

RS-2022-00155967

일반과제 / 공개
발간등록번호 : 11-B551201-000226-01

국토교통연구기획 최종보고서

R&D / RS-2022-00155967

친환경 수소철도 기술개발 사업기획

최종보고서

2023.05.14.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국철도공사
국가철도공단

친환경 수소철도
기술개발 사업기획

최종보고서

2023

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘친환경 수소철도 기술개발 사업기획’(연구개발 기간 : 2022.04.15. ~ 2023.04.14.) 과제의
최종보고서를 제출합니다.

2023.05.14.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 한 석 윤 (직인)

공동연구기관명 : 한국철도공사 고 준 영 (직인)
(사장직무대행)

국가철도공단 김 한 영 (직인)

주관연구기관책임자 : 정 신 명

공동연구기관책임자 : 김 진 우

손 광 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라
최종보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명	국토교통연구기획(R&D)			총괄연구개발 식별번호			-	
내역사업명	국토교통연구기획			연구개발과제번호			RS-2022-00155967	
국가과학기술 표준분류	EI0601 (철도시스템 엔지니어링)	60%	ED0302 (전력변환기기)	20%	EF0609 (수소)	20%		
총괄연구개발명	-							
연구개발과제명	친환경 수소철도 기술개발 사업기획							
전체 연구개발기간	2022.04.15. ~ 2023.04.14. (12개월)							
총 연구개발비	총 180,000천원 (정부지원연구개발비: 180,000천원)							
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[○]			기술성숙도		-		
연구개발과제 유형	지정공모							
연구개발과제 특성	기획							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		○ 비전철화 및 혼합구간 노선에 친환경 수소철도 운영을 위한 수소전기 동차 실증, 수소전기기관차 핵심기술개발, 대용량 고속 수소충전소 실증 사업 기획 - 비전철화 노선 운영을 위한 수소전기동차 기술개발 및 실증 - 수소전기기관차 핵심기술 및 안전성 평가기술 개발 - 수소철도 운영을 위한 대용량 고속 수소충전소 구축 및 실증					
	전체 내용		○ 기술개발 동향 및 환경 분석을 통한 사업 목표와 범위 제시 - 국내외 시장, 정책, 기술, 환경 및 특허 동향 분석을 통해 이슈와 니즈 도출 - 사업의 목적 및 개념, 기술 정의, 기술개발 범위 제시 - 정부정책과의 관련성 및 사업추진 타당성 분석을 통해 이슈와 니즈 해결을 위한 기술적 대안과 사업추진 방향 제시 ○ 기술개발 전략 수립, 연구내용 설정 - 기술개발사업 전략 수립 및 연구내용 설정 - 기술수요조사 및 연구개발 과제 우선순위 도출 - 연구개발 후보과제별 과제카드 작성 ○ 연구개발과제 기획 - 연구개발 목표 및 범위 설정 - 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정 - 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립 - 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 - 사전타당성(정책·기술·경제) 검토 - 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정					

연구개발성과	○ 국내외 동향 및 환경분석 ○ 사업별 상세 기획내용 도출 - 수소전기동차 실증사업 • (핵심기술1) 수소전기동차 제작 및 형식승인 • (핵심기술2) 수소전기동차 실용화 기술개발 • (핵심기술3) 수소철도 운영 인프라 기술개발 - 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 • (핵심기술1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 • (핵심기술2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 • (핵심기술3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 - 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 • (핵심기술1) 대용량 고속 수소충전 기술개발 • (핵심기술2) 수소 충전인프라 구축 ○ 과제공모 방안(RFP) 도출											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○ 정부의 `19.1월 「수소경제 활성화 로드맵」에 따라 수립된 철도 분야 수소 기술 개발 로드맵 달성을 위한 기술개발 기획자료 확보 ○ 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련 ○ 공공교통수단인 철도에 지속적으로 친환경 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수소 활용 분야 확대 ○ 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수소 활용분야 확대 ○ 철도 분야 수소 산업 생태계 구축에 따른 관련 분야 전문 인력양성											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	○ 공개											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논 문	특 허	보 고 서 원 문	연구 시설· 장비	기술 요 약 정 보	소프 트 웨어	표 준	생명자원		화합 물	신품종	
								생 명 정 보	생 물 자 원		정 보	실 물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시 설·장비 명		규격 (모델 명)	수량	구입 연월일	구입가 격 (천원)	구입처 (전화)		비고 (설치장 소)	ZEU S 등록 번호	
국문핵심어 (5개 이내)	수소전기동차			수소전기기관차		수소충전소						
영문핵심어 (5개 이내)	hydrogen electric railway			hydrogen electric locomotive		hydrogen refueling station						

〈제 목 차 례〉

제1장 사업개요	2
제1절 : 기술의 정의 및 분류체계	2
1. 수소경제	2
2. 수소철도 기술의 정의 및 범위	6
3. 기술 분류 체계	9
제2절 : 사업추진 배경	10
제3절 : 사업추진 필요성	13
1. 디젤철도차량의 대체기술 필요	13
2. 탄소배출 제로, 수소철도차량 확대 전망	16
3. 수소철도 도입·운용을 위한 제반 기술 마련 필요	19
제4절 : 사업추진의 정책적 타당성	21
1. 관련 법령과의 부합성	21
2. 국가 정책·계획과의 부합성	25
3. 사업의 시급성	28
4. 국가 전략적 중요성 및 지원 필요성	29
5. 법·제도적 위험요인 검토	30
 제2장 국내외 동향 및 환경분석	 33
제1절 : 메가트렌드 분석	33
1. 탄소중립 등 국제적 환경 이슈 부각	36
2. 증가하는 에너지 비용 감소를 위한 친환경 에너지 신기술 도입 필요	38
3. 고령화, 도시화 등 사회변화로 인해 도시내/도시간 안전한 교통 수단에 대한 요구 증가	40
4. 비용, 안전, 도심 운행 등의 문제 해결을 위한 독립전원방식의 철도 필요	42
제2절 : 정책동향	45
1. 국내정책동향	45
2. 국외정책동향	59
제3절 : 기술동향	69
1. 수소철도차량	69
2. 수소 관련 인프라	86
제4절 : 시장·산업동향	98
1. 시장동향	98

2. 산업동향	102
제5절 : 사회·환경동향	111
제6절 : 기술역량 분석	117
1. 특허분석	117
2. 논문분석	139
3. 기술수준분석	151
제7절 : 국내 R&D 역량 분석	153
1. R&D 투자동향	153
2. R&D 인프라 분석	160
제8절 : 종합분석 및 사업추진 방향	179
1. SWOT 요인 도출	179
2. SWOT 요인 분석	181
3. SWOT 종합분석 및 전략 도출	185
4. 중점추진분야 설정 및 사업추진 방향	186
 제3장 수소전기동차 실증사업	 189
제1절 : 사업 목표 및 미래상	189
1. 사업 비전 및 목표	189
2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과	191
제2절 : 연구개발 과제 구성	196
1. Top-down 기술기획	196
2. Bottom-up 기술기획	198
3. 주요 연구내용 및 최종성과물	200
제3절 : 세부 개발계획	204
1. 핵심기술별 연구내용	204
2. 연차별 추진내용	208
3. 성과물 및 목표성능	209
4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산	210
5. 성과 목표 및 성과 지표	215
제4절 : 사업추진체계 및 전략	224
1. 사업 추진 방안 설정	224
2. 사업추진체계	225
3. 사업주체간 역할분담	226

4. 사업추진전략	227
제4장 수소전기기관차 핵심기술 개발사업	249
제1절 : 사업 목표 및 미래상	249
1. 사업 비전 및 목표	249
2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과	251
제2절 : 연구개발 과제 구성	254
1. Top-down 기술기획	254
2. Bottom-up 기술기획	256
3. 주요 연구내용 및 최종성과물	258
제3절 : 세부 개발계획	261
1. 핵심기술별 연구내용	261
2. 연차별 추진내용	266
3. 성과물 및 목표성능	267
4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산	268
5. 성과 목표 및 성과 지표	273
제4절 : 사업추진체계 및 전략	290
1. 사업 추진 방안 설정	290
2. 사업추진체계	291
3. 사업주체간 역할분담	292
4. 사업추진전략	293
제5장 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	309
제1절 : 사업 목표 및 미래상	309
1. 사업 비전 및 목표	309
2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과	311
제2절 : 연구개발 과제 구성	315
1. Top-down 기술기획	315
2. Bottom-up 기술기획	317
3. 사업 주요 내용	319
제3절 : 세부 개발계획	321
1. 핵심기술별 연구내용	321

2. 연차별 추진내용	323
3. 성과물 및 목표성능	324
4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산	325
5. 성과 목표 및 성과 지표	329
제4절 : 사업추진체계 및 전략	335
1. 사업 추진 방안 설정	335
2. 사업추진체계	335
3. 사업주체간 역할분담	336
4. 사업추진전략	338
 제6장 과제공모 방안(RFP)	 343
제1절 : 수소전기동차 실증사업	343
제2절 : 수소전기기관차 핵심기술 개발사업	358
제3절 : 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	373
제4절 : 선정평가 방법	384
 제7장 참고자료	 386
제1절 : 기술수요조사 및 사업별 연구개발 과제 구성	386
1. 세부 사업별 핵심기술	386
2. 기술수요조사	386
제2절 : 교외선 운영비용 산출	394
1. 철도차량 도입단가 (2021년 철도통계연보 기준)	394
2. 철도차량 동력 비용	395
3. 교외선 전철화 비용 및 유지보수 인원 산출	396
4. 대기오염비용 절감 편익	396
제3절 : 국내·외 수소충전소 규제/법령 분석 및 검토	398
1. 국외기준	398
2. 국내기준	401
3. 국내기준 검토 결과	406
제4절 : 전략계획서	410
1. 수소전기동차 실증사업	410
2. 수소전기기관차 핵심기술 개발사업	428

3. 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	454

제8장 참고문헌	469

〈표 차례〉

[표 1] 탄소경제와 수소경제 비교	3
[표 2] 수소 수요 및 시장규모 전망[2]	3
[표 3] 세계 에너지 공급과 소비 비교('19년 기준)[4]	5
[표 4] 수소철도 기술의 분류 체계	9
[표 5] 철도 전철화 변화[7]	13
[표 6] 신규 철도 건설 예정 현황[7]	13
[표 7] 디젤철도차량 운전실적(2021년 기준)	14
[표 8] 전차선로 신설 비용[9]	15
[표 9] 디젤철도차량 배출허용기준 ('19.1월)[15]	16
[표 10] 상위법령과의 부합성	24
[표 11] 상위정책·계획과의 부합성	27
[표 12] STEEP 분석에 활용된 보고서	33
[표 13] STEEP 기반으로 정리된 미래 메가트렌드 이슈	34
[표 14] 교통수단별 온실가스 배출량 추이	38
[표 15] 도로 및 철도 연장(km)[7]	42
[표 16] 종별 철도연장[7]	44
[표 17] 수소철도 관련 정책·계획 요약	58
[표 18] 각국의 수소철도 개발현황[35]	71
[표 19] 현대로템 차량 종류별 사양 제시[36]	72
[표 20] 수소철도 국내외 개발현황	83
[표 21] 전세계 수소 액화플랜트 설치·운영 현황[57]	89
[표 22] 액화수소 저장식 자동차충전소 현황('21년 기준)[57]	90
[표 23] 상용 액화수소 플랜트 사업 현황[57]	91
[표 24] 실증용 액화수소 플랜트 관련 사업 현황[57]	91
[표 25] Ballard Power System社의 제품 목록[64]	104
[표 26] Cummins社의 제품 목록[65]	104
[표 27] Powercell社의 제품 목록[66]	104
[표 28] 수소차용 수소충전 인프라 국내 기술 수준	107
[표 29] 연도별 철도연장(km)[7]	111
[표 30] 철도 소음 현황[77]	116
[표 31] 특허·논문 분석 대상	117
[표 32] 검색 DB 및 검색범위	118
[표 33] 데이터 추출 방법 예시	119

[표 34] 특허 조사를 위한 검색식	119
[표 35] 분석대상 유효특허 선별결과	123
[표 36] 검색 DB 및 검색범위	139
[표 37] 연도별 차량 시스템 분야 국내외 논문 현황	142
[표 38] 연도별 수소충전소/인증, 실증 및 관리 분야 국내외 논문 현황	143
[표 39] 철도교통 환경 주요국 기술수준	151
[표 40] 철도교통 환경 기술의 강점과 약점	151
[표 41] 주요국의 연구단계별 기술역량	152
[표 42] 수소철도 R&D 정부출연금 및 과제 수 동향	155
[표 43] 부처별/연도별 투자 동향	156
[표 44] 부처별 과제당 연구비	157
[표 45] 연도별/연구단계별 투자동향	157
[표 46] 부처별/연구단계별 투자동향	158
[표 47] 수행기관별 투자 동향	159
[표 48] 국토교통부 과제 중 수행기관별 투자 동향	159
[표 49] 재직기관별 연구인력(철도 관련)	160
[표 50] 전공별 연구인력(철도 관련)	161
[표 51] 전문분야별 연구인력(철도 관련)	162
[표 52] 재직기관별 연구인력(수소 관련)	163
[표 53] 전공별 연구인력(수소 관련)	164
[표 54] 전문분야별 연구인력(수소 관련)	165
[표 55] 주요 철도 관련 업체 현황	168
[표 56] 한국철도기술연구원 장비 현황	169
[표 57] 현대로템 장비 현황	174
[표 58] 다원시스 장비 현황	174
[표 59] 한국기계연구원 장비 현황	175
[표 60] 한국에너지기술연구원 장비 현황	175
[표 61] KIST 장비 현황	177
[표 62] 수소전기동차 실증사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)	191
[표 63] '19년도 디젤기관차 및 디젤동차의 대기오염물질 배출량[75]	193
[표 64] 수소전기동차 실증사업의 목표 사양 및 타 차량과의 비교	197
[표 65] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 리스트	198
[표 66] 수소전기동차 실증사업 기술제안 분야	198
[표 67] 수소전기동차 실증사업 연구개발 과제 구성	199

[표 68] 수소전기동차 제작 및 형식승인 연차별 연구내용	204
[표 69] 수소전기동차 제작 및 형식승인 성능지표(목표사양)	205
[표 70] 수소전기동차 실용화 기술개발 연차별 연구내용	205
[표 71] 수소전기동차 실용화 기술개발 성능지표(목표사양)	206
[표 72] 수소철도 운영 인프라 기술개발 연차별 연구내용	206
[표 73] 수소철도 운영 인프라 기술개발 성능지표(목표사양)	207
[표 74] 수소전기동차 실증사업 연차별 추진내용	208
[표 75] 수소전기동차 실증사업 성과물 및 목표성능	209
[표 76] 수소전기동차 실증사업 투자계획	211
[표 77] 수소전기동차 실증사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)	211
[표 78] 수소전기동차 실증사업 총연구비 구성	212
[표 79] (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인 연구비 구성	212
[표 80] (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발 연구비 구성	213
[표 81] (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발 연구비 구성	213
[표 82] 수소전기동차 실증사업 핵심 및 구성기술별 소요 인력	214
[표 83] 수소전기동차 실증사업 전략목표	215
[표 84] 수소전기동차 실증사업 성과목표	215
[표 85] 수소전기동차 실증사업 성과지표	216
[표 86] 수소전기동차 실증사업 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법	218
[표 87] 수소전기동차 실증사업 성과목표 및 지표 총괄표	223
[표 88] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 간 연계 및 공모방안	224
[표 89] 수소전기동차 실증사업의 논리적 모형	229
[표 90] 수소전기동차 실증사업 기술개발 성공 가능성 검토	230
[표 91] 수소전기동차 실증사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성	231
[표 92] 선행과제 기술수준 비교	235
[표 93] 제4차 국가철도망구축계획 추가검토 사업	237
[표 94] 철도차량별 연간 운영비용 검토	238
[표 95] 교외선 철도차량별 운영비용 비교	239
[표 96] 디젤철도차량의 각 오염물질별 배출계수[81]	242
[표 97] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)[81]	242
[표 98] 수소전기동차 도입에 따른 편익 추정 결과	243
[표 99] 수소전기동차 실증사업 투자계획	244
[표 100] 경제성 분석 기법의 비교	245
[표 101] 경제성 분석 전제	246

[표 102] 경제성 분석 결과 요약	246
[표 103] 수소전기동차 경제성 분석 결과	247
[표 104] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)	251
[표 105] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 목표 사양 및 타 차량과의 비교	255
[표 106] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 핵심기술 리스트	255
[표 107] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 기술제안 분야	256
[표 108] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 연구개발 과제 구성	257
[표 109] 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 연차별 연구내용	261
[표 110] 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 성능지표(목표사양)	262
[표 111] 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 연차별 연구내용	263
[표 112] 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 성능지표(목표사양)	264
[표 113] 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 연차별 연구내용	264
[표 114] 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 성능지표(목표사양)	265
[표 115] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 연차별 추진내용	266
[표 116] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 성과물 및 목표성능	267
[표 117] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 투자계획	269
[표 118] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)	269
[표 119] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 총연구비 구성	270
[표 120] (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 연구비 구성	270
[표 121] (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 연구비 구성	271
[표 122] (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 연구비 구성	271
[표 123] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 핵심 및 구성기술별 소요인력	272
[표 124] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 전략목표	273
[표 125] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과목표	273
[표 126] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과지표	274
[표 127] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법	276
[표 128] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과목표	281
[표 129] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과지표	282
[표 130] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법	284
[표 131] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 성과목표 및 지표 총괄표	289
[표 132] 핵심기술 간 연계 및 공모방안	290
[표 133] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 논리적 모형	297
[표 134] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 기술개발 성공 가능성 검토	298
[표 135] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성	299

[표 136] 디젤기관차의 각 오염물질별 배출계수[81]	302
[표 137] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)[81]	302
[표 138] 수소전기기관차 도입에 따른 편익 추정 결과	303
[표 139] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 투자계획	304
[표 140] (복합)수소충전소 구축 설비 및 단가	304
[표 141] 경제성 분석 기법의 비교	306
[표 142] 경제성 분석 전제	306
[표 143] 경제성 분석 결과 요약	306
[표 144] 수소전기기관차 경제성분석 결과	307
[표 145] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)	311
[표 146] 수소철도를 위한 수소충전소 목표 사양	316
[표 147] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 핵심기술 리스트	316
[표 148] 수소전기동차 실증사업 기술제안 분야	317
[표 149] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 과제 구성	318
[표 150] 대용량 고속 수소충전 기술개발 연차별 연구내용	321
[표 151] 대용량 고속 수소충전 기술개발 성능지표(목표사양)	321
[표 152] 수소 충전인프라 구축 연차별 연구내용	322
[표 153] 수소 충전인프라 구축 성능지표(목표사양)	322
[표 154] 대용량 고속 수소충전 기술개발 사업 연차별 추진내용	323
[표 155] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과물 및 목표성능	324
[표 156] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 투자계획	326
[표 157] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)	326
[표 158] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 총연구비 구성	327
[표 159] (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발 연구비 구성	327
[표 160] (핵심기술 2) 수소 충전인프라 연구비 구성	328
[표 161] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심 및 구성기술별 소요인력	328
[표 162] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 전략목표	329
[표 163] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과목표	329
[표 164] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과지표	330
[표 165] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법	331
[표 166] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과목표 및 지표 총괄표	334
[표 167] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심기술 간 연계 및 공모방안	335
[표 168] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 논리적 모형	340
[표 169] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 기술개발 성공 가능성 검토	341

[표 170] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성 ..	341
[표 171] 세부 사업별 개발이 필요한 핵심기술 리스트	386
[표 172] 기술제안서 접수 결과	388
[표 173] 우선순위 조사항목	389
[표 174] 평가항목 중요도(가중치) 조사 결과	390
[표 175] 제안기술의 우선순위 조사 결과	391
[표 176] 사업별 연구개발 과제 구성	393
[표 177] 디젤동차 도입단가	394
[표 178] 디젤기관차 도입단가	394
[표 179] 전기동차 도입단가	395
[표 180] 철도차량 동력 비용	395
[표 181] 교외선 전철화 비용 및 유지보수 인원 산출	396
[표 182] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)	397
[표 183] 디젤기관차/디젤동차의 각 오염물질별 배출계수	397
[표 184] 공공발전시설 대기오염물질 배출계수 (2012년 기준)	397
[표 185] 액화수소제조 분야 국내외 안전기준 사례[57]	400
[표 186] 수소열차용 충전소 분야 규제 샌드박스 검토 방향	407

〈그림 차례〉

[그림 1] 수소경제 개념도[1]	2
[그림 2] 2021년 산업부문 업종별 에너지원별 온실가스 배출량[3]	4
[그림 3] Stadler社, FLIRT Akku 배터리열차(좌), Siemens社, Mireo Plus H 수소열차(우) ..	14
[그림 4] '19년 세계 발전용 연료전지(좌) 및 수소전기차(우) 시장 점유현황[16]	17
[그림 5] 유럽 시장에서 수소열차의 잠재력에 관한 3가지 시나리오[17]	17
[그림 6] 글로벌 청정(그린, 블루)수소 생산비용 전망[18]	18
[그림 7] 철도차량 기술기준 체계도	19
[그림 8] 철도차량 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발 연구 프로세스	20
[그림 9] (좌)독일 수소열차(Coradia iLint), (가운데)중국 수소전기트램, (우)일본 수소열차	28
[그림 10] 메가트렌드 재분류·정리 및 수소철도 4대 미래핵심이슈	35
[그림 11] 2050 탄소중립 사회 부문별 미래상(좌), '18년 比 '50년 온실가스 배출량 총괄표(우)[21] ...	37
[그림 12] 유가 상승에 따른 산업별 생산비용 증가[22]	39
[그림 13] 주요국의 그린수소 생산비용 ('21)[18]	40
[그림 14] 국내 고령자(65세 이상) 비중 통계[23]	41
[그림 15] 주요국의 무가선 저상 트램: 프랑스, 미국, 중국, 이탈리아(시계방향, 왼쪽 위부터)[24] ·	44
[그림 16] 제1차 수소경제 이행 기본계획[2]	47
[그림 17] 윤석열정부 120대 국정과제[25]	49
[그림 18] 제3차 에너지기본계획: 비전 및 중점과제[26]	51
[그림 19] 2021-2040 제2차 국가기간교통망계획 추진전략[27]	56
[그림 20] 수소 기술개발 로드맵 목표[28]	58
[그림 21] A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe[29]	59
[그림 22] 유럽의 수소 에너지 대처 계획(~'50)[30]	61
[그림 23] FCH2RAIL[31]	62
[그림 24] 독일 국가수소위원회 및 수소내각위원회 구성[32]	63
[그림 25] H2@Scale energy system[33]	66
[그림 26] 중국 수소에너지산업발전 중장기계획('21~'35) 개요[34]	67
[그림 27] 수소연료전지 하이브리드 추진시스템을 장착한 수소전기동차	70
[그림 28] 수소전기트램 효과[37]	73
[그림 29] 현대로템 수소트램: 수소트램 콘셉트카(좌)[38], 울산구간 적용 예정 디자인(우)[39] ·	74
[그림 30] 프랑스 Alstom社 Coradia iLint[40]	75
[그림 31] 독일 Siemens社 Mireo Plus H[41]	76
[그림 32] 영국 Porterbrook社 HydroFELX[42]	76
[그림 33] 스페인 CAF 컨소시엄 FCH2Rail(좌)[43], Talgo社 Vittal-One(우)[44]	77

[그림 34] 폴란드 PESA社 입환용 수소기관차 SM42-6Dn[45]	77
[그림 35] 체코 CZ LOKO社 HydrogenShunter1000[46]	78
[그림 36] 중국 수소전기트램 (Foshan市)[47]	78
[그림 37] 중국 수소기관차 (내몽골)[48]	79
[그림 38] 일본 세계 최초의 수소열차[49]	79
[그림 39] 일본 JR East社 Hybari[50]	80
[그림 40] 미국 BNSF社 입환용 수소기관차[51]	80
[그림 41] 미국 SERA社 입환용 수소기관차[52]	81
[그림 42] 스위스 Stadler社 FLIRT H2[53]	81
[그림 43] 미국 TIG/m社 수소트램 Coast Futura[54]	82
[그림 44] 캐나다 Canadian Pacific社 수소기관차 H2 0EL[55]	82
[그림 45] 연도별 수소철도 국내외 개발현황	85
[그림 46] K-수소철도 오송충전소	86
[그림 47] Coradia iLint 수소충전소(Bremervörde, Germany)[56]	87
[그림 48] 국외 액화수소 인프라 현황	88
[그림 49] '23년 수소차·충전기 보급 및 생산기지·액화플랜트 구축 계획[58]	93
[그림 50] 미국 수소 충전 프로토콜 SAE J2601의 충전제한조건[59]	95
[그림 51] SAE J2601 록업테이블 예시[59]	95
[그림 52] 일본의 수소충전압력 조정 내역[59]	96
[그림 53] JPEC-S 0003 록업 테이블 예시[60]	97
[그림 54] 미국 철도 시장 점유율 예상(디젤vs전기)[61]	98
[그림 55] 유럽 시장에서 수소열차의 잠재력에 관한 3가지 시나리오[17]	99
[그림 56] 유형별 수소연료전지 열차 시장 예상[62]	100
[그림 57] 수소동차의 사례 분석(스페인, 네덜란드)[17]	101
[그림 58] 글로벌 청정(그린, 블루)수소 생산비용 전망[18]	102
[그림 59] 현대차 3세대 수소연료전지시스템(왼쪽부터 100kW, 200kW급)[63]	103
[그림 60] 80[kW _{net}]급 PEM 연료전지의 연도별 제조비용 추산(연간 100생산 및 내구성 8,000시간 기준)[67]	105
[그림 61] '30년, '40년 수소충전소 배치(안)[68]	106
[그림 62] Fosan Zhihu Depot 수소트램 충전소[69]	106
[그림 63] 영국 수소열차 HydroFLEX(좌)[42], 독일 Deutsche Bahn社의 급속 수소 충전소(우)[70]	108
[그림 64] 스코틀랜드 수소열차[71]	109
[그림 65] 연도별 철도여객현황('11~'21)[72]	112
[그림 66] 수소에 대한 국민 인식 및 관심도[73]	113
[그림 67] 교통수단별 탄소배출계수[74]	113

[그림 68] 국내 비도로이동오염원의 대기오염물질 배출량 현황('19년 기준)[75]	114
[그림 69] 팬터그래프 풍동소음실험의 주파수별 빔포밍 결과[76]	115
[그림 70] 전체 연도별 특허동향	124
[그림 71] 국가별 특허동향	125
[그림 72] 전체 기술시장 성장단계	126
[그림 73] 국가별 기술시장 성장단계	127
[그림 74] 국가별 특허출원인종 내외국인 점유율 비교	128
[그림 75] 연도별 논문 게재 추이	140
[그림 76] 국내외 논문 추이	140
[그림 77] 논문 저자 국적 비중	141
[그림 78] 소분류 기술별 논문 게재 비중	142
[그림 79] 연도별 국내외 논문 인용횟수 및 논문 1건당 평균 인용횟수	144
[그림 80] 연도별 국내 논문 인용횟수 및 논문 1건당 평균 인용횟수	144
[그림 81] 연도별 정부 R&D 및 국토교통 R&D 예산 추이[79]	153
[그림 82] 국토교통 분야별 투자비중 및 투자추이[79]	153
[그림 83] 수소철도 R&D 정부 출연금 동향	155
[그림 84] 부처별/연도별 투자 동향	156
[그림 85] 수행기관별 투자 동향	159
[그림 86] 수행기관별 투자 동향(철도 관련)	160
[그림 87] 수행기관별 투자 동향(수소 관련)	163
[그림 88] 철도Biz 등록 업체 현황	166
[그림 89] 수소전문기업 등록 업체 현황	167
[그림 90] SWOT 매트릭스 분석 방법	179
[그림 91] SWOT 요인 도출	180
[그림 92] SWOT 결과 종합분석 및 전략 도출	185
[그림 93] SWOT 분석을 통해 전략방향 설정 및 추진 사업 구성	187
[그림 94] 수소전기동차 개념도	189
[그림 95] 수소전기동차 실증사업의 비전 및 목표	190
[그림 96] 수소전기동차 실증사업을 통한 미래상 및 기대효과	195
[그림 97] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스	199
[그림 98] 수소전기동차 실증사업 기술개발 로드맵	210
[그림 99] 수소전기동차 실증사업 추진체계	225
[그림 100] 연구추진전략 구성	227
[그림 101] 실증노선 검토 : 교외선(좌), 경원선(우)	236

[그림 102] 교외선 철도차량별 운영비용 비교	239
[그림 103] 교외선 예상 노선도	240
[그림 104] 수소전기기관차 개념도	249
[그림 105] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 비전 및 목표	250
[그림 106] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업을 통한 미래상 및 기대효과	253
[그림 107] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스 ..	257
[그림 108] 수소전기기관차 핵심기술 개발 로드맵	268
[그림 109] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 추진체계	291
[그림 110] 수소연료전지 발전팩	294
[그림 111] 수소저장용기	294
[그림 112] 2차전지	295
[그림 113] 에너지관리시스템	295
[그림 114] 전장품 소형/경량/고효율화	295
[그림 115] 안전성 평가체계	296
[그림 116] 수소충전소 개념도	309
[그림 117] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 비전 및 목표	310
[그림 118] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업을 통한 미래상 및 기대효과	314
[그림 119] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스 ..	317
[그림 120] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 로드맵	325
[그림 121] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 추진체계	336
[그림 122] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 연구추진전략 구성	338
[그림 123] 친환경 수소철도 기술개발 사업 관련 기술수요조사 양식	387
[그림 124] 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스	392
[그림 125] 미국의 수소인프라 관리체계[83]	398
[그림 126] 유럽의 수소인프라 안전관리 체계[84]	399
[그림 127] 유럽의 수소 취급 및 공급을 위한 규정, 표준 및 코드[84]	399
[그림 128] 고압가스안전관리법의 적용 범위[85]	401
[그림 129] 고압가스안전관리법에 따른 허가 및 신고 대상 체계[85]	402
[그림 130] 고압가스안전관리법에 따른 수소충전소의 허가 체계[85]	402
[그림 131] 고압가스안전관리법의 시행규칙 별표4 및 별표5 비교[85]	403
[그림 132] 제조식 및 저장식 기준(KGS CODE)	404
[그림 133] 고압가스안전관리법의 시행규칙 별표5의 1 및 2 비교[85]	404
[그림 134] 규제 샌드박스의 주요 개념	407
[그림 135] 규제샌드박스 추진 절차	408

제1장

사업개요

제1절 : 기술의 정의 및 분류체계

제2절 : 사업추진 배경

제3절 : 사업추진 필요성

제4절 : 사업추진의 정책적 타당성

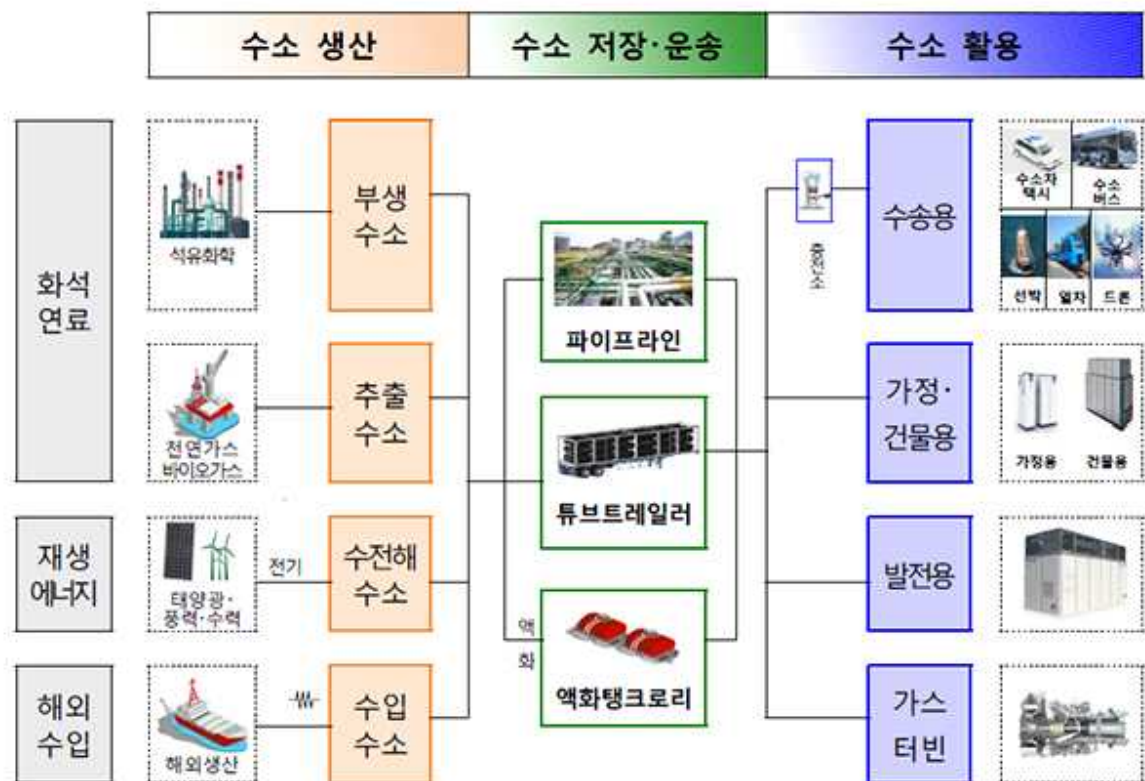
제1장 사업개요

제1절 : 기술의 정의 및 분류체계

1. 수소경제

가. 수소경제의 개념

- 수소경제란 수소를 중요한 에너지원으로 사용하는 경제산업구조를 의미
 - 화석연료 중심의 현재 에너지 시스템에서 벗어나 수소를 에너지원으로 활용하는 자동차, 선박, 열차, 기계 혹은 전기발전 열 생산 등을 늘리고, 이를 위해 수소를 안정적으로 생산-저장-운송하는데 필요한 모든 분야의 산업과 시장을 새롭게 만들어내는 경제산업구조



[그림 1] 수소경제 개념도(수소경제 활성화 로드맵, 2019)

- 수소는 인류가 당면하고 있는 에너지 문제와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지원*으로 주목받고 있어, 세계 주요국에서 수소경제 활성화를 위해 국제적인 노력이 이뤄지고 있음

* 수소는 우주 물질의 75%를 차지할 정도로 풍부하여 고갈 우려가 없고, 국내 생산이 가능하며, 부산물이 물(H₂O)밖에 없어 환경친화적(CO₂ free)인 특징을 지님

[표 1] 탄소경제와 수소경제 비교

구분	탄소경제(Carbon Economy)	수소경제(Hydrogen Economy)
에너지 패러다임	• 탄소자원(석유, 석탄, 가스 등) 중심	• 수소 중심(탈탄소화)
에너지 공급	• 중앙집중형 에너지 공급 - 대규모 집중 투자 필요 - 고비용으로 인한 투자리스크 증가 - 거대 메이저기업 독점 • 대부분 수입(99%)	• 분산형 에너지 공급 - 자급형(소비자=생산자) 에너지공급체계 - 소규모 분산투자를 통한 개인별 에너지 생산가능 • 국내생산 가능(에너지자립에 기여)
경쟁양상	• 자원개발 및 에너지 확보 경쟁 - OPEC에 의한 원유의 무기화 - 고갈우려로 인한 각국의 에너지확보 분쟁 심화	• 기술경쟁력 확보 및 규모의 경제 경쟁 - 기술선진국이 수소 가격 주도 - 수소 및 신·재생에너지 자원 등의 에너지 기술 선진국의 위상 강화
환경성	• 온실가스, 대기오염물질 배출 - CO₂, NO_x, SO_x 등	• 온실가스 배출이 적어 친환경적 - 부산물로 물(H₂O) 배출

□ 미래 수소경제 전망

- 전 세계 수소 수요가 급증하여 2050년 기준 세계 수소경제 시장은 약 12조불 정도로 성장할 것으로 전망
 - 정부는 「수소경제 활성화 로드맵」('19.1월)을 통하여 2040년까지 연간 43조원의 부가가치와 약 42만개의 신규 일자리를 창출할 것으로 기대

[표 2] 수소 수요 및 시장규모 전망(산업통산자원부, 2021)[2]

수소 수요 전망		수소 시장규모 전망			
(단위 : EJ) 		구분	기준년도	시장규모	전망기관
		세계	2050	12조불	골드만삭스
		EU	2030	1,623억불	EU 집행위
		미국	2050	7,500억불	美연료전자·수소협회
		한국	2050	590억불	Mckinsey

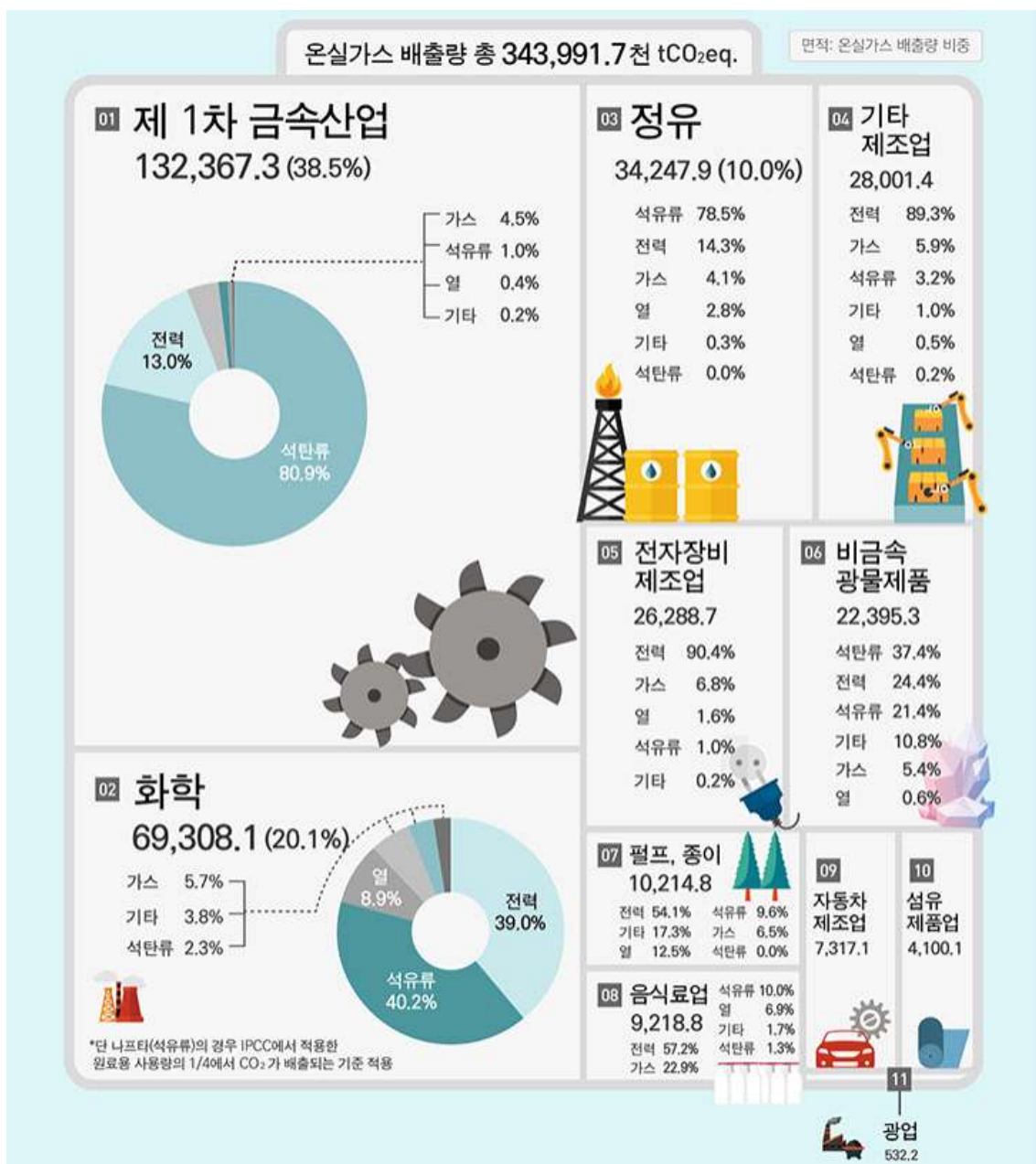
나. 수소경제의 필요성

□ (탄소중립 실현) 수소는 온실가스와 미세먼지 등 유해물질 배출 없이 열과 전기를 생산하는 친환경 에너지

○ 환경문제가 인류의 생존문제로까지 영향을 미치면서 전세계적으로 지구 온난화 문제 해결 및 대기환경 개선을 위한 노력을 하고 있음

- 태양광, 풍력과 같은 신재생에너지를 통해 수소 생산 시 탄소의 배출을 ‘0’로 만들어 탄소중립 실현(그린수소) 가능하며, 에너지 다소비 산업*에 새로운 탄소저감 수단 제공

* 제1차 금속산업·화학·정유 → 산업부문 온실가스 배출량의 68.6% 차지



[그림 2] 2021년 산업부문 업종별 에너지원별 온실가스 배출량[3]

□ (에너지시스템 안정화) 수소를 이용한 에너지저장 및 유연발전을 통해 재생 에너지의 공급 불균형을 가장 효율적이며 경제적으로 조절, 보완하여 전력 계통 안정화에 기여

○ 전통에너지원인 석탄과 원전의 비중을 줄이고 친환경에너지원인 재생에너지 발전 확대는 세계적 추세

□ (에너지안보 강화) 수소를 활용한 신규 에너지원 확보와 화석연료 소비 대체를 통해 에너지 수입 의존도 경감

○ 산업발전, 인구 증가 등으로 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 에너지 수요가 급격히 증가하고 있지만, 수십 년 내에 화석에너지원이 고갈될 것으로 예측

- 우리나라는 '19년 기준 에너지 소비량 세계 10위, 전력 소비 7위, 석유 소비량 7위권의 에너지 다소비 국가이며 에너지 소비의 약 93.5%를 수입에 의존하고 있음

○ 따라서, 에너지 자원 빈국에서 에너지 기술 강국으로 도약하여 안정된 에너지원을 확보하기 위해 수소 활용 필요함

[표 3] 세계 에너지 공급과 소비 비교('19년 기준)[4]

순위	1차에너지 공급		최종에너지 소비		전력 소비		석유 소비	
	국가명	백만 TOE	국가명	백만 TOE	국가명	백만 TOE	국가명	백만 톤
1	중국	3,403.4	중국	2,101.2	중국	564.7	미국	844.9
2	미국	2,212.8	미국	1,588.5	미국	329.3	중국	654.3
3	인도	937.9	인도	629.8	인도	112.7	인도	236.5
4	러시아	772.7	러시아	521.4	일본	79.8	일본	168.3
5	일본	415.3	일본	279.1	러시아	65.0	러시아	153.9
6	캐나다	305.6	브라질	227.3	캐나다	45.5	사우디 아라비아	153.2
7	독일	294.3	독일	221.7	한국	45.0	한국	116.4
8	브라질	292.7	캐나다	205.5	브라질	44.2	브라질	111.5
9	한국	280.2	이란	201.0	독일	43.0	캐나다	110.4
10	이란	272.9	한국	181.9	프랑스	37.1	독일	106.6

2. 수소철도 기술의 정의 및 범위

가. 기술의 정의

- 철도산업발전기본법 제3조(정의)제1항 ‘철도’라 함은 여객 또는 화물을 운송하는데 필요한 철도시설과 철도차량* 및 이와 관련된 운영·지원체계가 유기적으로 구성된 운송체계로 정의

* 「철도차량기술기준 Part 1 총칙」의 철도차량 분류에 따라 고속철도차량, 일반철도차량, 도시철도차량 및 특수차 등이 포함됨

- ‘수소철도’는 수소를 활용하여 연료전지시스템에서 발생한 전기로 모터를 구동하여 운행하는 수소철도차량과 수소를 안전하게 저장·충전하여 사용하기 위한 수소충전시설, 운영 및 지원체계 등으로 구성됨

나. 기술의 범위

- 수소철도차량 기술

- 수소연료전지 발전팩

- 철도차량에 적합한 출력용량/전압, 내구연한 등을 만족하는 수소연료전지는 생산되고 있지 않으며 주변장치(BOP 등)은 응용분야에 적합하도록 최적화 설계 및 제어 필요
- 대용량/고출력/고내구성 철도차량용 연료전지 스택 기술
- 고전압 응용분야에 적용 가능한 연료전지 스택 직/병렬 모듈화 기술
- 철도차량 운행환경에 적합한 주변장치(BOP 등) 최적화 설계 및 제어기술

- 수소저장·공급시스템

- 수소 모빌리티의 1회 충전 주행거리는 수소의 저장량과 비례하므로 다양한 형태의 저장용기 조합으로 단위 부피 내 최대의 수소를 저장할 수 있어야 하며 여러 개의 모듈이 설치되기 때문에 이를 제어하기 위한 알고리즘도 필요
- 단위 부피당 수소 저장량 최적화를 위한 모듈형 저장용기 설계기술
- 저장용기 모듈의 기동/정지 시퀀스 및 모니터링, 보호동작 수행을 위한 제어기술
- 철도차량 운행환경에 적합한 밸브, 배관, 리셉터클 등 인터페이스 장치 기술

○ 2차전지 시스템

- 대량 승객/화물 운송수단인 철도차량은 역 간 운행 위해 감속 시 전기 제동으로 발생하는 회생 에너지가 크기 때문에 2차전지 등의 에너지 저장 장치에 저장하여 재활용함으로써 운영 효율 증대 가능
- 철도차량용 강제냉각방식 대용량/고전압 2차전지 하이브리드 시스템 기술

○ 전기추진시스템

- 외부 급전을 통하여 이미 전기추진시스템이 적용된 철도차량은 주행거리 증대를 위하여 전장품의 소형화/경량화/고효율화 등이 요구됨
- 최신 전력반도체 기술(WBG; Wide-Band-Gap) 기반 전력반도체 적용 소형/경량/고효율 모듈형 전기추진시스템 기술

○ 에너지관리시스템

- 철도차량에 연료전지를 적용하는 경우 2차전지와 하이브리드 동력시스템을 구성하여야 하며 추진 전력 공급과 회생 전력 저장 및 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 수명연장을 위한 에너지운영/관리가 매우 중요
- 수소철도차량 동력시스템 내구연한 증대 및 운영비용 절감을 위한 에너지 관리 기술
- 운행 노선 분석 기반 수소철도차량 동력시스템 설계 최적화 기술

□ 수소철도시설 기술

○ 수소 생산/저장 시설

- 수소철도차량 운영에 필요한 수소는 외부로부터 공급받을 수 있으나 수요량에 따라 한계가 있을 수 있으므로, 철도 분야에서 운영 중인 신재생에너지와 전력인프라를 활용한 개질+수전해 방식으로 수소를 생산하여 사용 필요
- 철도 전력인프라와 신재생에너지를 활용한 하이브리드(개질+수전해) 수소 생산기술
- 수소철도차량 운영에 필요한 수소 저장 및 잉여 수소 활용 기술

○ 수소 운송 시설

- 도로교통 기반 수소 운송은 물류비용과 운송수단 제한에 따른 한계로 철도망을 기반으로 대량의 수소를 거점 운송하거나 파이프라인을 구축

하여 도로교통과 연계한 복합 이송체계 구축 필요

- 철도망 기반 도로교통 연계 복합 수소 이송체계 구축 기술

○ 수소 활용 시설

- 수소차나 수소버스에 비하여 대용량의 수소를 사용하는 수소철도차량은 필요 수소를 정해진 시간 내에 충전하기 위한 대용량/고속 충전 시설이 요구되며 이 충전 시설은 수소버스 차고지나 수소차가 공용으로 사용할 수 있으며 철도와 연계한 수소충전소 운영 비즈니스 모델로써 제시 가능

- 수소철도용 대용량 고속 복합 충전 시설 구축 기술

- 대용량 고속 충전을 위한 충전 프로토콜

□ 인증, 실증 및 관리

○ 기술기준·성능평가

- 유럽의 경우 수소철도차량 인증을 위하여 철도차량용 기술기준과 수소 시스템 관련 자동차 기준을 적용하여 인증 진행한 사례로 국내에서 운행하기 위해서는 철도안전법에 따른 형식승인 필요

- 수소철도차량 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발

- 수소철도 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 개발

○ 계획·운영·실증

- 수소전기동차의 실증, 수소전기기관차 및 수소 충전시설 기술개발을 위해서는 시험차량의 제작·시험, 수소 충전시설의 구축·시험이 필요

- 비전철화 노선(교외선 등)에서 수소전기동차 운영을 위해서는 검수고, 수소 충전시설 등 인프라 구축 계획이 수립되어야 하며, 이를 위해 실증 노선에 대한 검토 및 운영계획 등 수립 필요

○ 안전·편의

- 철도 분야 적용 수소시스템은 유럽과 중국 등에서 최근에 실용화되었고, 국내 연구개발은 최초로 추진되어 시스템 설계 및 안전관리 기술 기반이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가 필요

- 철도적용 수소시스템 RAM 분석 및 검증체계

- 철도적용 수소시스템 안전성 평가/인증체계

3. 기술 분류 체계

□ 본 사업에서는 수소철도 기술의 범위를 수소전기동차, 수소전기기관차 및 수소충전시설의 제작, 구축 및 운영을 위해 반드시 필요한 기술개발 요소를 기준으로 기술을 분류

□ 수소철도 기술과 관련된 기술 분류 체계는 아래 표와 같음

[표 4] 수소철도 기술의 분류 체계

대분류	중분류	소분류
수소철도	수소철도차량	수소연료전지 발전팩
		수소저장·공급 시스템
		2차전지 시스템
		전기추진 시스템
		에너지관리 시스템
	수소철도시설	수소 생산·저장 시설
		수소운송 시설
		수소활용 시설
	인증, 실증 및 관리	기술기준·성능평가
		계획·운영·실증
		안전·편의
		유지관리

제2절 : 사업추진 배경

- 기후 위기 대응을 위한 국제사회 노력에 맞춰 우리나라도 탄소중립을 선언한 이후, 분야별 온실가스 감축 이행계획을 마련하여 추진 중
 - 국제사회는 기후변화 대응을 위해 파리기후변화협정('15.12월)을 채택하고, 우리나라도 관련 법 제정 및 계획 등을 발표하여 2050 탄소중립의 미래상 구체화 중
 - 전세계적인 NDC(Nationally Determined Contribution, 국가온실가스감축 목표) 상향 조정에 따라 「탄소중립기본법」 제정('21.9월) 및 「2050 탄소중립 시나리오」 발표('21.10월)
 - * '30년까지 온실가스 배출량 40% 감축 ('18년 727.6백만톤 → 436.6백만톤), '50년까지 탄소중립을 목표로 부문별 감축량과 감축수단 제시
 - 범부처 「2050 탄소중립 추진전략」('20.12월), 「2050 탄소중립 기술혁신 전략」('21.3월)을 통해 10대 핵심기술* 도출 및 전환·수송분야** 집중 투자
 - * 10대 핵심기술 : ①태양광 및 풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송 효율, ⑧건물 효율, ⑨디지탈화, ⑩CCUS
 - ** 전환 분야는 신재생, 원자력 전략망 등이며, 수송 분야는 전기차, 이차전지 등을 포함
 - 국민생활과 산업활동의 에너지원을 기존의 석탄, 석유, 천연가스 등 탄소를 발생시키는 화석연료 중심에서 탄소를 발생하지 않거나 적게 발생하는 신재생 에너지, 수소 등으로 대체하는 수소경제·사회로의 재편 추진 중
 - 최근 수소기술의 발전으로 수소에너지의 활용방안이 다양화되면서 수소가 재생에너지 확산을 촉진하고 발전·주거·교통분야의 화석연료 의존도를 감소시켜 에너지 전환을 달성하기 위한 핵심방안으로 부각되고 있음(산업연구원, 2018)
 - 수소를 에너지 전달체로 사용할 경우 재생에너지의 단점을 보완하고 수송, 산업분야의 화석연료를 직접 대체하여 에너지 전환을 달성할 수 있음[6]
- 세계 주요국은 수소경제·사회 시대의 주도권을 갖기 위해 경제·사회적 정책 강화 및 지원 본격화
 - (EU) 「Hydrogen Roadmap Europe」에서 '50년까지 전체 에너지 소비의 24%를 수소로 대체할 계획 발표
 - EU 28개 회원국은 파리협정에 따라 2050년까지 탄소배출 제로를 달성해야

하는데, 이를 위해서는 전력, 운송, 건설, 산업 등 모든 분야의 탈탄소화 목표 달성을 위해 수소로의 전환이 필수적임

- 재생에너지 없이는 그린수소도 불가능하기에, 탈탄소를 위한 재생에너지와 수소 육성 모두 추진*

* 재생에너지 2년 내 15GW 설치(250억 유로 투자), 유럽투자은행 별도 100억 파이낸싱 그린수소 기술투자액 2배 증액(6.5억 유로), 10년간 100억 유로 투자 그린수소 생산설비 신설

○ **(독일)** 기후목표 달성 및 수소기술 리더십 확보를 위한 국가수소전략의 「국가수소전략 이행 조치」 수립

- 수소 시장 확대를 위해 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너십 구축에 20억 유로를 투자하고 수소경제 진입을 위한 기술장벽 해소를 위해 선도 프로젝트 추진

○ **(일본)** 해외 수소 공급체계 다변화, 모빌리티/발전 이용 확대

- 재생에너지 활용한 이산화탄소 없는 수소 공급시스템 개발
- 수소차 80만대, 수소버스 1,200대, 충전소 900개소, 가정용 연료전지 530만대, 수소발전단가 17엔/kWh, 연료전지발전 Grid Parity 실현('30년)
- 해외 공급처 다변화 전략 및 국내 수전해 기술 강화

* HySTRA(호주, 갈탄개질), AHEAD(브루나이 NG 개질), FH2R(일본, 수전해) 등 진행 중

○ **(중국)** 「14차 5개년 계획('21년~'25년)」에서 수소산업 계획을 수립하고 관련 기술연구 강화 추진

- 「신에너지차 기술로드맵」을 발표하며 수소차 및 충전소 보급 확대* 명명
- 수소연료전지 시장 응용 촉진 수단으로 철도 명시하여 각 지방 정부에서 수소철도 관련 정책* 명시

* '22.4월 현재 수소트램을 운영하는 포산시는 「수소에너지 트램 운영 기술규범」 단체 기준 발표하였고, 청두시는 「녹색 및 저탄소 핵심 산업 품질 개발 정책 조치」를 통해 수소기관차 실증 프로젝트에 1회당 최대 500만 위안의 보조금 지급

○ **(미국)** 수소차량 다변화, 수소연료전지발전 확대, 수소 터빈 등 전 분야 기술 확보 및 경제성 제고

- 수소 모빌리티 다변화(승용, SUV, 트럭 등) 및 가격경쟁력 확보(수소차 120만대, 물류차량 30만대, 충전소 5,800개소), 수소발전 Grid Parity 달성('30년)
- 수소 생산비용 1.28~2.16 USD/kg, 수소 모빌리티 충전 비용 4~7 USD/kg

달성('30년)

- '20년 캘리포니아주 정부는 '35년까지 내연기관 차량 판매 금지 및 여객 운송용 차량을 무공해 차량으로 전환하는 행정명령 발표

□ 우리나라는 '20년 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」을 제정하여 수소경제 전주기 생태계 구축으로 청정수소경제 선도를 위한 기반 마련

- 국무총리 소속으로 수소경제위원회를 두어 심의케 하며, 수소전문기업의 육성지원, 수소연료공급시설 설치, 안전관리 등 수소경제의 육성과 안전관리 실시
- 탄소중립기본법에 근거한 「제3차 에너지기본계획('09년~'40년)」에서는 수소경제로의 전환과 세계최고수준의 수소활용 환경 조성을 목표로 계획 수립
 - 특히 모빌리티 활용을 위해 수소승용차, 수소버스, 수소충전소 등 모빌리티 활용을 확대하고 수소선박, 열차, 드론 등 미래 유망 품목의 육성 명시
- 신재생에너지법에 근거한 「제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획('20년~'34년)」에서는 수소산업에 대한 육성과 지원체계 개편 계획
 - 그린·액화수소의 육성과 연료전지에 대한 지원체계의 개편 등 언급
 - 수전해, 모빌리티, 연료전지, 충전소, 액화 등 5대 분야 소재·부품·장비에 대한 집중 지원을 통해 핵심기술의 확보 촉진
 - 기술력과 혁신역량을 가진 수소 전문기업의 육성 명시
- 윤석열 정부의 국정과제를 통한 탄소중립 및 에너지 안보 확립을 위한 지원 명시
 - 국정과제 21번 '에너지안보 확립과 에너지 신산업·신시장 창출'에서 재생에너지, 수소 등 신산업 창출 및 육성
 - 국정과제 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환'에서 탄소중립을 위해 에너지신산업 및 미래 모빌리티 개발을 위한 지원 명시

제3절 : 사업추진 필요성

1. 디젤철도차량의 대체기술 필요

□ 디젤철도차량이 운행되는 국내 비전철화 구간은 '19년 1,158km이며, '30년까지 감소 변화가 없어 여전히 디젤철도차량과 같은 독립전원방식의 철도차량 필요

○ '21년 「제4차 국가철도망 구축계획」에 따르면 국내 비전철화 구간은 27.1%에서 '30년 21.7%로 감소하나 총 연장은 변화없이 동일함

[표 5] 철도 전철화 변화[7]

구분	'19년	'30년
영업거리 (km)	4,274.2	5,340.6
전철화 (%)	3,116.2 (72.9)	4,182.6 (78.3)
비전철화 (%)	1,158 (27.1)	1,158 (21.7)

- 비전철 구간의 전철화 예정구간은 점촌~영주선 55.2km 구간 1건이 예정되어 있으며 기시행 사업을 모두 포함하면 최대 약 250km 구간이 전철화될 것으로 예상
- 국내 비전철화 구간은 대부분 디젤철도차량이 운용 중이며, 향후 전철화 계획이 없는 구간에서도 탄소배출 등의 이슈로 디젤철도차량을 대체할 수단에 대한 연구가 필요

[표 6] 신규 철도 건설 예정 현황[7]

	노 선 명	사업구간	사업내용	연장(km)	총 사업비(억원)
고속	경부고속선	수색~서울~광명*	복선전철	26.6	22,285
		광명~평택	2복선전철화	66.3	56,942
일반	문경·경북선	문경~점촌~김천*	단선전철	70.7	11,437
	경북선	점촌~영주*	단선전철화	55.2	2,709
	공항철도	서울역~인천국제공항	급행화	63.9	4,912
광역	분당선	왕십리~청량리	단선전철	1.0	820
	계			283.7	99,105

○ 디젤기관차('21년 기준 236대, 전체 차량 중 1.5%, 동력 차량 중 4.7%) 및

디젤동차('21년 기준 121대, 전체 차량 중 0.8%, 동력 차량 중 2.4%)를 보유
중으로 운전실적은 각각 19.3%와 1.0%로 높은 비율을 차지하고 있음

- 디젤기관차(내구연한 25년) : '30년 기준 내구연한 도래하는 노후 디젤기관차 211량
- 디젤동차(내구연한 20년) : 모두 내구연한 도래되어 정밀안전진단을 실시하여
운행 중(평균 차령 26년)

[표 7] 디젤철도차량 운전실적(2021년 기준)

열차종별	구분	열차거리 [km]	기관차거리 [km]	환산차량거리 [km]			비율
				객차	화차	계	
고속철도차량(KTX)		43,725,558.0	667,360,301.7	720,089,039.7	-	720,089,039.7	57.2%
디젤기관차계		16,872,634.3	21,679,898.6	58,850,704.9	183,761,338.9	242,612,043.8	19.3%
일반동차계		2,228,113.8	7,740,507.7	12,671,840.8	-	12,671,840.8	1.0%
특수동차계		-	1,048.0	-	-	-	0.0%
전기기관차계		19,164,195.6	20,660,385.4	102,063,761.4	113,439,842.1	215,503,603.5	17.1%
전기동차		8,257,717.5	51,082,285.0	68,983,533.7	-	68,983,533.7	5.5%
총계		90,248,219.1	768,524,426.4	962,658,880.5	297,201,181.0	1,259,860,061.5	-

- 해당 구간에서 디젤철도차량을 대체하기 위해서 2차전지나 수소연료전지를
활용한 열차와 같이 가선이 필요 없는 방식의 기술 개발 필요
- 2차전지 방식은 주행 거리가 최대 80km 정도로 짧으며, 산지 등 경사 구간
주행 시 더욱 감소해 중·장거리 구간에서 단독 사용은 부적합



[그림 3] Stadler社, FLIRT Akku 배터리열차(좌), Siemens社, Mireo Plus H 수소열차(우)

- 수소연료전지 열차의 경우 최대 주행 거리가 800km 내외로 2차전지에 비해
월등하여 중·장거리 구간에도 활용 가능
- ▶ 독일 Siemens社에서 같은 Mireo plus 열차에 리튬이온 배터리와 수소
연료전지를 적용한 모델이 각각 최대주행거리 120km와 800km를 기록
- ▶ 현재 2차전지 열차의 최대 주행 거리는 Stadler社 FLIRT Akku의

224km가 최대

- 우리나라는 총무4700 계획에 따라 전시 상황을 대비하여 전차선이 없거나 단전 구간을 운행할 수 있는 디젤기관차를 의무 보유(227량) 중이며, 사고 등으로 인해 단전 시 사고 열차를 구원하는 용도로도 중요함

□ 전차선로 신설 비용은 km당 9~15억원, 유지보수비용은 km당 458만원[10]으로 매우 비싼 편이며, 철도의 확대를 위해 이에 대한 대책 마련이 필요

[표 8] 전차선로 신설 비용[9]

단위: 백만원/km

구분	시스템	속도등급	선로	지세별 구분	표준 공사비	
					주간	인접선 야간할증
전차선 로	카티너리	200킬로급 이하	단선	토공	470	636
				교량	421	573
				터널	408	598
			복선	토공	920	1,235
				교량	821	1,122
				터널	734	1,089
		250킬로급 이하	단선	토공	731	1,001
				교량	632	848
				터널	610	825
			복선	토공	1,263	1,817
				교량	1,141	1,519
				터널	979	1,360
		300킬로급 이하	단선	토공	911	1,201
				교량	770	998
				터널	782	1,025
			복선	토공	1,519	2,002
				교량	1,283	1,663
				터널	1,304	1,709
	강제	200킬로급 이하	복선	터널	1,501	2,302
		250킬로급 이하	복선	터널	2,166	3,117

주) 1. 제비율 적용 공사비 포함, VAT 별도
2. 단선 표준공사비 부재 시 복선의 60%를 적용

- 전차선로의 신규 공사 및 기존 노선의 전철화시 높은 추가 비용이 발생
 - 전차선로 공사비의 경우 신규 작업 구간에서 전차의 속도, 지세 등에 따라 9~15억원/km의 공사비가 소모되며, 기존 노선의 전철화 구간에서는 야간 작업 및 인접 구간 차단 등으로 인해 20억원/km 이상의 공사비가 소모
- 마모 및 변형검사, 전차선 설비의 등 부품의 유지보수 및 교체 등을 위한

유지보수 비용으로 km당 458만원 소요

□ 디젤철도차량은 철도산업의 탄소 및 미세먼지를 발생시키는 주요 원인으로 지적받고 있으며, 이를 대체할 수 있는 기술 필요

○ '18년 기준 국내에 보유한 디젤철도차량은 415량(디젤기관차 265량, 디젤동차 150량)으로 전기철도차량의 약 1/11*이지만, 탄소배출량은 약 1/7**로 탄소 배출계수가 높은 것으로 판단

* '18년 철도 차종별 보유량[11] : 전기철도차량 4,604량, 디젤철도차량 415량 보유

** 온실가스 배출량[12] : 철도산업 전기 2.4백만톤(87.8%), 경유 0.3백만톤(12.2%)

○ 디젤철도차량의 탄소배출량은 19kg/km, 전기철도차량은 10.6kg/km[13], 수소 철도차량은 9.1kg/km*로 디젤철도차량의 탄소배출량이 가장 큰 것으로 분석

* 전기차 및 수소차의 탄소간접배출량 비로 추정(전기차 대비 13.7% 낮음[14])

- 현재 운행 중인 국내 디젤기관차의 상당수가 내구연한 초과(25년 이상 운행)되어 교체가 필요한 상황이며, 신규 도입하는 디젤철도차량에 대한 대기오염물질 배출허용기준 신설('19.1월) 등에 따른 선제적 대응 필요

- 신규 기준 적용시, 노후철도차량 1대 교체는 경유차 300대 분량의 미세먼지 저감효과 발생

[표 9] 디젤철도차량 배출허용기준 ('19.1월)[15]

입자상물질	질소산화물	탄화수소	일산화탄소	시험방법
0.2g/kWh	7.4g/kWh	0.4g/kWh	3.5g/kWh	NRSC*

* (Non-Road Steady Cycle) 비도로장비에 적용되는 배출가스 시험모드

2. 탄소배출 제로, 수소철도차량 확대 전망

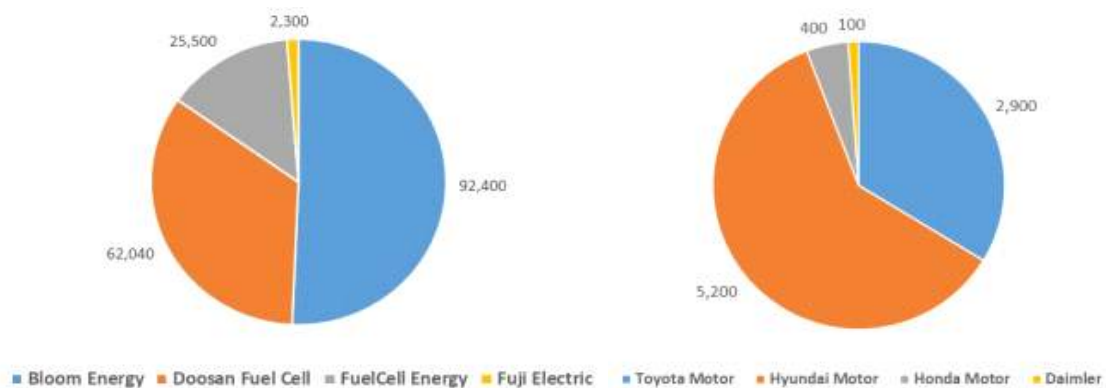
□ 수소철도차량은 전세계적으로 철도 분야 대기환경문제 해결을 위해 디젤 철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 관련 기술개발 및 시장 선도를 위한 정부 지원 필요

○ 모빌리티 및 발전용 수소연료전지는 우리나라가 세계 최고의 기술경쟁력을 보유하고 있으나, 수소철도 분야는 독일, 중국, 일본 등 선진국들의 기술 선점이 이미 시작되고 있음

- 해외 수소연료전지 및 수소차 시장에서 국내 기업들은 특정 분야에서

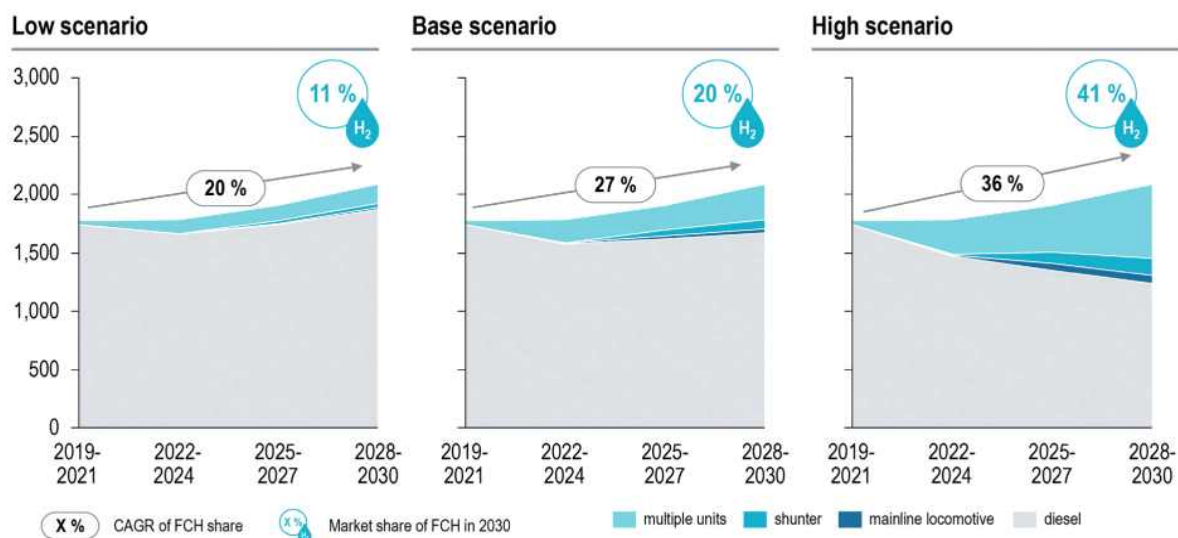
높은 점유율을 보이는 등 수소연료전지 분야는 국제적 경쟁력이 충분한 것으로 판단

- '19년 기준 세계 발전용 연료전지 시장에서 점유율 33.6%로 2위(두산퓨얼셀)에 있고, 수소차 시장의 경우 전체 시장의 60.5%, 1위(현대자동차)로 세계 시장 선점



[그림 4] '19년 세계 발전용 연료전지(좌) 및 수소전기차(우) 시장 점유현황[16]

- 국제적으로 수소를 포함한 전기/연료전지 열차 시장은 폭발적으로 성장할 것으로 예상되며, 이에 선제적 시장 확보를 위한 대책 마련 필요
- 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 '35년에서 '40년까지 기존 운행 중인 디젤열차 퇴출을 목표로 수소열차 기술개발 및 상용화가 급속히 진행 중
- EU의 FCH JU의 예측에 따르면, 유럽에서 수소열차는 2030년까지 최소 20%, 최대 41%까지 점유율이 성장할 것으로 예상

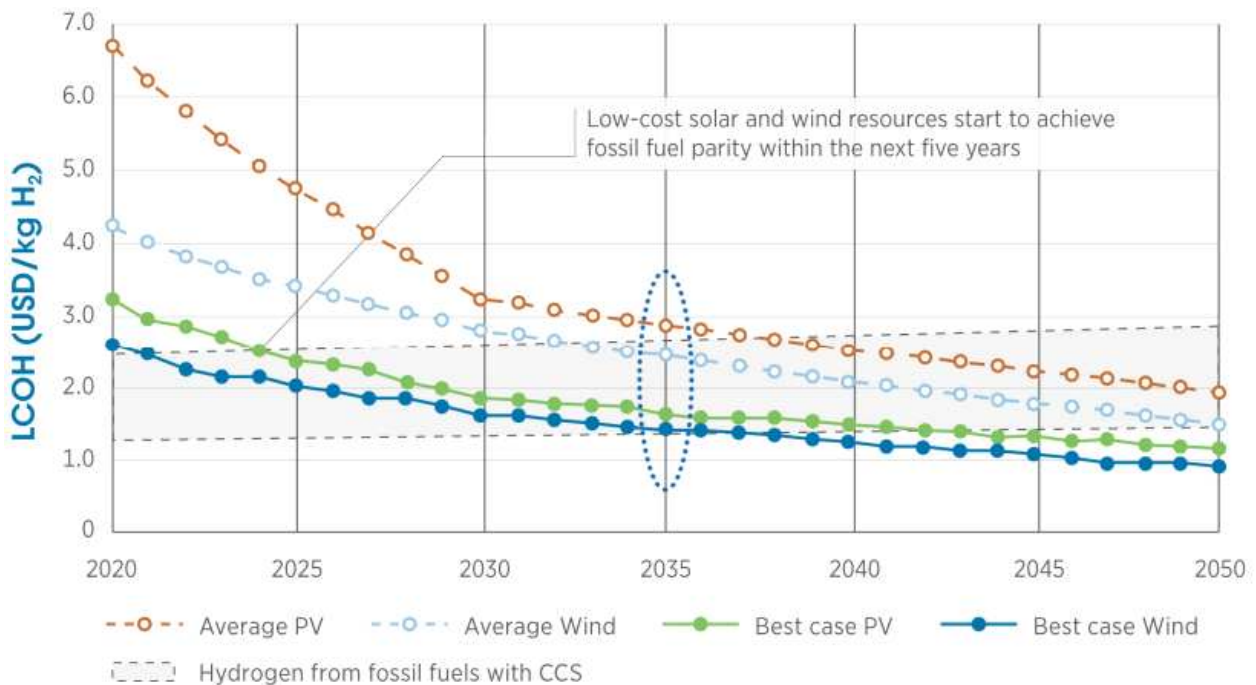


[그림 5] 유럽 시장에서 수소열차의 잠재력에 관한 3가지 시나리오[17]

□ 수소 생산비용은 '30년에는 '20년 대비 62% 수준까지 낮아져 경제성이 충분할

것으로 예상되어 이를 활용할 수 있는 기술 개발이 필요

- 청정 재생에너지 기반의 친환경 수소인 그린수소는 지속적으로 생산 비용이 하락하여 10~15년 후에는 블루수소 생산비용보다 낮아질 것으로 전망
 - 현재 청정 수소의 대부분은 화석연료 기반으로 생산된 수소에 탄소포집·저장기술을 사용하는 블루수소로 kg당 1.34~3.34 달러의 생산 비용이 소모되며, 친환경 대체 에너지 기반의 그린수소는 kg당 10달러로 현재는 가격 경쟁력이 부족
 - 수전해 설비의 CAPEX, 대규모 수소 생산 프로젝트 등으로 인해 '30년 청정에너지 기반의 그린수소 생산비용은 '20년 대비 62%까지 하락할 것으로 예상되며 '35년 이후에는 블루수소와 비용 측면에서도 경쟁력을 갖출 것으로 기대
 - 향후 그린수소 생산 비용은 '50년 kg당 0.55~1.49달러까지 하락할 것으로 전망

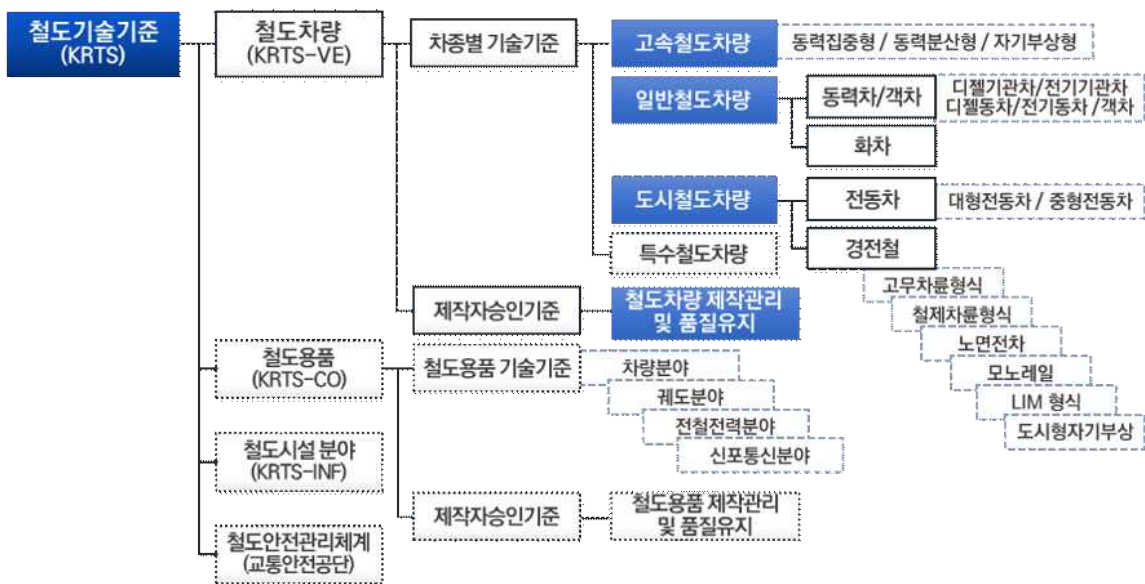


[그림 6] 글로벌 청정(그린, 블루)수소 생산비용 전망[18]

- 원자력 기반 그린수소 생산 비용은 이미 대체 에너지 기반 그린수소의 1/5 수준으로 매우 저렴하여 경제적으로 강점 존재[19]
 - 국제원자력기구에 따르면 원자력 발전으로 만들어내는 그린수소 1kg의 단가는 2.5달러로, 해상풍력으로 생산한 그린 수소의 1/5 수준
 - 국내의 경우 원전의 발전원가가 낮아 원전 운영을 통해 그린수소를 생산 시 1kg당 최대 1.7 달러 수준까지 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대

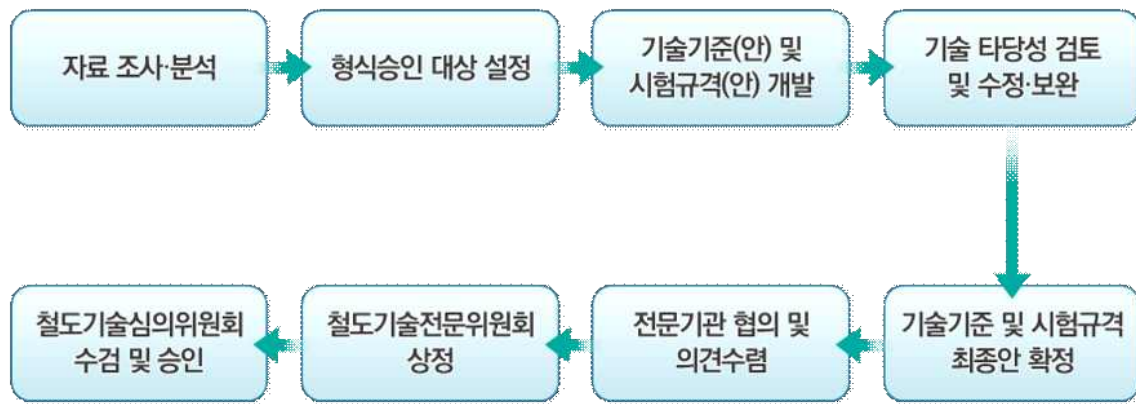
3. 수소철도 도입·운용을 위한 제반 기술 마련 필요

- 수소철도차량은 국내 최초 개발 및 도입을 검토 중으로 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따른 형식승인을 받아야 함
- 철도안전법 제26조 1항에 따라 국내에서 운행하는 철도차량을 제작하거나 수입하려는 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 철도차량의 설계에 관하여 국토교통부장관의 형식승인을 받아야 함
 - 현재까지 국내에서 운행 중인 철도차량 9종(전기동차, 디젤동차, 전기기관차, 디젤전기기관차, 고무차륜경전철, 모노레일경전철, 철제차륜경전철, LIM경전철, 도시형 자기부상 경전철)에 대한 세부 검사기준이 마련됨



[그림 7] 철도차량 기술기준 체계도

- 설계단계부터 사고 위험요인을 파악하고 이에 대응한 안전대책의 적정성에 대한 설계적합성/합치성 검사, 형식시험(부품/구성품/완성차), 시운전/현장 시험을 거치는 형식승인 검사를 수행하여 사고위험의 사전예방을 도모하고 품질 · 안전 · 성능을 체계적으로 검증해야 함
- 따라서, 국가 R&D를 통해 차량개발과 함께 기술기준 마련을 동시 진행하여 신규로 개발되는 수소철도차량 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증의 병행 추진 필요



[그림 8] 철도차량 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발 연구 프로세스

- 철도보호지구는 주로 운행선로 주변의 일반 시설 설치 행위를 규정하므로 수소충전소가 차량기지 등 철도시설에 구축될 경우 철도시설 기술기준 등에 필요 내용 마련 필요
 - 기존 유류보관소 및 위험물 보관소 설계와 마찬가지로 위험물 취급 관련 규정(위험물안전관리법, 고압가스안전관리법 등)을 고려하여 수소충전소 및 저장소 설계, 안전사항, 유지보수 등 내용 규정
 - 기존 차량기지 내에 설치하는 방안과 안전을 고려하여 기존 시설과 떨어진 독립공간에 충전소를 설치하는 방안이 있을 수 있음
 - 기존 차량기지 내 설치 시 기존 시설에 영향이 없도록 융복합 및 패키지형 자동차충전소 시설기준 등에 관한 특례기준 등을 참고하여 철도 보호시설 등과 거리 유지 또는 방호벽 설치 등을 통해 안전 확보 필요
 - 차량기지 등의 시설과 거리가 유지되는 독립공간에 설치 시 일반 수소충전소 및 저장소 요건에 따라 설치
 - 수소충전소가 운행선로 중간에 설치될 경우, 철도보호지구 내 주유소, LPG 충전소 등 폭발물 또는 인화물질 저장시설 설치로 보고 안전관리계획서를 철도보호지구 관리자에게 제출하여 신고
 - 위험성, 주변 일반 시설과의 관계 등을 고려하여 추가 검토 필요
 - 수소충전소 설비 및 철도 보호시설에 대한 특성, 안전성 및 영향 분석 등에 대한 자료조사 및 추가 검토를 통해 철도 수소충전소 설치 관련 기술기준 마련 필요

제4절 : 사업추진의 정책적 타당성

1. 관련 법령과의 부합성

☐ 과학기술기본법

- 제11조(국가연구개발사업의 추진)
 - 기본계획에 따라 맡은 분야의 국가연구개발사업과 시책을 수립 및 추진
- 제16조의 5(성장동력의 발굴·육성)
 - 성장동력분야별 핵심기술의 개발·사업화 추진
- 제16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결)
 - 경제·사회적 현안 및 범지구적 문제 등의 해결을 위한 시책 수립 및 추진

☐ 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률

- 제30조(수소산업 관련 기술개발의 촉진)
 - 수소산업관련 기술의 동향 및 수요조사, 수소산업관련 기술의 연구개발, 개발된 기술의 실용화를 추진할 수 있음

☐ 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)

- 제3조(기본원칙)
 - 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장을 위해 녹색기술과 녹색산업에 대한 투자 및 지원을 강화하여 국가 성장동력을 확충하고 국제 경쟁력 강화
- 제7조(국가비전 및 국가전략)
 - 2050년까지 탄소중립을 목표로 부문별 전략 및 중점추진과제 등 추진할 수 있음
- 제32조(녹색교통의 활성화)
 - 철도가 국가기간교통망의 근간이 되도록 철도에 대한 투자를 지속적으로 확대
- 제56조(녹색기술의 연구개발 및 사업화 등의 촉진)
 - 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등을 촉진하기 위해 녹색기술 연구개발

및 사업화를 위한 지원

☐ 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법

○ 제10조(구성된 사업비의 사용)

- 자원조사, 신·재생에너지 연구·개발 및 기술평가, 국제 표준화 등에 사용할 수 있음

○ 제11조(사업의 실시)

- 신·재생에너지의 연구·개발, 신·재생에너지 시범사업 및 보급사업

○ 제20조(신·재생에너지 기술의 국제표준화 지원)

- 국내에서 개발되었거나 개발중인 관련 기술이 국제표준에 부합하도록 기반 구축 등 필요한 지원을 수행

☐ 국토교통과학기술육성법

○ 제8조(연구개발사업의 추진)

- 종합계획의 효율적 추진을 위해 국토교통과학기술연구개발사업을 할 수 있음

○ 제9조(융복합 연구개발의 추진)

- 전문분야가 다른 기술과 결합하여 신기술·신제품 등을 개발하는 융복합 연구개발을 할 수 있음

○ 제13조(연구기반의 확충)

- 국토교통분야 산업의 연구기반을 확충하기 위하여 연구기관의 연구시설 및 장비의 확보·관리·공동사용 등을 지원하거나 그 밖에 필요한 시책을 강구할 수 있음

☐ 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(국토교통부훈령 제1449호)

○ 제3조(연구개발사업의 범위)

- 철도 등 교통분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발, 에너지활용분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발

☐ 철도산업발전기본법

○ 제11조(철도기술의 진흥 등)

- 철도기술의 진흥 및 육성을 위해 철도기술전반에 대한 연구 및 개발

○ 제13조(국제협력 및 해외 진출 촉진)

- 철도산업의 국제협력 및 해외시장 진출을 추진하기 위해 국제적 동향을 파악하고 국제협력을 촉진

□ 철도안전법

○ 제68조(철도안전기술의 진흥)

- 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위해 연구·개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책 추진

□ 도시철도법

○ 제22조(정부 지원 등)

- 도시철도기술의 발전을 위해 재정적 지원

□ 국가통합교통체계효율화법

○ 제98조(교통기술 연구·개발사업의 추진)

- 교통기술의 연구·개발을 위해 연구·개발과제를 선정 및 지원

[표 10] 상위법령과의 부합성

구분	상위법령	세부내용
법령	과학기술기본법	• 성장동력분야별 핵심기술의 개발·사업화 추진 • 경제·사회적 현안 및 범지구적 문제 등의 해결을 위한 시책 수립 및 추진
	수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률	• 수소산업관련 기술의 동향 및 수요조사, 연구개발, 개발된 기술의 실용화 추진
	기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)	• 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장을 위해 녹색기술과 녹색산업에 대한 투자 및 지원 강화 • 2050년까지 탄소중립을 목표로 부문별 전략 및 중점추진 과제 등 추진 • 철도가 국가기간교통망의 근간이 되도록 철도에 대한 투자를 지속적으로 확대 • 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등을 촉진하기 위해 녹색기술 연구개발 및 사업화를 위한 지원
	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법	• 자원조사, 신·재생에너지 연구·개발 및 기술평가, 국제 표준화 등에 사용할 수 있음 • 신·재생에너지의 연구·개발, 신·재생에너지 시범사업 및 보급사업 • 국내에서 개발되었거나 개발중인 관련 기술이 국제표준에 부합하도록 기반 구축 등 필요한 지원을 수행
	국토교통과학기술육성법	• 종합계획의 효율적 추진을 위해 국토교통과학기술연구개발 사업을 할 수 있음 • 전문분야가 다른 기술과 결합하여 신기술·신제품 등을 개발하는 융복합 연구개발을 할 수 있음 • 국토교통분야 산업의 연구기반을 확충하기 위하여 연구기관의 연구시설 및 장비의 확보·관리·공동사용 등을 지원하거나 그 밖에 필요한 시책을 강구할 수 있음
	국토교통부소관 연구개발사업 운영규정	• 철도 등 교통분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발, 에너지활용분야의 기술력을 높이기 위한 연구개발
	철도산업발전기본법	• 철도기술의 진흥 및 육성을 위해 철도기술전반에 대한 연구 및 개발 • 철도산업의 국제협력 및 해외시장 진출을 추진하기 위해 국제적 동향을 파악하고 국제협력을 촉진
	철도안전법	• 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위해 연구·개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책 추진
	도시철도법	• 도시철도기술의 발전을 위해 재정적 지원
	국가통합교통체계효율화법	• 교통기술의 연구·개발을 위해 연구·개발과제를 선정 및 지원

2. 국가 정책·계획과의 부합성

□ 윤석열 정부 120대 국정과제('22.7월)

- (국정과제 03) 탈원전 정책 폐기, 원자력산업 생태계 강화
 - 원전연계 수소생산 등 미래 원전기술 확보를 위한 R&D 집중 추진
- (국정과제 21) 에너지안보 확립 및 에너지 新산업.新시장 창출
 - 재생에너지, 수소 등 다양한 에너지원 확대로 에너지자급률 제고하고 산업·일자리 창출의 기회로 활용하여 세계 1등 수소산업 육성
- (국정과제 24) 반도체.AI.배터리 등 미래전략산업 초격차 확보
 - 수소 등 탄소중립·미세먼지 대응 에너지신산업 육성
- (국정과제 28) 모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화
 - 혁신·도전적인 과제와 미세먼지 등 생활체감도가 높은 분야에 R&D 투자 확대
- (국정과제 75) 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약
 - 이차전지, 수소 등 전략기술 투자확대로 초격차 선도 및 대체불가 기술 확보를 목표로 집중 육성
- (국정과제 86) 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환
 - 철도·항공의 저탄소화 등 친환경 교통체계 전환
- (국정과제 88) 미세먼지 걱정없는 푸른 하늘
 - 초미세먼지 국내 감축, 고농도 미세먼지 대응 등 OECD 중위권 도약

□ 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18.6월)

- 기존 수송시스템 혁신기술 도입 실천과제 내에 수소철도 내용 명시
 - 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 전력변환장치, 추진제어장치 등 차량기술과 수소충전을 위한 인프라 기술개발 명시

□ 수소경제 활성화 로드맵('19.1월), 수소 기술개발 로드맵('19.10월)

- 수소 전 주기(생산-저장·운송-활용-인프라) 핵심기술개발, 산업 핵심 소재·부품 국산화, 미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 미래 유망기술 개발 등을 지원

- 수소철도 등 연료전지시스템 기반의 수송수단 저변 확대

□ 제3차 에너지기본계획('19.6월)

- 수소경제로의 전환과 세계 최고수준의 수소활용 환경 조성을 목표로 수소 열차 등 수소 모빌리티 확대 및 미래 유망 품목 육성

□ 제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획('20.12월)

- 그린·액화수소 육성과 연료전지에 대한 지원 및 모빌리티, 충전소 등 5대 분야 소재·부품·장비 집중 지원을 통해 핵심기술의 확보 촉진

□ 2050 탄소중립 시나리오('21.10월)

- '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표
 - 수송 부문에서 기존 디젤철도차량('18년 기준 8.3%)을 무탄소동력(전기·수소) 철도차량으로 100% 전환

□ 제1차 수소경제 이행 기본계획('21.11월)

- 수소트램 등 수소 모빌리티 다양화 및 세계시장 선도를 위한 기술개발·실증 추진

□ 국토교통 탄소중립 로드맵('21.12월)

- 친환경 철도·항공의 교통부문에서 선로 전철화, 전기열차(EMU) 보급 및 수소열차 개발·실증 추진

□ 제2차 국가기간교통망계획('21.12월)

- 전기·수소 등 친환경 모빌리티로 전환하여 탄소배출 제로화 달성을 위해 수소열차 및 수소트램의 연구개발·실증사업 적극 추진

□ '23년도 국가연구개발 투자방향 및 기준(안)('22.3월)

- 건설·교통 기술분야에서 친환경 교통수단 전환을 통한 혁신적인 온실가스 감축 추진
 - 수소열차 R&D를 추진하고, 철도 역사를 활용하여 수소 충전소 구축비용을

저감하는 기술개발 추진

□ 수소경제위원회 「수소기술 미래전략」(관계부처 합동, '22.11월)

- 청정수소 생산기술 국산화, 수소 공급을 위한 저장·운송기술 고도화, 수소 철도 등 수소 모빌리티 다양화로 수소 활용 기술 1위 공고화 등 주요 3대 전략 제시

[표 11] 상위정책·계획과의 부합성

구분	상위정책 및 계획	세부내용
국가 정책 · 계획	현 정부 국정과제	• 03. 탈원전 정책 폐기, 원자력산업 생태계 강화 • 21. 에너지안보 확립 및 에너지 新산업.新시장 창출 • 24. 반도체.AI.배터리 등 미래전략산업 초격차 확보 • 28. 모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화 • 75. 초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약 • 86. 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환 • 88. 미세먼지 걱정없는 푸른 하늘
	제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획	• 기존 수송시스템 혁신기술 도입을 위해 수소철도 내용 명시 - 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 전력변환장치, 추진제어장치 등 수소차량 기술개발 - 수소충전을 위한 인프라 기술개발
	수소경제 활성화 로드맵 / 수소 기술개발 로드맵	• 수소활용 분야에서 연료전지시스템 기반의 수소철도 저변 확대
	제3차 에너지기본계획	• 수소열차 등 수소 모빌리티 확대 및 유망 품목 육성
	제5차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획	• 그린·액화수소 육성과 연료전지에 대한 지원 • 모빌리티, 충전소 등 5대 분야 소재·부품·장비 집중 지원을 통한 핵심기술 확보
	2050 탄소중립 시나리오	• '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표 - (수송 부문) 기존 디젤철도차량을 전기·수소 철도차량으로 100% 전환
	제1차 수소경제 이행 기본계획	• 수소트램 등 수소 모빌리티 다양화 및 세계시장 선도를 위한 기술개발·실증 추진
	국토교통 탄소중립 로드맵	• 친환경 철도·항공의 교통부문에서 선로 전철화, 전기열차(EMU) 보급 및 수소열차 개발·실증
	제2차 국가기간교통망계획	• 친환경 모빌리티로 전환하여 탄소배출 제로화 달성 - 수소열차 및 수소트램의 연구개발·실증사업 적극 추진
	'23년도 국가연구개발 투자방향 및 기준(안)	• 교통분야에서 친환경 교통수단의 전환을 통해 온실가스 감축 - 수소열차 R&D를 추진하고, 철도 역사를 활용하여 수소 충전소 구축비용을 저감하는 기술개발 추진
	수소경제위원회 「수소기술 미래전략」	• 주요 3대 전략 중, 수소철도 등 수소 모빌리티 다양화로 수소 활용 기술 1위 공고화 제시

3. 사업의 시급성

- 수소철도차량은 전세계적으로 철도 분야 대기환경문제 해결을 위해 디젤 철도차량의 대안이 되고 있으며, 이에 따른 신시장이 생성되고 있어 관련 기술개발 및 시장 선도를 위한 정부 지원 시급
 - 독일, 프랑스 등 유럽을 중심으로 ‘35년에서 ‘40년까지 기존 운행 중인 디젤 열차 퇴출을 목표로 수소열차 기술개발 및 상용화 완료
 - (독일) ‘18.9월 수소열차(Coradia iLint) 서게 최초로 영업운행 시작
 - (중국) ‘19.12월 수소전기트램이 포산(Foshan)시에서 영업운행 시작
 - (일본) ‘20.10월 수소열차 개발 착수 및 ‘22년 시범 운행 개시



[그림 9] (좌)독일 수소열차(Coradia iLint), (가운데)중국 수소전기트램, (우)일본 수소열차

- 비전철화 구간 및 혼합 구간을 운행 중인 디젤철도차량의 내구연한 도래에 따라 이를 대체할 수 있는 독립전원방식의 수소철도차량 개발 및 실용화 시급
 - 디젤철도차량은 전기철도차량이 다닐 수 없는 비전철(電鐵)화 구간 등에서 여객 및 화물운송을 담당 중
 - ‘21년 철도통계연보 기준 디젤철도차량은 총 357대 운행 중
 - 디젤기관차(내구연한 25년)는 236량 보유 중이며, 평균 차령은 21년으로 ‘14년 도입된 25량을 제외하고 모두 ‘04년 이전에 도입
 - 디젤동차(내구연한 20년)는 121량 보유 중이며, 평균 차령은 26년으로 전량이 내구연한에 도래하여 정밀안전진단을 받으며 운행 중
 - ‘24년 하반기 재개통 예정인 교외선은 비전철화 노선으로 디젤동차가 운행하는 것으로 계획하였으나 잔존수명 평가 결과(1.46년) ‘사용 불가’로 판정받아 디젤기관차 투입 대체를 검토하는 등 난항을 겪고 있어 친환경 수소전기동차 실증사업 추진 시급

- 신규 도입 디젤철도차량에 대한 대기오염물질 배출허용기준이 신설되어 선제 대응 필요
 - 철도 분야 탄소중립 실현을 위해 미세먼지·온실가스 배출저감과 비전철화 구간 운행 및 전철 전력 설비 제거가 가능한 친환경 수소철도차량 개발 필요
 - 2050 탄소중립 시나리오의 수송 부문 감축 방향으로 ‘(친환경 철도 전환) 남아있는 디젤철도차량을 무탄소 동력(전기·수소) 철도로 100% 전환’이 포함되어 수소철도차량 개발·실용화를 통한 선제 대응 필요

4. 국가 전략적 중요성 및 지원 필요성

- 수소철도차량 개발·상용화를 통해 국내 도입을 위해서는 관련 규제/법령 정비와 비전철화 구간 등의 시범노선 운행 실적 및 데이터를 확보할 수 있는 정부 지원 사업 필요
 - 수소철도차량은 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 받아야 함에 따라서, 국가 R&D를 통한 차량개발과 함께 기술기준(안) 마련을 동시에 진행하여, 신규로 개발되는 수소철도차량 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증 추진 필요
 - 민간에서 수행하기 어려운 다양한 조건의 사양 검토, 개발 기술 적용, 운영 및 주행 데이터 확보 및 장기간에 걸친 검증 등 국가 R&D 추진을 위한 중장기 투자 필요
- 정부가 추진 중인 120대 국정과제와 수소경제 활성화를 위해 모빌리티 분야의 수소철도차량 핵심기술 실용화가 필요하며, 전장품 핵심기술의 국산화를 통해 국내 수소 산업 생태계 조성 및 수소경제 활성화 정책에 따른 경제적 효과의 환수 필요
 - 수소 철도 분야는 시장 형성 초기 단계로 국내에서 보유한 세계 최고 수준의 수소연료전지 기술과 2차전지 기술을 바탕으로 대용량 응용 분야인 수소 철도차량 기술개발을 통하여 핵심기술 및 운행데이터를 확보하고 해외 시장에

진출하기 위한 교두보 마련을 위해 정부 지원 필요

- 국내 철도제조업은 수출과 수입량이 적고, 국내 생산으로 국내 수요를 충당하는 자급 자족적 산업의 성격을 보이며, 이에 따라 신기술 개발에 대한 잠재력이 낮아 국가 주도의 R&D 사업 추진 필요

□ 2015년 기후변화체제로 파리협정을 채택하면서 모든 국가가 자국의 상황을 반영하여 참여하는 보편적인 체제가 마련되어 국가별 온실가스 감축목표를 5년 단위로 제출하고 이행토록 하고 있어 철도 분야 탄소중립 실현을 위한 디젤철도차량의 대체 차량 기술개발에 대한 정부 지원 필요

- 국내 전기 사용량 증가에 따라 전기철도차량 중심의 철도 분야 전력 사용에 대한 부담이 예상되며, 운영기관의 전철전력설비 유지보수 비용 부담이 가중됨에 따라 대안이 될 수 있는 독립전원방식 수소전기동차 실증에 정부 지원이 필요하며 철도수송 분담률 제고에도 이바지할 것으로 예상

5. 법·제도적 위험요인 검토

□ 철도차량 형식승인

- 철도안전법 철도차량 형식승인 제도 개정 불필요

- 수소철도차량 기술기준은 제정 필요

- * 기존 철도차량 기술기준 적용 가능 항목은 유지하고 수소연료전지 시스템에 영향을 받는 항목에 대하여 제개정 수행

- 철도안전법 내 위해물품 및 위험물 등의 관련 규정은 철도분야 고압 수소 가스 적용에 따라 개정 필요

- 수소철도차량의 수소 관련 장치 기술기준 연구

- 수소저장용기 및 2차 전지류는 화재, 폭발의 위험이 존재하여 성능과 안전 확보를 위한 장치별 기술기준 도출

- 안전기준 도출을 위하여 충돌, 화재 및 폭발 시험/시뮬레이션 등을 통한 사고 발생확률, 피해 영향 분석

- * 자동차용 수소저장용기 및 2차전지류에 대한 안전기준은 철도차량용과 용량 및 운영 환경 조건 등이 달라 적용 불가

□ 철도시설 기술기준

- 철도안전법내 관련 규정은 철도분야 고압 수소가스 적용 및 충전인프라 설치에 따라 개정 필요
 - 차량 정비기지 및 보수기지 등은 철도시설에 포함되어 있으며, 철도시설의 기술기준에 따라 건설 및 설치
 - 제5조(안전성 분석 대상), 제7조(본선 터널의 안전성 분석 등) 등 기준 적합성 검토 필요
- 철도분야 수소충전소 설치 검토사항
 - 철도보호지구는 주로 운행선로 주변의 일반 시설 설치 행위를 규정하므로 수소충전소가 차량기지 등 철도시설에 구축될 경우 철도시설 기술기준 등에 필요 내용 마련 필요
 - 수소충전소가 운행선로 중간에 설치될 경우, 철도보호지구 내 주유소, LPG 충전소 등 폭발물 또는 인화물질 저장시설 설치로 보고 안전관리계획서를 철도보호지구 관리자에게 제출하여 신고
 - 수소충전소 설비 및 철도 보호시설에 대한 특성, 안전성 및 영향 분석 등에 대한 자료조사 및 추가 검토를 통해 철도 수소충전소 설치 관련 기술기준 마련 필요

제2장

국내외 동향 및 환경분석

제1절 : 메가트렌드 분석

제2절 : 정책동향

제3절 : 기술동향

제4절 : 시장 · 산업동향

제5절 : 사회 · 환경동향

제6절 : 기술역량 분석

제7절 : 국내 R&D 역량 분석

제8절 : 종합분석 및 사업추진 방향

제2장 국내외 동향 및 환경분석

제1절 : 메가트렌드 분석

□ 미래 이슈와 대응방안 도출을 위해 미래트렌드에 대한 분석자료를 기반으로 메가트렌드 분석 추진

- 미래 예측 및 수소철도 관련 전망 선행연구 결과를 활용하여 분석 실시
 - 주요 기관에서 수행한 미래사회 전망 및 비전과 관련된 자료를 수집·분석하여 메가트렌드와 이슈 도출
 - STEEP 기반 정리된 이슈는 언급된 횟수(빈도)와 수소철도 분야와의 연관성을 기준으로 선정하고, 내부 검토 및 동료검토(Peer-review)를 통해 타당성을 검증한 후 확정

[표 12] STEEP 분석에 활용된 보고서

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

- (STEP 1) 분석자료에서 제시된 이슈를 STEEP에 따라 분류하고, 메가트렌드로 그룹화하여 정리
 - 총 20건의 이슈를 발굴하였으며, 정리·분류 과정에서 수소철도와 연관성이

없을 것으로 판단되는 이슈 제외

[표 13] STEEP 기반으로 정리된 미래 메가트렌드 이슈

STEEP	메가트렌드	내용	보고서 No.
S (사회)	도시집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	①③⑤⑥⑧⑨
		세계인구 과반수 도시 집중 거주, 비도시권 쇠퇴	①⑥⑦⑧
	사회 및 가치 변화	개인 삶의 질 중시 (웰빙가치 선호 등)	①④⑤⑥⑦⑧
		소비자 욕구 다양화 및 다변화	①④⑥⑨
		새로운 사회질서 대두(사회적 거리두기 협력 등)와 정부-기업-시민 공동 대응	④⑥
T (기술)	기술 융복합화	ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화 (Cloud, 나노기술, 백신 등)	①③⑤⑥⑨
	Digitization	제조산업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화	④⑤⑥
		데이터 기반 시대로의 전환	⑥
E (경제)	신경제성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력	②⑤⑩
		녹색 소비운동 확산	⑤⑩
E (환경)	기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화	①⑤⑥⑦⑩
		화석연료, 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속	①③⑤⑨⑩
		친환경/재생에너지 기술개발 가속	③⑤⑥⑧
		온실가스 규제 강화	①②③
		에너지 자원 부족 및 가격 상승	⑤⑥
	환경 및 안전에 대한 중요성 증대	국민환경 의식증대	①⑨
		질병부담 및 전염병에 의한 리스크 대응 요구	①⑤⑩
P (정치)	안보 및 거버넌스 환경 변화	지방분권화	①⑤⑧
		큰정부/강력한 정부의 귀환	④
		남북한 협력증진	①③⑥⑧

○ (STEP 2) 발생 가능한 11개의 수소철도 세부이슈 작성

- 세부 트렌드별로 발생 가능한 수소철도 세부이슈를 작성하고 동료검토를 통해 타당성을 검토하고 최종 확정

○ (STEP 3) 11개의 수소철도 세부이슈를 선별·통합하여 수소철도 관련 4대 미래 핵심이슈를 선정하고 관련 내용 작성

- 연관성이 높은 이슈는 통합하고, 중요성이 높은 이슈를 선정하여 수소철도 관련 미래 핵심이슈를 선정하고 이슈에 대한 현황 및 전망 작성

메가트렌드	내용	수소철도 세부이슈
(S) 도시집중화	메가시티 확대(광역도시권 또는 대도시권)	• 도심지의 인구 집중으로 인한 교통 문제 해소를 위해 경전철/트램 등 효율적 교통수단의 도입 필요성 대두 • 도시와 비도시권의 연결을 위한 신규 철도 노선 건설 및 기존 노후 철도 노선의 활용
	세계인구 과반수 도시 집중 거주, 비도시권 쇠퇴	
(S) 사회 및 가치 변화	개인 삶의 질 중시(웰빙가치 선호 등)	• 환경문제에 대한 관심의 증가로 친환경 철도 도입에 대한 국민적 요구 증가
	소비자 욕구 다양화 및 다변화 새로운 사회질서 대두(사회적 거리두기 협력 등)와 정부-기업-시민 공동 대응	
(T) 기술 융복합화 및 Digitization	ICT/BT/NT 결합기술 융복합 가속화 (Cloud, 나노기술, 백신 등)	• 수소차에 사용되는 세계 최고 수준의 수소연료전지 기술의 철도 적용 가능
	조선업·사회에 걸친 디지털 전환 가속화	
	데이터 기반 시대로의 전환	
(E) 신경제성장 모델	글로벌 녹색성장을 위한 공동 노력	• 탄소중립 등 세계적인 환경 문제에 대한 관심의 확대에 인한 수소 등 친환경 에너지의 도입 가속화
	녹색 소비운동 확산	
(E) 기후변화 및 신재생 에너지 확대	기후변화심화	• 화석연료 기반의 에너지를 대체하기 위한 친환경 에너지 기술의 필요성이 급증 • 국제정세에 따른 화석연료의 가격 불안정을 대처할 수 있는 기술 도입 필요 • 탄소중립 등 세계적인 환경 문제에 대한 관심의 확대에 인한 수소 등 친환경 에너지의 도입 가속화
	화석연료, 천연자원 고갈 등 자원안보 이슈 지속	
	친환경/재생에너지 기술개발 가속	
	온실가스 규제 강화 에너지 자원 부족 및 가격 상승	
(E) 환경 및 안전에 대한 중요성 증대	국민의 환경의식증대	• 환경문제에 대한 관심의 증가로 친환경 철도 도입에 대한 국민적 요구 증가
	질병부담 및 전염병에 의한 리스크 대응 요구	
(P) 거버넌스 환경 변화	지방분권화	• 철도 수요 증가에 대응하기 위한 국가와 지방자치 단체의 역할 증대 • 통일 후 북한의 비전철화 구간 활용 대책 마련 필요
	큰 정부/강력한 정부의 귀환	
	남북한 협력증진	

수소철도 4대 미래핵심이슈

탄소 배출량 저감 등
국제적 환경 이슈 부각

에너지 비용 감소를 위한
신기술 활용 필요

도심 운행, 안전, 비용 등의
문제 해결을 위한
무가선 철도 수요 증가

고령화, 도시화 등
사회 변화로 인한
안전한 교통 수단에 대한 요구

[그림 10] 메가트렌드 재분류·정리 및 수소철도 4대 미래핵심이슈

1. 탄소중립 등 국제적 환경 이슈 부각

- 국제사회는 기후변화 대응을 위해 “2050 탄소중립”을 지향하기 위한 새로운 기후변화 대응 체제인 파리 협정을 채택(‘15.12월)
 - 기존 교토 의정서 체제의 한계를 극복하고, 선진국과 개발도상국이 모두 참여하는 새로운 기후변화 대응 체제로 파리협정을 채택
 - 교토의정서는 일부 선진국 참여 거부 및 개발도상국 감축 의무 부재 등의 한계 존재
 - 파리협정의 목표는 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 2℃보다 훨씬 아래로 유지하고 나아가 1.5℃ 이내로 억제하기 위해 노력
 - 온실가스 배출량 증가 등에 대한 세계적인 논의 확산에 따라 주요국은 탄소중립을 선언하고(‘19), 탄소중립(~‘50년)을 위해 NDC(Nationally Determined Contribution, 국가 온실가스 감축 목표) 상향
 - ‘18년 기준 세계 온실가스 총배출량은 55.3GtCO₂e(‘17년 53.5GtCO₂e)로 매년 상승중[20]
 - 유럽 등 해외 주요국들은 탄소중립을 위해 로드맵 등 관련 정책, 제도 마련 및 기술개발을 활발히 추진 중
- 우리나라도 당사국으로서 관련 법 제정 및 계획 등을 발표하고 2050 탄소중립의 미래상 구체화 중
 - 전세계적인 NDC 상향 조정에 따라 「탄소중립기본법」 제정(‘21.9월) 및 「2050 탄소중립 시나리오」 발표(‘21.10월)
 - ‘30년까지 ‘18년 온실가스 배출량 대비 40% 감축, ‘50년까지 탄소중립을 목표로 부문별 감축량과 감축수단 제시
 - 범부처 「2050 탄소중립 추진전략」(‘20.12월), 「2050 탄소중립 기술혁신 전략」(‘21.3월)을 통해 10대 핵심기술 도출 및 전환·수송분야 집중 투자
 - 10대 핵심기술 : ①태양광 및 풍력, ②수소, ③바이오에너지, ④철강·시멘트, ⑤석유화학, ⑥산업공정 고도화, ⑦수송 효율, ⑧건물 효율, ⑨디지털화, ⑩CCUS
 - 전환 분야는 신재생, 원자력 전략망 등이며, 수송 분야는 전기차, 이차전지 등을 포함

- 부처별 탄소중립 이행을 위한 계획 수립, 온실가스 감축을 위한 부문별 감축 전략 마련 및 R&D 기획 중
- 국토교통부는 「국토교통 탄소중립 로드맵(‘21.12월)」을 수립하여 건물 에너지와 교통 부문의 탄소중립 방안 마련



(단위: 백만톤CO₂eq)

구분	부문	'18년	A안	B안	비고
배출량		686.3	0	0	
배출	전환	269.6	0	20.7	A안은 화력발전 전면중단, B안은 화력발전 중 LNG 일부 전환 가정
	산업	260.5	51.1	51.1	
	건물	52.1	6.2	6.2	
	수송	98.1	2.8	9.2	A안은 전기·수소차 등 무공해차로의 전면적인 전환, B안은 내연기관차의 대체연료(e-fuel 등) 사용 가정
	농축수산	24.7	15.4	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	4.4	
	수소	-	0	9	A안은 국내생산 수소 전망을 수전해 수소(그린 수소)로, B안은 부생·추출수소 일부 생산 가정
	탈루	5.6	0.5	1.3	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3	
	이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS)	-	-55.1	-84.6	
	직접공기포집(DAC)	-	-	-7.4	포집 탄소는 저장용 대체연료로 활용 가정

[그림 11] 2050 탄소중립 사회 부문별 미래상(좌), '18년 比 '50년 온실가스 배출량 총괄표(우)[21]

□ 철도는 다른 교통 수단에 비해 탄소 및 미세먼지 배출이 적어 친환경적

- 파리협정 및 '50년 온실가스 배출 "0" 달성을 위해 친환경적 철도로의 교통체제 전환 필요
 - 철도는 전체 교통수단 온실가스 배출량에 2.7%를 차지하며, 승용차 대비 온실가스 배출량이 17.7% 수준으로 전체적인 온실가스 배출량이 매우 낮은 친환경 교통수단
 - 일본의 경우 여객부문의 철도 수송분담률이 30.2%로 높은 수준이나, 온실가스 배출량은 전체 교통부문의 2.4%에 불과
- 철도 탄소배출량의 대부분은 전기열차에서 배출되고 있으나, 소수의 디젤열차에서 12% 이상의 점유율을 보이는 중
 - 디젤열차는 전체 철도의 1/11 비율이지만, 탄소배출량은 전체 1/7로 높은 편
 - 디젤 철도차량의 탄소배출량은 19kg/km, 전기철도차량은 10.6kg/km, 수소 철도차량은 9.1kg/km로 디젤 철도차량의 탄소배출량이 가장 큰 것으로 분석

[표 14] 교통수단별 온실가스 배출량 추이

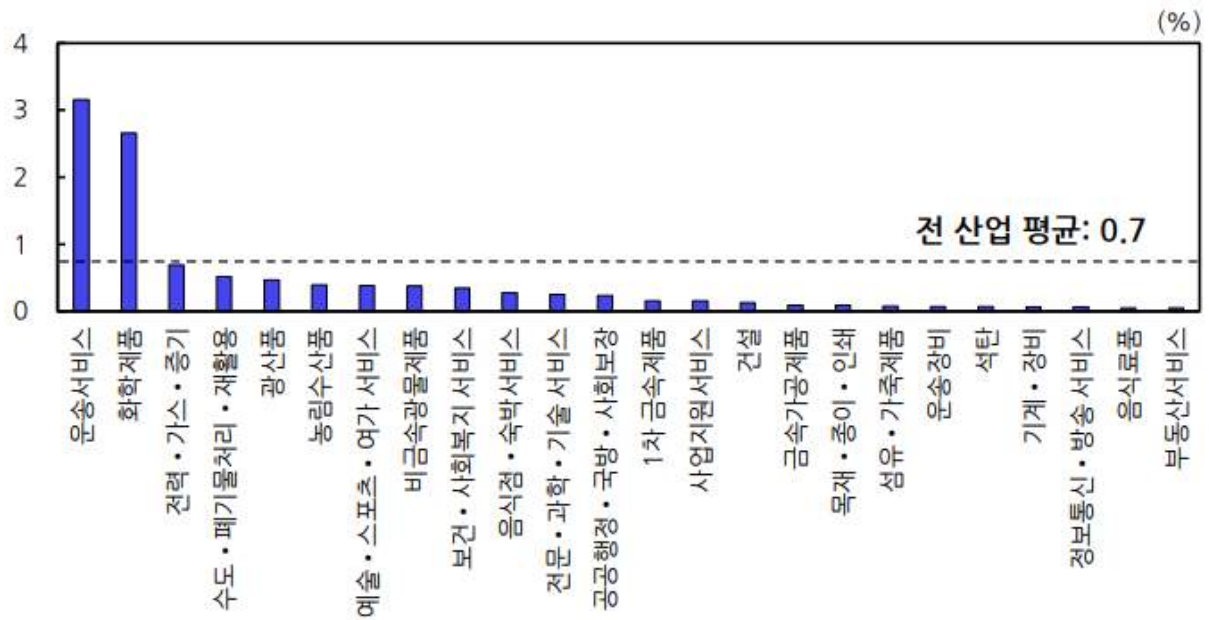
(단위 : 백만 CO2톤, %)

구분	'90	'00	'10	'14	'16	'18
도로	30.3(86.8)	63.3(92.0)	79.8(94.7)	84.1(94.6)	92.8(95.4)	100.9(95.9)
철도	0.9(2.5)	1.0(1.4)	0.6(0.7)	2.5(2.8)	2.6(2.7)	2.7(2.6)
해운	2.4(7.0)	2.7(3.9)	2.3(2.7)	1.0(1.1)	0.0	0.0
항공	0.9(2.5)	1.5(2.2)	1.2(1.4)	1.3(1.5)	1.8(1.8)	1.6(1.6)
합계	34.9(100.0)	68.8(100.0)	84.3(100.0)	88.9(100.0)	97.2(100.0)	105.3(100.0)

2. 증가하는 에너지 비용 감소를 위한 친환경 에너지 신기술 도입 필요

□ '22년 11월 기준으로 국제 유가는 배럴당 90달러 내외로 '20년 초에 비해 300% 이상 증가

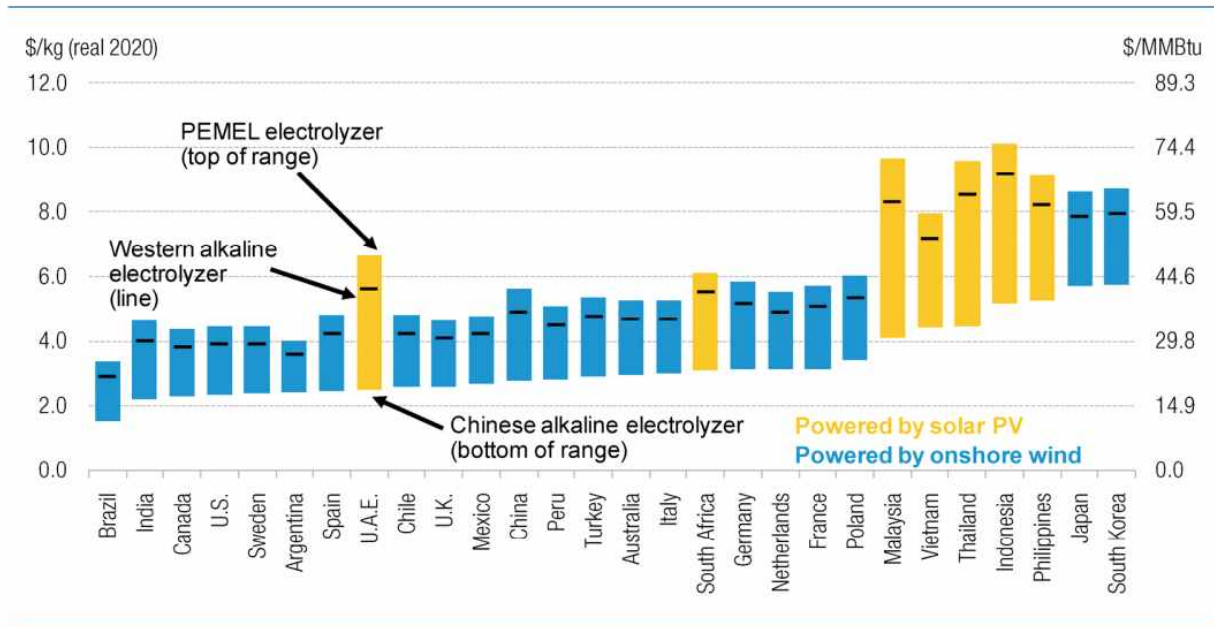
- 최근 코로나 19 회복 여파 및 러시아 우크라이나 전쟁 등 국제적 이슈로 인한 원자재 가격이 급등
 - 코로나19 위기 이후 원유 수요 증가 및 풍부해진 자금 유동성으로 인한 물가 상승 등의 영향으로 유가는 100달러 내외로 증가
 - '22년 러시아-우크라이나 전쟁으로 인해 러시아산 원유의 금수 조치로 인해 배럴당 90달러 이상의 높은 유가가 지속
- 유가 상승에 따라 산업 전반에서 생산 비용이 증가할 것으로 전망되며, 디젤 연료 및 전기를 사용하는 철도 분야는 생산비용 증가 폭이 더욱 클 것으로 전망
 - 산업별 생산비용 증가 현황을 살펴보면 운송 서비스 분야는 전 산업 중 유가 상승에 가장 큰 영향을 받아 3% 이상 생산비용이 증가할 것으로 전망되었으며, 전력/가스 분야 또한 타 산업들에 비해 높은 비율로 증가할 것으로 예상
- 장기적으로 국제유가 충격이 미치는 영향력을 축소하고, 기후변화에 대응할 수 있도록 화석연료에 대한 의존도를 줄이는 노력을 지속할 필요
 - 디젤을 직접 사용하는 디젤 열차 및 화석연료 기반의 전기를 사용하는 전기·배터리 열차를 대체하는 수소 열차가 하나의 대안으로 부각



[그림 12] 유가 상승에 따른 산업별 생산비용 증가[22]

- 여러 가지 요인으로 인해 국내 전기 요금은 인상될 예정이며, 그 외 피크타임 조정 이슈 등과 겹쳐 전기 사용량이 많은 철도산업에 영향이 클 전망
 - 국제 정세에 따른 연료비 폭등의 여파로 국내 전기 요금이 증가하는 추세
 - 정부와 한국전력의 발표에 따르면 '22년 10월부터 가정용 전기요금은 kWh당 2.5원, 산업용 전기요금은 kWh당 최대 11.7원 증가할 예정
 - 기존 계획의 인상분에 추가된 인상분을 더하면 가정용은 kWh당 7.4원, 산업용은 계약 전력에 따라 kWh당 11.9~16.6원의 인상 폭을 보일 전망
 - '23년부터 개선되는 최대 부하 시간대는 경·중·최대 부하 비율은 10:8:6 시간으로 유지되지만, 출퇴근 시간의 부하가 늘어나게 되어 철도 전기요금이 증가할 것으로 전망
 - 경부하 시간대로 분류되던 출퇴근 시간대들이 중·최대 부하로 조정 예정
- 현재 친환경 수소의 국내 생산 비용은 지속적으로 하락할 것으로 전망되지만, 외국과 비교했을 때 매우 비싼 편
 - 국내 그린수소 생산 비용은 재생에너지 전력의 비용 및 이용률로 인해 매우 비싼 편
 - 국내의 비싼 재생에너지(육상풍력) 전력비용(\$86/MWh) 및 낮은 이용률(31%)로 인해 그린수소 생산 비용이 전 세계적으로 가장 높은 수준

- ‘50년까지 지속적으로 비용이 줄어듦 것으로 가정하면 ‘35년 경 블루수소와 경쟁력을 갖추게 되고, ‘50년에는 \$1.49/kg 수준까지 낮아질 것으로 기대

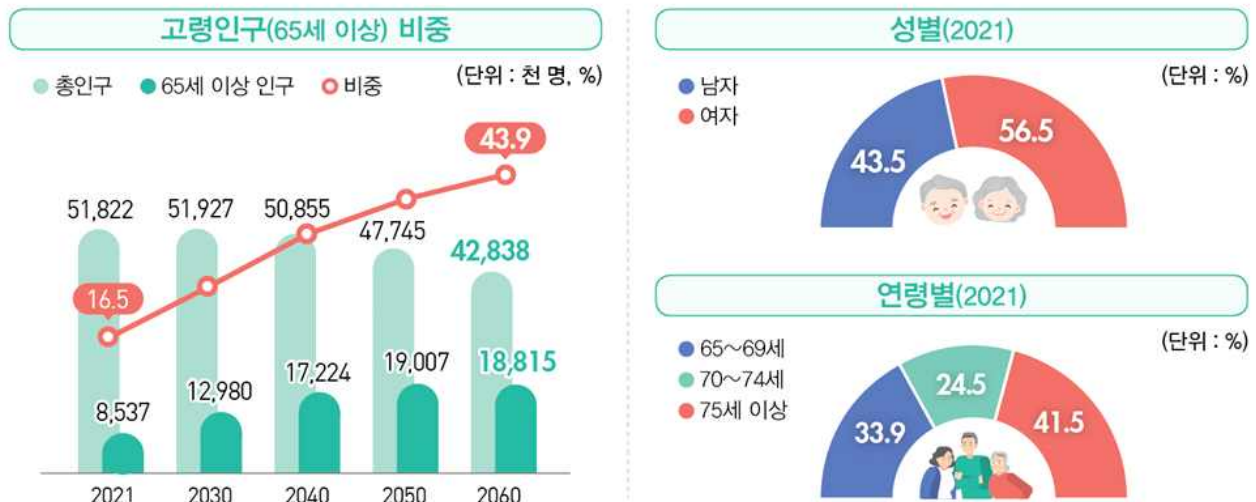


[그림 13] 주요국의 그린수소 생산비용 ('21)[18]

3. 고령화, 도시화 등 사회변화로 인해 도시내/도시간 안전한 교통 수단에 대한 요구 증가

- 고령화 등의 인구구조 변화 요인에 따라 철도 수요가 증가한 것으로 추정되며 해외도 비슷한 추세
 - 유엔의 「2019년 세계인구전망」에 따르면 전 세계적으로 65세 이상 노년층이 급격히 증가하여 65세 이상 인구 비중은 2019년 9.1% → 2067년 18.6%로 9.5%p 증가 전망
 - 국내 고령 인구(65세 이상) 비중은 2019년 14.9% → 2067년 46.5%로 31.6%p 증가할 전망이며, 세계에서 가장 빠른 속도로 고령화 진행 중
 - 65세 인구는 2019년 현재 768만 명으로, 전체 인구의 약 14.9%를 차지하고 있으며, 이미 2018년에 14.3%로 고령사회 진입
 - 우리나라 고령화 진행 속도는 과거 예측 시점보다 점차 빨라지고 있으며, 예상보다 고령화 수준이 더욱 높아질 가능성 존재
 - ‘11년에는 2060년 65세 이상 고령 인구비율을 40.1%로 전망하였으나,

‘19년 전망 시 43.9%로 증가할 것으로 전망



[그림 14] 국내 고령자(65세 이상) 비중 통계[23]

- 국내 인구는 고령화에 따라 비교적 안전한 철도에 대한 선호도가 증가
 - 고령자 교통사고는 ‘08년 10,155건에서 ‘17년 26,713건으로 10년간 163% 증가
 - ‘11년에서 ‘19년 사이 고령인구 철도 이용객수는 광역철도 1.5억 명, 도시철도 3.6억 명에서 2.3억 명, 5억 명으로 각 51%, 39% 증가
 - 일본도 ‘10년 이후 인구가 감소하고 고령자 비율도 20%를 상회하고 있으나 인구감소에도 고속철도(신칸센) 이용 비율은 꾸준히 증가
 - 소득수준 향상 및 시간가치 중시에 따라 서비스의 질을 강조하고 신속성에 대한 선호가 증가한 것도 철도 이용 증가의 원인으로 추정

□ 광역권 확대 및 국토구조 개편에 따라 지역간 통행량은 당분간 지속적으로 증가할 전망

- ‘25년 이후에도 수도권 통행량은 지속적으로 유지될 것으로 전망되며 통근 시간대의 교통문제는 더욱 심각해질 것으로 예상
 - 수도권 통행량은 ‘18년 58,347천 통행/일에서 ‘30년 58,373천 통행/일로 유지될 전망
 - 수도권의 도시철도, 광역철도는 혼잡도가 158%로 높은 편
- 비수도권은 혁신도시 등 신규 거점 통행량이 지속적으로 증가할 것으로 예상
 - 혁신도시 일 철도이용객 수는 ‘14~‘19년 기준 오송역 8,105→23,556명,

나주역 1,026→3,146명, 김천(구미)역 3,064→6,654명으로 지속적으로 증가

□ 국가 철도망 구축계획에 따라 철도연장은 최근 5년간 지속적으로 증가했으나 선진국에 비해서는 여전히 낮은 수준

- 철도 영업연장은 4,274.2km로 '05~'19년 사이 26% 증가
- 철도 연장 증가에도 불구하고 철도의 수송분담률 및 화물 수송량은 매우 낮은 편
 - 철도 수송분담률은 통행량 기준 11.5% 수준으로 도로 수송분담율 88.3%와 비교했을 때 매우 낮은 수준
 - '17년 기준 국내 전체 화물 수송량 11.7억 톤 중 철도화물 수송량은 3,168만 톤으로 전체의 2.7%에 불과하며, '13년 대비 철도 22.4% 감소
- 해외와 비교했을 때 면적 및 인구 기준으로 총 연장은 매우 부족한 편
 - 면적 기준으로 프랑스·일본에 비해 25% 이상 부족하고(약 100km), 인구 기준으로는 4,000km 이상 추가 확보할 필요가 있는 것으로 분석

[표 15] 도로 및 철도 연장(km)[7]

구분		2005	2009	2015	2019
도로	소계	17,192	17,596	18,141	18,797
	고속	2,968	3,776	4,193	4,767
	일반	14,224	13,820	13,948	14,030
철도	소계	3,392.0	3,377.9	3,951.8	4,274.2
	고속	240.4	240.4	596.3	657.4
	일반	3,151.6	3,137.5	3,355.5	3,616.8

4. 비용, 안전, 도심 운행 등의 문제 해결을 위한 독립전원방식의 철도 필요

- 철도 및 트램은 높은 시공 및 유지관리 비용, 교통 등의 문제로 전차선로를 통한 가선 방식은 부적합
- 도시철도에 활용되는 전기동차의 동력 공급을 위한 전차선로는 신설 비용 및 유지관리 비용이 매우 높은 편

- 전차선로 신규 시공의 경우 9~15억원/km의 높은 비용이 소모
- 기존 구간의 전철화는 구간 차단, 야간작업 등으로 20억원/km 이상의 비용 소요
- 마모 및 변형검사, 전차선 설비의 등 부품의 유지보수 및 교체 등을 위한 유지보수 비용으로 km당 458만원 추정

□ 가선 방식의 동력 공급을 위한 팬타그래프는 철도 소음의 주요 원인

- 고속으로 운행하는 철도에서 주로 발생하는 소음의 원인 중 하나는 가선 방식의 동력 공급을 위한 팬타그래프의 공력으로 인해 발생
 - 일반적인 주행에서는 크게 문제가 되지는 않으나 속도가 증가할수록 소음 증가
 - 200km/h 이상에서는 속도의 6~8승에 비례하는 수준으로 급속도로 증가
 - 고속철도 환경에서의 공력소음의 95dB 수준으로 매우 큰 편

□ 주로 도심을 운행하는 트램은 무가선 방식이 특히 적합하여 해외 각국에서는 무가선 트램 도입

- 무가선트램은 전차선 없이 주행이 가능해 건설비 및 유지 보수 비용 절감 가능
 - 제동 시 발생하는 회생 에너지를 차상에 저장하여 소비 에너지 절감 가능
- 트램은 교통약자를 위한 대중교통 수단으로 전차선 없는 주행을 통해 도심 미관 확보에 유리
 - 다른 노면교통수단에 비해 정시성 확보에 장점이 존재
 - 차량 내 넓은 창을 이용한 승객들의 조망권 확보나 주변 상점가와의 조화 등 심미적 요소가 중요해 비가선을 통해 해당 요소들의 극대화 필요
 - 도입을 희망하는 여러 지자체들도 무가선 노선 구축을 희망
- 프랑스, 미국, 이탈리아 등 해외 각국에서 무가선 트램을 성공적으로 도입



[그림 15] 주요국의 무가선 저상 트램: 프랑스, 미국, 중국, 이탈리아(시계방향, 왼쪽 위부터)[24]

□ 국내 철도의 비전철화 구간 연장은 '19년 기준 1,158km로 27.1% 비율

- 철도의 총 연장의 72.9%가 전철화 구간, 27.1%가 비전철화 구간이며 비전철화 구간의 대부분은 일반철도가 차지
 - 비전철화 구간은 '30년까지 21% 정도로 줄어든 것으로 계획되어 있으나, 전 구간의 전철화는 현실적으로 불가
 - 비전철화 구간을 효율적으로 활용할수 있는 기술 개발이 필요

[표 16] 종별 철도연장[7]

구분	철도연장(Km)	복선화율(%)	전철화율(%)
합계	4,274.2	64.4	72.9
고속철도	657.4	99.9	100.0
준고속철도	122.6	98.5	98.5
일반철도(광역포함)	3,494.2	56.5	66.9
(순수광역)	(104.5)	(100.0)	(100.0)

제2절 : 정책동향

1. 국내정책동향

가. 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」

- 수소산업의 체계적 육성을 위해 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제정 및 동법에 따른 「제1차 수소경제 이행 기본계획」 발표
- 우리나라는 ‘20년 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」을 제정하여 수소경제 이행 촉진과 수소산업의 체계적 육성을 도모
 - 국무총리 소속으로 수소경제위원회를 두어 심의케 하며, 수소전문기업의 육성지원, 수소연료공급시설 설치, 안전관리 등 수소경제의 육성과 안전관리를 실시
 - 수소경제 이행을 효과적으로 추진하기 위해 “수소경제 이행 기본계획” 수립을 명시
 - 수소경제 이행의 합리적 개선을 위한 법령 개선, 수소전문기업에 대한 융자 및 지원, 조세 감면, 수소특화단지 지정, 전문인력 양성 등 수소경제 지원을 위한 내용 명시

나. 「제1차 수소경제 이행 기본계획」

- 관계부처는 「제1차 수소경제 이행 기본계획」을 통해 수소경제 전주기 생태계 구축으로 청정수소경제 선도를 위한 4대전략 및 15대 과제를 발표
- (국내·외 청정수소 생산 주도) 그린수소 생산 기반 구축, 블루수소 생산 체계 구축 및 해외 수소자원의 안정적 확보를 위한 전략 수립
 - ‘30년 3,500원/kg 수준의 25만톤급, ‘50년 2,500원/kg 수준의 300만톤급 대규모 그린수소 생산 기반 구축을 위한 기술 개발, 실증 및 제도 개선 추진
 - ‘30년 75만톤, ‘50년 200만톤 규모의 블루수소 생산 체계 구축을 위한 CCS 조기 상용화 및 상용화 일정에 맞는 탄소저장소 확보, 블루수소 클러스터 조성 등의 전략 추진
 - 수소 생산국과의 협력을 통해 수소의 해외 생산, 도입을 통한 해외 수소

자원 확보

- (빈틈없는 인프라 구축) 유통, 배관망, 충전소와 같은 수소 관련 인프라 구축
 - 항만에 수소 생산·도입 인프라 구축으로 항만내 모빌리티를 수소기반으로 전환 유도를 위해 수소항만 확대, 수소 액화플랜트 구축 및 암모니아-수소 변환기술 확보
 - 현지수요에 특화된 배관망 구축, 가스망 수소혼입과 같은 전략을 통해 수소 생산·도입 지역을 거점으로 수소배관망 구축 확대
 - 보급 초기 공공주도로 권역별 충전소 균형 배치 후 민간주도로 시장 수요 기반 충전소 확산
- (모든 일상에서의 수소 활용) 수소발전 확대, 다양한 수소 모빌리티 시장 선도, 여러 산업 분야에서의 수소 활용 등 다양한 분야에서의 수소 활용 전략
 - 연료전지 발전설비 보급 확대, 석탄발전소의 암모니아 혼소를 통한 점진적 대체 추진, 수소 혼·전소 가스터빈 상용화 및 관련 정책 지원을 통한 수소 발전 확대
 - ‘30년까지 수소차 양산 체계 확보, 암모니아·수소 선박 상용화 및 액화수소 추진선 개발, 트램, 도심항공 등 수소모빌리티의 다양화 및 정책 지원을 통한 모빌리티 시장 선도
 - 철강, 석유화학, 시멘트 등 온실가스 다배출 사업과 노후·신규 산단의 수소 기반 공정전환과 화석연료·원료 대체 추진 등을 통한 산업분야의 수소활용 기반 마련
- (생태계 기반 강화) 표준화, 안전성 확보, 글로벌 협력 주도, 전문기업·금융 활성화, 지역별 수소생태계 구축, 정책기반·수용성 제고와 같은 수소 생태계 기반 강화 전략 추진
 - 기술개발·인력·표준화를 위한 범부처 합동 대형 R&D 추진, 수소융합대학원 및 인력양성센터, R&D 목표에 표준화 연계 및 국제표준 선점 등의 전략을 추진
 - 선제적 안전기준 마련 및 규제합리화, 셀프충전 등을 통한 수소 안전성 확보 및 글로벌 이니셔티브 구성 및 국내기업간 협력을 통한 글로벌 협력 주도
 - 집중지원을 통한 전문기업 육성 및 금융 활성화, 수소 클러스터 및 수소

도시 등 생태계 구축, 정책기반 구축 및 국민수용성 제고 등의 전략 추진



[그림 16] 제1차 수소경제 이행 기본계획[2]

다. 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(‘18~‘27)」

- 국토교통 분야의 장기적이고 종합적인 정책 방향 및 중장기 투자 계획 설정을 위한 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(‘18~‘27)」에 수소철도 명시
 - “혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통”의 비전과 국가경쟁력 향상, 삶의 질 만족도 향상, 연구환경 만족도 향상의 목표 달성을 위한 4대 추진전략 발표
 - (4차 산업혁명 대응) 초연결 도시 구현 기술 개발, 무인이동체 자율주행 기술개발, 디지털 기반 국토정보 기술 고도화
 - (기술융합을 통한 새로운 가치 창출) 융합기술을 통한 건설 지능화 실현, 고부가가치 건설기술 창출, 기존 수송시스템의 혁신 기술 도입

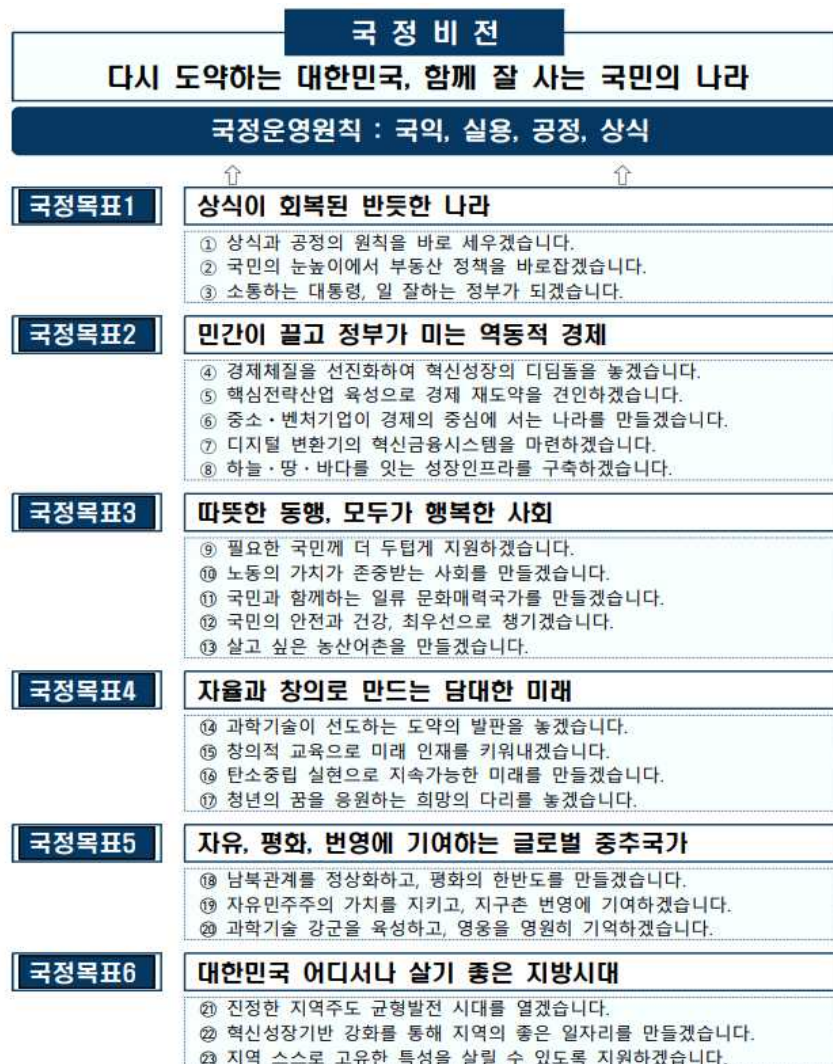
- (사람 중심의 국토교통 기술) 재난·재해 예방 등 안전 기술 개발, 친환경 생활공간 조성 기술 개발, 사회이슈 해결형 기술 개발
- (미래지향적 R&D 시스템 도입) 국토교통 R&D 관리체계 혁신, 국토교통 연구개발 기반 강화, 연구개발 성과와 산업간 연결 고리 강화
- 추진전략 중 전략2 기술융합을 통한 새로운 가치창출 전량의 기존 수소시스템의 혁신기술 도입 실천과제 내에 수소철도 관련 내용을 명시
 - 친환경 초고속 철도 시스템에서 친환경을 위해 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 전력 변환장치, 추진제어장치 등 차량기술과 수소충전을 위한 인프라 기술개발 명시

라. 「윤석열 정부의 120대 국정과제」

- 「윤석열 정부의 120대 국정과제」에서 다양한 국정과제 분야에 수소연료, 수소열차 등 수소 관련 전반에 대한 내용 다수 명시
- “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라”라는 비전 하에 6개의 국정 목표와 120개의 국정과제로 구성
 - (상식이 회복된 반듯한 나라) 공정과 상식을 바로 세우라는 국민의 목소리에 부응하여, 원칙과 상식이 존중되는 국민통합시대, 회복과 도약의 새 시대를 목표
 - (민간이 끌고 정부가 미치는 역동적 경제) 경제의 중심을 ‘기업’과 ‘국민’으로 전환하여 민간의 창의, 역동성과 활력 속에서 성장과 복지가 공정하게 선순환하는 경제시스템을 지향
 - (따뜻한 동행, 모두가 행복한 사회) 어려운 이웃과 사회적 약자를 더욱 따뜻하게 보듬어서 한 사람의 국민도 홀로 뒤쳐지지 않도록 약자와 동행하는 사회를 목표
 - (자율과 창의로 만드는 담대한 미래) 4차 산업혁명이라는 세계사적 대전환의 시대에서, 가능성에 도전하고 미래를 개척하는 글로벌 선도국가로의 도약 목표
 - (자유, 평화, 번영에 기여하는 글로벌 중추국가) 국익·실용의 외교전략과 튼튼한 국방역량으로, 영향을 받는 국가에서 영향을 주는 글로벌 중추국가로의 도약을 목표
 - (대한민국 어디서나 살기 좋은 지방시대) 사는 곳의 차이가 기회와 생활의 격차로 이어지는 불평등을 멈추고, ‘수도권 쏠림-지방소멸’의 악순환을

끓어내는 지속가능한 대한민국을 목표

- 국정목표 2 “민간이 끌고 정부가 미치는 역동적 경제”의 과제 중 “에너지안보 확립과 에너지 新산업·新시장 창출”에서는 에너지 안보 확립 및 에너지 신사업 창출을 명시
 - 과제목표로 에너지수요관리 혁신과 함께 재생e, 수소 등 다양한 에너지원의 확대를 통해 에너지자급률 제고 및 산업·일자리 창출의 기회로 활용
 - 에너지 공급망 항목에서 자원안보의 범위를 수소, 핵심광물 등으로 확대 명시
 - 에너지 신산업 분야의 에너지 수요관리 혁신, 4차산업 기술과 연계한 신산업 추진 항목에서 “안정적 청정수소 생산·공급기반을 마련하여 세계 1등 수소산업 육성”을 명시



[그림 17] 윤석열정부 120대 국정과제[25]

- 그 외 다양한 국정목표 및 과제에서 수소경제, 생태계 및 활용에 관한 내용 다수 명시

- “탈원전 정책 폐기 및 원자력산업 생태계 강화” 과제의 차세대 원전기술 확보 항목에서 원전연계 수소생산을 포함하는 미래 원전기술 확보를 명시
- “반도체·AI·배터리 등 미래전략산업 초격차 확보” 과제에서 팬데믹·인구구조·기후위기 등 문제해결형 신산업 육성 항목에서 수소, CCUS 등 탄소중립·미세먼지 대응 에너지신산업 조기 상용화를 명시
- “모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화” 과제에서 미래 모빌리티를 위하여 전기·수소차 클러스터, 인증 검사정비체계 구축 약속
- “초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약” 과제에서 필수적 전략기술을 지정하여 초격차 선도, 대체불가 기술확보를 목표로 집중 육성할 전략기술의 예시에 수소 포함
- “미세먼지 걱정없는 푸른 하늘” 과제에서 전기차·수소차 등 무공해차 보급 확대 및 ‘35년 무공해차 전환 목표 설정 추진을 명시

마. 「제3차 에너지기본계획(‘19~‘40)」

- 탄소중립기본법에 근거한 「제3차 에너지기본계획(‘19~‘40)」에서는 수소경제 구현을 위한 수소산업 육성 등 다양한 수소 관련 내용 포함
- 제3차 에너지기본계획은 에너지 전환을 통한 지속가능한 성장과 국민 삶의 질 제고를 비전으로 5가지 중점 추진 과제를 제시
 - (과제1. 에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환) ‘17년 대비 소비효율 38% 개선, 수요 18.6% 감축, 부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화
 - (과제2. 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환) 원전의 점진적 감축 및 석탄을 과감하게 감축, 재생에너지 발전비중 30~35%로 확대, 미세먼지 저감 및 2030 온실가스 감축로드맵 이행
 - (과제3. 분산형·참여형 에너지 시스템 확대) 분산형 전원 확대, 계통체계 정비, 전력 프로슈머 확대, 지자체 역할·책임 강화
 - (과제4. 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화) 재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 미래 에너지산업 육성, 전통에너지산업 고부가가치화 및 원전산업 핵심생태계 유지
 - (과제5. 에너지전환을 위한 기반 확충) 전력·가스·열 시장제도 개선, 에너지 빅데이터 플랫폼 구축

에너지 전환을 통한 지속가능한 성장과 국민 삶의 질 제고

① 에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환

- 소비효율 38% 개선('17년 대비), 수요 18.6% 감축('40, BAU 대비)
- 부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화

② 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환

- 원전은 점진적으로 감축하고 석탄은 과감하게 감축
- 재생에너지 발전비중 30~35%('40)로 확대
- 미세먼지를 저감하고 2030 온실가스 감축로드맵 이행

③ 분산형·참여형 에너지 시스템 확대

- 분산형 전원 확대, 계통체계 정비
- 전력 프로슈머 확대, 지자체 역할·책임 강화

④ 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화

- 재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 미래 에너지산업 육성
- 전통에너지산업 고부가가치화, 원전산업 핵심생태계 유지

⑤ 에너지전환을 위한 기반 확충

- 전력·가스·열 시장제도 개선
- 에너지 빅데이터 플랫폼 구축

[그림 18] 제3차 에너지기본계획: 비전 및 중점과제[26]

- “에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화” 중점과제에서 수소경제 구현을 위한 수소산업 육성을 제시
 - 수소를 중요한 에너지원으로 활용하여, 산업혁신과 온실가스 감축을 위한 새로운 모멘텀 확보를 목표로 수소 관련 산업 창출, 수소 모빌리티, 인프라, 친환경 관련 주요 과제를 제시
 - 주요과제 “세계 최고 수준의 수소활용 환경 조성”에서 수소차, 수소충전소 및 기타 수소 모빌리티 확대를 목표로 다양한 세부 내용을 제시
 - 수소승용차를 ‘40년까지 275만대로 확대하고 조기 양산능력 확보, 핵심 부품 국산화 달성
 - 전국 시내버스 노선으로 수소버스 운행을 확대하고, 경찰버스 등 공공부문

버스를 수소버스로 전환

- ▶ 전국 주요도시 수소택시 보급, 공공부문 청소차 등을 수소트럭으로 교체·보급
- ▶ 수소 모빌리티 활용에 불편함이 없도록 도심지, 휴게소, 차고지, LPG·CNG 충전소 등 주요 수요처에 충전소 구축
- ▶ 수소선박, 열차, 드론 등도 기술 개발을 통해 미래 유망 품목 육성
- 친환경·분산형 수소 에너지 확산을 목표로 발전용 연료전지, 가정·건물용 연료전지, 수소가스터빈 등의 개발, 실증, 상용화 추진
- 안정적이고 보편적인 수소공급 시스템 확충을 위해 그린 수소 생산 확대 및 생산방식 다양화, 유통체계 확립
- ▶ 부생수소, 추출수소, 수전해, 해외 수소생산·수입 등 다양한 방식의 수소 생산 기반 마련으로 수소 수요 대응 및 대량 공급 기반 마련
- ▶ 안정적이고 경제성 있는 수소유통체계 확립을 위하여 고압기체, 액체, 액상, 고체 등 저장 방식의 다양화·효율화 및 운송을 위한 튜브 트레일러 및 파이프라인 확대
- 수소경제 선도를 위한 생태계 조성을 위해 기술 경쟁력 제고, 기반 구축, 중소·중견 육성 및 글로벌 협력 확대 추진
- ▶ 관계부처 공동으로 기술개발 로드맵 수립·추진, 원천기술 실증·상용화, 안전기술 확보, 국제표준 선점 및 국제표준화 활동 적극 추진으로 기술 경쟁력 제고
- ▶ 수소경제 활성화 지원을 위한 수소경제법(가칭) 제정, 수소경제 추진위원회 및 범부처 추진단 운영, 수소유통센터 설치 및 수소산업 클러스터 및 수소도시를 통한 기반 구축
- ▶ R&D·인력, 설비투자 및 운영자금 등의 지원을 통한 중소·중견 육성 및 글로벌 수소경제 협력 네트워크 구축, 해외수소 생산거점 구축 등 글로벌 협력 확대
- 법제정, 안전기준 강화, 인식 제고 등을 통한 전주기 안전관리 체계 확립
- ▶ 천연가스 수준의 안전성 확보를 위한 수소산업 안전관리에 대한 법적 근거 마련
- ▶ 수소충전소, 부품, 시스템 등의 국내 안전기준을 국제기준에 맞게 제·개정 하는 등의 안전기준 강화
- ▶ 수소안전 가이드북 배포, 수소의 날 지정, 수소 안전 체험관 등을 통해 수소 안전 관련 대국민 인식 제고

바. 「미세먼지 관리 종합계획(‘20~‘24)」

- 「미세먼지 관리 종합계획(‘20~‘24)」에서는 미세먼지를 저감하기 위하여 노후 경유차를 점차 줄여가고 전기·수소로의 전환을 지원을 명시
 - “맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국”의 비전 및 “‘16년 대비 초미세먼지 연평균 농도 35% 이상 저감”을 목표로 4개 분야 15개 중점 추진과제 제시
 - (국내 배출 감축) ‘24년까지 PM2.5 19%, SOx 42%, NOx 64%, VOCs 32%, NH3 25% 이상 감축을 목표로 산업부문, 수송부문, 발전부문, 농업·생활 부문으로 나누어 각 추진과제 제시
 - (국민건강 보호) 고농도 미세먼지 발생시 국민 건강 보호를 위해 재난대응 연계 비상저감조치 강화, 고농도 발생 억제를 위한 계절관리제 시행 추진 및 상시 국민 건강 보호를 위한 인프라 확대, 실내 공기질 관리 개선 및 홍보·교육 실시, 철저한 이행 점검으로 국민 안심 도모
 - (국제 공동 대응) 대기오염물질 월경 이동에 대한 공동연구 등 오염원 원인규명 및 실증적 저감 기여 방안 모색을 위한 정부 간 협력·참여 제도화 및 미세먼지 공동대응 인식 확산 등 다자 차원 협력을 강화할 수 있는 국제적 공조 여건 조성
 - (정책기반 강화) 과학적 근거에 기반한 미세먼지 원인 파악을 통해 합리적 정책수립 지원 및 효율적 정책 이행방안 마련, 정책 신뢰도 향상을 위한 측정·예보 고도화 및 배출량 통계 개선 등 지속적인 미세먼지 대응 R&D 강화
 - (소통·홍보) 전략적 홍보대상 설정·맞춤형 홍보, 교육·홍보 강화를 통한 미세먼지에 대한 불안감 해소 및 올바른 대응 유도, 국민참여·양방향 소통 확대를 통한 정책 집행의 실행력 제고
 - 국내 배출 감축 항목의 도로·수송 부문의 감축을 위해 노후 경유차 퇴출 및 저공해차 보급 확대 수단으로 수소차, 버스 및 화물차 등을 제시
 - ‘24년까지 전기차 85만대 및 수소차 15만대 보급을 목표로 추진
 - 승용차는 내연기관과의 경쟁력 확보 시점까지 전기차와 수소차 병행 지원
 - 승합차는 마을농어촌 버스는 전기, 시내·고속버스는 수소버스를 중심으로 보급
 - 1톤 이하는 전기화물차, 1톤 초과는 수소화물차를 중심으로 보급
 - 보급 촉진을 위해 전기차 급속충전기 1.5만개 및 수소충전소 450개소 확충

- 재생에너지 잉여전력을 활용한 친환경 수소생산 확대, 안전한 대용량 수소 저장 및 고효율 CO2-free 수소 생산 기술 개발
- 비도로 수송 부문 감축을 위한 친환경 선박 확대를 위한 전기·수소추진선 추진
 - LNG 추진선 관련 기술 조기개발·보급, 전기·수소추진선 및 저감장치 등 관련기술 개발 추진
 - 수소 저장·공급 등 기존 수소엔진 요소 기술 선박 적용 및 안전기준 개발 등 관련 기술개발 추진

사. 「제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(‘20~‘34년)」

- 신재생에너지법에 근거한 「제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(‘20~‘34년)」에서는 수소산업에 대한 육성과 지원체계 개편을 계획
- 신재생에너지 보급, 발전 및 온실가스 배출 감소를 목표로 5가지 추진전략 제시
 - ([보급혁신]질서 있고 지속가능한 확산체계 마련) 참여주체 입지 다변화 및 보급 확대를 뒷받침하는 규제 개선 및 민간·공공투자 활성화와 더불어 안전을 우선시하는 신재생 확대
 - ([시장혁신]시장 효율성 제고 및 다양화 촉진) RPS 시장의 효율성 제고 및 신에너지 분리 등 고도화 추진, 비전력·분산에너지로의 저변 확대 병행
 - ([수요혁신]재생에너지의 다양한 수요기반 창출) RE100을 중심으로 재생 에너지 사용기반 강화 및 자가용설비, 수요·공급이전 등 신규수요 확보 전략 병행
 - ([산업혁신]R&D 혁신역량 제고 및 생태계 활성화) 사업화 연계 R&D로 신재생에너지 신시장 창출에 기여 및 기업 경쟁력-고용 확대-세계시장 진출의 선순환 구조 마련
 - ([인프라혁신]계통 보강 및 운영관리 체계 정비) 선제적 계통투자 등을 통한 적기 계통접속 지원 및 계통혼잡 대응 및 변동성 완화를 위한 계통 운영 체계 개선
- 탄소중립 시대의 신재생에너지 정책과제 중 그린수소 확대 및 에너지 시스템 통합 제시
 - 그린수소의 정의 명확화 및 그린수소 인증제 도입 추진
 - HPS 사업자의 그린수소 사용의무 부여, 수송에 그린수소 혼합 의무화 제도

도입, 공장별 그린수소 사용 의무화 및 전환 인센티브 검토 등 그린수소 의무화를 통한 시장 창출

- 그린수소 전용차량 및 충전기, R&D 지원 등 다양한 사용 의무화 제도 도입
- 그린수소 확보를 위한 노력 강화 및 그린수소 공급섹터의 커플링 활성화

○ 그 외 다양한 항목에서 수소관련 내용 다수 포함

- 수전해, 모빌리티, 연료전지, 충전소, 액화 등 5대 분야 소재·부품·장비에 대한 집중 지원을 통해 핵심기술의 확보 촉진
- 수소·연료전지 개발 목표로 수소차 충전소용 저가수소 생산기술 상용화 및 그린수소 대량 생산기술 확보, 대규모 육상수소 운송기술 개발을 명시
- 재생에너지의 다양한 수요기반 창출을 위한 방법으로 그린수소 양산을 통한 조기 대체 및 고효율 수전해 기술개발 등을 통한 '30년 수소가격 4,000원/kg을 목표로 제시

아. 「제2차 국가기간교통망계획」

□ 국토교통부는 향후 '40년까지 「제2차 국가기간교통망계획」을 통해 국가교통 물류체계 구축 방향을 위한 의 세부 추진과제 내용으로 수소열차 및 수소트램 명시

- 차별없는 이동권 보장, 안전하고 지속가능한 교통체계, 일상 속의 자율교통, 글로벌 교통 공동체 실현을 목표로 5가지 전략 및 각 세부 추진과제를 제시
 - (국토균형발전을 위한 교통망 완성) 고속 국가철도망 완성, 국가 간선도로망 완성, 경제성장을 지원하는 공항 인프라 구축, 국가 수출입 관문 항망 경쟁력 강화
 - (언제 어디서나 접근가능한 대중교통 환경 조성) 대중교통의 공공성 강화, 대중교통 수단서비스 다양화, 복합환승센터 확대 구축
 - (친환경 첨단 모빌리티의 일상화) 친환경 모빌리티 보급 확대, 친환경 교통 인프라 확대, 첨단 교통수단의 개발 및 보급 지원, 교통물류의 스마트화
 - (안전하고 차별없는 교통사회 실현) 사람 중심의 도로교통 체계로 개편, 노후교통시설 생애주기 관리, 교통약자에 대한 복지체계 강화
 - (글로벌 교통 공동체 기반 마련) 남북간 교통인프라 연결 및 현대화, 유라시아 대륙과 한반도 연결성 강화

전략1 국토균형발전을 위한 교통망 완성	• 고속 국가 철도망 완성 • 국가 간선도로망 완성 • 경제성장을 지원하는 공항인프라 구축 • 국가 수출입 관문 항만 경쟁력 강화
전략2 언제 어디서나 접근가능한 대중교통 환경 조성	• 대중교통의 공공성 강화 • 대중교통 수단서비스 다양화 • 복합환승센터 확대 구축
전략3 친환경 첨단 모빌리티의 일상화	• 친환경 모빌리티 보급 확대 • 친환경 교통 인프라 확대 • 첨단 교통수단의 개발 및 보급 지원 • 교통물류의 스마트화
전략4 안전하고 차별없는 교통사회 실현	• 사람 중심의 도로 교통 체계로 개편 • 노후교통시설 생애주기 관리 • 교통약자에 대한 복지체계 강화
전략5 글로벌 교통 공동체 기반 마련	• 남북간 교통인프라 연결 및 현대화 • 유라시아 대륙과 한반도 연결성 강화

[그림 19] 2021-2040 제2차 국가기간교통망계획 추진전략[27]

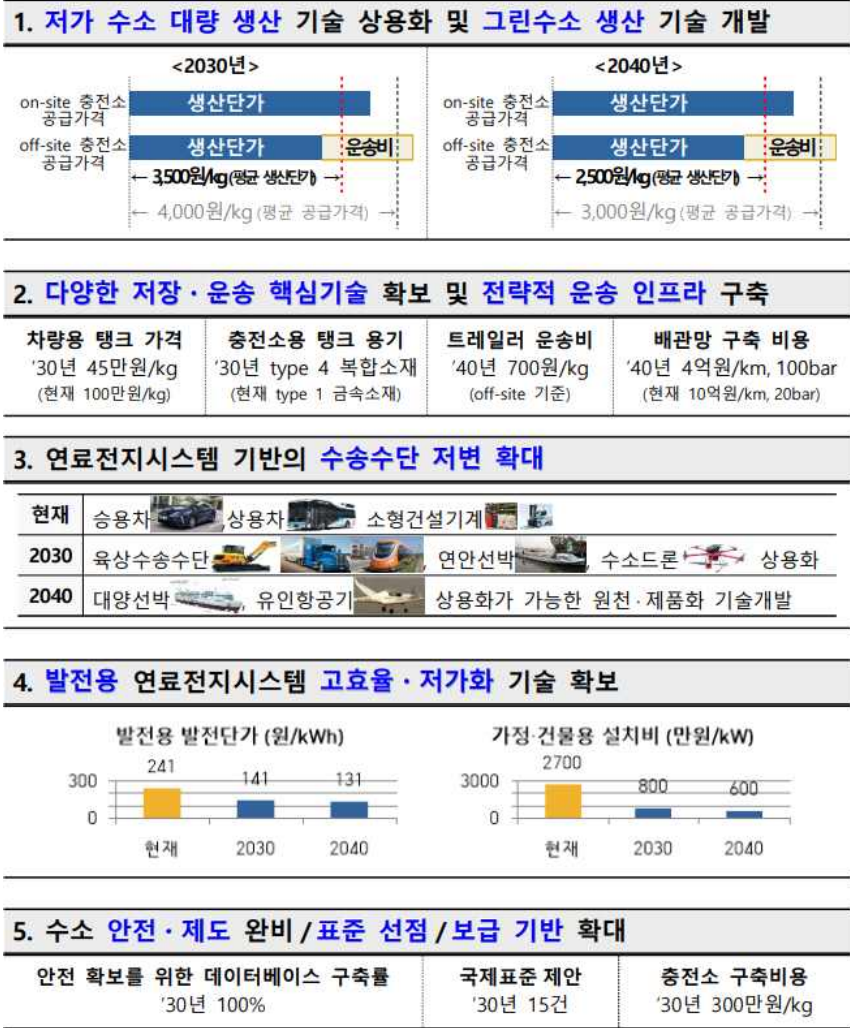
- “전략3. 친환경 첨단 모빌리티의 일상화”의 “친환경 모빌리티 보급 확대” 세부 추진 과제에서 수소 열차 및 수소 트램에 관한 내용을 명시
 - “내연기관 교통수단을 전기·수소 등 친환경 교통수단으로 전환하여 탄소 배출 제로화 달성”을 명시
 - (수소열차) 1.2MW급 수소연료전지 철도차량 개발 및 상용화, 무궁화급 열차 등 다양한 수소철도차량 연구개발·실증도 적극 추진
 - (수소트램) 기존 전기 트램에 수소전기 버스용 수소탱크·연료전지·배터리를 적용한 친환경·고효율 트램 실증사업 및 확대 보급
- 해당 계획의 “Time Line으로 본 미래상”에서 “2032년 친환경 철도차량으로 수소열차가 상용화 된다.”라고 제시

자. 「수소 기술개발 로드맵」

- 정부 각 부처는 수소 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통한 수소경제 이행을 뒷받침하기 위해 「수소 기술개발 로드맵」 발표
- “세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약”의 비전 및 5가지

목표 제시

- (저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발) '30년 평균 생산단가 3,500원/kg, '40년 평균 생산단가 2,500원/kg 달성
 - (다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축) 차량용 탱크가격 '30년 45만원/kg, 충전소용 탱크 용기 '30년 type4 복합소재, 트레일러 운송비 '40년 700원/kg, 배관망 구축 비용 '40년 4억원/kg, 100bar 달성
 - (연료전지시스템 기반의 수송수단 저변 확대) '30년 수소 중장비, 트레일러, 열차, 연안선박, 수소드론 상용화 및 '40년 대양선박, 유인항공기 및 상용화 가능한 원천·제품화 기술 개발
 - (발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보) 발전용 발전단가 '30년 141원/kWh, '40년 131원/kWh 달성 및 가정·건물용 설치비 '30년 800만원/kW, '40년 600만원/kW 달성
 - (수소 안전·제도 완비/ 표준 선점/ 보급 기반 확대) '30년까지 안전 확보를 위한 데이터베이스 구축률 100% 달성, 국제표준 제안 15건 달성 및 충전소 구축비용 300만원/kg 달성
- 해당 비전 및 목표를 달성하기 위한 3가지의 중점 추진전략을 제시
- (수소 전주기 목표 달성을 위한 핵심 기술 개발) 수소 생산, 저장·운송, 수송수단 및 발전·산업 분야 활용, 안전·환경·인프라 등 전 주기 분야에 대한 목표 달성에 필요한 핵심 기술 개발 추진
 - 수소의 수송수단 분야의 활용 전략으로 철도차량·건설기계·선박용 연료전지 파워팩 개발에 대한 애용을 평시
 - (수소산업 핵심 소재·부품 기술자립도 제고) 수입 의존도가 높은 소재·부품 중 독점성이 강하고 가격 비중이 높은 핵심 소재·부품에 대해 국산화 및 성능개량과, 개발 제품의 상용화 단계 진입 시 내구성·품질·가격 등 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술 개발
 - (미래시장 개척 및 글로벌 시장 선도를 위한 기술 개발) 세계적으로 시장이 형성되지 않았으나 성장 가능성이 있는 장기 유망 분야의 원천기술 확보와 기술적 완성도가 높은 연료전지 분야의 가격 저감 및 고부가가치화를 통해 기술 격차 유지 등



[그림 20] 수소 기술개발 로드맵 목표[28]

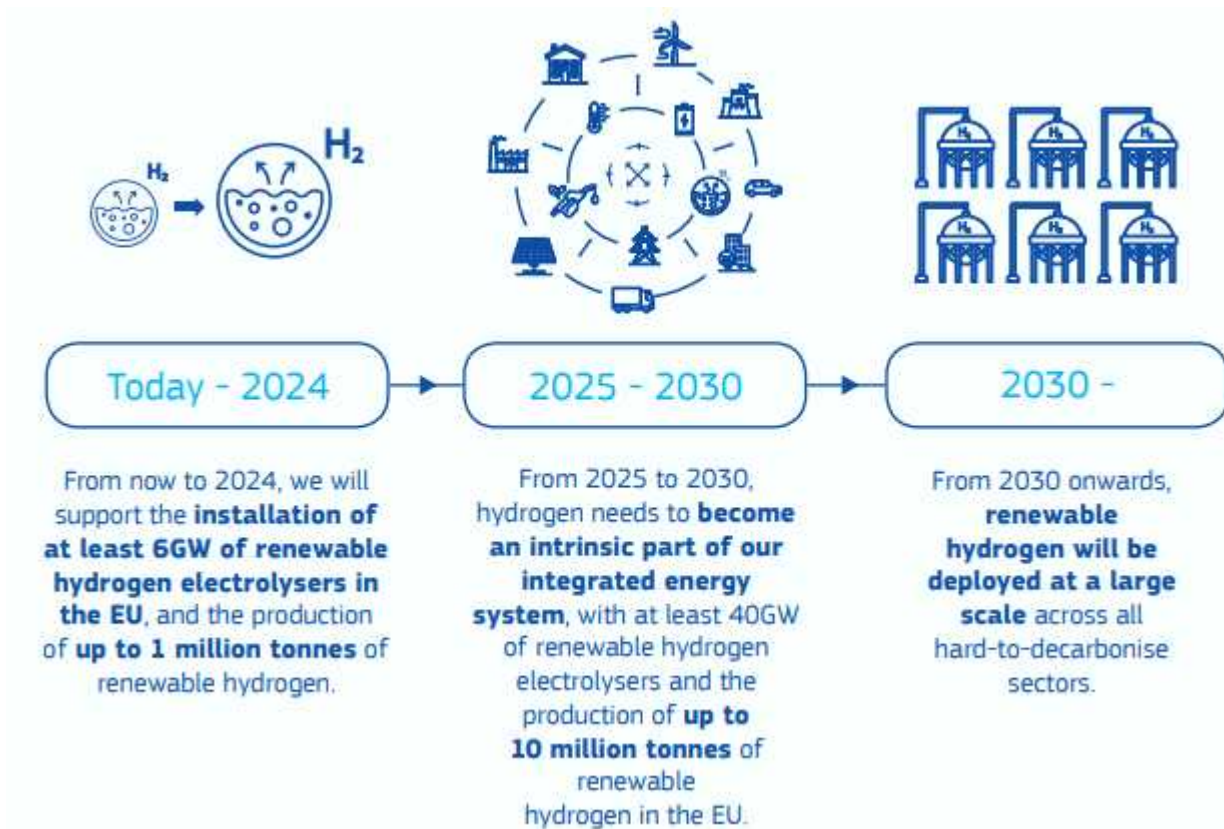
[표 17] 수소철도 관련 정책·계획 요약

계획명	내용
제1차 수소경제 이행 기본계획	수소 모빌리티 세계시장 선도를 위한 수소 모빌리티 지원
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획('18~'27)	기존 수송시스템 혁신기술로 수소연료전지 기반 열차 명시
윤석열 정부 120대 국정과제	미래 모빌리티 개발을 위한 수소경제, 수소차 지원 명시
제3차 에너지기본계획('19~'40)	수소경제로의 전환과 세계 최고수준의 수소활용 환경 조성을 목표로 수소열차를 미래 유망 품목으로 명시
미세먼지 종합계획('20~'24)	미세먼지 저감을 위해 노후화된 경유차를 전기·수소로의 전환 추진
제5차 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획('20~'34)	그린·액화수소 육성과 연료전지에 대한 지원 및 모빌리티, 충전소 등 5대 분야 소재·부품·장비 집중 지원
제2차 국가기간교통망계획	환경 첨단 모빌리티의 일상화"의 "친환경 모빌리티 보급 확대" 세부 추진 과제에서 수소 열차 및 수소 트램에 관한 내용을 명시
수소 기술개발 로드맵	철도차량에 대한 연료전지 파워팩 개발을 명시

2. 국외정책동향

가. EU

- 기후중립을 위한 수소전략을 발표하고 ‘50년까지 단계별 수소생산 및 활용에 초점을 둔 장기 계획 제시



[그림 21] A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe[29]

- 청정 수소 개발을 촉진을 통한 탈탄소화 및 이를 통해 경제성장과 회복력을 높이고 지역 일자리 창출 및 EU의 글로벌 리더십을 높이는 것이 목표
- 공급 원료, 연료, 에너지 운반 및 저장에 사용할 수 있는 재생 가능한 수소 에너지 생산 촉진 및 산업, 운송, 전력, 건물 등 전반에 걸쳐 온실 가스 배출 감축을 목표로 3가지 전략목표 제시
 - **(목표 1)** ‘20~‘24년까지 재생 가능한 수소 전해조를 최소 6GW 설치하고 EU 내에서 재생 가능한 수소 최대 100만 톤 규모 생산
 - 화학 분야 등 기존 수소 생산과정에서의 탄소 배출을 줄이고 대형 트럭과 같은 수송 및 기타 산업 분야의 수소 활용을 촉진
 - 정제소·제철소·화학단지 등 기존 수소 수요가 집중되는 지역 인근에 수전해 설치 및 규모 확대 및 기존 에너지원과의 가격 차를 좁히기

위한 인센티브 제공

- ▶ GW 단위의 수소 생산을 위한 대규모 풍력, 태양광 발전소 설립 계획 구체화
- **(목표 2)** ‘25~‘30년까지 재생 가능한 수소 전해조를 최소 40GW 설치하고 EU내에서 재생 가능한 수소 최대 1천만 톤 생산
 - ▶ 철강·제조·트럭·철도 등 새로운 수소 활용 분야 확대를 위한 산업수요 측면의 정책지원
 - ▶ 수소의 저장성을 활용한 안정적 에너지 공급 체계 구축 및 탄소 포집기술을 적용한 블루수소 생산으로 온실가스 감축에 기여
 - ▶ 수소 클러스터 또는 수소 밸리(Hydrogen Valley)를 통해 분산형 재생에너지 및 지역적 수소 생산, 범유럽 그리드 및 수소 충전소 설치계획을 수립하고 2030년까지 개방적이고 경쟁적인 EU 수소 시장 완성
- **(목표 3)** ‘30~‘50년까지 재생 가능한 수소 기술을 개선하고 다른 대안이 실현 가능하지 않거나 비용이 더 많이 드는 모든 탈탄소화 분야에 대규모 적용
 - ▶ ‘50년까지 재생에너지로부터 생산된 전력 중 약 25%가 그린수소 생산에 사용될 것으로 전망
 - ▶ 수소 기반 합성연료는 항공·선박 외에 탈탄소화가 어려운 산업·건물에 이르기까지 광범위한 부문에서 활용
 - ▶ 바이오가스를 활용하여 천연가스를 대체

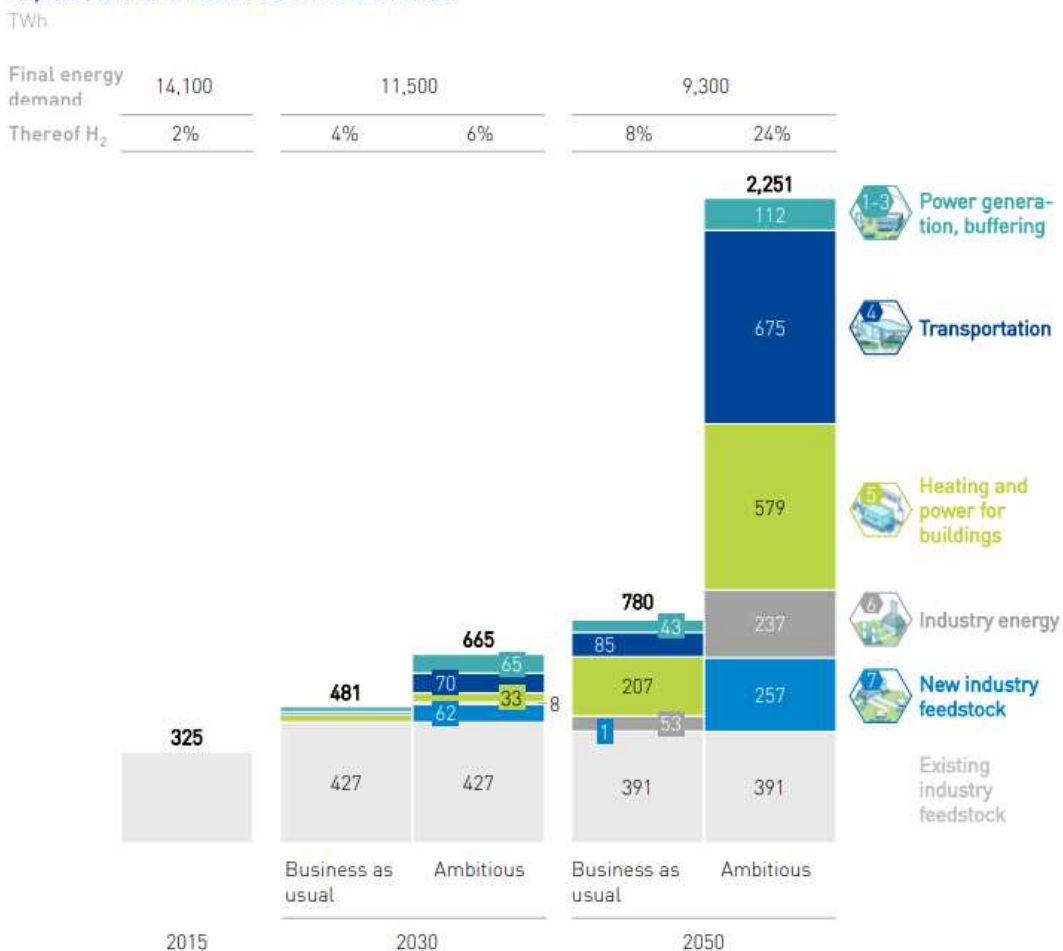
□ 「Hydrogen Roadmap Europe」에서 ‘50년까지 전체 에너지 소비의 24%를 수소로 대체할 계획을 발표하였고, 그중 교통수단이 30% 차지

- EU 회원국들은 파리 협정에 따라 지구 온도 상승을 산업화 이후 2℃ 이상 상승하지 않도록 노력
 - 동 협정에 따라 협정 참여국은 2050년까지 탄소 순배출 제로를 달성해야 하는데, 이를 위해서는 대규모의 수소로의 전환이 필수적
- 전력, 운송, 건설, 산업 등 모든 분야의 탈탄소화 목표 달성을 위해 수소는 필수적
 - 운송 분야에서 수소는 배터리의 단점인 느린 충전 속도, 높은 초기비용, 낮은 에너지 밀도를 해결할 수 있는 가장 적합한 수단
 - 수소는 시간, 장소를 초월하여 유연하게 에너지를 전달할 수 있는 메커니즘

제공

- 계획에 따르면 ‘50년 유럽은 약 2250TWh의 수소를 생산할 것으로 예상
 - 이는 EU 총 에너지 수요의 약 1/4에 해당하며 당 계획에 따르면 ‘50년까지 560Mt의 CO2 배출량을 줄이는 것이 목표
- 목표 달성을 위해 ‘30년까지 각 분야별로 구체적인 목표를 제시
 - 운송 분야에서는 ‘30년까지 370만대의 수소차 및 4만 5천 대의 수소 트럭 및 버스 보급, 570대의 디젤 열차를 수소열차로 대체하는 것을 목표

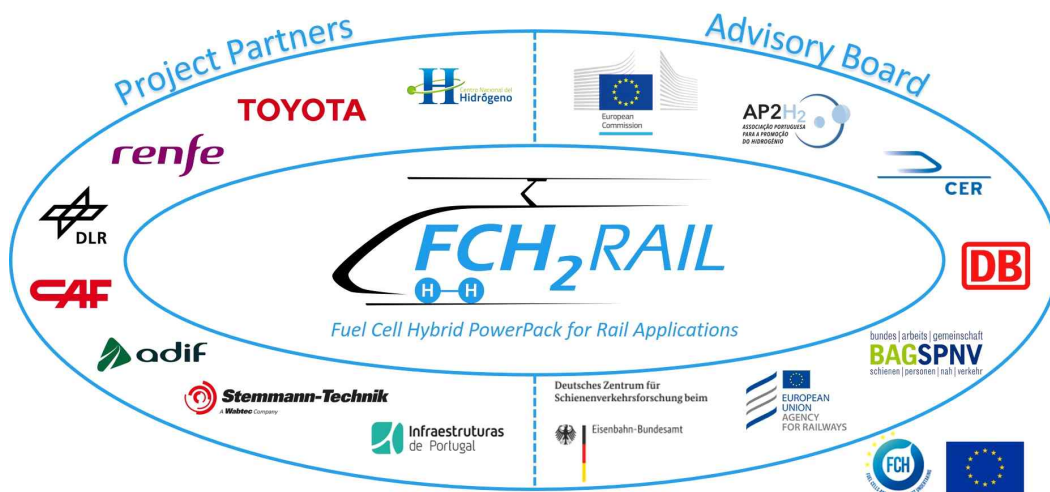
EXHIBIT 2: HYDROGEN COULD PROVIDE UP TO 24% OF TOTAL ENERGY DEMAND, OR UP TO ~2,250 TWH OF ENERGY IN THE EU BY 2050



[그림 22] 유럽의 수소 에너지 대체 계획(~'50)[30]

- ‘21년부터 4년간에 걸쳐 FCH2RAIL(Fuel Cell Hybrid Power Pack for Rail Applications) 프로젝트 수행 예정
 - 동차, 기관차 등 다양한 철도에 적용할 수 있는 모듈식 다목적 연료전지 하이브리드 파워팩을 개발, 구축, 테스트 및 시연을 목표로 하는 프로젝트로 최종적으로 TRL7 도달이 목표

- 가선이 구축된 전차선로에서는 일반 전기 구동 방식으로 달리고, 비전철화 구간에서는 수소연료전지를 사용하는 하이브리드 방식의 철도 시연 예정
 - '22년 포르투갈과 스페인의 국경 지대에서 테스트 예정이며 총 투입 비용 13백만 유로로 예상
- 하이브리드 열차에 대한 수소/철도 관련 EU 규칙 및 표준 프레임워크에 대한 심사 수행 및 시범 열차의 활동 및 테스트의 승인, 표준화 및 규범 작업 등에 대한 업무 수행
- 최종적으로 디젤 열차에 대한 수소 열차의 경쟁력을 입증하는 것을 중요한 목표로 하며, 이를 위해 관련 내용을 수집하고 비용 절감 잠재력을 도출하는 다양한 철도 부문의 LCC 모델을 구현



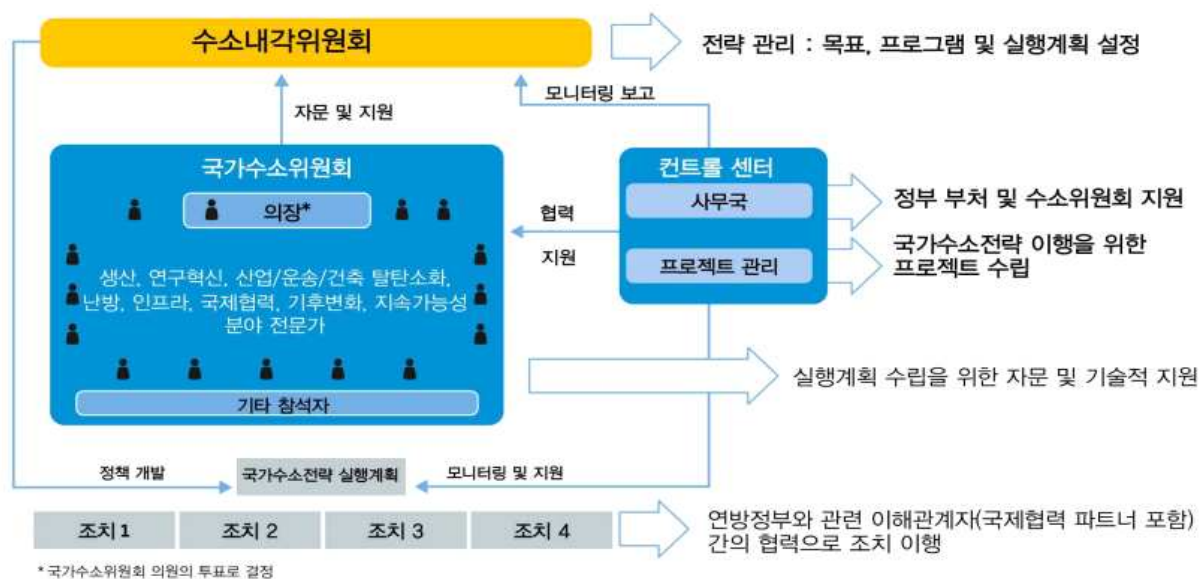
[그림 23] FCH2RAIL[31]

나. 독일

- 독일연방정부 국가수소전략의 「국가수소전략 이행 조치」에서 수소 기차 투자 확대 및 지역 철도 수소 인프라 설치를 위한 조치를 명시
- 독일은 자국 내 기후 보호 프로그램과 파리 협정에 따라 기후 중립을 달성하기 위해 화석연료의 사용을 줄이고 온실가스 배출을 감축 중
 - 에너지 전환을 위해 화석연료와 기체/액체 에너지원에 대한 대안을 강구하고, 에너지 전환을 위한 핵심 요소인 수소의 중요성을 강조
- 독일은 수소 시장 확대를 위해 70억 유로, 수소 확보를 위한 글로벌 파트너십

구축에 20억 유로를 투자할 계획

- 수소 기술 개발 및 내수시장 확대를 위한 첫 단계로 정부가 추진해야 할 세부 분야별 38가지 조치를 제시
 - ▶ 조치 6번으로 기차를 포함하는 수소 차량 투자 확대를 위해 ‘23년까지 구매 보조금 36억 유로 지원을 명시
 - ▶ 조치 8번으로 중장비 도로 운송, 대중교통 및 지역 철도 등에 수요 기반 수소 인프라 설치 추진 및 이에 ‘에너지 기후 펀드’를 통해 ‘30년까지 34억 유로 지원 가능을 명시
 - ▶ 조치 22번으로 신규 인프라 구축 시 수요에 따라 도로운송 포함 철도 네트워크 및 수로에 수소 충전소를 적합한 위치에 설립할 것을 명시
- 국가수소전략의 수립과 올바른 이행을 위한 거버넌스 조직을 구성, 수소 내각위원회와 분야별 전문가로 구성된 수소위원회 및 컨트롤센터 수립



[그림 24] 독일 국가수소위원회 및 수소내각위원회 구성[32]

다. 일본

□ 일본은 ‘17.12월 ‘50년까지의 계획을 담은 「수소기본전략」 수립 발표

- 환경문제 뿐만 아니라 에너지 안보 강화 차원에서 수소에 주목하고 수소 공급, 저장·운송, 활용 전 분야를 아우르는 정책목표 및 추진전략 수립
- 일본 정부는 제4차 에너지기본계획(‘14)에 따라 정책 기조를 안정공급 (Energy Security), 효율성(Economic Efficiency), 친환경(Environment) 3개

- 축에 안전성(Safety)을 더하는 3E+S 정책을 설정
- 3E+S 목표 실현을 위해 다양한 정책 수단을 활용하고 있으며, 수소는 해당 목표를 달성하기 위해 가장 중요한 수단
 - 3E+S 에너지 정책 목표 하에 이를 지향하기 위한 전략으로 수립
- 해당 전략을 통해 일본의 에너지·기후변화 정책의 당면과제인 온실가스 감축과 에너지안보 취약성 제고
- 일본은 ‘30년까지 온실가스 배출량을 ‘16년 대비 26% 감축이 필수
 - 일본은 ‘18년 기준 1차 에너지 공급의 86%를 해외 화석연료에 의존하고 있으며, 주요 에너지원인 석유의 87%를 중동에서 수입 중으로 이러한 에너지 안보의 구조적 취약성 탈피를 위해 수소 생산·공급·이용체계 구축을 도모
- 일본정부는 수소사회 실현 발전단계를 3단계로 구분하고 단계별 목표와 중점과제 설정
- (1단계:현재~) 수소이용의 비약적 확대 단계로 현 단계에서 실현중인 고정용 연료전지 및 FCV 이용 확대를 통해 세계 수소연료전지 분야의 일본의 선도적 위상 확립
 - (2단계: ~‘20년대 후반) 수소의 대규모 공급 시스템 확립 단계로 수소에너지 공급체계에 미이용 에너지원 확대 및 기존 에너지 소비구조에서 수소를 새로운 에너지원으로 정립
 - (3단계: ‘40년경) CCS 결합 수소제조 공정 및 재생에너지원 활용 CO2 배출이 없는 CO2-free 수소공급시스템 확립
- 수소기본전략 달성을 위해 일본은 7가지 주요 내용을 제시
- (저비용 수소공급체제 구축) 수소의 생산, 저장, 수송, 최종 소비에 이르는 수소에너지 생산·공급·이용체계 구축을 도모
 - (국제 수소 생산·공급망 개발) ‘30년경에 상용 수소 공급망을 구축하여 연간 30만톤 규모의 수소공급을 위해 해외 에너지원 확보, 기술·안전·환경적 과제 선결 및 인프라 정비 계획
 - (수소의 수송·저장을 위한 Energy Career 개발) 액화수소, MCH(Methylcyclohexane), 암모니아, 메탄 등을 활용한 수소의 수송·저장을 위한 Energy Career 기술 개발
 - (재생에너지원 전력의 수소화 기술 개발) 계절적 영향 없이 장기적으로 재생에너지원 전력을 수소로 저장하는 Power-to-Gas) 기술 개발

- (지역 지원 활용 및 미이용 에너지원 활용 제고) 수소 제조원으로 미이용 지역자원(재생에너지, 플라스틱 폐기물, 하수, 부생수소) 등의 활용을 통한 지역산업 창출 및 에너지 자급을 향상
- (발전부문 수소 이용 확대) 수소와 천연가스의 혼합 연소 특성에 반영하여 초기에는 소규모 열병합 시스템 등에 수소·천연가스 혼합연소 도입확대 도모
- (모빌리티 수소 이용 확대) 자동차를 포함한 선박, 트럭, 열차 등 전체 모빌리티의 저탄소화 추진을 위해 FCV(Fuel Cell Vehicle) 등의 보급 확대

라. 미국

- 미국 에너지부(DOE)는 '20년 미국 수소 기술 부흥을 위한 목표 및 방향성을 제시한 「수소 프로그램 계획(Hydrogen Program Plan)」 발표
 - 청정 수소 에너지 기술의 광범위한 실용화와 함께 관련 기술을 경제 전반으로 융합함으로써 미국 번영을 추구하는 것이 궁극적 목표
 - 미국의 수소 수요는 '20년 기준 1,000만 톤에서 '50년 최대 4,100만 톤으로 확대될 것으로 예상되며 이는 미국 총 에너지 수요의 14% 수준
 - 수소 생산단가, 운반 및 충전 비용, 수전해 설비 비용 등 수소 산업의 다양한 분야에 대한 구체적인 수치 목표 제시
 - 수소 생산단가 \$2/kg, 운반 및 충전 비용 \$2/kg, 산업용 수소 공급 비용 \$1/kg, 장거리 트럭용 연료전지시스템 비용 \$80/kW(수명 25,000시간), 차량용 수소저장 시스템 \$8/kWh, \$2.2/kWh, 수전해 설비비용 \$300/kW(수명 40,000)시간 등
 - 수소의 생산, 운송, 저장, 에너지전환 등 부문별 주요 기술개발 내용 및 추진계획 제시
 - (생산) 저비용·고효율의 내구성이 강화된 수전해 설비, 합성 가스화 및 열분해 관련 고급 설계, 재생에너지·화석연료·원자력을 활용한 하이브리드 수소 생산기술 혁신, 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 기술의 집중 개발 등
 - (운송) 다양한 형태의 수소 운송을 위한 기술 및 인프라 구축, 액화수소 부문의 기술 혁신, 수소 저장 및 운송을 위한 수소 운반체 개발
 - (저장) 저비용·고밀도 수소 저장 시스템, 액화수소 및 저압수소 저장을

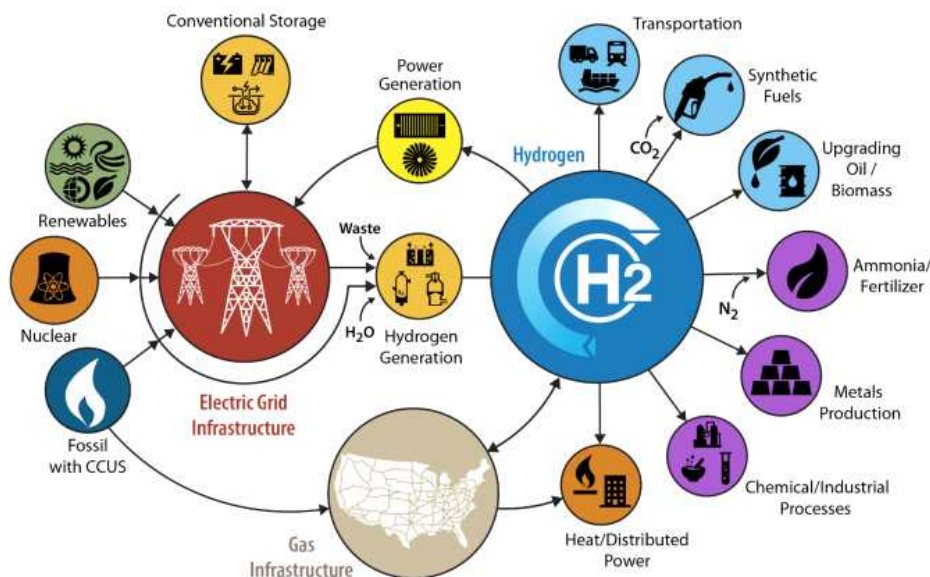
위한 R&D, 수소 터빈에 활용 가능한 화학수소운반체(chemical hydrogen carriers) 형태의 저장 기술, 수소 저장의 안전성·효율성을 고려한 기술 및 시스템 구축

- (에너지 전환) 내구성 및 안전성이 확보된 연료전지 대량 생산, 고농도 또는 순수 수소로 운전되는 터빈, 대형 하이브리드 시스템 개발 및 시연
- (기타부문) 각 세부 활용분야에서 요구되는 시스템 통합·시험·검증, 표준화된 제조공정, 품질관리, 제조 설계 최적화, 제조공정 자동화, 수소 분야 실무자 및 기술자를 위한 교육 및 훈련 프로그램 운영

□ 미국 에너지부(DOE)는 탄소중립 경제실현 촉진 및 지구 문제 해결을 위하여 「에너지 어스샷 이니셔티브(Energy Earthshots Initiative)」를 발표하고 그 첫 번째 대상을 수소로 선정

○ ‘21년 6월 관련 내용을 발표하며 수소 샷(Hydrogen Shot)으로 명명

- 현재 \$5/kg인 청정수소 생산단가를 10년 내 \$1/kg로 80% 감소가 목표

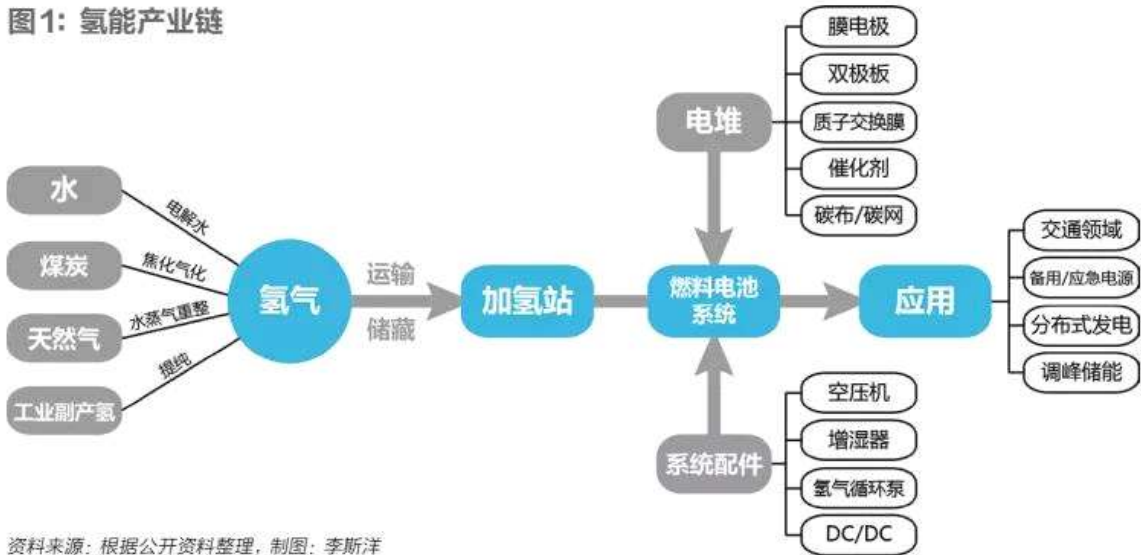


[그림 25] H2@Scale energy system[33]

마. 중국

□ 중국은 「수소에너지 산업 발전 중장기 계획(‘21~‘35)」을 발표하며 향후 수소 에너지 관련 목표를 설정

图1: 氢能产业链



资料来源: 根据公开资料整理, 制图: 李斯洋

[그림 26] 중국 수소에너지산업발전 중장기계획('21~'35) 개요[34]

- '25년까지 수소에너지 관련 핵심기술과 제조 공법을 확보하고 재생 가능 수소에너지 생산량 연간 10~20만톤, 이산화탄소 배출량 연간 100~200만 톤을 감축할 계획
 - '30년까지 수소 에너지 산업 기술과 혁신 체계와 청정 에너지의 수소 제조 공급 체계를 구축하고, '35년까지 수소 에너지의 응용 생태계 형성이 목표
- 자원 특성과 산업 분포도를 결합하여 현지 실정에 맞는 수소 제조 기술 발전과 청정화, 저탄소, 저비용, 다차원적인 수소 제조 시스템 구축 예정
 - 코크스, 염소 및 가성소다, 피루브산 탈수소 효소(PDH) 등 산업 집중지역에 공업용 부산물 수소의 우선적인 사용 장려 및 공업용 부산물 수소의 공급 원가 절감 계획
 - 풍력, 태양광, 수력 발전 등 신재생에너지 자원을 활용한 수소 제조 시범 진행과 고체산화물연료전지(SOFC) 수소 제조, 태양광 전해 수소 제조, 바닷물 수소 제조, 핵 에너지 고온 수소 제조 등의 기술 개발 추진 계획
- 수소에너지 저장 및 운송 체계 구축 및 교통 분야의 수소에너지 응용 규모 확대 계획
 - 고압 기체상태의 저장 및 운송 상업화 수준 향상, 저온 액체 수소의 저장 및 운송 산업화 응용, 수소 첨가 천연가스 파이프라인, 순수 수소 파이프라인 등 사업 시범 전개
 - 중형 차량, 대형 신에너지차, 화물 차량에 대한 수소연료전지 응용 추진,

- 수소연료전기차(FCEV)와 BEV의 상호 보완적인 발전 모델 구축 예정
- 선박, 항공기 및 기타 분야에서 연료전지의 응용을 모색하고, 대형 수소 에너지 항공기의 R&D 추진

제3절 : 기술동향

1. 수소철도차량

가. 국내 기술동향

- 한국철도기술연구원과 우진산전은 정부지원(국가R&D)을 통해 개발한 수소 전기동차를 '21년 12월 공개하고, '22년 시험운행 완료
- 철도교통의 탄소중립 이행에 선제적으로 대응하기 위하여 '18년 4월 개발에 착수하여 4년간의 연구 끝에 '21년 12월 공개
- 1회 충전으로 최대 600km 주행이 가능하며, 최대출력 1.2MW, 운행최고속도 110km/h급
- 수소연료전지와 리튬이온 배터리를 사용하는 독립전원 방식으로 전기 공급을 위한 팬터그래프 불필요
 - 열차 상단에 1량당 83kg(1편성 166kg)의 수소저장탱크 및 연속 200kW 출력이 가능한 PEMFC방식의 수소연료전지 1대 탑재하고, 별도 에너지원 없이 스스로 전기를 생산
 - 열차 하부 리튬이온 배터리를 장착해 감속시 발생하는 회생에너지를 저장하고 가속 시와 같이 많은 에너지가 필요한 구간에서 에너지를 추가로 공급해 효율성 증대
- 수소 열차에 맞는 구조설계 및 에너지 최적화 수행
 - 수소연료전지 및 수소탱크 탑재로 인해 상부의 무게 증가를 고려해 곡선부 등에서 안정적으로 주행이 가능하도록 구조해석 및 설계 수행
 - SiC(실리콘카바이드)기반 IGBT소자와 영구자석동기전동기를 적용한 추진 제어장치를 통해 단위부피당 전력 밀도를 높여 출력 성능 향상
 - 비상상황시 열차의 전력을 외부로 공급할 수 있는 계통연동기능(T2G; Train-to-Grid) 탑재
- 내구연한이 도래한 디젤 동차(RDC)를 대체하거나, 비전철화구간, 도심부 광역·도시철도에서 운행하기에 적합할 것으로 평가
 - 디젤을 수소로 대체하면 디젤기관차 및 동차와 달리 매연·탄소 배출이 없어 친환경적

- 차량 운영 시 열차 자체에서 발생하는 소음이 적어 승객의 쾌적한 승차감 증가
- 완성차시험을 마친 후 오송 소재 철도종합시험선로에서 시운전 완료('22.12월)



[그림 27] 수소연료전지 하이브리드 추진시스템을 장착한 수소전기동차

- '21.4월 한국철도기술연구원은 세계 최초로 기체수소가 아닌 액화수소를 이용하는 수소전기기관차 핵심기술 개발에 착수
 - '24년까지 총 186억원을 투입하여 민간기업들과 함께 액화수소 기반 수소전기기관차 핵심기술 개발
 - 최고시속 150km/h 이상, 1회 충전 최대 운행거리 1,000km 이상
 - 2.7MW(370kW/모듈기반)급 연료전지 추진기술 및 액화수소 공급 기술 연구 개발 중
 - 액화수소 하이브리드 추진시스템, 고단열 극저온 액화수소 저장기술, 고속충전기술 등을 개발해 단위 모듈 단위로 핵심기술 개발 추진
 - 이후 대용량 기관차 구현을 위한 액화수소 기반 추진기술 및 액화수소 공급기술을 개발해 비전철화 구간에서 운영 가능한 액화수소 기관차 실용화 예정

- 영하 253℃ 이하의 초저온 상태의 액화수소는 고압 수소에 비해 압력이 낮아 안정적인 상태로 수소 보관 및 운송이 가능
 - 기체상태에 비해 저장밀도가 2배 높고 운송효율은 7배 이상 경제적
 - 해외의 700bar 기체수소 열차 대비 운행거리 1.6배 향상과 충전시간 20% 단축 목표
 - 현재 국내 액화수소 운송방식은 1kg 소용량에 국한되어 있으나, 향후 모듈당 70kg급 총 420kg을 적용할 예정
- 액화수소 추진기술은 배터리 방식으로 한계가 있는 장거리 노선에 강점이 있으며, 비전철화 구간의 디젤차량 대체를 통해 탄소 배출 및 미세먼지의 획기적 저감이 가능
 - 에너지 변환과정에서 오염물을 전혀 배출하지 않아 친환경적
 - 고성능 필터를 통해 공기 중의 미세먼지 또한 걸러낼 수 있어 경제적

[표 18] 각국의 수소철도 개발현황[35]

국가	한국		일본	프랑스-독일	중국
연료방식	액화수소	기체수소	기체수소	기체수소	기체수소
내용	액화수소 기반 수소기관차 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발	수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발	수소연료전지 철도차량 영업 운행 시작	상업용 수소트램 출시 루저우/타이저우에서 운행 예정
최고 설계속도	150km/h	110km/h	100km/h	140km/h	70km/h
연료전지 용량	300kW × 6모듈	1.2MW	120kW	125kW × 2	150kW × 2
기타	탱크압력 2~3bar 1회충전 1,000km 주행	1회충전 600km 주행	탱크압력 350bar	탱크압력 350bar 1회충전 800km주행	탱크압력 350bar 1회충전 100km 주행

□ ‘20년 현대로템은 수소연료전지 기반의 트램, 동차, 준고속열차, 기관차의 개발 방향 공개

- 트램, 전동차, 준고속열차, 기관차별로 각 차량별로 구성, 용량, 주행거리, 기능 등에 대한 요구 특성과 프로파일을 제시
 - 수소연료전지를 동력원으로 적용 시 기존 차량 대비 20~30%의 추가 공간이 필요하고, 중량 또한 증가하며 최대 파워와 배터리의 정출력 등에 대한

고려 또한 필요

- (트램) 총 5량 구성, 최대속도 70km/h, 95kW급 연료전지×4, 130kW급 배터리×2, 수소탱크 21kg×2로 구성
 - 모든 장치가 지붕에 설치되어 있어 연료전지 장비 취급에 어려움이 있으며, 축중 한계로 중량 밸런스와 대차수량 등에 대한 고려가 필요
 - 최대 주행거리는 최악 조건에서 약 150km로 예상
- (전동차) 총 2량 구성, 최대 속도 100km/h, 95kW급 연료전지×4, 180kW급 배터리×2, 수소탱크 78kg×2로 구성
 - 최대 주행거리는 최악 조건에서 약 300km 이상으로 예상
- (준고속 열차) 총 3량 구성, 최대속도 150km/h, 760kW급 연료전지×2, 수소탱크 78kg×2로 구성
 - 공력저항에 따른 요구파워가 기하급수적으로 늘어나며, 최대 속도 150km/h에서도 높은 파워가 요구되어 동력집중 방식을 적용
 - 최대 주행거리는 최악 조건에서 약 300km 이상으로 예상
- (기관차) 고출력 장거리 운행이 필요하므로 3000kW급 출력이 요구, 최대 속도 150km/h, 수소탱크는 별도의 차량에 적재
 - 최대 주행거리는 800km 이상으로 예상

[표 19] 현대로템 차량 종류별 사양 제시[36]

분류	차량수	최대속도	연료전지	배터리	수소탱크
트램	5량	70km/h	95kW × 4	130kW × 2	21kg × 2
전동차	2량	100km/h	95kW × 4	180kW × 2	78kg × 2
준고속열차	3량	150km/h	760kW × 2	상황에 따라 조절	78kg × 2
기관차	-	150km/h	3000kW급	상황에 따라 조절	별도 적재

□ 현대로템은 ‘23년 실증을 목표로 수소전기트램 개발 중

- 수소연료전지와 배터리를 조합하는 하이브리드 방식의 트램 개발
 - 수소연료전지가 수소탱크로부터 수소를 공급받아 전력을 생산하고 잉여 전력은 ESS (Energy Storage System)에 저장해 추가로 에너지가 필요한 구간에서 활용
- 수소에서 생산하는 전기에너지로 운행되므로 탄소배출 “0”

- 전기 생산을 위한 외부 산소 수집 과정에서 불순물 제거를 위해 필터와 가습기 등을 사용하며, 이를 다시 외부로 배출하므로 운행만으로 미세먼지 정화 가능
- 수소전기트램 1편성이 1시간 운행하면 성인 170명이 1시간 동안 소비하는 약 107.6kg의 청정 공기를 생산하는 효과
- 수소전기트램 1,000대가 도심을 운행하며 디젤차 4,000대가 생산하는 미세먼지 정화와 같은 효과를 보이며 이는 나무 2만 그루를 심는 것과 동일한 효과



[그림 28] 수소전기트램 효과[37]

- ‘21.6월 부산국제철도기술산업전에서 개발 중인 수소 트램의 콘셉트카 공개
 - 95kW 현대자동차 넥쏘 수소연료전지 2개 탑재, 60kW PMSM(영구자석형 전동기) 4대로 동력 출력, 700bar 타입-4 104L 탱크 (4.18kg) × 8, 55kWh 리튬이온배터리 탑재
 - 최고속도 80km/h, 수소연비 5km/kg, 최대주행거리 150km
 - 향후 ‘23년 실증 예정이며 실증 전까지 400kW연료전지 및 40kg 수소탱크 탑재를 목표
- ‘21.12월 울산광역시에서 운행될 예정인 수소전기트램의 디자인과 브랜드 이미지 공개
 - 길이 35m, 폭 2.65m, 높이 3.7m의 5개 칸으로 연결
 - 지면으로부터의 차량 바닥 높이 35cm, 최대 시속 70km/h

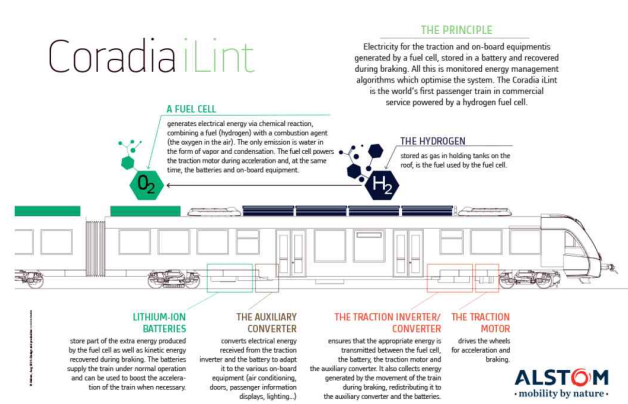
- '22.10월 차량 제작에 착수하여 '23년 울산광역시 태화강역~울산항역 구간 운행 예정



[그림 29] 현대로템 수소트램: 수소트램 콘셉트카(좌)[38], 울산구간 적용 예정 디자인(우)[39]

나. 국외 기술동향

- (프랑스) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년 수소연료전지 기술 기반 무공해 여객열차 Coradia iLint를 InnoTrans 전시
 - 기존의 iLint 54(디젤철도차량)의 동력원을 수소연료전지로 변경하여 최대 탑승 인원 300명, 최대속도 140km/h, 1회 충전으로 1,000km 이상 주행 가능
 - '22.9월, 단일 충전으로 19시간 운행하여 최대 1,175km 주행거리 확보
 - '18년 독일에서 최초 테스트 운행 시작 이래 유럽 각국에서 운행 중
 - '18년 독일 니더작센주(Lower Saxony)에서 최초 영업운행을 시작하였으며, '19년 네덜란드 흐로닝헌(Groningen) 지역에서 테스트 운행을 하였고, '20년 오스트리아 남부에서 세계 2번째 정기 서비스 개시
 - '22.8월 독일 니더작센주 브레머비르데(Bremervörde)에서 최초로 노선 전부가 수소로 구성된 정규 노선의 운행 시작
 - ▶ 현재 총 5편성 운영 중이며, 이후 '22년 말까지 총 14편성 투입하여 기존 운영 중인 15편성의 디젤철도차량 대체 예정
 - ▶ 총 9,300만 유로(1,240억원)가 투입되었으며, 연간 CO2 감축량 약 8만톤 예상
 - ▶ 동일 모델로 독일 프랑크푸르트, 이탈리아, 프랑스 등에 도입 예정



[그림 30] 프랑스 Alstom社 Coradia iLint[40]

□ (독일) Siemens社は 최첨단 구동 시스템을 갖춘 수소철도차량 Mireo Plus H 프로젝트 진행 중

- 1,700kW의 트랙션 파워, 최고속도 160km/h의 2량 1편성이 기본모델로 최대 800km까지 주행가능하고, 3량 1편성일 경우, 1,000km까지 주행 가능
 - '22.5월, 수소저장 용량이 10% 이상 증가하고, 스마트 제어장치를 탑재한 신형 수소저장탱크 공개
 - ▶ 탱크의 압력, 온도 및 용량 표시가 가능한 gas handling unit과 기차와 주유소 간의 통신으로 연료 유지가 가능한 스마트 인터페이스 탑재
 - 디젤 열차 1대 교체 시 연간 약 330톤의 CO2 절감 기대
- 시험 운영을 거쳐 독일에서 여객 서비스에 들어갈 예정이며, 다른 회사들과 협력하여 배터리와 수소충전소 등 개발에 투자
 - '23년 말 독일 바이에른에서 시험 운영을 거쳐 '24년 여객 서비스에 들어갈 예정(약 120,000km 규모)
 - 시운전 모델은 Ballard社와 협업하여 개발한 200kW×2 용량의 연료전지 사용
 - Deutsche Bahn社와 협업하여 15분내 충전이 가능한 전용 급속 수소 충전소 및 이동형 모바일 충전소를 개발하고 있으며, '22.9월부터 모바일 충전소를 활용한 연료 보급 시험 운영 개시



[그림 31] 독일 Siemens社 Mireo Plus H[41]

□ (영국) Porterbrook社는 버밍엄 대학교와 협업하여 기존 열차에 수소연료전지를 장착하여 수소열차 HydroFLEX를 개발

- HydroFLEX는 기존 철도차량인 Class 319 열차에 리튬-이온 배터리와 수소 연료전지를 함께 사용하는 하이브리드 방식으로 개발
- 기존의 오래된 노선의 낮은 높이의 터널 통과를 위해 기존 열차를 개조하였으며, Luxfer Gas Cylinders社의 연료 탱크 탑재
 - 연료탱크는 36개의 고압 탱크에 277kg 수소 연료를 사용하여 최대용량 400kW 달성
 - 최대주행거리 300마일, 최대시속 100mph이며, 50mph의 속도로 테스트 운행 완료('21.9월)



[그림 32] 영국 Porterbrook社 HydroFELX[42]

□ (스페인) CAF 컨소시엄과 TALGO社에서 수소철도차량 개발 및 테스트 실행

- 스페인의 CAF 공장에서 수소 동력 열차 프로젝트 FCH2Rail 테스트 시작
 - FCH2Rail은 CAF, DLR, Toyota, Renfe, Adif 등의 다국적 컨소시엄으로 구성되어 있으며, Renfe의 통근열차 Civia를 기반으로 기존 전기 열차에

수소연료전지를 장착한 Bi-mode 열차

- Talgo社は Ballard社の 수소전지를 공급받아 수소 열차를 ‘22년 시연 및 ‘23년까지 상용화 계획
 - ‘22.3월 수소로 구동되는 통근열차 Vittal-One열차의 테스트 수행
 - 연료 회사인 Repsol社와 협력하여 수소열차의 연료 부문 개발 진행
 - 최고속도 160km/h, 최대 800km 주행 가능



[그림 33] 스페인 CAF 컨소시엄 FCH2Rail(좌)[43], Talgo社 Vittal-One(우)[44]

□ (폴란드) PESA社は ‘21년 폴란드 국제 철도 전시회인 TRAKO에서 입환용 수소기관차 SM42-6Dn 전시

- SM42-6Dn은 4축 입환용 기관차로 Ballard社の 85kW×2 수소연료전지와 180kW×4 견인전동기, 167kWh 용량의 배터리 탑재로 최고속도 90km/h 운행 가능



[그림 34] 폴란드 PESA社 입환용 수소기관차 SM42-6Dn[45]

□ (체코) 기관차 제조업체 CZ LOKO社は HydrogenShunter1000의 개발 착수

- CZ LOKO社は ‘21.11월 입환용 수소 동력 기관차 HydrogenShunter1000 개발 착수

- HydrogenShunter1000은 최대 800kW 용량의 수소연료전지를 사용하며, 수소 외에도 하이브리드 방식도 고려 중으로 현재 타당성 검토 중



[그림 35] 체코 CZ LOKO社 HydrogenShunter1000[46]

□ (중국) ‘15년부터 수소트램 도입을 위한 기술개발과 함께 수소기관차 등 다양한 수소열차 개발 중

- CRRC Sifang은 중국 Foshan시에 ‘19.7월 첫 번째 수소트램 운영을 시작하였으며, ‘20.12월, 두 번째 트램 노선 건설 시작
- 세계 최초의 수소연료전지를 장착한 수소트램으로 연료전지와 캐패시터 하이브리드 방식으로 6개의 3.2kg 수소탱크가 탑재되어, 연료전지의 총 용량 200kW 달성(최대속도 70km/h, 1회 충전시 125km 주행 가능)



[그림 36] 중국 수소전기트램 (Foshan市)[47]

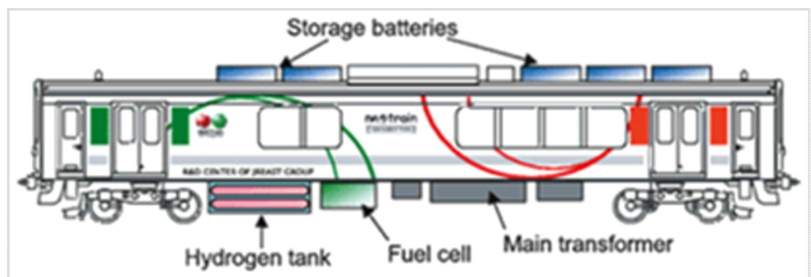
- CRRC Datong은 ‘21.1월 수소연료전지 하이브리드 기관차 개발하여 ‘21.10월부터 내몽골에서 시운전 중
- 최대전인하중 5000톤 설계시속 80km/h, 연속출력 700kW, 연속 24.5시간 운행 가능



[그림 37] 중국 수소기관차 (내몽골)[48]

□ (일본) '01부터 RTRI에서 세계 최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술을 확보하였으나, 수소 충전인프라 문제로 상용화에는 이르지 못함. '22년 JR East, Toyota, Hitach는 수소연료전지열차 Hybari의 시범 운행 개시

- 최초의 수소철도는 1량 구성으로, 차량 하부에 수소탱크 6개와 연료전지 2개 설치하여 최고속도 100km/h 주행 가능



[그림 38] 일본 세계 최초의 수소열차[49]

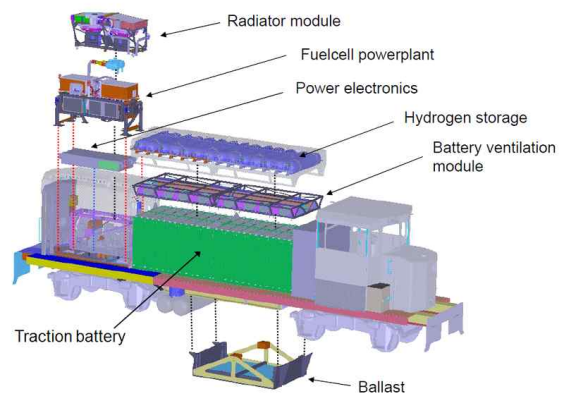
- Hybari는 JR East, Toyota, Hitachi 등 3개 회사가 합작하여 개발한 수소열차로 디젤열차를 대체하는 것이 목표
 - 최대속도 100km/h, 1회 충전시 최대 140km 주행거리를 확보하고, 60kW×4의 수소연료전지와 70MPa 수소저장탱크 사용



[그림 39] 일본 JR East社 Hybari[50]

□ (미국) 수소기관차, 수소열차, 수소트램 등 다양한 수소열차의 시연 및 도입 준비 중

- ‘08년부터 BNSF社は 국방부 지원으로 입환용 수소기관차 개발
 - 최대속도 64km/h, 35MPa 고압기체 수소, 납축전지와 하이브리드 구성으로 입환용 및 민간 재난구조에 사용
 - ‘21.12월 BNSF, Caterpillar, Chevron社は 화물용 수소기관차 개발을 위한 MOU 체결



[그림 40] 미국 BNSF社 입환용 수소기관차[51]

- ‘21.3월 Sierra Northern Railway(SERA)社は 캘리포니아 에너지 위원회 (California Energy Commission)로부터 400만 USD를 지원받아 입환용 디젤 기관차를 개조한 수소기관차 개발 착수



[그림 41] 미국 SERA社 입환용 수소기관차[52]

- 미국 샌버나디노 카운티 교통국은 스위스 Stadler社의 수소구동 하이브리드 차량 FLIRT H2 도입하여 '24년부터 운행 예정
 - Ballard社의 수소연료전지를 이용하며, '22.9월 독일 InnoTrans에서 해당 차량 전시



[그림 42] 스위스 Stadler社 FLIRT H2[53]

- TIG/m社は '21.10월 왓슨빌과 산타크루즈에서 수소트램 Coast Futura 프로젝트 시연



[그림 43] 미국 TIG/m社 수소트램 Coast Futura[54]

□ (캐나다) Canadian Pacific社는 ‘20.12월에 SD40-2F 디젤 열차를 개조한 H2 0EL 수소연료전지 화물 기관차 개발 착수 발표

- 디젤엔진과 발전기, 연료탱크 등을 Ballard社의 200kW 수소연료전지 모듈 다수와 수소저장탱크, 배터리로 교체하여 개발 진행
- ‘22.1월부터 H2 0EL(Hydrogen Zero Emission Locomotive) 시험차량 운행 시작



[그림 44] 캐나다 Canadian Pacific社 수소기관차 H2 0EL[55]

[표 20] 수소철도 국내외 개발현황

국내	○ 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 진행 중 - '18.4월부터 디젤동차 대체를 목표로 개발 진행 중이며, '22년까지 기술개발 후 실증 추진 예정	
	○ 민간주도 '21년 수소전기트램 성능시험 플랫폼 개발, 산업부의 해외수출형 수소전기트램 실증사업으로 핵심부품 기술개발 진행 중 ('21.09.~'23.12.)	
국외	○ (프랑스) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년 수소 연료전지 기술 기반 무공해 여객열차 Coradia iLint 개발 - '18년 독일에서 최초 테스트 운행 시작 이래 네덜란드, 오스트리아 등 유럽 각국에서 도입 진행 중	
	○ (독일) Siemens社は 최첨단 구동 시스템을 갖춘 수소철도차량 Mireo Plus H 프로젝트 진행 중 - 2량 1편성 기준, 최고속도 160km/h, 최대 800km 주행 가능 (3량 1편성의 경우 최대 1,000km 주행)	
	○ (영국) Poterbrook社は 버밍엄 대학교와 협업을 통해 기존 Class 319 열차에 수소연료전지를 장착한 수소열차 HydroFLEX 개발 - 최대주행거리 300마일, 최대시속 100mph로 설계되었으며, '21.9월 50mph의 속도로 테스트 운행 완료	
	○ (스페인) CAF 컨소시엄과 TALGO社에서 수소철도차량 개발 및 테스트 실행 - CAF 컨소시엄에서 FCH2Rail 프로젝트를 통해 Renfe社の 통근열차 Civia 기반의 수소열차 개발. 기존 팬터그래프 시스템과 수소연료전지의 Bi-mode 열차로 개발 - TALGO社에서 최고속도 160km/h, 최대 800km 주행가능한 통근열차 Vittal-One 수소열차 테스트 수행	 
	○ (폴란드) PESA社は '21년 폴란드 국제 철도 전시회인 TRAKO에서 입환용 수소기관차 SM42-6Dn 전시 - 85kW×2 수소연료전지와 180kW×4 견인전동기, 167kWh 용량의 배터리 탑재로 최고속도 90km/h 운행 가능	

- **(체코)** CZ LOKO社は `21.11월 입환용 수소기관차 HydrogenShunter1000 개발 착수
 - 최대 800kW 용량의 수소연료전지를 사용하며, 하이브리드 방식도 고려 중으로 현재는 타당성 검토 중



- **(중국)** `15년부터 수소트램 도입을 위한 기술개발과 함께 수소기관차 등 다양한 수소열차 개발 중
 - Foshan市에 `19.7월 시계 최초로 수소연료전지와 커패시터 하이브리드 방식의 수소트램 운영을 시작하였으며, 최대속도 70km/h, 1회 충전시 125km 주행 가능
 - `21.1월 최대건인하중 5,000톤, 설계시속 80km/h, 연속 출력 700kW 및 연속 24.5시간 운행이 가능한 수소기관차를 개발하여 같은 해 10월부터 내몽골에서 시운전 진행 중



- **(일본)** `01년부터 RTRI에서 세계 최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술 확보하였고, `22년 JR East, Toyota, Hitach는 수소열차 Hybari의 시범 운행 개시
 - 최대속도 100km/h, 1회 충전시 최대 140km 주행 가능하며, 60kW×4의 수소연료전지와 70MPa 수소저장탱크 사용

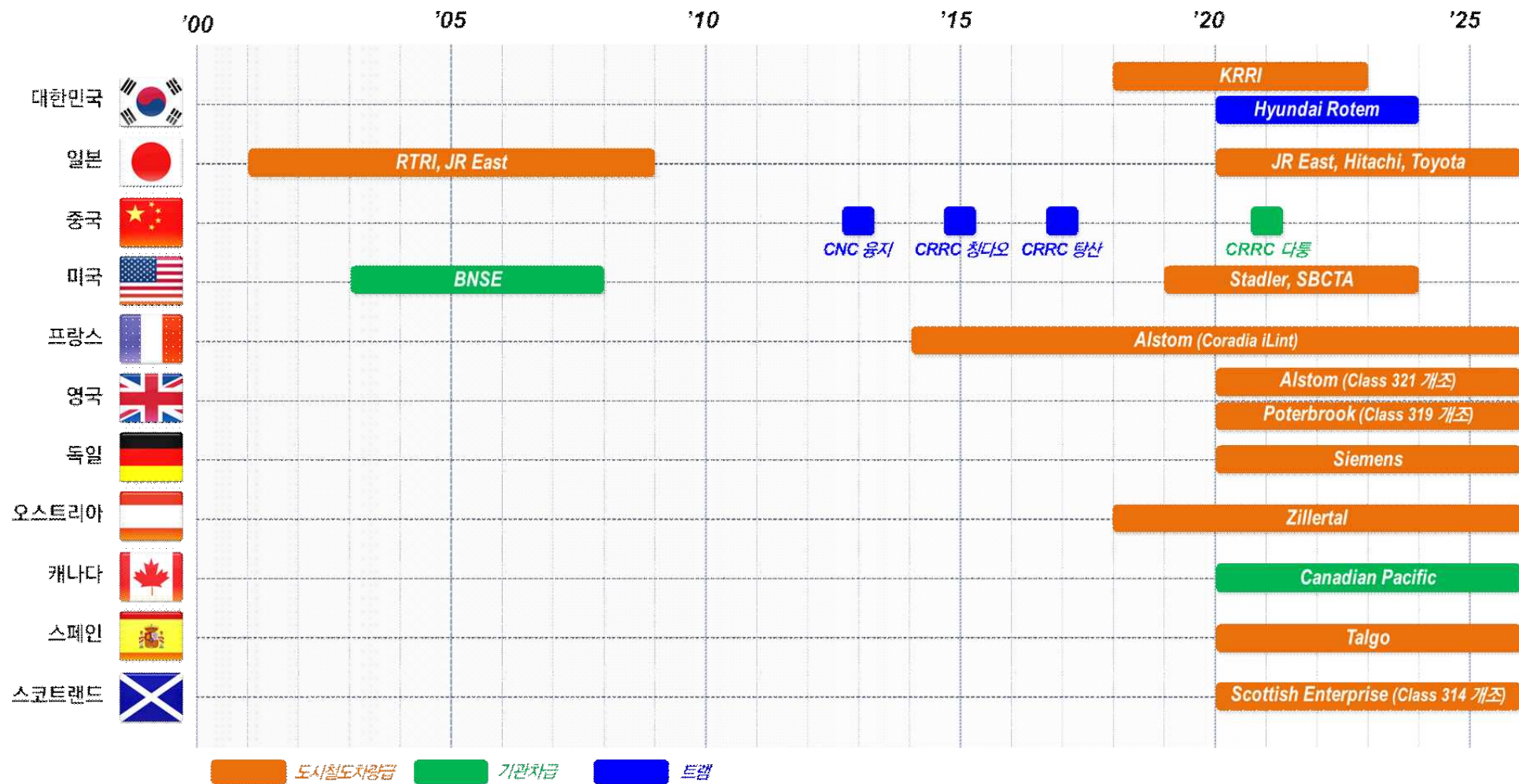


- **(미국)** 기관차, 여객열차, 소형 트램 등 다양한 수소열차 개발 및 도입 예정
 - `08년부터 BNSF社は 입환용 수소기관차 HH20B개발하였고, `21.12월 화물용 수소기관차 개발 착수를 위해 Caterpillar, Chevron社와 MOU 체결
 - SERA社は `21.3월 캘리포니아 에너지 위원회로부터 400만 USD를 지원받아 기존 입환용 디젤기관차를 수소기관차로 개조하는 프로젝트 착수
 - 스위스 Stadler社の 수소열차인 FLIRT H2를 도입하여 `24년부터 운행 예정
 - TIG/m社は `21.10월 소형 수소트램 Coast Futura 프로젝트 시연



- **(캐나다)** Canadian Pacific社は `20.12월에 수소연료전지 화물 기관차 H20EL 개발 착수 발표, 자사의 화물 기관차를 수소연료전지와 배터리로 동력 공급 장치를 개조하여 개발하였고, `22.1월부터 시험운행 시작





[그림 45] 연도별 수소철도 국내외 개발현황

2. 수소 관련 인프라

가. 철도차량용 수소충전소

- (국내) '22.9월 충북 오송에 국내 최초 철도차량용 수소충전소 구축
 - 한국철도기술연구원은 충북 오송 철도종합시험선로에 국내 최초 수소철도차량용 충전시설인 'K-수소철도 오송 충전소'를 구축
 - 35MPa의 압력으로 신속하고 원활한 수소 충전이 가능하도록 설계
 - 고압수소충전기(41.3MPa), 수소저장용기(50MPa), 충전기(35MPa) 등으로 구성
 - 수소전기동차 시험차량과의 인터페이스 확인 및 단계적 충전시험을 거쳐 운영 시작
 - 철도용 수소충전소는 국내외 기술기준이 아직 마련되지 않아 규제샌드박스 제도를 활용하여 충전시설 설치
 - 관련 업계·학계·유관기관 전문가로 안전관리위원회를 구성해 각종 평가기준, 안전기준, 기술 및 충전방법 등이 포함된 추가안전기준(안) 작성
 - 향후 실증 데이터 수집 및 분석을 통한 철도 분야 기술기준 제정 등 마련



[그림 46] K-수소철도 오송충전소

- (국외) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년부터 수소연료전지 기술 기반 무공해 여객열차인 Coradia iLint 개발하여 '18.9월부터 세계 최초로

영업 운영을 시작하였으며, 수소철도의 원활한 운영을 위해 Linde社와 함께 수소충전소 구축 및 운영 시작

- 하루 충전 가능한 용량으로 총 4,590kg의 수소저장이 가능하며, Coradia iLint 수소열차 12편성(130kg/편성) 충전 가능



[그림 47] Coradia iLint 수소충전소(Bremervörde, Germany)[56]

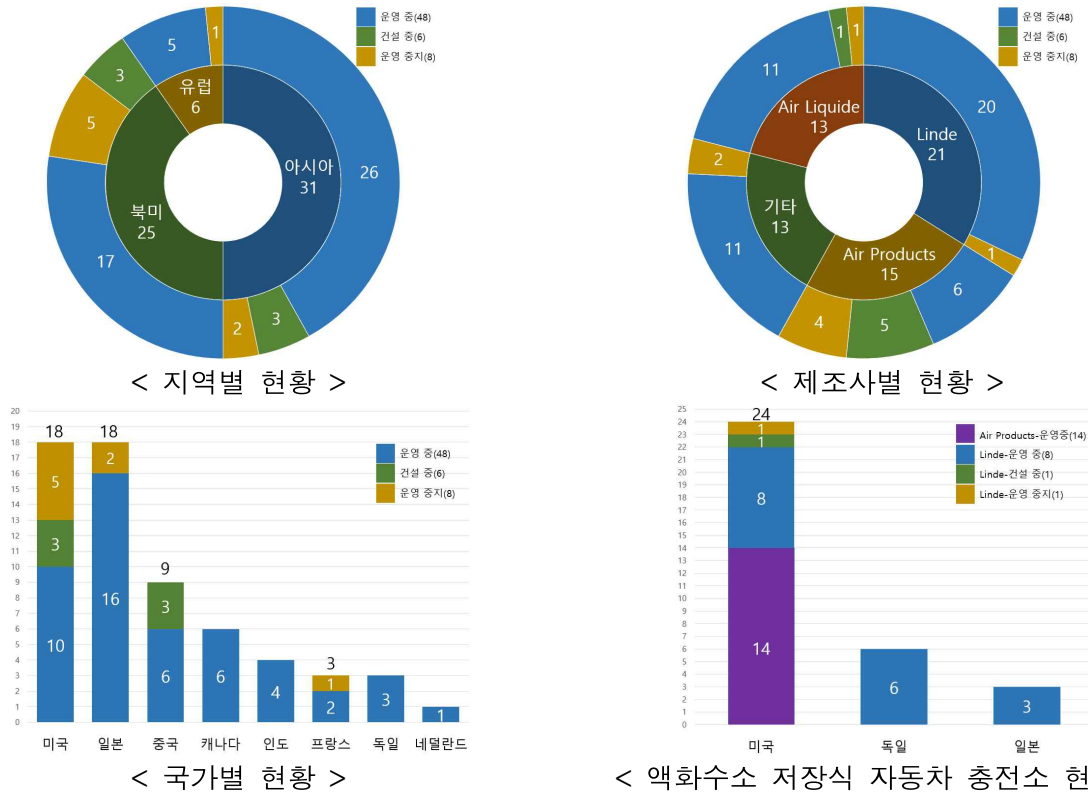
나. 액화수소 인프라 동향

(1) 국외 현황

- 수소차 보급이 확대됨에 따라 기체수소 저장방식의 수소충전소가 국내외에서 구축 및 운영이 되고 있으며, 향후 승용차보다 수소 사용량이 많은 상용차 보급이 확대하는데 필요한 액체수소 충전소 중심으로 수소충전 인프라 확대 전망
- 린데(Linde) 등 주요 3사* 자료에 의하면 국외 액화수소 플랜트는 총 62개소
 - * 린데(Linde), 에어프로덕츠(Air Products), 에어리퀴드(Air Liquide)
 - 지역별로는 북미 25기, 유럽 6기, 아시아 31기이며, 운영 현황별로는 운영중 48기, 건설 중 6기, 운영중지 8기
 - 국가별로는 미국 및 일본이 각 18기, 중국이 9기, 캐나다 6기 순

○ 제조사별로는 린데 21기, 에어프로덕츠 15기, 에어리퀴드 13기, 기타 13기 순

□ 액화수소 충전소는 33기 중 31기가 운영 중인 것으로 파악[57]



[그림 48] 국외 액화수소 인프라 현황

□ 국외 액화수소 생산설비의 제조능력과 관련하여 미국 액화수소 플랜트 중 가장 큰 규모는 55TPD급('64년, Linde)이나 현재 운영 중지된 상태이며, 최근 린데(Linde) 등 주요 3사는 30TPD급으로 운영 또는 건설 중

○ 에어프로덕츠가 중국에 건설 중인 플랜트 또한 30TPD급 ('22년~'23년)

[표 21] 전세계 수소 액화플랜트 설치·운영 현황[57]

No.	Country	Location	Operated by	Capa.(TPD)	Commission	Operation
America						
1	Canada	Sarnia	Air Products	30	1982	○
2	Canada	Montreal	Air Liquide Canada Inc.	10	1987	○
3	Canada	Becancour	Air Liquide	12	1988	○
4	Canada	Magog, Quebec	BOC	15	1989	○
5	Canada	–	Linde	16	1989	○
6	Canada	Montreal	BOC	14	1990	○
7	F.Guyana	Kourou	Air Liquide	2	1990	○
8	USA	Painsville	Air Products	3	1957	×
9	USA	West palm Beach	Air Products	3.2	1957	×
10	USA	West palm Beach	Air Products	27	1959	×
11	USA	Mississippi	Air Products	32.7	1960	×
12	USA	Ontario	Linde	20	1962	○
13	USA	Sacramento	Union Carbide,Linde Div.	54	1964	×
14	USA	–	Air Liquide – 3rd party	6	1964	○
15	USA	Nola A– New Orleans	Air Products	30	1965	○
16	USA	Nola B– New Orleans	Air Products	30	1977	○
17	USA	Niagara Falls	Linde	16	1981	○
18	USA	Sacramento	Air Products	5.7	1987	○
19	USA	Niagara falls	Linde	16	1988	○
20	USA	McIntosh	Linde	30	1995	○
21	USA	East Chicago, In	Linde	30	1997	○
22	USA	–	Linde	30	2021	○
23	USA	–	Air Liquide	30	2021	in construction
24	USA	Laporte TX	Air Products	30	2021	in construction
25	USA	Carson AZ	Air Products	10	2022	in construction
Subtotal (in operation)				502.6 (312.7)		
Europe						
1	France	–	Air Liquide – 3rd party	1	1966	×
2	France	Lille	Air Liquide	10	1987	○
3	Germany	Ingolstadt	Linde	4.4	1997	○
4	Germany	Leuna	Linde	5	2008	○
5	Germany	–	Linde	5	2021	○
6	Netherlands	Botlek–Rosenburg	Air Products	5.7	1987	○
Subtotal (in operation)				31.1 (30.1)		
Asia						
1	China	Beijing	CALT	0.6	1995	○
2	China	–	Linde	1	1995	○
3	China	–	Air Liquide – 3rd party	1	2007	○
4	China	–	Air Liquide – 3rd party	2.5	2011	○
5	China	–	Air Liquide – 3rd party	1	2011	○
6	China	–	Air Liquide – 3rd party	1	2012	○
7	China	Jupiter1	Air Products	30	2022	in construction
8	China	Jupiter2	Air Products	30	2022	in construction
9	China	Jiutai	Air Products	30	2023	in construction
10	India	Mahendragiri	ISRO	0.3	1992	○
11	India	India	Asiatic Oxygen	1.2	–	○
12	India	Saggonda	Andhra Sugars	1.2	2004	○
13	India	–	Linde	1	2005	○
14	Japan	–	Air Liquide – 3rd party	1	1977	○
15	Japan	Amagasaki	Iwatani	1.2	1978	×
16	Japan	Tashiro	MHI	0.6	1984	×
17	Japan	Akita Prefecture	Tashiro	0.7	1985	○
18	Japan	Oita	Pacific Hydrogen	1.4	1986	○
19	Japan	Tane–Ga–Shima	Japan Liquid Hydrogen	1.4	1986	○
20	Japan	–	Linde	1	1986	○
21	Japan	Minamitane	Japan Liquid Hydrogen	2.2	1987	○
22	Japan	–	Air Liquide – 3rd party	1.5	1988	○
23	Japan	Kimitsu	Air Products	0.3	2003	○
24	Japan	–	Linde	1	2003	○
25	Japan	Osaka	Iwatani (Hydro Edge)	11.3	2006	○
26	Japan	–	Linde	5	2006	○
27	Japan	–	Linde	5	2006	○
28	Japan	Tokyo	Iwatani, built by Linde	10	2008	○
29	Japan	–	Linde	5	2011	○
30	Japan	–	Linde	5	2017	○
31	Japan	–	Linde	5	2019	○
Subtotal (in operation)				254.4 (67.6)		
Worldwide (in operation)				788.1 (410.4)		

[표 22] 액화수소 저장식 자동차충전소 현황('21년 기준)[57]

Continent/ Country	Operated by	Capacity (kg/hr)	Operation
America			
USA Studio City	Linde	40	O
USA Oakland	Linde	40	O
USA Campbell	Linde	40	O
USA Placentia	Linde	40	O
USA Sherman Oaks	Linde	40	in commissioning
USA Sunnyvale	Linde	40	O
USA Fountain Valley	Linde	40	O
USA Mission Hills	Linde	40	O
USA Alisio Viejo	Linde	40	O
USA Concord	Linde	40	O
USA CA	Air Products	—	O
USA OH	Air Products	—	O
USA TN	Air Products	—	O
USA MI	Air Products	—	O
USA PA	Air Products	—	O
USA MA	Air Products	—	O
USA GA	Air Products	—	O
USA AL	Air Products	—	O
USA TX	Air Products	—	O
USA GA	Air Products	—	O
USA CA	Air Products	—	O
USA CA	Air Products	—	O
USA KY	Air Products	—	O
USA AL	Air Products	—	O
Europe			
Germany	Linde	40	O
Germany	Linde	40	O
Germany	Linde	40	O
Germany	Linde	40	O
Germany	Linde	40	O
Germany	Linde	40	O
Asia			
Japan	Linde	100	○
Japan	Linde	100	○
Japan	Linde	100	○

(2) 국내 현황

- (상용플랜트) 효성, SK, 에어프로덕츠 등이 울산, 창원, 인천에 액화수소 제조·저장시설, 운송차량 및 충전소 구축 추진 ('21~'25)
 - 4개소는 10,000톤/년의 대형급, 소규모 실증용 포함 65,883톤/년(180.5톤/일, '25년 기준 북미생산 47.2% 수준)

[표 23] 상용 액화수소 플랜트 사업 현황[57]

	린데- 효성	하이창원-에어리퀴드	에어프로덕츠	SK-AL	가스공사-지역난방
사 업 비	약 3,000억원	약 1,200억원	약 3,000억원	약 5,000억원	약 3,000억원
사업기간	2021 ~ 2022(예정)	2021 ~ 2022(예정)	2022 ~ 2024(예정)	2021 ~ 2023(예정)	2022 ~ 2025(예정)
사업내용	액화수소 제조 및 저장시설/ 운송차량/ 충전소				
생산규모	13,000 ton/년	1,700 ton/년	10,000 ton/년	30,000 ton/년	10,000 ton/년
저장용량	27ton×4기	14ton×1기	32ton×6기	20ton×6기	-
설치지역	울산	창원	울산	인천	평택

- (실증 플랜트) 강원도는 액화수소 전주기(생산,운송,저장,활용) 실증, 충남도는 드론용 액화수소 용기 실증, 국토부는 기계연을 주관으로 액화수소 실증플랜트 사업 추진 중

[표 24] 실증용 액화수소 플랜트 관련 사업 현황[57]

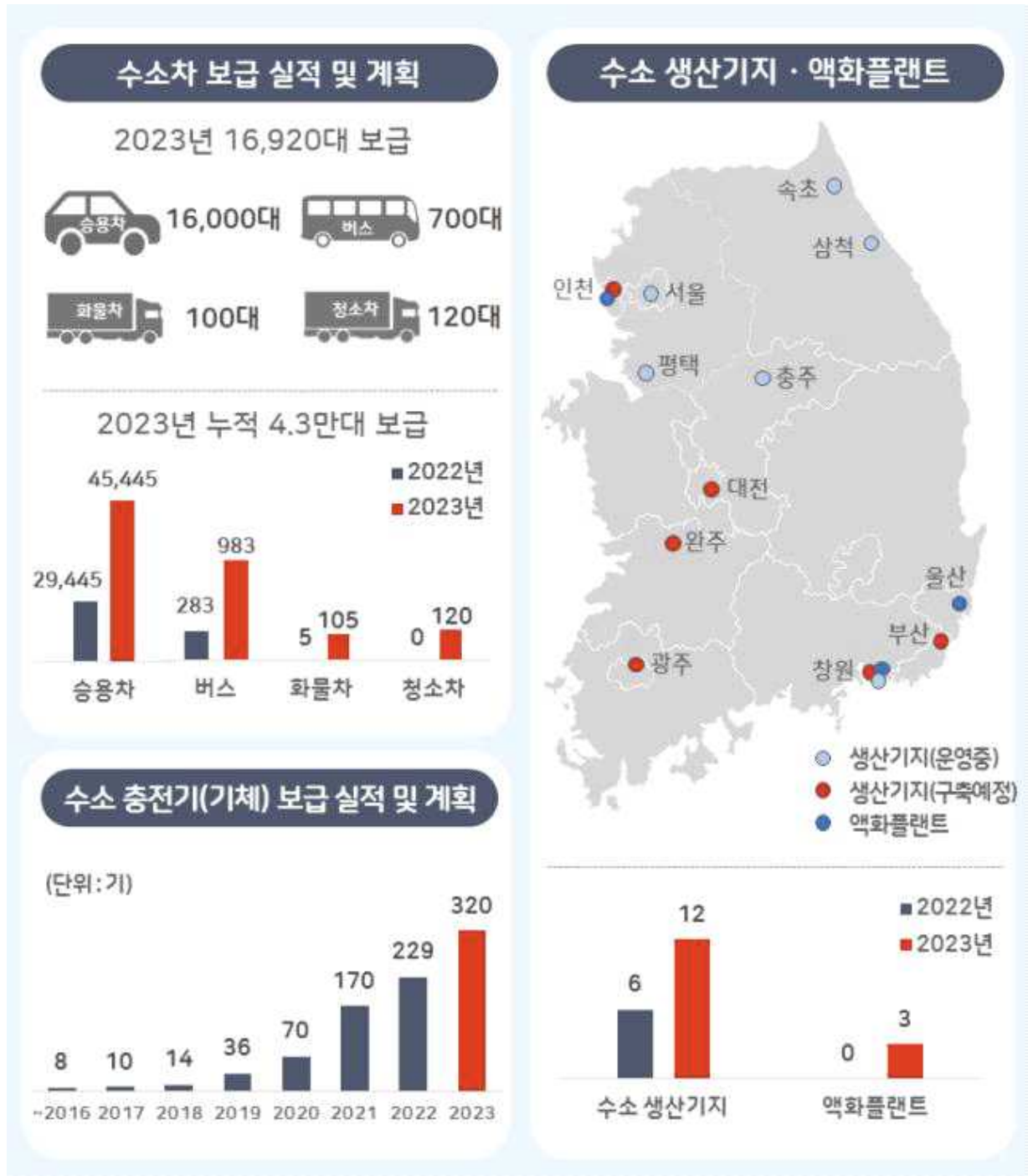
	강원	충남	김해
사 업 비	305억원	142억원	381억원
사업기간	'20.8.1. ~ '24.7.31.(4년)	'20.8.1. ~ '24.7.31.(4년)	'19.6.26 ~ '23.12.(4.5년)
사업내용	액화수소 제조 및 저장시설/ 운송차량/ 충전소	드론용 액화수소 용기/ 드론용 액화수소 소형 연료전지 실증 등	상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발
참여기업	하이리움산업(주)/ 강원TP 등 다수기업	한국원자력연구원,(주)발맥스기술 등	한국기계연구원, (주)발맥스 등 다수기업 및 연구기관
생산규모	0.2 ton/day	미정	0.5 ton/day
저장용량	0.4ton*2기	미정	-

[표] 국내 액화수소 플랜트 관련 사업 현황

인천 (상용플랜트) (11만톤/년)	2023 ~ 2025 / 5,000억원	2020 ~ 2024 / 305억원	강원 (상용플랜트) (10만톤/년)
	- SK(주)수소사업추진단, 에어리퀴드 코리아 등 30,000 ton/year 규모 - SK인천석유화학 부지 내	- 액화수소 생산 및 저장제품, 액화수소 충전소, 액화수소 모빌리티 상용화 실증 사업 0.2 ton/day 수소액화설비 400L급 액화수소 저장용기	
평택 (상용플랜트)		울산 (상용플랜트)	
2022 ~ 2025		2021 ~ 2022	
3,000억원		3,000억원	
- 가스공사, 지역난방공사 10,000 ton/year 규모 - 가스공사 평택기지 인근		-효성, 린데코리아 등 -13,000 ton/year 규모 -충전소 21개소 -효성 용연공장 내	
충남 (실증용)		울산 (상용플랜트)	
2020 ~ 2024		2021 ~ 2024	
142억원		1,300억원	
- 이동식 액화수소 충전시스템 - 수소 드론 장거리 비행 실증		-에어프로덕츠 코리아 등 -11,000ton/year 규모 -충전소 2개소 -울산 울주군 온산읍	
창원 (상용플랜트) (11만톤/년)	2021 ~ 2022 / 1,200억원	2019 ~ 2023 / 381억원	김해 (상용플랜트) (10만톤/년)
	- 두산중공업, 에어리퀴드코리아 등 1,700ton/year 규모 - 두산중공업 부지 내	- 상용급 액체수소 플랜트핵심 기술 개발 사업(연구사업) - 기계연구원 등 국토부 국책과제 0.5 ton/day 규모 - 김해 기계연 부지 내	



- '22년 말 기준 국내 수소충전소는 총 229기가 구축되어 있으며, 환경부는 '23년 말까지 91기를 추가 구축하여 총 320기 구축 예정
- 수소차는 '22년 말 기준으로 29,733대 보급 되어 있으며, 환경부는 연말까지 16,920대를 추가 보급하여 총 4만 7천대를 보급할 예정

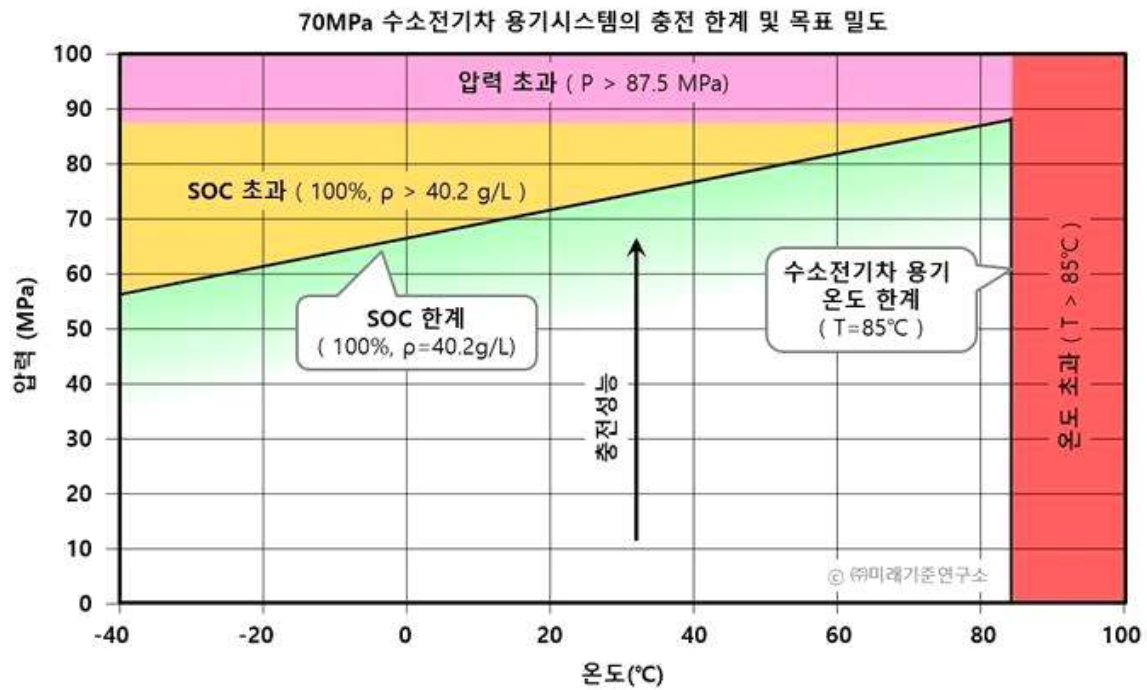


[그림 49] '23년 수소차·충전기 보급 및 생산기지·액화플랜트 구축 계획[58]

다. 수소 충전 프로토콜 기술 현황

□ 미국

- 세계 최초로 미국의 SAE(자동차 기술학회, Society of Automotive Engineers)가 2010년에 수소 충전 프로토콜 기준인 SAE J2601을 발표함
- SAE J2601은 경량 자동차(light duty vehicle) 기준으로 록업테이블 기반의 TIR(가이드라인)을 제공하고 있으며 주기적으로 보강 및 개정을 추진하고 있음
- SAE J2601에 의거하면 아래의 충전 조건을 만족할 때 3분 내로 충전률 95% 달성이 가능함
 - ① 대기온도 : 20 ° C
 - ② 충전 압력 : 35 MPa
 - ③ 충전 용기 용량 : 1.2 ~ 6.0 kg
 - ④ 충전 가스 온도 : -40 ~ -33 ° C
- SAE J2601에서는 용기 온도(-40 ~ 85°C), 충전 압력(0.5 ~ 87.5MPa), 충전율(100% 이하), 충전 속도(60g/s 이하)에 대한 제한 조건이 규정되어 있음
- [그림 49]는 J2601의 록업 테이블 중 하나이며 非통신충전, 충전압력 H70(70MPa), 충전온도범위 T40(-40 ~ -33°C)에 적용 가능함
- 대기온도가 20°C 이고 초기 용기 압력이 10MPa일 경우, 평균 압력 상승률을 19.9MPa/min, 목표압력을 74.1MPa로 설정할 것을 지시하고 있으며 록업테이블의 조건을 따르면 용기의 압력 및 온도 조건을 이탈하지 않으면서 안전하게 최대한의 충전율로 충전이 가능함
- 2016년에 개정된 J2601에는 MC-Formula 기반의 프로토콜이 추가된 것으로 계측 장치를 이용해 수소의 공급 온도, 공급 압력, 대기 온도, 용기 용량 및 용기 압력을 실시간으로 측정하고 그 값에 따라 목표 압력과 같은 변수를 변경하며 충전하는 방식임
- 보다 짧은 시간에 높은 충전율로 수소 충전이 가능하므로 록업테이블 방식에 비해 보다 개선된 방식임
- 경량 자동차보다 큰 연료 전지차의 수소 충전에 관해서는 2013년에 발표한 SAE J2601-3 과 2014년에 발표한 SAE J2601-2 프로토콜이 있음



[그림 50] 미국 수소 충전 프로토콜 SAE J2601의 충전제한조건[59]

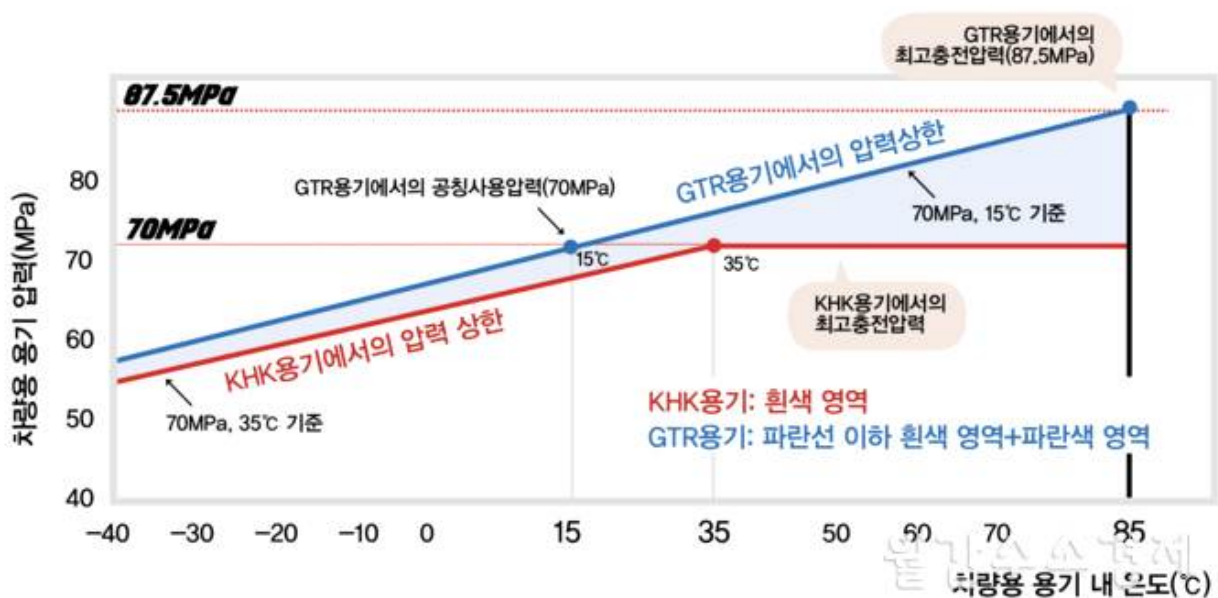
H70-T40 7-10kg non-comm		APRR [MPa/min]	Target Pressure, P _{target} [MPa]											
			Initial Tank Pressure, P ₀ [MPa]											
			0,5	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	> 70
Ambient Temperature, T _{amb} [°C]	> 50	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling
	50	7,6	77,9	78,8	78,4	77,9	77,3	77,3	76,5	76,0	75,2	74,3	72,8	no fueling
	45	11,0	75,8	77,4	78,1	77,6	77,0	77,2	76,4	76,0	75,1	74,2	72,8	no fueling
	40	14,5	72,8	75,3	77,9	77,3	76,7	77,0	76,2	75,9	75,0	74,2	72,7	no fueling
	35	15,3	72,2	75,1	77,4	76,8	76,2	76,6	75,8	75,6	74,8	74,0	72,7	no fueling
	30	17,9	70,5	73,9	76,7	76,0	76,2	75,7	74,8	74,5	73,6	72,7	71,3	no fueling
	25	19,9	71,1	75,0	75,9	75,2	75,3	74,8	73,7	73,4	72,3	71,3	no fueling	no fueling
	20	19,9	75,7	75,4	75,0	74,1	74,3	73,7	72,5	72,1	71,0	69,9	no fueling	no fueling
	10	19,9	74,0	73,7	73,1	72,0	72,3	71,6	70,8	69,6	68,6	67,0	no fueling	no fueling
	0	19,9	73,0	72,5	71,6	71,2	70,2	69,4	68,4	67,1	65,8	64,1	no fueling	no fueling
	-10	19,9	72,3	71,8	70,9	70,4	69,1	67,7	66,0	64,4	63,0	61,2	no fueling	no fueling
	-20	19,9	71,5	71,0	70,2	69,7	68,4	67,1	64,9	62,0	60,1	no fueling	no fueling	no fueling
	-30	19,9	70,5	70,1	69,3	68,9	67,7	66,3	64,3	61,4	58,5	no fueling	no fueling	no fueling
	-40	19,9	70,0	69,6	68,8	68,4	67,2	65,9	63,9	61,1	58,4	no fueling	no fueling	no fueling
	< -40	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling	no fueling

[그림 51] SAE J2601 록업테이블 예시[59]

- SAE J2601-3은 산업용 트럭(industrial trucks)을 적용 대상으로 하고, SAE J2601-2는 중량 자동차(heavy duty)를 적용 대상으로 규정하지만 두 프로토콜 모두 J2601의 록업 테이블과 같은 구체적인 기준은 없고 제한 조건과 충전 목표만 제시하고 있음
- 중량 자동차 충전 프로토콜인 SAE J2601-2의 충전요구조건은 용기온도 $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$, 충전압력 $0.5 \sim 43.8\text{MPa}$ 이하이고 3개의 충전 속도 옵션*을 제공함
- * 3개의 충전 속도 옵션 : 급속 충전(Option A)은 120g/s 이하, 보통충전(Option B)은 60g/s 이하, 완속 충전(Option C)은 30g/s 이하

□ 일본

- 일본은 2010년 KHK 규격으로 70MPa 차량용 압축수소 용기 기준을 제정한 후 JPEC에서 SAE J2601을 기반으로 하는 JPEC-S 0003 수소 충전 프로토콜을 발표하였고 이 프로토콜은 70 및 35MPa 압력 수준에서 수소를 충전할 수 있는 4개의 록업 테이블을 제공함
- 2014년 공칭사용압력(15°C 에서의 압력)과 최고충전압력(공칭사용압력의 1.25 배, 87.5MPa)의 개념을 도입하여 기존 용기압력의 한계인 $35^{\circ}\text{C}@70\text{MPa}$ 를 개선하고 최고 $85^{\circ}\text{C}@87.5\text{MPa}$ 까지 사용 가능한 국제용기기준(GTR13)을 법령으로 반영함



[그림 52] 일본의 수소충전압력 조정 내역[59]

- JPEC-S 0003에는 경량 자동차만을 대상으로 하는 SAE J2601의 적용 범위를 확장한 10kg 초과 30kg 이하 용량의 용기에 적용 가능한 프로토콜을 포함하고 있지만 MC-Formula 베이스 충전기준이 부재함
- 일본은 일반고압가스 보안규칙과 관련 예시 기준(JPEC-S)를 적용하여 과충전방지 시스템을 구축하였음
- JPEC-S는 용기 압력, 외기 온도, 초기 용기 압력에 따라 JPEC-S 기준을 만족하는 범위 내에서만 충전이 가능하고 용기온도의 이상 상승을 방지하기 위해 자동충전 방지장치를 설치하도록 하고 있음

別表16 H35-T40 2.4-4.2kg 通信充填										
外気温度 (°C)	目標圧力 上昇率 (MPa/min)	目標圧力 (MPa)								
		初期圧力 (MPa)								
		0.5	2	5	10	15	20	30	35	>35
>50	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可
50	5.1	42.6	42.6	42.5	42.4	42.2	42.0	41.2	40.5	充填不可
45	8.1	42.6	42.6	42.5	42.3	42.0	41.6	40.6	39.9	充填不可
40	11.5	42.7	42.6	42.4	42.1	41.7	41.2	40.0	39.2	充填不可
35	12.4	42.7	42.6	42.4	42.1	41.6	41.2	40.0	39.1	充填不可
30	15.3	42.7	42.6	42.4	41.9	41.4	40.9	39.6	38.6	充填不可
25	18.5	42.8	42.6	42.4	41.8	41.2	40.6	39.2	充填不可	充填不可
20	21.8	42.8	42.7	42.3	41.7	41.0	40.3	38.7	充填不可	充填不可
10	28.0	42.9	42.7	42.2	41.5	40.6	39.8	38.0	充填不可	充填不可
0	28.5	42.5	42.2	41.7	40.7	39.7	38.7	36.5	充填不可	充填不可
-10	28.5	42.3	42.0	41.5	40.6	39.6	38.5	36.4	充填不可	充填不可
-20	28.5	42.0	41.8	41.3	40.4	39.4	38.4	充填不可	充填不可	充填不可
-30	28.5	41.8	41.6	41.0	40.1	39.1	38.2	充填不可	充填不可	充填不可
-40	28.5	41.6	41.4	40.8	39.9	38.9	38.0	充填不可	充填不可	充填不可
<-40	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可	充填不可

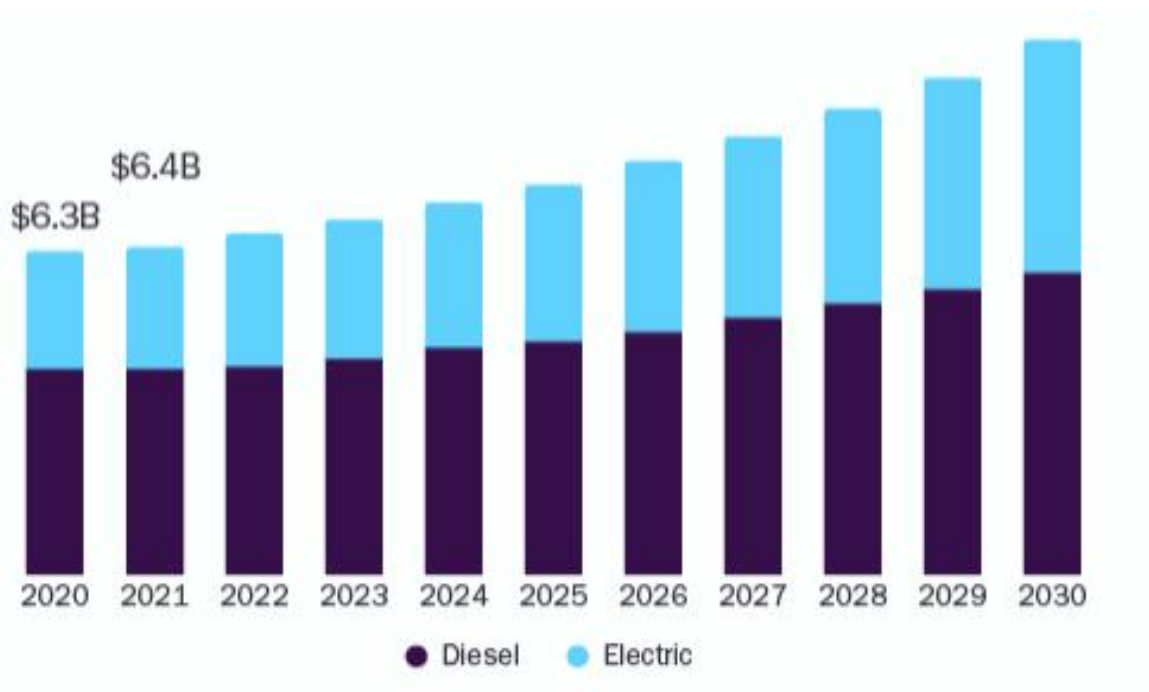
[그림 53] JPEC-S 0003 록업 테이블 예시[60]

제4절 : 시장 · 산업동향

1. 시장동향

□ 해외 수소열차의 점유율은 지속적으로 상승중

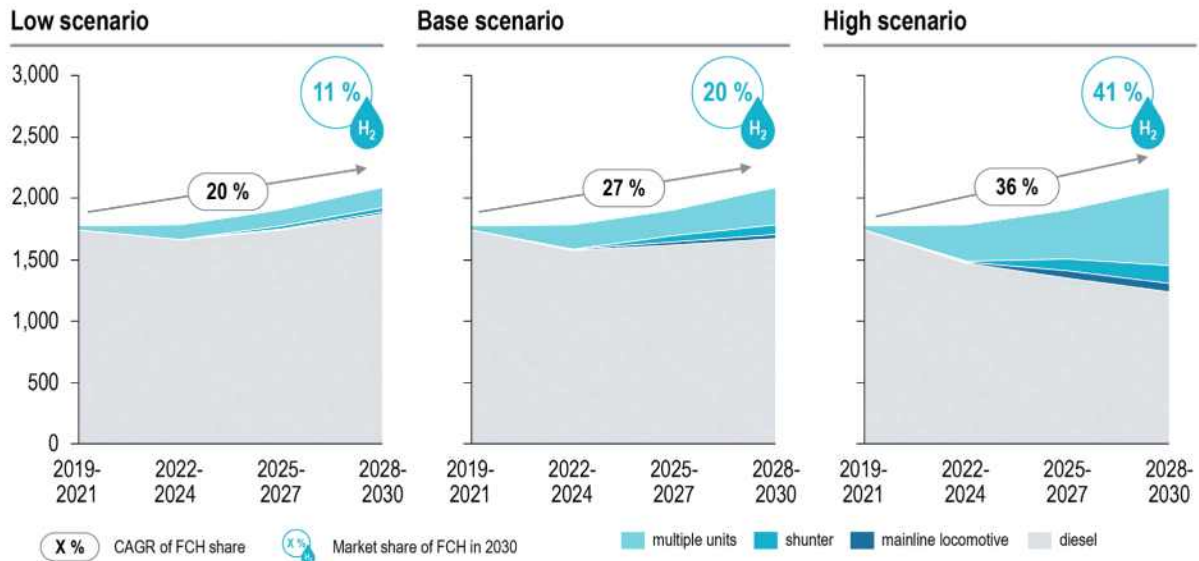
- 미국은 연평균 수소를 포함한 전기열차의 점유율이 연평균 7.5% 이상 늘어날 것으로 예상
 - 과거 예상에 비해 디젤열차가 빠르게 대체되고 있음을 확인



[그림 54] 미국 철도 시장 점유율 예상(디젤vs전기)[61]

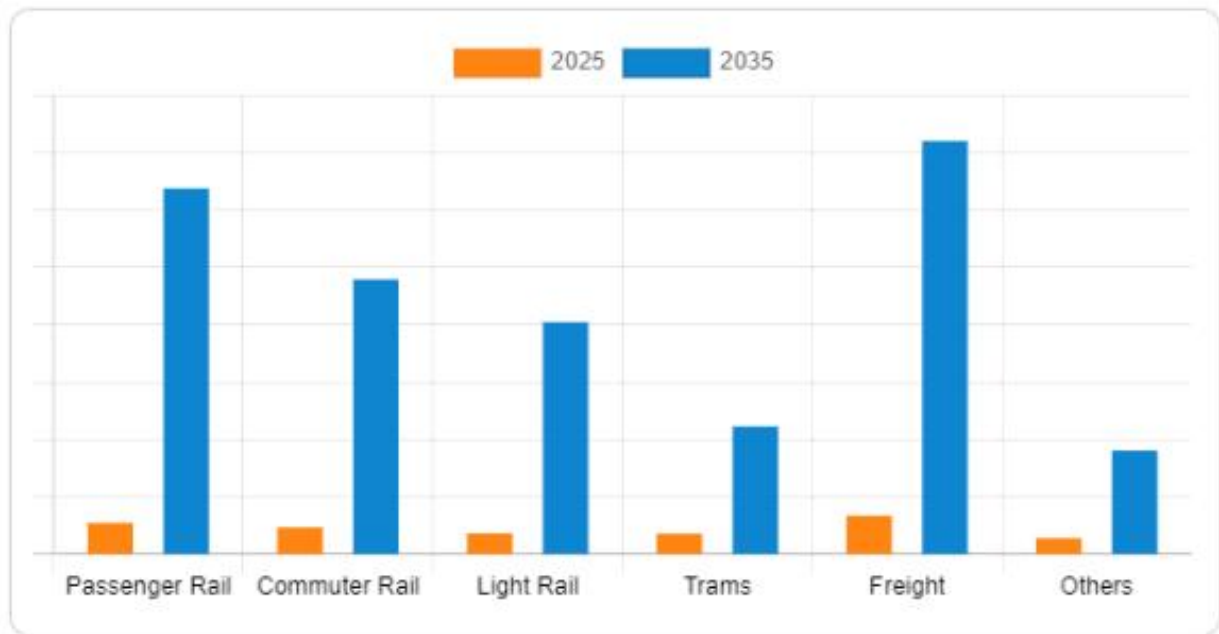
□ 해외 각종 매체들은 수소 열차 시장의 성장 가능성을 높게 평가

- EU의 FCH JU의 예측 결과에 따르면 유럽에서 수소열차는 2030년까지 최소 20%, 최대 41%의 점유율을 달성할 것으로 기대
 - Low, Base, High 시나리오에 따라 유럽에서 2030년까지 수소열차는 각각 11, 20, 41%의 점유율을 달성할 것으로 예상



[그림 55] 유럽 시장에서 수소열차의 잠재력에 관한 3가지 시나리오[17]

- 모건 스탠리의 분석에 따르면 유럽에서 수소열차는 '50년까지 240~480억 달러 규모로 크게 성장할 것으로 예상
 - 또한 '30년까지 전기화되지 않은 열차의 10%를 수소열차로 대체될 것으로 예상
 - Alstom社は '35년까지 5000대의 디젤 열차가 대체될 것으로 전망
- '22년 Allied Market Research의 보고서에 따르면 수소 연료전지 기차 시장은 '25년 26.7억 달러에서 '35년 264.1억 달러로 연 평균 28.2%의 급속한 성장을 보일 것으로 기대
 - 철도 인프라 투자 증가, 환경 문제, 글로벌 수소 시장 증가 등의 요인으로 급격한 성장을 보일 것으로 전망
 - '20년 코로나19 이후 기존 수소 열차 기업들인 Alstom, Stadler와 같은 주요 업체들의 생산이 중단되는 등 시장 위축 경향을 보였으나 '21년부터 다시 회복되는 추세
 - 독일의 Siemens, 일본의 JR East등 여러 기업들이 수소열차 관련 R&D의 규모를 확대 중
 - '35년 기준 분야별 수소연료전지 열차 시장 규모는 화물열차, 여객열차, 통근열차, 경전철, 트램 순으로 전망



[그림 56] 유형별 수소연료전지 열차 시장 예상[62]

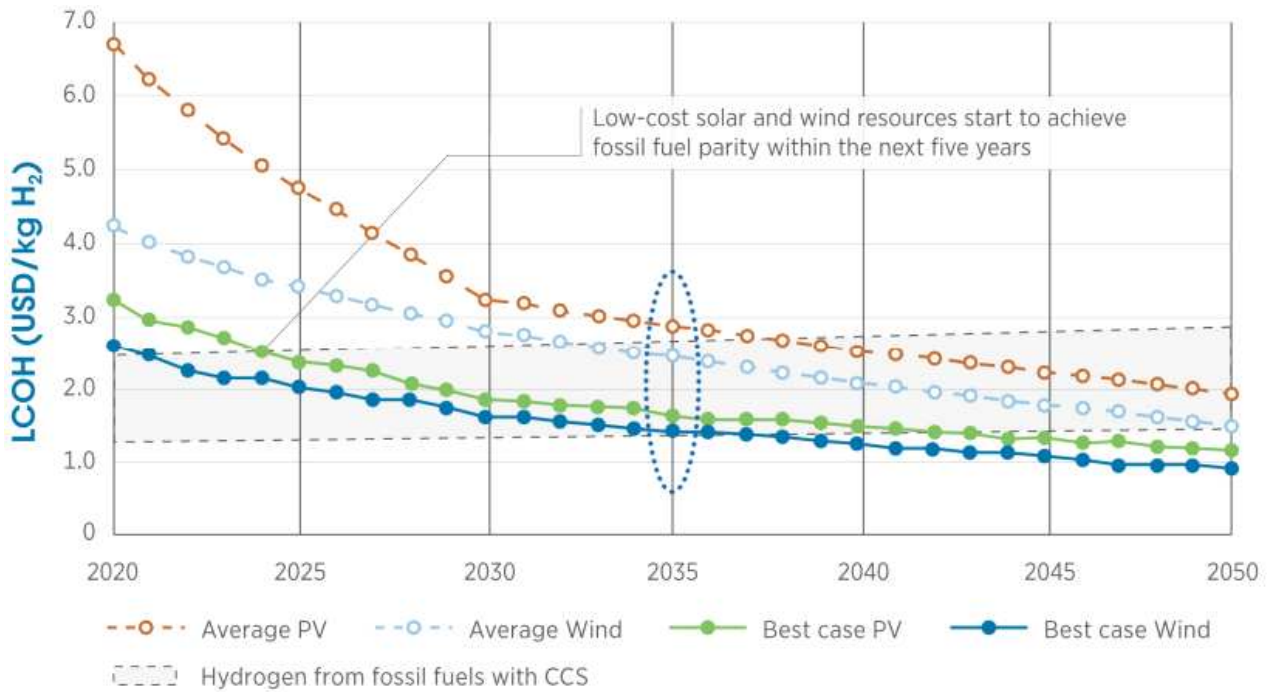
□ 수소 열차는 경제적/환경적 측면에서 경쟁력이 충분

- EU와 Roland Berger의 보고서에 따르면 수소철도는 다양한 상황에서 디젤, 및 가선전철 등과 비교했을 때 경제적/환경적으로 장점이 명확
 - 수소철도의 비용은 비전철화 구간에서는 디젤보다 약간 비싼 수준이며 환경적 측면을 고려 시 수소철도는 디젤과 비교하여 경쟁력이 충분
 - ▶ 스페인 Aragon 지방의 165km 비전철화 구간에 대한 사례 분석 결과, 예상 운영 비용은 디젤 9.3, 수소 12.4, 가선 22.6, 배터리 13.7EUR/km로 분석되어 디젤 보다는 약간 비싸고 가선전철보다는 싼 편
 - ▶ 연간 767ton의 탄소를 감축하는 환경적 영향을 고려했을 때 수소철도의 경쟁력이 충분한 것으로 판단
 - 수소철도는 상대적으로 장거리 운행 노선에서 경제적인 장점이 존재
 - ▶ 네덜란드 Groningen&Friesland의 300km 장거리 구간 분석 결과 예상 운영 비용이 디젤 4.8, 수소 5.0, 가선 4.5, 배터리 5.3EUR/km로 평이
 - ▶ 연간 56,389t의 탄소 감축을 고려하면 수소 열차가 적합한 것으로 결론

Multiple unit case studies	Aragon, Spain	Groningen & Friesland, Netherlands
Track length	165 km	300 km
Rolling stock	2x 4 car trains (bi-mode)	70x 3 car trains
H ₂ consumption	0.31 kg/km 240 kg/day	0.22 kg/km 16,500 kg/day
Total CAPEX	EUR 14 m	EUR 398 m
Characteristics	Cross border connectivity and long route without electrification	Fast trains for intercity connections
Total cost of ownership [EUR/km_{train}]		
Diesel 	9.3	4.8
FCH 	12.4	5.0
Catenary 	22.6	4.5
Battery 	13.7	5.3
Environmental analysis		
CO ₂ savings [tons per year] 	767 t	56,389 t

[그림 57] 수소동차의 사례 분석(스페인, 네덜란드)[17]

- 수소생산비용은 지속적으로 하락할 것으로 전망되어 경제적 전망은 긍정적
 - 청정 재생에너지 기반의 친환경 수소인 그린수소는 지속적으로 생산 비용이 하락하여 10~15년 후에는 블루수소 생산비용보다 낮아질 것으로 전망
 - 현재 청정수소의 대부분은 화석연료 기반으로 생산된 수소에 탄소포집·저장기술을 사용하는 블루수소로 kg당 1.34~3.34 달러의 생산 비용이 소모되며, 친환경 대체 에너지 기반의 그린수소는 kg당 10달러로 현재는 가격 경쟁력이 부족
 - 수전해 설비의 CAPEX, 대규모 수소생산 프로젝트 등으로 인해 ‘30년 청정 에너지 기반의 그린수소 생산비용은 ‘20년 대비 62%까지 하락할 것으로 예상되며 ‘35년 이후에는 블루수소와 비용 측면에서도 경쟁력을 갖출 것으로 기대
 - 향후 그린 수소 생산 비용은 ‘50년 kg당 0.55~1.49달러까지 하락할 것으로 전망



[그림 58] 글로벌 청정(그린, 블루)수소 생산비용 전망[18]

- 원자력 기반 그린수소 생산 비용은 이미 대체 에너지 기반 그린수소의 1/5 수준으로 매우 저렴하여 경제적으로 강점 존재[19]
 - 국제원자력기구에 따르면 원자력 발전으로 만들어내는 그린수소 1kg의 단가는 2.5달러로, 해상풍력으로 생산한 그린수소의 1/5 수준
 - 국내의 경우 원전의 발전원가가 낮아 원전 운영을 통해 그린수소 생산 시 1kg당 최대 1.7 달러 수준까지 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대

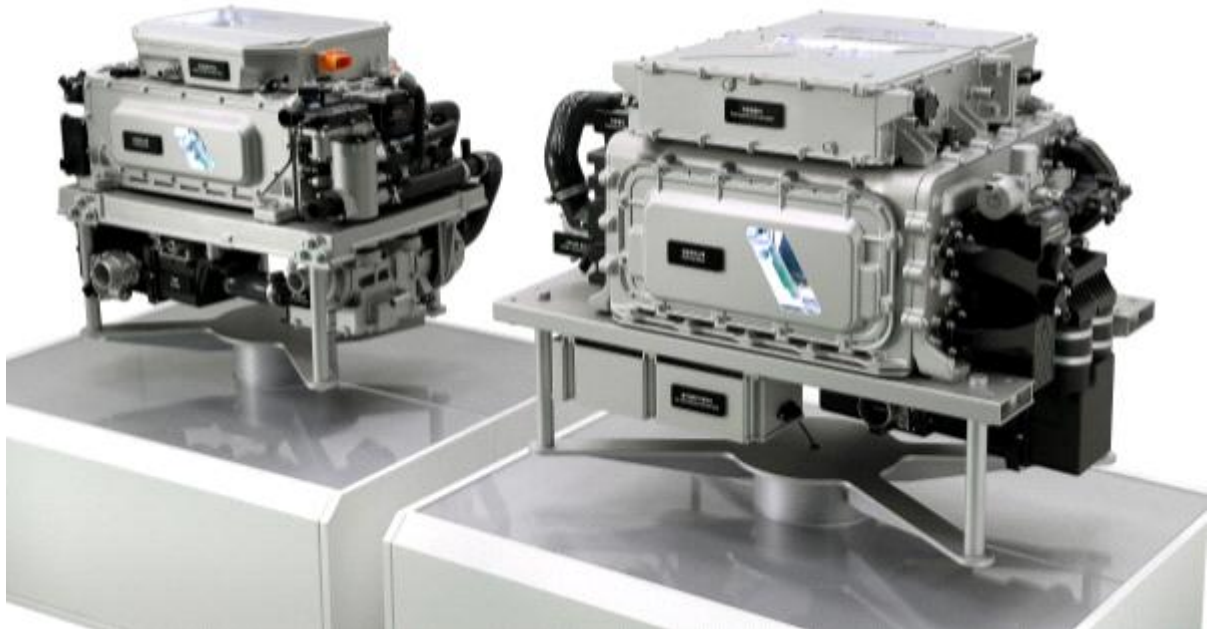
2. 산업동향

가. 수소연료전지 발전팩 산업 동향

- '21.9월 현대차는 수소열차용 105kW급 연료전지 공개
 - 현대자동차는 기존 넥쏘 95kW급 수소연료전지보다 부피와 비용이 감소한 3세대 연료전지 공개
 - 100kW급은 기존에 비해 부피가 30% 감소했고, 200kW급은 크기는 전 세대와 비슷하나 출력이 2배 이상 증가했고 내구성도 2~3배 이상 증가
 - 전세대 연료전지에 비해 50% 이상 가격이 낮아져 일반 전기차와 비슷한

가격 경쟁력 확보

- 100kW급을 여러개 연결해 MW급 출력을 제공할 수 있어 대형 선박, 기차 등에 활용 가능
 - 해당 시스템에 적용되는 플랫형 연료전지시스템은 두께가 25cm 정도에 불과해 평평하고 낮은 공간에 유용해 버스, 트램, 소형 선박 등에 폭넓게 적용 가능



[그림 59] 현대차 3세대 수소연료전지시스템(왼쪽부터 100kW, 200kW급)[63]

□ 수소연료전지 대량생산의 가속으로 가격이 점차 하락할 것으로 예상

- 화석연료 사용에 의한 자원고갈, 원유가 불안 등에서 탈피하기 위한 국가적 노력의 지속 및 신재생에너지 수소생산 증가로 인한 발전량 증가로 수소 연료전지 사용이 증가할 것으로 기대
 - 리튬폴리머 배터리도 '00년 이후 전기자동차 및 하이브리드 자동차의 발전과 함께 상용화를 위한 연구개발이 지속적으로 진행되어 가격이 하락
- 수소연료전지의 모빌리티 분야 적용 확장에 따른 대용량 제품 개발 및 생산 추세
 - 수소차, 수소버스와 같은 소·중용량을 시작으로 수소가게차, 수소트램, 수소철도, 수소선박과 같은 대용량 어플리케이션으로 확장
 - 업체들도 이에 발맞추어 수십 kW급에서 수 MW급까지 다양한 용량의 제품 생산

[표 25] Ballard Power System社의 제품 목록[64]

모듈	FCvloCity-MD	FCvloCity-HD			FCvloCity-XD
		HD60	HD85	HD100	
사진					
용량	30kW	60kW	85kW	100kW	200kW
어플리케이션	8-10m 버스 (배터리 하이브리드 레인지 익스텐더)	10-25m 하이브리드 연료전지 버스			철도, 선박

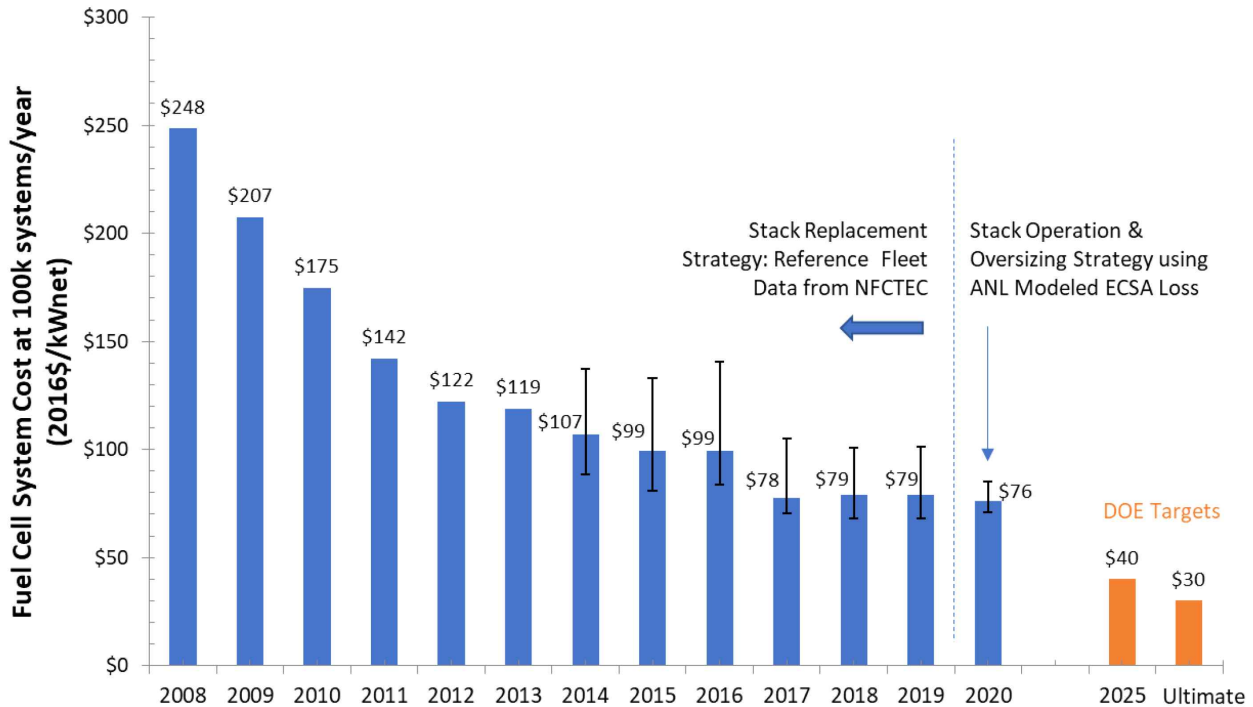
[표 26] Cummins社의 제품 목록[65]

모듈	HD30	HD90	High Power
사진			
용량	31kW	93kW	HD30 or HD45 조합
어플리케이션	버스 (배터리 하이브리드 레인지 익스텐더)	버스, 트럭	철도, 선박

[표 27] Powercell社의 제품 목록[66]

모듈	PowerCell S2	PowerCell S3
사진		
용량	35kW	125kW
어플리케이션	버스 (배터리 하이브리드 레인지 익스텐더)	트럭, 철도, 선박

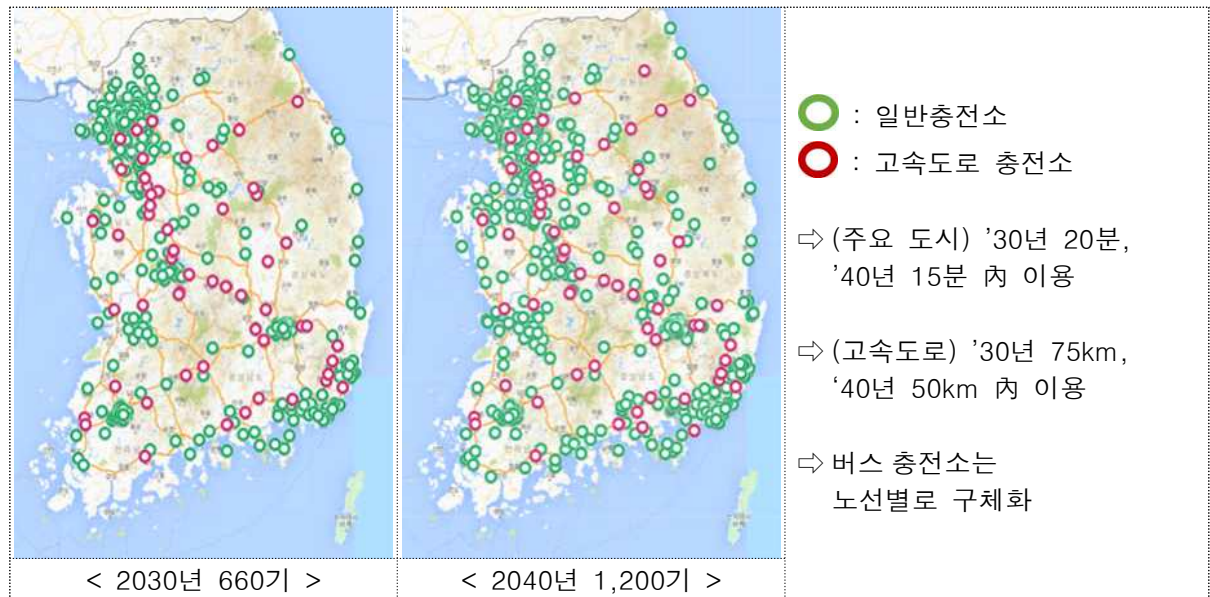
- DOE(Department of Energy)에서 추산한 연도별 수소연료전지 제조 비용 관련 자료를 통해 시장가격의 변동 추이를 예상시 지속적으로 하락할 것으로 예상
- 80[kWnet]급의 PEM은 내구성 8,000시간 동작을 기준으로 ‘25년까지 지속적으로 비용이 감소하여 40[\$/kWnet]에 도달할 것으로 예측



[그림 60] 80[kWnet]급 PEM 연료전지의 연도별 제조비용 추산(연간 100k생산 및 내구성 8,000시간 기준)[67]

나. 수소충전 산업동향

- 국내에는 현재 전국적으로 수소차용 수소충전소는 대략 30곳이 운용 중이며 ‘30년까지 300곳 이상 설치 예정
- 정부, 지자체, 공공기관을 중심으로 수소차, 수소버스 등 친환경 모빌리티 보급에 노력하고 있지만 부족한 실정
 - 설치 위치 선정에 어려움을 겪거나 충분한 수소 순환 설비의 국산화가 이루어지지 않아 운영 및 유지보수가 어려운 등 많은 문제가 존재
- ‘22년 9월 국내 최초로 충북 오송에 철도차량용 수소충전소 구축



[그림 61] '30년, '40년 수소충전소 배치(안)[68]

□ 해외 여러 국가들도 수소 충전 인프라를 지속적으로 구축 중

- (중국) Fosan시 내에 24개의 충전소가 건설되어 17기가 현재 운영 중
 - 1,000대의 수소버스, 5대의 수소트램, 448개의 수소화물차량이 이용 중
 - Gaoming 지구는 버스와 트램이 동시에 이용하는 복합수소충전소를 운영 중



[그림 62] Fosan Zhihu Depot 수소트램 충전소[69]

- (일본) '14년 수소사회 실현을 선언하고 '20년 본격적으로 수소사회 진입을

목표로 수소 충전소 건설 중

- ‘20년까지 100개소 건설 예정이며, ‘25년까지 640개의 수소 충전소 건설 예정
- (미국) ‘50년까지 27%의 친환경차(수소, 전기)를 보급을 목표로 ‘14년 AB 8법안을 수립하여 수소 충전소를 구축
 - 미국 내 총 50개소의 상용 충전소를 민간 사업자가 운영 중
 - ‘23년까지 수소충전소 123개소를 구축하여 3~6만대의 수소차 보급 계획
- (독일) 독일 교통부와 Siemens社가 개발 진행중인 Mireo Plus H의 충전을 위한 수소 충전소 및 프랑크푸르트를 중심으로 운행중인 Alstom社의 Coradia iLint를 위한 충전소 건설 진행 중

- 국내 수소차량용 수소충전 인프라 부품의 국산화율은 40~50% 수준으로 주요 부품(압축기, 저장용기, 디스펜서, 개질기, 밸브류 등)의 해외 의존도가 높음
- 수소 충전 인프라 관련 산업은 실증 단계에 머물러 있어 해외 선도기업 대비 낮은 신뢰성 및 가격 경쟁력 보유

[표 28] 수소차량용 수소충전 인프라 국내 기술 수준

	압축기	저장용기	디스펜서	개질기	Pre-cooler	밸브류
형식	Ionic Piston Diaphragm	Type I, II, III, IV	35/70MPa dual 70MPa Single	SMR	냉매 실리콘오일	Manual Auto
세계 선도 제작사	Linde, Hofer Hydro-pac Haskel, NEL	FIBA Faber JSW	Linde, NEL Air product 다츠노, 토키코	Linde MKK OGE Hydogear	Linde 코벨코	후지킨 스웨지록 HIP
국내수준	70%	40%	90%	60%	90%	50%
국내 제작사	광신기계 GTC (신뢰 test)	Type I: 두산, NK Type III: NK(T/T) Type IV: 한화솔루션, 일진	광신기계 효성 EMS(실증) MS ENG	제이엔케이 현대로템	두산 동화엔텍	대정밸브 디케이락 하이락 태광후지킨

다. 국내외 수소철도 산업 관련 투자 동향

- 국내외에서 수소철도 및 관련 산업에 대한 정부 및 민간 투자가 지속적으로 증가하고 있으며, 수소철도 관련 각종 계획 또한 다수 발표
 - (영국) 정부에서 수소 열차 HydroFLEX 개발에 자금 지원하고, 디젤 열차를 수소열차로 대체하는 계획을 발표
 - 수소동력열차인 HydroFLEX2의 개발에 영국 교통부(Department for Transport)는 innovateUK를 통해서 75만 파운드 규모의 최초 혁신 자금 지원
 - Energy Network Association은 2040년까지 영국의 모든 디젤철도를 중단하고 수소열차를 포함한 전기 열차로 대체할 계획
 - ▶ “A Holistic Hydrogen Approach to Heavy Duty Transport (H2H)”를 통해 기존 철도의 전기화를 추진하며, 그 외 대안으로 녹색수소 연료 전지 열차를 제시
 - (독일) Siemens Mobility와 Deutsche Bahn은 연방 디지털 교통부(BMDV)의 지원으로 수소 및 연료전지 기술 개발을 지원하는 “H2goesRail” 프로젝트 수행
 - 수소 및 연료전지 기술을 위한 국가 혁신 프로그램(NOW GmbH)의 일환으로 연방 디지털 및 교통부(BMDV)로부터 13.74백만 유로의 자금을 지원
 - 해당 프로젝트의 지원을 통해 Siemens는 수소 연료열차인 Miroe Plus H를, Deutsche Bahn은 이동식 수소 충전소 관련 기술을 개발
 - 열차는 ‘23년 Baden-Württemberg에서 테스트 예정이며, Tübingen에서 수소생산 및 Ulm에 운행을 위한 정비소 건설 예정으로 관련 내용을 InnoTrans 2022에서 공개



[그림 63] 영국 수소열차 HydroFLEX(좌)[42], 독일 Deutsche Bahn社의 급속 수소 충전소(우)[70]

- (스코틀랜드) 향후 13년 동안 전 열차의 2/3을 교체하기 위해 150개의 전기 혹은 수소 열차를 구매할 계획
 - '27년 첫 운영이 목표로 수억 파운드 규모의 예산을 배치
 - '30년까지 모든 디젤 열차를 폐지할 예정이며 비전기화 선로 중 선로의 전기화가 비효율적인 시골 노선에 대해서 수소를 우선적으로 고려
 - '22년 8월 최초의 자체 수소 동력 열차의 테스트 시작



[그림 64] 스코틀랜드 수소열차[71]

- (이탈리아) '21년 AECOM사는 이탈리아 중부의 아펜나인 철도 300km 구간을 디젤에서 수소로 대체하기 위한 양해 각서 체결
 - 지진 및 인구 감소로 어려움을 겪는 아펜나인 지역의 복구 및 성장을 지원하기 위해 AECOM, Iberdrola 등 철도 및 친환경 에너지 그룹들을 포함한 MOU 체결
 - 전기화되지 않은 이탈리아 중부의 산세폴크로-솔모나 구간의 300km 철도를 운행하는 디젤 열차를 수소 열차로 대체하는 것이 목표
 - 로마-마르케 구간의 녹색 철도 기반의 새로운 철도 노선에 대한 타당성 조사 수행, 녹색 수소 제도의 잠재성 평가, 새로운 에너지 및 환경 기술 적용 등에 대한 계획 발표
- (중국) 여러 지방 정부에서 수소 열차, 트램 등의 도입 계획 및 지원책 발표

- ‘22년 8월 상하이 리튬+수소 하이브리드 전차의 시운전을 위해 수소 하이브리드 전차 12대를 약 3억 6천만 위안을 들여 구매할 예정
- 청두시는 “녹색 및 저탄소 핵심 산업 품질 개발 정책 조치”를 통해 수소연료 기관차 실증 프로젝트에 1회당 최대 500만 위안의 보조금을 지급
- (미국) 여러 민간기업이 수소 연료전지 기반의 열차 제작 계획을 발표하고 있는 상황이며 주 정부 등 정부 기관에서도 관련 정책들을 발표
 - ‘21년 6월, GM, Wabtec은 Ultium사의 자동차 전기 배터리와 수소 연료 전지시스템을 활용해 전기 및 수소동력 열차 제작에 합의
 - ‘20년 캘리포니아주 정부는 ‘35년까지 내연기관 차량 판매 금지 및 여객 운송용 차량을 무공해 차량으로 전환하는 행정명령에서 14년 내로 디젤 철도를 수소 열차로 대체할 수 있음을 명시
- (호주) 철도 회사 Aurizon은 영국의 Anglo American과 협력하여 광산용 디젤 열차를 수소열차로 대체하기 위한 타당성 조사에 착수
 - 수소 연료전지 및 하이브리드 동력 장치 도입에 대한 타당성 조사 및 이후 대형 기관차 타입의 프로토타입 제작으로의 확장을 목표
 - 탑재량 290t 규모의 기관차에 대한 수소 솔루션을 ‘40년을 목표로 개발 중
- (캐나다) ‘22년 캐나다 교통부와 국립연구위원회 및 브리티시컬롬비아대학교 연구팀은 수소기관차의 잠재적 위험 식별, 평가, 모범사례, 코드 및 표준 개발 지원을 목표로 하는 공동 연구개발 프로젝트를 수행 중
- (인도) Ballard社의 수소 연료전지를 도입하여 ‘23년에 수소 동력 열차를 운행할 예정
 - ‘23년 8월 인도 독립 기념일에 맞춰 자체 설계된 수소 동력 열차를 선보일 계획
- (대한민국) 현대로템은 이집트, 호주 등 여러 국가와 수소 트램 도입 관련 논의를 진행
 - ‘22년 3월 이집트 신행정수도 수소트램 수주를 위한 컨소시엄 구성
 - ‘22년 4월 호주 퀸즐랜드에 수소트램 도입을 위한 논의

제5절 : 사회 · 환경동향

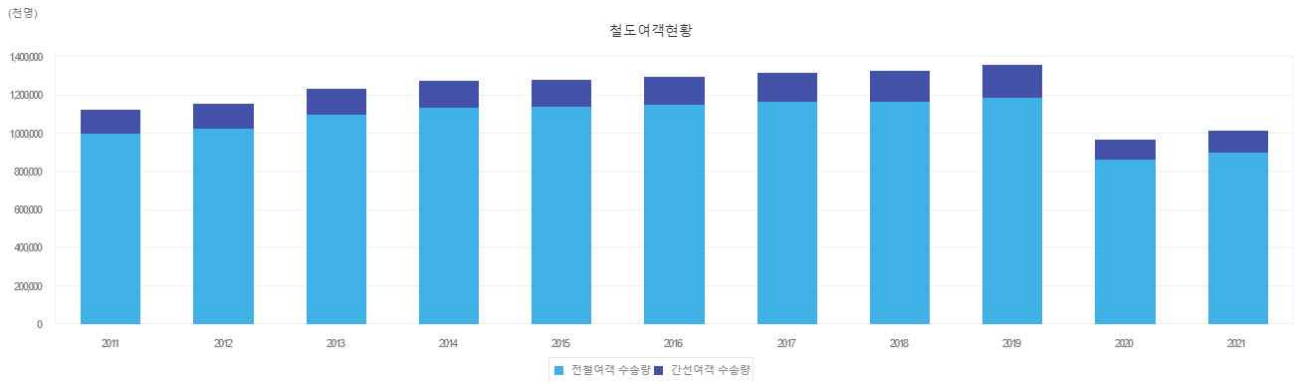
□ 국내 철도는 ‘19년 기준 총연장 4,274.2km, 총 이용객 수 15.7억 명이며, 지속적으로 증가하는 추세였으나 최근 코로나로 인해 감소 추세

- ‘19년 기준 고속 · 준고속 · 일반철도 등 총 연장 4,274.2km 운영 중
 - 철도연장은 ‘14년 3,668.3km에서 ‘19년 4,274.2km로 지속적으로 증가 추세
 - 최근 5년간 고속철도 288.9km, 일반철도 317.0km 증가로 고속철도는 78.4%, 일반철도는 9.6% 증가
 - ‘17년 강릉선 개통으로 최초의 준고속 노선이 신설

[표 29] 연도별 철도연장(km)[7]

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019
합계	3,668.3	3,951.8	4,071.0	4,238.9	4,261.1	4,274.2
고속	368.5	596.3	657.4	657.4	657.4	657.4
준고속	-	-	-	120.7	120.7	122.6
일반	3,299.8	3,355.5	3,413.6	3,460.8	3,483.0	3,494.2

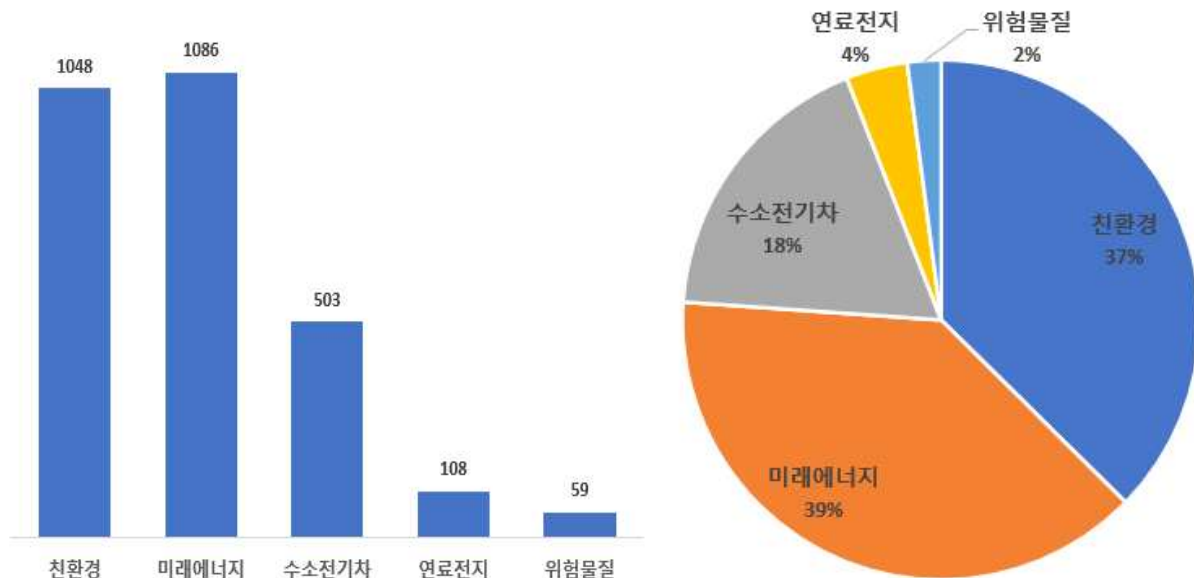
- 19년 기준 지역간 및 광역철도의 총 이용객 수는 15.7억 명으로 ‘14년 (13.8억명) 대비 약 14%(연평균 약 2.6%) 증가
 - (고속철도) ‘19년 94백만(일평균 25.8만) 명으로 호남고속철도 1단계(‘14년), 수서고속철도(‘16년) 개통 등으로 ‘14년 대비 65.4% 증가
 - (일반철도) ‘19년 68.6백만 명으로 ‘14년 77.5백만 명 대비 소폭 감소하였으며, 고속철도 개통에 따른 수요 전이가 원인으로 분석
 - (광역철도) ‘19년 약 14억 명으로 ‘14년 대비 약 13% 증가
- 코로나19로 인한 사회적 거리두기 등으로 ‘20년 2월 전년 대비 30% 이상 큰 폭으로 감소하였고, 이후 증감을 반복하는 추세
 - ‘20년 전년 대비 철도여객수입은 유럽은 전년의 57%, 아시아는 61% 수준으로 하락
 - 세계철도연맹은 코로나19로 단기적으로 철도수요 감소 등 큰 영향이 있으나, 중장기적으로는 철도수요가 다시 회복될 것으로 전망
 - ‘21년 한국철도공사의 철도여객 수송량은 약 10억 천만 명 수준으로 ‘20년 약 9억 7천만 명 대비 4.6% 증가하여 서서히 회복 중으로 판단



[그림 65] 연도별 철도여객현황('11~'21)[72]

- 수소에 대한 일부 부정적 인식이 존재하였으나, 최근 설문조사 결과 국민들의 수소에 관한 인식 및 신뢰성은 매우 높은 것으로 조사
 - 일부 수소 관련 사고가 있었으나, 실제로 수소는 다른 에너지들에 비해 안전한 편
 - 몇몇 발생한 수소 관련 사고들은 대부분 안전불감증 등이 원인인 인재로 제대로 사용한다면 안전한 사용이 가능
 - 수소차의 경우 충전소와 달리 용기 및 안전장치들로 인해 일반 가솔린이나 디젤차보다 폭발 및 화재 위험이 낮은 편
 - 수소 관련 설문조사에서 국민의 70% 이상이 수소를 “친환경·미래에너지”로 인식하는 등 수소에 관한 신뢰 상승
 - 수소융합얼라이언스추진단이 시행한 “수소에 대한 인식 및 관심도” 설문조사에서 응답자의 76.1%가 ‘수소를 친환경·미래에너지라고 인식한다’고 답했으며, 위험물질로 인식하는 답변은 2.1%에 그쳐 대체로 긍정적인
 - 산업통상자원부의 설문조사¹⁾ 결과 응답자의 96%가 수소 정책에 동의하는 등 수소 정책에 대한 인식은 매우 긍정적
 - 국민 4,847명을 대상으로 한 설문조사에서 수소경제에 대해 관심이 있는 국민인식은 90%로 조사되었으며, 전체 응답자의 96%는 현 수소정책에 동의하는 것으로 나타나 전반적인 인식이 매우 긍정적인 것으로 확인
 - 수소에 대한 부정적 인식은 ‘19년 2.1%에서 국내외 수소시설 사고 발생으로 인해 7.1%까지 증가하였으나 정부의 수소에너지에 대한 지속적 홍보 및 인식개선을 통해 ‘21년에는 1.1%까지 감소

1) 월간수소경제 보도자료('22.3월.), 「수소 참 쉽죠?」 산업부, 영상콘텐츠 '수소앤써' 배포



[그림 66] 수소에 대한 국민 인식 및 관심도[73]

□ 철도는 다른 운송수단에 비해 탄소, 온실가스 배출량이 매우 낮은 편이며, 디젤열차가 대부분의 온실가스 배출

- 고속철도의 탄소배출량은 6g/km로 자동차 171~192g/km, 버스 105g/km 등 타 교통수단과 비교하여 15~20배 정도 탄소배출량이 적은 교통수단
 - 서울~강릉 구간을 KTX로 이동 시 1인당 탄소배출량은 16.0kgCO₂로, 승용차 배출량인 29.91kgCO₂의 절반 수준



[그림 67] 교통수단별 탄소배출계수[74]

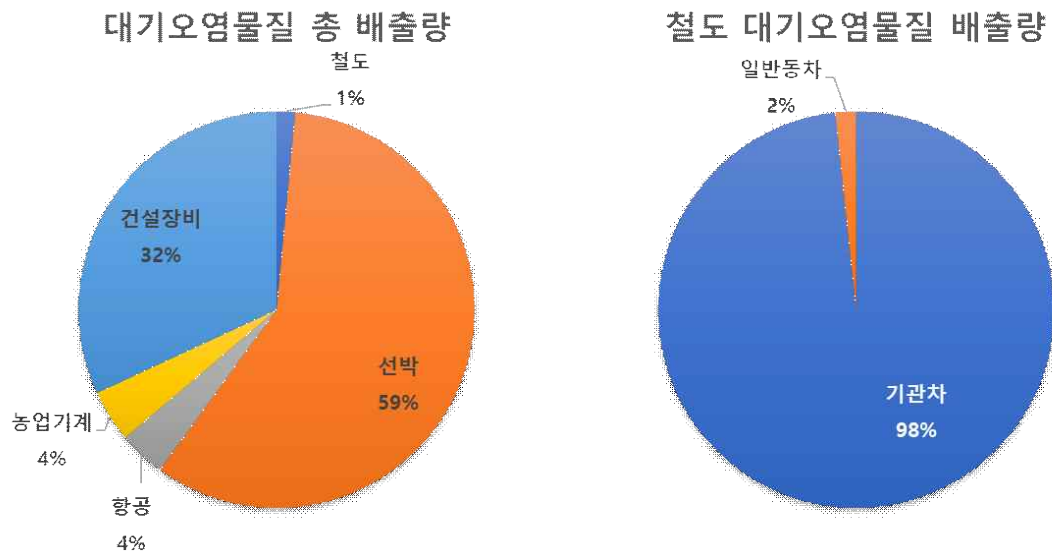
- 디젤철도차량의 탄소배출량은 19kg/km, 전기철도차량은 10.6kg/km², 수소 철도차량은 9.1kg/km*로 디젤철도차량의 탄소배출량이 가장 큰 것으로 분석

2) 국토교통부('07.12월), 「철도전철화 효과분석」

* 전기차 및 수소차의 탄소간접배출량 비로 추정(전기차 대비 13.7% 낮음[14])

□ 철도는 다른 교통수단에 비해서 대기오염물질 발생량이 낮은 교통수단이며, 철도에서 발생하는 대기오염물질의 대부분은 디젤기관차에서 발생

- ‘19년 기준 철도의 대기오염물질 배출량은 약 9,900톤으로 총 비도로이용 오염원의 1% 수준으로 매우 낮은 편이며, 대부분의 철도 대기오염물질은 디젤기관차에서 발생
- ‘19년 관련 배출허용기준 규정이 신설되었으나, 새로 도입되는 차량에만 적용되고, 현재 국내 보유 디젤 열차는 대부분 그 이전에 도입된 노후 기종

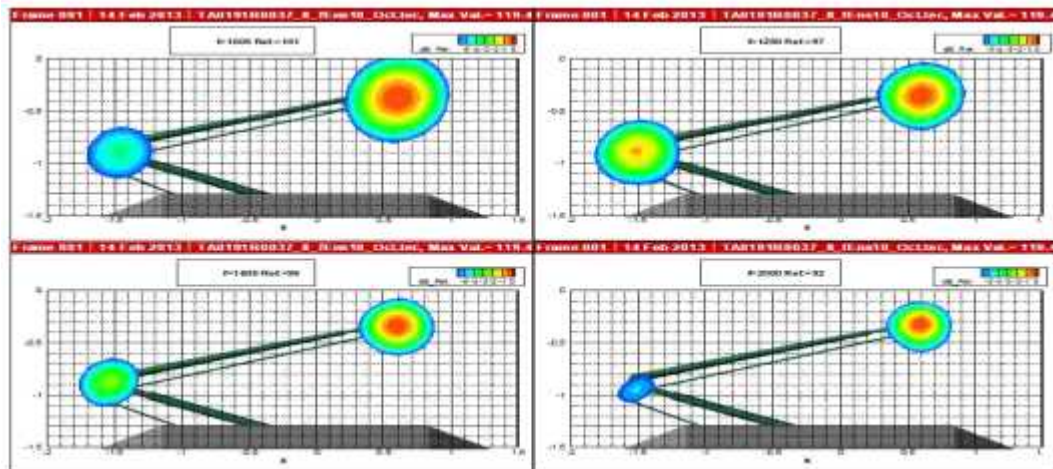


[그림 68] 국내 비도로이동오염원의 대기오염물질 배출량 현황('19년 기준)[75]

□ 철도는 팬터그래프, 궤도, 엔진 등 다양한 원인의 소음이 발생하며, 도심지 철도는 소음에 대한 문제 지속

- 시속 250km/h 이상으로 운행하는 고속철도에서는 팬터그래프의 공력으로 인한 소음이 매우 크게 발생
- 일반적인 주행상태에서는 큰 문제가 되지 않으나, 속도가 증가할수록 소음 크기가 커지며 200km/h 이상에서는 가장 큰 소음발생원으로 크기는 속도의 6~8승에 비례
- 300km/h 환경에서 팬터그래프에서 발생하는 공력 소음은 95dB 규모로 매우 큰 편
- 소음을 줄이기 위한 여러 저소음 팬터그래프가 개발되어 활용되고 있으며,

동력 공급 방식의 변경으로 팬터그래프를 없애는 것이 근본적 해결 방법



[그림 69] 팬터그래프 풍동소음실험의 주파수별 빔포밍 결과[76]

- 팬터그래프에서 전기를 동차에 공급할 때 발생하는 집진소음도 주요 소음 원인
 - 고속 주행시 전차선과 팬터그래프 사이에 유격이 발생해 전압 차에 의한 스파크가 튀며 큰 소음이 발생
- 저속으로 주행하는 기관차나 트램의 경우 엔진 소음이 중요한 소음 발생 원인으로 지목
 - 디젤 엔진은 엔진 소음이 다른 엔진에 비해 매우 큰 편
 - 전기나 수소연료전지 등으로 디젤을 대체하는 것으로 큰 소음 저감 효과 기대
- 대부분의 지역의 평균 철도소음은 철도소음한도를 만족하지만, 여전히 철도 근처의 여러 최고소음예상층에서 철도소음한도의 소음공해에 대한 문제가 존재
 - 철도소음은 교통소음·진동 관리기준에 따라 주거지역은 주간 70dB(A), 야간 60dB(A), 상업지역의 경우 주간 75dB(A), 야간 65dB(A) 이내
 - 일반적인 지면위 소음의 전국 평균은 주간 및 야간 각각 56dB(A), 53dB(A)이고 최고소음예상층에서의 소음은 60dB(A), 57dB(A)로 주/야간 기준 이하이나, 일부 지역에서는 여전히 기준 소음 이상의 소음이 발생
 - 수도권에서는 지면위 소음은 주간 59, 야간 57dB(A)이며, 최고소음예상층은 주간 64, 야간 62dB(A)로 전국 평균보다 높고 소음 기준을 초과하는 지역도 다수
 - ▶ 방음벽은 저층에서의 소음저감은 탁월하나 고층에서의 소음 저감이

- 취약해 일부 중간층에서 소음 수치가 최고로 측정
- ▶ 소음 측정 지점중 병점 청록빌라트는 최고소음예상층에서 야간 소음이 62dB(A), 부천 궁전맨션은 야간 70dB(A)로 주거지역 소음한도 60dB(A) 이상

[표 30] 철도 소음 현황[77]

(단위 : dB(A))

측정권역	지면위		최고소음예상층	
	주간	야간	주간	야간
수도권 평균	59	57	63	62
병점 청록빌라트	56	54	66	62
부천 궁전맨션	58	57	67	70
전국평균	57	53	60	57

제6절 : 기술역량 분석

1. 특허분석

가. 분석 대상

- ☐ 수소철도를 차량, 수소충전소, 인증 및 관리를 중분류로 구성하고 각각의 중분류를 세분화하여 분류체계를 도출하고, 소분류를 대상으로 분석

[표 31] 특허·논문 분석 대상

대분류	중분류	소분류	세부기술
수소철도	차량시스템	수소연료전지 발전팩	-고효율·고내구성 수소연료전지 개발 -고수명/저가의 BOP 개발 및 최적구성 -연료전지 및 BOP의 효율적 유지보수 방법
		수소저장·공급시스템	-고압축/고안전 수소저장용기 개발 -수소저장용기 최적 구성/제어 -Rubber 형식 고압 플렛시블 튜브 개발 -수소누출 위험검지 기술
		2차전지 시스템	-고성능/고에너지밀도 배터리 셀 최적 구성 -고신뢰성 배터리 관리 시스템(BMS) -화재안전기술
		전장품	-전력변환장치 -추진제어장치 -보조전원장치
		차량 통합 운용제어	-장치(수소연료전지, 배터리) 최적용량 설계 -에너지관리시스템 -장치간 인터페이스 및 통신기술 -모니터링/관리시스템
		기술기준/평가	-기술기준 수립 -성능평가 (장치/차량)
	수소충전소	수소충전소 설비	-저장탱크 -펌프 -압축기(고압) -Gas Dispenser
		수소충전소 운용제어	-수소충전소 구축 및 운영 -충전 프로토콜 -다수의 Gas Dispenser 제어 기술
		기술기준/평가	-기술기준 수립 -성능평가
	인증, 실증 및 관리	계획/운영/실증	-규제/법령 제개정 -시험노선 구축 -주행시험 (주행데이터 DB구축)
		안전/편의	-안전기술 및 모니터링 -RAMS 체계
		유지관리	-수소연료전지 발전팩 -수소저장·공급시스템 -2차전지 시스템 -차량/충전소 유지관리

나. 분석 범위

- 수소철도 관련 소분류 기술에 대하여 한국, 일본, 미국, 유럽, 중국 5개국 특허청에 '00년 1월 1일 이후 출원된 공개, 공고/등록된 특허가 분석 대상
 - 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술 분야에 부합하는 유효특허를 추출하였고, '00년 1월 1일부터 '21년 12월 31일 까지 출원 공개된 유효특허 23,136건을 분석대상
 - 이를 통하여 국제 특허현황 및 국가별 특허현황을 분석하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용, 최근 2년간의 특허는 비공개 상태로 시계열 분석 시 큰 폭으로 하락

[표 32] 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국가	검색DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개등록일 기준)	한국	WIZ DOMAIN	2000.1.1. ~2021.12.31.	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

- 검색식은 적용기간, 분야 공통키워드, 소분류별 기술키워드, 중복제거 키워드 등으로 구성하여 데이터를 추출
 - 공통키워드는 전체 특허 중 대분류 및 중분류를 정의하기 위해 사용하였으며, 대분류 또는 중분류 전체에 공통으로 적용되는 키워드로 구성
 - 기술키워드는 소분류만의 고유 키워드로 소분류와 관련된 특허를 추출하기 위해 사용
 - 중복제거 키워드는 키워드만으로 구분이 어려운 특허의 중복을 방지하기 위해 사용하였으며, 다른 소분류의 키워드를 활용하여 분야 간 중복성 배제

[표 33] 데이터 추출 방법 예시

소분류	검색식	
수소연료전지 발전팩	적용 기간	(PD>=20000101)
	대분류 공통키워드	AND (수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) AND (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track)
	중분류 공통키워드	AND (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process)
	기술키워드	AND (BOP or 연료전지 or 연료-전지 or fuel-battery or 퓨엘셀 or 퓨엘셀 or fuel-cell or fuelcell or 연료셀 or 고체산화물연료전지 or 퓨어-셀 or fuelsell or fuelbattery or fuelbatter or dmfc or sofc or mcfc or 수소전지)
	중복제거 키워드	NOT (이차전지 or 충전지 or 축전지 or 이차배터 or 이차배터리 or secondary-cell or rechargeable-battery or rechargeablebattery or secondary-batter or libattery or 배터리 or battery)

□ 검색식은 분류체계를 기초로 특허동향 조사에 적합한 키워드를 도출하여 특허조사를 실시

[표 34] 특허 조사를 위한 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식
수소철도	차량시스템	수소연료전지 발전팩	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and (BOP or 연료전지 or 연료-전지 or fuel-battery or 퓨엘셀 or 퓨엘셀 or fuel-cell or fuelcell or 연료셀 or 고체산화물연료전지 or 퓨어-셀 or fuelsell or fuelbattery or fuelbatter or dmfc or sofc or mcfc or 수소전지)
		수소저장-공급시스템	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and ((저장 or 격납 or 보관 or 스토리지 or storage or storing or stor or memoty or memor or storag or 스토라지 or 수납 or 스테리지 or 세이브 or reseivior or

대분류	중분류	소분류	검색식
			keep or drawer or 공급 or 투입 or 서플 or supply or 서플라이 or 제공 or feed or inlet or furnish or provid or proffer or 인-렛 or 서플라이 or furnish or influx or input or 취입 or 송입) and (저장용기 or 저장용기 or 저장기 or 보관용기 or 밀폐용기 or tank or container or bottle or 컨테이 or 튜브 or 투브 or tube or 호오스 or hose or 누출 or 누설 or 새는 or leak or schott or leakage))
		2차전지 시스템	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and (이차전지 or 충전지 or 축전지 or 이차배터 or 이차배터리 or secondary-cell or rechargeable-battery or rechargeablebattery or secondary-batter or libattery or 배터리 or battery)
		전장품	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and (전장품 or 발열기기 or 전자기기 or 전자부품 or 전장 or 부품 or comnustion or comnust or machanic or digitalversatiledisc or bcs or emb or 전력변환 or 컨버터 or converter or dcac or inverter or 전환장치 or 파워컨버터 or 보조전원 or 서브전원 or interruptibl or uninterruptible or uninterrupted or blackout or uninterrupt or seconda or nonor-interrupt or ups or 비상전원 or 추진제어)
		차량 통합 운용제어	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and ((제어 or 컨트롤 or 콘트롤 or 조정 or 조절 or control or control or macom or ajdust or contraol or regulat or cotrol or gare or regulator or electrokinetics) and (용량 or capaci or capacit or 캐패 or 캐패 or capacitor or capacitance or capacity or 용적 or 카파시 or 정전용량 or 에너지 or 전력 or energy or 파워 or electricit or power or 전기 or watt or resources or 인터페이스 or interface or 유아이 or 통신 or 코뮤니 or 네트워크 or communicat or network or telecom or 전송망 or 네트워크))
		기술기준/평가	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and ((제어 or 컨트롤 or 콘트롤 or 조정 or 조절 or control or control or macom or ajdust or contraol or regulat or cotrol or gare or regulator or electrokinetics) and (용량 or capaci or capacit or 캐패 or 캐패 or capacitor or capacitance or capacity or 용적 or 카파시 or 정전용량 or 에너지 or 전력 or energy or 파워 or electricit or power or 전기 or watt or resources or 인터페이스 or interface or 유아이 or 통신 or 코뮤니 or 네트워크 or communicat or network or telecom or 전송망 or 네트워크))

대분류	중분류	소분류	검색식
			unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (시스템 or system or 설비 or equipment or 기구 or apparatus or apparat or 디바이스 or facilities or 프로세스 or process) and (기준 or 표준 or 레퍼런스 or reference or refenence or standard or criteria or criterion or 평가 or 분석 or evaluation or appraisal or evaluate or 점검 or 검증 or 검사 or 시험 or 테스트)
	수소충전소	수소충전소 설비	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (충전소 or 충전기기 or 차저 or charge or charg or 완속충전 or 전원공급장치 or 충전장치 or 충전기 or 충전디바이스 or 급속충전 or 충전 or chartge or charging or charger) and (설비 or 장비 or 장치 or equipment or 기계설비 or facilities or facilit or installation or apparatus or operator or machine or factory or 머신 or 시설 or 기구 or 기계 or 기기 or 이큅먼트 or 공정장비 or 저장탱크 or 탱크 or tank or 펌프 or pump or 압축기 or 압축장치 or 콤푼 or compressor or Dispenser or 디스펜서 or 디스펜싱 or dispens)
		수소충전소 운용제어	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (충전소 or 충전기기 or 차저 or charge or charg or 완속충전 or 전원공급장치 or 충전장치 or 충전기 or 충전디바이스 or 급속충전 or 충전 or chartge or charging or charger) and (구축 or 제작 or 설계 or 형성 or build or create or creat or construct or architecture or structure or 운영 or 운용 or 관리 or manage or 매니지 or management or operating or operate or 프로토콜 or protocol or 제어 or 컨트롤 or control or macom or contrl or control or 조정 or 조절 or 통제)
		기술기준/평가	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (충전소 or 충전기기 or 차저 or charge or charg or 완속충전 or 전원공급장치 or 충전장치 or 충전기 or 충전디바이스 or 급속충전 or 충전 or chartge or charging or charger) and (기준 or 표준 or 레퍼런스 or reference or refenence or standard or criteria or criterion or 평가 or 분석 or evaluation or appraisal or evaluate or 점검 or 검증 or 검사 or 시험 or 테스트)

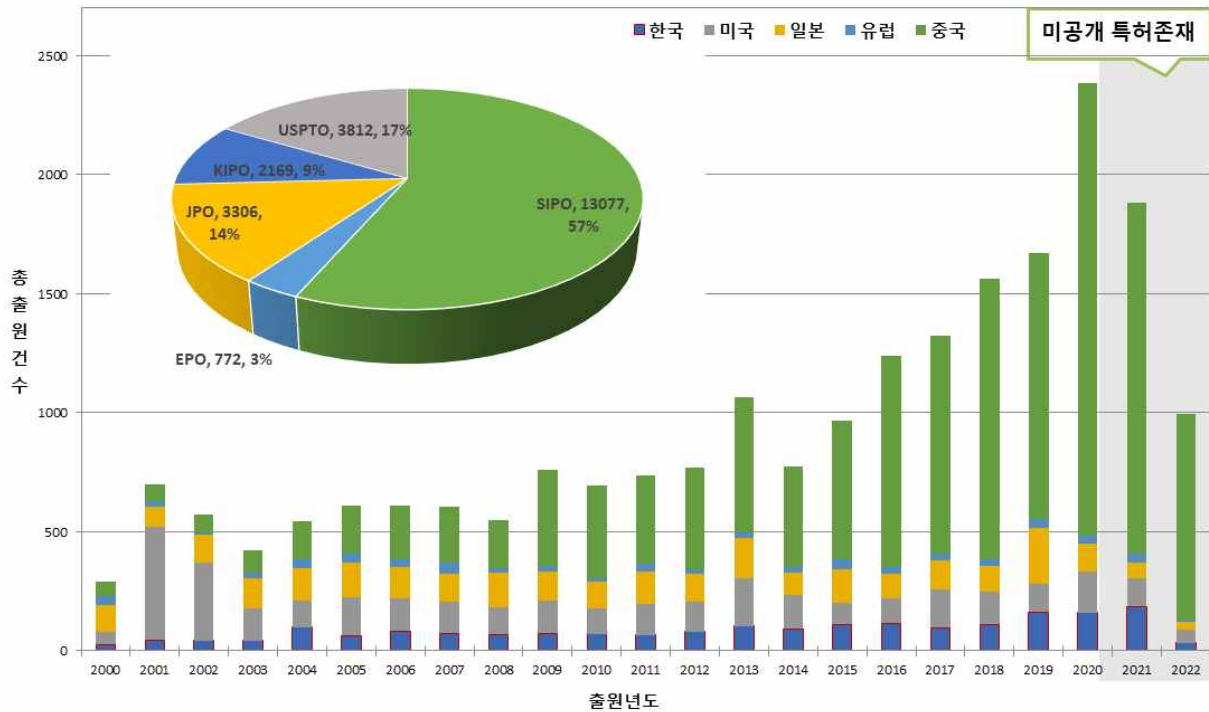
대분류	중분류	소분류	검색식
	인증, 실증 및 관리	계획/운영/ 실증	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (인증 or 승인 or 허가 or certification or authentication or veri or auth or certify or authen or authent or confirmation or certifi or accredit or 권한 or 인정 or 실증 or 증명 or 입증 or 배리파 or 확증 or 검증 or authen or verific or certificat or verifica or validat or prov or verification or 관리 or 매니지 or manage or management or manag or 통제 or 감독 or 메니지 or 컨트롤) and (계획 or 스케줄 or schedule or schedul or plan or hodule or 플랜 or 스케줄 or 규제 or 제한 or 단속 or confining or barred or 법령 or 조례 or ordinance or legal or law or prejudication or 시험 or 테스트 or test or exam or 데이터 or 데이타 or data or informat or informat or 데이터베이스 or database or db or 데이터베이스 or databank or 디비)
		안전/편의	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (인증 or 승인 or 허가 or certification or authentication or veri or auth or certify or authen or authent or confirmation or certifi or accredit or 권한 or 인정 or 실증 or 증명 or 입증 or 배리파 or 확증 or 검증 or authen or verific or certificat or verifica or validat or prov or verification or 관리 or 매니지 or manage or management or manag or 통제 or 감독 or 메니지 or 컨트롤) and (안전 or 세이프 or safe or safety or security or 보안 or 보호 or 모니터링 or 모니터링 or 감시 or monitoring or monitering or surveilan or 관측 or RAMS or 램 or 편의 or comport or convenience or 편리 or convenie or easily or easy or 편히 or 편안)
		유지관리	(수소 or 하이드로젠 or hydrogen or h-gas or 수소가스 or hydr or unreacted-or hydrogen or h원소 or 하이드로 or unreacted-hydrogen or dihydrogen or 하이드로젠 or 하이드로진 or 수소기체) and (철도 or 기차 or 열차 or 지하철 or 기차길 or railroad or subway or 고속철 or 레일웨이 or 트램 or railway or train or metro or track) and (인증 or 승인 or 허가 or certification or authentication or veri or auth or certify or authen or authent or confirmation or certifi or accredit or 권한 or 인정 or 실증 or 증명 or 입증 or 배리파 or 확증 or 검증 or authen or verific or certificat or verifica or validat or prov or verification or 관리 or 매니지 or manage or management or manag or 통제 or 감독 or 메니지 or 컨트롤) and (유지관리 or 유지보수 or 복합보수 or maintenance or repair or mend or mainatain or mainat or 메인터넌스 or 메인터난스 or 정비 or 보수)

다. 분석 결과

- 조사대상국인 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 주요시장국 기술개발 활동 현황, 구간별 출원인수와 출원 건수의 증감 정도 분석을 통한 기술시장 성장 단계 분석
- 연도별 전체 출원 동향을 살펴보면, 전반적으로 출원 건수가 증가하는 양상을 보이고 있으며, 중국이 압도적으로 특허 수가 많아 글로벌 특허 출원 동향을 분석하는데 한계가 존재
- 전체 특허의 57%를 중국이 차지하고 있으며, 중국의 연도별 출원 건수가 증가하고 있어 전체 출원 동향도 증가하는 것으로 분석
 - 중국은 '15년 이후 글로벌 탄소중립 정책 및 친환경 철도 정책 등의 요인으로 수소철도 및 트램에 대한 투자가 증가하면서 출원 건수 증가의 주요 원인인 것으로 판단
 - 중국을 제외한 한국, 일본, 미국 등은 '00년대 중반부터 특허 출원건수가 증가하는 양상을 보이고 있으나 증가폭은 미미한 수준

[표 35] 분석대상 유효특허 선별결과

대분류	중분류	소분류	유효특허건수					
			KIPO	USPTO	JPO	EPO	SIPO	합계
수소철도	차량시스템	수소연료전지 발전팩	187	331	258	38	399	1,213
		수소저장·공급시스템	248	985	258	209	2,607	4,307
		2차전지 시스템	132	197	152	35	544	1,060
		전장품	121	738	326	161	2,385	3,731
		차량 통합 운용제어	314	602	475	97	1,757	3,245
		기술기준/평가	466	289	468	71	2,480	3,774
	수소충전소	수소충전소 설비	170	157	386	45	464	1,222
		수소충전소 운용제어	303	235	613	66	655	1,872
		기술기준/평가	87	50	151	13	315	616
	인증, 실증 및 관리	계획/운영/실증	41	111	78	22	786	1,038
		안전/편의	54	97	96	14	560	821
		유지관리	46	20	45	1	125	237
합계			2,169	3,812	3,306	772	13,077	23,136



[그림 70] 전체 연도별 특허동향

- 국가별 출원동향은 중국과 한국은 꾸준히 상승하는 것을 볼 수 있으나, 미국과 유럽은 유지상태, 일본은 최근에 출원이 급격히 증가하는 것으로 조사
 - 한국과 중국은 2000년대 중반부터 높은 상승세를 보이고 있으며, 최근 분석구간까지 높은 상승세를 유지
 - 미국은 매년 150건 내외로 2000년대부터 출원건수가 증가하지는 않고 일정한 수준을 유지
 - 유럽은 다른 국가에 비해 상대적으로 특허 출원건수가 적지만 매년 20~40건 출원되는 등 출원건수가 증가하지는 않지만 일정한 수준을 유지
 - 일본은 '18년까지 매년 100~150건 출원되는 등 출원건수가 증가하지 않고 일정한 수준을 유지하다가 최근 분석구간에서 특허 출원건수(237건)가 급격히 증가



[그림 71] 국가별 특허동향

□ 전체 출원 중 최근 출원동향을 5개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허 출원 동향을 통해 기술의 성장단계 파악

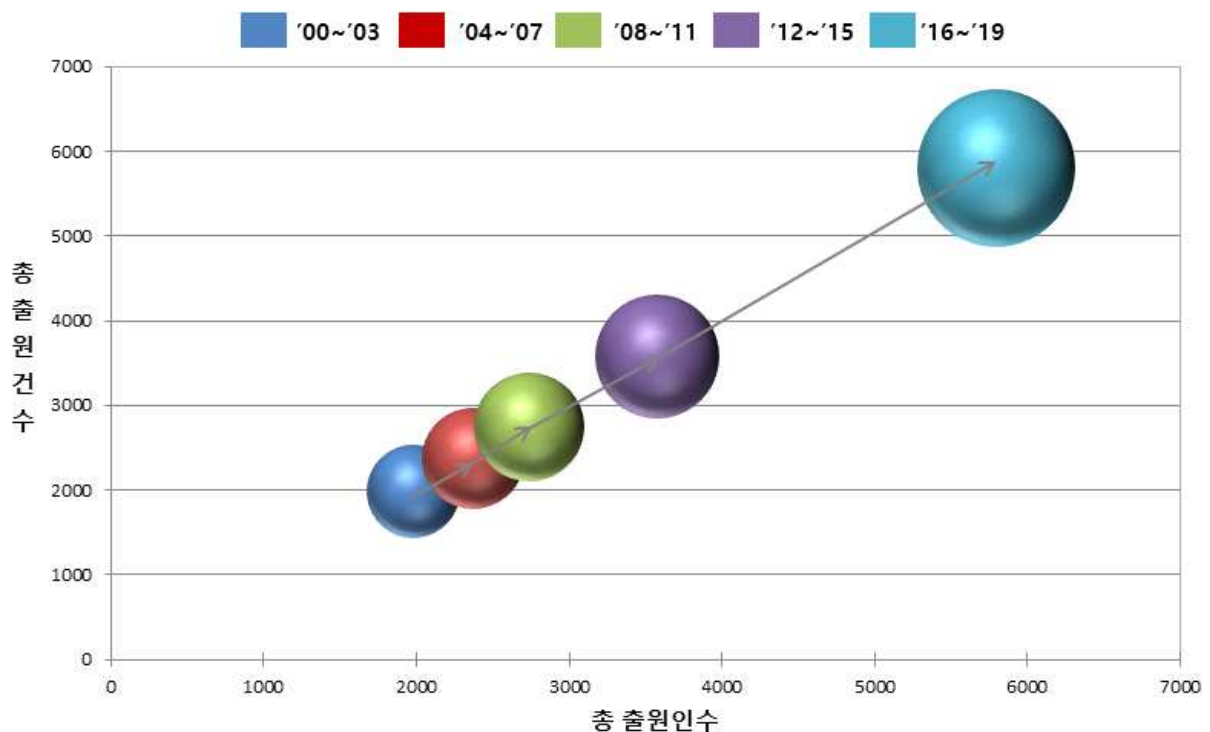
★ 1구간(2000년~2003년), 2구간(2004년~2007년), 3구간(2008년~2011년), 4구간(2012년~2015년),
5구간(2016년~2019년)

○ 수소철도 분야는 1구간부터 최근 5구간까지 전반적으로 출원 건수와 출원 인수가 증가하는 양상을 보이고 있어 R&D활동이 증가하여 경쟁이 본격적으로 심화되는 성장기 단계로 분석

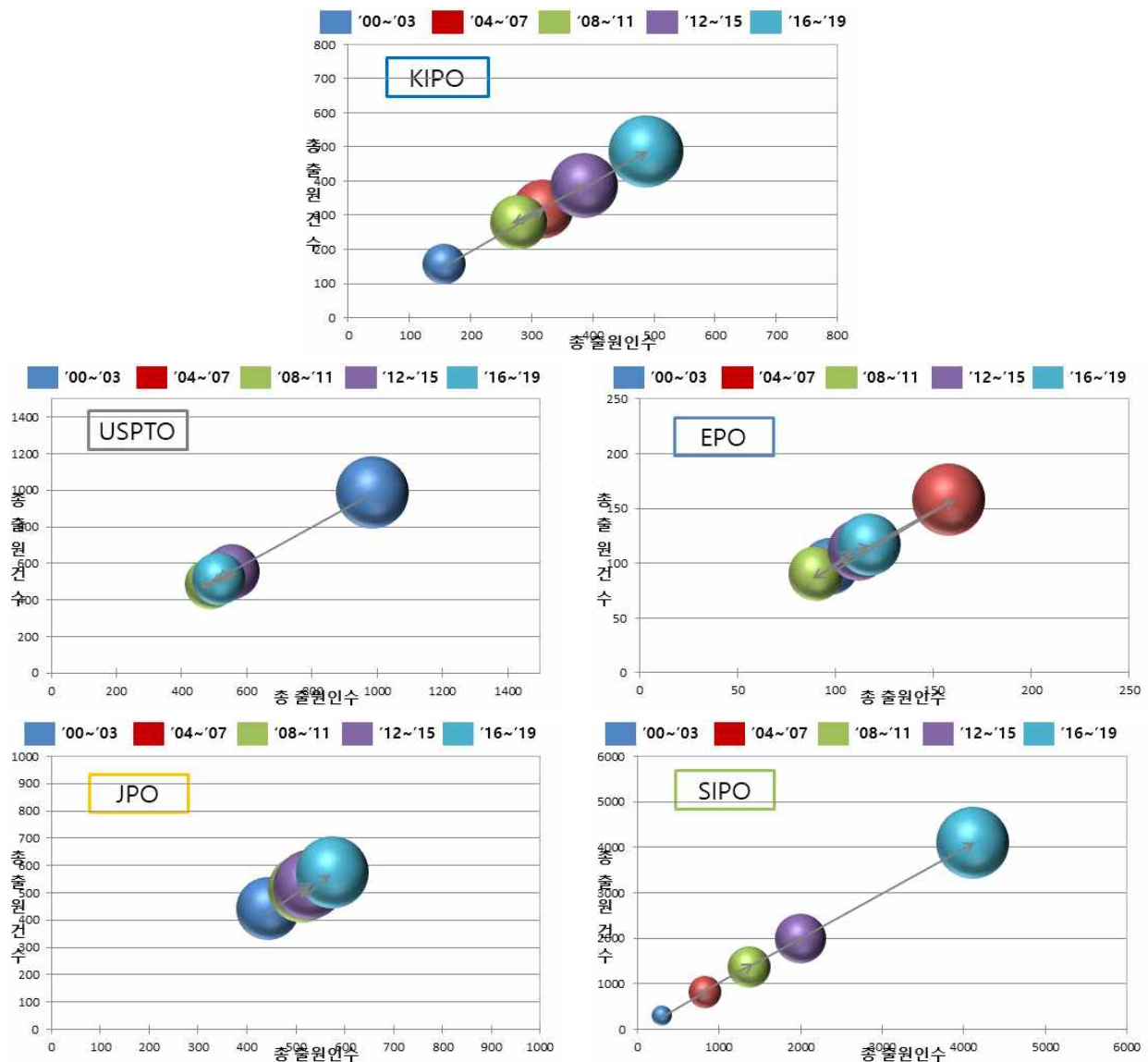
- 한국 특허의 기술위치는 전체 동향과 마찬가지로 출원건수와 출원인수가 지속적으로 증가하는 성장기 단계로 R&D활동이 증가하여 경쟁이 심화될

것으로 예상

- 특히, 한국은 1구간에서는 157건이었던 출원건수가 5구간에 들어서는 487건으로 다른 국가보다 양적인 측면에서 크게 성장
- 미국, 유럽, 일본은 특허 수가 증가하지는 않고 유지되면서 출원인은 감소하는 성숙기 시장으로 분석되며, 경쟁에서 밀려 도태되는 업체가 생길 것으로 예상
- 중국은 출원건수와 출원인수가 지속적으로 증가하는 성장기 단계이며, 한국에 비해 양적 성장이 훨씬 빠르고 큰 것으로 분석(1구간: 299건 → 5구간 4,106건)



[그림 72] 전체 기술시장 성장단계

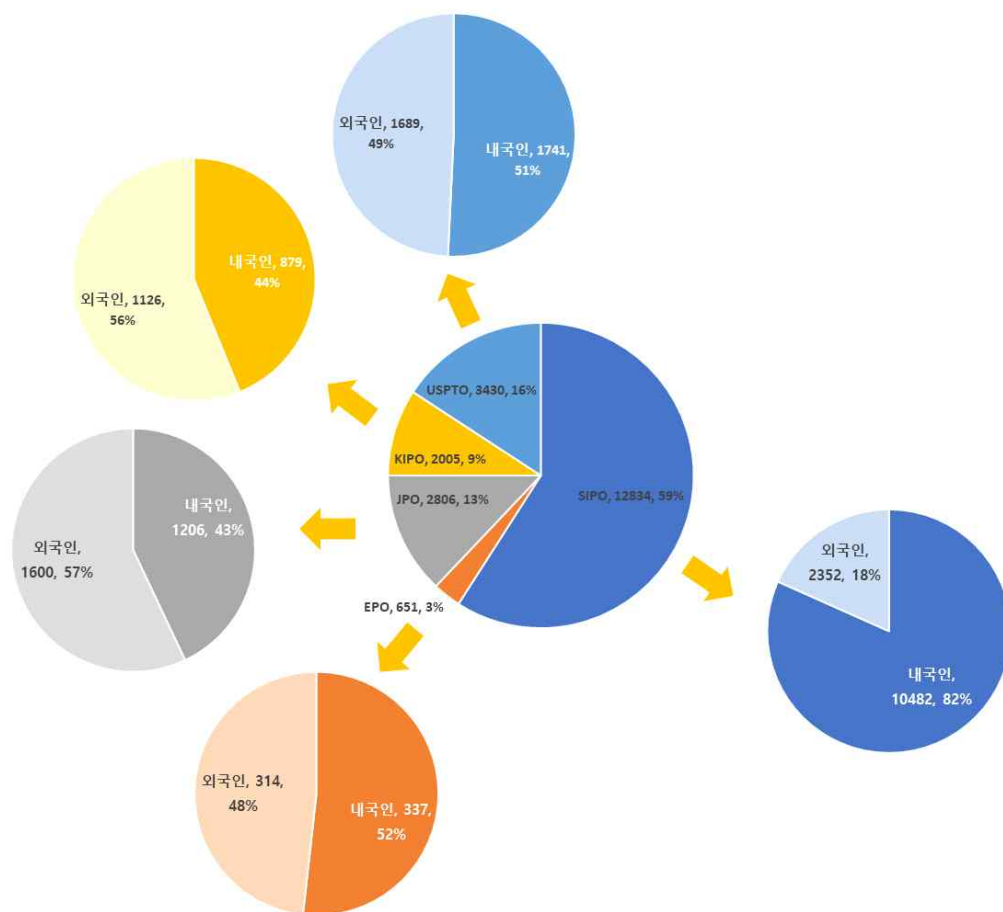


[그림 73] 국가별 기술시장 성장단계

- 중국을 제외한 모든 국가에서 외국인 비중이 절반 수준으로 다른 특허 기술에 비해 외국인 특허 비중이 높은 것으로 조사되었으며, 시장이 성숙되면서 외국인 비중은 더 증가하는 것으로 분석
 - 일본 특허출원인 중 내국인 비중은 43%로 전체 국가 중에 가장 외국인 비율이 높은 것으로 분석되며, 시장이 성장기에서 성숙기로 접어들면서 외국인 비중이 증가하는 것으로 확인
 - 일본 뿐만 아니라 유럽과 미국도 성숙기에 접어든 시장으로 외국인 출원인 비중이 각각 48%, 49%로 매우 높으며, 유럽 및 일본 특허 외국인 출원인 중 미국 국적자가 가장 많다는 점에서 사실상 유럽과 일본 지역의 연구

개발 실적마저도 미국이 주도하고 있는 것으로 확인

- 국적별 출원건수는 중국(10,723건), 미국(4,387건), 일본(1,656건), 독일(870건), 프랑스(367건) 순으로 중국을 제외한 나머지 출원인들은 다양한 국가에서 특허를 출원하는 것으로 조사
- 한국의 경우 내국인 44%(879건), 외국인 56%(1,126건)으로 국내 타 기술 분야에서 통상적으로 내국인 출원비중이 약 70~75%인 것과 비교하면 수소 철도 기술개발은 국제협력을 통한 연구개발 수준으로 분석

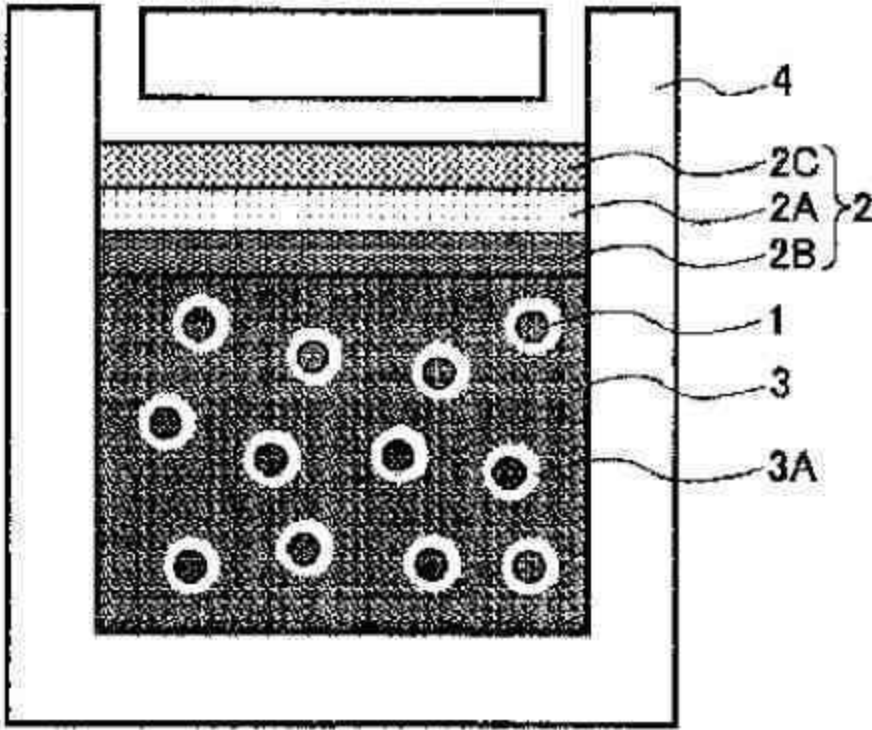


[그림 74] 국가별 특허출원인종 내외국인 점유율 비교

라. 대표 특허

구분	중분류		차량시스템		소분류	수소연료전지 발전팩	
특허명(원문)	燃料電池の制御方法、装置とシステム及び鉄道車両						
특허명(번역)	연료전지의 제어방법, 장치와 시스템 및 철도 차량						
국가코드	JP	출원번호	JP2019-50057 5A		출원년도	2017	
출원인	シーアールアルシー チンタオ シーファン カンパニー, リミティッド					출원인 국적	중국
대표청구항	【청구항1】 적어도 2대의 연료전지에 의해 급전되는 목표대상의 동작 전력을 검출하는 것으로, 상기 목표대상의 동작 전력이 전력 미만이라고 검출되었을 경우, 연료전지가 대응하는 기체변환 범위에 근거하여 적어도 하나의 연료전지를 오프할 것인가, 또는 임의의 1대 또는 여러대의 연료전지에 포함된 전지 블록을 오프하는 것에 대한 기능을 포함하고, 여기에서, 상기 기체변환 범위는 연료전지의 수소변환율이 달했을 예정의 범위값에 대응하는 연료전지의 출력전력 범위값인 것을 특징으로 하는 연료전지의 제어방법.						
요약	연료전지의 제어방법, 장치와 시스템 및 철도 차량에 관한 해당 방법은, 적어도 2대의 연료전지에 의해 급전되는 목표대상의 동작 전력을 검출하는 것으로(S102), 목표대상의 동작 전력이 전력 미만이라고 검출되었을 경우, 연료전지가 대응하는 기체변환 범위에 근거하여 적어도 하나의 연료전지를 오프할 것인가, 또는 임의의 1대 또는 여러대의 연료전지에 포함된 전지 블록을 오프하는 것인가(S104), 에 대한 기능을 포함하고, 여기에서, 기체변환 범위는 연료전지의 수소변환율이 달했을 예정의 범위값에 대응하는 연료전지의 출력전력 범위값인 것을 특징. 종래 기술에 있어서 전기기구의 동작 전력에 따라서 여러 대 연료전지에 자동화제어를 행하는 것으로 전기기구의 출력이 낮아졌을 경우에 연료전지의 수소변환율이 낮은 문제를 해결할 수 없는 과제를 해결할 수 있다.						
인용횟수	자국인용 횟수	3	자국피인용 횟수	0	삼극특허 여부	Y	
대표사진							

구분	중분류	차량시스템		소분류	수소저장공급시스템	
특허명(원문)	Gas turbine system					
특허명(번역)	가스터빈 시스템					
국가코드	US	출원번호	US15/777486	출원년도	2016	
출원인	Siemens Aktiengesellschaft				출원인 국적	독일
대표청구항	【청구항1】 A gas turbine system comprising: an ammonia source and an oxygen-containing gas source; a first combustion chamber connected to receive a first ammonia gas stream, a first hydrogen-comprising gas stream, and an oxygen-containing gas stream; a first turbine connected to receive a first exhaust gas stream from the first combustion chamber; a second combustion chamber connected to receive a second exhaust gas stream from the first turbine, a second ammonia gas stream, and a second hydrogen-comprising gas stream; said ammonia source connected to the first combustion chamber to provide the first ammonia gas stream to the first combustion chamber; said ammonia source also connected to the second combustion chamber to provide the second ammonia gas stream to the second combustion chamber; and a first cracker chamber arranged to receive a third ammonia gas stream from the ammonia source and to supply the first hydrogen-comprising gas stream to the first combustion chamber.					
요약	가스 터빈 시스템에는 암모니아 공급원과 산소 함유 가스의 공급원, 암모니아를 수용하도록 연결된 제 1 연소실, 수소가 풍부한 가스 스트림 및 산소 함유 가스를 가지며, 터빈은 배기 가스 스트림을 수용하도록 연결됩니다. 제 1 연소실 및 터빈, 암모니아 및 수소가 풍부한 가스 스트림으로부터 배기 가스를 수용하도록 연결된 제 2 연소실을 포함한다.					
인용횟수	자국인용 횟수	6	자국피인용 횟수	1	삼극특허 여부	Y
대표사진						

구분	중분류		차량시스템		소분류		2차전지 시스템		
특허명(원문)	燃料発生装置及びそれを備えた2次電池型燃料電池システム								
특허명(번역)	연료발생장치 및 그것을 갖춘 2차 전지형 연료전지 시스템								
국가코드	JP	출원번호		JP2013-54817 7A		출원년도		2012	
출원인	KONICA MINOLTA INC					출원인 국적		일본	
대표청구항	【청구항1】 산화성 가스와의 산화 반응에 의해 연료를 발생하고, 환원성 가스와의 환원 반응에 의해 재생가능한 연료발생제의 미립자와, 다공질 부품을 갖추고, 상기 연료발생제의 미립자가 상기 다공질 부품의 내부에 분산되어서 배치되고 있어, 상기 다공질 부품의 평균 세공은 0.01μm이상이며, 상기 다공질 부품의 최대세공은 상기 연료발생제의 미립자의 환원 상태에 있어서의 상기 미립자의 최소입경보다도 작은 것을 특징으로 하는 연료발생장치.								
요약	연료 발생 장치는, 산화성가스와의 산화 반응에 의해 연료를 발생하고, 환원성 가스와의 환원반응에 의해 재생가능한 연료발생제의 미립자와, 다공질 부품을 갖춘다. 연료발생제의 미립자는 다공질 부품의 내부에 분산되어서 배치되고 있다.								
인용횟수	자국인용 횟수		5	자국피인용 횟수		0	삼극특허 여부		Y
대표사진									

구분	중분류	차량시스템		소분류	전장품	
특허명(원문)	Electric traction					
특허명(번역)	전기 견인 장치					
국가코드	US	출원번호		출원년도	2006	
출원인	Zero Emission Systems, Inc.				출원인 국적	미국
대표청구항	【청구항1】 A system having a drive train including an internal combustion engine (“ICE”) coupled to an input shaft of a transmission having a power takeoff port, the system comprising: an electric motor; anda transfer device coupling the electric motor to the transmission via the power takeoff port, the system being configured to enable the electric motor to selectively power an output shaft of the transmission during at least certain intervals when the internal combustion engine is powered off.					
요약	구동 트레인은 동력 인출 포트를 갖는 변속기에 결합 된 내연 기관(ICE)을 포함합니다. 전송 장치는 전기 모터를 포트를 통해 변속기에 연결합니다. 전기 모터는 ICE 전원이 꺼질 때 적어도 특정 간격 동안 구동 트레인에 선택적으로 전원을 공급하기 위해 특정 구성으로 활성화됩니다.					
인용횟수	자국인용 횟수	188	자국피인용 횟수	45	삼극특허 여부	Y
대표사진						

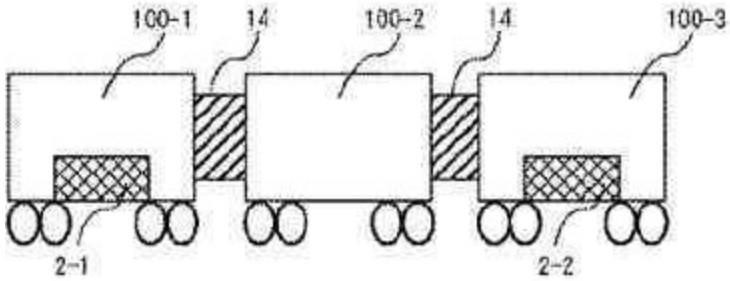
구분	중분류	차량시스템		소분류	차량 통합 운용제어	
특허명(원문)	System and method for power management					
특허명(번역)	전력 관리를 위한 시스템 및 방법					
국가코드	US	출원번호	US09/627742	출원년도	2000	
출원인	Metallic Power, Inc.				출원인 국적	미국
대표청구항	【청구항1】 A system for power management, comprising: (a) a regenerative fuel cell; and (b) a communication interface configured to allow communication of data between said regenerative fuel cell and at least one external device powered by the fuel cell, wherein the regenerative fuel cell is configured to deliver power to said device responsive to one or more parameters received from the at least one external device over the interface.					
요약	재생 연료 전지 및 적어도 하나의 전력 장치를 모니터링하고 제어하는 전력 관리를 위한 시스템 및 방법. 전력 관리 시스템은 데이터 전송을 용이하게 하기 위한 통신 인터페이스, 재생 연료 전지 및 적어도 하나의 전력 장치를 모니터링 및 제어하기 위한 통신 장치를 포함하고, 통신 장치는 다음을 통해 적어도 하나의 전력 장치로 데이터를 전송하고 그로부터 데이터를 수신하도록 제공합니다. 통신 인터페이스, 전기의 저장 및 공급을 제공하기 위한 재생 연료 전지, 및 재생 연료 전지에 의해 생성된 전기가 적어도 하나의 전력 장치에 전력을 공급할 수 있도록하는 전력 인터페이스를 포함.					
인용횟수	자국인용 횟수	81	자국피인용 횟수	174	삼극특허 여부	Y
대표사진						

구분	중분류		수소충전소		소분류	수소충전소 설비	
특허명(원문)	水素貯蔵組成物及びその水素貯蔵容器の製造方法						
특허명(번역)	수소저장조성물 및 그 수소저장용기의 제조 방법						
국가코드	JP	출원번호	JP6885702B9		출원년도	2016	
출원인	ASIA PACIFIC FUEL CELL TECHNOLOGY LTD				출원인 국적	대만	
대표청구항	【청구항1】 적어도 열전도성재료와 수소저장재료와 탄성재료를 균일하게 혼합해서 수소저장 조성물로 하는, 수소저장조성물의 제조 방법이며, 열전도성재료를 탄성재료와 혼합하고, 사전 처리용 진공추출 프로세스를 거쳐 수소저장재료를 더해, 균일하게 혼합하는, 수소저장조성물의 제조 방법.						
요약	탱크의 내구성을 향상시키는 수소저장조성물과, 수소저장용기와, 그 제조 방법을 제공한다. 열전도성재료 및 수소저장재료를 포함하는 수소저장조성물은 탄성재료를 포함한다. 열전도성재료와 수소저장재료와 탄성재료와의 혼합하며, 수소저장조성물은, 1~15%, 열전도성재료와 1~35%, 1~50%탄성재료를 포함한다. 수소저장용기의 제조 방법은 열전도성재료, 수소저장재료 및 탄성재료를 포함하는 수소저장조성물을 탱크에 충전하고, 탱크에 대하여 진공추출 프로세스를 행해 수소도입전의 중량을 기록한다. 그 후, 활성화 수소도입 프로세스를 행해 수소도입후의 중량을 기록하고, 수소도입전후의 중량을 비교하고, 수소저장량을 얻는다. 수소저장량이 기준값이상이라면, 프로세스를 종료한다. 수소저장량이 기준값미만이라면, 다시 진공추출 프로세스로부터, 활성화 수소도입 프로세스를 되풀이한다.						
인용횟수	자국인용 횟수	6	자국피인용 횟수	0	삼극특허 여부	Y	
대표사진							

구분	중분류		수소충전소		소분류	수소충전소 운용제어		
특허명(원문)	ガスの貯蔵と送給を行うための装置及び方法							
특허명(번역)	가스의 저장과 송급을 행하기 위한 장치 및 방법							
국가코드	JP	출원번호		JP5048582B9	출원년도		2008	
출원인	AIR PRODUCTS & CHEMICALS INC					출원인 국적	미국	
대표청구항	【청구항1】 가스의 저장이 가능한 매체를 수용하고 있어서, 매체에 저장된 가스를 용기로부터 송급하는 것을 가능하게 하는 저장 및 분배 용기로부터 구성된, 가스의 저장 및 송급을 실시하기 위한 장치이며, (1)스페이서와 교대로 적층된 복수의 심지 패드와 용기내에서 축선방향을 향할 수 있었던 중심의 원통형지지 스페이서를 갖는 구조, (2) 중심의 원통형지지 스페이서의 주변에 소용돌이 상태에 감아서 원통형 구조체로 된 단일인 심지층 및 단일인 스페이서층을 갖는 구조, (3) 접어서 주름형구조체로 되어, 해당 주름이 방사상에 배향(配向) 되어서 빌로우 타입의 원통형구조체를 형성하고 있는, 단일인 심지층과 단일인 스페이서층을 갖는 구조 및 (4)최대의 시스템 용량을 갖게 불활성 넷재료가 자세한 스페이서 관에 심지 매체를 삽입해서 형성된 복수의 흡수용 스틱을 충전한 용기를 갖는 구조로 이루어지는 군보다 뽑히는 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 가스 저장 송급 장치.							
요약	본 발명은, 가스의 저장 및 송급을 실시하기 위한 장치 및 프로세스의 개량에 관계한다. 상기 저장 및 송급 장치는, 가스의 저장이 가능한 매체를 수용하고 있어서, 매체에 저장된 가스를 용기로부터 송급하는 것을 가능하게 하는 저장 및 분배 용기로부터 구성되며, (a)루이스산성 또는 염기 성을 갖는 반응성액체, (b)루이스산성을 갖는 가스를 루이스염기성을 갖는 반응성액체와 접촉시켜, 또는 루이스염기성을 갖는 가스를 루이스산성을 갖는 반응성액체와 접촉시키는 것에 의해, 압력 및 온도의 조건하에 형성되는 가역적으로 반응한 상태에 있는 가스액체 착체, (c)상기 반응성액체 및 가스액체 착체를 유지해 분산되게 하는 비반응성 심지 매체, 를함 사위를 특징으로 한다.							
인용횟수	자국인용 횟수		10	자국피인용 횟수		3	삼극특허 여부	Y
대표사진	圖1							

구분	중분류		인증, 실증 및 관리		소분류	계획/운영/실증	
특허명(원문)	Remote Authentication of Replaceable Fuel Cartridge						
특허명(번역)	교체가능한 연료 카트리지의 원격 인증						
국가코드	US	출원번호	US14/334313		출원년도	2014	
출원인	Intelligent Energy Limited					출원인 국적	영국
대표청구항	【청구항1】 A fuel authentication device, comprising a programmable processor programmed to cause the fuel authentication device to perform: obtaining a first unique identifier element (UIE) associated with a first fuel cartridge;obtaining host information associated with a host device configured to use fuel from the first fuel cartridge;determining that the first fuel cartridge is authorized for use with the host device, based on data exchanged via a data communication network with a remote cartridge tracking system, the first UIE, and the host information; and,transmitting authorization data to the host device indicating that the host device is permitted to use fuel from the first fuel cartridge.						
요약	연료 전지 인증 장치가 제 1 수소 연료 카트리지와 연관된 제 1 고유 식별자 요소 (UIE) 및 제 1 연료 카트리지로부터의 연료를 사용하도록 구성된 호스트 장치와 연관된 호스트 정보를 획득하도록 프로그래밍 된 프로그래밍 가능한 프로세서를 갖는 장치가 개시된다. 상기 장치는 원격 카트리지 추적 시스템, 제 1 UIE 및 호스트 정보와 데이터 통신 네트워크를 통해 교환 된 데이터에 기초하여 제 1 연료 카트리지가 호스트 장치와 함께 사용하도록 승인되었는지 결정할 수있다. 또한, 인증 장치는 호스트 장치가 제 1 연료 전지 카트리지로부터 연료를 사용하도록 허용되었음을 나타내는 인증 데이터를 호스트 장치로 전송한다.						
인용횟수	자국인용 횟수	0	자국피인용 횟수	0	삼국특허 여부	Y	
대표사진							

구분	중분류		인증, 실증 및 관리		소분류		안전/편의	
특허명(원문)	Method for centralized management of a hydrogen generation network							
특허명(번역)	수소 생성 네트워크의 중앙 집중식 관리를 위한 방법							
국가코드	US		출원번호		출원년도		2007	
출원인	Techradium, Inc.					출원인 국적		미국
대표청구항	【청구항1】 A method for minimizing risk of explosion using centralized communication with a decentralized hydrogen generation network to regulate hydrogen production by at least one hydrogen generating device, comprising the steps of: forming an administrator interface for centralized communication with: a. at least one dispatchable power source, at least one non-dispatchable power source, or combinations thereof; and b. at least one hydrogen generating device; forming a dynamic information database in communication with the administrator interface for collecting and storing: a. at least one hydrogen generating device identification for the at least one hydrogen generating device, discretionary power consumption information of the at least one hydrogen generating device, or combinations thereof; and b. dispatchable power source information for the at least one dispatchable power source, non-dispatchable power source information for the at least one non-dispatchable power source, or combinations thereof; selectively transferring power from the at least one dispatchable power source, at least one non-dispatchable power source, or combinations thereof to the at least one hydrogen generating device using the administrator interface to provide centralized management of hydrogen production; transmitting at least one message to the at least one hydrogen generating device through at least one industry standard protocol, wherein the at least one message is for activating the at least one hydrogen generating device, deactivating the at least one hydrogen generating device, managing decentralized storage of hydrogen, or combinations thereof; and receiving at least one response from the at least one hydrogen generating device for regulating hydrogen production.							
요약	적어도 하나의 수소 생성 장치에 의한 수소 생산을 조절하기 위해 분산된 수소 생성 네트워크와의 중앙 집중식 통신을 사용하여 폭발 위험을 최소화하는 방법으로서, 디스패칭 가능 및 비-디스패칭 가능 전원, 적어도 하나의 수소 생성 장치, 수소 생성 장치의 식별 및 재량적 전력 소비 정보를 수집하고 저장하기 위한 동적 정보 데이터베이스를 형성하는 단계를 포함한다. 그런 다음 전력은 배포 가능 및 배포 불가능한 전원에서 관리자 인터페이스를 사용하여 수소 생성 장치로 선택적으로 전달되어 수소 생산의 중앙 집중 관리를 제공한다. 적어도 하나의 메시지는 활성화, 비활성화 또는 분산 수소 저장 관리를 위해 적어도 하나의 수소 생성 장치로 전송되고, 수소 생산을 조절하기 위해 수소 생성 장치로부터 적어도 하나의 응답이 수신된다.							
인용횟수	자국인용 횟수	25		자국피인용 횟수	6		삼극특허 여부	N
대표사진								

구분	중분류		인증, 실증 및 관리		소분류		유지관리																			
특허명(원문)	編成車両の車上装置およびそれを搭載した編成車両を運行させる地上システム																									
특허명(번역)	편성 차량의 차 위 장치 및 그것을 탑재한 편성 차량을 운행시키는 지상 시스템																									
국가코드	JP	출원번호		JP4640087B9		출원년도		2005																		
출원인	HITACHI LTD					출원인 국적		일본																		
대표청구항	【청구항1】 정해진 궤도를 주행하는 복수의 차량으로 구성되는 편성 차량의 차 위 장치에 있어서, 수소 및 산소를 연료로서 발전하는 발전 장치와, 상기 발전 장치에 공급하는 수소를 보존하는 연료 탱크와, 상기 연료 탱크의 교환이 가능한 복수의 탱크 입과, 상기 복수의 탱크 입의 일부에 상기 연료 탱크를 탑재한 상태에서, 상기 복수의 탱크 입에 있어서의 상기 연료 탱크 각각의 탑재 상황으로부터, 상기 발전 장치에 수소를 공급하는 연료 탱크를 결정하는 수소공급 제어 장치와, 를 갖는 것을 특징으로 하는 편성 차량의 차 위 장치.																									
요약	연료보충 기지의 건설비나 유지보수비용이 필요없어져, 성 비용 이루어져 연료전지탑재의 철도 차량 및, 그 철도 차량에 있어서 연료 탱크를 신속하게 교환할 수 있고, 원활한 운영을 가능하게 하는 운영 관리 시스템을 제공하는 것. 복수의 차량으로 구성되는 철도 차량에 있어서, 연료 탱크를 복수마련, 철도 차량이 역에 정차할 때마다 탱크를 교환한다. 단, 때는 탱크와 탑재하는 탱크를 나누는 것으로, 연료 탱크의 교체 시간을 절감할 수 있고, 원활한 운영이 가능해진다.																									
인용횟수	자국인용 횟수		5		자국피인용 횟수		1		삼극특허 여부		N															
대표사진	圖 6  <table border="1" data-bbox="644 1588 1080 1845"><thead><tr><th>出発駅</th><th>出発時搭載 タンク番号</th><th>到着時換取 タンク番号</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>2-1</td><td>2-2</td></tr><tr><td>B</td><td>2-2</td><td>2-1</td></tr><tr><td>C</td><td>2-1</td><td>2-2</td></tr><tr><td>D</td><td>2-2</td><td>2-1</td></tr></tbody></table>											出発駅	出発時搭載 タンク番号	到着時換取 タンク番号	A	2-1	2-2	B	2-2	2-1	C	2-1	2-2	D	2-2	2-1
出発駅	出発時搭載 タンク番号	到着時換取 タンク番号																								
A	2-1	2-2																								
B	2-2	2-1																								
C	2-1	2-2																								
D	2-2	2-1																								

2. 논문분석

가. 분석 범위

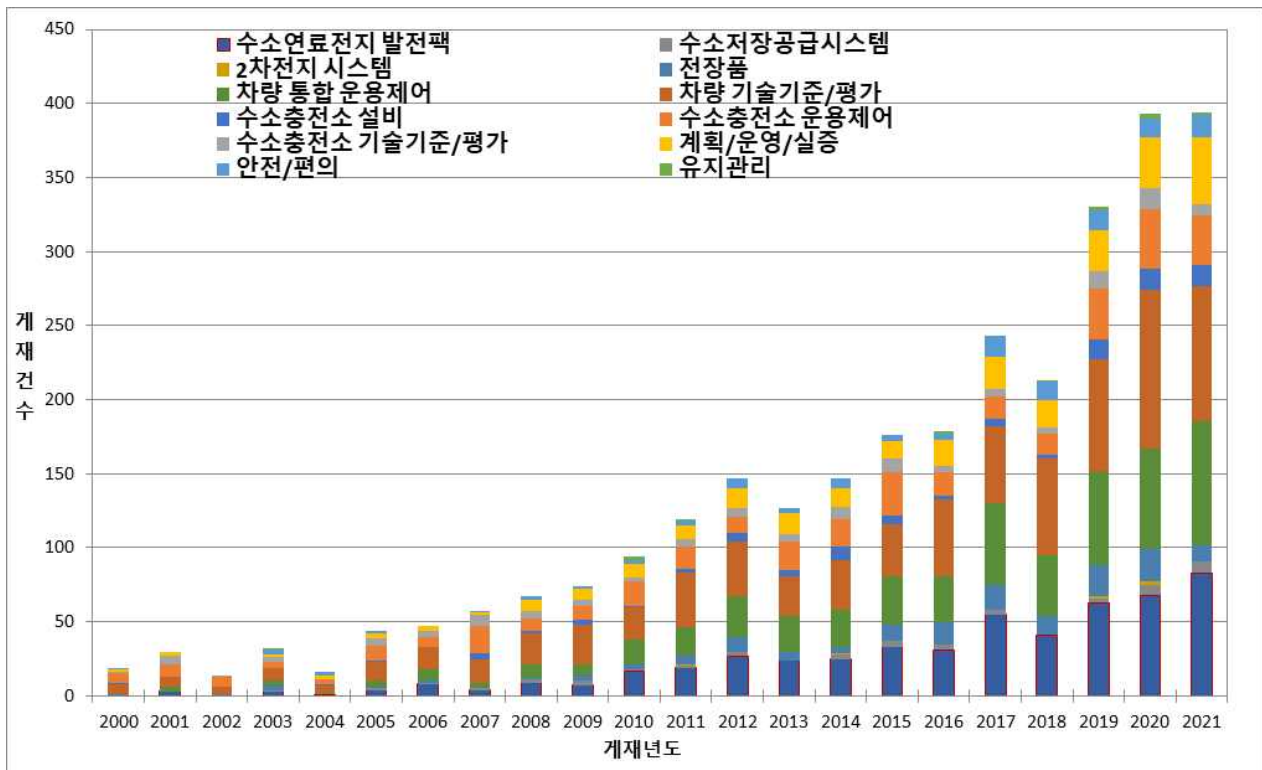
- Web of Science DB를 활용하여 수소철도 관련 12대 소분류에 대하여 ‘00년 1월 1일 이후 게재된 논문을 분석
 - Web of Science DB에 게재된 논문을 대상으로 하여, 각 기술분야에 부합하는 유효논문을 추출하였고, ‘00년 1월 1일부터 ‘21년 12월 31일까지 게재된 논문 2,994건을 분석대상
 - 이를 통하여 글로벌 논문 현황을 분석하여 전략적인 연구개발 계획수립에 활용할 예정이며, 논문 검색식은 한글 키워드만 제외하고 특허검색식과 동일하게 적용

[표 36] 검색 DB 및 검색범위

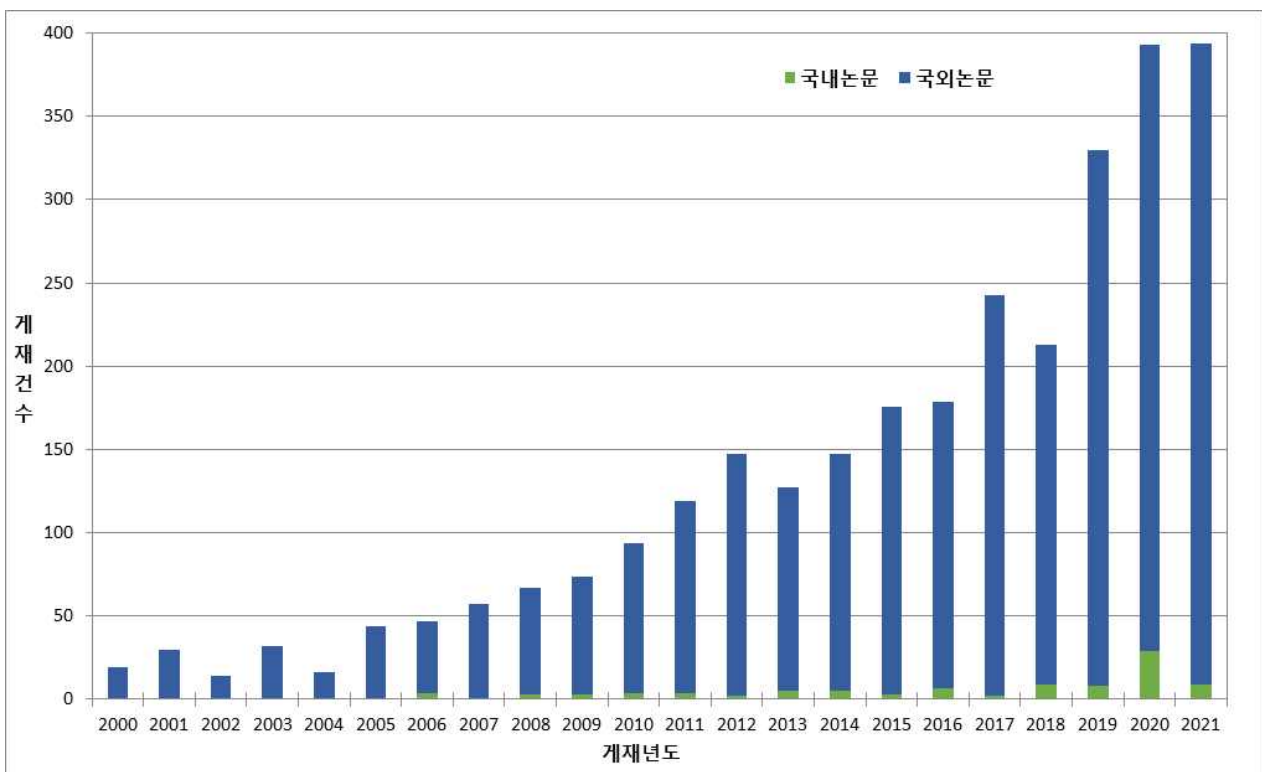
검색DB	분석구간	논문유형	검색범위
Web of Science DB	2020.1.1. ~2021.12.31.	Article	저자, 제목, 출처
			초록, 키워드, 주소
			인용 문헌 및 사용

나. 분석 결과

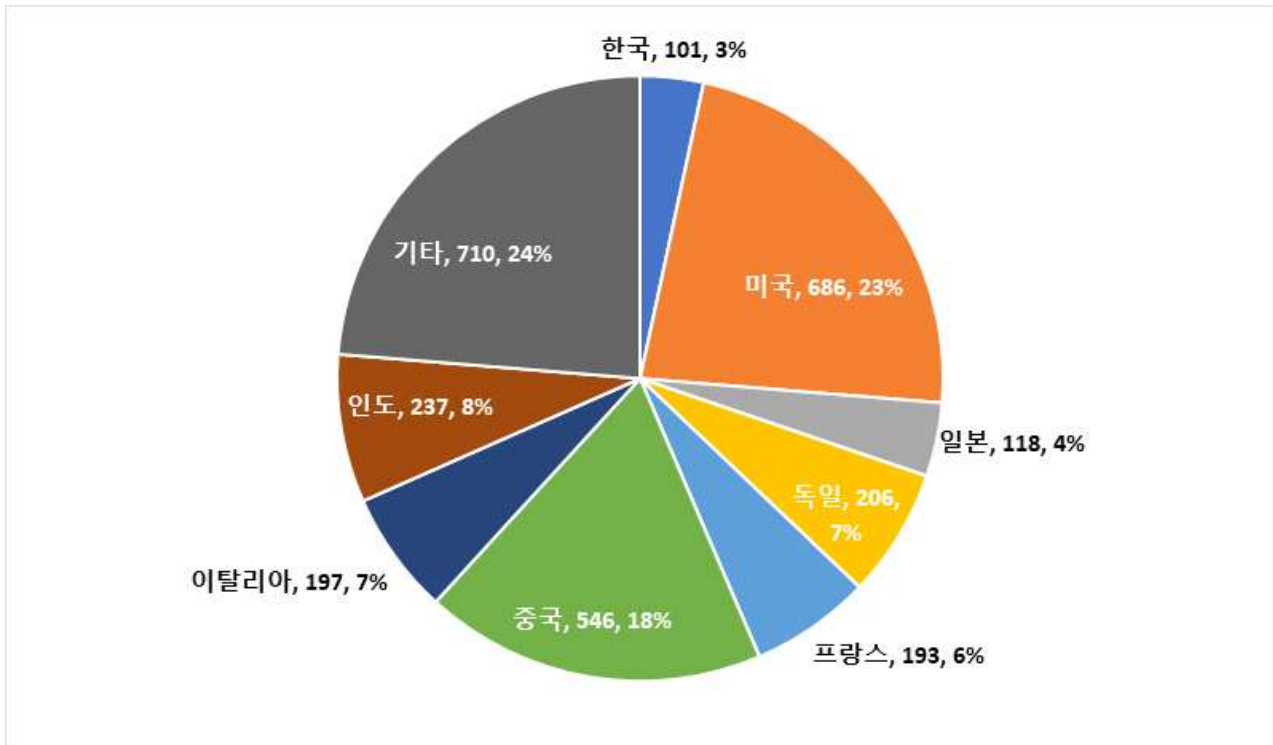
- 국내외 수소철도와 관련하여 ‘00년부터 ‘21년까지 게재된 논문은 총 2,994건이며, 국외 논문이 2,893건, 국내논문이 101건으로 조사
 - 국내 논문은 ‘10년부터 꾸준히 게재되어 최근까지 게재 수가 상승하고 있는 것으로 조사되었으며, 국외논문은 조사 시점부터 현재까지 꾸준히 증가하는 추세
 - ‘10년 이후 논문이 급격하게 증가하는 것은 특허동향과 같이 중국논문이 급격하게 증가하는 것이 주요 원인으로 분석
 - 전체 논문의 23%가 미국 국적의 저자로 수소철도 분야 연구는 미국 주도로 연구되는 것으로 판단되며, 전통적인 철도 강국인 독일, 프랑스, 이탈리아 등 유럽국가가 주요 논문 저자로 분석
 - 한국과 일본 국적의 저자는 각각 3%, 4%로 SCI급 논문은 적은 것으로 확인되며, 특허에 비해 논문 성과는 저조한 것으로 확인



[그림 75] 연도별 논문 게재 추이

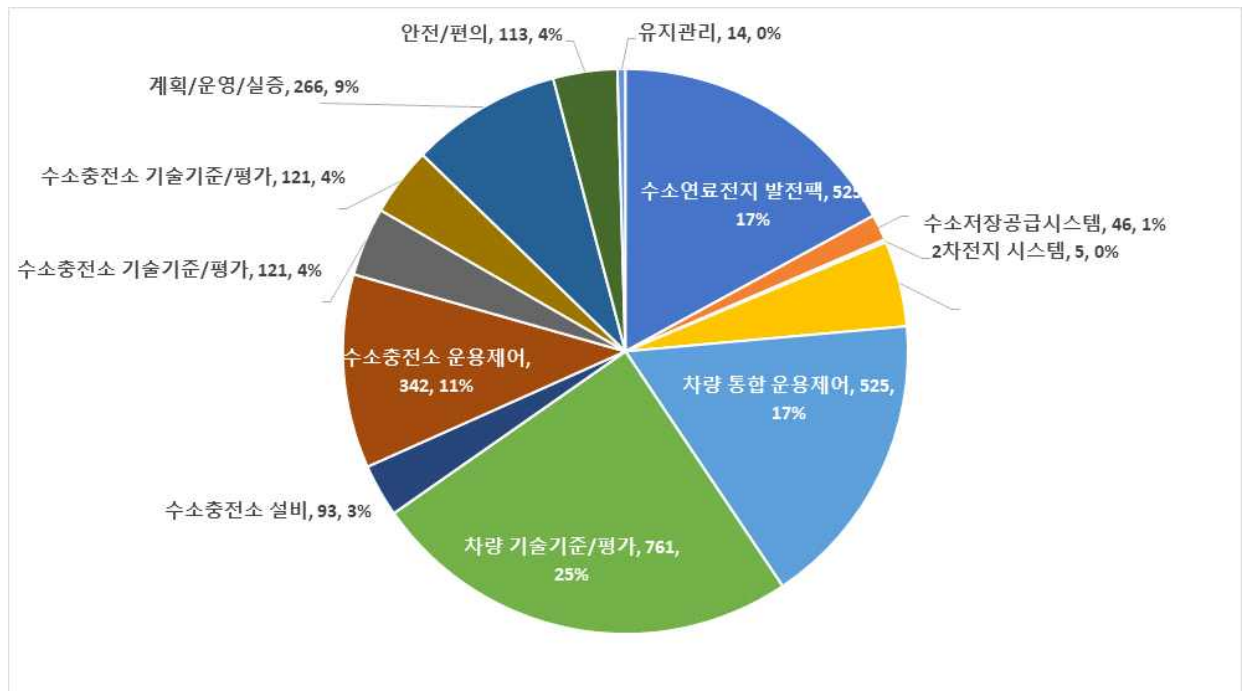


[그림 76] 국내외 논문 추이



[그림 77] 논문 저자 국적 비중

- 소분류별 논문 게재 비중은 차량 기술기준/평가가 25%로 가장 많으며, 차량 통합 운용제어, 수소연료전지 발전팩, 수소충전소 운용제어 순으로 비중이 높고 유지관리 분야는 아직 기술단계 상 연구가 부족한 상황
- 수소철도 관련 논문은 꾸준히 증가하는 것을 볼 수 있으며, ‘10년 이후 급격하게 게재 수가 증가하는 것으로 조사
 - 중분류 단위에서는 차량 관련 기술의 논문이 수소충전소와 운영 관련 기술에 비해 월등히 많이 게재되고 있는 것으로 분석
 - 특히, 유지관리 기술은 아직 차량 개발이 우선되고 있어 논문 게재 수가 다른 기술에 비해 부족하고, 차량 내 기술 중 2차전지 기술의 연구가 미비한 실정
 - 소분류 기술별로 대부분 기술의 논문 게재수가 증가하는 것으로 볼 수 있으며, 차량 평가기술과 차량 통합 운용제어 기술의 논문 게재수가 최근 들어 급격히 증가
 - 또한, 수소철도가 중국, 유럽 등에서 운영되면서 차량 및 수소충전소 운용 제어기술과 안전/편의 기술 등이 최근 들어 연구가 활발히 진행



[그림 78] 소분류 기술별 논문 게재 비중

[표 37] 연도별 차량 시스템 분야 국내외 논문 현황

구분	수소연료전지 발전팩	수소저장·공급 시스템	2차전지 시스템	전장품	차량 통합 운용제어	차량 기술기준/평가
2000	0	0	0	1	0	7
2001	3	0	0	0	3	7
2002	0	0	0	1	0	5
2003	3	1	0	3	3	9
2004	1	0	0	0	1	5
2005	4	1	0	1	4	13
2006	8	1	0	1	8	15
2007	4	1	0	0	4	16
2008	9	2	0	1	9	21
2009	7	3	0	4	7	27
2010	17	1	0	3	17	22
2011	19	1	1	6	19	37
2012	27	3	0	10	27	37
2013	24	0	0	6	24	27
2014	25	3	1	4	25	34
2015	33	4	0	11	33	35
2016	31	4	0	15	31	52
2017	55	3	0	17	55	52
2018	41	0	0	13	41	65
2019	63	3	1	21	63	76
2020	68	7	2	22	68	107
2021	83	8	0	11	83	92
합계	525	46	5	151	525	761

[표 38] 연도별 수소충전소/인증, 실증 및 관리 분야 국내외 논문 현황

구분	수소충전소 설비	수소충전소 운용제어	수소충전소 기술기준/평가	계획/운영/ 실증	안전/편의	유지관리
2000	1	6	1	2	1	0
2001	0	8	6	3	0	0
2002	0	7	1	0	0	0
2003	0	4	3	2	3	1
2004	1	3	0	3	2	0
2005	1	10	5	3	2	0
2006	0	7	4	3	0	0
2007	4	18	8	1	1	0
2008	2	8	5	8	2	0
2009	3	10	4	7	2	0
2010	1	16	3	9	3	2
2011	3	15	5	9	3	1
2012	6	11	6	13	7	0
2013	4	19	5	14	4	0
2014	9	18	9	12	7	0
2015	6	29	9	12	4	0
2016	2	16	4	18	4	2
2017	5	15	5	22	14	0
2018	3	14	4	19	12	1
2019	14	34	12	27	14	2
2020	14	41	14	34	13	3
2021	14	33	8	45	15	2
합계	93	342	121	266	113	14

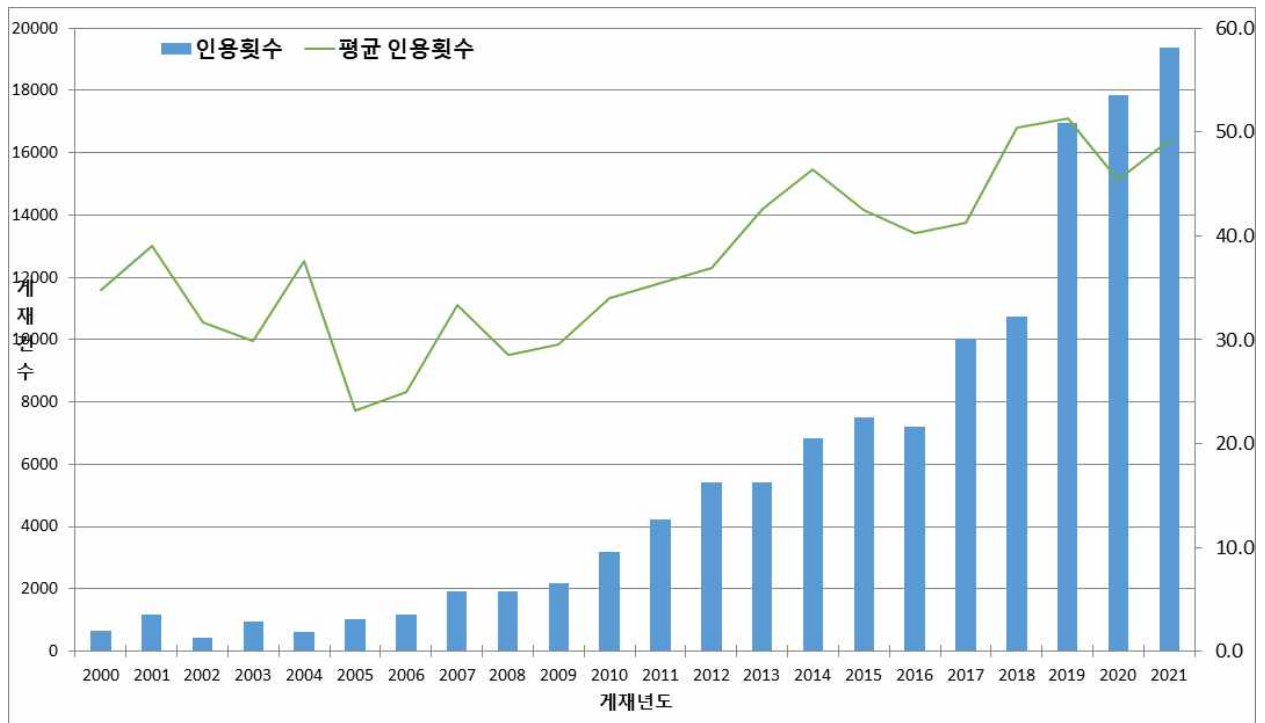
□ 연도별 논문건수가 증가함에 따라 논문 인용횟수와 논문 1건당 평균 인용 횟수도 증가하는 추세

○ 2000년대 초반 논문 1건당 평균 인용횟수는 30회 내외였으나 ‘13년 이후 증가하여 ‘21년에는 49회로 조사

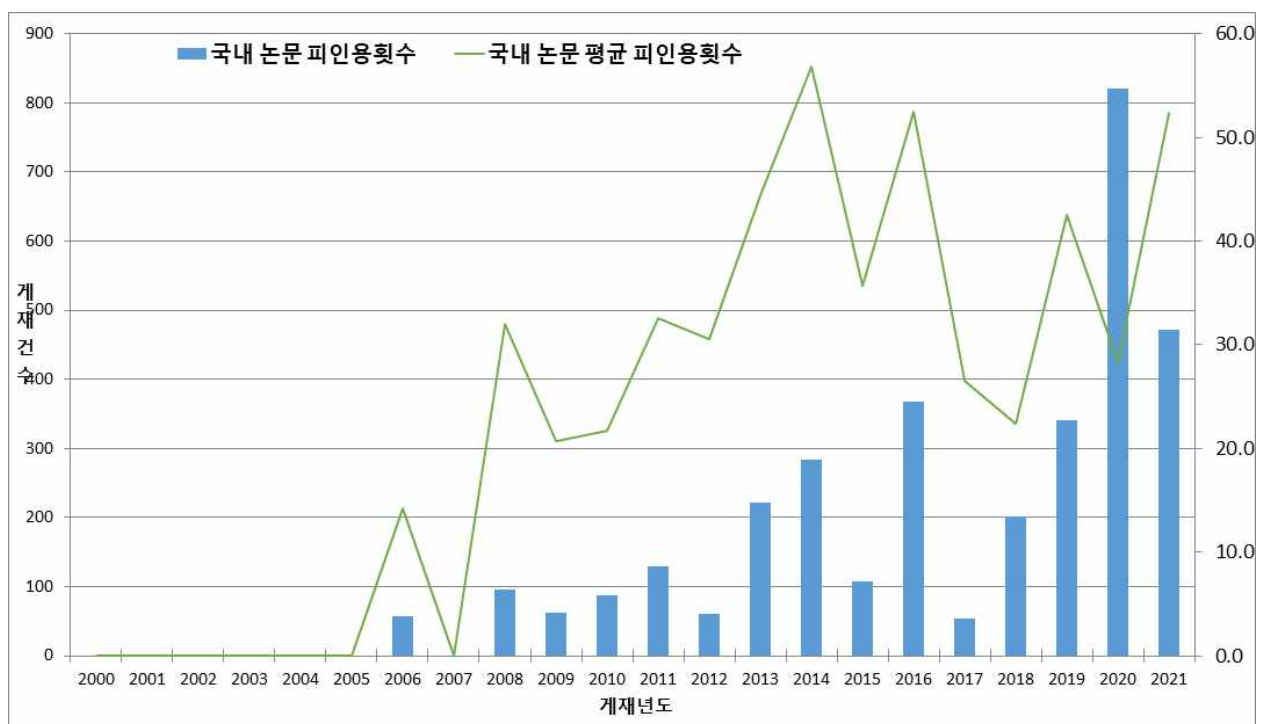
- 국내 논문도 연도별 격차가 있기 하지만 대체적으로 연도별 인용횟수와 평균 인용횟수가 증가하는 추세이며, ‘11년 이후에는 평균 인용횟수가 30회를 초과

- 국내에서는 ‘06년부터 논문이 게재되기 시작하여 ‘06년 논문 1건당 평균 인용횟수가 14건에서 ‘21년 52건으로 급속도로 증가하여 전체 평균 피인용 횟수(49건)보다 높게 조사

- 이는 최근 들어 국내 수소철도 분야 연구의 성과가 양적·질적으로 우수 해지고 있음을 나타내는 지표



[그림 79] 연도별 국내외 논문 인용횟수 및 논문 1건당 평균 인용횟수



[그림 80] 연도별 국내 논문 인용횟수 및 논문 1건당 평균 인용횟수

다. 대표 논문

구분	중분류	차량시스템	소분류			수소연료전지 발전팩		
논문명	Fuel cell hybrid powertrains for use in Southern Italian railways							
저자	Fragiacomo, Petronilla; Piraino, Francesco							
소속	University of Calabria, ITALY							
키워드	Fuel cell-based vehicle; Railway track; Hybrid powertrain							
저널	INT. JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY		Vol.	44	No.	51	Year	2019
Abstract	본 연구에서는 철도에서 다양한 용도로 사용되는 연료전지 하이브리드 파워트레인의 사용을 분석합니다. 4대의 차량이 트랙에서 수치적으로 테스트됩니다. 구현된 모델은 트랙 고도, 열차 속도 및 차량 특성부터 차량 동력 수요를 계산합니다. 각 트랙에는 목적에 맞게 연료전지 시스템과 에너지 저장장치, 배터리 및 슈퍼커패시터로 구성된 파워트레인이 사용된다. 각 구성 요소는 개별적으로 모델링되고 검증됩니다. 문헌에서 발견된 실험 데이터를 통해 전체 시스템이 검증되었음을 강조합니다. 시뮬레이션 결과 간의 비교 분석이 수행됩니다. H-2 소비는 트랙 에너지 소비에 따라 5kg/사이클에서 160kg/사이클 사이에서 변화하는 반면 연료 전지 효율은 50%에서 47% 사이입니다. 셀은 다른 전력 속도로 작동합니다							
인용횟수	42		DOI	10.1016/j.ijhydene.2019.09.005				

구분	중분류	차량시스템	소분류		수소저장·공급시스템			
논문명	Feasibility of hydrogen fuel cell technology for railway intercity services: a case study for the Piedmont in North Carolina							
저자	Madovi, Orwell; Hoffrichter, Andreas; Little, Nick; Foster, Shanelle N.; Isaac, Raphael							
소속	Michigan State University, USA							
키워드	Hydrail; Life cycle assessment; Criteria pollutants; Well-to-wheel; Single train simulation; Modeling							
저널	RAILWAY ENGINEERING SCIENCE		Vol.	29	No.	3	Year	2021
Abstract	디젤 연료는 대기오염물질과 온실가스 배출을 포함하는 배기가스를 발생시킵니다. 많은 철도 차량은 디젤 연료를 에너지원으로 사용합니다. 경제적인 대체 전원 공급 장치에 대한 우려뿐만 아니라 배기가스 배출 감축을 위해 수소 동력으로 전환하려는 노력이 이어져왔습니다. 철도에 적용되는 수소연료전지 기술은 유해한 배기가스를 제거할 수 있는 에너지 공급망을 제공합니다. 현재는 하이드레일 기술이 적용된 다중 단위 열차만 상업적으로 운행되고 있습니다. 본 연구에서는 시외철도용 통합 하이브리드 열차 시뮬레이터의 개발이 제시됩니다. 제안된 도구는 휠-투-탱크 프로세스 동안 파워트레인 구성 요소의 효과를 통합합니다. 이전 모델과 비교하여 제안된 재구성 가능한 도구는 중간 요구 사항과 최소 계산 시간으로 높은 충실도를 제공합니다. 단일 열차 시뮬레이션과 연방정부의 온실가스 배출 규제, 운송 에너지 사용(GREET(R)) 모델을 함께 사용하여 다양한 열차 및 파워트레인 구성의 타당성을 평가합니다. 노스캐롤라이나에서 운영되는 Piedmont 시외 서비스가 사례 연구로 사용됩니다. 이 연구에는 디젤 공급 외에 6개의 열차 구성 및 파워트레인 옵션과 9개의 수소 공급 옵션이 포함됩니다. 연구결과, 하이드레일 옵션이 실현 가능할 뿐만 아니라 저탄소 또는 제로 탄소 수소 공급망이 가능할 수 있음을 보여줍니다.							
인용횟수	34		DOI	10.1007/s40534-021-00249-8				

구분	중분류	차량시스템	소분류		2차전지 시스템			
논문명	Designing High-Voltage and Large-Capacity Battery Packs for Fuel-Cell Hybrid Railroad Propulsion System							
저자	Cho, In-Ho; Lee, Byoung-Hee; Park, Seong-Yun; Ryu, Joon-Hyoung; Kim, Jong-Hoon							
소속	Korea Railroad Research Institute (KRRI), KOREA							
키워드	battery management; cell-balancing; fuel-cell hybrid propulsion system; railroad vehicle							
저널	ELECTRONICS		Vol.	9	No.	8	Year 2020	
Abstract	온실가스 배출로 인한 지구 온난화 문제로 인해 많은 교통 시스템의 내연 기관이 전기 화되고 있습니다. 철도 추진시스템의 경우 시스템이 제대로 작동하기 위해서는 고전압 /대용량 에너지원을 적용하는 것이 필수적입니다. 따라서, 최근 연료전지 및 충전식 배터리 시스템이 고려되고 있습니다. 배터리 시스템의 에너지 효율을 향상시키기 위해 모든 회생 에너지를 수신하고 저장할 수 있습니다. 또한 수소연료전지를 활용한 추진 시스템의 배터리팩은 철도차량의 주행상태와 관계없이 지속적인 충방전이 필요하므로 배터리팩의 안정적인 사용과 유지보수 비용을 최소화하도록 설계되었습니다. 본 연구에서는 최근 연구되고 있는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 추진시스템 규격을 적용하여 철도차량용 고전압/대용량 배터리팩 설계 시 고려사항을 연구하였다. 특히, 연속적인 충방전 동작이 반복되는 하이브리드 철도차량의 배터리 팩을 안정적으로 관리하기 위한 수동 및 능동 셀 밸런싱 회로와 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 검증하였습니다.							
인용횟수	19		DOI	10.3390/electronics9081259				

구분	중분류	차량시스템	소분류		전장품			
논문명	Hybrid hydrogen PEM fuel cell and batteries without DC-DC converter							
저자	Shang, Jinlei; Kendall, Kevin; Pollet, Bruno G.							
소속	Coventry University, ENGLAND							
키워드	hydrogen fuel cell hybrid vehicle; battery electric vehicle; DC-DC converter							
저널	IN. J. OF LOW-CARBON TECHNOLOGIES		Vol.	11	No.	2	Year	2016
Abstract	온실가스에 대한 우려와 석유 공급의 가격은 지속가능한 자동차 개발에 박차를 가하는 역할을 했습니다. 수소 연료 전지 전기 자동차(HFCEV)는 일반적으로 주요 자동차 제조업체와 과학자들에 의해 장기적인 미래 저탄소 자동차를 위한 최적의 기술 중 하나로 인식되고 있습니다. 일반적인 HFCEV 동력 전달 장치에서는 연료 전지(FC) 스택과 배터리 간의 전압 차이 균형을 맞추기 위해 DC-DC 컨버터가 필요합니다. 그러나 연구에 따르면 수소 FC 스택에서 생성된 상당한 양의 에너지가 이 변환 과정에서 열로 고갈되는 것으로 나타났습니다. 이 실험은 전기 부품의 크기와 용량에 맞는 FC 스택과 배터리의 최상의 조합을 찾아 DC-DC 컨버터를 제거하여 파워 트레인 효율을 향상시키는 것을 목표로 합니다.							
인용횟수	22		DOI	10.1093/ijlct/ctt070				

구분	중분류	차량시스템	소분류		차량 통합 운용제어		
논문명	Multi-objective genetic optimization of the fuel cell hybrid vehicle supervisory system: Fuzzy logic and operating mode control strategies						
저자	Ahmadi, Saman; Bathaee, S. M. T.						
소속	Toosi University of Technology, IRAN						
키워드	Energy management strategy; Fuel cell hybrid vehicle; Fuzzy logic control; Genetic algorithm; Multiple objective optimization; Operating mode control						
저널	INT. JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	Vol.	40	No.	36	Year	2015
Abstract	연료전지 차량의 파워트레인은 차량의 성능을 향상시키기 위해 배터리를 2차 동력원으로 포함한다. 이 구성에서 차량의 성능은 에너지 관리 전략(EMS)의 품질에 크게 좌우됩니다. 본 논문에서는 연료전지 하이브리드 자동차(FCHV)의 에너지 제어를 위해 두 개의 EMS를 소개한다. 퍼지 논리 제어(FLC) 및 작동 모드 제어(OMC)입니다. 유전 알고리즘(GA)은 조합된 운전 사이클을 통해 오프라인 시뮬레이션으로 이러한 전략을 최적화하기 위해 구현됩니다. 이러한 제어 방법을 고급 차량 시뮬레이터(ADVISOR) 소프트웨어의 EMS 및 비최적화 제어 전략과 같은 다른 접근 방식과 비교하면 등가 에너지 소비, 에너지 효율 및 충전 상태(SOC) 변화와 관련하여 최적화된 전략의 우수성을 입증합니다. .						
인용횟수	28		DOI	10.1016/j.ijhydene.2015.06.160			

구분	중분류	차량시스템	소분류		기술기준/평가		
논문명	Techno-economic analysis of freight railway electrification by overhead line, hydrogen and batteries: Case studies in Norway and USA						
저자	Zenith, Federico; Isaac, Raphael; Hoffrichter, Andreas; Thomassen, Magnus Skinlo; Moller-Holst, Steffen						
소속	University of California System, USA						
키워드	Freight; train; diesel; hydrogen; battery; hybrid						
저널	JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT	Vol.	234	No.	-	Year	2020
Abstract	본 연구는 전기가 통하지 않는 두 개의 철도 노선(노르웨이와 미국에 각각 하나씩)이 가공선 장비, 배터리, 수소 또는 수소 배터리 하이브리드 파워트레인으로 전기화될 가능성이 있는지 분석하였습니다. 에너지 요구 사항은 노선의 고도, 공기 및 회전 저항, 기관차 견인 곡선을 포함하여 단일 열차 시뮬레이션으로 설정됩니다. 기관차, 배터리 화차, 수소 화차 등 화물 열차의 구성도 동일한 모델로 계산됩니다. 2020년, 2030년, 2050년에 대한 예상 기술 경제적 매개변수를 기반으로 연간 등가 비용, 편익 비용 비율, 회수 기간 및 선행 투자 기준으로 서로 다른 기술을 비교합니다. 결과는 배터리 및 교통량이 적은 철도에서 디젤을 대체할 연료 전지가 우수한 것으로 분석되었습니다.						
인용횟수	48		DOI	10.1177/0954409719867495			

구분	중분류	수소충전소	소분류			수소충전소 설비		
논문명	Development and validation of an analytical charge-hold-vent model for cryogenic tank chilldown							
저자	Keefer, Keaton Andrew; Hartwig, Jason							
소속	Case Western Reserve Univ, USA							
키워드	Charge; Hold; Vent; Tank chilldown; Liquid hydrogen; Fuel depot; Cryogenic							
저널	INT. J. OF HEAT AND MASS TRANSFER		Vol.	101	No.	-	Year	2016
Abstract	미래의 우주 극저온 연료 저장소를 가능하게 하려면 사용되는 추진제의 양을 최소화 하기 위해 탱크 냉각 및 이송 프로세스에 효율적인 방법이 필요합니다. 본 연구에서는 액체 수소 탱크 냉각 데이터의 단일 세트와 비교되는 과도 충전-유지-환기(CHV) 분석 모델을 제시합니다. 이 모델은 질량 및 에너지 보존 문제를 해결하고, 준-비정상 시간 단계를 사용하여 자연 대류 및 제트 충돌 열 전달을 시뮬레이션하고, 냉각 프로세스가 진행됨에 따라 2상 유체 열역학적 특성을 추적합니다. 순환 탱크 환기 프로세스를 통해 사용할 수 있는 추가 냉각 잠재력도 코드에서 계산됩니다. 유연한 코드는 여러 CHV 사이클을 시뮬레이션하고, 탱크 형상 및 노즐 위치를 최적화하는 데 사용되며, 각 사이클에 사용되는 추진제 질량의 양에 대한 예측을 제공합니다. 이 모델은 액체 수소 탱크 냉각 실험 데이터의 7% 이내에서 예측됩니다.							
인용횟수	45		DOI	10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.04.041				

구분	중분류	수소충전소	소분류		수소충전소 운영관리			
논문명	Predicting fueling process on hydrogen refueling stations using multi-task machine learning							
저자	Wang, Yunli; Deces-Petit, Cyrille							
소속	National Research Council Canada, CANADA							
키워드	Hydrogen refueling station; Machine learning; Multi-task learning							
저널	INT. JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY		Vol.	45	No.	56	Year	2020
Abstract	수소충전소(HRS)를 모니터링함으로써 운전의 안전성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 급유에 필요한 성능기준을 충족시킬 수 있다. 기존에는 연료 공급 프로세스를 제시하기 위해 테이블 기반 또는 연료 공급 프로세스 방법의 동적 제어가 사용되었다. 본 연구에서는 연료 공급 프로세스의 주요 성능 목표인 충전 상태(SOC)를 예측하기 위해 머신러닝 방법을 사용할 것을 제안한다. 시동 연료 공급 시간의 초기 작동 조건에 기반하여 최소 절대 수축 및 선택 연산자(LASSO)를 사용하여 비분사 연료 공급, 정상 및 언더샷 분사를 예측한다. 시뮬레이션은 최대 2년의 운영 데이터가 있는 3개의 수소충전소에서 수행되었다. 분류 정확도는 3개 관측소에서 85% 이상에 달했다. 향후 시간 단계에서의 SOC는 다중 작업 회귀 모델을 사용하여 예측되었다. 1분 이내에 예측되는 미래 SOC는 데이터가 풍부한 두 스테이션에서 정확한 결과를 예측했다. 분류 및 회귀 작업 모두에서 데이터가 풍부한 스테이션에 구축된 훈련 모델은 훨씬 적은 훈련 데이터로 스테이션의 성능을 크게 향상시켰다. 이러한 결과는 연료 공급의 성능을 예측하는데 머신러닝 방법을 사용하는 것이 HRS에서 실현 가능하고 만족스럽다는 것을 보여준다. 운영 전략을 최적화하기 위해 머신러닝 모델은 연료 공급 프로세스를 제어하는 대안적인 방법으로 HRS의 컨트롤러에 통합될 수 있다.							
인용횟수	33		DOI	10.1016/j.ijhydene.2020.08.281				

구분	중분류	수소충전소	소분류			기술기준/평가		
논문명	An adaptive PMP-based model predictive energy management strategy for fuel cell hybrid railway vehicles							
저자	Deng, Kai; Peng, Hujun; Dirkes, Steffen; Gottschalk, Jonas; Uenluebayir, Cem; Thul, Andreas; Lowenstein, Lars; Pischinger, Stefan; Hameyer, Kay							
소속	RWTH Aachen University, GERMANY							
키워드	Energy management; Fuel cell hybrid trains; Model predictive control (MPC); Pontryagin's minimum principle (PMP)							
저널	ETTRANSPORTATION		Vol.	7	No.	-	Year	2021
Abstract	전기가 통하지 않는 선로에서 오염 물질 배출 없이 생태학적 주행을 달성하기 위해 연료전지 및 배터리 시스템으로 구동되는 철도 차량 개발에 중점을 둡니다. 중요한 문제는 배터리의 충전 상태 (SoC)를 유지하면서 수소 소비를 줄이는 것입니다. 그런 맥락에서 본 논문은 MPC(Model Predictive Control) 프레임워크 내에서 Pontryagin의 PMP(Minimum Principle)에 기반한 새로운 캐주얼 에너지 관리 전략을 제안합니다. 전체 에너지 관리 문제는 에너지 관리를 구현하기 위해 모델 예측 제어를 사용하는 다른 작업에서 발견되는 일반적인 것과는 다른 예측 범위에서 비용 함수를 해결하여 공식화됩니다. 이 전략의 주요 장점은 평균 전력 추정과 실제 SoC를 사용하여 적응적으로 평가되는 PMP의 공동 상태를 비용 함수에 도입함으로써 예측된 최적의 SoC 궤도가 MPC 프레임워크 내에서 더 이상 필요하지 않다는 것입니다. 따라서 전략은 선로에 대한 완전한 정보를 필요로 하지 않습니다. 또한 연료전지의 수명에 도움이 되는 비용 함수에 튜닝 요소를 도입하여 연료전지 동력의 역학을 고려합니다. 제안된 전략은 RWTH Aachen 대학의 모바일 추진 센터의 HiL(Hardware-in-the-Loop) 테스트 벤치에서 실제 주행 주기로 테스트 및 검증되었습니다. 시뮬레이션 결과는 일정한 SoC 참조를 사용하는 일반적인 MPC 전략과 비교하여 오프라인 PMP 결과에 가장 가깝고 최대 12.1%의 수소 절약을 보여줍니다. HiL 결과는 제안된 전략의 실시간 기능을 입증하고 글로벌 최적 결과보다 단지 2.7% 더 많은 수소 소비로 우수한 연비를 보여줍니다							
인용횟수	36		DOI	10.1016/j.etrans.2020.100094				

구분	중분류	인증, 실증 및 관리		소분류		계획/운영/실증		
논문명	Concept development and testing of the UK's first hydrogen-hybrid train (HydroFLEX)							
저자	Calvert, Charles; Allan, Jeff; Amor, Peter; Hillmansen, Stuart; Roberts, Clive; Weston, Paul							
소속	University of Birmingham, England							
키워드	Hydrogen; Fuel cell; Hybrid; Systems engineering							
저널	RAILWAY ENGINEERING SCIENCE		Vol.	29	No.	3	Year	2021
Abstract	2018년 10월 Porterbrook과 버밍엄 대학교는 Rail Live 2019에서 수소 하이브리드 개조 열차를 시연하기 위해 HydroFLEX 프로젝트를 발표했습니다. 배터리, 24V 제어시스템 및 수소 저장 요소가 객차 중 하나의 내부에 장착됩니다. 그 다음에는 연료 전지 스택, 견인 배터리 및 제어 장비를 조달하여 열차 내부에 설치하고 좌석 레일에 고정했습니다. 주요한 장점으로 운행에 필요한 최소량보다 훨씬 더 많은 수소 저장 공간을 제공하여 본선 테스트를 더 빠른 속도로 운용할 수 있도록 설계하였습니다. HydroFLEX가 시연된 Rail Live 전시회 이후, 성공적인 본선 테스트를 목표로 주로 베이스 트레인 로직 수정과 관련된 HydroFLEX 열차의 신뢰성과 성능을 높이기 위해 수많은 연구가 수행되었습니다. 이러한 노력을 뒷받침하는 것은 관련 승인 기관으로부터 승인을 얻기 위한 안전, 운영 및 승인에 관한 수많은 문서였습니다. 이 프로젝트는 수소 연료 전지를 철도 추진 시스템용 자율 연료로 사용할 수 있는 가능성을 입증했으며, 이는 완전한 탈탄소화 가능성이 있습니다.							
인용횟수	17		DOI	10.1007/s40534-021-00256-9				

구분	중분류	인증, 실증 및 관리	소분류			안전/편의		
논문명	Risk assessment by means of Bayesian networks: A comparative study of compressed and liquefied H-2 transportation and tank station risks							
저자	Pasman, HJ; Rogers, WJ							
소속	Texas A&M University, USA							
키워드	Risk assessment; Bayesian networks; Decision making; Land use planning							
저널	INT. JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY		Vol.	37	No.	22	Year	2012
Abstract	다른 산업 활동과 수송, 인구 등에 사용되는 수소 인프라의 토지 사용 계획 및 허가에 대한 합리적인 의사 결정은 개인 및 사회적 위험을 고려해야 합니다. QRA 소프트웨어 패키지는 불확실성을 나타내지 않고 잠재적 결과 대 사건 확률의 위험 매트릭스를 생성하므로 결과가 모호하게 가려집니다. 패키지의 '블랙박스' 효과로 인해 계산의 투명성도 부족합니다. BBN(Bayesian Belief Network) 소프트웨어 모델링 원인-결과 체인을 통해 중간 결과 및 민감도 추적을 쉽게 검사할 수 있으며 포인트 값 대신 데이터 분포를 고려할 수 있습니다. 의사 결정 지원을 위해 위험 분석가는 추가로 의사 결정 대안의 유용성을 결정해야 합니다. 유틸리티는 단일 척도에서 혜택의 바람직함을 설명합니다. 위험과 이익을 합리적으로 평가하면 보다 투명하고 방어 가능한 결정을 내릴 수 있습니다. BBN을 적용한 2가지 유형의 주 유소와 3가지 수소 공급 운송 유형에 대한 예시적인 위험 분석이 수행됩니다.							
인용횟수	21		DOI	10.1016/j.ijhydene.2012.04.051				

구분	중분류	인증, 실증 및 관리	소분류		유지관리			
논문명	Real-time optimization strategies of Fuel Cell Hybrid Power Systems based on Load-following control: A new strategy, and a comparative study of topologies and fuel economy obtained							
저자	Bizon, Nicu							
소속	University of Pitesti, ROMANIA							
키워드	Proton exchange membrane fuel cell; Hydrogen savings; Variable load; Optimization strategy; Load-following; Battery charge-sustaining mode							
저널	APPLIED ENERGY		Vol.	241	No.	-	Year	2019
Abstract	현재 최적화된 에너지 관리 전략에 대한 평가가 이 연구에서 수행됩니다. 양성자 교환막 연료전지(FC) 하이브리드 전력 시스템을 위한 부하 추종 기반 전략은 FC 시스템을 주 에너지 원으로 사용하여 DC 전력 흐름 균형을 보장합니다. 따라서 배터리는 충전 유지 모드에서 작동합니다. 배터리 충전 상태는 배터리를 모니터링할 필요 없이 부과된 기간에 따라 달라집니다. 또한 규칙 기반 전략에 비해 배터리 스택의 크기와 유지관리가 감소합니다. 처음으로 7개의 FC 하이브리드 동력 시스템과 가능한 에너지 관리 전략의 분류 및 평가가 FC 시스템의 연비 및 FC 전기 효율과 관련된 성능 지표를 사용하여 수행됩니다. 결과적으로 가변 부하에서 FC 하이브리드 전력 시스템의 최적화는 가중 계수 $k(\text{net})$ 및 $k(\text{연료})$를 통해 이러한 성능 지표를 새로운 최적화 함수로 혼합합니다. 본 연구에서 얻은 결과를 바탕으로 연비를 더욱 높이기 위해 부하 추종 제어 및 실시간 최적화 루프에 대한 새로운 전환 전략을 제안합니다. 본 연구의 목적은 가중 계수 및 제어 기준 선택을 통한 최적화 기능 및 전환 전략이 어떻게 연비를 개선할 수 있는지를 조명하는 것입니다. 따라서 현재 부하 수요와 주유소까지의 거리에 대한 가용 정보를 기반으로 한 전환 전략의 설계도 이 논문에서 제시됩니다. 이 전환 전략은 수소가 FC 차량에 적합한 에너지 운반체가 되도록 추진할 것입니다.							
인용횟수	101		DOI					

3. 기술수준분석

- 국내 철도교통 분야 중 철도교통 환경의 기술수준은 최고기술국 대비 90%로 우수한 편
- 국토교통과학기술원에서 실시한 국토교통 기술수준분석[78] 따르면 국내 철도교통 환경의 기술수준은 최고기술국인 독일 대비 90% 정도이며, 기술 격차는 3.5년으로 조사
 - 세계 주요국 기술수준을 비교하면 독일 > 프랑스 > 일본 > 영국 > 한국 > 미국 > 중국 순으로 조사
 - 국내 철도교통 환경은 기초기술력과 인프라가 부족한 것으로 판단

[표 39] 철도교통 환경 주요국 기술수준

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
철도교통 환경	90.0	3.5	98.3	0.8	87.5	4.5	80.0	7.8	100	0.0	92.0	1.8	99.8	10.0
	5위		3위		6위		7위		2위		4위		2위	

- 국내 철도교통 환경 기술은 강점도 있지만, 국내시장 규모의 한계 등의 약점도 존재
 - 국내 철도교통 환경 기술의 강점과 약점은 이하의 <표31>와 같음

[표 40] 철도교통 환경 기술의 강점과 약점

국가	강점 분야	약점분야
한국	• 정책적 환경이 좋은 편이고 기술인재 풍부 R&D 투자 활발 • ICT 환경 우수 및 관련 기업이 신사업 영역으로 관심도가 높음	• 작은 시장의 규모 • 관련분야 연구역량 및 인프라 미흡

- 국내의 철도교통 환경 기술의 단계별 연구역량은 대체로 우수한 것으로 조사
 - 국내 철도교통 환경 기술은 기초연구, 응용개발연구 모두 우수하며, 일본, 독일, 영국과 더불어 연구개발활동도 상승 중인 것으로 분석

[표 41] 주요국의 연구단계별 기술역량

구분	한국		일본		미국		중국		독일		영국		프랑스	
	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구	기초 연구	응용 개발 연구
철도교통 환경	우수	우수	우수	우수	우수	우수	보통	보통	우수	우수	우수	우수	우수	우수

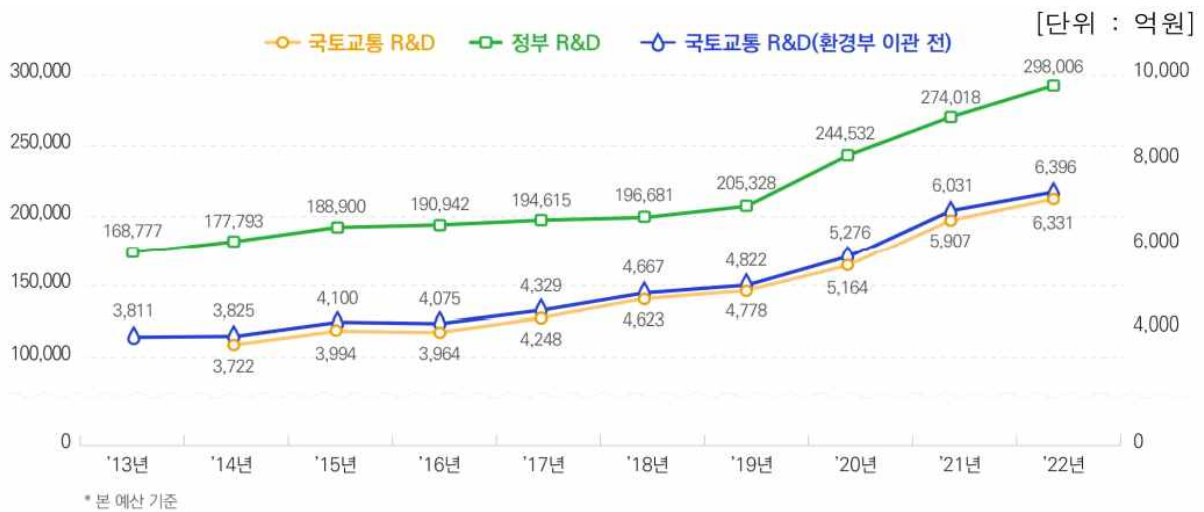
제7절 : 국내 R&D 역량 분석

1. R&D 투자동향

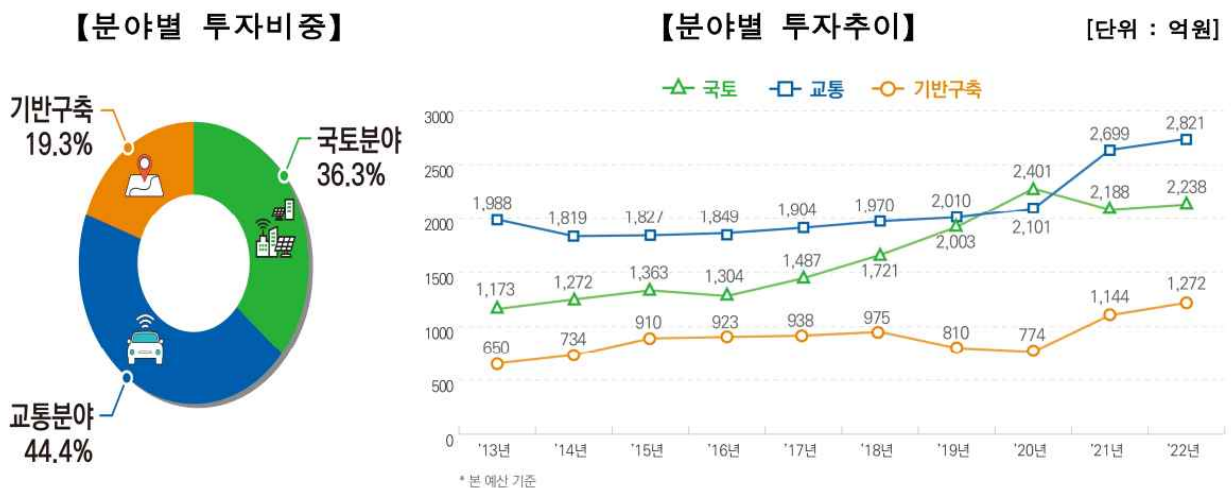
가. 국가연구개발사업과 국토교통 R&D

□ 국토교통 R&D 사업 예산은 최근 10년동안 연평균 4.9%씩 확대

- '22년도 국토교통 R&D 사업 예산은 6,331억 원(전년 대비 7.2% 증가)으로 정부 R&D 예산(29.8조 원)의 2.1%에 해당
- 분야별로는 최근 10년간 교통(44%) 분야의 투가비중이 가장 높고, 국토(36%), 기반구축(20%) 순으로 투자



[그림 81] 년도별 정부 R&D 및 국토교통 R&D 예산 추이[79]



[그림 82] 국토교통 분야별 투자비중 및 투자추이[79]

나. 수소 철도 관련 투자 동향

(1) 분석개요

- ☐ (목적) 관련 정부 R&D 투자 동향을 파악함으로써 우리나라 연구개발 역량 진단 참고자료 활용
- ☐ (조사범위) 최근 5년('18~'22) 국가연구개발사업 및 과제
- ☐ (검색범위) 수소철도 및 수소충전소와 관련된 R&D를 검색하기 위해 국가과학기술표준분류 중 다음의 기술분류에서 아래의 검색어를 검색 후 노이즈 제거

[과학기술표준분류]

대분류	중분류
에너지/자원	신재생에너지, 기타 에너지/자원
건설/교통	철도교통기술

[검색어]

수소(철도|열차|기차|트램|충전소|전기동차|전기기관차) (버스|선박|자동차|전기차|비행|생산|트럭)

- ☐ (분석항목) 연도별, 부처별, 연구단계별, 수행기관별, 적용처별 정부 R&D 출연금 및 과제 수

(2) 분석결과

(가) 연도별 투자동향

- ☐ 수소철도 관련 R&D 정부출연금과 과제수는 지속적으로 증가하는 추세
 - 수소 철도 관련 R&D 정부출연금과 과제 수는 '21년까지 지속적으로 증가하고 있었으며, '22년 소폭 감소하였으나 전반적으로 증가하는 추세
 - R&D 정부출연금은 '18년 약 27억원에서 '22년 약 118억으로 연평균 증가율 44.5%로 큰폭으로 증가
 - 과제 수는 '18년 8건에서 '22년 14건으로 연평균 증가율 15% 증가

[표 42] 수소철도 R&D 정부출연금 및 과제 수 동향

단위 : 백만원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	CAGR
정부출연금	2,712	8,395	11,821	16,016	11,813	44.5%
과제 수	8	10	14	19	14	15.0%



[그림 83] 수소철도 R&D 정부 출연금 동향

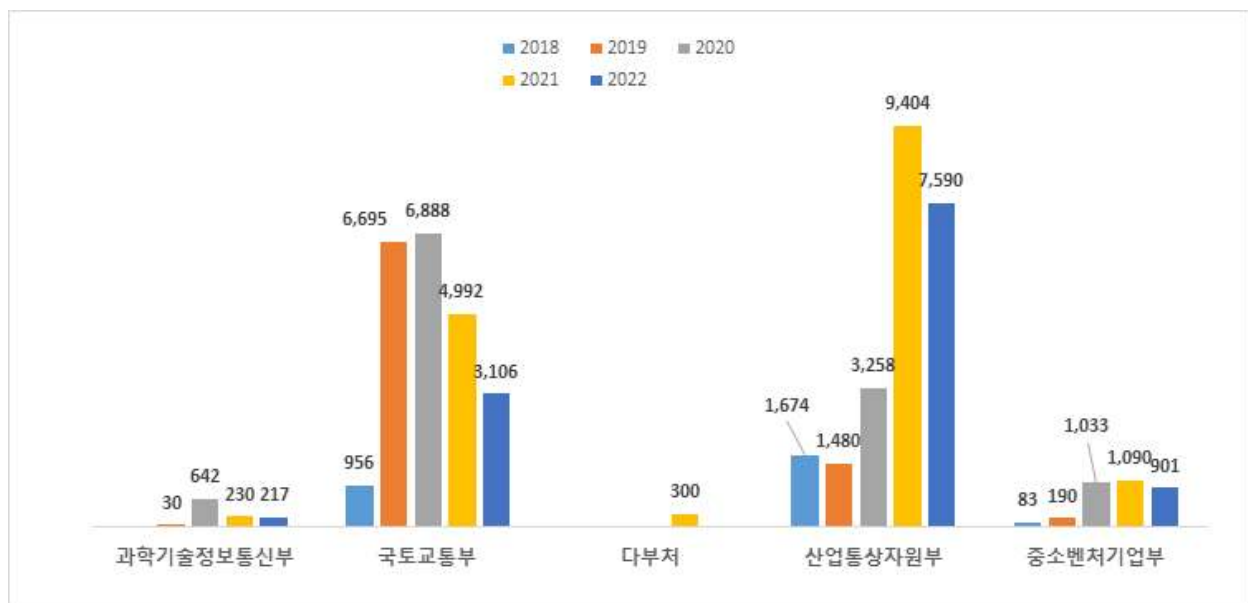
(나) 부처별 투자동향

- 부처별 투자동향으로는 국토교통부와 산업통상자원부가 대부분의 투자를 차지하고 있는 것으로 확인
- 수도권 관련 정부 R&D 투자는 국토교통부와 산업통상자원부가 각각 44.6%, 46.1%를 차지하는 등 대다수의 비중(90.7%)을 차지하고 있는 것으로 확인
 - 산업통상자원부는 제일 큰 비중을 차지하고 있으며 연평균 증가율 34.3%로 예산 증가하였으며, 국토교통부는 연평균 증가율 45.9%, 과학기술정보통신부는 연평균 증가율 93.4%로 급격하게 증가하는 등 대다수 부처의 예산이 큰 폭으로 증가

[표 43] 부처별/연도별 투자 동향

단위 : 백만원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	총합계	비중	CAGR
과학기술 정보통신부	-	30	642	230	217	1,119	2.2	93.4%
국토교통부	956	6,695	6,888	4,992	3,106	22,637	44.6	34.3%
다부처	-	-	-	300	-	300	0.6	0
산업통상 자원부	1,674	1,480	3,258	9,404	7,590	23,406	46.1	45.9%
중소벤처기 업부	83	190	1,033	1,090	901	3,297	6.5	81.5%



[그림 84] 부처별/연도별 투자 동향

- 부처별 과제당 연구비를 확인해보면, 산업통상자원부가 과제 수는 제일 많으나 국토교통부가 과제당 연구비가 제일 높은 것으로 조사
 - 산업통상자원부는 234억 규모의 예산으로 제일 높은 예산이나, 과제 수가 29개로 제일 많아 과제 당 연구비는 약 80.7억으로 확인
 - 국토교통부는 약 226억을 투자하여 산업통상자원부와 비슷하나, 과제 수가 13개로 월등하게 적어 과제당 평균 연구비는 약 174억으로 부처 중 제일 높은 것으로 확인

[표 44] 부처별 과제당 연구비

단위 : 백만원

구분	총합계	과제 수	과제당 평균 연구비
과학기술정보통신부	1,119	6	186.5
국토교통부	22,637	13	1741.3
다부처	300	3	100.0
산업통상자원부	23,406	29	807.1
중소벤처기업부	3,297	14	235.5

(다) 연구단계별 투자동향

- 수소철도 R&D의 연구단계별 투자동향을 보면 개발연구가 67%로 제일 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 확인
- 수소철도 정부 R&D투자는 개발연구가 67%로 제일 비중이 높으며, 기초연구는 14%, 응용연구는 14%, 기타는 5%로 확인되며 전반적으로 증가 추세
 - 기초연구와 응용연구, 개발연구는 연평균 증가율이 각각 7.2%, 190.5%, 49.2%로 증가하는 추세이며, 기타 유형은 -53.9%로 감소하는 것으로 확인

[표 45] 연도별/연구단계별 투자동향

단위 : 백만원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	총합계	비중	CAGR
기초연구	1,200	1,140	1,710	1,650	1,587	7,287	14	7.2%
응용연구			290	4,140	2,453	6,883	14	190.8%
개발연구	1,512	7,255	8,506	9,479	7,494	34,246	67	49.2%
기타			1,315	747	280	2,342	5	-53.9%

- 부처별/연구단계별로 보았을 때 과학기술정보통신부는 기초연구 위주의 투자를 하였으며, 그 외의 부처는 개발연구를 중점으로 투자를 한 것으로 확인

[표 46] 부처별/연구단계별 투자동향

단위 : 백만원

구분		기초연구	응용연구	개발연구	기타
과학기술정보통신부	정부연구비	777	-	-	342
	비중	69	-	-	31
국토교통부	정부연구비	-	360	21,997	280
	비중	-	2	97	1
다부처	정부연구비	-	-	300	-
	비중	-	0	100	-
산업통상자원부	정부연구비	6,510	6,523	10,360	13
	비중	28	28	44	0
중소벤처기업부	정부연구비	-	-	1,589	1,707
	비중	-	-	48	52

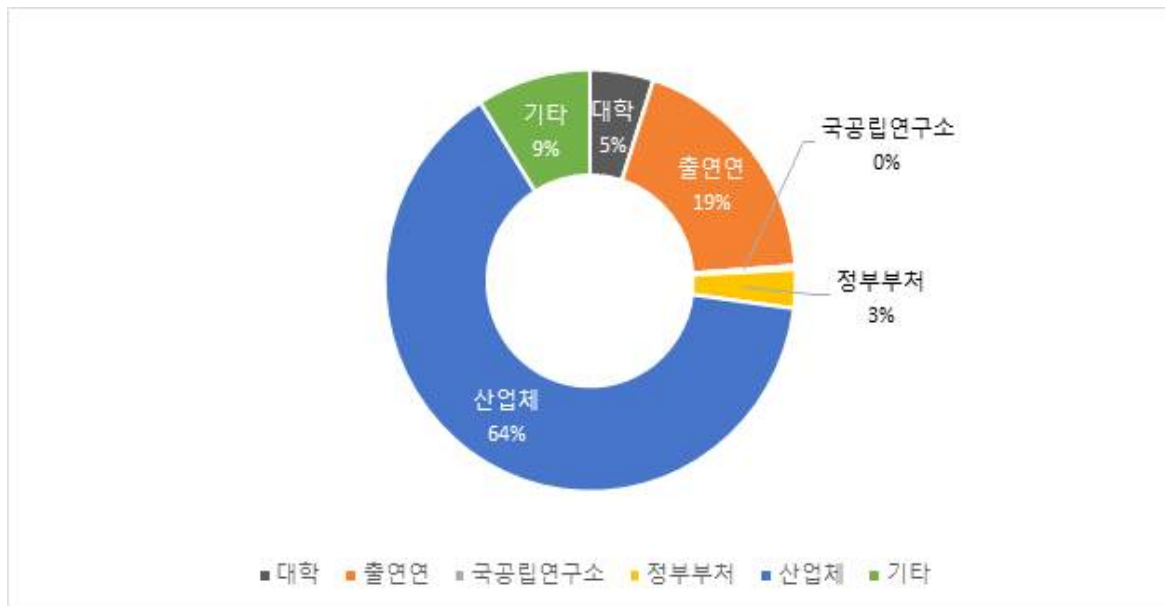
(라) 수행기관별 투자동향

- ☐ 수소철도 관련 연구수행자는 산업체가 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 출연연, 기타, 대학, 정부부처 순으로 확인
- 산업체(중견기업, 중소기업)은 전체 연구수행주체 중 64%를 차지하여 압도적으로 1위를 차지하고 있으며 국공립연구소가 0.3%를 차지하여 제일 비중이 적은 것으로 확인
 - 산업체는 ‘18년 약 17억에서 ‘22년 약 58억으로 연평균 증가율 35.79%로 증가
 - 출연연은 연구수행기관별 투자금액의 19%를 차지하여 2번째로 높은 비중을 차지하고 있으며, 연평균 증가율 57.87%로 성장
 - 그 외 기타는 9%, 대학은 5%를 차지하고 있으며, 대학은 연평균 증가율 -18.83%로 감소하고 있는 것으로 확인

[표 47] 수행기관별 투자 동향

단위 : 백만원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	총합계	비중	CAGR
대학	500	500	650	440	217	2,307	5	-18.83%
출연연	500	500	3,151	1,492	3,106	8,749	19	57.87%
국공립 연구소	-	-	140	-	-	140	0.3	-
정부부처	-	-	-	-	1,370	1,370	3	-
산업체	1,712	2,996	7,280	11,826	5,820	29,634	64	35.79%
기타	-	-	600	2,258	1,300	4,158	9	47.20%



[그림 85] 수행기관별 투자 동향

- 국토교통부 과제 중 수소철도 관련 연구수행자는 출연연이 가장 높은 비중을 차지하고 있으며 산업체, 대학 순으로 확인
- 출연연은 전체 연구수행주체 중 56.4%를 차지하고 있으며, 산업체는 42%, 대학은 1.6%로 제일 비중이 적은 것으로 확인

[표 48] 국토교통부 과제 중 수행기관별 투자 동향

단위 : 백만원

구분	2018	2019	2020	2021	2022	총합계	비중	CAGR
대학	-	-	150	210	-	360	1.6	-
출연연	500	4,869	2,809	1,492	3,106	12,776	56.4	57.9
산업체	456	1,826	3,929	3,290	-	9,501	42.0	-100

2. R&D 인프라 분석

가. 연구인력 현황

(1) 개요

- (목적) 철도, 수소 관련 정부 R&D 연구인력을 파악함으로써 우리나라 연구 개발 역량진단 참고자료 활용
- (조사범위) 철도 관련 연구인력 1,205명 및 수소 관련 연구인력 15,649명
- (검색범위) NTIS에서 “철도기술연구사업”에 참여한 연구인력을 조사 / NTIS에서 “수소” 키워드로 검색되는 연구인력을 조사

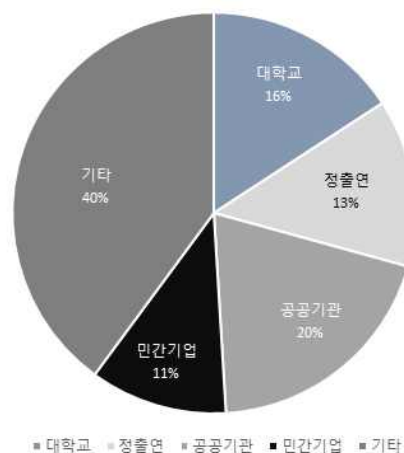
(2) 철도 관련 인력 현황

(가) 재직기관별 연구인력

- 연구인력들을 재직기관별로 확인한 결과 기타를 제외하면 공공기관, 정출연, 대학교 순으로 비중이 큰 것을 확인
 - 국내 철도 관련 연구 인력들은 기타가 40%, 공공기관 20%, 대학교 16%, 정출연 13%, 민간기업 11%순으로 비중이 큰 것으로 확인
 - 국내 철도 관련 연구인력은 각각 기타 481명, 공공기관 238명, 대학교 190명, 정출연 163명, 민간기업 133명인 것으로 조사

[표 49] 재직기관별 연구인력(철도 관련)

구분	인원
대학교	190
정출연	163
공공기관	238
민간기업	133
기타	481



[그림 86] 수행기관별 투자 동향(철도 관련)

(나) 전공별 분석

- 전공별 연구인력은 기계공학이 제일 높은 비중을 차지하고 있으며 전기공학 등 공학 전공들이 상위권을 차지하고 있는 것으로 확인
- 전공별 연구인력은 공학 계통이 전체의 약 20%를 차지하고 있는 것으로 확인
 - 기계공학은 105명으로 전체의 8.7%를 차지하여 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 전기공학이 46명으로 3.8%, 토목공학기 42명으로 3.5%, 구조공학이 30명으로 2.5%를 차지
 - 공학 계통의 숫자는 334명으로 전체의 약 17.7%를 차지

[표 50] 전공별 연구인력(철도 관련)

구분	인원	비중
기계공학	105	8.7
전기공학	46	3.8
토목공학	42	3.5
구조공학	30	2.5
교통공학	25	2.1
전력전자	18	1.5
지반공학	17	1.4
산업공학	17	1.4
재료공학	15	1.2
전력계통	10	0.8
환경공학	9	0.7
기타	871	72.3
계	1205	100

(다) 전문분야별 분석

- 전문분야별 인력은 분야별 인력의 수는 차이가 거의 없는 것으로 조사
- 철도기술연구사업에 참여한 인력의 전문분야는 철도시스템 엔지니어링, 발전기/전동기 및 제어, 교통운영관리기술이 각각 12명으로 제일 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 확인되며, 그 외의 인원들도 큰 차이가 없는 것으로 확인
 - 주로 토목시공, 차량, 전력, 구조, 철도시스템 등과 관련된 전문분야 인력들이 상위비중을 차지하고 있으며, 총 240명으로 전체의 약 19.9%를 차지하고 있는 것으로 확인

[표 51] 전문분야별 연구인력(철도 관련)

구분	인원	비중
철도시스템 엔지니어링	12	1.0
발전기/전동기 및 제어	12	1.0
교통운영관리기술	12	1.0
철도차량 추진/제어기술	11	0.9
토목시공기술	10	0.8
차량운동성능 및 진동/소음저감기술	10	0.8
전력변환기기	10	0.8
교량	10	0.8
교통안전기술	10	0.8
전력전자기술	9	0.7
건설시공관리기술	9	0.7
자동화제어기기	9	0.7
철도차량기술	8	0.7
이동통신 시스템	8	0.7
풍력	8	0.7
안전도향상기술	7	0.6
차체/경량화기술	7	0.6
엔진/동력전달장치	7	0.6
교통시설기반기술	7	0.6
철도신호통신기술	7	0.6
구조재료	6	0.5
기계자동화기술	6	0.5
건설구조재료	6	0.5
로봇 설계기술	6	0.5
에너지/환경 제어설비	6	0.5
공기조화/냉동기계	6	0.5
철도시스템 유지관리기술	6	0.5
시설물점검/진단기술	5	0.4
지반구조/터널	5	0.4
유체기계	5	0.4
기타	965	80.1
계	1205	100

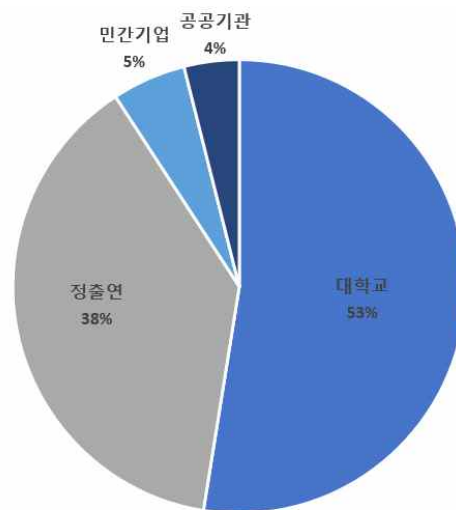
(3) 수소 관련 인력 현황

(가) 재직기관별 연구인력

- 연구인력들을 재직기관별로 확인한 결과 기타를 제외하면 대학교, 정출연, 민간기업, 공공기관 순으로 비중이 큰 것을 확인
- 국내 수소 관련 연구인력들은 대학교 53%, 정출연 38%, 민간기업 5%, 공공기관 4% 순으로 비중이 큰 것으로 확인
 - 국내 수소 관련 연구인력은 각각 대학교 2310명, 정출연 1682명, 민간기업 232명, 공공기관 173명, 기타가 11,252 명으로 조사

[표 52] 재직기관별 연구인력(수소 관련)

구분	인원
대학교	2,310
정출연	1,682
민간기업	232
공공기관	173
기타	11,252



[그림 87] 수행기관별 투자 동향(수소 관련)

(나) 전공별 분석

- 전공별 연구인력은 기계공학이 제일 높은 비중을 차지하고 있으며 화학공학, 재료공학, 환경공학, 금속공학, 화학 등 관련 전공들이 상위권을 차지하고 있는 것으로 확인
- 전공별 연구인력은 공학 계통이 전체의 약 12.5%를 차지하고 있는 것으로 확인
 - 기계공학은 467명으로 전체의 3%를 차지하여 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 화학공학이 398명으로 2.5%, 재료공학이 216명으로 1.4%, 환경공학이 148명으로 1%를 차지
 - 공학 계통은 1948명으로 전체 12.5%를 차지

[표 53] 전공별 연구인력(수소 관련)

구분	인원	비중
기계공학	467	2.98
화학공학	398	2.54
재료공학	216	1.38
환경공학	148	0.95
금속공학	127	0.81
화학	113	0.72
전기공학	88	0.56
공학	84	0.54
물리학	69	0.44
촉매화학공학	48	0.31
고분자공학	42	0.27
공업화학	36	0.23
물리화학	36	0.23
금속재료	32	0.20
생물화학공학	31	0.20
연소	31	0.20
미생물학	30	0.19
경영학	27	0.17
전력전자	27	0.17
섬유공학	27	0.17
반응공학	25	0.16
분석화학	22	0.14
열및물질전달	22	0.14
제어계측공학	21	0.13
자동차공학	20	0.13
기타공학	20	0.13
토목공학	19	0.12
조선공학	18	0.12
전기화학공학	18	0.12
원자력공학	18	0.12
기타공학	13,369	85.43
계	15,649	100

(다) 전문분야별 분석

□ 전문분야별 인력은 수소, 연료전지, 촉매 등 수소연료전지 에너지 관련 분야가 주를 이루는 것으로 분석

○ 철도기술연구사업에 참여한 인력의 전문분야는 수소가 127명으로 0.81%로 가장 높은 비중을 차지하며 그 뒤로 연료전지 112명(0.72%), 촉매 반응기술

73명(0.47%), 에너지/환경제어설비 71명(0.45%) 순

- 주로 수소연료전지 및 에너지 관련 분야의 연구 인력이 주를 이루는 것으로 분석되었으며, 그 외 환경, 바이오, 기계 등 다양한 분야의 인력들이 참여 중

[표 54] 전문분야별 연구인력(수소 관련)

구분	인원	비중
수소	127	0.81
연료전지	112	0.72
촉매/반응기술	73	0.47
에너지/환경제어설비	71	0.45
식품가공학	64	0.41
폐기물 자원화기술	62	0.40
수질오염 방지기술	61	0.39
구조재료	54	0.35
바이오연료	48	0.31
공기조화/냉동기계	47	0.30
태양광	46	0.29
엔진/동력전달장치	45	0.29
광/전자세라믹스	44	0.28
분리/정제기술	44	0.28
기계자동화기술	43	0.27
하/폐수 고도처리, 핵심요소기술	40	0.26
폐기물	35	0.22
공정시스템기술	35	0.22
바이오공정기술	34	0.22
유체기계	34	0.22
복합재료	33	0.21
금속재료공정기술	32	0.20
반도체 재료	32	0.20
달리 분류되지 않는 대기질관리	31	0.20
저공해/대체에너지 차량기술	31	0.20
박막제조기술	30	0.19
대기오염 방지기술	29	0.19
보일러/로설비	27	0.17
촉매화학	26	0.17
풍력	25	0.16
기타	965	90.96
계	1205	100

나. 산업체 현황

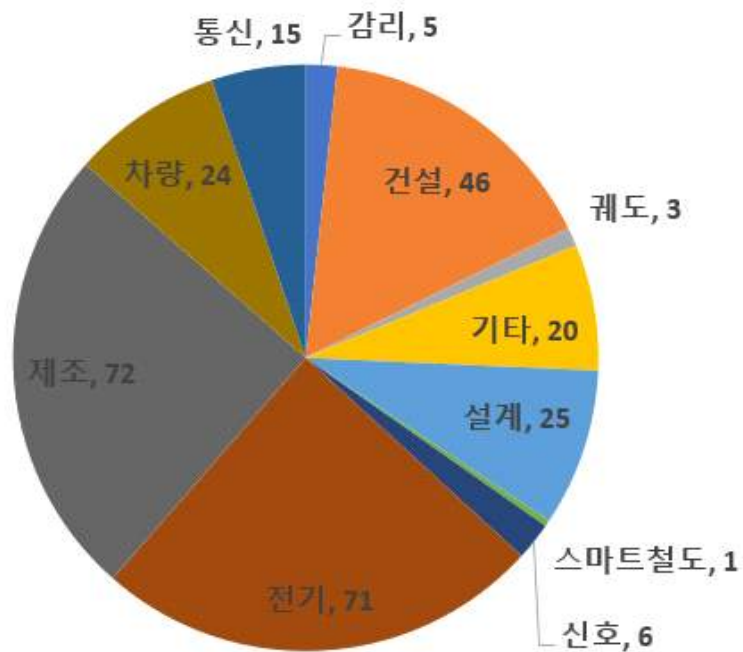
(1) 국내 철도 산업 관련 업체 현황

□ 철도산업정보센터의 철도Biz에 총 288개 철도 산업 관련 업체가 등록

○ 제조, 건설, 설계, 차량 등 철도 산업과 관련된 11가지 업종으로 분류하여 등록

- 업종별로는 제조업이 72개 업체(25%)로 가장 많았으며, 그 뒤로 전기 71개 (24.7%), 건설 46개(16%), 설계 25개(8.7%), 차량 24개(8.3%), 통신 15개 (5.2%), 신호 6개(2.1%), 감리 5개(1.7%), 궤도 3개(1%), 스마트철도 1개 (0.3%) 순이며 기타 20개 업체(6.9%)가 등록

업종	감리	건설	궤도	기타	설계	스마트 철도	신호	전기	제조	차량	통신
개수	5	46	3	20	25	1	6	71	72	24	15
비율 (%)	1.7	16	1	6.9	8.7	0.3	2.1	24.7	25	8.3	5.2



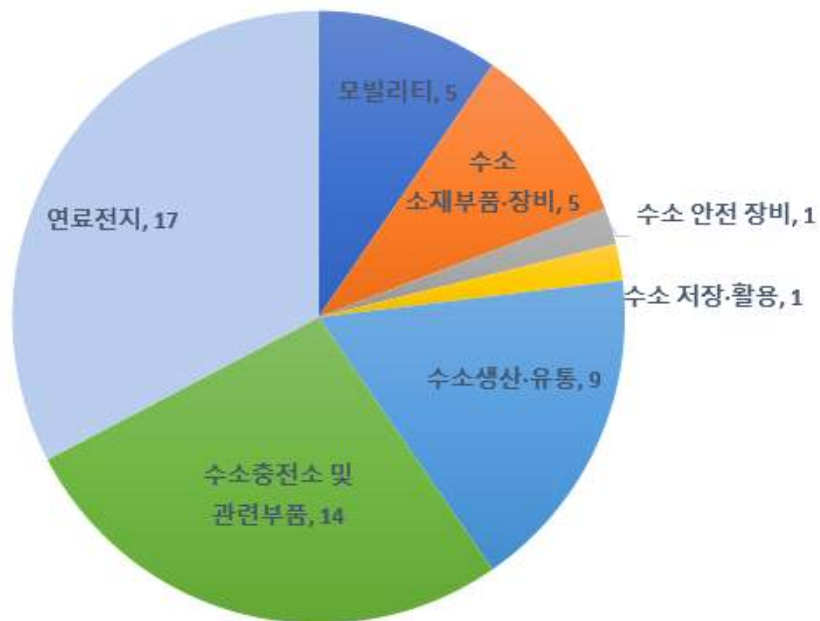
[그림 88] 철도Biz 등록 업체 현황

(2) 국내 수소 산업 관련 업체 현황

□ 산업통상자원부가 「수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」에 따라 지정하는 수소전문기업은 '22년 10월 기준으로 52개 업체가 등록

- 연료전지, 충전소, 생산 등 여러 분야로 등록된 업체를 7가지 업종으로 재분류
 - 업종별로는 연료전지분야가 17개 업체(32.7%)로 가장 많았으며, 그 뒤를 이어 수소충전소 및 부품업체가 14개(26.9%), 수소생산·유통이 9개(17.3%), 수소소재 부품·장비 업체와 모빌리티 업체가 각 5개씩(각 9.6%), 그 외 수소 안전 장비 업체 및 수소 저장·활용 업체가 각 1개씩(각 1.9%) 등록

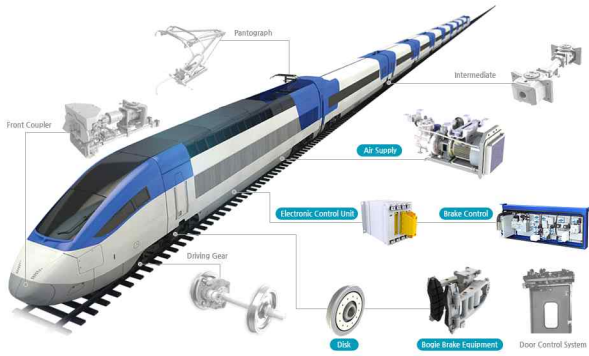
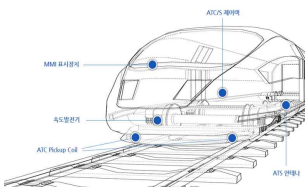
업종	연료전지	수소충전소 및 관련부품	수소생산· 유통	수소소재 부품·장비	모빌리티	수소 안전 장비	수소 저장·활용
개수	17	14	9	5	5	1	1
비율 (%)	32.7	26.9	17.3	9.6	9.6	1.9	1.9



[그림 89] 수소전문기업 등록 업체 현황

(3) 주요 수소 철도 관련 업체 리스트

[표 55] 주요 철도 관련 업체 현황

업체명	주요 사업 분야	대표 성과
현대로템	기관차 및 기타 철도차량 제조업	  KTX 산천 KTX 이음
우진산전	철도차량 부품 및 관련 장치물 제조업	  부산도시철도 4호선 미니 트램
다원시스	전기회로 계폐, 보호장치, 철도 차량	  EMU-150 서울도시철도 차량
유진기공산업	철도차량부품, 기계공구, 특수목적기계 등	 브레이크, 커플러, 팬터그래프 등 철도차량부품
샬롬엔지니어링	철도차량부품, 시험기 등	  신호/안전 시스템 선로 검사 시스템

다. 연구장비 및 실험시설 인프라

(1) 개요

- 수소 및 철도관련 장비, 시설 인프라는 기존 R&D 사업을 통해 구축되어 있어 연구개발을 수행하기 위한 인프라는 적정한 것으로 판단
- 기존 R&D 사업을 통해 구축한 연구시설·장비는 총 315건으로 파악
 - 장비활용종합포털(<http://www.zeus.go.kr>)을 활용해 관련 내용을 파악
 - 철도 관련 기관 및 업체의 관련 장비·시설 일체*
 - 수소 관련 연구 기관의 관련 장비·시설 일체**
 - * 기관명 키워드로 검색 후 무관 내용은 필터링
 - ** 기관명+수소 키워드로 검색
- 기 구축 장비를 활용해 수소철도 기술 개발에 활용 가능
 - 기 구축된 시설·장비를 최대한 활용하되 현재 보유하지 못한 시설·장비에 대해서만 구축을 추진

(2) 시설·장비현황

(가) 한국철도기술연구원

[표 56] 한국철도기술연구원 장비 현황

장비·시설명	제작사	취득일자
PXI 기반 ATO 시험 시뮬레이터 계측 시스템	National Instruments	2022-06-07
열차용 조종성능시험시스템	삼덕엔지니어링	2021-11-01
철도 급전계통 실시간 모의 시스템	RTDS Technologies	2020-12-31
장대화물열차 제동시뮬레이터	유진기공산업(주)	2019-11-30
철도종합시험선로 건물	Gs 건설	2018-12-31
철도종합시험선로 통신	Gs 건설	2018-12-31
철도종합시험선로 노반	Gs건설	2018-12-31
철도종합시험선로 신호	Gs 건설	2018-12-31
멀티스캔 EMC 측정 장비	이레테크	2018-12-31
철도종합시험선로 궤도	Gs 건설	2018-12-31
철도종합시험선로 전력	Gs 건설	2018-12-31
와전류탐상장치	(주)티쓰리코리아	2017-10-31
전극용접기	웰코스	2017-10-30

시차주사열량계	Perkin Elmer	2017-10-27
동적 콘관입시험기	Sol Solution	2016-10-14
궤도검측 S/W 운영 시스템	다말테크	2016-10-04
마모발생 나노분진 모니터링 시스템	TSI Inc.	2016-09-28
디지털 오실로스코프	Teledyne LeCroy	2016-07-01
호남고속철도 테스트베드 통합 모니터링 서버(시작품)	Hewlett Packard(HP)	2015-11-01
초음파 피로시험기	주식회사 엠브로지아	2015-10-13
지반투과레이더 컨트롤러	Geophysical Survey Systems, Inc.	2015-08-04
엘티이 알 차상단말장치(보조장치)	한국전기통신(주)	2015-05-28
엘티이알 차상장치(시작품)	한국전기통신(주)	2015-05-28
탄성파탐사기(Geode)	Geometrics	2015-05-14
네트워크 분석기	Keysight Technologies	2014-09-01
병렬 클러스터	원퍼스트	2014-07-29
고온초전도 전자석용 극저온 냉동기	Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI)	2014-04-29
비접촉 차륜Profile 측정기	Nestsense	2014-04-01
임피던스 애널라이저	Agilent Technologies	2013-12-05
시그널 애널라이저	Agilent Technologies	2013-12-05
Desktop 3D 프린팅 장비	Objet	2013-12-04
테스트베드 오라클 데이터베이스(보조장치)	Oracle	2013-10-18
테스트베드 이중화 솔루션(보조장치)	데이타뱅크시스템즈(Databank Systems)	2013-10-10
인터로게이터	Transcore	2013-09-27
테스트베드 스토리지(보조장치)	Hewlett Packard(HP)	2013-08-09
테스트베드 계측서버(보조장치)	Hewlett Packard(HP)	2013-08-09
차세대전동차 계측시스템	National Instruments	2012-12-31
초고속 자기부상철도 계측장비	National Instruments	2012-10-05
이동식 궤도 가진 시험기	삼연기술	2012-09-27
휴대용 중금속분석기	Innov-x System	2012-07-27
EMAT구동용 고출력 pulser/receiver	Ritec	2012-04-02
레일 음향 거칠기 측정기	Rail Measurement	2012-01-24
고주파 동특성 시험기	(주)케이엔알시스템	2011-10-20
대기중 에어로졸 측정기	Grimm Aerosol Technik	2011-09-23
연기밀도시험기	페스텍(Festec)	2011-07-06
차륜탈선 안전성능평가 시험기	(주)케이엔알시스템	2011-05-30
집전판/전차선 고속 마모성능시험기	썬에어로시스	2011-01-12
3D밀링머신	Roland DG Corporation	2010-11-30
화재감지 및 소화설비 성능평가 시스템	(주)애니텍	2010-09-20

전자기 선형 액추에이터 제어기 (시작품)	dSPACE	2010-09-13
500톤 정적 압괴시험기	삼연기술	2010-09-01
주행성능 측정시스템	Muller-BBM(MBBM)	2010-08-31
복합소재 내후성 평가장비	Atlas	2010-07-19
철도차량 실물충돌 안전성 평가 시험설비	주원	2010-07-14
나노입자포집기	Sibata	2010-07-01
분산형고속철도 시제차량 위치검측시스템	로보젠	2010-07-01
자계측정기 및 실시간분석시스템(A/C)(부대장비)	Dewetron	2010-06-30
전차선로-집전계 주행시험기	정설,한기술,소노텍,일진전기 등	2010-05-03
환경 실험용 범용 클린룸	Thermo Fisher Scientific	2010-04-29
전철 유지보수용 소형 모터카	Shin Sung System	2010-03-10
레일형상측정기	지니언	2010-03-08
레일저면용 차륜이상 모니터링 시스템 (시작품)	네드텍	2010-02-25
복합소재별 축소모델 및 시험편 제작 장비	화이버텍	2010-01-02
실대형 통합성능시험시스템	Mts	2009-12-31
방출챔버	대한테크	2009-12-26
서지 버스트 시험기(부속장비)	Teseq	2009-12-18
전력품질분석기6	Chauvin Arnoux	2009-12-10
연기밀도&가스농도시험기-2	Fire Testing Technology(FTT)	2009-11-25
중형연소가스적외선분광분석기	Thermo Fisher Scientific	2009-11-24
6-자유도진동대	(주)케이엔알시스템	2009-11-23
열전도율시험기	Eko Instruments	2009-11-16
무선가이드 전동휠체어(시작품)	노바스이지	2009-11-16
철도차량 실대형 환경챔버	더웨이	2009-10-26
토양시료 채취기 및 분석기	Varian	2009-10-19
고속 레일-차륜 접촉 시험기	(주)케이엔알시스템	2009-10-02
피로시험기(10톤)	Mts	2009-08-10
산소지수시험기	페스텍(Festec)	2009-07-27
차륜/레일 슬립제어장치(시작품)	(주)알앤비	2009-06-05
광신호 분석기	Anritsu	2009-04-27
철도터널 제연/배연 성능평가 시스템	Kanomax	2009-04-14
대형삼축압축시험기	(주)케이엔알시스템	2009-03-05
철도구조물 성능시험기	삼연기술	2009-01-20
공기제동시험기	유앤아이	2008-12-26
충돌시험인체모형 (DAS 내장형)(보조장치)	(주)네오엔비즈	2008-12-16
중형화재성능평가장비(룸코너)	페스텍(Festec)	2008-12-03
초음파용고출력펄서(부대장비)	Ritec	2008-11-27
충돌시험데이터 계측시스템 (탑재형)(보조장치)	(주)네오엔비즈	2008-11-24
브리넬경도시험기(자동화상측정형)	Wolpert Wilson	2008-11-04

고속디지털카메라시스템(탑재형)(보조장치)	(주)네오엔비즈	2008-10-29
탄소유황분석기	Leco	2008-10-27
AE 시스템 8 채널 추가(부속장비)	인디시스템	2008-10-13
유속계측시스템	TSI Inc.	2008-09-12
초음파측정기(복합소재내부결함감지용)	Qmi	2008-09-08
소음진동 다채널 데이터 측정기	Lms International	2008-07-02
발광분광분석기	Oblf	2008-06-04
고속적외선카메라	Cedip	2008-04-19
X선 잔류응력 측정시스템	VMM	2008-03-28
전원특성시험기	뉴트로닉스	2008-03-18
부하특성시험기	삼일저항기	2008-03-16
연소가스 성분분석장비	Teledyne Analytical Instruments	2008-03-12
비접촉식 요철 측정장비	Graw	2008-02-22
음향방출시스템	인디시스템	2008-01-17
스프링시험기	유응연제작소	2007-12-31
추진장치성능시험기	(주)효성	2007-12-31
철도시스템 공력특성 측정장치	세원기연	2007-12-31
대차동특성주행시험기	Wyle	2007-12-31
제동성능시험기	(주)효성	2007-12-31
드라이빙기어시험기	(주)효성	2007-12-31
팬터그래프시험기	유응연제작소	2007-12-31
견인전동기 성능시험기	(주)효성	2007-12-31
레일체결장치 다축 피로시험장비	(주)케이엔알시스템	2007-12-17
화염전파시험기-3(수평형)	Govmark	2007-12-04
화염전파시험기-2	페스텍(Festec)	2007-11-29
전선재료 연기시험기	Fire Testing Technology(FTT)	2007-11-23
고온화재연기발생장치	비엔텍아이엔씨	2007-09-29
열특성 분석기	페스텍(Festec)	2007-09-20
윤축조향안정성시험장치(시작품)	에이치비이피	2007-09-12
신호분석기	Agilent Technologies	2007-09-06
함수발생기(부대장비)	National Instrument	2007-08-30
32채널 DAQ	National Instruments	2007-08-22
GC/MS 스펙트로미터	Varian	2007-08-16
틸팅차량종합계측시스템	다연씨엔아이	2007-07-30
텔레메트리 시스템	Telemetry Elektronik	2007-06-27
EMI/EMC 챔버	윌테크놀로지	2007-06-18
초음파측정기(시멘트재료손상측정용)	인디시스템	2007-06-05
동적데이터 측정장치	Brueel & Kjaer VTS Limited	2007-04-20
레이저 화상처리용 카메라	Kodak	2007-03-27

실내환경종합측정기	Sibata	2007-01-01
이축압축 실험장치(부대장비)	(주)경도케이디피	2006-12-31
동적 데이터 로거	렉터슨(Rectuson)	2006-12-29
적외선 카메라	Flir Systems	2006-12-29
원거리탐지용 레이저스캐너	Riegl	2006-12-27
미세먼지 측정장치	Grimm Aerosol Technik	2006-11-21
원격 상시 자연풍 현장계측 시스템 (시작품)	Sptech	2006-07-16
화염전파시험기-1	Fire Testing Technology(FTT)	2006-02-28
철도소음 데이터 레코더	Teac	2006-02-13
휴대용 PXI 소음계측시스템	National Instruments	2006-01-12
지주식 윤하중 시험기	철도연, Gp테크놀러지	2005-12-30
풍동장치	(주)애니텍	2005-09-30
충격시험기	Zwick Roell	2005-04-30
대형항온항습조	대한엔지니어링	2005-02-28
도시철도차량성능데이터 측정장비	Dewetron	2004-04-30
FTIR 연소가스분석기	Midac	2004-03-31
전자파 측정 및 분석기	Rohde&Schwarz	2004-01-16
만능재료시험기(30톤)	INOVA	2004-01-14
동적신호분석기	Agilent Technologies	2004-01-07
3차원 측량장비	Leica	2004-01-05
틸팅동특성 주행 시뮬레이터(시작품)	(주)브이에스테크	2003-12-30
비커스경도시험기	Akashi	2003-10-31
철도터널 환기 및 화재제연 검증 실험장치	선우산기	2003-06-29
콘칼로리미터	Fire Testing Technology(FTT)	2003-04-18
피로시험기(250kN)	INOVA	2003-03-20
진동시험기	Imv Corporation	2003-03-20
휴대용 데이터 저장 및 분석장비	Teac	2003-01-01
불연성시험기	Fire Testing Technology(FTT)	2002-07-02
광대역전력분석기	LEM NORMA GmbH	2002-06-18
터널주행열차모형시험기	한국철도기술연구원	2000-06-21
염수분무가스부식시험기	신전사	1999-07-30
종합궤도노반시험기	선우상기 & MPS	1999-06-21
궤도검측기	KANEKO Corporation	1999-01-30
전자현미경, X선 성분분석기	Jeol	1999-01-30
만능재료시험기(2톤)	Instron Corporation	1998-12-31
승차감 측정기	Spektra	1998-11-30
충격전압발생기	신전사	1998-08-11
만능재료시험기(300톤)	대영정밀	1998-05-04
마이크로폰 배열측정장치	Brüel & Kjær VTS Limited	1998-04-30

레일굴곡시험기	대경테크	1998-01-01
디지털 오실로스코프	Tektronix	1997-12-31
서지시험기	Noise Laboratory	1997-12-20
디지털 멀티메타	Hewlett Packard(HP)	1997-02-21
오실로스코프-2(B/T)	Tektronix	1997-02-21
테이프레코더	Sony	1996-12-31
철근탐지기	Komatsu	1996-10-31

(나) 현대로템

[표 57] 현대로템 장비 현황

장비명	제작사	취득일자
신호분석장치	Agilent Technologies	2013-05-20
디지털파워미터	Teledyne LeCroy	2012-07-20
유압식 제어기	dSPACE	2011-09-20
직류전원공급장치	트윈텍아이엔씨	2011-03-15
cRIO 제어기 셋	National Instruments	2010-12-21
모션캡처장비	Naturalpoint	2010-10-11
열화상측정기	Nec Corporation	2008-05-30
동적신호분석기	Agilent Technologies	2008-03-31
무선프로토콜분석기	Agilent Technologies	2008-01-22
그래픽편집도구	엔지이엔	2007-04-12
다이나믹 구동모듈	엔지이엔	2007-04-12
디지털 오실로스코프	Tektronix	2006-07-25
오실로스코프	Teledyne LeCroy	2006-07-25
메모리 하이코더	Hioki	2006-06-23
프로토콜 분석기	lineeye	2006-05-31
네트워크 분석기	FLUKE	2006-05-03

(다) 다원시스

[표 58] 다원시스 장비 현황

장비명	제작사	취득일자
시료 분쇄장치	Retsch	2021-03-31
유도결합 플라즈마 질량분석기	Perkin Elmer	2019-12-16
DC 차단기	Pluton	2017-03-10

교류 차단기	Abb	2017-02-28
변압기	효성중공업	2016-12-27

(라) 한국기계연구원

[표 59] 한국기계연구원 장비 현황

장비명	제작사	취득일자
액체수소 저장탱크 단열성능 실시간 영상 모니터링 시스템	Flir Systems	2022-09-02
전기화학적 수소 압축기 임피던스 측정 장치	Gamry	2022-06-20
20K 극저온 냉동기	Ulvac	2021-10-05
0.5 톤/일 규모의 수소액화 파일럿 플랜트 구축용 헬륨 압축기	Kaeser Kompressoren	2021-09-07
터보 분자 펌프	Pfeiffer Vacuum	2020-10-06
연소가스정밀분석기	Abb	2020-09-17
수소가스정밀분석기	Agilent Technologies	2020-04-10
교류 전원공급장치	파워팩터스	2020-02-17
소형 동력계 시스템	미래엔진주식회사	2019-10-16
흡입공기 유량계	Avl	2019-10-10
피에이치미터	Horiba	2015-09-07
수소액화용 콜드박스	씨브이(Cve)	2009-12-04
CNG Regulator 시험장치용 제어시스템 제작관련	모빌텍 엔지니어링	2009-02-06
Automatic Elemental CHNS-O Analyzer	Ce Instruments	1995-10-13

(마) 한국에너지기술연구원

[표 60] 한국에너지기술연구원 장비 현황

장비명	제작사	취득일자
실시간 암모니아-수소 농도 분석기	Messkonzept	2022-12-05
임피던스 분석이 가능한 고전류용 전위전류 인가분석기	Biologic	2022-10-13
실시간 암모니아 분석기	Thermo Fisher Scientific	2022-09-05
연소 배기가스 분석장치	Abb	2022-08-04
공자전 믹서기	THINKY Corporation	2022-07-18
암모니아 분해반응 잔류가스 분석기	Agilent Technologies	2022-07-11
잔류가스 분석 시스템이 포함된 가스크로마토그래피 분석 시스템	Agilent Technologies	2022-02-28
잔류가스 분석 시스템이 포함된 가스크로마토그래피 분석 시스템	Agilent Technologies	2022-02-28
연료전지 스택용 전자부하 및 임피던스 측정장치	Bio-logic Science Instrument	2021-08-25
기공측정기	Porometer	2018-12-13

원소분석기	Leco	2018-10-26
가스 조성 분석을 위한 질량분석기	Pfeiffer Vacuum	2017-06-14
자동흡착평형측정장치	Micromeritics	2017-06-09
기상반응에피택시	(주)울텍	2016-11-08
가스크로마토그래피	Agilent Technologies	2016-11-01
총유기탄소분석기	Water & Process Technologies	2014-08-22
기체 투과도 측정장비	Borgwaldt	2013-05-08
자동 물리흡착 및 화학흡착 분석기	Micromeritics	2012-10-17
멀티흡착분석기	Hy-energy	2011-11-29
입도 및 제타전위 동시 측정기	Malvern Instruments	2011-11-01
다채널 셀테스트 전기화학 측정시스템	Solartron Analytical	2011-09-08
다기능성 소재 제조용 스퍼터링 시스템	코리아바쿰테크(주)	2011-09-06
대면적 조사광원	Newport	2011-08-10
고전류용 전위차 분석기	Bio-logic Science Instrument	2011-07-04
고전류용 전위차 분석기	Bio-logic Science Instrument	2011-07-04
고전류용 전위차 분석기	Bio-logic Science Instrument	2011-07-04
고온 운전 전기화학 발전장치용 전기화학분석장비	Greenlight Innovation	2011-05-23
진공고주파 브레이징 장비	서경브레이징	2011-02-18
단위전지 성능평가 장비	Greenlight Innovation	2011-01-04
450W 솔라시뮬레이터	Newport	2010-11-02
스프레이 코팅장비	프로시스템	2010-09-17
고온 전도도 측정 및 단위전지 평가 장치	우진전기제작소	2010-06-30
고온 진공 열처리	에이스진공	2010-06-22
부피법 가스 흡착 분석기	Bel Japan	2010-02-04
수증기전해 시험장비	나라셀텍	2009-12-17
수소가스 발생기	하이젠테크	2009-09-11
화학흡착분석기	Bel Japan	2008-11-01
고분자전해질 연료전지 평가 장치	Arbin	2008-09-17
원소분석기	Leco	2008-04-18
촉매분석장치	Bel Japan	2007-12-13
5채널 피셔-트롭쉬 반응 시스템	Bel Japan	2007-08-10
1KW급 연료전지 시스템	프로콘 ENG	2006-10-11
5채널 피셔트롭쉬 반응 시스템	Bel Japan	2006-10-09
탄화수소분석기	에너지피아	2006-09-22
마이크로 가스분석기	Agilent Technologies	2006-09-04
단위전지 테스트 스테이션	오선텍	2006-07-12
싱글호스 수소 시스펜서 시스템	Fti International	2006-04-17
전기미니버스	Dalian Rihai New Energy Development	2005-12-21

수전해 시스템	Proton Energy Systems	2005-11-08
연료전지시스템	Plug Power	2005-11-02
연료전지 시스템	Plug Power	2005-11-02
다체널 전류 전압 측정기	Solartron Analytical	2005-10-31
고체분자전해질 수소제조장치	Proton Energy Systems	2005-10-19
5KW급 SOFC스택	Julich Forschungszentrum	2005-10-12
1kW급 연료전지 개질수소 발생장치	오선택	2005-10-05
유기원소분석 및 열적안정도 분석기	Leco	2005-08-10
염화수소 분석기	Dkk-toa	2005-05-27
정전류/정전압측정기	Solartron Analytical	2005-04-30
염화수소분석기	Dkk-toa	2005-02-05
자기부유형 고압 중량측정시스템	Rubotherm	2004-07-27
5kW급 고체산화물연료전지 스택	율리히 연구소	2004-07-02
염화수소 분석기	Dkk-toa	2004-04-29
자동화 촉매 특성분석 시스템	Micromeritics	2001-09-19
표면특성 분석기	Micromeritics	1998-01-01
촉매표면분석기	Micromeritics	1996-01-01
탄화수소 모사증류장치	Hewlett Packard(HP)	1995-01-01

(바) KIST

[표 61] KIST 장비 현황

장비명	제작사	취득일자
플라즈마 용사 장비	주식회사 세원하드페이싱	2022-11-03
열 방출 가스 질량 분석기	(주)신코	2022-11-03
비표면 분석기	Micromeritics	2022-03-24
산소, 질소, 수소 분석기	Horiba	2021-09-01
FlexP0012 - 200 A / [0-12] V 부스터 without Com. board	Biologic	2020-12-28
비표면적 분석기	Micromeritics	2020-12-17
열량계	Setaram Instrumentation	2020-01-02
주사전기화학 현미경	Biologic	2019-11-14
비스므스 나노프로브 이온건	ION-TOF GmbH	2018-08-24
원소분석기	Leco	2018-01-05
진공 프레스	(주) 신도기연	2017-12-24
촉매화학흡착장치	Micromeritics	2015-03-09
아세틸렌, 에틸렌가스 전처리 시스템	씨엔비산업	2015-02-27

직류플라즈마증착장치	삼한박막진공	2014-10-27
마이크로 플라즈마를 이용한 화학기상 증착 장비	우신크라이오백	2014-09-30
푸리에 변환 적외선 광도계	Jasco	2014-08-25
탄화로	Lenton	2014-07-24
PCFC 단전지 평가장치	푸른기술에너지	2013-12-30
고온고압부피분석기	Micromeritics	2013-09-11
질량 분석기	Hidden Analytical	2013-01-25
고온 수소환원 수직반응기	Lenton	2012-10-17
황산농도분석기	Anton Paar	2012-07-06
적외선분광기	Thermo Fisher Scientific	2012-06-15
리눅스 클러스터	Supernano	2012-06-08
태양광원	에이치에스테크놀로지	2012-04-20
Intel Xeon X5650 병렬 계산용 컴퓨터 클러스터	Supernano	2012-03-26
전자후방산란회절장치 (고민감도)	Bruker	2012-03-13
자동 유기원소분석기	Thermo Fisher Scientific	2012-02-20
마이크로 기체 크로마토그래피	Inficon	2011-11-08
격막 압축기	Nova Werke Ag	2011-06-27
질량분석기	Hidden Analytical	2011-04-13
자동 원소 분석기	Thermo Fisher Scientific	2010-07-26
전기화학 임피던스 분석기	Metrohm	2010-07-13
허니컴형 고체산화물 연료전지 시험 장비	(주)위너테크놀로지	2009-12-08
장갑상자	우성하이백	2009-09-18
GC 분석 시스템	Agilent Technologies	2009-07-08
전기화학 워크스테이션	Eco Chemie	2009-03-31
고전류 정전위/정전류인가기(임피던스 측정 포함)	Bio-logic Science Instrument	2008-07-07
고압시차주사열량계	Netzsch	2006-09-06
장갑상자	M.braun	2006-06-05
자기부유 천정식 열중량분석기	Heinz Schade GmbH	2002-02-19

제8절 : 종합분석 및 사업추진 방향

1. SWOT 요인 도출

가. 중점 추진 분야 설정 방법

- 대내외 환경분석 시사점 활용한 SWOT 분석기법을 통해 연구개발의 중장기 발전 기본방향을 도출
 - SWOT 분석은 외부 환경 및 내부의 강약점을 분석하여 비전 및 전략 수립의 방향성을 설정하기 위한 방법으로 본 연구에서는 수소철도에 대한 기본방향 도출에 활용
 - 대내외 환경분석 시사점을 바탕으로 강점(Strength), 약점(Weakness), 기회(Opportunity), 위협(Threat) 4가지의 관점으로 분류하여 SWOT matrix를 작성
 - 강점과 약점은 내부 환경으로, 기회와 위협은 외부 환경으로 도출하여 작성
 - SWOT 요소별 조합을 통해 연구소의 유형별 전략적 기본방향을 도출
 - 내부 환경 요소와 외부 환경 요소를 각각 1:1로 대응·조합시켜 SO, WO, ST, WT 등 총 4가지의 전략을 도출

내부 환경 외부 환경	강점 Strength	약점 Weakness
기회 Opportunity	SO전략 강점과 기회를 이용한 시너지 창출전략	WO전략 기회를 이용해 약점을 보완하는 전략
위협 Threat	ST전략 강점을 이용해 위협을 최소화하는 전략	WT전략 약점과 위협요인을 극복하는 전략

[그림 90] SWOT 매트릭스 분석 방법

나. SWOT 요인 도출



[그림 91] SWOT 요인 도출

2. SWOT 요인 분석

□ 강점요인 (Strength)

- [S1] 수소철도 분야의 높은 정책적 부합성
 - 「제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획」에 초고속 철도 시스템에서 친환경을 위한 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 등 차량, 충전 인프라 기술 개발 명시
 - 「제2차 국가기간교통망계획」의 세부 추진과제 내용으로 1,2MW급 수소연료전지 철도차량 개발 및 상용화, 수소탱크·연료전지를 적용한 친환경 고효율 트램에 대한 내용을 명시
 - 그 외 다양한 정책에서 수소 모빌리티, 연료전지, 수소 생태계 등에 대한 내용 명시
- [S2] 액화수소 기반 수소철도 등 일부 분야에 대한 기술 선도
 - ‘21년 4월 철도기술연구원은 세계 최초로 기체수소가 아닌 액화수소를 이용하는 기관차 연구에 착수
 - ▶ ‘24년까지 민간 업체와 총 186억 원을 투입하여 액화수소 기반 수소 전기기관차 핵심기술 개발
 - ‘22년 9월 충북 오송에 국내 최초 철도차량용 수소충전소 구축
 - ▶ 철도용 수소충전소는 국내 기술기준이 아직 마련되지 않아 규제샌드박스 제도를 활용하여 충전시설 설치 및 운영 시작
- [S3] 수소차, 전기차와 같은 유사 분야에서의 수소연료전지, 배터리 등 관련 경험 보유
 - 모빌리티 및 발전용 수소연료전지는 국내 기업이 세계 최고의 기술경쟁력 보유
 - ▶ ‘19년 기준 세계 발전용 연료전지 시장에서 두산퓨어셀이 점유율 33.6%로 2위에 있고, 수소차 시장의 경우 현대자동차가 점유율 60.5%로 1위로 세계시장 선점
 - 현대자동차는 ‘21.9월 차세대 105kW급 연료전지 공개
 - ▶ 기존 수소차에 사용되는 넥쏘 95kW급 연료전지보다 부피와 비용 감소
 - ▶ 해당 연료전지를 여러 개 연결해 MW급의 출력을 제공할 수 있어 대형 선박, 열차 등에 활용 가능하며, 두께가 얇고 평평해 트램, 동차 등

철도에도 활용하기 적합

- [S4] 선행 국가 R&D를 통한 1.2MW 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 최적화 기술 확보
 - 한국철도기술연구원과 우진산전은 '22년 12월까지 4년간 기술개발을 통해 1회 충전 최대 600km주행 가능, 최고속도 110km/h급의 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 최적화 기술 확보

□ 약점요인 (Weakness)

- [W1] 수소 충전소 등 부족한 수소 관련 인프라
 - 현재 국내 수소충전소는 '22년 6월 기준 170개 정도로 부족한 편
 - 설치 위치 선정에 어려움을 겪거나 설비 국산화가 부족해 운영에 어려움 존재
 - 철도차량과 같은 대용량의 수소를 고속으로 충전할 수 있는 설비와 인프라 부족
- [W2] 수소연료전지 및 수소철도에 특화된 관련 제도 및 지침의 부족
 - 까다로운 수소충전소 구축 절차(현재 규제샌드박스로 설치 가능하나, 복잡한 절차와 많은 시일이 소요됨)
 - '22.9월 국내 최초로 충북 오송에 철도차량용 수소충전소가 구축되었으나, 국내 기술기준은 마련되지 않은 상태
- [W3] 국내 단일 기업에 대한 높은 의존도
 - 국내 자체적으로 수송용 수소연료전지에 대한 전체 시스템 기술을 보유하고 있는 기업은 현대자동차가 유일
- [W4] 미약한 국내 수소 관련 생태계
 - 대용량 수소연료전지 개발 기업이 적고, 낮은 상용화를
 - 수소 관련 생산 부품 인프라 부족

□ 기회요인 (Opportunity)

- [O1] 탄소중립 등 국제적인 환경 이슈 대응을 위한 저탄소 기술 수요 증가
 - 철도는 다른 운송수단에 비해 온실가스 배출량이 매우 적은 산업

- ▶ 고속철도는 타 교통수단에 비해 15~20배 적은 탄소를 배출
 - ▶ 일본의 경우 철도의 수송분담률은 30.2%로 높으나 온실가스 배출량은 전체 교통의 2.4%에 불과한 것으로 분석
- 국제사회는 2050 탄소 중립을 목표로 파리 협정을 채택했으며, 전 세계적으로 이를 위한 대책 마련 중
- [O2] 정부, 지자체 및 세계 각국의 수소 철도 관련 시장 및 산업의 성장
 - 유럽의 수소열차는 2030년까지 시나리오에 따라 최소 20%, 최대 41%의 시장 점유율을 달성할 것으로 예상
 - 모건 스탠리는 유럽 수소 열차 시장이 '50년까지 240~480억 달러 수준으로 성장할 것으로 예상했으며, 비전기화 열차의 10%를 수소열차가 대체할 것으로 전망
 - Allied Market Research는 세계 수소연료전지 기차 시장은 '25년 26.7억 달러에서 '35년 264.1억 달러로 연평균 28.2%씩 급속 성장할 것으로 전망
- [O3] 국내 디젤철도차량 교체 시기 압박
 - '21년 철도통계연보 기준 디젤기관차(내구연한 25년)는 236량 보유 중이며, 평균 차령은 21년으로 '14년 도입된 25량을 제외하고 모두 '04년 이전에 도입된 차량임 ('30년 기준 내구연한 도래 차량은 총 211량)
 - '21년 철도통계연보 기준 디젤동차(내구연한 20년)는 121량 보유 중이며, 평균 차령은 26년으로 전량이 내구연한에 도래하여 정밀안전진단을 받아 운행 중
- [O4] 전력 사용 증가로 인한 피크 전력 저감 요구
 - '20년 국내 전체 산업용 전기사용량은 389억kWh이며, 철도산업에서는 24억 kWh를 사용하여 전체 산업용 전기사용량의 6.2% 차지
 - ▶ 전력사용량을 줄이기 위해 회생전력 활용시스템, 디지털 전력시스템 개발 등 다양한 기술들을 개발하여 실용화하고 있으나, 근본적인 전력 절감에는 한계
 - ▶ 피크타임 전력 소모를 줄이기 위한 피크전력 제어 장치나 경보 시스템이 개발되었으나 전력량을 측정하여 에어컨 등을 중단하는 수준에 그치고 있는 실정

□ 위협요인 (Threat)

- [T1] 수소의 안전성에 대한 일부 부정적 인식 존재
 - 일부 수소 관련 사고로 인해 수소에 대한 부정적 인식이 존재
 - 강릉 수소탱크 폭발사고, 노르웨이 수소충전소 화재사고 등 일부 안전 불감증으로 인한 사고로 수소에 대한 불신이 증가
 - 실제로 수소는 다른 연료에 비해 화재 및 폭발 위험성이 매우 낮은 편
 - 최근 설문조사 결과 수소에 대한 인식이 개선되는 중
 - '19년 7.1%의 부정적 인식이 '21년 1.1%까지 감소
- [T2] 중국, 유럽 등에서 이미 사업화가 진행 중으로 기술 종속 위협
 - 프랑스의 Alstom社は 이미 수소연료전지 기반 열차를 개발하여 상용화 완료
 - '22년 독일에서 노선 전체가 수소로 구성된 정규 노선 운행 시작
 - 중국은 수소 트램 개발을 완료하여 운행 중이며 기관차도 개발하여 시험 운행 중
 - '19년 Fushan시에 세계 최초로 수소연료전지 하이브리드 방식의 트램 운행 시작
 - '21년 수소연료전지 기관차를 개발하여 내몽골에서 시운전 중
- [T3] 수소철도차량 및 수소충전소 개발·구축 지연
 - 수소차를 위한 수소충전소가 구축 진행되고 있으나, 철도 분야를 위한 대용량 고속 충전소는 국가R&D를 통해 수소철도 시험차량을 위해 '22.9월 오송 완성차시험선에 구축된 것이 유일
 - 관련 법규 미비로 규제샌드박스로 설치가 가능하나, 복잡한 절차와 많은 시간 소요로 지연 발생
- [T4] 제도 부족으로 인한 실용화 지연
 - 수소철도 실용화를 위해서는 철도안전법상 형식승인을 받아야 하며, 이를 위해서는 기술기준이 마련되어야 함
 - 차량개발과 함께 기준기준 마련을 동시에 진행하여, 신규로 개발되는 수소철도차량 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증을 진행하여 지연 방지 필요

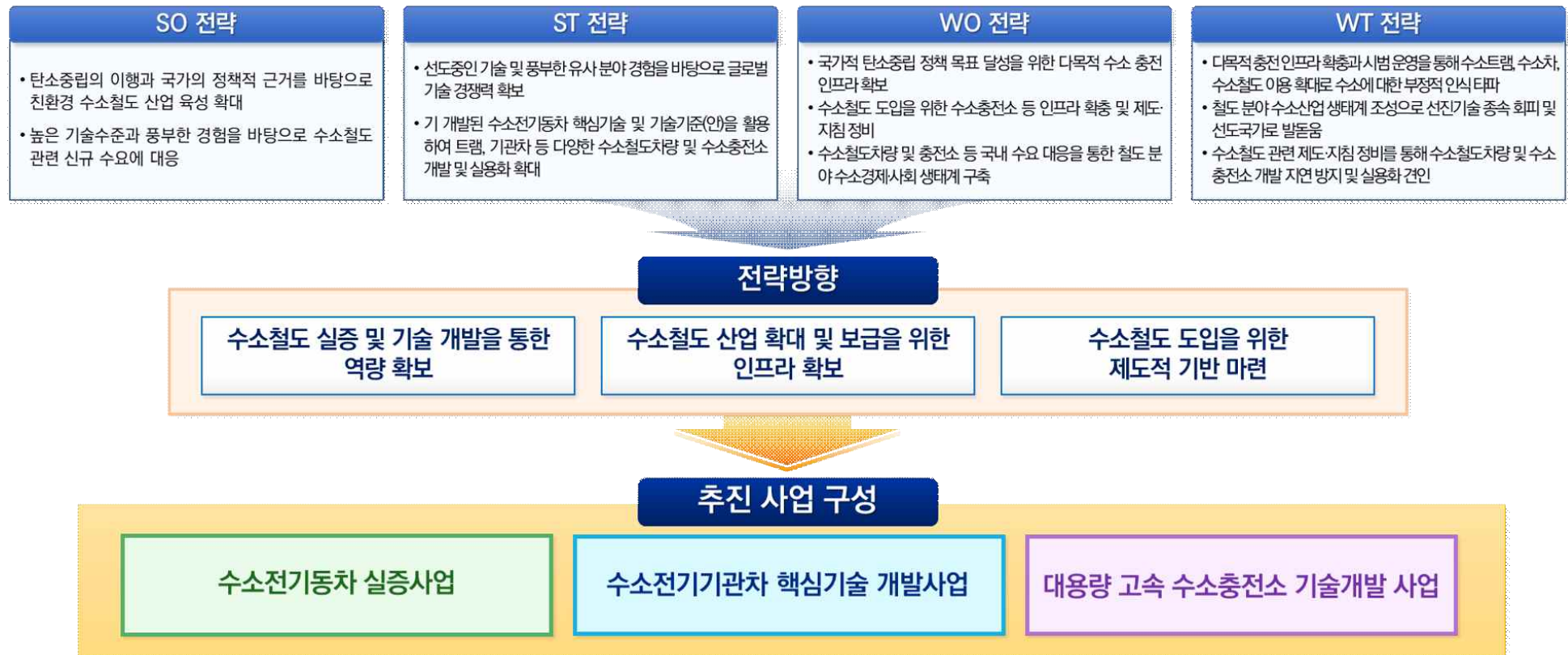
3. SWOT 종합분석 및 전략 도출

		강점 (Strength) [S1] 수소철도 분야의 높은 정책적 부합성 [S2] 액화수소 기반 철도 등 일부 분야에 대한 기술 선도 [S3] 수소차, 전기차와 같은 유사 분야에서 수소연료전지, 배터리 등 관련 경험 보유 [S4] 선형 국가 R&D를 통한 1.2MW 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 최적화 기술 확보	약점 (Weakness) [W1] 부품, 장치, 충전소 등 부족한 수소 관련 인프라 [W2] 수소연료전지 및 수소철도 관련 제도 및 지침의 부족 [W3] 국내 단일 기업에 대한 높은 의존도 [W4] 미약한 국내 수소 관련 생태계
기회 (Opportunity) [O1] 탄소중립 등 국제적인 환경 이슈 대응을 위한 저탄소 기술 수요 증가 [O2] 정부, 지자체 및 세계 각국의 수소 철도 관련 시장 및 산업의 성장 [O3] 디젤철도차량 교체 시기 임박 [O4] 전력 사용 증가로 인한 피크 전력 저감 요구	SO 전략 [S1O1O4] 탄소중립의 이행과 국가의 정책적 근거를 바탕으로 친환경 수소철도 산업 육성 확대 [S2S3S4O2O3] 높은 기술수준과 풍부한 경험을 바탕으로 수소철도 관련 신규 수요에 대응	WO 전략 [W1O1] 국가적 탄소중립 정책 목표 달성을 위한 다목적 수소 충전 인프라 확보 [W1W2O2] 수소철도 도입을 위한 수소 충전소 등 인프라 확충 및 제도·지침 정비 [W3W4O3] 수소철도차량 및 충전소 등 국내 수요 대응을 통한 철도 분야 수소경제·사회 생태계 구축	
위협 (Threat) [T1] 수소의 안전성에 대한 부정적 인식 존재 [T2] 중국, 유럽 등에서 이미 사업화가 진행 중으로 기술종속 위험 [T3] 수소철도차량 및 수소충전소 개발·구축 지연 [T4] 제도 부족으로 인한 실용화 지연	ST 전략 [S2S3S4T2] 선도중인 기술 및 풍부한 유사 분야 경험을 바탕으로 글로벌 기술 경쟁력 확보 [S4T3T4] 기 개발된 수소전기동차 핵심기술 및 기술기준(안)을 활용하여 트램, 기관차 등 다양한 수소철도차량 및 수소충전소 개발 및 실용화 확대	WT 전략 [W1T1] 다목적 충전 인프라 확충과 시범 운영을 통해 수소트램, 수소차, 수소철도 이용 확대로 수소에 대한 부정적 인식 타파 [W3W4T2] 철도 분야 수소산업 생태계 조성으로 선진기술 종속 회피 및 선도국가로 발돋움 [W2T3T4] 수소철도 관련 제도·지침 정비를 통해 수소철도차량 및 수소충전소 개발 지연 방지 및 실용화 견인	

[그림 92] SWOT 결과 종합분석 및 전략 도출

4. 중점추진분야 설정 및 사업추진 방향

- SWOT분석을 통해 SO전략, ST전략, WO전략 및 WT전략을 기반으로 다음과 같이 세 가지의 전략방향을 설정함
 - 수소철도 실증 및 기술개발을 통한 역량 확보
 - 수소철도 산업 확대 및 보급을 위한 인프라 확보
 - 수소철도 도입을 위한 제도적 기반 마련
- 상기 전략방향을 기반으로 본 과제에서는 다음의 세 가지의 추진 사업을 구성하여 각각의 사업 목표, 세부 개발계획, RFP 등을 수립함
 - (사업 1) 수소전기동차 실증사업
 - 선행 개발된 국가R&D 연구결과를 활용하여 수소전기동차 실증사업을 통해 철도에 적용된 수소시스템의 안정성/효율성을 검증하고 성능개선으로 상용화
 - (사업 2) 수소전기기관차 핵심기술 개발사업
 - 내구연한 도래한 노후 디젤기관차를 대체하기 위해 수소전기기관차를 위한 대용량 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술 및 안전성 평가기술 개발·검증으로 철도 분야 탄소중립 실현
 - (사업 3) 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업
 - 수소전기동차 및 수소전기기관차를 비롯한 다양한 수소철도를 위해 수소의 대용량 저장·활용 기반기술 마련 및 미래 수소경제·사회 인프라 구축



[그림 93] SWOT 분석을 통해 전략방향 설정 및 추진 사업 구성

제3장

수소전기동차 실증사업

제1절 : 사업 목표 및 미래상

제2절 : 연구개발 과제 구성

제3절 : 세부 개발계획

제4절 : 사업추진체계 및 전략

제3장 수소전기동차 실증사업

제1절 : 사업 목표 및 미래상

1. 사업 비전 및 목표

- (비전) 국가 R&D*로 개발된 수소전기동차 핵심기술을 활용하여 비전철화 노선에서 운행 중인 디젤 철도차량을 수소전기동차로 대체하는 실증사업으로 시스템 안전성과 효율성을 검증하고 성능개선으로 상용화 추진

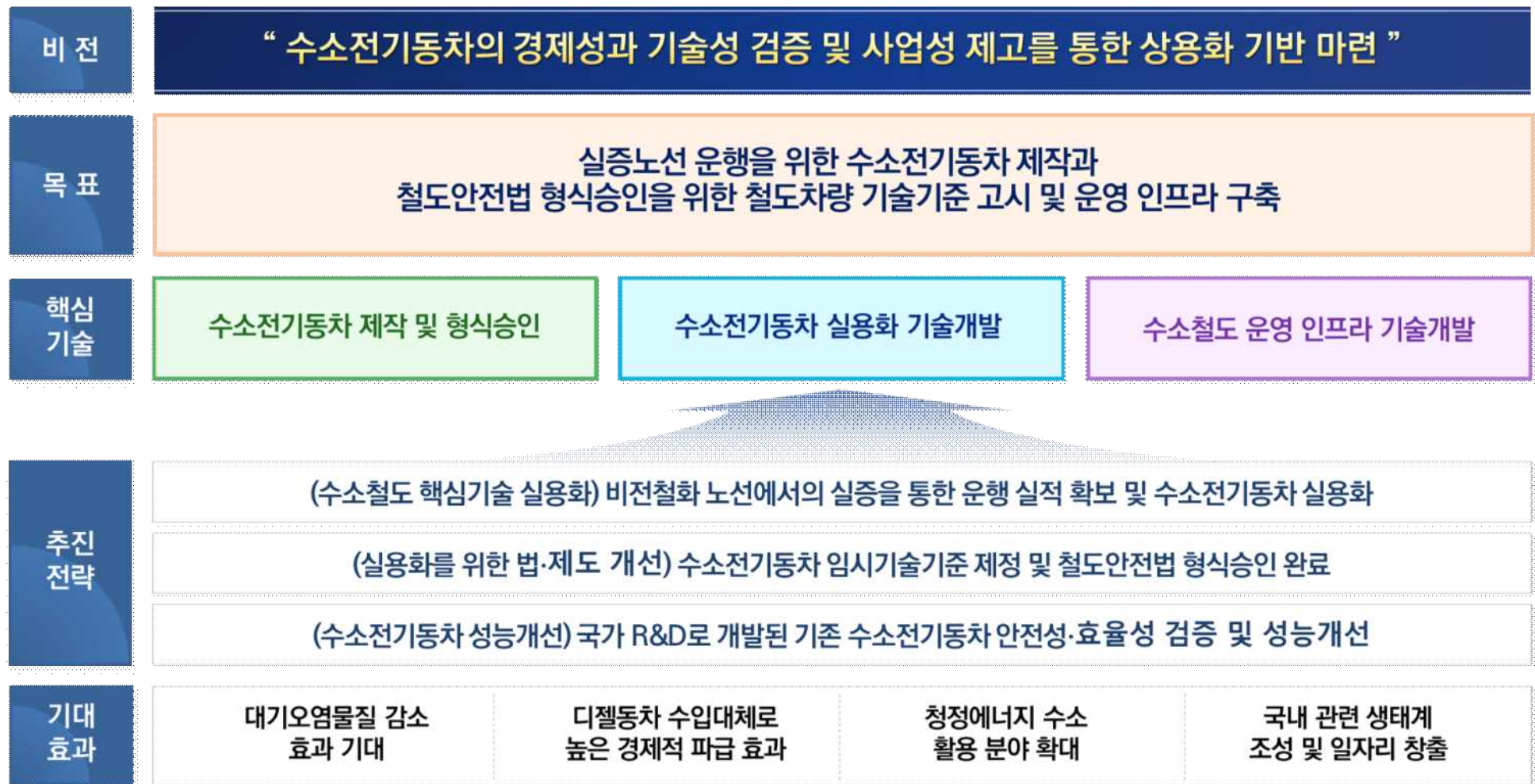
* 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발」(국토부, '18~'22, 국고 220억원)

- (목표) 실증노선 운행을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 고시 및 운영 인프라 구축

- 수소전기동차 실증사업을 통한 수소 철도 실용화 및 운행 실적 확보, 초기 형성 중인 해외시장 선점으로 글로벌 수소철도 기술 선진국 진입



[그림 94] 수소전기동차 개념도



[그림 95] 수소전기동차 실증사업의 비전 및 목표

2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과

가. 미래상 (As-is vs. To-be)

[표 62] 수소전기동차 실증사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'24년 수준	최종 목표수준	
	~'23	'24	'26(종료년도)	'27~(종료이후)
수소 전기동차 실증	'22년 '수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발' 국가R&D 완료 - 자동차용 수소저장용기, 연료전지, 배터리 기술을 철도차량에 적용하여 구현성 확인 - 수소철도 관련 규제/법령 부재로 노선 운영 불가능	- 실증용 수소전기동차 기본/상세 설계 - 수소전기동차 임시기술기준 제정 및 성능검증 절차 수립 - 수소철도용 충전시설 및 검수 인프라 기본/상세 설계	- 수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료 - 수소전기동차 철도차량 기술기준 고시 완료 - 수소철도용 충전시설 철도시설 기술기준 고시 완료 - 수소전기동차 검수 및 유지보수 기술개발 완료	- 운행 중인 디젤 열차를 점진적으로 대체 - 철도안전법에 따른 철도차량/철도시설 기술기준 고도화 - 수소철도 운영을 위한 검수 및 유지보수 기술 고도화
그림	As-is			
				
	↓			
	To-be			
	○ 교외선 - 운행구간 : 대곡~의정부역 (32.1km 단선) - 정차역 : 대곡-원릉-일영-장흥-송추-의정부 - 주행시간 : 40분대(운행 최고속도 60km 이상) - 운행차량 : 4편성(계획), '24년 개통 목표		○ 경원선 - 운행구간 : 연천 ~ 월정리역 (29.3km 단선) - 정차역 : 연천-신망리-대광리-신탄리-백마고지-철원-월정리	
				

나. 사업 기대효과

□ 기술적 기대효과

- 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 응용·기술개발을 통해 철도분야 뿐만 아니라 중장비 차량, 선박 등 다양한 분야에 확대 적용하여 해외 선진 기술과의 기술수준 격차 해소 및 수소 모빌리티 선도국가로 발돋움
 - 2020년 기술수준평가[80]에 따르면 에너지·자원 분야 중 수소·연료전지 기술의 경우 국내 기술수준 및 기술격차는 최고기술 보유국(일본) 대비 각각 75%, 3년으로 평가됨
- 수소철도차량 형식승인 기술기준 마련으로 구성품/완성차량 성능검증 기준 제시 및 표준화
- 고효율/소형/경량화 모듈형 전장품 설계기술 확보로 고부가가치 철도 시스템 국내·외 시장 선점 기반 마련
- 철도차량 주행 프로파일에 적합한 수소연료전지와 2차전지로 구성되는 동력 시스템의 소모에너지 최적 관리와 수명 연장 기술을 구현함으로써 에너지원 다변화에 따른 활용 기반 기술 확보
- 수소철도차량 및 수소충전소 관련 기술 확보를 통해 수소경제·사회 활성화 및 국내 관련 수소산업 생태계 조성·확대

□ 사회적 기대효과

- 내구연한 도래 노후 디젤동차를 대체하여 비전철화 구간 운행 및 대기오염 물질 저감으로 철도 분야 탄소중립 실현
 - 정부 2050 탄소중립 계획의 이정표로 기존 디젤철도차량을 무탄소 동력 철도(전기,수소)로 100% 전환하기 위한 선제 대응 가능
- 디젤철도차량은 자동차 대비 300배 이상의 대기오염물질을 배출하고 있어 수소철도차량으로 대체 시 대기오염물질 감소 효과 기대
 - '19년 기준 디젤철도차량(기관차, 동차) 대기오염물질 배출은 직접배출(PM10, PM2.5) 671.2톤/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 8,637.2톤/년

[표 63] '19년도 디젤기관차 및 디젤동차의 대기오염물질 배출량[75]

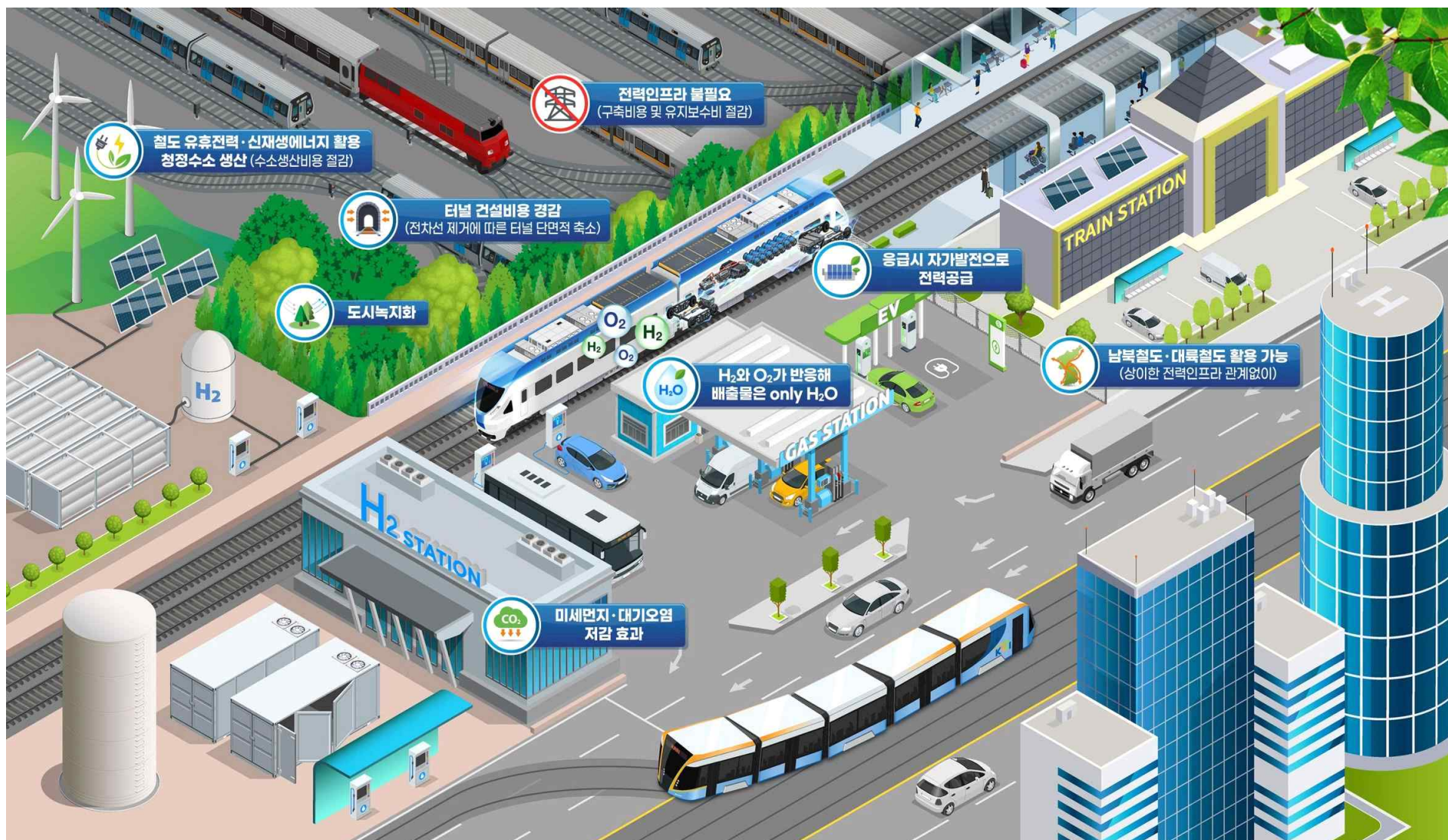
구분	간접배출(톤)						직접배출(톤)		
	CO	NOx	SOx	VOC	NH3	소계	PM10	PM2.5	소계
디젤기관차	2,171.4	5,301.6	135.1	878.1	9.1	8,495.3	342.7	315.2	657.9
디젤동차	35.7	95.3	2.6	7.6	0.7	141.9	6.9	6.4	13.3
합계	2,207.1	5,396.9	137.7	885.7	9.8	8,637.2	349.6	321.6	671.2

- '19년 말 기준 전철화율은 72.9%(3,116.2km/4,274.2km), 제4차 국가철도망 구축계획('21~'30) 완료 시에도 전철화율 78.3%로 여전히 비전철화 구간 존재하여 디젤철도차량을 대체하여 운행할 수 있는 수소철도차량 확보
- 공공교통수단인 철도에 지속적으로 친환경 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수소 활용 분야 확대
- 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과
- 철도 분야 수소 전주기 산업 생태계 구축에 따른 분야별 전문 인력양성
- 국내 대중교통 수송분담률(국가지표체계 '20년 기준)은 철도 12.8%, 버스 15.0%, 택시 2.7%, 승용차 69.5%로 일본 철도 72.0%('13년 기준)에 비하여 철도 분야 수송 분담률이 매우 낮은 상태로 전철전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축으로 철도 수송 분담률 제고
- '수소경제 활성화 로드맵'에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립
- 전차선, 변전소 등이 필요 없어서 북방철도, 대륙철도와 같이 전력인프라가 서로 다른 구간이나 전력설비가 열악한 구간을 운행하는 것이 가능

□ 경제적 기대효과

- 전량 수입에 의존하고 있는 내구연한 도래 노후 디젤동차를 수소전기동차로 대체 시 수입 대체에 따른 경제적 파급효과가 높음
- * '21년 철도통계연보 기준 디젤동차(기대수명 20년, 도입단가 9억/량)는 보유 121량 전량이 내구연한에 도래되어 총 1,089억원 규모의 수입 대체 효과 기대

- 신규노선 적용 시 철도 구축 비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축 비용* 및 운영을 위한 유지보수 비용이 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율**을 갖는 수소 활용으로 운영기관의 에너지비용도 절감 가능
 - * 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km, KDI 공공투자관리 센터('15.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」
 - ** 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%
 에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/kg 기준)
- 수소철도차량 기술 및 해외 시장 선도를 위한 교두보 마련
 - * 독일, 프랑스, 영국 등 유럽을 중심으로 '35년에서 '40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화가 급속히 진행 중
- '21년 기준 우리나라는 세계 7위의 에너지 소비국이나 에너지·자원 소비량의 92.9%를 수입에 의존하고 있는 에너지 빈곤국으로 전체 사용량 중 수송부문은 약 16.8%를 점유하고 있어 수소 에너지로의 전환으로 에너지 해외 의존도[82]를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능
- 수소전기동차 실증사업을 통해 수소철도의 안전성과 효율성을 입증하여 실용화를 위한 지자체/민간 투자 유치 마중물 역할 기대



[그림 96] 수소전기동차 실증사업을 통한 미래상 및 기대효과

제2절 : 연구개발 과제 구성

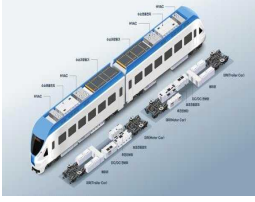
- 연구개발 사업의 구성을 위해 Top-down 및 Bottom-up 방식을 병행하여 사업의 핵심과제 및 세부기술 분야 발굴
 - Top-down 기술기획 : 국가 차원의 수소철도 기술개발 사업을 위해 필수적인 핵심 중점 지원 아이템 발굴
 - Bottom-up 기술기획 : 국내 산·학·연 기관을 대상으로 전문가 비대면 기술수요조사를 실시하여 발굴

1. Top-down 기술기획

가. 사업 범위 및 목표 사양 설정

- (사업 범위) 국내 운영 중인 디젤동차 운영 노선에 시범사업 형태로 도입하여 운영데이터를 취득하고 시스템 개선/보완사항 도출 및 유지보수 데이터 확보
 - 수소철도의 경제성, 기술성 검증 및 사업성 제고
- 수소전기동차 실증사업과 관련한 아이템 선정을 위해 우선적으로 선정하여야 할 목표 사양은 실증차량의 목표성능이며, 기존의 디젤동차(RDC), ITX-새마을 및 선행 R&D로 개발된 차량의 사양을 기반으로 설정
 - (목표 사양) 출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 600km 이상, 철도차량 형식승인 완료
 - 노선 운영을 위한 검수고 및 수소충전 인프라 구축

[표 64] 수소전기동차 실증사업의 목표 사양 및 타 차량과의 비교

	수소전기동차 (본 사업)	수소전기동차 (선행 R&D)	무궁화호 개조형 디젤동차(RDC)	코레일 210000호대 전기동차 (ITX-새마을)
외 관 (개념도)				
동력방식	전기 동력분산식	전기 동력분산식	디젤 동력분산식	전기 동력분산식
연 료	기체수소	기체수소	디젤	전기
출력	1,2MW (1,600HP)	1,2MW (1,600HP)	1,050HP (787.5kW)	3MW(4,000HP)
편성구성	2칸 (MC-MC)	2칸 (MC-MC)	3칸 (MC-M-TC)	6칸 (TC-M'-M-T-M'-TC)
운영 최고속도	150km/h	110km/h	110km/h	150km/h
설계 최고속도	165km/h	121km/h	121km/h	165km/h
주행거리 (1회 충전)	600km	600km	-	-
기타	형식승인 완료	기술기준(안) 마련	-	-

* 1HP = 0.75kW

** M(Motor car; 동력차), T(Trailer car; 객차), MC(Motor-Control car; 동력-제어차(운전실)),
TC(Trailer-Control car; 객차-제어차(운전실)), M'(Motor car with Pantograph; 집전장치가 있는 동력차)

나. 핵심기술 도출

- ☐ 세부 사업별 목표 사양 충족을 위해 반드시 개발이 필요한 핵심기술을 도출하였고, 내부 검토 및 동료검토를 통해 타당성을 검증한 후 확정

[표 65] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 리스트

사업 코드	사업명	핵심기술 코드	핵심기술(舊, 세부과제)
A	수소전기동차 실증사업	A-1	수소전기동차 제작 및 형식승인
		A-2	수소전기동차 실용화 기술개발
		A-3	수소철도 운영 인프라 기술개발

2. Bottom-up 기술기획

가. 구성기술 도출 방법

- ☐ 수소전기동차 실증사업을 위한 현재 및 미래에 요구되는 기술수요 파악
- ☐ 산·학·연 전문가를 대상으로 다음의 기술제안분야의 연관기술에 대하여 기술수요조사 진행
- ☐ 추후 본 사업의 과제 참여관심 여부를 판단하기 위하여 기술수요조사 양식 하단에 참여의향 설문도 진행

[표 66] 수소전기동차 실증사업 기술제안 분야

기술 제안 분야 (☑)	중분류	소분류	
	☐ 수소철도차량	☐ 수소연료전지 발전팩 ☐ 수소저장 · 공급 시스템 ☐ 2차전지 시스템 ☐ 기타()	☐ 전장품(추진제어시스템 등) ☐ 차량 시스템 엔지니어링 ☐ 에너지관리시스템
	☐ 수소철도시설	☐ 수소 생산 · 저장 시설 ☐ 수소 활용 시설(충전소, 충전기, 충전프로토콜 등) ☐ 시설 시스템 엔지니어링 ☐ 기타()	☐ 수소 운송 시설
	☐ 인증, 실증 및 관리	☐ 기술기준 · 성능평가 ☐ 계획 · 운영 · 실증 ☐ 기타()	☐ 안전 · 편의 ☐ 유지관리
	☐ 기타()		

- Top-down 기술기획과 Bottom-up 기술기획 결과를 반영하여 기술구성 체계의 적절성, 기술도출의 타당성, 구성기술간의 연계성 등을 검토
 - 기 도출된 세부기술 및 구성기술 체계에 대한 적절성 검토
 - 사업의 핵심기술 개발을 위해 기술수요조사 외 필요기술에 대해 내부 연구 전문가 검토를 통해 구성기술 추가 및 동료검토를 통해 다음과 같이 최종 기술 구성 및 범위 도출



[그림 97] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스

나. 구성기술 도출 및 연구개발 과제 구성

[표 67] 수소전기동차 실증사업 연구개발 과제 구성

사업명	핵심기술(舊, 세부기술)	구성기술(舊, 세세부과제)
A. 수소전기동차 실증사업	A-1. 수소전기동차 제작 및 형식승인	A-1-1. 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술
		A-1-2. 수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술
	A-2. 수소전기동차 실용화 기술개발	A-2-1. 수소전기동차 시스템 엔지니어링
		A-2-2. 철도차량/철도시설 기술기준(안) 도출
	A-3. 수소철도 운영 인프라 기술개발	A-3-1. 수소전기동차 검수시설 구축
		A-3-2. 수소철도용 수소충전소 구축
		A-3-3. 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술

3. 주요 연구내용 및 최종성과물

가. 사업 목표

- ☐ 실증노선 운영을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 고시 및 운영 인프라 구축
- (목표 사양) 수소전기동차(출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 600km 이상, 철도차량 형식승인), 검수고 및 충전 인프라

나. 주요 연구내용

☐ (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인

○ 연구목표

- 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - ▶ 통합 1.2MW 이상 동력시스템 구성(400kW급 수소연료전지파워팩 국산화)
 - ▶ 회생에너지 회수율 : 99% 이상
- 고내구성 수소저장용기 모듈 구성
 - ▶ 수소탱크 압력 : 700bar 이상
 - ▶ 수소저장용량 : 166kg 이상 (1편성, 1회 충전 주행거리 600km 이상 확보)
- 전장품 고효율/소형, 경량화 개발
 - ▶ DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상
 - ▶ 추진인버터 용량 : 견인전동기 개당 300kW 이상 구동
 - ▶ 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율(THD) : 5% 이하
- 실증차량 제작 및 형식승인완료(예비주행 5,000km)
 - ▶ 설계최고속도 165km/h 이상, 운행최고속도 150km/h 이상
 - ▶ 1회 충전 주행거리 600km 이상(운행패턴, 하중 고려 주행거리)

○ 연구내용

- 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술개발
 - ▶ 수소연료전지-2차전지 시스템 사양 선정 및 최적 설계
 - ▶ 주요 전장품 EMI/EMC 개선

- ▶ 수소연료전지 동력계 제작 및 성능검증
- ▶ 수소연료전지 및 저장용기, 피팅 설치 작업표준 수립
- 수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술개발
 - ▶ 수소전기동차 요구사항 분석/도출
 - ▶ 수소전기동차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 검토
 - ▶ 검수 편의성 개선을 위한 주요 전장품 소형/경량화 기기 배치 개선 설계
 - ▶ 수소전기동차 User IF(HMI, 운전대) 최적화 설계
 - ▶ 장치 간 기기배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정
 - ▶ 속도 향상에 따른 충돌, 강도 안전기준 확보 설계
 - ▶ 실증용 수소전기동차 상세설계, 주요 부품 발주
 - ▶ 실증차량 제작 및 형식승인(부품시험, 구성품시험, 시운전시험)

□ (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발

○ 연구목표

- 장치간 인터페이스 등 차량시스템 엔지니어링
- 에너지관리시스템 제작 및 성능검증
- 수소전기동차 철도차량 임시기술기준 제정
- 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 고시
- 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 고시

○ 연구내용

- 수소전기동차 시스템 엔지니어링
 - ▶ 수소연료전지-2차전지 시스템 사양 선정 및 최적 설계
 - ▶ 장치 간 인터페이스 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계
 - ▶ 모의환경 기반 에너지 제어기술 개발 및 검증
 - ▶ 에너지관리시스템 제작 및 성능검증
- 철도차량/철도시설 기술기준 고시
 - ▶ 수소전기동차 철도차량 기술기준 설계/검토
 - ▶ 수소전기동차 철도차량 임시기술기준 제정
 - ▶ 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발
 - ▶ 수소전기동차 철도차량 기술기준 해설서 개발

- ▶ 수소 충전시설 구축 철도시설 기술기준 설계/검토
- ▶ 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 개발
- ▶ 표준 조사 및 구성품별 성능검증 절차 수립
- ▶ 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안
- ▶ 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안
- ▶ 철도차량/철도시설 기술기준 고시

□ (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발

○ 연구목표

- 수소전기동차 검수시설 구축 및 운영
- 철도용 수소 충전시설 구축 및 사업개시
 - ▶ 충전압 : 700 bar, 충전속도 : 25kg/15분 이상
- 수소전기동차 및 충전시설 운영 및 유지보수 매뉴얼

○ 연구내용

- 수소전기동차 검수시설 구축
 - ▶ 수소전기동차 검수 인프라 기본설계 및 상세설계
 - ▶ 수소전기동차 검수 인프라 구축
 - ▶ 수소전기동차 검수 인프라 운영
- 수소철도용 수소충전소 구축
 - ▶ 철도용 수소 충전시설 요구사항 분석/도출 및 기본/상세설계
 - ▶ 철도용 수소 충전시설 구축을 위한 규제/법령 검토
 - ▶ 철도용 수소 충전시설 구축(규제샌드박스)
 - ▶ 철도용 수소 충전시설 사업개시 및 시운전
- 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발
 - ▶ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발
 - ▶ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 고도화

□ 최종성과물

○ 수소전기동차 실증차량

- 출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 600km 이상

- 수소전기동차 형식승인
- 수소전기동차 철도차량 기술기준 고시
- 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 고시
- 수소충전 인프라
- 수소전기동차 검수 인프라

제3절 : 세부 개발계획

1. 핵심기술별 연구내용

가. (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인

□ 연차별 연구내용

[표 68] 수소전기동차 제작 및 형식승인 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	• 주요 구성품 사양 선정 및 설계 - 수소연료전지-2차전지 시스템 사양 선정 및 최적 설계 - 주요 전장품 사양 선정, 설계 및 주요 소자 용량계산서 도출 - 전장품 검수 편의성 및 소형·경량화를 위한 기기 배치 개선설계 - 전장품 EMI/EMC 개선 및 인터페이스 검토 • 실증차량 사양 선정 및 설계 - 수소전기동차 요구사항 분석 및 도출 - 수소전기동차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 산출·검토 - 수소전기동차 User I/F(HMI, 운전대) 최적화 개선설계 - 장치 간 기기 배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정 - 실증용 수소전기동차 상세 설계, 주요 부품 발주
2차년도	• 구성품 제작 및 성능시험 - 수소연료전지 동력시스템 제작 및 동작시험 검증·보완 - 주요 전장품 제작 및 동작시험 검증·보완 - 구성품 형식승인(부품시험, 구성품시험) • 실증차량 부품 제작 및 조립 - 실증차량 차체, 대차, 기타 부품 제작 및 검증 - 의장, 기장/제동, 전장 일부 등 완성차 조립 시작 - 수소연료전지 동력계 및 주요 전장품 취부 절차 확립
3차년도	• 구성품 차량 탑재 및 실증시험 - 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 완성차 연계 동작시험 - 구성품 형식승인(완성차시험) • 실증차량 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험) - 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 차량 취부 및 인터페이스 검증 - 실증차량 조립 및 편성 완료 - 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험)

□ 성능지표(목표사양)

[표 69] 수소전기동차 제작 및 형식승인 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템	• 용량 : 통합 1.2MW 이상 (400kW급 수소연료전지 파워팩 국산화) • 회생에너지 회수율 : 99% 이상
2	고내구성 수소저장용기	• 수소탱크 압력 : 700bar 이상 • 저장용량 : 통합 166kg 이상 (1회 충전 주행거리 600km 이상)
3	전장품 고효율/소형, 경량화	• DC/DC 컨버터 최대 효율 : 95% 이상 • 추진인버터 용량 : 견인전동기 300kW/대 이상 구동 • 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율 (THD) : 5% 이하
4	수소전기동차 실증차량	• 최고속도 : 설계최고속도 165km/h 이상, 운행최고속도 150km/h 이상 • 주행거리 : 600km 이상 (1회 충전, 운영패턴, 하중 고려) • 예비주행 : 5,000km 이상 • 형식승인 완료

나. (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발

□ 연차별 연구내용

[표 70] 수소전기동차 실용화 기술개발 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	• 에너지 제어기술 개발 - 장치 간 인터페이스 및 제어로직 설계 - 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계 - 에너지 제어기술 개발 및 모의환경 기반 검증 • 기술기준 설계·검토 및 철도차량 임시기술기준 제정 - 수소전기동차 철도차량 임시기술기준 제정 - 수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준 설계/검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 수립
2차년도	• 에너지관리시스템 제작 - 에너지관리시스템 설계 및 제작 - 에너지 제어기술 알고리즘 탑재 및 동작 확인 - 조합시험을 통한 수소연료전지 동력시스템-전장품 연계 에너지 제어기술 검증

연도	추진계획
	- 철도차량/철도시설 기술기준 개발 - 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발 - 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 개발 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안
3차년도	- 에너지 제어기술 실증 - 에너지관리시스템 차량탑재 및 인터페이스 확인 - 실증차량 운영을 통해 에너지 제어기술 성능검증 - 철도차량/철도시설 기술기준 고시 - 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안 - 철도차량/철도시설 기술기준 의견수렴 및 보완·확정 - 수소전기동차 기술검증 및 성능평가 체계 개선

□ 성능지표(목표사양)

[표 71] 수소전기동차 실용화 기술개발 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	수소철도차량 기술기준	- 임시기술기준 제정 - 기술기준 고시
2	수소 충전시설 기술기준	기술기준 고시
3	에너지관리시스템	차량 동작 상태별 에너지 흐름 제어

다. (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발

□ 연차별 연구내용

[표 72] 수소철도 운영 인프라 기술개발 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	- 운영 인프라 사양 선정 및 설계 - 수소전기동차 검수시설 요구사항 분석 및 기본설계 - 철도용 수소 충전시설 요구사항 분석 및 도출 - 수소 충전시설 구축을 위한 규제/법령 검토 - 수소 충전시설 기본설계 - 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 시나리오 설계 - 실증차량/인프라 운영기술 분석 및 요구사항 도출 - 실증차량/인프라 유지보수 기술조사

연도	추진계획
2차년도	• 운영 인프라 상세설계 및 구축 - 수소전기동차 검수시설 상세설계 및 구축 - 수소 충전시설 상세설계 및 구축(규제샌드박스) • 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발 - 실증차량/인프라 유지보수 대상부품 사양도출 - 실증차량/인프라 유지보수 요소기술 개발
3차년도	• 운영 인프라 운영 및 검증 - 수소전기동차 검수 인프라 운영 - 철도용 수소 충전시설 사업개시 및 시운전 - 실증차량-인프라 연계 운영 검증 • 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 고도화 - 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기준(안) 및 관리방안 - 사업화 전략 도출

□ 성능지표(목표사양)

[표 73] 수소철도 운영 인프라 기술개발 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	검수 인프라	• 검수 인프라 구축 및 운영 (1개소) • 수소전기동차 1편성 검수
2	충전 인프라	• 수소충전소 구축 및 운영 (1개소) • 충전압 : 70MPa 이상 • 충전속도 : 25kg/15분 이상
3	사업화 전략(운영/유지보수)	• 차량/시설 운영 및 유지보수 보고서 도출 • 사업화 전략 보고서 도출

2. 연차별 추진내용

[표 74] 수소전기동차 실증사업 연차별 추진내용

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
1차년도	구성품/실증차량/인프라 설계 및 철도차량 임시기술기준 제정	• 주요 구성품 사양 선정 및 설계 • 실증차량 사양 선정 및 설계 • 에너지 제어기술 개발 • 기술기준 설계·검토 및 철도차량 임시기술기준 제정 • 운영 인프라 사양 선정 및 설계 • 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 시나리오 설계
2차년도	구성품/실증차량/인프라 제작 및 시험	• 구성품 제작 및 성능시험 • 실증차량 부품 제작 및 조립 • 에너지관리시스템 제작 • 철도차량/철도시설 기술기준 개발 • 운영 인프라 상세설계 및 구축 • 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발
3차년도	예비주행/시운전	• 구성품 차량 탑재 및 실증시험 • 실증차량 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험) • 에너지 제어기술 실증 • 철도차량/철도시설 기술기준 고시 • 운영 인프라 운영 및 검증 • 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 고도화

3. 성과물 및 목표성능

[표 75] 수소전기동차 실증사업 성과물 및 목표성능

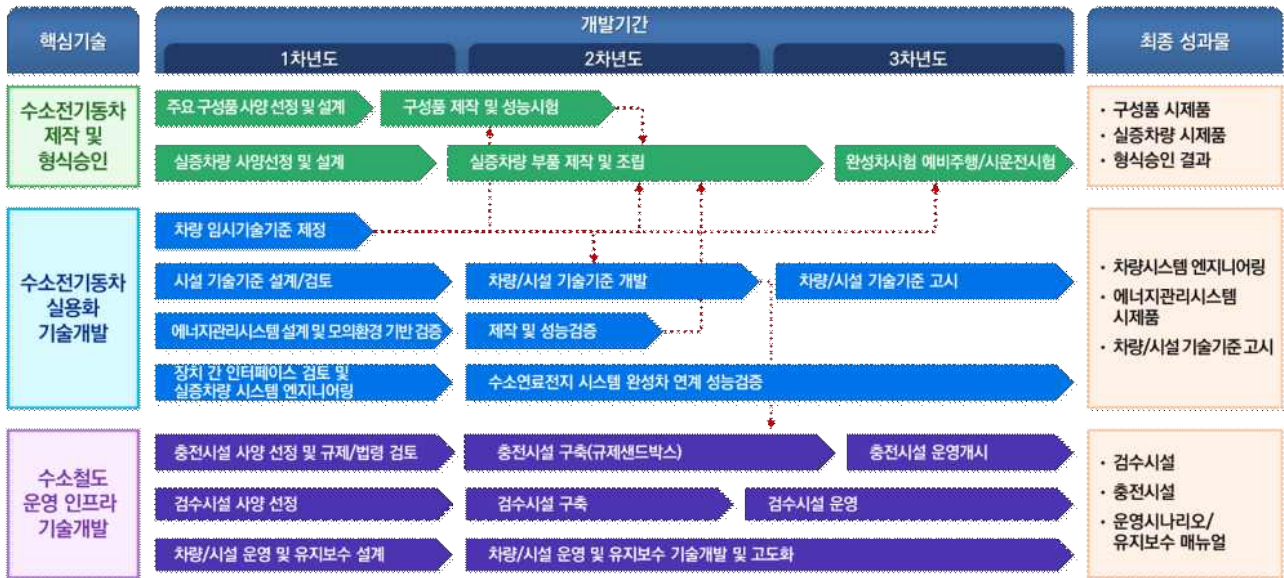
핵심기술	성과물	성과물유형	구성기술	목표성능	TRL
수소전기동차 제작 및 형식승인	- 핵심 구성품 시제품 - 구성품 성능시험 성적서 - 수소전기동차 실증차량 - 형식승인 결과	장비/장치	수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술	- 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 - 통합 1.2MW 이상 동력시스템 (400kW급 수소연료전지+배터리 국산화) - 회생에너지 회수율 : 99% 이상 - 고내구성 수소저장용기 - 수소탱크 압력 : 700 bar 이하 - 수소저장용량 : 166kg 이상 (1회 충전 주행거리 600km 이상) - 전장품 고효율/소형, 경량화 - DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상 - 추진인버터 용량 : 견인전동기 개당 300kW 이상 구동 - 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율(THD) : 5% 이하	8
			수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술	- 설계최고속도 165km/h, 운행최고속도 150km/h 1회 충전 주행거리 600km (운영패턴, 하중 고려 주행거리) - 예비주행시험 : 5,000km 이상 - 형식승인 완료	8
수소전기동차 실용화 기술개발	- 차량시스템 엔지니어링 - 에너지관리시스템 시제품 - 수소전기동차 차량/시설 기술기준	장비/장치, 표준화/제도	수소전기동차 시스템 엔지니어링	차량 동작 상태별 에너지 흐름 제어	8
			철도차량/철도시설 기술기준 도출	- 실증차량을 위한 철도차량 임시기술기준 제정 - 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 고시 - 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 고시	2
수소철도 운영 인프라 기술개발	- 수소전기동차 검수시설 - 수소전기동차 수소충전시설 - 수소전기동차 운영시나리오 및 유지보수 매뉴얼	장비/장치	수소전기동차 검수시설 구축	검수시설 구축 및 운영 : 검수시설 1개소	8
			수소철도용 수소충전소 구축	- 수소충전소 구축 및 사업개시 : 충전소 1개소 - 충전압 : 70MPa 이상, 충전속도 : 25kg/15분 이상	8
			수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술	- 수소전기동차 및 인프라 운영 및 유지보수 보고서 - 사업화 전략 도출	2

4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산

가. 기술개발 로드맵

□ 본 사업은 기존 국가 R&D*로 진행된 수소전기동차 기술개발 과제의 연장
으로 수소전기동차 실증사업을 진행하여 실용화를 목표로 3년동안 추진

* 수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발(국토부, '18~22)



[그림 98] 수소전기동차 실증사업 기술개발 로드맵

□ 핵심기술간 연계 전략

- 핵심기술 2의 “수소전기동차 실용화 기술개발”을 통해 차량/시설의 기술 기준을 마련하여, 각각 핵심기술 1의 “수소전기동차 제작 및 형식승인”과 핵심기술 2의 “수소철도 운영 인프라 기술개발”에서 활용 및 시험이 진행되어야 하므로 연계 및 협업이 중요함
 - 각각의 개별 구성 기술들의 개발과 더불어 유기적으로 연계 진행되어야 하므로 총괄 연구단의 역할이 중요
- 최종적으로 실증차량/운영 인프라 및 이의 기술기준 및 성능시험 결과, 실노선에서의 운영 데이터를 기반으로 실용화할 수 있도록 추진 필요

나. 투자규모

□ 총 336억원/3년 중 정부출연금 230억원(68.5%) 대비 민간부담금 106억원(31.5%)
으로 구성된 정부주도 사업 추진

[표 76] 수소전기동차 실증사업 투자계획

구분	개발예산 (백만원)			총계
	1차년도	2차년도	3차년도	
정부출연금	7,000	8,000	8,000	23,000
민간부담금	3,227	3,686	3,687	10,600
합계	10,227	11,686	11,687	33,600

[표 77] 수소전기동차 실증사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)

핵심기술	구성기술	개발예산 (백만원)			합계
		1차년도	2차년도	3차년도	
1. 수소전기동차 제작 및 형식승인	1-1. 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술	2,338	3,030	697	6,065
	1-2. 수소전기동차 실증차량 설계, 제작 기술	1,349	1,185	3,223	5,757
2. 수소전기동차 실용화 기술개발	2-1. 수소전기동차 시스템 엔지니어링	559	631	762	1,952
	2-2. 철도차량/철도시설 기술기준 고시	409	473	537	1,419
3. 수소철도 운영 인프라 기술개발	3-1. 수소전기동차 검수시설 구축	812	690	483	1,985
	3-2. 수소철도용 수소충전소 구축	929	1,700	1,882	4,511
	3-3. 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술	604	291	416	1,311
합계		7,000	8,000	8,000	23,000

다. 소요예산

(1) 총연구비

[표 78] 수소전기동차 실증사업 총연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)			합계
	1차년도	2차년도	3차년도	
인건비	2,124	2,427	2,502	7,053
연구장비재료비	3,055	3,490	3,459	10,004
기타경비	1,124	1,285	1,243	3,652
간접비	697	798	796	2,291
소계(정부출연금)	7,000	8,000	8,000	23,000
민간부담금	3,227	3,686	3,687	10,600
합계	10,227	11,686	11,687	33,600

(2) 핵심기술별 연구비

(가) (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인

[표 79] (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)			소계
	1차년도	2차년도	3차년도	
인건비	1,060	1,211	1,137	3,408
연구장비재료비	1,815	2,074	1,992	5,881
기타경비	446	510	402	1,358
간접비	366	420	389	1,175
소계(정부출연금)	3,687	4,215	3,920	11,822
민간부담금	1,700	1,942	1,807	5,449
합계	5,387	6,157	5,727	17,271

(나) (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발

[표 80] (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)			소계
	1차년도	2차년도	3차년도	
인건비	385	439	512	1,336
연구장비재료비	149	170	293	612
기타경비	337	385	364	1,086
간접비	97	110	130	337
소계(정부출연금)	968	1,104	1,299	3,371
민간부담금	446	509	598	1,553
합계	1,414	1,613	1,897	4,924

(다) (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발

[표 81] (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)			소계
	1차년도	2차년도	3차년도	
인건비	679	777	853	2,309
연구장비재료비	1,091	1,246	1,174	3,511
기타경비	341	390	477	1,208
간접비	234	268	277	779
소계(정부출연금)	2,345	2,681	2,781	7,807
민간부담금	1,081	2,681	2,781	6,543
합계	3,426	5,362	5,562	14,350

라. 소요 인력

[표 82] 수소전기동차 실증사업 핵심 및 구성기술별 소요 인력

핵심 및 구성기술	차년도			합계 (명)
	1차년도	2차년도	3차년도	
수소전기동차 제작 및 형식승인	15	74	40	129
수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술	7	32	15	54
수소전기동차 실증차량 설계, 제작 기술	8	42	25	75
수소전기동차 실용화 기술개발	9	23	18	50
수소전기동차 시스템 엔지니어링	4	10	8	22
철도차량/철도시설 기술기준 고시	5	13	10	28
수소철도 운영 인프라 기술개발	10	47	30	87
수소전기동차 검수시설 구축	3	15	10	28
수소철도용 수소충전소 구축	4	20	12	36
수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술	3	12	8	23
총계	34	144	88	266

5. 성과 목표 및 성과 지표

가. 전략목표

[표 83] 수소전기동차 실증사업 전략목표

전략목표	실증노선 운영을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발 및 운영 인프라 구축

나. 성과목표

[표 84] 수소전기동차 실증사업 성과목표

성과목표		가중치	설정 근거
성과목표-1	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	0.4	본 사업의 대상 차량인 수소전기동차를 설계·제작하고, 기술기준에 의거하여 형식승인을 진행하여 실제 영업노선에서 운영할 수 있는 기반 마련
성과목표-2	수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준 도출 및 에너지 제어기술 개발	0.35	수소전기동차는 국내 최초 개발 및 도입을 검토 중으로 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 받아야 함. 따라서, 본 사업을 통해 기술개발과 함께 기술기준 마련을 동시에 진행하여 신규로 개발되는 수소전기동차 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증 및 그 결과 도출
성과목표-3	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	노선 운영을 위해서는 차량 정비 등을 위한 검수시설과 수소전기동차의 연료인 수소의 충전인프라 구축이 반드시 필요하므로 이에 대한 구축 및 운영 필요.

다. 성과지표

[표 85] 수소전기동차 실증사업 성과지표

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	1차 년도	2차 년도	3차 년도			
성과 목표 -1	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	실증차량 제작율	%	목표	40	80	100	과정		• 성과목표인 ‘수소전기동차 실증차량 제작’ 달성을 위해 ‘실증차량 제작율’을 성과지표로 설정(실증차량 제작 여부 확인)
				실적						
		실증차량 형식승인 달성율	%	목표	0	50	100	과정	√	• 성과목표인 ‘수소전기동차 실증차량 형식승인 완료’ 달성을 위해 ‘실증차량 형식승인 달성율’을 성과지표로 설정(형식승인 완료 여부 확인)
				실적						
		실증차량 예비주행거리	km	목표			5,000	결과	√	• 실증차량의 성능검증을 위해 예비주행 5,000km 이상 달성 여부를 성과지표로 설정
				실적						
성과 목표 -2	수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준(안) 도출 및 에너지 제어기술 개발	논문게재	건	목표	1	2	2	결과	√	• 구성품 및 실증차량 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
				실적						
		특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	결과	√	• 구성품 및 실증차량 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				실적						
		에너지관리시 스템 개발율	%	목표	50	75	100	과정		• 장치 간 인터페이스 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 수립, 에너지 제어기술 등 실증차량 시스템 엔지니어링 확인을 위해 ‘에너지관리시스템 개발율’
				실적						

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	1차 년도	2차 년도	3차 년도			
성과 목표 -3	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	철도차량/ 철도시설 기술기준 도출 완료율	%	실적						을 성과지표로 설정
					목표	33	66	100	과정	√	수소철도차량/충전소의 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따라 기술기준이 마련되고, 형식 승인을 받아야 하므로 ‘철도차량/철도시설 기술기준 완료율’을 성과지표로 설정
			검수시설 구축률	%	실적						
					목표	33	66	100	과정	√	실증차량의 운영 및 유지보수를 위해서는 정비할 수 있는 검수시설이 필요함에 따라 ‘검수시설 구축률’을 성과지표로 설정
성과 목표 -3	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	수소충전소 구축률	%	목표	33	66	100	과정	√	실증차량 주행 및 운영을 위해서는 수소 저장·공급을 위한 수소충전소가 필요하며, 이를 위해 ‘수소충전소 구축률’을 성과지표로 설정
					실적						
			사업화 전략 수립	건	목표			1	결과		수소전기동차 국내 도입을 위해 본 실증사업을 수행하면서 수소철도차량/인프라 운영 및 유지보수를 진행하고, 이를 기반으로 상용화를 위한 ‘사업화 전략 수립’을 성과지표로 설정
					실적						

라. 성과지표의 목표치 및 측정방법

[표 86] 수소전기동차 실증사업 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																										
실증차량 제작율	과업기간 동안 실증차량 제작을 위해 획득할 필요항목(5건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>40 (=2/5)</td><td>80 (=4/5)</td><td>100 (=5/5)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>2건 (2건)</td><td>2건 (4건)</td><td>1건 (5건)</td></tr></table> ※ 실증차량 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>구성품 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건</td></tr><tr><td>구성품 시제품 제작</td><td></td><td>1</td><td></td><td>구성품 시제품 1건</td></tr><tr><td>실증차량 사양 선정</td><td>1</td><td></td><td></td><td>실증차량 사양서 1건</td></tr><tr><td>실증차량 설계</td><td></td><td>1</td><td></td><td>실증차량 설계서 1건</td></tr><tr><td>실증차량 시제품 제작</td><td></td><td></td><td>1</td><td>실증차량 시제품 1건</td></tr></table> * 구성품 : 수소연료전지-2차전지 동력시스템, 수소저장용기, 전장품(DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치)	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	40 (=2/5)	80 (=4/5)	100 (=5/5)	검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	2건 (4건)	1건 (5건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	구성품 사양 선정 및 설계	2			구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건	구성품 시제품 제작		1		구성품 시제품 1건	실증차량 사양 선정	1			실증차량 사양서 1건	실증차량 설계		1		실증차량 설계서 1건	실증차량 시제품 제작			1	실증차량 시제품 1건	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																										
목표실적 (누적 개발률)	40 (=2/5)	80 (=4/5)	100 (=5/5)																																										
검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	2건 (4건)	1건 (5건)																																										
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																																									
구성품 사양 선정 및 설계	2			구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건																																									
구성품 시제품 제작		1		구성품 시제품 1건																																									
실증차량 사양 선정	1			실증차량 사양서 1건																																									
실증차량 설계		1		실증차량 설계서 1건																																									
실증차량 시제품 제작			1	실증차량 시제품 1건																																									
실증차량 형식승인 달성률	과업기간 동안 실증차량 형식승인 달성을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>0 (=0/2)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>0 (0건)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	0 (=0/2)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	0 (0건)	1건 (1건)	1건 (2건)	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적	국토교통R&D사업관리시스템																														
구분	'24년	'25년	'26년																																										
목표실적 (누적 개발률)	0 (=0/2)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																																										
검토항목 (누적 건수)	0 (0건)	1건 (1건)	1건 (2건)																																										

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처															
	※ 실증차량 형식승인을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>구성품 성능시험 결과</td><td></td><td>2</td><td></td><td>성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건</td></tr><tr><td>실증차량 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>2</td><td>완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	구성품 성능시험 결과		2		성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건	실증차량 성능시험 결과			2	완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건	서)를 대상으로 확인	
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태														
구성품 성능시험 결과		2		성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건														
실증차량 성능시험 결과			2	완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건														
실증차량 예비주행거리	• 철도안전법에 따른 형식승인 기준에 따라 목표치 설정 • 예비주행거리 5,000km 이상 달성	[측정산식] • 예비주행거리 = 예비주행시험 주행거리 누적값 (시험일지 또는 차량 TCMS 주행거리) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 확인	국토교통R&D 사업관리시스템															
논문게재	• 연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성률 측정	국토교통R&D 사업관리시스템															
특허 출원/등록	• 연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일	국가과학기술정보 서비스 (NTIS)															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																					
		• (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정																																						
에너지관리시스템 개발을	• 과업기간 동안 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위해 획득할 필요 항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=2/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>2 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>에너지 제어기술 개발</td><td>3</td><td></td><td></td><td>인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건</td></tr><tr><td>시제품 설계</td><td>1</td><td></td><td></td><td>설계서 1건</td></tr><tr><td>시제품 제작</td><td></td><td>1</td><td></td><td>시제품 1건</td></tr><tr><td>시제품 차량 설치 및 실증시험</td><td></td><td></td><td>1</td><td>실증결과 보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	2 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	에너지 제어기술 개발	3			인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건	시제품 설계	1			설계서 1건	시제품 제작		1		시제품 1건	시제품 차량 설치 및 실증시험			1	실증결과 보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																					
목표실적 (누적 개발률)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																																					
검토항목 (누적 건수)	2 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)																																					
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																																				
에너지 제어기술 개발	3			인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건																																				
시제품 설계	1			설계서 1건																																				
시제품 제작		1		시제품 1건																																				
시제품 차량 설치 및 실증시험			1	실증결과 보고서 1건																																				
철도차량/철도시설 기술기준 도출 완료율	• 과업기간 동안 수소 철도차량/철도시설 기술기준 도출을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	[측정산식] • 완료율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																									
구분	'24년	'25년	'26년																																					
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																					
검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																					

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
	※ 기술기준(안) 도출을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>철도차량 임시기술기준 제정</td><td>1</td><td></td><td></td><td>철도차량 임시기술기준 1건</td></tr><tr><td>기술기준 개발</td><td></td><td>2</td><td></td><td>철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건</td></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td></td><td></td><td>1</td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	철도차량 임시기술기준 제정	1			철도차량 임시기술기준 1건	기술기준 개발		2		철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건	전문기관 협의 및 의견수렴			1	의견수렴 결과보고서 1건														
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
철도차량 임시기술기준 제정	1			철도차량 임시기술기준 1건																															
기술기준 개발		2		철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건																															
전문기관 협의 및 의견수렴			1	의견수렴 결과보고서 1건																															
검수시설 구축률	• 과업기간 동안 실증차량 검수 인프라 구축을 위해 획득할 필요항목 (3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 검수 인프라 구축을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>검수시설 요구사항 분석 및 기본설계</td><td>1</td><td></td><td></td><td>검수시설 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>검수시설 구축</td><td></td><td>2</td><td></td><td>검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축</td></tr><tr><td>검수시설 운영결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>검수시설 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	검수시설 요구사항 분석 및 기본설계	1			검수시설 기본설계서 1건	검수시설 구축		2		검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축	검수시설 운영결과			1	검수시설 운영보고서 1건	[측정산식] • 구축률 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
검수시설 요구사항 분석 및 기본설계	1			검수시설 기본설계서 1건																															
검수시설 구축		2		검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축																															
검수시설 운영결과			1	검수시설 운영보고서 1건																															
수소충전소 구축률	• 과업기간 동안 실증차량을 위한 수소충전소 구축을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 구축률 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말)	국토교통R&D 사업관리시스템																																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거					측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																	
	<table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토향목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table>					구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토향목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	(측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정						
	구분	'24년	'25년	'26년																				
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																				
	검토향목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																				
	※ 수소충전소 구축을 위한 연차별 달성 계획																							
<table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소충전소 설계</td><td>3</td><td></td><td></td><td>수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 구축</td><td></td><td>1</td><td></td><td>수소충전소 1개소 구축</td></tr><tr><td>수소충전소 운영</td><td></td><td></td><td>2</td><td>성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건</td></tr></table>					필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소충전소 설계	3			수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건	수소충전소 구축		1		수소충전소 1개소 구축	수소충전소 운영			2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																				
수소충전소 설계	3			수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건																				
수소충전소 구축		1		수소충전소 1개소 구축																				
수소충전소 운영			2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건																				
사업화 전략 수립	본 사업은 수소전기동차를 상용화하기 위해 실제 노선에 투입·운영하는 실증사업으로 수소철도차량/인프라 운영 및 유지보수를 통해 사업화 전략 수립을 목표로 설정					[측정산식] - 사업화 전략 보고서 1건 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D사업관리시스템																	

마. 성과목표 및 지표 총괄표

[표 87] 수소전기동차 실증사업 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	실증노선 운영을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발 및 운영 인프라 구축			
(최종) 성과목표	수소전기동차 실증 (출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 600km 이상 주행)			
성과목표 및 지표	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	0.4	실증차량 제작율	과정
			실증차량 형식승인 달성을	과정(질)
			실증차량 예비주행거리	결과(질)
	수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준 도출 및 에너지 제어기술 개발	0.35	논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
			에너지관리시스템 개발율	과정
			철도차량/철도시설 기술기준 도출 완료율	과정(질)
	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	검수시설 구축률	과정
			수소충전소 구축률	과정(질)
			사업화 전략 수립	결과

제4절 : 사업추진체계 및 전략

1. 사업 추진 방안 설정

- ☐ 본 사업은 3년에 걸쳐 정부예산 270억원이 투입되는 규모로, 국토교통부 사업 중 연구단급 규모의 사업임
- ☐ 본 사업의 목적을 고려할 때 핵심기술 및 구성기술간의 긴밀한 연계가 필요하므로 연구단 단일 과제로 추진하는 것이 바람직함
 - ‘핵심기술 1’ 이 해당 사업의 핵심 부분을 담당하게 되므로, ‘핵심기술 1’ 주관연구기관이 연구단 역할 수행
 - 그 외 나머지 핵심기술들은 ‘핵심기술 1’ 과 연계되므로 통합 공모로 연구기관 선정
 - 세부 사업별 핵심기술 간 연계 및 공모방안은 다음과 같음

[표 88] 수소전기동차 실증사업 핵심기술 간 연계 및 공모방안

사업명	핵심기술	주요 성과물	핵심기술간 연계	공모 방안
A. 수소전기 동차 실증사업	A-1. 수소전기동차 제작 및 형식승인	• 핵심 구성품 시제품 • 구성품 성능시험 성적서 • 수소전기동차 실증차량 • 형식승인 결과	사업 목표사양을 토대로 A-2, A-3 핵심기술의 사양 제시	통합 공모
	A-2. 수소전기동차 실용화 기술개발	• 차량시스템 엔지니어링 • 에너지관리시스템 시제품 • 수소전기동차 차량/시설 기술기준	A-1 핵심기술에서 제시한 사양을 토대로 각각의 세부 사양 설정 및 기술개발 추진	
	A-3. 수소철도 운영 인프라 기술개발	• 수소전기동차 검수시설 • 수소전기동차 수소충전 시설 • 수소전기동차 운영시나리오 및 유지보수 매뉴얼		

2. 사업추진체계

- 사업의 전체 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 및 사업관리는 연구단에서 맡아 진행하는 형태의 추진체계 구성
 - 각 핵심기술 분야 수행의 효과를 높이고, 개별 연구 수행기관과의 성과 연계를 통해 유기적인 대응이 가능하도록 단일 연구단으로 구성
 - 연구단 형태로 추진하면서 객관성, 공정성 등의 단점을 보완하기 위해 연구 개발과제 평가단을 설치하여 사업단의 주요 의사결정에 대한 심의를 받도록 조치
 - 과제 기획 부문과 사업수행자 선정에서 전문성과 객관성이 요구되어 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담



[그림 99] 수소전기동차 실증사업 추진체계

3. 사업주체간 역할분담

□ 사업 목표 달성을 위해 추진 주체별 역할 및 기능은 다음과 같음

○ 국토교통부(주관부처)

- 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공

○ 국토교통과학기술진흥원(전문기관)

- 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안전에 대한 결정
- 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관리 등 추진

○ 주관연구기관

- 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무 추진 하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성
- 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리
- 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임 사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행

○ 공동연구개발기관

- 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행

○ 위탁연구개발기관

- 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행

□ (사업 참여기관 자격요건) 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 제4조 (연구 개발사업 참여기관 자격)에 의한 기관

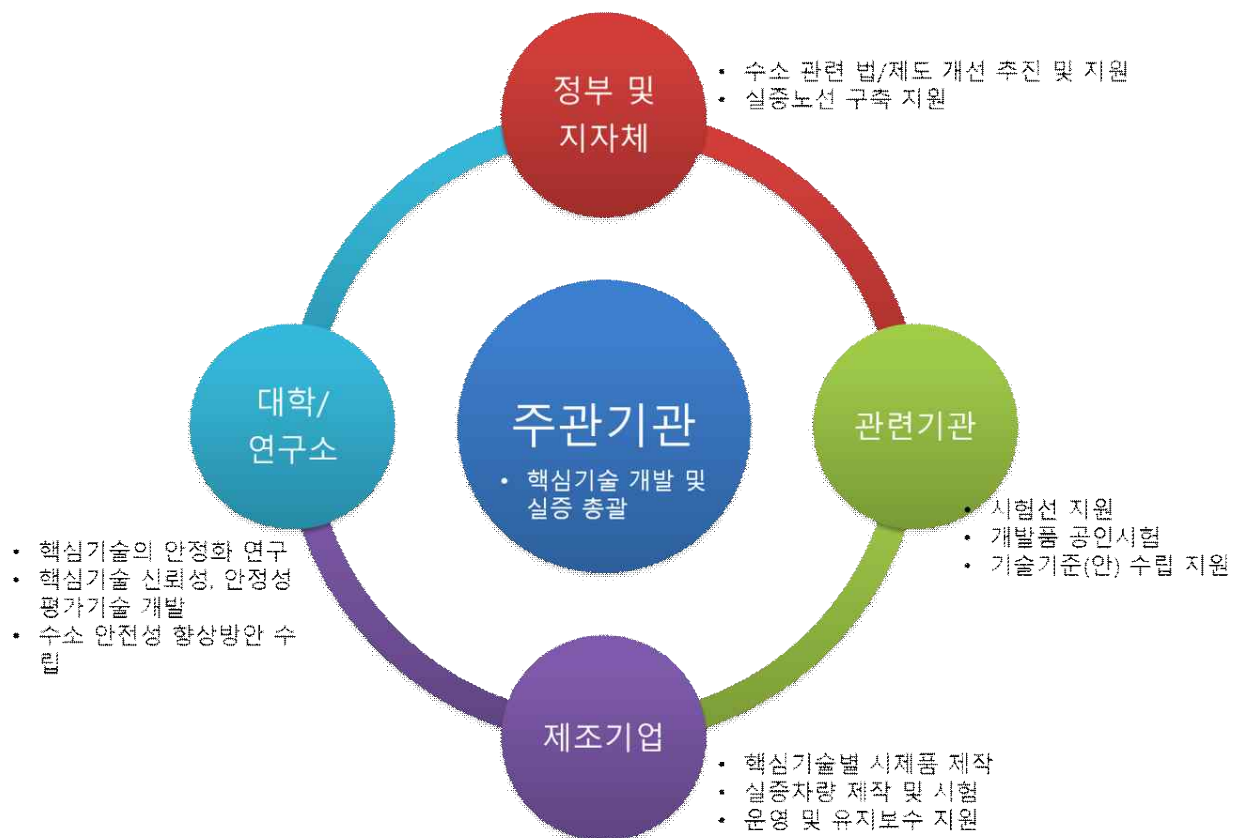
4. 사업추진전략

가. 추진전략

□ 연구개발 목표를 달성하기 위해 다음의 세 가지 추진전략을 수립하였음

- 추진전략 1 : (수소철도 핵심기술 실용화) 비전철화 노선에서의 실증을 통한 운행 실적 확보 및 수소전기동차 실용화
- 추진전략 2 : (실용화를 위한 법·제도 개선) 수소전기동차 임시기술기준 제정 및 철도안전법 형식승인 완료
- 추진전략 3 : (수소전기동차 성능개선) 국가 R&D로 개발된 기존 수소전기동차 안전성·효율성 검증 및 성능개선

□ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문기관에서 기 확보된 주요 핵심기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산·학·연 공동연구 추진



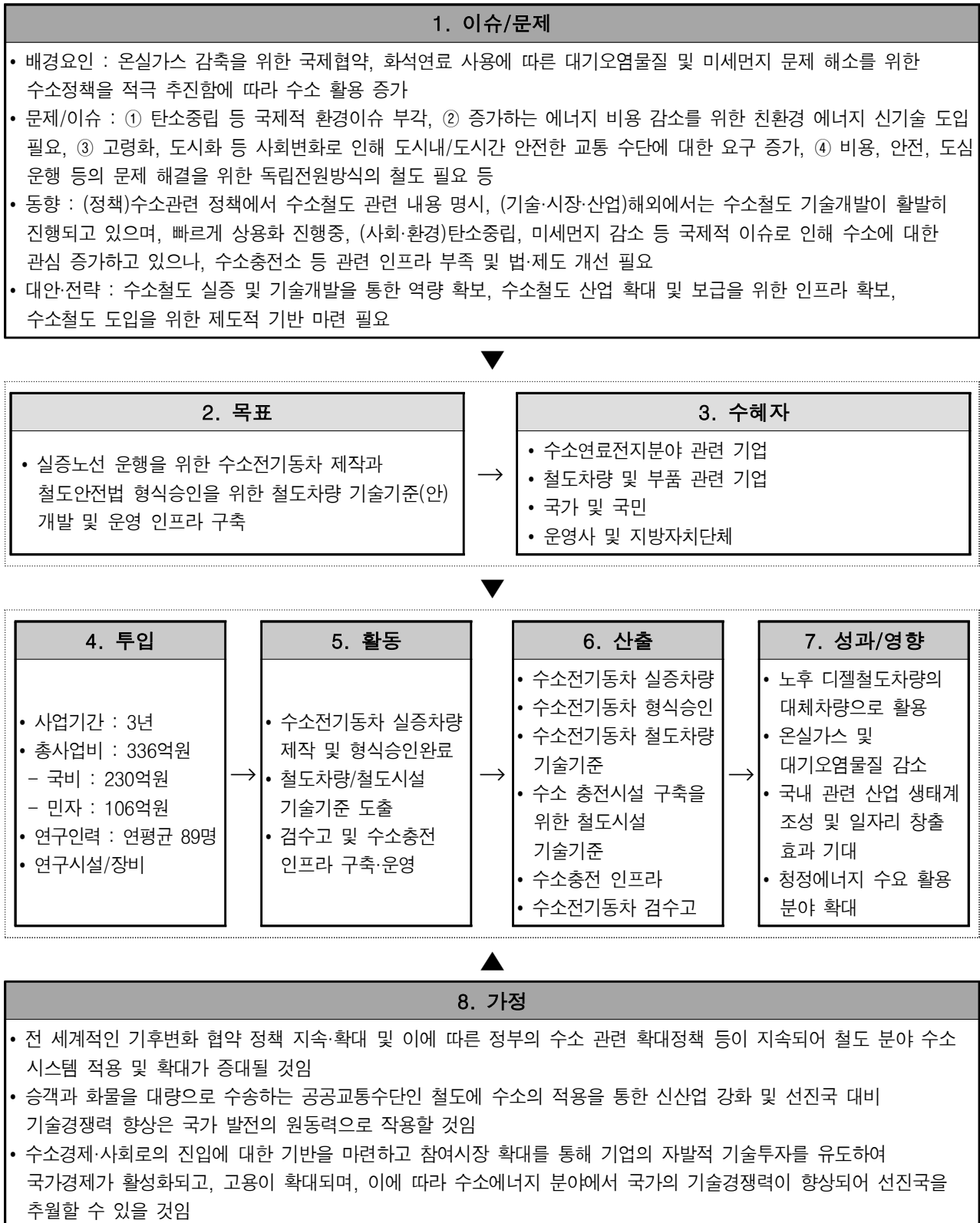
[그림 100] 연구추진전략 구성

- 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국·내외 공인 기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보
- 연구개발과정에서 발생하는 모든(과제참여기업 포함) 연구결과물 및 시험데이터들은 과제에 대한 관리주체인 주관기관에서 구축한 별도의 서버에서 집중관리하고 성능평가 또는 개발과정에서 발생하는 시험데이터는 공인된 교정기관에서 교정되어있거나 신뢰할만한 수준의 시험장비임을 확인한 후 과제에 참여한 전문가들이 검증한 시험절차 및 방법등을 통하여 획득할 계획임
- 핵심기술의 구현을 위한 제어알고리즘에 대한 시뮬레이션을 위한 소프트웨어(매트랩 포함) 또는 실부하 모의 플랫폼등은 국내 상용화된 제품의 부재로 별도 구매하여 구축할 계획이고 성능평가지 센서류등은 고도의 정밀도가 요구되므로 마찬가지로 국외 전문업체로부터 구매할 계획임.
- 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터 획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축 추진

나. 기술적 타당성 검토

(1) 논리 모형 도출

[표 89] 수소전기동차 실증사업의 논리적 모형



(2) 기술개발 성공 가능성

- 핵심기술 및 구성기술의 연구개발과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공 가능성을 향상시키고자 함

[표 90] 수소전기동차 실증사업 기술개발 성공 가능성 검토

구성기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술	- 국내 대용량 수소연료전지/2차전지 동력시스템 관련 부품산업 및 요소기술 기반 취약 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템과 연계하여 철도차량 전장품 인터페이스 및 운영 경험 부족	- 다양한 소자/부품 공급자를 발굴하여 기술 종속 탈피 - 기존 수행한 국가 R&D 결과를 활용하여 개선사항을 도출하고 시뮬레이션을 통한 검증 및 자체시험을 통한 인터페이스 확인
수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술	새로운 구성품(수소연료전지, 수소저장탱크 등)의 차량 상부 탑재에 따른 구조안전성, 동적 운동성능, 충돌·강도 안전기준 확보 등 경험 부족	모의 환경 기반 차량 설계검증 및 관련 전문가의 자문, 설계검증 연구 경험이 풍부한 연구진 구성 추진
수소전기동차 시스템 엔지니어링	수소시스템과의 인터페이스, MMI (Man-Machine-Interface) 및 운전 상태별 에너지 흐름 제어 최적화 부족	국내외 규격·기준 조사 및 분석을 통하여 시스템 인터페이스 설계하고 조합시험을 통해 구성품의 인터페이스 및 에너지 흐름 제어 검증 수행
철도차량/철도시설 기술기준 도출	신기술의 적용에 따른 철도차량/철도시설 기술기준이 마련되어 있지 않음	기존 수행한 국가 R&D 결과를 활용하여 철도차량 임시기술기준 제정 및 이를 기반으로 철도차량/철도시설 기술기준 구축
수소전기동차 검수시설 구축	새로운 철도차량 구성품에 대한 유지보수 매뉴얼 등이 마련되어 있지 않음	철도차량 운영 및 유지보수 경험이 풍부한 운영사 사업 참여 유도
수소철도용 수소충전소 구축	수소충전 및 충전소 관련 요소기술들에 대한 국내시장형성이 이루어지지 않아 국내 기업들의 해당 제품에 대한 개발노력이 미진함에 따라 해외의존도가 높음	수소충전 및 충전소 관련 국내 타 연구개발사업 추진기관과 협력하여 국내 기업이 개발한 해당 요소기술의 현장적용성 평가를 추진하고 이를 통하여 관련 품질규격 도출
수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술	새로운 타입의 수소철도차량에 대한 운영 및 유지보수 관련 경험 부족	철도차량 운영 및 유지보수 경험이 풍부한 운영사 사업 참여 유도 및 관련 분야 전문가 의견 수렴 및 취합

(3) 기존 사업과의 차별성 및 연계성

(가) 기존 사업의 주요 연구내용 및 차별성·연계성

[표 91] 수소전기동차 실증사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성

	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
1	수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~`22.12.)	- 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 시스템 엔지니어링 - 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력 시스템 - 시험차량 설계 및 제작 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술 기준(안) 및 성능검증 - 수소 충전소 구축 및 테스트베드(T/B) 운영방안	• (차별성) 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 고시 • (차별성) 수소전기동차 충전시설 철도 시설 기술기준(안) • (연계성) 선행과제에서 개발한 1.2MW 급 동력분산식 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 활용 및 개선설계 • (연계성) 개선된 실증차량을 제작하여 시범노선에서 운행
2	액화수소 기반 수소기관차 핵심기술 개발 (`21.01.~`24.12.)	- 기관차용 액화수소 하이브리드 추진시스템 개발 - 수소연료전지용 액화수소 공급 시스템 개발 - 액화수소 지상인프라 핵심시스템 기술 개발	• (차별성) 선행과제는 철도차량에 액화수소를 적용하기 위한 부품단위의 원천기술 개발로 기체수소 적용 수소전기동차 실증사업과는 차별성 존재
3	수소전기트램 핵심기술 개발 및 실증 (`21.07.~`23.12.)	- 수소트램 시스템 통합 및 성능검증, 수소트램 전용 연료전지 및 요소 부품개발 - 해외 수출을 위한 기술기준 및 주행성능 평가 - 수소트램 운영 기술개발	• (차별성) 선행과제는 수소트램용 부품 및 구성품 기술개발과 성능검증을 하는 과제로 수소전기동차 실증사업과는 용량, 개발 방향에 차별성이 있음

(나) 선행과제 최종성과 분석

① 최종성과물 총괄

과제내역	성과목표(최종성과물)
수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술개발	
(1세부) 수소연료전지 기반 하이브리드 추진시스템 최적화 기술개발	① 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 * 최대출력 1.2MW급, 운행최대속도 110km/h, 1회 충전 주행거리 600km이상
	② 수소열차용 고출력밀도 추진제어장치 * 출력밀도 0.13kW/L 이상, 전동기효율 96% 이상, 회생전력활용률 99% 이상
(2세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 운용 기술개발	① 수소연료전지 기반 시험차량 * 최대출력 1.2MW급, 운행최대속도 110km/h, 1회 충전 주행거리 600km이상
	② 철도차량용 임시 수소충전소 * 충전압력 350bar
	③ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준(안) 및 운영·관리방안

② 최종성과 상세내역

□ (1세부) 수소연료전지 기반 하이브리드 추진시스템 최적화 기술개발

○ (핵심성과1) 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템

- (성과물 개요) 최대출력 1.2MW 이상, 운행최고속도 110km/h 및 1회 충전 주행거리 600km 이상인 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 개발
- (목표설정근거) 디젤동차급을 대체할 수 있는 수소철도차량 개발 목표
- (기준대비 차별성 및 우수성)
 - ▶ 국내 최초로 개발되는 수소연료전지 기반 철도차량이며, 프랑스 Alstom社에서 제작되어 세계 최초 독일에서 운행 중인('18.9월) Coradia iLint 수소열차의 동력시스템 대비 배터리용량이 더 큼

As-is(기존기술)	To-be(개발기술)
• (독일) Coradia iLint : '18.9 운행 - (제작) 프랑스 알스톰社 - (차량) 2량 1편성 구성 - (수소연료전지) 200kW × 2 - (배터리팩) 450kW × 2 - (수소용기) 99kg × 2, 압력 350bar	• (국내) '21.12 차량 제작 완료 - (제작) 우진산전 - (차량) 2량 1편성 구성 - (수소연료전지) 200kW × 2 - (배터리팩) 500kW × 2 - (수소용기) 83kg × 2, 압력 700bar

○ (핵심성과2) 수소열차용 고출력밀도 추진제어장치

- (성과물 개요) 출력밀도 0.13kW/L 이상 및 영구자석동기전동기 효율 96% 이상인 수소열차용 고출력밀도 추진제어시스템 개발 목표
- (목표설정근거) 도시철도차량 추진시스템의 출력밀도(0.12kW/L) 및 효율(유도전동기 기준 약 92%)를 기준으로 연구개발 목표 설정
 - * 출력밀도 = 추진시스템 출력 ÷ 추진시스템 부피
- (기존대비 차별성 및 우수성)
 - 도시철도차량 추진시스템 대비 출력밀도*(0.12kW/L → 0.13kW/L) 및 전동기 효율(92% → 96%) 개선
 - * 출력밀도 개선 : 부피(용량) 대비 출력 증가

As-is(기존기술)	To-be(개발기술)
• 도시철도차량 추진시스템 - (출력밀도) 0.12kW/L - (유도전동기 효율) 92% • (독일) Coradia iLint - (유도전동기 용량) 314kW × 2	▶
	• (국내) '21.9 차량 제작 완료 예정 - (출력밀도) 0.13kW/L - (영구자석동기전동기 효율) 96% - (전동기 용량) 664kW × 2

□ (2세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 운용 기술개발

○ (핵심성과1) 수소연료전지 기반 시험차량

- (성과물 개요) 최대출력 1.2MW 이상, 운행최고속도 110km/h 및 1회 충전 주행거리 600km 이상인 수소연료전지 기반 철도차량 개발
- (목표설정근거) 디젤동차급을 대체할 수 있는 수소철도차량 개발 목표
- (기존대비 차별성 및 우수성)
 - 국내 최초로 개발되는 수소연료전지 기반 철도차량이며, 프랑스 Alstom社에서 제작되어 세계 최초 독일에서 운행 중인('18.9월) Coradia iLint 수소열차 대비 동력시스템·추진시스템은 우수하고 수소 저장용기의 저장량은 다소 작음

As-is(기존기술)	To-be(개발기술)
• (독일) Coradia iLint : '18.9 운행 - (제작) 프랑스 알스톰 社 - (차량) 2량 1편성 구성 - (수소연료전지) 200kW × 2 - (배터리팩) 450kW × 2 - (유도전동기) 314kW × 2 - (수소용기) 99kg × 2, 압력 350bar	• (국내) '21.9 차량 제작 완료 예정 - (제작) 우진산전 - (차량) 2량 1편성 구성 - (수소연료전지) 200kW × 2 - (배터리팩) 500kW × 2 - (영구자석동기전동기) 664kW × 2 - (수소용기) 83kg × 2, 압력 700bar

○ (핵심성과2) 철도차량용 임시 수소충전소

- (성과물 개요) 수소연료전지 기반 철도차량의 수소 충전을 위한 임시 충전소 구축 및 성능검증
- (목표설정근거) 현재 수소충전시설에 관한 기준은 수소자동차에 대해 한정되어 있는 상황이며, 연구 예산 및 시험차량 시운전 등을 고려하여 임시 충전소 구축(패키지형, 오송시험선로 예정)과 성능검증을 목표로 설정
 - * 철도차량 수소충전소 구축 비용은 규모/타입별 등에 따라 상이하나, 150억원 이상 소요 예상
- (기존대비 차별성 및 우수성)
 - ▶ 수소 튜브트레일러(부생수소 200kg, 180bar)를 이용하여 임시 충전시설에 수소를 압축 저장(저장용기 사용압력 500bar) 후, 350bar로 차량에 충전

○ (핵심성과3) 수소연료전지 철도차량 기술기준(안) 및 운영·관리방안

- (성과물 개요) 수소 철도차량 실용화 추진 및 향후 성능 개선 차량 개발 등을 위해 기술기준(안) 개발과 운영·관리 방안 연구
- (목표설정근거) 국내에 부재한 수소 철도차량 기술기준(안) 개발 및 운영·관리방안 마련 등
- (기존대비 차별성 및 우수성)
 - ▶ 수소 철도차량에 대한 기술기준 및 운영·관리방안 마련 추진

[표 92] 선행과제 기술수준 비교

	Coradia iLint  기술 사양			K-수소전기동차  기술 사양	
수소저장용기	- 350bar, 89kg, 24개/1량				- 700bar, 83kg, 14개/1량
수소연료전지	- 200kW/1량 PEMFC				- 200kW/1량 PEMFC
DC/DC컨버터	- IGBT 전력반도체 스택				- SiC 전력반도체 스택 - 3레벨 컨버터 토폴로지
2차전지	- 리튬이온배터리 - 111kWh, 800V, 221kW(연속), 1량				- 리튬이온배터리 - 373.2kWh, 1,500V, 550kW(최대), 1량
추진제어장치	- 추진인버터 • IGBT-VVVF - 견인전동기 • 유도전동기 • 연속정격 320kW (1대), 1대/1량				- 추진인버터 • SiC-VVVF - 견인전동기 • 영구자석동기전동기 • 최대332kW (1대), 2대/1량
보조전원장치	- IGBT 전력반도체 스택				- SiC 전력반도체 스택 - 계통연계기능
설계최고속도	- 140km/h				- 121km/h (견인전동기 150km/h)
편성	- 2량 1편성				- 2량 1편성
주행거리	- 600km 이상				- 600km 이상
탑승승객	- 300명				- 208명
중량	- 119ton				- 128ton

다. 경제적 타당성 검토

(1) 실증노선 검토

□ 교외선

- 운행구간 : 대곡 ~ 의정부역 (32.1km 단선)
- 정 차 역 : 6개 역(대곡-원릉-일영-장흥-송추-의정부)
- 영업거리 : 30.44km [고양12.84km(42%), 양주12km(39.6%), 의정부5.6km(18.46%)]
- 주행시간 : 40분대 (운행 최고속도 60km 이상)
- 운행차량 : 4편성 (현재 계획), 2024년 개통 목표
 - 국가철도공단이 국비(497억)로 시설개량 공사 진행 중('21.8.~'23.12.)
 - 제4차 국가철도망구축계획 추가 검토 사업에 포함 ([표 93] 참조)

□ 경원선

- 운행구간 : 연천 ~ 월정리역 (29.3km 단선)
- 정 차 역 : 7개 역 (연천-신망리-대광리-신탄리-백마고지-철원-월정리)
 - 제4차 국가철도망구축계획 추가 검토 사업에 포함 ([표 93] 참조)



[그림 101] 실증노선 검토 : 교외선(좌), 경원선(우)

[표 93] 제4차 국가철도망구축계획 추가검토 사업

노 선 명	사업구간	사업내용	연장(km)
인천2호선 안양 연장	인천대공원 ~ 안양	복선전철	21.8
서울6호선 구리남양주 연장	신내 ~ 남양주	복선전철	-
서울2호선 청라 연장	홍대입구(까치산) ~ 청라	복선전철	-
서울5호선 김포검단 연장	방화역 ~ 검단 ~ 김포	복선전철	-
경강선 연장	삼동 ~ 안성	단선전철	59.4
별내선 의정부 연장	별가람 ~ 탑석	복선전철	8.7
조리금촌선(통일로선)	삼송 ~ 금촌	복선전철	17.8
교외선	의정부 ~ 능곡	단선전철	28.9
인천신항선	월곶 ~ 인천신항	단선철도	12.5
경원선	연천 ~ 월정리	단선전철화	29.3
전주김천선	전주 ~ 김천	단선전철	101.1
점촌안동선	점촌 ~ 신도청 ~ 안동	단선전철	47.9
보령선	보령 ~ 조치원	단선전철	82.1
내포태안선	내포 ~ 태안	단선전철	57.6
국가식품클러스터산업선	동익산 신호장 ~ 완주산단	단선철도	11.4
중부권 동서횡단선	서산 ~ 울진	단선전철	322.4
창원산업선	창녕 대합산단 ~ 창원	단선전철	46.3
구미산단선	사곡 ~ 구미산단	단선철도	8.3
대산항선	석문산단 ~ 대산항	단선철도	18.6
의성영덕선	의성 ~ 영덕	단선전철	71.9
원주춘천선	원주 ~ 춘천	단선전철	50.7
마산신항선	마산 ~ 마산신항	단선전철	13.3
태백영동선	제천 ~ 삼척	복선전철	125.4
군산목포선	군산 ~ 목포	복선전철	121.0
계			1,256.4

(2) 교외선 디젤/전기/수소 철도차량별 운영비용 검토

(가) 교외선 개요

- 운행구간: 대곡 ~ 의정부역 (32.1km 단선)
- 정 차 역: 6개 역 (대곡-원릉-일영-장흥-송추-의정부)
- 운행 계획
 - (기관차 2량) + (객차 3량) + (발전차 1량) 편성 기준 3개 열차
 - 평일 24회, 주말·휴일 16회 운행으로 '24년 개통 계획

(나) 철도차량별 연간 운영비용 검토

[표 94] 철도차량별 연간 운영비용 검토

(단위 : 백만원)

구간	디젤동차 (3량)	디젤기관차 (6량)	전기동차 (6량)	수소전기동차 (2량)
도입단가	4,993	9,457	12,120	8,000
동력비용	383.6	661.6	624.8	245.7
전철화비용	-	-	64,852	-
주유소/충전소	200 ^{주1)}	200	-	6,000 ^{주2)}
시스템 유지보수인력 ^{주3)} [인]	2	2	14	2
대기오염비용	326	661	20	-
총합	6002.8	11,080.1	78,316.8	14,345.7
비고	엔진, 구동부 수입	엔진, 발전기, 전장품 수입	-	-

주1) 디젤철도차량용 주유소는 부지 비용 제외, 주유기 2기와 저장 탱크 및 기반시설(사무실 등) 포함

주2) 수소버스용 수소충전시설 구축 비용 적용

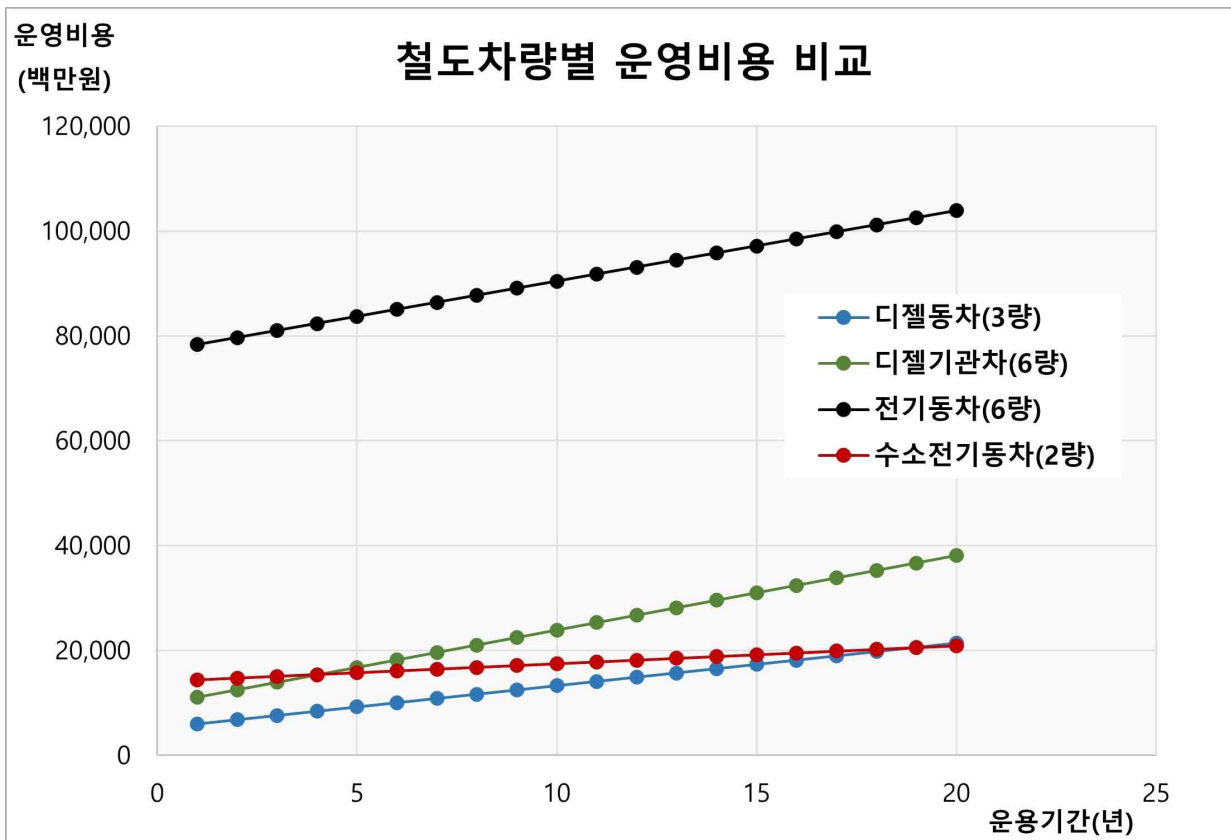
주3) 주유소 운영인력, 전기시스템 유지보수 인력, 수소충전소 안전관리자로 5천만원/인 인건비 산정

* 산출 근거 : “제7장 참고자료 제2절 : 교외선 운영비용 산출” 참조

(다) 철도차량별 운영비용 비교 (운영기간: 20년)

[표 95] 교외선 철도차량별 운영비용 비교

운영기간 [년]	운영비용 [백만원]			
	디젤동차(3량)	디젤기관차(7량)	전기동차(6량)	수소전기동차(2량)
1	6,003	11,080	78,317	14,346
2	6,812	12,503	79,662	14,691
3	7,622	13,925	81,006	15,037
4	8,432	15,348	82,351	15,383
5	9,241	16,770	83,696	15,729
6	10,051	18,193	85,041	16,074
7	10,860	19,616	86,386	16,420
8	11,670	21,038	87,730	16,766
9	12,480	22,461	89,075	17,111
10	13,289	23,883	90,420	17,457
11	14,099	25,306	91,765	17,803
12	14,908	26,729	93,110	18,148
13	15,718	28,151	94,454	18,494
14	16,528	29,574	95,799	18,840
15	17,337	30,996	97,144	19,186
16	18,147	32,419	98,489	19,531
17	18,956	33,842	99,834	19,877
18	19,766	35,264	101,178	20,223
19	20,576	36,687	102,523	20,568
20	21,385	38,109	103,868	20,914



[그림 102] 교외선 철도차량별 운영비용 비교

(3) 경제성 분석

(가) 개요

- 경제적 타당성 분석은 수소전기동차 개발에 따라 사회 전반에 유발될 수 있는 경제적 효과를 분석하여 해당 사업에 대한 적정성을 판단하기 위한 근거로 활용됨
- 특히, 수소전기동차는 기존에 운행되던 디젤동차를 대체하기 위한 목적으로 개발되었으므로, 본 연구에서는 디젤동차 대체에 따른 사회적 편익을 중심으로 경제적 타당성 분석을 수행하였음
- 이에 따라 수소전기동차 개발을 통한 사회적 편익은 기존 디젤동차 운행 시나리오를 사업 미시행 시나리오로, 기존 디젤동차 대신 수소전기동차가 개발되어 도입되는 시나리오를 사업 시행 시나리오로 설정하여 각각의 사회적 비용의 차이를 편익으로 도출하였음
- 수소전기동차가 도입될 후보노선인 교외선 사업을 대상으로 분석
 - * 교외선 (능곡~의정부 32.1km 단선) : 평일 24회 및 주말 16회 디젤기관차 운행 예정



[그림 103] 교외선 예상 노선도

- 수소전기동차 실증사업은 향후 철도사업 투자평가에 영향을 미치는 요인으로

본 연구에서는 철도교통 사업의 투자평가에 주로 활용되는 「교통시설 투자평가지침(‘22)」 및 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(‘21)」을 기준으로 경제성 분석을 수행함

- 분석의 기준시점은 착수된 시점의 전년도 말로 설정하도록 명시되어 있어, 본 연구에서는 기준년도를 2021년으로 설정
- 철도 교통 사업의 경제적 타당성 분석 기간은 개통 후 40년으로 설정하며, 이에 따라 다음과 같이 분석기간 설정
 - 기술개발 및 수소전기동차 도입 기간 3년(2024~2026년) , 그리고 수소전기동차 도입 후 40년(2027~2066년)
- 투자사업의 경제적 타당성 분석에 있어 할인율은 사업의 편익과 비용을 현재 가치로 환산하는데 결정적인 파라미터로 작용하며, 이에 본 연구에서는 지침에서 제시하고 있는 4.5%를 사회적 할인율로 적용하였으며, 장래 30년에서 40년까지는 할인율 3.5%를 적용

□ 경제적 타당성 분석에 활용되는 사회적 편익 및 비용 항목과 원단위 역시 지침에 제시된 내용을 기반으로 분석을 수행하였음

- 본 연구에서는 수소전기동차 도입에 따른 사회적 편익 항목으로 대기오염 비용 절감편익 및 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익 반영
- 비용은 수소전기동차 실증사업에 투입되는 R&D 비용 반영

(나) 편익 산정

□ 본 연구에서는 수소철도차량 도입에 따른 편익으로 디젤철도차량 대체에 따른 대기오염비용 절감 편익 및 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익을 반영하였음

① 대기오염비용 절감 편익

□ 디젤철도차량을 수소철도차량으로 대체함에 따라 발생하는 대기오염비용 절감 편익은 「2021 철도통계연보」(한국철도공사, 2022)에서 제공하는 디젤

철도차량 운행 실적 및 연료소비량 (2021년 기준), 그리고 「교통시설 투자
평가지침 제7차 개정」(국토교통부, 2022)에서 제시하는 디젤철도차량의 각
오염물질별 배출계수, 대기오염비용 및 온실가스 원단위 자료를 활용하여
산정하였음

- 수소전기동차의 대기오염비용 절감 편익은 교외선 연장 및 장래 운영계획을
반영하여 연간 운행거리를 추정한 후, 대기오염비용 배출량 및 비용 산정

□ 분석 기준연도를 2021년으로 설정하였기 때문에, 대기오염비용 및 온실가스
원단위 자료(2015년 기준)는 「교통시설 투자평가지침 제7차 개정」(국토
교통부, 2022)에 제시된 값에 소비자물가지수를 활용하여 기준연도로 보정한
값을 적용하였음

[표 96] 디젤철도차량의 각 오염물질별 배출계수[81]

(단위: g/l)

오염물질	디젤기관차	디젤동차	
		일반동차 및 특별동차 (무궁화형, 도시통근형, 일반형, 기타형)	특별동차 (새마을형)
NOx	64.36	15.69	37.75
CO	26.36	5.87	15.07
HC	10.66	1.22	6.20
SO2	1.64	0.43	1.08
PM	4.16	1.14	2.68

[표 97] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)[81]

(단위: 원/kg)

구분	PM2.5			NOx	CO	VOC
	도심지	교외지	지방지			
원단위	402,093	104,562	41,831	15,835	158	2,330

* PM의 경우, 수소철도차량 도입 노선 입지 특성을 고려하여 교외지 적용

② 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익

- 디젤동차를 수소전기동차로 전환함에 따라 각 차량에서 소비되는 연료 에너지 비용의 차이는 열차 운영비 절감 효과로 산정될 수 있음. 이에 본 연구에서는 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 효과 분석을 위해 「2021 철도 통계연보」(한국철도공사, 2022)에서 제공하는 디젤철도차량 운행 실적 및 연료 소비량(2021년 기준), 그리고 장래 수소연료 kg당 단위 비용을 활용하였음
 - 디젤동차 유류비용 원단위는 철도통계연보 자료를 기반으로 산정하여 약 4,060원/km 적용, 수소전기기관차의 연료비용 원단위는 「수소 기술개발 로드맵(안)」에서 제시된 1,740원/km(4,000원/kg 기준, 디젤동차 연료 소비 효율 반영) 적용
 - 수소전기동차의 열차 운영비 절감 편익은 교외선 연장 및 장래 운영계획을 반영하여 연간 운행거리를 추정한 후, 디젤기관차 디젤 연료 소비량 및 수소전기동차 수소 연료 소비량을 각각 산정하여 그 비용의 차이를 편익으로 산정

③ 편익 산정 결과

- 수소전기동차 개발 및 도입에 따른 사회적 편익은 대기오염비용 절감 편익 약 1,500백만원, 운영비 절감 편익 약 759백만원/년으로 분석됨

[표 98] 수소전기동차 도입에 따른 편익 추정 결과

(단위: 백만원/년)

편익항목	수소전기동차		
	사업미시행시 비용	사업시행시 비용	편익 추정 결과
대기오염비용 절감	1,500	-	1,500
운영비 절감	1,060	301	759
합계	2,560	301	2,259

(다) 비용 산정

- 수소전기자동차의 경제적 타당성 분석을 위한 비용은 기술개발에 투입되는 연차별 R&D 예산으로 산정하였음
- 기술개발 기간 3년에 걸쳐 총 336억원(정부출연금 230억원, 민간부담금 106억원) 투입

[표 99] 수소전기자동차 실증사업 투자계획

구분	개발예산 (백만원)			총계
	1차년도	2차년도	3차년도	
정부출연금	7,000	8,000	8,000	23,000
민간부담금	3,227	3,686	3,687	10,600
합계	10,227	11,686	11,687	33,600

(라) 경제성 분석 결과

① 경제성 분석 개요

- 본 연구에서는 경제적 타당성 평가를 위해 편익/비용 비율(Benefit Cost Ratio: B/C), 순현재가치(Net Present Value: NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR) 지표를 활용함
- 편익/비용 비율(B/C)
 - 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것임
 - 일반적으로 편익/비용 비율 ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$B_t = t$ 시점의 편익

$C_t = t$ 시점의 비용

r = 할인율

n = 교통사업의 내구연도(분석기간)

□ 순현재가치(NPV)

- 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값이며, 순현재가치 ≥ 0 이면 경제성이 있다는 의미로 해석

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

□ 내부수익률(IRR)

- 내부수익률은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율 R 을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율임
- 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단

$$IRR: \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

[표 100] 경제성 분석 기법의 비교

분석기법	판단	장점	단점
편익/비용 비율 (B/C)	$B/C \geq 1$	• 이해 용이, 사업규모 고려 가능	• 상호배타적 대안 선택의 오류발생 가능
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	• 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용 가능	• 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정 시 오류발생 가능
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$	• 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가 과정과 결과 이해가 용이	• 사업의 절대적 규모 고려하지 않음 • 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

② 분석의 전제

- 본 연구에서는 경제성 분석을 위하여 「교통시설 투자평가지침」 (2022) 및 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침」 (2021)에서 제시한

방법론을 준용하였음

- 수소전기동차 사업의 경우, 사업 기한 내 차량 제작이 완료되기 때문에 회임기간 반영하지 않음

[표 101] 경제성 분석 전제

구분	분석 기준년도	R&D사업기간	회임기간	분석기간	사회적 할인율*
수소전기동차	2021년	'24~'26	-	'27~'66	4.5%

* 장래 '30년에서 '40년까지는 할인율 3.5%를 적용

③ 경제성 분석 결과

- 수소전기동차 개발/도입에 따른 경제성 분석 결과, B/C는 1.19로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석됨

[표 102] 경제성 분석 결과 요약

구분	총할인편익 (억원)	총할인비용 (억원)	B/C	NPV (억원)	IRR (%)
수소전기동차	321	269	1.19	52	5.67

[표 103] 수소전기동차 경제성 분석 결과

(단위: 억원)

구분	비용			편익			
	R&D 비용	계	할인계	대기오염 비용	운영비용	계	할인계
2024	102	102	86	-	-	-	-
2025	117	117	94	-	-	-	-
2026	117	117	90	-	-	-	-
2027	-	-	-	15	8	23	17
2028	-	-	-	15	8	23	16
2029	-	-	-	15	8	23	15
2030	-	-	-	15	8	23	15
2031	-	-	-	15	8	23	14
2032	-	-	-	15	8	23	13
2033	-	-	-	15	8	23	13
2034	-	-	-	15	8	23	12
2035	-	-	-	15	8	23	12
2036	-	-	-	15	8	23	11
2037	-	-	-	15	8	23	11
2038	-	-	-	15	8	23	10
2039	-	-	-	15	8	23	10
2040	-	-	-	15	8	23	9
2041	-	-	-	15	8	23	9
2042	-	-	-	15	8	23	9
2043	-	-	-	15	8	23	8
2044	-	-	-	15	8	23	8
2045	-	-	-	15	8	23	8
2046	-	-	-	15	8	23	7
2047	-	-	-	15	8	23	7
2048	-	-	-	15	8	23	7
2049	-	-	-	15	8	23	6
2050	-	-	-	15	8	23	6
2051	-	-	-	15	8	23	6
2052	-	-	-	15	8	23	6
2053	-	-	-	15	8	23	5
2054	-	-	-	15	8	23	5
2055	-	-	-	15	8	23	5
2056	-	-	-	15	8	23	5
2057	-	-	-	15	8	23	4
2058	-	-	-	15	8	23	4
2059	-	-	-	15	8	23	4
2060	-	-	-	15	8	23	4
2061	-	-	-	15	8	23	4
2062	-	-	-	15	8	23	4
2063	-	-	-	15	8	23	4
2064	-	-	-	15	8	23	4
2065	-	-	-	15	8	23	3
2066	-	-	-	15	8	23	3
합계	336	336	269	600	304	904	321

B/C = 1.19, NPV = 52억원, IRR = 5.67%

제4장

수소전기기관차 핵심기술 개발사업

제1절 : 사업 목표 및 미래상

제2절 : 연구개발 과제 구성

제3절 : 세부 개발계획

제4절 : 사업추진체계 및 전략

제4장 수소전기기관차 핵심기술 개발사업

제1절 : 사업 목표 및 미래상

1. 사업 비전 및 목표

- (비전) 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 대체하여 비전철화 구간 및 혼합 구간에서 승객과 화물을 운송할 수 있는 독립전원방식 친환경 수소전기기관차 기술개발로 철도 분야 탄소중립 실현
- (목표) 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 수소전기기관차로 대체하기 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증
 - 모듈형 수소연료전지-2차전지-전장품 통합시스템 및 에너지관리시스템 기술개발
 - 수소전기기관차 시험차량 제작 및 성능검증
 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 개발 및 안전성 평가체계 구축



[그림 104] 수소전기기관차 개념도

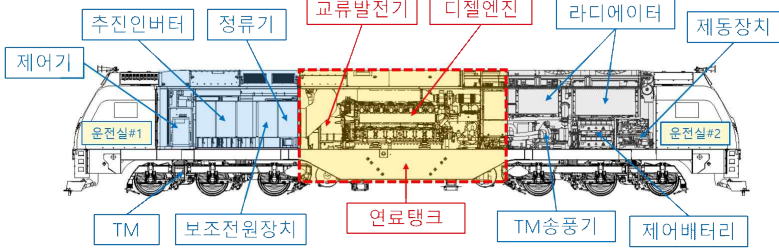
비전	“ 독립전원방식 친환경 수소전기기관차 기술개발로 내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체 및 철도 분야 탄소중립 실현 ”			
목표	내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증			
중점 분야	수소연료전지-2차전지-전장품 핵심기술 개발	시험차량 설계, 제작 및 성능검증	기술기준 및 안전성 평가체계 개발	
추진 전략	(수소연료전지 리패키징 기술 확보) 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 응용 기술개발로 철도 분야 적용 확대			
	(기관차용 전장품 국산화) 기술개발 및 검증, 운행 실적 확보를 통해 수입대체 및 해외진출을 위한 교두보 마련			
	(안전성 평가체계 구축) 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가기술로 상용화 기반 마련			
기대 효과	대기오염물질 및 탄소배출량 저감	디젤기관차 수입대체로 높은 경제적 파급 효과	철도 분야 수소경제 생태계 구축	해외시장 진출 및 미래 新시장 선점

[그림 105] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 비전 및 목표

2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과

가. 미래상 (As-is vs. To-be)

[표 104] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'24년 수준	최종 목표수준	
	~'23	'24	'28(종료년도)	'29~(종료이후)
수소 전기기관차 핵심기술 개발	- 자동차용 수소연료전지는 세계적 수준의 기술력을 확보하였으나, 철도차량 등 대용량 분야 적용은 적합하지 않음 - 도시철도급 동력분산식 수소연료전지 기반 추진시스템을 개발하였으나, 대용량 동력집중식 추진시스템에 적합한 모듈 기반 시스템 개발 필요 - 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 위한 수소전기기관차 철도차량 기술기준 부재	- 수소전기기관차 설계 요구조건 정립 - 대용량·고출력 수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 수립 - 차량 전장품 소형·경량화를 위한 기술 방향 수립 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준 개발 방향 수립	- 철도차량 적용 대용량·고출력·고내구 수소연료전지 스택 및 철도차량 운행조건·주행 프로파일에 적합한 주변장치(BOP) 최적화 기술개발 - 철도차량 내부에 대용량 추진시스템 설치를 위해 모듈 구성 기반 전장품 소형·경량·고효율화 기술개발 - 철도차량 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 마련 및 수소시스템 안전성 평가체계 구축	- 수소전기기관차 실증사업 추진 - 노후 디젤기관차 대체로 미세먼지 저감 및 철도 분야 탄소중립 실현
그림	As-is  < 기존 디젤기관차 구조 > ↓ To-be  < 수소전기기관차 구조 >			

나. 사업 기대효과

□ 기술적 기대효과

- 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 응용 기술개발 및 해외로 기술수출을 추진하고 수소 모빌리티 선도국가로 발돋움
- 고효율/소형/경량화 모듈형 전장품 설계기술 확보로 고부가가치 철도 시스템 국내·외 시장 선점 기반 마련
- 수소전기기관차 철도차량 형식승인 기술기준(안) 마련으로 구성품/완성차량 성능검증 기준 제시 및 표준화

□ 경제적 기대효과

- 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 친환경 수소전기기관차로 대체 시 수입 대체에 따른 경제적 파급 효과가 높음
 - * '22년 KORAIL 발주 단가(87억/량) 기준으로 보유 중인 디젤기관차 236량 교체 시 총 20,532억원 수입 대체 효과
- 전력인프라 구축 비용* 및 유지보수 비용이 절감되고 수소의 높은 에너지 효율**로 운영기관의 에너지비용도 절감 가능
 - * 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km, KDI 공공투자관리센터('15.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」
 - ** 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%
 - 에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/kg 기준)

□ 사회적 기대효과

- 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원방식 수소전기기관차 기술 확보 가능
 - * 제4차 국가철도망 구축계획('21~'30) 완료 시에도 전철화율 78.3%로 비전철화 구간 존재
- 디젤철도차량(기관차, 동차)을 수소철도차량으로 대체 시 대기오염물질* 감소 효과 기대
 - * '18년 기준 디젤철도차량(기관차, 동차) 대기오염물질 배출은 직접배출(PM10, PM2.5) 724톤/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 9,320톤/년
- 공공 수송 수단인 철도 부문에 수소 철도를 도입함으로써 청정에너지 수

소를 대형 모빌리티 분야로 활용 확대 견인

- 북방철도, 대륙철도와 같이 전력인프라가 서로 다른 구간이나 전력 설비가 열악한 구간을 운행하는 것이 가능
- 우리나라는 높은 에너지 소비국이자 에너지 빈곤국으로 수소에너지로의 전환으로 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능
- 철도 분야 수소 전주기 산업 생태계 구축에 따른 분야별 전문 인력양성



[그림 106] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업을 통한 미래상 및 기대효과

제2절 : 연구개발 과제 구성

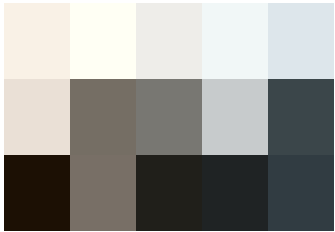
- 연구개발 사업의 구성을 위해 Top-down 및 Bottom-up 방식을 병행하여 사업의 핵심과제 및 세부기술 분야 발굴
 - Top-down 기술기획 : 국가 차원의 수소철도 기술개발 사업을 위해 필수적인 핵심 중점 지원 아이템 발굴
 - Bottom-up 기술기획 : 국내 산·학·연 기관을 대상으로 전문가 비대면 기술수요조사를 실시하여 발굴

1. Top-down 기술기획

가. 사업 범위 및 목표 사양 설정

- (사업 범위) 동력집중식 기관차용 수소연료전지 시스템 구축과 국내 실용화 실적이 없는 모듈화 구성 기반 기관차용 전장품을 개발하는 부분, 이 두 개의 목표를 수소전기기관차에 적용 및 구현
 - 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 수소전기기관차로 대체할 수 있는 기술 개발
- 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 목표 사양은 기존의 디젤기관차 및 전기기관차의 사양을 기반으로 목표 사양 설정
 - (목표 사양) 출력 3MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 1,000km 이상 주행할 수 있는 핵심기술 개발

[표 105] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 목표 사양 및 타 차량과의 비교

	수소전기기관차 (본 사업)	디젤 기관차 (코레일 7600호대)	전기 기관차 (코레일 8500호대)
외 관 (개념도)			
동력방식	전기 동력집중식	디젤 동력집중식	전기 동력집중식
연 료	기체수소	디젤	전기
출력	3MW (4,000HP)	3,686HP (2.76MW)	6.6MW (8,850HP)
운영 최고속도	150km/h	150km/h	150km/h
설계 최고속도	165km/h	165km/h	165km/h
주행거리 (1회 충전)	1,000km	1,000km	-
기타	기술기준(안) 제시, 안전성 평가체계 구축	-	-

나. 핵심기술 도출

- ☐ 세부 사업별 목표 사양 충족을 위해 반드시 개발이 필요한 핵심기술을 도출하였고, 내부 검토 및 동료검토를 통해 타당성을 검증한 후 확정

[표 106] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 핵심기술 리스트

사업 코드	세부 사업명	핵심기술 코드	핵심기술(舊, 세부과제)
B	수소전기기관차 핵심기술 개발사업	B-1	수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발
		B-2	수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증
		B-3	수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

2. Bottom-up 기술기획

가. 구성기술 도출 방법

- ☐ 수소전기동차 실증사업을 위한 현재 및 미래에 요구되는 기술수요 파악
- ☐ 산·학·연 전문가를 대상으로 다음의 기술제안분야의 연관기술에 대하여 기술수요조사 진행
- ☐ 추후 본 사업의 과제 참여관심 여부를 판단하기 위하여 기술수요조사 양식 하단에 참여의향 설문도 진행

[표 107] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 기술제안 분야

기술 제안 분야 (☑)	중분류	소분류
	☐ 수소철도차량	☐ 수소연료전지 발전팩 ☐ 전장품(추진제어시스템 등) ☐ 수소저장·공급 시스템 ☐ 차량 시스템 엔지니어링 ☐ 2차전지 시스템 ☐ 에너지관리시스템 ☐ 기타()
	☐ 수소철도시설	☐ 수소 생산·저장 시설 ☐ 수소 운송 시설 ☐ 수소 활용 시설(충전소, 충전기, 충전프로토콜 등) ☐ 시설 시스템 엔지니어링 ☐ 기타()
	☐ 인증, 실증 및 관리	☐ 기술기준·성능평가 ☐ 안전·편의 ☐ 계획·운영·실증 ☐ 유지관리 ☐ 기타()
	☐ 기타()	

- ☐ Top-down 기술기획과 Bottom-up 기술기획 결과를 반영하여 기술구성 체계의 적절성, 기술도출의 타당성, 구성기술간의 연계성 등을 검토
 - 기 도출된 세부기술 및 구성기술 체계에 대한 적절성 검토
 - 사업의 핵심기술 개발을 위해 기술수요조사 외 필요기술에 대해 내부 연구 전문가 검토를 통해 구성기술 추가 및 동료검토를 통해 다음과 같이 최종 기술 구성 및 범위 도출



[그림 107] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스

나. 구성기술 도출 및 연구개발 과제 구성

[표 108] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 연구개발 과제 구성

세부 사업명	핵심기술(舊, 세부기술)	구성기술(舊, 세세부과제)
B. 수소전기기관차 핵심기술 개발사업	B-1. 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	B-1-1. 대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
		B-1-2. 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술개발
		B-1-3. 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술 개발
		B-1-4. 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술개발
	B-2. 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	B-2-1. 수소전기기관차 시험차량 설계·제작 기술개발
	B-3. 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	B-3-1. 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발
		B-3-2. 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발

3. 주요 연구내용 및 최종성과물

가. 사업 목표

- 친환경 수소전기기관차 핵심기술 개발 및 안전성 평가체계 구축
 - (목표 사양) 출력 3MW 이상(디젤기관차 2.76MW), 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전주행거리 1,000km 이상(디젤기관차 기준)

나. 주요 연구내용

- (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발
 - 연구목표
 - 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - 통합 3MW 이상 동력시스템 개발 (개별 모듈당 300kW 이상의 수소연료전지 국산화)
 - 회생에너지 회수율 : 99% 이상
 - 모듈형 수소저장용기 최적화 기술 개발
 - 수소탱크 압력 : 700bar 이상
 - 수소 잔량 정밀 계산 알고리즘
 - 수소전기기관차 에너지 운영기술 개발
 - 전력분배 제어 및 주행가능거리 예측
 - 전장품 소형/경량화/고효율화 기술
 - DC/DC, 추진, 보조, 견인전동기 수냉각 전장품 개발
 - 연구내용
 - 대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - 수소연료전지-2차전지 시스템 최적 구성 비율 도출 및 설계 사양 결정
 - 하이브리드 동력시스템 상세설계, 제작, 검증
 - 하이브리드 동력시스템 제어기 제작, 시험 및 검증
 - 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술개발
 - 수소철도차량 필요 수소량 및 수소저장용기 용량 산출

- ▶ 수소저장용기-연료전지 공급 및 재순환 배관, 모듈 배치 설계
- ▶ 모듈형 수소저장용기 제작 및 성능검증
- 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술 개발
 - ▶ 장치 간 인터페이스 방안 도출 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계
 - ▶ 모의환경 기반 에너지 제어기술 개발 및 검증
 - ▶ 에너지관리시스템 제작 및 검증시험
 - ▶ 주요 핵심구성품(하이브리드 동력시스템, 수소저장용기, 에너지관리시스템, 전장품) 조합시험 검증
 - ▶ 주요 핵심구성품 차량탑재, 인터페이스 확인 및 자체 동작 시험, 완성차시험
- 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술개발
 - ▶ 전장품 사양 선정
 - ▶ 전장품 주요부품 상세설계 및 제작
 - ▶ 전장품 자체 시험을 통한 검증 및 보완, 구성품 시험

□ (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증

○ 연구목표

- 수소전기기관차 사양서 도출
- 실증차량 설계, 제작 및 성능검증(시운전시험 5,000km 이상)
 - ▶ 출력 : 3MW 이상
 - ▶ 1회 충전 주행거리 : 1,000km 이상
 - ▶ 최고속도 : 150km/h 이상

○ 연구내용

- 시험차량 설계·제작 기술개발
 - ▶ 사양 선정 및 주요 전장품 규격 검토
 - ▶ 장치간 기기배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정
 - ▶ 장치 차량 탑재 및 인터페이스 검증
 - ▶ 실증용 수소전기기관차 상세 설계, 주요부품 발주
 - ▶ 실증차량 제작 및 성능검증

- 완성차시험 및 예비주행

□ (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

○ 연구목표

- 구성품 및 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차서 도출
- 수소전기기관차 안전성 및 신뢰성 향상방안 도출
- 수소전기기관차 기술기준(안) 도출

○ 연구내용

- 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발
 - 기술검증 및 성능검증 요구사항 분석
 - 표준조사 및 주요 구성품별 성능검증절차 수립
 - 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 개선
 - 수소전기기관차 기술기준(안) 개발
 - 수소전기기관차 기술기준(안) 해설서 개발
- 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발
 - 수소시스템 안전요구사항 분석 및 표준 위험원(Hazard) 목록 개발
 - 시험, 시뮬레이션 등을 통한 대표 위험원 발생빈도 및 심각도 정량화 실증 연구
 - 철도적용 수소시스템의 안전기준인 위험도 허용 수준(Acceptable Risk Level) 정립
 - 철도 분야 적용 수소시스템 안전성 평가

□ 최종성과물

- 수소전기기관차 시험차량
 - 최대속도 150km/h, 1회 충전 주행거리 1,000km이상
- 모듈형 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 시스템
- 에너지관리시스템
- 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안)
- 수소전기기관차 안전성 평가 플랫폼

제3절 : 세부 개발계획

1. 핵심기술별 연구내용

가. (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발

□ 연차별 연구내용

[표 109] 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	- 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 사양 선정 및 설계 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 하드웨어 구성 검토 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 최적 구성 비율 도출 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 시스템 요구사항 검토, 사양선정 및 기본설계 - 수소저장용기 사양 선정 및 기본설계 - 수소전기기관차 필요 수소량 및 수소저장용기 용량 산출 - 수소저장용기 시스템 요구사항 검토 및 기본설계 - 충전기와 인터페이스/프로토콜 규격 검토 - 에너지 제어기술 개발 - 장치 간 인터페이스 및 제어로직 설계 - 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계 - 에너지 제어기술 개발 및 모의환경 기반 검증 - 전장품 사양 선정 및 설계 - 전장품 요구사항 검토 및 사양 선정 - 주요 소자 용량계산서 도출 및 기본설계 - 전장품 소형·경량화를 위한 기기 배치 설계
2차년도	- 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 개별시험 및 보완 - 수소저장용기 시스템 상세설계 및 제작 - 수소저장용기-연료전지 공급 및 재순환 배관, 모듈 배치 설계 - 수소저장용기 모듈 및 제어기 상세설계 - 수소저장용기 시스템 제작 및 개별시험 - 에너지제어시스템 설계 및 제작 - 에너지관리시스템 기본·상세설계 및 제작 - 에너지관리시스템 H/W 및 S/W 단품시험·보완 - 전장품 상세설계 및 제작 - 전장품 방열설계 최적화 및 상세설계 - 주요부품 발주, 조립 및 제작
3차년도	- 수소연료전지-2차전지 동력시스템 시험 및 검증 - 수소연료전지 발전팩-DC/DC 컨버터-2차전지 연계를 위한 인터페이스 확인·검증

연도	추진계획
	- 수소연료전지-2차전지 동력시스템 연계 시험 및 성능검증 • 수소저장용기 시스템 시험 및 성능검증 - 에너지관리시스템과의 인터페이스 확인시험 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 연계 시험 및 성능검증 • 에너지제어시스템 시험 및 검증 - 에너지 제어기술 알고리즘 탑재 및 동작 확인 - 수소저장용기 시스템과의 인터페이스 확인시험 • 전장품 단품시험 및 보완 - 전장품 개별시험 및 보완 - DC/DC 컨버터 - 수소연료전지 연계 시험
4차년도	• 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 조합시험 및 검증 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 및 주요 전장품 연계 조합시험 및 성능검증 - 동력시스템 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인 • 수소저장용기 시스템 차량 탑재 및 인터페이스 검증 - 수소연료전지-2차전지-전장품 연계 조합시험 및 성능검증 - 수소저장용기 시스템 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인 • 에너지제어시스템 조합시험 - 조합시험을 통한 수소연료전지 동력시스템-전장품 연계 에너지 제어기술 검증 - 에너지관리시스템 차량탑재 및 인터페이스 확인 • 전장품 조합시험 - 전장품-동력시스템-에너지관리시스템 연계 조합시험 및 성능검증 - 전장품 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인
5차년도	• 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 - 동력시스템-시험차량 연계 동작시험 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 및 검증 • 수소저장용기 시스템 완성차시험 - 수소저장용기-시험차량 연계 동작시험 - 수소저장용기 시스템 완성차시험 및 검증 • 에너지제어시스템 완성차시험 및 실증 - 실증차량 운영을 통해 에너지 제어기술 성능검증 • 시험차량 연계 완성차시험 및 실증 - 전장품-시험차량 연계 동작시험 - 전장품 완성차시험 및 검증

□ 성능지표(목표사양)

[표 110] 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템	• 용량 : 통합 3MW 이상 (개별 모듈당 300kW 이상 수소연료전지

성능지표		기술개발 목표
		파워팩 국산화) • 회생에너지 회수율 : 99% 이상
2	모듈형 수소저장용기 최적화	• 수소탱크 압력 : 700bar 이상 • 수소 잔량 정밀 계산 알고리즘
3	에너지 운영기술	• 차량 운전 상태별 전력분배 제어 및 주행가능 거리 예측
4	전장품 소형/경량화/고효율화	• DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상 • 추진제어장치 효율 : 95% 이상 • 추진제어장치 출력 : 410kW 이상 • 견인전동기 연속정격 : 390kW 이상 • 보조전원장치 효율 : 90% 이상 • 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율 (THD) : 5% 이하

나. (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증

□ 연차별 연구내용

[표 111] 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	- 시험차량 기본설계 - 수소전기기관차 요구사항 분석 및 도출 - 수소전기기관차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 산출·검토 - 장치 간 기기 배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정 - 수소전기기관차 시험차량 기본설계
2차년도	- 시험차량 상세설계 및 주행안전성 검토 - 수소전기기관차 시험차량 상세설계 - 시험차량 주행안전성 검토
3차년도	- 시험차량 부품 제작 - 수소전기기관차 시험차량 주요 부품 발주 - 시험차량 차체, 대차, 기타 부품 제작 및 검증
4차년도	- 시험차량 부품 조립 및 구성품 탑재 - 의장, 기장/제동, 전장 일부 등 시험차량 조립 시작 - 동력시스템, 전장품 등 취부 절차 확립 및 탑재 - 장치간 인터페이스 확인 및 검증
5차년도	- 시험차량 성능검증 - 시험차량 조립 및 편성 완료 - 시험차량 완성차시험 및 성능검증 - 시험차량 예비주행시험

□ 성능지표(목표사양)

[표 112] 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	수소전기기관차 시험차량	• 출력 : 3MW (4,000HP) • 동력구성 : 연료전지 1MW / 배터리 2MW • 설계최고속도 : 165km/h 이상 • 운행최고속도 : 150km/h 이상 • 주행거리(1회 충전) : 1,000km 이상

다. (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

□ 연차별 연구내용

[표 113] 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	• 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계 - 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 • 수소전기기관차 RAMS 목표 설정 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAM 및 안전성(위험도) 정량목표 설정·관리 기술 개발 - 철도안전법, (약칭)철도건설법 등 수소전기기관차 RAMS 법령정비요건 발굴 및 개선(안)개발
2차년도	• 기술기준(안) 설계 검토 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 수립 • 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 예비위험원 분석(안) 및 입증 체계(절차, 입증자료 등) 개발
3차년도	• 기술기준(안) 개발 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 개발 - 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 제안 • 수소전기기관차 안전성 평가 및 RAMS 인증 지침 개발 - 수소전기기관차 고장 데이터 수집 및 RAM 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAM 및 안전성 입증 체계(절차, 입증자료 등) 개발
4차년도	• 기술기준(안) 의견수렴 및 보완 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 의견수렴 및 보완

연도	추진계획
	- 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 해설서 개발 • 수소전기기관차 RAMS 평가 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 차량단위 RAMS 평가(인증신청 전 입증자료 예비평가) - 수소전기기관차 구성품별 RAMS 입증자료 관리체계 가이드 개발
5차년도	• 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 최종도출 - 철도차량 기술기준(안) 최종도출 - 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 개선 • 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 차량단위 RAMS 평가(인증신청 전 입증자료 예비평가) - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발 및 인증체계 개선 방안 도출 - 수소전기기관차 국가표준 정비요건 발굴 및 개선(안) 개발

□ 성능지표(목표사양)

[표 114] 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	수소전기기관차 기술기준	• 기술기준(안) 제시 • 주요 구성품/철도차량 성능검증 체계 수립
2	RAMS 인증지침	• RAM 인증 지침 및 예비 평가

2. 연차별 추진내용

[표 115] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 연차별 추진내용

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
1차년도	- 주요 구성품/시험차량 사양선정 및 설계 - 기술·성능검증 요구사항 분석 및 RAMS 목표설정	- 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 사양 선정 및 설계 - 수소저장용기 사양 선정 및 기본설계 - 에너지 제어기술 개발 - 전장품 사양 선정 및 설계 - 시험차량 기본설계 - 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계 - 수소전기기관차 RAMS 목표 설정 기술 개발
2차년도	- 주요 구성품 제작 및 단품시험 - 기술기준(안) 설계 검토 및 위험도 분석	- 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작 - 수소저장용기 시스템 상세설계 및 제작 - 에너지제어시스템 설계 및 제작 - 전장품 상세설계 및 제작 - 시험차량 상세설계 및 주행안전성 검토 - 기술기준(안) 설계 검토 - 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발
3차년도	- 주요 구성품간 연계 시험 및 성능검증 - 기술기준(안) 도출 및 RAMS 인증 지침 개발	- 수소연료전지-2차전지 동력시스템 시험 및 검증 - 수소저장용기 시스템 시험 및 성능검증 - 에너지제어시스템 시험 및 검증 - 전장품 단품시험 및 보완 - 시험차량 부품 제작 - 기술기준(안) 개발 - 수소전기기관차 안전성 평가 및 RAMS 인증 지침 개발
4차년도	- 주요 구성품 조립시험 및 시험차량 제작 - 기술기준(안) 보완 및 RAMS 평가	- 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 조립시험 및 검증 - 수소저장용기 시스템 차량 탑재 및 인터페이스 검증 - 에너지제어시스템 조립시험 - 전장품 조립시험 - 시험차량 부품 조립 및 구성품 탑재 - 기술기준(안) 의견수렴 및 보완 - 수소전기기관차 RAMS 평가
5차년도	- 완성차시험 및 성능검증 - 기술기준(안) 최종도출 및 RAMS 인증 지침서 개발	- 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 - 수소저장용기 시스템 완성차시험 - 에너지제어시스템 완성차시험 및 실증 - 시험차량 연계 완성차시험 및 실증 - 시험차량 성능검증 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 최종도출 - 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발

3. 성과물 및 목표성능

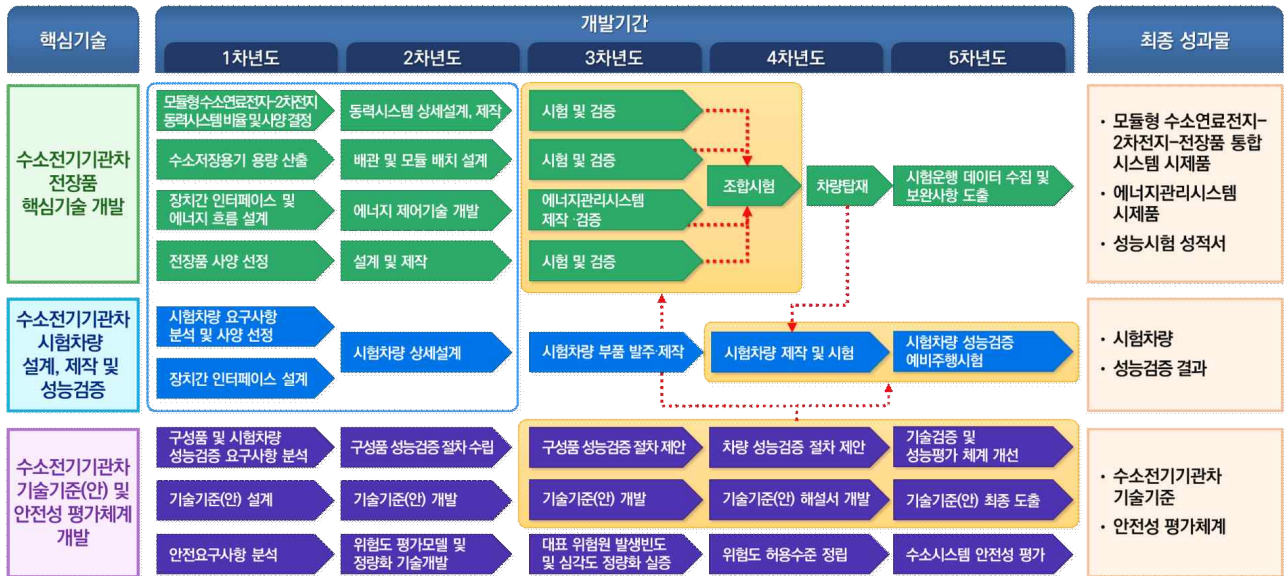
[표 116] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 성과물 및 목표성능

핵심기술	성과물	성과물유형	구성기술	목표성능	TRL
수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	• 모듈형 수소연료전지-2차 전지-전장품 통합 시스템 시제품 • 에너지관리시스템 시제품 • 구성품 성능시험 성적서	장비/장치	대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기술	• 수소연료전지-2차전지간 최적 비율 산정 보고서 : 1건 • 수소연료전지 리패키징 기술 및 주변장치 국산화 • 수소연료전지 수명 예측 모델 산출 • 회생에너지 회수율 : 99% 이상	7
			수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술	• 수소탱크 압력 : 700 bar 이하 • 탱크 모듈 누기 검지, 압력 보호, 강제 배기 제어기술 • 수소 잔량 정밀 예측 알고리즘	7
			효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술	• 에너지관리 알고리즘 및 성능검증 보고서 : 1건 • 전력분배 제어 및 주행가능거리 예측	7
			전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술	• DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상 • 추진제어장치 효율 : 95% 이상 • 추진제어장치 출력 : 410kW 이상 • 견인전동기 연속정격 : 390kW 이상 • 보조전원장치 효율 : 90% 이상 • 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율(THD) : 5% 이하	7
수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	• 수소전기기관차 시험차량 • 시험차량 성능검증 결과	장비/장치,	시험차량 설계·제작 기술개발	• 목표성능 - 출력 : 3MW 이상 - 1회 충전 주행거리 : 1,000km 이상 - 최고속도 : 150km/h 이상 • 완성차시험 • 시운전시험 : 5,000km 이상	2 2 7
수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	• 수소전기기관차 기술기준(안) • RAMS 평가 결과	표준화/제도	주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발	• 수소전기기관차 기술기준(안) 도출	2 2 2
			수소전기기관차 안전성 평가체계 개발	• RAMS 인증 지침 • RAMS 예비 평가	2

4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산

가. 기술개발 로드맵

- 본 사업은 전 세계적으로 철도 분야 탄소배출 문제 해결을 위해 디젤기관차의 대안으로 수소전기기관차 핵심기술 개발을 진행하는 것을 목표로 5년 동안 추진



[그림 108] 수소전기기관차 핵심기술 개발 로드맵

□ 핵심기술간 연계 전략

- 핵심기술 1의 “전장품 사양 선정과 개발” 과 핵심기술 2의 “시험차량 사양 선정과 개발” 에서 연계 및 협업이 중요하며, 기술개발 진행 시 핵심기술 3의 “수소전기기관차 기술기준” 이 고려되어야 하므로, 핵심기술 간 긴밀한 협업이 중요함
- 핵심기술 1을 통해 주요 전장품 핵심기술 개발이 3차년까지 진행하고, 4차년에는 각 장치들을 조합하여 시험차량 탑재 전에 성능검증을 진행하는 조합시험을 실시한 후, 핵심기술 2를 통해 개발된 시험차량에 탑재하여 5차년에는 완성차시험, 예비주행시험 등 성능검증 진행
- 핵심기술 개발 및 검증과 더불어 핵심기술 3에서는 철도차량에 적용되는 수소시스템의 안정성 평가를 위해 구성품 및 시험차량과의 연계 및 협업이 필요함

나. 투자규모

□ 총 385억원/5년 중 정부출연금 289억원(75%) 대비 민간부담금 96억원(25%)
으로 구성된 정부주도 사업 추진

[표 117] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 투자계획

구분	개발예산 (백만원)					총계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
정부출연금	3,000	6,013	10,175	5,087	4,625	28,900
민간부담금	1,000	2,004	3,392	1,696	1,542	9,634
합계	4,000	8,017	13,567	6,783	6,167	38,534

[표 118] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)

핵심기술	구성기술	개발예산 (백만원)					합계
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
1. 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	1-1. 대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기술	684	1,572	3,935	472	339	7,002
	1-2. 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술	285	1,043	917	250	204	2,699
	1-3. 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술	206	332	734	234	183	1,689
	1-4. 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술	583	894	2,023	518	319	4,337
2. 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	2-1. 시험차량 설계·제작 기술개발	474	1,064	1,562	2,690	2,756	8,546
3. 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	3-1. 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발	405	699	556	511	467	2,638
	3-2. 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발	363	409	448	412	357	1,989
합계		3,000	6,013	10,175	5,087	4,625	28,900

다. 소요예산

(1) 총연구비

[표 119] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 총연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)					합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
인건비	1,152	1,658	2,130	2,101	1,450	8,491
연구장비재료비	723	2,720	5,818	1,341	1,795	12,397
기타경비	816	1,037	1,221	1,154	935	5,163
간접비	309	598	1,006	491	445	2,849
소계(정부출연금)	3,000	6,013	10,175	5,087	4,625	28,900
민간부담금	1,000	2,004	3,392	1,696	1,542	9,634
합계	4,000	8,017	13,567	6,783	6,167	38,534

(2) 핵심기술별 연구비

(가) (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발

[표 120] (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)					합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
인건비	468	562	770	740	474	3,014
연구장비재료비	675	2,470	5,596	129	120	8,990
기타경비	437	427	488	457	346	2,155
간접비	178	382	755	148	105	1,568
소계(정부출연금)	1,758	3,841	7,609	1,474	1,045	15,727
민간부담금	586	1,280	2,537	492	349	5,244
합계	2,344	5,121	10,146	1,966	1,394	20,971

(나) (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증

[표 121] (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)					합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
인건비	252	622	827	887	562	3,150
연구장비재료비	36	19	157	1,147	1,610	2,969
기타경비	141	326	436	413	335	1,651
간접비	45	97	142	243	249	776
소계(정부출연금)	474	1,064	1,562	2,690	2,756	8,546
민간부담금	158	354	521	897	919	2,849
합계	632	1,418	2,083	3,587	3,675	11,395

(다) (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

[표 122] (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)					합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
인건비	432	474	533	474	414	2,327
연구장비재료비	12	231	65	65	65	438
기타경비	238	284	297	284	254	1,357
간접비	86	119	109	100	91	505
소계(정부출연금)	768	1,108	1,004	923	824	4,627
민간부담금	256	369	335	308	275	1,543
합계	1,024	1,477	1,339	1,231	1,099	6,170

라. 소요 인력

[표 123] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 핵심 및 구성기술별 소요인력

핵심 및 구성기술	차년도					합계 (명)
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	17	17	24	23	15	96
대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기술	5	5	7	7	4	28
수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술	3	3	4	4	3	17
효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술	3	3	4	4	3	17
전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술	6	6	9	8	5	34
수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	10	19	26	27	18	100
수소전기기관차 시험차량 설계·제작 기술개발	10	19	26	27	18	100
수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	15	15	17	15	13	75
주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발	8	8	9	8	7	40
수소전기기관차 안전성 평가체계 개발	7	7	8	7	6	35
총계	42	51	67	65	46	271

5. 성과 목표 및 성과 지표

가. 전략목표

[표 124] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 전략목표

전략목표	내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증

나. 단계별 성과목표 및 성과지표

(1) 1단계 (3년)

☐ 성과목표(1단계)

[표 125] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과목표

성과목표		가중치	설정 근거
성과목표-1	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	0.4	• 수소전기기관차는 동력집중식으로 수소연료전지-2차전지-전장품이 모듈형으로 통합하는 핵심기술 개발 필요함
성과목표-2	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	0.35	• 성과목표-1의 성능검증을 위한 시험차량의 설계 및 주행안전성 검토 필요
성과목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.25	• 수소전기기관차의 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 기술기준(안) 마련이 필요하여 기술개발과 함께 동시에 진행

□ 성과지표(1단계)

[표 126] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과지표

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	1차 년도	2차 년도	3차 년도			
성과 목표 -1	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	0.4	수소연료전지- 2차전지 동력시스템 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험’ 달성을 위해 ‘수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
					실적						
			수소저장용기 시스템 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험’ 달성을 위해 ‘수소저장용기 시스템 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
					실적						
			에너지관리시 스템 개발율	%	목표	33	66	100	과정		• 장치 간 인터페이스 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 수립, 에너지 제어기술 등 시험차량 시스템 엔지니어링 확인을 위해 ‘에너지관리시스템 개발율’을 성과지표로 설정
					실적						
			주요 전장품 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험’ 달성을 위해 ‘주요 전장품 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
					실적						
			논문게재	건	목표	1	2	2	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적						
			특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
					실적						

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	1차 년도	2차 년도	3차 년도			
성과 목표 -2	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	0.35	시험차량 제작율	%	목표	33	66	100	과정		• 성과목표인 ‘시험차량 제작 및 주행안전성 검토’ 달성을 위해 ‘시험차량 제작율’을 성과지표로 설정
					실적						
			특허 출원/등록	건	목표	1	1	1	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
					실적						
성과 목표 -3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.25	기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 수소전기기관차 국내 운영을 위해서는 반드시 철도 안전법에 따라 기술기준(안)이 마련되어야 하므로 ‘수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 완료율’을 성과지표로 설정
					실적						
			안전성 평가체계 개발율	%	목표	33	66	100	과정		• 국내에서 철도 분야 수소시스템 설계 및 안전관리 기술이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가가 필요하여 ‘안전성 평가체계 개발율’을 성과지표로 설정
					실적						
			논문게재	건	목표	1	1	1	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적						

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법(1단계)

[표 127] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 1단계 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작을	과업기간 동안 수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>성적서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건	[측정산식] 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																															
수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건																															
수소저장용기 시스템 제작을	과업기간 동안 수소저장용기 시스템 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	[측정산식] 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																				
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
	※ 수소저장용기 시스템 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>성적서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	수소저장용기 시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	수소저장용기 시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건														
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																															
수소저장용기 시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
수소저장용기 시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건																															
에너지관리시스템 개발을	• 과업기간 동안 에너지 제어기술 개발을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>에너지 제어기술 개발</td><td>2</td><td></td><td></td><td>인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건</td></tr><tr><td>시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험 및 검증</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험결과 보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	에너지 제어기술 개발	2			인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건	시제품 제작		2		설계서 1건 시제품 1건	시험 및 검증			1	시험결과 보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
에너지 제어기술 개발	2			인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건																															
시제품 제작		2		설계서 1건 시제품 1건																															
시험 및 검증			1	시험결과 보고서 1건																															
주요 전장품 제작을	• 과업기간 동안 주요 전장품 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일	국토교통R&D 사업관리시스템																																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
	<table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 주요 전장품 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험 및 검증</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험성적서 1건</td></tr></table> * 주요 전장품 : DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	시험 및 검증			1	시험성적서 1건	• (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																															
시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
시험 및 검증			1	시험성적서 1건																															
시험차량 제작율	• 과업기간 동안 시험차량 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작을 위한 연차별 달성 계획	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																				
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
	<table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>요구사항 검토 및 사양 선정</td><td>3</td><td></td><td></td><td>요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>시제품 상세설계</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건</td></tr><tr><td>부품 제작</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험차량 제작보고서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	요구사항 검토 및 사양 선정	3			요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건	시제품 상세설계		2		상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건	부품 제작			1	시험차량 제작보고서 1건														
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
요구사항 검토 및 사양 선정	3			요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건																															
시제품 상세설계		2		상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건																															
부품 제작			1	시험차량 제작보고서 1건																															
기술기준(안) 도출 완료율	• 과업기간 동안 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>기술기준(안) 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>기술·성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건</td></tr><tr><td>구성품별 성능검증절차 수립</td><td></td><td>2</td><td></td><td>구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 도출(1차)</td><td></td><td></td><td>2</td><td>철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	기술기준(안) 설계	2			기술·성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건	구성품별 성능검증절차 수립		2		구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건	기술기준(안) 도출(1차)			2	철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)	[측정산식] • 완료율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
기술기준(안) 설계	2			기술·성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건																															
구성품별 성능검증절차 수립		2		구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건																															
기술기준(안) 도출(1차)			2	철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)																															
안전성 평가체계 개발	• 과업기간 동안 안전성 평가체계 개발을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 개발율 = (Σ개발진도율/100)X100(%)	국토교통R&D 사업관리시스템																																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거				측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																	
	<table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table>				구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	[측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정						
	구분	'24년	'25년	'26년																			
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																			
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																				
※ 안전성 평가체계 개발을 위한 연차별 달성 계획																							
<table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>RAMS 목표 설정</td><td>1</td><td></td><td></td><td>RAMS 목표 설정 보고서 1건</td></tr><tr><td>위험원 분석</td><td></td><td>1</td><td></td><td>예비위험원 분석 보고서 1건</td></tr><tr><td>RAM 분석</td><td></td><td></td><td>1</td><td>RAM 분석보고서 1건</td></tr></table>				필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	RAMS 목표 설정	1			RAMS 목표 설정 보고서 1건	위험원 분석		1		예비위험원 분석 보고서 1건	RAM 분석			1	RAM 분석보고서 1건
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																			
RAMS 목표 설정	1			RAMS 목표 설정 보고서 1건																			
위험원 분석		1		예비위험원 분석 보고서 1건																			
RAM 분석			1	RAM 분석보고서 1건																			
논문게재	• 연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정				[측정산식] • 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성률 측정	국토교통R&D사업관리시스템																	
특허 출원/등록	• 연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정				[측정산식] • 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술지식정보서비스(NTIS)																	

(2) 2단계 (2년)

☐ 성과목표(2단계)

[표 128] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과목표

성과목표		가중치	설정 근거
성과목표-1	주요 구성품 조립시험 및 성능검증	0.3	수소전기기관차는 동력집중식으로 수소연료전지-2차전지-전장품이 모듈형으로 통합된 핵심기술 개발을 진행하고, 조립시험을 통한 성능검증이 필요함
성과목표-2	시험차량 제작 및 성능검증	0.5	시험차량의 제작을 통해 성과목표-1의 성능검증이 필요함
성과목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.2	수소전기기관차의 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 기술기준(안) 마련이 필요하여 기술개발과 함께 동시에 진행

□ 성과지표(2단계)

[표 129] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과지표

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	4차 년도	5차 년도			
성과 목표 -1	주요 구성품 조합시험 및 성능검증	0.3	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				실적						
			수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘수소저장용기 시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				실적						
			에너지관리시 스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘에너지관리시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				실적						
			주요 전장품 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘주요 전장품 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				실적						
			논문게재	건	목표	2	2	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
				실적						
			특허 출원/등록	건	목표	2	2	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				실적						

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	4차 년도	5차 년도			
성과 목표 -2	시험차량 제작 및 성능검증	0.5	시험차량 제작 및 성능검증 달성률	%	목표	33	100	과정	√	• 성과목표인 ‘시험차량 제작 및 성능검증’ 달성을 위 해 ‘시험차량 제작 및 성능검증 달성률’을 성과지 표로 설정
					실적					
			시험차량 예비주행거리	km	목표		5,000	과정	√	• 시험차량의 성능검증을 위해 예비주행 5,000km 이 상 달성 여부를 성과지표로 설정
					실적					
			특허 출원/등록	건	목표	1	1	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
					실적					
성과 목표 -3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.2	기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	66	100	과정	√	• 수소전기기관차 국내 운영을 위해서는 반드시 철도 안전법에 따라 기술기준(안)이 마련되어야 하므로 ‘수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 완료율’을 성과지표로 설정
					실적					
			안전성 평가체계 개발율	%	목표	50	100	과정		• 국내에서 철도 분야 수소시스템 설계 및 안전관리 기술이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위 한 RAM과 과학적인 안전성 평가가 필요하여 ‘안전 성 평가체계 개발율’을 성과지표로 설정
					실적					
			논문게재	건	목표	1	1	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정 하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적					

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법(2단계)

[표 130] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 2단계 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																					
수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																						
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																						
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																						
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																					
수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																					
수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																					
수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 수소저장용기 시스템 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 수소저장용기 시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템												
구분	'27년	'28년																						
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																						
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																						

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거				측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																					
	<table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>				필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소저장용기 시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소저장용기 시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건											
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																								
수소저장용기 시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																								
수소저장용기 시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																								
에너지관리시스템 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 에너지관리시스템 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 에너지관리시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>				구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																									
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																									
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																									
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																								
수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																								
수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																								
주요 전장품 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 주요 전장품 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 주요 전장품 성능검증을 위한 연차별 달성 계획				구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템												
구분	'27년	'28년																									
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																									
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																									
	<table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>주요 전장품 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>주요 전장품 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table> * 주요 전장품 : DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	주요 전장품 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	주요 전장품 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건															
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																									
주요 전장품 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																									
주요 전장품 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																									
시험차량 제작 및 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 시험차량 제작 및 성능검증을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>2건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작 및 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>시험차량 제작</td><td>1</td><td></td><td>조립공정 보고서 1건</td></tr><tr><td>시험차량 조립 및 편성 완료</td><td></td><td>1</td><td>시험차량 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험차량 성능검증</td><td></td><td>1</td><td>성능검증 결과보고서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	2건 (3건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	시험차량 제작	1		조립공정 보고서 1건	시험차량 조립 및 편성 완료		1	시험차량 시제품 1건	시험차량 성능검증		1	성능검증 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																										
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	100 (=3/3)																										
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	2건 (3건)																										
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																									
시험차량 제작	1		조립공정 보고서 1건																									
시험차량 조립 및 편성 완료		1	시험차량 시제품 1건																									
시험차량 성능검증		1	성능검증 결과보고서 1건																									
시험차량 예비주행거리	• 철도안전법에 따른 형식승인 기준에 따라 목표치 설정 • 예비주행거리 5,000km 이상 달성	[측정산식] • 예비주행거리 = 예비주행시험 주행거리 누적값 (시험일지 또는 차량 TCMS 주행거리) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 확인	국토교통R&D 사업관리시스템																									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																									
기술기준(안) 도출 완료율	• 과업기간 동안 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>2건 (2건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 기술기준(안) 도출을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td>1</td><td></td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 해설서</td><td>1</td><td></td><td>기술기준(안) 해설서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 최종 도출</td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	전문기관 협의 및 의견수렴	1		의견수렴 결과보고서 1건	기술기준(안) 해설서	1		기술기준(안) 해설서 1건	기술기준(안) 최종 도출		1	기술기준(안) 1건	[측정산식] • 완료율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																										
목표실적 (누적 개발률)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																										
검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	1건 (2건)																										
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																									
전문기관 협의 및 의견수렴	1		의견수렴 결과보고서 1건																									
기술기준(안) 해설서	1		기술기준(안) 해설서 1건																									
기술기준(안) 최종 도출		1	기술기준(안) 1건																									
안전성 평가체계 개발율	• 과업기간 동안 안전성 평가체계 개발을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (1건)</td></tr></table> ※ 안전성 평가체계 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>RAMS 예비 평가</td><td>1</td><td>1</td><td>RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)</td></tr><tr><td>RAMS 인증 지침 개발</td><td></td><td>1</td><td>RAMS 인증지침서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (1건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	RAMS 예비 평가	1	1	RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)	RAMS 인증 지침 개발		1	RAMS 인증지침서 1건	[측정산식] • 개발율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템				
구분	'27년	'28년																										
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																										
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (1건)																										
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																									
RAMS 예비 평가	1	1	RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)																									
RAMS 인증 지침 개발		1	RAMS 인증지침서 1건																									
논문게재	• 연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수	국토교통R&D 사업관리시스템																									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
		[측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성률 측정	
특허 출원/등록	• 연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내 용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술지식정보 서비스 (NTIS)

다. 성과목표 및 지표 총괄표

[표 131] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증			
(최종) 성과목표	친환경 수소전기기관차 핵심기술 개발 및 안전성 평가체계 구축 (출력 3MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전주행거리 1,000km 이상)			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(3년)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	0.4	수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율	과정(질)
			수소저장용기 시스템 제작율	과정(질)
			에너지관리시스템 개발율	과정
			주요 전장품 제작율	과정(질)
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	0.35	시험차량 제작율	과정
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.25	기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)
			안전성 평가체계 개발율	과정
			논문게재	결과(질)
	2단계(2년)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	주요 구성품 조립시험 및 성능검증	0.3	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	과정
			수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	과정
			에너지관리시스템 성능검증 달성률	과정
			주요 전장품 성능검증 달성률	과정(질)
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	시험차량 제작 및 성능검증	0.5	시험차량 제작 및 성능검증 달성률	과정(질)
			시험차량 예비주행거리	과정(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.2	기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)
			안전성 평가체계 개발율	과정
			논문게재	결과(질)

제4절 : 사업추진체계 및 전략

1. 사업 추진 방안 설정

- ☐ 본 사업은 5년에 걸쳐 정부예산 289억원이 투입되는 규모로, 국토교통부 사업 중 연구단급 규모의 사업임
- ☐ 본 사업의 목적을 고려할 때 핵심기술 및 구성기술간의 긴밀한 연계가 필요하므로 연구단 단일 과제로 추진하는 것이 바람직함
 - ‘핵심기술 1’ 이 해당 사업의 핵심 부분을 담당하게 되므로, ‘핵심기술 1’ 주관연구기관이 연구단 역할 수행
 - 그 외 나머지 핵심기술들은 ‘핵심기술 1’ 과 연계되므로 통합 공모로 연구기관 선정
 - 세부 사업별 핵심기술 간 연계 및 공모방안은 다음과 같음

[표 132] 핵심기술 간 연계 및 공모방안

세부 사업명	핵심기술	주요 성과물	핵심기술간 연계	공모 방안
B. 수소전기 기관차 핵심기술 개발사업	B-1. 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	• 모듈형 수소연료전지- 2차전지-전장품 통합 시스템 • 에너지관리시스템 • 구성품 성능시험 성적서	사업 목표사양, 상용화 가능성을 고려한 주요 핵심 구성품 설계, 이를 토대로 B-2, B-3 핵심기술 의 기술개발 사양 제시	통합 공모
	B-2. 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	• 수소전기기관차 시험차량 • 성능검증 결과	B-1 핵심기술에서 제시한 사양 을 기반으로 구성품 B-2 핵심기 술에서는 시험차량 설계, 제작 및 시험 실시하고, B-3 핵심기술 에서는 기술기준(안)과 안전성 평가 실시	
	B-3. 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	• 수소전기기관차 기술기준(안) • 안전성 평가체계		

2. 사업추진체계

- 사업의 전체 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 및 사업관리는 연구단에서 맡아 진행하는 형태의 추진체계 구성
 - 각 핵심기술 분야 수행의 효과를 높이고, 개별 연구 수행기관과의 성과 연계를 통해 유기적인 대응이 가능하도록 단일 연구단으로 구성
 - 연구단 형태로 추진하면서 객관성, 공정성 등의 단점을 보완하기 위해 연구 개발과제 평가단을 설치하여 사업단의 주요 의사결정에 대한 심의를 받도록 조치
 - 과제 기획 부문과 사업수행자 선정에서 전문성과 객관성이 요구되어 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담



[그림 109] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 추진체계

3. 사업주체간 역할분담

□ 사업 목표 달성을 위해 추진 주체별 역할 및 기능은 다음과 같음

○ 국토교통부(주관부처)

- 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공

○ 국토교통과학기술진흥원(전문기관)

- 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안전에 대한 결정
- 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관리 등 추진

○ 주관연구기관

- 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무 추진 하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성
- 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리
- 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임 사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행

○ 공동연구개발기관

- 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행

○ 위탁연구개발기관

- 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행

□ (사업 참여기관 자격요건) 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 제4조 (연구 개발사업 참여기관 자격)에 의한 기관

4. 사업추진전략

가. 추진전략

(1) 사업추진전략

- ☐ 연구개발 목표를 달성하기 위해 다음의 세 가지 추진전략을 수립하였음
 - 추진전략 1 : (수소연료전지 리패키징 기술 확보) 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 응용 기술개발로 철도 분야 적용 확대
 - 추진전략 2 : (기관차용 전장품 국산화) 기술개발 및 검증, 운행 실적 확보를 통해 수입대체 및 해외진출을 위한 교두보 마련
 - 추진전략 3 : (안전성 평가체계 구축) 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가기술로 상용화 기반 마련
- ☐ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문기관에서 기 확보된 주요 핵심기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산·학·연 공동연구 추진
- ☐ 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국·내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보
- ☐ 연구개발과정에서 발생하는 모든(과제참여기업 포함) 연구결과물 및 시험데이터들은 과제에 대한 관리주체인 주관기관에서 구축한 별도의 서버에서 집중관리하고 성능평가 또는 개발과정에서 발생하는 시험데이터는 공인된 교정기관에서 교정되어있거나 신뢰할만한 수준의 시험장비임을 확인한 후 과제에 참여한 전문가들이 검증한 시험절차 및 방법등을 통하여 획득할 계획임
- ☐ 핵심기술의 구현을 위한 제어알고리즘에 대한 시뮬레이션을 위한 소프트웨어(매트랩 포함) 또는 실부하 모의 플랫폼등은 국내 상용화된 제품의 부재로 별도 구매하여 구축할 계획이고 성능평가지 센서류등은 고도의 정밀도가 요구되므로 마찬가지로 국외 전문업체로부터 구매할 계획임.
- ☐ 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구

측한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터 획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축 추진

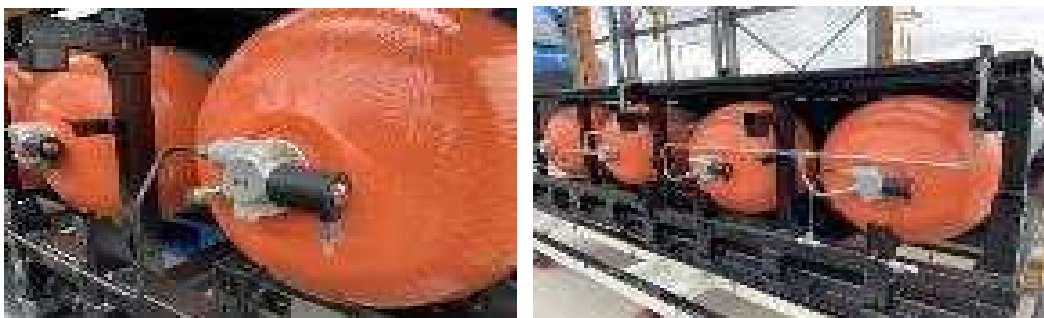
(2) 핵심기술 개발 전략

- 현재까지 국내에는 수소철도 실용화 및 운영 경험이 전무하고, 세계적으로도 실용화를 위한 기술개발 및 검증이 진행되고 있어 빠른 국내 도입을 위한 제반 마련 필요
- (수소연료전지 발전팩) 철도차량에 적용되는 수소연료전지는 대용량, 고출력, 고내구성이 요구되어 수소연료전지 스택과 연료전지 발전을 위한 주변장치(BOP 등)는 철도차량 운행에 적합하도록 최적화 기술개발



[그림 110] 수소연료전지 발전팩

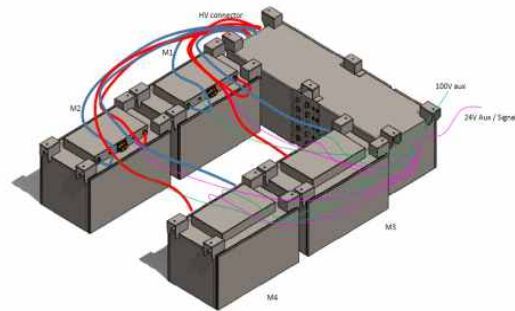
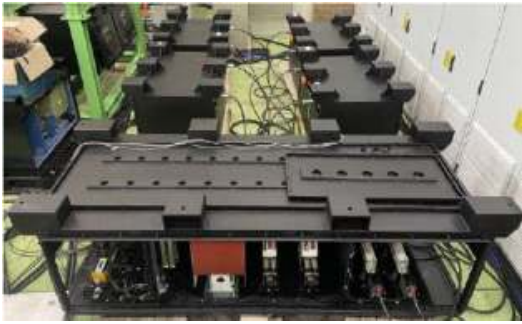
- (수소저장용기) 장거리 운행에 적합한 철도는 1회 충전 시 주행 가능한 거리가 성능지표이기 때문에 전기추진시스템 효율뿐만 아니라 단위 설치 공간에 높은 저장용량을 갖도록 최적화 기술개발



[그림 111] 수소저장용기

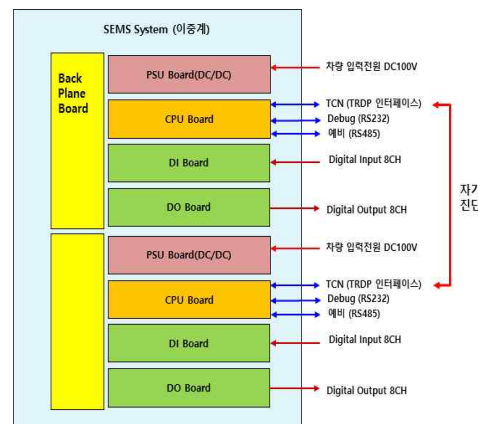
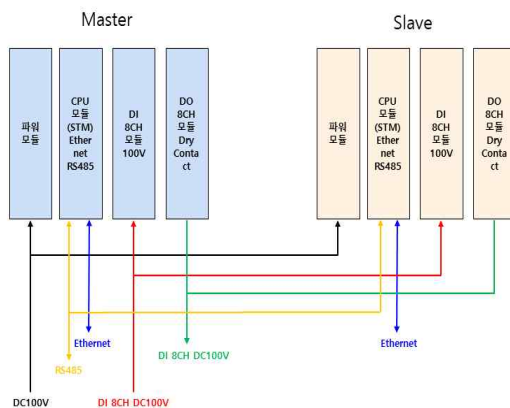
- (2차전지) 배터리는 사용패턴, 운영환경에 따라 노화 및 열화 특성에 큰 차이가 있으며, 특히 대용량의 에너지 충전/방전이 필요한 철도시스템에서는 배터리 화재 예방을 위해서 철도차량 운행패턴을 고려한 배터리 안전관리 기

술개발



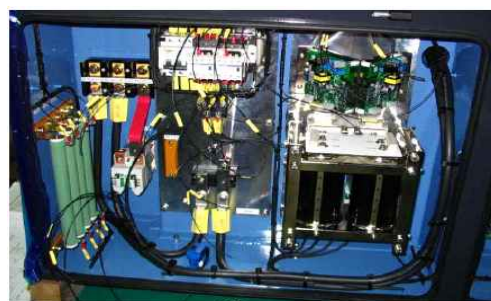
[그림 112] 2차전지

- (에너지관리시스템) 일반적으로 수소연료전지와 배터리를 혼합으로 사용하는 시스템에서 에너지 운영은 단순히 배터리의 에너지 저장상태(SOC; State of Charge)를 기반으로 수행되나, 수소철도 차량에서 수소연료전지의 도입 비용이 가장 높은 만큼 수소연료전지의 기대수명 및 유지보수 기간 연장을 고려한 에너지 제어 기술개발



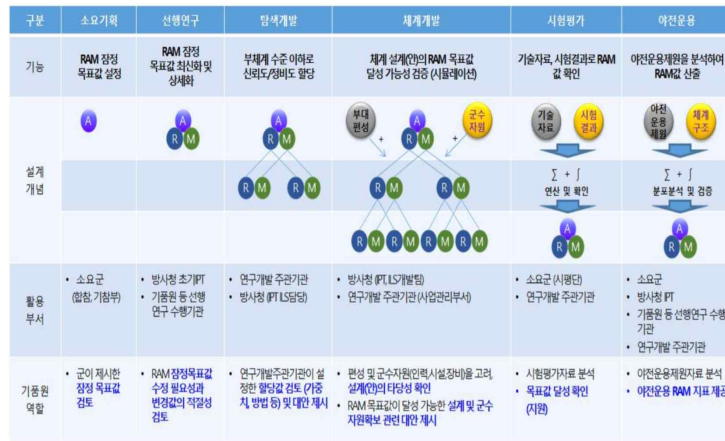
[그림 113] 에너지관리시스템

- (전장품 소형/경량/고효율화) 높은 승압비를 갖는 경우 시스템의 효율이 낮아서 저전압의 수소연료전지와 연계하여 고효율로 운영할 수 있는 추진시스템 적용을 통해 유한한 에너지를 기반으로 운행하는 수소철도차량 주행거리 향상 및 소모 에너지저감 기술개발



[그림 114] 전장품 소형/경량/고효율화

- (RAM 검증체계 및 안전성 평가체계) 철도 분야 적용 수소시스템은 유럽과 중국 등에서 최근에 실용화되었고 국내 연구개발은 최초로 추진되어 시스템 설계 및 안전관리 기술 기반이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가



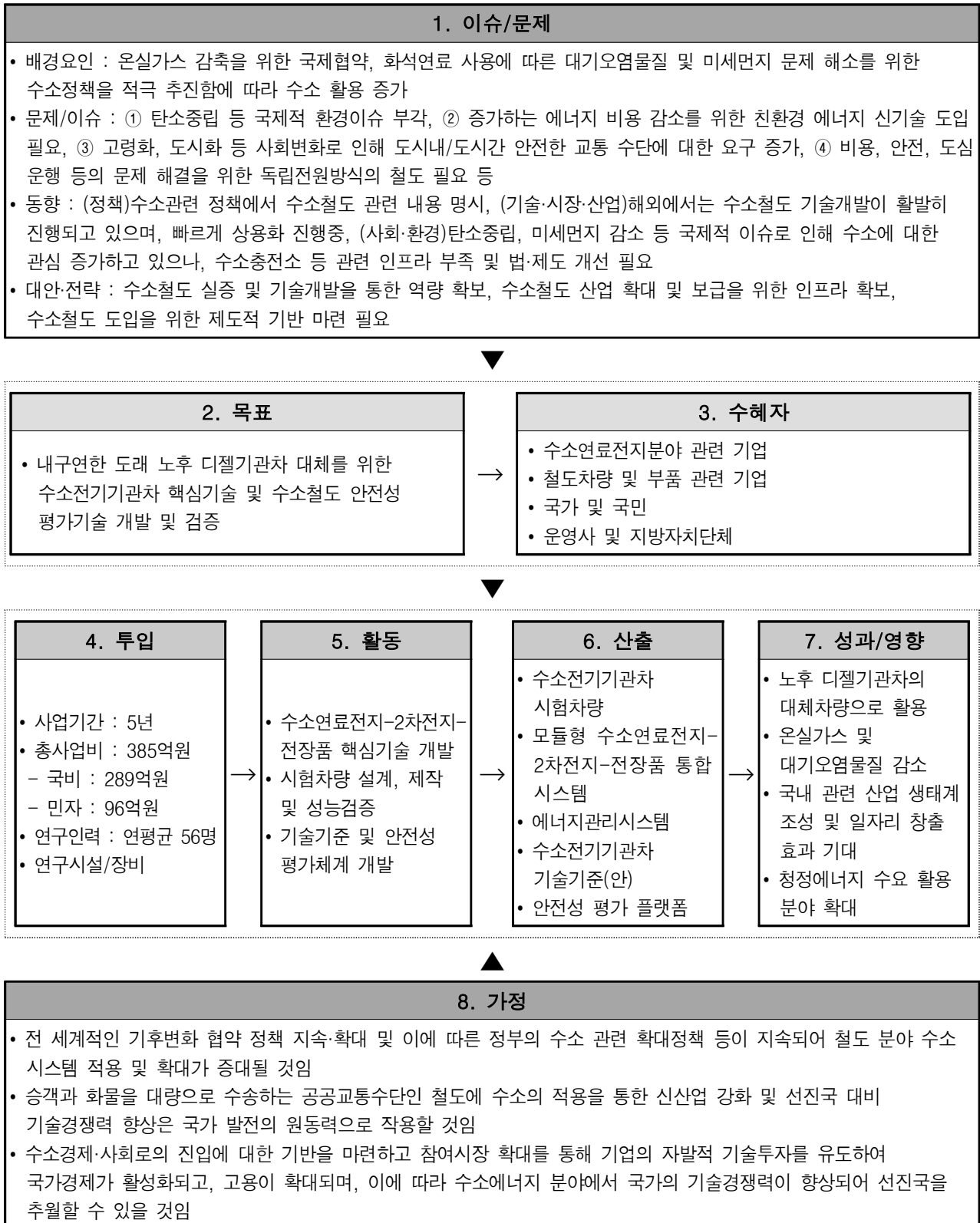
[그림 115] 안전성 평가체계

- 국내 빠른 도입을 위해 자체 핵심기술의 확보 및 검증, 기술기준 마련 및 고시, 수소전기기관차 운영을 통한 유지보수 노하우 축적 및 데이터 확보하는 전략으로 추진

나. 기술적 타당성 검토

(1) 논리 모형 도출

[표 133] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 논리적 모형



(2) 기술개발 성공 가능성

- 핵심기술 및 구성기술의 연구개발과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공 가능성을 향상시키고자 함

[표 134] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 기술개발 성공 가능성 검토

구성기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	국내 대용량 수소연료전지/2차전지 동력시스템 및 대용량 수소저장용기 관련 부품산업 및 요소기술 기반 취약	- 다양한 소자/부품 공급자를 발굴하여 기술 종속 탈피 - 대용량 수소 활용분야에서 활용할 수 있도록 국산화 및 최적화 기술 개발
수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술개발		
효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술 개발	다수의 수소연료전지와 연계하여 에너지 제어기술 운영 경험 부족	기존 수행한 국가 R&D 결과를 활용하여 개선사항을 도출하고 시뮬레이션을 통한 검증 및 자체시험을 통한 기술성 제고
전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술개발	수소연료전지-2차전지 동력시스템과 연계·통합하여 모듈형 구성에 따른 인터페이스 및 운영 경험 부족	- 시뮬레이션을 통한 검증 및 자체시험을 통한 인터페이스 확인 - 단품시험-조합시험-완성차시험으로 이어지는 3단계 성능검증으로 신뢰성 확인
수소전기기관차 시험차량 설계·제작 기술개발	새로운 구성품(수소연료전지, 수소저장탱크 등)의 차량 탑재에 따른 구조안전성, 동적 운동성능, 충돌·강도 안전기준 확보 등 경험 부족	모의 환경 기반 차량 설계검증 및 관련 전문가의 자문, 설계검증 연구 경험이 풍부한 연구진 구성 추진
주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발	신기술의 적용에 따른 철도차량/철도시설 기술기준이 마련되어 있지 않음	기존 수행한 국가 R&D 결과를 활용하여 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 구축
수소전기기관차 안전성 평가체계 개발	신기술의 적용에 따른 안전관리 기술 기반 부족	체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가체계 구축

(3) 기존 사업과의 차별성 및 연계성

[표 135] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성

	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
1	수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~`22.12.)	- 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 시스템 엔지니어링 - 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력 시스템 - 시험차량 설계 및 제작 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술 기준(안) 및 성능검증 - 수소 충전소 구축 및 테스트베드(T/B) 운영방안	(차별성) 동력집중식 수소전기기관차 개발과 함께 기술기준(안) 마련 부분에서 차별성 존재 (연계성) 모듈기반 고용량(3MW급) 동력집중식 수소연료전지-2차전지 하이브리드 시스템과 전장품 개발, 기술기준(안), 안전성 평가체계 구축
2	액화수소 기반 수소기관차 핵심기술 개발 (`21.01.~`24.12.)	- 기관차용 액화수소 하이브리드 추진시스템 개발 - 수소연료전지용 액화수소 공급 시스템 개발 - 액화수소 지상인프라 핵심시스템 기술 개발	(차별성) 선행과제는 부품/구성품 단위의 원천/기반기술 개발 (연계성) 시험차량 설계 및 제작, 철도차량 기술기준(안) 및 성능검증, 수소시스템 안전성 평가기술 개발 등 연구범위 확장
3	수소전기트램 핵심기술 개발 및 실증 (`21.07.~`23.12.)	- 수소트램 시스템 통합 및 성능검증, 수소트램 전용 연료전지 및 요소 부품개발 - 해외 수출을 위한 기술기준 및 주행성능 평가 - 수소트램 운영 기술개발	(차별성) 선행과제는 수소트램용 부품 및 구성품 기술개발과 성능검증을 하는 과제로 수소전기기관차 핵심기술 개발사업과는 용량, 개발 방향에 차별성이 있음
4	해외수출형 고출력 전기기관차 구동변환 플랫폼 핵심기술개발 및 실증 (`23.04.~`26.12.)	- 최적 제어를 통한 동일 중량에서 최대 견인력 발생 - 전기기관차 추진시스템-제동시스템의 최적 인터페이스 - 추진/제동 종합제어시스템에 대한 핵심 제어 기술개발 - 전기기관차 기계실 내 핵심 시스템 최적 배치 및 최적 축중 배치	(차별성) 수소전기기관차는 차량에 저장된 전력(연료전지, 배터리)을 사용하기 때문에, 구성하는 전장품 종류가 다르고, 개발 사양도 큰 차이가 있어 하드웨어 측면에서 연계 활용은 어려움 (연계성) 추진/제동/종합제어시스템의 소프트웨어 기술은 수소전기기관차 과제에서 수정/보완을 거쳐 일부 활용할 수 있는 것으로 판단

다. 경제적 타당성 검토

(1) 개요

- 경제적 타당성 분석은 수소전기기관차 개발에 따라 사회 전반에 유발될 수 있는 경제적 효과를 분석하여 해당 사업에 대한 적정성을 판단하기 위한 근거로 활용됨
- 특히, 수소전기기관차는 기존에 운행되던 디젤기관차를 대체하기 위한 목적으로 개발되었으므로, 본 연구에서는 디젤기관차 대체에 따른 사회적 편익을 중심으로 경제적 타당성 분석을 수행하였음
- 이에 따라 수소전기기관차 개발을 통한 사회적 편익은 기존 디젤기관차 운행 시나리오를 사업 미시행 시나리오로, 기존 디젤기관차 대신 수소전기기관차 개발되어 도입되는 시나리오를 사업 시행 시나리오로 설정하여 각각의 사회적 비용의 차이를 편익으로 도출하였음
 - 수소전기기관차 도입을 위한 후보노선이 아직 확정되지 않아, 현재 보유 중인 디젤기관차 중 2021년 기준 내구연한(25년)을 초과한 디젤기관차를 수소 전기기관차로 대체하는 것으로 분석
 - * 2021년 현재 운영 중인 디젤기관차는 226대이며, 이 중 내구연한(25년)을 초과한 차량은 57대
- 수소전기기관차 개발사업은 향후 철도사업 투자평가에 영향을 미치는 요인으로 본 연구에서는 철도교통 사업의 투자평가에 주로 활용되는 「교통시설 투자평가지침(‘22)」 및 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(‘21)」을 기준으로 경제성 분석을 수행함
 - 분석의 기준시점은 착수된 시점의 전년도 말로 설정하도록 명시되어 있어, 본 연구에서는 기준년도를 2021년으로 설정
 - 철도 교통 사업의 경제적 타당성 분석 기간은 개통 후 40년으로 설정하며, 이에 따라 다음과 같이 분석기간 설정
 - 기술개발 기간 5년(2024~2028년) 및 수소전기기관차 도입을 위한 회임기간 2년(2029~2030년), 그리고 수소전기기관차 도입 후 40년(2031~2070년)
 - 투자사업의 경제적 타당성 분석에 있어 할인율은 사업의 편익과 비용을

현재 가치로 환산하는데 결정적인 파라미터로 작용하며, 이에 본 연구에서는 지침에서 제시하고 있는 4.5%를 사회적 할인율로 적용하였으며, 장래 30년에서 40년까지는 할인율 3.5%를 적용

- 경제적 타당성 분석에 활용되는 사회적 편익 및 비용 항목과 원단위 역시 지침에 제시된 내용을 기반으로 분석을 수행하였음
- 본 연구에서는 수소전기기관차 도입에 따른 사회적 편익 항목으로 대기오염 비용 절감편익 및 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익 반영
- 비용은 수소전기기관차 연구개발에 투입되는 R&D 비용 및 수소충전소 구축 비용 반영

(2) 편익 산정

- 본 연구에서는 수소전기기관차 도입에 따른 편익으로 디젤기관차 대체에 따른 대기오염비용 절감 편익 및 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익을 반영하였음

(가) 대기오염비용 절감 편익

- 디젤철도차량을 수소철도차량으로 대체함에 따라 발생하는 대기오염비용 절감 편익은 「2021 철도통계연보」(한국철도공사, 2022)에서 제공하는 디젤 철도차량 운행 실적 및 연료소비량 (2021년 기준), 그리고 「교통시설 투자평가지침 제7차 개정」(국토교통부, 2022)에서 제시하는 디젤철도차량의 각 오염물질별 배출계수, 대기오염비용 및 온실가스 원단위 자료를 활용하여 산정하였음
- 수소전기기관차의 대기오염비용 절감 편익은 「2021 철도통계연보」(한국 철도공사, 2022)에 제시된 통계자료를 기반으로 내구연한이 초과된 57대의 디젤기관차 유류사용량을 추정하여 대기오염비용 배출량 및 비용 산정
- 분석 기준연도를 2021년으로 설정하였기 때문에, 대기오염비용 및 온실가스 원단위 자료(2015년 기준)는 「교통시설 투자평가지침 제7차 개정」(국토 교통부, 2022)에 제시된 값에 소비자물가지수를 활용하여 기준연도로 보정한

값을 적용하였음

[표 136] 디젤기관차의 각 오염물질별 배출계수[81]

구분	NOx	CO	HC	SO2	PM
배출계수 (g/L)	64.36	26.36	10.66	1.64	4.16

[표 137] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)[81]

(단위: 원/kg)

구분	PM2.5			NOx	CO	VOC
	도심지	교외지	지방지			
원단위	402,093	104,562	41,831	15,835	158	2,330

* PM의 경우, 수소철도차량 도입 노선 입지 특성을 고려하여 지방지 적용

(나) 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 편익

□ 디젤기관차를 수소전기기관차로 전환함에 따라 각 차량에서 소비되는 연료 에너지 비용의 차이는 열차 운영비 절감 효과로 산정될 수 있음. 이에 본 연구에서는 연료 에너지 전환에 따른 열차 운영비 절감 효과 분석을 위해 「2021 철도통계연보」(한국철도공사, 2022)에서 제공하는 디젤철도차량 운행 실적 및 연료소비량 (2021년 기준), 그리고 장래 수소연료 kg당 단위 비용을 활용하였음

- 디젤기관차 유류비용 원단위는 철도통계연보 자료를 기반으로 산정하여 약 4,060원/km 적용, 수소전기기관차의 연료비용 원단위는 “수소 기술개발 로드맵(안)”에서 제시된 1,740원/km (4,000원/kg 기준, 디젤동차 및 디젤기관차 연료 소비 효율 반영) 적용
- 수소전기기관차의 열차 운영비 절감 편익은 「2021 철도통계연보」(한국철도공사, 2022)에 제시된 통계자료를 기반으로 내구연한이 초과된 57대의 디젤기관차 유류사용량을 추정하여 디젤기관차 디젤 연료 소비량 및 수소전기기관차 수소 연료 소비량을 각각 산정하여 그 비용의 차이를 편익으로 산정

(다) 편익 산정 결과

□ 수소전기기관차 개발 및 도입에 따른 사회적 편익은

- 대기오염비용 절감 편익 약 20,376백만원, 운영비 절감 편익 약 9,873백만원/년으로 분석됨

[표 138] 수소전기기관차 도입에 따른 편익 추정 결과

(단위: 백만원/년)

편익항목	수소전기동차		
	사업미시행시 비용	사업시행시 비용	편익 추정 결과
대기오염비용 절감	20,376	-	20,376
운영비 절감	17,276	7,403	9,873
합계	37,652	7,403	30,249

(3) 비용 산정

□ 수소철도차량의 경제적 타당성 분석을 위한 비용은 기술 개발에 투입되는 연차별 R&D 예산 및 수소철도차량 도입에 따른 충전소 구축 비용으로 산정하였음 (단, 수소전기동차 사업의 경우, R&D 예산에 수소충전소 구축 비용이 반영되어 있어 R&D 예산만을 사업비용으로 산정)

- 기술개발 기간 5년에 걸쳐 총 385억원(정부출연금 289억원, 민간부담금 96억원) 투입

[표 139] 수소전기기관차 핵심기술 개발사업 투자계획

구분	개발예산 (백만원)					총계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
정부출연금	3,000	6,013	10,175	5,087	4,625	28,900
민간부담금	1,000	2,004	3,392	1,696	1,542	9,634
합계	4,000	8,017	13,567	6,783	6,167	38,534

- 수소전기기관차 도입에 따른 충전소 구축 비용 산정을 위해 본 연구에서는 「수소전기트램 시범노선 적용성 및 운영·유지보수 기술수요분석 용역」(대전교통공사, 2023)에서 제시한 충전소 구축 설비 및 단가를 활용하였음
- 이에 따라 수소전기기관차 운영을 위해 필요한 수소원료는 약 11,659kg/일이며, 해당 수소원료 충전을 위해서는 약 12개의 수소충전소 구축 및 약 2,357억원의 구축비용이 필요한 것으로 분석됨
 - 충전소 구축 비용은 회임기간에 50%씩 반영

[표 140] (복합)수소충전소 구축 설비 및 단가

구분	단가	필요수량
필요 충전.생산인프라	-	일일 1톤 생산.충전소
제조식 추출설비	40.7억원/기	500kg 기준
튜브트레일러	5억/대	충전 개소당 1대
충전설비	30억/기	충전 개소당 3기
이동식 충전차	20억/대	충전 개소당 1대

(4) 경제성 분석 결과

(가) 경제성 분석 개요

- 본 연구에서는 경제적 타당성 평가를 위해 편익/비용 비율(Benefit Cost Ratio: B/C), 순현재가치(Net Present Value: NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR) 지표를 활용함

○ 편익/비용 비율(B/C)

- 편익/비용 비율이란 총편익과 총비용의 할인된 금액의 비율, 즉 장래에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것임
- 일반적으로 편익/비용 비율 ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$B_t = t$ 시점의 편익

$C_t = t$ 시점의 비용

r = 할인율

n = 교통사업의 내구연도(분석기간)

□ 순현재가치(NPV)

- 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총편익에서 총비용을 제한 값이며, 순현재가치 ≥ 0 이면 경제성이 있다는 의미로 해석

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

□ 내부수익률(IRR)

- 내부수익률은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율 R 을 구하는 방법으로 사업의 시행으로 인한 순현재가치를 0으로 만드는 할인율임
- 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단

$$IRR: \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

[표 141] 경제성 분석 기법의 비교

분석기법	판단	장점	단점
편익/비용 비율 (B/C)	$B/C \geq 1$	• 이해 용이, 사업규모 고려 가능	• 상호배타적 대안 선택의 오류발생 가능
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	• 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용 가능	• 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정 시 오류발생 가능
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$	• 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가 과정과 결과 이해가 용이	• 사업의 절대적 규모 고려하지 않음 • 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

(나) 분석의 전제

- 본 연구에서는 경제성 분석을 위하여 「교통시설 투자평가지침」 (2022) 및 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침」 (2021)에서 제시한 방법론을 준용하였음
- 수소전기동차 사업의 경우, 사업 기한 내 차량 제작이 완료되기 때문에 회임기간 반영하지 않음

[표 142] 경제성 분석 전제

구분	분석 기준년도	R&D사업기간	회임기간	분석기간	사회적 할인율*
수소전기기관차	2021년	'24~'28	'29~'30	'31~'70	4.5%

* 장래 '30년에서 '40년까지는 할인율 3.5%를 적용

(다) 경제성 분석 결과

- 수소전기기관차 개발/도입에 따른 경제성 분석 결과, B/C는 1.95로 경제적 타당성을 확보하는 것으로 분석됨

[표 143] 경제성 분석 결과 요약

구분	총할인편익 (억원)	총할인비용 (억원)	B/C	NPV (억원)	IRR (%)
수소전기기관차	3,763	1,930	1.95	1,833	9.74

[표 144] 수소전기기관차 경제성분석 결과

구분	비용				편익			
	R&D 비용	충전소 구축비용	계	할인계	대기오염 비용	운영비용	계	할인계
2024	40	-	40	35	-	-	-	-
2025	80	-	80	67	-	-	-	-
2026	136	-	136	109	-	-	-	-
2027	68	-	68	52	-	-	-	-
2028	62	-	62	45	-	-	-	-
2029	-	1,178	1,178	829	-	-	-	-
2030	-	1,178	1,178	793	-	-	-	-
2031	-	-	-	-	204	99	302	195
2032	-	-	-	-	204	99	302	186
2033	-	-	-	-	204	99	302	178
2034	-	-	-	-	204	99	302	171
2035	-	-	-	-	204	99	302	163
2036	-	-	-	-	204	99	302	156
2037	-	-	-	-	204	99	302	150
2038	-	-	-	-	204	99	302	143
2039	-	-	-	-	204	99	302	137
2040	-	-	-	-	204	99	302	131
2041	-	-	-	-	204	99	302	125
2042	-	-	-	-	204	99	302	120
2043	-	-	-	-	204	99	302	115
2044	-	-	-	-	204	99	302	110
2045	-	-	-	-	204	99	302	105
2046	-	-	-	-	204	99	302	101
2047	-	-	-	-	204	99	302	96
2048	-	-	-	-	204	99	302	92
2049	-	-	-	-	204	99	302	88
2050	-	-	-	-	204	99	302	84
2051	-	-	-	-	204	99	302	81
2052	-	-	-	-	204	99	302	77
2053	-	-	-	-	204	99	302	74
2054	-	-	-	-	204	99	302	71
2055	-	-	-	-	204	99	302	68
2056	-	-	-	-	204	99	302	65
2057	-	-	-	-	204	99	302	62
2058	-	-	-	-	204	99	302	59
2059	-	-	-	-	204	99	302	57
2060	-	-	-	-	204	99	302	54
2061	-	-	-	-	204	99	302	52
2062	-	-	-	-	204	99	302	50
2063	-	-	-	-	204	99	302	49
2064	-	-	-	-	204	99	302	47
2065	-	-	-	-	204	99	302	45
2066	-	-	-	-	204	99	302	44
2067	-	-	-	-	204	99	302	42
2068	-	-	-	-	204	99	302	41
2069	-	-	-	-	204	99	302	39
2070	-	-	-	-	204	99	302	38
합계	385	2,357	2,742	1,930	8,150	3,949	12,100	3,763

B/C = 1.95, NPV = 1,833억원, IRR = 9.74%

제5장

대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업

제1절 : 사업 목표 및 미래상

제2절 : 연구개발 과제 구성

제3절 : 세부 개발계획

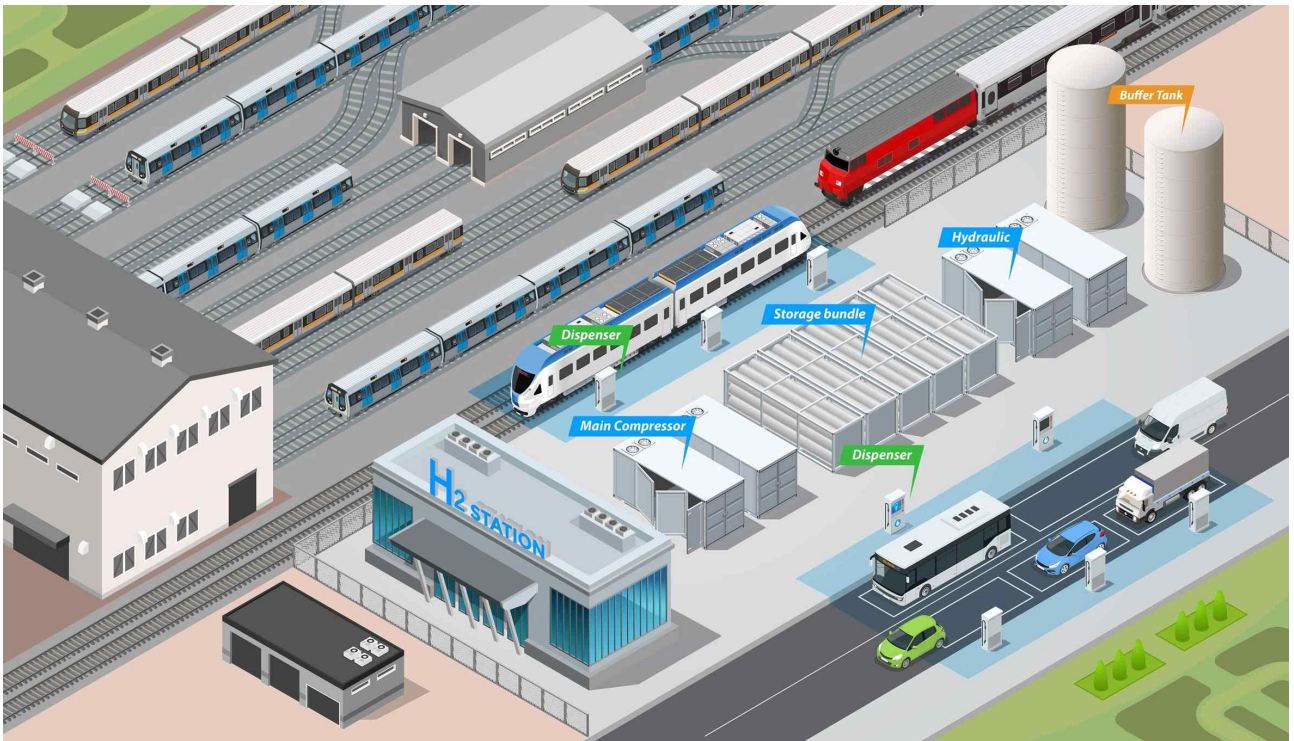
제4절 : 사업추진체계 및 전략

제5장 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업

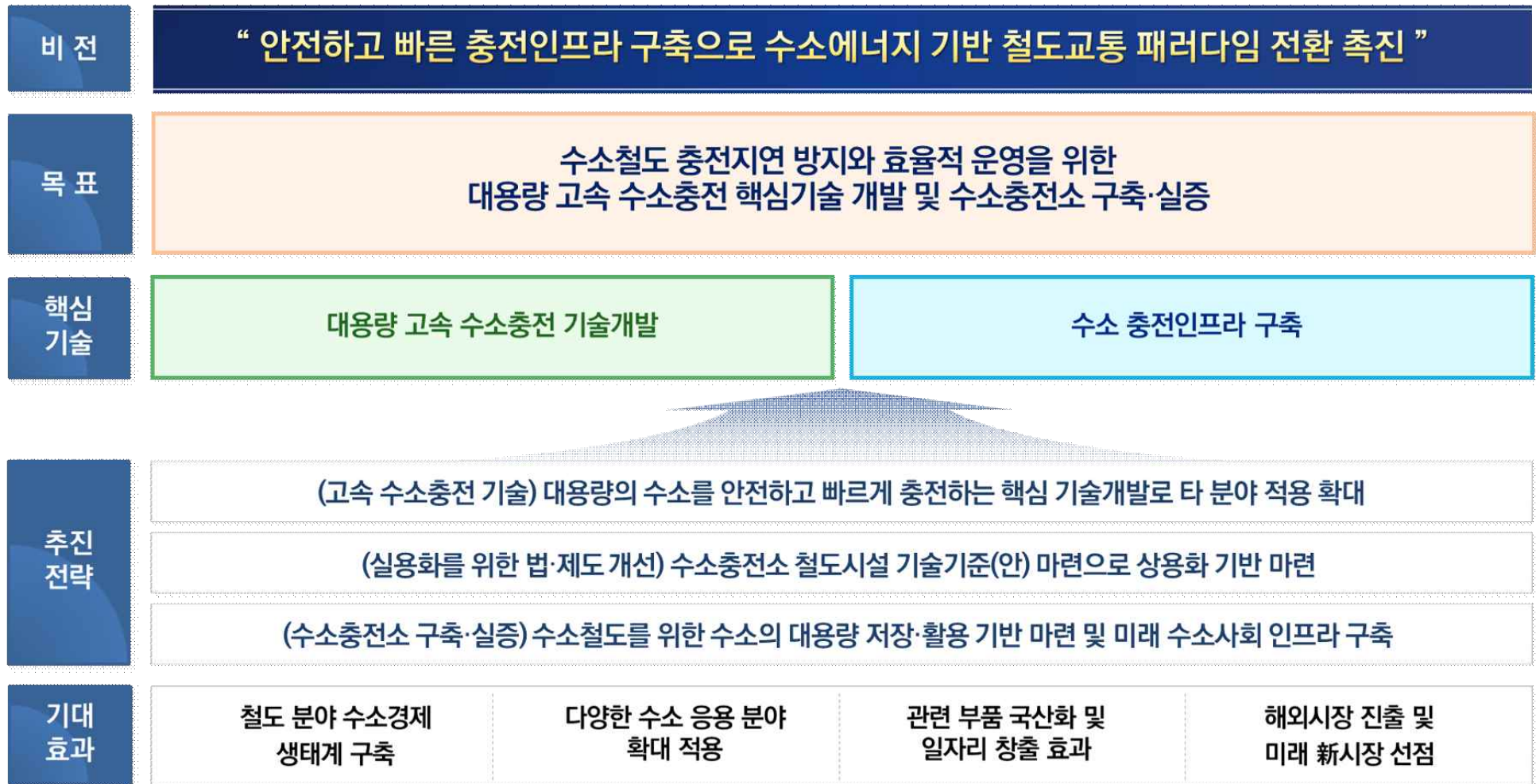
제1절 : 사업 목표 및 미래상

1. 사업 비전 및 목표

- (비전) 안전하고 빠른 수소 충전인프라 구축으로 독립전원방식 친환경 수소 철도차량의 효율적인 운영을 통해 수소에너지 기반 철도교통 패러다임 전환 촉진 및 철도 분야 탄소중립 실현
- (목표) 수소철도 충전지연 방지와 효율적 운영을 위한 대용량 고속 수소충전 핵심기술 개발 및 수소충전소 구축·실증
 - 대용량 고속 수소충전 기술개발
 - 수소 충전인프라 구축 및 기술기준(안) 마련



[그림 116] 수소충전소 개념도



[그림 117] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 비전 및 목표

2. 사업에 따른 미래상 및 기대효과

가. 미래상 (As-is vs. To-be)

[표 145] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업에 따른 미래상 (As-is vs. To-be)

핵심항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'24년 수준	최종 목표수준	
	~'23	'24	'27(종료년도)	'28~(종료이후)
대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	- 자동차용 수소충전소는 운영 및 확대되고 있으나, 수소철도차량을 위한 대용량의 고속 충전소는 전무 - 국가R&D로 개발된 수소전기동차를 위한 35MPa급 낮은 압력의 수소충전소 운영실적 보유 - 수소철도차량을 위한 수소충전소 철도시설 기술기준 부재	- 대용량 고속 수소충전 설계 요구조건 정립 - 수소철도차량을 위한 대용량 수소충전소 구축 방향 수립 - 수소충전소 철도시설 기술기준 개발 방향 수립	- 충전속도 50kg/15분의 대용량 고속 수소충전 기술 확보 - 수소철도차량을 위한 수소충전소 구축 및 운영을 통한 노하우 누적 - 철도시설 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 마련	- 수소충전소 실증사업 추진 - 신재생에너지, 유희 전력 등을 활용한 수소생산부터 저장, 충전까지 수소 모빌리티를 위한 복합 수소충전 인프라 운영
그림	As-is			
	 < 기존 임시수소충전시설 >			
	↓			
	To-be			
	 < 복합 수소충전소 개념도 >			

나. 사업 기대효과

□ 기술적 기대효과

- 대용량/고속 수소충전 기술개발을 통해 철도분야 뿐만 아니라 중장비 차량, 선박 등 다양한 분야에 확대 적용하여 해외 선진기술과의 기술수준 격차 해소 및 수소 모빌리티 선도국가로 발돋움
- 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 마련으로 구성품/충전소 성능검증 기준 제시 및 표준화
- 충전소 관련 부품의 설계기술 확보로 고부가가치 수소시스템 국내·외 시장 선점 기반 마련
- 수소철도차량 및 수소충전소 관련 기술 확보를 통해 수소경제·사회 활성화 및 국내 관련 수소산업 생태계 조성·확대

□ 사회적 기대효과

- '19년 말 기준 전철화율은 72.9%(3,116.2km/4,274.2km), 제4차 국가철도망 구축계획('21~'30) 완료 시에도 전철화율 78.3%로 여전히 비전철화 구간 존재하여 디젤철도차량을 대체하여 운행할 수 있는 수소철도차량 도입 가속화 가능
- 공공교통수단인 철도에 지속적으로 친환경 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수소 활용 분야 확대
- 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과
- 철도 분야 수소 전주기 산업 생태계 구축에 따른 분야별 전문 인력양성
- 국내 대중교통 수송분담률(국가지표체계 '20년 기준)은 철도 12.8%, 버스 15.0%, 택시 2.7%, 승용차 69.5%로 일본 철도 72.0%('13년 기준)에 비하여 철도 분야 수송 분담률이 매우 낮은 상태로 전철전력설비가 필요하지 않은 독립전원방식 수소철도를 도입하여 경제적인 철도망 추가 구축으로 철도 수송 분담률 제고

- ‘수소경제 활성화 로드맵’에 따른 철도 분야 수소 기술개발 로드맵 수립

□ 경제적 기대효과

- 신규노선 적용 시 철도 구축 비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축 비용* 및 운영을 위한 유지보수 비용이 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율**을 갖는 수소 활용으로 운영기관의 에너지비용도 절감 가능

* 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km, KDI 공공투자관리 센터(‘15.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」

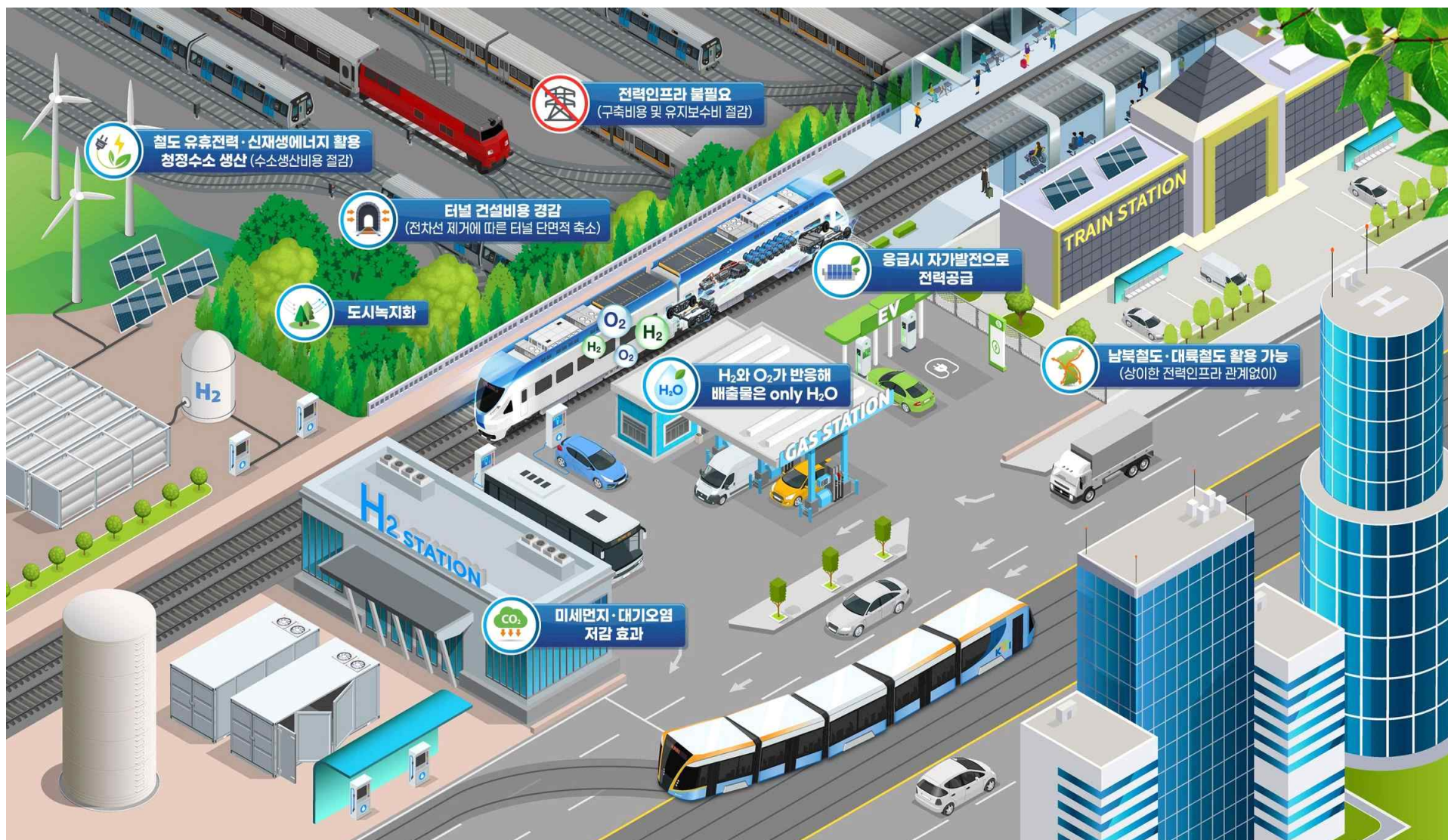
** 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%

에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/kg 기준)

- 수소철도차량 기술 및 해외 시장 선도를 위한 교두보 마련

* 독일, 프랑스, 영국 등 유럽을 중심으로 '35년에서 '40년까지 기존 운행 중인 디젤철도차량 퇴출을 목표로 수소철도차량 개발 및 상용화가 급속히 진행 중

- '21년 기준 우리나라는 세계 7위의 에너지 소비국이나 에너지·자원 소비량의 92.9%를 수입에 의존하고 있는 에너지 빈곤국으로 전체 사용량 중 수송부문은 약 16.8%를 점유하고 있어 수소 에너지로의 전환으로 에너지 해외 의존도[82]를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능



[그림 118] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업을 통한 미래상 및 기대효과

제2절 : 연구개발 과제 구성

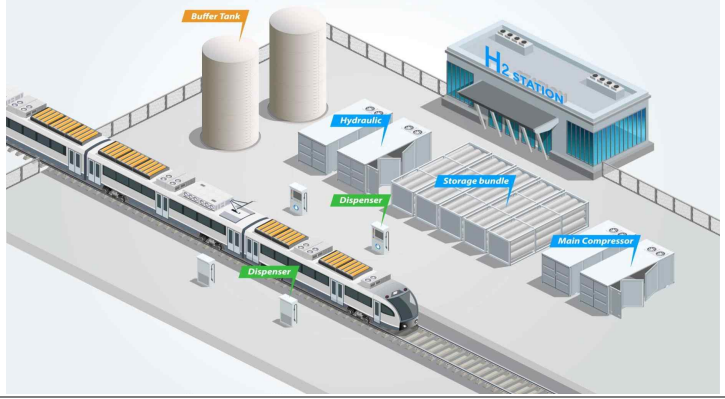
- 연구개발 사업의 구성을 위해 Top-down 및 Bottom-up 방식을 병행하여 사업의 핵심과제 및 세부기술 분야 발굴
 - Top-down 기술기획 : 국가 차원의 수소철도 기술개발 사업을 위해 필수적인 핵심 중점 지원 아이템 발굴
 - Bottom-up 기술기획 : 국내 산·학·연 기관을 대상으로 전문가 비대면 기술수요조사를 실시하여 발굴

1. Top-down 기술기획

가. 사업 범위 및 목표 사양 설정

- (사업 범위) 1회 충전 주행거리 확보를 위해 안전하고 빠르게 수소를 충전할 수 있는 핵심기술 개발
 - 수소철도차량 운영을 위한 기술기준, 관련 규제·법령 검토 등 제반 사항 마련하여 대용량 고속 수소충전소 구축 및 실증
- 수소전기동차 166kg, 수소전기기관차 490kg의 1회 충전 수소 필요량과 1일 1회 충전을 기반으로 수소철도차량을 위한 수소충전소의 목표 사양 설정
 - (목표 사양) 수소저장 1,000kg 이상, 수소충전량 500kg/day 이상, 충전속도 50kg/15분 이상의 수소철도차량을 위한 대용량 고속 수소충전 핵심기술 및 안전 기술·규정 개발

[표 146] 수소철도를 위한 수소충전소 목표 사양

항목	수소충전소 (본 사업)
개 념 도	
충전 속도 (kg/hr)	200 kg/hr
수소충전량 (1일 1회 기준)	500 kg/day
수소저장량 (2일 저장 기준)	1,000 kg
기타	철도시설 기술기준(안) 제시

나. 핵심기술 도출

- ☐ 세부 사업별 목표 사양 충족을 위해 반드시 개발이 필요한 핵심기술을 도출하였고, 내부 검토 및 동료검토를 통해 타당성을 검증한 후 확정

[표 147] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 핵심기술 리스트

사업 코드	세부 사업명	핵심기술 코드	핵심기술(舊, 세부과제)
C	대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	C-1	대용량 고속 수소충전 기술개발
		C-2	수소 충전인프라 구축

2. Bottom-up 기술기획

가. 구성기술 도출 방법

- ☐ 수소전기동차 실증사업을 위한 현재 및 미래에 요구되는 기술수요 파악
- ☐ 산·학·연 전문가를 대상으로 다음의 기술제안분야의 연관기술에 대하여 기술수요조사 진행
- ☐ 추후 본 사업의 과제 참여관심 여부를 판단하기 위하여 기술수요조사 양식 하단에 참여의향 설문도 진행

[표 148] 수소전기동차 실증사업 기술제안 분야

기술 제안 분야 (☑)	중분류	소분류	
	☐ 수소철도차량	☐ 수소연료전지 발전팩 ☐ 수소저장 · 공급 시스템 ☐ 2차전지 시스템 ☐ 기타()	☐ 전장품(추진제어시스템 등) ☐ 차량 시스템 엔지니어링 ☐ 에너지관리시스템
	☐ 수소철도시설	☐ 수소 생산 · 저장 시설 ☐ 수소 활용 시설(충전소, 충전기, 충전프로토콜 등) ☐ 시설 시스템 엔지니어링 ☐ 기타()	☐ 수소 운송 시설
	☐ 인증, 실증 및 관리	☐ 기술기준 · 성능평가 ☐ 계획 · 운영 · 실증 ☐ 기타()	☐ 안전 · 편의 ☐ 유지관리
	☐ 기타()		

- ☐ Top-down 기술기획과 Bottom-up 기술기획 결과를 반영하여 기술구성 체계의 적절성, 기술도출의 타당성, 구성기술간의 연계성 등을 검토



[그림 119] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스

- 기 도출된 세부기술 및 구성기술 체계에 대한 적절성 검토
- 사업의 핵심기술 개발을 위해 기술수요조사 외 필요기술에 대해 내부 연구 전문가 검토를 통해 구성기술 추가 및 동료검토를 통해 다음과 같이 최종 기술 구성 및 범위 도출

나. 구성기술 도출 및 연구개발 과제 구성

[표 149] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 과제 구성

세부 사업명	핵심기술(舊, 세부기술)	구성기술(舊, 세세부과제)
C. 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	C-1. 대용량 고속 수소충전 기술 개발	C-1-1. 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전 기술
	C-2. 수소 충전인프라 구축	C-2-1. 수소 충전시설 설계 및 구축
		C-2-2. 철도용 수소 충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발

3. 사업 주요 내용

가. 사업 목표

- 수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술과 수소충전소 구축·실증
 - (목표수준) 수소저장 : 1,000kg, 수소충전량 : 500kg/day, 충전속도 : 50kg/15분 이상

나. 주요 연구내용

- (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발
 - 연구목표
 - 다중 노즐(2개)를 이용한 고속 충전기술 개발
 - ▶ 수소충전속도 : 50kg/15분 이상
 - 연구내용
 - 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전기술
 - ▶ 다중 노즐(2개)를 이용한 수소철도 충전기술 개발
 - ▶ 수소 충전 및 운영 프로세스 도출
 - ▶ 수소저장용기 온도압력 제어
 - ▶ 수소철도를 위한 충전 프로토콜 요구사항 도출
 - ▶ 다중 충전을 위한 충전로직 설계기술 개발
 - ▶ SAE J2601 기반의 LT(록업테이블) 방식 충전 프로토콜 개발
- (핵심기술 2) 수소 충전인프라 구축
 - 연구목표
 - 수소충전소 구축 및 사업개시
 - ▶ 수소저장 : 1,000kg / 수소충전량 : 500kg/day
 - 수소철도용 수소충전시설 기술기준(안)
 - 수소충전소 운영 및 유지보수 매뉴얼

○ 연구내용

- 수소 충전시설 설계 및 구축
 - 철도용 수소 충전시설 요구사항 분석/도출 및 기본/상세설계
 - 수소 충전시설 구축을 위한 규제/법령 검토
 - 수소 충전시설 구축(규제샌드박스)
 - 수소 충전시설 사업개시 및 시운전
 - 수소 충전시설 운영 및 유지보수 기술개발
 - 수소 충전시설 운영 및 유지보수 고도화
- 철도용 수소 충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발
 - 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 설계/검토
 - 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발
 - 철도시설 기술기준(안) 최종도출

□ 최종성과물

- 대용량 고속 수소 충전기술
- 수소충전소 1개소
- 철도시설 기술기준(안)

제3절 : 세부 개발계획

1. 핵심기술별 연구내용

가. (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발

☐ 연차별 연구내용

[표 150] 대용량 고속 수소충전 기술개발 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 개념 설계 - 다수의 디스펜서를 활용한 고압 기체수소 충전 방식 및 구성 요소 확립 - 여러 디스펜서를 사용한 기체수소 충전 및 운영 프로세스 도출 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 평가 인자 및 위험 요소 분석
2차년도	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 설계 기술 개발 - 충전소(디스펜서) 및 차량(수소저장용기)과의 통신 및 계측 인자 도출 - SAE J2601 기반의 열역학 표준모델 및 메카니즘 규명 - SAE J2601 기반의 LT(록업테이블) 방식 충전 프로토콜 도출
3차년도	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 시험 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 반복시험 수행 및 검증 - 공급 장치와 저장용기의 반복 충전 배출을 통한 안전성 평가 수행 및 검증
4차년도	- 수소충전소 적용 및 검증 - 고속 충전기술 수소충전소 적용 테스트베드 운영 및 개선 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 적합성 평가 기준 개발 및 제도화

☐ 성능지표(목표사양)

[표 151] 대용량 고속 수소충전 기술개발 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	대용량 고속 수소충전 기술	2개의 충전노즐을 이용한 고속 충전 - 수소충전속도 : 50kg/15분 이상 - 수소저장용기 온도압력 제어 - 수소철도를 위한 충전 프로토콜 요구사항 도출

나. (핵심기술 2) 수소 충전인프라 구축

☐ 연차별 연구내용

[표 152] 수소 충전인프라 구축 연차별 연구내용

연도	추진계획
1차년도	- 수소충전소 사양 선정 및 기본설계 - 수소철도용 수소충전소 요구사항 분석 및 도출 - 수소충전소 인프라 구축을 위한 규제/법령 검토 - 수소충전소 인프라 기본설계 - 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계 - 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 설계
2차년도	- 수소충전소 상세설계 및 안전성 검토 - 수소충전소 인프라 상세설계 및 안전성 검토 - 주요 구성품 구매 발주·제작 및 시험 - 수소충전소 기술기준(안) 설계 검토 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 설계 검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 수립
3차년도	- 수소충전소 구축 및 성능시험 - 수소충전소 인프라 구축(규제샌드박스) - 수소충전소 성능시험 및 인증 - 수소충전소 기술기준(안) 개발 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 개발 - 기술기준(안) 의견수렴 및 보완
4차년도	- 수소충전소 운영 및 유지보수 방안 도출 - 수소철도용 수소충전소 사업개시 및 시운전 - 수소철도차량-수소충전소 연계 운영 검증 - 수소충전소 운영 및 유지보수 고도화 - 기술기준(안) 해설서 개발 및 최종 도출 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 해설서 개발 - 수소충전소 기술기준(안) 최종도출

☐ 성능지표(목표사양)

[표 153] 수소 충전인프라 구축 성능지표(목표사양)

성능지표		기술개발 목표
1	수소충전소 사양	- 수소저장 : 1,000kg 이상 - 수소충전량 : 500kg/day 이상

2. 연차별 추진내용

[표 154] 대용량 고속 수소충전 기술개발 사업 연차별 추진내용

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
1차년도	고속 충전기술 및 수소충전소 개념설계	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 개념 설계 - 수소충전소 사양 선정 및 기본설계 - 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계
2차년도	충전기술 개발 및 수소충전소 안전성 검토	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 설계 기술 개발 - 수소충전소 상세설계 및 안전성 검토 - 수소충전소 기술기준(안) 설계 검토
3차년도	충전기술 시험 및 수소충전소 구축, 기술기준(안) 개발	- 고압 기체수소 충전 프로토콜 시험 - 수소충전소 구축 및 성능시험 - 수소충전소 기술기준(안) 개발
4차년도	수소충전소 운영 및 실증	- 수소충전소 적용 및 검증 - 수소충전소 운영 및 유지보수 방안 도출 - 기술기준(안) 해설서 개발 및 최종 도출

3. 성과물 및 목표성능

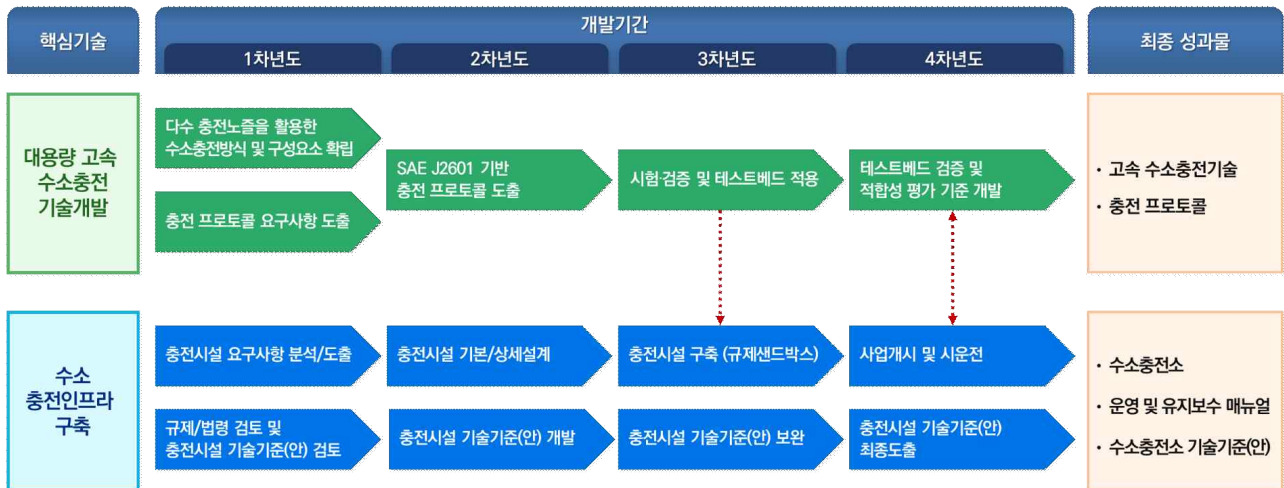
[표 155] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과물 및 목표성능

핵심기술	성과물	성과물유형	구성기술	목표성능	TRL
대용량 고속 수소충전 기술개발	고속 수소충전기술	장비/장치	다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전 기술	2개 이상의 디스펜서 및 노즐을 이용한 고속 충전 - 수소충전속도 : 50kg 이상/15분 - 수소저장용기 온도압력 제어 - 수소철도를 위한 충전 프로토콜 요구사항 도출	6
수소 충전인프라 구축	- 수소철도용 수소충전소 - 수소충전소 운영 및 유지 보수 매뉴얼 - 수소철도용 수소충전시설 기술기준(안)	장비/장치	수소 충전시설 설계 및 구축	- 수소충전소 구축 및 사업개시 - 수소저장 : 1,000kg (수소기관차 기준 2일 분량) - 수소충전량 : 500kg/day - 운영 및 유지보수 매뉴얼 : 1건	7
			철도용 수소충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발	철도시설(수소 충전시설) 기술기준(안) 도출 : 1건	2

4. 기술개발 로드맵 및 소요 예산

가. 기술개발 로드맵

- 본 사업은 수소철도차량 운영을 위한 대용량 고속 수소충전소 핵심기술 개발을 진행하는 것을 목표로 4년동안 추진



[그림 120] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 로드맵

□ 핵심기술간 연계 전략

- 수소철도차량을 위한 수소충전소의 사양 등 요구사항 분석을 통해 핵심기술 1, 2의 사양을 선정 후 충전기술 개발 및 충전소 설계 반영
- 핵심기술 1의 “대용량 고속 수소충전 기술”을 통해 수소철도차량의 수소충전에 적합한 기술을 개발하고 검증하여 핵심기술 2의 “수소 충전인프라 구축”에 3차년도에 연계·반영
 - 핵심기술 1, 2는 긴밀하고 유기적으로 연계가 필요하며, 연구단에서 협업이 잘 이루어질 수 있도록 관리가 필요함
- 반복 시험을 통해 충전기술 및 충전소 운영 노하우 및 유지보수성 확인을 진행하고, 철도시설 기술기준(안)을 보완하여 과제 종료시까지 최종안 도출
 - 이후, 실증사업을 위한 운영 및 유지보수 데이터를 축적하여 차량 실증사업 등과 연계할 수 있는 기반 마련

나. 투자규모

□ 총 250억원/4년 중 정부출연금 190억원(76%) 대비 민간부담금 60억원(24%)으로 구성된 정부주도 사업 추진

[표 156] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 투자계획

구분	개발예산 (백만원)				총계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
정부출연금	2,000	7,000	6,000	4,000	19,000
민간부담금	600	2,200	2,000	1,200	6,000
합계	2,600	9,200	8,000	5,200	25,000

[표 157] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 구성기술별 총연구비 구성 (정부출연금)

핵심기술	구성기술	개발예산 (백만원)				합계
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
1. 대용량 고속 수소충전 기술개발	1-1. 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전기술	967	1,556	1,263	1,142	4,928
2. 수소 충전인프라 구축	2-1. 수소 충전시설 설계 및 구축	616	4,623	3,932	2,163	11,334
	2-2. 철도용 수소충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발	417	821	805	695	2,738
합계		2,000	7,000	6,000	4,000	19,000

다. 소요예산

(1) 총연구비

[표 158] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 총연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)				합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
인건비	729	1,799	1,943	1,703	6,174
연구장비재료비	534	3,660	2,600	1,100	7,894
기타경비	536	845	861	799	3,041
간접비	201	696	596	398	1,891
소계(정부출연금)	2,000	7,000	6,000	4,000	19,000
민간부담금	600	2,200	2,000	1,200	6,000
합계	2,600	9,200	8,000	5,200	25,000

(2) 핵심기술별 연구비

(가) (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발

[표 159] (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)				합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
인건비	297	480	544	544	1,865
연구장비재료비	278	550	210	110	1,148
기타경비	295	371	383	374	1,423
간접비	97	155	126	114	492
소계(정부출연금)	967	1,556	1,263	1,142	4,928
민간부담금	290	490	420	340	1,540
합계	1,257	2,046	1,683	1,482	6,468

(나) (핵심기술 2) 수소 충전인프라 구축

[표 160] (핵심기술 2) 수소 충전인프라 연구비 구성

구분	개발예산 (백만원)				합계
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
인건비	432	1,319	1,399	1,159	4,309
연구장비재료비	256	3,110	2,390	990	6,746
기타경비	241	474	478	425	1,618
간접비	104	541	470	284	1,399
소계(정부출연금)	1,033	5,444	4,737	2,858	14,072
민간부담금	310	1710	1580	860	4,460
합계	1,343	7,154	6,317	3,718	18,532

라. 소요 인력

[표 161] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심 및 구성기술별 소요인력

핵심 및 구성기술	차년도				합계 (명)
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	
대용량 고속 수소충전 기술개발	11	15	17	17	60
다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전 기술	11	15	17	17	60
수소 충전인프라 구축	16	33	35	29	113
수소 충전시설 설계 및 구축	7	20	22	18	67
철도용 수소충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발	9	13	13	11	46
총계	27	48	52	46	173

5. 성과 목표 및 성과 지표

가. 전략목표

[표 162] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 전략목표

전략목표	수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술과 수소충전소 구축·실증

나. 성과목표

[표 163] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과목표

성과목표		가중치	설정 근거
성과목표-1	대용량 고속 수소충전 기술	0.5	수소철도차량 운행 특성상 많은 양의 수소가 필요하며, 현재 수소차에 적용된 충전량 및 충전속도로는 운행지연 등의 문제가 발생할 수 있음. 따라서, 대용량 고속 충전 기술 개발이 반드시 필요하며, 그에 따른 충전 프로토콜 수정·보완 필요
성과목표-2	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	0.5	수소철도용 수소충전소는 국내 최초 개발 및 도입 검토중으로 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 철도시설 기술기준이 필요하며, 따라서 본 사업을 통해 기술개발과 함께 기술기준(안) 마련을 동시에 진행하여 적용성에 대한 검증 및 그 결과 도출

다. 성과지표

[표 164] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과지표

성과목표명	가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치				지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
				연도	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도			
성과 목표 -1	대용량 고속 수소충전 기술	대용량 고속 수소충전기술 개발율	%	목표	25	50	75	100	과정		수소철도차량 운행 특성상 대용량 고속 수소충전 기술이 필요함에 따라 해당 기술 개발율을 성과지표로 설정
				실적							
		논문게재	건	목표	1	2	2	2	결과	√	대용량 고속 수소충전 기술개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
				실적							
		특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	2	결과	√	관련 기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				실적							
성과 목표 -2	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	수소충전소 구축률	%	목표	25	50	75	100	과정	√	성과목표-1의 실증을 위해서는 수소 저장·공급을 위한 수소충전소가 필요하며, 이를 위해 ‘수소충전소 구축률’을 성과지표로 설정
				실적							
		철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	20	40	60	100	과정	√	수소충전소의 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따라 기술기준(안)이 마련되고, 형식승인을 받아야 하므로 ‘철도시설 기술기준(안) 도출 완료율’을 성과지표로 설정
				실적							

라. 성과지표의 목표치 및 측정방법

[표 165] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과지표 목표치 설정 및 측정 방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																													
대용량 고속 수소충전기술 개발을	• 과업기간 동안 대용량 고속 수소충전 기술개발을 위해 획득할 필요항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>'27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>50 (=2/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>고속 충전기술 개념설계</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>개념설계 보고서 1건</td></tr><tr><td>충전 프로토콜 설계</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>충전 프로토콜 보고서 1건</td></tr><tr><td>고속 충전기술 성능검증</td><td></td><td></td><td>2</td><td></td><td>시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 적용 및 운영</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>테스트베드 적용 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	'27년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)	필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태	고속 충전기술 개념설계	1				개념설계 보고서 1건	충전 프로토콜 설계		1			충전 프로토콜 보고서 1건	고속 충전기술 성능검증			2		시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건	수소충전소 적용 및 운영				1	테스트베드 적용 운영보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년	'27년																																											
	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																																											
	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)																																											
필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태																																											
고속 충전기술 개념설계	1				개념설계 보고서 1건																																											
충전 프로토콜 설계		1			충전 프로토콜 보고서 1건																																											
고속 충전기술 성능검증			2		시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건																																											
수소충전소 적용 및 운영				1	테스트베드 적용 운영보고서 1건																																											
수소충전소 구축률	• 과업기간 동안 수소충전소 구축을 위해 획득할 필요항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>'27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>50 (=2/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 수소충전소 구축을 위한 연차별 달성 계획	구분	'24년	'25년	'26년	'27년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)	[측정산식] • 구축률 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																														
	구분	'24년	'25년	'26년	'27년																																											
	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																																											
	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)																																											

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거					측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																																			
	<table><tr><th>필요항목</th><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소충전소 구축 검토 및 기본설계</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 상세설계 및 안전성 검토</td><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td>수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 구축</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>수소충전소 1개소 구축</td></tr><tr><td>수소충전소 운영</td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건</td></tr></table>					필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태	수소충전소 구축 검토 및 기본설계	3				수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건	수소충전소 상세설계 및 안전성 검토		2			수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건	수소충전소 구축			1		수소충전소 1개소 구축	수소충전소 운영				2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건																							
필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태																																																					
수소충전소 구축 검토 및 기본설계	3				수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건																																																					
수소충전소 상세설계 및 안전성 검토		2			수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건																																																					
수소충전소 구축			1		수소충전소 1개소 구축																																																					
수소충전소 운영				2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건																																																					
철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	과업기간 동안 수소 철도시설 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요항목(5건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>'27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>20 (=1/5)</td><td>40 (=2/5)</td><td>60 (=3/5)</td><td>100 (=5/5)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>2건 (5건)</td></tr></table> ※ 기술기준(안) 도출을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24</th><th>'25</th><th>'26</th><th>'27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>기술·성능검증 요구사항</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 초안</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>철도시설 기술기준(안) 1건</td></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 최종도출</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 최종본 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 해설서</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 해설서 1건</td></tr></table>					구분	'24년	'25년	'26년	'27년	목표실적 (누적 개발률)	20 (=1/5)	40 (=2/5)	60 (=3/5)	100 (=5/5)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	2건 (5건)	필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태	기술·성능검증 요구사항	1				수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건	기술기준(안) 초안		1			철도시설 기술기준(안) 1건	전문기관 협의 및 의견수렴			1		의견수렴 결과보고서 1건	기술기준(안) 최종도출				1	기술기준(안) 최종본 1건	기술기준(안) 해설서				1	기술기준(안) 해설서 1건	[측정산식] - 완료율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년	'27년																																																						
목표실적 (누적 개발률)	20 (=1/5)	40 (=2/5)	60 (=3/5)	100 (=5/5)																																																						
검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	2건 (5건)																																																						
필요항목	'24	'25	'26	'27	증빙자료 형태																																																					
기술·성능검증 요구사항	1				수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건																																																					
기술기준(안) 초안		1			철도시설 기술기준(안) 1건																																																					
전문기관 협의 및 의견수렴			1		의견수렴 결과보고서 1건																																																					
기술기준(안) 최종도출				1	기술기준(안) 최종본 1건																																																					
기술기준(안) 해설서				1	기술기준(안) 해설서 1건																																																					
논문 게재	연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정					[측정산식] 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수	국토교통R&D 사업관리시스템																																																			

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
		[측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성률 측정	
특허 출원/등록	• 연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내 용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술정보 서비스 (NTIS)

마. 성과목표 및 지표 총괄표

[표 166] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술과 수소충전소 구축·실증			
(최종) 성과목표	수소철도용 대용량 고속 수소충전 핵심기술 개발 및 수소충전소 구축 (수소저장 1,000kg 이상, 수소충전량 500kg/day 이상, 충전속도 50kg/15분 이상)			
성과목표 및 지표	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	대용량 고속 수소충전 기술	0.5	대용량 고속 수소충전기술 개발율	과정
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	0.5	수소충전소 구축률	과정(질)
			철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)

제4절 : 사업추진체계 및 전략

1. 사업 추진 방안 설정

- ☐ 본 사업은 4년에 걸쳐 정부예산 190억원이 투입되는 규모로, 국토교통부 사업 중 연구단급 규모의 사업임
- ☐ 본 사업의 목적을 고려할 때 핵심기술 및 구성기술간의 긴밀한 연계가 필요하므로 연구단 단일 과제로 추진하는 것이 바람직함
 - ‘핵심기술 1’ 이 해당 사업의 핵심 부분을 담당하게 되므로, ‘핵심기술 1’ 주관연구기관이 연구단 역할 수행
 - 그 외 나머지 핵심기술들은 ‘핵심기술 1’ 과 연계되므로 통합 공모로 연구기관 선정
 - 세부 사업별 핵심기술 간 연계 및 공모방안은 다음과 같음

[표 167] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 핵심기술 간 연계 및 공모방안

세부 사업명	핵심기술	주요 성과물	핵심기술간 연계	공모 방안
C. 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	C-1. 대용량 고속 수소충전 기술개발	- 고속 수소충전기술 - 충전 프로토콜	사업 목표사양, 상용화 가능성을 고려하여 구성품 사양 및 충전소 사양 제시	통합 공모
	C-2. 수소 충전인프라 구축	- 수소철도용 수소충전소 - 수소충전소 운영 및 유지보수 매뉴얼 - 수소철도용 수소충전시설 기술기준(안)	C-1 핵심기술에서 제시한 사양을 기반으로 충전소 설계, 구축 및 운영을 위한 제반 기술 마련	

2. 사업추진체계

- ☐ 사업의 전체 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 및 사업관리는 연구단에서 맡아 진행하는 형태의 추진체계 구성

- 각 핵심기술 분야 수행의 효과를 높이고, 개별 연구 수행기관과의 성과 연계를 통해 유기적인 대응이 가능하도록 단일 연구단으로 구성
- 연구단 형태로 추진하면서 객관성, 공정성 등의 단점을 보완하기 위해 연구 개발과제 평가단을 설치하여 사업단의 주요 의사결정에 대한 심의를 받도록 조치
- 과제 기획 부문과 사업수행자 선정에서 전문성과 객관성이 요구되어 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담



[그림 121] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 추진체계

3. 사업주체간 역할분담

□ 사업 목표 달성을 위해 추진 주체별 역할 및 기능은 다음과 같음

- 국토교통부(주관부처)
 - 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공

○ 국토교통과학기술진흥원(전문기관)

- 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안전에 대한 결정
- 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관리 등 추진

○ 주관연구기관

- 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무 추진 하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성
- 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리
- 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임 사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행

○ 공동연구개발기관

- 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행

○ 위탁연구개발기관

- 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행

□ (사업 참여기관 자격요건) 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」 제4조 (연구개발사업 참여기관 자격)에 의한 기관

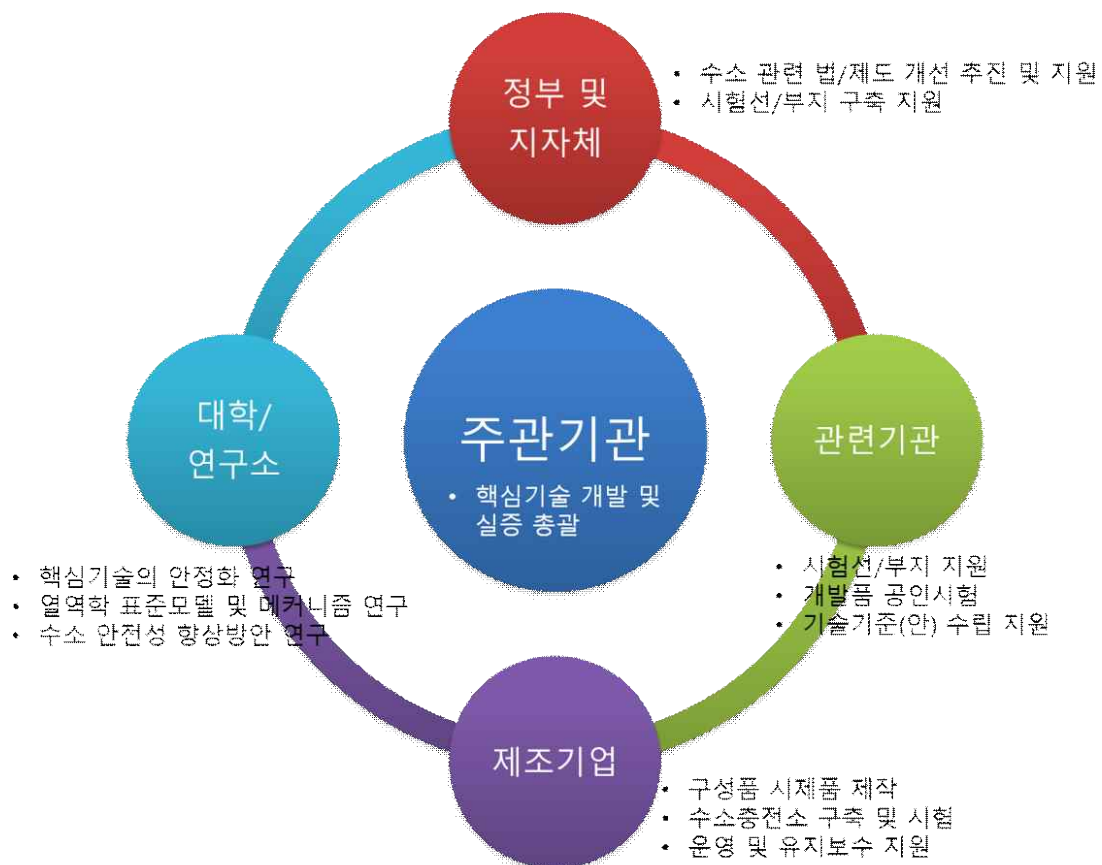
4. 사업추진전략

가. 추진전략

□ 연구개발 목표를 달성하기 위해 다음의 세 가지 추진전략을 수립하였음

- 추진전략 1 : (고속 수소충전 기술) 대용량의 수소를 안전하고 빠르게 충전하는 핵심기술 개발로 타 분야 적용 확대
- 추진전략 2 : (실용화를 위한 법·제도개선) 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 마련으로 상용화 기반 마련
- 추진전략 3 : (수소충전소 구축·실증) 수소철도를 위한 수소의 대용량 저장·활용기반 마련 및 미래 수소사회 인프라 구축

□ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문기관에서 기 확보된 주요 핵심기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산·학·연 공동연구 추진



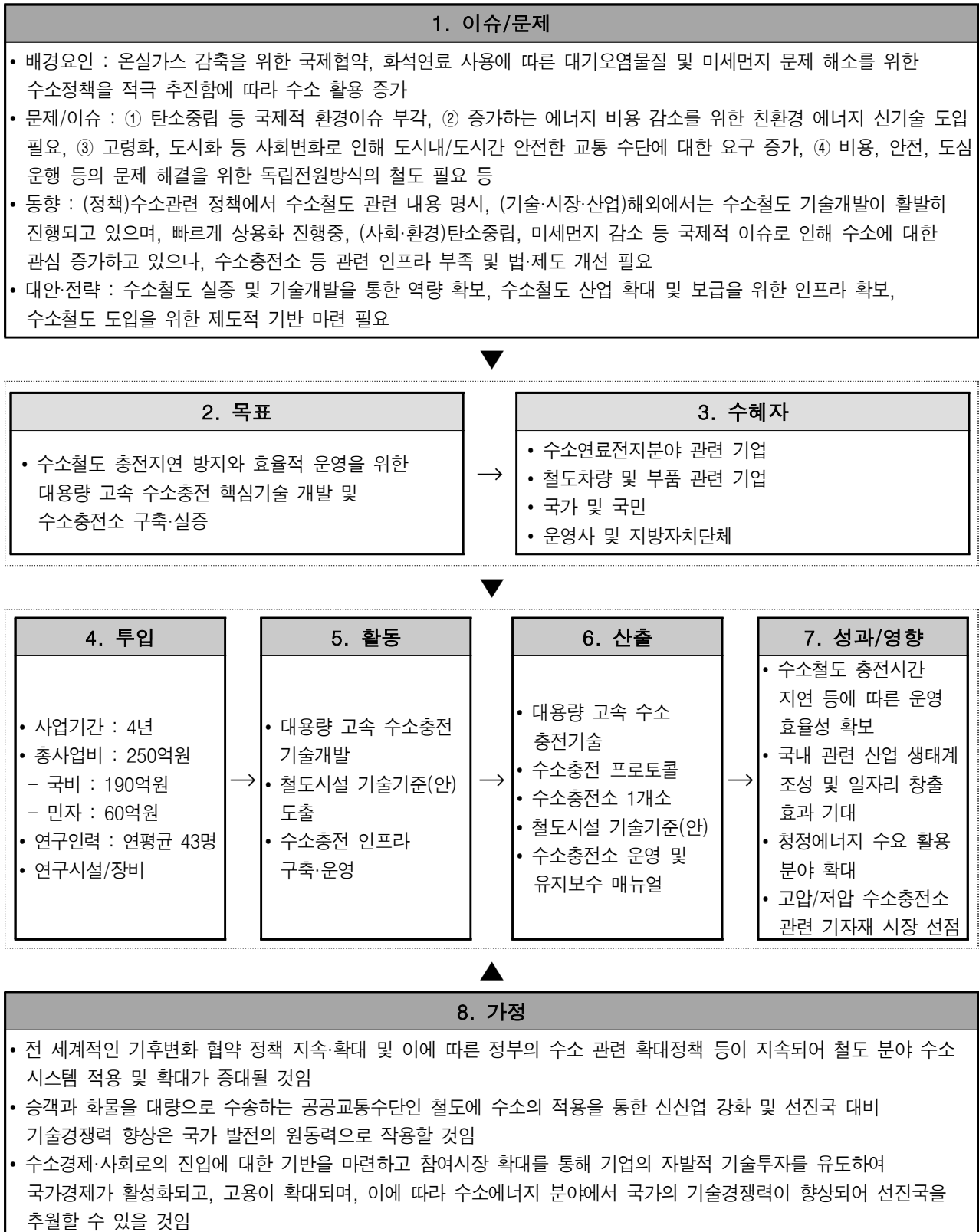
[그림 122] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 연구추진전략 구성

- 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국·내외 공인 기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보
- 연구개발과정에서 발생하는 모든(과제참여기업 포함) 연구결과물 및 시험데이터들은 과제에 대한 관리주체인 주관기관에서 구축한 별도의 서버에서 집중관리하고 성능평가 또는 개발과정에서 발생하는 시험데이터는 공인된 교정기관에서 교정되어있거나 신뢰할만한 수준의 시험장비임을 확인한 후 과제에 참여한 전문가들이 검증한 시험절차 및 방법등을 통하여 획득할 계획임
- 핵심기술의 구현을 위한 제어알고리즘에 대한 시뮬레이션을 위한 소프트웨어(매트랩 포함) 또는 실부하 모의 플랫폼등은 국내 상용화된 제품의 부재로 별도 구매하여 구축할 계획이고 성능평가지 센서류등은 고도의 정밀도가 요구되므로 마찬가지로 국외 전문업체로부터 구매할 계획임.
- 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터 획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축 추진

나. 기술적 타당성 검토

(1) 논리 모형 도출

[표 168] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 논리적 모형



(2) 기술개발 성공 가능성

- 핵심기술 및 구성기술의 연구개발과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공 가능성을 향상시키고자 함

[표 169] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 기술개발 성공 가능성 검토

구성기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전기술	국내 대용량 고속 충전 프로토콜 및 관련 부품산업 및 요소기술 기반 취약	- 다양한 소자/부품 공급자를 발굴하여 기술 종속 탈피 - 대용량 수소 활용분야에서 활용할 수 있도록 국산화 및 최적화 기술 개발 - 충전 프로토콜 국산화 개발 추진
수소 충전시설 설계 및 구축	수소충전 및 충전소 관련 요소기술들에 대한 국내시장형성이 이루어지지 않아 국내 기업들의 해당 제품에 대한 개발노력이 미진함에 따라 해외의존도가 높음	수소충전 및 충전소 관련 국내 타 연구개발사업 추진기관과 협력하여 국내 기업이 개발한 해당 요소기술의 현장적용성 평가를 추진하고 이를 통하여 관련 품질규격(안) 도출
철도용 수소충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발	신기술의 적용에 따른 철도시설 기술기준이 마련되어 있지 않음	기존 수행한 국가 R&D 결과를 활용하여 철도시설 기술기준(안) 구축

(3) 기존 사업과의 차별성 및 연계성

[표 170] 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업의 기존 사업과의 차별성 및 연계성

	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
1	수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~`22.12.)	- 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 시스템 엔지니어링 - 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 - 시험차량 설계 및 제작 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준(안) 및 성능검증 - 수소 충전소 구축 및 테스트베드(T/B) 운영방안	(차별성) 선행과제에서는 35MPa로 수소전 기동차 시험차량을 위한 임시수소충전소로 구축 운영되었으나, 본 과제에서는 수소철도차량을 위한 충전압 70MPa 이상, 충전속도 50kg/15분 이상의 목표로 기술 개발 추진 (차별성) 선행과제에서는 수소전기동차 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 마련되어 있지 않았으나, 본 과제에서는 각종 평가 기준, 안전기준, 기술 및 충전방법 등이 포함된 추가안전기준(안)을 도출하고, 향후 실증 데이터 수집 및 분석을 통한 기술기준(안) 마련 예정

제6장

과제공모 방안(RFP)

제1절 : 수소전기동차 실증사업

제2절 : 수소전기기관차 핵심기술 개발사업

제3절 : 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업

제6장 과제공모 방안(RFP)

제1절 : 수소전기동차 실증사업

연구개발과제명	수소전기동차 실증
1. 연구개발목표	□ 비전철화 노선에서 운행 중인 디젤철도차량을 수소전기동차로 대체하는 실증사업으로 시스템 안전성과 효율성을 검증하고 성능개선으로 상용화 추진 ○ 실증노선 운행을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 고시 및 운영 인프라 구축 - (목표사양) 수소전기동차(출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 600km 이상, 철도차량 형식승인), 검수고 및 충전 인프라
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 필요성 ○ 국내 최초로 도입되는 수소전기동차를 상용화하기 위해서는 관련 규제/법령 정비와 비전철화 구간 등의 시범노선 운행 실적 및 데이터를 확보할 수 있는 정부 지원 사업 필요 ○ 수소 철도 분야는 시장 형성 초기 단계로 국내에서 보유한 세계 최고 수준의 수소연료전지 기술과 2차전지 기술을 바탕으로 대용량 응용 분야인 철도의 수소전기동차 실증 국가 R&D를 통하여 핵심기술 및 운행데이터를 확보하고 해외 시장에 진출하기 위한 교두보 마련을 위해 정부 지원 필요 ○ 2015년 기후변화체제로 파리협정을 채택하면서 모든 국가가 자국의 상황을 반영하여 참여하는 보편적인 체제가 마련되어 국가별 온실가스 감축목표를 5년 단위로 제출하고 이행토록 하고 있어 철도 분야 탄소중립 실현을 위한 디젤철도차량의 대체 차량 기술개발에 대한 정부 지원 필요 ○ 정부가 추진 중인 수소경제 활성화를 위해 모빌리티 분야의 수소전기동차 핵심기술 실용화가 필요하며, 전장품 핵심기술의 국산화를 통해 국내 수소 산업 생태계 조성 및 수소경제 활성화 정책에 따른 경제적 효과의 환수 필요 ○ 국내 전기 사용량 증가에 따라 전기철도차량 중심의 철도 분야 전력 사용에 대한

부담이 예상되며, 운영기관의 전철전력설비 유지보수 비용 부담이 가중됨에 따라 대안이 될 수 있는 독립전원방식 수소전기동차 실증에 정부 지원이 필요하며 철도수송 분담률 제고에도 이바지할 것임

- 국내 철도제조업은 수출과 수입량이 적고, 국내 생산으로 국내 수요를 충당하는 자급 자족적 산업의 성격을 보이며, 이에 따라 신기술 개발에 대한 잠재력이 낮아 국가 주도의 R&D 사업 추진 필요
- 수소철도차량은 국내 최초 개발 및 도입을 검토 중으로 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 받아야 함에 따라서, 국가 R&D를 통한 차량개발과 함께 기술기준(안) 마련을 동시에 진행하여, 신규로 개발되는 수소철도차량 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증 추진 필요
- 민간에서 수행하기 어려운 다양한 조건의 사양 검토, 개발 기술 적용, 운영 및 주행 데이터 확보 및 장기간에 걸친 검증 등 국가 R&D 추진을 위한 중장기 투자 필요

□ 기술동향

○ 국내 동향

- 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 과제 완료(한국철도기술연구원, 우진산전 등)
- '21년 한국철도기술연구원은 세계 최초로 동력집중식 철도차량에 액화수소를 적용하는 연구 착수
- 민간주도 '21년 산업부의 해외수출형 수소전기트램 실증사업으로 핵심부품 기술개발 진행 중



< 수소전기동차 >



< 액화수소 적용 수소철도 >



< 수소전기트램 >

○ 국외 동향

- (프랑스) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년 수소연료전지 기술 기반 무공해 여객열차 Coradia iLint 개발
- * '18.9월 독일에서 세계 최초 영업 운행 시작 이후 네덜란드, 오스트리아 등 유럽 각국에서 도

입 진행 중

- (독일) Siemens社は 최첨단 구동 시스템을 갖춘 수소철도차량 Mireo Plus H 프로젝트 진행 중
 - * 2량 1편성 기준, 최고속도 160km/h, 최대 800km 주행 가능 (3량 1편성의 경우 최대 1,000km 주행)
- (영국) Poterbrook社は 버밍엄 대학교와 협업을 통해 기존 Class 319 열차에 수소연료전지를 장착한 수소열차 HydroFLEX 개발
 - * 최대주행거리 300마일, 최대시속 100mph로 설계되었으며, '21.9월 50mph의 속도로 테스트 운행 완료
- (스페인) CAF 컨소시엄과 TALGO社에서 수소철도차량 개발 및 테스트 실행
 - * CAF 컨소시엄에서 FCH2Rail 프로젝트를 통해 Renfe社の 통근열차 Civia 기반의 수소열차 개발. 기존 팬터그래프 시스템과 수소연료전지의 Bi-mode 열차로 개발
 - * TALGO社에서 최고속도 160km/h, 최대 800km 주행할 수 있는 통근열차 Vittal-One 수소열차 테스트 수행
- (중국) '19.7월 Foshan시에 시계 최초로 수소연료전지와 슈퍼 커패시터 하이브리드 방식의 수소트램 운영을 시작하였으며, 최대속도 70km/h, 1회 충전 시 125km 주행 가능
- (일본) '01년부터 RTRI에서 세계 최초로 수소철도 연구를 시작하여 관련 기술 확보하였고, '22년 JR East, Toyota, Hitach는 수소열차 Hybari의 시범 운행 개시
 - * 최대속도 100km/h, 1회 충전시 최대 140km 주행 가능하며, 60kW×4의 수소연료전지와 70MPa 수소저장탱크 사용
- (미국) 스위스 Stadler社の 수소열차인 FLIRT H2를 도입하여 '24년부터 운행 예정



< 프랑스 >



< 독일 >



< 영국 >



< 스페인 >



< 일본 >



< 미국 >

□ 정책동향

○ 국내동향

- 수소경제 활성화 로드맵 ('19.1.17./관계부처 합동)

구분	1단계(2022년)	2단계(2025년)	3단계(2030년 이후)
기술 목표	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	실증을 통한 기술검증 및 성능개선	디젤열차를 수소 열차로 대체하는 등 보급 확대

- 수소 기술개발 로드맵 ('19.10.31./관계부처 합동)

- * 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술개발/적용, 철도차량.건설기계.선박용 연료전지 파워팩 기술개발 추진

- 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률 ('20.02.04.)

- * 수소경제 이행 촉진을 위한 기반 조성 및 수소산업의 체계적 육성 도모, 국무총리 소속 수소 경제위원회 구성

- 제4차 국가철도망 구축계획 ('21-'30)

- * 완료 시점 기준 전철화율은 78.3%로 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원 방식 친환경 철도차량 필요

- 정부 2050 탄소중립 시나리오 ('21.10.18./관계부처 합동)

- * '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표의 이정표로 수송부문에서 남아있는 디젤 철도차량을 무탄소 동력(전기.수소)철도로 100% 전환 포함

- 국토교통 탄소중립 로드맵 ('21.12.)

- * (철도중심 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대('19: 72.9% → '30: 78.3%)하고, 쏘 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(~'29)
- * 중형 기관차급 수소열차(1.2MW, ~'22), 무궁화호급 수소기관차(3MW, '23~) 등 친환경 수소 열차 개발·실증

- 윤석열 정부 120대 국정과제 ('22.07.27.)

- * 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환'
- * 88번 '미세먼지 걱정 없는 푸른 하늘'

○ 국외동향

- (EU) 기후중립을 위한 수소전략을 발표하고, '50년까지 단계별 수소생산 및 활용에 초점을 둔 장기 계획 제시

- * "Hydrogen Roadmap Europe"에서 '50년까지 전체 에너지 소비의 24%를 수소로 대체하고, 그 중 교통수단이 30% 차지(570대의 디젤열차를 수소열차로 대체)

- (독일) 독일연방정부 국가수소전략의 "국가수소전략 이행 조치"에서 수소철도 투자 확대 및 지역 철도 수소 인프라 설치를 위한 조치 명시

- (일본) `50년까지의 계획을 담은 “수소기본전략” 수립하여 수소공급, 저장·운송, 활용 전 분야를 아우르는 정책목표 및 추진전략 수립
 - * 자동차를 포함한 선박, 트럭, 열차 등 전체 모빌리티의 저탄소화 추진을 위해 FCV(Fuel Cell Vehicle) 등의 보급 확대
- (미국) 에너지부(DOE)는 `20년 미국 수소 기술 부흥을 위한 목표 및 방향성을 제시한 “수소 프로그램 계획(Hydrogen Program Plan)”을 발표
 - * 수소생산, 운송, 저장, 에너지전환 등 부문별 주요 기술개발 내용 및 추진계획을 제시하였으며, 특히 청정수소 생산단가를 \$5/kg에서 10년 내 \$1/kg로 80% 감소 목표 제시
- (중국) “수소에너지 산업 발전 중장기 계획(`21~`35)”를 발표하며 향후 수소에너지 관련 목표 설정
 - * 수소연료전지차 뿐만 아니라 선박, 철도 및 기타 분야에서 수소연료전지의 응용을 모색하고, 대형 수소에너지 항공기의 R&D 추진

3. 연구개발 내용

□ (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발

○ 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술개발

- 수소연료전지-2차전지 시스템 사양 선정 및 최적 설계
- 주요 전장품 사양 선정, 설계 및 주요 소자 용량계산서 도출
- 전장품 검수 편의성 및 소형·경량화를 위한 기기 배치 개선설계
- 전장품 EMI/EMC 개선 및 인터페이스 검토
- 수소연료전지 동력시스템 제작 및 동작시험 검증·보완
- 주요 전장품 제작 및 동작시험 검증·보완
- 구성품 형식승인(부품시험, 구성품시험)
- 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 완성차 연계 동작시험
- 구성품 형식승인(완성차시험)

○ 수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술개발

- 수소전기동차 요구사항 분석 및 도출
- 수소전기동차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 산출·검토
- 수소전기동차 User I/F(HMI, 운전대) 최적화 개선설계
- 장치 간 기기 배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정
- 실증용 수소전기동차 상세 설계, 주요 부품 발주

- 실증차량 차체, 대차, 기타 부품 제작 및 검증
- 의장, 기장/제동, 전장 일부 등 완성차 조립 시작
- 수소연료전지 동력계 및 주요 전장품 취부 절차 확립
- 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 차량 취부 및 인터페이스 검증
- 실증차량 조립 및 편성 완료
- 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험)

< 핵심기술 1 연구목표 >

- 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - 통합 1.2MW 이상 동력시스템 구성(400kW급 수소연료전지파워팩 국산화)
 - 회생에너지 회수율 : 99% 이상
- 고내구성 수소저장용기 모듈 구성
 - 수소탱크 압력 : 700bar 이상
 - 수소저장용량 : 166kg 이상 (1편성, 1회 충전 주행거리 600km 이상 확보)
- 전장품 고효율/소형, 경량화 개발
 - DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상
 - 추진인버터 용량 : 견인전동기 개당 300kW 이상 구동
 - 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율(THD) : 5% 이하
- 실증차량 제작 및 형식승인완료(예비주행 5,000km)
 - 설계최고속도 165km/h 이상, 운행최고속도 150km/h 이상
 - 1회 충전 주행거리 600km 이상(운영패턴, 하중 고려 주행거리)
 - 예비주행 5,000km 이상
 - 형식승인 완료

□ (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발

- 수소전기동차 시스템 엔지니어링
 - 장치 간 인터페이스 및 제어로직 설계
 - 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계
 - 에너지 제어기술 개발 및 모의환경 기반 검증
 - 에너지관리시스템 설계 및 제작
 - 에너지 제어기술 알고리즘 탑재 및 동작 확인

- 조합시험을 통한 수소연료전지 동력시스템-전장품 연계 에너지 제어기술 검증
- 에너지관리시스템 차량탑재 및 인터페이스 확인
- 실증차량 운영을 통해 에너지 제어기술 성능검증

○ 철도차량/철도시설 기술기준 고시

- 수소전기동차 철도차량 임시기술기준 제정
- 수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준 설계/검토
- 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 수립
- 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발
- 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 개발
- 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안
- 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안
- 철도차량/철도시설 기술기준 의견수렴 및 보완·확정
- 수소전기동차 기술검증 및 성능평가 체계 개선

< 핵심기술 2 연구목표 >

- 에너지관리시스템 제작 및 성능검증
 - 차량 동작 상태별 에너지 흐름 제어
- 수소전기동차 철도차량 기술기준
 - 임시기술기준 제정 및 기술기준 고시
- 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준
 - 기술기준 고시

□ (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발

○ 수소전기동차 검수시설 구축

- 수소전기동차 검수시설 요구사항 분석 및 기본설계
- 수소전기동차 검수시설 상세설계 및 구축
- 수소전기동차 검수 인프라 운영

○ 수소철도용 수소충전소 구축

- 철도용 수소 충전시설 요구사항 분석 및 도출
- 수소 충전시설 구축을 위한 규제/법령 검토
- 수소 충전시설 기본설계
- 수소 충전시설 상세설계 및 구축(규제샌드박스)
- 철도용 수소 충전시설 사업개시 및 시운전

○ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발

- 실증차량/인프라 운영기술 분석 및 요구사항 도출
- 실증차량/인프라 유지보수 기술조사
- 실증차량/인프라 유지보수 대상부품 사양도출
- 실증차량/인프라 유지보수 요소기술 개발
- 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기준(안) 및 관리방안
- 사업화 전략 도출

< 핵심기술 3 연구목표 >

- 수소전기동차 검수시설 구축 및 운영
- 철도용 수소 충전시설 구축 및 사업개시
 - 충전압 : 700 bar, 충전속도 : 25kg/15분 이상
- 수소전기동차 및 충전시설 운영 및 유지보수 매뉴얼
 - 사업화 전략 보고서 도출

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 정량적 연구목표 및 성능 수준 등 제시

- 연구목표* 수립 및 설정근거를 제시하고, 연차별 세부 추진전략, 일정계획, 핵심 성과, 기술로드맵(TRL 반영) 제시
 - * 연구목표는 정량적으로 제시, (예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상 등
- 연차별 달성목표(마일스톤)을 구체적으로 제시하고 달성여부를 확인할 수 있는 검증방안 제시

- 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 나타나도록 성과로드맵 및 연차별 성과지표 제시
- 기존에 수행되었거나, 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시
 - 각 핵심기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료 혹은 진행 중인 관련 국가연구개발 사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시
- 정부 및 예상수요기관 등의 의견수렴과 유기적 협조체계를 구축하여 연구개발성과의 실용화 가능성 제고
 - 본 과제 연구개발 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 파악하여, 지속적으로 협업하는 체계를 구축하고, 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견 수렴
- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행, 내부 자체 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
 - 주요 최종성과물의 모든 장치, HW, SW 성과물 등은 반드시 공인시험기관이 발행한 시험성적서로 성능 검증 필요
- 단계별 평가시 대·내외 기술, 시장 여건변화 등을 고려한 연구목표 적정성 검토 및 필요시 연구목표 조정

□ 추진체계

- 본 연구개발과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행
 - 주관연구개발기관(핵심기술 1)은 개발 기술간 연계·활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성하고 연구개발과제의 총괄 역할을 수행
 - 연구책임자는 역할 분담의 필요성 및 명확성 등을 고려하여 공동연구개발기관(핵심기술 2, 3)과의 협의를 통해 구체적인 연구개발계획을 수립하고, 전체 연구개발과제를 책임지고 진행·관리
- * 주관연구기관 및 공동연구개발기관 등은 본 사업 특성상 연구개발과제의 효율적인 성과물 도

출을 위해 수행기관과 전문기관 및 주무부처의 협의 하에 선행 사업의 수행내용과 성과물을 활용하여 추진

- 컨소시엄 구성시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - * 연구개발기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며, 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단 될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 세부과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회를 구성하여 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종성과물

☐ (핵심기술 1) 수소전기동차 제작 및 형식승인

- 핵심 구성품(수소연료전지-2차전지 동력시스템, 수소저장용기, 전장품) 시제품 및 성능시험 성적서
- 수소전기동차 실증차량
 - 출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 600km 이상
- 수소전기동차 형식승인 결과

☐ (핵심기술 2) 수소전기동차 실용화 기술개발

- 장치간 인터페이스 등 차량시스템 엔지니어링 결과보고서
- 에너지관리시스템 시제품 및 성능시험 성적서
- 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준
- 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준

□ (핵심기술 3) 수소철도 운영 인프라 기술개발

- 수소전기동차 검수시설
- 수소전기동차 수소충전시설
- 수소전기동차 운영시나리오 및 유지보수 매뉴얼

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 정부의 '19.01. 「수소경제 활성화 로드맵」에 따라 수립된 철도 분야 수소 기술 개발 로드맵 달성을 위한 기술 확보
 - 수소열차에 대해 '30년까지 3단계로 디젤열차를 대체하는 등의 보급 확대 진행 계획으로 본 과제는 수소 동력 철도차량 운영방안의 일환으로 수소전기동차 핵심기술 개발 및 실증을 달성할 수 있도록 추진
- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 더불어 국내에서 보유하고 있는 세계 수준의 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 기술을 바탕으로 철도차량 적용 기술개발 및 시장 선점을 통하여 해외로 기술 수출을 추진하고 철도차량 수소연료전지 적용 기술 선도국가로 발돋움 가능

□ 기대효과

- 전량 수입에 의존하고 있는 내구연한 도래 노후 디젤동차를 수소전기동차로 대체 시 수입 대체에 따른 경제적 파급효과가 높음
 - * '21년 철도통계연보 기준 디젤동차(기대수명 20년, 도입단가 9억/량)는 보유 121량 전량이 내구연한에 도래되어 총 1,089억원 규모의 수입 대체 효과 기대
- 신규노선 적용 시 철도 구축비용 중 높은 비율을 차지하는 전력인프라 구축/유지

보수비*가 절감되고 내연기관 대비 높은 에너지효율*을 갖는 수소 에너지 활용으로 에너지비용 절감

* 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km,
KDI 공공투자관리센터(2015.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」

* 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%
에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소연료 6,000원/kg 기준)

- 수소철도차량으로 디젤철도차량(기관차, 동차) 대체 시 대기오염물질 저감효과 기대
- 공공교통수단인 철도에 지속적으로 친환경 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수소 활용 분야 확대
- 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 수소전기동차 핵심기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과
- 철도 분야 수소 산업 생태계 구축에 따른 관련 분야 전문 인력양성

7. 연구개발기간 및 연구개발비

□ 총 연구개발기간 : '24.4. ~ '26.12. (2년 9개월)

- 1차년도 연구개발 기간 : '24.4. ~ '24.12. (9개월)
- 2차년도 연구개발 기간 : '25.1. ~ '25.12. (12개월)
- 3차년도 연구개발 기간 : '26.1. ~ '26.12. (12개월)

□ 총 정부지원연구개발비 : 23,000 백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 7,000백만원 이내
- 2차년도 정부지원연구개발비 : 8,000백만원 이내
- 3차년도 정부지원연구개발비 : 8,000백만원 이내

※ 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」('22.3.) 및 관련 국토교통 R&D 규정에

따라 관리 됨

- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임
- 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무 등에 따라 연구개발기관 및 연구개발기관의 장은 적극 협조하여야 함
 - 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무는 다음과 같음
 - ▶ 총괄연구개발과제 및 연관되어 추진되는 연구개발과제의 수행·운영·관리, 성과·진도관리, 정산, 자체평가, 중간·단계·최종평가, 성과의 활용 등을 위한 업무, 사후관리, 예산조정 및 컨소시엄 간의 역할 배분 등에 관한 사항
 - ▶ 연구개발성과 사업화, 지적재산권·정보관리 등 지원, 사업성과 관리 및 국가연구개발사업 조사·분석·평가 관련업무 협조
 - ▶ 당해 사업 연구개발성과 보급·확산 및 홍보와 대외 업무 대응
 - ▶ 국토교통부에서 실시하는 정책의 기술자문 및 업무협조,
 - ▶ 인력양성, 국제협력 등 인프라 조성 업무 등 그 밖에 해당 사업의 효율적 추진을 위하여 필요한 사항 등
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - * www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - * 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수

있는 체계 제시

* (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

* 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시

- 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음

* 필수지표는 반드시 반영해야 하는 성과지표임

- 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시

* “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목*
1 (필수 지표)	특허등급 (지수)	· 특허등급지수 BBB이상 특허등록(건) * 한국발명진흥회 SMART 평가 'BBB' 등급 이상	· 지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4 (필수 지표)	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	—
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	· 신기술지정 · 기술및제품인증
		· 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목*
7	참여기업의 청년인력 신 규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기 간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준 으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채 용	· 고용창출
8	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점
검 회의 등 수행 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술
개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개
발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수
있음
 - 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발계획
에 제시해야 함
 - 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



제2절 : 수소전기기관차 핵심기술 개발사업

연구개발과제명	친환경 수소전기기관차 기술개발
1. 연구개발목표	□ 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 대체하여 비전철화 구간 및 혼합구간에서 승객과 화물을 운송할 수 있는 독립전원방식 친환경 수소전기기관차 기술개발로 철도 분야 탄소중립 실현 ○ 친환경 수소전기기관차 핵심기술 개발 및 안전성 평가체계 구축 – (목표사양) 출력 3MW 이상(디젤기관차 2.76MW), 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 주행거리 1,000km 이상(디젤기관차 기준)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 필요성 ○ 수소 철도 분야는 시장 형성 초기 단계로 국내에서 보유한 세계 최고 수준의 수소연료전지 기술과 2차전지 기술을 바탕으로 대용량 응용 분야인 철도의 수소전기기관차 기술개발 국가 R&D를 통하여 핵심기술 및 운행데이터를 확보하고 해외 시장에 진출하기 위한 교두보 마련을 위해 정부 지원 필요 ○ 2015년 기후변화체제로 파리협정을 채택하면서 모든 국가가 자국의 상황을 반영하여 참여하는 보편적인 체제가 마련되어 국가별 온실가스 감축목표를 5년 단위로 제출하고 이행토록 하고 있어 철도 분야 탄소중립 실현을 위한 디젤철도차량의 대체 차량 기술개발에 대한 정부 지원 필요 ○ 정부가 추진 중인 수소경제 활성화를 위해 모빌리티 분야의 수소전기기관차 핵심기술 확보가 필요하며, 수입에 의존하고 있는 기관차 전장품 핵심기술의 국산화를 통해 국내 수소 산업 생태계 조성 및 수소경제 활성화 정책에 따른 경제적 효과의 환수 필요 ○ 국내 전기 사용량 증가에 따라 전기철도차량 중심의 철도 분야 전력 사용에 대한 부담이 예상되며, 운영기관의 전철전력설비 유지보수 비용 부담이 가중됨에 따라 대안이 될 수 있는 독립전원방식 수소전기기관차 기술개발에 정부 지원이 필요하며 철도수송 분담률 제고에도 이바지할 것임 ○ 국내 철도제조업은 수출과 수입량이 적고, 국내 생산으로 국내 수요를 충당하는 자급 자족적 산업의 성격을 보이며, 이에 따라 신기술 개발에 대한 잠재력이 낮아 국가 주도의 R&D 사업 추진 필요 ○ 수소철도차량은 국내 최초 개발 및 도입을 검토 중으로 국내 운영을 위해서는 반

드시 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 받아야 함에 따라서, 국가 R&D를 통한 차량개발과 함께 기술기준(안) 마련을 동시에 진행하여, 신규로 개발되는 수소철도차량 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증 추진 필요

- 민간에서 수행하기 어려운 다양한 조건의 사양 검토, 개발 기술 적용, 운영 및 주행 데이터 확보 및 장기간에 걸친 검증 등 국가 R&D 추진을 위한 중장기 투자 필요

□ 기술동향

○ 국내 동향

- 「수소연료전지 하이브리드 동력시스템(1.2MW이상)을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운영 기술개발」 국가 R&D 과제 완료(한국철도기술연구원, 우진산전 등)
- '21년 한국철도기술연구원은 세계 최초로 동력집중식 철도차량에 액화수소를 적용하는 연구 착수
- 민간주도 '21년 산업부의 해외수출형 수소전기트램 실증사업으로 핵심부품 기술 개발 진행 중



< 수소전기동차 >



< 액화수소 적용 수소철도 >



< 수소전기트램 >

○ 국외 동향

- (프랑스) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년 수소연료전지 기술 기반 무공해 여객열차 Coradia iLint 개발
 - * '18.9월 독일에서 세계 최초 영업 운행 시작 이후 네덜란드, 오스트리아 등 유럽 각국에서 도입 진행 중
- (체코) CZ LOKO社は '21.11월 입환용 수소기관차 Hydrogen Shunter 1000 개발 착수
 - * 최대 800kW 용량의 수소연료전지를 사용하며, 하이브리드 방식도 고려 중으로 현재는 타당성 검토 중
- (폴란드) PESA社は '21년 폴란드 국제 철도 전시회인 TRAKO에서 입환용 수소기관차 SM42-6Dn 전시

- * 85kW×2 수소연료전지와 180kW×4 견인전동기, 167kWh 용량의 배터리 탑재로 최고속도 90km/h 운행 가능
- (중국) `21.1월 최대견인하중 5,000톤, 설계시속 80km/h, 연속출력 700kW 및 연속 24.5시간 운행이 가능한 수소기관차를 개발하여 같은 해 10월부터 내몽골에서 시운전 진행 중
- (미국) `08년부터 BNSF社は 입환용 수소기관차 HH20B를 개발하였고, `21.12월 화물용 수소기관차 개발 착수를 위해 Caterpillar, Chevron社와 MOU 체결
 - * SERA社は `21.3월 캘리포니아 에너지 위원회로부터 400만 USD를 지원받아 기존 입환용 디젤기관차를 수소기관차로 개조하는 프로젝트 착수
- (캐나다) Canadian Pacific社は `20.12월에 수소연료전지 화물 기관차 H20EL 개발 착수 발표, 자사의 화물 기관차를 수소연료전지와 배터리로 동력 공급 장치를 개조하여 개발하였고, `22.1월부터 시험 운행 시작



< 프랑스 >



< 체코 >



< 폴란드 >



< 중국 >



< 미국 >



< 캐나다 >

□ 정책동향

○ 국내동향

- 수소경제 활성화 로드맵 (`19.1.17./관계부처 합동)

구분	1단계(2022년)	2단계(2025년)	3단계(2030년 이후)
기술 목표	수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발	실증을 통한 기술검증 및 성능개선	디젤열차를 수소 열차로 대체하는 등 보급 확대

- 수소 기술개발 로드맵 (`19.10.31./관계부처 합동)

- * 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술개발/적용, 철도차량.건설기계.선박용 연료전지 파워팩 기술개발 추진

- 수소경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률 ('20.02.04.)
 - * 수소경제 이행 촉진을 위한 기반 조성 및 수소산업의 체계적 육성 도모, 국무총리 소속 수소경제위원회 구성
- 제4차 국가철도망 구축계획 ('21-'30)
 - * 완료 시점 기준 전철화율은 78.3%로 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원 방식 친환경 철도차량 필요
- 정부 2050 탄소중립 시나리오 ('21.10.18./관계부처 합동)
 - * '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표의 이정표로 수송부문에서 남아있는 디젤 철도차량을 무탄소 동력(전기.수소)철도로 100% 전환 포함
- 국토교통 탄소중립 로드맵 ('21.12.)
 - * (철도중심 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대('19: 72.9% → '30: 78.3%)하고, 쏘 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(~'29)
 - * 중형 기관차급 수소열차(1.2MW, ~'22), 무궁화호급 수소기관차(3MW, '23~) 등 친환경 수소열차 개발·실증
- 윤석열 정부 120대 국정과제 ('22.07.27.)
 - * 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환'
 - * 88번 '미세먼지 걱정 없는 푸른 하늘'

○ 국외동향

- (EU) 기후중립을 위한 수소전략을 발표하고, '50년까지 단계별 수소생산 및 활용에 초점을 둔 장기 계획 제시
 - * “Hydrogen Roadmap Europe”에서 '50년까지 전체 에너지 소비의 24%를 수소로 대체하고, 그 중 교통수단이 30% 차지(570대의 디젤열차를 수소열차로 대체)
- (독일) 독일연방정부 국가수소전략의 “국가수소전략 이행 조치”에서 수소철도 투자 확대 및 지역 철도 수소 인프라 설치를 위한 조치 명시
- (일본) '50년까지의 계획을 담은 “수소기본전략” 수립하여 수소공급, 저장·운송, 활용 전 분야를 아우르는 정책목표 및 추진전략 수립
 - * 자동차를 포함한 선박, 트럭, 열차 등 전체 모빌리티의 저탄소화 추진을 위해 FCV(Fuel Cell Vehicle) 등의 보급 확대
- (미국) 에너지부(DOE)는 '20년 미국 수소 기술 부흥을 위한 목표 및 방향성을 제시한 “수소 프로그램 계획(Hydrogen Program Plan)”을 발표
 - * 수소생산, 운송, 저장, 에너지전환 등 부문별 주요 기술개발 내용 및 추진계획을 제시하였으며, 특히 청정수소 생산단가를 \$5/kg에서 10년 내 \$1/kg로 80% 감소 목표 제시
- (중국) “수소에너지 산업 발전 중장기 계획('21~'35)”를 발표하며 향후 수소에너지 관련 목표 설정
 - * 수소연료전지차 뿐만 아니라 선박, 철도 및 기타 분야에서 수소연료전지의 응용을 모색하고,

3. 연구개발 내용

□ (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발

- 대용량 고효율 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 사양 선정 및 설계
 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작
 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 시험 및 검증
 - 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 조합시험 및 검증
 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험
- 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술개발
 - 수소저장용기 사양 선정 및 기본설계
 - 수소저장용기 시스템 상세설계 및 제작
 - 수소저장용기 시스템 시험 및 성능검증
 - 수소저장용기 시스템 차량 탑재 및 인터페이스 검증
 - 수소저장용기 시스템 완성차시험
- 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술 개발
 - 에너지 제어기술 개발
 - 에너지제어시스템 설계 및 제작
 - 에너지관리시스템 제작 및 검증시험
 - 에너지제어시스템 조합시험
 - 에너지제어시스템 완성차시험 및 실증
- 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술개발
 - 전장품 사양 선정 및 설계
 - 전장품 상세설계 및 제작
 - 전장품 자체 시험을 통한 검증 및 보완, 구성품 시험
 - 전장품 조합시험

- 시험차량 연계 완성차시험 및 실증

< 핵심기술 1 연구목표 >

- 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 개발
 - 통합 3MW 이상 동력시스템 개발 (개별 모듈당 300kW 이상의 수소연료전지 국산화)
 - 회생에너지 회수율 : 99% 이상
- 모듈형 수소저장용기 최적화 기술 개발
 - 수소탱크 압력 : 700bar 이상
 - 수소 잔량 정밀 계산 알고리즘
- 수소전기기관차 에너지 운영기술 개발
 - 전력분배 제어 및 주행가능거리 예측
- 전장품 소형/경량화/고효율화 기술
 - DC/DC 컨버터 최대효율 : 95% 이상
 - 추진제어장치 효율 : 95% 이상
 - 추진제어장치 출력 : 410kW 이상
 - 견인전동기 연속정격 : 390kW 이상
 - 보조전원장치 효율 : 90% 이상
 - 보조전원장치 계통연계 출력전류 전고조파왜율(THD) : 5% 이하

□ (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증

- 시험차량 설계, 제작, 완성차시험 및 시운전시험
 - 시험차량 기본설계
 - 시험차량 상세설계 및 주행안전성 검토
 - 시험차량 부품 제작
 - 시험차량 부품 조립 및 구성품 탑재
 - 시험차량 성능검증

< 핵심기술 2 연구목표 >

○ 수소전기기관차 시험차량

- 출력 : 3MW 이상 (4,000HP)
- 동력 구성 : 연료전지 1MW / 배터리 2MW
- 1회 충전 주행거리 : 1,000km 이상
- 운행최고속도 : 150km/h 이상 (설계최고속도 165km/h 이상)

□ (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

○ 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발

- 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계
- 기술기준(안) 설계 검토
- 기술기준(안) 개발
- 기술기준(안) 의견수렴 및 보완
- 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 최종도출

○ 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발

- 수소전기기관차 RAMS 목표 설정 기술 개발
- 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발
- 수소전기기관차 안전성 평가 및 RAMS 인증 지침 개발
- 수소전기기관차 RAMS 평가
- 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발

< 핵심기술 3 연구목표 >

○ 수소전기기관차 기술기준

- 기술기준(안) 도출
- 주요 구성품/철도차량 성능검증 체계 수립

○ RAMS 인증 지침 및 예비 평가

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 정량적 연구목표 및 성능 수준 등 제시
 - 연구목표* 수립 및 설정근거를 제시하고, 연차별 세부 추진전략, 일정계획, 핵심성과, 기술로드맵(TRL 반영) 제시
 - * 연구목표는 정량적으로 제시, (예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상 등
 - 연차별 달성목표(마일스톤)을 구체적으로 제시하고 달성여부를 확인할 수 있는 검증방안 제시
- 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 나타나도록 성과로드맵 및 연차별 성과지표 제시
- 기존에 수행되었거나, 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진
 - 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시
 - 각 핵심기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료 혹은 진행 중인 관련 국가연구개발 사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시
- 정부 및 예상수요기관 등의 의견수렴과 유기적 협조체계를 구축하여 연구개발성과의 실용화 가능성 제고
 - 본 과제 연구개발 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 파악하여, 지속적으로 협업하는 체계를 구축하고, 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진
 - 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행
 - 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견 수렴
- 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행, 내부 자체 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출
 - 주요 최종성과물의 모든 장치, HW, SW 성과물 등은 반드시 공인시험기관이 발행한 시험성적서로 성능 검증 필요
- 단계별 평가시 대·내외 기술, 시장 여건변화 등을 고려한 연구목표 적정성 검토 및 필요시 연구목표 조정

□ 추진체계

- 본 연구개발과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공
모로 진행
 - 주관연구개발기관(핵심기술 1)은 개발 기술간 연계·활용, 최종 연구개발성과물
의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성하고 연구개발과제의 총괄 역할을 수
행
 - 연구책임자는 역할 분담의 필요성 및 명확성 등을 고려하여 공동연구개발기관
(핵심기술 2, 3)과의 협의를 통해 구체적인 연구개발계획을 수립하고, 전체 연구
개발과제를 책임지고 진행·관리
 - * 주관연구기관 및 공동연구개발기관 등은 본 사업 특성상 연구개발과제의 효율적인 성과물 도
출을 위해 수행기관과 전문기관 및 주무부처의 협의 하에 선행 사업의 수행내용과 성과물을
활용하여 추진
- 컨소시엄 구성시 과다한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추
진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - * 연구개발기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며, 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단
될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관
이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·
정책적 보완사항 확인 및 반영
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류
활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출
연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등
을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차
별화 방안 모색 추진
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계
제시
- 각 세부과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회를
구성하여 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종성과물

□ (핵심기술 1) 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발

- 모듈형 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 시스템 시제품
- 에너지관리시스템 시제품
- 구성품 성능시험 성적서

□ (핵심기술 2) 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증

- 수소전기기관차 시험차량
 - 출력 3MW 이상, 1회 충전 주행거리 1,000km 이상, 최고속도 150km/h 이상
- 시험차량 성능검증 결과(시운전시험 5,000km 이상)

□ (핵심기술 3) 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발

- 수소전기기관차 기술기준(안)
- RAMS 평가 결과

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 정부의 '19.01. 「수소경제 활성화 로드맵」에 따라 수립된 철도 분야 수소 기술 개발 로드맵 달성을 위한 기술 확보
 - 수소열차에 대해 '30년까지 3단계로 디젤열차를 대체하는 등의 보급 확대 진행 계획으로 본 과제는 수소 동력 철도차량 운영방안의 일환으로 수소전기기관차 핵심기술 개발을 달성할 수 있도록 추진
- 철도차량 적용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 설계기술 확보를 통한 국가 경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 더불어 국내에서 보유하고 있는 세계 수준의 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 기술을 바탕으로 철도차량 적용 기술개발 및 시장 선점을 통하여 해외로 기술 수출을 추진하고 철도차량 수소연료전지 적용 기술 선도국가로 발돋움 가능

□ 기대효과

- 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 친환경 수소전기기관차로 대체 시 수입 대체에

따른 경제적 파급 효과가 높음

* '22년 KORAIL 발주 단가(87억/량) 기준으로 보유 중인 디젤기관차 236량 교체 시 총 20,532 억원 수입 대체 효과

○ 전력인프라 구축 비용* 및 유지보수 비용이 절감되고 수소의 높은 에너지효율**로 운영기관의 에너지비용도 절감 가능

* 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km,
KDI 공공투자관리센터('15.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」

* 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36%
에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/kg 기준)

○ 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원방식 수소전기기관차 기술 확보 가능

* 제4차 국가철도망 구축계획('21~'30) 완료 시에도 전철화율 78.3%로 비전철화 구간 존재

○ 디젤철도차량(기관차, 동차)을 수소철도차량으로 대체 시 대기오염물질* 감소 효과 기대

* '18년 기준 디젤철도차량(기관차, 동차) 대기오염물질 배출은 직접배출(PM10, PM2.5) 724톤/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 9,320톤/년

○ 공공 수송 수단인 철도 부문에 수소 철도를 도입함으로써 청정에너지 수소를 대형 모빌리티 분야로 활용 확대 견인

○ 북방철도, 대륙철도와 같이 전력인프라가 서로 다른 구간이나 전력 설비가 열악한 구간을 운행하는 것이 가능

○ 우리나라는 높은 에너지 소비국이자 에너지 빈곤국으로 수소에너지로의 전환으로 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능

○ 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 수소전기기관차 핵심기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과

○ 철도 분야 수소 산업 생태계 구축에 따른 관련 분야 전문 인력양성

7. 연구개발기간 및 연구개발비

□ 총 연구개발기간 : '24.4. ~ '28.12. (4년 9개월)

○ 1차년도 연구개발 기간 : '24.4. ~ '24.12. (9개월)

○ 2차년도 연구개발 기간 : '25.1. ~ '25.12. (12개월)

○ 3차년도 연구개발 기간 : '26.1. ~ '26.12. (12개월)

○ 4차년도 연구개발 기간 : '27.1. ~ '27.12. (12개월)

○ 5차년도 연구개발 기간 : `28.1. ~ `28.12. (12개월)

□ 총 정부지원연구개발비 : 28,900 백만원 이내

○ 1차년도 정부지원연구개발비 : 3,000백만원 이내

○ 2차년도 정부지원연구개발비 : 6,013백만원 이내

○ 3차년도 정부지원연구개발비 : 10,175백만원 이내

○ 4차년도 정부지원연구개발비 : 5,087백만원 이내

○ 5차년도 정부지원연구개발비 : 4,625백만원 이내

※ 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

○ 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」(’22.3.) 및 관련 국토교통 R&D 규정에 따라 관리 됨

○ 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임

○ 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무 등에 따라 연구개발기관 및 연구개발기관의 장은 적극 협조하여야 함

－ 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무는 다음과 같음

- ▶ 총괄연구개발과제 및 연관되어 추진되는 연구개발과제의 수행·운영·관리, 성과·진도관리, 정산, 자체평가, 중간·단계·최종평가, 성과의 활용 등을 위한 업무, 사후관리, 예산조정 및 컨소시엄 간의 역할 배분 등에 관한 사항
- ▶ 연구개발성과 사업화, 지적재산권·정보관리 등 지원, 사업성과 관리 및 국가연구개발사업 조사·분석·평가 관련업무 협조
- ▶ 당해 사업 연구개발성과 보급·확산 및 홍보와 대외 업무 대응
- ▶ 국토교통부에서 실시하는 정책의 기술자문 및 업무협조,
- ▶ 인력양성, 국제협력 등 인프라 조성 업무 등 그 밖에 해당 사업의 효율적 추진을 위하여 필요한 사항 등

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가

감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - * www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - * 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
 - 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
 - * 필수지표는 반드시 반영해야 하는 성과지표임
 - 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
 - * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목*
1 (필수 지표)	특허등급 (지수)	· 특허등급지수 BBB이상 특허등록(건) * 한국발명진흥회 SMART 평가 'BBB' 등급 이상	· 지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	· 법제도 제개정(건) · 정책채택(건) · 설계기준·시방서 제·개정(건)	· 법령반영 · 정책활용 · 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	· 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	· 사업화현황 · 매출실적
4 (필수 지표)	기술실시계약(건)	· 기술실시(이전)(건)	· 기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	· 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	—
6 (필수 지표)	인증(건)	· 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	· 신기술지정 · 기술및제품인증
		· 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	· 표준화(국내표준) · 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	· 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채용	· 고용창출
8	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점검 회의 등 수행 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술 개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발계획에 제시해야 함

- 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



제3절 : 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업

연구개발과제명	대용량 고속 수소충전소 기술개발
1. 연구개발목표	□ 빠르고 안전한 수소충전 기술개발을 통해 수소철도차량의 효율적 운영 및 수소경제 활성화 기반 마련 ○ 수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술 개발 및 수소충전소 구축 - (목표사양) 수소저장 1,000kg 이상, 수소충전량 500kg/day 이상, 충전속도 50kg/15분 이상
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	□ 연구개발 필요성 ○ 전 세계적인 기후변화를 적극 대응하기 위하여 2015년 UN 기후변화협약에서 채택한 '파리기후변화협약'에 따라, 세계 각국은 탄소배출 저감 목표를 달성하기 위해 노력 중임 ○ 철도 분야에서는 탄소배출 저감을 위하여 전 세계적으로 기존 디젤 철도차량을 대체하기 위한 친환경 수소 철도차량 개발을 활발히 추진하고 있으며 이런 새로운 친환경 수소 철도차량 시장을 활성화하기 위해 수소충전 시설이 반드시 필요함 ○ 현재 수소차(6kg/대)를 위한 고압(70MPa 이상) 기체 수소충전소 및 관련한 프로토콜이 개발되어 상용되고 있으나 그 이상의 대용량 고속 수소충전소는 아직 개발되지 않고 있으므로 친환경 수소 철도차량 전환을 위해 조속한 대용량 고속 수소충전 시스템 개발이 필요함 - 수소 철도차량 운영대수가 증가할 경우 충전지연에 따른 문제가 발생할 수 있기 때문에 빠른 충전이 가능한 기술을 개발·적용하여 수소 철도차량에서 발생할 수 있는 충전지연 해소 필요 - 하나의 충전노즐로 충전속도를 증가시킬 경우 인프라 비용이 증가하고, 유지보수 비용이 증가할 수 있어 이의 해결이 필요 ○ 충전시간을 단축하기 위해서는 수소충전소에서 여러 개의 충전노즐에서 동시에 수소 철도차량으로 수소를 공급해야 하고, 차량의 수소저장시스템에서도 다중 리셉터클이 적용되고 이를 제어해야하기 때문에 새로운 기술개발 필요함 - 특히, 다중 충전시 수소저장탱크의 안전에 대한 새로운 기준 개발이 필요하고,

□ 기술동향

○ (국내) '22년 9월 충북 오송에 수소철도차량용 임시수소충전소 구축

- 35MPa의 압력으로 신속하고 원활한 수소 충전이 가능하도록 설계
 - ▶ 고압수소충전기(41.3MPa), 수소저장용기(50MPa), 충전기(35MPa) 등으로 구성
 - ▶ 수소전기동차 시험차량과의 인터페이스 확인 및 단계적 충전시험을 거쳐 운영 시작
- 철도용 수소충전소는 국내외 기술기준이 아직 마련되지 않아 규제샌드박스 제도를 활용하여 충전시설 설치
 - ▶ 관련 업계·학계·유관기관 전문가로 안전관리위원회를 구성해 각종 평가기준, 안전기준, 기술 및 충전방법 등이 포함된 추가안전기준(안) 작성
 - ▶ 향후 실증 데이터 수집 및 분석을 통한 철도 분야 기술기준 제정 등을 마련

○ (국외) Alstom社は 독일 정부의 지원을 통해 '16년부터 수소연료전지 기술 기반 무공해 여객열차인 Coradia iLint 개발하여 '18.9월부터 세계 최초로 영업 운영을 시작하였으며, 수소철도의 원활한 운영을 위해 Linde社와 함께 수소충전소 구축 및 운영 시작

- 하루 충전 가능한 용량으로 총 4,590kg의 수소저장이 가능하며, Coradia iLint 수소열차 12편성(130kg/편성) 충전 가능



< K-수소철도 오송충전소 >



< Coradia iLint 수소충전소(Bremervörde, Germany) >

○ 수소차 보급이 확대됨에 따라 기체수소 저장방식의 수소충전소가 국내외에서 구축 및 운영이 되고 있으며, 향후 승용차보다 수소 사용량이 많은 상용차 보급이 확대하는데 필요한 액체수소 충전소 중심으로 수소충전 인프라 확대 전망

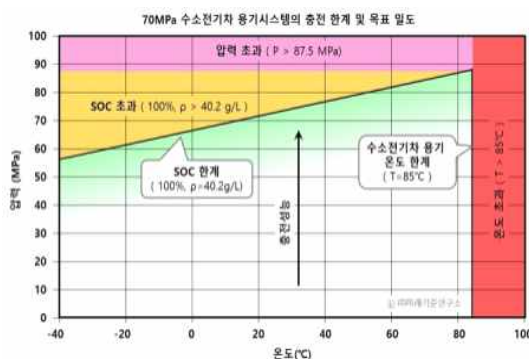
- (국외) 미국·일본·독일 등은 250개소 이상의 액체수소 충전소를 운영하는 등 액화수소를 중심으로 수소생태계 확장 중
- (국내) 두산에너지빌리티, SK E&S, 효성중공업은 국내 액화플랜트 준공을 통해 국내시장에 처음으로 연간 최대 4만톤 가량의 액화수소를 생산하는 플랜트를 구축할 예정이며, 이에 따라 정부는 액화충전소를 확대 보급*예정

* 액화충전소 보급목표(제5차 수경위, '22.11) : ('22) 0개소 → ('25) 40개소 → ('30) 70개소

구분	SK E&S	효성-린데	창원산업진흥원-두산에너지빌리티
생산규모	90톤/일 (3만톤/년)	15톤/일 (5,200톤/년)	5톤/일 (1,700톤/년)
설치지역	인천 (SK 인천석유화학 공장)	울산 (효성화학 용연3공장)	창원 (두산에너지빌리티 공장)
생산시기 (예정)	'23.10월	'23.12월	'23.上

○ 수소충전 프로토콜 현황

- 세계 최초로 미국의 SAE가 2010년에 수소 충전 프로토콜 기준인 SAE J2601 발표하였고, 개선 과정을 거쳐 현재 널리 적용되고 있으나, 충전속도는 25kg/15분 수준
 - ▶ 큰 용량의 충전을 위해 SAE 2601-2 및 SAE2601-30이 발표되었으나, 아직 개선 및 추가될 사항이 많음
- 일본은 경량 자동차용 SAE J2601을 기반으로 JPEC-S 0003 수소 충전 프로토콜을 발표하였고, 일반 고압가스 보안규칙과 관련 예시 기준(JPEC-S)을 적용하여 과충전 방지 시스템 구축



< SAE J2601 충전제한조건 >

外気温度 (°C)	目標圧力 上昇率 (MPa/min)	目標圧力 (MPa)								
		初期圧力 (MPa)								
		0.5	2	5	10	15	20	30	35	>35
>50	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	
50	5.1	38.7	38.8	38.4	38.2	38.0	37.9	37.2	36.4	充電不可
45	8.1	38.7	38.8	38.5	38.3	38.0	37.9	37.2	36.4	充電不可
40	11.5	38.8	38.7	38.5	38.3	38.1	38.0	37.1	36.4	充電不可
35	12.4	38.7	38.6	38.4	38.2	37.9	37.8	37.1	36.3	充電不可
30	15.0	38.5	38.4	38.2	37.8	37.5	37.4	36.4	35.7	充電不可
25	18.5	38.4	38.2	38.0	37.5	37.1	36.9	35.7	35.0	充電不可
20	21.8	38.2	38.1	37.7	37.2	36.8	36.4	35.0	34.3	充電不可
15	28.0	37.3	36.7	37.2	36.4	35.7	35.2	33.5	32.8	充電不可
10	28.5	36.7	36.1	36.4	35.4	34.5	34.0	32.0	31.3	充電不可
-10	28.5	36.3	36.8	36.0	34.7	33.3	32.7	30.8	30.1	充電不可
-20	28.5	36.0	36.5	35.7	34.4	32.8	31.6	30.0	29.3	充電不可
-30	28.5	35.5	36.1	35.4	34.0	32.5	31.2	29.5	28.8	充電不可
-40	28.5	35.3	35.9	35.1	33.8	32.3	31.1	29.4	28.7	充電不可
<-40	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	充電不可	

< JPEC-S 0003 록업 테이블 >

3. 연구개발 내용

□ (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발

○ 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전기술

- 고압 기체수소 충전 프로토콜 개념 설계
- 고압 기체수소 충전 프로토콜 설계 기술 개발
- 고압 기체수소 충전 프로토콜 시험
- 수소충전소 적용 및 검증

< 핵심기술 1 연구목표 >

- 대용량 고속 수소충전 기술
 - 수소충전속도 : 50kg/15분 이상
 - 수소저장용기 온도압력 제어
- 수소철도를 위한 충전 프로토콜 요구사항 도출

□ (핵심기술 2) 수소 충전인프라 구축

- 수소 충전시설 설계 및 구축
 - 수소충전소 사양 선정 및 기본설계
 - 수소충전소 상세설계 및 안전성 검토
 - 수소충전소 구축 및 성능시험
 - 수소충전소 운영 및 유지보수 방안 도출
- 철도용 수소 충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발
 - 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계
 - 수소충전소 기술기준(안) 설계 검토
 - 수소충전소 기술기준(안) 개발
 - 기술기준(안) 해설서 개발 및 최종 도출

< 핵심기술 2 연구목표 >

- 수소충전소 구축 및 사업개시
 - 수소저장 : 1,000kg / 수소충전량 : 500kg/day
- 수소철도용 수소충전시설 기술기준(안)
- 수소충전소 운영 및 유지보수 매뉴얼

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 정량적 연구목표 및 성능 수준 등 제시

- 연구목표* 수립 및 설정근거를 제시하고, 연차별 세부 추진전략, 일정계획, 핵심 성과, 기술로드맵(TRL 반영) 제시

* 연구목표는 정량적으로 제시, (예) 기존 대비 00% 비용절감, 00% 수준의 성능 향상 등

- 연차별 달성목표(마일스톤)을 구체적으로 제시하고 달성여부를 확인할 수 있는 검증방안 제시

○ 연구내용, 개발기술, 성과물 간 연계가 나타나도록 성과로드맵 및 연차별 성과지표 제시

○ 기존에 수행되었거나, 현재 수행 중에 있는 관련 연구개발 결과의 구체적인 연계 또는 활용방안을 연구계획에 포함하여 추진

- 타 부처 영역과 중복 우려가 있는 연구내용에 대해서는 부처 간의 협력방안 또는 공동 활용방안 등 제시

- 각 핵심기술의 연구개발 계획은 기존에 추진 완료 혹은 진행 중인 관련 국가연구개발 사업의 연구내용(연구성과)과 연계/검토하여 제시

○ 정부 및 예상수요기관 등의 의견수렴과 유기적 협조체계를 구축하여 연구개발성과의 실용화 가능성 제고

- 본 과제 연구개발 성과물을 적용할 수 있는 수요처를 파악하여, 지속적으로 협업하는 체계를 구축하고, 수요처의 요구사항을 반영한 설계 및 시험평가 추진

- 관련 정부부처 및 전문기관과 협의 수행

- 관련 업계 전문가로 구성된 세미나, 포럼 등을 추진하여 대외 의견 수렴

○ 기술의 객관성 및 실효성 확보를 위하여 검증시험 등을 수행, 내부 자체 평가단을 구성하여, 공정하고 신뢰성이 있는 결과 도출

- 주요 최종성과물의 모든 장치, HW, SW 성과물 등은 반드시 공인시험기관이 발행한 시험성적서로 성능 검증 필요

○ 단계별 평가시 대·내외 기술, 시장 여건변화 등을 고려한 연구목표 적정성 검토 및 필요시 연구목표 조정

□ 추진체계

○ 본 연구개발과제는 주관연구개발기관, 공동연구개발기관으로 편성된 컨소시엄 공모로 진행

- 주관연구개발기관(핵심기술 1)은 개발 기술간 연계·활용, 최종 연구개발성과물의 실용화 등을 고려하여 컨소시엄을 구성하고 연구개발과제의 총괄 역할을 수

행

- 연구책임자는 역할 분담의 필요성 및 명확성 등을 고려하여 공동연구개발기관 (핵심기술 2, 3)과의 협의를 통해 구체적인 연구개발계획을 수립하고, 전체 연구 개발과제를 책임지고 진행·관리
 - * 주관연구기관 및 공동연구개발기관 등은 본 사업 특성상 연구개발과제의 효율적인 성과물 도출을 위해 수행기관과 전문기관 및 주무부처의 협의 하에 선행 사업의 수행내용과 성과물을 활용하여 추진
- 컨소시엄 구성시 과도한 연구개발기관의 참여 및 연구개발계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양할 것
 - * 연구개발기관 구성시 합리적으로 구성하여야 하며, 연구개발내용 및 역할이 중복된다고 판단 될 경우 선정평가 및 협약체결 시 조정될 수 있음
- 연구개발과제 추진의 효율성 및 연구개발비 집행의 투명성을 고려하여 참여기관 이외 타 기관 소속 연구자의 참여 배제
- 관련 기술 및 기준 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용하여 연구개발의 기술·정책적 보완사항 확인 및 반영
- 관계부처, 전문기관 및 업계 간 유기적 협의체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류 활성화
- 산·학·연 공동 구성 가능, 풍부한 관련 연구경험과 역량을 극대화할 수 있는 출연(연), 대학, 관련 기업체를 기술개발 주체로서 구성
- 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구경험을 보유하고 있는 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색 추진
- 국내 학회 및 전문가 자문그룹과의 협력체계를 제안하여 효율적인 연구추진체계 제시
- 각 세부과제의 연구내용, 기술개발 과정 및 결과를 검증하기 위한 기술위원회를 구성하여 연구성과의 신뢰성 확보 추진

5. 최종성과물

- (핵심기술 1) 대용량 고속 수소충전 기술개발
 - 2개 이상의 노즐을 이용한 고속 수소충전기술
 - 충전속도 : 50kg/15분 이상

- 수소충전 프로토콜 요구사항

□ (핵심기술 2) 수소 충전인프라 구축

- 수소철도용 수소충전소
 - 수소저장 1,000kg 이상, 수소충전량 500kg/day 이상
- 수소충전소 운영 및 유지보수 매뉴얼
- 수소철도용 수소충전시설 기술기준(안)

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 정부의 '19.01. 「수소경제 활성화 로드맵」에 따라 수립된 철도 분야 수소 기술 개발 로드맵 달성을 위한 기술 확보
 - 수소열차에 대해 '30년까지 3단계로 디젤열차를 대체하는 등의 보급 확대 진행 계획으로 본 과제는 수소철도차량 운영방안의 일환으로 대용량 고속 수소충전 핵심기술 개발을 달성할 수 있도록 추진
- 철도차량 운영을 위한 수소충전소 핵심기술 개발·적용을 통해 수소 관련 국가경쟁력 향상 및 실용화를 위한 교두보 마련
- 대용량 수소저장 및 고속 충전을 통해 수소철도차량, 수소차, 수소버스 등 다양한 수소 모빌리티를 위한 복합수소충전소 구축 및 운영에 활용
- 고압/저압 수소충전소 관련 기자재 시장 선점 및 진출

□ 기대효과

- 수소철도 충전시간 등에 따른 운영 효율성 확보
 - 수소차 초기시장에서 발생되던 충전지연으로 인한 불편함 해소
- 다중 충전로직, 수소저장시스템 국제표준을 제안하여 수소철도 시장 주도
- 수소활용 산업 활성화를 통하여 대기오염물질 및 미세먼지 저감에 기여
- 대용량 고속 수소충전 기술 확보로 수소경제·사회 기반 구축
- 수소충전소 부품 국산화를 통해 국내 산업 생태계 조성

- 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 관련 시장 수요 증가
- 우리나라는 높은 에너지 소비국이자 에너지 빈곤국으로 수소에너지로의 전환으로 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능
- 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과
- 철도 분야 수소 산업 생태계 구축에 따른 관련 분야 전문 인력양성

7. 연구개발기간 및 연구개발비

□ 총 연구개발기간 : '24.4. ~ '27.12. (3년 9개월)

- 1차년도 연구개발 기간 : '24.4. ~ '24.12. (9개월)
- 2차년도 연구개발 기간 : '25.1. ~ '25.12. (12개월)
- 3차년도 연구개발 기간 : '26.1. ~ '26.12. (12개월)
- 4차년도 연구개발 기간 : '27.1. ~ '27.12. (12개월)

□ 총 정부지원연구개발비 : 19,000 백만원 이내

- 1차년도 정부지원연구개발비 : 2,000백만원 이내
- 2차년도 정부지원연구개발비 : 7,000백만원 이내
- 3차년도 정부지원연구개발비 : 6,000백만원 이내
- 4차년도 정부지원연구개발비 : 4,000백만원 이내

※ 정부지원연구개발비는 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 영리기관 참여시 기관부담연구개발비는 연차별로 「국가연구개발혁신법 시행령」 [별표 1]을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구개발비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기타

- 본 사업(과제)은 「국가연구개발혁신법」('22.3.) 및 관련 국토교통 R&D 규정에 따라 관리 됨
- 본 사업(과제)의 보안등급은 “일반 과제”임

- 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무 등에 따라 연구개발기관 및 연구개발기관의 장은 적극 협조하여야 함
 - 총괄연구개발기관의 역할과 기능, 권리·의무는 다음과 같음
 - ▶ 총괄연구개발과제 및 연관되어 추진되는 연구개발과제의 수행·운영·관리, 성과·진도관리, 정산, 자체평가, 중간·단계·최종평가, 성과의 활용 등을 위한 업무, 사후관리, 예산조정 및 컨소시엄 간의 역할 배분 등에 관한 사항
 - ▶ 연구개발성과 사업화, 지적재산권·정보관리 등 지원, 사업성과 관리 및 국가연구개발사업 조사·분석·평가 관련업무 협조
 - ▶ 당해 사업 연구개발성과 보급·확산 및 홍보와 대외 업무 대응
 - ▶ 국토교통부에서 실시하는 정책의 기술자문 및 업무협조,
 - ▶ 인력양성, 국제협력 등 인프라 조성 업무 등 그 밖에 해당 사업의 효율적 추진을 위하여 필요한 사항 등
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 기 수행하였거나 현재 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - * www.kaia.re.kr, <http://www.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - * 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발 목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 구성기술별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 연구개발계획서에 구성기술간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
 - 기획보고서에서 제시한 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
 - * (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성
 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

- 신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/목표치/가중치), 추진일정 및 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발기술 및 성과물의 목표수준 달성 정도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함
 - * 연구개발과제 선정 이후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 신청자는 연구를 통해 도출되는 최종성과(핵심성과물)를 유형별(사양, 장비/장치, 소프트웨어, 시스템, 정책제도 등)로 나열하고, 세부 설명 제시
 - 아래 표를 참고하여 본 연구개발과제와 관련되는 성과지표를 반영하고 그 외 과제특성을 고려한 고유 성과지표도 제안할 수 있음
 - * 필수지표는 반드시 반영해야 하는 성과지표임
 - 성과지표별 목표는 도전적으로 설정해야 하며 목표치 설정근거 제시
 - * “성과지표 설정의 적정성 및 목표 도전성”은 선정평가 평가항목이며 미흡할 경우 협약시 조정

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목*
1 (필수 지표)	특허등급 (지수)	- 특허등급지수 BBB이상 특허등록(건) * 한국발명진흥회 SMART 평가 'BBB' 등급 이상	지식재산권(특허)
2 (필수 지표)	정책활용도(지수)	- 법제도 제개정(건) - 정책채택(건) - 설계기준·시방서 제·개정(건)	- 법령반영 - 정책활용 - 설계기준(설계기준, 표준시방서 등)
3	기술사업화 효과(금액)	- 사업화/제품화(건) * 연구개발성과를 실제 계약한 실적	- 사업화현황 - 매출실적
4 (필수 지표)	기술실시계약(건)	기술실시(이전)(건)	기술실시(이전)
5 (필수 지표)	연구개발성과 현장검증 (건)	- 현장시험 및 검증(건) * 연구개발성과 검증을 위해 현장에 시범적용, 시험시공 등을 한 성과	—
6 (필수 지표)	인증(건)	- 기술및제품인증(건) * 형식승인, SIL, ISO, NET 등 인증서	- 신기술지정 - 기술및제품인증
		- 표준화(국내·국제)(건) * KS, KRS, IEC, IRIS 등	- 표준화(국내표준) - 표준화(국제표준)
7	참여기업의 청년인력 신규 채용(명)	- 청년인력 채용 인원(명) * 채용시점 기준으로 만 15세이상 34세 이하(군 복무기간 고려 최고 만 39세까지), 참여율 100%, 최소 1년 이상 고용 유지 * 목표산출근거 : 총 연구기간의 정부출연금 총액을 기준으로 5억원당 1명 이상의 비율로 청년인력 신규로 채	고용창출

우선 순위	단위/세부사업 성과지표	성과지표	IRIS 성과등록시 성과항목*
		용	
8	학술지게재 논문(지수)	· SCI(E) 학술지 게재(건)	· 논문

- 국토교통R&D 관련지침에 의거하여 필요시 연구개발 기간내 진도점검 및 현황점검 회의 등 수행 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술 개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 연구개발과제의 연구개발기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
 - 전문기관은 필요시 선정된 주관연구개발기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구개발목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
 - 연구 과정에서 환경변화에 따라 연구개발내용(연구개발비 포함)이 조정될 수 있음
- 핵심 요소기술별로 기술도입, 원천기술 개발 등 기술 확보 전략을 연구개발계획에 제시해야 함
 - 연구개발 기술수준을 TRL로 설정하고 이에 합당한 근거를 제시



제4절 : 선정평가 방법

- 연구개발과제 평가를 통해 과제제안요구서(RFP)와 연구개발계획서가 부합되는 것으로 아래의 평가표를 통해 종합평가점수 산출(60점 이상 선정)

기준항목	세부 평가항목	배점				
연구개발목표 (25점)	연구개발목표 및 성과목표의 명확성, 타당성 및 창의성	10	8	6	4	2
	성과지표 설정의 적절성 및 성과지표별 목표치의 도전성 (질적지표 설정여부, 지원예산대비 목표치의 적정성 등)	15	12	9	6	3
연구개발내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5	4	3	2	1
	목표 달성을 위한 연구개발내용·성과의 적절성 및 실현가능성	5	4	3	2	1
	연구개발내용 구성의 타당성 및 연계성	5	4	3	2	1
	연구개발기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5	4	3	2	1
추진전략 및 계획 (25점)	·연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성 및 타당성	10	8	6	4	2
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구자의 전문성	10	8	6	4	2
	·연구개발기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성, 신규 인력 채용 의지	5	4	3	2	1
활용방안 및 실용화 가능성(20점)	연구개발성과 활용시나리오의 적절성 및 구체성	5	4	3	2	1
	연구개발성과 실용화 및 정책제안 가능성	10	8	6	4	2
	기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5	4	3	2	1
연구책임자의 연구수행능력(10점)	연구역량(관련분야 연구경험) 및 관리능력	5	4	3	2	1
	연구윤리 수준	5	4	3	2	1
계		100				

제7장

참고자료

제1절 : 기술수요조사 및 사업별 연구개발 과제 구성

제2절 : 교외선 운영비용 산출

제3절 : 국내·외 수소충전소 규제/법령 분석 및 검토

제4절 : 전략계획서

제7장 참고자료

제1절 : 기술수요조사 및 사업별 연구개발 과제 구성

1. 세부 사업별 핵심기술

[표 171] 세부 사업별 개발이 필요한 핵심기술 리스트

사업 코드	세부 사업명	핵심기술 코드	핵심기술(舊, 세부과제)
A	수소전기동차 실증사업	A-1	수소전기동차 제작 및 형식승인
		A-2	수소전기동차 실용화 기술개발
		A-3	수소철도 운영 인프라 기술개발
B	수소전기기관차 핵심기술 개발사업	B-1	수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발
		B-2	수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증
		B-3	수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발
C	대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	C-1	대용량 고속 수소충전 기술개발
		C-2	수소 충전인프라 구축

2. 기술수요조사

가. 기술수요조사 방법

- ☐ 수소철도 핵심기술 개발을 통해 철도 분야 탄소중립 및 철도교통 패러다임 전환을 하기 위하여 현재 및 미래에 요구되는 기술수요 파악
- ☐ 다음의 양식에 따라 산·학·연 전문가를 대상으로 기술제안분야의 연관기술에 대하여 기술수요조사 진행
- ☐ 추후 본 사업의 과제 참여관심 여부를 판단하기 위하여 기술수요조사 양식 하단에 참여의향 설문도 진행

[그림 123] 친환경 수소철도 기술개발 사업 관련 기술수요조사 양식

사업 분야 (☑)		
☐ 수소전기동차 실증사업	☐ 수소전기기관차 기술개발 사업	☐ 수소충전인프라 기술개발 사업
기술 제안 분야 (☑)	중분류	소분류
	☐ 수소철도차량	☐ 수소연료전지 발전팩 ☐ 전장품(추진제어시스템 등) ☐ 수소저장 · 공급 시스템 ☐ 차량 시스템 엔지니어링 ☐ 2차전지 시스템 ☐ 에너지관리시스템 ☐ 기타()
	☐ 수소철도시설	☐ 수소 생산 · 저장 시설 ☐ 수소 운송 시설 ☐ 수소 활용 시설(충전소, 충전기, 충전프로토콜 등) ☐ 시설 시스템 엔지니어링 ☐ 기타()
	☐ 인증, 실증 및 관리	☐ 기술기준 · 성능평가 ☐ 안전 · 편의 ☐ 계획 · 운영 · 실증 ☐ 유지관리 ☐ 기타()
	☐ 기타()	
제안 기술명		
기술개발 필요성	☐ 해결하고자 하는 문제 ○ ☐ 신규 R&D사업에서의 기술개발 추진을 통해 해결해야 하는 이유 ○	
국내외 기술 및 시장동향	☐ 국내외 기술동향 ○ ☐ 국내외 시장동향 ○	
기술개발 목표	☐ ○	
기술개발 내용	※ 기술개발과제의 주요 연구내용을 기능, 성능목표 등을 포함하여 작성 ☐ ○	
최종성과물 (산출물) 및 활용방안	☐ ○	
기대효과	☐ ○	
연구기간 및 소요예산	연구기간	소요예산(국고 기준)
	총____년	____억 원
동 사업 참여 의사 (☑)	※ 참여 여부를 선택하여 주시기 바랍니다.	
	☐ 참여할 의사가 있다	☐ 참여할 의사가 없다

나. 기술수요조사 결과

□ 3개의 중분류 분야로 총 15개의 기술제안서가 접수됨

[표 172] 기술제안서 접수 결과

번호	제안기술명	소분류	중분류
C-01	수소전기기관차를 위한 고효율 절연형 추진전력변환장치 (DC-DC 컨버터) 핵심기술 개발	전장품	수소철도 차량
C-02	수소전기기관차용 수소저장시스템모듈 기술	수소저장·공급 시스템	
C-03	수소전기동차 실용화를 위한 지능형 에너지관리 기술	에너지관리시스템	
C-04	수소철도차량 안전성 향상을 위한 2차전지 시스템 이중화 기술 개발	2차전지 시스템	
C-05	수소전기동차 기술개발 및 수소전기기관차 핵심기술 개발	기타 (종합)	
C-06	고압 수소 동력 열차 용기용 자동 밸브	수소저장·공급 시스템	
C-07	수소기관차에 최적화된 연료전지용 DC/DC컨버터, 배터리 팩, 온도관리장치의 소형·경량화 일체형 통합 기술 개발	기타 (종합)	
C-08	수소전기기관차 견인용 고효율 영구자석 동기전동기 및 냉각시스템 개발	전장품	
C-09	고장에도 정지 없이 지속 운전이 가능한 보조전원장치 병렬 구성 운전기술	전장품	
C-10	다수의 디스펜서를 활용한 고압 기체수소 충전기술 개발	수소 활용 시설	수소철도 시설
C-11	수소전기기관차 형식승인 기술기준 개발 및 안전성 평가	기술기준·성능평가, 안전·편의	인증, 실증 및 관리
C-12	수소전기기관차 실용화를 위한 RAMS 인증 기술 개발	안전·편의	
C-13	수소전기동차 상용화를 위한 철도표준 및 기술기준 개발	기술기준·성능평가	
C-14	수소전기기관차 핵심기술 검증 및 안전성 평가 기술	기술기준·성능평가, 안전·편의	
C-15	수소전기동차 실증사업을 위한 성능평가 및 정밀안전진단 프로세스 개발 기술	기술기준·성능평가, 안전·편의	

다. 우선순위 도출

□ 접수된 제안기술의 우선순위 도출을 위해 ① 우선순위 조사항목 도출 → ② AHP 분석을 통한 조사항목 간 가중치 도출 → ③ 제안기술의 우선순위 도출 순으로 진행함

○ (우선순위 조사항목 도출) 중요도(우선순위) 조사항목은 기술성, 경제성, 정책 및 사회성 3개 평가항목으로 구성하고, 각 항목별 3개의 세부평가항목으로 구성함

[표 173] 우선순위 조사항목

평가 항목	세부평가 항목	항목 정의
A. 기술성	A-1. 기술확보 (실현)가능성	국내/외 기술수준, 기술의 난이도 및 완성도, 인프라, 보급화 수준(예측) 등을 고려하여 향후 5년 이내 기술 개발을 통한 기술 확보 가능성에 대한 평가
	A-2. 기술 파급성	현장 적용 가능성, 원리적 측면의 응용에 의한 관련 산업에 적용가능성, IP 확보 가능성, 세계 표준 선도 등 기술 적용 범위 및 응용성에 대한 평가
	A-3. 기술 시급성	기술의 중요도, 기술적 수요, 기술보급 단계 등을 감안하여 해당 기술이 즉시 필요한지에 대한 여부 평가
B. 경제성	B-1. 시장 수요성	해당 기술 분야의 연구개발이 시장 니즈(needs)를 적절히 반영하는지 여부 평가
	B-2. 시장 규모성	해당 기술이 적용될 시장의 규모에 대한 평가
	B-3. 시장 파급성	기술의 개발 또는 연구과정에서 경제성장 효과, 시장성, 신산업 창출 및 고용창출 효과 등 경제적 파급효과에 대한 평가
C. 정책 및 사회성	C-1. 사회·정책적 중요성	해당 기술이 단기 집중투자로 즉시 시장 진입에 필요한 기술인지 장기 지속투자로 기초 원천 확보 필요 기술인지 여부를 정책적으로 판단
	C-2. 정부지원의 타당성	공익적으로 매우 중요하나 민간부문에서 사적 전유성 부족, high risk, 공공재적 성격 등으로 투자를 회피하는 경우 국가가 주도적으로 연구개발에 개입해야 하는지 여부 평가
	C-3. 사회적 영향성	지식기반 확충, 산업경쟁력 강화, 국가 경쟁력 제고의 목표 실현에 적합한지 여부 평가

- (AHP 분석을 통한 가중치 도출) 기술 분야별 산·학·연 전문가 등을 대상으로 설문조사를 실시하고, AHP 분석 실시

[표 174] 평가항목 중요도(가중치) 조사 결과

평가항목	가중치 (a)	세부평가 항목	가중치 (b)	최종 가중치 (c=a×b)
기술성	0.459	기술확보 (실현)가능성	0.477	0.218977
		기술 파급성	0.246	0.113005
		기술 시급성	0.277	0.126883
경제성	0.200	시장 수요성	0.427	0.085255
		시장 규모성	0.185	0.036989
		시장 파급성	0.387	0.077322
정책 및 사회성	0.342	사회·정책적 중요성	0.283	0.096829
		정부지원의 타당성	0.291	0.099307
		사회적 영향성	0.426	0.145557

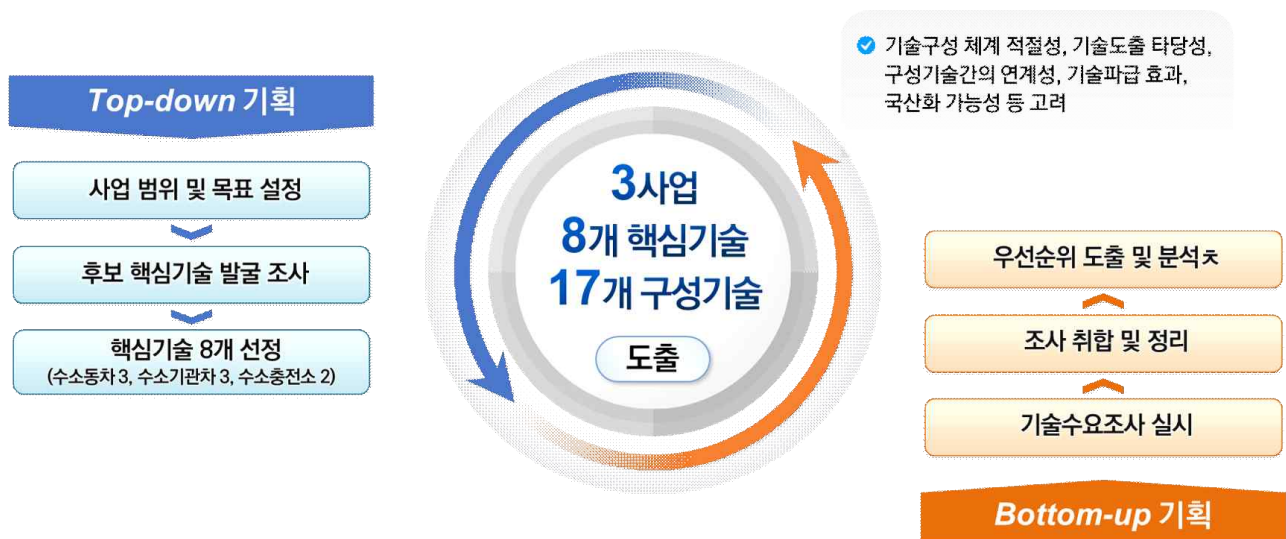
- (우선순위 도출결과) 상기 우선순위 평가 항목 가중치를 적용하여, 설문조사 실시 결과(평가지표별 절대평가, 5점 척도) 다음과 같이 각 제안기술의 우선순위를 도출함

[표 175] 제안기술의 우선순위 조사 결과

번호	기술성			경제성			정책 및 사회성			결과	
	기술확보 (실행)가능성	기술 파급성	기술 시급성	시장 수요성	시장 규모성	시장 파급성	사회·정책적 중요성	정부지원의 타당성	사회적 영향성	합계	순위
C-01	0.99	0.43	0.50	0.31	0.13	0.29	0.34	0.40	0.49	3.87	5
C-02	0.98	0.42	0.46	0.33	0.13	0.28	0.34	0.37	0.48	3.79	7
C-03	0.91	0.42	0.45	0.31	0.12	0.25	0.36	0.37	0.48	3.66	10
C-04	0.91	0.37	0.48	0.30	0.12	0.25	0.35	0.33	0.41	3.51	14
C-05	0.96	0.47	0.53	0.35	0.14	0.32	0.38	0.44	0.55	4.13	1
C-06	0.86	0.41	0.43	0.29	0.12	0.27	0.32	0.34	0.47	3.52	13
C-07	0.94	0.44	0.45	0.31	0.12	0.28	0.34	0.37	0.47	3.71	8
C-08	0.88	0.43	0.48	0.30	0.13	0.28	0.35	0.37	0.48	3.69	9
C-09	0.91	0.36	0.41	0.30	0.12	0.23	0.33	0.31	0.45	3.40	15
C-10	0.93	0.41	0.43	0.33	0.11	0.27	0.35	0.39	0.44	3.66	11
C-11	0.94	0.40	0.47	0.31	0.12	0.29	0.42	0.40	0.56	3.91	4
C-12	0.94	0.41	0.49	0.30	0.12	0.26	0.39	0.39	0.52	3.81	6
C-13	0.94	0.43	0.51	0.31	0.12	0.27	0.39	0.40	0.55	3.91	2
C-14	0.94	0.41	0.51	0.31	0.11	0.29	0.40	0.40	0.54	3.91	3
C-15	0.81	0.38	0.45	0.28	0.11	0.27	0.39	0.40	0.52	3.60	12

라. 사업별 연구개발 과제 구성

- 사업별 핵심기술과 기술수요조사 결과를 반영하여 기술구성 체계의 적절성, 기술도출의 타당성, 구성기술간의 연계성 등을 검토
 - 기 도출된 세부기술 및 구성기술 체계에 대한 적절성 검토
 - 사업별 핵심기술 개발을 위해 기술수요조사 외 필요기술에 대해 내부 연구 전문가 검토를 통해 구성기술 추가 및 동료검토를 통해 다음과 같이 최종 기술 구성 및 범위 도출



[그림 124] 핵심기술 및 구성기술 선정 프로세스

- 사업별 상세 기술개발 내용은 [제3장, 제4장, 제5장] 참조

[표 176] 사업별 연구개발 과제 구성

세부 사업명	핵심기술(舊, 세부기술)	구성기술(舊, 세세부과제)
A. 수소전기동차 실증사업	A-1. 수소전기동차 제작 및 형식승인	A-1-1. 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술
		A-1-2. 수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술
	A-2. 수소전기동차 실용화 기술개발	A-2-1. 수소전기동차 시스템 엔지니어링
		A-2-2. 철도차량/철도시설 기술기준(안) 도출
	A-3. 수소철도 운영 인프라 기술개발	A-3-1. 수소전기동차 검수시설 구축
		A-3-2. 수소철도용 수소충전소 구축
		A-3-3. 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술
B. 수소전기기관차 핵심기술 개발사업	B-1. 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발	B-1-1. 대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지- 2차전지 하이브리드 동력시스템 기술
		B-1-2. 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술
		B-1-3. 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술
		B-1-4. 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술
	B-2. 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증	B-2-1. 수소전기기관차 시험차량 설계·제작 기술개발
	B-3. 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발	B-3-1. 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발
		B-3-2. 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발
C. 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	C-1. 대용량 고속 수소충전 기술 개발	C-1-1. 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전 기술
	C-2. 수소 충전인프라 구축	C-2-1. 수소 충전시설 설계 및 구축
		C-2-2. 철도용 수소 충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발

제2절 : 교외선 운영비용 산출

1. 철도차량 도입단가 (2021년 철도통계연보 기준)

가. 디젤동차

[표 177] 디젤동차 도입단가

(단위: 억원/량)

구분	MC1 (1999)	M (1999)	2022년 추정단가 ^{주)}	
			MC1	M
디젤동차	9.34	9.69	16.44	17.05

주) 도입시기가 1999년으로 소비자물가 총지수(1999~2022)를 반영시 추정 단가(76% 상승)

* 편성 구성 : MC1 2량 + M 1량 = 49.93억원(2022년 추정가)

나. 디젤기관차

[표 178] 디젤기관차 도입단가

(단위: 억원/량)

구분	2001	2002	2003	2004	2022년 추정단가 ^{주)}
디젤기관차 (4400호대)	18.99	20.46	22.65	22.00	32.41

구분	1997	1999	2000	2001	2022년 추정단가 ^{주)}
무궁화 발전차	4.62	4.50	5.19	5.19	8.86

구분	1999	2000	2001	2002	2022년 추정단가 ^{주)}
무궁화 보통실(일반)	3.27	4.08	4.08	4.54	6.96

주) 도입시기가 2001년으로 소비자물가 총지수(2001~2022)를 반영하여 70.68% 상향 단가 적용

* 편성 구성 : 디젤기관차 2량 + 발전차 1량 + 객차 3량 = 94.57억원 (2022년 추정가)

다. 전기동차

[표 179] 전기동차 도입단가

(단위: 억원/량)

구분	누리로 32량 (2009)	ITX-청춘 64량 (2011)	ITX-새마을 138량 (2014)	ITX-새마을 150량 (2018)
전기동차 (간선형)	15.75	24.01	18.41	20.20

2. 철도차량 동력 비용

[표 180] 철도차량 동력 비용

구간	디젤동차 (3량)	디젤기관차 (6량)	EMU-150 (6량)	수소전기동차 (2량)
연료소모량 [ℓ, kWh, kg]	365,348 ℓ	630,272 ℓ	4,036,044 kWh	70,195 kg
동력비용 [백만원]	383.6	661.6	624.8	245.7

* 2021 철도통계연보 기준

- 유류비용 기준: 디젤 1,050원/ℓ, 전력 154.8원/kWh 적용, 수소 3,500원/kg
- 연료소모량 산정 기준: 디젤동차 0.48ℓ/km/량, 디젤기관차 0.41 ℓ/km/량,
전기기관차 2.65 kWh/km/량, 수소전기동차 0.14 kg/km/량

* 연간 주행거리 산정 기준: 노선거리 32.1 km, 평일 52주×5일×24회,
주말 52주×2일×16회 운행으로 연간 253,718 km 주행

3. 교외선 전철화 비용 및 유지보수 인원 산출

[표 181] 교외선 전철화 비용 및 유지보수 인원 산출

구간	전철화 표준공사비 ^{주1)} (단위: 백만원)			유지보수 인원 ^{주2)}
교외선 32.1km 단선	송전선로	~ 60km	12,988	시스템 유지보수-전기 30km당 1분소 설치기준 분소장 1인 팀장 1인 보수인원 4인 × 3조 소계 14인
	변전설비	(30±5)km	24,739	
	전차선로	200km/h급 이하 단선, 토공	15,087 (470km당)	
	전력설비	단선, 비전철, 토공	12,038 (375km당)	
	표준공사비 합계		64,852	

주1) 일반철도 시스템 공사비(송전선로, 변전설비, 전차선로, 전력설비로 구분), 「예비타당성조사 수행을 위한 세부 지침 도로·철도부문 연구」, KDI 공공투자관리센터(2021.05.), p.119~p.124

주2) 일반철도 운영비 추정(인건비, 동력비 및 전력비, 유지관리비, 일반관리비로 구분), 「예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구」, KDI 공공투자관리센터(2021.05.), p.211~p.219

4. 대기오염비용 절감 편익

- 디젤차량을 수소차량으로 대체함에 따라 발생하는 대기오염비용 절감 편익은 「2021 철도통계연보」(한국철도공사, 2021)에서 제공하는 디젤차량 운행 실적 (2021년 기준) 및 「교통시설 투자평가지침 제7차 개정」(국토교통부, 2022)에서 제시하는 디젤차량의 각 오염물질별 배출계수 및 대기오염비용 및 온실가스 원단위 자료를 활용하여 산정
- 분석의 기준연도는 2021년으로 설정하였으며, 대기오염비용 및 온실가스 원단위 자료는 지침에서 제시된 값에 소비자물가지수를 활용하여 기준연도로 보정한 값을 적용

[표 182] 대기오염비용 및 온실가스 원단위 (2015년 기준)

(단위: 원/kg)

구분	PM2.5			NOx	CO	VOC	CO2
	도심지	교외지	지방지				
원단위	402,093	104,562	41,831	15,835	158	2,330	44
출처	EU(2014)	EU(2014)	EU(2014)	EU(2014)	NOx의 1%	EU(2014)	EU(2013)

* 국토교통부, 교통시설 투자평가지침 제7차 개정, 2022

[표 183] 디젤기관차/디젤동차의 각 오염물질별 배출계수

(단위: g/t)

오염물질	디젤기관차	디젤동차	
		일반동차 및 특별동차 (무궁화형, 도시통근형, 일반형, 기타형)	특별동차 (새마을형)
NOx	64.36	15.69	37.75
CO	26.36	5.87	15.07
HC	10.66	1.22	6.20
SO2	1.64	0.43	1.08
PM	4.16	1.14	2.68

* 국토교통부, 교통시설 투자평가지침 제7차 개정, 2022

[표 184] 공공발전시설 대기오염물질 배출계수 (2012년 기준)

구 분	CO	HC	NOx	PM
연간 대기오염물질 배출량 ^{주1)} (kg)	45,376	6,032	132,405	3,920
연간 전력생산량 ^{주2)} (MWh)	507,480,208			
대기오염물질 배출계수 (g/kWh)	0.0894	0.0119	0.2609	0.0077

주1) 국토교통부, 교통시설 투자평가지침 제7차 개정 2022

주2) 국립환경과학원, 대기오염물질배출량 2012

* 한국전력공사, 한국전력통계 2012

제3절 : 국내·외 수소충전소 규제/법령 분석 및 검토

1. 국외기준

가. 수소인프라 관련 기준

- (미국) 수소 공급·저장, 수소자동차 안전, 수소충전·공급설비 3개 분야로 구분하여 안전기준 개발



[그림 125] 미국의 수소인프라 관리체계[83]

- 수소자동차의 차량용 복합용기 및 연료공급 부속품 기준은 SAE(미국자동차공학회), CSA(캐나다표준규격협회)가 주도하며, 수소 공급 및 충전 관련 저장용기는 ASME(미국기계학회)와 DOT(미국기계학회)가 주도
- 수소충전소 설치 관련기준은 NEPA 2로 운영하며, GH2(Hydrogen in the gas phase)와 LH2(Hydrogen in the liquid phase) 및 Bulk와 Non-bulk, 실 내 저장과 실외 저장 등 다양한 조건에 따라 기준 구분
- (일본) 수소충전소 설치 관련기준은 「일반고압가스보안규칙(一般高压ガス保安規則)」 제7조의3(압축수소 스테이션에 관한 기술상의 기준)에 규정
- (유럽) EU 중심으로 정책을 공유하며 환경규제 및 친환경차 보급 정책에 따라 제도·기준의 정비, 인프라 구축을 추진

Regulations, Standards and Codes

Regulations

- Legally binding
- International & local (national)

UN ECE

- Global Technical Regulation (Vehicles)
- ADR (Road transport)
- ADN (Inland waterways transport)

IMO

- IMDG code (Maritime transport)
- IGC code (Maritime transport in bulk)
- IGF code (Ships)

EU Directives, local regulations

- Pressure vessel (PED etc.)
- Explosive atmosphere (ATEX etc.)
- Fuelling stations (AFI etc.)

etc.

Standards & Codes

- NOT legal documents
- Serve as guidelines to meet requirements

Standards

- Developed by standardization organizations
- May be harmonized with regulations

ISO TC197 (Hydrogen technologies)

IEC TC105 (Fuel cell technologies)

etc.

Codes

- Developed by interested industrial parties

EIGA

- IGC Docs (Hydrogen station, Pipelines etc.)

SAE International

- J2601 etc. (Fuelling protocols etc.)

etc.

Italic: Under Development

[그림 126] 유럽의 수소인프라 안전관리 체계[84]

Regulatory regime around hydrogen supply chain (handling & Use)

Transport/Distribution

Land Transport

- **UN ECE ADR**
- EIGA IGC Doc 06/02
- **Local regulations**

Pipeline

- EIGA (IGC Doc 121/04)
- **Local regulations**
(US: ASME B31.12)

Maritime Transport

- **IMO IMDG Code**
- **IMO IGC Code**
- **UN ECE ADN**
- **Local regulations**

Refueling/Transfer

Hydrogen Refueling Station

- ISO TC197
- EIGA IGC Doc 15/06, 6/02
- SAE J2600, J2601, J2799
- HyApproval handbook (EU)
- **Local regulations** (EU: AFI)

Hydrogen loading/offloading

- ??

Hydrogen Bunkering

- ??



Use (Transport)

Fuel Cell Vehicles

- **UN ECE GTR**
- ISO TC197
- SAE J2578, J2579, J2594 etc.
- **Local regulations**



Fuel Cell on Ships

- **IMO (IGF Code)**
- Class Rules
- **Local regulations??**



Bold: Regulations, Italic: Under Development

[그림 127] 유럽의 수소 취급 및 공급을 위한 규정, 표준 및 코드[84]

나. 액화수소 인프라 관련 기준

□ 수소액화에 특화된 기준은 NFPA 2 등에, 설비기준은 ASME와 CGA 등에, 액화수소 충전소기준은 일본 고압가스보안규칙 등에 일부 규정되어 있음.

○ 외국의 경우에도 액화수소 안전기준은 개발이 진행 중인 상태임.

[표 185] 액화수소제조 분야 국내외 안전기준 사례[57]

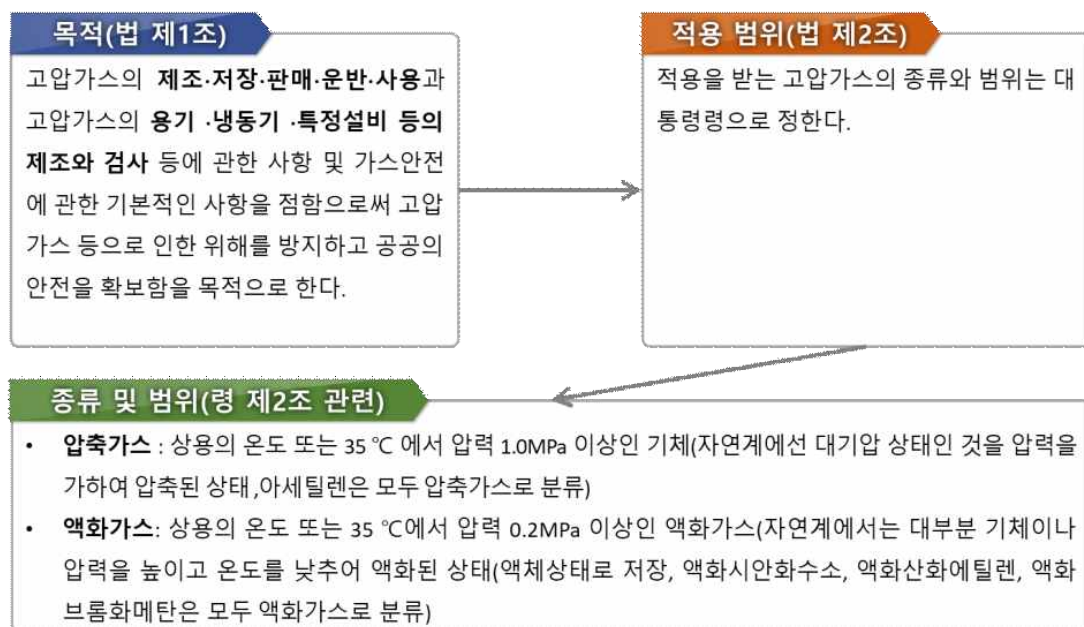
구분	한국	미국	일본	유럽(영국)
액화수소 제조	KGS FP112	NFPA 2(2020) Hydrogen Technologies Code NFPA 55(2020) Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code	一般高圧ガス保安規則(機能性基準)	EU:User Directive 영국:DSEAR
저장탱크 압력용기	KGS AC111	CGA H-3(2019) Standard for cryogenic Hydrogen storage	特定設備検査規則	EU:PED(Pressure Equipment Directive) 영국: PER (Pressure Equipment Regulations)
		Inner vessel: ASME / Section VIII / Division 1 / Subsection A Part UG(General requirements), / Subsection B(Fabrication) – Part UW(Welding) / Subsection C(Materials) – Part UW(Carbon and Low Alloy Steel) (byNFPA2) Vacuum Jacket(Outer Vessel): shall be designed to withstand the maximum internal and external pressure (byNFPA2)		
배관	KGS FP112	액화수소 저장량 150L 이하: ASME B31.12(Hydrogen Piping and Pipelines), (byNFPA2) 저장량 150L 초과: ASME B31(Pressure Piping) (byNFPA2)	一般高圧ガス保安規則機能性基準)	
관이음매	KGS FP112	ASME B31(Pressure Piping) (byNFPA2)		
안전밸브	KGS AA319	CGA S-1.3, Pressure Relief Device Standards — Part 3 — Stationary Storage Containers for Compressed Gases		
방출관	KGS FP112	CGA G-5.5	一般高圧ガス保安規則機能性基準)	
수소센서		UL 2075		

2. 국내기준

가. 고압가스안전관리법의 주요 내용[85]

□ 「고압가스안전관리법」은 고압가스의 제조·저장·판매·운반·사용과 고압가스의 용기·냉동기·특정설 등의 제조와 검사 등에 관한 사항 및 가스안전에 관한 기본적인 사항을 정함으로써 고압가스 등으로 인한 위해를 방지하고 공공의 안전을 확보함을 목적으로 1973.02. 제정

○ 수소는 「고압가스안전관리법」 시행령 제2조에 의거 압축가스에 해당



[그림 128] 고압가스안전관리법의 적용 범위[85]

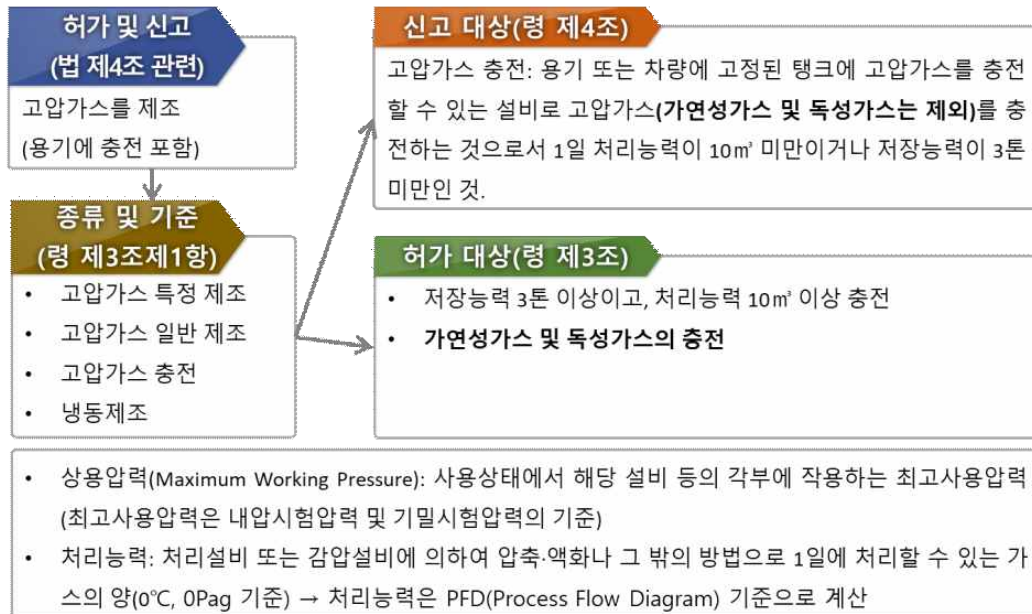
□ 「고압가스안전관리법」 시행규칙 제2조제1항제1호에 의거 수소는 가연성 가스에 해당

「고압가스안전관리법」 시행규칙 제2조제1항제1호 발체

“가연성가스”란 아크릴로니트릴·아크릴알데히드·아세트알데히드·아세틸렌·암모니아·**수소**·황화수소·시아나화수소·일산화탄소·이황화탄소·메탄·염화메탄·브롬화메탄·에탄·염화에탄·염화비닐·에틸렌·산화에틸렌·프로판·시클로프로판·프로필렌·산화프로필렌·부탄·부타디엔·부틸렌·메틸에테르·모노메틸아민·디메틸아민·트리메틸아민·에틸아민·벤젠·에틸벤젠 및 그 밖에 공기 중에서 연소하는 가스로서 폭발한계(공기와 혼합된 경우 연소를 일으킬 수 있는 공기 중의 가스 농도의 한계를 말한다. 이하 같다)의 하한이 10퍼센트 이하인 것과 폭발한계의 상한과 하한의 차가 20퍼센트 이상인 것을 말한다.

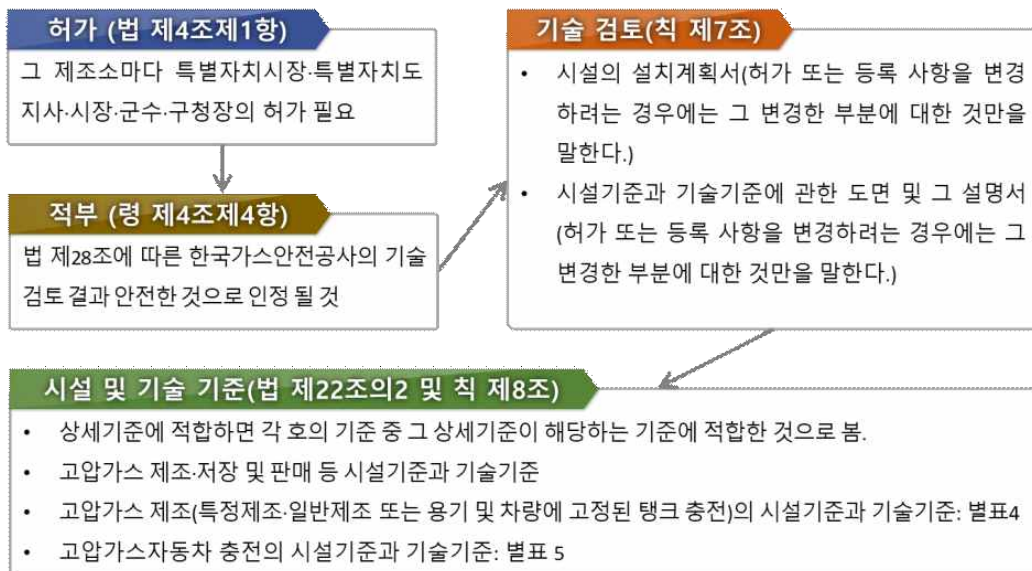
□ 고압가스를 제조(충전 포함)·저장·판매·운반·사용 등을 위해서는 관할 기초자치단체장의 허가 또는 신고 필요

○ 다만, 가연성가스 및 독성가스의 경우 용량에 관계없이 허가 대상에 속함



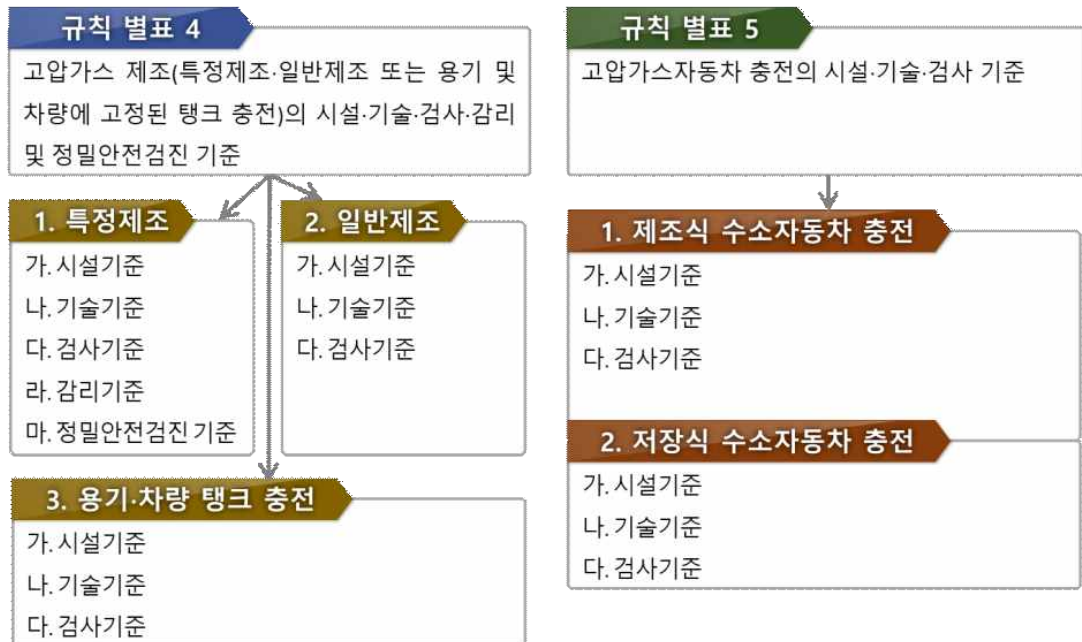
[그림 129] 고압가스안전관리법에 따른 허가 및 신고 대상 체계[85]

□ 수소충전소에 적용되는 제도는 「고압가스안전관리법」 시행규칙 별표5



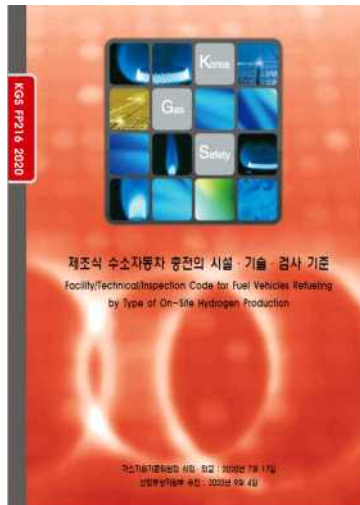
[그림 130] 고압가스안전관리법에 따른 수소충전소의 허가 체계[85]

- 수소충전소에 적용되는 제도인 「고압가스안전관리법」 시행규칙 별표5는 별표4에 기인 한 것으로써, 별표5는 별표4에 비교 가능

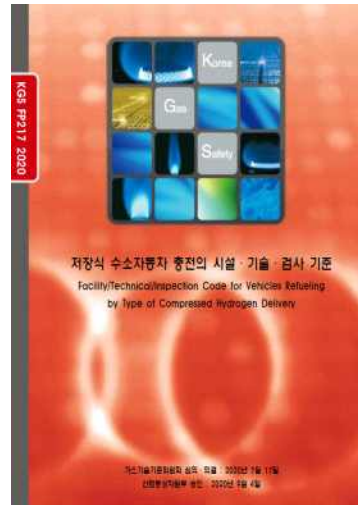


[그림 131] 고압가스안전관리법의 시행규칙 별표4 및 별표5 비교[85]

- 수소 자동차 충전소는 개질, 추출, 등의 방법으로 직접 수소를 제조하여 충전하는 제조식 수소 자동차 충전소와 정제된 수소를 배관 또는 튜브 트레일러로 공급받는 저장식 수소 자동차 충전소로 분류할 수 있으며, 고압가스 안전관리법에서는 공급 방식에 따라 제조식, 저장식으로 구분하여 각각 규칙 별표 5의 제1호, 제2호에 상세 시설·기술·검사 기준을 규정하고 있음.
- 이에 해당되는 KGS CODE는 KGS FP216(제조식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준)과 KGS FP217(저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준)로 구분됨



<KGS FP 216>



<KGS FP 217>

[그림 132] 제조식 및 저장식 기준(KGS CODE)

- 수소충전소에 적용되는 제도인 「고압가스안전관리법」 시행규칙 별표5의 제1호 제조식과 제2호 저장식의 시설기준을 비교하면 다음과 같음.

1. 제조식 가. 시설기준	2. 저장식 가. 시설기준
1) 배치기준(보호시설과의 거리, 화기와의 거리 등 7개 세세목) 2) 기초기준(저장탱크의 기초 기준) 3) 저장설비기준(내진성능, 탱크 사이의 거리 등 4개 세세목) 4) 가스설비기준(가스설비의 재료, 구조 및 강도 등 6개 세세목) 5) 배관설비기준(배관의 재료, 구조 및 강도 등 6개 세세목) 6) 사고예방설비기준(안전밸브, 방폭, 긴급차당장치 등 7개 세세목) 7) 피해저감설비기준(방호벽, 온도상승방지 등 3개 세세목) 8) 부대설비기준(통신시설, 비상전력설비 등) 9) 표시기준(경계표지, 경계책 등) 10) 그 밖의 기준(고법에 따른 검사품 사용 등)	1) 보호시설과의 거리 2) 저장설비와 충전설비 거리 3) 안전거리 4) 저장설비 설치 대수 제한(3대) 5) 내진조치 6) 안전밸브 7) 기타는 제1호가목 준용- 3)의 3개, 6)의 1개, 7)의 1개 제외

[그림 133] 고압가스안전관리법의 시행규칙 별표5의 1 및 2 비교[85]

- 수소충전소 및 고압가스 설비에 공통으로 적용되는 안전관리 제도 및 기준을 종합하면 다음과 같음
- 고압가스안전관리법 제4조 【고압가스의 제조 허가 등】
 - 고압가스안전관리법 시행령 제3조 【고압가스 제조허가 등의 종류 및 기준 등】
 - 고압가스안전관리법 시행규칙 제8조, 별표 5 고압가스자동차 충전의 시설·기술·검사 기준

- KGS CODE FP216 제조식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준
- KGS CODE FP217 저장식 수소자동차 충전의 시설·기술·검사 기준
- 산업통상자원부고시 제2018-179호, 융·복합, 패키지형 및 이동식 자동차 충전소 시설기준 등에 관한 특례기준
- KGS CODE GC101 가스시설의 폭발위험장소 종류 구분 및 범위 산정에 관한 기준
- KGS CODE GC102 방폭전기기기의 설계, 선정 및 설치에 관한 기준 등

「고압가스 안전관리법」

제4조(고압가스의 제조허가 등) ⑥ 제1항과 제5항에 따른 허가의 종류 및 기준과 대상범위는 대통령령으로 정하고, 고압가스의 제조·저장 및 판매에 필요한 시설기준과 기술기준은 산업통상자원부령으로 정한다.

제13조(시설·용기의 안전유지) ① 사업자등은 제4조제6항, 제5조제2항, 제5조의3제2항 또는 제5조의4제2항에 따른 시설기준과 기술기준을 준수하여야 한다.

「고압가스 안전관리법 시행령」

제3조(고압가스 제조허가 등의 종류 및 기준 등) ① 법 제4조제1항에 따른 고압가스 제조허가의 종류와 그 대상범위는 다음 각 호와 같다.

3. 고압가스 충전

용기 또는 차량에 고정된 탱크에 고압가스를 충전할 수 있는 설비로 고압가스를 충전하는 것으로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것. 다만, 제1호에 따른 고압가스 특정제조 또는 제2호에 따른 고압가스 일반제조의 범위에 해당하는 것은 제외한다.

가. 가연성가스(액화석유가스와 천연가스는 제외한다) 및 독성가스의 충전

나. 가목 외의 고압가스(액화석유가스와 천연가스는 제외한다)의 충전으로서 1일 처리능력이 10세제곱미터 이상이고 저장능력이 3톤 이상인 것

제4조(고압가스제조 신고대상) 법 제4조제2항에 따른 고압가스제조 신고대상은 다음과 같다.

1. 고압가스 충전

용기 또는 차량에 고정된 탱크에 고압가스를 충전할 수 있는 설비로 고압가스(가연성가스 및 독성가스는 제외한다)를 충전하는 것으로서 1일 처리능력이 10세제곱미터 미만이거나 저장능력이 3톤 미만인 것

「고압가스 안전관리법 시행규칙」

제8조(고압가스제조 등의 시설기준과 기술기준 등) ① 법 제4조제6항에 따른 고압가스의 제조·저장·판매의 시설기준과 기술기준, 법 제5조의3제2항에 따른 고압가스 수입업의 시설기준과 기술기준, 법 제5조의4제2항에 따른 고압가스 운반차량의 시설기준과 기술기준은 다음 각 호와 같다.

2. 고압가스자동차 충전의 시설기준과 기술기준 : 별표 5

3. 국내기준 검토 결과

가. 실증연구 필요성

- ☐ 현행 고압가스안전관리법 시행 규칙상 수소 충전소는 자동차만 충전 가능하며, 수소열차를 포함한 타 건설기계 등은 관련 근거가 없어 충전이 불가능
- ☐ 따라서, 수소열차에 대한 기체 및 액체수소 충전의 법적 근거 부재로, 사전 안전성 확보를 위한 실증 연구가 필요
- ☐ 실증연구 목적은 수소열차에 대한 수소충전 안전성 확보이며, 실증을 위해서는 법적 근거 마련을 위한 추가 안전기준(안) 제시 필요
 - 수소열차 탑재 용기 구성 형태에 따른 프로토콜 최적화, 기체 또는 액체 수소충전소 운영(안) 제시
 - 수소열차 실증 규제 특례 확보를 위해 국외 기준 조사 및 정량적 / 정성적 위험성 평가를 통한 수소 충전 시설의 추가 안전 기준(안) 제시 등

나. 수소열차용 충전소 실증 시 규제 샌드박스 추진 방향

- ☐ 허가 등의 근거가 되는 법령에 기준·규격·요건 등이 없는 경우, 허가등의 근거가 되는 법령에 따른 기준·규격·요건 등을 적용하는 것이 맞지 아니한 경우와 다른 법령의 규정에 의하여 허가등을 신청하는 것이 불가능한 경우에 적용되는 규제 샌드박스 제도 이용

[표 186] 수소열차용 충전소 분야 규제 샌드박스 검토 방향

세부사업	특례요구 분야	소관 부대조건
수소 열차 주행시험	자동차 외 타 건설기계에 대한 수소 충전 허용	① 수소차 용기 사용 ② 충전기와 용기간 통신 가능 ③ 국제충전기준(美, SAE J2601, 日 JPEC-S0003) 준수 ④ 고압가스법 운반기준 준수 ⑤ 운행속도 제한, 위험물 적재 금지 및 최소인원 탑승
수소열차 충전소	수소열차에 수소충전허용	① 수소차 용기 사용 ② 충전시설 보호조치, 모빌리티간 혼선 방지 ③ 철도 이격거리 완화 검토 등

다. 수소열차용 충전소 실증을 위한 규제 샌드박스 추진절차³⁾

□ 규제 샌드박스의 도입취지는 규제 신속 확인, 실증을 위한 규제특례, 임시허가 제도를 통해 새로운 산업융합 제품·서비스에 대한 혁신적 사업 지원임

구분	실증테스트 목적 (구역·기간·규모 등 제한)	시장출시 목적 (구역·규모 제한 정도 낮거나 없음)
규제 모호	① 규제 신속확인 제도 ○ 허가 필요여부, 규제 존재 여부 등을 신속하게 확인 ○ 사업자 신청 → 산업부 장관 → 관계부처 30일 내 회신	
법령 공백 · 적용 부적합	② 실증을 위한 규제특례 ○ 안전성 등을 시험·검증할 수 있도록 규제 적용 배제 (2년이내, 1회 연장가능) ○ 사업자 → 산업부 장관 → 규제특례심의위원회(민관합동) 결정	③ 임시허가 ○ 시장출시를 위해 2년 이내 임시허가 부여(1회 연장, 법개정이 완료될 때까지 연장된 것으로 간주) ○ 사업자 → 산업부 장관 → 규제특례심의위원회(민관합동) 결정
금지·불허	관련법령 제·개정 필요	

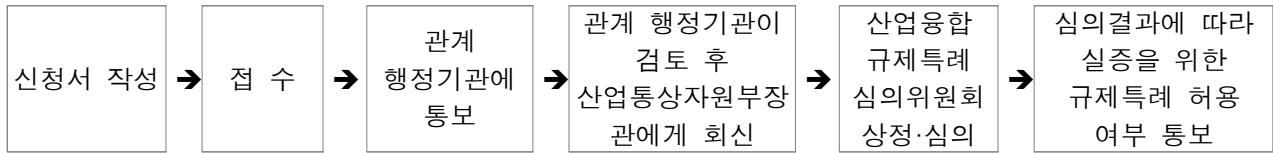
[그림 134] 규제 샌드박스의 주요 개념

□ 규제샌드박스 추진을 위한 주요 절차는 다음과 같음

○ 신청서 작성(신청인) → 접수(산업부, KIAT) → 관계행정기관 통보(KIAT)

3) 부처합동('22.3월), 「규제샌드박스 백서, 신기술이 빛을 보게 하다」

→ 관계기관 검토 후 산업부장관에게 회신→ 산업융합 규제특례심의위원회
 회 상정·심의 위원회(전문위원회·심의위원회) → 특례허용여부 통보(산
 업부 장관)



[그림 135] 규제샌드박스 추진 절차

- ☐ 규제특례 기간은 2년 이내에서 정함(1회 연장 가능), 안전성 등을 확보하기 위하여 필요한 경우 조건을 붙일 수 있음
- ☐ 규제특례 기간 종료일부터 30일 이내에 규제특례 적용 및 사업 결과를 산업부장관 및 관계 행정기관의 장에게 제출
- ☐ 관계 행정기관의 장은 사업 결과를 바탕으로 규제특례와 관련이 있는 법령의 정비 필요 여부를 검토한 후, 그 결과를 규제특례심의위원회에 보고하고, 필요 시 법령 정비 추진

라. 수소열차용 충전소 분야 규제 샌드박스 검토 방향

- ☐ (안전성 평가) 사업자는 수소열차용 충전소 등의 운영에 따른 위험요인 사전 발굴 및 관리방안 마련을 위해 자체 안전성 평가를 실시
- ☐ (안전관리계획) 사업자는 수소열차용 충전소에 대한 자체 안전성 평가 결과에 따라 시설 설계 및 자체 안전관리계획*을 수립 및 준수
 - * 자체 안전관리계획에는 추가안전기준(안) 및 안전관리방안을 포함하고 안전관리방안은 고압가스안전관리법 제11조에 따른 사업자 안전관리규정 준용
- ☐ (안전성 검증) 사업자는 자체 안전관리계획 등을 마련하여 안전위원회 및 가스안전공사 검토를 거쳐 산업부의 승인을 받아야 함
- ☐ (안전위원회) 안전관리 위원회는 산·학·연 전문가(가스안전공사 필참)가 참여하는 자체 안전위원회 구성 및 이를 통해 실증사업 안전성 검증 추진

- 위원회 실증 전·중·후 검증내용·결과를 가스안전공사 검토를 거쳐 산업부 보고·승인 요청

< 안전성 검증 내용 >

- (실증 前) 안전성 평가 결과 및 안전관리계획(안) 등 검토
- (실증 中) 안전관리계획 준수 여부 확인 등 주기적 모니터링
- (실증 後) 실증결과 및 실증결과를 반영한 안전기준(안) 검토

☐ (허가 및 검사) 수소열차용 충전소 등 시설 및 제품*에 대해 고압가스 안전관리법 검사체계에 따른 인허가 및 검사를 받아야 함

- * (시설) 기술검토, 사업허가, 시설검사, 안전관리자 선임, 사업개시 신고 등
(제품) 국내·외 제품 제조시설의 제조등록, 제품검사

제4절 : 전략계획서

1. 수소전기동차 실증사업

가. 사업개요

(1) 사업명

사업명	단위사업	친환경 수소철도 기술개발 사업기획
	세부사업	수소전기동차 실증사업
	내역사업	

(2) 사업목적

사업목적	○ 국가 R&D로 개발된 수소전기동차 핵심기술을 활용하여 비전철화 노선에서 운행 중인 디젤 철도차량을 대체하는 수소전기동차 실증 - (철도 분야 탄소중립 실현 및 수송 부담률 제고) 내구연한 도래 노후 디젤 철도차량을 대신하여 전철화가 미흡한 지방자치단체나 광역철도 노선에 적용할 수 있는 수소철도의 경제성과 기술성 검증 및 사업성 제고 - (수소철도 사업화) 국내 최초로 도입되는 수소전기동차 운영을 위한 기술기준/규제·법령 정비 및 핵심기술 개선/보완으로 사업화

(3) 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 「수소 경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조 - 제30조(수소산업 관련 기술개발의 촉진) ① 산업통상자원부장관은 수소산업 관련 기술의 개발을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 추진할 수 있다. ② 산업통상자원부장관은 제1항에 따른 수소산업 관련 기술개발을 촉진하기 위하여 수소산업 관련 기술을 연구·개발하거나 이를 산업화하는 자에게 예산의 범위에서 필요한 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다. ○ 「국토교통과학기술 육성법」 제8조 - 제8조(연구개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업을 할 수 있다. ○ 「철도산업발전기본법」 제11조 - 제11조(철도기술의 진흥 등) ① 국토교통부장관은 철도기술의 진흥 및 육성을 위하여 철도기술전반에 대한 연구 및 개발에 노력하여야 한다. ○ 「철도안전법」 제68조 - 국토교통부장관은 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위하여 연구·개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책을 마련하여 추진하여야 한다. ○ 「국가통합교통체계효율화법」 제98조 - 제98조(교통기술 연구·개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 교통기술의 연구·개발을 효율적으로 추진하기 위하여 연도별·분야별 교통기술 연구·개발과제를 선정하여 다음 각 호의 기관 또는 단체 등과 협약을 맺어 교통기

		술 연구·개발사업을 하게 할 수 있다.
	상위계획	○ 윤석열 정부 120대 국정과제 ('22.07.27.) - 3번 '탈원전 정책 폐기 및 원자력산업 생태계 강화' - 21번 '에너지안보 확립과 에너지 新산업.新시장 창출' - 24번 '반도체.AI.배터리 등 미래전략산업 초격차 확보' - 28번 '모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화' - 75번 '초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약' - 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환' - 88번 '미세먼지 걱정 없는 푸른 하늘' ○ 정부 2050 탄소중립 시나리오 ('21.10.18./관계부처 합동) - '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표의 이정표로 수송부문에서 남아있는 디젤 철도차량을 무탄소 동력(전기.수소)철도로 100% 전환 포함 ○ 수소경제 활성화 로드맵 ('19.1.17./관계부처 합동) ○ 수소 기술개발 로드맵 ('19.10.31./관계부처 합동) - 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술개발/적용, 철도차량.건설기계.선박용 연료전지 파워팩 기술개발 추진 ○ 제4차 국가철도망 구축계획 ('21~'30) - 완료 시점 기준 전철화율은 78.3%로 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원 방식 친환경 철도차량 필요 ○ 국토교통 탄소중립 로드맵 ('21.12.) - (철도중심 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대('19: 72.9% → '30: 78.3%)하고, 쏘 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(~'29)

(4) 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☒ 하향식 ☐		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 ☐	참여부처 (다부처사업)	국토교통부
사업기간	'24 ~ '26	총사업비	「230억원」
사업규모	연구단 : 신규 1개	지원대상	기업, 출연연 등
지원형태	출연	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(전문기관 : 국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) ☐		

(5) 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	○ 추진주체 간 역할분담:부처-전문기관-사업단 또는 센터	
	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부	○ 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련

수행주체		역할 세부내용
		된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공
국토교통과학기술진흥원		○ 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안건에 대한 결정 ○ 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관리 등 추진
수 행 기 관	주관연구개발기관	○ 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄 업무 추진하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 ○ 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리 ○ 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행
	공동연구개발기관	○ 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행
	위탁연구개발기관	○ 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문 지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행

추진전략	
○ 사업추진 방향 - 국내 운영 중인 디젤동차 운영 노선에 시범사업 형태로 도입하여 운영데이터를 취득하고 시스템 개선/보완사항 도출 및 유지보수 데이터 확보 - 수소철도의 경제성, 기술성 검증 및 사업성 제고	
사업추진전략	
	○ 유사 사업과의 차별성·연계성

	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
1	수소연료전	■ 수소연료전지 기반 하이브	■ (차별성) 수소전기동차 형식

		지 하이브리드 동력시스템 을 적용한 철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~ `22.12.)	리드 철도차량 시스템 엔 지니어링 ■ 수소연료전지-2차전지 하이 브리드 동력시스템 ■ 시험차량 설계 및 제작 ■ 수소연료전지 하이브리드 철 도차량 기술기준(안) 및 성 능검증 ■ 수소 충전소 구축 및 테스 트베드(T/B) 운영방안	승인을 위한 철도차량 기술 기준(안) 고시 ■ (차별성) 수소전기동차 충전 시설 철도시설 기술기준(안) ■ (연계성) 선행과제에서 개발 한 1.2MW급 동력분산식 수 소연료전지 하이브리드 추진 시스템 활용 및 개선설계 ■ (연계성) 개선된 실증차량을 제작하여 시범노선에서 운행
	2	액화수소 기반 수소기관차 핵심기술 개발 (`21.01.~ `24.12.)	■ 기관차용 액화수소 하이브 리드 추진시스템 개발 ■ 수소연료전지용 액화수소 공급 시스템 개발 ■ 액화수소 지상인프라 핵심 시스템 기술 개발	■ (차별성) 선행과제는 철도차 량에 액화수소를 적용하기 위한 부품단위의 원천기술 개발로 기체수소 적용 수소 전기동차 실증사업과는 차별 성 존재
	3	수소전기트 램 핵심기술 개발 및 실증 (`21.07.~ `23.12.)	■ 수소트램 시스템 통합 및 성능검증, 수소트램 전용 연료전지 및 요소 부품개 발 ■ 해외 수출을 위한 기술기준 및 주행성능 평가 ■ 수소트램 운영 기술개발	■ (차별성) 선행과제는 수소트 램용 부품 및 구성품 기술개 발과 성능검증을 하는 과제 로 수소전기동차 실증사업과 는 용량, 개발 방향에 차별 성이 있음
	R&D 전주기 사업관리 계획			
○ 본 연구개발 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥 원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 사업운영 체계를 구축하여 운영 및 관리				

	시행계획 수립	전문기관/운영위원회
	시행계획 심의 확정	국토교통부/국토교통과학기술위원회
	시행계획공고	전문기관
	신청과제 접수 및 사전검토	전문기관
	선정평가	선정평가위원회
	선정평가 결과 심의(필요시)	운영위원회
	협약체결	전문기관
	중간평가(중간모니터링, 연차평가)	중간평가위원회
	최종평가	최종평가위원회
	사업비 정산	전문기관
	성과활용	주관연구기관
	사후관리(추적평가 및 기술료 징수 등)	전문기관
위험요인 및 극복방안	위험요인	극복방안
	○ 중국, 유럽 등에서 이미 사업화가 진행 중으로 기술종속 위험 ○ 제도 부족으로 인한 실용화 지연	○ 수소차, 전기차와 같은 유사분야에서 선도중인 기술 및 풍부한 경험을 바탕으로 글로벌 기술 경쟁력 확보 ○ 철도 분야 수소산업 생태계 조성으로 선진기술 종속 회피 및 선도국가로 발돋움 ○ 기 개발된 수소전기동차 핵심기술 및 기술기준(안)을 활용하여 실증사업 추진 및 실용화 확대 ○ 수소철도 관련 제도·지침 정비를 통해 수소철도차량 및 충전소 개발 지연 방지 및 실용화 견인
수혜자	과제 수행 중소기업 또는 수요기업 (철도차량 제작사 및 철도용품/장치 제작사)	

(6) 사업기대효과

과학기술적 기대효과	☐ 정부 2050 탄소중립 계획의 이정표로 무탄소 동력철도(전기수소)로 100% 전환하기 위한 선제대응 가능 ☐ 대기오염물질 감소 효과 기대 ('19년 기준 디젤철도차량 대기오염물질 직·간접 배출 총 9,308.4톤/년) ☐ 공공교통수단인 철도에 지속적으로 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수요 활용 분야 확대 ☐ 수소철도 기술 및 해외 시장 선도를 위한 교두보 마련과 국내 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과 기대

사회경제적 기대효과	□ 디젤동차(기대수명 20년, 평균 차령 26년) 수입 대체에 따른 높은 경제적 파급 효과
	○ '21년 기준 121량 보유 중으로 도입가격 약 9억/대 적용시 1,089억원 수입 대체 효과
	□ 전력인프라(전차선, 변전소 등) 구축 및 유지보수 비용 절감, 건설비용(터널 단면적 축소) 경감 가능
	○ 전철화 비용(복선) 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km (KDI 공공투자관리센터, 도로 및 철도부문 비용 추정 지침('15.3월))
	□ 높은 에너지효율로 인한 운영비 절감
	○ 에너지 효율 : 수소연료전지 36%, 전기기관 21%, 가솔린 내연기관 16%
	○ 에너지 비용 : 수소 1,730원/km, 디젤 3,000원/km (디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/L 기준)

(7) 사업 내용

예산 규모	<2024년도 신규사업>				
	(백만원)				
	구분		'24년도 예산	'25년도 예산	'26년도 예산
	□ 수소전기동차 실증사업	총 예산 23,000	7,000	8,000	8,000
세부내용	▪ 수소전기동차 실증사업		총 예산 23,000	7,000	8,000
	내역사업	주요 내용			
	수소전기동차 실증사업	○ 수소전기동차 제작 및 형식승인 - 수소전기동차 핵심 구성품 최적화 기술개발 - 수소전기동차 실증차량 설계·제작 기술개발 ○ 수소전기동차 실용화 기술개발 - 수소전기동차 시스템 엔지니어링 - 철도차량/철도시설 기술기준 고시 ○ 수소철도 운영 인프라 기술개발 - 수소전기동차 검수시설 구축 - 수소철도용 수소충전소 구축 - 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발			
연차별 추진내용(로드맵)					
연도	연차목표	핵심목표 및 내용			
'24년도	구성품/실증차량/인프라 설계 및 철도차량 임시기술기준 제정	○ 주요 구성품 사양 선정 및 설계 - 수소연료전지-2차전지 시스템 사양 선정 및 최적 설계 - 주요 전장품 사양 선정, 설계 및 주요 소자 용량계산서 도출 - 전장품 검수 편의성 및 소형·경량화를 위한 기기 배치 개선설계 - 전장품 EMI/EMC 개선 및 인터페이스 검토			

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
		○ 실증차량 사양 선정 및 설계 - 수소전기동차 요구사항 분석 및 도출 - 수소전기동차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 산출·검토 - 수소전기동차 User I/F(HMI, 운전대) 최적화 개선설계 - 장치 간 기기 배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정 - 실증용 수소전기동차 상세 설계, 주요 부품 발주 ○ 에너지 제어기술 개발 - 장치 간 인터페이스 및 제어로직 설계 - 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계 - 에너지 제어기술 개발 및 모의환경 기반 검증 ○ 기술기준 설계·검토 및 철도차량 임시기술기준 제정 - 수소전기동차 철도차량 임시기술기준 제정 - 수소전기동차 철도차량/철도시설 기술기준 설계·검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 수립 ○ 운영 인프라 사양 선정 및 설계 - 수소전기동차 검수시설 요구사항 분석 및 기본설계 - 철도용 수소 충전시설 요구사항 분석 및 도출 - 수소 충전시설 구축을 위한 규제/법령 검토 - 수소 충전시설 기본설계 ○ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 시나리오 설계 - 실증차량/인프라 운영기술 분석 및 요구사항 도출 - 실증차량/인프라 유지보수 기술조사
'25년도	구성품/실증차량/인프라 제작 및 시험	○ 구성품 제작 및 성능시험 - 수소연료전지 동력시스템 제작 및 동작시험 검증·보완 - 주요 전장품 제작 및 동작시험 검증·보완 - 구성품 형식승인(부품시험, 구성품시험) ○ 실증차량 부품 제작 및 조립 - 실증차량 차체, 대차, 기타 부품 제작 및 검증 - 의장, 기장/제동, 전장 일부 등 완성차 조립 시작 - 수소연료전지 동력계 및 주요 전장품 취부 절차 확립 ○ 에너지관리시스템 제작 - 에너지관리시스템 설계 및 제작 - 에너지 제어기술 알고리즘 탑재 및 동작 확인 - 조합시험을 통한 수소연료전지 동력시스템-전장품 연계 에너지 제어기술 검증 ○ 철도차량/철도시설 기술기준 개발 - 수소전기동차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준 개발 - 수소 충전시설 구축을 위한 철도시설 기술기준 개발 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
`26년도	예비주행/시운전	○ 운영 인프라 상세설계 및 구축 - 수소전기동차 검수시설 상세설계 및 구축 - 수소 충전시설 상세설계 및 구축(규제샌드박스) ○ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기술개발 - 실증차량/인프라 유지보수 대상부품 사양도출 - 실증차량/인프라 유지보수 요소기술 개발
		○ 구성품 차량 탑재 및 실증시험 - 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 완성차 연계 동작시험 - 구성품 형식승인(완성차시험) ○ 실증차량 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험) - 수소연료전지 동력시스템 및 주요 전장품 차량 취부 및 인터페이스 검증 - 실증차량 조립 및 편성 완료 - 형식승인(완성차시험, 예비주행, 시운전시험) ○ 에너지 제어기술 실증 - 에너지관리시스템 차량탑재 및 인터페이스 확인 - 실증차량 운영을 통해 에너지 제어기술 성능검증 ○ 철도차량/철도시설 기술기준 최종도출 - 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증 절차 제안 - 철도차량/철도시설 기술기준 의견수렴 및 보완·확정 - 수소전기동차 기술검증 및 성능평가 체계 개선 ○ 운영 인프라 운영 및 검증 - 수소전기동차 검수 인프라 운영 - 철도용 수소 충전시설 사업개시 및 시운전 - 실증차량-인프라 연계 운영 검증 ○ 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 고도화 - 수소전기동차/인프라 운영 및 유지보수 기준 및 관리방안 - 사업화 전략 도출

나. 성과목표 및 지표

(1) 전략목표

전략목표	실증노선 운영을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 개발 및 운영 인프라 구축

(2) 성과목표

단계(평가주기)	-	기간		2024년 ~ 2026년	
단계별 성과목표					
성과목표-1	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	가중치	0.4	설정 근거	본 사업의 대상 차량인 수소전기동차를 설계·제작하고, 기술기준에 의거하여 형식승인을 진행하여 실제 영업노선에서 운영할 수 있는 기반 마련
성과목표-2	수소전기동차 철도차량 기술기준 도출 및 에너지 제어기술 개발	가중치	0.35	설정 근거	수소전기동차는 국내 최초 개발 및 도입을 검토 중으로 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따른 철도차량 형식승인을 받아야 함. 따라서, 본 사업을 통해 기술개발과 함께 기술기준 마련을 동시에 진행하여 신규로 개발되는 수소전기동차 형식승인 기술기준의 적용성에 대한 검증 및 그 결과 도출
성과목표-3	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	가중치	0.25	설정 근거	노선 운영을 위해서는 차량 정비 등을 위한 검수시설과 수소전기동차의 연료인 수소의 충전인프라 구축이 반드시 필요하므로 이에 대한 구축 및 운영 필요.

(3) 성과지표

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2024	2025	2026			
성과목표-1	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	0.4	실증차량 제작율	%	목표	50	83	100	과정		• 성과목표인 ‘수소전기동차 실증차량 제작’ 달성을 위해 ‘실증차량 제작율’을 성과지표로 설정(실증차량 제작 여부 확인)
					실적						
			실증차량 형식승인 달성율	%	목표	0	50	100	과정	√	• 성과목표인 ‘수소전기동차 실증차량 형식승인 완료’ 달성을 위해 ‘실증차량 형식승인 달성율’을 성과지표로 설정(형식승인 완료 여부 확인)
					실적						
			실증차량 예비주행거 리	km	목표			5,000	결과	√	• 실증차량의 성능검증을 위해 예비주행 5,000km 이상 달성 여부를 성과지표로 설정
					실적						
성과목표-2	수소전기동차 철도차량 기술기준(안) 도출 및 에너지 제어기술 개발	0.35	논문게재	건	목표	1	2	2	결과	√	• 구성품 및 실증차량 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적						
			특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	결과	√	• 구성품 및 실증차량 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
					실적						
			에너지관리 시스템 개발율	%	목표	66	83	100	과정		• 장치 간 인터페이스 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 수립, 에너지 제어기술 등 실증차량 시스템 엔지니어링 확인을 위해 ‘에너지관리시스템 개발율’을 성과지표로 설정
					실적						
			철도차량/ 철도시설 기술기준 도출 완료율	건	목표	25	75	100	과정	√	• 수소철도차량/충전소의 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따라 기술기준이 마련되고, 형식승인을 받아야 하므로 ‘철도차량/철도시설 기술기준 완료율’을 성과지표로 설정
					실적						

성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2024	2025	2026			
성과 목표 -3	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	검수시설 구축률	%	목표	25	75	100	과정		• 실증차량의 운영 및 유지보수를 위해서는 정비할 수 있는 검수시설이 필요함에 따라 ‘검수시설 구축률’을 성과지표로 설정
					실적						
			수소충전소 구축률	%	목표	50	66	100	과정	√	• 실증차량 주행 및 운영을 위해서는 수소 저장·공급을 위한 수소충전소가 필요하며, 이를 위해 ‘수소충전소 구축률’을 성과지표로 설정
					실적						
			사업화 전략 수립	건	목표			1	결과		• 수소전기동차 국내 도입을 위해 본 실증사업을 수행하면서 수소철도차량/인프라 운영 및 유지보수를 진행하고, 이를 기반으로 상용화를 위한 ‘사업화 전략 수립’을 성과지표로 설정
					실적						
계											

(4) 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																					
실증차량 제작율	• 과업기간 동안 실증차량 제작을 위해 획득할 필요항목(6건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=3/6)</td><td>83 (=5/6)</td><td>100 (=6/6)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>3건 (3건)</td><td>2건 (5건)</td><td>1건 (6건)</td></tr></table> ※ 실증차량 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>구성품 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건</td></tr><tr><td>구성품 시제품 제작</td><td></td><td>1</td><td></td><td>구성품 시제품 1건</td></tr><tr><td>실증차량 사양 선정 및 설계</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>실증차량 사양서 1건 실증차량 설계서 1건</td></tr><tr><td>실증차량 시제품 제작</td><td></td><td></td><td>1</td><td>실증차량 시제품 1건</td></tr></table> * 구성품 : 수소연료전지-2차전지 동력시스템, 수소저장용기, 전장품(DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치)	구분	‘24년	‘25년	‘26년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=3/6)	83 (=5/6)	100 (=6/6)	검토항목 (누적 건수)	3건 (3건)	2건 (5건)	1건 (6건)	필요항목	‘24년	‘25년	‘26년	증빙자료 형태	구성품 사양 선정 및 설계	2			구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건	구성품 시제품 제작		1		구성품 시제품 1건	실증차량 사양 선정 및 설계	1	1		실증차량 사양서 1건 실증차량 설계서 1건	실증차량 시제품 제작			1	실증차량 시제품 1건	[측정산식] • 제작율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	‘24년	‘25년	‘26년																																				
	목표실적 (누적 개발률)	50 (=3/6)	83 (=5/6)	100 (=6/6)																																				
	검토항목 (누적 건수)	3건 (3건)	2건 (5건)	1건 (6건)																																				
	필요항목	‘24년	‘25년	‘26년	증빙자료 형태																																			
구성품 사양 선정 및 설계	2			구성품 사양서 1건 구성품 설계서 1건																																				
구성품 시제품 제작		1		구성품 시제품 1건																																				
실증차량 사양 선정 및 설계	1	1		실증차량 사양서 1건 실증차량 설계서 1건																																				
실증차량 시제품 제작			1	실증차량 시제품 1건																																				
실증차량 형식승인 달성률	• 과업기간 동안 실증차량 형식승인 달성을 위해 획득할 필요항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>0 (=0/4)</td><td>50 (=2/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>0 (0건)</td><td>2건 (2건)</td><td>2건 (4건)</td></tr></table> ※ 실증차량 형식승인을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>구성품 성능시험 결과</td><td></td><td>2</td><td></td><td>성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건</td></tr><tr><td>실증차량 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>2</td><td>완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건</td></tr></table>	구분	‘24년	‘25년	‘26년	목표실적 (누적 개발률)	0 (=0/4)	50 (=2/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	0 (0건)	2건 (2건)	2건 (4건)	필요항목	‘24년	‘25년	‘26년	증빙자료 형태	구성품 성능시험 결과		2		성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건	실증차량 성능시험 결과			2	완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건	[측정산식] • 달성률 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 확인	국토교통R&D 사업관리시스템										
	구분	‘24년	‘25년	‘26년																																				
	목표실적 (누적 개발률)	0 (=0/4)	50 (=2/4)	100 (=4/4)																																				
	검토항목 (누적 건수)	0 (0건)	2건 (2건)	2건 (4건)																																				
	필요항목	‘24년	‘25년	‘26년	증빙자료 형태																																			
구성품 성능시험 결과		2		성능시험 성적서 1건 조합시험 성적서 1건																																				
실증차량 성능시험 결과			2	완성차시험 성적서 1건 성능검증 성적서 1건																																				

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
실증차량 예비주행거리	- 철도안전법에 따른 형식승인 기준에 따라 목표치 설정 - 예비주행거리 5,000km 이상 달성	[측정산식] - 예비주행거리 = 예비주행시험 주행거리 누적값 (시험일지 또는 차량 TCMS 주행거리) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 확인	국토교통R&D 사업관리시스템
논문게재	연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성률 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
특허 출원/등록	연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술정보서비스 (NTIS)

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																	
에너지관리시스템 개발율	• 과업기간 동안 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위해 획득할 필요항목(6건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 개발율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																	
	<table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>66 (=4/6)</td><td>83 (=5/6)</td><td>100 (=6/6)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>4 (4건)</td><td>1건 (5건)</td><td>1건 (6건)</td></tr></table>			구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	66 (=4/6)	83 (=5/6)	100 (=6/6)	검토항목 (누적 건수)	4 (4건)	1건 (5건)	1건 (6건)					
	구분			'24년	'25년	'26년														
	목표실적 (누적 개발률)			66 (=4/6)	83 (=5/6)	100 (=6/6)														
	검토항목 (누적 건수)			4 (4건)	1건 (5건)	1건 (6건)														
※ 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획																				
<table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>에너지 제어기술 개발</td><td>3</td><td></td><td></td><td>인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건</td></tr><tr><td>에너지관리시스템 시제품 제작</td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>에너지관리시스템 차량 설치 및 실증시험</td><td></td><td></td><td>1</td><td>실증결과 보고서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	에너지 제어기술 개발	3			인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건	에너지관리시스템 시제품 제작	1	1		설계서 1건 시제품 1건	에너지관리시스템 차량 설치 및 실증시험			1	실증결과 보고서 1건
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																
에너지 제어기술 개발	3			인터페이스 설계서 1건 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건																
에너지관리시스템 시제품 제작	1	1		설계서 1건 시제품 1건																
에너지관리시스템 차량 설치 및 실증시험			1	실증결과 보고서 1건																
철도차량/철도시설 기술기준 도출 완료율	• 과업기간 동안 수소 철도차량/철도시설 기술기준 도출을 위해 획득할 필요항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 완료율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																	
	<table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>2건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table>			구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	2건 (3건)	1건 (4건)					
	구분			'24년	'25년	'26년														
	목표실적 (누적 개발률)			25 (=1/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)														
	검토항목 (누적 건수)			1 (1건)	2건 (3건)	1건 (4건)														
※ 기술기준 도출을 위한 연차별 달성 계획																				
<table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>철도차량 임시기술기준 제정</td><td>1</td><td></td><td></td><td>철도차량 임시기술기준 1건</td></tr><tr><td>기술기준 개발</td><td></td><td>2</td><td></td><td>철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건</td></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td></td><td></td><td>1</td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr></table>	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	철도차량 임시기술기준 제정	1			철도차량 임시기술기준 1건	기술기준 개발		2		철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건	전문기관 협의 및 의견수렴			1	의견수렴 결과보고서 1건
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																
철도차량 임시기술기준 제정	1			철도차량 임시기술기준 1건																
기술기준 개발		2		철도차량 기술기준 1건 철도시설 기술기준 1건																
전문기관 협의 및 의견수렴			1	의견수렴 결과보고서 1건																

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
검수시설 구축률	과업기간 동안 실증차량 검수 인프라 구축을 위해 획득할 필요 항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>2건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 검수 인프라 구축을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>검수시설 요구사항 분석 및 기본설계</td><td>1</td><td></td><td></td><td>검수시설 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>검수시설 구축</td><td></td><td>2</td><td></td><td>검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축</td></tr><tr><td>검수시설 운영결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>검수시설 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	2건 (3건)	1건 (4건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	검수시설 요구사항 분석 및 기본설계	1			검수시설 기본설계서 1건	검수시설 구축		2		검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축	검수시설 운영결과			1	검수시설 운영보고서 1건	[측정산식] 구축률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																															
	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	2건 (3건)	1건 (4건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
검수시설 요구사항 분석 및 기본설계	1			검수시설 기본설계서 1건																															
검수시설 구축		2		검수시설 상세설계서 1건 검수시설 1개소 구축																															
검수시설 운영결과			1	검수시설 운영보고서 1건																															
수소충전소 구축률	과업기간 동안 실증차량을 위한 수소충전소 구축을 위해 획득할 필요항목(6건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=3/6)</td><td>66 (=4/6)</td><td>100 (=6/6)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>3 (3건)</td><td>1건 (4건)</td><td>2건 (6건)</td></tr></table> ※ 수소충전소 구축을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소충전소 설계</td><td>3</td><td></td><td></td><td>수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 구축</td><td></td><td>1</td><td></td><td>수소충전소 1개소 구축</td></tr><tr><td>수소충전소 운영</td><td></td><td></td><td>2</td><td>성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=3/6)	66 (=4/6)	100 (=6/6)	검토항목 (누적 건수)	3 (3건)	1건 (4건)	2건 (6건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소충전소 설계	3			수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건	수소충전소 구축		1		수소충전소 1개소 구축	수소충전소 운영			2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건	[측정산식] 구축률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료 (공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	50 (=3/6)	66 (=4/6)	100 (=6/6)																															
	검토항목 (누적 건수)	3 (3건)	1건 (4건)	2건 (6건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
수소충전소 설계	3			수소충전소 기본설계서 1건 수소충전소 상세설계서 1건 규제/법령 검토서 1건																															
수소충전소 구축		1		수소충전소 1개소 구축																															
수소충전소 운영			2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건																															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
사업화 전략 수립	본 사업은 수소전기동차를 상용화하기 위해 실제 노선에 투입·운영하는 실증사업으로 수소철도차량/인프라 운영 및 유지보수를 통해 사업화 전략 수립을 목표로 설정	[측정산식] - 사업화 전략 보고서 1건 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D사업관리시스템

(5) 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내용			
전략목표	실증노선 운영을 위한 수소전기동차 제작과 철도안전법 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 개발 및 운영 인프라 구축			
(최종) 성과목표	수소전기동차 실증 (출력 1.2MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전 600km 이상 주행)			
성과목표 및 지표	2024년도 ~ 2026년도			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료	0.4	실증차량 제작율	과정
			실증차량 형식승인 달성율	과정(질)
			실증차량 예비주행거리	결과(질)
	수소전기동차 철도차량 기술기준(안) 도출 및 에너지 제어기술 개발	0.35	논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
			에너지관리시스템 개발율	과정
			철도차량/철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)
	수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	0.25	검수시설 구축률	과정
			수소충전소 구축률	과정(질)
			사업화 전략 수립	결과

다. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027	2024 ~ 2026년도 (총 3년)	1. 수소전기동차 실증차량 제작 및 형식승인 완료 2. 수소전기동차 철도차량 기술기준 도출 및 에너지 제어기술 개발 3. 수소전기동차 검수시설 및 수소충전소 구축·운영	(최종)성과목표 및 전략목표 달성을 위한 연구개발기간 3년의 과정이 소요되며, 사업 완료된 2027년을 평가연도로 설정함

라. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 없음

마. 성과 활용·확산 계획서 제출 계획

사업 종료 연도	성과확용·확산 계획서 제출 연도
2026년	2027년

2. 수소전기기관차 핵심기술 개발사업

가. 사업개요

(1) 사업명

사업명	단위사업	친환경 수소철도 기술개발 사업기획
	세부사업	수소전기기관차 핵심기술 개발사업
	내역사업	

(2) 사업목적

사업목적	○ 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 대체하여 비전철화 구간 및 혼합 구간에서 승객과 화물을 운송할 수 있는 독립전원방식 친환경 수소전기기관차 기술개발로 철도 분야 탄소중립 실현

(3) 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 「수소 경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조 - 제30조(수소산업 관련 기술개발의 촉진) ① 산업통상자원부장관은 수소산업 관련 기술의 개발을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 추진할 수 있다. ② 산업통상자원부장관은 제1항에 따른 수소산업 관련 기술개발을 촉진하기 위하여 수소산업 관련 기술을 연구·개발하거나 이를 산업화하는 자에게 예산의 범위에서 필요한 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다. ○ 「국토교통과학기술 육성법」 제8조 - 제8조(연구개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업을 할 수 있다. ○ 「철도산업발전기본법」 제11조 - 제11조(철도기술의 진흥 등) ① 국토교통부장관은 철도기술의 진흥 및 육성을 위하여 철도기술전반에 대한 연구 및 개발에 노력하여야 한다. ○ 「철도안전법」 제68조 - 국토교통부장관은 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위하여 연구·개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책을 마련하여 추진하여야 한다. ○ 「국가통합교통체계효율화법」 제98조 - 제98조(교통기술 연구·개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 교통기술의 연구·개발을 효율적으로 추진하기 위하여 연도별·분야별 교통기술 연구·개발과제를 선정하여 다음 각 호의 기관 또는 단체 등과 협약을 맺어 교통기술 연구·개발사업을 하게 할 수 있다.
	상위계획	○ 윤석열 정부 120대 국정과제 ('22.07.27.) - 3번 '탈원전 정책 폐기 및 원자력산업 생태계 강화' - 21번 '에너지안보 확립과 에너지 新산업·新시장 창출' - 24번 '반도체·AI·배터리 등 미래전략산업 초격차 확보' - 28번 '모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화' - 75번 '초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약'

	- 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환' - 88번 '미세먼지 걱정 없는 푸른 하늘'
	○ 정부 2050 탄소중립 시나리오 ('21.10.18./관계부처 합동) - '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표의 이정표로 수송부문에서 남아있는 디젤 철도차량을 무탄소 동력(전기,수소)철도로 100% 전환 포함 ○ 수소경제 활성화 로드맵 ('19.1.17./관계부처 합동) ○ 수소 기술개발 로드맵 ('19.10.31./관계부처 합동) - 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술개발/적용, 철도차량.건설기계.선박용 연료전지 파워팩 기술개발 추진 ○ 제4차 국가철도망 구축계획 ('21~'30) - 완료 시점 기준 전철화율은 78.3%로 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원 방식 친환경 철도차량 필요 ○ 국토교통 탄소중립 로드맵 ('21.12.) - (철도중심 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대('19: 72.9% → '30: 78.3%)하고, 쏘 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(~'29)

(4) 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☒ 하향식 ☐		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 ☐	참여부처 (다부처사업)	국토교통부
사업기간	'24 ~ '28	총사업비	「289억원」
사업규모	연구단 : 신규 1개	지원대상	기업, 출연연 등
지원형태	출연	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(전문기관 : 국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) ☐		

(5) 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	○ 추진주체 간 역할분담:부처-전문기관-사업단 또는 센터	
	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부	○ 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공
	국토교통과학기술진흥원	○ 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안건에 대한 결정 ○ 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관

	수행주체		역할 세부내용
			리 등 추진
수행기관	주관연구개발기관		○ 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄 업무 추진하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 ○ 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리 ○ 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행
		공동연구개발기관	○ 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행
	위탁연구개발기관		○ 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문 지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행
사업추진전략	추진전략		
	○ 사업추진 방향 - 동력집중식 기관차용 수소연료전지 시스템 구축과 국내 실용화 실적이 없는 모듈화 구성 기반 기관차용 전장품을 개발하는 부분, 이 두 개의 목표를 수소 전기기관차에 적용 및 구현 - 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 수소전기기관차로 대체할 수 있는 기술개발		
			
	○ 유사 사업과의 차별성·연계성		
	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
	1 수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한	■ 1.2MW급 수소연료전지 기반 추진시스템 최적화 기술개발 ■ 도시철도급 동력분산방식 추진시스템 최적화 기술개발	■ (차별성) 동력집중식 수소전기기관차 개발과 함께 기술 기준(안) 마련 부분에서 차별성 존재 ■ (연계성) 모듈기반 고용량

	철도차량 추진시스템 최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~ `22.12.)	발	(3MW급) 동력집중식 수소 연료전지-2차전지 하이브리 드 시스템과 전장품 개발, 기술기준(안), 안전성 평가 체계 구축
2	액화수소 기반 수소기관차 핵심기술 개발 (`21.01.~ `24.12.)	■ 기관차용 액화수소 하이브리드 추진시스템 개발 및 제작/성능검증 ■ 수소연료전지용 액화수소 공급 시스템 개발 및 제작/성능검증 ■ 액화수소 지상인프라 핵심 시스템 기술 개발	■ (차별성) 선행과제는 부품/구성품 단위의 원천/기반기술 개발 ■ (연계성) 시험차량 설계 및 제작, 철도차량 기술기준(안) 및 성능검증, 수소시스템 안전성 평가기술 개발 등 연구범위 확장
3	수소전기트램 핵심기술 개발 및 실증 (`21.07.~ `23.12.)	■ 수소트램 시스템 통합 및 성능검증, 수소트램 전용 연료전지 및 요소 부품개발 ■ 해외 수출을 위한 기술기준 및 주행성능 평가 ■ 수소트램 운영 기술개발	■ (차별성) 선행과제는 수소트램용 부품 및 구성품 기술개발과 성능검증을 하는 과제로 수소전기동차 실증사업과는 용량, 개발 방향에 차별성이 있음
4	해외 수출형 고출력 전기기관차 구동변환 플랫폼 핵심 기술개발 및 실증 (`23.04.~ `26.12.)	■ 전기기관차 핵심 제어 기술 및 통합 기술 개발 ■ 전기기관차 핵심 시스템 기술 개발 ■ 전기기관차 주행 성능 평가 및 안전성 평가 기술 개발	■ (차별성) 저장된 수소를 기반으로 발전한 전력을 사용하기 때문에 전장품 소형/경량화/고효율화에 목표를 두고 연구개발 방향을 설정 및 개발 사양이 상이하여 하드웨어 연계 활용 불가 ■ (연계성) 전기기관차용 추진/제동/종합제어시스템 핵심 제어 및 인터페이스 관련 소프트웨어 기술은 하드웨어 설계 방향에 따른 수정/보완이 수반되겠지만, 본 과제에서도 활용할 수 있는 것으로 예상
R&D 전주기 사업관리 계획			
○ 본 연구개발 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 사업운영 체계를 구축하여 운영 및 관리			

	시행계획 수립	전문기관/운영위원회
	시행계획 심의 확정	국토교통부/국토교통과학기술위원회
	시행계획공고	전문기관
	신청과제 접수 및 사전검토	전문기관
	선정평가	선정평가위원회
	선정평가 결과 심의(필요시)	운영위원회
	협약체결	전문기관
	중간평가(중간모니터링, 연차평가)	중간평가위원회
	최종평가	최종평가위원회
	사업비 정산	전문기관
	성과활용	주관연구기관
	사후관리(추적평가 및 기술료 징수 등)	전문기관
위험요인 및 극복방안	위험요인	극복방안
	○ 중국, 유럽 등에서 이미 사업화가 진행 중으로 기술종속 위험 ○ 제도 부족으로 인한 실용화 지연	○ 수소차, 전기차와 같은 유사분야에서 선도중인 기술 및 풍부한 경험을 바탕으로 글로벌 기술 경쟁력 확보 ○ 철도 분야 수소산업 생태계 조성으로 선진기술 종속 회피 및 선도국가로 발돋움 ○ 기 개발된 수소전기동차 핵심기술 및 기술기준(안)을 활용하여 실증사업 추진 및 실용화 확대 ○ 수소철도 관련 제도·지침 정비를 통해 수소철도차량 및 충전소 개발 지연 방지 및 실용화 견인
수혜자	과제 수행 중소기업 또는 수요기업 (철도차량 제작사 및 철도용품/장치 제작사)	

(6) 사업기대효과

과학기술적 기대효과	☐ 대용량/고출력/고내구성 수소연료전지 응용 기술개발 및 해외로 기술수출을 추진하고 수소 모빌리티 선도국가로 발돋움 ☐ 수소전기기관차 철도차량 형식승인 기술기준(안) 마련으로 구성품/완성차량 성능검증 기준 제시 및 표준화 ☐ 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원방식 수소전기기관차 기술 확보 가능 * 제4차 국가철도망 구축계획('21~'30) 완료 시에도 전철화율 78.3%로 비전철화 구간 존재 ☐ 공공 수송 수단인 철도 부문에 수소 철도를 도입함으로써 청정에너지 수소를 대형 모빌리티 분야로 활용 확대 견인 ☐ 북방철도, 대륙철도와 같이 전력인프라가 서로 다른 구간이나 전력 설비가 열악한 구간을 운행하는 것이 가능
사회경제적 기대효과	☐ 내구연한 도래 노후 디젤기관차를 친환경 수소전기기관차로 대체 시 수입 대체에 따른 경제적 파급 효과가 높음 * '22년 KORAIL 발주 단가(87억/량) 기준으로 보유 중인 디젤기관차 236량 교체 시 총 20,532억원 수입 대체 효과 ☐ 전력인프라 구축 비용* 및 유지보수 비용이 절감되고 수소의 높은 에너지효율**로 운영기관의 에너지비용도 절감 가능 * 전철화 비용(복선) : 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km, KDI 공공투자관리센터('15.03.), 「도로 및 철도부문 비용 추정 지침」 ** 에너지효율 : 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36% 에너지비용 : 디젤 3,000원/km, 수소 1,730원/km(디젤 1,200원/L, 수소 6,000원/kg 기준) ☐ 디젤철도차량(기관차, 동차)을 수소철도차량으로 대체 시 대기오염물질* 감소 효과 기대 * '18년 기준 디젤철도차량(기관차, 동차) 대기오염물질 배출은 직접배출(PM10, PM2.5) 724톤/년, 간접배출(CO, NOx, SOx, VOC, NH3) 9,320톤/년 ☐ 우리나라는 높은 에너지 소비국이자 에너지 빈곤국으로 수소에너지로의 전환으로 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능 ☐ 철도 분야 수소 전주기 산업 생태계 구축에 따른 분야별 전문 인력양성

(7) 사업 내용

예산 규모	<2024년도 신규사업>						
	(백만원)						
	구분		'24년도 예산	'25년도 예산	'26년도 예산	'27년도 예산	'28년도 예산
	□ 수소전기기관차 핵심기술 개발 사업	총 예산 28,900	3,000	6,013	10,175	5,087	4,625
	▪ 수소전기기관차 핵심기술 개발 사업	총 예산 28,900	3,000	6,013	10,175	5,087	4,625
세부내용							

내역사업		주요 내용
수소전기기관차 핵심기술 개발사업		○ 수소전기기관차 전장품 핵심기술 개발 - 대용량 고출력 고내구 모듈형 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 기술 - 수소 저장용량 증대를 위한 모듈형 수소저장용기 최적화 기술 - 효율적인 수소에너지 및 2차전지 충·방전 에너지 활용을 위한 에너지 운영기술 - 전장품(DC/DC컨버터, 보조전원장치, 추진제어장치) 소형/경량화/고효율화 기술 ○ 수소전기기관차 시험차량 설계, 제작 및 성능검증 - 시험차량 설계·제작 기술개발 ○ 수소전기기관차 기술기준(안) 및 안전성 평가체계 개발 - 주요 구성품 및 수소전기기관차 기술기준(안) 개발 - 수소전기기관차 안전성 평가체계 개발
연차별 추진내용(로드맵)		
연도	연차목표	핵심목표 및 내용
'24년도	○ 주요 구성품 / 시험차량 사양선정 및 설계 ○ 기술·성능검증 요구사항 분석 및 RAMS 목표 설정	○ 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 사양 선정 및 설계 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 하드웨어 구성 검토 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 최적 구성 비율 도출 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 시스템 요구사항 검토, 사양선정 및 기본설계 ○ 수소저장용기 사양 선정 및 기본설계 - 수소전기기관차 필요 수소량 및 수소저장용기 용량 산출 - 수소저장용기 시스템 요구사항 검토 및 기본설계 - 충전기와 인터페이스/프로토콜 규격 검토 ○ 에너지 제어기술 개발 - 장치 간 인터페이스 및 제어로직 설계 - 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 설계 - 에너지 제어기술 개발 및 모의환경 기반 검증 ○ 전장품 사양 선정 및 설계 - 전장품 요구사항 검토 및 사양 선정 - 주요 소자 용량계산서 도출 및 기본설계 - 전장품 소형·경량화를 위한 기기 배치 설계 ○ 시험차량 기본설계 - 수소전기기관차 요구사항 분석 및 도출 - 수소전기기관차 사양 선정 및 주요 전장품 규격 산출·검토 - 장치 간 기기 배치 및 시스템 인터페이스 사양 선정 - 수소전기기관차 시험차량 기본설계 ○ 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
'25년도		기준(안) 설계 - 수소전기기관차 기술·성능검증 요구사항 분석 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 ○ 수소전기기관차 RAMS 목표 설정 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAM 및 안전성(위험도) 정량목표 설정·관리 기술 개발 - 철도안전법, (약칭)철도건설법 등 수소전기기관차 RAMS 법령정비요건 발굴 및 개선(안)개발
	○ 주요 구성품 제작 및 단품 시험 ○ 기술기준(안) 설계 검토 및 위험도 분석	○ 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 상세설계 및 제작 - 수소연료전지 발전팩 및 2차전지 개별시험 및 보완 ○ 수소저장용기 시스템 상세설계 및 제작 - 수소저장용기-연료전지 공급 및 재순환 배관, 모듈 배치 설계 - 수소저장용기 모듈 및 제어기 상세설계 - 수소저장용기 시스템 제작 및 개별시험 ○ 에너지제어시스템 설계 및 제작 - 에너지관리시스템 기본·상세설계 및 제작 - 에너지관리시스템 H/W 및 S/W 단품시험·보완 ○ 전장품 상세설계 및 제작 - 전장품 방열설계 최적화 및 상세설계 - 주요부품 발주, 조립 및 제작 ○ 시험차량 상세설계 및 주행안전성 검토 - 수소전기기관차 시험차량 상세설계 - 시험차량 주행안전성 검토 ○ 기술기준(안) 설계 검토 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 설계 검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 수립 ○ 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 안전성(위험도) 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 예비위험원 분석(안) 및 입증 체계(절차, 입증자료 등) 개발
'26년도	○ 주요 구성품간 연계 시험 및 성능검증 ○ 기술기준(안) 도출 및 RAMS 인증 자칫 개발	○ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 시험 및 검증 - 수소연료전지 발전팩-DC/DC 컨버터-2차전지 연계를 위한 인터페이스 확인·검증 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 연계 시험 및 성능 검증

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
		○ 수소저장용기 시스템 시험 및 성능검증 - 에너지관리시스템과의 인터페이스 확인시험 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 연계 시험 및 성능검증 ○ 에너지제어시스템 시험 및 검증 - 에너지 제어기술 알고리즘 탑재 및 동작 확인 - 수소저장용기 시스템과의 인터페이스 확인시험 ○ 전장품 단품시험 및 보완 - 전장품 개별시험 및 보완 - DC/DC 컨버터 - 수소연료전지 연계 시험 ○ 시험차량 부품 제작 - 수소전기기관차 시험차량 주요 부품 발주 - 시험차량 차체, 대차, 기타 부품 제작 및 검증 ○ 기술기준(안) 개발 - 수소전기기관차 형식승인을 위한 철도차량 기술기준(안) 개발 - 철도차량 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 제안 ○ 수소전기기관차 안전성 평가 및 RAMS 인증 지침 개발 - 수소전기기관차 고장 데이터 수집 및 RAM 분석 기술 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAM 및 안전성 입증체계(절차, 입증자료 등) 개발
'27년도	○ 주요 구성품 조합시험 및 시험차량 제작 ○ 기술기준(안) 보완 및 RAMS 평가	○ 수소연료전지-2차전지-전장품 통합 조합시험 및 검증 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 및 주요 전장품 연계 조합시험 및 성능검증 - 동력시스템 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인 ○ 수소저장용기 시스템 차량 탑재 및 인터페이스 검증 - 수소연료전지-2차전지-전장품 연계 조합시험 및 성능검증 - 수소저장용기 시스템 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인 ○ 에너지제어시스템 조합시험 - 조합시험을 통한 수소연료전지 동력시스템-전장품 연계 에너지 제어기술 검증 - 에너지관리시스템 차량탑재 및 인터페이스 확인 ○ 전장품 조합시험 - 전장품-동력시스템-에너지관리시스템 연계 조합시험 및 성능검증 - 전장품 시험차량 탑재 및 인터페이스 확인 ○ 시험차량 부품 조립 및 구성품 탑재

연도	연차목표	핵심목표 및 내용
		- 의장, 기장/제동, 전장 일부 등 시험차량 조립 시작 - 동력시스템, 전장품 등 취부 절차 확립 및 탑재 - 장치간 인터페이스 확인 및 검증 ○ 기술기준(안) 의견수렴 및 보완 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 의견수렴 및 보완 - 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 해설서 개발 ○ 수소전기기관차 RAMS 평가 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 차량단위 RAMS 평가(인증신청 전 입증자료 예비평가) - 수소전기기관차 구성품별 RAMS 입증자료 관리체계 가이드 개발
'28년도	○ 완성차시험 및 성능검증 ○ 기술기준(안) 최종도출 및 RAMS 인증 지침서 개발	○ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 - 동력시스템-시험차량 연계 동작시험 - 수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 및 검증 ○ 수소저장용기 시스템 완성차시험 - 수소저장용기-시험차량 연계 동작시험 - 수소저장용기 시스템 완성차시험 및 검증 ○ 에너지제어시스템 완성차시험 및 실증 - 실증차량 운영을 통해 에너지 제어기술 성능검증 ○ 시험차량 연계 완성차시험 및 실증 - 전장품-시험차량 연계 동작시험 - 전장품 완성차시험 및 검증 ○ 시험차량 성능검증 - 시험차량 조립 및 편성 완료 - 시험차량 완성차시험 및 성능검증 - 시험차량 예비주행시험 ○ 수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 최종도출 - 철도차량 기술기준(안) 최종도출 - 수소전기기관차 기술검증 및 성능평가 체계 개선 ○ 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발 - IEC 62278 기반 수소전기기관차 차량단위 RAMS 평가(인증신청 전 입증자료 예비평가) - IEC 62278 기반 수소전기기관차 RAMS 인증 지침서 개발 및 인증체계 개선 방안 도출 - 수소전기기관차 국가표준 정비요건 발굴 및 개선(안) 개발

나. 단계별 성과목표 및 지표

(1) 전략목표

전략목표	내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증

(2) 1단계 성과목표 및 지표

(가) 단계별 성과목표

단계(평가주기)		1단계		기간		2024년 ~ 2026년	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	가중치	0.4	설정 근거	수소전기기관차는 동력집중식으로 수소연료전지-2차전지-전장품이 모듈형으로 통합하는 핵심기술 개발 필요함	-	
성과목표-2	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	가중치	0.35	설정 근거	성과목표-1의 성능검증을 위한 시험차량의 설계 및 주행안전성 검토 필요	-	
성과목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	가중치	0.25	설정 근거	수소전기기관차의 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 기술기준(안) 마련이 필요하여 기술개발과 함께 동시에 진행	-	

(나) 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2024	2025	2026			
성과 목표-1	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	0.4	수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품 시험’ 달성을 위해 ‘수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
				실적							
			수소저장용기 시스템 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품 시험’ 달성을 위해 ‘수소저장용기 시스템 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
				실적							
			에너지관리 시스템 개발율	%	목표	33	66	100	과정		• 장치 간 인터페이스 및 차량 운영 상태별 동작 시퀀스 수립, 에너지 제어기술 등 시험차량 시스템 엔지니어링 확인을 위해 ‘에너지관리시스템 개발율’을 성과지표로 설정
				실적							
			주요 전장품 제작율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품 시험’ 달성을 위해 ‘주요 전장품 제작율’을 성과지표로 설정(시제품 제작 여부 확인)
				실적							
			논문게재	건	목표	1	2	2	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
				실적							
			특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				실적							
성과 목표-2	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	0.35	시험차량 제작율	%	목표	33	66	100	과정		• 성과목표인 ‘시험차량 제작 및 주행안전성 검토’ 달성을 위해 ‘시험차량 제작율’을 성과지표로 설정
				실적							
			특허 출원/등록	건	목표	1	1	1	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				실적							

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치			지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2024	2025	2026			
성과 목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.25	기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	33	66	100	과정	√	• 수소전기기관차 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따라 기술기준(안)이 마련되어야 하므로 ‘수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 완료율’을 성과지표로 설정
					실적						
			안전성 평가체계 개발율	%	목표	33	66	100	과정		• 국내에서 철도 분야 수소시스템 설계 및 안전관리 기술이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가가 필요하여 ‘안전성 평가체계 개발율’을 성과지표로 설정
					실적						
			논문게재	건	목표	1	1	1	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적						
계											

(다) 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율	• 과업기간 동안 수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>성적서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료 (공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																															
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
	수소연료전지-2차전지 동력시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																														
수소연료전지-2차전지 동력시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건																															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
수소저장용기 시스템 제작을	• 과업기간 동안 수소저장용기 시스템 제작을 위해 획득할 필요 항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토험목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 수소저장용기 시스템 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 성능시험 결과</td><td></td><td></td><td>1</td><td>성적서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토험목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	수소저장용기 시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	수소저장용기 시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건	[측정산식] • 제작율 = $(\sum \text{개발진도율}/100) \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료 (공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																															
	검토험목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
수소저장용기 시스템 사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																															
수소저장용기 시스템 시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
수소저장용기 시스템 성능시험 결과			1	성적서 1건																															
에너지관리시스템 개발을	• 과업기간 동안 에너지 제어기술 개발을 위해 획득할 필요항목 (3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토험목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>에너지 제어기술 개발</td><td>2</td><td></td><td></td><td>인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건</td></tr><tr><td>시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험 및 검증</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험결과 보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토험목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	에너지 제어기술 개발	2			인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건	시제품 제작		2		설계서 1건 시제품 1건	시험 및 검증			1	시험결과 보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = $(\sum \text{개발진도율}/100) \times 100(\%)$ [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																															
	검토험목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
에너지 제어기술 개발	2			인터페이스 및 동작 시퀀스 설계서 1건 모의환경 시험결과 1건																															
시제품 제작		2		설계서 1건 시제품 1건																															
시험 및 검증			1	시험결과 보고서 1건																															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
주요 전장품 제작율	• 과업기간 동안 주요 전장품 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 주요 전장품 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>사양 선정 및 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>시제품 제작</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험 및 검증</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험성적서 1건</td></tr></table> * 주요 전장품 : DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건	시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건	시험 및 검증			1	시험성적서 1건	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료 (공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																															
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
사양 선정 및 설계	2			사양서 1건 기본설계서 1건																															
시제품 제작		2		상세설계서 1건 시제품 1건																															
시험 및 검증			1	시험성적서 1건																															
시험차량 제작율	• 과업기간 동안 시험차량 제작을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>요구사항 검토 및 사양 선정</td><td>3</td><td></td><td></td><td>요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>시제품 상세설계</td><td></td><td>2</td><td></td><td>상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건</td></tr><tr><td>부품 제작</td><td></td><td></td><td>1</td><td>시험차량 제작보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	요구사항 검토 및 사양 선정	3			요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건	시제품 상세설계		2		상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건	부품 제작			1	시험차량 제작보고서 1건	[측정산식] • 제작율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'24년	'25년	'26년																															
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																															
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																															
	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																														
요구사항 검토 및 사양 선정	3			요구사항 검토서 1건 사양서 1건 기본설계서 1건																															
시제품 상세설계		2		상세설계서 1건 주행안전성 검토서 1건																															
부품 제작			1	시험차량 제작보고서 1건																															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																
기술기준(안) 도출 완료율	• 과업기간 동안 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>기술기준(안) 설계</td><td>2</td><td></td><td></td><td>기술성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건</td></tr><tr><td>구성품별 성능검증절차 수립</td><td></td><td>2</td><td></td><td>구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 도출(1차)</td><td></td><td></td><td>2</td><td>철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	기술기준(안) 설계	2			기술성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건	구성품별 성능검증절차 수립		2		구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건	기술기준(안) 도출(1차)			2	철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)	[측정산식] • 완료율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
기술기준(안) 설계	2			기술성능검증 요구사항 검토서 1건 기술기준(안) 설계서 1건																															
구성품별 성능검증절차 수립		2		구성품별 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 설계검토서 1건																															
기술기준(안) 도출(1차)			2	철도차량 성능검증절차서 1건 기술기준(안) 도출(1차)																															
안전성 평가체계 개발율	• 과업기간 동안 안전성 평가체계 개발을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td></tr></table> ※ 안전성 평가체계 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'24년</th><th>'25년</th><th>'26년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>RAMS 목표 설정</td><td>1</td><td></td><td></td><td>RAMS 목표 설정 보고서 1건</td></tr><tr><td>위험원 분석</td><td></td><td>1</td><td></td><td>예비위험원 분석 보고서 1건</td></tr><tr><td>RAM 분석</td><td></td><td></td><td>1</td><td>RAM 분석보고서 1건</td></tr></table>	구분	'24년	'25년	'26년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태	RAMS 목표 설정	1			RAMS 목표 설정 보고서 1건	위험원 분석		1		예비위험원 분석 보고서 1건	RAM 분석			1	RAM 분석보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'24년	'25년	'26년																																
목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																																
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)																																
필요항목	'24년	'25년	'26년	증빙자료 형태																															
RAMS 목표 설정	1			RAMS 목표 설정 보고서 1건																															
위험원 분석		1		예비위험원 분석 보고서 1건																															
RAM 분석			1	RAM 분석보고서 1건																															

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
논문게재	연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성을 측정	국토교통R&D사업관리시스템
특허 출원/등록	연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술정보서비스 (NTIS)

(3) 2단계 성과 목표 및 지표

(가) 단계별 성과목표

단계(평가주기)		2단계		기간		2027년 ~ 2028년	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	주요 구성품 조합시험 및 성능검증	가중치	0.3	설정 근거	수소전기기관차는 동력집중식으로 수소연료전지-2차전지-전장품이 모듈형으로 통합된 핵심기술 개발을 진행하고, 조합시험을 통한 성능검증이 필요함	-	
성과목표-2	시험차량 제작 및 성능검증	가중치	0.5	설정 근거	시험차량의 제작을 통해 성과목표-1의 성능검증이 필요함	-	
성과목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	가중치	0.2	설정 근거	수소전기기관차의 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 기술기준(안) 마련이 필요하여 기술개발과 함께 동시에 진행	-	

(나) 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
					연도	2027	2028			
성과 목표-1	주요 구성품 조합시험 및 성능검증	0.3	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				%	실적					
			수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘수소저장용기 시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				%	실적					
			에너지관리 시스템 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정		• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘에너지관리시스템 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				%	실적					
			주요 전장품 성능검증 달성률	%	목표	50	100	과정	√	• 성과목표인 ‘주요 구성품 조합시험 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘주요 전장품 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				%	실적					
논문게재	건	목표	2	2	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정			
	건	실적								
성과 목표-2	시험차량 제작 및 성능검증	0.5	시험차량 제작 및 성능검증 달성률	%	목표	33	100	과정	√	• 성과목표인 ‘시험차량 제작 및 성능검증’ 달성을 위해 ‘시험차량 제작 및 성능검증 달성률’을 성과지표로 설정
				%	실적					
			시험차량 예비주행거리	km	목표		5,000	과정	√	• 시험차량의 성능검증을 위해 예비주행 5,000km 이상 달성 여부를 성과지표로 설정
				km	실적					
			특허 출원/등록	건	목표	1	1	결과	√	• 주요 구성품 개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출원/등록 건수를 성과지표로 설정
				건	실적					

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치		지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						2027	2028			
성과 목표-3	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.2	기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	66	100	과정	√	• 수소전기기관차 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안전법에 따라 기술기준(안)이 마련되어야 하므로 ‘수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 완료율’을 성과지표로 설정
					실적					
			안전성 평가체계 개발율	%	목표	50	100	과정		• 국내에서 철도 분야 수소시스템 설계 및 안전관리 기술이 부족한 상황으로 체계적인 안전관리를 위한 RAM과 과학적인 안전성 평가가 필요하여 ‘안전성 평가체계 개발율’을 성과지표로 설정
					실적					
			논문게재	건	목표	1	1	결과	√	• 주요 구성품 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성과지표로 설정
					실적					
계										

(다) 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처									
수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	과업기간 동안 수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템									
	<table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table>			구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)
	구분			'27년	'28년							
	목표실적 (누적 개발률)			50 (=1/2)	100 (=2/2)							
	검토항목 (누적 건수)			1건 (1건)	1건 (2건)							
※ 수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획												
<table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태									
수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건									
수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																					
수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 수소저장용기 시스템 성능검증을 위해 획득할 필요 항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 수소저장용기 시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소저장용기 시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소저장용기 시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소저장용기 시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'27년	'28년																					
	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																					
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																					
	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																				
수소저장용기 시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																					
수소저장용기 시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																					
에너지관리시스템 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 에너지관리시스템 성능검증을 위해 획득할 필요항목 (2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 에너지관리시스템 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'27년	'28년																					
	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																					
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																					
	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																				
수소연료전지-2차전지 동력시스템 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																					
수소연료전지-2차전지 동력시스템 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																					

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																									
주요 전장품 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 주요 전장품 성능검증을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 주요 전장품 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>주요 전장품 조합시험 결과</td><td>1</td><td></td><td>조합시험 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>주요 전장품 완성차시험 결과</td><td></td><td>1</td><td>완성차시험 결과보고서 1건</td></tr></table> * 주요 전장품 : DC/DC 컨버터, 추진인버터/견인전동기, 보조전원장치	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	주요 전장품 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건	주요 전장품 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템				
	구분	'27년	'28년																									
	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																									
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (2건)																									
	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																								
주요 전장품 조합시험 결과	1		조합시험 결과보고서 1건																									
주요 전장품 완성차시험 결과		1	완성차시험 결과보고서 1건																									
시험차량 제작 및 성능검증 달성률	• 과업기간 동안 시험차량 제작 및 성능검증을 위해 획득할 필요항목 (3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>33 (=1/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>2건 (3건)</td></tr></table> ※ 시험차량 제작 및 성능검증을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>시험차량 제작</td><td>1</td><td></td><td>조립공정 보고서 1건</td></tr><tr><td>시험차량 조립 및 편성 완료</td><td></td><td>1</td><td>시험차량 시제품 1건</td></tr><tr><td>시험차량 성능검증</td><td></td><td>1</td><td>성능검증 결과보고서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	2건 (3건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	시험차량 제작	1		조립공정 보고서 1건	시험차량 조립 및 편성 완료		1	시험차량 시제품 1건	시험차량 성능검증		1	성능검증 결과보고서 1건	[측정산식] • 달성률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	'27년	'28년																									
	목표실적 (누적 개발률)	33 (=1/3)	100 (=3/3)																									
	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	2건 (3건)																									
	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																								
시험차량 제작	1		조립공정 보고서 1건																									
시험차량 조립 및 편성 완료		1	시험차량 시제품 1건																									
시험차량 성능검증		1	성능검증 결과보고서 1건																									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																									
시험차량 예비주행거리	- 철도안전법에 따른 형식승인 기준에 따라 목표치 설정 - 예비주행거리 5,000km 이상 달성	[측정산식] - 예비주행거리 = 예비주행시험 주행거리 누적값 (시험일지 또는 차량 TCMS 주행거리) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 확인	국토교통R&D 사업관리시스템																									
기술기준(안) 도출 완료율	과업기간 동안 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요항목(3건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>66 (=2/3)</td><td>100 (=3/3)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>2건 (2건)</td><td>1건 (2건)</td></tr></table> ※ 기술기준(안) 도출을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td>1</td><td></td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 해설서</td><td>1</td><td></td><td>기술기준(안) 해설서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 최종 도출</td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	66 (=2/3)	100 (=3/3)	검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	1건 (2건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	전문기관 협의 및 의견수렴	1		의견수렴 결과보고서 1건	기술기준(안) 해설서	1		기술기준(안) 해설서 1건	기술기준(안) 최종 도출		1	기술기준(안) 1건	[측정산식] - 완료율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																										
목표실적 (누적 개발률)	66 (=2/3)	100 (=3/3)																										
검토항목 (누적 건수)	2건 (2건)	1건 (2건)																										
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																									
전문기관 협의 및 의견수렴	1		의견수렴 결과보고서 1건																									
기술기준(안) 해설서	1		기술기준(안) 해설서 1건																									
기술기준(안) 최종 도출		1	기술기준(안) 1건																									

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																					
안전성 평가체계 개발을	• 과업기간 동안 안전성 평가체계 개발을 위해 획득할 필요항목(2건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>'27년</th><th>'28년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>50 (=1/2)</td><td>100 (=2/2)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1건 (1건)</td><td>1건 (1건)</td></tr></table> ※ 안전성 평가체계 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>'27년</th><th>'28년</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>RAMS 예비 평가</td><td>1</td><td>1</td><td>RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)</td></tr><tr><td>RAMS 인증 지침 개발</td><td></td><td>1</td><td>RAMS 인증지침서 1건</td></tr></table>	구분	'27년	'28년	목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)	검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (1건)	필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태	RAMS 예비 평가	1	1	RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)	RAMS 인증 지침 개발		1	RAMS 인증지침서 1건	[측정산식] • 개발율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
구분	'27년	'28년																						
목표실적 (누적 개발률)	50 (=1/2)	100 (=2/2)																						
검토항목 (누적 건수)	1건 (1건)	1건 (1건)																						
필요항목	'27년	'28년	증빙자료 형태																					
RAMS 예비 평가	1	1	RAMS 예비 평가보고서 1건 (인증신청 전 입증자료 예비평가)																					
RAMS 인증 지침 개발		1	RAMS 인증지침서 1건																					
논문게재	• 연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성을 측정	국토교통R&D 사업관리시스템																					
특허 출원/등록	• 연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] • 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술정보 서비스 (NTIS)																					

(4) 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	내구연한 도래 노후 디젤기관차 대체를 위한 수소전기기관차 핵심기술 및 수소철도 안전성 평가기술 개발 및 검증			
(최종) 성과목표	친환경 수소전기기관차 핵심기술 개발 및 안전성 평가체계 구축 (출력 3MW 이상, 최고속도 150km/h 이상, 1회 충전주행거리 1,000km 이상)			
단계별 성과목표 및 지표	1단계(2024년도~2026년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험	0.4	수소연료전지-2차전지 동력시스템 제작율	과정(질)
			수소저장용기 시스템 제작율	과정(질)
			에너지관리시스템 개발율	과정
			주요 전장품 제작율	과정(질)
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	시험차량 설계 및 주행안전성 검토	0.35	시험차량 제작율	과정
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.25	기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)
			안전성 평가체계 개발율	과정
			논문게재	결과(질)
	2단계(2027년도~2028년도)			
	단계별 성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	주요 구성품 조립시험 및 성능검증	0.3	수소연료전지-2차전지 동력시스템 성능검증 달성률	과정
			수소저장용기 시스템 성능검증 달성률	과정
			에너지관리시스템 성능검증 달성률	과정
			주요 전장품 성능검증 달성률	과정(질)
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	시험차량 제작 및 성능검증	0.5	시험차량 제작 및 성능검증 달성률	과정(질)
			시험차량 예비주행거리	과정(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소전기기관차 철도차량 기술기준(안) 도출	0.2	기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)
			안전성 평가체계 개발율	과정
			논문게재	결과(질)

라. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간/ 해당 단계	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2027년	2024 ~ 2026년 / 1단계	1. 주요 구성품 사양 선정·설계·제작 및 단품시험 2. 시험차량 설계 및 주행 안전성 검토 3. 수소전기기관차 철도 차량 기술기준(안) 도출	최종성과목표 달성을 위해 2단계로 나누어 사업을 진행하며, 1단계에서는 주요 구성품의 설계·제작 및 단품시험을 진행하고, 2단계에서는 주요 구성품을 조합하여 검증하는 조합시험과 시험차량 제작·성능검증을 진행. 따라서, 1단계 완료시점인 2027년을 1단계 사업의 평가연도로 설정함.
2029년	2027 ~ 2028년 / 2단계	1. 주요 구성품 조합시험 및 성능검증 2. 시험차량 제작 및 성능 검증 3. 수소전기기관차 철도 차량 기술기준(안) 도출	2단계는 성과목표 및 전략목표 달성을 위한 연구개발기간 2년의 과정이 소요되며, 사업완료된 2029년을 평가연도로 설정함

마. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 없음성)

바. 성과 활용·확산 계획서 제출 계획(계속사업은 작성 불요)

사업 종료 연도	성과확용·확산 계획서 제출 연도
2028년	2029년

3. 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업

가. 사업개요

(1) 사업명

사업명	단위사업	친환경 수소철도 기술개발 사업기획
	세부사업	대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업
	내역사업	

(2) 사업목적

사업목적	안전하고 빠른 수소 충전인프라 구축으로 독립전원방식 친환경 수소철도차량의 효율적인 운영을 통해 수소에너지 기반 철도교통 패러다임 전환 촉진 및 철도 분야 탄소중립 실현

(3) 사업추진경위

추진 근거	법적 근거	○ 「수소 경제 육성 및 수소 안전관리에 관한 법률」 제30조 - 제30조(수소산업 관련 기술개발의 촉진) ① 산업통상자원부장관은 수소산업 관련 기술의 개발을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 추진할 수 있다. ② 산업통상자원부장관은 제1항에 따른 수소산업 관련 기술개발을 촉진하기 위하여 수소산업 관련 기술을 연구·개발하거나 이를 산업화하는 자에게 예산의 범위에서 필요한 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다. ○ 「국토교통과학기술 육성법」 제8조 - 제8조(연구개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 종합계획을 효율적으로 추진하기 위하여 국토교통과학기술 연구개발사업을 할 수 있다. ○ 「철도산업발전기본법」 제11조 - 제11조(철도기술의 진흥 등) ① 국토교통부장관은 철도기술의 진흥 및 육성을 위하여 철도기술전반에 대한 연구 및 개발에 노력하여야 한다. ○ 「철도안전법」 제68조 - 국토교통부장관은 철도안전에 관한 기술의 진흥을 위하여 연구·개발의 촉진 및 그 성과의 보급 등 필요한 시책을 마련하여 추진하여야 한다. ○ 「국가통합교통체계효율화법」 제98조 - 제98조(교통기술 연구·개발사업의 추진) ① 국토교통부장관은 교통기술의 연구·개발을 효율적으로 추진하기 위하여 연도별·분야별 교통기술 연구·개발과제를 선정하여 다음 각 호의 기관 또는 단체 등과 협약을 맺어 교통기술 연구·개발사업을 하게 할 수 있다.
	상위계획	○ 윤석열 정부 120대 국정과제 ('22.07.27.) - 3번 '탈원전 정책 폐기 및 원자력산업 생태계 강화' - 21번 '에너지안보 확립과 에너지 新산업, 新시장 창출' - 24번 '반도체, AI, 배터리 등 미래전략산업 초격차 확보' - 28번 '모빌리티 시대 본격 개막 및 국토교통산업의 미래 전략산업화' - 75번 '초격차 전략기술 육성으로 과학기술 G5 도약'

	- 86번 '과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환' - 88번 '미세먼지 걱정 없는 푸른 하늘'
	○ 정부 2050 탄소중립 시나리오 ('21.10.18./관계부처 합동) - '18년 대비 '30년까지 40% 감축 목표의 이정표로 수송부문에서 남아있는 디젤 철도차량을 무탄소 동력(전기,수소)철도로 100% 전환 포함 ○ 수소경제 활성화 로드맵 ('19.1.17./관계부처 합동) ○ 수소 기술개발 로드맵 ('19.10.31./관계부처 합동) - 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술개발/적용, 철도차량, 건설기계, 선박용 연료전지 파워팩 기술개발 추진 ○ 제4차 국가철도망 구축계획 ('21~'30) - 완료 시점 기준 전철화율은 78.3%로 비전철화 구간을 운행할 수 있는 독립전원 방식 친환경 철도차량 필요 ○ 국토교통 탄소중립 로드맵 ('21.12.) - (철도중심 교통체계 강화) 선로 전철화율을 확대('19: 72.9% → '30: 78.3%)하고, 쏘 디젤여객열차를 동력분산식(EMU, KTX-이음)으로 교체(~'29)

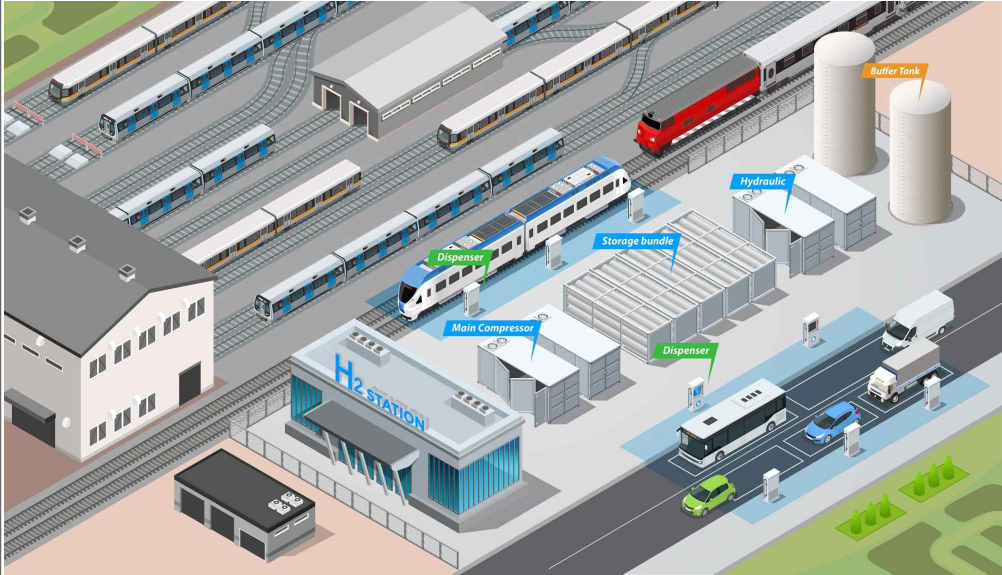
(4) 사업 현황

사업구분	계속사업 ☐ 기한사업 ☒		
사업추진방식	상향식 ☐ 혼합식 ☒ 하향식 ☐		
사업유형	중장기산업기술개발		
다부처 여부	다부처 ☐	참여부처 (다부처사업)	국토교통부
사업기간	'24 ~ '27	총사업비	「190억원」
사업규모	연구단 : 신규 1개	지원대상	기업, 출연연 등
지원형태	출연	지원조건	참여기업이 있는 경우 Matching
사업시행주체	국토교통부(전문기관 : 국토교통과학기술진흥원)		
예비타당성 통과여부	예타통과(사업타당성 평가 포함) ☐		

(5) 사업추진체계 및 전략

사업수행주체	○ 추진주체 간 역할분담:부처-전문기관-사업단 또는 센터	
	수행주체	역할 세부내용
	국토교통부	○ 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공
	국토교통과학기술진흥원	○ 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 수립·운영 및 주요 안건에 대한 결정 ○ 전반적인 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산·사후관리 등 추진
	수주관연구	○ 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄

수행주체		역할 세부내용
행 기 관	개발기관	업무 추진하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 구성 ○ 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 홍보 등 전주기적 관리 ○ 과제수행에 대한 자체평가, 사업추진방향, 예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할 수행
	공동연구개발기관	○ 연구과제 내 핵심기술별로 기술개발을 직접 수행하는 기관으로 전문성을 갖춘 산·학·연 전문가로 컨소시엄을 구성하여 기술개발 수행
	위탁연구개발기관	○ 주관연구개발기관으로부터 연구개발과제의 일부(특수한 전문 지식 또는 기술이 필요한 부분)의 위탁을 받아 기술개발 수행

추진전략	
사업추진전략	○ 사업추진 방향 - 1회 충전 주행거리 확보를 위해 안전하고 빠르게 수소를 충전할 수 있는 핵심 기술 개발 - 수소철도차량 운영을 위한 기술기준, 관련 규제·법령 검토 등 제반 사항 마련하여 대용량 고속 수소충전소 구축 및 실증
	
	○ 유사 사업과의 차별성·연계성

	선행과제명 (연구연도)	주요 연구내용	차별성·연계성
1	수소연료전지 하이브리드 동력시스템을 적용한 철도차량 추진시스템	■ 수소연료전지 기반 하이브리드 철도차량 시스템 엔지니어링 ■ 수소연료전지-2차전지 하이브리드 동력시스템 ■ 시험차량 설계 및 제작 ■ 수소연료전지 하이브리드 철	■ (차별성) 선행과제에서는 35 MPa로 수소전기동차 시험차량을 위한 임시수소충전소로 구축 운영되었으나, 본 과제에서는 수소철도차량을 위한 충전압 70MPa 이상, 충전속도 50kg/15분 이상의 목

	최적화 및 운용 기술 개발 (`18.04.~ `22.12.)	도차량 기술기준(안) 및 성능검증 ▪ 수소 충전소 구축 및 테스트베드(T/B) 운영방안	표로 기술개발 추진 ▪ (차별성) 선행과제에서는 수소전기동차 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 마련되어 있지 않았으나, 본 과제에서는 각종 평가기준, 안전기준, 기술 및 충전방법 등이 포함된 추가안전기준(안)을 도출하고, 향후 실증 데이터 수집 및 분석을 통한 기술기준(안) 마련 예정																								
R&D 전주기 사업관리 계획																											
○ 본 연구개발 사업은 국토교통부(정책총괄 및 재정지원), 국토교통과학기술진흥원(사업기획, 평가, 관리), 연구단을 중심으로 사업운영 체계를 구축하여 운영 및 관리																											
<table><tr><td>시행계획 수립</td><td>전문기관/운영위원회</td></tr><tr><td>시행계획 심의 확정</td><td>국토교통부/국토교통과학기술위원회</td></tr><tr><td>시행계획공고</td><td>전문기관</td></tr><tr><td>신청과제 접수 및 사전검토</td><td>전문기관</td></tr><tr><td>선정평가</td><td>선정평가위원회</td></tr><tr><td>선정평가 결과 심의(필요시)</td><td>운영위원회</td></tr><tr><td>협약체결</td><td>전문기관</td></tr><tr><td>중간평가(중간모니터링, 연차평가)</td><td>중간평가위원회</td></tr><tr><td>최종평가</td><td>최종평가위원회</td></tr><tr><td>사업비 정산</td><td>전문기관</td></tr><tr><td>성과활용</td><td>주관연구기관</td></tr><tr><td>사후관리(추적평가 및 기술료 징수 등)</td><td>전문기관</td></tr></table>				시행계획 수립	전문기관/운영위원회	시행계획 심의 확정	국토교통부/국토교통과학기술위원회	시행계획공고	전문기관	신청과제 접수 및 사전검토	전문기관	선정평가	선정평가위원회	선정평가 결과 심의(필요시)	운영위원회	협약체결	전문기관	중간평가(중간모니터링, 연차평가)	중간평가위원회	최종평가	최종평가위원회	사업비 정산	전문기관	성과활용	주관연구기관	사후관리(추적평가 및 기술료 징수 등)	전문기관
시행계획 수립	전문기관/운영위원회																										
시행계획 심의 확정	국토교통부/국토교통과학기술위원회																										
시행계획공고	전문기관																										
신청과제 접수 및 사전검토	전문기관																										
선정평가	선정평가위원회																										
선정평가 결과 심의(필요시)	운영위원회																										
협약체결	전문기관																										
중간평가(중간모니터링, 연차평가)	중간평가위원회																										
최종평가	최종평가위원회																										
사업비 정산	전문기관																										
성과활용	주관연구기관																										
사후관리(추적평가 및 기술료 징수 등)	전문기관																										
위험요인 및 극복방안	위험요인		극복방안																								
	○ 중국, 유럽 등에서 이미 사업화가 진행 중으로 기술종속 위험		○ 수소차, 전기차와 같은 유사분야에서 선도종인 기술 및 풍부한 경험을 바탕으로 글로벌 기술 경쟁력 확보 ○ 철도 분야 수소산업 생태계 조성으로 선진기술 종속 회피 및 선도국가로 발돋움																								
	○ 제도 부족으로 인한 실용화 지연		○ 기 개발된 수소전기동차 핵심기술 및 기술기준(안)을 활용하여 실증사업 추진 및 실용화 확대 ○ 수소철도 관련 제도·지침 정비를 통해																								

	위험요인	극복방안
		수소철도차량 및 충전소 개발 지연 방지 및 실용화 견인
수혜자	과제 수행 중소기업 또는 수요기업 (철도차량 제작사 및 철도용품/장치 제작사)	

(6) 사업기대효과

과학기술적 기대효과	☐ 정부 2050 탄소중립 계획의 이정표로 무탄소 동력철도(전기수소)로 100% 전환하기 위한 선제대응 가능 ☐ 공공교통수단인 철도에 지속적으로 수소철도차량 도입이 가능하게 하여 청정에너지 수요 활용 분야 확대 ☐ 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 기술 확보 및 부품 국산화, 관련 산업 생태계 조성 및 시장수요 증가로 일자리 창출 효과 ☐ 수소철도 충전시간 등에 따른 운영 효율성 확보 ○ 수소차 초기시장에서 발생되던 충전지연으로 인한 불편함 해소 ☐ 다중 충전로직, 수소저장시스템 국제표준을 제안하여 수소철도 시장 주도
사회경제적 기대효과	☐ 수소활용 산업 활성화를 통하여 대기오염물질 및 미세먼지 저감에 기여 ☐ 대용량 고속 수소충전 기술 확보로 수소경제·사회 기반 구축 ☐ 수소충전소 부품 국산화를 통해 국내 산업 생태계 조성 ☐ 수소철도, 수소버스 등의 보급이 확대됨에 따라 대용량 고속 수소충전 관련 시장 수요 증가 ☐ 우리나라는 높은 에너지 소비국이자 에너지 빈곤국으로 수소에너지로의 전환으로 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도 확보 가능 ☐ 철도 분야 수소 산업 생태계 구축에 따른 관련 분야 전문 인력양성

(7) 사업 내용

예산 규모	<2024년도 신규사업>					
	(백만원)					
	구분		'24년도 예산	'25년도 예산	'26년도 예산	'27년도 예산
	☐ 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업 ☐ 대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	총 예산 19,000	2,000	7,000	6,000	4,000
세부내용	내역사업	주요 내용				
	대용량 고속 수소충전소 기술개발 사업	○ 대용량 고속 수소충전 기술개발 - 다중 디스펜서 및 다중 노즐을 이용한 고속 충전기술				

내역사업		주요 내용
		○ 수소 충전인프라 구축 - 수소 충전시설 설계 및 구축 - 철도용 수소충전소 구축을 위한 철도시설 기술기준(안) 개발
연차별 추진내용(로드맵)		
연도	연차목표	핵심목표 및 내용
'24년도	고속 충전기술 및 수소충전소 개념설계	○ 고압 기체수소 충전 프로토콜 개념 설계 - 다수의 디스펜서를 활용한 고압 기체수소 충전 방식 및 구성 요소 확립 - 여러 디스펜서를 사용한 기체수소 충전 및 운영 프로세스 도출 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 평가 인자 및 위험 요소 분석 ○ 수소충전소 사양 선정 및 기본설계 - 수소철도용 수소충전소 요구사항 분석 및 도출 - 수소충전소 인프라 구축을 위한 규제/법령 검토 - 수소충전소 인프라 기본설계 ○ 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 및 기술기준(안) 설계 - 수소충전소 기술·성능검증 요구사항 분석 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 설계
'25년도	충전기술 개발 및 수소충전소 안전성 검토	○ 고압 기체수소 충전 프로토콜 설계 기술 개발 - 충전소(디스펜서) 및 차량(수소저장용기)과의 통신 및 계측 인자 도출 - SAE J2601 기반의 열역학 표준모델 및 메카니즘 규명 - SAE J2601 기반의 LT(록업테이블) 방식 충전 프로토콜 도출 ○ 수소충전소 상세설계 및 안전성 검토 - 수소충전소 인프라 상세설계 및 안전성 검토 - 주요 구성품 구매 발주·제작 및 시험 ○ 수소충전소 기술기준(안) 설계 검토 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 설계 검토 - 구성품별 표준사양, 기술기준, 성능검증절차 수립
'26년도	충전기술 시험 및 수소충전소 구축, 기술기준(안) 개발	○ 고압 기체수소 충전 프로토콜 시험 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 반복시험 수행 및 검증 - 공급 장치와 저장용기의 반복 충전 배출을 통한 안전성 평가 수행 및 검증 ○ 수소충전소 구축 및 성능시험 - 수소충전소 인프라 구축(규제샌드박스) - 수소충전소 성능시험 및 인증 ○ 수소충전소 기술기준(안) 개발

	연도	연차목표	핵심목표 및 내용
			- 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 개발 - 기술기준(안) 의견수렴 및 보완
	'27년도	수소충전소 운영 및 실증	○ 수소충전소 적용 및 검증 - 고속 충전기술 수소충전소 적용 테스트베드 운영 및 개선 - 고압 기체수소 충전 프로토콜 적합성 평가 기준 개발 및 제도화 ○ 수소충전소 운영 및 유지보수 방안 도출 - 수소철도용 수소충전소 사업개시 및 시운전 - 수소철도차량-수소충전소 연계 운영 검증 - 수소충전소 운영 및 유지보수 고도화 ○ 기술기준(안) 해설서 개발 및 최종 도출 - 수소충전소 철도시설 기술기준(안) 해설서 개발 - 수소충전소 기술기준(안) 최종도출

나. 단계별 성과목표 및 지표

(1) 전략목표

전략목표	수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술과 수소충전소 구축·실증

(2) 성과목표

단계(평가주기)		-		기간		2024년 ~ 2027년	
단계별 성과목표						관련 내역사업명	
성과목표-1	대용량 고속 수소충전 기술	가중치	0.5	설정 근거	수소철도차량 운행 특성상 많은 양의 수소가 필요하며, 현재 수소차에 적용된 충전량 및 충전속도로는 운행지연 등의 문제가 발생할 수 있음. 따라서, 대용량 고속 충전 기술 개발이 반드시 필요하며, 그에 따른 충전 프로토콜 수정·보완 필요	-	
성과목표-2	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	가중치	0.5	설정 근거	수소철도용 수소충전소는 국내 최초 개발 및 도입 검토중으로 국내 운영을 위해서는 철도안전법에 따른 철도시설 기술기준이 필요하며, 따라서 본 사업을 통해 기술개발과 함께 기술기준(안) 마련을 동시에 진행하여 적용성에 대한 검증 및 그 결과 도출	-	

(3) 성과지표

단계별 성과목표명		가중치	성과지표명	단위	구분 연도	실적 및 목표치				지표 유형	질적 지표	성과지표 설정 사유
						`24	`25	`26	`27			
성과 목표 -1	대용량 고속 수소충전 기술	0.5	대용량 고속 수소충전기 술 개발율	%	목표	25	50	75	100	과정		• 수소철도차량 운행 특성상 대용량 고속 수소충전 기술이 필요함에 따라 해당 기술 개발율을 성과지 표로 설정
					실적							
			논문게재	건	목표	1	2	2	2	결과	√	• 대용량 고속 수소충전 기술개발 관련 핵심기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 논문게재 건수를 성 과지표로 설정
					실적							
			특허 출원/등록	건	목표	1	2	2	2	결과	√	• 관련 기술의 기술적 수준을 측정하기 위해 특허 출 원/등록 건수를 성과지표로 설정
					실적							
성과 목표 -2	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	0.5	수소충전소 구축률	%	목표	25	50	75	100	과정	√	• 성과목표-1의 실증을 위해서는 수소 저장·공급을 위한 수소충전소가 필요하며, 이를 위해 ‘수소충전 소 구축률’을 성과지표로 설정
					실적							
			철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	%	목표	20	40	60	100	과정	√	• 수소충전소의 국내 운영을 위해서는 반드시 철도안 전법에 따라 기술기준(안)이 마련되고, 형식승인을 받아야 하므로 ‘철도시설 기술기준(안) 도출 완료 율’을 성과지표로 설정
					실적							
계												

(4) 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처
논문 게재	연구기간 동안 게재된 논문 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 논문 게재건수 = 연간 논문게재 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 입력된 논문게재 확인서를 대상으로 달성을 측정	국토교통R&D사업관리시스템
특허 출원/등록	연구기간 동안 출원/등록한 특허 수를 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정	[측정산식] - 특허 출원건수 = 연간 특허출원 건수 [측정시기 및 방법] (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) (측정방법) NTIS에 특허출원/등록 실적을 대상으로 측정	국가과학기술지식정보서비스 (NTIS)

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																													
대용량 고속 수소충전기술 개발율	• 과업기간 동안 대용량 고속 수소충전 기술개발을 위해 획득할 필요항목 (4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th><th>‘27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>50 (=2/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 실증차량 에너지 제어기술 개발을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>’24</th><th>’25</th><th>’26</th><th>’27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>고속 충전기술 개념설계</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>개념설계 보고서 1건</td></tr><tr><td>충전 프로토콜 설계</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>충전 프로토콜 보고서 1건</td></tr><tr><td>고속 충전기술 성능검증</td><td></td><td></td><td>2</td><td></td><td>시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 적용 및 운영</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>테스트베드 적용 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)	필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태	고속 충전기술 개념설계	1				개념설계 보고서 1건	충전 프로토콜 설계		1			충전 프로토콜 보고서 1건	고속 충전기술 성능검증			2		시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건	수소충전소 적용 및 운영				1	테스트베드 적용 운영보고서 1건	[측정산식] • 개발율 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업 관리시스템
	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년																																											
	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																																											
	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)																																											
필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태																																											
고속 충전기술 개념설계	1				개념설계 보고서 1건																																											
충전 프로토콜 설계		1			충전 프로토콜 보고서 1건																																											
고속 충전기술 성능검증			2		시험 결과보고서 1건 안전성 평가보고서 1건																																											
수소충전소 적용 및 운영				1	테스트베드 적용 운영보고서 1건																																											
수소충전소 구축률	• 과업기간 동안 수소충전소 구축을 위해 획득할 필요항목(4건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th><th>‘27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>25 (=1/4)</td><td>50 (=2/4)</td><td>75 (=3/4)</td><td>100 (=4/4)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>1건 (4건)</td></tr></table> ※ 수소충전소 구축을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>’24</th><th>’25</th><th>’26</th><th>’27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>수소충전소 구축 검토 및 기본설계</td><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td>수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 상세설계 및 안전성 검토</td><td></td><td>2</td><td></td><td></td><td>수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건</td></tr><tr><td>수소충전소 구축</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>수소충전소 1개소 구축</td></tr><tr><td>수소충전소 운영</td><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건</td></tr></table>	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)	필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태	수소충전소 구축 검토 및 기본설계	3				수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건	수소충전소 상세설계 및 안전성 검토		2			수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건	수소충전소 구축			1		수소충전소 1개소 구축	수소충전소 운영				2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건	[측정산식] • 구축률 = (Σ개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서 및 증빙자료(공인시험기관에서 발급받은 성적서)를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업 관리시스템
	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년																																											
	목표실적 (누적 개발률)	25 (=1/4)	50 (=2/4)	75 (=3/4)	100 (=4/4)																																											
	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	1건 (4건)																																											
필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태																																											
수소충전소 구축 검토 및 기본설계	3				수소충전소 사양서 1건 규제/법령 검토서 1건 수소충전소 기본설계서 1건																																											
수소충전소 상세설계 및 안전성 검토		2			수소충전소 상세설계서 1건 안전성 검토 보고서 1건																																											
수소충전소 구축			1		수소충전소 1개소 구축																																											
수소충전소 운영				2	성능시험 성적서 1건 수소충전소 운영보고서 1건																																											

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																																																			
철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	• 과업기간 동안 수소 철도시설 기술기준(안) 도출을 위해 획득할 필요 항목(5건)을 연차별 연구기간 및 내용을 고려하여 목표치 설정 <table><tr><th>구분</th><th>‘24년</th><th>‘25년</th><th>‘26년</th><th>‘27년</th></tr><tr><td>목표실적 (누적 개발률)</td><td>20 (=1/5)</td><td>40 (=2/5)</td><td>60 (=3/5)</td><td>100 (=5/5)</td></tr><tr><td>검토항목 (누적 건수)</td><td>1 (1건)</td><td>1건 (2건)</td><td>1건 (3건)</td><td>2건 (5건)</td></tr></table> ※ 기술기준(안) 도출을 위한 연차별 달성 계획 <table><tr><th>필요항목</th><th>’24</th><th>’25</th><th>’26</th><th>’27</th><th>증빙자료 형태</th></tr><tr><td>기술·성능검증 요구사항</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 초안</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>철도시설 기술기준(안) 1건</td></tr><tr><td>전문기관 협의 및 의견수렴</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td>의견수렴 결과보고서 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 최종도출</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 최종본 1건</td></tr><tr><td>기술기준(안) 해설서</td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>기술기준(안) 해설서 1건</td></tr></table>	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년	목표실적 (누적 개발률)	20 (=1/5)	40 (=2/5)	60 (=3/5)	100 (=5/5)	검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	2건 (5건)	필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태	기술·성능검증 요구사항	1				수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건	기술기준(안) 초안		1			철도시설 기술기준(안) 1건	전문기관 협의 및 의견수렴			1		의견수렴 결과보고서 1건	기술기준(안) 최종도출				1	기술기준(안) 최종본 1건	기술기준(안) 해설서				1	기술기준(안) 해설서 1건	[측정산식] • 완료율 = (∑개발진도율/100)X100(%) [측정시기 및 방법] • (측정기간) 당해연도 1월1일~12월31일 • (측정시기) 성과입력 완료시점(다음해 1월말) • (측정방법) 국토교통R&D사업관리시스템에 등록 및 검증된 보고서를 대상으로 측정	국토교통R&D 사업관리시스템
	구분	‘24년	‘25년	‘26년	‘27년																																																	
목표실적 (누적 개발률)	20 (=1/5)	40 (=2/5)	60 (=3/5)	100 (=5/5)																																																		
검토항목 (누적 건수)	1 (1건)	1건 (2건)	1건 (3건)	2건 (5건)																																																		
필요항목	’24	’25	’26	’27	증빙자료 형태																																																	
기술·성능검증 요구사항	1				수소충전소 기술·성능검증 요구사항 보고서 1건																																																	
기술기준(안) 초안		1			철도시설 기술기준(안) 1건																																																	
전문기관 협의 및 의견수렴			1		의견수렴 결과보고서 1건																																																	
기술기준(안) 최종도출				1	기술기준(안) 최종본 1건																																																	
기술기준(안) 해설서				1	기술기준(안) 해설서 1건																																																	

(5) 성과목표 및 지표 총괄표

구 분	내 용			
전략목표	수소철도 충전지연 방지 및 효율적 운영을 위한 대용량 고속 충전 핵심기술과 수소충전소 구축·실증			
(최종) 성과목표	수소철도용 대용량 고속 수소충전 핵심기술 개발 및 수소충전소 구축 (수소저장 1,000kg 이상, 수소충전량 500kg/day 이상, 충전속도 50kg/15분 이상)			
성과목표 및 지표	2024년도 ~ 2027년도			
	성과목표	가중치	성과지표	
			지표명	지표 구분
	대용량 고속 수소충전 기술	0.5	대용량 고속 수소충전기술 개발율	과정
			논문게재	결과(질)
			특허 출원/등록	결과(질)
	수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	0.5	수소충전소 구축률	과정(질)
			철도시설 기술기준(안) 도출 완료율	과정(질)

다. 사업평가 계획

평가연도	평가대상 기간	평가대상 성과목표	평가 시기 설정 사유
2028	2024 ~ 2026년도 (총 4년)	1. 대용량 고속 수소충전 기술 2. 수소충전 인프라 구축 및 철도시설 기술기준(안) 마련	(최종)성과목표 및 전략목표 달성을 위한 연구개발기간 4년의 과정이 소요되며, 사업완료된 2028년을 평가연도로 설정함

라. 핵심특허 등 지식재산권 창출 활동 : 해당 없음

마. 성과 활용·확산 계획서 제출 계획(계속사업은 작성 불요)

사업 종료 연도	성과확용·확산 계획서 제출 연도
2027년	2028년

제8장

참고문헌

제8장 참고문헌

- [1] 산업통산자원부('19.1월), 「수소경제 활성화 로드맵」
- [2] 산업통산자원부('21.11월), 「제1차 수소경제 이행 기본계획」
- [3] 한국에너지공단('21.12월), 「2021 산업부문 에너지 사용 및 온실가스 배출량 조사」
- [4] 에너지경제연구원('21.12월), 「에너지통계연보(2021)」
- [5] 산업연구원('18), 「재생에너지 3020을 위한 수소에너지의 역할」
- [6] Hydrogen Council('17), 「How Hydrogen empowers the energy transition」
- [7] 국토교통부('21.6월), 「제4차 국가철도망 구축계획」
- [8] 한국철도공사('22.8월), 「2021 철도통계연보」
- [9] KDI 공공투자관리센터('21.5월), 「예비타당성조사 수행을 위한 세부지침 도로·철도부문 연구」
- [10] 한국철도기술연구원 보도자료('13), 「무선급전으로 트램이 달린다」
- [11] 국가통계 - 철도 차종별 보유현황
- [12] 교통무분 온실가스관리 시스템
- [13] 국토교통부('07.12월), 「철도전철화 효과분석」
- [14] Union of Concerned Scientists('14.10월), 「How Clean Are Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles」
- [15] 환경부, 「대기환경보전법 시행규칙」
- [16] KISTEP('21.5월), 「기술동향브리프 2021-06호 : 연료전지」
- [17] Roland Berger('19), 「Study on the use of fuel cells and hydrogen in the railway environment」
- [18] 에너지경제연구원('21.7월), 「수전해 기술고도화를 위한 주요국 정책 현황 및 시사점」
- [19] 에너지신문 보도자료('22.4월), 「그린수소 생산의 두 축, 재생에너지와 원자력」
- [20] UNEP('19.11월), 「Emissions Gap Report 2019」

- [21] 탄소중립녹색성장위원회(‘21.10월), 「2050 탄소중립 시나리오」
- [22] KDI 경제전망(‘21년 상반기), 「최근 유가 상승의 국내 경제 파급효과」
- [23] 통계청(‘21), 「2021 고령자통계」
- [24] 국토교통과학기술진흥원(‘17), 「무가선 저상 트램 실용화」
- [25] 대한민국정부(‘22), 「윤석열정부 120대 국정과제」
- [26] 산업통상자원부(‘19), 「제3차 에너지기본계획」
- [27] 한국교통연구원(‘21.5월), 「제2차 국가기간교통망계획(안)」
- [28] 과학기술관계장관회의(‘19.10월), 「수소 기술개발 로드맵」
- [29] European Commision Energy(‘20), 「A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe」
- [30] FCH JU(‘19.1월), 「Hydrogen Roadmap Europe」
- [31] EU, 「FCH2RAIL」
- [32] 한국산업기술진흥원(‘20.6월), 「독일 국가수소전략」
- [33] US DOE(‘20.11월), 「Hydrogen Program Plan」
- [34] 중국 국가발전개혁위원회(‘22.3월), 「수소에너지 산업 발전을 위한 중장기 계획(‘21~‘35)」
- [35] 투데이에너지 보도자료(‘21.4월), 「철도研, 세계최초 액화수소열차 개발 착수」
- [36] 한국철도학회 추계학술대회 논문집(‘20), 「철도차량 형식별 수소연료전지 적용 방안 및 성능 연구」
- [37] 현대로템, 「친환경 수소사회로 달리는 수소전기트램」
- [38] 조선비즈 보도자료(‘21.6월), 「현대로템, 2021 부산국제철도기술산업전 참가… 수소 중심 철도사업 그린다」(좌)
- [39] 경남신문 보도자료(‘21.12월), 「울산시, 수소전기트램 디자인·브랜드 이미지 공개」
- [40] Alstom社 공식 홈페이지, <https://www.alstom.com/>
- [41] Siemens社 공식 홈페이지, <https://www.mobility.siemens.com/global/en.html>
- [42] Porterbrook社 공식 홈페이지, <https://www.porterbrook.co.uk/>
- [43] FCH2Rail 공식 홈페이지, <https://www.fch2rail.eu/>
- [44] TALGO社 공식 홈페이지, <https://www.talgo.com/>
- [45] PESA社 공식 홈페이지, <https://pesa.pl/en/>

- [46] LOKO社 공식 홈페이지, <https://www.czloko.com/>
- [47] Metro Report('17.3월), 「Foshan hydrogen fuel cell tram contract signed」
- [48] CRRC社 공식 홈페이지, <https://www.crrcgc.cc/en>
- [49] East Japan Railway Company('06.4월), 「Development of the World' s First Fuel Cell Hybrid Railcar」
- [50] JR EAST社 공식 홈페이지, <https://www.jreast.co.jp/multi/en/>
- [51] Green Car Congress('09.6월), 「BNSF Railway and Vehicle Projects Demonstrate Experimental Hydrogen Fuelcell Hybrid Switch Locomotive」
- [52] Railway Age('21.3월), 「SERA To Build Hydrogen-Powered Switcher」
- [53] Trains('22.9월), 「Stadler unveils first hydrogen train for U.S., announces order for up to 29 more」
- [54] Coast Futura社 공식 홈페이지, <https://www.coastfutura.org/>
- [55] Railway Age('22.4월), 「HFCTA Hydrogen Fuel Cell Overview」
- [56] Alstom社 Youtube, 「The Linde hydrogen filling station - powering the Alstom Coradia iLint」, <https://www.youtube.com/watch?v=1xMsoLuNW-U>
- [57] 이재훈(설비공학회 세미나, '22.7월), 「신정부 에너지정책에 따른 수소 안전관리 방향」
- [58] 산업통산자원부 보도자료('23.2월), 「안정적 수소 공급 위해 ‘수요-공급’ 기관 힘을 모으다」
- [59] 월간수소경제('19.3월), 「‘수소충전 프로토콜’ 갖춰야 수소전기차 활용 ‘극대화’ 」
- [60] JPEC(2016), 「圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003」
- [61] Grand View Research, 「Rolling Stock Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Locomotive, Rapid Transit Vehicle, Wagon), By Type, By Train Type, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030」
- [62] Allied Market Research('22), 「Hydrogen Fuel Cell Train Market」
- [63] 매일경제 보도자료('21.9월), 「정의선 ‘2040년 수소사회 실현’ 선언…200kW급 연료전지시스템 공개」
- [64] Ballard社 공식 홈페이지, <https://www.ballard.com/>

- [65] Cummins社 공식 홈페이지, <https://www.cummins.com/>
- [66] Powercell社 공식 홈페이지, <https://powercellgroup.com/>
- [67] DOE(‘21.1월), 「Durability-Adjusted Fuel Cell System Cost」
- [68] 산업통산자원부(‘19.10월), 「관계부처 합동, “수소 인프라 및 충전소 구축 방안” 발표」
- [69] Ballard, 「World’s First Fuel Cell Tram for Foshan, China」
- [70] Deutsche Bahn社 공식 홈페이지, <https://www.bahn.com/en>
- [71] Rail Engineer(‘21.2월), 「Scotland’ s Hydrogen Train」
- [72] 한국철도공사, 「철도여객수송추이」
- [73] 에너지신문 보도자료(‘19.7월), 「수소는 친환경·미래에너지” 국민 70% 이상 신뢰」
- [74] 현대로템, 「철도차량, 탈탄소 시대를 향해 달리다」
- [75] 국가미세먼지정보센터, 「2019년 대기오염물질 배출량 통계」
- [76] 조태환 외(한국항공우주학회 ‘14년도 춘계학술대회), 「KARI 개방형시험부에서 수행된 고속철도 차량 팬터그래프 공력소음 풍동시험」
- [77] 국가소음정보시스템, 「2021년도 철도 소음 통계」
- [78] 국토교통과학기술진흥원(2022), 「2021 국토교통 기술수준분석 최종보고서」
- [79] 국토과학기술진흥원(‘21), 「2022년도 국토교통과학기술 연구개발사업 시행계획」
- [80] KISTEP(‘21), 「2020년 기술수준평가」
- [81] 국토교통부(‘22), 「교통시설 투자평가지침(제7차 개정)」
- [82] 에너지경제연구원(‘23.1월), “에너지통계월보 제39권 제1호”
- [83] 가스신문(‘12.9월), 「미국의 수소인프라 관리체계」
- [84] 신재생에너지 및 수소 국제 워크숍, 2015
- [85] 한국산업기술시험원(‘21.3월), 「수소충전소 시설 변경, 실증 방법 및 장비의 안전성 검토 연구 용역」 과업지시서

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업 “친환경 수소철도 기술개발 사업기획” 과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통연구기획사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.