사(KOGAS)가 유일, 지오메트리 피그(Geometry PIG)를 개발하여 사용
- **(수소관망 시공품질검사)** 디지털 기술을 활용한 수소관망 시공품질 검사 기술 필요
 - 기존 개착식 굴착 공법의 여러 가지 문제점이 대두됨에 따라 굴착을 최소화

하여 관을 매설할 수 있는 비개착식 공법에 대한 수요가 증가하는 추세

- 비개착식 공법의 종류는 여러 가지 존재하나, 그중에서 마이크로 터널링 (micro -tunneling)공법 등 최근 대표적으로 사용되고 있는 공법 중심의 기술 개발 필요
- 비개착식 공법의 경우 경제성, 시공성 측면에서 효율적이지만, 시공과정에서 오차가 발생할 확률이 높으며, 굴진경로에 바위나 암석이 존재할 경우 대처가 어렵다는 한계점이 존재
- 조기에 바위, 암석 등을 발견해야하며, 굴진경로의 정확한 오차측정을 통해 수소관의 매설 시, 시공오류에 대비하는 것이 필요

(1) 국외 기술 동향

① 관 재료 및 표준, 안전성 기술

□ **(미국)** 수소배관 최대 운영압력은 7MPa이며 대부분의 배관은 탄소강으로 제작하여 수소배관 설치

○ 미국 교통부(DOT) 산하 ‘파이프라인 및 유해물질 안전관리 기구(PHMSA)’ 는 수소가 강관에 미치는 영향 파악을 위해 재료 안전성 연구 장기 추진

〈표 52〉 HMSA 수소 관련 연구 목록

구분	과제명	완료일
1.	Performance Evaluation of High-Strength Steel Pipelines for High-Pressure Gaseous Hydrogen Transportation	‘13.04.02
2.	Cost-Effective Techniques for Weld Property Measurement and Technologies for Improving Weld HE and IGSCC Resistance for Alternative Fuel Pipelines	‘15.01.27
3.	Effect of Microstructure of Pipeline Steels on Ductility and Fatigue Properties in High Pressure Hydrogen Atmosphere	‘11.08.26
4.	The Effect of Pressurized Hydrogen Gas on the Fatigue Properties of the Heat-Affected Zones in X52 and X70 Pipelines	‘15.08.14

○ 미국에너지국(DOE) 정책 주도로, SNL(Sandia National Laboratories)와 NREL (The National Renewable Energy Laboratory)에서 수소취성 시험 및 연구 진행

* 재료에 대한 수소적합성은 SNL이 주도하고 있으며, 일본, 유럽 등과 파트너십을 통하여 KD-10 시험법 공동 연구 추진

○ 2020년 ONG(Office of Oil and Natural Gas)에서는 천연가스 배관의 수소취성에 의한 금속의 피로 및 파괴저항성 연구를 통하여 신소재개발, 새로운 부품 개발, 부품 구성, 수송중 수소감지 및 배관 인프라 안전성 평가를 수행

- 2020년 NREL의 HyBlend R&D 프로젝트로 천연가스 배관망에 혼성 수소(NG+H₂)를 사용하는데 대한 기술적 장벽에 대한 연구로 6개 국책연구소와 20개 산업체, 학술계 참여(DOE \$10million + 참여기관 \$4~5million 펀딩)

* ❶배관 및 파이프라인의 수소 적합성, ❷수명 주기 분석, ❸기술-경제성 분석 연구 수행

- 2021년 DOE \$160million의 펀딩계획발표(FOA)에서 수소 R&D에 배관망을 포함한 수소 수송 인프라의 가성비 향상을 위한 기술 개발 포함

- (EU) 유럽은 천연가스 배관에 수소혼입을 추진 중이며, 충분한 수소 공급량 이송을 위하여 기존 20 ~ 48 인치 구경 배관을 36 ~ 48 인치로 확장하는 방안과 신규 수소배관망 건설을 추진하는 Two-Track 전략 추진을 위해 약 37조 ~ 84조 투입 예정

* 기존 천연가스 배관 확장에 75%, 신규 배관에 25%의 비율

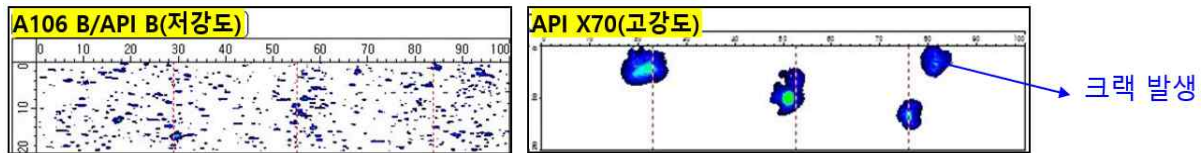
〈표 53〉 유럽의 배관망이용 주택 및 산업용 수소혼입 실증연구 추진 현황

프로젝트명	혼입 비율	주관사	기간(년)	비고
Naturalhy (유럽연합)	< 20%	Gasunie	2004 ~ 2009	배관 안전성, 전주기 수명평가 예측
HIPS (유럽연합)	< 10%	E.ON	2011 ~ 2013	산업용 기기 영향분석
Ameland (네덜란드)	5% ~ 20%	Ameland	2007	주택단지에 혼입가스 공급
HyDeploy (영국)	20%	Cadent Gas LTD	2019~	주택단지, 대학교 등에 혼입가스 공급
Grhyd (프랑스)	6% ~ 20%	Engie, GrDF	2014~	200여개 가구 및 버스충전용으로 공급
Snam (이탈리아)	10%	Snam	2019~	생수공장 등 산업체에 혼입가스 공급
M/R Helle (덴마크)	12% ~14%	Eneginet	진행 중	페루프 고압배관 혼입실증 완료

- (수소 취성평가) 수소용 금속배관 재질 선정시 수소취성 평가 관련 국제 표준은 미국(ASME B31.12 Steel Piping), 유럽(EIGA : GC DOC 121/14 Hydrogen Pipe line Systems : 고압 수소배관의 건설, 운영, 모니터링에 대한 기준) 적용 중

- (저강도 강) A106 Grade B 또는 API 5L PSL2 B grade (항복강도 245 Mpa 이상)는 강도가 약해 크랙(crack) 개시가 쉬워서 미소크랙 다발

- (고강도 강) API X70 (항복강도 485 Mpa 이상)은 크랙 개시가 어려운 반면, 크랙 (crack) 개시 후 전파가 쉬워 급격히 대형화
- (용접봉) 배관 제조용 용접봉 재료는 원 소재(모재) 보다 강도가 강한 재료가 사용되어, 용접된 강관은 모재보다 수소취성에 더욱 취약



[Hydrogen Induced Cracking (수소유기크랙) 실험후 초음파 탐상 결과]

<그림 37> 수소유기 크랙 초음파 탐상 결과

□ (수소배관 기준) 국가별 수소 파이프라인 요구 물성/성능 종류 및 수준은 국가별 상황에 맞추어 다소 차이가 발생

- 북미에서 미국의 경우 API-42, 52, 60 Seamless pipeline을 주로 사용하며, 항복 강도 약 290MPa 이상 및 총 연신율 15% 이상의 물성을 가진 강들을 사용하며, As-rolled 시편의 기계적 물성 측정을 통해 규격 설정
- 캐나다의 경우 API-42 소재를 사용, 미국에서 일부 주에서만 API-42 소재를 사용

<표 54> 수소취성 평가 관련 국제 표준 현황

구분	내용
ASME BPVC Sec VIII, Div 3	Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels
CSA CHMC1-2014(R2018)	Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications- Metals
JPEC TD 0003	水素スタンドで 사용되는低合金鋼製蓄圧器の安全利用に関する技術文書
KHKS 0220	超高压ガス設備に関する基準
ISO 11114-4	Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4: Test methods for selecting steels resistant to hydrogen embrittlement
ISO ISO 7539-11	Guidelines for testing the resistance of metals and alloys to hydrogen embrittlement and hydrogenassisted cracking
ASTM F326-17	Electronic Measurement for Hydrogen Embrittlement From Cadmium-Electroplating Processes_EN

ASTM G142-98	Standard Test Method for Determination of Susceptibility of Metals to Embrittlement in Hydrogen Containing Environments at High Pressure, High Temperature, or Both
AD-2000	AD-2000 Merkblatt
API RP 941	Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants

* ASME : American Society of Mechanical Engineers
 CSA : Canadian Standards Association
 JPEC : Japan Petroleum Energy Center
 API : American Petroleum Institute
 ISO : International Organization for Standardization
 ASTM : American Society for Testing and Materials
 AD : Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter

○ ANSI/CSA CHMC1 (Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications-Metals)

- 모든 금속 합금에 대해 시험 가능하며, 금속의 인장 연성에 대한 기체 수소의 영향 및 임계 이하 균열 성장에 대한 저항성 평가

〈표 55〉 실험 조건

(단위 : min%, ppm)

Gas Species	Hydrogen (min%)	CO ₂ +CO (ppm)	N ₂ (ppm)	O ₂ (ppm)	Total hydrocarbon content (as methane) (ppm)	Water (ppm)
Limiting value	99.999	2	2	1	1	3.5

* 실험 조건: 수소 가스 순도 : CGA G-5.3 grade L 또는 그 이상의 순도

② 건설 및 운영 기술

□ (수소관망 선형 최적화 기술) 해외 매설관로 맵핑 기술 수준은 상용화 성공

○ 관련 기술은 이미 상용화에 성공한 바가 있으나 기술의 안정화 단계에는 이르지 못한 것으로 분석되었으며, 지속적인 관련 연구개발이 현재에도 진행

○ 따라서 전반적인 기술수준은 ‘기술개발단계’와 ‘기술안정화단계’의 중간에 있는 것으로 평가

□ (수소관망 시공품질검사) 라이다를 활용하여 시공부위에 대한 3D model 구축 및 분석을 수행중이나, 라이다와 레이더를 함께 사용하여 접근한 연구는 미흡

○ 관로 이상감지 및 진단 기술 관련하여 독일 IKTS사의 모니터링 센서 기술 보유, 미국 H2scan사의 유지보수가 필요없는 수소감지 센서 기술 보유

□ (굴착 시공 기술) 동토층 등 혹한 환경에서의 굴착 시공이 경우 대형 장비의 현장투입 등에 과다한 경비가 소요되어 비굴착공법(trenchless technology) 활용이 검토되고 있으나, 비굴착 공법에 대한 기술 상용화 미비

- 미국 HL Chapman, 독일 Erkat, Herrenknecht 등에서 자동 개착식 굴착시스템을 개발하였으나 동토 등 극한 환경 지역이 아닌 일반 지역에서 사용이 제한
- 미국 Akkerman, 독일 Herrenknecht, 일본 Iseki 등에서 마이크로터널링 장비 개발
- 미국 Scientific Drilling International사, R.E.K사, Southeast Directional Drilling사, Black Viper Energy Service사 등에서 56 “급 대형 파이프라인 directional drilling 기술을 보유



<자동 개착식 굴착시스템 구현 사례>



<마이크로터널링 장비 구현 사례>

출처 : 동토지역 극한작업용 자동화 시공 운용기술 기획 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원, 2013

〈그림 38〉 굴착 시공 기술

③ 배관 자동용접 및 연결 기술

□ (Lowering 자동화 기술) 긴 구간의 로워링으로 인한 다수의 장비와 로워링 시 발생하는 파이프의 스트레스로 숙달된 장비 조정자 및 많은 시간이 소요

- 스킴드파일 설치 및 밴드(크래들) 장착 및 해체에 인력이 필수적으로 소요되어 중장비 및 파이프 이동 간에 안전문제 발생
- 현장 감독, 작업 지휘자 필요에 따라 작업 시간 증가 및 시공 정밀도 문제 발생
- 미국 CRC evans사에서 롤러 크래들(ROLI)을 이용한 로워링 장비 개발, 캐나다 Chrysis사에서 Sideboom pipelayer, 미국 Velodyne사에서 LiDAR 데이터 활용 시공 자동화 지원이 가능



<광대역 관망 Lowering 사례>



<관망 Banding 사례>



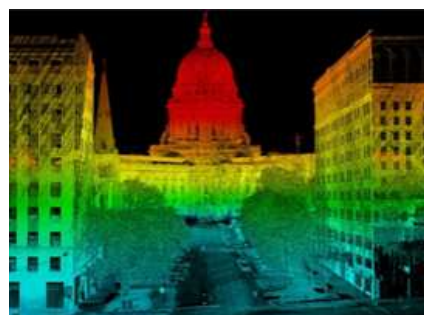
로워링

(CRC evans / 미국)



Sideboom pipelayer

(Chrysis / 캐나다)



LiDAR 데이터 활용

(Velodyne / 미국)

출처 : 동토지역 극한작업용 자동화 시공 운용기술 기획 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원, 2013

<그림 39> Lowering 자동화 기술

- (접합 자동화 기술) 기능 인력에 의존한 현장 수동 용접의 경우 환경조건에 따라 연결부 품질편차 발생하고, 작업시간 개선 등을 위하여 연결 자동화 시도
- 캐나다 Rahco international사, 러시아 Gazprom, 미국 McElroy사 등에서 용접 자동화 장비를 공급하고 있으며, 파이프 Alignment 인프라 집적화를 통한 작업 시간 개선 기술(Fit-up system), 고효율 용접자동화 기술(Narrow gap welding automation system) 도입을 통하여 정량적 품질확보를 추구
- 미국 Zap-Lock pipeline system은 용접 대신 기계적 연결장치를 이용하여 파이프 라인을 시공하는 시스템으로 인력절감, 공기단축 및 공사비 절감효과가 있어 극한지 적용에 효과적임(12inch 규모로 제한)



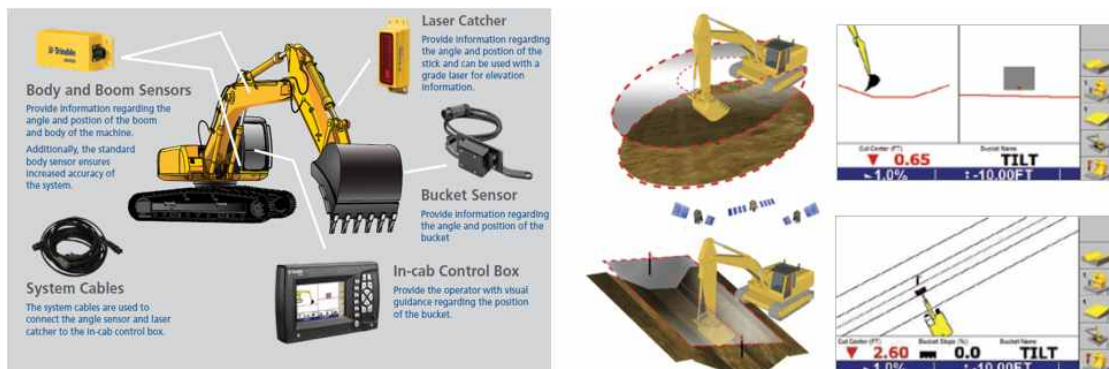
<현장 기능 인력에 의존한 현장 수동 용접 사례>



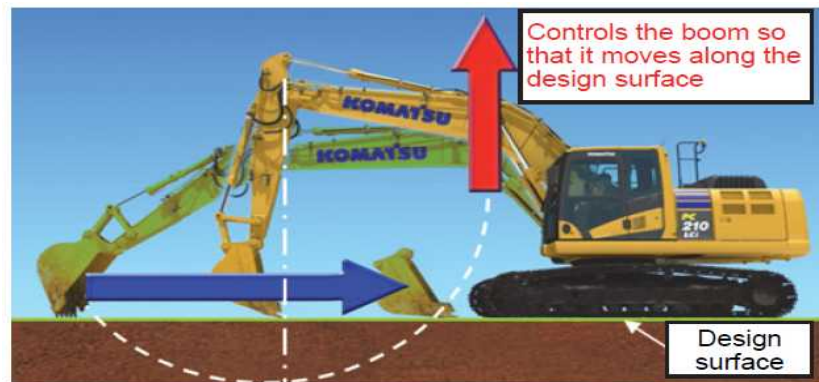
출처 : 동토지역 극한작업용 자동화 시공 운용기술 기획 최종보고서, 국토교통과학기술진흥원, 2013

<그림 40> 접합 자동화 기술

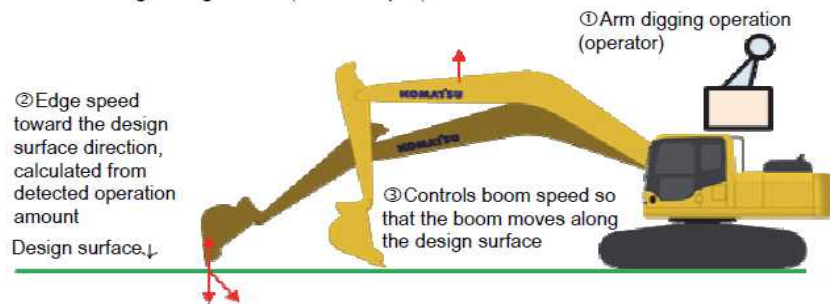
- (시공 자동화 기술) 선진 건설기계 제조사들은 각종 MG 기술을 그들의 장비에 접목하여 굴착 장비 자동화에 많은 노력을 기울이고 있으며 MG 기술은 대체로 환경인지, GPS 등의 기술력이 최적화된 선진 MG 관련 업체들의 기술을 그대로 차용
- 미국의 Trimble사는 그래픽을 이용한 머신 가이드 시스템 개발하여 불도저, 굴삭기 등 토공장비의 실시간 위치정보를 GPS 시스템으로 획득하여 장비 내 CAD 설계정보와 오버랩함으로써 장비 운전자에게 작업 위치에 대한 정보를 효율적으로 제공



<그림 41> Trimble 社の 굴삭기 버킷 끝단 위치 측정 장치 1



Automatic grading assist (an example)



〈그림 42〉 Trimble 社の 굴삭기 버킷 끝단 위치 측정 장치 2

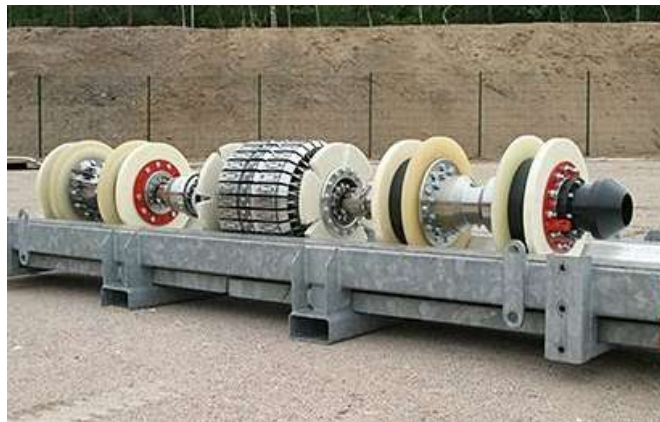
- 영국의 PROLEC사는 Digmaster Pro라는 3D 기반의 디지털 지형도 생성 및 디스플레이 시스템을 개발하여 대상 지형의 자동 줌과 관찰 각도 다양화를 가능하게 하여 작업자 편의성을 증대 시켜 궁극적으로 작업성 및 작업 안전성을 향상
- 토공 작업의 자동화는 미국/일본 등의 굴착 장비 선진사들을 중심으로 이루어지고 있으며 이러한 선진사들은 다양한 기술개발 및 제품을 출시하여 관련된 각종 전시회를 통해 공개
- 일본의 고마츠는 자동 제어 기술을 응용하여 도저의 배토판을 제어하는 지능형 건설기계를 개발하고 굴삭기의 법면 그레이딩작업을 자동화하여 상용화
- 일본의 Sokkia사는 내비게이션 시스템을 활용한 3D machine control 장치를 개발하여 정지 작업에서의 배토판 높이 제어로 고저차가 큰 현장 등 복잡한 현장에서 실시간으로 절토량 등의 작업 상황을 확인 할 수 있도록 하고 후진 시공 시 운전자의 후방확인 집중도를 향상시켜 작업 안전성을 향상
- 스웨덴의 Volvo사는 GPS를 이용하여 장비를 24시간 관리 감독할 수 있는 Caretrack을 개발하여 장비의 운영시간 및 위치 파악을 통해 유휴장비가 없도록 하였으며 장비의 실시간 위치정보 뿐만 아니라 건설장비의 연료 상황까지 파악할 수 있도록 하여 미국처럼 현장간의 거리가 광범위한 경우에 보다 효율적인 장비 관리가 가능

□ 건설기계 자동화 기술개발에 국가차원의 집중투자가 이루어지고 있음

- 일본의 경우 건설기계 관련 자동화를 위한 국가 연구 과제수가 타 분야에 비해 압도적으로 많이 수행
- 미국도 국가연구기관인 미 항공우주국(NASA) 및 미국국립표준국(NIST) 등의 협력 하에 여러 대학에서 굴착 장비 자동화, 비전통오일 수송용 파이프 매설지와 같은 열악한 지역의 작업 및 유지보수에 자동화 기술을 도입하는 연구들을 수행

④ 배관망 모니터링 및 건전성 관리 기술

- (독일) 독일의 ROSEN에서 배관 성능평가 및 내부 탐사를 위한 인텔리전트 피그 상용화 및 최고 기술을 보유



출처: ROSEN 그룹 홈페이지(<https://www.rosen-group.com>)

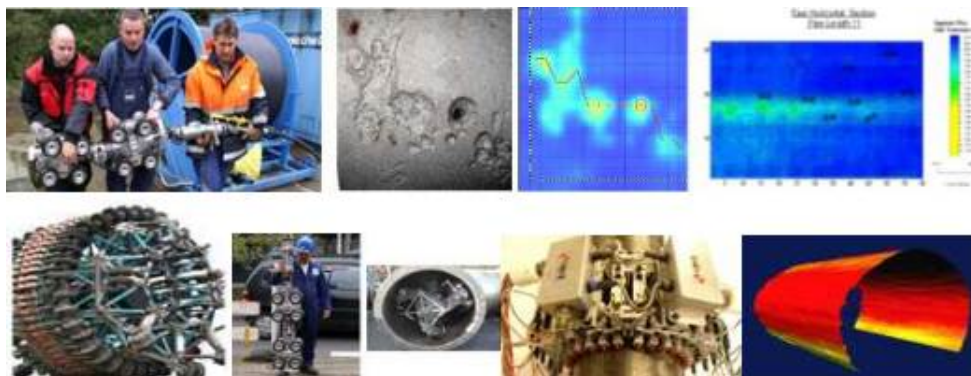
〈그림 43〉 인텔리전트 피깅 구성 사례

- (독일) 독일 지역난방연구소(FFI)는 유럽 EN code 기반의 열수송분야 시험 및 컨설팅 전문기관으로 노후화된 열수송관의 잔여수명 평가를 위한 EN253, EN488, EN15632, EN15698 인증시험을 수행



〈그림 44〉 PAC의 휴대용, 거치형 누설 탐지 장치 사례

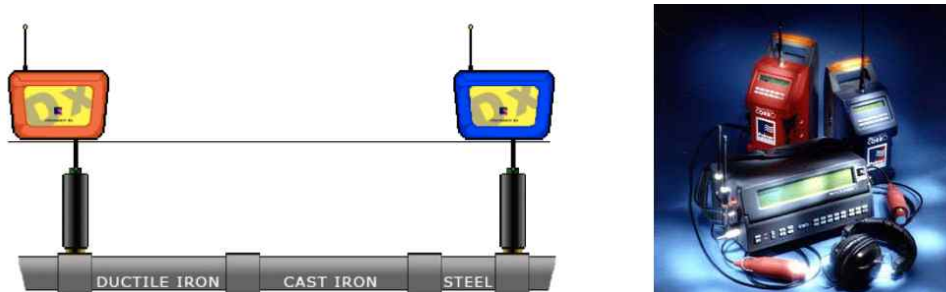
- (독일) 독일의 APsensing에서 배관 위험감지 분야 최고 기술을 보유하고 있으며, 고정밀 음파센서를 활용한 배관 내부 진단 서비스를 제공
- (미국) 미국의 비파괴 검사 전문 기업인 Mistras 그룹에 소속되어 있는 음향 방출 전문 기업인 PAC사에서 개발한 장비
 - 2 채널 휴대용 시스템 및 다채널의 거치형 시스템을 사용한 누설 탐지 장비를 보유
 - 접촉형 압전센서와 공기 전파 신호를 측정하는 마이크로 폰을 사용한 누설 탐지를 지원하고 있으며, 장비의 판매 및 신호 탐지와 분석 컨설팅을 수행



출처: 대규모 용수공급관로 비파괴 정밀진단-성능평가-운영감시시스템 기획, 국토교통과학기술진흥원, 2016

〈그림 45〉 비파괴 정밀진단 사례

- (미국) 미국의 Emerson에서 배관 안전관리 디지털 플랫폼 기술 분야 최고 기술을 보유하고 있으며, 디지털 트윈 기반의 배관관리 솔루션을 제공
- (미국) 미국 CRC Evans는 배관 용접, 매설 등의 배관 유지보수를 위한 다양한 장비를 제작하며, 세계 시장에서 가장 큰 규모를 차지
- (미국) 미국에서 배관 회복력 관리기술 분야 최고 기술을 보유하고 있으며, 파이프라인 및 위험물 안전관리청(PHMSA)에서 해당 기준을 설정, 배관 설치 기준을 설정
- (캐나다) 캐나다의 Pipetel technologies에서 자가 추진 로봇 분야 최고 기술을 보유
- (영국) 영국 수자원 연구센터에 의해 공동 개발되었으며, 지하 매설 수도관의 누출 탐지에 중점을 두어 개발한 시스템
 - 두 신호의 상관관계 해석을 통한 정확한 누설 위치 탐지에 중점을 두었으며, 청진기형 및 마이크로 폰을 사용한 시스템



〈그림 46〉 MicroCorr 센서 배치 및 측정 장비 사례

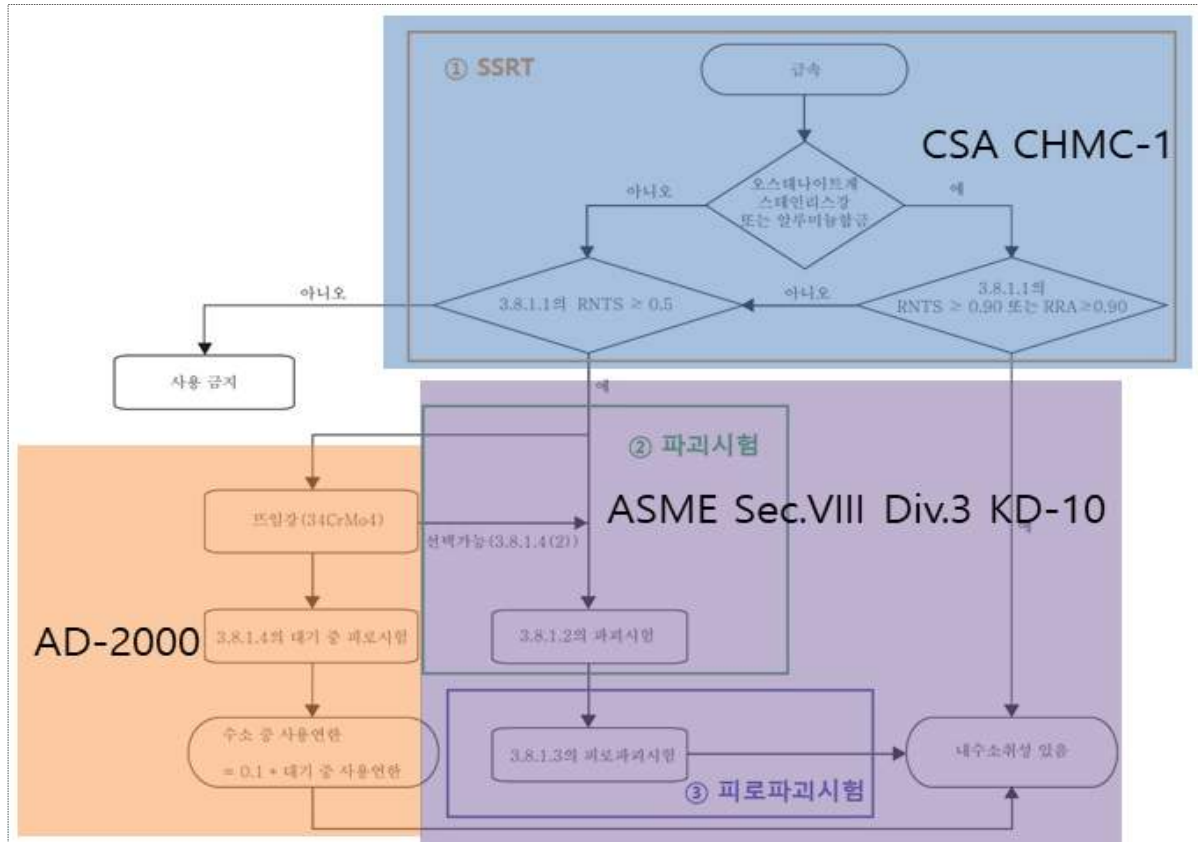
□ 각 분야 세계 최고 기술 국가 및 기업

〈표 56〉 각 분야 세계 최고 기술 국가 및 기업

구분	내용
대구경 배관망 운영 수소	유럽에서 천연가스 배관에 수소혼입을 추진 중이며, 충분한 수소 공급량 이송을 위하여 기존 20 ~ 48 인치 구경 배관을 36 ~ 48 인치로 확장 계획
취성평가 국제 표준	미국(ASME B31.12 Steel Piping), 유럽(EIGA : GC DOC 121/14 Hydrogen Pipeline Systems : 고압 수소배관의 건설, 운영, 모니터링에 대한 기준) 적용
수소관망 시공품질 검사	- 독일 IKTS사의 모니터링 센서 기술 보유 - 미국 H2scan사의 유지보수가 필요없는 수소감지 센서 기술 보유
굴착 시공 기술	- 미국 HL Chapman, 독일 Erkat, Herrenknecht 등에서 자동 개착식 굴착시스템을 개발 - 미국 Akkerman, 독일 Herrenknecht, 일본 Iseki 등에서 마이크로터널링 장비 개발 - 미국 Scientific Drilling International사, R.E.K사, Southeast Directional Drilling사, Black Viper Energy Service사 등에서 56 “급 대형 파이프라인 directional drilling 기술을 보유
수소관망 시공품질 검사	- 독일 IKTS사의 모니터링 센서 기술 보유 - 미국 H2scan사의 유지보수가 필요없는 수소감지 센서 기술 보유
Lowering 자동화 기술	- 미국 CRC evans사에서 롤러 크래들(ROLI)을 이용한 로워링 장비 개발 - 캐나다 Chrysis사에서 Sideboom pipelayer, 미국 Velodyne사에서 LiDAR 데이터 활용 시공 자동화 지원이 가능
접합 자동화 기술	- 캐나다 Rahco international사, 러시아 Gazprom, 미국 McElroy사 등에서 용접 자동화 장비를 공급 - 미국 Zap-Lock pipeline system은 용접 대신 기계적 연결장치를 이용하여 파이프라인을 시공하는 시스템

- 사용처는 석유화학플랜트 재사용, 반도체 등 주로 산업용, 재질은 탄소강(A106 Gr. B 또는 API 5L Gr. B)이며, 압력은 2.45~4.15MPa, 관경은 100~ 300A로 다양
- 설치 기준은 고압가스특정제조기준(KGS FP 111)에 의해 시공 및 운영

□ 국내 수소취성 안전기준 현황



〈그림 48〉 국제기준 적용 KGS AC111 수소취성 평가 흐름도

- (평가방법 다양화) 기존 수소취성 검사방법(파괴시험, 피로파괴시험)의 경우, 안전성 판단에 필요한 인자를 도출하기 위해 장시간 소요*

* KIH : 탄소강(1000시간), 스테인리스(5000시간) / 균열성장률을 구하기 위한 시험 속도 : 1Hz (ASME는 0.1Hz) → 현재 N社압력용기 재료 파괴 및 피로파괴시험만 6개월 이상 소요

- 현재 구축된 인프라로 검사수요 대응애로 → 인프라 확충과는 별도로 파괴/피로 파괴 시험에 준하는 안전성을 보장 할 수 있는 대체시험방안*의 분석 및 검증을 통해 수소취성 안전성 평가방법 다양화 필요

* 수소충전소 압력용기/저장탱크 재료의 수소취성 안전성 검증 관련 국제 기준

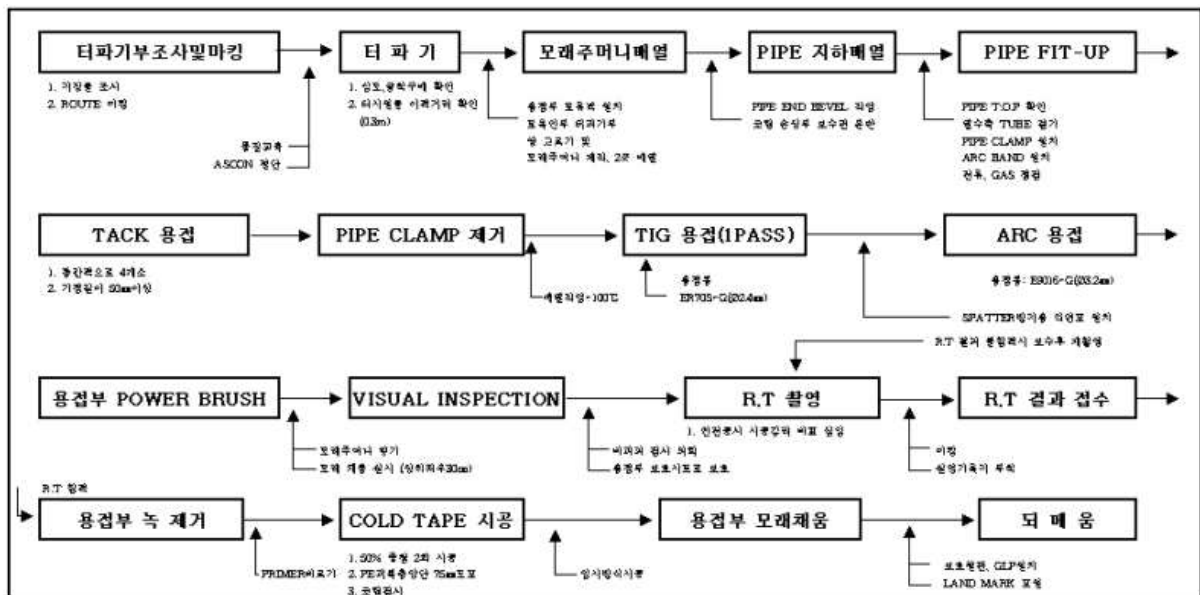
〈표 57〉 수소취성 안전성 평가방법 다양화를 위한 대체시험방안 국제기준 목록

국제기준	기준명	대체기준
ISO	ISO11114-4_2017 Transportable gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents — Part 4:Test methods for selecting steels resistant to hydrogen embrittlement	Disc Test
ISO	ISO 7539-11_2013_Guidelines for testing the resistance of metals and alloys to hydrogen embrittlement and hydrogen assisted cracking	precharging
CSA	Test methods for evaluating material compatibility in compressed hydrogen applications - Metals, AnnexE	precharging

② 건설 및 운영 기술

□ (고압매설배관 시공기준) 수소배관에 참고할 수 있는, 도시가스 배관공사 주요공정 및 공정별 자체검사 체크리스트가 존재

○ 총 17단계로 진행되며 각 단계에서 다음단계로 진행하기 위해서는 추가적인 확인 및 설치 요소가 필요



〈그림 49〉 도시가스 배관공사 주요 공정 Flow Chart

□ (배관 매설 깊이) 도시가스 배관을 매설 설치 할 때는 KGS Code “KGS F S551 2018 기준” 을 준수

○ 폭8m이상 도로에서는 1.2m이상, 다만 최고사용압력이 저압인 배관에서 분기 배관은 1m이상으로 매설

- 폭4m이상 8m미만도로에서는 1m이상, 다만 300A 미만 최고 압력이 저압인 배관은 0.8m이상으로 매설

□ 고압가스 배관 매설깊이는 KGS Code “KGS FP112 2017 기준” 을 준수

- 지표면으로부터 배관의 외면까지 매설깊이는 산이나 들에서는 1m이상 그 밖의 지역에서는 1.2m이상으로 매설
- 상기기준으로 도시가스 배관은 주로 0.8~1.0m 산업단지 배관은 1.2m이상 유지

〈표 58〉 배관 매설 기준

Division	Depth of industrial complex piping	City gas pipeline burial depth
Based on depth of burial	1.2m or more	0.8m ~ 1.0m
Actual depth of burial	1.2~2.0m	0.8~1.0m

□ 배관 용접 기준

- (Tack 용접) 공작물의 휨이나 비틀림을 방지하기 위하여 모재의 양끝 또는 뒷면에 가접(假接)을 하는 용접방법. 즉 본 용접을 하기 전에 정한 위치에 용접물의 부재를 일시적으로 고정시키기 위한 용접
- (GTAW 용접(Gas Tungsten Arc Welding, TIG 용접)) 텅스텐 전극을 사용하여 발생한 Arc열로 모재를 용융시켜 접합하며, 용가재를 공급하여 모재와 함께 용융시키기도 함
- (SMAW 용접(Shield Metal Arc Welding)) 피복재를 칠한 용접봉과 피용접물과의 사이에 발생한 아크의 열을 이용해서 용접하는 방법이며, 구조용 강을 비롯하여 거의 모든 금속재료의 용접에 사용
- (R.T 검사(Radiographic Testing)) 방사선을 시험체에 조사하여 투과된 방사선의 강도의 변화로부터 내부 결함의 상태나 조립품의 내부 구조 등을 조사하는 시험

〈표 59〉 배관 용접 방식별 기준

공정	기준
Tack 용접	▪ 자격이 있는 용접사에 의해 일정한 간격으로 4개소에 대해 용접길이 50mm이상씩 GTAW String 용접함 ▪ 두 종축 용접선간의 간격은 원주길이를 공칭벽 두께의 5배이상 또는 50mm중 큰 값으로 함 ▪ 배관 연결시 용접부에 응력이 없도록 하며 수평축의 차이는 1° 이하여야 함

GTAW 용접	- 가접이 끝나면, ER70S-G x Ø3.2mm용접봉을 사용하여 TIG 용접함 - TIG 용접은 1~2명의 용접사에 의해 동시에 반대 방향에서 상향 용접하며 String으로 1pass 용접함
SMAW 용접	- 용접봉은 350~400℃로 30~60분 건조된 E9016-G, Ø3.2mm용접봉을 사용하며 현장에서는 100℃ 이상되는 현장오븐(Quiver)에 보관하여 사용함 - 완성된 비드 높이는 모재표면보다 낮지 않아야 하며 최대 허용 비드 높이는 루트비드 1.5mm 표면비드 2.5mm로 함
R.T 검사	- 모든 용접부는 100% R.T 검사를 실시함 - 육안검사상 이상이 없는 용접부는 비파괴검사를 의뢰하여 비파괴검사 승인을 받은 후 R.T 촬영토록 협조함 - R.T 검사 결과를 접수한 후 결함등급이 2급 이상이면 용접부 녹제제거 후 열수축시트 작업을 함

□ 개착식 공법과 비 개착식 공법 비교

〈표 60〉 개착식과 비개착식 관매설 공법

구분	비 개착식	개착식	비고
시공성	- 교통영향 없음 - 지반침하 없거나, 미미 - 인접구조물 영향 없음	- 교통영향 극심(정체, 위회 등) - 지반침하, 접속부 단차 발생 - 인접구조물 침하, 균열 등 발생	단, 경제성은 지하수위 존재여부, 토질, 현장 환경조건 및 시공규모에 따라 다름
경제성	- 공기단축 효과 - 도심지, 중장거리에 유리	- 산간, 농촌 등에 유리 - 소규모, 단거리에 경제성	
안전성	시공시 안전위험요소 미미(기계적 굴착 매설)	개착 시공시 안전위험요소 상존(작업자, 통행인 및 개착구조물 등)	
환경·민원	- 친환경적(생태 하천 보존)시공 - 민원발생 적음	- 개착공사로 인한 하천 등 생태계 파괴 - 민원발생 빈번	
적용성	- 도심지 관로 매설 등의 공사에 적합 - 상·하수도, 전기, 가스, 통신, 전력구관로의 비개착 지중 매설공사 - 도로, 하천, 철도의 횡단 관로매설	- 일반공사의 복합공정 - 시공성과 경제성을 고려한 일반개착가능 조건의 공사	

□ 관 추진공법 검토

〈표 61〉 관 추진공법별 진행 방식 및 추진공법 비교

구분	내용
강관압입 추진공법 (유압JACK식)	- 강관을 직접 지중에 압입하는 공법으로 관 뒤쪽에 추진책을 설치 후 강관을 압입 - 압입 후 강관내의 흙은 인력으로 굴착 - 굴착된 토사는 버켓 또는 대차레일을 이용하여 발진구내로 인출 - 지하 지장물을 확인하며 시공할 수 있으며 대구경이 가능하나, 지반침하에 의하여 인근 구조물에 영향을 미칠 수 있고 작업자에 따라 공사의 질이 많이 달라질 수 있어 작업자의 능력이 중요
강관압입 추진공법 (오거유압식)	- 강관을 직접 지중에 압입하는 공법으로 관 뒤쪽에 오거유압식 장비를 설치 후 강관을 압입 - 압입 후 강관내의 흙은 스크류로 굴착 - 굴착된 토사는 버켓 또는 대차레일을 이용하여 발진구내로 인출 - 추진거리는 추진관경 및 토질에 비례하나 보통 100m 이상도 가능 - 지하 지장물을 확인하며 시공할 수 있으며 대구경이 가능하나, 도심지에서 지장물을 피해 가시설 작업이 용이하지 않는 공법
지향성 압입 공법	- 소구경의 드릴헤드(노즐에서 고압의 벤토나이트를 분사하며 회전)로 수신기 탐지원의 지시에 따라 해당 통과지점을 기록하며 약 50mm의 pilot hole을 만들 - 드릴헤드가 도착점에 도착하면 확공기로 바꾸어 pilor hole을 확공 - 확공된 홀을 따라 pipe를 pulling 작업 진행 - locator를 이용하여 정밀한 진행 방향의 조정이 용이 - 기존 관로의 파손위험이 적은 공법 - 강관 압입보다 공사비 절감이 가능하나 단거리의 경우 경제성이 낮은 공법



[강관압입 추진공법
(유압JACK식)]



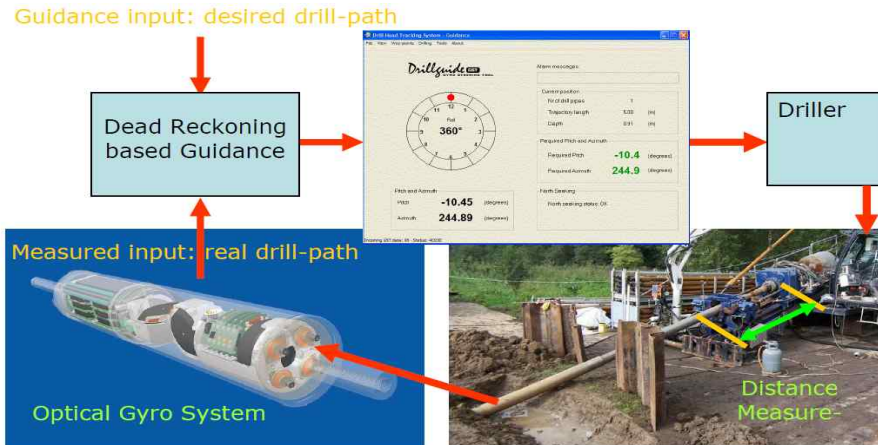
[강관압입 추진공법
(오거유압식)]



[지향성 압입 공법]

□ 굴착 자동화

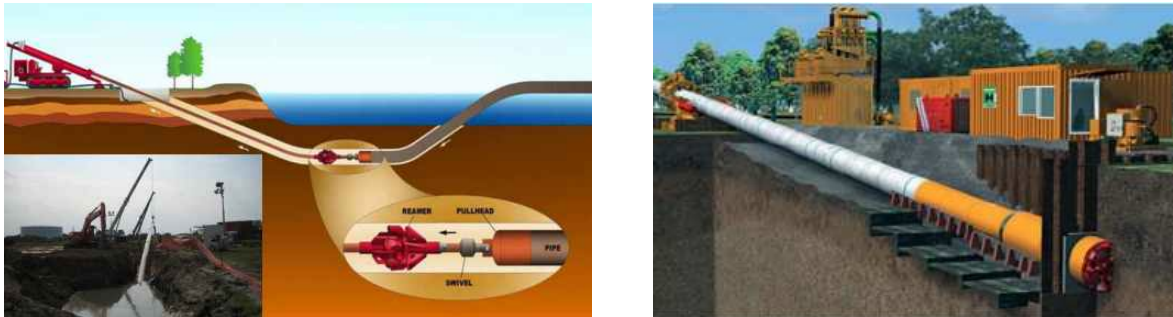
- 외부 및 자체 센서, 외부 입력 데이터 등을 토대로 3차원 경로상 굴착 진행 상황을 모니터링, 장애물 조우시 회피 등 내비게이션 기능, 물리적인 출력신호를 이용한 조작자 훈련 시스템으로 이용 가능한 시뮬레이터의 개발이 진전



〈그림 50〉 시공 시뮬레이터 사례

□ 수평지향성 압입 공법(HDD, Horizontal Directional Drilling)

- '84년 프랑스 Spie Batigrolls Group에서 석유 및 가스시추를 목적으로 개발되었으며, 이후 '85년부터 건설공사에 적용되면서 발전



〈그림 51〉 수평지향성 공법 및 모식도

- 수직갱이 필요 없이 굴착선단을 지표면에서 발진시켜 필요한 심도까지 포물선을 그리면서 굴착하고, 현장 여건에 따라 도중에 굴착선형을 변경할 수 있는 비개착 지향성 공법으로 필요한 단면만 굴착하여 효율성 높은 공법
- 도심에서 장비 레이아웃 공간이 필요한 경우에 시공에 제약요건이 되며, 이를 보완하기 위해 수직 작업구를 설치하여 토양절삭 기능을 가진 드릴링 머신과 배관 연결장치를 구비한 공법이 도입

□ 시공사례

- 수평지향성 압입공법(HDD)는 지표면에서 작업이 가능하며 작업 깊이에 제한이 없고 시공속도가 빨라 주로 항만, 하천, 강 및 도로분야에서 가스관, 하수관, 전력관 등 지하시설물에 주로 적용
- 국외에서는 시공사례가 많은 반면 국내에서는 주로 700m이내의 소규모 전력 및 가스관 공사에 다수 적용

〈표 62〉 수평지향성 압입공법(HDD) 해외시공사례

구분	지역	회사	토양	기간	길이/배관 소재
Ras Ghurab Water Supply	Saadiyat Island to Ras Ghruab Island (Abu Dhabi), UAE	TATCO (UAE)	sandy clay, crystal gypsum, clay	‘13~‘14	▪ (Length) 3.8km ▪ (Pipeline) HDPE 14“ Carbon Steel 20“ insertect
Harringvliet Powerline	Harringvliet Netherlands	Visser & Smit Hanab	-	‘14	▪ (Length) 2x2.5km ▪ (Pipeline) HDPE 450mm insertect
Yangze River Gas Pipeline	Shanghai, China	China Petroleum Pipeline Bureau	alluvial	‘13	▪ (Length) 3x3.3km ▪ (Pipeline) Steel 28“, 16“ insertect
Sabine River Crossing Gas Pipeline	Starks, LA and Deweyville TX, USA	Ranger Field Services	-	‘13	▪ (Length) 3.4km ▪ (Pipeline) Steel 12“ insertect
Solent Strait2 Gas Pipeline	Southamptton, UK	LMR Drilling	sand/clay	‘11	▪ (Length) 3.9km ▪ (Pipeline) Steel 12 3/4“ insertect
Solent Strait1 Gas Pipeline	Southamptton, UK	LMR Drilling	sand/clay	‘10	▪ (Length) 3.9km ▪ (Pipeline) Steel 12“ insertect
Pembroke Gas Pipeline	Milford Haver, UK	LMR Drilling	sandstone	‘10	▪ (Length) 3.0km ▪ (Pipeline) Steel 12“ insertect
Hampton Roads Crossing (HRX) Pipeline	Virginia, USA	Mears	compact soil	‘09	▪ (Length) 4.9km(HDD), 1.6km(Trench) ▪ (Pipeline) Steel 457mm insertect
홍콩국제공항 확장공사 설계계획	Hong-Kong international airport	-	-	예정	▪ (Length) 5.0km ▪ (Pipeline) -

③ 배관 자동용접 및 연결 기술

□ 삼천리 배관 자동용접 기술

- 배관 내부에 소형 자동정렬장치를 넣어 간편하게 정렬 가능
- 기존의 길쭉한 형태의 자동정렬장치로 정렬할 시 발생할 수 있는 배관손상 문제가 해소가 가능하며 소형 배관 및 곡관 모두 적용 가능
- 도시가스 배관 외에도 지금까지 배관자동용접기를 적용할 수 없었던 열배관, 상하수관까지도 적용 가능



〈그림 52〉 배관자동정렬 및 관자동용접 장치

□ 삼성중공업 배관 TIG 용접 자동화장비



〈그림 53〉 삼성중공업 배관 TIG 용접 자동화 장비

- 해양플랜트의 특수 재질의 배관 파이프 용접을 자동화하기 위해 개발된 장비
- 플랜트에 설치되는 최대 직경 64인치(약 1.6m), 최대 두께 6.4cm 배관 파이프의 용접선을 자동으로 추적할 뿐 아니라 용접 아크길이도 자동 제어해 용접 불량률을 '0'으로 줄임
- 1개 파이프 위에서 2대의 장비가 동시에 작업을 수행하여 빠른 작업 속도 보유

□ 페이브텍 다기능 배관 및 다관절 로봇용 자동 티그(TIG) 용접로봇(WELBOT)

- 독립된 AVC, Weaving축을 가지고 있어 로봇은 일반적인 티칭만 하고 바로 티그 용접을 진행 할 수 있고, 다양한 형상 및 곡률 경로 용접이 가능
- 또한, 용접 모니터링 화면을 통해 용접 전후 및 용접상태 관찰, 용접 중 아크 및 와이어 공급 위치를 실시간 확인 및 제어할 수 있음
- 인터페이스는 PC 제어 프로그램과 사용이 편한 GUI(Graphical User Interface)로 제어기능 변경 및 추가가 용이하고 용접 구간별 용접변수를 설정 및 제어
- 이더넷 접속 방식을 이용하여 최대 100m까지 자동 용접 작업에 필요한 모든 기능을 원격으로 제어하여 용접작업이 가능



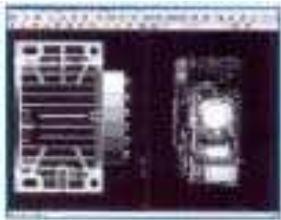
〈그림 54〉 다관절 로봇용 자동 티그(TIG) 용접로봇(WELBOT)

- 다양한 용접 방법 및 배관 형태에 능동적 적용 가능하며 사용 유저가 쉽게 장비를 사용 가능
- 가이드 레일 교체만으로 Ø200~Ø3,400까지 다양한 크기의 배관 용접을 할 수 있으며 로봇의 설치와 분리가 용이하고, 용접 가능 배관 두께는 1~50mm로

내장된 자동 AVC기능으로 균일

□ 국내외 배관 용접 및 연결 기술 비교

〈표 63〉 국내외 배관 용접 및 연결 기술 비교

구분	국외 동향	국내 동향
파이프 현장용접 자동화 기술	- 오일 이송관의 자동용접은 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)와 GMAW(Gas Metal Arc Welding)으로 나뉘며, GMAW가 북미, 유럽지역에서 원주형 자동용접 방식에 주로 사용 - GMAW 방식의 상용 제품은 CRC-EVANS사의 자동 용접장비가 주로 사용	- 현대중공업 및 포스코엔지니어링 등은 해양 설치선에서 파이프를 용접하여 해저에 설치하는 기술 및 장비 이용기술을 확보 - 포항산업과학기술연구원의 시스템 솔루션 연구센터는 동토에서의 파이프 용접/접합/코팅 기술의 Total Solution 구축과 미래형 생산기술과 같은 관련 기술의 Prototype을 보유함. 그러나 개념 검증 수준의 기술이며, 실제 활용 사례가 없고, 원격조종 기술은 미탑재
파이프 라인 기계적 급속연결 장비기술	Zap-Lock pipeline system(미국)은 용접 대신 기계적 연결장치를 이용하여 파이프라인을 시공하는 시스템으로 인력절감, 공기단축 및 공사비 절감효과가 있어 극한지 적용에 효과적(12inch 규모로 제한) 	- 국내에서는 극한지가 아닌 육상에서의 파이프 기계적 연결 시공 경험을 보유하고 있으며, 우리스틸, 신이피엔씨 등의 기업에서 기계적 연결 관련 특허를 보유 - 아직까지는 극한지 파이프의 기계적 급속 연결 관련기술의 수준 및 개발에 대한 투자가 매우 미미
현장접합 품질검사 및 안전진단 자동화 기술	- 단일탐촉자를 이용한 펄스-에코 기법, 다중집속 초음파탐상기술, 위상배열 초음파검사기술, TOFD (Time Of Flight Diffraction) 기술 적용 - FUJI사(일본) : Computed radiography system 	국내에서 개발된 다수의 비파괴진단 관련 개별 요소기술 가운데 극한지에 적용이 가능한 것으로는 레이저 초음파 및 마그네틱 NDE(Non-Destructive Evaluation) 기술을 보유하고 있으나 극한지에서 원격 적용을 위한 추가 개발이 필요

④ 배관망 모니터링 및 건전성 관리 기술

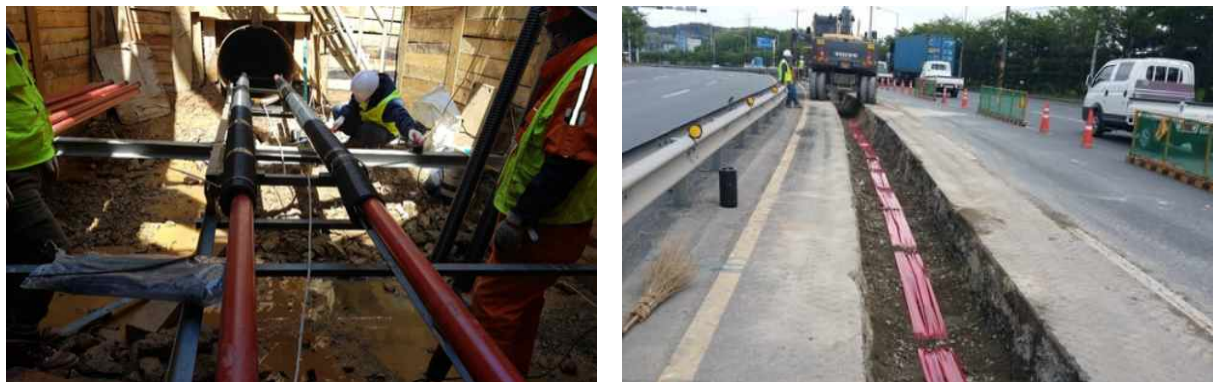
□ 삼천리 스마트배관망시스템

- 지하에 매설된 도시가스 시설관리에 필요한 데이터를 실시간으로 수집·분석하고 통신으로 전송함으로써 현장상태를 면밀히 파악하고 이상상황에 신속히 대처할 수 있는 시스템
- 누수 및 펌프·센서·밸브 오작동 등 지하매설배관의 이상상황을 탐지해 이상 위치와 대응방안을 제시하는 실시간 이상진단 시스템
- 관망개량의 우선순위와 개량방안을 효율적으로 선정해주는 의사결정지원 시스템
- 상수도 관리에 있어 원수 특성을 고려한 소독부산물 관리 및 미생물 성장, 내부 부식, 잔류염소 등의 모니터링·제어기술을 갖춘 최적 수질관리시스템



〈그림 55〉 삼천리 스마트배관망시스템 기본 구성 및 시스템 기본 화면

□ 울산시 수소배관(전용 배관을 이용해 광케이블 포설)



〈그림 56〉 울산 수소배관 설치작업

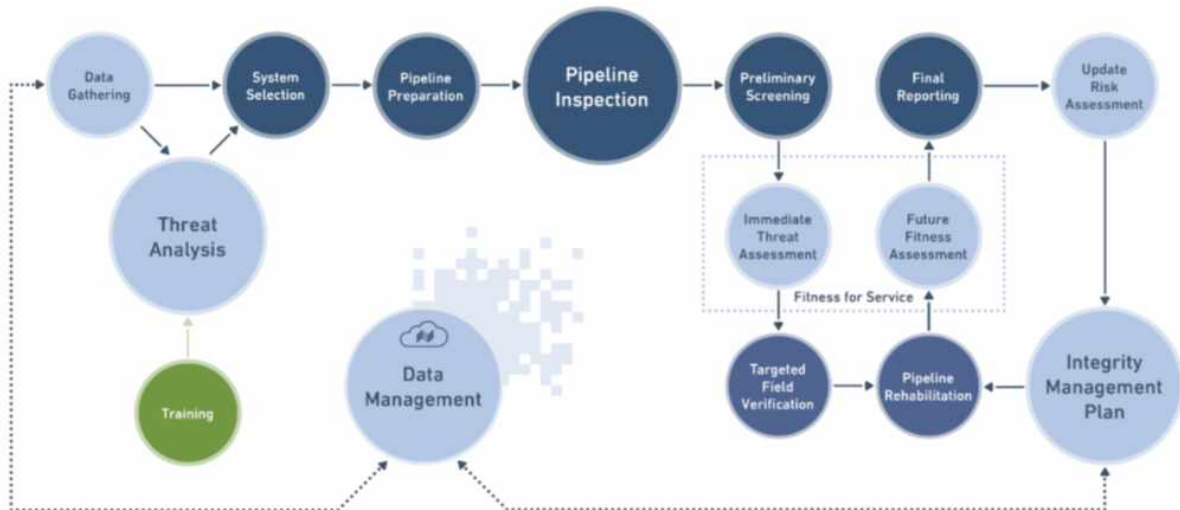
- 배관과 수소충전소 시스템에는 수소가스 누출 시 광케이블의 온도와 파장

변화를 이용해 누출 유무와 위치를 1m 정밀도로 감지하는 ‘하이브리드 센서 기반 가스누출 모니터링 시스템’ 설치

- 부식을 방지하기 위해 분기별로 측정하도록 되어 있는 배관의 방식전위를 자동 측정하는 ‘ICT 기반 지하배관 방식전위 모니터링 시스템’을 구축

☐ 건전성 통합 관리 기술

- 기존·신설 매설관의 이력정보 디지털화 관리(속성정보 특성화), 실시간 계측 데이터의 활용, 원격 선형 감시 시스템, AI 기반 모델링 및 시뮬레이션 예측 기법 접목, 디지털 환경에서 원격 관망 진단·관리 효율화 등을 개발
- 센서 네트워크, 능동적 모니터링, 이력 데이터 기반 속성정보를 디지털화 활용, DNA 접목을 통해 진단 및 예측 정확성 향상



〈그림 57〉 통합 관리 체계도

마. 기술수준 및 유사과제 분석

(1) 한국과학기술평가원 2020년 기술수준 평가

(가) 수소 기술

☐ 해당 기술은 수소에너지의 생산·저장·이송에 관한 기술과 수소연료, 수소 충전 인프라 등 수소 경제사회를 구현하기 위한 제반 요소기술이 포함

○ 주요국 기술수준, 연구단계 역량 및 연구개발 활동 경향

〈표 64〉 수소 기술 기술수준 및 기술격차

(단위 : %, 년)

국가	기술수준			연구단계 역량		연구개발 활동경향 (점수***)
	수준(%)	격차(년)	그룹 (점수*)	기초 (점수**)	응용개발 (점수**)	
한국	75.0	3.0	추격 (3.00)	우수 (3.50)	우수 (3.50)	상승 (3.13)
중국	70.0	5.0	후발 (2.33)	우수 (3.75)	보통 (3.13)	상승 (3.00)
일본	100.0	0.0	최고 (4.00)	탁월 (4.63)	탁월 (4.88)	유지 (2.38)
EU	95.0	1.0	선도 (3.78)	탁월 (4.88)	탁월 (4.63)	상승 (2.63)
미국	95.0	1.0	선도 (4.00)	탁월 (4.50)	우수 (4.38)	상승 (2.75)

출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

* 기술수준 그룹(4그룹)을 선도/최고(4점), 추격(3점), 후발(2점), 낙후(1점)로 평균값 계산

** 연구단계별 역량 구간(5구간)을 탁월(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 부족(1점)으로 평균값 계산

*** 연구개발 활동경향 구간(4구간)을 급상승(4점), 상승(3점), 유지(2점), 하강(1점)으로 평균값 계산

○ 국내 기술수준 향상을 위한 정부중점 추진정책 우선순위

〈표 65〉 국내 정책 우선순위

구분	국내협력 추진	국제협력 추진	인력 양성 및 유치	인프라 구축	법·제도 개선	연구비 확대
순위	4위	5위	5위	1위	2위	3위
점수*	3.22	2.78	2.78	4.67	4.22	3.33

출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

* 1순위(6점), 2순위(5점), 3순위(4점), 4순위(3점), 5순위(2점), 6순위(1점)로 평균값 계산

- (논문 등재) 일본의 KYUSHU UNIVERSITY에서 가장 많은 논문을 등재 하였으며, 상위 10개 기관 중 국내 기관은 SEOUL NATIONAL UNIVERSITY, YONSEI UNIVERSITY이 포함

〈표 66〉 논문 등재 건수 TOP 기관

NO	기관명	국적	건수	전체 점유율	논문증가율
1	KYUSHU UNIVERSITY	일본	60	1.1%	50.0%
2	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	중국	50	0.9%	△7.7%
3	SEOUL NATIONAL UNIVERSITY	한국	48	0.9%	18.2%
4	IMPERIAL COLLEGE LONDON	EU	40	0.9%	85.7%
5	ZHEJIANG UNIVERSITY	중국	40	0.7%	10.5%
6	YONSEI UNIVERSITY	한국	33	0.7%	53.8%
7	UNIVERSITY OF CALIFORNIA	미국	31	0.6%	38.5%
8	COLLEGE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING	중국	31	0.6%	833.3%
9	UNIVERSITY OF SOUTH	미국	30	0.6%	△57.1%
10	CAS KEY LABORATORY OF MATERIALS FOR ENERGY CONVERSION	중국	30	0.6%	△33.3%

출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

- (특허 출원) 일본의 TOYOTA MOTOR에서 가장 많은 특허를 출원하였으며, 상위 10개 기관 중 국내 기관은 현대자동차, 삼성전기가 포함

〈표 67〉 특허 출원 건수 TOP 기관

NO	기관명	국적	건수	전체 점유율	특허증가율
1	TOYOTA MOTOR	일본	640	7.0%	30.2%
2	현대자동차	한국	583	6.4%	97.4%
3	TOTO	일본	461	5.0%	56.1%
4	HONDA MOTOR	일본	292	3.2%	△50.3%
5	PANASONIC	일본	197	2.2%	△79.9%
6	삼성전기	한국	156	1.7%	△85.3%
7	NISSAN MOTOR	일본	140	1.5%	33.3%
8	AISIN SEIKI	일본	118	1.3%	26.9%
9	NGK INSULATORS	일본	117	1.3%	△60.7%
10	KYOCERA	일본	116	1.3%	△55.0%

출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

- (특허 등록) 국내 기관인 현대자동차에서 가장 많은 특허를 등록하였으며, 상위 10개 기관 중 국내 기관은 현대자동차, 포스코, 한국에너지기술연구원이 포함

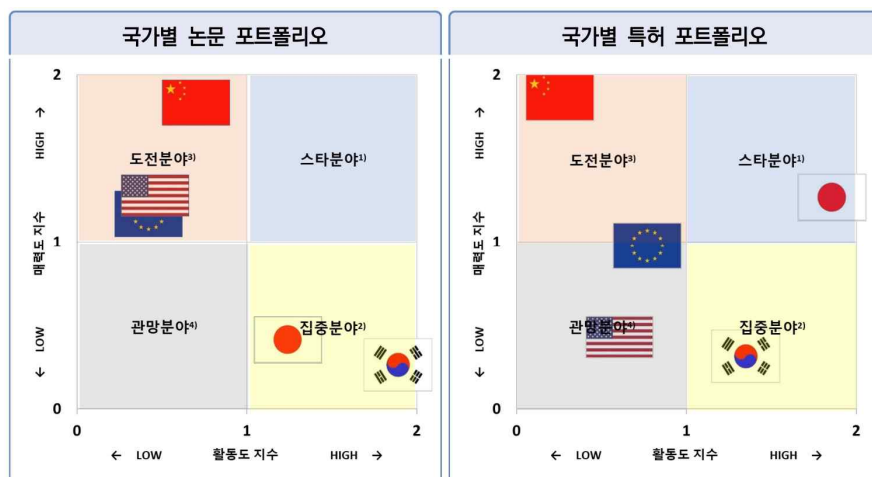
〈표 68〉 특허 등록 건수 TOP 기관

NO	기관명	국적	건수	전체 점유율	등록특허 증가율
1	현대자동차	한국	397	9.6%	73.8%
2	TOYOTA MOTOR	일본	303	7.3%	33.1%
3	HONDA MOTOR	일본	147	3.5%	△45.3%
4	TOTO	일본	131	3.2%	△27.6%
5	PANASONIC	일본	84	2.0%	△86.5%
6	포스코	한국	81	2.0%	△73.4%
7	한국에너지기술연구원	한국	79	1.9%	△31.9%
8	NISSAN MOTOR	일본	70	1.7%	69.2%
9	GM GLOBAL TECHNOLOGY POERATIONS	미국	65	1.6%	24.1%
10	PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY	일본	57	1.4%	100.0%

출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

- (포트폴리오 분석) 활동도 지수(A.I)와 매력도 지수(A.A.I)를 활용하여 국가별 상대적 우위 및 주요 특징 비교

- (논문) 한국은 집중분야에 해당하며, 활동력 지수는 한국이 가장 높고 매력도 지수는 중국이 가장 높게 측정
- (특허) 한국은 집중분야에 해당하며, 활동력 지수는 일본이 가장 높고 매력도 지수는 중국이 가장 높게 측정



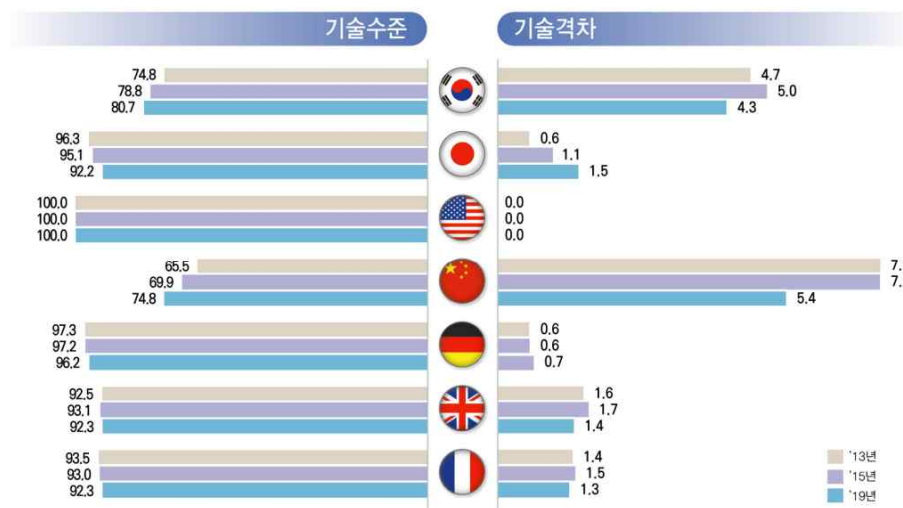
출처 : 2020년 기술수준평가, 한국과학기술기획평가원, 2021

〈그림 58〉 수소 기술의 기술 포트폴리오 분석

(2) 국토교통과학기술진흥원 2019 국토교통 기술수준분석

□ '19년 국토교통 분야 세계 최고 기술수준 보유국인 미국의 기술수준을 100%, 기술격차를 0년으로 설정할 경우 우리나라의 기술수준은 80.7%, 기술격차는 4.3년으로 조사

○ 우리나라와 중국을 제외한 국가들의 기술수준은 미국 대비 감소하였으며, 우리나라는 '19년 1.9%p 상승하여 '13년 이후 최초로 80% 이상 도달



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 59〉 국토교통 분야 기술수준 및 기술격차

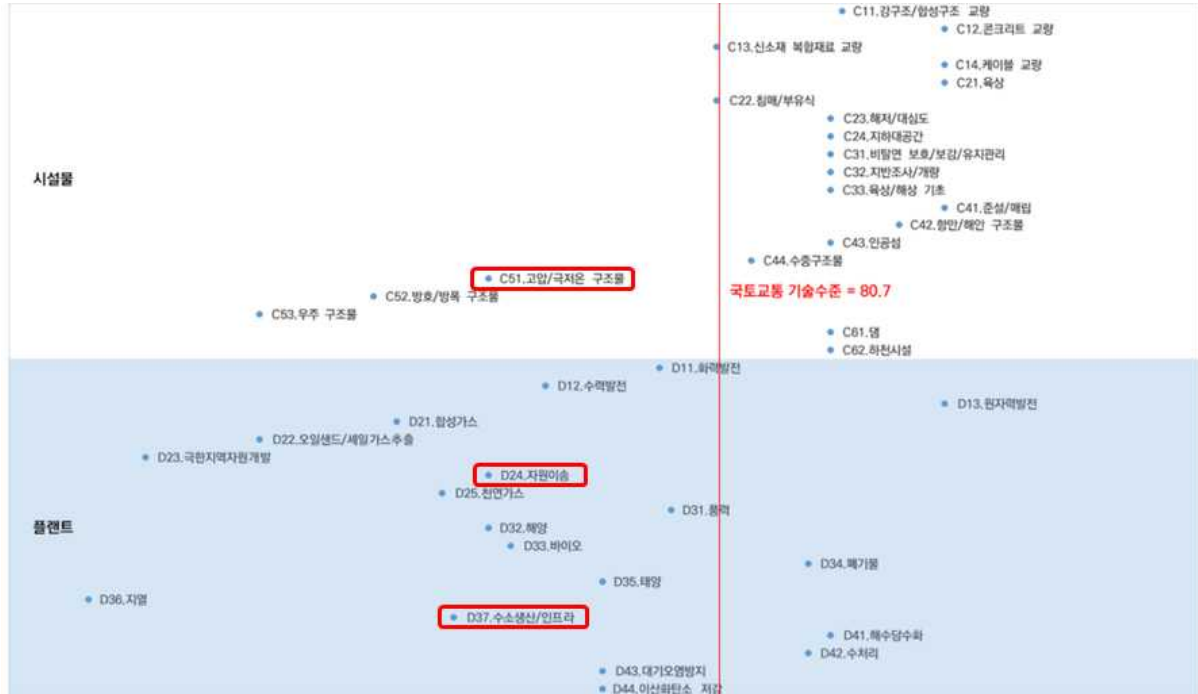
○ 본 기획과제는 수소배관 조관, 건설, 운영·관리 기술 개발 등의 내용이 포함되어 건축분야의 재료/자재, 친환경, 플랜트 분야의 이산화탄소 저감과 관련

〈표 69〉 본 기획과제 관련 분야

대분류	중분류	소분류	관련 내용
시설물	특수구조물	고압/극저온 구조물	우리나라에서도 고압/극저온 구조물에 대한 기술개발이 활발하나 성장기에 이르지 못하여 기술수준이 저평가
플랜트	자원개발 플랜트	자원이송	우리나라는 동토에 시공을 위한 지반 안정성 설계기술을 연구하고 있으며, 국외에서는 오일가스 개발현장과 수요처를 연결하는 관망에 대한 안전성, 자산관리 기술에 집중
	신재생 에너지 플랜트	수소생산/인프라	수소경제 활성화 로드맵에 따라 관련 인프라 기술개발 등을 통해 해외 생산 수소 인수기지 건설을 계획하고 있어 향후 수소생산/인프라 분야의 중요성이 부각될 것으로 예상

출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

- 본 기획과제와 관련된 시설물 분야의 고압/극저온 구조물, 플랜트 분야의 자원 이송, 수소생산/인프라 모두 국토교통 평균 기술수준에 미치지 못하는 상황으로 수소경제 실현을 위해서는 해당 기술 개발이 필수적인 상황



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

<그림 60> 본 기획과제 관련분야의 기술수준

(가) 시설물 분야

- 고압/극저온 구조물 기술의 경우 미국이 대부분의 기술수준 및 기술경쟁력 측면에서 우위를 차지하고 있는 상황

		● : 기술수준, ● : 특허경쟁력, ● : 논문경쟁력						
대분류	중분류	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스
C5. 특수구조물	C51. 고압/극저온 구조물			● ● ●				
	C52. 방호/방폭 구조물			● ● ●				
	C53. 우주 구조물			● ●				●

출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

<그림 61> 시설물 분야 최고기술 보유국

- 고압/극저온 구조물 기술이 포함된 특수구조물 분야에서 우리나라는 최고기술 보유국인 미국 대비 65.0%의 기술수준을 보유
 - 해외에서는 400기압으로 수소를 저장하는 수소저장 용기, 수소의 압력을 높이는 압력기 등을 개발하여 상용화
 - 국내에서는 영하 극한지 자원 개발 및 이송을 위한 영하 40도 이하의

2,000km급 장거리 자원 이송망-기반 구조물 설계 및 평가기술을 개발

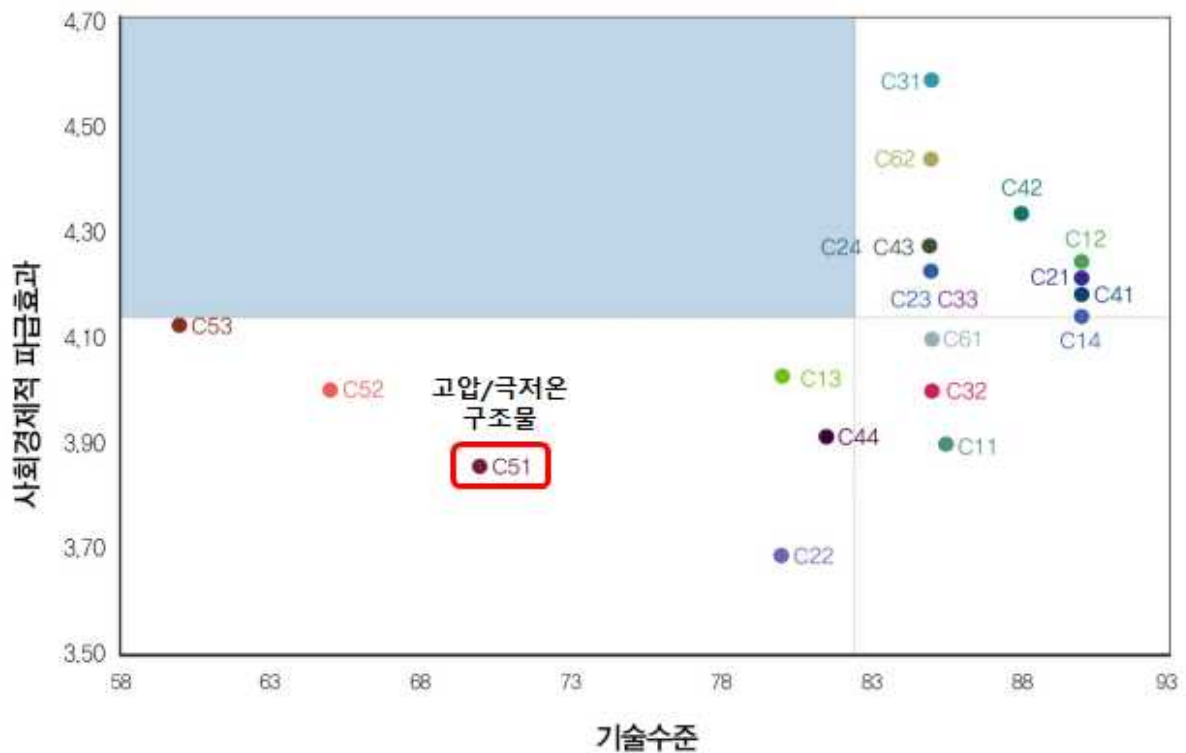


출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

<그림 62> 시설물-특수구조물 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력

- 시설물 분야의 고압/극저온 구조물 기술은 기술적 중요도, 기술확보 시급성, 사회경제적 파급효과, 기술수준이 낮은 영역에 포함되었지만 수소경제 실현을 위해서는 해당 사항 모두 증가할 것으로 예상





출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 63〉 시설물 분야 기술적 중요도, 기술확보 시급성, 사회경제적 파급효과 매트릭스

- 고압/극저온 구조물 기술의 기술격차 발생 원인으로는 인력부족, 인프라(장비/설비) 부족, R&D 투자 부족, 기초연구 지원 부족 순으로 나타났으며 기술격차

해소를 위해서는 관련 인력, 인프라 확보가 가장 시급

- 세계적으로 에너지 자원의 감소 및 탄소 배출량 저감에 따라 극한지역의 대한 관심이 고조되고 이에 따라 극한환경 대응형 구조설계기술, 극저온 대응 재료 기술 등 기초원천 연구 투자가 필요
- 수소연료에 대한 관심 증대에 따라 고압/극저온 구조물인 수소 충전소 및 인프라 구축 기술 개발 필요

● : 1순위, ● : 2순위, ● : 3순위

중분류	소분류	인프라 (장비/설비) 부족	인력부족	R&D 투자 부족	중소기업 지원 부족	기초연구 지원 부족	법제도 정비 필요	사업화 지원 부족
특수 구조물	고압/극저온 구조물	●	●	●		●		
	방호/방폭 구조물	●		●		●		
	우주 구조물	●	●	●				

출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 64〉 시설물-특수구조물 분야 기술격차 발생원인

(나) 플랜트 분야

- 플랜트분야의 경우 미국이 대부분의 기술수준 및 기술경쟁력 측면에서 우위를 점하고 있으며, 프랑스의 경우 자원이송, 수소생산/인프라 분야에서 논문 경쟁력이 우수

● : 기술수준, ● : 특허경쟁력, ● : 논문경쟁력

대분류	중분류	한국	일본	미국	중국	독일	영국	프랑스
D2.자원개발 플랜트	D21.합성가스			●	●		●	
	D22.오일샌드/셰일가스 추출			●	●			●
	D23.극한지역자원개발			●	●	●		
	D24.자원이송			●	●			●
	D25.천연가스			●	●			●
D3.신재생 에너지 플랜트	D31.풍력			●	●	●		
	D32.해양			●	●		●	
	D33.바이오	●		●	●			
	D34.폐기물			●		●		●
	D35.태양			●			●	●
	D36.지열			●	●	●		
	D37.수소생산/인프라			●	●			●

출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 65〉 플랜트 분야 최고기술 보유국

○ 자원이송 기술이 포함된 자원개발플랜트 분야에서 우리나라는 최고기술 보유국인 미국 대비 63.8%의 기술수준을 보유

- 해외에서는 Trans Mountain Corporation에서 2018년부터 1150km 규모의 프로젝트를 추진 중이며, 안전성, 환경오염에 대한 규제 강화 추세
- 우리나라에서는 '19년 동토 자원이송망 설계시공 기술개발 완료 후 자원이송 스테이션, 관망 시공 자동화 기술을 기획

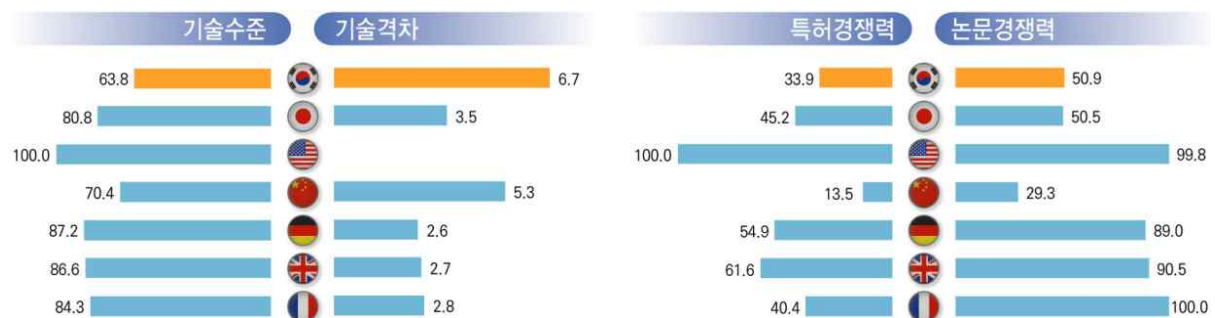


출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 66〉 자원개발플랜트 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력

○ 수소생산/인프라 기술이 포함된 신재생에너지플랜트 분야에서 우리나라는 최고 기술 보유국인 미국 대비 73.7%의 기술수준을 보유

- 해외에서는 가스화 및 발효 공정을 통해 생산된 수소의 경제성 확보를 위해 합성가스 고부가가치화, 타 발효 공정과의 연계 등 상용화 기술개발 추진
- 우리나라에서는 저온 수전해 시스템 제작 기술을 보유하고 있으나, 그 외 기술은 연구실 규모의 기초 연구단계



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 67〉 신재생에너지플랜트 분야 기술수준, 기술격차, 특허·논문 경쟁력

○ 플랜트 분야의 수소생산/인프라 기술은 기술적 중요도가 매우 높으나 기술수준이 낮은 영역에 포함되었으며, 자원이송 분야는 모두 낮은 영역에 포함되었으나 향후 수소경제 진입을 위해서 기술적 중요도가 증가할 것으로 예상



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 68〉 플랜트 분야 기술적 중요도 매트릭스

- 개발이 기습하지만 기술수준이 낮은 영역에 수소생산/인프라 기술이 포함되었으며, 자원이송 기술 또한 해당 영역에 근접한 상황



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 69〉 플랜트 분야 기술확보 시급성 매트릭스

- 사회경제적 파급효과는 높지만 기술수준이 낮은 영역에도 수소생산/인프라 기술은 포함되었으며, 자원이송 기술도 향후 추가가 예상



출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 70〉 플랜트 분야 사회경제적 파급효과 매트릭스

- 자원이송 기술의 기술격차 발생 원인으로는 인프라(장비/설비) 부족, R&D 투자 부족, 기초연구 지원 부족, 사업화 지원 부족 순으로 나타남
 - 기술격차 해소를 위해서는 영구동토를 대상으로 자원이송망의 안전성과 건설 비용을 저감할 수 있는 국가 인프라(장비/설비) 개발 지원 필요
- 수소생산/인프라 기술의 기술격차 발생 원인으로는 R&D 투자 부족, 인프라(장비/설비) 부족, 기초연구 지원 부족 순으로 나타남
 - 기술격차 해소를 위해서는 수소제조의 저비용 및 대량 생산 기술, 수소용 연료 전지를 뒷받침할 수 있는 수소저장 기술 및 인프라 구축 기술 개발 필요

● : 1순위, ● : 2순위, ● : 3순위

중분류	소분류	인프라 (장비/설비) 부족	인력부족	R&D 투자 부족	중소기업 지원 부족	기초연구 지원 부족	법제도 정비 필요	사업화 지원 부족
자원 개발 플랜트	합성가스	●		●				●
	오일샌드/셰일가스 추출	●	●	●				
	극한지역자원개발	●		●		●		
	자원이송	●		●		●		●
	천연가스	●		●		●		
신재생 에너지 플랜트	풍력	●		●				●
	해양	●		●		●		
	바이오	●		●			●	
	폐기물	●		●			●	●
	태양	●		●			●	●
	지열	●	●	●				
	수소생산/ 인프라	●		●		●		

출처 : 2019 국토교통 기술수준분석, 국토교통과학기술진흥원, 2019

〈그림 71〉 플랜트 분야 기술격차 발생원인

(3) 유사과제 분석

□ 국가과학기술지식정보서비스(이하 NTIS)에서 최근 5년('17~'21)동안의 수소배관 관련 과제는 총 47개로 나타남

○ '17년 5개 과제에서 '21년 13개 과제로 매년 증가함에 따라 탄소중립, 수소경제, 대체 에너지 등 사회적 이슈화와 국가 정책 추진에 따라 과제가 증가

○ 총 연구비는 약 403.5억 원으로 과제 수 자체가 매우 적은 편이며 수소에 대한 관심이 최근 증가함에 따라 향후 연구비는 지속적으로 증가할 것으로 예상

〈표 70〉 국내 수소배관 관련 과제수 및 연구비

(단위 : 개, 억 원)

구분	'17	'18	'19	'20	'21	합계
과제수	5	6	10	13	13	47
연구비	36.8	20.6	21.2	142.0	182.9	403.5

출처 : NTIS 과제 검색, NTIS, 2022

○ 최근 5년동안 산업부에서 가장 많은 23개의 관련 과제를 추진하였으며, 연구수행주체는 중소기업(20개), 적용분야는 에너지분야(23개) 관련 과제가 주로 진행

〈표 71〉 국내 수소배관 관련 과제 정보

연도					부처				
'17	'18	'19	'20	'21	산업부	과기부	국토부	중기부	원안위
5	6	10	13	13	23	10	6	6	2
연구수행주체					적용분야				
출연 연구소	중견 기업	중소 기업	대학	기타	건설업	안전	에너지	제조업	환경
8	4	20	11	4	2	3	23	13	6

출처 : NTIS 과제 검색, NTIS, 2022

○ 과제 주제는 배관의 재료, 수소 관련 안전 기술, 배관 부속 부품 등이 대부분이며, 수소도시 사용에 특화된 배관 제작, 배관망 구축·운영, 관련 안전 기술 등에 대해 진행된 과제는 미비한 상황

〈표 72〉 NTIS 수소 배관 관련 과제 검색 결과

(단위 : 원)

기준 년도	부처	과제명(국문)	연구비
2021	국토교통부	타운하우스형 수소 생산-저장-공유 기술과 다중 열원 이용 열관리 시스템의 통합기술 개발 및 실증	3,782,500,000
2021	산업통상자원부	수소충전소 및 배관망 안전 제고를 위한 필수 장비 국산화 기술 개발	3,520,600,000
2021	산업통상자원부	수소취성 억제 효과 및 누설감지 기능이 포함된 초고압수소용 배관밸브(105MPa), 디스펜서, 열교환기와 모니터링시스템 개발	3,298,640,000
2021	산업통상자원부	수소충전인프라 확충을 위한 수소충전소 고압수소배관용 인장강도 800MPa급 9/16“스테인리스 심리스배관 제조 기술 개발	2,437,900,000
2021	산업통상자원부	수소충전소 부품 및 배관용 내수소취성 합금 개발	1,603,500,000
2021	산업통상자원부	광폭 압연클래드 후판을 이용한 강관 및 압력용기 제조기술 개발	1,515,840,000
2021	산업통상자원부	700bar 수소 충전소용 사용압력 1,000bar급 대유량 유량제어 밸브, 피팅 및 역류방지밸브 국산화 개발	552,115,000
2021	산업통상자원부	수소 전주기(생산, 저장/이송, 활용) 경제성, 환경성 평가 기술 개발	506,113,000
2021	과학기술정보통신부	블루수소 연계 배관망내 수소 및 이산화탄소 누출감지를 위한 인공지능 기술개발	360,000,000
2021	산업통상자원부	중국향 초고압 수소 충전·저장시스템용 압력용기, 고기밀 피팅, 고차압 레귤레이터 및 고압 솔레노이드 밸브 개발	342,000,000
2021	국토교통부	도시가스그리드 이용 수소이송망의 지진대응형 벨로우즈 신축이음관 적용 저비용 내진성능 보강 연구	177,230,000
2021	국토교통부	수소도시의 수소관망 구축/운용기술 개발 및 실증 방안 기획	150,000,000
2021	과학기술정보통신부	스테인리스강의 화학적 조성 및 성형조건에 따른 수소취화 모델에 관한 실험적 연구	41,225,000

2020	국토교통부	타운하우스형 수소 생산-저장-공유 기술과 다중 열원 이용 열관리 시스템의 통합기술 개발 및 실증	3,378,000,000
2020	산업통상자원부	수소취성 억제 효과 및 누설감지 기능이 포함된 초고압수소용 배관밸브(105MPa), 디스펜서, 열교환기와 모니터링시스템 개발	2,182,140,000
2020	산업통상자원부	수소취성 억제 효과 및 누설감지 기능이 포함된 초고압수소용 배관밸브(105MPa), 디스펜서, 열교환기와 모니터링시스템 개발	2,182,140,000
2020	산업통상자원부	700bar 수소 충전소용 사용압력 1,000bar급 대유량 유량제어 밸브, 피팅 및 역류방지밸브 국산화 개발	1,415,200,000
2020	산업통상자원부	광폭 압연클래드 후판을 이용한 강관 및 압력용기 제조기술 개발	1,376,097,000
2020	산업통상자원부	수소충전인프라 확충을 위한 수소충전소 고압수소배관용 인장강도 800MPa급 9/16"스테인리스 심리스배관 제조 기술 개발	1,185,100,000
2020	산업통상자원부	수소충전소 부품 및 배관용 내수소취성 합금 개발	1,125,050,000
2020	산업통상자원부	수소 전주기(생산, 저장/이송, 활용) 경제성, 환경성 평가 기술 개발	705,761,000
2020	과학기술정보통신부	지하 배관망의 안정적 운영 및 관리를 위한 실시간 AI/IoT 통합 솔루션 개발	370,000,000
2020	과학기술정보통신부	고압수소 장거리 이송용 수소배관 제조기술(1/1)	100,000,000
2020	중소벤처기업부	물에 영향을 받지 않는 화학물질 감지용 복합감지방식 리크시스템의 개발	91,500,000
2020	과학기술정보통신부	동남지역 수소산업 생태계 조성 정책연계 기술육성 전략 수립(1/1)	80,000,000
2020	중소벤처기업부	25A 이하 사이즈급 폭발안전장치 개발	5,000,000
2019	산업통상자원부	700bar 수소 충전소용 사용압력 1,000bar급 대유량 유량제어 밸브, 피팅 및 역류방지밸브 국산화 개발	1,132,500,000
2019	과학기술정보통신부	나노구조 산화막을 이용한 사고저항성 핵연료 피복관 및 고 내부식성을 갖는 복수기 및 지하매설 배관 제조기술 개발	300,000,000
2019	산업통상자원부	격납건물 내 수소 기체 누출 원격탐지장치 개발	170,112,000

2019	중소벤처기업부	초음파를 이용한 HIC 검사장비 개발	112,500,000
2019	원자력안전위원회	격납건물 여과배기 수소위험도 규제기술 개발	111,000,000
2019	중소벤처기업부	물에 영향을 받지 않는 화학물질 감지용 복합감지방식 리크시스템의 개발	91,500,000
2019	중소벤처기업부	고압배관 냉간 성형기 및 소구경 배관 성형 전용 지그 개발	66,584,000
2019	산업통상자원부	글로벌 수소 공급망 밸류체인 구축방안 연구	48,000,000
2019	산업통상자원부	경남 수소융합실증단지 특화모델 사전타당성조사	45,000,000
2019	산업통상자원부	수소 융복합 단지 실증을 위한 울산 특화 모델 사전타당성 조사	45,000,000
2018	산업통상자원부	700bar 수소 충전소용 사용압력 1,000bar급 대유량 유량제어 밸브, 피팅 및 역류방지밸브 국산화 개발	822,625,000
2018	산업통상자원부	격납건물 내 수소 기체 누출 원격탐지장치 개발	454,298,000
2018	과학기술정보통신부	나노구조 산화막을 이용한 사고저항성 핵연료 피복관 및 고 내부식성을 갖는 복수기 및 지하매설 배관 제조기술 개발	300,000,000
2018	국토교통부	100만 명 규모 도시형 복합 수소 네트워크 설계 및 안전성 평가, 관리기술 개발	264,000,000
2018	원자력안전위원회	격납건물 여과배기 수소위험도 규제기술 개발	132,000,000
2018	중소벤처기업부	초음파를 이용한 HIC 검사장비 개발	93,750,000
2017	과학기술정보통신부	수소의 전환/저장/이용을 위한 안전 측정 기술 개발	2,600,000,000
2017	산업통상자원부	격납건물 내 수소 기체 누출 원격탐지장치 개발	510,336,000
2017	과학기술정보통신부	나노구조 산화막을 이용한 사고저항성 핵연료 피복관 및 고 내부식성을 갖는 복수기 및 지하매설 배관 제조기술 개발	300,000,000
2017	국토교통부	100만 명 규모 도시형 복합 수소 네트워크 설계 및 안전성 평가, 관리기술 개발	230,000,000
2017	과학기술정보통신부	부식방지를 위한 금속 파이프 표면의 금속산화물 나노구조 제조기술개발	35,000,000

출처 : NTIS 과제 검색, NTIS, 2022

바. 특허 분석

(1) 분석 개요

□ 분석 목적

- 수소도시의 수소관망 소재, 조관, 건설, 운영·관리 기술 개발 추세를 파악하고, 사업추진 방향 설정을 위한 시사점을 도출하기 위해 한국과 주요국의 수소관망 관련 특허를 분석
- 본 분석은 분석 대상 기술의 검색 DB 확보의 편의를 위해 분야별 중분류 수준의 기술분류로 분석을 수행

〈표 73〉 특허 분석 분야별 기술분류

분야	기술분류 범위
소재 분야	▪ 금속 소재
	▪ 비금속 소재
	▪ 재료평가
조관 분야	▪ 성형기술
	▪ 용접기술
	▪ 성능평가
건설 분야	▪ 설계기술
	▪ 시공기술
운영·관리 분야	▪ 운영기술 개발
	▪ 유지관리기술 개발
	▪ 위험성 평가기술 개발
	▪ 표준화 기술 개발

- 수소도시의 수소관망 소재, 조관, 건설, 운영·관리 기술 개발 사업을 위해 다양한 관련 기술에 관한 특허 동향분석을 통해 향후 전략적 R&D 방향을 수립

□ 분석 범위

- 본 분석에서는 수소관망과 관련하여, 분류 기준에 해당하는 특허를 대상으로 출원년도 2002년 ~ 2021년 까지 공개 및 등록된 한국, 일본, 유럽, 미국 출원을 검색대상으로 설정

〈표 74〉 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국가	검색 DB	분석구간	검색 범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국 일본 유럽 미국	WIPS	02.01~ '21.12(현)	특허공개 및 등록 전체문서

○ 분석대상기술과 관련한 핵심 키워드를 선정하고, 그 유의어 및 동의어를 통해 검색식을 도출

〈표 75〉 특허 분석 기술분류별 검색식

분야	기술분류	검색식
소재	금속 소재 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((스테인리스* 스텐레스* 스테인레스* 스텐리스* 스테레이스* stainless* stainless-steel* 스테인리스강* stainless*) or (탄소강* carbonsteel* Carbon* 카본스틸*)) and (f16* f17* c10*).ipc. and (@ AD >=2002.01.01 <=2021.12.31.)
	비금속 소재 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((frp* 에프알피* 섬유강화* 강화플라스틱* 씨에프알피* cfrp* gfrp* 섬유보강* grp* 강화플라스* 섬유강화플라스틱*) or (플라스틱* 합성수지* plastic* 플라스틱* 합성고분자물질* 플라스틱* ploymer*)) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
	재료 평가 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((취화* bromine* 브로미드* 부로마이드* 부로미도* 부롬* 브로마이드* 브로민* bromid* embrittlement*) or (인장* 텐션* tensile* tension* 텐션* 텐션* 텐실* 텐션* 텐사일* 장력*) or (파괴* 파손* 손상* 데미지* 훼손* 손괴* 대미지* 파열* 균열* 크랙* 깨지* 부서짐* distruction*) or (열화* 열변* deterioration* 노후* deteriorat* 수명*)) and (시험* 테스트* 실험* 검사* 점검* 진단* 검수* exam* test* 체크* test* inspect* experiment* examin* testing* check*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)

	성형기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((roll* roller* 롤* 롤러* 롤링* 로올라*) or (jco*) or (seamless* seam리스* continu* 심리스* 씸레스* 심레스* 씸리스* 무제봉* 꿰김없* 무봉제* 씨임리스* 씨임레스*) or (밴딩* 벤딩* 벤드* 굽어* 굽히* 굽힌* bend* bender* bend* curve* curv* 커브* 만곡* 라운드*)) and (성형* 금형* forming* figurat* form* make* 제작* 가공*) and () and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
조관	용접기술	(수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠* h-gas* 에이치투* 하이드로젠* 하이드로젠* 수소가스* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로* 히드로젠* hydr* 하이드러* 하이드러전* 하이드러전* 하이드로젠* 하이드로* 하이드로젠* 내수소* unreacted-hydrogen* hydrogen* hydrogen-ion*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((전기저항* resistivity* 레지스턴* 레지스턴스* 레지스턴스* 고주파* high-frequency* frequency* 고-주파* 초고주파* 프리킨시* 하이프리카시* 고전자파*) or (seam* 시임* 씨임* 심* 이음* 연결* 조인트* 커넥* 컨넥* 커넷* 쏘인* 결합*) or (Girth* 외주* 둘레* 외경* 원주* circumferential* circumference* circum* 바깥둘레* 외둘레* arc* 아크* 에이알씨* circle*) or (성능* 퍼포먼스* 능력* 품질* 효율* performance* performanc*)) and (용접* 웰드* 웰딩* 용접* 용착* 용착* 웰더* 엘딩* 납땜* weld* 열접* welding* 솔다* 솔더링* 웰다* 열용착* 아크용접* soldering* 본접* 본데잉* fsw* 녹여붙임* 열용접* 멜딩* 웰딩* braz* weld* welding* solder* 웰딩* 웰드*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
	성능평가 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((취화* 브로미드* bromine* 부름* bromin* bromo*) or (피로* fatigue* tiredness* 파괴* 손상* 데미지* 훼손* 손괴* 대미지* 망가* 회손* 파열* distruction* 크랙*) or (인장* 장력* 텐손* 텐션* 텐실* tension* tensile* tensil* tention* 당김* 잡아당* 텐사일* 텐서닝* 텐쇼닝* 텐사일*) or (설계* modeling* 모델* design* 모델링* 구현* 캐드* 개발*) or (변형* 비뚤어짐* 좌굴* 변화* 뒤틀* 변모* 변형량* 변위* 일그* 변질* 휨* deformation*) or (안정성* 보존성* constancy* stabili* 안정* stable* stability* 안전성* 내구성*)) and (시험* 테스트* 실험* 테스터* test* exam* 진단* 점검* 검사* 검수* 인스펙* test* inspect* experiment* examination* valuat* check*) and (실증* 증명* 입증* 배리파* 확증* 검증* 배리파이* 인증* 배리파이* 승인* 허가* verifica* auth* verific* certif* 배리파* 인정* authen* veri* 확인* validat* certificat* 푸름* authe* authent* aaa* certi* prov* confirmation* verification* certify* 유효성* 증거* 정당*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)

건설	설계기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* trancfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* tranport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((Legitimacy* Legality* Adequacy* 적정* 적절* 최적* 적합* 적법* 타당* 유효* validity* 타당성* Compatibility* compatibi* Congruence* congruenc*) or (품질* 퀄리티* qualit* quality* 성능* 고품질* 정밀* 세밀* 정교* 정확* 고정밀* detailed* accurac* exact*) or (표준* referance* standard* refenence* reference* 기준* 스탠다드* 척도*) or (서비스* service* servic* 서비스*) or (건설* 건축* 공사* 토목* 준공* 시공* construct* construction* construc* architecture* building* structure*)) and (설계* design* planning* 모델링* 디자인* modeling* 캐드* 엔지니어링* engineer* engineering* compile* compil* programmer*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
	시공기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* trancfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* tranport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((준비* 스탠바* 스탠바* standby* ready* stand-by*) or (가치평가* evalua* evaluate*) or (시뮬레이션* 시뮬레이션* 시뮬레이터* 시뮬레이션* 시뮬레이터* 씨뮬레이션* simulation* simulate* 모의시험* 시뮬레이션* 모조실험* 모의실험* sumulat*) or (원격* 리모트* remote* 리모팅* remot* 무선* 원방* 장거리* 먼거리* 원격제어*) or (형상관리* Configuration* coordination*) or (ndt* demonstration* 비파괴검사*)) and (construct* 건설* structure* architecture* 건축* 콘스트럭션* 컨스트럭션* 공사* 토목* bulild* construc* architect* architec* archinect* architectur* 건축물* 구축물* 컨스트럭* 콘스트럭* facilitie* cals* 시공* 준공* 설치* 인프라* infra*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
운영 · 관리	운영기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* trancfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* tranport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and (((혼합* 믹스* 배합* 섞어* 혼련* 뒤섞*) or (소재* 재료* 머티리얼* Material* 물질*)) or (물성* 재질* 성질* 특성* toughness* material* property* propert* characteristic*) or (위험* 위급* 리스크* danger* emergency* 응급* 위기* 재해* 재난* 돌발상황* 안전사고*) or (고강도* 강성* 고강력* 고강성* 강도*)) and (운영* 운용* 관리* 매니지* 메니지* 매니지먼트* 경영* 매니지먼트* manage* management* operate* operating*)

운영 · 관리	유지관리 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((데이터* 자료* 정보* 인포* data* informat* informat* information* 인포메이션* 데이터*) or (네트워크* 네트워크* 네트워크* network* 전송망*) or (인공지능* 에이아이* ai* 머신러닝* 딥러닝* 기계학습* machine-learning* deep-learning* deep-learn*) or (자산* 재산* asset* 자본*) or (시설물* 건축물* architecture* facility* 구조물*) or (자동차* 오토* auto* 자율*)) and (유지* 지속* maintain* 불변* 존속* maintenance*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
	위험성 평가 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((고압* 과압* 압력* 프레스* 내압* 기압* 프레스* 높은압력* overpressure* pressure* 내부압력* pressur*) or (화재* 소방* 방재* 방화* 재난* 산불* 재해* 화재* 화재* fire* firefighting* conflagration* arson* blaze* 불길*) or (누출* 누설* 새는* 리크* 새어나가지* 누유* 사고* 누수* 유출* 릿* 리킹* leak* 누기* schott* leakage*) or (위험* danger* 사고* 위험* 리스크* 위험* emergency* 응급* 긴급* 위기* 비상* risk* hazard* accident* crisis*) or (유동* 흐름* 플로우* fluidity* 프로우* flow* flux* 플룩* 플로잉* 플로오* 홀로우* 류동*) or (안전성* 내구성* 내구력* 강도* 내구도* durability* durab* 내구* 안전* 세이프* safe* 세이프* 세이프* safety* 보호*)) and (평가* 분석* 진단* 테스트* 시험* 검사* 검토* 점검* 검증* 분석* 해석* 판별* 예측* 계산* 확인* analysis* test* exam* inspect* experiment* valuat* examin* check* validate* analysis* diagnosis* diagnose*) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)
	표준화 기술	(transportation* transport* 운송* 수송* 트라이스퍼* transfer* 운반* carry* 무인운반* transfer* transport* transporta* deliver* transportation* convey* 트랜스포트* carry* 옮겨* 운반* 이송* 트랜스포트* conveying* 배송*) and (수소* 하이드로젠* hydrogen* 하이드로젠* 히드로젠* 히드로젠*) and (배관* 관로* 파이프* 이송관* 가스관* pipe* pipeline* piping* 매립관*) and ((사업가치* efficiency* 원가* 경제성* economy* econo* 효율*) or (표준화* 노멀라* normalization* 정규화* 일반화* 노말리* 정상화* normali* standardization* canonicalize* 형식화*)) and (@ AD >=20020101 <=2021.12.31.)

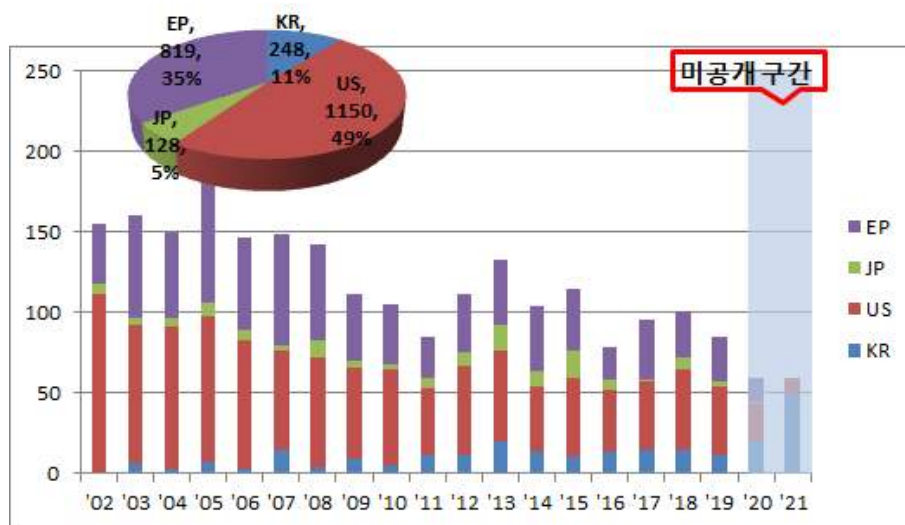
(2) 분석 결과

(가) 소재 분야

① 소재 분야 전체 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

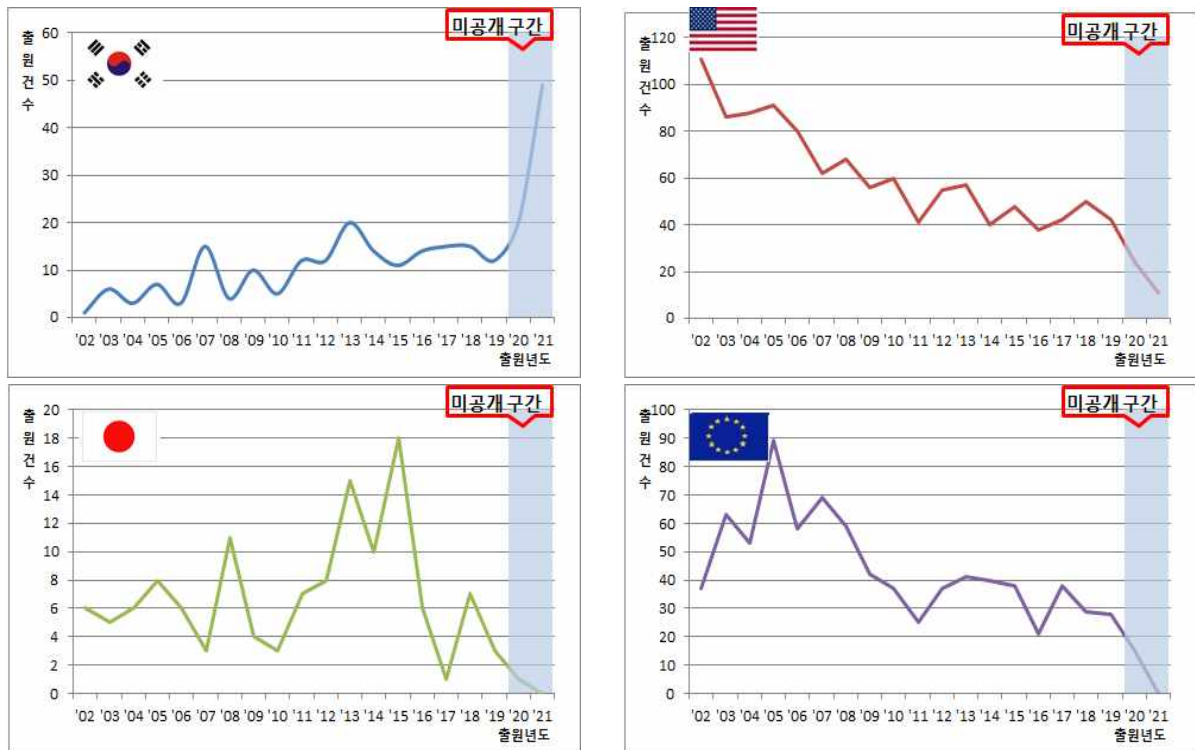
- 전체분석대상 특허는 2,345건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 1,150건, 일본 128건, 한국 248건, 유럽 819건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 특허 출원건수가 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 가장 큰 원인은 미국 및 유럽의 출원이 감소한데 있지만, 지속적으로 전 지역에서 출원이 이루어지는 것을 확인



〈그림 72〉 소재 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이

- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 약한 증가세를 보이며 출원이 증가 하였지만, 2020년 및 2021년 강한 출원 증가를 기록
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반에 비하여, 출원이 감소한 모습을 보이고 있지만, 2010년대부터 연평균 40건 이상 유지되고 있어 꾸준한 수요가 있는 것으로 분석
- 일본 특허청의 출원건수는 2015년 최고를 치를 기록할 때까지 증가하는 것으로 분석되었지만, 2015년 이후 감소한 모습을 보이지만, 꾸준한 출원이 이루어지는 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 2005년 가장 큰 출원을 보이지만, 2010년대에 들어서

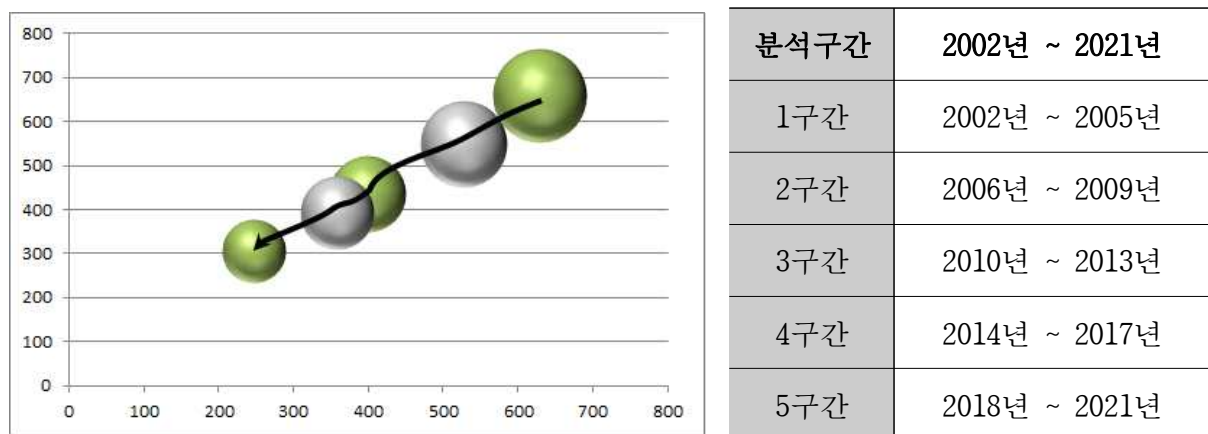
연간 출원건수가 감소한 모습을 보임, 하지만, 연간 30건 이상의 꾸준한 출원이 유지되고 있는 것으로 분석



〈그림 73〉 소재 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

- 관련 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 특허 및 출원인이 정제되는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단

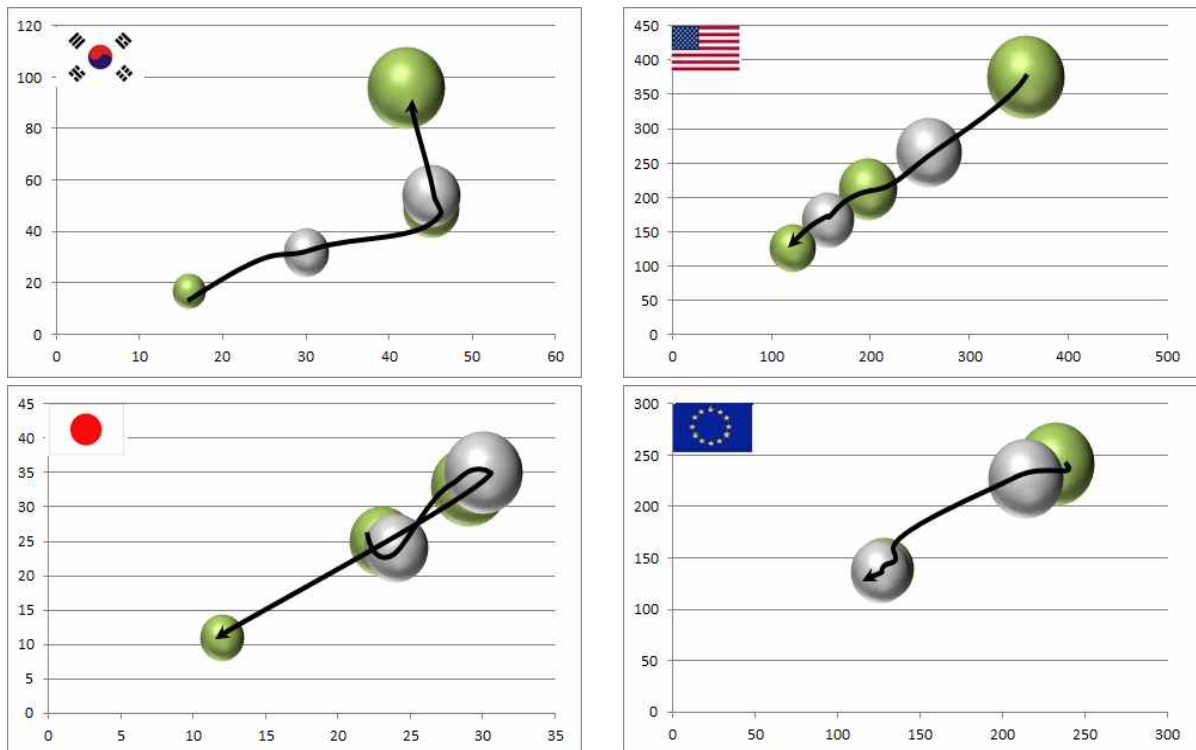


〈그림 74〉 소재 분야 전체 기술 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 증가하는 성장기의 단계로 분석되고, 주요 지역 중 유일하게 성장
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 큰 출원건수 및 출원인수를

보유하고 있었으며, 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수 및 출원인 수가 지속적으로 감소

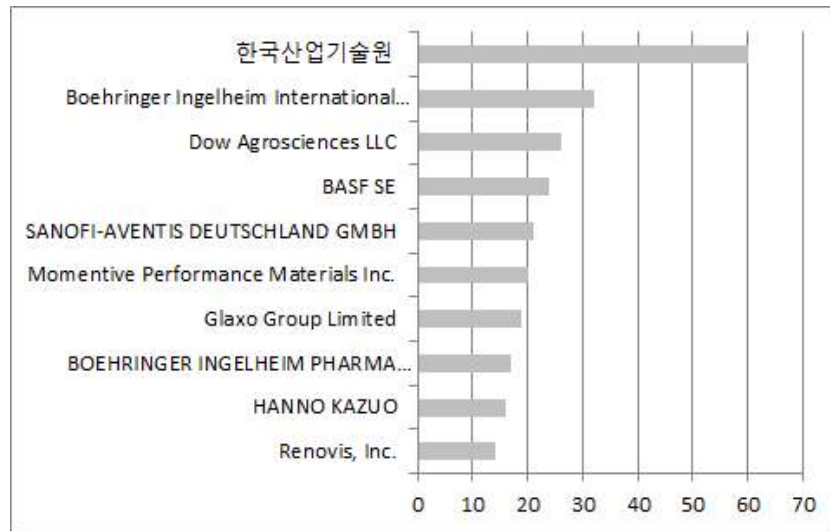
- 일본특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 증가하는 모습을 보이고 있지만 5구간(2018년~2021년)에 감소
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 감소하는 모습을 보이고 있지만, 2구간(2006년~2009년)에서 3구간(2010년~2013년)사이 크게 감소



〈그림 75〉 소재 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인 동향

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 한국산업기술원, Boehringer ingelheim international, Dow Agrosiences LLC 등이 글로벌 시장에서 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국 기업이 다수를 차지
- 최다출원인인 한국산업기술원은 국내에서 특허출원건수 60건을 출원하여 가장 많은 특허출원건수를 보유



〈그림 76〉 소재 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 상위 다출원인으로 다수의 기업이 포진해 있는 것으로 확인
- 하지만, 한국산업기술원의 출원 비중이 매우 높아 정부 주도적 시장에서 수소 도시의 수소관망 소재 개발 기술의 연구 개발이 진행되어 온 것으로 판단



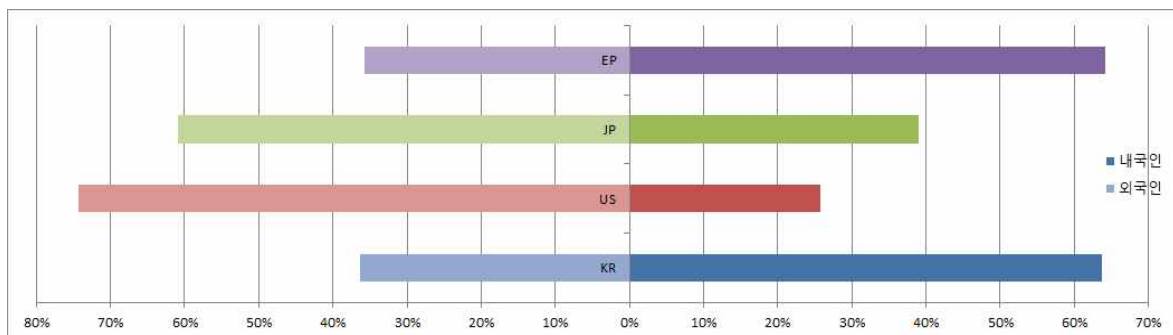
〈그림 77〉 소재 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

- 미국의 경우 Boehringer Ingelheim International사가 27건으로 최다출원을 하였고, 상위 다수의 출원인이 기업으로 나타나 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석

- 일본의 경우 HANNO KAZUO사가 16건으로 최다출원을 하였고 KOJIMA SHINICHIRO사, NONLINEAR ION DYNAMICS LLC사, SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV사 및 SUCHI KOICHI사가 4건의 출원건수를 기록
- 유럽의 경우 Glaxo Group Limited사가 18건으로 최다출원을 하였고, Dow Agrosciences LLC사가 16건의 출원건수를 보임, 상위 출원인이 모두 기업으로 확인되어, 기업위주의 시장으로 판단

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 60%이상으로 확인되고, 일본의 경우 내국출원인에 비해서 높은 외국 출원인의 출원비중을 기록
- 유럽의 경우 한국과 비슷하게 내국인의 출원비율이 높은 것으로 확인되고, 미국의 경우 내국인의 출원 비율이 가장 낮은 편
- 한국과 유럽의 경우 외국 출원인의 관심이 높지 않은 것으로 분석되며, 일본과 미국의 경우 외국인 출원비중이 높아 외국 출원인의 관심이 높은 것으로 분석



〈그림 78〉 소재 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 소재 개발 기술의 미국등록특허 건수는 1,150건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.43으로 질적수준이 평균보다 높은 편이고, TS는 1646.12로 기술력지수가 높은 편
 - PFS는 0.97로 미국시장에 집중적으로 기술개발 활동을 하는 것으로 분석
 - HHI는 11.69로 미국시장은 시장진입이 용이한 편으로 판단되고, CR4가 5.22%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단

○ 한국등록특허 건수는 248건을 기록

- PII는 0.35로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 87.2로 기술력지수 역시 낮은 편
- PFS는 0.74로 국내시장에서 중점적으로 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 624.35로 시장진입 용이성이 보통인 편
- CR4는 31.45%로 시장의 독과점 수준은 중간 수준으로 판단

○ 일본등록특허 건수는 128건을 기록

- PII는 0.71로 질적수준이 평균보다 낮은 편이고, TS는 90.66으로 기술력지수도 낮은 편
- PFS는 0.95로 패밀리 특허의 건수가 평균치에 근접하였지만 낮은 편으로 나타나며, HHI는 210.57로 시장진입 용이성이 보통으로 분석
- CR4는 21.86%로 시장의 독과점 수준이 보통인 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 819건을 기록

- PII는 0.64로 질적수준이 평균보다 다소 낮은 편이고, TS는 521.02으로 기술력 지수가 높은 편
- PFS는 1.13으로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 21.2로 시장진입 용이성이 높은 편
- CR4는 7.33%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

〈표 76〉 소재 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.35	87.20	0.74	624.35	31.45
미국	1.43	1646.12	0.97	11.69	5.22
일본	0.71	90.66	0.95	210.57	21.88
유럽	0.64	521.02	1.13	21.20	7.33

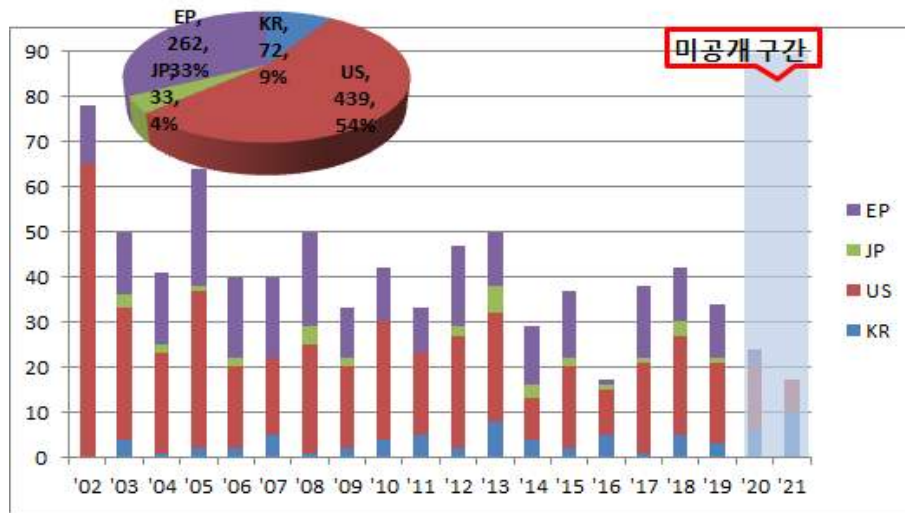
② 소재 분야 금속소재 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 806건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 439건, 한국 72건, 일본 33건, 유럽 262건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록

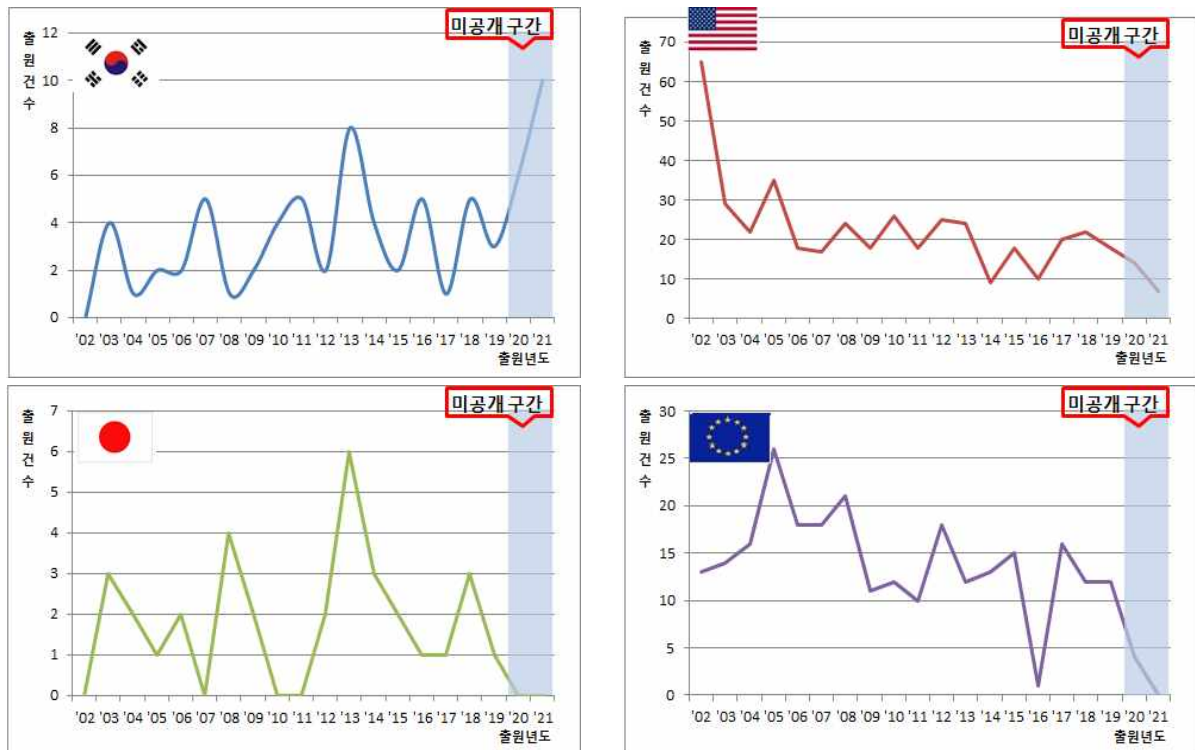
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 한국은 출원이 증가하는 추세를 보여 주며, 미국과 유럽에서는 2010년대에 출원건수의 감소가 나타나는 것으로 확인

되며, 일본의 경우 큰 출원이 나타나지 않지만 지속적으로 출원이 일어나는 것으로 확인



〈그림 79〉 소재 분야 금속소재 기술 연도별 특허 동향

- 한국 특허청의 출원건수는 꾸준히 나타났지만, 2020년 및 2021년에 크게 상승
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반에 감소한 다음, 꾸준한 출원량을 유지
- 일본 특허청의 출원건수는 2013년 가장 큰 출원을 보이지만, 전반적으로 출원이 크지 않은 것으로 확인

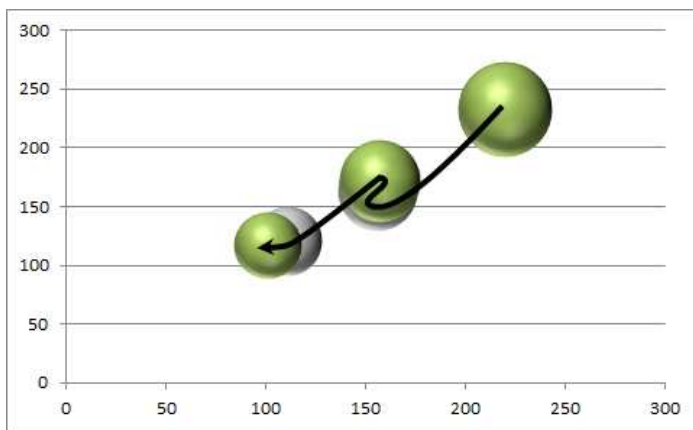


〈그림 80〉 소재 분야 금속소재 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

- 유럽 특허청의 출원건수는 조금 감소하는 추세를 보이지만, 꾸준한 출원건수를 기록

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

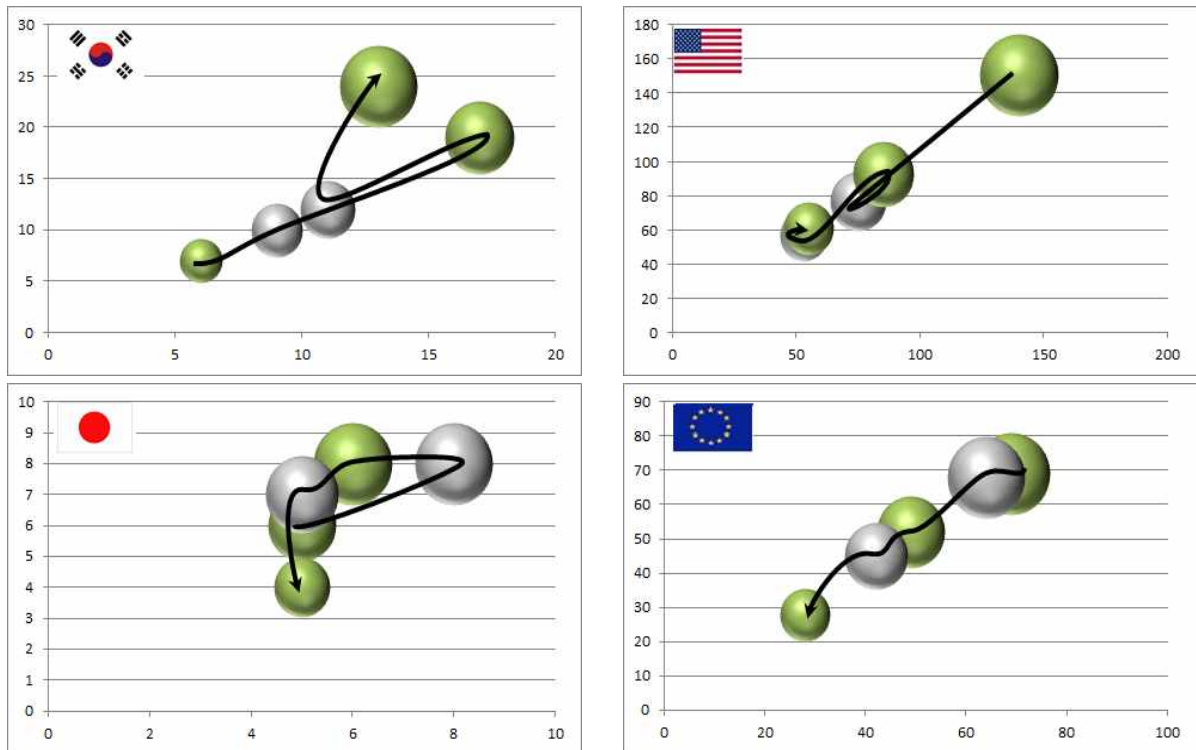
- 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단
- 특히, 1구간(2002년~2005년)부터 2구간(2006년~2009년) 사이에서 크게 감소하는 모습을 보이고 3구간(2010년~2013년)부터 4구간(2014년~2017년)사이에 출원건수가 크게 감소하는 것을 확인



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 81〉 소재 분야 금속소재 기술 전체 기술성장 단계

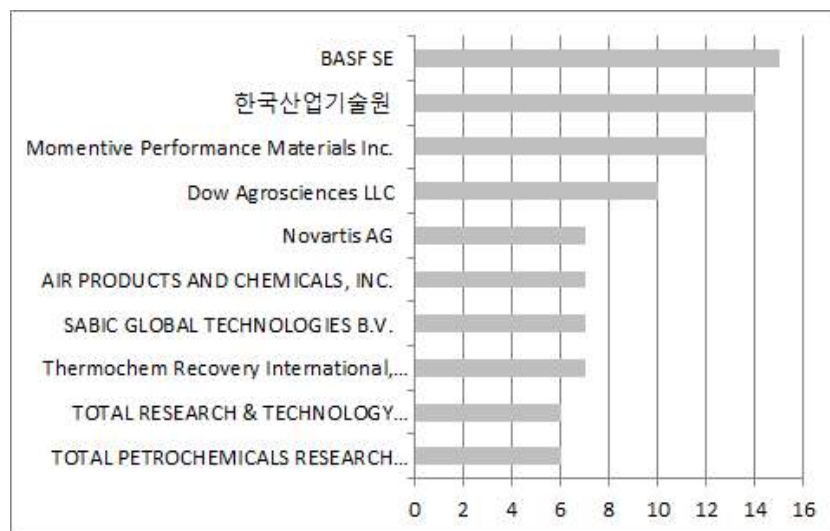
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 3(2010년~2013년)구간까지 출원건수가 계속 증가하는 발전기의 단계로, 특히 2구간(2006년~2009년)과 3구간(2010년~2013년)에서 출원건수 및 출원인 수가 크게 증가했으며 급격한 기술개발이 이루어지고 있는 것으로 분석
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 감소하는 추세로 쇠퇴기로 판단
- 일본특허의 기술위치는 구간부터 2구간(2006년~2009년)에서 4구간(2014년~2017년)까지 출원건수는 감소되지 않으며, 출원인이 감소하는 성숙기 단계에 해당하는 것으로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 감소하는 쇠퇴기에 있는 것으로 판단



〈그림 82〉 소재 분야 금속소재 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 BASF SE, 한국산업기술원, Momentive Performance materials Inc 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 유럽의 기업이 대다수를 차지
- 최다 출원인은 BASF SE는 유럽과 미국에서 집중적으로 출원하여 총 15건의 특허출원건수를 기록



〈그림 83〉 소재 분야 금속소재 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 최상위 다출원인으로 한국산업기술원과 한국에너지기술연구원이 포진해 있는 것으로 나타나 한국에서는 정부 주도로 수소도시의 수소관망 금속소재 개발 기술의 연구 개발이 진행되어 온 것으로 판단



〈그림 84〉 소재 분야 금속소재 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우, 내국 출원비율이 매우 높은 편
- 유럽역시 내국인의 출원비율이 외국인의 출원비율보다 높은 것으로 나타나며, 일본의 경우 내국출원인과 외국출원인의 출원비중이 비슷한 것으로 확인
- 미국은 외국출원인의 비중이 매우 높아 외국인 주도적인 시장으로 나타나며, 타 지역에 비해 외국인의 관심이 높은 편
- 유럽의 경우, 국내 출원인의 비중이 더 높은 것으로 나타나지만 외국인의 출원 비중 역시 높은 편
- 유럽과 미국의 수소도시의 수소관망 금속소재 개발 기술에 대한 외국 출원인의 관심이 높은 것으로 분석

〈표 77〉 소재 분야 금속소재 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	47	126	17	148
외국	25	313	16	114

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 금속소재 개발 기술의 미국등록특허 건수는 439건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.96으로 질적수준이 높은 편이고, TS는 무려 867.46으로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 0.84로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 11.73으로 시장진입 용이성이 매우 높은 편
 - CR4는 5.23%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 72건을 기록
 - PII는 0.23으로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 16.71로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.72로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 497.69로 시장진입 용이성은 보통
 - CR4는 33.33%로 시장의 독과점 수준이 중간정도로 판단
- 일본등록특허 건수는 33건을 기록
 - PII는 0.42로 질적수준이 평균보다 낮은 편이고, TS는 13.76으로 기술력지수도 낮은 편
 - PFS는 0.87로 패밀리 특허의 건수가 평균적인 편으로 나타나며, HHI는 367.31로 시장진입 용이성은 보통인 편
 - CR4는 30.30%로 시장이 보통적인 독과점 수준으로 판단
- 유럽등록특허 건수는 262건을 기록
 - PII는 0.7로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 183.18로 보통의 기술력으로 판단
 - PFS는 1.04로 평균적인 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 42.54로 시장진입 용이성이 높은 편
 - CR4는 10.69%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

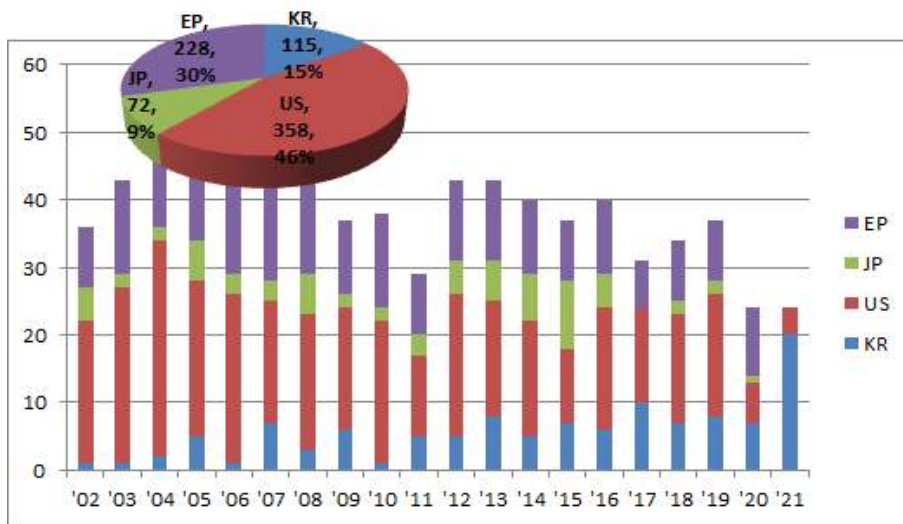
〈표 78〉 소재 분야 금속소재 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.23	16.71	0.72	497.69	33.33
미국	1.98	867.46	0.84	11.73	5.24
일본	0.42	13.76	0.87	367.31	30.30
유럽	0.70	183.18	1.04	42.54	10.69

③ 소재 분야 비금속소재 기술에 대한 특허동향 분석

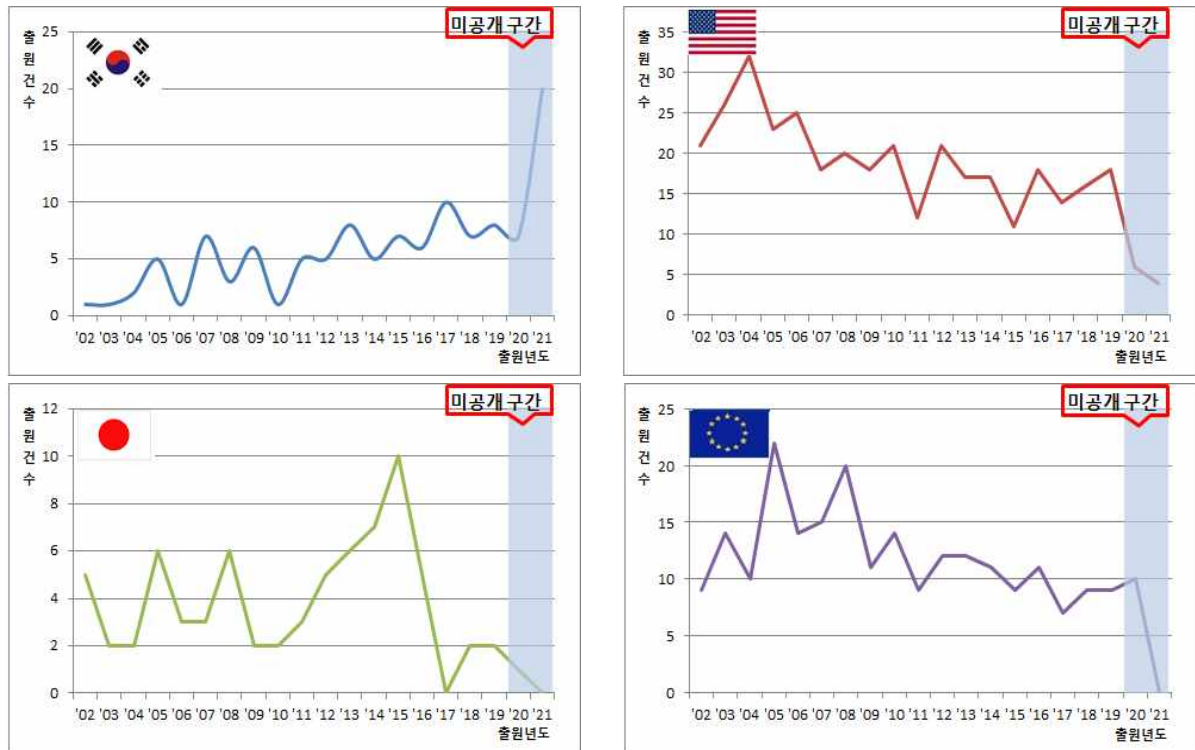
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 773건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 358건, 한국 115건, 일본 72건, 유럽 228건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 모든 국가에서 꾸준하게 일정 이상의 출원이 유지되는 추세를 보이는 것으로 확인



〈그림 85〉 소재 분야 비금속소재 기술 연도별 특허 동향

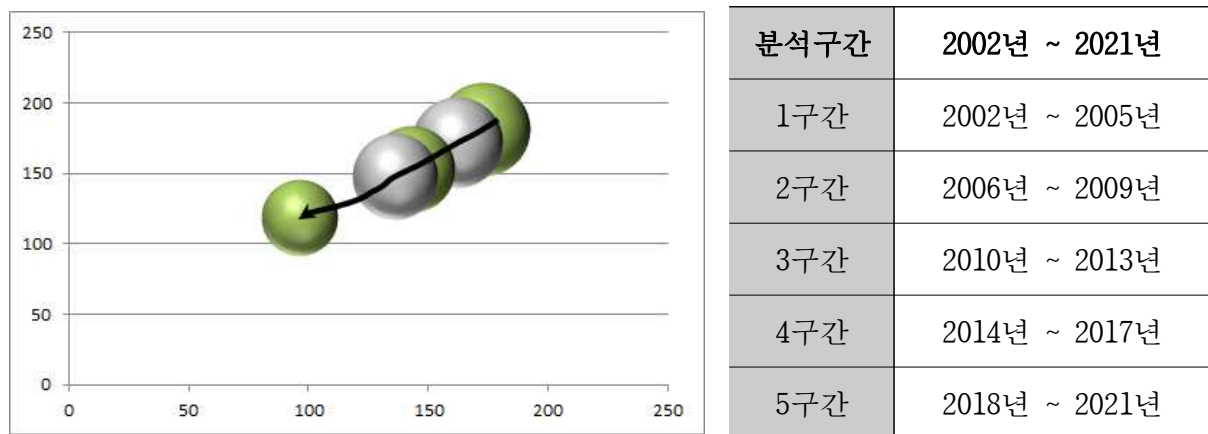
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준하게 상승하는 모습을 보이고 있으며, 2020년 및 2021년 큰 폭으로 출원건수가 상승
- 미국 특허청의 출원건수는 2004년 가장 큰 출원 건수를 보이고, 조금씩 감소하는 추세를 보이지만 꾸준하게 출원이 유지
- 일본 특허청의 출원건수는 2015년에 가장 큰 출원을 보이지만, 출원건수가 상대적으로 낮은 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 꾸준히 출원되었으며, 2015년 가장 큰 출원을 보인 후, 출원이 감소하는 상태지만 꾸준하게 출원이 유지



〈그림 86〉 소재 분야 비금속소재 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

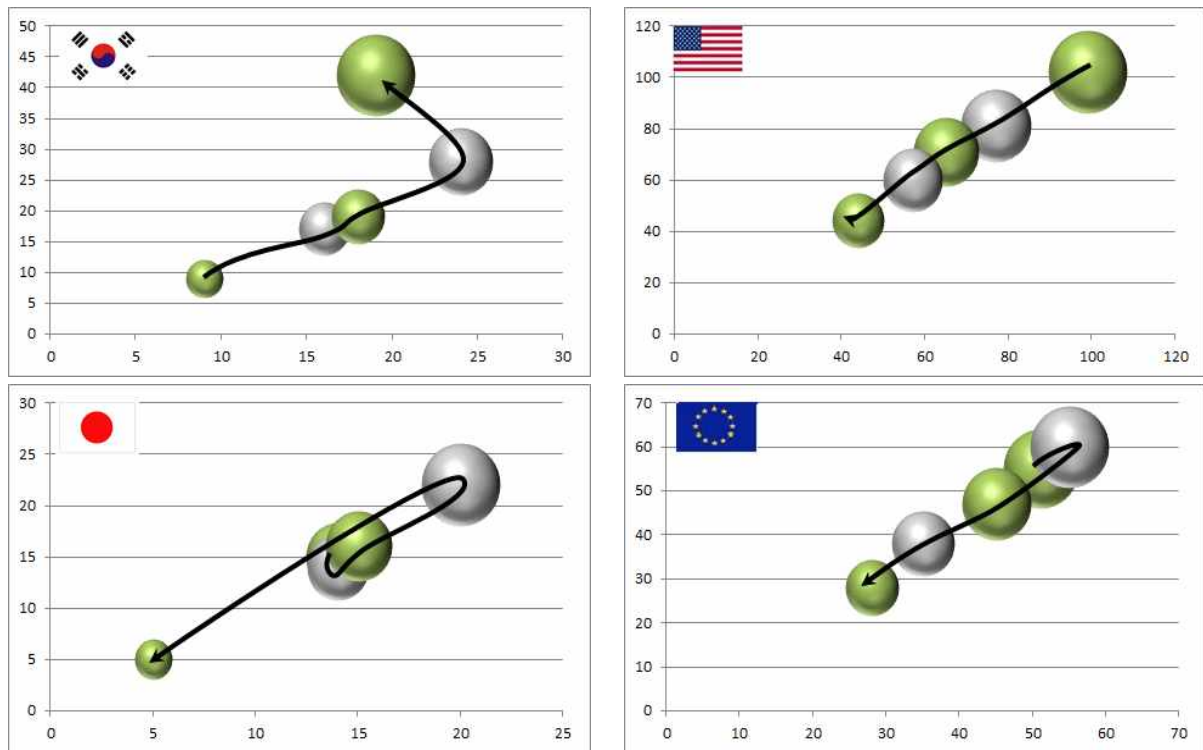
- 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 지속적으로 출원인수와 출원건수가 감소하고 있어, 성숙기와 쇠퇴기 사이에 있는 것으로 판단



〈그림 87〉 소재 분야 비금속소재 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인수 및 출원건수가 계속 증가하는 발전기의 단계
- 특히 1구간(2002년~2005년)과 2구간(2006년~2009년)에서 출원건수 및 출원인 수가 크게 증가하고, 3구간(2010년~2013년)에서 4구간(2014년~2017년)에 큰 성장이 있어 급격한 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 분석

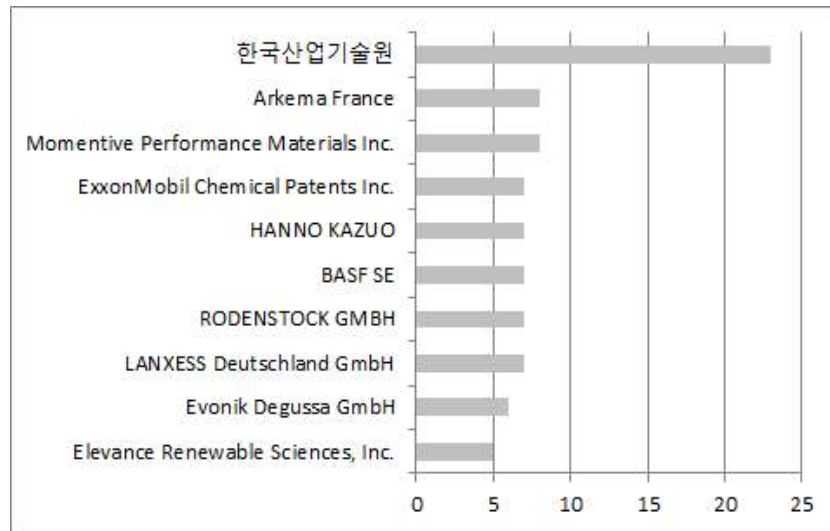
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원 건수가 계속 증가하였지만 5구간(2018년~2021년)에서 감소하는 모습을 보여 성장기 및 성숙기의 사이에 있는 것으로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원 건수가 계속 감소하고 있어, 성숙기와 쇠퇴기의 사이에 있는 것으로 판단



〈그림 88〉 소재 분야 비금속소재 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 한국산업기술원, Arkema France, Momentive Performance Materials Inc. 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국과 유럽의 기업이 다수를 차지



〈그림 89〉 소재 분야 비금속소재 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 상위 다출원으로 기업의 비중이 높은 편
- 하지만, 최다출원인인 한국산업기술원이 보유한 특허의 비중이 높아 한국에서는 일반 기업보다는 공공기관과 대학교 위주로 수소도시의 수소관망 비금속 소재 개발 기술의 연구 개발이 진행되어 온 것으로 판단



〈그림 90〉 소재 분야 비금속소재 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 것으로 나타나며, 유럽 역시 국내출원인의 비중이 높은 것으로 확인
- 일본과 미국의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 나타나고, 외국 출원인의 관심이 가장 많은 곳은 미국시장으로 판단
- 한국과 유럽시장 역시 외국 출원인의 비중이 국내출원인에 비해 낮지만, 비슷한 수준의 외국 출원인 출원이 이루어지고 있어, 외국 출원인의 관심이 높은 시장으로 판단

〈표 79〉 소재 분야 비금속소재 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	65	109	22	128
외국	50	249	50	100

□ 기술수준 지표 분석

- 미국등록특허 건수는 358건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.29로 질적수준이 평균보다 높은 편이고, TS는 457.62로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 0.92로 미국시장에서 집중적으로 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 11.16으로 시장진입 용이성이 매우 높은 편
 - CR4는 5.27%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 115건을 기록
 - PII는 0.5로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 57.23으로 기술력지수가 평균수준
 - PFS는 0.79로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 462로 시장진입 용이성이 평균수준으로 판단
 - CR4는 30.43%로 시장의 독과점 수준이 평균적인 것으로 판단
- 일본등록특허 건수는 72건을 기록
 - PII는 0.63으로 질적수준이 평균보다 낮은 편이고, TS는 45.41로 기술력지수도 높지않은 수준으로 판단

- PFS는 1.04로 패밀리 특허의 건수가 평균보다 많은 것으로 나타나며, HHI는 173.61로 시장진입 용이성이 높은 편

- CR4는 19.44%로 시장의 독과점 수준이 평균 수준에 있는 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 228건을 기록

- PII는 0.84로 질적수준이 보통이고, TS는 190.95로 기술력지수 역시 보통인 편으로 판단

- PFS는 1.07로 평균보다 높은 타지역 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 29.43으로 시장진입이 매우 용이한 편

- CR4는 7.02%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 상황으로 판단

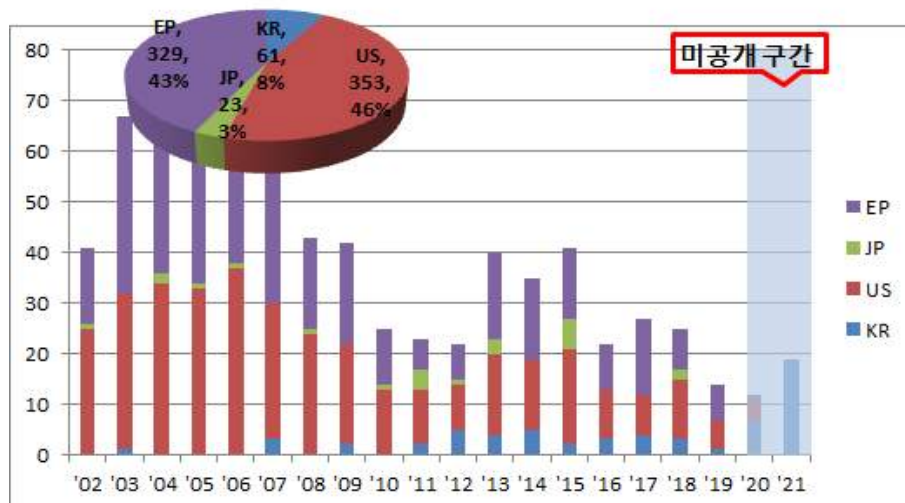
〈표 80〉 소재 분야 비금속소재 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.50	57.23	0.79	462.00	30.43
미국	1.28	457.62	0.93	11.16	5.03
일본	0.63	45.42	1.05	173.61	19.44
유럽	0.84	190.95	1.07	29.43	7.02

④ 소재 분야 소재평가 기술에 대한 특허동향 분석

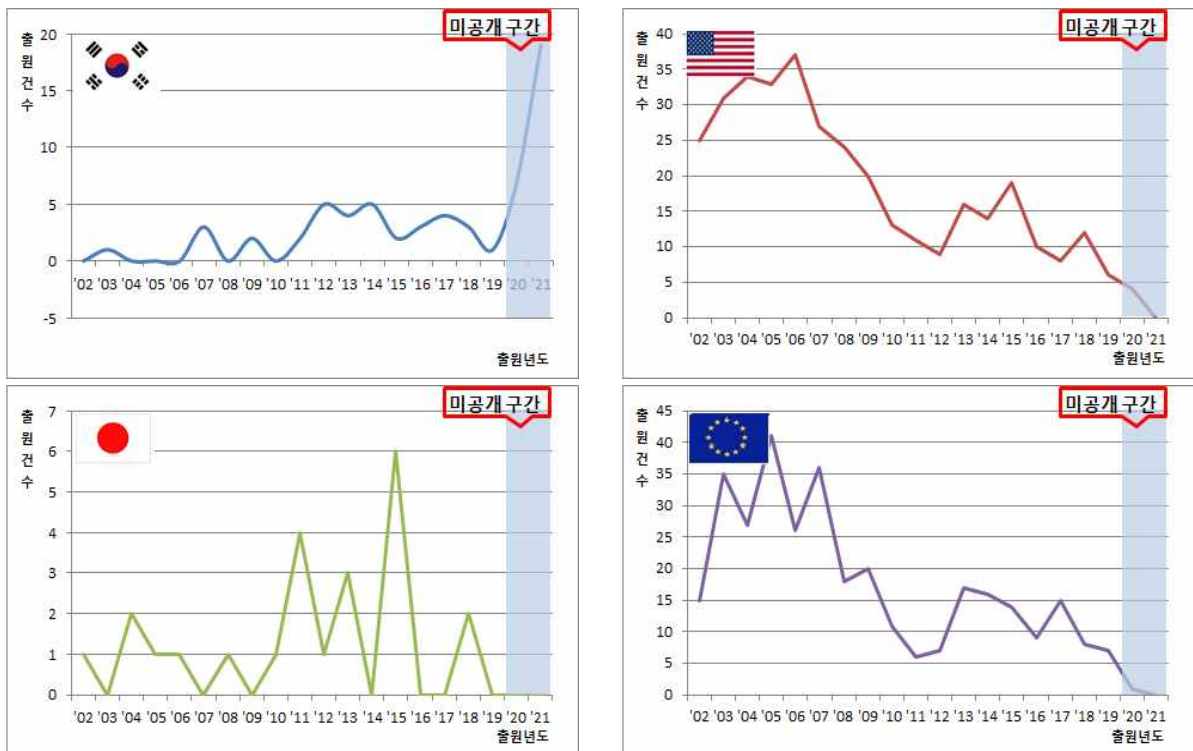
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

○ 전체분석대상 특허는 766건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 353건, 한국 61건, 일본 23건, 유럽 329건이 검색되었으며 미국, 한국, 일본, 유럽 순서의 특허출원량을 기록



〈그림 91〉 소재 분야 소재평가 기술 연도별 특허 동향

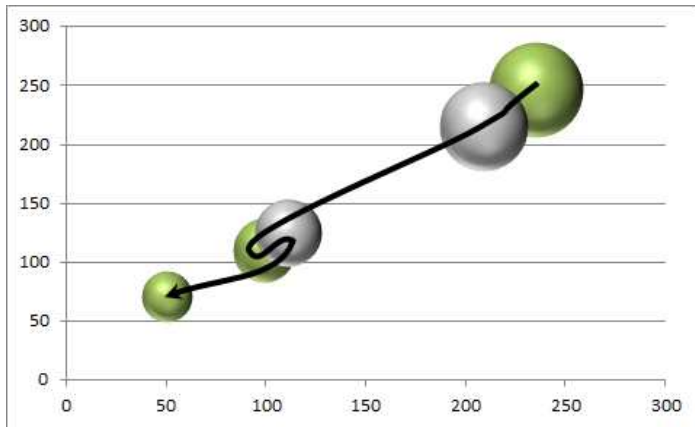
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 모든 국가에서 점차 감소하는 추세를 보이고 있으며, 미국과 유럽의 출원이 줄어든 것이 가장 큰 요인으로 판단
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대에 비해 2010년대에 상승한 모습을 보이고, 2020년 및 2021년에 매우 큰 상승을 확인
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 꾸준히 하락하는 모습을 보이지만 출원은 꾸준히 이루어지는 것으로 판단
- 일본 특허청의 출원건수는 등락폭이 크지만 1~2년 주기로 출원이 반복적으로 증가
- 유럽 특허청의 출원건수는 2000년대까지 큰 출원건수를 보이고 있지만, 2010년대부터 출원이 감소



〈그림 92〉 소재 분야 소재평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

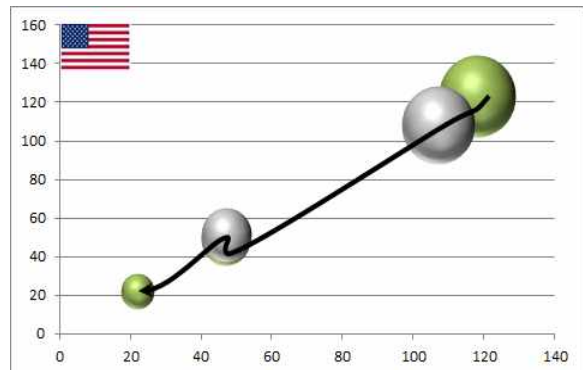
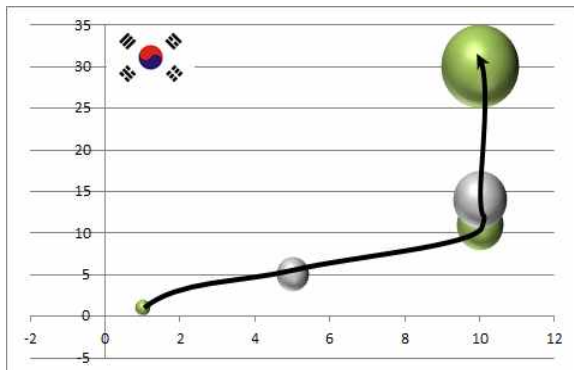
- 관련 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 모습으로 분석
- 2구간(2006년~2009년)부터 3구간(2010년~2013년) 사이의 기간에서 출원건수와 출원인수가 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타나, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단

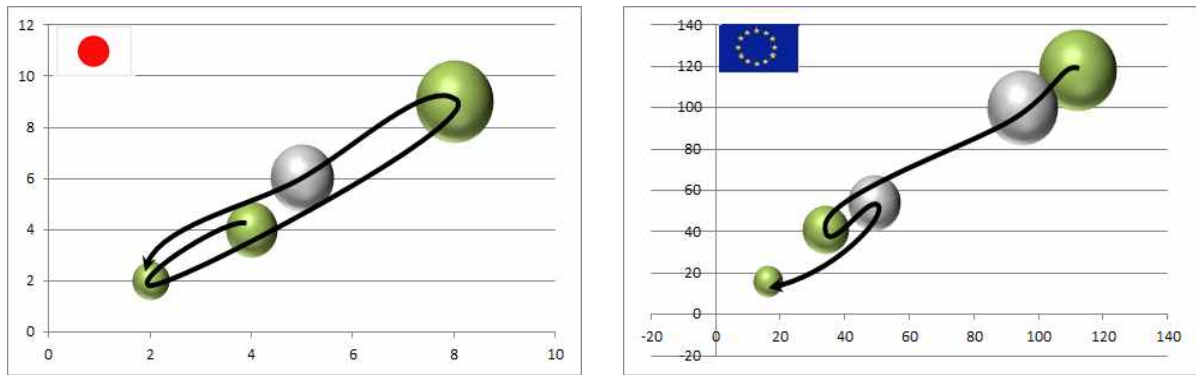


분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 93〉 소재 분야 소재평가 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 출원건수가 증가하는 발전기의 단계로, 특히 2구간(2006년~2009년)과 3구간(2010년~2013년)에서 출원인수가 크게 증가한 것으로 분석되어, 주요 출원국 중 한국만 발전기에 해당
- 미국특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)과 3구간(2010년~2013년)에서 출원건수 및 출원인 수가 급감하는 모습을 보여, 2000년대 이후 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 3구간(2010년~2013년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 감소하는 추세를 보이지만, 1구간(2002년~2005년)부터 2구간(2006년~2009년)까지 증가하는 모습을 보여, 현재의 기술위치는 성숙기와 쇠퇴기의 사이에 있는 것으로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 3구간(2010년~2013년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 조금 상승세를 보이지만 전체 구간에서 비교적 지속적으로 감소하는 추세를 보여 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단

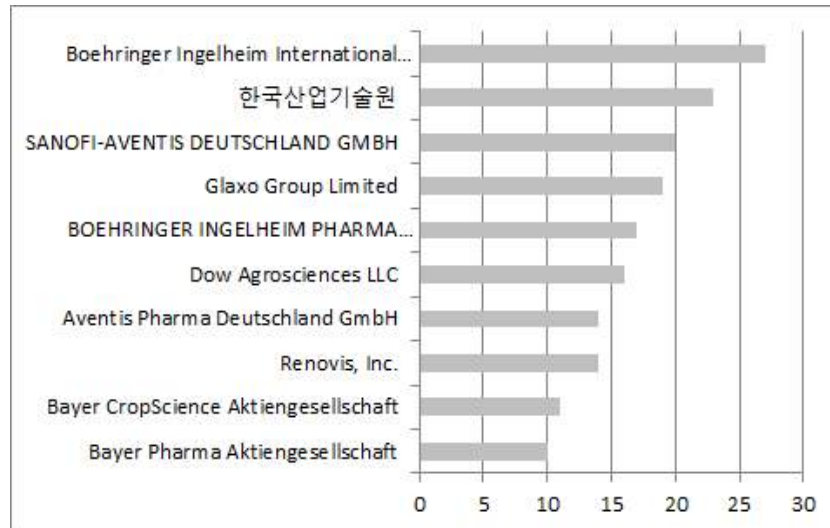




〈그림 94〉 소재 분야 소재평가 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 Boehringer Ingelheim International, 한국산업기술원, SANOFI-AVENTIS DEUTSCHLAND GMBH 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국의 기업이 다수를 차지
- Boehringer Ingelheim International 사는 미국 내에서 특허출원건수 23건을 비롯하여, 유럽에서도 특허를 출원하며 총 27건의 유효특허수를 기록



〈그림 95〉 소재 분야 소재평가 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 상위 다출원원으로 다수의 기업이 포진해 있는 것으로 나타나 한국은 공공기관과 일반기업의 비중이 혼재한 시장으로 판단



〈그림 96〉 소재 분야 소재평가 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 출원비중이 매우 낮은 편
- 일본의 경우 외국 출원인과 국내출원인의 비중이 비슷한 시장으로 확인
- 또한, 미국과 유럽의 경우 외국 출원인의 관심이 매우 높은 시장으로 분석되어, 수소배관망 소재 평가 기술에 대하여 성숙한 시장으로 판단

〈표 81〉 소재 분야 소재평가 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	46	61	11	79
외국	15	292	12	250

□ 기술수준 지표 분석

- 수소배관망 재료평가 개발 및 실증에 대한 미국등록특허 건수는 353건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
- PII는 0.91로 질적수준이 평균적인 수준이고, TS는 무려 321.04로 평균적인 기술력지수를 확인

- PFS는 1.18로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 76.72로 시장진입 용이성이 높은 편

- CR4는 14.73%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

○ 한국등록특허 건수는 61건을 기록

- PII는 0.22로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 13.25로 기술력지수가 낮은 편

- PFS는 0.68로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 1572.16으로 시장진입 용이성이 낮은 편

- CR4는 55.74%로 시장의 독과점 수준이 높은 편으로 판단

○ 일본등록특허 건수는 23건을 기록

- PII는 0.137로 질적수준이 높은 편이고, TS는 31.49로 기술력지수는 평균적인 수준

- PFS는 0.76으로 패밀리 특허의 건수가 낮은 편으로 나타나며, HHI는 869.57로 시장진입 용이성은 보통 수준

- CR4는 47.82%로 시장의 독과점 수준이 높은 편으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 329건을 기록

- PII는 0.45로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 146.88로 기술력지수는 높은 편

- PFS는 1.24로 다른 지역에서도 기술개발 활동이 활발한 것으로 나타나며, HHI는 83.15로 시장진입 용이성이 높은 편

- CR4는 14.89%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

〈표 82〉 소재 분야 소재평가 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

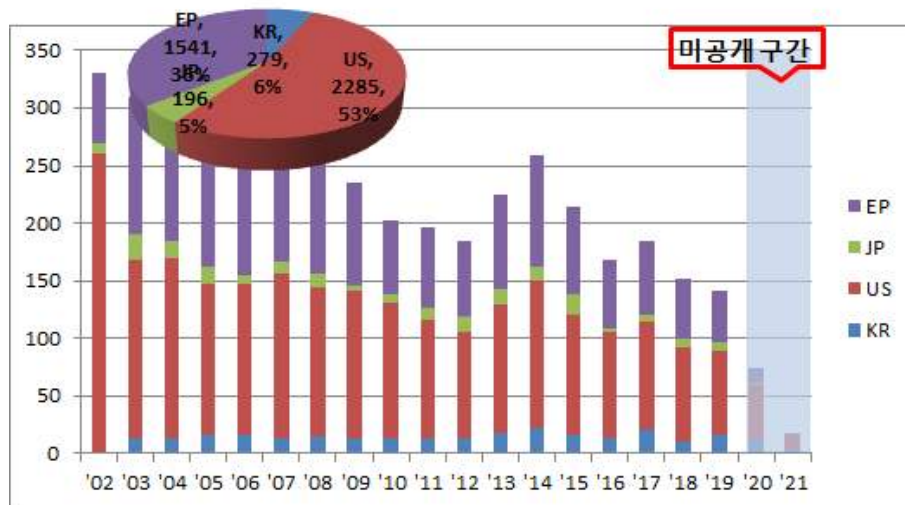
구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.22	13.25	0.68	1572.16	55.74
미국	0.91	321.04	1.18	76.72	14.73
일본	1.37	31.49	0.76	869.57	47.83
유럽	0.45	146.88	1.24	83.15	14.89

(나) 조관 분야

① 조관 분야 전체 기술에 대한 특허동향 분석

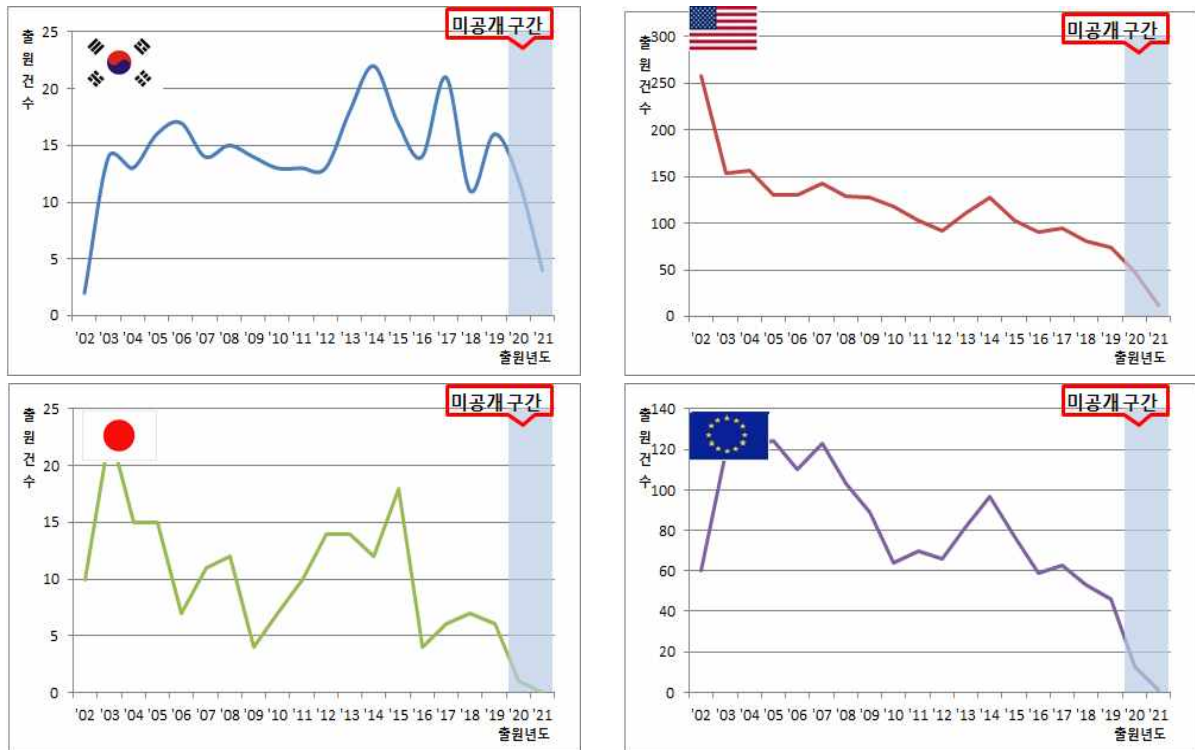
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 4,301건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 2,285건, 일본 196건, 한국 279건, 유럽 1,541건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 특허 출원건수가 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 가장 큰 원인은 미국 및 유럽의 출원이 감소한 데 있음, 하지만, 전 주요 지역에서 꾸준하게 출원이 이루어지는 것을 확인



〈그림 97〉 조관 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이

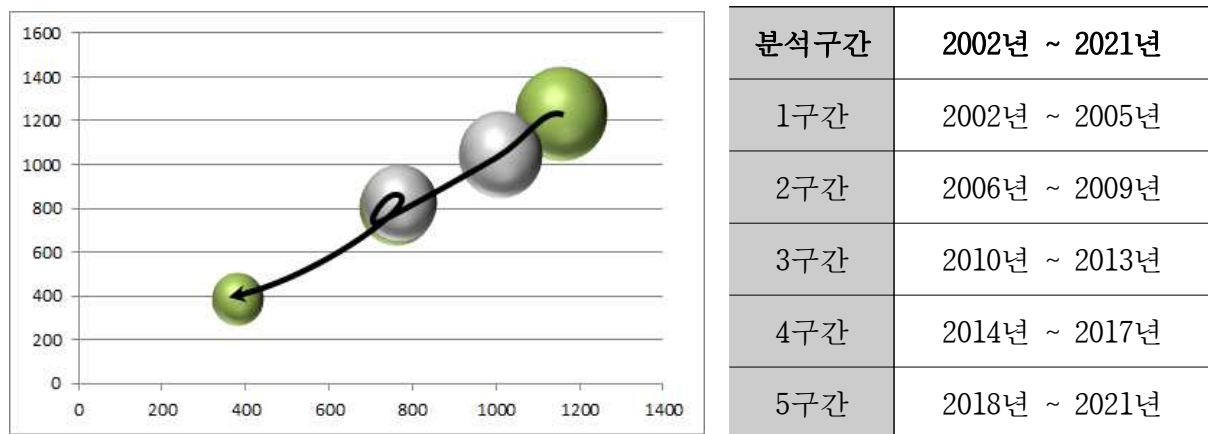
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반 강한 증가세를 보이고, 출원건수가 2010년대 후반까지 꾸준하게 기록
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반에 비하여 감소세가 뚜렷하지만, 2010년대 중반까지 연간 100건 이상의 출원이 꾸준하게 이어진 것으로 분석
- 일본 특허청의 출원건수는 2003년 최고를 치를 기록하고 감소하는 것으로 분석되었지만, 2015년에 다시 출원이 증가하는 모습을 보여, 꾸준한 출원이 이루어지는 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 꾸준하게 감소하지만 2010년대 중후반까지 60건 이상의 출원이 꾸준하게 이루어지는 것으로 나타나, 기술에 대한 수요가 계속되는 것으로 분석



〈그림 98〉 조관 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

- 관련 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 특허 및 출원인이 정채 되는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단

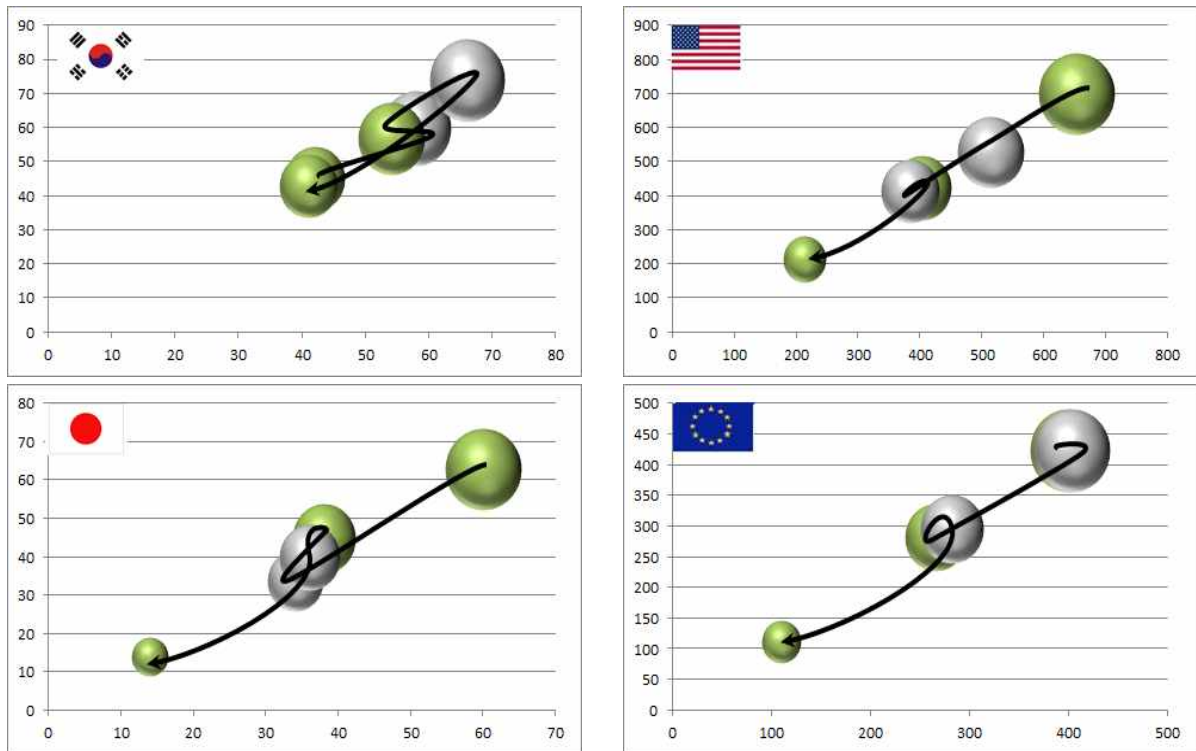


〈그림 99〉 조관 분야 전체 기술 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원건수가 증가하는 성장기의 단계로 분석되고, 5구간(2018년~2021년)은 아직 미공개 출원이 있지만, 성숙기에 진입하는 것으로 판단
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 큰 출원건수 및 출원인수를 보유하고 있었으며, 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수 및 출원인 수가 지속

적으로 감소하는 추세

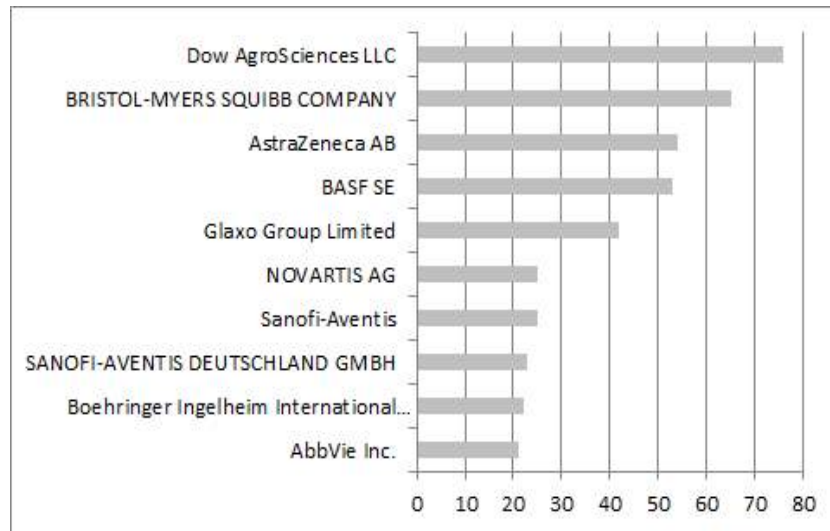
- 일본특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 정체하는 모습을 보이고 있지만 5구간(2018년~2021년)에 감소
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 감소하는 모습을 보이고 있지만, 5구간(2018년~2021년)은 미공개 출원이 있어 쇠퇴기 초입 내지 성숙기로 판단



〈그림 100〉 조관 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

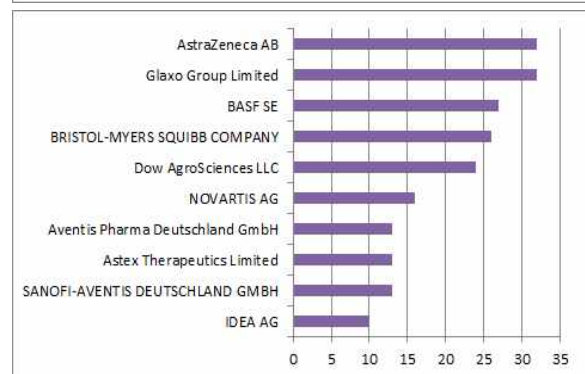
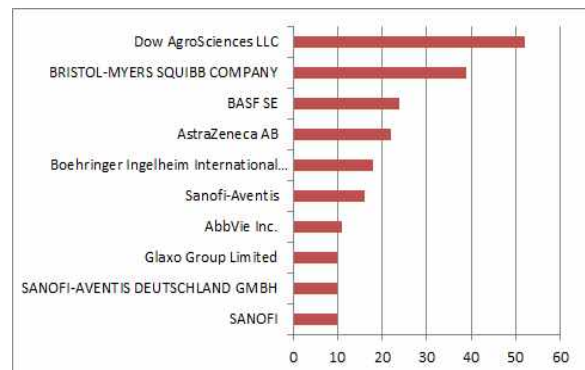
□ 국가별 출원인 동향

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 Dow AgroSciences LLC, BRISTOL-MYERS SQUIBB COMPANY, AstraZeneca AB 등이 글로벌 시장에서 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국 기업이 대다수를 차지
- 한국의 경우 다출원 1위는 이우성이 차지하였고, 상위 다출원으로 다수의 기업이 포진해 있는 것으로 나며, 한국전력공사 및 한국원자력연구원도 다출원 상위 그룹에 포함되어 있어, 정부와 민간이 모두 관심있는 시장으로 판단



〈그림 101〉 조관 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석

- 미국의 경우 Dow AgroSciences LLC사가 52건으로 최다출원을 하였고, 상위 다출원인에 기업의 비중이 매우높은 것으로 나타나 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석



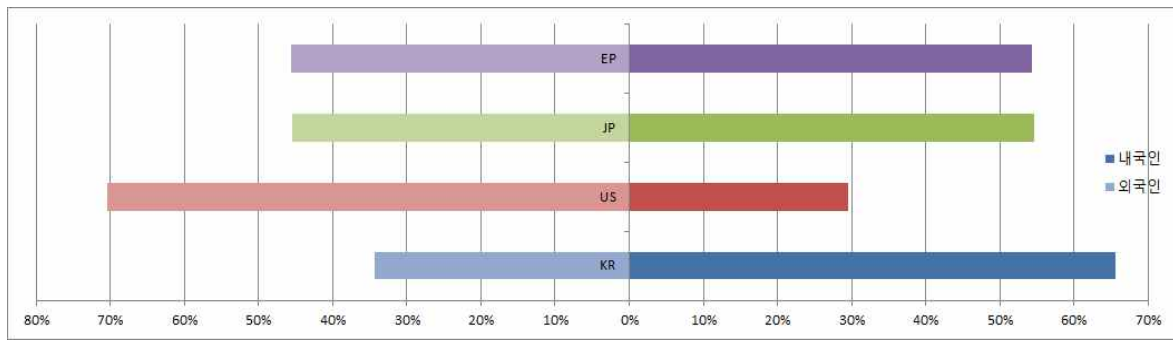
〈그림 102〉 조관 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

- 일본의 경우 HANNO KAZUO사가 12건으로 최다출원을 하였고, 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석
- 유럽의 경우 AstraZeneca AB사와 Glaxo Group Limited사가 32건으로 최다출원을

하였고, BASF SE사가 27건의 출원건수를 보임, 상위 출원인이 모두 기업으로 확인되어, 기업위주의 시장으로 판단

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 60%이상으로 나타나, 매우 높은 것으로 판단
- 일본과 유럽의 경우 내국출원인과 외국 출원인의 출원비율이 비슷한 것으로 나타나, 관심도가 높은 것으로 판단
- 미국의 경우 외국인의 출원비율이 70%로 내국인의 출원에 비해 월등히 높아, 가장 관심도가 높은 시장으로 판단



〈그림 103〉 조관 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 조관기술 개발의 미국등록특허 건수는 2,285건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.81로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 무려 4135.32로 기술력지수가 매우 높은 편
 - PFS는 0.98로 비교적 다양한 시장을 확보한 것으로 판단되며, HHI는 12.04로 시장진입 용이한 편으로 나타남
 - CR4는 6%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 279건을 기록
 - PII는 0.13로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 38.6으로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.43로 국내시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 67.32로 시장진입 용이성이 높은 편으로 분석
 - CR4는 13.98%로 시장의 독과점 수준이 낮은편으로 판단

○ 일본등록특허 건수는 196건을 기록

- PII는 0.16로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 33.29으로 기술력지수 역시 낮은 편
- PFS는 0.54로 패밀리 특허의 건수가 낮은 편으로 나타나며, HHI는 100.99로 시장진입 용이성이 보통인 편
- CR4는 16.84%로 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 1,541건을 기록

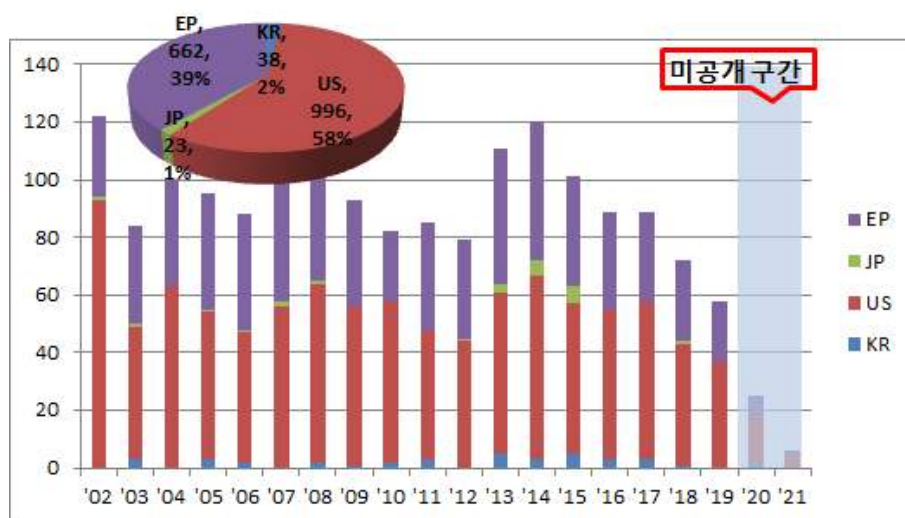
- 0.06으로 질적수준이 매우 낮은 편이고, TS는 93.79로 기술력지수도 낮은 편
- PFS는 1.19로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 20.6으로 시장진입 용이한 편
- CR4는 7.59%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

〈표 83〉 조관 전체 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.14	38.60	0.44	67.32	13.98
미국	1.81	4135.32	0.98	12.04	6.00
일본	0.17	33.29	0.54	100.99	16.84
유럽	0.06	93.79	1.19	20.60	7.59

② 조관 분야 성형 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

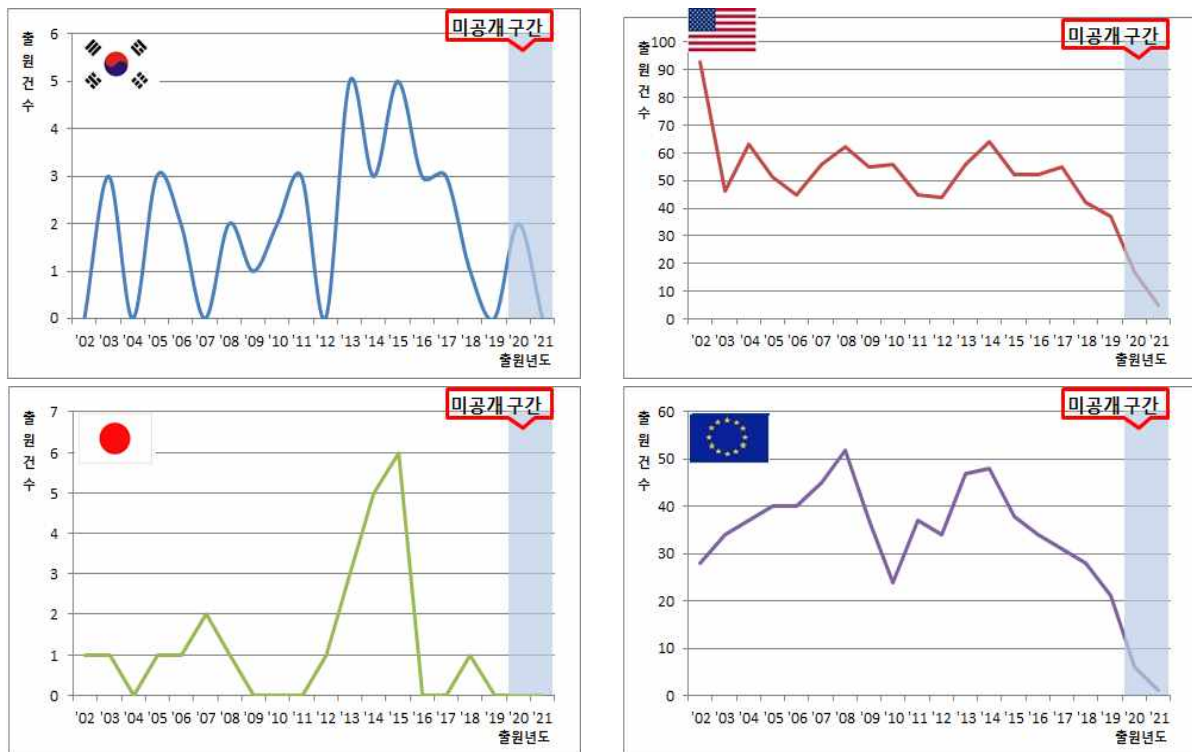


〈그림 104〉 조관 분야 성형 기술 연도별 특허 동향

○ 전체분석대상 특허는 1,719건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 996건, 한국 38건,

일본 23건, 유럽 662건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록

- 각 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 미국과 유럽의 비중이 절대적으로 크며, 출원이 꾸준히 지속되는 것으로 확인
- 한국 특허청의 출원건수는 꾸준히 나타나며 2013년 및 2015년에 가장 큰 출원건수를 기록
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 연간 약 50건이 꾸준히 출원
- 일본 특허청의 출원건수는 2015년 가장 큰 출원을 보이지만, 전반적으로 출원이 크지 않은 것으로 확인

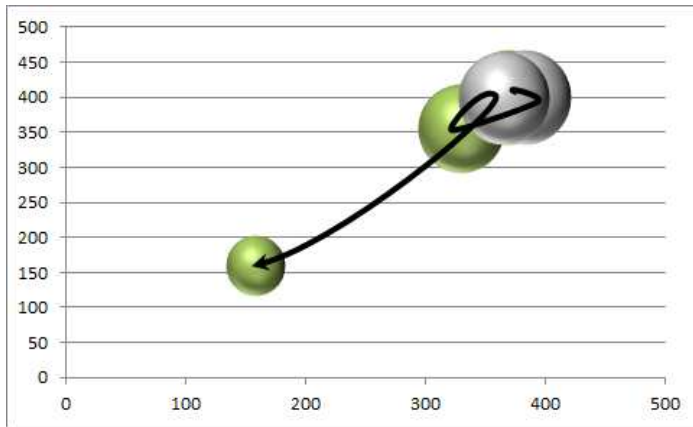


〈그림 105〉 조관 분야 성형 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

- 유럽 특허청의 출원건수는 30건에서 50건 정도가 매년 꾸준히 출원

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

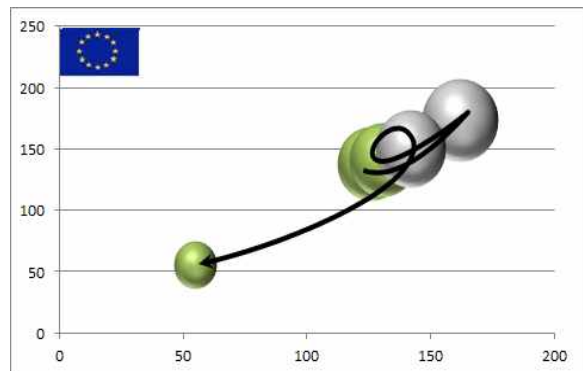
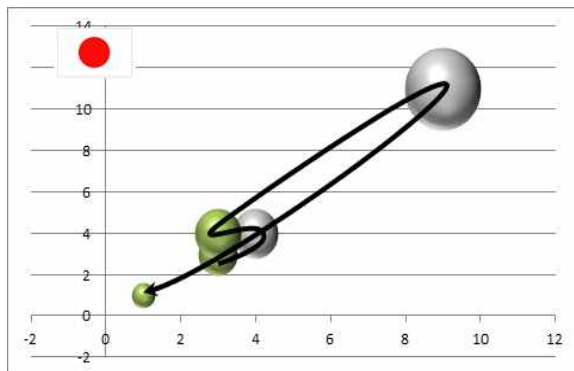
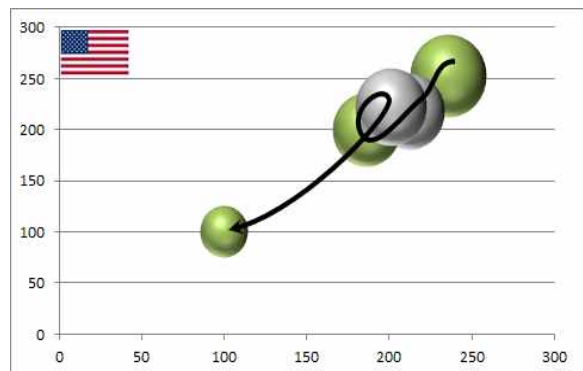
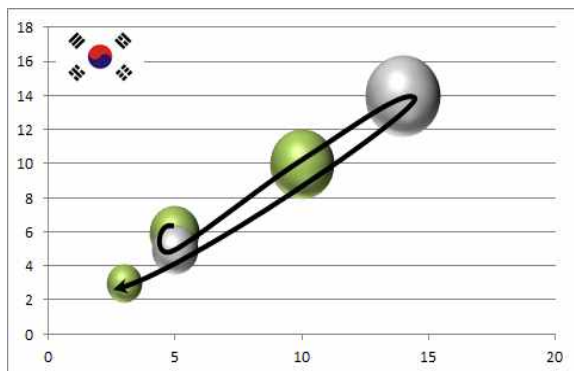
- 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단
- 특히, 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 비슷한 출원건수와 출원인수를 유지하며 정체하였고, 5구간(2018년~2021년)에서 감소하는 것으로 나타났지만, 미공개 출원을 감안하여 아직 성숙기에 있는 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 106〉 조판 분야 성형 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)구간까지 출원 건수 및 출원인수가 증가하는 발전기의 단계로 판단되고, 5구간(2018년~2021년)에 감소하지만 미공개 출원을 고려하여 아직 발전기로 판단
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)에서 4구간(2014년~2017년)까지 출원 건수 및 출원인수가 정체되고 있어, 성숙기로 판단할 수 있고, 5구간(2018년~2021년)에서 감소하지만 아직 성숙기에서 쇠퇴기 초입으로 판단



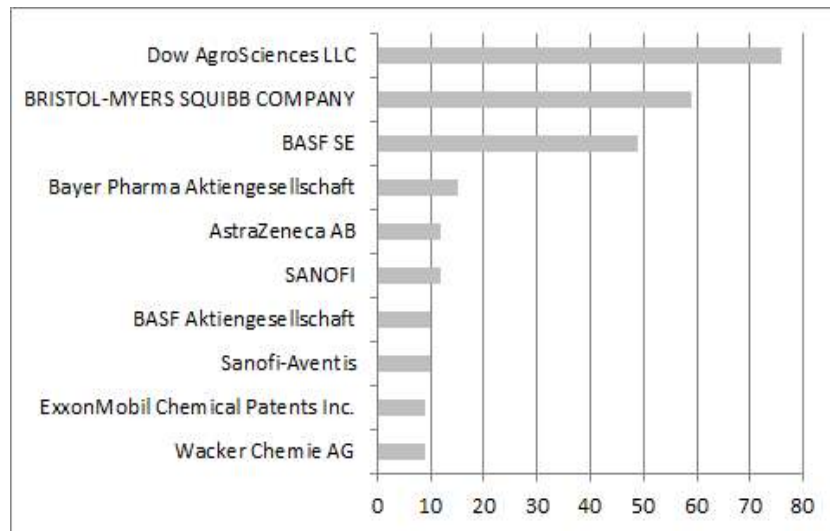
〈그림 107〉 조판 분야 성형 기술 주요국 기술성장 단계

- 일본특허의 기술위치는 구간부터 1구간(2002년~2005년)에서 4구간(2014년~2017년)까지 출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 발전기로 판단

- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 성숙기로 판단되고, 5구간(2018년~2021년)에서 출원건수와 출원인이 감소하지만, 미공개 출원을 고려하여, 아직 성숙기에 있는 것으로 판단

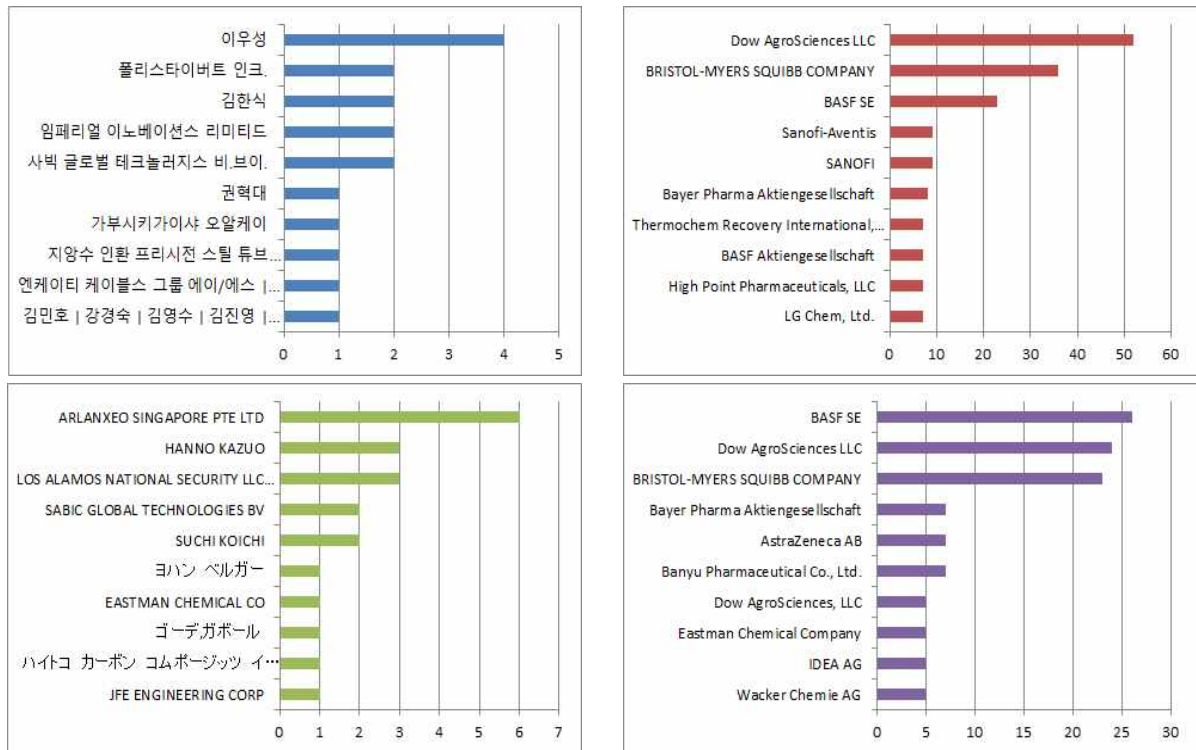
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 Dow AgroSciences LLC, BRISTOL-MYERS SQUIBB COMPANY, BASF SE 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단



〈그림 108〉 성형기술 분야 특허출원인 동향 분석

- 최상위 그룹 중 유럽의 기업이 대다수를 차지하였고, 최다 출원인 Dow AgroSciences LLC사는 유럽과 미국에서 집중적으로 출원하여 총 76건의 특허출원건수를 기록
- 한국의 경우 다출원 1위는 이우성이 차지하였고, 최상위 다출원인 그룹으로 기업이 다수 포진한 것으로 나타나 한국에서는 수소관망 성형기술에 대하여 기업주도적 시장이 형성된 것으로 판단



〈그림 109〉 조관 분야 성형 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 유럽의 경우 내국인 출원 비율이 외국인 출원비율보다 높으며, 미국, 한국 및 일본은 외국인의 출원이 내국인 출원보다 높은 편
- 미국은 외국출원인의 비중이 매우 높아 외국인 주도적인 시장으로 나타나며, 타지역에 비해 관심이 높은 시장으로 확인
- 또한, 한국 역시 외국인 출원 비율이 높아 수소관망 성형기술 시장에서 관심도가 높은 시장으로 판단

〈표 84〉 조관 분야 성형 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	15	332	7	367
외국	23	664	16	295

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 성형기술 개발의 미국등록특허 건수는 935건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
- PII는 1.53으로 질적수준이 높은 편이고, TS는 무려 1520.63으로 기술력지수가

상당히 높은 편

- PFS는 0.96으로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 49.91로 시장진입 용이성이 매우 높은 편
- CR4는 12.05%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

○ 한국등록특허 건수는 38건을 기록

- PII는 0.21로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 7.97로 기술력지수가 낮은 편
- PFS는 0.86으로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 256.23으로 시장진입 용이성은 보통
- CR4는 26.32%로 시장의 독과점 수준이 중간정도로 판단

○ 일본등록특허 건수는 23건을 기록

- PII는 0.11로 질적수준이 평균보다 낮은 편이고, TS는 2.54로 기술력지수도 매우 낮은 편
- PFS는 0.85로 패밀리특허의 건수가 적은 편으로 나타나며, HHI는 1266.54로 시장진입 용이하지 않은 편으로 분석
- CR4는 60.87%로 독과점 시장으로 볼 수 있는 수준으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 662건을 기록

- PII는 0.06로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 40.73로 보통의 기술력으로 나타
- PFS는 1.13으로 여러시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 46.28로 시장진입 용이성이 높은 편
- CR4는 12.08%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

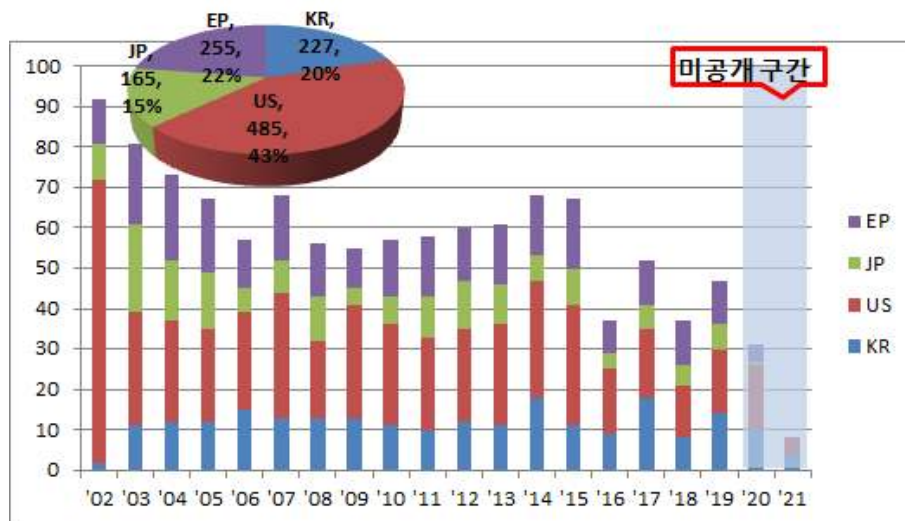
〈표 85〉 조관 분야 성형 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.21	7.97	0.86	256.23	26.32
미국	1.53	1520.63	0.96	49.91	12.05
일본	0.11	2.54	0.85	1266.54	60.87
유럽	0.06	40.73	1.13	46.28	12.08

③ 조관 분야 용접 기술에 대한 특허동향 분석

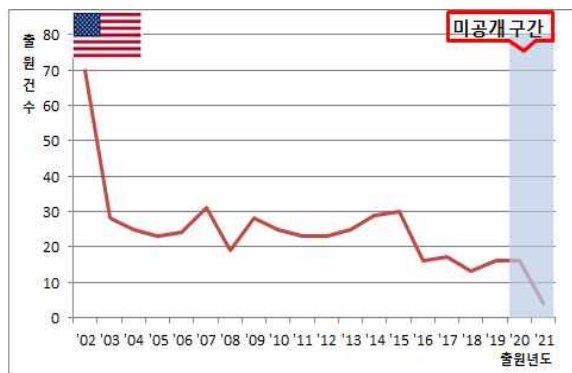
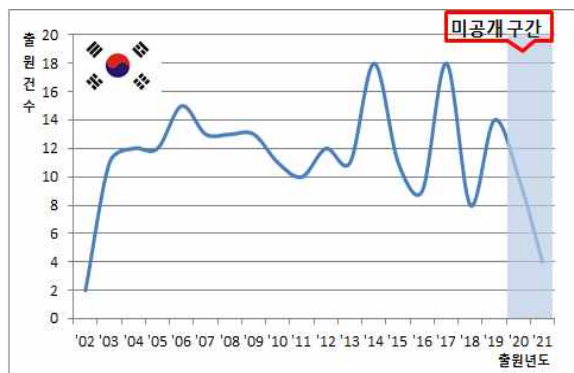
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

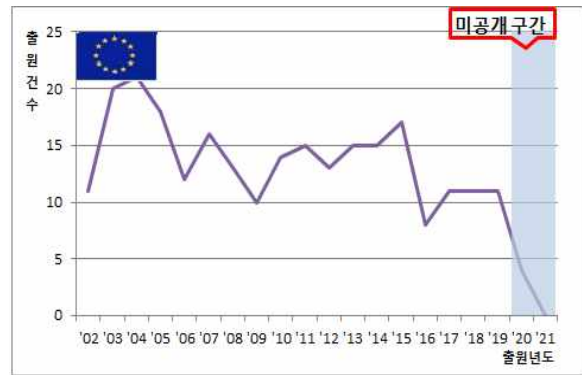
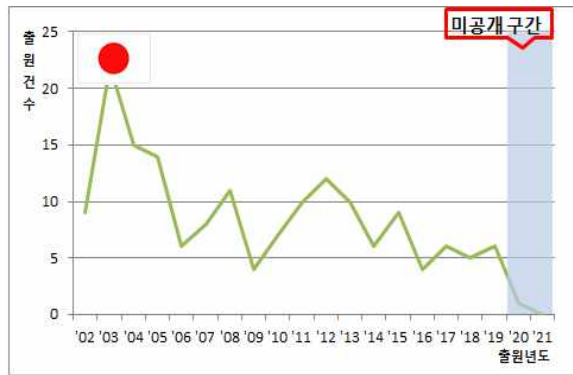
- 전체분석대상 특허는 1,132건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 485건, 한국 227건, 일본 165건, 유럽 255건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록



〈그림 110〉 조관 분야 용접 기술 연도별 특허 동향

- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 감소하는 추세를 보이고 있어 쇠퇴기에 있는 것으로 확인
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준히 출원이 발생
- 미국 특허청의 출원건수는 2002년 이후 크게 하락한 후 지속적으로 하락
- 일본 특허청의 출원건수는 2003년 이후 지속적으로 하락
- 유럽 특허청의 출원건수는 조금 하락하는 추세를 보이지만 꾸준히 출원이 유지

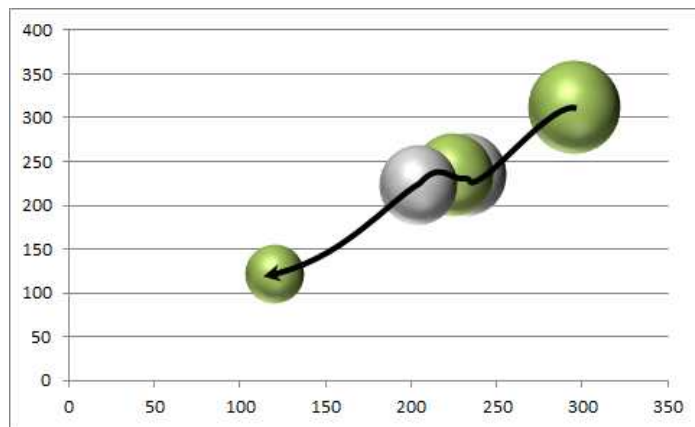




〈그림 111〉 조관 분야 용접 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

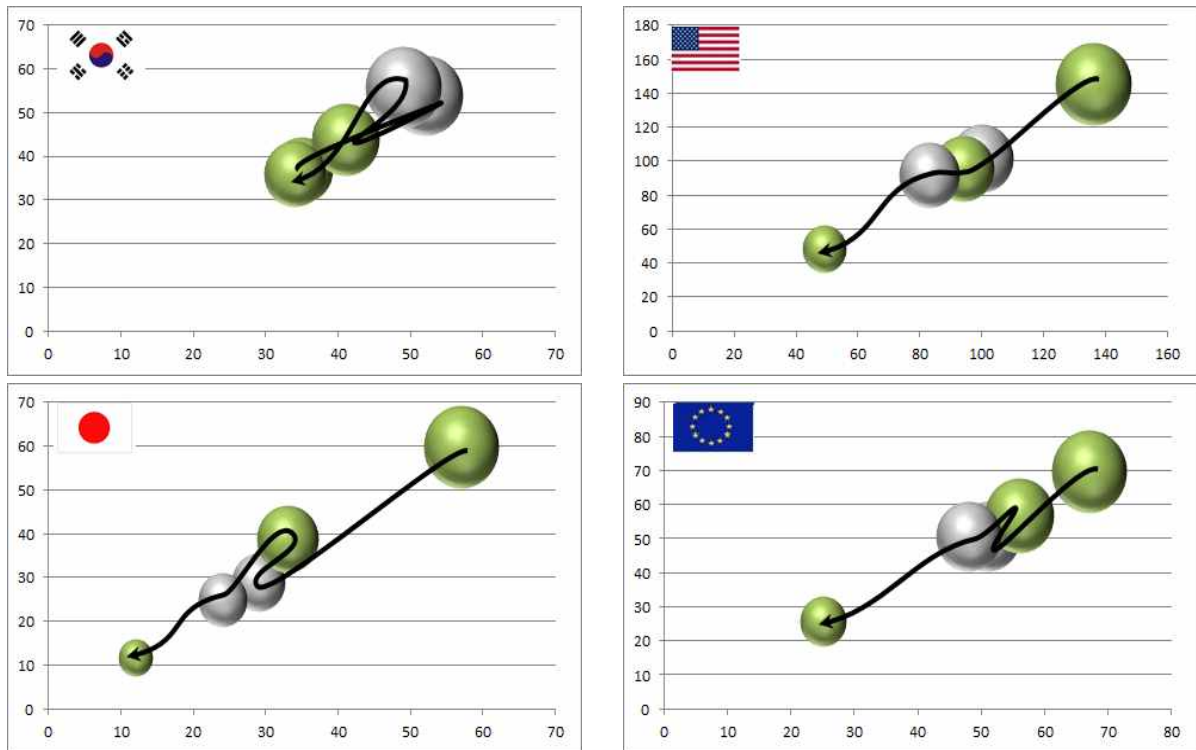
- 수소관망 용접기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소
- 특히, 5구간(2018년~2021년)에서 크게 출원인수와 출원건수가 감소하여, 성숙기와 쇠퇴기 사이에 있는 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 112〉 조관 분야 용접 기술 전체 기술성장 단계

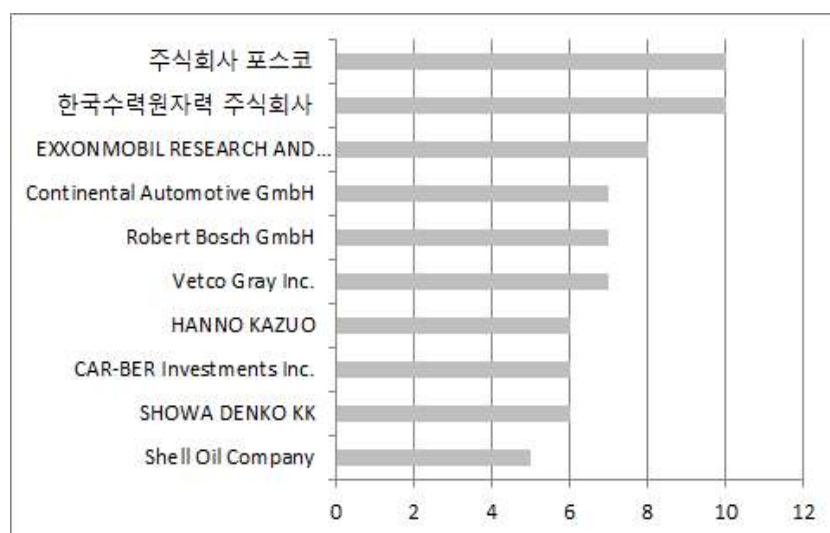
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원인수 및 출원건수가 계속 정체하는 단계로, 성숙기로 판단
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 정체하는 성숙기로 볼 수 있지만, 5구간(2018년~2021년)에서 감소하는 모습을 보여, 성숙기와 쇠퇴기의 사이에 있는 것으로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 계속 감소하고 있어 쇠퇴기에 있는 것으로 판단



〈그림 113〉 조관 분야 용접 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인

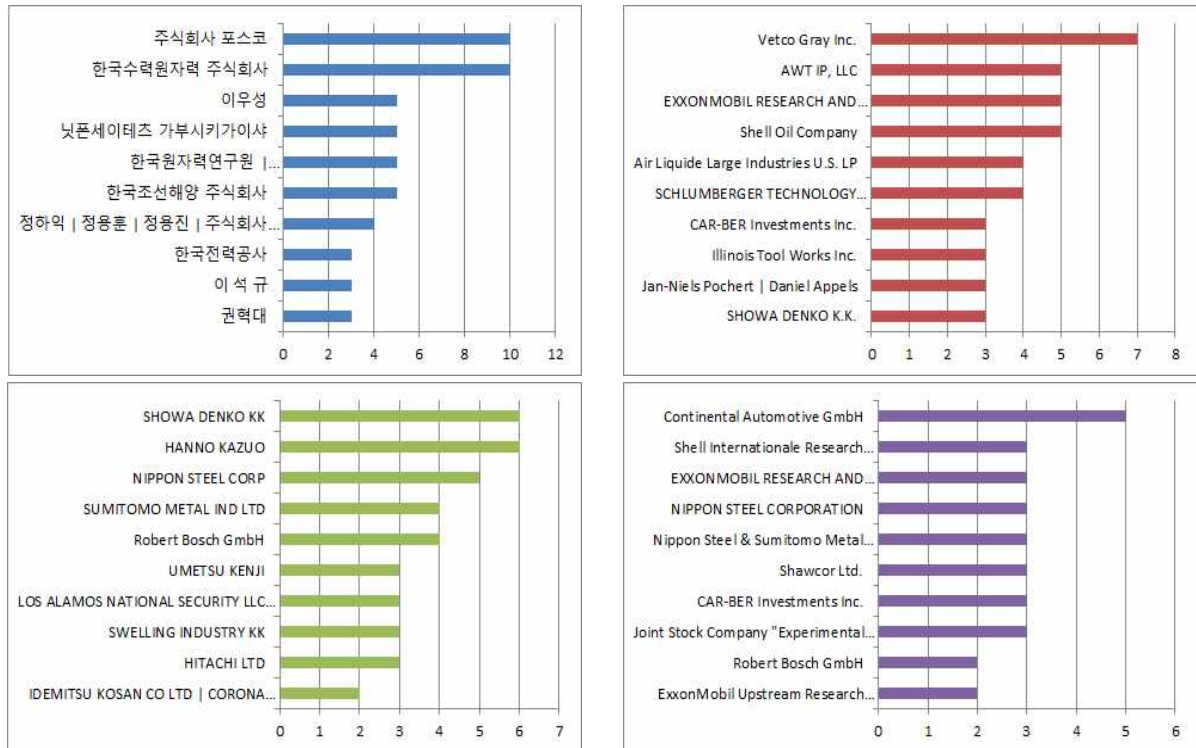
- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 주식회사 포스코, 한국수력원자력 주식회사, EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY. 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단
- 국내 출원인이 최다출원인이며, 최상위 그룹 중 미국과 유럽의 기업이 다수를 차지



〈그림 114〉 조관 분야 용접 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 주식회사 포스코와 한국수력원자력 주식회사가 10

건으로 차지하였고, 상위 다출원으로 기업과 기관이 모두 포진하고 있어, 한국은 기업과 정부에서 모두 관심있는 시장으로 판단



〈그림 115〉 조관 분야 융접 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국과 일본의 경우 국내 출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 편
- 유럽과 미국의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 나타나고, 외국 출원인의 관심이 가장 많은 곳은 미국시장으로 판단

〈표 86〉 조관 분야 융접 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	158	149	97	84
외국	69	336	68	171

□ 기술수준 지표 분석

- 미국등록특허 485건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.4로 질적수준이 평균보다 높은 편이고, TS는 1162.59로 기술력지수가 상당히 높은 편

- PFS는 0.548로 미국시장에서 집중적으로 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 8.16으로 시장진입 용이성이 매우 높은 편

- CR4는 4.54%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

○ 한국등록특허 건수는 227건을 기록

- PII는 0.12로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 27.8로 기술력지수가 낮은 편

- PFS는 0.37로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 66.56으로 시장진입 용이성이 평균수준으로 판단

- CR4는 13.22%로 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 판단

○ 일본등록특허 건수는 165건

- PII는 0.18로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 29.93로 기술력지수도 높지않은 수준으로 판단

- PFS는 0.49로 패밀리 특허의 건수가 낮은 것으로 나타나며, HHI는 62.08로 시장진입 용이성이 높은 편

- CR4는 12.73%로 시장의 독과점 수준이 낮은 수준에 있는 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 255건

- PII는 0.07로 질적수준이 낮으며, TS는 18.65로 보통인 편으로 판단

- PFS는 0.7로 국내 기술개발에 집중하는 것으로 나타났으며, HHI는 14.76으로 시장진입이 매우 용이한 편

- CR4는 5.49%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 상황으로 판단

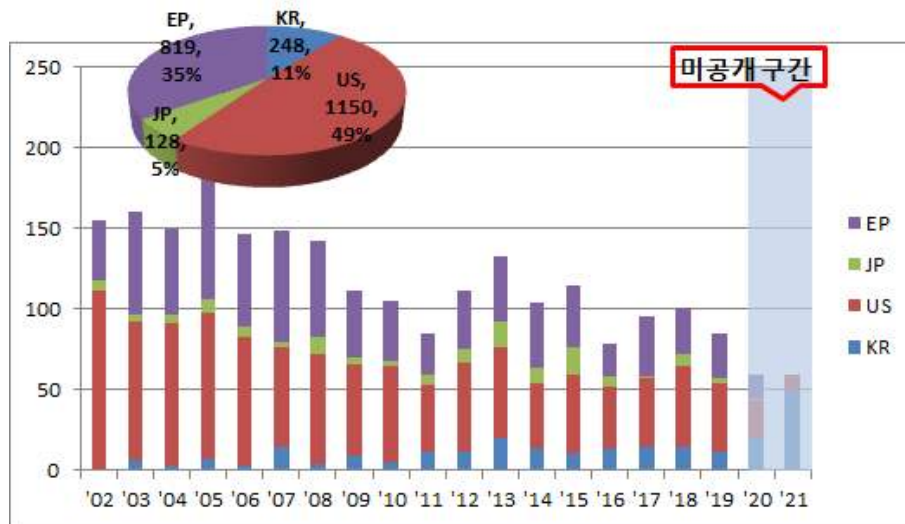
〈표 87〉 조관 분야 융접 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.12	27.80	0.37	66.56	13.22
미국	2.40	1162.59	0.54	8.16	4.54
일본	0.18	29.93	0.49	62.08	12.73
유럽	0.07	18.65	0.70	14.76	5.49

④ 조관 분야 성능평가 기술에 대한 특허동향 분석

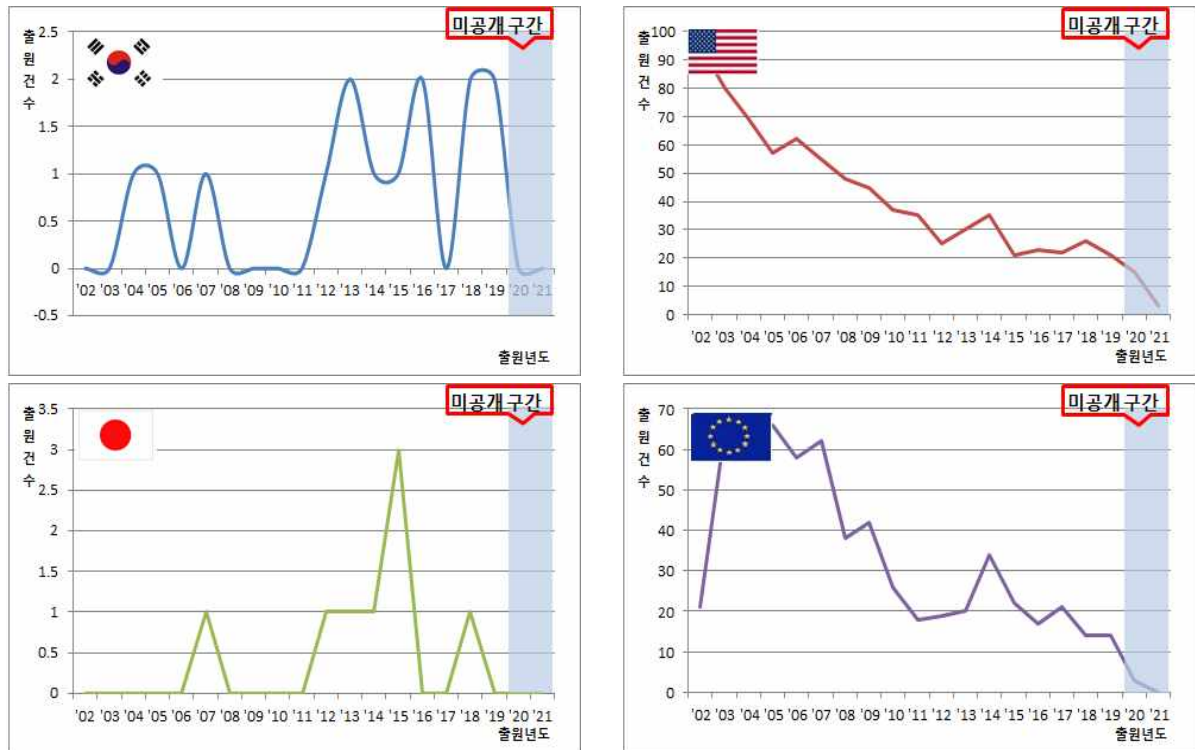
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 1,450건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 804건, 한국 14건, 일본 8건, 유럽 624건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 지속적으로 감소하고 있으며, 한국과 일본의 비중이 매우 적기 때문에, 유럽과 미국의 출원이 줄어든 것이 가장 큰 원인으로 해석



〈그림 116〉 조관 분야 성능평가 기술 연도별 특허건수 추이

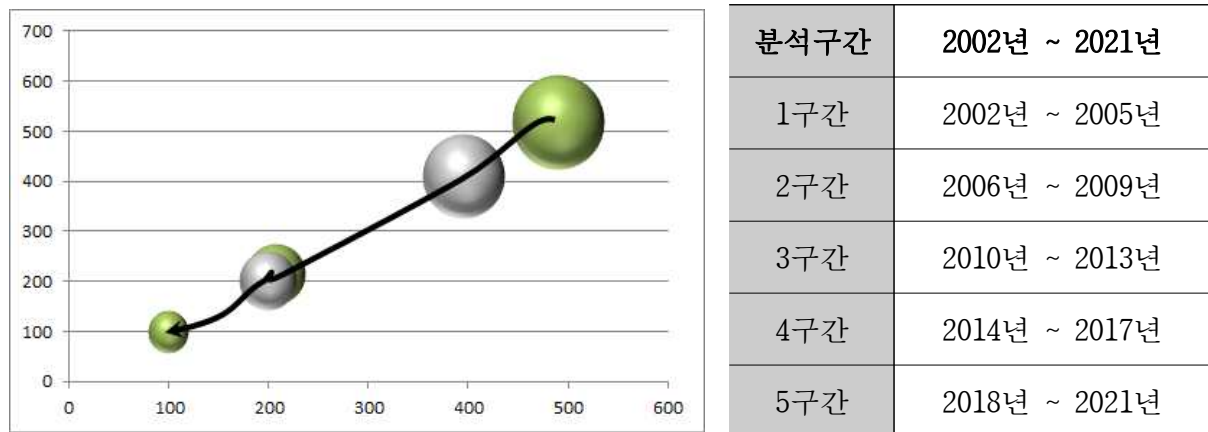
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대에 비해 2010년대에 상승한 모습을 보이지만, 전체 특허건수가 매우 작은 편
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 꾸준히 하락하는 모습을 보이지만 출원은 꾸준히 이루어지는 것으로 판단
- 일본 특허청의 출원건수는 매우 작은 것으로 확인됨 2015년에 가장 큰 특허출원을 기록
- 유럽 특허청의 출원건수는 2000년대까지 큰 출원건수를 보이고 있지만, 2010년대부터 출원이 감소하는 추세



〈그림 117〉 조관 분야 성능평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

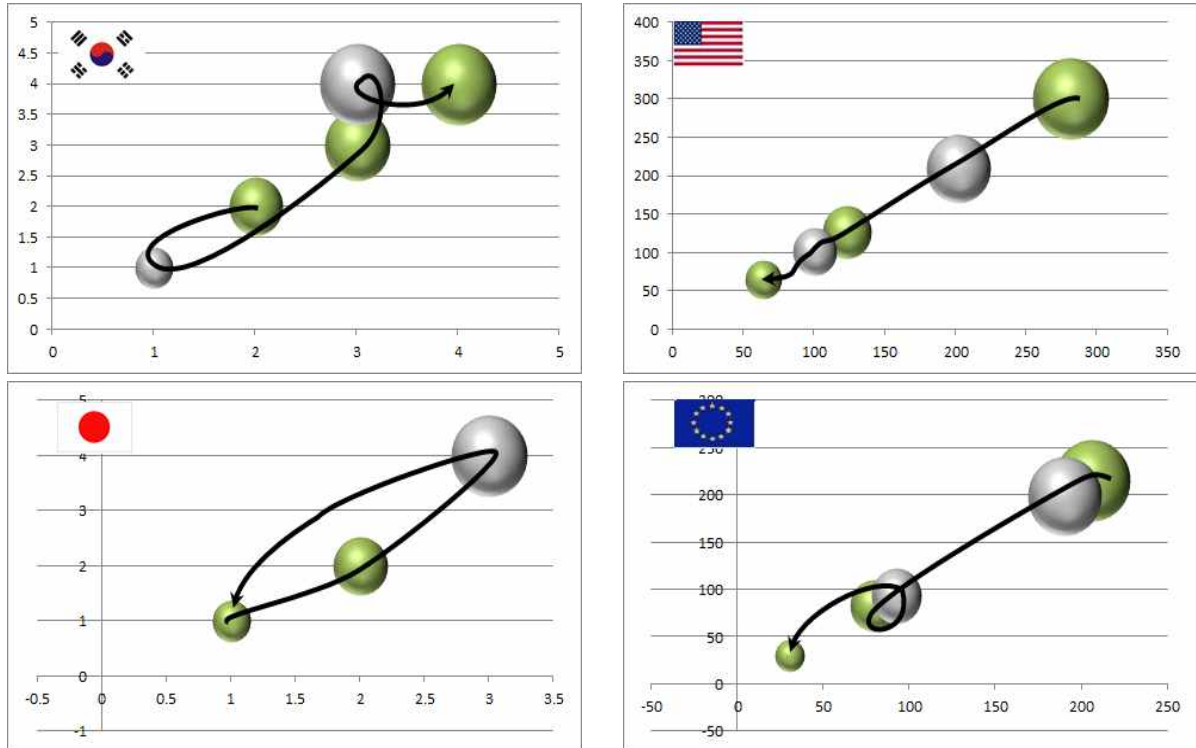
- 수소관망 성능평가 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단



〈그림 118〉 조관 분야 성능평가 기술 전체 기술성장 단계

- 2구간(2006년~2009년)부터 3구간(2010년~2013년) 사이의 기간에서 출원건수와 출원인수가 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타나, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 출원건수가 증가하는 발전기의 단계로, 주요 국가 중 유일하게 발전기에 위치한다고 판단

- 미국특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)과 3구간(2010년~2013년)에서 출원건수 및 출원인 수가 급감하는 모습을 보여, 2000년대 이후 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단

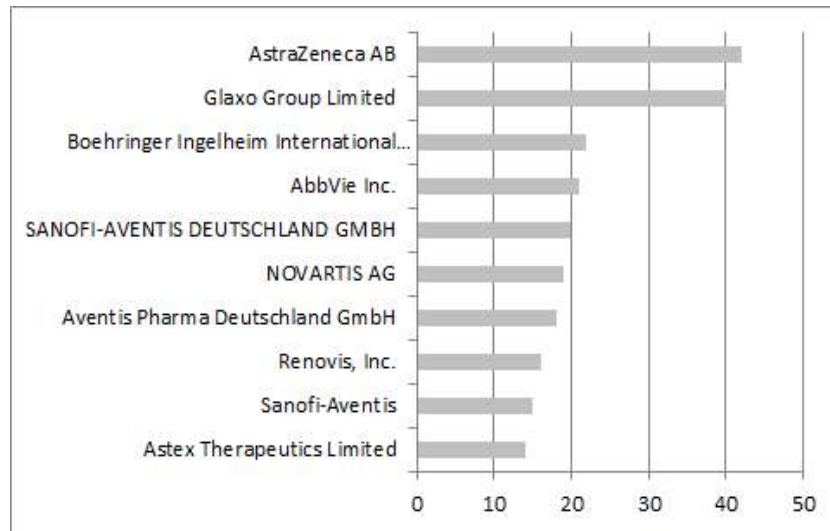


〈그림 119〉 조관 분야 성능평가 기술 주요국 기술성장 단계

- 일본특허의 기술위치는 비교적 출원건수가 작지만, 2구간(2006년~2009년)에서 4구간(2014년~2017년)까지 증가하고, 5구간(2018년~2021년)에 하락하는 모습을 보여 성숙기로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 3구간(2010년~2013년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 조금 상승세를 보이지만 전체 구간에서 비교적 지속적으로 감소하는 추세를 보여 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단

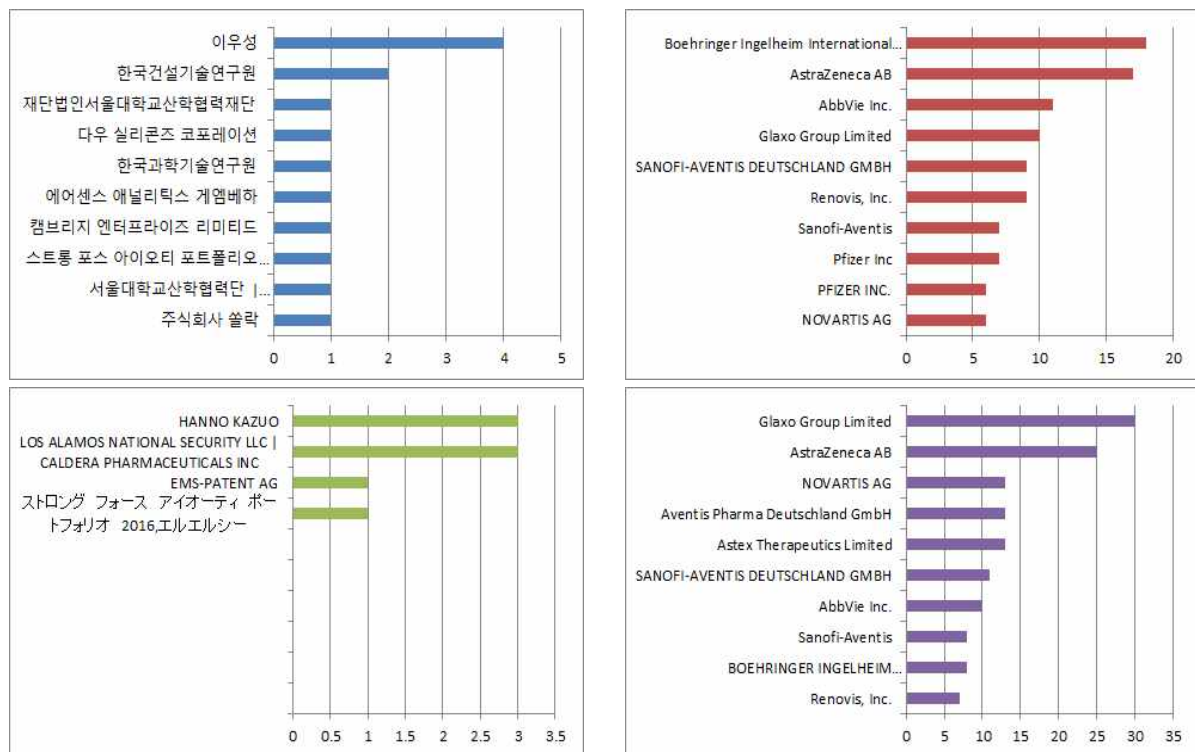
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 AstraZeneca AB, Glaxo Group Limited, Boehringer Ingelheim International GmbH 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 유럽의 기업이 다수를 차지
- AstraZeneca AB 사는 유럽 내에서 특허출원건수 25건을 비롯하여, 미국에서도 특허를 출원하며 총 42건의 유효특허수를 기록



〈그림 120〉 조관 분야 성능평가 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 이우성이 차지, 상위 다출원으로 다수의 기업과 기관이 포진해 있어 나타나 한국은 기관과 일반기업의 비중이 혼재한 시장으로 판단



〈그림 121〉 조관 분야 성능평가 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 출원비중이 매우 낮은 것으로 확인
- 일본의 경우 외국 출원인과 국내출원인의 비중이 비슷한 시장으로 나타나며,

또한, 미국은 외국인 출원 비율이 압도적으로 높은 편

- 유럽의 경우 외국 출원인의 관심이 높은 시장으로 분석 되지만 국내 출원인의 출원비율이 더 높은 것으로 확인
- 미국과 유럽시장에 대한 관심도가 높은 것으로 판단되며, 그 중 미국시장의 관심도가 가장 높은 것으로 확인

〈표 88〉 조관 분야 성능평가 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	10	495	3	387
외국	4	609	5	237

□ 기술수준 지표 분석

- 수소배관망 성능평가 기술에 대한 미국등록특허 건수는 804건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.81로 질적수준이 비교적 높고, TS는 무려 1452.1로 평균적인 높은 기술력지수를 기록
 - PFS는 1.27로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 18.04로 시장진입이 용이할 것으로 판단
 - CR4는 6.97%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 14건을 기록
 - PII는 0.2로 질적수준이 매우 낮은 편이고, TS는 2.83으로 기술력지수도 매우 낮은 편
 - PFS는 0.35로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 1428.57로 시장진입 용이하지 않은 편
 - CR4는 57.14%로 시장의 독과점 수준이 높은 편으로 판단
- 일본등록특허 건수는 8건을 기록
 - PII는 0.1로 질적수준이 매우 낮은 편이며, TS는 0.83으로 매우 낮은 수준에 머물러 있는 것으로 확인
 - PFS는 0.62로 패밀리 특허의 건수가 낮은 편으로 국내시장에 집중하는 것으로 나타나며, HHI는 3125로 시장진입 용이성은 매우 낮은 상태
 - CR4는 출원건수가 낮아 의미있는 데이터를 획득하기 어려움

○ 유럽등록특허 건수는 624건을 기록

- PII는 0.06으로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 34.41로 기술력지수는 평균적인 수준
- PFS는 1.44로 다른 지역에서도 기술개발 활동이 활발한 것으로 나타나며, HHI는 62.41로 시장진입에 매우 용이한 상태
- CR4는 12.98%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

〈표 89〉 성능평가 분야 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

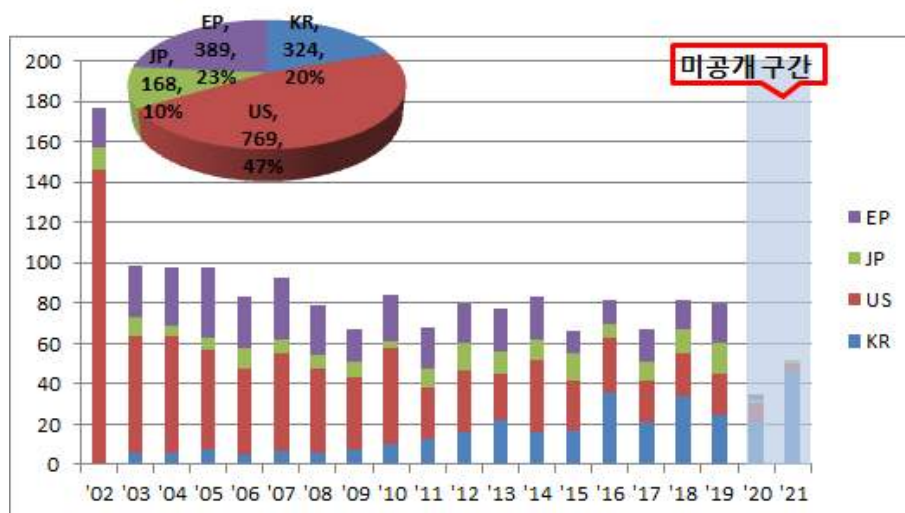
구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.20	2.83	0.36	1428.57	57.14
미국	1.81	1452.10	1.28	18.04	6.97
일본	0.10	0.83	0.62	3125.00	-
유럽	0.06	34.41	1.44	62.41	12.98

(다) 건설 분야

① 건설 분야 전체 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 1,650건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 769건, 일본 168건, 한국 324건, 유럽 389건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록

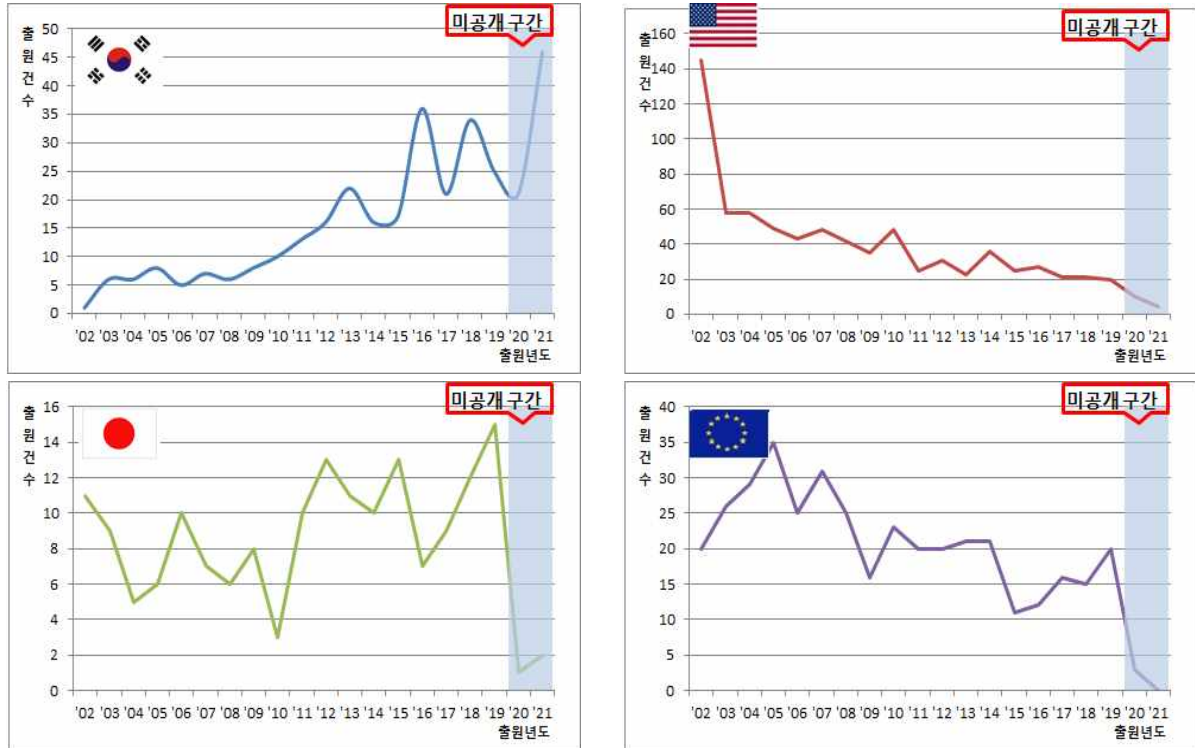


〈그림 122〉 건설 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이

- 각 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 특허 출원건수가 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 가장 큰 원인은 미국 및 유럽의 출원이 감소한 데 있지만, 전

주요 지역에서 꾸준히 출원이 이루어지는 것을 확인

- 한국 특허청의 출원건수는 2010년대 초반 강한 증가세를 보이고, 출원건수가 2010년대 후반까지 꾸준히 유지
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반에 비하여 감소세가 뚜렷하고, 출원건수가 많이 감소하였지만 2010년대 후반까지 연간 20건 이상의 출원이 꾸준히 이어진 것으로 분석

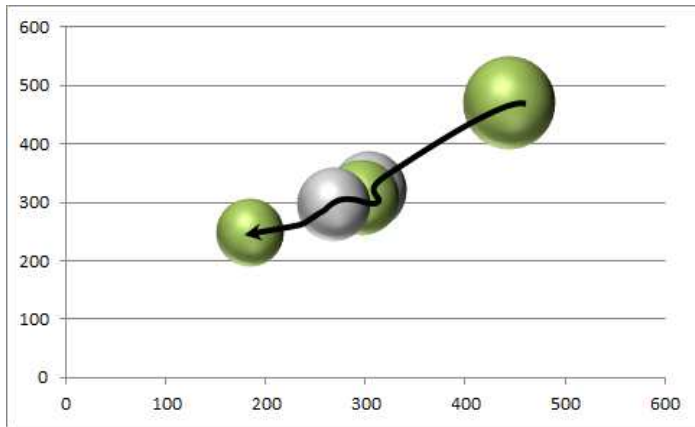


〈그림 123〉 건설 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

- 일본 특허청의 출원건수는 2019년 최고를 치를 기록하고, 2020년 및 2021년은 미공개 특허가 있어 감소한 것으로 분석됨, 전체기간 동안 증감을 반복하며 꾸준히 출원이 이루어지는 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 약한 감소세를 보이고 있지만, 2019년 출원건수가 반등하는 것으로 분석

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

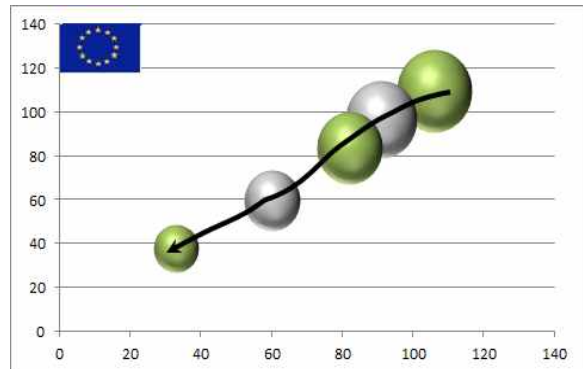
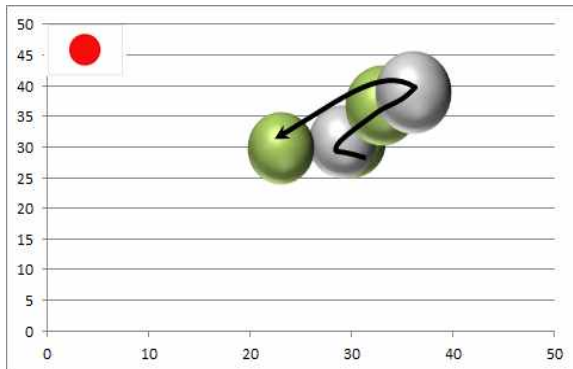
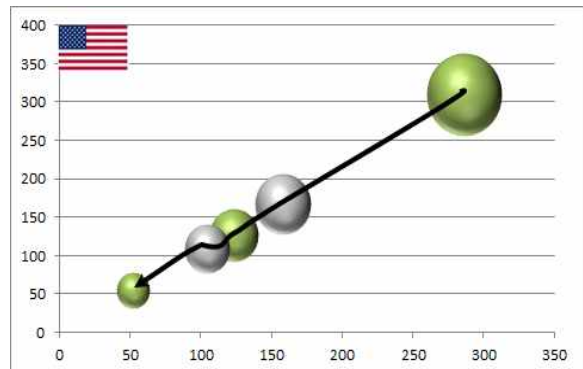
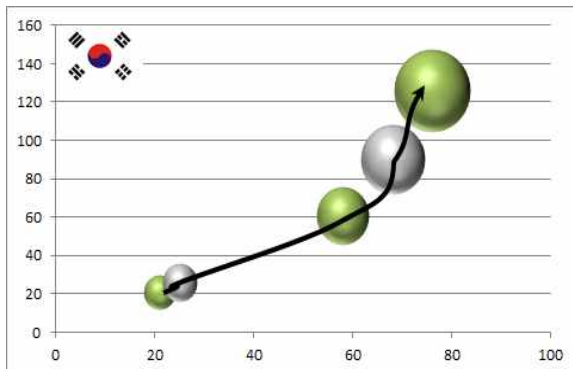
- 관련 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 특허 및 출원인이 정제되는 성숙기와 쇠퇴기의 사이에 해당하는 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 124〉 건설 분야 전체 기술 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 증가하는 발전기의 단계로 분석되고, 주요 출원국 중 유일한 발전기에 해당
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 큰 출원건수 및 출원인수를 보유하고 있었으며, 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수 및 출원인 수가 지속적으로 감소하는 추세



〈그림 125〉 건설 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

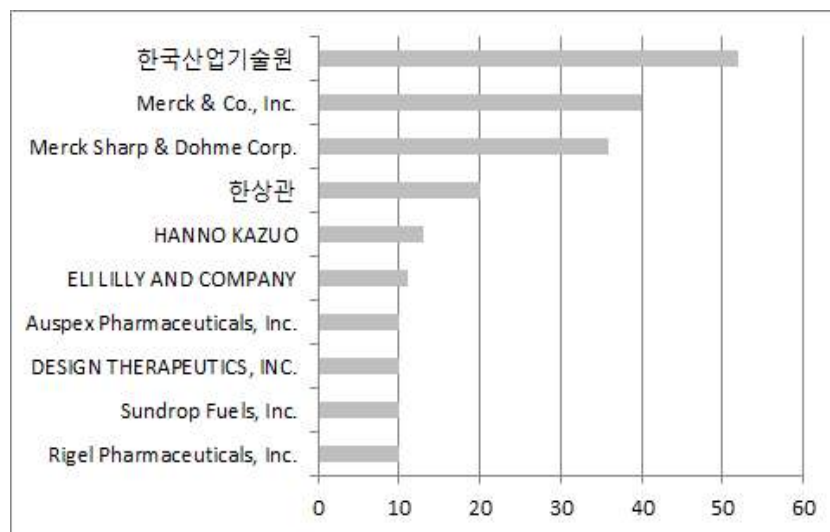
- 일본특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 약하게 증가하는 모습을 보이고 있지만 5구간(2018년~2021년)

년)에 감소

- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 감소하는 모습을 보여, 쇠퇴기에 해당하는 것으로 판단

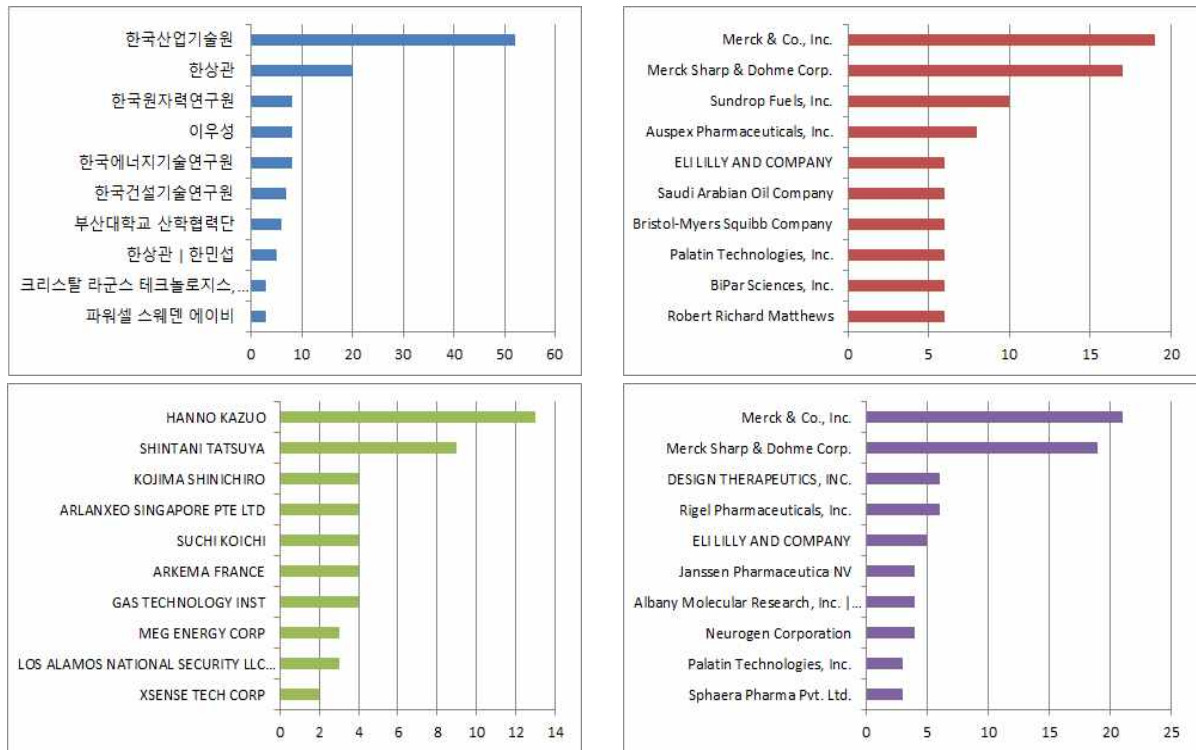
□ 국가별 출원인 동향

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 한국산업기술원, Merck & Co., Inc., Merck Sharp & Dohme Corp. 등이 글로벌 시장에서 강자인 것으로 판단
- 최상위 그룹 중 미국 기업이 대다수를 차지하였지만, 한국과 일본의 기업들도 상위 출원인에 위치



〈그림 126〉 건설 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석

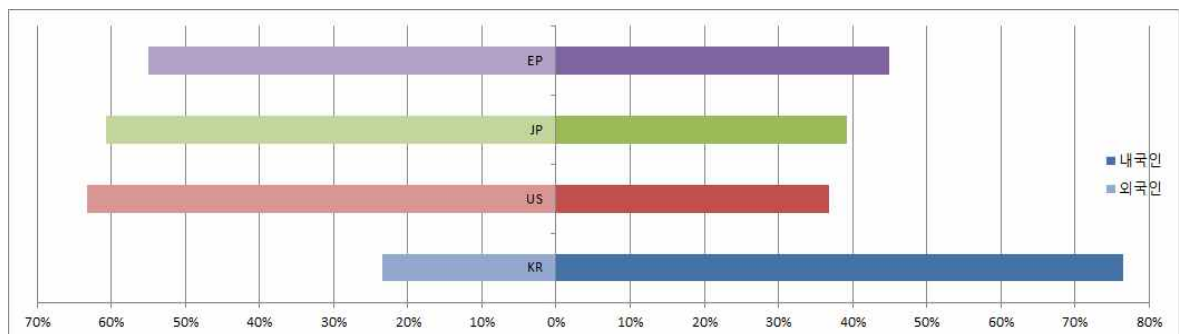
- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 상위 다출원으로 다수의 연구기관이 자리하는 것으로 확인 되며, 한국 시장은 연구기관과 정부에서 주도하는 시장으로 분석
- 미국의 경우 Merck & Co., Inc.사가 19건으로 최다출원을 하였고, 상위 다출원인에 기업의 비중이 매우높은 것으로 나타나 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석
- 일본의 경우 HANNO KAZUO사가 13건으로 최다출원을 하였고, 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석
- 유럽의 경우 Merck & Co., Inc.사가 21건의 출원건수를 보임, 상위 출원인이 모두 기업으로 확인되어, 기업위주의 시장으로 판단



〈그림 127〉 건설 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 매우 높은 것으로 판단
- 미국, 일본 및 유럽의 경우 외국 출원인의 출원비율이 더 높은 것으로 나타나, 미국, 일본 및 유럽 시장에 대한 외국 출원인의 관심도가 높은 것으로 판단
- 미국의 경우 외국인의 출원비율이 제일 높은 것으로 분석되어, 미국시장이 가장 관심도가 높은 시장으로 판단



〈그림 128〉 건설 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 설계기술 개발의 미국등록특허 건수는 769건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.08로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 무려 1599.15로 기술력지수가 매우 높은 편
 - PFS는 1.09로 비교적 다양한 시장을 확보한 것으로 판단되며, HHI는 17.41로 시장진입이 매우 용이
 - CR4는 7.02%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 324건을 기록
 - PII는 0.07로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 21.73으로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.49로 국내시장에 집중하여 기술개발 활동을 하는 것으로 분석
 - HHI는 326.17로 시장진입 용이성은 보통으로 확인되며, 또한, CR4는 27.16%로 시장의 독과점 수준이 보통으로 판단
- 일본등록특허 건수는 168건을 기록
 - PII는 0.09로 질적수준이 매우 낮은 편이고, TS는 15.13으로 기술력지수 역시 낮은 편
 - PFS는 0.84로 패밀리 특허의 건수가 낮은 편으로 나타나며, HHI는 124.72로 시장진입 용이성이 보통인 편
 - CR4는 17.85%로 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 판단
- 유럽등록특허 건수는 389건을 기록
 - PII는 0.04으로 질적수준이 매우 낮은 편, TS는 13.99로 기술력지수도 낮은 편
 - PFS는 1.33으로 활발하게 여러 시장에서 진입한 것으로 나타나며, HHI는 63.77으로 시장에 집입하기 용이한 상태로 판단
 - CR4는 13.37%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

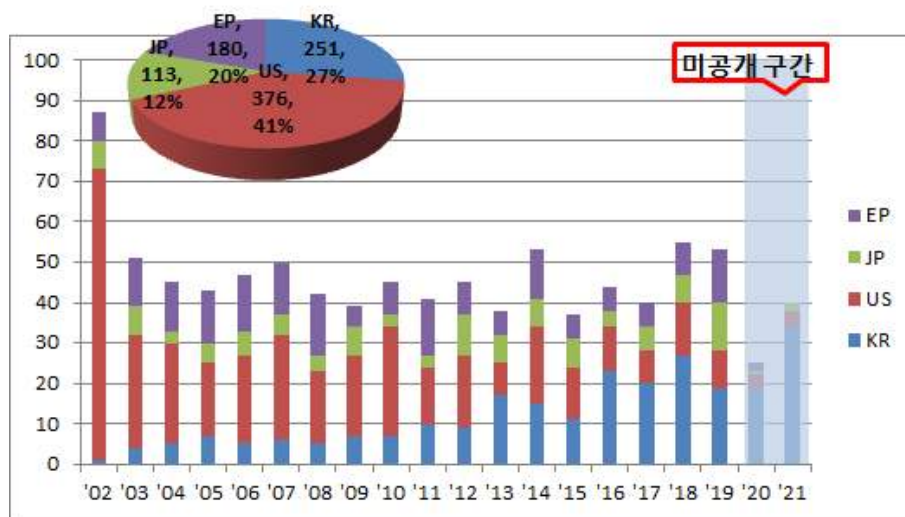
〈표 90〉 건설 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.07	21.73	0.48	326.17	27.16
미국	2.08	1599.15	1.09	17.42	7.02
일본	0.09	15.13	0.84	124.72	17.86
유럽	0.04	13.99	1.33	63.77	13.37

② 건설 분야 설계 기술에 대한 특허동향 분석

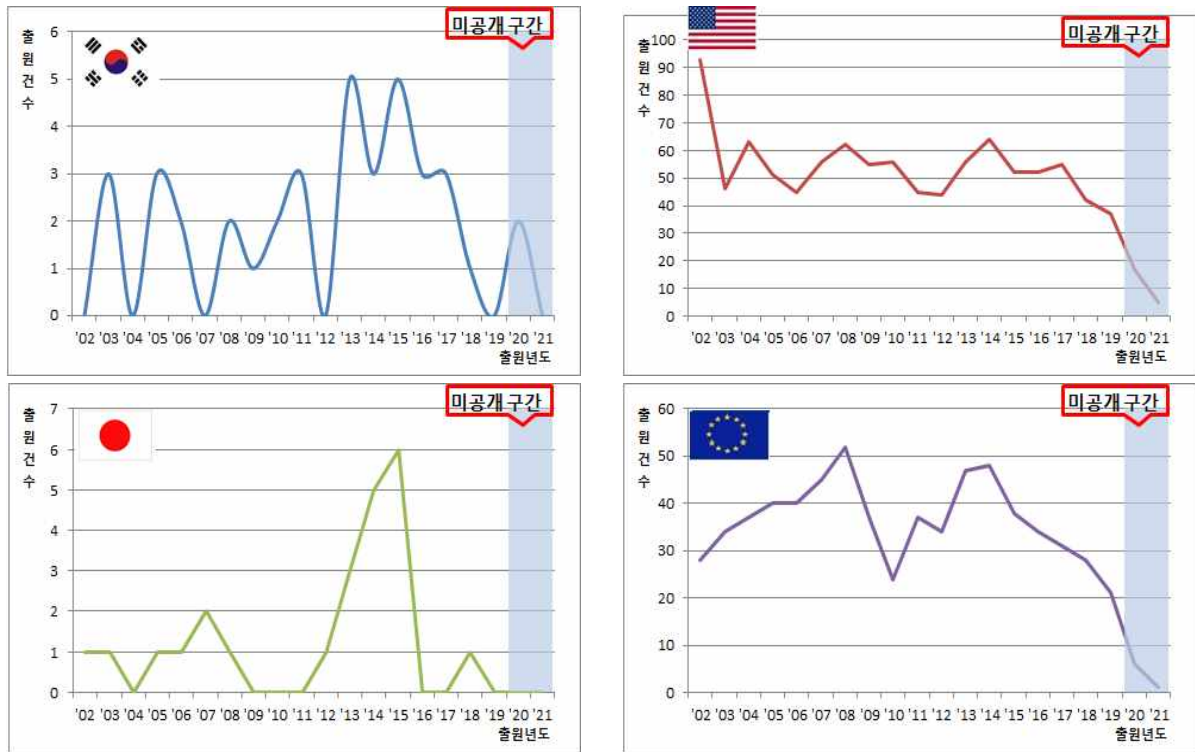
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 920건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 376건, 한국 251건, 일본 113건, 유럽 180건이 검색되었으며 미국, 한국, 유럽, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 각 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 미국의 출원건수를 제외하면 한국의 출원비중이 상대적으로 높으며, 출원이 꾸준히 지속되는 것으로 확인



〈그림 129〉 건설 분야 설계 기술 연도별 특허 동향

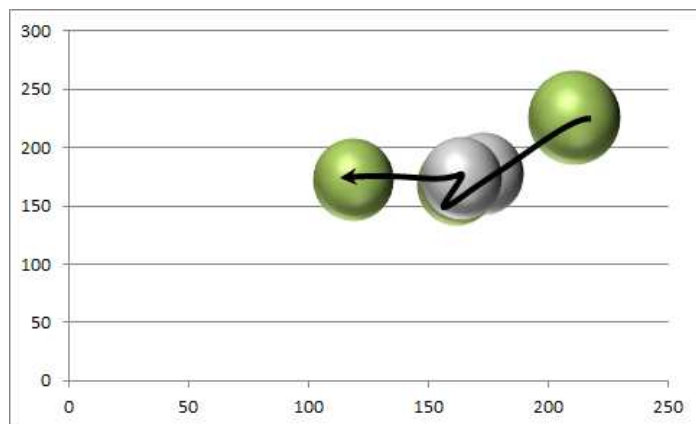
- 한국 특허청의 출원건수는 꾸준히 나타나며 2010년대 이후 강한 증가세를 보이고 있으며 2021년에 가장 큰 출원건수를 기록
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반부터 꾸준히 감소하는 것으로 보이지만, 꾸준히 출원이 발생하는 것으로 확인
- 일본 특허청의 출원건수는 크지 않지만 꾸준히 유지되고 있었고, 최근 2019년도에 가장 큰 출원을 보였으며 2020년 및 2021년은 미공개 출원건이 다수 있어, 꾸준히 출원이 이루어지는 시장으로 판단
- 유럽 특허청의 출원건수는 6건에서 14건 정도가 매년 꾸준히 출원되는 것으로 확인



〈그림 130〉 건설 분야 설계 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

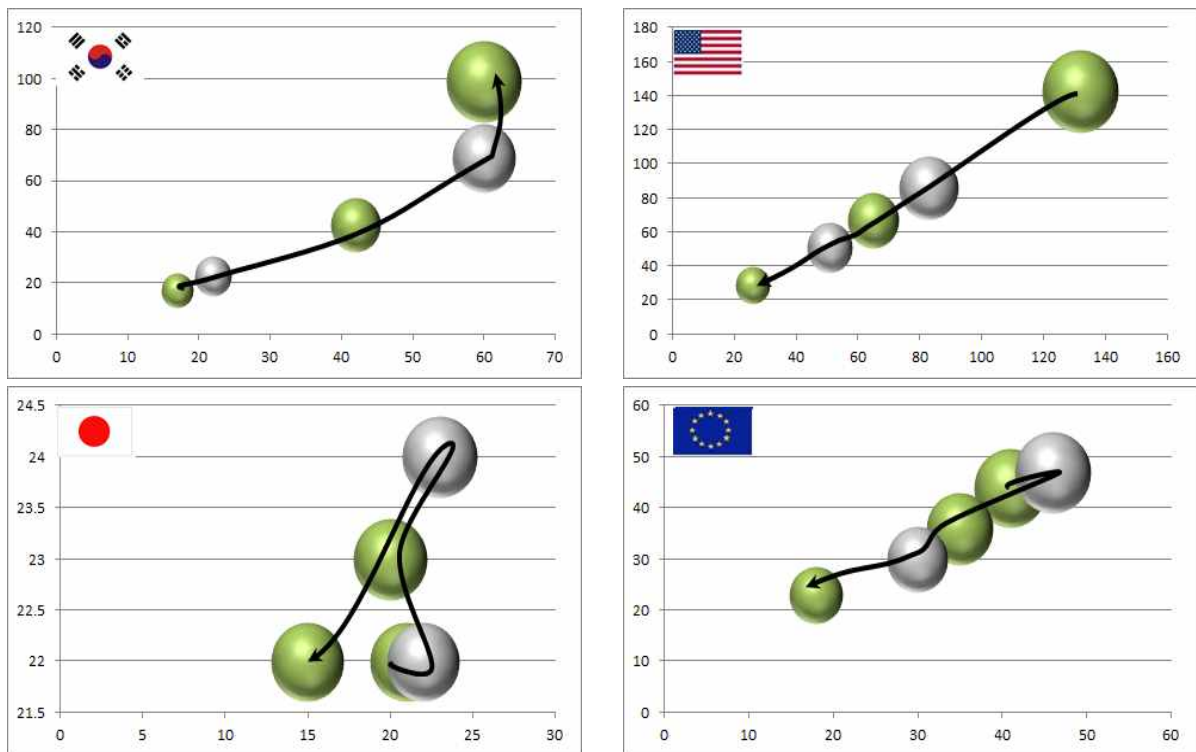
- 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단
- 특히, 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수는 유지되며, 출원인수는 정체되는 성숙기에 들어선 것으로 판단
- 5구간(2018년~2021년)에서 출원인수가 크게 감소하는 것으로 나타났지만, 미공개출원을 감안하여 아직 성숙기에 있는 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 131〉 건설 분야 설계 기술 전체 기술성장 단계

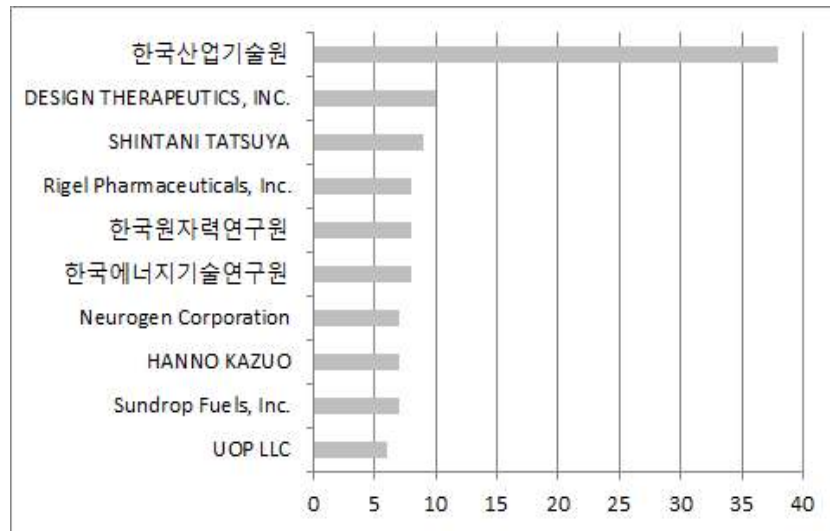
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4(2014년~2017년)구간까지 출원건수 및 출원인수가 증가하는 발전기의 단계로 판단되고, 5구간(2018년~2021년)에 출원인수가 감소하지만 미공개 출원을 고려하여 아직 발전기로 판단
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)에서 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 감소하는 모습을 보여 쇠퇴기에 위치하는 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 구간부터 1구간(2002년~2005년)에서 4구간(2014년~2017년)까지 출원인수는 유지되며 출원건수가 증가하는 것으로 성숙기에 있다고 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 감소하는 모습으로 보여 쇠퇴기에 있다고 판단



〈그림 132〉 건설 분야 설계 기술 주요국 기술성장 단계

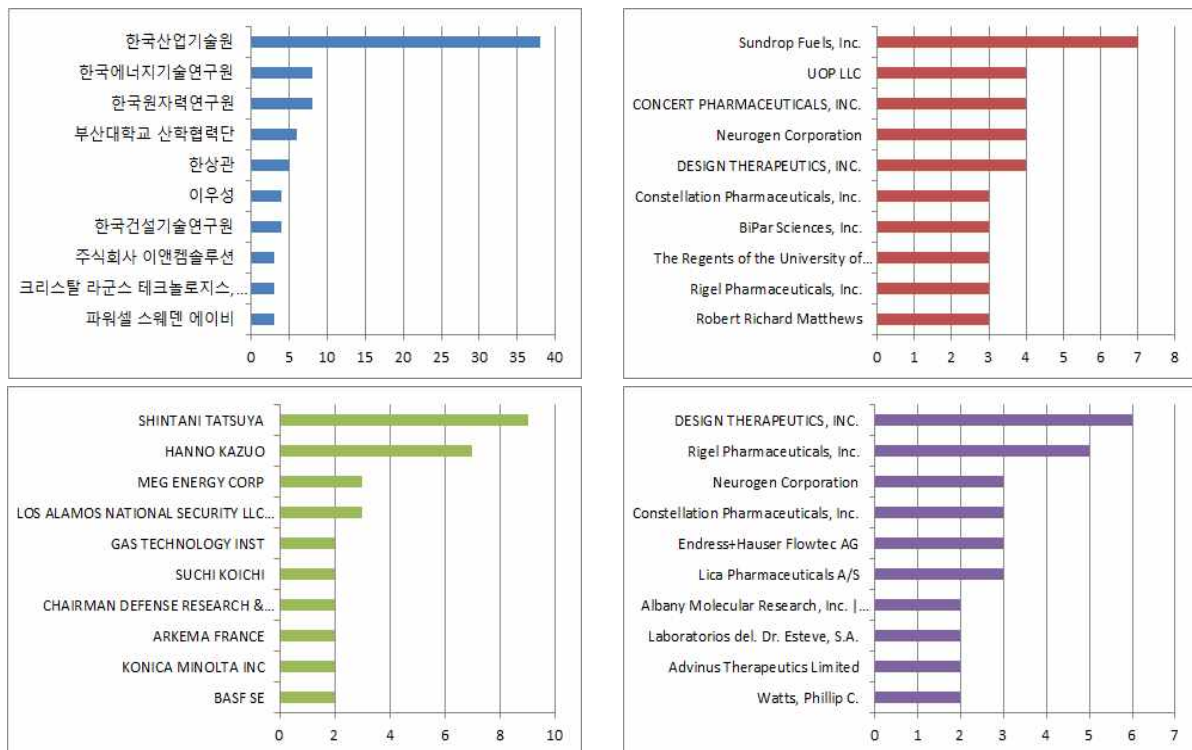
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 한국산업기술원, DESIGN THERAPEUTICS, INC., SHINTANI TATSUYA 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단
- 최상위 그룹에 한국의 연구기관 및 미국과 유럽의 기업이 대다수를 차지하였고, 최다 출원인 한국산업기술원은 한국에서 집중적으로 출원하여 총 38건의 특허출원건수를 기록



〈그림 133〉 건설 분야 설계 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한국산업기술원이 차지하였고, 최상위 다출원인 그룹으로 연구기관이 다수 포진하고 있어 수소관망 설계기술에 대하여 정부 주도적 시장을 형성하고 있는 것으로 판단



〈그림 134〉 건설 분야 설계 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국과 유럽의 경우 내국인 출원비율이 외국인 출원비율보다 높으며, 미국 및 일본은 외국인의 출원이

내국인 출원보다 높은 것으로 확인

- 미국은 외국출원인의 비중이 매우 높아 외국인 주도적인 시장으로 나타나며, 관심도가 가장 큰 시장으로 판단
- 또한, 유럽의 경우, 내국인 출원 비율이 외국인 출원 비율보다 높지만, 외국인 출원 비율 역시 높은 편으로 관심도가 있는 시장으로 판단
- 주요 출원국 중 한국이 가장 내국인 출원 비율이 높은 시장으로 확인

〈표 91〉 건설 분야 설계 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	187	122	41	94
외국	64	254	72	86

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 설계기술 개발의 미국등록특허 건수는 376건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.11로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 792.96으로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 0.95로 상대적으로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 11.18로 시장진입 용이성이 매우 높은 편
 - CR4는 5.05%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 것으로 분석
- 한국등록특허 건수는 251건을 기록
 - PII는 0.06으로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 15.51로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.51로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 268.57로 시장진입 용이성은 보통
 - CR4는 23.9%로 시장의 독과점 수준이 중간 수준으로 판단
- 일본등록특허 건수는 113건을 기록
 - PII는 0.08로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 9.41로 기술력지수도 매우 낮은 편
 - PFS는 0.88로 패밀리특허의 건수가 평균보다 적은 편으로 나타나며, HHI는 134.7로 시장진입 난이도는 보통 수준에 있는 것으로 판단
 - CR4는 19.47%로 독과점 시장으로 볼 수 없는 수준으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 180건을 기록

- PII는 0.06으로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 10.18로 보통의 기술력으로 나타남
- PFS는 1.1로 여러시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 34.88로 시장진입 용이성이 높은 편
- CR4는 9.44%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

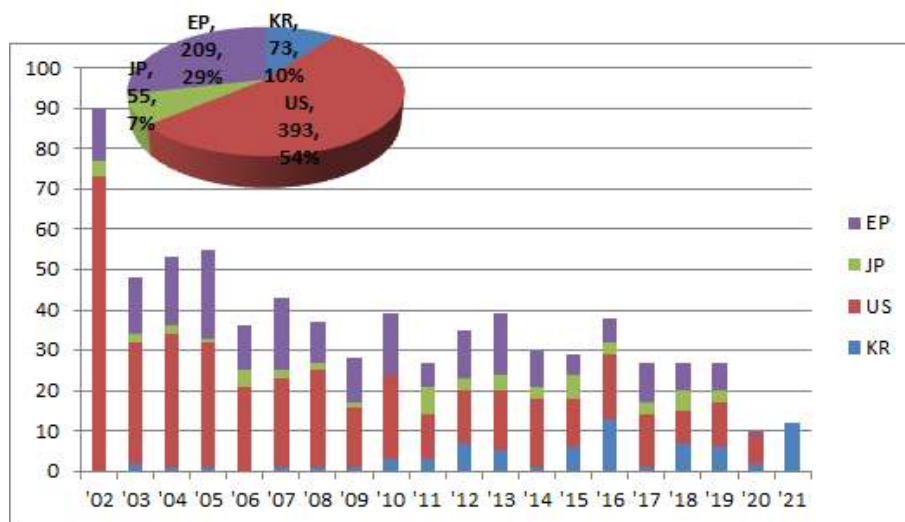
〈표 92〉 건설 분야 설계 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.06	15.51	0.51	268.57	23.90
미국	2.11	792.96	0.95	11.18	5.05
일본	0.08	9.41	0.88	134.70	19.47
유럽	0.06	10.13	1.10	34.88	9.44

③ 건설 분야 시공 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

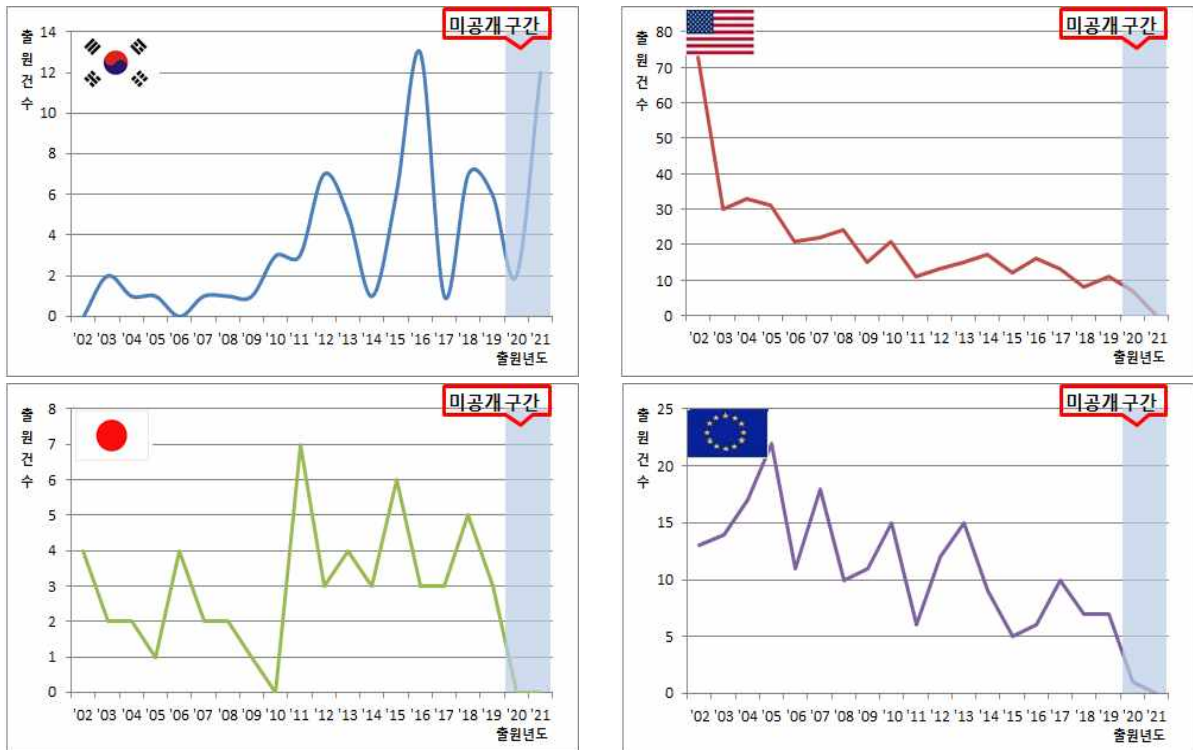
- 전체분석대상 특허는 730건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 393건, 한국 73건, 일본 55건, 유럽 209건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 감소하는 추세를 보이며, 미국과 유럽의 출원이 가장 크게 감소



〈그림 135〉 건설 분야 시공 기술 연도별 특허 동향

- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준히 출원이 발생하며, 2010년대부터 출원이 크게 증가하는 것으로 분석

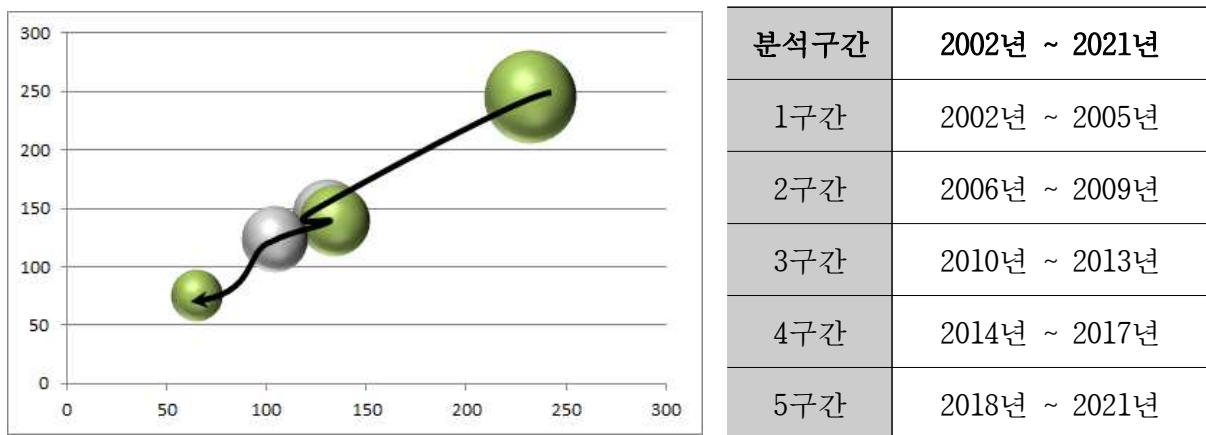
- 미국 특허청의 출원건수는 2002년 이후 크게 하락한 후 지속적으로 하락
- 일본 특허청의 출원건수는 2010년대에 연간 출원건수가 증가
- 유럽 특허청의 출원건수는 상승과 하강을 반복하지만 조금 하락하는 추세



〈그림 136〉 건설 분야 시공 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

- 수소관망 시공기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소

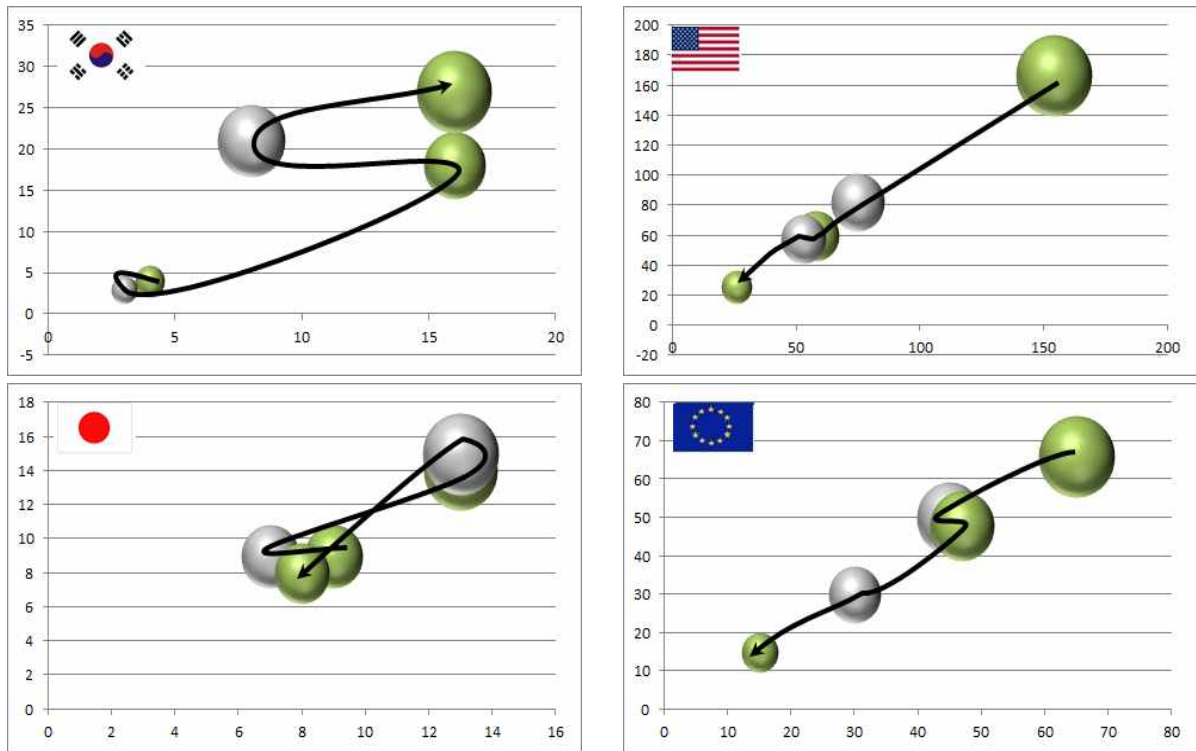


〈그림 137〉 건설 분야 시공 기술 전체 기술성장 단계

- 특히, 2구간(2006년~2009년)에서 크게 출원인수와 출원건수가 감소하여, 쇠퇴기에

들어선 것으로 판단

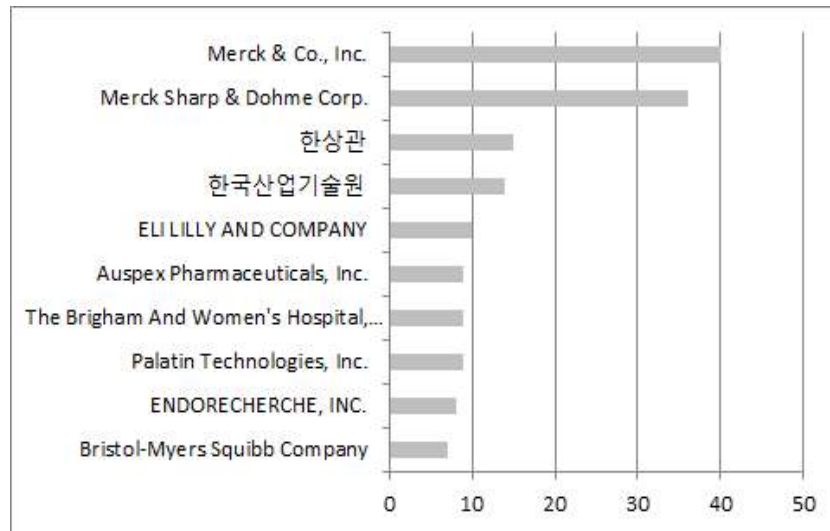
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원인수 및 출원건수가 증가하는 발전기로 판단되고, 주요 출원국 중 유일하게 발전기에 있는 것으로 분석
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 1구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 상승하였지만, 5구간(2018년~2021년)에서 감소하는 모습을 보여, 발전기와 성숙기의 사이에 있는 것으로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 계속 감소하고 있어 쇠퇴기에 있는 것으로 판단



〈그림 138〉 건설 분야 시공 기술 주요국 기술성장 단계

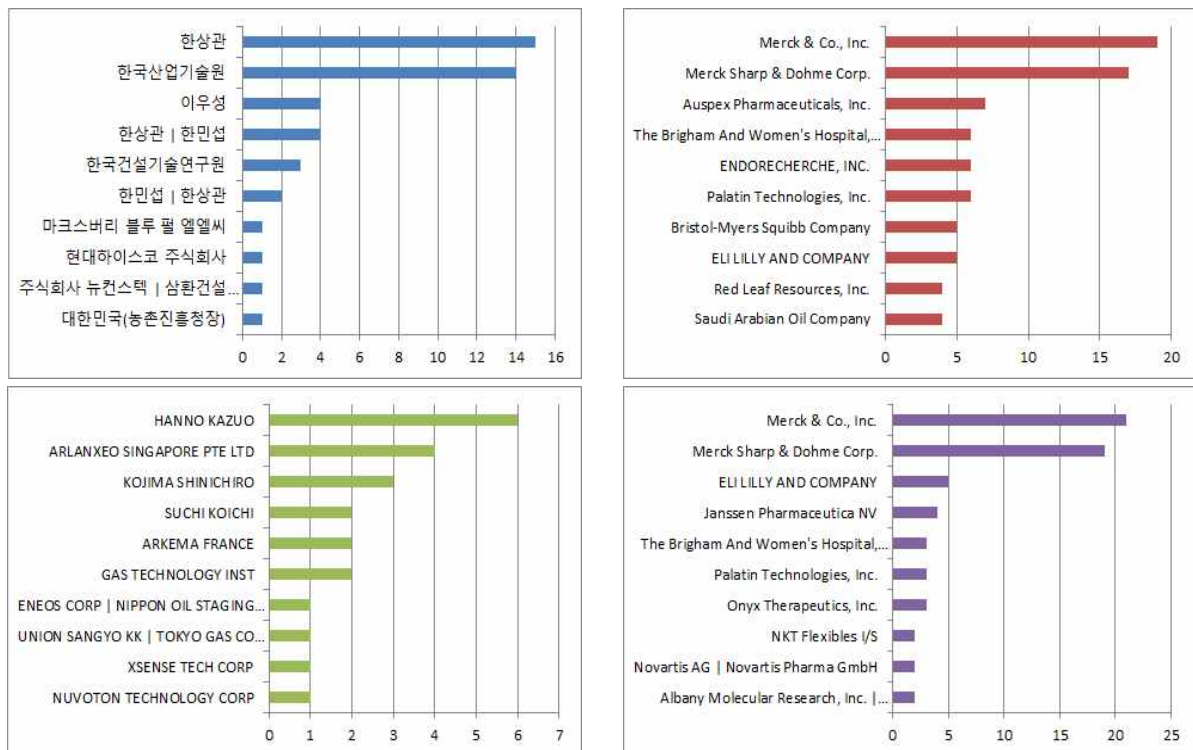
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 Merck & Co., Inc., Merck Sharp & Dohme Corp., 한상관 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국과 유럽의 기업이 다수를 차지



〈그림 139〉 건설 분야 시공 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한상관이며 한국산업기술원이 2위에 위치하였고, 상위 다출원으로 기업과 기관이 모두 포진하고 있어, 한국은 기업과 정부에서 모두 관심이 있는 시장으로 판단



〈그림 140〉 건설 분야 시공 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 것으로 나타나며, 미국, 일본 및 유럽의

경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 분석

- 특히, 미국과 유럽의 외국인 출원비율이 높아 관심도가 높은 시장으로 분석되고, 외국 출원인의 관심이 가장 많은 곳은 미국시장으로 판단

〈표 93〉 건설 분야 시공 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	61	161	25	81
외국	12	232	30	128

□ 기술수준 지표 분석

- 미국등록특허 393건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.05로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 806.19로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 1.22로 미국시장 뿐만 아니라 타 지역에서도 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 57.56으로 시장진입 용이성이 높은 편
 - CR4는 12.47%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 73건을 기록
 - PII는 0.09로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 6.22로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.36로 한국 시장에서만 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 881.97으로 시장진입의 난이도가 비교적 높은 수준으로 판단
 - CR4는 50.68%로 시장의 독과점 수준이 보통으로 분석
- 일본등록특허 건수는 55건을 기록
 - PII는 0.1로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 5.72로 기술력지수도 높지 않은 수준으로 판단
 - PFS는 0.75로 패밀리 특허의 건수가 평균보다 낮은 것으로 나타나며, HHI는 254.55로 시장진입 용이성이 보통으로 분석
 - CR4는 27.27%로 시장은 보통수준의 독과점 상태에 있는 것으로 판단
- 유럽등록특허 건수는 209건을 기록
 - PII는 0.02로 질적수준이 낮으며, TS는 3.87로 보통인 편으로 판단
 - PFS는 1.53으로 활발하게 해외시장을 개척하는 것으로 분석되었으며, HHI는

201.92로 시장진입의 난이도가 보통으로 분석

- CR4는 23.44%로 시장의 독과점 수준이 보통인 상황으로 판단

〈표 94〉 건설 분야 시공 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

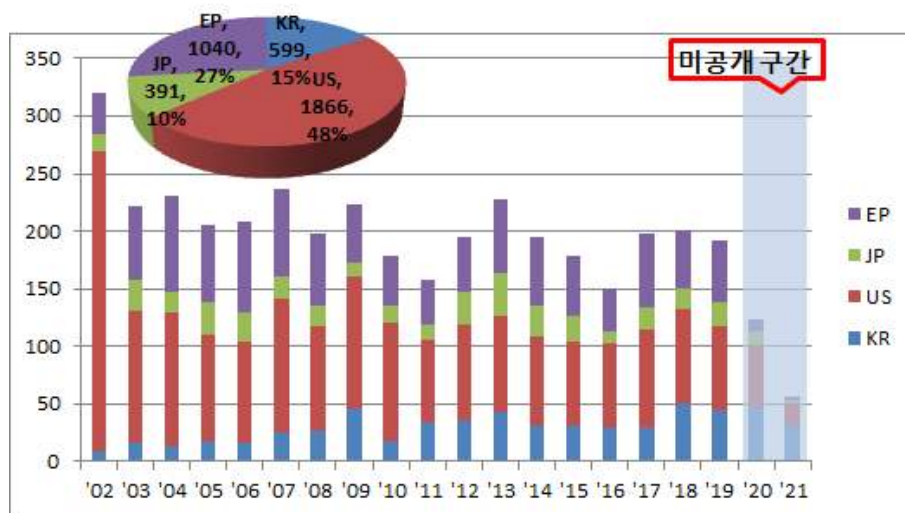
구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.12	27.80	0.37	66.56	13.22
미국	2.40	1162.59	0.54	8.16	4.54
일본	0.18	29.93	0.49	62.08	12.73
유럽	0.07	18.65	0.70	14.76	5.49

(라) 운영·관리 분야

① 운영·관리 분야 전체 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

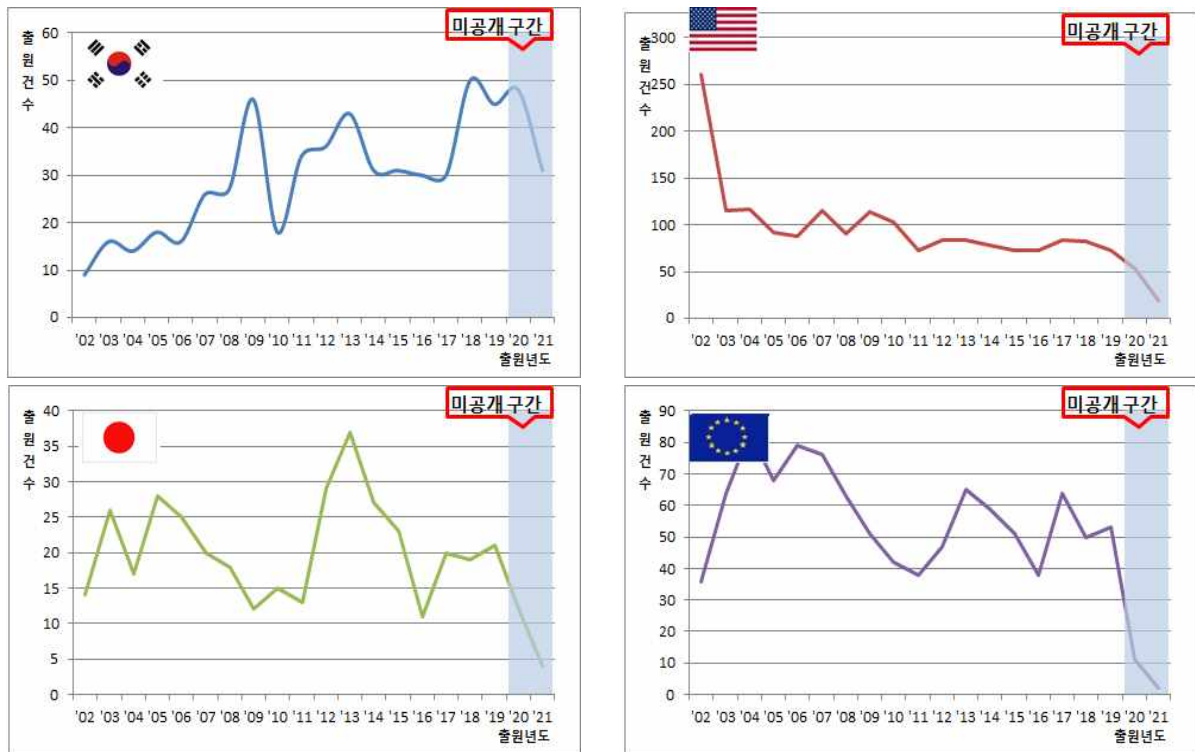
- 전체분석대상 특허는 3,896건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 1,866건, 일본 391건, 한국 599건, 유럽 1,040건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록



〈그림 141〉 운영·관리 분야 전체 기술 연도별 특허건수 추이

- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 특허 출원건수가 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 가장 큰 원인은 미국 및 유럽의 출원이 감소한데 있지만, 전 주요 지역에서 꾸준히 출원이 이루어지는 것을 확인
- 한국 특허청의 출원건수는 꾸준히 증가하는 추세를 보이고, 최대 출원건수는 2018년에 기록

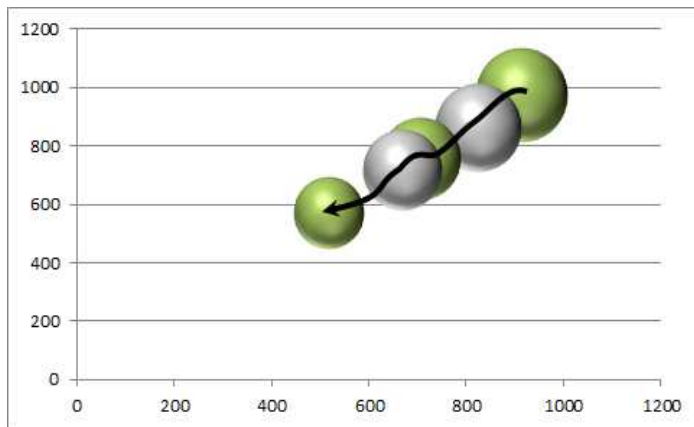
- 미국 특허청의 출원건수는 감소세가 뚜렷하고, 출원건수가 연간 50건 이상 꾸준히 발생
- 일본 특허청의 출원건수는 2013년 최고를 치를 기록하고, 년도별로 증감은 있지만 꾸준히 출원
- 유럽 특허청의 출원건수는 증감을 보이지만, 꾸준히 30건이상의 특허가 출원



〈그림 142〉 운영·관리 분야 전체 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

☐ 포트폴리오 기술주기 동향분석

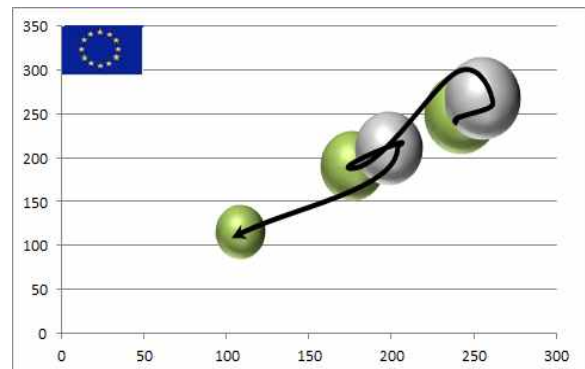
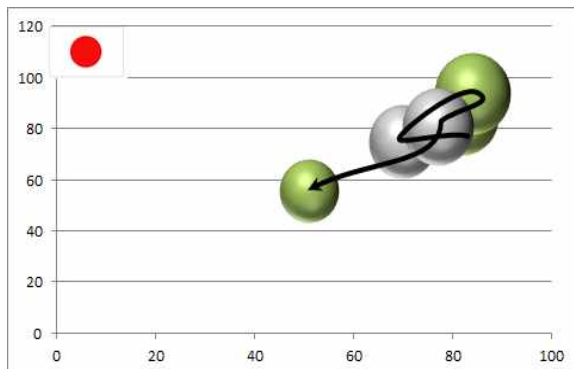
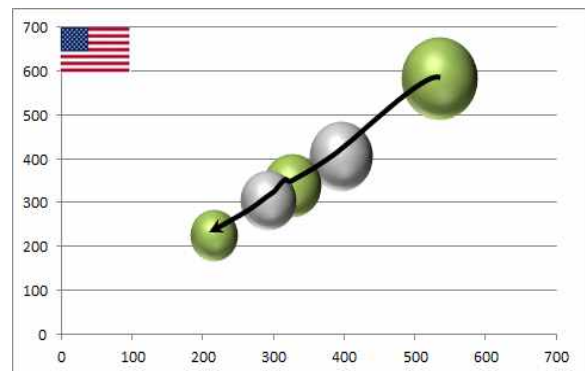
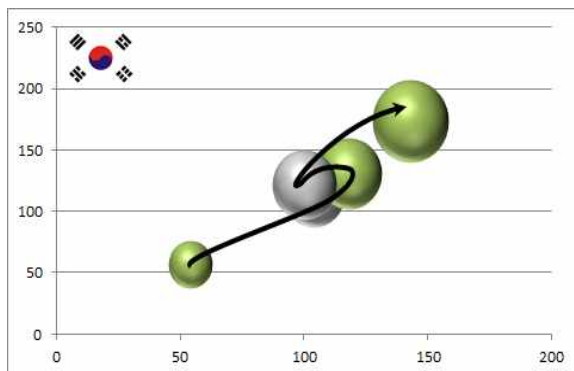
- 관련 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 특허 및 출원인이 정체되는 쇠퇴기에 해당되는 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 143〉 운영관리 분야 전체 기술 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 증가하는 발전기의 단계로 분석되고, 주요 출원국 중 유일한 발전기에 해당
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 큰 출원건수 및 출원인수를 보유하고 있었으며, 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수 및 출원인 수가 지속적으로 감소



〈그림 144〉 운영·관리 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

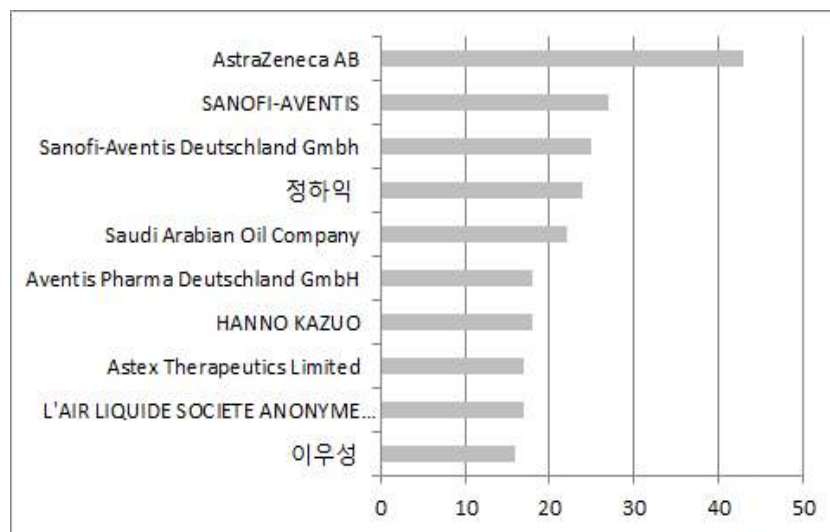
- 일본특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 약하게 증가하는 모습을 보이고 있지만 5구간(2018

년~2021년)에 감소하는 것으로 분석되어, 발전기와 성숙기의 중간에 위치

- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원건수가 감소하는 모습을 보이고 있어, 쇠퇴기에 해당하는 것으로 판단

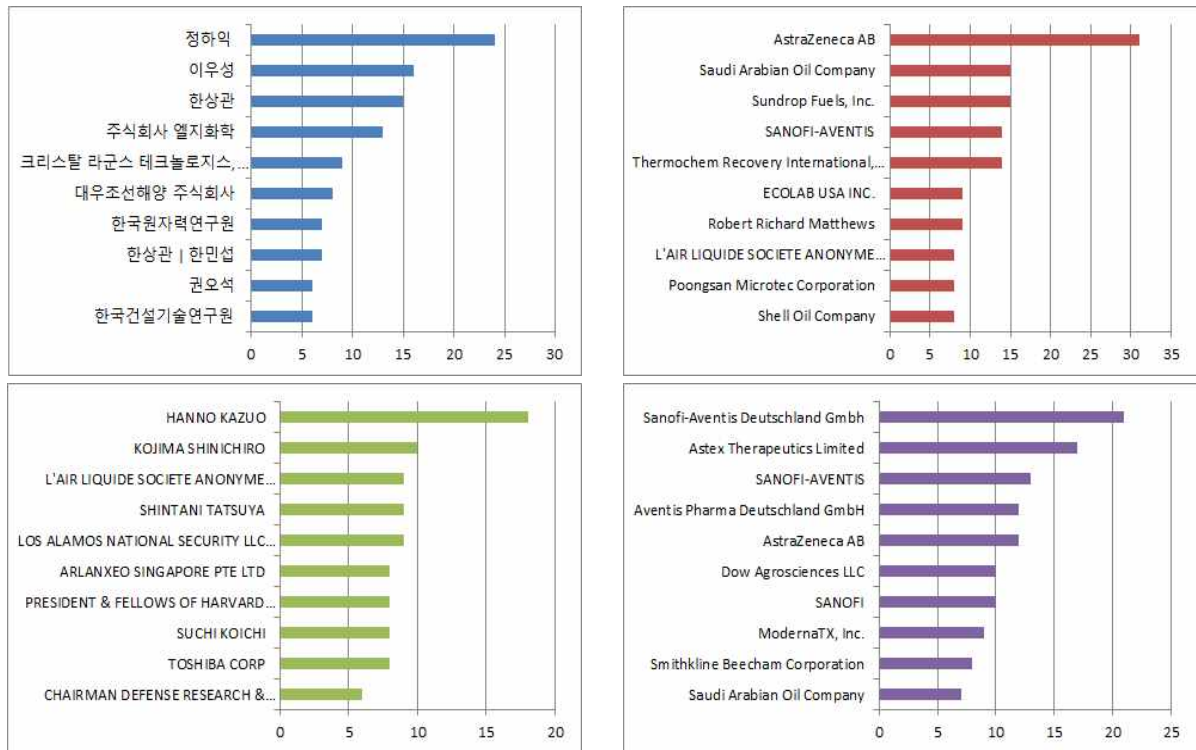
□ 국가별 출원인 동향

- 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 AstraZeneca AB, SANOFI-AVENTIS, Sanofi-Aventis Deutschland Gmbh 등이 글로벌 시장에서 강자인 것으로 판단
- 최상위 그룹 중 유럽의 기업이 대다수를 차지하였지만, 한국과 일본의 기업들도 상위 출원인에 위치



〈그림 145〉 운영·관리 분야 전체 기술 특허출원인 동향 분석

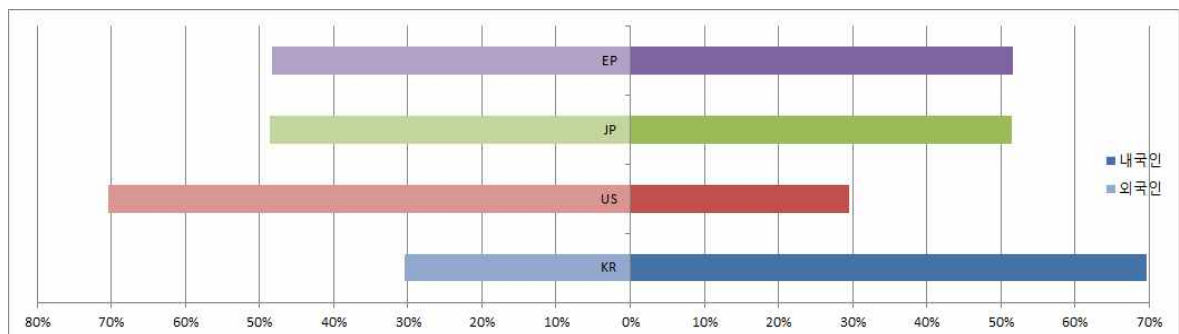
- 한국의 경우 다출원 1위는 장하익이 차지하였고, 상위 다출원인으로 다수의 연구기관이 자리하는 것으로 확인되며, 한국 시장은 연구기관과 정부에서 주도하는 시장으로 분석
- 미국의 경우 AstraZeneca AB사가 31건으로 최다출원을 하였고, 상위 다출원인에 기업의 비중이 매우높은 것으로 나타나 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석
- 일본의 경우 HANNO KAZUO사가 18건으로 최다출원을 하였고, 기업위주의 시장을 형성하는 것으로 분석
- 유럽의 경우 Sanofi-Aventis Deutschland GmbH사가 21건의 출원건수를 보이며, 상위 출원인이 모두 기업으로 확인되어, 기업위주의 시장으로 판단



〈그림 146〉 운영·관리 분야 전체 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 압도적으로 높은 것으로 판단
- 일본 및 유럽의 경우 거의 동일한 비중으로 자국민과 외국인 출원이 이루어지고 있으며, 미국의 경우, 외국인의 비중이 매우 높은 것으로 분석
- 가장 관심받는 시장은 미국시장으로 판단되고, 유럽과 일본의 시장 역시 관심도가 높은 시장으로 분석



〈그림 147〉 운영·관리 분야 전체 기술 기술분야별 내외국인 점유율

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 운영관리기술 개발의 미국등록특허 건수는 1866건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2로 질적수준이 높은 편이고, TS는 무려 3725.33으로 기술력지수가 매우 높은 편
 - PFS는 0.98로 비교적 다양한 시장을 확보한 것으로 판단되며, HHI는 6.19로 시장진입이 매우 용이한 것으로 확인
 - CR4는 4.02%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 599건을 기록
 - PII는 0.12로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 69.62로 기술력지수가 보통인 편
 - PFS는 0.62로 국내시장에 집중하여 기술개발 활동을 하는 것으로 분석되고, HHI는 42.95로 시장진입에 용이한 시장으로 확인
 - CR4는 11.35%로 시장의 독과점 수준이 보통으로 판단
- 일본등록특허 건수는 391건을 기록
 - PII는 0.14로 질적수준이 매우 낮은 편이고, TS는 53.46으로 기술력지수 낮은 편
 - PFS는 0.77로 패밀리 특허의 건수가 낮은 편으로 나타나며, HHI는 62.73으로 시장진입 용이성이 보통인 편
 - CR4는 11.76%로 시장의 독과점 수준이 높지 않은 것으로 판단
- 유럽등록특허 건수는 1040건을 기록
 - PII는 0.05로 질적수준이 매우 낮은 편이고, TS는 47.6으로 기술력지수도 보통으로 분석
 - PFS는 1.34로 활발하게 여러 시장에서 진입한 것으로 나타나며, HHI는 14.62로 시장에 집입하기 용이한 상태로 판단
 - CR4는 6.06%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

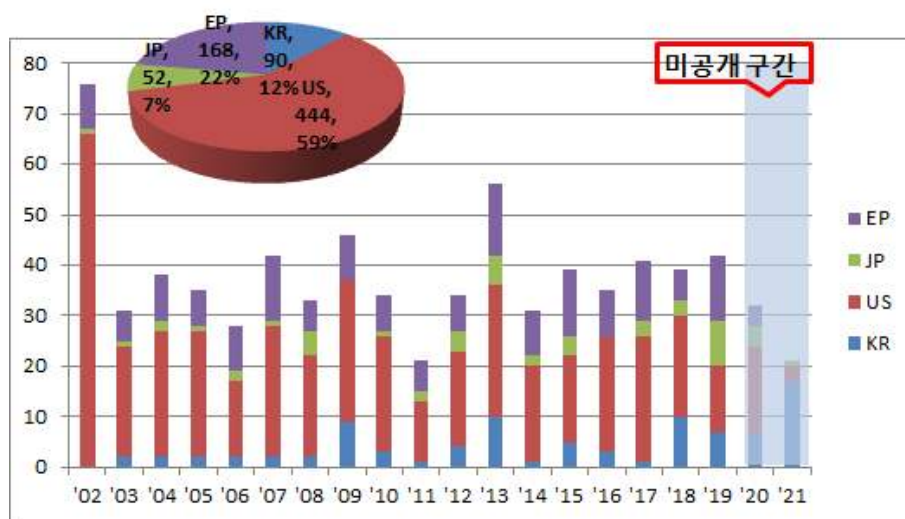
〈표 95〉 운영·관리 분야 전체 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.12	69.62	0.62	42.95	11.35
미국	2.00	3725.33	0.98	6.19	4.02
일본	0.14	53.46	0.77	62.73	11.76
유럽	0.05	47.60	1.34	14.62	6.06

㉔ 운영·관리 분야 운영 기술에 대한 특허동향 분석

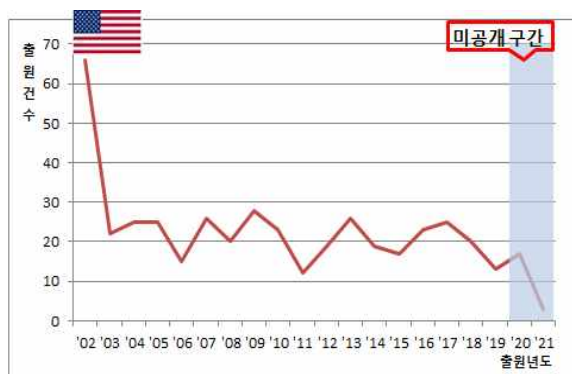
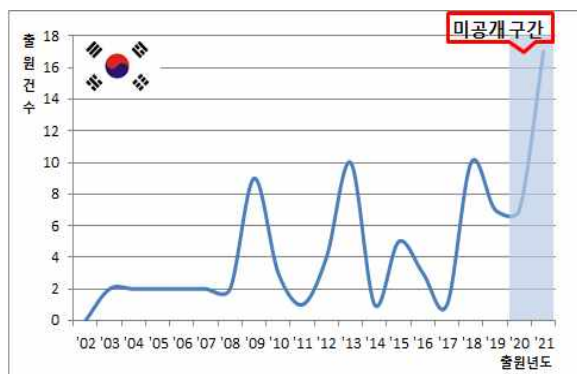
□ 주요국 연도별 특허출원 동향

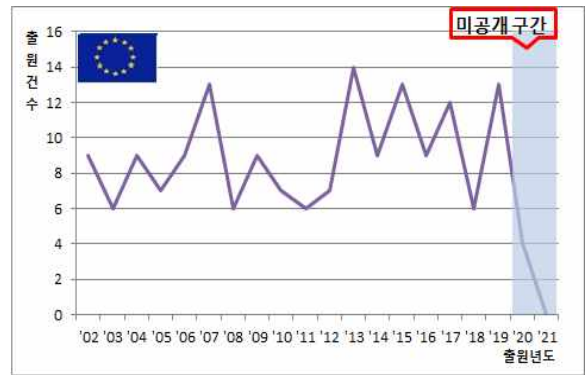
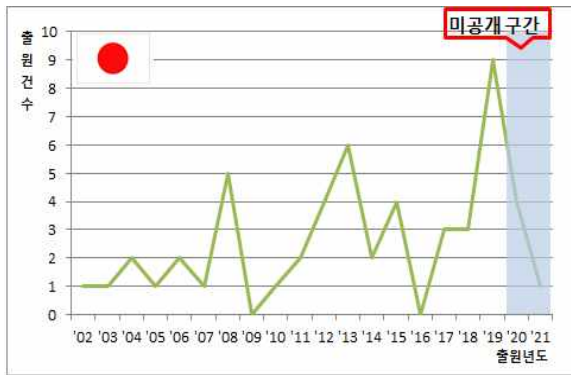
- 전체분석대상 특허는 754건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 444건, 한국 90건, 일본 52건, 유럽 168건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면 출원이 꾸준히 지속되는 것으로 확인



〈그림 148〉 운영·관리 분야 운영 기술 연도별 특허 동향

- 한국 특허청의 출원건수는 증감이 있으나, 꾸준한 증가세를 보이고 있는 것으로 분석되고, 2021년에 가장 큰 출원건수를 기록
- 미국 특허청의 출원건수는 2000년대 초반에 급격하게 감소하고, 감소 이후는 연간 약 20건 정도 꾸준히 출원이 발생



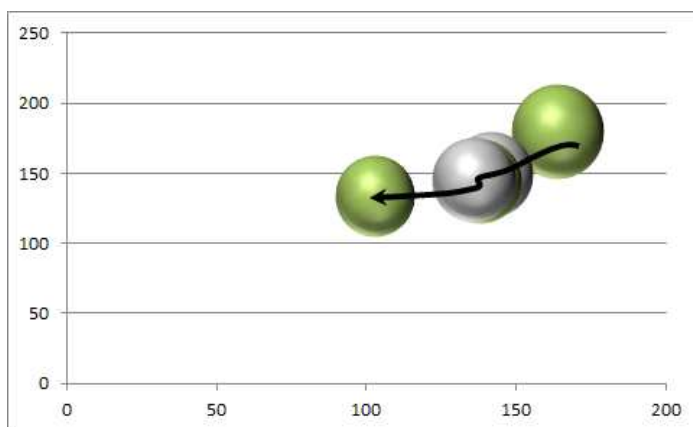


〈그림 149〉 운영·관리 분야 운영 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

- 일본 특허청의 출원건수는 크지 않지만 꾸준히 유지되고 있고, 최근 2019 년도에 가장 큰 출원을 보인 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 증감을 반복하지만 6건 이상의 출원이 꾸준히 발생

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

- 기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 정체 되는 성숙기에 해당되는 것으로 판단
- 특히, 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원건수 및 출원인 수가 유지되는 구간이 나타나며, 출원인수는 정체되는 성숙기에 들어선 것으로 판단
- 5구간(2018년~2021년)에서 출원인수가 감소하는 것으로 나타났지만, 미공개 출원을 감안하여 아직 성숙기에 있는 것으로 판단

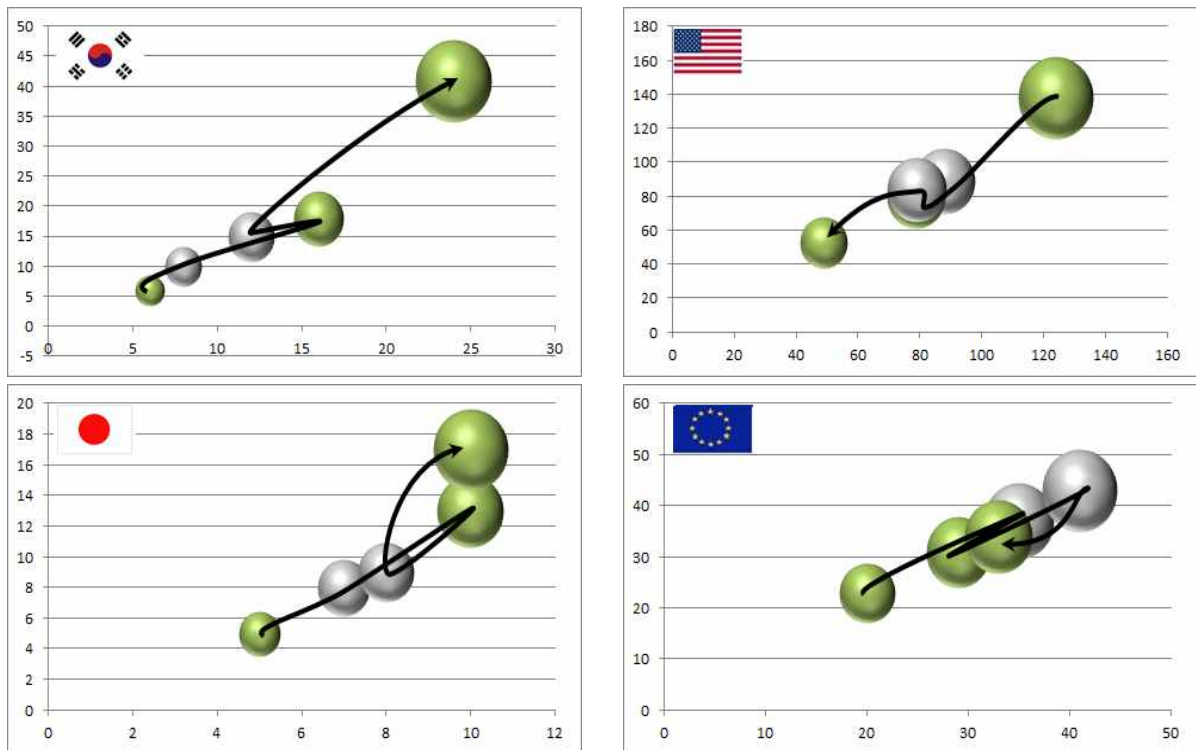


분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 150〉 운영·관리 분야 운영 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5(2018년~2021년)구간까지 출원건수 및 출원인수가 증가하는 발전기의 단계로 판단

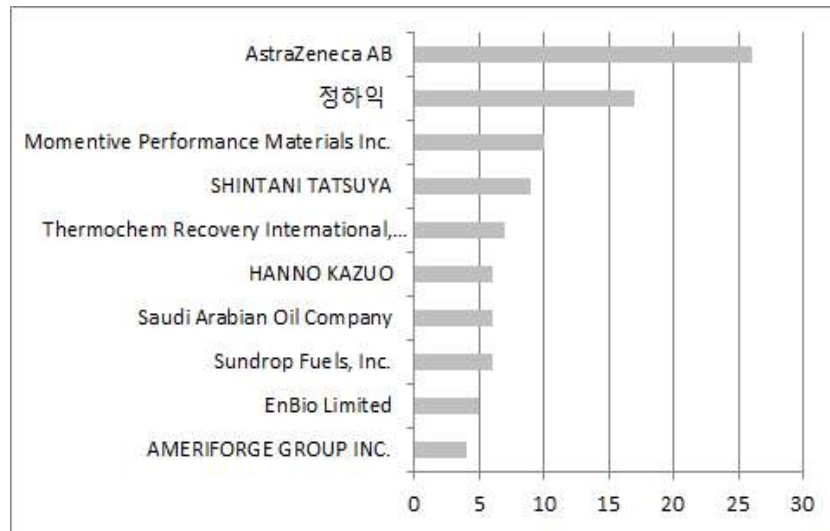
- 미국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)에서 5구간(2018년~2021년)까지 지속적으로 감소하는 모습을 보여 쇠퇴기에 위치하는 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 구간부터 1구간(2002년~2005년)에서 5구간(2014년~2017년)까지 지속적으로 증가하는 모습을 보여 발전기에 해당하는 것으로 분석
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 증가하는 모습을 보이고, 5구간(2018년~2021년)에 감소하는 모습으로 보여 발전기와 성숙기의 중간에 있다고 판단



〈그림 151〉 운영·관리 분야 운영 기술 주요국 기술성장 단계

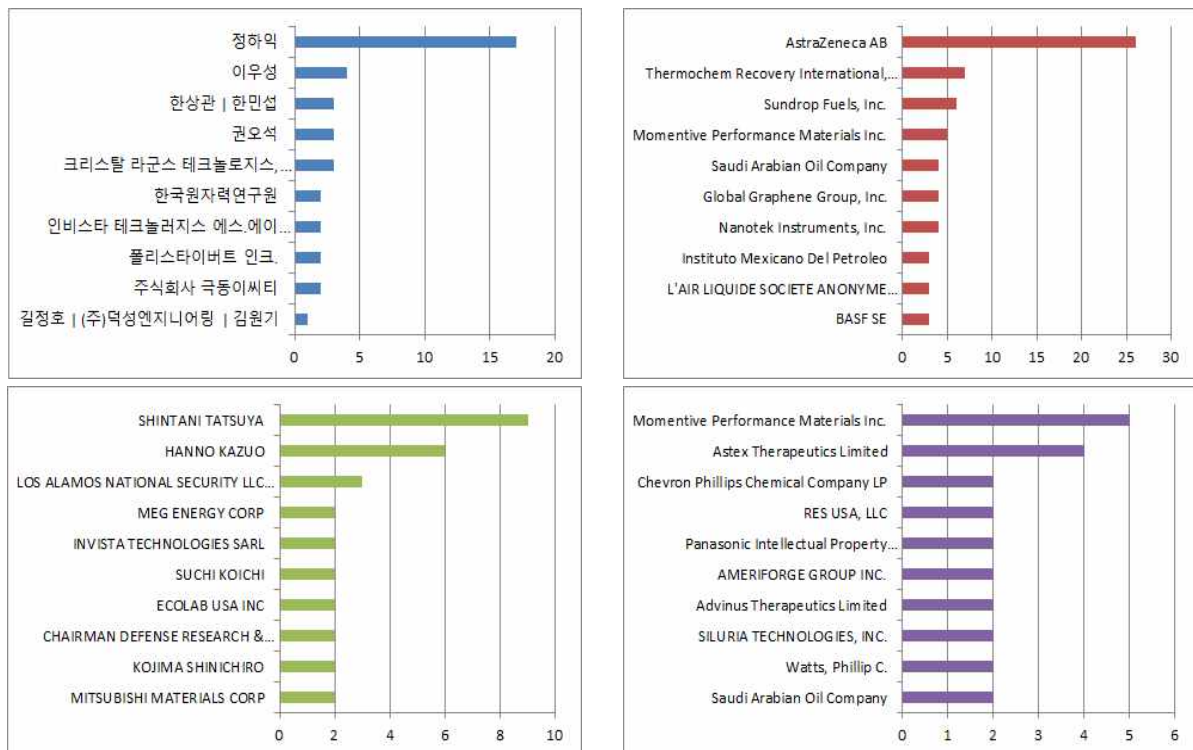
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 AstraZeneca AB, 정하익, Momentive Performance Materials Inc. 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단
- 최상위 그룹을 일본의 기업과 유럽의 기업이 차지하였고, 최다 출원인 Astra Zeneca AB는 미국에 집중적으로 출원하여 총 26건의 특허 출원건수를 기록



〈그림 152〉 운영·관리 분야 운영 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 정하익이 차지하였고, 최상위 다출원인 그룹으로 다수의 기업이 포함되어 있어, 수소관망 운영기술에 대하여 기업주도적 시장을 형성하고 있는 것으로 분석



〈그림 153〉 운영·관리 분야 운영 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국과 일본의 경우 내국인 출원비율이 외국인 출원비율 보다 높으며, 미국 및 유럽은 외국인의 출원이

내국인 출원보다 높은 것으로 기록

- 특히, 미국은 외국출원인의 비중이 매우 높아 외국인 주도적인 시장으로 나타나며, 관심도가 가장 큰 시장으로 판단
- 유럽 역시 외국인 출원 비율 역시 높은 편으로 관심도가 있는 시장으로 판단
- 주요 출원국 중 한국이 가장 내국인 출원 비율이 높은 시장으로 확인

〈표 96〉 운영·관리 분야 운영 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	66	130	30	82
외국	24	314	22	86

□ 기술수준 지표 분석

- 수소도시의 수소관망 운영기술 개발의 미국등록특허 건수는 444건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.02로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 897.6으로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 0.96으로 상대적으로 여러 시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 43.67로 시장진입에 용이한 상태로 분석
 - CR4는 9.9%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 것으로 분석
- 한국등록특허 건수는 90건을 기록
 - PII는 0.12으로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 10.93으로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.61로 한국 시장에서 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 430.86으로 시장진입의 난이도가 보통수준으로 분석
 - CR4는 30%로 시장의 독과점 수준이 중간 수준으로 판단
- 일본등록특허 건수는 52건을 기록
 - PII는 0.08로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 4.15로 기술력지수도 매우 낮은 편
 - PFS는 0.69로 패밀리특허의 건수가 평균보다 적은 편으로 나타나며, HHI는 569.53으로 시장진입 난이도는 보통 수준에 있는 것으로 판단
 - CR4는 38.46%로 보통수준의 독과점 시장으로 판단
- 유럽등록특허 건수는 168건을 기록

- PII는 0.07로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 11.08로 기술력이 낮은 편
- PFS는 1.11로 여러시장에서 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 25.86으로 시장진입 용이성이 높은 편
- CR4는 7.73%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단

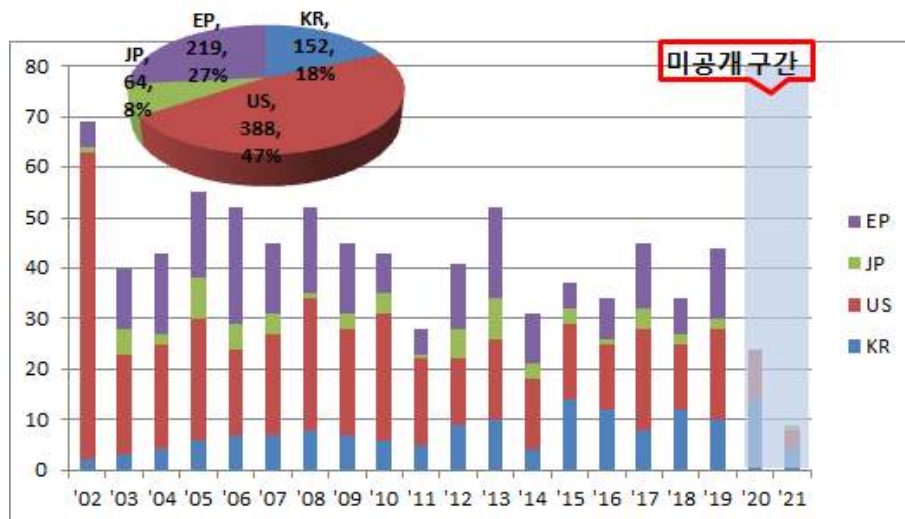
〈표 97〉 운영·관리 분야 운영 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.12	10.94	0.61	430.86	30.00
미국	2.02	897.60	0.96	43.68	9.91
일본	0.08	4.15	0.69	569.53	38.46
유럽	0.07	11.08	1.12	25.86	7.74

③ 운영·관리 분야 유지관리 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

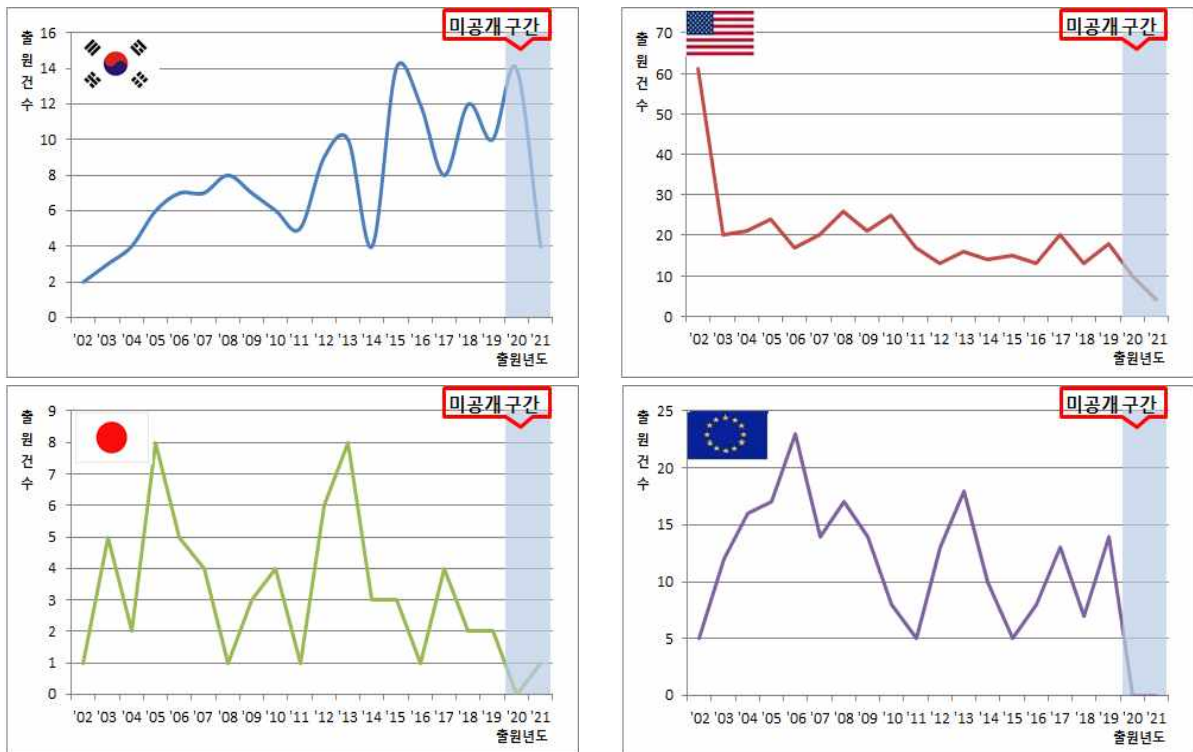
- 전체분석대상 특허는 823건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 388건, 한국 152건, 일본 64건, 유럽 219건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록
- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 약하게 감소하는 추세를 보이며, 미국과 유럽의 출원이 감소한 영향으로 판단



〈그림 154〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 연도별 특허 동향

- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준히 출원이 발생하며, 2010년대부터 출원의 증감 폭이 크지만 증가하는 추세로 분석

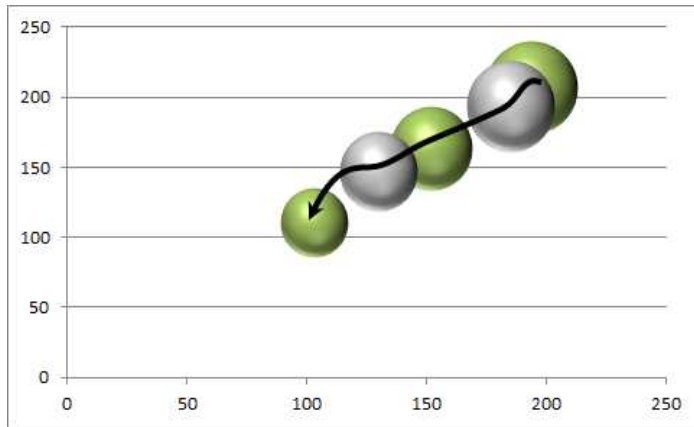
- 미국 특허청의 출원건수는 2002년 이후 크게 하락한 후 지속적으로 출원이 발생하고 있으나 약한 하락추세를 확인
- 일본 특허청의 출원건수는 지속적으로 증감을 반복하는 모습을 보이며 꾸준하게 출원이 이루어지고 있는 것으로 분석
- 유럽 특허청의 출원건수는 상승과 하강을 반복하지만 조금 하락하는 추세



〈그림 155〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

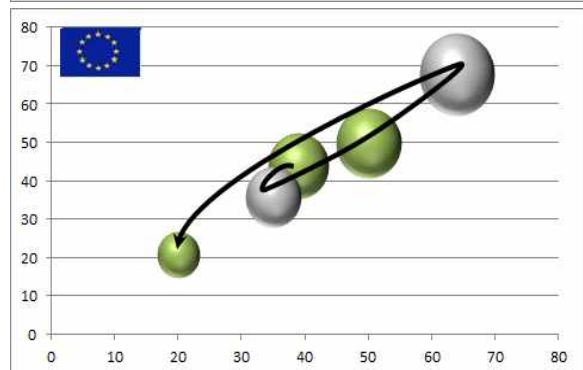
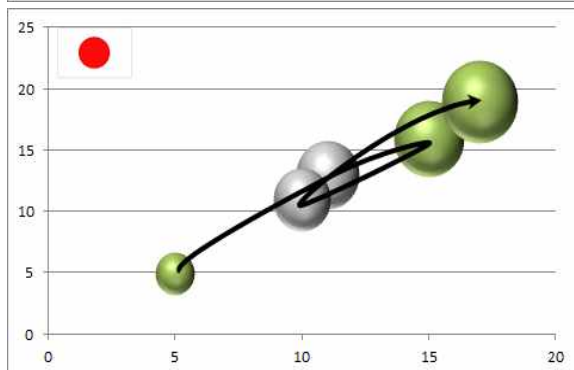
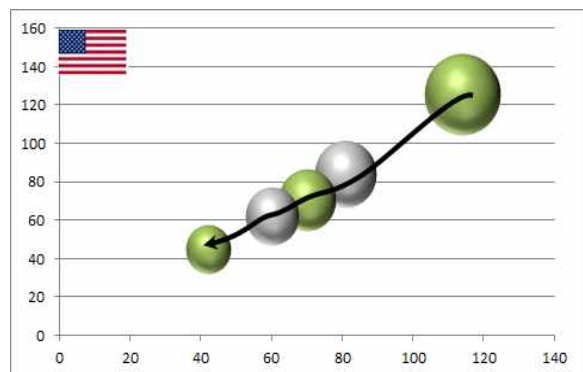
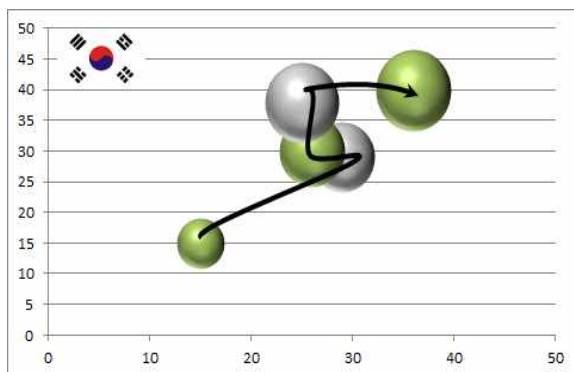
- 수소관망 유지관리기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 것으로 보여, 기술위치가 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원인수 및 출원건수가 증가하는 발전기로 판단
- 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인수가 정체되며, 출원건수가 증가하는 성숙기에 들어선 것으로 보이지만, 5구간(2018년~2021년) 다시 출원인수 및 출원건수가 모두 상승하여 발전기로 보는 것이 타당



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 156〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 전체 기술성장 단계

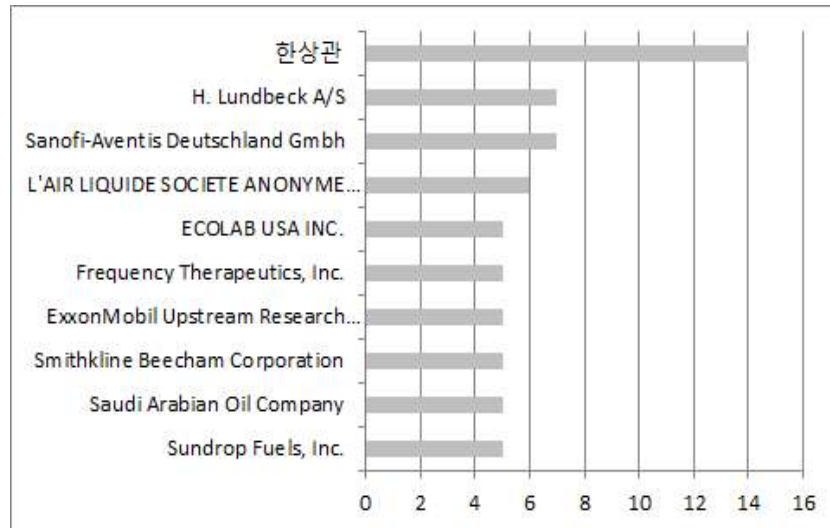
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 1구간(2006년~2009년)부터 3구간(2010년~2013년)까지 출원인과 출원건수가 상승하였지만, 4구간(2014년~2017년)에서 감소하는 모습을 보인 후, 다시 5구간(2018년~2021년)에 상승하는 모습을 보여 발전기로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 계속 증가하는 추세를 보였지만 5구간(2018년~2021년)에서 감소하여, 발전기와 성숙기의 사이에 있는 것으로 판단



〈그림 157〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요국 기술성장 단계

□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 하상관, H. Lundbeck A/S, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국과 유럽의 기업이 다수를 차지



〈그림 158〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 한상관이며 상위 다출원으로 기업이 다수 위치하고 있는 것으로 분석되어, 기업주도적으로 기술을 개발 및 발전이 이루어지고 있는 시장으로 판단



〈그림 159〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 편
- 미국, 일본 및 유럽의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 분석
- 특히, 미국의 외국인 출원비율이 타 지역에 비하여 높은 것으로 분석되어, 가장 관심도가 높은 시장은 미국으로 분석

〈표 98〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	100	130	24	102
외국	52	258	40	117

□ 기술수준 지표 분석

- 미국등록특허 388건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 2.36으로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 914.98로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 0.83으로 미국시장에 집중하여 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 6.84로 시장진입에 매우 용이한 편
 - CR4는 3.87%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 152건을 기록
 - PII는 0.1로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 15.91로 기술력지수가 낮은 편
 - PFS는 0.67로 한국 시장에서만 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 122.49로 시장진입의 난이도가 비교적 높은 수준으로 판단
 - CR4는 17.11%로 시장의 독과점 수준이 비교적 낮은 편으로 분석
- 일본등록특허 건수는 64건을 기록
 - PII는 0.21로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 13.38로 기술력지수도 높지 않은 수준으로 판단
 - PFS는 0.82로 패밀리 특허의 건수가 평균보다 낮은 것으로 나타나며, HHI는 192.87로 시장진입에 난이도가 있는 것으로 분석

- CR4는 21.88%로 시장은 보통수준의 독과점 상태에 있는 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 219건을 기록

- PII는 0.04로 질적수준이 낮으며, TS는 8.1로 낮은수준의 기술력을 보이는 것으로 분석
- PFS는 1.27로 활발하게 해외시장을 개척하는 것으로 분석되었으며, HHI는 25.65로 시장진입의 난이도가 낮은 것으로 분석
- CR4는 8.22%로 시장의 독과점 수준이 보통인 상황으로 판단

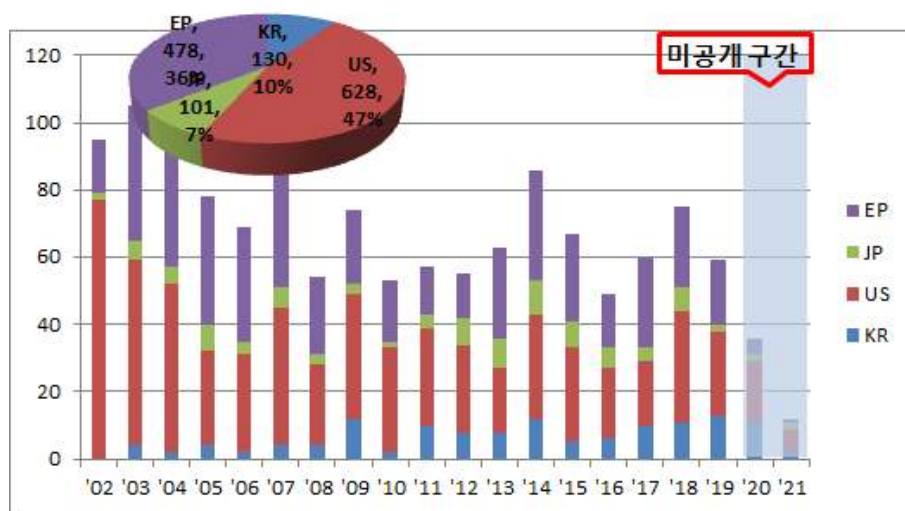
〈표 99〉 운영·관리 분야 유지관리 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.10	15.92	0.67	122.49	17.11
미국	2.36	914.98	0.84	6.84	3.87
일본	0.21	13.38	0.82	192.87	21.88
유럽	0.04	8.10	1.27	25.65	8.22

④ 운영·관리 분야 위험성평가 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

- 전체분석대상 특허는 1,337건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 628건, 한국 130건, 일본 101건, 유럽 478건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허 출원량을 기록

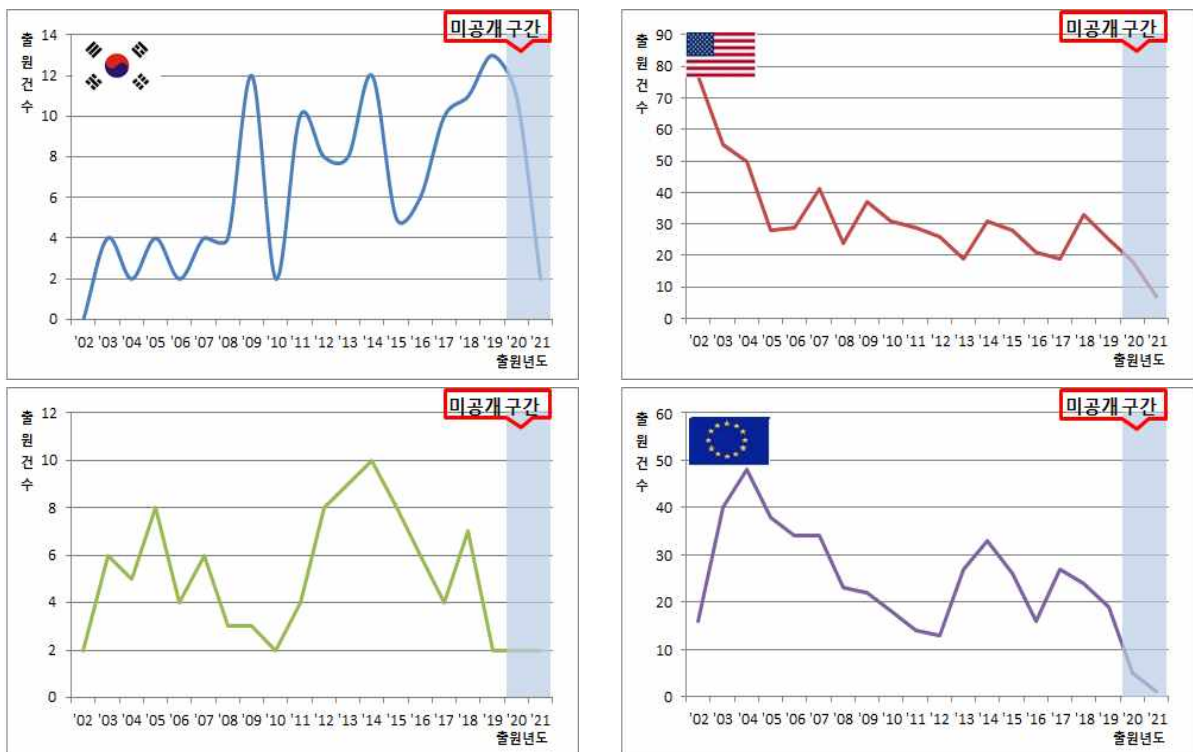


〈그림 160〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 연도별 특허 동향

- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 출원이 꾸준하게 유지되는 모습을

보이고 있고, 한국의 출원건수가 늘어나는 것으로 분석

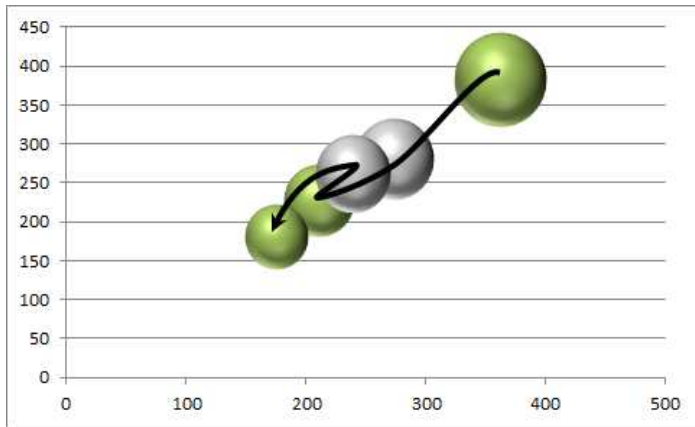
- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준히 출원이 발생하며, 꾸준히 증가하는 모습을 보이는 것으로 분석
- 미국 특허청의 출원건수는 2002년 이후 하락하는 모습을 보이고 있지만, 20건 이상의 출원이 매년 꾸준히 유지
- 일본 특허청의 출원건수는 꾸준히 발생하고 있으며, 2010년대에 연간 출원건수가 증가
- 유럽 특허청의 출원건수는 상승과 하강을 반복하지만 조금씩 하락하는 추세



〈그림 161〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

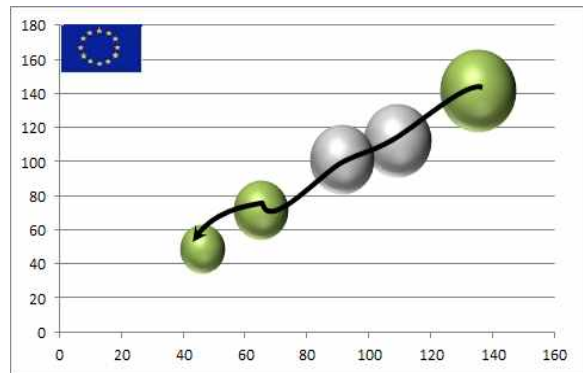
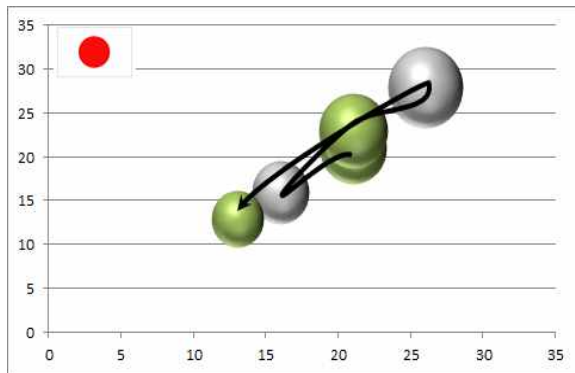
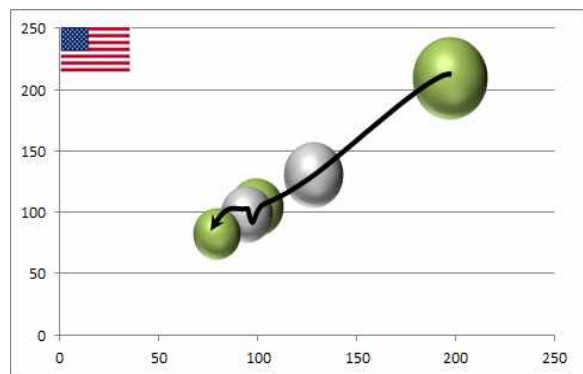
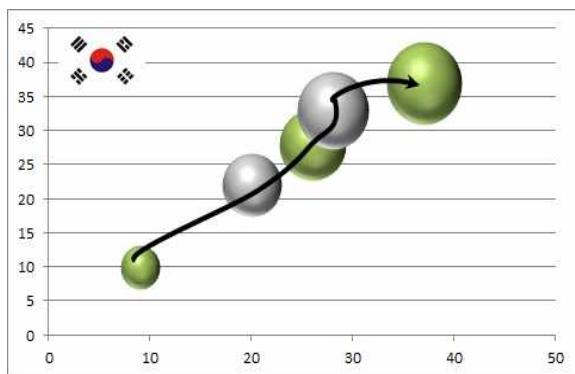
- 수소관망 위험성평가기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소하는 것으로 보이며, 4구간(2014년~2017년)에서 잠시 증가하지만, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단



분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 162〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원인수 및 출원건수가 증가하는 발전기로 판단되고, 주요 출원국 중 유일하게 발전기에 있는 것으로 분석
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단
- 일본특허의 기술위치는 2구간(2006년~2009년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인과 출원건수가 상승하였지만, 5구간(2018년~2021년)에서 감소하는 모습을 보여, 발전기와 성숙기의 사이에 있는 것으로 판단

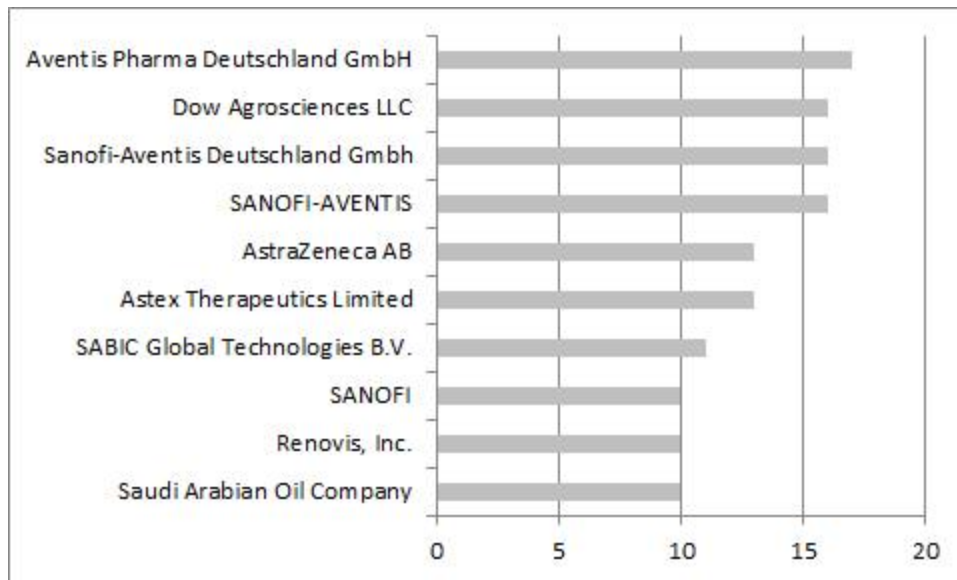


〈그림 163〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요국 기술성장 단계

- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 계속 감소하고 있어 쇠퇴기에 있는 것으로 판단

□ 국가별 출원인

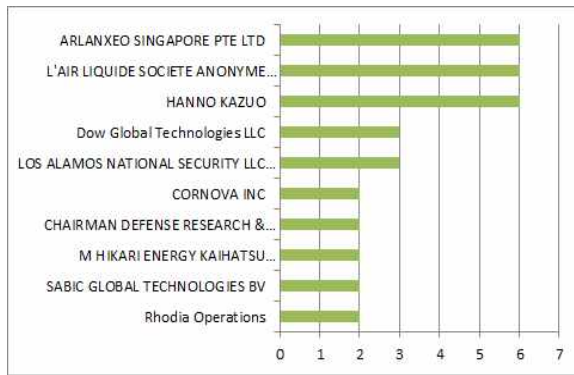
- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 Aventis Pharma Deutschland GmbH, Dow Agrosciences LLC, Sanofi-Aventis Deutschland GmbH 등이 특허 관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국과 유럽의 기업이 다수를 차지



〈그림 164〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 아부 다비 폴리머스 씨오. 엘티디 (보르쥬) 엘엘씨.이며 이우성이 2위에 위치하였고, 상위 다출원으로 연구기관과 기업이 모두 포진하고 있어, 한국은 기업과 정부에서 모두 관심있는 시장으로 판단





〈그림 165〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

- 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국과 유럽의 경우 국내출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 것으로 나타나며,
- 미국과 일본의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 분석
- 특히, 미국의 외국인 출원인의 비율이 매우 높은 것으로 분석되어, 외국 출원인의 관심이 가장 많은 곳은 미국시장으로 판단

〈표 100〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	67	171	32	277
외국	63	457	69	201

□ 기술수준 지표 분석

- 미국등록특허 628건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편
 - PII는 1.68로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 1055.68로 기술력지수가 상당히 높은 편
 - PFS는 1.2로 미국시장 뿐만 아니라 타 지역에서도 기술개발 활동을 하는 것으로 나타나며, HHI는 9.41으로 시장진입 용이성이 높은 편
 - CR4는 4.46%로 시장의 독과점 수준이 낮은 편으로 판단
- 한국등록특허 건수는 130건을 기록
 - PII는 0.09로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 12.01로 기술력지수가 낮은 편

- PFS는 0.84로 한국 시장에서만 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 62.72로 시장진입의 난이도가 비교적 낮은 수준으로 판단

- CR4는 13.08%로 시장의 독과점 수준이 낮은 수준으로 분석

○ 일본등록특허 건수는 101건을 기록

- PII는 0.14로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 14.4로 기술력지수도 높지 않은 수준으로 판단

- PFS는 1.04로 패밀리 특허의 건수가 평균보다 높아, 다양한 지역에서 기술개발을 진행하는 것으로 나타나며, HHI는 143.12로 시장진입 용이성이 보통으로 분석

- CR4는 20.79%로 시장은 보통수준의 독과점 상태에 있는 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 478건을 기록

- PII는 0.04로 질적수준이 낮으며, TS는 20.46으로 보통인 편으로 판단

- PFS는 1.53으로 활발하게 해외시장을 개척하는 것으로 분석되었으며, HHI는 36.98로 시장진입의 난이도가 낮은 것으로 분석

- CR4는 9.83%로 낮은 수준의 독과점 시장으로 판단

〈표 101〉 운영·관리 분야 위험성평가 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

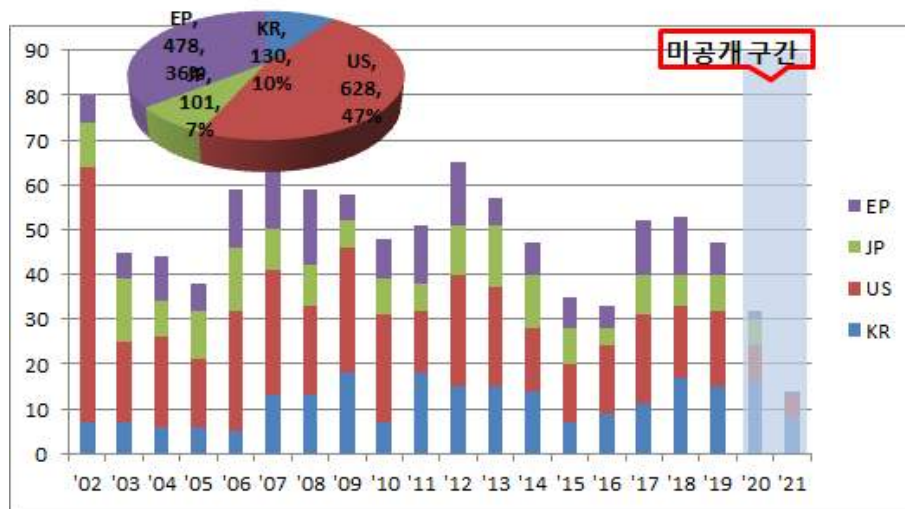
구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.09	12.01	0.84	62.72	13.08
미국	1.68	1055.68	1.19	9.41	4.46
일본	0.14	14.40	1.04	143.12	20.79
유럽	0.04	20.46	1.53	36.98	9.83

㉞ 운영·관리 분야 표준화 기술에 대한 특허동향 분석

□ 주요국 연도별 특허출원 동향

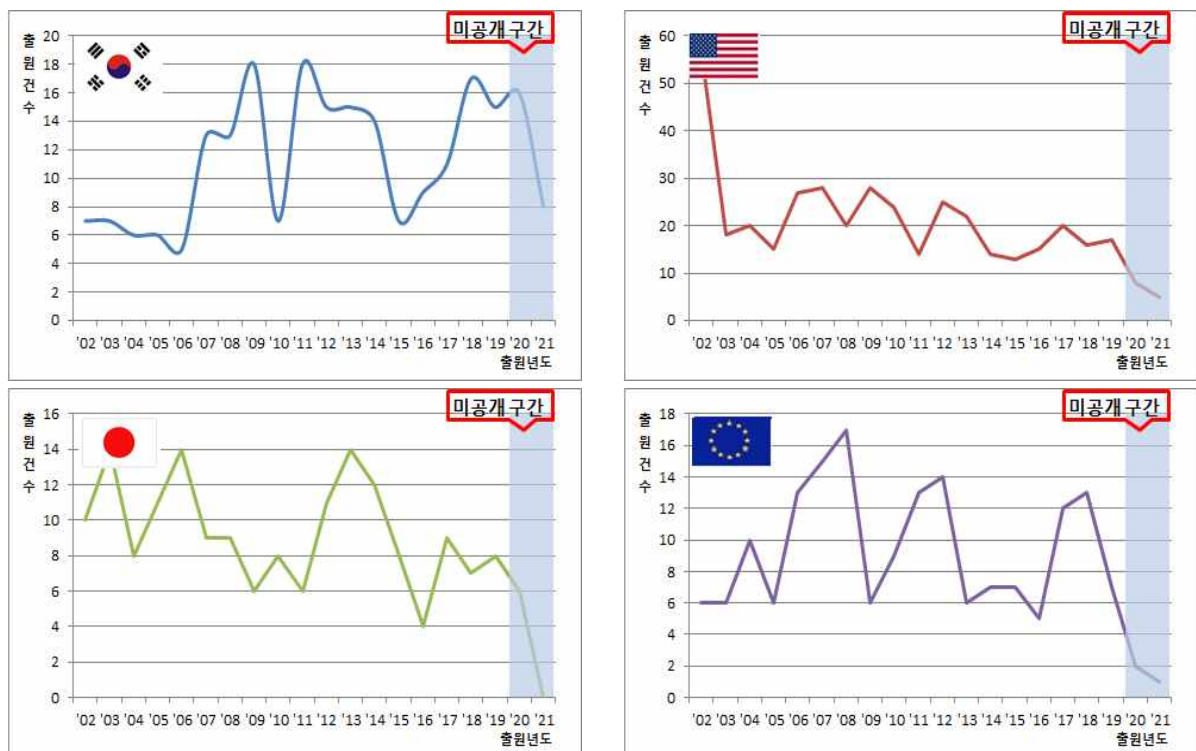
- 전체분석대상 특허는 982건(미국, 일본, 한국, 유럽)으로 미국 406건, 한국 227건, 일본 174건, 유럽 175건이 검색되었으며 미국, 유럽, 한국, 일본 순서의 특허출원량을 기록

- 국가별로 특허 출원량 추세를 살펴보면, 꾸준하게 출원이 발생하고 있는 것으로 확인



〈그림 166〉 운영·관리 분야 표준화 기술 연도별 특허 동향

- 한국 특허청의 출원건수는 2000년대부터 꾸준히 출원이 발생하며, 2009년과 2011년 최다 출원이 발생하는 것으로 확인
- 미국 특허청의 출원건수는 2002년 이후 크게 하락한 후 꾸준히 약 20건 정도가 매년 출원
- 일본 특허청의 출원건수는 증감을 반복하지만, 꾸준히 출원이 이루어지는 것으로 분석

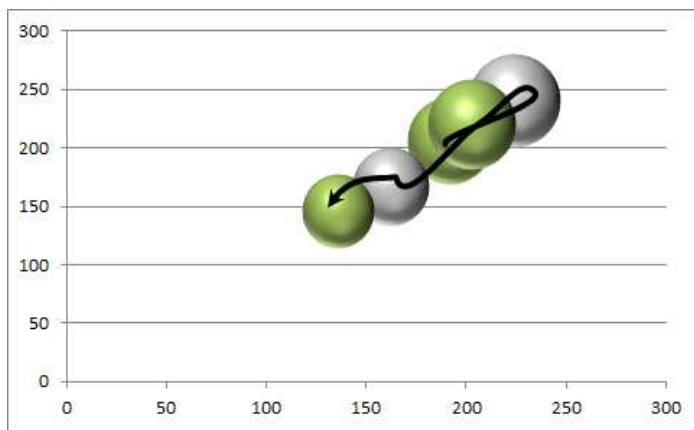


〈그림 167〉 운영·관리 분야 표준화 기술 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

- 유럽 특허청의 출원건수도 상승과 하강을 반복하지만 매년 6건 이상의 출원이 꾸준하게 나타나는 것으로 분석

□ 포트폴리오 기술주기 동향분석

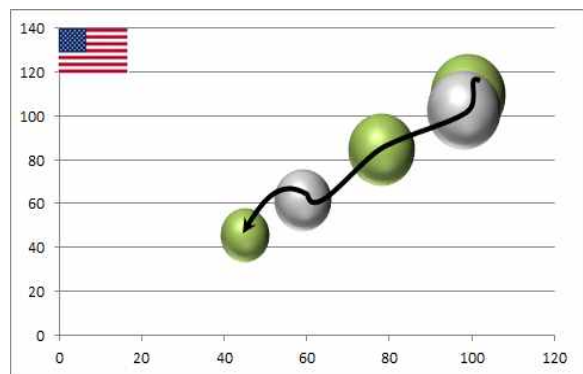
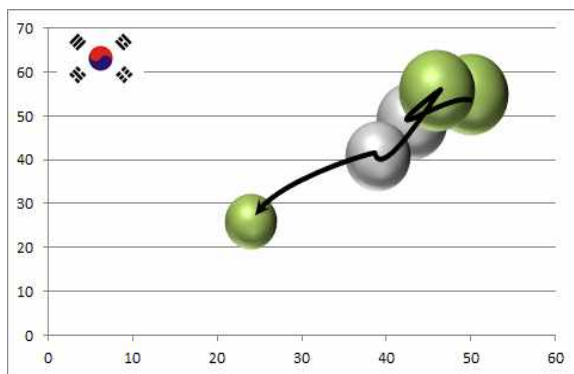
- 수소관망 표준화기술 분야는 분석이 이루어진 대상 국가 대부분이 출원건수와 출원인수가 지속적으로 감소
- 특히, 2구간(2006년~2009년)에서 5구간(2018년~2021년)사이에 크게 출원인수와 출원건수가 감소하여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단

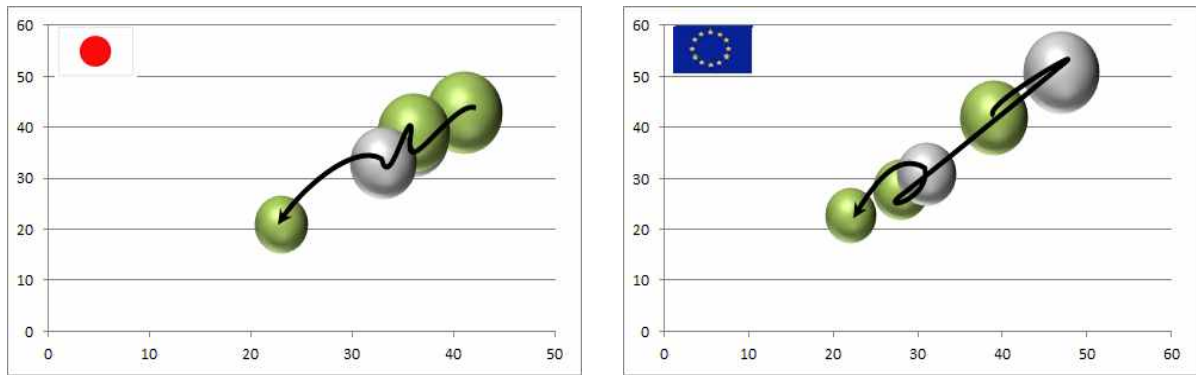


분석구간	2002년 ~ 2021년
1구간	2002년 ~ 2005년
2구간	2006년 ~ 2009년
3구간	2010년 ~ 2013년
4구간	2014년 ~ 2017년
5구간	2018년 ~ 2021년

〈그림 168〉 운영·관리 분야 표준화 기술 전체 기술성장 단계

- 한국특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 4구간(2014년~2017년)까지 출원인수 및 출원건수가 정체되는 성숙기로 판단되고, 5구간(2018년~2021년)의 감소는 미공개 출원건에 의한 것으로 아직 성숙기 단계에 있는 것으로 분석
- 미국특허의 기술위치는 출원건수 및 출원인수가 계속 감소하는 추세를 보여, 쇠퇴기에 들어선 것으로 판단



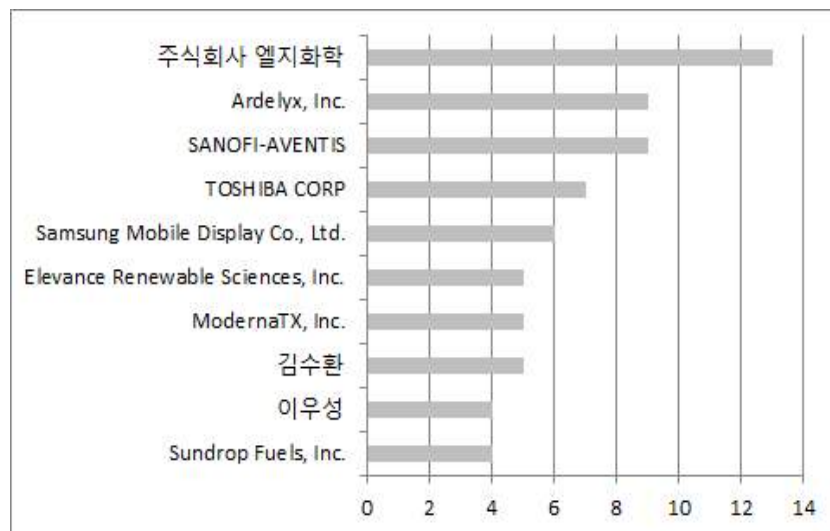


〈그림 169〉 운영·관리 분야 표준화 기술 주요국 기술성장 단계

- 일본특허의 기술위치는 1구간(2006년~2009년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 출원인과 출원건수가 지속적으로 하락하는 쇠퇴기로 판단
- 유럽특허의 기술위치는 1구간(2002년~2005년)부터 5구간(2018년~2021년)까지 하락과 상승을 반복하지만 추세적으로 하락이 지속되어 쇠퇴기에 있는 것으로 판단

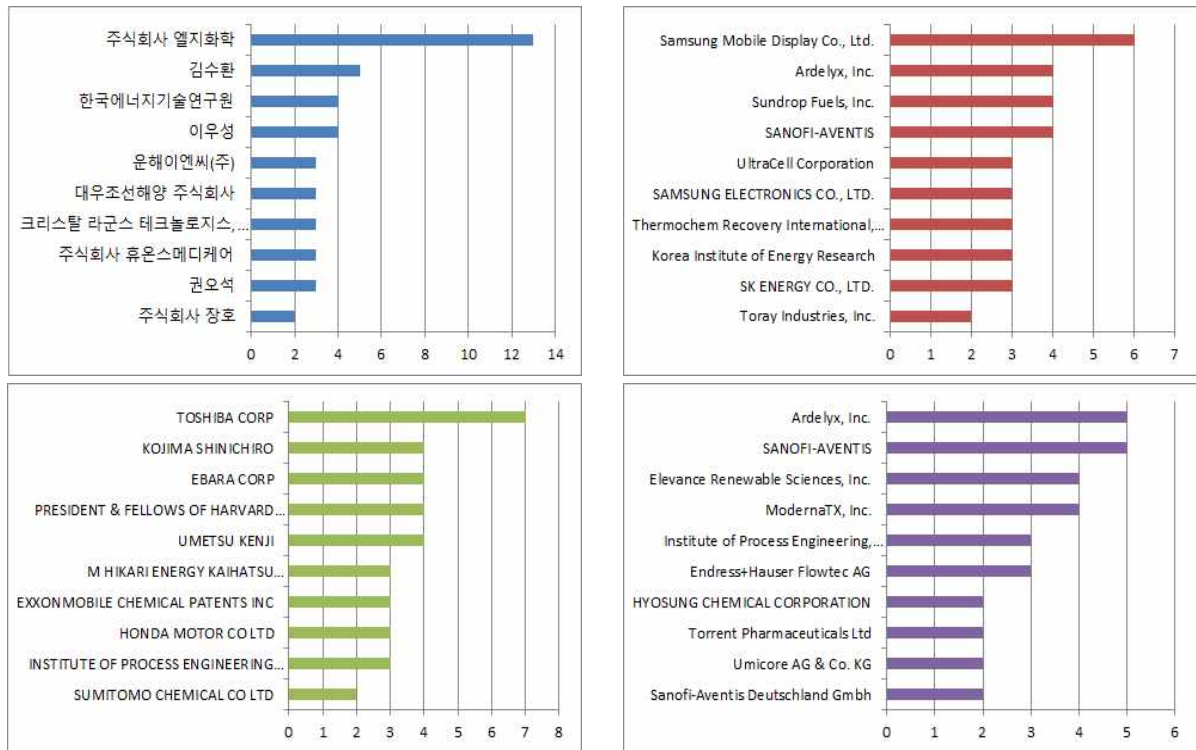
□ 국가별 출원인

- 각 국가별 다출원 상위 기업들을 살펴본 결과 주식회사 엘지화학, Ardelyx, Inc., SANOFI-AVENTIS 등이 특허관점에서의 글로벌 강자인 것으로 판단되며, 최상위 그룹 중 미국 기업이 다수를 차지하였지만, 한국의 출원인도 다수 포진



〈그림 170〉 운영·관리 분야 표준화 기술 특허출원인 동향 분석

- 한국의 경우 다출원 1위는 주식회사 엘지화학이며, 상위 다출원으로 기업이 다수를 위치하여 한국의 수소관망 표준화기술 시장은 기업위주로 기술개발이 이루어 지는 시장으로 판단



〈그림 171〉 운영·관리 분야 표준화 기술 주요국 기술성장 단계

□ 내외국인 점유율

○ 국가별 출원인의 국적별 특허출원을 분석한 결과, 한국의 경우 국내출원인의 비중이 외국 출원인의 비중보다 높은 것으로 나타나며, 미국 및 유럽의 경우 내국출원인에 비해서 외국 출원인의 비중이 더 높은 것으로 분석

○ 특히, 미국은 외국인 출원비율이 높아 관심도가 가장 높은 시장으로 분석

〈표 102〉 운영·관리 분야 표준화 기술 내외국인 분석

구분	KR	US	JP	EP
내국	184	120	115	76
외국	43	286	59	99

□ 기술수준 지표 분석

○ 미국등록특허 406건으로, 다른 지역에 비하여 미국등록특허 건수가 많은 편

- PII는 2.11로 질적수준이 매우 높은 편이고, TS는 857.08로 기술력지수가 상당히 높은 편

- PFS는 0.82로 미국시장에 집중하여 기술이 개발되는 것으로 분석되었으며, HHI는 8.07로 시장진입 용이성이 높은 편

- CR4는 4.43%로 시장의 독과점 수준이 매우 낮은 편으로 판단

○ 한국등록특허 건수는 227건을 기록

- PII는 0.14로 질적수준이 높은 수준에 도달하지 못한 편이고, TS는 30.76으로 기술력지수가 낮은 편
- PFS는 0.46으로 한국 시장에서만 기술개발 활동을 집중적으로 하는 것으로 나타나며, HHI는 53.37로 시장진입의 난이도가 비교적 낮은 수준으로 판단
- CR4는 11.45%로 시장의 독과점 수준이 낮은 것으로 분석

○ 일본등록특허 건수는 174건을 기록

- PII는 0.12로 질적수준이 낮은 편이고, TS는 21.53로 기술력지수도 높지 않은 수준으로 판단
- PFS는 0.6으로 패밀리 특허의 건수가 평균보다 낮은 것으로 나타나며, HHI는 50.54로 시장진입 용이성이 보통으로 분석
- CR4는 10.92%로 시장은 낮은 수준의 독과점 상태에 있는 것으로 판단

○ 유럽등록특허 건수는 175건을 기록

- PII는 0.05로 질적수준이 낮으며, TS는 7.96으로 매우 낮은 편으로 판단
- PFS는 1.12로 활발하게 해외시장을 개척하는 것으로 분석되었으며, HHI는 37.88로 시장진입의 난이도가 보통으로 분석
- CR4는 10.29%로 시장의 독과점 수준이 낮은 상황으로 판단

〈표 103〉 운영·관리 분야 표준화 기술 기술수준 및 시장진입 경쟁수준

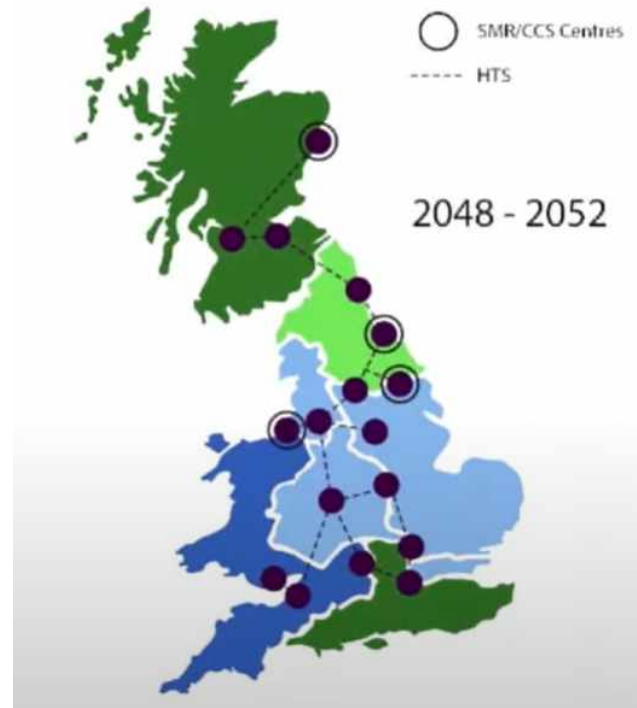
구분	PII	TS	PFS	HHI	CR4
한국	0.14	30.76	0.46	53.37	11.45
미국	2.11	857.08	0.82	8.069	4.43
일본	0.12	21.53	0.61	50.54	10.92
유럽	0.05	7.96	1.12	37.88	10.29

사. 국외 수소 파이프라인 구축 사례

(1) 유럽

(가) 영국 리즈

- '16년, 영국에서 네 번째로 큰 도시인 리즈(Leeds)市를 '30년까지 '수소 도시' 로 전환하기 위하여 LNG 기반 에너지 인프라를 100% 수소로 전환하는 'H21 Leeds City Gate Project' 추진을 위한 타당성 검토를 진행
- 리즈市는 '66~'77년까지 도시가스에 수소를 50% 함유하여 사용한 사례를 가지고 있으며, 기존 천연가스 배관을 저압의 수소 배관으로 활용 가능함을 확인
- 수소추출 등을 통해 도시 내 에너지를 수소로 100% 전환가능하다고 판단하여, 수소 저장은 기존 인프라 및 자연을 활용하여 수소도시로의 전환을 준비
- 수소 생산 및 저장, 모든 관련 인프라 구축을 포함하여 리즈를 수소도시로 전환하는데 총 20억 파운드의 비용을 예상



출처 : The H21 Leeds City Gate project - Converting gas grids to hydrogen, Trondheim CCS Conference 2017, 2017

<그림 172> 가스운송 시스템 및 향후 계획

□ ‘17년 영국 정부는 ‘50년까지 온실가스 배출 0을 선언하고 수소를 탄소 중립을 위한 방안으로 인정하며 리즈 수소도시는 탄력을 받아 추진

○ 해당 사업을 통해 천연가스 기반의 전력 시스템을 수소로 전환하여 리즈시에 전력 공급을 추진하고 수소의 공급을 위하여 티스사이드 지역에 수소생산 플랜트 구축을 통해 수소를 제공

- (‘18년) 안전한 수소 사용을 위하여 수소 전용 계량기를 테스트를 진행

- (‘19년) ‘34년까지 370만 가구를 배기가스 배출이 없는 주택으로 만들기 위한 수소 청사진 및 안전성 검사를 위한 세계 최초 100% 수소 테스트 시설을 공개

- (‘20년) H21 NIC 프로젝트의 일환으로 Baxi Heating社과 Worcester Bosch社의 건물에 수소 연소 보일러를 설치

- (‘21년) 수소 운반의 안전성 검증을 위한 마이크로 그리드를 구축하여 약 1km 배관을 통한 수소 보일러에 연결하여 테스트를 진행



출처 : h21 홈페이지(h21.green), h21, 2022

〈그림 173〉 100% 수소공급 실증 사이트 전경

(나) 영국 오크니 제도

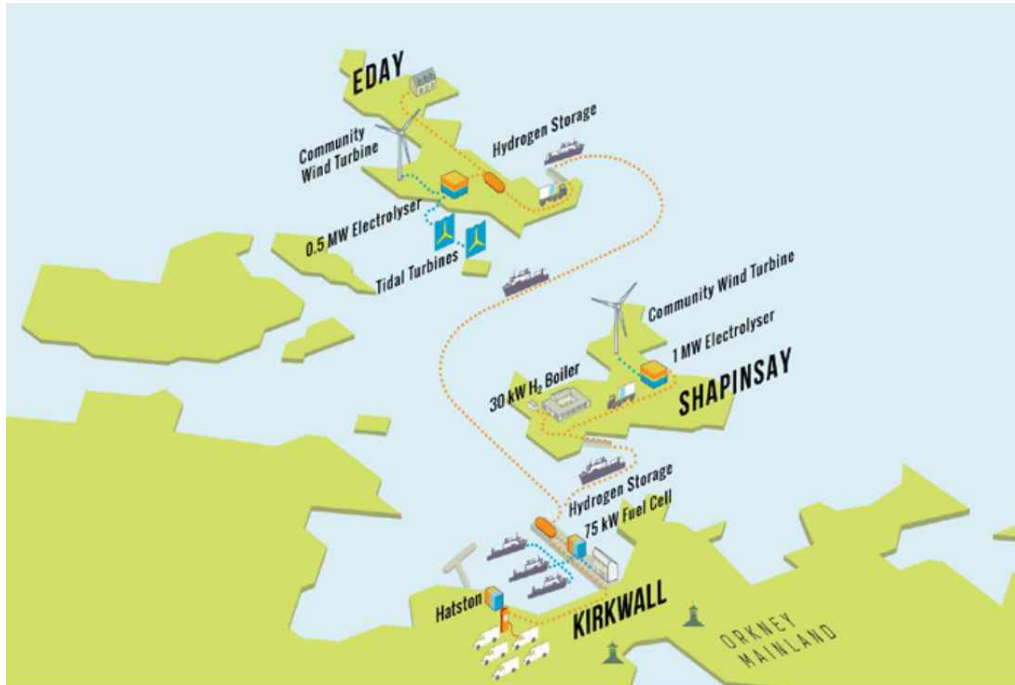
□ 스코틀랜드의 오크니는 풍력·조력의 발전을 활용한 에너지 자립을 이뤄냈으며, ‘16년 잉여 전력을 활용하기 위하여 오크니 수소전략(Orkney Hydrogen Strategy)을 발표하고 ‘19년 수정안 발표

○ 잉여전력으로 수소를 만들어 지역 전기와 난방을 공급하고 ‘21년부터 섬에 방문하는 선박을 수소연료전지로 운항하는 수소선박으로 전환하는 등의 내용이 포함

○ 오크니에서 사용 되는 자동차, 선박을 수소전력으로 변경하고 있으며, 탄소 무

배출 항만 구축을 위한 프로젝트에도 참여하여 시범사업을 추진 중

- 오크니에서 활발히 진행 중인 Surf 'n' Turf 및 BIG HIT Hydrogen 프로젝트는 오크니를 풍력·조력을 통해 그린 수소 생산하는 시범지역으로 활용



출처 : Orkney Hydrogen Strategy, Orkney, 2020

〈그림 174〉 그린 수소 생산 및 운송

- 영국은 스코틀랜드 지역의 바람·조수·태양광을 활용할 경우 영국 전력의 25% 공급이 가능하여 투자를 진행하고 있으며, 주요 국가 또한 다양한 프로젝트를 통하여 오크니의 수소산업에 투자를 진행
- 오크니의 자연환경은 해양 에너지 개발을 위한 이상적인 장소로 한국, 중국, 프랑스, 미국 등 34개의 실험용 해양 에너지 장치가 설치
- EU의 BIG HIT 프로젝트를 일환으로 생산된 수소 운송을 위하여 튜브트레일러 도입을 통하여 배편을 활용 후 오크니 제도에 포함된 섬으로 수소를 운송
- 커크월 공항은 오크니에서 운행하는 항공으로 스코틀랜드 정부의 주도하에 커크월 공항의 탈탄소화 프로젝트를 추진
- 오크니는 즉각적인 에너지 전달이 가능한 화석연료와 같이 수소 저장을 통해 수소 에너지의 즉각적인 보급으로 천연자원의 의존도를 낮출 계획
- 수소 운송을 위한 페리, 튜브트레일러를 지속적으로 증가할 예정이며, 원활한 수소 공급을 통하여 수소자동차, 수소선박, 수소연료전지 사용을 증가할 예정

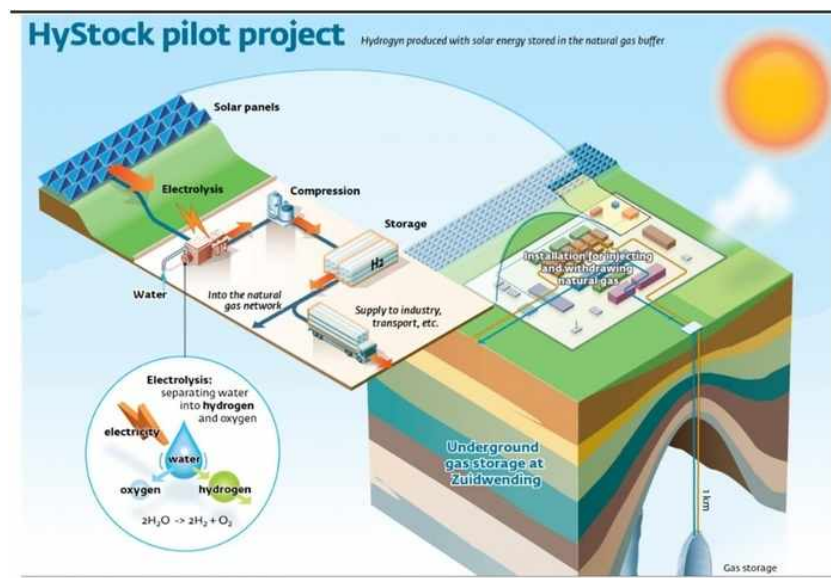


출처 : Orkney Hydrogen Strategy, Orkney, 2020

〈그림 175〉 단계별 오크니 발전 계획

(다) 네덜란드 그로닝겐

- 유럽 내 2위 수소에너지 생산국인 네덜란드에서는 북부지역 중심으로 친환경 수소 경제도시를 목표로 ‘Netherlands Hystock Project’를 추진
 - 1MW 용량(1만 2500개의 태양광패널 설치)의 태양광 에너지를 활용한 수소 생산(연 27만톤) 시설 구축과 해상풍력발전, 천연가스 개질 등을 통해 2050년까지 수소를 대량 생산, kg당 3유로로 수소를 공급하는 가격 경쟁력 확보에 주력
 - 프로젝트는 친환경 에너지를 통해 생산된 전기 에너지를 그린 수소로 전환하는데 중점을 맞추고 있으며, 생산된 그린수소는 네덜란드 북부지역에서 사용



출처 : 주요국별 수소도시 추진 사례, IRS Global, 2019

〈그림 176〉 Hydrogen pilot project

- 네덜란드 북부에 위치한 6개 도시를 그린 수소 가치 사슬 안에 포함시키기

위하여 ‘HEAVENN’ 프로젝트를 추진

- HEAVENN은 수소의 생산, 유통, 저장 및 지역 최종 사용과 같은 핵심 요소를 통합하고 기능하는 “H2 Valley”(H2V)로 통합하는 대규모 데모 프로젝트
- Eemshaven, Delfzijl, Zuidwending, Emmen, Hoogeveen 및 Groningen과 같은 북부 네덜란드의 6개 도시에 걸쳐 기존 및 계획된 프로젝트 클러스터의 배치 및 통합을 기반으로 진행

(라) 덴마크 롤란드섬

□ 덴마크에서는 가정용 수소 연료전지 시스템 실증을 위한 ‘Nakskov Hydrogen Society Project’ 사업을 추진

- 해상 풍력단지를 조성하고 풍력(풍력발전기 72기)을 활용하여 생산하는 전력은 60만MW로 생산된 전기 에너지는 수전해를 통해 수소를 생산
- 수소에너지를 저장하는 방식으로는 수소 연료전지를 선택하였으며 생산된 수소는 수소배관을 통해 베스텐스코브(‘08년 5가구, ‘09년 35가구)의 가정으로 공급
- 천연가스 공급 방식과 같은 방식으로 공급하였으며 배관을 통해 공급된 수소는 가정에 설치된 수소 연료전지를 통해 전력과 난방을 해결
- ‘20년 6월 덴마크 의회 인공 에너지섬 건설 결정하며, 최종목표로 10GW의 전력 생산, 최대 1000만 가구에 전력을 공급을 설정



출처 : state of green

〈그림 177〉 덴마크 롤란드섬 위치 및 수소도시 구상안

(마) 독일 헤르텐

- 과거 광산도시였던 헤르텐은 풍력 발전을 이용한 생산한 친환경 에너지를 수소로 전환하여 도시내 수소 공급을 위한 인프라 구축을 진행
- 기존 풍력 발전소와 수소 기반 에너지 전환 시스템을 결합하여 수소를 생산하고 있으며 여분의 수소는 수소형태로 저장

- 저장된 수소는 날씨에 영향을 받는 풍력 발전을 대비한 저장 시스템에서 연료 전지 시스템을 사용하여 수소를 전기로 전환하여 원활한 에너지 공급이 가능
- ‘19년 수소충전소를 구축하며, 헤르텐 내부에서 수소 연료 공급이 가능하며 독일의 수소 충전소 네트워크를 확장에 기여

(2) 아시아

(가) 일본 기타큐슈

- 경제산업성의 ‘수소이용 사회시스템 구축 실증사업’의 일환으로 수소 에너지 모델 타운을 구축을 위한 사회 실증 사업인 ‘기타큐슈 수소타운 프로젝트(‘11년)’을 수행
- 세계 최초로 커뮤니티 수준의 수소 공급에 성공한 기타큐슈 수소타운은 신일본 야와타 제철소에서 발생하는 부생수소(연간 5억m³)를 이용하여 공급
- 기타큐슈 시가지를 통과하는 파이프라인으로 일반가정, 상업시설, 공공시설에 수소 공급 및 수소연료전지를 운영하여 수소의 안전성 및 기술검증을 수행
- 수요가 집중된 대도시의 빌딩 및 차량에 수소 통합운영모델을 구축하여 수소 사회를 선도하고, 환경선진도시를 구현할 예정



출처 : 기타큐슈 수소타운, 풍력으로 가로등 불 밝힌다, 헤럴드경제, 2020

〈그림 178〉 기타큐슈 수소타운 구성도

- ‘기타큐슈 수소타운 프로젝트’는 시범사업이 진행된 ‘14년까지만 파이프

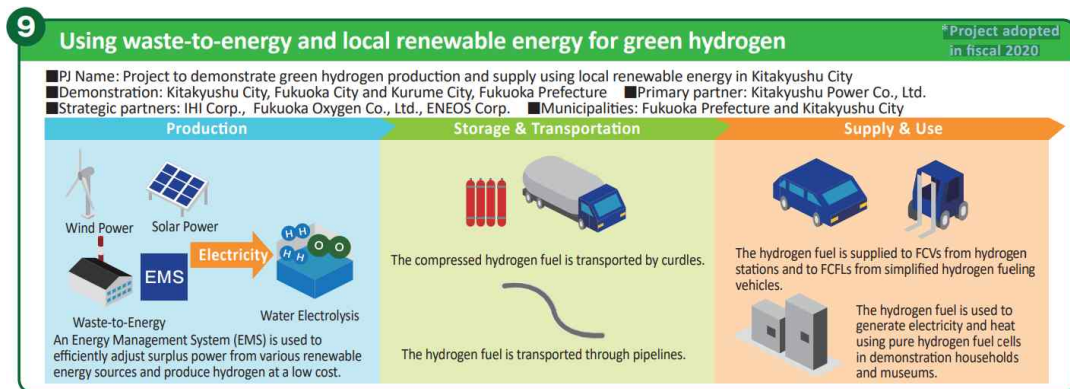
라인을 운영하였으나 '18년 재가동을 통하여 다양한 실증 사업을 추진

- '22년까지 기타큐슈 인근 대형 재생에너지 타운이 조성되어 해상 풍력발전, 바이오매스 발전, LNG 발전을 통해 총 2.3GW의 전력이 공급될 것으로 파악
- 대규모로 공급된 신재생 에너지에서 발생하는 잉여전력은 수소 연료를 생산하는데 사용될 것이며 기존에 구축된 파이프라인과 시너지 효과 발생이 예상

□ '21년 일본 환경성에서 발표한 'Projects for the Creation of a Hydrogen Society' 에서 기타큐슈의 그린 수소 활용 관련 사업이 포함

- 풍력, 태양광, 잉여 에너지를 EMS*을 활용하여 그린수소를 생산하고 생산된 수소를 저장·운송, 공급·사용에 관련된 내용이 포함

* Energy Management System



출처 : Projects for the Creation of a Hydrogen Society, 일본 환경성, 2021

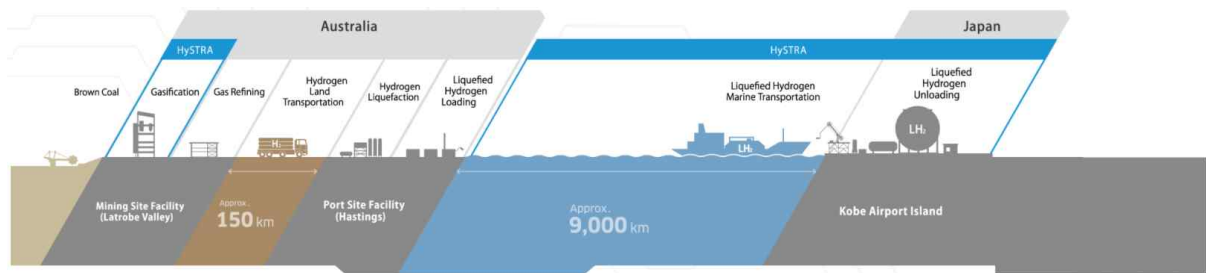
<그림 179> 수소사회 조성사업에 포함된 기타큐슈 그린수소 사업

(나) 일본 고베

- 일본 3대 항구 도시인 고베는 온실가스 배출량 저감을 위하여 '수소 스마트시티 고베 계획(hydrogen smart city kobe initiative)' 를 추진
- '30년까지 온실가스 배출량을 '13년 대비 34% 감축하는 것이 목표이며, 가정용 연료전지, 수소전기차, 수소충전소 등을 보급하여 수소 이용을 확대할 예정
- '15년부터 추진된 수소CGS 기술개발 및 실증, 통합형 EMS 기술개발 및 실증을 통해 수소 CGS 에너지 센터를 구축 후 수소공급 기반 마련
- 하이드로젯지 액화수소 제조 플랜트에서 공급 받은 액화수소를 사용하며, '18년 세계 최초 100% 수소로 운전하여 수소 가스터빈으로 생산한 전기 및 열에너지를 주변 공공시설에 공급

□ 수소 스마트시티 터미널에는 호주-일본 수소에너지 공급망 시범사업을 통해 호주에서 생산된 액화수소를 일본에서 하역이 완료

- 호주의 갈탄을 통해 합성가스가 발생하고 가스정제시설을 통해 수소를 생산, 생산된 수소를 액화 후 일본의 스마트시티 터미널로 운송하는 과정으로 진행
- 세계 최초이자 유일한 액화수소 운반선 수소프런티어호가 호주에서 액화수소를 실어와 수소 발전소를 돌리는 것이 주요 목적



출처 : HySTRA 홈페이지(www.hystra.or.jp/en/project), HySTRA, 2020

〈그림 180〉 호주-일본 수소에너지 공급망 시범사업 개략도

(다) 일본 도쿄

□ 일본 정부는 도쿄 하루미에 수소 발전을 에너지원으로 활용하며 하루미 내에서 모든 생활이 가능한 주거 지역 조성 프로젝트를 진행



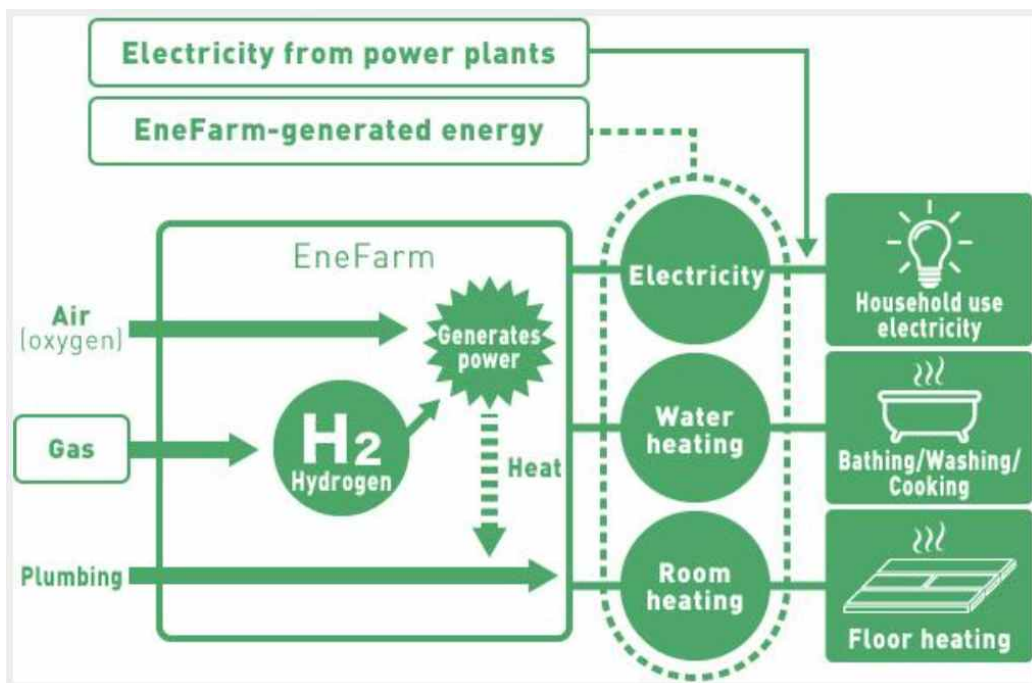
출처 : Harumi Flag: A City with the First Full-Scale Hydrogen Infrastructure Japan Has Ever Seen, FuelCellsWorks, 2019

〈그림 181〉 HARUMI FLAG 수소관망 모식도

- 도쿄 하루미에 위치, 18 헥타르 면적 규모, BRT 시스템 및 연료전기 차량을

위한 수소 공급 스테이션 구축, 공용 공간 및 상업용 건물에 차세대 연료전지 설치, 개인 주택에 주거용 연료전지 설치 목표

- 5군데의 주거지역으로 수소를 공급하기 위해 지하 파이프라인 설치작업 완료
- 경제산업성은 안전수준평가를 위한 위원회를 구성하였으며, 위원회에서 승인한 수소배관 사양 및 중압 가스배관에 적용되는 안전장치 등이 필요
- 수소배관은 구경 150mm 배관을 1.2km 매설(2018년 자료)할 예정이었으며, 매설 깊이는 120cm 이상이어야 하고 손상방지를 위해 보호판 설치 필수



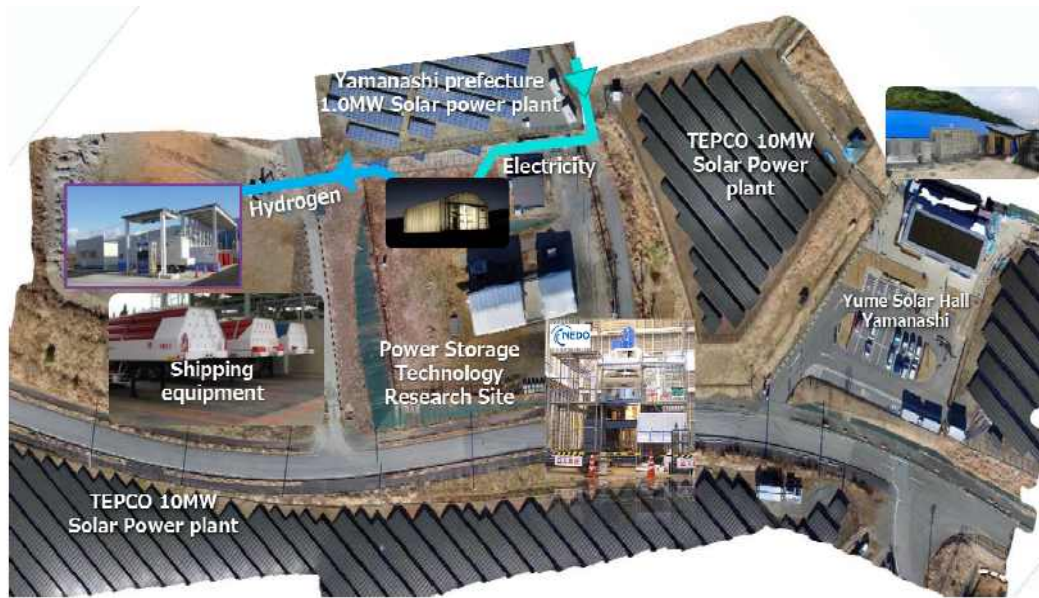
출처 : Harumi Flag: A City with the First Full-Scale Hydrogen Infrastructure Japan Has Ever Seen, FuelCellsWorks, 2019

〈그림 182〉 수소 에너지 활용처

(라) 일본 기타지역

□ 야마나시 연료전지 밸리

- (수소에너지 활용 확대(2030년 계획)) 1,300FCV, 10FCV BUS, +2 HRS, 34,000 Enefarm
- CO₂ Free 수소 구축망 구축 : PV(Photovoltaic: 광전기)를 활용한 PtG(Power to Gas) 추진 (15MW PEM 전기분해 포함)

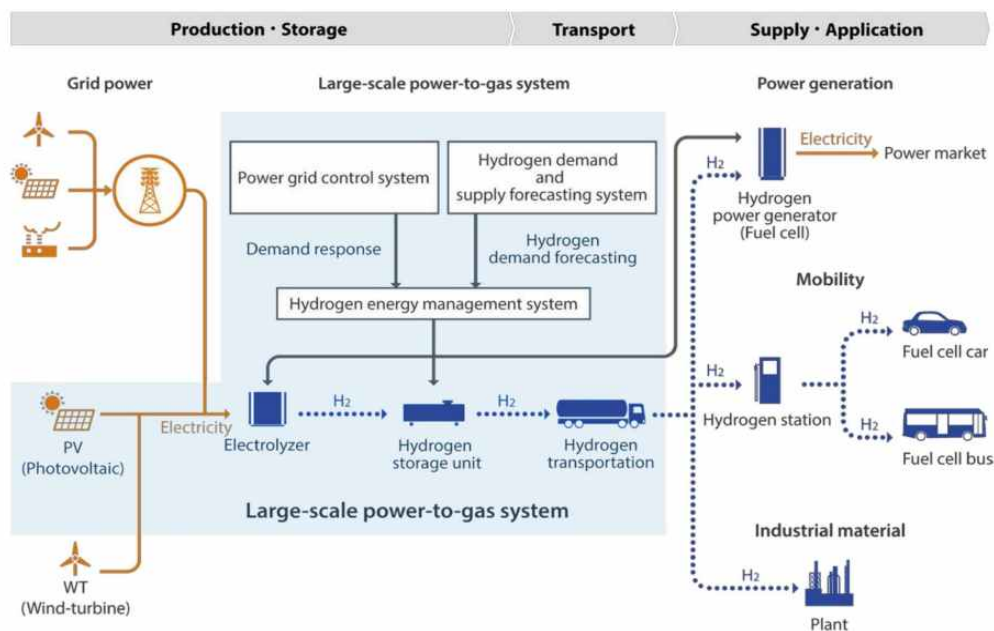


출처 : Hydrogen Cluster in Japan, NEDO, 2019

〈그림 183〉 야마나시 연료전지 밸리 조감도

□ 후쿠시마 수소에너지 연구 지역 : FH2R

- Toshiba Energy systems&Solutions가 추진하며 수소 에너지 관리 시스템을 적용한 PtG, H2 Power Storage, 연료전지 연구 및 사업 진행
- 잉여, 친환경 발전 전력으로 수소를 생산하여 각 산업(수소충전소, 전력 생산 및 저장, 연료전지 발전, 산업용-화학소재)에 제공하여 활용



출처 : Fukushima Hydrogen Energy Research Field, TOSHIBA, 2019

〈그림 184〉 FH2R 수소 공급 개념도

아. 시사점 도출

□ 국내외 정책 동향 분석

- 파리협정 이후 '50년 탄소중립의 일환으로 신재생 에너지 사용의 중요성이 강조되고 있으며, 신재생 에너지 중 하나인 수소에 대한 관심은 전세계적으로 증가하여 관련 인프라 구축 및 확산을 위한 계획 및 정책 수립되어 추진
- **(한국)** 수소경제 조기 도입 및 시장 선점을 위하여 정부 차원에서 선제적 투자를 확대하고 있으며, 수소도시 확대를 바탕으로 관련 인프라 및 기술개발을 위한 정책, 제도를 수립·추진
- **(미국)** 자원 고갈 및 환경 문제에 대한 장기적인 대응을 위하여 수소 경제 이행을 선언하였으며, 이에 국가 수소에너지 로드맵을 제시하고 수소에너지 활용·확산을 위한 정책을 추진
- **(EU)** '50년 탄소중립이 목표인 수소전략의 추진을 위하여 EU에 포함된 국가 간 상호 연계 및 협력 계획하고 EU를 모두 연결하는 수소배관 확장 계획을 통한 수소 공급 인프라 구축을 추진
- **(일본)** 후쿠시마 사고 이후 수소에너지에 대한 관심이 커졌으며, 수소 기본 전략을 통한 에너지 공급 리스크 및 저탄소화를 추진하고 수소 인프라 확대를 위하여 기존 규제 완화 정책을 수립
- **(중국)** 신에너지 자동차를 중심으로 수소 에너지를 국가경제 발전 핵심 산업으로 주목하고 있으며, 수소자동차의 확산을 위한 수소 충전 및 연료 공급 인프라 확대를 중점적으로 향후 계획을 발표

□ 국내외 산업·시장 동향 분석

- 지속적인 환경문제 대두와 기존 자원의 고갈이 가속화됨에 따라 주요 국가는 환경규제를 강화하고 있으며, 이에 대한 대안으로 친환경 에너지가 주목
- 친환경 에너지 중 수소에너지는 기술개발에 따라 향후 화석연료의 대체가 가능하여 원유 수입국에서 수소에너지에 대한 중요성이 강조
- 수소산업의 시장과 주 공급망인 파이프라인 시장은 지속적으로 상승이 전망되기 때문에
- 점차적으로 강화되는 환경규제 대응 및 기존 연료 자원의 고갈 및 성장하는 수소 관련 전후방 산업에 대응하기 위해서는 국내 수소 관련 산업의 확대 및 관련 인프라 구축과 관련 기술개발은 필수적인 상황

□ 국내외 기술 동향 분석

- **(관 재료 및 표준, 안전성 기술)** 수소배관은 농도 10% 이상인 수소를 수명주기 (30년) 동안 안전하게 이송하기 위한 배관으로 정의하며, 해당 기술의 실현을 위하여, 수소취성, 위험성, 안전성 등에 대한 연구가 진행
 - **(수소 취성평가)** 수소용 금속배관 재질 선정시 수소취성 평가 관련 국제 표준은 미국(ASME B31.12 Steel Piping), 유럽(EIGA : GC DOC 121/14 Hydrogen Pipe line Systems : 고압 수소배관의 건설, 운영, 모니터링에 대한 기준) 적용 중
 - **(수소배관 기준)** 국가별 수소 파이프라인 요구 물성/성능 종류 및 수준은 국가별 상황에 맞추어 다소 차이가 발생
- **(건설 및 운영 기술)** 수소경제 진입을 위하여 전세계적으로 수소 공급을 위한 배관망 인프라 구축을 활발히 진행 중이며, 안전하고 효율적인 배관망 건설을 위한 기술개발이 진행 중이나 상용화가 미비한 상황
 - **(수소관망 선형 최적화 기술)** 해외에서는 이미 상용화에 성공하였으나, 기술 안정화 단계에 이르지 못해 관련 기술개발이 진행 중
 - **(수소관망 시공품질검사 기술)** 시공부위에 대해서 라이다를 활용한 기술은 사용 중이나 라이다와 레이더를 동시에 사용하는 기술은 미비한 상황
 - **(굴착 시공 기술)** 개착식 자동 굴착기술에 대해서는 이미 상용화가 진행되었으나 비개착식 굴착기술은 상용화가 미비한 상황으로 관련 기술개발이 시급
- **(배관 자동용접 및 연결 기술)** 시공기술의 자동화에 따라 배관을 연결하는 용접·연결에 대한 자동화 기술개발이 진행 중이나 현재까지는 100% 자동화 기술은 상용화되지 못했으며, 시공 시 관련 인력이 투입되고 있는 상황
 - **(Lowering 자동화 기술)** Lowering 기술 시공 구간에 따라 많은 장비와 인력이 소모되므로 자동화를 통한 절감이 필요한 기술로 현재 라이다를 활용한 시공 자동화 지원이 이루어지고 있으나 정밀 시공을 위한 기술개발이 필요
 - **(접합 자동화 기술)** 환경·인력에 따른 접합부 품질 편차와 작업 시간 개선을 위하여 자동화를 시도하고 있으며, 현재 상용화 기술의 도입 단계 수준
 - **(시공 자동화 기술)** 선진 기업을 중심으로 MG 기술을 접목하여 자동화를 진행 중이며, GPS 시스템, 3D 지형도, 실시간 작업 파악 등의 상용화 기술의 적용을 통하여 작업성, 안전성 등의 효과를 얻고 있는 상황
- **(배관망 모니터링 및 건전성 관리 기술)** 독일과 미국을 중심으로 배관에 대한 성능평가 내부 탐상 기술이 상용화 되어 평가 및 인증시험을 제공

□ 수소관망 관련 정부 R&D 투자 및 기술수준

- (수소 기술*) 주도국 대비 기술을 추격(75.0%)하는 한국은 관련 기술개발에 대한 투자를 진행하고 있으며, 기초 및 응용개발의 연구단계 역량은 우수한 수준

* 해당 기술은 수소에너지의 생산·저장·이송에 관한 기술과 수소연료, 수소 충전 인프라 등 수소 경제사회를 구현하기 위한 제반 요소기술이 포함

- 수소기술 관련 국내 기술수준 향상을 위하여 정부는 인프라 구축, 법·제도 개선, 연구비 확대 순으로 투자를 진행

- (고압/극저온 구조물) 주도국 대비 기술을 추격(65.0%)하는 한국은 극한지 장거리 이송망 기술을 개발하고 있으며, 주요국들은 고압 수소 저장 용기, 수소 압력기 등을 개발하여 상용화

- 고압/극저온 구조물 기술의 기술격차 발생 원인으로는 인력부족, 인프라(장비/설비) 부족, R&D 투자 부족, 기초연구 지원 부족 순으로 나타났으며 기술격차 해소를 위해서는 관련 인력, 인프라 확보가 가장 시급

- (자원이송) 주도국 대비 기술을 추격(63.8%)하는 한국은 '19년 동토 자원 이송망 설계 시공 기술 개발을 진행하였으며, 주요국들은 안전성, 환경오염에 대한 규제 강화 진행

- 자원이송 기술의 기술격차 발생 원인으로는 인프라(장비/설비) 부족, R&D 투자 부족, 기초연구 지원 부족, 사업화 지원 등이 부족

- (수소생산/인프라) 주도국 대비 기술을 추격(73.7%)하는 한국은 연구실 규모의 기초 연구단계이며, 주요국들은 수소의 경제성 확보 및 상용화 기술 개발 추진

- 수소생산/인프라 기술의 기술격차 발생 원인으로는 R&D 투자 부족, 인프라(장비/설비) 부족, 기초연구 지원 등이 부족

□ 유사과제

- 기진행 과제와의 차별성 및 유사·중복성 확인을 통하여 본 기획과제의 추진 필요성 및 연계방안 도출

- (수소 인프라 계획) 수소경제 전환을 위한 대규모 인프라 공급 이행을 촉진하는 지원 수단으로 활용

- (수소 R&D 계획) 성과이어달리기를 통한 기존 기술 활용 및 타부처와의 기술 개발 협력을 통한 경제적이고 안전한 기술 확보

□ 국내외 특허 분석

○ 본 분석에서는 수소관망과 관련하여, 분류 기준에 해당하는 특허를 대상으로 출원년도 2002년 01월 ~ 2021년 12월까지 공개 및 등록된 한국, 일본, 유럽, 미국 출원을 검색대상으로 설정

- (소재 분야*) 미국에서 가장 많은 특허를 출원하였으며, 전체 기술 성장단계는 쇠퇴기이나 한국은 성장기 상태로 질적수준/기술력지수/시장진입 용이성/시장독과점 수준은 미국, 시장확보지수는 유럽이 우수

* 금속소재기술, 비금속소재기술, 재료평가기술

- (조관 분야*) 미국에서 가장 많은 특허를 출원하였으며, 전체 기술 성장단계는 쇠퇴기이나 한국은 성숙기 상태로 질적수준/기술력지수/시장진입 용이성/ 시장독과점 수준은 미국, 시장확보지수는 유럽이 우수

* 성형기술, 용접기술, 성능평가기술

- (건설 분야*) 미국에서 가장 많은 특허를 출원하였으며, 전체 기술 성장단계는 성숙기이며, 한국은 발전기 상태로 질적수준/기술력지수/시장진입 용이성/시장독과점 수준은 미국, 시장확보지수는 유럽이 우수

* 설계기술, 시공기술

- (운영·관리 분야*) 미국에서 가장 많은 특허를 출원하였으며, 전체 기술 성장단계는 쇠퇴기이나 한국은 발전기 상태로 질적수준/기술력지수/시장진입 용이성/ 시장독과점 수준은 미국, 시장확보지수는 유럽이 우수

* 운영기술, 유지관리기술, 위험형평가기술, 표준화기술

□ 국외 수소 파이프라인 구축 사례 분석

○ (유럽) 친환경 에너지(풍력, 조력, 태양광 등)를 활용한 수소 생산 및 활용 사업을 진행하였으며, 2050 탄소중립 실현에 맞추어 수소배관망 구축 확대

○ (아시아) 일본에서 가장 많은 시범사업이 추진되고 있으며, 다양한 형태(기체, 액체)의 수소를 해당 도시에서 활용하여 에너지 자립을 위한 투자가 활발히 진행



제3장 기술개발 내용 도출

3. 기술개발 내용 도출

가. 산업계 의견수렴 및 기술수요조사

(1) 수요조사 개요

☐ 수요조사 목적

- 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증을 통하여 수소도시의 기반 구축을 위한 R&D 확보, 수소경제 조기 실현, 전후방 산업의 동반성장 촉진
- 산업계 의견 수렴을 통한 니즈 파악과 수소관망 관련 산업의 국산화, 조기 상용화, 수소 시범도시 적용을 위한 중점분야의 기술 수요 도출

☐ 수요조사 내용

- 수소도시에 적용 가능한 수소배관 개발 및 실증체계 구축을 위하여 수소관망 배관, 기자재, 건설, 운영, 실증체계 핵심기술개발을 위한 요소기술 개요 및 내용 등에 대한 기술수요조사 진행

☐ 수요조사 설계

- (조사대상) 수소관망 관련 분야 산·학·연 관련 전문가
- (조사방법) 구조화된 설문지를 이용한 온라인 웹조사

☐ 수요조사 구성

- 각 기술수요조사 대상 기관에서 제안·연구가 가능한 기술분야, 수소산업에 필요한 기술분야와 상세기술에 대해서 조사를 진행
 - 기술명, 기술 정의 및 제안 배경
 - 제안기술 기술개발 단계 및 유형 수준
 - 기술개발 목표 및 핵심개발 내용
 - 국내외 기술·시장 동향
 - 제안기술 개발 소요기간/예산
 - 파급효과
 - 산업육성을 위한 정책제언

(2) 수요조사 분석 결과

□ ① 소재 ② 조관 ③ 건설 ④ 운영관리 ⑤ 수소생산 등으로 제안 기술을 구분하여 기술 수요를 진행

○ 5개 분야에 대해서 총 59개의 기술 도출이 완료

〈표 104〉 기술수요조사 도출 기술

구분	내용
소재 (1)	수소배관용 재료 개발 및 수소배관 안전성 평가/진단 기술 개발
조관 (11)	- 수소용 심리스 배관 제조기술 - 대용량 액화수소 이송을 위한 대구경 진공단열배관 Unit 개발 - 실현장 수소관 성능평가 기술 - 소형편치 시험결과를 이용한 강종별 수소취화재 기계적 물성 예측 기법 개발 - 수소 공급용 파이프 수소취성 최소화를 위한 전기화학복합 공정개발 및 실증평가기술 개발 - 기체수소 수송을 위한 360MPa이상 소구경 SAW 파이프 제조 기술개발 - 고압 및 수소 취화에 강한 수소 이송용 용접 탄소강관(ERW/SAW) 제조기술 개발 - 기체수소 수송을 위한 X70급(480MPa이상) 소구경 ERW 파이프 제조 기술개발 - 수소관 시제품 생산공정 기술 - 저취성 강관의 현장 원주용접 기술 - 수소배관 구조성능평가 및 조관/설계 적용 기술
건설 (17)	- 국지적으로 고립된 다수의 분산 수요자를 위한 1.3 ton/day (1 MW) 급 액체수소 기반 기체 수소 생산 및 공급 배관망 기술 - 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술 - 천연가스 네트워크의 수소 배관망 트랜스포메이션을 위한 최적 설계 및 건설 의사결정 방안 - 디지털 트윈 기반 수송이송 및 설비 건전성 평가 관리 기술 개발 - 수소관망 디지털 설계 플랫폼 및 데이터 관리기술 - 수소관망 선형 최적화 기술 - 수소 배관망 시공관리 체계구축(공정/위치/품질/환경/안전 관리) - BIM기반 디지털 트윈기술을 활용한 수소관망 시공 공정/품질관리 기술 개발 - 효율적인 수소관망 비개착식 개·대체 기술 - 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술 - 디지털 기술을 활용한 수소관망 최적경로 설계 기술 - 레이더 센서와 라이다를 활용한 마이크로 터널링 시공품질 검측기술 - 수소관망 정밀 lowering 기술 - 수소관망 주요설비 디지털 자산 관리체계(AAS) 구축 기술 개발 - 수소관망 디지털 시공·검사 기술 - 지능형 수소관망 건전성 평가기술 - 수소 관망 인프라 설계 및 구축을 위한 GIS&BIM 기반 Digital Twin 플랫폼 기술 개발

운영관리 (29)	▪ 디지털 압력분포 센서 기반 수소배관망 건전성 실시간 감지-진단 시스템 개발 ▪ 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술 ▪ 오스테나이트계 수소 이송배관 접합부 결함평가 시스템 및 안전기준 개발 ▪ 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 ▪ 700bar 이상 고압수소용기 안전검사를 위한 음향방출기반 IoT 센서 개발 ▪ 고압 수소배관 수명평가 및 건전성 진단 시스템 개발 ▪ 지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술 ▪ 수소관망 건전성 진단 및 관리 플랫폼 구축 ▪ 수소관망의 건전성(Integrity) 및 가용성(Availability) 관리 ▪ 음향방출기술을 이용한 수소관망 전주기 안전진단 및 모니터링 플랫폼 개발 ▪ 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발 ▪ 수소이송 배관 평가를 통한 안전성 평가기술 확보 및 시험·인증 기반구축 ▪ 수소이송배관의 사용환경 모사 실증시험기반 안전성 평가 기술 개발 ▪ 지능형 수소관망 통합 건설사업관리 시스템 개발 ▪ 수소관망 스마트 유지보수 및 자산관리 기술개발 ▪ 수소관망 통합 안전관리체계 구축 및 표준화 기술 개발 ▪ 수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술 ▪ D.N.A. 기반 수소관망 실시간 이상감지 기술 ▪ 수소관망 실증기술의 변동요소를 고려한 경제적 타당성 분석 ▪ 수소관망에 대한 손상부 실시간 전위 모니터링/탐상 시스템 및 증강현실 구현 기술 개발 ▪ 수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등) ▪ 안정적인 수소관망 운용을 위한 수소취성에 의한 관로의 이상 감지 시스템 및 진단 플랫폼 개발 ▪ 수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 타당성 확보 기술 ▪ 안전한 수소공급 인프라 운용을 위한 비상상황 조기대응 시스템 및 플랫폼 개발 ▪ D.N.A. 자산 유지관리 최적의사결정 기술 ▪ 수소관로의 효율적인 성능평가 및 비개착 유지관리 기술개발 ▪ IoT 기반 실시간 스마트 수소공급인프라 관제시스템 개발 ▪ 수소공급인프라 D.N.A.(data, network, AI) 기반 자산관리시스템 구축(개발) ▪ 수소배관 이상감지 시스템 개발
수소생산 (1)	▪ 천연가스로부터 수소제조를 위한 플라즈마 실증플랜트 개발

○ 총 59개 도출 기술 중 중복성 검토, 과제의 범위 및 중점분야 조정을 통해 3개 분야에 대해서 총 51개 기술이 도출

- 조관 기술 개발 분야 8개 기술 도출

〈표 105〉 조관 기술 개발 분야 도출 기술

후보 기술	내용
수소용 심리스 배관 제조기술	▪ 열간 롤 피어싱 및 냉간 필거인발을 통한 심리스 제조공정기술
실현장 수소관 성능평가 기술	▪ 수소배관의 실규모 구조성능 평가 및 수소취화 예측 기술

소형편치 시험결과를 이용한 강종별 수소취화재 기계적 물성 예측 기법 개발	▪ 수소취화상수를 이용한 수소취화재 파괴인성 및 배관 파손 예측 기술
수소 공급용 파이프 수소취성 최소화를 위한 전기화학복합 공정개발 및 실증평가기술 개발	▪ 수소공급용 파이프의 수소 취성 최소화를 위한 및 전기화학복합 공정 기술
고압 및 수소 취화에 강한 수소 이송용 용접 탄소강관(ERW/SAW) 제조기술 개발	▪ 수소 전용 파이프라인의 고압 및 취성 극복 기술
수소관 시제품 생산공정 기술	▪ 수소이송용 탄소강관의 저취성 조관 Simulator를 통한 수소배관 품질향상 기술
저취성 강관의 현장 원주용접 기술	▪ 수소배관의 현장 원주용접을 위한 용접재료, 용접장비, 용접조건 기술
수소배관 구조성능평가 및 조관/ 설계 적용 기술	▪ 수소취화 최소화 조관기술 및 수소배관 구조성능 평가기술

- 건설 기술 개발 분야 16개 기술 도출

〈표 106〉 기술 개발 분야 도출 기술

후보 기술	내용
수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술	▪ 기존 비개착식 관로 유지보수 장비의 개선 및 공법 개발을 통하여 고도화된 유지보수기술
천연가스 네트워크의 수소 배관망 트랜스포메이션을 위한 최적 설계 및 건설 의사결정 방안	▪ 기존 천연가스 인프라의 수소 배관망 트랜스포메이션을 위한 최적 설계 및 건설 의사결정 방안 구축 기술
디지털 트윈 기반 수송이송 및 설비 건전성 평가 관리 기술 개발	▪ 수송이송 배관 설비의 손상도 예측 시스템 기술
수소관망 디지털 설계 플랫폼 및 데이터 관리기술	▪ 수소관망의 기획설계, 계획설계, 기본설계, 상세설계 단계별 발생하는 도면을 포함한 각종 계산서 등의 서류, 정보 및 지식을 지능형·스마트 IoT 기술을 접목한 데이터 관리기술 및 플랫폼 개발
수소관망 선형 최적화 기술	▪ 도심지 수소관망 선형 최적화를 위한 지하시설물(공동구) 활용 시나리오 도출 및 관망구축 공사비, 공기, 지형적 특성 등 디지털 데이터 제공 플랫폼 구축
수소 배관망 시공관리 체계구축 (공정/위치/품질/환경/안전 관리)	▪ 수소관망 건설의 경제성 및 안전성 확보를 위한 공정·위치· 품질·환경·안전을 고려한 시공관리 기술 개발
BIM기반 디지털 트윈기술을 활용한 수소관망 시공 공정/ 품질관리 기술 개발	▪ BIM기반 디지털 트윈 기술을 활용한 시공공정 및 품질관리 업무 프로세스 정의 및 공정/품질관리 계획 수립 기술
효율적인 수소관망 비개착식 개· 대체 기술	▪ 기존의 비개착 장비 개선 및 공법을 개량하여 수소관망의 비개착식 시공기술 고도화 및 유지보수 기술

수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	수소관망의 굴착, 파이프 용접, 시공 과정 단계별로 사용되는 공사·검사·관제 등 다양한 용도의 장비의 조합 및 정밀 시공 운영 기술
디지털 기술을 활용한 수소관망 최적경로 설계 기술	수소도시 구축을 위한 수소관망 설계 시, 입지 및 기존 인프라 특성을 고려한 최적경로의 설계기술
레이더 센서와 라이다를 활용한 마이크로 터널링 시공품질 검측기술	마이크로 터널링을 활용한 수소관망 매설 시, 레이더 센서와 라이다를 통한 매설노선 설계오차 분석기술
수소관망 정밀 lowering 기술	수소관망의 파이프 연결 후 개착 또는 비개착 방식으로 lowering 시 기존방식 대비 시공 효율 향상, 일정 단축, 시공 품질 제고 등을 목적으로 장비의 개량·조합 후 정밀시공 운용할 수 있는 기술
수소관망 주요설비 디지털 자산 관리체계(AAS) 구축 기술 개발	수소관망 주요설비 정보를 표준화된 데이터 형태로 표현하여 기기 간 소통·상호 운용·데이터 교환을 원활히 하기 위한 데이터 표준화 기술
수소관망 디지털 시공·검사 기술	수소관망 시공 단계에서의 안전성 확보, 시공의 품질과 일정의 검사 및 관리를 위한 스마트·원격 관리 기술
수소 관망 인프라 설계 및 구축을 위한 GIS&BIM 기반 Digital Twin 플랫폼 기술 개발	수소 도시 건설에 필요한 안전하고 최적의 수소 공급 관망 설계를 위한 Building Information Modeling(BIM)과 GIS 기술이 융합된 Digital Twin 플랫폼 구축
지능형 수소관망 건전성 평가기술	수소관망 설계후 관망의상태를 실시간 및 예측하여 운영상의 문제를 체크하고 의미있는 데이터를 획득함으로써 평가하고자 하는 기술

- 운영관리 기술 개발 분야 27개 기술 도출

〈표 107〉 운영관리 기술 개발 분야

후보 기술	내용
디지털 압력분포 센서 기반 수소배관망 건전성 실시간 감지-진단 시스템 개발	디지털 압력분포 센서로 열수송배관의 두께감육도를 측정하는 기술을 활용 수소배관의 변형 및 파손등을 실시간 감지-진단하는 시스템
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술	수소시설 및 배관망에 사용되는 강종의 수소취성평가를 통한 안전성 확보 및 재료평가를 위한 기준(안) 개발
오스테나이트계 수소 이송배관 접합부 결함평가 시스템 및 안전기준 개발	오스테나이트계 수소 이송배관 용접부의 비파괴 결함탐상 및 안전성평가 기술 개발
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술	수소시설 및 배관망에 수소취성 대체시험평가를 통해 안전성 확보 대체기술확보 및 기존 수소취성시험과 성능 비교를 통해 신뢰성 있는 대체시험방법 기준(안) 개발
700bar 이상 고압수소용기 안전검사를 위한 음향방출기반 IoT 센서 개발	고압수소용기를 설비 또는 차량에서 탈거 없이 안전검사 실시 기술

고압 수소배관 수명평가 및 건전성 진단 시스템 개발	고압 수소배관의 외부진동 및 압력 변화에 따른 피로 수명 평가 기술
지상 및 지하매몰 설치 배관 안전성 검증 기술	수소시설 및 배관망의 사용적합성 검토를 위해 4TPD급 액화수소 공급시설(국토부 R&D 개발 기술 활용)과 연동한 파일럿 설비 구축을 통해 수소배관의 다양한 사용 조건에서 성능평가를 진행할 수 있는 기술
수소관망 건전성 진단 및 관리 플랫폼 구축	수소관망의 안전성을 모니터링 하고 건전성 진단을 파악하기 위한 플랫폼 구축
음향방출기술을 이용한 수소관망 전주기 안전진단 및 모니터링 플랫폼 개발	대상체의 손상정도와 예지진단을 포함하는 감시 및 진단 기술로 재료와 구조물의 결함 및 파괴 가능성을 예측하여 수소환경에서의 수소유기균열(HIC) 등의 내부결함 발생 및 성장 결함 등을 진단 및 감시하는 음향방출 실시간 모니터링 플랫폼 기술
수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발	수소시설 및 배관망 구축·운영에 따라 발생할 수 있는 문제 상황의 사전 분석 통한 최소화 및 예방할 수 있는 기술
수소이송 배관 평가를 통한 안전성 평가기술 확보 및 시험·인증 기반구축	수소이송 배관의 안전성 평가기술 및 실증시험 평가 기준 마련, 시험·인증 등 표준화 관련 인프라 구축
수소이송배관의 사용환경 모사 실증시험기반 안전성 평가 기술 개발	수소이송 배관의 실증실험에 의한 구조성능 분석 및 사용성 기반 안전성 평가
지능형 수소관망 통합 건설사업관리 시스템 개발	수소도시용 수소관망의 설계, 시공, 시운전, 유지보수의 전주기 경제성을 위한 지능형 사업관리 기술 개발 및 체계 구축
수소관망 스마트 유지보수 및 자산관리 기술개발	수소관망의 안전하고 경제적인 유지보수와 자산관리 개념 기반의 시설물 관리 체계의 구축
수소관망 통합 안전관리체계 구축 및 표준화 기술 개발	수소관망 건설 및 운영 전주기 간의 안전확보를 위한 제반 기술 및 관리 표준, 규정의 개발과 이의 운영 체계 구축 실증
수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술	수소관망의 수용성 향상을 위한 실규모 현장을 대상으로 입지·경로, 기본·설시설계, 시공, 제어·운영 등 실증 기술
D.N.A. 기반 수소관망 실시간 이상감지 기술	관내의 유체압력, 유량 및 진동 등을 측정하거나, 수소기체 누출을 감지할 수 있는 직접감지 기술을 개발
수소관망 실증기술의 변동요소를 고려한 경제적 타당성 분석	수소관망 건설 시, 실증기술의 변동요소들을 종합적으로 고려한 수소관망 경제적 타당성 분석기술
수소관망에 대한 손상부 실시간 전위 모니터링/탐상 시스템 및 증강현실 구현 기술 개발	실시간 방식 제어 및 모니터링 시스템을 통한 수소관로의 실시간 방식전위 및 손상부 탐상시스템 개발
수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)	수소시험도시 내 수소관망의 체계적인 보급을 위한 기술체계, 건설·운용기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼 등 건설기술
안정적인 수소관망 운용을 위한 수소취성에 의한 관로의 이상 감지 시스템 및 진단 플랫폼 개발	수소가스 이송 관로의 이상 감지 기술 및 위험진단을 통한 안정성 평가

수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 타당성 확보 기술	수소 관망 실증기술의 시범도시 적용 시, 비선호 시설의 기피 현상(NIMBY 현상 등)으로 인한 사업 이해관계자들(원주민·관련 단체 등)과의 경제적·환경적·사회적 갈등 방지를 위한 기술
안전한 수소공급 인프라 운용을 위한 비상상황 조기대응 시스템 및 플랫폼 개발	수소 관망 및 스테이션에 적합한 IoT 음성통화 비상벨 및 다중센서 화재감지기를 통한 조기알람 발생 기술
D.N.A. 자산 유지관리 최적의사결정 기술	개별시설물에 대한 노후도를 상태평가, 잔존수명 추정, 위험도 평가 등을 통하여 관로의 최적 교체 및 유지보수 시기 등을 결정할 수 있는 유지관리 최적의사결정 기술 개발
수소관로의 효율적인 성능평가 및 비개착 유지관리 기술개발	수소관로를 대상으로 다양한 탐지기술에 기반하여 현재 및 장래 성능평가를 예측하고 이를 기반으로 각 사건별 효율적인 관로의 유지관리가 가능한 기술개발
IoT 기반 실시간 스마트 수소공급인프라 관제시스템 개발	수소 사회로의 전환을 위한 수소공급인프라 안전성확보를 위한 관제 시스템 개발 및 적용
수소배관 이상감지 시스템 개발	수소배관의 이상감지를 위한 센서 신호 분석 기술

- 중복성 검토 및 과제의 범위를 고려해 제외된 8개 기술 도출

〈표 108〉 중복성 검토 및 과제의 범위를 고려해 제외된 기술

제외 기술	내용
수소배관용 재료 개발 및 수소배관 안전성 평가/진단 기술 개발	수소취성 및 안전기준을 고려한 수소배관용 재료 개발
천연가스로부터 수소제조를 위한 플라즈마 실증플랜트 개발	고온 플라즈마를 이용하여 탄화수소의 직접분해 반응으로 수소 및 카본블랙을 생산하는 기술
대용량 액화수소 이송을 위한 대구경 진공단열배관 Unit 개발	내관 직경이 200A 이상 되는 액화수소용 진공단열배관 Unit 개발
기체수소 수송을 위한 360MPa이상 소구경 SAW 파이프 제조 기술개발	기체수소 배관 설계 압력 80Bar 이상 및 수소 취성을 고려한 S AW(Submerged Arc Welding) 방식의 $\varnothing 216.3\text{mm} \sim \varnothing 355.6\text{mm}$ 소구경 파이프 제작 기술개발
기체수소 수송을 위한 X70급(480MPa이상) 소구경 ERW 파이프 제조 기술개발	기체수소 배관 설계 압력 80Bar 이상 및 수소 취성을 고려한 E RW 방식의 $\varnothing 216.3\text{mm} \sim \varnothing 355.6\text{mm}$ 소구경 파이프 제작 기술개발
국지적으로 고립된 다수의 분산 수요자를 위한 1.3 ton/day (1 MW) 급 액체수소 기반 기체수소 생산 및 공급 배관망 기술	액체수소를 저장/가압/증발시킨 후, 국지적으로 고립된 다수의 분산 수소 수요자에게 배관을 통하여 공급하는 기술
수소관망의 건전성(Integrity) 및 가용성(Availability) 관리	수소관망의 노후화에 대비한 건전성 모니터링 시스템 및 위험성을 평가하여 가용성을 극대화할 수 있는 기술 개발
수소공급인프라 D.N.A.(data, network, AI) 기반 자산관리시스템 구축 (개발)	수소공급인프라 D.N.A. 전주기 성능관리체계 및 유지관리 의사결정체계 시스템 구축 기술

나. 우선순위 도출 및 중복성 검증

(1) 세부과제 선정을 위한 수요조사

- 본 사업의 세부과제 선정을 위하여 수요조사에서 제안된 기술에 대해서 전문가를 대상으로 AHP 분석 및 총괄위원회 우선순위 평가를 통해 최종적으로 세부과제를 선정
- (AHP 분석) 3개 중점분야, 개 제안 기술에 대해서 우선순위 도출을 위한 가중치 도출을 위하여 평가절차, 방법 및 설문지 설계
 - (평가기준 설계) 우선순위 도출을 위한 평가항목·지표 및 평가기준을 설계하고 부처 및 전문가 검토를 거쳐 최종 평가기준을 확정
 - (전문가 평가) 중점분야별 후보기술에 대해 설계 기준에 따른 정성평가를 실시
 - (가중치 설정) AHP(Analytic Hierachy Process, 분석적 계층화기법)를 통해 평가항목 및 평가지표 간 상대적 중요도에 따른 가중치를 설정

〈표 109〉 후보기술 선정을 위한 평가항목·지표·기준 및 가중치 도출 결과

평가항목	평가지표	평가기준
기술성	기술개발 필요성	• 기술의 발전과 혁신에 따라 신기술 적용 및 사회문제 해결을 위한 기술개발 필요성이 높은 수준
	기술적 확산효과	• 기술적 확산효과가 크며, 해당 기술을 통한 파급 기술의 발전에 기여할 수 있는 수준
시장성	시장 성장성	• 해당기술 분야 또는 해당기술의 적용분야의 시장성장 가능성에 대한 수준
	산업적 파급효과	• 해당기술의 개발을 통한 산업적인 기여도와 파급효과의 수준
사회성	정책적 필요성	• 상위정책, 유관계획 등과 연계하여 기술개발 필요성이 높은 수준
	사회적 파급효과	• 해당기술, 분야 등의 기술개발을 통해 사회 인식 변화 및 사회문제 해결에 대한 기여도 수준

- (우선순위 도출) 전문가 평가결과에 기 설정된 평가항목·지표 간 가중치를 적용하여 우선순위 평가결과(안)을 도출
 - 전체 51개 후보 기술 중 ‘수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술’ 이 가능한 높은 순위를 기록하였으며, 이어서 ‘효율적 비개착 유지보수 기술’, ‘수소 시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술’ 순으로 나타남

〈표 110〉 AHP 적용 도출과제 우선순위(전체)

전체 순위	구분	과제명
1	운영관리	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술
2	건설	효율적 비개착 유지보수 기술
3	운영관리	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술
4	조관	실현장 수소관 성능평가 기술
5	운영관리	수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)
6	건설	효율적인 수소관망 비개착식 개·대체 기술
7	운영관리	D.N.A. 기반 수소관망 실시간 이상감지 기술
8	운영관리	D.N.A. 자산 유지관리 최적의사결정 기술
9	건설	지능형 수소관망 건전성 평가기술
10	건설	수소관망 선형 최적화 기술
11	건설	정밀 lowering 기술
12	운영관리	지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술
13	운영관리	수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 타당성 확보 기술
14	건설	수소관망 디지털 설계 및 데이터 관리 기술 개발
15	건설	디지털 시공·검사 기술
16	운영관리	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술
17	건설	정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
18	운영관리	수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발
19	조관	수소관 시제품 생산공정 기술
20	건설	국지적으로 고립된 다수의 분산 수요자를 위한 1.3 ton/day (1 MW) 급 액체수소 기반 기체수소 생산 및 공급 배관망 기술
21	조관	수소용 심리스 배관 제조기술
22	운영관리	디지털 압력분포 센서 기반 수소배관망 건전성 실시간 감지-진단 시스템 개발
23	운영관리	오스테나이트계 수소 이송배관 접합부 결함평가 시스템 및 안전기준 개발
24	소재	수소배관용 재료 개발 및 수소배관 안전성 평가/진단 기술 개발
25	조관	대용량 액화수소 이송을 위한 대구경 진공단열배관 Unit 개발
26	운영관리	700bar 이상 고압수소용기 안전검사를 위한 음향방출기반 IoT 센서 개발
27	생산	천연가스로부터 수소제조를 위한 플라즈마 실증플랜트 개발
28	운영관리	고압 수소배관 수명평가 및 건전성 진단 시스템 개발
29	운영관리	수소관망 건전성 진단 및 관리 플랫폼 구축
30	조관	소형편치 시험결과를 이용한 강종별 수소취화재 기계적 물성 예측 기법 개발

31	운영관리	수소관망의 건전성(Integrity) 및 가용성(Availability) 관리
32	운영관리	음향방출기술을 이용한 수소관망 전주기 안전진단 및 모니터링 플랫폼 개발
33	조관	수소 공급용 파이프 수소취성 최소화를 위한 전기화학복합 공정개발 및 실증평가 기술 개발
34	건설	천연가스 네트워크의 수소 배관망 트랜스포메이션을 위한 최적 설계 및 건설 의 사결정 방안
35	건설	디지털 트윈 기반 수송이송 및 설비 건전성 평가 관리 기술 개발
36	운영관리	수소이송 배관 평가를 통한 안전성 평가기술 확보 및 시험·인증 기반구축
37	운영관리	수소이송배관의 사용환경 모사 실증시험기반 안전성 평가 기술 개발
38	조관	기체수소 수송을 위한 360MPa이상 소구경 SAW 파이프 제조 기술개발
39	조관	고압 및 수소 취화에 강한 수소 이송용 용접 탄소강관(ERW/SAW) 제조기술 개발
40	조관	기체수소 수송을 위한 X70급(480MPa이상) 소구경 ERW 파이프 제조 기술개발
41	운영관리	지능형 수소관망 통합 건설사업관리 시스템 개발
42	건설	수소 배관망 시공관리 체계구축(공정/위치/품질/환경/안전 관리)
43	운영관리	수소관망 스마트 유지보수 및 자산관리 기술개발
44	운영관리	수소관망 통합 안전관리체계 구축 및 표준화 기술 개발
45	건설	BIM기반 디지털 트윈기술을 활용한 수소관망 시공 공정/품질관리 기술 개발
46	건설	디지털 기술을 활용한 수소관망 최적경로 설계 기술
47	건설	레이더 센서와 라이다를 활용한 마이크로 터널링 시공품질 검측기술
48	운영관리	수소관망 실증기술의 변동요소를 고려한 경제적 타당성 분석
49	건설	수소관망 주요설비 디지털 자산 관리체계(AAS) 구축 기술 개발
50	운영관리	수소관망에 대한 손상부 실시간 전위 모니터링/탐상 시스템 및 증강현실 구현 기술 개발
51	운영관리	안정적인 수소관망 운용을 위한 수소취성에 의한 관로의 이상 감지 시스템 및 진단 플랫폼 개발
52	운영관리	안전한 수소공급 인프라 운용을 위한 비상상황 조기대응 시스템 및 플랫폼 개발
53	조관	저취성 강관의 현장 원주용접 기술
54	조관	수소배관 구조성능평가 및 조관/설계 적용 기술
55	운영관리	수소관로의 효율적인 성능평가 및 비개착 유지관리 기술개발
56	운영관리	IoT 기반 실시간 스마트 수소공급인프라 관제시스템 개발
57	운영관리	수소공급인프라 D.N.A.(data, network, AI) 기반 자산관리시스템 구축(개발)
58	건설	수소 관망 인프라 설계 및 구축을 위한 GIS&BIM 기반 Digital Twin 플랫폼 기술 개발
59	운영관리	수소배관 이상감지 시스템 개발

- 조관 기술 개발 분야에서는 ‘실현장 수소관 성능평가 기술’ 이 가능 높은 순위를 기록하였으며, 이어서 ‘수소관 시제품 생산공정 기술’, ‘수소용 심리스 배관 제조기술’ 순으로 나타남

〈표 111〉 AHP 적용 도출과제 우선순위(조관 기술 개발 분야)

전체 순위	분야내 순위	과제명
4	1	실현장 수소관 성능평가 기술
19	2	수소관 시제품 생산공정 기술
21	3	수소용 심리스 배관 제조기술
25	4	대용량 액화수소 이송을 위한 대구경 진공단열배관 Unit 개발
30	5	소형편치 시험결과를 이용한 강종별 수소취화재 기계적 물성 예측 기법 개발
33	6	수소 공급용 파이프 수소취성 최소화를 위한 전기화학복합 공정개발 및 실증평가기술 개발
38	7	기체수소 수송을 위한 360MPa이상 소구경 SAW 파이프 제조 기술개발
39	8	고압 및 수소 취화에 강한 수소 이송용 용접 탄소강관(ERW/SAW) 제조기술 개발
40	9	기체수소 수송을 위한 X70급(480MPa이상) 소구경 ERW 파이프 제조 기술개발
53	10	저취성 강관의 현장 원주용접 기술
54	11	수소배관 구조성능평가 및 조관/설계 적용 기술

- 건설 기술 개발 분야에서는 ‘효율적인 수소관망 비개착식 개·대체 기술’ 이 가능 높은 순위를 기록하였으며, 이어서 ‘효율적 비개착 유지보수 기술’, ‘지능형 수소관망 건전성 평가기술’ 순으로 나타남

〈표 112〉 AHP 적용 도출과제 우선순위(건설 기술 개발 분야)

전체 순위	분야내 순위	과제명
2	1	효율적인 수소관망 비개착식 개·대체 기술
6	2	효율적 비개착 유지보수 기술
9	3	지능형 수소관망 건전성 평가기술
10	4	수소관망 선형 최적화 기술

11	5	정밀 lowering 기술
14	6	수소관망 디지털 설계 및 데이터 관리 기술 개발
15	7	디지털 시공·검사 기술
17	8	정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
20	9	국지적으로 고립된 다수의 분산 수요자를 위한 1.3 ton/day (1 MW) 급 액체수소 기반 기체수소 생산 및 공급 배관망 기술
34	10	천연가스 네트워크의 수소 배관망 트랜스포메이션을 위한 최적 설계 및 건설 의사결정 방안
35	11	디지털 트윈 기반 수송이송 및 설비 건전성 평가 관리 기술 개발
42	12	수소 배관망 시공관리 체계구축(공정/위치/품질/환경/안전 관리)
45	13	BIM기반 디지털 트윈기술을 활용한 수소관망 시공 공정/품질관리 기술 개발
46	14	디지털 기술을 활용한 수소관망 최적경로 설계 기술
47	15	레이더 센서와 라이다를 활용한 마이크로 터널링 시공품질 검측기술
49	16	수소관망 주요설비 디지털 자산 관리체계(AAS) 구축 기술 개발
58	17	수소 관망 인프라 설계 및 구축을 위한 GIS&BIM 기반 Digital Twin 플랫폼 기술 개발

- 운영관리 기술 개발 분야에서는 ‘수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술’ 이 가능 높은 순위를 기록하였으며, 이어서 ‘수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술’, ‘수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)’ 순으로 나타남

〈표 113〉 AHP 적용 도출과제 우선순위(운영관리 기술 개발 분야)

전체 순위	분야내 순위	과제명
1	1	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술
3	2	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술
5	3	수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)
7	4	D.N.A. 기반 수소관망 실시간 이상감지 기술
8	5	D.N.A. 자산 유지관리 최적의사결정 기술
12	6	지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술

13	7	수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 타당성 확보 기술
16	8	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술
18	9	수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발
22	10	디지털 압력분포 센서 기반 수소배관망 건전성 실시간 감지-진단 시스템 개발
23	11	오스테나이트계 수소 이송배관 접합부 결함평가 시스템 및 안전기준 개발
26	12	700bar 이상 고압수소용기 안전검사를 위한 음향방출기반 IoT 센서 개발
28	13	고압 수소배관 수명평가 및 건전성 진단 시스템 개발
29	14	수소관망 건전성 진단 및 관리 플랫폼 구축
31	15	수소관망의 건전성(Integrity) 및 가용성(Availability) 관리
32	16	음향방출기술을 이용한 수소관망 전주기 안전진단 및 모니터링 플랫폼 개발
36	17	수소이송 배관 평가를 통한 안전성 평가기술 확보 및 시험·인증 기반구축
37	18	수소이송배관의 사용환경 모사 실증시험기반 안전성 평가 기술 개발
41	19	지능형 수소관망 통합 건설사업관리 시스템 개발
43	20	수소관망 스마트 유지보수 및 자산관리 기술개발
44	21	수소관망 통합 안전관리체계 구축 및 표준화 기술 개발
48	22	수소관망 실증기술의 변동요소를 고려한 경제적 타당성 분석
50	23	수소관망에 대한 손상부 실시간 전위 모니터링/탐상 시스템 및 증강현실 구현 기술 개발
51	24	안정적인 수소관망 운용을 위한 수소취성에 의한 관로의 이상 감지 시스템 및 진단 플랫폼 개발
52	25	안전한 수소공급 인프라 운용을 위한 비상상황 조기대응 시스템 및 플랫폼 개발
55	26	수소관로의 효율적인 성능평가 및 비개착 유지관리 기술개발
56	27	IoT 기반 실시간 스마트 수소공급인프라 관제시스템 개발
57	28	수소공급인프라 D.N.A.(data, network, AI) 기반 자산관리시스템 구축(개발)
59	29	수소배관 이상감지 시스템 개발

(2) 세부과제 및 구성기술 최종선정

□ 우선순위 도출을 위한 AHP 결과 공통적인 기술 통합하여 분과별 최종 세부과제 및 기술 선정

- 관련 동향 분석, 관련 전문가의 의견 수렴, 우선순위 도출을 통하여 기존의 4개 분야를 3개 중점분야로 구분하고 세부과제(8개)-구성기술(20개)을 확정
 - (중점분야 1) 수소관망 설계 시뮬레이터 기술, 수소관망 정밀시공 품질검사 기술, 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술 등의 세부과제 및 구성기술로 구성
 - (중점분야 2) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술, 지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술등의 세부과제 및 구성기술로 구성
 - (중점분야 3) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술, 수소관 현장 적용성 평가 기술, 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술 등의 세부과제 및 구성기술로 구성

〈표 114〉 중점분야별 세부기술-구성과제

구분	내용
중점분야 1 (수소관망 설계· 시공기술 개발)	■ 수소관망 설계 시뮬레이터 기술 - 수소관망 열수력 설계 기술 - 수소관망 선형 최적화 기술 - 지능형 수소관망 건전성 평가기술
	■ 수소관망 정밀시공 및 품질검사 기술 - 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술 - 수소관망 정밀 lowering 기술 - 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술
	■ 수소관로 효율적 비개착 시공 및 보수 기술 - 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술 - 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술
중점분야 2 (도시 내 수소활용 안전관리 기술 개발)	■ 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술 - 수소관망의 수소취성 및 한계수명 예측 기술 - 수소관망의 수소취성 대체시험·평가 기술
	■ 지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술 - 지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술 - 수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술
중점분야 3 (수소관망 실증 및 운영 기술)	■ 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술 - 수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술 - 수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등) - 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술
	■ 수소관 현장 적용성 평가 기술 - 실현장 수소관 성능평가 기술 - 수소관 시제품 생산공정 기술 - 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술
	■ 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술 - D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술 - D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술



제4장 기술개발 내용

4. 기술개발 내용

가. 비전 및 목표

- (비전) 수소관망 구축 기술 국산화·경쟁력 확보를 통한 수소도시 확대기반 마련
- (사업목표) 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위한 고강도·내수소취성의 수소관망 구축·운영기술 개발
- (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발
- (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발
- (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

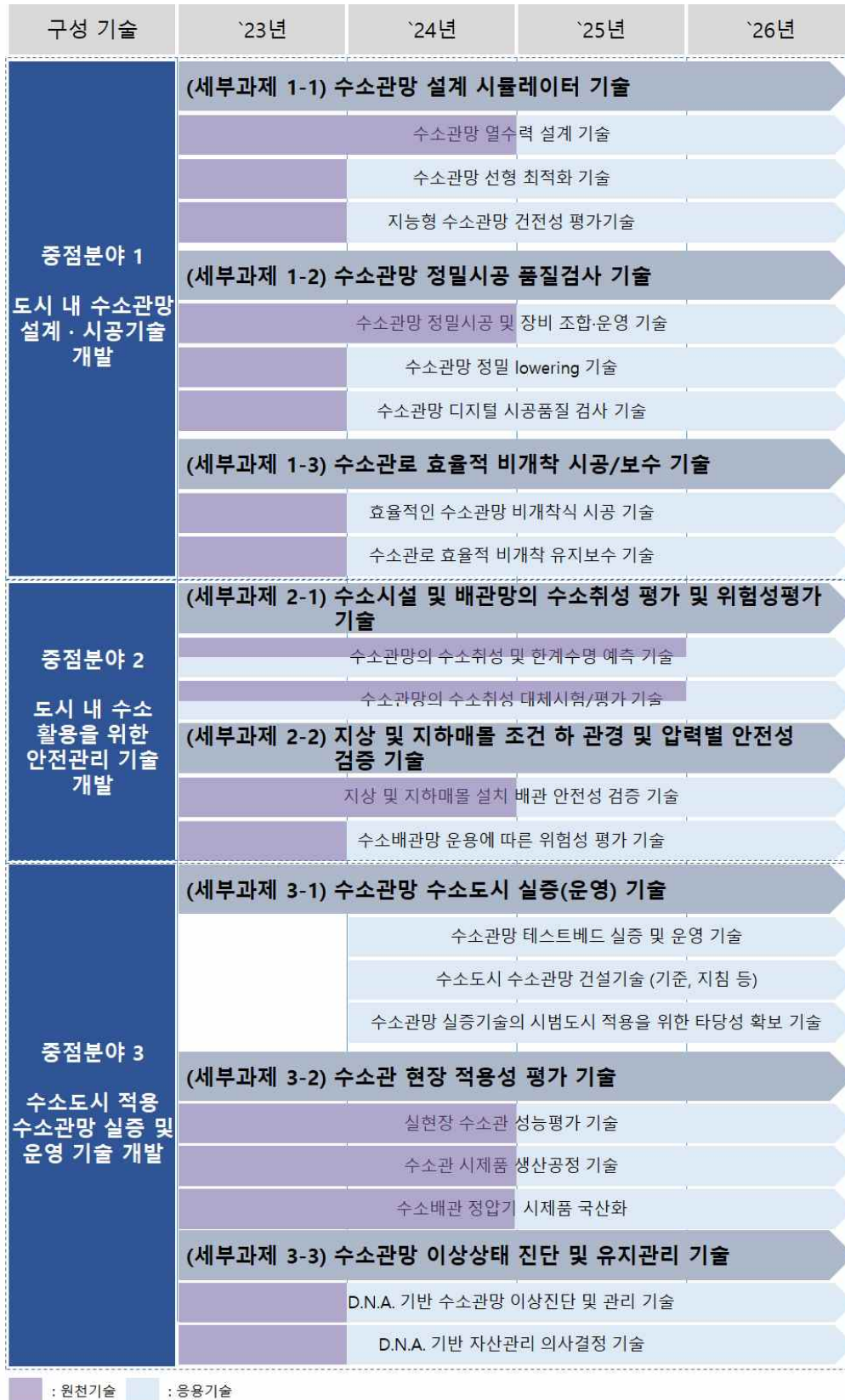
비전	수소 배관망 구축기술 실증개발을 통해 친환경 수소도시 활성화, 도시·국토 저탄소화 실현 -수소도시에 적용 가능한 수소관망 설비 및 이의 설계·시공·운영기술 실증 개발-		
사업목표	수소도시 내 안전하고 경제성 있는 대용량 수소이송을 위한 고강도 내수소취성의 수소관망 구축 운영 기술 개발		
성과목표	① 수소도시용 수소관망 설계 시공 기술 개발 상세설계 자동화(70%) 설계영역 시뮬레이션(70%) 대상 관로 직경(8, 20인치) 등	② 수소시설 및 배관망 안전성 국내기준, 평가 기술 확보 사용압력(80기압급) 수소시설 및 수소배관 수소취성 및 대체시험 DB 구축(국내사용재료) 가압 반복횟수(12,000회) 등	③ 수소도시 수소관망 수용성 향상 실증 기술 확보 수소 시범도시 내 실증(5km, 8인치) 지중 수소배관(감사구간 300m, 정밀도 99%) 국가건설기준 마련 등

3대 중점 8대 세부과제

중점분야 및 세부과제	중점 1 도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발 • (1-1) 수소관망 열/수력 설계 기술 • (1-2) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술 • (1-3) 수소관로 효율적 비개착 시공/보수 기술	중점 2 도시 내 수소활용을 위한 안전 관리 기술 개발 • (2-1) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술 • (2-2) 지상 및 지하 관망 시공조건 하 관경 및 압력별 안전성 검증 기술	중점 3 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영기술 개발 • (3-1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술 • (3-2) 수소관 현장 적용성 평가 기술 • (3-3) 수소관망 이상상태 진단 및 유지 관리 기술
예상 결과물	수소관망 디지털 설계 플랫폼 및 데이터 관리 기술 수소관망 선형 최적화 기술 수소관망 정밀시공 및 장비 조합 운영 기술 수소관망 정밀 lowering 기술 등	수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 지상/지하 매설설치 수소관 안전성 검증 기술 등	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술 수소도시 수소관망 건설기술 실현장 수소관/정압기 등 수소관망 성능평가기술 수소관 시제품 생산품질 및 정압기 국산화 기술 등
사업기간	 2023~2026년(총 4년)		사업예산  국고 280억 원(총 사업비 미정)

<그림 185> 본 기획과제 비전 및 사업내용

나. 총괄 기술 로드맵



〈그림 186〉 총괄 기술 로드맵

다. 중점분야 및 세부과제 내용

(1) (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발

(가) 중점분야 내용

① 정의 및 범위

- (수소관망 설계 시뮬레이터 기술) 수소도시용 수소관망의 소재/조관/입지/경로/위험 특성을 고려한 디지털 기반의 설계 최적화 및 검증 기술로서, 수소관망 설계 효율화를 위한 수소관망 입지, 경로, 열수력, 건전성 등 해석 모델 및 알고리즘화 개발에 중점하되, 수소관망의 설계·시공·유지관리 전주기에서 발생하는 데이터 관리 기술 및 플랫폼 등을 포함.
- 수소관망의 설계 시, 열수력 최적화, 선형 최적화 시뮬레이션 기술, 건전성 평가 설계 기술, 수소관망건설 기준 및 지침, 생애주기 단계별 프로세스 및 절차서 등 방대한 이종의 데이터 관리 기술 필요하며 플랫폼에서 시뮬레이션 및 평가·의사결정 지원 구현
- 수소 관망의 건전성 실시간 이상상태 모니터링, 중점4분야와 연계 진단 및 관리 기술을 확립하고, 이를 장기적 수명과 상호의존성, 위험도, 회복력 등에 미치는 종합적인 건전성을 실시간 평가하는 기술
- BIM관련 정부정책에 따른 최근의 동향 급변 및 대응 기술 개발 필요(공공발주시 전주기 BIM 의무화)
 - BIM활성화 로드맵(2020.12. 국토교통부)
 - 건설산업 BIM 기본지침(2022.02. 국토교통부)
 - 건설산업 BIM 시행지침(2022.07. 국토교통부)
 - BIM기반 건설산업 디지털 전환 로드맵(2021.03. 국토교통부)
- 수소관망의 설계 시 선형 최적화 시뮬레이션 기술, 건전성 평가 설계 기술, 수소관망건설 기준 및 지침, 생애주기 단계별 프로세스 및 절차서 등 방대한 이종의 데이터 관리 기술 필요하며 플랫폼에서 시뮬레이션 및 평가·의사결정 지원 구현
- 도심지 내 수소관망 선형 최적화를 위한 지하시설물(공동부) 활용 시나리오 도출 및 관망구축 공사비, 공기, 지형적 특성 등 디지털 데이터 관리 및 활용이 가능한 플랫폼 개발로 기획과제 내 개발 데이터의 모듈별 취합 및 활용

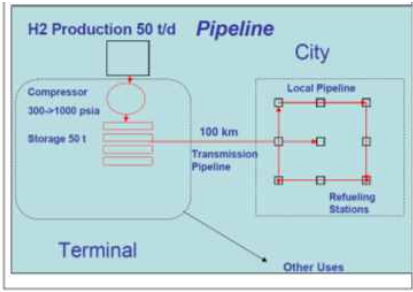
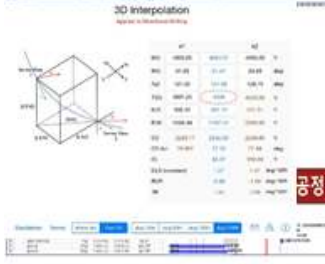
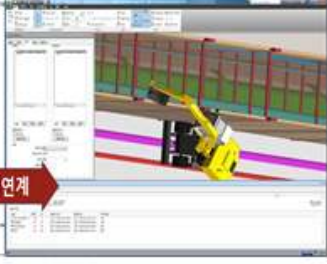
- **(수소관망 정밀시공 및 품질검사 기술)** 수소관망의 안전성과 경제성을 확보하며 시공 전단계를 관리할 수 있는 디지털 트윈 기반의 시공 품질 검사·일정·사업비·안전관리 기능을 수행할 수 있는 체계 구축
 - 정밀시공 품질검사 및 공정관리 기술은 수소관망의 정밀시공 기술, 장비의 조합 및 운영 기술, 관망 정밀 lowering 기술, 디지털트윈 기반 시공품질검사 및 공정/원가관리 기술을 포함
 - 디지털 트윈 모델에 정밀시공 및 장비조합·운영, 정밀 Lowering 관련 데이터 및 문서 등 제반 정보가 취합되며, 이는 세부1과제의 데이터 관리 플랫폼의 모듈로 통합관리
- **(수소관로 효율적 비개착 개·대체 및 유지보수 기술 개발)** 기존의 비개착 장비 또는 공법을 개량하여 수소관망의 비개착식 개대체 및 유지관리 기술의 효율화 및 고도화로 정의
 - 다양한 장비 및 공법의 분석 및 비교를 통하여 최선의 장비를 선정 및 공법의 개선을 통하여 기존의 공법보다 시공시간 및 시공비용을 저감할 수 있는 수소관로에 최적의 공법을 개발
 - 원형 중대형 관에 대한 기존의 비개착 공법으로는 비개착 장비의 개선 또는 신공법 (시공 방법)의 개발을 통하여 관로의 긴급 보수비 및 보수시간을 절약하고, 안전성을 제고할 수 있는 기술 개발
- **(플랫폼 개발)** 설계 시뮬레이터 기술은 S/W 개발이 일부 포함되어 있으나 그 내용이 전체가 아니라 플랫폼의 일부분이며, 여러 가지 기능을 통합·융합한 플랫폼을 현장에 적용하는 기술개발이 주요 연구내용
 - 대표기술(열/수력 설계기술, 수소관망선형 최적화 기술, 수소관망 건전성 평가 기술)의 국산화 및 상용화(관로 수치지도를 작성할 수 있는 mapping관련 기술 개발 및 보유하고 있는 기관은 국내에서는 지오메트리 피그(Geometry FIG)를 개발하여 사용하는 한국가스공사(KOGAS)가 유일)
 - 국토교통부 국토지리정보원, 한국국토정보공사(LX) 등 주도로 작성중인 국토지하 및 수치지형도 활용한 수소관망 설계 및 사전 시뮬레이션 특화 기술 개발
 - 수소취성 평가 국제 표준(ASME BPVC, CSA, JPEC, ISO, ASTM etc.) 기반 관로 건전성 평가 기술 개발

- 관로 이상감지 및 진단 기술의 국산화 개발(현재 독인 IKTS사의 모니터링 센싱 기술, 미국 H2scan사의 유지보수 필요없는 수소감지 센싱 기술 등 선도경쟁 기술 존재)
- (해외 상용 S/W(Fluid System Modeing & Simulation S/W 등)의 국산화 개발 보다) 현 기술수준에서는 수소특성을 고려한 열/수력 설계역량, 경제성/기술성 분석 기반의 선형최적화 설계 역량, 수소취성 반영한 건전성 평가 역량의 국산화 기술 개발로 국내외 기술경쟁력 제고
- 설계기술 및 선형 최적화의 경우 대안별 경제성 검토, 설계정보 및 데이터 관리, 사전간섭체크 등의 분야에서, 건전성평가에서는 생애주기 동안 전체 투입비용 사전검토 등의 분야에서 모사 기술 로직 및 콘텐츠 개발은 자체적으로 개발하고, 이를 구현하는 방법에서는 기존 S/W의 응용 또는 자체 플랫폼 개발을 이용 가능

□ 중점분야의 범위 및 구성

〈표 115〉 중점분야 1의 개요

중점분야명	내용
도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발	• (범위) - 수소도시 내 수소 공급용 중·대구경 수소관망의 입지·경로 및 열수력·공급효율 최적화, 관망 건전성 설계(상호의존성, 위험도, 신뢰성·내구수명·복구력), 관망 시공성 및 장기 안정성(품질) 확보기술 - 수소특성을 고려한 전주기 활용 및 유통이 가능한 설계·시공 데이터 관리 기술 개발 및 플랫폼을 구축하여 유지관리 단계에 이르기까지 활용이 가능토록 하는 기술 확보 - 수소관망의 설계·시공 단계에서 발생하는 방대한 데이터와 정보의 관리, 자동화 설계 기술, 설계 품질 검토 및 적법성·적합성·안전성을 종합평가하는 시뮬레이션 기술 개발을 포함 - 디지털 트윈 기술 기반 시공성 사전 검토(pre-construction review), 실시간 시공 품질 확인 및 검사 기술 포함 - 시공 단계에서 자동화 시공 장비의 개발보다는 기존 선행 연구 등을 통하여 도출된 기술의 융복합 및 생산 효율성, 자동화를 도모하여 연구기간 및 연구비 범위에서 최적의 성과를 도출하는 기술 확보, 비개착 장비의 개선 또는 공법의 국산화를 통하여 관로의 개대체 시 시공비 및 시공시간을 절약할 수 있는 기술 개발 - 타 기술과 연계성 : 극한지 파이프라인 기술 개발 및 LNG 플랜트 사업단 기술 개발에서 도출된 EPC 정보관리 및 프로세스, 고속시공 및 원격 현장 통합관리 기술 등을 연계 및 융복합하여 수소관망 설계 및 시공 기술 개발에 연계 • (개요도)

중점분야명	내용
	  <수소관망 설계 및 디지털 시공기술 개념>    <디지털 정보 기반의 가상설계 및 전주기 설계데이터 전달 체계> <성능설계 기반 운용 지원> • (세부과제 구성) - (세부1과제) 수소관망 설계 시뮬레이터 기술 - (세부2과제) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술 - (세부3과제) 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술

② 추진 필요성

□ (수소관망 설계 시뮬레이터 기술) 수소도시용 수소관망의 설계 단계별 발생하는 방대한 데이터와 정보의 관리, 자동화 설계 기술, 설계 품질 검토 및 적법성·적합성·안전성을 종합평가하는 시뮬레이터 기술 개발 필요

○ 수소의 물성을 고려한 수소관망의 열수력 설계기술 개발과 검증을 통해 다양한 조건의 수소관망 설계역량 확보가 중요하며, 수소관망 설계 효율화를 위한 수소관망 입지, 경로, 열수력, 건전성 등 해석모델 및 알고리즘화 개발 필요

○ 정부 정책에 따른 건설산업의 전면 BIM 도입 추진에 따른 수소도시용 수소관망 구축을 위한 계획·설계·시공·유지관리 등 전주기에 걸쳐 발생하는 방대한 양의 데이터와 각종 기준 및 지침 등 적용, 활용방안 모색 필요

- (BIM 정의) 그간 주로 학술적으로 다양하게 표현되어왔던 BIM에 대한 정의* 명확화

* “건설정보모델링(BIM; Building Information Modeling)” 이라 함은 시설물의 생애주기 동안 발생하는 모든 정보를 3차원 모델 기반으로 통합하여 건설 정보와 절차를 표준화된 방식

으로 상호 연계하고 디지털 협업이 가능하도록 하는 디지털 전환(Digital Transformation) 체계를 의미



〈그림 187〉 BIM 기반의 전주기 관리 가능 분야(예시)

- 본 개발 기술은 수소관의 특성을 반영한 설계 과정에서 발생하는 방대하고 다양한 설계도서의 관리 효율성 증대 및 시공단계, 유지보수 단계에 이르는 전 과정에 설계 데이터 활용을 위하여 기존 기술과 차별화 된 지능형·스마트 데이터 관리 및 유통 기술 필요
- 도심지 수소관망 최적 네트워크, 최단 시공방안 도출을 위한 시나리오 기반의 분석, 수소관망 네트워크 데이터(지상), 지하시설물(지하) 설계/시공 데이터 확보를 통한 데이터 디지털화, 개략 공사비, 공기 정보제공 플랫폼 구축, 디지털 기술 기반의 수소관망 최적 매설경로 설계기술 개발 필요
- 천연가스, 지역난방, 상하수도 등 타 관종의 관리는 정기점검방식 또는 사고(누수 등) 모니터링에 기반하고 있기 때문에 장기적 건전성 관리에 제한적
- 수소 관망의 건전성 실시간 이상상태 모니터링, 진단, 관리 기술을 확립하고, 장기적 수명에 미치는 저주기 하중 영향력 분석을 통하여 장기 건전성을 평가하여 설계에 반영하기 위한 기술 개발 필요

□ (수소관망 정밀시공 및 품질검사 기술 필요) 수소관망의 시공 시 가장 중요한 경제성과 안전성을 확보하고, 이를 위한 세부 관리 분야인 공기 준수, 품질 검사 및 안전을 담보하는 시공 기술의 확보 필요

○ 수소관망의 시공 단계별로 다양한 용도의 장비조합 및 정밀시공 운영기술, 기존 시공법 및 장비의 조합 및 개량을 통한 생산성 향상, 시공 속도 향상, 정밀 시공 기술의 확보 필요

○ 수소관망의 파이프 연결 후 개착 또는 비개착 방식으로 lowering 시 기존 방식 대비 시공 효율 향상, 일정 단축, 시공 품질 제고 등을 목적으로 장비의 개량·조합 후 정밀시공 운용할 수 있는 기술의 개발 필요

○ 수소관망 시공 전 과정에서의 안전성 확보, 공사 진행 일정 관리, 공사 품질 확보를 위한 각종 검사 및 검사 정보의 관리를 자동화·원격으로 실시 및 관리할 수 있는 스마트·디지털 기술 필요

○ 디지털 트윈 기술을 활용한 설계·시공 모델로 시공속도, 시공품질검사, 공사비 준수 여부 및 안전관리 등 시공관리와 이와 관련된 데이터, 자료를 데이터 플랫폼과 통합하여 관리할 수 있는 체계의 구축 필요

□ (수소관로 효율적 비개착 시공 및 보수 기술 필요) 지하 관로의 개·대체 또는 보수 시 기존의 개착식 공법에서 발생하는 공사장 주변의 소음, 분진 등의 환경적 비용과 교통장애로 인한 사회 및 경제적 피해를 최소화하기 위하여 필요

○ 기존 비개착 장비의 개선 및 공법 개발을 통해 관로의 효율적 개·대체 기술 확보 및 용접부의 강건성을 확보하기 위하여 이음매가 없는 심리스 강관의 사용이 확대됨에 따라 암반연약화를 통한 장경간 비개착식 굴착장비의 개선 및 공법의 개발 필요

○ 관로의 개착 유지보수는 사회, 경제 및 환경적 비용이 많이 소요되므로, 개 대체와 같이 유지보수도 비개착으로 시공할 수 있는 기술이 필요

○ 기존 비개착식 관로 유지보수 장비의 개선 및 공법 개발을 통하여 고도화된 유지보수기술로 경쟁력 확보 필요

○ 개착식 굴착공사에 따른 소음, 분진 등 환경문제, 교통체증 등 민원문제 발생
- 도심지 개착을 통한 지하굴착은 주변지반의 변위 발생 및 인접 지역에 차량과 보행자들이 통행하고 있어서 사고위험 노출

- 지하매설물인 통신선, 전력선, 상·하수도관, 가스관, 공동구, 맨홀 등이 있어 굴착 시 시설물 훼손 및 안전 문제로 공사가 어려워짐
- 서울이나 부산 같은 대도시의 경우 지하 굴착심도가 30m 이상이 많아 사고가 증가하고 있으며, 주변 구조물에 대한 피해 증가

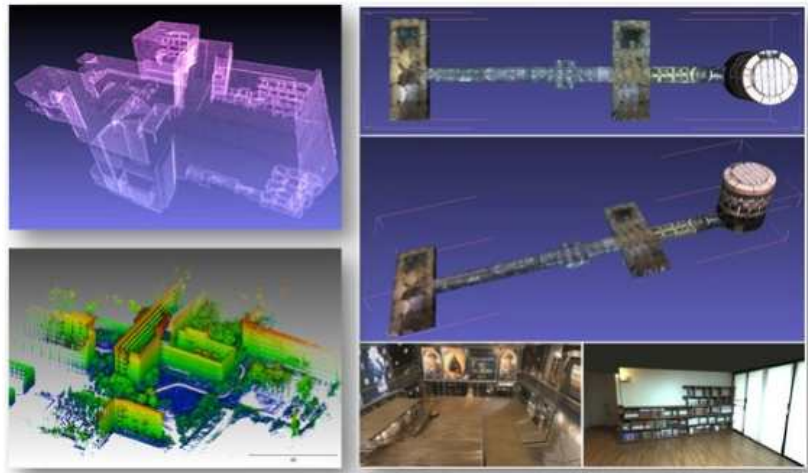
○ 굴착작업 환경에 따른 제반 문제에 효과적인 대응 필요

- 도시가 발달함에 따라 지하공간에 대한 수요가 늘어나고 있으며, 지반굴착으로 인한 주변 도로, 건물 및 지하매설물 등 개착을 하기 어려운 구간에 비개착식 공법 (Trenchless Methods) 적용
- 비개착식 굴착공법 (Horizontal Directional Drilling (HDD), Micro-tunneling 및 Auger Boring 등)에 사용되는 대부분의 장비는 외산 (일본 또는 독일)으로 수입하여 사용
- 대도시의 싱크홀 대부분은 얕은 심도와 협소한 공간에서 작업하고 있어서 시공 마무리 과정에서 부실공사가 발생할 확률이 높으며, 건물 및 지하매설물 등의 안전성을 유지하며 시공을 할 수 있는 기술개발 필요

③ 기술 현안문제 및 이슈

□ 수소관망 설계 의사결정 정확성 및 생산성 제고 필요

- 국가연구개발사업 지원으로 LNG, 동토(극한지)지역 파이프라인 등 산업 분야에 대한 설계, 구매조달, 시공, 시운전 단계의 생산성 및 의사결정 지원체계에 대한 연구는 이루어진 바 있으나, 수소도시 건설을 위한 수소관망 분야는 미비한 실정
- 국내 사업성 평가기술의 경우 일반적인 LNG플랜트 사업을 대상으로 국내 건설회사와 국토교통부, 국외 UNDIO와 ECAs의 타당성 모델을 분석하여 Risk 평가 모델을 수립하였고, 비용항목 분석으로 통하여 Risk 파악에 따른 의사결정 능력 향상이 제고
- 국내 가상시공기술은 한국 건설 기술연구원에서 가상실증 실험시설인 BIM Room을 구축하여 BIM을 활용하여 시공현장 환경을 사전에 협업·검토하고 현장 몰입감 증대를 통해 원격 현장관리가 가능



출처 : 티랩스, 2018

〈그림 188〉 3D 가상현실 촬영 로봇을 이용한 3차원 가상공간

- BIM Room은 3면 구조 기반의 4K이상의 고해상도를 통해 가상현실(VR) 구현이 가능하며, 3D 도면검토, 모의 시뮬레이션, 의사결정, 가상실증실험이 가능

- 국내 리스크 관리기술은 연세대학교와 해외건설협회가 공동으로 연구하여 사업 단계별 특성에 맞는 리스크 관리와 이러한 단계별 관리요소를 지속적으로 점검할 수 있는 해외건설공사 통합 리스크관리 시스템(FIRMS, Fully Integrated Risk Management System)을 개발

□ 시공 품질확보를 위한 디지털 트윈 기술 개발 필요

- 세계시장 조사 보고서에서 언급되는 디지털 트윈의 주요업체로 제너럴 일렉트릭(GE), 다쏘(Dassault), PTC, Ansys, 지멘스(Siemens), SAP, Sight Machine, TIBCO Software, AT&T, Infosys, TwinThread, Prodea System, Cosmo Company Sas, Autodesk, SimScale, DIGITAL TWIN, Concirrus, Computer Science Corporation, Bosch 등이 있으며 국내업체는 전무한 실정
- 정유/석유화학 플랜트의 디지털 트윈을 위해 GE(Predix), Siemens(MindSphere) 외에도 미국 Honeywell사의 Uniformance, 프랑스 Total사의 TrendMiner 제품 출시
- 3D CAD/CAE 전문기업들이 3D 모델링 기능에 디지털 정보관리 및 시뮬레이션 기능을 확장하여 PLM 기반의 디지털 트윈 소프트웨어 시장을 선도
- 세계적 선도 회사들은 디지털 트윈 소프트웨어 플랫폼 판매만으로도 상당한 수익을 창출
 - 미국 GE사의 소프트웨어(Predix) 서비스 연 매출 규모는 2016년에 60억 달러로 2020년까지 150억 달러 달성이 목표

- 독일 Siemens사는 2016년의 디지털 서비스 매출액이 10억 유로인데 비해 소프트웨어(MindSphere) 매출액은 33억 유로

☐ **현장 특수환경의 종합적 분석을 통한 최적 관망 구축설계 방안 마련 필요**

- 수소관망 시공현장에서 고려되어야할 지리적, 환경적, 기존 인프라 여건 등을 종합적으로 고려할 수 있는 설계 플랫폼 개발이 필요
- 현장의 지상/지하 공간 데이터 확보 및 관리 플랫폼 개발이 필요
- 현장 데이터 활용을 통한 최적 배관 구축 시나리오 수행 플랫폼 개발이 필요

☐ **수소도시 등 수요처와 생산지 연결특성을 고려한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보, 수소도시에 경제성과 수용성이 높은 수소관망 설계·시공 기술 개발이 필요**

- 수소관망 시공현장에서 고려되어야할 지리적, 환경적, 기존 인프라 여건 등을 종합적으로 고려할 수 있는 설계 플랫폼 개발이 필요
- 현장의 지상/지하 공간 데이터 확보 및 관리 플랫폼 개발이 필요
- 현장 데이터 활용을 통한 최적 배관 구축 시나리오 수행 플랫폼 개발이 필요
- 국내 비개착공법을 활용한 배관망 시공사례는 점차적으로 증가하고 있으나, 전부 1km 이하의 단거리 시공으로 양방향 굴착이나 다른 공법과의 병행을 통해 2km 이상의 장경간 기술 개발

☐ **수소도시 건설을 위한 배관인프라 구축시 비굴착공법 필요**

- 소규모로 단거리에 연속공급을 하는 경우 좁은 골목에 관로 신설 또는 교체 시에 협소한 구간의 경우 장비의 진입이 어렵고 인력으로 굴착 시 벽, 담 등의 붕괴와 같은 안전사고가 발생하여 경제성과 시공성이 저하

〈표 116〉 중점분야1의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색

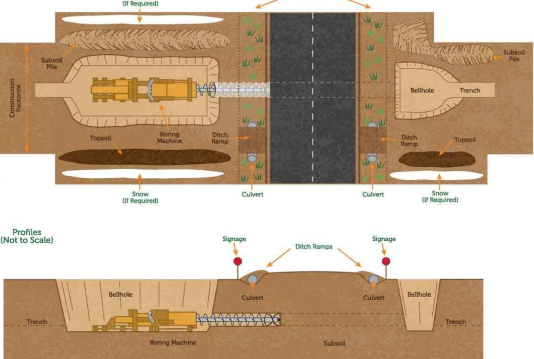
현안 문제점 및 이슈, 한계	⇒	해결방안/기술니즈
2D/3D CAD 기반 설계	⇒	유지관리 단계까지 고려한 7D 수준의 BIM 기반 설계
설계품질(오류 및 간섭 사전 검토, 적법성/적합성 검토 등) 재래식 방식의 수동 및 부분 자동 검토		다양한 설계 품질 검토 기능의 자동화 및 사전 시뮬레이션 기술 개발
시공 전 설계도서의 검토 및 시공관리계획 기술 부족		- 프리컨스터렉션 리뷰(pre-con review), 정밀시공 품질검사를 위한 디지털 트윈 모델 기반의 관리 기술 개발 - 디지털 시공·검사 기술 개발
도심 또는 지상 구조물이 존재하는 경우의 비개착 기술		도시 내 수소관망 시공을 위한 효율적 장비 조합 및 개량 위주의 비개착 기술 개발
설계 및 시공 단계의 데이터 관리		- 디지털 플랫폼 구축을 통한 설계·시공 데이터의 통합관리 - 설계 BIM, 시공 BIM 모델의 통합 운영 가능한 수준의 기술 개발
수소 배관망 특수 환경 데이터의 종합고려를 통한 최적 루트 및 선형 최적화 구축방안 마련 요구		- 현장의 지상/지하 공간 데이터 확보 - 현장의 지리적, 환경적 특성 데이터 확보 - 데이터 종합분석을 통한 계략 공사비/공사기간 도출 - 최적 배관망 구축 시나리오 도출
1000만톤 수요를 넘을 경우 튜브트레이러(TT)나 탱크로리(TL) 방식으로 공급의 한계 발생 - 장경간 배관망 시공에 적합한 Horizontal Directional Drilling (HDD)은 암반이나 호박돌층은 작업이 어려움		- 비개착공법 개선을 통한 경제적이고 안정적인 수소공급을 위한 수소배관망 구축필요 - 모든 암반층에 가능한 기존 Micro-tunneling 등의 기술을 개선한 기술 확보

④ 목표 및 내용

□ 최종목표

- 도시규모에 적합한 수소 이송용 고압, 중·대구경 관 적용 수소관망 설계·시공 기술 국산화 개발
- 설계단계는 시공 및 유지관리 단계와 연계되며, 설계단계에서 사업의 경제성과 안전성이 결정됨. 이에 시나리오 기반의 수소관망 최적화 시뮬레이션 기술, 건전성 평가 기술, 데이터관리 기술 및 플랫폼 개발
- 시공단계에서는 개착·비개착식 시공 및 유지보수 기술, 정밀시공 및 품질검사 기술, 장비조합 및 운영 기술, 시공 이전에 설계오류 최소화 및 시공성 검토 기술 등 수소관망의 안전성·경제성을 확보할 수 있는 시공관리 요소 기술 필요
- 디지털 트윈 기술을 활용한 가상 모델 개발 및 실시간 원격 시공관리 기술 개발

〈표 117〉 중점분야 1의 기술개발 전후 변화

AS-IS	⇒	To-Be
	⇒	
- 설계 및 시공 데이터의 분절 및 분리 현상 - 설계 도서 품질 수동 검토 및 기능위주 사전 모사 - 현장 위주 시공 품질 검사 - BIM 3D 설계 - 적법성, 적합성 수동 검토 - 설계 품질 검토 및 시뮬레이션 미비 - 시공 전 설계도서 검토 및 시공계획 수립을 기존 방식으로 수행 - 간섭체크, 일부 기능 시뮬레이션 - 시공 일부 가상건설, 공정 및 품질관리 이원화 및 수동작업 - 연약지반 단경간 비개착공사 - 관로 비개착 시공 시 국외장비 사용 - 일부 장비 국산화 (70-80%) - 시공시간 및 시공비용 고가	⇒	- 내수소취성 설계 성능 및 기술 확보 - 설계 및 시공 데이터의 통합 및 일원화 - 설계 도서 품질 검토 자동화 및 통합 사전 모사 - 원격·실시간 시공 품질 검사 - AI기반 지능형 BIM Level 4 설계 기술 - 디지털 시공 및 품질검사 자동화 70% - 자동화 설계 및 설계 전체 시뮬레이션 - DT기반 가상건설, 사전 모사, 품질검사 스마트화 및 자동화 - 암반연약화를 통한 장경간 비개착공사 - 국내외 장비의 개량 - 장비의 국산화 실현 - 시공비 및 시공시간 30% 절감 - 시공자동화 70% 이상 실현

□ 단계별 목표 및 추진내용

〈표 118〉 중점분야 1의 단계별 목표

구분	단계별 목표 및 내용	
	1단계(2년)	2단계(2년)
목표	수소도시 수소관망 개념 및 기본설계 개발	수소도시 수소관망 실증 및 운영 기술 개발
추진 내용	- 수소관망 설계 기술 프레임워크 개발 - 자동화 설계와 설계 데이터 기반의 시뮬레이터 기본 설계 및 프로토타입 개발 - 디지털 트윈 시작품 개발 - 가상건설 및 사전모사 시나리오 개발 - 공정 및 품질관리 기본체계 구축 - 비개착 장비 개선 및 공법 체계 구축 - 수소관로 비개착 개대체 공법 개발방안 - 수소관로 비개착 유지보수 공법 개발방안 - 수소관로 개대체를 위한 장비 개량 및 시공기술 - 수소관로 유지보수를 위한 장비 개량 및 시공기술	- 중·고압 환경의 내구수명 30년의 중·대구경 수소관망 설계 기술 확보 및 자동화 설계와 설계 데이터 기반의 시뮬레이터 기술 개발 - 디지털 트윈을 활용한 가상건설 및 사전모사 기술, 공정 및 품질 관리 기술 등을 기반으로 한 자동화 시공 및 스마트 품질 검사 패키지 개발 - 비개착 장비 개선 및 공법을 적용한 개·대체 및 유지보수 기술 개발로 시공비용 30% 및 시공시간 30% 절감 - 수소관로 개대체를 위한 장비 개량 및 시공기술 - 수소관로 유지보수를 위한 장비 개량 및 시공기술 - 시공매뉴얼 개발 및 실증평가보고서

⑤ 세부과제 구성 및 연계성

□ 세부과제 구성

- 수소관망 설계 시뮬레이터 기술, 수소관망 정밀시공 품질검사 기술, 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술 등 3개의 세부과제로 구성
- (세부과제 1-1) 수소관망 설계 시뮬레이터 기술
- (세부과제 1-2) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술
- (세부과제 1-3) 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술
- (기간/예산) 4년/134.70억 원(국고 101.00억 원, 민간 33.70억 원, 민간 매칭 25.0%)

〈표 119〉 중점분야 1 세부과제 구성

구 분	기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
세부과제 1-1	수소관망 설계 시뮬레이터 기술		'23~'26 (4년)	53.68

구 분		기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
연구개발 내용	수소관망 열·수력 설계 기술	- 데이터 관리 기술개발계획 및 정보화전략 계획(ISP)수립 - 수소관망 디지털 설계 시뮬레이터 개발 - 설계 데이터관리 체계 구축 - 중점분야 개발성과 플랫폼 통합 및 기술 검증	수소관망 디지털 설계 데이터 관리 플랫폼 (3DMP)	'23~'26 (4년)	26.48
	수소관망 선형 최적화 기술	- 수소관망 최적 네트워크 데이터 디지털화 - 개략 공사비·공기 정보 제공 기술 - 수소관망 최적 매설경로 설계기술 개발	선형 최적 설계 및 시물 레이션 기술	'23~'26 (4년)	17.64
	지능형 수소관망 건전성 평가기술	- 수소관망 이상상태 실시간 탐지·진단 기술 - 저주기 피로파손 예측 프로그램 개발 - 건전성 진단 및 평가 기술 개발	건전성 통합진단 시스템	'23~'26 (4년)	9.56
세부과제 1-2		수소관망 정밀시공 품질검사 기술		'23~'26 (4년)	50.02
연구개발 내용	수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	- 수소관망 시공공법 및 시공 장비조합 - 생산성 측정 및 관리 기술 - 정밀시공 통합관제 시스템 구축	정밀 시공 및 장비조합 관제 시스템	'23~'26 (4년)	12.68
	수소관망 정밀 lowering 기술	- 개착·비개착 lowering 장비조합 및 개량기술 - 정밀시공 및 관제를 위한 control & monitoring 기술 개발 및 검증	개착 및 비개착식 lowering 시공, 장비조합 및 관제 모듈	'23~'26 (4년)	16.67
	수소관망 디지털 시공품질 검사 기술	- 디지털 트윈 시공 통합관리 시스템(DT-CIMS) 개발 - 디지털 사전 시공성 검토(pre-construction review) 절차서 및 기술개발 - 디지털 가상건설 실시간 관제 및 검사 절차서 및 기술 개발 - 수소관망 통합 품질/공정/원가/안전관리 절차서 및 APP/매뉴얼 개발	디지털 트윈 시공 통합관리 시스템(DT-CIMS)	'23~'26 (4년)	20.67
세부과제 1-3		수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술		'23~'26 (4년)	31.00
연구개발	효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술	- 장경간 개·대체 기술 개발 - 공법 개발 및 장비 개선 기술 개발	수소관로 대체공법	'23~'26 (4년)	16.77

구 분		기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
내 용	수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술	▪ 비개착 유지보수공법 개발 ▪ 공법 조합 및 장비 개선 기술 개발	비개착 유지보수 공법	'23~'26 (4년)	14.23

□ 세부과제 간 연계성

- (중점분야 1)은 도시규모에 적합한 수소관망 설계·시공 기술 국산화 개발을 목표로 하되, 수소취성을 고려한 내수소취성 성능 기반의 설계·시공 기술을 개발
 - (세부과제 1-1)의 설계 데이터 플랫폼은 (세부과제 1-2), (세부과제 1-3)의 데이터 및 기술개발 성과물들을 통합하여 구축하고 이를 중점분야 3 실증 시 활용·검증한 후 보완하여 수소시범도시에서 활용하는 것이 목표
 - (세부과제 1-1) 구성기술 중 선형 최적화 기술 및 건전성 평가 기술은 수소 취성 및 관망 안전성을 최우선으로 하며, 경제성과 공사기간 등을 감안하여 개발하고, 각 성과물은 데이터 관리 플랫폼에 통합하여 사용
 - (세부과제 1-2)은 시공 단계로 실물과 동일한 디지털트윈 모델을 구축하여 사전 시공성 검토, 개착/비개착 시공 시 장비 및 공법의 개량 기술, 정밀 시공 실시간 관제 등을 가능케 하는 시공관리 기술을 포함해 개발하고, (세부과제 1-1)의 디지털 설계데이터 플랫폼과 연계·통합하여 사용
 - (세부과제 1-3)은 비개착 시공 시 시공 및 관제, 장비의 개량 및 조합, 이상 상태 감지 및 유지보수 기술을 포함하며, 이는 (세부과제 1-2)의 디지털트윈 기반 시공관리 기술 및 (세부과제 1-1)의 디지털 설계 데이터 플랫폼과 연계 개발



〈그림 189〉 중점분야 1 세부과제 간 연계 개념

⑥ 주요 용어

〈표 120〉 중점분야 1 주요용어 설명

주요범위 및 개념	설명
디스플레이	▪ 사용자의 몰입감을 높이기 위한 핵심기술요인은 시야각(FOV : Field of View)과 해상도, 재생빈도로 구분
트래킹	▪ AR/VR 분야에서 연구개발 된 트래킹 기술은 대부분 센서, 비전, 또는 이 둘을 융합한 하이브리드 추적 기술로 구성
렌더링	▪ 사용자에게 AR/VR 콘텐츠를 실시간으로 제공하기 위한 기술로써 지연시간(latency)을 20ms 이하로 단축시키기 위한 연구개발이 진행되고 있음
디지털 트윈	▪ 미국 제너럴 일렉트릭(GE)이 주창한 개념으로, 컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션함으로써 결과를 미리 예측하는 기술로 실제 물리적인 자산 대신 소프트웨어로 가상화한 자산의 디지털 트윈을 만들어 모의실험(시뮬레이션)함으로써 실제 자산의 특성(현재 상태, 생산성, 동작 시나리오, 등)에 대한 정확한 정보를 취득할 수 있음
시뮬레이터	▪ 복잡한 작동 상황 따위를 컴퓨터를 사용하여 실제 장면과 같도록 재현하는 장치, 실물에서 기술적·경제적으로 곤란한 조건을 여러 번 재현할 수 있다.
lowering	▪ 파이프라인 건설에서 가스 및 오일을 안전하게 이송할 수 있도록 파이프와 파이프를 연결하여 시공 위치에 자리잡도록 놓는 작업
pre-construction review(or analysis)	▪ 설계 단계 중 기본설계 이후 상세설계 진행 중에 시공팀 및 전문가 그룹으로 구성된 프로젝트 수행진이 설계오류의 발견 및 수정 보완, 시공법 및 시공계획 수립, 설계 및 시공 상의 대안 제시 등 다양한 범위와 대상으로 수행되는 폭넓은 검토 및 개선 작업
공정관리	▪ Time Management 또는 scheduling, 한정된 프로젝트의 자원(시간과 비용 등)내에서 성공적인 수행을 위한 제반 일정관리 기법
비개착공법	▪ 널 혹은 지하구조물을 건설하기 위해 노면을 개착하지 않고 지중작업으로 구조물을 형성하는 공법
Horizontal Directional Drilling (HDD)	▪ 배관 관로 공사 및 지하 매설물 공사시에 상부 구조물 파괴 및 변형을 초래 하지 않도록 특수 장비를 이용하게 되어서 지하 매설물을 설치하게 되는 공법
Micro-tunneling	▪ 발진 가시설을 갱내에 투입 설치하여 선단부의 정착된 Cutter Head에 의해 지반을 굴착하며 굴착과 동시에 후미의 유압 jack에 의한 본관을 압입 시공하는 공법

(나) 세부과제 내용

① (세부과제 1-1) 수소관망 설계 시뮬레이터 기술

㉔ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- (정의) 수소도시용 수소관망의 조관·입지·경로·위험 특성 등 설계영향요인을 고려한 디지털 기반의 설계 최적화 시뮬레이터 기술
 - 수소도시에 적용 가능한 시설 및 배관의 내수소취성 설계 기술 개발 및 검증, 기존 관망과 차별화된 시나리오 기반의 내수소취성 선형 최적화 설계 및 시뮬레이션 기술, 방대하고 다양한 설계요건을 고려한 디지털 기술 기반의 설계 데이터 관리 기술 및 플랫폼 구축
 - 수소도시용 수소관망의 설계 단계별 발생하는 방대한 데이터와 정보의 관리, 설계 데이터 관리 기술, 설계 품질 검토 및 대안 평가 기술

□ 기술 목적

- 수소도시용 수소관망의 설계 단계별 발생하는 방대한 데이터와 정보의 관리, 자동화 설계 기술, 설계 품질 검토 및 적법성·적합성·안전성을 종합평가하는 시뮬레이터 기술 개발

□ 기술 범위

- 중·고압 환경의 내구수명 30년의 중·대구경 수소관망 설계 기술 확보 및 자동화 설계와 설계 데이터 기반의 시뮬레이터 기술
- 수소관망의 기획설계, 계획설계, 기본설계, 상세설계 단계별 발생하는 도면을 포함한 각종 계산서 등의 서류, 정보 및 지식을 지능형·스마트 IoT 기술을 접목한 데이터 관리기술 및 플랫폼 개발
- 도심지 수소관망 선형 최적화를 위한 시나리오 기반의 선형 최적화 사전 모사 기술, 관망구축에 소요될 공사비·공기·지형적 특성 등 방대한 데이터의 디지털화 기술 개발, 프로젝트 우선요구사항에 따른 추천경로 대안 생성 기법
- 수소 관망의 건전성 실시간 이상상태 모니터링·진단·관리 기술 확립 및 장기적 수명에 미치는 저주기 하중 영향력 분석을 통하여 장기 건전성 평가 기술 개발

㉔ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

□ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 수소도시 등 수요처와 생산지 연결특성을 고려한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보
 - 수소관망 조관기술, 비개착 굴착공법, 선형 최적화 설계 기법, 설계 시뮬레이션을 통한 설계 품질 및 적합성 검토 기술 등 연구 필요
- 수소관망 설계 데이터의 디지털화 및 플랫폼 기반의 통합 관리 기술 필요
 - 수소관망 설계분야별 설계도서 및 자료의 취합, 방대한 데이터의 스마트 관리 기술, 적법성·적합성·안전성 검토 자동화 기술 등 연구 필요
- 수소관망 정밀시공 및 굴착기술 개발로 수소도시 건설 원천기술 조기 확보 및 경쟁력 제고 필요
- 수소관망 구축현장 지상/지하 공간 디지털 데이터 확보 필요
 - 건설 산업에서 스마트/이동형 장비 등을 활용하여 시공현장의 지상/지하 공간적 디지털 데이터를 확보하여 종합 분석 진행 중
- 디지털 데이터를 활용한 최적 루트 및 선형 최적화 시뮬레이터 개발 필요
 - 현장 특수 데이터(지리적, 환경적, 사회적 등) 및 용량 등을 고려한 최적 루트 도출 및 선형최적화 시뮬레이션 필요
 - 데이터 기반 계약 공사비/공사기간 도출 연구 필요

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 도시 내 수소관망 건설을 위한 비개착 굴착공법은 수소취성, 시공·유지보수 단계의 안전성을 고려할 때, 기존 비개착 굴착 공법·장비와 차별화 된 개량·조합 방안 구축 필요
 - 후속 수소 신도시 건설에 적용 가능한 수소관망 비개착식 개·대체 기술 및 비개착식 유지보수 기술 개발 필요
- 수소관망 정밀시공 기술, 시공품질 검사 기술, 공정관리 기술 등의 개발은 한정된 예산과 기간 내 경제성과 안전성을 동시에 확보할 수 있는 요소기술
- 수소관망 설계·시공 단계의 데이터 통합 관리 기술 개발로 최근 이슈가 되고 있는 시설물 자산관리 수준의 체계 구축을 통한 경제성 확보 필요

- 설계 및 시공 단계 BIM 모델 기반의 데이터 관리 플랫폼 구축, 디지털 트윈 기반 설계/시공 정합성 검토 및 공정 진행을 실시간 관리 기술, 디지털 시공·검사 기술 등

□ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 수소관망 최적 루트 및 선형 최적화를 통한 공사비/운영관리비 저감효과
- 현장 디지털 데이터 관리 및 운용을 통한 시공관리 향상
- 수소관망 최적 운용 방안 도출연계를 통한 배관운용 및 관리 향상

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 수소경제 활성화 로드맵('19.01), 수소 기술개발 로드맵('19.10) 및 수소 시범 도시 추진전략('19.10)(국토부 도시활력지원과) 등 정부정책 및 국토교통부 추진 사항에 부합

□ 주요 연구 내용

- 본 기술은 내수소취성 기준에 부합하는 수소관망 선형 최적화 설계 기술, 건전성 평가 기술 등으로 포함한 설계 데이터 디지털 관리 기술 및 플랫폼을 개발하는 것
- 수소취성에 및 폭발위험성에 따른 안전성 확보 설계방안 마련
 - 수소는 무색, 무취이며 작은 분자 크기로 인한 높은 확산속도, 높은 인화성으로 인한 폭발·화재의 위험이 크다는 특성이 있기 때문에, 누출 시 소음과 냄새가 없어 배관망 설계과정에서 관리방안 마련이 필요
 - 또한, 금속 재료의 경우 수소에 노출되면 구조 강도가 크게 감소하는 수소취성 현상이 발생하며, 이는 수소 배관 매설 시 매설 압력, 토질, 주변 환경 등으로 인해 수소의 누출을 촉진 시킬 수 있기에, 수도 관망 매설 및 설계 과정에서 영향요소의 고려가 필요
 - 최근 5년간 국내에서 발생한 수소 관련 시설의 사고사례는 총 11건으로 수소의 누출 및 누출로 인한 화재·폭발이 발생한 것을 확인
 - 이러한 문제는 추후 수소관망 실증을 위한 매설 시, 지역주민들의 반발로 인한 수용성 확보에 어려움으로 이어질 수 있어 대책 마련 필요
- 수소도시의 수소배관망 설계 시 내수소취성 평가에 부합하는 안전설계 및 시공을 위한 디지털 플랫폼 및 데이터 관리기술

○ 수소관망 선형 최적화 기술

- 수소관망 설계/시공 과정에서 고려해야할 현장의 특수 데이터(지형적, 환경적, 사회적, 지상/지하 공간데이터)를 확보하고 최적 루트 및 선형최적화 시뮬레이션 도출 기술을 개발
- 현장 지상/지하 공간 데이터 확보 기술, 현장 지리적, 환경적 특성 데이터 확보 기술, 데이터 종합분석을 통한 계략 공사비/공사기간 도출 기술, 최적 배관망 구축 시나리오 도출 기술

○ 지능형 수소관망 건전성 평가기술

- 수소관의 이력정보 디지털화 관리(속성정보 특성화), 실시간 계측 데이터의 활용, 원격 선형 감시 시스템, AI 기반 모델링 및 시뮬레이션 예측기법 접목, 디지털 환경에서 원격 관망 진단·관리 효율화 등
- 수소관망의 건전성을 기존 정기점검방식(이력 데이터, 등급화 등)에서 압력관의 장기적인 수명에 영향을 미치는 저주기 온도 및 진동하중 등을 배관의 피로 파괴 예측에 적용하고, 부식 환경 등을 고려한 매설배관의 손상 및 수명 성능 등 건전성 종합진단관리 기술

□ 목표 성과

- (기술적 성과) 내수소취성 기능을 확보한 수소관망 설계 기술 및 데이터 관리 플랫폼 체계 구축, 지반 및 관망의 변형을 예측한 수소관망 선형 대안 생성 및 최적 경로 추천 기술, 건전성 평가 기술 개발
- (학술적 성과) 학술논문 12건, 학술발표 24건, 특허 4건

□ 최종 목표

- 중·고압 환경의 내구수명 30년의 중·대구경 수소관망 설계 기술 확보 및 자동화 설계와 설계 데이터 기반의 시뮬레이터 기술 개발
- 디지털 트윈을 활용한 가상건설 및 사전모사 기술, 공정 및 품질 관리 기술 등을 기반으로 한 자동화 시공 및 스마트 품질 검사 70% 자동화 패키지 개발
- 시설 기본사항 및 절연, 부식, 증기, 방열, 누수, 파손, 보수 등 이력 데이터의 속성을 특성화 → 머신/딥러닝 기법을 적용하여 건전성 평가의 종합적인 정확도를 향상, 장기적 수명에 미치는 저주기 하중 영향력 분석을 통하여 장기 건전성을 평가하기 위한 기술 개발

□ 최종 산출물

- 중·고압 환경의 내구수명 30년의 중·대구경 수소관망 설계 기술 확보 및 자동화 설계와 설계 데이터 기반의 시뮬레이터 기술
- 수소특성을 고려한 전주기 활용 및 유통이 가능한 설계 데이터 관리 기술 개발 및 플랫폼 구축
- 디지털 트윈을 활용한 가상건설 및 사전모사 기술, 공정 및 품질 관리 기술 등을 기반으로 한 자동화 시공 및 스마트 품질 검사 패키지
- 수소 관망의 저주기 피로파손(노후도) 예측 기술, 프로그램

□ 목표 설정 근거

- 국가연구개발사업 지원으로 LNG, 동토(극한지)지역 파이프라인 등의 산업 분야에 대한 설계, 구매조달, 시공, 시운전 단계의 생산성 및 의사결정 지원 체계에 대한 연구는 이루어 진 바 있으나, 수소도시 건설을 위한 수소관망 분야는 미비한 실정이며, 특히 수소취성을 고려한 기술 개발 필요가 절실
- 국외 기술변화를 고려시, 대용량 공급을 위한 관경과 운전압력을 증가시켜야 하며 관경은 유럽의 신규관망 적용규격인 20인치, 국내 도시가스 주배관망과 동일한 규격인 20인치를 인용하고, 운전압력은 독일의 80 bar 수소관 개발사례 및 국내 100 bar 개발계획을 인용
- 국내 가상시공기술은 한국 건설 기술연구원에서 가상실증 실험시설인 BIM Room을 구축하여 BIM을 활용하여 시공현장 환경을 사전에 협업·검토하고 현장 몰입감 증대를 통해 원격 현장관리가 가능
- 수소관은 농도 10% 이상인 수소를 수명주기(30년) 동안 안전하게 이송하기 위한 배관으로 정의(ASME B31.12)
- ASME B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines (소재, 용접, 검사, 운영, 유지 관리 및 보수, 설계, 품질관리, 제작 및 조립, 설치, 법령 등 포함)
- ASME STP-PT-006 Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines(파이프 라인 시스템 내구수명 등)
- 설계 자동화 정도는 상세설계 70%, 시뮬레이션은 설계 영역의 70%를 목표로 설정하고 디지털 시공 및 품질검사 자동화는 70%를 목표로 설정

□ 세부과제 도출 근거

- 수소도시용 수소관망의 설계는 수소취성 등 수소특성을 고려하여 수행되어야 하며, 기존의 오일 및 가스 운송 파이프라인과는 상이한 환경이 존재
- 따라서 데이터 분류체계 및 시설물 분류체계, 설계 데이터의 유통 및 저장·활용 등 다양한 용도와 목적에 부합하는 관리플랫폼이 필요
- 수소관망 선형 루트 결정을 위한 시나리오 기반의 대안 생성, 경제성·안전성 기반의 시뮬레이션 기술, 의사결정 지원 체계의 구축, 건전성 평가 및 설계반영 기술, 플랫폼 기반의 통합관리체계 구축 등이 필요

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) Steag, 7-Technology, Profu, BiFit 사의 에너지 배관 네트워크 최적화 및 관리 기술, 시뮬레이터 역할을 수행 할 수 있는 국내 시뮬레이터 기술 개발이 필요
- (차별성) 국내 현장의 특수성 및 디지털 데이터를 활용한 최적 루트 설계 및 선형 최적화 시뮬레이션 기술 개발 필요. 계약 공사비/공사기간 정보 제공 플랫폼 개발 필요
- (연계 활용방안) 기존 에너지 배관 네트워크 구축과정의 고려인자, 시뮬레이션 방안 연계를 통한 국내 시뮬레이터 고도화

□ 세부과제 확보 전략

- 수소시범도시의 수소관망 관로 설계 시 요구조건과 환경분석 결과를 토대로 최적 선형 및 루트를 도출하고, 이에 따른 대안별 공가기간 및 공사비를 개략적으로 산정할 수 있는 기술개발로 의사결정 지원 및 사업경제성 확보
- 수소취성을 고려한 수소관망의 피로손상 유무를 예측하여 건전성을 담보할 수 있는 시뮬레이터 개발 및 다중 데이터 기반의 비선형 예측 모델을 개발하여, 수소배관의 설계 시부터 반영하고, 시공 단계에서 이를 반영한 정밀시공이 가능토록 하는 기술과 공법 반영으로 장수명, 안전성 제고
- 다중 다양한 방대한 설계 도서와 관련 데이터의 디지털 기반 관리 기술 개발 및 설계관리 플랫폼의 개발로 설계 단계 뿐만 아니라 시공, 유지관리 단계까지 데이터와 BIM 설계 모델을 통합하여 사용하고 관리할 수 있는 기술개발을 수행

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 53.68억 원/4년 중 정부출연금 40.25억 원(75.0%) 대비 민간부담금 13.43억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

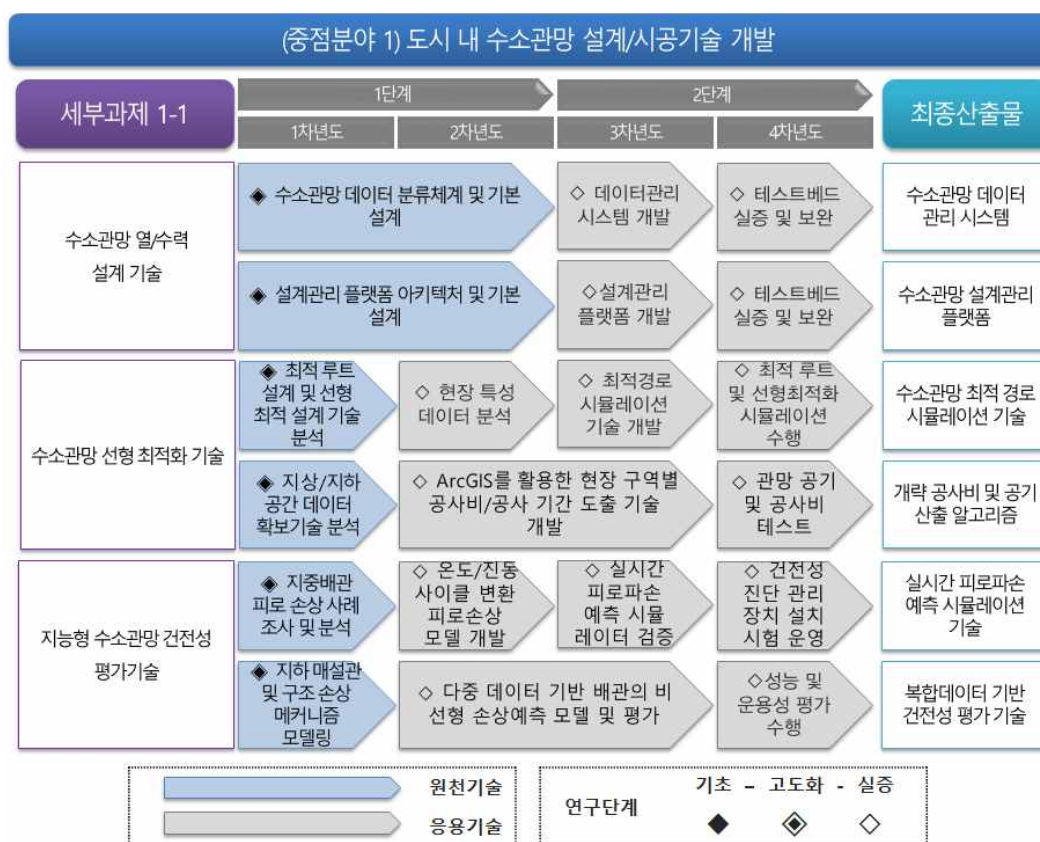
〈표 121〉 세부과제 1-1 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 열·수력 설계 기술	2.91	7.39	10.49	5.69	26.48
수소관망 선형 최적화 기술	1.45	4.44	7.48	4.27	17.64
지능형 수소관망 건전성 평가기술	0.87	2.96	3.60	2.13	9.56
합계	5.23	14.79	21.57	12.09	53.68

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

□ 기술개발 로드맵



〈그림 190〉 세부과제 1-1 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 수소관망 열·수력 설계 기술

〈표 122〉 수소관망 열·수력 설계 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 수소관망 디지털 설계데이터관리플랫폼(3DMP) 아키텍처 및 기본설계 - 입지/경로 설계에 대한 경제성 및 시공성 분석
2024	- 수소관망 열수력·공급효율, 입지·경로 최적화 - 수소관망 디지털 설계데이터관리플랫폼(3DMP) 상세설계
2025	- 수소관망 데이터 관리 체계 구축 및 이관데이터 통합 - 설계 시뮬레이터 기반, 구설계 적용성 및 경제성 실/검증
2026	- 수소관망 디지털 설계데이터관리플랫폼(3DMP) 통합 및 테스트베드 검증 - 디지털 트윈 모델, 기준/지침/매뉴얼/가이드 탑재 및 검증

○ 수소관망 선형 최적화 기술

〈표 123〉 수소관망 선형 최적화 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 에너지 배관망 최적 루트 설계 및 선형 최적화 선행 기술 분석 - 건설 현장 지상/지하 공간 데이터 확보기술 분석
2024	- 현장 특성 데이터(지리적, 환경적, 공간적) 분석 - 지상/지하 구조데이터 3D point cloud 데이터 확보 (DJI P1, L1, Terra활용)
2025	- 데이터 종합분석을 통한 계약 공사비/공사기간 도출 - ArcGIS를 활용한 현장 구역별 공사비/공사기간 제시
2026	- 수소배관망 최적 루트 및 선형 최적화 시뮬레이션 수행 - 수소배관망 선형 최적 설계/시공 시뮬레이터 개발

○ 지능형 수소관망 건전성 평가기술

〈표 124〉 지능형 수소관망 건전성 평가기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 지중 매설관의 피로손상 사례 조사 및 분석 - 지하 수소관망 및 구조 손상 메커니즘 모델링
2024	- 온도/진동 사이클 변환 피로손상모델 개발 - 다중 데이터 기반 배관의 비선형 손상예측모델 및 평가 - 지하 수소관망의 피로손상 영향도 지수 개발
2025	- 실시간 피로파손 예측 시뮬레이터 검증 개발 - 복합데이터 기반 건전성 진단 플랫폼 구현, 검증
2026	- 지하 수소관망의 건전성 진단·관리장치 설치·시험운영 - 시험절차 및 규격에 따른 성능 및 운용성 평가 수행

㉮ 세부과제 요약본

중점과제명	도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발	
세부과제명	수소관망 설계 시뮬레이터 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	53.68억 원

기존기술 현황 및 한계	- 수소도시 등 수요처와 생산지 연결특성, 수소도시 등에 대규모 공급을 상정한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보, 대량의 수소 수요처인 수소도시에 경제성과 수용성이 높은 수소관망 설계 기술 개발이 필요 - 배관망 simulator의 상업용 제품은 국내 제품 없음. Flora 와 Termis등이 수입되어 적용되고 있는 실정 - ALOHA 프로그램은 Google Earth와 연동을 통해 구축된 배관의 특정 위치의 환경적, 지형적 특성 데이터를 제공하고 있음	
연구목표	- 도시규모에 적합한 수소 이송용 고압, 중·대구경 관 적용 수소관망 설계 기술 국산화 개발 - 수소관망 설계 시뮬레이터 개발 및 플랫폼 구축 - 건전성 평가 및 선형 최적화 기술 개발	
세부과제 및 예산	- 수소관망 설계 시뮬레이터 기술, '23~'26(4년), 53.68억 원 - 수소관망 열·수력 설계 기술, '23~'26(4년), 26.48억 원 - 수소관망 선형 최적화 기술, '23~'26(4년), 17.67억 원 - 지능형 수소관망 건전성 평가기술, '23~'26(4년), 9.56억 원	
주요 연구내용	- 수소관망 열·수력 설계 기술 (Dfma 개념 기반) 수소관망 설계 데이터 표준화 기술 개발 - 수소관망 디지털 변환 데이터 관리 기술 개발 - BIM 기반 수소관망 최적 설계 기법 개발 - AI기반 수소관망 설계 시뮬레이션 기술 및 관리 체계 개발 - 수소관망 지능형 설계 시뮬레이션 모델 개발 프레임워크 구축 및 통합 - 수소관망 설계 시뮬레이터 및 해석 모델 개발 - 지능형 설계 품질 검토 기술 개발 - 디지털 설계 적법성/정합성 검토 기술 - 수소관망 설계 품질 검토 자동화 기술 및 체계 구축	
목표성과	설계 정합성 및 품질관리 제고, 설계관리 자동화 및 생산성 30% 향상	

Keyword	한 글	시뮬레이터, 품질관리, 데이터 레이크, 디지털변환, 루트 최적화, 선형 최적화, 공간데이터
	영 문	Simulator, QC, Data lake, Digital Transformation , Pipe Network Optimization, 3D point cloud data

② (세부과제 1-2) 수소관망 정밀시공 품질검사 기술

㉠ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- 수소취성을 고려한 경제적이고 안전한 수소관망 건설을 위해 디지털전환(DX) 기술을 융합한 수소관망 자동화·정밀시공 기술 및 스마트 품질검사 기술
- 수소관망의 굴착, 파이프 용접, 시공 과정 단계별로 사용되는 공사·검사·관제 등 다양한 용도의 장비의 조합 및 정밀 시공 운영 기술과 플랫폼 구축
- 수소관망의 파이프 연결 후 개착 또는 비개착 방식으로 lowering 시 기존 방식 대비 시공 효율 향상, 일정 단축, 시공 품질 제고 등을 목적으로 장비의 개량·조합 후 정밀시공 운용할 수 있는 기술의 개발
- 수소관망 시공 단계에서의 안전성 확보, 시공의 품질과 일정의 검사 및 관리를 위한 스마트·원격 관리 기술

□ 기술 목적

- 수소관망 정밀시공 및 장비조합과 운영 기술 개발
- 수소관망 정밀 Lowering 기술 개발
- 수소관망 디지털 시공 및 검사 기술 개발
- 디지털 트윈을 활용한 가상건설 및 사전모사 기술, 공정 및 품질 관리 기술 등을 기반으로 한 자동화 시공 및 스마트 품질 검사 패키지 개발

□ 기술 범위

- 시공 장비 조합 및 정밀시공 운영 기술, 시공 통합관제 플랫폼 구축
- 개착 또는 비개착 방식의 lowering 장비 조합 및 개량 기술, 정밀 시공 운용 및 관제를 위한 control & monitoring 기술, 안전성과 품질 확보를 위한 센싱 기술
- 디지털 트윈 기반의 가상건설 및 사전 모사 기술, 수소관망 디지털 프리콘(Pre-Con) 기술, 시공 품질 및 공정 검사 및 관리 기술

㉔ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

□ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 수소관망의 경제성과 안전성을 확보하고, 이를 위한 공기 준수, 실시간 시공품질 검사 및 안전을 담보하는 수소관망 시공 기술 미확보
 - 가스관망 시공과 달리 수소관망은 굴착심도 및 방호/방폭에 대한 요구사항이 엄격하며, 이를 정밀하게 시공하기 위한 기준 및 프로세스에 대한 개발이 미흡
 - 수소의 취성 및 높은 투과율로 인해 연결부 등의 시공품질에 대한 보다 세밀한 검사가 요구되고 있으므로, 현장상황을 디지털 형태로 재현하여 사업현황을 한눈에 파악하고, 문제점을 효과적으로 파악할 수 있는 기술개발이 필요
- 기존 시공 공법 및 시공 장비의 조합 및 개량을 통해 생산성 향상, 시공 속도 향상, 정밀 시공 기술의 확보 필요

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 선진국의 경우 건설현장 이미지를 취득한 후 3차원 데이터를 처리·모델링하여 BIM과 비교·분석을 통해 품질 검사, 모니터링, 유지관리 등에 다양하게 활용
- BIM기반의 시공관리 및 건설현장 모니터링 분야 연구개발 및 실무 적용 증가 추세
- 기존 시공 공법 및 시공 장비의 조합 및 개량을 통해 생산성 향상, 시공 속도 향상, 정밀 시공 기술의 확보 필요
- 수소관망 lowering 작업의 경제성·안전성·효율성 확보 및 시공 품질 제고를 위하여 첨단 IoT 기술을 적용한 장비의 정밀시공 운용 및 관제 기술의 개발 필요
- 수소관망 시공 전 과정에서의 공사 진행 일정 관리, 공사 품질확보를 위한 각종 검사와 검사 정보의 송수신 등을 자동화하고 원격으로 실시 및 관리 할 수 있는 IoT 기반의 기술 개발해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과
- 해당 기술 개발이 완료되었을 시 발생가능한 산업생태계 활성화, 시장선점 파급효과 등을 제시

□ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 수소공급망 확대를 위한 정부 정책 기반 수소공급망 건설의 경제성·안전성 확보 기여

- 국내 수소배관 인프라는 산업용에 한정되어 시장형성 초기 단계인 점을 감안하면, 선진기술과의 기술격차 해소, 시장 확대 및 안전성 확보에 기여
- 디지털 트윈 및 스마트 플랫폼 구축·운영 기술의 확보로 설계-시공-유지관리 단계로 이어지는 전주기 BIM 기반 데이터 관리 기술 개발 시 후속 수소 시범 신도시의 수소관망 사업의 경제성·안전성 뿐 아니라 신뢰성 있는 실적경험 자료(track record) 축적 및 활용 가능

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 시공 품질확보를 위하여 설계도서와 동일하게 시공이 이루어지고 있는지에 여부에 대한 정확하고 실시간에 가까운 시공 검사 및 확인이 요구되며, 이를 위해 디지털 트윈 기술 개발 및 적용 필요
- 세계시장 조사 보고서에서 언급되는 디지털 트윈의 주요업체로 해외업체*는 다수 존재하지만 국내업체의 수와 역량은 미흡한 실정
 - * 제너럴 일렉트릭(GE), 다쏘(Dassault), PTC, Ansys, 지멘스(Siemens), SAP, Sight Machine, TIBCO Software, AT&T, Infosys, TwinThread, Prodea System, Cosmo Company Sas, Autodesk, SimScale, DIGITAL TWIN, Concirrus, Computer Science Corporation, Bosch
- 디지털 트윈 기술 기반 가상건설 및 사전모사 기술 개발로 설계 진행 중 시공 계획 및 리스크 사전 관리 가능, 실시간 시공 품질의 검사 및 관리가 가능해지므로 수소관망의 경제성·안전성 확보에 본 기술 개발 필요

□ 주요 연구 내용

- 본 기술은 디지털 트윈 기술 기반의 수소관망 정밀시공을 위한 사전 시공성 검토 기술, 품질검사 및 공정/안전 통합 관리 기술을 개발
 - 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
 - 수소관망 정밀 lowering 기술
 - 수소관망 디지털 시공·검사 기술

□ 목표 성과

- (기술적 성과) 수소관망 건설 단계에서 요구되는 시공 정밀도 및 품질의 확보, 제시된 기한 내 시공을 완료하기 위한 공정관리 기술 확보, 이를 위한 시공 장비조합 및 운영 기술 개발 등 관련 기술의 특허 확보
- (경제적 성과) 정부 수소공급망 확대 및 수소도시계획 등 정책에 부합하는 기술력 확보로, 국내외 수소공급망 구축 및 운영 기술의 파급 가능하며 아울러

국내 중견·중소기업 대상 수소기업 육성 또는 수소전문업체에의 관련 기술이전을 통한 기술료 확보

□ 최종 목표

- 디지털 트윈을 활용한 가상건설 및 사전시공성 검토 기술, 수소배관 취성평가 기반 장수명 배관망 건설 기술, 품질/공정/원가/안전 통합 관리 기술 등을 기반으로 한 스마트 품질 관리 기술 패키지 개발
- 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
- 수소관망 정밀 lowering 기술
- 수소관망 디지털 시공·검사 기술

□ 최종 산출물

- 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술
 - 시공 장비 조합 및 정밀시공 운영 기술, 시공 통합관제 체계 구축
 - 기존 시공 공법 및 시공 장비의 조합 및 개량을 통해 생산성 향상, 시공 속도 향상, 정밀 시공 기술의 확보
- 수소관망 정밀 lowering 기술
 - 개착 공법의 lowering 장비조합 및 개량기술, 정밀시공 운용 및 관제를 위한 control & monitoring 기술, 안전성과 품질 확보를 위한 센싱 기술
 - 수소관망 lowering 작업의 경제성·안전성·효율성 확보 및 시공 품질 제고를 위하여 첨단 IoT 기술을 적용한 장비의 정밀시공 운용 및 관제 기술의 개발
- 수소관망 디지털 시공·검사 기술
 - 디지털 트윈 기반의 가상건설 및 사전 시공성 검토 기술, 시공 품질/공정/원가/안전 통합 검사 및 관리 기술
 - 수소관망 시공 전 과정에서의 공사 진행 일정 관리, 공사 품질확보를 위한 각종 검사와 검사 정보의 송수신 등을 자동화하고 원격으로 실시 및 관리할 수 있는 IoT 기반의 기술

□ 목표 설정 근거

- 2016년 4차 산업혁명 이후 빠른 속도로 변화하는 IoT, 스마트, 디지털 기술이 건설산업에도 유입 확산되고 있으며, 최근 타 산업분야와 융복합되는 추세

- 이에 수소도시의 수소관망 건설의 설계, 시공, 유지관리 단계에도 기존 방식과 차별화된 기술과 공법의 개발이 필요
- 특히 정밀시공을 위해 도시가스 배관 대비 시공오차율 개선 70% 이상 또는 매설오차 30% 이내 설정
- 해외 선진기술 대비 시공정밀도 95% 이상, 작업속도 100% 수준의 정밀시공 및 장비 조합·운영 수준 설정

□ 세부과제 도출 근거

- 현재 해외 선진국 및 국내 국가연구개발사업 등에서 기 개발된 시공 장비 및 기술들을 도입하여 사용하고 있는 실정
- 정밀시공을 위한 시공장비의 개발은 연구개발 기간, 비용, 기술, 개발 후 경제성 등을 고려할 때 타당성이 없으며, 오히려 수소관망 정밀시공 및 장비의 조합과 운영 기술 개발에 집중하는 전략 필요
- 파이프라인의 Lowering 기술은 기존 국가연구개발사업 등을 통해 개착 및 비개착, 지중 및 지상 시공 시 각각에 대하여 일정 기술 수준을 보유
- 그러나, 수소도시의 수소관망 특성에 부합하고 도심의 지장물을 회피하여 시공해야 하는 정밀 Lowering 기술의 개발, 장비의 개선 및 공법의 개발은 필요
- 아울러 수소관망 요구수준에 부합하는 시공 품질 및 수명주기 확보를 위해 최근 4차 산업혁명 도래 이후 급속히 파급되고 있는 스마트 디지털 기술을 융복합한 실시간 정밀 시공품질 및 검사 관련 기술 개발 필요

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 과제로 극한지 동토지역 파이프라인의 시공지침, 용접부 방식 및 코팅기술이 개발되었으나 본 과제에서는 수소관망의 정밀시공 및 장비조합 및 운영 기술을 개발
- (차별성) 기존 유사 선행연구에서는 특수 기후 조건하에서의 환경 영향평가 및 재해 대응 지침, 시공 시나리오별 공정 표준화 및 라이브러리 구축 등을 연구 개발하였으나, 본 연구에서는 수소관망 설계·시공 특성을 고려한 정밀시공, 시공품질 확인 및 검사 기술, 장비의 조합·운영 기술 개발로 차별화
- (연계 활용방안) 기존에 개발된 고속시공기술, 설계 및 시공 프로세스, 데이터 관리 기술 등을 연계 및 발전시켜 기술개발

〈표 125〉 세부과제 1-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

선행/사전 확보기술		본 세부과제명		후속/연계 활용기술 (본 사업의 세부/핵심기술에 연계)		
기술명	극한지 에너지 자원이송망 데이터 관리체계 구축	⇒	수소관망 정밀시공 품질검사 기술	⇒	기술명	수소관망 디지털 시공·검사 기술
연계 성과물	설계 시공 데이터 분류체계 및 업무 프로세스				연계 성과물	- 수소관망 시공 품질 확보 및 검사 기술 개발 - 디지털 트윈 기반 스마트 시공 검사 기술
활용 방안	극한지가 아닌 국내 수소관망 시공 데이터 분류체계, 시공품질관리 및 검사 프로세스 구축에 활용				활용 방안	기술을 개선하여 실시간 정밀 원격 적용 가능토록 개발
↑						
기술 연계	과제 개요	연계대상 성과물		차별성/활용방안		
	- 동토지역 자원이송망 설계, 시공 및 유지관리 기술개발 - 극한지 환경영향을 고려한 최적 파이프라인 시공기법 개발	- 극한지 자원이송망 건설공정 관리기술 개발 - 파이프라인 용접부 부식/방식 및 코팅 기술 개발 - 극한지 파이프라인 시공관리체계 구축		(차별성) - 극한지 연구개발 기술과 수소관망 시공품질검사 기술은 대상, 용도, 환경 등 여러 기준에서 상이하면 차별화된 기술임 (활용방안) - 수소관망 디지털 시공검사 기술은 관로의 시공 및 유지보수 관련 기술 및 공법 개발의 상호 보완적 역할 가능		

□ 세부과제 확보 전략

- 수소관망의 정밀시공 및 장비조합·운영 기술, 수소관망 정밀 Lowering 기술, 수소관망 디지털 시공·검사 기술 개발로 수소관망 시공 단계의 품질확보, 공기 준수를 위한 관리기술 확보, 디지털 원격 품질 및 검사관리 기술을 개발하여 대내외 경쟁력을 확보
- 시공관리 자동화율 70% 이상을 목표로 개발하며, 30년 이상의 내구수명 확보를 위해서는 시공 품질의 확보가 중요
- 품질확보를 위하여 설계도서, 시공계획, 관련 규정에 따라 시공이 되고 있는지를 확인하고 검사할 수 있는 스마트 디지털 기술 개발로 시간·비용·업무부하를

경감할 수 있는 기술개발 필요

〈표 126〉 세부과제 1-2의 한계점 및 기술개발전략

핵심개발내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	■ 극한지 및 LNG 플랜트 파이프라인 경우 유사 선행 연구가 일부 있음 ■ 수소취성 및 도심지 근접 시공조건 고려한 정밀시공기술, 장비조합 및 운영 기술 부재	■ 수소관망의 굴착, 파이프 용접, 시공 과정 단계별로 사용되는 공사·검사·관제 등 다양한 용도의 장비의 조합 및 정밀 시공 운영 기술과 플랫폼 구축 ■ 수소관망 시공 및 시공관리 프로세스 구축 ■ 시공시간 및 시공비용 저감 (30%)을 위한 장비조합 및 운영 기술 개발 ■ 디지털 트윈 및 BIM 기반의 시공관리 기술 ■ 시공 장비 조합 및 정밀시공 운영 기술 ■ 시공 통합관제 플랫폼 구축
수소관망 정밀 lowering 기술	■ 기존 lowering 기술과 수소관망 lowering은 이송재료특성, 관중 및 관경 등 차별화된 기술 특성이 존재하며 해당 기술개발이력 및 시공 실적이 없음	■ 수소관망의 파이프 연결 후 개착 또는 비개착 방식으로 lowering 시 기존 방식 대비 시공 효율 향상, 일정 단축, 시공 품질 제고 등을 목적으로 장비의 개량·조합 후 정밀시공 운용할 수 있는 기술의 개발 ■ 개착 또는 비개착 방식의 lowering 장비 조합 및 개량 기술 ■ 정밀 시공 운용 및 관제를 위한 control & monitoring 기술 ■ 안전성과 품질 확보를 위한 센싱 기술
수소관망 디지털 시공품질 검사 기술	■ 극한지 및 LNG 플랜트 파이프라인 경우 일부 유사 선행연구성과 있음 ■ 그러나 4차 산업혁명 기술을 이용한 스마트 디지털 기반의 융복합 기술 개발 사례 부재	■ 수소관망 시공 단계에서의 안전성 확보, 시공의 품질과 일정의 검사 및 관리를 위한 스마트·원격 관리 기술 ■ 디지털 트윈 기반의 가상건설 및 사전 모사 기술 ■ 수소관망 디지털 프리콘(Pre-Con) 기술 ■ 시공 품질 및 공정 검사 및 관리 기술

〈표 127〉 세부과제 1-2의 확보전략

세부과제명	핵심개발내용	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	국제 협력	아웃 소싱
수소관망 정밀시공 품질검사 기술	수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	응용개발	○	●			
	수소관망 정밀 lowering 기술	응용개발	○	●			
	수소관망 디지털 시공품질 검사 기술	응용개발	○	●			

● : 주, ○ : 부

㉔ 과제 구성 및 소요예산

□ 총 50.02억 원/4년 중 정부출연금 37.50억 원(75.0%) 대비 민간부담금 12.52억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

〈표 128〉 세부과제 1-2 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	2.67	2.67	4.67	2.67	12.68
수소관망 정밀 lowering 기술	3.33	4.00	6.67	2.67	16.67
수소관망 디지털 시공품질 검사 기술	1.34	6.00	8.00	5.33	20.67
합계	7.34	12.67	19.34	10.67	50.02

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획



〈그림 191〉 세부과제 1-2 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술

〈표 129〉 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 수소관망 공사·검사·관제 장비조합 및 정밀시공 선행 기술 분석 - 정밀시공 및 장비조합 관제시스템 개발전략 및 아키텍처 수립
2024	- 수소관망 시공공법 및 시공 장비 조합 및 개량 - 수소관망 정밀 시공 기술 개발 - 시스템 기본설계
2025	- 수소관망 시공공법 및 시공 장비 조합의 생산성 측정 및 관리 기술 - 수소관망 정밀시공 기술 개발 - 시스템 상세설계 및 구축
2026	- 정밀시공 및 장비조합 관제시스템 검증 및 보완 - 정밀시공 및 장비조합·운영 기술 데이터 콘텐츠의 통합 플랫폼 이관 및 검증

○ 수소관망 정밀 lowering 기술

〈표 130〉 수소관망 정밀 lowering 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 국내외 lowering 선행 기술 수집 및 분석 - 개착 및 비개착 lowering process 기반 기술개발 전략 수립
2024	- 개착 및 비개착식 lowering 장비조합 기술 개발 - 안전 및 품질확보 위한 센싱 기술 개발 - 정밀시공 및 관제를 위한 control & monitoring 기술 개발
2025	- 개착 및 비개착식 lowering 장비개량 기술 개발 - 안전 및 품질확보 위한 센싱 기술 검증 - 정밀시공 및 관제를 위한 control & monitoring 기술 개발 및 검증
2026	개착 및 비개착식 lowering 시공, 장비조합 및 관제 기술의 통합 플랫폼 이관 및 검증

○ 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술

〈표 131〉 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	▪ 디지털 트윈 시공 통합관리 시스템(DT-CIMS) 개발 전략 및 환경분석 ▪ 디지털 사전 시공성 검토(pre-construction review) 기술 조사 및 분석 ▪ 디지털 가상건설 실시간 관제 및 검사 기술 조사 및 분석 ▪ 수소관망 통합 품질관리 기술 개발 전략 및 APP 개발 환경분석
2024	▪ DT-CIMS 기본설계 및 BIM 모델 구축 ▪ 디지털 사전 시공성 검토(pre-construction review) 프로세스 및 체크리스트 개발 ▪ 디지털 가상건설 실시간 관제 및 검사 프로세스 및 체크리스트 개발 ▪ 수소관망 통합 품질/공정/원가/안전관리 프로세스, 관리 기술 개발 및 APP 기본설계
2025	▪ DT-CIMS 상세설계 및 구축 ▪ 디지털 사전 시공성 검토(pre-construction review) 절차서 및 기술개발 ▪ 디지털 가상건설 실시간 관제 및 검사 절차서 및 기술 개발 ▪ 수소관망 통합 품질/공정/원가/안전관리 절차서 및 APP 상세설계
2026	▪ 디지털 트윈 시공 통합관리 시스템(DT-CIMS) 테스트베드 검증 및 플랫폼 통합 ▪ 프로세스/체크리스트/절차서 테스트베드 검증 및 보완

㉮ 세부과제 요약본

중점과제명	도시내 수소관망 설계·시공기술 개발	
세부과제명	수소관망 정밀시공 품질검사 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	50.02억 원

기존기술 현황 및 한계	수소관망의 시공 시 정밀시공과 품질확보를 할 수 있는 기준, 지침, 시공프로세스 및 절차서 등이 미정립 상태로 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 세부 요소기술의 개발 통합관리체계의 구축 및 국산화 기술 확보 필요
연구목표	- 수소관망 정밀시공 및 통합관제 기술의 개발 및 검증 - 통합시공관제(시공품질, 공정, 원가, 안전 관리의 통합) 관리 플랫폼 구축
세부과제 및 예산	- 수소관망 정밀시공 품질검사 기술, `23~`26(4년), 50.02억 원 - 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술, `23~`26(4년), 12.68억 원 - 수소관망 정밀 lowering 기술, `23~`26(4년), 16.67억 원 - 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술, `23~`26(4년), 20.67억 원
주요 연구내용	- 수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술 - 정밀시공 및 장비조합 및 운영 기술 - 수소관망 정밀 lowering 기술 - 수소관망 디지털 시공품질 검사 기술 - 디지털 트윈 모델 개발 및 통합 시공관제관리 체계 구축 - 사전 시공성 검토 및 DT 기반 시뮬레이션 - 통합시공관제 모듈 개발 및 플랫폼 탑재(품질관리, 공정관리, 원가관리, 안전관리 모듈 개발) - 시공 프로세스 및 디지털 절차서 개발 - 현장별 모바일 APP 기반의 관제현황 및 데이터 관리 체계 구축 - Track Record 및 시공 DB의 플랫폼 이관 및 통합관리 체계 구축
목표성과	장비조합 및 운영 기술 국산화, 정밀시공 및 검사 기술 확보, 디지털 트윈 모델 기반 통합시공관리(품질·검사·공정·안전·사업비) 체계 구축, 사전시공성 검토 및 경제성 확보 기술 개발

Keyword	한 글	디지털 트윈, 시공 자동화, 변경관리, 빌더빌리티, 사전시공성 검토
	영 문	Digital twin, Construction Automation, Change Order, Buildability, Pre-Construction Review

③ (세부과제 1-3) 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술

㉔ 해당 기술 정의

☐ 기술의 개념

○ 수소관망의 비개착식 시공기술 고도화 및 유지보수 기술 확보

- 도심과 같이 지상 및 지하 구조물이 복잡한 상황에서 관로에 대한 개착식 개대체 공사에 따른 소음, 분진, 교통체증, 환경문제 및 민원 발생
- 비개착식 시공기술은 지상 및 지하 구조물의 파괴 및 변형을 초래하지 않으며, 사전에 파악한 지하 지장물을 피하여 지상에서 직접 유지보수 하는 기술
- 수소관로에서 균열 또는 누출 등 이상 발생 시 긴급 또는 비상조치 개념의 시공시간 단축 및 시공비용을 절감할 수 있는 유지보수 기술

☐ 기술 목적

- 수소 유기균열 속도는 매우 빠르고 탄소강 배관재료의 용접부와 열영향부는 균열발생 가능성이 있어서 용접부의 강건성을 확보하기 위하여 이음매가 없는 심레스 강관의 사용이 확대됨에 따라 장경간 비개착식 굴착공법이 필요
- 수소도시 건설을 위해서 좁은 골목의 경우 기존 장비의 진입이 어려워 경제성과 시공성이 떨어지므로 효율적인 비개착식 굴착공법의 상용화
- 수소관로의 이상 발생 시 경제성, 신속성 및 안전성을 제고한 조건에서 이를 조치하기 위한 긴급 또는 비상 비개착식 유지보수 기술의 개발

☐ 기술 범위

- 기존 기술 개선을 통한 비개착식 장경간 굴착 기술의 개발 및 정립하여 암반 연약화를 이용한 비개착식 수평 굴착 기술의 국산화
- 고압 조건의 관로의 결함 부위 (균열, 핀홀, 접합부 누출 등) 비개착 유지보수 기술 (Tapping, Plugging 등) 및 보강 기술.
- 개착식 공법 대비 안전성 제고, 시공비 절감 및 시공시간을 단축할 수 있는 개대체 기술

㉕ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

☐ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 개착 후 관로 보수할 경우 시간적 및 비용적 불리함과 시공 시 자체 시설 및 타 시설물의 안전성 확보 어려움.
- 기존의 비개착 장비는 특정 지반 (경암 등)에 시공이 어려우며, 대형 장비로 공간이 부족한 도심지에서 시공이 어려움.
 - Horizontal Directional Drilling (HDD)은 상부 구조물의 파괴 및 변형을 초래하지 않으며, 사전에 파악한 지장물을 피하여 원하는 깊이와 각도 만큼 지상에서 바로 작업할 수 있으나 암반(경암), 호박돌층은 작업이 어려움
 - Micro-tunneling은 추진기계를 작업구에 설치 cutter head로 지반을 굴착과 동시에 추진관을 압입하는 공법이나 대형설비가 많이 필요하므로 도심지 공사에는 부적합
- 비개착 조건에서 관로의 일부 구간을 개대체 하는 기술은 존재하나, 관로의 이상 부분에 국한하여 관로를 긴급 보수하는 기술은 없음.

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 시공의 고속화 및 안전성 향상, 환경성 및 경제성 등의 장점으로 비개착 공법은 세계적으로 도심지 터널, 해저터널, 장대 산악터널 등에서 적용 증가 추세
- 독일에서 대규모 수소인프라 프로젝트로 2030년까지 1GW 규모의 수전해 시스템과 1,500km의 파이프라인을 구축 예정이며, 수소를 활용한 다양한 분야의 기술이 증가함에 따라 수소를 안정적으로 공급할 수 있는 공급망 도입이 시급
- 미국은 광범위한 천연가스 파이프라인을 사용하여 수소 공급에 대한 접근성을 높이고 있으나 가스배관에 수소를 주입할 경우 수소취성 현상이 발생하므로 기존 관로를 수소관로로 개·대체하는 공법도입이 시급
- 수소가 누출할 경우 고압가스의 분출로 심각한 안전의 문제가 있기 때문에 신속한 보수기술 필요

□ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 주요국들은 화석연료 중심의 도시 에너지를 수소화하여 주택·교통 등 도시 전 분야에 활용하는 수소도시로 전환을 모색하는 상황으로 수소 수요에 적절히 대응하고 경제성을 확보하기 위한 안정적인 운송 방법 확보
- 고압 가스관로의 안전성 확보 및 신속한 보수 기술 확보로 수소산업 생태계 지위 확보 및 시장 선점 가능.

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 정부는 수소경제 활성화를 위해 ‘30년까지 390만톤 공급계획을 수립에 하고자 하므로 효율적인 이송을 위해서 배관망 인프라 구축에 중점투자 확대가 필요
- 비개착 보수공법의 경우에는 적용 가능한 기술자체가 매우 제한적이고 미비한 실정으로 기술에 대한 개발이 거의 이루어지지 않아, 이러한 보수공법에 대한 개발이 시급

□ 주요 연구 내용

- 개착식 공법 대비 안전성 제고, 시공비 및 시공시간을 단축할 수 있는 개대체 기술
 - 도심지에서 활용이 가능한 비개착식 굴착 기술 개발
 - 국내 지층에 빈번히 분포해 있는 경암 이상의 굴착이 가능하여 천공속도를 기존 기술인 Micro-tunneling 보다 약 30% 향상시켜 소요시간 단축
- 고압 조건의 관로의 결함 부위 (균열, 편홀, 접합부 누출 등) 비개착 유지보수 기술 (Tapping, Plugging 등) 및 보강 기술
- 비개착 관로 보수를 위한 누시지점 또는 문제 발생지점의 Pin-pointing 및 장비 투입용 마이크로 굴착시공 기술

□ 목표 성과

- (기술적 성과) 고압 하에 비개착 관로 보수기술 확보에 따른 특허 출원 및 기술 이전, 논문 발표로 인한 국가 기술력 제고.
- (경제적 성과) 유지보수 기술 개발을 통한 시공비용 30% 절감 및 시공시간 30% 저감 및 관련 기술 수출.
- (사회적 성과) 개착식 굴착공사에 따른 소음, 분진, 교통체증 등 환경문제 해결 및 시민에 대한 안전성 확보.

□ 최종 목표

- 시공비용 30% 절감
- 시공시간 30% 저감
- 안전성 50% 제고

□ 최종 산출물

- (기술적 성과) 관로 개·대체 및 유지보수를 위한 장비 개선 및 공법 개발
 - 수소 관로 대체공법 (Replacement)으로 Horizontal Directional Drilling (HDD), Micro-tunneling, Pneumatic Pipe Ramming 및 Impact Moling 등의 공법 분석하여 공법 개발 및 장비의 개선으로 시공시간 및 시공비용 절감.
 - 비개착 관로 유지보수를 위하여 공법들의 장점을 조합하거나 공법의 단순화를 통하여 공법의 개발 및 장비의 개선
- (학술적 성과) 기술 특허 및 학술논문

□ 목표 설정 근거

- Direct Pipe는 마이크로터널링과 수평 드릴링 기술(HDD)의 장점을 결합한 기술로 모래와 점토층 작업이 가능하며, 성능은 일 최대 147m
- 2021년 오스트리아-이탈리아 BBT SE인 Brenner Base Tunnel 건설업체는 “Virginia“의 일일 평균 생산량이 27.7미터라고 발표. 터널 보링 머신(TBM)은 직경 10,650mm, 구동력 4,200kW, 터널 길이는 14,000m
- 국외에서는 비개착 장비들이 개발되어 사용되고 있기 때문에 기술수준을 100%로 인정하고, 국내에서는 장비의 국산화율이 80%인 기업이 존재하기 때문에 20% 국산화율을 추가 달성하고, 여러 공법의 장점 및 특성을 분석하여 시공시간 및 시공비를 30% 절감
- 따라서 과업의 목표를 장비의 새로운 개발이 아닌 장비의 개량 및 공법의 개발로 시공시간을 30%, 시공비를 30% 절감하는 것을 목표로 설정

□ 세부과제 도출 근거

- 현재 선진국에서 개발된 비개착식 장비들을 국내에서도 도입하여 사용하고 있는 실정으로 장비의 개발은 비용, 기술, 시간, 개발후 경제성 등을 고려할 때 개발의 타당성이 없음
- 일부 국내 업체에서 국산화율 약 80%를 이룬 기업이 존재하기 때문에 장비의 개선은 가능
- 비개착 장비는 일반적으로 관로를 신설할 경우에 사용하지만 개량 시에도 신설 때와 유사하게 시공이 이루어지기 때문에 관로를 개량할 때 및 대체할 때 비개착 시공을 효율적으로 할 수 있도록 관로의 개대체를 위한 장비의 개선 및

공법의 개발을 세부 과제로 도출

- 또한 관로의 개대체 이외에 관로를 비개착으로 유지보수할 수 있는 기술이 필요한 바, 관로의 개대체 공법과 함께 관로의 유지보수를 위한 비개착 장비의 개선 및 공법의 개발을 세부 과제로 도출

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) 국토교통부 연구과제로 직경 1m 이하 소구경 터널 굴착을 위한 암반 확공기 터널시공기술이 개발되었으나 본 과제에서는 관 구경을 8 ~ 50 ~ (200mm~500mm) 개발.
- (차별성) 시공거리는 약 18m로 본 과제에서는 장경간 굴착기술 개선으로 실용화
- (연계 활용방안) 기존에 개발된 암반확공기술을 토대로 소형화하여 장경간에 적합하도록 개발

〈표 132〉 세부과제 1-3의 전후방 기술과 연계 활용방안

선행/사전 확보기술		본 세부과제명	후속/연계 활용기술 (본 사업의 세부/핵심기술에 연계)	
기술 명	▪ HDD방식 암반확공기 개발(HDD)	수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	기술 명	▪ 효율적인 수소관망 비개착식 개·대체 기술
연계 성과물	▪ 직경1m이하 소구경 터널굴착을 위한 암반확공기 시공기술개발		연계 성과물	▪ 관로 개·대체를 위한 장비 개선
활용 방안	▪ 국산화된 직경1m이하 암반확공기 시공기술을 개선하여 장경간 굴착기술 개발에 접목		활용 방안	▪ 기술을 개선하여 소형화, 장경간에 적합하도록 개발

↑

기술 연계	과제 개요	연계대상 성과물	차별성/활용방안
	▪ 수소관망 디지털 시공 검사 기술 ▪ 수소관망 원격시공 플랫폼 및 운영 기술 ▪ 수소관망 시공/품질/공정 검사 및 관리기술	▪ 비개착 시공 후 디지털 시공검사 기술의 적용 필요 ▪ 원격 시공 및 운영기술의 관로 개대체 및 유지보수에 활용 ▪ 시공 이후 시공품질의 검사 기술의 관로 개대체 및 유지보수에 활용	▪ (차별성) 시공검사기술과 개대체 및 유지보수 공법과 조합 시 상호 시너지효과 달성 가능 ▪ (활용방안) 수소관망 디지털 시공검사 기술은 관로의 개대체 및 유지보수 장비 개선 및 공법 개발의 상호 보완적 역할 가능

□ 세부과제 확보 전략

- 비개착으로 관로를 효율적으로 개대체하고, 유지관리 할 수 있도록 장비의 개선 및 공법의 개발에 대한 기술을 개발하여 기술경쟁력을 확보
- 개발 장비 및 공법은 시공시간 및 시공비용을 30% 절감하는 것을 목표로 개발하기 때문에 장비의 실질적 개발이 어려운 현 시점에 기존의 장비를 활용하여 개선하고, 장비들의 효율적 조합을 통하여 효과적인 공법을 개발함이 필요
- 국내 기술력 향상을 위해 자체개발을 위주로 기술개발을 수행하며, 장비를 기 개발한 해외 선진기술의 상세 개발내용을 파악하는 효과 발생
- 또한, 비개착 장비 기술을 보유한 기업들과 글로벌 협력을 통해 현장 적용성을 검토하고 개선함으로써 기술개발 수준의 고도화를 추진

〈표 133〉 세부과제 1-3의 한계점 및 기술개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술	기존 HDD 방식은 호박돌과 같은 지층에선 적합하지 않음	- 비개착 장비의 특성 및 장단점 비교 분석 - 비개착 장비의 공법의 비교 분석 - 시공시간 및 시공비용 저감 (30%)을 위한 장비의 개선안 도출 - 시공시간 및 시공비용 저감 (30%)을 위한 공법의 개선안 도출
효율적인 수소관망 비개착식 유지보수 기술	기존에 있는 비굴착 유지보수 기술은 관종이 HDPH관이거나 시공 실적이 없음	- 비개착 장비의 특성 및 장단점 비교 분석 - 비개착 장비의 공법의 비교 분석 - 시공시간 및 시공비용 저감 (30%)을 위한 장비의 개선안 도출 - 시공시간 및 시공비용 저감 (30%)을 위한 공법의 개선안 도출

〈표 134〉 세부과제 1-3의 확보전략

세부과제명	핵심개발내용	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	국제 협력	아웃 소싱
수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술	응용개발	○	●			
	효율적인 수소관망 비개착식 유지보수 기술	응용개발	○	●			

● : 주, ○ : 부

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 31.00억 원/4년 중 정부출연금 23.25억 원(75.0%) 대비 민간부담금 7.75억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

〈표 135〉 세부과제 1-3 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술	2.10	4.90	7.27	2.50	16.77
수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술	1.26	4.65	5.84	2.48	14.23
합계	3.36	9.55	13.11	4.98	31.00

㉕ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

- 기술개발 로드맵



〈그림 192〉 세부과제 1-3 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술

〈표 136〉 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 관로 개대체 비개착 공법의 조사 및 분석 - 공법 개발방안 설계
2024	관로 개대체를 위한 장비 개량 및 시공기술 개발
2025	관로 개대체를 위한 장비 개량 및 시공기술 개발
2026	테스트베드 실증, 기술평가 및 보완

○ 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술

〈표 137〉 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	관로 결함 보수/보강 기술 개발
2024	- 관로 결함 보수/보강 기술 개발 - 비개착 관로 보수공법 개발
2025	비개착 관로 보수공법 개발
2026	테스트베드 실증, 기술 평가 및 보완

㉞ 세부과제 요약본

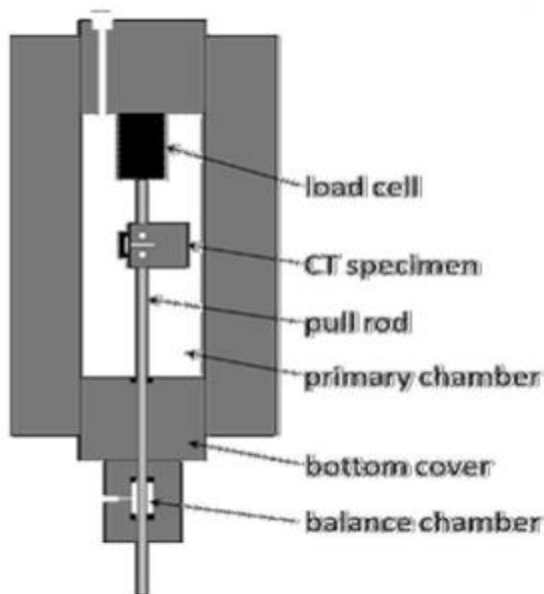
중점과제명	대용량 수소이송용 수소관망 설계·시공 기술 개발	
세부과제명	수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	31.00억 원
기존기술 현황 및 한계	- Horizontal Directional Drilling (HDD)은 상부 구조물의 파괴 및 변형을 초래하지 않으며, 사전에 파악한 지장물을 피하여 원하는 깊이와 각도 만큼 지상에서 바로 작업할 수 있으나 암반(경암), 호박돌층은 작업이 어려움 - Micro-tunneling은 추진기계를 작업구에 설치 cutter head로 지반을 굴착과 동시에 추진관을 압입하는 공법이나 대형설비가 많이 필요하므로 도심지 공사에는 부적합 - 비개착 조건에서 관로의 일부 구간을 개대체 하는 기술은 존재하나, 관로의 이상 부분에 국한하여 관로를 긴급 보수하는 기술은 없음	
연구목표	기존의 비개착 장비 개선 및 공법의 개량을 통한 비개착식 시공기술 고도화 및 유지보수 기술 확보	
세부과제 및 예산	- 수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술, '23~'26(4년), 31.00억 원 - 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술, '23~'26(4년), 16.77억 원 - 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술, '23~'26(4년), 14.23억 원	
주요 연구내용	- 효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술 - 관로 개·대체를 위한 장비 개량 - 관로 개·대체를 위한 시공기술 개발 - 수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술 - 관로 유지보수를 위한 장비개량 - 관로 유지보수를 위한 시공기술 개발	
목표성과	- 관로 개·대체 및 유지보수를 위한 장비 개선 및 공법 개발 - 기술 특허 및 학술논문	
Keyword	한 글	지향성압입공법, 비개착공법, 유지 보수
	영 문	Horizontal Directional Drilling, Uninterposed construction method, Maintenance

(2) (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발

(가) 중점분야 내용

① 정의 및 범위

- (수소 시설 및 배관재료의 안전성 확보 기술) 수소도시 내 적용되는 시설 및 배관에 사용되는 재료 평가기술로서, 수소도시 운영의 안전 확보
 - 수소도시에 적용을 위한 시설 및 배관망에 사용되는 다양한 재료의 수소취성 (직접가압방법, 대체시험방법) 평가를 통해 재료의 수소적합성 확보 및 평가
 - 수소취성 등 수소 사용으로 발생할 수 있는 문제점 파악, 수소 영향에 대한 재료 수소취성평가 및 물성평가 등을 통해 재료의 안전한 적용 방안 및 사용 한계수명 등의 예측
 - 국내 수소취성 평가 기술의 건전성 확보를 위해 해외 평가기관(독일 BAM, 미국 Sandis 등)과 다자비교시험(RRT)을 통한 기술 신뢰성 확보



〈그림 193〉 수소취성평가 장비 구조 및 대체시험방법의 디스크파열시험 장비

- (지상 및 지하매물 조건하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술) 수소도시에 사용되는 배관의 실사용 조건을 모사하여 수소사용 안전성 확보
 - 국내 기술을 적용한 액화수소공급 설비 기반 공급 시스템을 활용하여 다양한 수소배관의 가혹조건 조성 및 반복 사이클링 형태를 이용하여 압력, 온도, 설치위치 등의 안전성 검증



〈그림 194〉 영국 리즈시티 PE재질 수소배관 파일럿 테스트 모습

□ (수소 시설 및 배관의 위험성 평가 기술) 수소도시 운영에 발생할 수 있는 다양한 상황의 고려한 사고 발생 및 예방을 위한 위험성 평가 기술

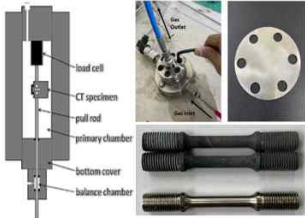
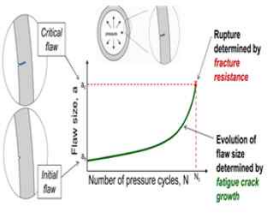
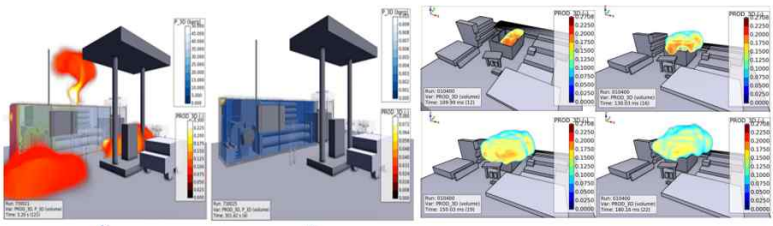
○ 수소도시 운영에 따라 발생할 수 있는 다양한 상황을 예측 및 분석하여 사고 완화 및 예방을 위한 안전성 확보 평가 기술

○ 수소도시에 필요한 기반시설의 정성적, 정량적 위험성 평가 기법을 활용하여 다양한 상황을 예측, 적용하여 수소 시설에 대한 국민 신뢰성 확보

□ 중점분야의 범위 및 구성

〈표 138〉 중점분야 2의 개요

중점분야명	내용
도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	• (범위) - 직접가압방법 및 대체시험방법을 활용한 재료 평가 및 수소취성평가를 위한 시험 설비 및 장비 구축 - 수소도시에 적용 가능한 시설 및 배관 재료의 수소취성 평가를 통한 안전기술 확보 - 해외 기관 수소취성평가기술의 다자검증시험(RRT)을 통한 신뢰성 확보 - 배관망의 설치, 운영 중 발생할 수 있는 다양한 시나리오를 고려한 정량적, 정성적 위험성평가 기술 - 액화수소 공급 기반 가혹조건하 반복사이클링 수행으로 다양한 조건(압력, 온도, 설치위치 등)에서 안정성을 검증 • (개요도)

중점분야명	내용
	 < 수소취성평가 시험 장치 및 대체시험법 >  < 수소배관 수명예측 성과물 >  < 전산유동해석을 이용한 정량적 위험성평가 예시 > • (세부분야 구성) - (세부1) 배관망 재료 수소취성 평가, 수명예측 기술 및 대체시험기술 - (세부2) 지상 및 지하매물 조건하 환경 및 압력별 안전성검증 기술

② 추진 필요성

□ 수소의 이송, 활용을 위해 시설 및 배관망에 사용되는 재료에 대한 한계 사용수명 평가 등의 물성평가를 통해 재료의 수소적합성 분석으로 안전성 확보 필요

○ 수소의 이송·저장·활용되는 시설 및 배관 등에 대한 국민 불안감 존재에 따라 수용성 확보를 위해 체계적인 재료 안전성 확보 필요

* 수소경제 국민의식 조사('20.6) : 수소에너지 사용 증가 긍정의견 66.8%

○ 현재 수소용 압력용기 및 저장탱크에 사용되는 재료는 수소취성평가를 통해 재료안전성을 확인 중(KGS CODE AC111)

□ 수소 시설 및 배관망에 사용되는 재료의 안전성 확보를 위한 수소적합성 평가 인프라 확충 필요

○ 수소 시설 및 배관망에 사용되는 재료의 수소적합성평가를 위한 안전기준 등은 정부 및 유관기관 중심으로 개발되고 있음

○ 그러나, 재료의 수소적합성평가를 위해 수소분위기에서 인장시험, 파괴시험, 피로 파괴시험 등의 수행이 필요하나 국내 시험인프라는 매우 부족한 상황('22년 국내 1개소)

- 수소공급 확대를 위해 혼입배관 및 수소전용배관 등의 사용이 예상됨에 따라 수소 시설 및 배관망 재료의 시험 수요 증가 예상

* LNG혼입배관('22~) → 가스공사 주배관('25~) → 수소배관 연계('30~)

□ 수소취성평가에 많은 시간이 소요되는 직접가압방식의 수소취성평가를 대신할 수 있는 대체시험평가 기술 확보

- 직접가압방식의 수소취성 시험에 많은 시간이 소요됨에 따라 이를 대체하여 활용할 수 있는 대체시험평가 기술 개발 필요
- 대체시험방법과 직접가압방식의 실효성 검증을 통해 대체시험방법 검증필요

□ 수소 시설 및 배관의 지상 및 지하매몰 조건 등 다양한 환경에서 가속수명평가를 통한 신뢰성 확보

- 선진국을 중심으로 수소배관의 파일럿 테스트를 진행되고 있음에 따라 국내 상황에 맞는 테스트 베드 구축을 통해 다양한 환경에서 가속시험을 통한 수소 시설 및 배관의 신뢰성 확보 필요

□ 본 기획과제의 목적에 해당하는 안전한 수소도시 구축 및 안정성 있는 대용량 수소이송을 위해서는 국내 인증 방안 확보 필요

- 현재 국내에는 수소 배관재료 평가 및 인증방안은 아직 마련되지 않았으며, 인증 진행이 가능한 기관도 없는 상황
- 이에 따라 본 연구에서는 국제공동시험 (RRT) 진행을 통해 수소배관의 안전성을 객관적으로 확보 필요

□ 수소도시 운영 중 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오 분석을 통해 발생 가능한 사고의 예방, 완화, 대비 기술 확보 필요

③ 기술 현안문제 및 이슈

□ 수소를 사용하는 금속 재료 개발 등의 R&D가 활발히 진행되고 있으며, 신규 재료 및 기존 재료의 수소취성평가를 통한 수소적합성판단 및 한계사용수명계산을 위한 연구가 필요

- 압력용기/저장탱크 등에 사용되는 금속재료의 수소취성연구가 진행되고 있으며, 다양한 구경에 사용되는 배관용 금속재료 취성평가 및 한계수명계산은 부족한 상황

□ 수소도시에 적용될 수 있는 배관용 재료의 수소취성평가 및 대체시험 취성 평가를 통해 한계수명을 예측할 수 있는 기술 개발 및 정립 필요

- 수소용 압력용기 및 저장탱크 등의 수소취성평가 기술기준은 제·개정이 완료되어 시행중이며 저속변형인장시험, 파괴시험, 피로파괴시험 등에 많은 시간이 필요하며 국내 시험가능 인프라 또한 매우 부족한 상황
- 대체시험방법의 활성화를 위해 직접가압방식의 수소취성평가와 대체시험방법이 동등 성능을 갖고 있는가에 대한 검증이 필요

□ 수소도시의 시설 및 배관망의 다양한 환경에 대한 가속시험 평가의 부재

- 수소도시의 안정적 운영을 위해 다양한 환경을 모사하여 가속평가할 수 있는 액화수소공급기반 한국형 수소 환경 평가 환경 부재

□ 수소도시의 시설 및 배관망의 안전 확보 및 수소에너지원의 국민신뢰성 확보를 위해 수소도시 실증 및 구축 기반 위험성 평가는 필수

- 수소배관 운용에 따라 발생할 수 있는 다양한 문제점 및 위험성을 파악하여 사고를 예방할 수 있는 기술을 바탕으로 수소도시의 안전성을 확보하기 위한 위험성 평가 기술 확보 필요

〈표 139〉 중점분야 2의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색

현안 문제점 및 이슈, 한계	⇒	해결방안/기술니즈
▪ 수소 시설 및 배관망 재료에 대한 수소취성평가를 위한 인프라 부족	⇒	▪ 수소 시설 및 배관망 재료에 대한 수소취성 평가를 위한 인프라 구축
▪ 수소 시설 및 배관망에 사용되는 다양한 금속재료에 대한 수소적합성평가 데이터 미흡		▪ 수소 시설 및 배관망에 사용되는 다양한 금속재료에 대한 수소취성평가를 통해 국내 기술기준 확립의 근거로 활용
▪ 시험에 시간 소요가 많은 직접가압방식의 수소취성평가를 대체할 수 있는 기술 미흡		▪ 수소취성평가 대체시험을 위한 설비 구축 및 직접가압방식의 수소취성평가와의 교차 검증을 통해 수소취성평가 저변 확대
▪ 수소도시 설치 및 운영에 있어 안전관리 강화 및 국민신뢰성 확보 필요		▪ 수소도시 설치 및 운영에 있어 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오의 정량적 정성적 분석을 통한 사고 예방·완화·대비책 강구
▪ 수소 시설 및 배관망의 안전성 확보 파일럿 시험설비 부재		▪ 수소 시설 및 배관망의 파일럿 시험설비 확보 및 시험을 통한 수소 설비 및 배관의 다양한 사용 환경 고려

④ 목표 및 내용

□ 최종목표

○ 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 기술

- 수소 시설 및 배관망 재료의 수소적합성 평가를 위해 수소취성평가를 위한 시험인프라 구축
- 수소 시설 및 배관망 재료의 수소적합성 확인을 위한 재료 평가 기술 개발

○ 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 대체시험방법 개발

- 직접가압방식의 수소취성평가 시험에 많은 시간이 소요되는 단점 존재함에 따라 직접가압방식과 동등한 수준의 성능을 갖을 수 있는 시험방법개발
- 직접가압방식과 대체시험방법의 비교분석을 통한 신뢰성 확보

○ 지상 및 지하매몰 설치 배관 안전성 검증 기술

- 지상 및 지하매몰, 재료, 배관경 등 다양한 환경의 수소용 시설 및 재료의 환경을 평가할 수 있는 단단계 형태의 가압반복시험 설비 구축
- 수소용 배관 및 재료의 다양한 환경을 고려한 가속평가를 통한 안전성 확보

○ 수소도시의 수소 시설 및 배관망 운영에 따른 위험성 평가 기술 개발

- 수소 이송·운송·저장·활용 등에 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오 분석 및 이를 활용한 정량적, 정성적 위험성 평가 기술 개발

〈표 140〉 중점분야 2의 기술개발 전후 변화

AS-IS	⇒	To-Be
▪ 수소 사용 재료의 수소사용적합성 판단을 위한 수소취성평가 인프라 부족 ▪ 수소도시 적용 가능한 다양한 재료의 수소취성평가 필요 ▪ 수소취성평가를 위한 대체시험방법이 존재하나 실효성에 대한 검증 필요 ▪ 수소도시 건설 단계임에 따라 예상하지 못한 위험성의 산재	⇒	▪ 수소도시의 시설 및 배관망 재료의 수소취성평가를 위한 인프라 구축 및 다양한 재료에 대한 수소적합성 평가 수행 ▪ 수소를 사용하는 재료에 대한 한계수명계산 제시 ▪ 직접가압방식을 대체할 수 있는 대체시험방법 확립 및 검증 ▪ 수소도시의 안정적 운영을 위해 위험성평가를 통해 수소도시 안전성 및 국민 신뢰성 확보

□ 단계별 목표 및 추진 내용

〈표 141〉 중점분야 2의 단계별 목표

구분	단계별 목표 및 내용	
	1단계(2년)	2단계(2년)
목표	- 수소도시 시설 및 배관의 수소취성 평가를 위한 기술 정립 및 기반 구축 - 수소배관 관련 위험성평가를 위한 정량/정성적 위험성평가	- 수소배관의 취성평가를 통한 재료 안전성 확인 - 수소취성기반 배관 설계기준 정립 - 수소도시 시설 및 배관망 위험성평가
추진 내용	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성평가를 위한 설비(시작품)구축 - 수소도시 시설 및 배관망 재료의 대체시험장비 기술 정립 및 시험장비 구축 및 시운전 - 수소배관망 위험성 평가 기술 설계 및 전문인력을 활용한 수소관망 위험성평가	- 수소배관의 수소취성평가 및 대체시험평가에 따른 한계수명예측 기술 확보 - 수소관망 적용 가능한 안전기술 개발 - 수소배관의 다양한 조건에서 파일럿 시험설비를 통한 실증으로 신뢰성 확보 - 수소배관망에 대한 위험성 평가를 통한 수소도시 안전방안 수립

⑤ 세부과제 구성 및 연계성

□ 세부과제 구성

- (세부과제 2-1) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술
- (세부과제 2-2) 지상 및 지하매몰 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술
- (기간/예산) 4년 54.70억 원(국고 41.00억 원, 민간 13.70억 원, 민간 매칭 25.0%)

〈표 142〉 중점분야 2 세부과제 구성

구 분	기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
세부과제 2-1	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술		'23~'26 (4년)	26.00

구 분		기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
연구개발내용	수소관망의 수소취성 및 한계수명 예측 기술	- 수소 시설 및 배관의 수소취성평가를 위한 시험설비 구축 - 수소 시설 및 배관 재료의 수소취성평가 - 수소취성 평가 기반 한계수명 등 수소적합성 평가 - 다자검증시험을 통한 데이터 신뢰성 검증	수소 시설 및 배관 사용 적합성 평가 결과	'23~'26 (4년)	16.00
	수소관망의 수소취성 대체시험·평가 기술	- 수소배관 취성평가 대체시험설비 구축 - 수소 시설 및 배관 재료의 수소취성 대체시험평가 - 수소취성 평가 기반 한계수명 등 수소적합성 평가 - 다자검증시험을 통한 데이터 신뢰성 검증	대체시험 방법을 이용한 수소 시설 및 배관 사용 적합성 평가 결과	'23~'26 (4년)	10.00
세부과제 2-2		지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술		'23~'26 (4년)	28.70
연구개발내용	지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술	- 수소 시설 및 배관의 실증을 위한 액화수소 공급기반 시험설비 구축 - 수소 시설 및 배관의 사용환경에 대한 영향 평가 - 수소시설 가속수명평가를 통한 안전성 평가	수소 시설 및 배관 사용환경 가속수명평가 결과	'23~'26 (4년)	20.70
	수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술	수소배관 운용에 따라 발생할 수 있는 문제점 및 사고 시나리오 도출 및 위험성 평가 및 방안 마련	수소도시 시설 및 배관망의 위험성 평가	'23~'26 (4년)	8.00

⑥ 주요 용어

〈표 143〉 중점분야 2 주요용어 설명

주요범위 및 개념	설명
수소배관	“수소배관”이란 수소를 공급하기 위하여 배치된 관으로 본관, 공급관, 내관 또는 그 밖의 관을 말한다.

수소취성	“수소취성”이란 금속소재가 수소원자의 침입으로 연성을 잃고 취성균열로 이어지는 현상을 말한다.
수소취성평가	“수소취성평가”란 금속소재의 수소취성도 분석 시험을 통해 내수소취성 여부를 확인하는 평가를 말한다. 대표적인 예로 KGS Code AC111에 제시된 저속변형인장시험(SSRT, Slow Strain Rate Test), 피로파괴시험 등이 있다.
저속변형인장시험	“저속변형인장시험(SSRT, Slow Strain Rate Test)”이란 설계압력의 고압수소 분위기 상에서 정해진 규격의 시편을 느린 속도로 인장시험을 통해 시험편과 비교군의 단면수축률을 확인하는 것이다.
피로파괴시험	“피로파괴시험”이란 설계압력의 고압수소 분위기에서 정해진 규격의 시편에 지속적인 진동을 가해 피로균열성장율과 사용가능 사이클을 확인하는 것이다.
대체시험법	“대체시험법”이란 KGS Code AC111에 제시된 수소취성평가 방법을 대체하여 제시된 방법으로 디스크파열시험, 수소처리 인장시험 등이 있다. “디스크파열시험”이란 고압수소와 헬륨가스에 의해 파열압력을 측정하여 파열압력 비를 수소취성지수로 산출하여 내수소취성을 평가하는 방법을 말한다. “수소처리 인장시험”이란 인장시험 시편을 수소처리 후 인장시험을 실시하여 기계적 강도를 측정 하는 방법을 말한다.
항복강도	“항복강도”란 소성변형을 발생시키지 않고 소재에 가해질 수 있는 최대응력의 정도를 말한다. Stress-Strain 곡선에서 항복점이 명확하지 않은 소재에서는 보통 0.2% 내력을 취하여 항복강도로 한다.
연신율	“연신율”이란 인장시험 시 소재가 늘어나는 비율을 말한다.

Life-cycle	“Life-cycle” 이란 배관 또는 소재의 사용가능한 수명으로 수소 배관의 수명평가를 통해 사용가능한 횟수 또는 사용한계수명을 계산할 수 있다.
사용한계수명	“사용한계수명” 이란 배관 또는 소재의 사용가능한 수명으로 수소 배관의 수명평가를 통해 사용가능한 횟수 또는 사용한계수명을 계산 가능
정량적 위험성평가	“정량적 위험성평가” 란 위험 요인 별로 사고로 발전할 수 있는 확률과 사고피해 크기를 정량적으로 계산하여 위험도를 수치로 계산하고 허용범위를 벗어난 위험에 대한 안전대책을 세우는 것을 말한다. 대표적인 예로 결함수 분석(FTA, Fault Tree Analysis), 사건수 분석(ETA, Event Tree Analysis), 원인-결과 분석(CCA, Cause-Consequence Analysis) 등이 있다.
정성적 위험성평가	“정성적 위험성평가” 란 위험요인을 도출하고 위험요인에 대한 안전대책을 세우는 것을 말한다. 대표적인 예로 체크리스트 평가(Check List), 사고예상질문분석(What-if 분석), HAZOP 등이 있다.
전산유동해석(CFD)	“전산유동해석(CFD, Computational Fluid Dynamics)” 이란 유체의 흐름, 열전달 등의 현상들을 컴퓨터 기반의 시뮬레이션을 통해 관련 특성들을 파악하는 수치해석을 말한다.
API 5L X	“API 5L X” 란 천연가스 배관망에 사용되는 배관 소재 규격을 말한다. API 5L은 석유 관련 구조용 강재에 대한 규격이며 X는 항복강도를 의미한다.
모재	“모재” 란 용접 시 그 대상이 되는 금속을 말한다.

(나) 세부과제 내용

① (세부과제 2-1) 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술

㉔ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- 수소취성은 수소를 사용하는 재료에 수소가 침투하여 재료의 물성이 변화는 문제가 발생하여 주로 결정입계나 응력집중부 등에 균열이 생기는 현상으로 이로 인해 가스 누출, 폭발 등의 우려가 있어 안전관리에 중요한 핵심요소
- 따라서, 수소도시의 시설 및 배관망에 사용되는 재료의 다양한 수소취성평가를 통한 신뢰성 있는 데이터 확보와 이를 기반으로 한 재료의 수소적합성평가는 국내 수소인프라 구축 매우 중요한 사항임
- 수소도시의 설치 및 운영 중에 발생할 수 있는 위험인자 및 사고 시나리오 등의 도출을 통해 사고 발생 빈도의 완화, 예방, 대책 기술 마련으로 안정적인 수소 도시 운영을 모색

□ 기술 목적

- 수소도시에 설치 및 운영되는 시설 및 배관망 재료의 안전성 확보를 통해 탄소 중립의 핵심수단으로써의 수소 사용의 안전기술 확보 및 에너지원으로써의 수소에 대한 대국민 수용성 제고

□ 기술 범위

- 사용(운영)압력 80기압급으로 국내 적용 가능한 수소관에 대한 최대 100기압급 수소취성 시험으로 배관 재료의 수소취성에 대한 기계적 특성 데이터 확보
- 사용(운영)압력 80기압급으로 국내 적용 가능한 배관에 대한 대체시험방법을 이용한 수소취성 시험으로 수소취성에 대한 배관 재료의 기계적 특성 데이터 확보
- 수소 노출을 통한 수소취성시험 결과와 대체시험방법을 통한 데이터 비교를 통해 대체시험방법의 데이터 신뢰성 확보
- 80기압급 수소관 사용(운영)압력을 고려한 고압수소분위기의 수소취성평가 방법 기준 정립
- 향후 본 연구를 통해 수소 전용 배관의 재료 선정 등을 위한 국내 안전기준

(안)*을 개발

* 개발하고자 하는 안전기준(안)은 수소 취성등을 고려한 국외 기준을 기반으로 국내 상황에 맞도록 벤치마킹하는 방식을 취하고자 함

④ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

☐ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 수소취성을 고려한 재료평가는 수소도시 구축에 반드시 필요한 사항으로 국내의 경우, 현재 수소용 저장탱크, 압력용기에 대한 기준만 존재함에 따라 배관 적용에 한계
- 수소도시에 인프라 확보를 위해 배관망 구축을 중요한 사업 중 하나로 현재 수소전용배관 기준이 미흡한 상황임에 따라 원활한 사업 진행에 차질이 생길 수 있음

☐ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 수소배관은 수소 인프라 구축에 있어 기반 시설로써 시설과 시설을 연결하여 수소를 공급함으로써 수소도시 구축에 있어 가장 먼저 고려되어야 할 대상
- 수소도시의 안정적 운영을 위해 수소 시설 및 배관 재료에 대한 적합성 확인은 수소 경제 구축에 있어 반드시 필요한 과정으로 안전한 운영을 위해 시급히 고려되어야 할 사항

☐ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 정부는 수소생산·도입지역을 거점으로 지역 배관망을 우선 구축할 예정

〈표 144〉 수소 생산지역 구축계획

구분	창원·광주	인천	부산	당진	보령	울산	군산
운영개시	‘23	‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30

- 국내 철강, 조판사 및 수소도시 구축의 전담기관인 지방지자체 등에 해당기술의 활용을 통한 수소경제 활성화에 기초기술로 자리 매김할 것으로 예상

☐ 기술개발의 시급성/적시성

- ‘22년까지 울산, 안산, 전주-완주 3개 수소시범도시 및 수소도시범 제정 등을 통해 향후 수소도시 확산을 예고하고 있음에 따라 수소배관의 설치를 위한 수요가 증가될 것으로 전망됨에 따라 기술개발 및 확보가 시급

☐ 주요 연구 내용

- 수소시설 및 배관망의 수소취성평가 및 한계사용수면 예측 기술
 - 직접가압방법의 수소취성평가를 위한 시험장비(시작품) 구축
 - 다양한 수소용 재료에 대한 수소취성평가
- 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 개발
 - 직접가압방식의 수소취성평가를 대체할 수 있는 대체시험기술 확보
 - 직접가압방식의 수소취성평가와 대체시험방법과의 비교를 통한 신뢰성 확보

□ 목표 성과

- (기술적 성과) 수소도시에 적용 가능한 다양한 재료의 수소취성평가 및 한계 사용수명 결과 제시
- (학술 성과) 학술논문 3건(1단계 1건 2단계 2건), 학술발표 8건(1단계 4건, 2단계 4건) 달성

□ 최종 목표

- 수소시설 및 배관망에 적용 가능한 수소취성평가 방법 개발을 통해 수소 사용 시설 및 배관망에 적용되는 재료 안전성 확인을 통해 국내도입 안정화
- 수소시설 및 배관망의 수소취성평가 기술기준 확보를 통해 수소용 재료의 안전성 및 적용방안 고도화

□ 최종 산출물

- 직접가압방식의 수소취성 평가 설비(저속변형인장, 파괴, 피로파괴시험)
- 대체시험방식의 수소취성 평가 설비
- 재료별 수소취성평가 데이터베이스 및 직접방식과 대체시험방식의 비교데이터
- 국내 안전기술기준 (수소취성평가방법 2종(직접 및 대체시험방법))

□ 목표 설정 근거

- 국내 압력용기/저장탱크 관련 기술기준(KGS CODE AC111)에서는 40MPa 이상의 수소를 사용하는 압력용기/저장탱크에 대해 수소적합성평가를 진행하고 한계 사용수명을 계산하도록 하고 있음
- 따라서 수소취성이 우려되는 수소배관 수소취성이 생길 수 있는 상황을 고려해야 할 필요성이 있음

- 수소배관의 경우 용접종류, 운영환경, 등 다양한 원인에 의한 응력 집중 발생 우려가 높음
- 해외 기준(ISO 11114-4 등)에서는 수소취성 평가를 위한 대체시험방법을 제시하고 있으나 대체시험방법을 통한 직접가압방식의 수소취성평가를 대체할 수 있는 지에 대한 연구가 추가적으로 필요함
- 국내 진행중인 R&D의 경우 향후 대용량 이송을 목표로 하여 100기압급 수소배관 개발을 진행하고 있으며, 미국의 경우에 운영압력을 주로 70기압, 유럽의 경우 100% 수소를 80기압의 설계압력으로 이송할 수 있도록 설계하고 있음에 따라 사용(설계, 운영)압력을 80기압급으로 적용하고, 시험검증압력을 100기압급으로 설정하여 안전성 확보 및 개발 경향을 반영하고자 함

□ 세부과제 도출 근거

- 수소배관 관련 미국기준인 ASME B31.12에서는 수소배관을 10%이상의 수소를 수명주기 동안 안전하게 이송하기 위한 배관으로 명시하고 있으며, 수소취성 평가에 대한 내용을 포함
 - 수소배관의 수소취성은 ASME Div.3 Sec.VIII의 KD-10을 따름
- 수소전용 배관 구축계획에 따라 대용량의 수소이송 시 수소배관 내부 압력 상승은 불가피 할 것으로 전망됨에 따라 수소시설 및 배관망의 수소취성평가는 반드시 필요
- 수소 취성 평가는 시험 소요시간이 매우 길며 국내 인프라 시설이 매우 부족한 상황임에 따라 수소경제 활성화에 따른 시설 및 배관망의 안전성 확보를 위한 시험기반 구축이 필요
- 또한 시간 소요가 많은 취성평가의 단점 극복을 위해 간접적으로 시설 및 배관망의 수소 취성을 평가할 수 있는 대체시험방법의 확립 필요

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성1) 산업부 한국에너지기술평가원 연구과제로 진행되고 있는 저장탱크 및 압력용기과제의 경우 본 기획과제와 적용 압력 및 재료 조건 상이
- (유사성2) 산업부 한국에너지기술평가원 연구과제로 진행되고 있는 인장강도 800MPa급 심리스 배관 제조 기술 개발 과제의 경우 수소충전소에소 사용하는 심리스 튜브 제작 기법, 재료 기술, 수소취성을 평가하는 과제로 본 과제와 상이
- (차별성) 본 기획연구는 수소압력 80기압급을 사용압력(설계압력)으로 하며, 해

당 수소 배관망 및 시설에 적용될 재료의 수소취성평가 및 설치 조건을 모사하여 신뢰성 및 안전성을 확보 계획

□ 세부과제 확보 전략

- 수소취성평가 관련 전문가의 자문을 통해 직접가압방식과 대체시험방법의 수행 가능성을 평가하고 연구과제 진행에 필요한 요소를 파악함으로써 과제 수행의 신뢰성 마련
- 유사 R&D 분석을 통해 수소도시 운영 안전관리 근거를 마련하여 대국민 신뢰성을 확보하고자 함

〈표 145〉 세부과제 2-1의 한계점 및 기술 개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
도시 내 수소 활용을 위한 안전관리 기술 개발	▪ 기존 R&D를 통해 수소충전소용 튜브, 압력용기 및 저장탱크 분야에 대한 연구가 진행되고 있으나 대용량 이송을 위한 수소전용배관 연구 미흡	▪ 수소용 재료의 수소적합성 평가 중 국내 R&D에 미흡한 부분을 발굴하여 세부과제로 확보하고자 함
	▪ 국내 수소취성평가를 위한 인프라 부족	▪ 수소취성 인프라 확충을 통해 국내 수소적합성 평가 저변확대 및 수소경제활성화를 위한 기반 연구로써 세부과제 수립
	▪ 수소도시에 적용될 다양한 재료의 수소취성 평가 필요	▪ 수소도시에 적용 가능한 다양한 재료의 수소취성평가(배관망 재료, 시설 재료 등)
	▪ 직접가압식 수소취성평가에 많은 비용 및 시간이 필요	▪ 대체시험방법 개발을 통해 수소취성평가에 비용 및 시간 절감, 인프라 확충

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 26.00억 원/4년 중 정부출연금 19.50억 원(75.0%) 대비 민간부담금 6.50억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

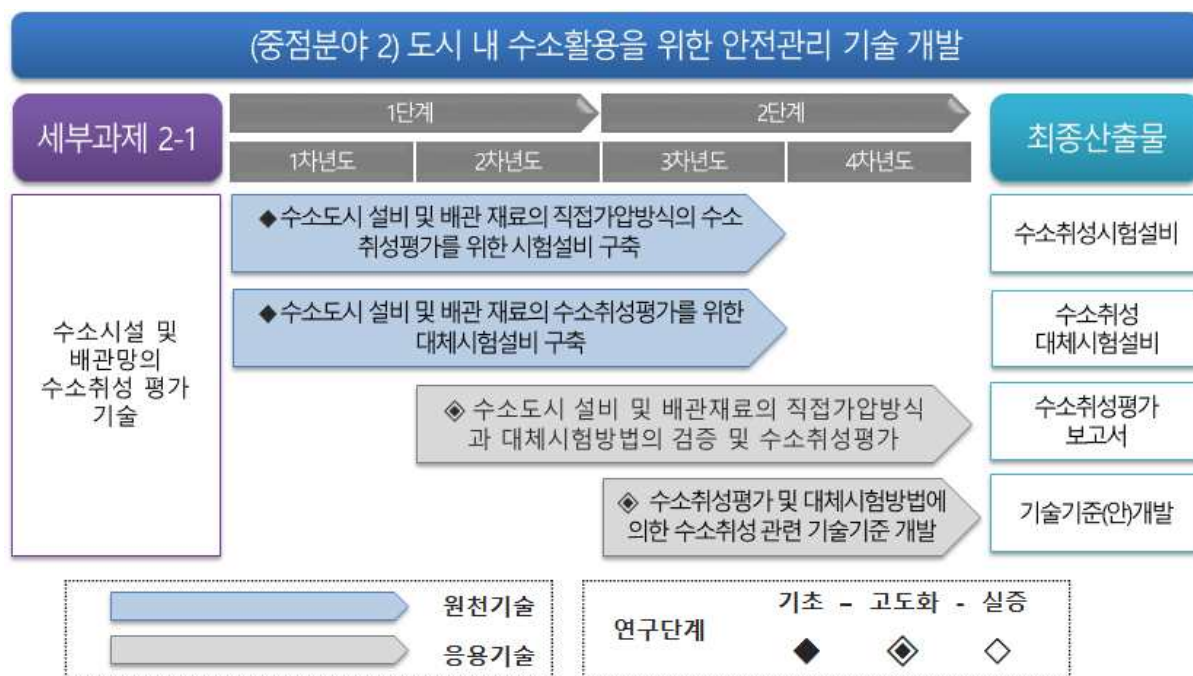
〈표 146〉 세부과제 2-1 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술	1.33	10.67	2.67	1.33	16.00
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술	0.68	2.66	4.00	2.66	10.00
합계	2.01	13.33	6.67	3.99	26.00

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

□ 기술개발 로드맵



〈그림 195〉 세부과제 2-1 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술

〈표 147〉 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	수소도시 시설 및 배관망의 수소취성평가를 위한 설비 구축
2024	- 수소도시 시설 및 배관망의 수소취성평가를 위한 설비 구축 - 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가
2025	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 - 수소취성 데이터 기반 한계사용수명 평가
2026	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 - 수소취성 데이터 기반 한계사용수명 평가 - 수소 시설 및 배관 재료의 수소취성평가를 위한 취성평가 기준 개발

○ 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술

〈표 148〉 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술 추진계획

연도	추진계획
2023	수소도시 시설 및 배관망의 수소취성 대체시험을 위한 설비 구축
2024	- 수소도시 시설 및 배관망의 수소취성 대체시험을 위한 설비 구축 - 수소도시 시설 및 배관망 재료의 대체시험을 이용한 수소취성평가
2025	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 대체시험을 이용한 수소취성평가 - 대체시험방법을 이용한 수소취성평가 데이터 검증
2026	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 대체시험을 이용한 수소취성평가 - 대체시험방법을 이용한 수소취성 데이터 검증 - 수소 시설 및 배관 재료의 대체시험을 활용한 취성평가 기준 개발

㉞ 세부과제 요약본

중점과제명	도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	
세부과제명	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	26.00억 원
기존기술 현황 및 한계	- 수소를 사용하는 시설 및 배관망의 안정적 설치 및 운영을 위해서 수소적합성평가를 통한 한계수명산정이 중요함 - 압력용기/저장탱크의 경우 수소취성평가를 의무적으로 하고 있으나 수소용 시설 및 배관의 금속재료 취성평가는 기준 및 시험 시행이 미비함	
연구목표	- 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 기술 - 수소도시 시설 및 배관망 재료의 수소취성 평가 대체시험방법 개발	
세부과제 및 예산	- 수소관망 설계 시뮬레이터 기술, '23~'26(4년), 26.00억 원 - 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 및 한계사용수명 예측 기술, '23~'26(4년), 16.00억 원 - 수소시설 및 배관망의 수소취성 평가를 위한 대체시험기술, '23~'26(4년), 10.00억 원	
주요 연구내용	- 수소 시설 및 배관망 재료의 수소적합성 평가를 위해 수소취성평가를 위한 직접가압방식 및 대체시험방법을 위한 시험인프라 구축 - 수소도시에 적용되는 다양한 재료를 대상으로 수소사용적합성 및 한계수명평가 - 직접가압방식과 대체시험방법을 통해 수소취성 평가 및 비교분석을 통한 대체시험의 기술 검증 - 수소취성평가 시험 및 데이터를 활용한 시설 및 배관재료 건전성 확보 및 국내 기술기준 확립	
목표성과	수소도시에 적용 가능한 다양한 금속재료의 수소취성평가, 한계사용수명 제시 및 위험성평가를 활용한 수소 시설 및 배관망에 대한 국민 신뢰성 제고	
Keyword	한 글	수소도시, 수소배관, 수소취성, 대체시험방법, 위험성평가
	영 문	Hydrogen city, Hydrogen Pipe, Hydrogen Embrittlement, Alternative Test Method, Risk Assessment

② (세부과제 2-2) 지상 및 지하매몰 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술

㉠ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

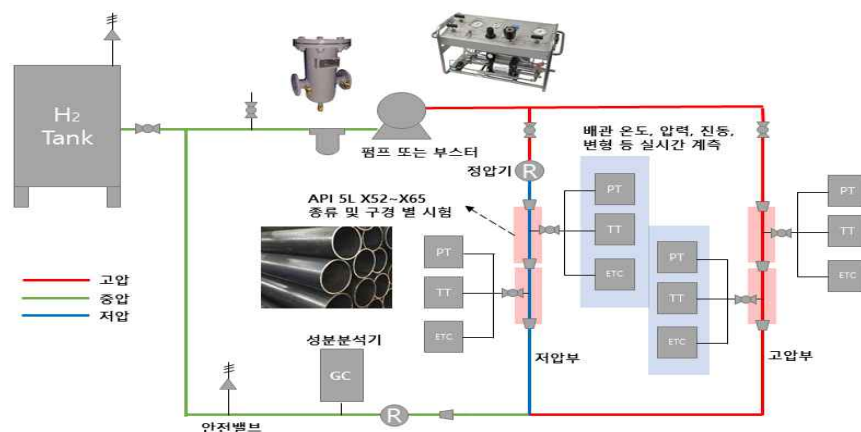
- 수소도시에 있을 수 있는 다양한 조건의 시설 및 배관의 안전성 확인 및 평가를 위해 실제 사용 환경에 대한 닫힌계 형태의 액화수소공급기반 가속평가 시험
- 수소도시의 설치 및 운영 중에 발생할 수 있는 위험인자 및 사고 시나리오 등의 도출을 통해 사고 발생 빈도의 완화, 예방, 대책 기술 마련으로 안정적인 수소 도시 운영을 모색

□ 기술 목적

- 수소 배관은 현장 조건에 따라 지상 또는 지하매설이 이루어질 것으로 예상됨에 따라 배관 재료의 환경 및 사용압력, 온도, 주위 환경에 따른 안전성 확인 및 수명평가를 통한 신뢰성 확보 필요
- 수소도시 운영 시 수소 시설 및 배관망에서 발생할 수 있는 사고 및 위험성을 파악하고 사고를 예방하기 위한 배관 안전성 확보 및 위험성 평가 기술 개발

□ 기술 범위

- 액화수소 공급설비기반 공급시스템을 갖춘 Closed-loop system의 파일럿 설비 구축을 통해 수소 시설 및 배관의 수소적합성 평가 기술 확보



〈그림 196〉 수소도시 배관 및 설비 실증을 위한 파일럿 장치 예시

- 설치 위치(지상, 매설), 배관 종류(강종, 환경), 사용조건(온도, 압력) 등 다양한

조건에 따른 가속평가 실시(반복사이클링 1만2천회 이상)

- 수소도시 내 수소시설 및 배관에서 발생 가능한 위험성 분석을 위한 정성적·정량적 위험성 평가 및 유한요소해석(FEM), 유동해석(CFD) 등을 활용한 정량적 사고 시나리오 분석, 피해영향 평가 실시

④ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

☐ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 해외 선진국 중심으로 수소 사용 환경에 대한 실증 시험 등이 선제적으로 이뤄지고 있으나 국내에서는 수소도시에 적용될 다양한 조건에 대한 가속평가 시스템이 부재함
- 수소도시의 시설 및 배관 등의 적용시 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오 등에 대한 위험성 평가를 시설 및 배관 구축에 반드시 필요한 과정임

☐ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 수소도시 운영 전 수소배관의 안전성 확보를 위한 다양한 조건(압력, 온도, 설치위치 등)에서의 배관의 영향 분석 및 안전성 검증과 수소도시 운용시 발생할 수 있는 사고를 사전에 대비하기 위한 위험성 평가 기술 개발
 - 수소배관 안전성 검증 : 수소도시로 운영하기 전 수소배관의 재질 및 관경, 설치 위치 및 온도, 압력 등의 다양한 조건에서 가혹한 환경에 노출시켰을 때 배관의 안전성 확보를 위한 검증 기술 개발
 - 위험성 평가기술 : 수소배관 및 시설 설치 후 수소도시 운용시 발생할 수 있는 사고의 위험도 분석 및 사고 상황의 정성적·정량적 분석을 통한 안전성 확보 및 피해영향평가

☐ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 정부는 수소생산·도입지역을 거점으로 지역 배관망을 우선 구축할 예정

〈표 149〉 수소 생산지역 구축계획

구분	창원·광주	인천	부산	당진	보령	울산	군산
운영개시	‘23	‘25	‘26	‘27	‘28	‘29	‘30

- 국내 철강, 조관사 및 수소도시 구축의 전담기관인 지방지자체 등에 해당기술의 활용을 통한 수소경제 활성화에 기초기술로 자리 매김할 것으로 예상

☐ 기술개발의 시급성/적시성

- ‘40년까지 전국 지자체의 30%를 수소도시로 조성하기 위한 계획과 수소도시 내 주거지역 및 사용처의 수소 공급을 위한 수소배관의 설치 및 운용을 위해 설치 전/후 수소배관의 안전성 확보를 위하여 안전성 검증 기술 개발 시급

□ 주요 연구 내용

- 지상 및 지하매몰 설치 배관 안전성 검증
 - 수소 도시 적용을 위한 시설 및 배관의 안전성 검증을 위해 가혹조건을 가정한 반복사이클링 가속시험을 통해 수소에 대한 사용적합성, 내구성 평가
- 수소시설 및 배관망 운영에 따른 위험성평가 기술 개발
 - 수소도시의 수소 시설, 배관망 설치 및 운영에 따른 사고 시나리오 분석 및 이에 대한 정량적 또는 정성적 평가를 통한 사고 예방·완화·대책 방안 도출

□ 목표 성과

- 수소도시에 적용되는 시설 및 배관의 다양한 환경(설치위치, 배관종류, 운영조건 등)에 대한 가속평가를 통해 신뢰성 확인 및 위험성 평가를 통한 안전성 확보

□ 최종 목표

- 수소도시의 시설 및 배관의 가속평가를 통한 다양한 환경에서 평가를 통해 수소용 시설 및 배관 등의 신뢰성 확보
- 수소도시 시설 및 배관 등의 위험성평가를 통해 사고 예방·완화를 위한 대책 마련

□ 최종 산출물

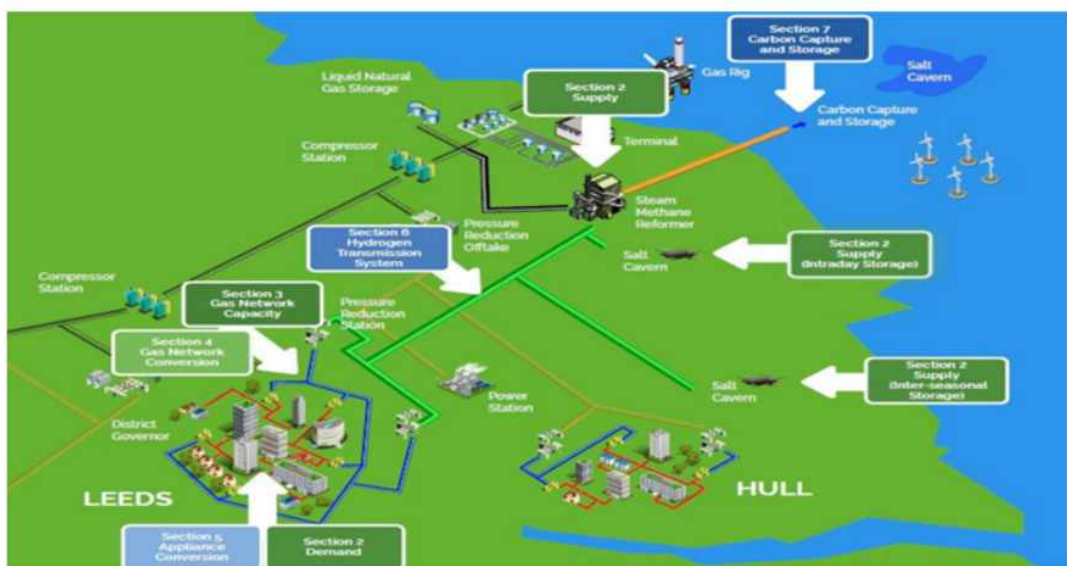
- 액화수소공급기반의 Closed-loop system형태의 수명평가 파일럿 시험 설비 구축
 - 수소관경에 따른 사용(운영, 설계)압력에 따른 80~100기압 환경 시험
 - 설치위치, 배관종류, 운영조건을 고려한 가압반복 12,000회 이상 반복가압시험을 통해 배관의 건전성평가
- 수소도시 적용을 위한 위험성평가 기술
 - 수소시설 및 설비, 배관 등에서 발생 가능한 사고 및 위험도 예측을 통한 안전성 확보
 - 수소 시설 및 배관의 정량적 사고 시나리오 분석을 통한 피해영향 평가

□ 목표 설정 근거

- 미국의 산업용 수소관의 운영압력은 주로 70기압, 유럽의 경우 100% 수소를 80기압의 설계압으로 이송할 수 있도록 설계하고 있음에 따라 사용압력을 80기압급으로 보장하기 위한 가속평가 시험을 통해 안전성 확보 및 개발 경향을 반영하고자 함
- 국토교통부 연구개발 사업으로 진행중인 상용급 액화수소플랜트 개발 사업등과 연계하여 개발 기술 활용하여 가속평가지험을 구축하고자 함

□ 세부과제 도출 근거

- 영국은 '16년 리즈시를 '30년까지 수소도시로 전환하기 위해 'H21 Leeds City Gate Project' 추진을 위한 타당성 검토를 진행하고 있으며, 수소설비 평가를 위한 실증사이트를 구축하여 실증을 진행 중에 있음.



출처 : 영국 H21 Leeds City Gate Project, 2016

〈그림 197〉 영국의 H21 Leeds City Gate Project 계통도

- 수소배관의 경우 재료의 종류 및 사용되는 압력, 온도에 따라 수소 취성 발생 정도가 달라지며 각각의 조건에 따른 수소배관의 위험도 파악을 통한 안전성 확보가 필요함.
- 국내의 경우 수소설비 평가를 위한 파일럿 설비는 없으며 수소충전소 관련 설비의 부품 시험을 위한 반복가압시험 횟수는 6만회이나, 향후 80~100기압급 고압 수소 이송 대비하여 본 연구에서는 1만2천회 설정

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) 산업부 연구과제로 진행된 수소충전소용 고압수소배관용 스테인리스 심리스 배관 제조기술 개발 및 100기압급 배관용 소재/강관 제조기술 개발의 경우 고강도 수소배관 및 수소사회 대응을 위한 소재, 부품개발 기술이며, 본 과제의 경우 수소용 배관재료의 평가 방법 및 기술을 개발 하고자 함.
- (차별성) 기존 기술은 소재 개발을 목표로 하고 있으며 본과제는 수소도시용 대용량 수소배관망 설계 및 유지관리에 대한 기술개발을 목표로 함.
- (연계 활용방안) 고압수소배관 관련 시험인증 및 수소취성 관련 시험방법 등 성과물 연계·활용 가능하며 수소 배관망 사고 시나리오 분석 결과물을 활용 하여 진단·관리 시스템 구축 및 연계 가능할 것으로 전망

□ 세부과제 확보 전략

- 국내 수소도시 운용과 활성화 및 배관망의 사용적합성 검토를 위해 액화수소 공급시설과 연동한 파일럿 설비 구축을 통해 가혹한 조건(설치위치, 배관종류, 운전조건 등)에 따른 수소배관의 안전성을 확보하고 성능평가를 진행할 수 있는 기술을 개발하여 기술경쟁력을 확보하고자 함.
- 수소도시 내 수소시설과 배관망 운용 중 발생할 수 있는 위험성 및 사고상황, 시나리오를 분석하고 피해영향평가를 위한 위험성 평가 기술을 확보하고자 함.
- 유사 R&D 분석을 통해 수소도시 운영 안전관리 근거를 마련하여 대국민 신뢰성을 확보하고자 함

〈표 150〉 세부과제 2-2의 한계점 및 기술 개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
도시 내 수소 활용을 위한 안전관리 기술 개발	▪ 국내 수소시설 및 배관 평가 인프라 미흡	▪ 수소도시에 적용될 시설 및 배관 등의 가속평가를 통해 신뢰성 확보할 수 있는 시험 설비 구축
	▪ 수소도시 구축 및 원화에 있어 위험성 평가 기술을 통한 안전확보 필요	▪ 수소도시 및 수소배관에 발생 가능한 다양한 위험 시나리오 도출 및 위험성 평가 방법 도입

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 28.70억 원/4년 중 정부출연금 21.50억 원(75.0%) 대비 민간부담금 7.20억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

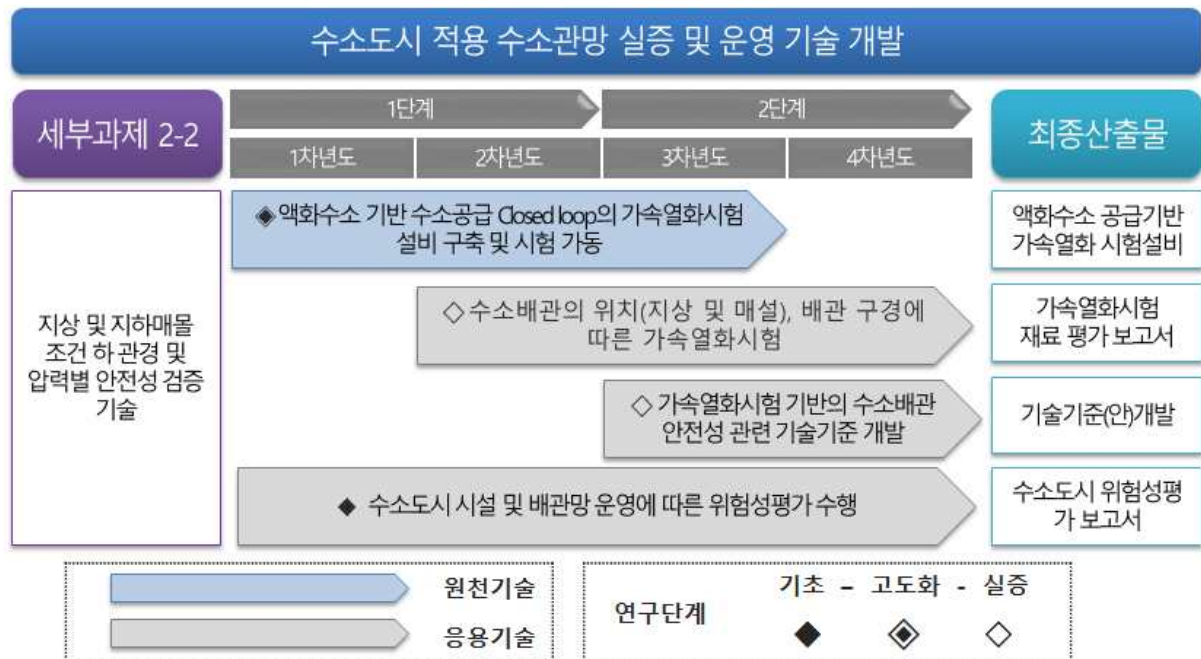
〈표 151〉 세부과제 2-2 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술	2.00	12.67	3.33	2.70	20.70
수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술	1.34	2.66	2.67	1.33	8.00
합계	3.34	15.33	6.00	4.03	28.70

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

□ 기술개발 로드맵



〈그림 198〉 세부과제 2-2 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 지상 및 지하매설 설치 배관 안전성 검증 기술

〈표 152〉 지상 및 지하매설 설치 배관 안전성 검증 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	지상 및 지하매설 설치배관 시험을 위한 기초 자료 조사 및 설계
2024	- 지상 및 지하매설 설치배관 시험을 위한 기초 자료 조사 및 설계 - 지상 및 지하매설 설치배관 시험을 위한 시험 설비 구축
2025	- 지상 및 지하매설 설치배관 시험을 위한 시험 설비 구축 - 시험설비를 활용하여 조건별 시험 수행 및 결과 분석
2026	- 시험설비를 활용하여 조건별 시험 수행 및 결과 분석 - 수소 시설 및 배관 재료의 시험 결과 기반 신뢰성 평가

○ 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발

〈표 153〉 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술 개발 추진계획

연도	추진계획
2023	수소도시의 위험성평가를 위한 수소도시 건설 및 상세현황 분석 및 파악
2024	수소도시에서 발생 가능한 사고 시나리오 도출 및 위험성평가
2025	수소도시에서 발생 가능한 사고 시나리오 도출 및 수소도시 내 시설 및 배관망의 위험성평가
2026	수소도시 위험성평가 기반의 사고 예방, 완화를 위한 대책 제시

㉮ 세부과제 요약본

중점과제명	도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	
세부과제명	지상 및 지하매물 조건 하 관경 및 압력별 안전성 검증 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	28.70억 원
기존기술 현황 및 한계	- 수소도시 구축 진행과 더불어 수소도시에 사용될 시설 및 재료에 대한 가속수명평가를 통한 신뢰성 확보 필요 - 해외 선진국 중심으로 수소 사용 환경에 대한 실증 시험 등이 선제적으로 이뤄지고 있으나 국내에서는 수소도시에 적용될 다양한 조건에 대한 가속평가 시스템이 부재함	
연구목표	- 지상 및 지하매설 조건하 다양한 조건의 시설 및 배관 가속수명, 내구성 평가 - 수소도시 운영에 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오 데이터 확보 및 사고 예방, 완화를 위한 위험성평가 기술 개발	
세부과제 및 예산	- 지상 및 지하매물 조건 하 관경 및 압력별 안전성 검증 기술, '23~'26(4년), 28.70억 원 - 지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술, '23~'26(4년), 20.70억 원 - 수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술, '23~'26(4년), 8.00억 원	
주요 연구내용	- 지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 - 수소 도시 적용을 위한 시설 및 배관의 안전성 검증을 위해 가혹조건을 가정한 반복사이클링 가속시험을 통해 수소에 대한 사용적합성, 내구성 평가 - 수소시설 및 배관망 운용에 따른 위험성평가 기술 개발 - 수소도시의 수소 시설, 배관망 설치 및 운영에 따른 사고 시나리오 분석 및 이에 대한 정량적 또는 정성적 평가를 통한 사고 예방·완화·대책 방안 도출	
목표성과	수소도시에 적용되는 시설 및 배관의 다양한 환경(설치위치, 배관종류, 운영조건 등)에 대한 가속평가를 통해 신뢰성 확인 및 위험성 평가를 통한 안전성 확보	
Keyword	한 글	수소도시, 수소배관, 수소취성, 가압반복시험, 위험성평가
	영 문	Hydrogen city, Hydrogen Pipe, Hydrogen Embrittlement, Repeated Pressurization Tests, Risk Assessment

(3) (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

(가) 중점분야 내용

① 정의 및 범위

□ (수소관망 수소도시 실증(운영)을 위한 기술) 수소 관망 실증기술의 시범 도시 적용을 위한 사회적·경제적 타당성 확보 기술

○ 수소도시에서 수소관망의 수용성(기술·사회) 향상을 위한 실규모 현장을 대상으로 입지·경로, 기본·실시설계, 시공(용접·매설), 운용시험, 진단·관리 시스템 등 실증기술

○ 사업의 사회적, 경제적, 환경적 영향에 대한 평가 기술로 구성

□ (수소관 현장 적용성 평가 기술) 수소취성의 특성 변화를 고려한 실현장 수소배관 성능평가 기술과 수소배관 시제품 생산공정 기술로 정의

○ 수소배관 성능평가 기술은 수소배관의 실규모 구조성능 평가 및 도시 내 수소관망 정압설비 국산화 및 현장 성능평가 기술을 포함

○ 수소배관 시제품 생산공정 기술은 수소이송용 탄소강관의 조관 Simulator를 통한 수소배관 품질향상 기술을 포함



〈그림 199〉 조관 및 성능평가 절차 개요도

□ (수소관망 이상감지 및 유지관리 최적의사결정 기술 개발) Digital, Network 및 Artificial Intelligence를 이용한 수소관망의 탐지·진단평가 기술 및 최적화된 운용기술인 유지관리 최적의사결정기술을 개발하여 테스트베드 실증 및 검증 수행

○ 수소관망은 가스관과 마찬가지로 큰 압력에 의해 수소가 이송되는 체계이며 수소취성, 피로파괴, 수소누설 등과 같은 리스크가 상시 존재하므로 사전 탐지 및 진단을 통해 사고와 재난을 막을 수 있는 전략과 적용기술 도입이 필요

○ 자산관리체계 구축을 통한 단위 알고리즘(자산대장 구축, 잔존수명 예측, LCC

적용, 리스크 분석 등)의 총체적인 체계 구축에서 효과적인 의사결정이 가능

□ 중점분야의 범위 및 구성

〈표 154〉 중점분야 3의 개요

중점분야명	내용
수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영기술 개발	• (범위) - 수소 관망 구축사업 추진 시, 대표적인 사회적·경제적 피해요소인 NIMBY(Not IN My Back Yard) 현상에 대한 정성·정량 분석 기반의 사회적·경제적 타당성 확보 - 수소배관의 성형을 포함한 제조공정과 강관의 물성예측 및 성능평가 공정이 대상 - 탐지, 진단기술개발 및 D.N.A. 기반 자산관리시스템 개발을 통한 유지관리의사결정 플랫폼 구축 • (개요도) • (세부분야 구성) - (세부1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술 - (세부2) 수소관 현장 적용성 평가 및 지상·지하 배관 안전성 검증 기술 - (세부3) 수소관망 이상감지 및 유지관리 최적의사결정 기술 개발

② 추진 필요성

□ 수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위해서는 해당 지역주민들과 갈등을 최소화하는 방안이 필요

○ 수소 도시에서 수소 관망 구축을 위해서는 해당 지역주민들의 사업 수용성 확보가 필요

- 지역주민들에 대한 수용성 확보가 필요한 이유는, 수소의 위험성과 안전성 우려, 지역 가치 하락 등으로 인한 주민들의 사업 반대가 예상

○ 이러한 현상은 비선호 시설에 대한 기피 현상, 즉 NIMBY(Not In My Back Yard) 현상으로 불리며, 사업에 사회적·경제적으로 큰 영향을 미침

- NIMBY 현상이란, 지역사회나 국가를 위해 없어서는 안 될 시설이지만, 사회 통념상 혐오 또는 위해 하는 시설에 대한 기피 현상을 의미함. 관련 시설로는

쓰레기 처리장, 오폐수 처리장, 원자력 발전소 등이 존재

- 관련 비선회 시설로는 쓰레기 처리장, 오폐수 처리장, 원자력 발전소 등이 존재하며, 우리나라의 대표적인 비선회 시설 기피 현상 사례로는 제주 해군기지 건설, 밀양 송전탑 건설 사례가 존재

□ 수소배관의 경제성과 구조 안전성을 확보하기 위해서는, 수소배관 시제품의 조관 실수율을 향상 시키고, 수소배관의 실제 현장조건을 반영하여 구조 성능을 예측하고 평가하기 위한 기술개발이 필요

○ 실규모 강관의 구조성능평가 기술 및 간단한 실험과 수치해석을 통해 수소 배관의 수소취화 물성평가 기술 개발이 필요

- 수소 환경에서 발생하는 재료의 취화로 인해 수소 배관의 취성 파손 발생 가능성이 증가
- 수소 환경 실규모 강관의 파괴인성 평가는 고압 수소 환경으로 위험성과 복잡한 시험 장비와 많은 수소 필요로 인한 비경제적
- 고압 수소 분위기에서의 대형 구조실험을 대체할 수 있도록, 수소환경의 소형 시험과 유한요소 손상해석의 연계를 통하여, 수소농도에 따른 파괴인성을 예측 및 실규모 강관의 구조성능을 예측 필요

○ 조관후 강관의 기계적 물성 및 미세구조 변화 예측을 위한 비파괴 검사기술 개발 및 실규모 강관의 내구성 평가 기술개발 필요

- 수소 환경에 의해 발생하는 강관의 내부구조 변화 및 강관의 두께 변화를 신속하게 감지하여 시제품의 실수율을 향상
- 시간에 따른 배관의 미세균열의 성장 상태 및 노후도 진행을 감지 및 예측할 수 있는 기술개발의 필요
- 현장조건을 고려한 실규모 강관의 초음파 검사 (축방향, 원주방향) 및 손상 상태 정량화 기술개발의 필요
- 비경제적인 기존 비파괴 평가기술 대체 및 고압 수소 환경에서 실시 가능한 실규모 수소배관 내구성 평가 기술개발의 필요

○ 수소배관 시제품의 실수율 향상(8단계 실수율 98%)을 위해서 조관후의 기계적 물성에 대한 정밀 예측기술 개발 필요

- 수소배관의 원소재는 열연코일 또는 후판이고, 열연코일 또는 후판의 원소재를 롤포밍 또는 롤벤딩 등 방법으로 원형으로 성형한 이후에 심용접을 하여 강관을 제조

- 판재에서 원형 강관으로의 조관 성형 공정에서 강관의 내측은 압축변형을 받게 되고, 외측은 인장변형을 받게 되며, 원소재의 초기 항복강도, 연신율의 기계적 물성이 조관후에 다른 값으로 변화
- 수소배관의 기계적 물성을 보증하고 실수율을 높이기 위해서는 조관후의 기계적 물성을 정확히 예측하기 위한 연구가 필요

□ 탐사기법을 통한 공간적인 정보나 물성 정보를 예측하여 설계 효율성을 증대시켜 굴착 안정성 확보

- 지질구조, 이상대 등의 공간적인 정보나 물성 정보를 예측하여 굴착 안정성을 확보하고 설계효율성을 증대시키는 탐사기법은 굴착공법에서 중요성 증대
- IT기술을 활용하여 현장에서 측정된 다양한 계측자료의 실시간 모니터링 기술이 필수적인 상황

□ 수소관망시스템을 안전하고 효율적으로 운용하기 위한 탐지·진단 및 최적화된 운용기술의 개발이 절대적으로 필요

- 수소에너지를 공급하는 수소관망은 기존의 천연가스 관망과 같이 광범위한 지역에 네트워크 형태로 구축
- 이를 안전하고 효율적으로 운용하기 위해서는 전 공급지역 상의 유량 및 압력의 분포를 예측함은 물론 시스템상의 모든 가압시설 및 탱크 등의 시설을 최적으로 운용
- 천연가스 관로와는 다른 기작에 의해 관로의 부식, 균열 및 열화가 발생하기 때문에 관로를 포함한 탱크 등의 시설물에 대한 잔존수명 및 파손 리스크 기반의 유지관리 최적의사결정기술이 필요

③ 기술 현안문제 및 이슈

□ 수소 관망 구축사업 시, 주민 수용성 확보를 위해 수소 사업에 특화된 갈등 유발 요소 및 관리 요소를 도출하고, 사회적·경제적 타당성을 확보하기 위한 갈등관리 전략구축 연구가 필요

- 수소와 관련된 시설의 사업 추진사례들(서울 장지공영차고지 수소충전소, 제주 함덕 수소충전소 구축사례 등)을 확인한 결과, 주민들의 강한 반발로 인해 공사가 지연되고 있는 상황
- 기존 선행연구 문헌들의 경우 연구의 범위를 전반적인 건설사업으로 확장하여

갈등관리 전략을 일반화하였다는 한계가 존재

- 수소 관망 구축사업으로 연구의 범위를 특정하여 수소 관련 사업만의 전문성을 확보할 수 있는 연구가 필요
- 내수소취화 특성이 우수한 API 5L-X52 (항복강도 350MPa) 이상의 ERW 및 SAW 용접강관이 개발 중이며, 수소배관의 기계적 물성을 보증하고 실수율을 높이기 위해서는 조관후의 기계적 물성을 정확히 예측하기 위한 연구가 필요
- 국내 수소배관의 대부분은 무계목 강관(Seamless ASME A106 Gr.B, 항복강도 240MPa)을 적용중이며, 직경 8" 이상의 무계목 강관은 수입에 의존
- 이에 수소 이송량 증대와 경제성 확보를 위해 고강도 소재의 개발이 필요
- 수소실험의 고위험/고비용/장기간 특성으로 수소취화 물성평가 어려워, 중·장기적인 수소실험 장비 구축 방안과 더불어, 간단한 수소취화 물성 평가 기술개발 필요
- 수소환경하 시편 단위의 재료 물성 시험은 시험기를 포함하는 대형 챔버와 더불어 안전 확보를 위한 추가적인 설비투자가 필요하여 여러 강종의 수소취화에 대한 영향 분석과 성능평가 실험은 천문학적인 비용이 요구
- 소형 펀치 실험은 작은 시편으로 재료 물성 및 파괴인성 예측이 가능하며 작은 시험기 규모를 가져 수소환경에서 비교적 쉽게 시험 수행이 가능
- 소형 펀치 실험으로 수소환경하 압력과 농도에 따른 정성적 취화 영향은 관찰할 수 있으나 재료 물성이나 파괴인성 변화에 대한 정밀한 정량적 분석을 위해서는 추가적인 연구개발이 필요
- 현재 수소 관련 연구는 수소압, 농도, 강종에 따른 취화 영향에 대해 주로 시편 단위에서 분석되었으며 실규모 배관에 대해서는 수행된 바 없음
- 배관 안정성을 확보하기 위해서는 시편과 다른 배관에서 파손 거동에 대한 이해가 필요하나 대규모 실험은 비용 및 안전 확보 측면에서 현실적으로 어려움이 발생
- 기존의 강관 내구성 평가방식은 대부분 관체 절단이나 관 내부로 인력이 들어가 조사하는 방식이며, 이러한 방식은 단수가 수반된다는 점에서 장기적인 조사가 어려울 뿐만 아니라 관의 구조적인 상태에 따른 적정 개량방안 수립이 어려움
- 현재 강관 내구성 및 물성 평가에 사용되는 초음파 센서는 기술적으로 고도화

되어 있으나 이를 다지점으로 분산 설치할 경우 경제적인 측면에서 비효율적

○ 또한, 수소배관의 미세구조 (예, 미세균열) 변화 감지를 비롯한 초기 내구성 평가에 대한 연구는 미비한 실정

○ 따라서 비용 대비 물성 파악을 극대화할 수 있는 기존 초음파 기술들의 조합 및 고정밀도 및 열·압력에 대한 내구성이 확보된 초음파 진단 기술개발이 필요

□ 상시 모니터링 시스템과 진보된 기술로 측정된 데이터의 자동화된 2차 가공을 통해 온라인상에 게시되고 설계자나 공사 관리자에게 통보함으로써 현실적인 계측 관리가 요구

○ 수소배관의 안전사고 예방 및 실시간 진단

- 수소관은 수소취성, 피로누적 등의 문제로 유지관리에 매우 취약하기 때문에 수소관 결함 발생시 신속하게 대처하지 않으면 발생하는 리스크가 매우 큰 편
- 따라서 실시간으로 지하공간에 매설된 수소관의 상태를 진단하고 파악할 수 있는 기술이 필요

○ 최적의사결정시스템 및 기술 개발을 활용한 예방적 유지관리 필요

- 생애주기 분석 및 잔존수명을 분석할 때에 재료 및 공법의 성능이 향상되고 있는 반면에 수선주기, 교체주기는 국가에서 제정하는 법령이나 고시에 의존하고 있어서 현실 반영하지 못하는 상황

〈표 155〉 중점분야 3의 현안 문제 및 이슈와 해결방안 모색

현안 문제점 및 이슈, 한계	⇒	해결방안/기술니즈
▪ 수소 관망 구축사업에 특화된 사업 갈등 유발 요소 및 관리 요소들의 부재로 인해 수소 관망 기술들의 실증 시, 예상 피해 규모를 산정하기 어려우며, 이를 관리하기 위한 전략을 구축하는데도 어려움이 존재	⇒	▪ 수소 관망 구축사업에 특화된 지역주민들과의 갈등 유발 요소 및 관리 요소 도출 ▪ 갈등 요소들의 정성·정량 기반 분석을 통한 갈등관리 전략(시나리오) 도출
▪ 국내 수소배관 대부분 무계목 강관(Seamless ASME A106 Gr.B, 항복강도 240MPa) 적용중이나 8" 이상은 수입에 의존하고 있으며, 수소 이송량 증대에 따른 고강도 소재가 필요하며, 수소배관의 경제성 및 품질확보 필요		▪ 내수소취화 특성이 우수한 API 5L-X52 (항복강도 350MPa) 이상의 용접강관 (ERW / SAW) 개발중이며, 수소배관의 조관후 물성의 정밀한 예측을 통한 실수율 향상 필요
▪ 수소실험의 고위험/고비용/장기간 특성으로 물성평가 어려움		▪ 중장기적인 수소실험 장비 구축 방안과 더불어, 간단한 수소취화 물성평가

수소관망은 가스를 운송하는 관계로 관로의 이상 (균열, 파손, 부식 등)에 의한 사고시 대형 사고 발생 우려 따라서 이를 실시간으로 감지/탐지 할 수 있는 기술의 개발이 필요		기술개발 필요 - 수소관로 운용 시 감시되는 관측치 (압력, 유량 등)의 분석을 통하여 관로의 이상 여부 및 이상지점을 확인할 수 있는 기술 개발 및 적용 - 수소가스를 직접 감지하여 관로의 이상 여부 및 이상지점을 확인할 수 있는 기술 개발 및 적용
일반적 기반시설 (상하수도, 도로, 댐 등)은 시설의 노후화로 파손시 리스크를 저감하기 위하여 예방적 유지관리를 도입 중에임. 따라서 수소관로에 예방적 유지관리에 자산관리기법을 도입하여 유지관리비를 저감할 수 있는 의사결정 기술의 개발이 필요		수소관로에 예방적 유지관리를 위한 자산관리체계를 도입하여 D.N.A 기반 유지관리 최적의사결정시스템 및 기술을 개발하여 활용

④ 목표 및 내용

□ 최종목표

○ 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술

- 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 유발 요소의 영향도(사업 피해 예상 금액, 사업 지연 기간 등) 및 갈등관리 요소의 관리효과 분석 기반의 최적 갈등관리 전략 (사업비용 절감액, 사업 단축 기간 등) 구축 기술 개발

○ 현장특성을 고려한 고성능 수소배관 제조 및 적용성 평가 기술 개발

- 수소이송용 탄소강관의 구조성능평가 기술 및 수소배관의 파괴인성 예측 기술
- 수소배관의 비파괴적 손상평가를 위한 고정밀 초음파 검사기술 개발
- 수소배관 조관 품질확보를 위한 조관 Simulator 기술
- 도시 내 수소관망에 정압설비 국산화 및 현장 성능평가 기술 개발

○ 수소관망 이상감지 및 유지관리 최적의사결정 기술 개발

- Digital, Network 및 Artificial Intelligence를 이용한 수소관망의 이상감지 시스템 기술 개발
- 배관에서 누출리 발생하면 5분 이내에 감지하고 누출위치 $\pm 2.5m$ 이내의 오차 범위로 확인이 가능한 시스템 개발

〈표 156〉 중점분야 3의 기술개발 전후 변화

AS-IS	⇒	To-Be
	⇒	
- 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 수소의 특성(폭발 위험성)으로 인한 지역주민들의 불안감 조성 - 지역주민들의 기피 현상(NIMBY)으로 인한 사업 기간의 지연 및 공사비 증가 - 수소 관련 사업에 특화된 갈등관리 전략 프로세스 구축이 미비 - 현장 조건 반영한 수소배관의 물성예측 및 구조성능평가 기술 미비 - 법정내용연수 혹은 내구연수 등에 의해 담당자 재량으로 교체, 보수시기를 판단 - 유지관리 비용이나 리스크를 최소화한다는 개념이 전무 - 사후적 유지관리체계가 빈번함	⇒	- 수소 시범도시 내 지역주민들의 신뢰성 및 수용성 확보 - 사업의 갈등 요소 관리로 원활한 사업 진행, 수소 관망 구축사업의 공사 기간 단축 및 공사비용 절감 가능 - 현장 조건 반영한 수소배관의 물성예측 및 구조성능평가 기술 확보 - 자산에 대한 D.N.A 기반 성능평가, 잔존수명 및 리스크예측이 이루어짐 - 실시간 탐지, 진단평가 기술을 활용한 유지관리 최적의사결정이 가능함 - 경제적, 객관적 정기점검을 통한 선제적 시설물 유지관리 수행 - 예산의 효율적 사용이 가능함

□ 단계별 목표 및 추진내용

〈표 157〉 중점분야 3의 단계별 목표

구분	단계별 목표 및 내용	
	1단계(2년)	2단계(2년)
목표	- 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 지역주민들과의 갈등 해소를 위한 전략 요소 도출 - 수소배관 성능평가 모델 개발 - 조관 Simulator 기초기술 개발 - 수소관망 실시간 이상감지 방법 및 알고리즘 - 성능평가 및 잔존수명 예측기법 - 간접 누출탐지기술 - LCC모델 및 의사결정 알고리즘	- 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 지역주민들과의 갈등 해소를 위한 최적 갈등관리 전략(최대 공사 기간 단축, 공사비용 절감 기준) 구축 - 수소배관 성능평가 모델의 성능검증 - 조관 Simulator 정밀도 향상 기술 - 직접 누출 탐지기술 - 유지관리 최적의사결정 시스템 실증평가 보고서

추진 내용	▪ 수소 관망 구축사업 특화 갈등 유발 요인 도출 ▪ 수소 관망 구축사업 특화 갈등관리 요소 도출 ▪ 수소배관 구조성능 및 파괴인성 예측 수치해석 모델 개발 ▪ 소구경 수소배관 조관 Simulator 개발 ▪ 대구경 수소배관 조관 Simulator 개발 ▪ 비선형 초음파를 활용한 수소배관 미세구조 및 물성 변화 감지 기술개발 ▪ Digital, Network, Artificial Intelligence (이하 D.N.A.)기반 수소관망 이상감지기술 조사 및 분석 ▪ 수소관망 이상감지 방법 및 알고리즘 개발 ▪ D.N.A. 기반 자산의 성능평가 및 잔존수명 예측기법 개발 ▪ D.N.A. 기반 자산의 리스크 예측기법 개발 ▪ 모니터링에 의한 간접 누출탐지 기술 개발 ▪ 센서 등에 의한 직접 누출탐지 기술 개발 ▪ 생애주기비용(Life-Cycle Cost)모델 개발 및 적용기법 개발 ▪ 유지관리 의사결정 최적화 알고리즘 개발	▪ 정성·정량 기반 갈등 유발 요인 분석 - 피해 예상 규모(사업 기간, 사업 비용 등) 분석 및 핵심 갈등 요인 도출 ▪ 정성·정량 기반 갈등관리 요인 분석 - 갈등관리 요인의 관리효과 분석 - 갈등 유발 요소와 매칭을 통한 핵심 관리 요소 도출 ▪ 최적 갈등관리 시나리오 도출 - 사업 갈등 해소를 위한 최적 관리전략 구축 ▪ 수소배관 구조성능 및 파괴인성 예측 수치해석 모델 성능검증 및 매뉴얼 개발 ▪ 소구경 수소배관 조관 Simulator 물성예측 정밀도 향상 ▪ 대구경 수소배관 조관 Simulator 물성예측 정밀도 향상 ▪ 유도 초음파를 활용한 실규모 수소배관의 내부 결함 정량화 ▪ 모니터링에 의한 간접 누출탐지 기술 개발 ▪ 센서 등에 의한 직접 누출탐지 기술 개발 ▪ 유지관리 의사결정모델 S/W 개발 및 시스템 구축 ▪ 테스트베드 실증, 기술평가 및 보완

⑤ 세부과제 구성 및 연계성

□ 세부과제 구성

- (세부과제 3-1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술
- (세부과제 3-2) 수소관 현장 적용성 평가 기술
- (세부과제 3-3) 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술
- (기간/예산) 4년/204.00억 원(국고 153.00억 원, 민간 51.00억 원, 민간매칭 25.0%)

〈표 158〉 중점분야 3 세부과제 구성

구 분		기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
세부과제 3-1		수소관망 수소도시 실증(운영) 기술		'24~'26 (3년)	100.00
연구개발 내용	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술	- 수소도시에서 수소관망기술의 실증입지 확보, 테스트베드 사양결정 및 실시설계, 이의 건설 및 운영 평가 기술 개발 - 수소시범도시 수소관망의 실증보급모델 개발	수소관망 실증 결과 보고서 및 운영 기술	'24~'26 (3년)	76.00
	수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)	- 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영 기술 실증을 통한 관련 기술체계 개발 - 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼 개발	수소도시 건설 기준 및 지침	'24~'26 (3년)	8.01
	상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술	- 수소 관망 구축사업의 갈등 유발 요소 및 관리 요소 도출 - 갈등 유발 요소들의 영향도(사업 피해 예상 금액, 사업 증가 기간 등) 분석 - 수소 관망 구축사업 특화 갈등관리 전략 개발을 통한 최적의 사업 수행 시나리오 도출	갈등관리 종합분석 보고서 및 종합분석 결과 기반 최적 의사결정 알고리즘	'24~'26 (3년)	15.99
세부과제 3-2		수소관 현장 적용성 평가 기술		'23~'26 (4년)	49.06
연구개발 내용	실현장 수소관 성능평가 기술	- 수소배관의 실규모 구조성능 평가기술 - 수소배관의 고정밀 비파괴 검사 기술	구조해석 프로그램 및 실험매뉴얼	'23~'26 (4년)	20.63
	수소관 시제품 생산공정 기술	- 소구경(ERW) 수소배관의 조관 Simulator 기술 개발 - 중대구경(SAW) 수소배관의 조관 Simulator 기술	조관 simulator 2종	'23~'26 (4년)	20.63

구 분		기술개발활동	결과물	기간 (총 년)	소요 예산 (억 원)
	도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술	도시 내 수소관망의 정압설비 국산화 및 현장 평가 기술	정압기 및 구성품	'23~'26 (4년)	7.80
세부과제 3-3		수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술		'23~'26 (4년)	34.94
연구 개발 내용	D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술	- Digital, Network, Artificial Intelligence (이하 D.N.A.)기반 수소관망 이상감지기술 조사 및 분석 - 수소관망 이상감지 방법 및 알고리즘 개발 - 모니터링에 의한 간접 누출탐지 기술 개발 - 센서 등에 의한 직접 누출탐지 기술 개발 - 테스트베드 실증, 기술평가 및 보완	수소관망 이상감지 방법 및 알고리즘, 직간접 누출 탐지기술, 실증평가 보고서	'23~'26 (4년)	7.16
	D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술	- D.N.A. 기반 자산의 성능평가 및 잔존수명 예측기법 개발 - D.N.A. 기반 자산의 리스크 예측기법 개발 - 생애주기비용(Life-Cycle Cost)모델 개발 및 적용기법 개발 - 유지관리 의사결정 최적화 알고리즘 개발 - 유지관리 의사결정모델 S/W 개발 및 시스템 구축 - 테스트베드 실증, 기술평가 및 보완	수소관망 잔존수명 및 리스크 예측기법, LCC모델 및 의사결정 알고리즘, 유지관리 최적의사 결정 시스템, 실증평가 보고서	'23~'26 (4년)	15.75
	복합물리 기반 이상상태 원격 탐상 기술	- 수소도시 수소관망 이상상태 실시간 탐지 다기능 센서 개발 - 인공지능 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 진단 시스템 개발 - 복합 물리 신호 전달 특성 기반 수소관망 이상상태 원격 탐상 기술 현장 실증	인공지능 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 진단 시스템	'23~'26 (4년)	12.03

⑥ 주요 용어

〈표 159〉 중점분야 3 주요용어 설명

주요범위 및 개념	설명
NIMBY	Not In My Back Yard의 준말로써 주민들이 비선호 시설 (혐오시설, 위해시설 등)의 유치를 거부하며 반대하는 집단행동
탄소강 (Carbon Steel)	철과 탄소가 결합하여 형성된 금속합금. 탄소함량 0.05~2.1%
스테인리스강 (Stainless Steel)	철(Fe)에 니켈(Ni), 크롬(Cr) 등을 합금하여 철이 가지는 부식의 단점을 보완하여 만들어진 금속
수소취화 (Hydrogen Embrittlement)	강재가 수소분위기에서 연신율/피로/파괴인성 등 물성이 저하되는 현상
강관 성형 (Pipe Forming)	- 판재나 열연코일을 조관하기 위하여 원형으로 만드는 성형방법 - Roll forming, Roll bending, Press bending 등
무계목강관 (Seamless Pipe)	용접강관과는 달리 이음매가 없고, 두께의 제한이 없어 용접강관으로는 사용할 수 없는 고온, 고압 및 부식 등 특수환경의 용도에 사용됨
JCO 강관 (JCO Pipe)	강관 성형의 방법으로서, 프레스를 이용하여 여러 차례 조금씩 판재의 길이방향으로 눌러서 원형으로 성형함.
심용접 (Seam welding)	- 강관의 길이방향 이음매를 연결하는 용접. - 원판상의 롤러 전극 사이에 용접할 2장의 판을 두고 가압 통전하여 전극을 회전시키면서 연속적으로 점용접을 반복하는 방법으로 연속된 선 모양의 접합부가 얻어짐.
원주용접 (Girth welding)	현장에서 강관과 강관을 연결하기 위하여 원형의 강관 끝단을 맞대어 수행하는 원주방향의 용접.
전기저항용접 (ERW)	Electric Resistance Welding, 롤성형 후의 강관 길이방향의 용접.
잠호용접 (SAW)	Submerged Arc Welding, Bending 성형후 강관 길이방향의 용접.

소형펀치시험 (Small Punch Test)	▪ An evolving small specimen test technique which has the potential to extract the mechanical properties from small volume specimens. ▪ This test method is used to determine the in situ mechanical properties of components in service for measuring the structural integrity and residual life.
파괴인성 (Fracture Toughness)	▪ 균열이 존재하는 소재에서 취성파괴에 대한 재료의 저항성 ▪ 임계 응력확대계수(K), 임계 CTOD 등으로 평가함
비선형초음파 (Nonlinear ultrasound)	▪ 미세균열 등 재료 고유의 비선형성으로 인해 초음파의 특성이 변함. ▪ 재료의 비선형성과 파형의 상관관계를 통해 재료의 균열 진단 및 정량화.
유도초음파 (Guided wave)	▪ 구조물의 기하학적 구조를 따라 길이방향으로 전파하는 초음파 진동의 형태. ▪ 초음파가 진행하는 동안 용접부, 부식, 균열, 두께 감소 등 배관 결함에서 반사되어 돌아오는 파의 특성을 통해 배관의 내구성을 평가.
자산관리체계	▪ 자산의 상태평가, 잔존수명 예측, 서비스수준 설정, 리스크 분석 및 비용최적화 등을 적용하여 자산의 유지관리를 객관적 및 효율적으로 하기 위한 체계
리스크	▪ 자산의 중요도 및 위험도를 판단하게 해주는 지표로써 자산의 파손 확률과 파손 발생 시 영향도 그리고 피해를 최소화하는 여유도의 곱으로 산정
잔존수명	▪ 자산의 상태평가 및 진단 결과를 바탕으로 노후도 모델, 파손추정 모델, 고장발생추정 모델 등을 활용하여 예측된 남아있는 시설물의 수명.
서비스 설정 (Level of Service)	▪ 고객이 시설을 통해 제공받길 원하는 서비스 수준을 말한다.
내용연수	▪ 국가회계기준 37호 1항에 따른 ‘객관적이고 합리적인 방법으로 추정한 기간’ 을 말하며 자산이 사용 가능할 것으로 기대되는 기간
생애주기비용 (Life Cycle Cost)	▪ 계획, 설계, 유지보수 및 관리, 자산처분, 잔존 자산가치 등의 모든 비용을 포함한 생애동안의 총 비용으로, 예측된 일정기간 동안 시설물을 관리하고 운영하고 제공하면서 발생하는 모든 총 비용을 의미

(나) 세부과제 내용

① (세부과제 3-1) 수소관망 수소도시 실증(운영) 기술

㉓ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- 수소 관망 실증기술의 시범도시 적용 시, 사업의 지연 및 비용을 증가시키는 주요 요소들(사회적, 경제적)에 대한 피해 영향 분석과 이를 관리하기 위한 요소들의 관리효과를 분석, 사업의 사회적·경제적 타당성 확보를 위한 전략구축 기술로 구성
 - 사업의 지연 및 비용을 증가시키는 대표적인 사회·경제적 문제는 NIMBY(Not In My Back Yard) 현상이 존재
- NIMBY 현상이란, 지역사회나 국가를 위해 없어서는 안 될 시설이지만, 사회 통념상 혐오 또는 위해 시설에 대한 기피 현상을 의미하며 관련 시설로는 쓰레기 처리장, 오·폐수 처리장, 원자력 발전소 등이 존재
 - 수소와 관련된 시설은 높은 폭발 위험성으로 인해 지역주민들의 집단적인 유치 반대가 우려되는 비선호 시설
 - 유사사례 (서울 장지공영차고지, 제주 함덕 수소충전소 구축사업 등) 확인 결과, 주민들의 강한 반발로 인해 공사가 지연되고 있는 상황

□ 기술 목적

- 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 지역주민들의 갈등을 유발하는 요소 및 갈등을 관리하기 위한 요소들의 분석을 통해 수소 관망 실증기술의 사회적·경제적 타당성을 확보하고, 이를 통해 사업 기간의 단축 및 사업 비용을 절감

□ 기술 범위

- 수소 관망 구축사업 추진 시, 지역주민들과의 갈등 유발 및 관리 요소 도출·분석을 통한 정성·정량 기반의 최적 갈등관리 전략구축

④ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

□ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 수소 관망 구축사업에 특화된 지역주민들과의 갈등 유발 및 관리 요소를 도출

하고, 이를 관리하기 위한 최적 갈등관리 전략(시나리오) 도출 필요

- 기존 선행연구 문헌들의 경우 연구의 범위를 전반적인 건설사업으로 확장하여 갈등관리 전략을 일반화하였다는 한계가 존재
- 수소 관망 구축사업으로 연구의 범위를 특정하여 수소 관련 사업만의 전문성을 확보할 수 있는 연구가 필요

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- NIMBY 현상으로 인한 주민들의 반발은 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 사업의 기간 및 비용에 직접적인 영향을 미칠 가능성이 매우 큼
- 해당 지역주민들과의 갈등을 조기에 해결하여 사업의 기간 및 비용을 절감하는 것이 필요

□ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- (사회적 파급효과) 수소 시범도시 내 지역주민들의 신뢰성 및 수용성 확보
- (경제적 파급효과) 수소 시범도시의 수소 관망 구축 시, 사업 수행 기간 단축 및 공사비용의 절감

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 유사사례(수소충전소 구축사례, 서울 장지, 제주 함덕 등) 확인 결과, 주민들의 강한 반발로 인해 사업 기간의 증가 및 사업 비용이 증가
- 지역주민들과의 갈등 해소를 통한 수소 관련 국산화 기술의 신뢰성 및 수용성 확보가 시급

□ 주요 연구 내용

- 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술
 - 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 유발 요소 및 관리 요소 도출
 - 갈등 유발 요소들의 영향도(사업 피해 예상 금액, 사업 증가 기간 등) 및 갈등 관리 요소들의 관리효과 분석
 - 수소 관망 구축사업 추진 시, 최적 갈등관리 전략(최대 사업비용 절감, 사업 기간 단축 기준) 구축

□ 목표 성과

- (기술적 성과) 기존 기술(일반 건설) 대비 사업비용 70% 수준 절감안 제시

- (학술성과) 학술논문 4건(1단계 1건, 2단계 3건), 학술발표 6건(1단계 2건, 2단계 4건) 달성

□ 최종 목표

- 수소 관망 구축사업과 관련된 지역주민들과의 갈등 유발 및 관리 요소 도출, 정성·정량 분석 기반의 최적 갈등관리 전략구축

□ 최종 산출물

- 수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 갈등관리 종합분석 보고서
- 종합분석 결과 기반 갈등관리를 위한 최적 의사결정 알고리즘(전략, 시나리오) 도출

□ 목표 설정 근거

- 수소 관망 구축사업 시, 수소 관련 사업에 특화된 갈등 유발 및 관리 요소를 도출하고, 이를 관리하기 위한 최적의 갈등관리 전략도출 필요
 - 선행연구들의 경우 사업 갈등 유발 요소들에 대한 정성·정량 기반의 분석을 수행하여 사업에 대한 갈등관리 전략을 제시
 - 하지만 연구의 범위가 일반적인 건설사업에 집중되어 있다는 한계가 존재하며 수소 시범도시의 수소 관망 구축사업에 특화된 분석이 필요한 상황

□ 세부과제 도출 근거

- 수소는 위험성이 큰 물질로써 수소 관망 구축 시, 지역주민들의 강한 반발이 예상되며, 수소 시범도시 및 수소 도시에서 수소 관망의 구축을 위해서는 해당 지역주민들의 수용성 확보가 필요
 - 유사사례 (수소충전소 구축사업, 서울(장지공영차고지), 제주(함덕 수소충전소 등) 확인 결과, 주민들의 강한 반발로 인해 공사가 지연되고 있는 상황
 - 지역주민들의 반대 이유로는 수소의 폭발 위험성으로 인한 안전 문제, 지역 가치 하락 등이 존재
- 비선호 시설에 대한 기피 현상은 NIMBY(Not In My Back Yard) 현상으로도 불리며, 사업에 큰 영향을 미침
 - 우리나라의 경우, NIMBY 현상과 같은 요소들로 인해 사업 기간과 사업비용이 각각 3.6년, 290% 증가(Park and Jung, 2015). 전 세계로 범위를 확대할 경우, 연간 약 700억 달러의 추가 사업비용 발생(Park et al., 2009)

- 비선호 시설에 대한 기피 현상의 대표적인 국내 사례로는 제주 해군기지 건설, 밀양 송전탑 건설 사례가 존재

No	Case	Project type	Project cost (mil USD)	Project period (months)
P1	Yeongwol Dam	Dam	510	(Termination)
P2	Ulsan Memorial park	Memorial park	56	(Termination)
P3	Anmyeon Nuclear Waste Facility	Waste facility	1523	(Termination)
P4	Wi Island Nuclear Waste Facility	Waste facility	2100	(Termination)
P5	Yongsan Redevelopment	Urban development	600	(Termination)
P6	Gadeok Island Airport	Airport	5990	(Termination)
P7	Cheonggye River Restoration	Urban development	387	26
P8	Guri-Pocheon Expressway	Road	2872	58
P9	Songsan Green City	Urban development	9405	(In progress)
P10	Cheonseong Mountain Tunnel	Road (tunnel)	7214	64
P11	Sapae Mountain Tunnel	Road (tunnel)	135	78
P12	Saemangeum Reclamation	Industrial complex	2193	(In progress)
P13	Sihwa-Banwol Industrial Complex	Industrial complex	341	108
P14	Busan Memorial Park	Memorial park	20	48
P15	Miryang Transmission Tower	Transmission tower	514	76
P16	Jeju Naval Base	Army base	1077	73
P17	Iksan Waste Facility	Waste facility	239	36
P18	Jucjeon-Bundang Road	Road	40	17
P19	Onsan Industrial Complex	Industrial complex	515	45
P20	Yeosu Industrial Complex	Industrial complex	5667	182
P21	Suwon World Cup Stadium	Stadium	342	54
P22	Gori Nuclear Power Plant	Power plant	156	84

출처 : Lee et al., International Journal of Project Management, 2017

<그림 200> 국내 대표적 NIMBY 현상 발생 사례

<표 160> 세부과제 3-1의 유사기술 분석

유사· 경쟁기술	개념도	특징 및 장단점
The paradigm model of public construction conflict		■ 국내에서 발생한 대표적인 NIMBY 사례들의 갈등 요소들에 대해 정성·정량 기반의 분석을 수행. ■ 갈등을 완화하기 위한 process를 제시 하였으나, 연구의 범위가 일반적인 건설산업에 국한
Framework of dynamic network analysis on stakeholder conflicts		■ 건설산업에서 갈등을 해결하기 위한 정량 분석을 수행 ■ 건설산업에서 갈등을 해결하기 위한 Framework를 제시하였으나, 연구의 범위가 일반적인 건설산업에 국한

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) 선행연구 사례 확인 결과, 기존의 건설사업 역시 갈등 유발 및 관리 요소들을 도출하였으며, 정성·정량 기반의 분석을 수행
- (차별성) 수소 시범도시의 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 요소들의 분석이 미비한 상태이기 때문에, 이로 인한 사업의 피해 예상 규모를 산정할 수 없는 상황이며, 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 요소들의 도출과 분석을 통한 관리전략의 구축이 필요
- (연계 활용방안) 기존 도출된 사업 갈등 요소를 기반으로 수소 관망 구축사업의 갈등 핵심 요소를 선별 및 갈등관리 전략구축 시, 활용 예정

□ 세부과제 확보 전략

- 관련분야 전문가들과 자문을 통해 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 유발·관리 요소들을 도출함으로써 신뢰성을 확보
- 유사 분야 사례들과의 비교분석을 통해 수소 관망 구축사업 갈등관리 전략에 대한 타당성을 확보

〈표 161〉 세부과제 3-1의 한계점 및 기술 개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술	▪ 수소도시에 실증적 수소관망 수용성과 경제성이 확보 애로 : 1기 수소 시범도시 건설 상 설계, 시공, 운영 및 유지보수 분야 다양한 기술적 한계 노출	▪ 수소도시에서 수소관망기술의 실증입지 확보, 테스트베드 사양결정 및 실시설계, 이의 건설 및 운영 평가 기술 개발 ▪ 수소시범도시 수소관망의 실증보급모델 개발
수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)	▪ 수소시범도시 내 수소관망 실설을 추진 중이나 각종 건설지침이나 매뉴얼 등 미비	▪ 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영 기술 실증을 통한 관련 기술체계 개발 ▪ 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼 개발
상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술	▪ 기존 사업의 갈등 요소 분석은 일반적인 건설사업에 집중되어 있어 수소 관망 구축사업의 특성을 반영하지 못하였음.	▪ 관련분야 전문가들과의 자문을 통해 수소관망 사업에 특화된 갈등 유발·관리 요소들을 도출 ▪ 유사 분야 사례와의 비교분석을 통한 갈등관리 전략의 타당성 확보

○ 성과활용을 위한 국제협력관계 구축방안

- 전략적 파트너쉽 구축 : 수소연구 및 실증 선도기관(H21, 린데, Sandia Nat'l Lab., InnoTech Alberta, BAM 등)

- 실행 프로젝트 협력

(대한민국) 수소도시사업, 한국가스공사 수소 파이프라인 구축사업 등

(영국) H21 Leeds City Gate Project : Leeds시에 수소 파이프라인을 이용한 수소공급 프로젝트, , HyNet North West

(캐나다) Alberta Innovates (Hydrogen Centre of Excellence Programme) 수소 인프라구축 지원사업

(일본) 기타큐슈 수소타운 프로젝트 : 인근 산업단지 부생수소, 해상풍력, 파이프라인, 도시 내 수요처 등 통합 모델 조성

(미국) Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA, 2021.11) : 실증 프로젝트 및 최종 사용 다양성을 목표로 미국 전역에 4개의 지역청정수소허브 개발,

*지역청정수소허브 : 청정수소의 생산, 처리, 전달, 저장 및 최종 사용과 관련 발전, 산업, 주거 및 상업용 난방, 운송부문에서 수소 사용을 입증

(네델란드) 암스테르담 블루수소 생산 항구 계획 : 포집된 탄소를 인근의 고갈된 가스전에 저장하는 것을 목표로 청색 수소 H2Gateway 플랜트 개발계획 (2021.05.)



*출처 :

<https://www.porttechnology.org/news/what-is-green-and-blue-hydrogen-for-the-ports-industry/>

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 100.00억 원/4년 중 정부출연금 75.00억 원(75.0%) 대비 민간부담금 25.00억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

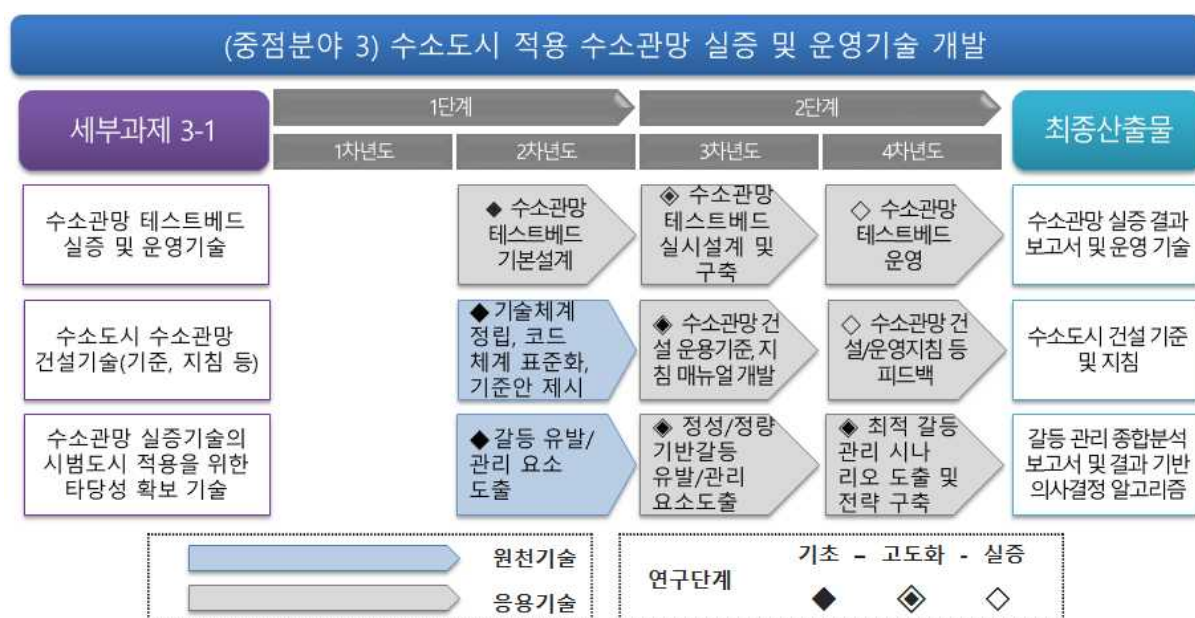
〈표 162〉 세부과제 3-1 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술	-	28.00	38.67	9.33	76.00
수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등)	-	2.67	2.67	2.67	8.01
상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술	-	5.33	5.33	5.33	15.99
합계	-	36.00	46.67	17.33	100.00

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

□ 기술개발 로드맵



〈그림 202〉 세부과제 3-1 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 수소관망 테스트베드 실증 및 운영기술

〈표 163〉 수소관망 테스트베드 실증 및 운영기술 추진계획

연도	추진계획
2024	- 수소관망 실증입지계획 확보 및 추진계획 - 수소관망 실증평가를 위한 테스트베드 기본설계
2025	수소관망 실증평가를 위한 테스트베드 실시설계 및 구축
2026	- 수소관망 실증평가를 위한 테스트베드 운영 및 피드백 - 수소시범도시 수소관망의 실증보급모델 수립

○ 수소도시 수소관망 건설기술(기준, 지침 등)

〈표 164〉 수소도시 수소관망 건설기술(기준, 지침 등) 추진계획

연도	추진계획
2024	- 수소관망 기술체계 정립 - 수소관망 국가건설기준 코드 체계 표준화 - 수소관망 설계, 시공 기준안 제시
2025	수소관망 건설·운영기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼
2026	수소관망 건설·운영지침 등 피드백

○ 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술

〈표 165〉 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술 추진계획

연도	추진계획
2024	- 수소 관망 구축사업 특화 갈등 유발 요소 도출 - 수소 관망 구축사업 특화 갈등 관리 요소 도출
2025	- 정성·정량 기반 갈등 유발 요인 분석 - 피해 예상 규모(사업 기간, 사업 비용 등) 분석 - 핵심 갈등 요인 도출 - 정성·정량 기반 갈등관리 요인 분석 - 갈등관리 요인의 관리효과 분석 - 갈등 유발 요소와 매칭을 통한 핵심 관리 요소 도출
2026	- 최적 갈등관리 시나리오 도출 - 사업 갈등관리를 위한 최적 전략구축

㉮ 세부과제 요약본

중점과제명	수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	
세부과제명	수소관망 수소도시 실증(운영) 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	100억 원
기존기술 현황 및 한계	국내 수소관은 산업단지에 주로 적용(고압가스안전관리법)하고 있으나 수소시범도시 내 저압 수소관 계획 중으로 별도 지침, 매뉴얼, 건설기준 등 미비	
연구목표	수소시범도시 내 수소관망 건설·운영 기술 실증 및 관련 기술체계 개발	
세부과제 및 예산	- 수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술, 76억 원 - 수소도시 수소관망 건설기술 (기준, 지침 등), 8.01억 원 - 상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술, 15.99억 원	
주요 연구내용	- 수소도시에서 수소관망기술의 실증입지 확보, 테스트베드 사양결정 및 실시설계, 이의 건설 및 운영 평가 - 수소시범도시 수소관망의 실증보급모델 수립 - 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영 기반의 관련 기술체계 도출 - 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼 - 수소 관망 실증기술의 시범도시 적용을 위한 갈등관리 종합분석 - 종합분석 결과 기반의 갈등 해소를 위한 최적 의사결정 알고리즘(시나리오) 도출	
목표성과	- 개발목표 스펙: - 실증시스템 및 상용 설계집 : 수소시범도시 내 구간 5 km, 8인치 - 수소관망 및 부대설비 연계 가용도 : 97% 이상 - 수소시범도시 내 수소관망 건설·운영기준 및 Contingency 지침, 매뉴얼 - 학술성과: 학술논문 4건(1단계 1건, 2단계 3건), 학술발표 6건(1단계 2건, 2단계 4건) 달성	
Keyword	한 글	님비현상, 갈등 요소, 갈등관리, 주민 수용성
	영 문	NIMBY, Conflict factor, Conflict Management, Local people acceptance

② (세부과제 3-2) 수소관 현장 적용성 평가 기술

㉓ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- 수소이송용 용접 탄소강관의 항복강도, 연신율, 파괴인성 등의 기계적 물성 및 미세구조 변화를 예측 및 정량화하고, 실규모 강관의 휨 변형성능 등의 구조 성능과 배관 두께 및 결함 등을 평가하는 기술
- 수소이송용 수소관로의 수소도시 적용을 위해 분배기지(City Gate) 또는 허브 스테이션 하류의 도시 내 배관망 압력(50bar→10bar→1.5bar) 조절을 위한 정압 설비(정압기)* 국산화 추진

* 고압의 수소를 사용처에 맞게 낮추는 감압기능, 출력측의 압력을 허용범위 내 유지하는 정압 기능 및 수소 흐름이 없을 때 압력상승을 방지하는 폐쇄기능을 가짐

□ 기술 목적

- 수소이송용 용접 탄소강관의 제조 품질을 향상시키고 현장 적용성을 평가 하여 수소배관의 실증에 기여
- 기 개발된 수소연료전지용 정압기는 입구압력(20bar)의 차이와 주요 부품의 해외 도입으로, 수소배관망용 정압기(입구 압력 50bar) 개발 및 국산화* 필요

* 압력조정기 등 핵심부품은 해외에 의존하고 있으며, 필터 등의 일부 부속 부품은 국산화

□ 기술 범위

- 수소이송용 용접 탄소강관의 제조 품질향상 및 구조성능 평가 관련 기술
- 비선형초음파 및 유도초음파를 활용한 미세균열 정량화 및 결함 탐지 기술
- 수소 100%, 내압 100bar(10MPa), 직경 8인치 ~ 20인치, 항복강도 350MPa 이상, 수율 98% 이상 등 예기평 산업부과제 개발 수소배관 시제품이 대상
- 수소 100%, 내압 100bar(10MPa), 직경 8인치 ~ 20인치, 항복강도 350MPa 이상 등 수소배관망용 정압기 시제품이 대상

㉔ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

□ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- 국내 수소배관의 대부분은 무계목 강관(Seamless ASME A106 Gr.B, 항복강도 240MPa)을 적용중이며, 직경 8" 이상의 무계목 강관은 수입에 의존하며 이에

수소 이송량 증대와 경제성 확보를 위해 고강도 소재의 개발이 필요

- 내수소취화 특성이 우수한 API 5L-X52 (항복강도 350MPa) 이상의 ERW 및 SAW 용접강관이 개발 중이며, 수소배관의 기계적 물성을 보증하고 실수율을 높이기 위해서는 조관후의 기계적 물성을 정확히 예측하기 위한 연구가 필요

○ 수소실험의 고위험/고비용/장기간 특성으로 수소취화 물성평가 어려워, 중장기적인 수소실험 장비 구축 방안과 간단한 수소취화 물성평가 기술개발 필요

- 수소환경하 시편 단위의 재료 물성 시험은 시험기를 포함하는 대형 챔버와 더불어 안전 확보를 위한 추가적인 설비투자가 필요하여 여러 강종의 수소취화에 대한 영향 분석과 성능평가 실험은 천문학적인 비용이 요구
- 소형 펀치 실험은 작은 시편으로 재료 물성 및 파괴인성 예측이 가능하며 작은 시험기 규모를 가져 수소환경에서 비교적 쉽게 시험 수행이 가능
- 소형 펀치 실험으로 수소환경하 압력과 농도에 따른 정성적 취화 영향은 관찰할 수 있으나 재료 물성이나 파괴인성 변화에 대한 정밀한 정량적 분석을 위해서는 추가적인 연구개발이 필요
- 현재 수소 관련 연구는 수소압, 농도, 강종에 따른 취화 영향에 대해 주로 시편 단위에서 분석되었으며 실규모 배관에 대해서는 수행된 바 없음
- 배관 안정성을 확보하기 위해서는 시편과 다른 배관에서 파손 거동에 대한 이해가 필요하나 대규모 실험은 비용 및 안전 확보 측면에서 현실적으로 어려움이 있음
- 기존의 강관 내구성 평가방식은 대부분 관체 절단이나 관 내부로 인력이 들어가 조사하는 방식
- 현재 강관 내구성 및 물성평가에 사용되는 초음파 센서는 기술적으로 고도화되어 있으나 이를 다지점으로 분산 설치할 경우 경제적인 측면에서 비효율적
- 또한, 수소배관의 미세구조 (예, 미세균열) 변화 감지를 비롯한 초기 내구성 평가에 대한 연구는 미비한 실정
- 따라서 비용 대비 물성 파악을 극대화할 수 있는 기존 초음파 기술들의 조합 및 고정밀도 및 열·압력에 대한 내구성이 확보된 초음파 진단 기술개발이 필요

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 수소경제 활성화를 위해 공급망 인프라 구축이 필요하며, 경제적이고 안정적인 공급망 구축을 위해서는 수소배관 품질향상 및 성능평가 기술이 필수적인 상황
- 이에 정책과제를 통해 설계-제조-시공-운용의 유기적인 기술개발 및 상용화가 시급

□ 해당 기술 개발 시 과학기술적 또는 시장경제적 파급효과

- 활용방안: 수소시범도시 수소배관의 설계/제조/시공/운용에 활용
- (기술적 효과) 수소취화 최소화 조관기술 및 수소배관 구조성능 평가기술 확보
- (사회적 효과) 수소배관의 안전성 확보 및 제조비용 절감

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 친환경 수소에너지를 활용을 위한 정부의 수소경제 활성화 정책에 발맞추어 수소시범도시를 지정하고, 이송용 수소배관 개발 과제가 진행 중이기에, 경제적이며 안전한 수소에너지 공급망 인프라 구축을 위해서는 수소배관의 품질향상 및 성능평가 기술 개발이 시급

□ 주요 연구 내용

- 실험장 수소관 성능평가 기술
 - 수소배관의 실규모 구조성능 평가기술
 - 수소배관의 수소취화 예측/평가 기술
 - 수소배관의 고정밀 비파괴 검사 기술
- 수소관 시제품 생산공정 기술
 - 소구경(ERW) 수소배관의 조관 Simulator 기술 개발
 - 중대구경(SAW) 수소배관의 조관 Simulator 기술
- 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술
 - 정압기 구성 부품(밸브류, 센서류 등) 국산화 기술
 - 정압기 내구성 및 정밀도 확보 기술

□ 목표 성과

- (학술 성과) 수소배관의 수소취성 물성 예측 및 구조성능 평가 기술에 대한 학술논문 및 학술발표
- (산업화 성과) 수소이송용 용접강관의 품질 향상 기술 관련 특허 및 기술이전

□ 최종 목표

- 고강도/저취성 수소이송용 용접 탄소강관의 조관 Simulator 및 구조성능평가

기술 개발

○ (정성 목표) 수소배관의 생산 품질 향상 및 성능평가 기술 확보

○ (성능 목표)

- 수소배관의 실수율 향상 위한 조관물성 항복강도 예측 정밀도: 오차 5% 이하
- 수소취화 파괴인성(KIH) 평가/예측 소요시간: 7일(SPT+FEM)
- 수소배관 미세구조변화 및 손상 탐지율: 90% 이상

□ 최종 산출물

○ 수소이송용 탄소강관의 성능평가 및 예측 기술

- 실규모 수소배관의 구조성능평가 시험 매뉴얼
- 손상해석 기반 수소배관 파괴인성 평가 매뉴얼
- 비파괴 실험 기반 실규모 수소배관의 물성 변화 및 내구성 정량화 매뉴얼

○ 수소배관 조관 품질확보를 위한 조관 Simulator 기술

- 소구경(ERW) 수소배관의 조관 Simulator 개발
- 중대구경(SAW) 수소배관의 조관 Simulator 개발

○ 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술

- 정압기 구성 핵심 부품(벨브류, 센서류 등) 국산화 개발
- 정압기 내구성 및 정밀도 확보 기술 개발

□ 목표 설정 근거

○ 수소이송용 용접강관의 품질 향상 기술

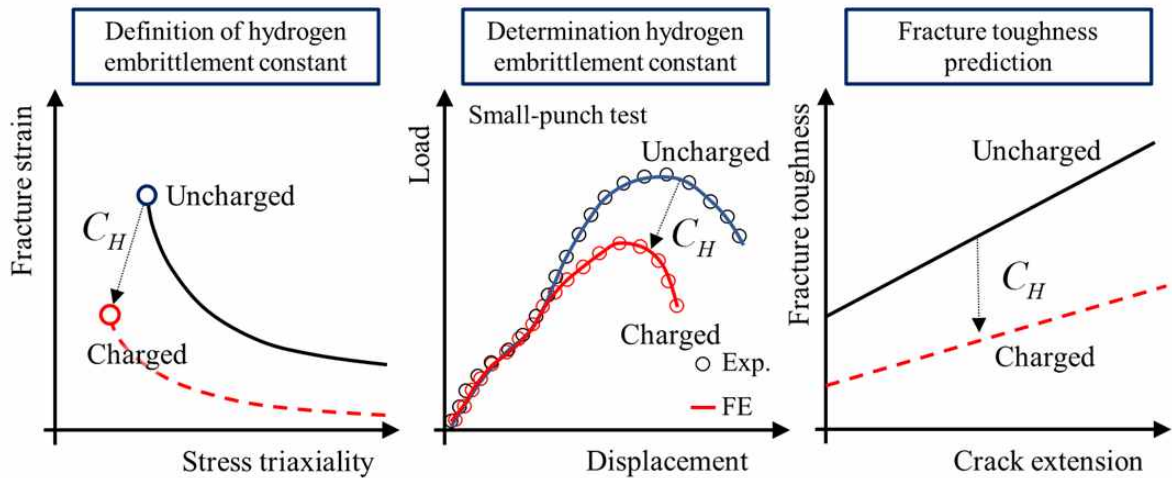
- 수소시범도시 안산에 직경 8인치, 설계압력 8MPa의 API X52급의 ERW 탄소강관이 적용('21년 설계반영, '22년 시공)되었으며, 수소경제 활성화를 위하여 대규모의 수소이송용 파이프라인이 필요
- 에너지기술개발사업으로 “고압수소 이송을 위한 100기압급 배관용 소재/강관 제조기술 개발” 과제가 착수되어 직경 8인치 이상, 설계압력 10MPa 이상, 강도 API X52급(항복강도 350MPa) 이상의 ERW/SAW 용접 탄소강관의 개발 중
- 이 세부과제에서는 기 개발 수소배관의 성능평가 및 품질향상 기술을 개발하여 경제적이고 안전한 수소관망 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단

○ 수소배관의 수소취성 간편 물성예측 및 구조성능 평가기술

- 수소실험의 고위험/고비용/장기간 특성으로 수소취화 물성평가가 어려움
- 해외 수소배관 설계기준(ASME B31.12)에 의하면, 수소분위기에서 소형시편의 파괴인성을 평가하기 위해서는 42일 이상의 시험기간이 소요되어, 강관 제품 개발 및 성능평가 소요시간을 단축할 필요가 있음
- 이에 중장기적인 수소실험 장비 구축 방안과 더불어, 간단한 실험과 수치해석을 통해 수소배관의 수소취화 물성평가 기술의 개발이 필요
- 기존 강관 진단방식은 정밀도 향상을 위해 관체 절단 및 운전 중단을 필요로 하며 진단 과정 중 내부시료의 오염을 유발
- 또한 현재까지 보고된 비파괴 진단 방식은 고가의 시스템을 필요로 하며, 국부적인 상태평가에 국한되어 있어, 관로 전체의 안전성 및 내구성을 평가하는 데는 어려움이 발생
- 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 재료의 미세 균열부터 중장기적인 물성 변화를 감지할 수 있는 초음파 기술을 개발하고자 함
- 더 나아가 개발된 초음파 기술 적용을 통해 확보한 손상데이터를 활용하여 수소배관의 손상 경과 정도를 등급화 할 수 있을 것이라 판단

□ 세부과제 도출 근거

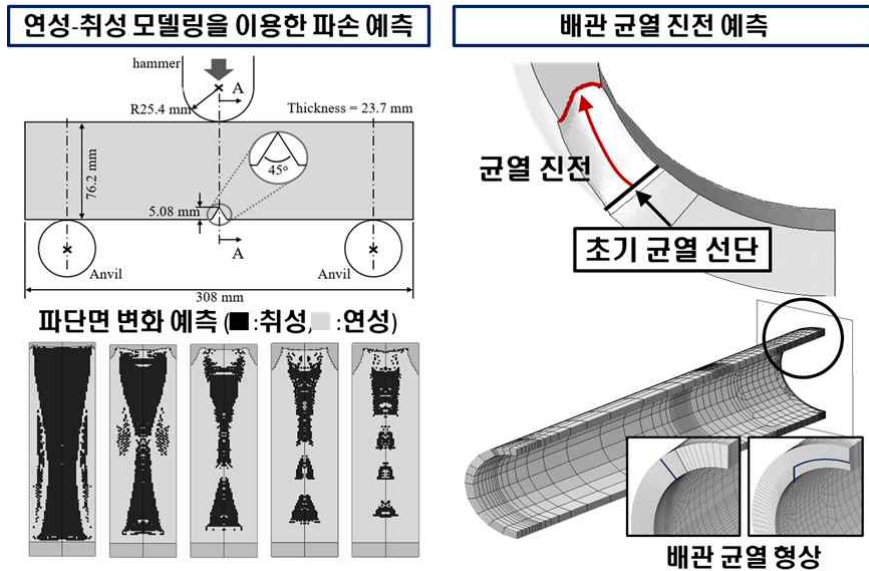
- 취합된 기술수요조사를 토대로 수소배관의 제조 및 성능평가 요소 기술들로 세부과제를 도출
- 수소이송용 탄소강관의 저취성 조관 Simulator를 통한 수소배관 품질향상 기술
 - 수소배관의 원소재는 열연코일 또는 후판이고, 열연코일 또는 후판의 원소재를 롤포밍 또는 롤벤딩 등 방법으로 원형으로 성형한 이후에 심용접을 하여 강관을 제조
 - 관재에서 원형 강관으로의 조관 성형 공정에서 강관의 내측은 압축변형을 받게 되고, 외측은 인장변형을 받게 되며, 원소재의 초기 항복강도, 연신율의 기계적 물성이 조관 후에 다른 값으로 변화
 - 수소배관의 기계적 물성을 보증하고 실수율을 높이기 위해서는 조관후의 기계적 물성을 정확히 예측하기 위한 연구가 필요



〈그림 203〉 소형 펀치 시험을 이용한 수소취화상수 (C_H) 결정 및 파괴 인성 예측

○ 수소배관의 실규모 구조성능평가 및 수소취화 예측 기술

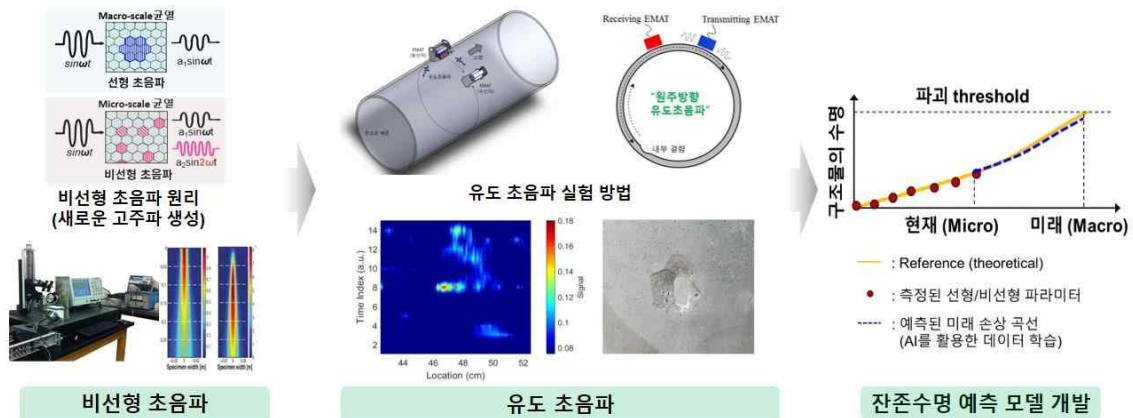
- 수소 환경에서 발생하는 재료의 취화로 인해 수소 배관의 취성 파손 발생 가능성이 커지지만, 수소 환경하 실규모 강관의 파괴인성 평가는 고압 수소 환경으로 인한 위험성과 복잡한 시험 장비와 많은 수소 필요로 인한 비경제적
- 고압 수소 분위기에서의 대형 구조실험을 대체할 수 있도록, 효율적인 수소 환경하 시험인 소형펀치 시험과 유한요소 손상해석의 연계를 통하여, 수소 농도에 따른 파괴인성을 예측하고, 실규모 강관의 구조성능 예측 필요



〈그림 204〉 유한요소 손상해석을 이용한 연성-취성 파손모델링과 배관 균열 진전 예측

- 수소 배관의 내부의 취화로 인해 발생하는 미세균열 발생 및 물성 변화를 비파괴적 방식으로 감지 및 정량화할 수 있는 비파괴 기술개발에 대한 연구 필요

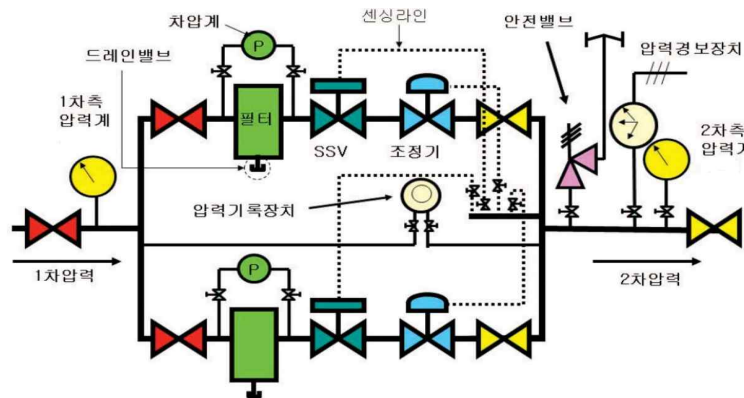
- 또한, 실규모 수소배관의 중장기적 물성평가를 위한 배관 목업 (mock-up) 기반의 비파괴 기술검증 연구가 필요



〈그림 205〉 비파괴 기술을 활용한 수소배관 미세구조 변화 및 상태 예측

○ 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술

- 수소도시 수소배관용 정압기의 경우 현재까지 국산화 개발 사례가 없으며, 수소 연료전지용 정압기의 경우 수소도시 수소배관망용 정압기와 사용 조건이 상이 (연료전지용 정압기 입구 압력 20bar, 수소도시 수소배관용 정압기 입구 압력 50bar)하여 국산화 필요



〈그림 206〉 정압기의 구성도(예시)



〈그림 207〉 수소연료전지용 정압기(좌), 천연가스관망 정압기(우)

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- 수소 이송용 배관에 대한 기존 연구로는 스테인리스 무계목(seamless) 강관 개발 사례는 있었으나, 탄소강 용접강관(ERW, SAW)의 개발사례는 없었으며 고강도 수소배관의 용접기술에 대한 연구는 연구결과에 대한 연계 활용이 가능
- 에너지기술개발사업에서 “고압수소 이송을 위한 100기압급 배관용 소재/강관 제조기술 개발” 과제가 기획되어 수소배관이 개발 중이기에, 이 과제에서는 기개발 수소배관의 성능 및 품질을 향상하는 기술을 개발하여 경제적이고 안전한 수소관망 구축에 기여할 수 있을 것으로 판단
- 한국환경산업기술원 주관하에 기획된 “대규모 용수공급관로의 정밀탐상 장비 및 구조적 상태감시 시스템 개발” 과제에서 상수로관 유지관리를 위한 유도 초음파 기술(한국표준과학연구원)이 개발
- 하지만, 수소배관에 대한 비파괴 기술 개발사례는 없었으며, 한국표준과학연구원과의 연구 교류를 통해 향후 실규모 수소배관 건전성 평가를 위한 고내구성, 고정밀 초음파 기술을 개발할 수 있을 것이라 판단

〈표 166〉 세부과제 3-2 중복성/연계성 검토

과제명/기관/년도	주요 연구내용	차별성 및 연계성
고압수소 장거리 이송용 수소배관 제조기술(1/1) (한국생산기술연구원, 2022)	▪ 수소배관용 API X70, X80급 강관 용접부 신뢰성 향상 기술 확보 ▪ API X80급 수소배관의 용접부 균열 발생요인 개선 및 고강도 대구경 용접기술 개발 ▪ 수소배관 용접부 수소 확산 차단을 위한 후처리 (표면처리, 정밀가공) 기술 개발	▪ 현재 전세계적으로 수소 100%의 API X70 및 X80 급의 상용화된 수소배관은 없으며, 해당 연구내용은 기존 일반 API X70 및 X80 강관에 수소를 혼입하여 운송하는 경우, 강관의 용접부의 수소취화 및 수소 확산 차단을 위한 후처리에 대한 연구로 판단되며, 세부과제에서 용접부 평가시 연구결과를 참고 필요함.

수소충전소 부품 및 배관용 내수소취성 합금 개발 (산업통상자원부, 일진제강, 2020)	600MPa급 내수소취성 심리스 튜브 제조 및 열처리 기술 개발 600MPa급 내수소취성 Flange / Fitting 성형기술 확립 - Laser(LBW) 용접공정적용 600 MPa급 합금소재의 용접기술 개발 600MPa급 합금의 용접법/조건에 따른 수소취성 연구	내수소취성의 무계목(Seamless) 강관 제조 및 용접 기술 개발로서 용접강관 (ERW, SAW)과는 차이가 있음.
수소충전인프라 확충을 위한 수소충전소 고압수소배관용 인장강도 800MPa급 9/16“스테인리스 심리스배관 제조 기술 개발 (산업통상자원부, (주)세창스틸, 2020)	- 고강도 수소배관 소재개발 - 열간 롤-피어싱 공법 적용을 통한 저비용 고효율 심리스 배관 제조 - 소재(모재, 용접부) 수소취소특성 평가 및 표준화	고압 수소 배관용 스테인리스 무계목강관 개발에 대한 내용으로 탄소강 용접강관(ERW, SAW)과는 차이가 있음.
액화수소 생산 및 저장제품 상용화 실증 (중소벤처기업부,하이리움산업(주), 2021)	- 액화수소 저장용기 및 탱크 개발 - 진공 단열 배관 및 밸브 개발 - 특수접합기술 개발 - 액화수소용 탱크트레일러 개발 - 액화수소 용기 소재 극저온 물성 및 신뢰성 평가	극저온의 액화 수소 저장 탱크 및 배관, 밸브 개발로서 상온의 수소 이송용 배관과는 차별화가 됨.

□ 세부과제 확보 전략

○ 실현장 수소관 성능평가 기술

- 간편시험을 통한 수소취화 물성변화 평가, 대기중 파괴인성 시험평가, 유한 요소해석을 이용한 파괴인성 예측기술을 연계하여 수소분위기에서의 정압설비 국산화 개발 및 성능 검증
- 비선형 초음파 실험을 통한 수소취화에 의한 강관의 고정밀 미세구조 분석, 물성변화 평가 모델 개발

- 강관의 실규모 휨변형 성능평가 위하여 관련 실험시설 보유 기관 과제 참여

○ 수소관 현장 적용성 평가기술

- 수소배관의 조관 전후의 물성 평가 및 조관 성형공정에 대한 유한요소 모델링을 통한 물성예측 수치해석 모델 자체 개발
- 고내구성 유도 초음파 실험을 통한 실규모 수소 배관의 중장기적 물성평가 모델 개발

〈표 167〉 세부과제 3-2의 한계점 및 기술개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
실험장 수소관 및 정압설비 성능평가 기술	- 배관의 수소취화 발생 가능성 증가, 도시내 관망요 정압설비 수입의존 - 실규모 강관의 고압 수소환경 실험은 고비용/장시간 필요로 비경제적	- 수소환경의 소형시험과 유한요소 손상해석 연계를 통한 실규모 강관의 구조성능 평가기술 개발 - 수소 분위기에서 성능과 기능 신뢰성을 확보한 기술 개발
수소관 시제품 생산공정 기술	- 조관 공정중 발생하는 예변형에 의한 수소취화 품질저하 가능성 증대 - 수소배관 시제품의 실수율 향상을 위해 조관후 기계적 물성에 대한 정밀 예측 기술 필요	소구경(ERW) 및 중대구경(SAW) 조관 공정에 따라 변화해가는 항복곡면을 정밀하게 예측할 수 있는 유한요소 재료모델을 개발하여 조관후 기계적 물성을 정밀 예측 기술 개발

〈표 168〉 세부과제 3-2의 확보전략

세부과제명	핵심개발내용	단계	성과 연계	자체 개발	기술 도입	국제 협력	아웃 소싱
수소관 현장 적용성 평가 기술	실험장 수소관 성능평가 기술	실험	○	●			
	수소관 시제품 생산공정 기술	실험, 실용화	○	●			
	도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술	실험, 실용화	○	●			

● : 주, ○ : 부

㉔ 과제 구성 및 소요예산

- 총 49.06억 원/4년 중 정부출연금 36.80억 원(75.0%) 대비 민간부담금 12.26억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

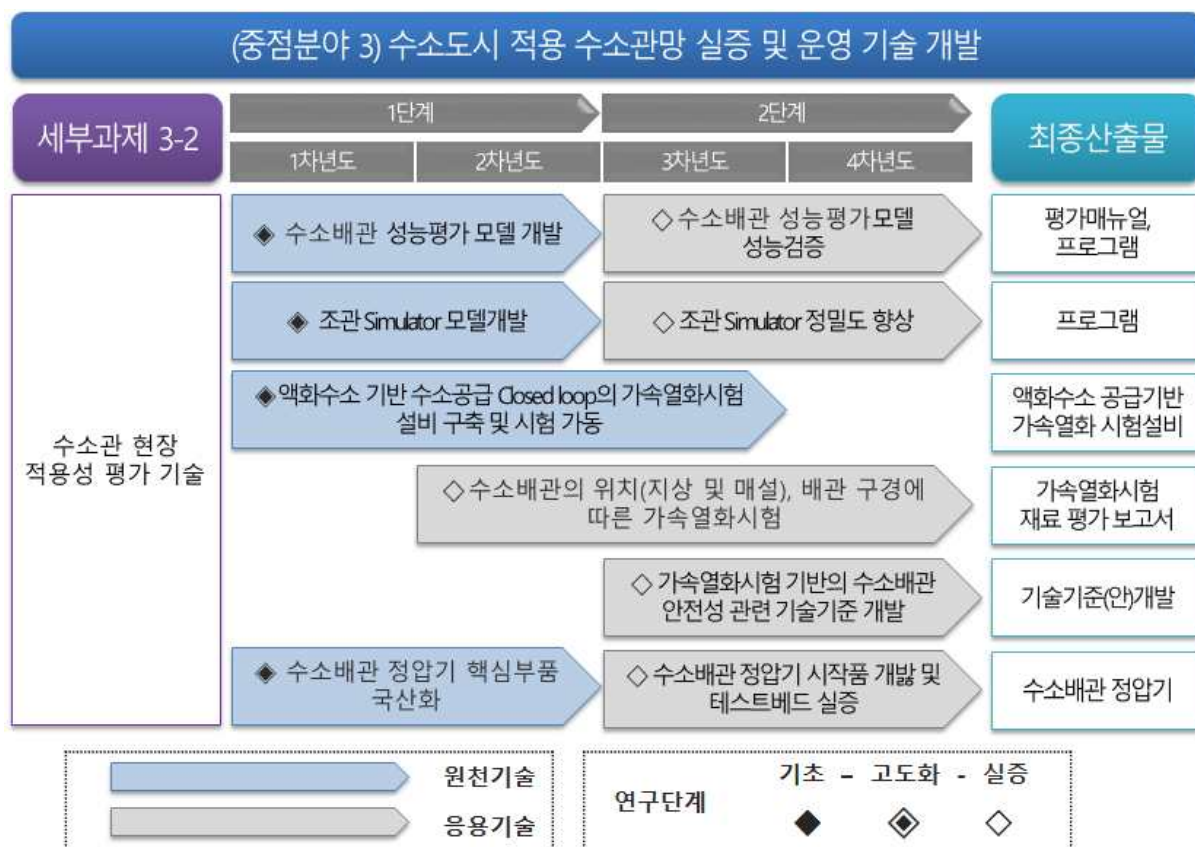
〈표 169〉 세부과제 3-2 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	'23	'24	'25	'26	
실현장 수소관 성능평가 기술	1.53	6.10	10.30	2.80	20.73
수소관 시제품 생산공정 기술	1.53	6.10	10.30	2.80	20.73
도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술	1.00	2.00	2.60	2.00	7.6
합계	4.06	14.2	23.2	7.6	49.06

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획

□ 기술개발 로드맵



〈그림 208〉 세부기술 3-2 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ 실현장 수소관 성능평가 기술

〈표 170〉 실현장 수소관 성능평가 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 손상해석/간편시험 기반 수소취화 상수 예측 모델 개발 - 수소용 배관재료의 조관 전후의 기계적 물성변화 평가 - 실수율 향상을 위한 신속 비파괴 기술개발 및 물성치 분석
2024	- 손상해석/간편시험 기반 수소배관 파괴인성 예측 모델 개발 - 소구경 수소배관의 실규모 구조성능평가 - 비선형초음파 기반 수소배관 비선형성 정량화 및 고정밀 물성 평가
2025	- 손상해석/간편시험 기반 수소배관 파괴인성 예측 모델 성능검증 - 중대구경 수소배관의 실규모 구조성능평가 - 고내구성 유도초음파 기반 실규모 수소배관 물성변화 평가 및 결함 위치 파악
2026	- 손상해석/간편시험 기반 수소배관 물성변화 예측/평가 매뉴얼 작성 - 수소배관 구조성능평가 시험 매뉴얼 작성 - 실규모 배관 비파괴 검사를 위한 목업 (mock-up) 기반 중장기적 물성변화 평가 및 손상 정도 등급화 모델 개발

○ 수소관 시제품 생산공정 기술

〈표 171〉 수소관 시제품 생산공정 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 수소용 배관재료의 Prestrain에 따른 기계적 물성변화 평가 - 수소배관 조관후 물성(강도, 연신율) 예측 기본모델 개발
2024	- 소구경 수소배관의 조관 전후의 기계적 물성변화 평가 - 소구경 수소배관 조관 Simulator 개발
2025	- 중대구경 수소배관의 조관 전후의 기계적 물성변화 평가 - 중대구경 수소배관 조관 Simulator 개발
2026	- 조관물성 Simulator 테스트베드 실증 및 성능검증 - 조관물성 Simulator 사용 매뉴얼 작성

○ 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술

〈표 172〉 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 수소도시용 수소배관 구성요서 조사, 분석 - 수소도시용 수소배관 정압기 핵심부품 설계 인자 평가, 기능 설계
2024	- 수소도시용 수소배관 정압기 핵심부품 국산화 개발 - 수소도시용 수소배관 정압기 핵심부품 내압, 내취성, 성능 평가
2025	수소도시용 수소배관 정압기 시제품 개발, 파일럿 성능 평가
2026	수소도시용 수소배관 정압기 테스트베드 실증 및 성능검증

㉮ 세부과제 요약본

중점과제명	수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	
세부과제명	수소관 현장 적용성 평가 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	49.06억 원
기존기술 현황 및 한계	- 수소시험도시 안산에 직경 8인치, 설계압력 8MPa의 API X52급의 ERW 탄소강관이 적용('21년 설계반영, '22년 시공) - 수소경제 활성화를 위하여, 대규모의 수소이송용 파이프라인이 필요하며, 이를 위해서는 직경 8인치 이상, 설계압력 10MPa 이상, 강도 API X52급(항복강도 350MPa) 이상의 ERW/SAW 용접 탄소강관의 개발이 필요 - 에너지기술개발사업에서 "고압수소 이송을 위한 100기압급 배관용 소재/강관 제조기술 개발" 과제가 기획되어 고강도 수소배관이 개발중이며, 개발된 수소배관의 안전성과 경제성을 확보하기 위하여 실조관 공정을 반영한 조관후 물성 예측 기술 개발이 필요 - 수소실험의 고위험/고비용/장기간 특성으로 수소취화 물성평가가 어려움 - 해외 수소배관 설계기준(ASME B31.12)에 의하면, 수소분위기에서 소형시험의 파괴인성을 평가하기 위해서는 42일 이상의 시험기간이 소요되어, 강관 제품 개발 및 성능평가 소요시간을 단축할 필요가 있음 - 이에 중장기적인 수소실험 장비 구축 방안과 더불어, 비파괴 실험(비선형초음파 및 유도초음파)과 수치해석을 통해 수소배관의 고정밀 수소취화 물성평가 기술의 개발이 필요 - 수소연료전지용 정압기는 입구압력(20bar)의 차이와 주요 부품의 해외도입으로, 수소배관망용 정압기(입구 압력 50bar) 개발 및 국산화 필요	
연구목표	실제 현장 조건을 반영한 실규모 배관의 구조성능 평가기술 및 실조관 공정을 반영한 조관 Simulator, 정압기 국산화 기술 개발	
세부과제 및 예산	- 수소관 현장 적용성 평가 기술, '23~'26(4년), 49.06억 원 - 실현장 수소관 성능평가 기술, '23~'26(4년), 20.63억 원 - 수소관 시제품 생산공정 기술, '23~'26(4년), 7.80억 원 - 도시내 수소관망 정압설비 국산화 기술, '23~'26(4년), 24.53억 원	
주요 연구내용	- 실현장 수소관 성능평가 기술 - 수소배관의 실규모 구조성능 평가 및 수소취화 예측 기술 - 수소배관의 미세구조 변화 및 중장기적 물성 분석을 위한 초음파 기반 비파괴 기술 - 수소관 시제품 생산공정 기술 - 소구경(ERW) 수소배관의 조관 Simulator를 통한 수소배관 품질향상 기술 - 중대구경(ERW) 수소배관의 조관 Simulator를 통한 수소배관 품질향상 기술 - 수소배관 정압기 시제품 국산화 - 정압기 구성 핵심 부품(밸브류, 센서류 등) 국산화 개발 - 정압기 내구성 및 정밀도 확보 기술 개발	
목표성과	(학술 성과) 수소배관의 수소취성 물성 예측 및 구조성능 평가 기술에 대한 학술논문 및 학술발표 (산업화 성과) 수소이송용 용접강관의 품질 향상 기술 관련 특허 및 기술이전	
Keyword	한 글	수소배관, 수소취화, 조관 성형 모사, 파괴인성, 가속수명평가
	영 문	Hydrogen pipe, Hydrogen embrittlement, Pipe forming simulation, Fracture toughness, Nondestructive testing (NDT), Hydrogen Pipe Accelerated test

③ (세부과제 3-3) 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술

㉔ 해당 기술 정의

□ 기술의 개념

- 수소관망은 큰 압력에 의해 수소가 이송되는 체계이며, 수소 누출에 의한 폭발성 및 관로의 부식 또는 피로파괴 등과 같은 리스크가 상시 존재하므로 관로의 이상 및 이상위치를 실시간으로 감지할 수 있는 기술이 필요
- 수소관로의 운용 시 관로의 균열, 편흔 또는 접합부 결함으로 인해 발생하는 관로의 압력, 유량, 진동 또는 음파 등의 다양한 계측치의 변화를 분석 및 활용하는 간접감지 또는 감지 센서에 의한 직접감지를 통하여 관로의 이상을 감지 및 이상위치를 추적할 수 있는 기술 개발
- Digital, Network, Artificial Intelligence (D.N.A.) 기반 계측 자료의 수집, 측정 및 분석을 통한 이상 여부 및 이상 지점의 정밀한 식별기술 개발
- 수소관망의 유지관리 시 관로를 포함한 시설물의 상태를 평가하여 잔존수명의 예측, 시설의 파손으로 인한 위험도 분석, 서비스 수준 및 생애주기비용에 대한 D.N.A. 기반 분석을 통하여 시설에 대한 최적의 개대체 시기를 결정하는 기술의 개발
- 복합 물리 신호(음향탄성과 - 초저주파, 초음파, 진동, 전자기기와 - 광신호, X-ray, Radio 등)의 순방향 전파 특성, 역방향 반사 특성을 이용하여 수소관망의 정상상태, 이상상태(부식, 균열, 누출 등)를 비파괴 원격 탐상하기 위한 원천 기술 개발 및 복합 물리 신호 및 운영·유지관리 데이터 인공지능 학습을 통한 이상상태 진단 특성 진단 개선 기술 개발

□ 기술 목적

- 2019년 5월 강릉 과학단지(TP) 수소 폭발사고를 계기로 수전해, 수소추출기 등 수소제조설비의 실시간 감시를 통한 안전관리 필요성이 증가
- 수소를 이송하는 관망에서 실시간으로 계측되는 다양한 자료 및 감지센서에 의한 측정 데이터를 이용하여 수소관로의 이상 지점을 감지할 수 있는 기술을 개발함으로써 수소 누출에 의한 사고 및 에너지 자원의 손실을 방지
- Hunter Water는 고객과 환경을 중심으로 생애주기비용(LCC)을 최소화함으로써 고객만족과 환경보존의 수준을 높이면서 10년간 40%이상의 관리비용 절감

○ 수소관망 시설의 개대체 의사결정을 위하여 자산관리체계를 도입한 D.N.A. 기반의 최적의사결정 기술을 개발하여 시설의 안전성 확보 및 수명을 연장함은 물론 유지관리비용 및 리스크를 최소화

○ 수소도시용 수소 관망의 경우 수소의 물리, 화학적 특성으로 금속 재료의 기계적 특성을 열화시켜 파괴에 이르게 함. 이러한 배관 재료의 균열을 발생시키는 임계 응력은 재료의 인장 응력보다 작기 때문에 파손은 배관(또는 설비 등)의 상당한 변형이나 명백한 퇴화 없이 발생

* 출처: 김우식(가스안전공사 연구개발원), 수소공급용 배관 재료의 고찰, 2011, 기계저널 Vol.51, No.1

○ 따라서, 수소도시용 수소 관망의 장기적 건전성 확보를 위하여 지하 매설 상태의 장거리 원격 관망에 대하여 이상상태(부식, 균열, 누출 등)를 복합 물리 신호의 순방향 전파 특성, 역방향 반사 특성을 이용하여 탐지, 진단하고자 함

○ 또한, 복합 물리 신호와 수소 관망 운영 데이터를 통합하여 수소 관망 누설 상태 감시 및 예측 그리고 자산 구입 및 설치 정보, 고장&유지관리 이력을 분석하여 최적유지관리를 통해 부품교체, 설비투자, 감시 및 검사주기 의사결정 모델을 개발하고자 함

□ 기술 범위

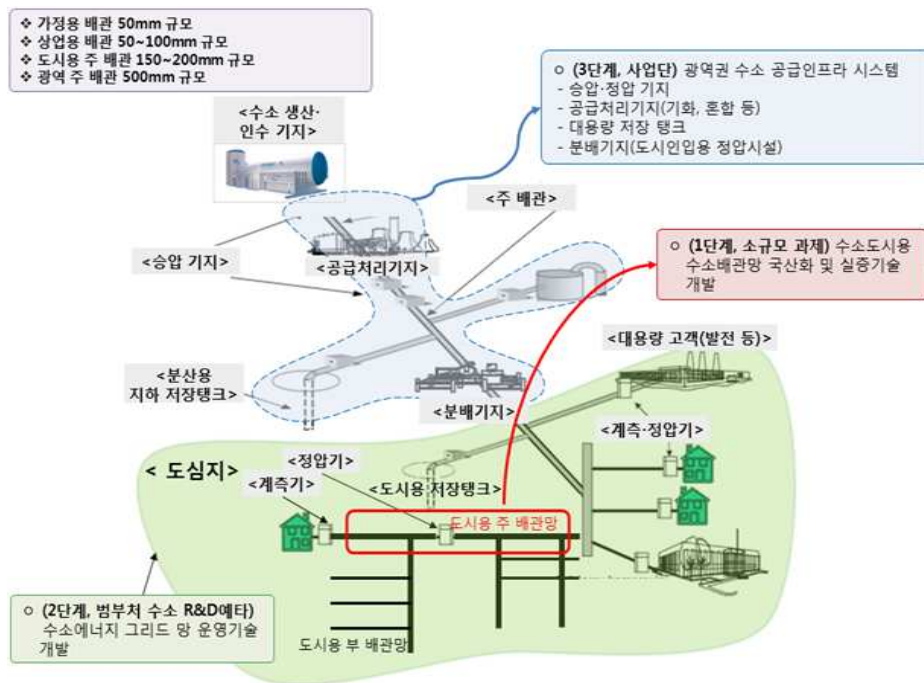
○ 수소관망은 가스관과 마찬가지로 큰 압력에 의해 수소가 이송되는 체계이며 수소취성, 피로파괴, 수소누설 등과 같은 리스크가 상시 존재하므로 사전 탐지 및 진단을 통해 사고와 재난을 막을 수 있는 전략과 적용기술 도입

○ 이러한 수소가스관의 사전 예방활동을 위해서는 탐지 및 진단을 통해 정확한 정보의 획득이 중요

○ 이를 위해 D.N.A. 기반 직간접 손상검출 방법(탐지기법)과 이와 관련된 기술을 개발하여 손상의 수준, 기능저하 및 상태 및 성능등급평가기준을 제시(진단 평가기법 및 매뉴얼 개발)할 필요성 제기

○ 진단평가와 사전 예지·예방적 모델은 자산관리체계 구축을 통한 단위 알고리즘(자산대장 구축, 잔존수명 예측, LCC 적용, 리스크 분석 등)의 통한 효과적인 의사결정

○ 본 과제의 연구 범위에 해당하는 수소도시 도심지 내 수소 주 배관망을 대상으로 하고 있으며, 수소관망의 안정적 운용을 위한 주 배관망에 설치되는 정압기를 포함(아래 그림의 적색 테두리 표기된 도심지 내 주배관망 및 정압기)



〈그림 209〉 기술의 범위(수소도시 도심지 내 수소 주 배관망 및 정압기)

㉠ 세부과제 추진 필요성 및 주요 내용

□ 기존 기술의 한계 또는 문제점

- KAIST와 POSTECH에서 개발한 무전원 수소가스 감지 센서는 외부의 전력 공급 없이도 수소가스 누출을 감지할 수 있으나 저녁 또는 날씨 등 환경적인 영향 발생
- 수소 가스를 감지하는 팔라듐 금속 기반 센서는 산화팔라듐 입자가 수소와 만나 팔라듐 입자로 환원되며 일어나는 전도성 차이를 통해 진행하기 때문에 기존 센서는 전도성의 미세한 변화를 통해 수소 누출을 감지하므로 정확한 수소 누출 농도 측정은 어려움
- 상수도 관망에서 압력 및 유량 등 자료를 분석하여 누수를 감지하는 연구와 천연가스 수송관에서 감지센서를 통한 누출 여부를 판단하는 알고리즘에 대한 연구가 국외에서 실시
- 대부분의 시설에 대한 개대체 의사결정은 데이터 기반의 객관적 의사결정이 아닌 법정 내용연수 또는 담당자의 주관적 판단 하에 실시되고 있음
- 현재 기반시설 자산관리기법은 환경부 주도로 상하수도 분야에 구축 중이며, 도로 등에 대한 도입을 추진 중이나, AI의 적용 및 유지관리비용의 최소화 등은 적용되지 않고 있음

- 수소도시용 수소 관망의 경우 (1)수소 배관의 경우 수소의 취급 과정에서 발생하는 수소 취성 등 화학적 요인, (2)수소 공급 압력의 변화, 수용가의 수소 인입 on/off 등에 따른 맥동 등 기계적 요인 등 수소관망의 불안정성에 영향 요인이 다수 존재
- 하지만, 수소 관망의 균열, 누출 등 이상상태를 평가하기 위한 기법 존재하고 있지 않음
- 전세계적으로 배관 검사 기술의 대표적인 기술인 자기누설 탐상, MEC, 음파 탐상 기술, RFEC 탐상 기술 등은 활발한 연구를 통해 배관검사에 적용
- 하지만, Processing piping과 달리 매설 배관의 경우 현장 접근성 확보에 어려움이 있음
- Pipetel Technologies社를 포함하여 여러 기업들은 자가 추진 배관검사 로봇과 배관검사 장치를 결합하여 배관 내부를 주행하면서 배관의 상태를 검사하고 건전성을 평가하는 기술을 개발하여 천연가스 등 배관 검사에 적용하고 있음



〈그림 210〉 Pipetel Technologies의 자가추진 배관검사 로봇

□ 해당 기술의 타 기술 분야 대비 투자 우선순위

- 수소 관망의 이상상태 탐지, 진단 기술의 경우 시설 운용 방법, 정책을 결정하는 중요한 요소로서 타 기술과 함께 우선적으로 검토가 필요
- 특히 중점 2분야의 수소관망의 수소 취성 평가 기술, 수명 예측 기술 등과 연계한 검토가 이루어져야하고, 중점 3분야의 실증사업 추진 과정에서 시설 점검구 등의 설계에 사전 반영되어야 하는 분야
- 수소관망의 사고 발생 시 경제적, 사회적 피해는 치명적이며, 이를 사전에 방지하는 실시간 이상감지 기술은 수소도시 계획에서 시급히 개발되어야 할 기술
- 최근 다양한 분야에서 많은 계측데이터를 가용한 D.N.A.에 의한 데이터 분석 기반 신기술의 적용으로, 과거 분석에 한계가 있었던 기존의 기술을 개선 또는 대체할 필요
- 선진국에서는 10여년 전부터 기반시설에 자산관리기법을 도입하여 시설을 유지 관리하고 있으며, 국내에서는 최근에 상하수도 시설에 도입을 추진 중

- 데이터 기반 객관적 유지관리를 위해서 시설에 대한 유지관리 이력데이터가 중요한 바, 최대한 조기에 유지관리 의사결정기술은 개발하고 자산관리체계를 구축하여 유용한 데이터의 축적이 필요
- 기존의 유지관리 의사결정은 잔존수명 및 리스크를 반영한 물 기반의 의사결정으로 유지관리비용 및 리스크를 적용한 최적의사결정 기술의 개발이 필요

□ 기술개발의 시급성/적시성

- 수소 저장탱크 폭발사고를 계기로 수소 안전성에 대한 문제를 제기하고 위험·기피시설로 인식하면서 안전성 확보를 위한 안전기술 확대 필요성이 제기
- 따라서 가스 누출을 신속하게 검지할 수 있는 고신뢰성 수소가스 검지기 개발, 수소 설비·시설의 가스누출 등 멀티가스 누출 영상화 시스템 개발, 수소 공급용 배관망에 대한 실시간 안전관리 모니터링 시스템을 개발이 시급
- 현재 자산의 효율적 유지관리를 위하여 대부분의 선진국에서 도입하고 있는 기술로서 기술의 도입이 시급함
- 전 세계적으로 기반시설에 대한 유지관리비용이 상승하는 현실에서 유지관리비의 절감 및 시설의 장수명화는 중요
- 따라서 지하매설물 이상상태의 실시간 이상상태 탐지, 진단 가능한 기술의 확보를 통하여 시설 건전성, 안전성 관리 지원 기술의 제공 가능
- 수소 관망의 경우 배관 생산 및 설치과정에서의 성능 및 누설 시험만을 진행하고 있는 실정으로 수소 특성을 고려한 실시간 이상상태 및 예측 진단 기술 개발시 시장 선점 효과가 매우 높음
- 수소 관망의 이상상태 진단 기술의 경우 관망의 상태 진단, 유지보수를 지원하기 위한 기술로서 관망 네트워크 설계, 시공, 유지보수 단계에서 시설 관리 비용을 최소화 할 수 있는 주요 요소

□ 주요 연구 내용

- Digital, Network 및 Artificial Intelligence를 이용한 수소관망의 이상감지 기술 개발
 - 수소관망의 이상 (균열, 편홀 부식 등) 감지 및 누출 감지기술 조사 및 분석
 - 복합물리 기반 수소관망 이상상태 실시간 탐지 다기능 센서 개발
 - 인공지능 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 진단, 예측 모델 개발

- 수소 관망 이상상태 원격 탐상 기술 현장 실증
- DNA 기반 수소관망 유지관리 최적 의사결정기술 개발
 - DNA 기반 자산의 잔존수명, 리스크 예측기법 개발
 - DNA 기반 유지관리 의사결정 최적화 알고리즘 개발
 - DNA 기반 유지관리 최적의사결정모델 S/W 개발 및 시스템 구축
 - 개발 기술의 테스트베드 실증, 평가 및 보완
- 수소 관망 최적 유지보수를 위한 자산관리 시스템 개발
 - 설비 마스터 데이터, 상태평가, 가치평가, 이력관리를 위한 자산대장 설계
 - FMEA를 기반으로 고장 데이터베이스 구축
 - 가치평가 및 LCC 분석을 기반으로 한 의사결정 모델 수립

□ 목표 성과

- (기술적 성과) D.N.A. 기반 시설의 유지관리 기술의 개발은 타 분야에도 적용 가능, 특허 출원 및 기술 이전, 논문 발표로 인한 국가 기술력 제고
- (경제적 성과) 실시간 이상 감지에 의한 신속한 조치로 에너지 자원의 손실 방지 및 기술 수출에 의한 국익 제고, 시설 유지관리비용의 절감 및 시설의 효율적 관리로 인한 수명 연장.
- (사회적 성과) 폭발성이 강한 수소 누기의 신속한 식별로 누기로 인한 재난사고 방지, 시설의 고장을 사전에 방지함에 따른 안전성 제고.

□ 최종 목표

- 복합 물리 기반 수소관망 이상상태 실시간 탐지 기술 개발
- DNA 기반 수소관망의 이상위치 추적 알고리즘 및 방법 개발
- DNA 기반 수소관망 시설의 개체 의사결정 알고리즘 개발
- DNA 기반 수소관망 자산관리 의사결정시스템 개발

□ 최종 산출물

- 다중 물리 기반 수소관망 실시간 이상 탐지 센서
- 물리 신호별 관망 이상 상태 탐지 기법 및 데이터베이스

- DNA 기반 이상상태 실시간 진단, 이상위치 추적 기술
- DNA 기반 수소관망 자산관리 의사결정 지원 시스템
- 기타 정량적 성과 창출 (기술 특허 및 논문)

□ 목표 설정 근거

- 누출의 감지와 누출위치의 식별 기술은 수소관망의 운용 시 절대적으로 필요한 기술로서 다양한 계측자료 및 유체흐름 분석을 통하여 이를 해결할 수 있는 알고리즘 개발이 필요
- 개발된 알고리즘을 관망 운용기관에서 이용할 수 있도록 컴퓨터 소프트웨어의 개발은 개발 기술의 적용을 위해 필수적임
- 최근 상하수도 시설의 효율적 유지관리를 위하여 도입되고 있는 자산관리시스템을 수소관망 시설에 적용하기 위하여 자산관리기법을 도입한 최적의사결정 기술을 개발
- 최적의사결정 기술의 정확성 및 객관성을 제고하기 위하여 D.N.A. 기반의 데이터 분석기법을 도입하여 의사결정시스템을 구축

〈표 173〉 세부과제 3-3의 목표 설정 근거

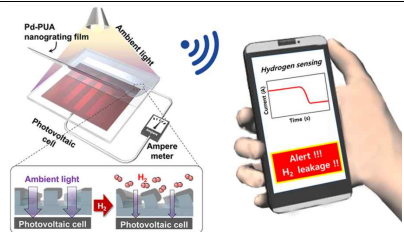
관련기술	WBT 근거 및 보유 기관	국내 기술 수준 (2022년 현재)	최종 기술수준 달성 목표
매설관 이상상태 실시간 탐지장치	▪ 다양한 논문들에서 누출 위치 탐지 정확도를 90~99% 달성(탐지 거리에 따라 달라질 수 있음)	▪ 이상상태 위치 탐지 기술 개발 단계	▪ 누수 위치 정확도 100 m 당 ± 3 m 이내
	▪ 중국, Tongji University ▪ 중국, Dalian University of Technology		

□ 세부과제 도출 근거

- 산업통상자원부의 신재생에너지핵심기술개발 연구과제(R&D)에서는 고정식, 휴대용 수소검지기, 수소가스 누출영상화시스템, 수소배관망 모니터링시스템을 활용한 수소배관 안전관리 연구가 진행 중
- Detectape는 수소가스 원통형시설물(Pipeline) 등, 테이프를 감을 수 있는 곳이면 모두 사용 가능한 테이프형식의 수소감지설비이며, 모든 금속구조물에 사용

가능하며 수소 누출시 테이프의 색상이 변화

〈표 174〉 세부과제 3-3의 유사기술 분석

유사·경쟁기술	개념도	특징 및 장단점
수소배관망 모니터링 시스템 (국내R&D 과제, 개발진행중)		▪ 타공사 및 가스누출 위치 식별용 하이브리드 센서 설계 ▪ 하이브리드 센서 패키징 설계 ▪ 하이브리드 센서 양산 장치 설계 ▪ 하이브리드 센서 양산 기술 개발 ▪ 하이브리드 센서용 계측 장치 설계 ▪ 수소배관 설계 및 구축단계 시스템 적용방안 연구 ▪ 매설배관 타공사 감지 기술 및 관련 규정 분석 ▪ 분포형 센서 시스템 데이터 분석 기술 연구 ▪ 국내/외 수소 배관망 조사 및 운전 조건 분석 ▪ 수소 배관망 관련 국내/외 표준 및 법규 조사 분석 및 RTTM(Real Time Transient Model) 반영 방안 분석 ▪ 테스트 베드 설계 반영 RTTM 모델링 착수
수소감지 테이프 Detectape	  평상시 수소가스감지시	▪ Detectape 는 수소가스의 원통형 시설물 Pipeline등 테이프를 감을수 있는곳이면 모두 사용할수있음. ▪ 예) 진동에 의해 틈이 생길수있는 부위,Fitting, Valve, 용접 연결부위,Joint, Flange 등에 사용가능 ▪ 별도의 접착제가 필요없고 테이프 자체가 융합접착됨 ▪ 모든 재질의 금속구조물에 사용 가능 ▪ 준비 작업이 간단함 ▪ 화학물질과 자외선에 영향을 받지 않음 ▪ 수소 누출 여부를 육안으로 확인해야함
무전원 수소가스 감지 센서 KAIST&POST ECH		▪ 무전원, 무선환경에서 사용이 가능 ▪ 태양전지의 출력 변화를 이용한 빛 감지 시스템이므로 환경적인 제약이 있음

□ 세부과제 유사·중복성, 차별성, 연계 활용방안

- (유사성) 산업통산자원부 진행되는 연구과제로 수소충전소 및 배관망 안전 제고를 위한 필수 장비 국산화 기술개발로 가스누출에 대한 수소배관망 모니터링 시스템을 개발하고 있으나 본 과제는 D.N.A.기반 수소관망 실시간 이상감지기술을 개발하여 직간접적으로 누출을 탐지하는 기술을 개발하고자 함
- (차별성) D.N.A. 기반 관망 결함탐사 및 탐사결과의 평가 및 분석기술 개발
- (연계 활용방안) 수소관망 탐사결과 진단기술 개발로 결함 조기 대응으로 효율적인 유지관리 가능

〈표 175〉 세부과제 3-2의 전후방 기술과 연계 활용방안

선행/사전 확보기술		본 세부과제명		후속/연계 활용기술 (본 사업의 세부/핵심기술에 연계)	
기술명	- 수소가스 감지기술 - 자산관리 기술	수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	⇒	기술명	- 수소관망 최적운용 기술 - 유지관리 연계 수소관망 최적설계 기술
연계 성과물	유지관리 자산관리시스템			연계 성과물	- 수소관망 이상 최소화를 위한 관망최적 운용 기술 - LCC 기반 최적설계 기술
활용 방안	자산관리기법의 요소인 잔존수명 예측, 리스크 분석, LCC 분석 및 LOS 분석 기법 등을 도입.			활용 방안	- 수소관로 운용 시 활용 - 수소관로 설계 시 활용
↑					
기술 연계	과제 개요	연계대상 성과물		차별성/활용방안	
	- 본 연구프로젝트에서 실시하는 다음과 같은 과제와 연계가 가능함. - 실현장 수소관망 성능평가 기술 - 수소관망 한계사용수명 예측 기술 - 수소배관망 운용 위험성 평가 기술	- 수소관망의 성능(상태) 평가 기법 - 수소관망 수명 예측기법 - 수소관망 위험성(Risk) 평가기법		- 차별성 - 수소관망 유지관리 최적의사결정에 필요한 관망의 수명 예측에 이용하여 정밀한 관로의 개대체 시기 결정기술 - 수소관망 개대체 의사결정의 중요요소인 리스크 산정에 활용하여 최적의사결정시스템 개발 - 활용방안 - 본 기술들은 유지관리 최적의사결정시스템의 정확도를 높이는데 필요한 기술로서 상호 시너지효과 창출 가능	

□ 세부과제 확보 전략

○ D.N.A. 기반 수소관망 이상상태 실시간 진단 기술

- 수소관망 탐상 및 진단을 위한 이상감지 알고리즘을 개발하여 지하에 매설된 배관의 결함을 직접적인 접촉 없이도 실시간으로 감지 및 조치할 수 있는 기술을 확보하고자 함
- 배관 내 압력, 유량, 진동 등을 모니터링하여 수소의 누출 탐지 기술 개발
- 배관 내 이상감지기술을 위한 측정 장비, 모니터링 센서 및 탐지용 기술 개발
- 다중 물리 신호의 수소 관망 순방향 전파, 역방향 반사 특성 규명하여 수소 관망 이상상태 탐지를 위한 다중 물리신호의 최적 구성
- 수소도시 수소관망 이상상태 실시간 탐지 다기능 센서를 활용한 인공지능 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 진단 시스템 개발
- 복합 물리 신호 전달 특성 기반 수소 관망 이상상태 원격 탐상 기술 현장 실증

○ D.N.A 자산 유지관리 최적의사결정 기술

- 수소취성, 피로파괴, 수소누설 등과 같은 리스크가 상시 존재하는 수소배관은 정확한 시설 상태정보의 획득이 중요함. D.N.A 기반 직간접 손상검출 기술로 유지관리에 취약한 수소배관의 안전성을 확보하고자 함
- D.N.A. 기반 수소관망에 대한 상태평가 및 성능예측을 진행 후 관로에 대한 잔존수명 예측 기술 개발
- D.N.A. 기반 자산의 신뢰도(리스크) 평가 및 예측 기술 개발
- 자산의 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 반영한 비용모델에 자산 유지관리 최적의사결정 기술 개발

〈표 176〉 세부과제 3-3의 한계점 및 기술개발전략

핵심개발 내용	현안 문제점 및 기술한계	기술개발방안
D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술	- 수소관망은 가스를 운송하는 관계로 관로의 이상(균열, 파손, 부식 등)에 의한 사고 발생시 대형 사고 발생 우려 - 따라서 이를 실시간으로 감지/탐지 할 수 있는 기술의 개발이 필요 - 수소도시용 수소 관망의 경우 수소 관망의 균열,	- 정상상태에서는 관내의 유체압력 및 유량은 일정한 값을 유지하나,관이 파손되거나 균열로 누출이 발생할 경우에는 유체압력의 감소가 발생, 유량 또는 압력의 최적 모니터링에 의한 누출 또는 균열위치 탐지기술 - 수소가스 누출감지 센서(Fiber Optic Sensor)를 이용한 빠른 누출 탐지 기술 - 비파괴 원격 탐상하기 위한 원격 기술의 개발 및 복합 물리 신호의 인공지능

	누출 등 이상상태를 평가하기 위한 기법 존재하고 있지 않음 연구를 통해 배관 탐상 기술이 적용되고 있으나, 매설배관의 경우 현장의 접근성 확보가 어려움	학습을 통한 이상상태 진단 기술의 개발
D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술	- 일반적 기반시설 (상하수도, 도로, 댐 등)은 시설의 노후화로 파손시 리스크를 저감하기 위하여 예방적 유지관리를 도입 중 - 수소관로에 예방적 유지관리에 자산관리기법을 도입하여 유지관리비를 저감할 수 있는 의사결정 기술의 개발이 필요	- 개별 시설물의 D.N.A. 기반 상태평가 및 성능예측에 의한 관로의 잔존수명 예측 - D.N.A. 기반 자산의 신뢰도 (리스크) 평가 및 예측 - 자산의 생애주기비용(Life Cycle Cost)을 반영한 비용모델에 자산 유지관리 최적의사결정 기술 개발

〈표 177〉 세부과제 3-3의 확보전략

세부과제명	핵심개발내용	단계	성과연계	자체개발	기술도입	국제협력	아웃소싱
수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술	응용개발	○	●			
	D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술	응용개발	○	●			

● : 주, ○ : 부

㉔ 과제 구성 및 소요예산

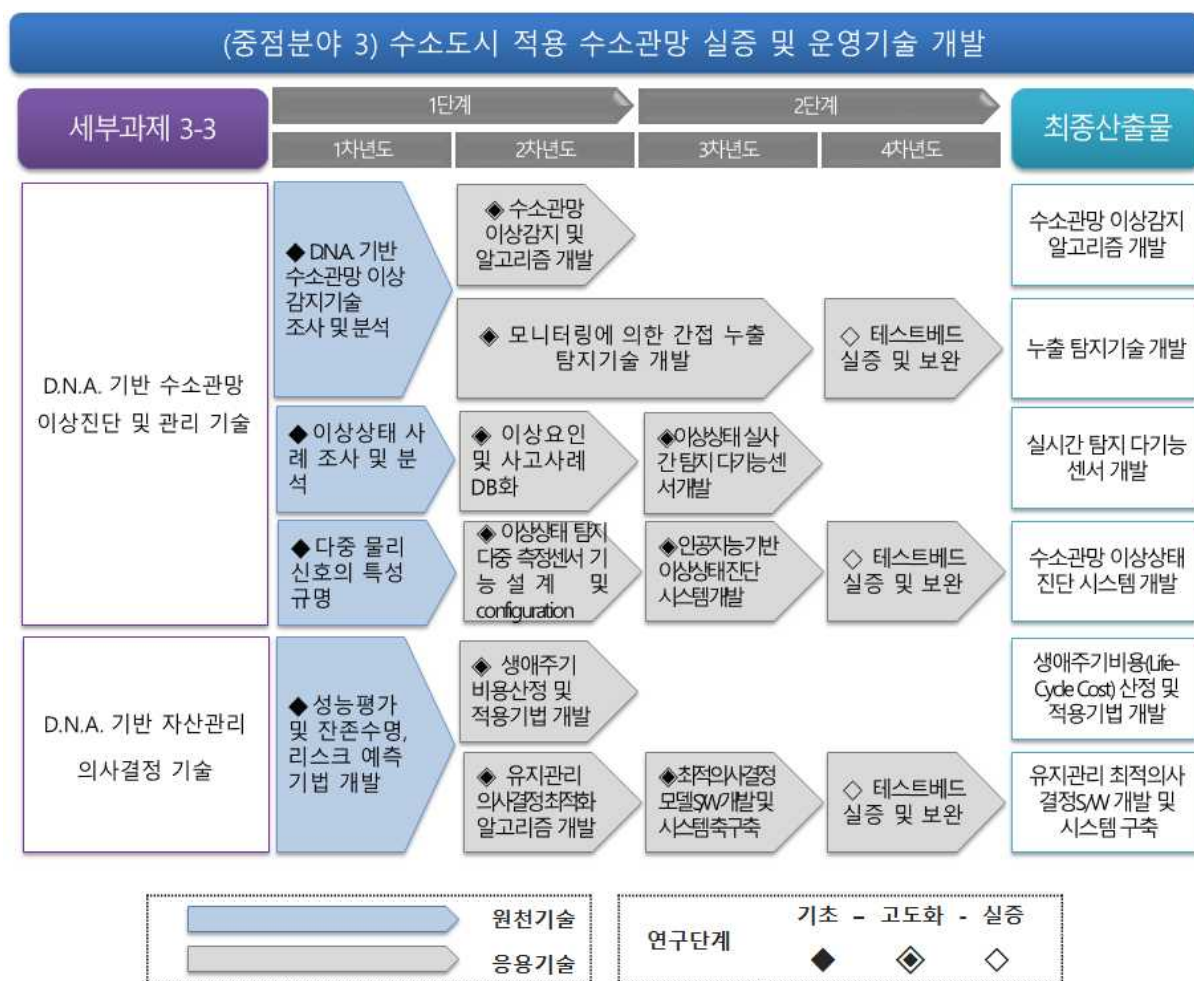
□ 총 34.94억 원/4년 중 정부출연금 26.20억 원(75.0%) 대비 민간부담금 8.74억 원(25.0%)으로 구성된 정부주도 사업추진

〈표 178〉 세부과제 3-3 연구의 소요예산

(단위 : 억 원)

구성기술명	1단계		2단계		합계
	‘23	‘24	‘25	‘26	
D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술	4.82	5.68	5.69	3.00	19.19
D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술	3.84	4.45	4.45	3.01	15.75
합계	8.66	10.13	10.14	6.01	34.94

㉔ 기술개발 로드맵 및 연도별 추진계획



〈그림 211〉 세부과제 3-3 연구의 기술개발 로드맵

□ 개발내용-구성기술별 연도별 추진계획

○ D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술

〈표 179〉 D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	- 수소 관망 취성형태(원인, 손상 등), 이상상태(부식, 균열, 누출 등) 조사, 분석 - 수소설비, 수소배관, 지하매설배관의 이상요인, 사고사례 DB화
2024	- 수소관망 이상상태 탐지를 위한 다중 물리신호의 최적 구성 - 복합물리 기반 이상상태 감지 센서 기능 설계, 알고리즘 구성
2025	- AI 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 조기 진단 시스템 개발 - DNA 기반 수소관망 이상위치 추적 알고리즘 및 방법 개발
2026	- 수소도시 수소관망 이상상태 진단 시스템 실증설치, 시험운영, 운용성평가 - 수소도시 수소관망 이상상태 진단 시스템 표준화 및 사업화 추진

○ D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술

〈표 180〉 D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술 추진계획

연도	추진계획
2023	D.N.A 기반 자산의 잔존수명, 리스크 예측기법 개발
2024	D.N.A 기반 유지관리 의사결정 최적화 알고리즘 개발
2025	D.N.A 기반 유지관리 최적의사결정모델 S/W 개발 및 시스템 구축
2026	개발 기술의 테스트베드 실증, 평가 및 보완

㉞ 세부과제 요약본

중점과제명	수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	
세부과제명	수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	
과제개요	연구기간	예산
	4년	34.94억 원
기존기술 현황 및 한계	- 수소도시 등 수요처와 생산지 연결특성, 수소도시 등에 대규모 공급을 상정한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보, 대량의 수소 수요처인 수소도시에 경제성과 수용성이 높은 수소관망 설계 기술 개발이 필요 - 현재 기술은 자산의 유지관리를 법정내용연수 기준이나 담당자의 주관적 판단 하에 유지보수 및 교체로 유지관리 비용증가	
연구목표	Digital, Network 및 Artificial Intelligence를 이용한 수소관망의 이상감지 기술 및 최적화된 운용기술인 유지관리 최적의사결정기술을 개발하여 테스트베드 실증 및 검증 수행	
세부과제 및 예산산출 근거	- 수소관망 이상감지 및 유지관리 최적의사결정 기술 개발, '23~'26(4년), 34.96억 원 - D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술, '23~'26(4년), 19.19억 원 - D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술, '23~'26(4년), 15.75억 원	
주요 연구내용	- D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술 - 수소관망 이상상태 탐지를 위한 다중 물리신호의 최적 구성 - 인공지능 기반 다중 데이터 통합 수소관망 이상상태 진단 시스템 개발 - DNA 기반 수소관망의 이상 감지·위치추적 알고리즘 및 방법 개발 - DNA 기반 자산관리 의사결정 기술 - DNA 기반 유지관리 의사결정 최적화 알고리즘 개발 - DNA 기반 유지관리 최적의사결정모델 S/W 개발 및 시스템 구축	
목표성과	수소도시 수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 최적의사결정 시스템 실증설치, 시험운영, 운용성평가	
Keyword	한 글	시뮬레이터, 품질관리, 데이터 레이크, 디지털변환
	영 문	Simulator, QC, Data lake, Digital Transformation,



제5장 실증계획 수립

5. 실증계획 수립

가. 실증계획 개요

□ 수소시범도시의 개념

○ (추진방향) 현 시점에서 기술적 한계, 수용성 등의 문제로 인해 전면적으로 수소 도시를 조성하는 것은 현실적으로 어려움

- 「수소 시범도시」를 지정, 도시활동의 핵심인 주거, 교통 분야에 집중하여 수소 활용 기술을 실증하고, 안전성을 검증

- R&D를 통해 제약요소를 해소하고 수소 활용을 확산시켜 나가는 단계적 접근이 필요

《도시요소》

《수소도시 요소》



기대효과

- ❖ 이산화탄소 저감, 미세먼지 흡수 등으로 깨끗한 도시 구현
- ❖ 도시내 수소 산업 생태계가 구축되어 도시혁신 및 일자리창출 가능

〈그림 212〉 수소 시범도시 기대효과

○ (추진결과) 안산, 울산 및 전주·완주가 선정되어 친환경 도시 조성을 목표로 신재생에너지를 이용한 실증을 추진하였으나, 사업추진 과정에서 설계, 시공, 운영 및 유지보수 분야 다양한 기술적 한계도 노출

- 본 사업에서 구축되는 시설·설비별로 운영·유지보수의 주체, 관련 비용의 조달·분담 방안, 구체적 운영·유지보수 계획 미비

- 수소 소요량 및 공급량 예측 부재 및 향후 수소도시 확산 시 활용이 가능하도록 다양한 매뉴얼 마련 필요

* (예시) 인허가 추진 과정, 주민수용성 확보방안, 설비의 경제성 분석 등 문제해결에 대한 매뉴얼 마련

- 당초 수소배관 공사비를 10억/km로 계상하였으나 수소배관 공사비용 증가로 예산 조달·확보에 애로

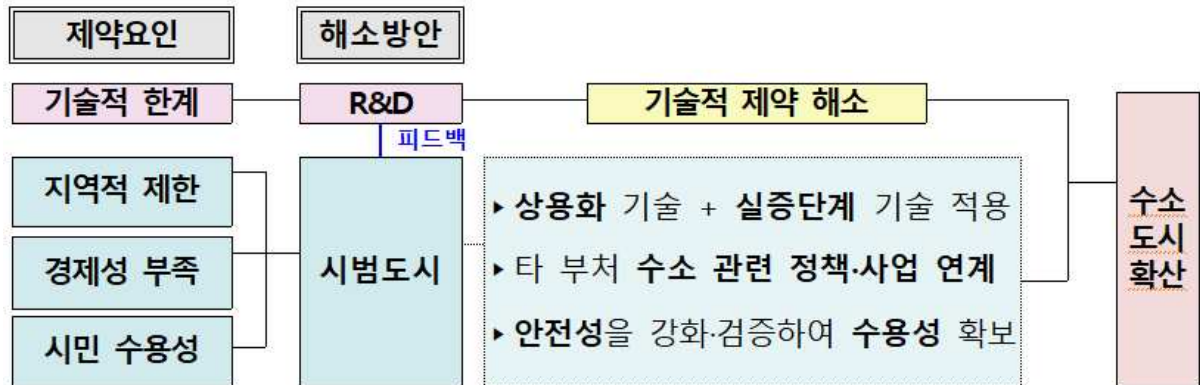
- 사회적 수용성 문제의 어려움으로 아파트 등 민영주택 공급계획 변경 문제 발생

〈표 181〉 지자체 제안 수소 시범도시 모델

지자체		주요 사업(안)	공통사항	특화요소
강원	삼척시	• 액화수소도시(발전, 액화수소플랜트, 수전해, 수소빌리지, 리조트 등)	발전, 주택, 충전소	수전해, 액체수소
경기	화성시	• 수소교통도시(버스차고지내생산기지 구축, 트램, 화물차, 연료전지 보급)	주택, 자동차	추출수소
	평택시	• 수소생산도시(추출수소, 해상태양광풍력, 하수처리, 주택, 액체수소 인수기지)	주택, 발전	바이오, 추출수소, 액체수소
	안산, 시흥	• 수소스마트산단(기존배관, 충전소, 지게차, 버스, 트럭 등 수소기반 산업단지구현)	자동차, 충전소	부생수소, 산업단지
충북	충주시	• 수소생산도시 (충주댐 활용 수전해, 정압소 내 추출수소, 수소차부품 클러스터)	-	수전해, 추출수소, 산업단지
충남	홍성, 예산	• 발전용 연료전지도시(공동주택, 충전소(버스연계, 발전사업 연계))	주택, 충전소, 자동차, 발전	
전북	전주, 완주	• 교통 등 생활 기반도시(충전소, 버스, 발전소, 산업체, 5,000세대 주택)	주택, 충전소, 자동차	산업단지
전남	여수시	• 수소교통, 주거모델 이행(수소산단, 부생수소/해상풍력, 태양광 등 활용 수소생산)	자동차, 주택	부생수소, 산업단지
경남	창원시	• 수소차·충전소 중심도시(연료전지 산업단지, 수소에너지 순환시스템 실증단지)	충전소, 자동차	산업단지
세종특별시		• 친환경차(전기·수소) 메카도시(수소차, 충전소)	자동차, 충전소	
울산광역시		• 수소에너지 산업도시 (수소배관 연결 충전소, 2차 수소타운, 버스, 공동주택 등)	주택, 충전소, 자동차	부생수소
광주광역시		• 수소중심 친환경차 선도도시(수소산업 클러스터조성, 수소 연료전지 발전소)	자동차, 발전소	산업단지
대전광역시		• 연료전지 행복주택 실증도시(주택, 폐기물 수소생산, 옥상 스마트팜, 연료전지 발전소)	주택, 발전소	바이오메스

□ 수소 시범도시 연계

- (시범도시) '22년 11월 선정 예정인 수소 시범도시 5곳 중 우선순위를 고려하여 1곳 이상 연계 추진
- (추진방향) 1기 시범도시 추진 시 노출된 다양한 문제점을 보완하고 기술적 한계 극복을 위한 수소도시 표준모델 개발 및 실증이 목표



〈그림 213〉 수소 시범도시 연계방안

□ 실증부지 후보지(안) : 지자체 참여 의향

- (평택시) 수도권 (3백만 가구)에 수소공급 허브 역할 수행 목표



〈그림 214〉 평택시 수소산업 육성방안

- 수소 생산·저장기지 구축 및 수소에너지 융·복합단지 조성으로 수소경제의 중심역할 수행과 11개 수소산업육성, 10개 기업유치 추진
- 평택항 수소생산기지에서 생산된 7톤/일급 수소를 약 8km의 배관을 매설하여 수소 교통복합기지과 평택BIX지구 까지 이송 예정



〈그림 215〉 평택시 수소 특화단지 구축방안 및 지역연계방안 및 평택항 수소배관 매설 노선도

- (생산) 생산량 7톤/일급(3,300Nm³/h) 수소생산기지가 구축완료('22년 4월) 예정이며, 15톤/일급(7,500Nm³/h) 생산기지 구축 추진 중

* 평택 LNG인수기지의 냉열을 활용 천연가스 개질 및 수소액화 설비 운영 예정

- (이송) 수소생산기지에서 약 8km의 수소배관을 매설
- (활용) 소비량 2.85톤/일급 수소교통복합기지를 구축중에 있어 향후 확장성 용이
- * 대용량 수소공급이 필요한 수소특화단지, 탄소중립도시, 수소항만도시에 활용

○ (화성시) 대한민국의 축소판으로 시범도시의 표준모델 정립 목표

〈표 182〉 화성시 수소도시 모델

구분	반영지역	적용분야	적용사유
기본 모델	동탄2 신도시 (도시지역)	도시내 수소공급거점, 주거, 교통, 인프라 통합관리 시스템 구축	도시 내 인프라를 활용한 수소생산, 이송, 활용
특화 모델	화성시 장안면 (농림지역)	DME를 원료로 수소를 생산, 연료전지를 통해 스마트 팜에 에너지 공급 및 CO ₂ 를 생육에 활용	수소 및 도시가스 공급이 불가한 농어촌지역 수소활용

- 도농 복합도시로 도시와 농촌에 적용 가능한 모델을 실증함으로써 전국적인 수소경제 확산에 기여



〈그림 216〉 화성시 수소배관 활용방안 및 수소배관 설치 노선도

- (지속가능 자립형 모델) 기존 인프라 및 기업(지역난방공사)과 연계를 통해 운영비 지원 없이 지속가능한 자립형 수소시범도시 모델 구축

* 수소 추출기 가동에 필요한 순수, 냉각수 및 전력설비는 지역난방공사 발전설비 이용으로 경제성 확보

〈표 183〉 화성시 수소도시 운영방안

사업비 최소화	• 기존 중앙제어실(통합운영센터 불필요) 및 유틸리티 설비(수소생산에 필요한 LNG, 순수, 냉각 전력) 활용
운영비 절감	• 기존 운영 및 유지보수 인력* 활용 * 현재 운영(40명, 24시간 교대) 및 유지보수 인력(68명) 상주
운영 최적화	• 연료전지 발생열*을 지역난방과 연계하여 운영수익 확보 * PAFC(인산염연료전지) : 전기 43.5%, 열 40.0% • 운영수익 일부는 공동주택(임대아파트) 입주민에게 환급

- 추출기 3대를 설치하여 저압(10bar미만)의 수소생산 후 약 5km의 수소배관을 매설하여 수소 사용처까지 이송

- (생산) 수소추출설비 3기 설치를 통해 생산

* 추출기 가동에 필요한 순수, 냉각수 및 전력설비는 지역난방공사 발전설비 이용으로 수소 도시 경제성 높음

- (이송) 5km의 수소배관을 매설하여 수소 사용처까지 이송

- (활용) 충전소, 공동주택(연료전지) 및 공공건물(연료전지)에 활용

* 지역난방과 수소열원 공급을 Dual로 운영하여 공급안정성도 향상 예상

○ (당진시) 수소를 포함한 가스-열-전기의 에너지 그리드 구현하기 위해 IoT가 접목된 수소도시 구축 목표



〈그림 217〉 당진시 수소시범도시 구축방안

- 현대제철 부생수소 등을 활용*하고 수소배관을 매설하여 수소충전소 및 실제 사용처(주거지역, 산단지역 등)까지 이송 추진

* 수소생산 : 부생수소(10톤/일) + 수소추출기 3기(2톤/일)

- 약 4km (수소생산기지~수소충전소~호서대학교~석문산단 등)의 수소배관을 매설할 예정



〈그림 218〉 당진시 수소배관 설치 예정지

나. 실증 가능부지

(1) 수소생산·활용 가능 부지 확보 여부

□ 각 지자체 현황 및 실증부지 희망 여부

〈표 184〉 평택·당진·화성시의 생산·소비시설 및 수소배관망 구축 계획

구분	생산시설	소비시설	수소배관망	실증부지 희망여부
평택시	수소 생산기지 (7톤/일급, 30톤/일급)	- 수소교통복합기지 (2.85톤/일) - 교통관련(약 3,000대)	약 30km	현재 타 기관과 협의 중
당진시	부생수소, 수소추출기 (10톤/일급, 2톤/일급)	수소충전소 2개소 (평균 충전 30kg/일, 12kg/일)	약 4km	희망
화성시	수소추출설비 3대	수소 연료전지발전소 (4개소, 110.24MW)	약 5km	수소시범 도시 계획 없음
안산시	수소추출기(1,500kg/일)	- 수소연료전지 (4개소, 900kW) - 수소모빌리티(버스, 지게차, 선박 등 총 13대)	약 8km	수소시범 도시 운영 중
울산광역시	부생수소(2,246톤/일)	- 수소연료전지(1189kW) - 수소버스 및 카셰어링 (총 20대)	약 12.5km	
전주시 완주군	수소추출기(1,200kg/일)	- 수소연료전지(635kW) - 수소버스(54대)	약 1km	

□ (평택시) 탄소중립 수소복합지구

○ 수소 특화산업단지 내 거점형 수소생산기지(원정지구) 및 출하시설 구축

- 수소 생산량 7톤/일(3,300Nm³/hr) 생산기지 구축예정('22년 5월) 및 30톤/일 (15,000Nm³/hr) 생산기지 구축 진행 중(2023년 예정)
- 평택항, 수소도시, 경제자유구역 등까지 이어지는 수소 공급망 구축을 위한 수소배관(8inch, 8.0km) 매설 계획

○ 수소테마파크, 스마트팜 등의 수소에너지 융복합단지 및 수소교통복합기지 구축을 통한 수소도시(만호지구, 현덕지구) 조성

- 수소 특화산업단지에서 생산된 수소를 공급받기 위한 공급망 구축(8inch, 6.5km)

- 소비량 2.85톤/일급의 수소교통복합기지 구축 및 약 3000대의 수소버스, 트럭 등 도입 계획



〈그림 219〉 평택시 탄소중립 수소복합지구 구축 계획

□ 당진시

- 현대제철 부생수소, 수소추출기를 통한 수소생산 및 수소충전소와 실제 활용처 (주거지역, 산단지역)까지 이송을 위한 수소배관 설치 계획
 - 수소생산 : 부생수소(10톤/일), 수소추출기 3기(2톤/일)
 - 수소생산기지, 수소충전소, 석문산단 등까지 이어지는 수소 배관 매설(약4km)
- 수소충전소 2개소(평균 충전량 30kg/일, 12kg/일) 운영 중
 - 당진 정미 충전소(저장능력 4,833m³), 당진 h2 충전소(저장능력 2,580m³)

□ (화성시) 시범도시의 표준모델 정립 목표

- 도시와 농촌에 적용 가능한 모델 구축, 전국적 수소 경제 확산 기여 목표
 - 수소추출설비 3대를 이용하여 수소 생산 및 충전소, 연료전지 등에 공급을 위한 수소배관(5km) 설치 계획

- 수소연료전지발전소 4개소 운영 및 80MW급 설치 계획(2024년 예정)
 - 경기그린에너지 58.8MW, 동탄열병합발전 11.44MW, SE그린에너지 19.8MW, 화성남양연료전지 20.2MW

□ (안산시) 수소시범도시(안산스마트허브 및 대부도 방아머리 일원)

- 수소인프라를 위한 수소에너지 생산 시설 구축
 - 안산도기개발(주) 유희부지 내 수소추출기(1,500kg/일) 1기 설치 계획
 - 기 구축배관(20km) 연계 및 신규 수소배관 8.0km 신설
- 수소 모빌리티, 주거 등 수소도시 구축 및 수소에너지 활용
 - 수소버스 2대 운영 및 수소지게차 10대, 수소 선박 등 수소 모빌리티 구축
 - 연료전지설비 4개소(440kW*2, 5kW*2) 구축을 통한 전기 및 열 공급 계획

□ (전주시·완주군) 수소시범도시(전라북도 전주시, 완주군 일원)

- 수소 공급기지 구축을 통한 수소 생산 및 공급 집중
 - 전주·완주지역의 수소충전소에 공급을 위한 수소추출기 도입(1,200kg/일)
 - 튜브트레일러 방식을 통한 수소공급, 수소생산-메가스테이션 구간 수소배관 매설(1km)
- 연료전지설비를 통한 전기, 열 공급 및 수소버스, 수소드론 등 활용
 - 대학교 생활관 및 공공시설 등 총 635kW 규모의 연료전지설비 구축 계획
 - 수소버스(54대) 운행 및 수소드론을 이용한 활용 계획

□ (울산시) 수소시범도시(울산광역시 관내)

- 울산석유화학단지 부생수소를 이용한 생산시설 및 수소 공급 배관망 구축
 - 부생수소(2,246톤/일) 생산 및 수소 충전소, 사용처 공급을 위한 배관망 구축 (12.5km) 계획
- 연료전지설비 구축을 통한 전기, 열 공급 및 시내버스 운영 등 활용 확대
 - 주거용 연료전지설비(440kW*2) 등 총 1189kW 규모의 연료전지설비 구축 계획
 - 수소버스(10대) 및 카셰어링(10대) 등 교통 관련 활용 구축

울산 수소시범도시 마스터플랜



〈그림 220〉 울산광역시 수소시범도시 계획

(2) 수소배관망 검증방법 및 운영계획

□ 수소배관망 검증 및 질적성과 측정을 위한 성능지표(안)

○ 수소배관망 성능평가 및 수소 시범도시 연계를 위한 성능지표

〈표 185〉 수소배관망 성능평가·지표(안)

구분	수소 적합성	수명 주기 분석	기술-경제성분석	탄소배출저감 분석
성능지표	최소 항복강도 최소 인장강도 최소 인장률	성능기반 설계 취성파괴 제어 연성파괴 억제	이송경로 추정 비용·기회 정량화 이송수단별 비교	온실가스 배출량 2030 NDC 및 탄소중립 기여도

- ① 수소에 노출되는 금속 및 폴리머 배관 및 배관망 재료 적합성 추정
 - ☞ 개발된 배관망의 수소 노출시 적합성 평가 시행(미국석유협회 등 규격 준용)
- ② 수소배관망의 수명주기 분석
 - ☞ 수소배관 설계시 파괴 제어 및 억제를 위해 규정 기반과 성능 기반 설계 요건을 따름
 - 규정기반 설계 시 취성파괴 제어는 배관의 연성(구부러지고 늘어나는 정도) 적절성, 연성파괴 억제는 배관의 연성파괴 억제에 대한 인성(질긴정도) 적절성 확인
 - 성능 기반 설계시 배관 및 용접 재료는 미국기계학회 기준에 따름
- ③ 수소도시 표준모델의 기술 및 경제성
 - ☞ 대용량 수소운송체계 적합성 분석, 액화수소, 튜브트레일러 대비 배관망에 대한 이송경로 추정에 따른 경제성 분석
 - ☞ 수소 생산과 이송을 위한 비용과 기회 정량화
- ④ 수소도시 표준모델의 탄소배출 저감 효율 분석
 - ☞ 수소도시 표준모델의 구축시 단위 모델당 2030 NDC 달성 기여도 산정

□ 수소배관망 운영 계획

○ (연구수행 중) 운영기간은 시운전을 포함 1년 이상 계획

- (시운전) 수소배관망 구축 후 단시 성능확인 위한 정상운전(1개월)
- (연속운전) 12개월 이상 정상상태 운전 수행 목표 (개발된 시스템 및 설비의 문제점 보완 추진)

* 다양한 운전 조건에서 통합적인 성능 확인이 목적이며, 장기운용이 필요할 경우 지자체에서 설치 예정인 통합안전관리센터와 연계

○ (연구종료 후) 각지자체에서 추진 예정인 2기 수소시범도시의 인프라 구축 운영 및 소유권은 사업추진주체에 귀속됨에 따라 지자체에 이전

☞ 대부분의 설비·시스템에 대한 실·검증은 1년 내·외(사업기간 내) 완료하고, 사업종료 후에도 지자체 주도로 도시 내 수소 공급 인프라(수소관망)에 대한 장기 운영 추진

(3) 수소 시범도시 전주기 건설운영 체계 보완 내용

〈표 186〉 수소 시범도시 전주기 건설운영 체계 보완 내용

단계	(1단계) 지자체 선정	⇒	(2단계) 설계·조달·시공	⇒	(3단계) 유지관리
구분	① 선정가이드라인		② 설계·구축매뉴얼		③ 안전관리매뉴얼
대상	국토부 → 지자체		지자체 → 기업체		지자체 → 통합운영관리센터 운영자
주요 내용	· (제안서 작성) 사업계획서에 반영 - 수소도시 구성의 적합성(지역 특화 설비 다양성, 실현 가능성 등) - 수소도시 안전관리의 적합성(설비 입지, 전문인력, 관리조직, 품질관리 등) - 예산구성 적합성(적정규모의 예산, 예산확보, 추진계획 등) - 수소산업 육성 계획 - 주민 수용성 및 민원대책의 적절성 · (입지선정) 입지 선정시 안전성 평가를 실시하여 수소설비의 안전한 설계·배치 및 안전관리계획을 수립토록 제시 · (신기술검증) 수전해 설비 등 신기술이 적용된 상용화 안전설비의 설치 시 위험 요인을 도출하고 안전 사각지대 해소 대책 제시 · (기준정립) 추출·수전해 등 저압(1MPa 이하)으로 신규 제도 도입이 필요한 설비는 기존 고압가스 안전관리법을 적용토록 하고 법 개정 시 최신 규정 반영토록 명문화 · (마스터플랜의 수립) 수소시범도시 참여 지자체는 고압가스 안전관리법의 안전관리 규정에 의한 수소시범도시 전주기 안전 확보를 위한 마스터 플랜을 실행 가능하도록 수립 · (단계별 안전강화) 인허가 단계별 안전관리방안이 포함되도록 작성 - 사업추진 기관 간 안전협의체 구성	⇒	· (설계) 수소시범도시의 주거·교통 및 지역특화 모델의 안전성 강화 중점 - 수소생산설비 산소혼입예방, 생산과 안전제어설비의 이중화 등 - 비상 사태 시 탱크와 저장시스템을 분리하고 자동 폐쇄 - 수소충전소에 3중 안전장치 설치(누출감지, UV불꽃감지, 긴급차단) · (조달) 시공자 선정을 위한 발주서 작성시 인허가 기준을 준수하도록 하고 선정평가 지표에 반영하여 유자격자 시공유도 · (시공) 마스터플랜에 의한 전담조직 운영 중점 - 시공 중 수소 설비의 부품 및 설비의 검사품·인증품 여부 확인 - 시공 후 내압/기밀 시험 불활성 기체 사용 · (안전검사) 준공 후 육안 확인이 어려운 지하 설치 시설은 중간 검사를 의무화하고, 완성검사 후에는 완성검사 필증 징구 - 배관매물, 지하구조물 및 기초설비 등 · (시운전) 시공자가 운전매뉴얼을 작성하도록 하고, 교육 훈련 실시 후 시운전에 참여 - 시운전 전 산소채류 예방을 위한 치환, 가연성이물질 청소 및 안전설비 정상작동 유무 확인 강화 · (품질검사) 핵심설비 내 1일 1회 이상 가스 성분분석 의무화 - 기존 이하의 수소 순도 측정시 긴급방출 및 순도유지 대책 강구 · (보험가입) 사업개시 전 보험가입으로 운전중 사고 발생 시 보상 방안 마련 - 가스화재배상책임보험등의 보험에 가입	⇒	· (센터설치) 전문성 있는 전담인력으로 구성된 '통합안전관리센터' 설치·운영 의무화 - 설치장소는 최소 1개소 이상으로 하고, 운영 시기는 최소 시운전 이전 · (사업장연계) 단위사업장을 연계하고 각 연계지점을 관리, 모니터링하는 조직, 인력 및 차량 확보 등 · (전담인력) 전담인력은 안전관리자 선임기준에 의해 가스시설에 대한 전문적인 지식과 자격을 갖춘자로 선임 · (주요기능) 수소설비와 관련된 모든 업무를 센터에서 총괄 수행 중점 - 기술의 상용화이전 설비의 안전가이드 마련 및 시설의 보완, 수정 보수 요인 발생 시 설계 및 시공단계부터 적용 - 안전성평가를 실시하고 안전장치 관리, 운영안전관리 및 가스설비 유지관리 상태 등을 정밀 진단 - 모든 시설의 일일점검을 실시 및 기준 적합여부 평가 · (안전운영 모니터링) 고장 등으로 인한 수소공급 중단 예방을 위하여 충전소 등에 안정적으로 공급되도록 시스템을 운영 · (안전운영 모니터링) 운전 중 사전에 이상 징후 감지를 위해 중요 항목(충전압력, 시간, 온도 등)에 대한 실시간 모니터링

다. 실증부지 공모 방안

□ 본 기획과제에서 진행하고자 하는 수소관망 실증을 수소 시범도시 추진 및 관련 인프라를 확보하고 있는 지자체와 연계하여 실증하기 위한 방안으로 수소관망 실증 공모 계획을 제시

- 수소 시범도시 및 관련 인프라의 운용을 위해서는 수소관망이 필수적인 상황이며 이로 인하여 다수의 관련 지자체에서 실증 추진을 위한 협업을 제안
- 국가 예산을 투입하는 실증 계획이므로 참여하고자하는 지자체에 대해서 수소관망 실증 가능성 및 추진역량을 평가할 수 있는 지표를 바탕으로 공정한 평가를 할 수 있는 방안으로 공모 형태의 방식을 추진
- 공모를 통해 선정된 지자체는 사업기간 동안 본 기획과제의 본사업에 적극적으로 참여하여야 하며, 사업기간 종료 후에는 이후 지정하는 기간동안 실증부지 및 부지 내 설치된 설비의 운영을 통해 DB 구축을 하여야 함

□ 실증부지 공모 계획

○ 사업지원 대상 및 범위

- (지원대상) 지방자치단체(특·광역시, 특별자치시, 시·군·구)
- (지원범위) 대용량 수소공급을 통해 일정구역에서 주거·교통 등 다양한 분야에서 수소를 신규 에너지원으로 활용하기 위한 방안으로 수소관망이 필요할 경우 본 기획과제에서 개발되는 기술을 바탕으로 실증을 통한 기술력 지원

○ 사업지원 규모

- (지원규모) 수소관망 실증을 위한 설계, 구축, 운영 등 최대 57억 원* 지원

* 국비 기준

- (선정대상) 지자체 1곳 선정

- (지원기간) 3년간(사업 시작 2차년도인 '24년부터 '26년까지)

○ 사업 추진 일정

- 실증부지 공모 이후 부지 선정을 진행하고 자문단 수립, 인프라 구축, 운영 순으로 절차 진행



〈그림 221〉 사업 추진 일정

□ 실증부지 지원 부지 평가 계획

○ 평가위원회 구성

- 수소도시 및 수소에너지와 관련된 산·학·연 관련 전문가 후보군을 구성하고 내부검토를 통해 평가위원을 선정하고 실증부지 평가위원회를 최종 구성

○ 평가 방법

- 1차 예비검토, 2차 서면평가(평가지표 활용), 3차 현장실사, 4차 발표평가 등 총 4단계의 과정을 통해 최종 실증부지를 선정

〈표 187〉 공모 신청 유의사항

구분	내용
예비검토	접수된 신청서류 검토를 통해 누락 서류, 지원 제외 대상 등 문제점을 파악하고 해당 지자체에 적합성 여부 공지 및 보완 요청
서면평가	- 접수된 서류에 대해서 평가 지표를 활용하여 3곳 이내의 후보지 선정 - 평가 지표 중 한가지 분야라도 기준 이하(만점 기준 50% 이하)일 경우 탈락으로 처리
현장실사	- 후보지로 선정된 부지에 방문을 통한 실사 진행 - 발표평가 대비 평가위원회의 보완 사항 반영 요청
발표평가	부지 설명, 보완 사항 설명, 평가위원회 질의응답을 진행하고 최종 평가하여 최종 실증부지 1곳 선정
가점 요소	- 지자체 사업비 매칭비율이 높은 경우 - 타기관 및 기업의 투자계획을 확보하였을 경우(참여의향서 등) - 지자체 내 기구축 수소인프라(충전소, 파이프라인 등)를 활용할 경우 - 인근 타 지자체와 인프라(수소그리드 등)를 연계·활용할 경우 - 주요 수소인프라의 국산화 비율이 일정기준(70%) 이상인 경우 - 주민수용성이 높을 경우(관련 서류 제출 필요 등) - 주민협의체 구성 및 운영 계획이 우수할 경우

○ 평가기준표

〈표 188〉 서면·발표 평가기준표

분야	항목	배점	내용
입지 적합성	수소 수급 여건	15	실증을 위한 수소량 공급 능력
	부지 적정성	15	실증 기술 적용 가능 여부

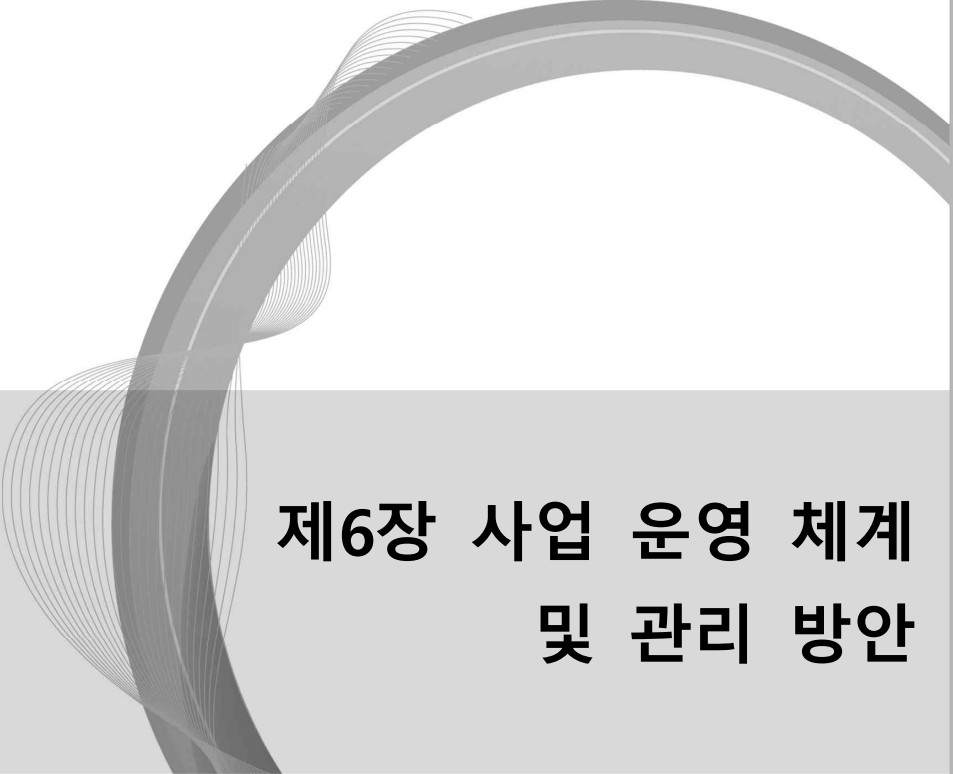
실증 수행 체계	관리방안	10	실증 추진 일정, 관리 관련 법/지침 이해도 등
	담당 인력	10	수소관망 전문 인력 배치
지속 가능성	재원조달	10	- 실증 추진을 위한 지방비 조달 방안 - 사업 종료 후 설비 운영, 모니터링을 위한 지방비 조달 방안
	운영유지관리	15	실증 완료 후 구축 설비 활용 방안(추가 운영, 운영 DB 구축 등)
안전성	안전성	10	안전관리 평가 기준에 따라 심사
기존 인프라 활용	기존 인프라 활용	15	실증 이해도 및 기 구축 인프라* 활용을 통한 연계 방안
합계		100점	

* 수소 생산 시설, 수소 저장·운반 시설(탱크, 튜브트레일러, 배관 등), 수소 활용 시설(산단·주거지역, 충전소 등)

○ 안전관리검토표

〈표 189〉 안전관리검토표 체크리스트

항목	내용	해당항목 체크
인허가 계획서 작성	사업계획서의 특성을 반영한 안전관리 계획서 및 제안된 안전관리 계획서에 포함된 안전관리 요소를 분석하고, 각 요소별 적용기준의 적절성	✓
안전한 설계	수소배관 및 수소공급, 활용 연결 부위 설비 설계 시 전주기 안전성 확보 계획 여부의 적절성	✓
시공 전주기 및 시운전시 안전 계획	발주에서 검사까지 시공전주기 및 수소배관 및 연결된 수소설비 시운전시 안전성 확보 계획의 적절성	✓
설비부품의 검증	수소배관 시공 중 검사 또는 인증을 받아야 하는 설비·부품에 대한 검증계획의 적절성	✓
사고발생 대응절차	수소배관 및 연결된 설비의 사고 발생 시 절차와 내용의 적절성	✓
수용성 제고	수소배관 및 연결된 설비 등의 입지 선정 시 원활한 사업추진을 위한 주민 수용성 및 홍보계획의 적절성	✓



제6장 사업 운영 체계 및 관리 방안

6. 사업 운영 체계 및 관리 방안

가. 사업 추진 체계

- 전체적인 총괄 주관은 국토교통부가 담당하고 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업 관리는 사업단에서 관리하는 형태의 추진체제로 구성
 - 수소도시의 수소관망 구축·운영을 위하여 도시 내 수소관망 설계·시공, 도시 내 수소활용을 위한 안전관리, 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영을 기반으로 통합관리 할 수 있는 체계로 추진
 - 중점분야 및 세부과제 간의 연계가 중요한 사업으로 이를 종합한 실증 추진 등 전체적인 사업수행을 총괄하기 위한 단일 사업단 구성
 - 사업특성에 부합하는 사업관리체계를 적용하여 ‘전략수립→사업관리→성과관리’의 3단계 사업관리체제로 운영
 - 성과활용 확산이 효율적으로 이루어질 수 있도록 기획단계에서부터 평가단계까지의 성과계획 관리를 수행하고 인프라 지원 사업화 컨설팅 시장진출 지원 등 성과활용과 사업화후속지원 홍보 등 성과확산체계를 고려하여 추진
- 사업목표 달성을 위한 중점분야별 역할분담을 통하여 기술개발의 전략적 R&D 연계를 통한 성과 창출 추진
 - (국토교통부) 사업 총괄 및 협력 부처로서 사업추진과 관련한 정책적 판단 및 주요 의사결정 사업기본 시행계획 수립 관련 부처 간 협의 등 수행
 - (운영위원회) 사업 세부시행계획, 주요 변경내용, 지원 우선순위 등 담당부처 및 전문기관의 요청사항에 대한 검토·심의·조정 수행
 - (국토교통과학기술진흥원) 사업추진 전담 관리기관으로 사업기획·평가·운영 위원회를 구성·운영하고 사업단/세부과제 선정·평가, 사업단 진도점검 및 성과확산 지원 등 수행
 - (사업단) 사업수행을 총괄하는 주체로서 세부과제 기획·연차평가, 진도관리 및 과제 간 예산조정, 연구성과 관리 및 사업화 지원 등 수행
 - (세부과제 수행기관) 사업 내 중점분야별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행



〈그림 222〉 사업추진 체계도

나. 사업성과 관리 방안

(1) 사업 관리 : 연차평가 및 최종평가

□ 연차평가

- (목적) 선정 과정뿐만 아니라 연차 보고서에 따른 과제 실적/성과를 점검하고 마일스톤 점검을 통해 차기 계획 수립의 적절성 등을 평가함
 - 연차평가 결과를 통해 차년도 사업 지원규모 및 연구내용을 조정
- (연차평가 프로세스) 보고서 제출 후 발표평가를 통해 마일스톤 점검 추진

□ 단계평가

- (목적) 우수과제에 대한 선택과 집중 원칙에 따라 사전기획 및 기술가치 평가를 거치는 등 사업에 대하여 단계평가를 진행하고 과제 간 경쟁을 유도
 - (개념) 1단계 6개월간의 사전기획(pre-production) 및 기술가치평가 결과를 바탕으로 상호 경쟁을 통해 우수과제를 선정하여 1년간 기술사업화 비용을 지원
 - (평가기준) 신규사업 추진타당성 및 개발된 비즈니스모델(BM)의 우수성, 기술가치평가 결과의 우수성, 제안 컨소시엄 구성의 적절성 등을 평가

□ 최종평가

- (목적) 과제별 최종평가는 목표달성도, 기술성, 경제성 및 사업성 등에 대한 발표평가를 통해 최종평가를 실시
- (최종평가 추진절차) 실적 등록 → 최종보고서 제출 → 최종평가(발표) → 최종평가 결과 안내 → 이의신청·접수 → 이의신청 평가위원회 → 최종평가 결과 확정 → 수정 최종보고서 제출
 - 평가에 앞서 세부과제에 대한 평가는 마일스톤 관리계획에 따라 총괄 PM이 세부 평가계획을 마련 후 자체 실시함
- 평가항목 및 지표
 - 우수한 평가를 받은 과제에 대해서는 지속적인 시장 개척 및 생태계 구축 활동이 진행될 수 있도록 후속연계 지원방안을 모색

〈표 190〉 최종항목 평가

평가항목	세부항목	평가지표	배점
기술성 및 목표 달성도 (40점)	최종 목표 달성 정도	- 당초 개발 목표 달성 정도 - 달성 목표가 해당 산업의 기술력 향상을 유도하였는가?	10
	기술개발 결과의 혁신성	- 기술 수준과 목표가 적정하고 목표 달성 정도가 혁신적인가? - 기술개발 결과에 대한 성능 평가 결과(시험 성적서, 공인기관 인증서 등)가 타당한가?	10
	기술개발 추진방법의 창의성	- 기술개발 목표 달성을 위한 수행 방법이 창의적인가? - 개발기술이 국내/외 기존 기술과의 차별성 정도	10
	기술적 파급 효과	국내외 특허 출원/등록 실적수준 및 타기술 파급효과	10
사업성과 및 경제성 (60점)	품질관리 적정성	- 과제수행을 통해 품질역량이 향상되었는가? - 제시한 품질관리방안을 목표 달성 하였는가?	10
	상용화 계획	- 상용화 목표(제품/타겟시장)와 목표 달성 방안이 명확한가? - 타겟 시장 규모 및 예상점유율, 성장률, 예상 매출 규모 등	15
	상용화 실적	- 과제 산출물을 활용한 수출 매출 적정성 - 과제 산출물을 활용한 내수 매출 적정성 - 평가시점에 향후 3년내 매출 향상성 정도	15
	경제적 파급효과	고용 창출 효과, 수입 대체 효과, 수출 증대 효과 등	10
	시장 진입 및 점유 가능성	시장 진출 시 경제적, 제도적인 면에서 지속 점유 가능한가?	10

○ 최종평가위원회 구성 및 운영

- 평가 대상과제의 해당기술분야의 전문가로 기술성과 사업성에 대한 종합검토가 가능한 산·학·연 전문가 7명 내외로 구성하되, 기술사업화전문가, VC 등을 필수 포함시켜 시장성을 검증
- 평가위원회는 발표평가로 운영하되, 오전 사전검토, 오후 발표평가 등 심층 평가로 진행
- 사전검토 : 사업개요, 평가기준, 사업계획서 사전검토 및 사전 질의내용 조율 등을 진행
- 발표평가 : 사업계획에 대한 총괄책임자가 발표(30분) 및 평가위원 질의에 대한 응답(30분) 형식으로 진행

(2) 세부사업 평가 및 관리

□ 진도점검

- 관리 감독형 ‘실태조사+연차평가’를 탈피하여, 이해관계자들이 참여하는 컨설팅을 주기적으로 진행하여 진도 및 마일스톤을 점검
 - 주요 관계자(컨소시엄 외 관련분야 PD, PM, 평가위원 등)가 모여 진도 모니터링 및 지원
 - 성과창출을 위한 목표변경(무빙타겟*)을 적극 실시하고, 시장 변화로 세부과제 수행 필요성이 없어질 경우 조기 중단 등을 추진
- * 무빙타겟 방식 : 시장환경 및 경쟁구도의 지속적인 변화를 고려하여 사업의 초기 목적을 유지하는 범위에서 세부목표의 수정을 허용하는 연구관리 방식

□ 사업비 정산

- 컨소시엄 세부과제의 정산은 지침에 근거하여 실시하고, 컨소시엄 운영경비 등 정산에 대해서는 총괄적으로 수행하도록 함
- 연구비의 효율적 정산을 위해 전담팀에서 관련 업무를 지원

(3) 성과관리 및 활용

□ 기술료 징수

○ R&D사업의 최종평가 결과 ‘성공’인 과제에 대해 연구결과를 활용할 수 있는 권리 획득의 대가로 출연금의 일정 비율을 기술료로 납부토록 규정

- 기술료 징수 대상 : 과제 종료(조기종료 포함) 후 평가결과 혁신성과, 보통, 성실수행인 과제의 성과를 실시하고자 하는 영리 주관기관 또는 영리 참여기관에 대하여 기술료를 징수

* 필수 참여기관(공공연구기관) 외 선택 참여기관(사업화 지원기관)의 경우 동 사업을 통한 연구성과물의 실시를 목적으로 하지 않을 시에는 기술료 지킴 준수

- 기술료 징수 방식 : 경상기술료 방식 납부 원칙

* 정부정책 변화에 따라 징수방법 및 기준 변경 가능

* 실시기업은 아래의 착수기본료 및 사업수행결과를 활용하여 발생한 매출액에 대한 경상기술료를 매출이 발생한 회계연도부터 5년 또는 과제협약종료 후 7년 중에서 먼저 도래한 시점까지 전담기관에 납부하여야 함

〈표 191〉 기술료 징수 방식

실시기업 유형	착수기본료	경상기술료
중소기업	실시기업이 사용한 정부출연금의 1.0%	사업수행결과를 활용하여 발생한 매출액의 1.0%
중견기업	실시기업이 사용한 정부출연금의 2.0%	사업수행결과를 활용하여 발생한 매출액의 2.0%

- ‘착수기본료’는 기술료 확정결과를 통보받은 날로부터 90일 이내 납부

- ‘경상기술료’의 누적 징수액 납부한도는 정부출연금 대비, 중소기업인 경우 100분의 12, 중견기업의 경우 100분의 24

다. 예산 및 인력 투입 계획

(1) 소요예산 산정

□ 4년('23~'26)간 373.4억 원(정부 280.0억 원, 민간 93.4억 원) 연평균 약 93.4억 원 규모로 3개 중점분야, 8개 세부과제로 구성

〈표 192〉 전체 소요예산 산정

(단위 : 억 원)

중점분야	세부과제	구분	총 연구개발비				합계
			‘23	‘24	‘25	‘26	
[중점분야 1] 대용량 수소이송용 수소관망 설계·시공기술 개발	수소관망 설계 시뮬레이터 기술	정부	3.92	11.09	16.17	9.07	40.25
		민간	1.31	3.70	5.40	3.02	13.43
	수소관망 정밀시공 품질검사 기술	정부	5.50	9.50	14.50	8.00	37.50
		민간	1.84	3.17	4.84	2.67	12.52
	수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	정부	2.54	7.15	9.83	3.73	23.25
		민간	0.82	2.40	3.28	1.25	7.75
	합계	정부	11.96	27.74	40.50	20.80	101.00
		민간	3.97	9.27	13.52	6.94	33.70
		합계	15.93	37.01	54.02	27.74	134.70
[중점분야 2] 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	정부	1.50	10.00	5.00	3.00	19.50
		민간	0.51	3.33	1.67	0.99	6.50
	지상 및 지하매몰 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술	정부	2.50	11.50	4.50	3.00	21.50
		민간	0.84	3.83	1.50	1.03	7.20
	합계	정부	4.00	21.50	9.50	6.00	41.00
		민간	1.35	7.16	3.17	2.02	13.70
		합계	5.35	28.66	12.67	8.02	54.70
[중점분야 3] 수소도시 적용 수소관망 및 운영 기술 개발	수소관망 수소도시 실증 (운영) 기술	정부	-	27.00	35.00	13.00	75.00
		민간	-	9.00	11.67	4.33	25.00
	수소관 현장 적용성 평가 기술	정부	3.04	10.66	17.40	5.70	36.80
		민간	1.02	3.54	5.80	1.90	12.26
	수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	정부	6.50	7.60	7.60	4.50	26.20
		민간	2.16	2.53	2.54	1.51	8.74
	합계	정부	9.54	45.26	60.00	23.20	138.00
		민간	3.18	15.07	20.01	7.74	46.00
		합계	12.72	60.33	80.01	30.94	184.00
총합계		정부	25.50	94.50	110.00	50.00	280.00
		민간	8.50	31.50	36.70	16.70	93.40
		합계	34.00	126.00	146.70	66.70	373.40

□ (중점분야 1) 대용량 수소이송용 수소관망 설계·시공기술 개발

○ 4년간(‘23~‘26)간 134.70억 원(정부 101.00억원, 민간 33.70억 원) 연평균 약 33.68억 원 규모로 3개 세부과제, 8개 세세부과제로 구성

〈표 193〉 중점분야 1 소요예산 산정

(단위 : 억 원)

세부과제	구성기술	구분	연구개발비				합계
			‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 설계 시뮬레이터 기술	수소관망 열·수력 설계 기술	정부	2.18	5.54	7.86	4.27	19.85
		민간	0.73	1.85	2.63	1.42	6.63
	수소관망 선형 최적화 기술	정부	1.09	3.33	5.61	3.20	13.23
		민간	0.36	1.11	1.87	1.07	4.41
	지능형 수소관망 건전성 평가기술	정부	0.65	2.22	2.70	1.60	7.17
		민간	0.22	0.74	0.90	0.53	2.39
	합계	정부	3.92	11.09	16.17	9.07	40.25
		민간	1.31	3.70	5.40	3.02	13.43
		합계	5.23	14.79	21.57	12.09	53.68
수소관망 정밀시공 품질검사 기술	수소관망 정밀시공 및 장비 조합·운영 기술	정부	2.00	2.00	3.50	2.00	9.50
		민간	0.67	0.67	1.17	0.67	3.18
	수소관망 정밀 lowering 기술	정부	2.50	3.00	5.00	2.00	12.50
		민간	0.83	1.00	1.67	0.67	4.17
	수소관망 디지털 시공품질 검사 기술	정부	1.00	4.50	6.00	4.00	15.50
		민간	0.34	1.50	2.00	1.33	5.17
	합계	정부	5.50	9.50	14.50	8.00	37.50
		민간	1.84	3.17	4.84	2.67	12.52
		합계	7.34	12.67	19.34	10.67	50.02
수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	효율적인 수소관망 비개착식 시공 기술	정부	1.59	3.67	5.45	1.87	12.58
		민간	0.51	1.23	1.82	0.63	4.19
	수소관로 효율적 비개착 유지보수 기술	정부	0.95	3.48	4.38	1.86	10.67
		민간	0.31	1.17	1.46	0.62	3.56
	합계	정부	2.54	7.15	9.83	3.73	23.25
		민간	0.82	2.40	3.28	1.25	7.75
		합계	3.36	9.55	13.11	4.98	31.00
	총합계	정부	11.96	27.74	40.50	20.80	101.00
		민간	3.97	9.27	13.52	6.94	33.70
		합계	15.93	37.01	54.02	27.74	134.70

□ (중점분야 2) 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발

○ 4년간('23~'26)간 54.70억 원(정부 41.00억원, 민간 13.70억 원) 연평균 약 13.68억 원 규모로 2개 세부과제, 2개 세세부과제로 구성

〈표 194〉 중점분야 2 소요예산 산정

(단위 : 억 원)

세부과제	구성기술	구분	연구개발비				합계
			'23	'24	'25	'26	
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	수소관망의 수소취성 및 한계수명 예측 기술	정부	1.00	8.00	2.00	1.00	12.00
		민간	0.33	2.67	0.67	0.33	4.00
	수소관망의 수소취성 대체시험·평가 기술	정부	0.50	2.00	3.00	2.00	7.50
		민간	0.18	0.66	1.00	0.66	2.50
	합계	정부	1.50	10.00	5.00	3.00	19.50
		민간	0.51	3.33	1.67	0.99	6.50
		합계	2.01	13.33	6.67	3.99	26.00
지상 및 지하매물 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술	지상 및 지하매물 설치 배관 안전성 검증 기술	정부	1.50	9.50	2.50	2.00	15.50
		민간	0.50	3.17	0.83	0.70	5.20
	수소배관망 운용에 따른 위험성 평가 기술	정부	1.00	2.00	2.00	1.00	6.00
		민간	0.34	0.66	0.67	0.33	2.00
	합계	정부	2.50	11.50	4.50	3.00	21.50
		민간	0.84	3.83	1.50	1.03	7.20
		합계	3.34	15.33	6.00	4.03	28.70
총합계		정부	4.00	21.50	9.50	6.00	41.00
		민간	1.35	7.16	3.17	2.02	13.70
		합계	5.35	28.66	12.67	8.02	54.70

□ (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

○ 4년간(‘23~‘26)간 184.00억 원(정부 138.00억원, 민간 46.00억 원) 연평균 약 46.00억 원 규모로 3개 세부과제, 8개 세세부과제로 구성

〈표 195〉 중점분야 3 소요예산 산정

(단위 : 억 원)

세부과제	구성기술	구분	연구개발비				합계
			‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 수소도시 실증 (운영) 기술	수소관망 테스트베드 실증 및 운영 기술	정부	-	21.00	29.00	7.00	57.00
		민간	-	7.00	9.67	2.33	19.00
	수소도시 수소관망 건설기술(기준, 지침 등)	정부	-	2.00	2.00	2.00	6.00
		민간	-	0.67	0.67	0.67	2.01
	상용급 수소관망 건설 타당성 평가 기술	정부	-	4.00	4.00	4.00	12.00
		민간	-	1.33	1.33	1.33	3.99
	합계	정부	-	27.00	35.00	13.00	75.00
		민간	-	9.00	11.67	4.33	25.00
		합계	-	36.00	46.67	17.33	100.00
수소관 현장 적용성 평가 기술	실현장 수소관 성능평가 기술	정부	1.12	4.50	7.70	2.20	15.52
		민간	0.41	1.50	2.60	0.60	5.11
	수소관 시제품 생산공정 기술	정부	1.12	4.50	7.70	2.20	15.52
		민간	0.41	1.50	2.60	0.60	5.11
	수소배관 정압기 시제품 국산화	정부	0.80	1.66	2.00	1.30	5.76
		민간	0.20	0.54	0.60	0.70	2.04
	합계	정부	3.04	10.66	17.40	5.70	36.80
		민간	1.02	3.54	5.80	1.90	12.26
		합계	4.06	14.2	23.2	7.6	49.06
수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	D.N.A. 기반 수소관망 이상진단 및 관리 기술	정부	3.62	4.26	4.26	2.25	14.39
		민간	1.20	1.42	1.43	0.75	4.80
	D.N.A. 기반 자산관리 의사결정 기술	정부	2.88	3.34	3.34	2.25	11.81
		민간	0.96	1.11	1.11	0.76	3.94
	합계	정부	6.50	7.60	7.60	4.50	26.20
		민간	2.16	2.53	2.54	1.51	8.74
		합계	8.66	10.13	10.14	6.01	34.94
	총합계	정부	9.54	45.26	60.00	23.20	138.00
		민간	3.18	15.07	20.01	7.74	46.00
		합계	12.72	60.33	80.01	30.94	184.00

(2) 인력투입 계획

□ (산출방법) 인건비를 매년 예산의 30%로 가정하고 소요인력 산정

- 중점분야의 인건비를 토대로 연간 인건비 산출(연간 인건비 = 인건비/연구기간)
- 연간 인건비에서 직급별 참여 비율(박사 : 석사 : 학사)은 3:4:3로 가정하여 직급별 연간 인건비 산정(ex. 박사 직급의 연간 인건비 = 연간 인건비 × 0.3)
- 인건비는 계약예규(기재부)의 ‘학술연구용역단가’에 따라 참여율 50%를 가정
- 중점분야별 직급별 연간 인력 수 = 중점분야별 직급별 연간 인건비/(학술연구용역단가(참여율 50%)×12개월)
- 중점분야별 총 소요인력 수 = 중점분야별 직급별 연간 인력 수 총합계 × 중점분야별 연구기간

□ 각 중점분야별 연구개발에 필요한 소요인력을 기획분과위원회의 상세기획 내용을 반영하여 산출한 결과, 총 사업기간 동안 연평균 약 98명의 연구 인력이 투입되어 총 395명이 투입될 것으로 추산

- 총 사업기간 동안 책임연구원(박사급) 85명, 연구원(석사급) 144명, 연구보조원(학사급) 166명 등 총 395명의 인력이 소요 예상
- 중소·중견기업은 주로 연구원(석사급)과 연구보조원(학사급)으로 인력이 참여 예상
- 대학, 출연연구기관 중심으로 책임연구원(박사급) 인력이 참여 예상

〈표 196〉 전체 인력투입 계획

(단위 : 명)

중점분야	구분	총 투입 인력				합계
		‘23	‘24	‘25	‘26	
[중점분야 1] 도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발	책임연구원(박사급)	3	8	12	7	30
	연구원(석사급)	6	15	20	10	51
	연구보조원(학사급)	9	16	26	12	63
합계		18	39	58	29	144
[중점분야 2] 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발	책임연구원(박사급)	1	7	3	2	13
	연구원(석사급)	2	11	5	4	22
	연구보조원(학사급)	3	12	5	2	22
합계		6	30	13	8	57
[중점분야 3] 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발	책임연구원(박사급)	3	13	18	8	42
	연구원(석사급)	5	24	31	11	71
	연구보조원(학사급)	5	27	36	13	81
합계		13	64	85	32	194
총합계		37	133	156	69	395

□ (중점분야 1) 대용량 수소이송용 수소관망 설계·시공기술 개발

- 총 사업기간 동안 연평균 약 36명의 연구인력이 투입되어 총 144명이 투입될 것으로 추산
- 총 사업기간 동안 책임연구원(박사급) 30명, 연구원(석사급) 51명, 연구보조원(학사급) 63명 등 총 144명의 인력이 소요 예상

〈표 197〉 중점분야 1 인력투입 계획

(단위 : 명)

세부과제	구분	총 투입 인력				합계
		‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 설계 시뮬레이터 기술	책임연구원(박사급)	1	3	5	3	12
	연구원(석사급)	2	6	8	4	20
	연구보조원(학사급)	3	7	10	6	26
합계		6	16	23	13	58
수소관망 정밀시공 품질검사 기술	책임연구원(박사급)	2	3	4	2	11
	연구원(석사급)	2	5	7	5	19
	연구보조원(학사급)	4	5	10	4	23
합계		8	13	21	11	53
수소관로 효율적 비개착 시공·보수 기술	책임연구원(박사급)	0	2	3	2	7
	연구원(석사급)	2	4	5	1	12
	연구보조원(학사급)	2	4	6	2	14
합계		4	10	14	5	33
총합계		18	39	58	29	144

□ (중점분야 2) 도시 내 수소관망 활용을 위한 안전관리 기술개발

- 총 사업기간 동안 연평균 약 14명의 연구인력이 투입되어 총 57명이 투입될 것으로 추산
- 총 사업기간 동안 책임연구원(박사급) 13명, 연구원(석사급) 22명, 연구보조원(학사급) 22명 등 총 57명의 인력이 소요 예상

〈표 198〉 중점분야 2 인력투입 계획

(단위 : 명)

세부과제	구분	총 투입 인력				합계
		‘23	‘24	‘25	‘26	
수소시설 및 배관망의 수소취성 평가 기술	책임연구원(박사급)	1	3	1	1	6
	연구원(석사급)	0	5	3	2	10
	연구보조원(학사급)	1	6	3	1	11
합계		2	14	7	4	27

지상 및 지하매몰 조건 하 환경 및 압력별 안전성 검증 기술	책임연구원(박사급)	0	4	2	1	7
	연구원(석사급)	2	6	2	2	12
	연구보조원(학사급)	2	6	2	1	11
합계		4	16	6	4	30
총합계		6	30	13	8	57

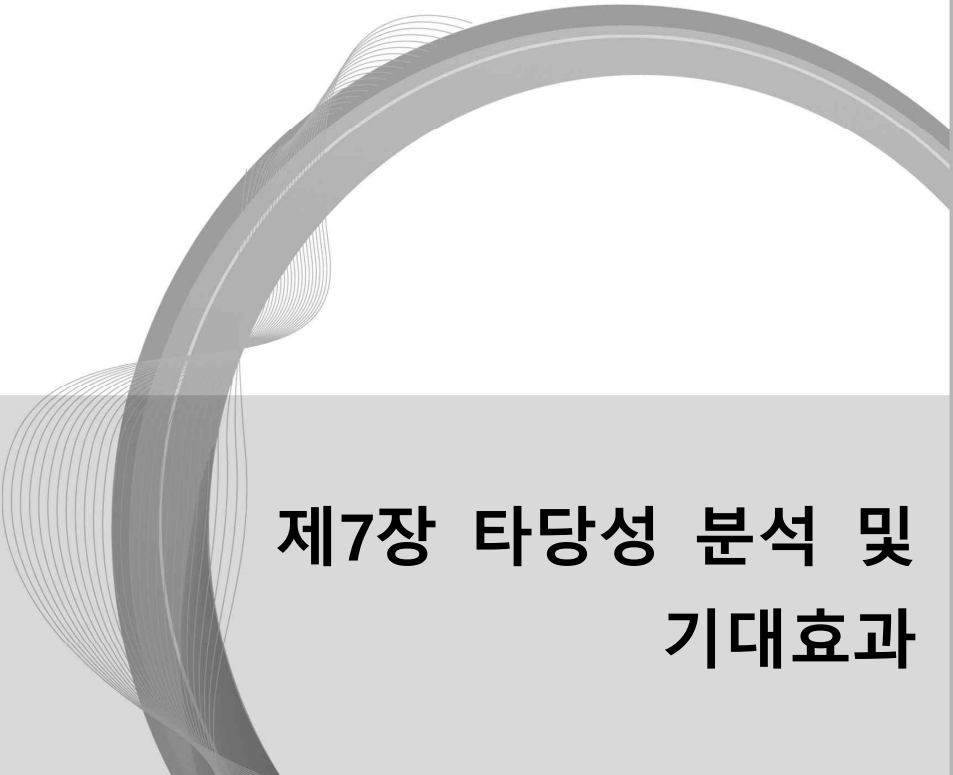
□ (중점분야 3) 수소도시 적용기반 수소관망 실증 및 운영기술 개발

- 총 사업기간 동안 연평균 약 48명의 연구인력이 투입되어 총 194명이 투입될 것으로 추산
- 총 사업기간 동안 책임연구원(박사급) 42명, 연구원(석사급) 71명, 연구보조원(학사급) 81명 등 총 194명의 인력이 소요 예상

〈표 199〉 중점분야 3 인력투입 계획

(단위 : 명)

세부과제	구분	총 투입 인력				합계
		‘23	‘24	‘25	‘26	
수소관망 수소도시 실증(운영) 기술	책임연구원(박사급)	0	8	11	4	23
	연구원(석사급)	0	14	18	7	39
	연구보조원(학사급)	0	16	20	7	43
합계		0	38	49	18	105
수소관 현장 적용성 평가 기술	책임연구원(박사급)	1	3	5	2	11
	연구원(석사급)	2	6	9	2	19
	연구보조원(학사급)	1	6	11	4	22
합계		4	15	25	8	52
수소관망 이상상태 진단 및 유지관리 기술	책임연구원(박사급)	2	2	2	2	8
	연구원(석사급)	3	4	4	2	13
	연구보조원(학사급)	4	5	5	2	16
합계		9	11	11	6	37
총합계		13	64	85	32	194



제7장 타당성 분석 및 기대효과

7. 타당성 분석 및 기대효과

가. 타당성 분석

(1) 정책적 타당성

□ 정부지원의 타당성

- 정부는 우리나라의 미래 성장동력 사업으로 수소경제를 선정하고 수소경제 활성화 로드맵, 수소기술로드맵을 수립하고 이를 법적으로 뒷받침하기 위하여 세계최초로 [수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률]을 제정하고 시행
- **(수소공급망 확대)** 정부는 「수소법」 제5조(기본계획의 수립)에 따라 수소를 ‘30년 390만톤, ‘50년 2,790만톤 공급계획 수립
 - * 산업용 1,060만톤, 발전용 1,350만톤, 수송용 220만톤, 기타 160만톤 순
 - 총 2,790만톤은 천연가스(4,000만톤) 대비 69.8% 수준으로 효율적 이송을 위해 서는 배관망 인프라 구축에 중점투자 확대 필요
 - * 현재 천연가스 주배관망은 4,925km, 정압기지 147기, 밸브기지 146기 운영 중
- **(수소도시계획)** 수소도시 확대 강화를 위해서는 수소생산(석유화학, LNG, 신재생 설비 등), 수소거점(저장·공급), 수소산단, 수소항만, 수소항공, 수소물류, 수소 농업 등의 핵심요소가 결합되어야 가능
 - 그러나 도시와 수소인프라 핵심요소의 연결에 필요한 배관망 구축 연구는 전무 하며, 소재·부품의 경우에도 연구개발 초기 단계로 해당 사업은 공익성이 강하며 지자체 또는 민간이 추진하기 어려움
 - 현재, 수소배관망 구축·운영기술 개발 및 실증사업 추진을 위해서는 제도의 정립, 국토부 표준마련 및 안전성 확보 방안 수립 등이 수반되는 사업으로 국내 민간기업에서 독자적으로 추진하기에는 기술역량이 부족
- **(국제동향)** 미국 및 유럽은 수소전용 공급망에 대한 기술개발 및 인프라 구축이 완성단계이며 천연가스 공급망에 수소를 혼입하기 위한 단계로 진입 중이나 국내는 수소전용망 및 혼입망 모두 구축 초기단계
 - * 미국 : 수소배관망 총 2,588km이며, 천연가스 공급망 (482,803km)에 수소를 혼합(약 10%) 하여 공급하는 방안 검토
 - * 유럽 : 수소배관망 총 1,611 km이며, ‘40년 23,000km 까지 수소 및 수소혼입배관으로 확장에 약 37조 ~ 84조(기존배관 확장 : 75%, 신규 배관 : 25%) 투자예상(“European Hydrogen Backbone” (‘20.7월))
 - 유럽 천연가스 배관 규격은 주로 20~48 인치이나, 충분한 수소 공급을 위해

36~48 인치로 확장 추진

* 국내 : 수소전용 배관은 204.8km로, 주 용도는 석유화학사 공급용 이며, 고압(20~30MPa), 8 인치 이하 소구경 Seamless 배관이 대부분

○ (플랜트 수출) ‘수소경제이행 기본계획’에 중동지역에서 블루수소 생산플랜트 추진을 통한 ‘50년까지 해외 수소공급망 40개를 구축하여 수소자급률 60% 이상 확보 포함

- VIP UAE, 사우디 순방 시 중요 의제로 제시

* ‘26~30: UAE 현지 신재생에너지(태양열, 태양광)를 활용한 수전해기반 그린수소 생산 플랜트 및 수소도시 플랫폼 구축

** ‘30~41: UAE 현지 생산 그린수소의 국내 및 UAE 내부 이송체계 구축

○ (국내산업 활성화) 수소차, 충전소 등 개별 수소인프라 확충만으로는 수소 경제 확산에 한계가 있으며, 이를 위해 도시 내 수소 에너지 시스템으로의 전환이 가능한 수소 시범도시 조성 사업 추진 중

- 3기 신도시 5개 중 2곳 내외를 수소도시로 조성하고 수소충전소 구축 및 S-BRT를 수소버스로 공급 계획 발표(‘20.07.01, 부처 합동)

○ 국내 수소배관 인프라는 산업용에 한정되어 시장형성 초기단계인 점을 감안기술 격차 해소, 시장 확대 및 안전성 확보를 위해 수소전용 강재 개발 정부지원 시급

○ 배관망을 이용한 도시내 수소공급 인프라 확대를 위해서는 수소취성* 문제 극복과 고기능성 배관 대비 상대적으로 저렴한 수소전용 고강도 강재 개발이 선결 요건

* 수소가 금속소재에 침투하여 재료의 기계적 물성을 현저히 약화시키는 현상

○ 개발된 수소배관의 안전성 확보와 사업화 추진을 위해서는 투명한 성능평가 기준 정립, 실증을 통한 수용성 확보가 필요하며 이에 수반되는 성능평가 체계 구축 등은 민간에서 수행곤란



출처 : 수소 경제의 본격화 시점, 결코 먼 미래가 아니다, Deloitte, 2020

<그림 223> 신기술 도입 및 시장 확산의 3단계 계곡

- 필수적인 수소공급 및 사용조건 적합성 평가를 통한 안전성 검증 필요
- 수소도시와 동일조건 사전검증 및 수소도시 적용 실증을 통한 트랙레코드 확보 필요

□ 정부정책의 부합성

- **(수소사회로 재편)** 미래 경제체제는 저탄소 청정에너지원인 ‘수소에너지’ 공급 시스템에 기반한 「수소경제사회」로의 재편이 예상
 - ‘17년 다보스 포럼의 ‘수소위원회’ 신설, 국제에너지기구(IEA)의 수소차 비율 ‘50년 17.7%로 전망
- **(수소도시법 입법 중)** 수소경제 대응을 위해 「수소도시 건설 및 운영에 관한 법률」 제정으로 도시 에너지원의 수소로 전환을 위한 제도적 기반 마련 방안 발표(제2차 수소경제위원회, ‘20.10.15)
 - 수소경제로드맵 발표(‘19.1), 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제정 완료(‘20.2)
- **(도시에너지 전환)** 수소도시 건설을 위한 배관인프라 구축은 도시에너지 전환 대응의 핵심 수단이며, 입법을 통해 입지규제, 기술개발, 재정 지원 등을 위한 근거 규정 마련 예상
 - 수소배관망 등 중장기 수소인프라 구축은 국가의 정책과 지원에 따라 성패가 크게 좌우되며, 정책적 지속성 제시를 통해 민간의 투자 유도필요
- 「100대 국정과제」, 20.09, 정부

□ 32. 국가기간교통망 공공성 강화 및 국토교통산업 경쟁력 강화

- **(개요)** 건설업을 양질의 일자리로 전환하고 화물종사자 근로 여건 개선, 교통의 공공성을 단계적으로 강화하고 노후 인프라 개선
- **(주요내용)** 도로통행료 인하, 벽지노선 운영, 일반철도 서비스개선 등을 통해 공공성 강화, 간선망 구축 등 교통 네트워크 효율화
- **(주요성과)** 도로·철도 분야 안전하고 편리한 교통서비스 이용 지원
 - 고속도로 수소충전소 구축으로 수소차 보급 인프라 조성(‘21년 19기 준공, 33기 구축 중)

□ 34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성

- **(개요)** 제조 경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 미래형 신산업 육성
- **(주요내용)** 전기차·수소차 획기적 보급 확대, 자동차-ICT융합 플랫폼 구축 등 스마

트카 개발 및 자율주행차 산업 육성

- 충전 인프라 확충, 자율차·전기차·수소차 안전기준 마련

○ **(주요성과)** (수소차) '21년 누적 보급 1.9만대 돌파 → 수소차 보급 세계 1위, (인프라) 친환경차 본격 전환에 대비한 충전 인프라 대폭 확충

* 수소차 보급(누적) : ('18년) 890대 → ('19년) 5,100대 → ('20) 11,000대 → ('21) 19,400대

* 국공유지 內 수소충전소 구축 시 임대료 감면 50% → 80%로 상향, 인허가 특례(지자체→환경부) 도입

* 전기 급속충전기: ('20년) 9,805기→('21년) 14,956기 / 수소 충전소: ('20년) 70기→('21년) 170기

□ 37. 친환경 미래 에너지 발굴·육성

○ **(개요)** 재생에너지 발전 비중을 '30년 20%로 대폭 확대, 에너지 신산업 선도국가 도약 및 저탄소·고효율구조로 전환

○ **(주요내용)** 수소생태계 구축 기반 마련을 위한 수소 시범도시 조성 및 수소경제 3대 전담기관 선정 등 수소경제 활성화 기반 조성

○ 주요성과

- 수소법 하위법령 제정·시행(수소법시행령 및 시행규칙, 2월), 수소도시법안 국회 상정* (3월) 등 수소경제에 대한 전폭적 지원과 확산을 위한 기반 마련

* 현재 제정안은 국회 국토위에 계류 중

- 수소경제 성과보고 및 비전 발표*(10월) 및 수소경제 이행 기본계획(12월) 등 구체적인 이행방안을 마련하고 민관의 수소경제 협력 역량을 결집

* 대통령 주제로 SK·현대차 등 주요 민간기업 CEO들이 참석하여 수소경제 협력 선포

- 수소차, 연료전지 보급은 세계 최고 수준의 성장세로 최근 3년간('18~'21년) 수소차 보급규모 17배, 연료전지 발전설비가 2배 증가

* 수소차 국가별 보급 : 한국 16,206대, 미국 11,088대, 일본 6,347대, 독일 697대

* 연료전지 국가별 보급 : 한국 688MW, 미국 527MW, 유럽 325MW, 일본 350MW

- 수소경제로의 전환 촉진 및 지원을 위해 수소경제추진위원회(위원장: 총리)를 조기 구성하고, 3대 전담기관(진흥, 유통, 안전)을 사전 지정('20.7월)

□ 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성

○ **(개요)** 미세먼지 발생량을 임기 내 30% 감축하고 민감계층 적극 보호

○ **(주요내용)** 경유차 비중 축소 및 친환경차 비중 확대

- '22년까지 전기차 등 친환경차 보급 획기적 확대

<무공해차 보급 현황>

(단위 : 대, %)

차량	‘20년 보급대수	‘21년 보급대수	증가율
계	52,556	108,959	107.3
전기차	46,713	100,427	115.0
수소차	5,843	8,532	46.0

출처 : 2021년도 일자리·국정과제 평가, 국무조정실, 2022

- **(주요성과)** 미세먼지 핵심배출원 관리 강화로 오염물질 배출 저감 도모
 - **(수송)** 무공해차(전기차·수소차) 보급 확대 및 배기가스 5등급 차량 감축 등
- **61. 신기후체제에 대한 건실한 이행체계 구축(유엔기후 변화협약 당사국 총회에 따른 우리나라의 감축의무 이행, 친환경 자동차 개발 및 보급계획)**
 - **(개요)** ‘21년까지 온실가스 배출전망 대비 상당한 수준 감축 실현, 기후변화 리스크를 예측·관리하고 피해를 최소화하는 안전사회 구현
 - **(주요내용)** 지속가능발전위원회 위상을 강화(‘18년~)하여 사회·경제 전반의 지속성 제고 및 기후·대기·에너지정책 통합성 제고, 배출권거래제 정상화 등 온실가스 배출증가 억제
 - **(주요성과)** 「탄소중립기본법」 제정을 통한 온실가스 감축·탄소중립 추진
 - 「탄소중립기본법」 제정(‘21.9.24.)으로 ‘2050 탄소중립’ 법제화
 - 탄소중립 시나리오 및 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향(‘21.10.27)을 통해 탄소중립을 위한 이정표 제시
- **동사업과의 부합성**
 - 수소를 에너지원으로 활용하기 위한 기술개발, 인프라 구축, 활용처(도시, 자동차 등)에 대한 투자가 활발히 진행되고 있으며, 수소 활용처에 안정적인 수소공급을 위한 본 기획과제와 부합성이 매우 높음

○ 「제5차 국토종합계획」, 정부, 2019

□ (개요) 헌법과 국토기본법*에 근거한 최상위 국가공간계획

* 헌법 제120조제2항 : 국토와 자원은 국가의 보호를 받으며, 국가는 그 균형 있는 개발과 이용을 위하여 필요한 계획을 수립

* 국토기본법 제6조 : 국토계획은 국토를 이용·개발 및 보전할 때 미래의 경제적·사회적 변동에 대응하여 국토가 지향하여야 할 발전 방향을 설정 하고 이를 달성하기 위한 계획

○ 시간적 범위 : 2020년 ~ 2040년

○ 공간적 범위 : 대한민국의 주권이 실질적으로 미치는 국토 전역을 대상으로 하며, 필요시 한반도와 이를 둘러싸고 있는 동아시아 전역으로 확대

○ 내용적 범위 : 국토기본법 제10조에 대한 기본적·장기적 정책방향을 포함

□ 주요내용

○ (목표) 어디서나 살기좋은 균형 국토, 안전하고 지속가능한 스마트국토, 건강하고 활력있는 혁신국토

○ (추진전략) 6대 추진전략 - 개성있는 지역발전과 연대·협력 촉진, 지역 산업혁신과 문화관광 활성화, 세대와 계층을 아우르는 안심 생활공간 조성, 품격있고 환경 친화적 공간 창출, 인프라의 효율적 운영과 국토 지능화, 대륙과 해양을 잇는 평화국토 조성

□ 관련 내용

○ 품격있고 환경 친화적 공간 창출

- (에너지 및 탄소 저감을 위한 첨단 모빌리티체계 구축) 교통 분야에서는 교통수요관리 강화, 수소·전기차 등 친환경 자동차, 친환경 대중교통 확충, 저탄소 교통물류체계 구축과 관련 인프라 조성

- (에너지 시설 적정입지와 분산형 에너지 시스템 실현) 수소 등 미래형 에너지가 도시의 주된 에너지원으로 사용되어 도시경제 및 시민생활에 근본적 변화를 주는 도시 건설을 위해 생산과 저장·이송 기술을 개발하고, 주가·교통 분야의 시범사업을 통해 활용성 검증

○ 인프라의 효율적 운영과 국토 지능화

- (미래형 교통수단에 대응한 교통체계 개편) 친환경 자동차 확산에 대응하여 전기차·수소차 충전소 등 관련 인프라를 확충하고, 점검수리를 위한 인력양성 등 일자리 창출과 연계

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 계획은 수소를 에너지원으로 활용하는 수소자동차의 보급 및 보급 확대를 위한 관련 인프라 조성, 도시의 주 에너지원으로 수소 활용 및 활용을 위한 관련 기술 개발·시범사업 추진 등의 내용을 포함

○ 본 기획과제에서 개발하고자 하는 기술은 수소의 원활하고 안정적인 공급을 통한 수소 도시, 수소자동차 등의 활용처 확대에 목적을 두고 있으므로, 부합성이 매우 높음

○ 「수소 기술개발 로드맵 이행현황 및 향후 계획」, 관계부처 합동, 2020

□ (개요) 수소 분야 R&D 추진현황을 점검하고 연구성과 창출을 가속화하기 위해 수소 기술개발 로드맵 이행현황 및 향후 계획(안)을 수립

□ 주요내용

○ (목적) 수소 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제 이행 뒷받침

○ 수소차 등 수송수단의 비약적 확대와 발맞춰 시급한 추진이필요한기반 기술(안전·인증·충전소 등) 등은 소관 부처가 우선 추진('20~)

○ 수소활용 확산 촉진을 위해, 수소를 경제적·안정적으로 공급할 수 있는 인프라 구축 기술 개발·실증에 부처 역량 결집(예타 사업 기획 중)

- 국내 수소 생산·공급 인프라 구축을 위한 기술개발과 해외수소공급 네트워크 구축을 위한 기술개발을 집중 지원

- 수소에 대한 국민 수용성 제고 및 국내 기술의 운용 실적 확보를 위해 수소도시 인프라를 기반으로 중장기 통합 실·검증추진

○ 기대효과

- 국내·외 수소 공급망 구축 시 국산 기술(중·대형 개질 시스템, 고압배관망 등)을 적용함으로써 외산 기술도입 대체 가능

- 인프라 구축 비용 및 라이선싱 비용 절감 등에 따른 수소 이용가격저감, 이용수단 확대 및 수용성 향상에 따른 수소활용 확산

○ 향후 계획

- (범부처 기술개발 사업(예타) 추진) 기획 완료 및 의견수렴(공청회) 이후 '20.3차 예타 제출(8월초)

- (범부처 수소R&D 협의체 운영) 관계부처 협업체계를 지속 유지하고 부처별 R&D 추진 현황 및 성과 공유, 신규 R&D 투자수요 검토 및 협업 과제 발굴 등 추진

- (수소 기술개발 로드맵 관리·활용) 국내·외 기술개발 동향을 고려하여 5년을 주기로 중장기 기술개발전략 및 중점추진기술(핵심기술) 재검토 및 신규 R&D 과제 기획 등에 활용

□ 관련내용

○ (국가 수소 R&D) 과기정통부 주관 범 부처 '수소 기술개발 로드맵 이행현황 및 향후 계획'에 수소 운송량 증대를 위해 저장 및 운송기술 고도화 계획 포함('20. 7, 관계 부처 합동, 배관망 구축비용 : ('19) 10억원/km, 20bar → ('40) 4억원/km, 10MPa급)

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 계획은 수소 기술개발 로드맵의 후속 계획으로 수소 분야 기술경쟁력 제고가 주 목적이며, 수소 경제 대비 수소 운송량 증가를 위한 기술개발 계획을 포함함으로써 본 기획과제와의 부합성이 매우 높음

○ 「제1차 국토교통과학기술연구개발 종합계획(‘18~‘27)」, 국토교통부, 2018

□ (개요) 국토교통 과학기술에 관한 장기적이고 종합적인 정책방향을 설정하고 중장기 투자계획을 정하는 최상위 법정 종합계획

□ 주요내용

○ (목적) 4차 산업혁명을 새로운 도약기회로 활용하고 삶의 질 향상 등 사회적 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기술개발 전략 수립

○ (추진전략) 4대 추진전략 - 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성, 기술융합을 통한 새로운 가치창출, 사람 중심의 국토교통 기술, 미래지향적 R&D 시스템 도입

□ 관련내용

○ 기술융합을 통한 새로운 가치창출 - 고부가가치 건설기술 창출

- (전략목표) 시장 형성 단계로써 선제적 대응을 통해 수출전략화가 가능한 “미래형 건축·구조물”과 “고효율 하이브리드 플랜트”를 전략목표로 설정

- 지하공간 구축 기술과 가스, 상·하수도 등 지하 라이프라인의 건설·유지관리 기술 개발 등을 통해 도시공간 효율 증대

* 교통시설, 상업·공연시설 등이 복합된 도심도 지하입체 대공간 구축·유지관리 기술과 지중 인프라 및 인접 구조물 피해 방지 기술 개발

* 지반정보와 연계한 지하 관망 설계·시공 기술, 관내 상태 진단·보수 로봇, 노후 관망의 비개착식 신설·교체 장비 및 공법 등 개발

○ 기술융합을 통한 새로운 가치창출 - 기존 수송시스템 혁신기술 도입

- (전략목표) 여객·화물 운송 수단·인프라 혁신을 위하여 “친환경 스마트 철도”, “차세대 항공 교통”, “고부가가치 자동화 물류”를 전략목표로 설정

- 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 전력 변환장치, 추진제어장치 등 차량기술과 수소충전을 위한 인프라기술 개발

○ 사람 중심의 국토교통 기술 - 친환경 생활공간 조성 기술 개발

- (전략목표) 도시운영에 필요한 에너지를 스스로 생산하여 깨끗한 대기환경이 구현된 “에너지 자립형 청정도시”를 전략목표로 설정

- 냉난방·조명·환기 등 설비 시스템을 고효율화·지능화하고 태양광·지열·연료전지 등 신재생에너지 융합기술을 개발하여 태양과 수소 에너지의 적극적 활용방안 모색

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 계획에서는 미래 기술에 대응하여 기술 융합, 친환경 에너지 활용, 삶의 질 향상 등의 기술개발 전략을 수립하였으며, 그 중 지하공간, 수소 에너지 등과 관련된 기술 개발 및 전략 내용은 본 기획과제의 배관망 구축 기술과 목표인 수소 공급을 통한 수소 경제·도시 활성화와 일치하므로 부합성이 매우 높음

○ 「제1차 기계설비 발전 기본계획(‘21~‘25)」, 국토교통부, 2020

□ (개요) 기계설비법 제5조*에 따른 법정 기본계획

* 국토교통부장관은 기계설비산업의 육성과 기계설비의 효율적인 유지관리및성능확보를 위하여 기계설비 발전 기본계획을 5년마다 수립·시행하여야함

□ 주요내용

- (목적) 제1차 기본계획은 산업 기반을 구축하는 단계로, 제도·기술·시장의 3개 분야에 대한 중장기 발전과제 및 추진전략 제시
- (추진전략) 3대 전략 - 제도적 지원 기반 구축, 기술혁신 기반 경쟁력 강화, 시장 개척 및 일자리 창출

< 기계설비 발전 기본계획 주요내용 >

1. 기계설비산업의 부문별 육성시책에 관한 사항
2. 기계설비산업의 기반조성 및 창업지원에 관한 사항
3. 기계설비의 안전 및 유지관리를 위한 법령·제도의 마련 등 기반조성
4. 기계설비기술자 등 기계설비 전문인력의 양성에 관한 사항
5. 기계설비산업의 국제협력 및 해외시장 진출 지원에 관한 사항
6. 기계설비기술의 연구개발 및 보급에 관한 사항
7. 기계설비산업의 국내외 시장 전망에 관한 사항
8. 기계설비산업의 생산성 향상에 관한 사항

□ 관련내용

- 기술혁신 기반 경쟁력 강화 - 연구개발 및 보급 활성화
 - (목표) 신기술·신공법 연구개발 과제 발굴 및 기획(‘25), 연구 성과 보급 활성화 및 기술지원(‘25)
 - (필요성) 자체 연구개발을 수행하기 어려운 영세업체의 신기술 개발 수요를 충족하고, 혁신성장 동력 발굴을 위한 현장 밀착형 R&D 추진필요, 산업현장의 기술 변화에 대응하고 연구개발 성과를 극대화 하기 위한 산·학·연 합동 지원체계 구축 필요
 - (ICT) 기계설비 IoT 표준시스템 개발, 빅데이터 기반의 설비예측제어, 지능화된 설비 운용 기술 등 ICT 융복합 기술 개발
 - (유지관리) 기존 설비의 노후도 판단을 위한 비파괴 검사 및 사용연한 평가 기술, 노후 설비의 교체·리모델링 기술 개발

□ 동사업과의 부합성

- 기계설비는 건축물에 깨끗한 물과 맑은 공기, 적절한 냉·난방을공급하여 안전하고 쾌적한 실내공간을 유지하는 중요 시스템이며, 배관망 관련 인프라가 포함
- 본 기획과제에서 개발하고자 하는 수소관망 관련 기술은 배관망 구축부터 운영·관리 까지 포함되는 기술로써 수소취성 및 공급 안전성 문제로 배관을 실시간으로 관리하고자 하는 기술개발 내용을 포함하고 있으므로 부합성이 매우 높음

○ 「제1차 수소경제 이행 기본계획(‘21~‘25)」, 관계부처 합동, 2021

□ (개요) ‘수소법 제5조(기본계획의 수립)’에 근거, 수소경제 이행을 효과적으로 추진하기 위한 기본계획 수립

□ 주요내용

○ 목적

- 부생·추출수소 중심에서 그린수소 중심으로 공급체계 전환
- 효율적 수소 저장·운송수단 확보 및 활용처 다변화
- 전문인력·기술·금융 등 기반 확대로 수소산업 생태계 강화

○ (추진전략) 4대 전략 - 국내외 청정수소 생산주도, 빈틈없는 인프라 구축, 모든 일상에서 수소 활용, 생태계 기반 강화

□ 관련내용

○ 빈틈없는 인프라 구축 - (배관망) 수소 생산·도입 지역을 거점으로 수소배관망 구축확대

- (수소배관망) 수소 생산기지 구축계획에 맞춰 동남권(창원·부산·울산), 서부권(인천·군산·광주) 등 현지 수요에 특화된 배관망 구축
- (가스망 수소혼입) 수소혼입 영향도 분석과 실증을 거쳐 안전성을 확보하고, 도시가스사 지역배관(‘22~) → 가스공사 주배관(‘25~) 실증

○ 생태계 기반 강화 - (지역별 수소생태계 구축) 중점산업에 맞춰 지역별로 특화된 수소 클러스터 구축, 수소도시, 규제특구 등 적용범위 확대

- (수소도시) ‘22년까지 울산, 안산, 전주·완주 등 3개 수소 시범도시를 조성하고, 수소도시법 제정을 통해 단계별 확대 추진

○ 생태계 기반 강화 - (수소 안전성 확보) 제품출시 전 안전기준을 선제적으로 마련하고, 법령정비와 안전기준 의견수렴 채널 운영으로 안전규제 효율화

- (안전기준) 수소 생산방식별 기준, 수소 배관 및 액화수소저장, 모빌리티 유형별 기준 등 마련을 위해 안전실증연구센터* 운영

* 실증을 통한 안전성 검증 및 제품개발, 인증검사 가이드라인 제공

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 계획은 수소를 에너지원으로 활용하기 위하여 생산, 유통, 활용, 생태계 구축의 수소산업 전범위에 대한 기술개발 및 인프라 구축 중장기 계획을 수립

○ 본 기획과제의 기술개발 내용에 포함된 수소관망 설계·구축·운영·관리 기술 개발 및 수소관망 국가건설기준과 연계가 가능하기 때문에 부합성이 매우 높음

○ 향후 본 기획과제에서 개발되는 기술을 수소 시범도시에 적용할 예정

○ 「수소경제 활성화 로드맵」, 관계부처 합동, 2019

- (개요) ‘수소경제’를 혁신성장의 새로운 성장동력이면서 친환경 에너지의 원동력으로 삼아 2040년까지 수소경제 활성화를 위한 수소 생산·저장·운송·활용 전 분야를 아우르는 정책 방향성과 목표 및 추진전략 수립

□ 주요내용

○ 목표

- 수소차와 에너지 생산(전기, 열)에서 세계시장 점유율 1위 달성
- 그레이 수소(석유나 천연가스 등 화석연료에서 만들어내는 수소)에서 → 그린 수소(재생 에너지에서 생산되는 수소)로 생산 패러다임 전환
- 안정적이고 경제성 있는 수소의 저장과 운송체계 확립
- 수소산업 생태계를 조성, 전 주기 안전관리 체계 확립

○ (추진전략) 활용, 생산, 저장·운송, 안전, 산업생태계로 구분하여 추진 전략 수립

□ 관련내용

○ 수소 저장·운송 - (파이프라인) 주요 수요처 중심 파이프라인을 전국으로 확대

- 국내에 설치된 수소 파이프라인은 약 200km정도로, 공급압력향상*과 수명 증가를 위한 소재 개발 등 추진

* 수소 전용 파이프라인 재질 개발(50bar 이상, 취성 극복)

** 現 공급압력 약 20bar → 100bar 이상(美 에너지부 목표)으로 향상

- 주요 수요처에 파이프라인을 우선 설치하고, 중장기에는LNG생산기지, 수소 인수기지 등 대규모 공급과 연계하는 주배관구축

* 수소 전용 파이프라인 구축 비용 : 약 4억원/km

- 수소 수요가 많은 도시는 민간 주도로 파이프라인 구축(~'22)
- 수입기지에 파이프라인을 구축하여 인근에 대규모 수소 공급('25~)
- 장기적으로 수소 수요 증가에 대응하여 전국을 연결하는수소주배관 건설('30~)

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 로드맵에서는 수소 공급을 위한 파이프라인을 주요 수요처 중심으로 전국으로 확대하는 계획을 수립하였으며, 또한 이를 위한 기술로드맵* 수립

* 근거리 배관 공급 인프라 구축(10km 이내)('20~'22), 배관 이송 수소도시 실증('21~'25), 대규모 수소 공급 배관 구축(인수기지-소비처)('28~)

○ 본 기획과제에서 개발하는 수소관망 설계·구축·운영·관리 기술을 통하여 해당 로드맵의 효과적인 추진이 가능하며, 수소관망 전국 연결, 수소 도시 구축을 위해서는 본 기획과제의 기술개발이 필수적이기 때문에 부합성이 매우 높음

○ 「수소 기술개발 로드맵」, 관계부처 합동, 2019

- (개요) 수소에너지 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제이행을 뒷받침하고자 범부처* 기술개발 로드맵 수립 추진

* 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청

□ 주요내용

○ 목적

- 수소 전 주기(생산-저장·운송-활용-인프라) 분야별 목표 달성을 위해 필요한 핵심기술 개발 추진
- ‘30년까지 수소산업 핵심 소재·부품의 기술자립도 제고
- 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 미래 유망기술 개발 및 시장 확대형 기술 개발 추진

- (추진전략) 5대 전략 - 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발, 다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축, 연료전지시스템 기반의 수소수단 저변 확대, 발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보, 수소 안전·제도 완비 / 표준 선점 / 보급 기반 확대

□ 관련내용

- 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진

대분류	중분류	현 수준	단기					중기		장기		목표	
			~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35		~'40
저·장·운	물리적 수소저장	100만원/kg		고압수소 저장시스템 가격저감 기술 개발									45만원/kg
		0.1톤/일 3m³/탱크1기	수소 액화플랜트 및 저장 기술 개발									50톤/일 80,000m³/탱크1기	
	화학적 수소저장	유기수소화물 신소재 개발	액상수소화물 저장 및 추출 기술 개발 (유기수소화물 / 암모니아(추출))									1,000Nm³-H₂/h급 수소주출시스템	
	수소운송	200bar 튜브트레일러 단거리 배관망 원천기술 개발, 기본설계		육상 운송비용 저감 기술 개발 (대용량 기체 / 대용량 액체 / 수소 배관망)									1,500L·450bar 튜브트레일러 35톤급 탱크류리 등 160,000m³급 액체수소운송선
기술개발 현황 / 보급 실적 / 경제성·환경성 분석 이후 ▲ 국가수소중심 전략 수립 및 기술개발 재정비													

기술개발 현황 / 보급 실적 / 경제성·환경성 분석 이후 ▲ 국가수소공급 전략 수립 및 기술개발 재정비

- 다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축
- * 배관망 구축 비용 '40년 4억원/km, 100bar(현재 10억원/km, 20bar)
- 수소의 저장·운송은 활용수단 및 수소가격에 있어 높은 비중을 차지하므로 효율적·경제적인 저장·운송을 위한 기술개발 필요

□ 동사업과의 부합성

- 해당 로드맵에서는 수소 공급을 위한 방안으로 육상 운송비용 저감 기술 개발을 추진
- 본 기획과제에서는 현재 1km 당 약 10억 원이 필요한 수소관망 구축의 비용 절감에 기여가 가능하며 이는 해당 로드맵의 목표 중 하나인 '40년 1km 당 4억 원에 기여가 가능하기 때문에 부합성이 매우 높음

○ 「탄소중립 연구개발 투자전략」, 관계부처 합동, 2021

□ (개요) 민 관 협업 및 부처 간 협업으로 국가 역량을 결집, 2050 탄소중립 실현을 위한 R&D 투자 청사진 제시

□ (주요내용)

○ (목표) 2017년 : 탄소배출 세계 7위 → 2050년 : 탄소중립 실현

- 에너지 생산- 가공·유통- 소비의 전 단계별로 부문별 탄소배출량*을 획기적으로 감축할 혁신적 기술을 개발·상용화

* 發電 39.5%, 산업 33.5%, 수송 13.5%, 건물 및 기타 13.5%

- 궁극적 목적을 ‘산업현장 구현’에 두고 R&D 투자 및 사업을 기획·추진

○ (추진전략) 2대 전략 - 전략적 투자, 민간주도를 위한 여건 조성

□ 관련내용

○ (과기부) 탄소저감 및 경제적 파급효과가 큰 도전적 원천연구

- (수소) 기술개발 로드맵(‘19.10월)에 따라 수소 원천기술개발 투자를 강화하고 청정수소 공급망 구축을 위한 범부처 사업 기획·추진

○ (산업부) 저탄소 산업구조로 대전환 및 에너지 전환정책의 가속화

- (에너지 공급) 전기화·수소화를 위해 태양광, 풍력, 수소 등 신재생에너지 기술과 재생 에너지 확대를 뒷받침할 계통·전력망 기술 개발

○ (국토부) 탄소중립도시 조성 기반기술과 친환경 초고속철도망 개발

- (탄소중립도시) 건물에너지성능 진단, 취약부위 보강설계 자동화 등 제로에너지 건물과 탄소중립도시 조성을 위한 인프라 기반기술 개발

- (종합실증) 재생에너지, 수소, 전기차 등 분야별 실증체계를 융복합 종합실증*이 가능한 ‘탄소중립 실증도시’로 확대·운영

* 재생에너지, 수소, 네트워크 등 에너지 분야 기술은 계통에 직접 연계되는 특성상 실증연구를 통한 안전성·성능 검증이 사업화의 필수 요건

○ (단기 및 중장기 계획) 수소 경제 : 수소생산, 수소이동·저장, 수소활용·연료전지

- (수소이동·저장) 국내 적합한 대용량 수소 이송·저장 기술을 개발하고 연관기업의 투자와 실증을 연계한 핵심기술 및 인프라 구축

* (단기) 액체수소 생산 플랜트·저장·이송 → (중장기) 대용량 이송(수소 배관망 기술)

□ 동사업과의 부합성

○ 해당 전략에서는 수소를 신재생에너지원으로 기존 에너지원 대체를 위한 기술개발 및 기반구축 계획이 포함되었으므로 부합성이 매우 높음

□ 국토부 지원의 타당성

- 수소도시는 국토부가 세계 최초로 시도하고 있는 수소경제 선도전략 모델로 주거·교통 모델에 특화 요소를 추가하여 도시 내 에너지 변환을 선도하는 사업
 - 특히, 주거 모델은 수소생산 방식에 따라 적용 범위의 다양성, 높은 확장성 및 탈탄소화를 위한 도시 내 에너지 변환 선도가 가능하고, 해외수출 가능성 높음
- 수소도시에 경제적이고 안정적인 수소공급, 주민수용성 제고와 중·장기 수소도시 전환 인프라 구축의 원활한 수행을 위해서는 국내 수소배관 공급생태계 육성 필요



〈그림 224〉 수소배관 공급 생태계

- 수소도시 주거모델은 수소를 에너지원으로 열과 전기를 이용하는 것으로 목적으로 하고 있어 주거모델 정착 여부는 안정적인 공급체계 확보가 선결 요건
 - 수소배관은 안정적인 대용량 수소 공급을 통해 타 에너지원과 가격경쟁력 확보를 위한 유일한 수단
- 수소 시범도시는 수소도시 본격 추진 전 도시활동의 핵심인 주거, 교통 분야에 집중하여 기술적·경제적 제약요인 극복을 위한 단계적 접근 전략의 일환
 - 수소활용 기술을 실증하고 안전성을 검증, 범부처 R&D로 기술적 제약 해소와 타부처 수소 관련 사업과 연계를 통한 지속 가능성 확보가 목적
- 수소도시 확산 전략으로 핵심부품 국산화, 시범도시 성과확산 및 도시재생 지원 포함
 - **(핵심부품 국산화)** 국토부 R&D로 핵심부품 국산화 추진 및 범부처에서 개발된 신기술에 대한 실증 사업을 통해 도시 내 기술 적용여부 검토 등
 - **(시범도시 성과 확산)** 안전성이 검증된 기술은 경제성 확보를 위해 인접 단지·마을·도시 등으로 인프라 확대 구축 추진('22년 이후)
- 수소시범도시 사업추진을 통하여 매설된 수소배관의 중·장기 건전성, 경제성 확보와 주민수용성 제고는 수소도시로의 확대를 위해 지자체, 국토부의 역할 중요

- 수소시범도시 추진 전략에 따라 3개 지자체에서 사업을 추진 중이며, 수소 시범도시 사업추진 시 수소배관(30km) 건설에 270억 투자 진행 중

○ 국토부는 ‘제1회 수소경제위원회’ 안건으로 ‘21년 3기 신도시 중 2곳 내외를 수소도시로 조성계획 발표(‘20.7월)에 따라 본격 추진 시 수소배관 수요 급증 예상

- 수소시범도시 인프라는 약 1,000세대 미만을 대상으로 구축 중이나 수소도시는 최소 7천세대 규모로 수소시범도시 대비 대규모 배관망 구축 수요 예상

〈표 200〉 3기 신도시 현황



지구명	남양주		하남교산	인천계양	고양창릉	부천대장	과천과천	안산장상
	왕숙	왕숙2						
면적(㎡)	866만	239만	631만	333만	813만	343만	155만	221만
호수	5만4천	1만5천	3만4천	1만7천	3만8천	2만	7천	1만4천
기간	‘19~‘28	‘19~‘28	‘19~‘28	‘19~‘26	‘20~‘29	‘20~‘29	‘19~‘25	‘20~‘26

출처 : LH, 3기 신도시 보상, 인허가 추진에 속도(보도자료), 한국토지주택공사, 2021

○ 국토부가 세계 최초로 시도중인 수소도시 모델의 3기 신도시 적용을 통한 성공적인 개발을 위해서는 핵심부품 국산화 및 개발된 기술의 실증으로 국제경쟁력 확보 필요

- 타 부처의 경우 주로 생산 및 충전인프라 구축에 집중

○ 개발된 기술의 국내 수소도시 적용을 위해서는 수소배관 건설기준 정립과 수소 도시의 수출을 위해서는 국내·외 표준화 필요

- 시공 중 용접절차, 용접재료 및 열처리 조건 등 수소도시내 수소배관 건설 기준 제시

□ 국내 미래시장 규모

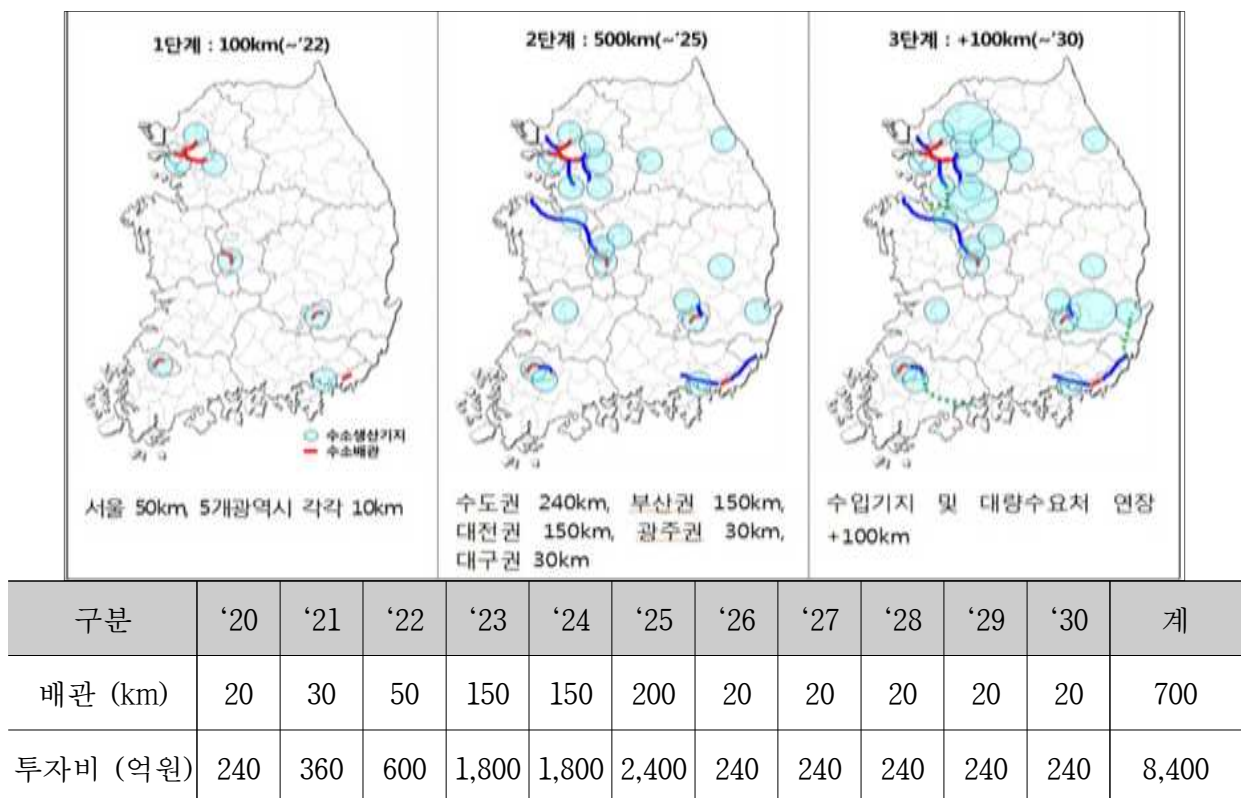
○ 2030년 기준 6대 거점도시 중심으로 700 km(8,400억) 수소 배관 건설계획

- (1단계, ~'22) 6개 거점도시 내 수소배관 100 km 구축 수도권 50km 및 5개 거점도시(인천, 대전, 대구, 광주, 부산)에 각각 10 km 구축

- (2단계, ~'25) 거점도시 중심의 광역권 500 km 배관망 구축 수도권(서울, 경기, 인천) 240 km, 부산권(울산-창원) 150 km, 대전권(대전-대전) 150 km, 대구권 30 km, 광주권 30 km

- (3단계, ~'30) 수요증가 및 해외수입 대비 기존 배관망 100 km 연장 구축 수도권 60 km, 부산권 40 km

〈표 201〉 수소배관 건설 계획



출처 : 수소사업 추진 로드맵, 한국가스공사, 2021

○ ‘수소경제이행 기본 계획’ (‘21.11.26)에 ‘50년까지 수소배관망 구축 반영

- 수소생산지역과 연계된 수소배관 최적거래 도출('22) 이후 수소생산지역별 수요 특성에 맞춰 배관망 구축(~'30)

* 발전용·산업용 배관은 30~100km 이내, 수송용 배관은 10km 이내에서 경제성 확보

- 도시가스(CH_4)와 수소(H_2)의 화학적·물리적 특성을 고려하여 사용되는 배관의 안전성 검토 후 수소전용 배관과 연계 추진('30~)

* 향후 수소망과 전력망과의 연계·활용을 위해 전력망 계획수립시 수소망도 포함 검토

〈표 202〉 단계별 수소 배관망 구축 로드맵

2025년	2030년	2050년
- 부생수소 생산설비 - LNG 터미널 - 추출+CCU - 중대규모 생산기지 - 규제특구 - 수소 클러스터 - 수소 항만 - 수소 시범도시 - 지역배관망 - 공급인프라(E)		
수소항만·수소도시·산업단지 등을 중심으로 거점화	거점지역 기반 확대 LNG 배관망과 연결	5개 권역별 배관망 구축

□ 시장 진입시기의 적절성

- 우리나라는 수소경제 선도를 위한 수소경제법 제정을 완료하였고, 수소도시로의 확대를 위한 「수소도시 건설 및 운영에 관한 법률」 제정 추진 중
- 또한, 울산, 안산 등 수소 시범도시 내 수소배관 설치공사가 '21년 본격화됨에 따라 수소배관 개발 연구는 사업추진의 속도와 규모 측면에서 최적시기로 판단
- 수소배관의 국산화는 수소배관망 생태계 구축이 선행되어야 하므로 국가주도 연구 개발을 통해 기업의 위험을 분산하고 민간의 투자 유도 필요
- 수소도시 건설계획 및 한국가스공사 주배관망 건설계획을 포함할 경우 규모가 막대

□ 국내외 실용화 가능성

- 국내 최대 철강제조 업체인 POSCO는 “수소 사업, 2050년 매출 30조… 脫탄소 시대 주도”를 통하여 탈탄소 수소시대 비전 제시
 - ‘50년 그린수소 선도를 목표로 수소환원 제철소 도입 및 단계적 수소생산 및 운송, 저장설비 구축 계획 발표
 - 세계 최초로 상용화에 성공한 극저온용 고망간강과 더불어 고압수소용 스테인레스 강 소재인 316HN3소재 개발에 역량 집중 예정
- 국내 최대 가스배관망 수요처인 KOGAS는 ‘83년부터 천연가스 주배관망 구축 사업을 추진 중이며, 수소사업 추진 로드맵 발표를 통하여 수소배관망 구축을 본격화
 - 수소배관망과 유사한 국내 천연가스 배관망은 291,788km이며, 국내 업체의 시공, 설치 및 운영 경험이 풍부하고 관련 인프라를 보유
 - * KOGAS는 ‘수소배관 위험성 및 장치사용 적합성 평가’를 위한 전문인력 및 장비를 보유하고 있으며 관련 논문을 다수 발표한 바 있음
- 국내 배관망 분야 전문기관은 ‘11~‘13년까지 대체천연가스 품질기준 제정 연구 수행을 통하여 기존 천연가스 배관망 이용 수소 이송을 위한 수소 취성분석 선행 연구를 수행 경험 보유
- 국내 유일 가스안전관리 전문기관인 KGS는 수소배관 건설기준 마련을 위한 성능평가 인프라인 에너지안전실증연구센터를 보유
 - 또한, 건설기술연구원, 표준과학연구원 등 수소배관 성능검증 및 건설기준 마련을 위한 다년간의 연구 경험을 가진 기관 보유

(2) 기술적 타당성

(가) 기술개발 계획의 적절성

① 기획과정의 적절성

□ 기획위원회 구성 및 운영

- 수소도시의 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획을 위한 기획위원회를 운영하고 사업의 기획방향 정립, 기술개발의 필요성 및 당위성 핵심 분야 도출 및 사업 전반적 타당성에 대한 검토 진행
 - 기획위원회는 본 기획과제와 연관된 산·학·연 전문가로 구성하였으며, 본 기획과제와 관련된 전반적인 내용의 검토 및 기술내용 기획 진행
- 분과별 기획위원은 각 분과의 특성에 맞추어 구성하였으며, 1분과(도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발)는 산업계, 2분과(도시 내 수소관망 활용을 위한 안전관리 기술 개발)은 산업계/연구계, 3분과(수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발)은 산업계 위주로 구성

〈표 203〉 기획위원회 구성

(단위 : 명)

구분	산	학	연	기타	합계
1분과	10	3	-	-	13
2분과	3	-	2	2	7
3분과	8	5	-	-	13

□ 기술수요조사 실시

- 수소관망 관련 산·학·연 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시하여 기획에 반영
 - 주관기관, 공동기관, 기획위원회 등의 인력 POOL을 활용하여 배포
 - 또한, 정책, 산업, 기술 등의 동향 분석을 통하여 연구진 자체적으로 기술수요 발굴

② 사업목표의 적절성

□ 본 기획과제는 수소도시에 적용가능한 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안을 기획하는 목적으로 중점분야-세부과제-구성기술을 제시

- (중점분야 1) 도시 내 수소관망 설계·시공 기술 개발
 - 수소도시의 수소관망 설계·시공 제반 기술의 개발 및 안전성·경제성 확보

- 설계단계는 시공 및 유지관리 단계와 연계되며, 설계단계에서 사업의 경제성과 안전성이 결정됨. 이에 시나리오 기반의 수소관망 최적화 시뮬레이션 기술, 건전성 평가 기술, 데이터관리 기술 및 플랫폼 개발
- 시공단계에서는 개착·비개착식 시공 및 유지보수 기술, 정밀시공 및 품질검사 기술, 장비조합 및 운영 기술, 시공 이전에 설계오류 최소화 및 시공성 검토 기술 등 수소관망의 안전성·경제성을 확보할 수 있는 시공관리 요소 기술 필요
- 디지털 트윈 기술을 활용한 가상 모델 개발 및 실시간 원격 시공관리 기술 개발

○ (중점분야 2) 도시 내 수소관망 활용을 위한 안전관리 기술 개발

- 수소 시설 및 배관망 재료의 수소적합성 평가를 위해 수소취성평가를 위한 시험인프라 구축
- 수소 시설 및 배관망 재료의 수소적합성 확인을 위한 재료 평가 기술 개발
- 직접가압방식의 수소취성평가 시험에 많은 시간이 소요되는 단점 존재함에 따라 직접가압방식과 동등한 수준의 성능을 갖을 수 있는 시험방법개발
- 직접가압방식과 대체시험방법의 비교분석을 통한 신뢰성 확보
- 수소 이송·운송·저장·활용 등에 발생할 수 있는 다양한 사고 시나리오 분석 및 이를 활용한 정량적, 정성적 위험성 평가 기술 개발

○ (중점분야 3) 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발

- 수소 관망 구축사업에 특화된 갈등 유발 요소의 영향도(사업 피해 예상 금액, 사업 지연 기간 등) 및 갈등관리 요소의 관리효과 분석 기반의 최적 갈등관리 전략 (사업비용 절감액, 사업 단축 기간 등) 구축 기술 개발
- 수소이송용 탄소강관의 구조성능평가 기술 및 수소배관의 파괴인성 예측 기술
- 수소배관의 비파괴적 손상평가를 위한 고정밀 초음파 검사기술 개발
- 수소배관 조관 품질확보를 위한 조관 Simulator 기술
- Digital, Network 및 Artificial Intelligence를 이용한 수소관망의 이상감지 시스템 기술 개발
- 배관에서 누출리 발생하면 5분 이내에 감지하고 누출위치 $\pm 2.5\text{m}$ 이내의 오차 범위로 확인이 가능한 시스템 개발

□ 사업목표와 내용의 구체성

- 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 사업의 총괄 목표를 구체화하여 제시
 - 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획과제는 수소도시에 적용 가능한 수소관망 관련 기술개발을 진행하고 기술개발에 따른 수혜자는 국가와 국민이므로 연구개발 목적 및 타당성이 명확
 - 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획과제에서 진행되는 기술개발 및 실증의 경우 국내에서 추진 중인 수소도시 적용 및 수소경제의 조기 실현을 위한 과제이므로 해당 기술 개발이 진행되어야 안정적인 수소도시 구현이 가능하기 때문에 성과목표에 반영

□ 연구 비전 설정의 구체성

- 본 기획과제의 비전은 “수소 배관망 구축기술 실증개발을 통해 친환경 수소도시 활성화, 도시·국토 저탄소화 실현”으로 수소도시 내 안전하고 경제성 있는 수소관망 구축에 부합하는 기술 개발 및 구현을 목적으로 제시

□ 연구목표 설정의 구체성

- 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획은 수소경제 조기 실현 및 안전한 수소도시 확산을 위하여 도시내 수소관망 설계·시공 기술 개발, 도시내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발, 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영기술 개발을 목표로 설정
- 수소관망 설계 시뮬레이터·정밀시공 품질검사/공정관리·개대체 및 유지보수 기술, 배관망 재료 수소취성 평가/수명예측·지상 및 지하 안전성 검증 기술, 수소관망 수소도시 실증·현장 적용성 평가·이상감지/유지관리 기술 등 안전하고 경제적인 수소관망의 수소도시 적용을 위한 기술 확보

□ 연구내용 설정의 구체성

- 3개 중점분야 구분에 따라 8개 세부과제, 20개 구성기술로 분류하였으며 세부과제에 따른 구성기술은 본 기획과제의 총괄목표 및 성과목표 달성을 위한 내용들로 구성

③ 사업추진전략 및 체계의 적절성

□ 사업 추진전략의 구체성 및 도출근거

○ 사업추진전략의 구체성

- 본 기획과제는 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원회와 다양한 전문가의 견수렴을 통하여 기술의 정의 및 개발 기술에 대한 적용 시나리오를 수립하였으며 이러한 과정을 통해 수소도시에 적용가능한 수소관망 구축·운영 기술 개발을 기획
- 사업의 총괄목표, 성과목표 설정 및 기술구성을 위하여 메가트렌드, 국내외 정책·산업·시장·기술, 관련 기술의 기술수준, 특허, 국외 수소 파이프라인 사례 등의 객관적이고 정량적인 자료를 바탕으로 분석을 진행
- 분석을 통해 중점분야-세부과제-구성기술의 각각의 연계성과 필요성을 도출
- 선정된 3개의 중점분야, 7개의 세부과제 20개의 구성기술을 바탕으로 지자체와의 협력을 통해 실제 수소도시에서 추진하는 실증을 위한 방안을 제시

○ 사업추진체계의 적절성

- 추진체계 및 중점분야에 따른 연구개발 내용 등 구성은 기획연구진과 기획분과위원회의 협력을 통해 과제의 목적, 기준, 그룹핑 순으로 진행
- 본 기획과제는 총 4년의 연구기간, 7개의 세부과제 구성 및 280.0억원(정출금 기준) 규모의 전체 사업 특성을 고려할 때 사업단 형태로 추진하는 것이 타당하다고 판단
- 본 기획과제의 1단계는 현황조사·요소기술, 분석·예측·최적설계, 기준제시·시제품에 대한 중점분야 개발을 목표로 하며 기술적 및 사회적 여건 변화에 따라 연구개발 수행에 따른 기술력 확보가 시급할 경우에는 연구단급 형태의 추진을 통해 핵심기술 확보가 가능할 것으로 판단

〈표 204〉 분석을 통한 중점분야도출

구분	추진방향	중점분야
활성화 전략	- 수소도시에 적용가능한 수소관망 기술개발 - 탄소저감에 대한 국가 R&D 투자 확대 - 수소도시 구축 정책과 수소도시에서 생활하는 국민 안전에 부합하는 환경 마련 - 수소경제 실현을 통한 탄소저감에 대한 국가 R&D 투자 확대	도시 내 수소관망 설계·시공기술 개발 도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술 개발 수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술 개발
보완 전략	- 대용량 수소 이송이 가능한 수소관망 기술 개발을 통한 수소산업 활성화 - 수소도시 전용 기준 및 지침 연구를 통해 수소도시 구축 매뉴얼 개발 4차 산업기술(스마트기술)을 연계한 수소관망 관련 기술 개발 및 상용화 추진	
차별화 전략	- 친환경 신재생 에너지를 활용하는 수소도시에 활용 가능한 기술 개발 - 수소관망 설계, 구축, 운영과 현장조사 및 제도화를 통해 확보되는 DB 구축 - 동 사업과 관련된 적극적인 기업지원 활용 - 수소전용 관망에 대한 기술개발 및 이를 평가 할 수 있는 평가기술 개발	
약점극복 전략	- 수소도시에 적용되고 있는 수소관망 기술에 대한 국산화 제고 - 친환경 에너지인 수소 사용 기반 확대를 통해 관련 산업의 강화되고 있는 탄소배출량 정책 대응 - 현 제도로 인해 활용이 불가능한 기술의 현장 기술적용을 위한 제도 마련 - 전국단위 대용량 수소 공급 기반 마련	

④ 기술개발 로드맵의 우수성

- 본 기획과제에서는 기술개발뿐만 아니라 국가 정책을 아우르는 거시적 기술개발 로드맵을 작성함으로써 연도별, 중점분야-세구과제-구성기술별 기술 추진 내용, 성과 등을 파악할 수 있도록 효과적으로 작성
- 제시된 기술로드맵은 국내외 이슈를 통해 파악된 사업추진 시급성이 높은 기술로 구성되었으며, 기술간 연계성, 각 핵심기술에서 도출 가능한 주요 성과물을 제시하여 연구개발 최종 성과물도출에 필요한 요소기술과 기술 개발 흐름이 명확하게 드러나도록 작성
- 본 기획과제를 통해 작성된 기술개발 로드맵은 메가트렌드, 국내외 환경 분석, 사례 등을 종합하여 도출된 핵심 기술을 대상으로 작성되었기 때문에 기술적, 사회적, 경제적, 정책적 측면의 분석결과가 반영

(나) 기술수준 및 성공가능성

① 중점분야별 분석

- (도시 내 수소관망 설계·시공기술) 수소도시 등 수요처와 생산지 연결 특성을 고려한 수소관망 건설기술의 국산화 미확보, 수소도시에 경제성과 수용성이 높은 수소관망 설계·시공 기술 개발 필요
- 수소도시용 수소관망의 설계 단계별 발생하는 방대한 데이터와 정보의 관리, 자동화 설계 기술, 설계 품질 검토 및 적법성·적합성·안전성을 종합평가하는 시뮬레이터 기술 개발 필요
 - 수소관의 특성을 반영한 설계 과정에서 발생하는 방대하고 다양한 설계도서의 관리 효율성 증대 및 시공단계, 유지보수 단계에 이르는 전 과정에 설계 데이터 활용을 위하여 기존 기술과 차별화 된 지능형·스마트 데이터 관리 및 유통 기술 필요
 - 도심지 수소관망 시공 공사비, 공사기간 단축 및 네트워크 설계 최적화를 위한 시나리오 분석 필요. 수소관망 네트워크 데이터(지상), 지하시설물(지하) 데이터 확보를 통한 디지털화, 공사비, 공기의 매칭을 위한 디지털 데이터 제공 플랫폼 구축필요
 - 천연가스, 지역난방, 상하수도 등 타 관종의 관리는 정기점검방식 또는 사고(누수 등) 모니터링에 기반하고 있기 때문에 장기적 건전성 관리에 제한적이며,

최초 시공 후 시설 노후화에 따라 안전사고가 급증

- 수소관망의 시공 시 가장 중요한 경제성과 안전성을 확보하고, 이를 위한 세부 관리 분야인 공기 준수, 품질 및 안전을 담보하는 수소관망 시공 기술의 확보 필요
 - 기존 시공 공법 및 시공 장비의 조합 및 개량을 통해 생산성 향상, 시공 속도 향상, 정밀 시공 기술의 확보 필요
 - 수소관망 lowering 작업의 경제성·안전성·효율성 확보 및 시공 품질 제고를 위하여 첨단 IoT 기술을 적용한 장비의 정밀시공 운용 및 관제 기술의 개발 필요
 - 수소관망 시공 전 과정에서의 공사 진행 일정 관리, 공사 품질확보를 위한 각종 검사와 검사 정보의 송수신 등을 자동화하고 원격으로 실시 및 관리 할 수 있는 IoT 기반의 기술 개발 필요
- 지하 관로의 개·대체 또는 보수 시 기존의 개착식 공법에서 발생하는 공사장 주변의 소음, 분진 등의 환경적 비용과 교통장애로 인한 사회 및 경제적 피해를 최소화하기 위하여 필요
 - 용접부의 강건성을 확보하기 위하여 이음매가 없는 심레스 강관의 사용이 확대됨에 따라 암반연약화를 통한 장경간 비개착식 굴착장비의 개선 및 공법의 개발이 필요
 - 관로의 개착 유지보수는 사회, 경제 및 환경적 비용이 많이 소요되며, 개대체와 같이 유지보수도 비개착으로 시공할 수 있는 기술이 필요
- (도시 내 수소활용을 위한 안전관리 기술) 수소시설 및 배관망의 안전성 평가 국내 기준 및 평가 설비 미비에 따른 기술 확보가 필요
 - 수소시설 및 배관망의 물성과 사용압력을 고려하여 각각 연성, 취성, 강도(크랙 발생)에 대한 안전성이 검증된 재료의 사용이 필수적이며, 고압, 대용량, 대구경 등 다양한 수소시설 및 배관망에 적용 가능한 수소취성 평가, 수명예측기술 및 신속한 판단을 위한 대체 시험법 등은 정립이 필요
 - 수소용 저장탱크 및 압력용기의 수소취성평가를 통한 한계수명예측 방법은 정립되어 있으나, 수소시설 및 배관망에 적용 가능한 수소취성 평가 및 한계수명 예측 방법이 미비한 상황
 - 기존 수소취성평가를 위한 저속변형률시험, 파괴시험, 피로파괴시험의 경우, 많은 시간이 필요함이 필요함에 따라 배관용 재료의 대체시험방법을 통해 한계수명을 평가할 수 있는 시험방법의 부재에 따른 기술 개발 필요
 - 용접 등에 의해 제작되는 배관(API X 강종 등) 및 무계목강관 등의 수소도시에

적용을 위해서 파일럿 시험을 통한 사용적합성 및 안전성강화를 위한 위험성 평가 기술의 개발이 필요

- 수소시설 및 배관망은 현장 조건에 따라 지상설치 또는 지하매설이 이뤄질 것으로 예상됨에 따라 재료, 환경, 사용압력, 온도, 맥동 등을 고려한 수명 평가를 통해 수소배관의 신뢰성 확보 필요
- 수소시설 및 배관망 운용에 따라 발생할 수 있는 다양한 문제점 및 위험성을 파악하여 사고를 예방할 수 있는 기술을 바탕으로 수소도시의 배관안전성을 확보하기 위한 위험성 평가 기술 확보 필요

□ (수소도시 적용 수소관망 실증 및 운영 기술) 국내 수소관은 산업단지에 주로 적용(고압가스안전관리법)하고 있으나 수소시범도시 내 저압 수소관 계획 중으로 별도 지침, 매뉴얼, 건설기준 등 미비

- 수소도시에서 수소관망 건설 및 운용에 관한 기술적 제약을 해소(상용화)하고, 체계적인 보급을 위한 기술체계(국가건설기준, 지침 및 매뉴얼 등)를 확립 필요
- 수소도시에서 수소관망 건설 및 운용에 관한 기술적 제약을 해소(상용화)하고, 경제성과 수용성 높은 수소도시 수소관망 기술 보급·확산이 필요
- 국내 수소관은 산업단지에 주로 적용(고압가스안전관리법)하고 있으나 수소시범도시 내 저압 수소관 계획 중으로 별도 지침, 매뉴얼, 건설기준 등 미비한 실정으로 개선 필요
- 현재 수소 관련 시설물들은 비선호 시설로 인식되어 사업 추진과정에서 지역주민들과의 갈등이 발생하고 있는 상황
- 수소배관의 경제성과 구조 안전성을 확보하기 위해서는, 수소배관 시제품의 조관 실수율을 향상 시키고, 수소배관의 실제 현장조건을 반영하여 구조성능을 예측하고 평가하기 위한 기술개발이 필요
- 실규모 강관의 구조성능평가 기술 및 간단한 실험과 수치해석을 통해 수소배관의 수소취화 물성평가 기술 개발이 필요
- 수소배관 시제품의 실수율 향상(8단계 실수율 98%)을 위해서 조관후의 기계적 물성에 대한 정밀 예측기술 개발 필요
- 주로 지하에 매설되는 수소관망의 특성상, 결함을 발견하기가 어렵고, 가스 누출 시 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 관로의 이상을 직간접으로 감지할 수 있는 기술과 관로의 노후 및 신뢰도 평가에 의한 예방적 유지관리를 위한 최적 의사결정 기술의 개발이 필요

- 수소취성, 피로파괴, 수소누설 등과 같은 리스크가 상시 존재하므로 관로사고를 사전에 방지하기 위하여 수소가스의 누출을 직간접적으로 감지할 수 있는 기술의 개발이 필요
- 사후대응적 유지관리는 사고 시 사회, 경제 및 환경적 비용이 많이 소요되고 때문에 사전에 유지관리의 필요성 여부를 의사결정 할 수 있는 시스템이 필요

② 기존 연구과제와의 중복성

□ 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획 관련 각 부처별 유사사업을 조사 및 비교분석하여 차별성 및 연계방안 제시

〈표 205〉 수소경제 이행을 위한 4단계 국가비전

부처명	사업명(과제명)	총연구기간 및 연구비	차별성 및 연계방안
국토부	동토지역 자원이송망 설계, 시공 및 유지관리 기술개발	‘13.~‘19. (17,890백만원)	(차별성) 해당 사업(과제)은 극한지 천연가스 배관망 구성을 위한 배관, 볼밸프 등의 설비 국산화 및 현지 환경영향(기후 모사)을 고려한 최적 설계·시공기술개발 등으로 차별성을 가짐
			(연계성) 장거리 배관망 가상설계, 원주 자동화 용접장치, 3차원 시공단계별 시뮬레이션 등의 성과를 연계·활용하여 고도화 가능
산업부	수소충전인프라 확충을 위한 수소충전소 고압수소배관용 인장강도 80MPa급 9/16” 스테인리스 심리스 배관 제조 기술 개발	‘20~‘22. (2,430백만원)	(차별성) 해당 사업(과제)은 수소충전소 등 산업용 배관에 적용하는 합금설계 및 제조기술 개발로 본 사업인 도시용 대용량 수소배관망 설계, 시공, 유지·관리에 대한 시스템적인 개발과 차별성을 가짐
			(연계성) 고압 수소배관 관련 시험인증 및 수소취성 관련 시험방법·계획 등 성과물 연계·활용 가능
산업부	고압수소이송을 위한 100기압급 배관용 소재/강관 제조기술 개발 및 실증	‘22.~‘25. (6,000백만원)	(차별성) 해당 사업(과제)은 산업용 고강도 수소 배관소재 개발로 본 사업인 도시용 대용량 수소배관망 설계, 시공, 유지·관리에 대한 시스템적인 개발과 차별성을 가짐
			(연계성) 실환경 모사환경에서 검증된 수소배관 시제품의 도시 내 적용추진, 수소 배관망 사고 시나리오 분석 결과물을 활용하여 진단·관리 시스템 구축시 연계·활용 가능
국토부	인공지능 기반의 건축설계 자동화 기술개발	‘21.~‘25. (23,000백만원)	(차별성) 연구대상이 일반 건축물임(수소관망과 상이), 건설산업 전주기 중 설계단계에 한정
			(연계성) 설계 도서 자동생성 및 데이터 관리 기술 개발 기법 일부를 참조 가능

국토부	스마트건설 기술개발	- (147,600백만원)	(차별성) 연구대상이 도로(토목)분야임 (수소관망과 상이), 건설산업 전주기 중 시공단계에 한정
			(연계성) 건설장비 자동화 기술 중 일부 기술 (도로 구조물 무인화 자동화 시공기술)을 수소관망 원격 시공 기술 개발에 연계 가능할 것으로 예상
국토부	비전통오일 이송파이프라인 건설 자동화 기획	-	(차별성) (이송자원)비전통 오일, 비전통오일 수송용 파이프라인 특화 소재 및 파이프 개발, 비전통오일 파이프라인 매설을 위한 굴착 후보지 선정 시스템 개발, 굴착장비 설계값 제공, 자동화 굴착을 위한 작업환경 모니터링 및 굴착자동화 기술 등 기술개발 대상에서 차별성을 가짐
			(연계성) 파이프라인 비용-공기 예측 기술, 수소관망 매설을 위한 굴착 자동화 기술, 수소관망 스마트 현장 연결 기술, 수소관망 원격 시공 및 품질 시험 기술 등의 기술 개발에 연계 가능할 것으로 예상
산업부	수소충전소 부품 및 배관용 내수소취성 합금 개발	'21.~'25. (23,000백만원)	(차별성) 기존 연구는 수소충전소용 배관소재의 합금설계와 배관의 열간 및 냉연공정 조건 최적화에 관한 연구, 본 기획과제는 수소의 대량 운송을 위해 저압수소의 대구경 배관 기술개발 및 수소도시 인프라 구축을 위한 실증연구로 써, 기존연구와의 차별성이 존재함
			(연계성) 조선해양플랜트용 550MPa 급 라이저강관 제조 기술 개발 및 수소충전소용 type 1 대형 수소 저장 용기 개발 과제와 연계하여 수소충전소용 부품 국산화 연구 개발 중에 있음

(3) 경제적 타당성

① 비용편익분석의 개념

□ 경제적 타당성 분석은 해당 사업의 추진에 의해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고, 이를 이용해 비용편익분석(Cost-benefit analysis)을 통해 사업추진 타당성을 판단

- 경제적 타당성 분석은 공공사업의 추진으로 통해 국민경제 전체에서 발생이 예상되는 편익과 비용을 추정하고 이를 이용해 투입 비용 대비 예상 가능한 편익과 비교를 통하여 사업추진의 타당성을 판단
- 한편, 연구개발사업의 경제적 타당성 분석은 건설부문과 달리 수요추정에 기반한 편익 산출이 이루어지지 않으며, 비시장재에 대한 가치를 측정함에 따라 연구개발 결과물에 대한 내재된 가치를 계량화하는데 한계 존재
- 이러한 한계점에도 불구하고 사업추진 여부를 절대적인 가치 기준으로 판단이 용이한 비용편익 분석이 가장 폭넓게 활용되고 있으며, 현재, 연구개발부문 신규사업 추진을 위한 경제성 분석 방법론으로 인식
 - 경제적 타당성 분석을 위한 대표적인 분석방식인 비용편익 분석은 장기적인 안목과 넓은 안목에서 사업의 바람직한 정도를 평가할 수 있는 실용적인 방법이며, 모든 관련된 비용과 편익들을 하나하나 열거하고 평가하는 것을 의미
- 다만, 비용편익 분석을 위해서는 다양한 편익요소를 측정 가능한 화폐단위로서 분석이 이루어지는 것을 의미하며, 화폐단위로 환산이 불가능한 경우 비용효과 분석을 통하여 사업추진에 따른 상대적인 위치를 분석
- 비용편익분석에 기반한 결과지표는 비용변제기간(pay-back period), 평균수익률(net average rate of return), 순현재가치(net present value; NPV), 비용편익비율(benefit-cost ratio), 내부수익률(internal rate of return; IRR) 등의 여러 가지가 있으며, 비용편익 비율을 기본지표로 제시하며, 순현재가치, 내부수익률 등의 지표 제시
- 비용편익 비율은 편익의 현재가치의 합을 비용의 현재가치의 합으로 나눈 것으로 다음과 같이 수식으로 가능

$$\frac{B}{C} = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용

하여 이를 특정기간(일반적으로 현재연도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 현재가치화라고 함

- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업별로 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이 1 이상이면 경제성이 있다고 판단

○ 편익/비용 비율은 특정 항목을 편익 또는 비용으로 처리하는가에 따라 값이 달라지는 단점

- 허나, 신규사업 추진의 타당성을 분석하기 위한 판단 기준으로 다양한 분야에서 활용

② 비용편익분석 항목

□ 경제적 타당성(비용편익 분석) 분석을 위한 기본 항목으로 총사업비, 추가 투입비용 및 편익 등으로 구분할 수 있으며, 객관화된 데이터를 활용하여 화폐가치로 환산하여 추정

중항목	소항목	주요 검토 내용
비용 추정	연구개발	연구활동지원 • 과제규모, 연구수행주체(수, 질), 기술성숙도(기술수명주기), 연구기간, 연구개발단계, 과제특성(직접비/간접비 비중) 등
	체계개발(HW,SW)	• 용도, 사양, 중량, 복잡도, 기술적 난이도, 기존 수행경험, 기능점수 등
	연구시설·장비 구입 및 유지비	연구시설 • 용도, 면적(인원, 시설장비규모), 지형, 지질학적특성, 입지, 재료, 층수, 개조관련사항, 허가사항, 환경영향, 공공수용성, 내부체계 등
	연구장비	• 용도, 사양, 개수, 발주처(비교견적서) 등
	연구관리	• 관리인력(수, 질), 과제(평가·관리방법, 과제규모), 등
편익 추정 ※ 시장수요접근법 ¹⁾ 가장 많이 적용	수요 추정	• 해당 연구개발을 통해 실질적으로 혜택을 받을 수요를 추정
	편익 산정	• 對 국민 경제적 편익, 연구개발 편익, 과학기술 및 산업적 응용 편익 등을 고려 - 연구개발 편익 : 핵심 기술 및 노하우, 경험 확보->무형적 편익 - 편익 범위 명확화 및 기준선 설정 필요 - 직접 편익과 간접 편익 고려
경제성 분석	B/C 분석	• 현재가치로 환산한 비용 대비 편익의 비율이 1.0 이상이면 경제성이 있다고 판단 • 시나리오 별로 BC 분석
	E/C 분석	• 편익을 화폐가치로 환산할 수 없는 경우 비용효과분석 적용 • 비용대비 효과 값이 비교대상 사업에 비해 클 경우 사업 시행이 적절함
	사회적 할인율 설정	• 미래의 비용과 편익을 현재가치로 환산하는 데 사용하는 할인율 • 적정 사회적 할인율 5.5% 적용
	민감도 분석	• 투입 요소 변동에 따른 순현재가치의 변화 정도를 분석하기 위해 민감도 분석을 실시(할인율 ±2%, 비용/편익 ±20%) - 민감도가 클수록 위험한 사업으로 인식

〈그림 225〉 주요 검토 항목

○ 총 사업비는 계획된 사업기간 내 연구개발 목적을 달성하기 위해 투입되는 비용으로 인건비, 재료비 등의 직접비와 간접비 등의 항목으로 구성

○ 추가 투입비용은 기술개발 완료 후 사업화 또는 현장적용 등을 위해 추가적으로 투입되는 숨은비용(Hidden Cost)을 의미하며, 사업완료 후 등 사업기간과는 별도의

기간을 고려하여 합리적인 기준을 설정하여 추정

- 편익은 동 사업 추진을 통한 연구개발 결과물(성과)이 사업화 또는 현장적용을 달성하는 것을 가정하여 국민경제 측면에서 예상되는 편익항목을 세분화하여 추정

□ 분석된 총 비용과 총 편익을 현재가치화하여 B/C Ratio가 0.8~1.0일 경우 정부 주도 사업추진 타당성이 있는 것으로 판단

구 분	주요항목	세부 내용
편익 (Benefit)	직접 편익	• 기술개발에 따른 관련 제품의 국내외 추가 시장 창출 규모 • 관련 기업 추가 매출액 • 조건부가치측정법(CVM)에 따라 WTP(지불의사)의 측정값 - 신규 제품 혹은 서비스에 대한 추가 지불금액 의향 • 기존 시설구축비 및 임대료 등을 대체/개선함에 따른 비용 절감액 • 인명피해/재해복구 등의 사회적 비용 감소 편익, 정보제공에 따른 사회적 편익증가 • 연구기반으로 인한 비용저감효과
	간접 편익	• 타 산업으로의 경제적 파급효과 - 생산유발효과, 고용유발효과, 부가가치유발효과 등
비용 (Cost)	연구개발비	• 기술개발에 소요되는 인건비, 직/간접비, 위탁연구비 등을 포함한 전체 연구비 - 인건비 : 내부 인원 투입 부분 산정 - 직접비 : 국내외 업체 외주비, 연구장비/재료 구입비, 기타 등 - 간접비 : 해당 출연연의 간접비(교과부, 국가연구개발사업 간접비 계상기준 참고)
	시설구축비	• 단지조성, 센터 구축 등 시설구축비(설계비, 감리비, 측량비 등을 포함한 전체 공사비)
	운영 및 유지보수비	• 편익을 발생시키기 위해 지속적으로 운영/유지보수가 필요한 경우에는 편익이 발생하는 기간 동안 운영비를 산정해야 함

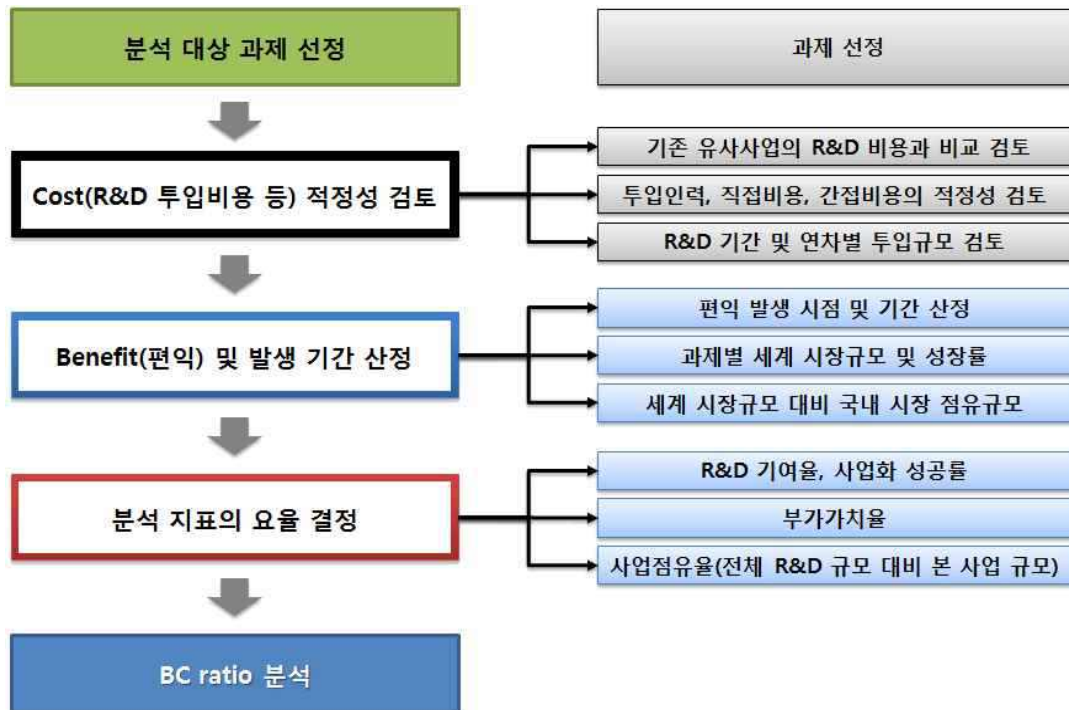
〈그림 226〉 세부 편익 및 비용 항목

③ 비용편익분석 프로세스

□ 비용편익 분석을 위한 분석과정은 총 비용의 추정 및 적정성 검토, 주요 편익항목 도출 및 편익발생 기간 선정, 편익의 세분화를 위한 각 지표 값 결정 등의 과정 설정

- 본 사업은 대용량 수소이송이 가능하며 수소도시에 적용 가능한 수소관망 확대를 위하여 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증을 통하여 수소도시 확대 및 수소경제 조기 실현을 목적으로 추진될 예정이며, 사업추진에 따른 직접적인 편익항목을 도출하여 사업 전반적인 타당성 여부를 판단
- 먼저, 동 사업 수행을 위해 소요되는 총 사업비 및 사업기간 이후 발생하는 비용을 추정하여 경제성 분석을 위한 총 비용으로 산정

- 다음으로, 편익발생 시점과 편익발생 기간 등을 설정 한 후, 편익유형 및 추정 방법 등을 결정
- 최종적으로 편익산정을 위한 분석 지표 설정 후 경제적 타당성 분석을 실시



〈그림 227〉 비용편익분석 프로세스

(나) 비용편익분석

① 편익추정 항목 및 논리구조

- 경제적 타당성 분석은 동 사업의 비용과 편익을 추정하여 사업 추진이 경제적 측면에서 타당성을 확보하고 있음을 증명하기 위함
- 연구개발사업의 편익은 연구개발 활동의 결과로 직접적으로 나타나는 모든 긍정적 효과를 의미하며, 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분하여 추정한 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 기준에 따라 적절하게 합산하여 추정
 - 연구개발사업의 편익은 사업의 결과로부터 직접적으로 얻어지는 것에 한하여 반영하고, 크게 정(positive)의 편익인 가치창출 편익과 부(negative)의 편익인 비용저감 편익으로 구분하여 산출
 - 가치창출 편익은 연구개발사업의 결과로 나타난 산출물이 시장을 통해 거래됨으로서 새롭게 부가가치를 창출하는 것을 의미하며, 성과의 수혜 대상에 따라 소비자 중심 편익과 생산자 중심 편익으로 나뉨

- 동 사업에서는 시장수요접근법에 의한 가치창출 편익으로 추정
 - 동 사업의 목표 및 기술개발 구성·내용에 따라 표적화된 수혜자 특성을 고려하여 부가가치창출 편익을 동 사업의 편익으로 추정
 - 동 사업의 사업 기간 및 편익 발생기간을 고려하여 비용과 편익을 현재가치화하여 그 비율을 산정하여 B/C ratio를 산출
- 가치창출 편익 추정을 위한 산정 식은 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2020)에 근거하여 적용
 - 동 사업에서 추진 예정인 기술개발 내용 및 목표와 연관된 시장 범위, 규모 등과 표적화된 수혜자 등을 고려하여 추정
 - 편익산정 요소인 R&D기여율, 사업화 성공률 등은 객관적이고 공신력 있는 자료를 토대로 산정하여 적용함
 - 동 사업의 편익 산정을 위한 식은 아래와 같음

$$\text{편익} = \text{대상시장} \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D 사업화 성공률} \times \text{R\&D 기여율} \times \text{사업기여율}$$

② 편익추정 계산식 및 분석 지표

□ 편익추정 방법

- 본 기획과제 기술개발을 통해 수소관망 전반에 해당 기술이 적용됨에 따라 발생하는 상황을 시나리오별로 설정하여 편익규모를 추정

□ 대상 시장

- 세계 배관(기름, 가스) 시장은 '20년 107.7억 달러와 제시된 성장률인 7.9%를 기준으로 '40년까지 성장할 경우 490.9억 달러의 시장 규모가 전망
- 현재 세계 배관(기름, 가스) 시장 규모 중 국내 수소배관 규모인 4.5%^{*}를 세계 배관(기름, 가스) 시장에 반영하여 국내 수소배관 시장 규모를 도출

^{*} 205km(국내 수소 배관) / 4,574km(전체 수소 배관)

〈표 206〉 국내 수소배관 시장 규모 전망치

구분	세계 배관(기름, 가스) 시장 규모 전망치(억 달러)	세계 배관(기름, 가스) 시장 규모 전망치*(억 원)	국내 수소배관 시장 규모 전망치(억 원)
‘21	116.2	152,320.8	6,328.1
‘22	125.3	164,323.7	6,826.8
‘23	135.2	177,272.4	7,364.7
‘24	145.9	191,241.5	7,945.1
‘25	157.4	206,311.3	8,571.2
‘26	169.8	222,568.7	9,246.6
‘27	183.1	240,107.1	9,975.2
‘28	197.6	259,027.5	10,761.2
‘29	213.1	279,438.9	11,609.2
‘30	229.9	301,458.7	12,524.0
‘31	248.1	325,213.6	13,510.9
‘32	267.6	350,840.4	14,575.6
‘33	288.7	378,486.7	15,724.2
‘34	311.5	408,311.4	16,963.2
‘35	336.0	440,486.4	18,299.9
‘36	362.5	475,196.7	19,742.0
‘37	391.0	512,642.2	21,297.6
‘38	421.8	553,038.4	22,975.9
‘39	455.1	596,617.8	24,786.4
‘40	490.9	643,631.3	26,739.5

출처 : Pipeline transportation Market Outlook - 2021-2030, Allied Market Research, 2021

* 세계시장(억 달러)에서 국내시장(억 원)으로 환산할 경우 1311.0원(‘22.08)기준으로 진행

□ 부가가치율

- 한국은행 산업연관표(2019년 연장표)의 품목분류 중 본 기획과제 관련 산업의 부가가치율 평균인 28.4%를 적용

〈표 207〉 부가가치율

관련 산업	부가가치유발계수(A)	생산유발계수(B)	부가가치율(A/B)
기초무기화학물질	0.296	1.040	0.285
열간압연강재	0.233	1.084	0.215
비철금속괴	0.157	1.086	0.145
구조용 금속제품 및 탱크	0.327	1.110	0.295
금속처리 및 가공품	0.500	1.072	0.466
기타 전기장비	0.279	1.160	0.241
펌프 및 압축기	0.373	1.026	0.364
공기 및 액체 조절장치	0.293	1.144	0.256
기타 일반목적용기계	0.332	1.088	0.305
특장차 및 트레일러	0.270	1.013	0.267
평균			0.284

□ 사업화 성공률

- R&D 사업화 성공률의 경우 국토교통부 R&D사업 3개년 평균 사업화 성공률인 26.5%를 적용

□ R&D 기여율

- R&D 기여율은 예비타당성조사 표준지침 제2판 기준*에 따라 35.4%를 적용

* 「제3차 과학기술기본계획」에서 최근 데이터를 적용하여 새롭게 구한 수치(35.4%)를 제시

□ 사업기여율

- 수소관망 분야 정부투자자 및 민간투자 규모를 추정하여 본 기획과제에 대한 전체 투자와 동 사업이 점유하는 비율인 10.9%를 적용

〈표 208〉 사업기여율

(단위 : 억 원, %)

구분	금액
동 사업 사업비(A)	373.4
유사분야 정부투자(B)	2,746.1
유사분야 민간투자(C=B*0.25)	686.5
사업기여율(A/(B+C))	10.9

□ 사회적 할인율

- 예비타당성조사 수행 총괄지침 제52조(사회적 할인율) ① 예비타당성조사에서 사회적 할인율은 4.5%를 적용

〈표 209〉 편익산정 기준 및 지표

구분	기준	내용
대상 시장	(‘21) 5.2억 달러 (6,826.8억 원)	(세계 배관(기름, 가스) 시장 규모) * (국내 수소배관 규모/세계 수소배관 규모)
부가가치율	28.4%	한국은행 산업연관(2019년 연장표)의 관련산업 평균값
사업화 성공률	26.5%	국토부 R&D사업 과거 3개년 사업화 성공률
R&D 기여율	35.4%	제3차 과학기술기본계획
사업기여율	10.9%	최근 5년간 동 사업 유사 R&D 투자금액, 민간투자 금액 대비 동 사업 예산 비중
사회적 할인율	4.5%	예비타당성 표준지침(KDI)

③ 사업의 경제적 타당성(B/C Ratio)

- 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획의 경제적 타당성 분석 결과, B/C Ratio는 0.92로 산정되어 정부주도 사업 추진에 대한 경제적 타당성을 확보한 것으로 분석

- 사업 착수년도(2023년)와 사회적 할인율(4.5%)을 적용하였고, 다양한 변동 상황이 사업에 미치는 영향을 분석(민간도 분석(사회적 할인율 3.5% 및 5.5% 각 적용))한 결과, B/C Ratio는 1.02 및 0.83로 각각 산정되어 경제적 타당성을 확보할 수 있는 것으로 조사
- 또한, 순현재가치(NPV: Net Present Value)는 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값을 의미하며 양수인 경우 조사 대상 사업이 경제적으로 타당성이 있다고 평가되므로, 동 사업의 순현재가치를 고려 시 경제적으로 타당성이 존재한다고 파악

시나리오 1 (중립적)	0.92	시나리오 2 (보수적)	0.83	시나리오 3 (낙관적)	1.02

〈표 210〉 연도별 비용 편익 분석

(단위 : 억 원)

구분	구분	비용		편익	
		비용	비용현가	편익규모	편익현가
사업 기간	2023	34.00	34.00		
	2024	126.00	120.57		
	2025	146.70	134.34		
	2026	66.70	58.45		
회임 기간	2027				
	2028				
	2029				
편익 기간	2030			39.24	27.59
	2031			42.33	28.48
	2032			45.66	29.40
	2033			49.26	30.35
	2034			53.14	31.34
	2035			57.33	32.35
	2036			61.85	33.40
	2037			66.72	34.48
	2038			71.98	35.59
	2039			77.65	36.74
합계				565.16	319.72

(다) 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 비용편익분석

① 편익추정 항목·논리구조 및 계산식·분석 지표

□ 편익추정 항목·논리구조 및 계산식·분석 지표에서 대상 시장을 제외한 모든 부분은 기존의 방식과 지표를 활용하여 진행

○ 기술개발로 인해 발생하는 비용절감 효과는 기존 10.04억 원에서 8.03억으로 20% 절감되며 비례적으로 공급증대가 기대되기 때문에 시장 성장률을 7.9%에서 20% 상승된 9.5%를 기술수명주기 그래프에 따라 '40년까지 적용*

* ('20~'25) 7.9%, ('26~'30) 8.3%, ('31~'35) 9.1%, ('36~'40) 9.5%

○ 또한, 국내시장도 세계시장의 4.5%를 적용하기 때문에 반영된 시장 성장률 따라 변화하는 세계시장 수치가 적용되어 국내 수소배관 시장 규모를 도출

〈표 211〉 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 국내 수소배관 시장 규모 전망치

구분	세계 배관(기름, 가스) 시장 규모 전망치(억 달러)	세계 배관(기름, 가스) 시장 규모 전망치*(억 원)	국내 수소배관 시장 규모 전망치(억 원)
'21	116.2	152,320.8	6,826.8
'22	125.3	164,323.7	7,364.7
'23	135.2	177,272.4	7,945.1
'24	145.9	191,241.5	8,571.2
'25	157.4	206,311.3	9,246.6
'26	170.4	223,393.9	10,012.2
'27	184.5	241,890.9	10,841.2
'28	199.8	261,919.5	11,738.8
'29	216.3	283,606.4	12,710.8
'30	234.2	307,089.0	13,763.3
'31	255.5	334,972.7	15,013.0
'32	278.7	365,388.3	16,376.2
'33	304.0	398,565.5	17,863.1
'34	331.6	434,755.3	19,485.1
'35	361.7	474,231.0	21,254.3
'36	396.0	519,188.1	23,269.3
'37	433.6	568,407.2	25,475.2
'38	474.7	622,292.2	27,890.2
'39	519.7	681,285.5	30,534.2
'40	568.9	745,871.3	33,428.9

출처 : Pipeline transportation Market Outlook - 2021-2030, Allied Market Research, 2021

* 세계시장(억 달러)에서 국내시장(억 원)으로 환산할 경우 1311.0원('22.08)기준으로 진행

② 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 사업의 경제적 타당성 (B/C Ratio)

□ 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려하여 경제적 타당성 분석 결과, B/C Ratio는 0.99로 산정되어 기존 수치와 마찬가지로 정부주도 사업 추진에 대한 경제적 타당성을 확보한 것으로 분석

○ 사업 착수년도(2023년)와 사회적 할인율(4.5%)을 적용하였고, 다양한 변동 상황이 사업에 미치는 영향을 분석(민간도 분석(사회적 할인율 3.5% 및 5.5% 각 적용))한 결과, B/C Ratio는 1.11 및 0.89로 각각 산정

시나리오 1 (중립적)	0.99	시나리오 2 (보수적)	0.89	시나리오 3 (낙관적)	1.11

〈표 212〉 비용절감에 따른 시장수요 변화를 고려한 연도별 비용 편익 분석

(단위 : 억 원)

구분	구분	비용		편익	
		비용	비용현가	편익규모	편익현가
사업 기간	2023	34.00	34.00		
	2024	126.00	119.43		
	2025	146.70	131.80		
	2026	66.70	56.80		
회입 기간	2027				
	2028				
	2029				
편익 기간	2030			39.97	26.04
	2031			43.60	26.93
	2032			47.56	27.84
	2033			51.87	28.79
	2034			56.58	29.76
	2035			61.72	30.77
	2036			67.57	31.93
	2037			73.98	33.14
	2038			80.99	34.39
	2039			88.67	35.69
합계				612.51	305.28

(4) 파급효과 분석

(가) 구축비용 절감 효과

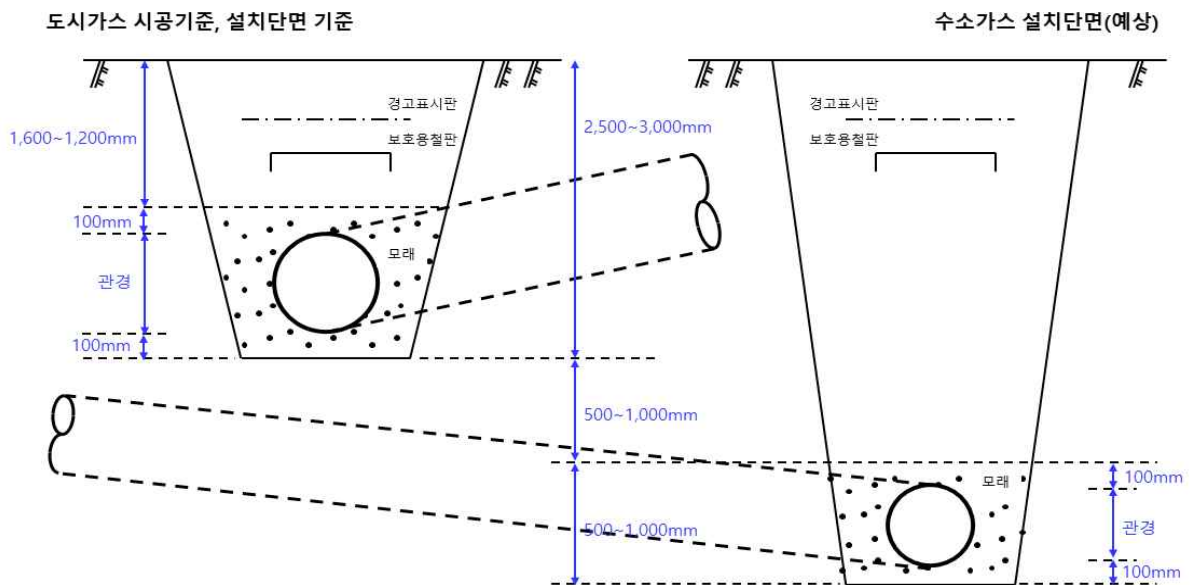
□ 동 R&D사업 추진을 통해 기술개발 시, 약 20%의 수소배관망 구축(설계·시공) 비용 절감 및 성과확산 등 상용화 시 약 58% 비용편익(예상 절감율) 발생

○ (편익분석) 수소관망 설계 시뮬레이션 기술, 자동화 및 비개착식 정밀시공 기술에 따른 편익분석

- (설계) 美, 파이프라인 비용 절감을 위해 시뮬레이션 SW* 사용 등 설계 비용·기간을 30% 절감 가능하나, 국내의 경우, 복잡성에 따라 오히려 비용 증가사례 존재(조달청 추산 설계 오류에 따른 시공비용 6.8% 증가)

* (CENOZON 주요 기능) 파이프라인 건설 및 유지관리 분석, 건설 성능예측, 병목 현상 식별, 엔지니어링 및 기술변경사항 공유 등

** (효과출처) 인공지능 기반의 건축설계 자동화 기획보고서(' 20.01.) 등

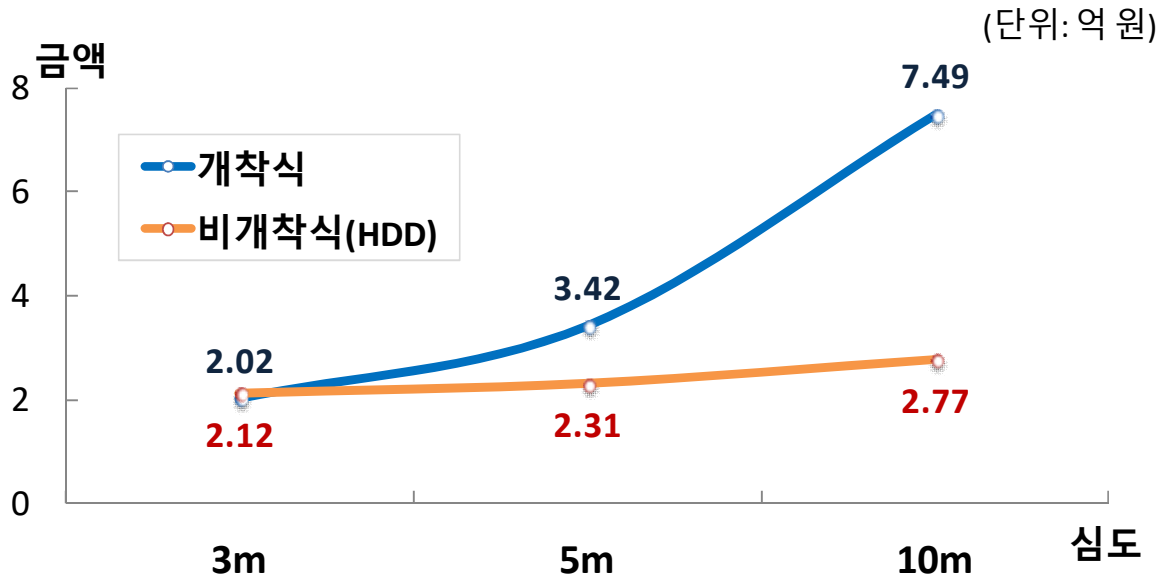


〈그림 228〉 건설공사 시공과 관련한 지하매설물 안전관리 요령

- (시공) 도심 내 지하인프라 시설이 기 매설*되어 있어 비개착 공법으로 시공 (시공비용 절감 효과 33%, 공기단축 효과 30%) 추진 및 스마트 건설기술 등 자동화 기술 활용 시 (공사비용 및 피해비용 저감율 25%) 비용절감 가능

* 기존 천연가스관망은 심도 3m로 매설되어, 신설 수소관망은 심도 5m 이하로 구축 필요

** (효과출처) 23rd Annual Directional Drilling Survey, 2021.6, Underground Construction / 스마트 건설기술 개발사업 예비타당성조사 보고서(' 19.08) 등



〈그림 229〉 심도별 개착식-비개착식 공사비용

- (분석결과) 상용화 기준 58% 수준(5.76억/km 절감)의 비용편익(예상 절감액) 발생
 - (R&D 기여) 안산 수소 시범도시의 배관망 구축(3.75km 구간) 사례를 준용하여 설계·시공관련 편익산출 결과 2.01억/km의 비용절감(20%) 효과 확인

☞ (결론) 본 R&D사업 추진을 통해 20% 비용절감이 가능하며, 개발된 기술의 상용화를 통해 최대 58%의 비용절감 효과 기대

- 배관(소재) 개발 등을 통해 비용절감 효과 추가 가능할 것으로 판단

* R&D 추진을 통해 기반 마련 필요

□ 설계비, 인건비, 토목공사비, 배관공사비 등으로 세분화하여 절감비용 (절감율) 상세화

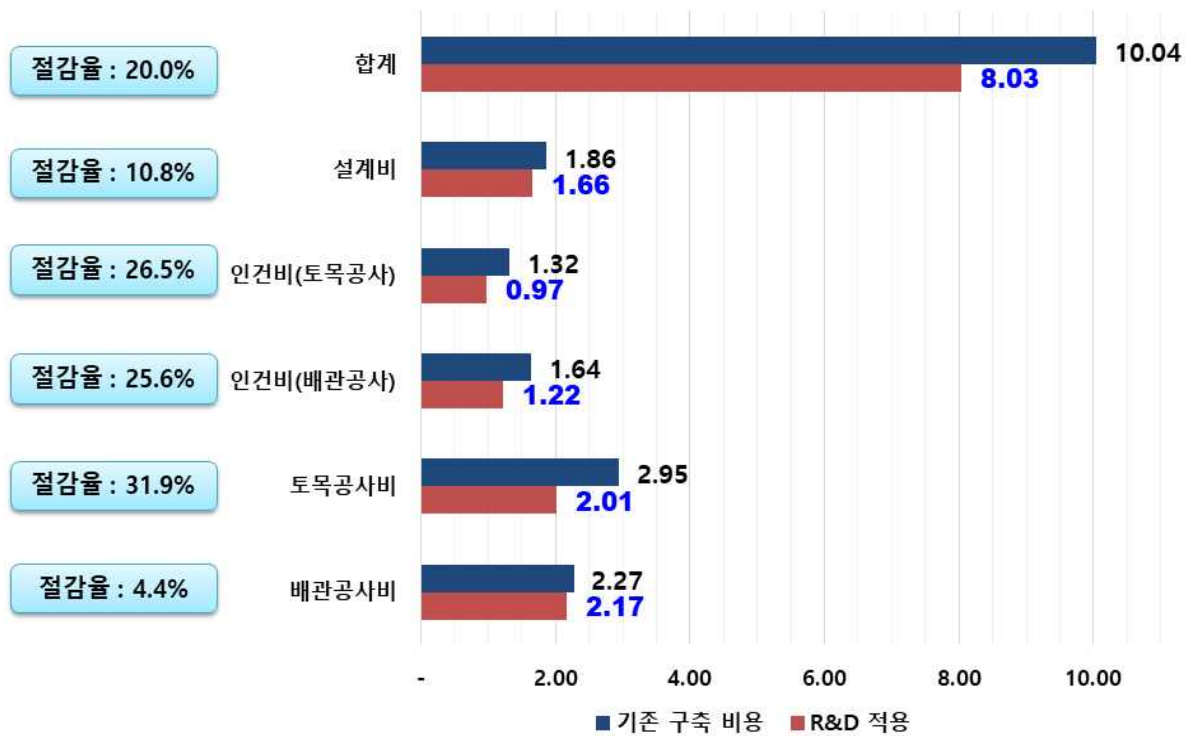
- 안산 수소 시범도시의 수소배관망 구축 비용(3.75km)을 준용하여, R&D 추진 시 절감액(1km 구축 기준) 제시
 - 공사비의 경우, 비개착 굴착 공법 및 자동화 정밀시공을 각각 적용하여 절감액 산정

〈표 213〉 세부내역 절감비용 및 절감율

(단위 : 억원, %)

구분	기존 구축 비용	R&D 추진시 절감액	R&D 추진시 절감비율	비고
설계비	1.86	0.20	10.8	

인건비	토목공사	1.32	0.35	26.5	
	배관공사	1.64	0.42	25.6	
토목공사비		2.95	0.94	31.9	경비 및 재료비 등 포함
배관공사비		2.27	0.10	4.40	
합계		7.77	1.91	20.0	



〈그림 230〉 km당 항목별 구축 비용 기술 적용 비교

(나) 경제적 파급효과

□ 분석 개요

○ 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증을 통한 경제적 파급효과는 국내 수소 배관 관련 산업을 중심으로 분석

- (분석대상 산업선별) 한국은행에서 제공하는 「2019년 산업연관표」 중 ‘부분 분류표’를 활용하여 ‘수소관망’과 높은 연계성을 보이는 산업을 선별

* 관련산업은 부분분류표의 165개 소분류 중 10개에 해당(코드번호 : 172, 272, 281, 301, 303, 379, 382, 385, 389, 402)

〈표 214〉 수소관망 관련 상품분류 코드

대분류	중분류	소분류
C05. 화학제품	(17) 기초화학물질	(172) 기초무기화학물질
C07. 1차 금속제품	(27) 철강1차제품	(272) 열간압연강재
	(28) 비철금속괴 및 1차제품	(281) 비철금속괴
C08. 금속가공제품	(30) 금속가공제품	(301) 구조용 금속제품 및 탱크
		(303) 금속처리 및 가공품
C10. 전기장비	(37) 전기장비	(379) 기타 전기장비
C11. 기계 및 장비	(38) 일반목적용 기계	(382) 펌프 및 압축기
		(385) 공기 및 액체 조절장치
		(389) 기타 일반목적용 기계
C12. 운송장비	(40) 자동차	(402) 특장차 및 트레일러

출처 : 2019년 산업연관표, 한국은행, 2021

- (분석지표 설정) 한국은행에서 제공하는 「2019년 산업연관표」의 ‘투입산출표’와 ‘고용표’를 활용하여 객관적 측면에서의 시장경제적 기대효과 분석을 위한 4대 분석지표를 설정

* (분석지표) 생산유발계수, 부가가치유발계수, 고용유발계수, 취업유발계수

〈표 215〉 수소관망 관련 분석지표(2019년 기준 투입산출표 및 고용표)

구분	생산 유발계수	부가가치 유발계수	취업 유발계수 (명/10억 원)	고용 유발계수 (명/10억 원)
(172) 기초무기화학물질	1.040	0.296	1.475	1.414
(272) 열간압연강재	1.084	0.233	1.047	1.019
(281) 비철금속괴	1.086	0.157	0.305	0.292
(301) 구조용 금속제품 및 탱크	1.110	0.327	2.411	2.099
(303) 금속처리 및 가공품	1.072	0.500	5.928	4.819
(379) 기타 전기장비	1.160	0.279	3.488	3.242
(382) 펌프 및 압축기	1.026	0.373	3.125	2.846
(385) 공기 및 액체 조절장치	1.144	0.293	2.281	2.126
(389) 기타 일반목적용 기계	1.088	0.332	3.632	3.307
(402) 특장차 및 트레일러	1.013	0.270	2.509	2.388
평균	1.082	0.306	2.620	2.355

출처 : 2019년 산업연관표, 한국은행, 2021

□ 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증을 통한 산업연관 파급효과 분석

○ 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 방안 기획은 ‘23년부터 ‘26년까지 총 4년동안 373.4억 원이 투입되며, 비용투입을 통해 예상되는 생산유발계획, 부가가치유발계수, 고용유발계수, 취업유발계수 등을 추정

- (생산유발계획) 특정 산업부문의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때, 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 단위
- (부가가치유발계수) 특정 산업부문의 최종수요가 한 단위 증가하였을 때, 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 부가가치 단위
- (고용유발계수) 특정 산업 부문의 최종수요가 일정금액(10억 원) 증가할 경우 각 산업 부문에서 직·간접적으로 유발되는 고용자 수
- (취업유발계수) 특정 산업 부문의 최종수요가 일정금액(10억 원) 증가할 경우 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 취업자 수

○ 수소도시의 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증을 위한 연차별 예산규모를

투입비용으로 적용하여 산업연관 분석을 통해 추정한 결과 생산유발 404.0억 원, 부가가치유발 114.3억 원, 고용유발 96명, 취업유발 86명의 파급효과가 발생할 것으로 예상

- (분석지표 적용) 다양한 산업 분야와의 연관성이 존재하는 수소배관 산업의 특성을 반영하여 앞서 제시된 다양한 관련 산업별 유발계수는 평균값으로 적용하고, 이를 경제적 파급효과 산출에 활용

* 사업기간 : '23 ~ '26년(4년) / 총사업비 373.4억 원(정출금 280.0억 원, 민간부담 93.4억 원)

〈표 216〉 본 기획과제 경제적 파급효과

(단위 : 억 원, 명/10억 원)

대분류		'23	'24	'25	'26	합계
투입비용		34.0	126.0	146.7	66.7	373.4
분석지표 (유발계수)	생산유발효과	1.082	1.082	1.082	1.082	-
	부가가치유발효과	0.306	0.306	0.306	0.306	-
	고용유발효과	2.62	2.62	2.62	2.62	-
	취업유발효과	2.355	2.355	2.355	2.355	-
시장경제 파급효과	생산유발효과	36.8	136.3	158.7	72.2	404.0
	부가가치유발효과	10.40	38.56	44.89	20.41	114.3
	고용유발 효과	8	33	38	17	96
	취업유발효과	8	29	34	15	86

출처 : 2019년 산업연관표, 한국은행, 2021

- ☐ 한국은행 산업연관표를 활용한 파급효과 분석은 수소관망 구축·운영기술 개발 및 실증 비용이 투입됨으로써 나타나는 국가경제의 연관효과를 의미하며, 후속과제, 수소도시 등으로 효과는 지속적으로 발생 가능

나. 기대효과 및 성과 활용방안

(1) 기대효과

□ 기술적 측면

- 해외에서 도입된 배관을 대체할 수 있는 수소배관 국산화 기술 확보
- 도시 내 안전한 수소공급 가능 및 수소도시 기반 기술 마련
- 배관 성능·평가 기준 및 표준화를 통해 수소배관의 안전성 확보와 실용화 가능
- 안전성 검증기술 개발을 통한 평가 기술 체계 구축 및 글로벌 인증 취득 기대
- 수소도시에 적용이 가능한 수소 배관망 구축 및 운영기술 확보
- 구축된 배관 정보 D/B의 활용에 따른 신소재 활용 활성화 기대

□ 경제적·산업적 측면

- 향후 주목 받는 수소산업의 선점을 통해 수소산업 선도 가능
- 급성장하는 수소산업 육성으로 국가경제 성장에 기여
- 신시장 창출, 대규모 고용창출, 고급 전문기술인력에 대한 일자리 창출 효과 기대
- 전국적인 수소 공급 기반 마련 후 잉여 수소의 해외 수출 및 관련 기술 수출 가능
- 수소 저장·운송산업의 육성을 통해 관련 산업의 동반성장으로 신성장동력 확보
- 안정적인 수소 공급을 통한 수소 가격 안정화 추구
- 기존 주력산업과의 연계를 통한 사업 범위 확장 가능

□ 사회적 측면

- 세계 최고 수준의 친환경 수소경제 시대 조기 실현 기대
- 국가차원에서 추진 중인 수소경제 활성화에 따라 증가하는 수소의 운송 범위를 전국적인 범위로 확대 가능
- 안전 확보 및 실증체계 구축을 통해 국민 인식 개선 및 안전한 수소경제 제공
- 수소산업 육성의 일부분으로 에너지산업 기반 약화 극복
- 수소 저장·운송산업의 육성을 통해 관련 산업의 동반성장으로 신성장동력 확보
- 친환경산업 육성을 통해 청정국가, 친환경 에너지 국가로서의 이미지 재도약 가능

- 전체적인 수소산업의 안정적인 도입을 통해 국가에서 추진 중인 탄소중립 정책의 CO₂ 저감효과 목표 달성에 기여
- 수소경제의 실현으로 경제적이고 안전한 수소 공급, 주민의 수소 수용성 제고, 관련 인프라 구축 등을 통해 수소 생태계 구축

(2) 성과 활용방안

- (수소배관망 건설 수혜 대상) ‘30~‘50년 까지 공급계획이 충실히 진행된다는 가정하에 수소배관망 건설분야 수혜대상을 분류
 - (설계분야) 국내 강관제조를 위한 조관 기업은 16개사 및 국내 배관망용 밸브류 등 주요설비 공급업체는 11개사로 파악
 - (조달분야) ‘22년 11월 선정 예정인 수소 시범도시 5곳 중 우선순위를 고려하여 1곳 이상 연계 추진 예정이며, 현재 지자체 참여의향을 보여준 곳은 평택시, 화성시, 당진시 3개시로 파악
 - (시공분야) 천연가스 주배관망의 경우 국내 대기업, 도시가스사 공급배관의 경우 중소·중견 기업이 참여하여 건설 중
- (비즈니스 모델의 구성) 수소배관망을 이용한 대용량 수소공급자는 현재 미정이며, 가스공사, 에너지기업, 중공업사가 치열하게 경쟁 중
 - * 따라서, 가스공사의 주배관망 건설계획은 현시점에서 우선순위 검토 필요

〈표 217〉 예상매출액 추정

구분	세부항목	연도	낮음		중간		높음	
			가스공사 (대기업)	도시가스 (중소기업)	가스공사 (대기업)	도시가스 (중소기업)	가스공사 (대기업)	도시가스 (중소기업)
건설 관점 (CAPEX)	배관 건설비	2030	425	1,209	576	1,640	702	1,999
		2040	573	1,631	777	2,212	947	2,696
		2050	3,039	8,649	4,122	11,732	5,025	14,301
건설 관점 (CAPEX)	압축비	2030	252	718	425	14,221	904	2,574
		2040	340	969	573	1,209	1,220	3,471
		2050	1,805	5,138	3,099	1,631	6,469	18,411
	총 소요비용	2030	677	1,927	1,001	2,849	1,607	4,573
		2040	913	2,599	1,350	3,842	2,167	6,167
		2050	4,844	13,787	7,161	20,381	11,493	32,712

운영 비용 (OPEX)	운영비용	2030	17	48	21	60	29	84
		2040	23	65	28	81	40	113
		2050	120	343	150	428	211	599
	전기료	2030	81	21	113	29	59	168
		2040	109	28	153	40	79	226
		2050	579	150	810	211	421	1,199
	총 운영비	2030	98	69	134	89	88	251
		2040	132	93	181	120	119	339
		2050	699	493	960	639	632	1,798

- (건설관점) 천연가스 공급망과 유사하게 수소배관망 건설이 진행된다는 가정 하에 주배관망은 대기업, 저압배관은 중소 건설사가 수혜 대상
- (운영관점) 주배관망은 가스공사, 저압배관망은 34개 도시가스사가 수혜 대상
- (예상매출액 추정) 예상 매출액 추정은 배관건설비 기준으로 주배관망은 5,760억 ~ 41,220억의 매출액 발생 예상되며, 저압배관망은 16,400억 ~ 117,320억의 매출액 발생

□ 설계 분야 업계

- 국내 강관제조를 위한 조관 제조업체는 16개사로 파악

〈표 218〉 국내 가스이송용 조관 제조업체 현황

번호	제조사	제조규격
1	하이스틸	일반 및 압력배관용 강관 (ASTM A53), ERW
2	세아제강	탄소용접강관(API 5L), ERW
3	현대제철	API 5L
4	휴스틸	API 5L, ERW
5	EEW코리아	API 5L
6	금강공업	압력 및 연료가스배관용 탄소강관 등
7	동양철관	가스수송용 강관 및 일반배관용 강관 (API 5L)
8	현대RB	API 5L B ~ X80 등
10	창원밴딩	API 5L, (SAW)
11	삼강엠앤티	API 5L, B~X80 (SAW)
12	웰텍	SAW강관(API)
13	성원제강	API 5L, KS D 3507 , KS D 3562
14	MS파이프	ASTM A53, ERW
15	디에이솔루션	SAW강관(API)

출처 : 한국철강협회 및 각사 홈페이지

○ 국내 배관설비 제조업체 현황

〈표 219〉 국내 배관설비 제조업체 현황

번호	기업명	주요생산품목
1	이엠코리아	수전해, 수소충전소
2	월드파워텍	압축기
3	경남에너지	천연가스판매, 충전소 운영
4	두산중공업(주)	연료전지, 압력용기
5	(주)효성	연료전지, 수소충전소
6	광신기계공업(주)	수소충전소, 가스압축기, CNG스테이션
7	GTC	압축기
8	하이록코리아	고압밸브, 피팅
9	디케이락	고압밸브, 피팅
10	(주)NK	저장용기
11	태광후지킨	저장용기, 고압밸브, 피팅

□ 시공 분야 업체

○ 국내 배관 시공업체 현황

〈표 220〉 국내 배관 시공업체 현황

번호	기업명	등록업종
1	협창건설(주)	기계설비공사, 가스시설공사(제1종)
2	(주)경동이앤에스	기계설비공사, 가스시설공사(제1종)
3	(주)엘이에스	기계설비공사, 가스시설공사(제1종)
4	(주)덕양가스텍	기계설비공사, 가스시설공사(제1종)
5	(주)케이씨이앤씨	기계설비공사, 가스시설공사(제1종)

출처 : 대한기계설비건설협회

○ 국내 도시가스사 현황

〈표 221〉 국내 도시가스사 현황

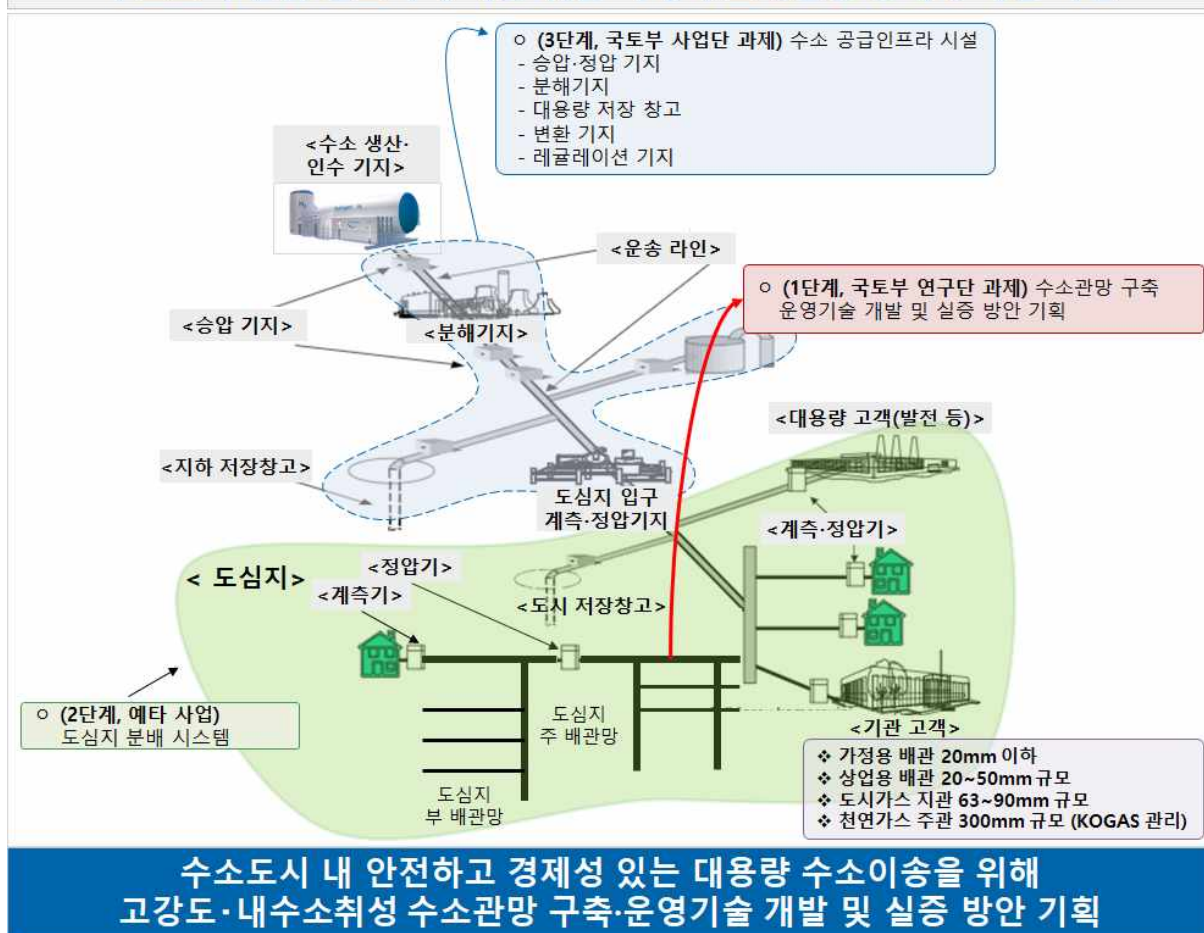
번호	회 사 명	대표자명	본사 소재지
1	코원에너지서비스(주)	배명호	서울 강남구 남부순환로 3165
2	(주) 예 스 코	정창시	서울 성동구 자동차시장길 23
3	서울도시가스(주)	박근원, 김진철	서울 강서구 공항대로 607

4	(주)귀뚜라미에너지	이명호	서울 구로구 경인로46길 51
5	(주) 대륜 E&S	전동수	경기 의정부시 민락로 244-6
6	(주)삼 천 리	이찬의, 유재권	서울 영등포구 국제금융로6길 42
7	인천도시가스(주)	정진서	인천 서구 백범로934번길 23
8	(주)부산도시가스	구태고	부산 수영구 황령대로 513
9	대성에너지(주)	김영훈, 윤홍식	대구 중구 명덕로 85
10	(주)해양에너지	김형순	광주 광산구 손재로287번길 59
11	CNCITY에너지	황인규, 손동식	대전 중구 유등천동로 762
12	(주)경동도시가스	송재호, 나운호	울산 북구 염포로 260-10
13	강원도시가스(주)	박경식	강원 춘천시 삭주로 163
14	참빛원주도시가스(주)	김문택	강원 원주시 호저면 원문로 376-27
15	참빛영동도시가스(주)	김복천	강원 강릉시 동해대로 3291
16	참빛도시가스(주)	김복천	강원 속초시 미시령로 3198
17	명성과워그린(주)	엄정환	강원 평창군 대관령면 송전1길 81-3
18	충청에너지서비스(주)	사극진	충북 청주시 흥덕구 산단로 244
19	참빛충북도시가스(주)	신동식	충북 충주시 국원대로 344
20	J B (주)	한권희	충남 아산시 음봉면 산동안길 14
21	(주)미래엔서해에너지	박영수	충남 당진시 시곡로 348
22	전북도시가스(주)	김홍식	전북 전주 덕진구 장재안길 31
23	군산도시가스(주)	김동수, 윤인식	전북 군산시 해망로 178
24	전북에너지서비스(주)	김기영	전북 익산시 석암로3길 80
25	목포도시가스(주)	정경오	전남 목포시 영산로 742
26	전남도시가스(주)	김은규	전남 순천시 장선배기길 31
27	대화도시가스(주)	정치훈	전남 여수시 만성로 178
28	영남에너지서비스(주) 구미	양영철	경북 구미시 1공단로6길 94
29	영남에너지서비스(주) 포항	이경남	경북 포항시 북구 소티재로208
30	대성청정에너지(주)	박문희	경북 안동시 모래골1길 61
31	서라벌도시가스(주)	조향선	경북 경주시 유림로 5번길 183
32	경남에너지(주)	정 회	경남 창원시 성산구 연덕로 18
33	(주)지에스이	유석형	경남 사천시 사천읍 구암두문로 412-30
34	(주)제주도시가스	김문수, 김민수	제주 제주시 미리내길 153

□ 본 기획과제 이후 단계별 연계사업 추진

- 본 기획과제의 연구범위는 수소도시 내 수소관망을 대상으로 연구개발의 목표를 설정하며, 이후 최종적으로 3단계까지 구상하였으며 예상 시나리오에 해당
 - 향후 수소도시사업의 확대, 수소공급 네트워크 확장 등을 고려한 예상 시나리오로서, 대량의 생산처나 인수기지, 거점기지 등과 수요처를 연결하는 공급관망을 상정하고, 산업부 연구개발과제의 수소관 개발목표를 고려

본 기획과제(1단계)를 시작으로 도시 내 안전한 수소공급, 주민수용성 제고와 수소도시 전환 인프라 구축을 위한 국내 수소배관망 생태계 기반 마련



〈그림 231〉 각 단계별 사업 범위

□ 해외 활용 방안

- (예상 성과물) 기획과정에 따라 연구 진행 및 각 중점분야별 핵심 성과물을 도출하였으며, 중점분야 3의 실증보급모델 개발을 통해 성과 활용 방안 도출

〈표 222〉 중점분야별 핵심 성과물

중점분야	성과물
1	▪ 도시내 수소공급용 마스터플랜 ▪ 수소관망 데이터 분류체계 및 설계 시뮬레이터(플랫폼) ▪ 개착 시공용 장비 조합 원격 관제 시스템(SW) ▪ 디지털 트윈 기반 가상건설 및 시공품질 검사 시스템(SW) ▪ 경암(硬巖) 지반 대상 비개착 시공법 및 장비
2	▪ 직접가압·대체시험방식의 수소취성 평가 시험 설비 및 시험법 ▪ 수소취성평가 방법 및 결과 등에 기반한 안전기준 ▪ 수소관망 가압반복 시험 설비 ▪ 수소관망 사고 발생 시나리오 분석 기반 위험성 평가법 ▪ 수소도시용 수소관망 및 정압기 구축·운영 기반 위험성 평가법
3	▪ 수소관망 시공·운영 매뉴얼 ▪ 수소도시 내 수소관망 국가건설기준 및 운영기준 ▪ 수소도시 적용을 위한 리스크 관리 전략 ▪ 수소관망 확산·보급모델 ▪ 수소관 평가(구조성능, 파괴인성, 내구성 등) 매뉴얼 ▪ 정압기 및 구성 부품 ▪ 수소관망 지능형 이상상태 감지(HW) 및 위치추적 시스템(SW) ▪ 잔존수명, 위험도 및 실시간 상태 기반 지능형 자산관리 시스템(SW)

- (수요처) 해외 관련 기관과의 국제 협력을 통하여 개발된 기술을 제공

- (해외 정부 및 지자체) 수소를 활용한 수소도시 구축을 계획하는 해외 정부 및 지자체를 대상으로 사회간접자본 연계 입지계획, 인허가, 시설기준 반영 등을 통해 해당 국가에 적합한 수소도시·운송인프라 건설 및 운영 지원
- (해외 건설·엔지니어링·제작사) 기술이전 또는 협업을 통한 기술력 제공

- (파급효과) 해당 기술개발 및 해외 진출을 통해 다양한 파급효과 기대 가능

- 수소도시 수요예측을 통한 필요 수소 운송량 파악 이후 운송량 규모에 적합한 수소운송 인프라 구축을 통한 시장 점유율 확보 가능
- 국내 기술력을 통해 구축된 수소도시 및 수소운송 인프라의 안전성이 확인될 경우 추가적으로 수소도시, 운송인프라 구축을 위한 국가·지자체 확대 예상

붙임. 참고문헌

- 수소 공급 및 운송단가 비교조사, 조선대학교, 2022
- Hydrogen Insights Report 2021, McKinsey & Company, 2021
- European Hydrogen Backbone, Guidehouse, 2021
- 세계 에너지시장 인사이트, 에너지경제연구원, 2021
- 국내·외 수소도시 정책 동향과 시사점, 국토이슈리포트, 2021
- 세계 수소 수급 현황 및 미래 수소공급 잠재력 변화·대응, 에너지경제연구원, 2021
- 중국의 수소에너지 및 연료전지차 발전동향, KOSTEC, 2021
- EU 및 독일의 수소 관련 정책 및 기술개발 동향, 글로벌 산업기술 주간 브리프, 2021
- 수소생산, 한국과학기술기획평가원, 2021
- Hydrogen Value Chain Series I, 키움증권, 2021
- 수소경제 성과 및 수소 선도 국가 비전, 산업부, 2021
- ESG 시대 에너지 대전환, 삼성증권, 2021
- “수소, 대한민국이 주도하는 첫 번째 에너지”, 산업부, 2021
- 수소인프라 이슈 및 과제, 에너지(주), 2021
- 수소경제의 본격화 시점, 결코 먼 미래가 아니다, 딜로이트 컨설팅, 2020
- National Hydrogen Roadmap, CSIRO, 2020
- 2050 탄소중립 추진전략, 범부처, 2020
- 수소산업 생태계 경쟁력 강화방안, 범부처, 2020
- “세계 최고수준의 수소경제 선도국가로 도약”, 산업부, 2019
- 100만 명 규모 도시형 복합 수소 네트워크 설계 및 안전성 평가, 관리기술 개발, 국토부, 2019
- 수소 안전관리 종합대책, 산업부, 2019
- 수소 기술개발 로드맵(안), 범부처, 2019

- 수소경제 활성화 로드맵, 범부처, 2019
- 수소 저장운송기술 개요 및 현황, 고등기술연구원, 2019
- 한국 수소산업의 생태계 분석을 통한 발전전략 및 과제, 산업연구원, 2019
- 한국 수소산업 생태계 분석과 발전과제, 산업연구원, 2019
- 수소 인프라 및 충전소 구축 방안, 범부처, 2019
- 수소 시범도시 추진전략, 관계부처 합동, 2019
- 수소경제 특집 모빌리티인사이트, 한국자동차연구원, 2020
- 시장성과 친환경차산업을 고려한 수소전기차 도입전략, 한국교통연구원, 2020
- Prospects of a Hydrogen Economy with Chinese Characteristics, Center for Energy & Climate, 2020
- 미래 시장 선도형 수소 에너지 융합 인프라 핵심기술 기획연구, 한국건설기술연구원, 2020
- 수원형 수소생태계 모델 구축 계획수립, 수원시, 2020
- 수소도시 안전 확보를 위한 연구·인프라 역량 강화 추진 전략, 한국건설기술연구원, 2020
- 수소도시 조성을 위한 법제 개선방안 연구, 국토교통부, 2019
- 안전한 수소사회 실현을 위한 모빌리티 정책 제언, 국토연구원, 2019
- 수소전기차 보급 확대를 위한 수소 인프라 구축동향 및 시사점, 에너지경제연구원, 2019
- 에너지전환을 위한 수소에너지 역할과 정책과제, 에너지경제연구원, 2019
- 친환경자동차(전기차, 수소차) 활성화를 위한 충전시설 확충방안, 대전세종연구원, 2018
- 신에너지 시대를 여는 수소산업의 성장가능성과 발전과제, 산업연구원, 2016

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 2021 국토교통연구기획 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 2021 국토교통연구기획 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.