국토교통연구기획사업

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획 최종보고서

[PARTⅣ] 수소연료전지 하이브리드 철도추진시스템개발

2017. 11.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

Land · Infrastructure and Transport R&D Report

자율주행 기반 스마트철도 핵심기술 개발기획 최종보고서 〔Ⅳ〕

국토교통과학기술진흥원
국 토 교 통 부

<제목 차례>

제1장 기술의 정의 및 필요성 ····· 1

1절 기술의 정의 및 분류체계 ····· 1

1. 기술의 개요 ····· 1
2. 기술의 정의 ····· 3
3. 기술 분류체계 ····· 4
4. 세부 기술내용 ····· 5

2절 기술개발의 필요성 ····· 8

1. 수소연료전지 철도차량의 필요성 ····· 8
2. 기술 미개발시 예상되는 문제점 ····· 13

제2장 국내외 동향 및 환경분석 ····· 15

1절 국내외 정책동향 ····· 15

1. 국외 정책동향 ····· 15
2. 국내 정책동향 ····· 24
3. 결론 ····· 35

2절 국내외 시장동향 및 전망 ····· 36

1. 국외 시장동향 및 전망 ····· 36
2. 국내 시장동향 및 전망 ····· 56
3. 결론 ····· 66

3절 기술(특허, 논문 등) 동향 ····· 70

1. 특허동향 ····· 70
2. 논문동향 ····· 82
3. 수소연료전지관련 국내 연구개발 동향 ····· 85
4. 기술동향 분석 결론 및 시사점 ····· 87

4절 기술수준 분석 및 수요조사 ····· 88

1. 관련요소기술 조사 결과 ····· 88
2. 기술수요조사 ····· 125
3. 기술수준분석 ····· 131
4. 우선순위조사 ····· 140

5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성 ····· 145

1. 유사과제분석 ····· 145
2. 기존기술(연구)와의 차별성 ····· 163

6절 국내 연구개발 인프라 분석 ····· 165

1. 기술개발 SWOT 분석 ····· 165
2. 연구진의 연구개발 역량 ····· 166

3. 인프라 설비 ····· 168
7절 활용가능성 ····· 175
8절 연구성과 실용화를 위한 관련법령 검토 결과 ····· 177
1. 고압가스 저장 및 사용의 시설, 기술 기준 시행령 ····· 177
2. 수소저장탱크 안전성 시험 ····· 180
3. 수소연료전지자동차 안전성 시험 ····· 185
4. 수소 충전소관련 규정 ····· 187

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 190

1절 비전 및 목표 ····· 190
2절 기술개발에 따른 미래상 ····· 194
1. 적용에 따른 미래상 ····· 194
2. 세부 기술별 미래상 ····· 195
3절 연구개발 과제 구성 ····· 198
4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 200
1. 세부과제별 주요내용 ····· 200
2. 추진전략 ····· 208
5절 연구추진체계 ····· 210
1. 연구추진체계 검토 ····· 210
2. 연구추진체계 구성 ····· 211
3. 연구추진체계간 고려사항 ····· 213
6절 기술/성과 로드맵 ····· 214
1. 세부 과제별 연차별 기술로드맵 ····· 214
2. 세부과제별 성과목표 ····· 218
3. 성과목표 및 지표 ····· 220
4. 성과물 검증방안 ····· 222

제4장 사전타당성 검토 ····· 223

1절 정책적 타당성 ····· 223
1. 상위계획과의 부합성 ····· 223
2. 사업추진의지 ····· 232
3. 법·제도적 위험요인 검토 결과 ····· 233
2절 기술적 타탕성 ····· 234
1. 기획과정의 적절성 ····· 234
2. 연구목표의 적절성 ····· 234
3. 사업추진의 당위성 ····· 236
4. 기술 개발 성공가능성(기술추세, 기술수준분석) ····· 239

5. 기존 사업과의 중복성 ····· 254
3절 경제적 타당성 분석 ····· 256
1. 비용 추정 ····· 256
2. 편익 추정 ····· 258
3. 경제성 분석 ····· 265
4절 타당성 검토 종합 ····· 268
1. 기술개발투자의 시급성 ····· 268
2. 정부 상위계획과의 부합성 ····· 268
3. 경제적 타당성 결론 ····· 269
4. 정부 미지원시 문제점 ····· 270

제5장 자원투입계획 ····· 271

1절 연구시설 및 장비투입계획 ····· 271
2절 인력투입계획 ····· 273
3절 소요예산 투입계획 ····· 274
1. 연구비 ····· 274
2. 세부과제별 연구비 ····· 274
3. 세부기술별 소요예산 ····· 274

제6장 과제공모 방안 ····· 278

1절 과제제안 요구서(RFP) ····· 278
1. 과제 제안요구서 1안(연구단) ····· 278
2. 과제 제안요구서 2안(세부과제별) ····· 289
2절 공모조건 ····· 308
3절 선정평가 방법 ····· 309
1. 연구목표의 적절성, 연구개발 필요성 및 타당성 : 배점 30점 ····· 309
2. 연구계획의 적정성 : 배점 50점 ····· 309
3. 연구기관의 적정성 : 배점 20점 ····· 309

제7장 참고자료 ····· 310

<표 차례>

[표 1.1] 상용화에 따른 문제점 및 이에 대한 해결과제도출 ····· 3
[표 1.2] 자립형 신재생에너지 추진 기술분류 체계 ····· 4
[표 1.3] 자립형 신재생에너지 추진 세부기술내용 ····· 5
[표 1.4] 에너지 4.0 주요기술과 적용방안 ····· 11
[표 1.5] 경부선 7400호대 디젤연비(ℓ) 산출결과 ····· 12
[표 1.6] 경부선 7400호대 수소연비(ℓ) 산출결과(예측) ····· 12
[표 1.7] 경부선 7400호대 배터리 용량에 따른 수소연비(ℓ) 산출결과(예측) ····· 13
[표 2.1] 주요 국가의 재생에너지 보급 목표 ····· 15
[표 2.2] 미국의 1차 에너지 소비 ····· 16
[표 2.3] 미국의 재생에너지 발전설비 현황(2015년) ····· 16
[표 2.4] 중국의 1차 에너지 소비 ····· 17
[표 2.5] 중국의 재생에너지 발전설비 현황(2015년) ····· 18
[표 2.6] 국외 신재생 철도 정책 및 상세방안 분류 ····· 19
[표 2.7] 해외의 수소연료전지차 실증 시범 운행 사업 ····· 20
[표 2.8] 주요국의 수소연료전지 지원정책 ····· 20
[표 2.9] 교토의정서와 신기후체제 비교 ····· 25
[표 2.10] 국내 신재생 철도 관련 정책 및 특징 분류 ····· 28
[표 2.11] 국내 수소연료전지 보급량 확대 추이(단위 : 백만달러) ····· 29
[표 2.12] 국내 수소연료전지 보급량 확대 추이(단위 : 백만달러) ····· 30
[표 2.13] 국내 수소연료전지차 및 수소충전소 보급 전망 ····· 33
[표 2.14] 수소연료전지 분야 정책지원 프로그램 ····· 33
[표 2.15] 국가별 수력 시설용량 ····· 40
[표 2.16] 글로벌 연료전지 시장 추이 및 전망 (단위 : 억엔) ····· 43
[표 2.17] 2020년 연료전지 자동차 시장 ····· 49
[표 2.18] 일본 연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 전동차의 주요 사양 ····· 51
[표 2.19] 하이브리드화에 의한 예상 효과 ····· 52
[표 2.20] 중국 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 트램의 주요사양 ····· 54
[표 2.21] 미국 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 기관차의 주요사양 및 성능 ····· 54
[표 2.22] 연도별 국내 태양광 보급용량 ····· 57
[표 2.23] 연료전지 자동차 시장 규모 ····· 62
[표 2.24] 선박/건조 운항 패러다임의 변화 ····· 63
[표 2.25] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 – 신재생에너지 관련분야 ····· 70
[표 2.26] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 – 수소연료전지 추진기술관련분야 ····· 72

[표 2.27] 기존연구와의 중복성 및 연계방안 ····· 85
[표 2.28] 수소 5kg 대응 저장성 비교 ····· 98
[표 2.29] 인버터의 기술추이 분석 ····· 103
[표 2.30] 동력시스템 공정설비 ····· 116
[표 2.31] 연료전지 공정제어시스템 ····· 117
[표 2.32] 수소 저장 방법의 장단점 ····· 118
[표 2.33] 스마트 철도 주요 부품 내구연한 ····· 124
[표 2.34] 1차 자문회의 ····· 125
[표 2.35] 2차 자문회의 ····· 126
[표 2.36] 주요 조사 내용 및 질의 형태 ····· 127
[표 2.37] 핵심기술 개발 분야 기술수요조사 제안과제 리스트 ····· 130
[표 2.38] 기술수준분석 조사 평가항목 ····· 132
[표 2.39] 유사·중복 제안 과제 통합 ····· 132
[표 2.40] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과 ····· 134
[표 2.41] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과 ····· 137
[표 2.42] 우선순위조사 평가지표 항목 ····· 140
[표 2.43] 핵심기술 개발 분야 우선순위 조사 과제 리스트 ····· 141
[표 2.44] 우선순위조사 평가지표 항목 ····· 142
[표 2.45] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 우선순위 조사 결과 ····· 143
[표 2.46] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 최종 연구 과제 ····· 144
[표 2.47] 담당 업체에 따른 연구 목표 및 연구 개발 내용 ····· 146
[표 2.48] 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술 연구 개발 내용 ····· 148
[표 2.49] 수소연료전지 철도전용 발전시스템 전용모델 사양 작성 ····· 150
[표 2.50] 신재생에너지 분야 온실가스 감축목표 이행 로드맵(안) ····· 152
[표 2.51] 100kW이상급 대용량 연료전지스택 개발 ····· 155
[표 2.52] 700bar 수소연료탱크 개발의 상용화 ····· 156
[표 2.53] 수소연료전지 관련 안전기준 개발 ····· 158
[표 2.54] 철도관련 기존연구와의 차별성 ····· 163
[표 2.55] 수소연료전지관련 기존연구와의 차별성 ····· 164
[표 2.56] SWOT 분석 ····· 165
[표 2.57] 철도 연구개발 인력 현황 ····· 166
[표 2.58] 철도 연구개발 전공 분야 현황 사례조사 ····· 166
[표 2.59] 고압가스 저장 및 사용의 시설, 기술 기준 시행령에 해당하는 고압가스 안전관리법 ··· 177
[표 2.60] 재료의 종류에 따른 시험 항목 ····· 180
[표 2.61] 용기의 형태에 따른 재료의 최소 안전율 ····· 181

[표 2.62] 안전성 평가 시험의 주요 항목 ····· 182
[표 2.63] 수소연료전지자동차 안전성 평가 시험의 주요 항목 ····· 186
[표 2.64] 수소인프라 관련 법제도 현황 ····· 187
[표 2.65] 수소자동차 연구개발용 수소 자동차충전소의 시설기준 및 기술기준 ····· 187
[표 3.1] 세부과제 성과물 및 세부기술 ····· 199
[표 3.2] 1 세부과제의 세부기술의 연구활동 및 산출물 ····· 204
[표 3.3] 1 세부과제의 세부기술의 연구활동 연구계획 ····· 205
[표 3.4] 2 세부과제의 세부기술의 연구활동 및 산출물 ····· 206
[표 3.5] 2 세부과제의 세부기술의 연구활동 연구계획 ····· 207
[표 3.6] 연구추진체계 구성 (1세부과제) ····· 211
[표 3.7] 연구추진체계 구성 (2세부과제) ····· 212
[표 4.1] 연도별 공공기관 신재생에너지 공급 의무 비율(%) ····· 231
[표 4.2] 국토교통부 철도기술연구사업 개편(안) ····· 233
[표 4.3] 세부과제 개발기술의 최종 산출물 ····· 235
[표 4.4] 본 기획과제의 기술개발 내용 ····· 236
[표 4.5] 수송용(전기자동차용) 에너지 저장시스템의 핵심기술 수준 비교 ····· 246
[표 4.6] 수송용 고성능 연료전지 기술의 핵심부품 기술 수준 비교 ····· 248
[표 4.7] 수소연료전지를 이용한 수송시스템 실용화 인프라의 기술 수준 비교 ····· 249
[표 4.8] 수소연료전지를 이용한 추진시스템의 핵심 공용 부품 기술 수준 비교 ····· 251
[표 4.9] 수송분야 수소연료전지 차량 비교 ····· 252
[표 4.10] 철도관련 기존연구와의 차별성 ····· 255
[표 4.11] 연차별 연구개발비용 투입계획 ····· 256
[표 4.12] 연차별 연료전지기관차 발주계획 ····· 256
[표 4.13] 연차별 연료전지기관차 발주계획 ····· 257
[표 4.14] 특대형 디젤기관차 보유현황 ····· 257
[표 4.15] 편익의 구성 및 내용 ····· 258
[표 4.16] 대기오염 비용 원단위 ····· 259
[표 4.17] 오염물질 배출계수 ····· 259
[표 4.18] 차종별 주행비용 ····· 260
[표 4.19] 글로벌 철도차량업체 별 철도차량 시장 점유율 ····· 261
[표 4.20] 철도차량산업의 부가가치율 ····· 262
[표 4.21] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도 ····· 262
[표 4.22] 분석기간 중 연차별 연료전지기관차 내수수요 가정 ····· 262
[표 4.23] 연도별 기관차키로 (디젤기관차, 단위:km) ····· 263
[표 4.24] 환경비용 절감편익 ····· 263

[표 4.25] 운행비용 절감편익 ····· 264
[표 4.26] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산) ····· 265
[표 4.27] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과 ····· 265
[표 4.28] 상용화 부문의 경제성 분석 결과 ····· 266
[표 7.1] 7x00호대 디젤 기관차 오염물질 배출 계수 ····· 310
[표 7.2] 철도 차종별 이산화탄소 배출 현황 ····· 311
[표 7.3] 7x00호대 디젤기관차와 수소연료전지 기관차의 오염물질 배출량 비교 ····· 311
[표 7.4] 4400호대 디젤기관차와 수소연료전지 기관차의 오염물질 배출량 비교 ····· 312
[표 7.5] 전철전력설비 표준공사비(단위 : 억원/km) ····· 314
[표 7.5] 디젤전기기관차와 수소연료전지 철도차량 연비 분석 ····· 318

<그림 차례>

[그림 1.1] 신재생에너지원별 비교표 ····· 1
[그림 1.2] 수소 결제와 연료전지 ····· 2
[그림 1.3] 일본 수소연료전지 전략로드맵 ····· 2
[그림 1.4] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 구성도 ····· 3
[그림 1.5] 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 계통연계 개념 ····· 4
[그림 1.6] 연료전지의 작동원리 ····· 8
[그림 1.7] 국내 연료전지 보급량 추이 ····· 9
[그림 1.8] 철도인프라 구축 비용 저감 액수 ····· 9
[그림 1.9] 수소연료전지 자동차 미세먼지저감 시연 ····· 10
[그림 2.1] 유럽 전역의 수소인프라 구축을 위한 시나리오 ····· 23
[그림 2.2] 일본의 수소경제 구현을 위한 3단계 로드맵 ····· 24
[그림 2.3] 2030년 에너지 신산업 정책방향 ····· 26
[그림 2.4] 국내 신-재생에너지 보급 목표 ····· 27
[그림 2.5] 국내 수소연료전지 보급 정책 ····· 31
[그림 2.6] 국내 발전용 수소연료전지 보급 전망 ····· 32
[그림 2.7] 국내 발전용 수소연료전지 용량 및 설치현황 ····· 33
[그림 2.8] 세계 태양광 설치시장 현황 ····· 36
[그림 2.9] 세계 태양광 수요 공급 현황 및 전망 ····· 37
[그림 2.10] 세계 태양광 설치량과 모듈 가격 전망 ····· 38
[그림 2.11] 기술별 태양광 모듈(결정질/박막) 출하량 비교 ····· 38
[그림 2.12] 2015년 풍력발전 설비 신규설치용량 ····· 39
[그림 2.13] 2015년 풍력발전 설비 누적설치용량 ····· 39
[그림 2.14] 전세계 수력 개발량 및 잠재량 ····· 41
[그림 2.15] 주요 국가 스파크 스프레드 비교표 ····· 42
[그림 2.16] 연료전지 용도별 출하량 / 용량(MW) ····· 42
[그림 2.17] 연료전지 나라별 출하량 / 용량(MW) ····· 42
[그림 2.18] 분산발전의 종류 및 특징 ····· 44
[그림 2.19] 세계 분산발전용 연료전지 시장 전망(2014-2019) ····· 45
[그림 2.20] 발전용 연료전지 시장 보급 ····· 45
[그림 2.21] 세계 누적 대형 고정형 연료전지 보급량(대) ····· 46
[그림 2.22] MCFC : Potential Captive Market for CCS ····· 46
[그림 2.23] 세계 건물용 연료전지 시장 현황 ····· 46
[그림 2.24] 일본 PEMFC 가정용 연료전지 시스템 ····· 47

[그림 2.25] 일본의 가정용 연료전지 시장 정책 ····· 47
[그림 2.26] 자동차 CO2 규제 및 연비기준 강화 추이 ····· 48
[그림 2.27] 세계 수송용 연료전지 시장 전망(2014-2019) ····· 49
[그림 2.28] 연료전지자동차 세계시장 전망 ····· 49
[그림 2.29] 미국의 수소충전소 현황 ····· 50
[그림 2.30] 유럽의 수소 인프라 ····· 50
[그림 2.31] 전세계 선박엔진 시장 ····· 51
[그림 2.32] 일본의 수소연료전지 시험 전동차 및 구성 ····· 52
[그림 2.33] 중국의 수소연료전지 시험 트램제어 기술 ····· 53
[그림 2.34] 중국의 수소연료전지 시험 트램 구성 ····· 53
[그림 2.35] 미국의 수소연료전지 시험 기관차 구성 ····· 55
[그림 2.36] 프랑스의 수소연료진지 시험 기관차 구성 ····· 56
[그림 2.37] 2015년 태양광발전 연간 및 누적 설치용량 ····· 57
[그림 2.38] 국내 풍력발전 신규 설비용량(단위 : MW) ····· 58
[그림 2.39] 국내 연료전지 설치량 추이 ····· 59
[그림 2.40] 포스코파워의 MCFC 설치 현황 ····· 60
[그림 2.41] 국내 연료전지 발전량 추이 ····· 61
[그림 2.42] 에너지 저장매체 종류별 용량 및 저장기간 ····· 62
[그림 2.43] 선박/건조 운항 패러다임의 변화 ····· 63
[그림 2.44] 비상시 국내 디젤기관차 부족 수량 ····· 64
[그림 2.45] 한국철도공사 일반철도 운용현황 ····· 64
[그림 2.46] 6.30 특별대책과 보안방안 ····· 65
[그림 2.47] 세계 연료전지 시장 전망 ····· 66
[그림 2.48] 세계 연료전지분야 시장 점유율 ····· 67
[그림 2.49] 자동차용 연료전지분야 시장점유율 ····· 67
[그림 2.50] 국내 수소연료전지 시장 전망 ····· 68
[그림 2.51] 출원년도 및 국가별 출원추이 – 신재생에너지 분야 ····· 71
[그림 2.52] 세부기술별 특허출원동향 - 신재생에너지 분야 ····· 71
[그림 2.53] 주요 출원인 동향 – 신재생에너지 분야 ····· 72
[그림 2.54] 출원년도 및 국가별 출원추이 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 73
[그림 2.55] 세부기술별 특허출원동향 - 수소연료전지 추진기술분야 ····· 74
[그림 2.56] 주요 출원인 동향 - 수소연료전지 추진기술분야 ····· 74
[그림 2.57] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 75
[그림 2.58] 국가별 인용도지수 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 76
[그림 2.59] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 77

[그림 2.60] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 – 신재생에너지 분야 ····· 82
[그림 2.61] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 83
[그림 2.62] 논문 발표 주요 국가 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 84
[그림 2.63] 논문 발표 주요 저자 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 84
[그림 2.64] 논문 발표 주요 연구기관 – 수소연료전지 추진기술분야 ····· 84
[그림 2.65] 리튬이차전지의 구동원리 ····· 89
[그림 2.66] 일반 슈퍼커패시터 전극 구조 ····· 91
[그림 2.67] 에너지저장장치의 에너지 밀도 대 출력 밀도 그래프 ····· 92
[그림 2.68] 리튬이온 커패시터의 구조와 작동 원리 ····· 92
[그림 2.69] 리튬이온커패시터의 고전압 구현 원리 ····· 93
[그림 2.70] 리튬이온 프리도핑 방식 비교도 ····· 93
[그림 2.71] 수소연료전지차의 구조 ····· 94
[그림 2.72] 주요 해외완성차업체의 수소연료전지 성능 비교 ····· 95
[그림 2.73] Honda의 V-flow 분리판 형태 및 이를 이용한 스택적층 부피 저감 형태 ····· 96
[그림 2.74] 미국 DOE에서 분석한 2013년 수소연료전지차 스택 가격 ····· 97
[그림 2.75] 다양한 수소 저장 방식 ····· 97
[그림 2.76] 고압수소저장용기의 형태 ····· 98
[그림 2.77] 고압수소저장용기 별 수소 5kg 저장 시 무게 ····· 99
[그림 2.78] Quantum 사 TriShild 700기압 고압수소저장용기의 외관과 삼중구조 ····· 99
[그림 2.79] 주요 업체 별 상용 대용량 IGBT 스위칭 소자 ····· 100
[그림 2.80] SiC IGBT 소자를 이용한 추진 인버터 ····· 101
[그림 2.81] TR-07 급전 회로 시스템의 전력 변환 장치 ····· 103
[그림 2.82] 일본 야마나시 시험선 급전 회로 시스템의 전력 변환 장치 ····· 104
[그림 2.83] NPC 멀티레벨 인버터 토폴로지 및 2-레벨과 3-레벨 방식의 출력비교 ····· 104
[그림 2.84] 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각 ····· 105
[그림 2.85] 영구자석 동기전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교 ····· 106
[그림 2.86] 이너로터 및 아우터 로터 방식 ····· 106
[그림 2.87] Direct Drive In-wheel 전동기 사례 ····· 107
[그림 2.88] 영구자석 동기전동기 특성 ····· 108
[그림 2.89] 이중돌극형 영구자석 선형전동기 시제품(전기연구원, 2012) ····· 108
[그림 2.90] 양방향 DC/DC 컨버터 주회로도 (Buck-Boost 컨버터) ····· 110
[그림 2.91] PWM 컨버터 및 위상천이 컨버터 회로도 ····· 110
[그림 2.92] 위상천이 DC/DC 컨버터의 1차측 회로 및 스위칭 파형 ····· 111
[그림 2.93] LLC 공진형 컨버터 회로도 ····· 111
[그림 2.94] LLC 공진형 컨버터의 1차 측 회로 ····· 112

[그림 2.95] LLC 공진형 컨버터 1차 측 전류 파형 ····· 112
[그림 2.96] 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터 ····· 113
[그림 2.97] 연료전지 작동원리 및 기본구조 ····· 113
[그림 2.98] 연료전지 스택 ····· 114
[그림 2.99] 연료전지 시스템 구성도(고분자 전해질 연료전지) ····· 115
[그림 2.100] 금속 내 수소 분자 ····· 119
[그림 2.101] 여러 수소 저장 물질의 수소 방출 온도와 수소 저장 밀도 ····· 119
[그림 2.102] LiB계 수소 저장 합금 구성 ····· 120
[그림 2.103] 마그네슘기지 수소저장합금의 수소 흡방출 기구 ····· 120
[그림 2.104] Ti-Cr-V-Fe 계 수소 저장 합금 ····· 121
[그림 2.105] graphene(왼쪽)과 graphane(오른쪽) ····· 122
[그림 2.106] 금속-유기 구조물의 예 ····· 122
[그림 2.107] 연구개발 세부과제 도출 과정 ····· 125
[그림 2.108] 수소연료전지 분야의 철도차량 신기술 활용 여부 ····· 127
[그림 2.109] 수소연료전지 분야의 연구 시급성이 높은 분야 ····· 128
[그림 2.110] 수소연료전지 분야의 적합 적용 차량 유형 ····· 128
[그림 2.111] 수소연료전지 분야의 현장 적용 시 애로사항 ····· 129
[그림 2.112] 수소연료전지 분야의 핵심요구사항 ····· 129
[그림 2.113] 핵심기술 개발 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소 ····· 136
[그림 2.114] 핵심기술 개발 분야의 기술 성숙도 수준 ····· 136
[그림 2.115] 핵심기술 개발 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준 ····· 137
[그림 2.116] 수소연료전지 분야의 장애요인 현황 ····· 139
[그림 2.117] 수소연료전지 분야의 우선순위 평가기준 가중치 ····· 142
[그림 2.118] 무가선 하이브리드 저상 트램 ····· 145
[그림 2.119] 무가선 모드시 추진/회생 전력 흐름도 ····· 147
[그림 2.120] 유가선 모드시 추진/회생 전력 흐름도 ····· 147
[그림 2.121] 수소발생기 및 수소정제기와 조합된 1kW급 수소연료전지발전시스템 ····· 149
[그림 2.122] 30kW급 수소연료전지발전시스템에 대한 시뮬레이션 ····· 149
[그림 2.123] 연료전지발전시스템을 적용한 축소형 철도차량의 하드웨어 ····· 150
[그림 2.124] 하이브리드 시스템에 적용되는 동력 용량 ····· 153
[그림 2.125] 하이브리드 철도차량의 동력 사용 ····· 154
[그림 2.126] 견인전동기 성능시험기 ····· 169
[그림 2.127] 추진장치성능시험설비 ····· 170
[그림 2.128] 6-자유도 진동대 ····· 171
[그림 2.129] 철도차량 실대형 환경챔버 ····· 173

[그림 2.130] 철도종합시험선로 ····· 174
[그림 2.131] 국내 디젤기관차의 연간 대기오염 물질 배출량 비교 ····· 175
[그림 2.132] 수소가스의 누출 및 화재 시험 ····· 183
[그림 2.133] 수소저장탱크 낙하 시험 ····· 183
[그림 2.134] 수소저장탱크 충돌 시험 ····· 184
[그림 2.135] 수소저장탱크 기밀시험 ····· 184
[그림 3.1] 비전 및 목표 ····· 190
[그림 3.2] 신재생에너지 추진기술의 미래상 ····· 194
[그림 3.3] 가상의 철도차량 설계검증을 통한 실차검증 신뢰성 향상 기술의 미래상 ····· 195
[그림 3.4] 철도차량 계통연계형 전력변환 및 추진시스템 기술의 미래상 ····· 196
[그림 3.5] 철도분야 수소연료전지 적용 실용화 기술의 미래상 ····· 197
[그림 3.6] 연구개발 과제 구성 ····· 198
[그림 3.7] 연구추진전략 구성 ····· 208
[그림 3.8] 연차별 세부과제 연구 로드맵 ····· 214
[그림 3.9] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 로드맵 ····· 216
[그림 3.10] 수소연료전지 하이브리드 실차검증 및 기술기준(안) 수립 로드맵 ····· 216
[그림 3.11] 제어기설계 검증용 실부하모사(HIL)용 플랫폼 구축 로드맵 ····· 217
[그림 4.1] 현 정부의 6대 에너지 정책 ····· 223
[그림 4.2] 미세먼지관련 정부 대책 ····· 224
[그림 4.3]현 정부 미세먼지 관리 종합대책(2017.09.26.) ····· 225
[그림 4.4] 국토교통부 미세먼지 대응 대책 ····· 226
[그림 4.5] `17년 8월 출시 예정인 수소연료전지 자동차 ····· 226
[그림 4.6] 수소충전인프라 관련 정부 부처 보도자료 (2017년 2월) ····· 228
[그림 4.7] 정부의 신재생에너지 시장 확대 목표 ····· 229
[그림 4.8] 국내 연료전지 운영단계 별 지원제도 요약 ····· 230
[그림 4.9] 에너지원 별 지원 규모 ····· 230
[그림 4.10] 사업 추진체계 ····· 232
[그림 4.11] 유럽 등록차량의 CO2 배출 모니터링 결과보고서 ····· 237
[그림 4.12] 기계·제조·공정 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차 ····· 240
[그림 4.13] 에너지·자원 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차 ····· 240
[그림 4.14] 건설·교통 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차 ····· 241
[그림 4.15] 기계·제조·공정 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이 ····· 242
[그림 4.16] 기계·제조·공정 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이 ····· 242
[그림 4.17] 기계·제조·공정 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이 ····· 242
[그림 4.18] 기계·제조·공정 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이 ····· 242

[그림 4.19] 에너지·자원 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이 ····· 243
[그림 4.20] 에너지·자원 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이 ····· 243
[그림 4.21] 에너지·자원 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이 ····· 244
[그림 4.22] 에너지·자원 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이 ····· 244
[그림 4.23] 건설·교통 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이 ····· 245
[그림 4.24] 건설·교통 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이 ····· 245
[그림 4.25] 건설·교통 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이 ····· 245
[그림 4.26] 건설·교통 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이 ····· 245
[그림 4.27] 세계 하이브리드 기관차 시장 전망 ····· 261
[그림 7.1] 국내 7x00호대 디젤기관차(233대)의 연간 대기오염 물질 배출량 비교 ····· 312
[그림 7.2] 전철전력설비(송전선로) ····· 315
[그림 7.3] 전철전력설비(전차선로) ····· 315
[그림 7.4] 전철전력설비(급전계통도) ····· 316

제1장 기술의 정의 및 필요성

1절 기술의 정의 및 분류체계

1. 기술의 개요

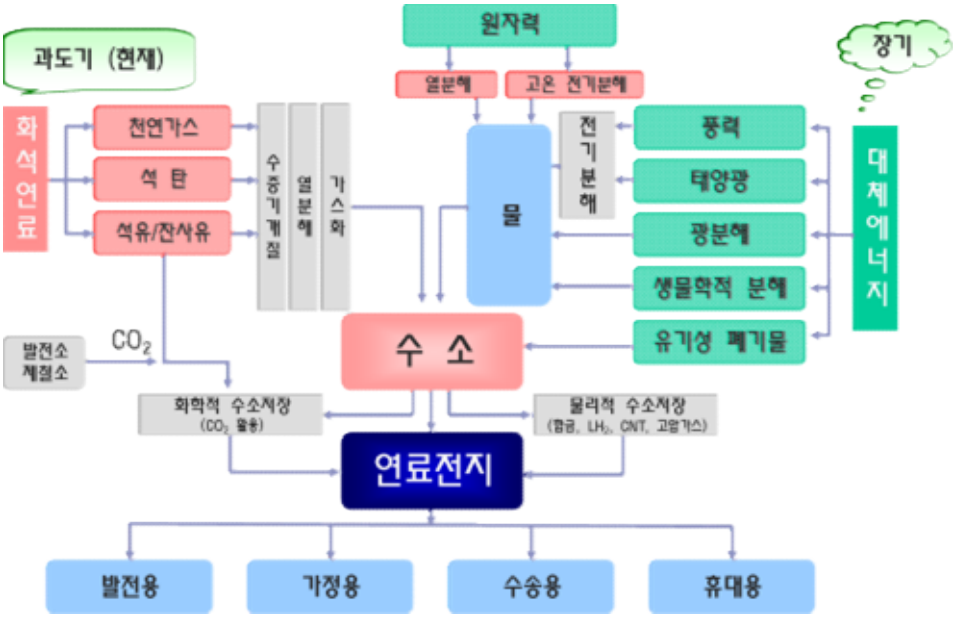
○ 「신재생에너지개발 및 이용보급 촉진법 제2조 」에 따라 신재생에너지란 석탄, 석유, 원자력 및 천연가스가 아닌 에너지로 11개 분야를 지정하였고 재생에너지 8개분야(태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지)와 신에너지 3개분야(연료전지, 석탄액화·가스화, 수소에너지)로 세분할 수 있음.

○ 신재생에너지 가운데 외부로부터 전력을 공급받지 않고 독립적으로 철도차량의 추진동력을 발생시키기 위해 적합한 에너지원으로서는 철도차량의 제한된 공간 및 중량, 연료공급의 용이성 및 안정성 등을 고려해보면, 바이오 디젤, 수소에너지, 연료전지 등이 적합하다고 분석되었으나 바이오 디젤은 환경과 품질에 대한 문제점(경유대비 NOx배출량 22% 증가 및 연비 8% 수준)과 공급 안정성 문제 등에 의해 친환경을 요구하는 대중교통 등에 적용하기는 어려움.

신재생 에너지	태양에너지	풍력에너지	지열에너지	바이오 디젤	LNG	수소연료전지
설치비용 회수기간 및 유지보수관리 기간 (년)	20 ~ 30년	12 ~ 30년	10 ~ 20년	20년	30년	30년
지속성	지속 가능	지속 가능	지속 가능	지속 가능	매장량 한계	지속 가능
기술 성숙도	높음	높음	높음	발전요망	발전요망	발전요망
안정성	높음	높음	낮음	보통	낮음	보통
철도차량 추진시스템 도입 가능여부	불가	불가	불가	가능	가능	가능

[그림 1.1] 신재생에너지원별 비교표

○ 신재생에너지를 통해 발생이 가능한 수소를 적용한 연료전지는 자동차 및 버스등의 수송용 전원으로서 이미 상용화되어 있고 미국, 일본, 중국을 비롯한 유럽에서 철도차량의 수송용 전원으로 적용하려는 연구 및 실용화가 빠르게 진행되고 있음.



[그림 1.2] 수소 결제와 연료전지

○ 수소연료전지를 이용한 수송용 전원은 기존 에너지 효율이 30%인 내연기관보다 높은 50%이상의 효율을 나타내고 공해배출이 전혀 없는 친환경 전원으로서 수소연료전지와 배터리를 조합한 하이브리드 기술을 적용하면 화물 또는 승객 수송용 철도차량에서 요구하는 부하조건하에서 1회 수소충전시 주행거리를 충족시킬 수 있을 것으로 기대됨.



출처: “수소연료전지 전략로드맵”, 일본에너지 경제연구소, 2016

[그림 1.3] 일본 수소연료전지 전략로드맵

○ 수소연료전지를 철도차량에 적용하기 위해서는 수소연료전지 및 주변장치를 구성하기 위한 비용의 저감, 1회 수소충전시 만족할 만한 수준의 주행거리를 확보하기 위한 수소탱크 고압화, 회생에너지의 효율적 사용 및 전력변환장치의 최적화 운용에 따른 수소연

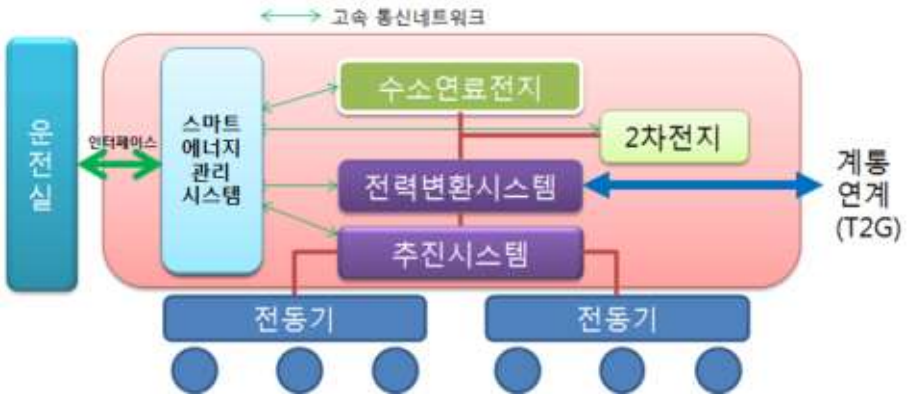
료전지의 장수명화 등에 대한 기술개발이 선행되어야 하고 더불어 수소사용에 따른 안전성 확보를 위한 법제도 및 관련 기술기준의 정비 등이 요구됨.

[표 1.1] 상용화에 따른 문제점 및 이에 대한 해결과제도출

상용화에 따른 문제점	상용화를 위해 해결해야 할 과제도출
☼ 연료전지 및 유지보수에 따른 경제성 ☼ 충전시간 및 1회 충전주행거리 ☼ 연료전지의 수명 ☼ 수소의 안전성 ☼ 법규 및 기술기준 미비	☼ 연료전지의 철도차량용 사양 및 출력의 최적화 ☼ 일일주행키로 500km이상을 위한 수소탑재 및 충전방식 확보 ☼ 수소제조, 저장, 공급방식의 평가 ☼ 연료전지 탑재에 따른 종합에너지 효율 평가 ☼ 수소연료전지 탑재 철도차량의 내구성 및 안전성 확보 ☼ 수소연료전지탑재에 따른 관련 법령 및 기술기준 정비

2. 기술의 정의

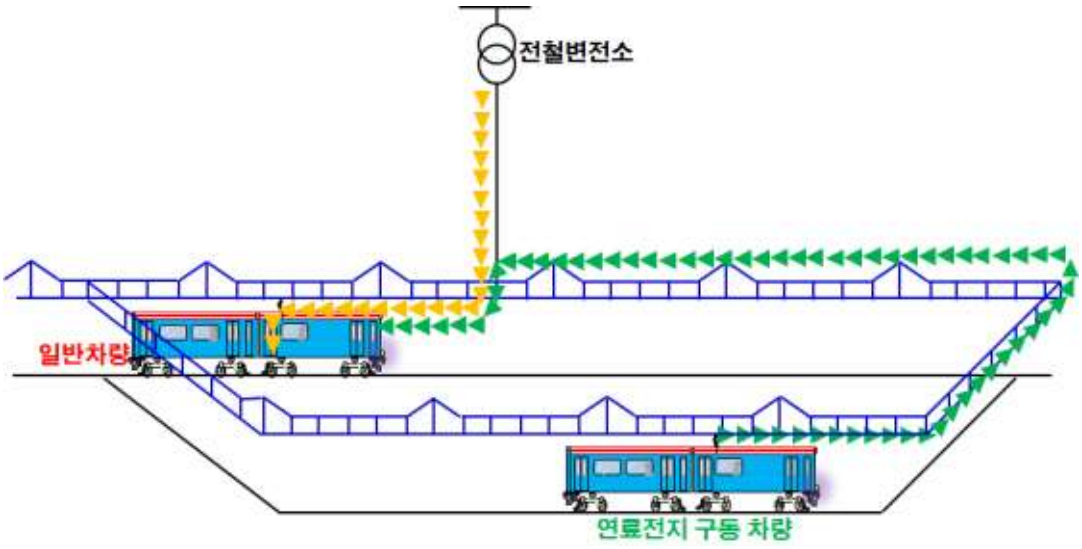
○ 수소연료전지를 적용한 하이브리드형 철도차량의 주요 핵심기술은 배터리를 결합한 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 및 관련 제어기, 발전된 에너지 또는 회생에너지에 대한 에너지 흐름을 용이하게 제어하기 위한 전력변환시스템, 전동기를 효율적으로 제어하기 위한 추진제어시스템 그리고 기타시스템을 IoT기술을 이용하여 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 실시간 처리와 통합적 관리를 위한 스마트 에너지 관리시스템 등으로 구성됨.



[그림 1.4] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 구성도

○ 주요 핵심기술 중 전력변환시스템은 발생된 전력을 필요시 철도전력망 또는 외부 전력망등으로 계통 연계시킬 수 있는 소규모 독립전원으로서 사용이 가능하도록 개발되므로 철도망이 유지된 지역등에서 재해·재난 등에 의해 전력이 끊긴 지역에 신속하게 비상전력을 공급할 수 있을 것으로 기대될 뿐만 아니라 4차 산업혁명에서 제시하고 있는 신재

생에너지를 이용한 스마트시티의 유연한 전력네트워크 구성의 핵심요소로 활용 될 수 있음



[그림 1.5] 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 계통연계 개념

○ 개발 예정인 주요 핵심기술이 적용된 철도차량은 다양한 형식의 철도차량에 적용이 가능할 것으로 보이며, 특히 이산화탄소 배출 및 미세먼지 배출의 주원인으로 여겨지는 디젤 내연기관을 동력원으로 하는 철도차량의 대체차량으로서 적합할 것으로 예상됨.

3. 기술 분류체계

○ 자립형 신재생에너지를 이용한 추진기술의 기술분류체계는 아래와 같이 구성된다.

[표 1.2] 자립형 신재생에너지 추진 기술분류 체계

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	세부기술
자립형 신재생에너지 추진기술	A. 수소연료전지를 이용한 철도차량	AA. 수소연료전지 차량의 통합 운용제어	AA1. 수소연료전지용량을 고려한 효율적인 운행스케쥴링 구축기술
			AA2. 장치(수소연료전지,배터리등)별 최적용량 선정기술
			AA3. 추진/회생에너지와 배터리저장 에너지를 고려한 최적에너지 제어기술
			AA4. 장치간 인터페이스 및 통신기술
		AB. 동력원	AB1. 고효율 연료전지개발 기술
			AB2. 고수명/저가의 BOP(Balance of plant, 보조설비) 개발 기술

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	세부기술
			AB3. 고압축/고안전 수소저장용기개발 기술
			AB4. 연료전지 및 BOP의 효율적 유지보수 방법 개발 기술
			AB5. 수소누출 위험검지기술(안전)
			AB6. 고효율 전력변환장치 및 제어기술
		AC. 에너지저장	AC1. 최적 저장물질 선정기술
			AC2. BMS(battery management system) 기술
			AC3. 고효율 전력변환장치 및 제어기술
		AD. 견인전동기 제어	AD1. 고효율 견인전동기 설계기술
			AD2. 고효율 전력변환장치 및 제어기술
		AE. 자가발전제어	AE1. 계통연계기술
			AE2. 고효율 전력변환장치 및 제어기술
		AF. 인증 및 규정	AF1. 차량성능평가(신뢰성검증)기술
			AF2. 인증관련 기술기준수립
	B. 철도차량 스마트 추진시스템 동적제어 기술	BA. 수소공급	BA1. 수소자체생산기술
			BA2. 수소외부공급기술
		BB. 충전소구축	BB1. 충전소구축 및 운영기술
		BC. 인증 및 규정	BC. 인증 및 규정 개발

4. 세부 기술내용

○ 자립형 신재생에너지를 이용한 추진기술의 세부기술내용 및 기술트리는 아래와 같다.

[표 1.3] 자립형 신재생에너지 추진 세부기술내용

중분류	소분류	세부기술	세부기술내용
A. 수소연료전지를 이용한 철도차량	AA. 수소연료전지 차량의 통합운용제어	AA1. 수소연료전지용량을 고려한 효율적인 운행스케쥴링 구축기술	- 수소연료전지 연비 및 주행가능 거리를 고려하여 효과적인 운행스케쥴링 구축
		AA2. 장치(수소연료전지,배터리등)별 최적용량 선정기술	- 무게, 주행거리, 가격등의 면에서 수소연료전지와 배터리의 적절한 분배를 위한 최적용량 선정기술 확보
		AA3. 추진/회생에너지와 배터리저장 에너지를 고려한 최적에너지 제어기술	- 추진, 회생에너지를 고려한 배터리 충전상태(SOC) 관리기술 확보 - 배터리 충전상태를 지속적으로 모니터링하고, SOC에 따른 각 주행모드별 충전 및 방전제어

중분류	소분류	세부기술	세부기술내용
		AA4. 장치간 인터페이스 및 통신기술	- 이더넷 또는 캔(CAN) 통신을 활용하여 각 장치간 통합 통신시스템 구축
	AB. 동력원	AB1. 고효율 연료전지개발 기술	- 저비용, 고효율 촉매 기술이 적용된 연료전지시스템 활용 - 개질기의 소형화를 통해 독자적인 고효율의 반응기 설계기술 확보 - 반응시스템의 통합기술, 열전달효율 향상과 단열방법 개선, 버너구조 개선 등을 통한 효율향상 기술 확보
		AB2. 고수명/저가의 BOP(Balance of plant, 보조설비) 개발 기술	- 부품과 주변기기의 최소화를 통해 저가의 BOP 구성 - BOP의 표준화 및 국산화 기술 확보
		AB3. 고압축/고안전 수소저장용기개발 기술	- 재료별 저장용기 비교를 통해 고압축/고안전 수소저장용기 선택 - 탄소섬유 등 신소재를 활용하여 고안전 수소저장용기 기술 개발
		AB4. 연료전지 및 BOP의 효율적 유지보수 방법 개발 기술	- 냉각시스템, 공기공급시스템, 연료공급시스템, 셀스택에 대한 유지보수 기술 확보
		AB5. 수소누출 위험검지기술(안전)	- 현행법에 부합하는 수소누출량을 정확하고 빠르게 감지하여 대응하는 기술 개발
		AB6. 고효율 전력변환장치 및 제어기술	- 철도 추진 시스템의 고효율화를 위하여 최저손실 토폴로지 개발 - 스위치 및 여러 부품들의 최적설계를 통해 저비용/고효율 설계기술 개발
	AC. 에너지 저장	AC1. 최적 저장물질 선정기술	- 수소 및 CNG 등 철도에 적합한 에너지원 선정
		AC2. BMS(battery management system) 기술	- 배터리 제어의 최적화를 통해 주행거리 향상 및 안전성을 확보를 위한 기술 확보 - 열에 약한 배터리를 균등 냉각하여 동일한 성능 군이 가능하도록 하는 열관리 제어 기술 확보 - 배터리의 상태를 판단하여 최적 효율 점에서 작동하도록 하는 배터리 충전 상태 제어 기술 확보
		AC3. 고효율 전력변환장치 및 제어기술	- Sic 소자를 이용한 고효율 전력변환장치 구축기술 개발 - 고효율 DC/DC 컨버터 기술 개발 - 배터리 충방전 최적제어기 설계 기술 개발

중분류	소분류	세부기술	세부기술내용
	AD. 견인전동기제어	AD1. 고효율 견인전동기 설계기술	- 소형, 경량화된 영구자석식 동기전동기 등을 이용한 설계기술 개발 - 유지보수 기술 개발
		AD2. 고효율 전력변환장치 및 제어기술	- 초퍼제어 및 계자첨가 여자제어를 거친 견인전동기 기술 개발 - 스위치 및 여러 부품들의 최적 설계를 통해 저비용 고효율 설계기술 개발
	AE. 자가발전제어	AE1. 계통연계기술	- 수소연료전지를 이용한 전력공급기술 개발 - 스마트 그리드 구성을 위한 계통연계 기술 개발
		AE2. 고효율 전력변환장치 및 제어기술	- 고효율 양방향 전력변환장치 기술 개발 - ESS 시스템을 응용하여 최적 설계를 통한 저비용 고효율 설계기술 개발
	AF. 인증 및 규정	AF1. 차량성능평가(신뢰성검증)기술	- 성능, 절연, 소음, 온도, 진동, 충격, 방수, 내먼지 등 여러 가지 신뢰성 평가 기준을 정립하고, 그에 맞는 평가기술 개발
		AF2. 인증관련 기술기준수립	- 기존 철도관련 인증기술 수립 - 장래 많은 수송용 인증기준에 적용할 수 있을 것으로 예상
B. 철도차량 스마트 추진시스템 동적제어 기술	BA. 수소공급	BA1. 수소자체생산기술	- 개질기를 이용하여 수전해 등을 통해 수소를 자체 생산 가능하도록 하는 기술 개발
		BA2. 수소외부공급기술	- 충전소를 통해 고압으로 공급하는 기술 개발 - 장래 수소경제 인프라에 도움이 될 것으로 예상
	BB. 충전소 구축	BB1. 충전소구축 및 운영기술	- 고압으로 충전이 가능한 설비 기술 개발 - 수소발생장치, 저장용기, 칠러(냉각기), 디스펜서 등 복합적으로 운영 가능한 시스템 구축
	BC. 인증 및 규정	BC. 인증 및 규정 개발	- 수소공급기술 발전과 실제 활용을 통해 국내 수소충전 인프라관련 법 및 규정 수정

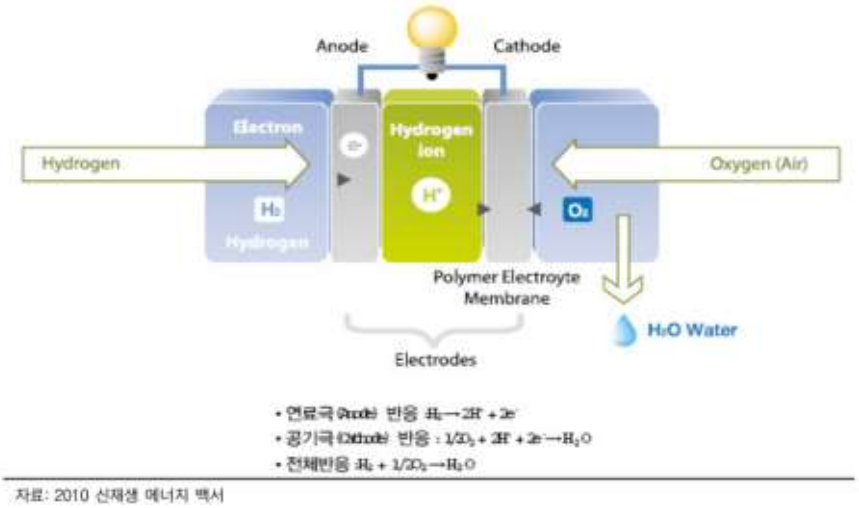
2절 기술개발의 필요성

1. 수소연료전지 철도차량의 필요성

○ **(국가정책 부합)** 프랑스 파리에서 2015년 12월 12일 195개국, 모든 국가가 기후변화 대응노력에 참여한다는 큰 틀의 “파리협정”에 따라 온실가스 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 따라야 하므로 국가의 핵심기반시설인 철도분야도 국내 수송부문 에너지 사용량의 약 1%인 303 천toe(2014년 기준, 에너지통계연보-에너지경제연구원)를 담당하고 있으므로 저탄소경제로의 이행을 통한 국가경쟁력 제고를 위한 선제적 대응이 필요함.

※ 정부는 2030년 배출 전망치 대비 37%를 국가감축목표로 설정

- 수소연료전지 차량은 수소와 공기 중 산소의 화학적 반응을 이용하여 전기를 생산하고 물(H2O)만 배출함에 따라 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경 무공해 차량임



[그림 1.6] 연료전지의 작동원리

- 정부는 제1,2차 녹색성장 5개년 계획('09, '14), 녹색기술 R&D 종합대책('09), ICT기반 에너지 수요관리 新시장창출방안('13), 온실가스 감축목표 달성 로드맵('14) 등 온실가스 감축과 신산업 육성을 위한 정책을 추진해 왔으며, 최근 '15.1월 관계부처 합동 연구 업무보고를 통해 온실가스 감축 및 신산업 창출을 위한 6개 핵심기술(연료전지 포함)을 선정하였음

- 2015년 12월에 마련된 정부의 ‘제3차 환경 친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획’에 의하면 2020년까지 신차 판매 중 친환경차 비율을 20%로 확대하고 2020년까지 수소차 9천 대, 수소충전소 80기, 2025년까지는 수소차 10만 대, 수소충전소 210기를 보급할 계획이며 초기에는 부생수소 사용 충전소 위주로 설치하며, 석유화학단지 등

수소 생산지역 200km이내 지역 (60개소) 및 중점보급도시와 경부 등 주요 고속도로 (20개소)에 우선 설치할 예정임



출처:고정형 연료전지시장의 실태 및 장래전망,이슈퀘스트 2014

[그림 1.7] 국내 연료전지 보급량 추이

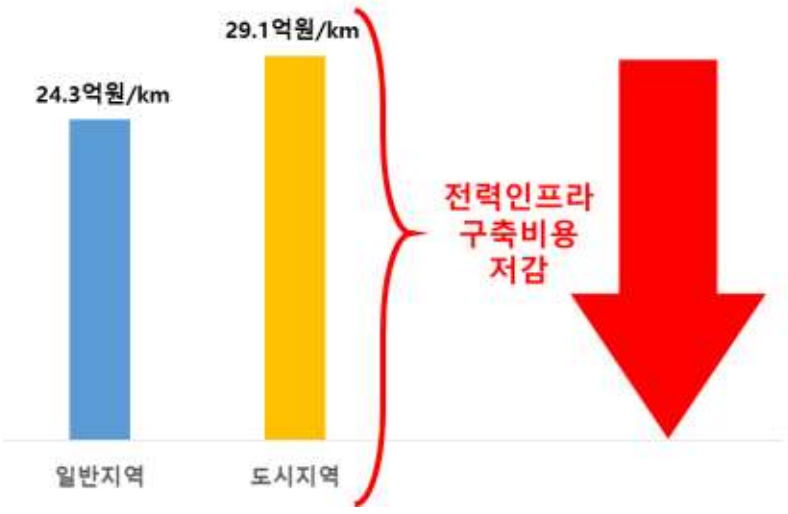
○ **(철도인프라 구축비용 저감)** 기존 전차선을 통한 전력공급 방식은 변전소, 전차선 등 전력인프라가 필요하고 그에 따른 건설비용등이 수반되므로 별도의 외부전력설비로부터 에너지를 공급받지 않는 에너지 자립형 철도시스템인 대용량 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 기술의 확보가 필요

– 전력설비가 불필요하여 인프라 구축비용 및 터널 단면적 축소 가능하며,

– 철도 인프라가 낙후된 지역에서도 운행이 가능하여 남북철도 또는 대륙간 열차로 활용 가능

– 또한 기존 노선에서도 운행이 가능함

※ 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km 저감



[그림 1.8] 철도인프라 구축 비용 저감 액수

○ **(배출가스 및 미세먼지 저감)** 2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물질 배출량은 질소산화물 5,303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예상하였으며 이는 2013년에 환경부가 조사한 수도권 경유자동차 310만대와 비교하여 각각 약 5% 및 23.7%에 달함.

- 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준이 마련되고 점차적으로 엄격해질 것이 예상됨에 따라 대안이 필요하며 수소연료전지 차량은 완전한 친환경차량이면서, 에너지 독립형 차량으로 디젤기관차의 기능수행이 가능함 (CO2 최대 361,113 톤/년 저감)
- 환경부의 2016년 12월 1일자 발표에 따르면 2018년 1월부터 고농도 미세먼지 발생시 “비상조치”를 시행함에 따라 디젤기관차 배출저감기준 신설 및 전기 화물차 보급 등 신규과제 추가·보완을 요구하고 있음.

  ※ 개발대상인 4400대 디젤전기관차는 2000년이후부터 약 50량이 운행 중에 있고 2025년에는 노후화되어 교체가 필요함. 이에 따라 2020년부터 차량교체를 위한 준비가 필요함(본과제의 1단계 완료시점과 일치 및 실용화를 위한 2단계가 완료되면 2025년 노후차량 대체가 가능함)

- 국제기후협약에 따른 배출가스 저감을 위해 1차적으로 고려된 CNG는 대중교통인 버스에서 이미 적용되었으며, CNG 버스의 경우 디젤 버스와 비교하여 미세먼지는 크게 감소하나 이산화탄소는 30% 저감 효과만 있어 앞으로 계속적으로 강화될 온실가스 국제기후협약 대체에 있어 한계를 지님

- 2016년 현대자동차는 프랑스 에어리퀴드사 기술연구소에서 수소연료전지 자동차(투싼 ix)의 미세먼지 저감효과를 시연하여 99.9%의 대기내 미세먼지 저감효과를 보여줌.



출처: 현대자동차

[그림 1.9] 수소연료전지 자동차 미세먼지저감 시연

○ **(에너지 분야의 4차 산업혁명)** 4차 산업혁명은 에너지 분야에도 혁신을 일으켜, 에너지 분야와 연관분야를 융합, 에너지의 디지털화를 통한 효율화를 촉진하는 에너지4.0 시대로 진입을 의미.

- 4차 산업혁명 시대를 대비하는 국내 정책 동향으로 정부는 「2017년 경제정책방향」을 발표(’16.12)하고 민관합동 「4차 산업혁명 전략위원회」신설, 「4차 산업혁명 대책」을 마련하여(’17.4월) 분야별 대응방안을 순차적으로 수립할 예정
- 전력부문은 차세대 지능형 전력망과 IoT 전용 인프라 구축 등 4차 산업혁명에 대비하기 위해 투자 확대 예정

  ※ 한국전력공사는 2017년 R&D 투자비 4,360억원 중 IoT 에너지플랫폼 등 4차 산업분야와 에너지 신사업 분야에 약 1,060억원 이상을 투자할 계획

  ※ (산업) 수요자원거래시장, ESS · EMS 융복합 지원, 스마트 공장/발전소, (가정) 스마트가전, 스마트홈, (건물) 친환경에너지타운, 제로에너지빌딩 등
- ERIA(에너지연구소)의 경제학자는 에너지 4.0은 인더스트리 4.0과 비슷한 개념이며 신재생에너지를 활용하는 시대에서 더 나아가 지능적인 제품 생산과 스마트한 에너지 사용 및 관리가 가능해지는 것을 의미한다고 설명함

  ※ 석유 이전 시대(Energy 1.0), 석유 사용 시대(Energy 2.0), 신재생에너지 사용 시대(Energy 3.0)

[표 1.4] 에너지 4.0 주요기술과 적용방안

기술	적용방안
가상물리시스템	센서를 활용하여 생활공간의 물리적 현상에 대한 분석 및 제어함으로써 사람, 건물, 설비 등의 네트워크 통합화를 통한 에너지 최적화
인공지능 에너지 수요관리	ICT기반 전사적 체계관리로 에너지 빅데이터를 활용하여 에너지 흐름 및 사용의 시각화와 효율의 최적화를 달성하는 에너지 관리 솔루션
Internet of Energy	분산화된 에너지 수급, 유연하고 지능화된 소비자 수요 반응, 분산형 그리드를 효과적으로 연계하는 ICT 기반의 에너지 인프라 구축
스마트시티	사물 인터넷 또는 가상물리시스템 기술을 활용하여 홈 오토메이션 및 분산형 전원 기술, 지능형 송배전망 관리시스템 등의 적용
3D 프린팅 활용 산업	3D 프린팅을 활용하여 설치공간 및 형태를 고려한 태양광 모듈 제작, 셰일가스 수압파쇄법 개발
유비쿼터스 에너지	유비쿼터스 사회에서 요구되는 에너지 공급형태로 시간 · 장소에 구애받지 않고 누구나 쉽게 전력을 공급받을 수 있는 기술
에너지 하베스팅	일상생활에서 버려지거나 사용하지 않은 작은 에너지를 모아(Harvest) 사용 가능한 전기에너지로 변환해주는 기술(압전효과, 광전효과, 열전효과 등)

- 4차 산업혁명 시대 대중교통의 획기적인 신재생에너지 활용영역으로서 부각되고 있는 수소연료전지의 철도교통분야 적용은 4차 산업혁명의 에너지분야 에너지 4.0의 대부분 주요기술이 활용되는 대표적인 시스템으로서 안전성, 신뢰성을 요구하는 실용화의 달성에 적지 않은 어려움이 예상되지만 앞으로의 국가적 미래를 선도할 고부가가치의 고급

기술로서 이는 현재 추진 중인 에너지 신산업의 발전적인 모습으로도 해석이 가능함.

- 수소연료전지를 이용한 철도시스템은 동력시스템, 전력변환장치, 추진제어장치, 차량종합제어장치 등 첨단화된 주요 기기들이 독립적이면서도 유기적으로 복합적인 기능을 수행하고 철도차량내 분산되어 있고 철도인프라와 긴밀하게 연결되어 있으면서도 에너지를 효율적으로 관리할 필요가 있으므로 4차 산업혁명에서 요구하는 다양한 필수기술들이 총체적으로 집약된 기술적 응용분야이며, 가장 주목할 부분은 주행하는 철도차량내 스마트 에너지 관리시스템의 개발을 통해 에너지의 이용을 종합적이고 지능적으로 관리할 수 있는 체계가 구축됨에 따라 에너지 효율은 비약적으로 향상 될 것임.

○ **(에너지 자립기반 구축)** 국내에서 사용하는 에너지의 95.2%(2014년도 기준)를 해외에 4차 산업 스마트 그리드의존하고 있고 에너지원 중 석유에 대한 의존도는 38.1%를 차지하고 있으며 그 가운데 수송부문의 에너지 사용량은 국가 전체 사용량의 약 17.6%를 점유하고 있으므로 에너지의 해외의존도를 줄이고 국내 에너지 자립의 필요성이 높아지고 있음.

- 수소연료전지 에너지는 기존 에너지 효율이 30% 정도인 내연기관보다 훨씬 높은 50% 이상의 효율을 가지고 있어 경제적이고 효율적인 철도차량 구동을 가능케 함
- 수소연료전지를 이용한 철도차량을 기존 내연기관인 디젤기관차(7400호대)를 기준으로 서울에서 부산 운행 시 필요한 연료량과 그에 따른 연비를 비교 분석하면 다음과 같음 (기존 디젤기관차 대비 최대 2배 연비향상 가능)

[표 1.5] 경부선 7400호대 디젤연비(ℓ) 산출결과

출처 : 한국철도기술연구원

구분	구간	연료사용량(ℓ)	운행거리(km)	연비(km/ℓ)
하행	서울->동대구	1084.980	326.3	0.301
	서울->부산	1671.147	441.7	0.264
상행	동대구->서울	1038.18	326.3	0.314
	해운대->서울	1561.00	452	0.289

[표 1.6] 경부선 7400호대 수소연비(ℓ) 산출결과(예측)

구분	구간	수소사용량(kg)	운행거리(km)	연비(km/kg)
하행	서울->동대구	124.64	326.3	2.617
	서울->부산	191.97	441.7	2.300
상행	동대구->서울	119.26	326.3	2.736
	해운대->서울	150.6	452	3.013

- 위의 분석 결과는 배터리의 동력 보조 없이 순수 수소연료전지만을 이용해 철도차량을 구동한 경우의 연비 분석결과이며, 배터리에 의한 동력 보조를 고려하게 되면 연비향상 기대 가능

- 수소연료전지스택의 동력 보조 없이 순수 배터리의 전력만으로 철도차량을 M(km) 구동 가능한 경우 Hybrid Hydro Rail M(HHR M)으로 통칭하며 7400호대 서울->부산 운행 시의 연비 분석결과는 다음 표와 같음

[표 1.7] 경부선 7400호대 배터리 용량에 따른 수소연비(ℓ) 산출결과(예측)

구분	수소연료전지 스택 출력(kW)	배터리 출력 (kW)	배터리 용량 (kWh)	연비 (km/kg)
HHR 0	2,400	0	0	2.3
HHR 50	2,000	400	400	2.534
HHR 100	1,600	800	800	2.834
HHR 150	1,400	1,000	1,000	3.215
HHR 200	1,000	1,400	1,400	3.715

⇨ 연비 분석결과 환경적, 경제적 효과 기대 가능

2. 기술 미개발시 예상되는 문제점

○ **(철도시스템의 에너지 대외의존도 상승)** 신규 원자력발전소 건설 축소 및 신재생에너지의 주요 국가 에너지원으로 활용이 전 세계적인 흐름이며 현 정부에서도 관련 정책을 펼치고 있음에 따라 전기에너지를 활용하는 철도도 막대한 에너지를 소비하는 시스템임을 고려하면 전기에너지 절약 대상에서 자유로울 수 없음

- 내연기관을 이용한 에너지 자립은 전 세계적으로 내연기관이 관련된 많은 규제를 바탕으로 배척되고 있는 현 시점에서 적절한 해결책이라고 볼 수 없음
- 수소연료전지는 수소를 통해 전기에너지를 생산하는 자립형 에너지원으로 내연기관의 에너지원들과는 달리 친환경 에너지원으로 친환경 이미지를 갖고 있는 철도시스템에 매우 적합함

○ **(철도시스템 노후화에 따른 공해유발)** 현재 국내에 운행 중이며 대표적으로 공해를 유발하는 디젤 내연기관을 이용한 철도차량의 노후화로 인한 교체시기가 도래하고 있음에 따라 이를 대체하기 위한 친환경 수소연료전지 철도차량 개발이 필요

- 디젤 내연기관 철도차량은 배기가스 및 미세먼지 배출 등의 주원인으로 손꼽히고 있으

며, 전 세계적으로 디젤 내연기관에 관련된 규제들이 쏟아지고 있고 현 정부도 동참

○ **(국내 철도차량 기술의 국제경쟁력 하락)** 과거에 철도차량 개발에 있어 세계적으로 진행되었던 고속화 경쟁이 이제는 효율적이고 경제적인 스마트 철도로 변화됨에 따라 고부가가치 철도차량 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 수소연료전지를 이용한 철도차량 개발을 통해 고부가가치 철도차량 기술보유 필요

- 수소연료전지 철도차량은 기존 철도시스템과 다른 동력원을 사용하는 시스템으로 관련된 많은 고부가가치 기술보유 가능

○ **(수소경제사회로의 진입기회 상실)** 신 기후체제가 시작됨에 따라 각 국가별 온실가스 저감 목표실현을 위한 신재생에너지와 환경기술의 중요성이 대두되고 있어 기존 화석연료 대비 CO2 배출이 현저히 감소 가능한 수소에너지 경제사회로의 전환은 필수

- 국토부, 산업부 환경부 공동으로 주체한 국회신재생에너지포럼(2017.04.07.)에서 수소경제사회 실현을 위한 정책 방향설정 대토론회 개최

  ※ 수소경제사회 실현을 통한 미래 성장동력 확보방안 및 일자리 창출과 경쟁력 확보를 위한 충전인프라 구축 및 기술개발 지원에 대한 논의

- 수소연료전지 철도차량의 도입은 현 수소에너지가 갖고 있는 부정적인 이미지(안전적 측명, 비용적 측명 등)를 개선할 수 있으며 궁극적으로 수소경제사회로 전환에 크게 이바지할 것으로 판단

제2장 국내외 동향 및 환경분석

1절 국내외 정책동향

1. 국외 정책동향

가. 신재생 에너지 분야

(1) 신재생에너지 정책 동향[1)]

- 2015년의 재생에너지 발전용량은 147GW가 신규로 설치되었으며, 전 세계 재생에너지 투자는 재생에너지 발전과 연료(바이오) 분야에 2,860억 달러(약 323.6조 원)로 역대 최고치를 기록
- 기후변화대응을 위한 189개국의 국가별 기여방안을 살펴보면 147개국이 재생에너지를 언급하고 있으며, 2016년 초를 시점으로 173개국이 재생에너지 보급 목표를 가지고 있고 146개국이 재생에너지 지원 정책을 시행

[표 2.1] 주요 국가의 재생에너지 보급 목표

출처 : IEA, World Energy Outlook, 2015

국가	정책 유형	목표
미국	양적 목표	재생에너지 연료 360억 갤런 (2022년)
	부문 비중	30개 주 워싱턴 D.C. 재생에너지 의무 할당제 시행
	시스템 목표	발전부문 배출량을 2030년까지 2005년 대비 32% 감축
유럽	시스템 목표	2020년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 20%
		2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 27%
	부문 비중	2020년까지 수송에너지 중 재생에너지 10%
중국	용량 목표	2020년까지 350GW 수력에 70GW 양수발전, 200GW 풍력,
		100GW 태양광, 30GW 바이오에너지
	시스템 목표	2020년까지 총 에너지공급 중 비화석연료 비중 15%
		2030년까지 총 에너지공급 중 비화석연료 비중 20%
인도	용량 목표	2022년까지 태양광 100GW, 풍력 60GW, 바이오에너지 10GW, 소수력 5GW
남아공	양적 목표	2030년까지 1백만 태양열 온수기
	용량 목표	2030년까지 새로운 재생에너지 용량 17.8GW
브라질	부문 비중	27% 바이오연료 혼합 의무
한국	시스템 목표	2035년까지 1차 에너지 중 재생에너지 비중 11%

1) 2016 신재생에너지 백서

호주	발전량 목표	2020년까지 대규모 재생에너지 발전량 33TWh
멕시코	부문 목표	2024년까지 전력생산에서 화석연료 비중 65% 이하
		2035년까지 전력생산에서 화석연료 비중 60% 이하
		2050년까지 전력생산에서 화석연료 비중 50% 이하
인도네시아	시스템 목표	2025년까지 1차 에너지 중 새로운 재생에너지 비중 23%
		2050년까지 1차 에너지 중 새로운 재생에너지 비중 31%
태국	부문 비중	2036년까지 발전량과 수송연료 중 재생에너지 비중 20%
말레이시아	부문 비중	2020년까지 재생에너지 발전용량 2080MW
		2030년까지 재생에너지 발전용량 4000MW

(2) 미국[2)]

○ 미국의 1차 에너지소비는 2015년 기준 2280.6Mtoe(toe: Ton of Oil Equivalent)으로 중국에 이어 세계 2위에 해당하며, 2005년에 비해 약 3% 감소

[표 2.2] 미국의 1차 에너지 소비

(단위 : Mtoe)

출처 : BP, Statical Review of World Energy, 2016

석유	천연가스	석탄	원자력	수력	재생에너지	합계
851.6 (37.3%)	713.6 (31.3%)	396.3 (17.4%)	189.9 (8.3%)	57.4 (2.5%)	71.7 (3.1%)	2280.6 (100%)

○ 재생에너지의 비중은 상대적으로 낮은 편이며 수력을 포함하면 5.6%, 최근 석탄의 비중이 눈에 띄게 감소한 반면에 천연가스와 재생에너지의 비중이 증가

○ 전력부문을 보면 2013년 기준으로 주거부문의 전력소비량이 36.8%로 가장 높게 나타났고 다음이 공공 및 서비스(35.4%), 산업(22.4%) 순임

○ 재생에너지 설비용량은 수력 46.6%(102.1GW), 풍력 33.1%(72.6GW), 태양광 11.6%(25.5GW) 등으로 구성되어 있으며, 최근 풍력과 태양광 용량이 급증

[표 2.3] 미국의 재생에너지 발전설비 현황(2015년)

출처 : IRENA, Renewable Capacity Statistics, 2016

	수력	풍력	태양광	바이오	기타(지열, 해양, 태양열)	총계
용량(MW)	102,117	72,578	25,540	13,765	5,344	219,344
비중(%)	46.6	33.1	11.6	6.3	2.4	100.0

2) BP, Statical Review of World Energy 2016

○ 미국 재생에너지 제도의 근간은 재생에너지의무할당제(RPS)이며, 2016년 기준으로 29개 주와 워싱턴 D C, 그리고 3개 미국령에서 재생에너지의무할당제가 시행 중

- RPS는 주로 전력판매사업자에게 재생에너지 의무비율을 할당하여 전력소비에서 재생에너지 비중을 높이는 제도로 캘리포니아주와 뉴욕주는 2030년까지 전력소비의 50%를 재생에너지로 공급하는 목표를 추진 중임. 하와이주는 2045년까지 전력의 100%를 재생에너지로 공급하는 계획을 발표

○ 또한 41개 주와 워싱턴DC에서 의무적인 요금상계제도(Net Metering)가 시행중이며, 투자세액공제(Investment Tax Credit, ITC)는 상계제도와 함께 태양광 보급에 중요한 역할을 하고 있음

- 2006년 연방정부 차원에서 시행된 투자세액공제는 주거용 및 상업용 태양광설비 투자 시 연방세를 30% 공제하는 제도로 2015년 이 제도가 소멸할 예정이었으나 법률 개정을 통해서 2022년까지 적용 기간이 연장

○ 오바마 행정부는 2015년 8월 청정전력계획(Clean Power Plan, CPP)을 발표하였으며, 전반적으로 미국에서 석탄 화력은 쇠퇴하고 재생에너지가 확대되는 흐름이 지속될 것임

(3) 중국[3)]

○ 중국의 1차 에너지소비는 2015년 기준 3014.0Mote로 세계 1위에 해당하며, 1차 에너지소비는 2005년과 비교하면 68% 증가

[표 2.4] 중국의 1차 에너지 소비

(단위 : Mtoe)

출처 : BP, Statical Review of World Energy, 2016

석유	천연가스	석탄	원자력	수력	재생에너지	합계
559.76 (18.6%)	177.6 (5.9%)	1920.4 (63.7%)	38.6 (1.3%)	254.9 (8.5%)	62.7 (2.1%)	3014.0 (100%)

○ 1차 에너지소비 중 비중이 가장 큰 에너지원은 석탄으로 무려 63.7%의 비중을 차지하고 있으며, 재생에너지의 비중은 상대적으로 낮은 편이며 수력을 포함하면 10.6%임

○ 대기오염 완화 및 기후변화 대응 노력이 가속화되면서 석탄의 비중은 감소하고, 석유, 천연가스, 원자력, 재생에너지 등 다른 에너지원의 비중이 증가하는 추세

○ 재생에너지 설비용량은 수력, 태양광, 풍력 분야에서 모두 세계 1위를 차지하였으며, REN21에 따르면 2015년 중국은 풍력 30.8GW, 태양관 15.2GW, 수력 16.1GW가 신규로 설치됨

3) IRENA, Renewable Capacity Statistics 2016

[표 2.5] 중국의 재생에너지 발전설비 현황(2015년)

출처 : IRENA, Renewable Capacity Statistics, 2016

	수력	풍력	태양광	바이오	기타(지열, 해양, 태양열)	총계
용량(MW)	321,230	145,104	43,050	10,320	43	219,344
비중(%)	61.8	27.9	8.3	2.0	0.0	100.0

○ 중국에서 수력을 제외한 다른 재생에너지 보급은 2006년 재생에너지법 시행을 계기로 본격화 되었으며, 이 법에는 재생에너지 총량목표, 전력의 의무매입, 매수전력가격, 송배전 회사의 비용부담, 자금지원 등이 명시되었음

○ 2007년 재생에너지 중장기 개발계획을 발표하고 재생에너지의무할당제(RPS)와 비슷한 의무시장제를 2007년부터 도입

– 초기에 발전사업자에게 의무가 부과되다가 뒤에 전력판매사도 의무 사업자에 포함

○ 2005년부터 기준가격구매제(FIT)도 일부 시행해오다 2010년 전후로 전면적으로 확대

○ 에너지 안보 강화, 대기오염 저감, 기후변화대응, 산업육성 등을 목적으로 재생에너지 확대와 산업육성을 가속화하고 있으며, 12차 5개년 계획(2011~2015년) 수립을 통해 풍력, 태양광, 바이오매스를 중점지원분야로 선정하고 본격적으로 육성

○ 2020년 목표는 2016년 3월에 발표된 13차 5개년 계획(2016~2020)에서 다시 확인되었으며, 이 계획을 통해 풍력 250GW, 태양광 150GW, 수력 380GW로 보급 목표를 상향 조정하였음(2015년까지의 목표는 풍력 200GW, 태양광 100GW, 수력 350GW)

○ 재생에너지 발전전력의 기풍현상, 기광현상을 해결하고자 서부지역의 재생에너지 전력을 동부, 중부지역에서 소비할 수 있도록 전력망을 확충하는 사업을 진행 중

(4) 신재생에너지 철도관련 정책[4)]

○ 2020년 이산화탄소 배출량 20% 저감 목표를 위해 EU는 국가차원에서 에너지원 구성 변경을 고려하고 있으며, 이것이 이뤄진다면 철도회사들은 시장에서 사용할 수 있는 보다 청정한 에너지를 적용하여 이산화탄소 배출 개선전략에 이익을 얻을 수 있음

○ 하이브리드 열차(디젤/전기 및 디젤/배터리)는 이미 몇몇 국가에서 시험운행 중이며, UIC 프로젝트 HYRAIL에서 분석된 수소연료전지 열차는 장기간의 관점에서 우수한 이산화탄소 저감 성능을 이끌어내며 디젤 견인의 좋은 대체수단으로 부각됨

○ 최근 국제유가의 상승과 더불어 유럽 내 전기가격이 상승함에 따라 철도에 의한 에너지 효율성 및 이산화탄소 저감의 실천은 대부분 재정 및 환경 2가지 모두의 관점에서 윈윈 효과를 얻을 수 있음

○ 이를 위해 각 국에서는 신재생 철도 분야에 대한 연구를 활발히 진행 중

4) 기후변화대응 철도분야 온실가스 저감방안 연구, 2010

[표 2.6] 국외 신재생 철도 정책 및 상세방안 분류

출처 : 기후변화대응 철도분야 온실가스 저감방안 연구, 2010

국가	시행 계획	특 징	상세방안
EU	철도분야 CO2 감축가이드라인 (2007.12) TRAINER Project Green/HyRail/Railenegy Project EcoPasenger/EcoTrans IT(배출산정)	- 전기이용 노선 에너지미터기 설치 - 하이브리드(전지+ 디젤 사용 기관차 개발) - 수소/연료전지 - 신규 철도차량(에코디자인 적용) - 회생제동기술 - 신공법 역사 적용 - 신재생E 공급 및 확대	- 철도로의 수요 전환(modal shift) - 토양오염방지/철로주변 녹색화 - Eco-driving - 공회전(idling) 개선 - 운영시스템 개선 - 연구개발 - 교육(사무용품 재활용 및 분리수거) 및 홍보 - 온실가스 산정 웹 제공
독일	Climate Protection Program 2020	- 전기이용 노선 미터기 설치 - 하이브리드 기관차 - 회생제동 기술 - 신공법 역사 적용 - 연료 교체 - 신재생E 공급 확대 - 태양광발전 역사	- 탄소중립수송 - 환경센터 운영
미국	ARTE (Amtrack Recognizes the Environment)	- 하이브리드 연료전지 철도 - 회생제동 기술 - 고효율 추진장치 - 신재생E 공급 및 확대 - 풍력발전	- 공회전(idling) 개선 - 산림화 - CCX 거래참여 - 탄소상쇄 프로그램 - 공기저항/중량(Aerodynamic drag/Train Weight) 감소 연구
호주	Green Vehicle Guide Transitional Environmental Program	- 인벤토리(에너지사용량)기록 - 빗물활용 - 신재생E 공급 확대 - 태양광발전 역사 - 풍력발전	- 온실가스 산정 웹 제공
스위스	Travel green - Travel SBB	- 에너지 효율 설비	- Rail Environment Centre/ Energy Saving Week 운영
일본	Eco Business Trip	- UIC/DB와 동일 - 하이브리드 기관차(NE Train) - 회생제동 기술	- 탄소 오프셋(off-set) - Environmental Technology Research Centre 운영 - 철도 기반시설 붕괴 대비
캐나다	Locomotive Fleet Renewal/Anti-idling Technology and Policies/ Fuel Conservation Team	- Idling Reduction - Locomotive Replacement - Operational Efficiency - Track Lubrication	- 공회전방지 장비 - 온실가스 산정 웹 제공

나. 수소연료전지 분야

(1) 수소연료전지 정책 동향[5)]

○ 각 국은 에너지 자원고갈, 환경오염, 기후변화 등 당면과제 해결을 위해 수소연료전지의 보급을 위한 정부 주도 프로그램을 확대하고 국가 간 협의 및 제도적 규제를 강화

- 각 국 정부는 수소연료전지에 대한 실증사업 또는 프로젝트를 추진하고 있으며, 전 세계적으로 다양한 실증 테스트가 진행 중이며, 10년 정도의 수소충전소 인프라 및 관련 제도의 준비기간을 거쳐 2025년에는 수소연료전지가 광범위하게 보급될 전망

○ 2015년 5월 말 IPHE 제23차 운영위원회를 개최하여 IPHE 회원국의 수소연료전지 정책 및 현황이 발표됨

- IPHE는 수소연료전지분야의 연구개발과 실증·이용 추진을 위한 국제협조를 목적으로 2003년 설립되었으며, 현재 17개국(캐나다, 중국, 프랑스, 독일, 일본, 한국, 미국 등) 및 EU가 활동 중
- 세계 각국은 국가별 수소연료전지 확대 및 장려 정책을 통한 미래에너지 비전을 확고히 하고, 이를 위한 로드맵을 작성

○ 수소연료전지 경제는 에너지시스템 뿐만 아니라 경제·사회적인 변화의 동반을 의미하는 것으로, 선진국들은 이를 주도하고 대응하기 위해 수소연료전지 기술개발 및 보급에 집중하고 있음

[표 2.7] 해외의 수소연료전지차 실증 시범 운행 사업

출처 : 한국과학기술정보연구원, 2012

국가	실증 시범 운행 사업
미국	CaFCP, DOE Project
유럽	CUTE(Clean Urban Transport for Europe) ECTOS(Ecological City Transport Project) CEP(Clean Energy Partnership)
캐나다	VFGCVP(Vancouver Fuel Cell Vehicle Program)
일본	JHFC
싱가포르	Sinergy
중국	FCB Demo Project

5) 수소연료전지차 정책 및 시사점, 경제분석연구실(전황수)

[표 2.8] 주요국의 수소연료전지 지원정책

출처 : 수소경제를 선도하는 글로벌 수소연료전지자동차 개발동향과 시장전망, 참여업체 사업전략

국가	지원 정책	주요 내용
일본	수소충전소 실증사업(JHFC, 2002~2015)	- 1단계(2002년), 2단계(2005년)를 거쳐, 3단계는 2011년에 시작해 2015년까지 충전소 100개 구축
	수소충전소 규제완화(2010)	- 충전소 규제(소재, 입지조건, 안전, 운영 등) 완화, 약 3억 엔의 보조금 지급
	에너지기본계획 개정안(2013)	- 2020년 도쿄 올림픽까지 수소사회 진입 목표 : 가정용 연료전지 보급 및 수소연료전지차 도입 기반 구축
	수소연료전지차 보조금 지급(2015)	- 1대당 200만엔의 보조금 지급 - 2015년 100개소의 충전소 구축이 진행되고 있으며 2025년 수소차 200만대 보급을 목표로 다양한 보조금과 세제 지원 중
유럽	청정에너지 파트너쉽(CEP, 2004~2016)	- 유럽 지역의 수소에너지 실증 프로젝트 - 수소충전소 확충, 수소연료전지차 시범주행 등 3단계로 진행
	H2Mobility (2009~2017)	- 독일, 영국, 프랑스가 참여하는 수소연료전지차 보급확대를 위한 충전소 구축 프로그램 - 독일은 2020년 수소연료전지차 150,000대 및 충전소 379기를 구축하는 계획을 발표
	H2Moves (2009~2017)	- 2020년까지 1000개 충전소 설치
미국	H2USA (2013)	- 정부, 민간 파트너쉽을 통한 실증사업으로 미국 전역에 수소충전소 구축
	Multi state ZEV* 규제(2013)	- 캘리포니아, 코네티컷을 포함한 8개주 주지사가 2025년까지 ZEV 330만대 보급 계획에 합의
	캘리포니아 FCEV 보급 로드맵(2012)	- FCEV 실증 단계를 거쳐, 본격적인 보급화 단계로 전환을 의미 - 수소충전소 구축을 위해 연간 약 200억원의 비용을 투자 중이며 2020년 수소차 18,000~31,000대 보급을 목표로 하고 있음
	캘리포니아 ZEV 규제(2013)	- 자동차 업체별로 판매량 중 일정량을 ZEV 판매로 달성해야 함
	Assembly Bill 8 (2013)	- 수소 충전소에 대해 매년 최대 2000만 달러 투자

(2) 미국

○ 캘리포니아주가 시행하는 무공해차(ZEV) 규제는 전체 판매량 중 일정 부분을 무공해차로 판매할 것을 규정

– 2016년에 연간 6만대 이상 판매하는 완성차 제조업체는 판매량 중 14%를 저공해차로 할 것을 의무화하고, 이중 수소연료전지차 또는 전기자동차를 최소 3%, 하이브리드차를 최대 5%, 초저공해 가솔린차를 최대 6% 수준으로 강제화

– 이를 위반 시 대당 5천 달러 벌금을 부과하는 등의 과도기를 통해 실질적으로는 무공

해차로의 전환을 유도

○ 미 에너지부(DOE) 주도의 1억 5천만 달러 시범 운행사업(2004-2009)에는 현대자동차를 비롯해, 다임러 벤츠, 포드, GM 등 완성차 제조업체들이 수소연료전지차를 시범 운행하였으며, UTCFC, 세브론텍사코, BP, CARB, AC트랜싯 등 연료전지 및 수소 관련 업체들도 수소충전소를 운영 중

○ 미 연료전지협회(USFCC)는 2010년에만 300대 이상이 실증 프로그램에 투입되었고, 전 세계에서 승용차 700여 대, 버스 50여 대의 실증이 이루어진 것으로 추산

○ 미국은 연료 이송 및 공급, 수소연료전지차, 압축 및 충전설비 3개 분야로 구분해 안전기준을 개발

- 자동차 분야의 기준은 SAE(미국 자동차공학회, Society of Automotive Engineers), CSA(캐나다표준규격협회, Canadian Standards Association), ASME(미국기계학회, American Society of Mechanical Engineers)에서 주도
- 차량용 복합 용기 및 연료 공급 부속품에 대한 기준은 SAE와 CSA가, 수소 공급 및 충전관련 저장용기는 ASME와 DOT(교통부, Department of Transportation)가 주도
- 차량용 복합 용기 및 연료 공급 부품의 개별 시험 인증 기준은 CSA가 HGV code로 현재 개발 중이며, 차량용 연료 공급 시스템의 전체 안전성 기준은 SAE가 J2579를 기반으로 개발

(3) 유럽[6)]

○ 유럽연합은 EURO 규정(2006년 10월의 EURO 4, 2009년 10월의 EURO 5)에서 이산화탄소 배출과 관련해 거리 당 배출량(g/km)을 규제

- 연비로 환산하면 2008년 17.3 km/L, 2012년 20.0 km/L, 2020년 25.5km/L에 해당되며, 2015년에는 이 규제를 현재의 권고방식에서 의무 방식으로 전환해 95유로/g의 벌금을 부과해 자동차 시장 진입에 대한 장벽으로 작용할 것으로 전망

○ 청정에너지 파트너십 프로그램(CEP)을 2004년부터 2016년까지 3단계에 걸쳐 진행하며 수소충전소를 확충

- 독일, 영국, 프랑스는 H2 모발리티 프로그램을 진행하며 2020년까지 1천여 개의 충전소를 설치할 계획이며, 노르웨이, 스웨덴, 덴마크 등 북유럽 국가들은 'H2 무브스 프로그램'을 진행하며 '스칸디나비안 수소 고속도로 파트너십(SHHP)'을 통해 2015년까지 수소충전소 45개 건설 추진

○ 또한 수소연료전지차의 시스템을 5단계로 분류해 안전기준을 제정하였고, GTR(Global Technical Regulation)에서는 미국 SAE J2579의 Sequential test 기준의 시스템 레벨 테스트 및 국부화염(Local Fire)시험을 도입

○ 기준 개발은 UN ECE에서 주도하고, 2000년대 초반부터 EIHP1, 2 project를 통해 개발된 기준을 UN ECE R406으로 제정해 운영 중이며, 기준의 보완과 세계의 단일 강제

6) (제90호)주간에너지이슈브리핑, 한국에너지공단, 2015.

규정 제정을 위한 GTR 개발을 진행 중

○ 결과적으로 유럽 각국은 국가별 수소연료전지 확대 목표를 설정하였으며, 전역에서 점진적으로 인프라를 구축할 계획



(단위 : 개소)

국가별 수소 충전시설 목표	2015년	2018년	2020년
독일	50	100	400
프랑스	~5	~5	40
네덜란드	2~4	10	20
영국	9	30	70
4개국(노르웨이/덴마크/스웨덴/핀란드)	10	30	40

출처 : (제90호)주간에너지이슈브리핑, 한국에너지공단, 2015

[그림 2.1] 유럽 전역의 수소인프라 구축을 위한 시나리오

(4) 일본

○ 일본은 경제산업성(METI) 주도로 수소연료전지차 산업화를 추진하고 있으며, 도요타, 닛산, 혼다 등 자동차 업체가 참여하여 다수의 수소연료전지차를 운영 중

- 2002년 12월 도요타와 혼다가 관공서를 대상으로 리스 방식을 통해 수소연료전지차를 한정 판매한 것을 시작으로 리스 판매의 확대나 각 메이커가 국토교통성 장관의 인증 취득을 추진

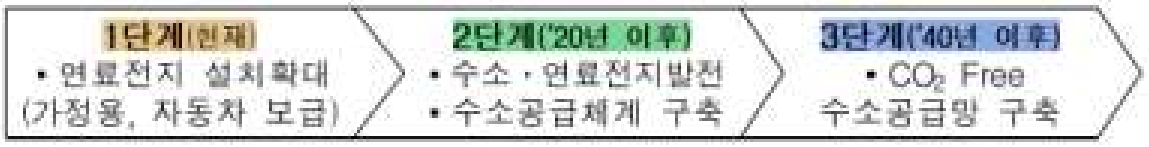
○ 2010년 6월 정부 각의에서 결정된 에너지 기본계획에 따라, 일본 정부는 2015년부터의 수소연료전지차 보급개시를 앞두고 수소충전소 등 인프라정비 지원을 추진

- 2015년까지 4개 지역에서 수소충전소를 100개로 확충하고, 2025년 1천개소, 2035년 3천개소를 운영할 계획

○ 2012년 12월 수소충전소에 관한 기술을 현행40MPa(메가파스칼) 대응에서 82MPa 대응으로 바꾼 개정안을 공포하고 시행중이며, 2011년부터 2013년까지 고압가스보안법 등에 따른 수소충전소 16개 규제 항목의 개정을 실시

- 이러한 개정을 통해 82MPa 대응 수소충전소의 보안이 확보되고 상업지역 등 시가지에도 건설이 가능해지며, 이에 따라 실용성, 편리성이 증대

○ 엄격한 기술기준을 토대로 보안 확보를 위해 노력하고 있으며, 다양한 실증 시범 운행사업을 전개하고 있음



출처 : (제90호)주간에너지이슈브리핑, 한국에너지공단, 2015

[그림 2.2] 일본의 수소경제 구현을 위한 3단계 로드맵

2. 국내 정책동향

가. 신재생 에너지 분야

(1) 지속가능 교통물류 및 저탄소 녹색성장 촉진[7)]

○ 지속가능 교통물류 발전법 제7조 및 저탄소 녹색성장 기본법 제53조에서 정하는 사항을 포함하여 정책의 기본방향과 목표, 교통물류분야 온실가스 감축 및 에너지절약목표를 설정하였으며 발전대책, 제도적 기반 조성방안, 재원 조달방안 등을 수립

– 지속가능 교통물류 발전법은 2009년에 제정되었으며 기후변화, 에너지 위기 및 환경보호 요구 등 교통물류 여건 변화에 대응하는 지속가능 교통물류정책의 기본방향과 그 수립 및 추진 등에 관한 사항을 규정

○ 저탄소 녹색성장 기본법은 경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술 및 녹색산업을 새로운 성장 동력으로 활용하기 위해 2010년에 제정

– 지속가능 교통물류체계 구현을 위해 기존 교통부문 수단간 투자비율에 대한 조정안을 제시하여 도로중심에서 철도중심으로 전환할 수 있는 기반을 조성하고자 함 철도부문의 투자비율을 2010년 24.9%에서 향후 10년간 평균 38.9%로 확대하는 한 편, 도로부문의 투자비율은 45.8%에서 37.9%로 감소하려는 계획을 수립

(2) 신재생에너지 정책 동향[8)]

○ 제21차 기후변화협약

– 프랑스 파리에서 개최된 제21차 기후변화협약 당사국총회(COP21, 2015.12)에서는 신기후체제 합의문인 “파리 협정(Paris Agreement)”을 채택하였으며, 파리 협정은 2020년 만료 예정인 기존의 교토의정서 체제를 대체하는 것으로, 본 협정이 발효되면 선진국의 선도적 역할이 강조되는 가운데 대부분의 국가가 전 지구적인 기후변화 대응에 참여하게 됨

– 합의문 도출 과정에서 개도국은 기후변화에 대한 선진국의 역사적 책임을 들어 선·개

7) 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석, 에너지경제연구원(2013)
8) 2016 신재생에너지 백서

도국 이분법 체계가 지속되어야 하며, 개도국의 감축 노력 참여에 상응하는 선진국의 재원 지원 및 기술이전 의무강화를 강조한 반면, 선진국은 개도국의 증가하는 책임을 강조하고 감축목표의 이행을 주기적으로 점검하여 목표를 상향 조정할 수 있는 강력한 이행 및 점검체계 구축을 주장

- 이러한 협상 결과를 토대로 新기후체제는 교토의정서 체제를 극복하기 위해 선진국과 개도국 모두가 참여하는 체제를 지향하며, 이를 위해 각국이 감축목표를 스스로 결정할 수 있도록 유연한 방식을 채택하였고, 이를 위해 다양한 에너지 정책이 수행되고 있음

[표 2.9] 교토의정서와 신기후체제 비교

출처 : 산업통상지원부

교토의정서	구분	파리협정(신기후체제)
일본교토	개최국	프랑스 파리
제3차 당사국총회	회의	제21차 유엔기후변화협약 당사국 총회
1997년 12월	채택	2015년 12월
주요 선진국 37개국	대상국가	195개 협약 당사국
온실가스 감축	목표	적극적인 온실가스 감축을 포함한 재정지원, 기술이전, 역량강화
온실가스 기준 정의 온실가스 총배출량을 1990년 수준보다 감축	주요내용	지구 평균온도 상승폭을 산업혁명 이전과 비교해 15도로 제한, 온실가스를 많이 배출한 선진국이 개도국의 기후변화 대응을 지원

○ 2030 에너지 신산업 확산전략

- 정부는 에너지 프로슈머, 저탄소 발전, 전기자동차, 친환경 공정 등의 에너지 신시장 창출을 위해 ‘2030 에너지 신산업 확산전략’을 수립하여 발표(2015.11)
- 2030년 신성장동력을 위한 신시장(100조원) 및 고용(50만명) 창출은 물론 총 5,500만톤의 온실가스 감축목표를 세우는 등 초기시장을 확대하기 위한 정부의 역할을 강화

○ 신재생에너지 보급 및 산업육성

- 신재생에너지 기술 변화에 대응하기 위하여 정부는 2035년까지 1차 에너지 기준 11% 보급목표 구현을 위한 세부 이행방안을 담은 “제4차 신·재생에너지 기본계획(2014.9월)”을 수립·발표
- 제4차 기본계획은 ‘정부주도’에서 ‘민관파트너십’으로 전환하기 위한 신·재생에너지 시장 생태계 조성에 주력한다는 내용이며 이를 위해 시장친화적 제도설계, 수익형 비즈니스 모델 제시, 규제완화, 신재생 보급에 적합한 모델 발굴을 통해 자발적 민간투자를 제고하고, 협소한 국내시장을 넘어 적극적 해외진출을 통해 국내보급과의 상호 선순환 창출을 도모한다는 방안 제시

○ 프로슈머-이웃간 전력거래

- 태양광 등 신·재생에너지 생산이 증가함에 따라 스스로 전기를 생산하면서 소비하는 사람을 지칭하는 프로슈머가 에너지 패러다임 변화의 주역이 될 전망
- 기후변화 대응과 신·재생에너지의 중요성이 커지고 있는 시점에서 신재생 투자 확대의 새로운 전기로 작용할 것으로 보이며, 정부는 프로슈머와 전기소비자 모두에게 도움이 되는 국민참여형 모델로 확산시킬 계획임



출처 : 2030 에너지 신사업 확산전략, 2015

[그림 2.3] 2030년 에너지 신산업 정책방향

(3) 신재생에너지 철도 관련

○ 기후변화대응에 대한 국내외 여건 분석

- 2016년 11월에 개최된 22차 유엔기후변화협약 당사국총회에서 지난 2015년 12월 파리 협정 체결 이후 한국, 중국, 미국 등 197개국이 파리 기후변화협정 세부 이행규칙을 오는 2018년까지 마련하기 위한 일정과 계획에 합의
- 환경부는 범부처적으로 '2030 온실가스 로드맵 수립'을 준비하는 등 성실하게 기후변화 대응정책을 이행 중이라고 공표



출처: 제4차 신-재생에너지기본계획, 2014

[그림 2.4] 국내 신-재생에너지 보급 목표

- 정부는 오는 2030년까지 지구온난화의 주범인 온실가스를 배출 전망치(BAU : 851만톤) 대비 37% 감축하겠다는 목표로 관계부처합동으로 2016년 연말까지 '온실가스 감축 로드맵'을 확정한다는 방침
- 정부가 추진하는 '온실가스 감축 로드맵'의 목표를 달성하기 위해 전체 온실가스 배출량의 20%를 차지하는 수송부분의 역할이 매우 중요

○ 국내 철도분야 온실가스 배출실태 조사 및 분석

- 국내 철도분야의 주요 에너지원은 디젤과 전기에너지로 차량운행과 역사 및 시설물 운영에 대부분 사용되고 있음
- 한국철도공사에 공시되어있는 온실가스 배출량을 살펴보면 2012년에는 약 173만톤, 2013년에서 177만톤, 2014년에는 163만톤으로 2013년에는 감축률이 줄었지만 2014년에는 감축률이 대폭 상승
- 간선철도부문에서 KTX 운행에 따라 디젤철도차량의 운행이 줄어들긴 하였지만 아직도 총 CO2 배출량 중 약 46% 정도를 차지

○ 철도분야 단계별 온실가스 감축목표 설정 및 세부 실행계획 제시

- 정부는 2016년 12월, <온실가스 감축 로드맵>을 확정
- 기본 로드맵에 따르면 2030년 온실가스 목표 감축량 315만톤 중 국내에서는 발전, 산업, 건물 등 8개 부문에서 2억 1900만톤을 감축하기로 하였음
- 철도와 관련이 있는 수송 부문에서는 2,590만톤(24.6%)을 감축할 계획

- 교통안전공단 산하 여러 기관들이 <신기후체제 교통부문 온실가스 감축전략 심포지엄>을 개최
- 철도분야에서 온실가스 배출에 크기 기여하는 것이 바로 디젤전기기관차
- 한국철도공사 및 여러 도시철도공사들은 온실가스 저감을 위해 간선의 길이를 짧게 하고, 철도의 전철화를 늘리는 등 여러 계획들을 세우고 있음
- 국내 철도부문에서 계획하고 있는 R&D 분야는 친환경 철도차량 개발, 친환경 철도인프라 기술개발, 폐에너지원 활용기술 (추가적인 에너지 절약 수단) 등 크게 3개 분야로 나눠짐
- R&D 기술개발은 3개 분야에서 10개 추진과제를 선정하여 단계적으로 개발 진행 중

[표 2.10] 국내 신재생 철도 관련 정책 및 특징 분류

출처 : 기후변화대응 철도분야 온실가스 저감방안 연구, 2010

시행 계획	특 징	기대효과
무가선 하이브리드 저상트램	- 도심 구간별 무가선으로 운영 가능 - 2차 전지를 사용하여 에너지 효율을 극대화한 전동차	- 유해가스 무배출 실현 - CO2 배출 20% 이상 감량 - 회생제동 연동가능
디젤 하이브리드 철도차량	- 고속주행: 디젤엔진(주) - 저속추진: 배터리(부) - 가선을 통한 급전과 디젤엔진을 동시에 사용하여 환경성을 향상시킨 전동차	- 기존 디젤기관차의 유해가스 배출 60% 이하, 에너지효율 20% 이상 향상 - 디젤기관차의 전동차로 전환 및 에너지효율 향상
바이오디젤 철도차량	- 신에너지 친환경 식물성 바이오 디젤을 동력원으로 철도차량 - Energy-mix에 따른 효율개선	- 디젤기관차의 디젤 사용 대체 - 연료비 절감 및 환경개선
연료전지 하이브리드 전동차	- 연료전지(주)와 배터리(부) 연동 수소에너지 청정 전기 전동차	- 청정 수소에너지 활용 CO2 발생량 최소화 - 회생제동 연동가능
하이브리드 파워 동력 대차 설계 기술 개발	- 2차전지, 연료전지, 급전등 2개 이상의 동력원으로 동시 구동 가능한 대차 개발	- 하이브리드 차량의 필수 요소로 회생제동 및 추진 제어와 연동하여 국내 철도차량의 고효율화 선도
고용량 에너지 저장장치 개발	- 차상 에너지 저장장치 (고용량 2차 전지 & 제어기술) 기술개발 - 지상 에너지 저장장치 (역간 에너지 저장 시스템): 회생전력의 저장과 공급	- 제동 시 회생제동으로 발전되는 에너지 저장 (주행 중 발전에너지 30% 회수/재사용) - 친환경 전동차 표준화 기술 공급 - 신기술 수출 산업화 가능
고효율 회생제동 시스템 적용 기술개발	- 제동 시 전동기를 발전기로 전환, 에너지 생성함으로써 에너지 고효율화 실현	- 운행 중 에너지 30 % 회생 - 회생제동 차량에 표준적용 가능
철도차량 전과정평가 기술 개발	- 철도차량 친환경설계 및 폐기단계에서의 자원순환 시스템 구축기술 개발	- 전과정에 걸친 철도차량 자원재활용을 통한 온실가스 배출 저감(95% 재활용 시 약 460톤 CO_2/량)
대차 경량화 기술	- 대차 최적설계를 통한 에너지저감	- 철도차량 경량화를 통한 추진에너지소모량 10% 이상 감축
고전압 양방향 전력 인버터 기술개발	- 고용량 2차전지 및 연료전지의 에너지 입출력 가능 인버터 기술	- 신에너지 철도차량표준화를 통한 고효율 철도 시스템 구축 가능

에코드라이빙 기법 개발	- 철도차량 운전패턴 분석 및 에너지 절감형 운전기법 매뉴얼 제시 - 운행용 에너지소비량 계측기 개발 - 운전자 교육용 시뮬레이터 개발	- 차량운전기법의 개선을 통해 에너지 소비 효율 최대 5% 개선 - 에너지 소비량의 체계적 관리
지열·태양열을 이용한 Eco-Station 기술 개발	- 지열, 태양열 등을 이용한 역사 내 냉난방 기술	- 유류 사용 대체 - 역사 에너지원 다양화 및 비용 절감 (약 15%)
열차풍을 이용한 에너지재활용 기술 개발	- 철도차량의 이동에 따라 발생하는 열차풍을 이용한 풍력발전 기술	- 신규 에너지원 창출 및 비용 절감
압전소자를 이용한 전력전환 기술 개발	- 역사 내 계단, 게이트 등에서 승객의 이동에 따라 발생하는 압력을 이용한 에너지 전환 기술	- 에너지원 재활용

나. 수소연료전지 분야

(1) 수소연료전지 정책 현황[9)]

○ 2010년 12월 국무총리 주재로 열린 제10차 녹색성장위원회에서 2015년 수소연료전지차를 포함해 그린카 120만대 생산, 90만대 수출 및 국내시장의 21% 달성이라는 목표를 세움

– 자동차, 분산발전, 가정용 연료전지분야에는 글로벌기업들이 있고 정부지원으로 꾸준히 기술개발을 실행해 선진국과 비교 시 70% 수준 이상의 기술력을 갖춤

○ 정부의 저탄소 녹색성장 선언 이후 적극적 정책추진과 기업의 활발한 투자 등에 의해 수소연료전지가 녹색성장정책의 핵심으로 자리 잡음

[표 2.11] 국내 수소연료전지 보급량 확대 추이(단위 : 백만달러)

출처 : 연료전지 동향 및 전망, 2011

연료전지 수요		2003	2008	2013	2018
응용기기	전기발전생산	2	50	90	160
	산업용 고정식 동력발전	-	1	5	15
	자동차	-	13	26	10
	여타 운송수단	-	2	12	52
증류	PEMFC	5	17	36	74
	MCFC	-	47	70	110
	PAFC	1	2	8	9
	SOFC	-	-	11	18

9) 연료전지 시장 동향 및 전망, 2011

(2) 국내의 수소연료전지 지원 및 보급 정책[10)]

○ 2006년부터 가정용 및 수송용 수소연료전지 모니터링사업을 추진하여 보급 기반을 조성

- 가정용 수소연료전지 모니터링 사업(`06~`11) : 가정용 수소연료전지 210대 설치 운영
- 수소연료전지자동차 모니터링 사업(`06~`10) : 수소연료전지자동차 34대(승용 30대, 버스 4대)제작 및 실도로 주행
- 2009년말부터 100대 규모로 수소연료전지차량 실증운행 연구 착수

○ 2012년부터 의무할당제(RPS)가 시행되어 한전 발전자회사 등 발전사들의 연료전지 도입이 증가

- 연료전지의 경우 정부가 설치비용의 최대 80%를 지원하고 있어 다른 에너지원보다 더 유리한 혜택을 받음

○ 2013년 우리나라의 수소연료전지 시장은 약 1억 3천만달러 규모로 응용분야 중 발전용 연료전지가 70% 정도를 차지하고 있으며, 2015년까지는 발전설비를 188.5MW까지 확대하기 위하여 약 1조원 규모의 투자가 이루어짐

- 약 145억원의 정부지원을 통해 수소제조, 저장 및 인프라구축 관련 연구가 이루어짐

○ 국내 수소연료전지 보급계획은 정부의 그린카 보급계획이 있고, 이를 위한 보급정책으로 시행되고 있는 RPS제도와 앞으로 시행 예정인 RFS, RHO제도가 있음

○ 현재 수소연료전지 산업에 가장 큰 영향을 미치고 있는 RPS 제도를 2014년에 개정하여 신재생 중장기 보급목표를 재설정(2030년 11% → 2035년 11%)하였고, 현실적인 이행여건 등을 감안하여 RPS 의무이행목표인 총 전력생산량 10% 달성시기를 2년 연장하여 2024년으로 목표 재설정

[표 2.12] 국내 수소연료전지 보급량 확대 추이(단위 : 백만달러)

출처 : 한국가스신문 기사 발췌, 2017

정책/제도	주요 내용
신재생 에너지 발전차액 지원제도 (FIT)	- 2006년 10월 연료전지를 신규 대상으로 포함(지원한계 설비용량 50MW, 차액지원금 283원/kWh) - 2008년부터 15년간 매년 10월 11일을 기점으로 전년대비 3%씩 인하하여 차액지원금 지급 - 2012년 RPS 제도로 대체
신재생 에너지 의무할당제 (RPS)	- 2012년부터 2020년까지 발전량의 10%를 신재생에너지로 보급 계획 - 정부가 의무대상자(500MW이상)를 정하면, 의무대상자는 일정 기간 내에 목표를 완수해야 함. 목표는 2012년 2%에서 2020년 10%까지 점진적으로 확대될 예정 - 의무대상자는 신재생에너지 분야에 직접 투자하거나 REC(Renewable

10) 연료전지 동향 및 전망(`11.5.24, 한국기업평가)

	Energy Certificate)를 거래하여 의무이행 가능, 발전 유형별 가중치 부여 검토 중
그린홈 100 만호 보급사업	- 2020년까지 신재생에너지 설비 설치 시 비용 일부를 지원 - 연료전지의 경우 현재 설치비용의 최대 75%를 정부가 지원
공공건물 신재생 에너지설치 의무화제도	- 2011년 이후 공공기관이 신축, 증축, 또는 개축하는 연면적 3천m2 이상의 건축물에 대해 총 에너지 사용량의 10%이상을 신재생에너지로 충당(이전에는 건축비 기준 5%, `09년부터 중/개축 건물 포함) - 의무비율을 2011년 10%에서 2020년 20%까지 확대, 대상 건축물을 1천m2이상으로 조정(`12년)
신재생에너지 활성화방안 (2013.8)	- 신재생 열에너지 공급의무화제도 (RHO : Renewable Heat Obligation)를 통한 열에너지산업 성장 및 열생산 전력낭비 감축 그리고 신재생에너지 보급촉진, 열에너지의 10%(`16)~20%(`30) - 신재생 주민발전소 지원확대 (REC 우대) 가중치 0.7→1.0 (30~50%)→1.2(50~100%) - 전력다소비 사업장 (5천 kW 이상) 계약전력 3~15% 신재생설비 설치권고(인센티브) - LNG 연료비 연동형 REC 가중치 도입

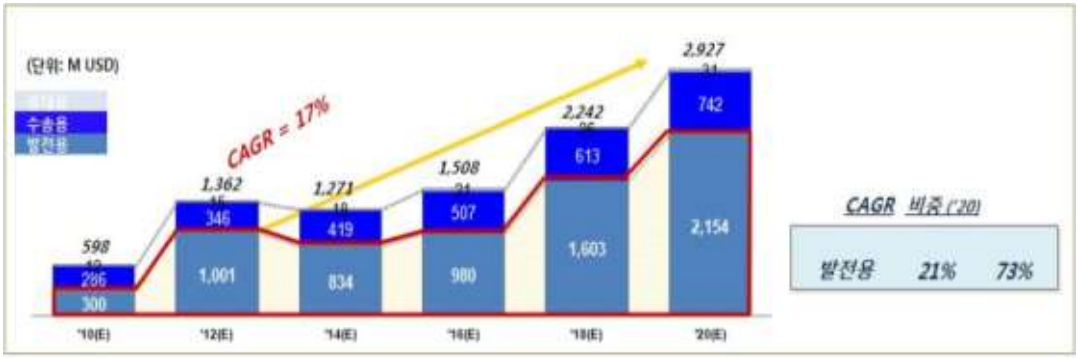


출처 : 한국가스신문 기사 발췌, 2017

[그림 2.5] 국내 수소연료전지 보급 정책

(3) 발전용 / 수송용 수소연료전지 정책[11)]

- 에너지관리공단 2012년 통계에 의하면, 연료전지분야 매출규모로는 1조2천억원(2012) 정도로 알려져 있으며, 정부의 신재생에너지 보급계획에 따르면 2035년까지 발전용 연료전지의 보급목표를 설비용량 2,034MW에 발전량으로 15,146GWh로 하고 있음
- 전 세계 연료전지 보급업체는 국내 생산을 기반으로 준비하고 있어 한국이 전 세계 연료전지산업의 중심에 위치하고 있음
- 2010년 12월 발표된 범 정부 차원의 그린카 발전 로드맵에서 연료전지차는 2015년까지 스택을 국산화하여 2015년 중형차를 양산하고 2018년까지 연료전지 버스 개발을 목표로 하고 있음
- 환경부가 2013년 1월 발표한 '2013년 환경친화적자동차 보급 시행계획'에 따르면 2013년 2월 종료되는 지식경제부 수소연료전지차 기술 개발 및 실증 사업 이후 본격적인 보급에 대비하기 위해 공공부문을 대상으로 시범 보급 사업을 추진 중
- 국내 수소충전소는 2001년 현대자동차가 남양연구소 내에 건설한 350bar 충전소를 시작으로 2012년 수도권 및 대전, 여수, 울산, 제주 등에 총 13개를 운영중이며, 인프라 구축을 위해 2020년까지 153개소로 증가할 전망
- 수소연료전지차 관련 규격은 가스안전공사와 교통안전공단에서 담당하고 있으며 현대차의 기술개발에 맞춰 국내 기준 제정을 위해 노력 중
- 수소연료전지차 보급 기반의 일환으로 안전기준에 관한 규칙 및 시행 세칙, 자동차용 내압용기 안전에 관한 규정의 제개정안이 마련되어 입법화를 추진 중



출처 : 한국가스신문 기사 발췌, 2017

[그림 2.6] 국내 발전용 수소연료전지 보급 전망

11) 수소연료전지차 정책 및 시사점, 경제분석연구실(전황수)



출처 : 포스코에너지, 2014

[그림 2.7] 국내 발전용 수소연료전지 용량 및 설치현황

[표 2.13] 국내 수소연료전지차 및 수소충전소 보급 전망

출처 : 자동차공업협회, 2012

단계		시험/실증		시범 운행		양산 및 본 사업					
연도		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
연료전지차	연간보급대수	-	5	50	50	10,000	10,000	20,000	20,000	30,000	30,000
	누적대수	-	5	55	105	10,105	20,105	40,105	60,105	90,105	120,105
	연간필요예산 (억 원/년)	-	10	60	60		수소연료자동차 구매자에 대한 세액감면 검토				
수소충전소	연간보급대수	1	2	5	5	20	20	20	20	30	30
	누적대수	1	3	8	13	33	53	73	93	123	153

(4) 수소연료전지 분야 정책지원 프로그램

○ 정부는 수소연료전지를 풍력, 태양광 등과 함께 성장가능성이 높은 신성장동력으로 지정, 수출산업으로 집중 육성할 계획이며, 이에 따라 전략기술개발(과제당 연 100억원, 3~5년) 및 원천기술개발 등을 통해 미래시장 선점을 위한 기반조성에 중점을 둠

○ 다양한 정책지원 프로그램으로 국가 차원에서의 수소경제화를 위해 노력 중

[표 2.14] 수소연료전지 분야 정책지원 프로그램

출처 : 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 실행계획(지식경제부,2009)

<table>
<tr><th>정책지원 프로그램</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>세액공제</td><td>- 설비 투자비에 대한 법인세 세액공제(2006.6)
- 발전용 연료전지 총 투자비의 5% 당해 법인세액 공제</td></tr>
<tr><td>발전차액지원제도</td><td>- 200kW 이상으로 바이오가스나 기타연료를 이용하여 발전하는 경우
- 234.53원/kW(바이오가스), 282.54원/kW(기타연료)
- 감소율 3%(2년이후)
- 적용 용량 한계를 규정: 누적기준 총 50MW
<table>
<tr><th>Fiscal Year</th><th>Allowable capacity</th></tr>
<tr><td>~2008</td><td>8MW</td></tr>
<tr><td>2009</td><td>12MW</td></tr>
<tr><td>2010</td><td>14MW</td></tr>
<tr><td>2011</td><td>16MW</td></tr>
<tr><td>Total</td><td>50MW</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>신재생에너지
의무할당제(RPS)</td><td>- 2012년 시행, 2020년까지 발전량 10%를 신재생에너지로 할 계획
- 정부가 의무대상자(500MW이상)를 정하면, 의무대상자는 일정 기간 내에 목표를 완수해야함.
- 목표는 2012년 2%에서 2020년 10%까지 점진적으로 확대될 예정
- 의무 대상자는 신재생에너지에 직접 투자하거나 REC를 거래하여 의무 이행 가능
<table>
<tr><td>연도</td><td>'12</td><td>'13</td><td>'14</td><td>'15</td><td>'16</td><td>'17</td><td>'18</td><td>'19</td><td>'20</td><td>'21</td><td>'22</td></tr>
<tr><td>의무비율(%)</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>5.0</td><td>6.0</td><td>7.0</td><td>8.0</td><td>9.0</td><td>10.0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>그린홈 100만호 보급
사업</td><td>- 2020년까지 신재생에너지 설비를 주택에 설치시 일부 비용 지원, Green Home 100만호 보급
- 연료 전지의 경우 현재 설치비용의 최대 80%를 정부가 지원(다른 에너지원: 최대 50% 지원)</td></tr>
<tr><td>공공건물 신재생에너지
의무화제도</td><td>- 공공기관이 신축, 증축 또는 개축하는 연면적 3천 제곱미터 이상의 건축물에 대해 총 건축 공사비의 5%이상을 신재생에너지 설비에 의무적으로 투자</td></tr>
<tr><td>융자지원제도</td><td>- 소요자금의 100%이내, 변동금리 3.75%, 5년 거치 10년 분할 상환의 조건
- 연료전지설비, 수소에너지설비에 지원됨</td></tr>
<tr><td>인력양성사업</td><td>- 핵심기술연구센터
- 특성화대학원
- 최우수실험실 사업</td></tr>
<tr><td>표준화사업</td><td>- IEC 국제표준화 작업의 주도적 참여
- 기업 중심으로 대응하되 표준화 참여 기업 적극지원</td></tr>
</table>

3. 결론

- ㅇ 연료전지는 신재생에너지 의무할당제 (RPS) 시장을 중심으로 누적 설치량이 150MW 수준에 도달하였고 평균 이용률 90% 이상 유지하는 실적을 통해 가장 신뢰성이 높은 신재생에너지 수단임을 입증
- ㅇ 연료전지시스템은 이산화탄소를 기존의 화력발전 대비 평균 45% 감소시킬 수 있고 1차 에너지는 약 31% 절감되는 효과가 있는 신에너지 기술로 미국, 일본, EU에서 녹색산업의 하나로 매우 활발히 연구개발을 진행 중
- ㅇ 정부는 온실가스 감축 및 신산업 창출을 위한 6개 핵심 기술선정 등 연료전지개발 지원의지 표명을 했으며 '7차 전력수급기본계획' 에 의하면 2029년 신재생 발전량은 전체의 11.7%이며, 이 중 연료전지 발전량은 9.7%로 연료전지 투자 및 지원에 대한 전망이 밝을 것으로 예상됨
- ㅇ 따라서 차세대 신재생에너지원인 연료전지 핵심기술로써 본 과제에서 개발하고자 하는 친환경적 연료전지 철도에 대한 정책 전망이 밝을 것으로 예상
- ㅇ 하지만 수소관련 안전기술확보 및 홍보부족으로 수소연료전지에 대한 사회적 수용성 향상을 위한 홍보정책들이 필요
- ㅇ 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 미래 친환경 수송부문에 대한 장기적인 정부차원의 정책이 필요한 상황

2절 국내외 시장동향 및 전망

1. 국외 시장동향 및 전망

가. 신재생 에너지 분야

(1) 태양광 에너지

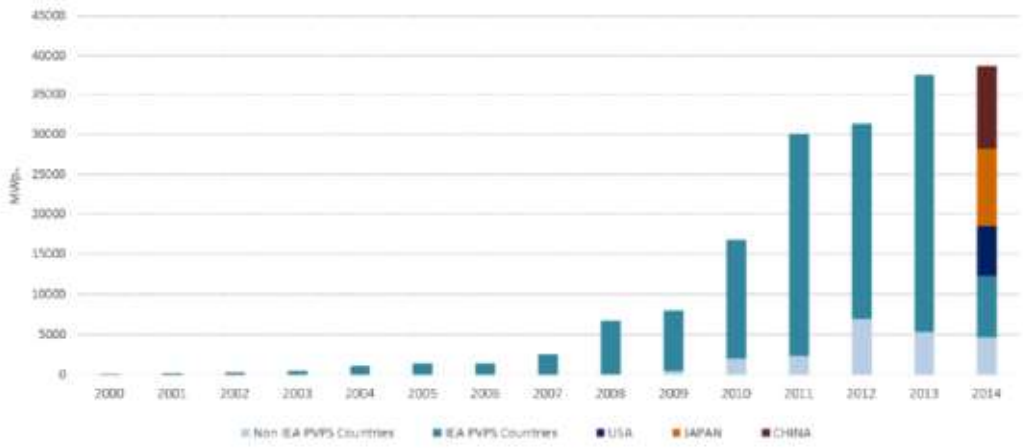
○ 태양광 시장은 최근 폭발적인 연간 성장률(85% 이상)을 나타내며 급성장하여 왔고 2013년 들어 약 40GW의 시장규모 형성[12)]

– [그림 2.8]은 세계 태양광발전산업에서 태양광 발전 시스템의 설치량을 나타낸 것으로, IEA(국제에너지기구) PVPS(태양광발전분과)에서 2014년 10월에 발표한 자료이며, 2012년의 일시적인 설치량 감소를 제외하고는 2006년부터 시작된 태양광발전시스템의 설치량 증가 추세는 여전히 지속되고 있는 것을 알 수 있음[13)]

– 특히, 후쿠시마 원전사고(2011년) 이후 일본 및 유럽 등에서 원전 설치계획을 축소 또는 폐지하였고, 일본, 미국, 중국, 인도 및 신흥시장(동남아시아, 아프리카, 남미 등)에서 태양광 설치량을 확대하면서 향후 세계 태양광시장은 꾸준히 증가할 것으로 예측

– 또한 기존의 발전용 태양광 시장뿐만 아니라 지역 및 환경맞춤형 태양광발전 시스템(BIPV, 수상태양광 등), Niche Market 시장(개인용 휴대기기 등) 등이 점진적으로 확대되고 있어 신규시장의 창출도 확대될 것으로 예측되고 있음

– 이는 세계 여러 국가가 신재생에너지원의 확대를 정부정책의 중요한 기조로 삼고 있기 때문이며, 신재생에너지원 중 특히 태양광이 친환경적이면서도 산업유발 효과가 큰 에너지원이라는 점이 부각되고 있기 때문



출처: IEA PVPS, EPIA

[그림 2.8] 세계 태양광 설치시장 현황

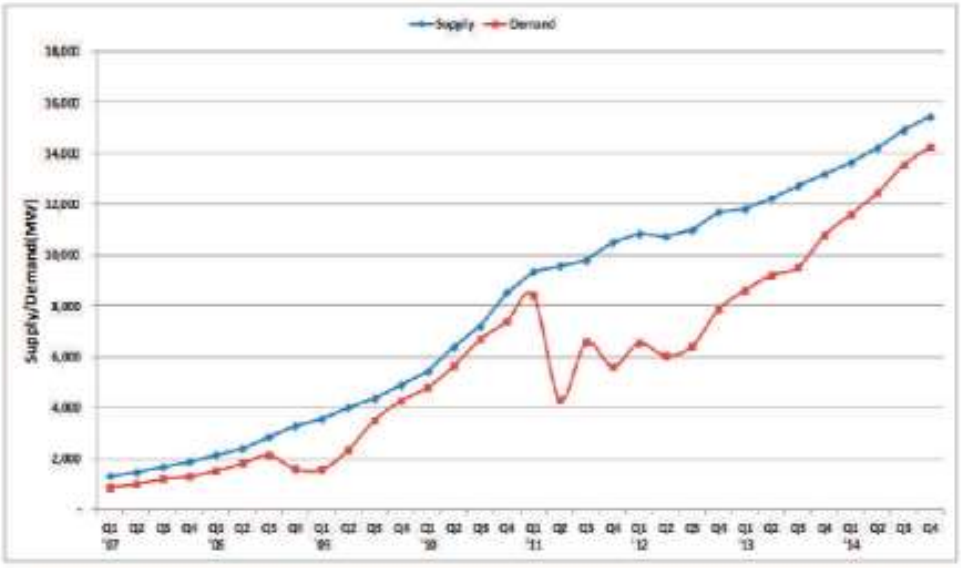
12) 2016 신재생에너지 백서
13) IEA PVPS, EPIA

○ 2008년 미국의 금융위기로부터 촉발되어 세계경제의 침체로 확장되던 2011년을 기점으로 한 시장 성장률 감소의 원인은 태양광 시장의 수요-공급 불일치에 따른 구조조정과 최근 발생한 유럽발 경제위기가 원인[14)]

- [그림 2.9]는 2007년부터의 태양전지 모듈의 수요 공급의 현황과 전망을 나타내고 있으며 공급량이 점진적으로 증가하는 가운데 2011년부터 수요량이 감소되었음을 알 수 있음[15)]
- 이는 유럽발 재정위기에 기인하며 결국 수요와 공급의 불일치가 심화되면서 태양광 모듈의 가격이 [그림 2.10]과 같이 급격히 하락하기 시작하였고, 태양광 기업들의 채산성 악화를 초래한 것
- 그러나 이러한 수요 공급 불일치 현상은 2014년 들어 해소되는 조짐을 보이고 있음
- 이는 모듈 가격 하락에 따른 Grid parity 조기 달성에 의한 보급량 증대와 원천사고 이후 조성된 재생에너지 보급 확대 정책에 기인한다고 할 수 있음

○ 한편 [그림 2.11]에 나타난 바와 같이 결정질 실리콘 태양전지가 전체 태양전지 시장을 주도 하고 있음[16)]

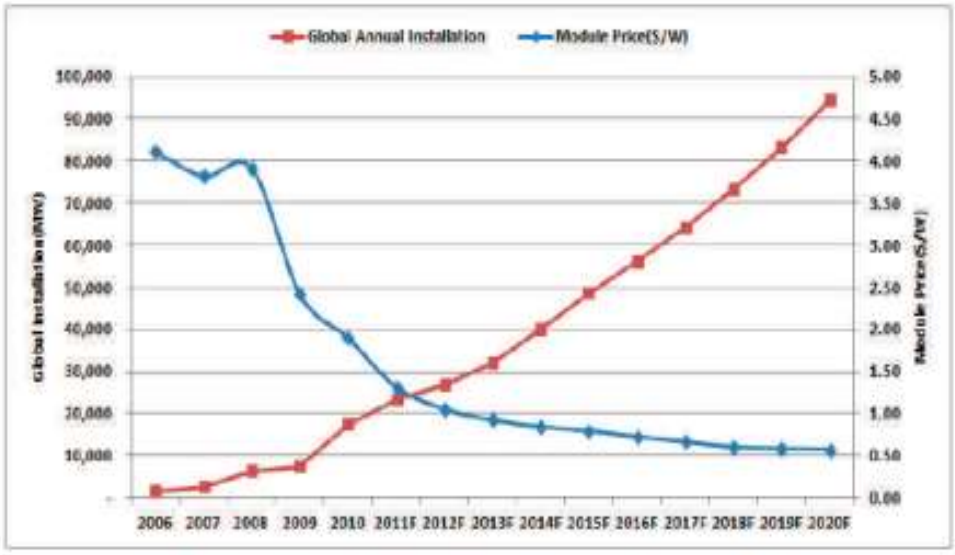
- 2007년까지는 결정질 실리콘 태양전지가 90% 이상의 시장점유율을 나타내었으나, 폴리실리콘 가격의 상승에 의한 박막 태양전지의 보급 확대로 인하여 한때 결정질 실리콘 태양전지의 점유율은 80%대로 감소한 바 있음
- 하지만 2011년 들어 폴리실리콘 가격의 하락 및 수급불균형에 따라 결정질 실리콘 태양전지/모듈의 가격이 급락하면서 다시 시장을 주도하는 상황



출처: SNE Research 2012

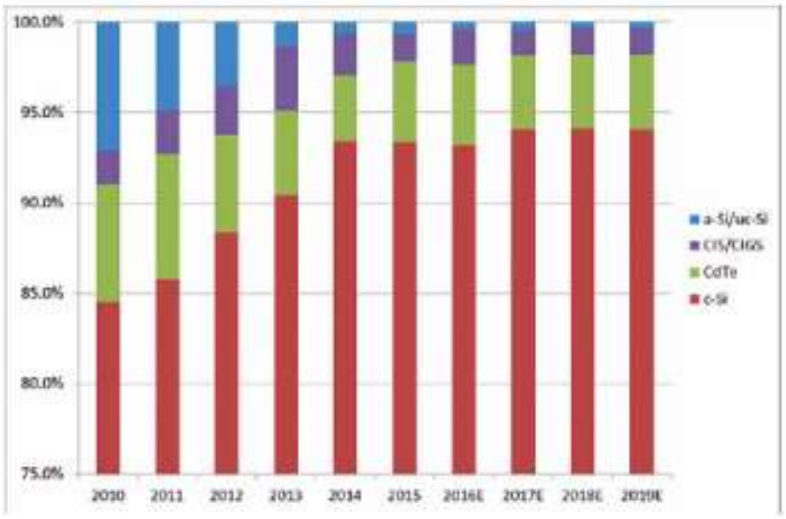
[그림 2.9] 세계 태양광 수요 공급 현황 및 전망

14) 2016 신재생에너지 백서
15) SNE Research 2012
16) IHS 2016



출처: SNE Research 2012

[그림 2.10] 세계 태양광 설치량과 모듈 가격 전망



출처: IHS 2016

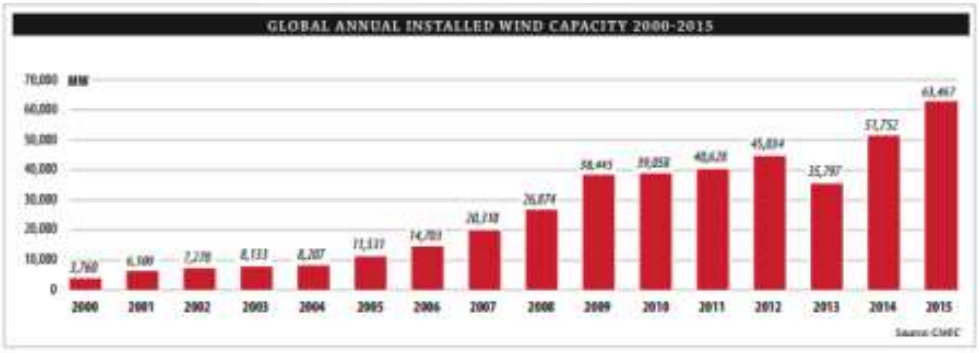
[그림 2.11] 기술별 태양광 모듈(결정질/박막) 출하량 비교

- 2013년 하반기부터 시작된 폴리실리콘 가격의 하향 안정화와 모듈 수급 불균형의 해소에 힘입어 안정되는 모습을 보이고 있고, 결정질 실리콘 태양전지를 중심으로 시장이 점차 안정적으로 성장하는 모습을 보이고 있음
- 박막 태양전지가 결정질 실리콘 태양전지에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 저가 및 고기능성, 신규 응용분야로의 진출이 필요할 것으로 보이며, 박막 태양전지 시장은 2020년 이후부터 서서히 성장할 것으로 예측

(2) 풍력

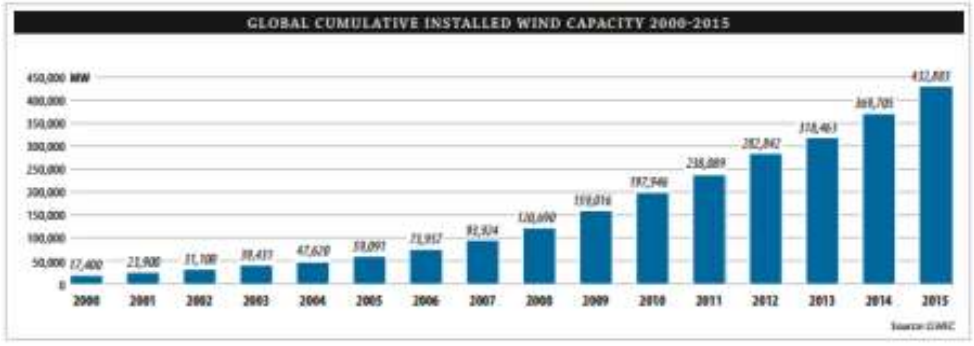
○ 2015년 세계 신규 설치 풍력발전용량은 63.5GW로서 2014년 신규 설비용량인 51.2GW 대비 24%의 성장률을 기록[17)]

- 세계 풍력시장의 연간 성장률은 22%를 기록하였으며 이는 세계시장의 48%를 점유하는 중국의 성장에 힘입은 바가 큼[18)]
- 풍력발전은 기술적으로는 성숙단계에 속하여 입증된 신뢰성과 가격경쟁력을 갖고 있으며, 이는 발전사업자들과 큰 가격 변동성을 우려하는 기업에게는 매우 매력적인 에너지원
- 2015년은 중국, 미국, 독일 및 브라질 등의 거대 시장국가들이 보급을 주도하는 해였지만 2016년에는 이들 국가들의 상대적 집중도가 저감함과 동시에 여타 국가들로의 보급시장이 더욱 확대될 것으로 보임



출처: Global Wind Energy Council

[그림 2.12] 2015년 풍력발전 설비 신규설치용량



출처: Global Wind Energy Council

[그림 2.13] 2015년 풍력발전 설비 누적설치용량

- COP 21 이후 세계는 청정하고 풍부하며, 동시에 신뢰성과 빠른 건설공기를 갖춘 에너

17) 2016 신재생에너지 백서
18) Global Wind Energy Council

지원을 찾고 있으며, 이런 측면에서 풍력은 화석연료에서 대체연료로의 전환을 선도적으로 이끌어 가는 에너지원

- 아시아 지역의 풍력시장은 2020년까지 지속적으로 성장세를 유지할 전망이며 동기간 중 세계 시장의 50% 정도의 비중을 차지할 것으로 예상
- 유럽은 정책적 불확실성으로 인해 다소 흔들림은 있겠지만 2020년까지 완만하며 꾸준한 성장세를 유지할 전망이고 캐나다, 미국 및 멕시코는 정부의 강력한 정책지원으로 인해 강한 성장세가 예상

(3) 수력

○ 전 세계적으로 2014년에 약 37G의 수력발전 신규설비가 추가로 건설되어 전 세계 수력발전 설비용량의 3.6%가 상승하여 1,055GW에 도달하였으며, 연간발전량은 약 3,900TWh로 추정[19)]

- 국가별 수력발전소 시설용량/발전량을 살펴보면 중국(260GW/905TWh), 브라질(85.7GW/415TWh), 미국(79GW/269TWh), 캐나다(76.1GW/388TWh), 러시아(46.7GW/175TWh), 인도(43.7GW/143TWh) 순이며 상위 6개국이 전 세계의 약 60%를 차지[20)]
- 세계 수력발전량은 수리학적 상황에 따라 매해 변동이 생기는데 2014년 약 3,900TWh로 전년 대비 3% 이상 증가했으며, 세계 양수 발전용량은 2014년 말 기준 약 142GW에 달하는 것으로 집계되고 있음
- [표 2.15]는 국가별 수력 시설용량이며, [그림 2.14]의 전 세계 지역별 개발량과 잠재량에서 알 수 있듯이 아시아 지역에서 수력이 가장 많이 설치되었으며, 잠재량 또한 가장 높은 것을 알 수 있음

[표 2.15] 국가별 수력 시설용량

출처 : REN21, 2014

구분	1위	2위	3위	4위	5위	6위
시설용량 (GW)	중국 (260)	브라질 (85.7)	미국 (79)	캐나다 (76.1)	러시아 (46.7)	인도 (43.7)
발전량 (TWh)	중국 (905)	브라질 (415)	미국 (269)	캐나다 (388)	러시아 (175)	인도 (143)

19) REN21, 2014
20) IHA, 2014



출처: IHA, 2014

[그림 2.14] 전세계 수력 개발량 및 잠재량

나. 수소연료전지 분야

○ 연료전지는 탄화수소계 원료를 사용하여, 전기화학반응을 통해 전기와 열을 생산하는 친환경, 고효율 에너지 생산기기이므로 각 나라의 에너지 가격 체제(전기요금, 열요금, 가솔린 등의 연료요금)가 연료전지 초기시장 형성 규모 및 산업화에 커다란 영향을 미침[21)]

– 해외의 경우, 일정량의 전기를 생산하는 데 필요한 가스의 소매가격과 이와 동일한 양의 전기 사용에 대한 소매가격의 차이인 스파크 스프레드(Spark spread)를 비교해보면 (그림 2.15), 세계 연료전지 시장은 스파크 스프레드가 큰 서유럽 및 일본을 중심으로 연료전지 시장 확대가 먼저 이루어질 것으로 사료됨

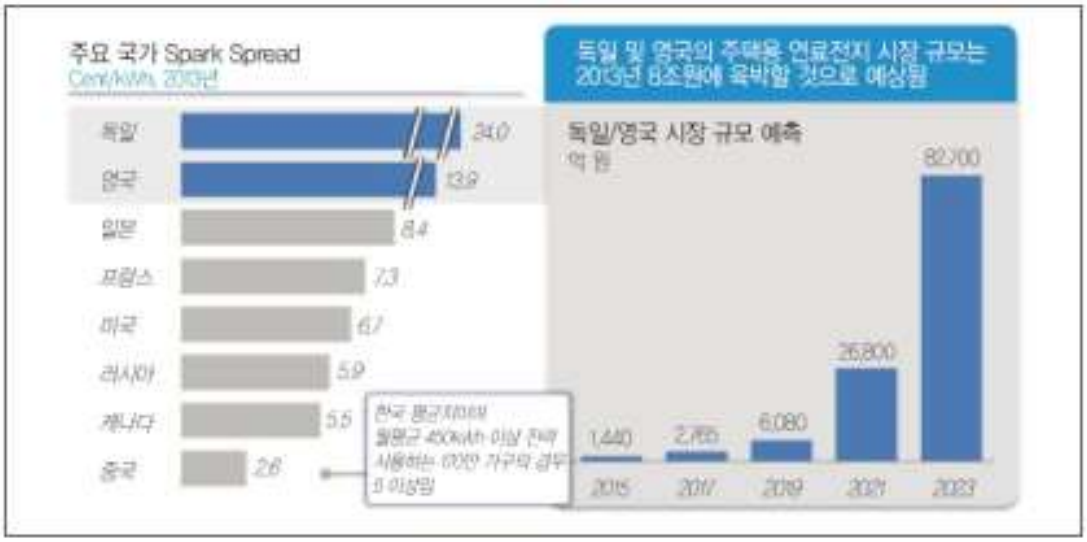
○ [그림 2.16]에서 알 수 있듯이, 전 세계 연료전지 시장은 최근 5년간 연평균 약 30%의 빠른 성장세를 보여 용도별로는 정지형(Stationary)이, [그림 2.17]을 통해 지역별로는 아시아 지역이 가장 빠른 수준의 시장 확대를 주도하고 있음을 알 수 있음[22)]

– 2014년 기준, 연료전지 시스템의 출하량은 지속적으로 성장하여 총 50,000대 이상을 보급하는 2012년에 비해 거의 두 배에 이르는 결과를 보이고 있음

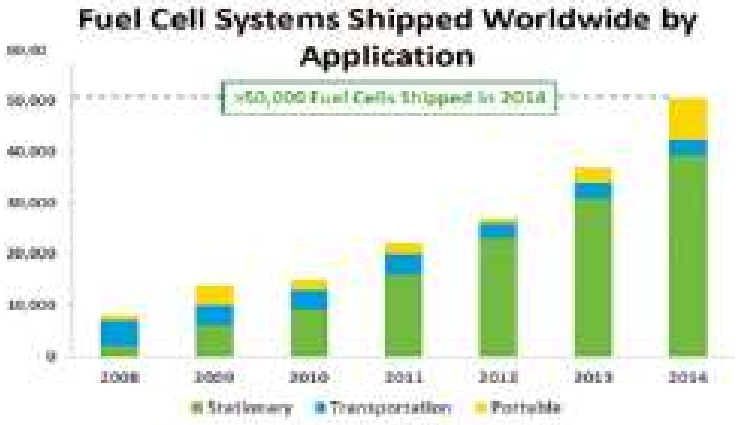
– 출하된 시스템의 총 전력 규모는 180MW 이상이며 정지형 시스템이 연료전지 산업을 주도하고 있음

– 지역적인 면에서 지난 5년간 아시아 국가 특히 일본과 한국이 연료전지 시장을 선도하고 있으며 2013년 출하는 53% 성장세를 보였고 2014년 75%로 급격히 성장했음

21) 두산 퓨얼셀
22) Navigant Research & E4tech (2014)

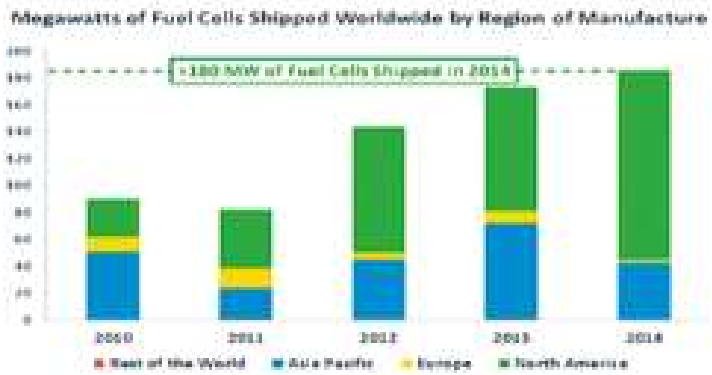


[그림 2.15] 주요 국가 스파크 스프레드 비교표



출처: Navigant Research & E4tech, 2014

[그림 2.16] 연료전지 용도별 출하량 / 용량(MW)



출처: Navigant Research & E4tech, 2014

[그림 2.17] 연료전지 나라별 출하량 / 용량(MW)

○ 2015년에 발표한 일본 후지경제 연구소의 전망에 따르면 해외 연료전지 시장은 2013년 1조원에서 2030년 64.9조원으로 약 65배 증가할 것으로 기대[23)]

- 용도별로는 연료전지 자동차 시장이 2013년 10억원 규모에서 2030년 48조원 규모로 48,000배 증가하여 최대 성장부문으로 예상
- 업무/산업용 시장은 2013년 0.7조원에서 2030년 6.8조원으로 9.7배, 가정용 연료전지 시장은 0.3조원에서 7.9조원 규모로 26배 성장을 전망하고 있음
- 연료전지 시장은 발전용을 주축으로, 2020년경 주택, 건물용에서 2030년 이후에는 수송용 시장이 주도할 것으로 예측[24)]

○ 미래의 수소연료전지 세계시장 전망에 대해서는 다양한 기관들이 내놓은 바 있지만, 발표 시기나 기관에 따라 그 차이는 매우 큼

- 미국의 파이크 리서치사에서는 연료전지 자동차의 2020년 누적 판매대수가 280만대에 이를 것으로 예측한 바 있음[25)]

[표 2.16] 글로벌 연료전지 시장 추이 및 전망 (단위 : 억엔)

출처 : 富士経済(2015.7), 2015年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望

	2014	2030	2013 대비
발전용	815	6,813	9.8배
가정용	419	7,910	24.8배
수송용	11	47,520	47,520배
구동용	61	830	55.3배
Portable/Backup	56	1,595	25.3배
휴대기기용	1	255	-
합계	1,363	64,923	59.3배

- 또한, 수소스테이션에 대한 예측보고서[26)]에서도, 2020년 경에 5,200개소 이상의 수소스테이션이 운영이 될 것으로 전망하고 있으며, 수소스테이션에 대한 투자도 연간 16억 달러로 10년간 총 84억 달러에 이르고, 수송용 수소 수요는 2010년 775톤에서 2020년에는 41.8만 톤에 이를 것으로 추산
- 이들의 분석에 따르면, 2020년의 수소 수요는 포크리프트가 기여하여 전체 시장의 36%를 차지할 것이며, 승용차가 33%, UPS 전원공급용으로 27%를 차지할 것으로 보

23) 세계 연료전지 기술 시장 장래전망, 후지경제
24) 2016 신재생에너지 백서
25) pikeresearch
26) pikeresearch 리포트

있음

○ 리서치앤마켓에서는 2014년 9월 보고서에서, 수소생산시장이 청정에너지를 요구하는 수요에 따라 연평균 성장률 5.9% 라는 가정 하에, 2019년에는 1,382억 달러에 이를 것이라고 추산[27)]

(1) 발전용 / 건물용 연료전지

○ 세계적인 발전시장의 흐름을 살펴보면, 미국, 일본을 중심으로 한 선진국들은 대규모 중앙 집중식 발전 방식에서 탈피하여, 소규모 분산 발전 형태로 옮겨가고 있는 추세

– 여러 종류의 분산 발전 방식을 비교하면, 가격 측면에서는 가스 터빈, 엔진 류의 발전 방식이 상대적으로 연료전지에 비해 우수하나, 효율 및 친환경성 측면에서는 연료전지가 상대적으로 우수

○ 발전용 연료전지 시장은 2015년을 시점으로 폭발적으로 성장하여 2019년까지 약 605MW가 설치될 것이며 연평균 약 31.3%의 성장을 전망[28)]

– 발전용 연료전지 시장은 미국 California 주가 시행하고 있는 자가발전 인센티브 프로그램 (SGIP)과 한국 RPS 정책에 의해 주도

– 미국의 FuelCell Energy와 Bloom Energy는 미국 연료전지 발전시장을 주도하며 California 주에 2013년까지 131MW를 보급하였으며 Connecticut 주에는 2013년 12월 14.9MW 발전소, 바이오매스 발전소에 5.6MW 연료전지 시스템을 설치

○ 발전용 연료전지의 평균용량 증대와 여러 수 MW급 프로젝트 추진 발표로 1MW급 이상의 연료전지는 조만간 세계 시장을 압도할 것으로 예상

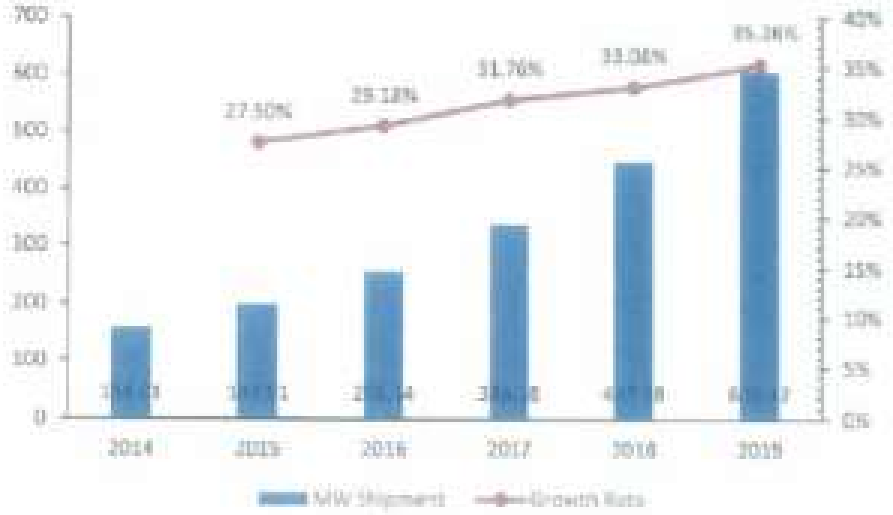
– 전 세계에 걸친 수요 성장으로 연평균 성장률이 약 50%로 증가하여 2012년에는 누적 출하량 3,500대에 도달할 것으로 전망



출처: Technavio Research, 2015

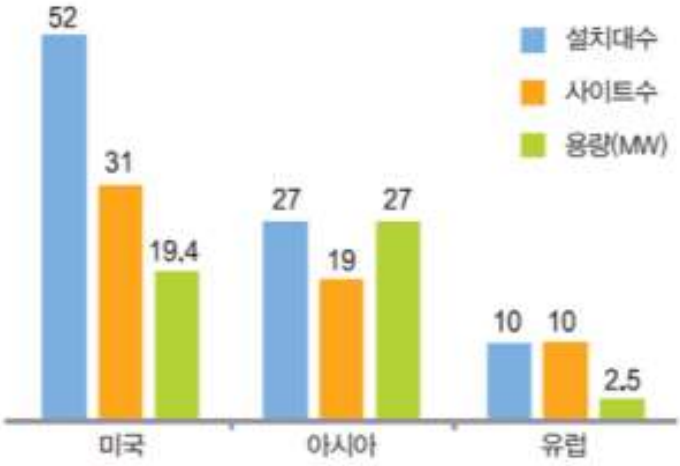
[그림 2.18] 분산발전의 종류 및 특징

27) researchandmarkets 리포트
28) Technavio Research 2015 리포트



출처: Technavio Research, 2015

[그림 2.19] 세계 분산발전용 연료전지 시장 전망(2014-2019)



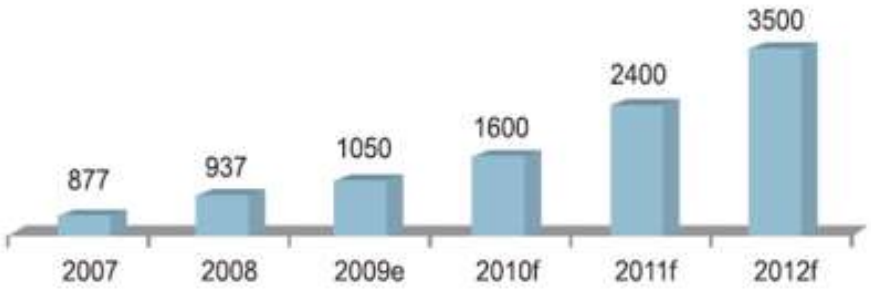
출처: FCE, 2010

[그림 2.20] 발전용 연료전지 시장 보급

○ Analdo FuelCells(이탈리아)는 MW당 1ton/hr CO2를 포집하는 MCFC를 설치 시, 1년 8,000시간 운전하고 CCS 중 5%를 MCFC가 처리하는 가정 하에 MCFC-CO2 포집설비 연계형 시장을 약 9GW/yr(약 27조원)으로 예상하고 있음

○ 건물용 연료전지 시장은 700W ~ 5kW급의 가정용, 5kW급 이상 상업용 시장과 보조전원용(UPS, APU)으로 크게 구분됨

- 건물용 연료전지 시장은 세계적 증가 추세를 이루고 있으며, 1~10kW급 건물용 연료전지는 다른 종류의 연료전지 보다 시장형성이 빠르게 진행되고 있으며 2009년까지 세계적으로 11,000대 설치를 돌파하였다고 알려져 있고 그 이후로도 일본과 한국 중심으로 지속적으로 설치보급대수가 증가



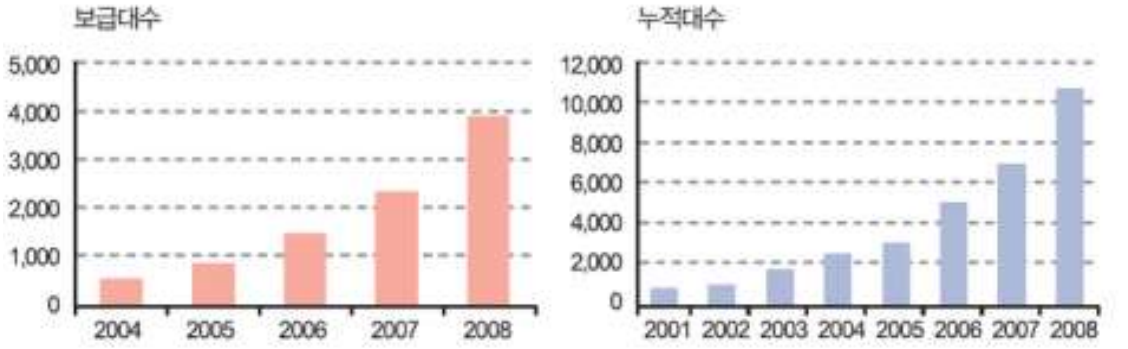
출처: Fuel Cell Today, RNCOS

[그림 2.21] 세계 누적 대형 고정형 연료전지 보급량(대)



출처: Korea-Italy workshop, 2010

[그림 2.22] MCFC : Potential Captive Market for CCS



출처: Fuel Cell Today, 2009

[그림 2.23] 세계 건물용 연료전지 시장 현황

○ 건물용 연료전지의 최대 시장인 일본의 경우 정부가 가정용 연료전지시스템을 핵심기술로 선정하여 기술개발과 보급에 많은 지원을 하고 있음[29)]

- 파나소닉, 도시바 등의 시스템 제조업체와 가스사업자들이 에너팜(ENEFarm)이라는

29) Green Tech. Horizon, 녹색기술센터

공동 브랜드로 시장에서 소비자에게 가스요금 할인과 매전수익이라는 인센티브를 도입

- 2015년에는 8월 조사 결과 일본 내 가정용 연료전지시스템의 보급 대수는 총 12만 5000대를 넘어섰으며, 2030년 까지 누계 250만대 보급을 목표치로 발표하였으며, 2023년에는 글로벌하게 주택, 건물용 시장 규모가 39조원에 이를 것이라고 예측

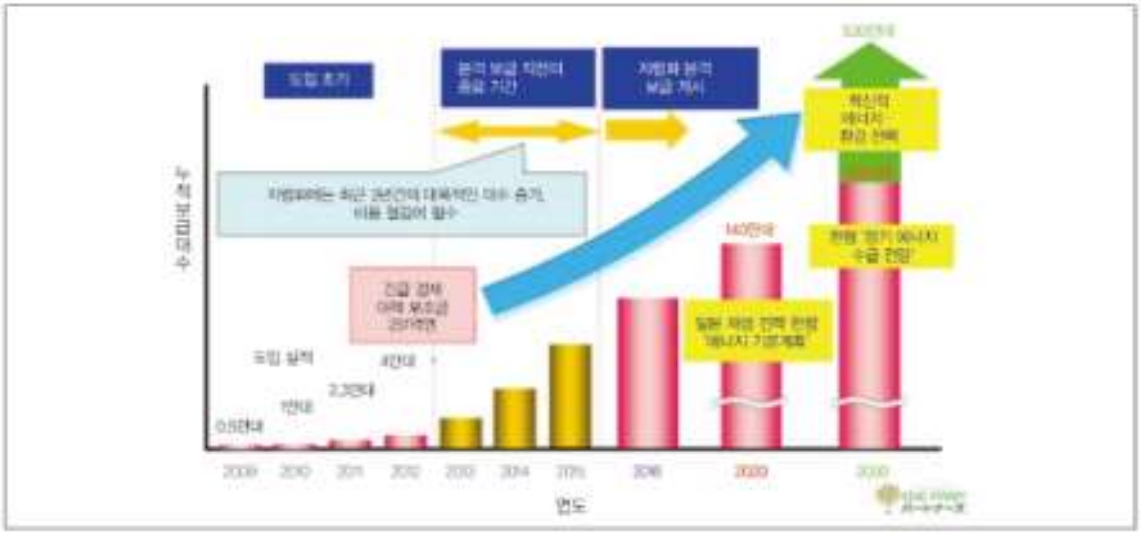
○ 유럽은 2012년 가정용 보일러를 대체할 목적으로 2015년에 연간 20만대 시장판매를 목표로 산업화를 준비 중에 있음

- 독일의 경우, 2006년 Callux Lighthouse 프로그램을 제정, 발표하고 2008년 투자를 시작으로 1~5kW급 가정, 건물용, 연료전지를 중점 보급하여 800여 대 설치했으며, 2013년에는 가정용 연료전지를 유럽 전 지역으로 확대한 에너필드(Ene. Field) 프로그램으로 영국과 프랑스, 이탈리아 등 전 유럽 지역 12개 국가가 참여하여 1,000여 대의 가정용 연료전지를 설치했으며, 독일의 Baxi사 등은 2015년부터 대량 양산을 통한 보급 준비 중에 있는 것으로 알려져 있음[30]



출처: Fuel Cell Today, 2009

[그림 2.24] 일본 PEMFC 가정용 연료전지 시스템



[그림 2.25] 일본의 가정용 연료전지 시장 정책

30) Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs

(2) 수송용 연료전지

○ 수송 분야의 연료전지는 각국의 친환경 자동차 정책에 의해 시장이 형성되는 분야로, 충전 인프라를 포함할 경우 시장에 미치는 파급력이 매우 클 것으로 기대[31)]

– 실제로 미국은 2020년 51mpf(21.7km/L) 및 2025년 56mpg(23.8km/L), 중국은 20202년 14.5km/L로 차량 연비 규제를 강화하고 있고, 유럽은 2015년 130g CO_2/km에서 2025년 95g CO_2/km로 온실가스 배출량 규제를 강화하는 추세



출처: 그린에너지 전략 로드맵, 2011

[그림 2.26] 자동차 CO_2 규제 및 연비기준 강화 추이

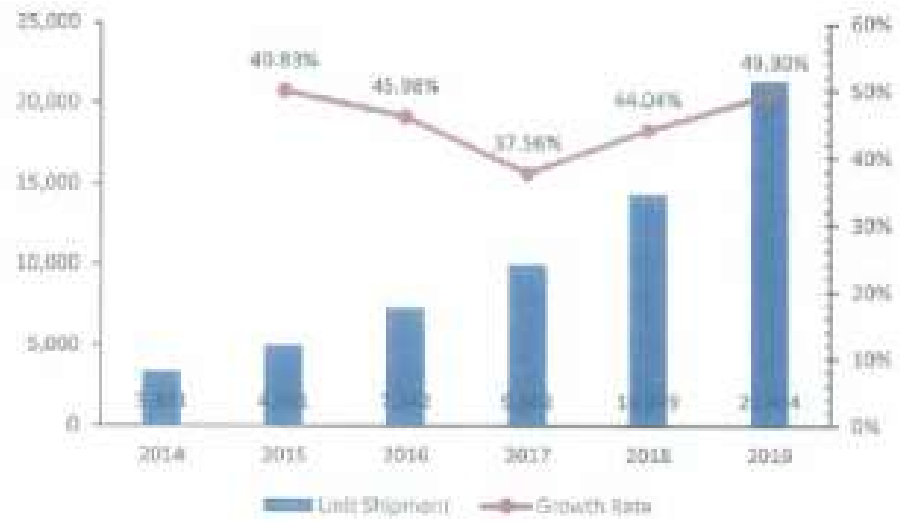
○ 연료전지 자동차 시장은 2020년경에 본격적으로 시작되고 2030년대에 급격히 증가하여 2040년까지 내연 기관 자동차 판매량을 넘어서서 2050년에는 전기자동차, 플러그인 하이브리드 차와 함께 시장을 삼분할 것으로 전망되며[32)] 지역은 주로, 북미, 서유럽, 아시아 태평양을 중심으로 형성될 것으로 전망됨[33)]

– 연료전지 자동차 시장은 양산시점인 2015년부터 연평균 25.9%로 증가하여 2030년 123조원에 이를 것으로 전망되나 부품 시장은 2007년 기준 4천억원 시장이 형성되어 지속적인 증가 추세에 있음[34)]

○ NHA에 따르면 2008년 말 기준으로 미국에선 61개의 수소 충전소(캐나다 포함시 76개호)와 190대의 연료전지 자동차(수소 내연 기관 포함시 210대) 및 12대의 연료전지 버스가 운행되고 있음

○ 유럽의 경우 약 36개 주요 도시/광역권 중심으로 자체적인 계획을 수립하여 연료전지 자동차 시범운행을 추진하고 있으며, 완성차 업체가 없는 국가들에서 수소충전소는 구축하였으나 연료전지 자동차 도입의 어려움을 호소하고 있는 상황

31) 한국자동차산업협회, 웹저널, 2016
32) IEA 450 Scenario, 2009
33) Green Car Congress, 2010
34) US Fuel Cell Council, 2007



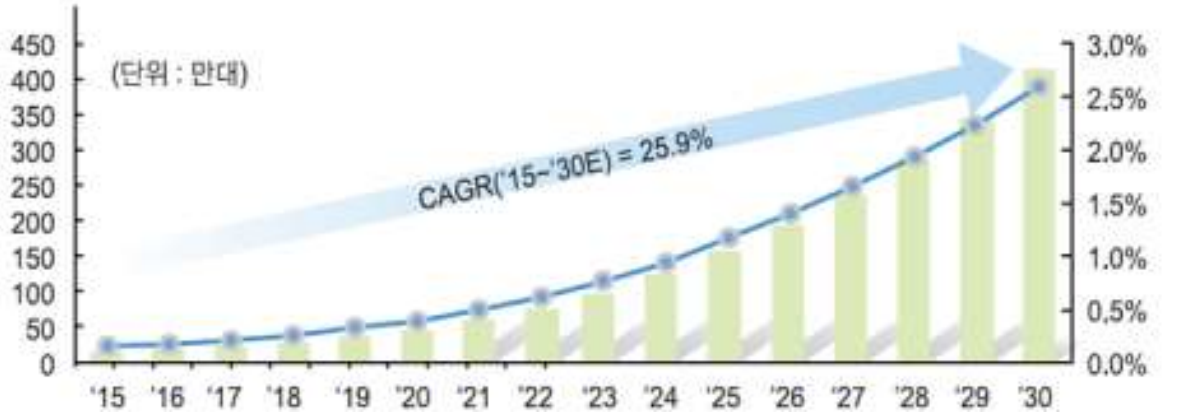
출처: Technavio Research 2015

[그림 2.27] 세계 수송용 연료전지 시장 전망(2014-2019)

[표 2.17] 2020년 연료전지 자동차 시장

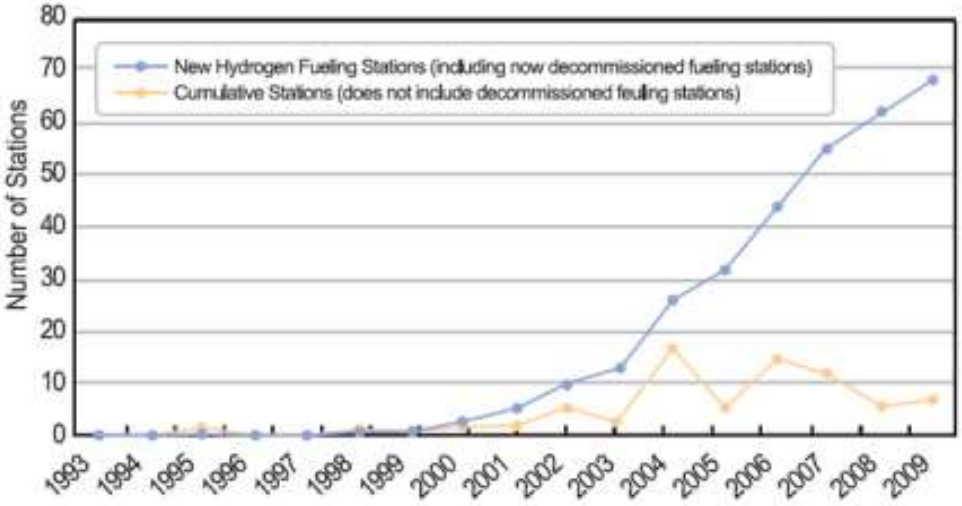
출처 : I&Company

지역	세계시장	유럽	아태	북미	미국	중국	독일
규모 (천대)	670	248	241	181	134	129	127
비율 (%)	100	37	36	25	20	19	19



출처: I&Company

[그림 2.28] 연료전지자동차 세계시장 전망



출처: The U.S Market Report, NHA, 2010

[그림 2.29] 미국의 수소충전소 현황



출처: 그린에너지 전략 로드맵, 2011

[그림 2.30] 유럽의 수소 인프라

○ 2008년 선박용 보조전원 세계 시장 규모는 연간 11.6GW 정도이며 소형 선박 등 레저용 보조전원(APU)으로 연료전지가 적용되기 시작하여 연간 100%이상의 성장을 이루고 있음

- 전 세계 선박용 보조전원 시장규모는 연간 70GW 정도로 연료전지를 이용한 발전 시스템 필요성이 증대되고 있음
- 독일 선급은 현 수준에서 선박용 연료전지 보조전원이 시장규모를 160GW로 전망하고 있으며, 핵심기술 확보시 연간 100조원 규모의 미래 선박엔진시장 선점이 가능하다고

전망

○ 대형 트럭, 소형 선박, 비행체, 지게차, 캠퍼, 요트 등의 보조 전원 시장은 연도별 100% 이상의 시장성장을 이루고 있으며 연료전지 연료 다변화 기술을 통한 단기시장 진입시 고수명, 친환경, 저소음이라는 장점으로 인해 신규시장 창출과 동시에 고부가가치 산업으로의 성장가능성이 높음



출처: Marine Propulsion Order Survey, 2008

[그림 2.31] 전세계 선박엔진 시장

다. 수소연료전지를 이용한 철도차량 국외 개발 사례 및 활용 현황

(1) 일본의 연료전지 하이브리드 철도차량

○ 일본의 철도회사인 JR 동일본은 2006년 연료전지와 축전지를 조합해 달리는 하이브리드 열차 주행시험을 처음으로 공개하였으며, 일본의 철도종합기술연구소가 개발중인 연료전지 열차는 축전지와의 하이브리드 방식으로 세계 최초의 하이브리드 열차임

○ 하이브리드 열차는 브레이크를 작동시킬 때 발생하는 에너지를 저장시키고 이를 가속시에 연료전지의 출력 부족에 따라 보충 활용하는 방식이며 이번 하이브리드 열차 시험차량은 1량으로, 차체 아래에 6개의 수소탱크와 2개의 연료전지, 그리고 지붕 위에 5개의 축전지를 탑재하고 있으며 하이브리드 열차는 최고속도 시속 100km로 시험주행에서는 시속 50km의 속도를 검증

[표 2.18] 일본 연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 전동차의 주요 사양

출처 : 세계최초의 연료전지 하이브리드 철도차량 개발, 한국과학기술정보연구원

최고설계속도	100km/h
전원방식	연료전지 및 배터리 하이브리드 : DC 155V
연료전지	고체 고분자형 120kW
연료전지 chopper 장치	승압 직류 전력 변환장치 800 → 1500V, 600kVA
하이브리드용 배터리	리튬이온배터리 36kWh, 360kW
배터리 충방전 장치	양방향 직류 전력 변환 장치 600V-1500V 360kW
주 전동기	3상 유도전동기 95kW 2대
수소탱크	Type III, 35MPa, 약 720L

○ 기존에 디젤 하이브리드 철도차량을 연료전지 하이브리드 철도차량으로 개조

– 디젤엔진과 발전기를 연료전지로, 경유탱크를 고압수소탱크로 교체함과 동시에 컨버터를 승압장치로 개조함

○ 에너지 관리 제어시스템은 차량의 가감속, 연료전지 발전량 및 축전지의 충방전량의 제어를 위해 연료전지, 축전지, 수소탱크, 승압장치, 인버터 등 각종 장치로부터 정보를 집약

○ 수소저장용기는 당시 일본의 법령 적합성과 취급성 등을 고려하여 35MPa 고압수소용기를 채용

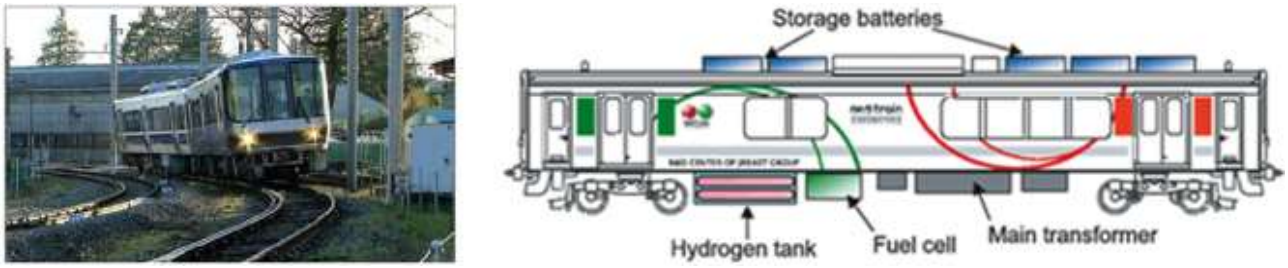
○ 연료전지 하이브리드 철도차량개발에 있어서 검토해야할 주요과제는 연료전지의 철도차량 적용가능성, 주행시의 고효율 최적인 에너지관리 제어수법의 확립, 수소누설에 대한 안전대책 평가, 수소공급 방식의 타당성과 장래의 공급방식 검토 등임

○ JR 동일본 회사의 경우 이미 수소연료전지 철도차량은 개발하였으나 수소충전소 등 인프라가 갖춰져있지 않은 상태에서 상용화하기 어렵다고 판단하여 수소충전소 개발에 집중

[표 2.19] 하이브리드화에 의한 예상 효과

출처 : 세계최초의 연료전지 하이브리드 철도차량 개발, 한국과학기술정보연구원

사양	하이브리드화 전	하이브리드화 후
차량수	1량	2량
편성출력	최대 120kW	최대 480kW
회생전력 유효이용	불가	최대 360kW까지 가능
에너지 효율	약 50%	약 65%
보조 전력	가선으로부터 받음	연료전지 및 배터리 이용
연비	1량 편성 시 7km/kg	2량 편성 시 5km/kg



[그림 2.32] 일본의 수소연료전지 시험 전동차 및 구성

(2) 중국의 수소연료전지 하이브리드 철도차량

○ 2015년 3월, 중국 칭다오의 시팡 공장에서 미래의 최첨단 환경기술 후보인 수소연료전지 추진 전철이 발표됨

○ 3분정도 수소를 충전하면 최고 운행속도 시속 70km/h 속도로 100km 주행이 가능

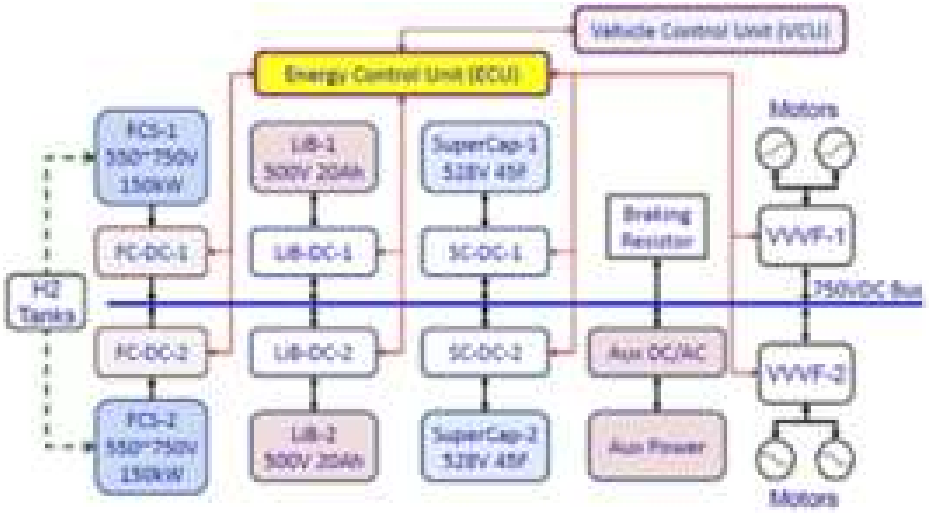
○ 중국의 수소연료전지 하이브리드 철도 차량은 2000년대 초중반에 개발된 일본의 수소연료전지 하이브리드 철도차량 시스템과 유사하게 제작되었음

○ 일본의 수소연료전지 하이브리드 철도차량과 비교하여 하이브리드용 배터리와 연료전지 용량이 2배 이상 증가하였지만, 고압수소탱크의 경우 기존과 동일하게 35MPa 압력으로 된 제품으로 구성

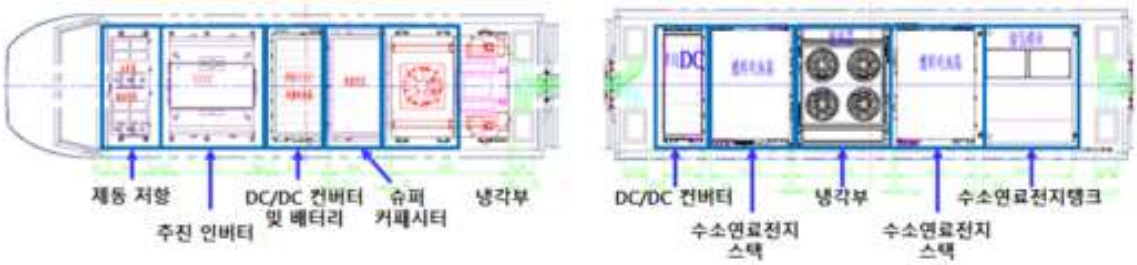
○ 그림에서 확인할 수 있듯이 중국 수소연료전지 하이브리드 트램은 750V 직류전압버스로 수소연료전지는 직류전압을 공급하고, 리튬이온배터리와 슈퍼커패시터 배터리는 공급과 회생이 가능하도록 구성하였고, 전동기는 VVVF 제어 기술로 동작하도록 구성

○ 충돌방지 시스템까지 갖춰져 있으나, 아직 항속거리가 짧고 관련 망을 추가로 완비해야 하는 문제점이 남아있음

○ 최초로 만든 3량의 수소트램 Skoda15T는 최대 380명까지 탑승할 수 있으며, 현재 시험 운행 중이고 향후 베이징과 상하이 도심 거리에서 운행할 예정



[그림 2.33] 중국의 수소연료전지 시험 트램제어 기술



[그림 2.34] 중국의 수소연료전지 시험 트램 구성

[표 2.20] 중국 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 트램의 주요사양

출처 : Fuel Cell Based Hybrid Power System Design for a Passenger Tram, 2016

최고설계속도	70km/h
전원방식	연료전지 및 배터리 하이브리드
연료전지	고체 고분자형 300kW (150kW X 2)
연료전지 chopper 장치	승압 직류 전력 변환장치
하이브리드용 배터리	리튬이온배터리 396V, 20Ah
슈퍼커패시터 배터리	528V, 48F
주 전동기	Traction motor (750V), VVVF 제어
수소탱크	35MPa, 약 10kg의 수소 저장 가능

(3) 미국의 수소연료전지 하이브리드 철도차량

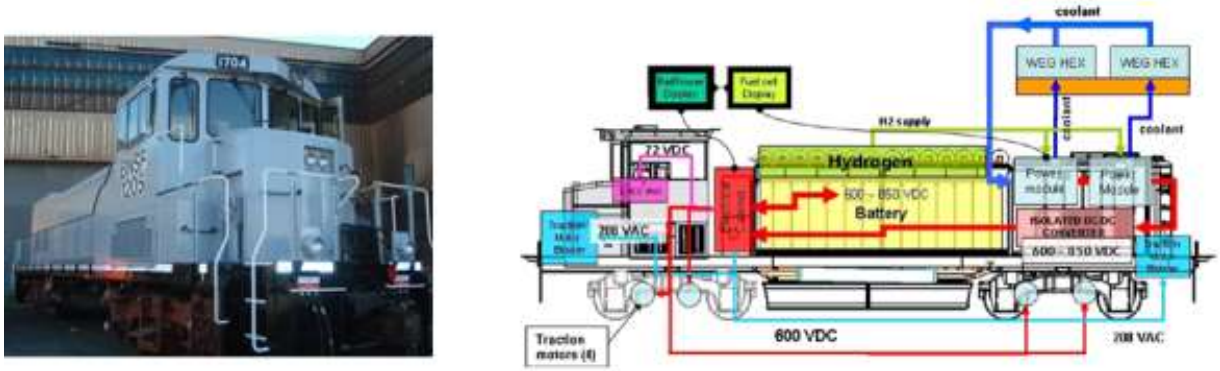
○ 현재 미국에서 진행 중인 가장 큰 하이드레일 사업은 미 국방부의 129톤 250kW의 연료전지-배터리 혼성 입환용 기관차이며 이 사업을 완성하기 위해 10개 회사가 컨소시엄으로 참여

○ 기관차의 설계는 이미 상업화되어 있는 디젤-배터리 혼성 입환용 기관차에 기초를 두고 진행하였으며 수소저장시스템은 기관차의 지붕에 350bar의 기압에서 작동하는 압축수소저장탱크로 구성

[표 2.21] 미국 수소연료전지 및 배터리 하이브리드 시험 기관차의 주요사양 및 성능

출처 : Fuel Cells for Rail Applications, 2016

Gross power 운전 범위	0 ~ 250kW	**최고설계속도**	64km/h
평균 Gross power	연료전지 및 배터리 하이브리드	**전원방식**	연료전지 및 배터리 하이브리드
평균 Net power	고체 고분자형 250kW (125kW X 2)	**연료전지**	고체 고분자형 250kW (125kW X 2)
평균 연료 사용량	승압 직류 전력 변환 장치	**연료전지 chopper 장치**	승압 직류 전력 변환 장치
연료 충전량	납축전지	**하이브리드용 배터리**	납축전지
평균 연료 보급 시간	양방향 직류 전력 변환 장치	**배터리 충방전 장치**	양방향 직류 전력 변환 장치
평균 구동 효율	Traction motor (600V)	**주 전동기**	Traction motor (600V)



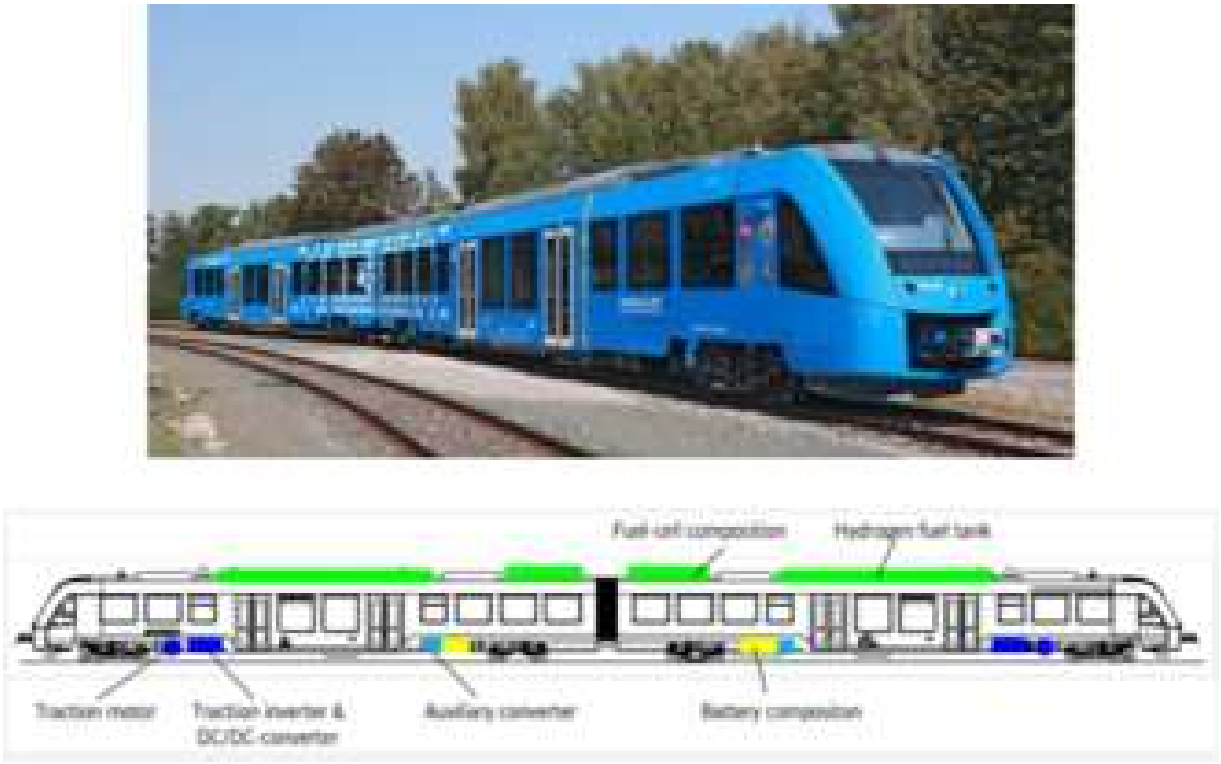
[그림 2.35] 미국의 수소연료전지 시험 기관차 구성

- 미국의 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 기존 디젤 배터리 하이브리드 차량을 기초로 개조하였으며, 최대 속도는 64km/h이고 하이브리드용 배터리는 납축전지를 사용하였으며 수소탱크는 Type III 35MPa로 구성
- 탑재된 연료전지는 평균 5.73kg/h로 연료를 소비하고, 구동효율은 최대 49%이며, 330마력으로 1MW 이상의 전력을 생산해낼 수 있음
- 철도 차량의 무게는 약 9,000kg이고, 최대 127톤의 무게를 운반할 수 있도록 설계
- 미 국방부는 이 시험용 연료 전지 기관차가 완성되면 민간 재난구조에 차량 동력원의 예비용으로 사용될 수 있을 것으로 계획

(4) 프랑스의 연료전지 하이브리드 철도차량

- 프랑스 기업 Alstom은 세계 최초의 무공해 열차를 공개하였으며, 디젤 기차에 견주어 동일한 성능을 가진 수소 연료 전지 Coradia iLint 지방 열차가 독일에서 디젤 기차를 대체할 예정
- Alstom은 수소 연료 전지 기술을 기반으로 한 여객열차를 개발한 최초의 철도 업체 중 하나이며 첫 번째 기차는 2017년 12월 Lower Saxony주의 Buxtehude-Bremerv□rde-Bremerhaven-Cuxhaven 구간에서 운행을 시작할 예정
- Coradia iLint는 기존의 Coradia 디젤 철도와 같은 시스템을 채택하고 있어, 디젤 발전기를 수소연료전지 스택으로의 전환을 통해 디젤철도차량을 수소연료전지 철도차량으로 직접적으로 대체가 가능함
- Coradia iLint 기차는 최고 시속이 140km인 최신 Coradia iLint 디젤 기차와 비교할 때 가속과 브레이크 성능 그리고 승객 수용 등의 성능에서 별 차이가 없음
- Coradia iLint는 수소저장탱크를 철도 지붕에 장착했으며, 차량 1량당 약 94kg의 수소를 저장하고 있으며 한 번 충전으로 하루 종일 또는 약 700km 주행이 가능함
- 가속 단계에서 연료전지의 출력은 주로 인버터를 통해 차체 구동 전력 공급에 사용되고 보조 컨버터를 통해 내부 시스템 전력에 사용되며 이 단계에서 리튬이온배터리가 가속을 끌어올리기 위해 사용

○ Coradia iLint이 사용하고 있는 수소연료전지 스택은 Hydrogenic 사의 제품을 채택하고 있으며 향후 협력 파트너쉽을 지속적으로 연계 할 예정



[그림 2.36] 프랑스의 수소연료진지 시험 기관차 구성

2. 국내 시장동향 및 전망

가. 신재생 에너지 분야

(1) 태양광

○ 국내 태양광 시장 규모는 [그림 2.37]에서 보듯이 2015년 설치용량 1GW로 세계 7위를 기록했으며, 또한 표 [표 2.22]에서 보듯이 누적설치용량은 약 3.4GW로 짧은 기간에 크게 성장해 왔음[35)]

- 신재생에너지 의무할당제(RPS, Renewable Energy Portfolio Standard)가 시작된 2012년부터 빠른 속도로 확대되었으며, 2013~2015년에 설치된 태양광 발전의 90%이상이 RPS로 설치되어 보급정책에 따른 시장조성이 커다란 기여를 한 것을 알 수 있음
- 또한 2013년에 시작된 태양광대여사업이 에너지신산업의 일환으로 2015년부터 본격적으로 확대되어 약 8,800가구에 실시되었으며, 2016년에는 1만 가구를 목표로 진행 중

35) IEA PVPS 2016



출처: IEA PVPS 20

[그림 2.37] 2015년 태양광발전 연간 및 누적 설치용량

[표 2.22] 연도별 국내 태양광 보급용량

출처 : 2016 신재생에너지 백서

년도	사업용	자가용	합계	년도	사업용	자가용	합계
~2005	13,522	1,462	12,060	2011	42,983	35,835	78,818
2006	9,071	13,251	22,322	2012	232,978	62,180	295,158
2007	28,842	16,505	45,347	2013	467,422	63,295	530,720
2008	259,110	16,555	275,665	2014	857,353	68,910	926,263
2009	142,657	24,181	166,838	2015	924,239	87,233	1,011,472
2010	92,350	34,295	126,645	합계	3,058,467	434,333	3,492,770

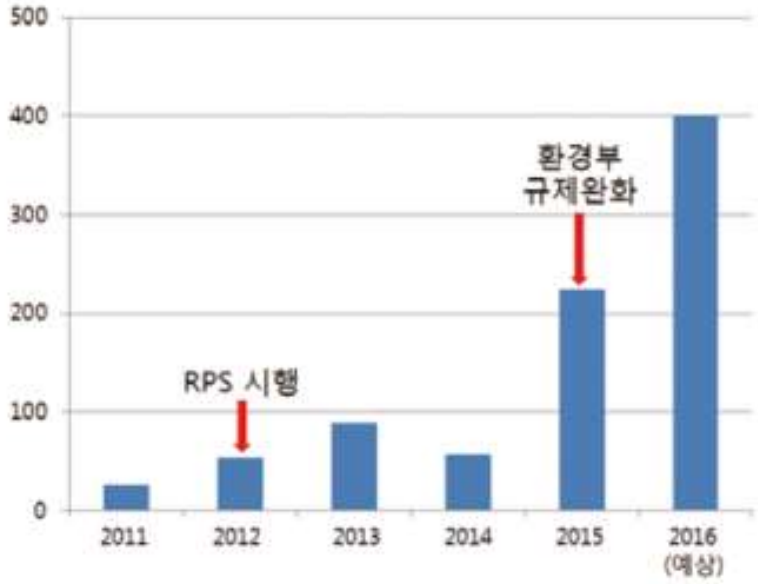
(2) 풍력

○ 2015년 국내 풍력 신규 설치용량은 224.25MW로서 전년 대비 5배 이상 성장하여 사상 최대 실적을 달성[36)]

- 2012년에 도입된 RPS 제도를 통해 시장 성장률이 증가하였고, 2014년 규제완화를 통해 2015년 또 다시 한 번 풍력시장이 성장의 발판을 마련한 계기가 되었음
- 2014년 10월 환경부가 생태자연도 1등급지에 대한 풍력발전단지 개발 규제와 개발 시 변형되는 지면의 평탄성(지형 변화지수)에 대한 규제를 완화함에 따라 2015년 사상 최대의 실적을 달성하였으며 2016년에는 추가적으로 약 400MW의 풍력발전단지가 설치될 것으로 예상

36) 2016 신재생에너지 백서

- 2015년 전력시장 통계(전력거래소)에 따르면 2014년, 1,135GWh이던 풍력발전 전력거래량이 2015년 1,332GWh로 약 17.4%로 증가하였으며, 전체 전력거래량의 7.5%를 풍력발전이 점유하였음



출처: 2016 신재생에너지 백서

[그림 2.38] 국내 풍력발전 신규 설비용량(단위 : MW)

(3) 수력

○ 우리나라는 연평균 강수량이 1,245mm로써, 비교적 강수량이 풍부하고 전국토의 2/3가 산지로 구성되어 있어, 지형적 및 수문학적으로 수력자원 부존량이 많은 편

- 그러나 최근 수력 자원 활용의 필요성이 증대되고 정부의 전력매입단가의 현실적인 조정, 수차 제작기술의 국산화와 성능 향상을 통한 효율 증대 기술의 확보 등 신재생에너지개발 촉진 및 지원 정책 등으로 수력 잠재량에 대한 개발 여건이 유리하게 조성되고 있음

○ 최근 소규모 수력개발은 기후변화로 상징되는 환경 위기와 고유가로 대표되는 자원위기를 동시에 직면함에 따라 전 세계적으로 그 개발이 중요하게 부각되고 있음

- 2012년 1월 신재생에너지 공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate) 및 전력판매에 따른 국내 소수력 수차제작 재정적 보상, 개발단가의 지속적 하락 등으로 개발여건이 양호해지고 있음
- 이로 인해, 발전회사 뿐만 아니라 지자체 또는 민간 등의 소수력 발전의 참여여건이 크게 개선되고 있음
- 최근 국내 소규모 수력개발 추진 현황은 2012년 ~ 2014년까지 전기사업 허가를 신청한 개발 사업은 44개소에 설비용량은 9,381kW로 이중 18개소는 농업용 저수지를 활용한 개발이 40%를 차지

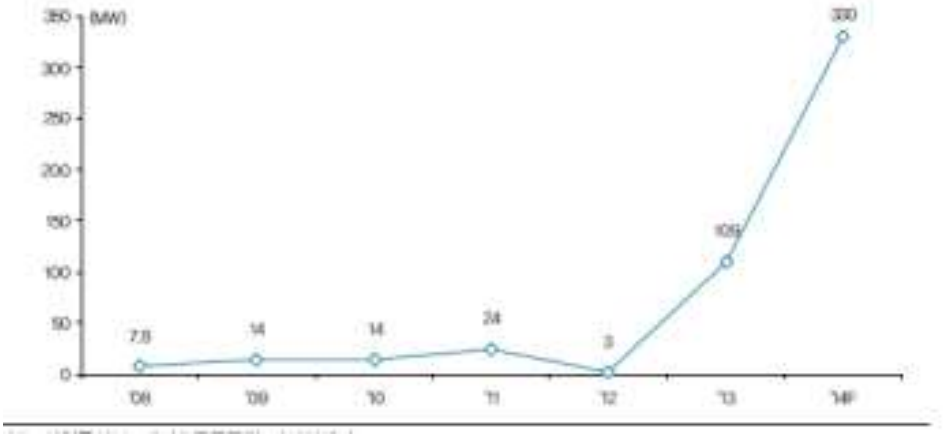
- 2014년 이후 2개월간 전기사업 허가를 신청한 건수는 11개소 826kW로 10%정도 증가했으며, 신청건수의 9개소는 하수처리장의 처리수를 이용한 저낙차 초소형 수류식 수차발전설비로 국내에서 개발된 제품이 적용되고 있음

나. 수소연료전지 분야

○ 정부는 2003년 8월 연료전지 분야를 차세대 성장 동력의 하나로 선정하고 2011년 세계 3위 기술 보유국 및 시장 점유율 20% 달성을 목표로 본격적인 투자를 계획[37)]

○ 국내 연료전지 시장은 2014년을 기준으로 총 보급량 199.4천 톤 규모로 최근 5년간 연료전지 보급량은 빠르게 증가[38)]

- 그 비중은 신재생에너지 전체 보급량의 2013년 1.2%에서 2014년 1.7%로 비중이 전년대비 62.9% 증가하였으며, 2011년 전체 신재생에너지 공급량의 0.8%에서 103% 증가하고 발전량의 경우 2013년 전체 신재생에너지 발전량의 2.7%에서 2014년 3.5%로 증가



출처: 산업통상부, 메리츠종금증권 리서치센터

[그림 2.39] 국내 연료전지 설치량 추이

- 특히 RPS 정책에 힘입어 발전용 연료전지 누적설치량이 170MW 수준에 도달하였고 평균 이용률 90% 이상 유지하고 있어 신뢰성이 높은 신재생에너지 수단임을 입증
- 주택, 건물용 연료전지의 경우 주택지원사업을 중심으로 가정용 연료전지 열병합 시스템의 보급이 이루어지면서 1kW급 소형 PEMFC 누적 설치량은 3천대 수준으로 보조금 시장에 전적으로 의존하는 상황으로 정책 시장 규모가 작고 시장 성장률이 낮아 산업체의 가격저감 속도가 낮은 편

37) 연료전지 시장현황과 전망, 한국에너지공단
38) 2016 신재생에너지 백서

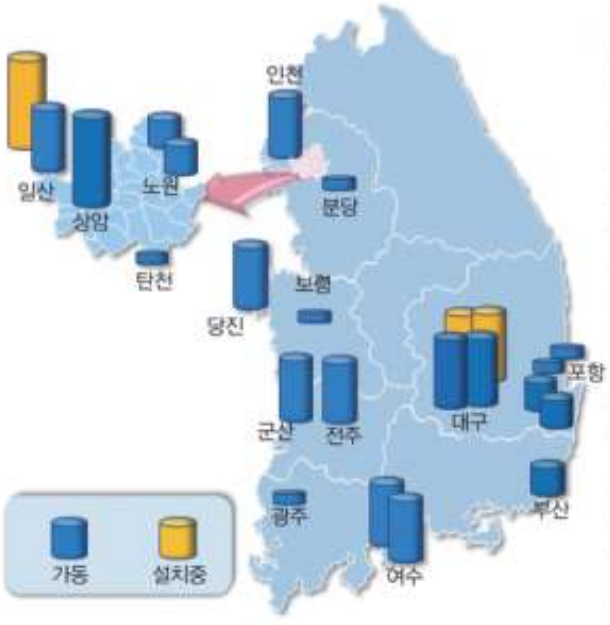
(1) 발전용 / 건물용 연료전지

○ 정부는 2010년 12월 제 5차 전력 수급 기본 계획에서 2024년까지 연료전지 발전 설비 660MW도입을 반영하여 공고하였으며, 서울시는 2009년 <저탄소-녹색성장 마스터플랜>을 수립 발표

- 서울시는 2030년 까지 신재생에너지의 47.6%(700MW 규모)를 수소연료전지로 보급하고, 이중 600MW를 도심형 및 분산 발전용 연료 전지로 설치할 계획

○ 분산 발전용 MCFC 시장은 발전 차액 지원 제도를 통하여 2006년 남동 발전을 시작으로 미국 FCE 제품을 보급하여 2010년 현재 전국적으로 총 16개소, 약 40MW가 보급되어 안정적으로 가동 중이며, 향후 급속한 시장 성장이 예상됨

- 2013년 국내 발전용 연료전지 설치 용량은 109MW로 2012년 3MW 대비 폭발적으로 증가하였으며[39] 발전용 연료전지 설치량은 2014년에도 고성장을 이어갈 전망



설치장소	가동일	용량
남동발전(경기분당)	'06.11	250 kW
포스콘(경북 포항)	'08.3	300 kW
포스코파워(경북 포항)	'08.8	2.4 MW
HS홀딩스(전북 전주)	'08.9	2.4 MW
나루라파워(전북 군산)	'08.9	2.4 MW
중부발전(충남보령)	'08.5	300 kW
SH공사(서울 노원)	'09.5	2.4 MW
에이아울촌(전남 여수)	'09.10	4.8 MW
GS EPS(충남 당진)	'09.10	2.4 MW
동서발전(경기 일산)	'09.10	2.4 MW
포스코파워(인천)	'09.11	2.4 MW
부산건설 (부산하수처리장)	'10.5	1.2 MW
SH공사(서울 상암)	'10.9	2.4 MW
TCS1(대구성서공단)	'10.9	5.6 MW
TCS1(대구성서공단)	설치중	5.6 MW
동서발전(경기 일산)		2.8 MW

출처: 포스코파워

[그림 2.40] 포스코파워의 MCFC 설치 현황

○ 공공건물 이용 의무 확대 및 신재생 건축물 인증 제도 도입에 따라 신재생에너지 중 효율 및 이용률이 가장 높고, 설치 면적이 작은 연료전지 발전 시스템의 도입이 확대될 것으로 전망(시장 규모 60MW/년), 또한 연료전지 설치 시 산업체 및 건물의 비상 발전기를 대체하는 관련 규정 개정이 검토 중(시장 규모 75MW/년)

- 국내 전력 시장 중 건물용 연료전지 적용 잠재 가구는 1,640만 호이며, 2012년까지 1만 호 시범 보급사업으로 시장 진입이 시작되어, 2020년에는 200만 호 이상으로 확대

39) 메리츠 연료전지 분석 2014

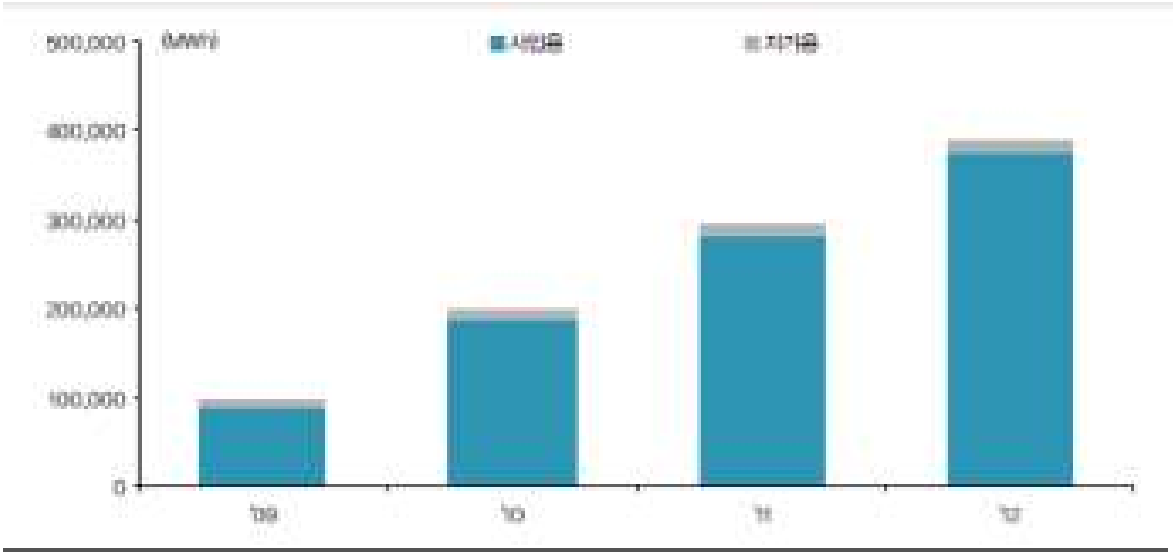
될 것으로 예상

○ 가정용 연료전지는 그린 홈 100만 호 보급 사업, 그린 빌리지 사업 등 정부 지원 사업 시행으로 연료전지 분야에서는 처음으로 사업화 진입. 일반 가정, 건물, 시설물 등에서 2010년에 200여 대가 설치 완료됨(약 200억 시장 형성), 2011년 300여 대, 2012년 500여 대가 설치될 예정

- 국내 건물용 연료전지 시장은 정부의 지원 아래 기술 개발을 통한 초기 경쟁력을 확보 후 자체 시장이 형성될 것으로 전망

○ 국내 가정용 연료전지 시스템 개발에 나서는 곳은 한국가스공사를 비롯해 업체로는 퓨얼셀파워, GS 퓨얼셀, 대구도시가스 등이 있으며 연구소로는 한국에너지기술연구원이 있음

- 기업과 연구기관들의 성과를 발판으로 정부는 가정용 연료전지의 내구성 확보와 초기 시장 형성을 위한 <가정용 연료전지 모니터링> 사업에 2008년까지 사업이 410억원을 투입할 계획이며 이로써 시장창출을 조기 유도하고 제품의 내구성 확보와 단가인하를 유도하는 방향으로 전개될 전망[40]



출처: 에너지관리공단, 메리츠종금증권 리서치센터

[그림 2.41] 국내 연료전지 발전량 추이

(2) 수송용 연료전지

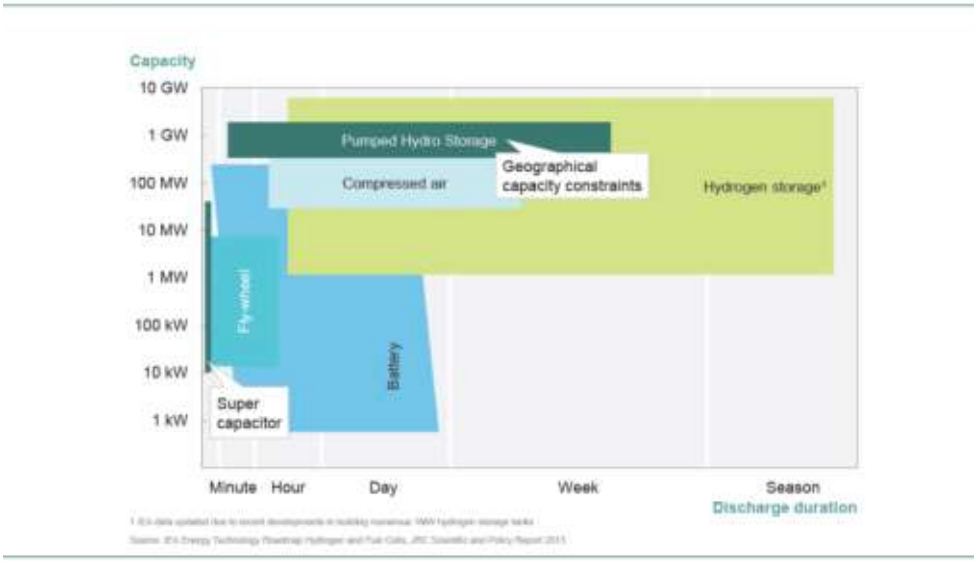
○ 수송분야에서의 연료전지는 다른 저장매체(슈퍼 커패시터, 이차전지, 배터리 등)에 비해 높은 저장 용량과 긴 저장 지속 기간을 가지고 있어 기존의 저장매체의 단점을 극복할 수 있어 수송용 연료전지에 대한 다양한 연구가 활발히 진행 중[41]

○ 2015년 글로벌 그린카 기술 4대 강국 달성을 위한 범 정부 차원의 그린카 발전 로드맵

40) 가정용 연료전지 모니터링 사업, 한국에너지공단
41) Hydrogen Council, 2017

이 수립되어 연료전지 자동차는 2015년까지 스택을 국산화하여 2015년 중형차를 양산하고 2018년까지 연료전지 버스를 개발하고 2019년에 양산함으로써 연료전지 자동차의 시장 진입이 본격적으로 추진될 것으로 예상

- 2006년 8월 수소 연료전지차 모니터링 사업을 착수하여 수도권, 제주권, 충청권, 전라권, 경상권 등 5개 지역에서 현대자동차, 동덕산업가스, SPG케미칼, 한국가스공사, GS칼텍스, 엔지비, KIST, 울산대, 건국대가 참여하여 서울(하월곡, 양재), 울산, 여수, 제주에 설치한 5기의 수소 충전소 및 인천과 서울(신촌)의 수소 충전소를 포함한 총 7기의 수소 충전소를 운영하여 승용 연료전지 차 30대와 연료전지 버스 4대의 운행이 2010년 12월까지 실시되었으며, 이를 확대하여 2011년 11월까지 총 100대의 연료전지 차와 울산(350bar/700bar), 서울(신촌, 양재, 상암, 하월곡)의 수소 충전소 6기를 운영하는 실증 사업 실시 중



출처: Hydrogen Council, 2017

[그림 2.42] 에너지 저장매체 종류별 용량 및 저장기간

[표 2.23] 연료전지 자동차 시장 규모

출처 : 2016 신재생에너지 백서

시장 규모	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030	2035
국내	830	830	3,659	3,659	3,659	5,402	8,117	32,470	45,800	53,530
국외	2,600	78,000	68,727	68,727	175,091	254,117	338,823	847,059	3,388,236	6,211,764

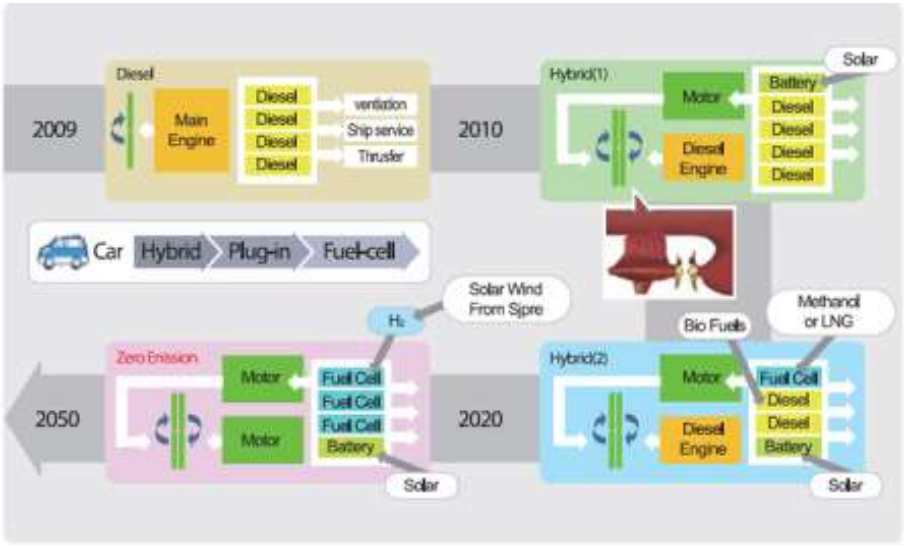
○ 현대자동차는 2011년과 2012년에 걸쳐 연료전지 자동차의 일련의 실증을 마치고, 2012년에 9월 ix35 Fuel Cell을 공개하였고 2013년부터 연료전지 자동차 연간 생산

규모 1,000대의 준양산라인을 세계 최초로 구축하였으며 향후 2015년에는 그 생산 규모를 연간 10,000대 이상으로 계획하고 있음

- 국내 수소연료전지 자동차 시장은 약 8천억원 규모에 이를 것으로 전망되고 있음

○ 2016년 선박 해양 환경 오염 규제로 인하여 선박 해양용 연료전지 시장이 활성화되고, 선박 해양용 연료전지 기술이 상용화될 경우 20조원 규모의 국내 연료전지 엔진 시장의 형성이 가능함

- 국내 조선 산업은 그간 세계 시장 점유율 1위를 지켜왔으며, 우리나라 5대 수출 업종으로 고용 및 부가가치 창출이 높음
- 2020년 전 세계 선박 엔진 시장 규모는 20조 규모이며, 이중 국내에서 건조되는 선박의 물량은 40% 수준으로 예상되며 선박 해상용 연료전지 시스템의 개발은 연간 50조원 규모의 선박 기자재 시장의 진출 기회를 제공할 것으로 기대됨



출처: Annual marine propulsion conference 2009

[그림 2.43] 선박/건조 운항 패러다임의 변화

[표 2.24] 선박/건조 운항 패러다임의 변화

출처 : Annual marine propulsion conference 2009

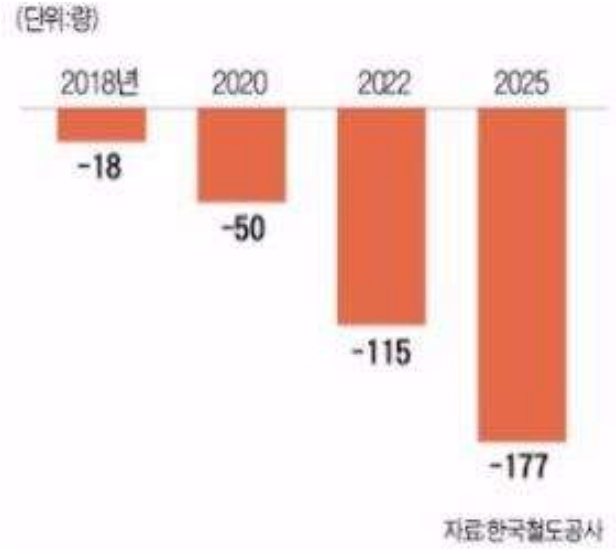
현재	독점적	추진방식	기계
		동력장치	디젤
		사용연료	중유
2020	다양화	추진방식	기계+전기
		동력장치	디젤, Fuel Cell G/T
		사용연료	LNG(NG), 메탄올 등
2050	수소	추진방식	전기
		동력장치	Fuel Cell
		사용연료	H2

다. 디젤기관차

○ 디젤기관차 기대수명은 25년으로 현재 기대수명을 초과한 디젤기관차 26대가 운행중에 있으며, 2022년 이후 92대의 디젤기관차가 추가적으로 기대수명을 초과할 것으로 예상

○ 국가 비상사태 대비계획인 ‘충무4600’에 의해서 의무적으로 국가에서 의무적으로 보유해야하는 독립동력원기관차로 현재 디젤기관차 227대를 최소보유수량으로 결정

– 국토교통부는 2014년 철도기술연구원에 ‘전시 디젤기관차 소요량’ 연구 용역을 의뢰해 이 같은 수량을 결정



[그림 2.44] 비상시 국내 디젤기관차 부족 수량

○ 현재 운용되는 디젤기관차의 대부분은 사용되기 시작한지 15~19년, 20~24년이 지난 차량으로 향후 5년부터 기대수명이 초과한 디젤기관차 대체를 위한 예산이 집행될 것으로 예상

– 2017년 한국철도공사(코레일)에 대한 국정감사에서 노후 디젤열차 교체를 위해 서둘러 대체 예산을 편성해야 한다는 지적

차종	기대수명 (년)	보유량	차령별 현황 (6월말)							1량당 가격 (억원)
			0~4년	5~9년	10~14년	15~19년	20~24년	25~29년	30년 이상	
디젤기관차	25	287	25	-	26	118	92	13	13	5,750
디젤동차	20	169	-	-	-	28	98	43	-	951
전기기관차	30	179	33	82	55	2	-	2	5	6,400
전기동차	25	2,528	378	394	546	467	734	9	-	1,371
객차	25	921	-	-	99	386	435	1	-	490
화차	30	10,901	88	269	2,216	3,560	3,026	1,742	-	81

* 출처 : 한국철도공사 제출 자료.

[그림 2.45] 한국철도공사 일반철도 운용현황

○ 정부는 미세먼지 농도개선을 위한 대책으로 노후경유차 운행제한제도를 마련하여 2019년도 시행을 목표

– 디젤기관차(현재 총 233대)는 1대당 경유차 3,000대 분량의 미세먼지 배출

– 2016년 6월 3일 ‘10년 내 현재 유럽 주요도시 수준까지 미세먼지 농도 개선’의 목표로 국내배출원 감축, 미세먼지 저감 신산업 육성, 주변국 협력, 예·경보 혁신 등 4대 부문 100대 과제를 담은 ‘미세먼지 특별대책’을 확정



[그림 2.46] 6.30 특별대책과 보안방안

– 현 정부도 미세먼지 관리 종합대책으로 미세먼지 사각지대인 경유철도차량에 대해 배출허용기준 신설 (´17년「대기환경보전법」상 근거조항 마련 후, ´18년 배출허용기준 신설)을 계획

○ 향후 디젤 디젤기관차 대체를 위해 친환경성을 갖는 독립동력원기관차의 수요가 발생한 것으로 예상

3. 결론

가. 국외 시장분석 결론

○ 2015년 사상 처음으로 개도국의 재생에너지(태양광, 풍력, CNG, 수소연료전지 등) 투자 총액이 선진국의 규모를 초과하였으며, 중국, 인도, 브라질 등은 2014년에 비해 19% 늘어난 1,560억 달러를 재생에너지 분야에 투자하는 등 세계적으로 재생에너지 시장 전망이 밝다고 볼 수 있음

– 연료전지는 다른 재생에너지원 (태양광, 풍력, 수력 등)에 비해 수송용 에너지원으로써의 활용 가능성이 크게 기대되어 수송부문의 연료전지 시장이 크게 성장될 것으로 예상되고 있음

○ 연료전지의 세계시장 규모는 연간 약 20%의 성장률을 나타낼 것으로 예상(SBI energy research, 2010)되고 있으며 2025년에는 약 650억 달러로 성장이 예측(후지경제, 2011)되고 있음

– 특히 자동차용 연료전지 분야는 약 308억 달러 규모로 큰 성장이 예상되며 가정용은 164억 달러, 산업 및 업무용 연료전지 시스템은 106억 달러로 전망되고 있음

– 가정용 연료전지는 일본을 선두로 상업화 단계에 진입했으며, 발전용 연료전지 또한 일본 정부 지원제도 아래 시장진입 단계임

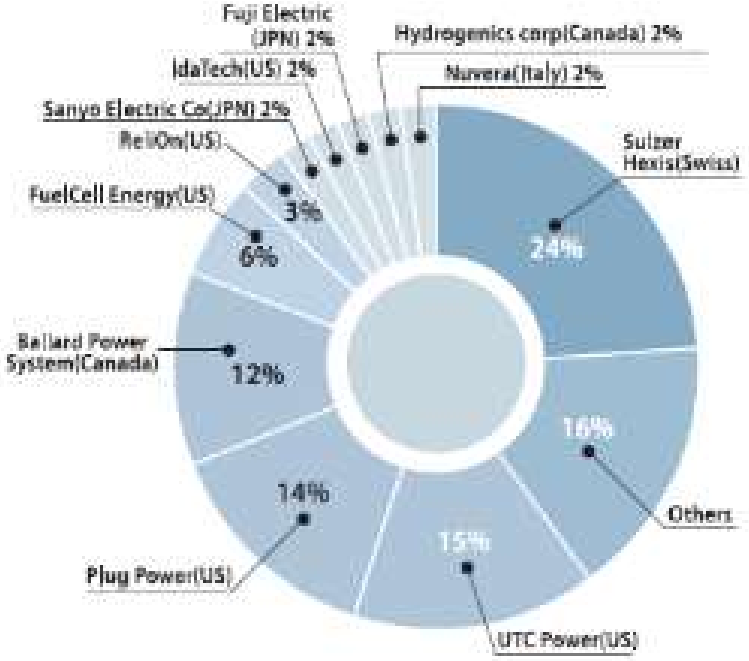
○ 미국 네비건트 리서치에 따르면, 세계 연료전지자동차 시장은 2020년경 39만 대에 이를 것으로 전망

– 도요타가 2014년 말 세단형 수소연료전지 자동차(미라이)를 출시하면서 관련 시장이 경쟁시대를 맞았고, 세계적 자동차기업도 2017년부터 2020년까지 수소연료전지 자동차 모델의 출시를 준비하고 있음



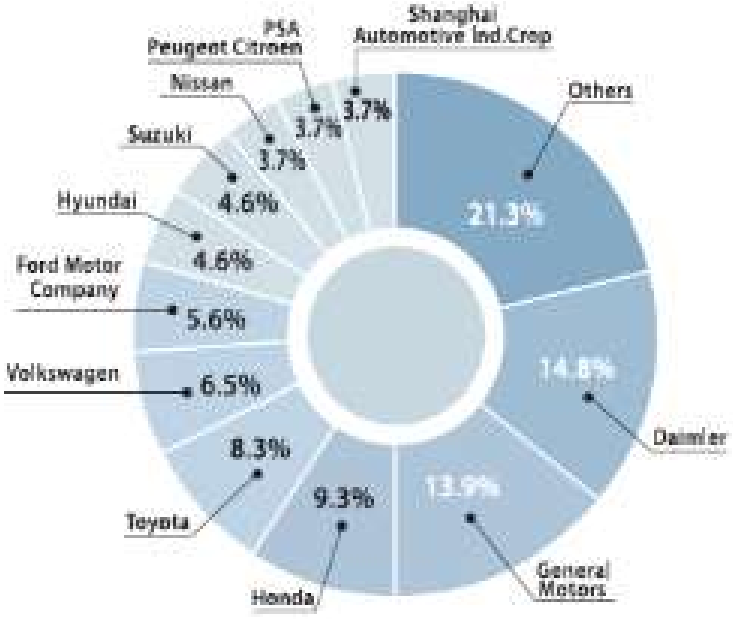
출처: Technavio Research, 2015

[그림 2.47] 세계 연료전지 시장 전망



출처: 2010 Global Market Direct

[그림 2.48] 세계 연료전지분야 시장 점유율



출처: 2010 Global Market Direct

[그림 2.49] 자동차용 연료전지분야 시장점유율

○ 미국은 수소연료전지 시장은 가장 큰 목표를 수송용, 정치형(고정형) 연료전지시스템 기술을 구축하고 시연하는 것에 두고 있어 지속적인 시장 성장이 전망됨

– 에너지부 DOE 발표에 의하면, 수송용 연료전지 시스템 비용은 2013년 kW당 55달러

로 2020년까지 최종적으로 kW당 30달러로 비용을 줄이는 것을 목표로 하고 있음

○ 유럽은 이산화탄소 배출 규제 강화에 따라 수송용 수소연료전지 시장이 크게 형성될 것으로 기대되고 있음, 그에 따라 유럽 각국은 전역에서 점진적으로 수소충전소를 늘려나갈 계획으로 수소 인프라 시장의 경쟁력을 확보하고 있음

- 독일은 2015년 5월 기준으로 45개소의 수소충전소가 설치되어 있으며, 50개소의 추가 설립 부지를 확정
- 프랑스의 경우 수소연료전지는 자국의 제2 산업화 계획 중 친환경 수송 분야에 포함되며, 이에 따른 정책을 수립하고 목표를 설정한 상태

○ 유럽은 11개국에 걸쳐 가정용 연료전지 열병합시스템 1000대를 보급하는 에너필드 프로젝트 전개를 통해 적극적인 시장 참여 유도

- 이 프로젝트는 30개 이상의 전력회사, 건축회사, 지자체가 참여해 시장에 제품을 내놓고 다양한 비즈니스 모델을 조사

나. 국내 시장분석 결론

○ 우리나라는 2008~2018년까지 수소연료전지의 기술개발 및 시설에 대한 투자(2008년~2013년까지 2.7조원, 2013년~2018년까지 12조원)를 통해 229억 달러의 수출로 세계시장의 38%를 점유할 것으로 보임



출처: 에너지경제연구원

[그림 2.50] 국내 수소연료전지 시장 전망

○ 국내 수소연료전지 산업은 수소제조, 수송용 연료전지, 가정용 및 발전용 연료전지가 주를 이루고 있음

- 국내에서 제조되는 수소는 주로 원유 정제 과정에서 부산물로 나오는 부생수소로 130만 톤 정도 생산되며, 수소산업이 발전하기 위해서는 에너지 분야에 대한 수소의 활용도를 어떻게 넓혀 나가느냐에 달려 있음

○ 에너지관리공단의 2012년 통계에 따르면, 연료전지 분야 산업체는 9개로 1조 2,000억 원 정도의 매출을 올리고 있는 것으로 알려져 있음

- 연료전지 자동차의 경우 현대자동차가 1990년대 말부터 개발을 시작해 2단계에 걸친 실증사업을 진행했고, 주로 유럽과 미국으로 수출되고 있음

○ 국내 발전용 연료전지 산업은 RPS 제도에 따라 새로운 전기를 맞이하고 있음

○ 연료전지는 발전규모의 조절이 용이하고 설치장소의 제약이 적고 오염물질 배출이 극히 적은 것 등의 여러 장점을 지니고 있는 차세대 발전장치지만 현재까지는 기대에 못 미치는 시장 성장을 보이고 있음

- 그러나 적극적인 정책 및 발전 전략, 그리고 각국의 지원 계획 등을 통해 내구성, 신뢰성 등의 성능 향상과 비용절감 등의 경제성을 제고하여 조기상용화에 성공한다면 거대 시장으로 성장할 것으로 판단됨

- 그러므로 중장기적으로 성능 한계를 획기적으로 향상시킨 연료전지 개발을 통해 새로운 시장을 창출하기 위한 노력이 요구됨

○ 현재 기대수명이 초과된 디젤 디젤기관차 및 향후 초과가 예상되는 디젤기관차의 대체를 위해 친환경성을 갖는 독립동력원기관차의 수요가 발생한 것으로 예상되며, 대안으로 수소연료전지 하이브리드 차량이 활용될 수 있을 것으로 예상됨

3절 기술(특허, 논문 등) 동향

1. 특허동향

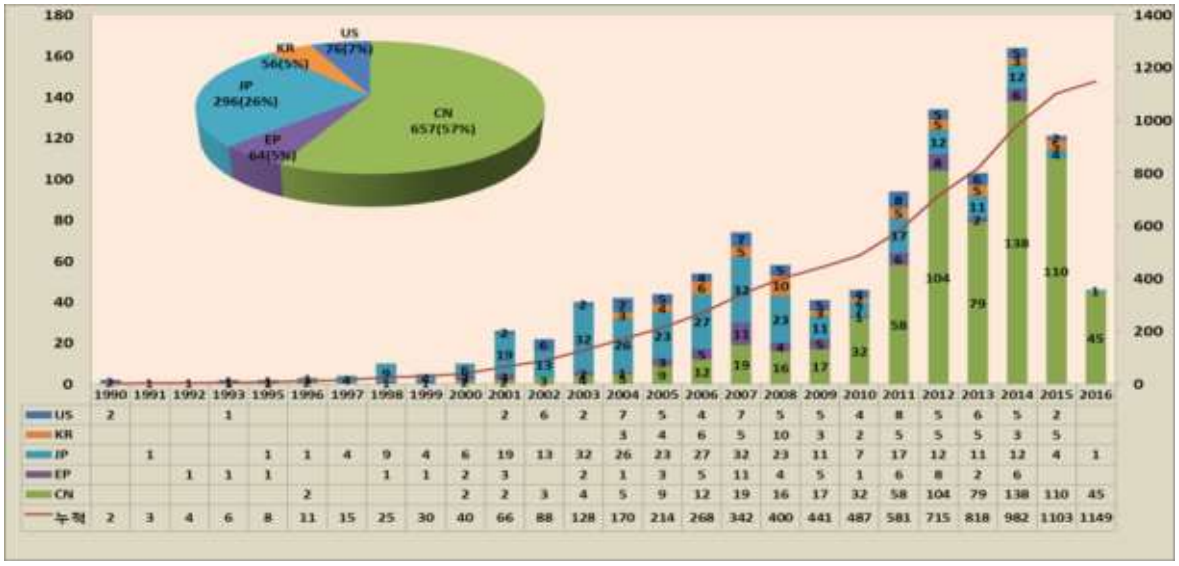
가. 신재생에너지 분야

[표 2.25] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 신재생에너지 관련분야

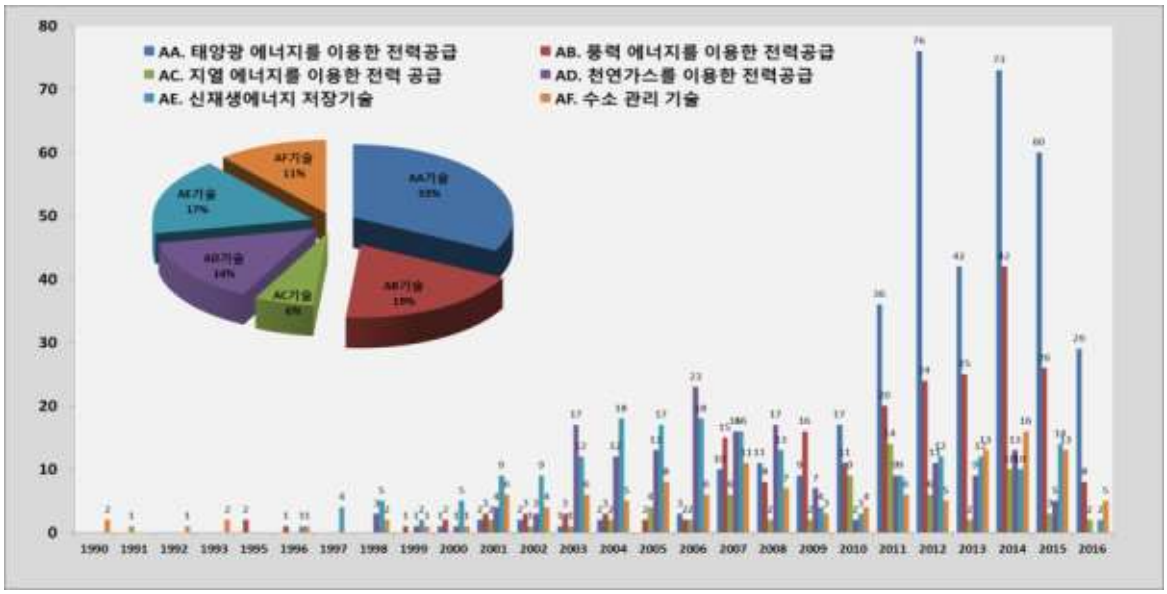
기술구분	검색 조합식	검색 특허	유효 특허
AA. 태양광 에너지를 이용한 전력 공급	TAB=((power adj supply) and (solar near2 (photo* or (PV adj cell) or (silicon adj cell)))) AND AD>=(19900101);	1801	374
AB. 풍력 에너지를 이용한 전력 공급	AB=((power adj supply) and (wind near3 (turbine or blade or converter or shaft or aerodynamic or (gear adj box) or (rotor adj speed) or (motor adj control)))) AND AD>=(19900101);	1583	217
AC. 지열에너지를 이용한 전력 공급	TAB=((power adj supply) near4 (geothermal near3 (heat adj pump) or condenser or antifreeze or (expansion adj valve) or evaporator or refrigerant)) AND AD>=(19900101);	1530	69
AD. 천연가스를 이용한 전력 공급	AB=((power adj supply) and ((Gas or LNG) near2 (turbine or compressor or cogeneragtion or (fuel adj cell) or (combine* adj cycle)))) AND AD>=(19900101);	1460	166
AE. 신재생에너지 저장기술	CTB=((power adj supply) and (hydrogen near3 ((metal adj hydride) or SOFC or (solid adj oxide adj fuel adj cell) or catalyst or (fuel adj cell adj for adj train) or compress* or (fuel adj process*) or FPS or exhaust* or electrolyte or (air adj process) or APS or (thermal adj management) or (separat* near2 (bipolar adj plate))))) AND AD>=(19900101);	1139	195
AF. 수소관리(저장)기술	CTB=((power adj supply) and electro* near3 ((storage or capacitor or BMS) near2 (charg* or discharg* or (voltage adj control) or (current adj control) or (bidirection* near2 convert*)))) AND AD>=(19900101);	1175	128

(1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- ㅇ 신재생에너지를 이용한 철도 전력 공급 기술 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 1149건의관련 유효특허가 출원되고 있음
- ㅇ 중국에서 전체 유효특허 중 과반수 이상(57%)이 출원되었으며, 다음으로는 일본(26%), 미국(7%), 유럽(5%), 한국(5%) 순임



[그림 2.51] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 신재생에너지 분야

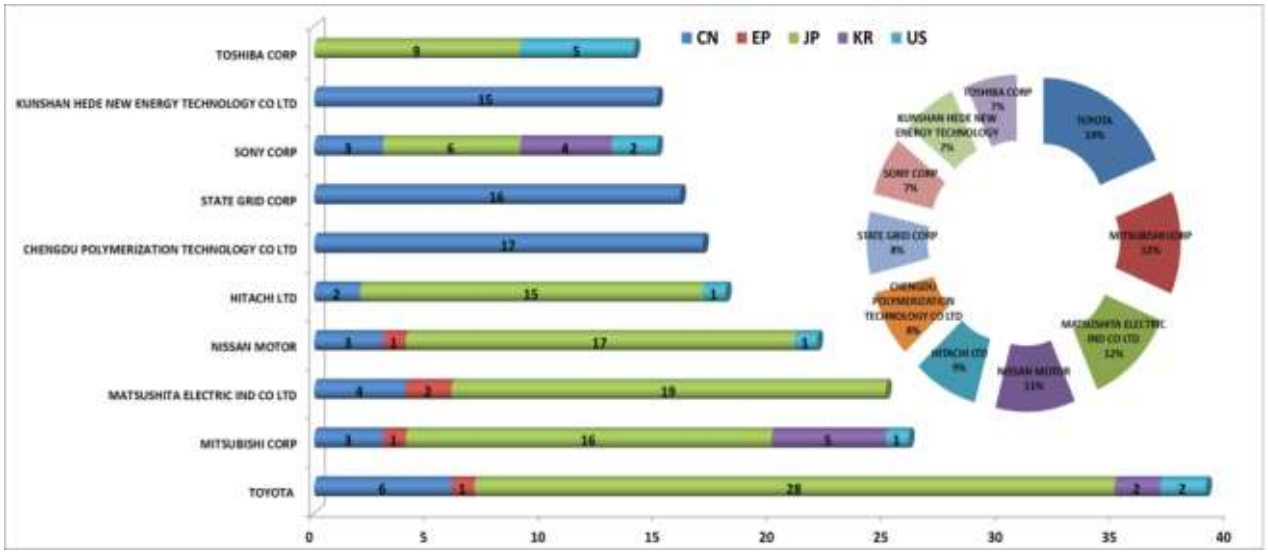


[그림 2.52] 세부기술별 특허출원동향 – 신재생에너지 분야

(2) 주요출원인 분석

○ 특허를 많이 출원한 상위 출원인(TOP 10 Assignee)를 분석해 보면, TOYOTA, MITSUBISHI CORP, MATSUSHITA ELECTRIC, NISSAN MOTOR, HITACHI LTD, CHENGDU POLYMERIZATION TECHNOLOGY, STATE GRID CORP, SONY CORP, KUNSHAN HEDE NEW ENERGY TECHNOLOGY, TOSHIBA CORP 와 같은 일본 국적의 자동차, 전자 관련 기업이 주를 이루고 있음

○ 일본 국적 소속의 주요 출원인은 자국 출원이 다수를 차지하고 있으나 해외 출원에도 일부 비중을 두고 있는 것으로 나타남



[그림 2.53] 주요 출원인 동향 - 신재생에너지 분야

나. 수소연료전지를 적용한 철도차량관련 기술 특허출원 동향

[표 2.26] 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 - 수소연료전지 추진기술관련분야

기술구분		검색 조합식	대상 특허
A기술			
	AA/ AB	TAB=(((Hydrogen near4 Compress*) and Storag*) or (Hydrogen near4 (Solid near3 Adsorpt*) and Storag*));	813건
	AE1	TAB=((Hybrid and (Power near3 Conversion near3 Control)) or (Vehicle near2 Grid));	470건
	AE2	CTB=((Fuel ADJ Cell) AND Hybrid AND Propulsion);	281건
	AF	((CTB=(Fuel ADJ Cell)) AND (CTB=((vehicle or car or (railway or railroad or locomotive or train*1 or (tram adj way) ADJ (rolling adj stock) OR (rail near2 (vehicle or car)) or subway or metro*))))) AND (TI=(Test or Evaluat*));	226건
B기술			
	BA	(TAB=(Hydrogen ADJ Fuel ADJ Cell)) AND (TAB=(transport* or vehicle or car or (railway or railroad or locomotive or train*1 or (tram adj way) ADJ (rolling adj stock) OR (rail near2 (vehicle or car)) or subway or metro*)));	646건
	BB	CTB=((Hybrid near4 Energy) near4 Control);	321건

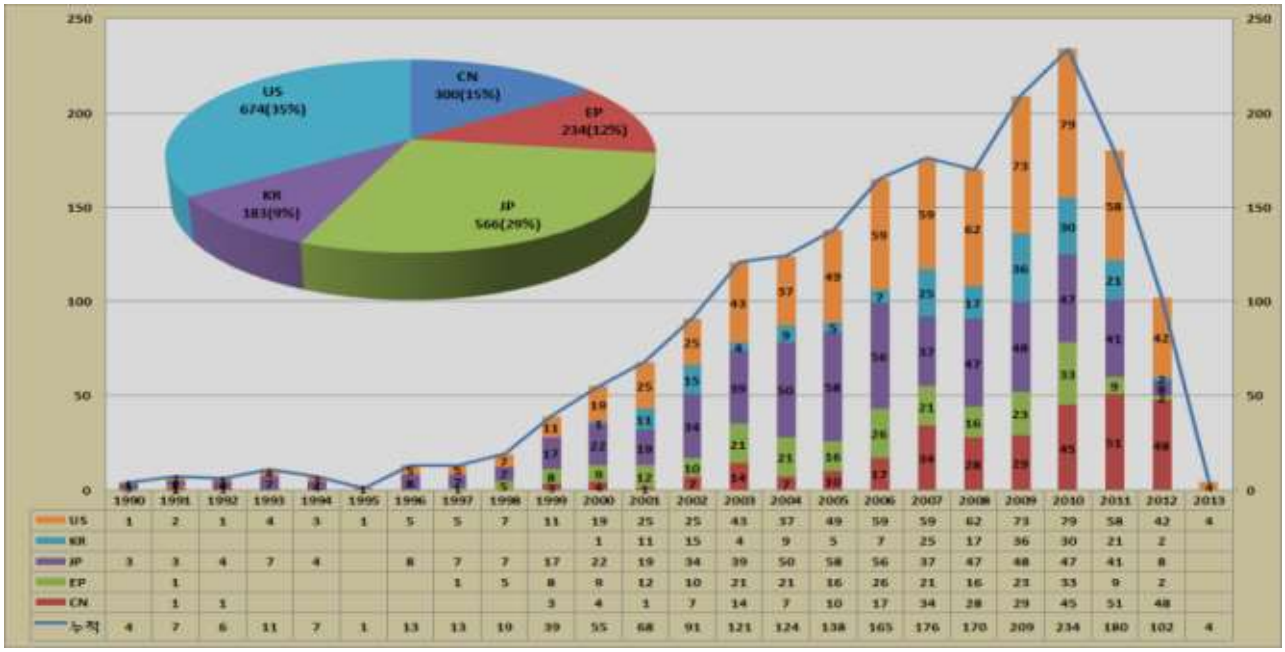
(1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

○ 수소연료전지를 이용한 이동식 철도 발전소 기술개발 분야의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 1,957건의 특허가 출원되고 있으며, 2000년대 중반이후 年 평균 35~45건씩의 특허가 매년 꾸준히 출원되고 있음

○ 국가별로는 미국이 35%로 최다이며, 일본, 중국, 유럽, 한국의 순으로 출원되고 있음

○ 최다 출원국인 미국은 최근 약간 감소하긴 했지만 여전히 다른 나라에 비해 높은 수준의 특허를 출원하고 있으며, 중국은 2007년 이후 전체 특허의 약 80%를 출원하고 있어 최근 기술 상승세가 매우 높은 상태임

○ 우리나라의 경우 특허 건수는 적지만 중국과 마찬가지로 2007년 이후 70% 이상의 특허를 출원하고 있어, 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 판단할 수 있음

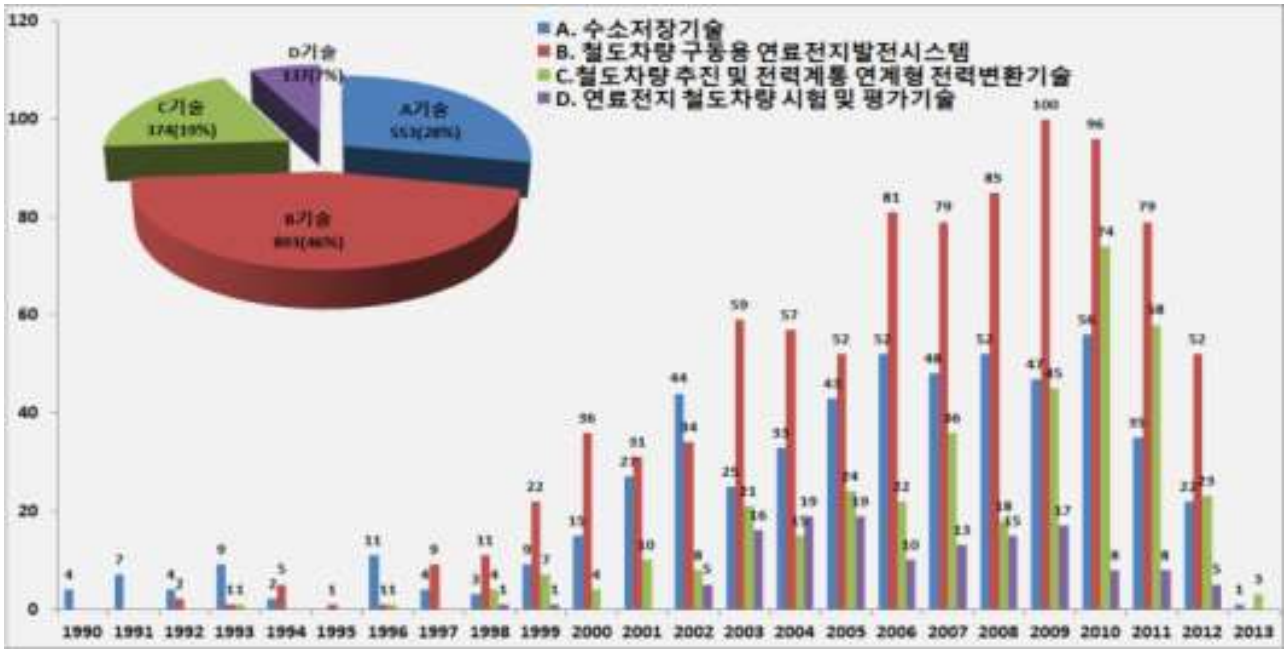


[그림 2.54] 출원년도 및 국가별 출원추이 - 수소연료전지 추진기술분야

(2) 세부기술별 특허출원 동향

○ 철도차량 구동용 연료전지발전시스템(B기술) 분야 특허 출원건수가 가장 많으며, 최근 출원 건수가 소폭 감소하긴 했지만 여전히 다른 분야 기술에 비해 높은 수준임

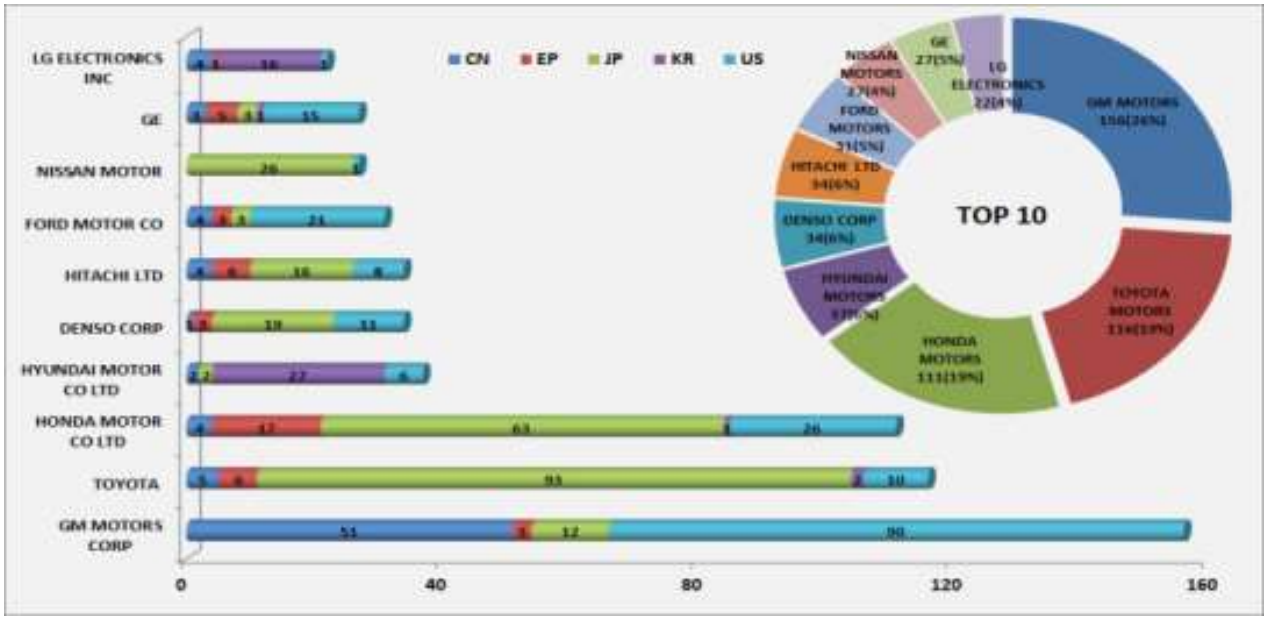
○ 철도차량 추진 및 전력계통 연계형 전력변환기술(C기술) 분야는 A기술 및 B기술과 비교하여 특허 건수는 적은 편이지만, 최근 증가율은 가장 큰 것으로 나타나고 있어 최근 들어 관심이 꾸준히 증가하고 있는 분야로 판단됨



[그림 2.55] 세부기술별 특허출원동향 – 수소연료전지 추진기술분야

(3) 주요 출원인 분석

○ 특허를 많이 출원한 상위 10개의 출원인을 분석해 보면, 수소연료전지와 관련이 많은 GM, TOYOTA, HONDA, HYUNDAI, FORD 등 자동차 업체, DENSO CORP 등 자동차 부품업체, HITACHI LTD, GE, LG ELECTRONICS 전자부품 업체 들이 특허 출원을 많이 하고 있음



[그림 2.56] 주요 출원인 동향 – 수소연료전지 추진기술분야

○ 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 GM MOTORS 및 두 번째 多출

원인인 TOYOTA MOTORS는 최근까지 꾸준히 높은 수준의 특허를 출원하고 있으며, 한국의 HYUNDAI MOTORS는 최근 들어 관련 특허를 많이 출원하고 있음을 알 수 있음

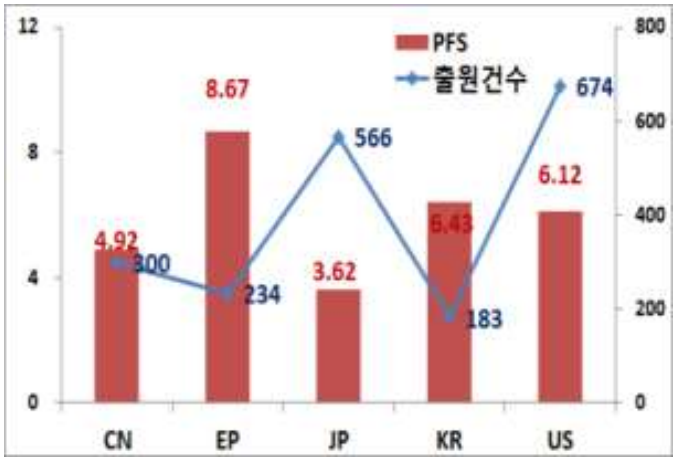
(4) 국가별 특허분포 지수분석-시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

○ (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

○ 분석결과

- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 8.67로 가장 높게 나타남
- 유럽 다음으로는 한국, 미국의 시장확보력이 높게 나타남
- 한국의 시장확보지수가 높은 이유는 한국시장 진출을 위해 해외 업체(V2Green, Inc, HONDA 등)가 한국에 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문임
- 일본의 경우 특허 건수에 비해 시장 확보력이 낮게 나타나고 있음



[그림 2.57] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 수소연료전지 추진기술분야

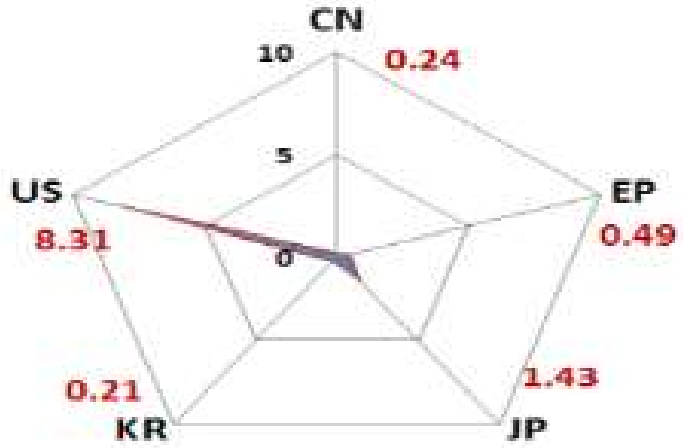
(5) 국가별 특허분포 지수분석-인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 회수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

○ (계산식) 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ 분석결과

- 미국의 인용도지수(CPP)가 8.31로 가장 높게 나타남, 이는 미국이 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 반면, 일본은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 많이 낮아, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음



[그림 2.58] 국가별 인용도지수 - 수소연료전지 추진기술분야

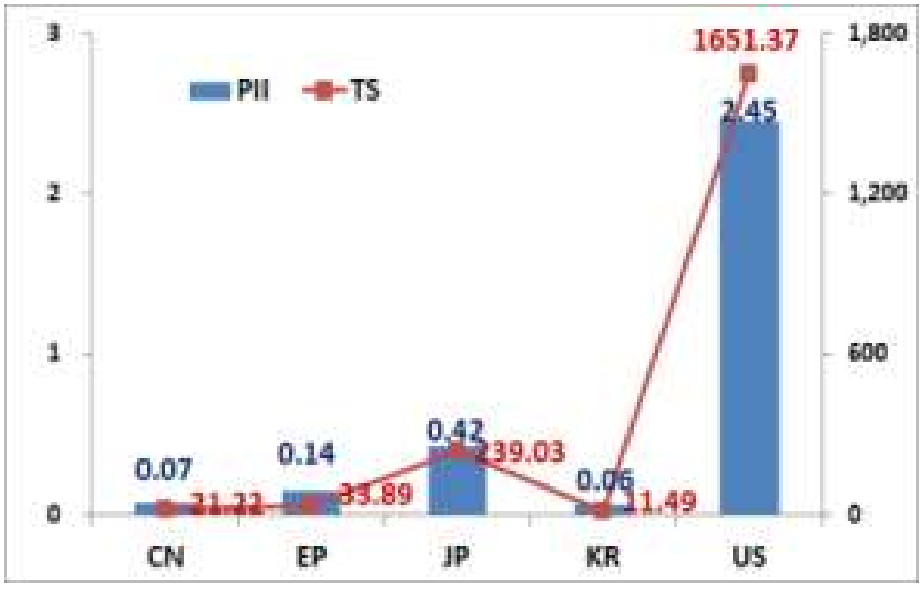
(6) 국가별 특허분포 지수분석-영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

○ (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄

○ (계산식): 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수, 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

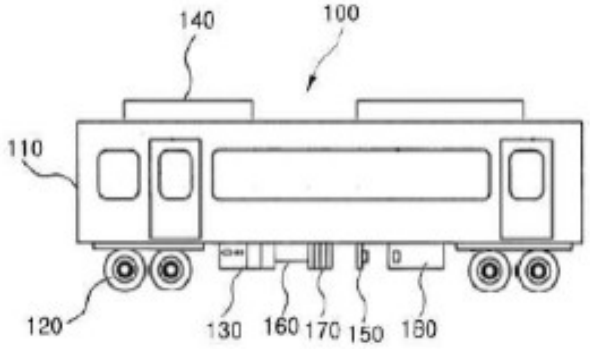
○ 분석결과

- 미국의 영향력지수(PII)가 2.45로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보여짐
- 또한, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 미국이 1,651.37로 가장 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함



[그림 2.59] 국가별 영향력지수 및 기술력지수 - 수소연료전지 추진기술분야

(7) 대표특허 분석

<table>
<tr><th colspan="6">대표특허 1</th></tr>
<tr><td>문헌번호</td><td>10-0838177</td><td>출원인</td><td>철도기술연구원</td><td>출원일자</td><td>2006.05.09.</td></tr>
<tr><td>발명명칭</td><td colspan="5">수소연료전지 철도차량</td></tr>
<tr><td colspan="6">관련부분 및 내용</td></tr>
<tr><td colspan="6">[청구항 1]
구동모터와 전기적으로 연결되어 가속주행시 구동모터에 전원을 공급하고, 감속 주행시 발생되는 회생 에너지를 저장할 수 있도록 회생 에너지 축전부가 구비된 차체와; 상기 차체의 상부에는 연료전지스택에서 반응하고 남은 수소를 재사용할 수 있도록 수소재순환장치가 설치되며; 상기 차체를 이동시킬 수 있도록 구동모터를 구비한 대차부와; 상기 구동모터에 전력을 공급하고, 상기 구동모터의 부하특성에 따라 변동되는 전압을 조정할 수 있도록 출력단에 전압조정부가 구성되며, 철도차량의 편성에 따라 출력을 변화시킬 수 있도록 복수개로 전지수납부에 수납된 수소연료전지스택과; 상기 연료전지스택의 양극(anode)에 수소를 공급하기 위한 수소 공급부와; 상기 연료전지스택의 음극(cathode)에 산소를 공급하기 위한 산소 공급부; 및 상기 수소연료전지스택의 이온화 반응시 발생되는 열 및 물을 관리하기 위한 열·물 관리부를 포함하여 구성되되, 상기 회생 에너지 축전부는 리튬 폴리머 전지, 고압 축전지, 또는 슈퍼 콘덴서 중 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 수소연료전지 철도차량.</td></tr>
<tr><td colspan="6">〔도면〕
 
</td></tr>
<tr><td colspan="6">[본과제와 유사성]
차량 내에 연료전지를 구비하고, 이를 통해 전력을 공급한다는 점은 유사성이 있지만, 본 과제의 세부기술인 가선을 통한 외부로의 전력 공급이나 전력절환시스템의 구성관련 내용은 다루지 않음</td></tr>
</table>

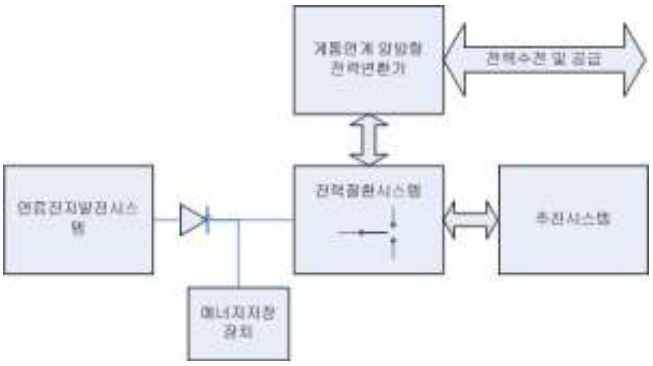
대표특허 2

문헌번호	10-1537333	출원인	철도기술연구원	등록일자	2013.10.17
발명명칭	철도 차량용 전력공급시스템				

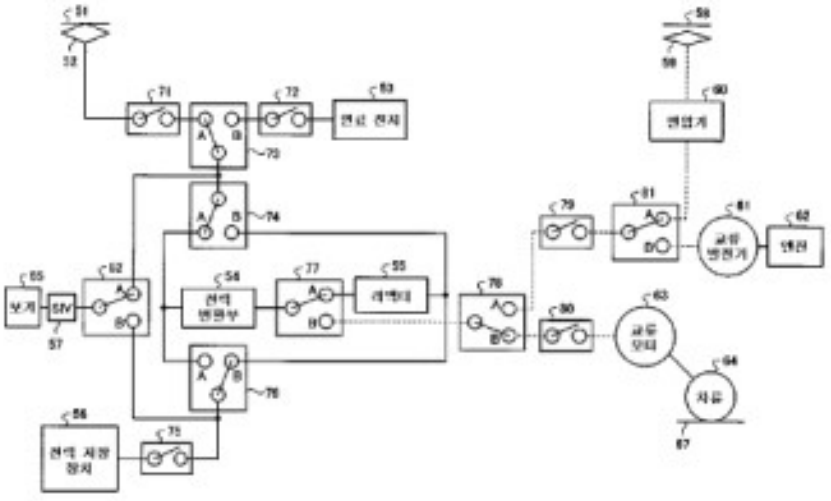
관련부분 및 내용

[청구항 1]
철도 차량에 배치된 연료전지 발전부; 상기 연료전지 발전부에 연결되며 상기 철도 차량의 동력을 생성하는 추진부; 상기 연료전지 발전부와 상기 철도 차량의 외부 계통 사이의 전력을 양방향으로 변환하는 계통연계 양방향 전력 변환부; 및 상기 연료전지 발전부, 추진부 및 계통연계 양방향 전력 변환부 사이의 전력 방향을 절환하는 전력 방향 절환부; 를 포함하고, 상기 전력 방향 절환부는 상기 연료전지 발전부 측으로 설치된 제1스위치, 상기 추진부 측으로 설치된 제2스위 치, 상기 계통연계 양방향 전력 변환부 측으로 설치된 제3스위치 및 상기 제1스위치, 제2스위치 및 제3스위치의 동작을 각각 제어하는 전력 방향 절환 제어기를 포함하고, 상기 계통연계 양방향 전력 변환부는 상기 제3스위치에 연결된 제1변환기, 상기 제1변환기에 연결된 변압기, 상 기 변압기와 상기 외부 계통 사이에 전류를 변환하는 제2변환기와 제3변환기 및 상기 제1변환기, 제2변환기 및 제3변환기의 동작을 각각 제어하는 양방향 전력 변환 제어기를 포함하는 것을 특징으로 하는 철도 차량용 전력 공급시스템

[도면]



[본과제와 유사성]
차량 내에 연료전지를 구비하고, 이를 통해 전력을 공급한다는 점관 가선을 통한 외부로의 전력 공급이나 전력절환시스템의 구성관련 내용까지 본과제와 매우 유사

대표특허 3					
문헌번호	10-2013-0019433	출원인	미쓰비시덴키	출원일자	2011.04.21
발명명칭	전기차의 추진 제어 장치, 및 철도 차량 시스템				
관련부분 및 내용					
[0127] 이와 같은 설정 상태에 있어서, SIV(57)는 연료 전지(53)로부터 공급된 직류 전압을 3상 교류 전압으로 변환하여 보기(65)에 공급한다. 전력 변환부(54)는 인버터로서 동작하고, 연료 전지(53)로부터 공급된 직류 전압을 3상 교류 전압으로 변환하여 교류 모터(63)를 구동한다. 이 도 36에 나타낸 동작(교류 모터(63)의 구동 동작)은 상기에서 설명한 추진 제어 장치와 마찬가지로, 역행 시, 브레이크 제어 시 등에 있어서 실행된다. [0154] 이와 같은 설정 상태에 있어서, SIV(57)는 연료 전지(53)로부터 공급된 직류 전압을 3상 교류 전압으로 변환하여 보기(65)에 공급한다. 전력 변환부(54)는 인버터로서 동작하고, 연료 전지(53)로부터 공급된 직류 전압을 단상 교류 전압으로 변환하여 변압기(60)에 인가한다. 변압기(60)는 교류 가선(58)에 있어서 필요하게 되는 원하는 교류 전압으로 변환하고, 집전 장치(59)를 통하여 교류 가선(58)에 인가한다. 이 제어에 의해, 교류 전원에 접속되지 않는 교류 가선(58)에 대한 연료 전지(53)에 의한 전력 공여가 가능하게 된다. 또, 전압이 저하한 교류 가선(58)에 대한 연료 전지(53)에 의한 전력 공여가 가능하게 된다.					
[도면] 					
[본과제와 유사성] 연료전지를 구비하고, 가선을 통해 전력을 공급할 수 있는 차량을 제공한다는 점에서 유사성이 있으며, 전력변환시스템의 구성의 차별화를 통해 특허 회비전략수립 필요					

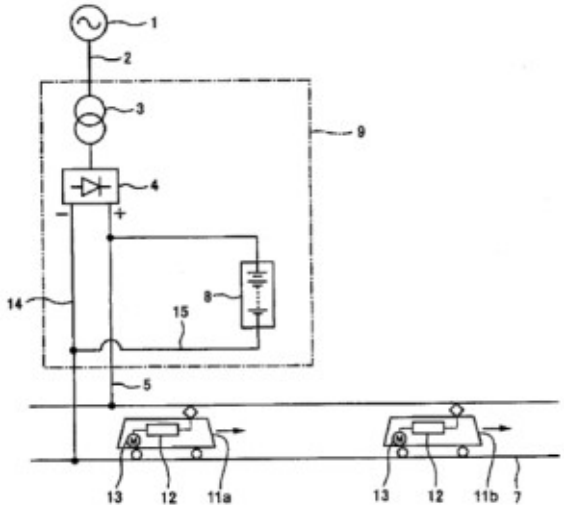
대표특허 5

문헌번호	10-1165912	출원인	가와사끼 쥬고교 가부시끼 가이샤	출원일자	2009.02.26
발명명칭	전기철도용 전력 공급 시스템				

관련부분 및 내용

[청구항 1]
전기 차량용의 변전소에 접속되어 상기 변전소로부터 직류 전력이 공급되는 궤전선(饋電線)을 구비하는 전기 철도용 전력 공급 시스템에 있어서,
직류 전력저장 공급설비로서 니켈 수소전지를 가지고, 상기 니켈 수소전지가 상기 궤전선에 직결되어서 이루어지는 전기철도용 전력 공급 시스템.

[도면]



[본과제와 유사성]
가선을 통해 인가받은 전력이나 회생 에너지를 배터리에 저장할 수 있다는 점에서 유사성이 있지만, 본 과제의 세부기술은 가선을 통한 외부로의 전력 공급관련 내용은 포함되지 않으며 전력변환시스템의 구성의 차별화를 통해 특허 회비전략수립 필요

2. 논문동향

가. 신재생에너지 분야

(1) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 동향

- 신재생 에너지를 이용한 철도기술분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 408건의 관련 논문이 발표되고 있음.
- 이 기술분야에 대하여 1990년대 중반 이후 매년 5건 내외의 논문이 발표되었으며, 특히 2000년대 중반 이후 증가세가 두드러짐
- 태양광 에너지를 이용한 전력공급(AA기술), 풍력 에너지를 이용한 전력공급(AB기술), 신재생에너지 저장기술(AE기술)은 2005년 이후 두드러진 증가세가 나타남
- 저널별로는 INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, JOURNAL OF POWER SOURCES 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음



[그림 2.60] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 - 신재생에너지 분야

(2) 국가별 분석

- 신재생 에너지를 이용한 철도기술 분야 논문은 미국의 기관에서 가장 많이 발표된 것으로 나타났으며, 인도, 중국, 일본을 포함한 아시아뿐만 아니라 독일, 잉글랜드, 이탈리아 등 전 세계적인 관심이 대두되고 있는 상황임

○ 이 기술 분야의 다출원 국가는 대체로 세부(AA~AF)기술 다방면으로 연구되고 있는 것으로 보임

나. 수소연료전지를 적용한 철도차량관련 분야

(1) 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재저널 동향

○ 수소연료전지를 이용한 이동식 철도 발전소 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 927건의 논문이 발표되고 있으며 최근 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있음

○ 특허와 마찬가지로 철도차량 구동용 연료전지발전시스템(B기술) 분야가 논문이 가장 많으며, 수소저장기술(A기술)은 B기술에 비해 건수는 적지만 최근 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있음

○ 저널별 논문현황을 보면 PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD, IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC 등 유럽과 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음



	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
D 기술			1	3	1	2	4	6	8	6	14	9	16	19	19	17	22	29	25	50	11
C기술	1						1	3			2	2	6	4	9	8	12	24	36	44	16
B기술	1		1	3	2	3	3	3	3	8	9	10	15	12	21	20	31	48	49	58	34
A기술	2	4	1		2	5	2	3	5	4	2	5	6	13	15	15	10	18	25	16	10
누적	4	4	3	6	5	10	10	15	16	18	27	26	43	48	64	60	75	119	135	168	71

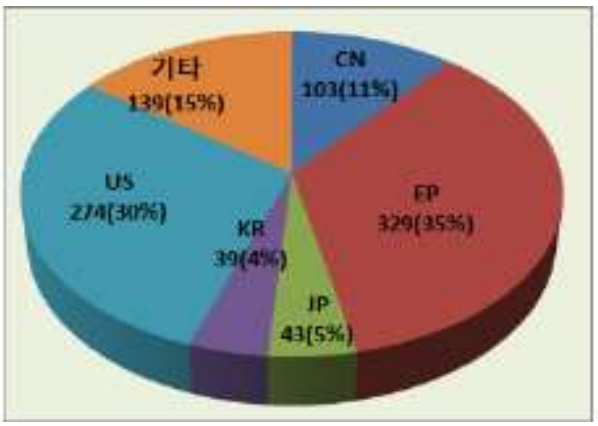
[그림 2.61] 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 - 수소연료전지 추진기술분야

(2) 국가별, 주요연구기관, 주요저자 분석

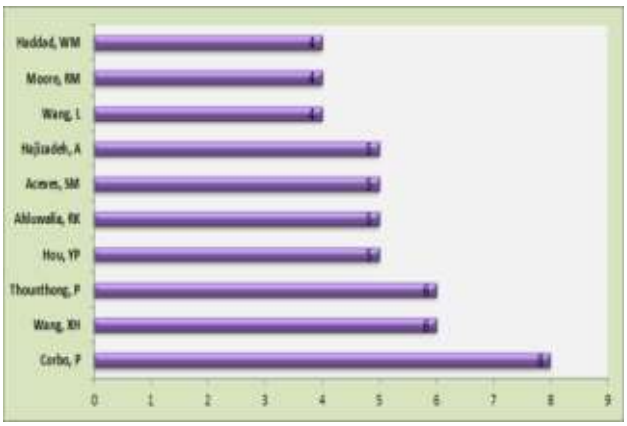
○ 수소연료전지를 이용한 이동식 철도 발전소 기술 분야 논문은 유럽과 미국의 기관에서 많이 발표되고 있으며, 한국은 논문 실적이 낮은 상황임

○ 또한, 논문 발표 주요저자 분석 결과 이탈리아 Corbo, P 박사(Italian Natl Res Council)가 8건으로 최다저자이며, Wang, XH 교수(Zhejiang Univ)가 6건으로 그 다

음 주요저자임

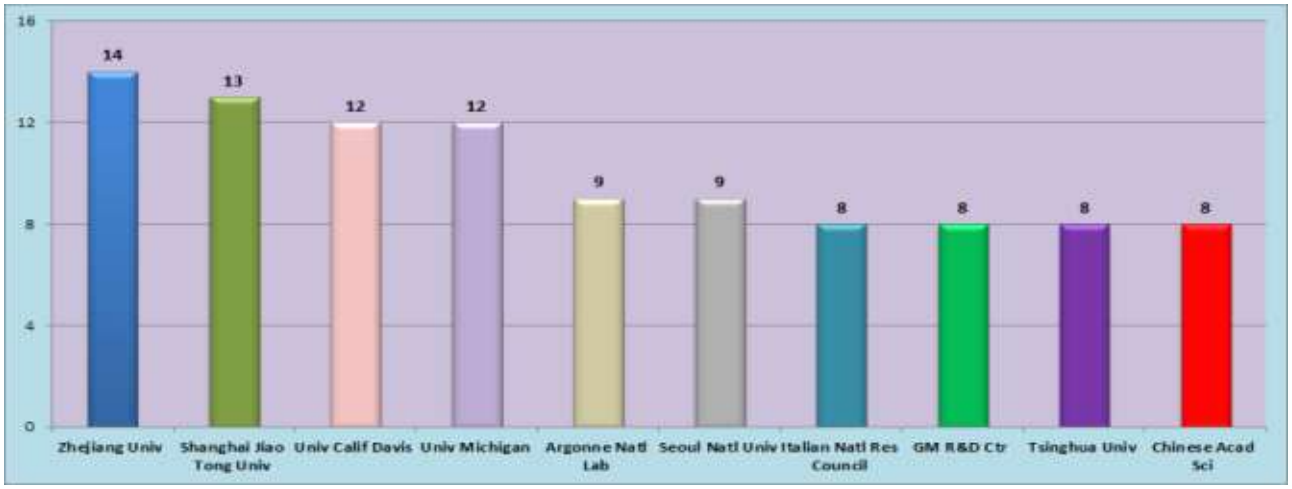


[그림 2.62] 논문 발표 주요 국가 - 수소연료전지 추진기술분야



[그림 2.63] 논문 발표 주요 저자 - 수소연료전지 추진기술분야

○ 이 분야 최다 연구기관은 중국의 Zhejiang Univ로 14건의 논문을 발표하였으며, 중국 Shanghai Jiao Tong Univ, 미국 Univ Calif Davis, Univ Michigan 등이 관련 분야 논문을 많이 발표하고 있어 해당분야를 선도하고 있음을 알 수 있음



[그림 2.64] 논문 발표 주요 연구기관 - 수소연료전지 추진기술분야

3. 수소연료전지관련 국내 연구개발 동향

○ 현대자동차는 1998년부터 연료전지 자동차 개발에 착수하여 2013년 투싼ix 모델을 세계 최초로 양산하기 시작했으며 세계적으로 약 500대를 판매하여 스택 및 시스템 기술은 인정받았지만 원천 소재 분야의 기술은 다소 미흡한 수준임

○ 건물용 PEMFC는 2001년부터 진행된 1~3kW급 가정용 연료전지 시스템 개발과제 및 2006년부터 시행된 '가정용 연료전지 모니터링 사업'을 통해 안정성와 내구성을 확보하여 사용화 기반을 마련하였고, 에스퓨얼셀, 두산퓨얼셀 등이 다양한 용량의 건물용 연료전지 시스템을 개발하여 판매하고 있으나, 부품 공용화 및 모듈화 기술 개발 연구는 미흡한 수준임

○ 포스코는 2007년 미국 FCE사와 기술 제휴를 통해 포항에 연산 100MW의 발전용 MCFC 생산공장을 구축하여 1.2MW 및 2.4MW급 MCFC 발전시스템을 생산·판매하고 있으며, 두산중공업은 2014년 미국의 ClearEdge를 합병하여 발전용 PAFC 시스템을 생산 판매하고 있을 뿐만 아니라 2000년부터 자체 개발한 가정용 1kW급 및 건물용 5kW급 시스템을 판매하고 있음

○ 국내에는 19기의 수소 충전소가 설치되었으며 2020년까지 80기, 2025년까지 210기를 설치할 예정임. 단기적으로는 석유화학산업의 부생수소 활용 혹은 화석연료 기반의 수소 생산, 중장기적으로는 재생에너지 수소 생산으로 계획되고 있어 국산화 기술개발이 시급함

[표 2.27] 기존연구와의 중복성 및 연계방안

과제명 (연구기간)	주관 부처	수행 기관	내용	구분
차세대 수소연료전지 Fuel Processing 핵심 원천기술 개발(2014-2017)	교육부	서울시립대학	저부가가치 바이오연료 부산물을 수소연료전지 연료로서 전환, 공급하는 차세대 촉매 및 분리막 반응기(반응공학기술) 원천기술 개발	연료전지 촉매개발 관련 **연계가능**
On-Board 개질형 수소연료전지 하이브리드 자동차 연구(2015-2020)	미래창조과학부	전남대학	DME 개질 및 수소 정제 시스템, 부품/시스템의 전산해석 및 설계기술 개발, 초소형/고감도 복합센서 개발 및 집적화, 하이브리드 동력시스템의 통합제어를 위한 개질시스템	연료종류에 따른 개질기술 필요시 **연계가능**
수소연료전지 핵심요소 기술개발 (2012-2015)	미래창조과학부	한국에너지기술연구원	고효율, 저가형 연료전지용 핵심소재 원천 기술 개발 및 탄화수소 개질 시스템 및 수소저장 소재 기술 개발	연료전지 개질시스템 개발시 **연계가능**
고효율,경량,고내구성	미래창	한국과학	경량, 고효율의 PEMFC 제작과	연료전지

과제명 (연구기간)	주관 부처	수행 기관	내용	구분
수소연료전지(PEMFC)용 장섬유/나노탄소복합소재분리판개발 (2011-2013)	조과학부	기술원	혁신적 구조를 가진 레독스 흐름전지의 구조를 최적화하여 기존 연구 대비 높은 효율과 출력, 낮은 재료원가 달성	스택 개발시 **연계가능**
수소연료전지차용 400V 스택의 적층수 감소를 위한 스택 및 부품설계 기술개발 (2015-2020)	산업통상자원부	자동차부품연구원	수소연료전지차용 400V 스택의 적층수 감소를 위한 스택 및 부품설계 기술개발	연료전지 스택 개발시 **연계가능**
수소연료전지 부품 및 응용기술 지역혁신센터 (2008-2018)	산업통상자원부	우석대학	신재생에너지분야와 자동차 부품 및 기계 분야를 융합하여 성장 잠재력이 큰 수소연료전지 부품 및 응용기술 확보와 산업화를 통한 지역산업구조 개선과 중소기업 육성	연료전지 스택 개발시 **연계가능**
100kW급 고온 연료전지-엔진 하이브리드발전시스템 엔지니어링 기술개발 (2014-2017)	산업통상자원부	한국기계연구원	발전효율 향상을 위한 100kW 분산발전용 고온 연료전지(SOFC) 기술 개발	SOFC 선정시 **연계가능**
수소연료전지분야 국제표준화 체계구축 (2013-2015)	산업통상자원부	포항공과대학	국제표준화에 대응하는 국내 표준화/부합화 계획 및 체계 확립 - 국내 개발 기술의 국제표준화 제안	관련표준 구축시 **연계가능**
수소연료전지자동차 안전성평가기술개발 (2007-2012)	한국건설교통기술평가원	교통안전공단	현행 안전기준에 포함되어 있지 않는 분야인 수소연료전지에 대한 평가기술 개발과 함께 안전기준(안) 및 시행세칙(안)을 도출 및 반영	관련표준 구축시 **연계가능**
수소연료전지 기초트랙 (2013-2015)	한국산업기술평가관리원	경일대학	대경권 수소연료전지 선도전략 산업 및 포항의 연료전지 테스트 베드의 활성화를 위한 수소연료전지 인력 양성	**중복없음**

4. 기술동향 분석 결론 및 시사점

○ 신재생에너지의 특허 및 논문의 분포는 태양광 및 풍력에 집중되어 있으나, 수송용으로 한정할 경우 천연가스와 수소에너지에서만 관련 특허를 찾을 수 있음

○ 연료전지기술관련 특허로 미국과 일본 특허가 영향력 높은 것으로 나며 국내 특허의 영향력은 낮으며, 대부분 특허는 수소자동차관련 기술을 보유하고 있는 기업으로 판단됨

○ 연료전지기술 특허 및 논문은 연료전지 자체에 대한 기술이 주를 이루며 추진 및 계통연계기술 관련 특허도 비슷한 동향을 보이며, 철도시스템으로 한정할 경우 특허 사례는 매우 적음

○ 본 과제에서는 철도라는 시스템에 세부 기술을 적용함에 따른 특징 및 요구사항을 도출하여 새로운 기술 창출 전략 필요

○ 대표특허로 분석한 “수소연료전지 철도차량”과 “연료전지 철도차량용 계통연계형 양방향 전력공급시스템”은 본 과제의 목표와 매우 부합하는 특허로 보이며, 국내 특허임으로 활용가치가 높음

○ 국내에서 기 진행된 수소연료전지 연구사례를 살펴보면 수송용분야의 연구내용들은 본 과제에서 충분히 활용할 수 있는 연구 내용이 있는 것으로 판단되며, 특히 자동차용 수소연료전지 연구결과를 바탕으로 철도차량에 접합한 수소연료전지 구축 연구가 가능할 것으로 판단됨

4절 기술수준 분석 및 수요조사

1. 관련요소기술 조사 결과

가. 에너지저장장치

(1) 전력기반 수송시스템 구동용 리튬이차전지 개요

(가) 전력기반 수송시스템에 사용되는 이차전지 종류 및 특징

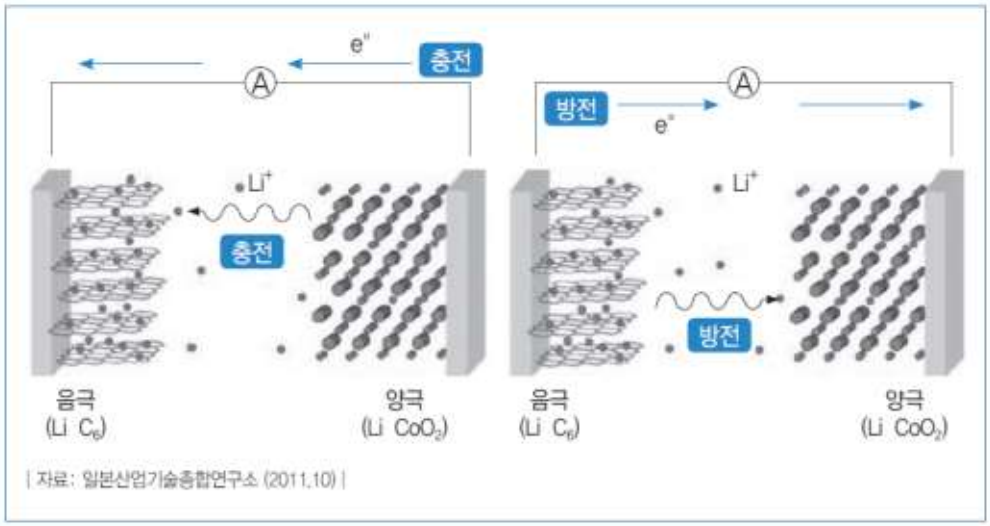
○ 이차전지의 종류는 차량의 전기화 정도에 따라 기존의 납축전지로부터 니켈수소합금. 리튬이차전지 등이 다양하게 적용되고 있음

- SLI-FLA(Starting, Lights, Ignition - Flooded Lead acid) : 시동용으로 사용되는 납축전지로 충전 시 산소와 수소의 발생으로 전해액이 줄어들므로 주기적인 보충이 필요하고 전극판의 열화나 활성물질의 탈락이 많은 단점이 있음
- EFLA(Enhanced Flooded Lead-acid): FLA에 기반을 두면서 열화가 발생하는 음극과 분리막을 강화한 납축전지
- VRLA(Valve-Regulated Lead-acid):전해액을 격리판에 흡수 또는 고형화하여 여분의 전해액을 제거, 전극에서 발생한 산소를 물로 환원하여 전해액 손실을 막아 운용 중 물 보충이 필요 없는 납축전지
- NiMH(니켈수소합금전지): 양극(니켈)과 음극(수소흡장금속) 사이에 전해질을 넣어 충전과 방전을 반복하며, 내부저항과, 전압변동이 적고 넓은 온도범위에서 사용가능함
- Li-Ion(리튬이차전지): 양극(리튬전이금속산화물)과 음극(탄소) 사이에 전해질을 넣어 충전과 방전의 반복이 가능한 전지로 리튬이 불안정하므로 안전보호회로가 들어가며 내부를 단단한 플라스틱 또는 금속으로 밀봉하는 형태를 띠고 있음

(나) 리튬이온전지

○ 리튬이차전지의 기본 원리는 리튬이온이 양극과 음극 사이를 이동하면서 전류를 발생시키는 것임

- 리튬이차전지는 다른 이차전지에 비하여 높은 전압, 높은 에너지 밀도, 메모리 효과가 없고, 사이클 수명이 길며, 보존성이 좋고, 고출력이 가능하며 핸드폰, 노트북, 캠코더 및 전동공구 같은 모바일 전자기기의 전원으로 사용이 되고 있음
- 최근에는 기후 변화에 따른 범세계적 온실가스 규제 도입에 의하여 전력기반 수송시스템과 ESS(Energy Storage System)같은 에너지저장용으로 그 사용 범위가 확대되고 있음
- 리튬이차전지는 양극화물질, 음극화물질, 분리막 및 전해질의 4대 주요 소재로 구성되어 있음



[그림 2.65] 리튬이차전지의 구동원리

○ 가장 대표적으로 사용되는 리튬이차전지의 디자인은 적용 시스템에 따라 다양하며, 가장 핵심적인 부분은 셀의 양극 및 음극 소재와 셀의 물리적 형태로, 리튬이차전지의 성능을 좌우함

– 이차전지 팩: 직렬 형태로 연결된 셀 모듈과 이를 기능적으로 유지해주는 하부시스템으로 구성되어 있으며, 이차전지의 핵심 정보를 상위의 차량 제어부와 주고받는 역할도 포함됨

– 셀 모듈: 여러 개별 셀(통상 4개 이상)들이 병렬 또는 직렬 형태로 관련된 전기부와 함께 구성되어 있으며, 열관리 시스템, 전압 및 온도 센서, 셀 밸런싱 시스템과 같은 제어 기능 등이 포함되어 있음

– 셀의 형태: 원통형(Cylindrical), 각형(Prismatic), 파우치형(Pouch)으로 구분됨

○ 이차전지 시스템은 기본적으로 셀이 차지하는 비중이 크며, 전력기반 수송시스템의 종류에 따라 (ex: EV, HEV, PHEV, 디젤전기기관차, 수소연료전지기관차) 등에 따라 셀/팩의 비율이 달라지며 EV화 되면서 셀/팩 비율이 증가하고 있음. 이는 곧 이차전지 시스템의 에너지 밀도 향상으로 이어져 에너지 효율을 높임

(다) 리튬이온전지의 한계

○ 현재 전력기반의 수송시스템 이차전지로서 적용되고 있는 리튬이차전지는 물리적 한계(최대 에너지 밀도: 250Wh/kg)로 인하여 주행 거리의 한계를 나타냄

– 가솔린 수준의 주행거리를 가진 전력기반차를 구현하기 위해서 리튬이차전지 이상의 에너지 밀도를 가지는 차세대 전지 개발이 필요함

– 에너지밀도를 혁신적으로 증가시킬 수 있는 후보 기술로서 리튬-유황(Li-S)전지 및 리튬-공기(Li-Air)전지에 대한 관심이 집중되고 있음

– 차세대 이차전지 시스템 중 ① 리튬-유황(Li-S)전지, ② 리튬-공기(Li-Air)전지는

300Wh/kg 이상의 고에너지밀도를 가지므로 전력기반차의 주행거리 증가와 경량화가 가능하며, 고가의 리튬금속산화물 양극화물질을 사용하지 않으므로 저가화가 가능함

(라) 리튬-유황전지

○ 리튬-유황전지는 양극소재로 유황을 음극소재로 사용하여 구성하는 전지로써 방전 시 음극인 리튬금속에서 리튬의 산화 반응이 양극에서는 유황의 환원이 발생되는 저가격 및 고에너지밀도 (2,600Wh/kg)의 특징을 갖는 이차전지임

○ 리튬-유황전지는 1980년대 초기 연구가 시작되었으며, 이후 휴대용 전자기기에 사용하기 위한 소형 이차전지로 개발이 진행되었으나, 유황 양극의 낮은 전기전도성, 충방전 시 발생되는 폴리설파이드 화합물의 제어 및 리튬금속 음극의 부동층 안정성 등이 문제되어 상용화가 지연되었음

○ 하지만 최근 들어 관련 기술들의 발전으로 인하여 차세대 고용량 이차전지로써 다시 관심을 받고 있으며, 많은 연구개발이 진행되고 있음

○ 국내의 Li-S 전지 관련 연구는 대학교 및 연구소 위주로 연구개발이 진행되고 있음. 탄소-황 나노 복합체의 경우 용량 800~1200mAh/g 내외 및 코인셀 기준 수명 100회 미만의 기초 연구단계의 결과를 발표하고 있음

○ 기업으로는 2000년대 초반 삼성 SDI에서 Li-S 전지 연구를 진행하였으나 사업화에까지 이르지 못함. 최근 LG 화학 및 현대자동차 등에서 차세대 고에너지밀도 Li-S 전지 연구를 진행하는 등 산업계의 관심이 증대됨

(마) 리튬-유황전지의 한계

○ 리튬-공기전지는 공기극을 통해 대기 산소와 전기화학적으로 쌍을 이루는 리튬금속 음극으로 구성되어 있는 전지로써 공기극을 통한 이차전지에 공급되는 산소는 무한히 공급되므로, 이론적인 전지 용량은 리튬금속 음극에 의해 결정됨. 따라서 이론적인 에너지밀도가 산소 무게 제외 시 11,140Wh/kg, 산소 무게 포함 시 5,200Wh/kg으로 리튬이차전지에 비해 상당히 높음

○ 리튬-공기전지는 200년 초반 미국의 Armstrong에 의해 제안되었고, 전 세계적으로 기초 연구가 진행되고 있는 차세대 전지 시스템으로써, 리튬금속 음극에서의 수지상 형성 및 외부 수분 접촉에 의한 열화, 낮은 공기극 활성으로 인한 충방전시 높은 과전압, 반응 생성물에 의한 조기 방전 종료, 전해질 분해/증발 들의 기술적 어려움이 존재함

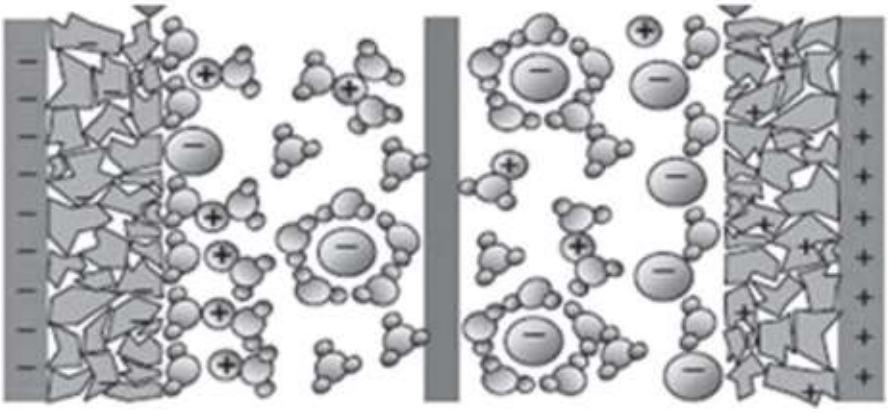
○ 국내 대부분의 연구 그룹의 리튬-공기전지에 대한 연구는 공기전극 성능 향상을 위한 다기능 촉매/나노탄소 복합소재 및 다공성 공기전극 구조 설계 및 합성, 특성 평가에 대한 연구에만 집중되고 있으며, 국내의 리튬-공기전지에 관한 연구는 선진국에 비하여 미흡한 상태임

○ 기업으로는 현대자동차의 선행 연구그룹에서 전기자동차의 주행거리 향상을 위하여 리튬-공기전지 시스템에 대한 연구를 진행중이나 극히 기초적인 단계임

(2) 전력기반 수송시스템 구동용 슈퍼커패시터 개요

(가) 리튬이온전지의 한계를 극복하는 슈퍼커패시터 기술

○ 리튬이온전지는 많은 에너지를 담을 수 있는 반면, 충방전이 느리고, 짧은 시간에 다량의 전기에너지를 출력하는 능력이 부족하고 비교적 낮은 안정성과 수명의 단점이 존재



[그림 2.66] 일반 슈퍼커패시터 전극 구조

○ 리튬이온전지의 이러한 단점을 보완할 수 있는 차세대 에너지기기로서 슈퍼커패시터의 연구개발이 활발. 슈퍼커패시터는 리튬이온의 산화환원으로 에너지를 저장하는 리튬이온전지와 달리 전해질의 물리적인 흡•탈착을 이용하여 빠른 충방전과 수명이 길고 안정성이 높은 장점이 있다. 반면에 리튬이온전지와 달리 많은 전기에너지를 담을 수 없는 단점이 있음

○ 슈퍼커패시터는 기존의 콘덴서에 비하여 아주 작은 크기의 나노전극과 전해질을 이용하여 에너지를 저장하므로 월등히 많은 정전용량을 갖음. 이차 전지와 콘덴서에 비하여 단순한 전기회로, 경제적인 가격, 높은 출력 특성, 빠른 충전등의 장점을 갖고 있음. 이러한 슈퍼커패시터의 장점이 발휘될 수 있는 것은 전극 구조가 나노재료를 사용하여 아주 작은 크기의 다공성 표면이 높은 표면적을 갖고 있기 때문. 슈퍼커패시터는 나노 크기의 다공성 표면에 높은 이온전도도를 갖는 전해질 이온들이 빠른 속도로 부착 또는 탈착하면서 급속 충•방전이 가능

○ 기존 콘덴서가 양 기판 사이의 거리에 반비례하는 정전용량을 갖는 반면에 슈퍼커패시터는 전극의 나노표면과 작은 전해질 분자사이의 아주 작은 거리에 반비례하는 정전용량을 보임. 정전용량은 전극사이의 거리에 비례하므로 슈퍼커패시터의 정전용량은 콘덴서보다 수천 배 이상 큰 값을 갖게 됨. 이차전지에 비해서, 슈퍼커패시터는 전해질 분자의 물리적인 탈•부착을 이용하므로 충•방전 속도가 빠름

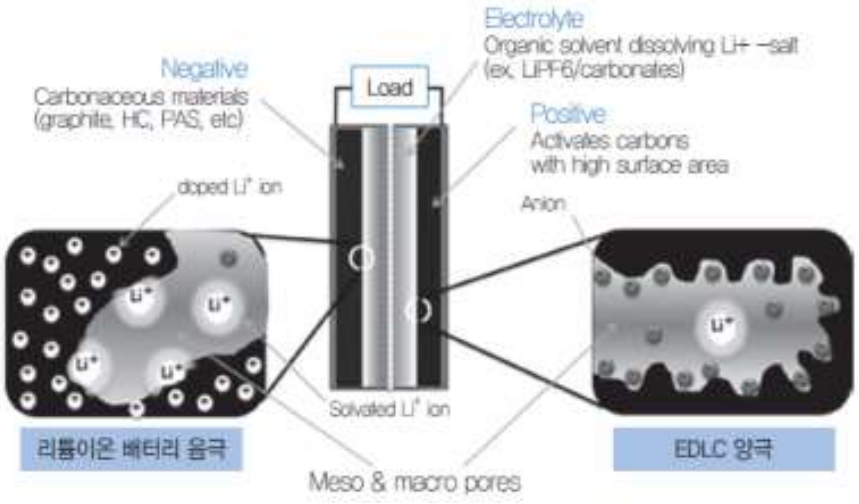
○ 이차전지와 슈퍼커패시터의 에너지 기기로서의 특징은 다음 그래프에서 좀 더 쉽게 이해할 수 있음. 이차전지인 연료전지, 리튬이온전지, 수소전지 등은 많은 에너지를 저장할 수 있음. 반면에 한 번에 낼 수 있는 에너지의 양 즉, 출력은 약하다. 이는 이차전지가

충전하는데 오랜 시간이 걸리는 것과 같은 현상. 반면에 슈퍼커패시터(전기이중층 커패시터, Electric Double Layer Capacitor(EDLC))는 에너지 밀도는 낮지만 높은 출력 밀도를 갖는 것을 알 수 있음. 즉 슈퍼커패시터는 충•방전 속도가 빠른 장점을 갖고 있음



[그림 2.67] 에너지저장장치의 에너지 밀도 대 출력 밀도 그래프

○ 리튬이온 커패시터는 리튬이온전지와 슈퍼커패시터의 장점을 모두 갖춘 새로운 개념의 에너지 저장기기. 리튬이온커패시터는 리튬이온전지의 음극과 슈퍼커패시터의 양극을 결합하여 충•방전 과정동안 슈퍼커패시터의 전기이중층 반응으로 고출력을 얻고, 반대 전극에서 리튬이온전지의 화학반응으로 높은 에너지 저장을 구현할 수 있는 장점을 갖출 수 있음

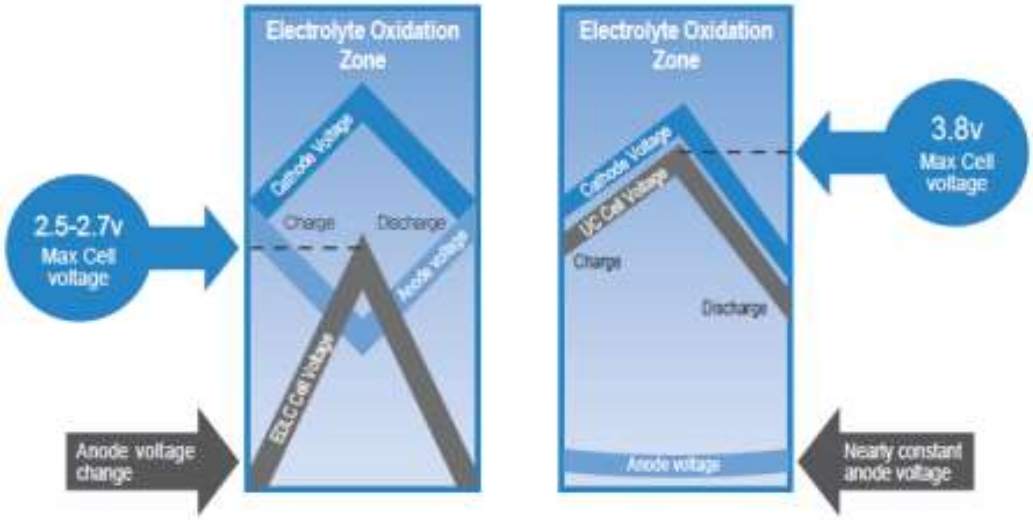


[그림 2.68] 리튬이온 커패시터의 구조와 작동 원리

○ 양극에는 커패시터의 충•방전 원리인 이온의 흡•탈착이 일어나며 음극에는 리튬이온의

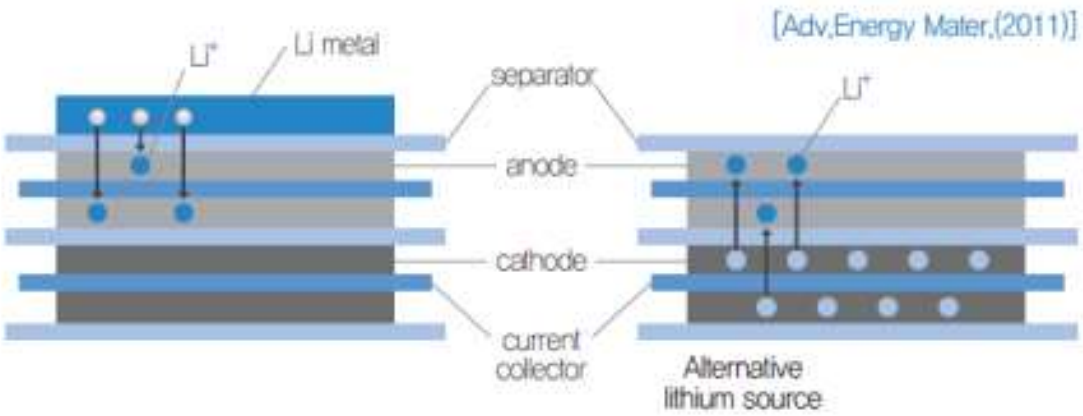
삽입•탈리 현상을 통해 충•방전이 진행되는데, 이러한 원리로 일반적인 전기이중층 커패시터는 2.7V로 제품이 출시되고 있으나, 리튬이온 커패시터는 3.8V까지 구현이 가능하여 공칭전압 상승을 통한 에너지밀도 향상이 가능하며, 이 외 급속 충•방전, 높은 고온 안정성과 소형화가 용이한 장점으로 차세대 에너지 저장기기로서 연구개발이 활발

○ 리튬이온 커패시터의 에너지밀도 향상을 위해서는 상대적으로 부족한 활성탄 전극의 용량을 향상시킬 필요가 있으며 일본 등의 선진국에서는 이러한 단점을 극복한 신형 리튬이온 커패시터를 선보이고 있음. 최근 국내의 경우, 단일 탄소소재의 한계를 극복하기 위해 탄소계 하이브리드 소재(그래핀, 하이브리드 나노탄소소재 등) 개발이 활발히 진행되고 있음



[그림 2.69] 리튬이온커패시터의 고전압 구현 원리

○ 한편, 리튬이온 커패시터의 상용화와 관련된 또 다른 핵심기술로는 리튬 프리도핑과 관련된 것으로 리튬메탈에서 용해된 리튬이온이 자유롭게 이동할 수 있도록 금속 mesh 형태의 집전체를 전극으로 사용하는 방식과 다리튬계 산화물을 희생양극으로 이용하여 리튬이온을 공급하는 두 가지 방식이 있음



[그림 2.70] 리튬이온 프리도핑 방식 비교도

○ 리튬이온 커패시터의 고용량 구현을 위한 리튬 프리도핑기술은 현재 상업화되어 있는

방식은 리튬금속을 사용하며, 이로 인한 공정성 약화 및 제조공정비용이 상승. 커패시터의 안정성 확보를 위한 추가적인 노력이 필요한 상태. 대표적인 대안기술은 리튬금속을 사용하지 않는 새로운 방식의 리튬 프리도핑기술로 충전에서 많은 리튬이온을 방출할 수 있는 다리튬계 산화물을 양극 활성탄 전극에 첨가함으로써 리튬금속을 사용하지 않고 프리도핑이 가능한 기술

나. 수송용 연료전지시스템

(1) 수소연료전지 수송시스템의 구조

○ 수소연료전지 수송시스템은 기존 수송시스템의 엔진에 해당하는 연료전지시스템과 전장장치, 수소저장장치로 구성되어 있으며 연료전지시스템에는 연료전지 스택과 수소, 공기, 물을 관리하는 운전장치로 분류됨

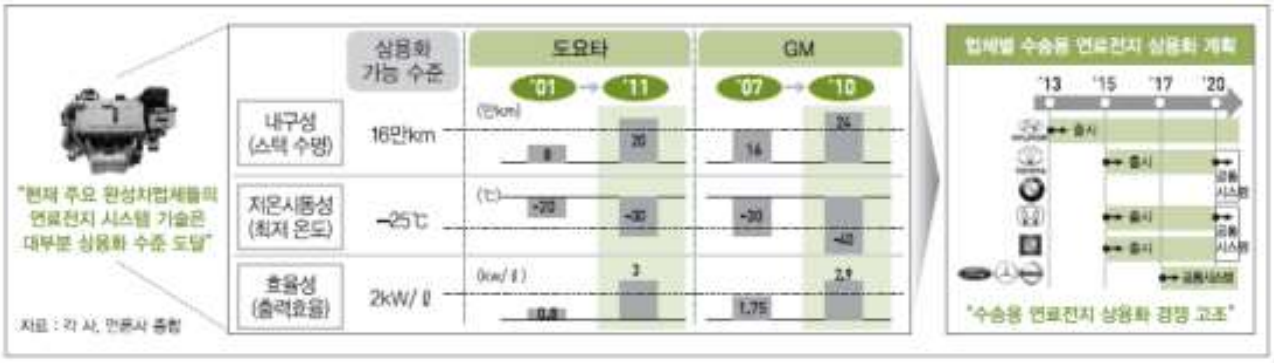
- 스택 : 수소와 산소가 만나서 전기를 발생시키는 장치로 다공질 탄소막을 접합시켜 기체의 확산을 최적화 및 촉매측과 접촉을 용이하게 하는 투과막/전극접합체(MEA : Membrane/Electrode Assembly)와 연료와 공기의 통로가 되면서 외부회로로 전기를 흘리는 역할도 수행하는 분리막(Separator 혹은 Bipolar plate)으로 구성됨
- 운전장치 : 스택에 수소와 공기를 공급, 제어하고 발생되는 물과 열을 제거하는 장치로 공기공급계(APS : Air Process System), 열 및 물 관리계(TMS : Thermal Management System), 수소공급계(FPS : Fuel Process System)로 구성됨
- 전장장치 : 연료전지스택으로부터 출력된 DC를 AC로 변환하는 인버터와 제동시 발생하는 전기를 저장하기 위한 슈퍼커패시터 및 이차전지 등으로 구성됨
- 수소저장장치 : 고압수소를 저장하고 압력을 조절하는 장치로 수소탱크, 압력조절밸브, 탱크내장형 솔레노이드 밸브, 압력센서, 수소센서 등으로 구성됨



[그림 2.71] 수소연료전지차의 구조

(2) 수송용 수소연료전지스택의 선진기술

○ 1990년대부터 독일 Daimler, 일본 Toyota가 개발을 시작하였으며 현재 내구수명 20만 km와 영하 30도 시동기술이 확보됨. 기술적으로는 상용화 수준에 있으나 시장진입의 걸림돌인 1억원 이상의 차량가격을 낮추는데 연구를 진행 중임



[그림 2.72] 주요 해외완성차업체의 수소연료전지 성능 비교

○ 미국 GM에서는 현재까지 수소연료전지차 실증에서 가장 많이 주행된 차가 16만km 이상이며 실증사업에 투입된 수소연료전지차의 충전횟수가 34,000회이며 이로 인한 온실가스 저감효과는 253톤에 해당한다고 발표함

○ 독일 Daimer는 온실가스 저감에 탁월한 전력기반 수송시스템 중 전기차는 주행거리 100~150km, 수소연료전지차는 주행거리 400km이상에서 적합하다고 발표함

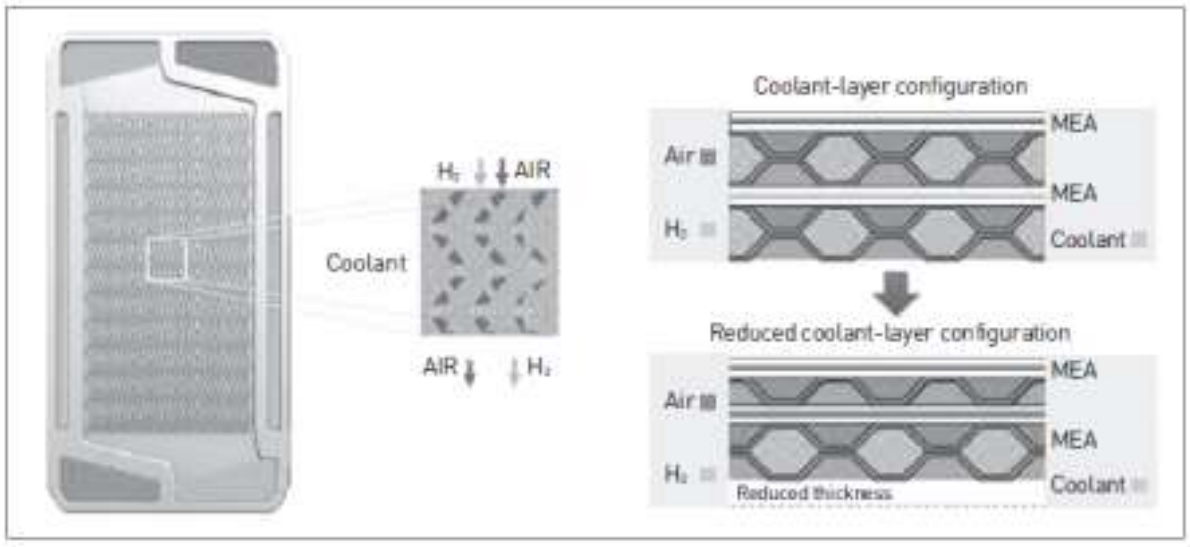
- Daimer의 기존 수소연료전지차는 연료전지시스템을 차량 언더바디에 탑재하는 형태였으나 차기 기종에서는 자동차 앞쪽 bonnet에 탑재하는 형태

○ 일본 Toyota는 친환경차 개발에 현재 확보된 하이브리드차 기술을 접목시켜 수소연료전지 수송시스템 가격을 저감시키고자 노력하고 있다고 발표함

- 전기수송시스템은 단거리에서 장점을 가지지만 주행거리가 증가할수록 시스템 가격이 증가하는 단점이 있어 수소연료전지차가 유리
- 현재 Toyota 수소연료전지차 기술은 20만km 내구와 1회 충전 주행거리 830km, 영하 30도 시동을 달성(2015년 출시차량 1회 충전 500km)
- 2015년에 출시되는 수소연료전지차 가격저감 형태를 5가지로 설명
  * 부품 제거/감소 : 가습기를 제거시키고 수소저장탱크를 3개에서 2개로 감소시킴
  * 대량생산 제품 이용 : 하이브리드차의 공용부품 적용
  * 부품구조 간소화 : 연료전지스택, 수소저장탱크
  * 소재가격 저감 : 스택성능을 2배로 증가시켜 고가의 소재 적층수 감소, 백금사용량 저감, 수소저장탱크에 사용되는 카본파이버 감소
  * 제조방식 향상 : 핵심부품인 막 전극접합체 제조시간 단축, 스택체결 자동화, 수소저장탱크 카본파이버 winding 속도 개선

○ 일본 Honda는 독창적인 V-flow 구조를 가진 연료전지 스택의 성능을 개선하여 미국 DOE 2020년 목표를 상회하는 출력밀도 3kW/L, 2kW/kg을 달성하였다고 발표함

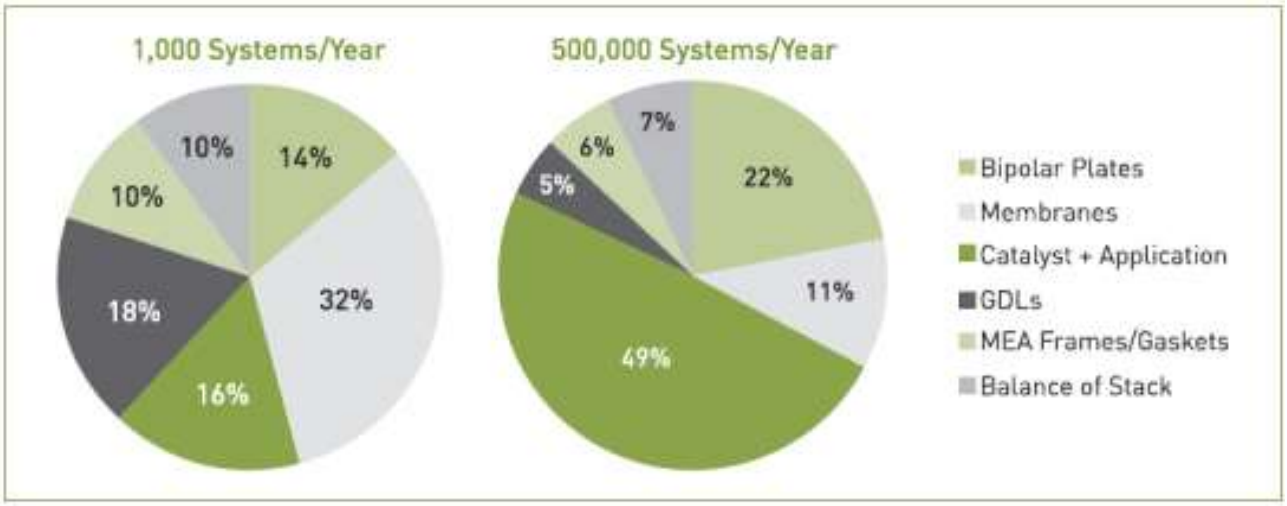
- 기존 내연기관과 유사한 연료 충전시간 (3분), 1회 충전거리(482km)를 달성
- Honda사는 수소연료전지차의 개발 이슈를 3가지로 설명
  * 내구성/신뢰성 : 시동/정지가 주요 성능열화 인자이며 일정한 환경을 유지하는 것이 중요
  * 품질관리 : 전해질 막, 전극, 기체확산측, 분리판 등 수백장이 적층되는 스택의 기계적 구조가 중요하기 때문에 보다 면밀한 관리가 필요
  * 가격저감 : 스택 적층시간 저감, 고가의 소재 저감(저백금), 대량 생산
- 15년에는 Honda 자체기술의 수소연료전지차를 출시하고 2020년에는 미국 GM과 공동개발한 수소연료전지차를 출시할 계획



[그림 2.73] Honda의 V-flow 분리판 형태 및 이를 이용한 스택적층 부피 저감 형태

○ 일본 Nissan은 석유, 석탄, 천연가스, 핵연료, 바이오, 신재생 등을 이용한 전기를 이용해 전기차와 전기를 통한 수소를 생산하고 이를 수소연료전지차에서 이용하는 형태로 수송분야 연료의 1차 에너지원의 다변화를 발표함

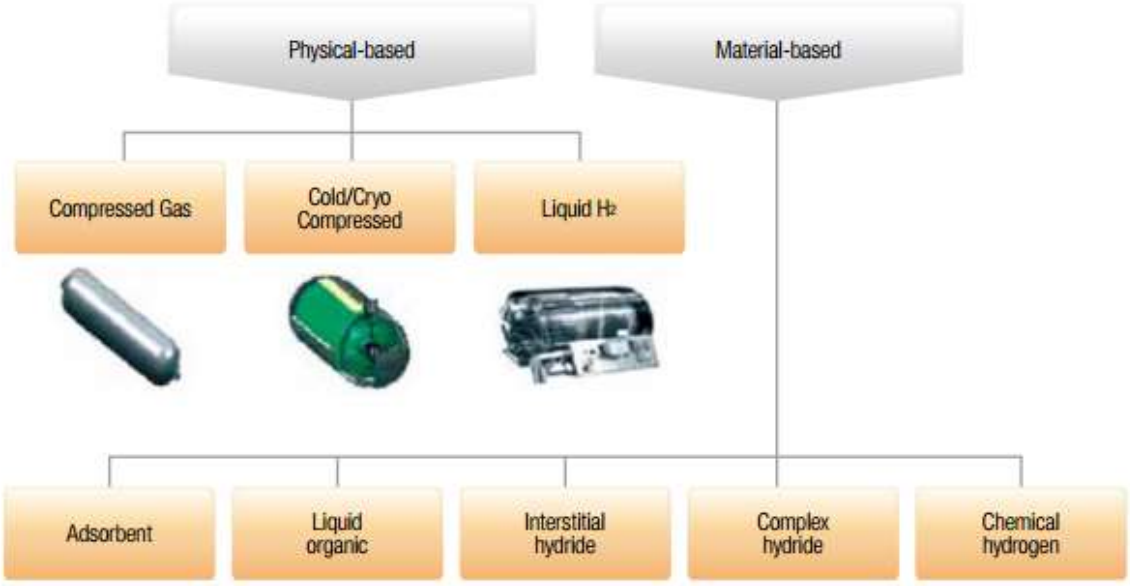
- 수소연료전지차의 상용화를 위한 기술이슈를 4가지의 형태로 설명
  * 영하조건에서 시동 : -30도 영하조건에서 시동 시 초기에 생성되는 물이 얼어버리는 현상 방지 기술
  * 스택 소형화 : 한정된 차량공간에 탑재할 수 있는 스택부피 소형화 기술
  * 스택 내구성 : 촉매열화와 카본담지체의 산화 방지기술
  * 수소연료전지차 가격 : 기술 극복과 대량생산을 통한 가격저감, 스택뿐만 아니라 운전장치의 가격저감도 필요하며 특히, 스택의 MEA(막전극접합체) 제조가격 저감이 중요



[그림 2.74] 미국 DOE에서 분석한 2013년 수소연료전지차 스택 가격

(3) 수송용 수소저장방식의 종류 및 특징

○ 다양한 수소 저장방식 중 수송시스템에서는 주로 고압으로 수소를 압축하여 저장하는 방식을 사용함. 수소 저장방식의 분류와 특징은 아래그림과 표와 같이 나타냄



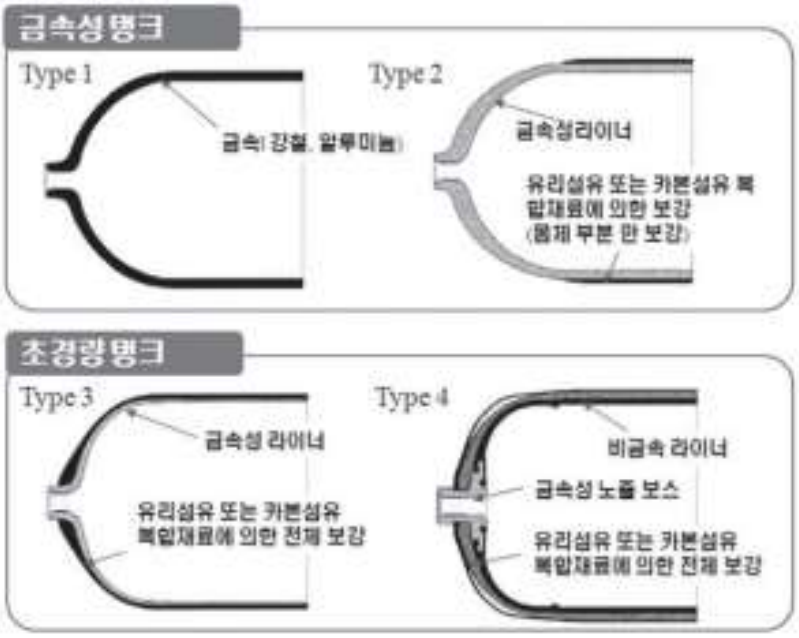
[그림 2.75] 다양한 수소 저장 방식

○ 사용재료와 강도보강법에 따라 고압수소저장용기는 Type 1,2,3 및 4로 나타내며, 이들 4개 분류는 미국 [ANSI/NGV], 캐나다 [CSA B51], 국제표준[ISO 11439] 및 일본 [고압가스보안법 예시 기준] 등이 거의 비슷하고, 표준화가 진척되고 있는 연료전지자동차연료용기의 국제표준 [ISO/CD 15869 Gaseous Hydrogen and Hydrogen blends-Land Vehicle fuel tank]에서도 같은 분류를 사용함

- Type-1 : 강제용기 인장강도 900N/㎟ 급의 크롬/몰리브 덴강
- Type-2 : 금속라이너의 원주방향을 유리/탄소삼유강화, 플라스틱강화용기 라이너 재료로는 인장강도 900N/㎟ 급의 크롬/몰리브 덴강
- Type-3 : 금속라이너의 전체면(동부,경부)을 탄소섬유강화 플라스틱으로 강화한 용기, 알루미늄 합금 라이너는 주로 AA6061을 사용
- Type-4 : 고밀도 폴리에틸렌제 라이너의 전체면을 탄소섬유/유리섬유강화 플라스틱으로 강화한 용기, 알루미늄합금 AA6061로 제작

[표 2.28] 수소 5kg 대응 저장성 비교

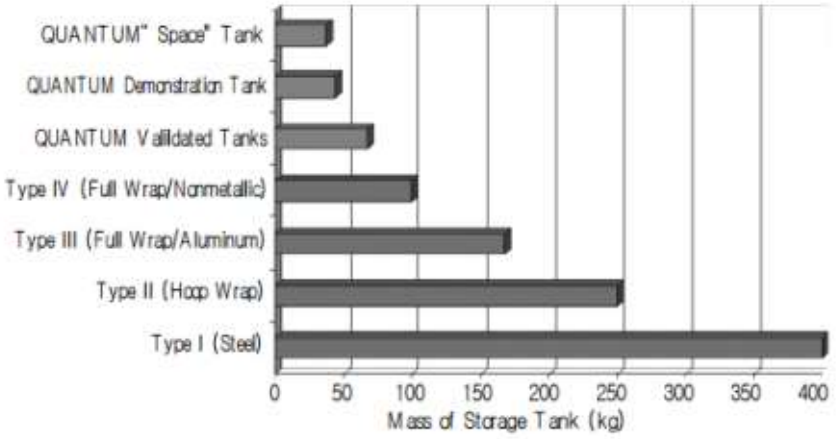
방 법	압축수소가스	액체수소	수소흡장합금
내 용	상온· 고압, 초경량탱크 20~70MPa, 수10Nm³	극저온(-253℃) 상압 단열용기 용량 : 10~3200Nm³	상온,상압근방 열교환기부착용기 금속수화물상태 LaNi⁵ 등의 합금 체적 : 기체상태의 1/1000 용량 : 0.03~2000Nm³
장 점	고질량수소밀도 저에너지소비 상온저장 보급기술	고질량수소밀도 고체적수소밀도 고순도수소원	고체적수소밀도 고안전성 고순도수소원 상온저장
단 점	저체적수소밀도 고압	액화동력과 비용이 큼 자연증발(boil-off) 충전시 증발	저질량수소밀도(합금) 피독· 열화현상
소요동력	이론 : 0.163 kWh/Nm³[주9] 현황 : 0.25~0.5kWh/Nm³	이론 : 0.31kWh/Nm³[주9] 현황 : 1.2~2.0kWh/Nm³	0.37kWh/Nm³[주9]
충전기간[주8]	5~10분	10분	10분개발목표



[그림 2.76] 고압수소저장용기의 형태

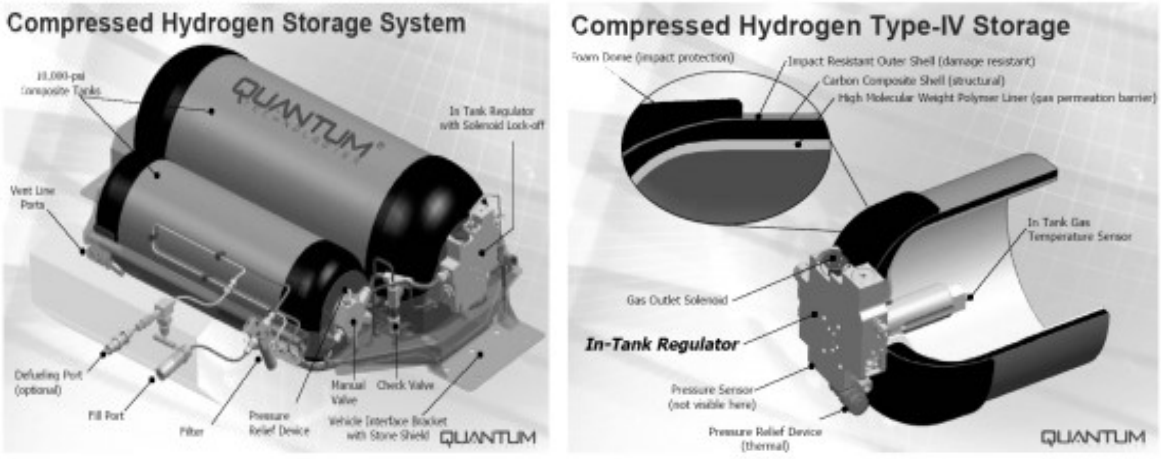
○ Quantum 사의 고압수소저장용기 종류 별 5kg 탑재용기의 무게를 [그림 2.74]에 나타냄

- Type-3의 금속라이너로는 알루미늄 6061-T6이 주로 사용되고 있으며, 강도강화를 통한 탄소섬유사용량 저감을 목적으로 SUS316와 SUS316L 등이 NEDO/JFE 등에서 개발되고 있음
- Type-4용 라이너로는 Quantum사는 고분자량 폴리머를 사용하고 있고, NEDO/IHH 등에서는 POM(Polyacetal) 단독으로나 ABS(아크릴로트릴/부타젠/스틸렌 공중합체)에 알루미늄이나 니켈을 코팅하여 수소투과성을 저감시킨 라이너를 개발하고 있음



[그림 2.77] 고압수소저장용기 별 수소 5kg 저장 시 무게

○ 아래 그림에서 나타낸 Quantum 사가 개발한 700기압 고압수소저장용기는 라이너로 고분자량폴리머를 사용하고, 에폭시를 입힌 탄소섬유를 통해 고압부하에 견디게 하고 있음



[그림 2.78] Quantum 사 TriShild 700기압 고압수소저장용기의 외관과 삼중구조

다. 추진시스템

(1) 인버터

(가) 인버터 기술추이

○ 반도체 스위칭 소자 업체들의 대용량 상용 IGBT 모듈의 정격 전압과 정격 전류에 따른 분류

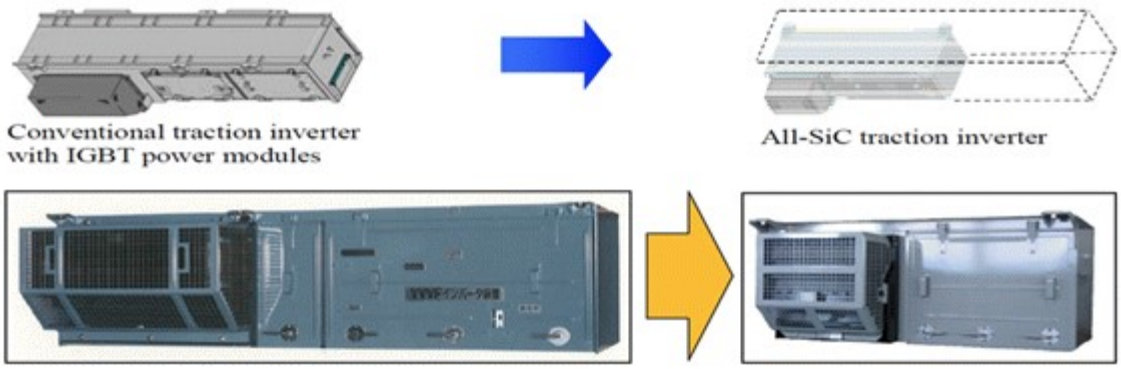
- 최근 주요 업체들은 1.7kV, 3.3kV, 4.5kV, 6.5kV의 정격 전압을 갖는 IGBT 스위칭 소자를 양산하고 있으며, 이 IGBT의 정격 전류는 정격 파워 용량에 따라 250A부터 3600A까지 다양함
- 현재까지 이보다 높은 정격 전압을 갖는 스위칭 소자는 양산된 바 없으므로, 하나의 반도체 스위칭 소자를 사용하는 것만으로는 25MW(초고속철도 시스템)급 대용량 인버터를 위한 정격조건을 만족할 수 없음
- 도시철도의 추진 시스템에서 사용하는 스위칭 소자는 주로 3상의 3.3kV/1200A 또는 3.3kV/1500A를 적용하고 있으나 5상 인버터에 1200A급 IGBT 스위치 소자를 적용한 경우 기존 3상 인버터의 최대전류인 500A의 60% 수준의 300A의 최대전류가 필요로 하며 5상의 인버터는 3상에 비해 리플 전류가 30% 가량 감소되어 그에 따른 고조파 성분의 감소에 따라 인버터의 기대수명을 증가시킬 수 있으므로 추진시스템에서 가장 고장율이 높은 인버터의 안정성을 크게 개선시키는 효과가 기대됨

정격전압 / 정격전류[DC]	1.7kV	3.3kV	4.5kV	6.5kV
250A				FZ250R65KE3(I)
400A		FZ400R33KL2C(I)		FZ400R65KF1(I)
500A		5SND0500N330300(A)		FZ500R65KE3(I) 5SNA0500J650300(A) MBN500H65E2(H)
600A			5SLG0600P450300(A) MBN600E45A(H)	FZ600R65KE3(I) 5SLD0600J650100(A)
750A				FZ750R65KE3(I) MBN750H65E2(H) CM750HG-130R(M)
800A		FZ800R33KL2C(I)	FZ800R45KL3_B5(I) MBN800H45E2(H) CM800HC-90R(M)	
1000A	FF1000R17IE(I)	FZ1000R33HE3(I)		
1200A	FZ1200R17HE4(I)	FZ1200R33KL2C(I) 5SLD1200J330100(A) CM1200HB66H(M) M1200HCE3301(M)	FZ1200R45HL3(I) 5SLD1200J450350(A) MBN1200H45E2(H) CM1200HC-90R(M)	
1500A		FZ1500R33HL3(I) MBN1500E33E2(H)	MBN1500FH45F(H)	
2400A	FZ2400R17HP4(I)	T2400GB45E (X)		
3600A	FZ3600R17HP4(I)			
A) : ABB (H) : Hitachi (I) : Infineon (M) : Mitsubishi (X) : IXYS				

[그림 2.79] 주요 업체 별 상용 대용량 IGBT 스위칭 소자

○ 소형, 저비용화 기술

- 인버터가 급속히 발전된 부분 중의 하나가 소형화 분야로서 일본의 경우 범용 인버터가 처음 나온 81년도에 비해 약 1/11로 소형화 됨. 초소형화 기술의 배경은 생산업체에 따라 두 가지로 구분하는데 첫째로 반도체 제조기술을 응용하여 복합금속기관에 파워회로와 제어회로를 동시에 탑재하는 방식과 둘째로 제어회로는 종래의 PCB를 그대로 사용하고 파워회로는 제어부분을 포함한 ASIPM(Application Specific Intelligent Power Module ; 고객전용 복합 파워 소자)화에 의한 초소형화를 실현하는 방식으로 발전
- 지속적으로 인버터 내부의 집적화는 추구되고 있으나, 너무 소형화 될 경우 오히려 배선이나 보수가 어려워져 오히려 고객이 사용하기 어렵게 될 것을 우려하여 당분간 더 이상의 축소는 추진하지 않을 것으로 보임
- 국외 기술동향을 살펴보면 전반적으로 Drive 부분에서 에너지 효율, HVAC, Lift 등의 Application별 제품 구분과 높은 IP등급(IP54, 66)에 대한 개발이 중점적으로 이루어지고 있으며, IGBT를 대체할 신소재(SiC)를 사용한 Drive 제품에 초점이 맞춰짐



[그림 2.80] SiC IGBT 소자를 이용한 추진 인버터

○ 제어 성능의 향상

- 범용 인버터의 적용 분야가 확대됨에 따라 제어의 고성능화를 요구하는 Needs가 증대되었으며, V/F 제어에서는 저속회전 시의 토크 부족이나 급 가감속 시의 과전류 트립 등의 문제가 크게 대두되었으나, 자속 벡터 제어 등 센서리스 벡터 제어방식을 도입하여 범용 인버터도 저속에서 150%이상의 토크를 보증함. 또한 저속에서의 운전도 맥동없이 매끄러운 운전이 가능하여 안정된 저속운전이 가능
- 이 수준 이상의 토크나 저속 운전을 필요로 할 경우 전동기의 속도나 위치를 검출하는 엔코더가 부착되어 있는 전용 벡터제어 인버터가 사용되기 때문에 범용 인버터가 일반 기계제어에는 어느정도 충분한 성능을 가짐. 이에 다라 범용 인버터에서는 저속 토크의 개선 뿐만 아니라 사용 용이성, 각 부하에 맞는 전용기능 등의 개발에도 중점을 두고 있음

○ 사용 용이성의 확대

- 범용 인버터가 광범위한 분야에서 사용되고 있기 때문에 사용고객의 기술수준도 다양하여 사용에 어려움을 가지며, 이에 대응하기 위해 제어 프로그램 작성 시 각종 트러블 발생 예방을 위한 최적제어의 기능을 채용
- 예를 들어 가감속 운전 패턴을 수동 설정 할 경우 과전류 및 과전압이 발생하여 운전 정지되는것을 방지하기 위해 스스로 최적 가감속 패턴을 설정하는 것이나, 전동기 상수, 운전 방법에 대한 이해 부족으로 저속에서 토크가 부족해지는 것을 막기 위한 Auto-Tuning 기능이 있음
- PC를 사용하여 원격에서 전동기를 구동하고 감시, 운용, 보수할 수 있도록 PC를 비롯한 각종 정보기기와 인터페이스를 할 수 있도록 각종 통신에 대한 요구사양도 다양화 됨
- 따라서 RS485 Port나 Option으로 PLC통신, 세계적으로 사용되는 Open Network의 하나인 Device-Net, Profibus 인터페이스 카드 등을 개발하여 보급하고, 프로그램 작성을 PC상에서 쉽게 할 수 있도록 프로그램 작성용 PC S/W를 개발 보급하고 있음

○ 에너지 절약 기능의 확대

- 최근 환경 문제와 함께 에너지 절약 분위기 확대에 따라 대표적으로 에너지 사용량이 많은 전동기의 에너지 사용량을 줄이기 위해 인버터의 보급이 확대되고 있음
- 특히 정부의 정책 자금을 지원 받아 수행하는 ESCO사업이 활성화 되고, 한전의 인버터 [고]마크 제도가 시행됨에 따라 대표적인 에너지 절약기기로 도입 되고 있음
- 이미 인버터의 자체 효율은 95%를 넘어서고 있기 때문에 인버터 자체의 에너지 절감보다는 인버터에서 전체기계에 얼마나 효율적으로 에너지가 절약될 수 있을 것인가에 대해 연구되고 있음

○ 노이즈

- 과거 인버터를 사용하여 전동기를 운전할 경우 전동기에서 발생하는 전자 소음을 줄이기 위해 사람이 들을 수 없는 고주파로 스위칭을 하는 고주파캐리어 PWM제어방식을 적용했으나, 역 작용으로 인버터가 주요 노이즈 발생원이 됨
- 이의 해소를 위해, 스위칭 주파수를 저 Hz까지 영역을 낮출 수 있게 하거나, 새로운 Soft PWM 제어방식을 적용. 일반적으로 전자파 차단의 재료를 실장하거나 배선으로 전달되는 전도성 노이즈에 대해서는 Filter를 사용하고 있으나, 최근 이를 줄이기위해 다양한 PWM제어 방식이 연구되고 일부는 제품에 탑재 있음

○ 안전규격

- 인버터가 장착되는 각종기계가 이제는 국내 뿐 아니라 전 세계로 수출되고 있어 국내에서 판매된 인버터의 사용 장소가 전 세계로 넓어지고 있어 이 세계 각국에서 요구되는 규격의 취득이 요구됨

- 이들 안전규격은 주로 연기발생, 발화의 방지를 위한 재료 사용과 감전 방지를 위한 절연 및 구조를 요구. 유럽에서는 CE마크, 북미에서는 UL마크가 요구되고 있는데 UL의 예를 보면 부품의 연소방지 재질 채용, 절단면, 절연 고리, 장치의 틈, 내부 컨덴서의 자연방전 시간 등을 규정하고 있음
- 향후 기술동향 인버터의 발전은 전력용 반도체, 마이크로프로세서로 대표되는 H/W및 PWM 파형 합성, 전동기의 운전 등의 제어기술로 나누어 생각할 수 있음

[표 2.29] 인버터의 기술추이 분석

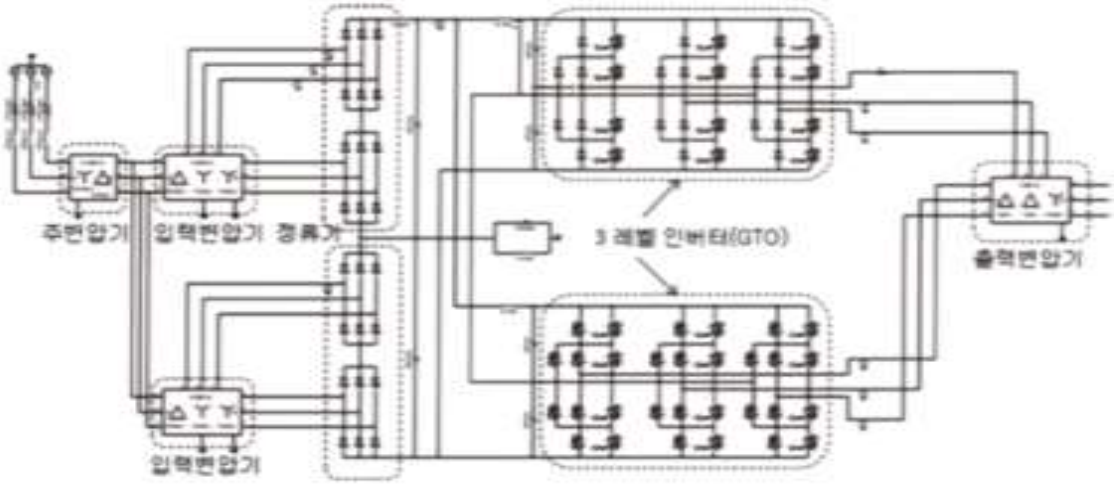
	고기능/고성능 INV	다양화 & 지능화	쉬운 유지보수 엔지니어링	신소재 SIC Drive
Drive 기능	저속에서 최전력 증대 전동기 상태 자동 검출 Harch 환경 Enclosure Down Sizing	다양한 모터제어 (IM, PM) 프로그램 제어 USB, Ethernet Safety 기능	시스템 상태 자동인식 쉬운 유지보수 무선통신	신소재 파워소자(SIC) 획기적인 효율향상 및 소형화(Size 50% down)
	고압 & 대용량화	**Energy Saving**	**산업별 전용 솔루션**	
System Solution	3,300/6,600V 고압 인버터 확대로 에너지 효율 증가	에너지 절약기능의 강화 단기간 내 투자비 회수로 고객 이익 기여	철강/제지 Winder Application	항만 Crane Application

(나) 인버터 토폴로지

○ 초고속철도용 인버터 기술

- 독일의 Transrapid 방식과 야마나시 시험선 방식의 공통점은 모두 출력 변압기를 통해 낮은 레벨의 인버터 여러 개를 다단 연결 시켜 대용량 출력에 맞게 구조를 변화시킴

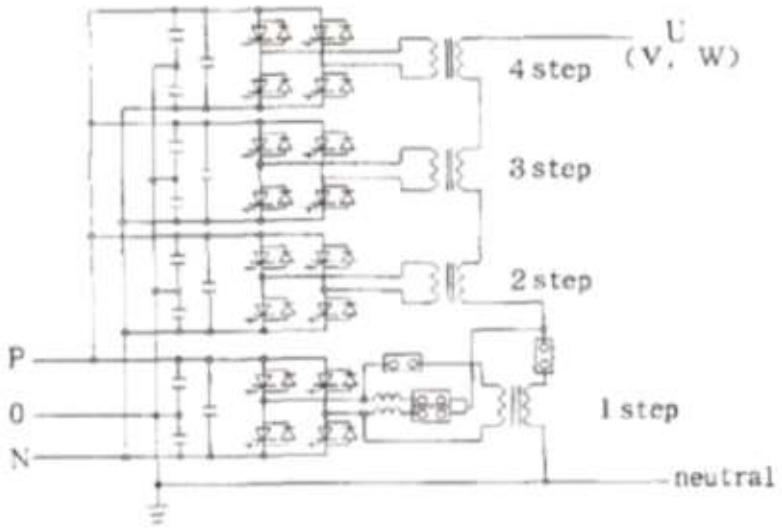
① 독일 Transrapid의 자기부상열차 TR-07



[그림 2.81] TR-07 급전 회로 시스템의 전력 변환 장치

- 1개의 주 변압기와 2개의 다이오드 정류기용 입력 변압기, LSM 구동을 위한 3레벨 GTO 인버터, 1개의 출력 변압기로 구성되며 110kV의 상용 전원에서 전원을 공급받아 두 대의 위상 제어 정류기 시스템을 통해 2.6kV의 인버터 DC 링크를 공급하고, 인버터는 2대의 3레벨 GTO 인버터가 한 쌍으로 출력 변압기에 연결되어 있음

② 일본 야마나시 시험선

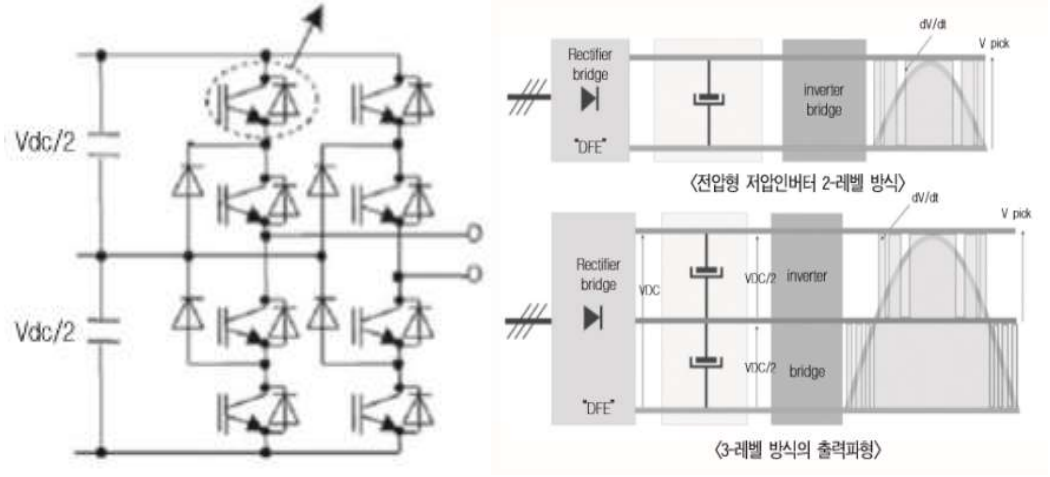


[그림 2.82] 일본 야마나시 시험선 급전 회로 시스템의 전력 변환 장치

- GTO Full-bridge 인버터를 출력 변압기를 통해 다단 연결시켜 구현 하였고, LSM 출력 특성에 따라 출력 변압기가 직 병렬 구조를 연결시켜주는 방식

○ 고압 인버터, Neutral Point Clamped 멀티레벨 인버터(NPC Multi-level Inverter)

- NPC 방식은 일본 신간센에서 활용되고 있는 토폴로지로 출력전류 THD, 인버터 효율 면에서 2레벨 인버터와 비교하여 우수한 성능을 보임



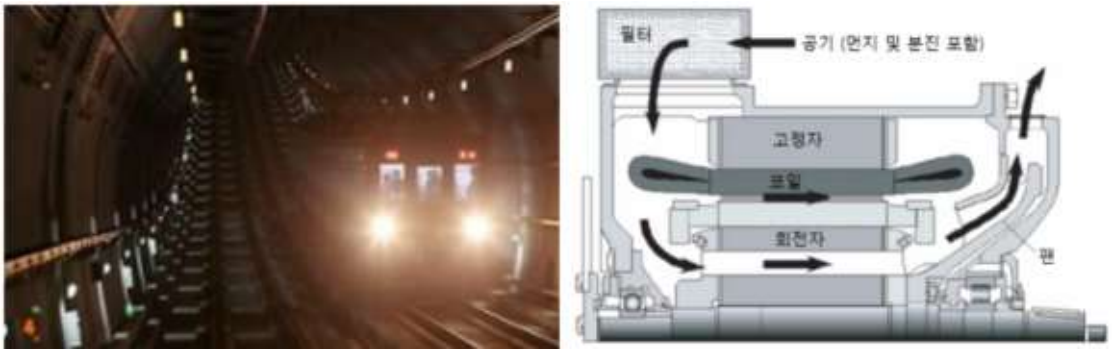
[그림 2.83] NPC 멀티레벨 인버터 토폴로지 및 2-레벨과 3-레벨 방식의 출력비교

(다) 견인전동기

○ 1974년 지하철 개통 시 저항제어방식의 차량이 일본 히타치 전공(日立)에서 제작되어 도입되었으며, 1977년부터 대우중공업에서 조립하기 시작하였고 일부 부품은 일본 미츠비시(三菱)의 제품을 채용하였음. 견인전동기로는 DC 직권전동기를 사용함

○ 국내의 전동차량의 기술수준은 1970년대 직류직권전동기 단계, 1980년대 유도전동기 단계로 발전하여 약 30년 동안 유도전동기 단계에서 머물러 있음

○ 기존 유도전동기는 효율이 최대 92%로 낮고, 외부 공기로 냉각하는 방식으로 이물질로 인한 유지보수 비용이 많이 들어가는 구조로 되어 있어 개선 필요



[그림 2.84] 지하 먼지 및 분진의 외부공기 흡입 냉각

○ 전력전자 및 최신 제어기술의 발전에 따라 소형, 경량화 및 고효율화를 위하여 기존의 유도 전동기에서 효율과 출력 밀도가 우수한 영구자석 동기전동기로 대체하는 연구가 활발히 진행 중임

○ 고속철도의 경우, KTX는 권선형 동기전동기를 채용하였으며, 한국형 고속열차 KTX II는 유도전동기를 채용함

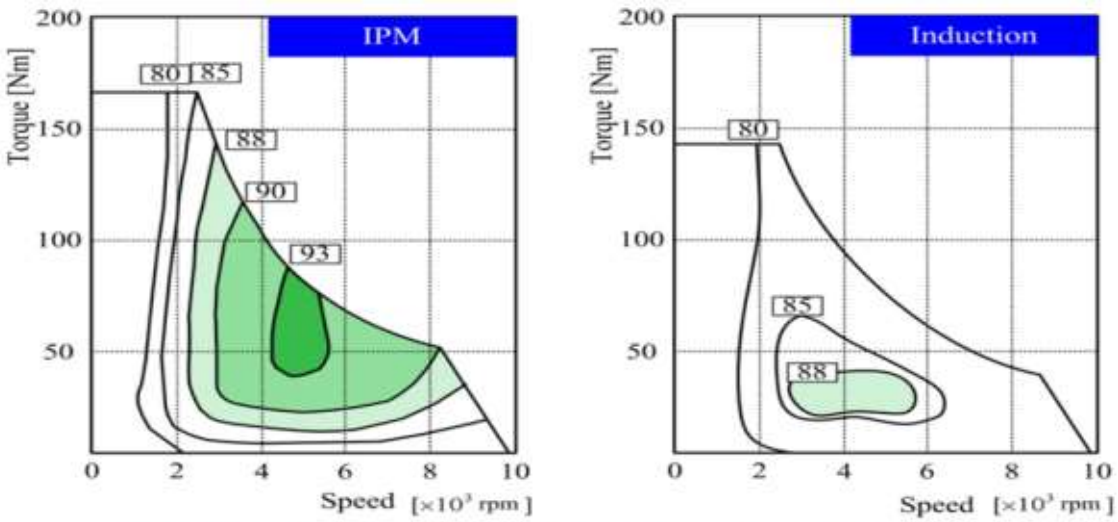
○ 한국형 초고속열차 HEMU는 1C4M의 유도전동기와 1C1M의 영구자석 동기전동기를 병행하여 채용하고 있으나, 국내에서는 철도차량용 추진시스템의 고출력밀도화 기술에 대한 구체적인 연구실적은 없음

○ 오히려 고출력밀도 추진시스템 핵심요소기술에 대한 연구는 전기자동차를 중심으로 중점 수행되고 있음

○ 일례로 현대자동차에서 하이브리드 자동차 견인용 모터로서 일본에서 도입한 영구자석 매입형 동기전동기를 적용하여 고효율 운전을 위해 개발을 진행 중에 있으나 그 외의 분야에서 적용은 거의 전무한 상태임

○ 기존의 전기철도 차량에서 견인전동기 구동력은 플렉시블 커플링과 감속기어를 통하여 차륜에 전달되며 견인전동기의 토크는 기어비만큼 배가될 수 있음. 근래에는 기존의 AC 비동기 모터를 대신할 영구자석 동기전동기가 많이 개발되고 있는데 이는 최근 수십년간 급속한 전력전자기술 발달을 통해 가변전압, 가변주파수 인버터를 사용하여 교류전동기의 가변속 구동시스템을 용이하게 구현하고, 희토류 영구자석 재료 개발을 통해 좀 더

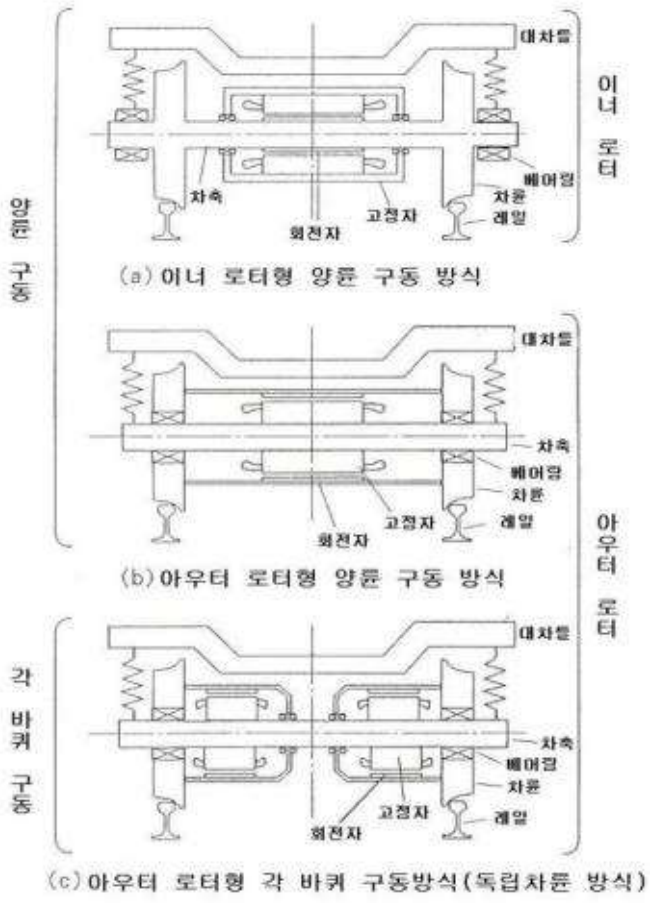
가볍고 효율이 높은 영구자석 동기전동기를 만드는 기술적 발전성과가 있었기 때문임



전동기 시스템의 운전효율 비교 : EV50 (TOYOTA 기준)

※ 출처 : EV50 (Toyota 기술자료)

[그림 2.85] 영구자석 동기전동기와 유도 전동기의 운전 효율비교



[그림 2.86] 이너로터 및 아우터 로터 방식

○ 영구자석 동기전동기는 높은 토크 특성으로 인해 고효율화 전동기의 가장 유력한 후보임. 영구자석 회전자가 자계의 회전과 동기된 속도로 회전하기 때문에 동기라고 부르며, 작은 부피와 중량으로 강력한 자계를 형성하기 위해 영구자석재료로서 희토류 금속의 하나인 Nd-Fe-B를 사용하고 있음

○ 회전자의 형식에 따라 내측 회전자 형식과 외측회전자 형식으로 구분할 수 있는데, 내측 회전자 형식은 (a)와 같이 내측의 회전자가 차륜에 직결되어 있고 외곽의 고정자가 베어링을 통하여 회전자를 지지하고 있음. 외측 회전자 형식은 (b)와 같이 차축이 고정되고 차륜은 베어링을 통하여 차축 주위를 회전할 수 있는 구조로 되어있음. 이 때 외측의 회전자는 차륜에 직결되며 내측의 고정자는 차축과 함께 고정됨.

○ 영구자석 동기전동기의 장점은 플렉시블 커플링이 없기 때문에 유지보수를 경감할 수 있으며, 작은 부피와 외부 수냉각을 통해 열제거를 할 수 있으며 이는 먼지유입을 막으므로 유지보수에 강점을 가짐.

○ 현대자동차, 효성중공업, LG 이노텍 등을 중심으로 자동차 견인용 영구자석전동기의 개발이 이루어지고 있으나, 대부분 내전형(Inner rotor type)의 영구자석 매입형 동기전동기로서 희토류 영구자석이 주 토크발생원이므로 가격이 비싸고 낮은 온도에서의 영구자석 성능저하 및 고속에서의 높은 역기전력에 의한 제어성능 저하의 단점을 가지고 있음.

○ 희토류 저감형 동기전동기는 최근의 희토류 영구자석 가격의 급격한 상승으로 인해 기존의 매입형 영구자석 동기전동기를 대체하는 형태의 전동기로 개발되고 있으며 10kW 미만급의 경우, 단위 부피당 토크를 유도전동기에 비하여 4% ~ 5% 가량 크다는 장점이 있어, LG전자, 동부대우전자, 현대자동차, 전자부품연구원 등을 중심으로 소형가전 혹은 자동차 등에 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있으며, 에어컨 실외기 팬(LG전자), 정속 런닝머신(두비원(주))등에서 개발 적용한 사례가 있다. 또한 영구자석형 동기전동기에 비하여 고속 영역에서의 역기전력이 낮다는 장점이 있어 특히 고속회전이 필요한 분야에서 영구자석에 의한 역기전력을 낮추기 위한 대안으로 개발되고 있음



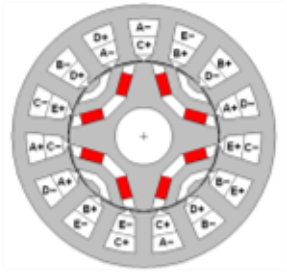
(a) Direct Drive In-wheel 전동기 (해외)



(b)국내 NEV용 In-wheel PMSM 제작 예

[그림 2.87] Direct Drive In-wheel 전동기 사례

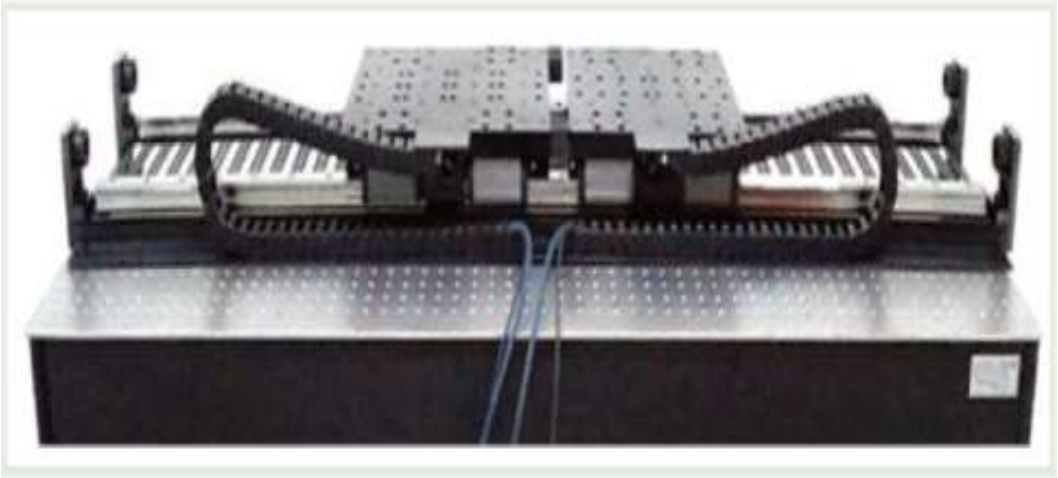
사양	유도전동기	IPMSM	PMa-SynRM
Torque Source	Field	영구자석	영구자석 + Reluctance Torque
영구자석 부피	0%	100%	60%
효율	약 90%	약 96%	약 96%
Back-EMF	낮음	높음	낮음
전동기 부피	100%	6~70%	6~70%
장점	쉬운 설계와 제어 낮은 가격	작은 부피 높은 출력밀도	쉬운 고속제어 높은 출력밀도
단점	큰 부피 낮은 효율	높은 가격 고속제어 어려움	설계 어려움



< 5상 PMaSynRM 구조 >

[그림 2.88] 영구자석 동기전동기 특성

○ 2012년 전기연구원에서 희토류 저감형 이중돌극형 선형전동기를 개발하여 정밀위치제어응용 시스템, 직접구동 장거리 반송시스템, 자동화장비, 반도체/디스플레이 제조 장비의 이송용 구동기, 공작기계, 검사장비의 이송계, 로봇 등 다방면에 걸쳐 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며 희토류 영구자석을 40% 저감



[그림 2.89] 이중돌극형 영구자석 선형전동기 시제품(전기연구원, 2012)

라. 전력제어시스템

(1) 연료전지-배터리 충방전용 DC/DC 컨버터 개요

○ 연료전지는 출력이 부하변동에 빠르게 추종하지 못하는 특성을 보이기에 최종출력이 안정될 수 있도록 배터리를 혼합하여 실시간으로 연료전지 생산전력의 부족 또는 과잉분을 보충 또는 흡수해 줄 수 있는 양방향 DC/DC 컨버터가 필요

○ 연료전지발전시스템은 생산전력을 부하로 효과적으로 전달하기 위해 단방향 DC/DC 컨버터와 함께 구성되며, 배터리충방전시스템은 충전과 방전을 실시간으로 수행하기 위해

서 양방향 DC/DC 컨버터가 요구됨

○ 저전압, 대전류의 특성을 갖는 고체고분자연료전지(PEMFC)의 경우, 비교적 낮은 출력전압을 가짐에 따라, 저전압 에너지원의 생산전력을 고압 측으로 전달하기 위해서 승압용 DC/DC 컨버터가 필요하며, 배터리 또한 동일한 승압용 DC/DC 컨버터가 요구됨

○ 연료전지나 배터리 출력용 DC/DC 컨버터는 고효율과 고전력밀도, 간단한구조, 연속적인 전류흐름으로 연료전지에 해로운 출력전류의 리플 크기를 줄여줄 수 있어야 함

○ 이러한 요구조건을 충족하기 위하여 연료전지 또는 배터리 입출력 전류의 리플크기가 작고, 높은 전압 승압/강압비를 갖으며, 구동스위치가 모두 영전압 또는 영전류스위칭(ZVS, ZCS)으로 동작하고, 고효율 및 낮은 전자 기파방사사양을 갖추고, 고전력밀도 사양 등을 두루 갖춘 DC/DC 컨버터의 개발이 필요함

(2) 연료전지-배터리 충방전용 DC/DC 컨버터 토폴로지

○ Buck-Boost 컨버터 토폴로지(“무가선 저상트램 차량개발” 에 적용)

- 주요 사양

・주회로 : Buck-Boost 컨버터

・제어방법 : Pulse Width Modulation (PWM)

・냉각방식 : 강제공기냉각

・충전방법 : 일정전압, 일정전류

・가선전압 : DC 750V, Battery : 675V

・리플율 : 5% 이하

- Buck-Boost 컨버터의 제어

・Battery의 BMS로부터 전압, 전류, 온도 정보를 모니터링

・회생제동시 회생에너지를 양방향 DC/DC 컨버터는 강압형 모드(Buck)로 동작하여 배터리를 충전

・차량의 역행시 양방향 DC/DC 컨버터는 Boost 모드로 동작, 배터리 에너지를 인버터에 공급하기 위하여 방전

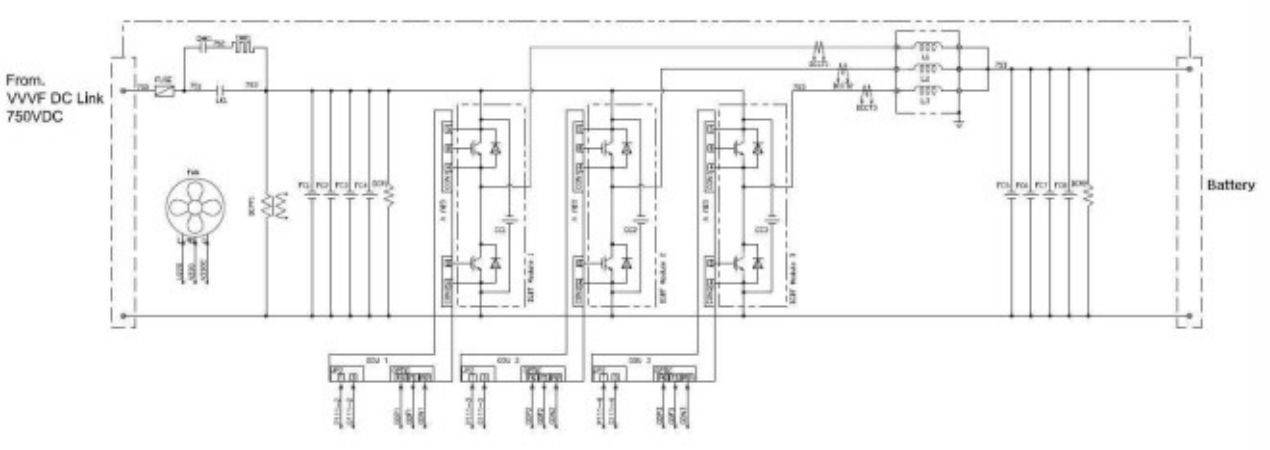
- 정전류 제어(CC : Constant Current)

・배터리의 성능을 최적으로 유지하기 위한 제어방식은 충전 혹은 방전초기부터 완료까지 일정한 전류로 충방전을 수행하도록 하는 정전류 제어

- 정전압 제어(CV : Constant Voltage)

・정전압제어는 DC/DC 컨버터의 출력전압을 배터리의 충전 완료시 단자전압과 거의 같도록 설정

・충전 초기부터 종료까지 항상 일정 전압이 배터리 양단에 걸리도록 제어하는 방법

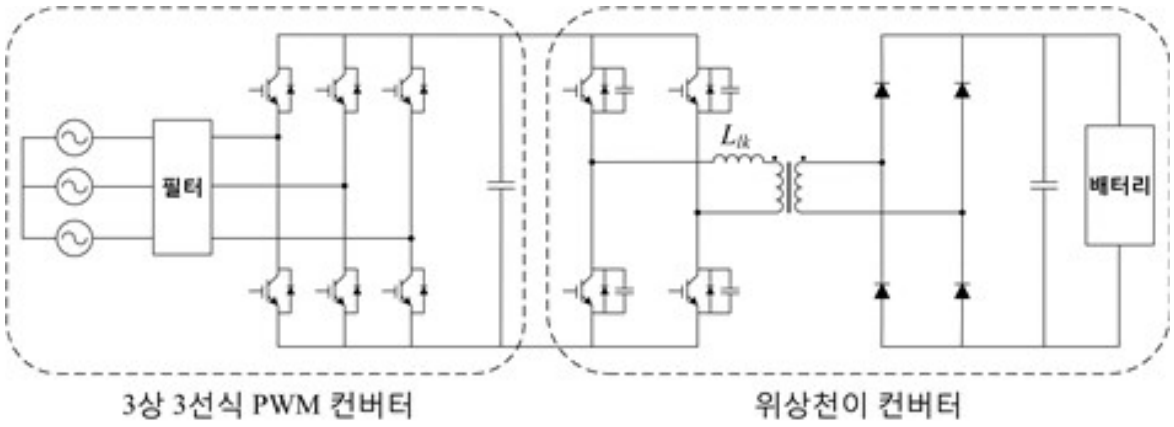


출처 : 무가선 저상트램 차량개발

[그림 2.90] 양방향 DC/DC 컨버터 주회로도 (Buck-Boost 컨버터)

○ 위상천이 컨버터 토폴로지

- 이 토폴로지는 구조적으로 간단하며, ZVS (Zero Voltage Switching) 동작이 가능하기 때문에 스위칭 손실이 적은 장점이 있음



출처 : 위상천이 풀-브리지 DC/DC 컨버터를 이용한 차세대 고속 전철용 Battery Charger에 관한 연구

[그림 2.91] PWM 컨버터 및 위상천이 컨버터 회로도

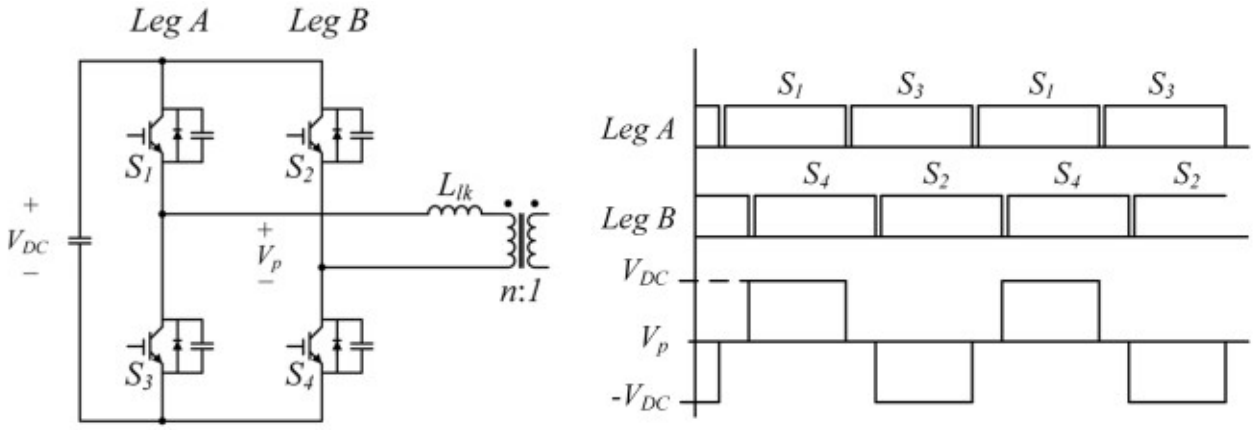
- 고효율 DC/DC 컨버터 제어 알고리즘

・위상천이 DC/DC 컨버터는 입력단 스위치의 손실을 저감하기 위해 위상제어 스위칭 방식을 사용함

・1차 측 입력단의 경우 2개의 레그로 구성되며 각 레그는 0.5의 듀티로 고정되어 스위칭을 하게 되며, 각 레그의 위상제어를 통해서 듀티 중첩구간을 만들 수 있고 이 구간에서 전력을 전달하게 되고 듀티 중첩 범위에 따라서 출력 전압이 결정 됨

・입력단 스위치의 ZVS 동작을 통해 스위칭 손실을 줄일 수 있음

・변압기를 통해 입력과 출력을 절연할 수 있어 안정성이 높음

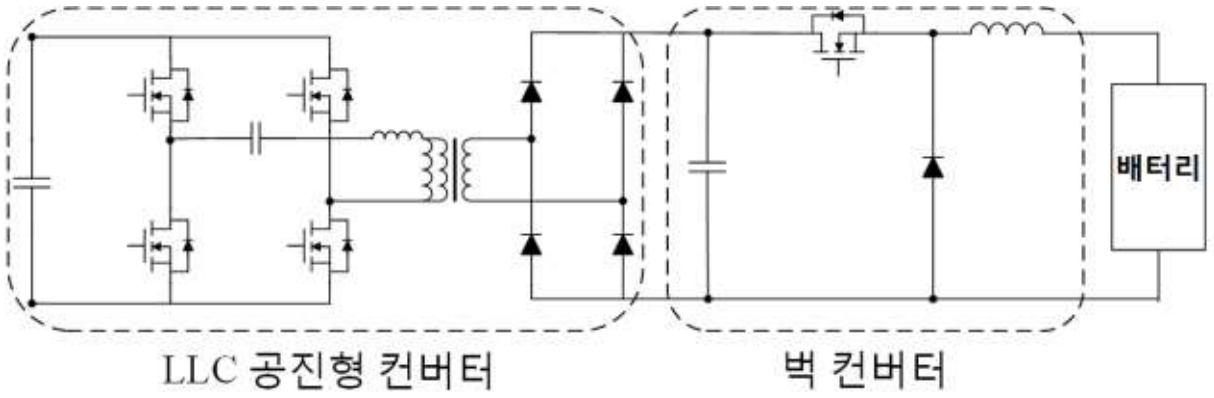


(a)위상천이 DC/DC 컨버터의 1차 측 회로 (b)각 레그의 스위칭 파형 및 1차 측 전압

[그림 2.92] 위상천이 DC/DC 컨버터의 1차측 회로 및 스위칭 파형

○ LLC 공진형 컨버터 토폴로지

- DC/DC 컨버터 토폴로지는 LLC 공진형 컨버터와 벅 컨버터 2단으로 이루어져 있음
- LLC 공진형 컨버터는 L과 C 수동소자의 공진 특성을 사용하여 전력을 전달 함
- LLC 공진형 컨버터의 경우 ZVS 동작이 가능하기 때문에 스위칭 손실이 적은 장점이 있으나 넓은 범위의 전압을 출력하지 못함
- LLC 공진형 컨버터의 좁은 출력전압 범위를 보완하기 위해 벅 컨버터를 사용 함
- 벅 컨버터를 통해 50V ~ 500V의 전압을 출력 할 수 있음



[그림 2.93] LLC 공진형 컨버터 회로도

- 고효율 DC/DC 컨버터 제어 알고리즘

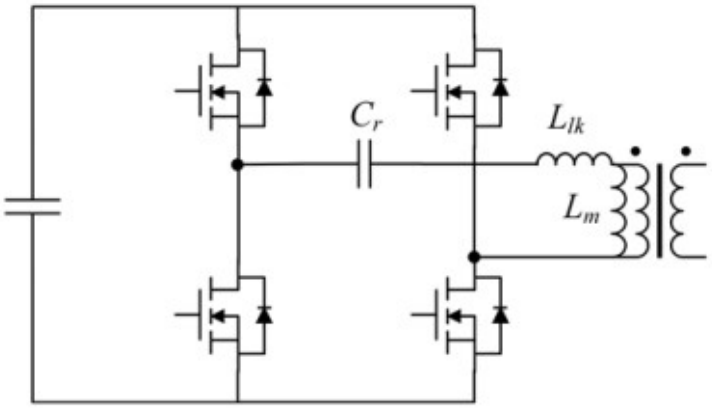
・LLC 공진형 컨버터의 입력단 스위치 손실을 저감하기 위해 손실저감 알고리즘을 적용

・1차 측 입력단의 경우 2개의 레그로 구성되며 각 레그는 0.5의 듀티로 고정되어 스위칭을 하게 되며, 각 레그의 위상은 180도의 고정 위상차로 스위칭을 하고 L과 C의 공진특성에 의해서 전류를 공진시킴으로써 전력을 전달함

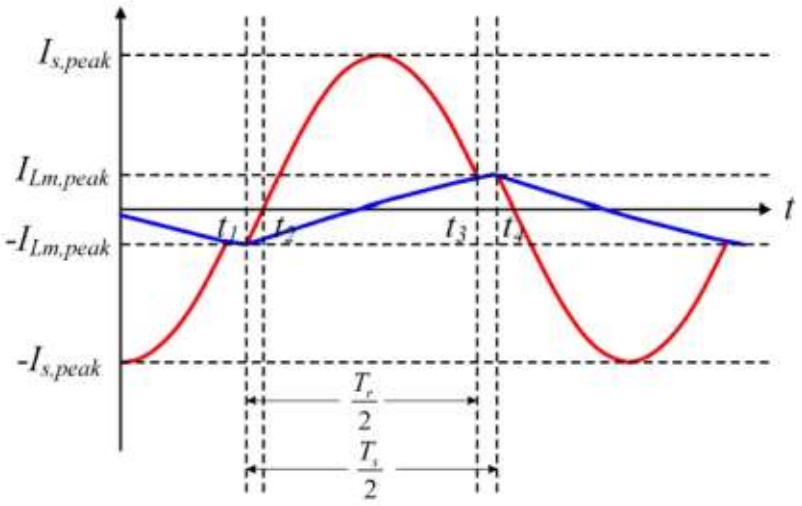
· 스위칭 주파수에 따라서 공진 이득이 달라지기 때문에 스위칭 주파수에 의해 출력 전압이 결정되지만, 스위칭 주파수와 출력전압의 비선형 특성에 의해 스위칭 주파수 가변에 제한이 있기 때문에 넓은 범위의 전압을 출력하지 못함

· 입력단 스위치의 ZVS 동작을 통해 스위칭 손실을 줄일 수 있음

· 변압기를 통해 입력과 출력을 절연할 수 있어 안정성이 높음



[그림 2.94] LLC 공진형 컨버터의 1차 측 회로



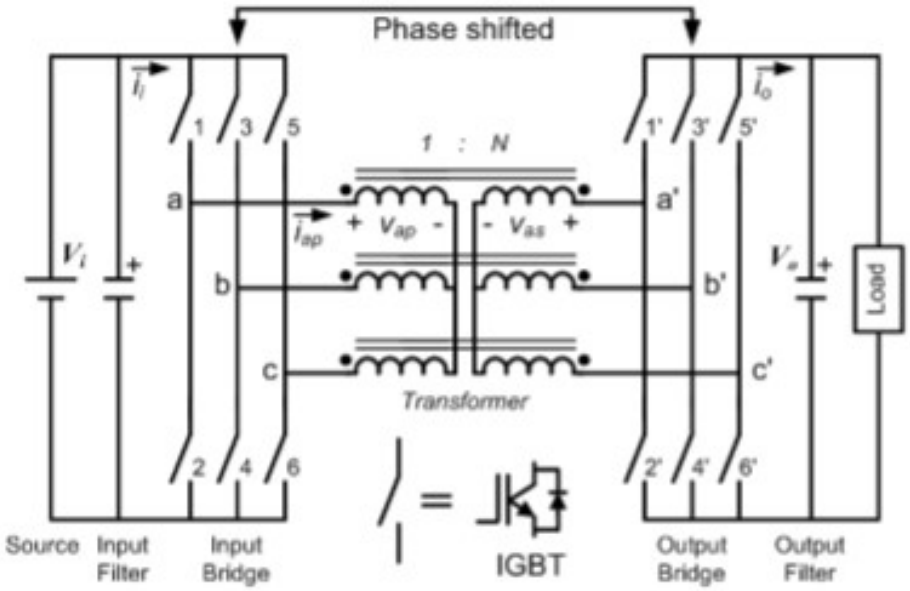
[그림 2.95] LLC 공진형 컨버터 1차 측 전류 파형

○ 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터 토폴로지

– 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터는 고주파변압기의 양측에 전압형 브리지를 갖추고 있음

– 이 컨버터는 변압기의 누설인덕턴스를 에너지전달 매개체로 활용하며, 전력전달은 변압기 양측의 스위치들의 전압위상차 제어로 동작함

– 이 컨버터는 높은 순환전류에 의한 손실과 일체형 대칭구조 변압기를 적용했음에도 불구하고 변압기의 누설인덕턴스값에 대한 엄격한 오차범위를 요구하는 등의 문제를 보여줌

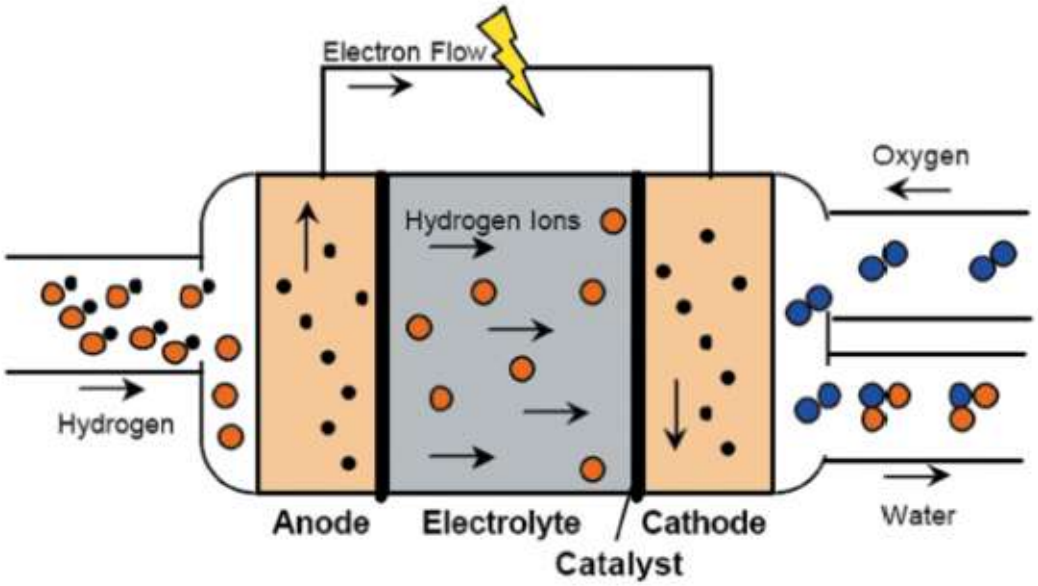


[그림 2.96] 이중 능동브리지방식 양방향 DC/DC 컨버터

마. 수소연료전지 발생 및 충전

(1) 수소연료전지 기본 원리

○ 연료전지는 물의 전기 분해와 반대되는 원리로, 물을 전기분해 할 때는 외부의 전기를 통해 물을 수소와 산소로 분해하는 반면에 연료전지는 수소와 산소를 전기 화학적으로 반응시켜 전기를 발생



출처 : 신재생에너지원인 수소연료전지의 원리와 응용(심중표 외 2)

[그림 2.97] 연료전지 작동원리 및 기본구조

– 화학반응식

・연료극(음극) : H2 → 2H+ + 2e

・공기극(양극) : 1/2O2 + 2H+ + 2e→ H2O

・전체반응식 : H2 + 1/2O2 → H2O

○ 연료극의 연료로 사용되는 수소는 단독으로 자연계에 존재하지 않아 다른 물질로부터 추출해야 하는데 수소를 여러 가지 원료에서 추출하는 것을 ‘개질’이라고함

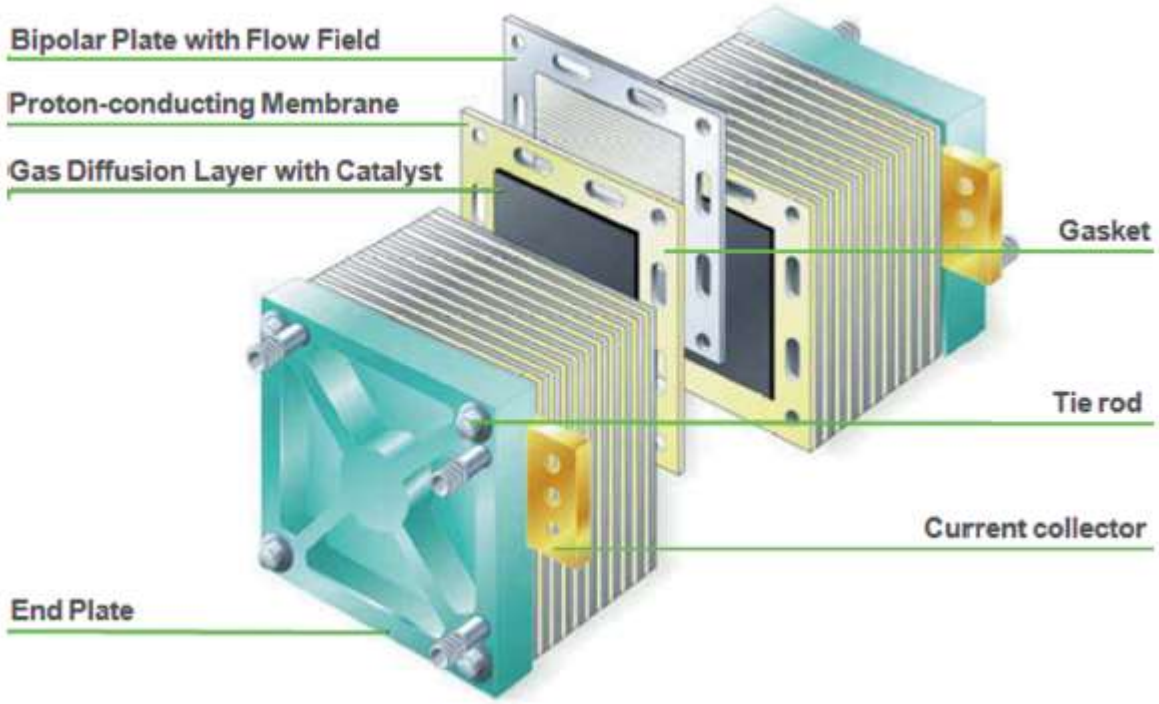
○ 수소가 연료극 측으로 흐르면 촉매층에서 수소가 전자와 수소이온으로 분해됨

○ 수소이온이 연료전지의 중심에 위치한 고분자 멤브레인을 통하여 이동되면 촉매의 도음으로 공기극에서 전자와 산소이온 그리고 수소이온이 합쳐져서 물이 생성됨

○ 여기서, 연료극에서 생성된 전자는 멤브레인을 통하여 이동되지 못하고, 외부회로를 통하여 공기극으로 이동되고, 이러한 과정을 거치면서 전기와 물을 생성

○ 연료전지 스택은 전극과 전해질을 하나의 세트로 하여 여러 장을 적층한 것을 하나로 결합한 형태

○ 연료전지 시스템은 연료인 수소의 저장(또는 공급) 부분, 연료전지 스택, 스택을 제외한 시스템을 작동시키는데 필요한 주변장치(BOP)로 구성됨



출처 : 신재생에너지원인 수소연료전지의 원리와 응용(심중표 외 2)

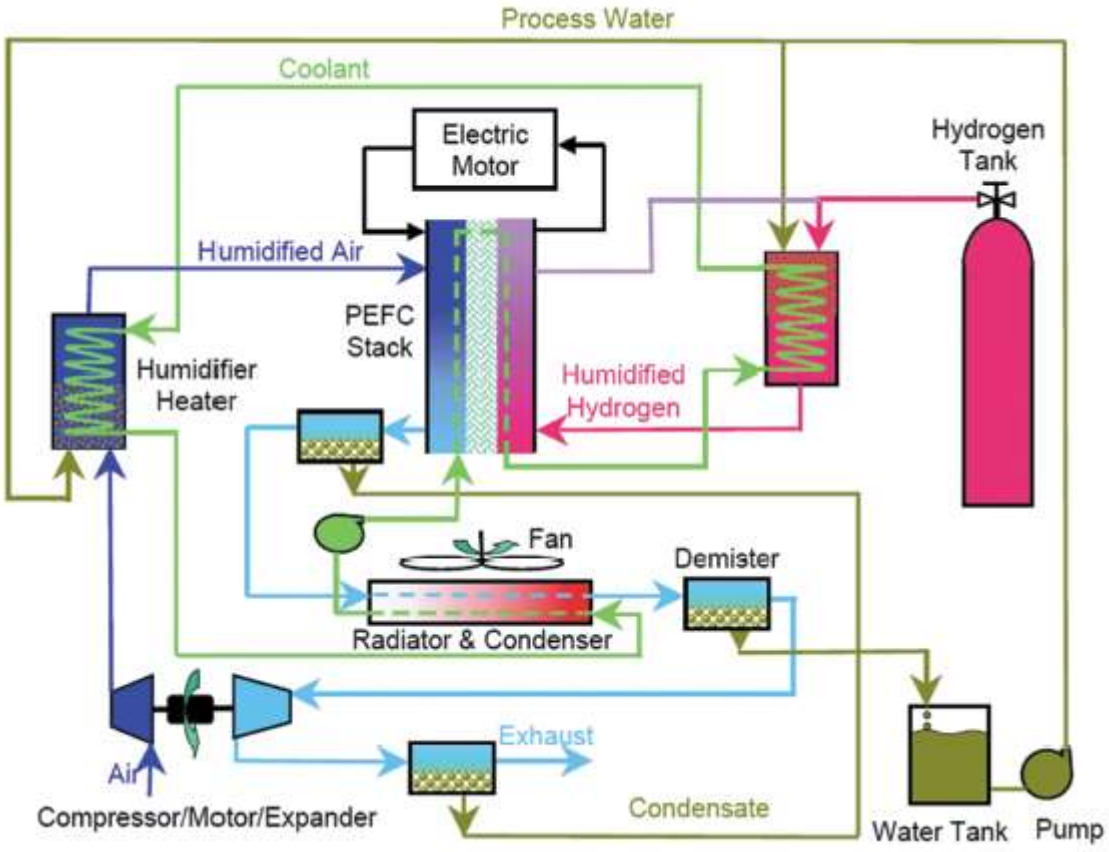
[그림 2.98] 연료전지 스택

(2) 수소연료전지 시스템

○ 연료전지의 핵심은 스택인데, 스택의 동작을 원활히 하고 발생된 전력을 유용하게 사용하기 위해서는 여러 가지 구성 성분들이 필요함

○ 전력변환기

– 스택에서 생성된 전력은 직류(DC)이며 전압이 낮고 전류가 높음



출처 : 신재생에너지원인 수소연료전지의 원리와 응용(심중표 외 2)

[그림 2.99] 연료전지 시스템 구성도(고분자 전해질 연료전지)

○ 연료개질기

– 연료전지에서는 이상적으로 순수수소를 연료로 사용하는 것이 좋으나 기존의 천연가스, 석유, 메탄올등 화석연료의 인프라를 활용하기 위해서는 이들 연료로부터 수소를 추출해내는 것이 필요

– 연료개질기는 이러한 역할을 담당하며 현재 통용되고 있는 방법으로는 부분산화법(Partial Oxidation), 자열개질법(Autothermal Reforming), CO2 개질법(CO2 reforming), 직접분해법(Direct Cracking), 플라즈마 촉매개질법(Plasma Catalytic Reforming), 흡착부과반응개질법(Sorption Enhanced reaction Process)등이 있음

– 연료개질기는 특히 불순물로 존재하는 CO2의 제거 공정이 중요함

○ 동력시스템 공정설비

– 연료전지 시스템은 연료전지 스택 이외에 연료공급장치, 공기공급장치, 냉각장치 등 복합설비로 구성

– 이들 설비들이 연료전지 특성에 맞게 종합화되고, 연계되어 운전될 때 연료전지의 장점인 고효율을 유지할 수 있음

[표 2.30] 동력시스템 공정설비

동력시스템 공정설비	가습 시스템	무가습운전	- 가격, 크기 시스템 구조의 단순화등을 고려할 때, 가습기 없이 고분자 연료전지를 운전하는 것이 유리함 - 외부가습 없이 고분자 연료전지를 운전하는 핵심요소는 배출되는 공기의 상태습도를 100%로 유지하게 하고, 셀내에서 물의 균형을 잘 이루도록 셀을 설계
		가습운전	- 반응기체를 수온조절이 가능한 욕조의 물을 통과시키는 버블링 방법을 사용하나, 실용적이지 않으며 실제는 다음과 같은 3가지 방법이 사용됨 · 가습기 내로 고온 다습한 공기가 스택으로부터 들어와 나가면서 온도와 습기를 잃게 되며 이 때 응축된 물은 막을 통과하여 이동하고, 외부에서 공급되는 기체에 열과 수분을 공급하여 가습 · 액체상의 물을 연료전지에 직접 분사 · 전해질내에 흡습성이 강한 SiO2와 TiO2 같은 산화물을 분산시켜 물의 함유량을 증가시키는 자기가습형
	냉각 시스템	공기극을 이용한 냉각	- 고분자 연료전지 스택에서는 수소에너지의 약 50%정도가 전기로 전환되며 나머지는 열로 발산 - 소용량에서 많이 쓰임
		공냉법	- 250W에서 2.5kW 사이의 용량을 갖는 스택은 냉각공기를 흘려주기 위한 여분의 채널을 분리판에 만들어주어야 함
		수냉법	- 2.5kW 이상의 스택용량에서는 보통 수냉법을 이용 - 동일한 양의 공기를 사용하는 경우보다 더 작은 채널을 만들 수 있고, 냉각효과도 큼
	수처리 시스템		- 스택에서 생성된 물이 전해질막을 수화시키며 공급되는 산소 또는 공기가 과잉의 생산된 물을 증발시키거나 배출시켜야 함 - 연료극과 공기극의 물의 균형을 맞추는 것이 중요 - Electro-Osmotic Drag에 의한 물 이동은 전류에 비례하므로 물의 증발과 물의 역방향 확산에 대한 이론적 계산을 하여 외부에서 공급 기체를 가습 제어해야 함
	압축기, 터빈, 팬, 송풍기 및 펌프		- 공기는 냉각작용과 공기극에 산소를 공급하는데 이용되며, 연료가스 또한 종종 배송작용으로 연료극에 공급됨 - 이러한 작용에 사용되는 것이 압축기, 팬 또는 송풍기, 펌프 등임 - 배출가스의 에너지는 때때로 터빈으로 회수되기도 함

○ 연료전지 공정제어시스템

– 연료전지는 작동을 위하여 공정제어시스템이 필요하며, 유량제어시스템, 온도제어시스템, 압력제어시스템, 그리고 가습제어시스템으로 구성됨

[표 2.31] 연료전지 공정제어시스템

연료전지 공정제어 시스템	유량제어시스템	- 공기는 압축기의 회전수 제어나, 공기관의 입구에 설치된 유량제어밸브를 이용하여 부하에 연동되어 제어
	온도제어시스템	- 스택내부 온도를 최적의 반응상태를 유지하도록 제어하는 것으로, 스택출구의 공기온도나 냉각수의 출구온도가 일정한 값을 유지하도록 스택에 공급되는 냉각수의 온도나 유량을 조절
	압력제어시스템	- 스택의 성능에 영향을 미치는 공기와 연료의 압력을 제어하기 위해 필요하며 부하에 연동되어 최적의 효율을 유지하도록 유량제어기가 설치되어야 함
	가습제어시스템	- 연료전지의 최적의 반응을 위해서는 전해질막을 항상 가습상태로 유지해야 되는데 부하에 따라 가습량이 제어되는 장치 구축 필요

(3) 수소연료전지 충전 시스템

○ 수소는 매우 인화성이 강하며 기체 상태로 존재할 때 상당한 부피를 차지함

○ 단위 질량에 저장되는 에너지는 높지만 단위 부피에 저장되는 에너지는 작게 되는 것

○ 이러한 문제를 해결하는 가장 손쉬운 방법은 수소 기체를 압축하여 저장하는 것이지만. 고압의 수소를 저장하려면 용기가 튼튼해야 하고 이는 곧 저장 효율의 저하로 이어짐

○ 더군다나 수소는 금속에 쉽게 스며들면서, 금속 내부에 확산하게 되고 금속 내부의 단층이나 결함 부분에 축적되면서 금속이 부스러지게 되며, 따라서 압축 저장 방식보다 효율적인 방법을 찾아내는 것이 매우 중요한 과제가 되었음

○ 수소 연료 저장 방법은 대략 3 가지로 나뉨 (기체 상태 수소 저장 방법, 액체 상태 수소 저장 방법, 수소를 저장할 수 있는 재료를 이용하는 방법)

○ 기체 상태로 수소를 저장하려면 약 150 기압 정도의 고압을 견딜 수 있는 압력 장비가 필요하고, 또한 외부 충격에 대해 취약하기 때문에 안전 문제도 해결해야 함

○ 액체 상태의 수소 저장 방법은 저온 유지에 들어가는 비용이 문제가 되고, 더구나 운송시에 저온을 유지하는 데에는 더욱 많은 비용이 들어가기 때문에 수소 저장 물질에 대한 연구가 오랫동안 행해졌음

○ 금속-수소 시스템은 금속 속에 수소가 저장되는 것으로 많은 양의 수소 저장이 가능하지만, 저장된 수소가 금속과 영구적으로 결합하기 때문에 내구성이 좋지 못하고, 저장된 수소의 상당 부분을 활용하지 못함

○ 이러한 결점들을 해결해줄 수 있는 물질로 각광받고 있는 것이 나노 물질

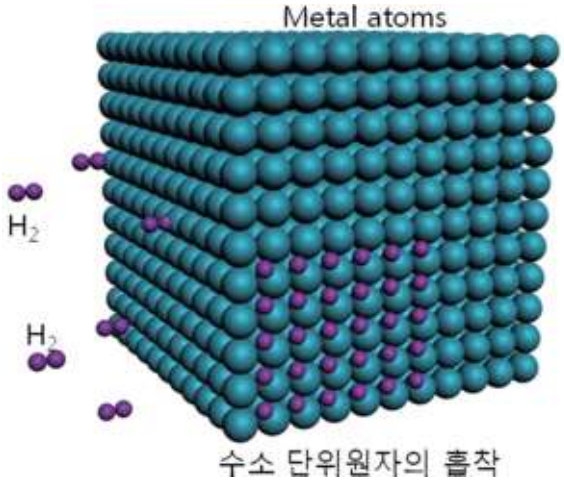
○ 안전하면서도 효율이 좋고 작고 가벼운 수소 저장 기술을 실현할 수 있는 후보 물질은 대략 ①금속(metal)계 재료, ②착체(chemical complex)계 재료, ③탄소계 재료, ④다공성 재료 등으로 나누어짐

[표 2.32] 수소 저장 방법의 장단점

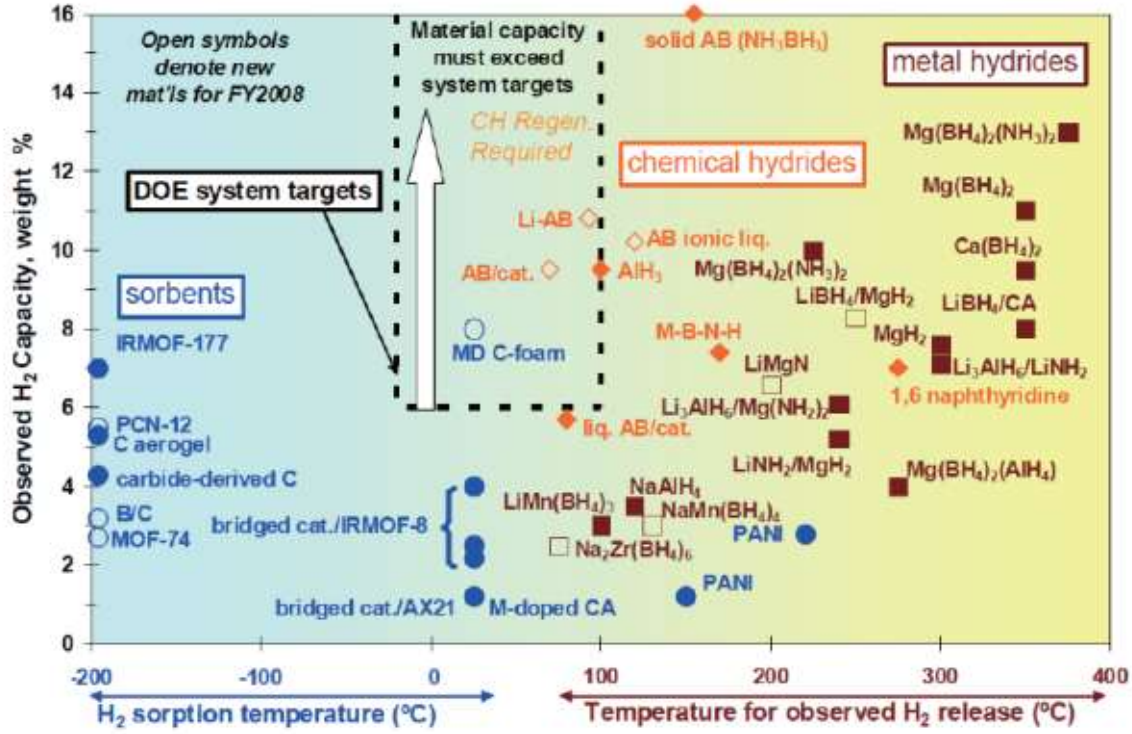
수소 저장 방법		장단점
기체 상태 저장법		- 고압(150기압) 가스 용기 (50 L 용량 55 kg) - 체적당 중량당 에너지 밀도 낮음
액체 상태 저장법		- 저온(-253℃), 상압 - 10 ~ 14 kW/kg-H2 의 액화 에너지 소요 - 증발 손실을 최소화하기 위한 특수 단열 용기 - 자연적 손실이 일어남 - 체적당, 중량당 에너지 밀도 높음
수소 저장 재료	수소 저장 합금	- 체적당 저장 밀도 높음 - 중량당 저장 밀도 낮음 - 높은 안정성 - 고가의 수소 저장 합금 - 합금의 열화 현상으로 내구성 제한
	탄소 소재	- 저온에서 활성 탄소 표면에 수소 흡착 - 저온 유지 장치 필요(77 K) - 체적당, 중량당 저장 밀도 낮음

○ 금속-수소 계

- 공기 중에서 수소는 분자(H2) 형태로 존재하지만 금속 내에서는 자유 전자들과 결합하면서 2 개의 수소 원자로 나뉘어짐
- 금속에서 체적 당 수소 밀도는 기체 상태나 액체 상태로 저장할 때보다도 높고, 저온이나 고압이 필요하지 않기 때문에 매력적인 저장 수단이 됨
- 금속 결정 격자 내에 수소가 확산하여 유입될 때 구조적인 변화를 일으키지 않으면서 수소를 착탈할 수 있는 금속계 재료들이 많이 알려져 있음
- 이와 같은 조건이 만족될 경우, 재료의 열화가 일어나지 않으므로 반복 사용이 가능하게 되며, 내구성과 반응 속도도 우수하게 됨
- 착체(complex)계 재료는 높은 수소 저장 밀도를 갖지만, 분해와 재결합 과정에서 구성 원자의 변환이 일어나기 때문에, 반응 온도가 높아지고, 반응 속도가 낮아지는 단점이 있음



[그림 2.100] 금속 내 수소 분자



출처 : 고용량 수소저장합금의 개발 동향(한국과학기술정보연구원)

[그림 2.101] 여러 수소 저장 물질의 수소 방출 온도와 수소 저장 밀도

○ 수소 저장 합금의 개발 현황 : 금속-수소계

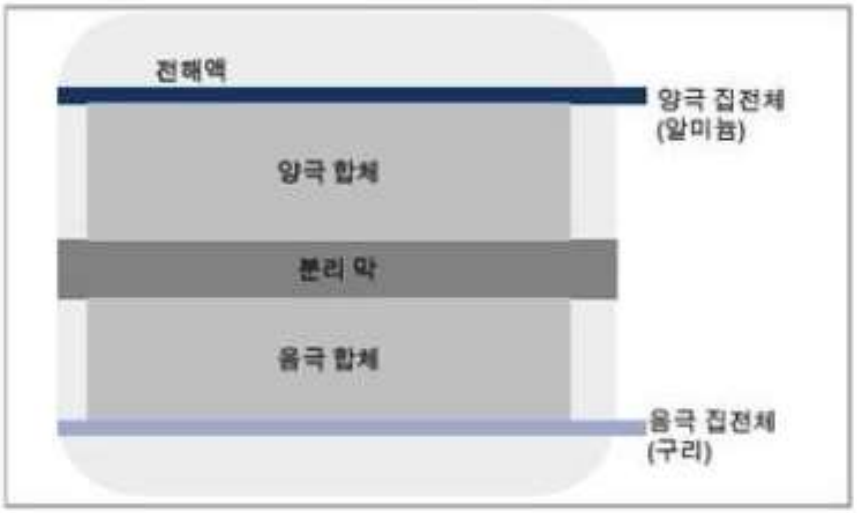
- LiB 계

・미국, 일본, 독일, 스위스 등 수소 저장 물질 개발에 많은 연구와 투자를 해왔던 나라들이 LiB 계열의 수소 저장 합금 개발을 주도하고 있음

・전기 음성도가 금속 붕소 수소화물의 안정에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있음

・$LiBH_4$에 MgH_2를 첨가하여 복합체를 만들어서 MgB_2의 형성을 유발함으로써 수소 방출 온도를 낮추고, 수소 저장 과정의 가역성도 향상시키는 기술도 개발되었음

・최근에는 MgH_2 외에도 CaH_2, ScH_2, Al을 첨가하여 복합화하는 연구가 전세계적으로 진행되고 있고, 금속 붕소 수소화물의 결정 구조 및 전자 구조를 밝히려는 기초과학적인 연구도 많이 진행되고 있음



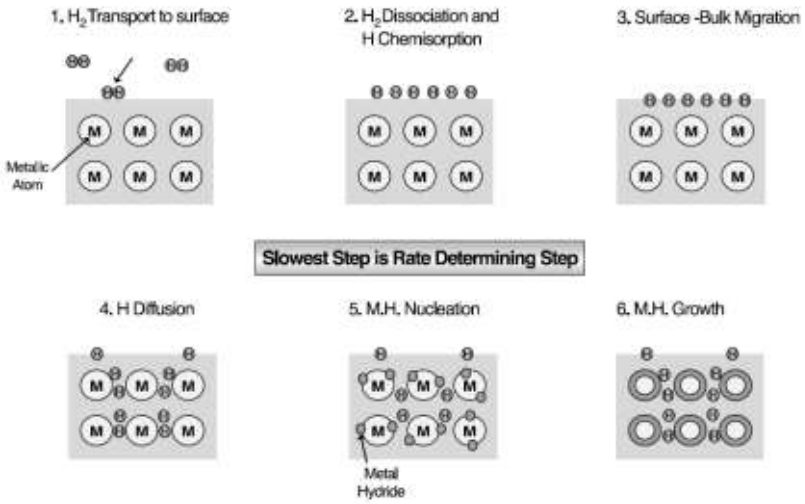
출처 : 고용량 수소저장합금의 개발 동향(한국과학기술정보연구원)

[그림 2.102] LiB계 수소 저장 합금 구성

– Mg 계

・Mg 계는 금속의 밀도가 낮아서 질량 당 흡수 저장량이 높아 수소 자동차 용 수소 저장 물질로 활발하게 연구되고 있음

・경량이라는 장점이 있지만, 대기압 정도에서 흡수 방출시키는 경우 반응 온도가 약 280도 정도로 높다는 단점이 있고, 반응 속도도 희토류계 합금에 비해 느리기 때문에 수소화물을 불안정화시켜 반응 속도를 개선하려는 노력이 이루어지고 있음



출처 : 마그네슘 기지 수소저장합금(한국기계연구원)

[그림 2.103] 마그네슘기지 수소저장합금의 수소 흡방출 기구

・Mg 계 수소 저장 합금에 대한 연구 개발 초기 단계에서는 주로 구조 공정을 통하여 벌크 형태의 합금을 제조하였으나, 비표면적이 큰 분말 형태가 월등하게 우수한 수소화 반응 특성을 나타내는 것이 알려진 이후로 기계적 분쇄 공정으로 만들어지고 있음

・최근에는 급냉 응고법, 기체 원자화(gas atomizing) 방법 등을 이용하여 나노 결정 및 비정질 상의 Mg 계 수소 저장 합금을 개발하려는 연구가 진행되고 있음

・Mg 계 수소 저장 합금으로는 Mg_2Ni, Mg_2Cu 등이 알려져 있으며 Mg_2Ni는 Mg 보다 약간 높은 평형 해리압을 갖지만, Mg_2Cu는 수소를 흡수하면 Mg의 수소화물상과 Mg_2Cu로 상분해되는 비가역 반응을 일으키므로, Mg_2Ni 합금에 대한 연구가 많이 이루어졌음



출처 : 고용량 수소저장합금의 개발 동향(한국과학기술정보연구원)

[그림 2.104] Ti-Cr-V-Fe 계 수소 저장 합금

– Ti 계

・티타늄을 함유한 수소 저장 합금 중에서도 CsCl 구조의 TiFe는 가장 오래 전부터 알려진 수소 저장 합금 중의 하나임

・작동 조건도 실온 부근에서 수 기압으로 다루기 쉬우며, 합금 가격도 낮다는 장점이 있으나, 초기 활성화가 어렵다는 단점이 있음

・이 단점은 표면 산화 피막에 의한 것이며, β-Ti 와 산화물로 복합화함으로써 개선될 수 있음

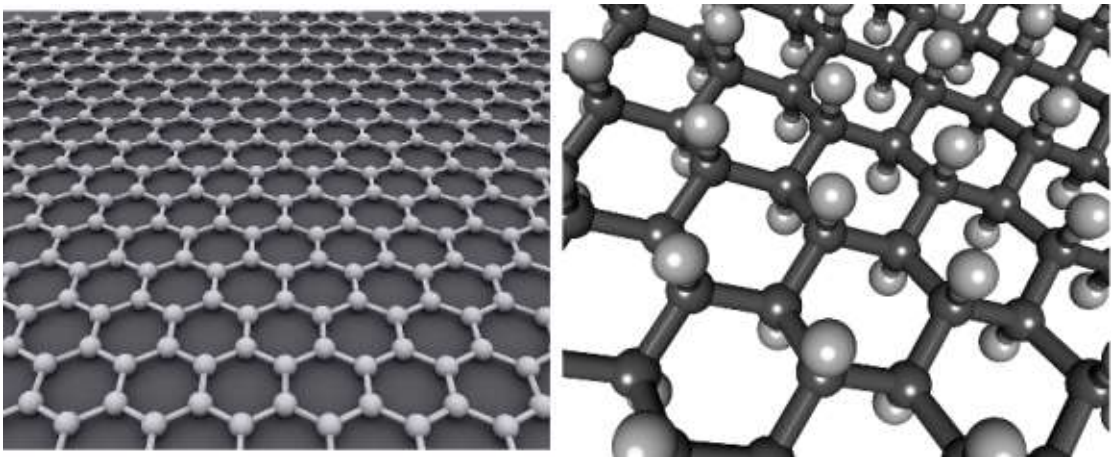
○ 수소 저장 합금의 개발 현황 : 비 금속-수소계

– 탄소계 물질

・graphene이 수소를 효율적으로 저장한다는 것은 널리 알려져 있음

・University of Manchester의 A. Geim의 연구에 의하면, graphene은 수소를 쉽게 흡수하며, 450℃ 이상에서 방출함

・흡수가 쉬운 것은 장점이지만 방출하는 온도는 너무 높아서 graphene 상태 그대로 이용할 수는 없기 때문에 많은 후속 연구가 이루어지고 있고, 불순물을 포함하거나 기능성 그룹을 흡착시킨 물질들도 연구되고 있음



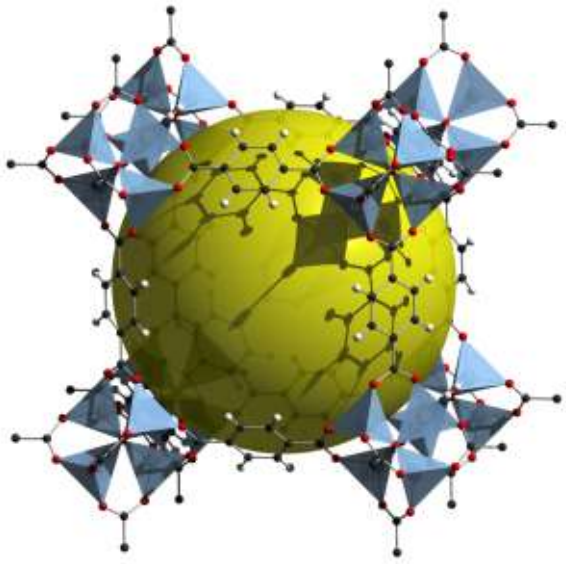
출처 : 탄소나노물질의 자기조립 제어(한국과학기술정보연구원)

[그림 2.105] graphene(왼쪽)과 graphane(오른쪽)

– 금속–유기 구조물

・금속–유기 구조물(metal–organic frameworks, MOF)는 새로운 종류의 합성 다공성 물질로서 수소를 분자 수준에서 저장할 수 있음

・MOF는 결정 구조의 무기 물질과 유기 물질의 복합체로서 금속 클러스터나 이온들(secondary building units, SBU)로 이루어진 노드를 링커 역할을 하는 유기 ligand로 연결한 형태



출처 : 고용량 수소저장합금의 개발 동향(한국과학기술정보연구원)

[그림 2.106] 금속–유기 구조물의 예

- 용매 교환 과정으로 pore에 있던 guest 분자(용매)를 제거하고 진공에서 가열하면 기존의 구조를 망가뜨리지 않고 MOF 다공성 구조를 얻을 수 있음
- 기존의 다공성 탄소 물질에 비교할 때 MOF는 대단히 많은 표면적을 갖고 있어서 부피당 수소 흡수량이 커서 MOF에 기반을 둔 수소 저장 물질이 발표된 2003 년 이후로 MOF 수소 저장 물질에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음

○ 수소저장방법(고압 방식)

– 저온 가압

- 저온 가압 수소 저장 방식은 부피 대비 그리고 질량 대비 효율의 2015 DOE 목표를 만족하는 유일한 기술이고, 저온 가압 방식은 비용 면에서의 이점도 가지고 있음
- 자동차에 적용하였을 때, 주행 거리 당 비용이나 저장 장치 장착 비용(차량 당 비용) 면에서 다른 어떤 수소 저장 기술보다 경제적임이 밝혀졌음
- 액체 수소 저장 방식처럼 저온-가압 방식은 저온의 수소(20.3 K 근방)를 사용하여 에너지 밀도를 높임
- 그러나, 저온 가압 방식은 수소가 주변과 열을 교환하여 덥혀지면, 탱크 내부의 압력이 훨씬 더 높아진다는 것임
- 즉, 액체 저장 방식에서는 2 ~ 3 bar에 불과하지만, 저온-가압 방식에서는 350 bar까지 높아짐 그 결과 수소를 분출해야 하는 시점이 오기까지 시간을 더 벌 수 있으며, 대부분의 운전 조건에서는 수소 분출 조건보다 훨씬 낮은 압력을 유지하면서 충분하게 수소를 사용할 수 있음
- 토요타의 프리우스에 수소 연료 엔진을 장착하여 연료 주입 없이 1050 km의 거리를 주행할 수 있는 것으로 저온 가압 방식이 증명되었음
- 2010 년에는 BMW 그룹에서 상업적인 생산을 앞두고 차량용 저온-가압 수소 저장 장치에 대한 종합적인 기술 검토를 시작하였음

바. 요소기술별 장치 내구연한 검토

○ 수소연료전지 철도 차량의 요소기술별 장치의 주요 부품은 수소연료전지 스택, 수소 개질기, 수소 탱크, 납축전지, 리튬이온배터리, 슈퍼캐패시터, 전력변환장치 등으로 크게 분류할 수 있음

○ 수소연료전지 스택은 현재 국내에서는 현대자동차를 필두로 수명 연장을 위한 연구가 진행되고 있으며, 2009년에는 800시간이던 스택의 평균수명을 현재는 약 6년(50,000시간, 주행거리 10만km)까지 보증하는 수준에 도달[42)]

○ 수소연료전지 스택의 내구연한이 아직까지 가솔린차나 디젤차에 비해 부족하지만, 20~30만km 이상을 주행할 수 있는 기술을 개발한다면 경쟁력이 있을 것으로 사료됨

42) Green Tech. Horizon 8호, 녹색기술센터

○ 수소 개질기는 연료에서 수소를 걸러내는 모듈로 탈황장치, 개질장치, CO저감장치, CO 제거장치로 구성되어 있으며, 개질기에서 생성된 수소를 스택으로 보내주는 역할을 하는 부품임

○ 수소 개질기의 경우 현재 대용량(150~300MW)은 30년, 중소용량(0.15~15MW)은 15년까지 보증하는 수준에 도달[43)]

○ 대용량 수소 개질기는 수소 충전소에서 사용되며, 중소용량은 수소연료전지 하이브리드 철도 차량 내부에서 사용

○ 수소 개질기에서 생산되는 수소는 수소 탱크에 저장

○ 국내 수소연료전지 수송부분을 독점하고 있는 현대자동차는 호라이즌퓨어셀과 수소 탱크 계약을 맺고 있으며, 현재 운행중인 수소연료전지자동차에는 104L 수소탱크 또는 51L 수소탱크가 탑재되어 있음

○ 호라이즌퓨어셀은 이미 많은 검증을 통해 최대 20[44)]년의 내구연한을 가지는 수소탱크를 개발하였고, 15년까지 보증기간을 정해놓고 있음

○ 납축전지의 경우 철도 차량 안의 배터리로 사용될 수 있는데, 평균 수명은 3년 정도이고, 3년 이상 사용할 경우 충방전량과 충방전시간에 영향을 미치므로 배터리 제작업체에서는 교체를 권장함[45)]

○ 현재 차량용 동력원으로 쓰이는 리튬이온전지의 경우 NCM(니켈, 크롬, 망간) 배터리가 가장 오랜 수명을 보장하고 있으며, 벤츠 B클래스로 테스트한 결과 10년 정도 보증이 가능한 것으로 밝혀지고 있음[46)]

○ 슈퍼캐패시터를 사용하여 전기를 충전할 경우 납축전지나 리튬이온전지보다 오랜 수명을 보장할 수 있음

○ 전기 자동차나 외국의 디젤 하이브리드 철도차량에 적용되어있는 슈퍼캐패시터의 수명을 살펴보면 50만 충방전 사이클을 보장하고, 반영구적으로 보증이 가능[47)]

○ DC-DC 컨버터나 DC-AC 인버터와 같은 전력변환장치는 직류단으로 쓰이는 저장 장치의 수명[48)]과 스위치의 수명에 영향을 받음

○ 전력변환장치의 내구연한은 동작 온도에 따라 달라지지만 일반적으로 10~15년 정도로 연구됨

[표 2.33] 스마트 철도 주요 부품 내구연한

부품	수소연료전지 스택	수소 개질기	수소 탱크	납축 전지	리튬이온 배터리	슈퍼 캐패시터	전력변환 장치
수명	6년	15년 이상	20년	3년 이상	10년	반영구	10~15년

43) 국내외 연료전지 산업(보급)동향 및 시사점, 한국에너지공단 에너지 이슈브리핑 특집기획
44) 호라이즌퓨어셀의 104L, 51L 고압 수소탱크 매뉴얼, 호라이즌퓨어셀
45) 차량용 납축전지의 수명 예측 모델링, 김성태 외 3명, 에너지공학 제 22권 제 4호
46) http://www.pitchone.co.kr/?p=4976, 피치원 미디어
47) 에너지저장장치 슈퍼커패시터 기술개발 동향, 국가환경정보센터
48) Reliability of Power Electronic Converter Systems, IET, 2015

2. 기술수요조사

가. 자문회의

○ 현재까지 2번의 자문회의를 진행하였으며, 1차 자문회의에서는 이전까지 진행된 연구내용 공유를 바탕으로 신재생에너지 중 철도차량에 가장 적합한 에너지를 수소로 도출하고 개발이 필요한 세부연구과제에 대한 의견을 수렴하고 이에 따른 기대효과 및 전망을 제시

○ 기술수요조사를 위해 설문지 조사방법에 대한 의견이 전문가들 사이에서 추천되었으며, 설문지에 포함될 내용에 대한 의견 수렴

○ 수요조사를 위한 4단계의 절차의 연구개발 세부과제 도출 방법과 기술수준 분석 방법 제시

[표 2.34] 1차 자문회의

일시	2017년 1월 25일(수요일), 15:00~18:00
장소	한국철도기술연구원 10동 3층 회의실
자문내용	- 신재생에너지 철도차량의 기술수요 및 시장전망 - 개발에 따른 기대효과 및 전망 - 세부연구과제 추가 도출 및 효율적 과제추진체계
초청전문가	장종현박사/KIST 정변환박사/효성중공업 이은규연구소장/다원시스 권병기그룹장/포스코ICT



[그림 2.107] 연구개발 세부과제 도출 과정

○ 2차 자문회의에서는 앞서 결정된 수소에너지원에 대한 세미나를 진행하였으며, 현대자동차의 수소차 연구 및 개발 사례와 현재 수소에너지 활용 현황을 통해 수소연료전지를 철도차량에서 적용함으로써 발생할 수 있는 여러 가지 문제점에 대해 의견을 수렴

[표 2.35] 2차 자문회의

일시	2017년 2월 15일(수요일), 15:00~18:00
장소	한국철도기술연구원 10동 3층 회의실
세미나내용	- 현대자동차의 수소차 연구 및 개발 동향 - 개발에 따른 기대효과 및 전망 - 신재생에너지와 수소에너지관련 연구 동향
초청전문가	금영범팀장/현대자동차 양태현박사/에너지기술평가원 원장묵박사/에너지기술평가원

나. 조사 개요

(1) 조사 목적

○ 국내 수소연료전지 기반 철도차량 기술의 적용 분야를 조사하고, 관련 산업계에서 필요로 하는 기술의 필요성 및 활용성, 요구사항, 기대효과, 애로사항 등 파악

(2) 조사 기간

○ 2017년 2월 27일(월) ~ 3월 10일(금) 약 2 주간 진행

(3) 조사 대상

○ 수소연료전지 기반 철도차량 분야와 관련된 산학연 전문가 22인을 대상으로, 방문 또는 온라인을 통한 설문조사 실시

(4) 조사 절차 및 내용

○ (조사 절차) 조사 및 설계, 수요조사, 분석 3단계로 구성

– (조사 및 설계) 기술일반사항 및 과제제안 설문 항목으로 구성된 설문지 설계 및 적합 대상자 선정

– (수요조사 및 분석) 기 설계된 설문지를 바탕으로 온/오프라인 기반 수요조사 실시 및 정량·정성 항목에 대한 분석을 바탕으로 시사점 도출

○ (조사 내용 및 질의 형태) 기술의 중요성, 기술 개발의 필요성, 개발 시 문제점 등 기술 일반사항 및 제안하는 연구과제, 기대효과 등 과제 제안 분야로 구분하여 조사 수행

[표 2.36] 주요 조사 내용 및 질의 형태

구분	주요 내용	
기술 일반사항	1. 산업기술분야에서의 업무수행 분야	9. 핵심 성능요구사항
	2. 기술의 중요성	10. 기술 개발 시 문제점과 사유
	3. 기술 또는 유사기술의 활용 여부	11. 국내외 관련 기술 보유기관 또는 제작사
	4. 활발히 적용되고 있는 기술	12. 국내외 관련 기술관련 전문가
	5. 시급한 연구가 필요한 기술 분야	13. 기술 활용 시 기대효과
	6. 기술 개발의 필요성	14. 기술 분야별 활용 시 세부 활용방안
	7. 기술 적용 적합 차량 유형	15. 적정 연구개발 예산 및 기간
	8. 성능요구사항 주요 항목	
과제 제안	16. 제안하는 연구과제	18. 기대효과 및 파급효과
	17. 기술개발 필요성	19. 예산 및 기간

다. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 신기술 도입의 중요성

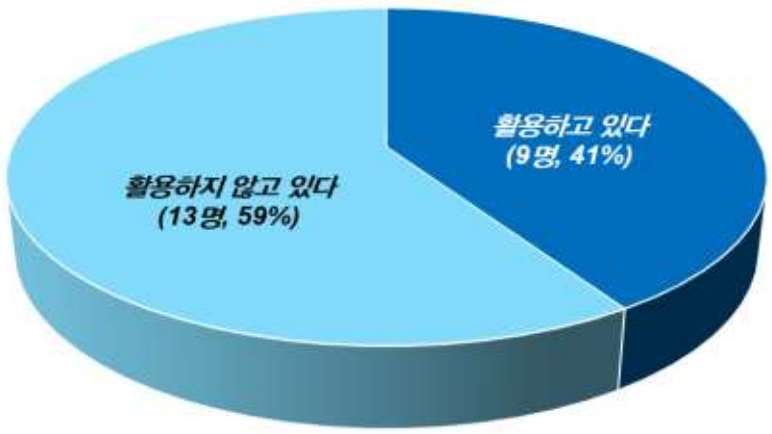
○ 조사 대상 전원(22인)이 ‘신기술 도입이 중요하다’ 고 응답

○ 미래 산업의 ICT화 추세에 따라 수소연료전지 기반 철도차량 산업의 혁신이 필요하고, 이에 따라 핵심 기술 도입의 중요성이 높아지는 상황인 것으로 분석 가능

(2) 철도차량 신기술의 현재 업무 활용 여부

○ 총 22명의 조사 대상자 중 13명이 현재 업무에 본 기술을 활용하지 않고 있는 것으로 조사됨에 따라, 현재 기술의 활용률이 다소 낮은 것으로 분석

– 타 철도차량 분야와 비교해볼 때, 상대적으로 상용화가 미흡한 분야인 것으로 확인



[그림 2.108] 수소연료전지 분야의 철도차량 신기술 활용 여부

(3) 기술 개발 필요성

○ 조사 대상 전원(22인)이 ‘기술 개발이 필요하다’고 응답

– 수소연료전지 기반 철도차량 산업의 신기술 도입 중요성과 함께 기술 개발 필요성 또한 높은 것으로 분석

(4) 연구의 시급성이 높은 분야(중복선택)

○ ‘수소연료전지’ 연구가 가장 시급한 것으로 조사되었으며, ‘전력변환을 포함한 추진’, ‘수소충전’ 또한 중요한 연구 분야인 것으로 분석

– 미래의 대체 에너지에 대한 중요성이 증대함에 따라, 수소연료전지에 대한 연구 · 개발 시급성이 높아지는 것으로 예측

○ 기타 분야로 ‘수소연료전지 관련 안전시스템’, ‘신뢰성 향상을 위한 기술’ 등 제안



[그림 2.109] 수소연료전지 분야의 연구 시급성이 높은 분야

(5) 적합한 적용 차량 유형(중복선택)



[그림 2.110] 수소연료전지 분야의 적합 적용 차량 유형

○ 타 분과와 달리, ‘디젤동차’ 유형이 가장 적합한 것으로 조사되었으며, ‘도시철도’ 유형은 상대적으로 적합성이 떨어지는 것으로 분석

○ 디젤동차뿐 만 아니라, ‘고속철도’ 및 ‘경전철’에의 적합도도 높은 것으로 응답

○ 기타 유형으로서 ‘디젤기관차’, ‘모터카 및 작업차량’ 등 차량 유형 제안

(6) 기술의 현장 적용 시 애로사항(중복선택)

○ ‘실용화 문제’, ‘가격적 한계’ 측면이 현장 적용 시 가장 큰 애로사항인 것으로 분석

– 기 운행되고 있는 철도 차량에의 적용 및 높은 가격으로 인한 상용화 상의 애로사항을 지적

○ 기타 의견으로 연료전지의 짧은 수명, 시장 확보 애로, 안전에 대한 국민 의식 등 제시



[그림 2.111] 수소연료전지 분야의 현장 적용 시 애로사항

(7) 핵심요구사항(우선순위 고려)



[그림 2.112] 수소연료전지 분야의 핵심요구사항

○ ‘1회 충전거리’, ‘시스템 고효율화 및 소형화’ 요소가 가장 중요한 핵심요구사항으로 조사되었으며, ‘최고속도’의 경우 우선순위가 다소 떨어지는 것으로 분석

– 수소연료전지의 경우, 충전 형태의 연료 공급원임에 따라 1회 충전 기준 효율성이 중요할 것으로 예상

○ 철도차량 관련 내부에 부착됨에 따라, 시스템 소형화가 중요한 요소 중 하나인 것으로 예상

(8) 기대효과

○ 주로 환경오염, 에너지 절감 측면에 대한 효과를 기대하는 것으로 분석

– 배기가스 및 화석연료 저감 등 환경측면의 효과, 친환경 기반 에너지 고효율화, 고효율 에너지 기반 운영비 절감 등 에너지 측면의 효과 기대

라. 제안과제 도출

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야의 기술수요 조사 결과, 총 34개의 관련 연구개발이 필요한 것으로 파악

– 배터리 수명, 에너지 및 전력 관리 등 연료전지 기술 기반의 34개 제안과제 도출

[표 2.37] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 기술수요조사 제안과제 리스트

구분	제안과제(34개)
1	수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발
2	수소연료전지 철도차량의 에너지 관리 및 효율 극대화를 위한 고효율 2-Stage 전력변환장치 개발
3	연료전지 철차용 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발
4	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구
5	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성
6	안전성 확보 및 인증 방안 연구
7	수소연료전지 시스템을 탑재한 차량 개조 연구
8	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 개발
9	철도차량용 수소연료전지 시스템 개발
10	급속충전/안전성확보/양산을 위한 가격경쟁성/효율적 운영을 위한 차량 설계기술
11	기존 차량에 탑재되는 전장품의 소형화와 경량화
12	1회 충전으로 영업 다이아 운영 가능 연구
13	전압 안전화를 통한 전력품질 확보 및 안정성 확보
14	연료전지 발전용 고효율 전력변환장치 및 회생용 에너지저장장치 개발
15	철도차량용 대용량 연료전지스택 구축

구분	제안과제(34개)
16	태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구
17	연료전지 및 배터리의 비율 결정(cost, size, 주행거리 등 고려) 연구
18	연료전지 및 배터리 하이브리드 시스템 구축 및 최적제어 알고리즘 개발
19	스마트에너지관리 시스템
20	회생에너지의 효과적 이용 연구
21	수소안전성확보를 위한 기술기준마련
22	수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화
23	유지보수 효율성 연구
24	차량 장착 실증 시험 및 운전
25	전장품의 고효율화
26	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발
27	비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발
28	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
29	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
30	철도차량 주요 구성품 기술기준 개발
31	수소연료전지 하이브리드 시스템 제어기 개발
32	수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축
33	수소충전 효율향상 기술개발
34	수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토

3. 기술수준분석

가. 조사 개요

(1) 조사 목적

○ 철도 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여, 이를 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용

(2) 조사 기간 및 장소

○ 2017년 3월 22일(수) ~ 24일(금), 한국철도기술연구원

(3) 조사 대상

○ 수소연료전지 분야 산학연 전문가 5인

(4) 조사 절차 및 내용

○ 기술 예측조사 대상기술 선정, 기술수준분석 수행, 후보과제 도출 프로세스에 따라 기술수준분석 실시

– (대상기술 선정) 유사·중복 과제 통합, 과제 적합성 평가 과정을 통해 기술수준분석 설문조사 수행을 위한 대상기술 선정

– (조사 수행) FGI를 통한 기술수준분석 조사 실시 후 기술수준분석 조사 결과 분석 수행

– (후보과제 도출) 기술수준분석 조사 결과를 바탕으로 후보과제 도출

[표 2.38] 기술수준분석 조사 평가항목

조사 항목	내용
전문도	응답자의 해당 분야(기술)에 대한 기술적 전문도
중요도	해당 기술의 철도차량 실용화 기술, 사회경제 등의 발전에 미치는 영향 정도
기술 성숙도	해당 기술의 기술성숙도를 태동, 성장, 핵심, 기반 4단계로 구분
기술실현 예측시기	해당 기술의 실현 예측시기를 응답자가 직접 년도 선택
최고기술보유국	해당 예측기술에 대한 현재 기술수준이 가장 앞서있는 국가 선정
국내기술 수준	최고 기술 보유국 기술수준(100%) 대비 국내의 현재 기술수준의 정도
기술획득 방식	기술을 획득하기 위한 추진 방식 선택
실현상의 장애요인	해당기술을 실현하는데 장애가 되는 요인을 모두 선택

나. 대상기술 선정

(1) 유사·중복 과제 통합

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야는 유사·중복 과제 통합 과정을 거쳐 1차 도출 제안과제 수 34개에서 최종 제안 과제 수 24개로 축소

– 스마트 에너지관리 시스템, 수소연료전지 전장품의 소형화 및 경량화, 친환경 동력시스템 및 제어알고리즘 등 공통 기술로 통합

[표 2.39] 유사·중복 제안 과제 통합

제안 과제	통합 과제명	통합 이유
수소연료전지 철도차량의 에너지 관리 및 효율 극대화를 위한 고효율 2-Stage 전력변환장치 개발	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	수소연료전지용 고효율 전력변환장치 개발
연료전지 철차용 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발		
연료전지 발전용 고효율 전력변환장치 및 회생용 에너지저장장치 개발		
기존 차량에 탑재되는 전장품의 소형화와 경량화	수소연료전지 하이브리드 철도차량 전력전장품의 소형화와 경량화	소형화 경량화
전장품의 고효율화		
스마트에너지관리 시스템	스마트에너지관리 시스템	에너지관리
회생에너지의 효과적 이용 연구		
연료전지 발전용 고효율 전력변환장치 및 회생용 에너지저장장치 개발	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	추진인버터용 고효율 전력변환장치 개발
영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발		
수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 개발)	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발	소연료전지/배터리 하이브리드 시스템 개발
연료전지 및 배터리 하이브리드 시스템 구축 및 최적제어 알고리즘 개발		
수소연료전지 하이브리드 시스템 제어기 개발		
철도차량용 수소연료전지 시스템 개발	철도차량용 수소연료전지 시스템 개발	철도차량용 대용량 연료전지개발
철도차량용 대용량 연료전지스택 구축		
안전성 확보 및 인증 방안 연구	수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련	안전성 확보 및 기술기준 마련
수소안전성확보를 위한 기술기준마련		
유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성	유지보수
유지보수 효율성 연구		
수소연료전지 시스템을 탑재한 차량 개조 연구	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전	실증방안
차량 장착 실증 시험 및 운전		

(2) 과제 적합성 평가

○ 최종 후보과제 선정을 위해 각 제안과제에 대해 목표 부합성 및 인프라 적정성에 대한 평가를 수행

[표 2.40] 목표 부합성 및 인프라 적정성 평가 결과

제안 과제명	평가 결과		최종 선정여부
	목표 부합성	인프라 적정성	
수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발	상	중	선정
수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	상	중	선정
급속충전/안전성확보/양산을 위한 가격경쟁성/효율적 운영을 위한 차량 설계기술	중	하	제외
수소연료전지 하이브리드 철도차량 전력전장품의 소형화와 경량화	하	중	제외
전압 안정화를 통한 전력품질 확보 및 안정성 확보	하	중	제외
스마트에너지관리 시스템	중	하	제외
영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	중	중	선정
비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발	중	중	선정
철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	중	중	선정
철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	상	중	선정
철도차량 주요 구성품 기술기준 개발	상	중	선정
수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발	상	중	선정
철도차량용 수소연료전지 시스템 개발	하	중	제외
연료전지 및 배터리의 비율 결정 (cost, size, 주행거리 등 고려) 연구	중	중	선정
수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화	중	중	선정
수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축	중	중	선정
수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	상	중	선정
수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련	중	상	선정
태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구	중	중	선정
수소충전 효율향상 기술개발	하	중	제외
수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토	중	중	선정
유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성	상	중	선정
수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전	상	상	선정
1회 충전으로 영업 다이아 운영 가능 연구	중	중	선정

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야는 평가를 거쳐 총 24개의 제안 과제 중 18개의 최종 후보과제를 선정하였으며, 이후 후보과제를 대상으로 기술수준분석 조사를 수행

과제번호	후보 과제
D-01	수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발
D-02	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발
D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발
D-04	비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발
D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
D-07	철도차량 주요 구성품 기술기준 개발
D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발
D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정(cost, size, 주행거리 등 고려) 연구
D-10	수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화
D-11	수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축
D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구
D-13	수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련
D-14	태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구
D-15	수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토
D-16	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성
D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전
D-18	1회 충전으로 영업 다이아 운영 가능 연구

다. 조사 결과 분석

(1) 철도차량 기술 및 사회·경제 발전 측면의 중요 요소(중복선택)

○ ‘산업 표준 확립’ 이 가장 중요한 요소로 응답됨에 따라, 현재 국내 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야에 대한 표준 확립이 미흡한 것으로 예상 가능

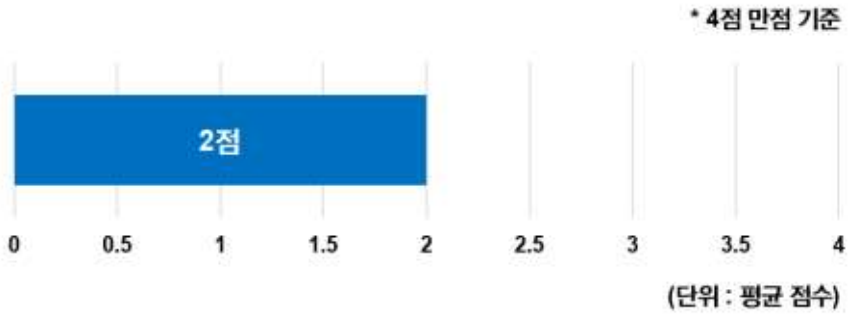


[그림 2.113] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 기술 및 사회·경제 측면의 중요 요소

(2) 기술성숙도 수준(4점 척도 기준 평가)

1점 : 태동 단계, 2점 : 성장 단계, 3점 : 핵심 단계, 4점 : 기반 단계

○ 평균 2점으로 4개의 분과 중 가장 낮은 성숙도 수준을 보였으며, 열차자율주행 및 스마트주행 장치 분야와 함께 초기 성장단계인 것으로 분석



[그림 2.114] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야의 기술 성숙도 수준

○ 2015년 한국과학기술기획평가원에서 수행된 기술수준평가에서 수소에너지기술은 최고 선전국 대비 73.6% 수준으로 평가됨에 따라 위 성숙도와 유사한 결과를 나타냄

– 최고(100%, 기반단계): 세계 최고 수준, 선도그룹(80% 초과 ~ 100% 미만, 핵심단계): 기술 분야를 선도하는 수준, 추격그룹(60% 초과 ~ 80% 이하, 성장단계): 선진기술의 모방개량이 가능한 수준, 후발그룹(40% 초과 ~ 60% 이하, 태동단계): 선진기술의 도입적용이 가능한 수준, 낙후그룹(40% 이하, 태동단계): 연구개발 능력이 취약한 수준

(3) 기술 예상 실현 시기

○ 평균 2022년으로 조사됨에 따라, 타 분과 대비 현재 수소연료전지 관련 기술력 보유 수준이 보통인 것으로 분석

(4) 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준(중복선택)

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야의 최고기술 보유국은 일본이라는 응답이 가장 많았으며, 일본 대비 국내 기술 수준은 59%로 매우 미흡한 상황

– 일본(76%) 다음으로 독일(24%) 응답 순



[그림 2.115] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야의 최고기술 보유국 및 국내 기술 수준

○ 세부 과제별 최고기술 보유국 또한 일본이 가장 많은 1순위로 조사

○ 최고기술 보유국 대비 국내기술수준은 ‘철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축’이 88%로 가장 근접

– 반면 ‘수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구 ’, ‘수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련’ 등 과제는 47%로서 가장 취약한 것으로 조사

[표 2.41] 후보과제별 최고기술 보유국 및 대비 국내 기술 수준 결과

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
D-01	수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발	독일	일본	75%
D-02	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	독일, 일본	스위스	71%
D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	일본	독일	57%
D-04	비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발	독일, 일본	프랑스, 미국	77%

과제 번호	후보과제	최고기술 보유국		국내 기술수준 (평균)
		1순위	2순위	
D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	독일, 일본	스위스	50%
D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	일본	독일	88%
D-07	철도차량 주요 구성품 기술기준 개발	일본	독일	66%
D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발	일본	독일, 미국	55%
D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정 (cost, size, 주행거리 등 고려) 연구	일본	독일, 미국	52%
D-10	수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화	일본	독일	54%
D-11	수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축	일본	독일, 영국, 미국	48%
D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	일본	독일	47%
D-13	수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련	일본	독일	47%
D-14	태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구	일본	독일	47%
D-15	수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토	일본	독일	60%
D-16	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성	독일	일본, 미국	55%
D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전	일본	독일	56%
D-18	1회 충전으로 영업 다이아 운영 가능 연구	일본	독일	52%

(5) 기술획득 선호 방식

○ 총 5명의 전문가 중 평균 3.5명이 ‘민간정부협력’을 선택함으로써, 민간과 정부의 공동 노력을 통한 기술연구의 필요성이 가장 높은 것으로 분석

(6) 장애요인 현황(중복선택)

○ 연구비 측면이 가장 큰 장애요인으로 조사됨에 따라, 기술 연구 및 개발을 위한 자금 지원 정책의 활성화가 필요할 것으로 예상

○ ‘규제 · 정책 · 표준화’ 등 요인도 큰 장애요소로 분석



[그림 2.116] 수소연료전지 분야의 장애요인 현황

4. 우선순위조사

가. 조사 개요

(1) 목적

○ 본 연구과제에 부합하는 과제의 기획 및 발굴을 위해 전략성과 기술성, 경제성과 파급성 등을 감안하여 우선적으로 연구·개발 되어야 할 기획과제 선정

(2) 평가지표

○ 우선순위 도출을 위해 본 연구과제의 특성을 감안하여 전략성, 기술성, 경제성, 파급성 등 4대 항목으로 평가지표 구성

– 4대 평가항목에 대해 각각 2개의 세부 평가지표로 구성

[표 2.42] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	평가지표	소항목 개념
전략성	전략과의 부합성	정부의 중장기 R&D 전략 및 본 기획과제 추진전략에 부합되는 정도
	전략적 시급성	사회적, 정책적, 기술적 변화에 의해 해당 기술의 수요가 증가할 것으로 예상됨에 따른 해당 기술 개발의 시간적 시급 정도
기술성	기술 실현성	현재 기술수준, 연구개발역량 등을 고려할 때 해당 기술의 실현 가능성
	기술 우위성	해당 기술의 독창성 및 연구분야에의 기여 수준
경제성	사업화 가능성	해당 기술이 개발된 후 실제 철도에 도입되는 사업화 가능 정도
	수익성	해당 기술의 개발투자비 대비 기술로 인한 수익 창출 정도
파급성	과학기술적 파급성	과학적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면에서의 기여도
	사회공공적 파급성	사회문제 해결 및 공익 측면에서의 기여도

(3) 조사 방법 및 절차

○ 최종 확정된 후보과제에 대한 평가를 통해 후보과제별 우선순위 조사

– (1단계) 평가지표에 대한 가중치 선정을 위해 AHP 기법을 적용

· AHP : 정확한 결과 도출을 위해 과제별 우선순위 결과에 쌍대비교를 통한 가중치를 적용하는 기법

– (2단계) 후보과제에 대한 평가지표 항목에 대한 7점 척도 평가 수행

· 7점 척도 기준 : 매우 크다(7점), 크다(6점), 다소 크다(5점), 보통(4점), 다소 작다(3점), 작다(2점), 매우 작다(1점)

– (3단계) 2단계 후보과제 평가 결과에 평가지표 가중치를 반영하여 7점 만점으로 환산

– (4단계) 평가결과 7점 만점 중 5.5점 이상인 과제를 최종 연구과제로 선정

(4) 조사 대상 과제 목록

○ 기술수요조사 및 기술수준분석 조사를 통해 도출된 총 18개의 수소연료전지 분야 후보과제에 대한 우선순위 조사를 수행

[표 2.43] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 우선순위 조사 과제 리스트

과제번호	후보과제명
D-01	수소연료전지 발전을 위한 모듈형 DC/DC 컨버터 개발
D-02	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발
D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발
D-04	비상전력공급을 위한 상용계통연계형 전력변환시스템 개발
D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
D-07	철도차량 주요 구성품 기술기준 개발
D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 및 제어 알고리즘 개발
D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정(cost, size, 주행거리 등 고려) 연구
D-10	수소연료전지와 배터리의 하이브리드 운용 최적화
D-11	수소연료전지 하이브리드 시스템 조합시험용 test bench구축
D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구
D-13	수소연료전지 하이브리드 철도차량 안전성확보를 위한 기술기준마련
D-14	태양광/풍력 연계 수전해 등 친환경 수소 생산 기술이 일부 적용된 수소충전소 실증 연구
D-15	수소안전성 및 신뢰성확보를 위한 법규/제도 검토
D-16	유지보수 기술 정립 및 정비 전문가 육성
D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증 시험 및 운전
D-18	1회 충전으로 영업 다이아 운영 가능 연구

나. 조사 결과

(1) 평가지표 가중치

○ 우선순위 평가기준 가중치 중 전략성이 61.0%로 매우 높은 것으로 조사됨

– 전략성 이외에 기술성(25.0%), 경제성(9.0%), 파급성(5.0%) 순으로 도출

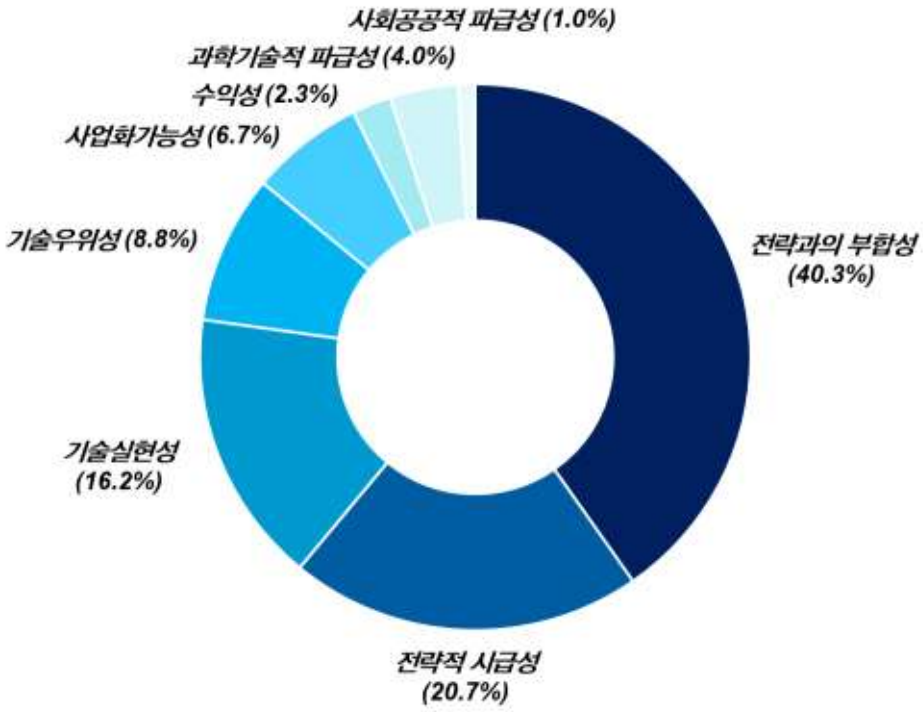
○ 세부 평가지표 중에서는 전략과의 부합성이 40.3%로 매우 중요한 것으로 조사됨

– 전략과의 부합성 외 세부 평가지표 중에서는 전략적 시급성(20.7%), 기술 실현성(16.3%), 기술 우위성(8.8%) 순으로 중요한 것으로 조사됨

○ 연료 분야의 특성상 철도 분야 경쟁력 확보를 위한 전략 및 기술 차원의 접근이 보다 중요한 것으로 분석

[표 2.44] 우선순위조사 평가지표 항목

평가항목	전략성		기술성		경제성		파급성		합계
평가지표	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	
가중치	40.3%	20.7%	16.3%	8.8%	6.7%	2.3%	4.0%	1.1%	100%
소계	61.0%		25.0%		9.0%		5.0%		100%



[그림 2.117] 수소연료전지 분야의 우선순위 평가기준 가중치

(2) 우선순위 조사 결과

○ 수소연료전지 분야 18개 후보과제에 대한 평가지표별 절대평가(7점 척도) 점수에 평가지표별 가중치(AHP)를 반영하여 다음과 같이 최종 평가점수 및 순위를 도출

[표 2.45] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 우선순위 조사 결과

평가지표 / 과제번호	전략성		기술성		경제성		파급성		결과	
	전략과의 부합성	전략적 시급성	기술 실현성	기술 우위성	사업화 가능성	수익성	과학기술적 파급성	사회공공적 파급성	합계	순위
D-01	1.9	1.0	0.9	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	5.0	14
D-02	2.4	1.2	1.1	0.5	0.5	0.1	0.2	0.1	6.0	3
D-03	2.3	1.0	1.1	0.5	0.4	0.1	0.2	0.0	5.7	7
D-04	2.6	1.0	1.1	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	6.0	2
D-05	2.3	1.2	1.0	0.5	0.4	0.1	0.3	0.1	5.8	4
D-06	2.2	1.2	1.1	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	5.6	8
D-07	2.3	1.1	1.0	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	5.7	5
D-08	2.6	1.3	1.1	0.6	0.4	0.1	0.2	0.1	6.4	1
D-09	2.1	1.1	1.0	0.5	0.4	0.1	0.2	0.1	5.5	10
D-10	2.0	1.1	1.0	0.5	0.5	0.1	0.2	0.0	5.4	11
D-11	2.1	1.0	1.0	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	5.3	12
D-12	2.4	1.1	0.8	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	5.5	9
D-13	2.2	1.0	0.9	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	5.2	13
D-14	1.4	0.7	0.9	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	4.2	17
D-15	2.1	1.0	0.8	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	5.0	16
D-16	1.4	0.7	0.9	0.4	0.4	0.1	0.2	0.0	4.2	18
D-17	2.4	1.1	0.9	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	5.7	6
D-18	2.0	0.9	1.0	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	5.0	15

○ 평가결과 5.5점 이상인 10개 후보과제를 최종 연구과제로 선정

[표 2.46] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 분야 최종 연구 과제

순위	과제번호	후보과제명	과제 내용
1	D-08	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발	• 수소연료전지/2차전지 하이브리드 동력시스템 개발 및 설계
2	D-04	비상전력공급을 위한 상용계통 연계형 전력변환시스템 개발	• 상용계통연계형 전력변환장치 개발
3	D-02	수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	• 수소연료전지 발전, 배터리 충/방전, 추진인버터를 포함하는 전력변환장치 및 제어기법 개발
4	D-05	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	• 철도차량 제어기 설계 및 제작검증을 위한 모의환경 플랫폼 개발
5	D-07	철도차량 주요 구성품 기술 기준 개발	• 새롭게 철도차량에서 사용되는 수소연료전지관련 기술기준 개발
6	D-17	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	• 철도차량의 주행특성에 따른 수소연료전지 하이브리드 시스템의 검증을 위해서 기존차량 개조를 통한 운전 및 데이터 획득
7	D-03	영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	• 영구자석동기전동기 구동을 위한 SiC 소자 기반 전력변환장치 개발
8	D-06	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	• 수소연료전지/배터리, 추진시스템의 실험을 Test Bench 구축
9	D-12	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	• 수소충전인프라 설계기술 개발 및 활용방안 연구
10	D-09	연료전지 및 배터리의 비율 결정 (cost, size, 주행거리 등 고려) 연구	• 철도차량의 운행특성을 고려해 최적 효율 달성을 위한 수소연료전지와 배터리의 최적 효율 도출 연구

5절 유사과제분석 및 기존기술(연구)와의 차별성

1. 유사과제분석

가. 철도관련 유사과제분석

(1) 무가선 하이브리드 저상트램 (국내)

❑ 연구 개발 목표

○ 저탄소 녹색성장의 시대를 맞이하여 도시의 매연과 소음의 원인인 버스, 택시 등을 대체할 수 있는 친환경 교통시스템의 요구조건을 충족시키기 위하여 무/유가선 혼합형 저상트램을 개발



[그림 2.118] 무가선 하이브리드 저상 트램

❑ 연구 개발 필요성

○ 기술적 측면

- 무가선 시스템 도입으로 혼잡한 도심내 가선설치에 따른 민원 해결
- 100% 저상차량으로 교통약자의 승하차 용이
- 버스와 동일한 곡선반경 적용으로 도심내 곡선조건에서도 차량의 주행 원활
- 에너지 소모 최소화 및 유지보수성을 고려한 차량 설계 적용

○ 경제, 산업적 측면

- 전용 궤도가 불필요하므로 초기 건설비가 저렴
- 기본 도로에 타 교통시스템과 병행운행이 가능
- 기존 교통과의 연계성 및 접근성이 우수
- 차량의 비상사태 시 승객 안전성이 우수

○ 사회, 문화적 측면

- 버스와 동일한 사이즈로 타 교통 및 도시 미관과 조화
- 다양한 디자인 적용으로 도시별 테마 적용 가능

❑ 연구 개발 내용 및 범위

[표 2.47] 담당 업체에 따른 연구 목표 및 연구 개발 내용

업체	연구목표	연구개발 내용 및 범위
현대로템	차량개발 및 제작	- 저상형 차량 설계 및 제작 - 저상대차 설계 및 제작 - 하이브리드 추진시스템 개발
갑을오토텍	소형/고성능 냉난방장치 개발	- 냉난방장치 프레임 세부 설계 - 증발기 열교환기, 응축기, 열교환기 등 부품 개발 - 성능시험 및 완성차 시험
대원강업	경량/고강도 의자 개발	- 경량화 기술 연구 개발 - 시트 상세 설계 - 완제품 제작 및 차량 장착
유진기공	고성능 제동시스템 및 집전장치 개발	- 개발모델에 대한 요구사양 분석 및 기본설계 - 외부기기와의 인터페이스 확정 - 차량 장착 및 완성차 시험
디유에이엔아이	경량/고신뢰성 출입문 개발	- 싱글리프 플러그 도어 설계/제작 및 성능평가 - 더블리프 플러그 도어 설계/제작 및 성능평가 - 완성차 시험
한국전기통신	고성능/다기능 방송표시기 개발	- 장치별 상세설계 - 구성품 제작 및 성능시험 - 차량 장착 및 완성차 시험 - 시험선 시험 및 지원

❑ 핵심 유사 기술

○ 제어 장치/DC-DC Converter

- 저상트램의 인버터장치 및 배터리 충방전을 위한 DC/DC 컨버터는 A-C-E-D-B의 5모듈 1편성에서 동력차인 A car와 B car에 설치
- E car에 집전장치, 직류피뢰기, HSCB가 설치
- 저상트램의 특성상 compact한 설계를 위해 필터리액터, 제동저항기를 인버터와 통합설계 구성
- 추진시스템의 구성으로 전압형 PWM 제어방식, 가변전압 가변주파수(VVVF) 제어 방식으로 역행 및 제동 시 정토크, 정출력 및 특성 영역을 갖고 있으며, 응하중 제어, 재

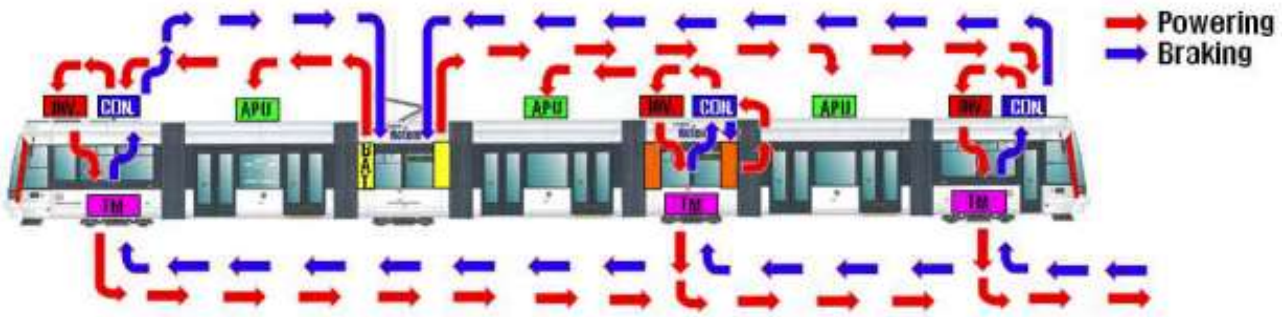
점착 제어 등의 기능을 갖추고 있음

○ 무가선/유가선 하이브리드 시스템

– 무가선 모드

• 무가선 구간 운행시 추진 배터리의 전원을 사용하며, DC/DC 컨버터를 통해 배터리 전력을 인버터에 맞는 형태로 제어하여 추진동력을 만듬

• 회생제동 시 발생되는 회생에너지를 DC/DC 컨버터를 통해 배터리에 저장하고, 추진 시 재 사용함으로써 소비전력을 현저히 줄일 수 있음

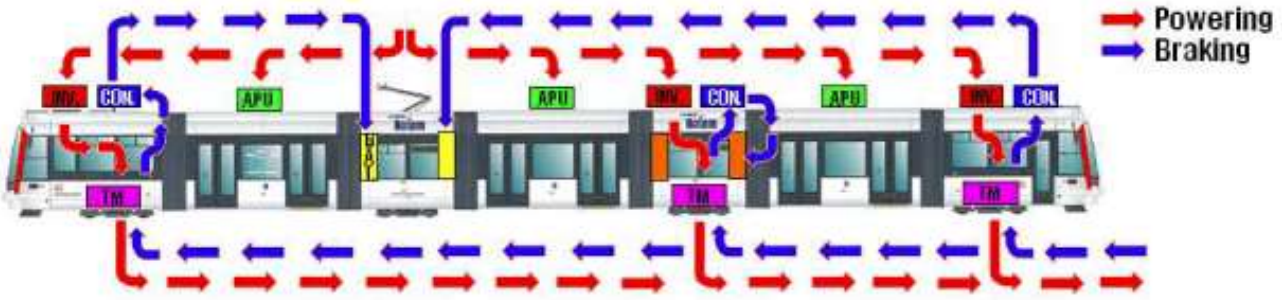


[그림 2.119] 무가선 모드시 추진/회생 전력 흐름도

– 유가선 모드

• 가선 구간 운행 시 집전장치로부터 전력을 수전받아 추진인버터를 통해 추진력을 얻음

• 회생 제동 시 발생되는 회생에너지를 DC/DC 컨버터를 통해 배터리에 저장하고 무가선 구간 운행시 재사용함



[그림 2.120] 유가선 모드시 추진/회생 전력 흐름도

❑ 결론

○ 2차전지와 유가선을 통한 하이브리드 동력원을 개발목표로 하는 위 과제는 가선과 무가선의 운행조건을 동시에 충족시키는 원천기술을 확보

○ 본 과제를 통해 개발될 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 수소연료전지와 배터리에 저장된 전력을 이용하여 구동하는 시스템

○ 배터리를 사용 하는 시스템은 외부에서 공급 받는 전력을 충전하거나, 연료전지 등으로

생산되는 전력을 충전하는 기술이 필요하고, braking에 의한 회생에너지도 이용할 수 있는 기술이 요구됨

- ○ 위 유사과제 내용 중 유/무가선에서 배터리에 에너지를 충방전하는 기술은 수소연료전지 하이브리드 철도차량에도 적용될 수 있는 핵심기술이 될 것으로 사료됨
- ○ 유사과제의 핵심기술을 수소연료전지 하이브리드 철도차량에 적용하면 더욱 친환경적 요건을 갖출 수 있고, 국내는 물론 해외 철도 시장 진출에 있어서 효율적으로 활용될 것으로 기대

(2) 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발(국내)

❑ 연구 개발 목표

- ○ 전기철도 에너지의 안정적 확보를 위한 대책을 마련
- ○ 새로운 에너지 개발을 촉진하는 방향으로 에너지 정책의 전환이 절실히 요구되고 있는 실정
- ○ 철도 전용 이동식 수소연료전지 발전소에 대한 기술개발로 인해 철도변전소 피크부하관리, 전압강하보상, 전력품질개선 및 에너지 수급에 대한 문제를 해결

❑ 연구 개발 내용

[표 2.48] 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술 연구 개발 내용

1차년도	2차년도	3차년도
전기철도 부하 패턴 분석 및 연료전지 발전시스템 설계 및 사양서 작성	전기철도 수소연료전지발전시스템 성능확인 및 연료전지 발전시스템 통합연계 기술사양 작성	전기철도 수소연료전지발전시스템 성능확인 및 연료전지 발전시스템 통합연계 기술을 개발 및 시험
- 전기철도 부하패턴 및 계통운영 조사 분석 - 수소 제조 및 저장시스템 기술 분석 - 수소연료전지발전시스템 설계 및 사양서 작성 - 고효율 전력변환기 H/W 및 S/W 설계	- 수소연료전지 발전시스템 모니터링 시스템 구축 - 수소연료전지발전시스템 시작품(1kW급) 성능평가 - 수소연료전지발전시스템 통합연계 및 제어기술 개발 - 30kW급 수소연료전지 발전시스템 사양개발	- 수소연료전지발전시스템 전용 모델 사양 작성 - 시스템 성능 및 신뢰성 평가 기준 작성 - 시스템 자동제어운전 모듈 기술 개발 - 수소연료전지발전시스템 시작품 성능 평가 - 수소연료전지발전시스템의 차량 견인특성 분석

❑ 연구 개발 결과

○ 1차년도

– 소용량 및 대용량에 이르기까지 사용되고 있는 연료전지 종류와 이에 따른 연료전지 특성 곡선을 고찰하고,

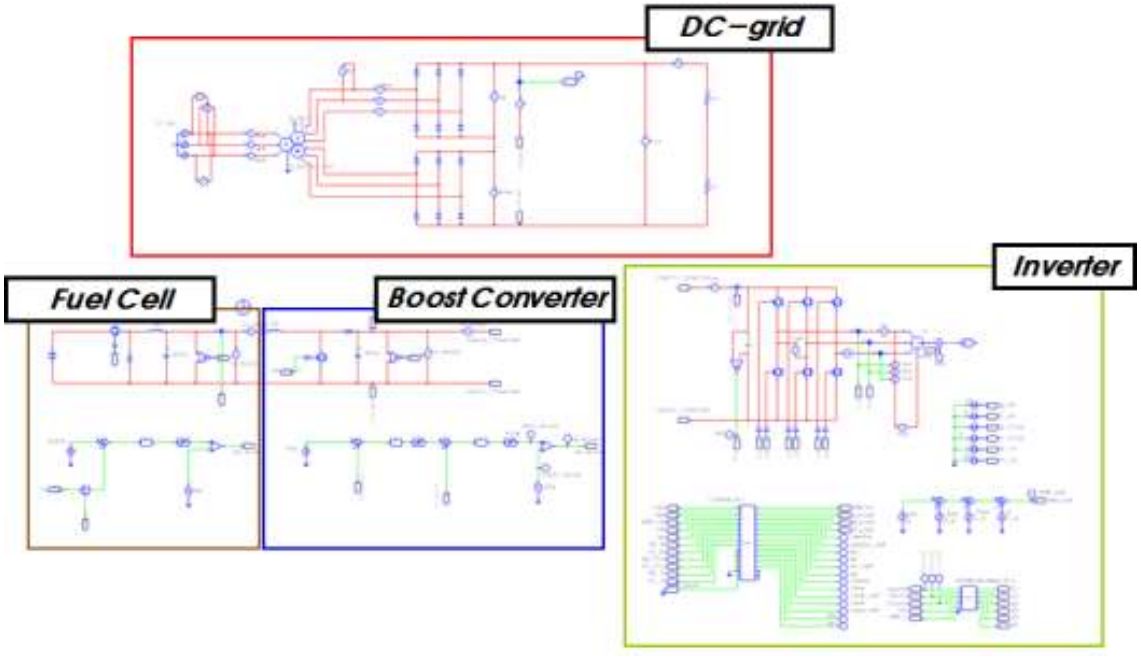
– 대용량 전력을 필요로하는 철도 분야 적용사례를 살펴보고 연료전지 발전을 위한 전력 변환장치 토폴로지들의 장단점을 분석하여 적합한 토폴로지를 대상으로 시뮬레이션 진행

– 연료전지 구동차량을 통한 계통연계의 가능성을 검토



[그림 2.121] 수소발생기 및 수소정제기와 조합된 1kW급 수소연료전지발전시스템

○ 2차년도

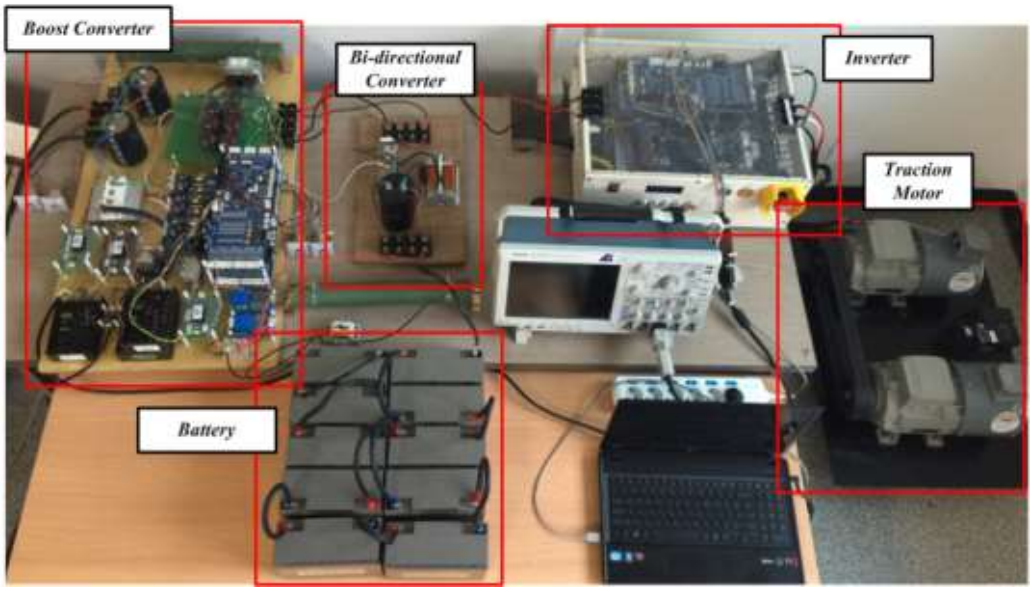


[그림 2.122] 30kW급 수소연료전지발전시스템에 대한 시뮬레이션

- 국내외 연료전지 및 계통연계 기술 현황을 분석하고, 연료전지해석을 위한 모델링 기법을 제시하고, 철도차량 부하패턴을 고려하여 연료전지 출력을 분석
- 1kW급 수소연료전지발전시스템을 구축하고, 동작에 따른 특성을 분석
- 30kW급 수소연료전지발전시스템에 대한 시뮬레이션을 진행하고, 시스템 사양을 제시

○ 3차년도

- 5kW급 수소연료전지발전시스템을 구축하고, 시스템 동작에 따른 특성을 분석
- 연료전지 발전시스템을 적용한 축소형 H/W를 이용하여 연료전지 발전시스템 분석
- 축소형 수소연료전지 철도전용 발전시스템 전용모델 사양 제시



[그림 2.123] 연료전지발전시스템을 적용한 축소형 철도차량의 하드웨어

[표 2.49] 수소연료전지 철도전용 발전시스템 전용모델 사양 작성

수소연료전지발전시스템 적용시 설계사양		견인전동기 부하 적용시 설계사양	
파라미터	값	파라미터	값
연료전지 전압	225[V]	연료전지 전압	225[V]
승압형 컨버터 출력 전압(DC-Link)	750[V]	승압형 컨버터 출력 전압(DC-Link)	750[V]
배터리 전압	225[V]	배터리 전압	225[V]
스위칭 주파수	10[kHz]	스위칭 주파수	10[kHz]

수소연료전지발전시스템 적용시 설계사양		견인전동기 부하 적용시 설계사양	
연료전지발전시스템 용량	30[kW]	연료전지발전시스템 용량	20[kW]
유도전동기 용량	110[kW]	유도전동기 용량	30[kW]
배터리 용량	80[kW]	배터리 용량	10[kW]
승압형/양방향 컨버터 인덕턴스	1[mH]	승압형/양방향 컨버터 인덕턴스	2[mH]
DC-Link 커패시터	1[mF]	DC-Link 커패시터	50[uF]

❑ 결론

○ 철도변전소 피크부하관리와 전압강하보상, 전력품질보상에 연료전지 발전소 시스템 활용 가능

○ 연료전지 발전시스템의 철도차량 동력원 활용 가능

○ 원천기술 확보를 통한 향후 국가 연구개발사업 추진

○ 신재생에너지 활용 발전장치 설계 및 제작기술은 타 산업계로 확산 활용 가능

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량을 제작함에 앞서 축소모형과 같이 프로토 타입을 구축하여 테스트를 진행하면 실제 철도차량 제작 시에 문제점을 줄이거나 예상할 수 있게 됨

○ 따라서 수소연료전지 하이브리드 철도차량을 제작할 때 축소모형을 구축하여 테스트를 진행하면 실제 철도차량을 제작할 때 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 사료됨

(3) 기후변화대응 철도분야 온실가스 저감방안 연구 (연료전지 하이브리드 전동차 (국내))

❑ 연구 내용

○ 국내외 기후변화대응 대내외 여건 분석

○ 국내 철도분야 온실가스 배출실태 조사 및 분석

○ 철도분야 단계별 온실가스 감축 목표 설정 및 세부 실행계획제시

○ 국외 철도분야 온실가스 저감 가이드라인 조사

○ 온실가스 저감방안 항목도출 및 감축효과 산출

○ 온실가스 저감 가이드라인 권고(안) 제시

❑ 연구 결과 내 연료전지 하이브리드 전동차 관련 사항

○ 국내 철도분야 온실가스 저감 가이드라인 제시

- 국외 철도분야 온실가스 저감방안을 비교하여 국내에 적용 가능한 저감항목을 도출하여 감축효과를 산출하여 가이드라인으로 제시
- 우선 국내 철도분야의 전체 온실가스 인벤토리 구축이 요구되며 정확한 데이터 산출을 위한 철도차량 내 에너지미터기 설치가 선행되어야할 것으로 사료됨
- 이를 기반으로 에너지 효율제고 기술, 신재생에너지 적용(연료전지 하이브리드 전동차 등), 에코드라이빙, 인터모달 수송 등을 통해 국내 철도분야의 온실가스 배출량을 저감할 수 있음

[표 2.50] 신재생에너지 분야 온실가스 감축목표 이행 로드맵(안)

부문	정책	2009~2012	2013~2015	2015~2020
신재생에너지	무가선 하이브리드 저상트램			
	하이브리드(전기+디젤) 철도차량			
	연료전지 하이브리드 전동차			
	바이오디젤 철도차량			
	청정에너지 철도차량(LNG/DME)			
	신개념 에너지 전송			

❑ 결론

○ 본 과제는 국내 철도분야의 기후변화대응 중장기 로드맵 수립을 위하여 국내외 기후변화대응 정책변화 및 UIC, DB, JR 등 국외 철도기관의 추진현황을 조사하여 분석하고, 국내 철도분야의 연간 에너지 소비량을 기반으로 주요 온실가스 배출원에 대한 배출량을 산출

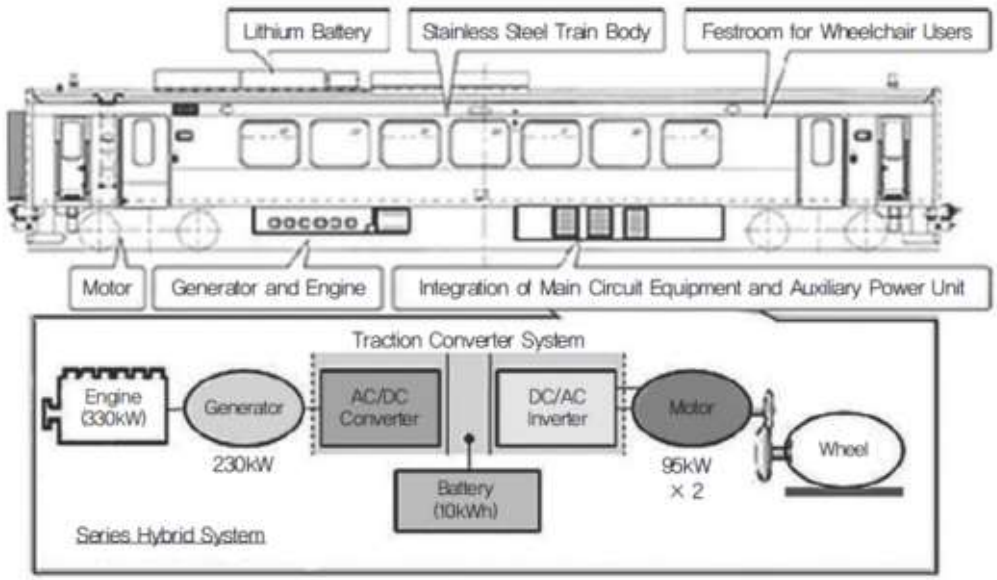
○ 이를 기반으로 2020년까지 온실가스 배출추이를 시나리오별로 예측하여 BAU를 산정하였으며, 저감요인에 따른 타당성을 분석하여 최종적으로 감축목표를 제시하였고, 감축목표 달성을 위한 단계별 온실가스 저감 실천계획을 수립 및 제시

○ 본 과제에 명시되어 있는 연료전지 하이브리드 전동차에 관한 내용은 온실가스 저감을 위한 가이드라인으로 제시되어 있으므로 과제화 되지 못함

(4) 디젤 하이브리드 철도차량 (국외)

❑ 하이브리드 디젤 열차의 구조 및 작동

○ 하이브리드 철도 차량은 디젤엔진과 발전기가 연결된 기존의 디젤 열차의 구조에 배터리를 추가한 구조



[그림 2.124] 하이브리드 시스템에 적용되는 동력 용량

○ 일본 Kiha E200 디젤-전기 하이브리드 열차

- 일본 JR East에서 운행하고 있는 디젤-전기 하이브리드 열차
- 열차를 구동하는 모터는 95kW 2개를 사용하였고, 동력원은 330kW의 디젤엔질을 230kW 발전기에 직접 연결하여 구동시켜 전기를 발생하는 시리즈 타입의 하이브리드 시스템
- 동력의 저장은 10kWh 용량의 리튬-이온 배터리를 사용
- Kiha E200 디젤-전기 하이브리드 열차의 에너지 관리 기술

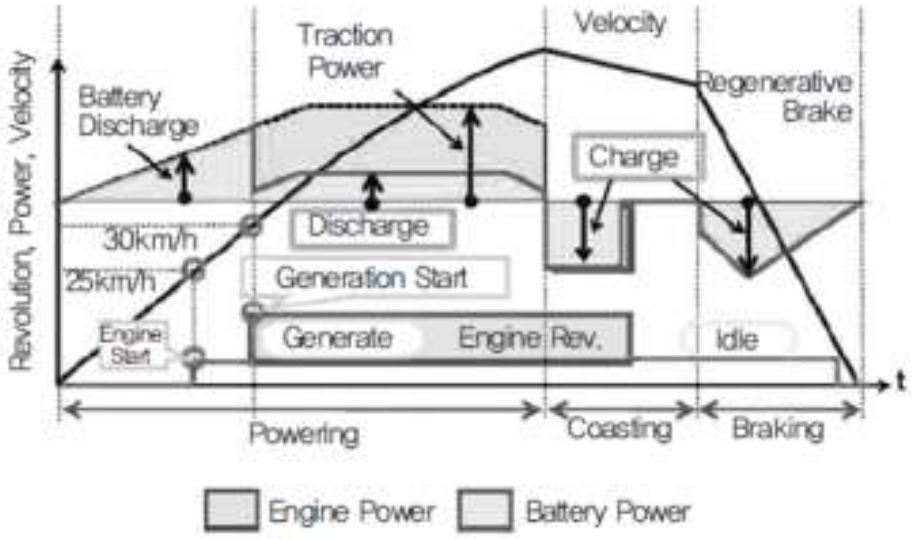
• 하이브리드 시스템의 경우, 운행중인 열차를 정지 또는 감속할 때 기계식 제동장치에 의하여 열에너지로 변환하는 운동에너지를 모터를 역으로 구동하여 발생하는 전기를 배터리에 다시 회수하는 회생제동이 하이브리드 시스템의 연비향상에 큰 역할을 하게 됨

• Kiha E200 하이브리드 열차의 경우에는 회생제동에 의하여 운행중인 열차가 한번 정지하는 데에 평균 1kWh의 에너지를 회수하게 됨

• 일반적으로 하이브리드 시스템의 주행은 기본적으로 작동모드를 지정하고 작동모드의 조합으로 하이브리드 시스템을 제어하게 됨

• 열차가 정지상태에서 출발할 때에는 일정속도 운행하며 배터리 동력으로 모터만을 구동

• 저속영역에서 큰 부하가 작용하는 디젤엔진의 작동 영역은 연비와 배기가스 배출에 매우 불리한 영역이기 때문에 배터리의 SOC가 매우 작은 경우나 급발진이 필요한 경우를 제외하고는 디젤엔진을 사용하지 않게 됨



[그림 2.125] 하이브리드 철도차량의 동력 사용

- 일정속력을 유지하는 평지주행의 경우, 디젤엔진을 최고 효율 상태로 작동
- 이때 주행부하와 배터리의 SOC에 따라 디젤엔진의 여유 동력을 이용하여 모터를 구동하여 배터리에 충전하거나 디젤 엔진과 함께 모터를 구동하여 배터리를 방전
- 경사면을 오를 때에는 디젤엔진을 최대 동력으로 작동하여 구동하고, 동력이 모자라는 경우에는 모터를 구동하여 동력을 더함
- 경사면을 내려가는 경우에는 기계식 제동장치를 사용하지 않고 모터를 회전시켜 부하를 제동력으로 사용하는 회생제동으로 배터리를 충전하게 되며 최종 열차의 속력은 디젤엔진의 엔진 브레이크로 조절
- 운행 중인 열차를 정지시킬 때에는 디젤엔진은 정지하고 회생제동으로 배터리를 충전하며 제동하게 됨
- 열차가 정지하고 있을 때에는 디젤엔진은 정지하고, 이때 필요한 서비스 동력은 배터리에서 사용

❑ 결론

○ 하이브리드 시스템이 적용된 철도차량은 기존 디젤엔진으로 운행되는 디젤엔진 열차에 비해서 연료 소비율이 향상되고 배기가스도 저감이 되는 열차

○ 연료소비의 감소에 따른 운영비 절감과 함께 배기가스 감소에 따른 환경 비용의 절감이 가능한 친 환경적인 시스템으로서 국가적인 녹색성장에 기여할 수 있음

○ 현재 국내에서는 리튬-이온 배터리를 장착한 디젤-전기 하이브리드 철도차량에 대한 유사과제가 수행된 적이 없음

○ 일본 디젤-전기 하이브리드 철도차량 기술을 수소연료전지철도차량의 운전 시 작동모드에 활용하면 에너지를 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 사료됨

나. 수소연료전지관련 유사과제분석

(1) 100kW이상급 대용량 연료전지스택 개발

[표 2.51] 100kW이상급 대용량 연료전지스택 개발

과제명	국 문	100kW급 고온 연료전지-엔진 하이브리드 발전시스템 엔지니어링 기술 개발		
	영 문	The Development of Engineering Technology for 100kW-class High Temperature Fuel-Cell-Engine Hybrid System		
주관연구기관		한국기계연구원 대전		
참여연구기관		서울대학교 산학협력단, 한국에너지기술연구원, 충남대학교 산학협력단, (주)미코	위 탁 기 관	
사 업 기 간		2014년 06월 01일 ~ 2017년 05월 31일 (3년)		
사업비		6,030,000천원		

❑ 연구개발의 내용

○ 해당 과제에서 제안한 연료전지/엔진 하이브리드 시스템은 국내에서 독창적으로 고안된 시스템으로 효율/경제/운전/안전성 면에서 매우 우수한 기술로 평가되며, 효율 및 경제성 분석결과, 발전효율이 8.6% 개선되고, 전력생산비용(LCOE)이 10.9% 저감되는 결과를 확인하였음

○ 3년간의 연구를 통해 소규모 파일럿 시스템의 실증 운전을 진행하고 있으며, 1차년도에는 시스템 해석, 설계와 더불어 주요 구성품의 설계와 제작, 타당성 확인시험이 진행되었음. 1차년도 연구결과, 설정한 정량적/정성적 연구목표를 모두 달성함

○ 연구결과로는 높은 발전효율(40% 이상)과 안정적인 운전특성을 갖는 5kW급 SOFC 스택 및 모듈 제작 완료와 SOFC-엔진 하이브리드에 활용하기 위한 HCCI 엔진의 설계와 구동타당성 검증 시험이 있음

○ 연료전지 에노드 오프가스는 연료 조성이 매우 희박하여 완전연소가 어려운 점을 개선하기 위해서 해당 과제에서 제작한 엔진은 초희박 조건에서 우수한 연소성능을 가짐을 확인함

○ 엔진 배기가스는 온도가 매우 낮아 연료개질에 활용하기 매우 어려운 단점을 개선하기 위해서 해당 연구팀에서는 열전달 구조를 최적화하여 개질성능을 달성하였음

❑ 연구개발결과의 활용계획

○ 본 기획과제의 수소연료전지 철도차량은 약 1500마력(1.2MW급)이므로 대용량의 연료전지스택이 필요로 하고, 그에 따른 연료전지/엔진 발전시스템 기술을 요구함

○ 해당 과제는 국내에서 진행된 연료전지 엔진 발전시스템 중 비교적 높은 용량(100kW)

을 개발 중이며 향후 본 기획과제에서 활용가능성이 부각 될 것으로 전망함

(2) 700bar 수소연료탱크 개발의 상용화

[표 2.52] 700bar 수소연료탱크 개발의 상용화

과제명	국 문	연료전지 차량용 고압수소저장시스템 개발 및 실증		
사업주관기관		현대자동차(주)		
참 여 기 업		현대모비스, 모토닉, 이노컴, 삼우기업,케이시알	위 탁 기 관	한국기계연구원 부설 재료 연구소
사 업 기 간		2006년 8월 1일 ~ 2009년 7월 31일 (3년)		
사업비		8,805,000천원		

❑ 연구개발의 내용 및 범위

○ 해당 연구에서는 연료전지자동차용 고압수소저장시스템에 대하여 차량의 운행 기간 동안에 수소 누출 및 파손 없이 성능을 만족하는 시스템을 설계함. 특히 연료전지차량의 고압수소저장시스템 마운팅 프레임 단순화 및 경량화를 통한 시스템 국한화를 이룸. 또한 현재 현대/기아 자동차가 개발하여 운행 중인 연료전지차량에 대한 고압수소저장시스템에 대한 신뢰성 및 향후 연료전지차 향산을 대비한 모듈의 조립성, 고압평가기술 및 품질관리 등에 필요한 자료를 확보

○ 프론티어 1단계 사업에서 확보된 내장형레귤레이터 역설계 자료와 고압레귤레이터 설계 및 평가기술을 바탕으로 내장형타입의 35Mpa 고압레귤레이터 및 고압솔레노이드밸브를 개발하였음

○ Type3 탱크의 경우, 고압용기의 금속라이너 설계 및 제작 기술을 습득하고 기 확보된 복합소재 설계기술을 보완하여 35MPa 고압저장용기에 대한 성능 확인을 위하여 국제 인증을 취득하였음. 또한 항속거리 향상을 위하여 70MPa 시제품에 대한 개발 기술을 확보하였음

○ Type4 탱크의 경우, 기 확보된 35MPa바 용기설계 및 제작기술을 바탕으로 급속충전시험을 포함한 다양한 실증시험을 통하여 차량용기의 완성도를 높이기 위한 연구를 추진. 더불어 항속거리 향상을 위해 70MPa 용기도 개발.

❑ 연구개발결과

○ 고압수소저장 시스템 설계 및 평가 기술개발 (현대자동차)

– 차량공간에 효율적으로 수소저장 시스템을 탑재하기 위해서는 수소저장 시스템을 콤팩트하게 개발하는 것이 바람직. 더욱이 수소저장 시스템은 압력용기로서의 형상이 원통

형이어서 특히 트렁크 공간에 영향을 줄 가능성이 큼. 본 연구과제에서는 현대자동차에서 개발 중인 차량에 트렁크 공간을 최대로 할 수 있는 고압시스템을 독자 설계 하였음. 35MPa 탱크 3개로 구성된 시스템인 Proto#1, 35MPa 탱크 2개로 구성한 시스템인 Proto#2, Proto#1을 구조적으로 단순화 시켜 경량화한 경량화 모델을 각각 개발하였음. 항속거리를 늘리기 위하여 수소를 5kg 이상 저장 가능한 시스템으로 35MPa 탱크 3개로 구성된 시스템인 Proto#3, 70MPa 탱크 3개로 구성된 시스템인 70MPa 모델을 개발하여 충방전 시험등 차량 평가를 진행하였음

- 고압수소저장 용기는 충방전이 용이하고 비교적 사용 경험이 많아 연료전지 차량용 연료공급 장치로 사용하여 왔음. 하지만 고압의 기체를 어떻게 안전하게 컨트롤할 것인가에 대한 문제는 고압을 사용하는 이용자의 과제였음. 지금까지는 연료전지자동차용 고압수소저장시스템에 대한 내구성, 안정성, 가격경쟁력 확보를 위하여 각각 구성되고 있는 단품별 성능 개선에 집중되어 왔음. 그러나 궁극적으로 연료전지 차량이 양산화 시점에서 경쟁력을 갖기 위해서는 각 부품들이 모듈화 되어 있는 상태에서의 내구성 및 안정성 평가가 필요함. 이러한 측면에서 본 연구에서는 연료전지차량의 고압수소저장시스템 모듈에 대한 진동, 충돌, 화재, 충전, 전자파 안정성에 대한 평가 방안을 도출하고 이를 평가하여 봄으로써 고압수소저장시스템에 대한 신뢰성 검증완료

○ 고압수소저장 시스템 제작 및 시험 평가 (현대모비스)

- 현대자동차의 수형 결과인 5종류의 시스템 마운팅 모델을 모델별로 구조해석을 수행하였음. 마운팅 프레임의 구조적 안정성 확보를 위해 상세 설계 보강을 수행하였고 최종 안정성이 확보된 설계모델에 대해 제작을 수행하였음. 또한 조립치구를 제작하여 제작된 마운팅 프레임과 수소용기를 비롯하여 레귤레이터, 각종 밸브류 및 피팅 배관 등 수소저장시스템을 구성하는 주요 부품을 조립하여 차량 탑재성을 검증하였음
- 조립된 수소저장 시스템 평가하기 위하여 고압 기밀시험설비를 설계, 제작하고 기밀시험을 수행함으로서 실제 차량 운행시 수소가스의 누설에 대한 신뢰성을 확보하였음
- 시스템 제작과 더불어 국산화된 수소용기의 급속충전 특성을 파악하기위해 급속 충전 시험설비를 설계, 제작하고 Type3와 Type4 용기의 고압 수소 충전시 용기 내부의 상태량 파악 및 충전운용 기술을 확보하였음

○ 내장형 레귤레이터 및 솔레노이드 밸브 개발 (모토닉)

- 레귤레이터는 내장형 타입을 만들기 전 외장형 타입으로 제작하여 국제 인증기관인 캐나다 Powertech에서 검증작업을 완료하였고 이를 바탕으로 내장형 타입을 제작하여 과제 목표로 개발이 진행되었음. 내장형 타입은 기본 감압구조는 외장형 타입과 동일하고 기타 옵션사항들이 추가적으로 장착됨. 시제품 개발 완료 후 국제규격에 의거 사내 검증작업을 통해 데이터 확보후에 네덜란드 TUV사에 국제인증을 의뢰 하였음. 그 결과 외부 leakage 테스트시 −30도에서 leakage가 발생하기 시작하여 규격온도인 −40도를 만족하지 못하였음
- 솔레노이드는 O−ring 타입과 Seat 타입을 동시에 개발하였고 개발진행간 EIHP 규격에 의거 사내 검증작업을 진행하였음. Seat 타입이 leakage에 대해 우수한 성능을 만족하였음. 시제품 개발 완료 후 국제규격에 의거 사내검증작업을 통해 데이터 확보 후

에 네덜란드 TUV사에 국제인증을 의뢰하였고, 그 결과 전 테스트 과정이 규격에 만족하는 결과를 도출

○ 연료전지용 Type3용 고압수소기체 저장용기 개발 (이노컴, 삼우기업, 한국기계연구원)

- 라이너 시제품 개발에서 이음새 없는 튜브 개발(A16061-T6)을 완료하였으며 확관 및 스피닝 공정개발 및 성능평가의 DB를 구축하였음. 또한 전용 제조장비 및 관련 치구 설계 및 구축하여 라이너 시제작 및 복합재 압력용기로의 적용하였음. 복합재 압력용기 개발에서 전용 파열 및 반복장비 구축 및 국제규격에 의한 시험평가 기법을 DB화 했으며 비선형 유한요소해석을 통한 구조설계/해석을 통하여 35MPa, 39L/74L 시제품 제작 및 설계 검증시험을 통한 상용화를 고려하였으며 70MPa, 40L 시제작 및 기본성능평가 또한 완료하였음

○ 연료전지차량용 수소탱크(Type4) 개발 및 실증 (케이시알)

- 직경이 감소된 35MPa, 37L 수소탱크(HT35-037S)와 돔 프로텍터가 제거된 35MPa, 72L 수소탱크(H35-072D)를 개발하여 NGV2 인증을 취득하였고, 35MPa 수소탱크의 양산기술을 확보하였음. 35MPa 수소탱크(Type4)의 실증시험을 통해 실차장착 타당성 및 안정성을 확인하였음
- 70MPa 수소탱크(Type4) 시작품을 개발하여 70MPa 수소탱크의 인증을 위한 시험평가 기술을 확보하였음

○ 연구개발결과의 활용계획

- 해당 연구과제는 솔레노이드 밸브, 외장형 레귤레이터, 39/74L급 Type3/4 탱크를 아우르는 고압수소저장 시스템을 개발 및 실증 테스트까지 과정을 완료하였으며, 향후 본 기획과제에서 필요한 대용량 고압수소저장시스템 개발 및 실증을 위해서 참고할 예정임

(3) 수소연료전지 관련 안전기준 개발

[표 2.53] 수소연료전지 관련 안전기준 개발

과제명	국 문	수소 연료전지 자동차 안전성 평가 기술 개발		
	영 문	Development and demonstration of high pressure hydrogen storage system for fuel cell vehicle		
연구기관명 및 소속 부서명		교통안전공단 (자동차 안전 연구원)		
참 여 기 업		현대자동차, 유라코퍼레이션, 서울대학교, 성균관대학교, 전기안전공사	위 탁 기 관	
사 업 기 간		2007년 12월 24일 ~ 2012년 12월 20일 (5년)		
사업비		24,400,000천원		

❑ 연구개발의 내용 및 범위

○ 본 연구는 현재 시행 중인 자동차관리법 자동차 안전기준의 평가를 기본으로 삼고 있으며, 또한, 현행 안전기준에 포함되어 있지 않는 분야에 대한 평가기술 개발과 함께 안전기준(안) 및 시행세칙(안)을 도출

○ 수소연료전지 자동차에 대한 사고위험성 및 사고시 피해 최소화를 위한 안전성 평가 기술을 확보하고, 수소-연료전지 자동차에 대한 고전압장치, 수소 안전성 등에 대한 안전기준 및 안전성 평가기술을 개발하여 수소연료전지 자동차 관리정책에 반영

❑ 연구개발결과

○ 제도/정책 분야

- 수소연료전지자동차의 GTR 제정을 위한 UN/ECE/WP.29의 HFCV 관련 기술회의(SGS, ELSA)에 참석하여 본 과제 연구결과로 도출된 안건을 제시하였으며, GTR 초안 작업에 능동적으로 대처
- 수소연료전지자동차의 안전기준 및 시행세칙 최종안에 대한 제작사, 부품업체, 연구기관 등 관련분야 전문가를 초빙하여 안전기준 등에 대해 설명하고 제도적 보급기반 구축을 위해 법제화를 추진하였음

○ 수소안전성분야

- 수소연료장치 안전성 확보를 위한 기준(안) 도출
  • 수소 연료장치 안전기준(안) 적정성 검토
  • 저장장치, 체크밸브, 차단밸브, 온도감응식압력방출장치 등 적정성 검토
  • 연료장치관련 부속장치의 안전성 확보 검토
- 수소연료전지 자동차의 수소누설감지장치, 수소연료저장용기(설치위치, 표시내용), 수소저장장치(안전변, 도관), 수소연료장치 고장표시등에 관한 안전성 평가기술 및 안전성 확보를 위한 안전기준(안)을 도출
  • 수소 누출시 안전성 확보를 위한 안전기준(안) 적정성 검토
  • 배기구 수소누출 기준 적정성 검증 평가
  • 검지장치 및 연료차단 기준 적정성 검증 평가 수행
- 충돌시험을 통한 연료장치 설치위치기준 검증 평가시험 실시
- 수소배출구 수소누출량 안전기준(안) 도출
- 수소누설 위험모델안전성 평가 연구
  • 수소누설 위험조건에 대한 국내외 기준 등 조사
  • 수소누설 위험모델 해석 및 설계
  • 수소누설 위험모델관련 설계기준서 도출
- 수소 저장 및 공급시스템의 고정성 안전기준(안) 연구

• 수소저장 및 공급시스템의 고정성 평가기준 및 방법 검토

• 수소저장 및 공급시스템의 고정성 관련 안전기준 및 시행세칙(안) 도출

○ 운행안전성분야

– 충돌분야 안전기준 부합성 연구

• 충돌시 승객보호에 관한 연구

• 충돌시 연료장치에 관한 연구

• 충돌시 고전원전기장치에 관한 연구

– 서리안개제거장치 안전기준 부합성 연구

• HFCEV 서리 및 안개제거장치 검증 평가시험 수행

• 서리 및 안개제거장치 시행세칙 최종(안) 제시

– 가속제어장치 안전기준 부합성 연구

• HFCEV 가속제어장치 안전기준 검증 평가시험 실시

• 가속제어장치 안전기준 및 시행세칙(안) 도출

– Fail Safety 모드 연구

• 잠재적 위험요소분석

• Fail Safety Mode 시험방법 개발

• 전기식 제어전달장치(Fail Safety Mode) 안전기준(안) 제시

– 전기식 제동장치 안전기준 부합성 연구

• EHB(또는 EMB) 방식 제동장치 장착 자동차에 대해 검증평가

• 전기식제동장치 안전기준 및 시행세칙(안) 도출

– 원동기출력분야 안전기준 부합성 연구

• 구동축전지 출력시험 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출

• 수소연료전지 출력시험 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 도출

• 시스템 출력시험 방법 개발

– 연료소비율 분야 안전기준 부합성 연구

• 수소연료전지자동차(승용, 버스) 연료소비율 검증 평가 및 시험방법 정립

• 승용자동차 복합연료소비율 반영(도심주행 및 고속도로주행 모드)

• 수소연료전지자동차 연료소비율 평가 방법(안) 도출

○ 전기안전성분야

– 전자파 안전기준 부합성 연구

• 전자파 관련 국내외 규격 동향 파악 및 국제회의(ELSA) 참석

• 평가결과 분석 및 관련 안전기준의 적정성 검토

• 전자파 및 전기안전성 관련 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 재개정 완료

• 기준 적용성 및 타당성 검토를 위한 검증평가 시행

– 고전원전기장치 안전기준 부합성 연구

• 전기안전성 관련 국내외 규격 동향 파악 및 국제회의(ELSA) 참석

• 평가결과 분석 및 관련 안전기준의 적정성 검토

• 전기안전성 관련 안전기준(안) 및 시행세칙(안) 검토

• 기준 적용성 및 타당성 검토를 위한 검증평가 시행

❑ 연구개발 결과의 활용계획

○ 해당 연구는 수소연료전지 자동차의 고전압 및 수소 안정성 등에 대한 안전성 평가기술을 개발하여 자동차관리법 안전기준 및 시행세칙을 재개정하고, 개발된 수소연료자동차에 대한 안전기준 및 안전성 평가기술을 UN/ECE/WP.29의 GRPE에서 수소연료전지 자동차 GTR 논의 초기부터 국내의 입장을 반영하며 GTR 제정에 활용하였음.

○ 이를 통해 철도관리법 안전기준 및 시행세칙 재개정 및 개발된 수소연료전지 철도차량에 대한 안전기준 및 안전성 평가기술에 관한 법력 및 세칙을 제정할 예정임.

○ 또한, 철도 제작사에게 수소연료전지 철도차량의 안전성을 확보할 수 있는 평가기술을 제공할 예정임

○ 제도정책 분야

– 수소연료전지 철도차량에 대한 기술회의 등 국제 활동을 통하여 외국의 최신 관련 기술자료 수집 및 동향을 파악하여 철도차량 관련 규정 제정시 본 연구결과가 반영될 수 있을 것으로 기대됨

– 또한 국내의 수소연료전지 관련 연구기관의 협의체 및 외부 자문위원 평가위원회를 통하여 본 과제 진행과 관련된 의견을 수렴하여 수소연료전지 철도차량의 안전성평가 기술개발 연구내용에 반영함

– 수소연료전지 철도차량의 안전에 대한 대국민 홍보 및 운전자, 검사자 등의 교육자료로 활용

○ 수소안정성 분야

– 수소연료전지 철도차량용 수소감지센서, 저장용기, 밸브, 고장표시등 등 연료장치에 관한 구조적인 안전을 확보할 수 있는 평가기술을 마련하고, 기준(안)을 도출하여 안전기준 및 시행세칙 제/개정하고, 수소연료전지 철도차량 안정성 확보 방안을 수립하는데 활용할 계획임

– 수소 저장 및 공급장치의 고정성과 관련하여 도출된 안전기준 및 시행세칙(안)을 구체화하여 법규 도입에 활용할 계획임

– 수소누설위험조건 해석 연구를 통해 수소연료전지 철도차량에 대한 안전기준(안) 재/개정과 관련 규정을 정비하는데 활용할 계획

○ 운행안정성 분야

- 수소연료전지 철도차량에 대한 신후방충돌 시험을 수행하여 문제점 및 결과를 바탕으로 개선방안을 마련하고 안전기준 및 시행세칙 제/개정에 활용하고자 함
- 구축된 구동축전지 출력평가시스템을 활용하여, 여러 가지 형태의 구동축전지 출력 평가에 사용하고, 이를 통해 시행세칙 제정(안)을 도출하는데 활용함
- 수소연료전지 출력평가시스템 구축하였고 수소연료전지의 출력을 평가하는데 사용하며, 이를 통해 시행세칙 제정(안)을 도출하는데 활용함
- 시스템출력에 대한 개념을 정립하고 여러 가지 형태의 동력시스템이 탑재된 철도차량에 대한 출력평가에 사용하고 최종 수소연료전지 철도차량에 대한 시스템출력시행세칙 제정(안)을 도출하는데 활용함
- 전기조절전달식 제동장치에 대한 안정성 평가 결과 및 제시된 기준안에 의해 안전기준(안) 및 시행세칙(안)에 대한 사전검증을 실시하고, 현재 개발중이거나 향후 개발되는 전기식 제동장치에 대해 적극적인 시스템 검토 및 자료조사와 제작사 의견 수렴을 통해 안전기준 및 시행세칙 개정에 활용할 계획임
- 수소연료전지 철도차량의 Fail Safety Mode 시험결과를 활용하여 철도안전기준제개정에 활용하고자 함
- 수소연료전지 철도차량의 서리안개제거장치 시험결과를 활용하여 철도안전기준시행세칙 개정에 활용하고자 함

○ 전기안정성 분야

- 수소연료전지 철도차량의 전자파 적합성에 대한 평가를 통하여 기준 및 시행세칙을 도출
- 수소연료전지 철도차량의 고전원전기장치에 대한 평가를 통하여 기준(안)을 도출하였으며, 향후 최종 검증을 거쳐 입법화 추진
- 전기안정성 평가기술 개발로 철도 제작사 및 부품 제작사 등의 수소연료전지 철도차량 개발에 전기안정성 확보를 위한 현장 적용 기술로 활용
- 교통사고 발생시 구조요원(119구조대 등) 등의 구조활동 지침서 제작에 활용하고, 전기적 원인에 의한 사고 발생시 원인규명 파악을 위한 기술자료 및 정확한 사고 원인 규명을 통하여 사고 재발 방지의 연구 자료로 활용

2. 기존기술(연구)와의 차별성

가. 철도관련 기존연구와의 차별성

○ 철도관련 유사과제는 2건으로 무가선 하이브리드 저상트램은 가선없이 이동이 가능하다는 면에서 디젤 하이브리드 철도차량은 두 에너지원(디젤,배터리)를 혼합해서 사용한다는 면에서 수소연료전지를 이용한 철도차량과 유사성이 있음

○ 하지만, 무가선 하이브리드 저상트램은 배터리 충전을 위해서 전기 공급이 필요하며, 단거리 운행을 위한 철도차량을 목표로 진행된 것으로 현재 운행 중인 장거리 디젤 철도차량을 대체하기에는 역부족

○ 또한, 한국철도공사에서 국가비상사태를 위해 독립적인 에너지원을 갖은 철도차량을 보유해야하며 현재 디젤차량이 이 역할을 수행하고 있고, 이를 대체하기 위해서 외부에서 전기 공급이 필요한 철도차량은 적합하지 않아 활용될 수 없음

○ 현재 국내에서 운행 중인 장거리 디젤 철도차량은 전체 철도 차량의 환경오염 물질 배출의 큰 비중을 차지하며 전 세계적으로 CO2 저감에 대한 규정이 강화되고 있는 점을

[표 2.54] 철도관련 기존연구와의 차별성

	특징	기존연구와의 차별성
무가선 하이브리드 저상트램	- 2차전지와 유가선을 통한 하이브리드 동력원을 이용하여 가선과 무가선의 운행조건을 동시에 충족 가능 - 에너지 소모의 최소화 및 유지보수성을 고려한 차량 설계 적용 - 무가선 운전이 가능하나 전기공급이 필요 - 배터리 용량등을 고려하면 장거리 운행이 불가능함 - 장시간의 배터리 충전시간 필요	- 수소 탱크 추가를 통한 장거리 운행 가능 - 수소 충전 시간이 매우 짧기 때문에 연료 공급 시간을 단축할 수 있음 - 기존의 철도를 이용할 수 있어 추가적인 인프라 비용을 줄일 수 있음
수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발	- 철도변전소 피크부하관리와 전압강하보상, 전력품질보상에 연료전지 발전소 시스템 활용 - 실험실 레벨의 축소모델구축 및 테스트 - 원천기술확보	- 기존 연구에서 사용된 축소모델은 극히 한정적인 조건에서 수행되었으나 앞으로 진행할 과제는 실증 테스트를 위주로 수행 - 원철기술의 실용화
연료전지 하이브리드 전동차	- 기획단계의 검토 - 온실 저감을 위한 가이드라인으로 연료전지 하이브리드 전동차 제시	- 연구수행을 위한 세부연구계획 기반의 실제 연구수행 - 실증테스트를 통해 수소연료전지 하이브리드 전동차가 온실 저감을 위한 대책이라는 것을 입증 가능
디젤-하이브리드 철도차량	- 단순 기준대비 오염물질배출 저감 - 장거리 운행가능	- 기존 연구는 하이브리드 시스템이긴 하지만 주 동력원은 디젤을 사용하기 때문에 오염물질이 발생하나, 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵실기술 개발은 오염물질이 배출없음 - 에너지 관리기술은 진행할 과제에서 사용될 수 있는 기술일 것

고려할 때 기존 디젤차량에 비해 오염물질을 조금 감소시킨 디젤 하이브리드 차량은 적절한 해결책이 될 수 없음

○ 또한 디젤 철도차량의 경우 내구연한이 25년이며 점차 그 수명이 다하고 있고 정부는 이를 2030년 까지 점차적으로 친환경 철도차량으로 교체할 예정이므로 기존의 장거리 디젤 철도차량을 대체할 수 있는 친환경 철도차량 개발이 급선무

○ 따라서, 수소연료전지를 이용한 철도차량은 현재 운행 중인 장거리 디젤 철도차량ㅐ과 국가비상사태를 위해 독립적인 에너지원을 갖춘 디젤차량을 대체할 수 있는 유일한 친환경차량이며 향후 그 필요성과 중요성이 점차 부각될 것으로 전망

나. 수소연료전지관련 기존연구와 차별성

○ 현재 국내에서는 수소연료전지관련 다양한 연구가 진행 중에 있으며, 대표적으로는 현대자동차의 수소연료전지자동차 개발은 수송용 수소연료전지시스템으로 본 프로젝트와 유사성이 있음

[표 2.55] 수소연료전지관련 기존연구와의 차별성

	특징	기존연구와의 차별성
100kW급 자동차용 연료전지 스택부품 국산화 및 기술개발	- 높은 발전효율(40% 이상)과 안정적인 운전 특성을 갖는 5kW급 SOFC 스택 제작 및 테스트 - 엔진 배기가스의 온도가 매우 낮아 연료개질에 활용하기 어려운 단점을 열전달 구조 최적화를 통해 개선	- 철도차량에서 요구되는 용량이 큰 만큼 개발된 SOFC를 포함하여 연료전지 스택을 비교하고 적합한 대용량 철도차량용 연료전지 스택 구축
고압수소저장장치 개발	- 자동차용으로 적합한 수소 저장 장치 개발 - Type3와 Type4의 수소 탱크를 제작하여 실증 테스트 완료	- 철도차량의 운행환경 및 조건을 고려해 고압수소저장장치의 안전성을 위한 적합성 확인 및 추가적인 연구 필요
수소연료전지 시스템의 신뢰성 및 안전성 확보	- 자동차에 대한 제도 및 정책 개정을 위한 연구 진행 - 수소안전성분야와 운행안정성분야, 전기안정성분야 등으로 나누어 연구 진행	- 철도차량에 적용 시 전체 시스템의 안전성 확보를 위한 정책 연구 필요

○ 현재까지 국내에서 수소연료전지를 사용한 철도차량은 연구된 바가 없으며, 철도차량에 수소연료전지를 적용하기 위해서는 자동차분야보다 다양한 조건들이 고려되어야 함

○ 철도차량에서는 기존 자동차와 비교해 대용량 수소연료전지 스택이 요구되므로 현 자동차용 연료전지스택은 철도차량에 적용 시 한계가 있으며 새로운 철도차량용 연료전지스택 개발이 필요

○ 현재 수소연료전지자동차에 적용중인 인증 규제는 운행환경이 다른 철도차량에 그대로 적용할 수는 없으며, 철도환경에 하며 신뢰성 및 안전성 확보를 위한 수소연료전지 철도차량 기술기준 마련이 필요

6절 국내 연구개발 인프라 분석

1. 기술개발 SWOT 분석

◦ 기술 동향, 기술 수준, 연구 인프라 및 연구개발 역량, 지적재산권 확보 가능성 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위험) 요인 분석.

[표 2.56] SWOT 분석

강점(Strength)	약점(Weakness)
○ 정부의 지원 의지가 높음에 따른 높은 연구개발 성공가능성 ○ 대용량 수소 연료 전지 기술 확보 ○ 상용 수소저장용기 기술 확보 ○ 하이브리드(배터리) 추진 시스템 기술 확보 ○ 수소연료전지 철도차량적용을 위한 기초기술 확보 ○ 수소연료전지 기반의 철도차량제작기술 확보 ○ 수소연료전지 전장품 철도차량 시험을 위한 대용량 시험 장비 확보 ○ 수소 차량 도입을 위한 기술 기준 수립	○ 국내 단일 기업 의존도 높음 ○ 국내 수소 관련 시장 취약: 대용량 수소 연료전지 개발 기업이 적고, 상용화도 낮음, 현재 허가된 용도 외에 수소 생산 및 사용을 금지 ○ 수소 충전소 부족: 국내 [33기 수소 충전소 운행 중(2015년)] 일본 [80기 이상 수소 충전소 운행(2015년)] ○ 수소 관련 제도 부족: EX) 까다로운 수소충전소 구축 관련 제도 ○ 수소 관련 부품 생산 인프라 부족
기회요인(Opportunity)	**위협요인(Threat)**
○ 전 세계적인 수소 경제 시대: 화석연료 채굴 한계(석탄 : 113년, 천연가스 : 55년, 원유 : 53년), 지속적인 수소 충전소 증가 ○ 전세계적인 환경 규제의 강화: 파리조약(신기후체제) : 적극적 온실가스 감축, "국내 수송분야 온실가스저감 목표 (2030년까지 수송부문 20% 저감)" - 환경부 ○ 국내 수송용 수소 활용 증대: 지속적인 수소차 양산화 및 수소전기버스 개발 ○ 디젤기관차 교체 시기 임박: 디젤기관차(2001년 도입) 교체시기 도래 (내구연안 : 25년) ○ 전력 사용 증가로 인한 피크 전력 저감 요구: 급격히 변하는 기후변화로 인해 발생하는 전력 대란, 2016년 여름 전력 수요의 최고치 수차례 갱신	○ 수소에 대한 사회적 인식 ○ 철도차량개발 및 수소 충전소 구축 지연 ○ 제도 부족으로 인한 실용화 지연 ○ 유지보수 기술 미확보 ○ 도입 초기 안전사고 발생우려: 수소 저장에 대한 대중 수용성 낮음

2. 연구진의 연구개발 역량

가. 철도기술 연구개발 인력

- ㅇ 국책 연구소인 철도기술연구원의 경우, 독자적 연구능력을 갖춘 263인의 연구인력을 포함하여 304인의 정규직을 보유하고 있음
- ㅇ 민간업체의 철도 연구개발 인력 규모는 전체 종사자(약 4천인으로 추정)의 10~15% 수준인 4백~6백인으로 추정 됨
- ㅇ 철도전공을 개설한 고등교육기관의 학과 수는 36개로서 학과 당 전임교수 규모는 약 2~3인 수준이므로 전임교수 인력은 약 70~100인 수준이다. 따라서 철도관련 산학연 전체의 연구개발 인력 규모는 최대 1천인 미만으로 추정
- ㅇ 우리나라에서 철도전공을 개설하는 고등교육기관은 전문대 7개, 일반대학 4개, 대학원 2개이나 대부분 단순 기능인력 양성 위주로 운영되고 있으며, 철도 연구 인력을 양성하는 대학교는 관련 전문 대학원을 운영하고 있는 서울산업대학교, 우송대학교, 한국 철도대학이 유일하나, 국내 유일의 철도전문연구기관인 한국철도기술연구원의 경우 국내외 다양한 전공의 박사인력을 흡수하여 상대적으로 열악한 국내 철도 연구인력 수급을 보충하고 있음

[표 2.57] 철도 연구개발 인력 현황

구분	추정 규모	주요 기관
국책연구원	280인 내외	철도기술연구원(263인), 기계연구원, 전기연구원 등
민간산업체	400~600인	현대로템(290인), 우진산전, 삼표ENC 등
고등교육기관	70~100인	철도대학(21인), 우송대학, 철도전문대학원 등
합계	750~980인	

[표 2.58] 철도 연구개발 전공 분야 현황 사례조사
(단위: %)

구분	기계	전기전자 제어통신	토목	기타
철도기술연구원	32	31	19	18
현대로템 기술연구소	45	45	-	1
유진기공산업 기술연구소	97	3	-	-

나. 수소연료전지 스택 기술 연구개발 인력

○ 국책 연구소인 한국과학기술연구원은 연료전지연구센터를 구축하여 17명의 박사급 연구인력들을 보유하고 있음 (석사급, 기술원, 박사후 연구원, 학연생 등을 포함하여 60여명)

○ 민간업체에서는 현대자동차는 환경기술연구소에 수소연료전지 자동차관련 연구인력을 다수 보유하고 있음

○ 현대자동차에서 출시한 수소차의 수소연료전지 스택관련 부품을 제공하는 민간업체(현대모비스, 세종공업, 유니크) 다수에서 연구인력 포진

다. 종합적 연구진 역량 분석

❍ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발에 있어 차량제작 사례는 없으나, 차량을 구성하는 요소기술에 대한 연구는 부분적으로 진행되어 초기단계로 볼 수 있음

❍ 무가선 하이브리드 저상트램 개발을 통해 배터리를 이용한 철도차량의 운행기술에 대한 기술확보가 되었으며, 수소연료전지 하이브리드 철도차량에도 활용 가능할 것으로 판단

❍ 무가선 하이브리드 저상트램 개발에 적용된 운행모드별 전력관리 개념이 본 프로젝트에서도 필요한 만큼 기 연구된 사례를 바탕으로 시행착오 최소화 가능

❍ 수소차 개발을 꾸준히 진행한 현대자동차가 버스에서 사용되는 200kW급 수소연료전지 스택을 구성하고 있음에 따라 이를 활용하여 철도차량에 적합한 수소연료전지 스택 구축이 가능

❍ 현대자동차는 연료전지스택뿐만 아니라 수소탱크도 국내기업들과 함께 개발하여 기술을 확보하고 있고, 철도차량에 적용되는 수소탱크 기술은 수소차에서 사용된 것과 동일하기 때문에 그대로 활용가능

❍ 한국철도기술연구원에서는 수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술과 관련하여 3년에 걸쳐 연구를 진행하였음

❍ 이동식 철도발전소 기술 연구에서는 전력시스템의 여러 토폴로지의 장/단점을 분석하고 이를 바탕으로 최적의 구성으로 가선전압을 수소연료전지로 하는 축소모델을 구축하여 수소연료전지부터 전동기까지 기본적인 동작 확인과 모드별 제어 전략 수립

❍ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 국외연구사례와 비교해볼 때 연구의 시작이 늦다고는 할 수 있으나 본 프로젝트의 바탕이 되는 기본 기술들은 이미 국제수준에 근접해 있으므로 관련 기술진을 활용하는 경우 성공적으로 연구를 진행할 수 있음

3. 인프라 설비

가. 구성품 시험 인프라

(1) 견인전동기 성능시험

❑ 필요성

○ 국내의 경우 도시철도의 비약적인 양적 성장과 발전에도 불구하고 국내 차량제작사의 기술 수준은 외국기술을 도입하여 단순조립, 생산하는 단계를 넘어 이제 막 넘어 자체적으로 개발한 전장품의 사용을 늘려가고 있는 실정

○ 하지만, 업체별, 노선별로 적용되는 전장품이 서로 달라 부품간의 호환성이 없고 고장 시 신속한 원인 규명이 곤란한 문제 등 운영체계에 많은 어려움이 상존

○ 국내의 교류 구동식 차량시스템 기술력 향상을 위해 차량 제작사뿐만 아니라 견인전동기, 추진제어시스템 등 전장품 전문 제작사와 연계하여 개발해 나가야 함

○ 전동차의 추진 제어장치에 사용되는 견인전동기는 기동 시 및 상구배에서 큰 토크를 발생시키고, 속도제어가 용이하며, 광범위한 속도범위에서 고효율운전이 가능하고, 빈번한 기동과 정지에 따른 과부하와 전원전압의 급변에도 잘 견딜 수 있는 전기적 특성을 구비해야 하며 진동, 충격 및 터널내 먼지 등의 악조건하에서도 충분히 견디면서 유지보수가 편리한 구조로 제작됨에 따라 제작된 견인전동기 성능확인이 가능한 견인전동기 성능시험기가 필요

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술 개발을 통해 제작된 견인전동기 성능확인을 위한 대용량 견인전동기 성능시험기가 필요하며, 이는 철도기술연구에서 보유하고 있는 견인전동기 특성시험기가 활용 가능할 것으로 판단

❑ 시험장비 설명

○ 장비용도

- 철도차량용 Traction Motor의 성능시험을 위해 실제 차량과 동일한 제어환경을 구성하여 Traction Motor의 전반적인 기능과 성능을 확인하고, 차량운행조건에 대한 특성시험을 수행
- 철도차량의 견인전동기를 주행상태의 부하 여러 조건하에서 시험가능

○ 시험항목

- 무부하 특성시험, 구속시험, 부하특성시험, 연속정격온도상승시험

○ 주요사항

- 6.6kV, 정격용량 22,000kVA
- 6.6kV, 3상 500kVA, 주파수변환방식, 정격용량 22,000kVA
- 정격전압 3,000V, 1,500V, 750V

- 부하발전기 : 660kW 농형유도전동기 2대
- 제어장치 : 백터제어 인버터
- 제어방식 : 토크/속도제어
- 최대시험속도 : 5,000rpm
- 토크시험검출용량 : 3,000N · m, 10,000N · m
- 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3,500N · m / 2대 연결운전 1,320kW, 7,000N · m
- Rack Mount PC with Windows OS
- PLC Base Local Control System
- Data Report / 저장기록



[그림 2.126] 견인전동기 성능시험기

(2) 추진장치성능시험설비

❑ 필요성

○ 전동차 추진시스템에서 견인전동기를 구동시키는 인버터는 제어시스템과 상호 밀접한 관계를 가지는 전장품이며 철도 차량의 전체 성능을 좌우하는 핵심 부품임

○ 사람의 운송을 목적으로 하는 지하철에 있어서 운행의 안정성뿐만 아니라, 설계단계에서 안정성 확보를 도모하기 위해서는 차량의 주요 핵심장치인 인버터의 성능평가가 필요

○ 또한 도시철도 차량 전체에 대한 표준사양의 제정과 성능시험기준, 안전기준, 정밀진단 기준, 품질인증기준 등 차량성능, 안전을 확보하기 위한 체계구축이 국가적 차원에서 중요한 과제로 판단

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량핵심기술 개발을 통해 제작된 추진장치에 대한 성능시험을 수행하기 위해서는 대용량 부하설비가 필요하며, 이는 철도기술연구에서 보유하고 있는 추진제어장치 조합시험 설비가 활용 가능할 것으로 판단

❑ 시험장비 설명

❍ 장비용도

– 추진장치 성능시험설비는 추진인버터와 전동기의 조합인 피시험체의 성능시험을 실시하며, 추진장치의 개발 또는 형식인증 단계에서 추진장치의 성능을 시험하고 검증하는 장비

– 전원제어 설비, 부하제어 설비 및 운전/계측 설비로 구성되어 추진장치에 대한 속도, 부하제어 및 속도-토크, 전류, 전압, 출력, 손실, 온도 등을 측정할 수 있는 기능을 갖추고 있음

❍ 시험항목

– 시험대상 : DC 1.5KV, DC 750KV, AC 22KV-차량 추진장치

❍ 주요사항

– 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3500N.m / 2대 연결운전 1320kW, 7000N.m

– 최대 시험속도 : 최대 5000rpm

– 최대 토크시험 : 10000N.m

– 교류전원설비 : 정격 3000kVA, 25kVA 단상 AC, 2500kW 상평형 장치

– 직류전원설비 : 정격전압 750V/1500V, 제어범위 450V~1000V, 900V~2000V

– 부하설비 : 660kW 4대 유도전동기, 인버터제어방식, 4상한토크/속도제어

– 제어 및 DAS 설비 : Rackmount PC with Windows OS, Local Control System, Data Report/저장기록



[그림 2.127] 추진장치성능시험설비

(3) 6-자유도 진동대

❑ 필요성

○ 새롭게 개발된 전장품을 철도차량에 설치하여 철도차량의 구성품으로 실제 운행 환경에서 동작하는 성능을 확인하기 위해서는 실제 운행노선에서 수행되는 것이 가장 바람직하지만 현실적으로 시험시간 확보가 어려움

○ 운행노선의 사용을 위해서는 운영기관의 협조가 필요하지만 노선의 점유율이 높은 국내의 철도운영 특성상 운영기관의 협조가 쉽지 않음

○ 운행과 큰 관련이 없는 핵심부품이 아닌 경우, 철도차량에 설치하여 운행서비스를 제공하는 중에도 성능확인이 가능하지만, 사고로 인한 운행지연, 탈선 등을 야기 시킬 수 있는 핵심부품의 경우는 이와 같은 방법으로 성능확인 불가능

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 통해 제작된 제품이 철도차량의 운영환경에서 겪게되는 기계적인 진동/충격에 대한 내구성 검증을 위하여 실모델 진동시험(철도연구원 보유)에 의한 내진동/충격 성능 검증이 필요

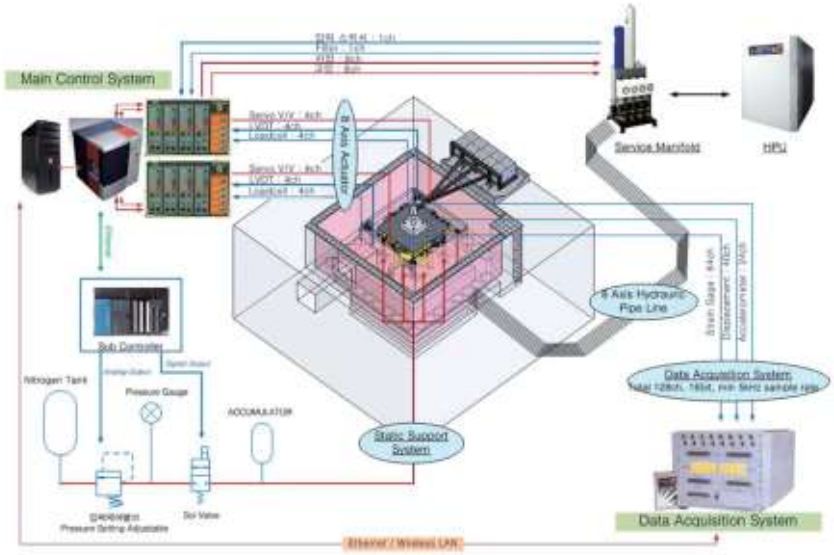
❑ 시험장비 설명

○ 장비용도

- 지진파(지반가속도 이력) 모사 장비
- 토목/건축구조물 및 기계 구성품의 진동실험
- 축소모형실험 및 유사 동적실험
- 최대 6-자유도 제어가능

○ 시험항목

- 토목/건축 (비)구조체의 내진성능 실험 및 기계구성품/전장품의 진동실험



[그림 2.128] 6-자유도 진동대

○ 주요사항

- 진동대 평면 : 4.1m×4.1m
- 최대(공칭)시편중량 : 30톤(20톤)
- 구동 주파수대역 : 0.1~60Hz
- 부상식 면진 콘크리트 기초 (1,440톤)
- 300~320kN 동적 엑츄에이터 : 8기 (수평4, 수직4)
- 주요 주파수대역(1~2.0Hz) 최대가속도 : ± 0.8~1.7g
- 최대 스트로크 : ± 200~300mm
- 최대 수평 전도저항모멘트(무게중심 2.5m기준) : 1,200 kNm
- 수평 부가질량 모사장비 : Hydrostatic방식의 저마찰 Mass-Rig
- Sabio 계열 6자유도 제어시스템 및 소프트웨어

(4) 철도차량 실대형 환경챔버

❑ 필요성

○ 철도차량의 운행 환경조건이 4계절에 따라 달라짐에 따라 철도차량뿐만 아니라 철도차량에 사용되는 전장품들은 가혹한 환경조건에서 성능시험이 요구되어 왔음

○ 철도차량의 전기화가 진행되면서 전기/전자시스템이 구성하는 처량 하부시스템의 범위가 커지고 있으며 전기/전자시스템 끼리 조합된 성능의 검증이 요구됨에 따라 실대형의 환경시험장비가 필요

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 전기시스템은 기존의 시스템과 차별된 구성으로 조합된 전기시스템의 검증이 필요하며, 수소연료전지를 사용하는 만큼 환경시험이 필수적임

○ 본 프로젝트에서 개발된 시스템의 외부환경에 대한 성능확인을 위해서 실대형 환경챔버(철도연구원 보유)를 이용하여 국제표준 수준의 온도/습도에 따른 성능 검증이 필요

❑ 시험장비 설명

○ 장비용도

- 철도차량 객실의 냉방성능 시험
- 철도차량 객실의 난방성능 시험
- 객실내 온도, 기류 분포 시험
- 객실내 덕트 풍량 분포 시험
- 철도차량 객실용 공기정화장치의 성능시험

○ 시험항목

- UIC 553, 553-1 규격 시험
- ISO 7726 규격 시험
- EN 13129-1,2 규격, EN 14750-1,2 규격, EN 14813-1,2 규격 시험

○ 주요사항

- 챔버 크기 : 34(L) X 6(W) X 6(H) m (시험가능 차량 크기 : 27(L) X 3.6(W) X 4.8(H) m
- 고온 및 저온 구현 : -40 ~ 60 ℃
- 고습 및 저습 구현 : 10 ~ 95 RH%
- 결빙 성능 : -10 ℃에서 10 mm 이상
- 태양광 모사 : 500 ~ 1,120 W/㎡
- 풍동 성능 : 0 ~ 15 km/h
- 객실 내 100지점 동시 온도 모니터링 가능
- 객실 내 20지점 동시 3차원 풍향풍속 모니터링 가능
- 객실 내 2지점 동시 덕트 풍량 측정 가능
- 객차 내외부 표면 온도 측정 가능



[그림 2.129] 철도차량 실대형 환경챔버

나. 차량 주행시험 인프라

○ 신규 차량의 주행시험 수행을 위해서 가장 필요한 인프라는 시험선로이며, 철도종합시험선로 사업(2014-2018)에 따라 12,9kW의 시험선로 구축 예정

○ 본 프로젝트의 차량개조 완료 시점에서 철도종합시험 선로의 구축이 완료 후임에 따라 주행특성에 따른 차량 내 개발 구성품의 동작을 확인하고 신뢰성 확보를 위한 테스트를 수행 가능



[그림 2.130] 철도종합시험선로

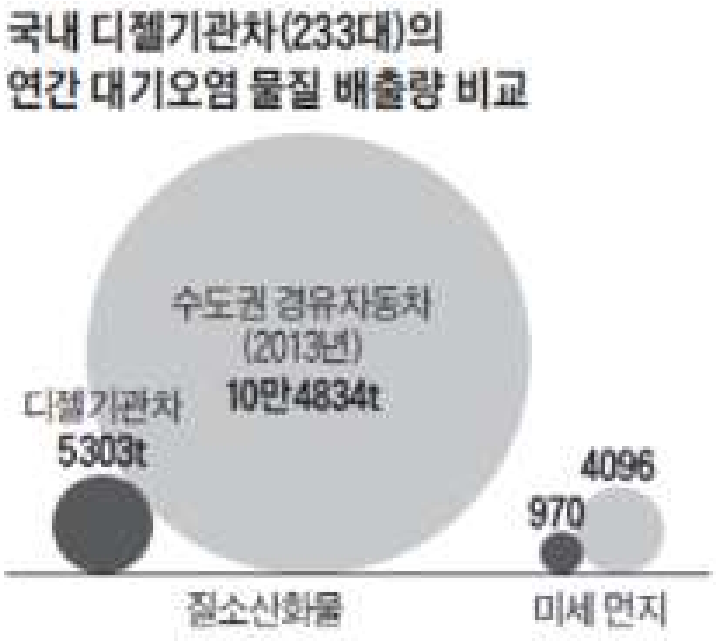
7절 활용가능성

❑ 국내디젤철도차량 대체

○ 현재 국내 운행 중인 디젤기관차는 총 292대로이며, 이중 7000호대(233대)는 경유자동차 약 70만대에 맞먹는 오염물질을 배출

○ 디젤기관차가 연료 1L(리터)당 배출한 대기오염 물질은 질소산화물 46.63g, 미세 먼지 8.53g, 일산화탄소 43.92g, 탄화수소 2.89g 이며 코레일이 연간 사용하는 총연료량(1억1373만L)을 감안하면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염 물질 배출량은 질소산화물 5303t, 미세 먼지 970t 등에 달함

○ 디젤기관차가 배출하는 미세 먼지는 경유차 약 73만대가 내뿜는 배출량과 비슷한 수준이며 환경부에 따르면 2013년 기준 수도권에 등록된 경유차 310만대가 배출한 미세 먼지(4096t)를 감안할 경우 디젤기관차의 배출량(970t)은 수도권 경유차의 23.7%인 73만5000대 분량에 해당



출처 : 한국교통연구원, 환경부

[그림 2.131] 국내 디젤기관차의 연간 대기오염 물질 배출량 비교

○ 수소연료전지와 같은 신재생에너지를 활용한 철도 차량을 국내의 디젤차량 대체로 활용 가능

• 국내의 디젤기관차는 오염물질을 배출의 주요 원인

• 신재생에너지 철도차량을 활용함으로써 디젤기관차 대체 가능

❑ 차세대 경전철차량으로 활용

○ 철도시스템 구축에 있어서 인프라 구축 비용은 많은 부분을 차지함에 따라 비교적 인프라 구축비용이 적은 경전철의 적용이 증가하고 있으며, 현재 용인경전철, 김해경전철, 의정부경전철 등이 운영되고 있음

○ 신재생에너지 철도차량은 전력인프라가 필요 없음에 따라 인프라 구축비용이 경전철보다 감소할 수 있을 뿐만 아니라, 기존 노선을 자유롭게 운행할 수 있어 차세대 경전철로 활용가능

○ 전차선 등의 전력인프라 설비가 필요 없어 도심에서도 자연친화 철도로 활용가능하며 비전철화 구간의 교통서비스를 제공하여 고객편의성 증진에 기여

❑ 차세대 경전철차량의 핵심기술로 활용

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 핵심기술의 적용가능성은 디젤기관차와 경전철이 현재는 높다고 할 수 있으나, 향후 모든 고속철도, 도시철도 등에도 충분히 활용 가능

8절 연구성과 실용화를 위한 관련법령 검토 결과

수소 연료전지에 사용되는 수소 고압가스(350bar, 700bar)의 안전성에 대한 논쟁은 과거에 끊이지 않았으나 수소를 안전하게 사용하기 위한 다양한 연구가 진행되었고 안전성 향상을 위한 법규 및 기술기준 등의 제정에 따라 수소 연료전지 전기차량이 가솔린엔진차량보다 높은 안전성을 확보하였다고 판단됨.

* 수소 안전성관련 주요 보도자료 [별첨 2] 참조

** 수소 연료전지 자동차 안전성 평가 기술개발(2007~2012, 교통체계효율화사업)

1. 고압가스 저장 및 사용의 시설, 기술 기준 시행령

- 이 규칙은 고압가스 안전관리법 및 같은 법 시행령에서 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 함
- 고압가스 저장 및 사용 시설, 기술 기준 시행령은 고압가스 안전관리법의 제8조 제1항 제4호, 제28조 제3항 제4호, 제30조 제3항 제4호, 제31조 제3항 제4호, 제47조 및 제48조 제5항과 관련이 있음

[표 2.59] 고압가스 저장 및 사용의 시설, 기술 기준 시행령에 해당하는 고압가스 안전관리법

출처 : 산업통상자원부령 제 237호

제8조 제1항 제4호	① 법 제4조제4항에 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. 4. 고압가스저장의 시설기준과 기술기준 : 별표 8
제28조 제3항 제4호	④ 법 제16조제1항 및 제3항에 따른 중간검사 또는 완성검사의 검사대상시설별 검사기준은 다음 각 호와 같다. <개정 2010.10.13., 2011.11.25.> 4. 고압가스 저장시설의 중간검사 또는 완성검사 기준 : 별표 8
제30조 제3항 제4호	③ 법 제16조의2제1항에 따른 정기검사의 검사대상시설별 검사기준은 다음 각 호와 같다. <개정 2010.10.13.> 4. 고압가스 저장시설의 정기검사 기준 : 별표 8
제31조 제3항 제4호	③ 수시검사의 검사기준은 다음 각 호와 같다. <개정 2010.10.13.> 4. 고압가스 저장시설의 수시검사 기준 : 별표 8
제47조 제5항	법 제20조제3항에 따른 특정고압가스 사용시설의 시설기준과 기술기준은 별표 8과 같다.
제48조 제5항	완성검사 및 정기검사 기준은 별표 8과 같다.

가. 저장설비기준

○ 저장탱크(가스홀더를 포함한다)의 구조는 그 저장탱크를 보호하고 그 저장탱크로부터의 가스누출을 방지하기 위하여 그 저장탱크에 저장하는 가스의 종류 · 온도 · 압력 및 그 저장탱크의 사용 환경에 따라 적절한 것으로 하고, 저장능력 5톤(가연성 또는 독성의 가스가 아닌 경우에는 10톤) 또는 500㎥(가연성 또는 독성의 가스가 아닌 경우에는 1000㎥) 이상인 저장탱크 및 압력용기(반응 · 분리 · 정제 · 증류를 위한 탑류로서 높이 5m 이상인 것만을 말한다)에는 지진 발생 시 저장탱크를 보호하기 위하여 내진성능 확보를 위한 조치 등 필요한 조치를 마련하며, 5㎥ 이상의 가스를 저장하는 것에는 가스방출장치를 설치할 것

○ 가연성가스저장탱크(저장능력이 300㎥ 또는 3톤 이상인 탱크만을 말한다)와 다른 가연성가스 저장탱크 또는 산소저장탱크 사이에는 두 저장탱크 최대지름을 더한 길이의 4분의 1 이상의 거리를 유지하는 등 하나의 저장탱크에서 발생한 위해요소가 다른 저장탱크로 전이되지 않도록 하고, 저장탱크를 지하 또는 실내에 설치하는 경우에는 그 저장탱크 설치실 안에서의 가스폭발을 방지하기 위하여 필요한 조치를 마련할 것

○ 저장실은 그 저장실에서 고압가스가 누출되는 경우 재해 확대를 방지할 수 있도록 설치할 것

○ 저장탱크에는 그 저장탱크를 보호하기 위하여 부압파괴방지 조치, 과충전 방지 조치 등 필요한 조치를 마련할 것

나. 기술기준

○ 안전유지기준

– 용기보관장소 또는 용기는 다음의 기준에 적합하게 할 것

• 충전용기와 잔가스용기는 각각 구분하여 용기보관장소에 놓을 것

• 가연성가스 · 독성가스 및 산소의 용기는 각각 구분하여 용기보관장소에 놓을 것

• 용기보관장소에는 계량기 등 작업에 필요한 물건 외에는 두지 않을 것

• 용기보관장소의 주위 2m 이내에는 화기 또는 인화성물질이나 발화성물질을 두지 않을 것

• 충전용기는 항상 40℃ 이하의 온도를 유지하고, 직사광선을 받지 않도록 조치할 것

• 충전용기(내용적이 5L 이하인 것은 제외한다)에는 넘어짐 등에 의한 충격 및 밸브의 손상을 방지하는 등의 조치를 하고 난폭한 취급을 하지 않을 것

• 가연성가스 용기보관장소에는 방폭형 휴대용 손전등 외의 등화를 지니고 들어가지 않을 것

– 밸브가 돌출한 용기(내용적이 5L 미만인 용기는 제외한다)에는 용기의 넘어짐 및 밸브의 손상을 방지하는 조치를 할 것

– 고압가스설비 중 진동이 심한 곳에는 진동을 최소한도로 줄일 수 있는 조치를 할 것

– 고압가스설비를 이음쇠로 접속할 때에는 그 이음쇠와 접속되는 부분에 잔류응력이 남

지 않도록 조립하고 이음쇠밸브류를 나사로 조일 때에는 무리한 하중이 걸리지 않도록 해야 하며, 상용압력이 19.6㎫ 이상이 되는 곳의 나사는 나사게이지로 검사한 것일 것

• 저장설비에 설치한 밸브 또는 콕크(조작스위치에 의하여 그 밸브 또는 콕을 개폐하는 경우에는 그 조작스위치를 말한다. 이하 "밸브등"이라 한다)에는 다음의 기준에 따라 종업원이 그 밸브등을 적절히 조작할 수 있도록 조치할 것

• 밸브 등에는 그 밸브등의 개폐방향(조작스위치에 의하여 그 밸브등이 설치된 저장설비에 안전상 중대한 영향을 미치는 밸브등에는 그 밸브등의 개폐상태를 포함한다)이 표시되도록 할 것

• 밸브등(조작스위치로 개폐하는 것은 제외한다)이 설치된 배관에는 그 밸브등의 가까운 부분에 쉽게 알아볼 수 있는 방법으로 그 배관내의 가스, 그 밖의 유체의 종류 및 방향이 표시되도록 할 것

• 조작함으로써 그 밸브등이 설치된 저장설비에 안전상 중대한 영향을 미치는 밸브등 중에서 항상 사용하지 않을 것(긴급 시에 사용하는 것은 제외한다)에는 자물쇠를 채우거나 봉인하는 등의 조치를 하여 둘 것

• 밸브등을 조작하는 장소에는 그 밸브등의 기능 및 사용빈도에 따라 그 밸브등을 확실히 조작하는 데 필요한 발판과 조명도를 확보할 것

– 안전밸브 또는 방출밸브에 설치된 스톱밸브는 그 밸브의 수리 등을 위하여 특별히 필요한 때를 제외하고는 항상 완전히 열어 놓을 것

– 산소 외의 고압가스의 저장설비의 기밀시험이나 시운전을 할 때에는 산소 외의 고압가스를 사용하고, 공기를 사용할 때에는 미리 그 설비 중에 있는 가연성가스를 방출한 후에 실시해야 하며, 온도를 그 설비에 사용하는 윤활유의 인화점 이하로 유지할 것

– 가연성가스 또는 산소의 가스설비의 부근에는 작업에 필요한 양 이상의 연소하기 쉬운 물질을 두지 않을 것

– 석유류 · 유지류 또는 글리세린은 산소압축기의 내부윤활제로 사용하지 않고, 공기압축기의 내부윤활유는 재생유가 아닌 것으로서 사용 조건에 안전성이 있는 것일 것

– 가연성가스 또는 독성가스의 저장탱크의 긴급차단장치에 딸린 밸브 외에 설치한 밸브 중 그 저장탱크의 가장 가까운 부근에 설치한 밸브는 가스를 송출 또는 이입하는 때 외에는 잠가 둘 것

– 차량에 고정된 탱크(내용적이 2천L 이상인 것만을 말한다)에 고압가스를 충전하거나 그로부터 가스를 이입받을 때에는 차량정지목을 설치하는 등 그 차량이 고정되도록 할 것

– 차량에 고정된 탱크 및 용기에는 안전밸브 등 필요한 부속품이 장치되어 있어야 하며 그 부속품은 다음 기준에 적합할 것

• 가연성가스 또는 독성가스를 충전하는 차량에 고정된 탱크 및 용기(시안화수소의 용기 또는 24.5㎫ 이상의 압력으로 행한 내압시험에 합격한 소방설비 또는 항공기에 갖춰두는 탄산가스용기는 제외한다)에는 안전밸브가 부착되어 있고 그 성능이 그 탱크 또는 용기의 내압시험압력의 10분의 8 이하의 압력에서 작동할 수 있는 것일 것

• 긴급차단장치는 그 성능이 원격조작에 의하여 작동되고 차량에 고정된 탱크 또는 이에 접속하는 배관 외면의 온도가 110℃일 때에 자동적으로 작동할 수 있는 것일 것

• 차량에 고정된 탱크에 부착되는 밸브 · 안전밸브 · 부속배관 및 긴급차단장치는 그 내압성능 및 기밀성능이 그 탱크의 내압시험압력 및 기밀시험압력 이상의 압력으로 행하는 내압시험 및 기밀시험에 합격될 수 있는 것일 것

다. 고압가스 저장 및 사용의 시설, 기술 수준 시행령 검토결과

○ 수소저장탱크와 같은 고압수소저장시스템은 산업통상자원부에서 실시하는 시행령에 따라 관련 법규가 지정되어 있음

○ 일반적으로 관련법은 고압가스에 대한 여러 시험의 결과를 바탕으로 제정 또는 개정이 되는 것이기 때문에 다양하고 엄격한 시험기준을 통해 면밀하게 검토되어야 함

○ 또한 여러 고압가스를 통합하여 법으로 관리하는 것보다 용도별 또는 종류별로 구분지어 관리하는 것이 바람직하다고 판단됨

2. 수소저장탱크 안전성 시험

○ 분자량이 작은 수소는 밀도가 낮아 기체 상태로 저장 시 매우 큰 부피를 차지

○ 따라서 고압으로 압축하여 저장하거나 액화상태로 저장 (주로 700bar의 고압으로 압축하여 정하는 방식을 사용)

○ 수소저장탱크는 고압을 견디기 위해 특수하게 설계

○ 안정성 평가를 위한 20여가지의 테스트 진행

[표 2.60] 재료의 종류에 따른 시험 항목

출처 : 수소저장용기의 재료와 안전성 확보, 기계저널

재료 사양	적용 재료					
	강철	알루미늄 합금	플라스틱 라이너	섬유	수지	코팅제
제조 회사	∨	∨	∨	∨	∨	
재료의 형태	∨	∨	∨	∨	∨	
재료의 식별명	∨	∨	∨	∨	∨	
연처리 정의	∨	∨				
화학적 성분	∨	∨				
냉간 또는 극저온 성형 절차	∨					

용접 절차 정의	∨	∨				
인장 시험	∨	∨	∨			
차르피 충격시험	∨					
굽힘 시험	∨	∨				
육안 검사	∨					
부식 시험		∨				
지속하중 크랙 시험		∨				
연화온도/녹는 온도			∨			
유리전이 온도					∨	
수지 전단 강고					∨	
코팅 시험						∨
수소 적합성 시험	∨	∨	∨	∨	∨	

가. 안전성 확보를 위한 규정

- ○ 최소 안전율을 확보하여 수소저장탱크 설계 (안전율 = 기준강도 / 응력)
- ○ 강철 재료와 카본 섬유 재료는 낮은 안전율 적용
- ○ 아라미드 섬유나 유리섬유의 경우 비교적 높은 안전율 적용

[표 2.61] 용기의 형태에 따른 재료의 최소 안전율

출처 : 수소저장용기의 재료와 안전성 확보, 기계저널

구성		용기의 형태			
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
금속으로만 구성된 탱크		2.25	2.25	2.25	
보강재료	유리 섬유		2.75	3.65	3.65
	아라미드		2.35	3.10	3.10
	카본		2.35	2.35	2.35
	하이브리드	조성 비율에 따른 안전율 계산 적용			

나. 안전성 확보를 위한 인증 절차에 필요한 재료 시험

① 플라스틱 라이너 재료(Type-4)

- ○ 인장시험을 실시하여 재료의 제조회사에서 제공하는 물성치를 만족해야 함
- ○ ISO 306에 따라 측정한 플라스틱에 대한 연화 온도는 100℃이상이어야 함

② 복합 재료용 수지(Type-2,3,4)

◦ ASTM D 3418에 따라 3번의 반복 시험을 통해 측정한 유리 전이 온도가 재료 제조회사에서 제공한 사양 안에 들어야 함

◦ ASTM D 2344에 따라 시행되는 수지 전단응력시험은 시편을 물에 24시간 동안 끓인 후에 3번의 반복 시험을 통하여 측정값을 얻는데, 복합재료의 전단 응력이 13.8MPa 이상의 값을 가져야 함

③ 수소 적합성 시험(Type-1,2,3)

◦ 상온환경에서 사용 가능 수소 충전수의 3배의 횟수 동안에 이상이 없이 충방전 가능해야 함

◦ 수소 저장용기와 라이너는 2.0MPa 이하의 압력과 작동 압력의 1.25배의 압력 사이를 반복하여 충방전 시험 진행

◦ 수소 저장용기 또는 라이너 제조에 사용되는 모든 금속성 재료의 경우 열처리 후에 ISO 6506-1에 따른 경도 시험을 실시하여야 하고, 설계에서 규정한 범위 내에 반드시 있어야 함

◦ 수소 저장용기와 라이너에 사용되는 모든 강철 재료는 ISO 9809-1 또는 ISO 9809-2에 정해진 재료에 대한 요구조건을 만족하여야 함

◦ 스테인리스 강이 사용될 경우 EN 1964-3의 요구 조건을 만족해야 함

◦ 용접된 스테인리스 강의 경우 EN 13322-2의 요구 조건을 충족하는 재료가 사용되어야 함

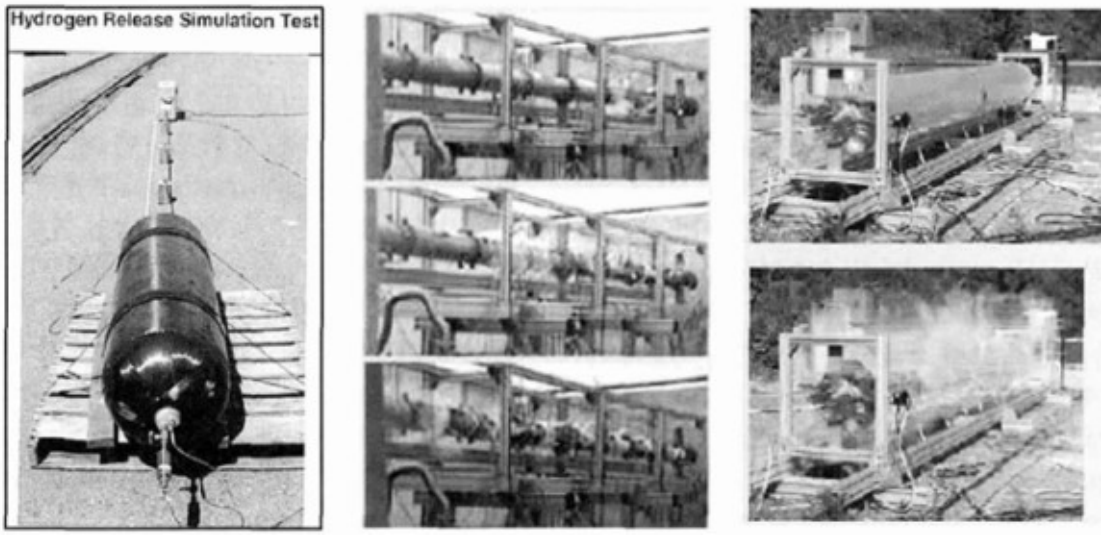
◦ 알루미늄 합금의 경우 ISO 7866에서 정한 재료 요구 조건을 만족해야 함

◦ 용접된 알루미늄 합금의 경우 EN 12862의 요구 조건을 만족해야 함

[표 2.62] 안전성 평가 시험의 주요 항목

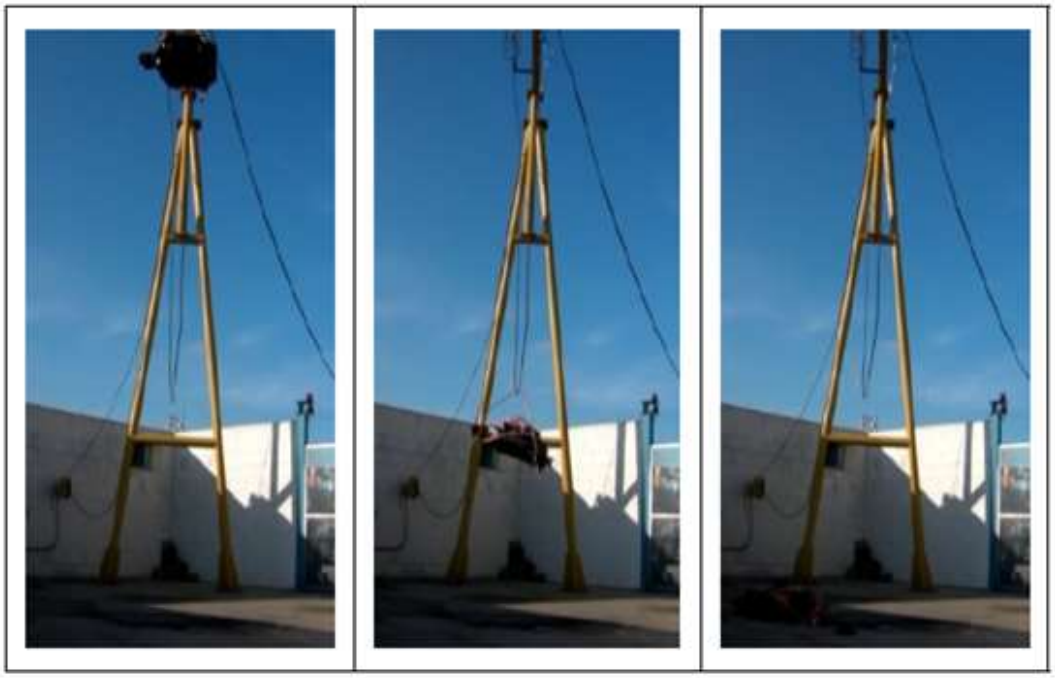
출처 : 교통안전연구소

파열시험	사용 압력의 2.25배(용기 재료에 따라 다를 수 있음) 이상으로 가압
수압반복시험	사용압력의 1.25배까지 충전횟수의 3배 수압으로 반복 가압
수소가스 반복시험	수소가스를 사용하여 사용압력으로 1000회 반복 가압(Type-4)
기밀시험	사용압력으로 3분간 가압 후 가스 누출 검지(Type-4)
투과성시험	사용압력으로 수소를 채우고, 챔버 안에서 500시간동안 투과량 확인(Type-4)
파열전 누출시험	사용압력의 1.5배로 충전횟수의 3배 수압으로 반복 가압
총격 시험	직경 7.62mm 탄환으로 용기 관통
보스토크시험	PRD 토크의 2배에서 기밀 유지
재료시험	인장, 충격, 내부식성, 보호코팅, 수소적합성 등 확인



출처 : 수소연료전지의 안전 및 추진방향

[그림 2.132] 수소가스의 누출 및 화재 시험



출처 : 수소연료전지 자동차 안전성 평가기술 개발

[그림 2.133] 수소저장탱크 낙하 시험



출처 : 수소연료전지 자동차 안전성 평가기술 개발

[그림 2.134] 수소저장탱크 충돌 시험



출처 : 일진컴포지트

[그림 2.135] 수소저장탱크 기밀시험

다. 수소저장탱크 안전성관련 시험 검토결과

○ 수소저장탱크의 고압수소저장시스템은 차량 분야 적용을 위해 다양한 연구가 진행중이

며, 700bar 이상의 고압수소저장시스템은 실용상의 안전성에 관한 문제점이 불분명함

- ○ 수소저장탱크에 대한 내구성, 안전성, 가격 경쟁력 확보를 위하여 부품 별 성능 개선에 집중되어 개발 중이지만, 궁극적으로는 각 부품들이 모듈화 되어 있는 차량 상태에서의 내구성 및 안전성에 대한 엄격한 시험기준을 통해 인증이 필요함
- ○ 따라서 수소저장탱크 자체적인 안전성 확보를 위해 국내·외에서 적용 중인 다양한 평가기준을 만족하도록 설계, 제작 및 안전성 시험을 통과해야 함은 물론이고, 철도차량에 적용 시 발생할 수 있는 다양한 상황에서의 내구성 및 안전성 평가를 위하여 추가적인 제도와 법령이 마련되어 함

3. 수소연료전지자동차 안전성 시험

가. 수소연료전지자동차 안전기준 시험

- ○ 정부는 신기술에 대한 장벽을 해소하기 위한 대응책의 일환으로 수소연료전지자동차 안전성평가 기술 개발에 2007년 12월부터 2012년 12월까지 5년동안 총 244억원을 투입
- ○ 제도 및 정책 분야, 수소안전성 분야, 운행안전성 분야, 전기안전성 분야의 4분야로 구성
- ○ 국내에서 2012년에 수소연료전지자동차를 시범보급 하고, 2015년 소량생산을 목표로 개발을 완료한 상태
- ○ ‘수소연료전지자동차 안전성 평가 기술개발’은 선행연구를 통해 수소연료전지자동차 보급기반을 구축
- ○ 선행연구를 바탕으로 2014년 6월에 ‘자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙’을 개정하였음
- ○ 수소연료전지자동차는 다음 표와 같은 기준을 통해 안전시험을 진행함

[표 2.63] 수소연료전지자동차 안전성 평가 시험의 주요 항목

출처 : 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙

실차 충돌시험	정면충돌시험	**구동축전지 안전성시험**	낙하안전시험
	부분 정면충돌시험		액중투입안전시험
	후방충돌시험		과충전안전시험
원동기 출력 시험	구동전동기		과방전안전시험
	연료전지		단락안전시험
제동능력시험			열노출 안전시험
고전원전기장치 안전성 시험	보호등급		연소안전시험
	고전압 커넥터	**연료전지자동차 수소 누출시험**	
	고전압 회로 차단장치		
	경고표시 및 배선	**연료소비율 시험**	
	전기연속성	**화재시험**	고압수소저장시스템 국부화재시험
	절연저항		
전자파적합성 시험	광대역 전자파 방사시험		실차 화재시험
	협대역 전자파 방사시험		
	전자파 내성시험		

나. 수소연료전지자동차 안전기준 시험 범령 검토결과

- 연료전지자동차에 적용되는 안전기준 시험을 바탕으로, 고압 수소가스, 고전압 등에 의한 안전성 확보가 필수적이며, 연료전지 차량은 기존의 내연기관 차량과는 전혀 다른 특성들을 가지므로 다양한 방향에서의 안전성 확보 문제가 대두되고 있음
- 국내에서 진행되었던 연료전지자동차 관련 안전기준 및 안전성 평가기술 개발 사례를 바탕으로 철도차량 적용을 위한 안전기준에 관한 규칙을 개정하고, 기존 철도차량에 적용중인 안전기준 시험과 연계하여 제도적 미비점을 지속적으로 보완해야 함
- 철도차량 적용 시 단품 및 차량의 각 조건에서 안전성에 대하여 검토할 수 있는 시험 법령이 제정되어야 하며, 안전성 기술 개발을 통해 안전과 연관되는 요소를 도출하고, 최종적으로 국제동향과 비교하여 한국의 특성에 맞는 안전기준을 개정해야 함
- 또한 부품단위, 시스템단위, 차량단위에서의 문제 발생 시 안전성과의 연관성을 분석하고, 안전성 확인 평가기술 및 해석기술을 정립하는 등 안전성 확보를 위한 연구가 꾸준히 진행되어야 함
- 선진외국의 인증기관인 JIA(일본), CSA Int.(미국), Gastec Certification BV(네덜란드) 등과의 수소연료전지 시스템에 대한 인증과 검사시스템 관련 기술교류 협력을 통해 국내 실정에 적합한 기준 제시가 필요할 것이며, 향후 해외수출의 확대 및 수입 등을 감안하여 상호인증 및 협력협정 등 제도적인 시스템을 구축하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

4. 수소 충전소관련 규정

가. 수소인프라 관련 법제도 현황

[표 2.64] 수소인프라 관련 법제도 현황

출처 : 한국가스안전공사

내용	국내현황
복합 충전소	- 기존 주유소, LPG, CNG 충전소에 수소충전소를 건설할 수 있는 제도가 없음
이동식 충전소	- CNG 충전소 초기 보급 시 활용한 이동식 충전소 제도가 없음 - 해외 기술의 도입조차 불가
수전해 충전소	- 수소제조장치의 방폭적용 : 제조장치에 한하여, 위험장소를 충전소 전체로 규정하고, 그 외 유틸리티에 대해서는 위험지역으로부터 4.5미터 이격 - 물전기분해 방식의 수소제조장치는 방폭구조, 방폭적용을 어떤식으로 해야할지 관련 기준이 없음
융합 충전소	- 복합충전소에서 경유, LPG, CNG를 이용한 수소생산을 하는 충전소의 설치 규정이 없음 - 「액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙」별표 3.2의 5)항에 열거한 건축물 또는 시설이외의 설비는 설치 불가능
수소충전소 82MPa 복합용기	- 현재 국내에서는 복합용기에 대한 설치 기준이 없어 수소충전소에 설치가 어려움 - 2015년 기준 제정완료
충전소 방폭 지역	- 실외 설치 시 자연환기가 충분하면 비방폭 존 고려 필요 - 미국, 일본, 유럽 등 수즌으로 완화
안전밸브, 계장부품	- KSG 공장 등록된 업체가 제한적이라 수소충전소 설치비 상승요인 - 사용자의 단품검사 도입 필요
튜브트레일러	- 현재 200bar type 1 용기만 사용 - 500bar 이상의 복합용기 사용이 가능토록 제도 마련 필요
액화용기 트럭	- 아잭 국내에서는 액화장치가 없지만 해외에서는 수소를 대량으로 공급하기 위해 액화용기 트력을 활용 - 제도 마련이 필요

나. 수소자동차 연구개발용 수소 자동차충전소의 시설기준 및 기술기준

[표 2.65] 수소자동차 연구개발용 수소 자동차충전소의 시설기준 및 기술기준

출처 : 대한석유협회

총칙	- 고압가스안전관리법시행규칙 제62조의 규정에 의하여 수소자동차의 연구 · 개발을 목적으로 사용하는 수소 자동차충전소의 안전관리를 위하여 필요한 사항을 정함을 목적

이동식자동차충전소의 시설기준	- 수소자동차의 연구 · 개발을 위하여 사용하는 이동 충전차량(압축기 등 가압장치 없이 자압에 의해 충전하는 설비를 갖춘 것을 말한다)으로부터 공급받은 수소를 자동차에 충전하는 사업소(이하 “이동식자동차충전소”라 한다)에 대하여 적용 - ①이동 충전차량은 그 외면으로부터 1종 보호시설까지 17m, 2종 보호시설까지는 12m이상의 안전거리를 유지할 것 ②이동 충전차량은 도로법에 의한 도로경계로부터 5m이상의 거리를 유지할 것 ③이동 충전차량으로 부터 30m 이내에 보호시설이 있는 경우에는 이동식자동차충전소 주위에 방호벽을 설치할 것 ④이동 충전차량은 그 외면으로부터 화기를 취급하는 장소까지 8m이상의 우회거리를 둘 것. ⑤이동 충전차량은 인화성 물질이나 가연성 물질의 저장소로부터 8m이상의 거리를 유지할 것 - 사업소 및 이동 충전차량에는 외부에서 보기 쉬운 곳에 경계표시를 할 것 - ①이동 충전차량에 설치된 각각의 용기에는 주밸브, 안전밸브 및 방출관을 설치할 것 ②이동 충전차량의 가스를 송출하는 관에는 압력계를, 집합용기에 가스를 이입하는 관에는 역류방지밸브를 각각 설치할 것 ③이동 충전차량의 가스이입구 및 송출구에는 완전한 접속이 이루어지지 아니할 경우 가스의 흐름을 차단하는 장치를 설치할 것 ④이동 충전차량에는 외부충격 등으로부터 용기를 보호하기 위한 보호구조물을 설치할 것 ⑤이동 충전차량의 이동 중에 발생하는 용기 등의 손상을 방지하기 위하여 용기마다 고정할 수 있는 밴드 등을 설치할 것 - ①충전호스 끝에 축적되는 정전기를 유효하게 제거할 수 있는 정전기제거장치를 설치할 것 ②충전호스에 수평방향으로 664.4N 미만의 힘에 의해 분리되는 긴급분리장치를 설치할 것 - ①고압가스설비는 상용압력의 1.5배 이상의 압력으로 실시하는 내압시험에 합격한 것이고, 상용압력 이상의 압력으로 기밀시험을 실시하여 이상이 없을 것. ②고압가스설비는 상용압력의 2배 이상의 압력에서 항복을 일으키지 않는 두께이상이어야 하며 상용의 압력에 견디는 충분한 강도를 갖는 것일 것. - 충전소내에는 화재를 진압할 수 있는 규모의 소화설비를 비치할 것
이동식자동차충전소의 기술기준	- ①충전시에는 이동 충전차량을 반드시 허가받은 장소에 설치할 것 ②이동 충전차량내의 용기 및 수소자동차용기는 통상온도에서 최고충전압력이하로 충전하여야 하며, 용기의 사용압력에 적합하게 충전할 것 ③충전시에는 이동 충전차량이 움직이지 아니하도록 수동브레이크 채움조치와 정지목 등을 설치하고 차량의 엔진을 정지시킬 것 - ①이동 충전차량내 용기는 항상 40℃ 이하로 유지할 것 ②안전밸브 또는 방출밸브에 설치된 스톱밸브는 항상 완전히 열어 놓을 것. 다만, 안전밸브 또는 방출밸브의 수리 등을 위하여 특히 필요한 경우에는 그러하지 아니하다. - ①충전시설의 사용개시 및 사용종료 후에는 반드시 그 충전시설에 속하는 설비의 이상 유무를 점검하는 것 외에 1일 1회 이상 충전설비의 작동상황에 대하여 점검 · 확인을 하고 이상이 있을 때에는 그 설비의 보수등 필요한 조치를 할 것
안전자문위원회 설치 및 운영	- 사업자는 이동식자동차충전소의 안전관리에 관한 사항을 심의 · 의결하기 위하여 안전자문위원회(이하 “위원회”라 한다)를 설치 · 운영하여야 한다. - 위원장은 수소자동차 연구개발 책임자로 하고, 위원은 다음 각 호의 전문가로 구성한다. 1. 산업자원부가 추천하는 자 2인 2. 한국가스안전공사가 추천하는 자 2인 3. 위원장이 추천하는 자 2인 4. 한국가스공사연구개발원이 추천하는 자 1인 - ①충전사업자는 다음 각호의 사항에 대하여 위원회의 심의 · 의결을 거쳐야 한다. 1. 고압가스안전관리법 제11조 규정에 의한 안전관리규정(안) 심의 2. 이동식자동차충전소 작업자에 대한 안전교육 내용 및 방법 3. 이동식자동차충전소의 점검내용 및 방법 4. 기타 이동식자동차충전소의 안전확보에 필요한 사항 ②위

	원회는 이동식자동차충전소의 안전확보를 위하여 안전관리규정외의 필요한 사항을 추가로 정할 수 있다. - ①위원회 회의는 정기회의와 임시회의로 구분하되, 정기회의는 최초 사업개시 전 1회, 사업개시 후 2개월 이내 1회, 그 후 매6월마다 1회 위원장이 소집하며, 임시회의는 위원장이 필요하다고 인정할 때에 소집한다. ②회의는 위원의 3분의 2 출석으로 개회하며 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다. ③회의에 위원이 출석하지 못할 경우에는 위원이 지명하는 자로 하여금 그 직무를 대리하게 할 수 있다. - 충전사업자는 위원회가 심의 · 의결 또는 결정한 사항을 성실하게 이행하여야 한다.
고정식자동차충전소에 관한 시설기준 및 기술기준	- 수소자동차의 연구 · 개발을 목적으로 수소를 압축하여 자동차에 충전하는 사업소(이하 “고정식자동차충전소”라 한다)에 대하여 적용한다. - 고정식자동차충전소 시설기준은 고압가스안전관리법 시행규칙 별표 6의2 제1호의 규정을 준용한다. - 고정식자동차충전소 기술기준은 고압가스안전관리법 시행규칙 별표 6의2 제2호의 규정을 준용한다.

다. 수소충전소 관련 규정 검토결과

○ 인프라 구축의 중심이 되는 수소충전소는 국내에도 건립이 되어있지만 법규 및 규격과 안전 관련 규정에 대해서 제도적으로 미비한 실정이며 이로 인해 수소 충전소 건립 시 인허가 및 설치가 지연되고 있고, 충전기, 안전장치, 안전거리 및 건설비용 과다로 수소에너지 사회로의 전환 시기가 늦어지고 있음

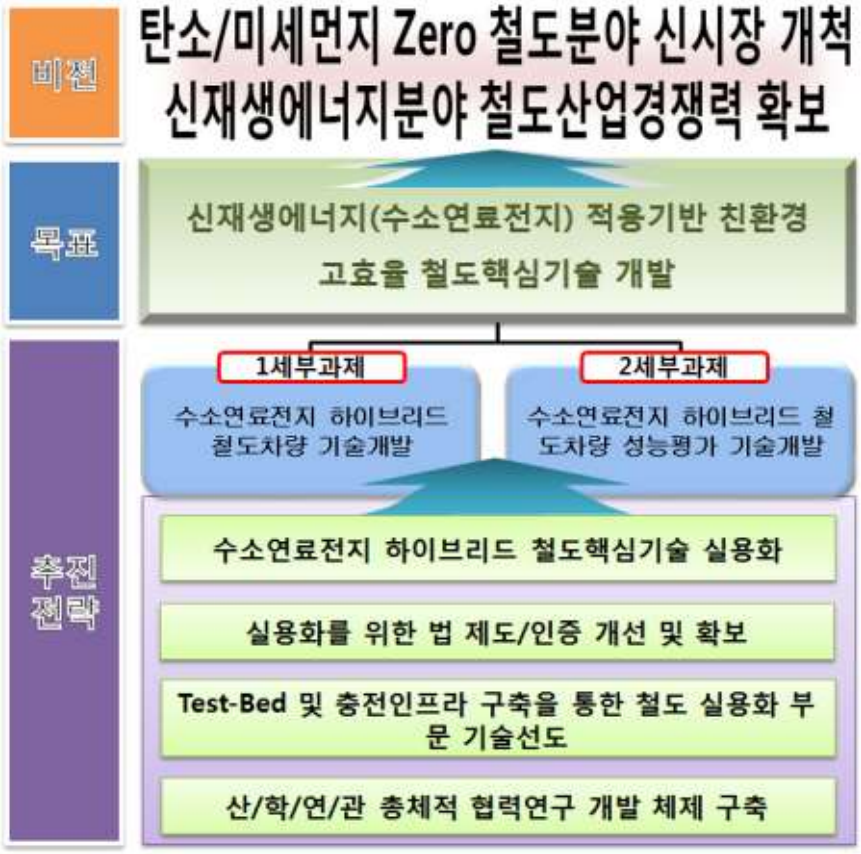
○ 수소충전소의 충전설비에 대한 기준과 충전소의 안전거리 등 해외 대비 엄격한 시설기준의 적용으로 건설입지에 제약이 따르고 있으며, 기존 충전소에 비해 수소 설비가 추가됨에 따라 다양한 위험요소를 해결하기 위한 세부적인 제도들의 마련이 시급함

○ 수소 인프라 구축을 위해서는 국내의 실정을 고려하여 현재 적용중인 다양한 규정들의 제개정이 필요할 것으로 판단되며, 수소충전소의 안전성에 대한 정확한 평가를 위해 지속적인 연구가 필요할 것임. 동시에 수소충전소의 보급을 위한 정부의 제도적, 경제적 지원과 관심이 요구됨

제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

1. 비전 및 목표



[그림 3.1] 비전 및 목표

▢ 비전

○ 친환경 연료인 수소를 원료로 사용하는 수소연료전지 및 2차전지를 하이브리드 동력원으로 적용한 철도핵심기술을 이용하여 탄소 및 미세먼지 배출을 없애고 관련기술의 실용화를 통한 기업참여기회 확대를 통하여 철도분야에 새로운 시장을 개척하고 국내시장의 확대에 따른 경쟁력확보로 해외시장으로의 진출을 위한 초석이 되고자 함.

▢ 연구 개발 목표

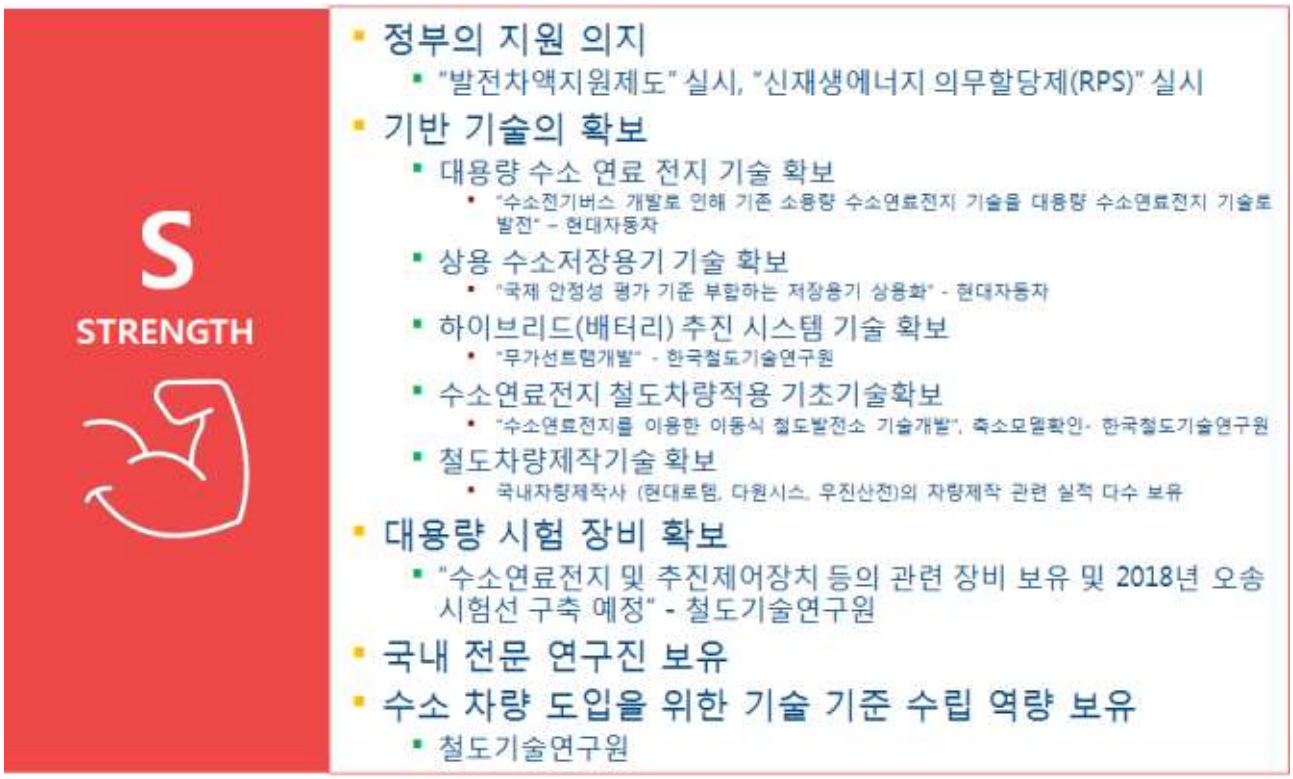
○ 비전을 달성하기 위하여 실용화를 위한 적용대상으로서 정격출력이 1.2MW(1,500마력)급 철도차량에 적합하고 1회 충전시 약 500km이상 주행이 가능하며 주행최고속도 110km/h가 가능한 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술을 연구 개발 목표로 제시함.

가. 효과를 통한 연구 목표의 타당성

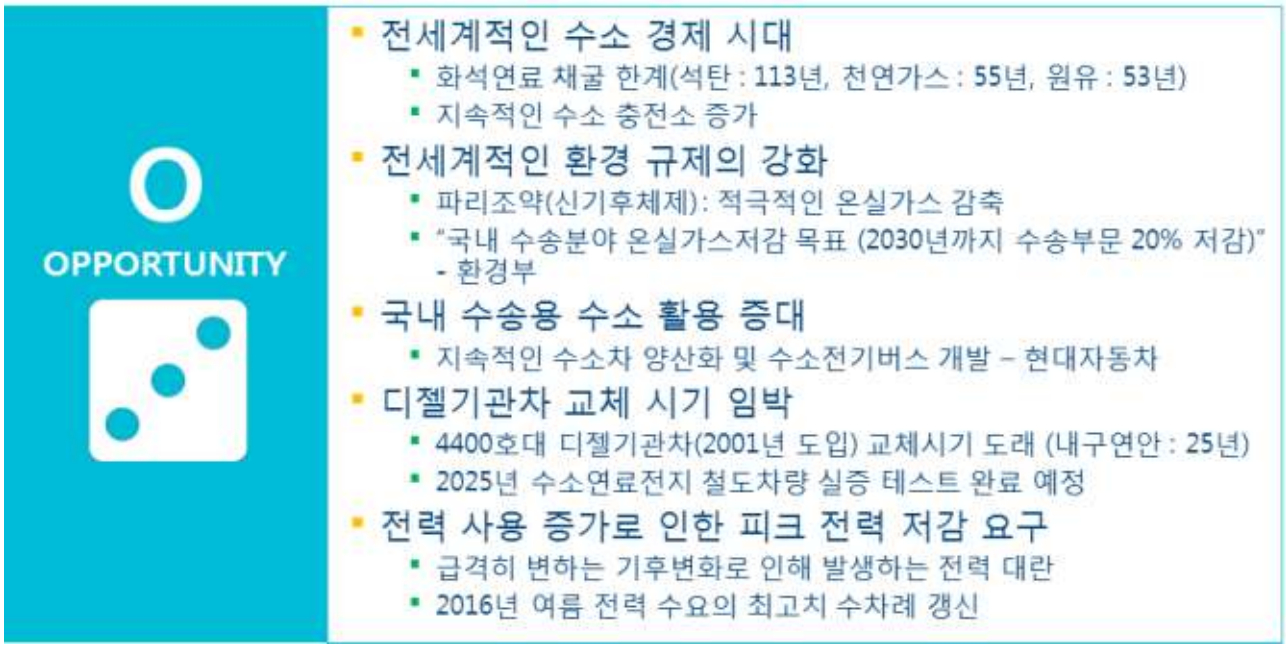
- **CO_2 최대 361,113 톤/년 저감**
  - 292대(4000호대 59량, 7000호대 233량) 모두 대체 시
  - 교통안전공단의 “교통물류 온실가스 배출량 조사 보고서(철도부문)(2011)” 참조.
  - 관련내용 첨부자료 1-A 참고
- **전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km 저감, 유지보수비용 5억원/년km 저감 및 전력설비 유지보수자와 보행자 안전사고 원인 제거**
  - 전력설비, 송전선로, 변전선로, 전차선로 비용 고려
  - 한국개발연구원의 “도로 및 철도부문 비용 추정 지침(2014)” 참조
  - 관련내용 첨부자료 1-B 참고
- **기존 디젤기관차 대비 2배 연비향상 가능**
  - 1.2MW급 수소연료전지 철도차량 기준
  - 한국철도공사의 “철도 주요선구(경부,호남,장항선) 연료사용량 분석을 통한 표준연비 산출(2013)” 참조
  - 관련내용 첨부자료 1-C 참고
  - 배터리 비율의 적절한 설정을 통해 연비 향상
- **전력피크시간 최대 165.2MWh 대응 가능하며, 18,337,200원/회의 전력생산 효과 발생**
  - 1.2MW급 4400호대 59대의 수소연료전지 철도차량 대체기준
  - 관련내용 첨부자료 1-D 참고

나. SWOT분석을 통한 성공가능성 검토

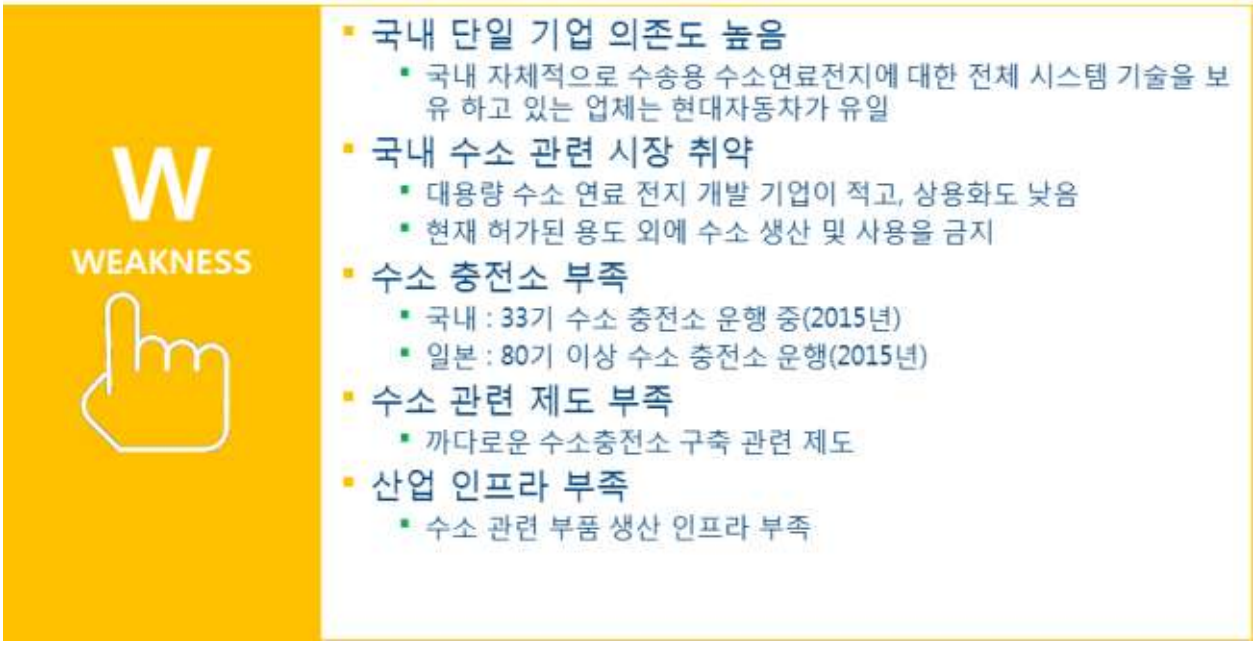
(1) Strength (강점)



(2) Opportunity (기회)



(3) Weakness (약점)



(4) Threat (위협)



2절 기술개발에 따른 미래상

1. 적용에 따른 미래상

As is	To be
ㅇ (내연기관철도) 급전설비는 불필요하나 탄소배출 및 낮은 효율 - 전기철도 대비 내연기관의 낮은 효율 - 복잡한 배기 조절 시스템 필요 - 화석연료의 사용과 탄소배출 ㅇ (전기철도) 전차선, 변전소 등 급전설비 필요 - 높은 건설비, 유지보수 비용 - 비전철화구간 운행 불가 - 외부 전기공급 불능시 운행불가 ㅇ (무선급전방식) 무선급전 인프라 필요 - 무선급전을 위한 급전 인프라 필요 - 낮은 유도급전 효율(80%수준) - 외부 전기공급 불능시 운행불가 ㅇ (배터리방식) - 전기배터리의 낮은 충전효율 - 전기배터리의 큰 부피&무게 - 이동범위(주행거리) 한계	<Efficiency> - **운영자**: 연기관 대비 높은 에너지 효율 * 가솔린 내연기관 16%, 전기기관 21%, 수소연료전지 36% (연료생산효율 및 차량효율 종합 고려시 총괄효율 기준) <Eco-Friendly> - **이용자**: 운영사의 탄소/미세먼지 배출 Zero 친환경교통 제공 * 수소연료전지의 경우 수소와 산소 반응을 통한 H_2O(물) 배출 - **국가, 이용자**: 유한한 화석연료가 아닌 무한한 수소를 사용하여 국가적 에너지 고갈 우려 불식 - **이용자**: 이동식 공기청정 효과로 공기환경 개선 (미세먼지 저감) * 수소연료전지의 깨끗한 산소확보를 위한 공기필터 사용 <Energy Stand-alone> - **국가, 이용자**: 외부 전력공급 없는 에너지독립형 시스템 - **운영자, 이용자**: 비전철화 구간 운행을 통한 이용객 편의성 증진, 1회 수소충전시 긴 주행거리 확보 * 쓰나미, 전쟁 등에 의한 정전시도 운행하여 이용 편의성 제공 <Low Cost with High Safety> - **국가,운영자**: 전차선 등 급전설비 불필요로 건설 및 운영사의 유지보수비 절감 및 급전설비관련 사고 원인 제거



[그림 3.2] 신재생에너지 추진기술의 미래상

2. 세부 기술별 미래상

가. 가상의 철도차량 설계검증을 통한 실차검증 신뢰성향상 기술

○ 현재(As-Is)

- 국내에서 운행하고자 하는 철도차량은 철도안전법의 기술기준에 적합하고 운영사의 요구사항을 만족시킬 수 있도록 설계 및 제작되어야 하나 설계단계에서 제작된 차량의 성능을 예측하는 것은 매우 어려워 제작사는 차량제작 후 완성차 시험 및 본선시운전 시험을 통해 다시 설계변경을 실시하게 됨에 따라 철도차량 설계 신뢰도가 낮아짐
- 국내 철도차량 제작사들의 차량설계 및 제작역량은 높아지고 있으나 차량 설계이후 제작 및 시험단계에서 설계결함 및 운영사의 추가요구사항등에 따라 차량설계 변경이 빈번이 발생하게 되어 오히려 신규로 제작되는 철도차량의 안전성 및 신뢰성을 저해하거나 향후 유지보수비용의 증가를 초래할 수도 있음

○ 미래(To-Be)

- 철도차량용 모의부하를 적용한 가상철도차량 구축을 위한 기반 기술 확보
- 철도차량 설계시 실차수준의 유사성을 가진 모의 부하를 적용한 가상철도차량환경을 통하여 주요 구성품의 제어알고리즘 및 소프트웨어등의 실시간 검증에 의해 향후 실차 제작시 설계변경을 최소화하고 제작시 오류에 따른 영향분석을 차량 시험 전 모의하여 차량제작 및 시험을 보다 원활히 추진될 수 있도록 도와줌으로써 국가적으로 새로운 철도차량 도입에 있어 신뢰성 향상
- 철도차량사고 발생시 사고환경을 모의하여 사고의 발생 원인을 신속히 파악하고 이를 이용하여 추후 국가적 철도안전향상과 철도 이용객의 안전성 향상을 위한 사고방지대책 수립의 수단



[그림 3.3] 가상의 철도차량 설계검증을 통한 실차검증 신뢰성 향상 기술의 미래상

나. 철도차량 계통연계형 전력변환 및 추진시스템 기술

○ 현재(As-Is)

- 국내 철도차량에서는 제동 시 기계 제동과 함께 발생되는 에너지를 가선전압을 통해 전력의 형태로 회생시키는 방법이 적용되고 있으나 회수된 에너지의 활용률은 높지 않은 편임
- 국내 철도차량은 자체적으로 에너지 공급이 불가능하며, 배터리 팩을 적용한 무가선트램등도 차량내에 에너지를 저장하고 있으나 외부공급기능은 없음
- 유도전동기와 비교하여 고효율인 영구자석동기전동기와 기본 전력변환장치(Si 반도체 소자 사용)와 비교하여 소형화와 고효율화가 가능한 SiC 반도체 소자를 적용한 추진시스템은 국외에서는 그 사례를 찾을 수 있으나 국내에서는 적용된 바가 없음

○ 미래(To-Be)

- 철도차량에서 회수되는 에너지를 자체적으로 저장하고 필요시 이를 상용계통으로 전력을 공급할 수 있어 국가적 차원의 비상 상황(블랙아웃, 재해) 시에도 운행하여 이용객의 편의성을 증진시킬 뿐만 아니라 비상 전원으로 사용하여 피해지역의 편의성 제공
- 영구자석동기전동기와 SiC 반도체 소자를 이용한 전력변환장치의 적용에 따라 추진시스템 경량화와 고효율화가 가능해지며, 새로운 추진시스템의 성능 검증으로 활용처가 도시철도, 고속철도 등으로 확장될 수 있어 향후 제작사의 해외진출에 있어 판매 제품의 경쟁력을 갖출 수 있을 뿐만 아니라 세계적으로 기술 선도 가능



[그림 3.4] 철도차량 계통연계형 전력변환 및 추진시스템 기술의 미래상

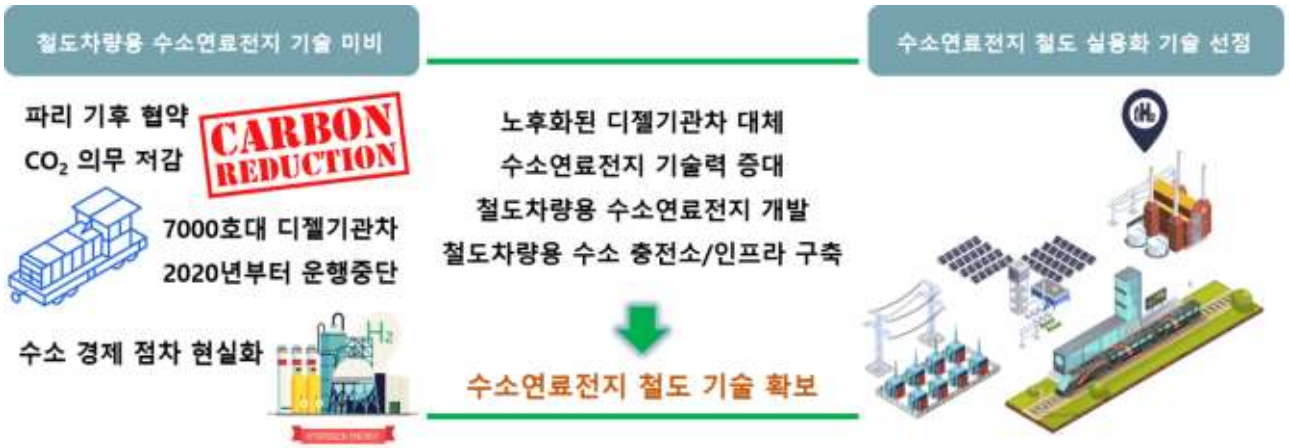
다. 철도분야 수소연료전지 적용 실용화 기술

○ 현재(As-Is)

- 수소연료전지에 대한 철도차량 적용가능성 검토를 위해 한국철도기술연구원이 주도적으로 과제를 진행하였으나 실차수준이 아닌 실험실규모임
- 발전용 수소연료전지는 정부의 신재생에너지 확대정책에 따라 포스코, 두산, LG등 대기업을 중심으로 국내시장을 확대하고 있고 많은 중소기업들이 시장진입을 위해 많은 노력을 기울이고 있으며 수송분야 특히 자동차분야에서는 현대자동차가 독점적인 지위를 가지고 해외 유수의 자동차회사등과 수소연료전지 전기자동차분야에서 치열하게 경쟁하고 있음
- 수소연료전지를 철도차량에 적용하기 위해서는 수소충전인프라 구축이 필요하며 국내 자동차를 위한 수소충전소 구축사례는 있으나 철도분야에서는 구축된 전례가 없음

○ 미래(To-Be)

- 철도차량 수소연료전지 적용기술 실용화를 위해 Test-Bed의 선정과 수소충전소를 실제로 구축하여 통합 SE 및 성능시험기술, 수소연료전지 시스템 기술을 디젤기관차 개조차량에 대하여 개발함
- 시험 노선이 선정되면 해당 지역을 대상으로 시범사업을 진행하기 위한 타당성 조사를 수행하여 성공적인 시범사업을 추진함
- 시험 노선의 결과를 토대로 기존 노선, 신규 노선에 대한 수소연료전지 실용화기술 적용을 추진하고 개발한 기반기술을 토대로 파생 기술등에 대한 연구를 진행함
- 선도적으로 확보한 기술에 대한 기술선점을 통하여 해외로 기술수출을 추진하고 철도차량 수소연료전지 적용기술 선도국가로 발돋움 함



[그림 3.5] 철도분야 수소연료전지 적용 실용화 기술의 미래상

3절 연구개발 과제 구성

▢ 연구단과제 구성

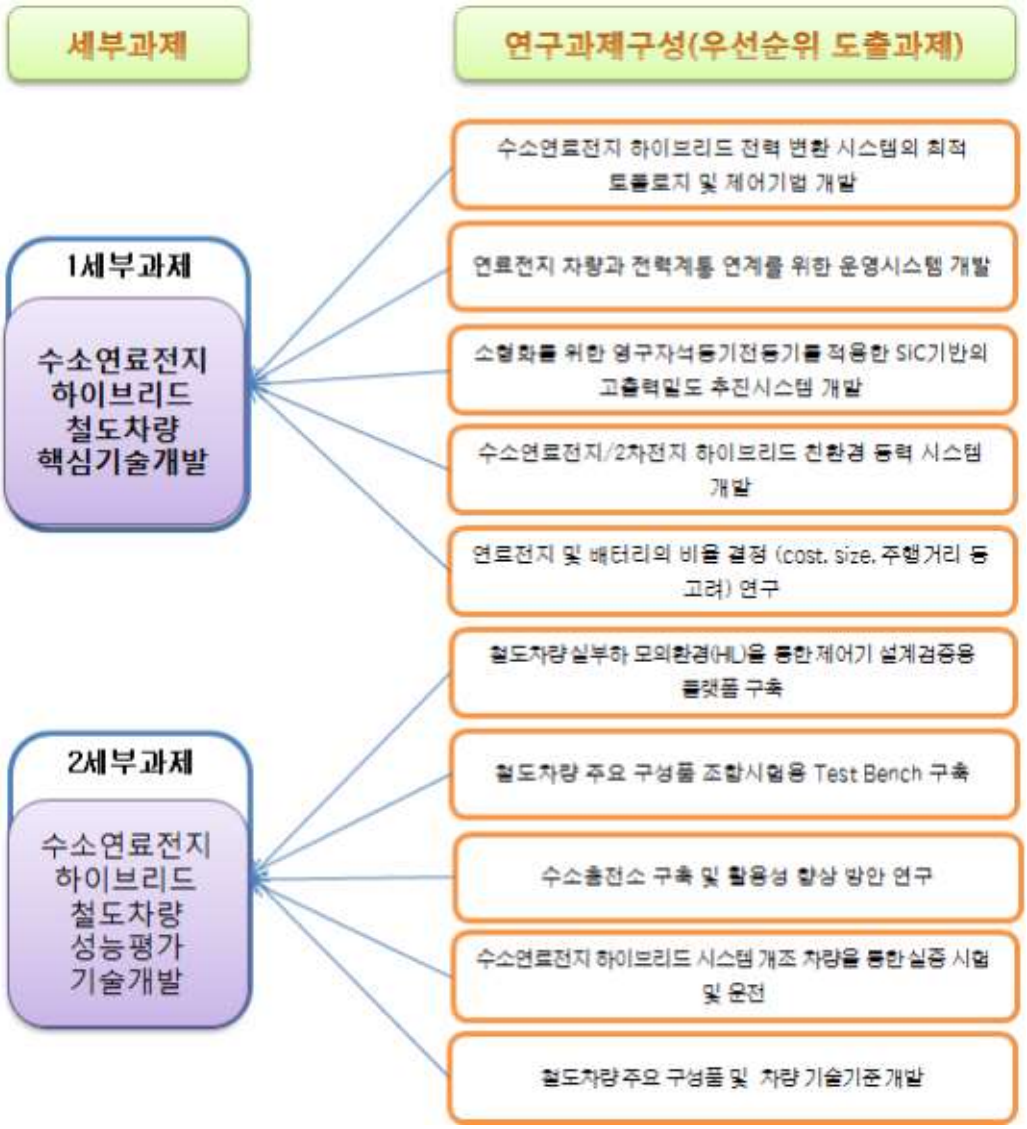
○ ‘1500마력급(1.2MW) 수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술 개발’은 2개의 세부과제로 이루어진 연구단과제로 추진

• 세부과제 1: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

– 소수연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 세부과제에서는 시스템의 핵심기술을 개발하고 핵심기술 간 조합을 통해 주행특성에 따른 철도차량의 스마트 에너지 관리 시스템 개발

• 세부과제 2: 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발

– 소수연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발 세부과제에서는 철도차량 개발에 있어 설계에서부터 시험까지 단계별로 검증을 위한 스마트 성능평가기술 개발



[그림 3.6] 연구개발 과제 구성

[표 3.1] 세부과제 성과물 및 세부기술

세부과제명	최종성과물	성과물 유형	세부기술	목표 성능	TRL 유형	TRL 단계	CTE 여부
1. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 시작품	시스템	1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	제어정밀도 : 99%이상	시스템	6단계	O
			1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	계통연계 규정만족	시스템	6단계	O
			1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	출력밀도: 10%향상	시스템	6단계	O
			1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발	효율: 90%이상	시스템	6단계	O
			1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	-	공법/기법	3단계	
2. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	수소연료전지 하이브리드 철도차량 및 관련 핵심기술 기술기준(안)	제도/표준화	2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	정합율: 99%	시스템	5단계	O
			2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	-	장비/장치	5단계	
			2-3. 수소충전소구축및활용 성향상방안연구	3분이내 충전	시스템	6단계	O
			2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	5,000km	시스템	6단계	
			2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	-	제도/표준화	3단계	

4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제별 주요내용

가. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

□ 연구목표

○ 1500마력(1.2MW)급 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발
(운행 최고속도 110 km/h, 1회 충전 500km이상 주행)

- 주요 핵심기술 최적 설계 연구 및 사양 도출
- 주요 핵심기술별 개발품 제작 및 성능평가

□ 주요 연구내용

○ 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발

- 선행기술 검토 및 분석 연구
- 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구
- 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 제어알고리즘 개발
- 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 설계 및 제작
- 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 성능평가 및 실차검증

○ 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발

- 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구
- 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발
- 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운영시스템 개발
- 연료전지 차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험

○ 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발

- 선행기술 검토 및 분석 연구
- 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출
- 영구자석동기전동기 설계 및 제작
- 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발
- 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작
- 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가와 실차검증

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발

- 선행기술 검토 및 분석 연구

- 연료전지와 이차전지 하이브리드 제어 알고리즘 개발
- 수소연료전지 및 2차전지제어기 설계 및 제작
- 하이브리드 시스템 구조설계 및 제작
- 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작
- 열 유동 해석 및 핵심 부품 보호 온도 제어 연구
- 셀 전압, 온도 및 팩 전압, 전류 검지 회로 및 알고리즘 개발
- 이차전지 SOC 및 SOH 추정 알고리즘 개발
- 시스템 안정화 및 고장 방지를 위한 셀 전압밸런싱 기술 개발
- 수소연료전지 및 이차전지 개별 시스템 제작 및 성능평가
- 수소연료전지발전시스템 및 이차전지 시스템 모델링
- 하이브리드 시스템 최적화 운영방안 연구
- 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증

○ 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구

- 운행노선에 따른 수소연료전지 및 배터리 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발
- 최적 연료전지/배터리 비율 선정
- 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석
- 스마트 에너지관리 시스템 요구사항 분석 및 사양개발
- 스마트 에너지관리 시스템 설계 및 제작
- 스마트 에너지관리 시스템 성능평가 및 실차검증

□ 주요 최종 성과물

○ 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터

○ 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템

○ 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템

○ 스마트 에너지 관리시스템

나. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술개발

□ 연구목표

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 실용화를 위한 실증기술 개발 및 Test Bed 시운전

- 핵심기술 설계검증방안 및 실증차량용 인터페이스 표준화
- 실차검증을 위한 수소충전인프라 표준화 및 관련 법규·제도 개선방안 연구
- 실차검증용 차량 시운전을 통한 안전성 및 신뢰성 확보

□ 주요 연구내용

○ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축

- 선행기술검토 및 분석
- 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작
- 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구
- 철도차량 가상주행시스템 요구사항 분석 및 사양개발
- 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작
- 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구
- 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구

○ 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축

- Test Bench 요구사항 분석 및 사양개발
- Test Bench 설계 및 제작
- Test Bench 성능 및 신뢰성 평가
- Test Bench를 이용한 개발품 조합시험

○ 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구

- 철도차량 수소충전 및 운영 효율화 방안 연구
- 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발
- 수소 안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구
- 철도차량 시운전을 위한 수소충전소 구축 및 운영방안 연구
- 철도차량 시운전을 위한 수소충전소 설계 및 구축
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구

○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전

- 차량개조관련 법규 및 제도 조사
- 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구
- 개조를 위한 요구사항분석 및 사양개발

- 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구
- 실차검증용 감속기 설계 및 제작
- 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작
- 개조차량 설계 및 제작
- 개조차량 완성차시험 및 시운전

○ 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발

- 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사
- 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험 절차 및 방법 개발
- 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구
- 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발

□ 주요 최종 성과물

○ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼

○ 철도차량용 제어기 최적 설계 및 사양서

○ 조합시험용 Test Bench

○ 개발품 구성품 및 조합시험용 시험규격서

○ 철도용 수소충전소 사양서

○ 수소충전인프라 및 철도차량 유지보수(안)

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 개조차량

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 철도차량 기술기준(안)

[표 3.2] 1 세부과제의 세부기술의 연구활동 및 산출물

세부기술	연구활동	산출물
1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	1-1-1. 선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구	조사분석보고서, 시스템선정
	1-1-2. 수소연료전지용과 2차전지용DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발	DC/DC 컨버터 시뮬레이션 검증보고서
	1-1-3. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작	DC/DC 컨버터 시제품 설계서 및 제작품
	1-1-4. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증	DC/DC 컨버터 성능평가 실험결과보고서
1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	1-2-1. 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	조사분석보고서, 시스템선정
	1-2-2. 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발	계통연계 전력변환장치 시제품 설계서 및 제작품
	1-2-3. 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발	전력계통연계 운용시스템 시뮬레이션 검증보고서
	1-2-4. 연료전지차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험	전력계통연계 시스템 성능평가 실험결과보고서
1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	1-3-1. 선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	조사분석보고서, 영구자석동기전동기 요구사양서
	1-3-2. 영구자석동기전동기 설계 및 제작	영구자석동기전동기 시제품 설계서 및 제작품
	1-3-3. 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발	주행모드별 제어알고리즘 시뮬레이션 검증보고서
	1-3-4. 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작	인버터 시작품 설계서 및 제작품
	1-3-5. 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증	추진용 인버터 조합시험 성능평가 실험결과보고서
1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발	1-4-1. 선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축	수소연료전지 및 2차전지 모델링
	1-4-2. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작	수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계서 및 시작품제작
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	수소연료전지/2차전지 하이브리드 냉각시스템 설계서 및 시작품
	1-4-4. 수소연료전지/2차전지 감시 및 보호기능 고도화 연구	연구보고서
	1-4-5. 수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구	운영 및 유지보수 매뉴얼
	1-4-6. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증	시험결과보고서
1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	1-5-1. 수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발 및 최적 비율 선정	시뮬레이션 모델 개발결과보고서, 수소연료전지/배터리 최적비율
	1-5-2. 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	최적 이차전지 선정 분석보고서
	1-5-3. 스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발	스마트 에너지 관리시스템 개발사양서
	1-5-4. 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작	스마트 에너지 관리시스템 설계서 및 제작품
	1-5-5. 스마트 에너지 관리시스템 성능평가	스마트 에너지 관리시스템 성능 실험결과보고서

[표 3.3] 1 세부과제의 세부기술의 연구활동 연구계획

세부기술	연구활동	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도
1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	1-1-1. 선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구	■				
	1-1-2. 수소연료전지용과 2차전지용DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발		■	■		
	1-1-3. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작		■	■		
	1-1-4. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증				■	■
1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	1-2-1. 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	■				
	1-2-2. 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발		■	■		
	1-2-3. 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발		■	■		
	1-2-4. 연료전지차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험				■	■
1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	1-3-1. 선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	■				
	1-3-2. 영구자석동기전동기 설계 및 제작		■	■		
	1-3-3. 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발		■	■		
	1-3-4. 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작		■	■		
	1-3-5. 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증				■	■
1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발	1-4-1. 선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축		■			
	1-4-2. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작		■	■		
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작		■	■		
	1-4-4. 수소연료전지/2차전지 감시 및 보호기능 고도화 연구	■	■			
	1-4-5. 수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구				■	
	1-4-6. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증			■	■	■
1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	1-5-1. 수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발 및 최적 비율 선정	■	■			
	1-5-2. 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	■				
	1-5-3. 스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발		■			
	1-5-4. 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작			■	■	
	1-5-5. 스마트 에너지 관리시스템 성능평가					■

[표 3.4] 2 세부과제의 세부기술의 연구활동 및 산출물

세부기술	연구활동	산출물
2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	2-1-1. 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작	실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 사양서 및 시작품 제작
	2-1-2. 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	연구보고서
	2-1-3. 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작	철도차량 가상주행시스템 설계서 및 시작품 제작
	2-1-4. 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구	연구보고서
	2-1-5. 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구	연구보고서
2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	2-2-1. 요구사항 분석 및 사양개발	사양서
	2-2-2. 차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작	차량모의 조합시험용 Test Bench 설계서 및 시작품 제작
	2-2-3. 차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가	시험결과보고서
	2-2-4. 차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험	시험결과보고서
2-3. 수소충전소구축및활용성향상방안연구	2-3-1. 철도차량 수소충전 및 운영효율화방안연구	연구보고서
	2-3-2. 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	수소충전소 사양서
	2-3-3. 수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	연구보고서
	2-3-4. 철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구	연구보고서
	2-3-5. 철도차량 시운전용 수소충전소설계및 구축	철도차량 시운전용 수소충전소설계서및 설비구축
	2-3-6. 수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구	수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수 매뉴얼
2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	2-4-1. 차량개조관련 법규 및 제도 조사	연구보고서
	2-4-2. 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	연구보고서
	2-4-3. 철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양개발	철도차량 개조사양서
	2-4-4. 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구	연구보고서
	2-4-5. 실차검증용 감속기 설계 및 제작	감속기 도면 및 시작품 제작
	2-4-6. 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작	제동시스템 설계서 및 시작품 제작
	2-4-7. 개조차량 설계 및 제작	개조차량 설계서 및 시작품 제작
	2-4-8. 개조차량 완성차시험 및 시운전	시험결과보고서
2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2-5-1. 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	연구보고서
	2-5-2. 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	연구보고서
	2-5-3. 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발	시험절차서 및 기록서
	2-5-4. 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구	연구보고서
	2-5-5. 주요구성품 및 철도차량 기술기준(안)개발	기술기준(안)

[표 3.5] 2 세부과제의 세부기술의 연구활동 연구계획

세부기술	연구활동	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도
2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	2-1-1. 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작		■	■	■	
	2-1-2. 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	■				
	2-1-3. 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작			■	■	■
	2-1-4. 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구		■			
	2-1-5. 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구				■	
2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	2-2-1. 요구사항 분석 및 사양개발	■				
	2-2-2. 차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작		■	■		
	2-2-3. 차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가			■		
	2-2-4. 차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험			■	■	■
2-3. 수소충전소구축및활용성향상방안연구	2-3-1. 철도차량 수소충전 및 운영효율화방안연구					
	2-3-2. 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	■				
	2-3-3. 수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	■				
	2-3-4. 철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구				■	■
	2-3-5. 철도차량 시운전용 수소충전소설계및 구축	■				
	2-3-6. 수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구		■	■	■	■
2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	2-4-1. 차량개조관련 법규 및 제도 조사	■				
	2-4-2. 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	■				
	2-4-3. 철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양개발	■				
	2-4-4. 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구		■	■		
	2-4-5. 실차검증용 감속기 설계 및 제작		■	■		
	2-4-6. 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작		■	■		
	2-4-7. 개조차량 설계 및 제작		■	■		
	2-4-8. 개조차량 완성차시험 및 시운전				■	■
2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2-5-1. 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	■				
	2-5-2. 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	■	■			
	2-5-3. 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발		■	■		
	2-5-4. 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구			■	■	
	2-5-5. 주요구성품 및 철도차량 기술기준(안)개발				■	■

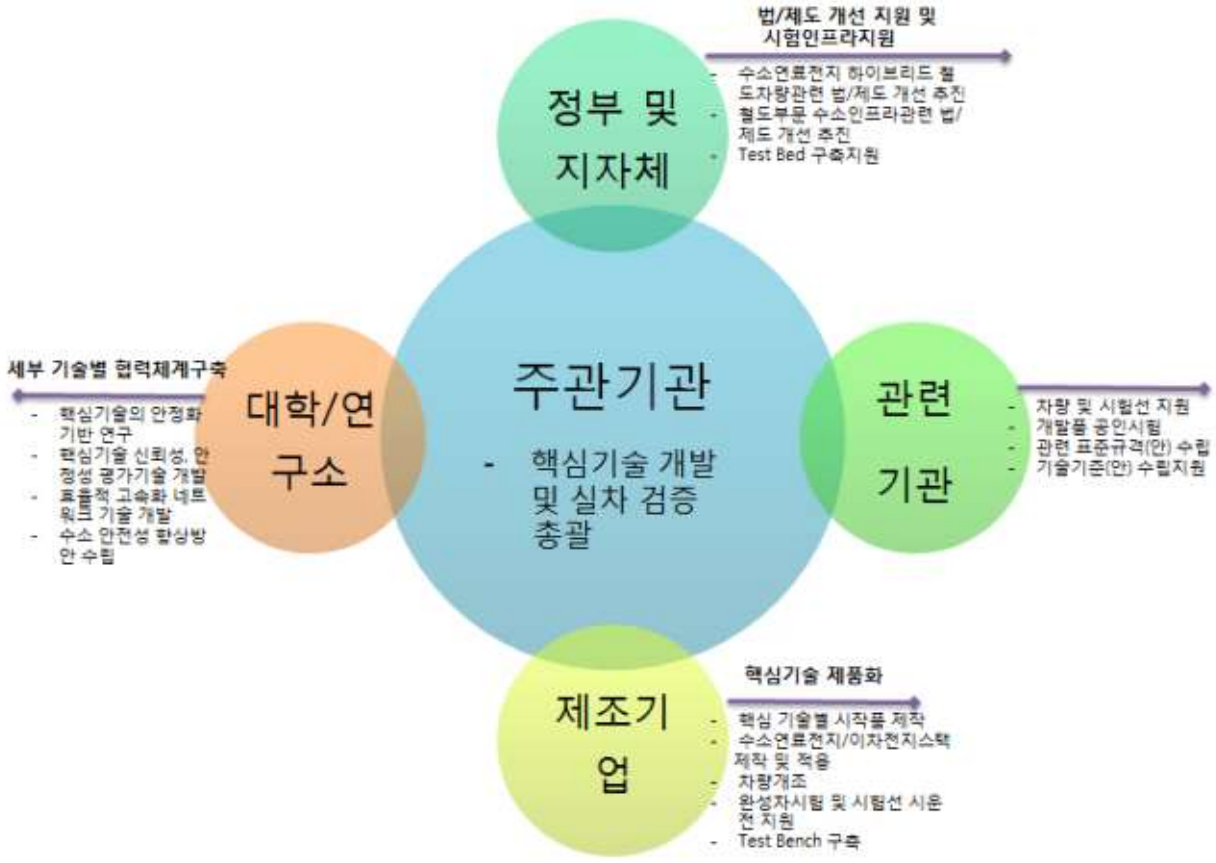
2. 추진전략

○ 연구개발 목표를 달성하기 위한 4가지 추진전략을 수립하였음

- 추진전략 1 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술개발의 연구성과를 집대성하여 실용화를 추진함
- 추진전략 2 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 및 수소충전인프라의 실용화를 위한 법/제도/기술기준/표준에 대한 개선 및 확보를 추진함
- 추진전략 3 : Test Bed 및 충전인프라 구축을 통한 철도 실용화 부문 기술 선도
- 추진전략 4 : 산/학/연/관의 총체적인 협력연구 개발 체제를 구축하여 연구를 진행함

○ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문 기관에서 기 확보된 주요 핵심 기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산학연 공동연구 추진

○ 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보



[그림 3.7] 연구추진전략 구성

○ 연구개발과정에서 발생되는 모든(과제참여기업 포함) 연구결과물 및 시험데이터들은 과제에 대한 관리주체인 주관기관에서 구축한 별도의 서버에서 집중 관리되어야 하고 성능평가 또는 개발과정에서 발생되는 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 성능평가시 센서류등은 고도의 정밀도가 요구되므로 마찬가지로 국외 전문업체로부터 구매할 계획임.

○ 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축할 계획임

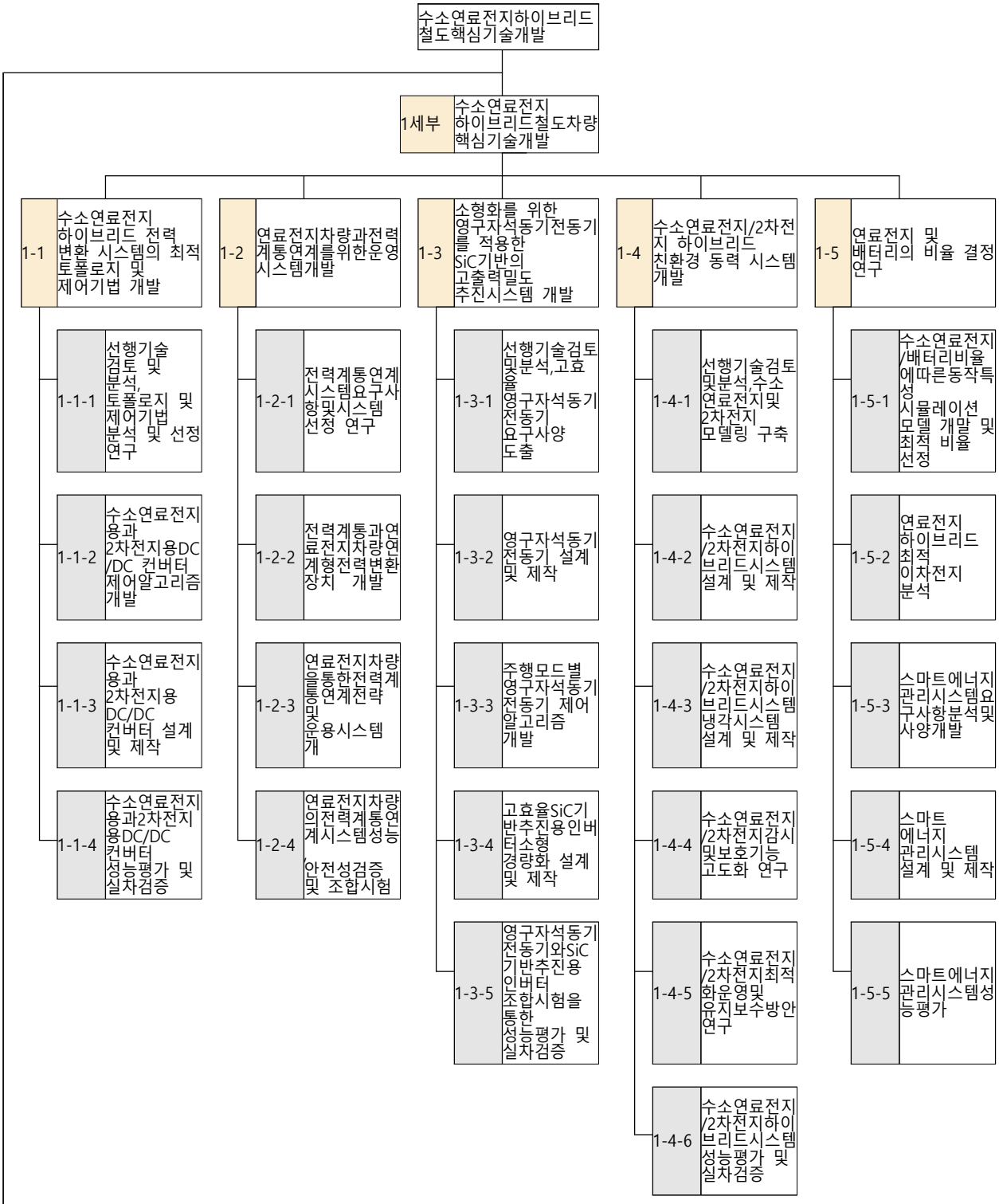
5절 연구추진체계

1. 연구추진체계 검토

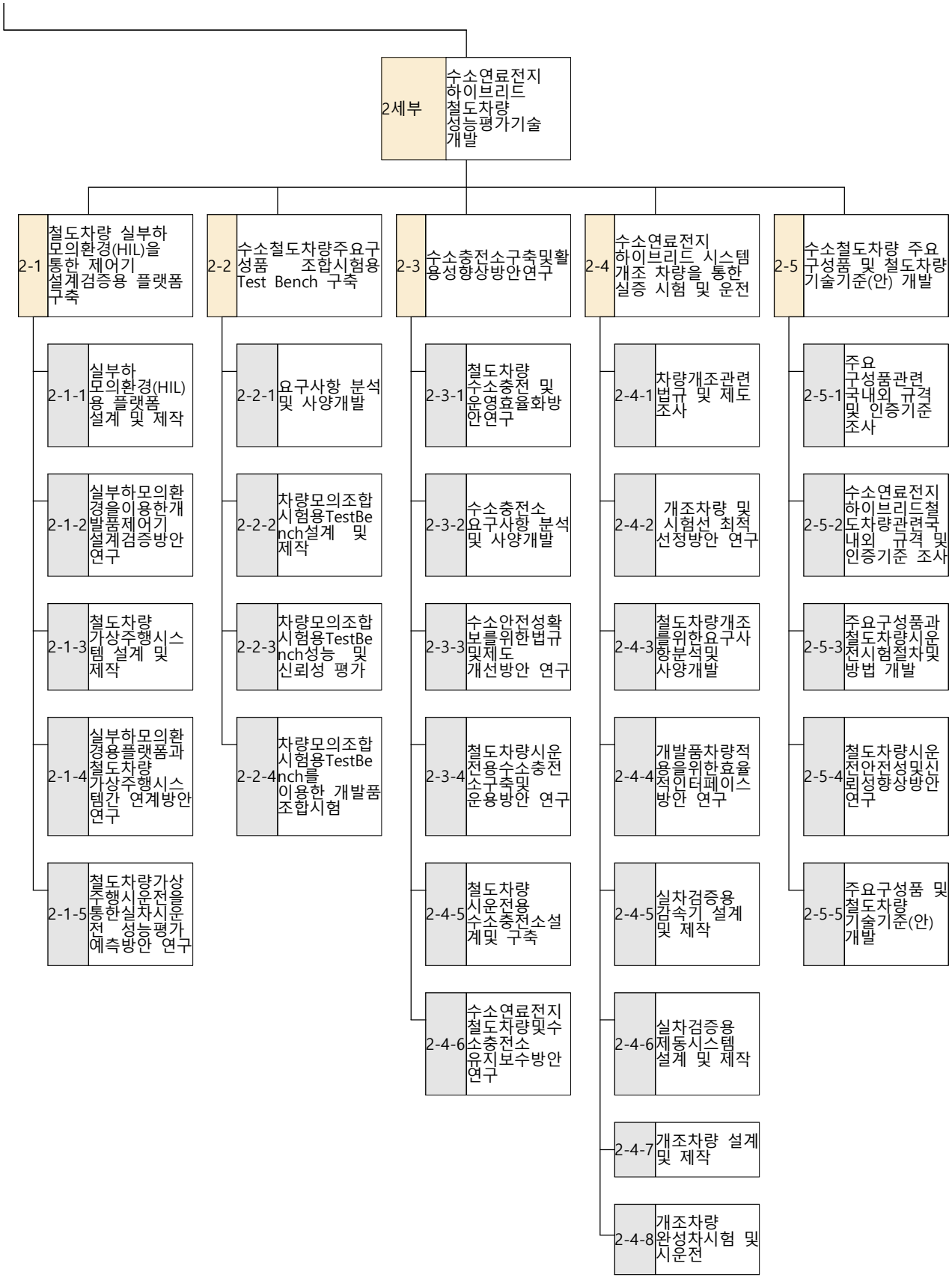
- ○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량내 핵심기술별 독립적 개발추진 및 철도차량 탑재를 위한 유기적인 연계성을 고려한 1세부과제와 수소충전인프라와 관련 법규 및 제도에 대한 정립 그리고 핵심기술들에 대한 조합적 성능평가에 의한 개조차량을 통한 실차검증 등에 의해 실용화방안 수립을 위한 2세부과제로서 개발목표를 충실히 달성할 수 있도록 연구단 형태로 추진하는 것이 바람직함.
- ○ 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 핵심기술의 개발 및 성능평가를 주로 담당하며 연계되는 핵심기술 간의 요구사항을 상호반영하여 개발하고 향후 수소연료전지를 적용하는 철도차량의 차종 또는 기술적 요구등에 신속하고 지속적으로 대응할 수 있는 발전적 개발환경을 확보함에 따라 선도적 기술력 확보가 가능
- ○ 2세부과제는 1세부과제에서 개발된 핵심기술등을 종합적으로 평가하기 위한 Test Bench 구축 및 성능평가를 수행하고 이러한 내용은 해당 기술에 대한 기술기준(안) 수립에 활용함으로써 실차검증의 안전성과 신뢰성을 향상시키며 수소충전인프라 및 수소의 운영과 관련된 유지보수기술 개발과 관련 법규 및 제도에 대한 정립등을 통해 실용화를 위한 기반구축이 가능
- ○ 2세부과제는 과제의 성격상 기업 및 운영사의 적극적인 참여가 필요하고 1세부과제가 유기적인 연계를 통해 철도차량에 적용되어 실차 시운전이 가능하도록 뒷받침해 줄 수 있는 역할이 요구됨.
- ○ 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함.

2. 연구추진체계 구성

[표 3.6] 연구추진체계 구성 (1세부과제)



[표 3.7] 연구추진체계 구성 (2세부과제)



3. 연구추진체계간 고려사항

○ 국내 철도, 추진, 수소연료전지, 2차전지 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직하며, 세부과제 2는 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요함

○ 원천기술 및 시제품의 테스트베드를 통한 실차 검증을 위해 디젤기관차를 보유한 운영기관의 참여가 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적 · 정책적 · 경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 연구개발 성과의 실제적용 과정에서 설계사항 변경가능성을 줄일 수 있도록 연구과정에서 철도 전문기술을 보유한 기관을 반드시 참여하도록 함

○ 본 연구는 산 · 학 · 연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

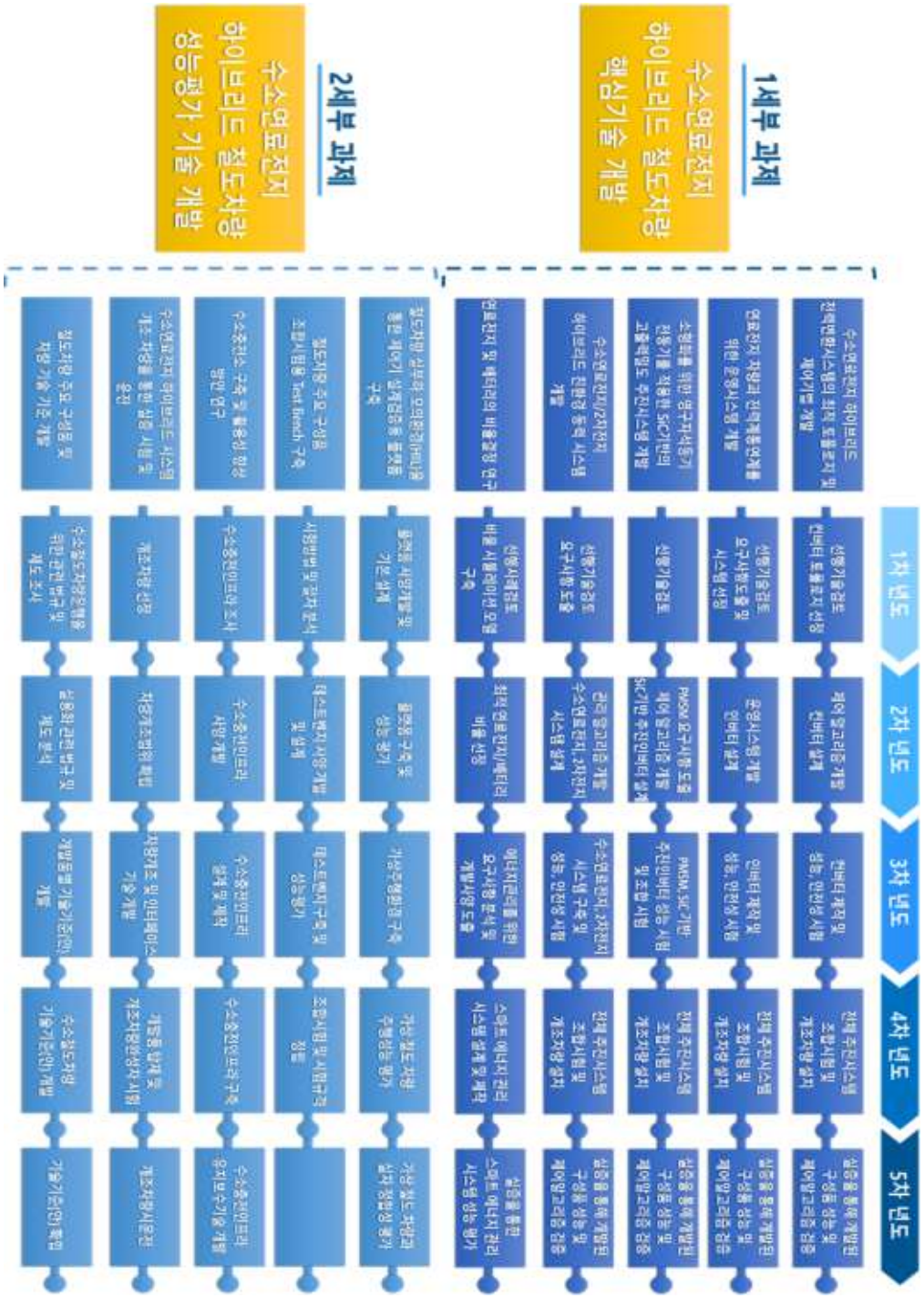
○ 참여 연구기관 간 유기적인 협력 체계를 구축할 것

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

6절 기술/성과 로드맵

1. 세부 과제별 연차별 기술로드맵

○ 과제는 총 5개년에 걸쳐 진행되며 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발과 수소연료전지 하이브리드 철도차량 실용화를 위한 실증기술 개발등이 세부과제로 구분되어 진행됨.

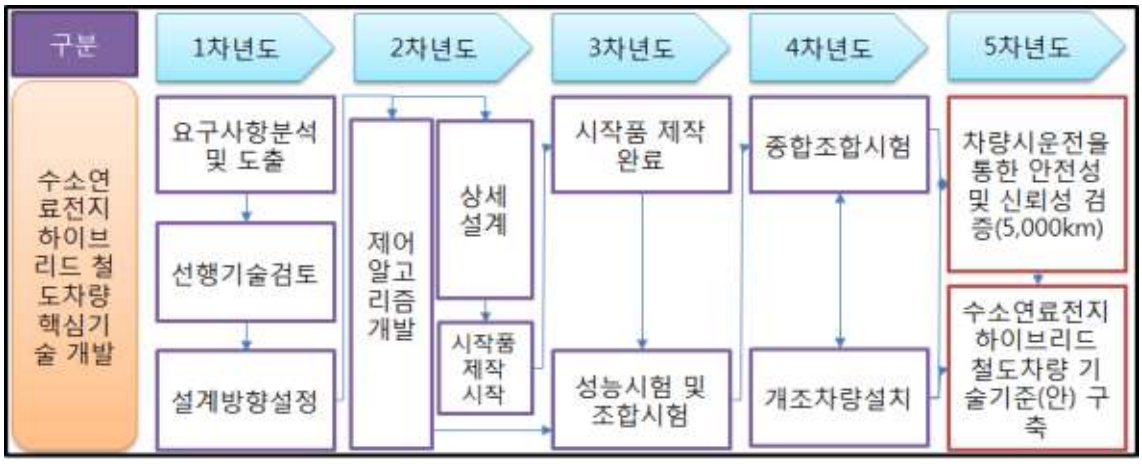


[그림 3.8] 연차별 세부과제 연구 로드맵

○ 세부과제의 세부기술별 확보된 기술과 미확보된 기술을 분리하고 미확보기술에 대한 도입전략이 기술 로드맵 작성에 반영됨.

[표 3.8] 세부과제의 세부기술별 확보기술 구분 및 미확보기술 도입전략

세부과제명	세부기술	핵심기술		미확보기술 도입 전략
		확보기술	미확보기술	
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	단독 DC/DC컨버터 제작 및 제어 기술	대용량 DC/DC컨버터 제작 기술 및 하이브리드 제어기술	기술개발
	연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	계통연계인버터 제작 및 제어 기술	철도에 적합한 운영시스템	기술개발
	소형화를 위한 영구자석동기 전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	영구자석동기전동기 제어 기술	대용량 SiC기반 추진시스템 제작 기술	기술개발
	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 개발	베터리 구성 및 운용 기술	수소연료전지스텍 구성 및 제어기술	구매도입
	연료전지 및 배터리의 비율결정 연구	연료전지와 배터리 개별 특성 분석 및 철도차량 에너지 소비 분석 기술	철도차량에 적합한 연료전지/배터리 비율 시뮬레이션 기술	기술개발
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	철도차량 부품별 설계검증 기술	검증용 플랫폼	구매도입
	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	추진시스템 조합시험 Test Bench 설계 기술	수소연료전지 및 관련 전력변환장치 Test Bench 설계 기술	구매도입
	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	자동차용 수소충전소 구축 기술	철도차량용 수소충전소 구축 기술	기술개발
	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 운전	시운전 실증시험 기술	수소연료전지 철도차량 개조기술	기술개발
	주요 구성품 및 철도차량기술기준 개발	현존차량 철도차량기술기준	수소연료전지 기술기준	기술개발



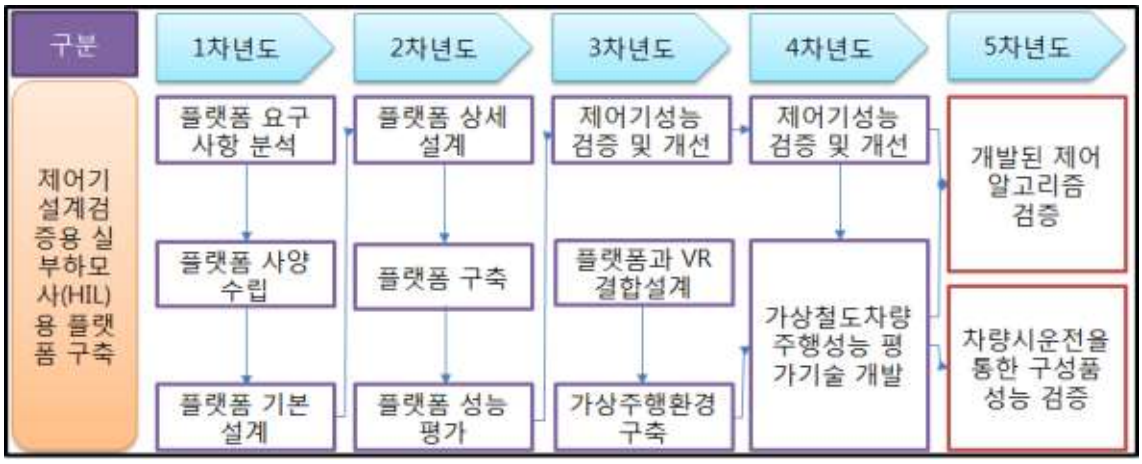
[그림 3.9] 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 로드맵

○ 철도차량과 관련된 과제에서 1차년도는 각 세부과제별로 요구사항 분석 및 기본설계가 이루어지고 2차년도에는 상세설계를 통하여 핵심기술관련 시작품 제작이 시작되고 3차년도에는 성능평가와 조합시험을 통한 시작품의 안정성 및 신뢰성에 대한 검증이 진행되며 4차년도에는 차량에 설치되고 완성차시험을 통해 5차년도에는 개조차량을 통한 실차 시운전을 통하여 수소연료전지 하이브리드 핵심기술의 성능검증을 최종적으로 확인하고 개발된 제어 알고리즘을 검증하여 결과를 바탕으로 기술기준(안) 및 유지보수(안)이 산출되어 최종적인 과제목표가 달성하게 됨.



[그림 3.10] 수소연료전지 하이브리드 실차검증 및 기술기준(안) 수립 로드맵

○ 1세부과제를 통하여 개발된 시작품등의 개발품에 대한 조합적인 성능평가를 위한 조합시험 Test Bench는 2세부과제에서 추진되고 1차년도와 2차년도를 거쳐 사양수립 및 설계를 통하여 3차년도에 구축된 Test Bench를 이용하여 제작된 개발품등에 대한 조합시험을 실시하고 이를 통하여 각 개발품에 대한 규격화된 시험절차와 방법을 수립하여 향후 실용화를 위한 중요한 역할을 수행할 것으로 기대됨.



[그림 3.11] 제어기설계 검증용 실부하모사(HIL)용 플랫폼 구축 로드맵

○ 또한 2세부과제로 추진되는 철도차량실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼은 1차년도에 구축되어 2차년도부터 1세부과제에서 개발된 각종 알고리즘 및 제어프로그램을 실시간적으로 설계단계부터 검증할 수 있으므로 3차년도부터 진행되는 다양한 조합시험 및 4차년도와 5차년도에 수행되는 차량시운전등과 병행하여 실험실 수준에서 실제 운행환경과 연계된 설계검증이 지속적으로 이루어지므로 수소연료전지 하이브리드 철도차량에 대한 신뢰수준을 한단계 발전시킬 수 있는 고도화된 기술로서 향후 개발될 다양한 차종의 설계검증 요소기술로서 개발시간 및 개발비용을 획기적으로 저감시킬 수 있을 것으로 크게 기대됨.

○ 수소연료전지의 실용화를 위해 전제되어야 할 수소충전인프라 중 수소연료전지 하이브리드 조합시험 및 개조차량시운전을 위한 수소충전소의 사양 및 설계는 1차년도와 2차년도에 걸쳐 추진되고 원활한 시험진행을 위해 임시수소충전소가 3차년도에 구축되어 4차년도부터는 개조차량의 완성차시험을 위해 수소충전공급이 이루어지고 5차년도에는 수소충전소 및 수소연료전지 하이브리드 철도차량에 대한 유지보수(안) 매뉴얼이 작성되어 실용화에 매우 큰 기여를 할 것으로 기대됨.

2. 세부과제별 성과목표

□ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

세부과제명	세부기술	성 과
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	· 수소연료전지 단방향 DC/DC 컨버터 설계/제작 기술 · 2차전지용 양방향 DC/DC 컨버터 설계/제작 기술 · 수소연료전지와 2차전지의 DC/DC 컨버터 발전 성능 시뮬레이션 모델 · 수소연료전지/2차전지 운용제어 알고리즘 · DC/DC 컨버터 스택 및 냉각구조 설계/제작 기술
	연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	· 차량용 계통연계 전력변환시스템 설계/제작 기술 · 계통연계 시뮬레이션 모델 · 차량용 계통연계 운영시스템 및 시나리오
	소형화를 위한 영구자석동기 전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	· 고출력 밀도 영구자석동기전동기 설계기술 · 영구자석동기전동기 특성해석 시뮬레이션 모델 · 고출력 밀도 SiC기반 인버터 설계/제작기술 · 운행 모드별 영구자석동기전동기 운영 및 제어 알고리즘 · 추진시스템 성능 시뮬레이션 모델
	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 개발	· 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작 기술 · 하이브리드 시스템의 구조 및 냉각 시스템 설계 기술 · 수소연료전지와 2차전지의 제어 알고리즘 · 하이브리드 시스템의 성능 시뮬레이션 모델
	연료전지 및 배터리의 비율결정 연구	· 국내 대표 노선의 운행에 따른 에너지 패턴 · 운행 패턴에 따른 연료전지/배터리 비율 최적 선정 알고리즘 · 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 스마트 에너지 관리시스템 설계 기술 및 시뮬레이션 모델

□ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 실용화를 위한 실증기술 개발

세부과제명	세부기술	성 과
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	· 철도차량 실부하 모의환경(HIL) 플랫폼 설계 및 제작기술 · 제어기 설계검증 매뉴얼 · 실차수준의 가상주행시스템 설계 및 제작기술
	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	· 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작기술 · 조합시험 성능평가 메뉴얼
	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	· 수소충전소 설계 및 설비구축기술 · 철도차량 및 수소충전소 운영메뉴얼 및 유지보수 메뉴얼 · 철도차량 수소안전성관련 법/제도 개선안
	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 운전	· 개조차량 설계 및 제작기술 · 감속기 설계 및 제작기술 · 제동시스템 설계 및 제작기술 · 수소연료전지 하이브리드 철도차량 완성차 및 시운전 시험절차서 및 기록서 · 수소연료전지 하이브리드 철도차량 운영메뉴얼
	주요 구성품 및 철도차량기술기준 개발	· 주요 구성품 및 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준(안)

3. 성과목표 및 지표

□ 정성적 성과목표 및 지표

○ 1세부과제

세부과제명	세부기술	성과목표
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	• 전력변환시스템의 최적토폴로지 및 제어기 개발	• 전력변환시스템 설계 및 시작품 제작, 성능평가
	• 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	• 계통연계형 운영시스템 설계 및 시작품 제작, 성능평가
	• 수소연료전지 철도차량용 추진시스템 개발	• 추진시스템 설계 및 시작품 제작, 성능평가
	• 수소연료전지 하이브리드 동력시스템 개발	• 동력시스템 설계 및 시작품 제작, 성능평가 • 동력원배율 최적화 기법구축 • 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 시작품 제작, 성능평가

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
보고서	관련보고서	작성 건수	건	5	0.1	적용기술 확보 및 연구
시제품	제작품 구축,설계(안)	구축,제작 건수	건	5	0.3	구축 및 활용 기술 확보
학술성과	국내외 학술지 논문 게재	게재 건수	건	15	0.1	적용기술의 학술가치, 발표/게재를 통한 검증
지식재산권	특허 출원/ 소프트웨어개발건수	출원 및 개발건수	건	8/6	0.2	개발기술의 실용성 확보
기술성능 목표달성	조합시험 및 Test Bed 실차 시운전 검증	조합시험성적서 및 실차 완성차/시운전 성적서	%	100	0.3	개발 결과 성능평가

○ 2세부과제

세부과제명	세부기술	성과목표
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	• HIL을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	• 제어기 설계검증용 플랫폼 설계 및 시작품 제작, 성능평가
	• 주요 구성품 조합시험용 시험설비 구축	• 시험설비 설계 및 제작, 성능평가 매뉴얼
	• 수소충전소 구축 및 활용성 향상방안 연구	• 수소충전소 설계사양서 및 임시충전소 운영매뉴얼 • 운영 및 유지보수 매뉴얼, 수소안전관련 법/제도 개선안
	• 실차 시운전 검증 및 관련 기술기준안 개발	• 검증용 실차 설계, 제작 및 시운전 • 주요 구성품 및 수소연료전지 하이브리드 철도차량 기술기준안

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
보고서	관련보고서	작성 건수	건	5	0.1	적용기술 확보 및 연구
시제품	제작품 구축,설계(안)	구축,제작 건수	건	3	0.3	구축 및 활용 기술 확보
학술성과	국내외 학술지 논문 게재	게재 건수	건	5	0.1	적용기술의 학술가치, 발표/게재를 통한 검증
지식재산권	특허 출원/ 소프트웨어개발건수	출원 및 개발건수	건	6/4	0.2	개발기술의 실용성 확보
기술성능 목표달성	Test Bed 실차 시운전 검증 및 기술기준안	실차 완성차/시운전 성적서 및 기술기준안	%	100	0.3	개발 결과 성능평가 및 기술기준안

□ 정량적 성과목표 및 지표

성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
수소 연료전지 하이브리드 철도 추진시스템 핵심기술 개발	수소탱크 압력	- 압력측정	bar	700	0.2	- 상용화된 수소탱크의 압력은 350bar와 700bar로 철도차량용으로 적합한 수소탱크로 개발함
	1회충전 주행거리	- 주행거리 측정	km	500	0.2	- 서울부터 부산까지 철도선로길이를 고려한 1회 편도 주행거리임
	주행최고속도	- 속도측정	Km/h	110	0.2	- 개발대상인 디젤기관차 (4400대급) 제원 및 경전철차량에 도입을 위한 용량이 고려된 수치임
	최대출력	- 시운전차량 최대출력 측정	MW	1.2	0.2	- 개발대상인 디젤기관차 (4400대급) 제원 및 경전철차량에 도입을 위한 용량이 고려된 수치임
	정차소음	- 소음측정	dB(A)	68	0.1	- 전기동차(EMU)에 대한 2017년 이후 법적 소음권고기준인 68dB(A)를 고려한 수치임
	미세먼지 저감율	- 인위적으로 발생된 체적당 미세먼지 중량에 대한 수소연료전지 가동 후 미세먼지 저감비율	%	90	0.1	- 2016년 현대자동차에서 발표한 수소 연료전지자동차 시연회에서 보여준 정화율은 99.9%이나 측정방법의 차이 및 규모적인 측면을 고려하여 설정함.
	회생제동영역	- 전 속도영역 회생제동 확인	%	99	0.1	- 철도차량의 고속영역에서는 회생제동을 저속영역에서는 공기제동을 적용하고 있음에 따라 에너지 회수를 극대화 측면에서 고려하여 설정함

○ 1세부과제

성과목표	세세부과제	성과지표	단위	목표치
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	수소연료전지 하이브리드 전력변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	최대효율	%	95 이상
		소음	db	68 이하
	연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	출력전류 THD (전고조파왜율)	%	5 이하
		계통연계까지 시간	s	3 이내
	소형화를 위한 영구자석동기 전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	전동기 효율 향상	%	2
		전력밀도 향상	%	30
		회생전력 활용률	%	99
	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력시스템 개발	수소탱크 압력	bar	700
		미세먼지저감 능력	mg/km	20
	연료전지 및 배터리의 비율결정 연구	연료전지 배터리 최적비율 보고서 (1.2MW급 하이브리드동력원, 1회충전 500km이상 기준)	-	-

○ 2세부과제

성과목표	세세부과제	성과지표	단위	목표치
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	실차와 정합률	%	90 이상
	철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	실험 절차서/기록서	-	-
	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	700bar 수소충전가능 및 수소충전소 설계사양	-	-
	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증시험 및 운전	예비주행 5,000km	-	-
	주요 구성품 및 철도차량기술기준 개발	기술기준		

4. 성과물 검증방안

□ 전문가 자문에 의한 검증

- 운영기간, 제작사, 학계 전문가들의 자문회의를 통한 검증
- 국·내외 학술대회 및 논문 발표를 통한 모델 검증

□ 테스트베드 시험, 운영에 따른 검증

- 과제에서 구축하는 Test Bench를 통하여 검증
- 개발된 시스템들을 실제 개조차량에 설치하여 안전성/운용성 검증

제4장 사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

1. 상위계획과의 부합성

가. 현 정부의 신재생에너지 관련 정책

○ 현 정부의 6대 에너지 정책에 따라 에너지 사업은 기존의 경제성 중심에서 환경 및 안전을 중점으로 변화할 것으로 예상 됨

– 안전성 논란이 지속되고 있는 원전과 미세먼지 발생의 주요인으로 지적받고 있는 석탄화력 발전 비중을 낮추는 대신 신재생에너지의 발전 비율을 높이겠다는 현 정부의 정책으로 태양광, 풍력, LNG, 수소연료전지 등의 신재생에너지 발전의 필요성이 대두됨



출처 : 더불어민주당

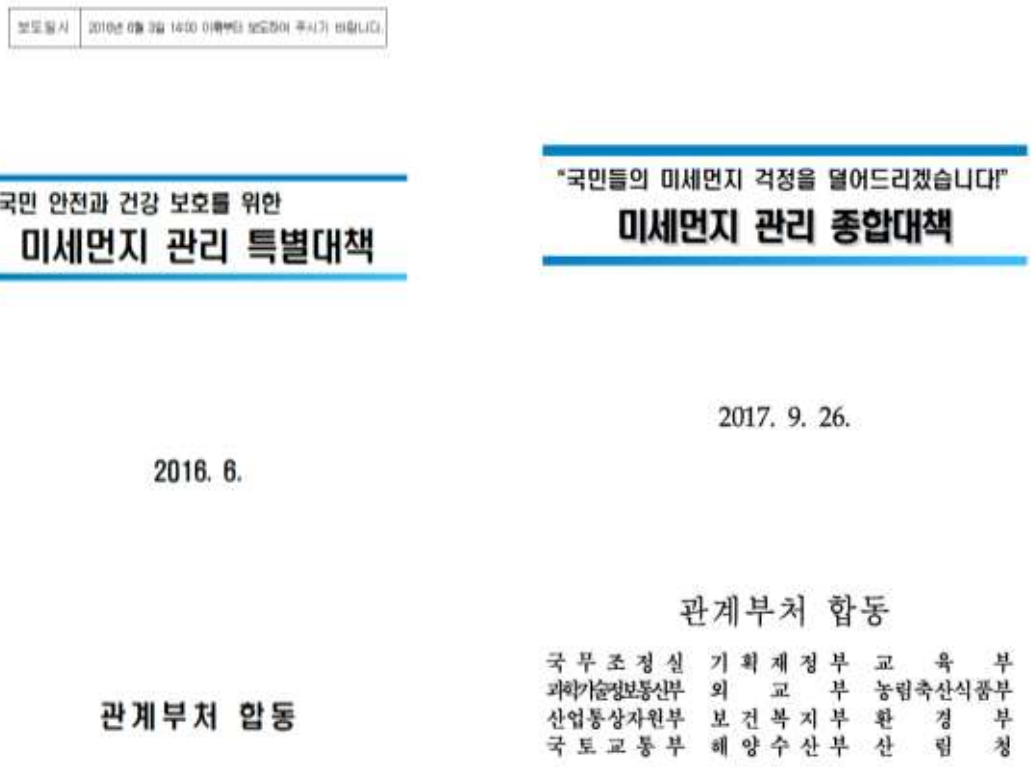
[그림 4.1] 현 정부의 6대 에너지 정책

- ‘원전제로’ 정책 시행에 따라 전체 전력 생산의 70%를 차지하는 원자력과 석탄을 대체하기 위한 신재생에너지 개발이 필수적이며, 정부는 이를 위한 계획을 신중히 검토 중에 있음
- 또한 현 정부는 분산형 전원을 대폭 확산하고 청정에너지를 집중 육성하겠다는 의지를 밝혔으며, 발전 사업자들의 신재생에너지 의무 공급량 비율을 높이고 소규모 발전사업자에게는 신재생에너지 설비에 대한 발전차액제도(FIT)를 한시적으로 지원하는 등 청정에너지 중심의 친환경적인 사회로의 전환에 대한 의지를 밝힘

○ 2030년까지 신재생에너지 발전량 20%를 달성하기 위한 ‘신재생에너지 3020 이행계획’이 `17. 8월 중 마련될 예정임

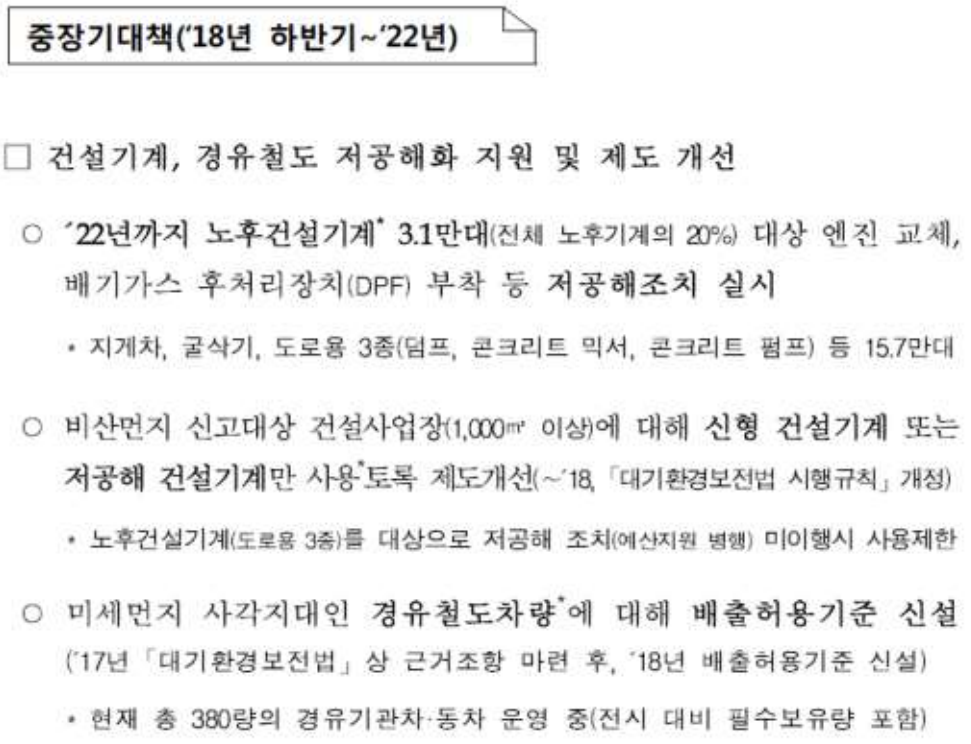
- 이에 따라 현 정부의 친환경에너지 진흥정책 및 수송용 에너지 시장의 주도권을 기존 화석연료에서 수소, LNG 등의 친환경 연료로 전환하여 친환경 연료의 이용률을 현행 20%에서 60%까지 끌어올리는 것을 목표로 세움
- 업계의 전문가들은 환경성과 분산전원 등의 측면에서 수소, LNG 등 친환경 연료의 역할이 확대될 것으로 예측하고 있으며, 현 정부가 친환경 연료에 우호적인만큼 장기적인 안목으로 이에 투자하고 육성해야 할 것으로 바라보고 있음

○ 2016년 6월 국민안전과 건강보호를 위한 미세먼지 관리 특별대책이 수립되었으며, 미세먼지 원인 분석 및 규제강화에 대한 내용을 다룸. 현 정부도 이어서 2017년 9월 미세먼지 관리 종합대책을 발표



[그림 4.2] 미세먼지관련 정부 대책

– 현 정부의 미세먼지 관리 종합 대책에 미세먼지 사각지대인 경유철도차량에 대한 배출허용기준 실설에 대한 내용 포함


중장기대책('18년 하반기~'22년)

□ 건설기계, 경유철도 저공해화 지원 및 제도 개선

○ '22년까지 노후건설기계* 3.1만대(전체 노후기계의 20%) 대상 엔진 교체, 배기가스 후처리장치(DPF) 부착 등 저공해조치 실시

* 지게차, 굴삭기, 도로용 3종(덤프, 콘크리트 믹서, 콘크리트 펌프) 등 15.7만대

○ 비산먼지 신고대상 건설사업장(1,000㎡ 이상)에 대해 신형 건설기계 또는 저공해 건설기계만 사용*토록 제도개선(~'18, 「대기환경보전법 시행규칙」 개정)

* 노후건설기계(도로용 3종)를 대상으로 저공해 조치(에산지원 병행) 미이행시 사용제한

○ 미세먼지 사각지대인 경유철도차량*에 대해 배출허용기준 신설 ('17년 「대기환경보전법」 상 근거조항 마련 후, '18년 배출허용기준 신설)

* 현재 총 380량의 경유기관차·동차 운영 중(전시 대비 필수보유량 포함)

[그림 4.3]현 정부 미세먼지 관리 종합대책(2017.09.26.)

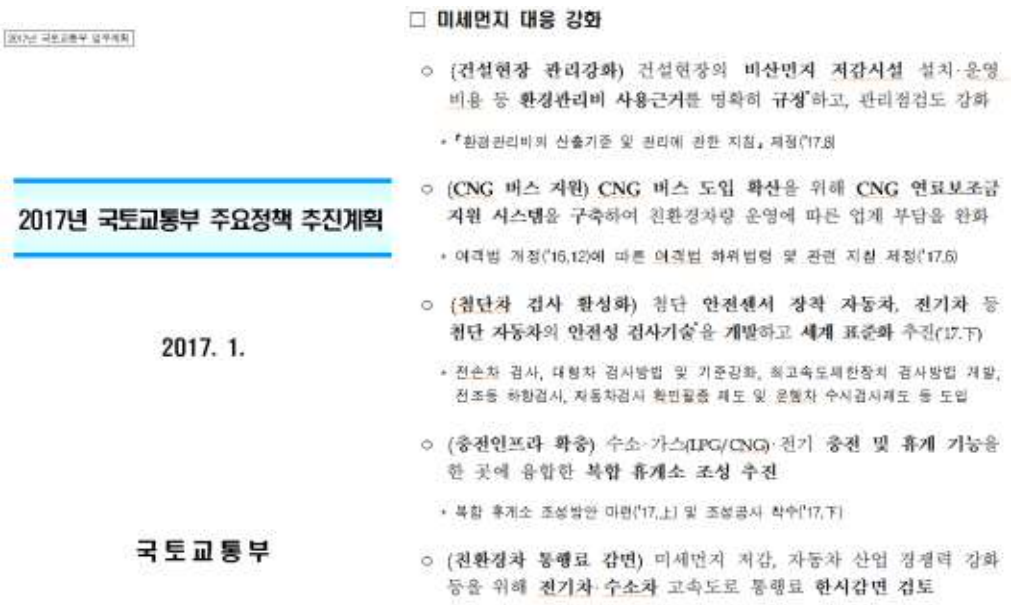
○ 수송 및 산업부문의 공약으로는 2030년까지 개인용 경유 승용차 퇴출 중장기 계획 추진과 청정연료 지원금 강화 등의 정책이 발표된 바 있으며, 현 정부 '국정 운영 5개년 계획'의 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성, 34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴/육성 과제에 미세먼지 저감을 위한 친환경 에너지원의 활용 산업 육성 계획

– 현 정부는 현재 50%인 공공기관의 친환경차 구입 의무 비율을 향후 70%로 높이고, 전기 렌터카 보급 촉진을 위해 보조금, 법인세 감면 등의 지원을 늘리며 노선버스 연료를 압축천연가스 및 수소연료전지로 전환하겠다는 내용을 밝힘

– 또한 미세먼지의 주범으로 꼽히는 경유차를 규제하는 대신 미세먼지 저감효과가 큰 LPG 차량의 규제완화와 더불어 전기차 및 친환경차에 대한 지원을 대폭 확대하겠다는 공약에 따라 '수소경제사회 실현' 정책이 힘을 받게 될 것으로 예상하고 있음

– 환경부는 올해 수소차 보급을 확대하기 위해 150억원을 들여 수소충전소 10기를 더 확보하겠다는 계획을 세웠으며, 산업부는 수소차 보급을 확대하기 위해 수소차에도 개별소득세와 취득세, 구매보조금 등 구매 인센티브를 확대해 전기차 소유주와 동일한 혜택을 받을 수 있도록 지원할 예정임

– 국토부는 2025년까지 LNG와 수소, 전기차를 모두 충전할 수 있는 복합휴게소를 200기 설치하겠다는 목표를 세웠으며, 국토부 산하기관의 승용차로 수소차를 도입하는 방안을 검토 중에 있음



[그림 4.4] 국토교통부 미세먼지 대응 대책

- 또한 국토부는 올해 9월까지 수소차 관련 사업기본계획을 세우고 정책심의위원회를 구성하여 2018년 3월까지 최종 사업자를 선정하기로 함
- 단기간 동안의 실현 가능성 및 자동차 시장에 대한 혼란 야기 등의 논란의 소지가 있지만, 현 정부의 친환경차 육성 정책에 맞춰 자동차 업체들의 경유차 생산과 판매에 대한 규제가 강화될 것으로 보임에 따라 전기차를 포함한 수소연료전지 자동차 등의 친환경차 관련 R&D 투자의 규모는 더욱 확대될 것으로 예상됨
- 따라서 현대자동차 및 효성중공업 등 산업계에서는 현 정부의 정책에 맞게 수소연료전지차를 6개월 앞서 출시하고, 수소복합충전소의 700bar 급 성능 충전설비를 8월까지 완공하겠다는 계획을 발표하는 등 발빠른 움직임을 보이고 있음
- 현 정부에서 수소차 사업에 힘을 실어줄 경우 19대 국회부터 계류 되어온 수소차 특별법이 통과될 가능성이 높아질 것으로 보이며, 이 법안은 수소차 인프라 설치와 관련해 규제가 완화되면서 수소 관련 인프라가 호재를 맞을 것으로 예상됨



[그림 4.5] `17년 8월 출시 예정인 수소연료전지 자동차

나. 온실가스 저감을 위한 국가 정책

○ 국제적으로 에너지 자원고갈, 환경오염, 기후변화 등 당면과제 해결을 위해 수소연료전지의 보급을 위한 정부 주도 프로그램을 확대 및 제도적 규제를 강화하고 있음에 따라 현 정부는 온실가스 배출전망 대비 감축 실현을 위하여 다양한 대책을 검토 중에 있음

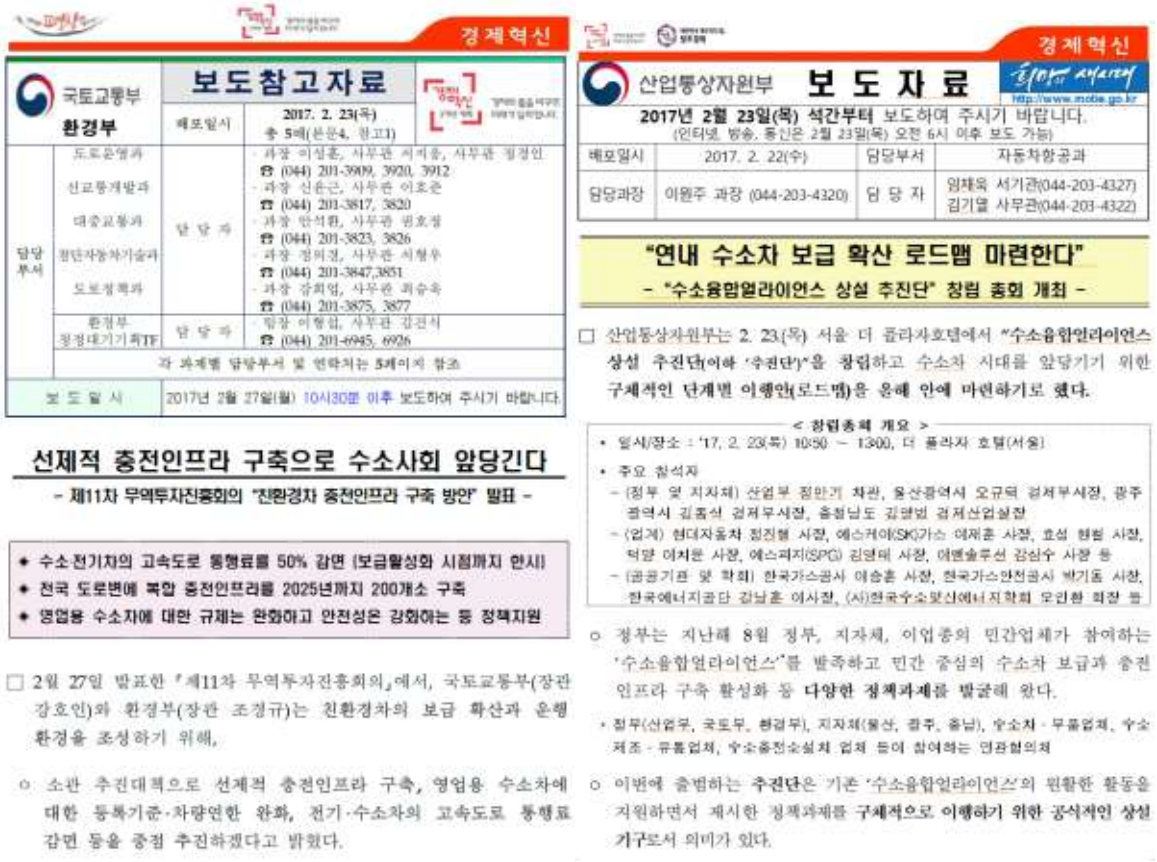
- `20년까지 공공기관의 온실가스 배출량 30% 감축, 제로에너지 건물 확대, 중·대형차 온실가스 기준 신설, 배출권거래제 정상화 등의 다양한 정책을 추진하고 있으며, 이에 따라 수송부문에서도 친환경적인 기술이 요구됨
- 또한 정부의 '온실가스 감축 로드맵' 시행 발표에 따라 우리나라의 전체 온실가스 배출량 중 20%를 차지하는 수송부문의 역할이 매우 중요할 것으로 예상 됨
- 수송 분야에서는 수송용 연료를 화석 연료에서 LNG, 수소로 전환하여 친환경 연료의 이용률을 20%에서 60%까지 끌어올리겠다는 목표를 세웠으며, 이에 따라 수소연료전지 차량은 올해 8월 출시 예정으로 이와 더불어 친환경 철도차량의 개발은 정부의 정책 방향과 적합함
- 철도 관련 수송부문 온실가스 배출량 24.6% 감축을 목표로 하고 있으며, 그에 따라 신재생에너지를 이용한 추진시스템 연구개발이 활발히 이루어지고 있음
- 철도 분야에서는 디젤철도차량이 온실가스 배출량의 대부분을 차지하고 있으며, 그에 따라 친환경 철도차량 개발이 요구됨
- 유럽은 국가차원에서 에너지원 구성 변경을 위해 하이브리드 열차 및 수소연료전지 차량의 개발과 실증사업이 진행되고 있음

다. 수소충전소 보급 정책

○ 정부의 수소충전소 보급계획에 따르면 2020년까지 80곳, 2030년까지 520곳이 설치되며 충전소 설치에 소요되는 보조금은 초기에는 1곳당 15억원이 지원되나, 장기적인 융자방식으로 전환됨. 또한 현 정부에서는 수소충전소 운영비와 충전소의 시설용량 증설 비용을 지원하는 방안을 검토하고, 친환경 정책 실현을 위한 LNG, 수소 등의 청정에너지 충전 인프라 확충과 안전기준 마련을 위해 검토 중

- 올해 2월에는 국토교통부가 `25년까지 민간투자를 활용해 친환경차량을 위한 복합충전휴게소 200곳 설치 계획을 밝혔으며, 수소경제사회 이행의 지속성을 확보하기 위한 수소법 제정을 검토 중에 있음
- 현 정부의 정책에 따라 지자체의 수소사회로의 도약을 위한 움직임이 활발히 진행되고 있으며 특히 대전에서는 교통과 물류의 중심인 지리적 특성을 이용해 대량 수소저장과 수송에 대비한 수소액화플랜트를 구축할 계획에 있음
- 수소공급은 기존 부생수소를 활용하는 방식 외에 새로운 수소생산 방식이 도입되며, 부생수소는 석유화학단지 등 수소 생산지로부터 200km 이내 지역 위주로 공급하되, 압축천연가스 충전소 등의 가스를 개질하여 수소를 공급하는 충전소가 실증사업을 거쳐 도입될 예정

- 기술개발 측면에서는 수소 측정센서, 저장용기 등 충전소 주요부품의 국산화율을 현행 40~60%에서 80%로 높여 충전소 설치비용을 줄여나갈 계획
- 수소 충전소의 안전기준은 현재 4.5t 미만만 수립되어 있으나, 4.5t 이상에 대한 안전기준이 신설될 예정이며, 향후에는 국제기준 개정을 주도해 나갈 계획
- 또한 수소충전소 설치와 관련된 '고압가스 안전관리법', '액화석유가스의 안전관리 및 사업법' 규정사항 등을 정비할 계획
- 산업통상자원부는 2017년 2월 "수소융합얼라이언스 상설 추진단"을 창립하고 수소차 시대를 앞당기기 위한 구체적인 단계별 이행안(로드맵) 마련 계획



경제혁신

국토교통부 환경부 **보도참고자료**

배포일시	2017. 2. 23(목) 총 5매(본문4, 참고1)
담당부서	도로운영과 / 신교통개발과 / 대중교통과 / 첨단자동차기술과 / 도로정책과 / 환경부 청정대기기획TF
담당자	· 과장 이성훈, 사무관 서지웅, 사무관 정경인 ☎ (044) 201-3909, 3920, 3912 · 과장 신윤근, 사무관 이호준 ☎ (044) 201-3817, 3820 · 과장 안석환, 사무관 원호철 ☎ (044) 201-3823, 3826 · 과장 정의정, 사무관 서형우 ☎ (044) 201-3847,3851 · 과장 강희업, 사무관 최승욱 ☎ (044) 201-3875, 3877 · 팀장 이형섭, 사무관 김진식 ☎ (044) 201-6985, 6926
	※ 과제별 담당부서 및 연락처는 5페이지 참조
보도일시	2017년 2월 27일(월) 10시30분 이후 보도하여 주시기 바랍니다.

선제적 충전인프라 구축으로 수소사회 앞당긴다

- 제11차 무역투자진흥회의 '친환경차 충전인프라 구축 방안' 발표 -

◆ 수소전기차의 고속도로 통행료를 50% 감면 (보급활성화 시점까지 한시)
◆ 전국 도로변에 복합 충전인프라를 2025년까지 200개소 구축
◆ 영업용 수소차에 대한 규제는 완화하고 안전성은 강화하는 등 정책지원

□ 2월 27일 발표한 「제11차 무역투자진흥회의」에서, 국토교통부(장관 강호인)와 환경부(장관 조경규)는 친환경차의 보급 확산과 운행 환경을 조성하기 위해,

○ 소관 추진대책으로 선제적 충전인프라 구축, 영업용 수소차에 대한 등록기준·차량연한 완화, 전기·수소차의 고속도로 통행료 감면 등을 중점 추진하겠다고 밝혔다.

경제혁신

산업통상자원부 **보 도 자 료**

2017년 2월 23일(목) 석간부터 보도하여 주시기 바랍니다.
(인터넷, 방송, 통신은 2월 23일(목) 오전 6시 이후 보도 가능)

배포일시	2017. 2. 22(수)	담당부서	자동차항공과
담당과장	이원주 과장 (044-203-4320)	담 당 자	임채욱 서기관(044-203-4327) 김기열 사무관(044-203-4322)

"연내 수소차 보급 확산 로드맵 마련한다"

- "수소융합얼라이언스 상설 추진단" 창립 총회 개최 -

□ 산업통상자원부는 2. 23.(목) 서울 더 플라자호텔에서 "수소융합얼라이언스 상설 추진단(이하 '추진단')"을 창립하고 수소차 시대를 앞당기기 위한 구체적인 단계별 이행안(로드맵)을 올해 안에 마련하기로 했다.

< 창립총회 개요 >

- 일시/장소 : '17. 2. 23(목) 10:50 ~ 13:00, 더 플라자 호텔(서울)
- 주요 참석자
  - (정부 및 지자체) 산업부 정만기 차관, 울산광역시 오규덕 경제부시장, 광주광역시 김동석 경제부시장, 충청남도 김용빈 경제산업실장
  - (업계) 현대자동차 정진행 사장, 에스케이(SK)가스 여재훈 사장, 효성 형원 사장, 덕양 이치문 사장, 에스피지(SPG) 김영태 사장, 에멀슬루션 강성수 사장 등
  - (공공기관 및 학회) 한국가스공사 이승훈 사장, 한국가스안전공사 박기동 사장, 한국에너지공단 김남훈 이사장, (사)한국수소및신에너지학회 오인환 회장 등

○ 정부는 지난해 8월 정부, 지자체, 이업종의 민간업체가 참여하는 '수소융합얼라이언스'를 발족하고 민간 중심의 수소차 보급과 충전 인프라 구축 활성화 등 **다양한 정책과제를 발굴해 왔다.**

- 정부(산업부, 국토부, 환경부), 지자체(울산, 광주, 충남), 수소차 · 부품업체, 수소제조 · 유통업체, 수소충전소설치 업체 등이 참여하는 민관협의체

○ 이번에 출범하는 **추진단**은 기존 '수소융합얼라이언스'의 원활한 활동을 지원하면서 제시한 정책과제를 **구체적으로 이행하기 위한 공식적인 상설 기구**로서 의미가 있다.

[그림 4.6] 수소충전인프라 관련 정부 부처 보도자료 (2017년 2월)

(1) 수소연료전지 관련 규정 및 기준 마련

○ 정부에서는 최근 수소연료전지 관련 기술기준 및 안전성 규정을 마련하고 있으며, 고압수소저장용기 및 수소충전소와 수소연료전지자동차 관련 제도와 규정들이 제정됨. 또한 선진국의 인증기관들과의 기술교류 협력을 통해 국제적인 인증 규정 마련 및 다양한 연구들이 이루어지고 있음

- 현재 제정된 규정들은 철도차량 적용 시 부품단위, 시스템단위, 차량단위에서 기존 철도차량에 적용중인 안전기준 시험과 연계하여 안전성 및 안전기준에 대한 법령으로 재개정 되어야 하지만 수소연료전지자동차에 적용 중인 규정들을 바탕으로 연구개발이

이루어진다면 경쟁력 있는 인증시스템을 구축할 수 있을 것으로 판단됨

(2) 수소연료전지 보급 지원 정책

○ 정부는 제 3차 신재생에너지 기본계획에서 9개 그린에너지 산업 중 4개의 신재생에너지(태양광, 풍력, 수소연료전지, 석탄IGCC)분야를 차세대 성장 동력으로 육성할 것을 발표

– 제 3차 신재생에너지 기본계획 상, 수소연료전지 분야의 목표는 그림[4.3]과 같으며, 최근 수소연료전지 기술의 기반 마련을 위한 정책 목표 위주로 설비 지원 및 기술개발과 보급의 연계를 고려한 실질적인 지원 정책이 확대되고 있음

– 이에 따라 수소연료전지 분야에 대한 정부의 지원 의지를 확인할 수 있음

○ 정부는 수소연료전지 시장 정착 및 확대를 위한 운영 단계 별 국내 보급지원제도를 운영 중이며, 지난 20년간 연료전지 분야에 가장 많은 투자가 이루어졌음. 또한 정부에서 발표한 ‘그린카 발전 로드맵’ 및 ‘2013년 환경친화적자동차 보급 시행계획’에 부합하는 수소연료전지 철도차량의 개발은 수소연료전지차와 수소연료전지버스 보급과 함께 수소경제 실현에 이바지 할 것으로 예상됨

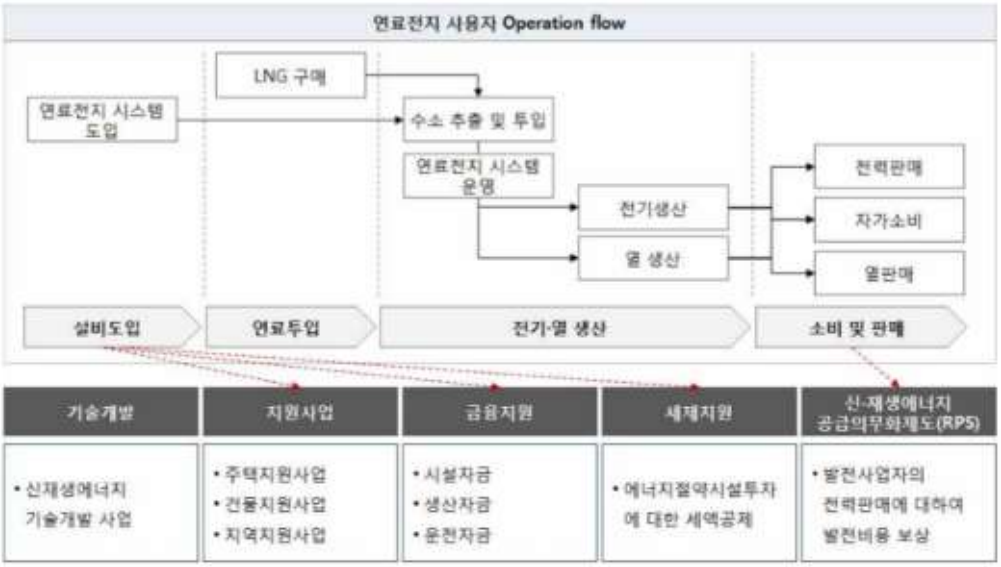
– 연료전지 운영단계 별 지원제도는 아래 그림과 같으며, 다양한 지원제도를 통해 기술개발에 대한 자금을 지원하고 있음

– 국내에서 기술개발 및 실용화를 위한 연료전지 분야에 대한 지원은 가장 높은 비중을 차지하고 있으나, 20년간 연평균 약 134억원의 지원규모로 선진국과 비교 시에는 상당히 낮은 수준으로 지원 자금 확대가 요구되는 상황임



출처 : 제3차 신재생에너지 기본계획

[그림 4.7] 정부의 신재생에너지 시장 확대 목표



출처 : 제3차 신재생에너지 기본계획

[그림 4.8] 국내 연료전지 운영단계 별 지원제도 요약



출처 : 신재생에너지 기술개발사업 자료집

[그림 4.9] 에너지원 별 지원 규모

(3) 수소연료전지 보급 활성화 정책

○ 정부는 연료전지 보급 활성화를 위한 다양한 제도 운영을 통해 에너지 구조의 환경친화적인 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진하고 있으며, 이를 통해 환경보전 및 국가경제의 건전하고 지속적인 발전과 국민복지의 증진을 위해 노력하고 있음

- 신재생 에너지원의 보급 확대를 위한 다양한 제도들이 운영되고 있으며, 수송 분야에서는 수송용 연료에 일정비율 이상의 신재생에너지연료를 혼합하여 공급하는 제도(Renewable Fuel Standard)를 시행(`15.7월)
- 공공기관 건축물의 신재생에너지 공급의무비율 목표를 `20년 20%에서 30%로 상향하

고, 연도별 비율도 단계별로 확대

- 수소연료전지 철도차량은 수송분야에서 위와 같은 정부 정책에 부합할 것으로 판단되며, 국내에서의 기술개발을 통한 실용화 이후에는 정부차원에서의 국제기구와의 협력을 통해 수소산업의 해외진출도 가능할 것으로 판단됨
- 또한 정부차원에서의 수소연료전지 사용 확대에 따른 환경편익, 에너지자급률 등에 대한 편익을 체감할 수 있는 홍보전략 추진을 통한 민간의 적극적 투자를 유도

[표 4.1] 연도별 공공기관 신재생에너지 공급 의무 비율(%)

출처 : 신재생에너지백서

구분	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020~
현 재	12	13	14	15	16	18	20
변 경	12	15	18	21	24	27	30

라. 정부지원의 적절성 및 필요성

○ 현 정부에서는 신재생에너지 보급정책이 활발하게 진행되고 있음에 따라 이를 더욱 증진하기 위해 신재생에너지원인 수소를 활용하는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 정부지원이 적절한

○ 온실가스 저감을 위해 전 세계적으로 많은 정책들이 펼쳐지고 있으며, 온실가스 저감은 국가 주도적으로 진행되어야 하는 만큼 기존 온실가스의 주범으로 나타나는 디젤철도차량의 대체를 위해서 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 국가적 지원이 필요

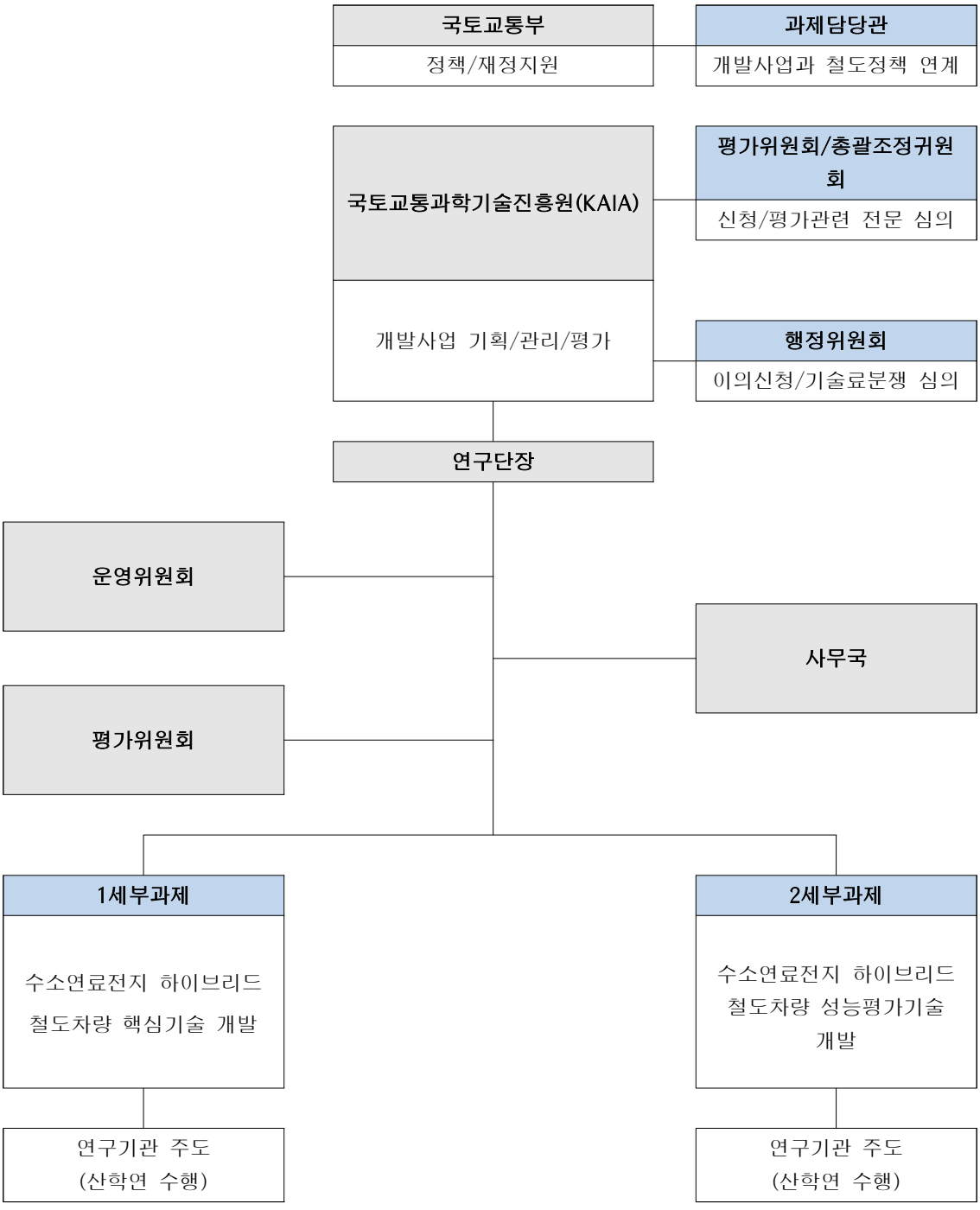
○ 신재생에너지인 수소연료전지의 활용 증진을 위해서 수소충전소 구축등을 활성화하기 위해서 우선, 수소에너지의 활용분야를 넓히고 선전하는 노력이 국가 주도적으로 수행되어야 하며 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발을 통해 수소에너지 활용에 대한 국민들의 인식변화 및 수소충전소 구축에 이바지 할수 있음

2. 사업추진의지

가. 사업 추진체계

○ 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술들을 각각 개발하고 조합하여 성능시험을 목표로 함

○ 2세부과제는 1세부과제의 원활한 진행 및 최종 성능평가 및 실용화를 위한 제반 기술을 개발하고 성능평가를 준비하는 것을 목표로 함



[그림 4.10] 사업 추진체계

나. 정책적 추진의지

○ 본 과제는 국토교통부의 R&D 사업관리체계 개편에 따라 구성된 4개의 사업분야 중 고부가가치 철도차량 기술개발사업의 ‘신재생에너지 적용 철도’ 중점추진분야에 해당되는 과제임

– 국토교통부에서는 친환경 철도에 대한 수요증가와 온실가스 저감, 삶의 질 향상 등 친환경성 증가에 대한 수요 증가로 인해 신재생에너지 적용 자체 동력 철도차량 개발을 개편안에 포함시켜 계획함

[표 4.2] 국토교통부 철도기술연구사업 개편(안)

(단위: 억원)

중점추진부야	2018	2019	2020	2021	2022	합계
에너지 효율 향상	24.4	-	77.2	114.6	133.0	349.2
신재생에너지 적용 철도	**-**	**35.2**	**55.6**	**72**	**42.6**	**205.4**
여객편의 향상	-	90.4	45.0	123.0	95.0	464.4

○ 본 과제를 적용한 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 주요 선진국을 중심으로 점차적으로 도입되고 있으며 지속적으로 기술개발

– 일본의 철도회사인 JR 동일본은 2006년 연료전지와 축전지를 조합해 달리는 하이브리드 열차 주행 시험을 처음으로 공개하였으며, 일본의 철도종합기술연구소가 개발중인 연료전치 열차는 축전지와의 하이브리드 방식으로 세계 최초의 하이브리드 열차임

– 현재 미국에서 진행 중인 가장 큰 하이드레일 사업은 미 국방부의 129톤 250kW의 연료전지-배터리 혼성 입환용 기관차이며 이 사업을 완성하기 위해 10개 회사가 컨소시엄으로 참여

– 프랑스 기업 Alstom은 세계 최초의 무공해 열차를 공개하였으며, 디젤 기차에 견주어 동일한 성능을 가진 수소 연료 전지 Coradia iLint 지방 열차가 독일에서 디젤 기차를 대체할 예정

3. 법·제도적 위험요인 검토 결과

○ 법·제도 기반 마련을 통한 핵심 원천기술 개발 및 상용화 추진

– (수소차량) 국내에서 진행되었던 연료전지자동차 관련 안전기준 및 안전성 평가기술 개발 사례를 바탕으로 철도차량 적용을 위한 안전기준에 관한 규칙을 개정하고, 기존 철도차량에 적용중인 안전기준 시험과 연계하여 제도적 미비점을 지속적으로 보완해야 함

– (수소저장탱크) 수소저장탱크 자체적인 안전성 확보를 위해 국내·외에서 적용 중인 다양한 평가기준을 만족하도록 설계, 제작 및 안전성 시험을 통과해야 함은 물론이고, 철도차량에 적용 시 발생할 수 있는 다양한 상황에서의 내구성 및 안전성 평가를 위하여 추가적인 제도와 법령이 마련되어 함

2절 기술적 타당성

1. 기획과정의 적절성

○ 세부과제의 개발대상 기술들은 논리적으로 타당한 절차를 통하여 선정됨

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 위한 세부 기술은 철도관련 기관의 연구원, 외부전문가 및 자문위원을 대상으로 기술수요조사를 통해 수집된 기술을 목표 부합성, 기술적 시급성, 사업화 가능성, 파급효과 등을 고려하여 대상 기술을 선정함
- 기술수준 분석을 통해 기술 실현시기, 기술 획득방식, 정부개입 필요성, 기술 수준, 중요도 등을 조사
- 수요조사를 통해 도출된 후보 기술에 대해 5명의 외부 전문가를 대상으로 델파이 조사를 수행하여 개발 우선순위를 결정함

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술과 관련된 국내외 정책동향, 시장동향, 기술개발동향에 대한 분석을 수행했으며, 세부 요소기술 조사, 기술개발 인프라, 차량제조업체 및 운영사의 수요, 세부기술의 중요도, 기술개발 성공가능성, 기술의 난이도 등을 종합적으로 고려한 기술개발 계획이 체계적으로 수립되었음

- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발에 필요한 요소기술들을 체계적으로 분류하였으며, 기술개발 계획을 명확하게 제시하였음
- 기술개발 계획의 경우 두 개의 세부과제로 나눠지며 1세부과제는 핵심기술개발을 전담하며, 2세부과제는 1세부과제의 원활한 진행을 위해 제반기술 및 환경 구축을 담당
- 기술개발 성공가능성을 향상시키기 위하여 기술개발 과정에서 직면하게 될 기술적 위험성을 사전에 분석하고 위험요인을 극복하기 위한 추진전략이 구체적이고 체계적으로 제시되어 있음

2. 연구목표의 적절성

○ 본 연구의 최종목표는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발을 총괄목표로 설정하였음

- 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술들을 각각 개발하고 조합하여 성능시험을 목표로 함
- 2세부과제는 1세부과제의 원활한 진행 및 최종 성능평가 및 실용화를 위한 제반 기술을 개발하고 성능평가를 준비하는 것을 목표로 함

○ 본 연구의 목표는 세부과제의 연구내용 별로 개발 목표가 설정되어 있으며, 연구내용 별로 구체적으로 정의하여 적절하다고 판단됨

- 본 연구의 목표는 세부과제의 연구내용 별로 정의되어 있으며, 각 연구내용 별로 최종

개발기술의 산출물을 구체적으로 명시하였음

[표 4.3] 세부과제 개발기술의 최종 산출물

세부과제명	세부 과제별 개발기술의 최종 산출물
수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	1) 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 2) 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 3) 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 4) 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 5) 스마트 에너지 관리시스템
수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	1) 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 2) 철도차량용 제어기 최적 설계 및 사양서 3) 조합시험용 Test Bench 4) 개발품 구성품 및 조합시험용 시험규격서 5) 철도용 수소충전소 사양서 6) 수소충전인프라 및 철도차량 유지보수(안)

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 있어 요구되는 핵심기술 도출 및 확보를 위한 기반 연구 조사를 추진함

– 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 있어 현재까지 진행된 수소연료전지 수송분야 적용 사례와 기존 철도차량의 관련된 개발 사례를 분석하고 이를 바탕으로 기존기술을 활용하면서 개발 목표 달성을 위한 개발 연구의 추진방향 설정 및 이를 위한 기술개발 로드맵을 구축함

– 수요조사를 통해 필요한 기술을 도출하고 이를 바탕으로 핵심기술 및 기술개발 과제 추진 계획 방향을 도출함

○ 세부과제별 기술개발내용은 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 목표를 달성할 수 있도록 상호 보완적이며 체계적으로 구성하였음

– 제 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술들을 세부과제 개발 내용으로 구성함

– 제 2세부과제는 수소충전소구축방안, 성능평가장비구축, 실증을 위한 개조차량 준비, 관련 기술기준 제정준비 등으로 1세부과제의 원활한 진행을 위한 제반 연구를 수행하는 내용으로 구성함

[표 4.4] 본 기획과제의 기술개발 내용

1세부과제	2세부과제
1) 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발 2) 비상전력공급을 위한 상용계통 연계형 전력변환시스템 개발 3) 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발 4) 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발 5) 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	1) 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축 2) 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축 3) 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구 4) 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전 5) 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발

3. 사업추진의 당위성

가. 논리모형 도출

(1) 이슈/문제

○ 프랑스 파리에서 2015년 12월 12일 195개국이 기후변화 대응 노력에 참여한다는 “파리협정”을 수립하였고 세부내용인 온실가스 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 따라 정부는 국내 수송부문 에너지 사용량의 약 1%인 303 천toe(2014년 기준, 에너지통계연보-에너지경제연구원)를 담당하고 있는 철도분야에서 2030년 배출 전방치 대비 37%를 국자감축목표로 설정하여 저탄소경제로의 이행을 통한 국가경쟁력 제고를 위한 선제적 대응이 필요

– 에너지경제연구원의 “온실가스 감축을 위한 세계주요국의 2016년 에너지 정책변환”에 따르면 중국은 2030년까지 GDP 단위당 온실가스 배출을 2005년 대비 60~65%를 감축 미국은 온실가스 배출을 2025년까지 2005년 수준 대비 26~28%를 감축 인도는 GDP 단위당 온실가스 배출을 2030년까지 2005년 수준 대비 33~35%를 감축 EU 회원국들(독일, 프랑스, 영국 등)은 2030년까지 1990년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축 일본은 온실가스 배출을 2030년까지 2013년 수준 대비 26%, 2005년 수준 대비 25.4%를 감축하는 것을 목표로 설정하여 관련 정책을 수행 중

○ 2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물질 배출량은 질소산화물 5,303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예

상하였으며(이는 2013년에 환경부가 조사한 수도권 경유자동차 310만대와 비교하여 각각 약 5% 및 23.7%에 달하는 수준임), 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준 마련되고 점차적으로 엄격해질 것이 예상됨에 따라 친환경에너지를 이용한 철도차량 개발을 통해 환경문제 해결을 위한 대응 필요

- 유럽환경청(European Environment Agency)에서는 EU지역 내에서 2014년 신규 등록된 승용차 및 경상용차(van)의 CO2 배출 모니터링 결과보고서를 발표하였으며, 매년 등록된 자동차의 CO2 배출량은 감소되는 추세를 보이고 있으며, 이는 강화되는 CO2 배출 규제에 따른 현상으로 자동차 제작사는 CO2 배출 기준을 충족하지 못하면 배출량 목표치 1g을 초과할 때마다 자동차 한 대당 95유로(12만원)의 벌금 부과

g CO_2/km	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 (*)	2011 (*)	2012 (*)	2013 (*)	2014 (*)
All fuels (*)	172.2	169.7	167.2	165.5	163.4	162.4	161.3	158.7	153.6	145.7	140.3	135.7	132.2	126.7	123.4
Petrol	177.4	175.3	173.5	171.7	170.0	168.1	164.9	161.6	156.6	147.6	142.5	137.6	133.7	128.5	125.6
Diesel	160.3	159.7	158.1	157.7	156.2	156.5	157.9	156.3	151.2	145.3	139.3	134.5	131.5	126.9	123.2
AFVs (*)	208.0	207.4	179.2	164.7	147.9	149.4	151.1	140.0	137.0	125.8	126.0	124.7	118.5	98.3	90.8

Note: (*) The calculation for 2010-2014 was done without considering out-of-scope vehicles.

(*) Fuel type is available for 95% of the vehicle registrations in 2013.

(*) AFV, alternative fuel vehicle. For the calculation of the average CO_2 emissions of AFVs, pure electric, liquefied petroleum gas (LPG), natural gas (NG), ethanol (E85), biodiesel and plug-in hybrid vehicles (diesel-electric or petrol-electric) are all included.

[그림 4.11] 유럽 등록차량의 CO2 배출 모니터링 결과보고서

- 미국 환경보호국(EPA)과 교통부(DOT)는 2016년 8월 16일 트럭, 버스 등의 중·대형차량(mediumand heavy-duty vehicle)에 적용되는 새로운 연비 및 온실가스 배출 기준을 이전 대비 최고 25% 강화하였으며 그 배경에는 중·대형 차량이 전체 차량에서 차지하는 비율은 5%에 그치지만, 교통 부분 전체 에너지 소비와 배기가스 배출의 약 20%를 차지하며 비중이 점차 증가하고 있기 때문임

○ 친환경, 미세먼지저감, 에너지 독립성등에 대한 경제사회적 요구의 증가에 따라 대량수송용 수소연료전지 시장은 증가될 것으로 예상되나, 정부의 시급성 결여 및 대기업의 기술독점에 따른 국내기업들의 기술경쟁력약화로 인해 수송용 수소연료전지관련 국내산업의 기반붕괴 위험성이 증대되고 있음. - 수송용 수소연료전지시장 확대를 위한 대중교통에 대한 국가주도적 실용화 추진 필요

(2) 목표

○ 수소연료전지 하이브리드 철도 추진시스템 핵심기술 개발

- 에너지 효율 20% 증대
- 교통물류 부분 온실가스 배출량의 0.5% 감소 (철도부분 70% 감소)

(3) 수혜자

○ 수소연료전지분야 관련 기업

○ 철도차량 및 부품 관련 기업

○ 국가 및 국민

○ 운영사 및 지방자체단체

(4) 투입

○ 사업비 : 정부출연금 280억원

○ 연구인력 : 연구기관, 운영사, 학교, 기업

(5) 활동

○ (1세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

- 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발
- 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발
- 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 고출력 밀도 추진시스템 개발
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발

○ (2세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발

- 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
- 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
- 수소충전소구축 및 활용성향상방안연구
- 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전

(6) 산출

○ 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시제품

○ 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템

○ 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템

○ 스마트 에너지 관리시스템

○ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼

○ 철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축

○ 수소충전소 설계사양 및 활용성 향상 방안 연구보고서

○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험결과 및 기술기준(안)

(7) 성과/영향

○ (공해유발요인제거) 2027년 이후 발생하는 노후 디젤기관차 또는 디젤동차의 대체차량으로 활용 (무공해 교통수단)

○ (신개념 철도모델도입) 정부, 지자체 및 철도차량 운영사들에 대한 신재생에너지 인식제고를 통한 2025년 이후 착공예정인 신규차량 도입에 활용(인프라 비용절감, 전력공급시설 필요 없음)

○ (온실가스 감축) 파리기후협약에 따른 온실가스 감축목표(2020년, 30%) 달성에 기여

○ (국가 신성장동력 확보) 수송용 신재생에너지 기술의 대중교통수단으로 확대 적용이 가능한 핵심기술 확보

○ (철도망 운영 유연성 증대) 자연재해, 전쟁 등으로 전원공급이 중단될 경우에도 독립적으로 운행이 가능하고 기존노선은 물론 비전철화 구간의 운행도 가능

○ (국내 기술경쟁력 강화) 수송용 신재생에너지 핵심기술 확보를 통한 국내 기술경쟁력 향상 및 선진국에 대한 국가적 경쟁력 확보

○ (새로운 시장개척 및 고용증대) 신재생에너지를 적용한 철도차량 개발 관련 기존산업 분야를 포함하여 4차산업과의 융합시장의 개척 및 이에 따른 신규사업의 발달로 대규모의 인력 고용효과 발생이 예상됨

(8) 가정

○ 승객과 화물을 대량으로 수송하는 철도분야에 대한 수소연료전지의 적용을 통한 신산업 강화 및 선진국대비 기술경쟁력 향상은 국가 발전의 원동력으로 작용할 것임

○ 에너지빈국에서 에너지자립국으로의 초석이 되는 수소경제사회로의 진입에 대한 기반을 마련하고 침체된 관련 산업들에 대한 참여시장확대를 통해 기업의 자발적 기술투자를 유도하게 되면 국가경제가 활성화되고 고용이 확대되며, 이에 따라 수소를 이용하는 에너지 분야에서 국가의 종합적인 기술경쟁력이 선진국을 추월할 수 있을 것임

4. 기술 개발 성공가능성(기술추세, 기술수준분석)[49)]

가. 기술수준 분석

(1) 기술 추세

(가) 기계•제조•공정 분야

○ 우리나라의 기계•제조•공정 분야 국가전략기술의 기술수준은 최고기술국 대비 83.4%

- 최고기술국 대비 주요 5개국의 기술수준은 미국(100%) > EU(98.9%) > 일본(97.1%) > 우리나라 (83.4%) > 중국(72.3%) 순
- 고부가가치 선박기술, 스마트 자동차기술과 환경 친화 자동차 기술과 같이 수송 분야에 대한 기술수준이 가장 높은 수준

(나) 에너지•자원 분야

○ 우리나라의 에너지•자원 분야 국가전략기술의 기술수준은 최고기술국 대비 77.9%로 추격그룹

- 최고기술국 대비 주요 5개국의 기술수준은 미국(100%) > EU(97.8%) > 일본(92.8%) > 우리나라 (77.9%) > 중국(71.3%) 순

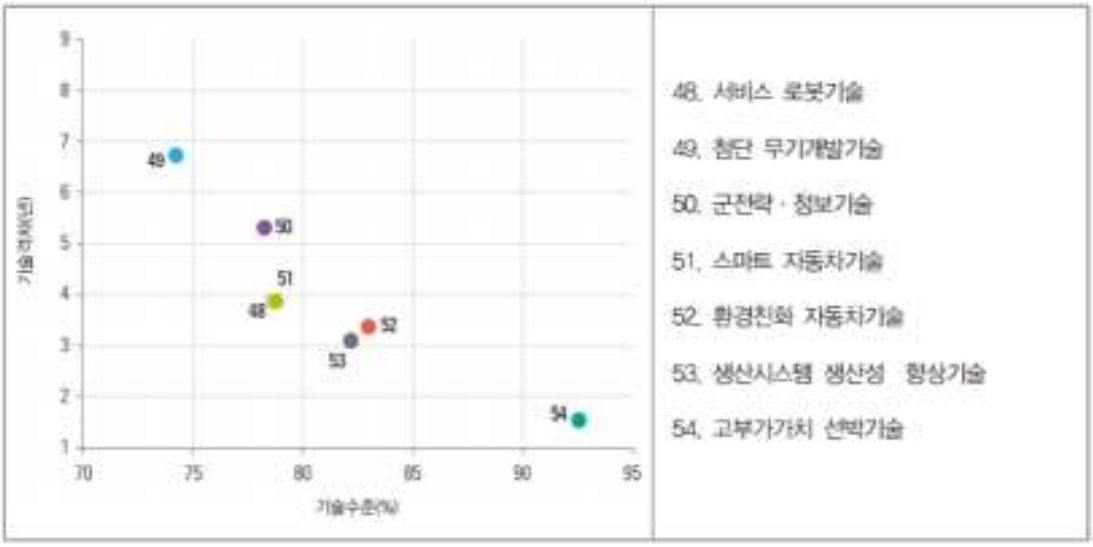
49) 2014년 기술수준평가-120개 국가전략기술, 미래창조과학부, 한국과학기술기획평가원

- 스마트그리그 기술과 태양에너지 기술수준은 상대적으로 높은 수준이나 수소에너지 기술은 상대적으로 낮은 수준

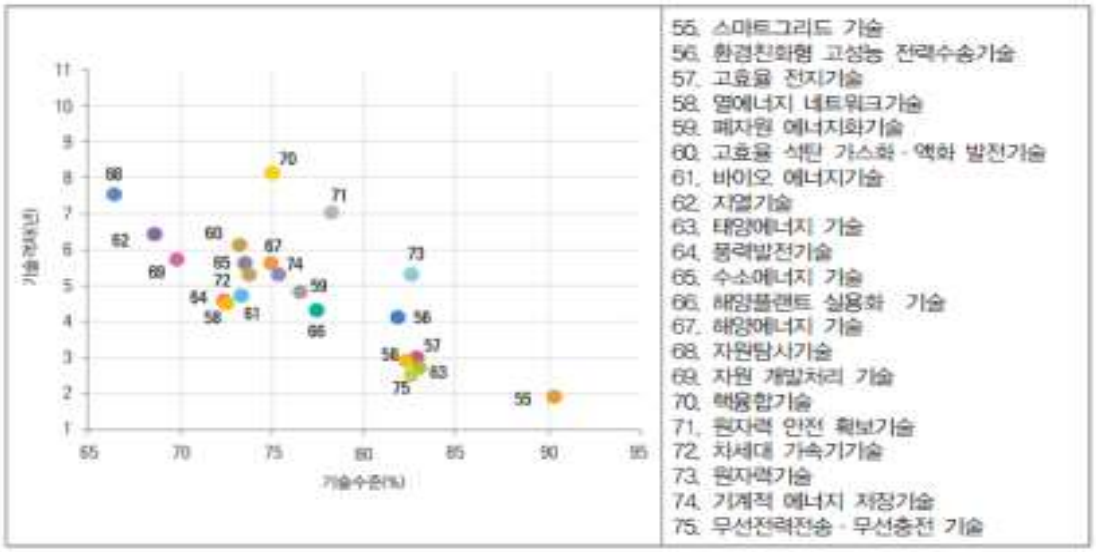
(다) 건설•교통 분야

○ 우리나라의 건설•교통 분야 국가전략기술의 기술수준은 최고기술국 대비 79.6%로 추격그룹

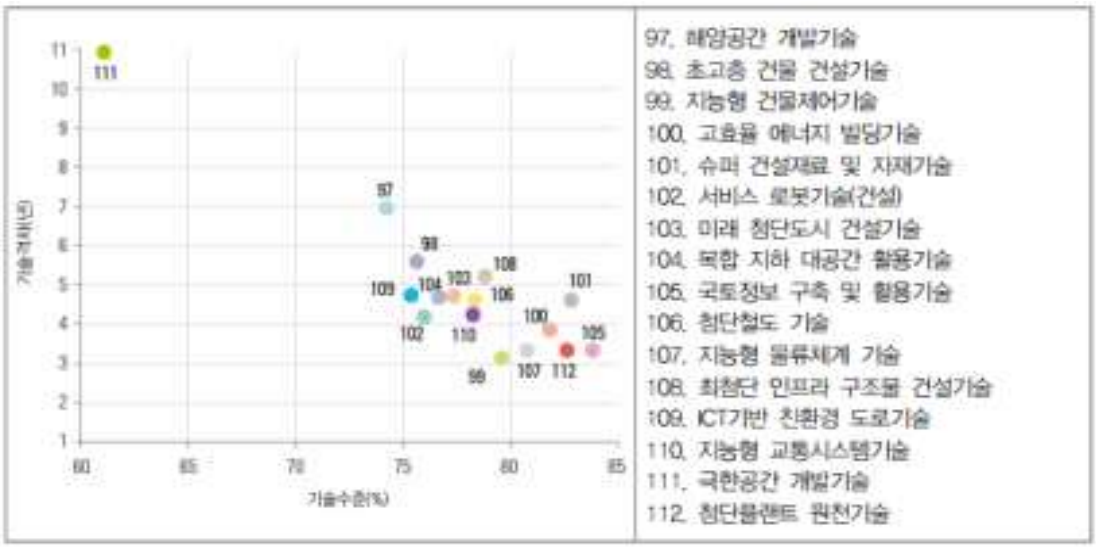
- 최고기술국 대비 주요 5개국의 기술수준은 미국(100%) > EU(98.5%) > 일본(97.0%) > 우리나라 (79.6%) > 중국(67.7%) 순
- 국토정보 구축 및 활용기술의 기술수준은 상대적으로 높은 수준으로 이를 바탕으로 다양한 첨단•친환경 철도 기술 향상 필요



[그림 4.12] 기계•제조•공정 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차



[그림 4.13] 에너지•자원 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차



[그림 4.14] 건설•교통 분야 전략기술의 우리나라 기술수준 및 격차

(라) 기술추세 분석

○ 3절의 기술(특허, 논문 등) 동향에서 알 수 있듯이, 수소연료전지를 이용한 이동식 철도 발전소 기술개발의 분야에 관한 특허와 논문들이 매년 꾸준히 출원되고 발표되고 있음

○ 특허 출원 비중은 미국이 35%로 최다이며, 일본, 중국, 유럽, 한국 순으로 출원되고 있으며, 논문의 경우는 철도차량 구동용 연료전지발전시스템 분야 논문이 가장 많으며, 최근 들어 수소저장기술에 대한 논문이 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있음

○ 선진국의 다양한 환경정책에 힘입어 수소연료에 대한 관심이 증가하면서 많은 기업에서 수소연료전지 기술 개발을 통해 시장을 형성하는 등의 노력을 기울이고 있음.

(2) 관련 논문 및 특서

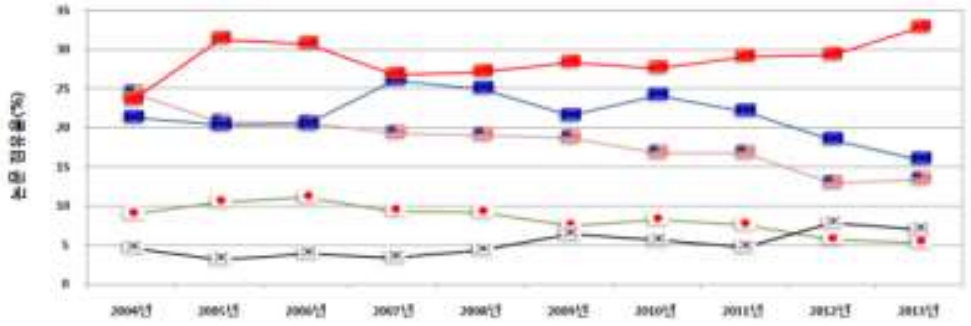
(가) 기계•제조•공정 분야

○ 지난 10년 동안 기계•제조•공정 분야 국가전략기술의 우리나라 논문 점유율 평균은 주요 5개국 중 5위, 논문영향력 지수 평균은 3위임

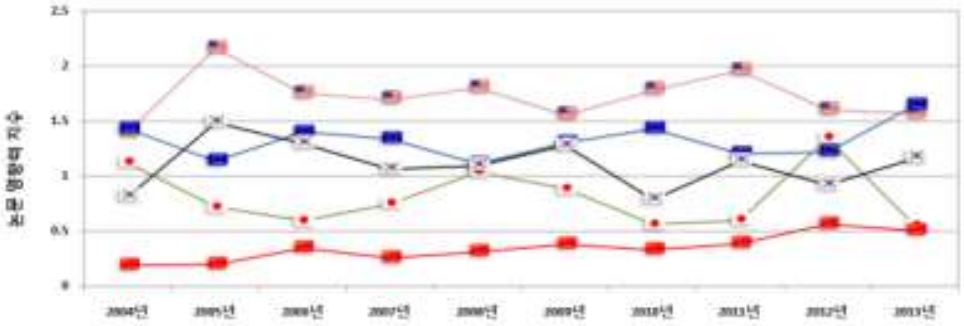
- 지난 10년 간 논문점유율 평균이 가장 높은 국가는 중국이고, 일본은 전반적으로 감소 추세임
- 지난 10년 간 논문영향력 지수 평균은 미국이 1.73으로 비교 대상국 중 가장 높고, 우리나라도 1.10으로 평균 영향력인 1.0보다 높음

○ 지난 10년 동안 기계•제조•공정 분야 국가전략기술의 우리나라 특허 점유율 평균은 주요 5개국 중 4위이고, 특허영향력 지수 평균은 5위

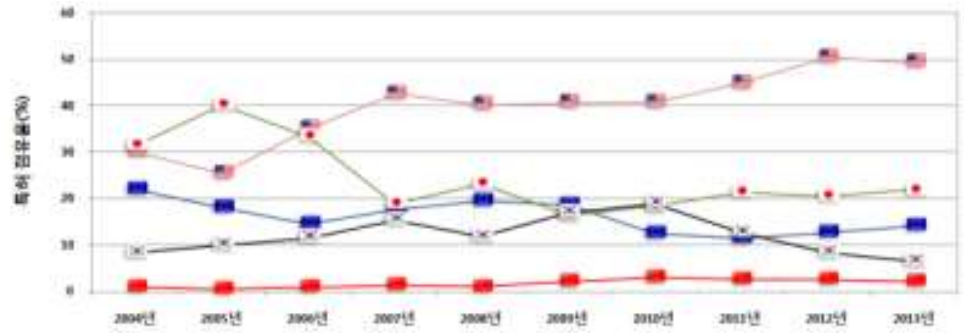
- 지난 10년 간 미국의 특허점유율 평균이 가장 높고, EU의 특허점유율은 전반적으로 하락 추세
- 지난 10년 간 특허영향력 지수 평균도 미국이 가장 높음



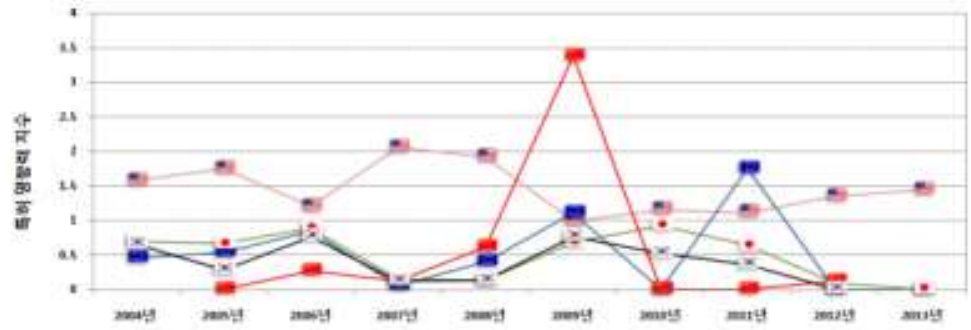
[그림 4.15] 기계•제조•공정 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이



[그림 4.16] 기계•제조•공정 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이



[그림 4.17] 기계•제조•공정 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이



[그림 4.18] 기계•제조•공정 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이

(나) 에너지•자원 분야

○ 지난 10년 동안 에너지•자원 분야 국가전략기술의 우리나라 논문점유율 평균은 주요 5개국 중 5위, 논문영향력 지수 평균은 3위임

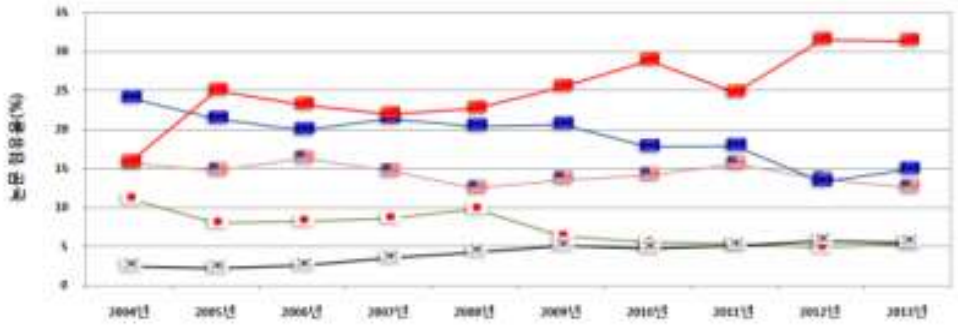
– 지난 10년 간 논문점유율 평균이 가장 높은 국가는 중국이며, 일본과 EU는 전반적으로 감소 추세임

– 지난 10년 간 논문영향력 지수 평균은 미국이 1.40로 비교 대상국 중 가장 높고, 중국은 논문 점유율에 비해 논문영향력 지수는 매우 낮음

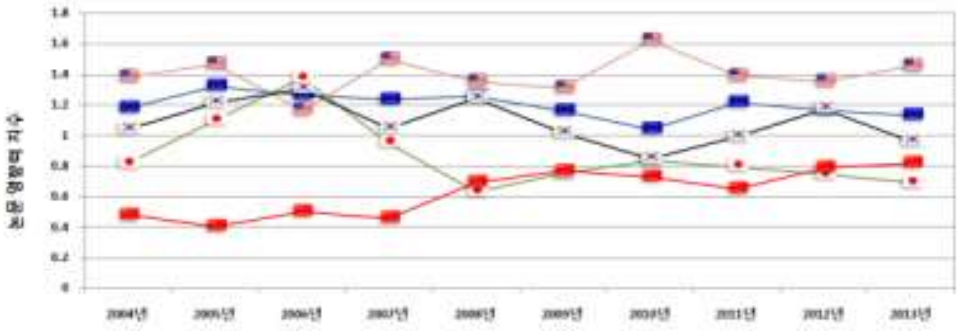
○ 지난 10년 동안 에너지•자원 분야 국가전략기술의 우리나라 특허점유율 평균은 주요 5개국 중 4위, 특허영향력 지수 평균은 5위

– 지난 10년 간 미국의 특허점유율 평균이 가장 높고 지속적으로 증가 추세를 보이고 있으며, 일본과 EU의 특허점유율은 전반적으로 하락 추세

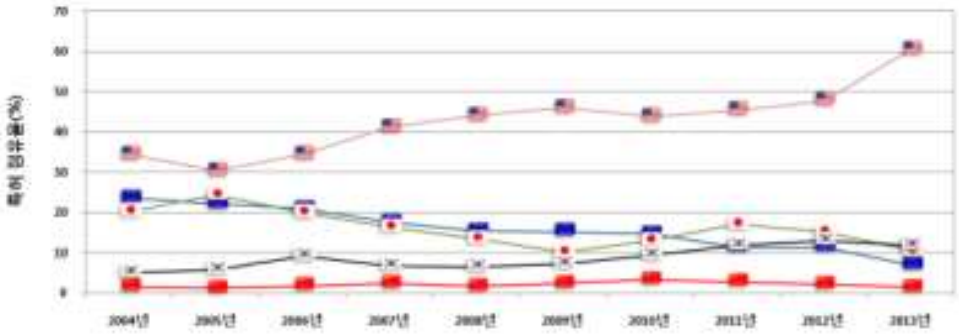
– 지난 10년 간 특허영향력 지수 평균도 미국이 가장 높으며, 중국은 특허점유율에 비해 특허영향력 지수는 비교적 높은 편임



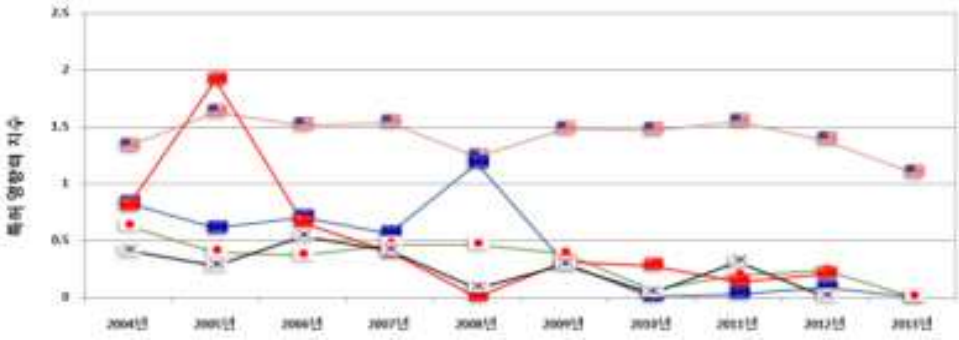
[그림 4.19] 에너지•자원 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이



[그림 4.20] 에너지•자원 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이



[그림 4.21] 에너지•자원 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이



[그림 4.22] 에너지•자원 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이

(다) 건설•교통 분야

○ 지난 10년 동안 건설•교통 분야 국가전략기술의 우리나라 논문점유율 평균은 주요 5개국 중 5위, 논문 영향력 지수 평균은 3위임

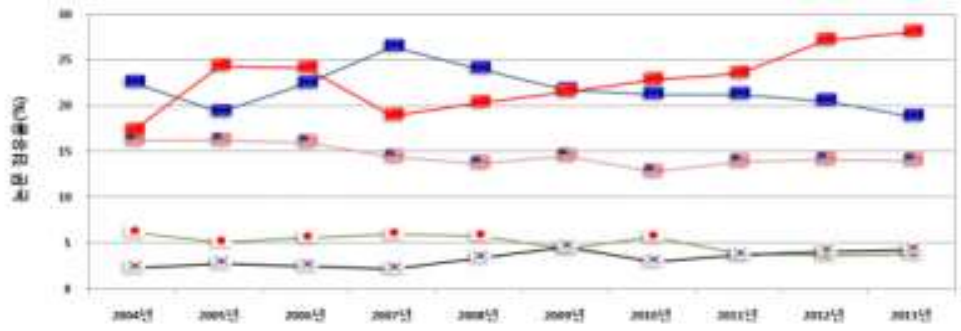
– 지난 10년 간 논문점유율 평균이 가장 높은 국가는 중국이고, 2010년 이후 중국이 꾸준히 1위를 지키고 있으며, EU는 전반적으로 감소 추세임

– 지난 10년 간 논문영향력 지수 평균은 미국이 1.42로 비교 대상국 중 가장 높고, 중국은 논문 점유율에 비해 논문영향력 지수는 매우 낮음

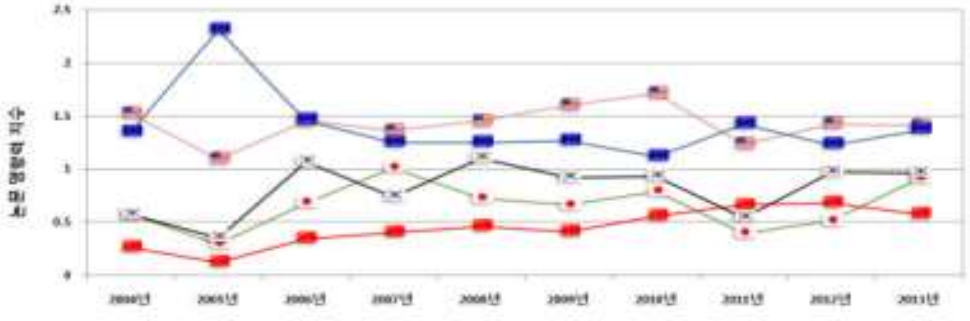
○ 지난 10년 동안 건설•교통 분야 국가전략기술의 우리나라 특허점유율 평균은 주요 5개국 중 4위, 특허영향력 지수 평균은 5위임

– 지난 10년 간 미국의 특허점유율 평균이 가장 높고 지속적으로 증가 추세를 보이고 있으며, 일본과 EU의 특허점유율은 전반적으로 하락 추세임

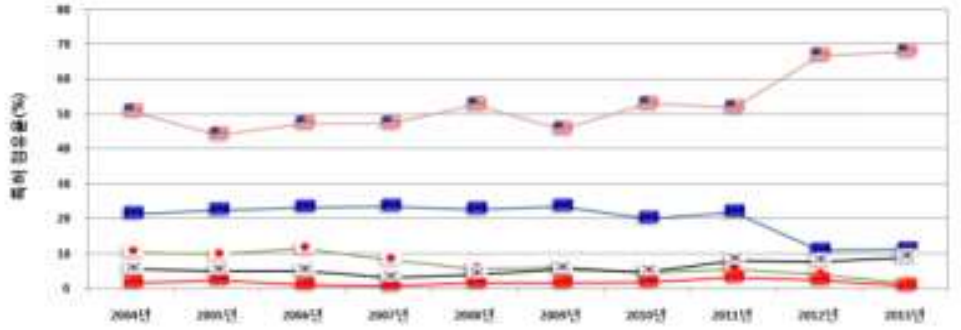
– 지난 10년 간 특허영향력 지수 평균도 미국이 가장 높으며, 일본은 우리나라와 비슷한 특허영향력을 유지하고 있음.



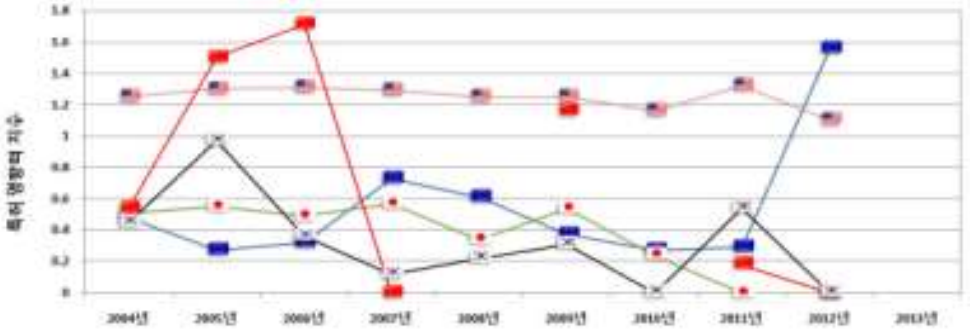
[그림 4.23] 건설•교통 분야 관련 주요국 논문점유율(%) 추이



[그림 4.24] 건설•교통 분야 관련 주요국 논문영향력 지수 추이



[그림 4.25] 건설 · 교통 분야 관련 주요국 특허점유율(%) 추이



[그림 4.26] 건설•교통 분야 관련 주요국 특허영향력 지수 추이

나. 세부기술별 기술수준 분석

(1) 에너지 저장장치

- 차량에 탑재되는 에너지 저장 시스템에 전기를 저장하여 차량의 동력으로 사용하거나, 내연기관 등의 동력을 보조하는 장치
- 일반적으로 전기화학적 산화·환원 반응을 이용하여 전기를 저장하고 내어놓는 리튬이온전지가 가장 많이 사용되고 있음
- 수송용 에너지 저장시스템 핵심기술은 2011년 기준 약 5년 정도의 기술격차를 갖고 있었으나, 2017년 현재 LG화학의 에너지저장장치가 여러 전기자동차 제작사에서 납품되어 사용되고 있는 만큼 국내에 관련기술이 확보되었으며 및 난이도가 세계수준이라는 것을 반증함
- 전기자동차는 철도차량과 비교하여 상대적으로 저장되는 에너지양이 적은 만큼 대용량의 수소용 에너지 저장시스템 구축을 위한 연구가 필요하며, 수용송 이외에 다른 분야(발전용)에 대용량 에너지 저장시스템이 구축되어 있는 만큼 관련기술을 활용하면 쉽게 달성될 것으로 판단됨

[표 4.5] 수송용(전기자동차용) 에너지 저장시스템의 핵심기술 수준 비교

출처 : 그린에너지 전략로드맵 2011

상세 핵심기술	기술 년차 (년)	기술 수준 (%)	현재 기술수준 비교	
			국내	최고선진기술 (기관명/국가)
리튬이온전지				
고체전해질	5	10	연구실규모	오하라 inc, 이데미쯔 흥산, 동경공대, 오사카부립대
계면 제어	3	30	-	토요타, 미에대학
리튬금속 표면 제어	3	30	-	폴리플러스, 사이먼파워
계면 반응 해석	4	30	삼성전자 요코하마연구소	토요타 자동차, 쿄토대학
전지 제조	3	50	GS 칼텍스	이데미쯔, 무라타 제작소, 동경도립대
전지 평가	2	50	현대 자동차	토요타, 르노-닛산
초고용량 슈퍼커패시터				
저가 활성탄 소재기술	5	70	Power Carbon Tech.	Kuraray Chemical
저저항 활성탄 소재 기술	5	60	Power Carbon Tech.	Kuraray Chemical
고신뢰성 전해액 기술	10	50	SK Chemical	Japan Carlit
Low L.C 셀 제조 기술	5	80	LS 엠트론	MAxwell
Module, CMS 기술	5	70	LS 엠트론	MAxwell
시스템 신뢰성 분석 및 수명예측 기술	10	50	LS 엠트론	MAxwell

1) 리튬이온 전지

○ 현재 가장 주목을 받고 있는 리튬이온 전지는 100 ~ 150Wh/kg 수준이며, 이를 약 3배 정도인 300Wh/kg 정도의 에너지밀도까지 기술 개발이 이루어지고 있음

– 리튬이온 전지는 우리나라를 비롯하여 일본, 미국, 중국 등 각국에서 상용화를 위한 개발이 치열하게 진행 중

2) 슈퍼커패시터

○ 전극 표면과 전해액 계면의 전기 이중층 현상을 이용, 이온이 물리적 흡착, 탈착으로 전하를 축전하여, 전기에너지를 저장하는 에너지 저장 장치

– 전극 표면만을 사용, 에너지밀도는 낮고 빠른 충•방전 특성을 가지며, 순간 출력 성능은 전지의 10배, 수명은 5,000,000회 이상으로 교체가 필요없는 친환경 미래 지향적인 에너지 저장 장치

○ 슈퍼 커패시터의 핵심소재인 활성탄의 경우 일본 기업의 독점적인 기술력을 갖고 있음

– 최근 국내 기업의 핵심 소재 사업 참여로 인하여, 단셀•시스템 가격의 시장 요구에 대한 대응이 가능하여, 신규 시장 창출이 가능할 것으로 예측

(2) 수송용 연료전지시스템

1) 연료전지 시스템

○ 수송용 고효율/고출력 밀도 연료전지 시스템 개발은 중온, 중압 조건의 가변 압력 운전이 가능한 100kW 이상 급 연료전지 시스템 및 이를 구성하는 핵심 부품을 의미함

○ 수송 시스템에서 요구되는 상품성 기준은 최대 출력, 순간 출력 응답성, 출력 지속성, 냉각 성능, 주행 안정성, 화재 안정성, 전기 안정성, 조향 성능, 부품 내구성, 주행 거리(연료 탑재성), 편의성, 차량 크기, 최고 속도, 연비 등이 있으며, 이러한 기준들은 차량을 운행하는 다양한 사용자의 요구들을 만족시킬 수 있어야 함

○ 정부의 정책적 지원 및 산업체의 기술 개발 활동 등으로 국내 상압 운전형 수송용 연료전지 시스템 분야 기술 수준은 세계 선두권임

○ 수송용 연료전지 시스템의 핵심기술은 2011년 최고선진기술과 비교적 적은 격차를 보였으며, 2017년 현재는 현대자동차에서 세계최초의 수소자동차 양산인프라를 보유할 만큼 핵심기술이 확보되었으며, 세계최고 수준임

○ 전기자동차는 철도차량과 비교하여 상대적으로 요구되는 에너지양이 적은 만큼 대용량의 연료전지 시스템 구축에 대한 연구가 필요하며, 현재 현대자동차에서 친환경버스용 대용량 연료전지 시스템 구축을 위한 연구가 막바지에 이른만큼 이를 활용할 경우 철도차량용 연료전지 시스템 구축이 가능할 것으로 판단됨

[표 4.6] 수송용 고성능 연료전지 기술의 핵심부품 기술 수준 비교

출처 : 그린에너지 전략로드맵 2011

핵심 부품	성능지표	현재 기술수준 비교	
		국내	최고선진기술 (기관명/국가)
① 스택	스택 출력밀도 (kW/L)	1.4	2.0 (HONDA/일본)
② 공기압축기 ③ 수소공급/재순환기	공기압축기 효율 (%)	N/A	52~53 (OPCON/스웨덴)
④ 가습기 ⑤ 통합 열관리 모듈	시스템 운전온도 (℃)	-20~77	-30~85 (TOYOTA/일본)
⑥ 가변압력 운전 제어기	시스템 효율 (%)	59	58 (DOE/미국)
⑦ 배관, 밸브, 프레임/마운팅 부품	시스템 출력밀도 (kW/L)	620	637 (DOE/미국)
⑧ 국제표준/법규 대응 가능한 평가 기술	연료전지 내구성 (h)	3,000	2,500 (DOE/미국)

- 국내에서 확보된 저온 상압형 연료 전지의 연비, 시스템 효율, 소음, 시스템 제어의 용이성 등의 장점을 유지하면서 저온 고압형 연료 전지의 장점인 출력 밀도, 냉각 성능, 외기 변화 대응성의 장점을 보완할 수 있는 중온 가변 압력 연료 전지 핵심 부품들 및 시스템 개발이 필요함

2) 수소 인프라

○ 수소연료전지를 이용한 수송 시스템의 실용화를 위해서는 기술 개발을 통한 내연 기관차 수준의 가격 절감, 부품 인프라 구축, 수소 인프라, 법규 및 표준 등의 사양이 필요하며, 초기 시장을 위해서는 정부의 초기 시장 육성 전략이 필요함

○ 현재 수소스테이션의 부재로 국내 보급 가능성이 미지수로 수소연료전지를 이용한 수송 시스템을 구축하기 위해서는 체계적인 인프라 구축 계획이 필요함

- 국내 설치된 수소 스테이션은 현재 약 14개소로 (가동 중지 4개소, 운용 중 10개소) 실용화를 위한 실증 사업이 불가한 실정

○ 수소연료전지를 이용한 수송시스템의 미래 상용화를 위해서는 수소 스테이션 용량이 승용차량 500~1000대를 만족해야 하며, 이를 달성하기 위해서는 상용 화급 수소 제조 장치의 개발과 70Mpa급 이상의 수소 충전 시스템의 기술 개발이 필요로 함

- 수소 제조 설비의 성능 향상 및 수소 가격 저감을 위한 기술 개발로, 촉매 개발 및 단위공정을 통합하여 열효율 및 반응 효율을 증대시키며, 수소 제조 및 분리가 동시에 일어나는 막 반응 공정 기술 개발 등 각 단위별 요소 기술 개발 및 최적화가 필요함

○ 수소 인프라의 핵심기술은 2011년 최고선진국 수준의 약 80% 정도의 수준을 보유하였지만, 현재까지 국내에 수소 인프라가 크게 증가하지 않은 만큼 2017년 현재 기술수준도 유사할 것으로 판단됨. 하지만, 수소 인프라의 경우 국가적 정책방향에 영향을 크게 받는 만큼 충분한 정책지원에 의해 세계최고수준의 기술 확보가 가능할 것으로 판단됨

[표 4.7] 수소연료전지를 이용한 수송시스템 실용화 인프라의 기술 수준 비교

출처 : 그린에너지 전략로드맵 2011

세부 핵심기술	기술년차 (년)	기술수준 (%)	현재 기술수준 비교	
			국내	최고선진기술 (기관명/국가)
상용화급 수소제조장치 개발	4	80	30Nm^3/hr	268Nm^3/hr
	4	80	65%	71%
70Mpa 수소충전시스템	4	70	1.0kg/min	1.7kg/min
	2	95	70Mpa	70Mpa 이상
수소인프라 표준화 및 모듈화	5	70	-	compact화

3) 수소저장용기 안전성

○ 수소저장장치는 내연기관의 가솔린 혹은 경유의 연료공급장치에 해당되며, 수소를 700bar로 저장하는 고압용기와 고압수소를 스택에 공급하기 위한 고압밸브 및 배관류, 고압용기에 압력이나 온도가 증가할 경우 수소를 방출하고 용기파손을 보호하는 안전장치가 속해 있음

○ 고압용기는 개발 초기에는 메탄올 등을 개질해 수소를 사용하는 On-board 형태의 수소저장시스템이 이용됐으나 차량운전 환경조건에서 개질기 기술을 확보하기 어려워 현재는 가격, 내구성, 안전성 등이 확보된 수소기체를 고압으로 압축해 사용하고 있음

○ 고압밸브와 배관류는 고압의 수소를 저장용기에 탑재하기 위해 수소연료 주입구, 고압배관, 압력조절밸브, 자동제어밸브, 수소센서 등 여러 가지 부품이 필요

○ 안전장치의 경우 진동, 충격, 반복사용, 온도 등에서 수소 누설이나 용기파손으로부터 운전자를 보호하기 위한 부품

○ 수소저장용기는 현재 상용화 수준의 안전 확보를 갖고 있으며 수소차 업계에서는 총 14가지 항목(파열, 극한 반복가압, 화염, 총격, 낙하 등)에 대한 수소저장용기 안전성 인증을 수행하고 있으며, 수소차와 결합하여 총 13가지 항목(정면, 후방, 측면 충돌시험 및 고 전압, 수소 누출 등)의 충돌 및 수소누출 등에 대한 수소차 자체의 안전성 테스트를 수행하고 있음

4) 고압수소 용기/배관용 재료 평가 기술

○ 수소취화가 발견된 것은 20세기 초로, 수소와 금속조직 내의 탄화물이 환학반응하여 메탄 기포가 금속 조직애네 발생하는 수소침식으로 불리는 수소반응취화를 의미하고 금속과 반응하여 수소화합물을 만드는 경우도 포함됨

○ 연료전지 자동차의 경우와 같이 고압수소 저장에서는 재료가 고압수소 하에서 이용되기 때문에 수소가 직접 작용하는 수소가스취화와 고압수소가 재료내로 침입함으로써 생기

는 내부가역추소취화의 두현상이 외관상 특징이 여러면에서 상당히 다르므로 구별해 조사할 필요가 있음

- ○ 수소 관련 재료의 역학적 특성을 평가하기 위해서는 재료를 수소에 노출시켜야 하며 이를 위한 여러 가지 방법이 제안되고 있으며, 국내를 포함한 미국, 일본, 유럽 등에서 초고압수소 환경 하의 현장에서 역학적 특성을 평가할 수 있는 설비를 구축해 특성 확인

5) 수소침투 차단막 기술

- ○ 고강도 강재에서 주로 문제시 되었던 수소취성의 경우 최근 연구에 따르면 알루미늄 합금에서도 발생하는 것으로 보고되어 이러한 침투를 차단하는 기술이 필요하며 해결책으로 제시된 것이 고밀도 내막을 형성하여 수소의 침투를 방해하거나 수소의 투과를 차단하는 기술로 일반적으로 nm 입도를 갖는 미세점토를 라이너 내부에 도초하는 방법이 사용되고 있음
- ○ 국내에서는 35MPa급 Type IV 용기를 양산하고 있는 ㈜케이시알은 친유성 나노점토를 폴리에틸렌 수치에 함침시킨 고밀도층을 가진 라이너를 이용하여 수소의 침투와 투과를 효율적으로 차단하고 있음 (대한민국특허 2005-003081857)
- ○ 일본 산업기술종합연구소(AIST)의 경우 탄소섬유강화플라스틱(CFRP) 필름과 1nm 내외의 두께를 갖는 점토필름을 적층하여 최종 10~100um의 두께를 갖는 고밀도 수소차단층을 개발

6) 수소 누출 감지기술

- ○ 수소를 검출할 수 있는 기존의 센서들은 점(point)센서로 수소차 내에서 활용을 목적으로 개발이 진행되고 있으며 개방되어 있는 곳(수소충전소, 수소발전소 등)에서는 효율적인 수소 검출에 한계가 있음
- ○ 현대자동차의 수소차의 경우 수소저장탱크에 탑재된 센서는 주변온도나 충격을 감지해 때에 따라 수소방출을 차단하거나 저장된 수소를 완전 방출함으로써 안전성 확보
- ○ 미국, 유럽 및 일본 등 원거리에서 폭발하는 농도인 4%의 보다 낮은 1% 이하에서 수소의 누출을 검출하는 기술과 가시화 기설을 접목하여 미량의 수소가 어디에서 어느 정도 누출되는지에 애한 정량적인 정보를 얻고자하는 연구에 집중하고 있음
- ○ 국내의 경우 센서에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있으나 공간적으로 미량의 수소를 검출하고자 하는 연구는 다소 미합한 상황에서 한국표준과학연구원에서는 라만분광을 사용하여 원거리에서 비접촉으로 수소 누출을 감지할 수 있는 기술개발에 대한 연구를 시작

(3) 추진 시스템

1) 구동 모터

- ○ 구동모터는 기존의 엔진을 대체하는 핵심 부품으로서, 시장에서는 구동모터의 고효율화, 고출력 밀도화, 저가격화, 고 내구성, 낮은 소음/진동 특성을 요구하고 있음
- ○ 현재 수소연료전지를 이용한 수송시스템의 대용량 전기 Power Train을 고려할 때, 고

출력 모터 설계 기술 확보가 우선적으로 요구되며, 구동 모터를 정해진 공간 제약하에서도 높은 출력밀도를 갖도록 개발함으로써 차량 전체 시스템의 Compact화 효율성 증진 등의 목표를 달성할 수 있음

- 구동 모터의 핵심기술은 2011년 기술격차는 약 4년, 기술수준은 세계최고수준의 약 85%를 나타냈으며, 현재 철도차량에서 사용되는 전장품의 국산화와 전기차의 핵심부품 국산화 완료를 통해 세계최고수준의 90% 이상까지 도달하였다고 판단됨

2) 인버터/컨버터

- 전기 구동 모터를 구동하기 위해서 필수적으로 필요한 것이 인버터이며, 배터리를 충전하고 차량의 각종 전장부품 및 기기들을 동작시키기 위해 필요한 것이 컨버터 부품
- 인버터/컨버터의 고밀도화 및 저가격화를 위해서는 핵심요소 부품인 고밀도 전력반도체 모듈과 함께 인덕터, 커패시터 등의 소형화 개발이 필수적
- 안정적인 모터 구동 및 효율 극대화를 위한 고효율, 고밀도 인버터•컨버터 기술 개발이 필연적이며, 핵심 요소인 전력 반도체 소자, 구동 및 보호 회로, 상호 접속 기술, 시스템 패키징 및 방열 관리 기술 등의 융합으로 저 손실, 고 신뢰성, 저가격을 달성하기 위한 통합적 기술 개발이 요구됨
- 인버터/컨버터의 핵심기술은 2011년 기술격차는 약 4년, 기술수준은 세계최고수준의 약 80%를 나타냈으며, 현재 철도차량에서 사용되는 전장품의 국산화와 전기차의 핵심부품 국산화 완료를 통해 세계최고수준의 90% 이상까지 도달하였다고 판단됨

[표 4.8] 수소연료전지를 이용한 추진시스템의 핵심 공용 부품 기술 수준 비교

출처 : 그린에너지 전략로드맵 2011

세부 핵심기술	기술년차 (년)	기술수준 (%)	현재 기술수준 비교	
			국내	최고선진기술 (기관명/국가)
자기회로 설계기술	3	90	모터효율 94%	모터효율 96%
구동모터 제작기술	4	85	출력밀도 1.0kW/kg	출력밀도 1.2kW/kg
고밀도 인버터 기술	4	80	전력밀도 4.0kW/L	전력밀도 5.4kW/L
고밀도 컨버터 기술	3	85	효율 91%	효율 93%
고밀도/고신뢰성 전력반도체 모듈 기술	6	70	600V 400A 2-pack	600V 800A 6-pack
EV VCU용 HW 플랫폼	3	80	-	EV 전용 VCU HW
EV VCU용 SW 플랫폼	5	70	-	EV전용 VCU SW

(4) 수소연료전지 적용관련 자동차, 버스 철도차량 비교

○ 자동차 분야에서 선행연구 된 기술은 활용될 수 있으나, 철도차량용 수소연료전지 하이브리드 추진시스템 개발을 위해서는 현재 수송용으로 적용된 최대 용량인 200kW 보다 큰 400kW 급 이상의 수소연료전지스택 구축이 필요하며, 철도차량의 높은 에너지회수율 고려한 하이브리드 시스템 설계 및 구축과 철도차량의 높은 내구연한으로 인한 수소연료전지 하이브리드 추진시스템의 전장품 신뢰성 등이 연구개발에 추가적으로 고려되어야함

○ 주행패턴이 일정한 철도차량의 경우 수소연료전지/이차전지 하이브리드 시스템의 에너지 흐름이 예상가능하기 때문에 전장품의 고수명 운전을 통해 자동차분야에서 문제점으로 대두되고 있는 신뢰성(내구연한) 문제 해결가능

[표 4.9] 수송분야 수소연료전지 차량 비교

차종 / 비교항목	자동차 (현대투싼ix35)	현대수소연료전지 버스	철도차량 (개발목표사양)	비고	
중 량	1.5톤	15톤	88톤		
수소연료전지종류 및 용량	PEMFC, 100kW	PEMFC, 200kW	PEMFC, 400kW 이상	BOP 포함	공기공급장치 수소공급장치 열및물관리장치 공조장치 BOP제어기
휠종류/노선	고무/도로	고무/도로	철제/레일		
속도	160km/h	103km/h	110km/h		
1회충전주행거리	415km	440km	500km이상		
제동방식 (에너지회수율)	유압식, 회생(낮음)	유압식, 회생(낮음)	공기식, 회생(높음)		
주행패턴	운전자에 따름	운전자에 따름	가속-타행-감속		
수소탱크압력 (수소양)	700bar (5.64kg)	350bar (40kg)	700bar 이상		
내구연한	20만km	20만km	25년		

다. 기술개발 성공 가능성

○ 세부과제 별 연구내용과 관련하여 기술적 위험요인을 사전에 정의하고, 위험요인 극복을 위한 연구개발 추진전략을 수립하여 기술개발의 성공가능성을 향상시키고자 함

세부기술	기술적 위험요인	연구개발 추진전략
수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	· 전력변환시스템을 대용량 수소연료전지에 적용한 사례 부족	· 국외 사례 및 논문 등을 통한 대용량 전력변환시스템에 대한 간접적인 검증 절차 철저
비상전력공급을 위한 상용계통 연계형 전력변환시스템 개발	· 철도시스템의 상용계통연계 시 요구사항 미 조사	· 비상전력공급을 위한 전력변환시스템의 설계사양 도출은 운영처의 의견 반영 필요
영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 추진시스템 개발	· SiC 기반의 반도체 소자의 적용 경험 부족	· 국외 사례 및 논문 등을 통한 SiC 기반 반도체 소자를 이용한 전력변환장치 설계 절차 검토 철저
수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발	· 국내 대용량 수소연료전지/2차전지 동력 시스템 관련 부품산업 및 요소기술 기반 취약	· 다양한 소자/부품 공급자를 발굴하여 기술 종속 탈피
연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	· 비율 선정관련 연구 사례가 없음에 따라 고려요소 도출 경험 부족	· 관련 전문가의 자문등을 통해 비율 선정 시 고려사항 도출
철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	· 기업의 기술개발 환경 미흡	· 설계검증 연구 경험이 풍부한연구소 중심의 연구진구성
수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	· 국내외 관련 규격 및 인증기준 정보부족에 따른 공인된 신뢰성 확보에 어려움	· 국내외 규격 및 인증기준 조사 및 분석을 통하여 주요 구성품 조합시험에 대한 규격화된 시험절차 및 방법 구축
수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	· 수소충전 및 충전소관련 요소기술들에 대한 국내시장형성이 이루어지지 않아 국내 기업들의 해당 제품에 대한 개발노력이 미진함에 따라 해외의존도가 높음	· 수소충전 및 충전소관련 국내 타 연구개발사업 추진기관과 협력하여 국내 기업이 개발한 해당 요소기술의 현장적용성 평가를 추진하고 이를 통하여 관련 품질규격(안) 도출
수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증시험 및 운전	· 신기술의 적용에 따른 안전 및 신뢰성 평가를 위한 법/제도/기술기준이 마련되어 있지 않음	· 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 기술기준(안) 구축
수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	· 구성품 기술기준 수립에 있어 제조사 간의 이해관계충돌	· 품평회를 통해 제조사 간의 의견 청취 및 취합

5. 기존 사업과의 중복성

○ 철도관련 유사과제는 2건으로 무가선 하이브리드 저상트램은 가선없이 이동이 가능하다는 면에서 디젤 하이브리드 철도차량은 두 에너지원(디젤,배터리)를 혼합해서 사용한다는 면에서 수소연료전지를 이용한 철도차량과 유사성이 있음

○ 하지만, 무가선 하이브리드 저상트램은 배터리 충전을 위해서 전기 공급이 필요하며, 단거리 운행을 위한 철도차량을 목표로 진행된 것으로 현재 운행 중인 장거리 디젤 철도차량을 대체하기에는 역부족

○ 또한, 한국철도공사에서 국가비상사태를 위해 독립적인 에너지원을 갖은 철도차량을 보유해야하며 현재 디젤차량이 이 역할을 수행하고 있고, 이를 대체하기 위해서 외부에서 전기 공급이 필요한 철도차량은 적합하지 않아 활용될 수 없음

○ 현재 국내에서 운행 중인 장거리 디젤 철도차량은 전체 철도 차량의 환경오염 물질 배출의 큰 비중을 차지하며 전 세계적으로 CO2 저감에 대한 규정이 강화되고 있는 점을 고려할 때 기존 디젤차량에 비해 오염물질을 조금 감소시킨 디젤 하이브리드 차량은 적절한 해결책이 될 수 없음

○ 또한 디젤 철도차량의 경우 내구연한이 25년이며 점차 그 수명이 다하고 있고 정부는 이를 2030년 까지 점차적으로 친환경 철도차량으로 교체할 예정이므로 기존의 장거리 디젤 철도차량을 대체할 수 있는 친환경 철도차량 개발이 급선무

○ 따라서, 수소연료전지를 이용한 철도차량은 현재 운행 중인 장거리 디젤 철도차량ㅐ과 국가비상사태를 위해 독립적인 에너지원을 갖춘 디젤차량을 대체할 수 있는 유일한 친환경차량이며 향후 그 필요성과 중요성이 점차 부각될 것으로 전망

[표 4.10] 철도관련 기존연구와의 차별성

	특징	기존연구와의 차별성
무가선 하이브리드 저상트램	- 2차전지와 유가선을 통한 하이브리드 동력원을 이용하여 가선과 무가선의 운행조건을 동시에 충족 가능 - 에너지 소모의 최소화 및 유지보수성을 고려한 차량 설계 적용 - 무가선 운전이 가능하나 전기공급이 필요 - 배터리 용량등을 고려하면 장거리 운행이 불가능함 - 장시간의 배터리 충전시간 필요	- 수소 탱크 추가를 통한 장거리 운행 가능 - 수소 충전 시간이 매우 짧기 때문에 연료 공급 시간을 단축할 수 있음 - 기존의 철도를 이용할 수 있어 추가적인 인프라 비용을 줄일 수 있음
수소연료전지를 이용한 이동식 철도발전소 기술개발	- 철도변전소 피크부하관리와 전압강하보상, 전력품질보상에 연료전지 발전소 시스템 활용 - 실험실 레벨의 축소모델구축 및 테스트 - 원천기술확보	- 기존 연구에서 사용된 축소모델은 극히 한정적인 조건에서 수행되었으나 앞으로 진행할 과제는 실증 테스트를 위주로 수행 - 원천기술의 실용화
연료전지 하이브리드 전동차	- 기획단계의 검토 - 온실 저감을 위한 가이드라인으로 연료전지 하이브리드 전동차 제시	- 연구수행을 위한 세부연구계획 기반의 실제 연구수행 - 실증테스트를 통해 수소연료전지 하이브리드 전동차가 온실 저감을 위한 대책이라는 것을 입증 가능
디젤-하이브리드 철도차량	- 단순 기준대비 오염물질배출 저감 - 장거리 운행가능	- 기존 연구는 하이브리드 시스템이긴 하지만 주 동력원은 디젤을 사용하기 때문에 오염물질이 발생하나, 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발은 오염물질 배출없음

3절 경제적 타당성 분석

1. 비용 추정

가. 연구개발비용

본 사업의 연구개발기간은 핵심기술개발을 2018년에서 2022년까지 5년간, 상용화기술개발을 2023년에서 2027년까지 5년간 총 10년으로 계획하였으며 각각 280억원씩 총 560억원의 연구비를 제시하였다. 연차별 투입계획은 다음과 같다.

[표 4.11] 연차별 연구개발비용 투입계획

(단위: 백만원)

년도	2018년	2019년	2020년	2021년	2022년	합계
핵심기술개발	2,000	13,000	9,500	2,000	1,500	28,000
년도	2023년	2024년	2025년	2026년	2027년	합계
상용기술개발	2,000	10,000	6,000	5,000	5,000	28,000

자료: 소요예산 투입계획

나. 상용화비용

차량의 상용화를 위한 비용은 차량의 도입가격으로 가정하였다. 도입가격은 기관차 량당 150억원/량으로 추정하였으며 연료전지 스택 (60억원/스택)의 가격을 포함한 금액이다.

디젤기관차의 수명은 예비타당성조사 지침 등에서 30년으로 제시되고 있으며, 현재 보유중인 대부분의 특대형 디젤기관차 차량이 차령 20년 이상의 노후차량으로 이루어져 있어 장래 신규차량의 개발 및 도입 준비가 필요하다.

[표 4.12] 연차별 연료전지기관차 발주계획

(단위: 량)

년도	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
수명도래대수 (대)	31	11	4	6	8	23	32	23	30	30	10
누적폐차대수 (대)	31	42	46	52	60	83	115	138	168	198	208
사용가능대수 (대)	202	191	187	181	173	150	118	95	65	35	25
비축비율(227대 대비)	89%	84%	82%	80%	76%	66%	52%	42%	29%	15%	11%
비축부족분 (대)	25	36	40	46	54	77	109	132	162	192	202

자료: 철도통계연보

한편 전시 재난 등 상황에서 발전소 파괴나 전차선 단전 등으로 전기기관차를 운행할 수 없는 상황을 대비해 비상대비자원관리법에 따라 일정 규모의 디젤기관차(227대)를 보유하도록 하고 있다. 본 평가에서는 이를 고려하여 장래 예측되는 비축 부족분 202량을 본 사업 성과품인 연료전지기관차로 대체하는 것을 가정하여 상용화 대안을 수립하였다. 차량은 제작일정을 고려하여 연간 40량씩 5년에 걸쳐 발주하는 것으로 가정하였다.

[표 4.13] 연차별 연료전지기관차 발주계획

(단위: 량)

년도	2028년	2029년	2030년	2031년	2032년	합계
발주량수	42	40	40	40	40	202

[표 4.14] 특대형 디젤기관차 보유현황

도입연도	종별 보유대수(량)						합계(량)
	7100호대	7200호대	7300호대	7400호대	7500호대	7600호대	
2015	.	.	.	.	.	25	25
2001	.	.	.	10	.	.	10
2000	.	.	.	30	.	.	30
1999	.	.	.	30	.	.	30
1998	.	.	.	14	9	.	23
1997	.	.	21	.	11	.	32
1996	.	.	23	.	.	.	23
1995	.	.	8	.	.	.	8
1994	.	.	6	.	.	.	6
1993	.	.	4	.	.	.	4
1992	.	.	11	.	.	.	11
1984	1	.	.	.	.	.	1
1983	1	.	.	.	.	.	1
1981	.	1	.	.	.	.	1
1979	11	.	.	.	.	.	11
1976	.	1	.	.	.	.	1
1972	.	.	.	.	16	.	16
합계	13	2	73	84	36	25	233

자료: 철도통계연보

2. 편익 추정

가. 편익항목의 식별 및 추정방법

(1) 편익항목의 식별

본 사업의 편익항목은 기술개발사업 성공에 따른 수입대체 편익과 관련 수출편익이 있으며, 또한 제품 상용화를 통해 철도운행비용의 절감 및 배출가스 저감 등의 사회적 편익을 포함한다.

[표 4.15] 편익의 구성 및 내용

구성	내용	비고
기술개발 사업을 통한 편익	수입대체편익	기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 편익
	수출편익	기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 편익
제품 상용화를 통한 편익	환경비용절감편익	제품 상용화를 통해 배출가스 저감이 이루어짐에 따른 사회적 환경편익 증가분
	운행비용절감편익	제품 상용화를 통해 열차 운행비용이 절감됨에 따른 편익
	기관차비축편익	비상대비자원관리법에 따른 기관차 법적 의무비축 물량을 충족시킴에 따른 편익

(2) 편익항목별 추정방법

(가) 수입대체 편익

기술개발로 인해 국내 시장에서 수입제품이 아닌 국내제품을 도입함에 따른 수입대체편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{수입대체편익} = \text{국내 업체의 생산대수} \times \Sigma(\text{개별 가격} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \times \text{연도별 국내시장 점유율} \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율}$$

(나) 수출편익

기술개발로 인해 국제 시장에 제품을 수출함에 따른 수출편익은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{수출편익} = \Sigma(\text{해외 수출규모} \times \text{기술개발 성공률} \times \text{사업화 성공률}) \times \text{부가가치율} \times \text{R\&D기여율}$$

(다) 환경비용 절감편익

교통부문사업에 따른 환경영향으로는 대기오염, 수질오염, 소음, 진동, 지반침하, 식물 및 동물 등 생태계 영향, 경관변화, 지구온난화 등을 들 수 있으나, 이러한 다양한 환경적 변화 요소에 대해 모두 환경가치를 추정하는 것은 결코 용이한 작업이 아니다.

그 영향의 정도 자체를 파악하는 것이 힘든 경우도 있을 뿐만 아니라 설사 엄밀하게 영향을 파악한다고 해도 이를 경제적 가치로 환산하는 것은 보다 많은 불확실성을 내포하기 때문이다. 따라서 비교적 영향의 정도가 크고 환경영향에 대한 평가 및 가치화가 용이한 대기오염에 초점을 맞추어 환경비용을 추정하였다.

각 분석연도의 대기오염비용 절감편익(The Valuation of Pollution Costs Savings: VOPCS)은 다음과 같이 표현된다.

$$VOPCS = VOPC_{\text{사업미시행}} - VOPC_{\text{사업시행}}$$

여기서, $VOPC = \sum_{k=1}^{2}(D_{lk} \times VT_k \times 365)$

D_{lk} = 차종별(k) 대−km

VT_k = 차종별(k) km당 대기오염비용

k = 차종(1: 디젤기관차, 2: 수소연료전지기관차)

대기오염물질별 대기오염 비용 원단위는 다음과 같다,

[표 4.16] 대기오염 비용 원단위

오염물질	CO	HC	NOx	PM	CO2
비용 (원/kg) (2007년 기준)	7,877	9,155	9,477	30,941	42.4
비용 (원/kg) (2016년 기준)	9,671	11,240	11,636	37,990	52.0

자료: 한국개발연구원, 『도로 · 철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 · 보완 연구(제5판)』, 2008.

오염물질별 배출계수는 다음과 같다.

[표 4.17] 오염물질 배출계수

오염물질	CO	HC	NOx	PM	CO2
디젤기관차(구형) (g/km)	162.67	10.70	172.70	31.59	12,925.77
수소연료전지차 (g/km)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

자료: KOTEMS

(라) 운행비용 절감편익

각 연도의 차량운행비용 절감편익(VOCS)계산은 다음과 같이 표현된다.

$$VOCS = VOC_{사업미시행} - VOC_{사업시행}$$

단, $VOC = \sum_{k=1}^{2}(D_k \times VT_k \times 365)$

D_{lk} = 차종별(k) 대−km

VT_k = 차종별(k) km당 주행비용

k = 차종(1: 디젤기관차, 2: 수소연료전지기관차)

주행비용 원단위는 다음과 같다,

[표 4.18] 차종별 주행비용

차종	주행비용 (원/km)
디젤기관차(구형)	4,545
수소연료전지차	2,558(-1,987)

자료: 본 사업 기획보고서 연비계산

(마) 기관차비축편익

한편 디젤기관차는 비상대비자원관리법에 따라 최소 소요대수 (227량) 이상을 운영할 필요가 있다. 따라서 최소 비축수량을 계속적으로 유지하기 위한 신규 디젤기관차의 도입 비용 지출은 필수적인 사회적 지출비용이라고 볼 수 있다.

한편 본 사업 연구개발 성과품인 연료전지기관차가 디젤기관차를 대체할 경우 그 대수 만큼 디젤기관차를 구입하지 않을 수 있으므로 디젤기관차 비축비용을 절감할 수 있다. 따라서 디젤기관차 대체량수에 디젤기관차 신조금액을 곱한 금액을 기관차 비축편익으로 정의하였다.

$$VODS = VOD_{사업미시행} - VOD_{사업시행}$$

단, $VOD = P \times (S - N)$

P = 디젤기관차 비축비용 (량당 가격)

S = 디젤기관차 비축 필요대수

N = 연료전지기관차의 디젤기관차 대체대수

2015년 신규 도입된 7600호대 디젤전기기관차의 량당 도입가격은 60억원이므로 이를 고려하여 대체량수 1량당 비축편익 원단위도 동일하게 60억원/량으로 설정하였다.

나. 기술 수요 전망

(1) 산업 전망

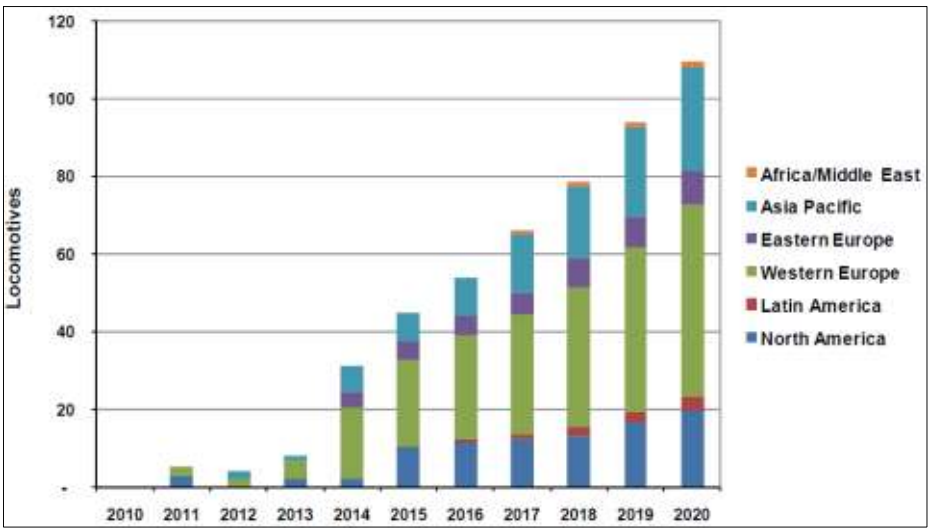
독일 철도통계 전문기관인 SCI Verkehl에 따르면 세계 철도시장은 2014년 기준 209조 원으로 연평균 3.4% 성장해 2018년 230조원 규모에 달할 것으로 전망되며 이 중 철도차량은 60%를 차지하며 차량구매와 유지관리가 각각 50%를 차지한다. 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 시장 점유율은 2.4%로 나타난다.

[표 4.19] 글로벌 철도차량업체 별 철도차량 시장 점유율

업체	국가	점유율
CNR	P.R.China	15.0%
CSR	P.R.China	14.9%
Bombardier	Canada	8.7%
Alstom	France	7.4%
TMH	Russia	6.8%
Siemens	Germany	4.0%
GE	U.S.A.	3.3%
CAF	Spain	2.4%
Hyundai Rotem	S.Korea	2.4%
Others		35.1%

자료: SCI Verkehl (2014)

또한 Pike Research의 "Hybrid Locomotives (2010)" 전망에 따르면 디젤연료에 대한 엄격한 배출기준 적용 등으로 인해 수소연료전지차를 포함한 하이브리드 전기기관차의 수요는 2014년을 기점으로 큰 폭으로 증가할 것으로 예상되어 2020년에는 전세계적으로 연간 109~174대의 하이브리드 기관차가 판매될 것으로 전망되었다.



자료: Pike Research (2010)

[그림 4.27] 세계 하이브리드 기관차 시장 전망

(2) 부가가치율 및 R&D 기여율

한국은행과 통계청에서 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균을 본 사업을 통해 발생하는 철도차량산업의 추가적인 매출에서 부가가치가 차지하는 비중으로 가정하였다. 한국은행 및 통계청이 발표한 철도차량산업의 업종 부가가치율의 평균은 29.3% 정도이다.

[표 4.20] 철도차량산업의 부가가치율

	2007년	2008년	2009년	2010년	평 균
부가가치율	32.20%	31.95%	26.98%	25.91%	29.26%

자료: 한국은행

또한 본 사업의 기술개발 활동이 부가가치의 창출에 어느 정도 기여하였는가를 추정하기 위하여 R&D 기여율을 추정한다. 이전의 유사 사업에 대한 예비타당성조사에서 가정하였던 방법론을 원용하였다. 평균은 26.2% 정도이다.

[표 4.21] 우리나라 R&D 스톡의 성장기여도

연구자	STEPI(2007)	신태영(2004)	하준경(2005)	문소상(2004)	평 균
연구기간	1971~2004	1981~2002	1991~2000	1981~2002	26.2%
성장기여도	30.6%	28.1%	22.7%	23.3%	

자료: 각 연구

다. 편익추정 결과

(1) 기술개발사업에 따른 편익

(가) 수입대체 편익

현재 보유중인 디젤기관차의 내구연한(25년) 도래에 따른 대·폐차(2015년 도입 25량 제외)로 향후 200량 이상의 기관차 내수 수요가 발생할 것으로 예상된다. 수요처가 한정된 제품인 기관차의 특성 상 본 평가에서는 내수물량 전망치를 본 평가에서 제시한 장래 상용화 계획의 발주예정 물량으로 인용하였다.

[표 4.22] 분석기간 중 연차별 연료전지기관차 내수수요 가정

(단위: 량)

년도	2028	2029	2030	2031	2032	2058	2059	2060	2061	2062	계
발주량수	42	40	40	40	40	42	40	40	40	40	404
폐차량수	0	0	0	0	0	42	40	40	40	40	202
보유량수	42	82	122	162	202	202	202	202	202	202	202

자료: 철도통계연보

도입가격을 150억원/량(연료전지 포함)으로 가정하고 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 수입대체 편익은 대당 5.75억원/년으로 추정되었다.

(나) 수출편익

Pike Research의 "Hybrid Locomotives (2010)" 가 예측한 하이브리드 전기기관차의 글로벌 수요는 2020년에 연간 109~174대에 이르고 있다. 또한 2015년~2020년 간의 연평균 성장률은 13.5%에 이를 것으로 전망되고 있다. 국내 업체인 현대로템(Hyundai Rotem)의 시장 점유율인 2.4%를 고려하면 2020년 경에는 연평균 3대의 기관차 수출이 가능할 것으로 전망된다. 수출가격을 150억원/량(연료전지 포함)으로 가정하고 국산화율(50%), 부가가치율(29.26%)과 R&D기여율(26.20%)을 반영한 첫 년도의 수출편익은 연간 17.25억원/년 으로 추정되었다. 또한 시장전망에 따라 10년 간 연평균 10%의 성장률을 가정하였다.

(2) 기술도입에 따른 편익

개발된 차량을 상용화하여 기존 디젤기관차(233량)의 전부 또는 일부를 대체할 경우 발생하는 환경비용 및 운행비용 절감편익을 산출하였다. 비상대비자원관리법에 따른 최소 디젤기관차 소요대수(227량) 중 2015년도 도입된 신형 7600호대 디젤기관차 25량을 제외한 202량을 대체대상으로 가정하였다.

대체대상 기관차인 디젤기관차의 연도별 주행거리(기관차키로)는 다음과 같다.

[표 4.23] 연도별 기관차키로 (디젤기관차, 단위:km)

	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
기관차키로(km/년)	39,124,663.6	42,989,265.8	42,635,956.6	35,532,847.5	31,347,919.7
보유대수(량)	262	256	227	250	233
대당 평균키로	149,330.8	167,926.8	187,823.6	142,131.4	134,540.4

자료: 철도통계연보

(가) 환경비용 절감편익

2015년 기관차 1대당 평균 연간 주행거리인 134,540.4km를 고려한 환경비용 절감편익은 매년 1,477.35억원/년으로 추정되었다.

[표 4.24] 환경비용 절감편익

보유량수(대)	대당주행거리(km)	총주행거리(대.km)	편익 원단위(원/대.km)	편익총량(억원)
202	134,540.40	27,177,160.8	5,575	1,477.35

(나) 운행비용 절감편익

2015년 기관차 1대당 평균 연간 주행거리인 134,540.4km를 고려한 운행비용 절감편익은 매년 540.01억원/년으로 추정되었다.

[표 4.25] 운행비용 절감편익

보유량수(대)	대당주행거리(km)	총주행거리(대.km)	편익 원단위(원/대.km)	편익총량(억원)
202	134,540.40	27,177,160.8	1,987	540.01

(다) 기관차 비축편익

기관차 비축편익은 내구연한이 도래한 비축기관차 1량을 대체발주할 때마다 량당 60억원으로 추정되었다.

3. 경제성 분석

가. 경제성 분석의 전제

경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2038년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2028년에서 2032년까지 5년으로 가정하였다. 편익발생기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2062년까지 30년간으로 분석하였다.

재투자의 경우 차량은 30년, 연료전지는 10년 마다 재투자가 이루어지는 것으로 분석하였다. 분석기간 종료시점에 차량 및 연료전지의 잔존가치는 최종년도 비용에 음의 값 형태로 반영하여 감가상각비를 반영할 수 있도록 하였다.

나. 경제성 분석 결과

분석 결과 B/C는 1.05로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타났다.

[표 4.26] 경제성 분석 결과 (2016년 현재가치 환산)

	비용 (억원)	편익 (억원)	B/C	NPV (억원)
연구개발 부문	420.57	877.02	2.09	456.45
상용화 부문	20,245.98	20,846.19	1.03	600.21
합 계	20666.55	21536.01	1.05	1056.66

주) 사회적 할인율 5.5%

[표 4.27] 연구개발 부문의 경제성 분석 결과

연도	연구개발 비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2018	20	20	18.9	0		0	0
2019	130	130	116.09	0		0	0
2020	95	95	80.18	0		0	0
2021	20	20	15.94	0		0	0
2022	15	15	11.31	0		0	0
2023	20	20	14.24	0		0	0
2024	100	100	67.3	0		0	0
2025	60	60	38.16	0		0	0
2026	50	50	30.05	0		0	0
2027	50	50	28.4	0		0	0

연도	연구개발 비용	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	수입대체 편익	수출증대 편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2028		0	0	241.48	64.48	305.96	164.3
2029		0	0	229.98	70.93	300.91	152.56
2030		0	0	229.98	78.02	308	147.53
2031		0	0	229.98	78.02	308	139.52
2032		0	0	229.98	78.02	308	131.82
2033		0	0	0	78.02	78.02	31.52
2034		0	0	0	78.02	78.02	29.8
2035		0	0	0	78.02	78.02	28.17
2036		0	0	0	78.02	78.02	26.6
2037		0	0	0	78.02	78.02	25.2

[표 4.28] 상용화 부문의 경제성 분석 결과

연도	신규차량 구매비	연료전지 구매비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	운행비용 절감편익	환경비용 감소편익	기관차 비축편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2028	3780	2520	6300	3383.1			2520	2520	1353.24
2029	3600	2400	6000	3042	108	295.47	2400	2803.47	1421.36
2030	3600	2400	6000	2874	216	590.94	2400	3206.94	1536.12
2031	3600	2400	6000	2718	324.01	886.41	2400	3610.42	1635.52
2032	3600	2400	6000	2568	432.01	1181.88	2400	4013.89	1717.94
2033			0	0	540.01	1477.35		2017.36	815.01
2034			0	0	540.01	1477.35		2017.36	770.63
2035			0	0	540.01	1477.35		2017.36	728.27
2036			0	0	540.01	1477.35		2017.36	687.92
2037			0	0	540.01	1477.35		2017.36	651.61
2038		2520	2520	768.6	540.01	1477.35		2017.36	615.29
2039		2400	2400	691.2	540.01	1477.35		2017.36	581
2040		2400	2400	652.8	540.01	1477.35		2017.36	548.72
2041		2400	2400	616.8	540.01	1477.35		2017.36	518.46
2042		2400	2400	583.2	540.01	1477.35		2017.36	490.22
2043			0	0	540.01	1477.35		2017.36	463.99
2044			0	0	540.01	1477.35		2017.36	437.77
2045			0	0	540.01	1477.35		2017.36	413.56
2046			0	0	540.01	1477.35		2017.36	391.37
2047			0	0	540.01	1477.35		2017.36	369.18
2048		2520	2520	435.96	540.01	1477.35		2017.36	349
2049		2400	2400	393.6	540.01	1477.35		2017.36	330.85

연도	신규차량 구매비	연료전지 구매비	비용합계 (할인전)	비용합계 (할인후)	운행비용 절감편익	환경비용 감소편익	기관차 비축편익	편익합계 (할인전)	편익합계 (할인후)
2050		2400	2400	372	540.01	1477.35		2017.36	312.69
2051		2400	2400	350.4	540.01	1477.35		2017.36	294.53
2052		2400	2400	331.2	540.01	1477.35		2017.36	278.4
2053			0	0	540.01	1477.35		2017.36	262.26
2054			0	0	540.01	1477.35		2017.36	248.14
2055			0	0	540.01	1477.35		2017.36	236.03
2056			0	0	540.01	1477.35		2017.36	221.91
2057			0	0	540.01	1477.35		2017.36	209.81
2058	3780	2520	6300	617.4	540.01	1477.35	2520	4537.36	444.66
2059	3600	2400	6000	558	540.01	1477.35	2400	4417.36	410.81
2060	3600	2400	6000	528	540.01	1477.35	2400	4417.36	388.73
2061	3600	2400	6000	498	540.01	1477.35	2400	4417.36	366.64
2062	-13356	-8904	-22260	-1736.28	540.01	1477.35	2400	2017.36	157.35

4절 타당성 검토 종합

1. 기술개발투자의 시급성

○ 2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물질 배출량은 질소산화물 5,303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예상하였으며 이는 2013년에 환경부가 조사한 수도권 경유자동차 310만대와 비교하여 각각 약 5% 및 23.7%에 달함.

○ 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준 마련되고 점차적으로 엄격해질 것이 예상됨에 따라 대안이 필요하며 수소연료전지 차량은 완전한 친환경차량이면서, 에너지 독립형 차량으로 디젤기관차의 기능수행이 가능함 (CO2 최대 361,113 톤/년 저감)

○ 환경부의 2016년 12월 1일자 발표에 따르면 2018년 1월부터 고농도 미세먼지 발생시 “비상조치” 시행함에 따라 디젤기관차 배출저감기준 신설 및 전기 화물차 보급 등 신규과제 추가·보완을 요구하고 있음.

- 개발대상인 4400대 디젤전기관차는 2000년이후부터 약 50량이 운행 중에 있고 2025년에는 노후화되어 교체가 필요함. 이에 따라 2020년부터 차량교체를 위한 준비가 필요함(본과제의 1단계완료시점과 일치 및 실용화를 위한 2단계가 완료되면 2025년 노후차량 대체가 가능함)

○ 국제기후협약에 따른 배출가스 저감을 위해 1차적으로 고려된 CNG는 대중교통인 버스에서 이미 적용되었으며, CNG 버스의 경우 디젤 버스와 비교하여 미세먼지는 크게 감소하나 이산화탄소는 30% 저감 효과만 있어 앞으로 계속적으로 강화될 온실가스 국제기후협약 대체에 있어 한계를 지님

○ 국내에서 사용하는 에너지의 95.2%(2014년도 기준)를 해외에 의존하고 있고 에너지원 중 석유에 대한 의존도는 38.1%를 차지하고 있으며 그 가운데 수송부문의 에너지 사용량은 국가 전체 사용량의 약 17.6%를 점유하고 있으므로 에너지의 해외의존도를 줄이고 국내 에너지 자립의 필요성이 높아지고 있음.

- 수소연료전지 에너지는 기존 에너지 효율이 30% 정도인 내연기관보다 훨씬 높은 50% 이상의 효율을 가지고 있어 경제적이고 효율적인 철도 차량 구동을 가능케 함

- 수소연료전지를 이용한 철도차량을 기존 내연기관인 디젤기관차(7400호대)를 기준으로 서울에서 부산 운행 시 필요한 연료량과 그에 따른 연비를 비교 분석하면 다음과 같음 (기존 디젤기관차 대비 최대 2배 연비향상 가능)

2. 정부 상위계획과의 부합성

○ 국내에서 수소연료전지를 위한 다양한 정부의 정책들이 마련되어 있으며, 국제 사회의 기후변화 대응 및 에너지 정책과 더불어 현 정부가 추진하고 있는 ‘6대 에너지 정책’

과 ‘신재생에너지 3020 이행계획’ 등 청정에너지 중심의 친환경적인 에너지 보급 확대 목표 달성을 위해 수송분야의 수소연료전지 철도차량 기술개발은 다양한 정책적 측면에서 상위 정부 계획에 부합함

- 현 정부는 수송 및 산업 부문에서 미세먼지 저감을 위해 경유차에 대한 규제를 강화하고 전기차와 수소차 등의 지원을 대폭 확대하는 등의 친환경차 관련 정책을 내세우고 있으며, `17년 9월까지 수소차량 관련 사업기본계획을 마련하여 ‘수소경제사회 실현’을 앞당기고 있는 것으로 판단되며, 이에 수송 분야에서 수소연료전지 철도차량은 수소연료전지 자동차와 더불어 정부의 정책 방향에 부합하다고 판단됨
- 또한 수소연료전지 철도차량은 국내에서 운행되고 있는 4000호대 디젤기관차 59량, 7000호대 디젤기관차 233량을 대체 시 연간 이산화탄소 배출량을 약 36만톤 저감할 수 있을 것으로 기대되며, 이는 국내에서 정부 차원에서의 신재생에너지 보급 및 산업 육성을 위한 ‘2030 에너지 신산업 확산전략’ 및 ‘온실가스 감축 로드맵’, ‘제 4 차 신재생에너지 기본계획’ 등의 정책 목표에 부합하다고 판단됨

○ 국토교통부 철도기술연구사업 개편에 본 과제의 내용이 포함되어 있어 사업추진 의지가 확실히 있으며 국외에서 수소연료전진 철도차량 개발 및 실용화 시도가 이루어지고 있어 연구 개시가 시급한 상황임

○ 올해 환경부는 수소차 보급을 확대하기 위해 150억원을 들여 수소충전소 10기를 더 확보하고 `25년까지 LNG, 수소, 전기차를 모두 충전할 수 있는 복합휴게소를 200기 설치하겠다는 목표 및 노선버스 연료를 천연가스 및 수소연료전지로 전환하겠다는 등의 계획을 통해서 친환경차의 보급 증진을 위한 수소사용 및 저장, 수소충전소 관련법들의 승인과 변경이 이루어질 예정이며, 이는 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발에 있어 긍정적인 요소임. 주요 핵심 장치(수소저장탱크, 수소연료전지 등)에 대한 인증 및 기술기준이 수소자동차에 의해서 개발되고 수행되고 있어 이를 바탕으로 철도차량에 적합한 인증절차 추가 및 기술기순 수립이 가능

3. 경제적 타당성 결론

○ 비용추정은 연구개발비용을 5년간 정부출연금 280억원으로 제시하였고 상용화 비용은 수소연료전지 기관차의 도입가격은 기관차당 150억/량으로 추정하였고, 제작일정을 고려하여 연간 40량씩 5년에 걸쳐 발주하는 것으로 가정

○ 편익추정은 기술개발사업에 따른 편익으로서 수입대체편익과 수출편익으로 구분하여 추정하였고 기술도입에 따른 편익으로서 환경비용절감편익, 운행비용 절감편익, 기관차비축편익으로 구분하여 추정함

○ 경제성 분석은 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제5판)에 의거하여 수행하였다. 연구개발에 의한 편익발생기간은 2028년에서 2038년까지 10년간으로 분석하였으며, 상용화 사업기간은 2028년에서 2032년까지 5년으로 가정하였다. 편익발생기간은 차량내구연한을 고려하여 상용화 사업종료 후 30년인 2062년까지 30년간으로 분석하였다.

○ 이러한 분석결과 BC는 1.05로 연구개발 및 상용화의 경제성이 있는 것으로 나타남.

4. 정부 미지원시 문제점

○ 철도시스템의 에너지 자립 불가

- 신규 원자력발전소 건설 축소 및 신재생에너지의 주요 국가 에너지원으로 활용이 전 세계적인 흐름이며 현 정부에서도 관련 정책을 펼치고 있음에 따라 전기에너지를 활용하는 철도도 막대한 에너지를 소비하는 시스템임을 고려하면 전기에너지 절약 대상에서 자유로울 수 없음
- 내연기관을 이용한 에너지 자립은 전 세계적으로 내연기관이 관련된 많은 규제를 바탕으로 배척되고 있는 현 시점에서 적절한 해결책이라고 볼 수 없음
- 수소연료전지는 수소를 통해 전기에너지를 생산하는 자립형 에너지원으로 내연기관의 에너지원들과는 달리 친환경 에너지원으로 친환경 이미지를 갖고 있는 철도시스템에 매우 적합함

○ 친환경 철도시스템 이미지 유지 불가

- 현재 국내에 운행 중인 디젤 내연기관을 이용한 철도차량의 교체 시기가 도래하고 있음에 따라 대체가 필요하며 친환경인 수소연료전지 철도차량 개발이 필요
- 디젤 내연기관 철도차량은 배기가스 및 미세먼지 배출 등의 주원인으로 손꼽히고 있으며, 전 세계적으로 디젤 내연기관에 관련된 규제들이 쏟아지고 있고 현 정부도 동참

○ 고부가 가치 철도차량 기술 보유를 위한 연구시기 놓침

- 과거에 철도차량 개발에 있어 세계적으로 진행되었던 고속화 경쟁이 이제는 효율적이고 경제적인 스마트 철도로 변화됨에 따라 고부가 가치 철도차량 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 수소연료전지를 이용한 철도차량 개발을 통해 고부가 가치 철도차량 기술 보유 필요
- 수소연료전지 철도차량은 기존 철도시스템과 다른 동력원을 사용하는 시스템으로 관련된 많은 고부가 가치 기술 보유 가능

○ 수소경제사회 진입 시기 지연

- 신기후체제가 시작됨에 따라 각 국가별 온실가스 저감목표 실현을 위한 신재생에너지와 환경기술의 중요성이 대두되고 있어 기존 화석연료 대비 CO2 배출이 현저히 감소 가능한 수소에너지 경제사회로의 전환은 필수
- 국토부, 산업부 환경부 공동으로 주체한 국회신재생에너지포럼(2017.04.07.)에서 수소경제사회 실현을 위한 정책 방향 설정 대토론회 개최
- 수소연료전지 철도차량의 도입은 현 수소에너지가 갖고 있는 부정적인 이미지(안전적 측명, 비용적 측명 등)를 개선시킬 수 있으며 궁극적으로 수소경제사회로 전환에 큰 이바지 할 것으로 판단

제5장 자원투입계획

1절 연구시설 및 장비투입계획

수소연료전지 하이브리드 철도핵심기술개발과 관련하여 총 2세부 10개 제안기술을 도출하여 인력, 장비 및 소요예산 산정을 과제성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 연구비 분배를 수행하였음. 그리고 세부과제 중 핵심기술 개발부문과 개조차량을 통한 실차검증 부문은 본 과제의 핵심이므로 그 중요도에 따라 많은 연구예산을 책정함.

○ 총 10개 제안기술의 예산 배분은 과제성격, 연구기간, 연구내용, 개발목표의 수준을 고려하여 합리적인 인력투입과 연구비 분배를 수행함

○ 세부과제 중 핵심기술 개발부문과 개조차량을 통한 실차검증부문은 본 과제의 핵심이므로 그 중요도에 따라 많은 연구예산을 책정함

○ 1세부에서 장비 및 하드웨어 개발이 필요한 기술 개발과제의 경우 시제품 제작비 등을 반영하여 1~3차년도에 조기 연구성과를 도출하여야 함

○ 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼에 관한 과제는 개발된 제어기관련 소프트웨어에 대한 검증 및 실차와 유사환경에서 실차에 대한 성능평가를 가상의 주행환경에서 재현하기 위한 신개념 차량설계 및 성능검증시스템으로 과제의 중요성에 따라 예산을 배분함.

○ 1세부에서는 핵심기술의 개발 및 적용을 목표로 하는 과제로 2세부에서 개발된 조합시험 Test Bench에 적용하여 올바른 성능평가가 이루어 질 수 있도록 연구장비 구입 및 시작품 제작에 보다 많은 예산을 배분함

투입계획			연구시설 및 장비목록	용도	비용(억원)		비고
과제		연차	품명		수량	단가	
1세부	1-1	2~5	제어알고리즘 해석툴 파형분석기 전력분석기 직류전원장치	알고리즘 개발과 데이터측정 및 분석용	1	3	
	1-2	2~5	제어알고리즘 해석툴 능동부하시험기 교류전원장치	알고리즘 개발 및 파일럿 시스템 제작	1	2.9	
	1-3	1~5	다중물리해석툴 스펙트럼분석기	영구자석전동기 해석 및 시작품 제작	1	3.7	
	1-4	2~5	임피던스 분석기	연료전지 및 2차전지 전기적 특성 분석	1	1	
	1-5	1~5	네트워크 분석기	통신인터페이스 및 프로토콜 분석	1	0.5	
2세부	2-1	2~4	실부하 모의환경 플랫폼 가상주행환경시험기	제어알고리즘 및 제어기 설계검증 및 실차 유사환경 검증용	1	5	
	2-2	1~5	실차모의 조합시험기 능동부하기	핵심기술 시작품 조합 성능평가용	1	6	
	2-3	2~5	수소누설검지기 수소압력게이지 수소유량계	수소충전시 안전확보 및 수소충전관련 데이터측정용	1	1	
	2-4	1~5	속도검출기 제동압력게이지 적외선 온도검출기 GPS위치분석기	개조차량내 온도분포 및 차량속도 측정용	1	3	
	2-5	1~5	자료저장용 서버	각종 데이터등의 연구결과물 및 자료등의 저장용	1	1	

2절 인력투입계획

○ 1세부과제는 2-4차년도가 집중소요기간이며, 1-2차년도에 상세제원 및 시제품 설계제작에 관한 연구개발을 집중 수행하고 3-5차년도에 기술수요자, 실무자의 피드백을 받아 현장 적용성 측면에서 연구를 수행함

○ 2세부과제는 1-3차년도가 집중소요기간이며, 3-4차년도에 연구개발을 집중 수행하고 5차년도에 기술수요자, 실무자의 피드백을 받아 활용성,경제성 측면에서 연구를 수행함

○ 1차년도에는 목표사양결정 및 설계, 2차년도에는 시제품 제작, 3차년도에는 시제품의 성능평가 및 개선, 4차년도에는 개조차량 제작 및 완성차시험, 5차년도에는 실차검증 시운전을 통한 수소연료전지의 사용에 따른 안전성과 신뢰성을 확인하고 이를 바탕으로 향후 실용화를 위한 토대를 마련하는 연구개발을 수행함

○ 아래 표에서 제시된 인원은 관련 전문성이 인정된 인력들의 참여율을 50%로 산정한 것으로 실제 다른 과제에 참여하였거나 협동기업 중 과제이외 업무를 수행하게 되는 경우에는 제시된 인원에서 참여인원이 변동될 수 있음. 또한 용역 및 위탁과제가 수행되는 경우는 본 표의 참여인원에 포함시키지 않았음.

구분	세세부과제	소요인력				
		1	2	3	4	5
1세부	1-1	1	4	3	2	2
	1-2	2	4	3	2	2
	1-3	2	6	4	2	2
	1-4	1	7	5	2	1
	1-5	3	2	2	1	2
	소계	9	23	17	9	9
2세부	2-1	2	6	8	10	4
	2-2	2	4	10	4	4
	2-3	2	4	4	8	8
	2-4	6	8	8	2	2
	2-5	4	4	4	6	2
	소계	16	26	34	30	20
총인원		23	49	51	39	29

3절 소요예산 투입계획

1. 연구비

〔단위:백만원〕

과제명 \ 연차		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
자립형 신재생에너지 추진 핵심기술	정부	1504.9	10613.1	8208.6	1789.0	1184.4	23300.0
	민간	508.3	3544.4	2742.9	603.0	401.5	7800.0
소계		2013.2	14157.5	10951.4	2392.1	1585.9	31100.0

2. 세부과제별 연구비

〔단위:백만원〕

세부과제명 \ 연차			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
1세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	정부	761.4	7447.9	5681	899.7	710	15500
		민간	260.5	2489.3	1900.3	306.6	243.3	5200
2세부	수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	정부	743.6	3165.2	2527.5	889.4	474.4	7800
		민간	247.9	1055.1	842.5	296.5	158.1	2600
계			2013.4	14157.5	10951.3	2392.2	1585.8	31100

3. 세부기술별 소요예산

가. 1세부과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

〔단위:백만원〕

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산
A	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	A-1	수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	A-1-1	선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어 기법 분석 및 선정 연구	223.9
				A-1-2	수소연료전지용과 2차전지용DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발	452.5
				A-1-3	수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작	1210.7

〔단위:백만원〕

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산
				A-1-4	수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증	462.7
		A-1 소계				2349.8
		A-2	연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	A-2-1	전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	192.9
				A-2-2	전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발	1298.7
				A-2-3	연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발	845.8
				A-2-4	연료전지차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험	429.7
		A-2 소계				2767.0
		A-3	소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	A-3-1	선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	192.9
				A-3-2	영구자석동기전동기 설계 및 제작	1298.7
				A-3-3	주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발	416.8
				A-3-4	고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작	1197.8
				A-3-5	영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증	429.7
		A-3 소계				3535.8
		A-4	수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발	A-4-1	선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축	302.9
				A-4-2	수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작	9141.7
				A-4-3	수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	306.8
				A-4-4	수소연료전지/2차전지 감시 및 보호기능 고도화 연구	271.8
				A-4-5	수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구	135.9
				A-4-6	수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증	442.7
		A-4 소계				10601.7
		A-5	연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	A-5-1	수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개말 및 최적 비율 선정	304.8
				A-5-2	연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	118.4
				A-5-3	수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	168.9
				A-5-4	스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발	680.8
				A-5-5	스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작	172.9
		A-5 소계				1445.8

나. 2세부과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발

〔단위:백만원〕

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산
B	수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가 기술 개발	B-1	철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	B-1-1	실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작	561.7
				B-1-2	실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	789.5
				B-1-3	철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작	6387
				B-1-4	실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구	899.5
				B-1-5	철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구	789.5
		B-1 소계				14482.5
		B-2	수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	B-2-1	요구사항 분석 및 사양개발	789.5
				B-2-2	차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작	10418
				B-2-3	차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가	1119.5
				B-2-4	차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험	3747
		B-2 소계				16074
		B-3	수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	B-3-1	철도차량 수소충전 및 운영효율화 방안 연구	899.5
				B-3-2	수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	1119.5
				B-3-3	수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	2019
				B-3-4	철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구	1119.5
				B-3-5	철도차량 시운전용 수소충전소 설계 및 구축	3048
				B-3-6	수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구	1799
		B-3 소계				10004.5
		B-4	수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	B-4-1	차량개조관련 법규 및 제도 조사	899.5
				B-4-2	개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	1359
				B-4-3	철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양개발	1249
				B-4-4	개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구	2718
				B-4-5	실차검증용 감속기 설계 및 제작	5578
				B-4-6	실차검증용 제동시스템 설계 및 제작	4588

〔단위:백만원〕

세부과제		세부기술		연구내용		소요예산
				B-4-7	개조차량 설계 및 제작	35679
				B-4-8	개조차량 완성차시험 및 시운전	3649
		B-4 소계				55719.5
		B-5	수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	B-5-1	주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	899.5
				B-5-2	수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	1579
				B-5-3	주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발	1359
				B-5-4	철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구	1799
				B-5-5	주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2083
		B-5 소계				7719.5

제6장 과제공모 방안

1절 과제제안 요구서(RFP)

1. 과제 제안요구서 1안(연구단)

□ 연구단과제 제안서

연구개발과제명	수소연료전지 하이브리드 철도 추진시스템 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	
	◦ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 개발을 통한 친환경철도 운영으로 교통분야 환경문제 해결방안 확보 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 <최소사양(안)> * 1,500마력급(1.2MW) 수소연료전지 하이브리드 시스템 * 운행 최고속도 110 km/h * 1회 충전 500km이상 주행 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증기술 개발 <최소사양(안)> * 1.2MW 수소연료전지 하이브리드 시스템 성능평가규격(안) * 수소탱크충전 인프라 사양(700바 수소탱크 충전용) * 수소연료전지 하이브리드 시스템 기술기준(안)
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ (국가정책 부합)온실가스 국제기후협약(UNFCCC)에 따른 철도교통의 온실가스배출 최소화 - 수소연료전지 차량은 수소와 공기 중 산소의 화학적 반응을 이용하여 전기를 생산하고 물(H2O)만 배출함에 따라 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경 무공해 차량임 ※ 정부는 2020년 배출 전망치 대비 30%를 국가감축목표로 설정 - 주연료인 수소의 생산과 저장에 아직까지는 높은 비용 등으로 본격 상용화가 되고 있지는 않으나 미래 성장동력 확보차원에서 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 핵심기술 확보 필요 - 수소연료전지를 활용한 철도차량 활용을 위한 차량기지 및 주요역 근처 신규 수소충전소 구축을 통해 수소에너지 이용의 편의성 향상 및 사용 증진을 위한 국가전략적 환경구축 필요

※ (제3차 신재생에너지 기본계획) 2020년까지 핵심부품소재 및 연료전지 시스템 제작기술의 원천기술 확보 목표

○ (철도인프라 구축비용 저감) 기존 전차선을 통한 전력공급 방식은 변전소, 전차선 등 전력인프라가 필요하고 그에 따른 건설비용등이 수반되므로 별도의 외부 전력설비로부터 에너지를 공급받지 않는 에너지 자립형 철도시스템인 대용량 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 기술의 확보가 필요

- 전력설비가 불필요하여 인프라 구축비용 및 터널 단면적 축소
- 철도 인프라가 낙후된 지역에서도 운행이 가능하여 남북철도 또는 대륙간 열차로 활용
- 또한 기존 노선에서도 운행 가능

※ 선로 1km당 도시철도(경전철포함) 건설비는 전력(약 17.0 억원) 및 전차선(약21.0 억원)이 불필요함에 따라 총 38억원/km 가 절감될 것으로 추정됨.

○ (배출가스 및 미세먼지 저감)2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물질 배출량은 질소산화물 5303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예상하였으며 이는 2013년에 환경부가 조사한 수도권 경유자동차 310만대와 비교하여 각각 약 5% 및 23.7%에 달함.

- 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준이 마련되고 점차적으로 엄격해질 것이 예상됨에 따라 대안이 필요하며 수소연료전지 차량은 완전한 친환경차량이면서, 에너지 독립형 차량으로 디젤기관차의 기능수행이 가능
- 환경부의 2016년 12월 1일자 발표에 따르면 2018년 1월부터 고농도 미세먼지 발생시 “비상조치”를 시행함에 따라 디젤기관차 배출저감기준 신설 및 전기 화물차 보급 등 신규과제 추가·보완을 요구하고 있음.
- 국제기후협약에 따른 배출가스 저감을 위해 1차적으로 고려된 CNG는 대중교통인 버스에서 이미 적용되었으며, CNG 버스의 경우 디젤 버스와 비교하여 미세먼지는 크게 감소하나 이산화탄소는 30% 저감 효과만 있어 앞으로 계속적으로 강화될 온실가스 국제기후협약 대체에 있어 한계를 지님

□ **기술동향**

○ 국내 기술동향

- 국내에서는 철도차량에 수소연료전지를 적용한 사례가 없고 자동차 분야에서 현대자동차가 출시한 투싼 연료전지차량 및 연료전지버스가 대표적인 실용화 사례로 꼽을 수 있음

- 철도차량에서는 수소연료전지가 적용된 사례는 없음

○ 국외 기술동향

- 영국에서는 버밍험대학교에서 주관하여 수소연료전지와 납축전지를 결합하여 최대 13kW를 출력할 수 있는 하이브리드 협괘용 기관차를 개발해 운행에 성공
- 미국 및 캐나다에서는 수소연료전지와 배터리가 조합된 동력원을 적용한 입환기관차(250kW급)를 개발하여 시험운행을 마쳤고 현재 실용화를 위한 연구가 진행 중
- 일본 JR에서는 일반 전동차를 수소연료전지차량(450kW급)으로 개조하여 시험운행을 실시하였고 현재도 용량이 증대된 수소연료전지차량에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음
- 중국 난처칭다오쓰팡 기관 차량 유한공사는 2013년부터 수소연료전지를 전동차에 적용하기 위한 기술을 개발하여 2015년 3월 차량개발을 완료함. 이 차량은 3분 충전에 100km를 주행할 수 있고 최고 운행속도는 70km/h이나 1회 충전 주행거리가 짧아 개선의 여지가 있음
- Alstom은 수소연료전지 기술을 기반으로 한 여객열차를 개발한 최초의 철도 업체 중 하나이며 첫 번째 적용사례로 2017년 12월 Lower Saxony주의 Buxtehude–Bremervörde–Bremerhaven–Cuxhaven 구간에서 운행을 시작할 예정

3. 연구개발내용

□ 컨소시엄 공모 (금회공모)

○ (1세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

- 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발
  * 최대효율 > 95%
  * 소음 < 68 db
- 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발
  * 계통연계 출력전류 THD(전고조파왜율) 5%이하
  * 계통연계까지 시간 < 3 s
- 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 고출력밀도 추진시스템 개발
  * 기존대비 전동기 효율 2% 이상 향상
  * 기존대비 전력변환장치 전력밀도 30% 이상 향상
  * 회생전력 활용률 ≥ 99%
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발
  * 수소탱크 압력 ≤ 700 bar
  * 미세먼지 공기청정효과 > 20 mg/km
  * 1.2MW급 하이브리드 동력원, 1회충전 500km이상

○ (2세부) 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발

- 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
  * 실차와의 90%이상 정합율
- 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
  * 시험절차서/기록서 및 기술기준
- 수소충전소구축 및 활용성향상방안연구
  * 700bar 수소충전가능 및 수소충전소 설계사양
- 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전
  * 예비주행 5,000km, 1회충전 500km이상

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발

- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문 기관에서 기 확보된 주요 핵심기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산학연 공동연구 추진

- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

○ 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축할 계획임

□ 추진체계

○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계

및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 핵심기술의 개발 및 성능평가를 주로 담당하며 연계되는 핵심기술 간의 요구사항을 상호반영하여 개발하고 향후 수소연료전지를 적용하는 철도차량의 차종 또는 기술적 요구등에 신속하고 지속적으로 대응할 수 있는 발전적 개발환경을 확보함에 따라 선도적 기술력 확보

○ 2세부과제는 1세부과제에서 개발된 핵심기술등을 종합적으로 평가하기 위한 Test Bench 구축 및 성능검증을 수행하고 이러한 내용은 해당 기술에 대한 기술기준(안) 수립에 활용함으로써 실차검증의 안전성과 신뢰성을 향상시키며 수소충전인프라 및 수소의 운영과 관련된 유지보수기술 개발과 관련 법규 및 제도에 대한 정립등을 통해 실용화를 위한 기반 구축

- 2 세부과제는 과제의 성격상 기업 및 운영사의 적극적인 참여가 필요하고 1세부과제가 유기적인 연계를 통해 철도차량에 적용되어 실차 시운전이 가능하도록 뒷받침해 줄 수 있는 역할이 요구됨

○ 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시제품

- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시뮬레이션 모델 및 해석결과

- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기

- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- DC/DC컨버터 시제품
- DC/DC컨버터 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 시제품
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템
- 영구자석동기전동기 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 영구자석동기전동기 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 영구자석동기전동기 시제품
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 시제품
- 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면

- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 시제품
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 기준 및 보고서

○ 스마트 에너지 관리시스템
- 주행특성을 반영한 연료전지/배터리 비율 산정 시뮬레이션
- 주행모드에 따른 스마트 에너지 관리 시스템 시뮬레이션
- 주행모드에 따른 스마트 에너지 관리 시스템 제어 알고리즘 및 아키텍터와 제어기

○ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축
- HIL 시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- HIL과 VR 접목된 가상 철도차량 운영 소프트웨어
- 성능평가 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

○ 철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축
- 주요 구성품별 조합 시험기준안
- 조합시험용 Test Bench 설계사양 및 시제품
- 조합시험용 Test Bench 운용메뉴얼
- 조합시험용 통합관리프로그램
- 주요 구성품 특성시험결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

○ 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구
- 700바 수소충전인프라 설계사양
- 임시용 수소충전소 설계사양

○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 기술기준 개발
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 시험기준안(완성차, 본선시운전)
- 철도차량 시험결과 및 주행 신뢰성 평가결과 보고서
- 주요 구성품 및 철도차량/수소충전인프라 기술기준안

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 2027년 이후 발생하는 노후 디젤기관차 또는 디젤동차의 대체차량으로 활용

○ 2025년 이후 착공예정인 경전철 신노선의 신조차량으로 활용(2단계 실용화사업 추진시 실적으로 예상되는 결과임)

○ 디젤철도차량 대체 또는 신재생에너지를 활용한 친환경 철도차량의 해외 사업 참여를 통한 수출증대 및 시장선도

○ 그동안 침체되었던 수소연료전지관련 기업들의 활발한 참여를 통해 철

	도 교통 분야의 새로운 시장 개척 및 일자리 창출에 기여 ○ 대용량 수송용 수소연료전지 적용에 필요한 핵심 기술 확보 및 실용화 준비 ○ 수소철도차량의 전력변환기술(추진시스템, 연료전지발전시스템 등)을 산업계 전반에서 활용가능 ○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 적용에 관한 데이터 축척 및 시뮬레이션 확보 ○ 철도차량 실부하 모의환경 구축을 통해 이후 진행되는 철도차량 개발의 설계검증용 플랫폼으로 활용 ○ 국내환경에 적합한 수소충전소 구축에 자료 활용 ○ 수소연료전지용 대용량 구성품 Test Bench는 산업계 전반의 연구개발에 활용 ○ 수소연료전지 철도차량 적용에 따른 배기가스와 미세먼지 저감을 통해 국가적 배기가스 저감목표 달성에 기여
□ 기대효과	○ 21세기 선진 기술은 환경대응 측면의 기술경쟁으로 옮겨가는 추세에 부응하여 국내 산. 학. 연 기관들이 환경관련 기술의 주요핵심기술을 개발, 확보했을 경우 향후 선진사의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적으로 대처할 수 있음 ○ 기존의 디젤 철도차량을 무공해의 수소연료전지 하이브리드 철도차량으로 대체함에 의해서 점차 심각해져 가는 대기 오염을 약 30% 저감시킬 수 있을 것임. - 기존 디젤기관차 대체시 CO_2 최대 361,113 톤/년 저감 ○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 전력인프라 비용이 필요하지 않은 만큼 신노선의 인프라 비용 저감 가능 - 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km 저감, 유지보수비용 5억원/년km 저감 ○ 기존 화석연료 철도차량에 비해 2배 이상의 상대적으로 높은 에너지 효율을 갖는 연료전지 추진 하이브리드 철도차량을 운용함에 의해 수송분야에서의 커다란 에너지 절약 효과를 얻을 수 있을 것임 - 기존 디젤기관차 대비 2배 연비향상 가능 - 전력피크시간 최대 165.2MWh 대응 가능하며, 18,337,200원/회의 전력생산 효과 발생 ○ 매장량이 한정된 화석연료에 치중되어 있는 수송분야에서의 에너지 편중화를 해결하여 에너지원의 다양화를 얻을 수 있을 것임. ○ 연료전지 추진 하이브리드 철도차량 개발이 성공될 경우 연료전지 개발

에 의해 대체에너지 개발 효과를 얻을 수 있을 것임.

○ 또한 연료전지 철도차량 개발 관련산업인 연료전지 등과 같은 석유화학, 소재분야와 전동기, 2차전지, 전력전자와 같은 첨단제어와 같은 전기전자분야의 신규사업의 발달로 대규모의 인력 고용효과 발생이 예상됨.

○ 즉 지구환경보호라는 기치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서 국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, 및 CO2 배출량이 적은 연료사용 의무화 및 사용비율 확대와 같은 구체적 협약이 채택되는 것에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능함.

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : '18.1 ~ '22.12(5년)

- 1차년도 연구개발기간 : '18.1 ~ '18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 31,100백만원(정부 23,300백만원, 민간 7,800백만원)

- 1차년도 연구비 : 2,013.4백만원(정부 1,540.9백만원, 민간 508.3백만원)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 "일반과제"임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때

에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
  - 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음
○ 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함
○ 「자율주행기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획연구」 최종보고서 참고

2. 과제 제안요구서 2안(세부과제별)

□ 1세부과제

연구개발과제명	수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	
	◦ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 - 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발 - 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발 - 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 고출력 밀도 추진시스템 개발 - 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발 - 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구 - 최소사양(안) * 1,500마력급(1.2MW) 수소연료전지 하이브리드 시스템 * 운행 최고속도 110 km/h * 1회 충전 500km이상 주행
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ (국가정책 부합)온실가스 국제기후협약(UNFCCC)에 따른 철도교통의 온실가스배출 최소화 - 수소연료전지 차량은 수소와 공기 중 산소의 화학적 반응을 이용하여 전기를 생산하고 물(H2O)만 배출함에 따라 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경 무공해 차량임 ※ 정부는 2020년 배출 전망치 대비 30%를 국가감축목표로 설정 - 주연료인 수소의 생산과 저장에 아직까지는 높은 비용 등으로 본격 상용화가 되고 있지는 않으나 미래 성장동력 확보차원에서 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 핵심기술 확보 필요 - 수소연료전지를 활용한 철도차량 활용을 위한 차량기지 및 주요역 근처 신규 수소충전소 구축을 통해 수소에너지 이용의 편의성 향상 및 사용 증진을 위한 국가전략적 환경구축 필요 ※ (제3차 신재생에너지 기본계획) 2020년까지 핵심부품소재 및 연료전지 시스템 제작기술의 원천기술 확보 목표 ○ (배출가스 및 미세먼지 저감)2016년 교통연구원 및 환경부의 조사에 따르면 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 오염물

	질 배출량은 질소산화물 5303톤 및 미세먼지 970톤에 달할 것으로 예상하였으며 이는 2013년에 환경부가 조사한 수도권 경유자동차 310만대와 비교하여 각각 약 5% 및 23.7%에 달함. - 2017년 디젤기관차에 대한 배출허용기준이 마련되고 점차적으로 엄격해질 것이 예상됨에 따라 대안이 필요하며 수소연료전지 차량은 완전한 친환경차량이면서, 에너지 독립형 차량으로 디젤기관차의 기능수행이 가능 - 환경부의 2016년 12월 1일자 발표에 따르면 2018년 1월부터 고농도 미세먼지 발생시 “비상조치”를 시행함에 따라 디젤기관차 배출 저감기준 신설 및 전기 화물차 보급 등 신규과제 추가·보완을 요구하고 있음. - 국제기후협약에 따른 배출가스 저감을 위해 1차적으로 고려된 CNG는 대중교통인 버스에서 이미 적용되었으며, CNG 버스의 경우 디젤 버스와 비교하여 미세먼지는 크게 감소하나 이산화탄소는 30% 저감 효과만 있어 앞으로 계속적으로 강화될 온실가스 국제기후협약 대체에 있어 한계를 지님
□ 기술동향	○ 국내 기술동향 - 국내에서는 철도차량에 수소연료전지를 적용한 사례가 없고 자동차 분야에서 현대자동차가 출시한 투싼 연료전지차량 및 연료전지버스가 대표적인 실용화 사례로 꼽을 수 있음 - 철도차량에서는 수소연료전지가 적용된 사례는 없음 ○ 국외 기술동향 - 영국에서는 버밍험대학교에서 주관하여 수소연료전지와 납축전지를 결합하여 최대 13kW를 출력할 수 있는 하이브리드 협괘용 기관차를 개발해 운행에 성공 - 미국 및 캐나다에서는 수소연료전지와 배터리가 조합된 동력원을 적용한 입환기관차(250kW급)를 개발하여 시험운행을 마쳤고 현재 실용화를 위한 연구가 진행 중 - 일본 JR에서는 일반 전동차를 수소연료전지차량(450kW급)으로 개조하여 시험운행을 실시하였고 현재도 용량이 증대된 수소연료전지차량에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음 - 중국 난처칭다오쓰팡 기관 차량 유한공사는 2013년부터 수소연료전지를 전동차에 적용하기 위한 기술을 개발하여 2015년 3월 차량 개발을 완료함. 이 차량은 3분 충전에 100km를 주행할 수 있고 최고 운행속도는 70km/h이나 1회 충전 주행거리가 짧아 개선의 여지가 있음 - Alstom은 수소연료전지 기술을 기반으로 한 여객열차를 개발한 최초의 철도 업체 중 하나이며 첫 번째 적용사례로 2017년 12월

	Lower Saxony주의 Buxtehude-Bremervörde-Bremerhaven-Cuxhaven 구간에서 운행을 시작할 예정
3. 연구개발내용	
□ 컨소시엄 공모 (금회공모)	○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발 ▷ 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발 - 선행기술 검토 및 분석 연구 - 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구 - 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 제어알고리즘 개발 - 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 설계 및 제작 - 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC컨버터 성능평가 및 실차검증 - 연구개발 목표 * 최대효율 > 95% * 소음 < 68 db ▷ 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발 - 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구 - 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발 - 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운영시스템 개발 - 연료전지 차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험 - 연구개발 목표 * 계통연계 출력전류 THD(전고조파왜율) 5%이하 * 계통연계까지 시간 < 3s ▷ 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 고출력밀도 추진시스템 개발 - 선행기술 검토 및 분석 연구 - 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출 - 영구자석동기전동기 설계 및 제작 - 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발 - 고효율 차세대 전력반도체(WBG) 기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작 - 영구자석동기전동기와 차세대 전력반도체(WBG) 기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가와 실차검증 - 연구개발 목표 * 기존대비 전동기 효율 2% 이상 향상

* 기존대비 전력변환장치 전력밀도 30% 이상 향상
* 회생전력 활용률 ≥ 99%

▷ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 개발

- 연료전지와 이차전지 하이브리드 시스템 요소기술 개발
- 연료전지와 이차전지 하이브리드 시스템 설계, 제작 및 성능평가
- IoT기반 스마트 에너지관리 시스템 기술개발
- 연구개발 목표
  * 수소탱크 압력 ≤ 700 bar
  * 미세먼지 공기청정효과 > 20 mg/km
  * 1.2MW급 하이브리드 동력원, 1회충전 500km이상

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문 기관에서 기 확보된 주요 핵심기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산학연 공동연구 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

○ 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축할 계획임

□ 추진체계

○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계

및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 핵심기술의 개발 및 성능평가를 주로 담당하며 연계되는 핵심기술 간의 요구사항을 상호반영하여 개발하고 향후 수소연료전지를 적용하는 철도차량의 차종 또는 기술적 요구등에 신속하고 지속적으로 대응할 수 있는 발전적 개발환경을 확보함에 따라 선도적 기술력 확보

○ 2세부과제는 1세부과제에서 개발된 핵심기술등을 종합적으로 평가하기 위한 Test Bench 구축 및 성능검증을 수행하고 이러한 내용은 해당 기술에 대한 기술기준(안) 수립에 활용함으로써 실차검증의 안전성과 신뢰성을 향상시키며 수소충전인프라 및 수소의 운영과 관련된 유지보수기술 개발과 관련 법규 및 제도에 대한 정립등을 통해 실용화를 위한 기반 구축

- 2 세부과제는 과제의 성격상 기업 및 운영사의 적극적인 참여가 필요하고 1세부과제가 유기적인 연계를 통해 철도차량에 적용되어 실차 시운전이 가능하도록 뒷받침해 줄 수 있는 역할이 요구됨

○ 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있 수 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시제품

- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기

- 수소연료전지 및 이차전지용 DC/DC컨버터 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- DC/DC컨버터 시제품
- DC/DC컨버터 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 시제품
- 차량용 보조전원 겸용 계통연계형 전력변환시스템 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템
- 영구자석동기전동기 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 영구자석동기전동기 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 영구자석동기전동기 시제품
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면
- 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 인버터 시제품
- 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 영구자석동기전동기를 적용한 차세대 전력반도체(WBG) 기반의 추진시스템 성능평가 기준 및 보고서와 시험성적서

○ 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 제어 알고리즘 및 아키텍쳐와 제어기
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 제작사양서, 설계도면, 차량인터페이스 도면

- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 시제품
- 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 기준 및 보고서

○ 스마트 에너지 관리시스템
- 주행특성을 반영한 연료전지/배터리 비율 산정 시뮬레이션
- 주행모드에 따른 스마트 에너지 관리 시스템 시뮬레이션
- 주행모드에 따른 스마트 에너지 관리 시스템 제어 알고리즘 및 아키텍처와 제어기

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

○ 2027년 이후 발생하는 노후 디젤기관차 또는 디젤동차의 대체차량으로 활용

○ 2025년 이후 착공예정인 경전철 신노선의 신조차량으로 활용(2단계 실용화사업 추진시 실적으로 예상되는 결과임)

○ 디젤철도차량 대체 또는 신재생에너지를 활용한 친환경 철도차량의 해외 사업 참여를 통한 수출증대 및 시장선도

○ 그동안 침체되었던 수소연료전지관련 기업들의 활발한 참여를 통해 철도 교통 분야의 새로운 시장 개척 및 일자리 창출에 기여

○ 대용량 수송용 수소연료전지 적용에 필요한 핵심 기술 확보 및 실용화 준비

○ 수소철도차량의 전력변환기술(추진시스템, 연료전지발전시스템 등)을 산업계 전반에서 활용가능

○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 적용에 관한 데이터 축척 및 시뮬레이션 확보

○ 철도차량 실부하 모의환경 구축을 통해 이후 진행되는 철도차량 개발의 설계검증용 플랫폼으로 활용

○ 국내환경에 적합한 수소충전소 구축에 자료 활용

○ 수소연료전지용 대용량 구성품 Test Bench는 산업계 전반의 연구개발에 활용

○ 수소연료전지 철도차량 적용에 따른 배기가스와 미세먼지 저감을 통해 국가적 배기가스 저감목표 달성에 기여

□ 기대효과

○ 21세기 선진 기술은 환경대응 측면의 기술경쟁으로 옮겨가는 추세에 부응하여 국내 산. 학. 연 기관들이 환경관련 기술의 주요핵심기술을 개발, 확보했을 경우 향후 선진사의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적으로 대처할 수 있음

○ 기존의 디젤 철도차량을 무공해의 수소연료전지 하이브리드 철도차량으

로 대체함에 의해서 점차 심각해져 가는 대기 오염을 약 30% 저감시킬 수 있을 것임.

- 기존 디젤기관차 대체시 CO_2 최대 361,113 톤/년 저감

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 전력인프라 비용이 필요하지 않은 만큼 신노선의 인프라 비용 저감 가능

- 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km 저감, 유지보수비용 5억원/년km 저감

○ 기존 화석연료 철도차량에 비해 2배 이상의 상대적으로 높은 에너지 효율을 갖는 연료전지 추진 하이브리드 철도차량을 운용함에 의해 수송분야에서의 커다란 에너지 절약 효과를 얻을 수 있을 것임

- 기존 디젤기관차 대비 2배 연비향상 가능

- 전력피크시간 최대 165.2MWh 대응 가능하며, 18,337,200원/회의 전력생산 효과 발생

○ 매장량이 한정된 화석연료에 치중되어 있는 수송분야에서의 에너지 편중화를 해결하여 에너지원의 다양화를 얻을 수 있을 것임.

○ 연료전지 추진 하이브리드 철도차량 개발이 성공될 경우 연료전지 개발에 의해 대체에너지 개발 효과를 얻을 수 있을 것임.

○ 또한 연료전지 철도차량 개발 관련산업인 연료전지 등과 같은 석유화학, 소재분야와 전동기, 2차전지, 전력전자와 같은 첨단제어와 같은 전기전자분야의 신규사업의 발달로 대규모의 인력 고용효과 발생이 예상됨.

○ 즉 지구환경보호라는 기치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서 국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, 및 CO2 배출량이 적은 연료사용 의무화 및 사용비율 확대와 같은 구체적 협약이 채택되는 것에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능함.

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : '18.1 ~ '22.12(5년)

- 1차년도 연구개발기간 : '18.1 ~ '18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 20,700백만원(정부 15,500백만원, 민간 5,200백만원)

- 1차년도 연구비 : 1,021.9백만원(정부 761.4백만원, 민간 260.5백만원)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공

현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음

- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

○ 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함

○ 「자율주행기반 스마트철도 핵심기술 개발 기획연구」 최종보고서 참고

□ 2세부과제

연구개발과제명	수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발 - 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축 - 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축 - 수소충전소구축 및 활용성향상방안연구 - 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 기술기준 개발 - 최소사양(안) * 1.2MW 수소연료전지 하이브리드 시스템 성능평가규격(안) * 수소탱크충전 인프라 사양(700바 수소탱크 충전용) * 수소연료전지 하이브리드 시스템 기술기준(안)
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ (국가정책 부합)온실가스 국제기후협약(UNFCCC)에 따른 철도교통의 온실가스배출 최소화 - 수소연료전지 차량은 수소와 공기 중 산소의 화학적 반응을 이용하여 전기를 생산하고 물(H2O)만 배출함에 따라 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 친환경 무공해 차량임 ※ 정부는 2020년 배출 전망치 대비 30%를 국가감축목표로 설정 - 주연료인 수소의 생산과 저장에 아직까지는 높은 비용 등으로 본격 상용화가 되고 있지는 않으나 미래 성장동력 확보차원에서 수소연료전지를 활용한 철도차량 추진시스템 핵심기술 확보 필요 - 수소연료전지를 활용한 철도차량 활용을 위한 차량기지 및 주요역 근처 신규 수소충전소 구축을 통해 수소에너지 이용의 편의성 향상 및 사용 증진을 위한 국가전략적 환경구축 필요 ※ (제3차 신재생에너지 기본계획) 2020년까지 핵심부품소재 및 연료전지 시스템 제작기술의 원천기술 확보 목표 ○ (철도인프라 구축비용 저감) 기존 전차선을 통한 전력공급 방식은 변전소, 전차선 등 전력인프라가 필요하고 그에 따른 건설비용등이 수반되므로 별도의 외부 전력설비로부터 에너지를 공급받지 않는 에너지 자립형 철도시스템인 대용량 수소연료전지를 활용한 철

	도차량 추진시스템 기술의 확보가 필요 - 전력설비가 불필요하여 인프라 구축비용 및 터널 단면적 축소 - 철도 인프라가 낙후된 지역에서도 운행이 가능하여 남북철도 또는 대륙간 열차로 활용 - 또한 기존 노선에서도 운행 가능 ※ 선로 1km당 도시철도(경전철포함) 건설비는 전력(약 17.0 억원) 및 전차선(약21.0 억원)이 불필요함에 따라 총 38억원/km 가 절감될 것으로 추정됨
□ 기술동향	○ 국내 기술동향 - 국내에서는 철도차량에 수소연료전지를 적용한 사례가 없고 자동차분야에서 현대자동차가 출시한 투싼 연료전지차량 및 연료전지 버스가 대표적인 실용화 사례로 꼽을 수 있음 - 철도차량에서는 수소연료전지가 적용된 사례는 없음 ○ 국외 기술동향 - 영국에서는 버밍험대학교에서 주관하여 수소연료전지와 납축전지를 결합하여 최대 13kW를 출력할 수 있는 하이브리드 협괘용 기관차를 개발해 운행에 성공 - 미국 및 캐나다에서는 수소연료전지와 배터리가 조합된 동력원을 적용한 입환기관차(250kW급)를 개발하여 시험운행을 마쳤고 현재 실용화를 위한 연구가 진행 중 - 일본 JR에서는 일반 전동차를 수소연료전지차량(450kW급)으로 개조하여 시험운행을 실시하였고 현재도 용량이 증대된 수소연료전지차량에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음 - 중국 난처칭다오쓰팡 기관 차량 유한공사는 2013년부터 수소연료전지를 전동차에 적용하기 위한 기술을 개발하여 2015년 3월 차량개발을 완료함. 이 차량은 3분 충전에 100km를 주행할 수 있고 최고 운행속도는 70km/h이나 1회 충전 주행거리가 짧아 개선의 여지가 있음 - Alstom은 수소연료전지 기술을 기반으로 한 여객열차를 개발한 최초의 철도 업체 중 하나이며 첫 번째 적용사례로 2017년 12월 Lower Saxony주의 Buxtehude–Bremervörde–Bremerhaven–Cuxhaven 구간에서 운행을 시작할 예정
3. 연구개발내용	
□ 컨소시엄 공모 (금회공모)	○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능검증 기술 개발 ▷ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축 - 선행기술검토 및 분석

- 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작
- 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구
- 철도차량 가상주행시스템 요구사항 분석 및 사양개발
- 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작
- 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구
- 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구
- 연구개발 목표
  * 실차와의 90%이상 정합율

▷ 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축

- Test Bench 요구사항 분석 및 사양개발
- Test Bench 설계 및 제작
- Test Bench 성능 및 신뢰성 평가
- Test Bench를 이용한 개발품 조합시험
- 연구개발 목표
  * 시험절차서/기록서 및 기술기준

▷ 수소충전소구축 및 활용성향상 방안연구

- 철도차량 수소충전 및 운영 효율화 방안 연구
- 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발
- 수소 안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구
- 철도차량 시운전을 위한 수소충전소 구축 및 운영방안 연구
- 철도차량 시운전을 위한 수소충전소 설계 및 구축
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구
- 연구개발 목표
  * 700bar 수소충전가능 및 수소충전소 설계사양

▷ 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 기술기준 개발

- 차량개조관련 법규 및 제도 조사
- 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구
- 개조를 위한 요구사항분석 및 사양개발
- 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구
- 실차검증용 감속기 설계 및 제작
- 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작
- 개조차량 설계 및 제작
- 개조차량 완성차시험 및 시운전

- 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사
- 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사
- 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험 절차 및 방법 개발
- 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구
- 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발
- 연구개발 목표
  * 예비주행 5,000km, 1회충전 500km이상

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ Top-down 방식으로 원천기술 개발
- 시제품 설계 및 해석을 통한 아키텍처 및 시제품 사양 개발
- 테스트베드에서의 성능시험을 통한 설계 및 제어 수정보완 및 시제품 핵심 기술 검증

○ 국가 철도전문연구소 및 학교, 전문 기관에서 기 확보된 주요 핵심 기술의 성능 보완 및 최적화를 추진하고 기업체에서 제품화를 추진할 수 있도록 산학연 공동연구 추진
- 산학연의 역할분담 및 관련 전문가·전문기관 협력체계 구축
- 개념설계를 통한 시제품 사양 결정 및 아키텍처 개발
- 핵심기술에 대한 시제품의 설계·제작·시험 추진
- 시험평가를 통한 기술 실용화 가능성 검증

○ 공인 인증기관과의 공동 협력 개발을 통해 조속한 시일내에 국내외 공인기관의 시험성적서 확보 및 주요 핵심기술별 개발품의 신뢰성 확보

○ 핵심기술 확보를 위한 기반구축 연구로 4년 이내에 실용화 연계가 가능하도록 핵심기술 개발 · 실증 역량 확충 · 철도 운영처로 다각화 추진

○ 국외 전문가 활용 등을 통한 선진기술 습득 및 연구결과 검증을 위하여 다양한 분야의 전문가 활용

○ 수소연료전지 성능평가 및 수소충전관련 안전장비는 과제참여기업에서 구축한 장비를 이용할 계획이고 철도차량 시운전시 성능평가 장비 및 데이터획득 시스템은 이 분야에서 전문성이 입증된 기관을 통해 일괄적으로 구축할 계획임

□ 추진체계

○ 국내 철도, 추진, 차량 기술 전문가 그룹을 구성하고 산학연 연계 및 정부 지원 하에 연구를 수행

○ 시제품 제작 및 시험 평가를 위해 관련 산업체의 참여가 반드시 필요하며, 기초 요소기술 연구를 위한 대학 등의 연구기관 참여가 바람직함

○ 1세부과제는 수소연료전지 하이브리드 철도차량의 핵심기술의 개발 및 성능평가를 주로 담당하며 연계되는 핵심기술 간의 요구사항을 상호반영하여 개발하고 향후 수소연료전지를 적용하는 철도차량의 차종 또는 기술적 요구등에 신속하고 지속적으로 대응할 수 있는 발전적 개발환경을 확보함에 따라 선도적 기술력 확보

○ 2세부과제는 1세부과제에서 개발된 핵심기술등을 종합적으로 평가하기 위한 Test Bench 구축 및 성능검증을 수행하고 이러한 내용은 해당 기술에 대한 기술기준(안) 수립에 활용함으로써 실차검증의 안전성과 신뢰성을 향상시키며 수소충전인프라 및 수소의 운영과 관련된 유지보수기술 개발과 관련 법규 및 제도에 대한 정립 등을 통해 실용화를 위한 기반 구축

- 2 세부과제는 과제의 성격상 기업 및 운영사의 적극적인 참여가 필요하고 1세부과제가 유기적인 연계를 통해 철도차량에 적용되어 실차 시운전이 가능하도록 뒷받침해 줄 수 있는 역할이 요구됨

○ 세부과제별 개발성격이 상이하나 하나의 개발목표 달성을 위해 두 개의 세부과제를 총괄적으로 관리 운영하여 효율적인 계획 수립 및 추진될 수 있도록 연구단 형태를 갖는 것이 바람직함

○ 연구내용의 검증 및 객관성 확보를 위해 외부 전문가 자문위원회 구성 및 운영하고, 연구내용의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문을 받을 것

○ 본 연구는 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

○ 참여 연구기관 간 협력을 통한 기술개발 과제 간 연계성 확보 및 협조 체계 구축

5. 최종성과물(주요 최종성과물)

○ 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축

- HIL 시스템 시뮬레이션 모델 및 해석결과
- HIL과 VR 접목된 가상 철도차량 운영 소프트웨어
- 성능평가 결과 및 신뢰성 평가결과 보고서

○ 철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축

- 주요 구성품별 조합 시험기준안
- 조합시험용 Test Bench 설계사양 및 시제품

	- 조합시험용 Test Bench 운용메뉴얼 - 조합시험용 통합관리프로그램 - 주요 구성품 특성시험결과 및 신뢰성 평가결과 보고서 ○ 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구 - 700바 수소충전인프라 설계사양 - 임시용 수소충전소 설계사양 ○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조차량을 통한 실증시험 및 기술기준 개발 - 수소연료전지 하이브리드 철도차량 시험기준안(완성차, 본선시운전) - 철도차량 시험결과 및 주행 신뢰성 평가결과 보고서 - 주요 구성품 및 철도차량/수소충전인프라 기술기준안
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 2027년 이후 발생하는 노후 디젤기관차 또는 디젤동차의 대체차량으로 활용 ○ 2025년 이후 착공예정인 경전철 신노선의 신조차량으로 활용(2단계 실용화사업 추진시 실적으로 예상되는 결과임) ○ 디젤철도차량 대체 또는 신재생에너지를 활용한 친환경 철도차량의 해외 사업 참여를 통한 수출증대 및 시장선도 ○ 그동안 침체되었던 수소연료전지관련 기업들의 활발한 참여를 통해 철도 교통 분야의 새로운 시장 개척 및 일자리 창출에 기여 ○ 대용량 수송용 수소연료전지 적용에 필요한 핵심 기술 확보 및 실용화 준비 ○ 수소철도차량의 전력변환기술(추진시스템, 연료전지발전시스템 등)을 산업계 전반에서 활용가능 ○ 수소연료전지 하이브리드 시스템 적용에 관한 데이터 축척 및 시뮬레이션 확보 ○ 철도차량 실부하 모의환경 구축을 통해 이후 진행되는 철도차량 개발의 설계검증용 플랫폼으로 활용 ○ 국내환경에 적합한 수소충전소 구축에 자료 활용 ○ 수소연료전지용 대용량 구성품 Test Bench는 산업계 전반의 연구개발에 활용 ○ 수소연료전지 철도차량 적용에 따른 배기가스와 미세먼지 저감을 통해 국가적 배기가스 저감목표 달성에 기여
□ 기대효과	○ 21세기 선진 기술은 환경대응 측면의 기술경쟁으로 옮겨가는 추세

에 부응하여 국내 산. 학. 연 기관들이 환경관련 기술의 주요핵심기술을 개발, 확보했을 경우 향후 선진사의 기술 독점으로 인한 기술종속 정책에 효과적으로 대처할 수 있음

○ 기존의 디젤 철도차량을 무공해의 수소연료전지 하이브리드 철도차량으로 대체함에 의해서 점차 심각해져 가는 대기 오염을 약 30% 저감시킬 수 있을 것임.

- 기존 디젤기관차 대체시 CO_2 최대 361,113 톤/년 저감

○ 수소연료전지 하이브리드 철도차량은 전력인프라 비용이 필요하지 않은 만큼 신노선의 인프라 비용 저감 가능

- 전력인프라비용 일반지역 24.3억원/km, 도시지역 29.1억원/km 저감, 유지보수비용 5억원/년km 저감

○ 기존 화석연료 철도차량에 비해 2배 이상의 상대적으로 높은 에너지 효율을 갖는 연료전지 추진 하이브리드 철도차량을 운용함에 의해 수송 분야에서의 커다란 에너지 절약 효과를 얻을 수 있을 것임

- 기존 디젤기관차 대비 2배 연비향상 가능

- 전력피크시간 최대 165.2MWh 대응 가능하며, 18,337,200원/회의 전력생산 효과 발생

○ 매장량이 한정된 화석연료에 치중되어 있는 수송분야에서의 에너지 편중화를 해결하여 에너지원의 다양화를 얻을 수 있을 것임.

○ 연료전지 추진 하이브리드 철도차량 개발이 성공될 경우 연료전지 개발에 의해 대체에너지 개발 효과를 얻을 수 있을 것임.

○ 또한 연료전지 철도차량 개발 관련산업인 연료전지 등과 같은 석유화학, 소재분야와 전동기, 2차전지, 전력전자와 같은 첨단제어와 같은 전기전자분야의 신규사업의 발달로 대규모의 인력 고용효과 발생이 예상됨.

○ 즉 지구환경보호라는 기치하에 선진국 주도로 진행되고 있는 Green Round에서 국제적 연비기준 달성, 무공해자동차 사용의 의무화, 및 CO2 배출량이 적은 연료사용 의무화 및 사용비율 확대와 같은 구체적 협약이 채택되는 것에 대비하여 국내산업 기반의 조기구축이 가능함.

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구개발기간 : '18.1 ~ '22.12(5년)

- 1차년도 연구개발기간 : '18.1 ~ '18.12(12개월)

○ 총 연구개발비 : 10,400백만원이내(정부 7,800백만원, 민간 2,600백만원)

- 1차년도 연구비 : 991.5백만원이내(정부 743.6백만원, 민간 247.9백만원)

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 연구단에 할당된 총 정부출연금 범위 내에서 편

성

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여 시 기업부담금은 연차별로 「국토교통부소관 연구개발사업 운영규정」의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준 적용

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

○ 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임

○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음

○ 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시

- 핵심성과물 및 성과유형 제시
- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함

※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가

등의 근거자료로 활용
- 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행 실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 파급효과 및 산출근거

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 변경될 수 있음
- 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 연구수행기관으로 선정 이후 필수 이행사항
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치, 가중치 및 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 성과점검기준표 작성 및 제출

※ 성과점검기준표는 향후 진도점검 및 평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
- 연구내용 등의 조정 시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

○ 필요시 연구종료 후 2년간 연구결과물의 지속적인 현장시험이 가능하도록 하여야 함

○ 「철도차량 안정성 향상 및 경량화를 위한 추진시스템 기술개발 기획연구」 최종보고서 참고

2절 공모조건

※ 민간부담조건, 컨소시엄 구성조건, 선정평가시 우대조건, 분리공모 여부 등 검토 제시

공모조건	
	○ 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원 결정 ○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성 – 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시 ○ 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 제시 – 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시 – 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안을 제시해야 함 – 제시한 성과지표에 건설기술혁신사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능 ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용 – 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시 – 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함 ○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함 ○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안 – 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함 ○ 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제 참조 – 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

3절 선정평가 방법

1. 연구목표의 적절성, 연구개발 필요성 및 타당성 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구목표의 적절성	연구목표의 적절성 및 제안요구서와의 부합성	10	8	6	4	2
연구개발의 필요성	연구추진 및 기술개발 필요성	10	8	6	4	2
연구개발의 타당성	정책/기술/경제적/정부지원 타당성	10	8	6	4	2
소계						

2. 연구계획의 적정성 : 배점 50점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구추진체계의 합리성	연구추진체계 및 추진일정의 합리성	10	8	6	4	2
연구추진전략의 적정성	목표 달성을 위한 연구추진전략의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과목표 및 지표의 적정성	연구성과목표 및 지표의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과의 활용성	연구성과의 실용성 및 활용성, 기대효과	10	8	6	4	2
연구비 편성의 적정성	연구내용대비 예산 규모, 예산 편성의 적정성	10	8	6	4	2
소계						

3. 연구기관의 적정성 : 배점 20점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구기관의 규모	연구기관의 규모, 연구인력 및 전문성	10	8	6	4	2
연구기관의 전문성	유사연구 수행실적 및 경험	10	8	6	4	2
소계						

제7장 참고자료

1절 CO_2 및 미세먼지 감소치

1. 목적

○ 현재 운행 중인 4400호대 입환기관차를 수소연료전지 철도차량으로 대체 시 나타나는 환경적 효과를 비교 분석

2. CO_2 및 미세먼지 감소치 분석

○ 현재 국내에서는 총 292대의 디젤기관차가 운행 중

- 7100~7600호대(7x00호대) 디젤기관차의 일부가 내구연한(25년) 경과로 폐차됨에 따라 233대가 운행 중
- 4400호대 디젤기관차는 59대가 운행 중에 있음

○ 디젤 철도차량에서 오염물질 배출량을 산출하는 방법은 연료사용량을 근거로 USEPA에서 개발하여 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 USEPA 모드에 의한 방법으로 추정이 가능함[50)]

○ 철도차량의 대기오염물질 배출량 산정방법

- 배출량$[t/year]$ = 배출계수(kg/kL) × 연간연료소비량$(kL/year)$ × $10^{-3}(t/kg)$

○ 위의 방법을 통해, 2016년 5월 철도기술연구원이 부산철도차량정비단에서 임의로 선택한 디젤기관차 7대를 대상으로 대기오염 물질 배출계수를 측정[51)]

- 디젤기관차가 연료 1L(리터) 당 배출한 대기오염 물질은 질소산화물 46.63g, 미세먼지 8.53g, 일산화탄소 43.92g, 탄화수소 2.89g로 추정
- 국내에서 운행 중인 디젤기관차(292대)가 연간 사용하는 총 연료량은 1억1373만L

[표 7.1] 7x00호대 디젤 기관차 오염물질 배출 계수

출처 : 한국교통연구원, 환경부

구분	질소산화물	미세먼지	일산화탄소	탄화수소	이산화탄소
오염물질 배출 계수	46.63(g/L)	8.53(g/L)	43.92(g/L)	2.89(g/L)	2900(g/L)

50) 박덕신 et al. “철도 디젤차량에서 배출되는 가스상 오염물질의 배출량 추정” , 한국철도학회 학술발표대회논문집, 2003.
51) http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2016/08/19/2016081900283.html

○ 철도 차량의 이산화탄소 배출 계수는 2011년도 통계 자료를 바탕으로 계산하였음

○ 철도차량은 고속차량(KTX), 전기기관차, 전기동차, 디젤기관차, 디젤동차, 특수차량으로 구분되는데 각 차종 별 배출량 조사 결과는 아래의 [표 2]와 같음[52)]

[표 7.2] 철도 차종별 이산화탄소 배출 현황

출처 : 이종석, "교통물류 온실가스 배출량 조사 보고서(철도부문)", 교통안전공단 철도안전처 2011.

차종별 구분	배출 구분	단위	연료 사용량	CO2 배출량 (t/year)	
				직접배출	간접배출
고속차량(KTX)	간접배출	kWh	4억 8천만(kWh)	-	224,229.8
전기기관차			13억 7천만(kWh)		641,324.7
전기동차			20억 7천만(kWh)		965,531.4
디젤기관차	직접배출	kL	1억 5천만(L)	454,376.6	-
디젤동차			9백만(L)	26,647.0	
특수차량			3천 9백만(L)	117,415.8	
구분 계				589439.4	1831085.9

○ 2011년도 디젤기관차의 총 연료 사용량과 이산화탄소 배출량으로부터 이산화탄소 배출 계수를 계산할 수 있음

- 2011년도 디젤기관차의 총 연료 사용량은 1억5000만L
- 연간 이산화탄소 배출량은 45만t
- 이로부터 계산된 디젤기관차의 평균 이산화탄소 배출 계수는 약 2900[g/L]

○ 7x00호대 디젤기관차(233대)의 연료 사용량(1억1373만L)을 감안하면, 디젤기관차 233대가 연간 운행하면서 배출하는 이산화탄소의 배출량은 329,817(t/year)로 추정

○ 따라서 현재 운행 중인 7x00호대 디젤기관차(233대)를 수소연료전지 기관차로 대체 시 아래 [표 3]과 같이 오염물질 배출량 감소

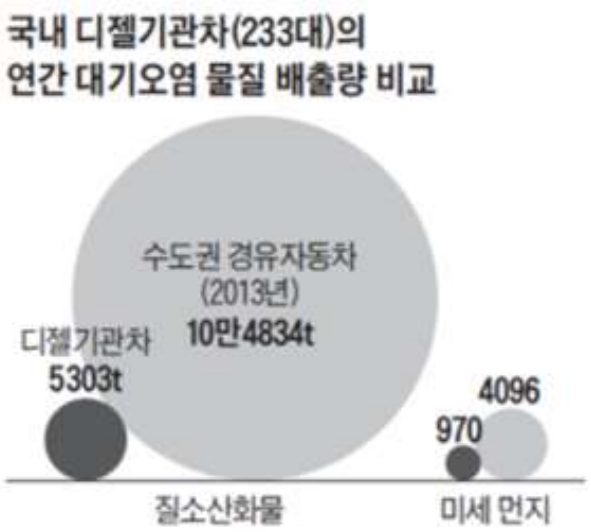
[표 7.3] 7x00호대 디젤기관차와 수소연료전지 기관차의 오염물질 배출량 비교

구 분	질소산화물	미세먼지	이산화탄소
7x00호대 디젤기관차 (233대)	5303(t/year)	970(t/year)	329,817(t/year)
수소연료전지 기관차	0(t/year)	0(t/year)	0(t/year)

- 디젤기관차가 배출하는 미세먼지는 경유차 약 73만대가 내뿜는 배출량과 비슷한 수준

52) 이종석, "교통물류 온실가스 배출량 조사 보고서(철도부문)", 교통안전공단 철도안전처 2011.

이며 환경부에 따르면 2013년 기준 수도권에 등록된 경유차 310만대가 배출한 미세먼지(4096t)를 감안할 경우 디젤기관차의 배출량(970t)은 수도권 경유차의 23.7%인 73만5000대 분량에 해당



출처 : 한국교통연구원, 환경부

[그림 7.1] 국내 7x00호대 디젤기관차(233대)의 연간 대기오염 물질 배출량 비교

○ 또한 4400호대 디젤기관차는 2001년부터 2004년까지 총 59량이 도입되어 운행 중

– 2025년을 기준으로 4400호대 디젤기관차는 대부분이 내구연한(25년)에 도달하게 됨

○ 본 과제의 완료시기를 고려했을 때 4000호대 디젤 기관차를 수소연료전지 기관차로 대체 시 기존 배출되던 오염물질의 감소량을 계산

– 4400호대 디젤 기관차의 연간 연료 사용량(1079만L)을 고려[53)]

– 각 오염물질에 대한 배출계수는 7x00호대 디젤기관차의 배출 계수와 동일하다고 가정

○ 따라서 현재 운행 중인 4400호대 디젤기관차(59대)를 수소연료전지 기관차로 대체 시 아래 [표Ⅳ4]와 같이 오염물질 배출량 감소

[표 7.4] 4400호대 디젤기관차와 수소연료전지 기관차의 오염물질 배출량 비교

구 분	질소산화물	미세먼지	이산화탄소
4400호대 디젤기관차 (59대)	503(t/year)	92(t/year)	31,296(t/year)
수소연료전지 기관차	0(t/year)	0(t/year)	0(t/year)

53) 2015 철도통계연보, 한국철도공사 · 한국철도시설공단, 2016.

○ 이는 국내뿐만 아니라 디젤기관차 운행에 따른 환경오염이 일반 승용차나 트럭에 비해 극심한 유럽 혹은 북미지역에도 수소연료전지 기관차를 개발하여 수출 시, 장기적으로 막대한 경제적 효과를 기대할 수 있으며 온실가스 저감 및 기후변화에 기여할 것으로 전망됨

- 교통연구원 관계자에 의하면 7x00호대 디젤기관차 233대가 내뿜는 대기오염 물질이 건강에 미치는 악영향과 오염 물질을 정화하는데 드는 비용이 연간 약 1480억원
- 따라서 환경기준에 적합한 신재생에너지 기관차로의 대체가 이루어져야 함

2절 전력인프라 비용 저감효과

1. 목적

○ 수소연료전지 철도차량 개발하여 기존 전기철도를 대체 시 발생할 수 있는 전력인프라 비용 저감효과 분석

2. 전력인프라비용 저감효과

○ 전철전력설비를 위한 표준공사비 단가 선정은 개략적 기준에 의한 방법과 세부적 기준에 의한 방법에 의해 제시됨

○ 개략적 기준에 의한 표준공사비 산정(2013년 기준)

– 전철전력설비 표준공사비의 산출 범위는 전력설비, 송전선로, 변전설비 및 전차선로로 구분하여 제시

– 송전선로, 변전설비, 전차선로는 간선철도 기준이며, 제비율 적용공사비 포함 및 VAT는 제외

○ 도시부란 특별시, 광역시, 기타 시의 중심부이자 주거 밀집지역, 교통 혼잡지역, 지장물 밀집지역으로 하고 이외 지역을 일반부로 정의

– 아래 표준공사비에서는 『건설공사표준품셈』(국토교통부)에서 정의하고 있는 도시지역과 일반지역 구분을 기준으로 적용

[표 7.5] 전철전력설비 표준공사비(단위 : 억원/km)

출처 : 도로 및 철도부문 비용 추정 지침, 공공투자관리센터, 한국개발연구원, 2014.

구 분		복선전철		비고
		일반부	도시부	
전력		7.9	11	
전철화	송전선로	1.9	1.9	
	변전설비	5.6	7.3	60km 환산
	전차선로	8.9	8.9	
계		24.3	29.1	

○ 복선전철의 전철전력설비 표준공사비를 고려했을 때 수소연료전지 기관차의 새로운 노선을 위해 인프라 구축 시, 전력, 송전선로 및 변전설비는 불필요함

– 따라서 일반부 지역 노선을 위한 인프라 구축 시 15.4억원/km의 비용 절감

- 도시부 지역 노선을 위한 인프라 구축 시 20.2억원/km의 비용 절감

○ 또한 기존 노선에 수소연료전지 기관차 운행 시에는 새로운 전력설비 및 전차선로 설비를 고려하지 않아도 됨

- 일반부 지역 노선에서는 24.3억원/km 비용 절감
- 도시부 지역 노선에서는 29.1억원/km 비용 절감



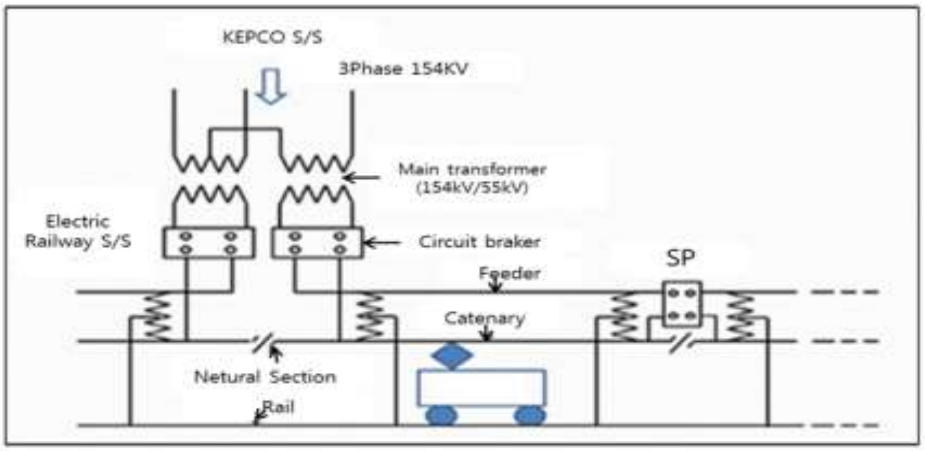
출처 : 한국철도시설공단

[그림 7.2] 전철전력설비(송전선로)



출처 : 한국철도시설공단

[그림 7.3] 전철전력설비(전차선로)



출처 : 한국철도시설공단

[그림 7.4] 전철전력설비(급전계통도)

3절 수소연료전지 열차 연비 예측 및 개선 효과 분석

1. 목적

○ 수소연료전지를 이용한 철도차량의 연비를 예측 분석하여 기술 개발 수준 및 방향 제시

2. 1.2MW급 디젤전기기관차 및 수소연료전지 기관차 연비 도출

○ 디젤 연료의 이론적인 전력량은 다음과 같음

$$\text{디젤}: 1[l] = 11.39[kWh] \quad (1)$$

○ 수소 연료의 이론적인 전력량은 다음과 같음

$$\text{수소}: [kg] = 39.53[kWh] \quad (2)$$

○ 디젤연료를 이용해 디젤전기기관차를 구동 시 에너지 효율을 20%라 가정

○ 수소연료를 이용해 수소연료전지 기관차를 구동 시 에너지 효율을 50%라 가정

○ 식 (1)과 (2)와 각 연료의 에너지 효율을 이용해 철도 구동에 사용되는 단위 연료 당 전력량을 다음과 같이 정의

$$\text{디젤}: 1[l] = 11.39[kWh] \times 0.2 = 2.27[kWh] \quad (3)$$

$$\text{수소}: 1[kg] = 39.53[kWh] \times 0.5 = 19.76[kWh] \quad (4)$$

○ 디젤 연료의 가격을 리터당 1,200원, 수소 연료의 가격을 kg당 6,000원이라 가정[54)]

○ 1.2MW급 입환기관차의 운행거리를 D[km]라 정의

○ 1.2MW급 입환기관차의 1km 구동을 위해 필요한 전력량 P[kWh/km]라 정의

○ 단위 디젤 연료 당 운행 가능한 거리는 다음과 같음

$$\frac{\text{철도구동을 위해 사용되는 디젤 } 1L\text{의 전력량}[kWh/L]}{1km\text{ 운행 시 필요한 전력량}[kWh/km]} = \frac{2.27}{P}[km/L] \quad (5)$$

○ 단위 수소 연료 당 운행 가능한 거리는 다음과 같음

$$\frac{\text{철도구동을 위해 사용되는 수소 } 1kg\text{의 전력량}[kWh/kg]}{1km\text{ 운행 시 필요한 전력량}[kWh/km]} = \frac{19.76}{P}[km/kg] \quad (6)$$

○ 앞서 가정한 디젤연료의 가격과 수소연료의 가격을 이용해 연료별 단위 천원 당 철도 구동 가능한 거리를 다음과 같이 계산

$$\frac{\text{단위 디젤연료 당 운행 가능한 거리}[km/L]}{\text{단위 디젤연료의 가격}[\text{천원}/L]} = \frac{\frac{2.27}{P}[km/L]}{1.2[\text{천원}/L]} = \frac{1.89}{P}[km/\text{천원}] \quad (7)$$

54) http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=110428

$$\frac{\text{단위수소연료당운행가능한거리}[km/kg]}{\text{단위수소연료의가격}[\text{천원}/kg]} = \frac{\frac{19.76}{P}[km/L]}{6[\text{천원}/L]} = \frac{3.29}{P}[km/\text{천원}] \quad (8)$$

[표 7.5] 디젤전기기관차와 수소연료전지 철도차량 연비 분석

디젤전기기관차	$\frac{1.89}{P}[km/\text{천원}] = \frac{1.89}{5.675}[km/\text{천원}] = 0.33[km/\text{천원}]$
수소연료전지 기관차	$\frac{3.29}{P(1-R_B)}[km/\text{천원}] = \frac{3.29}{5.675(1-0)}[km/\text{천원}] = 0.579[km/\text{천원}]$

○ 식 (8)에서 도출한 수소연료전지 철도차량의 연비는 배터리의 동력 보조 없이 순수 수소연료전지만을 이용해서 철도차량을 구동했을 때의 연비 예측 결과임

○ 배터리를 통해 회생되는 에너지 저장을 고려하면 연비 향상 예측

4절 수소연료전지 열차 사용 시 Peak 전력 감소 효과 분석

1. 목적

○ 수소연료전지를 이용한 철도차량이 독립적인 분산 발전 시스템으로의 역할을 했을 때 Peak 전력 감소 효과 분석

2. 1.2MW급 수소연료전지 기관차 발전량 도출

○ 수소연료전지와 배터리가 공급할 수 있는 발전량은 철도차량이 총 운행거리 D[km] 운행 시 필요한 발전량과 같음

○ 따라서 총 운행거리 D[km] 운행 시 필요한 전력량은 다음과 같음

$$D[km] \times P[kWh/km] = DP[kWh] \quad (20)$$

○ 따라서 1.2MW급의 철도차량의 운행거리가 D와 단위 km당 필요한 전력량 P를 다음과 같이 정의함

$$D[km] = 500[km],\ P[kWh/km] = 5.675[kWh/km] \quad (21)$$

○ 식 (22)를 이용해 1.2MW급 철도차량이 공급할 수 있는 전력량은 다음과 같음

$$D[km] \times P[kWh/km] = 2.8[MWh] \quad (22)$$

○ 산업용 전기요금은 kWh당 약 111원이므로 1.2MW급 수소연료전지-배터리 하이브리드 철도차량이 발전한 전력량을 산업용 전기요금으로 환산하면 다음과 같음

$$2800[kW] \times 111[원/kWh] = 310{,}800원 \quad (23)$$

○ 따라서 철도차량 1대가 1일 약 30만원의 전기 요금을 절약 할 수 있음을 알 수 있음

○ 이를 통해 총 4400호대 입환기관차 59대를 수소연료전지 철도차량으로 대체 시 1일 총 발전량과 이를 산업용 전기요금으로 환산하면 다음과 같음

$$59 \times 2.8[MW] = 165.2[MWh] \quad (24)$$

$$59 \times 310{,}800원 = 18{,}337{,}200원 \quad (25)$$

[별첨 1] 소요예산 투입계획(상세)

1. 총 연구비

(단위 : 백만원)

구분	세부과제명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총연구비
1세부	1. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발	774.6	9,108.9	6,833.9	996.5	786.1	18,500
2세부	2. 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발	991.4	3703.3	3040.1	1132.7	632.5	9,500
합 계		1,766.0	12,812.2	9,874.0	2,129.2	1,418.6	28,000

2. 세부과제별 연구비

가. 1세부과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 핵심기술 개발

(1) 1세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	240.0	690.0	510.0	270.0	240.0	1,950
연구장비재료비	60.0	6,760.0	4,940.0	250.0	100.0	12,110
기타경비 및 간접비	474.6	1658.9	1383.9	476.5	446.1	4,440
세부과제 연구비(소계)	774.6	9,108.9	6,833,9	996.5	786.1	18,500

(2) 1세부과제 인건비 투입계획

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	②참여기간(개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가	⑥인건비 (④x인건비 단가)
1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발		소계		12					360
	1-1-1. 선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-1-2. 수소연료전지용과 2차전지용DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-1-3. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-1-4. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	2	12	50%	12	5	60
1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발		소계		13					390
	1-2-1. 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	1년	1차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-2-2. 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-2-3. 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-2-4. 연료전지차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험	2년	4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	2	12	50%	12	5	60
1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발		소계		16					480
	1-3-1. 선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	1년	1차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-3-2. 영구자석동기전동기 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-3-3. 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	1	12	50%	6	5	30

(단위 : 백만원)

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	①투입인원수	②참여기간 (개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가	⑥인건비 (④x인건비 단가)
	1-3-4. 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-3-5. 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	2	12	50%	12	5	60
1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발		소계		16					480
	1-4-1. 선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축	1년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-4-2. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-4-4. 수소연료전지/2차전지 감시 및 보호기능 고도화 연구	2년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
			2차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-4-5. 수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구	1년	4차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-4-6. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증	3년	3차년도	2	12	50%	12	5	60
			4차년도	1	12	50%	6	5	30
			5차년도	1	12	50%	6	5	30
1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구		소계		10					240
	1-5-1. 수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발 및 최적 비율 선정	2년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
			2차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-5-2. 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	1년	1차년도	2	6	50%	6	5	30
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	1년	2차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-5-4. 스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발	2년	3차년도	2	12	50%	12	5	60
			4차년도	1	12	50%	6	5	30
	1-5-5. 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작	1년	5차년도	2	6	50%	6	5	30

(3) 1세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	
1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	소계						300					100					300					110	810
1-1-1. 선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구	1년	1차년도																					
1-1-2. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발	2년	2차년도						시뮬레이션툴		2	20	40											40
		3차년도																					
1-1-3. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작	2년	2차년도						계측장치 (오실로)		1	30	30	시작품		1	150	150	연구재료		1	50	50	230
		3차년도	전원장치(DC)		1	300	300						시작품		1	150	150	연구재료		1	20	20	470
1-1-4. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도						분석장비 (전력분석기)		1	30	30						연구재료		1	20	20	50
		5차년도																연구재료		1	20	20	20
1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	소계						350					40					600					160	1,150
1-2-1. 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	1년	1차년도																					
1-2-2. 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발	2년	2차년도	부하장치		1	50	50	시뮬레이션툴		1	20	20	시작품		1	150	150	연구재료		1	20	20	240
		3차년도	전원장치(AC)		1	300	300						시작품		1	150	150	연구재료		1	50	50	500
1-2-3. 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발	2년	2차년도						해석툴		1	20	20	시작품		1	150	150	연구재료		1	30	30	200
		3차년도											시작품		1	150	150	연구재료		1	20	20	170
1-2-4. 연료전지차량의 전력계통 연계 시스템 성능, 안전성검증 및 조합	2년	4차년도																		1	20	20	20
		5차년도																		1	20	20	20

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	
시험																							
1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발	소계						300					70					800					200	1,370
1-3-1. 선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	1년	1차년도																					
1-3-2. 영구자석동기전동기 설계 및 제작	2년	2차년도	분석툴		1	150	150						시작품		1	200	200	연구재료		1	20	20	370
		3차년도											시작품		1	200	200	연구재료		1	30	30	230
1-3-3. 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발	2년	2차년도						시뮬레이션툴		2	20	40											40
		3차년도																					
1-3-4. 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작	2년	2차년도	해석툴		1	150	150						시작품		1	200	200	연구재료		1	50	50	400
		3차년도						계측기		1	30	30	시작품		1	200	200	연구재료		1	60	60	290
1-3-5. 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도																연구재료		1	20	20	20
		5차년도																연구재료		1	20	20	20
1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발	소계																8,100					220	8,320
1-4-1. 선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축	1년	2차년도											모델링		1	100	100	연구재료			20	20	120
1-4-2. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작	2년	2차년도											하이브리드시스템		1	5,000	5,000	연구재료			20,	20	5,020
		3차년도											하이브리드시스템		1	3,000	3,000	연구재료			20	20	3,020
1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	2년	2차년도																연구재료			20	20	20
		3차년도																연구재료			20	20	20
1-4-4. 수소연료전지/2차전지 감시 및 보호기능 고도화 연구	2년	1차년도																연구재료			20	20	20

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비 재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	
		2차년도																연구재료			20	20	20
1-4-5. 수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구	1년	4차년도																연구재료			20	20	20
1-4-6. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증	3년	3차년도																연구재료			20	20	20
		4차년도																연구재료			20	20	20
		5차년도																연구재료			20	20	20
1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구	소계											20					300					140	460
1-5-1. 수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발 및 최적 비율 선정	2년	1차년도																연구재료			20	20	20
		2차년도																연구재료			20	20	20
1-5-2. 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	1년	1차년도																연구재료			20	20	20
1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	1년	2차년도						시뮬레이션툴		1	20	20						연구재료			20	20	40
1-5-4. 스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발	2년	3차년도											시작품		1	200	200	연구재료			20	20	220,
		4차년도											시작품		1	100	100	연구재료			20	20	120,
1-5-5. 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작	1년	5차년도																연구재료			20	20	20

(4) 1세부과제 간접비 및 기타경비 투입계획

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	기타경비						간접비		합계
			연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
			연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	
1-1. 수소연료전지 하이브리드 전력 변환 시스템의 최적 토폴로지 및 제어기법 개발	소계		182.5		390		54		143.7		770.2
1-1-1. 선행기술 검토 및 분석, 토폴로지 및 제어기법 분석 및 선정 연구	1년	1차년도	40	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	9.5	사업비의 10% 이상	104.0
1-1-2. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 제어알고리즘 개발	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	11.9	〃	90.9
		3차년도	22.5	전문가 활용비 등	70	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	9.7	〃	106.7
1-1-3. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	30.9	〃	109.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	70	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	56.9	〃	155.9
1-1-4. 수소연료전지용과 2차전지용 DC/DC 컨버터 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	13.9	〃	102.9
		5차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	109.	〃	198.0
1-2. 연료전지 차량과 전력계통 연계를 위한 운영시스템 개발	소계		180		350		58.5		173.9		762.4
1-2-1. 전력계통 연계시스템 요구사항 및 시스템 선정 연구	1년	1차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	인건비 15%	8.9	사업비의 10% 이상	97.9
1-2-2. 전력계통과 연료전지차량 연계형 전력변환장치 개발	2년	2차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	32.9	〃	121.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	57.9	〃	136.9
1-2-3. 연료전지 차량을 통한 전력계통 연계 전략 및 운용시스템 개발	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	27.9	〃	106.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	24.5	〃	99.0
1-2-4. 연료전지차량의 전력계통 연계시스템 성능, 안전성검증 및 조합시험	2년	4차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	10.9	〃	99.9

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	기타경비						간접비		합계
				연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
				연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	
			5차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	10.9	〃	99.9
1-3. 소형화를 위한 영구자석동기전동기를 적용한 SiC기반의 고출력밀도 추진시스템 개발		소계		230		450		72		212.2		964.2
	1-3-1. 선행기술 검토 및 분석, 고효율 영구자석동기전동기 요구사양 도출	1년	1차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	인건비 15%	8.9	사업비의 10% 이상	97.9
	1-3-2. 영구자석동기전동기 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	44.9	〃	123.9
			3차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	30.9	〃	109.9
	1-3-3. 주행모드별 영구자석동기전동기 제어 알고리즘 개발	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	11.9	〃	90.9
			3차년도	20	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	7.5	〃	82.0
	1-3-4. 고효율 SiC기반 추진용 인버터 소형 경량화 설계 및 제작	2년	2차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	48.9	〃	137.9
			3차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	37.5	〃	122.0
	1-3-5. 영구자석동기전동기와 SiC기반 추진용 인버터 조합시험을 통한 성능평가 및 실차검증	2년	4차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	10.9	〃	99.9
			5차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	10.9	〃	99.9
1-4. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 친환경 동력 시스템 및 제어 알고리즘 개발		소계		220		240		72		88.5		1,417
	1-4-1. 선행기술검토 및 분석, 수소연료전지 및 2차전지 모델링 구축	1년	2차년도	20	전문가 활용비 등	40	출장비 및 사무용품비 등	9	인건비 15%	18.0	사업비의 10% 이상	87.0
	1-4-2. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	506.9	〃	555.9
			3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	306.9	〃	355.9
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	2년	4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.9	〃	55.9
			5차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0
	1-4-4. 수소연료전지/2차전지 감시 및	2년	1차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	기타경비						간접비		합계
				연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
				연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	
	보호기능 고도화 연구		2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0
	1-4-5. 수소연료전지/2차전지 최적화 운영 및 유지보수방안 연구	1년	4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0
	1-4-6. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 성능평가 및 실차검증	3년	3차년도	20		20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.9	〃	55.9
			4차년도	20		20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0
			5차년도	20,		20,	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.4	〃	50.9
1-5. 연료전지 및 배터리의 비율 결정 연구		소계		190		210		36		90.1		526.1
	1-5-1. 수소연료전지/배터리 비율에 따른 동작 특성 시뮬레이션 모델 개발 및 최적 비율 선정	2년	1차년도	20	전문가 활용비 등	40	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	8.5	사업비의 10% 이상	73.0
			2차년도	30	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	7.5	〃	62.0
	1-5-2. 연료전지 하이브리드 최적 이차전지 분석	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51.0
	1-4-3. 수소연료전지/2차전지 하이브리드 시스템 냉각시스템 설계 및 제작	1년	2차년도	30	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	9.5	〃	64.0
	1-5-4. 스마트 에너지 관리시스템 요구사항 분석 및 사양개발	2년	3차년도	30	전문가 활용비 등	40	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	29.9	〃	108.9
			4차년도	30	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	17.5	〃	72.0
	1-5-5. 스마트 에너지 관리시스템 설계 및 제작	1년	5차년도	30	전문가 활용비 등	50	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	11	〃	95.5

나. 2세부과제 : 수소연료전지 하이브리드 철도차량 성능평가기술 개발

(1) 2세부 연구비

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
인건비	360.0	450.0	570.0	420.0	270.0	2,070
연구장비재료비	160.0	2,550.0	1,740.0	270.0	90.0	4,810
기타경비 및 간접비	471.4	703.3	730.1	442.7	272.5	2,620
세부과제 연구비(소계)	991.4	3,703.3	3,040.1	1,132.7	632.5	9,500

(2) 2세부과제 인건비 투입계획

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	②참여기간(개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가(천원)	⑥인건비 (④x인건비 단가)
2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축		소계		15					450
	2-1-1. 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작	3년	1차년도	2	12	50%	12	5	60
			2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-1-2. 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-1-3. 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작	3년	3차년도	2	12	50%	12	5	60
			4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-1-4. 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상	1년	2차년도	1	12	50%	6	5	30

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	①투입인원수	②참여기간 (개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가 (천원)	⑥인건비 (④x인건비 단가)
	주행시스템간 연계방안 연구								
	2-1-5. 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구	1년	4차년도	1	12	50%	6	5	30
2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축		소계		12					360
	2-2-1 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-2-2 차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-2-3 차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가	1년	3차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-2-4 차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험	3년	3차년도	2	12	50%	12	5	60
			4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	2	12	50%	12	5	60
2-3. 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구		소계		15					330
	2-3-1 철도차량 수소충전 및 운영효율화 방안 연구	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-3-2 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-3-3 수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	2년	4차년도	1	12	50%	6	5	30
			5차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-3-4 철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-3-5 철도차량 시운전용 수소충전소 설계 및 구축	4년	2차년도	2	6	50%	6	5	30
			3차년도	2	6	50%	6	5	30
			4차년도	2	6	50%	6	5	30
			5차년도	2	6	50%	6	5	30
	2-3-6 수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구	2년	4차년도	1	12	50%	6	5	30
			5차년도	1	12	50%	6	5	30

세부기술별 연구활동		연구기간	수행연도	①투입인원수	②참여기간(개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가(천원)	⑥인건비(④x인건비 단가)
2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전		소계		25					630
	2-4-1 차량개조관련 법규 및 제도 조사	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-4-2 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	1년	1차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-4-3 철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양 개발	1년	1차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-4-4 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-4-5 실차검증용 감속기 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-4-6 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작	2년	2차년도	2	12	50%	12	5	60
			3차년도	2	12	50%	12	5	60
	2-4-7 개조차량 설계 및 제작	2년	2차년도	2	6	50%	6	5	30
			3차년도	2	6	50%	6	5	30
	2-4-8 개조차량 완성차시험 및 시운전	2년	4차년도	2	6	50%	6	5	30
			5차년도	2	6	50%	6	5	30
2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발		소계		10					300
	2-5-1 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	1년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-5-2 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	2년	1차년도	1	12	50%	6	5	30
			2차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-5-3 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발	2년	2차년도	1	12	50%	6	5	30
			3차년도	1	12	50%	6	5	30

세부기술별 연구활동		연구 기간	수행 연도	①투입인원수	②참여기간 (개월수)	③참여율(%)	④M/M 산출(①x②x③)	인건비 단가 (천원)	⑥인건비 (④x인건비 단가)
	2-5-4 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상방안 연구	2년	3차년도	1	12	50%	6	5	30
			4차년도	1	12	50%	6	5	30
	2-5-5 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2년	4차년도	2	12	50%	12	5	60
			5차년도	1	12	50%	6	5	30

(3) 2세부과제 연구장비 및 재료비 투입계획

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	
2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	소계						200										300					140	640
2-1-1. 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작	3년	2차년도	HIL용 플랫폼		1	200	200											연구재료			20	20	220
		3차년도																연구재료			20	20	20
		4차년도																연구재료			20	20	20
2-1-2. 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	1년	1차년도																연구재료			20	20	20
2-1-3. 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작	3년	3차년도											가상주행시스템		1	300	300	연구재료			10	10	310
		4차년도																연구재료			10	10	10
		5차년도																연구재료			10	10	10,
2-1-4. 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구	1년	2차년도																연구재료			10	10	10
2-1-5. 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구	1년	4차년도																연구재료			20	20	20,
2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	소계																600					90	690
2-2-1 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도																연구재료			20	20	20,
2-2-2 차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작	2년	2차년도											조합시험용 test bench		6	100	600	연구재료			10	10	610
		3차년도																연구재료			10	10	10
2-2-3 차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가	1년	3차년도																연구재료			20	20	20
2-2-4 차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험	3년	3차년도																연구재료			10	10	10
		4차년도																연구재료			10	10	10

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	품명	규격	수량	단가	소계 (천원)	
		5차년도																연구재료			10	10	10
2-3. 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	소계																					140	140
2-3-1 철도차량 수소충전 및 운영효율화 방안 연구	1년	1차년도																연구재료			10	10	10
2-3-2 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도																연구재료			20	20	20
2-3-3 수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	2년	4차년도																연구재료			20	20	20
		5차년도																연구재료			20	20	20
2-3-4 철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구	1년	1차년도																연구재료			20	20	20
2-3-5 철도차량 시운전용 수소충전소 설계 및 구축	4년	2차년도																연구재료			10	10	10
		3차년도																연구재료			10	10	10
		4차년도																연구재료			10	10	10
		5차년도																					
2-3-6 수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구	2년	4차년도																연구재료			10	10	10
		5차년도																연구재료			10	10	10
2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	소계																2,840					350	3,190
2-4-1 차량개조관련 법규 및 제도 조사	1년	1차년도																연구재료			10	10	10
2-4-2 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	1년	1차년도																연구재료			10	10	10
2-4-3 철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도																연구재료			10	10	10
2-4-4 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구	2년	2차년도																연구재료			20	20	20
		3차년도																연구재료			20	20	20
2-4-5 실차검증용 감속기 설계 및 제작	2년	2차년도											감속기		6	40	240	연구재료			30	30	270

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	연구시설 및 장비비(3천만원 이상)					연구시설 및 장비비(3천만원 이하)					시작품 제작비					연구재료비					연구장비재료비 합계
			품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	품명	규격	수량	단가	소계(천원)	
		3차년도																연구재료			30	30	30
2-4-6 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작	2년	2차년도											제동시스템		1	100	100	연구재료			30	30	130
		3차년도																연구재료			30	30	30
2-4-7 개조차량 설계 및 제작	2년	2차년도					0					0	개조차량		1	1,200	1,200	연구재료			50	50	1,250,
		3차년도					0					0	개조차량		1	1,200	1,200	연구재료			50	50	1,250
2-4-8 개조차량 완성차시험 및 시운전	2년	4차년도					0					0	시운전계측시스템		1	100	100	연구재료			30	30	130
		5차년도					0					0					0	연구재료			30	30	30
2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	소계						0					0					0					150	150
2-5-1 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	1년	1차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
2-5-2 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	2년	1차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
		2차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
2-5-3 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발	2년	2차년도					0					0					0	연구재료			10	10	10
		3차년도					0					0					0	연구재료			10	10	10
2-5-4 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상 방안 연구	2년	3차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
		4차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
2-5-5 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2년	4차년도					0					0					0	연구재료			20	20	20
		5차년도					0					0					0	연구재료			10	10	10

(4) 2세부과제 간접비 및 기타경비 투입계획

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	기타경비						간접비		합계
			연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
			연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	
2-1. 철도차량 실부하 모의환경(HIL)을 통한 제어기 설계검증용 플랫폼 구축	소계		90		110		67.5		90.8		358.3
2-1-1 실부하 모의환경(HIL)용 플랫폼 설계 및 제작	3년	2차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	인건비 15%	24.9	사업비의 10%	53.9
		3차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	4.9	〃	33.9
		4차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	4.9	〃	33.9
2-1-2 실부하 모의환경을 이용한 개발품 제어기 설계검증방안 연구	1년	1차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	4.5	〃	29
2-1-3 철도차량 가상주행시스템 설계 및 제작	3년	3차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	33.9	〃	62.9
		4차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	3.9	〃	32.9
		5차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	3.9	〃	32.9
2-1-4 실부하 모의환경용 플랫폼과 철도차량 가상주행시스템간 연계방안 연구	1년	2차년도	10	전문가 활용비 등	30	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
2-1-5 철도차량 가상주행 시운전을 통한 실차 시운전 성능평가 예측방안 연구	1년	4차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	4.5	〃	29
2-2. 수소철도차량 주요 구성품 조합시험용 Test Bench 구축	소계		130		140		54		101.4		425.4
2-2-1 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	4.5	사업비의 10%	29
2-2-2 차량모의 조합시험용 Test Bench 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	65.9	〃	114.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	5.9	〃	54.9
2-2-3 차량모의 조합시험용 Test Bench 성능 및 신뢰성 평가	1년	3차년도	20	전문가 활용비 등	30	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	7.5	〃	62
2-2-4 차량모의 조합시험용 Test Bench를 이용한 개발품 조합시험	3년	3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	5.9	〃	54.9
		4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	5.9	〃	54.9

세부기술별 연구활동	연구 기간	수행 연도	기타경비						간접비		합계
			연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
			연구비 (천원)	내역	연구비 (천원)	내역	연구비 (천원)	내역	연구비 (천원)	내역	
		5차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	5.9	〃	54.9
2-3. 수소충전소 구축 및 활용성 향상 방안 연구	소계		210		210		49.5		60,950		61,419.5
2-3-1 철도차량 수소충전 및 운영효율화 방안 연구	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	5.5	사업비의 10%	50
2-3-2 수소충전소 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	30	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	7.5	〃	62
2-3-3 수소안전성 확보를 위한 법규 및 제도 개선방안 연구	2년	4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51
		5차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	51
2-3-4 철도차량 시운전용 수소충전소 구축 및 운용방안 연구	1년	1차년도	30	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	7.5	〃	62
2-3-5 철도차량 시운전용 수소충전소 설계 및 구축	4년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
		4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
		5차년도					4.5	〃	0.5	〃	5
2-3-6 수소연료전지 철도차량 및 수소충전소 유지보수방안 연구	2년	4차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
		5차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	50
2-4. 수소연료전지 하이브리드 시스템 개조 차량을 통한 실증 시험 및 운전	소계		260,		250		94.5		379.5		984
2-4-1 차량개조관련 법규 및 제도 조사	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	5,.5	사업비의 10%	50
2-4-2 개조차량 및 시험선 최적 선정방안 연구	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	30	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.9	〃	65.9
2-4-3 철도차량 개조를 위한 요구사항 분석 및 사양개발	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	5.9	〃	54.9
2-4-4 개발품 차량적용을 위한 효율적 인터페이스 방안 연구	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.9	〃	55.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.9	〃	55.9

세부기술별 연구활동	연구기간	수행연도	기타경비						간접비		합계
			연구활동비		연구과제추진비		연구수당				
			연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	연구비(천원)	내역	
2-4-5 실차검증용 감속기 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	31.9	〃	80.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	7.9	〃	56.9
2-4-6 실차검증용 제동시스템 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	17.9	〃	66.9
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	7.9	〃	56.9
2-4-7 개조차량 설계 및 제작	2년	2차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	129.5	〃	174
		3차년도	20	전문가 활용비 등	20	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	129.5	〃	174
2-4-8 개조차량 완성차시험 및 시운전	2년	4차년도	20	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	16.5	〃	51
		5차년도	20	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	6.5	〃	41
2-5. 수소철도차량 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	소계		134		100		45		43		322
2-5-1 주요 구성품관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	1년	1차년도	20	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	인건비 15%	5.5	사업비의 10%	40
2-5-2 수소연료전지 하이브리드 철도차량관련 국내외 규격 및 인증기준 조사	2년	1차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	4,.5	〃	29
		2차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	4,.5	〃	29
2-5-3 주요 구성품과 철도차량 시운전 시험절차 및 방법 개발	2년	2차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	3.5	〃	28
		3차년도	10	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	3.5	〃	28
2-5-4 철도차량 시운전 안전성 및 신뢰성 향상 방안 연구	2년	3차년도	20	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	40
		4차년도	20	전문가 활용비 등	10	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	5.5	〃	40
2-5-5 주요 구성품 및 철도차량 기술기준(안) 개발	2년	4차년도	20	전문가 활용비 등	15	출장비 및 사무용품비 등	9	〃	6.4	〃	50.4
		5차년도	14	전문가 활용비 등	15	출장비 및 사무용품비 등	4.5	〃	4.4	〃	37.9

[별첨 2]

가. 현대차 수소연료전지차, 왜 안전한가… “수소는 폭발하지 않아요”

(http://www.motorgraph.com/news/articlePrint.html?idxno=2346)

MOTORGRAPH

인쇄하기 창닫기

홈 > 뉴스 > 칼럼·분석

현대차 수소연료전지차, 왜 안전한가…"수소는 폭발하지 않아요"

2014년 04월 17일 (목) 23:58:59 김상영 기자 sy.kim@motorgraph.com

2012년, 플러그인 하이브리드 모델 쉐보레 볼트에서 화재가 발생했다. 배터리 냉각수 유출, 배터리 용접 불량 등으로 발생한 화재라고 미국 고속도로교통안전국은 설명했다. GM은 사고 후 배터리를 감싸는 구조물과 사이트폴임팩트 등을 추가했고 배터리 냉각수 상태를 측정하는 센서도 추가했다. 하지만 이후 볼트의 수요는 급감했고 심지어 사고 두달만에 볼트의 생산은 임시 중단되기도 했다.

지난해 테슬라 모델S도 비슷한 상황을 겪었다. 도로의 금속 파편이 차체 하부에 위치한 배터리팩에 충격을 줘 화재가 발생했다. 이 사고로 테슬라의 주가는 일시적이나마 폭락했고 국내 전기차 관련주까지 일제히 하락하는 사태가 벌어지기도 했다.



이같은 화재 사고가 연이어 발생하면서 플러그인 하이브리드, 전기차 및 수소연료전지차 등 차세대 파워트레인이 장착된 친환경차 안전성에 대한 소비자들의 신뢰도는 극심하게 떨어졌

나. ‘수소차=수소폭탄(?)’, 주행 중 갑자기 폭발한다면..사실은?

(http://car.chosun.com/site/data/html_dir/2017/08/21/2017082101829.html)

카 | 라이프

뉴스

‘수소차=수소 폭탄(?)’, 주행 중 갑자기 폭발한다면..사실은?

데일리카 박홍준 기자

입력 : 2017.08.21 15:19 | 수정 : 2017.08.21 15:19



차세대 친환경차로 각광받고 있는 수소차에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 수소차의 안전성에 대해 관심이 모아진다.

2수소차는 액화수소 자체를 연료로 삼는 수소연료자동차와 액화수소를 이용해 얻는 전기에너지로 동력을 발생시키는 수소연료전지차로 나뉜다.

수소연료자동차의 대표적인 사례는 BMW다. BMW는 수소를 연료로 하는 ‘하이드로젠 7’을 공개한 바 있는데, 해당 기술은 수소가스를 실린더에 직접 주입해 실린더에서 연소시키는 원리로 작동한다.

현대자동차와 토요타가 공개한 수소 연료전지의 개념은 이와는 다르다. FCEV라고 불리는 수소연료전지차는 액화수소를 공기중의 산소와 반응시켜 발생되는 전기를 동력으로 삼는다.

다. [특별기고] 수소 위험성의 이해를 위한 연소특성 분석

(http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=64277)

[특별기고]수소 위험성의 이해를 위한 연소특성 분석

안전한 사용 위해서는 정확한 연소특성 이해해야

가스신문 | kgnp@gasnews.com

[1147호] 승인 2014.02.27 23:09:23

수소의 화염속도는 LNG나 LPG에 비해 6~7배 빨라
수소 폭발하한계 4.0Vol%, 상한계는 77.0Vol% 적합



▲ 세명대학교 보건안전공학과 하동명 교수

1. 서론

산업현장에서 취급하는 위험물질의 화재 및 폭발 특성 파악은 공정의 안전 확보에 중요하다. 그 이유는 위험물질의 취급, 처리, 수송 등에 있어 기기의 불안전한 상태 혹은 인적오류에 의해 위험물질이 누출되는 경우 누출된 물질이 공기와 혼합하여 혼합기체를 형성하고 주위에 발화원이 존재한다면 화재 혹은 폭발이 발생될 수 있기 때문이다. 대표적인 화재 및 폭발 특성치로는 폭발한계, 인화점, 최소자연발화점, 최소산소농도, 최소발화에너지, 연소열 등을 들 수 있다.

산업현장에서 취급하고 있는 대부분의 물질의 화재 및 폭발 특성치는 한국산업안전공단에서 제공하고 있는 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 통해 얻을 수 있다. 또한 잘 알려진 D/B인 미국화학공학회 DIPPR(Design Institute for Physical Property Data)의 환경, 안전, 보건 특성치(Properties in the Environmental, Safety and Health Database)에서 화재 및 폭발 파라미터(Fire and Explosion Parameters)에서 폭발하한계와 상한계, 인화점, 최소발화온도, 연소열의 자료를 얻을 수 있다. 그러나 화재 및 폭발 특성치는 다양한 조건에서 실험함으로써 정확한 자료를 추출하는 데는 많은 연구와 고찰이 필요하다.

최근 화석연료를 대체할 에너지원 가운데 수소는 에너지원 보다는 에너지를 전달하는 매체로 가장 매력적인 것으로 여겨지고 있다. 현존하는 가스 가운데 가장 가벼운 수소는 상온에서 무색, 무취, 무미한 가연성 가스이고, 무독성가스로서 폭발범위가 매우 넓은 물질이다.

수소는 연소 후 물이 생성될 뿐 오염물질이 만들어지지 않아 화석연료를 대체할 무공해 에너지원으로 각광받고 있다. 또 연소열도 커 발열량이 석유보다 약 3배가량 높은 효율적인 에너지이다. 이 때문에 적절한 조건으로 통제하면서 수소를 연소시키면 일반 가정에서도 에너지원으로 이용할 수 있다. 그러나 수소는 금속을 녹이는 성질과 저장과 운반이 매우 어렵고, 수소가 누출되면 엄청난 폭발이 일어나기도 하여 취급이 매우 까다로운 물질로 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.

수소는 석유화학이나, 석유정제 분야에 주로 사용되고 있으며, 고압가스안전관리법에 따라 고압가스로 규제 받고 있다. 또한 수소 충전 차량용기의 압력은 최고 700기압(70MPa)의 초고압이므로 밀폐공간에 가스가 누출될 때 큰 사고가 일어 날 수 있다. 따라서 수소를 생산, 수송, 저장하기 위한 제품의 개발과 더불어 안전 기술개발은 무엇보다 중요하므로 수소의 안전성 평가가 선행되어야 한다.

본 고에서 수소의 화재 및 폭발 특성치 고찰을 통해 수소를 취급, 수송 및 저장하는 공정에서 안전성을 확보하여 중요한 자료로 이용하는데 목적이 있다.

라. 수소연료전지차폭발은 기우

(http://www.sciencetimes.co.kr/?news=%ec%88%98%ec%86%8c%ec%97%b0%eb%a3%8c%ec%a0%84%ec%a7%80%ec%b0%a8-%ed%8f%ad...)

- Sciencetimes - http://www.sciencetimes.co.kr -

수소연료전지차 폭발은 기우

[파플러사이언스 공동] 친환경 수소경제시대(3)

수소경제로 진입하기 위해서는 꼭 짚고 넘어가야 할 부분이 있다. 바로 안전성이다. 수소는 친환경에너지의 대명사지만 분명 강력한 폭발력을 내재하고 있는 가연성 가스이기도 하기 때문이다. 이런 이유로 수소에너지를 논할 때면 적지 않은 사람들이 수소폭탄을 떠올리며 불안감을 표명한다. 수소의 진정한 얼굴은 지킬박사일까, 아니면 하이드일까.

2010년 12월 울산 소재 SK에너지 중질유분해공장에서 수소생산설비(PSA) 배관설치 작업 중 수소가스가 누출해 폭발하는 사고가 발생했다. 이 사고로 1명이 숨지고 7명이 부상했다. 지난 2003년에는 한국과학기술원(KAIST) 실험실에서 고압수소용기가 폭발해 박사과정 학생 1명이 숨지고 1명이 다리가 절단되는 중상을 입었다. 이는 모두 수소의 위험성을 단적으로 보여주는 사례다.



▲ 미국 DOE와 CaFCP 등의 기관에서는 수소경제 시대 도래에 발맞춰 소방관을 대상으로 수소화재 진압 교육 프로그램을 운용하고 있다.

화석연료보다 안전성 확보 용이

실제로 수소는 확산성이 천연가스의 4배, 휘발유 증기의 12배에 달해 폭발범위가 넓다. 착화온도도 낮아 쉽게 발화한다. 하지만 전문가들은 모든 종류의 연료가 폭발위험을 안고 있어 세심한