

상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업



국토교통부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport



국토교통
과학기술진흥원

차 례

I. 사업 개요	1
제 1 절 기술의 정의 및 분류체계	2
1. 미래 수소사회 인프라 기술의 정의	2
가. 미래 수소사회의 개념	2
나. 수소경제 · 사회 인프라	6
2. 액체수소 기반 인프라 기술	9
가. 액체수소 기반 인프라 기술의 정의	9
나. 기술의 범위	9
다. 기술 분류 체계	10
3. 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 정의	11
가. 기획의 방향	11
나. 사업의 정의	12
제 2 절 사업추진 배경·필요성	20
1. 수소 · 경제 사회의 배경 및 필요성	20
가. 지구온난화에 따른 에너지 시스템의 변화	20
나. 미래 에너지 시스템에서의 수소의 역할	21
다. 수소사회 미래 비전	29
2. 액체수소 기반 인프라 추진 배경 및 필요성	34
가. 수소 생산 원료 및 수소 생산	34
나. 수소 저장	36
다. 수소 운송	45
라. 수소 사용	47
마. 수소 운송액체수소 기반 수소 스테이션의 경제성	48

마. 액체수소 기반 수소사회 인프라 구축 필요성 요약	53

제 3 절 사업추진 필요성 및 타당성 54

1. 사업추진 필요성	54
가. 수소사회 필요성	54
나. 정부의 기후변화 협약 대비 정책에 대한 수단	56
다. 국가 전략적 필요성	59
2. 사업추진의 시급성	60
3. 국고지원의 당위성	66
가. 관련 법령 부합성	66
나. 국가 정책 부합성	68
다. 연구개발 정책 부합성	70

제 4 절 사업기획 추진 체계 및 경과 72

1. 사업기획 추진 체계	72
2. 추진 경과	74

II. 대내외 환경 분석 81

제 1 절 메가트렌드 분석 82

1. 글로벌 메가트렌드 및 세부 트렌드	82
2. STEEP 분석	85
가. 사회 (Society)	85
나. 기술 (Technology)	87
다. 경제 (Economy)	89
라. 환경 (Ecology)	91
마. 정치 (Politics)	94
3. 미래사회 주요 이슈 및 이의 기술적 해소방안	97

가. 사회 (Society)	97
나. 기술 (Technology)	98
다. 경제 (Economy)	99
라. 환경 (Ecology)	100
마. 정치 (Politics)	101

제 2 절 국내외 정책동향 103

1. 국외 정책동향	103
2. 국내 정책동향	115

제 3 절 산업 및 시장 동향 118

1. 수소생산 및 유통 현황	118
2. 수소 공급 현황	121
가. 파이프라인 방식 수송시스템	121
나. 기체수소 방식 운반시스템	122
다. 액체수소 방식 수송시스템	122
3. 수소의 충전	127
가. 수소충전소	128
4. 수소의 사용	137
가. 건물용 연료전지	137
나. 연료전지 발전소	138
다. 수소연료전지차	139
라. 전세계 수소차 시장 전망	142
마. 기타 수소 시장	147
5. 국내 수소시장 현황과 전망	149

제 4 절 국내외 기술개발 동향 155

1. 국외 기술개발 동향	155

2. 국내 기술개발 동향	159
제 5 절 시사점	163
1. SWOT 분석	163
2. SWOT 전략	164
III. 국내 R&D 역량 분석	167
제 1 절 관련 산업 R&D 현황	168
1. 액체수소기반 인프라 구축 기술 관련 유관 분야 R&D 투자동향	168
가. 연관 기술 R&D 투자 현황	168
나. 액체수소 인프라 구축 기술 분야 R&D 현황 분석	172
제 2 절 액체수소기반 인프라 구축 관련 기술역량 분석	177
1. 특허기술동향 조사	177
가. 특허분석 개요	177
나. 특허동향	182
다. 기술동향	197
2. 국내 기술수준 분석	217
가. 액체수소기반 인프라 연관분야 기술수준 분석	217
나. 액체수소 기반 인프라 분야 기술수준 분석	219
3. R&D 인프라 현황	223
가. 산업계 (기업체)	223
나. 공공기관 · 연구소	229
다. 지방자치단체	231
라. 협회 및 학회	236

IV. 사업 목표/내용 및 추진전략 239

제 1 절 사업 목표 240

- 1. 사업의 비전 및 목표 240
 - 가. 사업의 비전 240
 - 나. 전략 목표 241
 - 다. 사업의 논리 모형 243
- 2. 사업의 최종 성과물 244
- 3. 사업의 성과목표·지표 246
 - 가. 성과지표 Pool 구축 246
 - 나. 성과목표 및 지표 총괄표 248
 - 다. 단계별 성과목표 및 성과지표 249

제 2 절 연구개발 과제 구성 255

- 1. Top-down 기술기획 256
 - 가. 사업 범위 및 목표 사양 설정 256
 - 나. 요소기술 도출 259
 - 다. 핵심요소기술 (CTE, Critical Technology Element) 선정 259
- 2. Bottom-up 기술기획 262
 - 가. 액체수소 기반 인프라 구축 관련 과제제안서 수요조사 방법 262
 - 나. 과제제안서 수요조사 결과 264
- 3. 연구개발 과제 구성 266

제 3 절 사업추진 전략 268

- 1. 수소액화 플랜트 고효율화 전략 268
 - 가. 수소액화 플랜트의 효율 268
 - 나. 국내 실정에 맞는 수소액화 고효율화 전략 269
- 2. 기술개발 성공 가능성을 높이기 위한 추진 전략 270

가. 수소액화 공정설계 기술 확보 및 검증용 수소액화 Pilot 플랜트 조기 구축 필요	270
나. 국제공동연구 방안	270
다. 기술 개발 전략 및 세부과제간 연계 전략	272
라. 개발 기술 활용방안 및 향후 액체수소 인프라 보급 방안	275
마. 단계별 접근 전략	277

제 4 절 사업 기대 효과 279

1. 기술적 기대 효과	279
2. 사회적 기대 효과	280
3. 경제적 기대 효과	281

제 5 절 사업추진체계 283

1. 사업 추진 방안 설정	283
가. 연구단 구성	283
나. 연구단 자격 요건	285
2. 사업추진체계	286
3. 사업주체간 역할분담	287

V. 세부기술 개발계획 289

제 1 절 기술개발 개요 290

제 2 절 세부과제 기술 개발 계획 292

1. 세부 1 과제 : 고효율 수소액화 공정 기술	293
가. 기술개발 배경 및 필요성	293
나. 기술개발 개요	297
다. 국내외 기술개발 동향	298

라. 세부개발 내용	312
마. Pilot 수소액화플랜트 구성	315
2. 세부 2 과제 : 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	322
가. 기술개발 배경 및 필요성	322
나. 기술개발 개요	325
다. 국내외 기술개발 동향	326
라. 세부개발 내용	335
3. 세부 3 과제 : 수소액화용 극저온 열교환기 개발	338
가. 기술개발 배경 및 필요성	338
나. 기술개발 개요	342
다. 국내외 기술개발 동향	347
라. 세부개발 내용	354
4. 세부 4 과제 : 수소액화용 Cold Box 개발	357
가. 기술개발 배경 및 필요성	357
나. 기술개발 개요	361
다. 국내외 기술개발 동향	362
라. 세부개발 내용	366
5. 세부 5 과제 : 수소액화용 극저온 밸브 개발	369
가. 기술개발 배경 및 필요성	369
나. 기술개발 개요	371
다. 국내외 기술개발 동향	373
라. 세부개발 내용	376
6. 세부 6 과제 : 액체수소 저장탱크 개발	381
가. 기술개발 배경 및 필요성	381
나. 기술개발 개요	383
다. 국내외 기술개발 동향	386
라. 세부개발 내용	399

제 3 절 기술개발 로드맵 및 소요 예산 402

1. 기술개발 로드맵	402

2. 투자규모	404
3. 소요 예산	405
가. 소요예산 추정 근거	405
4. 소요 인력	411
 제 4 절 세부과제별 성과 목표 및 성과 지표	412
1. 사업의 성과 목표 및 세부과제별 성과 목표	412
2. 성과 지표 설정 기준	415
3. 세부과제별 양적 성과지표	417
 VI. RFP	421
 제 1 절 총괄 RFP [연구단]	422
 제 2 절 세부과제 RFP	440

표 차례

[표 1] 수소·경제사회 주요 특징	4
[표 2] 액체수소기반 인프라 기술 분류 체계	10
[표 3] 사업 범위 설정	13
[표 4] 연구개발 과제 구성	13
[표 5] 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 논리적 모형	15
[표 6] 자동차의 분류	26
[표 7] 각국의 이산화탄소 및 연비 규제 로드맵	27
[표 8] 수소 생산 방식에 따른 기술 수준 분석	35
[표 9] 수소의 저장방식별 장·단점 (Technology Roadmap (H2 & FC), 2015, IEA)	37
[표 10] 다양한 수소 저장방식의 비교	38
[표 11] EEDI compliance of LNG Carrier	41
[표 12] 전세계 수소액화 플랜트 설치·운영 현황 (2010년 기준)	42
[표 13] 수소압축과 수소액화 효율, 냉열활용 액화 효율	44
[표 14] 수소 충전소 수소 공급 방식에 따른 경제성	46
[표 15] 수소의 운송방식별 장·단점 (Technology Roadmap (H2 & FC), 2015, IEA)	47
[표 16] 300kg/day, 700bar Hydrogen Station의 경제성 분석 결과	49
[표 17] 400 kg/day 수소충전소의 초기 투자비용	49
[표 18] 기체수소 및 액체수소 기반 충전소 경제성 비교	51
[표 19] 국내 수소차 및 충전소 보급 계획	58
[표 20] 국내 수소차 및 충전소 보급 계획	69
[표 21] 상위계획과의 부합성 검토 결과	71
[표 22] 관련주체별 세부역할	73
[표 23] 기획위원회 구성	73
[표 24] 유관기관 연구개발 참여의향서	80
[표 25] 글로벌 메가트렌드	

(제5회 과학기술 예측조사 (2016~2040), 과학기술정보통신부)	84
[표 26] 도시지역 인구현황 (자료 : 통계청e-나라지표 도시지역 인구현황)	86
[표 27] 세계 에너지수요 전망	95
[표 28] 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (관계부처 합동, 2015. 12)	115
[표 29] 친환경차 및 충전인프라 확대계획 (~2020년)	116
[표 30] 각국의 수소 제조기술	118
[표 31] 파이프라인 수송방식에 따른 소요비용	121
[표 32] 전세계 수소액화 플랜트 설치·운영 현황 (2010년 기준)	123
[표 33] 각국의 수소충전소 구축 현황 (단위 : 개소)	131
[표 34] 해외 주요 수소충전소 설비업체의 수출 현황	132
[표 35] Linde 튜브트레일러 수소충전소 사양	132
[표 36] Air Products 튜브트레일러 수소충전소 사양	132
[표 37] Hydrogenics 수전해 수소충전소 사양	133
[표 38] Air liquide 수소충전소 사양	133
[표 39] H2 Logic 튜브트레일러 수소충전소 사양	134
[표 40] 수소 장비/자재 리스트(국내외 기업)	135
[표 41] 연료전지발전소 보급현황	139
[표 42] 주요 제조사 수소전기차 제원	142
[표 43] IEA에서 전망한 자동차 세계시장 (2012, 단위 : 백만대)	143
[표 44] 일본 수소차 수소충전소 보급 및 주요목표	145
[표 45] 국내 산업용 수소 총 공급가능량 (출처 : 신소재경제신문, 2014. 7. 1)	149
[표 46] 국내 수소연료전지 관련 기업 현황	150
[표 47] 결과 활용 예상 수요기업 현황	151
[표 48] 국내 수소충전소 구축현황	153
[표 49] 미국 에너지성 (DOE)이 제시한 항목별 목표	156
[표 50] HESS와 연계된 주요국 기술개발 동향	158
[표 51] 에너지 자원 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교 ('15, 단위: 억원)	169
[표 52] 기계 제조 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교 ('15)	171
[표 53] 건설 교통 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교	

('15, 단위: 억원)	172
[표 54] 액체수소 인프라 구축과 관련 지원과제 NTIS 검색 결과	172
[표 55] 액체수소 인프라 구축 기술 분야 연도별 R&D 지원 현황	175
[표 56] 액체수소 인프라 구축과 관련 구축장비 NTIS 검색 결과	176
[표 57] 검색DB 및 검색범위	178
[표 58] 특허 검색식 구성을 위한 기술분류체계	178
[표 59] 기술분류 기준에 따른 최종 검색식	179
[표 60] 유효특허 선별 결과	181
[표 61] 세부 기술별 기술순화주기 지수	210
[표 62] 수소액화 핵심설비 분야 출원 증가율 분석	211
[표 63] 수소액화 핵심설비 분야 점유율 분석	212
[표 64] 수소액화 핵심설비 분야 특허시장 확보력 분석	212
[표 65] IP 부상도 항목별 판단 기준표	213
[표 66] 세부기술별 항목별 평가 결과 결과	213
[표 67] IP 부상도 판단 결과	213
[표 68] 미국 특허에 기반한 영향력 지수 및 기술력 지수 분석결과	214
[표 69] 액체수소 인프라 기반 구축 기술의 국가간 지식흐름 분석결과	216
[표 70] 최고기술국 대비 국가별 기술수준 변동	218
[표 71] 최고기술국 대비 국가별 기술격차 변동	219
[표 72] 평가항목 분류 및 정의	219
[표 73] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 기술 트리	220
[표 74] 평가 항목 간 가중치 도출 결과	220
[표 75] 전략기술 우선순위 최종 결과	221
[표 76] 전략기술별 국내 기술수준 분석 결과	222
[표 77] 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 논리적 모형	243
[표 78] 유형별 성과지표 Pool	246
[표 79] 논리모형과 설정한 성과목표 및 지표와의 상관관계	247
[표 80] 성과목표 및 지표 총괄표	248
[표 81] 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (관계부처 합동, 2015. 12)	257
[표 82] 주요 제조사 별 상용급 수소액화 플랜트 용량 및 공정	257
[표 83] 요소기술 도출 결과	259

[표 84] 국내 실정을 토대로 개발 가능 핵심 요소기술 리스트	260
[표 85] 기획위원 명단	261
[표 86] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 과제제안서 양식	262
[표 87] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 참여의향서 양식	263
[표 88] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 과제제안서 접수 결과	264
[표 89] 기술수요조사 결과	266
[표 90] 연구개발 과제 구성	267
[표 91] 기체수소와 액체수소 비교	268
[표 92] 수소압축과 수소액화 효율	269
[표 93] 1단계 성과물 및 성공 판단 기준	277
[표 94] 세부과제간 연계관계 및 공모방안	284
[표 95] 추진 주체별 역할 및 기능	288
[표 96] 연구개발 과제 구성	292
[표 97] 최대 역전 온도	294
[표 98] 액화를 위한 소요 입력 에너지 계산 결과 (300 K, 101.3 kPa)	295
[표 99] 수소온도에 따른 엔탈피	297
[표 100] 4개 사이클에 대한 설계 공정 액화효율	305
[표 101] 수소액화 공정기술 주요 국내 특허	308
[표 102] 수소액화 공정기술 주요 국외 특허	310
[표 103] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	312
[표 104] IP 부상도 항목별 판단 기준표	330
[표 105] IP 부상도 판단 결과	331
[표 106] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허	331
[표 107] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	335
[표 108] PFHE의 주요 제작사 및 특징	348
[표 109] IP 부상도 항목별 판단 기준표	350
[표 110] IP 부상도 판단 결과	351
[표 111] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허	351
[표 112] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	354
[표 113] 생산 액체수소의 순도	358
[표 114] 전세계 수소액화플랜트 건설 및 운전현황	364

[표 115] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	367
[표 116] NTIS 유사과제 연구개발동향 분석결과 (2002~2018년)	373
[표 117] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	376
[표 118] 극저온 액체 수소 탱크의 증발률	387
[표 119] IP 부상도 항목별 판단 기준표	393
[표 120] IP 부상도 판단 결과	393
[표 121] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허	394
[표 122] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향	399
[표 123] 총 투자계획	404
[표 124] 유사사업 검색 개요	405
[표 125] 유사사업과의 과제수 및 과제당 연구비 비교	406
[표 126] 수소액화 플랜트 기술 분야 소요 인력	411

그림 차례

[그림 1] 수소 경제·사회 개요도	3
[그림 2] 신재생 에너지 및 ESS 관점에서의 수소에너지 공급체계도	5
[그림 3] 미래 에너지 시스템 (Technology Roadmap (H2 & FC), 2015, IEA)	5
[그림 4] 미래 수소사회 인프라의 가치사슬	6
[그림 5] 수소 운송 방식별 개념도	7
[그림 6] 수소인프라와 타 에너지 인프라의 비교	8
[그림 7] 분야별 수소 활용처	8
[그림 8] 액체수소기반 인프라 기술의 범위	9
[그림 9] 에너지 패러다임 변화 수용 수소에너지	11
[그림 10] 액체수소 기반 수소사회의 미래상	12
[그림 11] 액체수소 기반 인프라 기술 개념도	14
[그림 12] 수소산업 Supply Chain (출처: 수소융합얼라이언스 추진단)	16
[그림 13] 국내 수소·연료전지 연관 산업	16
[그림 14] 기후변화 협약에 따른 전 세계 에너지원의 구성 전망	20
[그림 15] Global CO2 Reductions by technology area (2013-50)	21
[그림 16] 미래에너지 시스템에서 수소의 역할	22
[그림 17] 독일 2050년 신재생 전력 수요 공급 시뮬레이션 (Hydrogen Council, 2017)	23
[그림 18] 전기 저장 방식 기술 및 활용처	24
[그림 19] 친환경차의 CO2 배출량 및 1회 충전 최대 운전거리	26
[그림 20] 차체 중량 및 일일 주행거리에 따른 친환경차 분류	27
[그림 21] 자동차 산업 재편에 따른 대응 방향	27
[그림 22] Comparison of the cumulative investment of supply infrastructures	28
[그림 23] 분야별 수소 활용처	29
[그림 24] 수소 활용기술의 상용화 시점	30
[그림 25] 2050년 기준 수소 활용기술의 에너지 사용량 및	

시장 점유율 예측	31
[그림 26] 2DS에서의 이산화탄소 감축 방안 (IEA, 2016)	32
[그림 27] 미래 최종에너지 수요 중 수소 수요 (EJ = 1018 J)	32
[그림 28] 수소 사용에 의한 이산화탄소 감축량 (2050년)	33
[그림 29] 미래 수소사회 인프라의 가치사슬	34
[그림 30] Power to Gas 개념	36
[그림 31] 온도와 압력에 따른 수소 저장량 비교	38
[그림 32] 고압 기체수소와 액체수소의 수송효율 비교	39
[그림 33] 고압 기체수소와 액체수소의 저장효율 비교 (Cologne, Germany) ...	39
[그림 34] Dead weight vs. EEPDI	40
[그림 35] EEDI 규제를 만족하기 위한 선박 추진시스템 연료	41
[그림 36] HySTRA (CO ₂ -free Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association, '15-'20)	43
[그림 37] 수소압축 및 수소액화에 따른 소요 동력 비교	43
[그림 38] LNG 활용 고효율 수소액화 공정 개념도	44
[그림 39] 수소 운송 방식별 개념도	45
[그림 40] 수소인프라와 타 에너지 인프라의 비교	45
[그림 41] 수소생산부터 운송 및 활용을 위한 수소인프라 개념	47
[그림 42] Tube Trailer 방식 기체수소와 액체수소 공급 과정 비교	48
[그림 43] 기후변화 협약에 따른 전 세계 에너지원의 구성 전망	54
[그림 44] 전기 저장 방식 기술 및 활용처	55
[그림 45] 미래 에너지 시스템 (Technology Roadmap (H ₂ & FC), 2015, IEA)	55
[그림 46] 재생에너지 3020 실행계획(안)의 보급 목표	56
[그림 47] 고압 기체수소와 액체수소의 수송효율 비교	57
[그림 48] 고압 기체수소와 액체수소의 저장효율 비교 (Cologne, Germany) ...	57
[그림 49] 수소사회 전환 가능성 분석을 위한 개발 척도	61
[그림 50] 수소사회 전환 가능성 분석 결과	61
[그림 51] 수소인프라 가치사슬 내 산업의 크기	62
[그림 52] 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업 육성을 위한 정책지원 방향	64
[그림 53] 본 사업을 통한 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업의 동반 성장 ...	64

[그림 54] 산업성장에서의 인프라의 역할	65
[그림 55] 사업기획 추진체계	72
[그림 56] 2015~2060년 세계와 한국의 인구구조	85
[그림 57] 1960~2060년 세계와 한국의 생산가능인구 비중	86
[그림 58] 네트워크에 연결된 사물의 수와 보급률	88
[그림 59] 연도별 지역무역협정 발효 현황	89
[그림 60] 글로벌 파워 지수 전망 (Global Trends 2030, 미국 국가정보위원회)	90
[그림 61] PLDV Stock in 2DS High H2-EU (Technology Roadmap (H2 and FC), 2015, IEA)	90
[그림 62] 전 세계 평균온도 변화	91
[그림 63] 전 세계 도시별 미세먼지 발생 정도(2008~2013), 세계보건기구	92
[그림 64] Global Primary Energy Use (Energy Technology Perspective 2016, IEA)	93
[그림 65] 세계평화지수 2015년 결과	94
[그림 66] 청정에너지 혁신미션 (Mission Innovation) 개요	103
[그림 67] 캘리포니아 주 수소충전소 보급 로드맵 (자료출처 : CaFCP)	105
[그림 68] FCHJU 조직도	106
[그림 69] 각 국의 신재생에너지 이용 및 연비규제 동향	110
[그림 70] 일본의 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵	111
[그림 71] HySTRA (CO ₂ -free Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association, '15-'20)	112
[그림 72] 미국 에어프로덕트의 융합스테이션 사례	113
[그림 73] Entire hydrogen value chain (Linde group)	114
[그림 74] 독일의 복합에너지 충전소	114
[그림 75] 이탈리아의 복합에너지 충전소	114
[그림 76] 세계 수소소비 형태 (IEA, 2013)	119
[그림 77] 다양한 수소생산 방식과 이송, 저장 방법	120
[그림 78] 수소 파이프라인 설치 현황 (좌측: 유럽, 우측: 미국)	121
[그림 79] 압축수소 Tube-trailer (600kg 수송가능)	122
[그림 80] 독일의 수소액화 플랜트	124

[그림 81] 수소액화 플랜트 (일본)	124
[그림 82] Entire hydrogen value chain (Linde group)	125
[그림 83] GH2 와 LH2 동시 충전이 가능한 지하 저장형 액체수소충전소 개념도	125
[그림 84] 액체수소저장시스템 개념도	126
[그림 85] On-site 방식 수소충전소 개념도(CNG 개질방식)	127
[그림 86] Off-site 방식 수소충전소 개념도 (튜브트레일러 수송)	127
[그림 87] Off-site 방식 수소충전소 개념도 (파이프라인 이용)	128
[그림 88] 수소충전소의 구조 (카트리지 방식)	128
[그림 89] 생산지역에서 수소충전소까지 파이프라인으로 수소를 이송하는 방식	129
[그림 90] 생산지역에서 수소충전소까지 튜브트레일러로 수소를 이송하는 방식	129
[그림 91] 수소충전소에서 CNG, LPG 등을 개질하여 수소를 생산하는 방식	129
[그림 92] 수소충전소에서 도시가스 배관을 통해 수소를 생산하는 방식	130
[그림 93] 수소충전소에서 물을 전기분해(수전해)하여 수소를 생산하는 방식	130
[그림 94] 전 세계 수소충전소 현황	130
[그림 95] H2 Logic 이동식 수소충전소	134
[그림 96] 수소의 사용처 개념도 (출처: 이와타니 브로슈어)	137
[그림 97] 수소연료전지 용도별 보급량 및 보급용량	137
[그림 98] 국내 건물용 연료전지 시스템 및 성능	138
[그림 99] 연료전지 발전소 개념도 및 설치사례	138
[그림 100] 수소차 전기생성 원리	140
[그림 101] 수소차의 주요구성부품	140
[그림 102] 친환경차 비교 (환경부, 2015)	141
[그림 103] IEA “Blue Map Scenario” 의 자동차 세계시장 전망 (2012)	143
[그림 104] 전력기반차 세계시장 전망	144
[그림 105] 기후변화 2DS 시나리오 기준 수소연료전지자동차 시장 예측	144

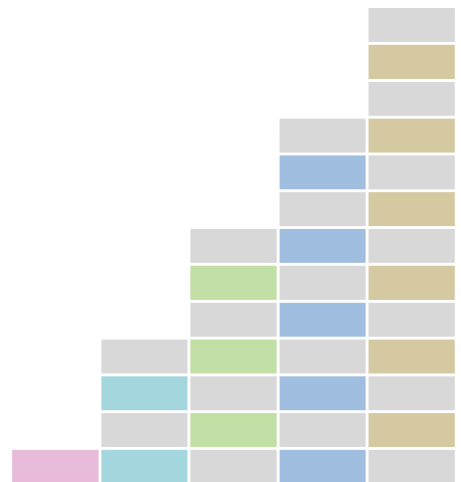
[그림 106] 수소 이송·저장 및 제조 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)	145
[그림 107] 수소충전소 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)	146
[그림 108] 수소차 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)	146
[그림 109] 세계 드론시장 규모 예측 (드론 시장 및 산업동향, 융합연구정책센터, 2017)	147
[그림 110] 국내 수소차 관련 산업의 여건 (요약)	151
[그림 111] 수소차 시장 전망 분석 (현대자동차, 2015)	152
[그림 112] 0.5 liter/hr급 수소액화시스템 (KIST)	159
[그림 113] 헬륨냉각 사이클 기반의 중·소형 (300 Nm ³ /hr)급 수소 액화시스템 설계 (KIMM)	161
[그림 114] Pilot 소형 극저온 고압 냉각시스템 및 쿨드박스 (KIMM)	161
[그림 115] 정부R&D 중 에너지·자원 분야 투자 현황	168
[그림 116] 기계 제조 분야 R&D 투자 현황	170
[그림 117] 건설 교통 분야 R&D 투자 현황	171
[그림 118] 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)	182
[그림 119] 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)	183
[그림 120] 개별국 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)	184
[그림 121] 개별국 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)	185
[그림 122] 주요시장국 내외국인 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)	188
[그림 123] 주요시장국 내외국인 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)	189
[그림 124] 한국의 특허출원 현황	189
[그림 125] 미국의 특허출원 현황	190
[그림 126] 일본의 특허출원 현황	190
[그림 127] 유럽의 특허출원 현황	191
[그림 128] 중국의 특허출원 현황	191
[그림 129] 기술시장 성장단계	192
[그림 130] 포트폴리오로 전체 기술시장 성장단계	193

[그림 131] 상위 주요 출원인 현황	195
[그림 132] 국내 주요 출원인 현황	196
[그림 133] 주요 기술의 연도별 특허동향	197
[그림 134] 한국의 세부기술별 특허출원 현황	198
[그림 135] 미국의 세부기술별 특허출원 현황	198
[그림 136] 일본의 세부기술별 특허출원 현황	199
[그림 137] 유럽의 세부기술별 특허출원 현황	199
[그림 138] 중국의 세부기술별 특허출원 현황	200
[그림 139] 액체수소 인프라 기반 구축 기술개발 분야의 구간별 증가율 및 점유율	201
[그림 140] 포트폴리오로 본 세부기술별 성장단계	202
[그림 141] 수소액화 핵심설비기술의 성장단계	204
[그림 142] 분석대상 기술의 공백영역 분석결과	206
[그림 143] 수소액화 핵심설비 기술 분야의 공백영역 분석결과	207
[그림 144] 각국의 시장 경쟁력 분석결과	208
[그림 145] 연구개발 방향 및 순환주기 분석결과	209
[그림 146] 기술력지수 (TS) 그래프	214
[그림 147] 국가별 연구개발 방향 분석 결과	215
[그림 148] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차	218
[그림 149] 발전용/건물용 연료전지 융·복합 클러스터 구축 모델	231
[그림 150] 광주창조경제 혁신센터 구성 및 지원	232
[그림 151] 강원도에서 모식 중인 청정에너지 타운	233
[그림 152] 충남 수소차 산업 육성 모델	234
[그림 153] 수소사회의 미래상	240
[그림 154] 사업의 비전	241
[그림 155] R&D 세부과제(중점 지원 사업) 선정 프로세스	255
[그림 156] 사업비전을 위한 전체 기술 범위	256
[그림 157] 상용급 수소액화 플랜트 공정 및 목표사양	258
[그림 158] LNG 활용 고효율 수소액화 공정 개념도	269
[그림 159] 수소액화 분야 국제공동연구 추진의 예	271
[그림 160] 수소액화 분야 기술 로드맵 및 상용급 실증플랜트 연계 방안	272

[그림 161] 수소액화 플랜트 공정 설계의 예	274
[그림 162] 사업 추진 체계	286
[그림 163] 액체수소 기반 수소사회의 미래상	290
[그림 164] Inversion curve (Joule-Thomson expansion)	293
[그림 165] Efficiency comparison of hydrogen liquefaction plants	295
[그림 166] 수소 가스의 T-h 선도	296
[그림 167] 고효율 수소액화 공정 기술 개념도	297
[그림 168] 0.5 liter/hr급 수소액화시스템 (KIST)	299
[그림 169] 헬륨냉각 사이클 기반의 중·소형 (300 Nm ³ /hr)급 수소 액화시스템 설계 (KIMM)	301
[그림 170] Ingolstadt 수소액화 공정(Linde)	303
[그림 171] Leuna 수소액화 공정 (Linde)	304
[그림 172] 액체질소 예냉 수소 Claude 액화공정 (WE-NET)	305
[그림 173] 수소액화공정 (수소 Claude 사이클/질소 재액화 냉동사이클 조합, WE-NET)	305
[그림 174] 고효율 수소액화 공정 기술 연도별 특허동향	307
[그림 175] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계	307
[그림 176] SMR 플랜트 예	315
[그림 177] SMR 공정도 개요	316
[그림 178] Cold Box 개념도	318
[그림 179] Cold Box 예 (Air Liquide)	319
[그림 180] 0.5 ton/day pilot 플랜트 소요 면적 추정	321
[그림 181] 주요 Turbo Expander 제조사	323
[그림 182] 대용량 Turbo Expander의 기술적 이슈 예시 (GE Oil&Gas)	324
[그림 183] 수소액화 시스템 및 Turbo Expander (Linde)	327
[그림 184] 수소액화 시스템 및 제품 용량 (Air Liquide)	327
[그림 185] 극저온용 Turbo Expander (Cryostar)	328
[그림 186] 극저온용 Turbo Expander (PBS)	328
[그림 187] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계	330
[그림 188] Helium Brayton Cycle	341
[그림 189] Hydrogen Claude Cycle	341

[그림 190] 수소액화의 액서지분석	342
[그림 191] LEUNA 수소액화공정 (LINDE)	343
[그림 192] Plate-Fin 열교환기의 구조	344
[그림 193] Plate-Fin 열교환기의 구조	345
[그림 194] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계	349
[그림 195] Aluminum Plate-Fin Heat Exchanger (Linde Engineering)	357
[그림 196] Turbo-expander (Air Liquide)	358
[그림 197] Vacuum pumping system (Air Liquide)	359
[그림 198] Cold box (Linde-kryotechnik)	359
[그림 199] 진공도에 따른 평균 열전도 계수의 변화	360
[그림 200] Cold box 내부구조	361
[그림 201] Pilot 수소액화시스템 및 콜드박스 (KIMM)	362
[그림 202] 극저온 공기분리장치 (대성산업가스(주))	363
[그림 203] 초전도 전력기기 냉각시스템 (KIMM)	364
[그림 204] 극저온 밸브 구분	369
[그림 205] LNG 극저온 밸브	371
[그림 206] 국내 극저온 밸브 특허 대표도	375
[그림 207] 국내 극저온 고압 펌프 특허 대표도	375
[그림 208] 극저온 액체수소 밸브 및 시스템	376
[그림 209] 액체수소저장시스템 개념도	381
[그림 210] GH2 와 LH2 동시 충전이 가능한 지하 저장형 액체수소충전소 개념도	382
[그림 211] 린데의 수직형 액체수소 저장탱크(내용적 : 12,000리터)	382
[그림 212] LH2 수송용 트레일러: 실린더 방식으로 수송 효율이 낮음	382
[그림 213] 횡형 액체수소저장탱크 설계도	386
[그림 214] 자동차용 액체수소저장탱크 설계도 및 사양	387
[그림 215] 지하 매몰형 액체수소저장탱크 설계도	389
[그림 216] 미국 SHELL사 지하 매몰형 액체수소충전소 저장설비	389
[그림 217] 지하 매몰형 액체수소 저장탱크 (유럽)	390
[그림 218] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계	393
[그림 219] 기술 개발 로드맵	402

I. 사업 개요



제 1 절 기술의 정의 및 분류체계

1. 미래 수소사회 인프라 기술의 정의

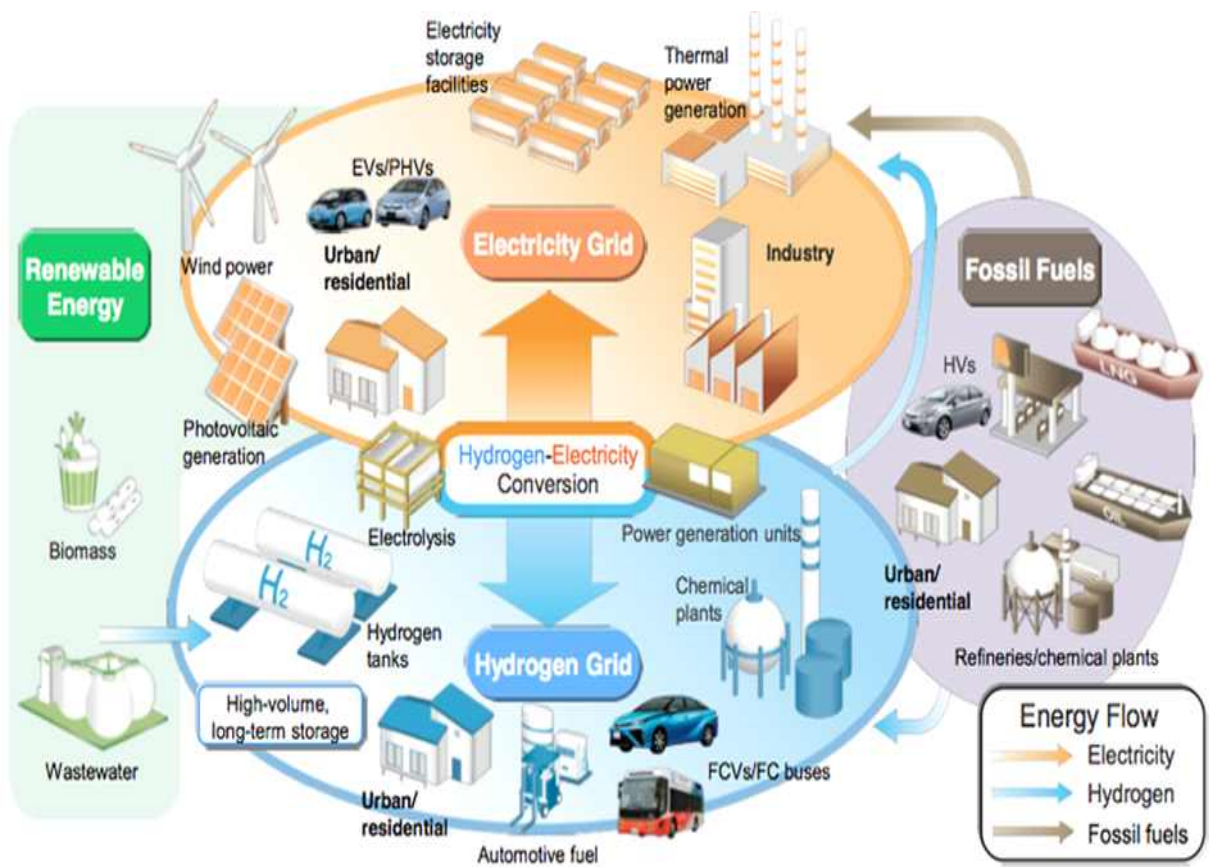
가. 미래 수소사회의 개념

- 환경문제가 인류의 생존문제로까지 부각되면서 전 세계적으로 지구 온난화 문제 해결 및 대기환경 개선을 위한 노력을 경주하고 있음
 - 전 세계적으로 온실가스 감축 위한 특별한 노력이 없을 경우, 대기 중 CO₂ 농도 변화는 '00년에서 '50년까지 약 44% 증가할 것으로 예상
 - 균형적 발전 (A1B) 시나리오 가정 시, 369ppm('00)→454ppm('30)→532ppm('50) (IPCC, 2007)
 - 유엔기후변화협약 (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992) 제 21차 당사국 총회 (COP 21, 2015)
 - 2℃ 내 상승 억제 (2DS) 를 위한 온실가스 감축과 기후변화 적응 의무 부여
 - 감축방안 : 에너지효율개선, 온실가스 회수/제거, 저탄소에너지 (신재생 에너지) 확대
- (수소 경제·사회) 탄소에 기반을 둔 하부 경제구조(에너지기반)가 화석연료에서 수소 중심으로 전환된 경제·사회를 의미하며, 탈 탄소화 정도에 따라 광의 및 협의로 해석할 수 있음

광 의 (중단기적 정의)	석유, 석탄, 천연가스, 원자력, 신.재생에너지 등을 이용하여 수소를 생산하고, 연료전지 등을 통해 활용하는 고효율 저탄소 경제사회
협 의 (장기적 정의)	태양에너지 등 신.재생에너지를 활용하여 직접 또는 물을 분해하여 수소를 생산하고, 연료전지 등을 통해 활용하는 고효율 무탄소 경제사회

- 국민생활과 산업 활동의 에너지를 기존의 탄소를 발생하는 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료 중심에서 탄소를 발생하지 않거나 적게 발생하는 신재생에너지, 수소 등으로 대체하는 경제개념으로 이해
- 이러한 수소 경제·사회 실현을 위해서는 수소의 생산과 공급, 활용에 있어 기존 화석연료 대비 보급·확산을 위한 정치적 기술적 불확실성 해소와 시장성을 확보하여야 함

- 수소는 인류가 당면하고 있는 에너지 문제와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지 원으로서 주목받고 있어 미래는 저탄소 청정에너지원인 ‘수소에너지 공급 시스템에 기반한 경제체제’인 「수소·경제사회」로의 재편이 예상된다¹⁾
- 2017년 1월 17일 다보스 포럼에서 ‘수소위원회(Hydrogen Council)’가 신설되어 탄소경 제사회를 수소경제사회로 이행을 촉진하기 위한 국제적인 노력이 이뤄지고 있음
- 국제에너지기구(IEA)는 세계 수소자동차 비율을 2030년 1.8%, 2050년 17.7%로 전망하고 있으나 미국은 2050년까지 신차 판매 중 수소자동차 비율을 27%로, 독일은 2030년까지 25%로 끌어올리는 보급 로드맵을 추진 중
- 일본 정부는 2013년 발표된 에너지기본계획 법안에서 “수소사회 실현”을 명문화
- 우리나라도 2018년 4월 10일 “수소경제법안”(의안번호 : 12992, 이원욱 의원 대표 발의) 발의를 통하여 미래 수소경제 사회로의 이행을 촉진하기 위해 노력 중



[그림 1] 수소 경제·사회 개요도

□ 수소·경제사회는 정치·경제·사회적 측면에서 다양한 해석이 가능하나, 대체적으로 아래 표와 같이 주요 특징을 비교할 수 있음

1) 출처 : <http://www.ridemag.co.kr/news/articleView.html?idxno=3372>

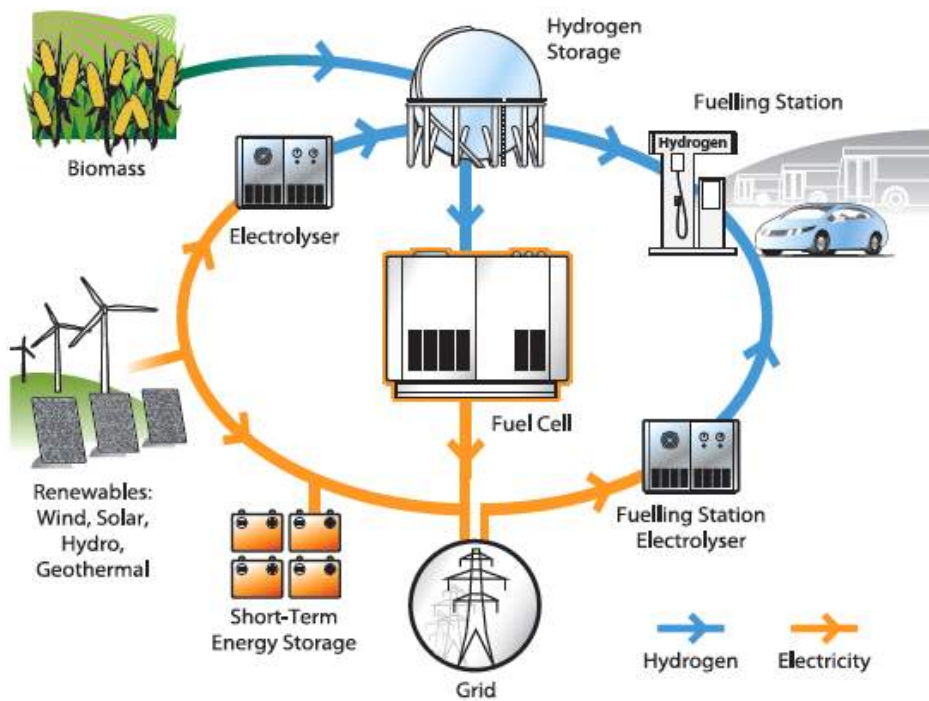
[표 1] 수소·경제사회 주요 특징

구 분	탄소경제 사회	수소경제 사회
에너지기술 패러다임 변화	자원중심, 환경파괴, 에너지믹스, 에너지수입	기술중심, 환경친화, 지속가능, 에너지자립
에너지 생산 및 공급	·중앙집중식 에너지수급 - 대규모 집중 투자 필요 - 고비용으로 인한 투자리스크 증가 - 거대 메이저기업 독점	·분산형 에너지수급 - 자급형(소비자=생산자) 에너지공급체계 - 소규모 분산투자를 통한 개인별 에너지 생산가능
사회 경제	·수직적 체제 - 고도로 조직화된 상호 의존적인 사회구조 - 에너지 다소비형 산업구조 - 권력 및 부의 편중	·수평적 체제 - 에너지공급의 분산을 통한 네트워크형 사회구조 - 기술중심 부품·소재 산업구조 - 권력 및 부의 분산유도
국제 정세	·에너지 확보 경쟁 심화 - OPEC에 의한 원유의 무기화 - 화석 연료 고갈 위기로 인한 각국의 에너지확보 분쟁 심화	·기술 확보 경쟁 심화 - 기술선진국이 수소 가격 주도 - 수소 및 신·재생에너지 자원 등의 에너지 기술 선진국의 위상 강화
생활 모습	·전력 등 화석연료 인프라 사용이 원활한 지역에 인구집중화 ·자동차문화 : 내연기관 ·모바일 기기의 다기능화 한계	·연료전지를 이용한 자가발전의 보편화로 주거의 제약극복 ·연료전지 자동차 보편화 ·기기의 대용량 연료전지 보편화
기후 환경	·기후변화 및 환경오염의 악화 - 화석연료 사용으로 인한 대기/수질 오염	·기후변화 예방 및 청정사회 구현 - 신·재생 등 청정에너지 사용증대로 GHG 및 오염물질 배출량 저감

□ 에너지시스템의 미래상

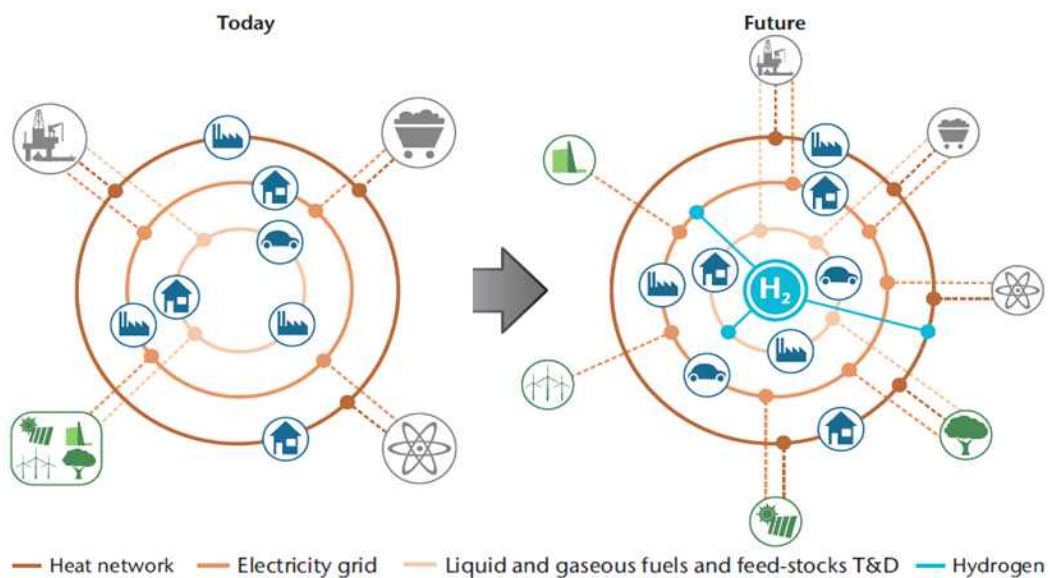
- 현재의 에너지 시스템은 화석 연료에 크게 의존하고 있으며, 열에너지네트워크, 전기에너지네트워크, 연료네트워크 간에 연결되어 있지 않음
- 미래의 에너지시스템에서는 저탄소 에너지 시스템에서 수소가 열에너지네트워크, 전기에너지네트워크, 연료네트워크 간을 연계 가능
- 전력에너지는 수전해 기술을 통하여 쉽게 수소로 변환, 저장이 가능하고, 수소가스터빈, 연료전지 발전을 통하여 다시 전력에너지로 쉽게 변환되며, 미래의 수송 시스템인 연료전지자동차의 연료로 직접적으로 사용하거나, 화학반응을 통하여 쉽게 다른 탄화수소 연료로 전환 가능함²⁾

2) 출처 : www.fuelcelltoday.com



[그림 2] 신재생 에너지 및 ESS 관점에서의 수소에너지 공급체계도

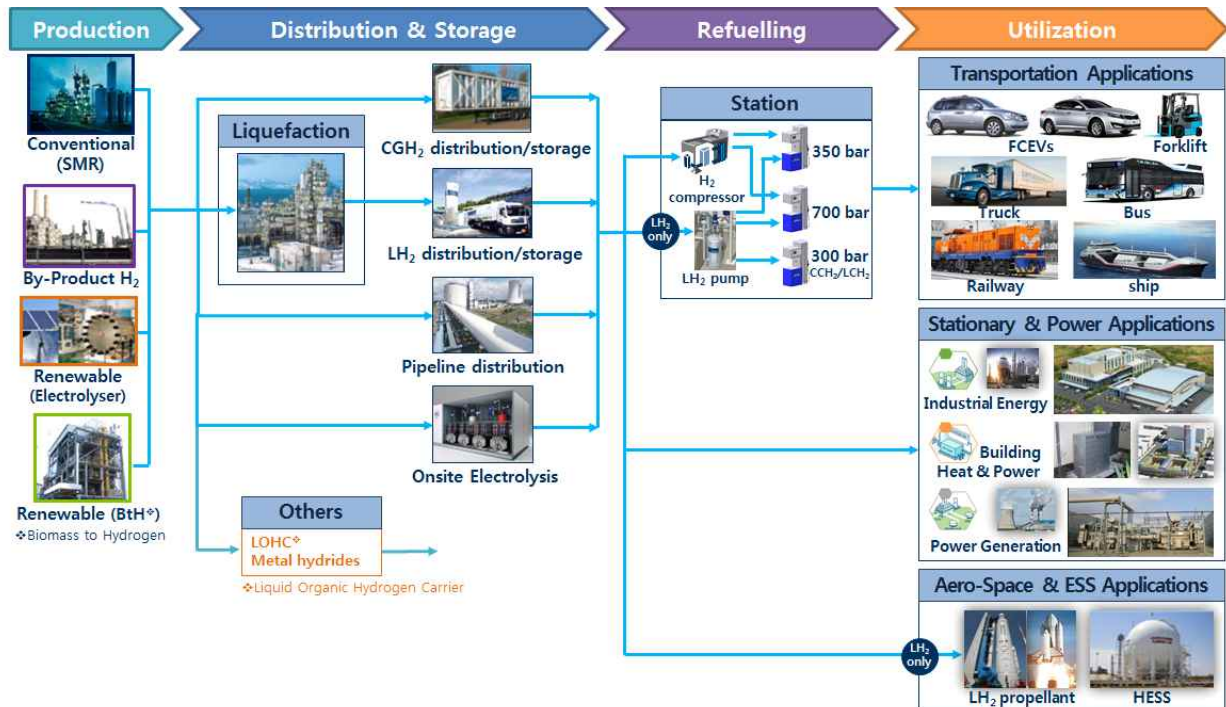
- 배출가스 저감, 기술 고도화 및 기술 파급 효과 등을 고려, 각국이 수송용 연료전지(연료 전지자동차) 개발에 집중하고 있으며 수소연료전지자동차는 긴 주행거리, 편리한 충전 및 기존 전력 부하에 부담이 없다는 점에서 현재 내연기관차를 대체할 친환경차로 평가
- 또한 연료전지 발전의 발생 폐열이나, 수소의 직접 연소 등을 통하여 매우 쉽게 열에너지 네트워크와 접목 됨



[그림 3] 미래 에너지 시스템 (Technology Roadmap (H₂ & FC), 2015, IEA)

나. 수소경제·사회 인프라

□ 미래 수소 경제·사회 인프라는 크게 수소의 생산, 저장/운송, 이용의 3가지 인프라로 구성



[그림 4] 미래 수소사회 인프라의 가치사슬

(1) 수소 생산 원료 및 수소 생산

- 기존의 화석연료 개질에 의한 수소 생산
 - 신재생에너지 보급 전까지 주 수소 생산원으로 활용
 - 온실가스 배출 관점에서 CCS와 연계 시 수소 생산 방안으로써 효용성 있음
- 재생에너지 발전을 통한 수전해 수소 생산
 - 궁극적으로 지구 온난화에 대응하기 위한 미래 수소에너지 생산방식

(2) 수소 저장

- 기체수소 (고압) 저장 : 고압으로 저장탱크에 저장하는 방식
 - 저장량의 한계, 압력용기의 경제성 등으로 대용량 저장에 한계가 있음, 대용량 저장을 위해서는 암반동굴 지하 저장 등의 방식 필요

○ 액체수소 저장

- 대기압, 대용량 저장이 가능, 액화를 위한 액화에너지 필요

○ 고체저장

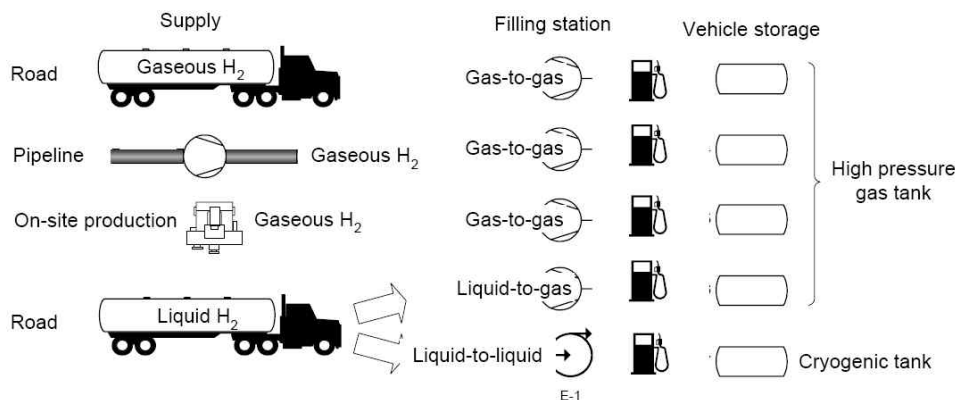
- Metal hydrides 또는 Carbon nano-structure에 저장하는 방식으로 저장량의 한계가 존재

○ 물질변환 저장

- LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)와 암모니아 (NH_3)를 이용한 방법은 액체수소에 비하여 높은 온도에서 저장 및 운송이 가능하다는 장점을 가지나, 화학적 변환과정이 필요하고, 저장 및 운송 시 단위 무게당 수소의 함량이 낮아 운송효율이 떨어지는 단점이 있음

(3) 수소 운송

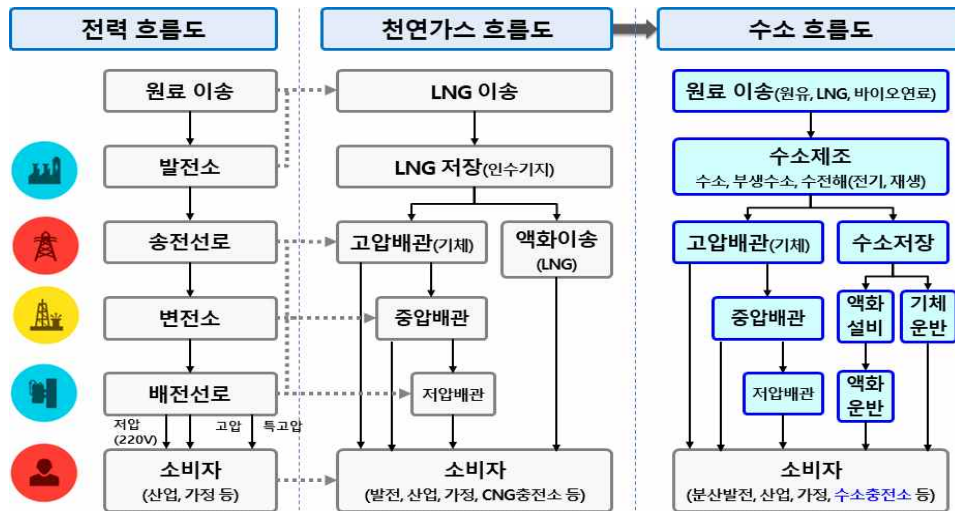
- 수소 운송 방식은 현지생산, 파이프라인 운송, 도로 및 선박을 이용한 운송으로 분류할 수 있음



[그림 5] 수소 운송 방식별 개념도

- 현지생산의 경우, 부생수소 발생 또는 개질수소 제조 생산지에서 활용하는 형태로 대부분 수소를 소비하는 석유화학공장이 같이 설치되어 있는 형태
- 도로수송은 압축 수송 (Tube Trailer)과 액화 수송 방식으로 분류
- 선박수송은 액체수소를 이용할 수 있으며, LNG 선박기술 활용이 가능함
- 파이프라인 운송의 경우 막대한 자본 및 시설 투자가 필요한 미래의 운송 방식임

- 이러한 수소 운송기술을 타 에너지 인프라의 운송과 비교하면 다음과 같음
- 전체적으로 현재의 LNG 인프라와 비슷한 형태를 보이나, 전국에 수소 배관망이 구축되기 전까지는 기체수소 및 액체수소 운송이 필수



[그림 6] 수소인프라와 타 에너지 인프라의 비교

(4) 수소 이용

- 수소의 이용은 주로 수소연료전지를 활용한 수송, 분산발전과 수소의 직접적인 활용 (수소가스터빈, 산업용 원료)으로 구분됨
- 연료전지 활용한 수송 부분에서는 수소충전소가 필수적이면, 선박, 우주항공 부분에서는 연료탱크 개념의 대용량 저장이 필수



[그림 7] 분야별 수소 활용처

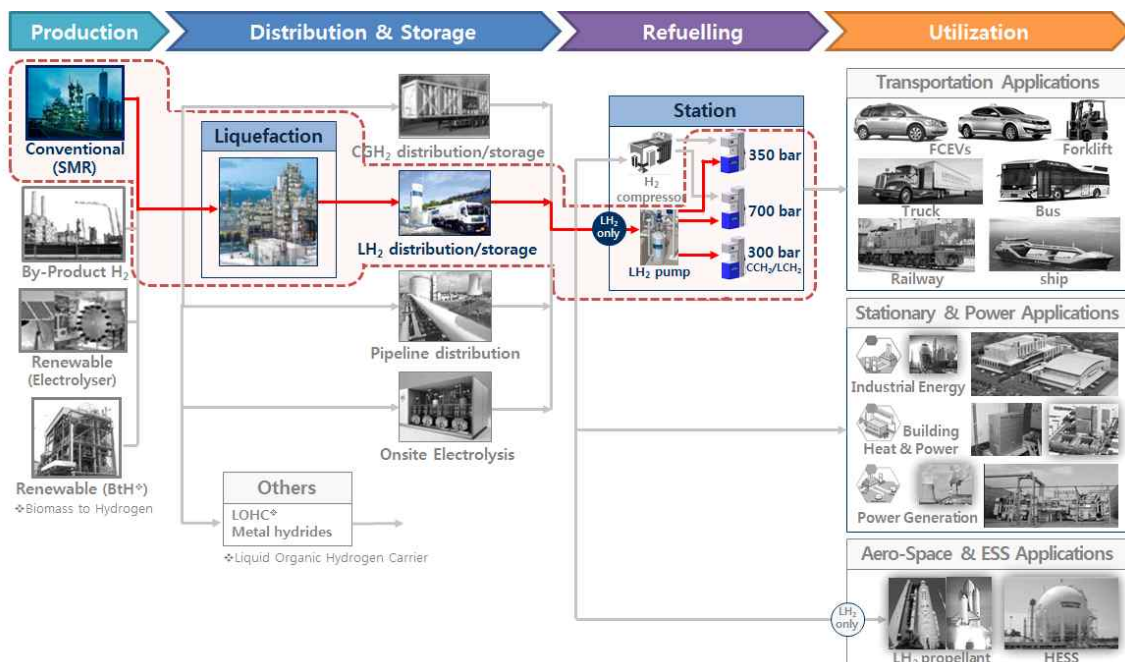
2. 액체수소 기반 인프라 기술

가. 액체수소 기반 인프라 기술의 정의

- “액체수소기반 인프라 기술”은 미래 수소사회 대비를 위한 인프라 중 저장/운송/사용 부분에서 안전하게 저압에서 대용량 저장이 가능한 액체수소를 생산, 저장, 운송, 사용하기 위한 관련 기술로 정의

나. 기술의 범위

- 기술의 범위는 수소 생산부터 최종 활용처의 공급부 까지를 포함
- (수소액화 플랜트 기술) 기체수소 생산 기술, 기체수소를 액화시키는 고효율 수소액화 기술, 수소 액화 및 저장을 위한 핵심 설비 기술 및 상용급 수소액화 플랜트 실증
 - (액체수소 활용 인프라 기술) 액체수소를 저장/운송하여 활용하는 기술, 액체수소 활용 핵심 설비 기술 및 액체수소 수소 융복합 스테이션 실증
 - (액체수소 기반 인프라 안전기술) 안전 기술/기준/제도 확립, 액체수소 관련 부품의 신뢰성 평가를 위한 성능평가 기술 및 액체수소 핵심부품 성능평가 센터의 구축/운용을 포함



[그림 8] 액체수소기반 인프라 기술의 범위

다. 기술 분류 체계

- 본 사업에서는 액체수소기반 인프라 기술의 범위를 기준으로 액체수소기반 인프라 구축을 위해 반드시 필요한 기술개발 요소를 기준으로 기술을 분류
- 액체수소기반 인프라 기술과 관련된 기술 분류 체계는 아래 표와 같음

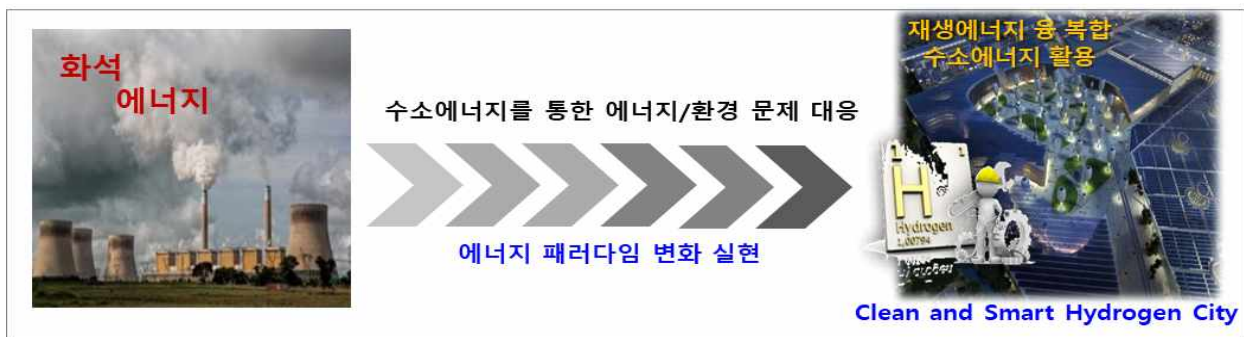
[표 2] 액체수소기반 인프라 기술 분류 체계

대분류	중분류	소분류
수소 공급	수소 제조	원자력 수소
		신재생에너지 기반 수소
		천연가스 개질
		석탄가스화
	부생 가스 후처리	정유, 석유화학, SNG 불순물 제거 공정 분류
수소액화	고효율 수소액화 공정	수소 액화 공정 냉열 활용 통합공정
	수소액화 핵심 기자재	압축기 (저압)
		극저온펌프 (저압)
		Expander
		극저온 열교환기
		Ortho-Para Converter
		액화수소 저장탱크
		극저온밸브
		Coldbox
	플랜트 설계/건설/운용	기본설계
		건설/시운전
		O&M 통한 설계 최적화
액체수소활용	액체수소 운송	액체수소 저장탱크 운송용 탱크로리
	액체수소 연계 융복합스테이션	액체수소 저장탱크
		극저온펌프(HP)
		기화기(LP)
		기화기(HP)
		압축기 (고압)
		Gas Dispenser
		융복합 엔지니어링
수소 안전/제도/사업화	안전시스템	위험성 평가 안전설비
	액체수소 안전 기준	액체수소 관련 안전 기준

3. 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 정의

가. 기획의 방향

- 수소경제 사회로의 이행을 위해서는 수소의 생산·저장/운송·공급·이용 등 수소 생태계를 주력산업과 신산업으로 연결하는 국가차원의 인프라 Net-Work의 구축이 선결 요건임
- 국토교통부는 공공성이 큰 “수소 인프라 기술 개발 및 구축”을 위한 주관부처로서, “Clean and Smart hydrogen Cities” 조성에 필요한 “National Hydrogen-Grid 구축”을 임무로 설정할 수 있음
- 수소의 생산, 저장, 운송 등 관련된 국토 인프라 구축이 선행되어야 하며, 선진국에서는 경제적, 산업적 파급효과를 고려하여 수소 인프라에 대한 개발을 본격화하고 있음
- 특히 국토교통부는 교통 분야 인프라 구축의 주무부처이므로 미래 수소를 활용한 교통체계 인프라를 중심으로 기획 방향을 설정

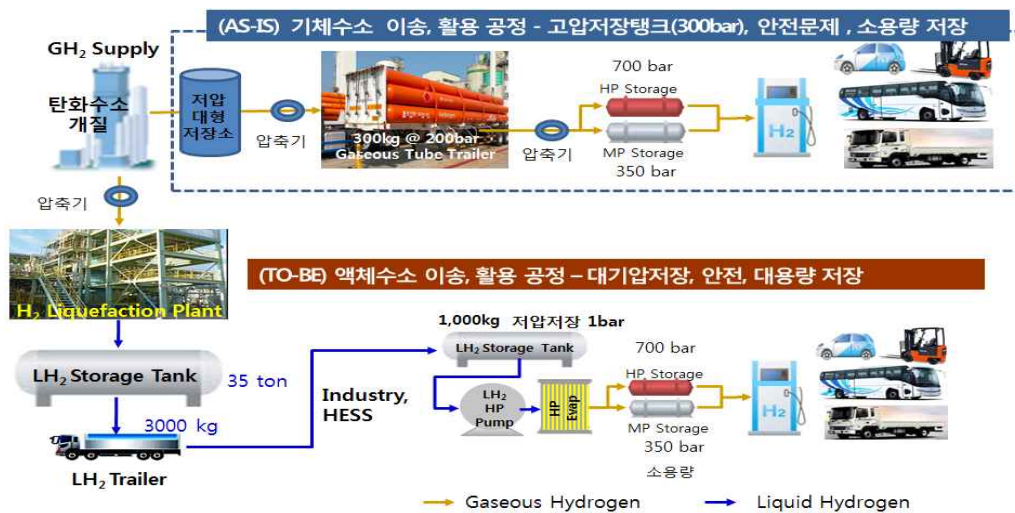


[그림 9] 에너지 패러다임 변화 수용 수소에너지

나. 사업의 정의

□ 기술개발 기본 방향

- (현재) 고압기체 기반의 수소 저장/이송/활용 공정 ⇨ 수요 증대에 따른 수소의 대용량 저장/이송 방안 및 안전문제 해결 필요 ⇨ (미래) 액체수소 기반 저장/이송/활용 공정에 대한 전주기 기술개발 방향 설정



[그림 10] 액체수소 기반 수소사회의 미래상

□ 기술개발 목적

- (정의) 기체수소를 액화시키는 고효율 수소액화 기술, 수소 액화 및 저장을 위한 핵심 설비 기술 개발 및 핵심설비 기술의 국산화를 통한 상용급 수소액화 실증 플랜트 구축/운영 기반 마련
- (목적) 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술개발을 통해 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반마련
- (전략) LNG 개질 수소 제조 기술 및 냉열 활용 수소액화플랜트 공정 기술 개발, 국산화 가능 핵심 설비의 개발, 소형 pilot 플랜트의 조기 구축/운영을 통한 신뢰성 있는 설계 기술의 확보 및 가스공사 등 수소제조 및 유통을 담당할 기업 및 EPC 건설사의 참여 유도

□ 기술개발 목표 및 내용

- 상용급 (5 ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 설계기술 확보 및 핵심 기자재 개발, 0.5 ton/day급 수소액화플랜트 구축 운영

○ 기술개발 범위 : 공정 및 핵심 기자재 기술 개발, 개발기술의 실증

- (핵심기술 개발) 수소 경제·사회 실현을 위한 수소액화 공정, 수소액화 핵심 기자재, 액체수소의 저장 기술을 개발
- (실증) 개발된 수소액화 공정 및 기자재의 성능 검증을 위한 소규모 (0.5 TPD)급 수소액화 pilot 설비 구축, 운용

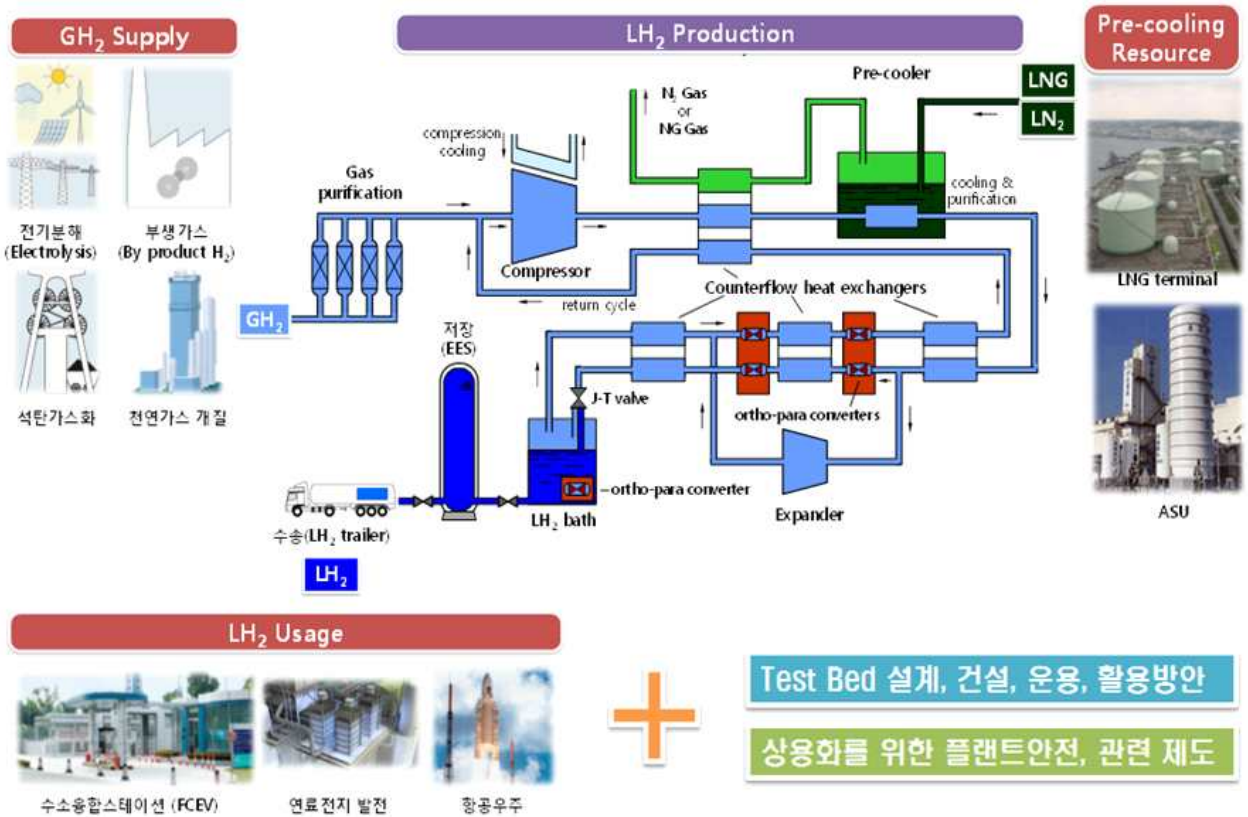
[표 3] 사업 범위 설정

핵심 기술 분야	내 용
고효율 수소액화 공정기술	▪ (기술개발) LNG 냉열을 활용한 고효율 수소액화 공정기술 개발 ▪ (성능검증) Pilot급(0.5ton/day) 수소액화 설비 구축 및 운용
수소액화 핵심설비	▪ (기술개발) 수소액화 플랜트 핵심 기자재 개발 및 시제품 제작 (Pilot(0.5ton/day)급, 상용급(5ton/day)) - 영하 253°C 극저온열교환기, 팽창기, 밸브, 콜드박스 ▪ (실증) Pilot급(0.5ton/day) 수소액화 설비에 적용하여 성능검증
액체수소 저장탱크	▪ (기술개발) 생산된 액체수소의 저장을 위한 저장탱크 개발, 시제품 제작(소형 : 35m³, 대형 : 350m³) ▪ (실증) Pilot급(0.5ton/day) 수소액화 설비에 적용하여 성능 검증

○ 세부과제의 구성

[표 4] 연구개발 과제 구성

핵심 분야	세부과제
수소액화플랜트 공정	1. 고효율 수소액화 공정 기술 개발 (0.5 TPD 실증 포함)
수소액화플랜트 핵심 설비	2. 수소액화용 극저온 turbo expander 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	3. 수소액화용 극저온 열교환기 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	4. 수소액화용 Cold Box 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	5. 수소액화용 극저온 밸브 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
액체수소 저장	6. 액체수소 저장탱크 개발 (용량 35m ³ , 350m ³)



[그림 11] 액체수소 기반 인프라 기술 개념도

□ 사업의 논리 모형

[표 5] 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 논리적 모형

1. 이슈/문제

- 배경요인 : 온실가스 감축을 위한 국제협약, 화석연료 사용에 따른 미세먼지 및 대기질 문제 해소를 위한 수소차, 연료전지발전 도입정책을 적극 추진함에 따라 수소 수요 및 인프라 수요 증가
- 문제-이슈 : ① 신교통 수단으로 수소차 보급확대에 따른 수소 수요 증가에 대비한 적절한 공급 인프라 투자 부족, ② 선진기술과 격차에 따른 수소 인프라의 국내조달 애로, ③ 수소 인프라 부문의 투자 리스크 및 자력 경쟁력 확보의 애로 등
- 정책동향 : 신정부의 기후변화 대응 온실가스 감축, 친환경차(수소차 포함) 보급 확대, 제4차 과학기술 기본계획 : 신재생에너지, 국토교통연구개발종합계획
- 대안전략 : 수소차 및 연료전지발전의 지속가능한 보급확대를 위해서는 인프라 구축을 병행하여야 함, 특히 선진기술 추세인 액체수소를 기반으로 공급 인프라를 구축하기 위한 원천기술 확보 및 실증 개발에 투자를 통한 시장한계 돌파

2. 목표

- 상용급 (5ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 설계기술 확보 및 핵심 기자재 개발, 0.5ton/day급 수소액화플랜트 구축 운영을 통한 미래 수소사회 인프라 구축

3. 수혜자

- 플랜트 및 충전소 건설·엔지니어링사
- 플랜트 설비 제작사
- 연료전지 및 수소차 생산기업, 부품 생산기업
- 수소 유통 기업 및 분산발전 사업자

4. 투입

- 사업기간 : 5년
- 총 사업비 : 485억원
 - 국비 : 290억원
 - 민자 : 195억원
- 연구인력: 연평균 69명
- 연구시설/장비

5. 활동

- 액체수소 생산 핵심 기술 및 시작품 제작
- Pilot(0.5ton/day)급 수소액화설비 구축 및 운영

6. 산출

- 우수 특허 확보
- 핵심설비 시제품 및 성능인증
- Pilot(0.5ton/day)급 수소액화설비 구축 및 액체수소 생산

7. 성과/영향

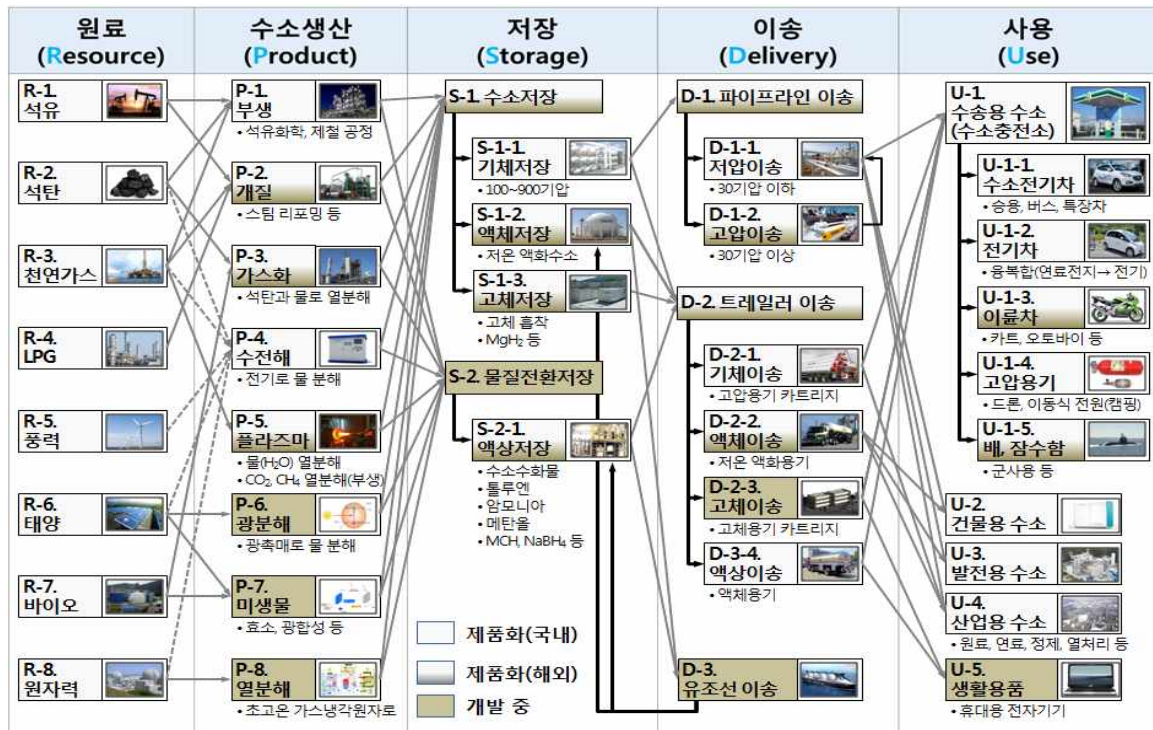
- 수소차, 수소분산발전 보급 확산에 따른 청정사회 건설
- 대용량 에너지 저장 (HESS)기술 확보에 따른 신재생에너지 보급 확대 및 지구온난화 대응
- 신 시장 창출 및 생산유발효과, 고용창출효과

8. 가정

- 전 세계적인 기후변화 협약 정책의 지속 및 이에 따른 정부의 신재생에너지 확대정책, 친환경차 보급 정책 등이 지속되어 저장/이송 효율이 높고 안전성이 높은 액체수소 관련 인프라의 필요성이 증대될 것임.
- 연구단계별 성과목표는 계획된 세부기술별로 우수기술, 실증기술, 사업화, 등이 도출될 것임
- 액체수소 인프라 건설시장이 점증하여 각국의 투자가 집중되고, 우리의 연구개발 성과를 이용하면 국내 건설사, 중견 중소 설비 제작사 등의 국내 신규시장 진입이 가능할 것임
- 미지원시에 국내 수소차 교통 및 연료전지발전을 위한 효율적인 수소 공급에 애로가 발생하고, 정부의 수소차 및 신재생에너지 보급 차질

□ (수혜자) 본 기술 개발은 아래 그림에 도시된 바와 같이 수소의 생산부터 사용까지 모든 전 후방 사업에 영향을 미침

○ 수소산업의 Value Chain



[그림 12] 수소산업 Supply Chain (출처: 수소융합얼라이언스 추진단)

○ 국내 수소·연료전지 연관 산업

	수소 생산	수소 저장	수소 운송	수소 공급 (수소충전소)	수소 이용 (연료전지)
주력 산업	철강	부생수소 공급	철강소재 - 스테인리스 등	철강소재 (파이프라인) - 스테인리스 등	
	화학	부생수소 공급			화학소재 - 전해질막, 촉매 등
	건설	수소 생산 기반시설 구축 - 수소 생산플랜트	수소 저장 기반시설 구축 - 수소/가스 파이프라인 건설	수소 운송 기반시설 구축 - 수소/가스 파이프라인 건설	수소 공급 기반시설 구축 - 충전소 설계/건설
	자동차				친환경 주택/빌딩 건설 - 수소연료전지차
신산업	에너지	산업용 가스/수소 전문업체 - 수소 생산	도시가스 - 가스그리드를 통한 가스/수소 운송	수소 전용 충전소 - 주유소 / CNG 충전소	발전 - 연료전지 발전소 운영
	신소재	신재생에너지 - 발전 설비 제조 / 발전소 운영			
	연료전지	수소 저장탱크 소재 - 탄소섬유 등	수소 탱크/트레일러 소재 - 탄소섬유 등	수소 저장탱크 소재 - 탄소섬유 등	수소 저장탱크 소재 - 탄소섬유 등
	부품/장비	연료전지 제조 및 판매 - 수소용, 가정/산업용, 발전용 등			연료전지 제조 및 판매 - 수소용, 가정/산업용, 발전용 등
	물류	수소 생산 장비 - 전기분해기 등	수소 압축 및 안전 장비	수소 송압 및 공급 장비	연료전지 부품 - 분리막, BOP 등
	ICT		육상 및 해상 운송 - 로보 트레일러, 탱크로리 등	ICT 시스템 - 충전정보 송수신, 차량관리 등	연료전지/에너지 관리 시스템 구축/운영

[그림 13] 국내 수소·연료전지 연관 산업

□ 활용방안

- 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용
 - 5 ton/day 기본설계 Package 및 핵심 기자재 시제품
- 0.5 ton/day pilot 급 수소액화 플랜트에서 생산된 액체 수소의 활용 (국내 최초로 생산되는 대용량 액체수소)
- 본 기술 개발 과제 내의 핵심 설비 성능평가에 활용
 - 현재 작성중인 “국가 수소경제 로드맵” 상 중장기 방향으로 예상되는 액체수소 기반 인프라 구축의 모든 기술 개발 과제에 활용
 - 향후 추진예정인 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박, 건물용 연료전지 등) 기술개발에 활용
 - 국내 수소충전소 보급계획에 “액체수소 기반 수소충전소” 보급 추진, 해당 수소충전소에 액체수소 공급
 - 국가 발사체 사업의 액체수소 엔진 연구에 활용
 - 국내 산학연 극저온 연구에 활용

□ 실용화 방안

- 현 시점에서 상용급 수소액화 플랜트 시장은 거의 없으므로, 미래 액체수소 수요 증가에 대비하여 철저한 국산화 기술 확보
- 실용화를 위하여 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설 추진
 - 실증을 통한 상용급 수소액화플랜트 및 핵심 기자재 설계/제작/건설기술 확보
 - 상용급 수소액화플랜트 및 기자재 Track Record 확보
 - 실용화 주체 : 기술개발결과를 기업에 이전, 미래 수소액화 플랜트 건설시장 및 기자재 시장 진출
 - 플랜트 건설회사, 플랜트엔지니어링 회사, 가스공사 등 국내 가스 공급회사, 수소 생산/유통기업
 - 플랜트 기자재 생산기업
- 본 연구개발결과의 국내 활용을 위하여 국가로드맵 반영 및 관심 기업, 지자체에 대용량 수소생산 및 액화플랜트 건설 추진
 - 가스공사 LNG 생산기지 (연관 지자체 연계), 민간기업 LNG 인수기지

□ (파급효과) 국내 인적자원을 기반으로 국내외 시설 및 장비, 연구예산 등이 투입되

며, 사전기획 및 심의, 예산확보 및 사업선정, 연구개발, 성과확산 등의 과정의 거쳐, 과학기술적, 사회적, 경제적인 성과를 도출

○ 과학기술적 파급효과

- 액체수소를 기반으로 생산 및 공급 인프라 건설을 위한 원리 규명 및 지식 창출
- 액체수소 생산 및 공급 및 저장, 안전관리 기술의 세계적 수준 확보
- 수소액화 플랜트 상용화 및 실증사례 확보를 통한 기술 경쟁력 및 국가적 위상 제고
 - 세계 4개 회사만이 보유한 수소액화 플랜트 상용화 기술의 국산화
- 연관기술 파급
 - LNG, 헬륨 플랜트, 초전도케이블 등 극저온 플랜트 기술 경쟁력 강화
 - 극저온 환경 기자재 기술 경쟁력 강화

○ 사회적 파급효과

- 대용량 수소 생산 및 저장, 운송 기술 확보로 수소경제 사회 기반 구축
- 수소활용 산업 (수소차, 수소버스, 수소트럭, 수소 선박, 연료전지 분산발전 등)의 활성화를 통하여 지구온난화 물질 및 미세먼지 저감

○ 경제적 파급효과

- 국내 수소차 및 연료전지발전 보급 확대를 위한 인프라 리스크(수요증가 대비 투자부족, 기술 및 설비 국외조달 등)를 저감, 액체수소 인프라 신시장 산업생태계 조성 및 활성화를 통한 산업연관효과 향상, 이를 통한 산업/연구 분야 신규 일자리 창출
- 본 사업이 액체수소 기반 인프라 구축을 목표로 하므로, 주요 value chain별 수혜와 파급 효과는 다음 표와 같음. (개발 기술의 상용급 실증이 완성되어 국내외 신규 액체수소 수요에 대응할 수 있는 경우를 가정)
- 상기한 각 분야의 매출을 기준으로 본 사업의 생산 유발효과는 연평균 12.6 조원이며, 고용유발효과는 연평균 4,900명 수준에 달함

ValueChain	수혜자	연관성	파급효과
수소 공급 부생, SMR 수소	석유, 정유화학 산업, 수소유통업체	간접적	액화수소 기반 수소공급 기술 확보 기체수소 공급 대비 경제성 우위
수소액화 플랜트 건설	EPC 업체	직접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 11.3조원
충전소 건설	충전소 건설 업체	간접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 1.0 조원
활용	국내 수소차/ 연료전지 생산 기업 및 부품 기업	간접적	대량 저장/이송이 가능한 액화수소인프라 구축으로 연관 산업 활성화
	액체수소 엔진 및 선박 제조업체	간접적	
	연료전지 분산발전 사업자	간접적	
	정부, 우주항공 부품업체	간접적	우주발사체, 드론 등의 연료로 액화수소 활용

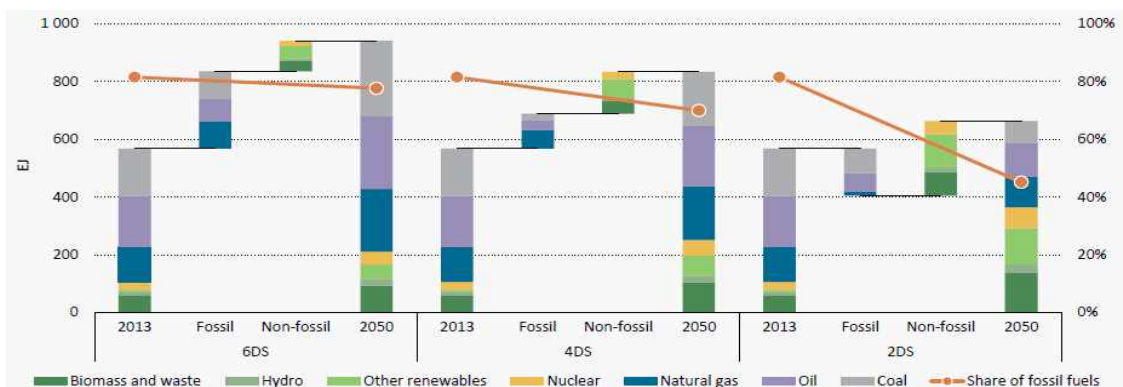
- 수소액화플랜트 국내 건설만을 기준으로 본 사업의 생산 유발효과는 1.2 조원이며, 고용유발효과는 4,900명 수준에 달함

제 2 절 사업추진 배경 · 필요성

1. 수소·경제 사회의 배경 및 필요성

가. 지구온난화에 따른 에너지 시스템의 변화

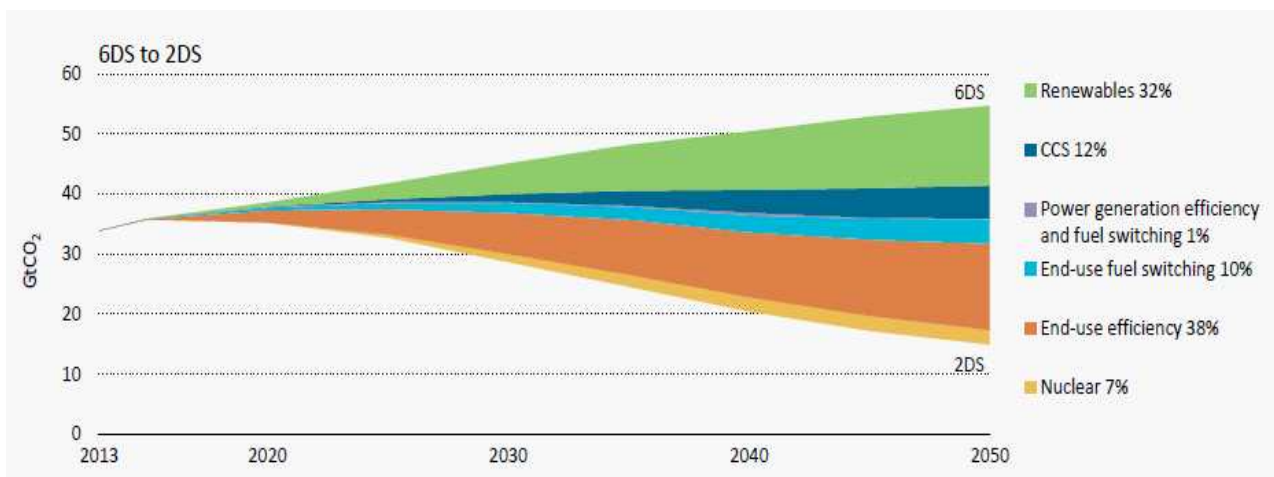
- 환경문제가 인류의 생존문제로까지 부각되면서 전 세계적으로 지구 온난화 문제 해결 및 대기환경 개선을 위한 노력을 경주하고 있음
- 유엔기후변화협약 제21차 당사국 총회 (COP 21, 2015)에서는 우리나라를 포함한 195 개국이 미래 지구 온도를 산업혁명 시점 대비 2°C 내 상승 억제 (2DS, 2 Degree Scenario)를 목표로 한 온실가스 감축 합의서에 서명
 - 해당 목표 달성을 위해서는 2050년까지 에너지 관련 CO₂ 배출량을 60 %까지 감축해야 함
 - 감축방안 : 에너지효율개선, 온실가스 회수/제거, 저탄소에너지 (신재생 에너지) 확대
- IEA는 이를 위한 미래 에너지 시스템의 변화를 예상 (IEA, Energy Technology Perspectives, 2016)
 - 2DS 하에서, 1 차 에너지 수요는 2050 년 663 EJ로 현재의 에너지 체계가 지속되는 6DS에 비해 30 % 가량 적은 수준
 - 2DS 내 2050년 에너지 수요는 재생 가능 에너지 44 %, 화석 연료 45 %, 원자력 11% 수준으로 재생가능에너지의 비율이 화석연료 수준으로 증가



[그림 14] 기후변화 협약에 따른 전 세계 에너지원의 구성 전망

□ IEA는 이러한 변화를 통해 2050년까지의 CO₂ 배출량 감소를 예상

- 6DS에서 배출량은 2050년 55 Gt으로 2013년 수준보다 60% 이상 증가
- 2015-50 년 기간 동안 6DS에서 2DS 로의 누적 배출량 감축은 최종 사용 연료 변화 10%, 에너지 활용 효율 증가 38%, 재생 가능 에너지 32 %, CCS(Carbon Capture & Storage) 12%에 의해 달성 가능할 것으로 전망³⁾



[그림 15] Global CO₂ Reductions by technology area (2013-50)

나. 미래 에너지 시스템에서의 수소의 역할

□ 수소의 특징

- 수소는 우주에서 가장 풍부하고 가벼운 원소로 무게당 에너지함량이 가솔린의 3배
 - 그러나 수소는 지구상에서 자연 상태로 존재하지 않고, 화석 에너지에 의한 개질, 재생 가능 에너지나 원자력에 의한 물의 전기 분해 등을 통해 생산되어야 함. 현재 대부분의 수소는 화석연료(메탄 또는 나프타)의 수증기 개질에 의해 생산
- 수소는 전기와 마찬가지로 “에너지 캐리어”임. 교통, 전력, 산업 및 건물 등 경제의 모든 부문에서 에너지 캐리어로 활용 가능
 - 수소는 연료 전지에 의해 전기로 변환, 연소에 의해 열에너지로 변환, 간단한 화학공정에 의해 타 연료로 전환 등 다양한 최종에너지로의 변환이 가능한 최적의 에너지 캐리어임.
 - 수소와 전기는 서로 보완적인 에너지 캐리어. 수소는 연료 전지에 의해 전기로 변환되며, 전기는 물분해에 의해 수소로 변환, 생산 및 분배인프라의 구조에 따라 상화 보완적인 역

3) 출처 : Energy Technology Perspective 2016, IEA

할을 수행

○ 수소는 전기와 달리 대용량 장기간 저장이 가능

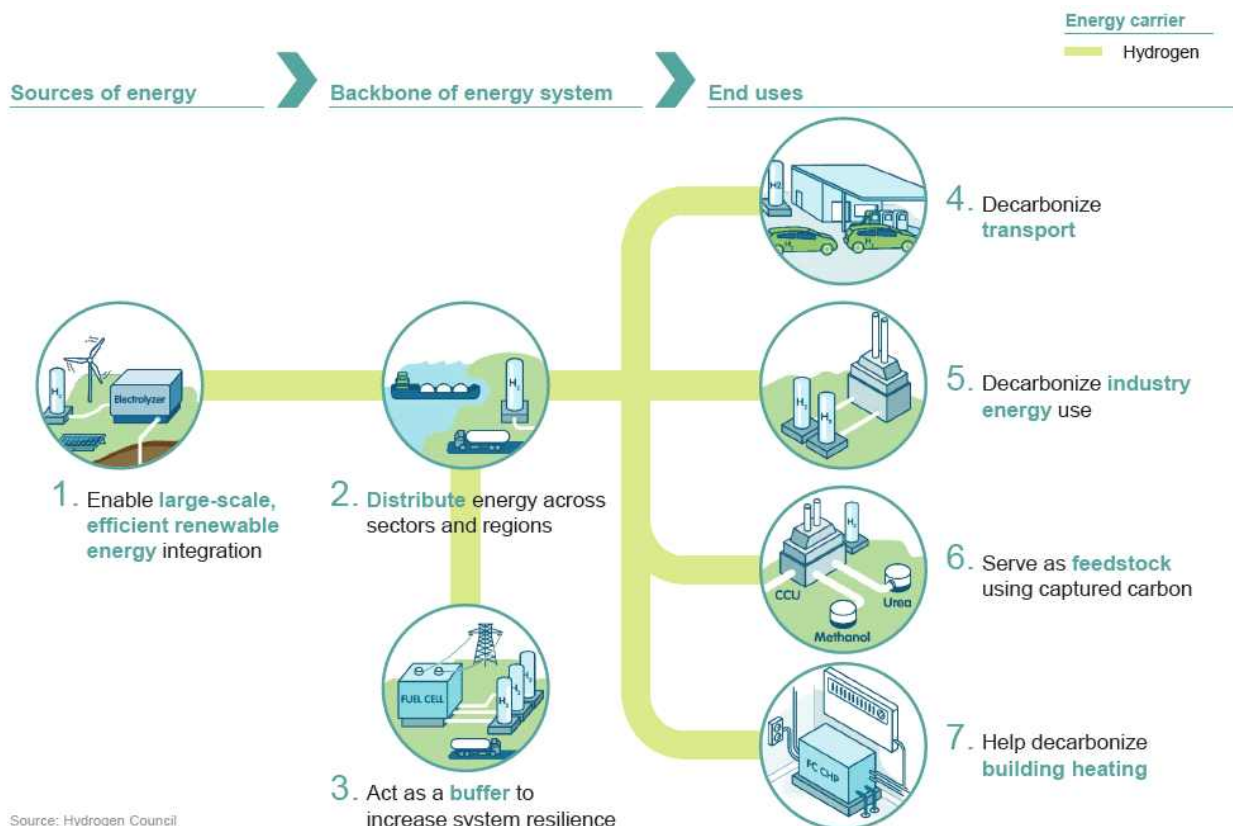
- 가장 우수한 에너지 캐리어인 전기의 경우 대용량 저장이 불가능하다는 단점이 있음. 수소의 경우 대용량, 장기간 저장 가능.

□ 지구온난화 방지를 위한 신재생에너지 위주 미래 에너지 시스템에서의 수소의 역할

○ 지구온난화 대응을 위하여 2050년 재생에너지의 비중이 44 %에 이를 것으로 추정하며, 수송, 산업, 건물, 화학원료 분야에서 기존의 화석연료 대신 저탄소 에너지원이 활용될 것으로 전망함

○ 에너지 시스템은 에너지원의 생산, 이의 분배를 위한 인프라, 활용 시스템으로 구성됨

○ 신재생 에너지 위주의 미래 에너지 시스템에서 수소의 역할은 다음과 같음⁴⁾

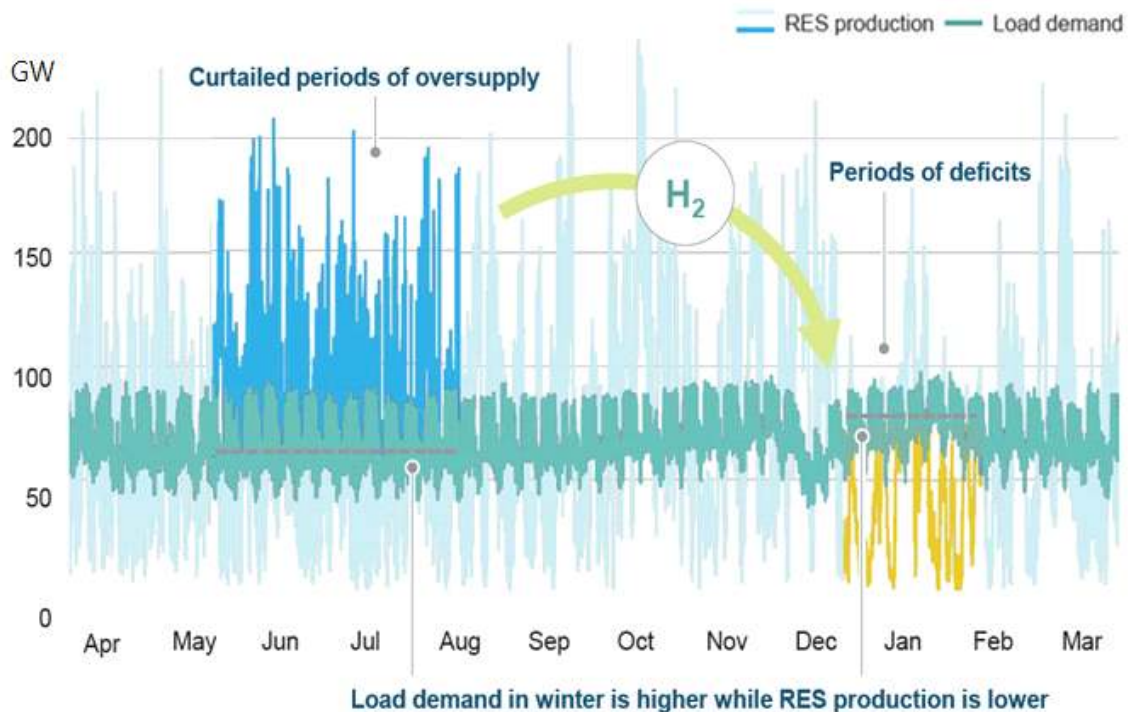


[그림 16] 미래에너지 시스템에서 수소의 역할

4) 출처 : How hydrogen empowers the energy transition. Hydrogen Council, 2017

1) 대규모의 효율적인 재생 에너지 통합 구현

- 전기에너지는 그 특성상 저장이 어려워 수요와 공급의 일치가 어려움. 재생에너지 전력이 40%를 넘어가는 상황에서 일 기준 또는 계절기준으로 신재생 전력의 수요와 공급 불일치가 발생함
- 중국의 경우 태양광·풍력발전 설비가 계통에 연결되지 못하고 가동 중지된 규모가 2015년 38.6TWh에 이르며, 독일은 계통에 연결되지 못한 규모가 2013년 555GWh에서 2014년 1,581GWh로 급증했음⁵⁾
 - 이러한 계통 연계 불가능 에너지는 재생에너지 비율이 높아질수록 높아짐
- 독일의 경우 재생 에너지가 90 %인 시나리오에서 2050 년 기준 약 170 TWh/년 이상의 공급 초과가 예상됨. 이 공급 초과된 전기는 전기그리드에 통합이 불가능하여, 실제로는 전기를 생산할 수 없음
 - 이를 수소로 전환 시 2050년 기준 독일 승용차의 약 50%에 수소연료를 공급할 수 있는 막대한 에너지임



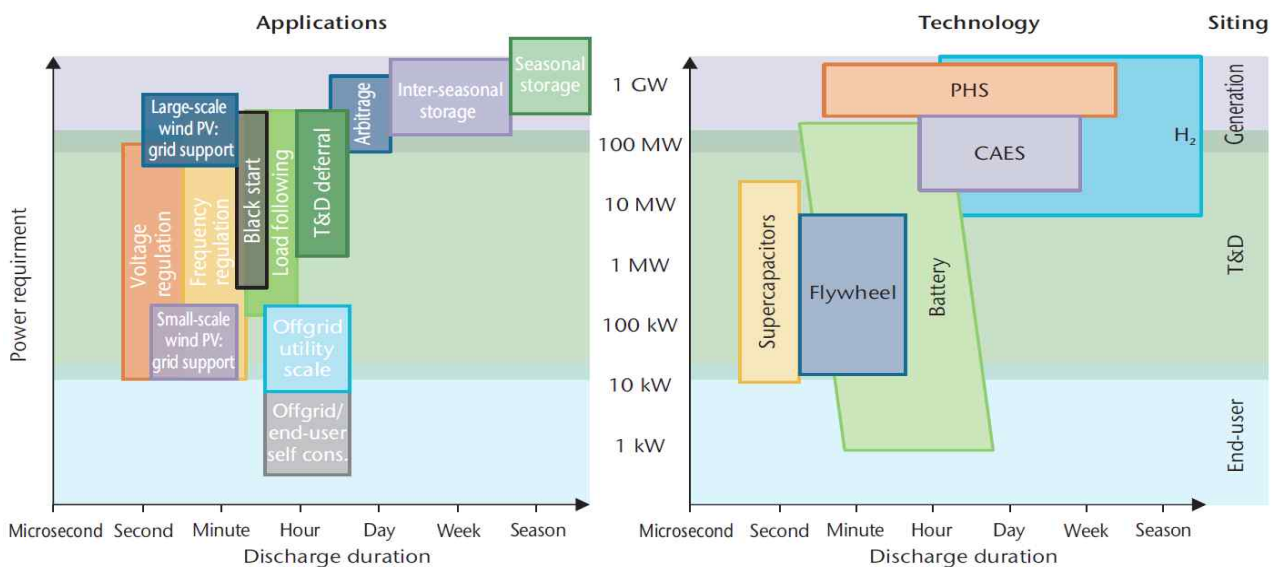
[그림 17] 독일 2050년 신재생 전력 수요 공급 시뮬레이션 (Hydrogen Council, 2017)

- 기존의 배터리, 슈퍼 커패시터 및 압축 공기 등은 계절적 불균형을 해소하기에는 저장용

5) 출처 : <http://www.h2news.kr/news/article.html?no=6062>

량 및 저장기간이 부족하고 막대한 설비투자비 발생

- 배터리 기반 ESS(Energy Storage System)의 경우 1MWh 당 설치비용은 약 5억 4000만원으로, 1GWh 용량 저장을 위해서는 설비비용만 5,400억에 달함
 - 1GWh 전력량은 국내 산업용 전기가격 기준(100원/KWh)으로 10억원의 전력에너지를 저장하기 위하여 540배의 설비투자를 해야 함
- 양수발전의 장기 에너지 저장을 위한 대안(현재 시점 전 세계 전력용량 저장의 95%, 162 GW)으로 활용 가능하나, 지리적인 제한이 있음
- 국제에너지기구(IEA)는 2015년 기술로드맵을 통해 수소가 불규칙적이고 변동성이 큰 재생 에너지의 대규모, 장기간 전력 저장에 최선의 대안이라고 평가⁶⁾
- 신재생 전력 공급 과잉 시 물분해를 통해 전기를 CO₂ 배출 없이 수소로 변환, 수소는 연료 전지 발전을 통한 신속한 백업 전원, 차량연료나 산업용 활용, 대용량 장기간 저장 후 전력수요가 집중되는 시기에 전력을 공급



Note: CAES = compressed air energy storage; PHS = pumped hydro energy storage.

[그림 18] 전기 저장 방식 기술 및 활용처

2) 에너지 분배에 적합

- 화석연료와 마찬가지로 신재생에너지도 국가별, 지역별 에너지 보유량의 차이가 있음

6) 출처 : Technology Roadmap (H2 & FC), 2015, IEA

- 전 세계적으로 전력그리드를 설치하여 재생에너지에 의한 전력을 수송하는 것은 비용 및 효율 측면에서 난점을 지니며, 지금의 에너지 수입/수출과 같이 재생에너지 전력의 분배 방법이 필요함
- 수소는 높은 에너지 밀도를 가지는 효율적인 에너지 캐리어로 현재의 천연가스와 동일하게 배관망을 이용한 분배, 액체 상태의 선박 운송 등이 가능함
- 일본은 2020년을 목표로 신재생에너지 및 미활용 에너지가 풍부한 지역에서 수소를 생산, 이를 액화수소 운반선으로 수입하는 프로젝트를 진행 중

3) 에너지 시스템 안정성을 위한 버퍼

- 현재 전 세계의 에너지 시스템은 수급 완충 및 전략적 목적으로 연간 최종에너지 소비량의 24%(90 EJ)의 에너지 백업 시스템을 가지고 있음
 - 현재는 백업 에너지가 대부분 화석연료로 저장됨
- 수소는 높은 에너지 밀도, 긴 저장 용량 및 다양한 활용성으로 인해 현재의 화석연료 기반 백업 에너지 시스템으로 적합함

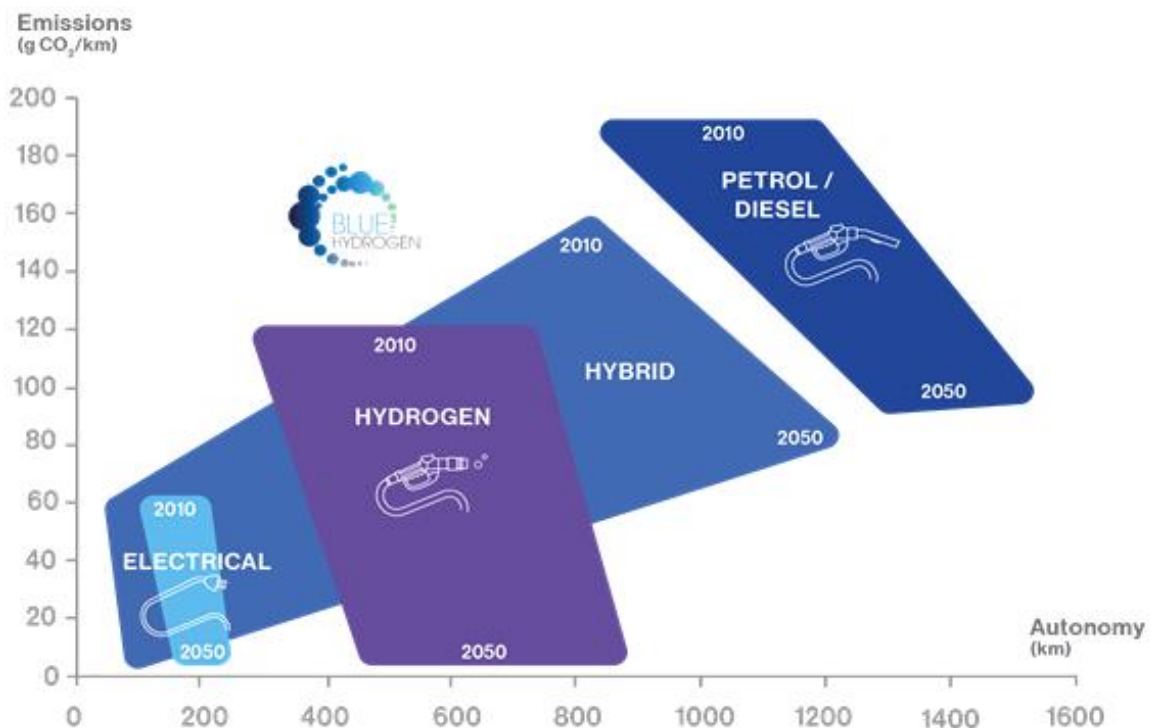
4) 이산화탄소 배출 제로 수송 시스템의 연료

- 오늘날 수송수요는 가솔린과 디젤이 전체 연료 소비의 96%, 전세계 탄소 배출량의 21%를 차지
- 전 세계 자동차 시장은 CO₂ 및 연비 규제를 대응을 위하여 내연기관차 중심의 자동차 산업이 전력기반차 중심의 ZEV(Zero Emission Vehicle) 중심으로 재편 전망
- 자동차는 동력추진 체계에 따라 엔진기반차와 전력기반차로 분류
 - 유럽의 친환경차 분석 보고서⁷⁾에 따르면, 2050년 기준 CO₂ 배출량은 기존 내연기관차 (~90 gCO₂/km), 하이브리드차 (10~80 gCO₂/km), 전기차, 수소연료전지차 (<10 gCO₂/km) 순으로 나타남
 - 2050년 기준 1회 충전 시 최대 운전거리는 전기차의 경우 250km 수준에 불과하지만 수소연료전지차의 경우 800km를 상회하는 것으로 분석됨
 - 따라서 CO₂ 배출량과 1회 충전 최대 운전거리를 모두 고려하면 친환경차 중 수소연료전지차의 성능이 가장 우수한 것으로 나타남

7) Source : A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis (The role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles)

[표 6] 자동차의 분류

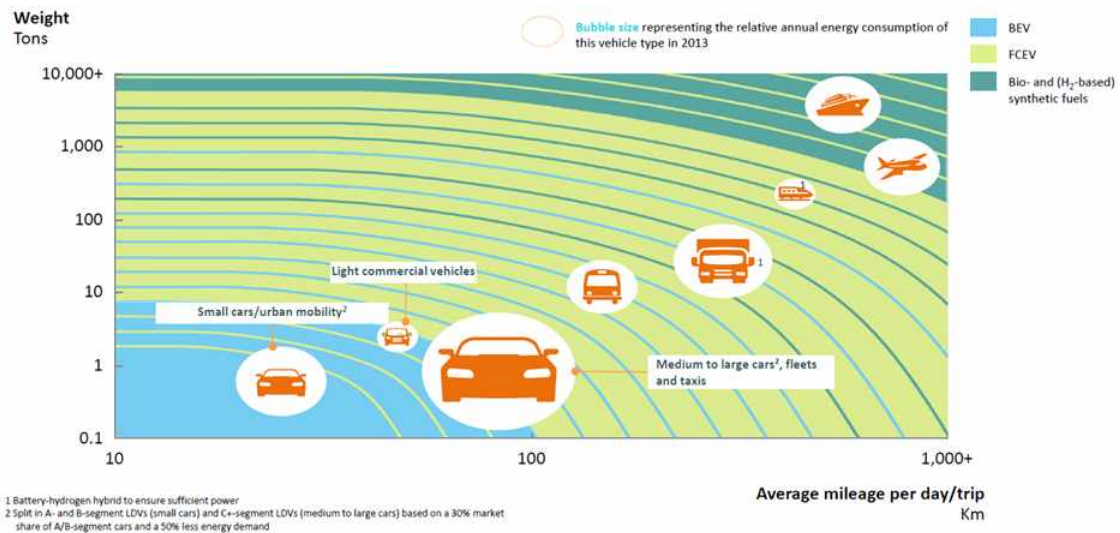
차종	엔진기반차 (PZEV, Partial ZEV)				전력기반차 (ZEV)	
	CDV (클린디젤)	NGV (천연가스차)	HEV (하이브리드차)	PHEV (플러그인 하이브리드차)	BEV (전기차)	FCEV (수소차)
인프라	주유소	CNG 충전소	주유소	주유소 , 전기충전기	전기 충전기	수소 충전소


[그림 19] 친환경차의 CO₂ 배출량 및 1회 충전 최대 운전거리

○ 전기차 (BEV) vs. 수소연료전지차 (FCEV)

- 향후 친환경차 분야에서 전기차와 수소연료전지차가 전체 자동차 시장을 양분할 것으로 예상됨⁸⁾
- 전기차 (BEV)의 경우, 차체 중량이 가볍고 일일 주행거리가 비교적 짧은 소형차 및 경량 상업용 자동차 시장을 점유할 것으로 분석됨
- 수소연료전지차 (FCEV)의 경우, 차체 중량이 비교적 무겁고 일일 주행거리가 긴 중·대형 승용차 및 버스/트럭 등 대형 사업용 자동차 시장을 점유할 것으로 예측됨
- 특히, 선박 및 비행기 등 중량이 매우 높고, 일일 주행거리가 1,000 km 이상 일 경우, 수소 연료 추진기관을 활용할 가능성이 매우 높은 것으로 분석하고 있음

8) Source : International Energy Forum - Korea National Assembly, Seoul, 6 Feb. 2018



[그림 20] 차체 중량 및 일일 주행거리에 따른 친환경차 분류

- 엔진 기반차 온실가스 배출 한계는 80g/km 내외로 ‘25년 CO₂ 75g/km 규제(EU) 시 ZEV차 시장 필연적

[표 7] 각국의 이산화탄소 및 연비 규제 로드맵

항목	한국	미국	유럽	일본	기 준
2015년	140g/km	147g/km	130g/km	17.0km/l	- 기준 : CO ₂ 배출기준
2020년	97g/km	113g/km	95g/km	20.3km/l	- 일본 : 연비기준

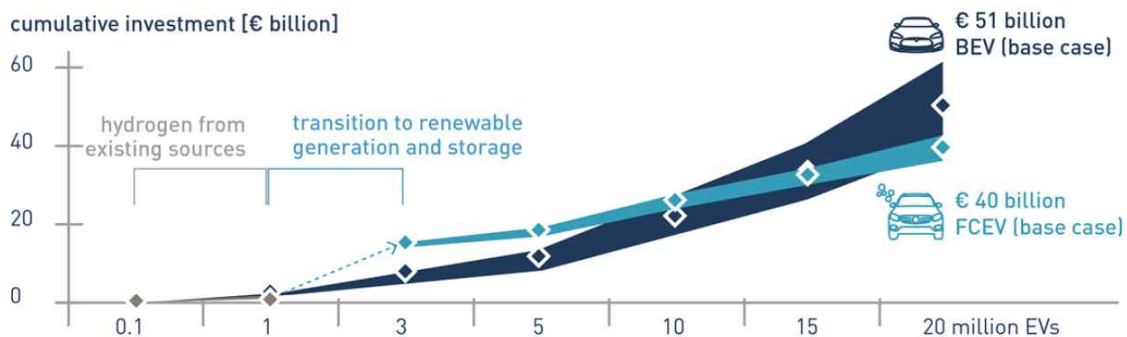


[그림 21] 자동차 산업 재편에 따른 대응 방향

- 공급 인프라 관점에서의 전기차와 수소연료전지차의 비교⁹⁾

9) Source : Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles, Martin Robinius, Jochen Linßen, Thomas Grube, Markus Reuß, Peter Stenzel, Konstantinos Syranidis, Patrick Kuckertz and Detlef Stolten, Energy & Environment, Band/Volume 408, ISSN 1866-1793, Schriften des Forschungszentrums Jülich, 2018

- 누적 기준 공급 인프라 투자비용은 친환경차의 누적 보급량에 비례함
- 누적 100만대 보급 시 전기차와 수소연료전지차의 공급 인프라 투자비용은 유사한 수준
 - 수소 공급은 현 시점에서 가장 경제적인 천연가스 개질을 통해 공급
- 누적 300만대 보급 시점에서 수소 공급은 신재생에너지 발전을 통한 수전해 방식으로 변경되고 이에 따른 비용 증가 발생
 - 수소연료전지차의 공급 인프라 투자비용이 전기차에 비해 높아짐
- 누적 1,500만대 보급 시점에서 전기차와 수소연료전지차의 공급 인프라 누적 투자비용은 역전되어 누적 보급량이 더 증가할 경우, 수소연료전지차의 공급 인프라 누적 투자비용이 감소하는 것으로 예측됨
- 따라서, 공급 인프라 투자비용 측면에서도 장기적으로 전기차에 비해 수소연료전지차가 장점을 가질 것으로 예측됨



[그림 22] Comparison of the cumulative investment of supply infrastructures

5) 산업 에너지 사용 부분에서의 이산화탄소 감축

- 현재 산업공정에 사용되는 화석연료를 통한 에너지 공급은 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 20 %를 생성
- 수소는 간단한 연소를 통하여 산업공정에 열을 공급할 수 있음
- 따라서 신재생에너지 여유분을 활용하여 수소를 생산하고 이를 연소하여 열에너지를 공급하는 경우 기존의 이산화탄소 배출을 획기적으로 감축할 수 있음

6) CCU(Carbon Capture and Usage) 기술을 활용한 산업의 원료 공급

- 이산화탄소 배출 감소를 위해 기존 화석연료에서 발생하는 이산화탄소의 포집 (CCS, Carbon Capture and Storage) 기술이 실용화 되고 있음

- 탄소 포집 및 활용 (CCU) 기술의 적용이 이뤄지면 포집 된 탄소를 수소와 반응시켜 메탄올, 메탄, 포름산, 또는 우레아등의 산업용 원료 생산이 가능하여 현재의 원유에 기반한 산업 원료의 대체가 가능함

7) 건물 에너지 공급에서의 탈 탄소화

- 난방 및 온수 공급은 주거용 에너지 소비의 약 80 %를 차지하며, 이는 전 세계 이산화탄소 배출량의 12 %를 차지함
- 수소를 원료로 하는 연료 전지 열병합 시스템을 사용하면, 전기와 건물에 필요로 하는 열을 동시에 공급 가능. 수소 생산에 있어서의 탈탄소화(신재생에너지 전력을 이용한 수전해 수소)와 병행되면 건물에너지 부분의 이산화탄소 발생을 원천적으로 차단 가능함

다. 수소사회 미래 비전

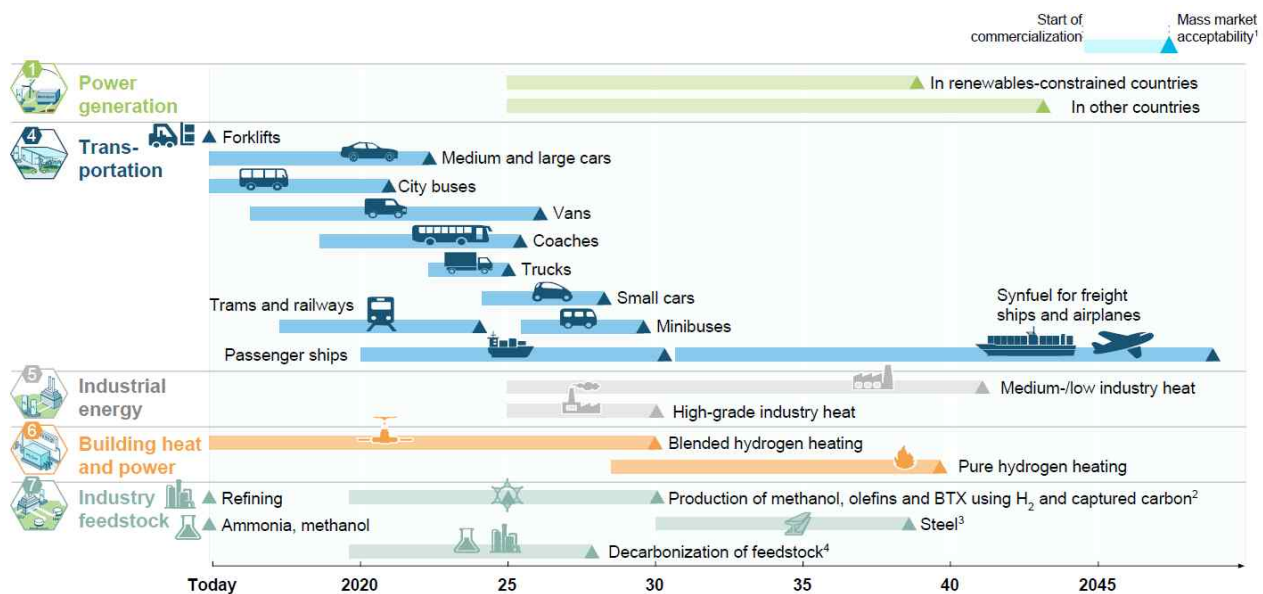
- 수소의 사용처는 발전부분, 수송부분, 산업용 에너지, 건물에너지, 산업용 원료 부분이 있음
- 연료전지 활용한 수송 부분에서는 수소충전소가 필수적이며, 선박, 우주항공 부분에서는 연료탱크 개념의 대용량 저장이 필수



[그림 23] 분야별 수소 활용처

□ 수소 사용 기술 시장 예측¹⁰⁾

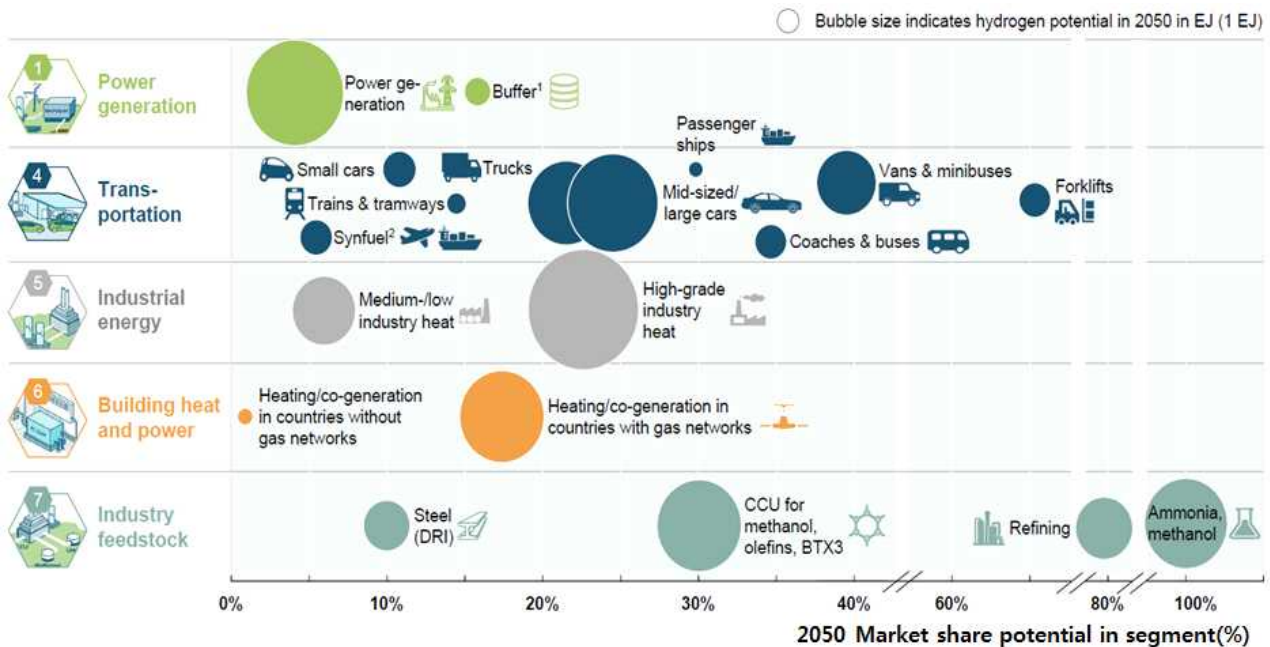
- Hydrogen Council에서 2DS (2 Degree Scenario) 시나리오를 만족하기 위한 수소활용기술의 상용화 시점을 분석
- 발전부문에서는 현재의 연료전지 발전 기술이 계속적으로 상용화 되고, 수소가스터빈 발전 기술은 2025년부터는 상용화가 시작되어 2040년 이후에는 시장이 성숙될 것으로 예측
- 수송부문에서는 이미 상용화가 시작된 수소연료전지자동차를 시작으로 2030년까지 시장이 성숙될 것으로 전망되며, 2030년 이후에는 대형 선박 및 비행기에 적용 예측
- 산업용 에너지 부분에서는 2025년부터 상용화가 시작되어 2030년 이후에는 시장 성숙이 예측됨
- 건물용 에너지 분야에서는 현재 이미 사용되고 있으며, 2030년 이후 본격적으로 활성화 될 것으로 예측
- 산업용 원료 부분에서는 2020년부터 CCU 기술과 접목되어 수소와 포집된 탄소의 화학반응을 통하여 산업용 원료를 생산하기 시작할 것으로 예측됨



[그림 24] 수소 활용기술의 상용화 시점

10) 출처 : Hydrogen scaling up, A sustainable pathway for the global energy transition, Hydrogen Council, 2017

- Hydrogen Council에서 2DS (2 Degree Scenario) 시나리오를 만족하기 위한 2050년 기준 수소 활용 기술에서의 에너지 사용량과 시장 점유율을 예측함
 - 발전부문에서는 재생에너지를 통한 발전이 주로 이루어지며, 수소분산발전과 수소가스터빈 발전을 포함하여 전체 발전시장의 약 5% 수준을 점유
 - 건물용 에너지 분야에서는 전체 시장의 약 20% 를 점유

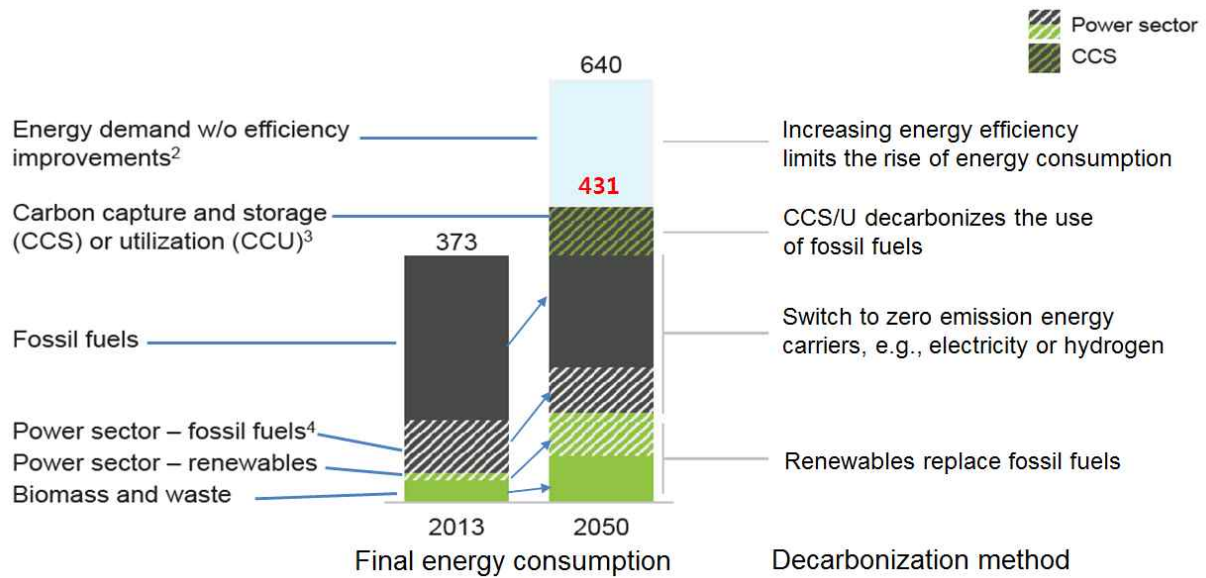


[그림 25] 2050년 기준 수소 활용기술의 에너지 사용량 및 시장 점유율 예측

□ 2DS (2 Degree Scenario)에서의 수소 사용량 및 이산화탄소 감축량

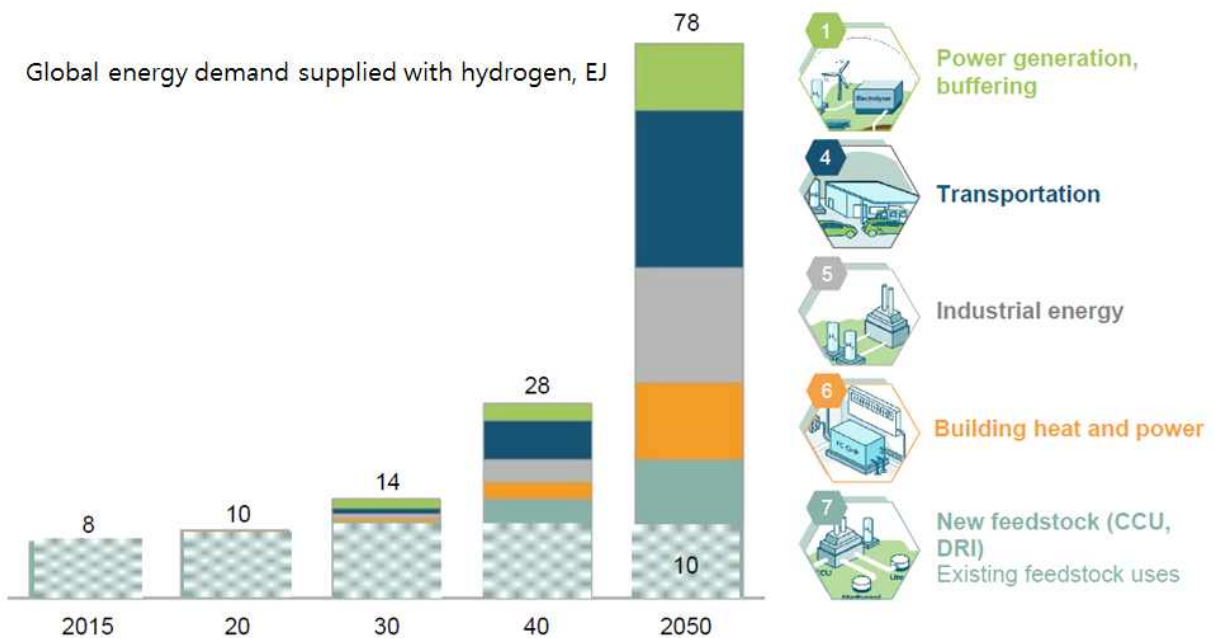
- 국제에너지기구는 2DS 시나리오에서의 2050년 최종에너지 소비량 및 이산화탄소 감축 방안을 분석¹¹⁾
- 2050년 기준 최종 에너지 소비량은 2013년 현재보다 18%가 증가한 431 EJ로 예측
- 이산화탄소 감축의 방법은 재생가능에너지의 확대, 에너지캐리어를 기존의 화석연료에서 탄소배출이 적은 전기나, 수소 등으로 변환, 탄소포집 및 활용(CCUS), 에너지 효율의 증대 등이 있음

11) 출처 : IEA, Energy Technology Perspectives, 2016



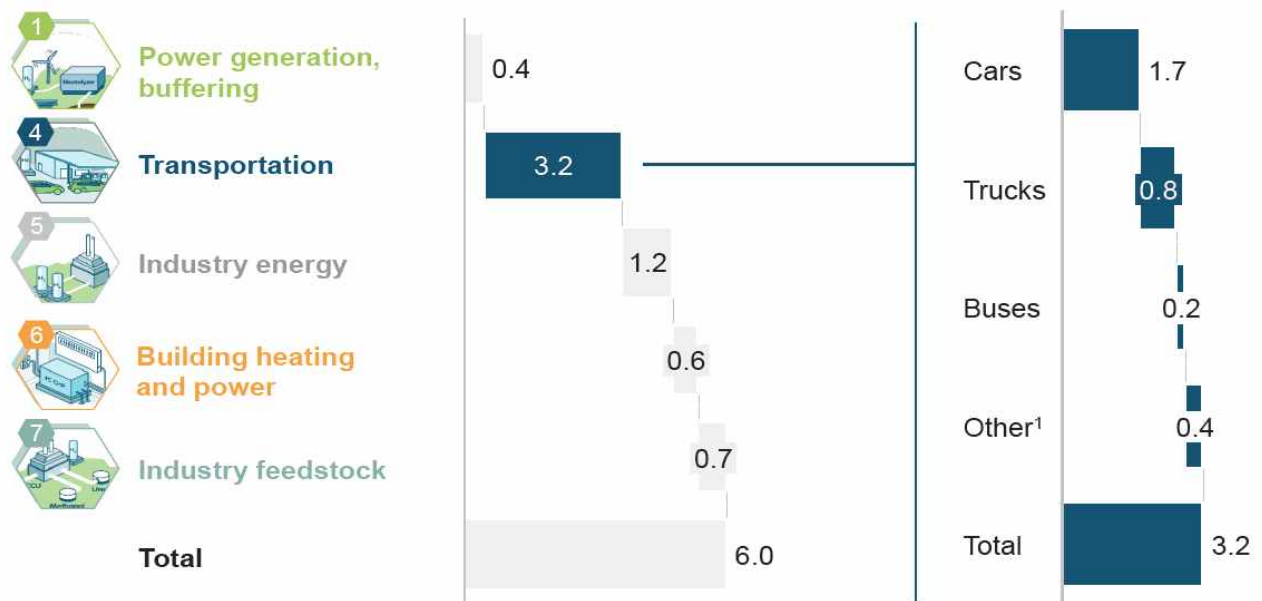
[그림 26] 2DS에서의 이산화탄소 감축 방안 (IEA, 2016)

- Hydrogen Council에서는 기후변화 협약에서 제시한 상기한 2DS 시나리오를 만족하기 위해서는 2050년 기준 전 세계 최종에너지 수요의 18%를 수소가 담당할 것으로 예측함



[그림 27] 미래 최종에너지 수요 중 수소 수요 (EJ = 10^{18} J)

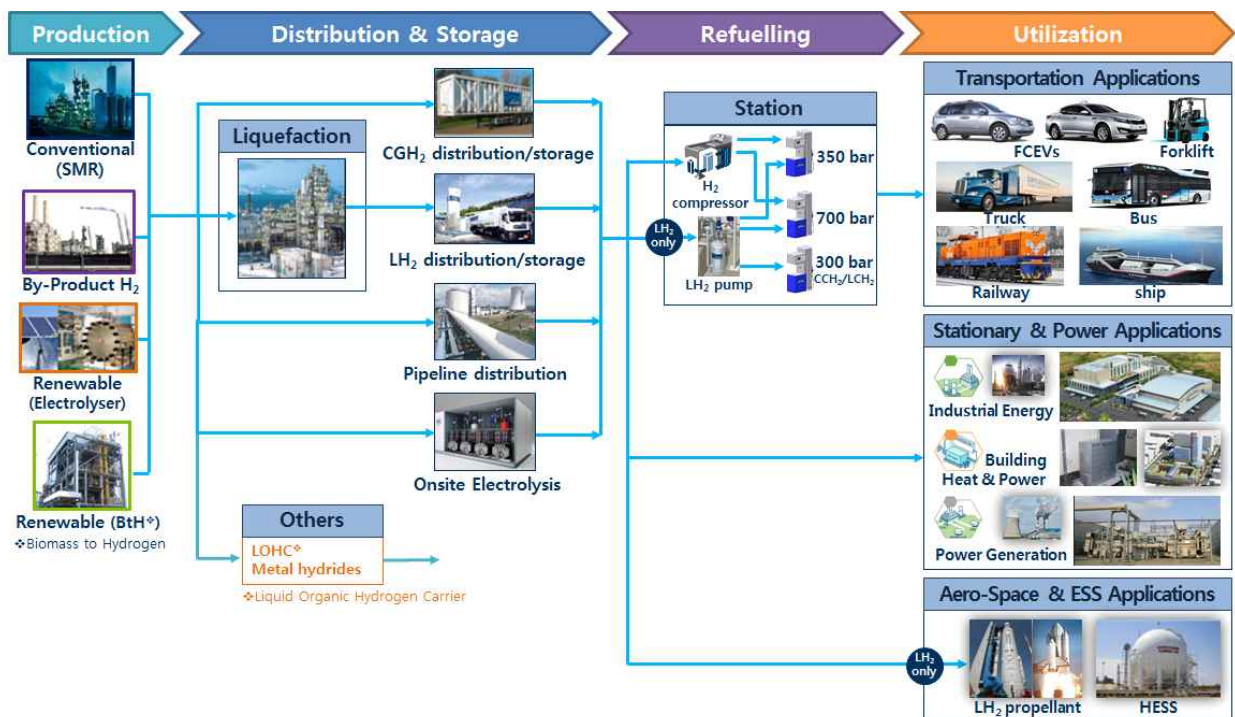
- 이러한 수소사용에 의한 이산화탄소 감축량은 2050년 기준 6 Gton으로 2DS 시나리오 달성에 필요한 총 감축량 20%에 이를 것으로 전망됨
 - 총 감축량 중 50% 이상은 수송 분야에서 수소연료전지의 활용에 의해서 감축됨

CO₂ avoidance potential 2050, Gt

[그림 28] 수소 사용에 의한 이산화탄소 감축량 (2050년)

2. 액체수소 기반 인프라 추진 배경 및 필요성

- 미래 수소 경제 · 사회 인프라는 크게 수소의 생산, 저장/운송, 활용의 3가지 인프라로 구성
- 이러한 인프라 부분에서 본 사업이 추진하고자 하는 액체수소 인프라를 기체수소 인프라와 비교 분석함
- 수소는 기존 1차 에너지원에서 생산되어야만 하는 에너지 캐리어로, 생산부터 저장/이송, 활용의 단계를 거침



[그림 29] 미래 수소사회 인프라의 가치사슬

가. 수소 생산 원료 및 수소 생산

- 수소는 화석연료 이외에 재생에너지, 바이오가스, 광분해, 등 다양한 방식으로 생산이 가능하기 때문에 한정된 자원인 화석연료와는 달리 무한한 에너지원으로서의 가치가 높음
- 현재의 수소 생산 방식

- 전 세계적으로 수소생산은 천연가스 개질 48%, 부생가스 및 석유화학산업 30%, 석탄 18%, 수전해 4% 수준으로 이루어지고 있음¹²⁾
- 현존하는 기체수소 제조기술 중에서 비용측면에서 가장 저렴하게 수소를 생산하는 방법은 천연가스 개질 (SMR, Steam Methane Reforming) 기술임¹³⁾
 - 단, 소용량 SMR의 경우 효율이 떨어지며, 아직까지 단위 출력당 초기투자비용이 큼
 - SMR은 신재생에너지 대량 보급 전까지 주 수소 생산원으로 활용, 온실가스 배출 관점에서 미래에는 수소 생산 시 CCS 기술과 연계되어야 함
- 부생가스도 근원적으로 나프타나, 천연가스를 원료로 생산됨
- 석탄 가스화도 현재 시점의 주된 수소 생산 방식이나, 이 경우에도 이산화탄소 감축 관점에서는 CCS 기술과 연계되어야 함
- 지구 온난화 대응을 위한 최선의 대안은 신재생에너지로부터 수전해를 통하여 수소를 얻는 것이나, 당분간 신재생에너지에 의한 전력가격으로는 경제성을 만족할 수 없으며, 초기 투자비용 또한 대용량 SMR에 비하여 높음
- 원자력 발전이 지속 가능한 경우, 발전된 전기를 및 발전공정의 열을 활용한 수소 생산 가능. 다만 최근 후쿠시마 사태 및 경주 지진 등의 안전 강화 및 현 정부의 점진적인 원전 감축 정책으로 원자력 발전의 지속가능성 확보가 불투명한 상황

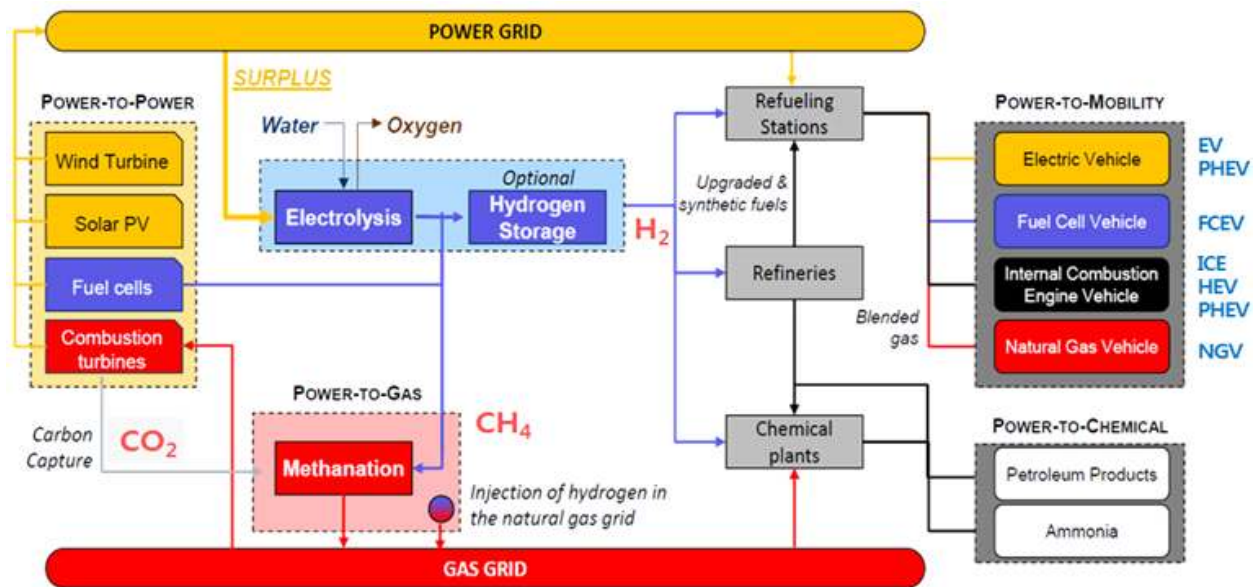
[표 8] 수소 생산 방식에 따른 기술 수준 분석

Application	Power (MW)	Capacity (Ton/day)	Efficiency (%)	Initial Investment Cost (\$/kW)	Life Time	Maturity
SMR (Large Scale)	150-300	108 ~ 306	70-85	400-600	30 yrs	Mature
SMR (Small Scale)	0.15-15	0.1 ~ 10.8	~51	3,000-5,000	15 yrs	Demonstration
Alkaline Electrolyser	Up to 150	~ 108	65-82 (HHV)	850-1,500	60,000-90,000 hrs	Mature
PEM Electrolyser	Up to 0.15 (Stacks) Up to 1 (Systems)	~ 0.7	65-78 (HHV)	1,500-3,800	20,000-60,000 hrs	Early Market
SO Electrolyser	Lab. Scale	Lab. Scale	85-90 (HHV)	-	~1000 hrs	R&D Stage

12) 출처 : Pavlos Nikolaidis and Andreas Poullikka. A comparative overview of hydrogen production processes, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 67, Pages 597-611, January 2017, Pages 597-611

13) 출처 : Technology Roadmap (Hydrogen and Fuel Cells), 2015, IEA

- 재생에너지 보급이 활성화 되는 미래사회에서는 수요공급의 불일치로 생산 가능한 에너지 중 30~40% 정도만 전력계통에 연계되고 있어 60~70%의 에너지 회수가 곤란함
 - 이러한 계통연계 불가능 전력을 이용한 수전해 방식을 통하여 수소 생산 가능
 - 태양광, 풍력 설비가 증가할수록 더 많은 미회수 에너지가 발생하기 때문에 재생 에너지의 비율이 높아질수록 수소의 경제성 있는 대용량 생산이 가능해짐
- 유럽, 미국, 일본에서 추진 중인 P2G(Power to Gas)와 같이 미래 에너지는 수소와 전력망이 연결된 하나의 에너지그리드를 형성할 것으로 판단됨



[그림 30] Power to Gas 개념

나. 수소 저장

□ 기체수소 (고압) 저장

- 고압으로 저장탱크에 저장하는 방식이나, 저장량의 한계, 압력용기의 경제성 등으로 대용량 저장에 한계가 있음
- 대용량 저장을 위해서는 암반동굴 지하 저장 등의 방식 필요

□ 고체저장

- Metal hydrides 또는 Carbon nano-structure에 저장하는 방식으로 저장량의 한계가 존재

□ 물질변환 저장

○ LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) 저장

- 액체수소에 비하여 높은 온도에서 저장 및 운송이 가능하다는 장점을 가짐
- 저장 및 운송 시 단위 무게당 수소의 함량이 낮아 운송효율이 떨어지는 단점이 있음
- 수소화합물화 (Hydrogenation), 수소추출 (Dehydrogenation) 공정을 거쳐야 하는 단점이 있음

○ 암모니아 (NH₃) 저장

- 암모니아(NH₃)를 이용한 방법은 액체수소에 비하여 높은 온도에서 저장 및 운송이 가능하다는 장점을 가짐
- 독성에 따른 위험성, 암모니아를 수소로 다시 전환하지 않고, 연료로 바로 사용해야 한다는 단점이 있음
- 연료전지 발전 및 연료전지 자동차 등 대부분의 수소 수요처에 직접적인 사용이 곤란함

□ 액체수소 저장

- 액체수소는 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체수소 대비 800배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음

[표 9] 수소의 저장방식별 장·단점 (Technology Roadmap (H₂ & FC), 2015, IEA)

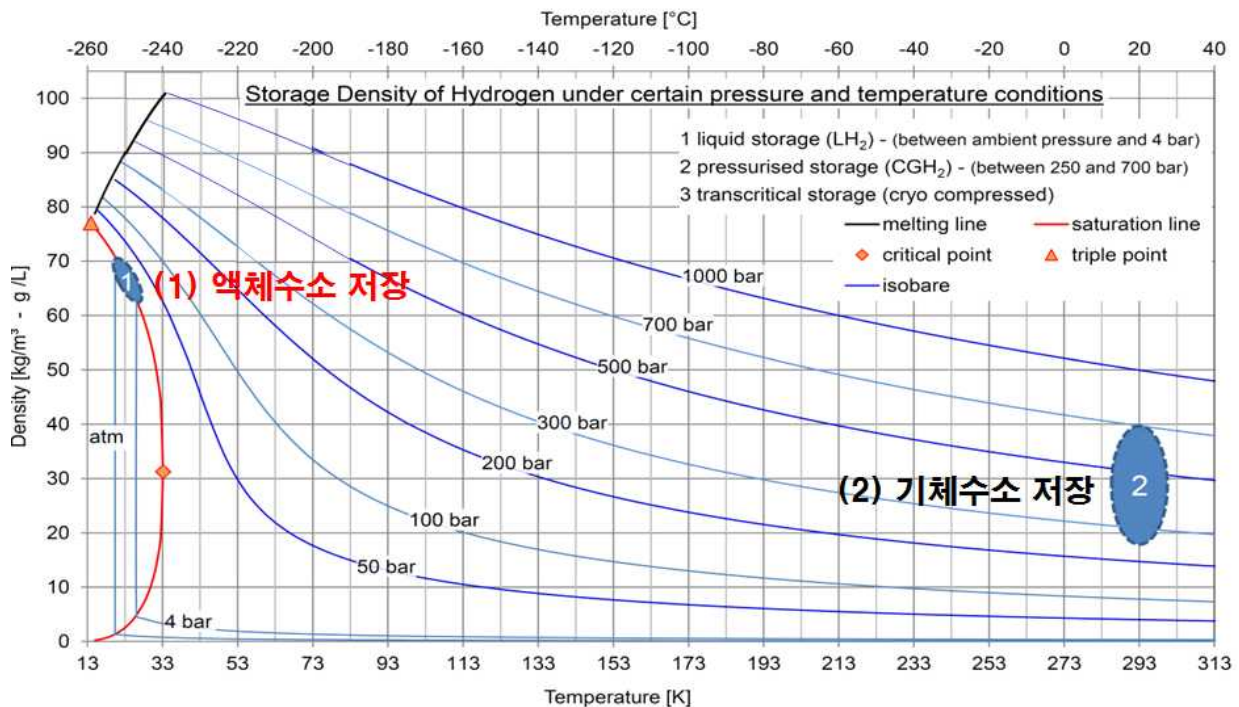
Application	Power or capacity	Efficiency	Initial investment cost	Life time
Compressor (70 MPa)	-	80-91%	200-400\$/kWh ₂	20 years
Liquefier	15-80MW	~70%	900-2,000\$/kW	30 years
FCEV on-board storage tank (70 MPa)	5-6kgH ₂	Almost 100% (w/o compression)	33-17\$/kWh (10,000 and 500,000 units produced per year)	15 years
Pressurized tank	0.1-10MWh	Almost 100% (w/o compression)	6,000-10,000\$/MWh	20 years
Liquid storage	0.1-100GWh	Boil-off stream: 0.3% loss per day	800-10,000\$/MWh	20 years
Pipeline	-	95% (w/ compression)	Rural: 300,000-1.2 M\$/km Urban: 700,000-1.5 M\$/km (dependent on diameter)	40 years

- 액체수소는 대기압에서 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음

- 단위부피, 단위 무게당 에너지 저장밀도가 가장 높고, 활용을 위해 다른 공정이 필요 없이 단순 기화만으로 즉시 활용이 가능하다는 장점을 지님

[표 10] 다양한 수소 저장방식의 비교

	Liquid Hydrogen	Organic Hydride (methylcyclohexane, C ₇ H ₁₄)	Ammonia
Molecular weight	2.016	98.19	17.03
Boiling point (K)	20.3	374	240
Density (g/cm ³)	0.0706	0.769	0.682
Mass hydrogen density (mass%)	100	6.16	17.8
Hydrogen density per unit volume (kg/100L)	7.06	4.73	12.1
Technologies required in production regions	Hydrogen liquefaction equipment is needed	React toluene with hydrogen to produce methylcyclohexane	Synthesize ammonia from hydrogen and nitrogen
Technologies required in consumption regions	Evaporate and gasify liquids	Dehydrogenate methylcyclohexane to separate out the hydrogen	Combustion ammonia as is to extract energy



[그림 31] 온도와 압력에 따른 수소 저장량 비교

○ 도심지 설치 부지 및 운송 문제에 따른 액체수소 인프라 구축의 필요성

- 저장용량 측면에서 액체수소는 고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4배의 저장밀도를 가짐
- 수송효율 및 실제 설치부지 관점에서는 10배 이상의 차이를 보임
- 도심지 내 부지 가격 및 저장 안전성 측면을 동시에 고려할 경우, 수소에너지 보급화를 위해서 액체수소 기반의 인프라 구축은 필수적임
- 해외 수소충전소 액체수소 공급 비율은 미국 (87%), 일본 (63%), 유럽 (12%) 수준이며, 향후 액체수소 공급 비율은 증가할 것으로 예상됨 (Linde)



※ Courtesy of Linde Korea

[그림 32] 고압 기체수소와 액체수소의 수송효율 비교



※ Courtesy of Linde Korea

[그림 33] 고압 기체수소와 액체수소의 저장효율 비교 (Cologne, Germany)

○ 미래 수소사회 대비를 위한 대용량 수소 저장의 필요성

- 현재 국내에는 도시가스 인프라가 전국에 구축되어 있음
- 그러나 전 국민이 사용하는 도시가스는 국외로부터 LNG 형태로 수입되고 국내 각 지역의 인수기지에 액체 상태로 저장되어 있음
- 수급의 관점에서 LNG 인수기지과 같은 대용량 액체 저장 방식이 수소 인프라에도 필수적임

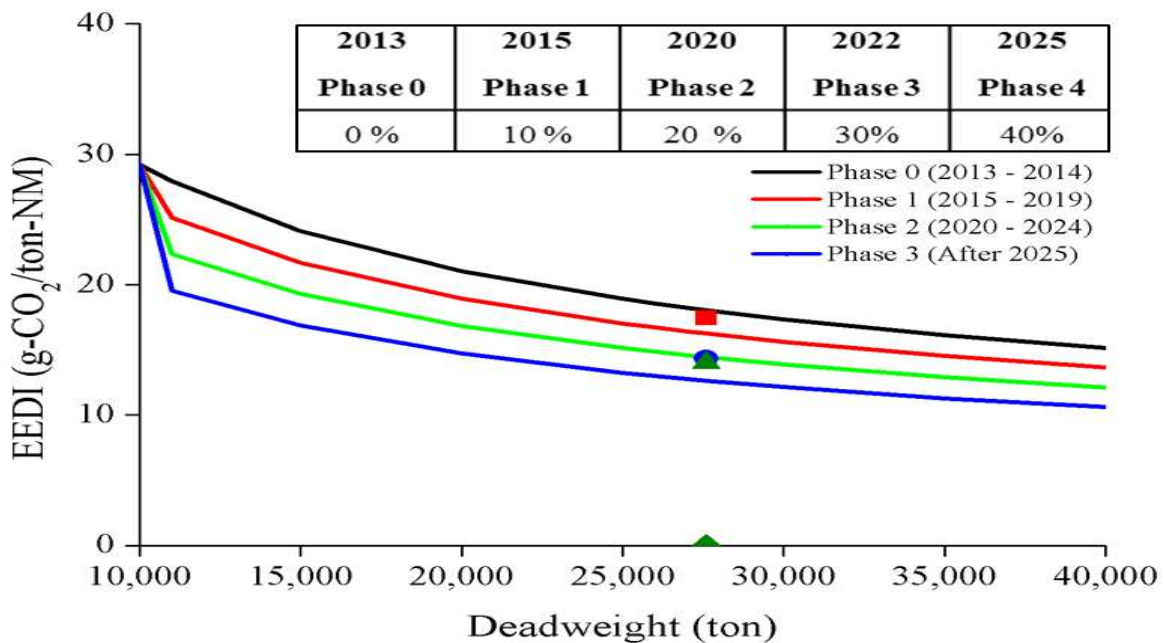
○ 선박연료로서의 액체수소 필요성

- IMO 는 모든 신조 선박의 CO₂ 배출 감축 의무화 (2013년 기준 대비 2020 년 이후 20%, 2025년 이후 40% 감축)을 의무화 함

* IMO EEDI Regulation : MARPOL¹⁴⁾ Annex VI, 21.6 rule (2016. 10. 24)

* EEDI¹⁵⁾ : The impact to environment vs The benefit to society

$$EEDI = \frac{Power \times SFC \times f_{CO_2}}{Deadweight \times Speed} \quad (gCO_2/ton \cdot NM)$$



[그림 34] Dead weight vs. EEDI

- 선박 추진시스템은 Phase 2 이후부터 기존의 HFO (Heavy Fuel Oil) 또는 MGO (Marine Gas Oil) 연료를 사용하는 Steam turbine 및 직접 구동 디젤 시스템에서 EEDI를 만족하기 위하여 MGO에 LNG (Liquefied Natural Gas)를 혼소하는 시스템으로 전환되고 있으며¹⁶⁾, 최근 LNG를 연료로 사용하는 LNG 추진선박이 신조되고 있음
- Phase 4 (2025년 이후)에서는 선박 추진시스템으로 MGO+LNG 혼소 시스템 역시 EEDI 규제를 만족하지 못할 것으로 예측되며, CO₂ 배출 저감 목표 달성을 위한 선박 추진시스템의 연료로 수소를 적용할 가능성이 높음¹⁷⁾
- 선박과 같은 대용량 연료를 필요로 하는 추진 시스템의 경우 액체수소를 기반으로 한 연

14) MARPOL : International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

15) EEDI : Energy Efficiency Design Index

16) Ekanem Attah E et al (2015), "An analysis of the energy efficiency of LNG ships powering options using the EEDI", J. Ocean Engineering, 110, 62-74.

17) Junkeon Ahn et al (2017), "Strategy for selecting an optimal propulsion system of a liquefied hydrogen tanker", International Journal of Hydrogen Energy, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.037>

료저장시스템이 필수적임

[표 11] EEDI compliance of LNG Carrier

Propulsion type (number)	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Steam turbine (159)	7 (6%)	1 (0.6%)	0 (0%)	0 (0%)
Direct drive diesel (21)	8 (38%)	5 (24%)	0 (0%)	0 (0%)
Dual fuel diesel engine (32)	32 (100%)	32 (100%)	31 (97%)	18 (56%)
Total (212)	47 (23%)	38 (18%)	31 (15%)	18 (8%)



[그림 35] EEDI 규제를 만족하기 위한 선박 추진시스템 연료

○ 액체수소의 국가 전략적 필요성

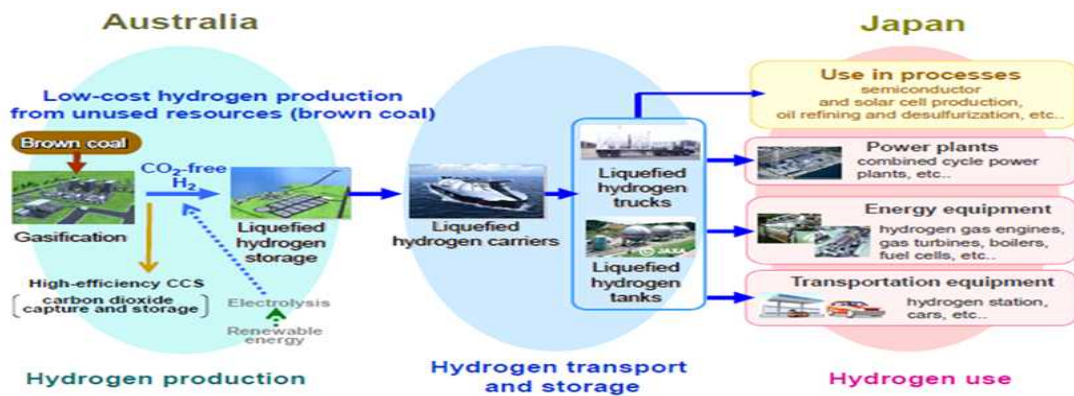
- 액체수소의 경우, 우수한 체적에너지 밀도를 가지기 때문에 우주 발사체, 잠수함 등의 연료로 활용되어, 미국의 경우 수출 금지 품목으로 분류되어 관리되고 있음
- 또한 향후 드론(무인비행체), 항공기 연료로의 사용가능성이 높아 관련 산업의 발전을 위해서도 필수적으로 액체수소 생산 기술을 확보하여야 함.
- 2010년 기준 전 세계적으로 30개의 상용급 수소액화 플랜트가 운영 중이며, 총 생산량은 355 TPD (ton per day) 임¹⁸⁾
- 전 세계적으로 수소액화 플랜트 기술을 보유한 국가(회사)는 4개뿐임 (Air Liquide, Air Products & Chemical, Linde, Praxair)
- 국내의 경우, 대용량 수소액화 플랜트가 전무하며, 우주 발사체 개발 등의 국가 전략적 관점에서 상용급 수소액화 플랜트를 포함한 액체수소 기반 인프라는 반드시 확보해야 할 기술임

18) Songwut Krasae-in, Jacob H. Stang, Petter Neksa, "Development of large-scale hydrogen liquefaction processes from 1898 to 2009", international Journal of Hydrogen Energy, Vol.35, pp.4524 - 4533.

[표 12] 전세계 수소액화 플랜트 설치·운영 현황 (2010년 기준)

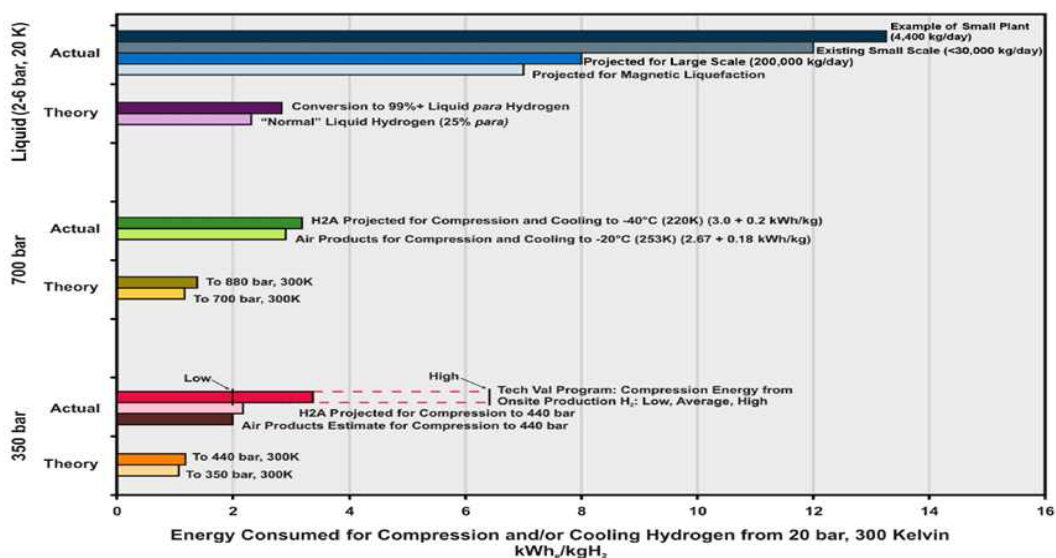
Continent/ Country	Location	Operated by	Capacity (TPD)	Commission	Operation
America					
Canada	Sarnia	Air Products	30	1982	○
Canada	Montreal	Air Liquide Canada Inc.	10	1986	○
Canada	Becancour	Air Liquide	12	1988	○
Canada	Magog, Quebec	BOC	15	1989	○
Canada	Montreal	BOC	14	1990	○
French Guyane	Kourou	Air Liquide	5	1990	○
USA	Painsville	Air Products	3	1957	×
USA	West palm Beach	Air Products	3.2	1957	×
USA	West palm Beach	Air Products	27	1959	×
USA	Mississippi	Air Products	32.7	1960	×
USA	Ontario	Praxair	20	1962	○
USA	Sacramento	Union Carbide,Linde Div.	54	1964	×
USA	New Orleans	Air Products	34	1977	○
USA	New Orleans	Air Products	34	1978	○
USA	Niagara Falls	Praxair	18	1981	○
USA	Sacramento	Air Products	6	1986	○
USA	Niagara falls	Praxair	18	1989	○
USA	Pace	Air Products	30	1994	○
USA	McIntosh	Praxair	24	1995	○
USA	East Chicago, In	Praxair	30	1997	○
Subtotal			300		
Europe					
France	Lille	Air Liquide	10	1987	○
Germany	Ingolstadt	Linde	4.4	1997	○
Germany	Leuna	Linde	5	2008	○
Netherlands	Rosenburg	Air Products	5	1987	○
Subtotal			24.4		
Asia					
China	Beijing	CALT	0.6	1995	○
India	Mahendragiri	ISRO	0.3	1992	○
India	India	Asiatic Oxygen	1.2	-	○
India	Saggonda	Andhra Sugars	1.2	2004	○
Japan	Amagasaki	Iwatani	1.2	1978	×
Japan	Tashiro	MHI	0.6	1984	×
Japan	Akita Prefecture	Tashiro	0.7	1985	○
Japan	Oita	Pacific Hydrogen	1.4	1986	○
Japan	Tane-Ga-Shima	Japan Liquid Hydrogen	1.4	1986	○
Japan	Minamitane	Japan Liquid Hydrogen	2.2	1987	○
Japan	Kimitsu	Air Products	0.3	2003	○
Japan	Osaka	Iwatani (Hydro Edge)	11.3	2006	○
Japan	Tokyo	Iwatani, built by Linde	10	2008	○
Subtotal			30.6		
Worldwide			355		

- 이와 같은 장점으로 인해 기체 수소에 비해 저장 및 수송성이 우수하여 액체수소는 미래의 수소 에너지 사회의 유망한 대용량 수소 저장 및 수송 형태로 기대되고 있음
- 일본에서는 미래 수소사회 비전 달성을 위한 방안으로, 해외의 미이용 자원(갈탄) 및 열가의 재생에너지를 통해 수소를 제조·액화하고 액체수소선을 통해 수소 수요지에 수송하여 공급, 활용하는 액체수소 기반의 수소 공급 시스템을 추진 중



[그림 36] HySTRA (CO₂-free Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association, '15-'20)

- 액체수소의 단점 및 이의 해소 방안
- 액체수소의 제조는 액화 시 단순 압축 저장 방식에 비해 많은 에너지를 필요로 함
- 수소액화 공정의 효율은 액화과정에서 냉열을 무상으로 공급받을 수 있다면 700 bar 압축 공정과 비슷한 수준의 효율을 기대할 수 있음
- 실제로 주로 LNG를 수입하는 일본과 우리나라의 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함



[그림 37] 수소압축 및 수소액화에 따른 소요 동력 비교

- 특히 LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 활용할 수 있음

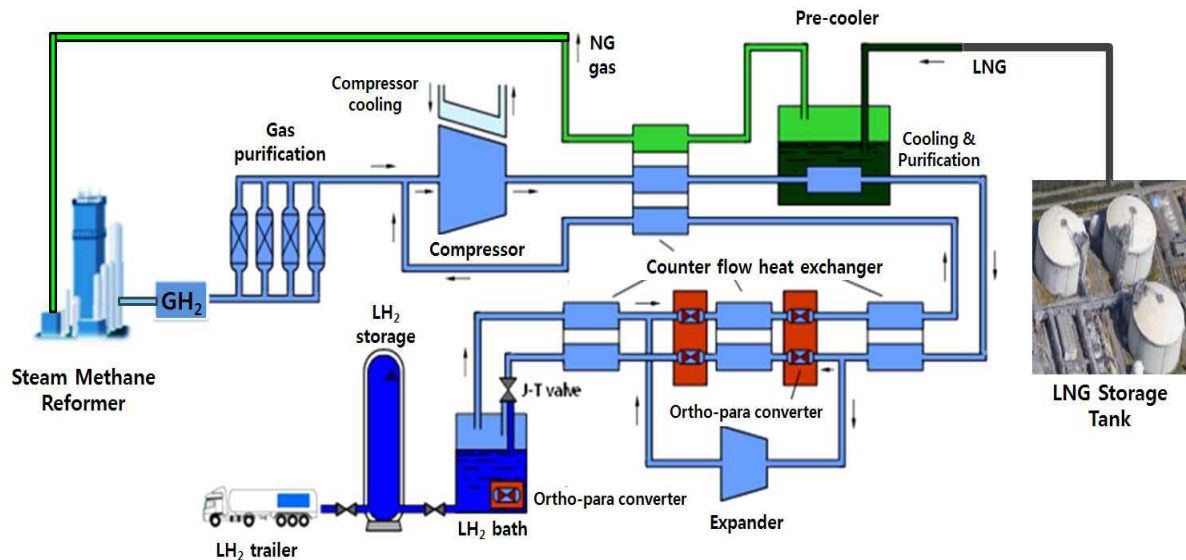
[표 13] 수소압축과 수소액화 효율, 냉열활용 액화 효율

	이론효율 (kWh/kgH ₂)	실제효율 (kWh/kgH ₂)	비고
700bar Compression (from 20 bar)	1.4 ²⁾	3.0 ²⁾	
700bar LH ₂ Pump		0.4 ¹⁾	US DOE HDSAM V 3.1
Liquefaction	2.8 ¹⁾²⁾	10.0~13.4 ²⁾	From 22bar GH ₂ to 2bar LH ₂
Liquefaction with LNG Precooling 1	2.5 ³⁾	8.5 ³⁾	Feed H ₂ precooling only (3.2kg LNG/kgH ₂)
Liquefaction with LNG Precooling 2	1.4 ³⁾	3.6 ³⁾	Feed H ₂ precooling+Recycled H ₂ cooling (25.7kg LNG/kgH ₂)

1) HDSAM (Hydrogen Delivery Scenario Analysis Model) Ver. 3.1, US DOE, 2017

2) Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record #9013. 2009

3) Andres Kuendig et. als, Large scale hydrogen liquefaction in combination with LNG re-gasification, Proc. of the 16th World Hydrogen Energy Conference, Lyon, France, 2006

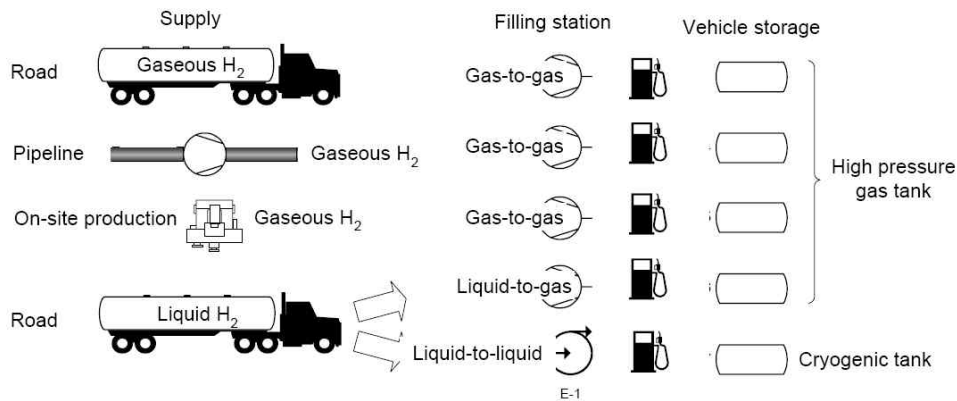


[그림 38] LNG 활용 고효율 수소액화 공정 개념도

- 비등점이 낮고 체적당의 증발 잠열이 작기 때문에 증발하기 쉽고 저장 및 수송 시 단열성능이 우수한 용기가 필요하여, 사용·확산을 위한 보다 많은 기술개발을 필요로 함
- 수소압축 (효율 : 80~91%)에 비해 부족한 수소액화 (효율 : 70%)의 효율 개선을 위한 고효율 액화플랜트 기술 확보 필요
- BOG (Boil-off Gas) 최소화를 위한 저장용기의 단열기술 필요 : 진공 단열을 이용 BOG 발생 최소화 가능, 발생된 BOG는 연료전지 분산발전과 연계하여 즉시 전기로 전환 가능

다. 수소 운송

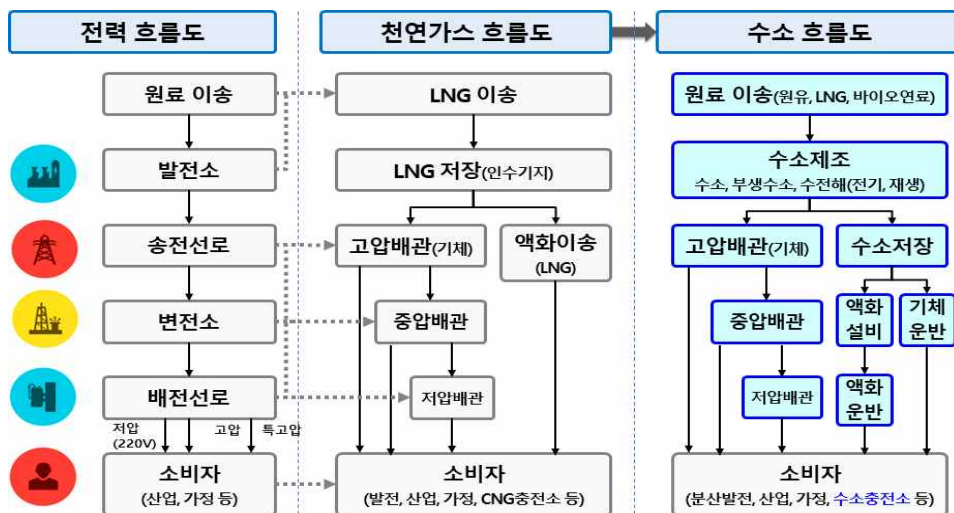
□ 수소 운송 방식은 현지생산, 파이프라인 운송, 도로 및 선박을 이용한 운송으로 분류할 수 있음



[그림 39] 수소 운송 방식별 개념도

- 현지생산의 경우, 부생수소 발생 또는 개질수소 제조 생산지에서 활용하는 형태로 대부분 수소를 소비하는 석유화학공장이 같이 설치되어 있는 형태
- 도로수송은 압축 수송 (Tube Trailer)과 액화 수송 방식으로 분류
- 선박수송은 액체수소를 이용할 수 있으며, LNG 선박기술 활용이 가능함

□ 이러한 수소 운송기술을 타 에너지 인프라의 운송과 비교하면 다음과 같음



[그림 40] 수소인프라와 타 에너지 인프라의 비교

□ 수소 운송 방식별 분석

○ 현지생산 vs. 운송

- 현지생산 (On-site)의 경우, 가격변동성 및 안전성 측면에서 장점이 있으나, 시설비 및 부대비용 측면에서 단점이 있음
- 수소 운송 중 파이프라인의 경우, 소비지가 주로 수소에너지 생산시설과 인접하여 있고, 파이프라인 연결비용이 사용량 대비 효율성이 있을 때 주로 사용되는 방법으로 파이프라인 건설에 드는 비용은 100미터당 1억원으로 매우 고가인 단점을 가짐
- 수소 운송 중 튜브트레일러를 활용한 도로운송의 경우, 시설비 및 부대비용 측면에서 장점을 가지며, 소규모 단위의 수소 공급에 장점을 가지나, 가격변동성 및 안전성 측면에서 단점을 가짐

[표 14] 수소 충전소 수소 공급 방식에 따른 경제성

공급방식	생산·운송 형태	경제성				
		시설비	운송비	부대비용 ¹⁾	가격변동성	안전성 ²⁾
On-site (기체 수소)	NG, LPG, 납사 등 개질	중	하	상	안정	상
Off-site (기체 수소)	파이프라인	상	하	하	불안정	중
	튜브트레일러	하	상	하	불안정	하

1) 전기요금, 인건비 등 수소제조를 위한 생산 및 운영 비용

2) 파이프라인 방식은 수소배관(중압), 튜브트레일러 방식은 고압수소가스 운송 및 저장에 대한 안전관리 필요

○ Off-site 운송방식별 분석

- 액체수소는 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있으며 고압의 기체수소 저장방식 (200 bar 기준)에 비해 약 4배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음
- 액체수소는 대기압에서 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음
- 파이프라인의 경우, 수송량 및 거리 측면, 그리고 최종소비자의 활용성 측면에서 매우 큰 우위를 가지고 있으나, 인프라 구축비용이 막대하여, 미래 시점에서 수소사회가 활성화 되었을 때의 운송 모델임
- 파이프라인이 구축되어도, 대용량 수소 저장 방안은 필수적이며, 현재의 LNG 인프라처럼 대용량 저장을 위해 액체수소의 인프라가 동반되어야 함

○ 저장용량, 경제성 구분에서 액체수소는 미래의 수소 에너지 사회의 유망한 대용량 수소 저장 및 수송 형태로 기대됨

- 세계적으로 수소사회가 활성화 되어 있지 않은 상태에서, 인프라 구축의 경제성을 고려하여, 현재 대부분의 운송은 기체수소로 이루어지고 있으나, 수소 사용이 활성화 되는 시점에서는 액체수소 인프라와 파이프라인 인프라를 고려하여야 함

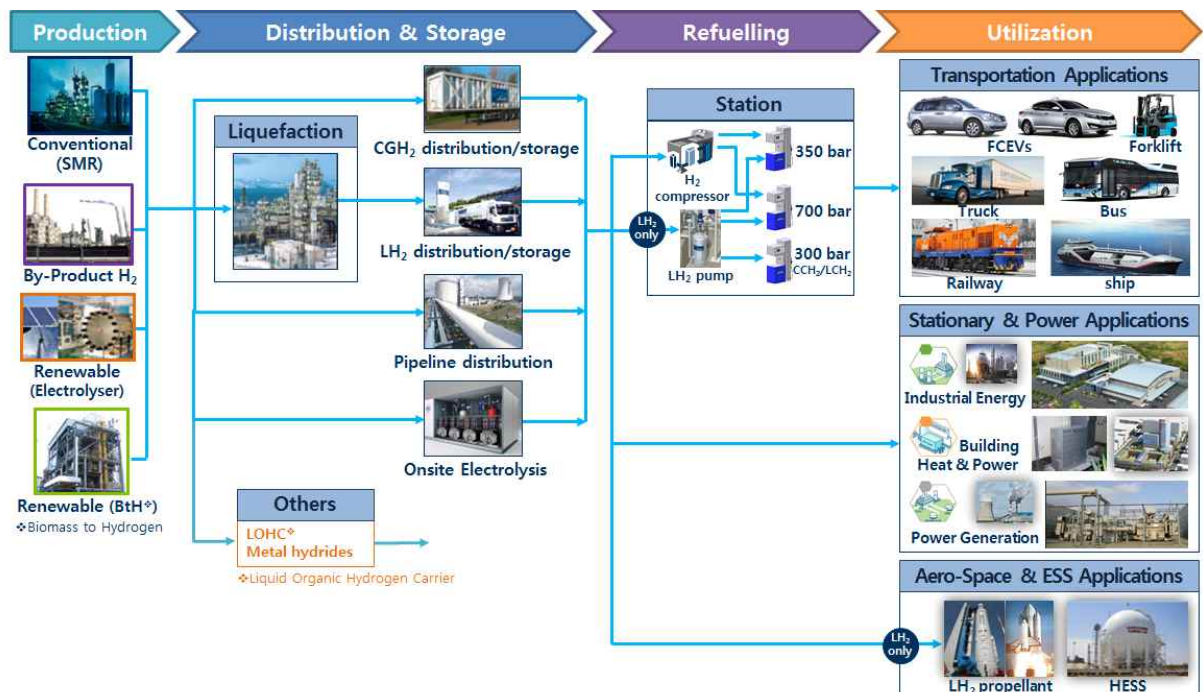
[표 15] 수소의 운송방식별 장·단점 (Technology Roadmap (H₂ & FC), 2015, IEA)

	Capacity	Transport distance	Energy loss	Fixed costs	Variable costs	Deployment phase
Gaseous tube trailers	Low	Low	Low	Low	High	Near term
Liquefied truck trailers	Medium	High	High	Medium	Medium	Medium to long term
Hydrogen pipelines	High	High	Low	High	Low	Medium to long term

라. 수소 사용

□ 수소사용을 위한 인프라

- 수소사용을 위해서는 수소를 생산, 운송된 가스를 수요처에 공급해주는 수소스테이션이 필수적임. 특히 수송용 연료로 활용 시 현재의 기술수준으로는 700bar 이상의 고압으로 차량에 수소를 주입하는 수소스테이션이 필수적임
- 수소충전소는 현지에서 수소를 생산하여 충전시켜주는 On-site 충전소와, 기체수소를 Tube Trailer로 운송한 후 가압하여 충전하는 충전소, 그리고 액체상태의 수소를 공급받아 이를 고압상태로 기화시켜 충전하는 액체수소 기반 충전소가 있음



[그림 41] 수소생산부터 운송 및 활용을 위한 수소인프라 개념

○ Tube Trailer 방식 수소충전소 및 액체수소 기반 수소충전소 개념

- Tube Trailer 방식의 경우 수소생산 기지에서 생산된 수소의 대용량 압축 및 저장이 필요하며, 이를 다수의 Tube Trailer에 의해 충전소로 운송하고, 최종적으로 충전소에서 압축기에 의하여 700 bar로 수소차량에 충전함
- 액체수소 방식의 경우 수소생산기지에서 생산된 수소는 즉시 액화되며 대용량 저장이 가능한 액체 상태로 저장 및 운송됨. 수소충전소에서는 액체수소펌프와 기화기에 의하여 700bar로 가압되어 수소차량에 충전됨



[그림 42] Tube Trailer 방식 기체수소와 액체수소 공급 과정 비교

마. 수소 운송액체수소 기반 수소 스테이션의 경제성

□ Tube Trailer 방식 수소충전소와 On-site 방식 수소충전소 비교

- 미국 DOE의 지원으로 Sandia National LAB.에서 2017년 기준 Tube Trailer 방식 수소충전소와 On-site 방식 수소충전소의 초기 투자비, 운영비 분석을 통한 경제성 평가를 실시¹⁹⁾
 - 300kg/day 수소충전소의 경우 Tube Trailer 방식 기체수소 충전소가 On-site SMR 수소충전소와 On-site Electrolysis 수소충전소의 경우보다 약 30% 이상 싼 가격에 수소공급 가능
 - 이는 소용량 SMR 개질기 및 Electrolyser의 초기투자비용 및 운영비용이 상대적으로 높아 수소생산비용이 높기 때문으로 분석됨

19) 출처 : SAND2017-2832, Comparison of conventional vs. modular hydrogen refueling stations, and on-site production vs. delivery, Ethan S. Hecht, Joseph Pratt, Sandia National laboratories, NREL, USDOE, 2017

[표 16] 300kg/day, 700bar Hydrogen Station의 경제성 분석 결과

	초기투자비용	수소 공급/생산 비용	스테이션 비용	수소판매 가격
Tube Trailer Hydrogen Station	1.86 M\$	5.90 \$/kgH ₂ (Tube Trailer공급)	8.35 \$/kgH ₂	14.26 \$/kgH ₂
On-site SMR Hydrogen Station	4.43 M\$	11.87 \$/kgH ₂ (SMR 수소 공급)	8.41 \$/kgH ₂	20.23 \$/kgH ₂
On-site Electrolysis Hydrogen Station	3.45 M\$	13.38 \$/kgH ₂ (Electrolysis 수소 공급)	8.41 \$/kgH ₂	21.74 \$/kgH ₂

□ On-site 방식 수소충전소 와 Off-site 방식 수소충전소 초기 투자비 비교

- 수소 충전소의 초기 투지비용 측면에서 액체수소 기반 스테이션이 고압기체 수소 기반 스테이션에 비해 경제성이 뛰어난 것으로 보고되고 있음²⁰⁾

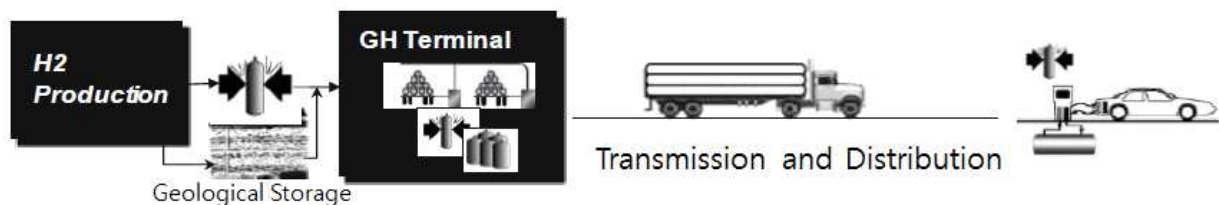
[표 17] 400 kg/day 수소충전소의 초기 투자비용

Type of 400 kg/day station	Early years	Later years
Central SMR with delivered gaseous hydrogen	\$2 million	\$1.5 million
Central SMR with delivered liquid hydrogen	\$1.8 million	\$1.4 million
On-site SMR	\$3.8 million	\$2.4 million

- 가장 최근의 연구결과인 미국 DOE에서 제공하는 수소 스테이션 경제성 해석 모델인 HDSAM (H2A Delivery Scenario Analysis Model, Ver. 3.1, DOE, 2017)을 이용하여 수소생산/운송/충전을 모두 고려한 수소 스테이션의 고압기체 및 액체 수소 공급 가격을 분석, 수소차 보급이 활성화되어 수소충전소의 충전 용량이 일정 수준을 넘어서는 경우 액체수소 기반 스테이션이 경제적 우위를 가짐

- 기체수소 스테이션 공급 과정

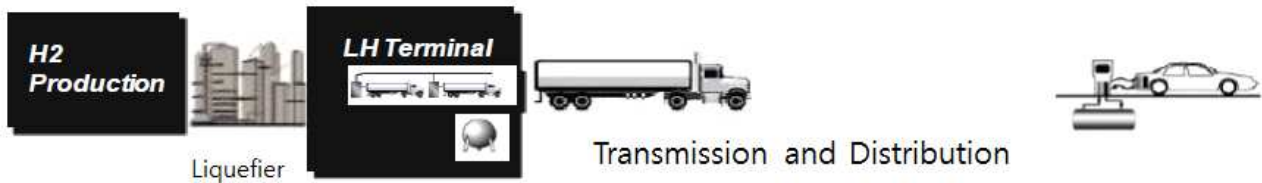
- 중앙집중식 기체수소 생산 → 압축 → 대용량 저장 → 기체수소 터미널 → Tube Trailer 운송 → 기체수소기반 스테이션



20) STAFF REPORT: INITIAL STATEMENT OF REASONS ADVANCED CLEAN CARS, CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, AIR RESOURCES BOARD, 2012

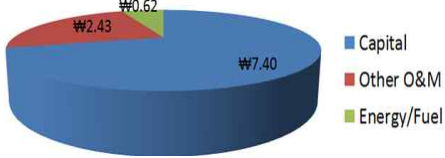
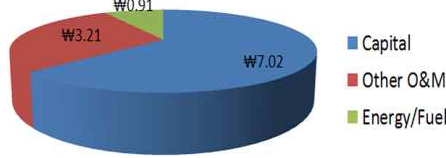
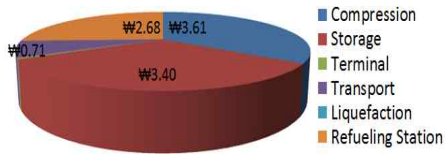
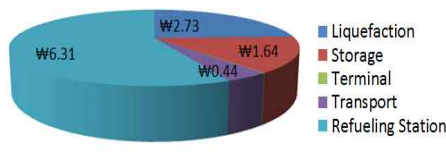
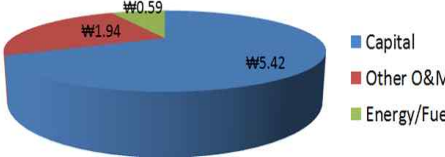
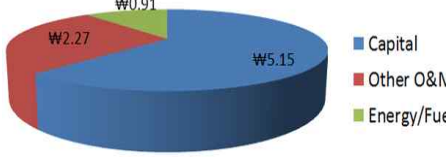
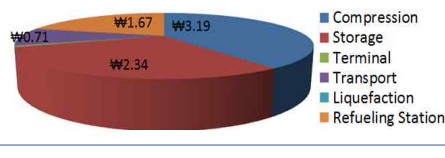
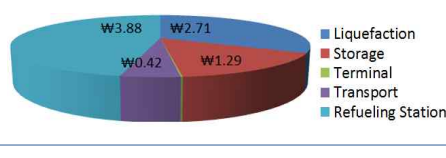
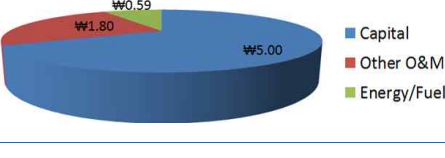
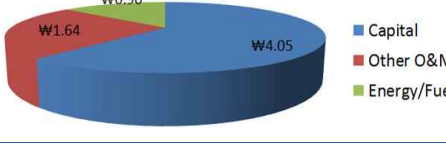
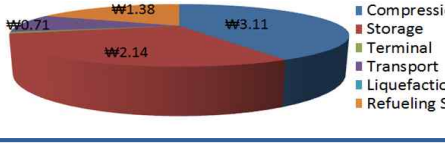
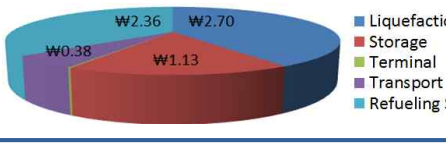
- 액체수소 스테이션 공급 과정

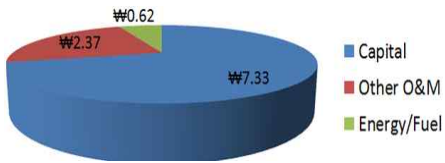
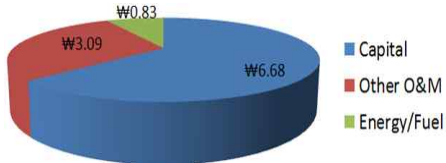
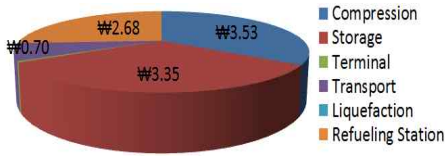
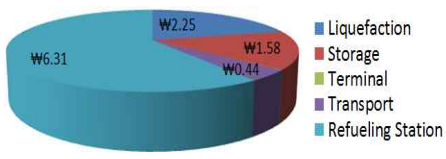
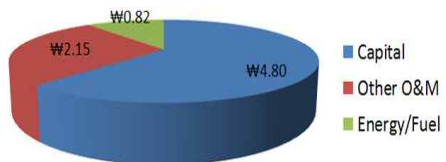
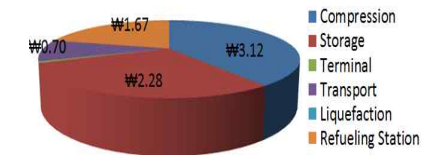
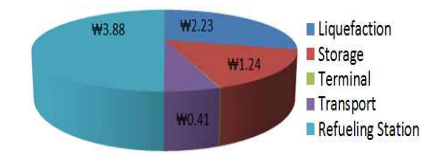
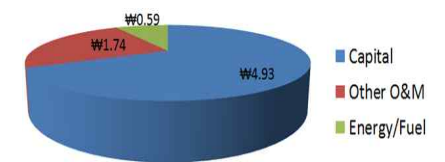
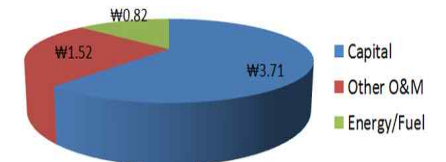
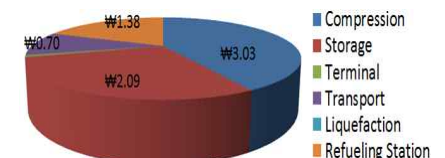
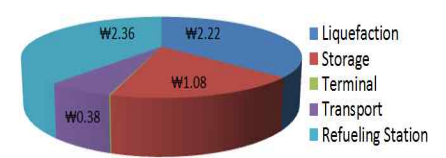
- 중앙집중식 기체수소 생산 → 액화 → 대용량 저장 → 액체수소 터미널 → 액체수소 컨테이너 운송 → 액체수소기반 스테이션



- 가정 : 경기도 면적 기준, 경계로부터 수소공급지까지의 거리 100km 기준
- Tube Trailer 저장량 (수소저장 부피 및 압력) : 1,042kg (36m³, 540bar)
- Liquid Container 저장량 : 4,000 kg
- Station 충전 실효 용량 : 설계용량의 80%
- 기체수소의 생산가격 (3.0\$/kgH₂) 제외 충전소 수소 판매가격 계산
- 분석 결과에 따르면(충전소 용량 1,000 kg 기준), 국내 누적 수소차 보급이 100,000대로 예상되는 2025년에는 액체 수소 스테이션에서의 공급가격이 (6.59 \$/kgH₂)이 기체수소 스테이션의 공급가격에 (7.40 \$/kgH₂) 비해 약 11% 저렴함
- 국내 누적 수소차 보급이 630,000대로 예상되는 2030년에는 액체 수소 스테이션에서의 공급가격이 (6.04 \$/kgH₂)이 기체수소 스테이션의 공급가격에 (7.26 \$/kgH₂) 비해 약 17% 저렴함
- 수소판매가격은 수소차 보급대수와 수소충전소의 충전 용량에 따라 상이하게 나타남. 충전용량이 클수록 액체수소 기반 수소충전소의 경제성이 높게 나타남.
- 수소차 보급 100,000대 시점 (충전용량 500kg/day 이하)까지는 Tube Trailer 방식 수소충전소가 액체수소기반 수소충전소가 보다 경제성이 높은 것으로 나타남
- 수소차 보급 630,000대 시점 (충전용량 500kg/day 이상)에서는 액체수소 기반 수소충전소가 Tube Trailer 방식 수소충전소보다 수소 판매가격이 약 17% 저렴함.
- 액체수소기반 충전소의 경우 수소액화 비용, Tube trailer 방식 수소충전소의 경우 압축 및 저장 비용이 높은 비용을 수반함

[표 18] 기체수소 및 액체수소 기반 충전소 경제성 비교

	Tube Trailer Hydrogen Station	Liquid Hydrogen Station
FCEV: 104,000대 충전소 용량: 300kg/day 충전소 수: 205 충전소 사이 거리 7.59km 국내보급계획: 2025년	수소판매가격 10.45 \$/kgH ₂	수소판매가격 11.15 \$/kgH ₂
	Cost breakdown 	Cost breakdown 
	Cost by function 	Cost by function 
FCEV: 104,000대 충전소 용량: 500kg/day 충전소 수: 123 충전소 사이 거리 9.80km 국내보급계획: 2025년	수소판매가격 7.96 \$/kgH ₂	수소판매가격 8.32 \$/kgH ₂
	Cost breakdown 	Cost breakdown 
	Cost by function 	Cost by function 
FCEV: 104,000대 충전소 용량: 1,000kg/day 충전소 수: 62 충전소 사이 거리 13.81km 국내보급계획: 2025년	수소판매가격 7.40 \$/kgH ₂	수소판매가격 6.59 \$/kgH ₂
	Cost breakdown 	Cost breakdown 
	Cost by function 	Cost by function 

	Tube Trailer Hydrogen Station	Liquid Hydrogen Station
FCEV: 624,000대 충전소 용량: 300kg/day 충전소 수: 1230 충전소 사이 거리 3.10km 국내보급계획: 2030년	수소판매가격 10.32 \$/kgH ₂	수소판매가격 10.60 \$/kgH ₂
	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel
	Cost by function  - Compression - Storage - Terminal - Transport - Liquefaction - Refueling Station	Cost by function  - Liquefaction - Storage - Terminal - Transport - Refueling Station
FCEV: 624,000대 충전소 용량: 500kg/day 충전소 수: 738 충전소 사이 거리 4.00km 국내보급계획: 2030년	수소판매가격 7.82 \$/kgH ₂	수소판매가격 7.77 \$/kgH ₂
	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel
	Cost by function  - Compression - Storage - Terminal - Transport - Liquefaction - Refueling Station	Cost by function  - Liquefaction - Storage - Terminal - Transport - Refueling Station
FCEV: 624,000대 충전소 용량: 1,000kg/day 충전소 수: 369 충전소 사이 거리 5.66km 국내보급계획: 2030년	수소판매가격 7.26 \$/kgH ₂	수소판매가격 6.04 \$/kgH ₂
	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel	Cost breakdown  - Capital - Other O&M - Energy/Fuel
	Cost by function  - Compression - Storage - Terminal - Transport - Liquefaction - Refueling Station	Cost by function  - Liquefaction - Storage - Terminal - Transport - Refueling Station

바. 액체수소 기반 수소사회 인프라 구축 필요성 요약

- 지구온난화 대응을 위한 국제적인 노력에 따라 2050년 기준 전 세계 1차 에너지원의 44%는 재생 가능 에너지로 충당될 것으로 전망됨
- 재생에너지의 지역별, 계절별 수급 불균형 때문에 재생에너지로 생산된 전력을 대용량, 장기간 저장할 수 있는 에너지 캐리어가 필요함
- 시간에 따른 전력수급의 불균형을 추가 발전소 건립 없이 해결할 수 있는 효율적인 방안으로 Battery, CAES (Compressed Air Energy Storage), Power to Fuel, 양수발전 등이 있으나, 생산방식의 단순화, 저장용량의 우수성 등으로 신재생에너지-전력과 IT-HESS (수소·연료전지 및 2차 전지)시스템 연계기술개발이 주요 기술로 부각 전망
- 수소는 2차전지에 비해 에너지밀도가 5~10배 큰 이상적인 에너지저장 물질로 출력 변동성이 큰 신재생에너지 등 다양한 에너지 소스와 에너지 이용 네트워크를 연계할 수 있어, 온실가스 배출 감축을 위한 에너지의 활용 시스템 (Energy Carrier & Storage)의 핵심으로 부상. 국제에너지기구에 의하면 이러한 대용량, 장기간 저장 및 다양한 타 에너지원으로의 변환을 고려하면, 수소가 최적의 에너지 캐리어임
- 배출가스 저감, 기술 고도화 및 기술 파급 효과 등을 고려, 각국이 수송용 연료전지(연료전지자동차) 개발에 집중하고 있으며 수소연료전지자동차 (이하 ‘수소차’)는 긴 주행거리, 편리한 충전 및 기존 전력 부하에 부담이 없다는 점에서 현재 내연기관차를 대체할 친환경 차량으로 평가
- Hydrogen Council은 2020년부터 발전, 수송, 건물에너지, 산업에너지 분야에서 수소의 활용이 본격화 되어 2030년 정도부터 수송 분야를 시작으로 본격적인 수소 사회가 도래할 것으로 예측함
- 이에 따른 수소의 생산, 이송, 저장 인프라에 대한 수요 증가
- 수소의 저장/운송 방식은 기체, 액체, 고체화합물, 액체화합물 (LOHC, NH_3), 파이프라인 방식 등 다양함
- 수소 활용 초기에는 현재 인프라가 일부 구축되어 있는 기체수소 기반 저장/ 운송 시스템이 적절하나, 수소 활용이 본격화되는 시점에서는 대용량 저장, 도심지에서의 안전 측면, 인프라 구축비용을 포함한 경제성 측면에서 액체수소 기반 인프라가 경쟁력을 가지며, 궁극적으로 파이프라인 운송과 함께 미래 수소사회의 핵심 인프라가 될 것으로 예측됨

제 3 절 사업추진 필요성 및 타당성

1. 사업추진 필요성

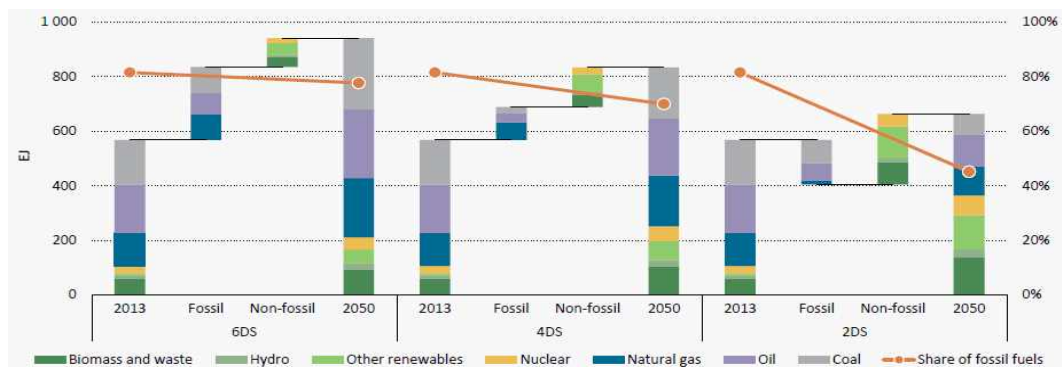
가. 수소사회 필요성

□ 환경문제가 인류의 생존문제로까지 부각되면서 전 세계적으로 지구 온난화 문제 해결 및 대기환경 개선을 위한 노력을 경주하고 있음

○ 유엔기후변화협약 제21차 당사국 총회 (COP 21, 2015)에서는 우리나라를 포함한 195개국이 미래 지구 온도를 산업혁명 시점 대비 2℃ 내 상승 억제 (2DS, 2 Degree Scenario)를 목표로 한 온실가스 감축 합의서에 서명

○ IEA는 이를 위한 미래 에너지 시스템의 변화를 예상 (IEA, Energy Technology Perspectives, 2016)

- 2DS 내 2050년 에너지 수요는 재생 가능 에너지 44 %, 화석 연료 45 %, 원자력 11% 수준으로 재생가능에너지의 비율이 화석연료 수준으로 증가



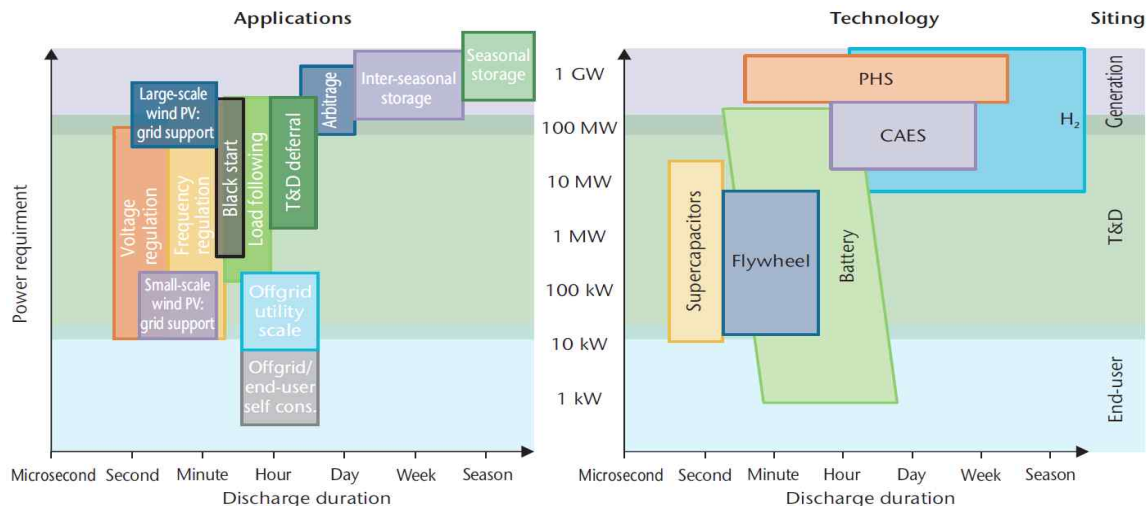
[그림 43] 기후변화 협약에 따른 전 세계 에너지원의 구성 전망

□ 재생에너지 확대에 따른 미래 에너지 시스템의 변화 - 수소 사회

○ 수소사회 : 탄소에 기반한 하부 경제구조 (에너지기반)가 화석연료에서 수소 중심으로 전환된 사회를 의미

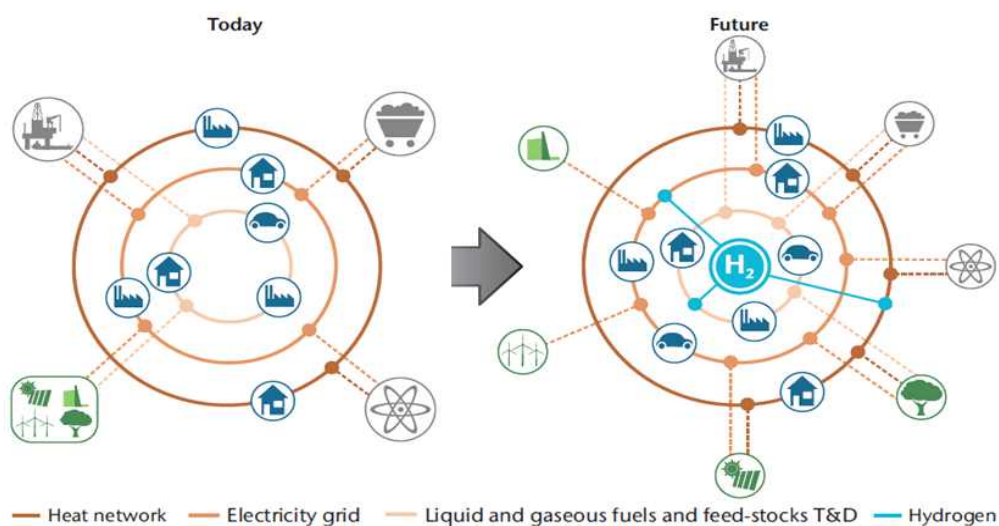
○ 전기에너지는 그 특성상 저장이 어려워 수요와 공급의 일치가 어려움. 재생에너지 전력은 그 특성상 저장이 어려워 수요와 공급의 일치가 어려움. 따라서 일 기준 또는 계절기준으로 신재생 전력의 대용량 장기간 저장이 필요

- 국제에너지기구 (IEA)는 2015년 기술로드맵을 통해 수소가 불규칙적이고 변동성이 큰 재생에너지의 대규모, 장기간 전력 저장에 최선의 대안이라고 평가



[그림 44] 전기 저장 방식 기술 및 활용처

- 미래의 에너지시스템에서는 저탄소 에너지 시스템에서 수소가 열에너지네트워크, 전기에너지네트워크, 연료네트워크 간을 연계하는 최적의 에너지 캐리어
- 수소는 전기와 마찬가지로 “에너지 캐리어”임. 교통, 전력, 산업 및 건물 등 경제의 모든 부문에서 에너지 캐리어로 활용 가능
 - 수소는 연료 전지에 의해 전기로 변환, 연소에 의해 열에너지로 변환, 간단한 화학공정에 의해 타 연료로 전환 등 다양한 최종에너지로의 변환이 가능



[그림 45] 미래 에너지 시스템 (Technology Roadmap (H₂ & FC), 2015, IEA)

나. 정부의 기후변화 협약 대비 정책에 대한 수단

□ 정부는 이러한 기후변화 협약에 대응하기 위한 핵심 수단으로 재생에너지 3020 이행 계획(안)을 발표 (2017. 12, 산업통상자원부)

○ 2030년 재생에너지 발전량 비중 20% 보급을 목표로 세움 (16년 7%)



[그림 46] 재생에너지 3020 실행계획(안)의 보급 목표

○ 3020을 통한 에너지新산업 육성방안으로 재생에너지 보급의 획기적 확대를 통한 국내 청정에너지 산업 집중 육성, 분산발전과 4차 산업혁명 신기술을 통한 IoE 기반 에너지新산업 발굴·확산을 내세움

○ 에너지 신산업 육성 분야에서 분산전원 기반 에너지新산업 육성' 을 위한 전력중개시장, 신재생 에너지지의 간헐성 극복을 위한 ESS, 연료전지, Power to Gas 육성을 내세움

□ 재생에너지의 간헐성 극복을 위해서는 대용량 전력에너지의 저장이 필수적이며, 생산방식의 단순화, 저장용량의 우수성 등으로 전력의 수소로의 전환, 전환된 수소의 대용량 저장 및 운송방안이 주요 기술로 부각됨

○ 대용량 저장 및 도심지 설치 부지, 운송 문제 해결을 위해 액체수소 인프라 구축 필요

- 저장용량 측면에서 액체수소는 고압 기체수소 (200 bar) 대비 약 4배의 저장밀도를 가짐
- 수송효율 및 실제 설치부지 관점에서는 10배 이상의 차이를 보임
- 도심지 내 부지 가격 및 저장 안전성 측면을 동시에 고려할 경우, 수소에너지 보급화를 위해서 액체수소 기반의 인프라 구축은 필수적임
- 해외 수소충전소 액체수소 공급 비율은 미국 (87%), 일본 (63%), 유럽 (12%) 수준이며, 향후 액체수소 공급 비율은 증가할 것으로 예상됨 (Linde)



※ Courtesy of Linde Korea

[그림 47] 고압 기체수소와 액체수소의 수송효율 비교



※ Courtesy of Linde Korea

[그림 48] 고압 기체수소와 액체수소의 저장효율 비교 (Cologne, Germany)

- 정부는 이산화탄소 감축 및 미세먼지 저감에 대응하고자 수소차 보급 계획을 수립. 이의 달성을 위한 대용량 수소 생산, 저장, 운송기술이 필수적
- 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (2015. 12), 미세먼지 관리 종합대책 (2016. 3)에 따르면 2030년, 수소차 10% 시대 (신차 판매의 10%)를 만들기 위한 수소차 및 수소차 충전소 보급 목표 설정
 - 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (2015. 12, 관계부처 합동)
 - 수소차 보급이 본격적으로 활성화 되는 2025년 이후부터는 도심지 설치 및 충전소의 충전 용량 문제로 액체수소 활용 인프라가 필수

[표 19] 국내 수소차 및 충전소 보급 계획

구 분	~'16	'17	'18	'19	'20	~'25	~'30	~'50
수소차 (천대)	0.2 (0.1)	0.5 (0.3)	2.5 (2.0)	5.1 (2.6)	9.0 (3.9)	100 (91)	630 (530)	7,000 (6,370)
충전소(개소)	13 (3)	20 (7)	30 (10)	50 (20)	80 (30)	210 (130)	520 (310)	1,500 (980)
충전소 용량 (kg/day)					60	250	650	2,500

- 수소차 보급에 따른 기대효과 (수소차 보급 및 충전인프라 구축 활성화 방안, 2015, 환경부)
 - 2030년 630,000대의 수소차 보급 시 기대되는 효과는 다음과 같음.
 - 온실가스 감축효과 : 2030년까지 누적 438만톤
 - 온실가스 감축에 의한 사회적 비용 저감 : 2030년까지 누적 5,042억원
 - 직접적인 대기오염 물질 감축효과 : 2030년까지 누적 5,480 톤
 - 대기오염 물질 감축에 따른 사회적 비용 저감 : 2030년까지 372억원
- 국내 자동차 산업 친환경화 및 새로운 일자리 창출
 - 범세계적인 자동차 배출가스 및 CO₂ (연비) 규제를 대응하기 위해서는 내연기관차 중심의 자동차 산업이 친환경차 산업으로 전환이 필요함
 - 특히, 국내 자동차 산업은 생산량이 정체기에 있어 친환경차로 전환이 늦어질수록 지속적인 산업발전이 어려워질 수 있음
 - 수소차의 경우 기존 내연기관차 생산라인에서 추가하여 생산 가능한 하이브리드차와 다르게 새로운 자동차 및 부품 생산라인 추가로 필요하기 때문에 보급이 확대될수록 국내 자동차 생산량 증가로 인한 새로운 일자리 창출이 가능함
 - 국내에서 연간 수소차 30만대를 생산(내수+수출)할 경우 10만명 이상의 일자리 창출이 가능
 - * 수소차 가격 5,000만원 가정, 제조업 일자리 창출 0.9명/억
 - 자동차 산업의 친환경화 및 국제적인 자동차 규제대응, 새로운 일자리 창출을 위한 수소차 보급이 필요함
- 수소차 연관 산업의 새로운 산업 육성
 - 수소차 보급은 단순히 자동차 산업의 발전에 국한된 것이 아니라 수소를 생산하는 수소산업, 수소를 이송·저장하는 산업, 수소충전소 산업이 창출 및 육성될 수 있음, 수소차 연관 산업은 모두 기존에 없던 신(新)산업에 속함
 - 수소 시대 도래에 준비하기 위해서는 초기 수소차 보급을 통한 신산업 육성, 신규 일자리 창출, 온실가스 감축, 국가 에너지 자립 달성이 가능할 것으로 판단됨

다. 국가 전략적 필요성

- 상기한 신재생에너지 확대 및 수소차 보급에 따른 대용량 에너지 저장의 필요성에 더하여, 향후 국가 미래 전략 측면에서 필요성을 가짐
- 액체수소의 경우, 우수한 체적에너지 밀도를 가지기 때문에 우주 발사체, 잠수함 등의 연료로 활용되어, 미국의 경우 수출 금지 품목으로 분류되어 관리되고 있음
- 또한 향후 선박, 드론(무인비행체), 항공기 연료로의 사용가능성이 높아 관련 산업의 발전을 위해서도 필수적으로 액체수소 생산 기술을 확보하여야 함
 - IMO는 모든 신조 선박의 CO₂ 배출 감축 의무화 (2013년 기준 대비 2020 년 이후 20%, 2025년 이후 40% 감축)을 의무화 함
 - 현재 감축방안으로 LNG (Liquefied Natural Gas)를 연료로 사용하는 LNG 추진선박이 신조되고 있음
 - 그러나, 2025년 이후에는 LNG 추진선박선 역시 규제를 만족하지 못할 것으로 예측되며, CO₂ 배출 저감 목표 달성을 위한 선박 추진시스템의 연료로 수소를 적용할 가능성이 높음²¹⁾
 - 선박과 같은 대용량 연료를 필요로 하는 추진 시스템의 경우 액체수소를 기반으로 한 연료저장시스템이 필수적임
- 전 세계적으로 수소액화 플랜트 기술을 보유한 국가 (회사)는 4개에 불과하며, 국가 미래 전략 측면에서 상용급 수소액화 플랜트를 포함한 액체수소 기반 인프라는 반드시 확보해야 할 기술임

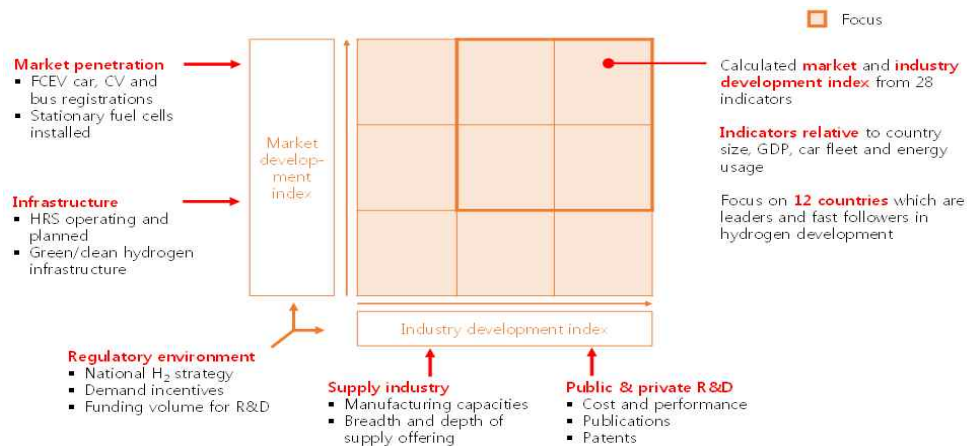
21) Junkeon Ahn et al (2017), "Strategy for selecting an optimal propulsion system of a liquefied hydrogen tanker". International Journal of Hydrogen Energy. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.01.037>

2. 사업추진의 시급성

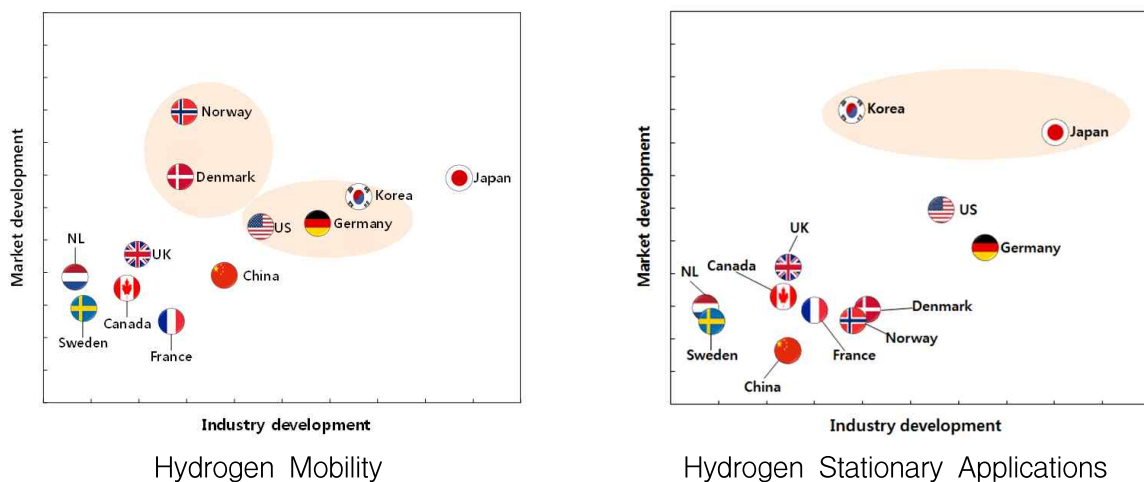
- (경제여건) 미국 및 유로지역 등을 중심으로 높은 성장세를 이어가고, 중국이 양호한 성장세를 보이는 가운데 아세안, 인도 및 브라질 성장세 강화
 - 우리나라 올해 경제성장률은 3.0%, 2019년에는 2.9% (한국은행, '18.1월)
 - '17년 일인당 국민소득 (GNI) 일본 38,550\$, 우리나라 29,730 \$
- (산업전환기) 글로벌 경제 확대, 기후변화 심화 및 4차 산업혁명 시기 도래 등 새로운 이슈 부각으로 신산업 육성 전략적 전환기
 - Industry 4.0 (독일), 중국제조 2025 전략 및 양자컴퓨터 기술 표준화 추구 등
 - 이산화탄소 배출규제(에너지) 및 무역기술장벽 (TBT, Technical Barriers to Trade)을 통한 선진국의 경제주도권 경쟁 치열
- (산업주도권 상실) 우리나라의 경우 중국의 부상에 따라 조선해양, 휴대폰, 통신장비 등 주력산업의 주도권 상실시기 임박으로 친환경차등 혁신성장 산업분야 정책대안 마련에 안간힘
 - 혁신성장 보고대회 : 미래차, 드론 등 8대 핵심 사업에서 일자리 30만개 창출 ('18.5)
 - 8대산업 : 초연결 지능화, 스마트공장, 스마트팜, 핀테크, 에너지신산업, 스마트시티, 드론, 미래자동차
 - 수소경제, 빅데이터, 인공지능 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼(인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정(' 18.8, 제5차 혁신성장 관계장관회의)
- (정책적 대안) 수소차는 수소·연료전지의 장점을 가장 잘 구현하며 자동차 및 인프라 보급을 통해 주력산업 육성을 주도할 수 있는 대안이며, 에너지 신산업, 미래 자동차와 직접적인 연관이 있음
 - 수송용 연료전지는 높은 기술력이 요구되며 높은 규모 효과와 기술혁신 확산 효과가 기대
 - 전 세계의 핵심 에너지 기업과 수소인프라 기업, 수소차 제조 기업이 모두 포함된 Hydrogen Council에서는 2030년 전에 지게차, 승용차, 트럭 및 버스를 중심으로 수소연료

전지차 시장이 전체 시장의 1%에 도달할 것으로 예상하고 있음. 궁극적으로 2050년에는 차종에 따라 전체 자동차 시장의 20~40%를 대체할 것으로 예상함

- 최근 맥킨지는 수소사회 전환을 주도하고 있는 선진국을 대상으로 각국의 수소사회 선도 가능성 분석을 수행²²⁾



[그림 49] 수소사회 전환 가능성 분석을 위한 개발 척도

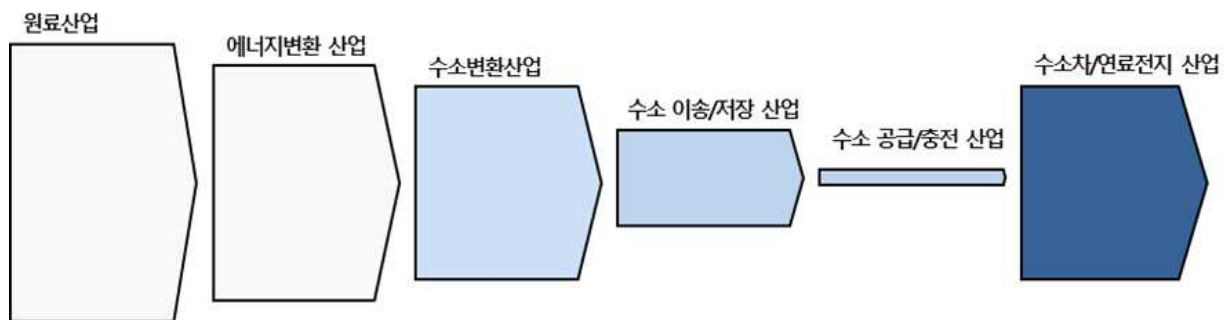


[그림 50] 수소사회 전환 가능성 분석 결과

- 시장 침투력 (Market Penetration), 인프라 (Infrastructure) 등의 시장 개발 척도 (Market Development Index)와 수소 공급 산업 (Supply Industry), R&D 개발 (Public & Private R&D), 및 규제 환경 (Regulatory Environment) 등을 포함하는 산업 개발 척도 (Industry Development Index)를 이용하여 수소사회 전환 가능성을 분석

22) Source : Policies of countries leading hydrogen development and implications for Korea, International Energy Forum-Korea National Assembly, Seoul, 6 Feb. 2018, Bernd Heid, McKinsey&Company

- 우리나라는 수소사회 전환 측면에서 산업 및 시장을 선도하고 있는 것으로 분석됨
- 국내 수소 공급 여건 및 활용 산업은 선진국과 비교 우위에 있으나 수소 운송 및 대규모 저장 관련 산업 여건은 매우 취약한 상황임
- 수소인프라 가치사슬 내 산업의 크기를 도식화하여 비교해 보면, 수소 이송/저장 및 보급 산업은 매우 취약한 상황임
- 연료전지를 기반으로 한 수소 활용 기술 및 시장 여건은 우리나라가 세계적인 경쟁력을 가지고 있으나, 이의 보급을 위한 수소공급/충전 인프라 부분에서는 외국 기술에 의존하고 있어 시급한 기술개발이 필요함
 - 현재 수소 인프라 관련 국내 정책은 기존의 기체튜브 트레일러 방식의 수소 스테이션 보급에 치우쳐 있음
 - 기체수소 기반 충전소 핵심 부품은 여전히 국외 기술에 의존하고 있음
 - 국가 전략기술에 대한 기술수준 평가 (2016년 기술수준평가, KISTEP, 2017)에 따르면 에너지·자원·극한기술 분야 중 수소에너지 기술의 경우 기술수준 및 기술격차는 최고기술 보유국(미국) 대비 각각 77.7%, 3.9년으로 평가됨.
 - 수소차 보급이 활성화 되는 2025년 이후의 핵심 인프라로 예측되는 안전하고 대용량 저장/운송이 가능한 액체수소 기반 인프라는 국내에 전무하며, 관련 기술개발은 진행된 바 없음
 - 수소액화, 액체수소의 활용 관련 기술은 세계적으로 선진 4개사* 정도만이 보유하고 있으며, 관련 기술개발이 진행되지 않으면, 기술 격차의 축소가 어려워, 기술 종속으로 액체수소 인프라 구축을 모두 외국에 의존하여야 함
- * Air Liquids (프랑스), Linde (독일), Air Products and Chemicals (미국), Praxair (미국)

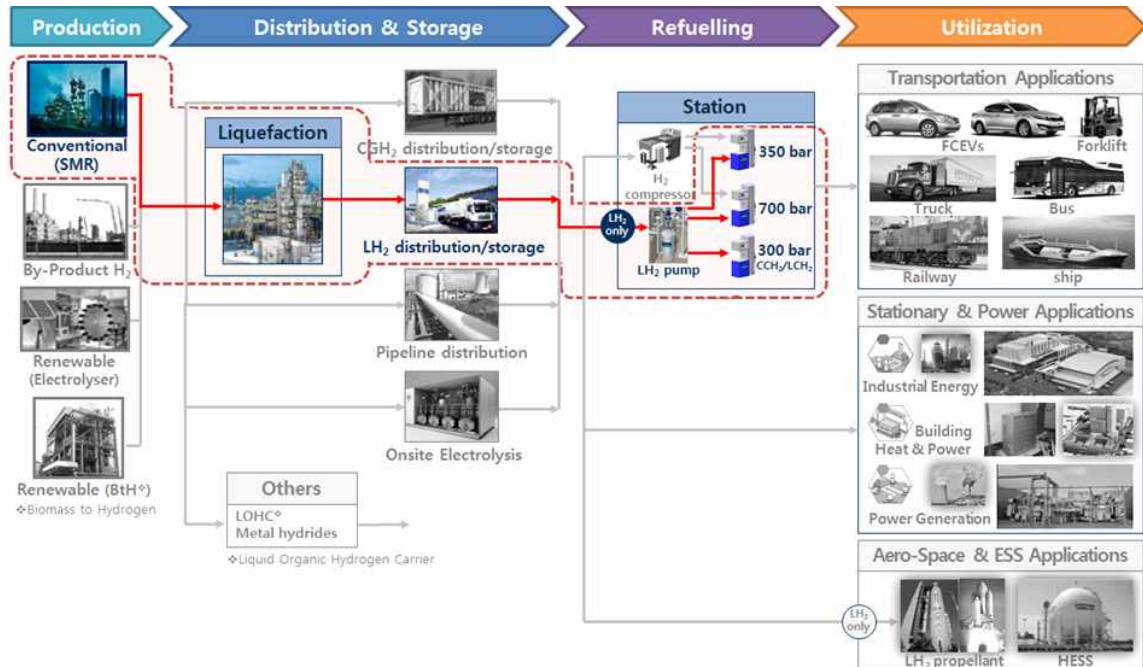


[그림 51] 수소인프라 가치사슬 내 산업의 크기

- 이러한 상황이 지속된다면 세계시장을 선도하고 있는 연료전지, 수소차 등 수소 연관 산업의 지속적인 성장을 기대할 수 없음

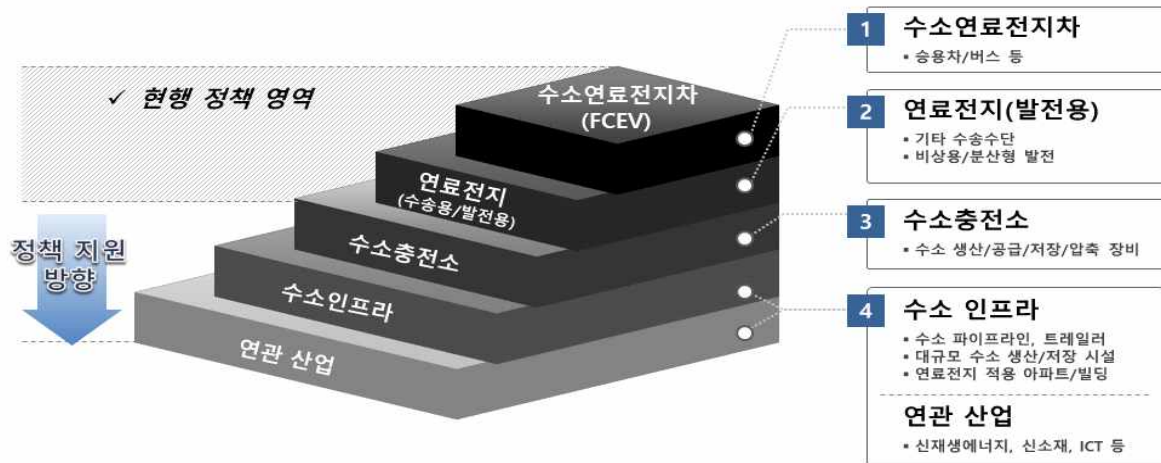
□ (정책추진방향) 액체수소 기반 수소인프라 구축에 초점 필요

- 현재 국가 연구 개발 사업 및 정책은 수소·연료전지 산업 활성화에 집중되어 있음
 - 수소 인프라 및 관련 산업 기반 없이는 실질적인 보급 확산에 한계가 있음

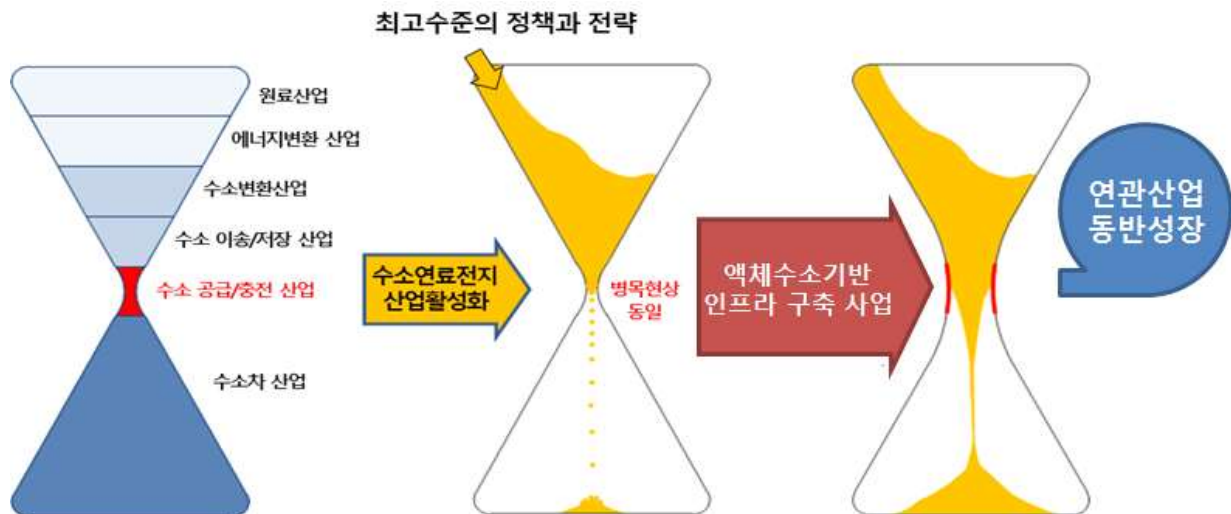


- 따라서, 본 사업을 통하여 수소 공급 산업과 수소 활용 산업 사이의 취약 부분인 수소 운송 및 대규모 저장 관련 산업의 국가 경쟁력 향상이 선행되어야 함
 - 중 장기적으로 관련 시장의 선도 및 활성화를 위해서는 대용량 수소 생산, 저장, 분배가 가능한 액체수소기반 인프라 구축이 필요
 - 현재 수소 인프라 관련 국내 정책은 기존의 기체튜브 트레일러 방식의 수소 스테이션 보급에 치우쳐 있으나, 수소차 보급이 활성화 되는 2025년 이후에는 액체수소에 기반을 둔 인프라가 경제성, 안전성 측면에서 우월함
 - 현재 국내에는 액체수소 관련 인프라가 전무하며, 관련 기술개발이 진행되지 않으면, 액체수소 인프라 전체를 국외에서 수입하여야 함
- 이러한 인프라 구축을 통하여 취약 부분인 수소 운송 및 대규모 저장 관련 기술 개발이 성공적으로 완료될 경우, 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업의 동반 성장이 가능하며, 산업 및 시장을 선도할 수 있음
- 이러한 인프라 구축은 전략물자인 액체수소를 활용하는 국방, 우주개발 등 미래 국가 안보측면에서도 필수적임

□ 본 사업을 통한 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업의 동반 성장 가능



[그림 52] 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업 육성을 위한 정책지원 방향



[그림 53] 본 사업을 통한 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업의 동반 성장

- 정부 정책은 수소 인프라 및 관련 산업의 육성 정책 마련에 집중하고 액체수소기반 인프라 구축 사업을 통하여 취약 부분인 수소 운송 및 대규모 저장 관련 기술 개발이 성공적으로 완료될 경우, 수소인프라 가치사슬 내 연관 산업의 동반 성장이 가능하며, 산업 및 시장을 선도할 수 있음

□ 국제적인 청정개발체제 (CDM: Clean Development Mechanism)를 고려한 ‘수소 인프라’는 탄소제로, 미세먼지 저감을 위한 ‘Flagship’ 으로 ‘CDM 이행, 수소경제 시대 사회 인프라의 산업가치 창출’을 선도하는 기술 확보가 시급

- (수소사회로 전환기) 신재생에너지 기반 수소생산·저장기술 발전, 에너지그리드 성장 등으로 전기, 수소분야의 사회·경제 융복합이 점진 실현
 - 기존 산업의 경우 산업 경쟁력 강화를 위한 인프라 구축은 산업체의 몫이나, 수소사회와 같은 에너지 및 관련 산업 전환기에서는 국가차원에서 인프라 구축이 필수
 - 일례로 국내 산업 발전사를 보면, 산업 불모지였던 1970년대에 전국적인 고속도로 인프라를 구축하여, 현재의 우리나라 성장을 주도하였음
 - 국내 성장동력이 한계에 도달하고 있어, 새로운 신성장동력 창출이 필수적인 현재와 근미래에, 수소사회로의 전환에서 신산업에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 고속도로와 같은 국가 차원의 인프라 구축이 필수
 - 수소사회의 핵심 인프라는 수소를 생산, 분배, 공급하는 것으로 국가의 지원이 시급함

인프라. vs. 산업

- 성숙된 산업 : 인프라 구축 자체도 민간의 몫
- 신규 산업 : 신규산업 성장을 위해서는 인프라 필요



경부고속도로 건설 (1970년)

1인당 국민소득
 - \$286 (1970)
 - \$27,000 (2017)

[그림 54] 산업성장에서의 인프라의 역할

- (사회적 실험 요구) 기존 도시, 교통·물류에서 발생하는 탄소, 미세먼지를 Zero 수준으로 감축을 위한 대안 정책 및 기술로 “수소 인프라의 사회적 실험”이 수반되어야 함

3. 국고지원의 당위성

- ☐ 상위계획과의 부합 여부를 검토하여 액체수소기반 인프라 구축 기술 개발 사업이 국가정책 실현을 위한 국고지원 당위성 평가
 - 법적 근거 확보를 위한 관련 법 검토
 - 국가정책 부분은 현 정부의 국가정책 기조를 담은 ‘문재인 정부 100대 국정과제’와 수소인프라 보급과 관련한 정부 정책을 분석
 - 연구개발정책 부분은 과학기술분야 최상위 중장기 계획인 ‘제4차 과학기술기본계획’ (‘18.2.22, 국가과학기술심의회)과 ‘국토교통 R&D 중장기전략’ (‘14.7., 국토교통부)을 분석하여 연구개발정책과의 부합성을 분석

가. 관련 법령 부합성

- ☐ 저탄소 녹색성장기본법 (녹색성장법)
 - 녹색성장 추지의 기본원칙 : 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편 (법 3조)
 - 녹색성장 국가전략 수립 시행 : 녹색국토, 저탄소 교통체계 등 전략수립 (법 9조)
 - 전기·정보통신·교통시설 등 기존 국가기반시설의 친환경 구조로의 전환에 관한 사항 (법 29조)
 - 기후변화 대응 기본원칙 : 신재생에너지 보급 확대 (법 38조)
 - 에너지 기본계획의 수립 : 환경친화적 에너지 공급 및 사용, 관련 기술개발 및 보급 계획 수립(법 41조)
- ☐ 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법
 - 신에너지의 정의 : 수소 포함 (법 2조)
 - 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 사업비의 조성: 정부는 실행계획을 시행하는 데

에 필요한 사업비를 회계연도마다 세출예산에 계상 (법 9조)

- 사업의 실시 : 신·재생에너지의 연구·개발, 신·재생에너지 시범사업 및 보급사업 (법 11조)

□ 환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 (약칭: 친환경자동차법)

- 환경친화적 자동차의 개발 및 보급을 촉진하기 위한 목적으로 제정되었으며, 5년마다 아래내용의 기본계획 수립을 의무화 (법 5조)
 1. 환경친화적 자동차의 개발 및 보급에 관한 기본방향
 2. 환경친화적 자동차의 개발 및 보급에 관한 중장기 목표
 3. 환경친화적 자동차의 연구개발 및 그 연구개발과 관련된 기반 조성에 관한 사항
 4. 수소연료공급시설 등 자동차 동력원의 보급에 필요한 기반시설의 구축에 관한 사항
- 수소를 생산·공급 또는 판매하거나 수소연료공급시설을 설치·운영에 대한 연구/조사를 포함한 지원 명시 (법 8조)
 1. 수소연료의 생산·공급·판매 또는 수소연료공급시설의 설치·운영에 필요한 자금의 지원
 2. 수소연료공급시설 운영 성과 제고를 위한 연구·조사
 3. 민간의 수소연료공급시설 설치 촉진 지원

□ 수소경제법안 (발의)

- 국회는 미래 수소경제 사회로의 이행을 촉진하기 위해 2018년 4월 10일 “수소경제법안”(의안번호 : 12992, 이원욱 의원 대표 발의)을 발의. 본 기획과 연관관계 매우 높음
- 수소는 지구상에서 가장 풍부하게 얻을 수 있는 자원이고, 환경문제를 유발시키는 화석연료를 대체할 유일한 대안이기 때문에 수소경제사회가 탄소사회의 대안으로 이미 미국, 독일, 일본은 필연적으로 도래할 수소사회를 대비하고 수소사회에서 산업경쟁력을 강화하기 위하여 정부가 주도적으로 다양한 수소경제사회 이행을 촉진하는 정책과 법률을 제정하여 운영하고 있음. 이에 우리나라도 수소경제사회의 준비를 위한 관련 법안을 마련
- 주요 내용은 다음과 같음
 - 산업통상자원부장관은 수소경제사회 이행을 위하여 10년을 계획기간으로 하는 5년 단위의 수소경제사회 이행 기본계획 및 연도별 시행계획을 수립·시행하도록 하고, 기본계획과 시행계획을 수립할 때 에너지와 친환경자동차 보급촉진과 관련된 다른 계획과 연계하여 수립하도록 함

- 수소의 제조·포집·저장·판매·이용안전 등의 혁신에 필요한 연구·개발·실증·사업화를 촉진하여 수소경제사회 이행을 촉진하기 위하여 수소전문기업에 대하여 수소경제사회 이행과 관련된 연구·개발 성과의 제공, 고가장비의 공동 사용 등과 같은 행정적·재정적 지원을 할 수 있도록 하고, 수소의 제조·포집·저장·판매·이용과 관련한 안전성·경제성·환경성을 혁신하기 위한 기술개발 및 전문인력 양성에 드는 비용, 외국과의 국제협력 및 기술교류에 드는 비용 등을 보조 또는 융자할 수 있도록 함 (안 제7조, 제8조)
- 「도로법」 제10조제1호의 고속국도에 설치하는 휴게시설, 「도로법」 제10조제2호의 일반국도(일반국도의 지선 포함)에 설치하는 휴게시설 중 대통령령이 정하는 일정규모 이상의 주차장을 갖춘 휴게시설, 「경제자유구역의 지정 및 운영에 관한 특별법」 제2조제1호에 따른 경제자유구역 등의 시설의 운영자에게 수소연료공급시설 및 연료전지 설치계획서를 제출하도록 하고, 필요 시 제출된 계획서에 대한 변경을 요청하며, 확정된 계획서에 따라 연료공급시설을 설치하도록 함 (안 제19조).
- 수소경제사회 이행의 기반조성에 필요한 인력양성에 관한 시책을 수립하도록 하고, 수소사용을 위한 제품, 기술 및 관련 서비스의 품질 향상과 호환성 확보 등을 위하여 수소관련 제품, 기술 및 서비스의 표준 개발 및 보급에 관한 표준화 사업을 추진, 수소경제사회 이행에 필요한 관련 기술의 개발을 촉진하도록 함 (안 제23조부터 제27조까지)

나. 국가 정책 부합성

□ (문재인 정부 100대 국정과제 등 정책목표 실천을 위한 투자 필요) 고부가가치 창출 미래형 신산업 및 친환경 미래 에너지 발굴·육성 등 국정과제를 포함하여 정부 정책 목표 실현을 위한 R&D 투자 필요

○ (국정과제) 34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성, (국정과제) 37. 친환경 미래 에너지 발굴·육성, (국정과제) 40. 중소기업의 튼튼한 성장 환경 구축, (국정과제) 78. 전 지역이 고르게 잘사는 국가균형발전, (국정과제) 80. 해운·조선 상생을 통한 해운강국 건설, (국정과제) 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성, (국정과제) 61. 신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축 분야에서 본 사업의 기획목표와 부합도가 높음

□ ‘재생에너지 3020 이행계획 (2017.12, 산업통상자원부)’ 과의 부합도

○ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20% 달성

○ 제 8차 전력수급 기본계획(2017.12)에 재생에너지 3020 내용이 포함됨

○ 재생에너지 발전량 20% 달성 시 수요공급의 불일치를 보완하기 위한 대용량 에너지 저장장치가 필요하며, 본 사업기획과 밀접한 연관이 있음

- 3020을 통한 에너지新산업 육성방안의 일환인 ‘분산전원 기반 에너지新산업 육성’을 위한 전력중개시장, ESS·연료전지 등 육성 분야에서 본 사업의 기획목표와 부합도가 높음
- ‘미세먼지 관리 종합대책 (2016. 3, 2017. 9, 관계부처 합동)’ 과의 부합도
 - 중점 추진과제 중 발전부문의 ‘재생에너지 및 기후변화 대응 차세대 기술개발 강화’ 및 도로 수송부문의 ‘친환경차(수소차, 전기차, 하이브리드차) 보급 활성화 및 대중화’와 ‘전기·수소차 충전소 설치 확대’ 분야에서 본 사업의 기획목표와 부합도가 높음
- 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (2015. 12., 관계부처 합동)
 - 2030년, 수소차 10% 시대 (신차 판매의 10%)를 만들기 위한 수소차 및 수소차 충전소 보급 목표 설정

[표 20] 국내 수소차 및 충전소 보급 계획

구 분	~'16	'17	'18	'19	'20	~'25	~'30	~'50
수소차	0.2 (0.1)	0.5 (0.3)	2.5 (2.0)	5.1 (2.6)	9.0 (3.9)	100 (91)	630 (530)	7,000 (6,370)
충전소	13 (3)	20 (7)	30 (10)	50 (20)	80 (30)	210 (130)	520 (310)	1,500 (980)

- 혁신성장 관계장관회의 “공개 18-6-1, 전기·수소차 보급 확산을 위한 정책방향”, 관계부처 합동 (2018. 6)
 - (신성장동력 확보) 전기차·수소차 활성화를 통해 글로벌 시장 선점 및 일자리 창출하여 우리 자동차 산업의 재도약 기회 제공
 - (환경문제 대응) 무공해 자동차 보급 확대에 의한 대도시 미세먼지를 개선하고 온실가스 감축을 통해 지구온난화 억제
 - 수소 인프라 관련 주요 내용 : ‘22년까지 전기승용차 35만대, 수소승용차 1.5만대 보급, ‘22년까지 수소차충전소 310개소 구축
 - 본 기획과의 연관성 : 본 기획에서는 액체수소 기반 수소차 충전소 구축과 관련한 내용으로 관련 계획의 미래 방향 설정에 연관됨

다. 연구개발 정책 부합성

□ 제4차 과학기술기본계획' 과의 부합도

- 기본계획 실현을 위한 중점과학기술 중 ‘전력 및 에너지저장 (스마트 에너지그리드 기술)’, ‘신재생에너지 (수소·연료전지 기술)’, ‘기후대기 (미세먼지 등 대기오염 대응기술, 고효율 친환경 Non-CO₂ 온실가스 저감 기술)’, ‘플랜트 (친환경 스마트 플랜트 기반 기술)’, ‘자동차 (친환경 고효율 자동차 기술)’, ‘우주 (우주발사체 개발 및 운용 기술)’ 분야에서 본 사업의 기획목표와 부합도가 높음

□ ‘국토교통 R&D 중장기전략 (2014)’ 과의 부합도

- 10대 중점 프로젝트 (Value Creator 2.0) 중 글로벌 TOP 플랜트 건설기술 내 ‘가스·비전통 자원화 플랜트’ 및 ‘자원 이송 및 순환 플랜트’ 분야에서 본 사업의 기획목표와 부합도가 높음
 - (가스·비전통 자원화 플랜트) 가스플랜트 독자공정 개발/실증, 가스플랜트 공정 고도화
 - (자원 이송 및 순환 플랜트) 수소네트워크
- 2040 국토교통 200대 미래 유망기술에 수소 관련 기술 포함
 - 수소연료전지 등 탄소배출 제로 친환경 에너지 연료를 적용한 열차 추진 기술”
 - 전기, 연료전지, 태양열, 공기-아연전지, 원자력 발전 등 친환경 대체연료 및 항공기 기술
 - 5만명 규모 단지에 보급이 가능한 수소 대량생산 및 공급 기술” 이 포함되어 있음

□ ‘제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(2018)’ 과의 부합도

- 세부 추진과제 2-2 고부가가치 건설기술 창출에 연계 : 가스에너지의 생산/액화/활용을 위한 플랜트 기술개발, 수소액화플랜트 실증 추진 등 명시
- 세부추진과제 2-3 수송시스템 혁신 기술 도입에 연계 : 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 충전인프라 기술개발 명시
- 세부추진과제 3-2 친환경 생활공간 조성 기술 개발에 연계 : 친환경에너지 수송체계 구축, 친환경 항공연료 대체기술, 연료전지 항공엔진 개발 명시

[표 21] 상위계획과의 부합성 검토 결과

구분	상위정책 및 계획	정책적 부합성	세부내용
법령	저탄소 녹색성장 기본법	높음	- 국토와 도시, 건물과 교통, 도로·항만·상하수도 등 기반시설을 저탄소 녹색성장에 적합하게 개편 - 환경친화적 에너지 공급 및 사용, 관련 기술개발 및 보급 계획 수립
	신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법	높음	- 신에너지의 정의 : 수소 포함 - 재생에너지의 연구·개발, 신·재생에너지 시범사업 및 보급사업 - 정부는 실행계획을 시행하는 데에 필요한 사업비를 회계연도마다 세출예산에 계상
	환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률	높음	- 수소를 생산·공급 또는 판매하거나 수소연료공급시설을 설치·운영에 대한 연구/조사를 포함한 지원 명시 - 수소연료공급시설 운영 성과 제고를 위한 연구·조사
	수소경제법안(발의)	높음	- 수소의 제조·포집·저장·판매·이용 안전 등의 혁신에 필요한 연구·개발·실증 사업화를 촉진 - 수소의 제조·포집·저장·판매·이용과 관련한 안전성·경제성·환경성을 혁신하기 위한 기술개발 및 전문인력 양성에 비용 보조 명시 - 수소경제사회 이행에 필요한 관련 기술의 개발을 촉진
국가 정책	현 정부 국정과제	높음	34. 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴·육성 37. 친환경 미래 에너지 발굴·육성 58. 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성 61. 신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축
	재생에너지 3020 이행계획	높음	분산전원 기반 에너지新산업 육성 - 전력중개시장, ESS·연료전지 등 육성
	미세먼지 관리 종합대책	높음	- 재생에너지 및 기후변화 대응 차세대 기술개발 강화 - 친환경차(수소차, 전기차, 하이브리드차) 보급 활성화 및 대중화 - 전기·수소차 충전소 설치 확대
	수소차 보급 및 시장 활성화 계획	높음	수소차 및 수소충전소 보급 목표 설정
연구 개발 정책	제4차 과학기술 기본계획	높음	- 전력 및 에너지저장(스마트 에너지그리드 기술) - 신재생에너지(수소·연료전지 기술) - 기후·대기(미세먼지 등 대기오염 대응기술, 고효율 친환경 Non-CO₂ 온실가스 저감 기술) - 플랜트(친환경 스마트 플랜트 기반 기술) - 자동차(친환경 고효율 자동차 기술) - 우주(우주발사체 개발 및 운용 기술)
	국토교통 R&D 중장기전략 국토교통 과학기술 중장기계획	높음	- 수소액화플랜트 실증 추진 - 수소연료전지 기반 하이브리드 동력시스템 및 충전인프라 기술개발 - 친환경에너지 수송체계 구축

제 4 절 사업기획 추진 체계 및 경과

1. 사업기획 추진 체계

- 사업 추진의지는 사업기획 주체들의 사업추진의지와 사업으로 인해 영향 받는 이해관계자들의 선호도를 분석
- 액체수소기반 인프라 구축 기술 개발사업 기획을 위해 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 전문가 기획위원회가 협력하여 체계적인 예비타당성 사업기획추진
- 수행기관으로 한국기계연구원, 한국가스안전공사의 공동수행 체계로 환경분석, 기술수요, 추진전략, 사전 타당성 분석 등 사업기획
 - 액체수소기반 인프라 구축 기술 관련 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원회를 구성하여, 기술성·경제성·정책성·중복성을 체계적으로 기획
 - 사업기획 단계에서는 사업기획에 필요한 적정한 기관들을 참여시키고, 기관의 역량에 따라 필요한 역할을 분담하여, 체계적으로 사업도출



[그림 55] 사업기획 추진체계

[표 22] 관련주체별 세부역할

주체	세부역할
국토교통부	· 액체수소기반 인프라 구축 기술 개발 사업의 추진주체이며, 본 사업의 전체적인 조율 및 방향설정, 주요 안건에 대한 심의 및 결정을 담당
국토교통과학기술진흥원	· 액체수소기반 인프라 구축 기술 개발 사업의 전체적인 추진일정 조율 및 기획보고서 작성의 방향설정, 전문가 위원회 및 기획기관과의 정보교류 및 모니터링 등의 실무 총괄을 담당
총괄위원회	· 기획 전반에 대해 단계별 결과 및 방향에 대한 검토, 수정·보완, 자문 등을 담당
기술분과위원회	· 산·학·연·관의 전문가를 전문가들로 다양하게 구성하며, 액체수소 인프라 구축 기술 개발사업의 아이템 발굴, 목표 설정, 로드맵 및 상용화 전략 수립 등 기획보고서 작성 전반을 담당
기술검토위원회	· 기 투자된 정부과제에 대해 국가과학기술지식정보서비스 (NTIS)를 기반으로 관련 사업 및 기술에 대한 중복성 검토
기술·정책·경제 자문위원회	· 국내외 액체수소 인프라 구축 관련 정책동향, R&D 투자동향 분석 및 전략사업의 R&D 투자 포트폴리오 수립을 통한 전략적 투자 방안 수립, 전략사업별 대체 시장 및 시정 점유 가능 비율 분석 및 전략사업별 경제적 타당성 (BC) 검토
한국기계연구원	· 본 사업 기술 개발 아이템 발굴, 목표 설정, 로드맵 및 상용화 전략 수립 등 기술기획보고서 작성 및 기획위원회 운영 전반을 담당
한국가스안전공사	· 본 사업의 액체수소 안전 기술 및 활용 인프라 분야 관련 국내 정책 동향 및 법적근거에 대한 타당성 검토

□ 기획위원회 구성

[표 23] 기획위원회 구성

구 분	전문분야	역할
총괄위원회	산업계(18명), 학계(3명), 연구계(9명), 협회/지자체(3명)	○ 사업목표의 적정성 검토 ○ 사업목표에 부합하는 연구과제 구성의 적정성 및 타당성 검토
기술검토위원회	산업계(3명), 연구계(2명), 학계(1명), 관리기관(2명)	○ 연구개발의 필요성 검토 ○ 연구과제의 성공가능성 검토 ○ 연구개발계획 및 자원투입계획 검토 ○ 사전타당성 조사결과 검토
기술분과위원회 (수소액화 플랜트 기술 분과)	산업계(6명), 학계(7명), 연구계(17명)	○ 각 분과별 연구과제의 중복성 검토 ○ 각 분과별 연구과제별 연구내용의 적정성 및 타당성 검토 ○ 각 분과별 세부과제 우선순위 선정 ○ 각 분과별 세부과제 기획보고서 작성
기술분과위원회 (액체수소 활용 인프라 기술 분과)	산업계(3명), 연구계(4명), 지자체(3명), 협회(1명)	
기술분과위원회 (액체수소기반 인프라 안전기술 분과)	산업계(2명), 연구계(6명), 학계(2명)	
기술·정책·경제 자문위원회	기술분과(특허법인 다나), 경제분과(㈜TBNA), 정책분과(고려대 글로벌 일본연구원, 과학기술전략연구소)	○ 국내외 정책동향, R&D 투자동향 분석 ○ 특허 전략 및 정책적 타당성 자문 ○ 전략사업별 시정 점유 가능 비율 분석 ○ 전략사업별 경제적 타당성 (BC) 검토

2. 추진 경과

□ 본 기획과제는 국내수요를 반영한 2015년 플랜트 R&D 부처 간 공동로드맵 수립 기획을 통해 발전방안을 모색하기 시작

○ 플랜트 R&D 부처 간 공동로드맵 수립기획 개요

- 발주처/기획기관 : 국토교통부/고등기술연구원
- 기간 : 2014. 12.~2015. 11.
- 목표 : 플랜트 R&D 유관부처 간 개방형 융복합 연구를 통한 사업간 중복배제, 기술 및 성과 연계활용 등 시너지 창출을 위한 R&D 공동 추진 연구과제 도출

○ 플랜트 R&D 부처간 공동로드맵 수립기획 내용

- 플랜트 분야 기업수요조사, 기획위원회 제안, 국토부, 환경부, 산업부 로드맵을 통한 연구 추진과제 후보 62개 발굴
- 기획위원 평가, 자문위원회 의견수렴을 통한 후보과제 축약 : 1단계 17개, 2단계 4개

○ 플랜트 R&D 부처 간 공동로드맵 수립기획의 결과로 최종 4개 후보과제 중 ‘수소제조 및 액화 극저온 플랜트’ 과제 선정

- (최종 후보과제 1) 수소제조 및 액화 극저온 플랜트
- (최종 후보과제 2) 모듈화 Compact GTL 플랜트
- (최종 후보과제 3) 합성가스 상용화 플랜트
- (최종 후보과제 4) 극한지 건설 플랜

□ (기획과제 착수) 국토교통과학기술진흥원이 액체수소 인프라 구축 기술 개발사업 (고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술 개발사업)을 별도 사업으로 추진하기 위해 기획과제 착수

○ 2016. 6. : 예비타당성 조사 사전기획을 위한 국토교통연구기획사업 제안 요청서 접수

- 사업명 : 고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획

○ 2016. 7. : 고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획

- 중점연구분야 도출 및 공동연구기관 선정
- 과업 수행을 위한 세부계획 및 관련 연구동향 등 기초자료 조사 진행

○ 2016. 7.~8. : 1차, 2차 기획제안서 제출

- 과업 개용, 과업수행 계획, 수행조직 및 관리방안 등을 포함한 기획제안서 제출

- 2016. 9. 23 : 고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획사업 선정평가
- 2016. 9. 30 : ‘고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획’ 사업 협약 체결
 - 계약기간 : 2016. 9. 30 ~ 2018. 6. 30 (21개월, 협약변경 후)
 - 실증플랜트 추진주체 구체화, 예산을 포함한 상세계획 수립, 참여주체의 참여의향서 확보 등을 위한 기간연장 (변경 전 : 2016. 9. 30 ~ 2017. 12. 31, 변경 후 : 2016. 9. 30 ~ 2018. 6. 30)
 - 한국기계연구원과 한국가스안전공사가 공동연구 추진
- (기획과제 수행) 액체수소 인프라 구축 기술 개발사업 관련 비전 및 목표, 중점과제 도출 등 사업추진 전략과 기술 로드맵 제시 및 사업의 기술적/경제적 타당성 확보를 위한 사전타당성 분석
- 2016. 10. : 착수보고
 - 사업개요, 액체수소 기반 인프라 현황, 문제점 및 수소 생산/저장/활용 전반에 걸친 전망을 포함한 상세분석 및 종합분석 결과 발표
 - 사업추진계획 설명 및 참여연구진 현황 소개
 - 발주처 (KAIA) 책임자, 실무자 의견 수렴 (연구진행방향 등)
- 2016. 10. : KAIA 주관 기획과제 전략워크샵
 - 건설사업본부 소관 기획과제 대상 기획연구 추진현황 점검 및 향후 중점 추진사항 논의
- 2017. 2. : 제1차 총괄위원회 개최
 - 목적 : 총괄기획위원 대상 기획 개요 설명 및 기술 트리/기획 내용 공유
 - 주요회의내용 : 정량적 목표 결정 논의/대분류별 기획 범위 논의/기획 방안 논의/기술 트리 작성 및 논문·특허 조사 일정 협의 등
- 2017. 3. : 제2차 총괄위원회 개최
 - 목적 : 기술트리/특허 조사 결과 공유 및 기술트리 및 세부기획내용 토론
 - 주요회의내용 : 기획 전문가 및 연관 기업 추천/기술·정책동향 분석 타당성 검증/수소액화공정 및 사업모델 검토/수소액화플랜트 기술분류체계 검토
 - 총괄위원회 위원 대상 기술분류체계상 기술수준 1차 평가 수행 (텔파이 방식)
- 2017. 3. : 제1차 기획검토위원회 개최
 - 목적 : 연구개발의 필요성 검토
 - 주요회의내용 : 기술의 정의(정의 및 분류체계)/국내외 동향 및 환경분석 (정책, 시장, 기술 동향 및 전망)/기술개발에 따른 미래상/기술개발 필요성 검토

- 중간성과물로 ‘국내외 동향조사보고서’ 작성완료
- 2017. 4. : 제3차 총괄위원회 개최
 - 목적 : 제1차 기획검토위원회 결과 보완 방안 논의
 - 주요회의내용 : 기술목표/범위 및 사업 추진 모델 추가 논의/수소 액화공정 상세 사양 논의/예비타당성 기획 대응 논리 개발
 - 요청사항 : 기술 수준 조사 (전문가 델파이 조사) 1차 결과를 바탕으로 2차 조사 추가 진행 /기획위원 대상 기술수요조사서 작성/수소 및 신에너지학회 춘계학술대회 특별 세션 진행
- 2017. 5. : 2017 한국수소 및 신에너지학회 춘계학술대회 특별 세션 개최
 - 목적 : 관련 산·학·연 전문가를 대상을 본 기획과제 수행 관련 관심 활성화 측면
 - 특별 세션명 : ‘수소액화플랜트 상용화 개발’ 세션
 - 발표 논문 리스트 : 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획 (최병일), 수소를 이용한 대형 선박 추진: 기회와 도전 과제 (장대준), 수소액화 플랜트 기술 개발 현황 (박성제), 혼합 냉매를 이용한 수소 액화 줄-튐슨 냉동 사이클의 설계(정상권), 가스액화를 위한 초저온 플랜트 설계 및 제작기술 (문홍만), 오르쏘-파라수소 변환용 나노구조 촉매 연구 (나인욱), 액화플랜트용 콤팩트 열교환기의 발전과 동향 (최영중), 해외 액체수소 충전소 보급 현황 및 안전관리 동향 (이재훈)
- 2017. 6. : 제4차 총괄위원회 개최
 - 목적 : 기획 세부 사항 검토회의
 - 주요회의내용 : 기체수소 공급방안 검토/수소액화 플랜트 목표사양/건설비용 검토/액화 수소 활용모델 검토/사업 추진 모델 검토/국산화 개발 품목 검토
 - 요청사항 : Linde (독) 플랜트 도입 시 예상 비용 확인(가스안전공사, 이엠솔루션)
- 2017. 6. : 제2차 기획검토위원회 개최
 - 목적 : 연구과제의 성공가능성 검토
 - 주요회의내용 : 연구개발과제 관련 요소기술 조사 결과/기술수준 및 국내 연구개발 인프라 분석 결과/연구개발 목표의 타당성 및 성공가능성 검토 진행
 - 중간성과물로 ‘요소기술 현황보고서’ 작성완료
- 2017. 8. : ‘수소액화플랜트 상용화 기술개발 기획’ 전문가 포럼 개최
 - 목적 : 수소액화 플랜트 및 액체수소기반 인프라 구축 분야 전문가 주제 발표 및 토론
 - 참석자 : 수소액화플랜트 상용화기술개발 기획 전문가, 국토교통과학기술진흥원 담당자, 지방자치단체 관계자 등 약 40여명
 - 주제 토론 (주제 발표자) : SMR 개질기 기술 (한국가스공사, 이철구), 혼합 냉매를 이용한 수소 액화 J-T 냉동 사이클 (KAIST, 정상권), 냉열활용 수소액화 Claude Cycle (KIMM, 박

성제), KSTAR 헬륨액화 플랜트 구성 및 운영 기술 (국가핵융합연구소, 박동성), LINDE의 수소액화 플랜트 기술 현황 (Linde Korea, 최창열), 극저온/초고압 열교환기 기술 (두산중공업, 정인철), 액체수소 저장탱크 설계 및 제작 기술(KAIST, 장대준), 극저온 액화 Cold Box 설계기술 (대성산업가스, 문홍만), 액화 수소 안전 설비/기준 현황 (가스안전공사, 이재훈), 당진 현대제철 수소액화 플랜트 시공 검토 (현대건설, 차광석), 기체수소 공급 경제성 분석 (Air Liquide Koare, 이용규), 액체수소 공급 경제성 분석 (KIMM, 도규형), 수소융합얼라이언스 소개 및 국내 수소산업 활성화 방안 (수소융합얼라이언스추진단, 이승훈)

○ 2017. 8. : 제5차 총괄위원회 개최

- 목적 : 국토교통부 “고효율 수소액화플랜트 상용화 기술개발 기획” 과제의 세부 연구주제 탐색 및 타당성 검토
- 주요회의내용 : Top-Down 기획대상과제 검토/액화수소 기반 인프라 구축 타당성 검토/사업 모델·추진전략 수립

○ 2017. 9. : 제3차 기획검토위원회 개최

- 목적 : 연구개발계획 및 자원투입계획 검토
- 주요회의내용 : 연구개발과제 구성 (1~3차 성과물을 종합 분석하여 도출한 과제 구성 과정 및 결과)/연구개발과제 추진 전략 및 체계/자원투입 계획(연구시설 및 장비, 인력, 소요예산 투입계획, 정부지원조건 등) 검토 진행
- 중간성과물로 ‘기술 수준조사보고서’ 작성완료

○ 2017. 11. : 제4차 기획검토위원회 개최

- 목적 : 사전타당성 조사결과 검토
- 주요회의내용 : 기술·성과 로드맵/과제공모 방안/도출된 과제의 기술적·경제적·정책적 타당성 분석결과 검토 진행
- 중간성과물로 ‘기술 및 성과 로드맵’ 작성완료

○ 2018. 2. : 제5차 기획검토위원회 개최

- 목적 : 종합계획 수립을 위한 사업기획 검토회의
- 주요회의내용 : 종합계획의 실천과제 작성을 위한 기획중인 사업기획에 대한 검토/기술개발 방향 도출 과정을 논리적으로 설명 가능한지 확인/향후 10년 국토교통 관련 연구개발 추진의 방향성을 제시하는 중장기전략 부합성 검토
- 중간성과물로 ‘종합계획 자료’ 작성완료

○ 2018. 2. : 국토교통부(기술정책과) 보고 (1차)

- 목적 : ‘고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 사업’ 내용 검토 및 예비타당성 조사 통과 전략 논의

- 주요회의내용 : 기획 논리의 타당성 검토/기존 사업 및 추진기술과의 중복성, 차별성 등 지적사항 수렴

○ 2018. 3. : 제6차 기획검토위원회 개최

- 목적 : 종합 기획타당성검토위원회 개최
- 주요회의내용 : 기획연구 수행 중간결과(필요성, 성공가능성, 자원투입계획 등)에 대한 단계별 타당성 검토/기획연구의 지속 수행여부를 검토/내실 있는 기획결과 도출을 위한 제언

□ 기획연구 진행상황 자체 점검을 위한 지속적인 전문가 토론 및 자문 수행

○ 산·학·연·지자체 관련 전문가 대상 기술수요조사, 평가 설문, 과제 제안서 수요조사 진행

- 2017. 4. : 총괄위원회 위원 대상으로 1차 기술수요조사, 기술후보군 평가 설문, 과제 제안서 수요조사 등을 진행
- 2017. 9. ~ 2017. 10. : 유관 협회(한국수소산업협회, 수소융합얼라이언스 추진단 등) 및 학회(한국수소 및 신에너지학회, 대한기계학회, 대한설비공학회 등)를 통한 산·학·연·지자체 관련 전문가 대상 2차 기술수요조사, 기술후보군 평가 설문, 과제 제안서 수요조사 등을 추가로 진행

○ 2017. 7. 12 : 극저온 액화 플랜트인 헬륨액화 플랜트 관련 기술자문 및 수소액화 플랜트 메이저 업체(Linde Korea, Air Liquide Korea) 기술협의 진행

○ 2018. 2. 6 : 일본 가와사키 중공업 R&D 부문 실무 담당자와의 회의 진행 및 향후 기술 교류 및 협력 방안 논의 진행

○ 2018. 2. 8 : 일본 NEDO 담당자와 회의 진행 및 향후 협력 방안 논의

○ 국토부 의견을 수시로 반영하고, 내부 연구진의 의견교류, 핵심 분야 및 세부기술 분야 선정을 위한 내부회의 수시 개최

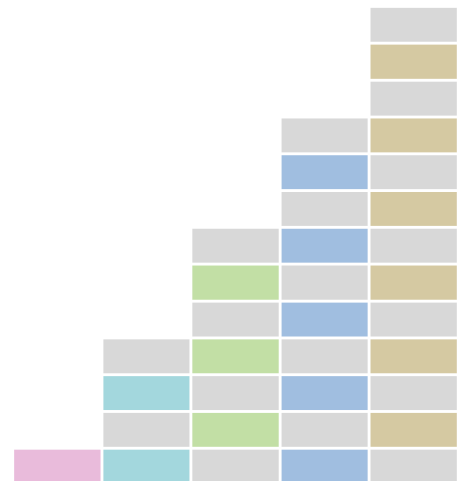
- 월간공정보고 총8회 등 참여기관 실무회의 수시 개최
- 필요에 따라 각 연구기관별로 전문가 자문회의 수시 개최
- 본 기획과 관련하여 의견교류 및 국민적 공감대를 얻기 위하여, 관련 학회, 포럼, 세미나에 참석하여 기획 내용 공유 및 수요처 발굴 노력

- 본 사업에서 가장 중요한 상용급 수소액화 플랜트 실증 Site 확보 및 사업 주체의 참여 유치를 위하여, 전국 지자체, EPC 업체, 수소 유통업체 등 다양한 기관과 접촉 및 의견 교환 실시
- 2017. 9. 29 : 충청도청(이원희 사무관), 현대 당진제철 사업담당자와의 사업 주체 참여 의향 확인 및 실증 Site 가능 부지 협의
- 2017. 10. 31 : 상용급 수소액화플랜트 건설방안 협의
 - 참석자: 한국기계연구원, 한국가스안전공사, 한국가스공사 가스연구원
 - 장소 : 한국가스공사 가스연구원
 - 회의내용 : LNG 인수기지에 상용급 수소액화플랜트 건설 방안 협의, 부지 검토, 냉열 활용방안 검토
- 2017. 11. 2 : 액체수소 활용플랜트 실증 방안 협의
 - 참석자 : 한국기계연구원, 한국가스안전공사, 충청도청 수소경제팀, 현대제철, 현대건설
 - 회의장소 : 충청도청
 - 회의내용
 - 현대제철 : 부생가스 활용 기체수소 공급 방안, 현대제철 내 부지 제공 검토
 - 충청도청 : 충청남도의 액체수소기반 충전소 건립계획, 친환경 수소타운 건립계획, 수소 연료전지 분산발전 계획과 연계 방안 탐색, 충청도내 철강산업, 반도체 산업등 대용량 액체수소 수요처 참여의사 확인
 - 현대건설 : 활용 실증플랜트 EPC 참여 검토
- 2018. 05 : 유관기관 연구개발 참여 및 활용 의사 조사
 - 충청남도, 대우조선해양, 한화파워시스템 등과 참여의향 체결

[표 24] 유관기관 연구개발 참여의향서

충청남도 참여의향서	대우조선해양 참여의향서	한화파워시스템 참여의향서
액체수소기반 인프라 구축 기술 개발 사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 충 청 남 도 실무 담당자 부서명 신상장동력과 연락처 041-635-3993 성명 이후영 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2018 년 6 월 1 일 (기관명) (대표) (서명) 충 청 남 도 행정부지사 남궁 영 국토교통과학기술진흥원장 귀하	(첨부 3) 참여의향서 양식 고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 대우조선해양 실무 담당자 부서명 에너지시스템연구부 연락처 02-2129-3704 성명 류민철 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2018 년 6월 1일 (기관명) (대표) (서명) 대우조선해양 정성원 국토교통과학기술진흥원장 귀하	(첨부 3) 참여의향서 고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 한화파워시스템 실무 담당자 부서명 패키지개발팀 연락처 010-9166-1012 성명 김길영 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있음을 알려드립니다. 2018 년 6월 15일 (기관명) (대표) (서명) 한화파워시스템 신현우 국토교통과학기술진흥원장 귀하
(첨부 3) 참여의향서 양식 고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 하이리움산업(주) 실무 담당자 부서명 부사관 연락처 010-6788-5587 성명 최동규 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2018 년 6 월 5 일 (기관명) (대표) (서명) 하이리움산업(주) 김 서 영 국토교통과학기술진흥원장 귀하	고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 (별첨 : "차세대인프라-고효율수소액화플랜트 상용화 사업 개요 및 기술 로드맵") 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 MetaVista 실무 담당자 부서명 연구소 연락처 02-6929-1265 성명 이 상 진 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2018 년 01월 29일 (기관명) (대표) (서명) MetaVista 백종훈 국토교통과학기술진흥원장 귀하	고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 (주)수소지식그룹 실무 담당자 부서명 컨설팅 연락처 02-6929-1227 성명 이준영 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2017년 10월 11일 (기관명) (대표) (서명) (주)수소지식그룹 장성혁 국토교통과학기술진흥원장 귀하
고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 한국건설기술연구원 실무 담당자 부서명 미래융합연구소 연락처 010-8342-9103 성명 지상훈 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2017 년 10 월 27 일 (기관명) (원장직무대행) (서명) 한국건설기술연구원 정 준 호 국토교통과학기술진흥원장 귀하	(첨부 3) 참여의향서 양식 고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 고등기술연구원 실무 담당자 부서명 플랜트 엔지니어링 본부 연락처 031-330-7457 성명 박 찬 국 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2017 년 9 월 19 일 (기관명) (대표) (서명) 고등기술연구원 김 덕 중 국토교통과학기술진흥원장 귀하	(첨부 3) 참여의향서 양식 고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서 관심 세부기술명 □ 수소 공급 및 정제 □ 수소액화플랜트 핵심 설비 □ 액체수소 활용 □ 기타 기관명 한국과학기술원 실무 담당자 부서명 기계공학과 연락처 042-350-1514 성명 장 대 준 우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다. 2017 년 9 월 4 일 (기관명) (대표) (서명) 한국과학기술원 신성철 국토교통과학기술진흥원장 귀하

II. 대내 · 외 환경 분석



제 1 절 메가트렌드 분석

- 글로벌 메가트렌드 분석을 통하여 미래사회의 이슈를 예측하고, 본 액체수소기반 미래 수소사회 인프라 구축과 관련한 현안, 문제점, 미래 이슈, 해결방안을 분석함

1. 글로벌 메가트렌드 및 세부 트렌드

- 과학기술정보통신부에서는 국내외 미래전망보고서, 동향분석, 웹사이트 등을 대상으로 문헌조사를 실시하고, STEEP (사회(Society), 기술(Technology), 경제(Economy), 환경(Ecology), 정치(Politics)) 분석을 실시함으로써 5대 메가트렌드와 40개의 세부 트렌드를 도출하였음
- 기본적으로 글로벌 메가트렌드 분석은 2017년 4월 “제5회 과학기술 예측조사 (2016~2040)” 결과를 토대로 수행 (과학기술정보통신부에서는 과학기술기본법에 의해 매 5년마다 과학기술 예측조사를 수행)
- 향후 예상되는 5대 메가트렌드는 다음과 같음
 - ① 휴먼 임파워먼트 (Human Empowerment)
 - 선진국을 중심으로 저출산으로 인한 경제인구가 감소함과 더불어 인간의 능력을 확대시키는 각종 기술들이 발전함에 따라 개인의 권한이 강화되는 자아 중심 사회가 도래
 - 앞으로 15~20년 사이에 전 세계적인 빈곤 감소와 중산층 성장, 교육수준의 증가, 새로운 통신 및 제조기술의 폭넓은 활용, 의료 서비스의 발달로 인해 개인의 권한은 크게 확대될 것임
 - ② 초연결에 의한 혁신
 - ICT 기술의 발달로 언제 어디서나 네트워크에 연결되는 초연결 사회가 도래함으로써 모바일 커뮤니케이션, 온라인 공유 및 협업, 스마트 시티, 막대한 정보 처리 등이 주요 트렌드로 대두되며, 거버넌스 및 권력체계도 이를 반영하여 변화를 하게 됨
 - ③ 환경리스크 심화
 - 환경리스크 심화는 식량위기, 자연재난, 생태계 파괴 등과 같이 자원의 부족이나 환경악화로 인해 지구생태계가 겪는 고통과 이로 인한 결과를 의미함. 지구온난화 및 이상기후 현상은 미래 인간의 삶 전반에 걸쳐 많은 영향을 주게 될 것임. 자연환경의 보전 및 생태계의 지속가능성 증가를 위한 노력 필요

○ [4] 사회 복잡성의 진화

- 사회 복잡성의 진화는 국제적 갈등, 문화적 다양성, 경제·사회적 불평등, 융합을 통한 창조, 사회적 재난, 통일 이슈 등을 포함하는 메가트렌드로 사회가 복잡해지면서 발생하게 되는 여러 이슈나 새로운 변화를 의미

○ [5] 경제시스템의 재편

- 경제시스템의 재편은 도시화, 글로벌 경제의 연결성 강화, 중국의 정치·경제적 영향력 확대, 선진국 저성장 위험 지속, 제조업 패러다임 변화 등에 따른 경제시스템의 변화와 이에 영향을 주는 환경적인 요소 등을 의미
- 환경리스크 심화에 따라 친환경 산업 중심으로 산업 체제 재편

[표 25] 글로벌 메가트렌드 (제5회 과학기술 예측조사 (2016~2040), 과학기술정보통신부)

메가트렌드	트렌드 명	STEEP
휴먼 임파워먼트	기대수명증가	사회
	자아 중심 사회	
	출산율 저하	
	여성 임파워먼트	
	인간 능력 확대	
	초고속 이동	기술
	인공지능과 자동화	
	새로운 소재	
	우주시대	
초연결에 의한 혁신	디지털 네트워크 사회	사회
	초연결 기술	기술
	네트워크 중심의 권력이동	정치
	전자민주주의 가속화	
환경 리스크 심화	식량위기 악화	환경
	에너지 수급 불균형	
	물 스트레스 심화	
	자연재난 증가	
	생태계 파괴 심화	
사회복잡성의 진화	국제적 갈등 심화	사회
	문화적 다양성 확대	
	경제·사회적 불평등 심화	
	융합을 통한 창조	기술
	기술발전에 따른 부작용 증가	
	사회적 재난 증가	환경
	건강 위해요인 증가	
	통일 이슈 증가	
	국제권력의 유동성 심화	정치
	안보 위협요소의 진화	
경제시스템의 재편	글로벌 인구 이동	사회
	도시화 확대	
	세계 인구 증가	
	글로벌 경제의 연결성 강화	경제
	신흥국·개도국의 부상	
	중국의 국제적 영향력 확대	
	신경제 시스템의 확산	
	일자리 구조적 변화	
	선진국 저성장 위험 지속	
	그리노믹스의 활성화	
	제조업 패러다임 변화	
	시장의 패턴 변화	

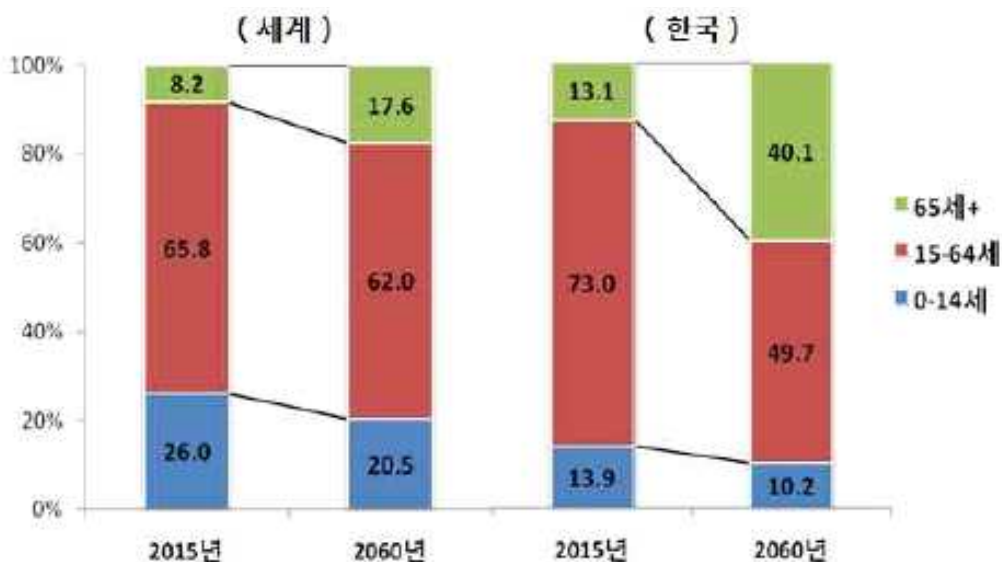
2. STEEP 분석

- 과학기술부의 글로벌 메가트렌드를 토대로 미래사회에 대한 STEEP(사회(Society), 기술(Technology), 경제(Economy), 환경(Ecology), 정치(Politics)) 분석

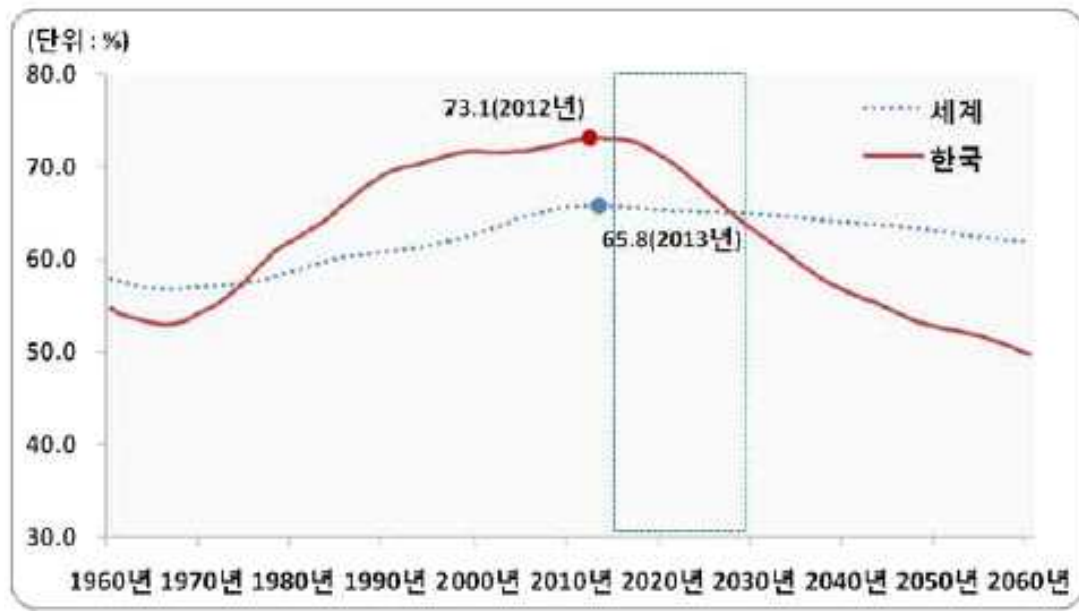
가. 사회 (Society)

- 인구증가 둔화 및 초고령 사회 도래

- 통계청(2015) 발표자료에 따르면, 우리나라 인구는 2030년 인구정점 이후 인구가 감소하고 가구증가세가 둔화될 전망
 - 우리나라 총 인구는 2015년 5천 1백만 명으로 2000년에 비해 1.1배로 증가하였고 향후 15년간 소폭 증가하겠지만 2030년에 5천 2백만 명으로 정점을 이룬 이후에는 감소추세를 보여 2040년 5,109만 명에 이를 전망
 - 이는 전 세계에서 최하위 수준의 출산율 (2015년 기준 1.25명으로 세계 224개국중 220위)이 그 원인
 - 저출산과 고령화로 인해 전 세계적으로 생산가능 인구 비중은 감소하지만, 고령인구의 비중은 급격히 증가하는 것으로 인구구조의 변화가 나타남
 - 특히, 우리나라의 총부양비, 즉 생산가능 인구 1백 명 당 피부양 인구 (유소년인구 및 고령인구)는 2015년 현재 37명에서 2060년 101명으로 증가할 것으로 보이며, 이 중 생산가능 인구 1백 명당 고령인구를 뜻하는 노년부양비는 2015년 12.5명에서 2060년 28.3명으로 15.8명으로 증가가 예상



[그림 56] 2015~2060년 세계와 한국의 인구구조



[그림 57] 1960~2060년 세계와 한국의 생산가능인구 비중

□ 도시화 확대에 따른 인적재난 증가

- 현재 전 세계의 약 50% (71억명 중 35억명)에 이르는 도시인구는 2030년까지 60% (83억명 중 49억명) 정도로 증가할 것으로 전망
 - 우리나라의 겨우 도시지역 거주인구는 꾸준히 증가하여 2014년 말 기준 전체인구 5,132만여명 중 4,705만여명인 91.7%가 도시지역에 거주
 - 현대사회의 초고속 산업화와 도시화 현상으로 건축물의 대형화, 고도화, 복잡화로 되어가는 추세로 인해서 자연 재난의 피해보다 상대적으로 인적재난의 피해가 급속히 증가
 - 최근에 들어서는 에너지, 통신, 교통, 금융 등 국가 기반체계의 마비와 같은 대형 재난 발생

[표 26] 도시지역 인구현황 (자료 : 통계청e-나라지표 도시지역 인구현황)

(단위 : 천명)

구분		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
도시지역 기준	도시지역인구	44,835	45,183	45,933	46,230	46,381	46,838	47,048
	비도시지역인구	4,704	4,590	4,583	4,503	4,566	4,304	4,280
행정구역 기준	도시인구	44,256	44,550	45,278	45,699	45,949	46,277	46,451
	농촌인구	5,284	5,224	5,237	5,034	4,998	4,864	4,877
도시지역 인구비율(%)	도시지역기준	90.5	90.8	90.9	91.1	91	91.6	91.7
	행정구역기준	89.3	89.5	89.6	90.1	90.2	90.5	90.5

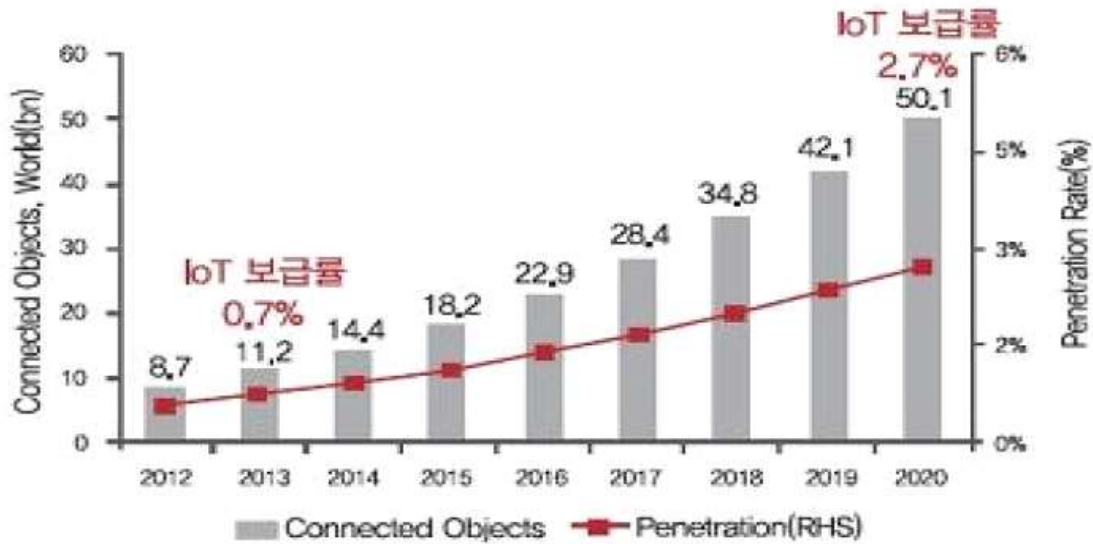
나. 기술 (Technology)

□ 기후변화 및 환경오염에 대처하기 위한 에너지 및 환경 분야의 기술 발전

- 경제·사회현안 해결을 위한 물·에너지 생산, 이송, 저장, 이용에 관한 일련의 플랜트분야 엔지니어링 및 건설사업의 가치사슬 확대
- 특히, 신재생에너지 기술이 급격히 발달하고 있으며, 이를 저장하고 활용하는 기술 확대
- 4차 산업혁명과 연계하여, 스마트 전력 및 워터그리드 연계 플랜트 등 IT기반의 융복합 신산업 출현의 가시화, 글로벌 환경규제 대응 신재생 융합 플랜트의 활성화

□ 4차 산업혁명 기술에 기반한 기술융합의 가속화와 고부가가치화 지속

- 사람, 사물들 간의 정보통신 기기를 통한 네트워크 연결이 폭발적으로 증가하면서 초연결(Hyper-connection) 시대가 도래
 - 사물인터넷은 현재에도 약 200억 장치가 이미 연결되어 있으며, 2020년에는 약 400억, 2045년에는 약 1000억개의 장치가 연결되어 있을 것으로 전망
- 4차 산업혁명은 인공지능, 빅데이터 등 디지털기술로 촉발되는 초연결 기반의 지능화 혁명으로 산업구조 만 아니라 국가시스템, 사회, 삶 전반의 혁신적 변화 유발
 - 가치사슬 : BIM 플랫폼, 첨단공법, 드론, 3D 스캐닝·프린팅, VR·AR, 빅데이터·AI, 시뮬레이션 S/W, CPS(Cyber Physical System), 자율·원격 주행, 지능형 스마트 플랜트
- 인간의 능력을 향상시키는 로봇기술은 공상과학 영화에서나 가능했던 일들을 실재하는 현실로 바꾸게 될 것으로 예상
 - 로봇은 농업, 건설, 제조, 우주탐사, 재난현장 구조, 노인 및 아이 돌봄 등 인간을 대신해 많은 영역에서 활성화 예상
 - 장시간, 고효율 전원 공급 장치 기술 필요



[그림 58] 네트워크에 연결된 사물의 수와 보급률

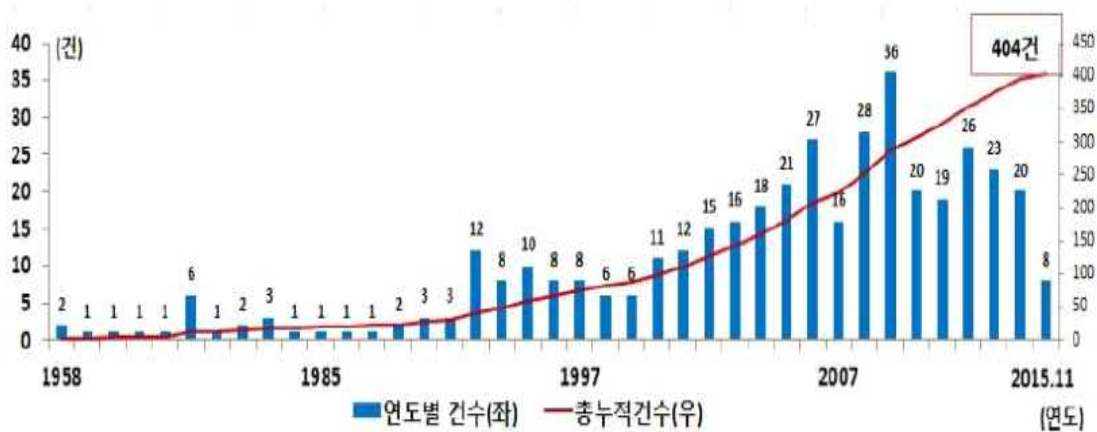
□ 수송 기술, 우주 기술

- 과학기술의 발전에 따라 보다 효율적이고 창의적인 도시 내, 지역 간 교통 시스템이나 교통수단이 보급될 것. 특히 친환경 수송수단의 보급 활성화 예상
- 주로 군사목적으로 사용되던 무인항공시스템인 드론은 최근 시민 보호, 환경 탐사, 수송 등의 민간 영역에서 활용이 증대
- 2043년 전 세계를 잇는 도로 인프라가 완성되고, 2050년 최대 시속 6천km의 초고속 열차와 초음속 항공기, 미국-알래스카-러시아 해저터널 등이 완성 예상
- 항공 분야에서는 소재기술의 개발 및 신개념 설계기술을 기반으로 한 고효율 항공기가 개발될 것이다. 무인시스템, 슈퍼소닉비행, 준궤도 상업우주선등이 30년 안에 사용화 될 것으로 전망
- 우주개발 확대 : 우주 개발은 시간이 오래 걸리고 천문학적인 규모의 막대한 투자가 필요 한데 반해 수익성은 낮기 때문에 주로 정부 주도의 개발이 이루어져 왔지만, 최근에는 구글, 스페이스X, 버진갤럭틱, 블루오리진 등이 민간기업의 참여 활성화
- 실시간 사고 예측 및 사고 대응용 안전을 위한 모니터링 기술 (첨단 센싱 기술) 및 수송 분야에서 친환경, 고효율, 고밀도 수소에너지에 관한 기술 발달 수요 전망

다. 경제 (Economy)

□ 글로벌 경제의 연결성 강화

- 세계화 인식의 확산 등에 따라 경제적 장벽이 급속히 허물어지고 있으며, 최근 자유무역협정 (FAT) 체결이 증가하면서 글로벌 경제시대 도래
 - 세계시장 통합은 기업 입장에서는 글로벌 단일 시장이라는 거대한 기회를 주는 동시에, 전 세계 무한 경쟁이라는 위협을 제기
 - 특히, 다국적 기업은 무한경쟁 속에서 글로벌 아웃소싱 네트워크를 강화함으로써 생산성 향상 및 비용 절감 효과를 극대화
 - 2015년 11월 기준으로 WTO를 통해 파악된 지역무역협정 (RTA; Regional Trade Agreement) 발효건수는 총 404건으로 1995년 WTO출범 이후로 꾸준히 증가

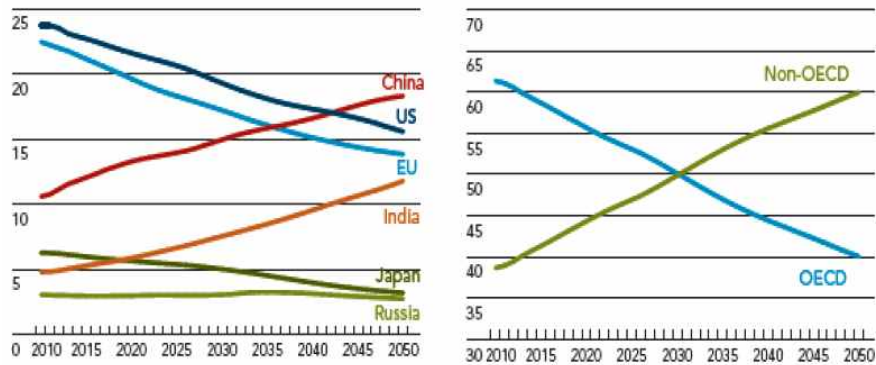


[그림 59] 연도별 지역무역협정 발효 현황

□ 신흥국·개도국의 부상 및 중국의 경제적 영향력 확대

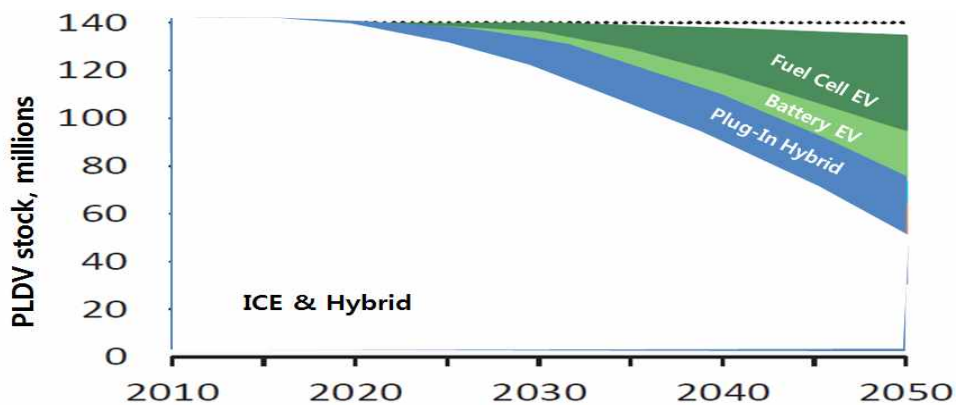
- 전통적으로 미국, 일본, 서유럽 등 기술선도국의 기업들이 중심이 되어 시장을 주도하고 발전해왔던 플랜트엔지니어링 시장이 최근 후발기업들의 가격경쟁력과 선도국들의 기술 경쟁력과의 대격돌 상태로 변화
 - 철강분야는 철광석과 석탄자원이 풍부한 중국이나 인도가 주도권을 확보해나가고 있으며, 석유정제의 경우 중국, 브라질, 인도 기업이 꾸준히 성장
 - 석유화학산업의 경우, 중동국가들이 원유 생산만이 아닌 제품생산까지 확장
 - 조선업에서는 정부의 지원 속에서 경쟁력을 갖춘 중국이 한국을 앞지르게 될 전망이며, 자동차 시장에서도 중국이 산업의 판도를 주도하게 될 것으로 전망
 - IT 제품이나 생활가전에서는 신흥국이 제품생산의 주도권을 가지고 있음

- 중국과 인도는 경제, 군사적인 측면에서 미국을 위협하는 수준으로 성장
 - 중국의 GDP 규모는 이미 일본을 추월, 골드만삭스(Goldman Sachs)는, 중국의 2050년 GDP는 80조 달러로 미국에 비해 80% 이상 높을 것으로 예측, 중국 위안화는 달러화에 맞서는 기축통화로 성장 예상
 - 2050년, 중국과 인도는 생산가능 인구를 기반으로, 글로벌 파워지수에서 미국과 대등한 수준을 이룰 것으로 전망됨



[그림 60] 글로벌 파워 지수 전망 (Global Trends 2030, 미국 국가정보위원회)

□ 미래 환경 이슈에 따른 친환경 산업 활성화



[그림 61] PLDV Stock in 2DS High H₂-EU (Technology Roadmap (H₂ and FC), 2015, IEA)

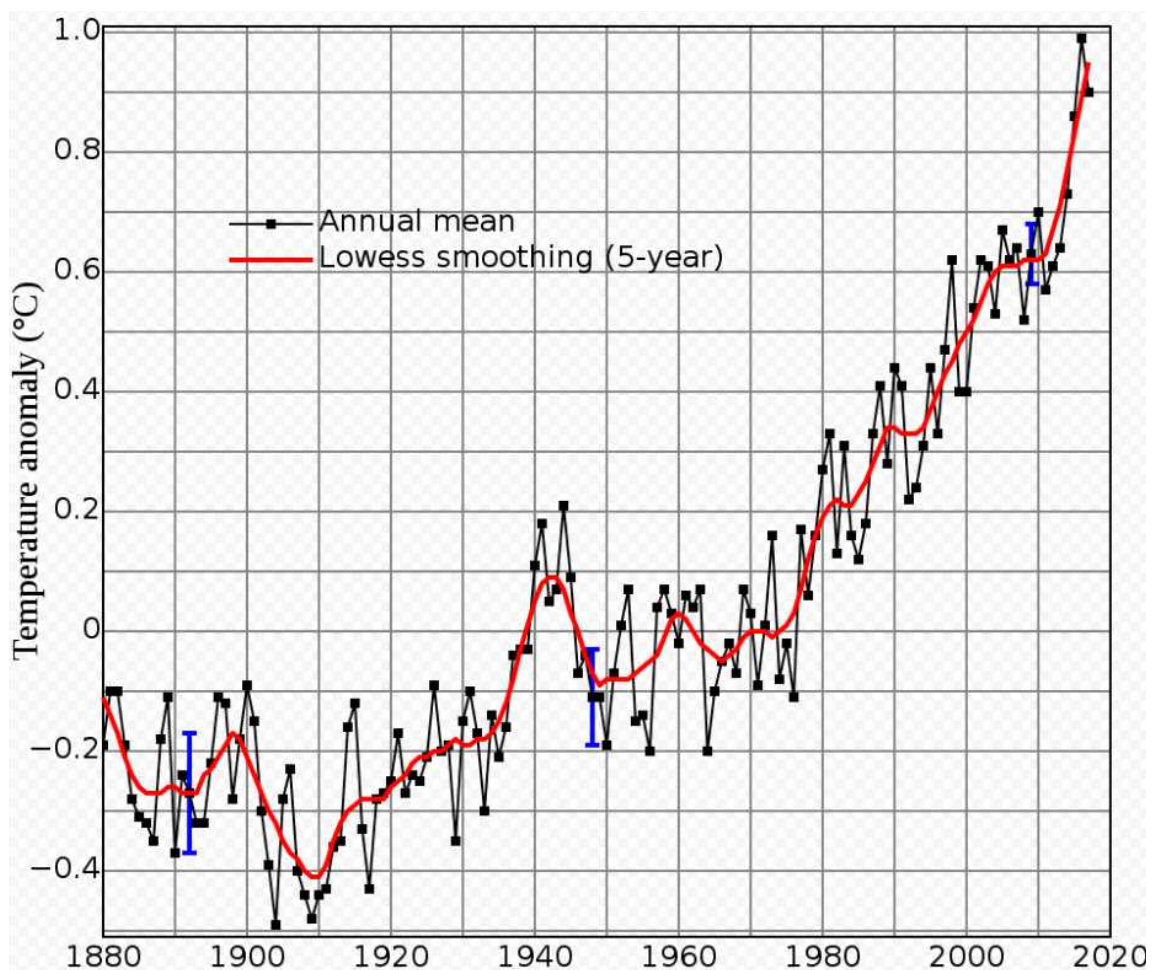
- 저탄소 에너지원과 신재생 에너지로 미래 에너지 시스템 재편 예상
 - 이에 따라 에너지 공급, 변환, 운송, 활용 측면에서 친환경 산업구조로 재편 예상
 - 특히, 수송 분야의 경우 전기차, 수소연료전지차 등 친환경 자동차가 기존의 내연기관 자동차 산업을 대체할 전망
- 도시지역의 녹지공간 조성과 에너지효율화는 우선순위가 높은 가치로 인식되어 에너지소비비가 낮고 탄소배출이 적은 스마트 에코시티 건설 증가

라. 환경 (Ecology)

□ 지구온난화 및 기후변화 영향, 환경오염 증가

○ 산업혁명 이후, 지구 평균기온은 약 1℃ 상승

○ 기후 모델 예측에 따르면 21 세기 동안 지구 표면 온도는 가장 낮은 배출 시나리오에서는 0.3 ~ 1.7 ℃, 가장 높은 배출 시나리오에서는 2.6 ~ 4.8 ℃ 예상 (IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis - Summary for Policy makers (AR5 WG1))



[그림 62] 전 세계 평균온도 변화

○ 기후변화 영향

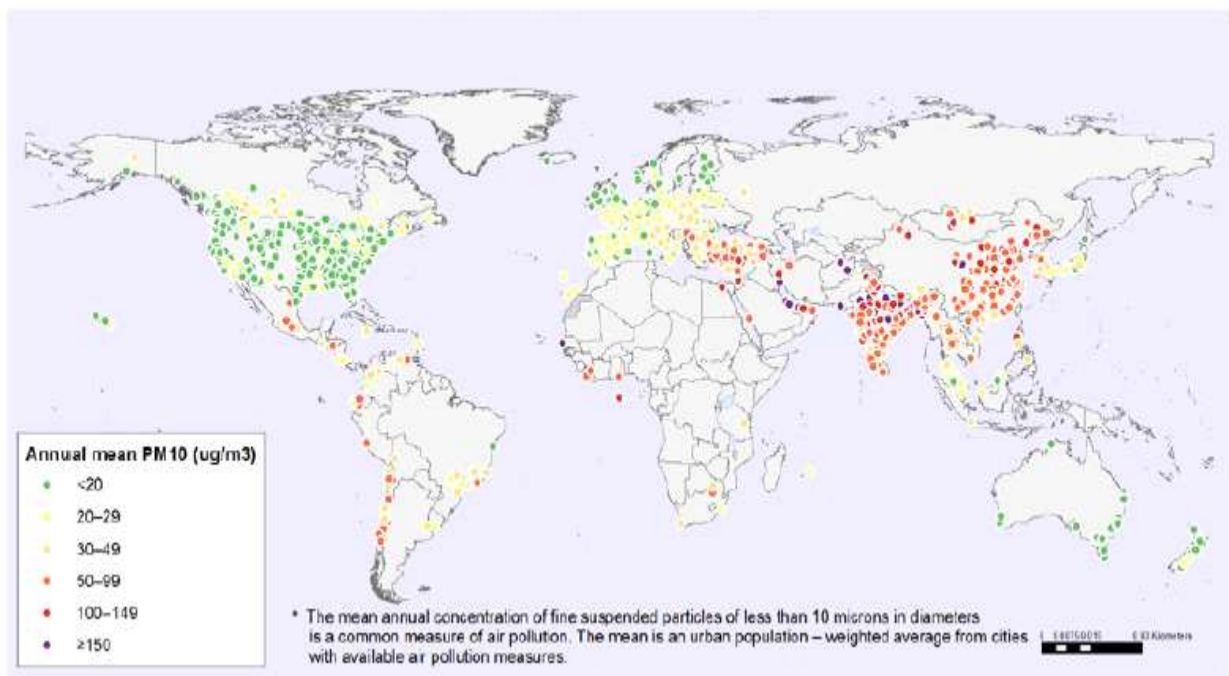
- 해수면 상승과 빙하 감소, 전 세계 사막화 면적이 연간 평균 3,572km²로 20년전(1,622km²) 대비 2배 증가
- 기후변화는 생태계를 파괴, UN 보고서에 의하면, 2050년에는 최대 10%의 생물이 멸종하

- 게 되어 생물 다양성이 위협받을 것이며, 식물과 동물 종의 20~30% 정도는 멸종 위험 - 이상기후현상은 생태계 파괴뿐만 아니라, 농업과 어업에 대한 경제적인 피해, 삶의 터전, 생활환경, 먹거리의 파괴 등 삶의 모든 부분에 영향을 줄 가능성이 높음

○ 환경오염

- 산업화와 도시화의 확대 및 화석연료 중심의 산업체계는 미세먼자, 오존(O₃), 산화질소(NO_x), 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 심각한 수준의 이산화탄소(CO₂), 유기물질과 중금속 등 환경오염물질을 배출
- 에너지수요 확대, 자동차 사용의 증가 등과 함께 화석연료의 생산 및 활용과정에서 환경오염의 발생도 증가하는 추세
- 미세먼지의 위협 : 인체와 환경에 심각한 위협을 끼치는 미세먼지는 우리나라와 같은 급격한 산업발달이 진행된 나라에서 심각
- 중국의 급격한 산업발달로 인한 영향과 함께 우리나라 내부에서 발생하는 미세먼지도 상당한 수준인 것으로 보고됨
- 이런 미세먼지를 줄이기 위한 노력은 주변국과 공조하여 환경 규제를 강화하고, 미세먼지를 줄일 수 있는 관련 기술 개발이 병행 필요

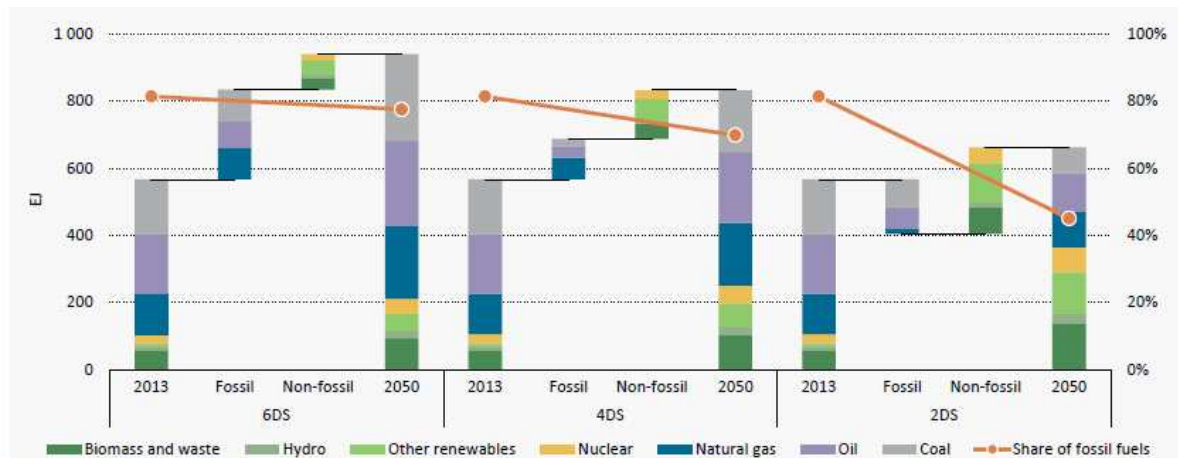
*미세먼지 (Particulate Matter, PM)란 아황산가스, 질소 산화물, 납, 오존, 일산화탄소 등과 함께 수많은 대기오염물질을 포함하는 대기오염 물질로 자동차, 공장 등에서 발생하여 대기 중 장기간 떠다니는 입경 10 μ m이하의 미세한 먼지



[그림 63] 전 세계 도시별 미세먼지 발생 정도(2008~2013), 세계보건기구

□ 지구온난화 및 환경오염 방지를 위한 노력

- 지구온도 상승의 주 요인은 인간의 산업활동에 의한 지구온난화 가스의 배출로 판단
- 지구온난화 가스 발생을 줄이기 위해 주 이산화탄소 배출원인 화석에너지 대신 신재생에너지 등 저탄소 에너지 활용 필요
- 기후변화관련 에너지, 환경 이슈해결을 위한 각국 정부의 대응 강화되면서, 지구온난화 가속화 및 세계 환경규제는 새로운 무역규제로 활용될 전망이며, 이에 따라 친환경 산업의 중요성 확대
 - 유엔기후변화협약 (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992) 제 21차 당사국 총회 (COP 21, 2015)에서는 지구의 온도 상승을 산업혁명시기 대비 2℃ 내 상승으로 억제하기 위한 위한 온실가스 감축과 기후변화 적응 의무 부여
 - 이러한 시나리오에 따르면 2050년 전세계 신재생에너지 비율은 55%에 이를 전망

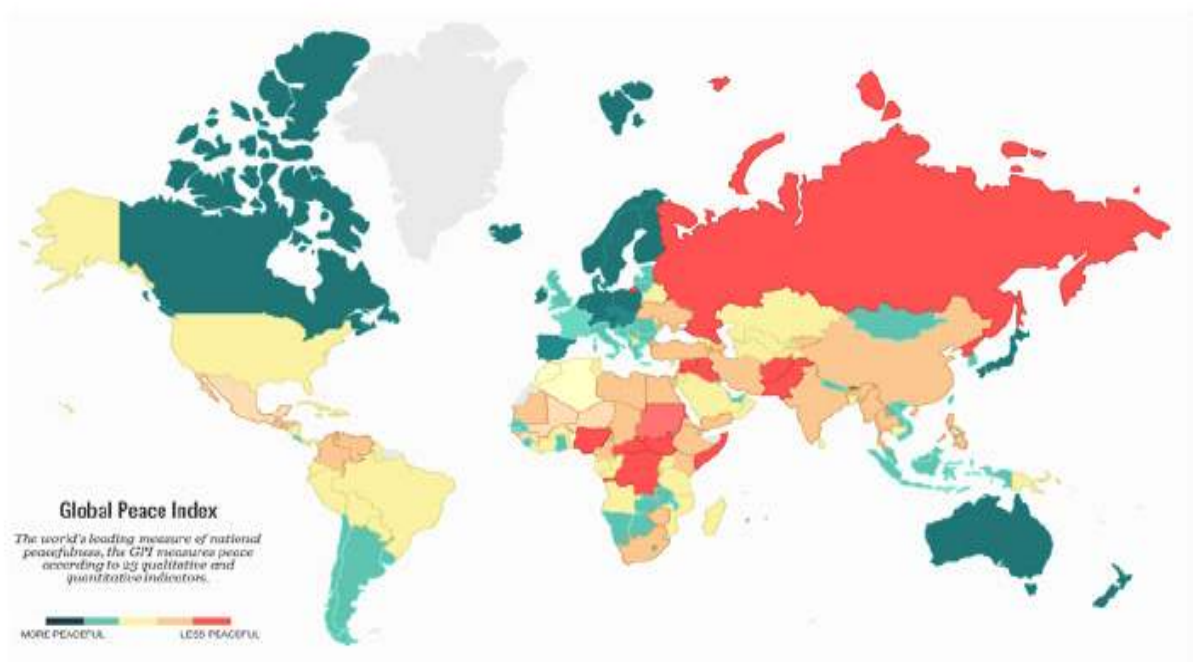


[그림 64] Global Primary Energy Use (Energy Technology Perspective 2016, IEA)

마. 정치 (Politics)

□ 안보 위협요소의 진화

- 국제질서 다극화 진전에 따라 지역의 갈등 지속, 민족, 종교간 분쟁으로 인한 국지전 및 테러의 증가 등 다양한 위협요소로 인해 세계적 갈등과 분쟁의 지속
 - 세계평화지수(Global Peace Index: GPI)²³⁾는 2014년 기준으로 2008년 이후 평화 상황이 나아진 나라는 51개국에 불과하며 나머지 111개 국가는 오히려 악화된 것으로 파악



[그림 65] 세계평화지수 2015년 결과

※ 자료 : <http://www.visionofhumanity.org/>

- 전 세계적인 경제 불안, 사회 해체 등 글로벌화의 부작용에 노출된 개인이나 집단의 조직적인 사이버 테러 가능성 증가. 모든 사회 시스템이 IT 네트워크 기반으로 구성되어 가는 미래에 새로운 국가안보 위협 요인으로 등장
- 대량살상무기의 확산, 무인전투기, 군사 로봇의 등장으로 전쟁의 양상 변화
- 미래 환경 에너지 문제의 부각으로 에너지, 식량, 물자원 관련 국제적 갈등 심화

23) 세계 평화 지수(Global Peace Index, GPI)는 군사 예산, 무기수출, 폭력범죄의 정도, 전쟁 사상자, 죄수 규모, 조직범죄 수준, 잠재적인 테러 공격 위험, 사회·정치적 갈등, 인접 지역이나 국가와의 상대적 관계 등 23개 지표를 종합하여 평화를 수치화한 것이다

□ 에너지 확보를 위한 주요국의 안보차원 접근, 투자경쟁 심화

○ 전 세계적인 에너지 수급 불균형

- 신흥국 산업구조의 변화 및 소득수준의 상승으로 화석연료의 수요가 증가하고 있으며, 글로벌 경제성장과 인구증가로 인해 총에너지 수요는 꾸준히 증가할 것으로 전망
- 국제에너지기구(International Energy Agency; IEA)에 따르면, 2040년 세계 에너지수요는 '12년 대비 약 37% 증가하여 182.9억 toe에 달할 전망
- 자원 보유 및 생산국의 에너지를 매개로 정치적 영향력을 행사하는 경향이 심화되면서 에너지·자원이 국가경쟁력의 중요한 요소로 부각
- 천연가스 매장량의 절반이 이란과 러시아에 있다는 점과 미국의 셰일가스(shale gas) 채굴 기술개발로 미국의 자국 내 채굴이 가능해진 점 등의 영향으로 미래 자원의 무기화가 진행될 수도 있음
- 미국 발 셰일가스 열풍과 기존 석유 수출국 기구(OPEC) 간의 주도권 싸움이 치열하게 펼쳐지는 가운데 안정적인 에너지원의 확보가 국가 경쟁력 및 국가안보의 핵심 이슈로 등장할 전망
- 기존 중위도지역의 육상 오일·가스 채굴에서 해양, 해저, 대륙붕, 극지, 극한지 내륙 등으로 에너지자원개발시장이 확대되고 있으며, 온난화의 영향으로 북극을 포함한 북극권, 북방 극한지의 개발여건이 개선되면서, 주요국의 북극권 개발에 투자증가
- 미래 친환경 사회에 대응하기 위한 신재생에너지 등 저탄소 에너지원의 확보 또한 이슈로 등장할 전망
- 화석에너지처럼 신재생에너지도 기후, 국토면적 등에 의해 자원이 편중되어 있어, 우리나라와 일본 등 신재생에너지원이 부족한 경우 대량의 신재생에너지를 수입할 수 있는 정책 필요

[표 27] 세계 에너지수요 전망

구분	에너지수요(백만toe)					증가율(%)
	1990	2012	2020	2030	2040	2012~2040
1차에너지 공급	8,782	13,361	14,978	16,720	18,293	1.1
석탄	2,231	3,879	4,211	4,342	4,448	0.5
석유	3,232	4,194	4,487	4,689	4,761	0.5
LNG	1,668	2,844	3,182	3,797	4,418	1.6
원자력	526	642	845	1,047	1,210	2.3
수력	184	316	392	469	535	1.9
바이오매스/폐기물	905	1,344	1,554	1,796	2,002	1.4
그 외 신재생에너지	36	142	308	581	918	6.9

3. 미래사회 주요 이슈 및 이의 기술적 해소방안

- 상기한 메가트렌드 및 STEEP 분석을 통하여 본 기획 주제인 신재생에너지, 수소사회와 연관된 미래사회의 주요이슈와 이에 따른 니즈를 노출하고 이의 기술적 접근 방안을 기술함. 여기에서 주요 이슈의 번호는 국가과학기술부에서 정의한 주요 이슈 번호이며, 미래기술은 과학기술부에서 전문가를 대상으로 실현가능하고, 파급력이 높은 기술을 정리한 것임

가. 사회 (Society)

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	미래기술 번호 및 미래기술명 (수소사회 연관기술)
2. 공공안전 인프라에 대한 사회적 관심 고조	· 환경 리스크 심화 · 사회 복잡성 진화	· 자연 재난 증가 · 사회적 재난 증가	· 미세먼지와 황사 감축	(연관기술) 청정 수소에너지를 이용한 미세먼지 저감 기술
			· 인간중심 인프라 기반 개발	42. 전력망 연계를 위한 급속 충전전 지원 전기 자동차 충전기 44. 웨어러블 로봇의 동작시간 연장을 위한 에너지 공급장치 기술 48. 전기자동차용 자동 무선충전 주차장 (연관기술) 수소연료전지차 충전인프라 기술
			· 사회적 약자 안전 확보를 우선하는 공공인프라	11. IoT 기반 가스누출 폭발 위험 예측 시스템 (연관기술) 수소에너지 안전기술
26. 도시 집중화 거대화 문제	· 휴먼 임파워먼트 · 사회 복잡성의 진화 · 경제시스템 재편	· 초고속 이동 · 경제사회적 불평등 심화 · 도시화 확대	· 거대 도시의 생태계 및 환경 관리 시스템	29. Zero-Waste 도시 구현을 위한 생활폐기물 수집·이송·분류 시스템 및 자원화·에너지화 공정 개발 (연관기술) 자원화 에너지화를 위한 수소전환기술 (Power to Gas) 74. 실시간 생태계 변화 감시를 위해 로봇 등을 활용한 이동형 모니터링 시스템 (연관기술) 로봇 동력용 수소 연료전지 기술
			· 스마트 에코 시티 구현	29. Zero-Waste 도시 구현을 위한 생활폐기물 수집·이송·분류 시스템 및 자원화·에너지화 공정 개발 (연관기술) 자원화 에너지화를 위한 수소전환기술 (Power to Gas)

나. 기술 (Technology)

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	미래기술 번호 및 미래기술명
11. 무인로봇 부대 등 국방체계 변화	· 휴먼 임파워먼트 · 사회 복잡성의 진화	· 인공지능과 자동화 · 국제적 갈등 심화 · 안보 위협요소의 진화	· 국방분야 AI 알고리즘 개발 · 테러 예방 및 대응을 위한 로봇	(연관기술) 로봇의 동력 제공기술 (수소연료전지)
12. 가사 및 서비스 로봇의 대중화	· 휴먼 임파워먼트	· 인공지능과 자동화	· 가사비서·기사육아 등 개 인지원 로봇 서비스 · 오지 탐사 및 재난 구호용 로봇 · 로봇 감정 처리 및 의식 점 검 시스템	(연관기술) 로봇의 동력 제공기술 (수소연료전지)
29. 우주 항공 산업 성장	· 휴먼 임파워먼트	· 우주 시대	· 태양광 비행기 등 성층권 대상 기술 개발 · 우주 관광 · 우주 자원 탐사	115. 태양광 발전기반 성층권 체류 비행체 123. 우주태양광 발전을 이용한 성층권 비행기 무선충전 기술 124. 자력 발사 및 비행 가능 우주 비행체 126. 우주 여행객의 편의를 위한 우주 휴게소 130. 우주쓰레기 처리기술 (연관기술) 우주 탐사 추진기술 (액체수소) 92. 우주 태양광 발전기술 125. 우주 레이저 통신 및 우주 인터넷 기술 128. 달 및 화성의 유인기지 구축 기술 129. 소행성 및 달의 우주자원 채굴 기술 (연관기술) 우주 탐사 추진기술 (액체수소) 200. 우주 환경용 무중력 3D 프린팅 기술
28. 고속련 정밀 제조 및 첨단 제조 기술의 중요성	· 경제시스템 재편	· 제조업 패러다임 변화	· IT/SW 기반 제도 고도화	202. 빅데이터 기반 전공정 최적화 CPS(Cyber Physical System) 기술

다. 경제 (Economy)

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	미래기술 번호 및 미래기술명
9. 친환경 산업구조로 재편	· 환경 리스크 심화 · 경제시스템 재편	· 생태계 파괴 심화 · 그리노믹스의 활성화	· 전기차 배터리 효율 증대	103. 장거리 주행을 위한 고효율 고용량 전기 자동차 배터리 기술 105. 전기 동력원의 고성능 건설 중장비 (연관기술) 동력원용 수소연료전지 기술
			· 친환경 저탄소 연료 충전 인프라	99. 연료전지 자동차용 on-site 수소 생산 및 충전 인프라 구축 기술 (연관기술) 수소연료전지차 충전인프라 기술
			· 건설 폐자재의 친환경 재생, 처리	88. 폐기물을 재활용하는 친환경 고효율 에너지 회수 기술 (연관기술) 자원화 에너지화를 위한 수소전환기술 (Power to Gas)
			· 신재생에너지 생산성 확보	100. 대용량 액체수소 운송용 선박기술 (연관기술) 수소액화기술, 액체수소저장기술, 연료전지 추진기술
			· 자동차 연비 증대 (초경량 자동차 등)	(연관기술) 수소연료전지차 기술, 수소충전소 인프라 기술
			· 제조 설비의 에너지 효율화	79. 온실가스 무배출 수소환원 제철 기술 (연관기술) 수소 제조/공급 기술 105. 전기 동력원의 고성능 건설 중장비 (연관기술) 동력원용 수소연료전지 기술
31. 우리나라 주력 기술 및 산업 경쟁력이 추월당할 가능성	· 경제시스템 재편	· 중국의 국제적 영향력 확대 · 신흥국·개도국의 부상	· 주력산업(제조업 분야) 경쟁력 강화를 위한 핵심·원천 기술 확보	(연관기술) 수소사회 인프라 핵심 설비 제조 기술 및 인프라 건설 기술

라. 환경 (Ecology)

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	미래기술 번호 및 미래기술명
5. 기후변화로 인한 생태계 변화	· 환경 리스크 심화	· 생태계 파괴 심화 · 자연재난 증가	· CCUS (Carbon Capture, Use and Storage)	77. 저비용의 이산화탄소 포집 저장 시스템 78. 포집된 이산화탄소 자원화 기술
19. 신재생 에너지 개발 보급 확대	· 환경 리스크 심화	· 에너지 수급 불균형	· 생산성이 높은 바이오에너지 개발 (바이오 에탄올 등)	60. 해양 미세조류를 이용한 고효율 바이오디젤 생산기술
			· 폐기물 및 폐자원 자원화	85. 저탄소 에너지 산업 필수 금속 생산 및 회수 기술 87. 희유금속의 고효율·선택적 추출을 위한 바이오희출 기술 89. 바이오매스 열화학적 전환기술을 통한 재생가능 화학 원료 생산 기술
			· 스마트 그리드 구축을 통한 에너지 효율적 배분	93. 스마트 에너지그리드 구축기술 94. 저온 열 에너지 네트워크 기술 96. 분산설치 가능한 소형 원자로 기술
			· 전력저장장치(ESS) 보급 확대	91. GW급 대규모 가스 터빈 발전 93. 스마트 에너지그리드 구축기술 104. 저가형 금속을 활용한 고용량 장수명 ESS 기술 (연관기술) 대용량 전력저장장치 기술 - 수소에너지저장 시스템(HESS)

마. 정치 (Politics)

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	미래기술 번호 및 미래기술명
17. 자원의 무기화	· 환경 리스크 심화 · 사회 복잡성 진화 · 경제시스템의 재편	· 에너지 수급 불균형 · 국제적 갈등 심화 · 세계 인구 증가	· 대체 에너지 개발	67. 에너지 자체 생산을 통한 반영구 운전 가능형 수질 정화 시스템 92. 우주 태양광 발전기술 95. 초소형 모듈형 초임계 이산화탄소 발전시스템 기술 101. 고밀도 수소 저장 기술을 활용한 저가 친환경 수소차 제조 기술 102. 대형 선박 구동용 친환경 수소 전지
20. 새로운 非(비)전통 자원 탐색	· 환경 리스크 심화	· 에너지 수급 불균형	· 비전통연료 탐사	81. 비전통 자원 탐사 및 생산·회수 기술 (연관기술) 신재생 전력의 변환 및 저장 기술
			· 해수 용존 자원 물질 추출	86. 친환경 고효율 해수용존 자원 추출용 흡착제
11. 무인로봇 부대 등 국방체계 변화	· 휴먼 임파워먼트 · 사회 복잡성의 진화	· 인공지능과 자동화 · 국제적 갈등 심화 · 안보 위협요소의 진화	· 국방분야 AI 알고리즘 개발	
			· 테러 예방 및 대응을 위한 로봇	(연관기술) 로봇의 동력 제공기술 (수소연료전지)

제 2 절 국내·외 정책동향

1. 국외 정책동향

□ 주요국의 에너지 기술정책 동향

- 화석연료 고갈 및 온실가스 저감을 위한 친환경 연료인 수소, 천연가스 사용 확대에 따른 사용 설비, 부품에 대한 안전성 확보 필요
- '15. 12월, UN 파리협정이 채택됨에 따라 新기후변화체제가 출범하였으며, 한국은 2030년 기준 배출전망치 (BAU) 대비 37% 감축목표를 제시함
 - UN 파리협정시 주요 선진국들은 Mission Innovation 선언을 통해 청정에너지기술 공공 R&D 투자를 5년간 2배 확대노력하기로 약속
 - 한국은 '16년 5,600억원 수준인 청정에너지 핵심기술에 대한 투자를 '21년까지 1.1조원 규모로 확대(제1차 미션이노베이션 장관회의 (CEM7, 샌프란시스코, '16. 6월))



[그림 66] 청정에너지 혁신미션 (Mission Innovation) 개요

- 미래 저탄소 사회에 선제 대응하기 위해 분산형 청정에너지, 소비자가 생산에도 참여하는 프로슈머, 온실가스 감축 등이 핵심 이슈로 다루어지는 경제·사회 시스템으로의 전환 필요
- 또한, 세계 시장의 향후 기조는 각 산업, 기술, 제품 간의 최고기술이 아닌 융합을 통한 복합적인 스마트, 지능화하는 데 있음

- 미국의 시장분석 전문회사인 Frost & Sullivan에서는 스마트 그리드의 관점에서 2025 메가 트렌드를 발표함
- Frost & Sullivan은 각 산업과 기술, 제품군에서의 융합 기술이 가속화되어 글로벌 시장의 변화를 주도할 것이라고 예측함

□ 주요국의 에너지 정책

- (미국) 에너지안보 및 기후변화대응을 통한 청정에너지 강국 추구
 - DOE Strategic Plan : 에너지, 환경, 기후변화 대응 기술개발 계획으로 청정에너지강국 실현을 추진 ('11) 및 온실가스 배출량 '20년까지 17%, '50년까지 83% 감축 ('05년 대비)
 - ARPA-E 설립: 고위험·고수익 기술을 중심으로 획기적이고 혁신적인 에너지기술개발을 추진 ('09)
- (일본) 혁신적인 에너지기술개발을 통한 온실가스감축 추진
 - Cool Earth : '50년까지 온실가스를 '05년 대비 50%수준으로 감축하기 위해 저탄소화 및 효율향상과 관련된 21개 혁신기술 개발 계획을 발표 ('08)
 - CCS, 태양광발전, 연료전지차, 수송용 대체연료 제조, 고효율조명 등 21개 기술
- (EU) 온실가스저감 목표 달성을 위한 국가 간 기술협력계획 마련
 - SET-Plan: '20년까지 EU 역내 협력을 통해 EU의 온실가스 저감 목표 ('90년 대비 20% 저감) 를 달성하기 위한 에너지기술개발전략 추진 ('08)
 - 태양광, 풍력, 바이오연료 등 10개 전략기술개발프로그램 운영
- (중국) 에너지산업을 전략적 신흥 산업으로 육성
 - 제12차 과학기술발전계획 : 과학기술개발전략에 신에너지산업 발전 촉진 및 광물자원개발전략 반영 ('11)
 - 에너지·자원·환경기술시스템 구축 : 에너지안보 제고를 위한 에너지자원 탐사·개발·이용기술 개발, 자원이용 효율화를 위한 수자원·광물자원기술 개발

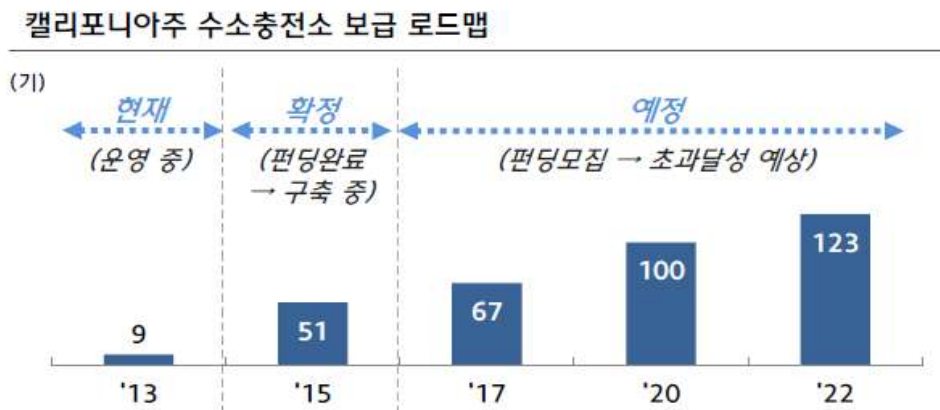
□ 주요국의 수소에너지 정책

- (미국) 기후변화 액션 플랜을 발표 ('13.7), '20년 미국 온실가스감축 목표²⁴⁾ 달성에 대한 강한 의지 표명
- GPS, 스텔스, 컴퓨터 네트워킹 등을 성공적으로 개발한 DARPA를 모델로 에너지부 내 ARPA-E²⁵⁾를 설립·운영('07~)

24) '20년까지 '05년 온실가스배출량 대비 17% 감축, 풍력·태양광 설비 10GW 구축

25) 에너지 수입의존 감소, 온실가스 배출 감축, 효율향상 등 기술개발 추진

- 캘리포니아는 법안을 통해 최소 수소충전소 100기에 선제 투자하고, 보급의 3대 핵심 요소인 충전인프라 (수소충전소), 차 (FCEV), 연료 (수소)의 균형 성장을 추진
- 캘리포니아 에너지위원회 (CEC)가 'AB8' 법에 따라 2015년 말 총 51기의 충전소 구축을 위해 약 5천만 달러 투자 집행 중
- 2023년까지 최대 약 6만 대의 수소연료전지차 보급 방침
- CaFCP (수소연료전지파트너십) 등 민관공동단체를 통한 보급 및 홍보 활동 전개
- CaFCP는 1999년 4월 FCEV의 보급을 위해 캘리포니아 주정부와 자동차, 에너지 등 민간 회사들이 협력하여 만든 민관 공동 단체로, 캘리포니아 내의 FCEV 기술개발 및 보급과 관련된 다양한 이슈들에 대해 대응
- CaFCP는 캘리포니아 도로 위에서의 FCEV 실증 및 보급 방법 연구, 수소 인프라 기술 시험, 소비자 등 공공 인식 개선 등을 지속적으로 추진해 옴



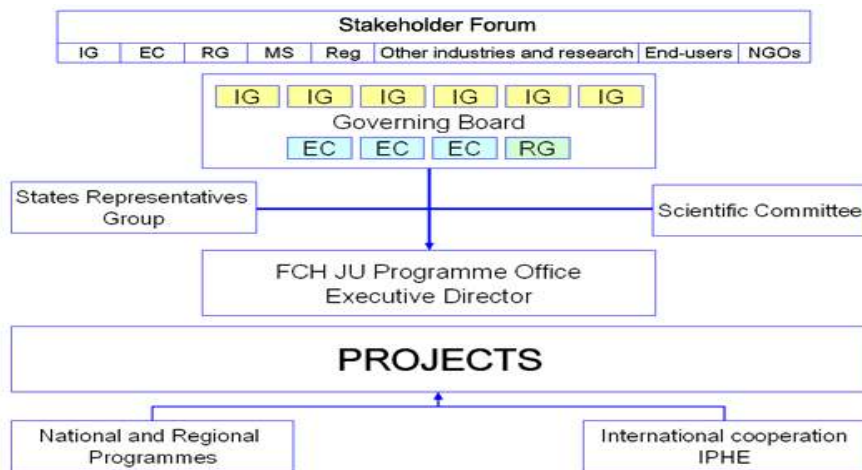
[그림 67] 캘리포니아 주 수소충전소 보급 로드맵 (자료출처 : CaFCP)

- CaFCP를 활용해 FCEV 및 수소충전소의 실증을 중점적으로 추진
- 캘리포니아 주정부는 2012년 FCEV 보급 로드맵을 발표하고, 자동차와 수소충전소를 실증에서 보급 단계로 본격 전환
- 2012년 주지사의 행정명령으로 2025년까지 무공해차 (ZEV, Zero Emission Vehicle) 150만 대 보급을 선언
- 미국 전역을 대상으로 수소충전소와 FCEV 보급을 추진하는 민관공동 단체 'H2USA'를 설립 ('13.3월)
- 8개주 (코네티컷, 메릴랜드, 메사추세츠, 뉴욕, 오레건, 버몬트, 로드아일랜드, 캘리포니아) 주지사가 2025년까지 ZEV 330만대를 보급한다는 내용의 'Multi-State ZEV Action Plan'에 합의 ('13.10월)
- 초고압 충전소 및 자동차 보급 계획
- 2015년까지 FCEV 초기 보급에 필수적인 51기 구축 완료, 2020년까지 100기를 구축해 FCEV 시장 성장 기반 마련

- 당초 수소충전소는 2012년 로드맵 발표하던 때에 공격적인 목표 (68기)를 설정했으나 지부진하다가 2014년에 AB8 법안이 통과하면서 수소충전소 건설이 급물살을 타기 시작
- 그 결과 2013년 9기에 불과하던 수소충전소가 2014년에는 23기가 건설되고, 2015년에는 28기가 신규로 건설되어 모두 51기가 구축될 예정이며, CEC는 이를 위해 2015년에만 약 4,660만 달러의 투자를 승인
- AB8 법안은 수소충전소가 최소 100기가 건설될 때까지 투자를 지속할 것을 지시하고 있는데, CEC에 따르면 2017년 67기, 2020년에 100기를 달성할 것으로 전망
- 로드맵에 따라 수소충전소가 구축될 경우, 캘리포니아에서 FCEV는 2017년 최소 9,511대에서 최대 16,644대, 2020년에는 최소 17,854대에서 최대 31,244대 운행 가능

○ (유럽) 에너지 안보, 지속가능성을 고려한 ‘에너지 2020 전략’²⁶⁾ 발표 (‘11.10)

- 신재생에너지, 마이크로그리드 실증²⁷⁾ 등의 기술개발 투자 확대
- EU는 수소 및 연료전지에 대한 효과적인 지원을 위해 2008년에 EU차원의 사업지원 집행기관인 FCHJU (Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking)를 설립
- FCHJU는 민간에서 공모를 통해 프로젝트 제안을 받아 이를 심사하며, 심사결과 선정된 프로젝트는 FCHJU의 현금지원과 관련 업계 및 연구기관의 출자 (50:50 펀딩)를 통해 지원을 받음



[그림 68] FCHJU 조직도

- FCHJU의 주요사업

- 수소와 연료전지 분야에 관한 연구, 기술적인 개발, 상용화 연계 실증사업을 지원하며, 다음 4개 분야의 프로젝트를 지원 : 1) 재생에너지를 활용한 수소생산, 2) 다른 자원을 이

26) 온실가스 40% 감축목표와 실행계획을 담은 '2030 기후·에너지 정책 프레임워크'로 개정('14.1)하고 저탄소 에너지기술에 매년 4~6조 원 투자

27) 유럽의 100여개 전력사, 연구소 등이 참여중이며, '20년 53억불 시장 전망

- 용한 수소생산, 3) 발전용 연료전지의 기술 개발, 4) 수소저장, 처리 및 공급
- EU의 수소충전소 보급
 - FCHJU는 2008년 지원 프로그램을 개시한 이래 유럽 내 40여개의 수소충전소 설치 및 보급을 지원해 왔음
 - 설치 중인 수소충전소는 자체생산 (n-site production) 수소를 사용하는 방식으로, 현재까지는 천연가스를 사용한 수소생산 시설이 다수이나, 신재생 에너지를 사용한 수소생산 시설을 증가시키는 방향으로 추진 중
 - EU는 현재 전기차와 수소차 중 어느 한 형태의 차종에 치우치지 않고 양측 모두에 대해 지원하고 있으며, 지원 프로그램이 종료되는 2020년 이후에 지원방향에 대해 다시 검토 예정
 - 영국의 경우, 2020년까지 모든 에너지 사용량의 15%를 신재생에너지원으로 사용하도록 하는 의무법안을 채택하였으며, 덴마크, 독일 등도 신재생에너지 보급 증대를 위한 정책을 적극적으로 추진 중
- (일본) 제4차 에너지기본계획 ('14.4)을 통해 후쿠시마 원전 사고 이후 원전 의존형 에너지 정책에서 탈피, 그린에너지 혁명 실현 추구
- '30년 신재생에너지 보급 3배, 전력산업 구조개편 등 추진
 - 재생에너지의 전력 비중을 '20년 13.5%, '30년 20%로 목표 도입
 - 에너지 생산·유통·소비 3단계에서 36개 중요기술을 선정, '50년까지 추진과제 및 개발 목표를 제시한 기술개발 로드맵 수립 ('14.12)
 - 경제산업성은 수소사회 구축을 목표로 “탄소 배출이 적은 수소 제조”, “효율적인 수소의 수송·저장”, “효율적인 수소 이용” 등의 공모 사업을 NEDO에 위탁으로 실시하여 일본 지역사회에 미래 충전소 비즈니스 모델 등을 검증하였음
 - 수도권 3곳에 수소충전소를 배치하고, 수소버스의 정기 운행을 실증하는 “수소 하이웨이 프로젝트”와 기타큐슈 시에 수소 파이프라인을 매설하고 실증하는 “수소 타운 프로젝트” 등의 실증사업 실시
 - 일본의 경우, 연료전지의 실용화와 보급을 위한 과제를 해결하기 위하여 정책제언을 목적으로 하는 “연료전지 실용화 추진 협의회 (FCCJ)”를 구성함
 - FCCJ는 2015년을 이정표로 FCV의 일반 사용자를 대상으로 한 보급 계획 수립
 - 국내외 자동차 제조사 및 국내 에너지 기업의 동의로 2011년부터는 기존의 기술 실증 이외에 사회 실증을 시작하여 2015년부터 일반 사용자에게 연료전지 자동차 보급을 목표로 설정
 - 또한 이산화탄소 배출 감소에 기여할 수 있는 FCV의 대규모 확산을 목표로 2025년을 FCV·수소충전소의 자립 확대의 해로 설정
 - 이를 통해 FCV보급 및 충전소 인프라의 양방향 비즈니스가 성립하기 위한 과제를 명확하게 선정하고 추진
 - 후쿠시마 원전 사고 이후, 2030년까지 신재생에너지 보급 3배 확대 및 에너지절감 19% 달

성, 전력산업 구조개편 추진

- (중국) 제13차 5개년계획 ('16.3)을 수립, '20년까지 청정에너지 비중 15%달성 및 기술혁신을 통한 저탄소 산업 고도화 추진
 - '30 년 풍력 250GW, 태양광 150GW 설비규모로 에너지의 20% 공급
 - '20년까지 신에너지차량 누적 500만대로 확대하고 신성장동력산업으로 육성
 - 전기차, 태양광, 풍력, ESS 등 기술개발 역량 확보로 에너지안보 추진
- (캐나다) 수소·연료전지의 조기 산업화를 위해 연료전지 상업화 ('03) 및 수소개발('04) 로드맵을 발표, 연간 수소연료전지 연구투자비는 2003년 기준 2.1억C\$
- (독일) 1996~2000년 기간에는 수소 연료전지 연구를 4차 에너지 연구개발 프로그램에 포함하여 년 간 천만€를 투자하였고, BMBF는 수소제조, 저장, 전환 기술개발 및 연료전지, 전기분해 기술의 비용 저감을 위한 연구개발을 중점적으로 지원
- (아이슬란드) 아이슬란드는 2030년 까지 수소에너지 체계로 전환 목표 발표 ('99)
 - 수송부분에 연간 2000톤의 수소를 전기분해 방법을 사용하여 생산
 - Daimler-Chrysler, Royal Dutch Shell, Norsk Hydro 등과 합작으로 수소 PEM 연료전지 버스, 메탄올 연료전지 자동차, 수소 연료전지 자동차 관련 프로그램을 수행 중
 - 2030년 까지 모든 자동차 및 어선 수소 연료전지로 교체 예정

□ 주요국의 친환경자동차 보급 정책

- 각국 정부는 수소산업의 밸류체인에서 주요 사용처인 자동차 연비 규정 및 이산화탄소 배출량 허용기준 강화로 친환경 자동차 생산 및 보급 장려로 수소사업에 큰 영향
- (미국) 미래성장동력용 경기부양법안 (ARRP, 2009)으로 친환경 자동차개발, 신재생에너지 (총 82억 달러), 청정에너지 (60억 달러), 에너지효율성 확대 (168억달러), 전기·대체에너지 자동차 구매 촉진 (30억 달러), 스마트그리드 (110억 달러) 지원
 - 미 행정부는 2009년 캘리포니아 자동차 배기가스 규제 정책으로, 평균연비 목표를 2025년까지 54.5mpg(23.2km/ l)로 정하고, 2016년까지 평균연비를 35.5mpg(15.1km/ l)로 강화
- (유럽) 신차 배기가스 저감 목표치를 현재 160g/km에서 2012년 130g/km로 제시하고, 2012년까지 신차판매의 65%, 2015년에는 모든 신차가 이를 준수하도록 명시
- (일본) 자동차 연비를 2015년까지 16.8km/L (승용차 기준)로 향상시키도록 강제 의무화하고 있으며, HEV, EV 등의 비중을 2009년 10%에서 2020년 40%까지 높인다는 계획 하에 친환경

경 자동차 보급정책을 시행

- (중국) 이머징마켓의 특성상 환경규제는 선진국에 비해 규제강도가 높지는 않으나 최근 뒤쳐진 자국의 산업경쟁력을 높이기 위해 친환경 차량에 대한 투자를 강화하는 추세로 2015년 목표 연비는 17.9km/L임
- (한국) 2009년 그린카 육성계획을 수립하고, 2015년까지 현 수준보다 16.5% 향상시킨 17km/L 연비를 달성토록 하는 규제계획을 발표, 2010년에는 2015년까지 4.8조원을 투입하여 ‘글로벌 그린카 기술 4대 강국’으로 도약하고, 그린카 점유율을 21%까지 확대하는 계획을 발표

□ 유럽의 내연기관 운행제한 정책

- (프랑스 파리)
 - 2016년 7월 1일 대기오염을 막기 위해 평일 오전 8시부터 오후 8시까지 20년 이상 된 노후 경유차가 도심에 들어오는 것을 금지
 - 2001년 이전에 등록된 개인 디젤 차량과 2002년 이전에 등록된 영업용 차량의 주행의 금지, 2006년 10월 이전에 등록된 대형 화물트럭과 관광버스 및 노선버스 역시 주행이 전면 금지
 - 2040년까지 모든 휘발유와 경유 차량의 판매를 중단선언 (17.07.06)
- (영국 런던) 2008년 세계에서 가장 큰 ‘저 배출 지역 (Low Emission Zone) 지정 계획’을 세웠다. 노후 대형 경유자동차를 대상으로 매년 여과장치를 달고 운행하도록 의무화
- (인도 뉴델리) 2015년 세계 최초로 뉴델리에서 디젤 자동차 사용을 전면 금지했고, 다른 15개 도시에도 적용할 계획임
- (노르웨이) 2025년부터 디젤과 가솔린을 사용하는 차량을 전면 금지하는 법안 합의. 전기나 수소연료를 사용하는 자동차만 허용
- (독일) 독일 연방 상원은 내연기관 차량을 금지하기 위한 방안으로 2030년으로 특정한 판매금지 결의안을 채택
- (스웨덴 볼보社) 업계최초 2019년부터는 내연엔진 자동차 생산을 중단

지구 온난화 및 석유자원 고갈에 의한 수송 분야 패러다임 변화

- 저탄소화 위해 주요국가 신재생 에너지 비중 확대 (유럽 20%, 미국 20%, 중국 15%)
- 수송 분야, 총 생산 석유 60% 이상 소비 및 총 배출 온실가스 中 23% 차지 → 연비, CO₂ 배출량 규제 강화

주요 국가별 신재생 에너지 비중 및 연비 규제 계획



[그림 69] 각 국의 신재생에너지 이용 및 연비규제 동향

□ 주요국의 수소인프라 구축 연구개발 정책

- 세계 각 국은 수소사회 구축을 위해 친환경 에너지를 전력과 수소로 전환하여 이용하기 위한 연구개발에 집중
 - 자동차 보급에 대한 미래 예측 보고서에 의하면 2030년대에는 수소연료전지자동차 (FCEV)가 약 50% 정도의 시장을 점유할 것으로 예측

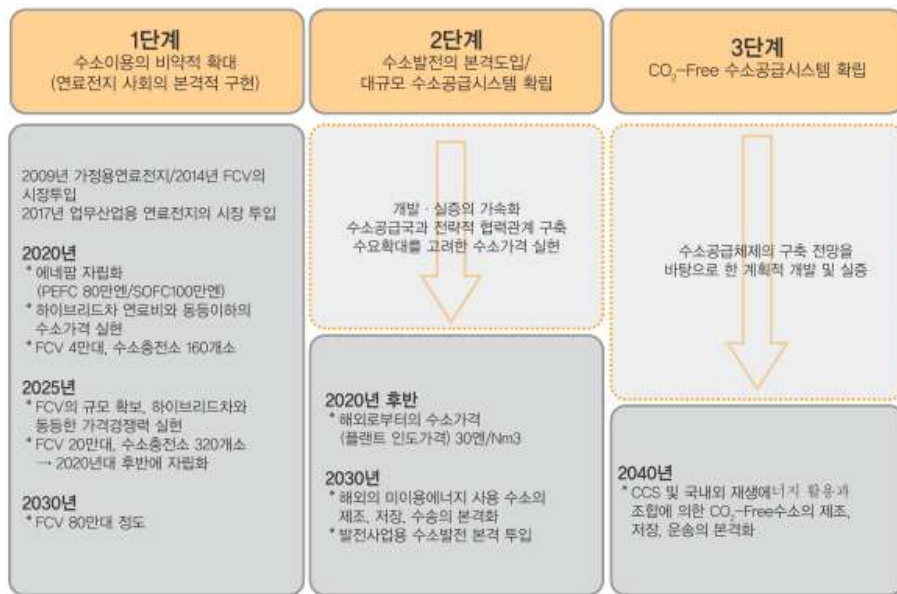
□ (일본) 지난 20년간 연료전지 기술개발과 다양한 실증사업을 통해 수소사회를 체계적으로 준비

- 에너지기본계획 개정안에서 ‘수소사회 실현’을 명시, 수소사회로의 전환을 국가 정책으로 추진하겠다는 의지 표명 ('13.12)
 - “2020년 도쿄올림픽”을 수소사회 진입목표로 로드맵 작성과 실행조직 설립
- 세계 최초로 국가차원의 구체적 실행 추진 (2014. 4, 제4차 에너지기본계획)
 - 일본은 2014년 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵을 발표하였으며, 2016년 3월에는 보다 실현가능한 세부내용을 추가함
 - 2020년 수소이용의 비약적인 확대를 바탕으로 2030년까지 해외로부터의 수소공급을 포함한 대규모 수소 공급시스템의 확립을 계획 중
 - 일본은 미국이나 유럽과 달리 해외로 부터의 수소수입방안을 모색하고 있으며, 이를 위해 대용량 저장 및 저비용 수소 수송을 위한 기술개발을 지원

- 부생수소, 천연가스 개질 및 신재생 에너지를 활용한 수소생산과 해외로부터의 수소수입의 공급 시스템을 구축하고 2040년에는 본격적 CO₂ Free 수소사회의 실현을 구상 중

○ 아베총리, 2017년 국정운영방침 연설의 1/10이상을 수소사회 준비 강조

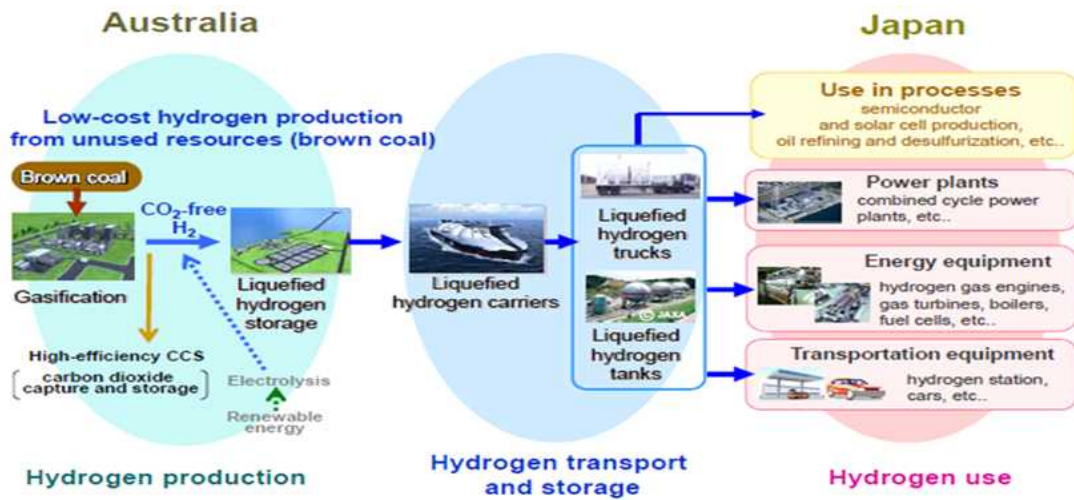
○ 경제산업성 주관, 민관합동으로 JHFC 프로젝트를 지원하여 수소충전소 구축, 수소연료전지 실증 및 관련 법 개정 (상용화를 위한 기반 조성)



자료: 野村総合研究所, 「水素社会の実現に向けた取組に関する調査」, 2016.3

[그림 70] 일본의 수소사회 실현을 위한 3단계 로드맵

- 일본, METI의 기후변화 협약 대응 정책에 따라 HySTRA 창립 및 데모 프로젝트 수행 중
 - 해외의 미이용 자원 (갈탄) 및 염가의 재생에너지를 통해 수소를 제조·액화하고 액체수소선을 통해 수소 수요지에 수송하여 공급하는 「CO₂ 프리 수소 체인」 구상을 제시하고 기술개발 중
 - 가와사키 중공업은 호주에서 싸게 제조한 수소를 액화하여 일본으로 수입하기 위해 영국의 로열더치셀과 액화수소의 생산 및 운반기술 개발 제휴 ('16.3)



[그림 71] HySTRA (CO₂-free Hydrogen Energy Supply-Chain Technology Research Association, '15-'20)

□ 미국

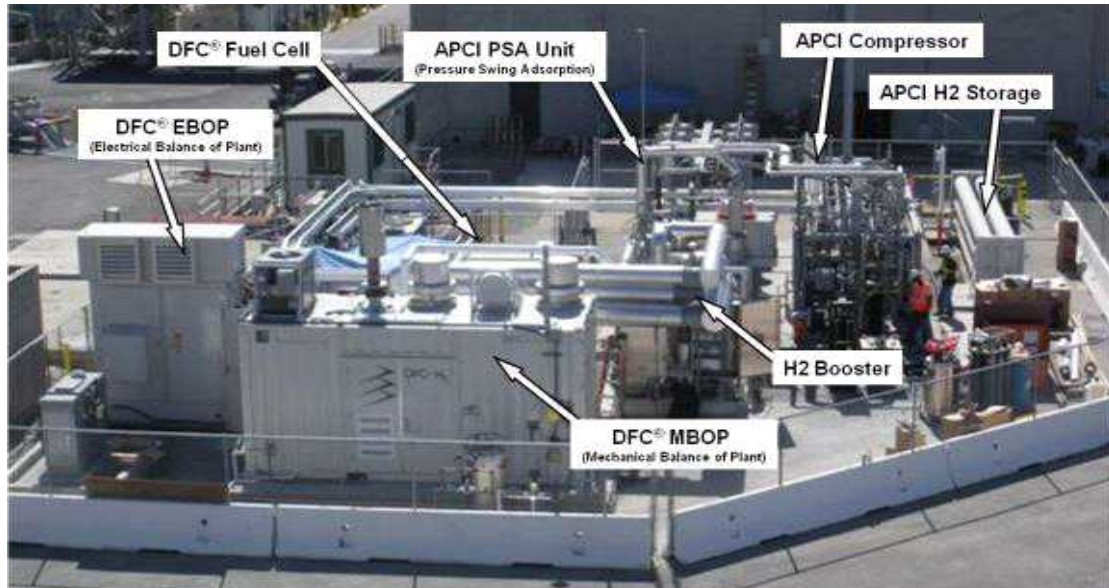
- 2050년까지 자동차의 27%를 수소차로 보급 (에너지국 (DOE), 2013)
- 캘리포니아 주정부의 FCEV 보급 로드맵 발표 (2012년)
- 미국은 국가 차원의 연비규제와 함께 캘리포니아 등 11개 주에 'ZEV (Zero Emission Vehicle)' 크레딧 제도 시행

['ZEV (Zero Emission Vehicle)' 크레딧 제도]

- * ZEV 크레딧란 ①차량의 환경 오염 배출량, 주행 거리 등을 고려하여 타입별(1~6타입)로 크레딧을 부여하고(예, 전기차 5, 수소연료전지차 7), ②업체별로 반드시 충족시켜야 할 크레딧 할당 및 미충족 시 벌금을 부과하는 제도(많은 크레딧을 확보할 수록 유리)
- * 캘리포니아주는 2025년까지 전체 신차시장에서 배기가스를 전혀 배출하지 않는 ZEV 판매비율을 현재 12%에서 22%까지 늘릴 계획(약 150만대)
- * 수소연료전지차는 가장 높은 등급의 Type6으로 대당 7크레딧을 부여받게 되므로 향후 글로벌 메이커의 시장 진입이 가속화될 전망
- * 수소연료전지차 출시(예상) 시기 : 현대 '13, 도요타.혼다 '15, 다임러 '17 등

- 수소충전소 100기가 구축될 때까지 매년 최대 2천만\$ 투자 규정 (2014, 'AB8법')
- 현재 56개소의 충전소가 운영 중 (32개소는 건설 계획 중)

- 구성 : 천연가스 또는 바이오가스 + 전기생산 + 수소충전
- 위치 : Orange County Fountain Valley
- 규모 : 발전량 250 kW, 충전량 100 kg/day (25~50대 충전)



[그림 72] 미국 에어프로덕트의 융합스테이션 사례

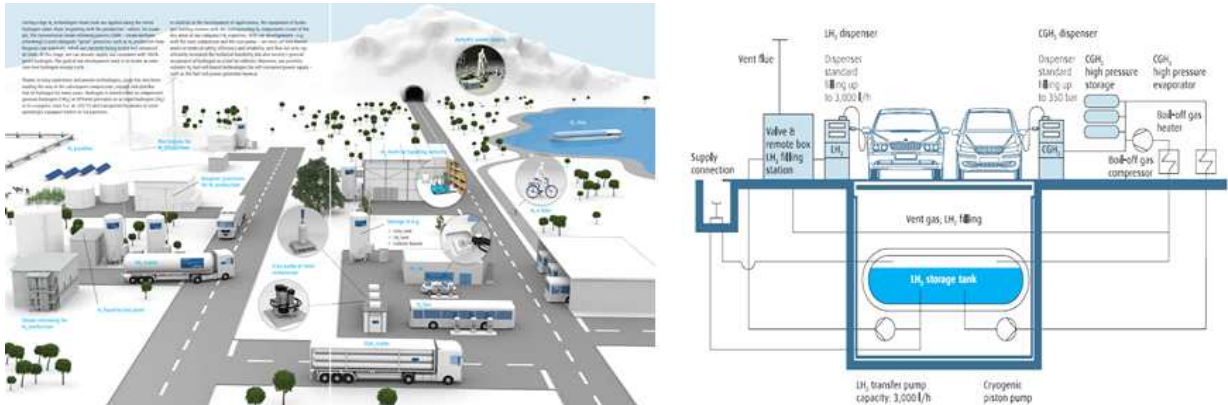
- 미국 캘리포니아 지역에서는 저 배기가스 자동차 (LEV: Low Emission vehicle)에서 초저배기가스자동차 (ULEV: Ultra Low Emission Vehicle)와 초초저 배기가스 자동차 (SULEV : Super Ultra Low Emission Vehicle)로 자동차 배기가스와 관련된 환경기준을 점점 강화
- 미국의 캘리포니아 주 자동차 배기가스 환경기준을 가장 이상적으로 만족시킬 수 있는 자동차로는 수소연료전지 자동차인 것으로 보고 이에 대한 대규모의 연구개발을 착수하여 상용화를 추진
- 이러한 추세에 맞추어 유럽 및 일본 등 자동차 선진국에서도 수소연료전지 자동차의 개발 및 보급을 위한 정책을 추진

□ 유럽

- 수소차, 충전소 보급을 위해 약 14.7조원 투입 (2012, EU 발표)
- 약 100여개의 충전소 구축·운영 (독일 35개소, 영국 15개소, 덴마크 10개소 등)
- 독일의 경우, 수소액화 플랜트 관련 메이저 기업인 Linde 그룹 주도로 미래 수소사회에 대비하여 전주기 Value Chain 비전 제시
 - 지하 매몰형 액체수소충전시스템 (가스충전 포함) 제안
 - 기존의 SMR (Steam Methane Reformer) + 신재생에너지, Electrolysis 등을 이용한 환경 친

화적 수소생산

- 수소압축 및 액화 등의 축적된 기술과 경험을 바탕으로 다양한 형태 (CGH₂, LH₂)로 저장하고 CGH₂ trailer, LH₂ trailer, H₂ pipeline 등을 통하여 필요한 곳으로 수송
- Ionic compressor와 Cryogenic pump 등을 조합한 혁신적인 형태의 액체수소 및 수소가스의 저장 및 분배시스템을 개발을 통해 수소융합스테이션에 적용하여 수소차에 공급
- 또한, 연료전지 발전기술과의 접목을 통한 전력 공급



[그림 73] Entire hydrogen value chain (Linde group)

○ 유럽도 복합에너지 충전소의 형태로 기존 주유소 및 충전소에서 수소를 공급하는 추세



[그림 74] 독일의 복합에너지 충전소



[그림 75] 이탈리아의 복합에너지 충전소

2. 국내 정책동향

- 온실가스, 미세먼지 등으로 인해 전 세계적인 환경문제와 자동차의 연비규제에 따라 신재생에너지 및 친환경에너지 필요성 대두
- 수소사회를 대비하기 위한 포럼 등 추진 (국회 신재생에너지 포럼)
 - 더불어민주당 이원욱, 전현희 의원을 공동대표로 약 70명으로 구성·운영
 - 신재생, 스마트그리드, 수소경제 분과 등 총 3개 분과로 운영
 - ‘수소법 (가칭)’ 제정을 위한 워킹그룹 운영 중
 - 국내 부생수소 활용 방안, 수소관련법 정비, 수소충전소 보급 문제, 수소 안전기술 개발 등에 대해 세미나, 토론회 등 개최 (2017.3.15, 2017.4.7.)
- 제3차 환경친화적 자동차 개발 및 보급 계획 (2015.12)에 따라 수소연료전지차 및 수소 충전인프라 구축계획을 수립

[표 28] 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (관계부처 합동, 2015. 12)

구 분	'16~'20	'21~'25	'26~'30	'31~'50
수소차 (누계), 단위: 만대	0.9 (0.9)	9.1 (10)	53 (63)	637 (700)
수소충전소 (누계)	70 (80)	130 (210)	310 (520)	980 (1,500)

- 수소융합얼라이언스추진단 창립 (2017.2.23)
 - 수소, 수소충전소, 수소전기차 보급 활성화를 위한 민관협의체
 - 친환경차 보급, 기술개발 및 규제완화, 대국민 홍보 등 추진
 - 추진단의 운영 및 관리는 산업부 자동차항공과에서 담당
- 우리정부는 수소와 연료전지 보급 확대 및 연관 산업 육성을 위해 지역별 수소연료 전지 분야 정책을 확대하여 광주지역은 자동차에너지 관련 연구지원기관 집적을 통한 친환경자동차용 수소융합스테이션, 울산지역은 세계 최대 규모의 울산수소타운

조성을 통한 부생수소 활용 친환경자동차, 충남지역은 현대차 (완성차·부품) 및 관련 기업 집적과 자동차 관련 R&D 지원기관 입주를 통한 수소연료전지 및 자동차부품 산업육성을 위한 정책목표 제시 및 규제프리존 특별법(안)을 제출한 바 있음

○ 규제 프리존 도입을 통한 지역경제 발전방안 (2015.12.16, 부처 합동)

□ 또한, 향후 10년 내에 유럽 주요도시의 현재 수준으로 미세먼지 개선을 위해 총리 주재 관계장관회의에서 「미세먼지 관리 특별대책」을 수립하였으며 주요 내용은 친환경차 보급 확대 (2020년 신차의 30%), 경유차 배기가스 관리 강화, 경유버스 단계적 대체, 석탄발전소 미세먼지 저감, 신산업 육성 등이 포함됨

○ 2020년까지 수소차 1만대, 수소충전소 100기 건설 목표 수립·추진 중 (수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (2015.12)의 목표를 상향

[표 29] 친환경차 및 충전인프라 확대계획 (~2020년)

구 분		현 재	2020 기존목표	2020 확대계획
친환경차	합 계	총 17.4만대 (신차판매 중 2.6%)	총 108만대 (신차판매 중 20%)	총 150만대 (신차판매 중 30%)
	전기차	0.6만대	20만대	25만대
	수소차	0.01만대	0.9만대	1만대
	하이브리드차	16.8만대	87만대	124만대
충전 인프라	합 계	총 347기	총 1,480기	총 3,100기
	전기	337기	1,400기	3,000기
	수소	10개소	80개소	100개소

*「미세먼지 관리 특별대책」(16.6.3, 관계부처 합동)

□ 이러한 정부의 정책은 수소차 및 수소충전소 보급의 정량적 목표를 제시하고 있을 뿐, 핵심 인프라인 수소 공급방안과 수소 충전소의 구축 방법에 대한 상세한 검토 없이 목표가 제시됨

○ 현재 모든 수소 충전소는 고압수소 방식의 충전소로 “수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (2015)”의 2030년 목표인 누적치 임

□ 정부부처별 정책 추진 동향

○ 산업통상자원부

- 2020년 수소차 1만대 보급과 수소충전소 100기 구축 목표 수립 (2013.12, 정부 합동, 제3차 환친차 개발계획 및 2017.7, 제10차 무투회의 시 보급 목표 상향 설정)
- (자동차항공과) ‘수소융합얼라이언스’를 창립 (2017.2.23)하여, 정부·산업·학계의 역량 결집하여 수소산업 육성 추진
- (에너지안전과) ‘수소 융복합 및 패키지형 충전소 특례기준’ 고시(2016.7.7) 및 지역설명회 개최 (2016. 9. 광주)

○ 환경부

- 2013년부터 수소차, 수소충전소 보급 사업 시작
 - 2016년까지 121대의 수소차 보급, 충전소 6개소 설립
 - 2017년 수소차 310대 (누적) 및 충전소 16곳 확충 계획
- 수소차 구매 보조금 지급 (2,750만원, 현대차 FCEV 투싼ix 차량 출고가 8,500만원)
 - 환경부 보조금과 별도로 지자체 보조금 지급 (울산 : 2,750만원, 충남·광주·창원 : 1,000만원)
- 지자체와 협업을 통해 일반인이 수소차를 이용할 수 있는 기회 확대
 - 수소택시 출범 (울산), 수소차 카셰어링 (광주) 추진

○ 국토교통부

- 수소자동차에 대한 인센티브 확대
 - 고속도로 통행료 한시적 할인 (~2020) (2017.2.27, 제11차 무역투자진흥회의)
 - 원활한 인센티브 제공을 위해 전용번호판 도입 (2017.5.1부터 시행)
 - 수소화물차 고속도로 통행료 한시적 할인(~2020) (2017.2.3 여객차운수사업법 개정)
- 도로점용 허가 대상에 포함하여 도로변 수소충전시설 설치 가능 (2016.12. 국토교통 규제 개혁 현장점검회의)
- 환경부와 함께 민간투자를 활용해 수소차, 전기차 충전소를 보유한 복합휴게소 조성 계획 발표(2025년까지 200개소) (2017.2.27 제11차 무역투자진흥회의)
- 수소충전소 거점지역*의 고속도로 휴게소에 2020년까지 최대 20기 설치
 - * 수소생산지역 (여수, 울산, 대산) 및 중점 보급도시 (서울, 광주, 울산, 창원 등)

제 3 절 산업 및 시장 동향

1. 수소생산 및 유통 현황

- 2010년 기준 세계 수소생산량은 연간 5,300만톤²⁸⁾이며, 산업용 유통량만으로도 세계 시장 \$208억 (자체소비량 \$230억 포함 총 \$438억)에 달하고 있음²⁹⁾. 리서치앤마켓³⁰⁾에서는 2014년 9월 보고서에서, 수소생산시장이 청정에너지를 요구하는 수요에 따라 연평균 성장률이 5.9%라는 가정 하에, 2019년에는 1,382억 달러에 이를 것으로 추산

[표 30] 각국의 수소 제조기술

국가	회사명	제조기술
미국	Air Products and Chemicals, Stuart Energy, Shell, Teledyne Energy	액화 및 가스화 설비, 천연가스 기반 수소 제조, 태양열 이용 전기분해 등
캐나다	Stuart Energy, Hydrogenics	수력 이용 전기분해, 천연가스 개질수소 제조
독일	Linde Co., GHW, BP	천연가스 기반 수소 제조 수력, 풍력 전력을 이용한 전기분해
스웨덴	BP, Stuart Energy	수력 전원을 이용한 전기분해
노르웨이	Norsk Hydro	전기분해
아이슬란드	Royal Dutch Shell	지역, 수력을 이용한 전기분해
덴마크	Linde Co.	액화 수소
스페인	BP; IMET	수력 이용 전기분해, 천연가스 개질수소 제조
포르투갈	BP, Arliquido	원유를 사용한 수소 제조
이태리	AEM, SOL	액화수소 방식, 수력을 이용한 수소제조
벨기에	Messer Griesheim, NexBen Fueling	천연가스 기반 액화수소 제조
룩셈부르크	Shell, Air Liquide	가스화 수소
네델란드	IMET, Linde Co.	신재생에너지 기반 전기분해
영국	BP	원유 기반 수소제조
일본	Linde Co., Senju, Honda, Toyota	전기분해, 원유, 가스, 메탄을 개발
중국	British Oxygen	천연가스 기반 수소제조
대만	Ztek Crop	천연가스 기반 수소제조
한국	Air Products Industries, Doojin	가스화 수소
호주	BP	원유, 태양열을 이용한 수소 제조

*Barry D. Solomon: "A global survey of hydrogen energy research, development and policy", Energy policy, 2004.

- 생산 방식은 천연가스 개질 48%이며 부생가스 및 석유화학산업 30%, 석탄 18%, 수전해 4%인 것으로 나타났으며, 2020~ 2030년까지는 부생수소 및 천연가스나 석탄으로부터 가

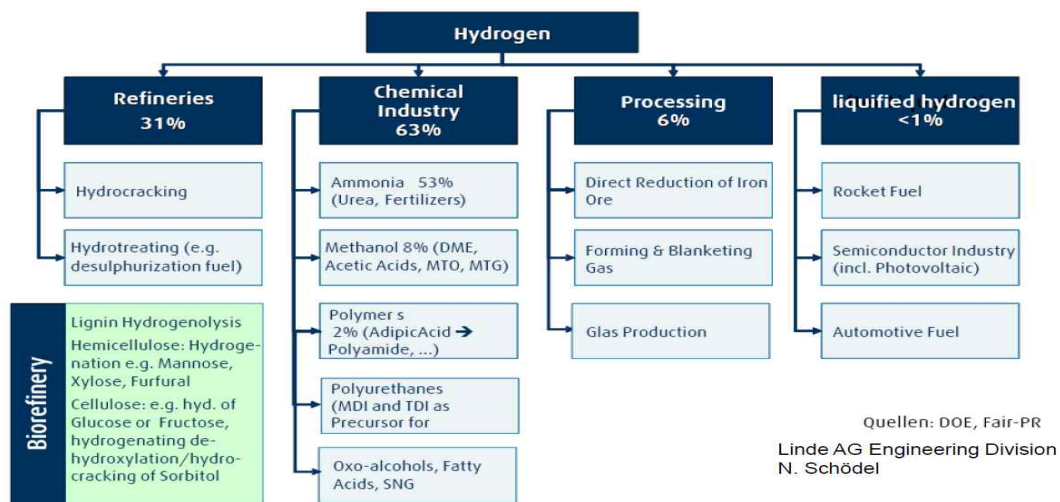
28) <http://www.hypersolar.com/market.php>

29) <http://www.h2journal.com/displaynews>

30) <http://www.researchandmarkets.com/research/7jspbh/hydrogen>

스화 복합발전을 통한 중앙집중식 수소 생산기술이 경쟁력을 가질 것으로 전망

- 2010년 기준 세계 수소액화플랜트 총 규모는 335 ton/day 규모로 전체 수소가스 수요의 0.23% 수준
 - 향후 수송용 연료로서 액화수소의 활용이 활성화 될 경우 액화수소 플랜트의 수요에 급격한 증가 예상³¹⁾
 - 수소액화플랜트 시장은 Air Liquide, Air Products, Linde, Praxair 의 4대 기업 의해 과점 (Linde-Praxair 합병, 2017. 05. 25)
 - 수소액화플랜트 추가건설 세계시장 규모 : 83억 달러/년 (2020년)³²⁾
- 세계 시장에서 수소는 정밀화학 원료, 우주항공 원료, 반도체, 철강, 유리, 식품 등의 산업에서 사용되며 암모니아와 메탄올 등의 제조에 주로 소비함



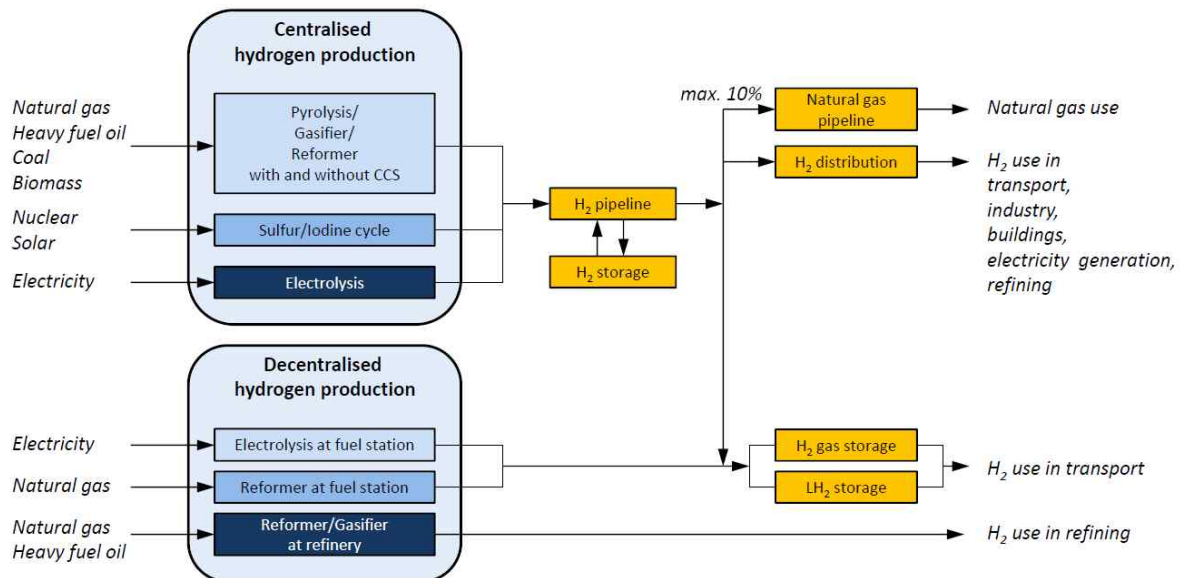
[그림 76] 세계 수소소비 형태 (IEA, 2013)

- 수소차는 수소를 연료로 하기 때문에 수소가격에 따라 소비자의 선택이 달라질 수 있음
 - 수소가격이 높을 경우 수소차의 소비자 부담이 휘발유, 경유에 비해 높아져 시장에서 외면당할 수도 있음
- 하지만 수소가격은 지속적으로 하락될 전망이며, 현재 kg당 약 \$8~\$10에서 2050년 \$3까지 감소될 것으로 판단됨

31) 자료출처 : Commercial hydrogen liquefaction plants worldwide (에너지관리뉴스, 2011. 04)

32) 전 세계 수소 소비량 중 1.4%를 액화수소로 공급 가정, 업계 추정 건설비 110억원/(ton/day) 기준 (추정액)

- 현재 수소차는 1kg당 100km 주행이 가능하여 500km를 주행하는데, 5kg 정도가 소비되며 가격은 약 40,000원 (세전) 수준으로 동일연비일 경우 2050년에는 15,000원 (세전)이면 500km 주행이 가능
- 전 세계 수송용 에너지원 중 가격이 지속적으로 감소할 것으로 판단되는 것은 수소연료가 유일함
- 이러한 이유로 현재 유가하락 추세는 2025년 이후 성장 예정인 수소연료에 영향을 미치지 않을 것으로 여겨짐
- 수소는 다양한 방식으로 생산이 가능하기 때문에 기술개발이 향상될수록 수소가격 저감 가능. 특히, 이송방식에 따라서도 가격저감이 가능



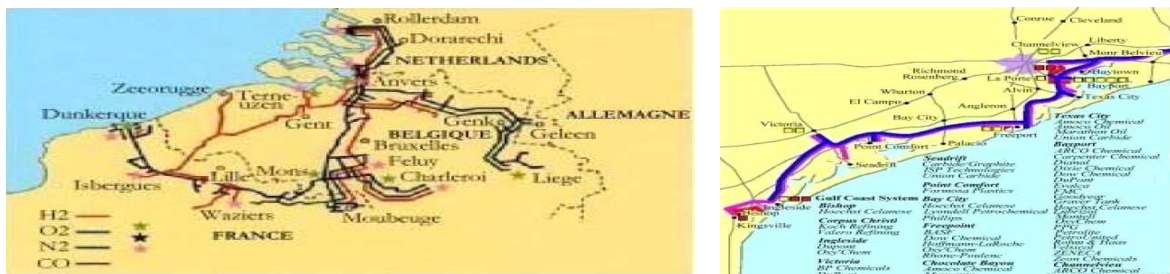
[그림 77] 다양한 수소생산 방식과 이송, 저장 방법

2. 수소 공급 현황

가. 파이프라인 방식 수송시스템

□ 가장 효율적인 공급방법은 파이프라인으로 '05년 기준 북유럽의 경우, 총 1,596km, 미국에서도 1,450km 규모의 파이프라인을 건설하였음

- 독일은 1939년부터 길이 210km (130 miles), 관경 0.25m (10in), 압력 20kg/cm²의 파이라인을 운영 중이며, Air Liquide는 400km (250 miles, 프랑스 북부~벨기에)의 수소배관을 1997년도에 설치해 운영하고 있음



※ 출처 : Kunihiro Takahashi, Transportation of Hydrogen by Pipeline

[그림 78] 수소 파이프라인 설치 현황 (좌측: 유럽, 우측: 미국)

- 파이프라인용 수소배관은 일반적으로 0.25~0.30m (10~12in.) 배관을 사용하며 운전압력은 10~30kg/cm²이고 시간당 310~8,900kg의 수소를 이송함³³⁾
- 파이프라인은 대용량 수송이 가능하며, 우리나라의 석유화학 공단에 적용
 - 그러나, 건설비용이 50만원/m로 고가이며, 일정 거리마다 승압 Station이 필요
 - 북아메리카에서 유럽까지의 운송비용은 kg 당 0.9\$~1.20\$ (압축비용 포함, Hart-1997)

[표 31] 파이프라인 수송방식에 따른 소요비용

Length (km)	Length (mi)	Cost* (\$)	Cost* (\$/km)	Cost* (\$/mi)	Source
78.4	48.7	\$18,000,000	\$237,000	\$370,000	TransCanada Pipeline, Ltd. 1996a
108.5	67.4	\$84,000,000	\$774,000	\$1,250,000	TransCanada Pipeline, Ltd. 1996b
46.9	29.1	\$48,000,000	\$1,000,000	\$1,650,000	TransCanada Pipeline, Ltd. 1996c
731.0	454.0	\$910,000,000	\$1,250,000	\$2,000,000	TransCanada Pipeline, Ltd. 1993
561.0	349.0	\$384,000,000	\$685,000	\$1,100,000	TransCanada Pipeline, Ltd. 1997
40.2	25.0	\$5,300,000	\$132,000	\$212,000	NYSEG 1996a

33) 자료출처 : Cost of Storing and Transporting Hydrogen, National Renewable Energy Lab. 1998

나. 기체수소 방식 운반시스템

- 수소공급기술은 도로수송, 선박을 이용한 수송, 파이프라인 수송기술, 현지생산으로 분류할 수 있으며, 도로수송은 압축수송 (Tube Trailer)과 액화수송 방식으로 분류되고 선박수송은 액체수소를 이용할 수 있으며, LNG 선박기술을 활용할 수 있음
- 국내 수소의 도로 수송은 SPG, ALK, LDK, SDG, 덕양에너지 등이 튜브 트레일러를 이용하여 압축수소를 수송하고 있고, 현재 약 500대의 튜브 트레일러를 운행 중에 있으며, 수소 가격의 약 20~30%를 운송비가 차지하고 있음
 - 기체수소 방식은 운송비 저감을 위하여 500bar TypeⅢ 복합용기 개발이 진행



[그림 79] 압축수소 Tube-trailer (600kg 수송가능)

다. 액체수소 방식 수송시스템

- 2010년 기준 전 세계적으로 30개의 상용급 수소액화 플랜트가 운영 중이며, 총 생산량은 355 TPD (ton per day) 임³⁴⁾
- 액체수소의 경우, 우수한 체적에너지 밀도를 가지기 때문에 우주 발사체 등의 연료로 활용되어, 미국의 경우 수출 금지 품목으로 분류되어 관리되고 있음
- 국내의 경우, 대용량 수소액화 플랜트가 전무하며, 우주 발사체 개발 등의 국가 전략적 관점에서 상용급 수소액화 플랜트를 포함한 액체수소 기반 인프라는 반드시 확보해야할 기술임

34) Songwut Krasae-in, Jacob H. Stang, Petter Neksa, "Development of large-scale hydrogen liquefaction processes from 1898 to 2009", international Journal of Hydrogen Energy, Vol.35, pp.4524 - 4533.

[표 32] 전세계 수소액화 플랜트 설치·운영 현황 (2010년 기준)

Continent/ Country	Location	Operated by	Capacity (TPD)	Commission	Operation
America					
Canada	Sarnia	Air Products	30	1982	○
Canada	Montreal	Air Liquide Canada Inc.	10	1986	○
Canada	Becancour	Air Liquide	12	1988	○
Canada	Magog, Quebec	BOC	15	1989	○
Canada	Montreal	BOC	14	1990	○
French Guyane	Kourou	Air Liquide	5	1990	○
USA	Painsville	Air Products	3	1957	×
USA	West palm Beach	Air Products	3.2	1957	×
USA	West palm Beach	Air Products	27	1959	×
USA	Mississippi	Air Products	32.7	1960	×
USA	Ontario	Praxair	20	1962	○
USA	Sacramento	Union Carbide,Linde Div.	54	1964	×
USA	New Orleans	Air Products	34	1977	○
USA	New Orleans	Air Products	34	1978	○
USA	Niagara Falls	Praxair	18	1981	○
USA	Sacramento	Air Products	6	1986	○
USA	Niagara falls	Praxair	18	1989	○
USA	Pace	Air Products	30	1994	○
USA	McIntosh	Praxair	24	1995	○
USA	East Chicago, In	Praxair	30	1997	○
Subtotal			300		
Europe					
France	Lille	Air Liquide	10	1987	○
Germany	Ingolstadt	Linde	4.4	1997	○
Germany	Leuna	Linde	5	2008	○
Netherlands	Rosenburg	Air Products	5	1987	○
Subtotal			24.4		
Asia					
China	Beijing	CALT	0.6	1995	○
India	Mahendragiri	ISRO	0.3	1992	○
India	India	Asiatic Oxygen	1.2	-	○
India	Saggonda	Andhra Sugars	1.2	2004	○
Japan	Amagasaki	Iwatani	1.2	1978	×
Japan	Tashiro	MHI	0.6	1984	×
Japan	Akita Prefecture	Tashiro	0.7	1985	○
Japan	Oita	Pacific Hydrogen	1.4	1986	○
Japan	Tane-Ga-Shima	Japan Liquid Hydrogen	1.4	1986	○
Japan	Minamitane	Japan Liquid Hydrogen	2.2	1987	○
Japan	Kimitsu	Air Products	0.3	2003	○
Japan	Osaka	Iwatani (Hydro Edge)	11.3	2006	○
Japan	Tokyo	Iwatani, built by Linde	10	2008	○
Subtotal			30.6		
Worldwide			355		

- 독일의 경우, 수소자동차용 9.4 ton/day 용량의 수소액화플랜트를 운용 중이며, 선박 등 다양한 수송 분야에서 액체수소 연료의 적용을 확대 중



액체수소 스테이션



수소액화플랜트



모듈러 수소액화플랜트



액화수소저장설비

[그림 80] 독일의 수소액화 플랜트



Sakai, Osaka
(3,000L/h×2)



Syunan, Yamaguchi
(3,000L/h×1)



Ichihara, Chiba
(3,000L/h×1)

[그림 81] 수소액화 플랜트 (일본)

- 일본의 경우, 반도체 및 태양전지 등 산업용 액체수소 수요의 지속적으로 증대로 수소액화플랜트 건설

○ Iwatani : 3개소에서 5ton/day급 4기 운영 중, 2기 (5ton/day급) 추가 구축 예정

○ Kawasaki 중공업 : 일본 최초 독자 5ton/day급 수소액화플랜트 건설, 2016년 시운전 중

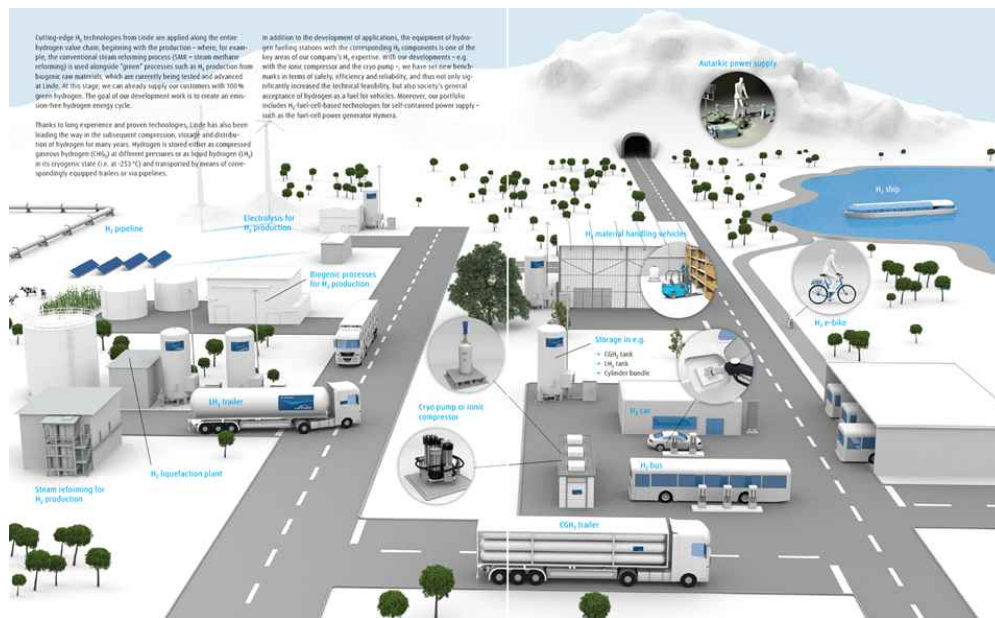
- 스위스 Pfungen에 본사를 두고 있는 Linde 그룹은 미래 수소사회에 대하여 전주기 Value Chain을 통해 비전을 제시하고 있음 (<http://www.the-linde-group.com>)

○ 기존의 SMR과 같은 증기개질 공정뿐만 아니라 Electrolysis, 바이오 원료 등을 이용하여 환경 친화적인 방법으로 기체 수소를 생산함

○ 수소압축 및 액화 등의 축적된 기술과 경험을 바탕으로 다양한 형태 (CGH₂, LH₂)로 저장

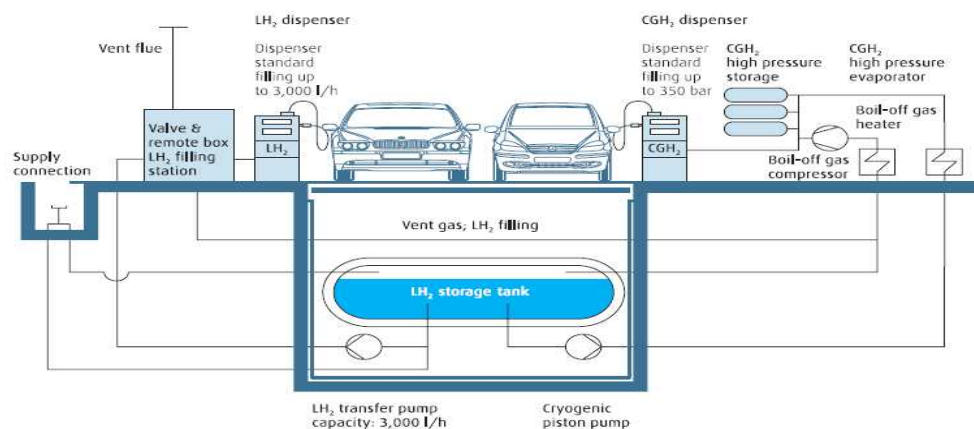
하고 CGH₂ trailer, LH₂ trailer, H₂ pipeline 등을 통하여 필요한 곳으로 수송

- Ionic compressor와 Cryogenic pump 등을 조합한 혁신적인 형태의 액체수소 및 수소가스의 저장 및 분배시스템을 개발을 통해 수소융합스테이션에 적용하여 수소연료 자동차에 공급
- 또한, 연료전지 발전기술과의 접목으로 통하여 전력 공급도 계획하고 있음



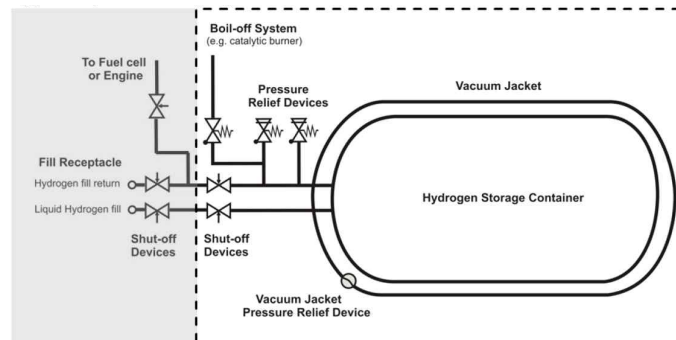
[그림 82] Entire hydrogen value chain (Linde group)

- Linde의 경우 액체수소 충전소의 수용성 제고를 위하여 지하 매물형 액체수소충전시스템을 아래와 같이 제안하고 있음



[그림 83] GH₂ 와 LH₂ 동시 충전이 가능한 지하 저장형 액체수소충전소 개념도

- 극저온 액체수소는 기체수소 보다 약 10배 (3.5톤)의 수송용량을 가지고 있으나 Boil-off 방지를 위한 이중 단열구조 등 난이도 높은 기술개발이 필요
- 아프리카에서 유럽까지 액화수소의 운반비용은 1.80\$~2.10\$로 예상되며 탱크로리에서 boil-off되는 양은 하루 0.3%~0.6%로 알려져 있음³⁵⁾

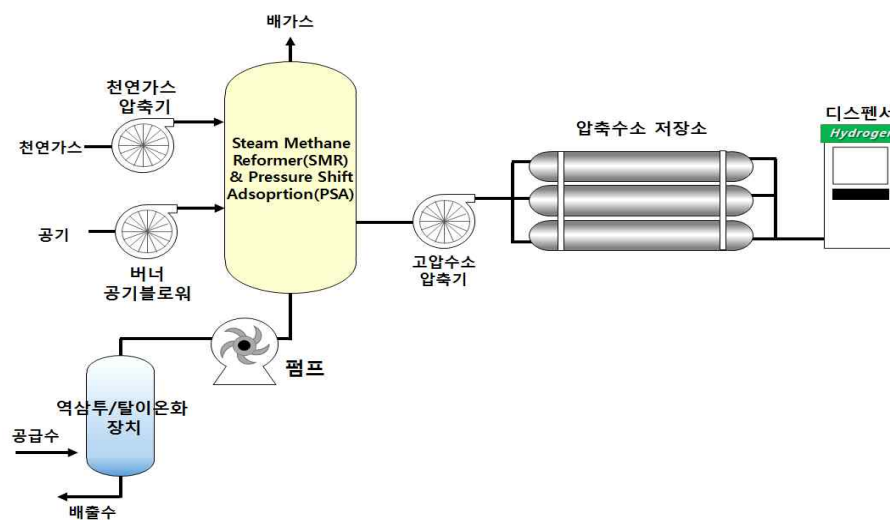


[그림 84] 액체수소저장시스템 개념도

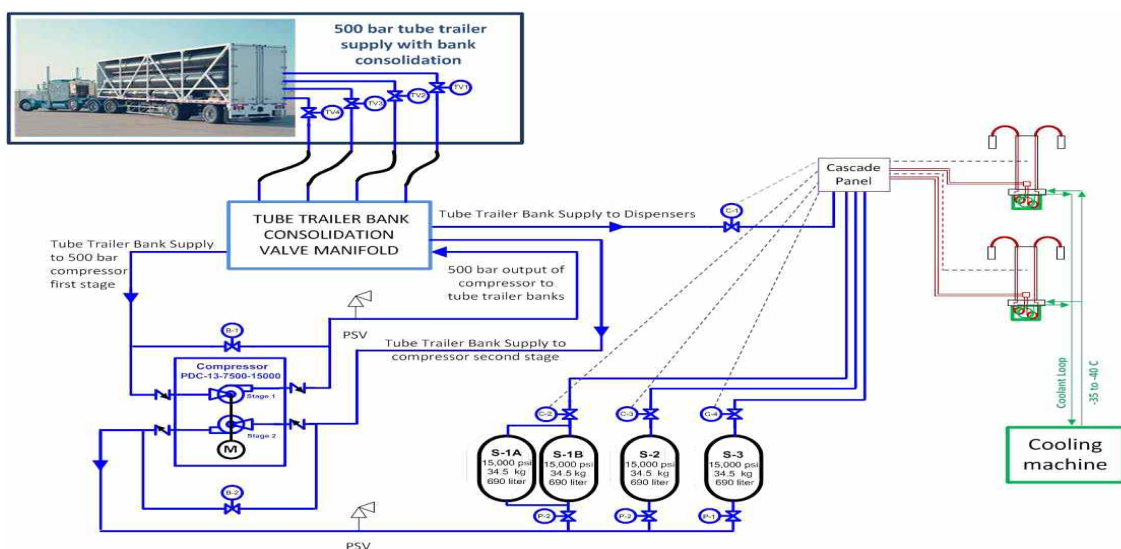
35) 참고 : Encyclopedia of Chemical Technology 1991; Timmerhaus and Flynn 1989

3. 수소의 충전

- ☐ 수소충전소는 LPG, CNG, 휘발유를 충전소에서 개질하여 발생된 수소를 이용하는 On-site 방식과 석유화학공단 등에서 생산된 수소를 튜브트레일러나, 파이프라인을 통해 공급받아 이용하는 Off-site 방식³⁶⁾으로 구성됨
- ☐ 수소충전시스템 운전의 경제성 확보를 위하여 다양한 설치개념을 도입하여 설계 및 건설 중

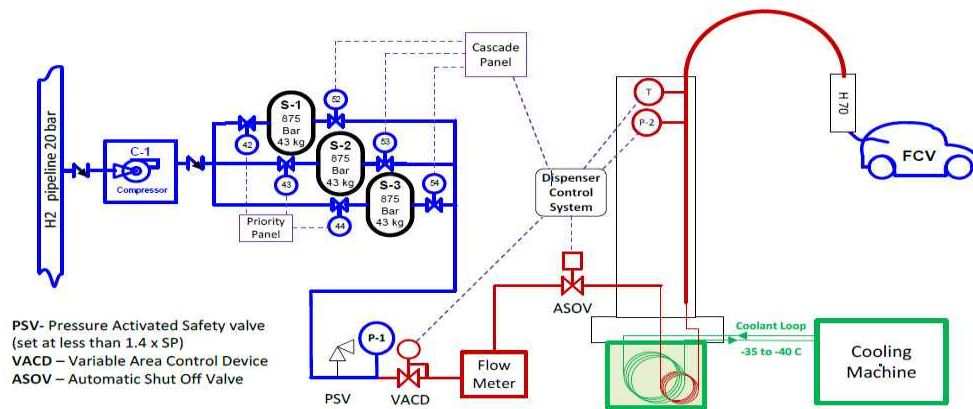


[그림 85] On-site 방식 수소충전소 개념도(CNG 개질방식)



[그림 86] Off-site 방식 수소충전소 개념도 (튜브트레일러 수송)

36) 자료출처 : G. Parks et al., Hydrogen Station Compression, Storage, and Dispensing Technical Status and Costs, NREL, 2014



[그림 87] Off-site 방식 수소충전소 개념도 (파이프라인 이용)

가. 수소충전소

- 수소충전소 구조는 수소를 공급하는 공급장치, 저압의 수소를 700bar로 압축하는 압축장치, 고압의 수소를 저장하는 저장장치, 고압의 수소를 수소차에 충전하는 충전장치 및 각 장치들을 연결하는 배관·밸브 및 센서 등이 있는 운전장치로 구성됨
- 수소공급장치 : 카트리지 또는 개질기, 수전해 통해 수소를 공급하는 장치
- 압축장치 : 다이어프램 또는 부스터를 이용하여 수소를 압축하는 장치
- 저장장치 : 압축된 수소를 대용량 고압용기에 저장하는 장치
- 충전장치 : 저장된 수소를 디스펜서를 통해 FCEV에 충전하는 장치
- 운전장치 : 각 장치를 연결하는 고압밸브/배관, 센서 및 통합제어 장치

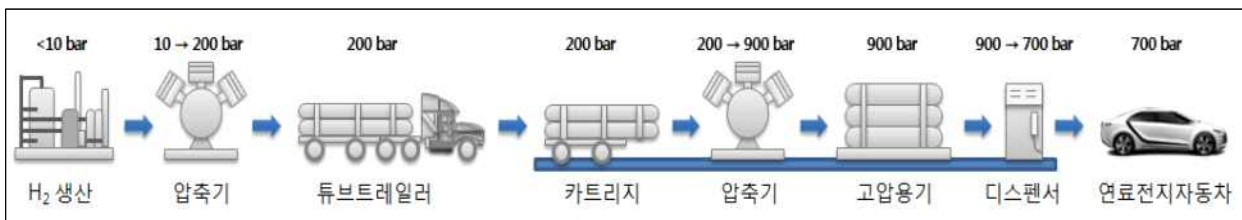


[그림 88] 수소충전소의 구조 (카트리지 방식)

- 수소 공급장치는 튜브트레일러, 수소를 LPG/CNG 등에서 개질하는 개질장치, 물을 전기분해하여 수소를 생산하는 수전해장치 등이 있음
- 수소충전소의 수소공급 방식은 형태에 따라 중앙공급방식(Off-site)과 분산공급방식(On-site)으로 구분됨
 - On-site, Off-site 구분 : 통신회선이 연결된 경우 On-line이라고 함. 즉, 연료인 수소와 충전소가 연결되어 있으면 On-site 수소충전소 (개질, 수전해)라고 함
- 중앙공급방식은 수소 대량생산지역에서 수소충전소까지 파이프라인 또는 트레일러 (고압, 액화)로 이송하여 사용하는 형태임
 - 정유공장, 석유화학공장, 제철공장, 부생수소가 생성되는 지역(울산, 여수)

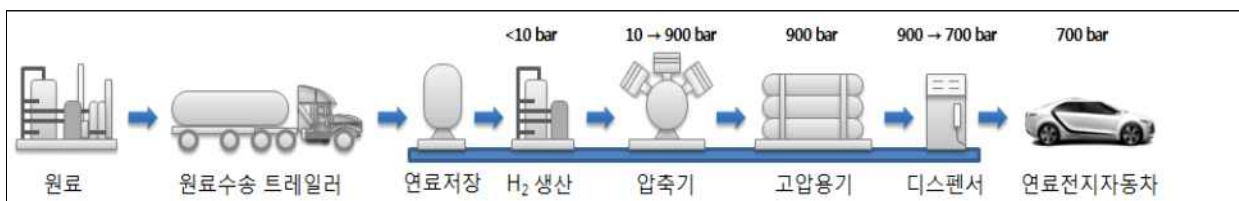


[그림 89] 생산지역에서 수소충전소까지 파이프라인으로 수소를 이송하는 방식

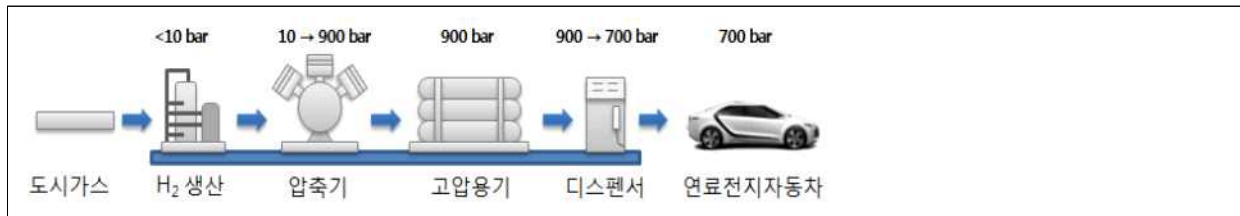


[그림 90] 생산지역에서 수소충전소까지 튜브트레일러로 수소를 이송하는 방식

- 분산공급방식은 수소충전소에서 CNG, LPG 개질 또는 물을 수전해하여 수소를 생산하여 사용하는 형태임



[그림 91] 수소충전소에서 CNG, LPG 등을 개질하여 수소를 생산하는 방식



[그림 92] 수소충전소에서 도시가스 배관을 통해 수소를 생산하는 방식



[그림 93] 수소충전소에서 물을 전기분해(수전해)하여 수소를 생산하는 방식

□ 전 세계 수소충전소는 2014년 기준으로 미국(110), 유럽(127), 일본(35), 한국(14) 등 321개가 설치·운영되어 이 중 208개가 운영되고 있는 것으로 추정됨³⁷⁾



[그림 94] 전 세계 수소충전소 현황

37) 자료출처 : 수소산업·연료전지세미나(2015), www.netinform.net, Hydrogen for the Mobility, 2014

[표 33] 각국의 수소충전소 구축 현황 (단위 : 개소)

지역	국가	설치	운영·설치 중	운영 중지
북미	미국	160	118	42
	캐나다	17	6	11
남미	브라질	2	1	1
	아르헨티나	1	1	0
유럽	독일	50	36	14
	영국	18	14	4
	노르웨이	13	6	7
	프랑스	7	6	1
	이탈리아	7	3	4
	스페인	6	3	3
	네덜란드	3	2	1
	덴마크	3	3	0
	기타	20	10	10
아시아	일본	100	91	9
	한국	17	13	4
	중국	5	2	3
	인도	4	4	0
	싱가폴	2	0	2
	대만	2	2	0
오세아니아	호주	1	0	1
합계		438	321	117

- ☐ 전 세계 대표적인 수소충전소 제조업체는 린데 (독일), 에어프로덕트 (미국), 에어리퀴드 (프랑스) 등이 있음
- ☐ 수소차 업계 보다는 수소 및 수소충전소 업체가 보다 많은 홍보와 자사제품 판매를 위한 노력을 진행 중임

[표 34] 해외 주요 수소충전소 설비업체의 수출 현황

회사(국가)	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12
Linde (독일)	일본	일본, 덴마크 네덜란드, 포르투갈 스페인				중국 이태리	벨기에	노르웨이			호주
Air Product (미국)	독일		싱가포르	인도	네덜란드 중국		영국		독일 영국 중국	영국	영국
Air Liquide (프랑스)	일본	룩셈부르크, 스페인		싱가포르		캐나다			캐나다		독일
Hydrogenics (캐나다)						한국 브라질					독일 벨기에 터키
H2 Logic (덴마크)										노르웨이 스웨덴	핀란드
Shell (네덜란드)	일본	일본, 아이슬란드 룩셈부르크				중국				독일	독일
BP (영국)		독일, 포르투갈 스페인, 중국	오스트리아 싱가포르	중국 싱가포르	중국						

□ (린데) 세계 수소충전소 시장점유율 1위로 미국, 일본, 유럽 등에 약 90여개의 수소충전소를 구축하였으며 독일 수소충전소 시장의 70%를 점유하고 있음

[표 35] Linde 튜브트레일러 수소충전소 사양

명칭	공급 압력(bar)	공급용량(kg/day)	충전시간(분)	기타
주문생산	350, 700	5~1000	3	

□ (에어프로덕트) 20여개 국가의 수소충전소 구축에 참여하고 있으며 미국 내 구축하는 수소충전소 시장의 대부분을 차지하고 있음

[표 36] Air Products 튜브트레일러 수소충전소 사양

명칭	공급 압력(bar)	공급용량(kg/day)	충전시간(분)	기타
Series 100	350	2	3	-
Series 200	350	20	3	-
주문생산	350, 700	5~1000	3	

- (하이드로제닉스) 수전해 수소충전소 전문기업으로 수소충전소를 모듈형태로 설계하여 설치용량에 따라 증설할 수 있는 형태로 판매 중임

[표 37] Hydrogenics 수전해 수소충전소 사양

명칭	공급 압력(bar)	공급용량(kg/day)	충전시간(분)	기타
HySTAT 10	350 or 700	21	3~5	2모듈 증설가능
HySTAT 15	350 or 700	32	3~5	2모듈 증설가능
HySTAT 30	350 or 700	65	3~5	2모듈 증설가능
HySTAT 45	350 or 700	97	3~5	2모듈 증설가능
HySTAT 60	350 or 700	130	3~5	2모듈 증설가능

- (에어리퀴드) 2012년 전 세계 최초로 상업용 수소충전소를 독일에 구축하였으며 2014년 기준으로 전 세계 60여개의 수소충전소를 구축

- 2023년까지 독일에 설치되는 400개의 수소충전소 중 약 100개의 수소충전소를 구축 계획
- 2015~2016년에 구축되는 일본의 수소충전소 구축에도 참여 중

[표 38] Air liquide 수소충전소 사양

명칭	공급 압력(bar)	공급용량(kg/day)	충전시간(분)	기타
F20	350	20~60	3@1kg	튜브트레일러
F100	350	100	3@1kg	
F200	350	200	3@1kg	
B200	350	200	20@30~40kg	튜브트레일러
C50_B	700	50	6@4kg	튜브트레일러
C50_A	700	50	3@4kg	튜브트레일러
C100_A	700	100	3@5~6kg	튜브트레일러
C200_A	700	200	3@5~6kg	튜브트레일러
HGM 2000	700	110	3	개질(NG)
HGM 3000	700	170	3	개질(NG)
HGM 10000	700	570	3	개질(NG)

□ (H2 Logic) 2011년 700bar용 이동식 수소충전소를 최초로 설계하였으며 유럽 내 20개소를 수소충전소를 구축하여 운영 중임

○ 이동식 충전소로 수소차가 운영되는 곳에 설치하고, 다른 곳으로 이전이 가능

[표 39] H2 Logic 튜브트레일러 수소충전소 사양

명칭	공급 압력(bar)	공급용량(kg/day)	충전시간(분)	기타
H2Station® CAR-100	700	50~100	3	이동설치 가능



[그림 95] H2 Logic 이동식 수소충전소

□ 국외 수소 충전소 등 주요 제조사 현황

○ 다국적 기업인 스와질락 등 51개 기업 (부품별 중복 포함)

[표 40] 수소 장비/자재 리스트(국내외 기업)

Level 1	Level 2	기업명	비 고
인입스테이션	인입스테이션	Sumitomo, Swagelok, Haskel(BuTech), Takei	4개사
압축패키지	압축기 본체	Hofer, PDC Energy, Linde	3개사
	압축패키지 Gas자재	Swagelok, Haskel(BuTech), EMERSON(TESCOM), WIKA, Foxboro, EMERSON(Rosemount), Takei, United electric controls, Parker, EMERSON(ASCO), Sumitomo, Metrix Instrument co.	12개사
Storage tank	Storage tank	FIBA Tech	1개사
Priority panel	Priority panel	Swagelok, Haskel(BuTech), EMERSON(TESCOM), Foxboro, EMERSON(Rosemount), WIKA, Parker, EMERSON(ASCO)	8개사
냉동시스템	냉동시스템	Mydax, Foxboro, EMERSON(Rosemount), WIKA, Swagelok, Haskel(BuTech), Haskel(BuTech)	7개사
Inter-cooler	Inter-cooler	Linde	1개사
충전기	충전기 외함	Linde	1개사
	충전기 전기	Allen-Bradley(lockwell), Siemens	2개사
	충전기 자재	Swagelok, Haskel(BuTech), EMERSON(TESCOM), Foxboro, EMERSON(Rosemount), WIKA, Takei, Parker, EMERSON(ASCO), Sumitomo, Weg, Rheonics	12개사
소 계(중복 포함)			51개사

□ 각국의 수소충전소 개발 및 실증 현황

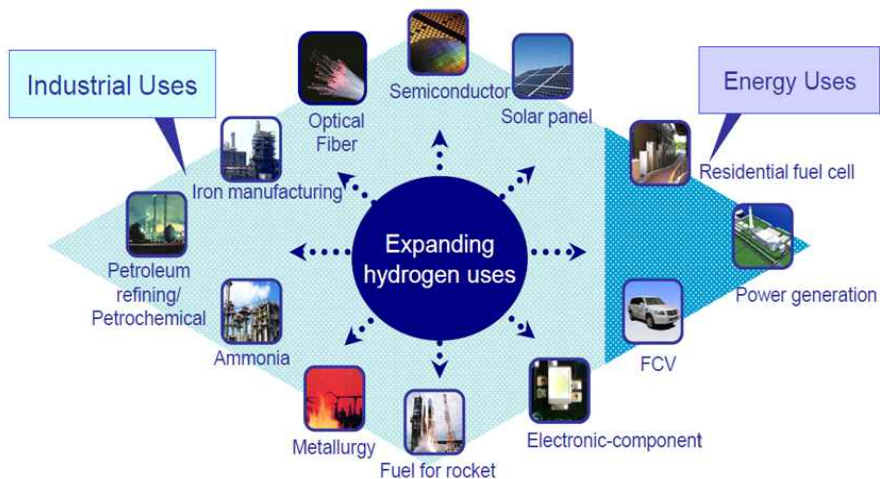
- (미국) 최근 캘리포니아 주정부가 인프라 보급에 적극적으로 나서면서 세계 최대 수소연료전지차 시장으로서의 성장 가능성이 가장 높음
 - 2013년 캘리포니아 주정부가 수소충전소 투자를 법 (AB8)으로 명문화 미에너지성 (DOE) 과 민관공동단체인 캘리포니아 파트너십 (CaFCP)을 중심으로 수소에너지 개발법 제정·실증 함
 - 주정부는 ‘시장에 의한 성장’을 지향하며 수소충전소의 비즈니스 모델을 섬세하게 설계하고 지원 (CaFCP, 2012년~2016년, 약 27억 달러 투자 → 2018년 누적 100기 구축 목표)

- (독일) 2023년까지 400개의 수소충전소 설치 프로젝트 추진 (2013년)
 - 고속도로 90km마다 수소충전소 설치 → 2015년(5천대, 100개소), 2020년(15만대, 400개소), 2030년(180만대/1,000개소)
- (영국) 2030년까지의 수소차 (160만대), 수소충전소 (1,150개) 로드맵 수립 (수소생산 50% 수전해, 50% NG개질). 2013년 “UK H₂ Mobility 프로젝트” 발표
- (일본) 수소차 상용화에 대비하여 수소충전소 구축에 집중, 민간단체와 협력하여 기술개발과 실증사업을 통한 규제 선진화를 추진하였고 경제산업성 산하의 독립기구인 NEDO를 중심으로 기업, 사업자단체, 지자체, 대학 등이 연계하여 추진 함. 3단계 실증사업을 통해 제도정비, 국산화, 국민 공감대 형성 후 사업화를 추진 중임 (도쿄, 오사카, 나고야, 후쿠오카 4개 대도시를 거점으로 누적 100기 건설 계획)
 - 일본의 수소충전소 설치 관련 기준으로는 「고압가스보안법」, 「소방법」, 「건축기준법」 등이 있으며, 최근 수소충전소의 보급 활성화를 위하여 관련 규정의 재검토 및 개정을 추진하고 있음
 - 일본은 2005년 규제 개선을 통하여 35MPa 수소충전소의 도심 설치가 가능해졌으며, 화기 시설과의 거리도 기존 8m에서 6m로 단축하였음
 - 2009년부터는 70MPa 수소충전소 검토가 이루어져 2012년 도심 건설이 가능토록 하였으며, 소방법 개정으로 2012년에는 휘발유와 수소 디스펜서의 병설을 허용하였음

4. 수소의 사용

□ 수소의 사용처

- 천연가스, 원유, 기타 (석탄과 물 등)등을 이용하여 생산된 수소는 약 50%가 석유화학공장의 암모니아 합성에 사용되고, 약 30%는 원유정제에 이용되고 있으며 나머지 20%가 반도체, 태양전지 생산, 폴리실리콘, 연료전지발전, 수소차 등에 사용

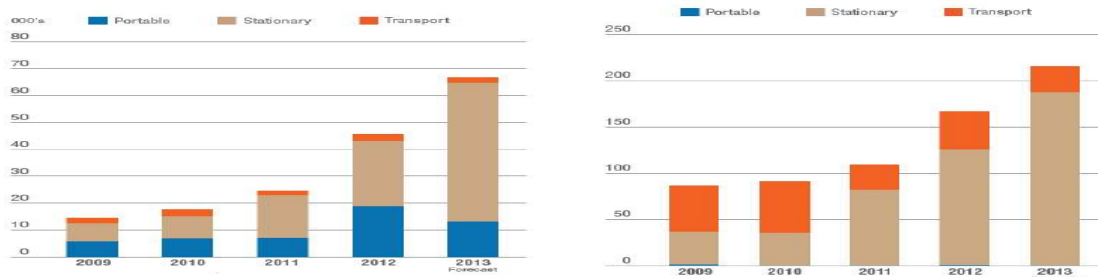


[그림 96] 수소의 사용처 개념도 (출처: 이와타니 브로슈어)

가. 건물용 연료전지

- 전 세계 연료전지 시장은 최근 5년간 연평균 약 36%의 빠른 성장세를 보이고 있으며 용도별로는 고정형, 지역별로는 아시아 지역이 연평균 40%수준의 시장 확대를 주도

- 2012년 총 45,700대, 2013년 상반기 67,000대³⁸⁾



[그림 97] 수소연료전지 용도별 보급량 및 보급용량

38) Fuel Cell Today Industry Review 2013

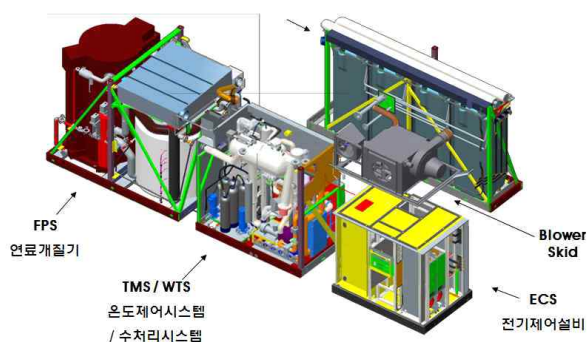
- 국내 건물용 연료전지는 ‘가정용 연료전지 모니터링 사업’으로 총 210기, 그린홈 보급 사업 및 신·재생에너지 시범보급 사업 (2010~2013)으로 약 1,200기가 보급 운전 중³⁹⁾

항목	두산퓨얼셀 (전 FCP)		S퓨얼셀 (전 GS 퓨얼셀)		효성	현대하이스코
시스템						
출력	1kW	5~10kW	1kW	5kW	1kW	1kW
발전 효율 (LHV)	35.8%	35	36.4%	33	34%	35.7%
종합 효율	86.6%	—	84.1%	—	78%	81.1%

[그림 98] 국내 건물용 연료전지 시스템 및 성능

나. 연료전지 발전소

- 현재 국내 연료전지 발전소는 21개소가 운영 중이며, 총 시설용량은 약 121MW 임
- 서울시의 경우 발전소 2개소 (4,800kW) 포함 총 186개소의 발전시스템의 운영으로 5,201kW의 전력을 생산 중⁴⁰⁾



[그림 99] 연료전지 발전소 개념도 및 설치사례

39) 출처: 2014 신재생에너지 백서

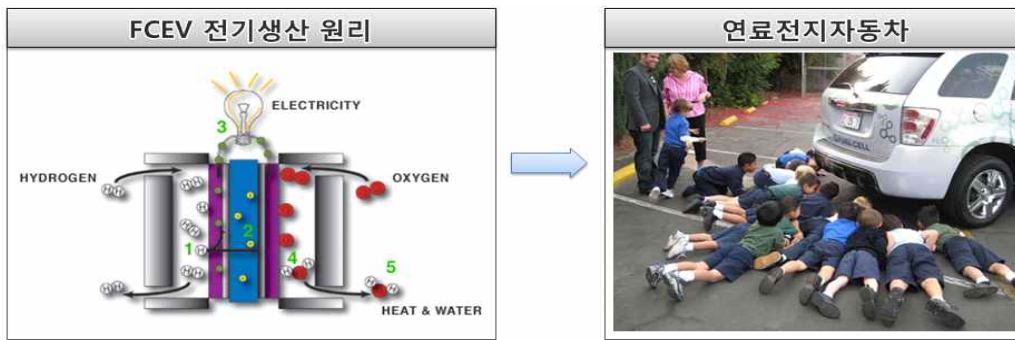
40) 출처 : 서울시

[표 41] 연료전지발전소 보급현황

순번	가동일	설 치 장 소	용 량
1	'06.11, '13.4	남동발전(경기분당)	5MW
2	'08.09	포스코파워(경북포항)	2.4MW
3	'08.09	KS홀딩스(전북전주)	2.4MW
4	'08.09	나투라파워(전북군산)	2.4MW
5	'08.09	중부발전(충남보령)	300MW
6	'09.05	SH공사(서울상계)	2.4MW
7	'09.10	MPC울촌파워(전남여수)	4.8MW
8	'09.10	GS EPS(충남당진)	2.4MW
9	'09.10	동서발전(경기일산)	2.4MW
10	'09.11	포스코파워(인천)	2.4MW
11	'10.05	백산건설(부산하수처리장)	1.2MW
12	'10.08	안양 GS파워	4.8MW
13	'10.09	SH공사(서울상암)	2.4MW
14	'11.06	TCS1(대구성서공단)	11.2MW
15	'11.06	동서발전(경기일산)	2.8MW
16	'11.10	코발트스카이(부산)	5.6MW
17	'12.02	MPC울촌파워(전남여수)	5.6MW
18	'12.02	서울시(건물용, 서북병원)	100kW
19	'12.02	서울시(건물용, 어린이대공원)	100kW
20	'13.12	경기그린에너지(경기 화성)	60MW
21	'14.12	제2롯데월드(서울)	800kW

다. 수소연료전지차

- 수소연료전지차는 수소와 산소의 전기화학반응으로 발생하는 전기로 모터를 구동하는 차를 말함. 수소차는 수소와 공기 중 산소가 반응하여 물을 생성하기 때문에 CO₂ 등의 배출가스를 배출하지 않는 무공해자동차임 (ZEV, Zero emission Vehicle)임. 수소차에 사용되는 연료전지는 운전온도가 저온이며, 출력밀도 및 시동특성이 우수한 고분자 전해질형 연료전지 (PEMFC 또는 PEFC)임
- 전기발생 원리는 수소측 (Anode)에서는 백금촉매에 의해 수소분자가 전자와 수소이온으로 분리되고, 수소이온은 전해질 막을 통해 공기측 (Cathode)로 이동, 수소측에서 생성된 전자가 외부도선을 통해 전달되어 공기측에서 다시 수소이온과 전자 및 산소가 반응하여 물이 발생하며, 이때 전자의 흐름에 의해 전기가 발생하는 형식임



[그림 100] 수소차 전기생성 원리

- 수소차는 FCEV (Fuel cell electric vehicle), FCV (Fuel cell vehicle) 등으로 불리며 연료인 수소를 저장하는 수소저장시스템, 전기를 발생시키는 연료전지 스택 및 스택에 공기나 수소를 공급하고 스택의 온도를 조절하는 운전장치, 스택에서 생산된 전기를 변화시켜주는 전력변환장치 등으로 구성됨
- 연료전지 스택만으로 차량을 운전하기도 하지만, 경우에 따라서는 전지 또는 슈퍼 커패시터와 같은 보조의 에너지 저장장치를 설치함으로써 시스템의 부하추종 성능을 높여줌. 현재는 보조전원을 사용하는 시스템이 수소차에서는 보편화되어 있음



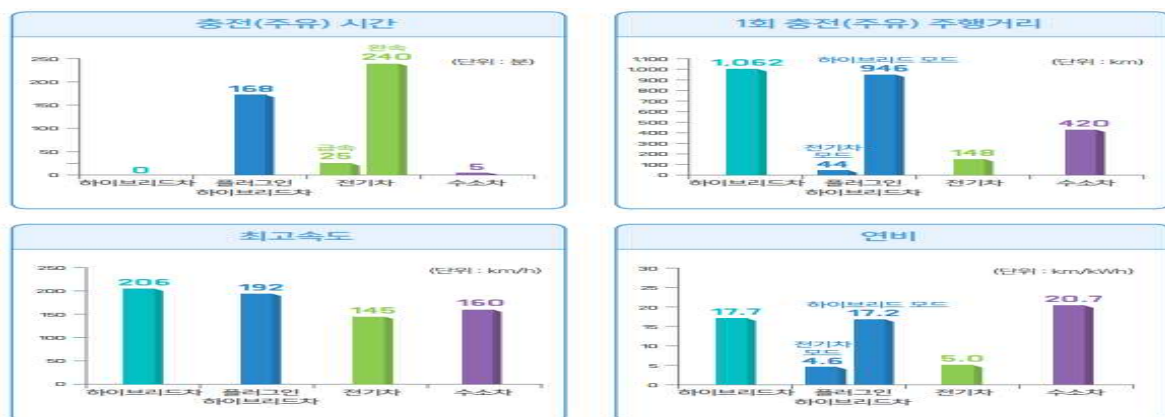
[그림 101] 수소차의 주요구성부품

- 대부분의 수소차 주동력원은 연료전지이지만 전기충전이 가능한 플러그인 형태의 수소차에서는 배터리를 차량의 주 동력원으로 사용하고 연료전지는 배터리를 충전하거나 보조해주는 역할로 사용하기도 함. 이 경우에는 연료전지를 소형화할 수 있으며 연료전지의 부하추종 부담이 줄어 내구성이 향상될 수 있다는 장점이 있음
- 수소차 구동원리는 배터리 용량이 큰 플러그인 하이브리드차(이하 플러그인차)와 유사함.

플러그인차의 배터리와 발전기 (Generator)는 수소차의 스택과 배터리에 해당함. 하지만 수소차의 배터리는 스택에서 전기를 공급하는 것이 플러그인차와 다른 형태임

□ 배터리 전기차 및 수소 전기차의 특징

- 전기차는 가격이 수소차에 비해 낮고, 구조가 간단하여 쉽게 제작이 가능하여 주로 단거리 차량으로 보급될 전망
 - 수소전기차보다 충전시간이 긴 단점이 있으며, 중·대형차에 대한 적용이 어려움 (대용량 배터리 적용 시 충전시간이 길어지며, 배터리 무게로 인한 연비가 떨어짐)
- 수소차는 가격이 전기차에 비해 높으나, 충전시간이 짧고 (5분이내), 1회 충전 주행거리가 긴 장점이 있어 중·대형차로 보급될 전망
 - 고압수소 저장에 따른 안전성 확보가 필요하며, 인프라 구축비용이 높음



[그림 102] 친환경차 비교 (환경부, 2015)

(1) 수소전기차 양산현황 및 계획

□ 수소전기차 양산현황

- (현대) 2018년 초 2세대 수소전기차 양산 시작 (NEXO)
- (토요타) 최근 토요타는 '20년 연간 3만대 이상을 판매할 계획을 발표하였으며 '18년 2세대 수소차 출시 준비
 - 일본 내 약 1,600여대 판매하였으며, 미국에는 1,600여대 판매
 - 혼다·닛산을 포함하여 자국 내 보급대수는 더 많을 것으로 전망
 - 올해 수소전기차 양산라인을 3,000대/년 규모로 증설 중
 - '17~'19년 한국에 3,000대 판매 목표

- 20년에 출시예정인 아우디, BMW, 렉서스 등은 도요타, 혼다, 현대차와 가격경쟁이 어려운 대형차 개발 중

[표 42] 주요 제조사 수소전기차 제원

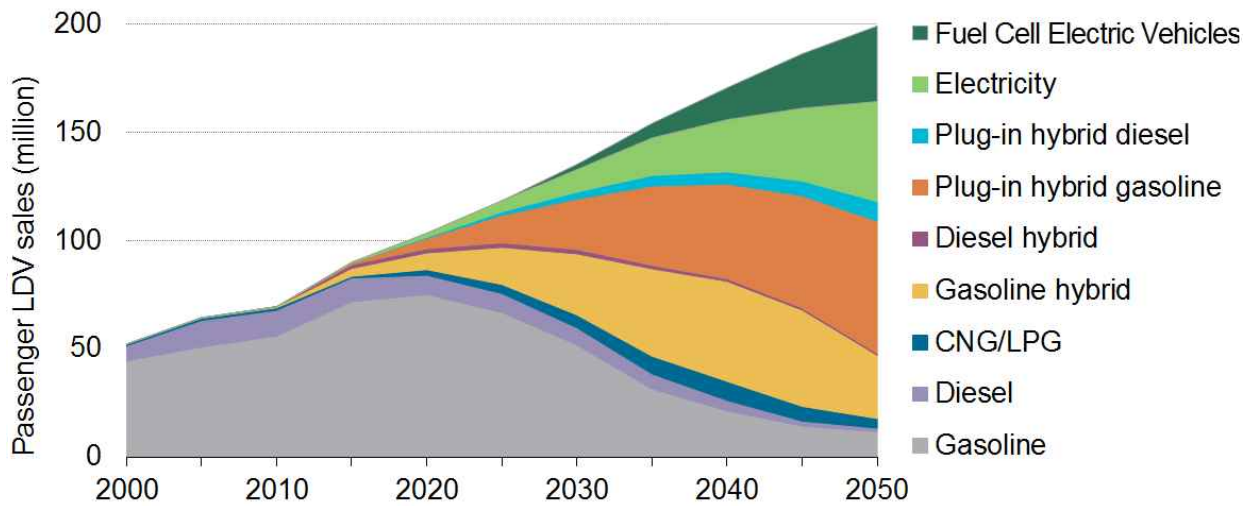
회사명 (차량명)			현대자동차 (Tucson ix35)	Toyota (Mirai)	혼다 (Equinox FCEV)
차량 그림					
성능지표		단위			
1	스택출력	kW	100	114	100
2	모터출력	kW	100	113	130
3	최고속도	km/hr	160	160	~ 160
4	1회 충전 주행거리	km	594(NEDC 기준) (국내기준 415)	650 (국내기준 455)	700 (국내기준 490)
5	수소저장	kg@bar	5.6@700	5.7@700	~ 6@700
6	출시년도	-	2013년	2014년	2017년

라. 전세계 수소차 시장 전망

(1) 2012년 (국제에너지기구, IEA)

□ IEA는 2009년에 전망한 “Blue Map Scenario” 를 수정하여 발표하였으며 수소차 시장을 당초 30%에서 약18%까지 감소한 규모로 전망하였음

- IEA의 2009년, 2012년 “Blue Map Scenario” 의 내용 비교 시 전력기반차 (HEV, EV, PHEV, FCEV)에 대한 시장전망이 변경되었으며, 수소차의 초기시장을 2015년에서 2020년으로 전망하였음



[그림 103] IEA “Blue Map Scenario”의 자동차 세계시장 전망 (2012)

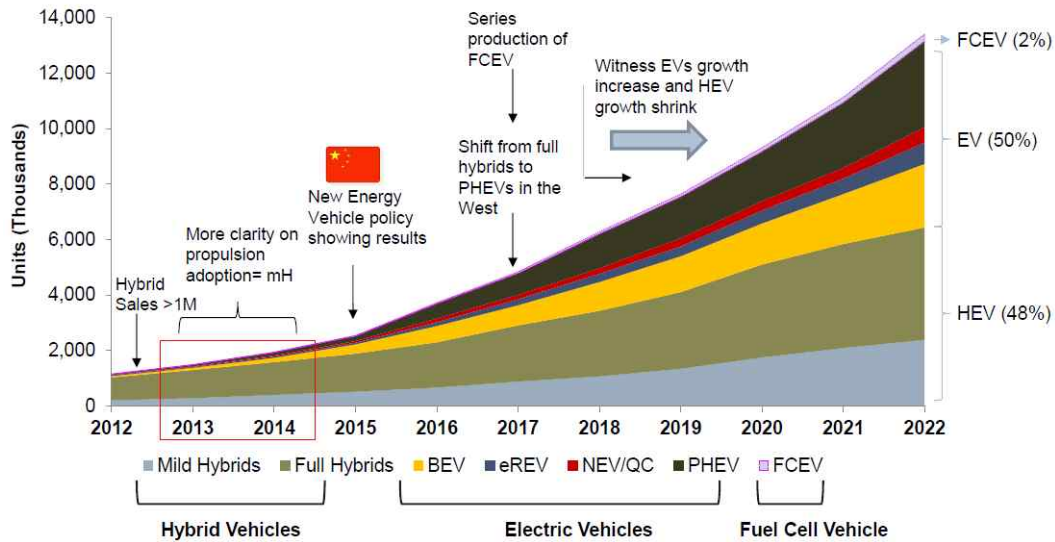
□ 2012년 IEA의 발표 자료에 따르면 수소차 시장은 2020년 약 10만대, 2030년 약 240만대, 2050년 약 3,530만대로 전망하였음

[표 43] IEA에서 전망한 자동차 세계시장 (2012, 단위 : 백만대)

	2000		2010		2015		2020		2025		2030		2035		2040		2045		2050	
	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%	대수	%
FCEV	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.1	0.1	0.4	0.3	2.4	1.8	6.8	4.4	14.9	8.7	25.2	13.5	35.3	17.7
EV	0.0	0	0.0	0	0.8	0.9	2.4	2.3	5.1	4.3	10.7	7.9	17.4	11.3	24.6	14.4	34.0	18.2	46.6	23.3
PHEV (diesel)	0.0	0	0.0	0	0.0	0.0	0.4	0.4	1.6	1.3	3.2	2.4	4.9	3.2	5.5	3.2	6.9	3.7	9.0	4.5
PHEV (gasoline)	0.0	0	0.0	0	0.8	0.9	4.8	4.6	13.1	11.0	23.5	17.4	36.9	23.9	43.8	25.6	52.0	27.9	61.1	30.6
HEV (diesel)	0.0	0	0.0	0	1.6	1.8	2.0	1.9	1.6	1.3	2.0	1.5	1.6	1.0	1.3	0.8	0.9	0.5	0.9	0.5
HEV (gasoline)	0.6	1.1	1.0	1.4	3.7	4.1	7.8	7.5	17.4	14.7	28.2	20.8	40.3	26.1	46.3	27.1	44.5	23.8	29.4	14.7
CNG/LPG	0.8	1.5	1.2	1.7	0.8	0.9	2.5	2.4	4.4	3.7	6.0	4.4	8.3	5.4	8.7	5.1	6.8	3.6	4.4	2.2
Diesel	6.5	12.4	11.8	16.9	10.7	11.9	9.0	8.7	8.5	7.2	8.2	6.1	6.8	4.4	4.8	2.8	2.3	1.2	1.5	0.8
Gasoline	44.4	84.9	55.7	79.9	71.8	79.6	74.8	72.1	66.6	56.1	51.2	37.8	31.3	20.3	21.1	12.3	14.0	7.5	11.5	5.8
합계	52.3	100	69.7	100	90.2	100	103.8	100	118.7	100	135.4	100	154.3	100	171.0	100	186.6	100	199.7	100

※ 2012년 IEA 시장전망 그래프를 이용하여 수치를 산출

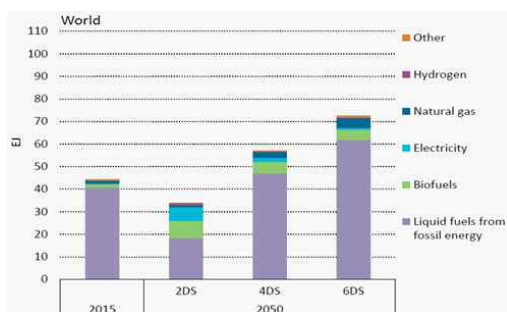
□ IEA 발표 이후 2014년에 Frost & Sullivan이 전력기반차를 중심으로 한 2022년까지의 시장을 전망하였으며 수소차의 세계시장은 전력기반차의 2%인 약 25 만대로 추정되며 수소차 가격을 대당 5 천만원으로 산정 시, 수소차 세계시장은 약 13 조원 수준이 될 것으로 전망



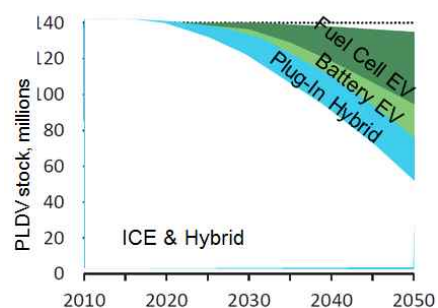
출처 : Strategic Outlook of Global Electric Vehicle Market in 2014 (Frost&Sullivan, 2014)

[그림 104] 전력기반차 세계시장 전망

- IEA는 기후변화 2DS (지구 온도를 2°C 상승으로 제한) 시나리오의 경우 수소연료전지자동차가 2050년 전체 자동차의 3%가 될 것으로 예측하였으며, 수소사회 인프라가 구성된 경우 전체 자동차의 28%가 될 것으로 예측



Transport Energy Demand (Urban), Energy Technology Perspective 2016, IEA



PLDV Stock in 2DS High H₂ (EU), Technology Roadmap (H₂ and FC), 2015, IEA

[그림 105] 기후변화 2DS 시나리오 기준 수소연료전지자동차 시장 예측

□ 일본

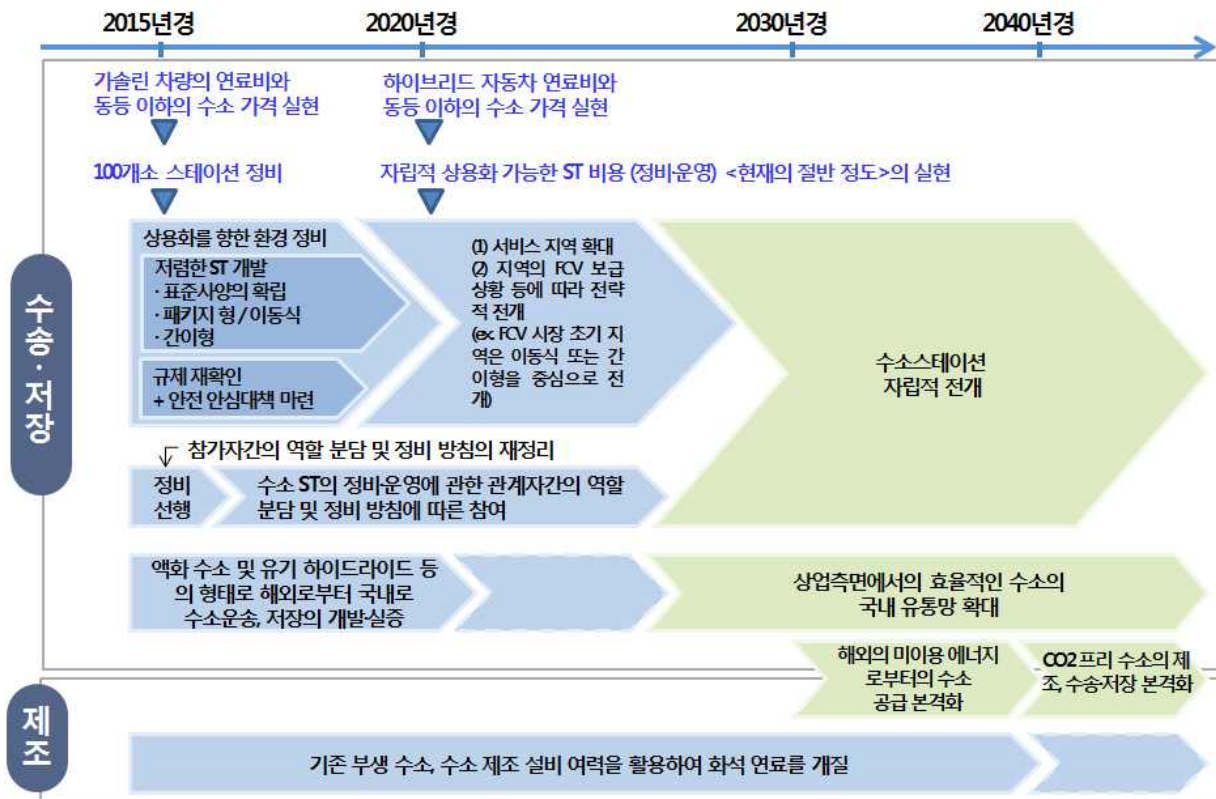
- 2014년 6월 “수소연료전지 전략 로드맵 (~2040)” 을 발표하여 2020년 도쿄올림픽을 기점으로 수소사회에 진입하는 목표를 세움
 - (1단계) ‘20년 동경올림픽에 수소차를 투입하여 수소사회로 진입
 - (2단계) ‘30년 수소 저장 및 이송기술을 확보하여 수소발전 도입
 - (3단계) ‘40년 CO₂ 발생이 없는 수소생산, 공급 시스템 확립

[표 44] 일본 수소차 수소충전소 보급 및 주요목표

구분	2015	2020	2025	이후
수소차 (충전소)	1,000대 (100개소)	2,000,000대 (1,000개소)		7,000,000대 (‘30)
주요목표	• 개인보급(‘15) • 버스도입(‘16)	• 2세대 수소차 동경 올림픽 투입 • HEV 수준 연료비	• HEV 동급 차량가격 • 수소 대량생산실증	• 수소수입(‘30) • CO ₂ -free(‘40)



[그림 106] 수소 이송·저장 및 제조 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)



[그림 107] 수소충전소 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)

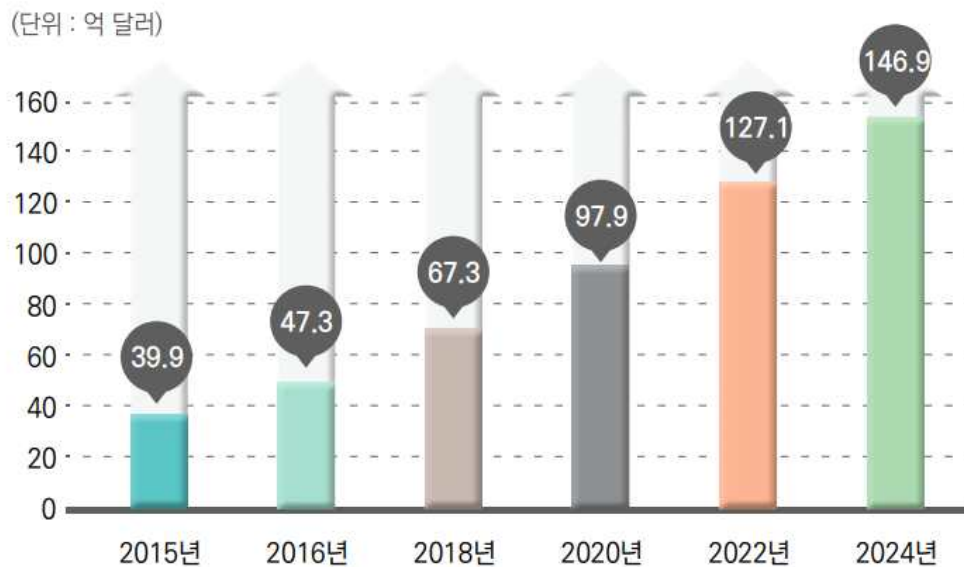


[그림 108] 수소차 로드맵 (수소연료전지 전략 로드맵, 2014)

마. 기타 수소 시장

□ 화물 운송 등으로 각광 받는 세계 드론 시장의 규모 및 성장 예측

- 미국 방위산업 전문 컨설팅 업체인 텔그룹 (Teal Group)은 세계 드론 시장 규모가 ‘15년 40억 달러 (약 4조 8,000억원)에서 ‘24년 147억 달러(약 17조 7,000억원) 규모로 급증할 것으로 예상
- 소형 드론시장은 급성장해 전체 시장 규모가 ‘24년까지 연평균 15% 성장할 것이라고 전망
- 장거리 비행, 수송부하의 증가 시 드론의 추진방식으로는 수소연료전지가 사용될 것으로 예측되는바 드론시장의 성장은 간접적으로 수소시장의 성장잠재력을 보임.



[그림 109] 세계 드론시장 규모 예측 (드론 시장 및 산업동향, 융합연구정책센터, 2017)

- 고정적인 노선, 장거리 주행 특성을 가지는 노선버스와, 택시, 화물차의 수요를 통한 수소차로의 대체 시 수소 소요량 산출 : 2,358,000 ton/year (이는 2030년 기준 수소차 보급목표 630,000대의 수소수요 (122,568 ton/year)의 19.3배에 달함)⁴¹⁾

○ 택시

- 전국 택시 등록대수 : 398,529대 (1500~2000cc 기준 사업용 승용차)
- 택시 평균 주행거리 : 48,655 km/(year · 대)

41) 출처 : 2013년도 자동차 주행거리 실태분석 연구, 2014, 교통안전공단

- 수소차 전환 시 수소수요 : $48,655 \text{ km}/(\text{year} \cdot \text{대}) \times 398,529 \text{ 대} / 77.1 \text{ km/kgH}_2 = 250,000 \text{ ton/year}$ (현대자동차 수소승용차 연비 기준)

○ 노선버스

- 전국 사업용 승합차량 등록대수 : 69,157대 (36인승 이상)
- 노선버스 평균 주행거리 : $80,738 \text{ km}/(\text{year} \cdot \text{대})$
- 수소차 전환 시 수소수요 : $80,738 \text{ km}/(\text{year} \cdot \text{대}) \times 69,157 \text{ 대} / 11 \text{ km/kgH}_2 = 507,600 \text{ ton/year}$ (현대자동차 수소버스 연비 기준)

○ 화물차

- 전국 사업용 화물차량 등록대수 : 365,458대
- 화물차 평균 주행거리 : $48,202 \text{ km}/(\text{year} \cdot \text{대})$
- 수소차 전환 시 수소수요 : $48,202 \text{ km}/(\text{year} \cdot \text{대}) \times 365,458 \text{ 대} / 11 \text{ km/kgH}_2 = 1,600,000 \text{ ton/year}$ (현대자동차 수소버스 연비 기준)

5. 국내 수소시장 현황과 전망

- 국내 수소생산량은 산업용 유통량 기준으로 연간 21만톤 수준으로 시장규모로는 최소 6,000억원 규모

[표 45] 국내 산업용 수소 총 공급가능량 (출처 : 신소재경제신문, 2014. 7. 1)

업체명	원료공급처	지역	제조방식	생산능력(m ³ /hr)		
				2014	2013	2012
덕양	한화석유화학	여수	소금물분해	35,000	35,000	20,000
	SK	울산	나프타분해	10,000	10,000	10,000
	삼성정밀화학	울산	소금물분해	15,000	15,000	9,000
	삼성토탈	서산	나프타분해	9,000	9,000	9,000
	태광화학	울산	프로판탈수소	14,000	14,000	7,000
롯데케미칼	LG화학	여수	소금물분해	11,000	11,000	—
	백광화학	군산	소금물분해	5,000	5,000	5,000
		여수	소금물분해	1,500	1,500	1,500
	롯데케미칼	서산	나프타분해	3,000	3,000	3,000
		여수	나프타분해	3,000	3,000	—
	삼성BP화학	울산	나프타분해	2,500	2,500	2,500
	덕양*1	울산	NG분해	50,000	—	—
	소계			159,000	109,000	67,000
SPG케미칼	SPG케미칼	안산	메탄올개질	2,000	—	—
	롯데케미칼, LG화학	여수	나프타분해	45,000	40,000	40,000
		대산	나프타분해	10,000	4,000	4,000
	삼성토탈	대산	나프타분해	—	2,000	2,000
	삼성BP화학	울산	나프타분해	3,000	2,000	2,000
	이수화학	울산	프로판탈수소	—	1,000	1,000
에어리퀴드	효성	울산	나프타분해	—	1,000	1,000
	소계			60,000	50,000	50,000
	에어리퀴드1	여수	나프타분해	15,000	7,000	7,000
에어리퀴드2	에어리퀴드2	여수	나프타분해	38,000	38,000	38,000
	소계			53,000	45,000	45,000
린데	LG화학	대산	나프타분해	9,000	9,000	9,000
	삼성	기흥	CNG개질	1,600	1,600	1,600
	린데	포항	나프타분해	1,200	1,200	1,200
	포스코	포항	코크스	300	300	300
	소계			12,100	12,100	12,100
SDG	대한유화	울산	나프타분해	5,000	6,000	6,000
	태광산업	울산	나프타분해	3,000	—	—
	효성	울산	나프타분해	2,000	—	—
대성산업가스	소계			10,000	6,000	6,000
	대성산업가스	파주	메탄올	2,000	2,000	2,000
창신화학	롯데케미칼, LG화학	서산	나프타분해	3,200	2,800	—
총계				299,300*2	226,900	182,100

*1 2014.7.1.일 완공된 덕양의 수소제조공장에서는 천연가스 개질로 부생되는 이산화탄소를 하루 300톤 공급가능하다.

*2 총 유통가능량: 299,300 m³/hr은 24시간, 년 330일 가동을 기준으로 분다면 211,647ton H₂/yr 에 해당된다.

- 수소연료전지는 자동차용, 가정용시장으로 대표되는 영역으로 미국은 UPS용으로 개발되고 있으며, 일본은 건물용 연료전지 실증프로그램에 힘입어 CHP수요가 증가
- 석유화학산업, 전자, 재료, 반도체 제조공업, 제철공업 및 우주항공 산업 등에서 꾸준한 수요증가를 보이고 있음
- 향후 온실가스 감축의무이행에 따른 수소 연료전지 자동차 및 연료전지의 보급 등에 따라 에너지용도로서의 수소 사용량이 급증할 것으로 전망됨

- 반도체, 디스플레이 등 우리나라 핵심 산업에서는 초고순도 수소 수요 시장이 존재하므로 수요량에 따라 액체수소로 대체 가능한 시장이 창출될 것으로 전망됨

[표 46] 국내 수소연료전지 관련 기업 현황

시스템/부품	구분	관련기업	국내기술 및 생산현황
시스템	건물용	퓨얼셀파워, GS퓨얼셀, 오선텍, 효성중공업	국내생산(모니터링 시범보급 사업)
	발전용	두산중공업, 포스코파워, 삼성SDI	
	수송용	현대 자동차	
개질기	반응기	퓨얼셀파워, GS퓨얼셀, SK에너지, 오선텍, 삼성SDI, 두산중공업	국내생산
스택	PE	고분자막	수입(국내생산 부재) (국내 개발 중)
		흑연복합체 분리판	국내생산 착수
		금속분리판	POSCO, 현대하이스코
		가스확산층	협진아이엔씨
		전극촉매	선텔, 대주정밀화학
		밀봉재	동아화성, 동아공업, 평화오일실
		MEA	퓨얼셀파워
	MC	소재	대정화금, 단단, 창성, 트윈에너지
		셀	두산중공업, 포스코파워, 트윈에너지
		분리판	오토엔, 진영전기, 보림, 두산중공업, 포스코파워
	SO	소재	삼전순약, 에프셀텍, 서머텍
		셀	삼성SDI, 포스코파워, 코미코, 쌍용
		분리판	오토엔, 포스코파워
BOP	e-BOP PCS		효성, 지필로스, 플라스보, 다스테크, 포스코파워
	블로워, 압축기류		디에이치엠, 한라공조
	냉각수펌프		귀뚜라미정밀, 경동나비엔, 명화공업
	열회수모듈		귀뚜라미정밀, 경동나비엔, 명화공업, 두산중공업
	밸브류		거봉 한진

- 액체수소 충전소 구축 연구가 완료된 후 결과 활용 예상 수요기업 현황

- 부품 개발이 가능한 국내업체 태광후지킨 등 12개 기업

[표 47] 결과 활용 예상 수요기업 현황

순번	기업명	주요생산품목	비고
1	이엠코리아	수전해, 수소충전소	
2	월드파워텍	압축기	
3	경남에너지	천연가스판매, 충전소 운영	
4	두산중공업(주)	연료전지	
5	데크컨포지트	저장용기	
6	(주)효성	연료전지, 수소충전소	
7	광신기계공업(주)	수소충전소, 가스압축기, CNG스테이션	
8	GTC	압축기	
9	하이록코리아	고압밸브, 피팅	
10	디케이락	고압밸브, 피팅	
11	(주)NK	저장용기	
12	태광후지킨	저장용기, 고압밸브, 피팅	

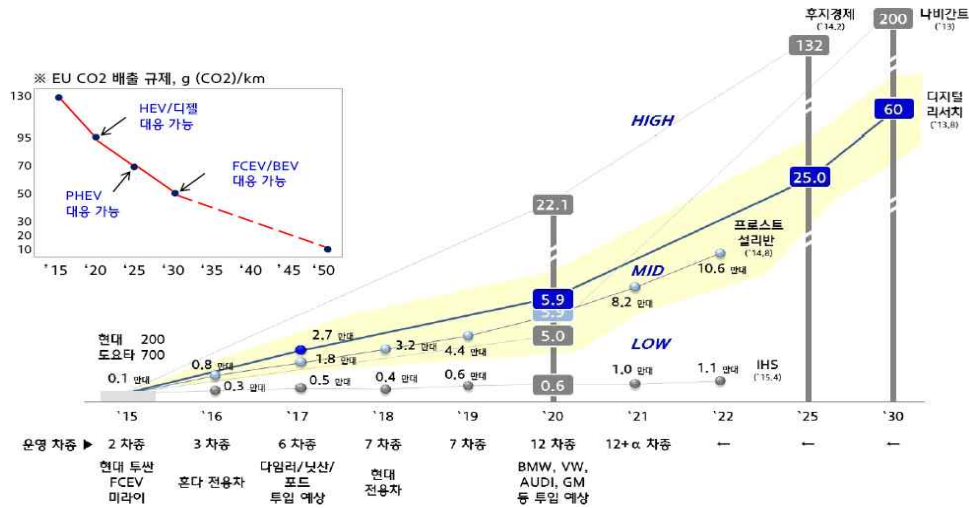
□ 국내 수소충전소 시장 환경은 시장경쟁 기준, 아직 다른 친환경차에 비해서는 상용화는 미흡하지만 해외 수소차 대비 가격경쟁력을 보유하고 있어 세계시장에서 경쟁 가능하며, 기술력 기준으로 국내 수소차는 부품기준으로 대부분 국산화가 이루어져 시장성장시 국내 자동차산업의 동반성장 가능

○ 가격저감 기준, 국내 수소충전소 보급 미흡으로 경쟁사 대비 수소차 생산수량이 낮아질 경우 대량생산을 통한 가격 저감이 어려워져 세계시장에서 가격경쟁력 상실 우려됨

	장 점 (Advantage)	단 점 (Disadvantage)
수소	(생산) 대규모 석유화학단지 3개 지역(울산, 충남, 여수) 국가면적대비 풍부한 수소생산량(일본의 2배) (가격) 풍부한 부생수소로 낮은 가격 형성(세계 1위) '18년 세일가스 도입시 가격저감(LNG와 연동) 경쟁국 대비 전기값이 낮아 수전해 가능성 ↑ (이송) 경쟁국 대비 이송비용이 낮음(이송비용 ↓)	(생산) 수전해 및 개질 기술의 해외 의존성이 높음 수소로드맵이 없어 미래 수소가격 추정 애로 화석연료 중심으로 원유가격 변동에 민감 (저장) 대용량 수소저장 기술 부재(액화, 액상 등) (이송) 미국, 유럽과 같은 장거리 배관기술 부재 가격저감을 위한 500bar 카트리리지 기술 부재
수소충전소	(거리) 대용량 개질 충전소가 새로운 생산거점 가능 (충전) 경쟁국 대비 pipeline, trailer 방식 경제성 강점 (개발) 수입부품 국산화시 가격저감 효과 높음	(가격) 용량기준 부재로 주문제작에 의한 비용상승 수입부품 의존도가 높아 가격저감 어려움 단발성 구축으로 업계 가격저감 애로 (제도) 제도정비 기반 미흡으로 설비투자비 높음 (충전) Type 3 용기가 없어 차압충전(3분) 보급 애로 (업체) 국내업체 2~3개로 경쟁유도가 어려움 해외기업 공격적 마케팅시 국내업체 육성 애로 (분석) 충전소 운영 자료가 미흡하여 시행착오 우려 (입지) 수소충전소 홍보미흡으로 구축시 민원 우려
수소차	(가격) 상용화는 미흡하지만 수소차 가격경쟁력 보유 국내시장이 미흡하더라도 세계시장 진출가능 '18, '20년 출시로 가격저감 가능(보급기반 필수) (기술) 부품국산화 달성(신기술 확보=가격저감 가능)	(생산) 경쟁사 대비 생산수량이 낮아 가격저감의 지속성 미흡으로 시장경쟁력 저하 우려 (경쟁) 비교차종이 연료값이 저렴한 경유차(HEV)로 수소가격 확보 애로(일본 휘발유 HEV와 경쟁구도)

[그림 110] 국내 수소차 관련 산업의 여건 (요약)

- 국내 완성차업체는 수소차 시장 조사기관의 자료를 인용하여 2030년 수소차 시장을 전망함



[그림 111] 수소차 시장 전망 분석 (현대자동차, 2015)

- 경우의 수를 감안하여 영역형태로 전망하였으며 대략적으로 수소차 시장을 2020년 약 6만 대, 2025년 25만대로 보았으며 각국에서 2020~2025년에 수소차 시장이 급격히 늘어날 것으로 전망한 것과는 달리 2030년 수소차 시장을 보수적인 60만대로 추정하였음

- 2001년부터 지금까지 국내 수소충전소 설치 현황⁴²⁾은 다음의 표와 같음

42) 자료출처: 수소융합얼라이언스 추진단

[표 48] 국내 수소충전소 구축현황

지원기관	현황	지원 년도	설치 년도	위 치	운영기관	공급 방식	압력 (기압)	충전량 (kg/일)
환경부 (15)	운영 (4)	'13	'14	광주 진곡 (연구용)	광주시	부생수소	700	220
		'14	'15	충남 내포	충남도	부생수소	700	430
		'16	'17	창원 팔용	창원시	부생수소	700	250
		'16	'17	울산 옥동	울산시	부생수소	700	460
	설치 중 (3)	'16	'18	광주 광산	광주시	부생수소	700	220
		'16	'18	울산 태화강	울산시	부생수소	700	500
		'17	'18	울산 북구	울산시	부생수소	700	460
		'17	'18	울산 중구	울산시	부생수소	700	460
	설치 예정 (8)	'17	'18	광주 첨단산업단지	광주시	부생수소	700	250
		'17	'18	광주 송정역	광주시	부생수소	700	250
		'17	'18	광주시청	광주시	부생수소+ 수전해	700	250
		'17	'18	울산 울주군	울산시	부생수소	700	250
		'17	'18	창원 성산구	창원시	부생수소	700	250
		'17	'18	창원 합포구	창원시	부생수소	700	250
		'17	'18	세종 연기면	세종시	부생수소	700	250
		'17	'18	충남 천안	천안시	부생수소	700	250
산업부 (5)	운영 (1)	'16	'17	대구 달성 (연구용)	KIAPI	부생수소	700	110
	설치 중 (2)	'16	'17	강원 평창	이엠솔루션	부생수소	350	250
		'16	'17	강원 강릉	이엠솔루션	부생수소	700	500
	설치 예정 (2)	'16	'18	충남 당진	당진시	부생수소	700	250
		'16	'18	창원(미정)	창원시	부생수소	350	250
국토부 (1)	운영 (1)	'08	'09	경기 화성(b) (연구용)	KATRI	부생수소	700	20
지자체 (1)	운영 (1)	'09	'10	서울 상암	서울시	매립가스 개질	350	65
민간 (6)	운영 (5)	-	'05	경기 마북 (연구용)	현대차	부생수소	700	110
		-	'07	인천 송도 (연구용)	한국가스공사	천연가스 개질	350	65
		-	'09	경기 화성(a) (연구용)	현대차	부생수소	700	430
		-	'10	서울 양재	현대차	부생수소	700	110
		-	'12	울산 매암	현대차	부생수소	700	520
	휴지 (1)	-	'13	대구 서변	이엠코리아	수전해	700	110

- 국내 수소 충전소의 저장용량은 50kg~215kg 수준으로 수소연료전지자동차 (주행거리 400km 기준 수소 필요량 5.4kg, 현대자동차 수소전기차 사양) 10대~40대 정도를 충전할 수 있는 용량에 불과함 (수소 신뢰성 워크샵 (2016. 6. 27), 한국수소충전소 기술 현황 및 동향, 발췌)
- 수소충전소 관련 산업 현황은 현재 수소충전소 관련 부품 국산화율은 40% 정도 수준으로, 주요 부품들의 경우 수입에 의존하고 있는 실정임

- 국내에서 개발된 제품의 성능평가를 해외기관에 의존, 과도한 시험비용에 따른 외화 유출 발생으로 업계는 기술개발 투자를 기피하고 있으며 시험인프라의 부재로 수입된 제품에 대한 성능확인 곤란
- 기업단독으로 안전성평가 인프라 구축에는 많은 비용이 소요되므로 공공분야에서 안전성 검증 인프라 구축 필요하며 본 연구의 공동연구기간인 한국가스안전공사에서 인증센터를 구축할 예정임. 구축된 인프라는 신제품 개발, 국내 안전규격에 따른 검사, 해외수출기업 지원에 활용될 예정
- 수소충전소 인프라 보급과 수소충전소 시설 및 부품의 국산화의 동시추진으로 초고압분야 산업 활성화 필요

제 4 절 국내·외 기술개발 동향

1. 국외 기술개발 동향

- 주요국 정부는 에너지 안보 확보, 기후 변화 대응, 새로운 시장 창출 및 산업 경쟁력 강화의 일환으로 수소·연료전지 산업 육성을 강력히 추진 중
 - 특히, 21세기 들어 화석연료 고갈과 지구환경 문제가 심각한 문제로 대두됨에 따라 미국의 주도로 수소 경제 진입을 위한 국가 비전을 내걸고, 국제 조직인 IPHE를 출범시키는 등, 세계 각국들도 앞 다투어 수소 관련 기술개발프로그램을 추진
 - IPHE-국제 수소 연료 전지 파트너십 (Partnership for International Hydrogen and Fuel Cells in the Economy, www.iphe.net)은 수소 및 연료 전지 관련 기술개발, 표준화, 정책 기준 및 정보교환 등을 촉진하기 위한 국제 협력 체제 구축을 목표로 2003년에 미국을 중심으로 제창, 결성되었음
 - 2014년 10월 기준으로 오스트레일리아, 브라질, 캐나다, 중국, 유럽 위원회, 프랑스, 독일, 아이슬란드, 인도, 이탈리아, 대한민국, 뉴질랜드, 노르웨이, 러시아, 남아프리카 공화국, 영국, 오스트리아 등이 참여
 - 정책의 핵심은 수송용 연료전지 보급을 위한 수소충전소 등 인프라 구축에 중점
- 대형 수소액화플랜트는 1960년대 미국에서 아폴로우주계획의 지원을 위해 건설이 시작되었으며, 대형 수소액화플랜트 개발을 위해 수소 클로드, 헬륨 브레이튼 사이클, 수소와 탄화수소의 혼합물을 냉매로 하는 혼합냉매사이클, 네온 사이클 등 다양한 공정 개발에 주력
 - 미국 DOE는 2017년에 천연가스 및 신재생에너지를 이용한 물 전기분해 등 다양한 기술을 통해 \$2~3/GGE (Gasoline Gallon Equivalent)을 목표로 경제성 높은 수소액화플랜트 개발 수행 중
 - LLNL (Lawrence Livermore National Lab.)에서는 극저온 고압탱크 개발 및 성능평가를 독립적으로 수행하였으며, DOE에서 제시하고 있는 무게당 에너지밀도, 부피당 에너지밀도 등의 기술개발 목표에 근접하는지 여부를 검토함
 - 최대 충전압력 350 bar, 최저충전온도 20K를 기준으로 검토한 결과, 고압가스정장과, MOF (Metal-Organic Framework) 등의 타 저장방법과 비교할 때, 극저온 저압/고압 액체탱크가 우수한 무게당/부피당 에너지밀도를 보이고 있는 것으로 보고됨. 또한 가격 경쟁력 측면

에서도 DOE가 제시한 최종 목표에 근접하고 있음

[표 49] 미국 에너지성 (DOE)이 제시한 항목별 목표

Performance & Cost Metric (Units)	System Grav. Capacity (wt%)	System Vol. Capacity (kg-H ₂ /m ³)	Storage System Cost (\$/kWh)	Fuel Cost (\$/GGE)	WTT Efficiency (%)
350-bar	5.5	17.8	13.4	4.2	56.5
700-bar	5.0	25.6	20.0	4.3	54.2
Liquid	5.7	23.0	8.0	TBD	22.3
Cryo-compressed	5.7	44.0	11.6	4.8	41.1
MOF-177	4.9	34.3	16.3	4.6	41.1
2010 Targets	4.5	28.0	4.0	2.0-3.0	60.0
2015 Targets	5.5	40.0	2.0	2.0-3.0	60.0
Ultimate Targets	7.5	70.0	TBD	2.0-3.0	60.0

WTT : well-to-tank, TBD : to be determined

- 현재 BMW, Caltech Ford, GM, LANL (Los Alamos National Lab.) Lincoln Composites, SCI, UCTC 등과 긴밀히 협조하여 다양한 수소저장방법에 대하여, 시스템 중량, 부피 및 제작비용, 저장효율 증가, 충전/배출성능 해석, 수명 (Life Cycle) 연장에 대한 연구를 진행 중에 있음
- 일본은 3단계 육성 전략 수립을 통해 2040년 탄소중립 수소경제 실현 목표 제시
 - 일본은 해외의 미이용 자원 (갈탄) 및 염가의 재생에너지를 통해 수소를 제조·액화하고 액체수소선을 통해 수소 수요지에 수송하여 공급하는 「CO₂ 프리 수소 체인」 구상을 제시하고 기술개발 중
 - 가와사키 중공업은 호주에서 싸게 제조한 수소를 액화하여 일본으로 수입하기 위해 영국의 로열더치셀과 액화수소의 생산 및 운반기술 개발 제휴 (2016. 3.)
- 현재 수소액화를 위한 소요동력은 10~15 kWh/kg·LH₂이고, 30 ton/day급 수소액화 플랜트의 효율은 33% (% Carnot)에 불과하나, 대형의 수소액화플랜트는 팽창터빈 등을 통한 에너지 회수가 가능하기 때문에 운전효율의 향상이 기대됨
- Linde 그룹은 액체수소 생산과 관련하여 150~20,000 liter/hr급 수소액화플랜트를 설계, 제작, 운영한 경험을 축적하고 있으며, 수송차량용 100 liter급 액체수소 저장탱크에부터 크게는 300Nm³급 지상고정용 액체수소 저장탱크 기술을 보유하고 있음

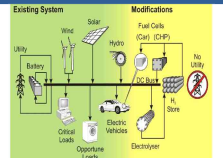
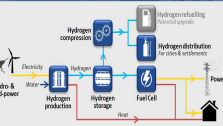
- APCI (미), Praxair (미), Linde (독), Air Liquide (프), Iwatani (일), CALT (중) 등은 10 tons/day 급 이상의 수소액화플랜트를 개발/운용 중이며, 헬륨 브레이튼 사이클 냉동 또는 수소 클로드 사이클 냉동을 이용한 수소액화 플랜트를 개발하였음
- EU-캐나다 공동 EQHHP (Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project) 프로그램 (1986년~1998년)
 - 100 MW의 수력발전을 통해 얻은 전력으로 16,000 ton/yr의 수소를 생산하고, 이를 유럽으로 해상 운송하여 연료를 이용하는 것을 목표
 - 수소의 운송방법 및 액체수소의 저장기술 뿐만 아니라, 자동차, 항공기, 선박, 제철 등의 분야에서의 수소 이용기술 개발을 수행
- 최근 액화플랜트의 경제성제고를 위한 자기냉동, 열음향냉동 등 신냉동기술 및 마이크로채널 열교환기 등의 적용을 검토
 - 자기냉동은 카르노 (Carnot) 성적계수 (COP, Coefficient Of Performance)가 40~50%로 매우 높고 6~20 K의 낮은 온도영역에서 동작가능
 - 소형 수소액화용 냉동시스템으로 활용도가 높을 것으로 기대되고 있으나, 현재의 기술수준에서는 대형 액화플랜트에 적용하기에는 기술적 한계성을 지니고 있음
- LNG 냉열 등을 이용한 수소액화플랜트의 경제성 향상
 - 대부분 버려지고 있는 LNG 인수기지의 LNG의 증발열을 이용 액체질소에 의한 예냉과정을 대체함으로써 수소액화플랜트의 경제성을 제고
 - LNG는 대기압에서의 비등점이 -160.3°C 로, 수소가스의 예냉 또는 예냉용 질소의 재액화, 압축기에 LNG 냉열 이용 등이 가능
 - 산업단지에 존재하는 공기분리장치의 경우 산소, 질소, 아르곤 등을 분리하기 위해 -196°C 이하의 액화공정 운영, 생산된 액체질소는 기화과정을 거쳐 상업적으로 판매되므로 수소가스의 예냉에 활용 가능
- 풍력, 지열 등 신재생에너지를 이용한 수소생산 및 액화 공정

□ 혼합냉매를 냉동사이클에 이용한 액화효율 향상

- 헬륨(80%)/네온(20%)의 혼합냉매 적용 브레이튼 사이클을 이용한 혼합냉매 냉동사이클을 통해 액화효율 향상 가능 (Quack, 2002)

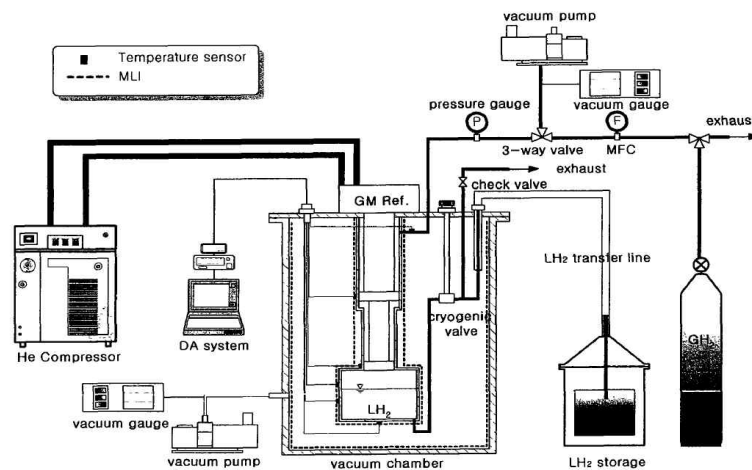
□ 수소의 활용관점에서 분산형 발전시스템, HESS와 연계된 주요국의 기술개발 동향은 다음과 같음

[표 50] HESS와 연계된 주요국 기술개발 동향

국가	주요내용	대표 사진	
영국	○ HARI 프로젝트 추진으로 Leicestershire에 대체 에너지를 이용 수소생산기술 실증 ○ 웨일스지역에 Renewable H₂ R&D Centre 구축 운영 중이며, Yorkshire지역에 Hydrogen Mini-Grid System 운영 중		
스페인	○ Galicia지역에 Sotovento Wind Park, Cádiz지역에 Wind Park "El Gallego" 조성 중 -기본 개념은 풍력발전설비 이용 전력생산 및 유틸리티 이용 생산된 수소를 에너지저장시스템으로 활용		
그리스	○ 'HYRES' Project를 수행 중에 있으며 태양광 및 풍력발전 시스템을 이용한 발전 및 연료전지 시스템 수소생산 중		
프랑스	○ 2008년 풍력발전연계 Positive Energy Building을 건립하여 운영 중		
일본	○ 일본원자력청 주도로 고온 반응에 의한 원자력 수소 생산을 위한 HTTR 프로젝트 수행중이며, JHFC프로젝트를 추진하여 동경지역에 12개의 기상 및 액상 수소충전소 운영 중		
그린란드	○ "H2KT Project" 추진을 통하여 풍력발전을 이용한 전력생산 및 에너지 저장시스템 운영 중		
미국	○ 기상 및 액상의 수소가스 공급경로에 맞추어 연구 추진 중 -정유공장 융·복합 수소생산플랜트에서 생산되는 부생수소를 이용하기 위한 기상 파이프라인 건설 및 액체 수소 플랜트 건설운영		
독일	○ NIP프로그램 운영으로 함부르크와 베를린을 잇는 고속도로에 수소충전소 집중 건설추진으로 유럽에서 가장 많은 충전소를 가동 ○ 석유회사, 산업가스 회사 등에서 다양한 수소를 제조하고 있으며 린데의 경우 Leuna에 정유공장에서 발생하는 부생수소를 액화하기 위한 생산플랜트 건설 운영 중		

2. 국내 기술개발 동향

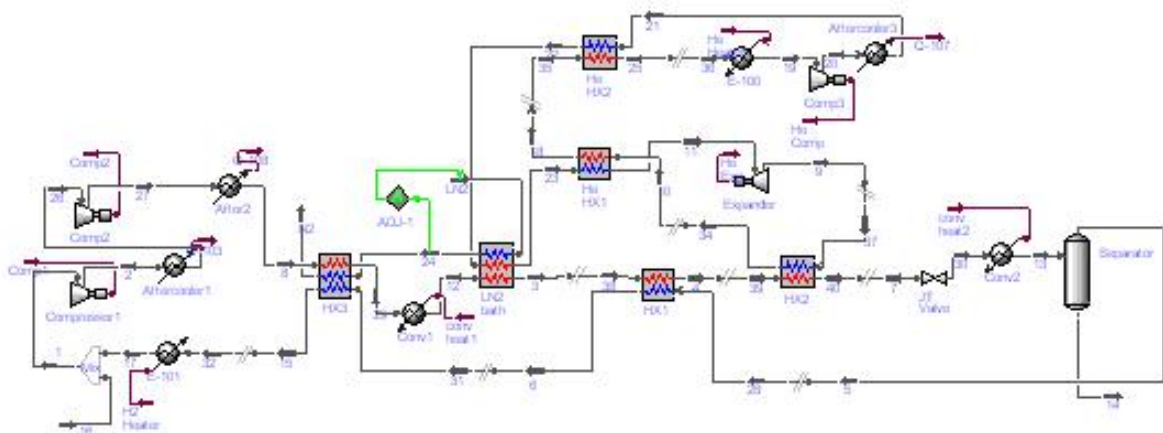
- LNG 플랜트 사업단 사업을 통해 극저온 플랜트 Test bed에 대한 경험은 있으나, 액화공기분리 및 수소액화플랜트에 대한 경험은 미흡
 - 소용량 수소액화기 및 액화공기분리장치에 대한 기초연구를 수행하였으나, 극저온 플랜트에 대한 기술약량은 미흡
- 1989년 과학기술처 국책연구개발사업으로 “초저온을 이용한 수소저장 기술개발사업”이 KIST에서 시작
 - 대형과제의 기획으로 중도에 중단되어 소기의 성과를 달성하지 못함
- 산업자원부 에너지기술개발사업의 일환으로 KIST 주관으로 '96년-'98년 “수소 액화 및 저장시스템 개발” 과제 수행으로 실험실급 수소액화시스템 기술개발



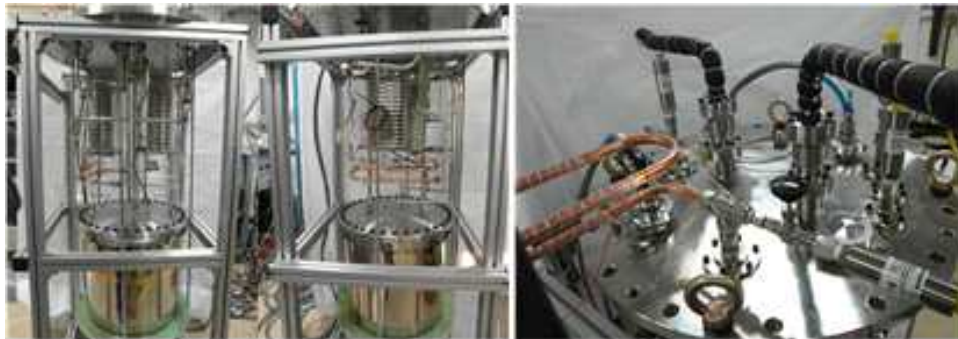
[그림 112] 0.5 liter/hr급 수소액화시스템 (KIST)

- G-M (Gifford-McMahon) 극저온냉동기를 이용한 소형 수소액화시스템 (0.5 liter/hr) 개발
- 5.5 Liter급 액체수소 저장용기, 액체이송장치 개발
- 산업자원부 에너지·자원기술개발사업의 일환으로 2001년부터 2005년까지 한국가스공사 주관으로 “천연가스로부터 대량 수소제조 및 수소저장 기술개발” 과제 수행

- 천연가스로부터 대량 수소제조 기술
 - 고밀도 수소에너지 저장기술 (수소액화 및 저장기술 기반기술)
 - 수소 제조 및 수소저장 Engineering 기술개발
 - 수소액화기술은 실험실 규모의 소규모 연구수행
- 고효율 수소에너지 제조·저장·이용 기술개발사업단 (21C 프론티어 사업, 2003년~2013년)
 - 자연에너지 활용 5 Nm³/hr급 물 분해 수소 제조기술 및 금속/화학 수소화물, 나노재료를 이용한 저장기술, 수소에너지 이용기술 개발을 목표로 연구개발을 수행
 - 수소액화기술과 관련된 기술개발은 수행되지 않음
- LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008. 6. 18 - 2016. 10. 7)
 - 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트 기술 개발
 - LNG (-162℃) 액화 공정 및 핵심기술 개발 과제로서, 수소 (-253℃)를 액화 생산하는 ASU 기반 수소액화플랜트에 비해 온도가 높고 공정이 다르지만, 개발 기술을 보완하고, 연계하면 효율적인 기술 개발이 가능
 - LNG 용 압축기, 열교환기, LNG 저장탱크 등 극저온 핵심 기자재 개발
- 한국기계연구원은 2009년~2011년 3년간 기관고유사업의 일환으로 “중·소형 (300 Nm³/hr)급 수소액화시스템 설계 기술 개발” 과제를 수행하였음
 - 이를 통해, 헬륨냉각공정을 적용한 300Nm³/hr급 수소액화 공정 설계기술을 확보
 - 네온 냉각시스템 (2차 냉각시스템)을 이용한 Pilot 수소액화 시스템 (5 liter/hr)을 구축 및 운영한 경험이 있음
 - 추가적으로 2단으로 구성된 수소액화용 터보 팽창기 설계기술을 개발함



[그림 113] 헬륨냉각 사이클 기반의 중·소형 (300 Nm³/hr)급 수소 액화시스템 설계 (KIMM)



[그림 114] Pilot 소형 극저온 고압 냉각시스템 및 콜드박스 (KIMM)

- 또한, 한국기계연구원은 고온초전도 전력케이블용 냉각시스템 개발, 초전도전력저장장치 (SMES)용 Cryostat 개발, 소형 극저온냉동기 개발 등 극저온관련 연구를 통해 극저온 온도영역의 냉각시스템, 콜드박스 설계기술을 일부 확보하고 있으며, KAIST, 홍익대 등의 학계에서 극저온 기초기술을 일부 확보하고 있음
- 교육과학기술부 신기술융합형성장동력사업의 일환으로 KIST 주관 자기냉각 액화물질 융합연구단 운영 (2011년~2016년)
 - 본 사업단을 통해 수소투과 차단기술, 복합단열기술, 자기냉각 재액화기술을 융합한 10 liter 급 액화물질 저장용기 시제품을 개발
 - 액체수소의 안전한 수송과 저장을 위해 저장용기의 건전성 평가기술 및 결함/손상 탐지기술을 개발
 - 고효율 자기열량 소재를 이용하여 온실가스 자기냉각 시스템 원천기술을 개발

- 국내의 경우 프론티어 사업을 중심으로 수소에너지의 생산/저장 기술 개발이 주로 이루어 졌으며, 각 지자체를 중심으로 수소인프라 및 수소 활용 실증사업들이 진행되거나 추진 중임
- 고효율 수소에너지 제조·저장·이용 기술 개발 사업단 (2003년~2012년) : 자연에너지 및 천연가스를 이용한 수소제조 기술 및 고압 수소저장 및 수소화합물 이용 저장 기술 연구
- 울산 (2012~) : 수소타운, 수소연료전지 실증사업, 수소타운
- 경남 창원시 (15. 9~) : 수소차 중점 보급도시 선정, 수소산업 인프라 구축 추진 : 충전소 확충, 수소자동차 보급, 인프라 구축을 통한 수소 관련 기자재 선도 기업 육성, 시험평가 인프라 구축 등 국산화 지원
- 대전 (2016 추진) : 수소인프라 신뢰성 센터 건립사업 : 수소 생산·저장·이송·이용을 위한 인프라에 요구되는 부품·소재의 신뢰성 확보를 위한 안전/연구/개발/규격/표준/인증/보급의 국가 Central Hub 기구 설립

제 5 절 시사점

- 기후변화 협약에 따른 수소 사용 증대, 수송과 저장 측면의 강점을 가진 액체수소 활용 증대
- 수소액화 플랜트 기술은 전략 기술 (국방, 우주/항공 등)로 기술장벽이 크고, 특정업체 (국가)에 의해 독점됨
- 기후변화협약, 미세먼지 저감 대책 등으로 수소활용 정책을 펴고 있으나, 대용량 운송/저장 수단 없음

1. SWOT 분석

강점 (Strength)	약점 (Weakness)
◆ 환경·에너지 플랜트 EPC 경험 풍부 ◆ 국내 수소 공급 (부생가스 등) 및 냉열 활용 조건 우수 ◆ 연료전지, 수소차, 반도체 등 수요 측면 기술 경쟁력 ◆ 수소스테이션 등 수소활용 인프라 구축 정책 강화	◆ 국내 액체수소 생산 시설 전무 ◆ 수소 액화 엔지니어링 기술 및 관련 전문가 부족 ◆ 극저온 핵심 기자재 산업 경쟁력 부족
기회 (Opportunity)	위협 (Threat)
◆ 환경·에너지 문제에 대한 국민적인 관심 증대 및 공감대 형성 ◆ 기후변화 협약 대비 전세계적인 수소에너지 활용 활성화 정책 ◆ 저장 및 운송을 고려한 액화수소 필요성 증대	◆ 해외 선진국들의 관련 기술 유출 금지 (국방, 항공우주) ◆ 전세계적으로 미국, 중국, 일본, 독일, 프랑스 등 강대국만 시설 보유 ◆ 선발주자의 공정 비밀 유지, 특허 장벽 및 시장독점

2. SWOT 전략

외부요인 내부요인	O (기회)	T (위협)
	- 환경·에너지 문제에 대한 국민적인 관심 증대 및 공감대 형성 - 기후변화 협약 대비 전세계적인 수소에너지 활용 활성화 정책 - 저장 및 운송을 고려한 액화수소 필요성 증대	- 해외 선진국들의 관련 기술 유출 금지 (국방, 항공우주) - 전세계적으로 미국, 중국, 일본, 독일, 프랑스 등 강대국만 시설 보유 - 선발주자의 공정 비밀 유지, 특허 장벽 및 시장독점
S (강점)	SO 전략 추진방향	ST 전략 추진방향
- 환경·에너지 플랜트 EPC 경험 풍부 - 국내 수소 공급 (부생가스 등) 및 냉열 활용 조건 우수 - 연료전지, 수소차, 반도체 등 수요 측면 기술 경쟁력 - 수소스테이션 등 수소활용 인프라 구축 정책 강화	- 기존 플랜트 EPC 경험 활용을 통한 수소액화 플랜트 TEST BED 실증 - 국내 수소액화 플랜트 및 활용 인프라 구축으로 미래 수소 사회 대비 - 기자재 실증으로 개발 극저온 기자재의 해외 시장 진출	- 기술 장벽을 고려하여 신기술/고성능화 개발 보다는 실제 액체수소 생산이 가능한 실증 플랜트 확보에 집중 (세계 6번째로 액체수소 생산 인프라 구축) - 액체수소 생산 및 활용 인프라의 조기 구축으로 중진국 등 기술 미보유국으로 해외 시장 진출
W (약점)	WO 전략 추진방향	WT 전략 추진방향
- 국내 액체수소 생산 시설 전무 - 수소 액화 엔지니어링 기술 및 관련 전문가 부족 - 극저온 핵심 기자재 산업 경쟁력 부족	- 국내 극저온 공정 전문가와 극저온 기자재 업체의 기술 역량 총 결집 - 소규모 원천연구를 통한 수소액화 신공정 원천기술 확보	- 경험이 전무한 상용급 수소액화 공정의 경우 특허 장벽이 없고, 엔지니어링 기술 실증이 가능한 기본 공정에 집중 - 단기간 개발이 불가능한 기자재의 도입 추진을 통한 수소액화 플랜트 실증 성공 가능성 확보 - 국외 플랜트 도입을 통한 기술 추격

□ SO 전략 추진방향

- 기존 플랜트 EPC 경험 활용을 통한 상용급 수소액화 실증 플랜트 구축
- 국내 수소액화 플랜트 및 활용 인프라 구축으로 미래 수소 사회 대비
- 기자재 실증으로 개발된 극저온 기자재의 해외 시장 진출 추진

□ ST 전략 추진방향

- 기술 장벽을 고려하여 수소액화 플랜트의 신기술 및 고성능화 개발의 집중 보다는 실제 액체수소 생산이 가능한 실증플랜트 확보에 집중하여 세계 6번째로 액체수소 생산 인프라 구축
- 액체수소 생산 및 활용 인프라의 조기 구축으로 중진국 등 기술 미보유국으로의 해외 시장 진출 추진

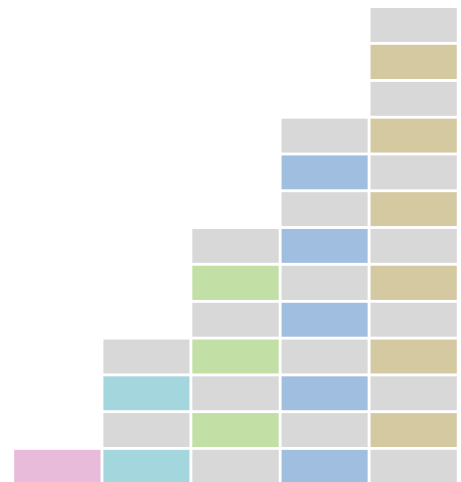
□ WO 전략 추진방향

- 매우 제한적인 국내 극저온 공정 전문가와 극저온 기자재 업체의 기술 역량을 총 결집하여 수소액화 관련 응용기술에 분야의 약점 극복
- 소규모 원천연구를 통한수소액화 신공정에 대한 원천기술 확보 추진

□ WT 전략 추진방향

- 경험이 전무한 상용급 수소액화 공정의 경우, 특히 장벽이 없고, 엔지니어링 기술 실증이 가능한 기본 공정에 집중
- 단기간 개발이 불가능한 기자재의 도입 추진을 통하여 상용급 수소액화 실증 플랜트 성공 가능성을 확보
- 소규모 수소액화 플랜트 (0.5 TDP급) 기술의 국제공동 연구를 통하여 기술 추격 기반 마련

Ⅲ. 국내 R&D 역량 분석



제 1 절 관련 산업 R&D 현황

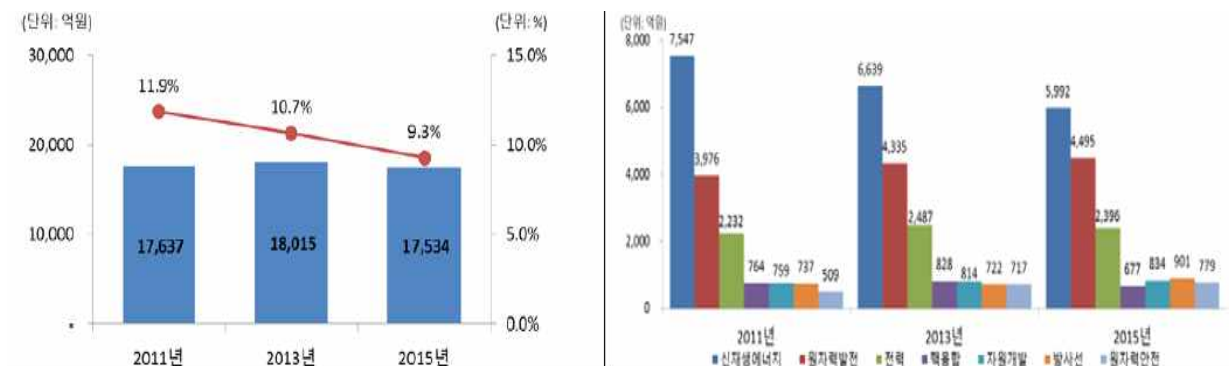
1. 액체수소기반 인프라 구축 기술 관련 유관 분야 R&D 투자동향

가. 연관 기술 R&D 투자 현황

- 본 사업의 핵심이 되는 수소액화플랜트, 액체수소 기반 충전소 기술은 기본적으로 에너지 자원 분야의 R&D 이며, 실제 기술의 구현은 기계/제조 분야, 건설교통 분야의 기술에 의하여 구현됨. 따라서 해당 분야의 국가 R&D 투자 실적과 투자 방향을 조사함

(1) 에너지 자원 분야

- 정부R&D 내 에너지·자원 분야 투자비중('15년)은 9.3%로 감소 추세이나, 신재생에너지, 에너지저장 등 핵심기술 분야에 대한 투자는 증가 추세



[그림 115] 정부R&D 중 에너지·자원 분야 투자 현황

- (정부R&D) '15년 투자는 17,534억원으로 전년대비(17,656억원) 0.7% 감소

- (투자비중) 정부R&D (188,747억원) 내 에너지·자원 분야 투자비중은 9.3% 수준이며, 최근 5년 간('11~ '15) 감소 추세⁴³⁾
 - 세부분야별로는 신재생에너지 (34.2%), 원자력발전 (25.6%), 전력 (13.7%) 등의 순이며, 발전 부문의 투자비중이 총 투자의 73.5% 차지
 - 최근 5년 간 에너지저장 (551→875억원, 12.3%) 분야의 연평균 증가율이 높음

43) 에너지·자원 분야 투자비중(%) : ('11)11.9 → ('13)10.7 → ('15)9.3

○ (연구개발단계, 수행주체) 개발연구 (개발 42%, 기초 21%, 응용 18%) 및 출연(연) (출연(연) 51%, 대기업 17%, 중소기업 15%, 대학 10%)을 중심으로 투자

□ (민간R&D) ‘15년 투자는 43,825억원이며, 민간의 투자비중은 정부 대비 2.5배로 전년(2.2배) 대비 소폭 증가

[표 51] 에너지 자원 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교 (‘15, 단위: 억원)

구분	신재생 에너지	에너지 저장	전력	온실가스 처리	자원 개발	원자력 발전	원자력 안전	방사선	핵융합	합계
정부(A)	5,992	875	2,396	584	834	4,495	779	901	677	17,534
민간(B)	10,115	2,678	10,960	566	1,069	10,271	3,100	5,066	-	43,825
B/A(비율)	1.7	3.1	4.6	1.0	1.3	2.3	4.0	5.6	-	2.5
(참고)‘14년	1.4	2.9	3.8	1.2	1.3	2.0	4.0	5.9	-	2.2

* 「제1차 정부R&D 중장기 투자전략(16~18)」의 민간투자 분류를 적용, 핵융합분야는 제외

□ (주요정책목표) 기후변화 대응 및 에너지신산업 육성 등을 목표로 핵심기술개발 역량 강화 및 상용화 촉진

○ (기후변화 대응) 「제1차 기후변화대응 기본계획(‘16.12)」 등에 따라 핵심 기술 확보 및 기술경쟁력 강화

- 국가 온실가스 감축목표 달성⁴⁴⁾ 및 탄소 프리시대 대응을 위해 태양전지, 연료전지, CO₂ 전환 등 10대 기후기술 분야 핵심기술 개발
- 청정에너지기술 분야 공공 R&D 투자확대(‘21년까지 ‘16년의 2배 목표) 및 정부-민간의 전략적 R&D⁴⁵⁾ 추진을 통해 기술경쟁력 확보

○ (에너지신산업 육성) 「에너지 신산업 및 기술개발 전략(‘14.7)」 등에 따라 미래성장동력 확보 및 자생력을 갖춘 산업생태계 조성

- 미래성장동력 확보를 위해 핵심기술을 선제적으로 확보하고 글로벌 에너지신산업 환경변화를 고려한 지속적인 신사업 모델 개발
- 연구결과물의 시장진입 촉진 및 기후 신산업 모델을 육성하기 위해 실증연구 강화 및 민-관 협업 생태계 조성

□ (주요사업) 저탄소 기술개발 및 상용화 촉진사업 추진

○ 신재생에너지, 에너지저장장치 등 온실가스 감축효과가 큰 기후 기술을 대상으로 선도적 원천기술 및 상용화 기술개발 추진

44) 2030년까지 BAU(배출전망치) 대비 37% 감축

45) 정부주도(신재생, 효율향상, 수요관리, CCUS), 공기업주도(원자력, 화력·송배전) 등

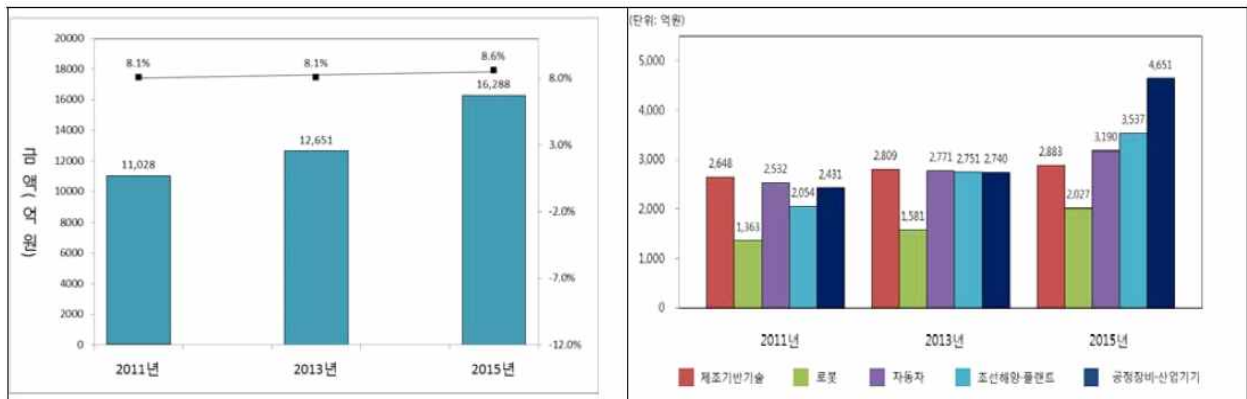
- 기후변화대응기술개발, 신재생에너지핵심기술개발, ESS기술개발 등

○ ICT 융복합형 에너지 신기술 개발 및 전기-열-연료 등 이중기술의 통합운용 기술개발사업 지원

- 에너지수요관리핵심기술개발 (전기기기 · 수송 등 효율향상), 스마트그리드핵심기술개발 등

(2) 기계 제조 분야

□ 투자현황 : 자동차, 로봇 분야 등을 중심으로 정부투자가 증가 (전년대비 7.9% 증가)



[그림 116] 기계 제조 분야 R&D 투자 현황

□ (정부R&D) ‘15년 투자는 1조 6,288억원으로 전년대비(1.4조) 7.9% 증가

○ (투자비중) 정부 R&D 예산(18.9조)의 8.6% 수준이며, 최근 5년 간 (‘11~ ‘15) 연평균 10.2% 증가

- 세부분야별로는 공정장비 · 산업기기 (28.6%), 조선해양 · 플랜트 (21.7%), 자동차 (19.6%), 제조기반기술 (17.7%), 로봇 (12.4%) 순임

- 최근 5년간 전 분야의 투자가 꾸준히 증가하였고, 공정장비 · 산업기기 (17.6%), 조선해양 · 플랜트 (14.6%), 로봇 (10.4%) 순으로 연평균 증가율이 높음

○ (연구개발단계, 수행주체) 개발 (52.1%), 기초 (14.4%), 응용연구 (9.1%) 순이며, 주체별로는 출연(연) (31.6%), 중소기업 (30.3%), 대학 (13.4%), 중견기업 (5.9%) 순

□ (민간R&D) 투자규모(‘15)는 11조 8,171억원으로 전년 (10.3조원)대비 총액은 증가하였으나, 민간투자비율은 감소 (‘14년, 8배 → ‘15년, 7.3배)

- 자동차, 제조기반기술을 중심으로 민간투자가 활발하나, 정부대비 민간투자비율은 로봇분야를 제외하면 '14년도에 비해 감소

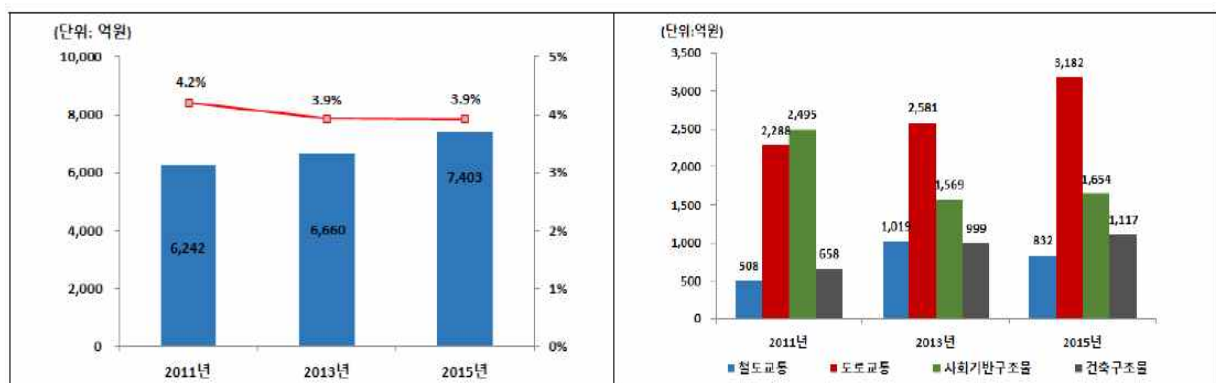
[표 52] 기계 제조 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교 ('15)

(단위 : 억원)						
구 분	제조기반기술	로봇	자동차	조선해양플랜트	공정장비산업기기	계
정부(A)	2,883	2,027	3,190	3,537	4,651	16,288
민간(B)	20,424	624	67,997	11,683	17,443	118,171
B/A(비율)	7.08	0.31	21.32	3.30	3.75	7.3
(참고)'14	7.24	0.27	21.5	3.91	4.89	8.0

(3) 건설 교통 분야

□ (정부R&D) 투자규모('15)는 7,403억원 규모(전체 정부R&D 대비 3.9%)

- (투자비중) 최근 5년 간('11~ '15) 전체 정부R&D는 연평균 6.2% 증가하였고, 건설·교통 분야는 4.4% 증가
- 세부분야별로는 도로교통 (43.0%), 사회기반구조물 (22.3%), 건축구조물 (15.1%), 철도교통 (11.2%), 국토공간 (5.9%), 물류 (2.5%) 순으로 투자
 - 최근 5년 간('11~ '15) 연평균 도로교통 8.6% 증가, 철도교통 13.1% 증가, 사회기반구조물 9.8% 감소



[그림 117] 건설 교통 분야 R&D 투자 현황

- (연구개발단계, 수행주체) 단계별로는 개발 (40.9%), 기초⁴⁶⁾ (15.7%), 응용 (13.8%) 순이며, 주체별로는 출연(연) (49.0%), 대학 (22.1%), 중소기업⁴⁷⁾ (8.5%) 순

46) 기초단계 비중 증가: 9.6%('11) → 13.5%('13) → 15.7%('15)

47) 중소기업 참여 증가: 6.7%('11) → 6.5%('13) → 8.5%('15)

□ (민간R&D) 민간의 R&D 투자가 활발하여 건설교통 분야 총 R&D ('15) 3조 2,708억 원 내 민간재원 비중이 77.4% 차지

○ 정부 대비 민간R&D 투자규모는 사회기반구조물, 건축구조물, 도로교통 순

[표 53] 건설 교통 분야 정부 및 민간R&D 투자규모 비교 ('15, 단위: 억원)

구 분	계	사회기반 구조물	건축구조물	국토공간	도로교통	철도교통	물류
정부투자(A)	7,405	1,654	1,117	436	3,182	832	184
민간투자(B)	25,303	9,039	7,414	895	7,101	787	67
B/A	3.42	5.47	6.64	2.05	2.23	0.95	0.36

나. 액체수소 인프라 구축 기술 분야 R&D 현황 분석

□ 본 사업의 목표인 액체수소 인프라 구축과 관련하여 NTIS 검색을 통하여, 지원과제 및 구축장비를 조사함

○ 키워드 : 액체수소, 수소액화

○ 분석연도 : 2002년 ~ 2018년

[표 54] 액체수소 인프라 구축과 관련 지원과제 NTIS 검색 결과

NO	과제명	당해연도 연구기간 시작일자	당해연도 연구기간 종료일자	정부투자 연구비 (원)	민간 연구비 (원)	연구비 합계 (원)	부처명
1	청정 수소에너지 저장 및 응용 시스템 개발	20021001	20030901	97,000,000	0	97,000,000	교육인적자원부
2	천연가스로부터 대량 수소제조 및 저장 기술 개발	20030201	20040101	1,200,000,000	800,000,000	2,000,000,000	산업자원부
3	천연가스로부터 대량 수소 제조 및 저장 기술 개발	20040201	20050101	1,000,000,000	800,000,000	1,800,000,000	산업자원부
4	극저온 액체수소 저장 및 운송설비의 Fitting류 기술	20041201	20050901	45,000,000	18,000,000	63,000,000	산업자원부
5	극저온 액체수소 저장 운송 설비 및 부품소재 기술	20041201	20050901	30,000,000	12,000,000	42,000,000	산업자원부
6	극저온 액체수소 저장 운송 설비의 밸브류 기술	20041201	20050901	55,000,000	22,000,000	77,000,000	산업자원부
7	극저온 액체수소 저장 운송용기 및 기화기개발	20041201	20050901	470,000,000	192,000,000	662,000,000	산업자원부
8	액체연료를 이용한 수소 스테이션 건설 및 실증 연구	20041201	20051201	677,000,000	740,000,000	1,417,000,000	산업자원부
9	액체수소 및 액화가스 저장용 위한 산업용 극저온 용기 설계	20050101		24,000,000	0	24,000,000	교육인적자원부
10	극저온 액체수소 저장 및 운송설비의 Fitting류 기술	20050101		45,000,000	42,000,000	87,000,000	산업자원부

NO	과제명	당해연도 연구기간 시작일자	당해연도 연구기간 종료일자	정부투자 연구비 (원)	민간 연구비 (원)	연구비 합계 (원)	부처명
11	극저온 액체수소 저장 운송 설비 및 부품소재 기술	20050101		30,000,000	24,000,000	54,000,000	산업자원부
12	극저온 액체수소 저장 운송 설비의 밸브류 기술	20050101		55,000,000	50,000,000	105,000,000	산업자원부
13	극저온 액체수소 저장 운송용기 및 기화기개발	20050101		470,000,000	408,000,000	878,000,000	산업자원부
14	천연가스로부터 대량 수소 제조 및 수소저장 기술개발	20050201	20060101	780,000,000	800,000,000	1,580,000,000	산업자원부
15	액체연료를 이용한 수소스테이션 건설 및 실증연구	20051201	20061201	1,400,000,000	1,480,000,000	2,880,000,000	산업자원부
16	국소 전기장 구조의 신개념 흡착 담체의 설계 합성 및 수소 흡착 특성 분석	20061101	20071001	46,000,000	0	46,000,000	교육인적자원부
17	극저온 액체수소 저장 및 운송설비의 Fitting류 기술	20061201	20070901	45,000,000	13,000,000	58,000,000	산업자원부
18	극저온 액체수소 저장 운송 설비 및 부품소재 기술	20061201	20070901	30,000,000	0	30,000,000	산업자원부
19	극저온 액체수소 저장 운송 설비의 밸브류 기술	20061201	20070901	55,000,000	16,000,000	71,000,000	산업자원부
20	극저온 액체수소 저장 운송용기 및 기화기개발	20061201	20070901	470,000,000	130,000,000	600,000,000	산업자원부
21	액체연료를 이용한 수소스테이션 건설 및 실증연구	20061201	20071201	1,200,000,000	550,000,000	1,750,000,000	산업자원부
22	국소 전기장 구조의 신개념 흡착 담체의 설계 합성 및 수소 흡착 특성 분석	20071101	20081001	49,000,000	0	49,000,000	교육인적자원부
23	액체연료를 이용한 수소스테이션 건설 및 실증연구	20071201	20081201	10,000,000	583,000,000	593,000,000	산업자원부
24	극저온용 액체헬륨 및 액체수소 밸브개발	20080701	20090601	27,000,000	26,000,000	53,000,000	중소기업청
25	고효율 수소저장용 기능성 수소투과 복합차단층 개발	20110701	20120630	300,000,000	0	300,000,000	교육과학기술부
26	기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	20110701	20120630	500,000,000	0	500,000,000	교육과학기술부
27	액화수소용기 건전성 및 수소추출특성 평가기술 개발	20110701	20120630	500,000,000	0	500,000,000	교육과학기술부
28	자기냉각에 의한 극저온 수소 재액화기술 개발 및 초저온 물질상태 연구	20110701	20120630	400,000,000	0	400,000,000	교육과학기술부
29	친환경 상온 자기냉각 기술 연구	20110701	20120630	300,000,000	0	300,000,000	교육과학기술부
30	연료전지 항공기 및 고고도 무인기 액체 수소 탱크 연구개발	20111201	20120831	20,000,000	0	20,000,000	교육과학기술부
31	고효율 수소저장용 기능성 수소투과 복합차단층 개발	20120701	20130630	502,000,000	0	502,000,000	교육과학기술부
32	기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	20120701	20130630	1,023,000,000	0	1,023,000,000	교육과학기술부
33	액체수소 저장시스템 안전 기술 개발	20120701	20130630	300,000,000	0	300,000,000	교육과학기술부
34	액화수소용기 건전성 및 수소추출특성 평가기술 개발	20120701	20130630	914,000,000	0	914,000,000	교육과학기술부
35	자기냉각에 의한 극저온 수소 재액화기술 개발 및 초저온 물질상태 연구	20120701	20130630	499,000,000	0	499,000,000	교육과학기술부
36	친환경 상온 자기냉각 기술 연구	20120701	20130630	462,000,000	0	462,000,000	교육과학기술부
37	고효율 수소저장용 기능성 수소투과 복합차단층 개발	20130701	20140630	466,000,000	0	466,000,000	미래창조과학부

NO	과제명	당해연도 연구기간 시작일자	당해연도 연구기간 종료일자	정부투자 연구비 (원)	민간 연구비 (원)	연구비 합계 (원)	부처명
38	기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	20130701	20140630	1,023,000,000	0	1,023,000,000	미래창조과학부
39	액체수소 저장시스템 안전 기술 개발	20130701	20140630	255,000,000	0	255,000,000	미래창조과학부
40	액화수소용기 건전성 및 수소취화특성 평가기술 개발	20130701	20140630	848,000,000	0	848,000,000	미래창조과학부
41	자기냉각에 의한 극저온 수소 재액화기술 개발 및 초저온 물질상태 연구	20130701	20140630	424,000,000	0	424,000,000	미래창조과학부
42	친환경 상온 자기냉각 기술 연구	20130701	20140630	429,000,000	0	429,000,000	미래창조과학부
43	고효율 수소저장용기 가능성 수소투과 복합차단층 개발	20140701	20150630	616,000,000	0	616,000,000	미래창조과학부
44	기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	20140701	20150630	1,298,000,000	0	1,298,000,000	미래창조과학부
45	액화수소용기 건전성 평가 및 안전 기술 개발	20140701	20150630	1,038,000,000	0	1,038,000,000	미래창조과학부
46	자기냉각에 의한 극저온 수소 재액화기술 개발 연구	20140701	20150630	414,000,000	0	414,000,000	미래창조과학부
47	친환경 상온 자기냉각 기술 연구	20140701	20150630	479,000,000	0	479,000,000	미래창조과학부
48	고효율 수소저장용기 가능성 수소투과 복합차단층 개발	20150701	20160630	716,000,000	0	716,000,000	미래창조과학부
49	기술융합형 액화물질 저장용기 기술개발	20150701	20160630	1,308,000,000	0	1,308,000,000	미래창조과학부
50	액화수소용기 건전성 평가 및 안전 기술 개발	20150701	20160630	1,038,000,000	0	1,038,000,000	미래창조과학부
51	자기냉각에 의한 극저온 수소 재액화기술 개발 연구	20150701	20160630	414,000,000	0	414,000,000	미래창조과학부
52	친환경 상온 자기냉각 기술 연구	20150701	20160630	469,000,000	0	469,000,000	미래창조과학부
53	초전도 케이블용 극저온냉매 순환장치개발	20150901	20160531	50,000,000	29,100,000	79,100,000	중소기업청
54	차세대 에너지(천연가스 수소 및 산소) 저장용기의 핵심기술 개발	20151101	20161031	50,157,000	0	50,157,000	교육부
55	액화수소 저장용기 단열성능향상 기술개발	20151101	20161031	59,137,000	87,898,000	147,035,000	중소기업청
56	0.5 kWh급 액상 biphenyl/carbazole 기반 가역적 수소저장 시스템 개발	20151201	20160930	500,000,000	26,410,000	526,410,000	산업통상자원부
57	고효율 초저온 액체 펌프 시스템 핵심기술 개발	20160601	20161231	1,200,000,000	600,000,000	1,800,000,000	산업통상자원부
58	고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획	20160930	20171231	200,000,000	0	200,000,000	국토교통부
59	0.5 kWh급 액상 biphenyl/carbazole 기반 가역적 수소저장 시스템 개발	20161001	20170930	400,000,000	28,200,000	428,200,000	산업통상자원부
60	기체/액체 수소에너지 사용을 위한 극저온 취성 안전성 시험방법 국제 표준화	20161001	20170930	200,000,000	16,000,000	216,000,000	산업통상자원부
61	차세대 에너지(천연가스 수소 및 산소) 저장용기의 핵심기술 개발	20161101	20171031	50,157,000	0	50,157,000	교육부
62	고효율 초저온 액체 펌프 시스템 핵심기술 개발	20170101	20171231	1,800,000,000	918,000,000	2,718,000,000	산업통상자원부
63	기체/액체 수소에너지 사용을 위한 극저온 취성 안전성 시험방법 국제 표준화	20171001	20180731	170,000,000	13,334,000	183,334,000	산업통상자원부
64	차세대 에너지(천연가스 수소 및 산소) 저장용기의 핵심기술 개발	20171101	20181031	50,157,000	0	50,157,000	교육부

NO	과제명	당해연도 연구기간 시작일자	당해연도 연구기간 종료일자	정부투자 연구비 (원)	민간 연구비 (원)	연구비 합계 (원)	부처명
65	고효율 자기냉각장치를 위한 측정 시스템 구축 및 냉각소재 개발	20180601	20190228	37,500,000	0	37,500,000	교육부
66	평창기 사이클 수소 액체로켓엔진의 기초 실험 기반 통합 설계	20180710	20181231	50,000,000	0	50,000,000	과학기술정보통신부
계				30,082,108,000	8,424,942,000	38,507,050,000	

□ 연도별 지원 현황

[표 55] 액체수소 인프라 구축 기술 분야 연도별 R&D 지원 현황

연도	과제수	정부연구비(억원)	민간연구비(억원)	총연구비(억원)	민간비율
2002	1	0.97	0.00	0.97	0.0%
2003	1	12.00	8.00	20.00	40.0%
2004	6	22.77	17.84	40.61	43.9%
2005	7	28.04	28.04	56.08	50.0%
2006	6	18.46	7.09	25.55	27.7%
2007	2	0.59	5.83	6.42	90.8%
2008	1	0.27	0.26	0.53	49.1%
2009	-	-	-	-	-
2010	-	-	-	-	-
2011	6	20.20	0.00	20.20	0.0%
2012	6	37.00	0.00	37.00	0.0%
2013	6	34.45	0.00	34.45	0.0%
2014	5	38.45	0.00	38.45	0.0%
2015	9	46.04	1.43	47.48	3.0%
2016	5	20.50	6.44	26.94	23.9%
2017	3	20.20	9.31	29.51	31.6%
2018	2	0.88	0.00	0.88	0.0%
계	66	300.82	84.25	385.07	21.9%

□ 부처별 지원과제 현황

○ 과학기술정보통신부

- 2002년부터 2018년 까지 총 37개 과제에 174억원을 지원함
- 민간 부담금은 전혀 없이 순수 국비로 기초 R&D를 지원함
- 과제당 평균 연구비는 4.7억 수준으로 실제 제품개발보다는 기술의 검증에 초점을 두고 있음

○ 산업통상자원부

- 2003년부터 2017년 까지 총 25개 과제에 206억원을 지원함
- 부처의 성격상 제품 개발 위주의 지원으로 민간 부담금은 총 연구비의 40.2% 수준임
- 과제당 평균 연구비는 8.2억 수준으로 연구비의 수준으로 볼 때 소용량 실증에 중점을 두고 있음
- 현재까지 국내에 대용량 액체수소의 생산 설비가 없으므로, 실제 제품 개발단계에서 액체수소를 활용한 개발은 없으며, 대부분 액체질소를 이용하여 개발품을 검증하였을 것으로 추정됨

□ 관련 연구시설/장비 검색

- 기반 구축 성격의 과제 지원이 없어 관련된 연구시설/장비는 극소수만 구축 되어 있으며, 가격대 또한 수천만원 수준으로 소형 계측기, 소형 냉동기가 전부임

[표 56] 액체수소 인프라 구축과 관련 구축장비 NTIS 검색 결과

NO	연구시설·장비명	취득일자	취득금액(원)	장비용도	등록연도	설치장소	용도
1	액체질소발생기	2016	45,000,000	분석	2016	경남과학기술대학교	극저온 구현을 위한 소형 질소 냉동기
2	측정챔버	2012	44,000,000	계측	2013	표준과학연구원	극저온 구현을 위한 소형 챔버
3	극저온 냉동기	2012	54,052,434	기타	2012	표준과학연구원	극저온 구현을 위한 소형 헬륨 냉동기
4	적외선분광기	2012	42,900,000	시험	2013	한국과학기술원	액체수소 분율 측정기
5	크라이오 펌프	2012	30,000,000	생산	2013	맥스필름	극저온 액체의 가압을 위한 소형 펌프

제 2 절 액체수소기반 인프라 구축 관련 기술역량 분석

1. 특허기술동향 조사

가. 특허분석 개요

(1) 분석배경 및 목적

- ☐ 액체수소기반 인프라 구축 기술개발 사업기획은 연구기획 단계에 있어 해당 기술 분야에 대한 현재 기술수준, 기술개발 동향, 시장 및 산업동향 조사 등 사전 특허·기술 동향을 파악함으로써 R&D 방향성 검토를 제시
- ☐ 연구의 효율성을 제고하고, 본 연구개발 사업 수행의 타당성에 대한 객관특허정보를 제공하고자 함
- ☐ 국제 특허현황 및 국가별 기술경쟁력 등의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략적인 연구개발 사업 계획 수립에 활용할 수 있도록 함

(2) 분석범위

- ☐ 본 분석에서는 액체수소기반 인프라 구축 기술 개발 기획보고서 작성 시 활용 가능한 자료를 제공하기 위한 키워드를 도출하여 특허 분석을 실시
 - ☐ 천연가스 개질 수소 공급 기술, 수소액화 공정기술, 수소액화 핵심설비기술, 액체수소스테이션 기술을 특허분석 대상으로 선정
 - ☐ 최초 출원부터 2018년 2월까지 출원/공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개특허와 등록특허를 분석 대상으로 함
- ☐ 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위
 - ☐ 분석대상 특허
 - 출원일 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음
 - 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2016년 후반부터 출원된 특허는 그 정량적 의미가

유효하지 않으므로 정량 분석 대상은 2016년까지 출원된 특허로 한정함

[표 57] 검색DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	~ 현재 (2018.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서
	중국			특허공개 및 등록 전체문서

□ 분석대상 기술 및 검색식 도출

- 개발기술의 특허 검색식을 구성함에 있어서, 본 사업범위를 기준으로 천연가스로부터 수소를 생산하고 액화하여 충전스테이션에 공급하는 전반적 기술에 대하여 검색식을 확정하고, 세부 기술 사항으로는 수증기 개질, 수성변환, 압력변동흡착법, 액화시스템, 액화 핵심설비, 액체수소 충전스테이션 기술이 포함되도록 키워드를 확장하여 구성
- 특히, 수소액화 핵심설비의 세부 기술 분야로 Ortho-Para Converter, 극저온열교환기, 수소압축기, 액체수소 극저온 펌프, 액체수소 저장탱크, 터보팽창기를 특허분석 대상으로 선정하여 분석 수행
- 본 보고서에서는 상기 방법을 통해 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술 분류를 포함할 수 있는 검색식을 완성함

[표 58] 특허 검색식 구성을 위한 기술분류체계

대분류	중분류	소분류
수소액화 플랜트 및 액체수소활용 인프라 구축	천연가스 개질 수소 공급 기술	천연가스 개질 수소 공급 기술
	수소액화 공정기술	수소액화 공정기술
	수소액화 핵심설비기술	수소압축기
		터보팽창기
		극저온 열교환기
		Ortho-Para Converter
		액체수소 저장탱크
	액체수소스테이션	액체수소스테이션

[표 59] 기술분류 기준에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	검색식	검색건수					
				한국	미국	일본	유럽	중국	합계
수소 액화 플랜트 및 액체 수소 활용 인프라 구축	천연 가스 개질 수소 공급 기술	천연가스 개질 수소 공급 기술	(수소* near5 (추출* 생산* 제조* 생성* 정제*)) and ((천연가스* (천연* near2 가스*) 메탄*) ((수증기* 증기* 스팀*) near5 (개질* 변환*)) (((수성* 습식*) near5 가스*) 일산화탄소*) near5 (전환* 변환* 전이*)) ((수소* near2 정제*) 압력변동흡착* (압력* near2 변동*) PSA)) and (B01* C01*).IPC.	522	1,382	557	820	246	3,527
	수소 액화 공정 기술	수소액화 공정기술	(수소액화* (수소* near5 (액화* 액체화* 액상화*)) and (F17* F25*).IPC. (수소액화* (수소* near5 (액화* 액체화* 액상화*)) and (극저온* 냉열* 질소* 엘엔지* LNG 액화천연* 예냉* (브레이튼* 클로드* 혼합*) near2 (사이클* 공정*)) (hydrogen near3 (liquef* liquid*)) and (F17* F25*).IPC. (hydrogen near3 (liquef* liquid*)) and (cryogenic* (nitrogen* LNG (liquid near3 gas)) near5 precool* (brayton* claud* (mixed near2 refrigerant*)) near2 (cycle* process*))	212	226	271	66	110	885
	수소 압축기	수소 압축기	((수소* 이온* 극저온*) near5 (압축*)) and (F04* F25B* F25J*).IPC. (hydrogen* ionic*) near5 (compressor*) and (F04* F25B* F25J*).IPC.	180	150	433	65	347	1,175
	수소 액화 핵심 설비 기술	터보 팽창기	((터보* 터빈*) near2 (팽창기* 익스팬더*)) and (수소* 액화* 극저온*) ((turbo* turbin*) near2 expander*) and (hydrogen* liquef* cryogenic*)	15	51	28	18	147	259
		극저온 열교환기	(열교환기* 기화기*) and (수소* 액화* 극저온*) and (F28*).IPC. ((heat* near3 exchanger*) heat-exchanger* vaporizer*) and (hydrogen* liquef* cryogenic**) and (F28*).IPC.	124	344	458	258	366	1,550

대분류	중분류	소분류	검색식	검색건수					
				한국	미국	일본	유럽	중국	합계
		Ortho-Para Converter	((오르토* 오르도* 오르소* 오르쏘* 올소*) near3 파라*) and (변환* 전환* 촉매*) and 수소* ((ortho* near5 para*) ortho/para* ortho-para* para-hydrogen* o-p) and (conver* catalys*) and hydrogen*	54	170	74	85	0	383
		액체수소 저장탱크	((액체* 액화*) near5 수소*) near5 (용기* 탱크* 컨테이너* 컨테이너* 스토리지* bombe*) and (F17C*).IPC. ((liquid* liquef*) near5 hydrogen*) near5 (vessel* storage* tank* container* bombe*) and (F17C*).IPC.	23	66	98	26	59	272
		액체수소 극저온 펌프	((액체* 액화*) near5 수소* 극저온* 크라이오* 크라이오*) near5 펌프*) and (F04* F25B* F25J*).IPC. (((liquid* liquef*) near5 hydrogen* cryo*) near5 pump*) and (F04* F25B* F25J*).IPC.	146	305	440	115	195	1,201
	소 계			542	1,086	1,531	567	1,114	4,840
	액체 수소 스테이션	액체수소스테이션	((액체* 액화*) near5 수소*) and ((충전* 충전* 차징* 급유* 재급유* 차지* 분배* 공급*) near2 (장치* 시스템* 스테이션* 플랫폼* 플랫폼*) 충전소*) ((liquid* liquef*) near5 hydrogen*) and ((fill* refuel* fuel* charg* dispen*) near5 (system apparatus) station* platform)	107	201	41	44	79	381
총 합 계				1,383	2,895	2,400	1,497	1,549	9,633

□ 유효특허 선별 기준 및 결과

- 지재권 중심의 핵심특허 분석을 위해 『수소액화 플랜트 및 액체수소활용 인프라 구축 기술』의 관련 데이터 중 등록/공개특허를 대상으로 하여 그 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 특허 후보군을 추출하였으며, 이 중 산·학·연 전문가 그룹의 검토에 의해 최종적으로 2,147건 유효특허를 분석 대상특허로 선정함

[표 60] 유효특허 선별 결과

종분류	소분류	유효데이터수					
		한국	미국	일본	유럽	중국	합계
천연가스 개질 수소 공급 기술	천연가스 개질 수소 공급 기술	91	182	130	72	134	609
수소액화 공정기술	수소액화 공정기술	73	125	113	78	35	424
수소액화 핵심설비기술	수소압축기	28	17	50	12	37	144
	터보팽창기	6	9	15	2	14	46
	극저온 열교환기	16	51	75	34	66	242
	Ortho-Para Converter	2	13	10	3	0	28
	액체수소 저장탱크	15	33	47	11	18	124
	액체수소 극저온 펌프	13	42	37	19	10	121
	소 계	80	165	234	81	145	705
액체수소스테이션	액체수소스테이션	52	99	158	47	53	409
총 합 계		367	278	635	296	571	2,147

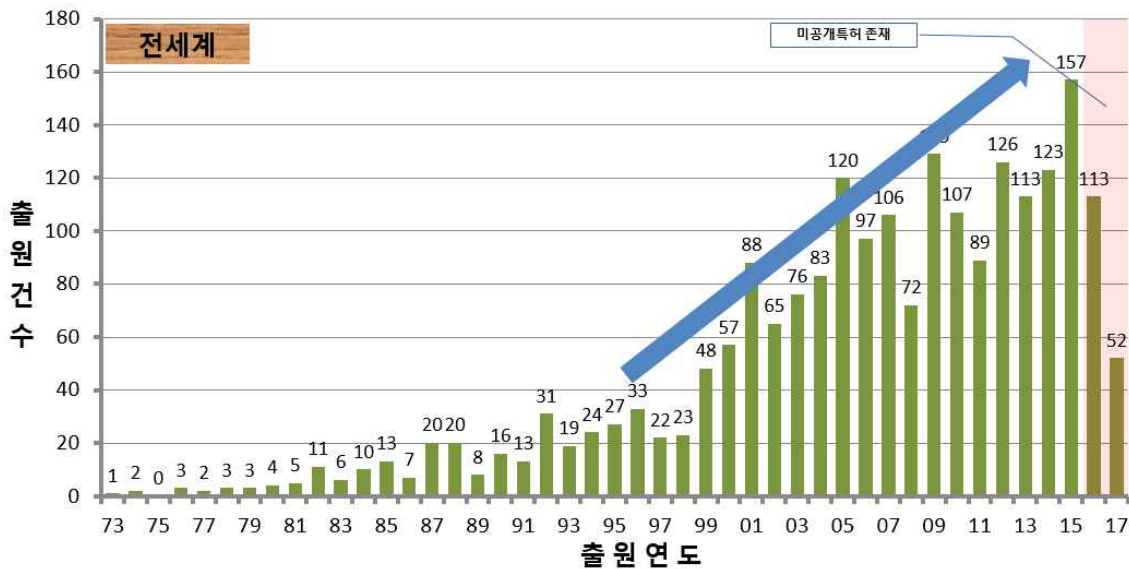
(3) 특허 기술동향 조사 분석 방법

- ☐ 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국에서의 주요시장국 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 기술시장 성장단계를 파악하고, 국가 간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별, 경쟁자별, 세부기술별 Landscape를 분석함
- ☐ 인용지수, 피인용지수, 기술순환주기 등 미국 등록특허를 기준으로 한 각종 지수를 바탕으로 개발기술의 위치, 상대적 가치, 국가 간의 경쟁력 등을 분석함
- ☐ 수소액화 핵심설비의 경우, 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국에서의 주요시장국 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 기술시장 성장단계를 파악하고, 점유율 분석 등을 통하여 IP 부상도를 제시

나. 특허동향

(1) 연도별 특허동향

□ 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)



[그림 118] 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)

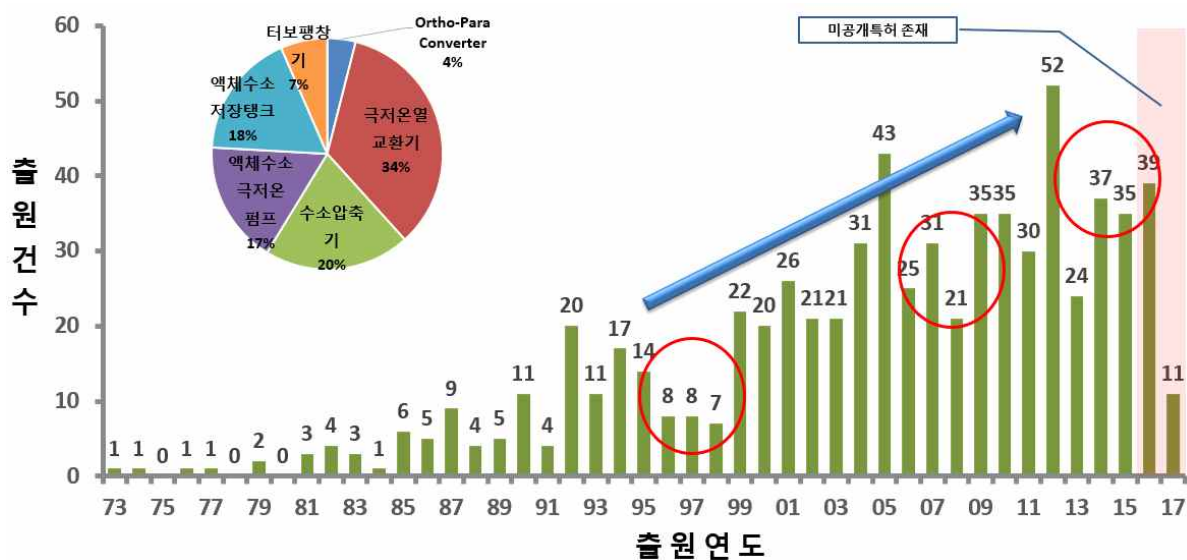
- 주요 특허청의 출원 건을 기준으로 액체수소 인프라 기반 구축 기술 개발 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴봄으로써, 각국에서의 특허출원 Trend를 알아보고자 함
- 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 분석 초기구간인 1970년대 초반부터 출원이 나타나고 있으며, 현재까지 특허출원 건수가 증가하는 것으로 나타남
- 특히, 1990년대 중반부터 특허 출원이 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 1990년 미국에서 마츠나가 수소연구개발법안 (Matsunaga Hydrogen Research and Development Act)이 성립된 후, 1992년 미국 에너지부 (DOE)의 “Hydrogen Program” 이 확정되면서 수소에너지와 관련하여 본격적인 기술개발 지원이 이루어진 것에 따른 영향인 것으로 판단됨⁴⁸⁾
- DOE는 2030년까지 단기 중기 장기로 나누어 HTAP (Hydrogen Technical Advisory Panel) 와 산업계, 학계의 협력을 얻어 연구개발을 추진하고 있으며, 미국의 기술을 추격하기 위

48) 출처 : 수소경제시대를 대비한 원자력수소 연구개발 타당성 분석 및 추진방안 연구 (과학기술부, 2005)

한 일본, 한국, 유럽, 및 중국 등의 후발주자의 영향으로 향후 액체수소 인프라 기반 구축 기술개발 분야의 출원건수는 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

- 다만, 연도별 동향그래프에서 2016년 후반 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과 하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않은 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야 함

□ 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)

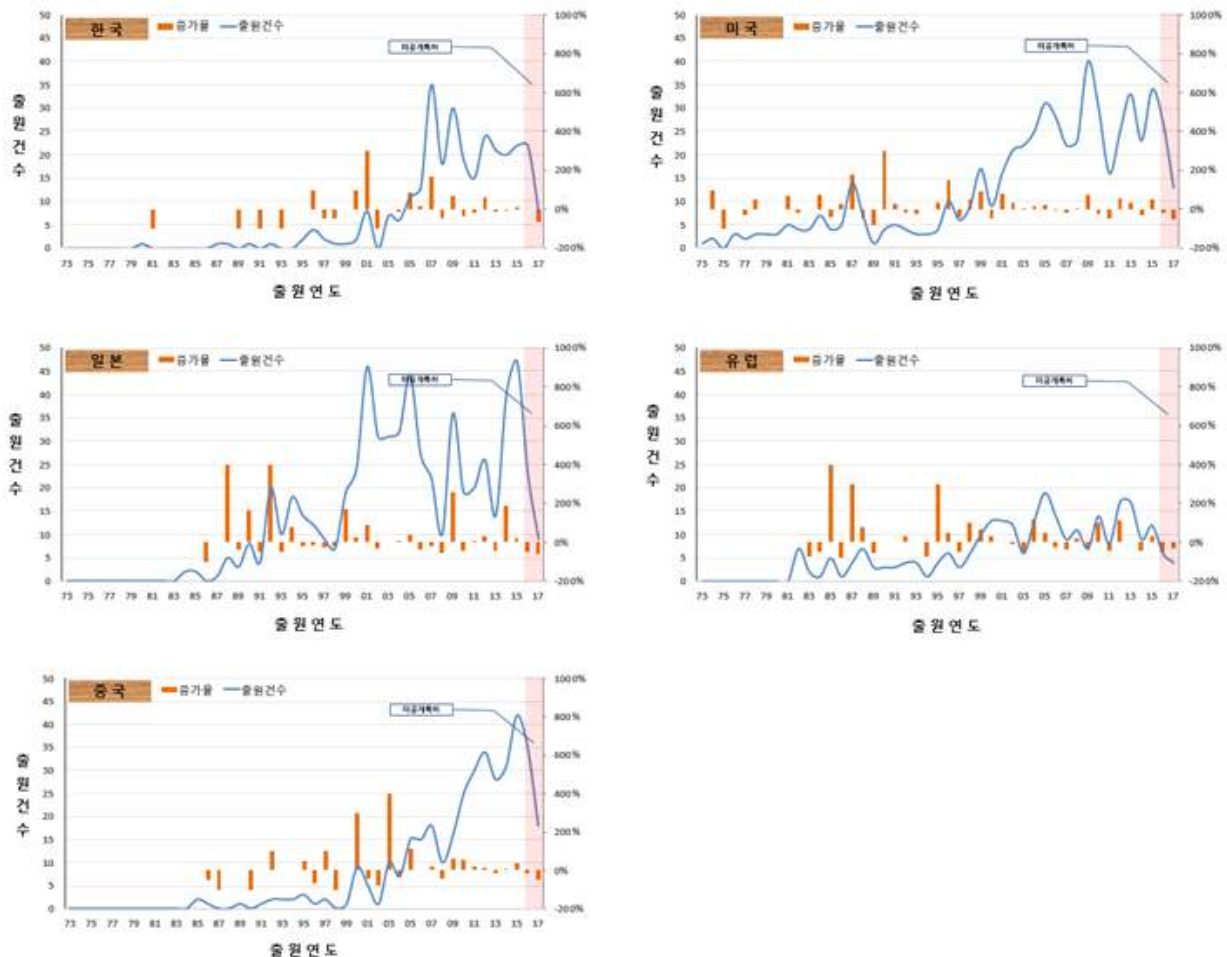


[그림 119] 주요시장국 전체 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)

- 수소액화 핵심설비 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 거시적인 관점에서 1970년대 초반에 특허출원이 처음 나타나고 있으며, 1990년대 초반부터 특허출원이 증가하고 1990년대 후반 및 2000년대 후반에 경제적 위기에서 일시적으로 특허출원이 감소하는 경향이 있었으나 전반적으로는 꾸준히 증가하는 추세임
- 수소액화 핵심설비는 기존의 극저온 냉각기술과 기술적으로 유사한 부분이 있어 분석에서 엄밀히 분리하기는 어려움이 있으므로 평가 시, 이를 감안하여야 함
- 미국은 2030년까지 단기 중기 장기로 나누어 HTAP (Hydrogen Technical Advisory Panel) 와 산업계, 학계의 협력을 얻어 연구개발을 추진하고 있으며, 미국의 기술을 추격하기 위한 일본, 한국, 유럽, 및 중국 등의 후발주자의 영향으로 향후 액체수소 인프라 기반 구축 기술개발 분야의 출원건수는 지속적으로 증가할 것으로 전망됨

- 다만, 연도별 동향그래프에서 2016년 후반 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과 하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않은 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야 함

□ 개별국 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전분야)



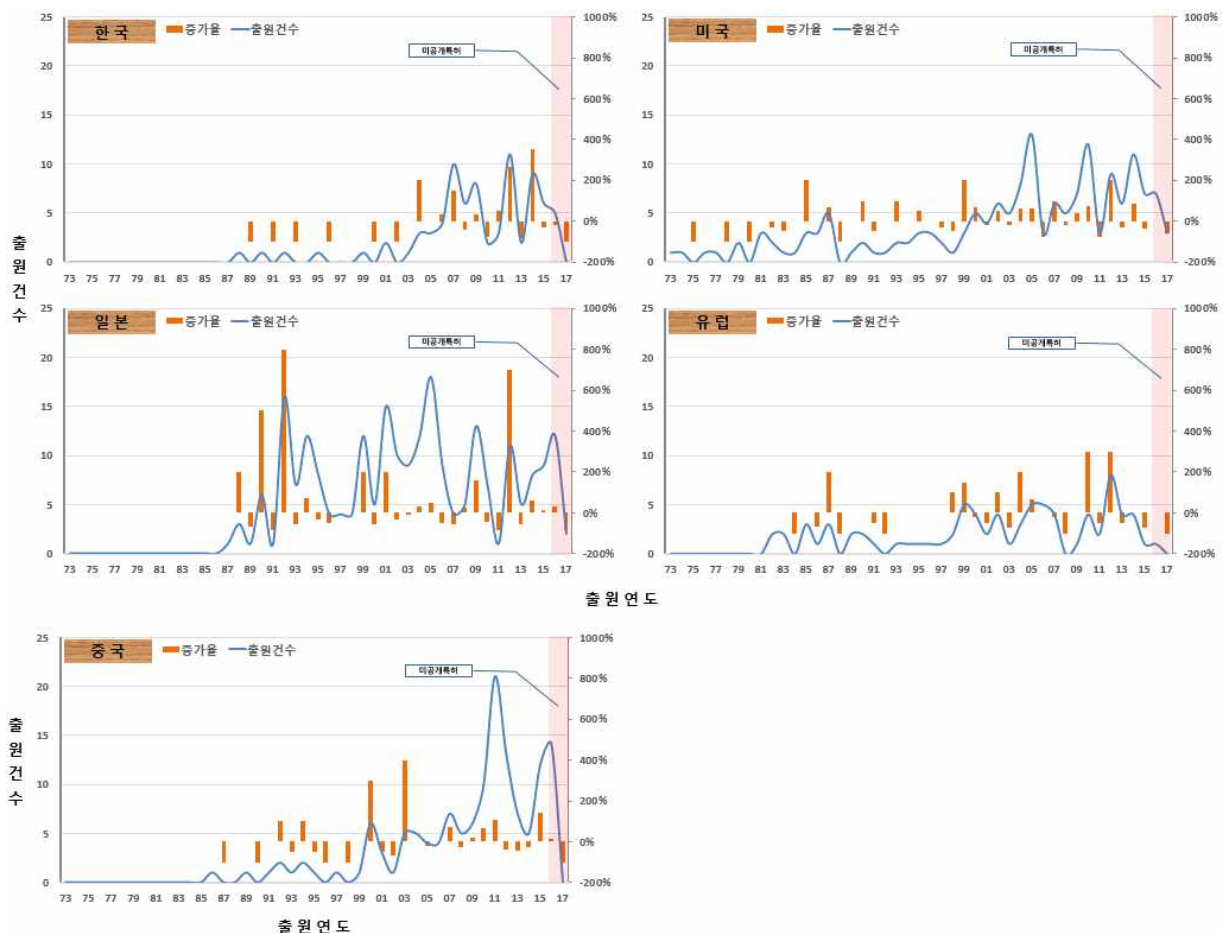
[그림 120] 개별국 연도별 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)

- [KIPO] 한국은 70년부터 출원건수가 나타나기 시작하여 90년도 후반까지 다소 미미하다가 2000년도 초반부터 급격히 증가하는 경향을 보임
- [USPTO] 미국은 70년대 초반부터 특허 출원이 나타나고 있으며, 90년대 초반부터 출원건수가 급격히 증가하기 시작하여 현재까지 출원 건수가 유지되고 있는 것으로 나타남
- [JPO] 일본의 연도별 특허동향을 살펴보면, 다소 출원 증감의 변화가 큰 것으로 나타남

있으나 전반적으로 80년대 초반부터 2000년대 초반까지 출원 건수가 증가한 것으로 나타남

- [EPO] 유럽의 경우 80년대 초반부터 출원이 나타났으며, 현재까지 출원 건수가 유지되고 있는 것으로 나타남
- [SIPO] 중국은 80년대 초반부터 90년대 후반까지 미미한 출원 건수를 보이다가 90년대 후반부터 현재까지 급격히 증가하는 양상을 보임
- 다만, 연도별 동향그래프에서 2016년 중반 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과 하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않은 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야 함

□ 개별국 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)



[그림 121] 개별국 연도별 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)

- [KIPO] 한국은 80년대 후반부터 출원건수가 나타나기 시작하여 90년도 후반까지 다소 미미하다가 2000년도 초반부터 급격히 증가하는 경향을 보임
- [USPTO] 미국은 70년대 초반부터 특허 출원이 나타나고 있으며, 2000년대 초반부터 출원건수가 급격히 증가하기 시작하여 현재까지 출원 건수가 유지되고 있는 것으로 나타남
- [JPO] 일본의 연도별 특허동향을 살펴보면, 다소 출원 증감의 변화가 큰 것으로 나타나고 있으나 전반적으로 90년대 초반부터 특허출원이 많이 증가하고 현재까지 출원의 증감에서 변동의 폭은 있으나 지속적인 특허 출원이 이루어지고 있는 것으로 나타남
- [EPO] 유럽의 경우 80년대 초반부터 출원이 나타났으며, 특허출원의 변동폭이 상대적으로 크지 않고 현재까지 꾸준한 출원 건수가 유지되고 있는 것으로 나타남
- [SIPO] 중국은 80년대 중반까지 미미한 출원 건수를 보이다가 90년대 후반부터 현재까지 급격히 증가하는 양상을 보임
- 다만, 연도별 동향그래프에서 2016년 중반 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않은 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야 함

□ 연도별 특허동향 종합의견

- 분석 대상기술은 액체수소 인프라 기반 구축과 관련된 기술로서, 전체적으로 특허출원 건수는 많지 않은 것으로 나타나 통계적인 의미는 미미함
- 액체수소 인프라 기반 구축과 관련된 기술의 전반적인 특허동향 및 주요시장국의 특허동향을 종합적으로 살펴보면 70년대 초반부터 90년대 중반까지는 특허출원건수가 미미한 것으로 보아, 관련 기술개발이 기초연구 수준에서 이루어진 것으로 판단됨
- 이 후, 90년대 중후반부터 특허출원 건수가 급격히 증가한 것으로 나타나는 것으로 보아 액체수소 인프라 기반 구축과 관련된 기술은 90년대 중반부터 기술개발이 활발히 이루어진 것으로 판단됨. 이는 주요 시장국의 수소에너지와 관련된 기술개발을 장려하는 정책적 지원에 따른 결과로 판단됨⁴⁹⁾
 - 1980년대 중반 독일에서 수소 기술 개발 계획이 시작되었으며, 1990년에 미국의 마츠나가 수소연구개발 법안 통과와 1992년에 Hydrogen Program 추진되었고, 1993년에는 일본의

49) 출처 : 수소에너지 기술 현황 (전력전자학회, 2001.04)

대규모 수소기술 개발 프로그램 (WE-NET)이 시작됨

- 한국의 수소 관련 연구는 1970년대 말부터 기초연구가 시작되어 1989년 과기처의 지원으로 한국에너지기술연구소가 연구를 총괄하여 수소에너지 관련 기초연구를 대학 및 연구소에서 공동으로 수행하였으나, 1단계의 연구지원으로 마감되었으며, 이후, 2000년 10월 과기부에서 5년간 60억을 지원하여 고효율 수소제조기술 개발이 활발히 이루어짐

○ 수소액화 핵심설비 분야 종합의견

- 분석 대상기술은 액체수소 인프라 기반 구축에서 필요한 수소액화 핵심설비와 관련된 기술로서, 전체적으로 특허출원 건수는 많지 않은 것으로 나타나 통계적인 의미는 미미함
- 수소액화 핵심설비와 관련된 기술의 전반적인 특허동향 및 주요시장국의 특허동향을 종합적으로 살펴보면 80년대 중반까지는 특허출원건수가 미미한 것으로 보아, 관련 기술개발이 기초연구 수준에서 이루어진 것으로 판단됨
- 이 후, 90년대부터 특허출원 건수가 급격히 증가한 것으로 나타나는 것은 환경문제에 대한 사회적 인식이 제고 되고 수소가 청정에너지로써 집중적인 관심을 받으면서 이와 관련된 기술 분야에 연구 역량이 집중되고 실용화 기술개발이 활발히 이루어진 것으로 판단됨. 이는 주요 시장국의 수소에너지와 관련된 기술개발을 장려하는 정책적 지원에 따른 결과로 판단됨⁵⁰⁾
- 한국의 수소 관련 연구는 1970년대 말부터 기초연구가 시작되어 1989년 과기처의 지원으로 한국에너지기술연구소가 연구를 총괄하여 수소에너지 관련 기초연구를 대학 및 연구소에서 공동으로 수행하였으나, 1단계의 연구지원으로 마감되었으며, 이후, 2000년 10월 과기부에서 5년간 60억을 지원하여 고효율 수소제조기술 개발이 활발히 이루어짐

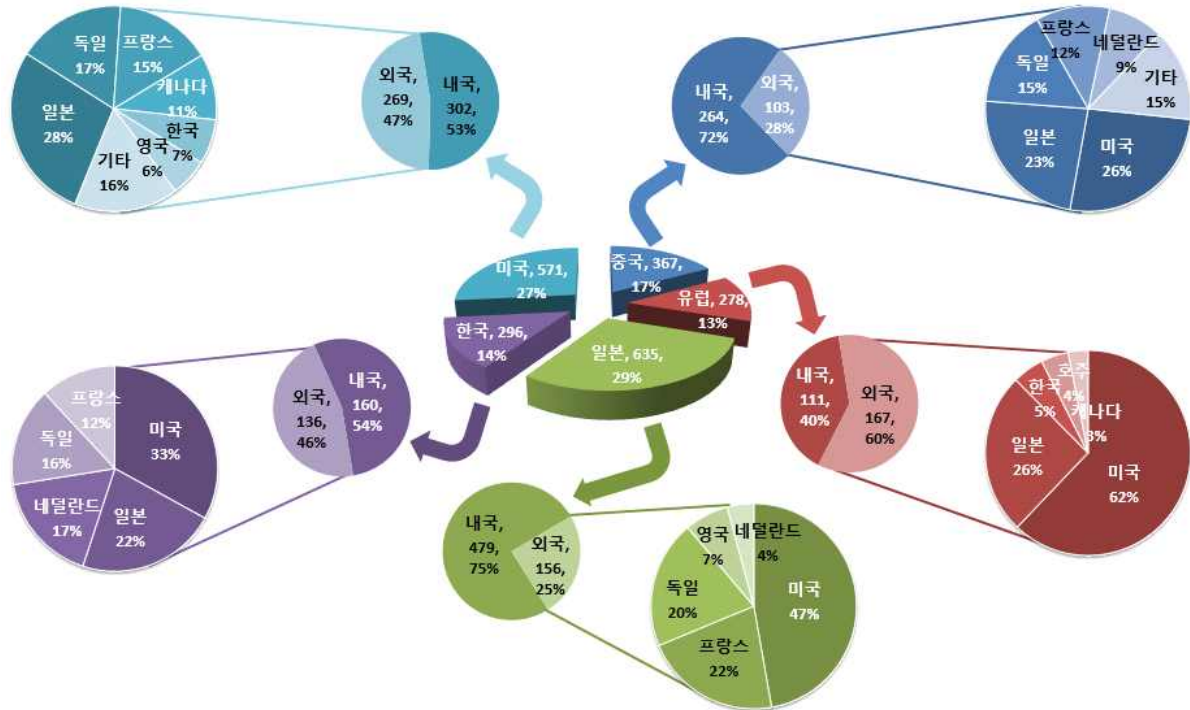
(2) 내외국인 특허동향

□ 주요시장국 내외국인 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)

- 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 일본이 전체 특허출원 규모의 29%를 차지하고, 미국이 전체 특허출원 규모의 27%를 차지하고 있는 것으로 나타남
- 일본 및 미국이 전체 주요 시장국 중 활발한 특허출원 양상을 보이는 주도국가로 확인됨
- 이외에 중국이 전체 분석 대상 국가 특허출원 규모의 17%를 차지하는 것으로 나타났고, 한국이 14%, 유럽이 13%를 차지하는 것으로 나타남
- 유럽을 제외하고 미국, 일본, 한국, 및 중국에서 내국인 비중이 외국인 비중보다 높게 나

50) 수소에너지 기술 현황, 전력전자학회, 2001.04

타난 것으로 보아, 자국 내에서 자체적인 기술개발이 활발히 이루어지고 있는 것으로 판단됨



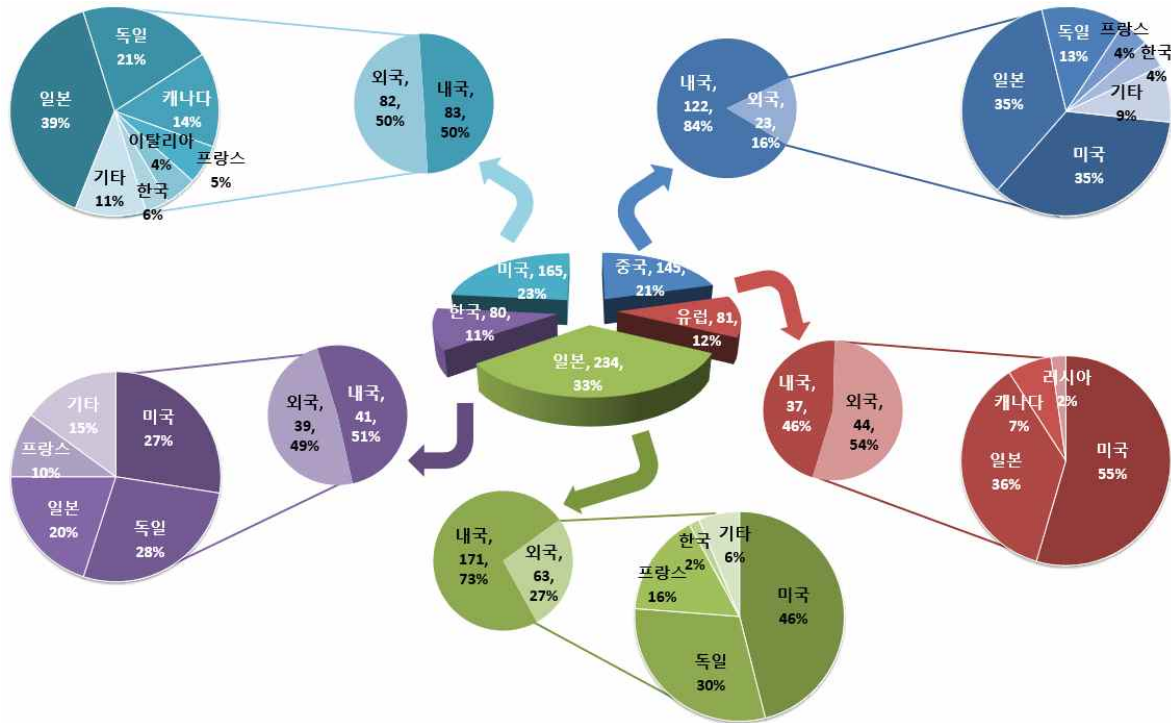
[그림 122] 주요시장국 내외국인 특허동향 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)

□ 주요시장국 내외국인 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)

- 수소액화 핵심장비 기술 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 일본이 전체 특허출원 규모의 33%를 차지하고, 미국이 전체 특허출원 규모의 23%를 차지하고 있는 것으로 나타남
- 개별국 연도별 특허동향에서 보듯이 미국의 경우 70년대 초반부터 꾸준히 당해 분야에서 지속적인 특허출원이 이루어졌고 일본의 경우 80년대 중반에 특허 출원이 있었음에도 불구하고 일본의 전체적 특허출원이 많은 것으로 보아 일본이 이 분야에서 유효한 기술을 상대적으로 많이 보유하고 있을 것으로 추정할 수 있음
- 중국의 경우 전체 분석 대상 국가 특허출원 규모의 21%를 차지하는 것으로 나타나서 최근 중국의 기술발전을 반영하고 있으며, 한국이 11%, 유럽이 12%를 차지하는 것으로 나타남
- 미국, 유럽, 한국의 경우 내국인 비중과 외국인 비중이 비슷하게 나타나고 있으며 일본의 경우 내국인의 비중이 큰 것으로 나타나고 있으며 외국에 출원을 많이 하는 국가로는 미

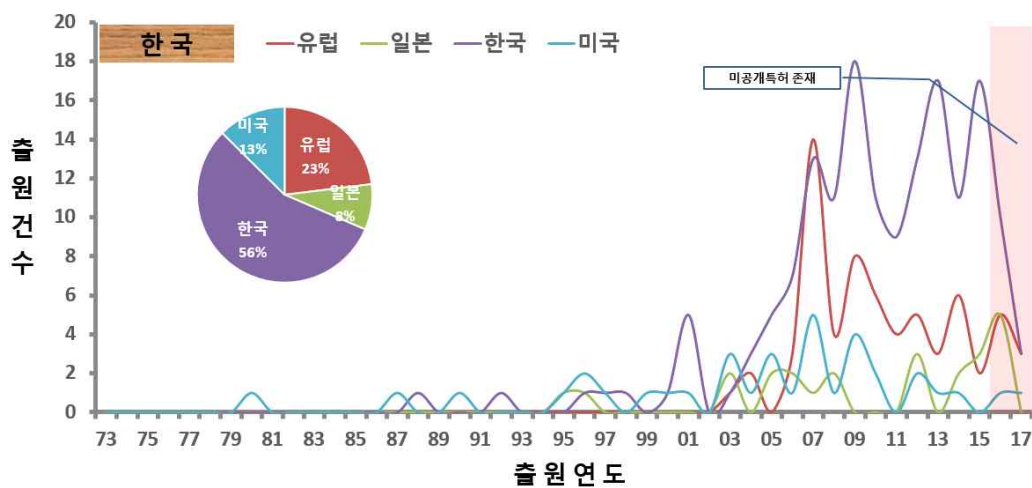
국, 일본, 독일로 나타남

- 한국시장에 가장 많이 출원한 국가는 독일, 미국, 일본으로서 각각 28%, 27%, 20%의 비중을 나타내고 있음



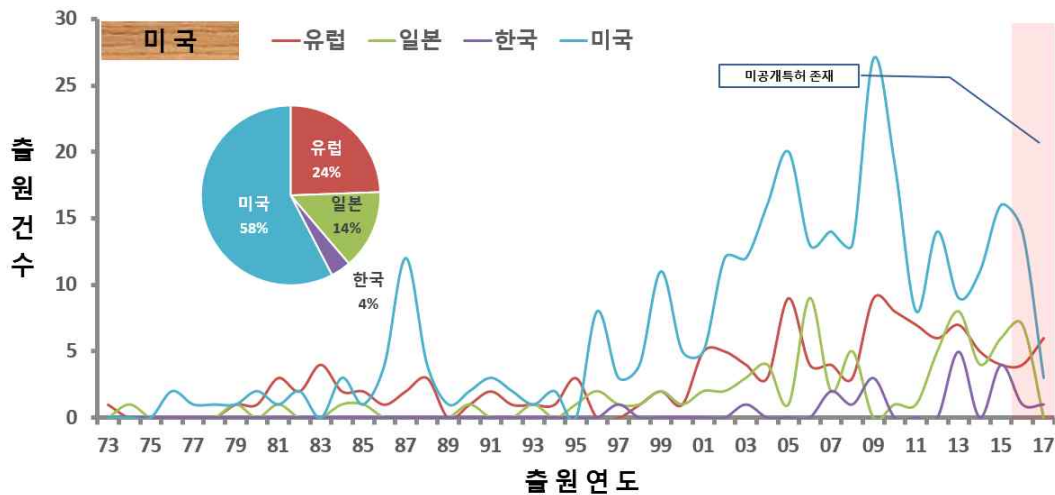
[그림 123] 주요시장국 내외국인 특허동향 (수소액화 핵심설비 분야)

□ 주요시장국 국가별 내외국인 특허동향



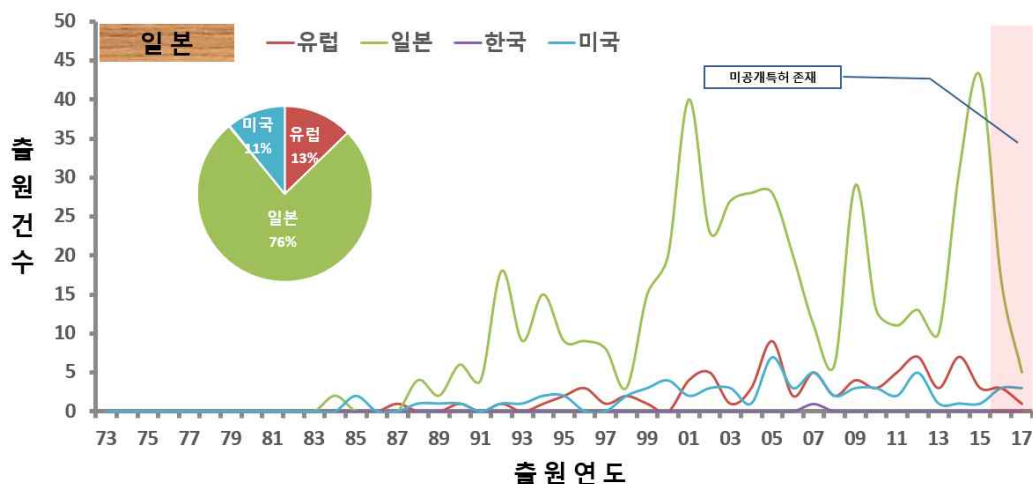
[그림 124] 한국의 특허출원 현황

- 한국의 내국인과 외국인의 특허출원 활동을 살펴보면 한국은 내국인의 특허출원활동이 56%, 외국인의 특허출원 활동이 44%로서, 내국인의 특허출원 비중이 외국인보다 좀 더 높게 나타남
- 한국 내에서 외국인의 특허출원 활동을 살펴보면, 유럽이 23%, 미국이 13%, 및 일본이 8%로 나타남



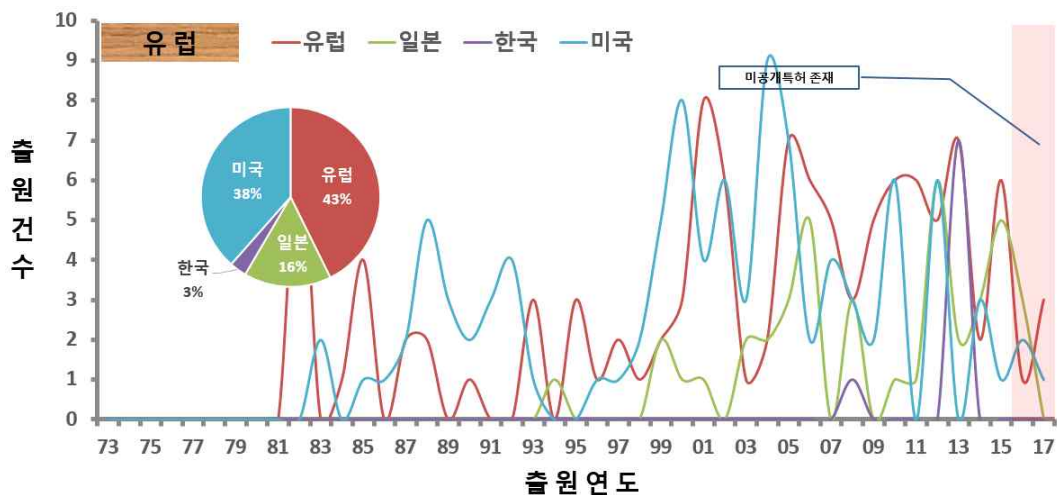
[그림 125] 미국의 특허출원 현황

- 미국의 내국인과 외국인의 특허출원활동을 살펴보면 미국 역시, 내국인의 특허출원활동이 58%, 외국인의 특허출원활동이 42%로서, 내국인의 특허출원 비중이 외국인보다 좀 더 높게 나타남
- 미국 내에서 외국인의 특허출원활동은 유럽, 일본 및 한국이 각각 24%, 14%, 4%로 나타남



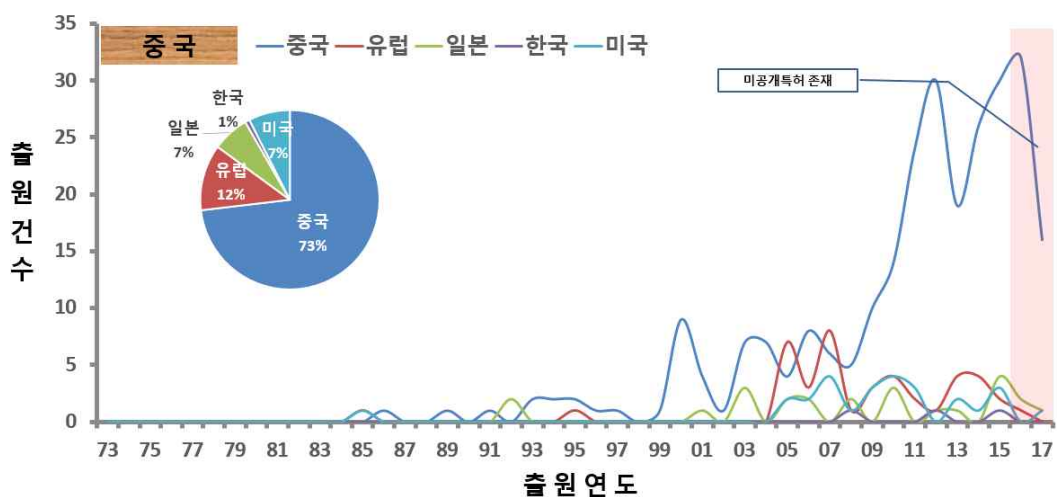
[그림 126] 일본의 특허출원 현황

- 일본의 내국인과 외국인의 특허출원활동을 살펴보면 일본은 내국인의 특허출원활동이 76%, 외국인의 특허출원활동이 24%로서, 외국인에 비해 내국인의 특허출원 비중이 매우 높게 나타남
- 일본 내에서 외국인의 특허출원활동을 살펴보면, 유럽이 13%, 일본이 11%로 나타남



[그림 127] 유럽의 특허출원 현황

- 유럽의 내국인과 외국인의 특허출원활동을 살펴보면 유럽은 내국인의 특허출원활동이 43%, 외국인의 특허출원활동이 57%로서, 내국인보다 외국인의 특허출원 비중이 다소 높게 나타남
- 유럽 내에서 외국인의 특허출원활동은 미국, 일본 및 한국이 각각 38%, 16%, 3%로 나타남



[그림 128] 중국의 특허출원 현황

- 중국의 내국인과 외국인의 출원활동을 살펴보면 중국은 내국인의 특허출원활동이 73%, 외국인의 특허출원활동이 27%로서, 내국인의 특허출원 비중이 외국인의 출원 비중 보다 높게 나타남
- 중국 내에서 외국인의 특허출원활동을 살펴보면, 유럽이 12%, 미국 및 일본이 7%, 한국이 1%로 나타남

□ 주요시장국 내외국인 특허동향 종합의견

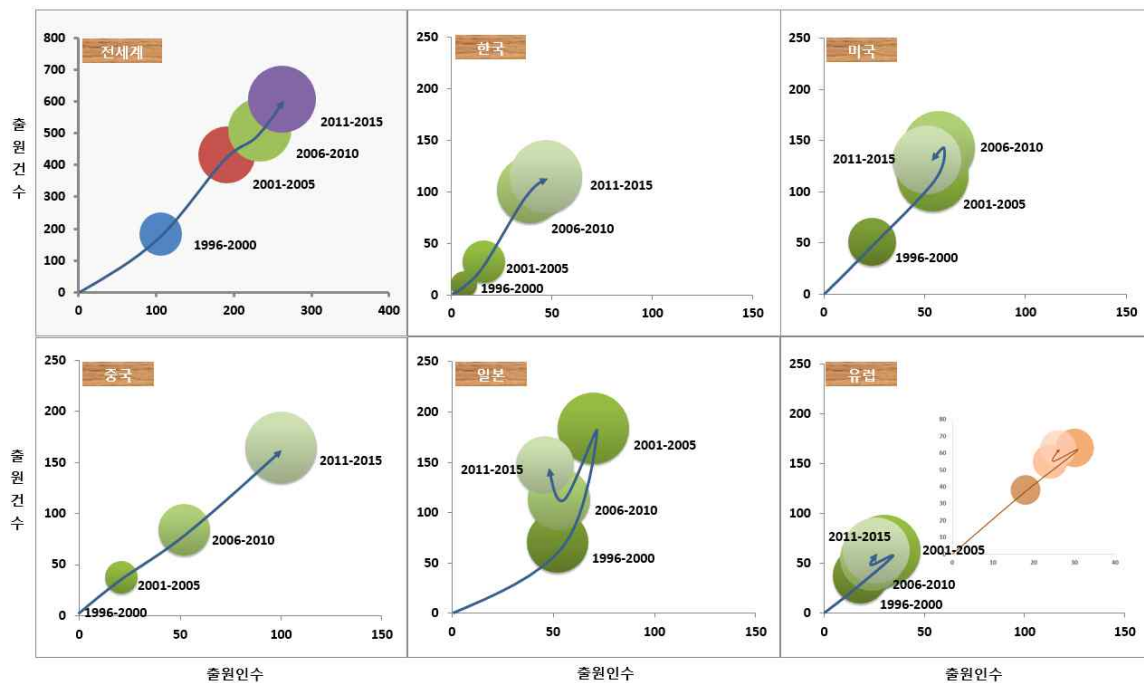
- 분석 대상기술인 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야의 국가별/출원인 국적별 특허동향을 살펴보면, 일본이 및 미국이 전체 주요 시장국 중 활발한 출원 양상을 보이는 주도국가로 확인됨
- 유럽을 제외하고 미국, 일본, 한국, 및 중국에서 내국인 비중이 외국인 비중보다 높게 나타난 것으로 보아, 자국 내에서 자체적인 기술개발이 활발히 이루어지고 있는 것으로 판단됨
- 특이점은 유럽특허청 (EPO) 출원 특허수는 적은 편이나 미국, 일본, 한국 및 중국에서 유럽 출원인의 비중이 공통적으로 높게 나타남
 - 유효데이터를 살펴보면 유럽 내 개별국 (독일특허청, 영국특허청 등) 출원 활동은 활발하게 이루어지고 있는 것으로 나타남
 - 유럽특허청에 출원된 전체 특허 수는 미미하나, 기술 시장 점유율 증대를 위한 의도로 분석할 수 있음

(3) 포트폴리오로 본 기술시장 성장단계

□ 포트폴리오로 본 전체 기술시장 성장단계 (액체수소기반 인프라 구축 기술 전 분야)



[그림 129] 기술시장 성장단계



[그림 130] 포트폴리오로 전체 기술시장 성장단계

- 본 그래프는 출원 건수와 출원인 수 변화의 상관관계를 통해 액체수소 인프라 기반 구축 기술의 위치를 포트폴리오로 나타낸 것임
- 본 그래프는 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음
- 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 나누었음
- **[Total]** 포트폴리오로 나타난 전체특허의 기술 위치는 1구간 (1996~2000년)부터 4구간 (2011~2015년)까지 출원 건수와 출원인의 수가 함께 증가하는 것으로 보아 성장기 단계에 있는 것으로 판단됨
- **[KIPO]** 포트폴리오로 나타난 한국특허의 기술위치는 전체특허의 기술위치와 마찬가지로 1구간 (1996~2000년)부터 4구간 (2011~2015년)까지 특허출원 건수와 출원인 수가 증가하는 성장기 단계를 보임
- **[USPTO]** 포트폴리오로 나타난 미국특허의 기술위치는 1구간 (1996~2000년)부터 3구간 (2006~2010년)까지 특허출원건수 및 출원인수가 증가하다가 4구간 (2011~2015년)에 접어

들면서 특허출원건수 및 출원인수가 감소하는 쇠퇴기 단계를 보임

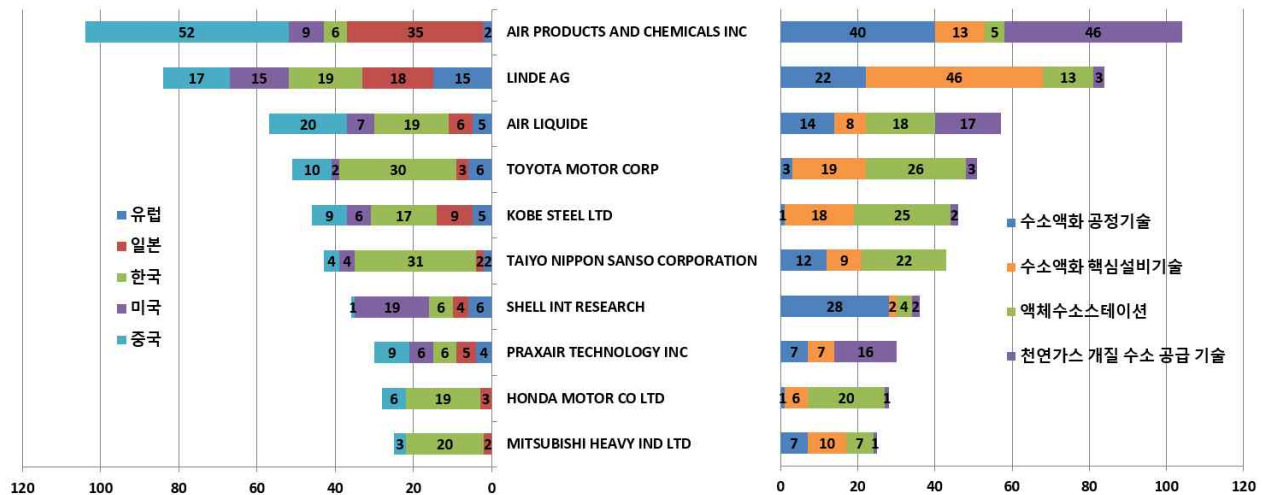
- [SIPO] 포트폴리오로 나타난 중국특허의 기술위치는 1구간 (1996~2000년)부터 4구간 (2011~2015년)까지 특허출원 건수와 출원인 수가 증가하는 성장기 단계를 보임
- [JPO] 포트폴리오로 나타난 일본특허의 기술위치는 1구간 (1996~2000년)부터 2구간 (2001~2005년)까지 특허출원 건수 및 출원인수가 급격히 증가하였다가 3구간 (2006~2010)에서 쇠퇴기 단계를 보인 후, 4구간 (2011~2015년)에 접어들면서 특허출원건수 및 출원인수가 다시 증가하는 회복기 단계를 보임
- [EPO] 포트폴리오로 나타난 유럽특허의 기술위치는 특허출원 건수가 적어 기술적 경향을 파악하기 어려우나, 일본특허와 유사한 양상을 보이며 회복기로 분석됨

□ 액체수소 인프라 기반 구축 기술의 위치에 대한 종합의견

- 포트폴리오로 나타난 전체특허의 기술 위치는 성장기 단계에 있는 것으로 판단됨. 전체적인 출원 건수 및 출원인 수 성장세로 미루어 보아 기술 개발 및 관심도가 지속적으로 증가할 것으로 보여 지나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향의 지속적인 모니터링이 필요함
- 한국 및 중국이 전체적인 특허동향과 비슷한 흐름을 나타냄. 한국과 중국의 경우, 선진국가인 유럽, 미국, 및 일본에 비하여 기술개발이 다소 늦은 경향이 있지만, 지구 온난화 문제가 가시화 되어 화석연료의 사용제한 및 탄소세 등의 문제가 구체화됨에 따라 에너지시스템이 대체에너지를 근간으로 하는 액체수소 인프라 기반 구축 기술과 관련된 기술력을 확보하고자 하는 노력과 국가적인 지원이 기술시장 성장단계에 큰 영향을 미친 것으로 판단됨
- 수소액화 핵심설비 기술의 성장단계
 - 포트폴리오로 나타난 전체특허의 기술 위치는 성장기 단계에 있는 것으로 판단됨
 - 한국 및 중국이 전체적인 특허동향과 비슷한 흐름을 나타냄
 - 한국과 중국의 경우, 선진국가인 유럽, 미국, 및 일본에 비하여 기술개발이 다소 늦은 경향이 있지만, 액체수소 인프라 기반 구축 기술과 관련된 기술력을 확보하고자 하는 노력과 국가적인 지원이 기술시장 성장단계에 큰 영향을 미친 것으로 판단됨
- 향후, 수소연료전지차 (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)의 경쟁에 따라 수소에너지를 사용하는 연료전지 시장의 확대가 예상되며 주요 시장국의 수소충전소 등의 인프라 보급 및 정책적 지원이 활발해짐에 따라 일본 및 유럽의 기술성장세가 회복되고 있는 것을 미루어 볼 때 향후, 미국의 기술성장세도 일본 및 유럽과 유사한 양상을 나타낼 것으로 예상됨

(4) 상위 주요 출원인 현황

□ 주요시장국 전체 상위 출원인 현황



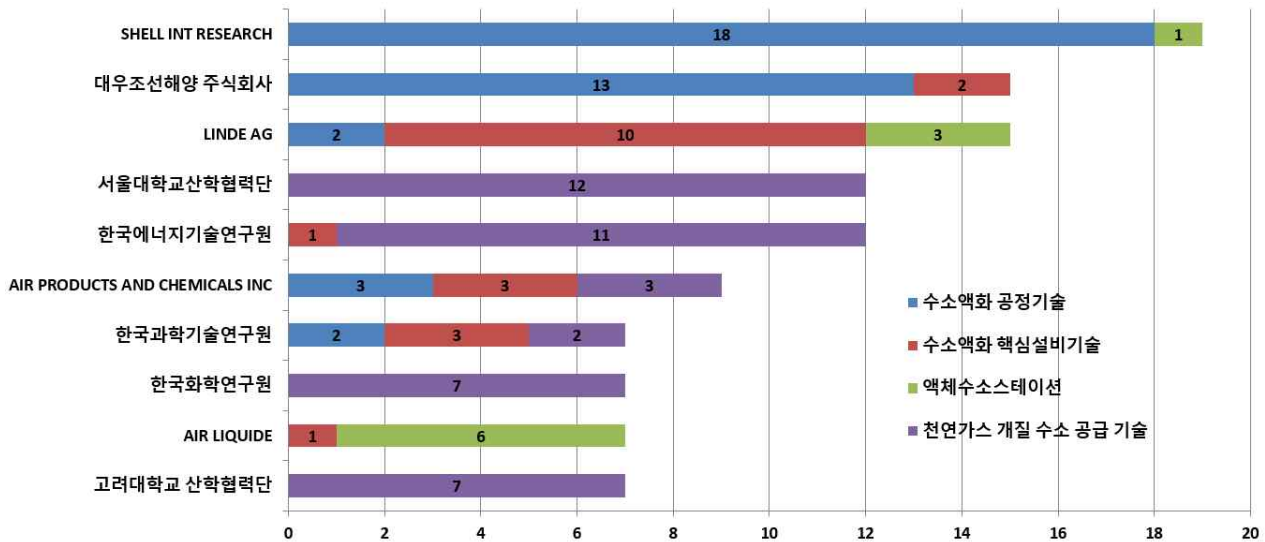
[그림 131] 상위 주요 출원인 현황

- 분석 결과, 미국 출원인인 AIR PRODUCTS AND CHEMICALS INC가 총 104건의 특허 출원으로 최다 출원인으로 나타났으며, 전체 10위 최다 출원인 중 21%를 차지하는 것으로 나타남. AIR PRODUCTS AND CHEMICALS INC는 천연가스 개질 수소공급 기술 분야에서 두각을 나타내는 것으로 판단됨
- 국적별로 살펴보면 일본 국적의 출원인이 5명으로 일본 국적의 출원인이 가장 많은 것으로 조사됨. 일본 국적의 출원인들인 TOYOTA MOTOR CORP, KOBE STEEL LTD, TAIYO NIPPON SANSO CORPORATION, HONDA MOTOR CO LTD, 및 MITSUBISHI HEAVY IND LTD가 전체 10위 최다 출원인 중 38%를 차지하고 있어 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야와 관련하여 일본이 두각을 나타내고 있는 것으로 판단됨
- 또한, 유럽 출원인인 LINDE AG (독일), AIR LIQUIDE (프랑스), 및 SHELL INT RESEARCH (네덜란드)가 총 177건으로 전체 출원의 35%를 차지하는 것으로 나타남

□ 국내 상위 출원인 현황

- 분석 결과, SHELL INT RESEARCH (네덜란드)가 총 19건의 특허 출원으로 최다 출원인으로 나타났음

- 한국 출원인으로는 대우조선해양 주식회사가 15건, 서울대학교 산학협력단이 12건, 한국 에너지기술연구원이 12건의 특허 출원으로 상위 최다 출원인으로 나타남



[그림 132] 국내 주요 출원인 현황

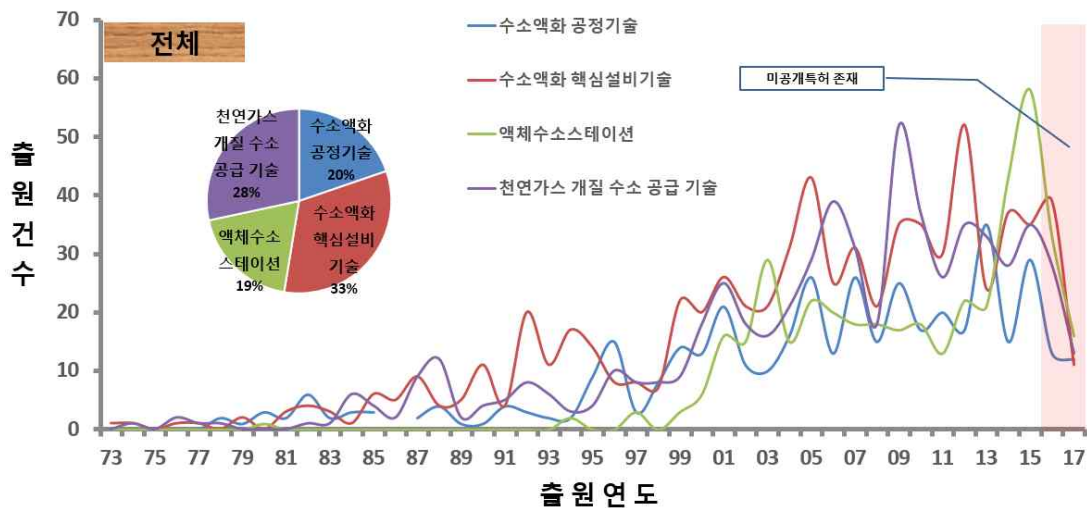
□ 상위 출원인 현황 종합의견

- 액체수소기반 인프라 구축 관련 기술의 상위 주요 출원인 현황을 종합적으로 살펴보면 일본 국적의 출원인과 유럽출원인의 특허출원 활동이 상대적으로 활발한 것으로 나타남
- 또한, 상위 주요 출원인의 국가별 출원 동향을 살펴보면, 일본이 173건, 미국이 129건으로 상위 주요 출원인 출원건수의 약 62%를 차지하는 것으로 나타나 액체수소 인프라 기반 구축 기술과 관련된 시장이 일본 및 미국에서 가장 활발한 것으로 분석됨

다. 기술동향

(1) 연도별 특허동향

□ 주요기술의 연도별 특허동향

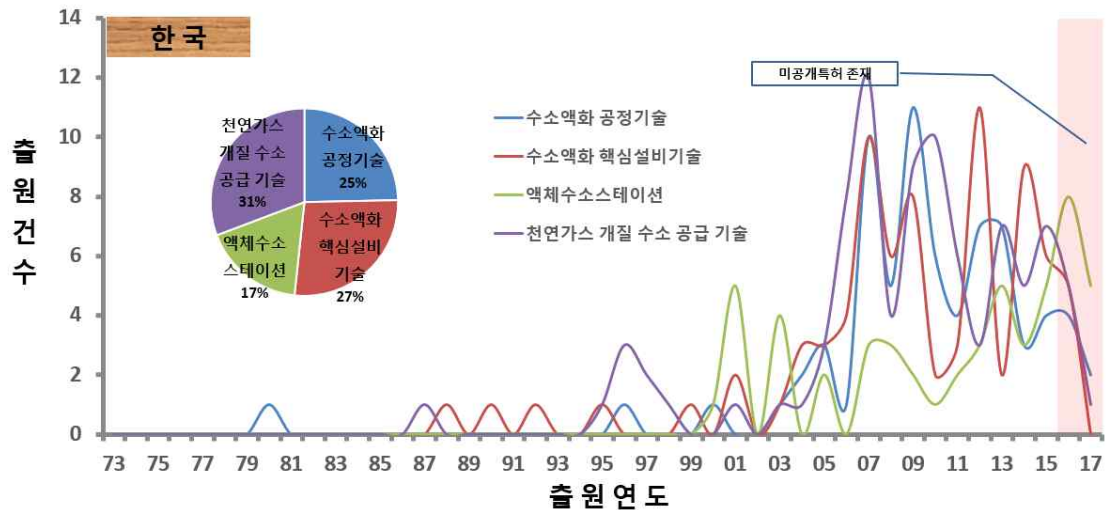


[그림 133] 주요 기술의 연도별 특허동향

- 세부기술별로 연도별 전체 특허동향을 살펴봄으로써, 주요 기술의 특허출원 Trend를 알아 보고자 함
- 세부기술별 전체 특허동향을 살펴보면, 수소액화 핵심설비기술 분야가 전체 출원의 33%를 차지하고 있어 가장 높은 점유율을 나타냄. 이어서, 천연가스 개질 수소 공급기술이 28%, 수소액화 공정기술이 20% 및 액체 수소 스테이션이 19%의 점유율을 나타냄
- 수소액화 핵심설비기술 분야, 천연가스 개질 수소 공급기술 분야, 및 수소액화 공정기술 분야는 꾸준하게 완만한 성장세를 보이고 있는 것으로 나타남
- 특히, 액체수소 스테이션 기술 분야의 경우, 90년대 후반부터 현재까지 급격한 성장세를 이루고 있는 것으로 나타나고 있음. 국가별 점유율과 연계해서 살펴볼 때, 액체수소 스테이션 기술 분야는 일본 출원인의 출원건수가 219건으로 전체 액체수소 스테이션 기술 분야의 53%를 차지함으로써 압도적인 점유율을 나타냄
 - 이는 2002년도부터 일본 경제산업부가 실시하고 있는 JHFC프로젝트 (수소 및 연료전지 실증 프로젝트)의 “Ariake 수소 스테이션”을 추진하면서 연료전지자동차와 다양한 수소제조방식에 의한 수소 스테이션을 구비한 대규모 실증 연구를 진행하는 등 일본의 정책 지원에 따라 액체수소 스테이션 기술 분야에서 일본의 기술 점유율이 높아진 것을 확인할

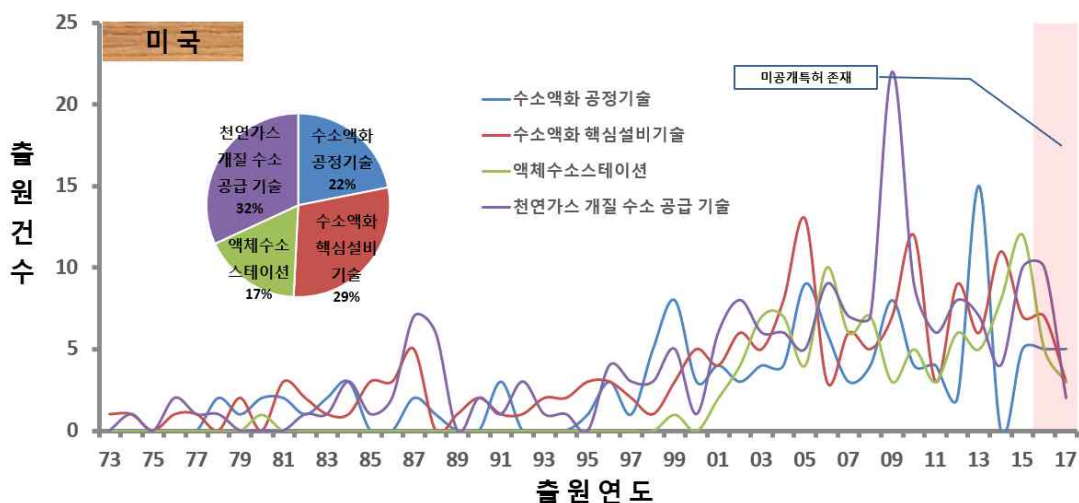
수 있음⁵¹⁾

□ 세부기술별 특허동향



[그림 134] 한국의 세부기술별 특허출원 현황

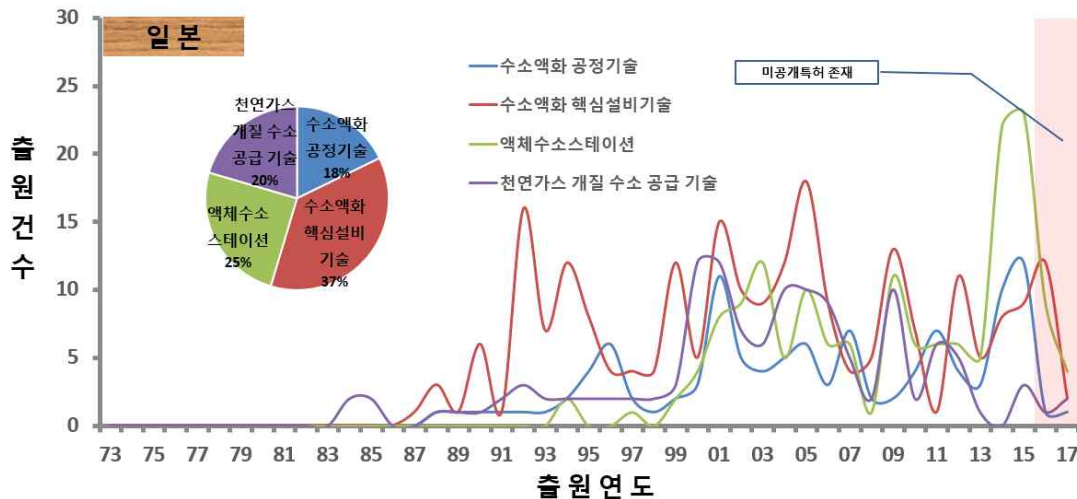
- 한국의 세부기술별 특허동향을 살펴보면, 천연가스 개질 수소 공급기술이 전체 출원의 31%를 차지하며 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 이어서, 수소액화 핵심설비기술 분야가 27%, 수소액화 공정기술이 25% 및 액체 수소 스테이션이 17%의 점유율을 나타냄



[그림 135] 미국의 세부기술별 특허출원 현황

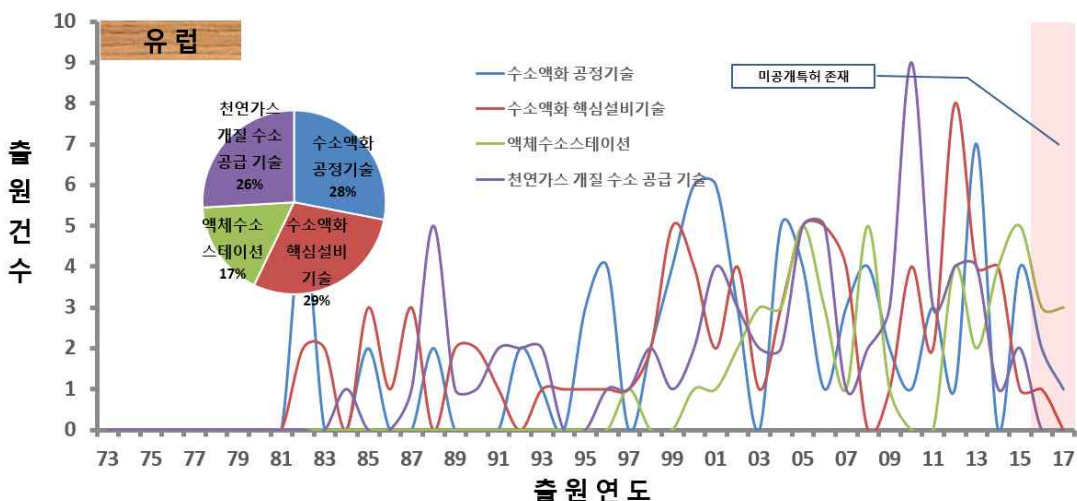
51) 출처 : 액체수소 저장 수소 스테이션 (ReSEAT 분석리포트, 2004)

- 미국의 세부기술별 특허동향을 살펴보면, 천연가스 개질 수소 공급기술이 전체 출원의 32%를 차지하며 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 이어서, 수소액화 핵심설비기술 분야가 29%, 수소액화 공정기술이 22% 및 액체 수소 스테이션 기술이 17%의 점유율을 나타냄



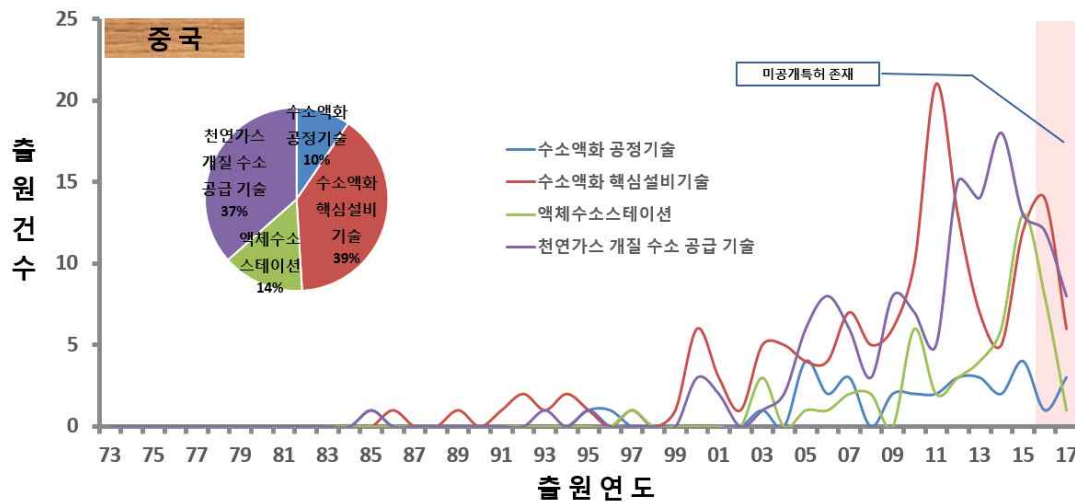
[그림 136] 일본의 세부기술별 특허출원 현황

- 일본의 세부기술별 특허동향을 살펴보면, 수소액화 핵심설비기술이 전체 출원의 37%를 차지하며 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 이어서, 액체수소 스테이션 기술이 25%, 천연가스 개질 수소공급기술이 20%, 및 수소액화 공정기술이 18%의 점유율을 나타냄



[그림 137] 유럽의 세부기술별 특허출원 현황

- 유럽의 세부기술별 특허동향을 살펴보면, 수소액화 핵심설비기술이 전체 출원의 39%를 차지하며 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 이어서, 수소액화 공정 기술이 28%, 천연가스 개질 수소공급기술이 26%, 및 액체 수소 스테이션 기술이 17%의 점유율을 나타냄



[그림 138] 중국의 세부기술별 특허출원 현황

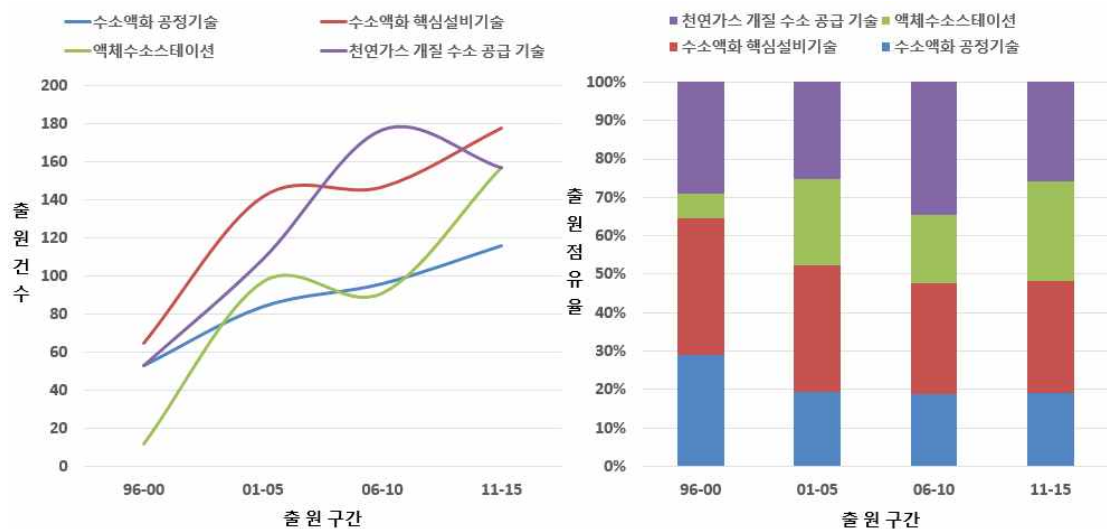
- 중국의 세부기술별 특허동향을 살펴보면, 수소액화 핵심설비기술이 전체 출원의 39%를 차지하며 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타남
- 이어서, 천연가스 개질 수소공급기술이 37%, 액체수소 스테이션 기술이 14%, 및 수소액화 공정기술이 10%의 점유율을 나타냄

□ 주요시장국 세부기술별 특허동향 종합의견

- 액체수소 인프라 기반 구축과 관련된 기술의 세부기술별 특허동향을 종합적으로 살펴보면 전체적으로 특정 기술 분야에 대한 출원인 집중되지 않고 다양하게 출원되고 있음
- 한국 및 미국은 천연가스 개질 수소 공급기술 분야가 가장 높은 점유율을 나타내며 수소 액화 핵심설비 기술 분야가 두 번째로 높은 점유율을 나타냄
- 유럽 및 중국은 수소액화 핵심설비기술이 가장 높은 점유율을 나타내며, 천연가스 개질 수소 공급기술 분야가 두 번째로 높은 점유율을 나타냄
- 일본의 경우, 수소 액화 핵심기술이 가장 높은 점유율을 나타내고 있으며 액체수소 스테이션 기술 분야가 두 번째로 높은 점유율을 나타냄

- 종합적으로, 주요시장국에서 세부기술 전 분야에서 다양하게 기술개발이 이루어지고 있으나, 천연가스 개질 수소 공급기술 분야와 수소액화 핵심설비 기술 분야의 기술개발이 상대적으로 더 활발한 것으로 판단되며, 액체수소 스테이션 기술 분야의 경우 일본이 두각을 나타내는 것으로 분석됨

(2) 구간별 증가율 및 점유율



[그림 139] 액체수소 인프라 기반 구축 기술개발 분야의 구간별 증가율 및 점유율

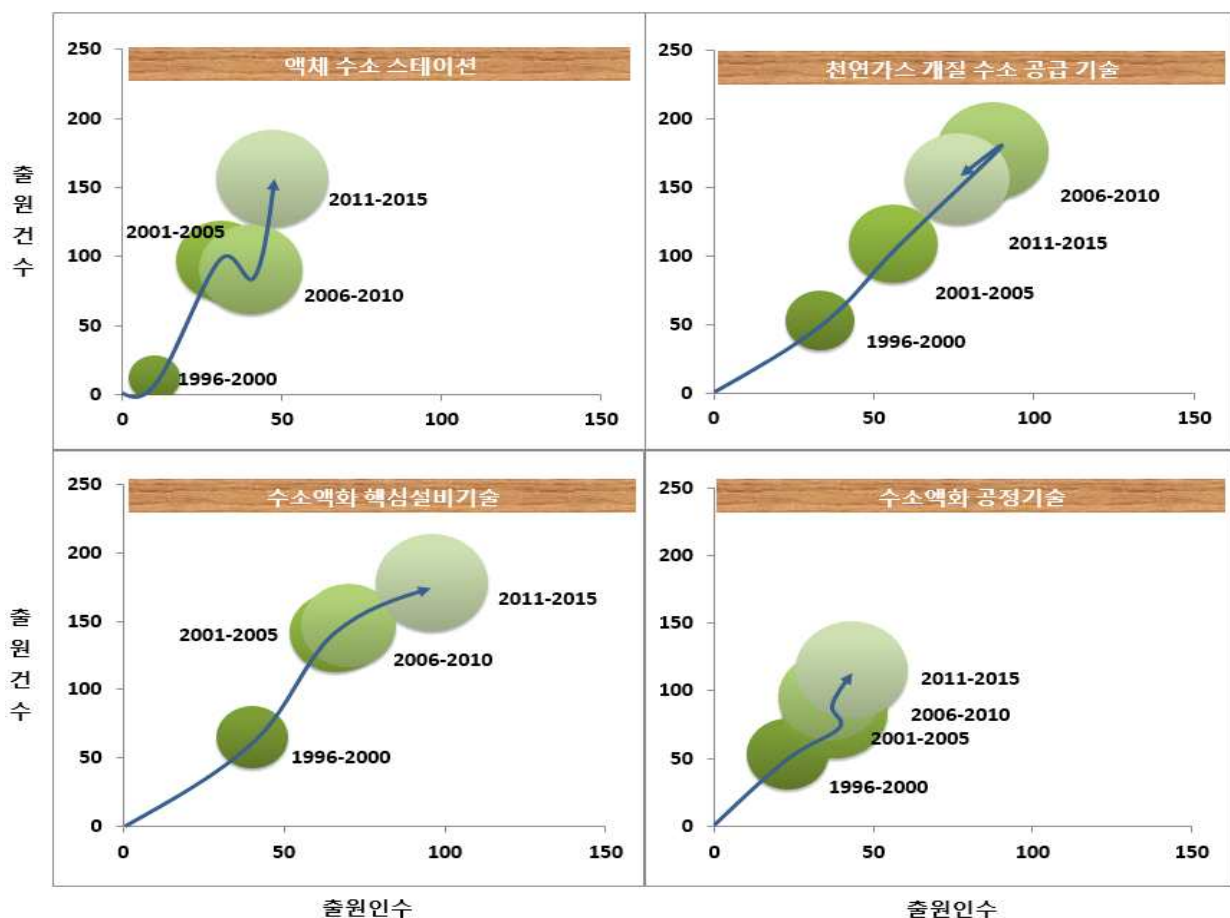
- 위 그래프에서는 세부기술별로 연도 구간별 특허기술의 출원 경향을 파악하기 위한 것으로, 왼쪽의 그래프는 출원건수를 통한 절대치를 나타내어 구간별 기술별 흐름을 파악할 수 있으며, 오른쪽 그래프는 세부기술에 대한 연도구간별 상대비교를 보여줌으로써, 구간별 기술의 상대적인 변화를 알 수 있음

- 수소액화 공정기술은 1구간 (1996~2000)부터 4구간 (2011~2015)까지 완만하게 출원건수가 증가하는 경향을 보임
- 액체수소 인프라 기반 구축 기술개발 분야에서 수소액화 핵심설비기술 및 액체수소 스테이션 기술 분야는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 특허출원건수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 일시적으로 감소하는 추세를 나타냈으나, 4구간 (2011~2015)에서 다시 증가하는 추세를 보임
- 반면, 천연가스 개질 수소 공급기술 분야는 1구간 (1996~2000)부터 3구간 (2006~2010)까지 가파른 상승세를 보였으나 4구간 (2011~2015)에 접어들면서 감소하는 경향을 나타냄

- 구간별 기술 점유율 추이를 살펴보면, 수소액화 공정기술, 천연가스개질 수소 공급기술, 및 수소액화 핵심설비기술은 기술점유율이 상대적으로 줄어드는 반면, 액체 수소 스테이션 기술 분야의 점유율은 상대적으로 증가되는 경향을 보임
- 따라서 액체수소 인프라 기반 구축 기술과 관련하여 기술개발이 액화수소 공정 또는 생산 분야에서 실용화와 관련된 공급 및 저장기술 분야로 확대되고 있는 것으로 분석할 수 있음

(3) 기술별 성장단계

- 포트폴리오로 본 기술별 성장단계



[그림 140] 포트폴리오로 본 세부기술별 성장단계

- 본 그래프는 출원 건수와 출원인 수 변화의 상관관계를 통해 액체수소 인프라 기반 구축

기술 분야의 세부기술별 기술시장 성장단계를 포트폴리오로 나타낸 것임

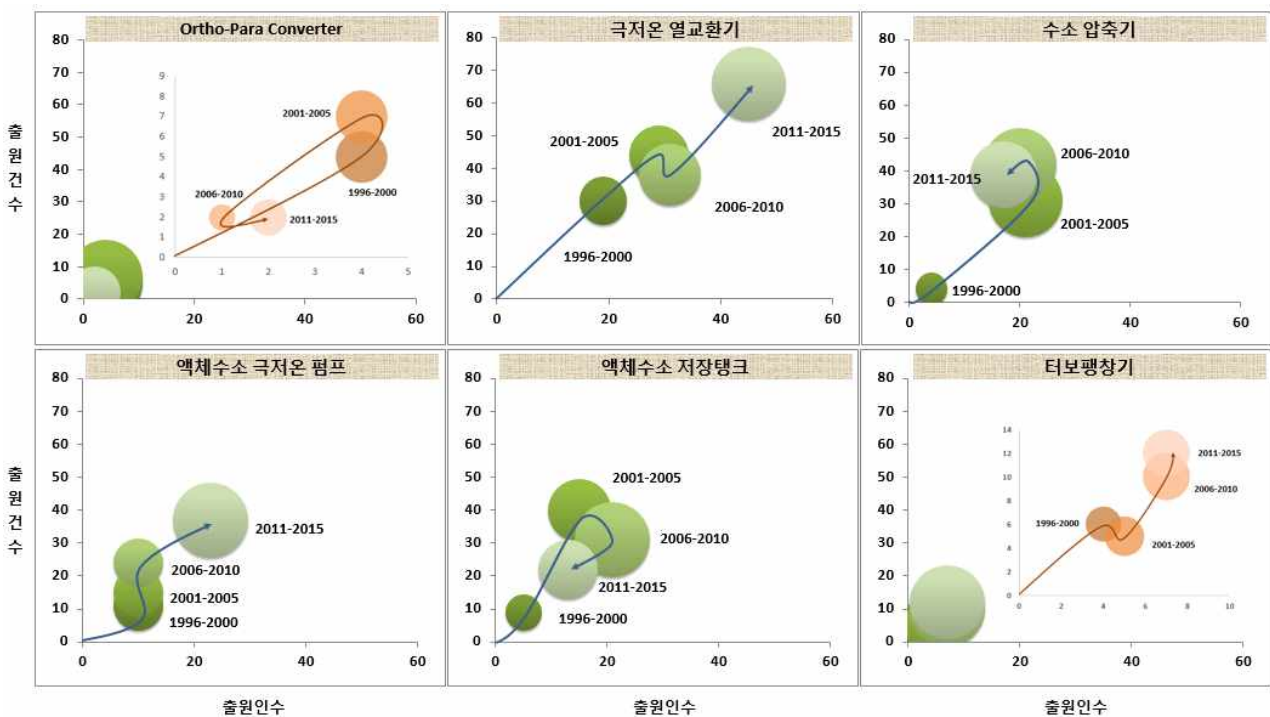
- 본 그래프는 각 세부 기술별로 전체출원 중 최근의 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음
- 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 나누었음
- **[액체수소 스테이션 기술]** 포트폴리오로 나타난 액체수소 스테이션 기술 분야는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 출원인수는 증가하였으나 출원건수가 일시적으로 감소하는 추세를 나타내다가 4구간 (2011~2015)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하는 경향을 보임. 기술 시장의 성장단계는 성장기 단계로 판단됨
- **[천연가스 개질 수소 공급기술]** 포트폴리오로 나타난 천연가스 개질 수소 공급기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000년)부터 3구간 (2006~2010년)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 4구간 (2011~2015년)에 접어들면서 출원건수 및 출원인수가 감소하는 쇠퇴기 단계를 보임
- **[수소액화 핵심설비 기술]** 포트폴리오로 나타난 수소액화 핵심설비 기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 급격히 증가하다가 3구간 (2006~2010)부터 4구간 (2011~2015)까지 증가추세가 둔화되는 성숙기 단계로 판단됨
- **[수소액화 공정기술]** 포트폴리오로 나타난 수소액화 공정기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 출원건수는 증가하였으나 출원인수가 일시적으로 감소하는 추세를 나타내다가 4구간 (2011~2015)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하는 경향을 보임. 기술 시장의 성장단계는 성장기 단계로 판단됨

□ 세부기술별 성장단계 종합의견

- 포트폴리오로 나타난 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야의 세부기술별 성장단계는 천연가스 개질 수소 공급기술은 쇠퇴기 단계에 있으며, 수소액화 핵심설비기술은 성숙기 단계로 나타남

- 이어서, 수소액화 공정기술 및 액체수소 스테이션 기술은 성장기 단계로 나타나나 수소액화 공정기술의 경우 전체 특허출원건수가 미미하여 기술위치 분석의 타당성이 낮음
- 전반적으로 미국, 일본, 유럽의 선진국에서 수소에너지 공급 시설에 대한 신뢰성과 기술안전 확보를 위해 시범 운전 및 기술개선이 지속되고 있으며, 각국에서 정책적으로 수소 연료전지의 개발 보급을 추진하고 수소 연료 전지의 자동차 보급이 추진을 계획⁵²⁾하고 있어, 향후 액체수소 스테이션 기술 분야의 경우 기술 개발 및 관심도가 지속적으로 증가할 것으로 보이나, 좀 더 정확한 양상을 알기 위해서는 이후 출원 동향의 지속적인 모니터링이 필요함

□ 수소액화 핵심설비 기술의 기술시장 성장단계



[그림 141] 수소액화 핵심설비기술의 성장단계

- 본 그래프는 출원 건수와 출원인 수 변화의 상관관계를 통해 수소액화 핵심설비 기술 분야의 소분류 (Ortho-Para Converter, 극저온 열교환기, 수소 압축기, 액체수소 극저온 펌프, 액체수소 저장탱크, 및 터보 팽창기)의 기술별 기술시장 성장단계를 포트폴리오로 나타낸 것임
- 본 그래프는 앞서 설명한 기술성장 단계 그래프와 마찬가지로 각 세부 기술별로 전체출원

52) 미국은 2020년까지 수소연료전지 자동차를 보급할 계획이며, 2030년까지 총에너지 소비량의 10%를 수소로 공급하는 목표를 설정함. 또한, 일본은 JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration)프로젝트를 통해 다양한 연료의 개질에 의한 수소인프라를 구축하여 시범운전중임

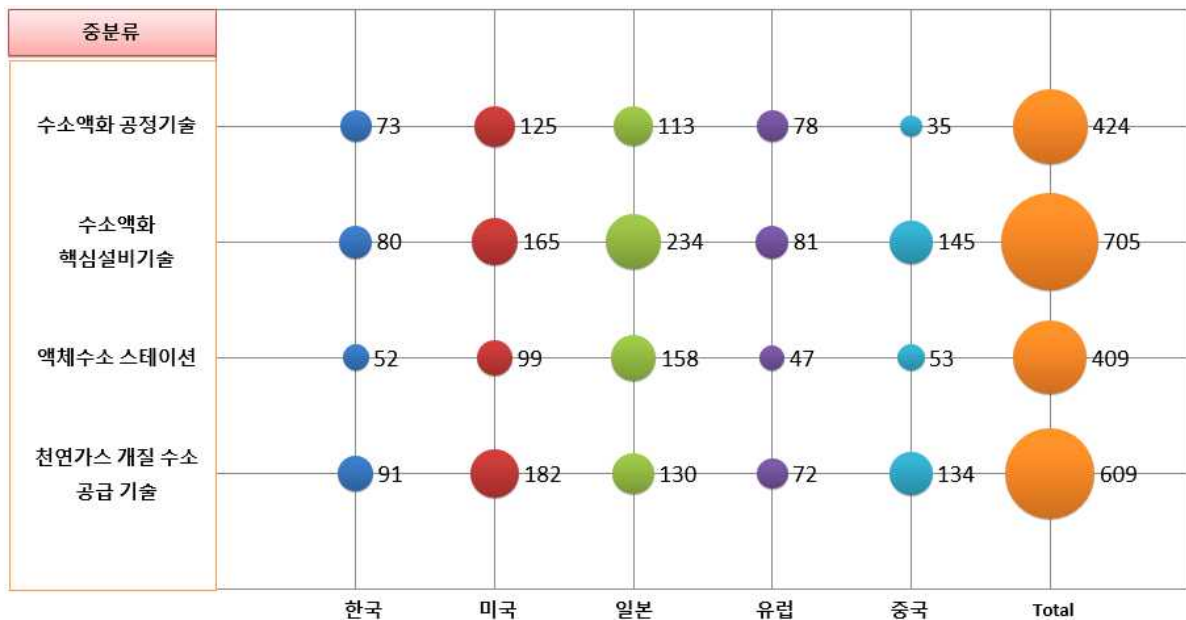
중 최근의 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 나타내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 살펴볼 수 있음

- 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 나누었음
- **[Ortho-Para Converter]** 포트폴리오로 나타난 Ortho-Para Converter 기술 분야는 전체 특허 출원건수가 적어서 기술위치 분석의 타당성이 낮으나 출원건수 및 출원인수가 감소했다가 다시 증가추세로 전환되는 회복기로 분석됨
- **[극저온 열교환기]** 포트폴리오로 나타난 극저온 열교환기의 기술위치는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 출원인수는 증가하였으나 출원건수가 일시적으로 감소하는 추세를 나타내다가 4구간 (2011~2015)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하는 경향을 보임. 기술시장의 성장단계는 성장기 단계로 판단됨
- **[수소 압축기]** 포트폴리오로 나타난 수소압축기 기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)년부터 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 출원건수 및 출원인수의 증가추세가 둔화되는 성숙기 단계를 보인 후, 4구간 (2011~2015년)에 접어들면서 출원건수 및 출원인수가 감소하는 쇠퇴기 단계를 보임
- **[액체수소 극저온 펌프]** 포트폴리오로 나타난 액체수소 극저온 펌프기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)부터 4구간 (2011~2015)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하는 성장기 단계로 판단됨
- **[액체수소 저장탱크]** 포트폴리오로 나타난 액체수소 저장탱크 기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)에서 3구간 (2006~2010)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 에서 4구간 (2011~2015)에서 출원건수 및 출원인수가 감소하는 성장기 단계로 나타남
- **[터보 팽창기]** 포트폴리오로 나타난 터보 팽창기 기술 분야의 기술위치는 전체 특허 출원건수가 적어서 기술위치 분석의 타당성이 낮으나 성장기 단계로 판단됨

(4) 역점분야 및 공백기술

- 본 분석에서는 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야의 세부 기술별로 각 국가별 기술장벽 및 공백영역 등을 제시함

- 수소액화 공정기술의 경우, 미국 및 일본이 상대적으로 많은 특허 출원 건수를 보이고 있어 어느 정도 특허 장벽이 있는 것으로 보여 지며, 한국과 유럽이 추격하는 경향을 보임
- 수소액화 핵심설비 기술은 일본이 상당히 많은 특허 특허출원건수를 보이고 있어 상대적으로 특허 장벽이 있는 것으로 보여 지며, 미국 및 중국에서도 특허장벽을 쌓고 있는 것으로 보여짐
- 액체수소 스테이션 기술은 일본에서 시장이 가장 활발한 것으로 나타나며 자국내에서 기술개발이 활발히 이루어지고 있고 특허장벽 또한 일본이 상대적으로 높은 것으로 분석됨
- 천연가스 개질 수소 공급기술은 미국이 상대적으로 많은 특허 출원건수를 보이고 있으며, 중국 및 일본에서도 특허 장벽을 쌓고 있는 것으로 보여짐
- 특히, 액체수소 스테이션 기술의 경우, 한국, 유럽 및 중국에서 특허장벽이 낮고, 앞서 설명한 바와 같이 앞으로 시장이 확대될 것으로 보여 지는 점 등에 비추어 볼 때, 본 기술 분야에 대한 투자와 기술 개발 활동이 집중되어야 할 필요성이 있는 공백 기술로 보임

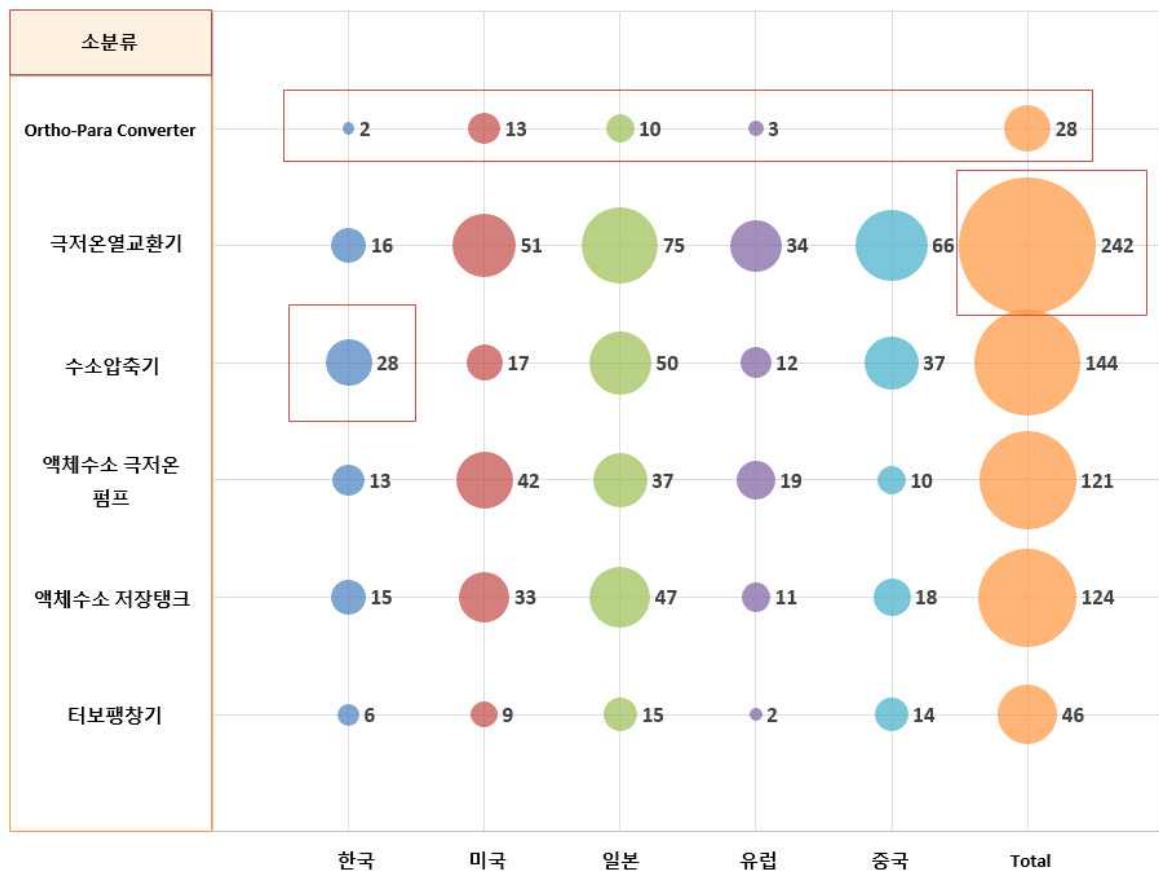


[그림 142] 분석대상 기술의 공백영역 분석결과

- 특히, 수소액화 핵심설비 기술 분야에 대한 세부 기술별로 각 국가별 기술장벽 및 공백영역 등을 제시함
- 수소액화 핵심장비 기술의 경우, 미국 및 일본이 상대적으로 많은 특허 출원 건수를 보이

고 있어 어느 정도 특허 장벽이 있는 것으로 보이며, 한국과 유럽이 추격하는 경향을 보임

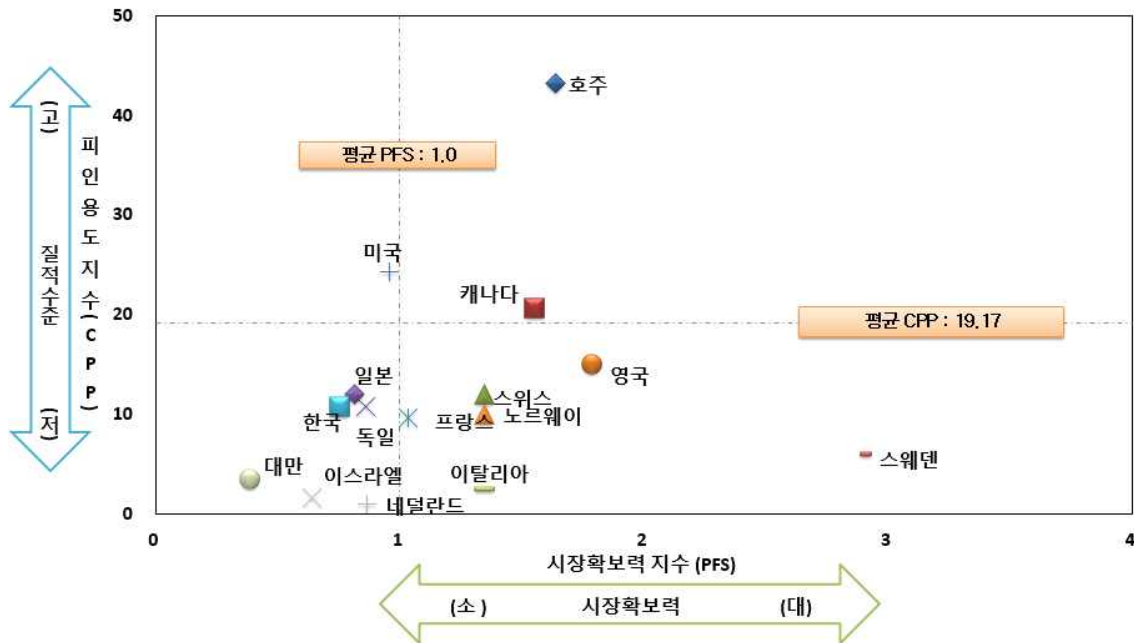
- 수소액화 핵심설비 기술은 일본이 상당히 많은 특허 특허출원건수를 보이고 있어 상대적으로 특허 장벽이 있는 것으로 보여 지며, 미국 및 중국에서도 특허장벽을 쌓고 있는 것으로 보임
- 전체적인 특허출원으로 살펴보면 Ortho-Para Converter기술이 특허 출원이 28건에 불과하여 특허 장벽이 가장 낮은 공백 기술로 나타나고 있으며 한국의 경우 Ortho-Para Converter 및 터보팽창기가 공백 기술로 나타나고 있음
- 특허적 관점에서 기술적 포화상태인 분야는 전체적으로는 극저온 열교환기 분야이며 한국의 경우 수소압축기로 나타나고 있음
- 다만 수소액화 분야의 특허가 아직 많지가 않으며 특히 핵심장비 기술의 특허 출원이 미미한 상태로 통계적 의미가 적은 것을 고려해야 함



[그림 143] 수소액화 핵심설비 기술 분야의 공백영역 분석결과

(5) 기술경쟁력 분석

□ 질적 수준을 고려한 각국의 시장 경쟁력 분석

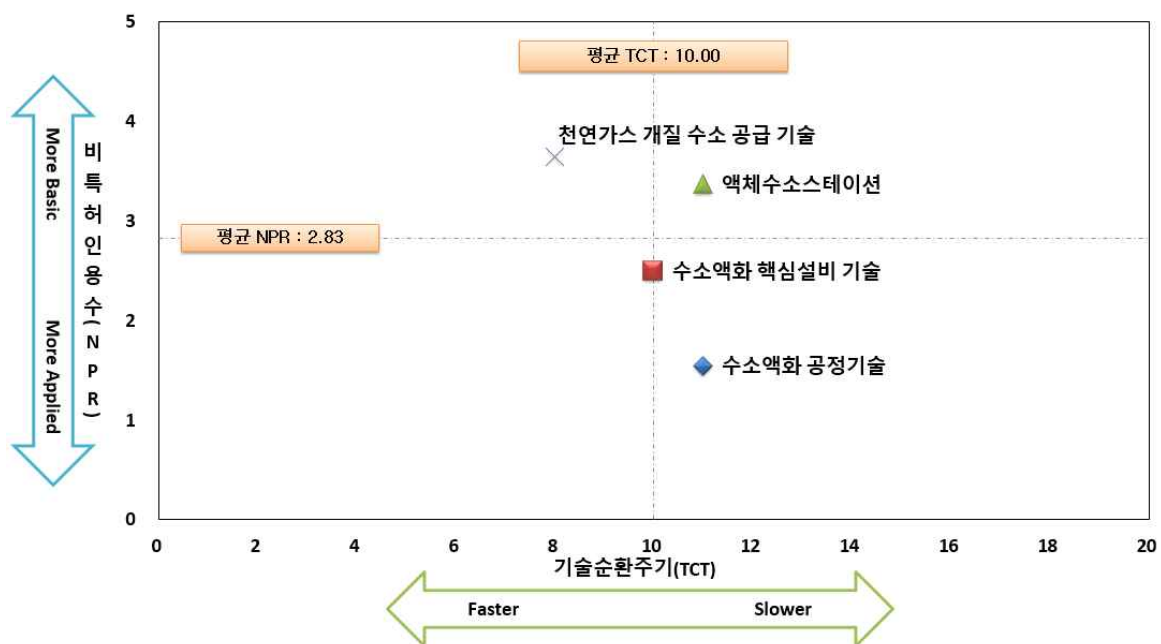


[그림 144] 각국의 시장 경쟁력 분석결과

- 시장확보지수 (시장력지수: patent family size, PFS)는 전체 평균 패밀리 특허건수에 대한 출원인 국적의 평균 패밀리 건수의 비율로서 시장확보력을 나타냄
 - 한 발명에 대해 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 경우에 해외에 특허출원을 하는 경우가 많으므로, 패밀리 특허수가 많은 경우 시장성이 크다고 판단함
- 피인용도지수 (cite per patent, CPP)는 특허당 피인용횟수, 즉 인용되는 빈도 (forward citation)를 나타내는 것으로 인용되는 빈도가 높을수록 기술력이 강하고, 반대로 낮은 경우에는 기술력이 낮은 것을 의미하는 질적인 가치를 지니는 지표임
- 각각의 출원인 국적별로 시장확보지수 (PFS)와 피인용지수 (CPP)를 분석함으로써, 국가별 질적수준 및 시장확보력을 판단할 수 있음
- 출원인 국적별 기술성/시장성을 살펴보면 기술성 및 시장성이 모두 우수한 국가는 호주 및 캐나다로서 호주는 수소액화 공정기술 분야에 선도적인 위치에 있는 것으로 분석되며, 캐나다는 수소액화 핵심설비기술, 천연가스 개질 수소 공급기술 및 액체수소 스테이션 분야 등 다양한 기술 분야에서 기술력을 보유하고 있는 것으로 분석됨

- 미국의 경우, 기술성이 평균보다 다소 높은 편으로 향후 발전 가능성이 매우 높은 것으로 판단되며, 미국은 천연가스 개질 수소 공급 기술과 수소 액화 공정기술에서 매우 두각을 나타내는 것으로 분석됨
- 영국, 스위스, 노르웨이, 프랑스, 이탈리아, 스웨덴 등 유럽 국가는 기술성은 다소 낮지만 시장성은 매우 우수한 것으로 나타남
- 한편, 한국을 포함하는 다수의 국가들은 기술성 및 시장성이 모두 낮아 기술개발을 통해 기술성 및 시장성을 향상시키기 위한 노력이 시급할 것으로 판단됨

□ 기술별 연구개발 방향 및 순환주기 분석



[그림 145] 연구개발 방향 및 순환주기 분석결과

- 비특허문헌 인용도지수(none-practical reference index, NPR) 지수는 과학과 기술과의 관련성을 알아보는 지표로서, 특허당 논문과 같은 비특허문헌에 인용되는 빈도를 나타냄
- 비특허문헌에 인용되는 빈도가 높을수록 기초과학(basic science)과의 관련성이 깊은 것으로 해석되며, 인용되는 빈도가 낮을수록 기초과학을 개량, 변경, 가공한 응용기술(application technology)과의 관련성이 깊은 것으로 해석됨
- 기술순환주기 지수⁵³⁾ (technology cycle time index, TCT)는 특허가 출원되었을 때, 그것이 인용하고 있는 특허들의 중앙값(median value)를 나타내는 것으로 해당 기술이 속한 기술

53) 참조 : 기술가치평가실무가이드 (산업통상자원부)

군의 진화속도를 나타냄

[표 61] 세부 기술별 기술순환주기 지수

기술	대표 IPC	Q1	중앙값	평균값	Q3
천연가스 개질 수소 공급 기술	C01B	4.00	8.00	8.89	13.00
수소액화 공정기술	F25J	6.00	11.00	11.80	17.00
수소액화 핵심설비 기술	F25B	5.00	10.00	10.53	15.00
액체수소스테이션	F17C	5.00	11.00	12.78	19.00

- 각각의 세부기술별로 비특허문헌 인용도지수(NPR)와 기술순환주기(TCT)를 분석함으로써, 기술의 연구개발 방향을 결정할 수 있음
- 천연가스 개질 수소 공급 기술 분야의 경우, 비특허문헌 인용도지수가 높은 것으로 보아 기초과학과의 관련성이 깊은 기초분야의 기술로 보이며, 기술 순환주기는 평균 10 보다 낮아 기술의 변화가 빠르게 이루어지는 것으로 판단됨
- 액체수소 스테이션 기술분야는 기초기술 분야에 치우쳐 있으며, 기술순환주기는 평균값보다 높아 기술의 변화가 느리게 발생하는 것으로 보임
- 수소 액화 핵심설비 기술 분야는 상대적으로 응용과학기술 분야에 약간 치우쳐 있으나, 평균(2.83)에 근접하여 기초과학기술과의 관련성도 높은 것으로 판단되며 기술의 변화속도는 보통임
- 수소액화 공정기술 분야는 비특허문헌 인용도지수가 낮은 것으로 보아 응용기술 분야와의 관련성이 높은 것으로 나타나며, 기술순환주기는 평균값보다 높아 기술의 변화가 느리게 발생하는 것으로 판단됨
- 종합적으로, 수소액화 핵심설비 기술은 당해 기술 분야에서 기술혁신속도가 보통이며 천연가스 개질 수소공급 기술 분야는 상대적으로 기술 혁신 속도가 빠른 것으로 분석되며, 액체수소 스테이션 및 수소액화 공정기술 분야의 경우 기술 혁신 속도가 느린 것으로 분석됨
- 한편, 기술순환 주기값이 작게 나타나는 것은 해당 기술이 보다 최근의 선행기술에 기반을 두고 있다는 것을 의미하나, 기술 순환 지수를 기술 수준과 직접적으로 연결시켜 해석하는 것에는 무리가 있음. 즉, 단순히 기술순환 주기를 분석하여 기술의 혁신성을 논하는 것은 무리가 있으므로 기술 분야별 특성이 고려될 필요가 있음

□ 수소액화 핵심설비 분야 IP 부상도 분석

○ 출원 증가율

- 특허 출원 건수를 최근구간 5년과 이전구간 5년으로 나누어서 비교함으로써 각 기술의 최근의 기술투자 동향을 분석할 수 있음
- 출원 증가율(X)은 다음과 같이 정의할 수 있음

$$X = \left(\frac{\text{최근구간 특허출원건수} - \text{이전구간 특허출원건수}}{\text{이전구간 특허출원건수}} \right) \times 100 \quad (\%)$$

- 최근구간에서 가장 많이 특허출원 증가율을 보이는 기술은 극저온 열교환기 분야이며 액체수소 저장탱크, 수소압축기의 경우 전 구간 대비 특허출원이 감소하고 있는 것으로 나타남

[표 62] 수소액화 핵심설비 분야 출원 증가율 분석

기술분류	이전구간※ 건수	최근구간※※ 건수	출원증가율 (%)
Ortho-Para Converter	2	2	0%
극저온열교환기	38	66	74%
수소압축기	42	39	-7%
액체수소 극저온 펌프	24	37	54%
액체수소 저장탱크	31	22	-29%
터보팽창기	10	12	20%
전체	147	178	21%

※ 이전구간 : 2006년~2010년, ※※ 최근구간 : 2011년~2015년 (전체구간 :1996년~2015년)

○ 최근구간 점유율

- 최근구간 5년의 특허 출원 건수를 전체구간의 특허 출원건수와 비교하여 최근의 특허출원의 점유율을 비교함으로써 기술투자의 집중도를 살펴볼 수 있음
- 출원 점유율(Y)은 다음과 같이 정의할 수 있음

$$Y = \left(\frac{\text{해당기술 건(최근구간)}}{\text{기술 전체 건(전체년도)}} \right) \times 100 \quad (\%)$$

- 수소액화 핵심설비는 기존의 초저온 냉각에 사용되는 기술로 수소액화 설비에 특화되어 개발되면서 최근에 많이 투자되는 분야로 특히 액체수소 극저온 펌프, 극저온 열교환기분야가 최근 점유율이 높은 것으로 나타났음

[표 63] 수소액화 핵심설비 분야 점유율 분석

기술분류	전체구간※ 건수	최근구간※※ 건수	점유율 (%)
Ortho-Para Converter	16	2	13%
극저온열교환기	178	66	37%
수소압축기	116	39	34%
액체수소 극저온 펌프	87	37	43%
액체수소 저장탱크	102	22	22%
터보팽창기	33	12	36%
전체	532	178	33%

※ 전체구간 : 1996년~2015년, ※※ 최근구간 : 2011년~2015년 (이전구간 : 2006년~2010년)

○ 특허시장 확보력

- 해당국의 내외국인 출원점유율 변화를 살펴봄으로써, 최근구간에 외국인 출원변화를 통해 시장 확보력과 연구개발과제의 시장매력도를 살펴 볼 수 있음
- 특허시장 확보력(Z)은 다음과 같이 정의할 수 있음

$$Z = \left(\frac{\text{최근구간 외국인 특허출원건수} - \text{이전구간 외국인 특허출원건수}}{\text{이전구간 외국인 특허출원건수}} \right) \times 100 (\%)$$

- 이전구간과 최근구간의 외국인 특허 출원을 비교하면 Ortho-Para Converter의 경우 외국인 출원이 100%증가하는 등 극저온열교환기, 액체수소 극저온펌프, 액체수소탱크의 경우는 외국인 출원이 증가하였으며 터보팽창기의 경우 외국인 출원이 50% 감소한 것으로 나타나며 수소압축기 기술은 특허 출원에 변화가 없는 것으로 나타남

[표 64] 수소액화 핵심설비 분야 특허시장 확보력 분석

기술분야	외국인 최근구간※(건수)	외국인 이전구간※※(건수)	특허시장확보력(%)
Ortho-Para Converter	2	1	100%
극저온열교환기	20	11	82%
수소압축기	22	22	0%
액체수소 극저온 펌프	12	10	20%
액체수소 저장탱크	15	8	88%
터보팽창기	2	4	-50%

※ 최근구간 : 2011년~2015년, ※※ 이전구간 : 2006년~2010년 (전체구간 : 1996년~2015년)

○ IP 부상도 종합 결론

- IP 부상도를 종합 평가한 결과 극저온열교환기가 가장 IP부상도가 높은 것으로 나타나 기술적 관심도가 높은 것으로 나타나 이 분야에 기술적 투자를 가장 먼저 고려하여야 할 것으로 판단됨

- Ortho-Para Converter, 액체수소 극저온 펌프, 액체수소 저장탱크의 경우 IP 부상도가 보통으로 나타나고 있으며 수소압축기 및 터보팽창기의 경우 IP 부상도가 가장 낮게 나타나고 있어 기술적 환경, 기술적 역량을 고려하여 기술개발을 하여야 할 것으로 판단됨

[표 65] IP 부상도 항목별 판단 기준표

출원증가율 <이전구간대비증가율>		출원 점유율 (해당기술/대분류 전체건)		특허 시장확보력 국가별 외국인 출원증가율 <이전구간대비증가율>		IP 부상도 종합결론 $T = (X+Y+Z) / 3$
(X)		(Y)		(Z)		
5	증가율 80% 이상	5	점유율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5
4	증가율 51% ~ 79%	4	점유율 51% ~ 79%	4	증가율 51% ~ 79%	4
3	증가율 21% ~ 50%	3	점유율 21% ~ 50%	3	증가율 21% ~ 50%	3
2	증가율 1% ~ 20%	2	점유율 1% ~ 20%	2	증가율 1% ~ 20%	2
1	증가율 0% 이하	1	점유율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1

[표 66] 세부기술별 항목별 평가 결과

	출원증가율	출원 점유율	특허 시장확보력	IP 부상도
Ortho-Para Converter	1	2	5	3
극저온열교환기	4	3	5	4
수소압축기	1	3	1	2
액체수소 극저온 펌프	4	3	2	3
액체수소 저장탱크	1	3	5	3
터보팽창기	2	3	1	2

[표 67] IP 부상도 판단 결과

특허평가지표	평가점수				
평가기준 및 정의	1	2	3	4	5
Ortho-Para Converter	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
극저온열교환기	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
수소압축기	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
액체수소 극저온 펌프	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
액체수소 저장탱크	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음
터보팽창기	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음

□ 미국특허로 본 각국의 기술력 비교분석

[표 68] 미국 특허에 기반한 영향력 지수 및 기술력 지수 분석결과

국가명	특허등록건수			영향력지수(PII)			기술력지수(TS)		
	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2001-2005	2006-2010	2011-2015
호주	1	0	0	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
캐나다	6	0	5	0.10	0.00	0.08	0.60	0.00	0.40
스위스	1	0	0	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
독일	9	2	5	0.06	0.02	0.04	0.52	0.05	0.20
프랑스	3	8	10	0.03	0.12	0.12	0.10	0.94	1.19
영국	1	3	1	0.02	0.02	0.00	0.02	0.07	0.00
이스라엘	0	2	1	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
일본	7	6	7	0.09	0.08	0.12	0.64	0.45	0.83
한국	0	5	4	0.00	0.05	0.00	0.00	0.24	0.00
네덜란드	0	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
노르웨이	1	0	0	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
대만	1	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
미국	56	44	31	0.65	0.70	0.64	36.19	30.60	19.95



[그림 146] 기술력지수 (TS) 그래프

- 미국등록특허에서 기술수준을 측정하는 세가지 지표인 특허등록건수, 영향력 지수 (PII)⁵⁴⁾, 기술력지수 (TS)⁵⁵⁾를 통해 국가별 분포를 살펴봄으로서 각 국가의 기술력 및 영향력을 판단할 수 있음
- 미국은 등록특허건수, 기술력 지수 및 영향력 지수에서 타 국가에 비해 압도적인 수치를 보이고 있어 기술력이 매우 높은 것으로 판단되나, 이는 자국우위현상 (Home Advantage)에 따른 영향을 받은 것으로 추정됨

54) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) : 특정 국가의 기술혁신 성과의 질적 수준을 평가하기 위해 사용될 수 있는 지표로, 해당 분야의 평균적인 기술 수준에 비해 어느 정도로 중요한 기술적 성과를 이루어내고 있는가를 파악함 (특정국가가 소유한 기술의 피인용횟수를 전체 피인용횟수로 나누어 표준화한 지표이며, 1보다 크면 상대적으로 영향력이 강한 것으로 추정)

55) 기술력지수(TS : Technology Strength) : 특허등록건수에 영향력지수를 곱한 값으로 특정국가의 기술역량을 양적인 측면과 질적인 측면 모두 고려한 지표임

- 미국을 제외하고 타 국가들은 전반적으로 영향력 지수 및 기술력 지수가 낮은 편으로 액체수소 인프라 기반 구축 기술 분야는 기술 수준이 전반적으로 미흡한 것으로 나타나 지속적인 연구개발이 필요할 것으로 판단됨
- 한편, 프랑스의 경우, 2001년부터 2015년까지 특허등록건수가 꾸준히 상승하였으며, 이와 더불어 2006년부터 2015년까지 기술력 지수가 큰 폭으로 상승한 것으로 보아 향후, 질적인 기술력이 상승한 것으로 판단됨
- 일본은 2006~2010년 구간에 영향력 지수 및 기술력 지수가 감소하였으나, 2011~2015년 구간에 다시 기술력 및 영향력이 증가하는 것으로 나타남

□ 국가별 연구개발 방향



[그림 147] 국가별 연구개발 방향 분석 결과

- 본 분석은 액체수소 인프라 기반 구축 기술이 기초 또는 학술적 연구 성과들과 어느 정도 가까운 관계에 있는가에 대한 정보를 제공함으로써, 기술개발 활동의 방향성을 파악할 수 있음
- 미국 및 대만은 특허 인용지수 및 비특허 인용지수가 평균보다 높아 타 국가에 비해 기초 과학기술 및 응용기술의 연구개발이 고르게 이루어지고 있는 것으로 분석됨
- 영국은 비특허 인용지수가 타 국가에 비해 월등히 높아 기초과학 기술과 관련된 기술개발이 활발한 것으로 나타남

- 캐나다 및 이스라엘의 경우, 특허인용지수가 비특허 인용지수보다 높아 기술력이 강하고 응용기술과 관련된 연구개발이 수행되는 것으로 판단되나 상대적으로 기술개발이 성숙단계에 들어선 것으로 분석될 수 있음

□ 국가간 상호 기술의 흐름 및 기술자립도

[표 69] 액체수소 인프라 기반 구축 기술의 국가간 지식흐름 분석결과

특허출원 전 인용한 특허의 특허권자 국적							국적	특허 등록 후 피인용된 특허의 특허권자 국적						
캐나다	영국	프랑스	독일	일본	미국	대한민국		대한민국	미국	일본	독일	프랑스	영국	캐나다
0.0	0.0	0.0	0.0	25.9	58.5	15.6	대한민국	4.0	92.0	1.0	0.0	3.0	0.0	0.0
0.4	2.0	0.3	1.1	1.8	94.4	0.0	미국	1.2	95.1	1.0	0.8	1.3	0.6	0.0
0.2	0.7	0.5	1.4	34.3	62.6	0.2	일본	1.7	93.1	0.0	3.6	1.1	0.6	0.0
0.4	1.2	0.8	7.7	1.7	88.0	0.2	독일	0.8	93.2	2.3	1.1	1.9	0.8	0.0
0.0	1.0	2.8	0.8	1.8	93.8	0.0	프랑스	2.2	92.6	0.4	1.1	3.3	0.4	0.0
0.0	8.1	0.7	4.0	4.0	83.2	0.0	영국	2.2	94.4	2.2	1.1	0.0	0.0	0.0
2.0	0.3	0.0	1.1	2.0	94.5	0.0	캐나다	0.6	96.8	0.6	1.0	0.6	0.3	0.0

※ 분석구간 : 1973 ~ 2018년, 제1특허권자 기준으로 분석

- 본 분석은 액체수소 인프라 기반 구축 기술의 국가간 기술확산 정도와 각 국가 간의 기술적 영향력을 분석할 수 있음
- 자국의 기술을 혁신활동에 이용하고 있는 기술자립도가 높은 국가는 미국으로 기술 자립도가 94.4%로 나타났으며, 다음으로 일본이 34.3%로 타 국가에 비해 비교적 높게 나타남
- 이어서 한국이 15.6%, 영국이 8.1%, 독일이 7.7%, 프랑스가 2.8%, 캐나다가 2.0%로 자국의 기술을 혁신활동에 이용하고 있어 전반적으로 기술 자립도가 낮은 편임
- 즉, 전 세계적으로 미국의 특허를 주로 모니터링 하여 자국 내 기술혁신을 수행하고 있는 것으로 분석될 수 있으며, 미국 특허의 영향력이 상당히 큰 것으로 판단됨
- 한국은 자국 내 기술의 이용비율은 15.6%로 나타났으며 특허출원 전 미국특허를 58.5% 인용하고 있고, 일본특허를 25.9% 인용하고 있는 것으로 나타나 미국 및 일본에 상당히 의존적인 것으로 나타남
- 한편, 국가 간의 기술 흐름은 모집단이 미국특허인 만큼 일반적으로 미국특허의 영향력이 크게 나타나는 경향이 있으므로 이를 고려해야함

2. 국내 기술수준 분석

가. 액체수소기반 인프라 연관분야 기술수준 분석

□ 120개 국가전략기술 (10대 기술분야)⁵⁶⁾ 가운데 본 사업에서 추진하고자 하는 액체수소기반 인프라 구축 기술과 가장 연관성이 있는 기술을 분석

○ (에너지·자원·극한기술 분야) 21개 기술 가운데 ‘65. 수소에너지 기술’ 이 본 사업에서 추진하고자 하는 액체수소기반 인프라 구축 기술과 가장 연관성이 높음

○ 이에 따라 전체 수소에너지 분야 기술수준을 1차적으로 분석

□ 전체 수소에너지 분야 기술수준 결과

○ 과학기술기본법 제14조 및 동법 시행령 제24조에 따라 국가 핵심기술에 대한 기술수준을 매 2년 주기로 평가

◎ 과학기술기본법 제14조(기술영향평가 및 기술수준평가) ② 정부는 과학기술의 발전을 촉진하기 위하여 국가적으로 중요한 핵심기술에 대한 기술수준을 평가(이하 “기술수준평가”라 한다)하고 해당 기술수준의 향상을 위한 시책을 세우고 추진하여야 한다.

◎ 과학기술기본법시행령 제24조(기술수준평가) ② 미래창조과학부장관은 법 제14조제2항에 따라 관계 중앙 행정기관의 장과 협의를 거쳐 소관 분야에 대한 기술수준평가를 2년마다 실시하여야 하고, 그 결과를 심의회에 보고하여야 한다.

※ 과학기술기본법에 의거, 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 수행

○ 수소에너지 분야 전체 기술수준 및 기술격차는 최고기술 보유국(미국) 대비 각각 77.7%, 3.9년으로 평가

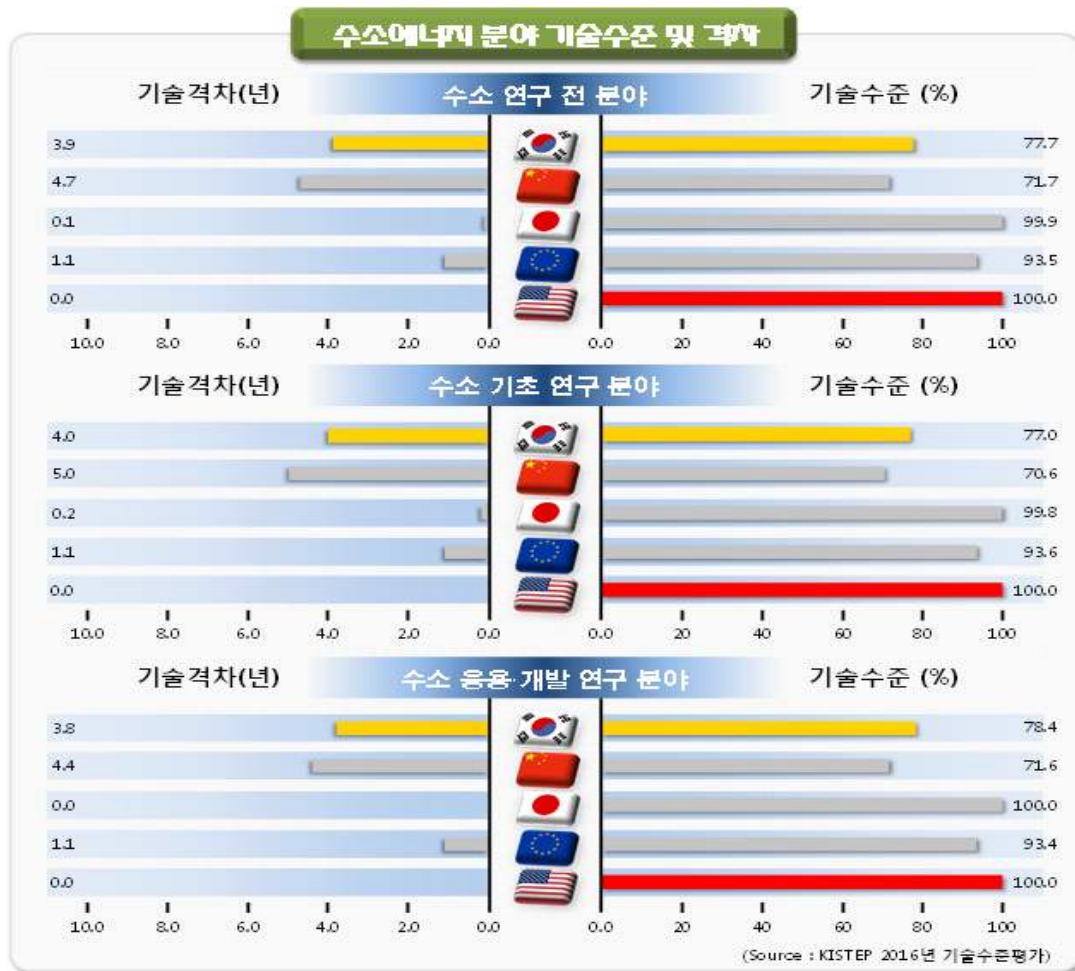
- 우리나라는 2014년(73.6%, 5.6년) 대비하여 기술수준은 4.1%p 향상되고 기술격차는 1.5년 단축됨

○ 전체 수소에너지 분야에 대한 국가별 기술수준은 미국(100.0%) > 일본(99.9%) > EU(93.5%) > 한국(77.7%) > 중국(71.1%) 순

- 최고기술국 대비 기술수준은 한국(4.1%p), 중국(1.6%p), 일본(1.1%p) 순으로 증가했으며, EU는 2.1%p 감소

56) 2016년 기술수준평가 (KISTEP, 2017)

- 미국은 2014년에 이어 여전히 최고기술을 보유하고 있고, 일본의 기술수준은 최고기술 보유국인 미국과 동등한 상태(기술수준 : 99.9%, 기술격차 : 0.1년)에 와 있으며, EU의 기술수준은 상대적으로 떨어졌으나 여전히 선도그룹을 유지
- 우리나라의 2016년도 수소에너지 분야 기초연구 수준(77.0%)과 응용·개발연구 수준(78.4%) 차이는 1.4%p로 중국(1.0%p), 일본(0.2%p), EU(-0.2%p)에 비해 큼



[그림 148] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차

[표 70] 최고기술국 대비 국가별 기술수준 변동

국가	기초연구수준(%)			응용·개발연구 수준(%)			기술수준(%)		
	2014년	2016년	증감(%p)	2014년	2016년	증감(%p)	2014년	2016년	증감(%p)
한국	73.0	77.0	4.0	74.2	78.4	4.2	73.6	77.7	4.1
중국	69.0	70.6	1.6	70.0	71.6	1.6	69.5	71.1	1.6
일본	99.0	99.8	0.8	98.6	100.0	1.4	98.8	99.9	1.1
EU	95.2	93.6	-1.6	96.0	93.4	-2.6	95.6	93.5	-2.1
미국	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0

- 최고기술 보유국(미국)과의 기술격차는 일본 0.1년, EU 1.1년, 한국 3.9년, 중국 4.7년으로 평가
- 최고기술국 대비 기술격차는 한국(1.7년), 중국(1.2년), 일본(0.6년), EU(0.3년) 순으로 감소
- 연구단계별 분석에서 우리나라의 기초연구의 최고기술국 대비 기술격차는(4.0년)은 응용·개발연구(3.8년) 보다 큰 격차로 평가

[표 71] 최고기술국 대비 국가별 기술격차 변동

국가	기초연구 격차(년)			응용·개발연구 격차(년)			기술격차(년)		
	2014년	2016년	증감(년)	2014년	2016년	증감(년)	2014년	2016년	증감(년)
한국	5.7	4.0	-1.7	5.4	3.8	-1.6	5.6	3.9	-1.7
중국	6.4	5.0	-1.4	5.4	4.4	-1.0	5.9	4.7	-1.2
일본	0.7	0.2	-0.5	0.6	0.0	-0.6	0.7	0.1	-0.6
EU	1.4	1.1	-0.3	1.3	1.1	-0.2	1.4	1.1	-0.3
미국	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

나. 액체수소 기반 인프라 분야 기술수준 분석

- 액체수소 기반 인프라 분야에 대한 기술수준 평가를 위해, 해당 분야 산·학·연 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였음

- 설문조사는 평가항목 간 가중치 도출 (AHP 기법 활용)을 위한 조사와 후보 전략기술별 평가 및 기술수준 조사로 구분하여 진행

[표 72] 평가항목 분류 및 정의

평가항목		정의
기술성	국산화가능성	신규 사업(과제)의 실시를 통해 국내 중소·중견 기업의 기술력 강화에 따른 해당 기술관련 제품의 상용화급 국산화 가능성 (5년 내)
	기술파급효과	신규 사업(과제)의 실시로 인해 발생 가능한 파급효과와 연관기술 및 연관산업에 대한 파급효과
경제성	시장규모	해당 기술 관련 제품군, 연관 산업 및 타 산업으로의 파급효과를 포함한 국내·외 시장 규모
	시장진출가능성	해당 기술 및 관련 제품군 개발 완료 후 국내·외 연관 산업 시장 진출 가능성 (기술 개발 완료 후 해당 중소·중견 기업의 Vendor List 등록 가능성 포함)

(1) 후보 전략기술 평가 방법

- 전략기술에 대한 평가는 액체수소 기반 인프라 구축 분야의 기술 트리의 소분류 기술을 후보 전략기술로 설정하여 5점 척도 조사

[표 73] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 기술 트리

대분류	중분류	소분류
수소액화플랜트	고효율 수소액화 공정	수소 액화 공정
		냉열 활용 통합공정
	수소액화 핵심 설비	압축기
		극저온펌프
		Expander
		극저온 열교환기
		Ortho-Para Converter
		액화수소 저장탱크
		극저온밸브
		Cold-box
	수소액화플랜트 설계/건설/운영	기본설계
		건설/시운전
		O&M 통한 설계 최적화
액체수소활용	액체수소 운송	액체수소 저장탱크
		운송용 탱크로리
	액체수소 연계 융복합스테이션	액체수소 저장탱크
		극저온펌프
		기화기
		압축기
		Gas Dispenser
		융복합 엔지니어링
수소 안전/제도/사업화	안전시스템	위험성 평가
		안전설비
	액체수소 안전 기준	액체수소, 플랜트, 기기
	보급 및 사업화 방안	제도 보완, 사업화방안

□ 후보 전략기술의 우선순위를 최종 도출하기 위하여 AHP 분석을 통한 각 평가항목별 가중치와 평가 항목에 대한 중요도 결과를 통합하여 결과를 산출함

□ 각 후보 전략기술에 대하여 액체수소 기반 인프라 구축 분야 산·학·연 전문가를 대상으로 최고기술 보유국 및 보유기관, 최고기술 보유국 대비 기술 수준 및 기술 격차에 대한 설문 조사를 추가적으로 실시하였음

(2) 평가항목 간 가중치 평가 결과

[표 74] 평가 항목 간 가중치 도출 결과

	평가항목				합계
	국산화가능성	기술파급효과	시장규모	시장진출가능성	
가중치	0.2663	0.3632	0.2085	0.1619	1.00

(3) 후보 전략기술 평가 결과

[표 75] 전략기술 우선순위 최종 결과

대분류	중분류	(소분류) 전략기술명	전략기술 평가 결과				전략기술 중요도 (합계)	우선 순위
			국산화 가능성	기술파급 효과	시장 규모	시장진출 가능성		
			가중치 0.27	가중치 0.36	가중치 0.21	가중치 0.16		
수소 공급	수소 제조	원자력 수소	0.51	1.00	0.46	0.28	2.25	32
		신재생에너지 기반 수소	0.76	1.30	0.65	0.55	3.26	25
		천연가스 개질	1.08	1.43	0.87	0.70	4.09	1
		석탄가스화	0.93	1.11	0.61	0.52	3.17	27
	부생 가스	정유, 석유화학, SNG	1.08	0.98	0.63	0.44	3.13	29
	후처리	불순물 제거 공정	1.04	1.03	0.59	0.49	3.15	28
수소 액화	고효율 수소 액화 공정	수소 액화 공정	1.11	1.51	0.69	0.47	3.77	8
		냉열 활용 통합 공정	1.06	1.33	0.64	0.48	3.51	13
	수소 액화 핵심 기자재	압축기	0.92	1.36	0.73	0.47	3.48	16
		극저온 펌프(저압)	0.89	1.34	0.58	0.47	3.28	24
		Expander	0.60	1.33	0.59	0.30	2.82	31
		극저온 열교환기	1.10	1.41	0.75	0.57	3.84	6
		Ortho-Para Converter	0.97	1.04	0.45	0.50	2.95	30
		액화수소 저장탱크	1.19	1.47	0.71	0.65	4.02	3
		극저온 밸브	1.11	1.44	0.73	0.61	3.89	5
		Cold-box	1.11	1.31	0.66	0.58	3.66	10
	플랜트 설계/건설/운용	기본설계	0.97	1.44	0.67	0.50	3.57	12
		건설/시운전	1.19	1.33	0.72	0.56	3.80	7
		O&M/설계 최적화	1.02	1.25	0.63	0.57	3.46	17
액체수소 활용	액체수소 운송	액체수소 저장탱크	1.21	1.39	0.74	0.70	4.04	2
		운송용 탱크로리	1.10	1.16	0.67	0.50	3.43	19
	액체수소 연계 융복합 스테이션	액체수소 저장탱크	1.20	1.37	0.74	0.69	4.00	4
		극저온 펌프(고압)	0.85	1.35	0.66	0.49	3.36	23
		기화기(저압)	1.22	1.21	0.66	0.58	3.66	9
		기화기(고압)	1.13	1.31	0.65	0.56	3.65	11
		압축기	1.03	1.28	0.65	0.53	3.49	15
		Gas Dispenser	1.02	1.16	0.56	0.50	3.25	26
		융복합 엔지니어링	1.10	1.34	0.59	0.35	3.38	21
수소 안전/제도/사업화	안전 시스템	위험성 평가	1.11	1.36	0.55	0.39	3.42	20
		안전 설비	1.05	1.33	0.70	0.42	3.49	14
	안전 기준	생산/운송/저장/활용	1.10	1.32	0.52	0.42	3.36	22
	보급 및 사업화	제도 보완/사업화 방안	1.03	1.25	0.63	0.56	3.45	18

(4) 후보 전략기술별 국내 기술수준 분석 결과

□ 후보 전략기술에 대한 최고기술 보유국 대비 국내 기술수준 및 기술격차 분석 결과는 다음의 표와 같음

[표 76] 전략기술별 국내 기술수준 분석 결과

대분류	중분류	(소분류) 전략기술명	국내 기술수준 조사 결과			
			최고기술 보유국/기관	기술 수준 (최고대비%)	기술 격차 (년)	국내산학연기관
수소 공급	수소 제조	원자력 수소	일본/MHI	75.7	3.8	KAERI
		신재생에너지 기반 수소	미국/NREL 오스트리아/TUW	79.0	2.9	-
		천연가스 개질	미국	74.2	4.4	KITECH
		석탄가스화	미국	71.0	4.4	KITECH
	부생 가스	정유, 석유화학, SNG	미국	79.0	5.4	덕양
	후처리	불순물 제거 공정	미국/Honeywell	83.0	2.7	-
수소 액화	고효율 수소 액화 공정	수소 액화 공정	미국/APC, 독일/Linde	57.3	5.3	KIST
		냉열 활용 통합 공정	미국/APC, 독일/Linde	61.4	4.8	KIMM
	수소 액화 핵심 기자재	압축기	독일/Hofer	52.9	5.3	광신기계
		극저온 펌프(저압)	미/ACD, 일본/EBARA	65.6	3.9	광신기계, 기계(연), 세원셀론텍
		Expander	독일	50.0	5.9	한화
		극저온 열교환기	영국/Heatric, 일본	70.0	4.1	두산중공업, 이노윌, 동화엔텍
		Ortho-Para Converter	독일/Linde	69.3	3.6	KIST, KIMM
		액화수소 저장탱크	독일/Linde, 미국/NASA	68.3	3.9	두산중공업
		극저온 밸브	미국/에머슨, 미국/스웨질락	60.0	4.4	PK밸브, KIMM, 해양대학교
		Cold-box	독일/Linde	64.2	4.6	대성가스
	플랜트 설계/건설/운용	기본설계	독일/Linde	55.0	4.9	-
		건설/시운전	미국, 독일, 일본	59.3	3.9	-
		O&M/설계 최적화	독일/TUV	55.0	4.9	KIMM, KICT
	액체수소 운송	액체수소 저장탱크	프랑스/Air Liquide, 독일/Liquide	69.5	3.6	두산중공업
		운송용 탱크로리	미국, 독일	66.4	3.8	-
	액체수소 연계 융복합 스테이션	액체수소 저장탱크	프랑스/Air Liquide, 독일/Liquide	68.6	3.6	두산중공업
		극저온 펌프(고압)	미/ETC, 프랑스/Cryostar	61.9	4.9	효성굿스프링스, KIMM, 세원셀론텍, 한창고압기공사
		기화기(저압)	일본, 독일, 미국	74.2	3.4	두산중공업
		기화기(고압)	일본, 독일, 미국	69.2	3.9	두산중공업
		압축기	독일/Hofer	62.9	4.6	광신기계
		Gas Dispenser	프랑스/Air Liquide	70.0	3.9	-
		융복합 엔지니어링	일본, 독일	66.0	4.3	-
수소 안전/ 제도/ 사업화	안전 시스템	위험성 평가	네덜란드/RIVM	67.1	4.1	KIMM, 한국가스안전공사
		안전 설비	미국/Emerson	70.0	3.6	한국가스안전공사
	안전 기준	생산/운송/저장/활용	미국	67.5	3.4	한국가스안전공사
	보급 및 사업화	제도 보완/사업화 방안	미국/일본	67.5	3.6	-

3. R&D 인프라 현황

가. 산업계 (기업체)

☐ 현대자동차

- 2013년 세계 최초로 수소 양산차 투싼ix 출시
- 울산시와 4,000대 수소연료전지차 실증사업 추진 (2016~2020)
- 프랑스 내 전기택시 스타트업 기업 'STEP'에 수소연료전지차 5대 공급
- '수소&전기차 융·복합 카셰어링 시범사업' 추진 (15대, 2016. 12.)
- '평창 동계올림픽'에 맞추어 2018년 초에 3세대 수소전기승용차 (전용차체) 및 2세대 수소 전기 버스 (700 bar 저장용기) 개발

☐ 수소 생산 기업

○ 대성산업가스

- 대성산업가스는 대성계열사의 모기업인 대성산업과 세계적인 초저온공학의 선도 기업인 프랑스의 에어리퀴드 및 일본의 에어리퀴드 재팬과의 자본합작과 기술제휴로 설립됨
- 반월, 양산, 여천, 청주, 대전, 구미, 파주, 울산 등에 최신의 대규모 공기분리장치와 반도체용 초고순도 특수가스 제조시설을 갖춘
- 산소, 질소, 아르곤 등 일반가스는 물론, 반도체용 특수가스, 초고순도 순수가스, 표준가스, 정밀혼합가스, 의료용 가스, 가스장비 등에 이르기까지 다양한 제품을 생산하고 생산된 제품은 전국적인 공급망을 통해 공급
- 대성산업가스는 대량 수요처 또는 전자 및 석유화학 공업단지 등의 가스 사용 조건에 가장 적합한 가스 생산 설비를 현지에 설치하는 온사이트 공급방식과 파이프라인 공급방식을 통해 보다 안정적이고 경제적이며 신속하게 공급하는 사업에도 집중하고 있음

○ 덕양

- 주식회사 덕양은 울산공업단지의 입구에 위치하며, 1961년 창업 후 약 41년간 산업가스를 제조해 전국적으로 공급하고 있으며, H₂는 석유화학단지를 위시해 식품공업에 이르기까지 대량 사용처에는 약 40km의 배관망을 이용해 연속공급하고 있고, 원거리 대량 사용회사는 튜브 트레일러로 공급하고 있음
- 서울 경기지역 및 군남 등으로 물류비용의 절감 및 물량처리 등을 감안해 충남 서산의 대

산 석유화학단지에 서산공장을 준공해 100%의 가동률과 적기에 대량 공급

- 덕양은 군산과 여수에 생산설비를 확대하여, 전북 군산시 임해로 군산산업단지에 부지면적 3,642㎡에 세워진 군산공장은 중압·고압 압축기 5대, 세정탑, 탈산소 촉매탑 등의 시설을 갖추고 있으며 시간당 4,000Nm³의 수소를 생산하게 되었고, 이곳에서 생산한 수소는 백광산업, OCI 군산공장 등 인근 업체에 공급
- 전남 여수시 여수석유화학 단지 내에 있는 여수 제1공장도 시간당 1만 5,000Nm³ 규모의 수소정제시설을 증설하여, 여수1공장은 시간당 5만Nm³의 수소생산규모를 확보
- 덕양은 울산 SK에너지 인근에 5만 Nm³규모의 수소공장을 짓는 등 공격적인 투자를 하고 있음. 울산 공장은 2014년 7월 완공됐으며 이에 따라 덕양의 총 수소 생산량은 시간당 15만9,000m³의 규모를 확보함

○ SPG케미칼

- SPG케미칼은 SPG케미칼은 1975년 설립된 이래 국내 4개 공업단지에 H₂생산시설을 갖추고 약 40년간 수소 한 품목만 생산해왔고, 고객사에 99.9999%의 초고순도 H₂를 안정적으로 공급하고 있음
- 2000년 이후에는 국내 주요 석유화학단지에서 원료 수소공급원을 확보해 울산, 여수, 대산, 안산, 구미 등 전국 5개 주요산업단지의 파이프라인을 통해 초고순도 수소가스를 안정적으로 공급하고 있음
- 차세대 산업인 수소전기차 에너지 실용화를 위해 끊임없는 연구개발과 노력을 통해서 2012년 여수 엑스포에서 현대자동차 및 여수시와 함께 수소연료자동차를 운영하는 등 대체에너지 부분에서도 진출하고 있음
- 2013년에는 안산 반월공단 내에 국내 최초로 메탄올을 원료로 사용해 초고순도 수소를 생산하는 신규플랜트를 성공적으로 준공해 미래 수소경제시대를 이끌어나가고 있음

○ 에어리퀴드코리아

- 1996년 설립 이후 국내 산업 발전과 함께 성장해 온 에어리퀴드 코리아는 석유화학, 전자, 철강 산업을 포함한 국내 주요 산업분야에 산업용 가스 및 관련 서비스를 공급
- 에어리퀴드 코리아는 국내시장에 지속적으로 투자하고 있으며 현재 여수, 부천, 이천, 천안, 당진, 구미, 상주, 익산, 부산사업장에서 산업용 가스를 직접 제조 공급하고 있음

○ 린데코리아

- 1989년 (주)대한비오씨가스로 회사 설립 이후로 가스 분야의 글로벌 리더인 린데코리아는 산업, 특수, 의료용 가스의 생산 및 유통을 담당함
- 가스 장비 및 파이프라인을 플랜트에 설치하는 관련 서비스를 포함해 다양한 범위의 엔지니어링 서비스 및 연관 서비스들을 제공하고 있음
- 린데코리아는 한국에 8개 공장을 운영하고 있으며, 2011년 기흥 제2공장을 준공했으며, 2012년에는 PSG 지분 51%를 인수했고, 2013년 충남 아산에 아산화질소(N₂O) 공장을 준공

하였음

○ SDG

- SDG는 수소 및 아세틸렌 전문 제조분야에서 핵심적인 기술력과 최고의 품질을 확보하고 나아가 미래 청정에너지 분야인 수소 에너지 사업의 연구개발을 주도하고 있음
- 국내 최초의 초고순도 품질 99.9999%를 실현했으며 최적의 생산 사이클을 구현한 최신 수소 생산라인과 관리시스템을 운영함과 동시에 튜브트레일러를 통한 전국적인 최적공급체계를 구축했으며 대형 튜브트레일러를 통한 물류비 절감과 공급효율의 극대화를 꾀하고 있음

○ 창신화학

- 1989년에 설립된 이래 액화탄산가스와 드라이아이스 전문 생산기업인 창신화학은 1974년 5월30일 현대가스공업사로 출발해 40여 년간 국내 조선분야·철 구조물·청량음료·식품·전자 등 주요 산업체들의 성장에 지속적으로 기여해 왔음
- 전남 여수에 제1공장, 충남 대산에 제2공장의 생산시설을 보유한 액화탄산가스 및 드라이아이스 전문법인으로써 조선, 철강, 전자, 식품 등 국내외 산업발전에 지속적으로 기여해 왔음
- 창신화학은 충남 대산에 신규 플랜트를 준공하고 수소 전문기업으로 제2의 도약을 시작하였고, 부지면적은 1만여㎡로 기존 탄산공장의 1만2,000여㎡를 합해 총 2만3,000㎡의 규모에 이르며 1만여㎡ 수소생산부지에는 수소압축실, 충전장, 분석실 등을 갖췄음
- 지난 2012년 5월 부지 정지작업 착공을 시작으로 본격적으로 수소사업을 준비해 왔으며, 2013년 4월 준공검사 및 시운전을 마치고 5월 본격 생산에 들어갔음. 수소 원료는 롯데케미칼 (구 호남석유화학) NCC와 SM공장 (LG화학 단지)으로부터 약 2km의 파이프라인을 통해 수소원료가스를 공급 받고 있음
- 영국의 하우든 버튼 코블린사의 다이아프램 컴프레서 4대를 통해 시간당 최대 3,200Nm³의 순도 99.999%의 수소를 생산할 수 있는 시설을 갖췄고, 가스 크로마토그래피와 산소분석장비, 노점(dew point) 분석 장비 등을 운영하여 국내 수소 생산·충전 시설로는 최고 수준의 안전시설과 운전관리 시스템을 갖춘 것으로 평가되고 있음
- 수소의 안정적이고 빠른 공급을 위해서 점보형 카트리지를 33대 도입해 운행 중에 있으며 더욱 원활한 공급을 위해 일반형 카트리지를 10대를 추가로 도입 중에 있고, 또한 2020년까지 약 100대 이상의 장비를 추가로 보유할 예정임

□ 수소충전소 설치사업자

○ 이엠솔루션

- 제주 (수전해방식 5Nm³/급), 새만금 (부안, 수전해방식 24Nm³/급, 2012. 5.), 대구 (수전해방식 50Nm³/급, 2013. 8.), 광주 (Truck-in 방식, 200Nm³/h, 2014. 10.) 수소충전소 준공

- 독일 린데와 컨소시엄 구성하여 창원수소충전소 수주 (2016. 7. 25, 1시간 5대, 일일 50대, 350 bar 기준 3분 이내 충전, SAJ2601, 2799 국제표준규격 준수)
- 린데 (Linde) : 세계 수소충전소 시장점유율 1위 (미국, 일본, 유럽 등에 약 90개의 수소충전소 구축), 독일 수소충전소 시장 70% 점유

○ 지에스칼텍스(주)

- 2007년 9월 서울 신촌 연세대학교 교내에 실증사업용 수소스테이션을 설치 운영
- 산업자원부, 에너지관리공단, 수소연료전지사업단이 지원하고 GS칼텍스가 수행하는 연구개발프로젝트 (2004년부터 정부출연 40억원을 포함한 총 과제비 85억원)의 일환으로 건설
- Naphtha와 물을 고온에서 촉매 반응하여 수소를 직접 생산하고, 압력을 가해 수소를 저장한 뒤 수소를 연료전지 자동차에 공급
- 2011년 5월부터 원료를 Naphtha에서 천연가스로 전환 수소 제조
- 시간 당 2.7kg의 수소를 생산, 저장 및 충전
- 2009년 2월, 한국품질재단으로부터 수소스테이션 연구 및 운영 분야에서 품질 경영시스템 및 안전보건경영시스템 인증을 획득해 국제적 표준으로 공인
- 연료전지발전시스템을 활용한 자가발전 시스템 (5kW 연료전지 2기)

○ SK이노베이션(주)

- 2004년부터 정부 지원금 70억 원으로, 산자부와 에너지관리공단이 수소연료전지, 태양광, 풍력의 3대 대체에너지에 대해 추진 중인 ‘대체에너지 기술개발사업’ 중 ‘수소스테이션 국산화 기술개발’ 사업의 주관기관으로 정부 연구과제 ‘수소스테이션 국산화 기술개발’ 사업을 수행
- LPG를 이용한 30Nm³/h 수소 제조장치 및 이를 활용한 수소스테이션 개발 목표
- 정유공장에서 축적된 촉매-공정 기술을 바탕으로 세계 최고 수준의 효율과 내구성을 지닌 수소제조장치를 자체 개발
- ‘수소스테이션 국산화 기술개발’은 선진국이 독점하고 있는 관련 핵심기술의 개선·개발을 통해 우리의 수송시스템에 적합한 독자적인 기술을 확보하고 개발하는데 역점을 두고 시작한 정부 출연 연구과제
- 3개 정부출연 연구소 (한국과학기술연구원, 한국에너지기술연구원, 한국화학연구원)와 4개 대학(KAIST, 연세대, 고려대, 전남대)이 위탁연구기관으로 참여 연구과제를 수행
- 2007년 대전의 SK기술원에 자체개발한 LPG 개질방식에 의한 방법을 채택한 수소스테이션을 설치, 실증 운영. 천연가스를 사용하여 개질하는 방식도 가능하도록 개선
- 2009년 9월 서울시와 함께 친환경에너지, 신재생 에너지 프로젝트를 목표로 건설을 시작하여, 2011년 6월부터 서울시 마포구 상암동 월드컵 공원 내에 수소 스테이션을 건설 운영 중
- 쓰레기 매립지(현 하늘공원, 노을공원)에서 나오는 메탄가스를 개질해서 수소를 생산. 350bar/700bar 로 압축, 저장 후에 충전기로 충전

○ 동덕가스산업(주)

- 수소연료전지 자동차 실용화 사업 2차 진행(2009년 12월~2014년 12월, 수소연료전지차 실증사업)
- 사업비 91억원 투입, 모하비 (115kW급) 및 투싼 ix (100kW급) 수소전기차 (33대)의 실증 평가 및 정비 시스템을 구축, 수소전기차 상용화를 위한 기반을 마련
- 사업 기간 중 동덕산업가스 측은 350bar 압축기를 국산화, 700bar 수소충전소 1기를 구축 운영 중
- 수소전기차 운행협약 및 수소충전 지원 (수소전기차 거점도시 울산광역시에 실증차량-모하비 14대 1단계 시범운영, 2011. 02)
- 수소전기차용(FCEV-승용차, 버스) 수소스테이션 (700bar) 울산 남구 매암 현대차 부지에 설치
- 수소전기차 거점도시 울산광역시에 실증차량-모하비 총 24대 2단계 시범운영 지원

○ (주)SPG산업/(주)SPG Chemical

- 2009년 여수에 수소스테이션 건설 운영 중이며, 부생수소 이용 (On-Site 방식)
- 2011년 부안에 수소스테이션 건설 운영. 전기분해로 수소를 제조하여 충전하는 방식 (Off-Site 방식)을 채택하고 있음

○ (주)효성

- FCEV용 수소저장 용기는 고압을 견딜 수 있도록 탄소섬유를 수천 번 감아 만드는데 국내에선 (주)효성이 탠섬이라는 탄소섬유를 생산
- 2013년 6월 전북 전주에 탄소섬유 생산설비를 준공, 수입에 의존해 오던 탄소섬유를 국내외 시장에 공급함으로써 수소 용기 및 CNG 압축용기용 소재의 공급기반을 확보
- 현대자동차 남양수소충전소, 양재수소충전소, 부안 신재생테마파크 수소충전소 등 5건의 수소충전소 시공실적을 보유
- 2016년 4월 현대자동차로부터 양재동 수소충전소의 700bar로 업그레이드 증설공사를 수주
- 700bar 수소충전시스템은 950bar급 수소압축기와 -40℃ 급 수소가스 냉각장치, 국제 규격에 따른 무선통신방식을 적용한 700bar 수소충전기 등으로 구성
- 수소압축기 방식은 타방식 대비 생산된 압축수소의 순도 관리에 강점이 있는 다이어프램 방식을 적용
- 700bar 수소충전소는 2016년 9월부터 이용가능

○ 광신기계공업

- 충남 내포신도시 수소충전소 건설 (2015. 10.)
- 인천송도 H₂/HCNG 복합충전소에 수소다이어프램 압축기 등 납품 (2016.4.)

○ (주)효성

- 국내 최초 프로판가스 탈수소공법으로 수소생산, 2015년 프로필렌 생산규모 20만t → 50만t 증설로 수소 생산 증대
- 현대차 (남양, 양재수소충전소), 부안 신재생테마파크 수소충전소 등 시공
- 울산시 700 bar 수소충전소 2기 투자 건설 추진 (2017~2019)

○ 에어리퀴드코리아

- 수소에너지 전략 지역으로 한국을 선정(유럽, 미국, 일본 포함)하여 에어리퀴드코리아 설립
- 프랑스 내 전기택시 스타트업 사업에 수소충전소 건설 시공사로 참여
- 에어리퀴드 (Air Liquide, 프랑스) : 세계 최초로 상업용 수소충전소 독일 구축 (2012), 세계 60여개 수소충전소 구축 (2014년 기준), 일본 수소충전소 구축 참여 (2015~2016), 독일에 설치되는 수소충전소 400개 중 약 100개 구축 예정 (~2023)

□ 수소용기 제조사

○ 일진복합소재

- 2012년 1세대 FCEV 수소 700bar 용기 유럽인증 완료 (UN ECE R.79)
- 2012년 CNG 용기 미국 및 유럽인증 완료 (NGV2-2007, ISO 11439)
- 2013년 CNG용기(Type-4) 국내 최초 개발로 미국 20만\$ 규모 수출
- 2014년 3월 700 bar용 수소저장용기 (Type-4) 현대 투싼ix에 적용 양산
- 2015년 1월 전라북도 CNG용기 생산/보급을 위한 시범사업 협약
- 2015. 10. 현대차 2세대 FCEV 700 bar 용기 양산업체 선정 (2018년 양산적용)
- 2016년 2월 대우버스 CNG 용기 모델 양산 시작
- 2016년 3월 700 bar용 수소저장용기 (Type-4) 유럽 수출
- 2016년 10월 현대버스 CNG용기 공급업체 선정 (2018년 양산적용)

○ 엔케이

- 대구 수전해 방식 50Nm³급 수소충전소 수소저장용기 공급 (2013. 8.)
- 광주 부생수소방식 수소충전소 수소저장용기 공급
- 충남 내포 수소충전소 수소저장용기 공급
- 인천 송도 H₂/HCNG 복합충전소 수소/HCNG저장용기 공급
- 덕양, 창신, SPG등 국내 수소가스제조사에 수소 튜브트레이러 납품
- 수소스테이션용 87 MPa급 Type-3 수소저장용기 개발 국책과제 진행 (2014. 12.~2017. 09.)

○ 태광후지킨

- 2014년 Type-4 용기 개발 착수 → 500리터급 CNG용기 북미인증 (NGV2- 2007) 획득

(2016. 9.)

- 2016년 사용압력 700 bar급 수소용기 자체개발 완료
- 2016년 레귤레이터 일체형 700 bar급 수소실린더 밸브 개발 완료
- 수소트레일러용 대형용기 (300 리터 급), 수소충전소용 초고압용기 (990 bar) 개발 중
- 플라스틱 라이너의 직접생산이 가능한 국내 유일의 Type-4용기 제조회사 (타 경쟁 업체는 플라스틱 라이너 외주제작)
- 밸브 및 피팅류의 부품생산 전문기업으로 용기와 함께 통합모듈의 공급이 가능한 Total solution provider

□ 기타 업체

○ 하이리움

- 액체수소를 활용한 이동식수소충전기 개발
- 10L/hr 급 액체수소 제조플랜트 구축 예정 (2016)

○ 소나무

- 액체연료 개질기술을 확보한 에이치엔파워가 설립 (2015. 11.)
- 오사카가스와 기술제휴를 통해 LNG개질기 홍보 주력
- 예코, 광신기계공업, 소나무 상암 수소충전소 재건립 협업 MOU 체결 (2016)

○ 오사카가스

- 일본 최초 수소충전소 설치 (2005) 및 상업지역 최초 on-site 수소충전소 설치 (2010)
- LNG/LPG 원료로 하는 Compact 수소개질기 개발 및 상품화

○ 제이엔케이히터

- ‘300Nm³/h급 천연가스개질 수소스테이션의 개발’에 참여 (2013)
 - 중형 (300Nm³/h) 규모급 수소스테이션 개질기 설계 및 제작기술 확보
- 광주 진곡산업단지 내 ‘융복합수소충전소 구축 및 운용과제’에 자동차부품연구원, 가스공사와 함께 LNG개질 및 수소정제장치 개발에 참여 (2016)

나. 공공기관·연구소

□ 한국가스공사

- 천연가스의 공급을 위하여 1983년 8월에 설립된 시장형 공기업, 천연가스의 제조, 공급 및 그 부산물의 정제, 판매, 생산기지과 전국적인 가스공급망의 건설, 운영, 천연가스와 액화석유가스의 개발 등을 담당

- 2007년 인천 송도 LNG생산기지 내에 국내 최초 천연가스를 개질하여 수소를 제조하고 충전하는 수소스테이션을 설치 실증 사업에 참여
 - 산자부에서 시행하는 신재생에너지 기술개발사업으로서 가스공사가 주관기관으로 사업을 총괄하며, 현대자동차가 참여하는 사업
 - 천연가스와 물을 원료로 하여 개질장치→정제장치→저장→충전의 과정을 거쳐 수소를 생산, 차량에 충전함
- 2009년 4월, 2010년 7월말까지 현대자동차가 제공하는 투싼 FCEV (100kW연료전지탑재) 1대를 시범 운행하여 지식경제부 수탁 과제 주관기관으로 현대 자동차가 수행하는 ‘수소전기차 모니터링 사업’에 참여하는 수소전기차 운행을 위한 협약을 체결
- 국내 최초 천연가스 개질식 35 MPa급 수소충전소 준공하여 현대차 버스 및 승용차 각 1대 실증 시행 (2007. 11)
- 인천송도 H₂/HCNG 복합충전소 준공하여 HCNG 버스 실증 (2016. 4. 22)
- 광주 진곡산업단지 내 ‘융복합수소충전소 구축 및 운용과제’ 자동차부품연구원과 함께 참여 (LNG 개질식, 2016)
- 수소 융합얼라이언스 발족 및 추진단 창립 준비 주관 (2016. 8.~)

□ 자동차부품연구원

- 광주 진곡산업단지 내 ‘융복합수소충전소 구축 및 운용과제’ 주관 (2016)
- 울산그린카기술센터 (2016. 05. 설립)에 한국조선해양기재연구원, 한국전자통신연구원 등과 함께 공동연구 기관으로 참여
- 산업부 자동차항공과 용역 (수소차 보급 활성화 기반구축 방안 연구, 2016. 4.)에 주도적으로 참여
- 수소 융합얼라이언스 추진단 준비위원회 팀장 (운영계획수립팀) 역할 수행

다. 지방자치단체

□ 울산광역시

- 대규모의 석유화학단지가 위치한 지역으로 국내에서 가장 많은 수소가 생산되기 때문에 수소사회 진입을 위한 다각적인 노력을 진행 중
- 2012년에 수소타운을 유치하여 수소생산, 이송 (파이프라인), 활용 (연료전지)에 대한 실증 사업 추진 중이며, 2014년에 한국수소산업협회 설립
- 세계 최초의 양산차량인 투싼iX Fuel Cell의 생산라인 (현대자동차) 위치
- 국내 최초 수소택시 출범을 통한 친환경 자동차 경험 기회 제공
- ‘수소차 생산거점’으로 자리매김하기 위해 수소산업 지원 규모 확대 결정 (총 6,026억원, 2017. 3. 21)
 - (당초) 2022년까지 수소차 4,000대, 충전소 12기 보급
 - (변경) 수소차 1만대, 충전소 20기 보급, 수소공급 배관망 30km 설치
- 수소에너지 부품 산업을 한 곳에 모아 집적화하는 ‘수소에너지 클러스터 조성’ 사업 추진 (3,400억원)
 - 수소에너지 분야 기업들이 핵심기술을 연구할 수 있도록 산업단지 부지조성과 인프라 구축 지원



[그림 149] 발전용/건물용 연료전지 융·복합 클러스터 구축 모델

□ 광주광역시

- 환경부 보급 사업으로 2013년에 수소충전소를 구축하였으며, “창조경제혁신센터”를 설립하고, 수소차 연관 산업 육성
 - 공유경제 활성화를 위한 세계 최초 카셰어링 사업 시행 (2016. 11.)
- 정부의 ‘규제프리존 특별법’의 추진과제로 수소 융복합충전소를 지정, 다양한 사업을 기획 중
- 친환경자동차 선도 도시 추진
 - 친환경자동차부품 클러스터 조성, 중국 조이롱 자동차 투자 유치 등
 - 유럽 최고 자동차 연구기관인 영국의 호리바 마이라와 ‘친환경자동차 산업 육성·발전을 위한 상생협력 업무협약’ 체결 (2017. 3. 20)
- “자동차 100만대 생산기지 및 클러스터 조성사업”으로 수소차 등 친환경차 부품단지 및 관련 산업생태계를 조성 중



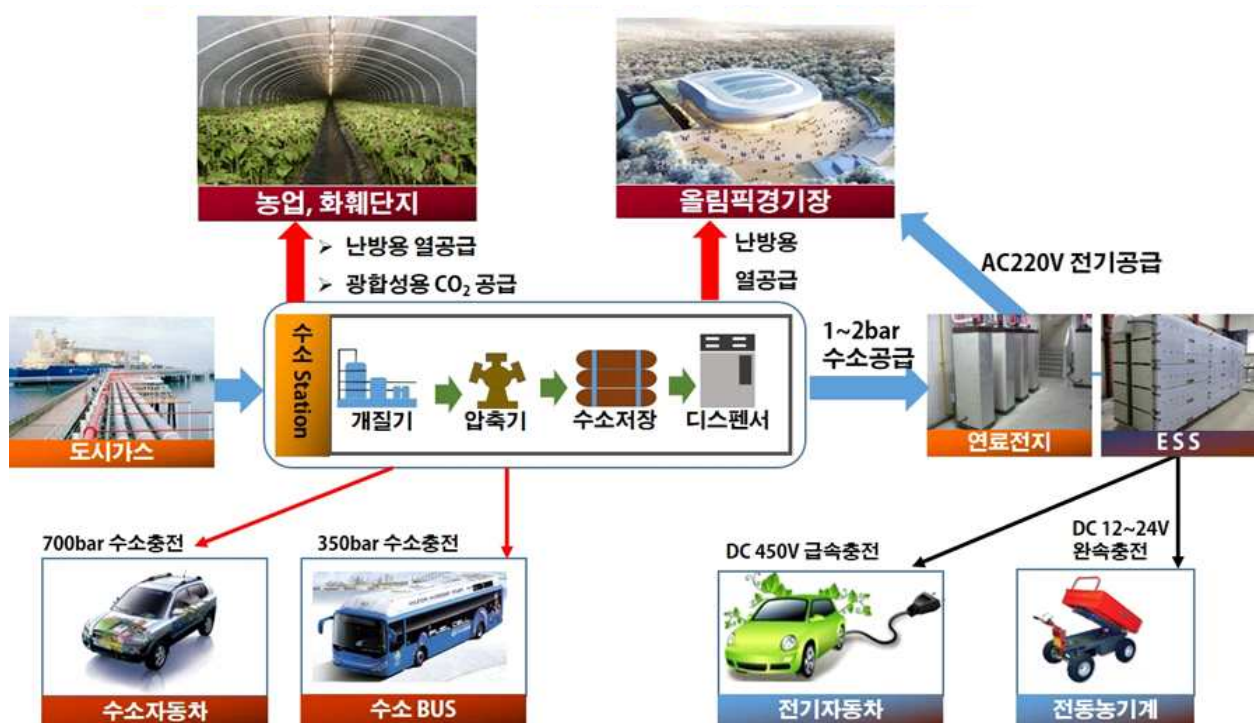
[그림 150] 광주창조경제 혁신센터 구성 및 지원

□ 경상남도 (창원)

- 자동차 부품 관련기업과 수소충전소 제작업체가 밀집해 있는 최적의 조건을 활용해 지역 내 관련 산업을 기반으로 수소차 관련 산업 육성
 - 수소충전소 설비업체인 이엠코리아, 광신기계, 효성 등이 창원에 소재

- 수소차 중점 보급도시로 선정 (2015. 12.)
 - 2020년까지 충전소 7개소, 수소차 311대 추가 보급 예정
- ‘첨단산업 육성위원회’를 구성하여 수소차 부품산업 메카로 육성 계획 수립·추진 (2016. 9.)
- 주거지역 내에 설치된 최초 수소충전소 (팔릉동) 준공 (2017.3.)
- ‘수소에너지 순환시스템 실증사업’ 계획 (2017)
 - 장소 : 성산구 성주동 175번지 일대
 - 1단계 (~2018.5) : 수소 충전소 건설 (국·시비 각각 15억원, 총 30억원)
 - 2단계 : CNG·수소 융·복합수소충전소 구축
 - 3단계 : 이산화탄소 재처리 장치 구축사업
 - 4단계 : 수소액화장치 및 저장장치 구축사업⁵⁷⁾
 - 5단계 : 태양광 및 연료전지발전소를 연계한 수소전기 융합에너지 실증단지

□ 강원도



[그림 151] 강원도에서 모식 중인 청정에너지 타운

57) 0.5 ton/day 수소액화기/저장용기 구축 (소요기간: 3년, 액체수소 기반 충전소 모델을 도입하여 이를 위한 액체수소생산/저장 기반 구축, 국비 및 지자체 투자계획 없음. 순수 민간컨소시엄 투자(미정))

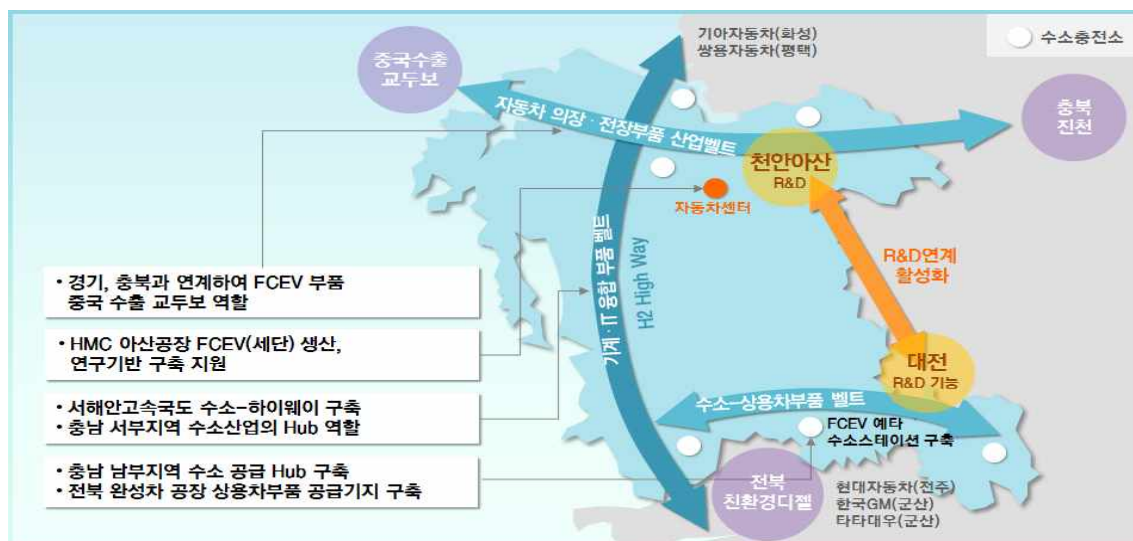
- 국내 최초로 초고압 부품, 저장용기 등의 시험설비를 영월에 구축
- 영월에 있는 태양광 발전설비를 이용한 수소생산 계획
- ‘평창 동계올림픽’을 교두보로 하여 수소생산 및 수소차 보급을 계획
- 2023년까지 강원도형 수소산업 육성 발표 (2017. 3. 6)
 - 삼척 LNG 기지와 태백 풍력발전단지, 향후 설치 예정인 강릉 태양광 발전시설 등을 이용해 수소 생산
 - 수소충전소 4기 설치 및 수소차 세어링 (렌트) 사업 연계 추진
 - (중장기) 삼척에 수소발전소와 수소빌리지를 구축하여 에너지 자립도시 구현, 생산된 수소를 일본과 중국 등에 수출

☐ 대전광역시

- 소재, 부품, 설비 등 시험평가연구개발·안전기준 마련 등의 목표로 2,000억원 규모의 ‘수소 인프라 신뢰성 센터’ 사업 건립 예정

☐ 충청남도

- 수소차 관련 부품산업 육성을 위하여 2015년 “수소차 부품 실용화 및 산업기반 육성사업”을 발표, 예비타당성조사 완료



[그림 152] 충남 수소차 산업 육성 모델

- 충남은 수소연료전지자동차 및 수소 충전 기반 산업을 국가혁신클러스터로 육성하기로 하고 계획 수립 완료 (2018)
 - 수소연료전지자동차 부품 및 수소 충전 기반 구축
 - 수소연료전지자동차 핵심부품 산업 역량 확대
 - 액화수소 생산·저장·운송 부품 및 수소스테이션 사업화 R&D 지원을 통한 수소 활용 기업군 유치 기반 마련
 - 수소연료전지자동차 및 수소 충전 생태계 활성화
 - 수소자동차 및 수소 활용 기업의 부품/제품 상용화 및 활용 인프라 확충
 - 수소 충전 핵심부품 및 설비 개발을 통한 수소 생태계 기반 조성
 - 수소차 및 관련 인프라 확대를 통한 수소경제로의 전환
 - 국가 수소산업 거점 선점을 위한 수소생산 및 액화기지 구축과 액화수소 기반 수소스테이션 실증 및 보급

□ 인천광역시

- 2015년 “3H 프로젝트”를 발표하고 세부계획을 수립 중
 - 수소교통 (Hydrogen Transport), 수소타운 (Hydrogen Town), 수소에너지 (Hydrogen)
- 수소와 천연가스를 3:7로 혼합한 HCNG (수소·천연가스 혼합연료)와 수소를 동시 충전할 수 있는 복합충전소 실증 완료

□ 대구광역시

- 대구광역경제권 선도사업으로 수소충전소 (수전해) 구축
- 88올림픽고속도로 확장구간 개통에 따라 2017년까지 대구-광주 간 수소충전소 구축 방안 수립 중
- 매년 국제 그린에너지 엑스포를 개최하여 신재생에너지 관련 산업 육성 중

□ 전북

- 전북테크노파크 스마트융합기술센터, 우석대 수소연료전지 지역혁신센터, 한국에너지기술연구원 내 수소연료전지센터 등 수소산업 관련 인프라 구축
- 전북테크노파크 ‘수소스테이션 구축 및 친환경 수송 실증사업’ 추진 (2017~2021)

라. 협회 및 학회

□ 한국수소산업협회

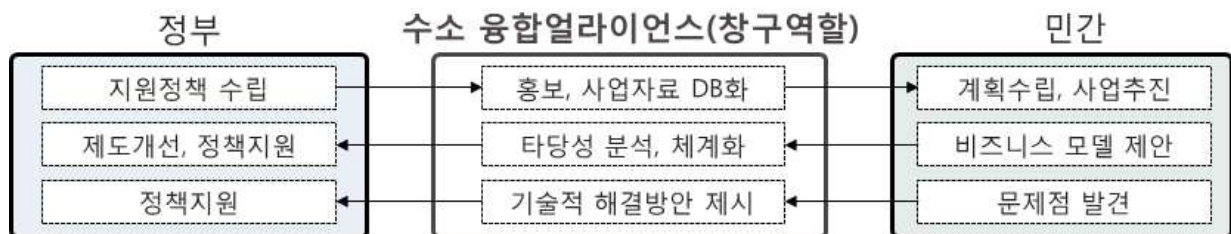
- 수소산업 육성을 위해 창립 (2014. 1.) 및 수소제조사 등 97개 회원사 가입
- 수소산업 육성 및 정보공유를 통한 세미나 등 개최
 - ‘수소충전소 발전 방안 세미나’ 주관 (울산, 2016. 3. 30)
 - ‘그린 수소에너지 포럼’ 주관 (울산, 2016. 7. 21)
 - ‘전국 수소산업 발전을 위한 세미나’ 주관 (전남 여수, 2016. 8. 26)

□ 한국 수소 및 신에너지학회

- 1989.7.14 창립 (현재 제14기 학회회장 : 오인환 녹색기술센터 소장)
- 매년 춘추 2회 수소관련 학술대회 개최, 논문집 27권 4호 발간 중
 - 가스학회, 수소산업협회와 MOU 체결 검토 중

□ 수소융합얼라이언스 추진단 (H2KOREA)

- 설립목적
 - 수소생산·공급 인프라 구축 지원, 수소전기차 보급 확산 및 친환경 수소기술 상업화 촉진을 위해 설립
 - 정부 중심에서 산업계 주도로 기술개발 추진 필요



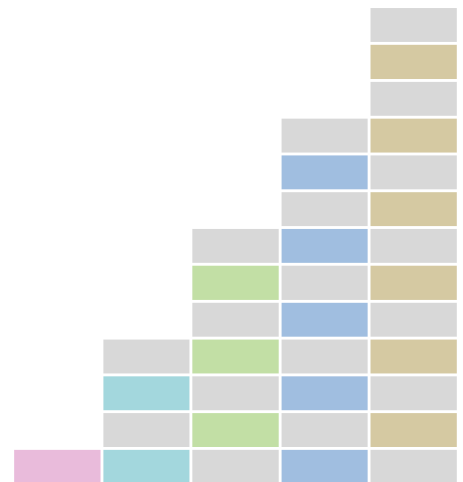
○ 구성 및 조직



○ 실별 주요업무

정책기획 지원실	수소차, 수소충전소 보급 활성화 및 지속 가능한 수소차 산업육성을 위한 정책지원			
	시장 분석	법개정	가격저감	보급활성화
기반구축 지원실	수소차, 수소충전소 보급과 수소차에 필요한 수소의 수요, 공급을 관리하여 보급활성화 지원			
	수소차 보급	수소충전소 보급	수소보급	DB관리
기술개발 지원실	수소차 민간보급 및 상용화를 위한 상용수준의 수소차, 충전소, 수소 기술 및 가격 달성 지원			
	수소차 기술	수소충전소 기술	수소 기술	시험인증
대외협력 지원실	수소차 보급활성화를 위한 안전홍보, 기술표준, 대외협력 및 관련 산업 수출 지원			
	홍보교육	지역협력	국제협력	표준화

IV. 사업 목표/내용 및 추진전략



제 1 절 사업 목표

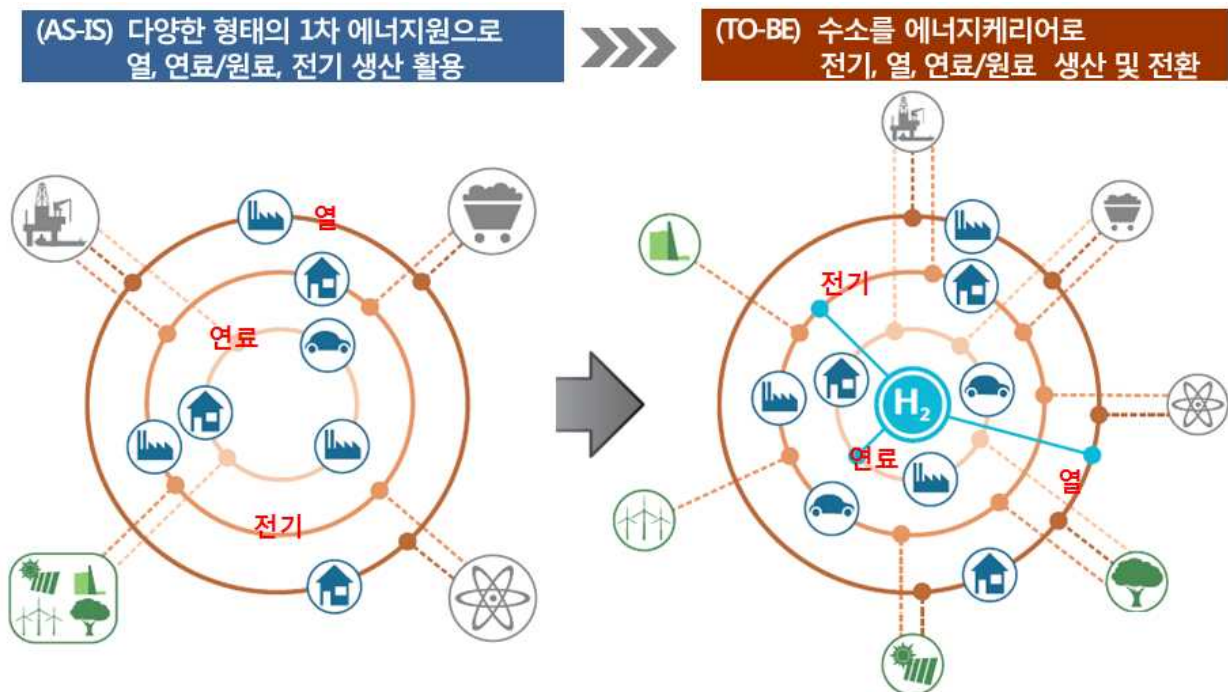
1. 사업의 비전 및 목표

가. 사업의 비전

□ 본 “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업”은 지구온난화에 따른 미래상의 변화와 정부의 상위계획 목표를 달성할 수 있도록, 미래 수소사회의 인프라 구축을 목표로 설정. 특히 대용량 저장 및 수송이 가능한 액체수소 기반 인프라에 집중

□ 비전 : 액체수소 플랜트 핵심 기술 확보를 통한 수소의 대용량 생산·저장 운송 활용 기반 마련, 이를 토대로 한 미래 수소사회 인프라 구축

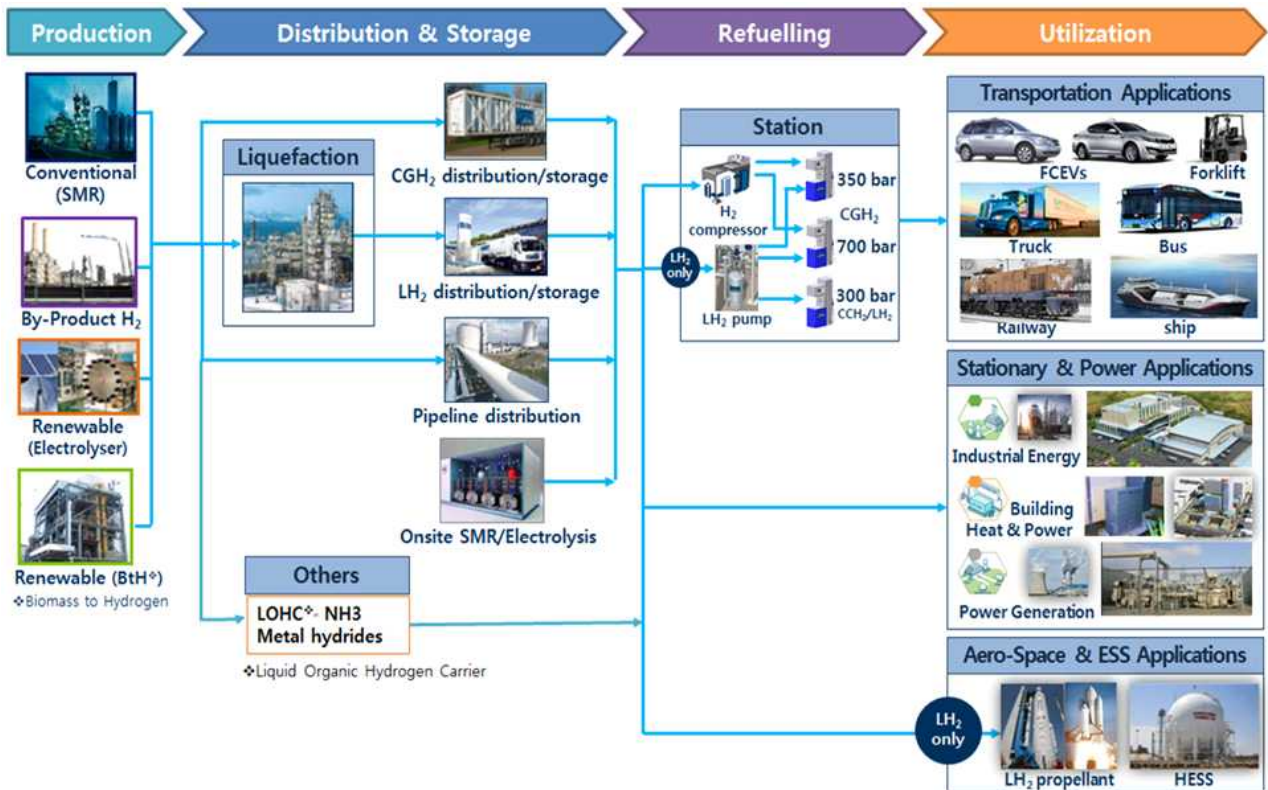
○ 수소사회 : 다양한 에너지로의 전환이 가능한 수소를 기반으로 하는 에너지 체계⁵⁸⁾



[그림 153] 수소사회의 미래상

58) 출처 : Energy System in near and future, Technology Roadmap (Hydrogen and Fuel Cells), 2015, IEA

○ 수소사회 구축 인프라 : 수소생산, 저장, 운송 활용 계통도



[그림 154] 사업의 비전

나. 전략 목표

□ 본 사업의 전략목표를 “수소경제 사회 인프라 구축을 위한, 대용량 수소액화플랜트 기술 상용화 핵심 기술 국산화 개발 및 성능 검증” 으로 설정

- 사업추진기간 (5년)을 2단계로 나누어 1단계 (3년)에는 핵심 기술개발을, 2단계 (2년)는 개발기술의 실제 액화 플랜트 적용 목표로 설정
- **(1단계)** 고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모 수소액화 플랜트 구축 및 pilot급 핵심 기자재 개발
- **(2단계)** 1단계 구축된 pilot 규모 수소액화 플랜트의 운용, 스케일업 설계를 통한 상용급 수소액화 플랜트 설계기술 확보, 1단계에서 개발된 pilot급 핵심 기자재의 수소액화플랜트 적용/성능평가, 성능평가 결과를 토대로 한 상용급 핵심 기자재 개발

□ (파급효과) 국내 인적자원을 기반으로 국내외 시설 및 장비, 연구예산 등이 투입되며, 사전기획 및 심의, 예산확보 및 사업선정, 연구개발, 성과확산 등의 과정의 거쳐, 과학기술적, 경제적인 성과를 도출

○ 과학기술적 파급효과 : 액체수소를 기반으로 생산 및 공급 인프라 건설을 위한 원리 규명 및 지식 창출, 생산, 공급, 및 저장, 안전관리 기술의 세계적 수준 확보, 상용화 및 실증사례 확보를 통한 기술 경쟁력 및 국가적 위상 제고, 연관기술 파급

○ 경제사회적 파급효과 : 국내 수소차 및 연료전지발전 보급 확대를 위한 인프라 리스크(수요증가 대비 투자부족, 기술 및 설비 국외조달 등)를 저감, 액체수소 인프라 신시장 산업생태계 조성 및 활성화를 통한 산업연관효과 향상, 이를 통한 산업/연구 분야 신규 일자리 창출 (개발 기술의 상용급 실증이 완성되어 국내외 신규 액체수소 수요에 대응할 수 있는 경우를 가정)

ValueChain	수혜자	연관성	파급효과
수소 공급 부생, SMR 수소	석유, 정유화학 산업, 수소유통업체	간접적	액화수소 기반 수소공급 기술 확보 기체수소 공급 대비 경제성 우위
수소액화 플랜트 건설	EPC 업체	직접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 11.3조원
충전소 건설	충전소 건설 업체	간접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 1.0 조원
활용	국내 수소차/ 연료전지 생산 기업 및 부품 기업	간접적	대량 저장/이송이 가능한 액화수소인프라 구축으로 연관 산업 활성화
	액체수소 엔진 및 선박 제조업체	간접적	
	연료전지 분산발전 사업자	간접적	
	정부, 우주항공 부품업체	간접적	우주발사체, 드론 등의 연료로 액화수소 활용

○ 수소액화플랜트 국내 건설만을 기준으로 본 사업의 연평균 생산 유발효과는 1.2 조원이며, 연평균 고용유발효과는 4,900명 수준에 달함

다. 사업의 논리 모형

[표 77] 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업의 논리적 모형

1. 이슈/문제

- 배경요인 : 온실가스 감축을 위한 국제협약, 화석연료 사용에 따른 미세먼지 및 대기질 문제 해소를 위한 수소차, 연료전지발전 도입정책을 적극 추진함에 따라 수소 수요 및 인프라 수요 증가
- 문제·이슈 : ① 신교통 수단으로 수소차 보급확대에 따른 수소 수요 증가에 대비한 적절한 공급 인프라 투자 부족, ② 선진기술과 격차에 따른 수소 인프라의 국내조달 애로, ③ 수소 인프라 부문의 투자 리스크 및 자력 경쟁력 확보의 애로 등
- 정책동향 : 신정부의 기후변화 대응 온실가스 감축, 친환경차(수소차 포함) 보급 확대, 제4차 과학기술 기본계획 : 신재생에너지, 국토교통연구개발종합계획
- 대안·전략 : 수소차 및 연료전지발전의 지속가능한 보급확대를 위해서는 인프라 구축을 병행하여야 함, 특히 선진기술 추세인 액체수소를 기반으로 공급 인프라를 구축하기 위한 원천기술 확보 및 실증 개발에 투자를 통한 시장한계 돌파

2. 목표

- 상용급 (5ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 설계기술 확보 및 핵심 기자재 개발, 0.5ton/day급 수소액화플랜트 구축 운용을 통한 미래 수소사회 인프라 구축

3. 수혜자

- 플랜트 및 충전소 건설·엔지니어링사
- 플랜트 설비 제작사
- 연료전지 및 수소차 생산기업, 부품 생산기업
- 수소 유통 기업 및 분산발전 사업자

4. 투입

- 사업기간 : 5년
- 총 사업비 : 485억원
 - 국비 : 290억원
 - 민자 : 195억원
- 연구인력 : 연평균 69명
- 연구시설/장비

5. 활동

- 액체수소 생산 핵심 기술 및 시작품 제작
- Pilot(0.5ton/day)급 수소액화설비 구축 및 운용

6. 산출

- 우수 특허 확보
- 핵심설비 시제품 및 성능인증
- Pilot(0.5ton/day)급 수소액화설비 구축 및 액체수소 생산

7. 성과/영향

- 수소차, 수소분산발전 보급 확산에 따른 청정사회 건설
- 대용량 에너지 저장 (HES)기술 확보에 따른 신재생에너지 보급 확대 및 지구온난화 대응
- 신 시장 창출 및 생산유발효과, 고용창출효과

8. 가정

- 전 세계적인 기후변화 협약 정책의 지속 및 이에 따른 정부의 신재생에너지 확대정책, 친환경차 보급 정책 등이 지속되어 저장/이송 효율이 높고 안전성이 높은 액체수소 관련 인프라의 필요성이 증대될 것임.
- 연구단계별 성과목표는 계획된 세부기술별로 우수기술, 실증기술, 사업화, 등이 도출될 것임
- 액체수소 인프라 건설시장이 점증하여 각국의 투자가 집중되고, 우리의 연구개발 성과를 이용하면 국내 건설사, 중견 중소 설비 제작사 등의 국내 신규시장 진입이 가능할 것임
- 미지원시에 국내 수소차 교통 및 연료전지발전을 위한 효율적인 수소 공급에 애로가 발생하고, 정부의 수소차 및 신재생에너지 보급 차질

2. 사업의 최종 성과물

□ 고효율 수소액화 플랜트 공정기술 국산화 달성

- 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 (1단계)
- 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 운용결과 보고서 (2단계)
- 상용급 (5 ton/day) 기본설계 Package (2단계)

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1	수소액화 공정 설계 용량	Ton/day	300	0.5	0.5-50
2	pilot 수소액화 플랜트 용량	Ton/day	35	0.01	0.5
3	액화 공정	-	-	-	LNG precooled cycle*
4	Pilot(0.5TPD) 플랜트 효율** (Specific power consumption)	kWh/kgH ₂	9.4 (35 TPD)	-	14.3 (0.5 TPD)

* LNG 냉열을 활용한 Cycle - 대표적으로 H2 Claude Cycle 또는 He Turbo Brayton Cycle

** 목표 효율은 용량의 함수임 : target 효율(kWh/kg) = 13.382 * (Plant capacity, TPD, metric tons per day)^{-0.1} (미국 DOE), 본 목표는 냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율

□ 수소액화 플랜트 핵심기자재 5종 국산화 개발 및 실증

- 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발
 - 0.5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (1단계)
 - 5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (2단계)
- 수소액화용 극저온 열교환기 개발
 - 0.5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (1단계)
 - 5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (2단계)
- 수소액화용 Cold Box 개발
 - 0.5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (1단계)

- 5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (2단계)
- 수소액화용 극저온 밸브 개발
 - 0.5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (1단계)
 - 5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (2단계)
- 액체수소 저장탱크 개발
 - 35m³ 중용량 저장탱크 시제품 (1단계)
 - 350m³ 대용량 저장탱크 시제품 (2단계)
 - 국내외 인증 (KGS, ASME 또는 선급)

3. 사업의 성과목표·지표

가. 성과지표 Pool 구축

□ “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업” 내 세부 기술 분야 별 성과지표 도출을 위한 성과지표 Pool은 ‘국가연구개발사업 표준성과지표’를 준용하여 유형별 성과지표 중 사업내용에 부합하는 질적 지표를 추출

○ 질적 지표를 기준으로 사업 성과를 측정하되, 최소한의 정량적 목표를 부과 - 논문, 특허, 시제품

[표 78] 유형별 성과지표 Pool

유형	분류 기준	사업유형별 질적 성과지표
중장기 산업기술개발	광범위한 응용가능성에 중심을 두고 장기간에 걸쳐 기술개발	▪ 과학적 성과분야 : 게재학술지의 우수성 ▪ 기술적 성과분야 : SMART 등급 지수, 국산화율 ▪ 인프라 성과분야 : 계획대비 공정률 ▪ 경제적 성과분야 : 매출액, 우수기술이전, 기술사업화 효과

□ 논리모형과의 설정한 성과목표·지표와의 상관관계는 다음과 같음

[표 79] 논리모형과 설정한 성과목표 및 지표와의 상관관계

구분	투입	과정	산출	결과		
				단기성과	중기성과	장기성과
사업 논리	•인적자원 ▶사업 참여자 -연구원 -관련분야 전문가 등 •물적자원 ▶예산 ▶연구장비 •지적자원 ▶지식 ▶정보	•기술기획 •R&D •R&D결과물의 실증 •pilot plant 구축 •수소사회 비전홍보	•과학적 성과 ▶논문 •기술적 성과 ▶특허 (출원/등록) •경제적 성과 ▶기술이전 •인프라 성과 ▶핵심 기자재 및 pilot plant 구축	•논문 (질적 우수성 확보) •특허 (질적 우수성 확보) •기술실증 ▶시작품 제작	•기술실시 계약 건수 (질적 우수성 확보) •상용급 TEST BED 구축 •Pilot Plant 구축을 통한 핵심 기술 확보	•기술사업화 효과 (매출액 증대) •액체수소기반 인프라보급 •고용인력 증가
성과 목표				상용액체수소 기반 인프라 핵심 기술 확보	수소액화 및 액체수소 활용 인프라 테스트 베드 실증	액체수소 인프라의 보급
성과 지표				•게재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수) •특허 (SMART등급) •우수기술이전 •국산화율 •논문, 특허, 시제품 수(정량)	•게재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수) •특허 (SMART등급) •우수기술이전 •국산화율 •논문, 특허, 시제품 수(정량)	•기술사업화 효과 •우수기술이전 •액체수소 매출액

나. 성과목표 및 지표 총괄표

- 1단계 3년 핵심기술 개발, 2단계 2년 핵심기술 개발 결과의 Pilot plant 적용으로 상용급 수소액화플랜트의 설계기술 개발을 목표로 함. 1단계와 2단계 성과지표는 동일하나, 단계의 특성에 따라 지표의 가중치 조절
- 2단계의 경우 핵심기술 개발의 실증 단계로 우수기술이전 및 국산화율의 가중치를 높게 설정

[표 80] 성과목표 및 지표 총괄표

구분	내용					
전략 목표	○ 수소경제 사회 인프라 구축을 위한, 대용량 수소액화플랜트 기술 상용화 핵심 기술 국산화 개발 및 성능 검증					
성과 목표	○ (기술적) 액체수소 기반 수소사회 인프라 핵심 기술인 고효율 수소액화플랜트 설계기술 확보 ○ (인프라) 국내 최초 준상용급(0.5 ton/day) 액체수소 생산을 통한 액체수소 기반 인프라 건설 기반 확보 ○ (경제적) 액체수소 생산 및 활용을 통한 수소경제 활성화 및 경제적 효과 창출					
단계별 성과 목표	1단계 (2019~2021)			2단계 (2022~2023)		
	○ 고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 pilot급 핵심 기자재 개발			○ 국산 개발 기자재를 활용한 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 운영, 상용급(5 ton/day) 설계기술 및 핵심 기자재 기술 확보		
성과 지표	지표명	지표 구분	가중치	지표명	지표 구분	가중치
	게재학술지 우수성 (표준화된 영향력지수)	질	0.2	게재학술지 우수성 (표준화된 영향력지수)		0.1
	특허 SMART	질	0.3	특허 SMART	질	0.2
	우수기술이전	질	0.2	우수기술이전	질	0.3
	국산화율	질	0.3	국산화율	질	0.4
	시제품, SCI 논문, 국내외 특허출원/등록	양	최소 기준	시제품, SCI 논문, 국내외 특허출원/등록	양	최소 기준
합계			1.0	합계		1.0

다. 단계별 성과목표 및 성과지표

□ 성과목표

단계	기간	성과목표	
1단계	2019~2021	성과목표	• 고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 pilot급 핵심 기자재 개발
		설정근거	• 본 사업의 전략목표인 액화수소 인프라 구축의 기본이 되는 핵심기술을 개발하고, 관련 제품의 국산화 기반을 마련, 이를 위해 과학적, 기술적 지표를 설정하고, 핵심 기술의 이전 활성화를 위한 경제적 지표를 설정
2단계	2022~2023	성과목표	• 국산 개발 기자재를 활용한 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 운영, 상용급(5 ton/day) 설계기술 및 핵심 기자재 기술 확보
		설정근거	• 2단계의 핵심목표는 국산 개발 기자재를 활용한 pilot급 수소액화플랜트 국산화 구축 및 운영을 통한 상용급(5 ton/day) 설계기술 및 국산 기자재 확보임. 이를 위해 1단계와 같은 과학적, 기술적 지표를 설정하였으나, 국산화 기술 개발 및 실증에 단계에 적합하도록 성과 지표의 가중치 변경

- “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업” 내 세부 기술 분야 별 성과지표 도출을 위한 성과지표 Pool은 ‘국가연구개발사업 표준성과지표’를 준용하여 유형별 성과지표 중 사업 성과 목표에 부합하는 질적 지표를 추출
 - 과학적 성과 지표 (질적 지표) : 게재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)
 - 기술적 성과 지표 (질적 지표) : 특허 SMART
 - 기술적 성과 지표 (질적 지표) : 국산화율
 - 경제적 성과 지표 (질적 지표) : 우수기술이전
- 질적 지표의 경우 해당성과가 다수 산출되었을 때의 결과를 비교하는 기준으로 적절함. 따라서 질적 지표를 기준으로 사업 성과를 측정하되, 최소한의 정량적 목표를 부과 - 논문, 특허, 기술료, 시제품
 - 논문, 특허, 기술료, 시제품 등의 양적 지표의 경우, 국토교통부 사업의 실적을 기준으로 하되, 사업의 특성을 고려하여 목표 조정 : 논문목표는 낮게, 특허 및 기술료 목표는 높게 설정(4장 4절 참조)

□ 1단계 사업 성과 지표

성과지표명	단위	1단계 목표					성과유형	지표유형	질적지표	성과지표 설정 사유
		2019	2020	2021	계	가중치				
계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	%	-	53	55		0.2	과학적	산출	○	- R&D 연구결과의 논문 우수성을 평가하는 지표로, 중장기개발사업 1단계에 주요하게 창출되는 지표 - 본 사업의 최종목표가 R&D 뿐만 아니라 그 결과물의 시제품 구현을 포함하고 있으므로, 가중치를 낮게 설정
특허 SMART	-	-	3.8	4.0		0.3	기술적	산출	○	중장기개발사업에서 주요하게 창출되는 기술적 지표로서, 개발기술의 산업적 우수성을 담보하는 지표로 비교적 높은 0.3의 가중치를 부여
우수기술이전	건	-	-	13	13	0.2	경제적	결과	○	개발 기술의 실용화 기반이 되는 기술실시계약 성과의 지속적 제고가 필요하나, 1단계 성과로 기술이전 비중이 낮을 것으로 예상되므로 가중치를 낮게 설정
국산화율	%	-	-	25		0.3	기술적	결과	○	기술개발로 인하여 발생한 국산기술 확보 수준과 실용화 가능성을 관리하기 위하여 국산화율 설정
SCI(E) 논문 수	%	-	9	8	17		기술적	산출		R&D 사업의 특성상 발생하는 기술개발결과의 논문 게재
특허 출원 수	%	7	16	16	39		기술적	산출		개발기술의 지적재산권 출원 노력, 이를 통한 기술 우수성 및 독창성 확보
특허 등록 수	%	-	9	9	18		기술적	산출		개발기술의 지적재산권 등록 결과, 이를 통한 기술 우수성 및 독창성 확보
기술료(억원)	%			3.8	3.8		경제적	결과		기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 현장적용 기술실증 건수를 성과지표로 설정
시제품수				6	6		기술적	결과		기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 시제품 및 이의 기술검증을 설정

- 양적지표(논문, 특허, 기술료, 시제품)의 산출근거는 4장 4절 참조
- 기본적으로 사업 성과지표는 세부과제 목표의 합, 국산화율의 경우 전체 pilot 플랜트 내에 포함된 국산화제품의 가격비율로 산정

□ 2단계 사업 성과 지표

성과지표명	단위	2단계 목표				성과유형	지표유형	질적지표	성과지표 설정 사유
		2022	2023	계	가중치				
계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	%	58	61		0.1	과학적	산출	○	• R&D 연구결과의 논문 우수성을 평가하는 지표 • 2단계의 경우, 실증 위주의 과제 진행이므로 가중치를 낮게 설정
특허 SMART	-	4.2	4.4		0.2	기술적	산출	○	• 중장기개발사업에서 주요하게 창출되는 기술적 지표로서, 개발기술의 산업적 우수성을 담보하는 지표로 비교적 높은 0.3의 가중치를 부여
우수기술이전	건	-	7	7	0.3	경제적	결과	○	• 개발 기술의 실용화 기반이 되는 기술실시계약 성과의 지속적 제고가 필요하나, 1단계 성과로 기술이전 비중이 낮을 것으로 예상되므로 가중치를 낮게 설정
국산화율	%	-	50		0.4	기술적	결과	○	• 기술개발로 인하여 발생한 국산기술 확보 수준과 실용화 가능성을 관리하기 위하여 국산화율 설정
SCI(E) 논문 수	%	6	6	12		기술적	산출		• R&D 사업의 특성상 발생하는 기술개발결과의 논문 게재
특허 출원 수	%	10	10	20		기술적	산출		• 개발기술의 지적재산권 출원 노력, 이를 통한 기술 우수성 및 독창성 확보
특허 등록 수	%	6	6	12		기술적	산출		• 개발기술의 지적재산권 등록 결과, 이를 통한 기술 우수성 및 독창성 확보
기술료(억원)	%		2.0	2.0		경제적	결과		• 기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 현장적용 기술실증 건수를 성과지표로 설정
시제품수(핵심요소 기술검증포함)			6	6		기술적	결과		• 기술개발로 인하여 발생한 성과의 실용화 가능성을 지속적으로 관리하기 위해 시제품 및 이의 기술검증을 설정

- 양적지표(논문, 특허, 기술료, 시제품)의 산출근거는 4장 4절 참조
- 기본적으로 사업 성과지표는 세부과제 목표의 합, 국산화율의 경우 전체 pilot 플랜트 내에 포함된 국산화제품의 가격비율로 산정

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

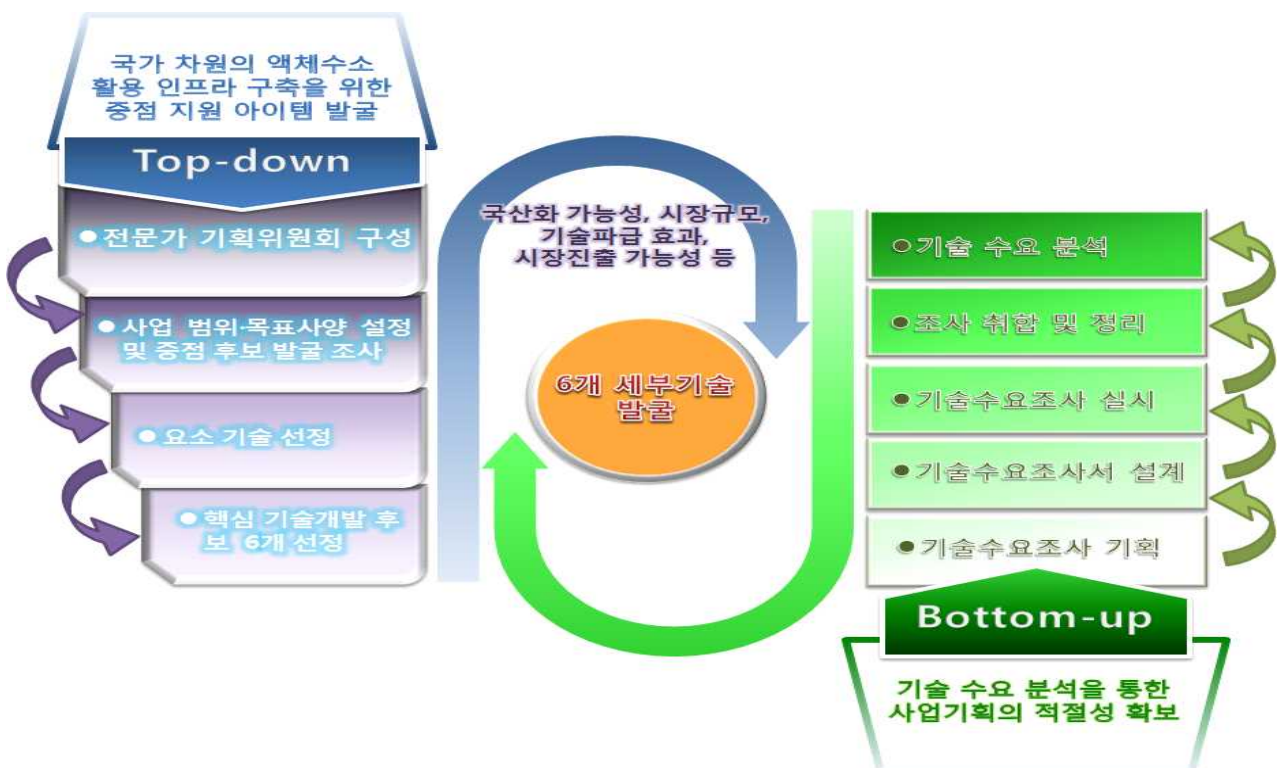
성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처																												
게재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	○설정방법 : 동 사업과 유사한 성격의 사업인 국토교통기술촉진사업의 최근 3년간 학술지게재 논문지수의 평균값을 초기년도 목표치로 설정 <국토교통기술촉진사업 성과실적> <table><tr><td>2012</td><td>2013</td><td>2014</td><td>평균</td></tr><tr><td>46.39%</td><td>49.02%</td><td>45.26%</td><td>46.89%</td></tr></table> ○연차별 목표치 설정근거 : 도전적 목표치 설정에 따라 매년 5% 증가 수준으로 설정	2012	2013	2014	평균	46.39%	49.02%	45.26%	46.89%	○대상 : 당해년도 신규/계속과제/종료과제 ○측정방법 : 표준화된 순위보정 영향력지수 ($mrnIF$) 평균값 (%) ○측정산식 : $\sum_i mrnIF_i / \sum_i SCI_i$ * i는 저널 종류(수) * $mrnIF_i$는 저널 i의 $mrnIF$ (표준화된 순위보정영향력지수)값 (단, $mrnIF = \frac{N \times rIF - 1}{N - 1} (\%)$) * 순위보정영향력지수($rIF$) : $rIF = \frac{N - R_j + 1}{N}$ (단, N : 해당분야 내 저널 수, R_j : 분야 내 게재 학술지 순위) ○시기 : 점검대상 차년도 2월 (점검년도 NTIS 성과등록 마감시점) 성과측정	NTIS 연구성과관리시스템																				
2012	2013	2014	평균																												
46.39%	49.02%	45.26%	46.89%																												
특허 SMART	○설정방법 : 사업과 유사한 성격의 사업인 국토교통기술촉진사업의 최근 3년간 성과 중 가장 높은 값(3.6)을 초기값으로 설정 <국토교통기술촉진사업 성과실적> <table><tr><td>2012</td><td>2013</td><td>2014</td><td>평균</td></tr><tr><td>3.60</td><td>3.20</td><td>2.04</td><td>2.95</td></tr></table> ○연차별 목표치 설정근거 : 본 사업은 순수 R&D 보다는 상용화에 중점을 두므로 도전적 목표치로 매년 5% 증가 수준으로 설정	2012	2013	2014	평균	3.60	3.20	2.04	2.95	○대상 : 당해년도 신규/계속과제 ○측정방법 : SMART 활용 ○측정산식 : $\sum \text{등급} \times \text{배점} / \text{등록특허건수}$ ○시기 : 당해년도 연말(12월) 성과측정 <table><tr><th>등급</th><th>C</th><th>CC</th><th>CCC</th><th>B</th><th>BB</th><th>BBB</th><th>A</th><th>AA</th><th>AAA</th></tr><tr><th>배점</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr></table>	등급	C	CC	CCC	B	BB	BBB	A	AA	AAA	배점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	한국발명진흥회의 특허분석평가시스템 SMART 활용
2012	2013	2014	평균																												
3.60	3.20	2.04	2.95																												
등급	C	CC	CCC	B	BB	BBB	A	AA	AAA																						
배점	1	2	3	4	5	6	7	8	9																						

□ 성과지표의 목표치 및 측정방법

성과지표명	목표치 설정방법 및 근거	측정산식 및 방법, 시기	자료 출처												
우수기술이전	○설정방법 : 2016년 국가연구개발사업 성과분석보고서(2018, 과학기술정보통신부)를 토대로 국토교통부 연구개발사업의 기술료 징수 실적을 토대로 목표 설정 ·총 투자연구비 대비 기술료 징수액 57.7억원/5,451억원 = 0.1억원/10억원 ○단계별 목표치 설정근거 : ·본 사업은 개발/실증 연구이므로 국토교통부 평균 대비 2배로 목표를 상향: 정부투자비 10억원당 0.2억원 설정, 우수 기술이전을 3,000만원 이상으로 설정 <table><tr><td></td><td>1단계</td><td>2단계</td></tr><tr><td>정부투자연구비(억원)</td><td>190</td><td>100</td></tr><tr><td>기술료(억원)</td><td>3.8</td><td>2.0</td></tr><tr><td>우수기술이전 건수</td><td>13</td><td>7</td></tr></table>		1단계	2단계	정부투자연구비(억원)	190	100	기술료(억원)	3.8	2.0	우수기술이전 건수	13	7	○대상 : 단계별 신규/계속과제/종료과제 ○측정방법(산식) : 추진 과제들의 전체 기술실시 계약 건 중 3,000만원 이상의 기술실시계약 건수를 측정 ○시기 : 각 단계 최종 연차 연말(12월) 기준 - 연차별 성과실적 보고서 활용	NTIS 연구성과 관리시스템, 성과분석 보고서
	1단계	2단계													
정부투자연구비(억원)	190	100													
기술료(억원)	3.8	2.0													
우수기술이전 건수	13	7													
국산화율	○설정방법 : 기술개발로 인하여 발생한 국산기술 확보 수준과 실용화 가능성을 관리하기 위하여 개발된 전체 시스템 시제품내에 포함된 국산화제품의 가격비율을 산정 ○연차별 목표치 설정근거 : 1단계 기술개발이 종료되는 3차년도, 2단계 종료 시점인 5차년도에 목표 할당. 본 사업의 경우 각 단계별로 pilot 플랜트 1종이 건설되며, 유사 플랜트의 국산화율을 기반으로, pilot 플랜트 건설시 국산제품 사용율을 목표로 설정 - 2011년 기준 (플랜트 기자재 국산화 방안 기획보고서, 2011, 한국기계연구원)의 Oil&Gas 전체 기자재의 국산 조달률은 25.4% - 1단계 pilot 플랜트는 공정설계 기술만을 개발하고, 사용 기자재는 외부조달을 근간으로 함. 따라서 1단계의 국산화율 목표는 25%로 하고, 1단계에서 개발되는 핵심기자재의 국산화를 통하여 2단계 pilot 플랜트에서는 두배 수준인 50%를 목표로 설정	○대상 : 단계별 신규/계속과제 ○측정방법 : 각 단계의 pilot 플랜트 구축시 사용된 국산제품의 가격 비중을 전체 구축 비용으로 나누어서 국산화율을 계산 단, 본 과제가 수소액화에 중점을 두고 있으므로, 개질기에 의한 기체 수소 공급 부분에 들어가는 비용은 제외 ○시기 : 당해년도 연말(12월) 기준 - 연차별 성과실적 보고서의 투입 예산 사용실적 활용	국토교통 R&D 사업관리 시스템												

제 2 절 연구개발 과제 구성

- 본 사업기획 시 합리성, 객관성 및 사업화 가능한 사업 아이템 선정을 위해 상용급 고효율 수소액화 플랜트 및 액체수소 활용 인프라 구축 관련 국내 R&D 동향, 사업 추진 기본방향 및 추진전략 등을 통해 핵심과제 및 세부기술을 도출
- 사업기획의 충실성을 기하기 위해 예비타당성조사 평가 매뉴얼에 근거하였으며, Top-down/Bottom-up 방식을 병행하는 형태로 핵심과제 및 세부기술 분야 발굴
- Top-down 기술기획 : 국가 차원의 액체수소 활용 인프라 구축을 위해 필수적인 핵심 중점 지원 아이템 발굴
 - Bottom-up 기술기획 : 국내 산·학·연 전문가를 대상으로 상용급 고효율 수소액화 플랜트 및 액체수소 활용 인프라 구축 분야에서 단기 및 중장기적으로 요구되는 기술수요를 발굴



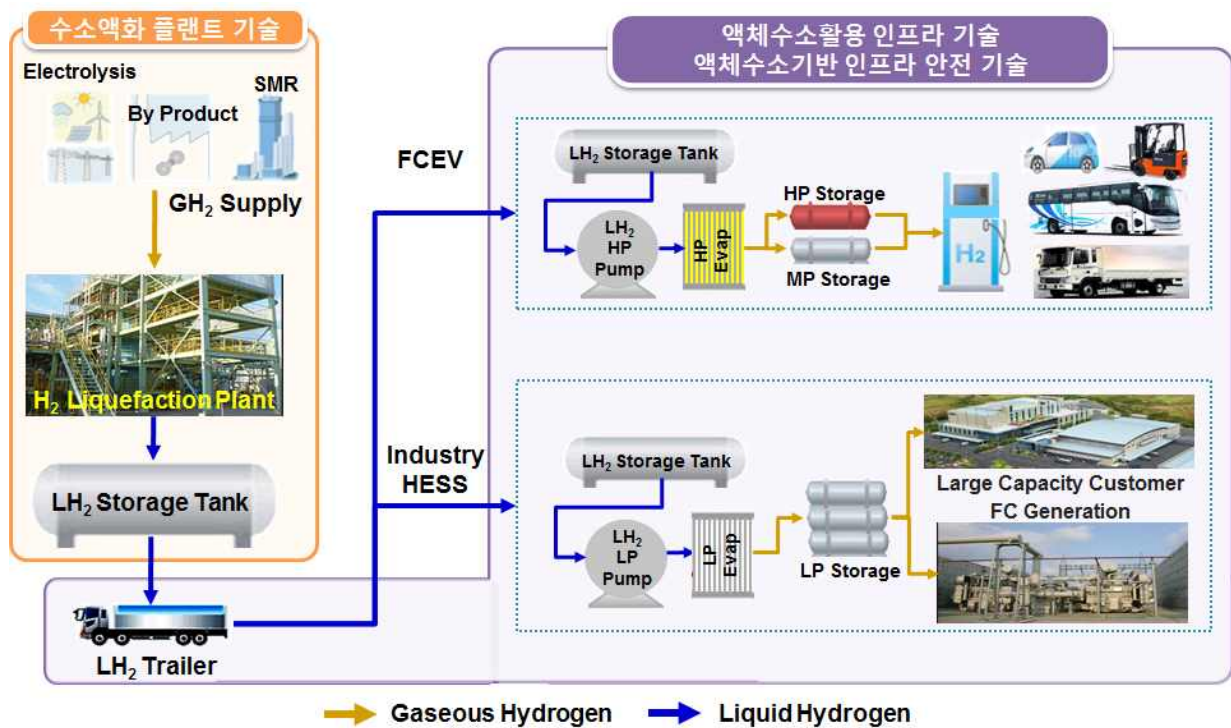
[그림 155] R&D 세부과제(중점 지원 사업) 선정 프로세스

1. Top-down 기술기획

가. 사업 범위 및 목표 사양 설정

(1) 사업 범위 설정

- 사업의 비전인 대용량 생산·저장 운송 활용 기반 마련을 통한 미래 수소사회 인프라 구축을 위한 전체 기술 범위는 다음 그림과 같음
- 이중 전략목표인 대용량 수소액화플랜트 기술 상용화 및 액체수소 활용을 위한 핵심 기술 개발 및 성능 검증을 위해 수소액화플랜트 기술 부분을 사업 범위로 설정



[그림 156] 사업비전을 위한 전체 기술 범위

(2) 목표 사양 설정

- 본 사업기획에서 수소사회 인프라 구축과 관련한 사업 아이템 선정을 위해 우선적으로 선정하여야 할 목표 사양은 상용급 수소액화 플랜트의 용량이며, 액체수소 수요량 및 주요 제조사 별 상용급 수소액화 플랜트 용량의 두 가지 관점에서 설정

- 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (관계부처 합동, 2015. 12)을 근거로 2025년 수소차 총 수소 수요량의 10%를 액체수소 기반으로 공급할 경우, 5 TPD 급 용량의 수소액화 플랜트가 필요할 것으로 예측됨
- 또한, 2025년 기준 국내 고순도 수소시장은 10 TPD (3,600 ton/year) 수준으로 예상되며, 약 50%를 액체수소 기반으로 공급할 경우, 5 TPD 급 용량의 수소 액화 플랜트가 요구됨
- 상용급 수소액화 플랜트의 주요 제조사 별 용량을 살펴보면, 1 - 50 TPD 수준이며, 최근 건설/운영되고 있는 표준 모델은 5 TPD 급임

[표 81] 수소차 보급 및 시장 활성화 계획 (관계부처 합동, 2015. 12)

연도	수소차 (누계, 만대)	수소충전소수 (누계, 개소)	총 수소 수요량 (ton/year)	총 수소 수요량 (ton/day)	충전소필요 수소량 (kg/day)
~2020	0.9	80	1,751	5	60
~2025	10	210	19,455	53	254
~2030	63	520	122,568	336	646
~2050	700	1500	1,361,868	3,731	2487

(연평균 운행거리 : 15,000km, 연비 : 77.1km/kgH₂ 가정)

[표 82] 주요 제조사 별 상용급 수소액화 플랜트 용량 및 공정

Company	Capacity (TPD)	Process
Air Product & Chemicals	5 ~ 35	N/A
Air Liquide	1 ~ 10	LN ₂ Pre-cooled Claude Cycle LN ₂ He Brayton Cycle
Praxair	6 ~ 35	Pre-cooled Claude Cycle
Linde	5 ~ 50	LNG and LN ₂ Pre-cooled Claude Cycle

- 상기 근거들을 토대로 본 사업의 상용급 수소액화플랜트에 대한 용량기준 목표 사양은 5 TPD로 설정함
- 수소액화 플랜트 성능 기반 목표 사양 설정은 현재 운영되고 있는 상용급 수소액화 플랜트의 세계 최고 수준의 효율을 기준으로 설정
- Specific power consumption : 11.4 kWh/kgH₂ (5 TPD 플랜트 세계 최고 수준⁵⁹⁾)

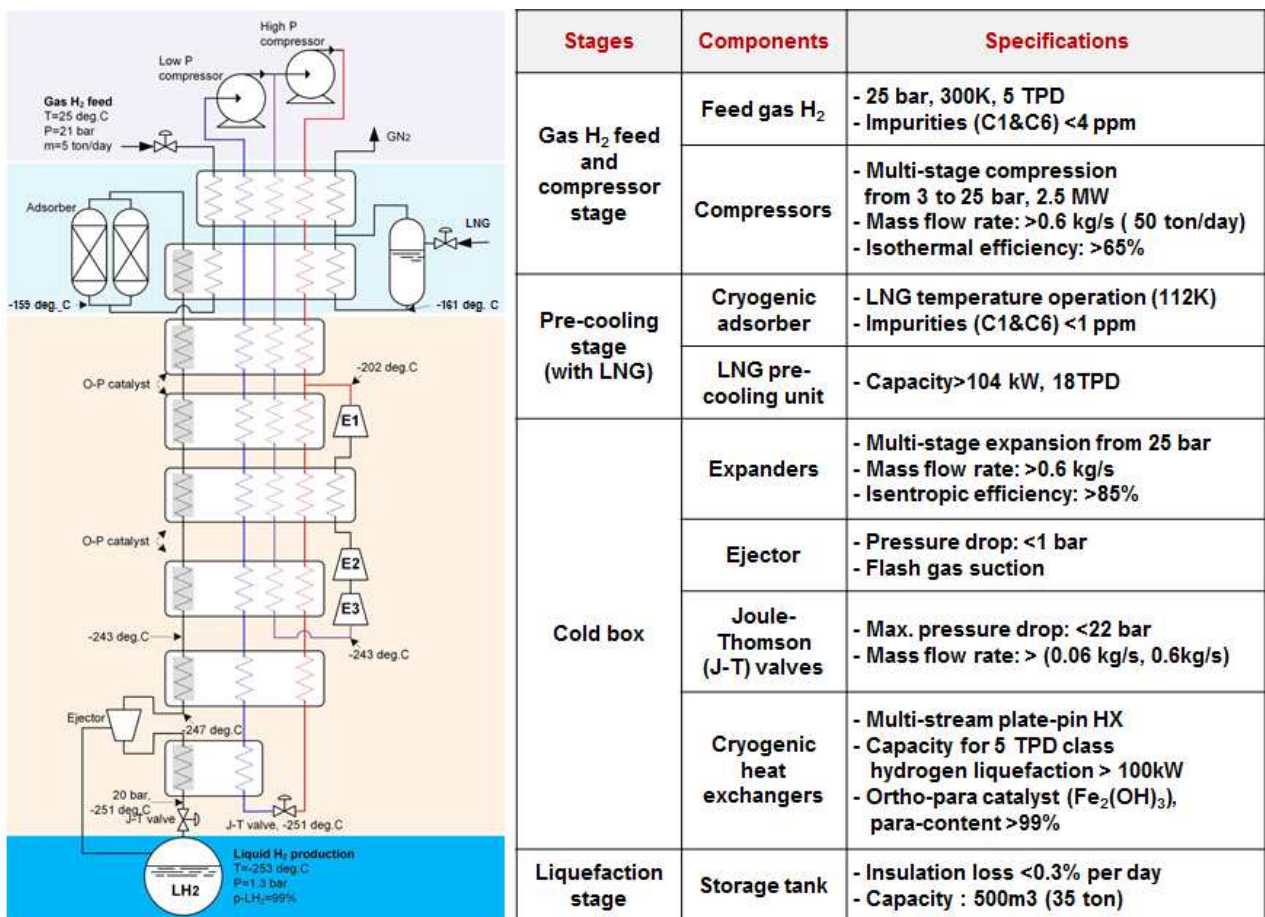
○ 수소액화 공정 : LNG 냉열 활용 Pre-cooled Cycle⁶⁰⁾

□ 상용급 수소액화 플랜트의 용량 및 성능 기반 목표 사양을 만족하기 위한 공정 및 핵심 설비 목표사양의 예는 다음과 같음

○ 공정의 한 예이며, 기술개발 시 공정 설계에 따라 사양은 추후 결정

○ 본 그림에서 제시하는 사양은 수소 Calude Cycle 기준으로 설정되었음

- Helium Brayton Cycle 활용 시 (그림의 오른쪽 냉동 Cycle에 헬륨 사용) 변경됨



[그림 157] 상용급 수소액화 플랜트 공정 및 목표사양

59) 목표 효율은 용량의 함수임 : target 효율(kWh/kgH₂) = 13.382 * (Plant capacity, TPD, metric tons per day)^{-0.1} (미국 DOE)

60) LNG 냉열을 활용한 Hydrogen Claude Cycle 또는 Helium Brayton Cycle

나. 요소기술 도출

- 설문조사 결과를 반영한 후보 전략기술 우선순위 결과와 기획위원을 대상으로 국내 실정을 토대로 개발 가능 후보 요소기술 리스트를 도출

[표 83] 요소기술 도출 결과

대분류	중분류	요소기술
수소 공급	수소 제조	탄화수소 개질 기술
	후처리	정제기술
수소 액화	고효율 수소액화 공정	Precooled He Brayton Cycle
		LN ₂ /LNG Precooled Claude Cycle
		신개념 Cycle
	수소액화 핵심 기자재	압축기
		Expander
		극저온 열교환기
		Ortho-Para Converter
		극저온밸브
		coldbox
		액체수소 저장탱크
		극저온펌프 (저압)
	플랜트 설계/건설/운영	Test Bed Site 구축
		기본설계
		상세설계
		조달, 건설
		시운전, 운영
		액화수소 제조/생산/활용
		O&M 디지털 트윈 (공정, 안전 시뮬레이션 기능)
		플랜트 도입 및 EPC (개질기 포함)

다. 핵심요소기술 (CTE, Critical Technology Element) 선정

- 각 후보 전략기술에 대하여 액체수소 기반 인프라 구축 분야 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원을 대상으로 의견을 취합

- 국내 기술 수준, 개발 가능성, R&D 종료 후 상용화 가능성 등을 고려하여 후보 전략 기술에 대한 분석을 수행
- 기술수준 분석 결과, 국산화 가능성이 높아도, 세계적으로 상용화가 완료된 기술의 경우 기술개발 범위에서 제외, 기술개발 난이도가 높은 품목의 경우에도 액체수소 생산 및 활용의 핵심 기술인 경우 기술개발 범위에 포함
- 국내 실정 및 핵심기술의 중요성을 토대로 최종 핵심요소기술 (CTE, Critical Technology Element)을 선정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

[표 84] 국내 실정을 토대로 개발 가능 핵심 요소기술 리스트

대분류	중분류	소분류	개발 여부	비고
수소 공급	수소 제조	원자력 수소	×	
		신재생에너지 기반 수소	×	
		천연가스 개질	○	액체수소에 집중하고, 전체 사업의 성공 가능성을 높이기 위해 상용품 사용
		석탄가스화	×	
	부생 가스	정유, 석유화학, SNG	×	
	후처리	불순물 제거 공정 분류	×	후처리공정 국산화 완료
수소 액화	고효율 수소액화 공정	수소 액화 공정	○	
		냉열 활용 통합공정	○	
	수소액화 핵심 기자재	압축기 (저압, 상온, 저유량)	△	왕복동식 (저압 기준)
		Expander	△	기술개발 난이도가 높으나 상용급 수소액화 플랜트의 핵심 기자재로 개발 필요
		극저온 열교환기	○	
		Ortho-Para Converter	×	기초 R&D 아이템으로 공정 실증에 직접 적용이 되지 않으므로 제외 (핵심인 공정실증용 촉매는 상용 구매 가능)
		액화수소 저장탱크	○	소용량, 대용량 모두 포함
		극저온밸브	○	액체 헬륨 밸브 개바 완료
		Coldbox (Engineering)	○	
	플랜트 설계/건설/운영	기본설계	○	
		건설/시운전	○	
		O&M 통한 설계 최적화	○	

[표 85] 기획위원 명단

성명	소속	직위	성명	소속	직위
박시삼	GS건설	박사	윤인수	한국가스공사	박사
정상권	KAIST	교수	이철구	한국가스공사	수석
강상우	KIST	박사	박성제	한국기계연구원	박사
이재훈	가스안전공사	박사	윤의수	한국기계연구원	박사
최성준	가스안전공사	부장	최병일	한국기계연구원	박사
황인주	건설기술연구원	박사	임찬선	한화파워시스템	박사
박찬국	고등기술연구원	박사	신봉근	한화파워시스템	박사
김원식	광신기계공업	팀장	이상혁	한화파워시스템	박사
문흥만	대성산업가스	상무	차광석	현대건설	부장
박광순	산업연구원	박사	김성균	현대자동차	책임
정현석	이엠코리아	이사	이승훈	수소융합얼라이언스추진단	사무총장
구영모	자동차부품연구원	박사	김형식	한국가스공사	책임
김석호	창원대	교수	장대준	KAIST	교수
정인철	두산중공업 기술연구원	연구위원	심덕남	두산중공업 기술연구원	책임
이용규	에어리퀴드 코리아(주)	부장	최창열	LINDE KOREA	부장
박동성	핵융합연구소	박사	고명주	대전광역시 에너지산업과	주무관
이원희	충남도청 신성장동력과	팀장 (사무관)			

2. Bottom-up 기술기획

- ☐ 수소액화 플랜트 및 액체수소 활용 플랜트 구축을 통한 수소사회 인프라 확보를 달성하기 위하여 산업 분야 기술개발의 현재 및 미래에 요구되는 기술수요를 파악함

가. 액체수소 기반 인프라 구축 관련 과제제안서 수요조사 방법

[표 86] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 과제제안서 양식

고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발 과제 제안서			
1. 제안 과제 개요			
과제명			
과제 정의 및 제안 배경	☐ 정의 ☐ 필요성		
과제 연구목표 및 내용 (필요시 목표사양 포함)	☐ 연구 목표 ☐ 연구 내용 ☐ 목표사양		
후보과제 개발 소요기간/예산	년 / 억원		
국내외 기술동향 및 시장동향	☐ 국내 기술/시장 현황 - - 국내 주요 제조사 : ☐ 세계 기술/시장 현황 - - 해외 주요 제조사		
국내 관심 기관	산업계		
	학계		
	연구계		
2. 참여분야 : (“기술 트리” 참조)			
연구분야	☐ 수소 공급 및 정제 ☐ 수소액화플랜트 핵심 설비 ☐ 액체수소 활용 ☐ 기타		
	☐ 고효율 수소 액화 공정 ☐ 플랜트 설계/건설/운영 ☐ 수소 안전/제도/사업화		
3. 제안자 소속 및 참여의사 확인서			
소속		성명	
전화번호		이메일	
과제 채택 시 연구참여 희망여부		☐ 원함 ☐ 원하지 않음	
국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 “고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업”과 관련하여 위와 같이 연구 과제를 제안합니다. 제 안 일 : 2017. 9. 4.			
국 토 교 통 과 학 기 술 진 흥 원 장 귀 하			

- ☐ 상기 양식에 따라 액체수소 기반 인프라 구축 분야 기술트리 기준의 중소분류 단위 연관기술에 대하여 산·학·연 전문가를 대상으로 과제제안서 수요조사 진행
- ☐ 과제 제안 유무에 관계없이 추후 액체수소 기반 인프라 구축 분야 관련 과제 참여관심 여부를 판단하기 위한 참여의향서 조사도 병행하여 진행

[표 87] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 참여의향서 양식

고효율 수소액화 플랜트 상용화 연구개발사업 참여 의향서

관심 세부기술명 ("기술 트리" 참조)	☐ 수소 공급 및 정제 ☐ 수소액화플랜트 핵심 설비 ☐ 액체수소 활용 ☐ 기타			☐ 고효율 수소 액화 공정 ☐ 플랜트 설계/건설/운용 ☐ 수소 안전/제도/사업화	
기관명		실무 담당자	부서명		
			연락처		
			성명		
우리 기관은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원에서 추진하고 있는 "고효율 수소액화플랜트 상용화 연구사업" 관련하여 상기 세부기술 개발에 참여할 의사가 있으며, 해당 연구성과가 우리 기관의 요구사항 및 국제 기준을 충족할 경우에 활용할 예정임을 알려드립니다.					
20 년 월 일 (기관명) (대표) (서명) 국토교통과학기술진흥원장 귀하					

나. 과제제안서 수요조사 결과

□ 중복 제안과제를 필터링하여 4개 대분류별로 총 45개의 과제제안서 접수

[표 88] 액체수소 기반 인프라 구축 분야 과제제안서 접수 결과

제안과제	분류	대분류
액체수소 운송용 ISO 탱크 컨테이너 개발 및 안전성 평가 연구	액체수소 활용	액체수소활용
액체수소 충전소 기화기 및 압축기 안전성 평가기술 개발	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
액체수소 스테이션 시스템·부품 원천기술 개발 및 실증	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
IoT(사물인터넷) 기술을 활용한 수소액화 플랜트 원격운전제어 네트워크 시스템개발	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
액체수소 충전 및 저장시설 적정 이격거리에 대한 실증 연구	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
액체수소 및 고압연료가스 PVTx 정밀측정 기술 개발	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
수소충전 국제표준 프로토콜(SAE J2601)에 따른 수소충전 시스템 종합 성능평가 기술 개발	플랜트 설계/건설/운용	수소액화
액체수소저장시스템 및 트레일러 단열성능 평가기술 개발	액체수소 활용	액체수소활용
LH ₂ 용 극저온열교환기 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
5ℓ/hr급 수소 재액화기 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
탱크로리용 1 톤급 액화수소 저장탱크 개발	액체수소 활용	액체수소활용
대용량 액화수소 생산을 위한 복합냉매 수소액화플랜트 개발	고효율 수소 액화 공정	수소액화
LH ₂ 용 250LPM급 트레일러 이송펌프 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
공정용 수소가스 감지센서 개발	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
선박용 액화수소저장탱크의 기화수소 관리 시스템	고효율 수소 액화 공정	수소액화
LNG 냉열 활용 수소액화 공정개발 및 최적화	고효율 수소 액화 공정	수소액화
400kg/day급 수소액화 충전소의 기본설계 및 실증	액체수소 활용	액체수소활용
대용량 천연가스개질 수소제조시스템 설계기술 개발	수소 공급 및 정제	수소 공급
목질계 BIO-Mass를 이용한 수소생산 기술 개발	수소 공급 및 정제	수소 공급

제안과제	분류	대분류
천연가스 수증기 개질에 의한 상용급 수소제조 실증플랜트 개발	수소 공급 및 정제	수소 공급
액화수소 저장 탱크 및 배관라인 열 설계를 위한 해석기술개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
수소 액화용 Cold box 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
액체수소 저장용 극저온 고압 고용적률 저장 탱크 개발	액체수소 활용	액체수소활용
공간절약형 액체수소 기반 수소주입스테이션	액체수소 활용	액체수소활용
고효율 수소액화 냉열활용 통합공정 고급 공정 제어 기술 개발	플랜트 설계/건설/운영	수소액화
대용량 액체수소 저장탱크 표준모델 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
액체수소 저장탱크	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
수소액화플랜트 테스트베드 부지 제공 및 운영기술 확보	플랜트 설계/건설/운영	수소액화
Ortho-para 수소 변환장치 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
저압 극저온펌프 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
고압 극저온펌프 개발	액체수소 활용	액체수소활용
액화수소 파이프용 고취성저항/고단열 표면처리 공정개발	액체수소 활용	액체수소활용
액화수소기반 인프라 구축을 위한 제도보완 및 사업화 계획	수소 안전/제도/사업화	수소 안전/제도/사업화
LH ₂ 용 극저온 터보펌프 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
수소액화플랜트 기본설계	고효율 수소 액화 공정	수소액화
수소액화플랜트 건설 및 시운전	플랜트 설계/건설/운영	수소액화
수소액화플랜트용 2300Nm ³ /h급 천연가스개질 수소제조시설(플랜트) 개발 및 설치	수소 공급 및 정제	수소 공급
액체수소 저장 탱크(고정형, 수송용) 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
저압 수소압축기 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
LH ₂ 직접 충전 운용 시스템 개발	액체수소 활용	액체수소활용
극저온 터보팽창기를 이용한 수소액화 시스템 개발	고효율 수소 액화 공정	수소액화
LH ₂ 용 극저온 터보 Expander 개발	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화
0.5 TPD 수소 액화시스템 운영기술 개발	고효율 수소 액화 공정	수소액화
5 TPD 수소 액화플랜트 기본설계	플랜트 설계/건설/운영	수소액화
고효율 수소 액화시스템 개발 (0.5 TPD 기술 도입)	수소액화플랜트 핵심 설비	수소액화

□ 수소액화 분야 25개의 과제제안서가 접수됨

[표 89] 기술수요조사 결과

대분류	구성기술 (중분류)	기술제안 (건수)	소계 (건수)
수소 공급	1) 수소 제조	4	4
	2) 후처리	0	
	3) 부생가스	0	
수소 액화	4) 고효율 수소 액화 공정	6	25
	5) 수소 액화 핵심 기자재	14	
	6) 플랜트 설계/건설/운영	5	
액체수소 활용	7) 액체수소 운송	4	9
	8) 액체수소 연계 융복합 스테이션	5	
수소 안전/제도/사업화	9) 안전 시스템	4	7
	10) 안전 기준	1	
	11) 보급 및 사업화	2	

3. 연구개발 과제 구성

□ Top-down 기술기획 결과에 Bottom-up 기술기획 결과를 반영하여 기술구성 체계의 적절성, 기술도출의 타당성, 사회적·경제적 이유화의 연계성 등을 검토

○ 산·학·연 전문가로 구성된 기획위원을 대상으로 기술개발 계획의 심층적인 검토를 통해 연구개발 과제 구성 체계(안)을 도출

○ 기 도출된 세부기술 및 구성기술 체계에 대한 적절성 검토

- 구성기술 및 개발내용에 대한 사업화 성공 가능성 및 기술개발 성공 가능성 등을 검토
- 국내외 관련 분야의 주요 이슈 및 환경분석, 전문가 위원회 및 수요조사 등을 통하여 “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발 사업”의 최종 기술 구성 및 범위 도출
- 기획과정 중 타당성 평가 회의에서 제기된 “수소 공급기술 부분은 기존 기술/제품을 활용하고 수소액화 부분에 집중” 의견을 반영하여 수소 공급 기술 부분을 제외
 - 기존 국내 연구개발 결과를 조사한 결과 (NTIS 검색, 천연가스 개질 수소 제조) 과학기술정보통신부의 21C프론티어 연구개발사업과 산업통상자원부의 신재생에너지핵심기술개발사업 등을 통하여 천연가스 개질 수소 제조의 단일 기술에 총 연구개발비 190억여원이 투자되었음
 - 이러한 결과로, 국내 출연연구소, 기업이 충분한 기술개발 실적을 보유하고 있음
 - 기술 개발의 중복을 피하고 보유한 기술의 결과물을 활용하는 것으로 사업체계를 수정하여, 최종적으로 천연가스 개질에 의한 수소 공급부분은 연구개발 범위에서 제외함

[표 90] 연구개발 과제 구성

핵심 분야	세부과제
수소액화플랜트 공정	1. 고효율 수소액화 공정 기술 (0.5 TPD 실증 포함)
수소액화플랜트 핵심 설비	2. 수소액화용 극저온 turbo expander 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	3. 수소액화용 극저온 열교환기 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	4. 수소액화용 Cold Box 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	5. 수소액화용 극저온 밸브 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
액체수소 저장	3. 액체수소 저장탱크 개발(용량 35m ³ , 350m ³)

- 각 세부과제의 상세 기술개발 내용은 5장 참조.

제 3 절 사업추진 전략

1. 수소액화 플랜트 고효율화 전략

가. 수소액화 플랜트의 효율

□ 기체수소와 액체수소 비교

- 액체수소의 경우 대기압에서 저장이 가능하여 안전하며, 기체수소 대비 저장용량이 매우 큰 장점을 가지는 반면에 액화 시 에너지가 소모가 매우 큰 단점을 가짐

[표 91] 기체수소와 액체수소 비교

	기체수소 활용	액체수소 활용	비고
기체수소 생산	탄화수소 개질	탄화수소 개질	동일
액체수소 생산		수소액화플랜트	자본투자, 에너지 다소비
생산수소 저장	저압 저밀도 기체 저장 35ton (389,000m ³) 20 bar	상압 고밀도 액체 저장 35ton (500m ³) 1bar	액체 저장용량 (기체대비 780배, 대기압)
압축	200bar 압축		
운송	Tube Trailer, 300kg	LH ₂ Trailer, 3,500kg	
저장	Tube Trailer, 300kg	LH ₂ 탱크, 1,000kg	
승압	압축기 700bar	극저온 펌프 700bar +기화기	기체수소 압축의 경우 액체 펌핑에 비해 많은 에너지 소모

□ 수소 고압 압축과 수소액화 효율 비교

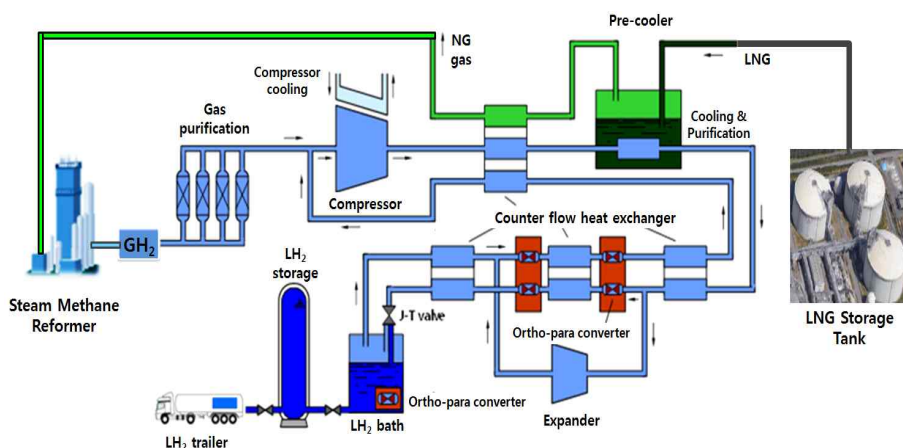
- 다음 표는 수소액화의 이론 효율과 실제효율을 700bar 압축공정의 효율과 보여줌
- 기체수소 1kg을 700bar로 압축하는 경우 약 3kWh의 전력량이 필요하지만 일반적인 수소 액화의 경우 1kg의 액체수소를 생산하기 위하여 10kWh이상의 전력량이 소모되어 초기투자비와 효율 측면에서 고압 압축수소에 비해 비효율적임
 - 수소액화 공정의 효율은 예냉과정에서 냉열을 무상으로 공급받을 수 있다면 700 bar 기체 압축 공정과 비슷한 수준의 효율을 기대할 수 있음

[표 92] 수소압축과 수소액화 효율

	이론효율 (kWh/kgH ₂)	실제효율 (kWh/kgH ₂)	비고
700bar Compression (from 20 bar)	1.4	3.0	
700bar LH ₂ Pump		0.4	US DOE HDSAM V 3.1
Liquefaction	2.8	10.0 ~ 13.4	From 22bar GH ₂ to 2bar LH ₂
Liquefaction with LNG Precooling 1	2.5	8.5	Feed H ₂ precooling only (3.2kg LNG / kgH ₂)
Liquefaction with LNG Precooling 2	1.4	3.6	Feed H ₂ precooling + Recycled H ₂ cooling (25.7kg LNG/kgH ₂)

나. 국내 실정에 맞는 수소액화 고효율화 전략

- LNG를 다량 수입 활용하는 우리나라와 일본과 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함. 특히 LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 활용할 수 있음
- LNG 개질을 통한 기체수소 공급의 경우 개질기 초기 투자비가 있지만, LNG 증발열을 수소액화 과정의 예냉용으로 사용할 수 있어 수소액화 효율이 높고, 경제적임
- 이러한 경제성은 수소액화플랜트의 규모가 커질수록 증가하며, 향후 대용량 수소생산의 필요성을 고려할 때 최선의 선택으로 평가됨
- LNG 개질 시 냉열을 활용하는 고효율 수소액화 공정에 대한 개념도는 다음과 같음



[그림 158] LNG 활용 고효율 수소액화 공정 개념도

2. 기술개발 성공 가능성을 높이기 위한 추진 전략

가. 수소액화 공정설계 기술 확보 및 검증용 수소액화 Pilot 플랜트 조기 구축 필요

- ☐ 현재까지 국내에는 수소액화플랜트 개발경험이 전무하고, 세계적으로도 수소액화 플랜트 기술을 보유하고 있는 국가(기업)는 5개국 정도에 불과함
- 국내에서 공기액화플랜트(-195℃), LNG 액화플랜트(-161℃)의 공정기술에 대한 경험을 보유하고 있으나, 수소는 상기 공정보다 매우 낮은 -253℃ 온도에서 액화되는 공정으로 이의 설계 구축 경험이 전무함
- 기술개발의 성공 가능성을 높이기 위하여 수소액화플랜트 설계, 구축 분야에서 신뢰성 있는 기술을 확보하기 위한 방법이 필요함
- 자체 설계 기술의 확보 및 검증, 설계를 검증하기 위한 소형 수소 액화 플랜트의 조기 구축/운영, 운영을 통한 데이터의 확보, 설계의 스케일업 기술을 확보하는 전략으로 추진

나. 국제공동연구 방안

- ☐ 기존 수소액화 플랜트 상용화 기술을 보유하고 있는 기업 기술의 전면 도입
 - 장점 : 신뢰성 있는 기술의 확보로 수소액화 플랜트 조기 구축 가능
 - 단점 : 설계기술의 국외 기술 종속, 라이선스 비확보, 국산화 개발로 볼 수 없음
 - 가능성
 - 수소액화 상용화 기술을 가진 기업 (Linde, Air Liquide)과의 협의 결과, 수소액화 플랜트 구축에 있어 핵심이 되는 Cold Box를 제외하고는 기술 협력 가능성 있음
 - Cold Box (압축기를 제외한 액화 공정 핵심설비의 집합)의 경우 자사의 독자 설계 후 제품의 일괄 도입을 제시
 - Cold Box를 제외한 압축기, 저장탱크, 기타 기자재 분야의 상세 스펙 및 기자재 공급사 제공 가능
 - 상용화 기술 수준이 낮은 기업 (중국 A 사)의 경우에도 같은 형태의 협력 방안 제시
- ☐ 기존 수소액화 공정 설계 기술을 보유한 기관과의 공동 연구
 - 장점 : 공정 개념 설계 기술의 조기 확보, 국내 자체 기술로 기본 설계 공정 라이선스 확보

가능, Pilot 플랜트 조기 구축을 위한 외국 기자재 업체 확보 가능

○ 단점 : 상용화 기술 수준 미확보

○ 가능성

- 수소액화 공정 설계 기술을 가진 국외 기관 (예 : 독일 BAM) 과의 협력체계 구축 결과, 수소 액화 플랜트 분야의 기술 협력 가능성 확인
- 공정설계 분야의 공동 기술 개발, 설계 검증을 위한 pilot plant 구축 (국외 또는 국내) 협력 가능
- 기타 액체수소 관련 안전 규정 등, 상용화를 위한 안전기술 협력 가능

 BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  한국가스안전공사 KOREA GAS SAFETY CORPORATION AGREEMENT ON RESEARCH COOPERATION BETWEEN BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, VERTRETEN DURCH DEN BUNDESMINISTER FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE, DIESER VERTRETEN DURCH DEN PRÄSIDENTEN DER BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND - PRÜFUNG (BAM) AND KOREA GAS SAFETY CORPORATION Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister für Wirtschaft und Energie, dieser vertreten durch den Präsidenten der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) (Courtesy translation: "Federal Republic of Germany, represented by the Federal Minister for Economic Affairs and Energy, who in turn is represented by the President of the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM)" (hereinafter referred to as BAM) with its head office at Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Germany and Korea Gas Safety Corporation (hereinafter referred to as KGS) with its head office at 1390 Wonjungro, Msengdong-myeon, Eunseong-gun, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea confirms the validity of the previous agreement, signed on the 22nd of October, 2015, for the next three years and additionally enter into this Agreement for cooperation in development of technology, regulation, code and standard pursuing safety and sustainability of both countries.	가스안전공사, 수소인프라 구축 핵심 기술 확보 나서 기사입력 2018.08.10 15:25:37 본문 + - 독일연방물질연구소 BAM과 협정체결 한국가스안전공사는 지난 9일(현지시간) 베를린에서 독일연방물질연구소(BAM)와 수소 인프라 구축을 위한 기술교류 협정을 체결했다고 10일 밝혔다. BAM은 독일 경제기술부 소속으로 위험물 기술과학 분야에서 세계 최고 권위를 자랑한다. BAM에서는 화재·폭발분야 위험물 안전검사 및 인증, 화학기술 안전연구, 세계적 안전기준 개발 등 업무를 수행한다. 이에 지난 2015년에는 공사 에너지안전실증연구센터 화재폭발 기반시험 설비 구축을 위한 기술 협정을 체결한 바 있다. 이번 협정은 기존의 협력을 기반으로 액화수소 생산 플랜트와 이송용 탱크로리, 충전소 등과 관련한 안전기준 및 규정을 만들고, 실증시험 기술교류 확대를 위해 추진됐다. 공사는 이번 협정체결로 액화수소 밸류체인에 관한 국제표준화를 선도하고, 수소연료차량 안전 성능기준 개정에 도움을 받을 수 있을 것으로 기대하고 있다. 김형근 가스안전공사 사장은 "국내 청단 가스산업의 발전과 국민의 가스안전확보를 위해 국제협력은 필수"라며, 이를 위해 "해외선진연구기관과 공동연구를 추진하고, 기술교류를 통해 한국의 가스안전관리 기술 선진화를 위해 지속적으로 노력해 나갈 것"이라고 말했다. 김부미기자 boom@

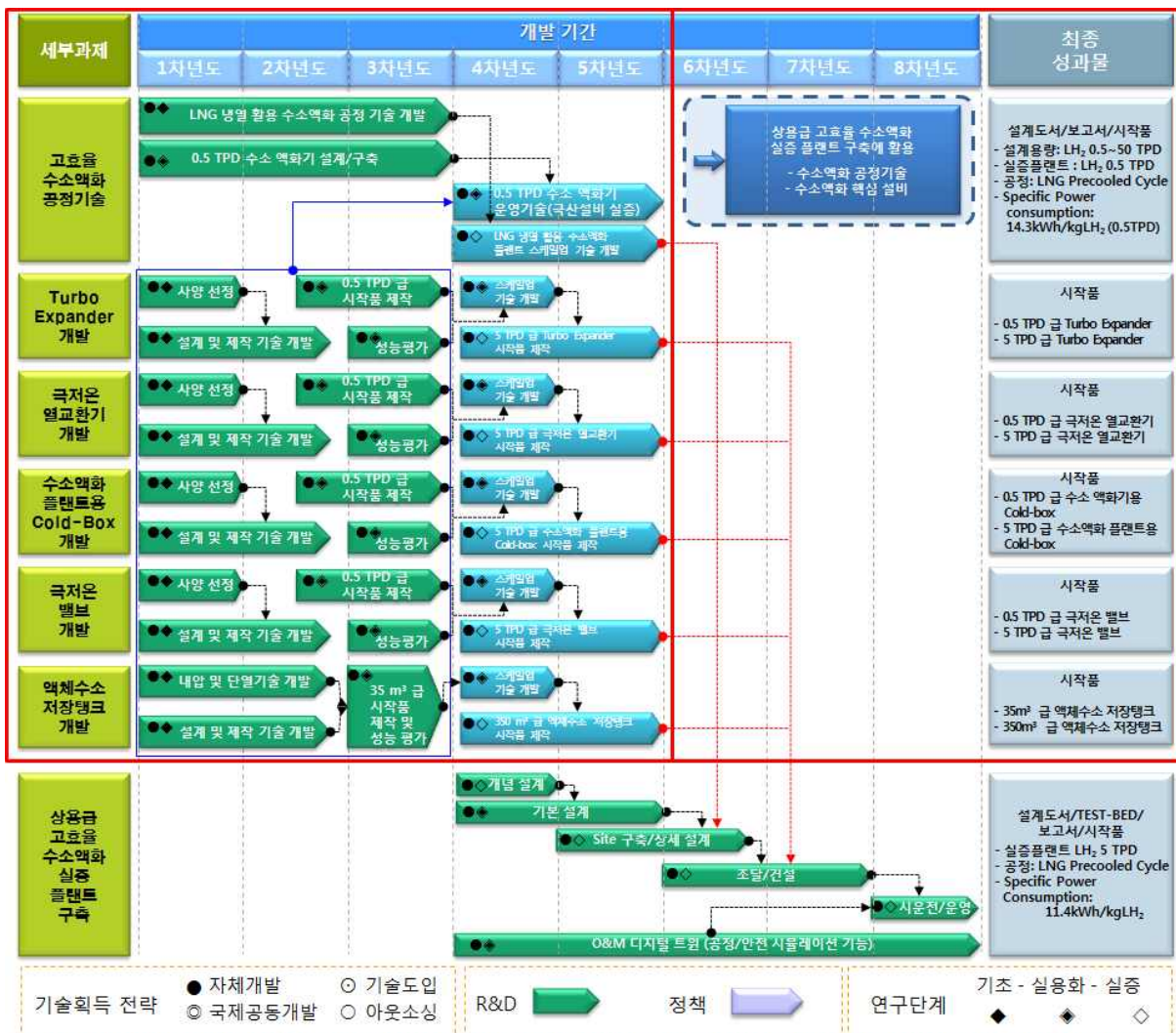
[그림 159] 수소액화 분야 국제공동연구 추진의 예

□ 국제 공동 연구 우선 순위 : 국가 R&D의 특성, 국산화 개발의 정의를 토대로 상기한 기술의 전면도입은 배제 필요

다. 기술 개발 전략 및 세부과제간 연계 전략

□ 기술개발 전략

- 다음은 본 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발 사업의 기술개발 로드맵과 향후의 상용급 수소액화 실증 플랜트 연계 방안을 보여줌



[그림 160] 수소액화 분야 기술 로드맵 및 상용급 실증플랜트 연계 방안

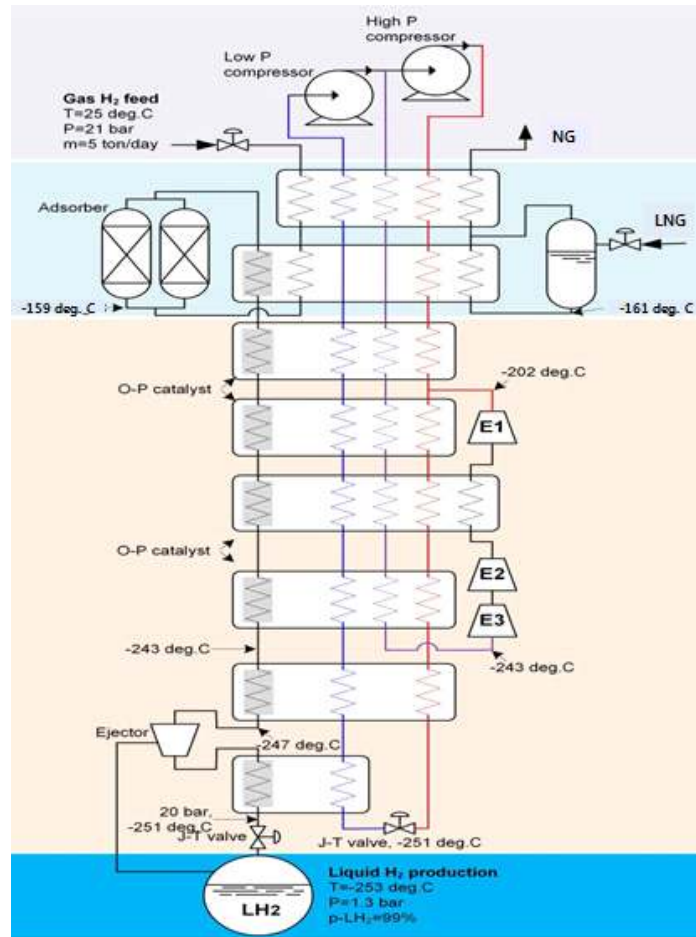
- 상용급 수소액화 플랜트 실증에는 확증된 설계기술, 기가재 기술이 필수적이며, 막대한 예산이 필요하므로, 상용급 개발목표인 5 ton/day의 1/10 scale (0.5 ton/day) 수준의 pilot plant 조기 구축을 단기 목표로 추진
- 0.5 ton/day 규모의 수소액화 플랜트는 라이선서가 공급 가능한 최소의 규모임

- 수소공급 및 액화 공정은 상용급 수소액화플랜트와 동일한 LNG 개질과 LNG (또는 LN₂) 냉열을 활용한 공정을 사용
 - 개질기의 경우 국내외에 많은 라이선서가 있어 쉽게 구매가 가능함
 - 액화기에는 열교환기, 압축기, 팽창기, 저장탱크 등이 포함 되어 있어, 설계자료 및 운전 데이터는 상용급 수소액화 플랜트의 핵심설비 개발에 활용
- 고효율 수소액화 공정 기술은 LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술, 0.5 TPD급 수소 액화기 설계/구축 (국제공동 연구), 0.5 TPD급 수소 액화기 운영기술, LNG 냉열 활용 수소액화 플랜트 스케일업 기술로 분류되며, 공정설계 기술 확보를 통하여 상용급 수소액화 실증 플랜트 기본설계 활용을 목표로 함
- 0.5 TPD급 소규모 수소액화기 (개질기 포함)에서 액체수소를 생산하여 공급함으로써, 기자재 개발 및 실증, 활용시스템 실증 운영 등에 활용하는 동시에 공정/운영 데이터 확보를 통하여 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용
- 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략
- 0.5 TPD 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1~3년)에 국산화 조기 추진
 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 TPD 급 수소액화기에서 적용하여 국산 설비를 실증 (4~5차년도)
 - 액체수소를 활용하여 실증이 필요한 기자재는 확보 예정인 0.5 TPD급 수소 액화기 운영을 통해 생산된 액체수소를 활용하여 성능평가를 수행한 후, 스케일업 기술 개발을 통하여 상용급(5TPD)급 개발
 - 액체수소 저장탱크 개발은 0.5 TPD급 수소액화기 활용 시 5일 저장 가능한 35 m³ 저장규모와 저장탱크와 상용급(5TPD) 수소액화 실증 플랜트 구축 시 5일 저장이 가능한 350 m³ 저장규모로 나누어 단계별 개발 진행

□ 세부과제 간 연계 전략

- 본 사업은 국내 기술로 0.5 TPD 급의 수소액화 플랜트를 구축하고, 이를 운영함으로써 상용급(5 ton/day)의 설계기술을 확보하고자 하는 것임
- 모든 플랜트의 설비들은 공정설계의 결과에 따라 그 구성이 달라지며, 설비들의 상세 사양은 공정설계를 기반으로 이루어짐
- 다음 그림은 수소액화 공정의 한 예를 보여줌. 기체수소는 압축기를 통과하여 고온고압의 기체 상태가 되고, J-T (Joule-Thomson) Valve 팽창을 통하여 액화됨. 수소는 최대 역전온도 (Inversion Temperature)가 상온보다 낮아, 액화를 위해서는 역전온도 이하로의 냉각을 위한 냉각 과정이 필수적임. 냉각과정을 위해서 LN₂, LNG 등을 이용한 예냉과, 냉매(수소

또는 헬륨)를 압축 팽창시켜 추가 냉각시키는 과정이 필요함. 이러한 과정을 Precooled Cycle 이라 부르며, 대표 공정으로는 Precooled Hydrogen Claude Cycle, Precooled Helium Brayton Cycle이 있음



[그림 161] 수소액화 플랜트 공정 설계의 예

- 공정도에서 오른편의 냉매로는 수소, 네온, 헬륨, 복합 냉매 등이 사용될 수 있으며, 현재 상용급 수소액화 플랜트에서는 주로 수소와 헬륨이 사용되고 있음
 - 공정의 조건, 각 기자재 (Turbo Expander, 열교환기, 밸브, Cold Box 등)의 세부 성능과, 개수, 배치 등은 전적으로 공정 설계 결과에 의존함
 - 액체수소 저장탱크의 경우, 공정과는 무관하므로 별도의 기술개발 추진이 가능함
- 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 초기(1차년도)에 공정해석을 통하여 핵심설비의 기본 사양을 설정하여야 함. 따라서 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 하므로 각 세부과제를 연계, 조율할 공정부분의 제 1 세부과제의 역할 중요
- 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재(2, 3, 4, 5)

세부과제의 세부 목표사항을 협의 하에 제시하여야함

- 핵심 기자재(2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축된 0.5 ton/day pilot 플랜트를 활용하여 2단계(2년)에서 실증
- 따라서 각 세부과제의 수행 주체는 기획, 연구제안, 기술개발, 실증 모든 단계에서 최종 목표 달성을 위한 연계전략을 구체적으로 제시하여야 함

라. 개발 기술 활용방안 및 향후 액체수소 인프라 보급 방안

□ 기술개발 결과의 활용방안

- 본 사업은 5년에 걸쳐 0.5 TPD급의 수소액화플랜트를 국산화 실증하고, 운영하는 것을 기본 목표로 삼으며, 이를 토대로 상용급(5TPD) 수소액화 플랜트의 국산화를 위한 기반을 마련하고자 하는 것임
- 본 사업의 1단계 종료 시점 (3차년도 종료)에서 0.5 TPD급의 수소액화플랜트 구축의 성공을 전제로, 상용급(5TPD) 수소액화 플랜트 구축을 위한 추가 사업을 계획할 필요가 있음
 - 본 사업의 2단계 (4차년도, 5차년도)에서는 0.5 TPD급의 수소액화플랜트를 운영함으로써 5 TPD급 수소액화 플랜트의 공정설계를 진행함
 - 또한 각 기자재 개발에서는 상용급 액화플랜트에 적용할 기자재의 스케일업 및 시제품을 개발함
- 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용
 - 5 ton/day 기본설계 Package 및 핵심 기자재 시제품
- 0.5 ton/day pilot 급 수소액화 플랜트에서 생산된 액체 수소의 활용 (국내 최초로 생산되는 대용량 액체수소)
 - 현재 작성중인 “국가 수소경제 로드맵” 상 중장기 방향으로 예상되는 액체수소 기반 인프라 구축의 모든 기술 개발 과제에 활용
 - 향후 추진예정인 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박, 건물용 연료전지 등) 기술개발에 활용
 - 국내 수소충전소 보급계획에 “액체수소 기반 수소충전소” 보급 추진, 해당 수소충전소에 액체수소 공급
 - 국가 발사체 사업의 액체수소 엔진 연구에 활용
 - 국내 산학연 극저온 연구에 활용

□ 실용화 방안

- 현 시점에서 상용급 수소액화 플랜트 시장은 거의 없으므로, 미래 액체수소 수요 증가에 대비하여 철저한 국산화 기술 확보
- 실용화를 위하여 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설 추진
 - 실증을 통한 상용급 수소액화플랜트 및 핵심 기자재 설계/제작/건설기술 확보
 - 상용급 수소액화플랜트 및 기자재 Track Record 확보
 - 실용화 주체 : 기술개발결과를 기업에 이전, 미래 수소액화 플랜트 건설시장 및 기자재 시장 진출
 - 플랜트 건설회사, 플랜트엔지니어링 회사, 가스공사 등 국내 가스 공급회사, 수소 생산/유통기업
 - 플랜트 기자재 생산기업
- 본 연구개발결과의 국내 활용을 위하여 국가로드맵 반영 및 관심 기업, 지자체에 대용량 수소생산 및 액화플랜트 건설 추진
 - 가스공사 LNG 생산기지 (연관 지자체 연계), 민간기업 LNG 인수기지

□ 보급 방안

- 실증결과 상업화의 가능성이 확인되면, 수소액화플랜트와 액체수소스테이션의 경우 실제 수요가 많은 곳에 우선적으로 보급
- 수소액화 플랜트의 경우 규모가 커질수록 경제적 측면에서 유리하므로 전국의 LNG 인수 기지에 우선적으로 보급, 특히 향후 선박 연료로 활용 시 물류 항만에 보급
- 액체수소 스테이션의 경우 고정적인 노선, 장거리 주행 특성을 가지는 노선버스와, 택시, 화물차등의 집하기지 등 수요가 많으면서 일정한 곳에 우선적으로 보급
 - 보급 대상지는 국토교통부 관할의 국도 및 고속도로 휴게소, 택시 차고지, 화물 물류기지 등
 - 13년 기준 국내 운행주인 상용차 기준 연간 수소 수요량은: 2,358,000 ton/year로, 2030년 수소차 보급목표 630,000대 수소 수요(승용차 기준)의 19.3배에 달함
 - 택시를 수소차로 교체하는 경우 250,000 ton/year
 - 노선버스를 수소차로 교체하는 경우 507,600 ton/year
 - 화물차를 수소차로 교체하는 경우 1,600,000 ton/year
 - 국토교통부의 장기 기술개발 항목에 수소연료전지 철도 차량이 포함되어 있으므로, 관련 기술 개발이 완성되는 시점에서 철도 인프라에 우선적으로 보급

마. 단계별 접근 전략

- 본사업은 1단계 3년의 성과에 따라 2단계 사업의 진행방안과, 후속 추가사업(상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축)의 연계 방안을 고려할 필요가 있음

[표 93] 1단계 성과물 및 성공 판단 기준

과제	1단계 최종 성과물	판단 기준
제1세부과제 고효율 수소액화 공정기술	고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축	0.5 ton/day 구축, 액체수소 생산 여부 및 효율(14.3 KWh/kgLH2) 달성 여부
제2세부과제 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	수소액화용 극저온 Turbo Expander 시제품 (0.5 ton/day)	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제3세부과제 수소액화용 극저온 열교환기 개발	수소액화용 극저온 열교환기 시제품 (0.5 ton/day)	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제4세부과제 수소액화용 Cold Box 개발	수소액화용 Cold Box시제품 (0.5 ton/day)	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제5세부과제 수소액화용 극저온 밸브 개발	수소액화용 극저온 밸브 시제품(0.5 ton/day)	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제6세부과제 액체수소 저장탱크 개발	액체수소 저장용량 35m ³ , 저장탱크 시제품	35m ³ , 저장탱크 시제품 제작 여부 및 성능(증발율 1%/day) 달성 여부

○ 모든 과제 1단계 목표 달성 시, 2단계 사업 계속 수행

○ 1 세부과제(공정기술 개발)의 경우

- 구축 실패로 액체수소 생산 불가능시 : 과제 중단 또는 2단계 계속 추진 여부 판단
- 구축 성공, 효율 달성 실패 : 2단계 계속 추진을 통한 효율 개선

○ 2 ~ 5 세부과제(핵심 기자재 개발)의 경우

- 개발 실패한 과제의 경우 2단계 과제(5 ton/day급 기자재 개발) 중단
- 실패된 과제의 경우, 후속 추가사업(상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축) 진행 시
외국산 기자재 활용

- 6 세부과제(저장탱크 개발)의 경우
 - 시제품 제작 실패시 2단계 과제(350m³ 저장탱크) 중단, 후속 추가사업(상용급 고효율 수소 액화 실증 플랜트 구축) 진행 시 외국산 기자재 활용
 - 시제품 성능검증 결과 증발율 목표 미달성시 : 2단계 중 보완 추진
- 후속 추가사업(상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축)의 예산 미확보 시, 본 사업의 2단계 추진 여부
 - 1 세부과제(공정기술 개발)의 경우
 - 2단계의 핵심 연구내용은 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 국산 기자재 적용 구축이므로 계속 추진
 - 후속 추가사업과 연계된 상용급(5 ton/day) 설계기술 개발의 경우 설계기술 국산화 관점에서 계속 추진
 - 2 ~ 6 세부과제(핵심 기자재 및 대용량 저장탱크)의 경우
 - 2단계의 핵심 연구내용은 후속 추가 사업에 적용할 기자재 개발이므로 1단계에서 종료
 - 다만, 2단계의 핵심 연구내용을 1단계 연구개발 결과(0.5 ton/day 급 기자재)의 국산플랜트 실증 및 성능개선으로 변경하여 계속 추진 고려

제 4 절 사업 기대 효과

1. 기술적 기대 효과

- 액체수소를 기반으로 수소 생산 및 공급 인프라 건설을 위한 원리 규명 및 지식 창출
 - 선진국과의 기술 격차 해소 : 국가 전략기술에 대한 기술수준 평가 (2016년 기술수준평가, KISTEP, 2017)에 따르면 에너지·자원·극한기술 분야 중 수소에너지 기술의 경우 기술수준 및 기술격차는 최고기술 보유국(미국) 대비 각각 77.7%, 3.9년으로 평가됨
- 액체수소 생산 및 공급 및 저장, 안전관리 기술의 세계적 수준 확보
- 수소액화 플랜트 상용화 및 실증사례 확보를 통한 기술 경쟁력 및 국가적 위상 제고
 - 세계 4개 회사만이 보유한 수소액화 플랜트 상용화 기술의 국산화
 - 국내에서 기보유한 LNG 인프라를 활용한 대용량 수소 생산 및 수소액화 고효율화 독자 모델 확보
- 연관기술 파급 효과
 - LNG, 헬륨 플랜트, 초전도케이블 등 극저온 플랜트 기술 경쟁력 강화
 - 극저온 환경 기자재 기술 경쟁력 강화
- 0.5 ton/day pilot 급 수소액화 플랜트에서 생산된 액체 수소의 활용 (국내 최초로 생산되는 대용량 액체수소)을 통한 연관기술 개발
 - 현재 작성중인 “국가 수소경제 로드맵” 상 중장기 방향으로 예상되는 액체수소 기반 인프라 구축의 모든 기술 개발 과제에 활용
 - 향후 추진예정인 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박, 건물용 연료전지, 발전용 연료전지 등) 기술개발에 활용
 - 국내 수소충전소 보급계획에 “액체수소 기반 수소충전소” 보급 추진, 해당 수소충전소에 액체수소 공급
 - 국가 발사체 사업의 액체수소 엔진 연구에 활용

○ 국내 산학연 극저온 연구에 활용

□ 재생에너지 확대, 이에 따른 수소경제 사회에 대비하기 위한 대용량 수소생산, 저장, 운송 기술 기반의 확보

2. 사회적 기대 효과

□ 국내 수소활용 산업 (수소차, 수소버스, 수소트럭, 수소 선박, 연료전지 분산발전 등)의 활성화를 통하여 지구온난화 물질 및 미세먼지 저감에 기여

○ 국내 수소차 보급에 따른 기대효과 (수소차 보급 및 충전인프라 구축 활성화 방안, 2015, 환경부)

- 2030년 630,000대의 수소차 보급 시 기대되는 효과는 다음과 같음.
- 온실가스 감축효과 : 2030년까지 누적 438만톤
- 온실가스 감축에 의한 사회적 비용 저감 : 2030년까지 누적 5,042억원
- 직접적인 대기오염 물질 감축효과 : 2030년까지 누적 5,480 톤
- 대기오염 물질 감축에 따른 사회적 비용 저감 : 2030년까지 372억원

□ 기후변화 협약 대비 국가 정책 기여

○ 기후변화 협약에 따른 이산화탄소 감축방안의 유력한 수단인 수소차, 수소발전 등의 기본 인프라 확충

○ 재생에너지 3020 이행계획에 따른 재생에너지 전력의 대용량 저장 수단 확보

○ 수소사회 활성화를 통한 지구 온난화 대응에 기여

- Hydrogen Council에서는 기후변화 협약을 만족하기 위해서는 2050년 기준 전 세계 최종에너지 수요의 18%를 수소가 담당할 것으로 예측. 이러한 수소사용에 의한 이산화탄소 감축량은 2050년 기준 6 Gton으로 전 세계 총 감축량의 총 감축량 20%에 이를 것으로 전망

3. 경제적 기대 효과

□ 신규시장 창출 및 고용 효과

- 국내 수소차 및 연료전지발전 보급 확대를 위한 인프라 리스크(수요증가 대비 투자부족, 기술 및 설비 국외조달 등)를 저감, 액체수소 인프라 신시장 산업생태계 조성 및 활성화를 통한 산업연관효과 향상 및 이를 통한 산업/연구 분야 신규 일자리 창출
 - 본 사업이 액체수소 기반 인프라 구축을 목표로 하므로, 주요 value chain별 수혜와 파급 효과는 다음과 같음 (개발 기술의 상용급 실증이 완성되어 국내 신규 액체수소 수요에 대응할 수 있는 경우를 가정)

ValueChain	수혜자	연관성	파급효과
수소 공급 부생, SMR 수소	석유, 정유화학 산업, 수소유통업체	간접적	액화수소 기반 수소공급 기술 확보 기체수소 공급 대비 경제성 우위
수소액화 플랜트 건설	EPC 업체	직접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 11.3조원
충전소 건설	충전소 건설 업체	간접적	2029~2039년 누적 국내 신규 시장 수주 1.0 조원
활용	국내 수소차/ 연료전지 생산 기업 및 부품 기업	간접적	대량 저장/이송이 가능한 액화수소인프라 구축으로 연관 산업 활성화
	액체수소 엔진 및 선박 제조업체	간접적	
	연료전지 분산발전 사업자	간접적	
	정부, 우주항공 부품업체	간접적	우주발사체, 드론 등의 연료로 액화수소 활용

- 수소액화플랜트 국내 건설만을 기준으로 본 사업의 연평균 생산 유발효과는 1.2 조원이며, 연평균 고용유발효과는 4,900명 수준에 달함
 - 상세 내용은 국토교통부 “고효율 수소액화 플랜트 상용화 기술개발 기획” 최종보고서 참조

□ 국내 신성장 동력 산업 창출

- 수소경제의 활성화를 위한 대용량 수소 생산, 저장기술의 확보를 통한 국가 신성장 동력 창출
 - 정부는 이산화탄소 감축 및 미세먼지 저감에 대응하고자 수소차 보급 계획을 수립. 이의 달성을 위한 필수 요소인 대용량 수소 생산, 저장, 운송기술의 확보
 - 국내에서는 수소경제, 빅데이터, 인공지능 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼(인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정 (' 18.8, 제5차 혁신성장 관계장관회의)
- 국내 자동차 산업 친환경화 및 새로운 일자리 창출
 - 범세계적인 자동차 배출가스 및 CO₂ (연비) 규제를 대응하기 위해서는 내연기관차 중심의 자동차 산업이 친환경차 산업으로 전환이 필요함
 - 수소차의 경우 기존 내연기관차 생산라인에서 추가하여 생산 가능한 하이브리드차와 다르게 새로운 자동차 및 부품 생산라인 추가로 필요하기 때문에 보급이 확대될수록 국내 자동차 생산량 증가로 인한 새로운 일자리 창출이 가능함
 - 국내에서 연간 수소차 30만대를 생산(내수+수출)할 경우 10만명 이상의 일자리 창출이 가능
 - * 수소차 가격 5,000만원 가정, 제조업 일자리 창출 0.9명/억
 - 자동차 산업의 친환경화 및 국제적인 자동차 규제대응, 새로운 일자리 창출을 위한 수소차 보급이 필요함
- 수소 연관 산업의 새로운 산업 육성
 - 수소차 보급은 단순히 자동차 산업의 발전에 국한된 것이 아니라 수소를 생산하는 수소산업, 수소를 이송·저장하는 산업, 수소충전소 산업이 창출 및 육성될 수 있음, 수소차 연관 산업은 모두 기존에 없던 신(新)산업에 속함
 - 수소버스, 수소트럭, 수소 선박, 연료전지 분산발전 등 수소 활용 산업 활성화

제 5 절 사업추진체계

1. 사업 추진 방안 설정

가. 연구단 구성

- 본 사업은 5년에 걸쳐 정부예산 290억원이 투입되는 규모로, 국토교통부 사업 중 연구단급 규모의 사업임
- 본 사업의 목적을 고려할 때 세부과제간의 긴밀한 연계가 필요하므로 연구단 단일과제로 진행. 연계 정도를 고려하여 공모방식을 결정
 - 1 세부과제가 전체 사업의 기술개발 목표를 설정하고, 기술개발 결과를 실증하게 되므로, 1 세부과제 주관연구기관이 연구단 역할을 수행
 - 2, 3, 4, 5 세부과제는 1 세부과제의 공정설계 결과와 직접적으로 연계되므로 통합 공모로 연구기관 선정
 - 6 세부과제의 경우 수소액화 공정과의 기술적 연계성이 작으므로, 분리공모로 선정한 후 연구단에 편입

[표 94] 세부과제간 연계관계 및 공모방안

과제	목표	세부과제간 연계	공모방안
제1세부과제 고효율 수소액화 공정기술	고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모 (0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 운영 및 5 ton/day 급 공정설계기술 개발	목표효율, 상용화 가능성을 고려한 최적 공정설계, 이를 토대로 2, 3, 4, 5세부과제에 핵심 기술개발 사양 제시	통합 공모
제2세부과제 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	수소액화용 극저온 Turbo Expander 기술 개발 및 시제품 제작 (0.5 ton/day, 5 ton/day)	1세부 기술개발 사양을 토대로 0.5 ton/day 급 기자재 개발, 개발 기자재는 1세부과제의 0.5 ton/day 급 pilot plant에 적용하여 기술 실증. 상용급 적용을 위한 5 ton/day 급 기자재 개발	통합 공모
제3세부과제 수소액화용 극저온 열교환기 개발	수소액화용 극저온 열교환기 기술 개발 및 시제품 제작 (0.5 ton/day, 5 ton/day)		통합 공모
제4세부과제 수소액화용 Cold Box 개발	수소액화용 Cold Box 기술 개발 및 시제품 제작 (0.5 ton/day, 5 ton/day)		통합 공모
제5세부과제 수소액화용 극저온 밸브 개발	수소액화용 극저온 밸브 기술 개발 및 시제품 제작 (0.5 ton/day, 5 ton/day)		통합 공모
제6세부과제 액체수소 저장탱크 개발	액체수소 저장탱크 기술개발 및 시제품 제작 (저장용량 : 35m ³ , 350m ³)	저장용량만(수소액화플랜트 생산량의 5일 분 저장) 타과제 연계, 세부 기술목표 사양의 경우 액화공정(1세부)와의 연계성 없음	분리 공모

나. 연구단 자격 요건

□ 연구단을 책임질 1 세부과제 주관기관의 경우 사업목표 달성을 위하여 다음의 자격 요건을 갖출 필요가 있음

○ 일반 요건

- 수소액화 공정 설계 전문 인력 및 액화 관련 유관 실적을 보유한 기관
- 1 세부과제의 성과물인 0.5 ton/day 급 pilot 플랜트 설치 부지 (약 1,000m²) 를 확보하고 있거나, 해당 세부과제 내의 공동기관에서 확보하고 있는 기관
- 부지의 경우 고압가스 안전관리법에 의해 다음의 이격거리를 확보하여야 함
 - 1종보호시설 : 17m
 - 2종보호시설 : 12m
- Pilot 플랜트 구축을 위한 인허가 및 민원 해결방안을 제시하여야 함

○ 안전관리 요건 : 가스안전 및 산업안전보건법에 따른 공정안전을 담당할 가스기능사 이상의 자격을 보유한 참여연구원 2인 이상 확보

- 본 0.5 ton/day 급 수소액화 pilot 플랜트의 5일 운영 기준 LNG 저장량(7,000 kg) 및 액체수소 저장량(2,500kg) 고려하여 안전기준을 준수하여야 함.
- 해당 설비의 구축 및 운영을 위해서는 국내의 경우, 고압가스안전관리법과 산업안전 보건법의 안전기준을 준수하여야 함.
- 고압가스 안전관리법에 의하면
 - 저장용량 100 ton 이상인 경우 SMS(Safety Management System) 인증을 받아야 하나, 본 pilot 규모 용량에서는 해당사항 없음
 - 저장용량 100톤 이하의 경우 안전관리 총괄자 1명, 안전관리 부총괄자 1명, 안전관리 책임자 1(가스 기능사 이상), 안전관리원 1명(가스기능사 이상)을 선임하여야 함
- 산업안전보건법에 의하면
 - 가연성 가스 5 ton 이상 취급 시설의 경우 PSM(Process Safety Management) 인증을 받아야 함

○ 설비 요건 : 참고사항

- 본 과제에서는 LNG를 활용한 수소개질 방식으로 수소를 공급하고, 이때의 냉열을 활용함. 따라서 기존에 LNG 저장 및 활용 설비를 기 구축한 기관의 경우 효율적으로 과제 수행이 가능함. 기 구축된 LNG 저장 및 활용 설비가 없는 경우 연구비 내에서 이의 구축하여야 하며, 이를 제안서에 상세히 제안하여야 함

2. 사업추진체계

- 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 연구단에서 관리하는 형태의 추진체계를 구성함
- 각 세부기술 분야 수행의 효과성 제고 및 개별 연구그룹의 성과연계를 통한 현장적용 및 실증 강화를 위해 단일 연구단을 구성
- 다만, 연구단 형태가 가지는 장점과 더불어 객관성, 공정성 부문의 문제점이 지속적으로 제기되고 있어 이에 대한 보완사항을 제시
 - 연구단 형태로 추진하되 단점을 보완하기 위해 운영위원회를 설치하여 사업단의 주요 의 사결정에 대한 심의를 받도록 조치
 - 과제 기획 부문과 사업수행자 선정 부문에서 객관성 및 전문성이 요구되고 있어 기존의 국토교통부 소관 연구관리 전문기관이 전담



[그림 162] 사업 추진 체계

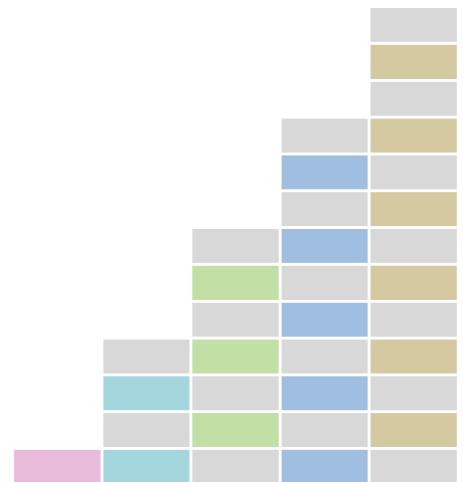
3. 사업주체간 역할분담

- 사업의 전체적인 총괄은 국토교통부가 담당하며, 사업주관은 국토교통과학기술진흥원, 기술개발 사업관리는 연구단에서 관리하는 형태의 추진체계를 구성함
- 사업 목표를 위한 세부과제의 구성 기술별 역할 분담형 기술개발로 전략적 R&D 연계를 통한 대형성과 창출
 - 주관부처 : 국토교통부
 - 사업을 주관하여 추진하는 중앙행정기관으로 사업 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정, 기본계획 수립, 투자우선순위 결정, 국토정책과의 연계 및 정책적 수요 정보 제공
 - 최고 의사 결정기구 : 국토교통과학기술위원회
 - 국토교통부 내에 위치하는 연구개발 관련사항에 대한 최고의사결정기구로서 사업 및 정책목표에 부합하는 총괄 운영계획 및 주요 안전에 대한 최종결정
 - 전문기관 : 국토교통과학기술진흥원 담당 사업실
 - 전반적 사업관리 및 예산 운용 등의 사업추진 시의 실무를 담당하며, 분야별 전략과제의 기획·평가·관리·성과확산 등을 추진
 - 연구단
 - 사업추진 권한과 책임 하에 과제기획부터 성과확산까지 총괄업무를 추진하며, 기술개발 사업 사업추진을 위한 컨소시엄 (연구그룹) 구성
 - 연구개발계획, 유·무형의 성과물 관리, 대외협력업무, 사업화 전략수립, 대국민 홍보 등 전주기적 관리
 - 사업단 과제수행에 대한 자체평가 및 사업추진방향·예산 조정에 대한 권한과 책임사업을 주관하여 수행하는 기관을 의미하며 모든 과제를 총괄 관리 및 지원하는 역할을 수행함
 - 사업 주관 및 참여기관
 - 국·공립 연구기관, 출연(연), 대학, 기업부설연구소, 공공기관, 조합 등 ‘국토교통부소관 연구개발사업 운영규정’ 제4조 (연구개발사업 참여기관 자격)에 의한 기관

[표 95] 추진 주체별 역할 및 기능

주체	역할 및 기능
국토교통부	· 사업총괄 부처 · 사업의 추진과 관련된 정책적 판단 및 의사결정 · 사업 기본·시행계획 수립 · 사업 투자 우선순위 결정
국토교통 미래기술 위원회	· 구성 : 국토교통부 실·국장 + 과장(사업담당관) + 외부 민간전문가 - 사업 및 정책 목표에 부합하는 운영 계획, 통합관리방안 등 협의 - 예산운용·사업추진 계획 수립 등 총괄 계획 수립 및 조정 역할 수행 - 세부추진계획 적절성 점검 - 평가위원회 최종 추천
전문기관	· 기술개발 과제 결과물의 성과연계 및 현장적용 및 실용화 성과창출 극대화를 위한 통합지원 - 사업추진 및 과제기획 방향성 설정, 사후관리 등의 총괄 운영기능을 부여함 - 기술개발 결과물의 현장적용을 위한 사업화 연계 기능 · 사업관리 실무지원 - 예산 운용계획 지원 - 선정평가, 협약체결, 중간 및 최종평가 등 사업 선정·관리 지원 - 기술이전 및 사업화 등 성과확산 지원 - 성과평가 - 사후관리
연구단	· 업무추진 관리 및 원활한 업무 수행지원을 위한 운영관리 전담 행정조직 구성 - 사업 추진계획 수립 - R&D발전전략 및 중장기로드맵 수립 지원 - 기술수요조사 관리 및 조정
사업주관 및 참여기관	· 산업체 주도의 산학연 컨소시엄으로 프로젝트(전략과제) 수행

V. 세부기술 개발계획



제 1 절 기술개발 개요

□ 기술개발 기본 방향

- (현재) 고압기체 기반의 수소 저장/이송/활용 공정 ⇨ 수요 증대에 따른 수소의 대용량 저장/이송 방안 및 안전문제 해결 필요 ⇨ (미래) 액체수소 기반 저장/이송/활용 공정에 대한 전주기 기술개발 방향 설정



[그림 163] 액체수소 기반 수소사회의 미래상

- (수소액화 기술 확보) 대용량 저장, 수송이 가능하도록 기체수소를 효율적으로 액화하는 핵심 설계 기술 및 핵심 설비 제작기술 개발을 통하여 실증 플랜트 국산화 건설의 기반 마련을 위한 기술 개발

□ 기술개발 목적

- (정의) 기체수소를 액화시키는 고효율 수소액화 기술, 수소 액화 및 저장을 위한 핵심 설비 기술 개발 및 핵심설비 기술의 국산화를 통한 상용급 수소액화 실증 플랜트 구축/운영 기반 마련

- (목적) 고효율 수소 액화 핵심 설계 기술 및 핵심 설비 기술 개발을 통해 국산화 건설 기반을 마련하고, 국내 상용급 수소액화 실증 플랜트 건설을 통한 수소사회 기반 구축
- (전략) LNG 개질 수소 제조 기술 및 냉열 활용 수소액화플랜트 공정 기술 개발, 국산화 가능 핵심 설비의 개발, 소형 pilot 플랜트의 조기 구축/운영을 통한 신뢰성 있는 설계 기술의 확보 및 가스공사 등 수소제조 및 유통을 담당할 기업 및 EPC 건설사의 참여 유도

제 2 절 세부과제 기술 개발 계획

□ 구성기술 체계

○ 고효율 수소액화 공정기술

- 공정 고효율화를 위한 LNG/LN₂ 냉열 활용 수소액화 공정 기술, 소용량 (0.5 TPD 급) 수소 액화기 운영기술 및 고효율 수소액화 플랜트 스케일업 기술 개발

○ 수소액화 핵심 설비 개발

- 상용화 규모급 핵심 설비 기술 개발 (극저온 열교환기/밸브, Cold Box 등)
- 기술적 파급효과가 큰 원천기술 개발 (Turbo Expander)

○ 액체수소 저장탱크 개발

- 상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 적용 대용량 액체수소 저장탱크 (350m³ 급) 및 융복합 수소 스테이션 적용 중소형 액체수소 저장탱크 (35m³ 급) 개발

[표 96] 연구개발 과제 구성

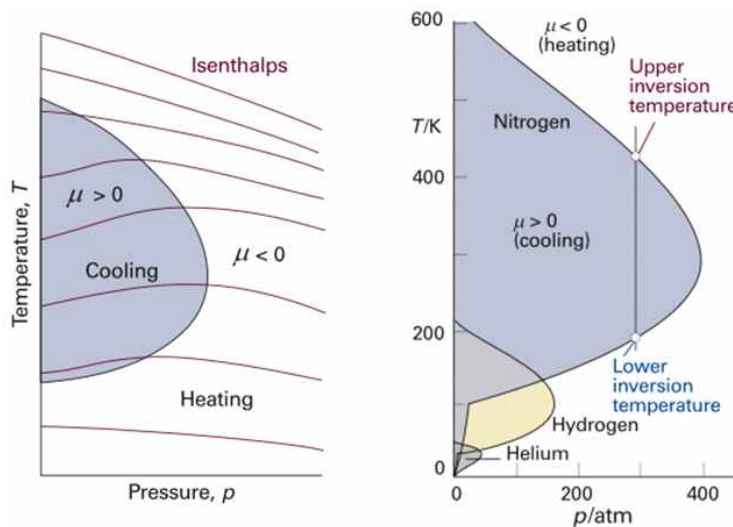
핵심 분야	세부과제
수소액화플랜트 공정	1. 고효율 수소액화 공정 기술 (0.5 TPD 실증 포함)
수소액화플랜트 핵심 설비	2. 수소액화용 극저온 turbo expander 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	3. 수소액화용 극저온 열교환기 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	4. 수소액화용 Cold Box 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
	5. 수소액화용 극저온 밸브 개발 (0.5TPD급, 5TPD급)
액체수소 저장	6. 액체수소 저장탱크 개발(용량 35m ³ , 350m ³)

1. 세부 1 과제 : 고효율 수소액화 공정 기술

가. 기술개발 배경 및 필요성

(1) 현황 및 문제점

- 수소액화 공정기술은 크게 수소의 온도를 액체온도인 -252.8°C 까지 냉각하는 기술, ortho 수소 ($o\text{-H}_2$)를 para 수소 ($p\text{-H}_2$)로 변환하는 기술, 수소를 정제하는 기술로 크게 구분할 수 있음



[그림 164] Inversion curve (Joule-Thomson expansion)

- 질소, 아르곤 등의 일반적인 가스는 고압으로 압축한 후 줄톰슨 팽창을 시키면 온도가 감소하여 액체를 생성할 수 있으나, 수소, 헬륨 등의 특수한 가스는 상온에서 줄톰슨 팽창을 하면 반대로 온도가 상승하는 경향을 보임
- 이와 같이 상온보다 역전온도 (Inversion Temperature)가 낮은 가스를 줄-톰슨 팽창을 통해 액체로 변환하기 위해서는 역전온도 이하로의 예냉 (Pre-cooling)이 요구됨
 - 25 기압으로 압축된 수소의 경우 역전온도는 약 192K이며, 수소를 액화시키기 위해서는 상온의 수소를 1,520.5 kJ/kg 이상의 열교환을 통해 192K 이하로 예냉한 후 줄-톰슨 팽창을 수행하여야 함

[표 97] 최대 역전 온도

Gas	Maximum Inversion Temperature
	K (-273.15°C = 0 K)
Helium-4	45
Hydrogen	205
Neon	250
Nitrogen	621
Air	603
Carbon monoxide	652
Argon	794
Oxygen	761
Methane	939
Carbon dioxide	1500
Ammonia	1994

□ 액화 사이클의 성능 지수

- 액화 사이클의 성능지수는 액화 사이클의 실제 요구 입력에 대한 이론적으로 최소의 입력의 비인 액화효율 (Figure of Merit)로 정의됨
 - 액화 시스템에서 최대의 성능지수를 얻기 위해서는 실제 요구 입력 에너지를 최소화 하여야 하고, 액화되는 가스의 양을 최대화 하여야 함
 - 액화 사이클의 액화효율은 0 과 1 사이의 값을 가지고, 실제 사이클이 이론적으로 이상적인 사이클에 가깝게 되면 1에 가까운 값을 가지게 됨
- 그러나 실제 사이클에서의 액화효율은 아래와 같은 구성품 들의 성능에 따라 크게 영향을 받음
 - 압축기와 팽창기의 가역단열효율 (Adiabatic efficiency)
 - 압축기와 팽창기의 기계효율 (Mechanical efficiency)
 - 파이프, 열교환기 등에서의 압력 손실
 - 열교환기 효율
- FOM에 의한 액화 사이클의 비교를 위해 이러한 구성품 들의 성능이 100%라고 가정한 열역학적으로 이상적인 액화 사이클을 고려
 - 액화 사이클은 개방 사이클 (Open Cycle)이기 때문에 열역학적으로는 이상적이지만, 실질적인 액화시스템에서는 이상적이지 않음
 - 열역학적으로 이상적인 액화 사이클에서는 열역학적으로 완전한 사이클인 카르노 사이클 (Carnot cycle)의 앞의 두 과정인 가역 등온 압축 과정과 가역 등엔트로피 팽창 과정이 적용됨
 - 열역학적으로 이상적인 액화 사이클을 이용하여 300 K, 101.3 kPa의 가스를 액화하기 위

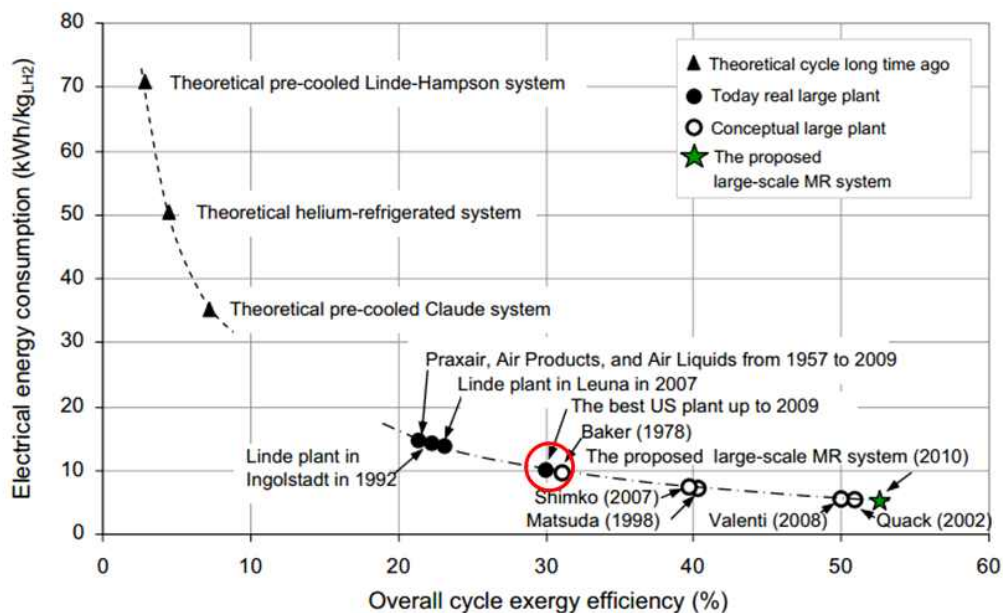
한 소요 입력 에너지를 계산하면, 수소의 액화 소요 입력 에너지가 헬륨보다 더 높음

[표 98] 액화를 위한 소요 입력 에너지 계산 결과 (300 K, 101.3 kPa)

Gas	Normal Boiling Point		Ideal Work of Liquefaction, $-\dot{W}_l/\dot{m}_f$	
	K	°R	kJ/kg	Btu/lb _m
Helium-3	3.19	5.74	8 178	3 516
Helium-4	4.21	7.58	6 819	2 931
Hydrogen, H ₂	20.27	36.5	12 019	5 167
Neon, Ne	27.09	48.8	1 335	574
Nitrogen, N ₂	77.36	139.2	768.1	330.2
Air	78.8	142	738.9	317.7
Carbon monoxide, CO	81.6	146.9	768.6	330.4
Argon, A	87.28	157.1	478.6	205.7
Oxygen, O ₂	90.18	162.3	635.6	273.3
Methane, CH ₄	111.7	201.1	1 091	469
Ethane, C ₂ H ₆	184.5	332.1	353.1	151.8
Propane, C ₃ H ₈	231.1	416.0	140.4	60.4
Ammonia, NH ₃	239.8	431.6	359.1	154.4

○ 상용급 수소액화 플랜트의 액화 효율

- 1 bar, 300K Feed 수소의 입력조건 하에서 수소액화 플랜트의 소요전력 및 FOM은 다음 그림과 같음
- 운전 중인 상용급 수소액화 플랜트 중 효율측면 세계 최고 수준은 소요전력 기준으로 약 10 kWh/kgLH₂ 임

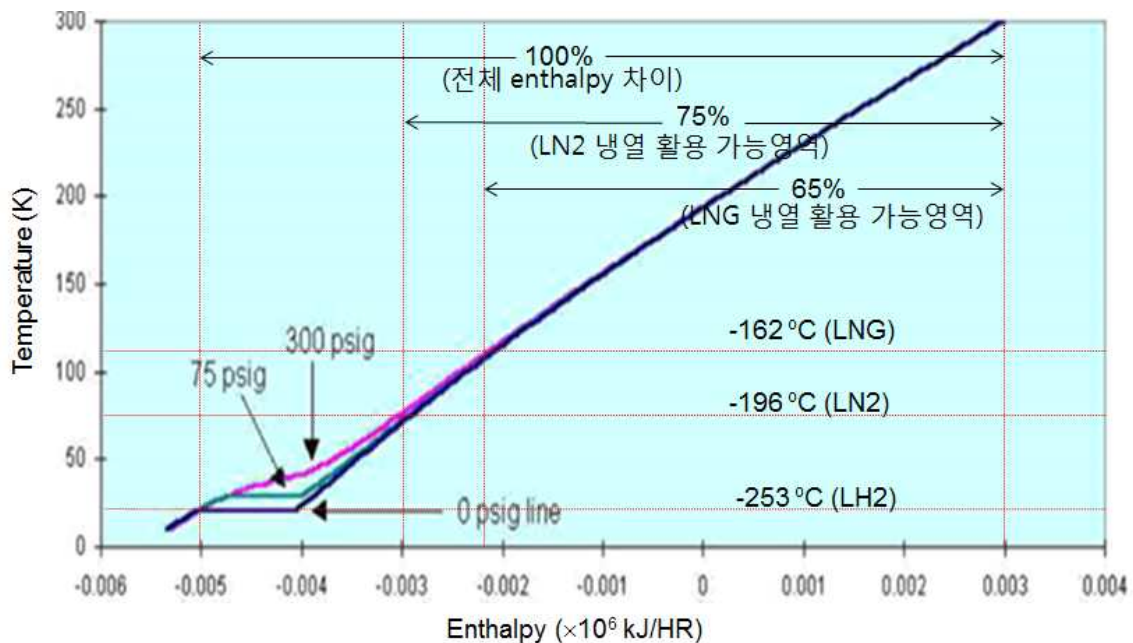


[그림 165] Efficiency comparison of hydrogen liquefaction plants

(2) 기술개발 필요성

□ Precooled 사이클

- 수소가스는 상온으로부터 포화온도까지의 현열(Sensible Heat)이 포화온도에서의 잠열(latent heat)보다 훨씬 큰 특징을 가짐
- LNG 또는 액화질소를 이용하여 예냉하면 수소 Claude 액화 사이클의 효율을 크게 증대시킬 수 있음
 - 상압에서 수소 온도에 따른 엔탈피 변화를 살펴보면, 20 K에서의 증발잠열은 445.8 kJ/kg이며, 300-20 K 구간의 현열차이는 3,509 kJ/kg 임
 - 특히, 300-77 K 구간의 엔탈피 차이는 3,905 kJ/kg으로 300-20 K 구간의 총 엔탈피 차이인 3,509 kJ/kg의 약 83%를 차지함
 - 따라서 비교적 저렴하고 간단하게 구성할 수 있는 예냉 공정을 사용하여 300-77 K 구간을 예냉 시킨다면 20 K에서의 액화를 담당하는 수소 액화 공정의 부하를 현저히 감소시킬 수 있음
 - 이는 수소액화 시스템이 내재하고 있는 낮은 효율의 단점을 보완하여, 수소액화 플랜트의 고효율화 달성이 가능



[그림 166] 수소 가스의 T-h 선도

[표 99] 수소온도에 따른 엔탈피

Temperature (K) or Phase (liquid/gas)	Enthalpy (kJ/kg)
300	4,226
77	1,321
20 (gas)	716.8
20 (liquid)	271

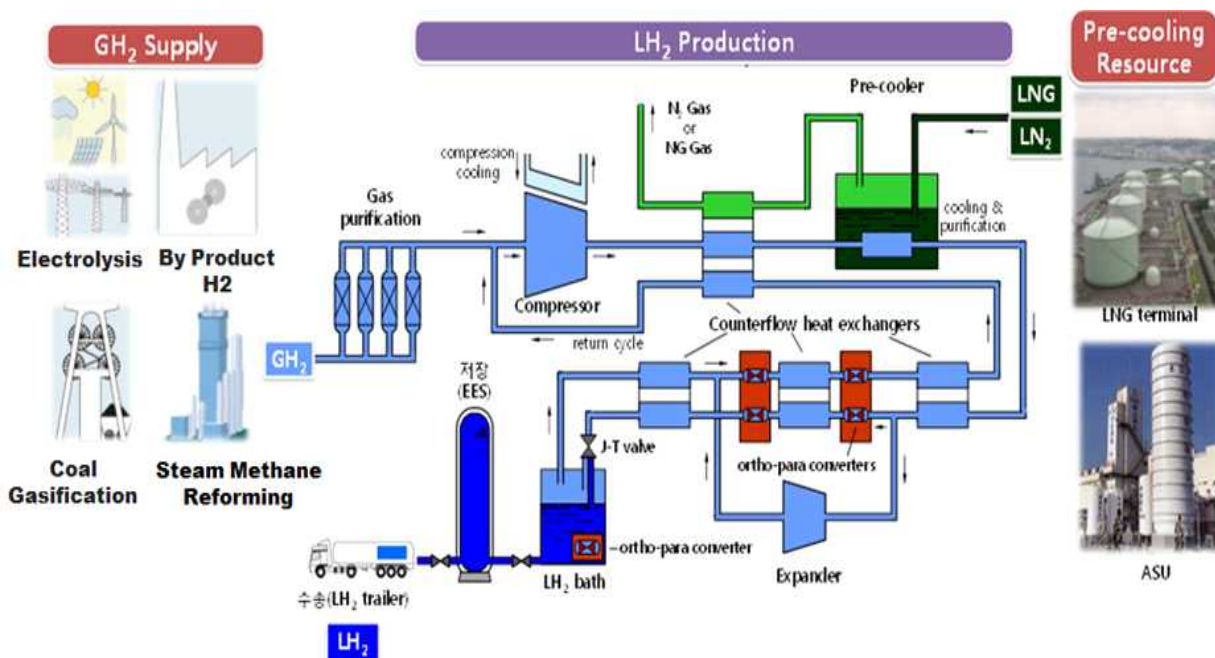
*Heat of ortho-para conversion : 527.1 kJ/kg

○ 네온, 수소 가스등의 액화를 위한 Precooled 사이클은 액체질소 예냉을 통해 Claude 사이클의 액화효율은 크게 증대시킬 수 있으며, Precooled Linde-Hampson 사이클에 비해 50~75% 이상의 FOM 증대 효과가 있음

□ 따라서, LNG인수기지, 공기분리플랜트 등 입지조건에 따라 활용 가능한 극저온의 냉열을 예냉 공정으로 이용할 경우, 고효율을 가지는 수소 액화 플랜트 개발이 가능함과 동시에 액체 수소 제조비용을 최소화하는 경제적 수소액화 플랜트 상용화 기술 확보가 가능할 것으로 예상됨

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의



[그림 167] 고효율 수소액화 공정 기술 개념도

- LNG 증발열을 수소액화 과정의 예냉용으로 사용하여 수소액화 시스템이 내재하고 있는 낮은 효율의 단점을 보완하여, 수소액화 플랜트의 고효율화 달성이 가능한 공정기술 임
- 이러한 경제성은 수소액화플랜트의 규모가 커질수록 증가하며, 향후 대용량 수소제조 의 필요성을 고려할 때 최선의 선택으로 평가됨

(2) 기술개발 목표

- 상용급 수소액화 플랜트에 적용 가능한 고효율 수소액화 공정 기술 개발 (0.5-50 TPD) 및 Pilot 플랜트 구축 운용 (0.5 TPD)

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1	수소액화 공정 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5-50
2	액화 공정	-	-	-	LNG precooled cycle*
3	Specific power consumption**	kWh/kgH ₂	11.4 (5 TPD)	-	<11.4
			14.3 (0.5 TPD)		<14.3
4	Pilot 수소액화 플랜트 용량	TPD	35	0.01	0.5
5	Pilot 플랜트 정상상태 운전시간	hr	-	-	500***

* LNG 냉열을 활용한 Cycle - 대표적으로 H₂ Claude Cycle 또는 He Turbo Brayton Cycle

** 목표 효율은 용량의 함수임 : target 효율(kWh/kg) = 13.382 * (Plant capacity, TPD, metric tons per day)^{-0.1} (미국 DOE), 본 목표는 냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율이며, 냉열 비용을 고려하여 판단하면, 세계최고 효율 대비 약 80% 수준임.

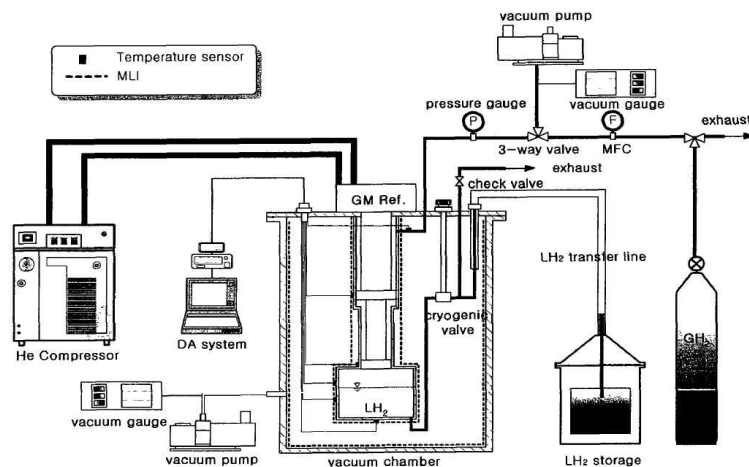
*** 액체수소 저장탱크의 용량이 5일분임을 고려한 총 5회 저장량 생산 시간, 100hr * 5회

다. 국내외 기술개발 동향

(1) 국내 기술개발 동향

- LNG 플랜트 사업단 사업을 통해 극저온 플랜트 Test bed에 대한 경험은 있으나, 액화공기분리 및 수소액화플랜트에 대한 경험은 미흡

- 소용량 수소액화기 및 액화공기분리장치에 대한 기초연구를 수행하였으나, 극저온 플랜트에 대한 기술약량은 미흡
- 1989년 과학기술처 국책연구개발사업으로 “초저온을 이용한 수소저장 기술개발사업” 이 KIST에서 시작
- 대형과제의 기획으로 중도에 중단되어 소기의 성과를 달성하지 못함
- 산업자원부 에너지기술개발사업 일환으로 KIST 주관으로 1996년부터 1998년까지 “수소 액화 및 저장시스템 개발” 과제 수행 및 실험실급 수소액화시스템 기술개발
- G-M (Gifford-McMahon) 극저온냉동기를 이용한 소형 수소액화시스템 (0.5 liter/hr) 개발
- 5.5 Liter급 액체수소 저장용기, 액체이송장치 개발



[그림 168] 0.5 liter/hr급 수소액화시스템 (KIST)

- 산업자원부 에너지·자원기술개발사업의 일환으로 2001년부터 2005년까지 한국가스공사 주관으로 “천연가스로부터 대량 수소제조 및 수소저장 기술개발” 과제 수행
- 천연가스로부터 대량 수소제조 기술
- 고밀도 수소에너지 저장기술 (수소액화 및 저장기술 기반기술)
- 수소 제조 및 수소저장 Engineering 기술개발
- 수소액화기술은 실험실 규모의 소규모 연구수행

□ 고효율 수소에너지 제조·저장·이용 기술개발사업단 (21C 프론티어 사업, 2003년~2013년)

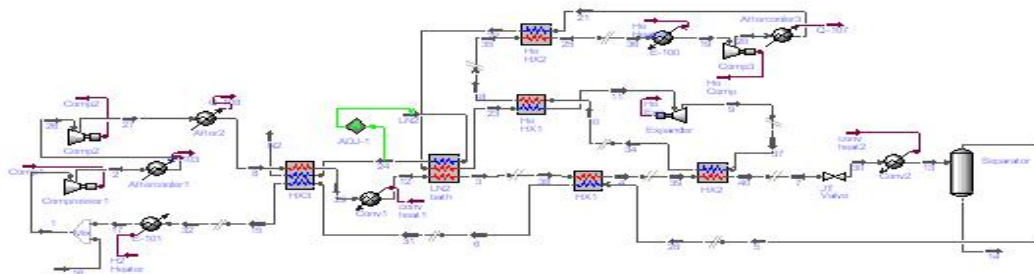
- 자연에너지 활용 5 Nm³/hr급 물 분해 수소 제조기술 및 금속/화학 수소화물, 나노재료를 이용한 저장기술, 수소에너지 이용기술 개발을 목표로 연구개발을 수행
- 수소액화기술과 관련된 기술개발은 수행되지 않음

□ LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008. 6. 18 - 2016. 10. 7)

- 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트 기술 개발
- LNG (-162℃) 액화 공정 및 핵심기술 개발 과제로서, 수소 (-253℃)를 액화 생산하는 ASU 기반 수소액화플랜트에 비해 온도가 높고 공정이 다르지만, 개발 기술을 보완하고, 연계하면 효율적인 기술 개발이 가능
- LNG 용 압축기, 열교환기, LNG 저장탱크 등 극저온 핵심 기자재 개발

□ 한국기계연구원은 2009년~2011년 3년간 기관고유사업의 일환으로 “중·소형(300 Nm³/hr)급 수소액화시스템 설계 기술 개발” 과제를 수행하였음

- 이를 통해, 헬륨냉각공정을 적용한 300Nm³/hr급 수소액화 공정 설계기술을 확보
- 네온 냉각시스템 (2차 냉각시스템)을 이용한 Pilot 수소액화 시스템 (5 liter/hr)을 구축 및 운영한 경험이 있음
- 추가적으로 2단으로 구성된 수소액화용 터보 팽창기 설계기술을 개발함



[그림 169] 헬륨냉각 사이클 기반의 중·소형 (300 Nm³/hr)급 수소 액화시스템 설계 (KIMM)

□ 교육과학기술부 신기술융합형성장동력사업의 일환으로 KIST 주관 자기냉각 액화물질 융합연구단 운영 (2011년~2016년)

○ 본 사업단을 통해 수소투과 차단기술, 복합단열기술, 자기냉각 재액화 기술을 융합한 10 liter 급 액화물질 저장용기 시제품을 개발

○ 액체수소의 안전한 수송과 저장을 위해 저장용기의 건전성 평가기술 및 결함/손상 탐지기술을 개발

○ 고효율 자기열량 소재를 이용하여 온실가스 자기냉각 시스템 원천기술을 개발

(2) 국외 기술개발 동향

□ 현재 상업적으로 활용되고 있는 전 세계의 수소액화플랜트의 현황⁶¹⁾을 살펴보면, 상용 수소액화플랜트 제조사는 크게 APCI (미국), Praxair (미국), Linde (독일), Air Liquide (프랑스) 등 4개 회사로 압축할 수 있음

○ Linde-Praxair 합병 (2017. 05. 25)

□ 일본의 Iwatani와 중국의 CALT 등에서도 수소액화플랜트 개발을 진행하고 있지만, 주요 4개 회사의 원천기술에 의존하고 있는 실정임

□ 주요 4개 회사에서 적용하고 있는 수소액화 사이클은 주로 Precooled Claude 사이클과 헬륨 Brayton 사이클로써 용량은 5-34 ton/day (TPD) 수준

□ Praxair (미국)

○ Praxair는 현재 미국에 6-35 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화 플랜트를 5기 이상 설치하였음

○ 수소액화 플랜트의 소요전력은 12.5-15 kWh/kgLH₂ 수준임

○ 수소액화 사이클은 Precooled Claude 사이클을 사용하지만, 좀 더 복잡한 공정으로 구성되어 있음

61) S. Krasae-in, etc., "Development of large-scale hydrogen liquefaction processes from 1898 to 2009.", International J. of Hydrogen Energy, Vol.45, pp.4524-4533, 2010

- 3개의 열교환기가 있는데, 첫 번째 열교환기는 질소가스와 외부 냉동기에 의해 냉각되고, 두 번째 열교환기는 액체질소와 수소 가스에 의해 냉각되고 있으며, 세 번째 열교환기는 팽창기와 J-T 밸브에 의해 팽창되는 수소 Claude 사이클에 의해 냉각됨

□ Air Product & Chemicals (미국)

- Air Product & Chemicals는 현재 미국에 30-35 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소 액화플랜트를 4개 이상 설치하였음
- 5 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 미국과 네덜란드에 각각 1기씩 설치하였음
- Air Product & Chemicals사의 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임

□ Air Liquide (프랑스)

- Air Liquide는 10 TPD의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 프랑스와 캐나다에 각각 1기씩 설치하였음
- 수소액화 플랜트의 소요전력은 10 kWh/kgLH₂ 정도이고, 액체 질소를 예냉용으로 사용하는 수소 냉매 Claude 사이클을 주로 사용
- Air Liquide 사에서도 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임

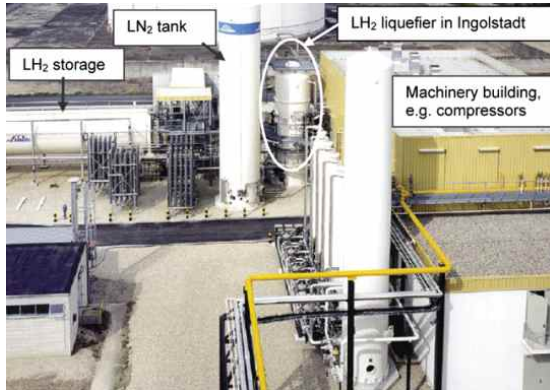
□ Linde (독일)

- Linde는 현재 가장 활발히 수소액화플랜트 건설을 진행하고 있는 업체로써, 대표적인 수소액화플랜트는 Ingolstadt와 Leuna에 위치하고 있음
- Ingolstadt에 위치하고 있는 수소액화플랜트⁶²⁾의 액체수소 생산용량은 약 4.4 TPD로 Precooled Claude 사이클을 사용
- Leuna에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 5 TPD로 Precooled Claude 사이클을 사용
 - 2 MPa의 압력으로 공급된 고압의 수소가스는 열교환기를 통해 냉각되면서 열교환기 내부의 변환축매에 의해 o-H₂의 p-H₂로의 변환이 진행되며, 팽창장치에 의해 팽창되어 액체

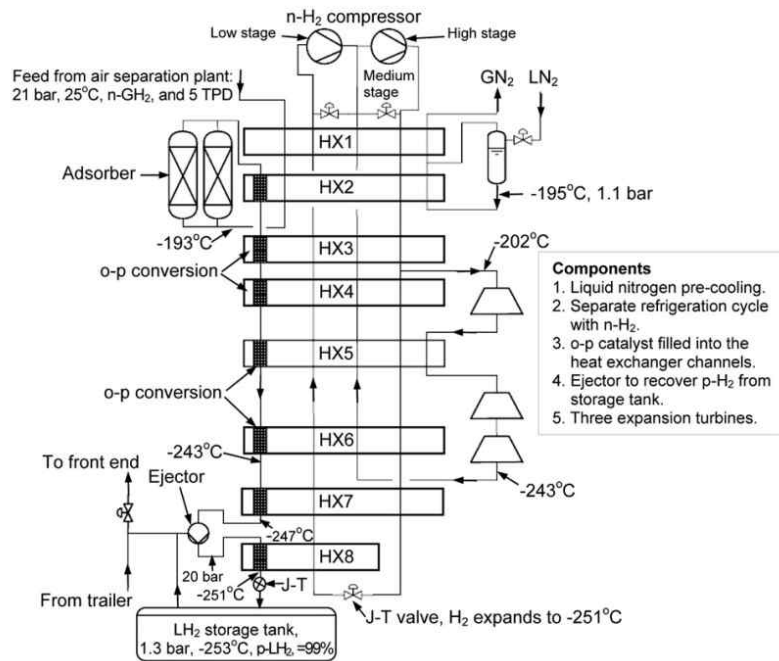
62) V. V. Belyakov, B. D. Krakovskii, O. M. Popov, G. Kh. Step and V. N. Udut, "Low-Capacity Hydrogen Liquefier with a Helium Cycle", Chemical and Petroleum Engineering, Vol. 28 No. 3-4, pp. 150-153, 2002

가 발생하며, 열교환기에 의해 탱크에서 증발된 수소가스가 재액화 됨

- 상온으로부터 80 K 까지의 냉각은 액체질소와의 열교환을 통해 수행되며, 80 K에서 30 K까지의 냉각은 수정 Claude 사이클을 사용함
- 2 MPa의 고압의 수소가스는 3 개의 터보팽창기를 통해 연속적으로 팽창된 후 열교환기를 통해 공급되는 수소가스와의 열교환을 수행
- 30 K 이하의 온도에서의 냉각은 J-T 팽창을 통해 얻은 냉동효과를 통해 수행되며, 팽창된 수소는 열교환기를 통해 공급되는 수소와의 열교환을 수행한 후, 저압압축기로 공급되어 압축되고, 터보팽창기를 통해 순환된 수소와 더불어 고압 압축기로 흡입
- 액화플랜트의 구성은 왕복동 압축기 및 팽창터빈을 채용한 수소냉각시스템과 알루미늄 재질의 Plate-fin 열교환기, 액체질소 예냉시스템을 포함하는 콜드박스 구성



[그림 170] Ingolstadt 수소액화 공정(Linde)



[그림 171] Leuna 수소액화 공정 (Linde)

- Linde에서는 LNG 냉열과 질소냉동기에 의한 액체질소의 냉열을 이용하는 수소액화플랜트를 계획 중

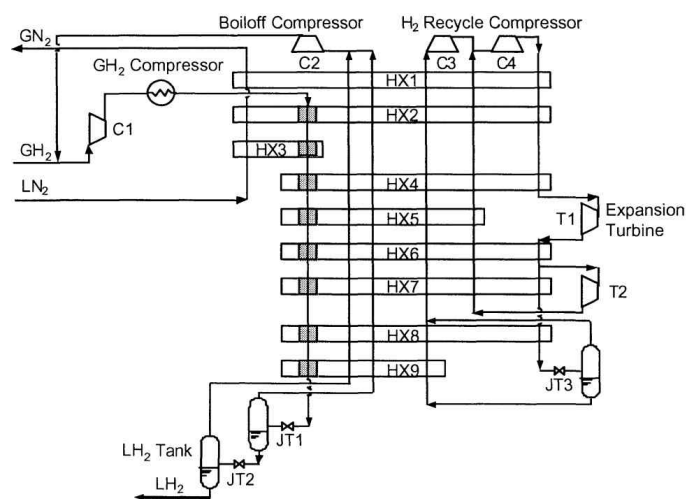
□ The World Energy NETwork (WE-NET) project (일본)

- 일본에서는 신에너지·산업기술총합개발기구 (NEDO) 중심으로 수소이용 국제 그린에너지 시스템 기술(WE-NET) 프로젝트인 대형 수소액화 플랜트 개발을 위해 미쓰비시 중공업, 일본 Air Liquide 및 일본산소 등 3개 회사가 분담하여 검토
- 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 세계 최대인 약 300 TPD를 목표로 액체질소 precooled 수소 Claude 사이클, 헬륨 Brayton 사이클, 혼합냉매 사이클 및 네온 사이클 등 4개의 사이클에 대한 설계를 진행
 - 대형 수소액화플랜트 설공정계 시, 액화효율 뿐만 아니라 플랜트 비용, 압축기와 팽창 터빈의 개발 여부 및 운용 경비를 함께 고려해야 함
 - 4개의 사이클을 고려한 결과, 액체질소 Precooled 수소 Claude 사이클을 이용한 수소액화 공정이 가장 적합한 것으로 판단

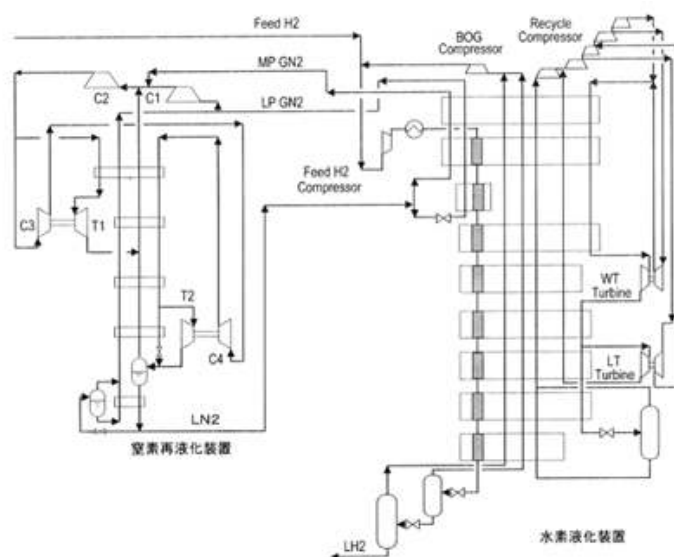
[표 100] 4개 사이클에 대한 설계 공정 액화효율

	H ₂ Claude Cycle	He Brayton Cycle	Mixed Ref. Cycle	Neon Cycle
Feed H ₂ Pressure (MPa)	3.04	3.55	3.04	5.07
Recycle High Pressure (MPa)	4.05	3.04	5.07	5.07
Required Power (MW)	109.4	107.6	124	105
Process Efficiency (%)	45.2	46.0	40.0	47.0

- 수소 Claude 사이클과 예냉용 액체질소 재액화 냉동사이클의 조합으로 구성된 수소액화 공정의 경우, 공정 액화효율 목표치는 40% 이상임



[그림 172] 액체질소 예냉 수소 Claude 액화공정 (WE-NET)



[그림 173] 수소액화공정 (수소 Claude 사이클/질소 재액화 냉동사이클 조합, WE-NET)

(3) 특허 분석

□ 분석대상 특허

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	~ 현재 (2018.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서
	중국			특허공개 및 등록 전체문서

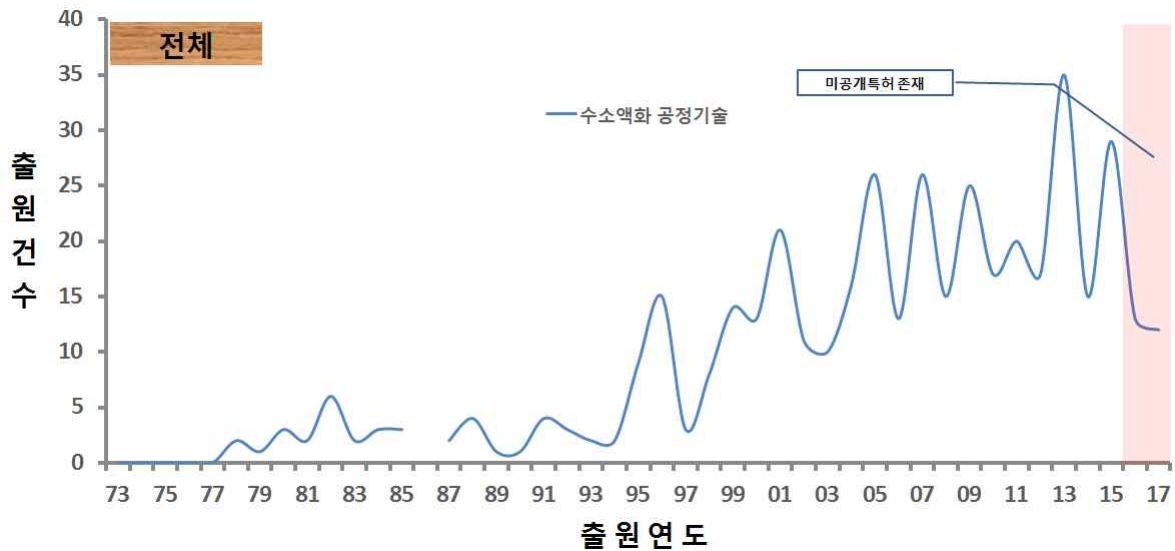
□ 검색조건

- 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성함
- 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 특허 후보군 총 885건을 추출 후, 스크리닝을 거쳐 최종적으로 424건의 유효특허를 대상으로 분석을 수행

검색식	검색건수					
	한국	미국	일본	유럽	중국	합계
(수소액화* (수소* near5 (액화* 액체화* 액상화*)) and (F17* F25*).IPC. (수소액화* (수소* near5 (액화* 액체화* 액상화*)) and (극저온* 냉열* 질소* 엘엔지* LNG 액화천연* 예냉* (브레이튼* 클로드* 혼합*) near2 (사이클* 공정*)) (hydrogen near3 (liquef* liquid*)) and (F17* F25*).IPC. (hydrogen near3 (liquef* liquid*)) and (cryogenic* (nitrogen* LNG (liquid near3 gas)) near5 precool* (brayton* claud* (mixed near2 refrigerant*)) near2 (cycle* process*))	212	226	271	66	110	885
유효특허	73	125	113	78	35	424

□ 연도별 특허 동향

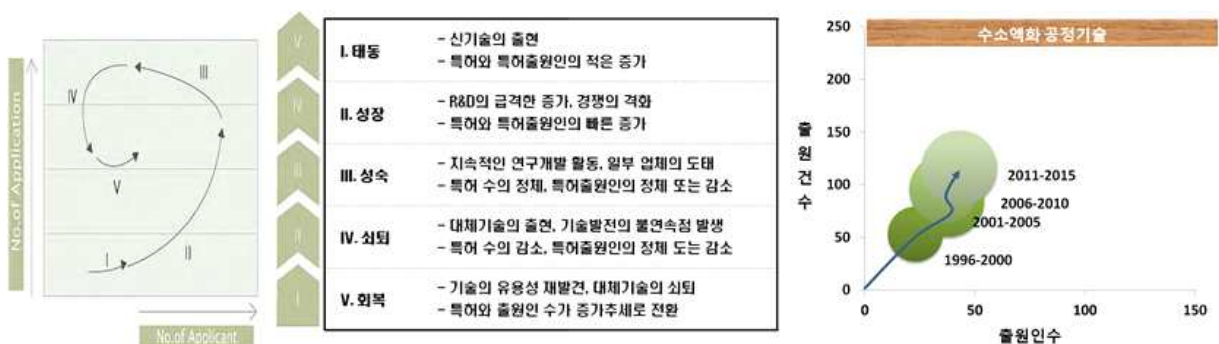
- 수소액화 공정기술 분야는 꾸준하게 완만한 성장세를 보이고 있는 것으로 나타남
- 다만, 연도별 동향그래프에서 2016년 후반 이후 데이터는 특허출원 후 1년 6개월이 경과 하여야 공개되는 특허제도의 특성상, 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 특허 분석 데이터 상에 포함되지 않는 특허출원도 있으므로 명확한 의미를 부여하기 어려우므로 이를 고려해야 함



[그림 174] 고효율 수소액화 공정 기술 연도별 특허동향

□ 기술시장 성장 단계

- 전체출원 중 최근 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 타나내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 확인함
 - 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 구분하였음
- 포트폴리오로 나타난 수소액화 공정기술의 기술위치는 1구간 (1996~2000)에서 2구간 (2001~2005)까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간 (2006~2010)에서 출원건수는 증가하였으나 출원인수가 일시적으로 감소하는 추세를 나타내다가 4구간 (2011~2015)에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하는 경향을 보임. 기술시장의 성장단계는 성장기 단계로 판단됨

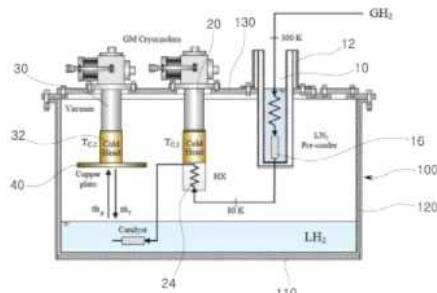
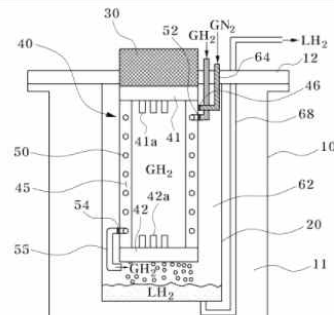


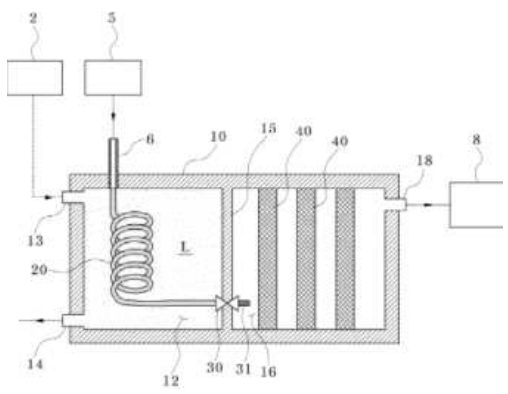
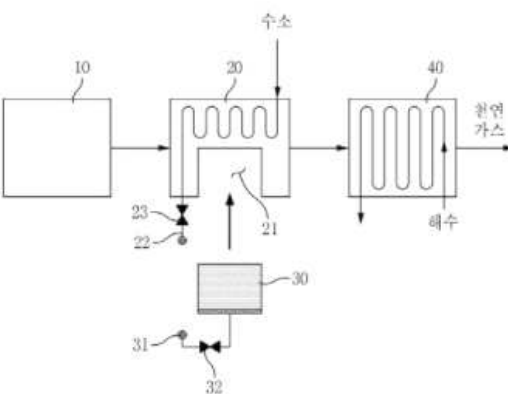
[그림 175] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계

□ 주요 국내외 특허

○ 수소액화 공정기술 주요 국내 특허

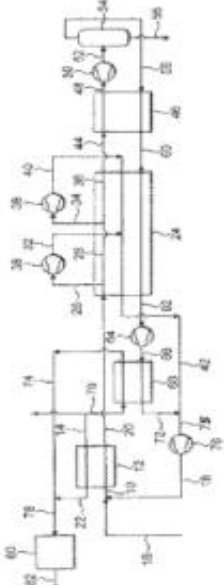
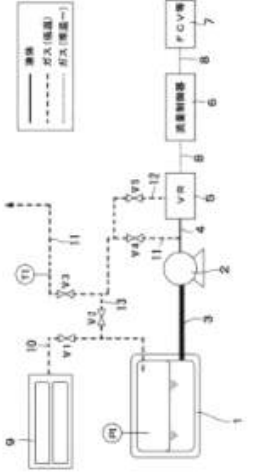
[표 101] 수소액화 공정기술 주요 국내 특허

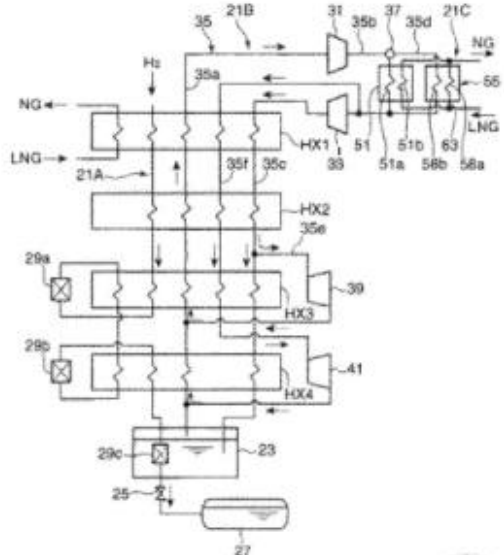
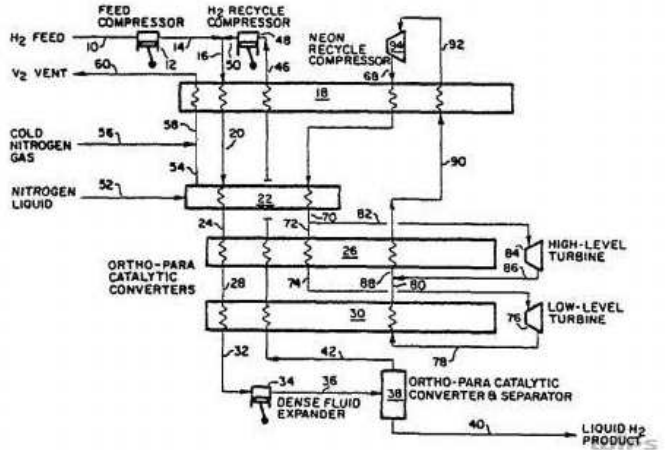
개발사 (국가)	서지사항	그림
하이리움산업(주) (KR)	Hydrogen Liquefaction System with Extremely Low Temperature Cryocoolers (10-2015-0016990)	 극저온 냉동기를 이용한 소용량 수소 액화시스템에 관한 것으로, 액체질소를 이용하여 기체수소를 예냉하기 위한 예냉 열교환기와, 상기 예냉 열교환기를 통해 예냉된 기체수소를 공급받아 1차로 냉각시키는 1차 극저온 냉동기와, 상기 1차 극저온 냉동기의 쿨드 헤드(Cold-head)에 부착되는 열교환기와, 상기 1차 극저온 냉동기에서 1차로 냉각된 기체수소를 액화 온도 20.3K까지 냉각하도록 상기 1차 극저온 냉동기와 직렬로 배치되는 n차 극저온 냉동기(n은 2 이상의 자연수)와, 상기 n차 극저온 냉동기를 통해 20.3K에 도달한 기체수소를 액화시키기 위해 상기 n차 극저온 냉동기와 접촉되는 응축판과, 상기 예냉 열교환기, 1차 극저온 냉동기 및 n차 극저온 냉동기를 설치할 수 있는 공간을 제공하는 저온 용기를 포함하며, 직렬로 배치된 복수개의 극저온 냉동기를 통해 기체수소를 다단계로 냉각시켜 액화시킴으로써, 액화 용량을 증가시킬 수 있고 초기 투자 비용이 절감되고 액화 시스템의 간편성 및 운전성이 확보되는 효과가 있다.
한국과학기술연구원 (KR)	Hydrogen liquefaction apparatus using dual tube type heat pipe (10-2015-0016990)	 극저온 냉동기와 접촉하는 응축부와, 상기 응축부로부터 작동유체를 통해 상기 극저온 냉동기의 냉각 에너지를 전달받아 기체수소를 냉각하는 증발부와, 상기 응축부와 증발부 사이에서 연장되고 내부에 작동유체 유동 공간을 형성하는 내측 튜브와 상기 내측 튜브를 이격하여 둘러싸고 형성되며 상기 내측 튜브와의 사이에 이중관 영역을 형성하는 외측 튜브를 구비한 히트파이프; 상기 히트파이프의 상기 이중관 영역 내에 충전되는 고체질소; 상기 히트파이프의 이중관 영역내에 코일형태로 연장 형성되며 기체수소가 내부로 유입되는 상단 유입구와 내부의 기체수소가 상기 액화용기 내부로 배출되는 하단 배출구를 구비하며, 기체수소가 상기 고체질소와의 열교환을 통해 예냉되도록 하는 예냉관; 상기 예냉관 내부에 적어도 부분적으로 형성되고, ortho-para 촉매가 포함되어 상기 예냉관을 지나는 기체수소의 ortho-para 변환을 유도하는 ortho-para 변환부; 상기 예냉관의 상단 유입구와 연결되며 외부로부터 기체수소가 이송되는 통로가 되는 기체수소 이송관; 및 상기 액화 용기 내부에서 액화된 액체수소를 외부로 이송하기 위한 액체수소 이송관을 포함하는 이중관 히트파이프를 이용한 수소 액화 장치를 제공한다.

개발사 (국가)	서지사항	그림
한국과학기술 연구원 (KR)	A pre-cooler for hydrogen liquefying apparatus (10-2013-0073836)	 내부에 액상의 냉각 매체가 수용되는 제1 챔버와 상기 제1 챔버와 분리된 제2 챔버를 구비하는 본체; 상기 제1 챔버 내에 설치되며, 일단이 제1 챔버 외부의 수소 이송관과 연결되어 유입된 수소가 타단을 향해 이동하면서 상기 제1 챔버 내에 수용된 액상의 냉각 매체와의 열교환을 통해 냉각되도록 하는 수소 예냉관; 상기 수소 예냉관의 타단과 연결되고 출구가 상기 제2 챔버로 연결되어, 상기 수소 예냉관을 거치면서 예냉된 수소를 단열 팽창시켜 추가적인 냉각이 이루어지도록 하는 팽창 밸브; 및 상기 제2 챔버 내의 빈 공간에 서로 이격되어 설치되어 상기 팽창 밸브 출구를 통해 상기 제2 챔버 내로 유입된 수소가 접촉 이동하면서 ortho-para 변환된 후 수소 배출구를 통해 배출되게 하는 복수의 판형 ortho-para 변환 촉매를 포함하는 수소 액화 장치용 프리쿨러
서울과학기술대 학교 산학협력단 (KR)	HYDROGEN STORAGE SYSTEM OF ULTRA LOW TEMPERATURE AND PRESS TYPE USING LNG COLD ENERGY (10-2009-0103139)	 수소의 저장에 소요되는 냉열을 액화천연가스로부터 제공받아 수소 저장시 소요되는 많은 에너지를 절약할 수 있는 LNG 냉열을 이용한 초저온 가압식 수소 저장 시스템에 관한 것이다. 본 발명의 주요 구성은 액화천연가스가 저장된 액화천연가스 저장탱크(10)와; 액화천연가스 저장탱크에서 배출된 액화천연가스를 제공받아 외부로부터 공급된 수소와 열교환시켜 수소를 냉각시키는 수소냉각용 열교환기(20)와; 상기 수소냉각용 열교환기(20)에서 냉각된 수소를 공급받아 저장하는 수소저장탱크(30)와; 상기 수소냉각용 열교환기(20)를 통과한 액화천연가스를 제공받아 해수와 열교환시켜 액화천연가스를 기화시키는 해수식 열교환기(40)를 포함하며, 수소냉각용 열교환기는 내측면으로 수소저장탱크가 삽입되어 위치하는 삽입부가 형성된 것이 특징

○ 수소액화 공정기술 주요 국외 특허

[표 102] 수소액화 공정기술 주요 국외 특허

개발사 (국가)	서지사항	그림
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (JP)	수소를 액화하는 방법 및 장치 (JP 2012-182944)	 가압된 액화천연가스(LNG)와의 간접열 교환에 의해 수소 피드 가스를 예냉하여 예냉된 수소 피드 가스와 가압된 천연가스를 생성하는 공정과; 상기 예냉된 수소 피드 가스 중 적어도 일부를 적어도 하나의 냉매와의 간접열 교환에 의해 또한 냉각하여 응축성 수소 가스를 생성하는 공정과; 상기 응축성 수소 가스 중 적어도 일부를 팽창시켜 적어도 부분적으로 냉각된 수소를 생성하는 공정을 포함하는 방법에 의해 수소가 액화된다.
IWATANI INTERNATL CORP (JP)	이동식 수소 스테이션에서의 액화 수소 컨테이너의 가압 방법 (JP 2010-003580)	 액화 수소 저장조 1에서 도출한 액화 수소를 액화 수소 압송 펌프 2, 기화기 5를 거치고, 수소 가스 수용 용기 7에 공급하는 수소 공급 방법으로서, 액체 수소 압송 펌프 2와 기화기 5를 연통 접속하는 액화 수소 압송로 4에서 런 나와 있는 벤트 가스 배출로 11에 기화기 5로부터의 바이패스로 12를 연통 접속함과 동시에, 상기 벤트 가스 배출로 11과 액화 수소 저장조 1에 가압용 가스를 공급하는 가압 가스 공급로 10을 연통 접속한다. 수소 공급의 시작 시에 기화기 5로부터의 저온 가스를 바이패스로 12, 벤트 가스 배출로 11을 통해 액화 수소 저장조 1으로 반송하여 액화 수소 저장조 1 내를 가압하도록 구성

개발사 (국가)	서지사항	그림
KANSAI ELECTRIC POWER CO INC/ THE KOBE STEEL LTD (JP)	수소 액화 장치 및 액체 수소 제조 시스템 (JP 2004-134243)	 수소 액화 장치 20은 원료로서의 수소 가스가 흐르는 액체 수소 생성 라인 21 A로 이 수소 가스를 냉각하기 위한 수소 가스가 흐르고 냉동 사이클을 하는 수소 순환 회로 21 B와 액화천연가스가 흐르는 LNG 회로 21 C와 수소 순환 회로 21 B의 고압 측압축기 33에 흡입되는 수소 가스를 LNG 회로 21 C의 액화천연가스로 냉각하는 열교환기 51과 축열 장치 55와 축열 운전 및 냉열 이용 운전을 전환하는 전환 수단 37을 구비한다. 축열 장치 55는 축열체에 침지된 전열관의 핀 두께를 전열관으로부터의 돌출 높이의 1~3%로 설정한다.
AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (EP)	Hydrogen liquefaction using a dense fluid expander and neon as a precoolant refrigerant (EP 1988-107846)	 The present invention is a process for the liquefaction of hydrogen which utilizes a dense fluid expander 34 and neon as a precoolant refrigerant. In the process, a two phase mixture containing about 85-90% liquid of greater than 95% para-hydrogen is produced in a dense fluid expander. Most of the refrigeration for liquefaction is supplied by a neon refrigeration system, consisting of a centrifugal compressor 94 heat exchangers (18, 22, 26, 30) and one or more stages (76, 84) of neon expansion. As an option, further refrigeration may be supplied utilizing liquid nitrogen as another precoolant

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

□ 기술개발 방향

[표 103] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술	○ 현재 전 세계적으로 건설되어 있는 수소액화 플랜트의 경우 LN ₂ 냉열을 활용하는 수소액화 공정 기술임. LN ₂ 를 얻기 위해 별도의 질소액화 플랜트를 건설하는 상황임	○ 국내 LNG 인프라의 폐 LNG 냉열을 수소액화 플랜트에 활용하는 고효율 수소액화 공정 기술 개발
Pilot 수소액화기 구축 및 운영기술 개발 (0.5 TPD 급)	○ 국내 수소액화기 및 수소액화 플랜트 관련 운전데이터 및 운영기술 부재	○ 소형 수소액화기(0.5 TPD 급) 구축으로 실 운전데이터 확보를 통한 수소액화 플랜트 운영기술 개발
	○ 국내 수소액화기 및 플랜트 건설·시공 경험 부재	○ Pilot(0.5 TPD급) 수소액화기용 주요 기자재를 도입하여 수소액화 공정 설계기술 우선 검증 ○ 자체개발 주요기자재를 소형(0.5 TPD급) 수소액화기에 적용하여 국산 수소액화플랜트 기술개발

(2) 세부기술별 상세내용

□ LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술 (세부기술 1)

○ 연구내용

연차	목표	내용	예산 (억원)
1	0.5 TPD급 수소액화공정 기본설계	○ 선행 연구자료 분석 ○ 극저온 열역학 물성 DB 검증 ○ 수소액화공정 모델링 ○ 0.5 TPD급 액화공정 기본설계 ○ 0.5 TPD급 주요기자재 사양선정	5
2	0.5 TPD급 수소액화공정 상세설계	○ 0.5 TPD급 액화공정 상세설계 ○ 0.5 TPD급 액화공정 운전제어 설계	10
3	5 TPD급 수소액화공정 기본설계	○ 0.5 TPD급 수소액화기 성능시험 및 성능분석 ○ 0.5 TPD급 수소액화기 성능 DB 구축 ○ 수소액화공정 모델 검증 및 보완 ○ 5 TPD급 수소액화공정 기본설계 및 주요기자재 사양선정	10
4	대형(50 TPD) 수소액화공정 모델개발	○ 수소액화공정 모델 대형화 ○ 대형 수소액화공정 모델 최적화	10
5	대형(50 TPD) 수소액화공정 기본설계	○ 대형 수소액화공정 기본설계 ○ 대형 수소액화공정용 주요기자재 사양선정 ○ 5 TPD급 수소액화플랜트 기본설계 Package	10

○ 성능지표(목표사양)

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1.	수소액화 공정 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5-50
2.	Specific power consumption*	kWh/kgH ₂	11.4 (5TPD)	-	<11.4 (5TPD)

* 목표 효율은 용량의 함수임.

target 효율(kWh/kg) = 13.382 * (Plant capacity, TPD, metric tons per day)^{-0.1} (미국 DOE)

□ Pilot 수소액화기 운영기술 개발 (0.5 TPD 급) (세부기술 2)

○ 연구내용

연차	목표	내용	예산 (억원)
1	0.5 TPD급 수소액화기 기본설계	○ 수소액화기 기본설계 검토 ○ 수소액화기 주요기자재 구매사양서 작성 및 발주 ○ 수소액화기 부지조성 및 유틸리티 구축	15
2	0.5 TPD급 수소액화기 구축	○ 수소액화기 상세설계 검토 ○ 수소액화기 주요기자재 검수 ○ 수소액화기 제작 및 구축	60
3	0.5 TPD급 수소액화기 운전	○ 수소액화기 구축 및 시운전 ○ 수소액화기 시운전 DB 구축 (목표 운전시간 100hr) ○ 수소액화기 운전 및 제어로직 정립	50
4	주요기자재 개발품 적용 0.5 TPD급 수소액화기 구축	○ 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 구축 ○ 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 성능시험	20
5	주요기자재 개발품 적용 0.5 TPD급 수소액화기 운전	○ 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 운전 DB 구축 ○ 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 운영기술 확보 (목표 운전시간 100hr * 5회)	20

○ 성능지표(목표사양)

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1.	Pilot 수소액화기 용량	TPD	35	0.01	0.5
2.	Pilot 수소액화기 효율	KWh/kgLH ₂	14.3	-	14.3*
3.	Pilot 수소액화기 정상상태 운전시간	hr	-	-	500**

* 본 목표는 냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율이며, 냉열 비용을 고려하여 판단하면, 세계최고 효율 대비 약 80% 수준임.

** 100시간 5회

마. Pilot 수소액화플랜트 구성

(1) 구성 시설

□ 본 설계 실증용 Pilot 수소액화플랜트는 0.5 TPD 규모의 액체수소 생산플랜트로 다음 사항이 포함됨

○ LNG 개질 수소 생산 및 공급 설비: 0.5 ton/day

○ LNG 냉열 공급 설비

○ Hydrogen liquefaction unit: 0.5 ton/day

○ LH₂ storage tank for 5 days storage : 35 m³

(2) 각 시설의 세부 사양⁶³⁾

□ SMR (LNG 개질 수소 생산 설비)



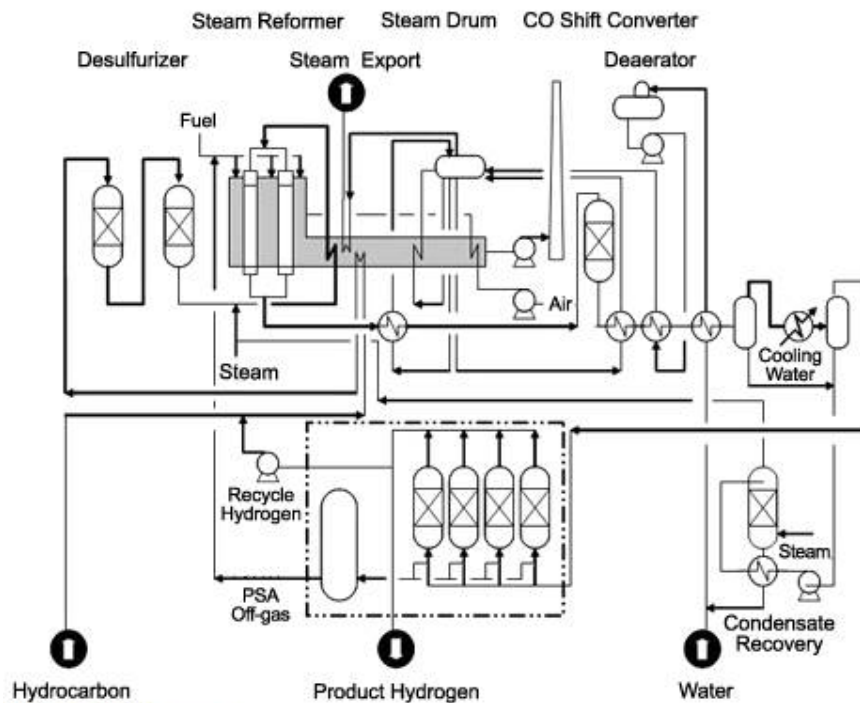
[그림 176] SMR 플랜트 예

○ 수소 생산량 (0.5 ton/day)

63) LNG 냉열을 활용한 Cycle의 종류에 따라 달라짐. 공정설계에서 Hydrogen Claude Cycle 또는 Helium Brayton Cycle을 설정하여 설계 후 상세 사양을 제시하여야 함.

여기서는 Hydrogen Claude Cycle을 기준으로 기본 사양 제시하고 있으며, 상세 사양은 기술개발 과정에서 결정

- 수소 정화장치
 - 형식 : Pressure Swing Adsorption
 - 순도 : 99.99%
- LNG 개질기 LNG 공급량 : 1.4 ton/day
- SMR 공정 개략도



[그림 177] SMR 공정도 개요

- 조달방법 : 구매
 - 주요 제조사 : JNK 히터, 소나무, Air Liquide, Air product, Linde, 오사카 가스

□ Recycling Compressor

- 형식 : 왕복동 (Reciprocating) 2단 (Low pressure and High pressure) 압축기
- 구성 :
 - LP compressor and motor
 - HP compressor and motor
 - Process gas cooler
 - Pulsation damper

- Oil pump, filter and cooler
- Safety valves and bypassing valves
- Instrumentation and local controls

○ 사양

- Mass flow rate : 0.06 kg/s (5 ton/day) 이상
- 입구압력 : 3 bar
- 출구압력 : 25 bar
- power : 400kW

○ 조달 방법 : 구매

- 주요 제조사 : Atlas Corp. Co., Howden, Mayekawa, CEA, Hoffer, 광신기계, 효성

□ Cold Box

○ 개요

- Feed 수소가스 (25 ℃)을 수소냉동 사이클을 통하여 -253℃의 액체로 만드는 액화플랜트의 핵심 설비. 내부에 열교환을 위한 장치들이 포함되며, 단열을 위하여 내부가 진공상태로 유지

○ 구성

- Vacuum Vessel Housing
- A vacuum pump system and pressure gauge for vessel insulation
 - Pressure : 10⁻⁵ mbar 이하
 - High vacuum diffusion pump and roughing rotary vane pump
 - 주요제조사 : Pfeiffer Vacuum, Genesis, Varian
- LNG Pre-cooling Unit
 - LNG 공급량 : 1.4 ton/day
 - 공급 압력 : 4 barg 이하
 - Capacity : 10 kW 이상
 - 입구 수소온도 : 23℃, 출구 수소온도 : -161 ℃
- Cryogenic Adsorber

- 구성 : 흡수제를 충전한 스테인리스 스틸 vessel
- 작동 온도 : $-159\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 출구 불순물 : C1 & C6 1ppm 이하
- 수명 : 8,400 시간 이상

- Plate Fin Type Aluminum Heat exchangers
 - Capacity for 0.5 TPD class hydrogen liquefaction > 10kW
 - 주요제조사 : Fives, Sumitomo, Chart

- Ortho para converter
 - Ortho-Para 촉매 ($\text{Fe}_2(\text{OH})_3$) 내부 충전

- Turbo Expander
 - 수량 : 3 EA
 - Bearing : Oil free static bearing
 - 수소 유량, 온도 : 0.06 kg/s , $-202\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -243\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - 주요제조사 : Air Liquide, Linde, Kawasaki Heavy Industry, Barber Nichols

- Cryogenic Ejector
 - 작동온도 : $-247\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -253\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Pressure drop : 1 bar max
- Joule-Thomson (J-T) valves
 - Max pressure drop : 22 bar 이하
 - Flow rate : 0.06 kg/s
 - 작동온도 : $-251\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -253\text{ }^{\circ}\text{C}$

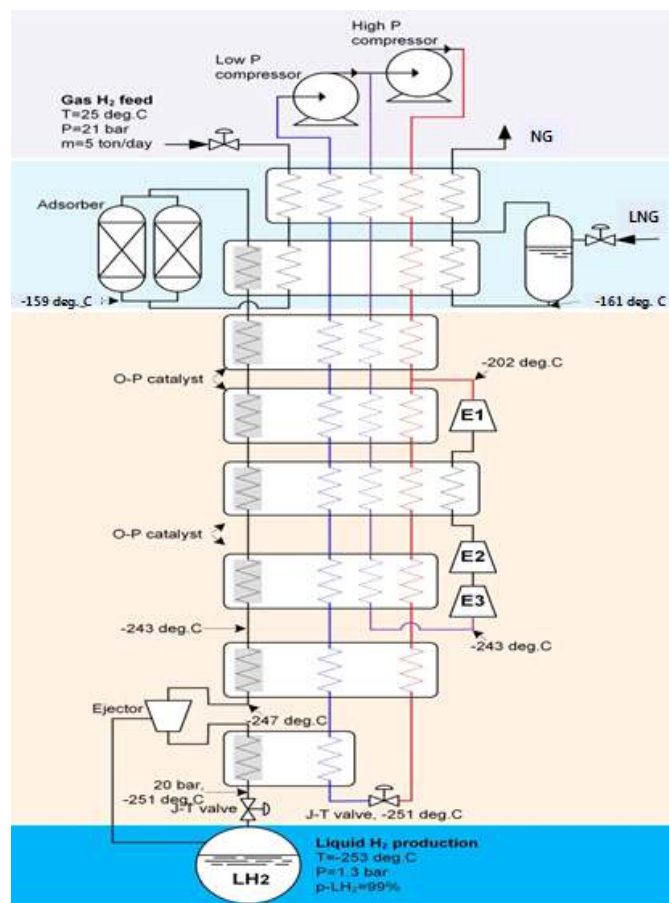
- 조달방안 : 기자재 구매 후 조립

□ LH₂ Storage Tank

- 구성 : 진공 2중 Vessel
- 사양
 - Size : 35 m^3 (2.5 ton LH₂)
 - Boil-off rate : 1% day
 - 정상작동압력 : 0.3 barg
 - 설계압력 : 3.5 barg, outside vacuum
 - 설계 온도 : $-253\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

- 재질 : 스테인레스 스틸
- 안전설비 : automatic safety valve, bursting disc, manual safety valve, H2 detector
- Pressure and level monitoring devices
- Internal pipes for interconnections between the different components (aluminum alloy or stainless steel with
- Cryogenic transfer vacuum jacket lines to cold box

○ 조달방안 : 구매 후 조립

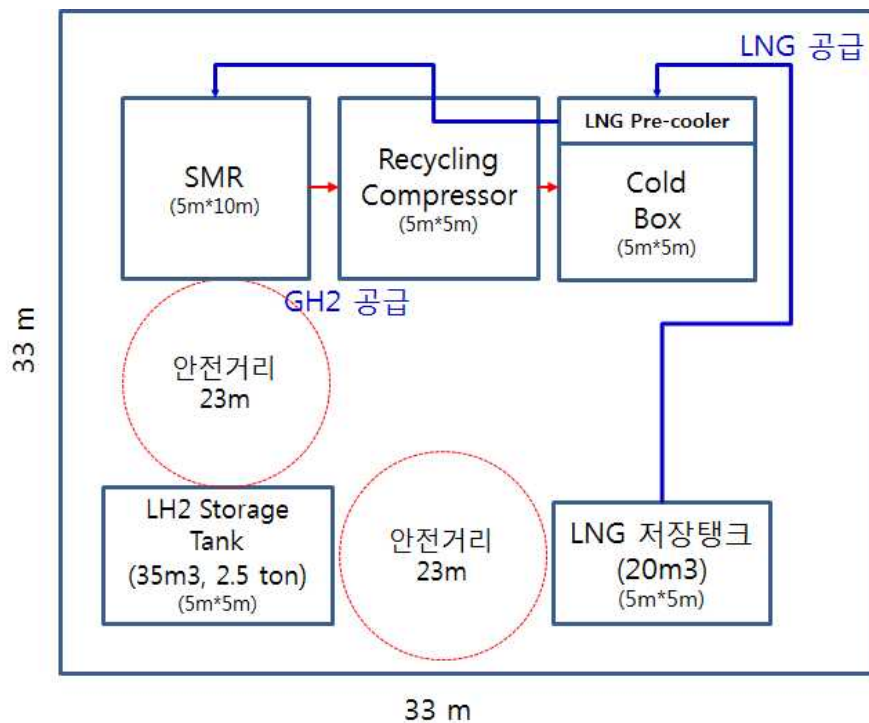


[그림 178] Cold Box 개념도



[그림 179] Cold Box 예 (Air Liquide)

(3) 소요 부지 추정 (약 1000m²)



[그림 180] 0.5 ton/day pilot 플랜트 소요 면적 추정

* 안전거리는, 국내에는 액체수소 안전거리에 대한 규정이 없어, 미국 NFPA 2의 규정을 준용

* 국내 안전관련 법규를 검토하여 부지크기, 위치 등 설정 필요

○ 일반요건

- 수소액화 공정 설계 전문 인력 및 액화 관련 유관 실적을 보유한 기관
- 1 세부과제의 성과물인 0.5 ton/day 급 pilot 플랜트 설치 부지 (약 1,000m²) 를 확보하고 있거나, 해당 세부과제 내의 공동기관에서 확보하고 있는 기관
- 부지의 경우 고압가스 안전관리법에 의해 다음의 이격거리를 확보하여야 함
 - 1종보호시설 : 17m
 - 2종보호시설 : 12m
- Pilot 플랜트 구축을 위한 인허가 및 민원 해결방안을 제시하여야 함

○ 안전관리 요건 : 가스안전 및 산업안전보건법에 따른 공정안전을 담당할 가스기능사 이상의 자격을 보유한 관련인력 2인 이상 확보

- 본 0.5 ton/day 급 수소액화 pilot 플랜트의 5일 운영 기준 LNG 저장량(7,000 kg) 및 액체수소 저장량(2,500kg) 고려하여 안전기준을 준수하여야 함.
- 해당 설비의 구축 및 운영을 위해서는 국내의 경우, 고압가스안전관리법과 산업안전 보건법의 안전기준을 준수하여야 함.
- 고압가스 안전관리법에 의하면
 - 저장용량 100 ton 이상인 경우 SMS(Safety Management System) 인증을 받아야 하나, 본 pilot 규모 용량에서는 해당사항 없음
 - 저장용량 100톤 이하의 경우 안전관리 총괄자 1명, 안전관리 부총괄자 1명, 안전관리 책임자 1(가스 기능사 이상), 안전관리원 1명(가스기능사 이상)을 선임하여야 함
- 산업안전보건법에 의하면
 - 가연성 가스 5 ton 이상 취급 시설의 경우 PSM(Process Safety Management)(Safety Management System) 인증을 받아야 함

○ 설비 요건 : 참고사항

- 본 과제에서는 LNG를 활용한 수소개질 방식으로 수소를 공급하고, 이때의 냉열을 활용함. 따라서 기존에 LNG 저장 및 활용 설비를 기 구축한 기관의 경우 효율적으로 과제 수행이 가능함. 기 구축된 LNG 저장 및 활용 설비가 없는 경우 이를 구축 하여야 함

2. 세부 2 과제 : 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발

가. 기술개발 배경 및 필요성

(1) 현황 및 문제점

- ☐ 세계적으로 자동차, 항공기, 선박, 제철 분야를 중심으로 수소에너지에 대한 수요가 증가되고 있으며, 수소 생산과 관련된 기술 개발이 미국, 독일, 프랑스, 일본 등을 중심으로 진행되고 있음
- ☐ 액체 수소를 수요에 맞게 생산하기 위하여 기자재 및 시스템 개발 기술을 보유해야 함
 - 그중에서 Turbo Expander는 수소를 -200°C 이하의 조건으로 만드는 핵심 기자재로써, Turbo Expander를 통해 유체가 팽창되어 작동 유체의 온도를 낮춤과 동시에, 유체로부터 에너지를 얻어 활용할 수 있음
- ☐ 즉, Turbo Expander를 통해 얻은 에너지는 발전기를 구동하여 전기를 생산하거나 압축기를 구동하는데 활용될 수 있음
 - 경우에 따라 eddy current brake를 통하여 열에너지로 소진하기도 함
- ☐ Turbo Expander는 터빈의 일종으로서, 유량과 팽창비에 따라 축류형과 원심형으로 구분할 수 있고, 유체가 팽창되는 정도에 따라 단단(Single-stage) Turbo Expander 또는 다단(Multi-stage) Turbo Expander로 구분됨
- ☐ 수소액화 플랜트에 적용되는 요소별 컴포넌트 효율이 전체 시스템의 성능에 영향을 미치는데, 그중 Turbo Expander의 효율은 Joule-Thomson 팽창 밸브를 흐르는 유체의 온도에 직접적인 영향을 주기 때문에 고성능 Turbo Expander 개발이 중요함
- ☐ Turbo Expander 생산에 있어 현재 해외 공급사(예, Linde (독일), Air Liquide (프랑스), GE Oil&Gas (미국), TNSC (일본), Cryostar (프랑스), PBS (체코)) 이외에 보다 다양한 생산 루트와 세분화된 제품군이 필요함
 - 특히, 국내에는 수소액화용 Turbo Expander의 생산 경험이 없기 때문에 이에 대한 집중적

인 연구 개발이 필요함

- 국내에서는 1980년대 후반부터 수소를 초저온 상태로 저장하는 기술에 관한 연구가 수행되었음. 대부분 설계 정도의 수준이거나, 실험실 규모의 테스트를 수행함
- Turbo Expander는 2000년대에 들어 한국기계연구원에서 기본 설계를 수행하였으나 시제품 제작이나 성능 시험은 이루어지지 않았음
- 국외에서는 터보기계를 전문적으로 개발하는 기업에서 Turbo Expander에 관한 기술을 오랜 경험을 통해 체계화 하였고 상용제품을 출시하였음
- Turbo Expander의 설계, 제작, 운전 등 세부 사항이 업체 기밀로 다루어지기 때문에 학회, 논문, 카탈로그 등 문헌을 통해 정보가 공개되지 않고 있는 실정임



[그림 181] 주요 Turbo Expander 제조사

- 따라서 수소액화 플랜트용 Turbo Expander의 국산화 개발 및 상용화를 위해 기술력 확보가 반드시 필요함
- 국내에서 터보기계 관련 연구 경험이 있는 대학, 연구원, 기업 등에서 집중적인 개발을 수행하고 노하우를 쌓아야 함.
- 수소액화용 Turbo Expander는 극저온(예, -200°C 이하) 조건에서 초고속(수 만~수십 만rpm)으로 작동되는 특징으로, 기술적 난이도가 매우 높음. 특히 -200°C 이하의 수

소 물성이 반영된 Turbo Expander 공력 설계 기술, 극저온 상태에서 회전 안정성을 유지시킬 수 있는 베어링 기술, Turbo Expander 내부의 이차 유로 안정화 기술, 열 및 응력에 관한 설계 해석 기술 등의 개발을 위하여 연구가 수행되어야 함

□ 국외에서는 이미 수십 년 전부터 극저온용 Turbo Expander 개발 경험을 보유하고 있음

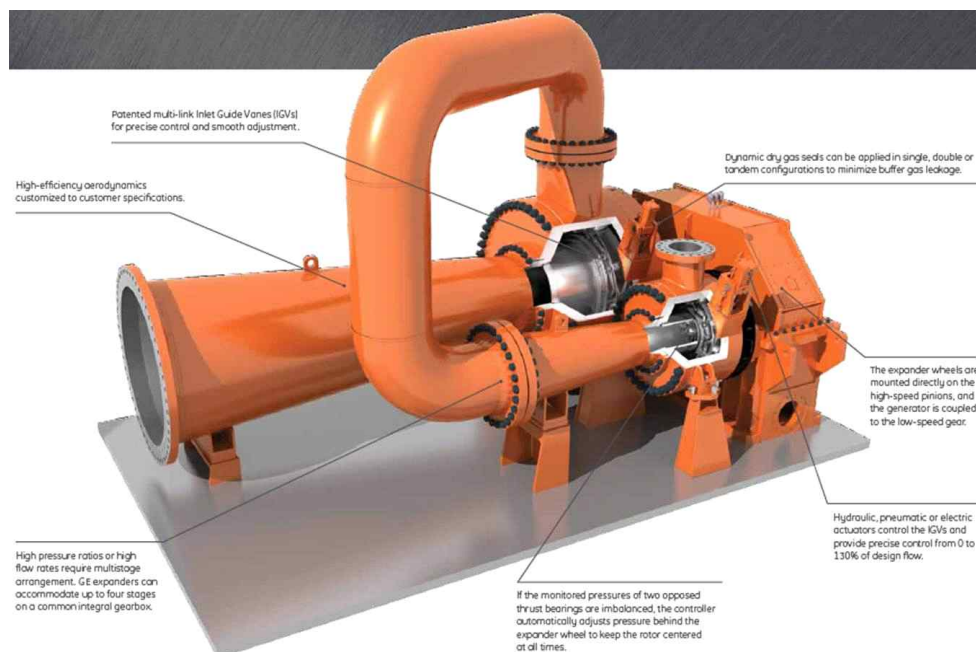
○ 따라서 기술 수준 차이를 극복하기 위해 국내 Turbo Expander 개발에 집중적인 투자와 연구가 필요함

(2) 기술개발 필요성

□ 국내에서는 2000년대에 들어 수소액화용 Turbo Expander에 대한 설계기술을 개발 하였으나 시제품 제작 및 운전 기술은 아직까지 확보하지 못한 실정임

□ 수소액화용 Turbo Expander는 -200°C 이하의 극저온 조건에서 수십 만 rpm이란 초고속으로 회전하기 때문에 기술 개발의 난이도가 높음

○ 극한 조건에서 Turbo Expander 블레이드의 공력 설계, 소재 선정, 씰(seal) 및 고속 베어링 설계, 레이아웃 설계, 운전 컨트롤 등 개발하여야 할 분야가 많음.



[그림 182] 대용량 Turbo Expander의 기술적 이슈 예시 (GE Oil&Gas)

- 국내에서는 수소액화 플랜트용 Turbo Expander를 생산할 수 있는 업체가 없기 때문에 전량 수입을 하여야 함. 따라서 국내에 설치된 수소액화 플랜트의 Turbo Expander 유지 보수 시 해외 공급처의 기술력에만 의지해야 함으로 막대한 경제적 부담이 장기적으로 발생할 수 있음
- 극한 조건에서 작동되는 Turbo Expander 기술은 가스터빈, 터보차저, 발전용 터빈 등 국내의 산업 분야에서 활용할 수 있는 핵심 기자재 기술임. 따라서 Turbo Expander 기술 개발을 통하여 관련 산업 분야의 기술 경쟁력을 높일 수 있는 계기를 마련할 수 있음

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

- Turbo Expander는 수 만 ~ 수십 만 rpm의 속도로 회전하는 구심터빈 형태임. 팽창비의 크기에 따라 단단(Single stage)이나 다단(Multi stage)으로 구성됨
- Turbo Expander 개발은 사이클 해석 결과를 바탕으로 터빈 설계, 시제품 제작, 작동성 시험 및 성능시험의 순서로 이루어짐
- Turbo Expander의 축계는 극저온 조건에서 초고속으로 회전하기 때문에 축방향과 반경방향으로 발생하는 추력을 지지할 수 있는 베어링 기술이 요구됨

(2) 기술개발 목표

- 수소액화 플랜트용 Turbo Expander 기술 개발

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. 유량	kg/s	-	-	0.6 (시스템사양에 따름)
2. 작동 유체 온도	℃	-200 이하	-	-200 이하 (시스템사양에 따름)
3. 회전축 진동	μm	-	-	10 이하

다. 국내외 기술개발 동향

(1) 국내 기술개발 동향

- ☐ 국내에서 수소 액화를 위한 Turbo Expander를 설계한 사례는 있으나, 국내 기술력으로 시작품 제작 및 성능 시험을 한 경험은 없음
- ☐ 한국기계연구원은 2009년~2011년 3년간 기관고유사업의 일환으로 “합성가스 액화 시스템 설계 기술 개발” 과제를 수행하였음. 과제를 통하여 2단으로 구성된 Turbo Expander에 대해 설계 기술을 확보함

(2) 국외 기술개발 동향

- ☐ Turbo Expander를 상업적으로 생산하고 있는 주요 제조사는 Linde (독일), Air Liquide (프랑스), GE Oil&Gas (미국), TNSC (일본), Cryostar (프랑스), PBS (체코) 등이 있음
 - 이들 제조사는 수소, 헬륨, 네온 등의 유체를 이용하여 극저온 냉각에 사용되는 Turbo Expander를 오랜 기간 개발하였음
- ☐ 극저온용 Turbo Expander를 개발하는 주요 제조사별 현황을 살펴보면 다음과 같음
- ☐ Linde (독일)
 - 수소, 헬륨 등의 유체를 대상으로한 극저온용 Turbo Expander 개발
 - 원심형 터빈, 동적(dynamic) 가스베어링 적용
 - 한 개의 트레인 당 150~20,000 liters/hr의 수소액화 처리가 가능함
 - 대용량 수소 액화 플랜트(독일 Leuna위치)인 경우, Turbo Expander 3대를 직렬로 연결하였으며, 마지막 단 터빈의 출구 온도가 30K 임
 - 수소액화 시스템에 대한 사항은 문헌에 공개되었으나, 수소액화용 Turbo Expander에 대한 상세 사양은 공개되지 않음



[그림 183] 수소액화 시스템 및 Turbo Expander (Linde)

□ Air Liquide (프랑스)

- 헬륨 사이클을 기반으로 수소 전기차, 우주 시험 센터, 마이크로 전자장치 등을 위해 수소 액화 시스템인 HYLIAL을 개발
- Unit 당 600~1500 liters/hr의 액화수소 처리
- 정적 (Static) 가스베어링 적용
- 최대 300,000rpm 구동가능, MTBF⁶⁴⁾ 150,000 시간
- 수소액화용 Turbo Expander에 대한 상세 정보는 공개되지 않음



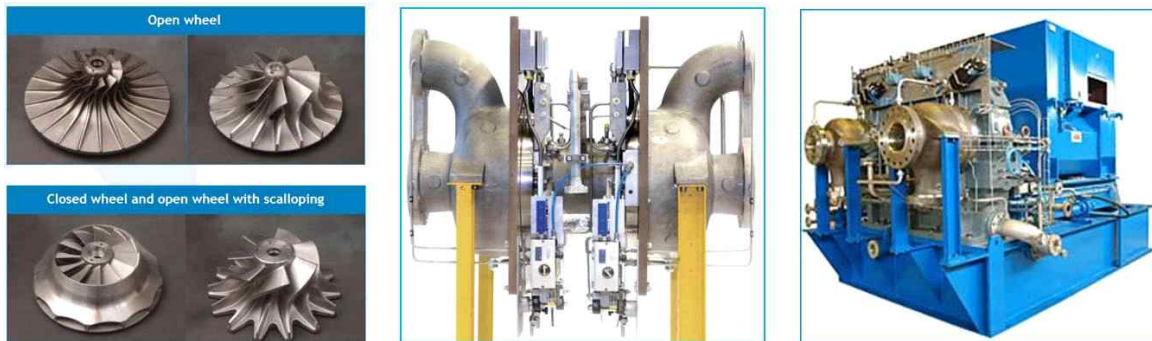
Liquefaction capacities, Consumption and dimensions	HYLIAL 600	HYLIAL 800	HYLIAL 1500
LH ₂ production	600 L/h	800 L/h	1,500 L/h
Expected compressor power	550 kW	690 kW	1,260 kW
Cold box size (L x W x H)	8.1 x 4.8 x 5.5 m(with gangway)	8.1 x 4.8 x 5.5 m(with gangway)	9 x 4.5 x 5.5 m

[그림 184] 수소액화 시스템 및 제품 용량 (Air Liquide)

□ Cryostar (프랑스)

64) MTBF : Mean Time Between Failures

- 극저온용 Turbo Expander를 생산하는 전문 업체로 설계, 제작, 시험 등 전과정 수행
- 100kW에서 12,000kW급 용량과 입구 압력 최대 150bar, 입구 온도 최저 -196℃ 조건의 Turbo Expander 개발
- 마그네틱 베어링이나 오일 윤활 베어링 적용
- Turbo Expander-Compressor, Turbo Expander-Generator, Turbo Expander-Oil brake 등 다양한 조합의 Turbo Expander 시스템 개발
- 수소액화용 Turbo Expander로 명시된 제품은 소개되지 않으나, 대표적 수소액화 시스템 생산업체인 Linde group의 멤버임 (2006)



[그림 185] 극저온용 Turbo Expander (Cryostar)

□ PBS (Prvni Brnenska Strojirna, 체코)



[그림 186] 극저온용 Turbo Expander (PBS)

- 헬륨을 이용한 소형 Turbo Expander 제작 판매
- 다이내믹 가스 베어링 적용
- 수냉식 eddy-current brake 시스템 적용
- 헬륨 유량 4~150g/s, 최대 회전수 350,000rpm, 입구 온도 10~100K
- Linde, Air Liquide, ACMI 등에 소형 Turbo Expander를 납품한 실적이 있음

(3) 특허 분석

□ 분석대상 특허

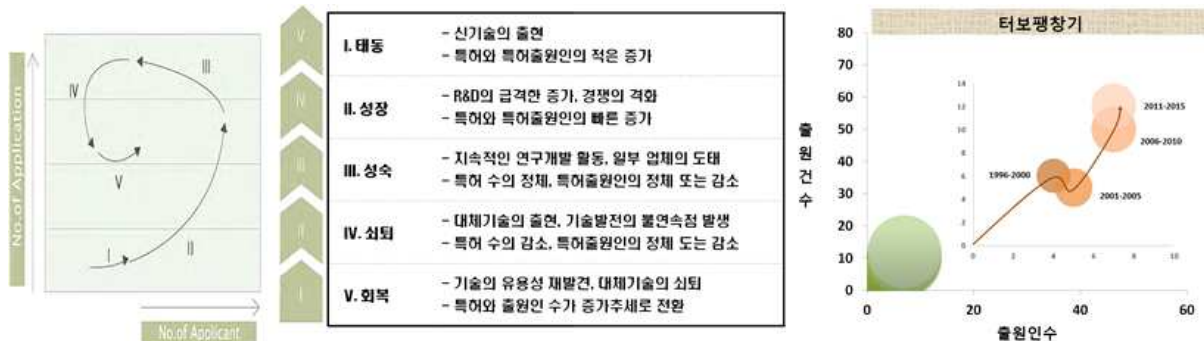
자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	~ 현재 (2018.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서
	중국			특허공개 및 등록 전체문서

□ 검색조건

- 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성함
- 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 특허 후보군 총 545건을 추출 후, 스크리닝을 거쳐 최종적으로 46건의 유효특허를 대상으로 분석을 수행

검색식	검색건수					
	한국	미국	일본	유럽	중국	합계
((터보* 터빈*) near10 (팽창기* 익스팬더* 팽창장치*)) and (수소* 액화* 극저온*) ((turbo* turbin*) near10 expander*) and (hydrogen* liquef* cryogenic*)	31	130	61	57	266	545
유효특허	6	9	15	2	14	46

□ 기술시장 성장 단계



[그림 187] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계

- 전체출원 중 최근 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 타나내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 확인함
- 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 구분하였음
- 포트폴리오로 나타난 터보 팽창기의 기술위치는 전체 특허 출원건수가 적어서 기술위치 분석의 타당성이 낮으나 성장기 단계로 판단됨

□ IP 부상도 분석

[표 104] IP 부상도 항목별 판단 기준표

출원증가율 <이전구간대비증가율>		출원 점유율 (해당기술/대분류 전체건)		특허 시장확보력 국가별 외국인 출원증가율 <이전구간대비증가율>		IP 부상도 종합결론 T = (X+Y+Z) / 3
(X)		(Y)		(Z)		
5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5
4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4
3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3
2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2
1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1

- 출원 증가율 (X) : 특허 출원 건수를 최근구간 5년과 이전구간 5년으로 나누어서 비교함으로써 각 기술의 최근의 기술투자 동향을 분석할 수 있음
- 최근구간 점유율 (Y) : 최근구간 5년의 특허 출원 건수를 전체구간의 특허 출원건수와 비

교하여 최근의 특허출원의 점유율을 비교함으로써 기술투자의 집중도를 살펴볼 수 있음

- 특허시장 확보력 (Z) : 해당국의 내외국인 출원점유율 변화를 살펴봄으로써, 최근구간에 외국인 출원변화를 통해 시장 확보력과 연구개발과제의 시장매력도를 살펴 볼 수 있음
- 수소액화용 Turbo Expander의 경우, 출원증가율 2점, 출원 점유율 3점, 특허 시장확보력 1점으로 IP 부상도 판단결과는 낮은 것으로 평가되었음

[표 105] IP 부상도 판단 결과

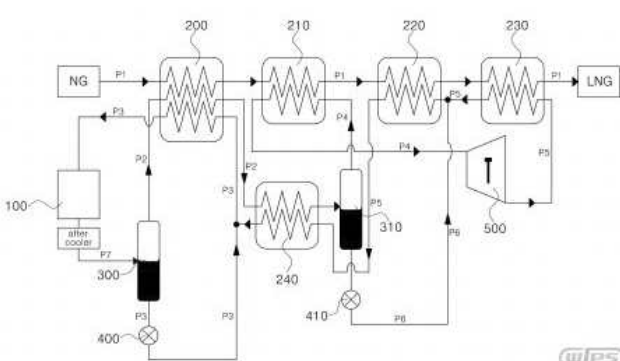
특허평가지표	평가점수				
평가기준 및 정의	1	2	3	4	5
수소액화용 Turbo Expander	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음

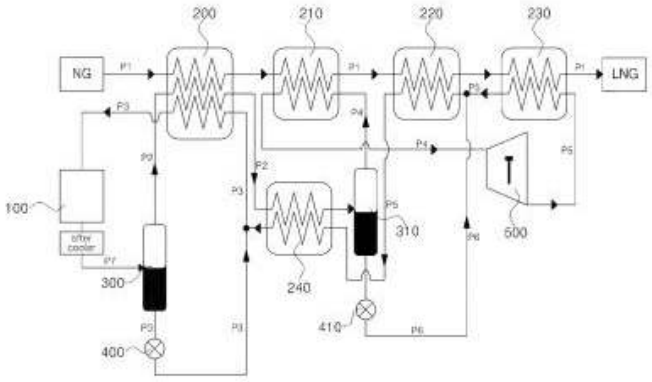
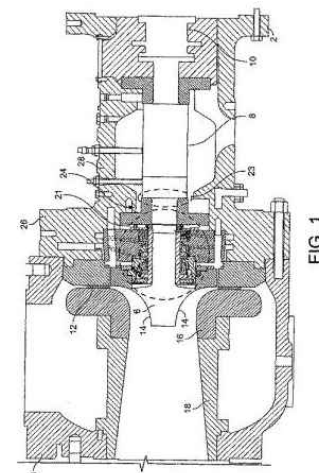
□ 소결

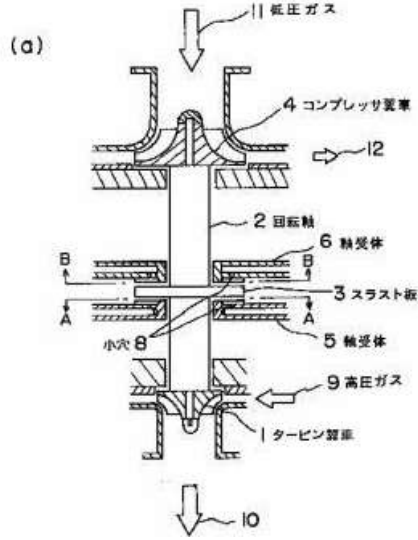
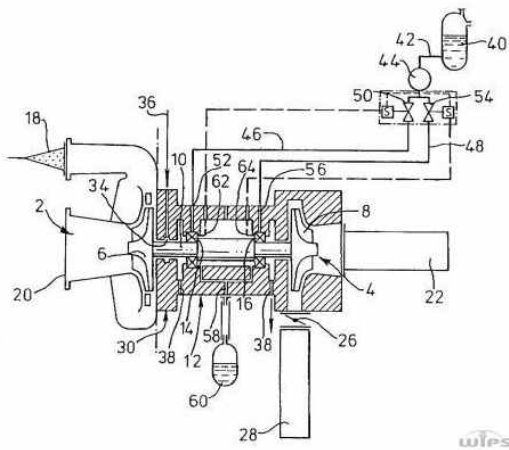
- 수소액화용 Turbo Expander에 대한 특허 분석 결과 기술시장 성장단계는 성장기이며 IP 부상도는 낮음으로 평가됨

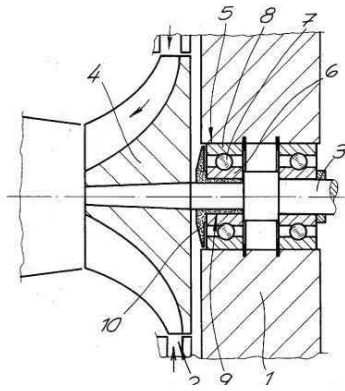
□ 수소액화용 Turbo Expander 주요 국내외 특허

[표 106] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허

개발사 (국가)	서지사항	그림
한국과학기술원 (KR)	Liquefaction cycle of natural gas using multi-component refrigerant expander and the Working Method (10-2008-0075165)	 터빈팽창기를 사용하는 혼합냉매 천연가스 액화 사이클장치 및 이에 따른 작동방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 혼합 냉매를 사용하는 천연가스 액화 시스템에 있어서, 최저 온도 팽창부에서 종래의 줄-톰슨 팽창밸브에 의한 교축과정을 터빈팽창기로 대체함으로써, 상기 터빈팽창기에 의해 전체 냉동 사이클의 효율을 높이고, 이를 위해 터빈팽창기로 유입되는 이상 상태의 냉매를 과열 증기상태로 만들기 위해 천연가스와 열교환 하는 사이클

개발사 (국가)	서지사항	그림
Korea Advanced Institute of Science and Technology (KR)	Natural gas liquefaction system with turbine expander and liquefaction method thereof (US 12/533357)	 A natural gas liquefaction system with a turbine expander is provided that can improve the efficiency of the whole refrigeration cycle by using the turbine expander, instead of the throttling process that uses the conventional Joule-Thomson throttling valve that is used as a final throttling means in a conventional natural gas liquefaction system, and a liquefaction method thereof. The natural gas liquefaction cycle provided with the turbine expander of the present invention comprises a compressor 100, at least one vapor-liquid separator 300 or 310, a plurality of heat exchangers 200, 210, 220, 230 and 240, at least one Joule-Thomson throttling valves (below to be called JT valve) 400 and 410, a turbine expander 500, and connecting lines composed of plurality of pipes P1, P2, P3, P4, P5, P6 and P7 to connect these components.
CRYOSTAR SAS (FR)	극저온 액체 팽창 터빈 (JP 2017-206983)	 극저온 액체 팽창 터빈은 회전축 8에 설치되어 있는 터빈 휠 6과 회전축을 위한 팽창 터빈 중에 팽창시키는 극저온 액체를 위한 적어도 하나의 반경 방향 입구 12와 회전축 8을 따르는 터빈 휠 6과 베어링 사이의 위치 건성 가스 밀봉 수단을 가지고 있다. 터빈 휠 6과 건성 가스 밀봉 수단 사이에 열적 배리어 부재가 설치되고 열적 배리어 부재의 상기 건성 가스 밀봉 수단 측에 가스실이 설치되고 당해 가스실로의 극저온 가스를 위한 입구가 마련

개발사 (국가)	서지사항	그림
MITSUBISHI HEAVY IND LTD (JP)	터빈 팽창기의 트러스트 베어링 (JP 1992-130072)	 극저온 발생용 등에 사용되는 터빈 팽창기에서 회전축에 설치된 영구자석(예를 들면 페라이트 자석 등) 제의 슬러스트판과 상기 슬러스트판을 지층하는 세라믹계 고온 초전도체재(예를 들면 Y,Ba,Cu,O를 성분으로 해 온도 100 K정도로초전도전 위치하는 것 등) 제 베어링체를 가지고 구성되는 것이 특징 극저온 발생용 등에 사용되는 터빈 팽창기에서 회전축에 설치된 영구자석제의 슬러스트판과 상기 슬러스트판을 지층하는 세라믹계 고온 초전도체재제로 상기 슬러스트판에 대향하는 면에 나선형 홈을 구비한 베어링체를 가져서 구성되는 것이 특징
Cryostar-France SA (FR)	Cryogenic turbo-expander (US 09/585739) (EP 2000-304581)	 A cryogenic turbo-expander has a rotary shaft which carries a turbine wheel and carries or is operatively associated with an energy dissipating device and which extends axially through a sleeve. Two sets of bearings, which are housed by two races surrounding the shaft, are axially spaced from one another. Each race has an aperture therein extending from an outer to an inner surface thereof communicating with a lubricating oil passage extending from an outer surface to an inner surface of the sleeve. Both races are arranged so that spent lubricating oil can pass therefrom to a common drain passage. The cryogenic turbo-expander additionally includes a reservoir for lubricating oil communicating with the aperture in the first race via an intermittently-operable metering pump and with the second race via an intermittently operable metering pump.

개발사 (국가)	서지사항	그림
ATLAS COPCO ENERGAS GMBH (DE)	Turbo expander for cryogenic uses (EP 2001-116417)	 An expansion turbine for low-temperature applications comprising a turbine stage (2) acted upon by a cold gas, a turbine wheel (4) arranged on a shaft (3) and a roller mounting of the shaft (3) lubricated with a minimal amount of oil or grease, wherein the roller mounting comprises a roller bearing (5) adjacent to the turbine stage (2), comprising a bearing inner ring (6), roller bodies (7) and a bearing outer ring (8) supported on the housing side; characterised in that an insulating bushing (9) made of engineering ceramic is arranged between the bearing inner ring (6) and the shaft (3), which thermally separates the bearing inner ring (6) from the cold shaft (3) and that the roller bearing compartment is sealed from the turbine stage (2) to prevent loss of lubricant and is thermally insulated, wherein the insulating bushing (9) has a disk-shaped shoulder (1) on the side of the turbine chamber or a disk made of engineering ceramic is arranged on the shaft (3).

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

□ 기술개발 방향

[표 107] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
Turbo Expander 개발 기술	설계 간극 유지	부품 제작 및 공차 관리
	극저온 조건 안정운전	극저온 설계 및 운전기술
Turbo Expander용 고속 베어링 개발 기술	베어링 윤활성능	베어링 설계 Thermal management 기술
	회전축 진동/안정성	고속회전체 설계 정밀 밸런싱 기술

(2) 세부기술별 상세내용

□ Turbo Expander 개발 기술 (세부기술 1)

○ 연구내용

- Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (0.5TPD)
- 레이아웃 및 부품 상세 설계 (0.5TPD)
- Turbo Expander 부품 제작 (0.5TPD)
- Turbo Expander 인테그레이션 및 작동성 시험 (0.5TPD)
- Turbo Expander 성능 시험 (0.5TPD)
- 스케일업 Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (5TPD)
- 레이아웃 및 부품 상세 설계 (5TPD)
- 부품 제작 및 인테그레이션 (5TPD)
- 스케일업 Turbo Expander 작동성 시험 (5TPD)

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (0.5TPD)					
레이아웃 및 부품 상세 설계 (0.5TPD)					
Turbo Expander 부품 제작 (0.5TPD)					
Turbo Expander 인테그레이션 및 작동성 시험 (0.5TPD)					
Turbo Expander 성능 시험 (0.5TPD)					
스케일업 Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (5TPD)					
레이아웃 및 부품 상세 설계 (5TPD)					
부품 제작 및 인테그레이션 (5TPD)					
스케일업 Turbo Expander 작동성 시험 (5TPD)					
예산(억원)	5	12	8	10	10

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 유량	kg/s	-	-	0.6 (시스템사양에 따름)
2 작동 유체 온도	℃	-200 이하	-	-200 이하 (시스템사양에 따름)

□ Turbo Expander용 고속베어링 개발 기술 (세부기술 2)

○ 연구내용

- 운전조건 및 베어링 사양 검토
- 축계 개념 설계 및 베어링 성능해석 (0.5TPD)
- 축계 상세 설계, 베어링 제작, 회전 시험 (0.5TPD)
- 구동 시험 및 설계 보완 (0.5TPD)
- 스케일업 축계 및 베어링 설계 (5TPD)
- 작동성 시험 및 설계 보완 (5TPD)

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
운전조건 및 베어링 사양 검토					
축계 개념 설계 및 베어링 성능해석 (0.5TPD)					
축계 상세 설계, 베어링 제작, 회전 시험 (0.5TPD)					
구동 시험 및 설계 보완 (0.5TPD)					
스케일업 축계 설계 (5TPD)					
작동성 시험 및 설계 보완 (5TPD)					
예산(억원)	1	3	2	2	2

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 회전축 진동	μm	-	-	10 이하

3. 세부 3 과제 : 수소액화용 극저온 열교환기 개발

가. 기술개발 배경 및 필요성

(1) 현황 및 문제점

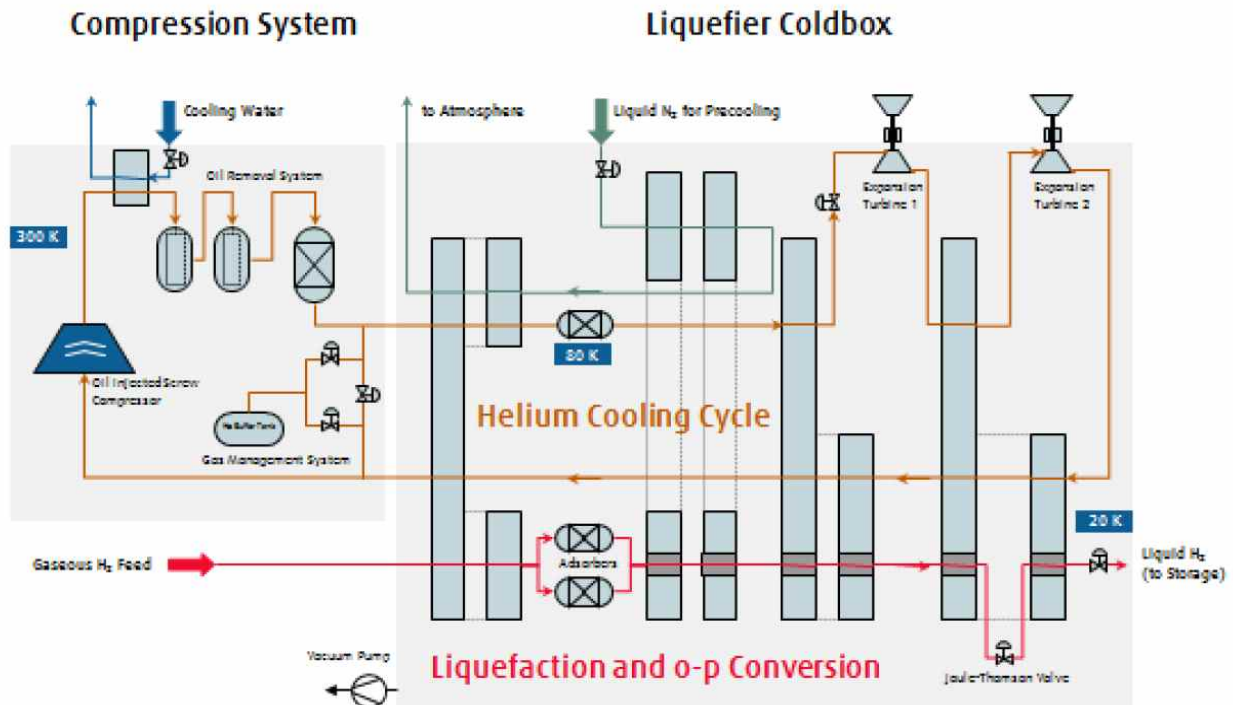
- ☐ 현재의 상황은 석유중심의 사회에서 다양한 친환경 에너지를 활용하는 사회로 변화를 시작하는 시기임
- ☐ 친환경 에너지의 주요한 대안 중의 하나인 수소는 항공 및 반도체등 일부분야에 사용되었으나, 앞으로 연료전지를 이용한 수소전기차, 가전제품, 및 친환경에너지원으로 폭발적인 수요 증가가 예상됨
 - 반도체 제작을 위한 클리닝 공정에 순도 99.999%의 기체수소가 요구되고 이를 위해 액체수소의 필요성이 증가됨
 - 환경문제로 인하여 전기차와 수소차가 대안으로 제시되고 있으며 정부차원의 수소충전소 보급 계획도 증가하고 있음
 - 이러한 수소의 이동, 저장을 위해 액체수소의 필요성이 증가하고 있으나 국내에서는 상용화 기술을 보유하지 못함
- ☐ 기술발전과 편리성으로 인해 자동차의 보급이 기하급수적으로 증가되고 있으며, 이러한 자동차에서 배출되는 오염물질로 인해 기후변화 및 대기오염 문제가 대두되고 있음
 - 자동차에서 배출되는 NOx (질소산화물), CO (일산화탄소), HC (탄화수소), PM (입자상 고형물질)뿐만 아니라 2차 오염물질인 미세먼지와 오존을 생성하기도 함
 - 이에 따라 세계 각국은 온실가스 배출 억제를 위해 자동차 분야 규제를 강화하고 있으며, 현재 사용되고 있는 가솔린, 중유 등의 화석연료를 대체할 에너지로 전기차와 수소차의 개발 및 상용화 개발을 가속화하고 있음
- ☐ 기존의 국내 수소충전소는 고압수소를 가스 상태로 저장하고 충전하는 형태이나 해외에서는 액체수소를 이용한 수소충전소들도 건설 중으로 파악됨

- 액체수소는 기체수소 대비 1/800의 부피를 가지며 저장 및 수송효율, 설치부지에서 많은 이점을 가지고 있음
- 수소충전소의 건설비용에서도 (250kg/day 이상) 액체수소 충전소가 저렴함
- 수소를 얻는 방법은 천연가스나 선탄가스화 등 화석연료를 개질하는 방법, 신재생에너지를 이용하여 전기분해하는 방법과 부생가스를 활용하는 방법이 있음
 - 현재 국내의 수소 생산은 부생가스를 활용하는 것이 대부분이나 수소의 사용량이 늘어날 경우 개질 및 전기분해 방법으로 별도 생산이 필요. 신재생 에너지를 이용하는 방법은 풍력 및 태양광을 이용하여 전기를 생산하고, 물을 전기분해하여 수소를 얻는 방법이 사용되나, 아직까지 에너지효율이 좋지 못함
- 앞서 기술한 바와 같이 수소의 사용량이 늘어나게 되면, 수소를 저장하고, 운송하는 방법이 큰 문제가 될 수 있는데 현재에는 고압의 기체 상태로 저장, 운송하는 방법을 활용하고 있지만 LNG와 같이 액화시켜서 저장 및 운송하는 방법이 효율적임
 - 수소를 기체 상태로 저장 운송하는 방법은 500bar 정도로 압축하여 고압용기에 저장하여 탱크로리 등을 이용해 운송하는 방법으로, 고압에 대한 위험성이 있고, 한 번에 운송할 수 있는 양도 적어서 경제성이 떨어짐
 - 수소를 액화하여 저장 운송하는 방법은 수소를 냉각시켜 액체 상태로 만들고, 1/800으로 줄어든 액화수소를 단열 용기에 저장하여 운송하는 방법으로 운송 및 저장 효율은 극대화되지만 액화시키는데 소요되는 에너지, 초저온 용기 및 단열작업에 대한 비용이 문제가 됨
 - 액화수소를 만드는 에너지량은 현재 11.9kWh/kgH₂ 정도이며, 이를 줄이는 것이 수소사회의 전환에 큰 걸림돌이 됨
- 수소액화플랜트의 주요 구성장비인 열교환기의 경우 PFHE (Plate Fin Heat Exchanger)가 적용되고 있는 것으로 알려져 있음
 - PFHE의 경우 ALPEMA 회원사에서 거의 시장을 독점하고 있으며 국내에서는 전용 브레이징 장비의 비용과 시장진입 장벽 (Engineering사가 공정과 열교환기를 함께 공급하거나 이미 해외 파트너사를 보유하고 있음) 등으로 인하여 국산화가 거의 이루어지지 않고 있음

- 수소액화플랜트용 열교환기의 경우 기존의 LNG플랜트에 비해 하기와 같은 어려움이 있음
 - 현재 LNG 플랜트 등 초저온 영역에 사용되는 열교환기 재질은 Aluminum 및 Stainless Steel이 사용되고 있고 LNG의 액화온도가 압력에 따라 $-170\sim-150^{\circ}\text{C}$ 내외이므로 특별한 검증 없이 사용이 가능하지만, 수소액화플랜트는 -253°C 영역에서 운전됨으로 별도의 Impact Test 등이 필요함
 - 통상적인 PFHE는 누설에 대해서 He 기준으로 1×10^{-3} mbar liter/s (ALPEMA 기준) 관리되고 있으나 분자량인 작은 수소의 경우 보다 엄격한 누설량 관리가 필요할 것으로 판단됨
 - 하지만 국내 규격의 경우 수소에 대한 관리기준이 전무한 상태라서 공인인증 등에 어려움이 예상됨
 - 수소액화 공정에서는 ortho 수소 ($o\text{-H}_2$)를 para 수소 ($p\text{-H}_2$)로 변환이 필요한데 공정에 따라 별도의 반응기를 이용하거나 열교환기 내부에 촉매를 충전하는 방법을 사용
 - 촉매 충진을 위해서는 Plate-Fin의 피치를 증가시켜야하고 열교환기 정확한 설계를 위해서는 열교환기 자체의 설계기술과 촉매 기술을 융합할 필요가 있음

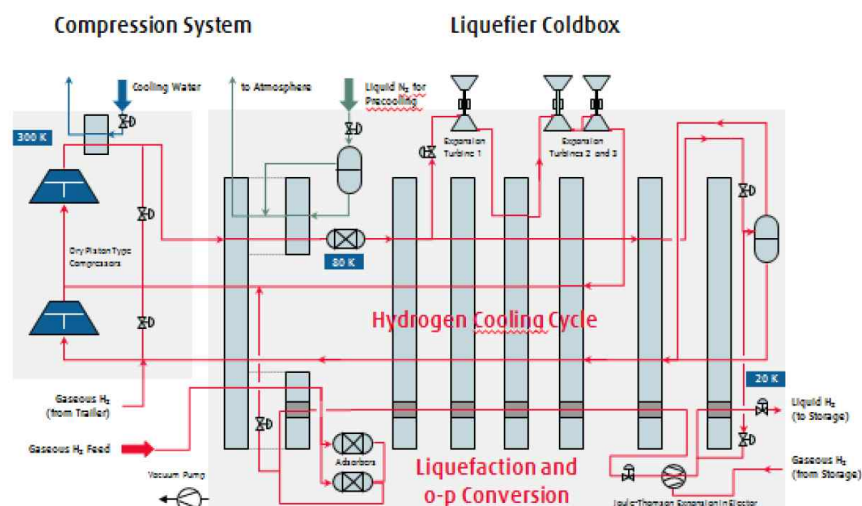
(2) 기술개발 필요성

- 현재 상용으로 사용되는 수소액화공정에는 크게 2가지로 분류할 수 있음
- Helium Brayton 사이클은 터빈의 팽창만으로 냉열을 얻는 시스템으로, 헬륨을 이용하므로, 비교적 저가의 오일 인젝트 스크류압축기를 사용할 수 있고, 비방폭 구성으로 시스템 구성이 가능함
 - 초기투자비가 작은 장점이 있지만, 반면에 효율이 낮아 운전비용이 크다는 단점이 있고 액화에너지 효율은 $12.3\sim13.4\text{kWh/kgH}_2$ 정도임
 - 주로 소용량 (3TPD) 시스템에 많이 채용되며, 운전비보다 초기투자비절약이 중요할 경우에 선호되는 공정임



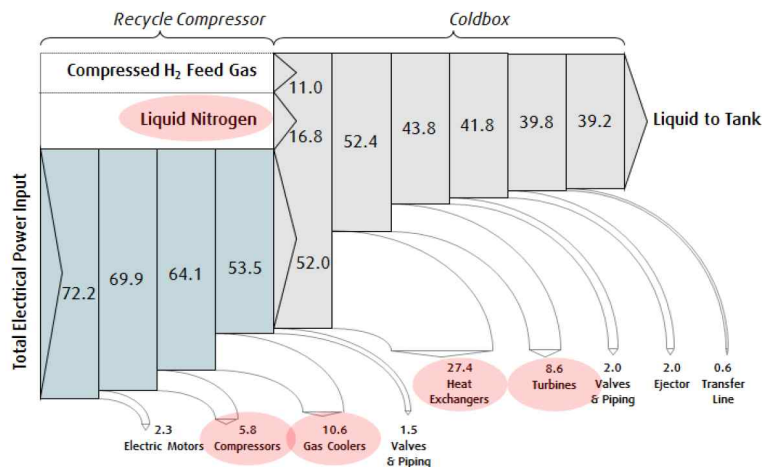
[그림 188] Helium Brayton Cycle

- Hydrogen Claude Cycle은 저전력의 리사이클 압축기를 사용하고, 팽창용 터빈과 줄 톱슨 밸브를 같이 사용하여 높은 에너지효율을 갖는 시스템으로, 냉열을 위해 수소 사이클을 이용하므로, 고가의 수소용 압축기와 방폭 사양의 시스템설계가 필요하여, 초기투자비가 높아지는 단점이 있으나, 높은 효율로 인한 운전비용이 낮아지는 장점이 있음



[그림 189] Hydrogen Claude Cycle

- 수소액화공정의 에너지사용의 엑서지 분석은 아래와 같으며, 에너지 효율향상을 위한 향후 개발방향을 유추할 수 있음
 - 재순환 압축기의 효율 향상이 전체 시스템의 효율 증대에 중요한 인자가 됨
 - 압축기 입구압력 저감을 위해 칠러를 이용한 Inter-stage cooling 및 After-cooling 의 도입으로 약 6% 에너지 절감이 가능
 - 수소의 역전온도 이하(80K)로의 예냉을 위해 액화질소를 사용하고, 남은 질소를 공기 중에 버리거나, 극히 일부만을 활용하는데 그치고 있음
 - 이를 재액화 사이클을 이용하면 10%정도의 에너지를 절약할 수 있음
 - 근처에 LNG 인수기지가 있을 경우, LNG의 기화열을 이용할 경우에는, 예냉을 위한 최적의 솔루션이 될 수 있음



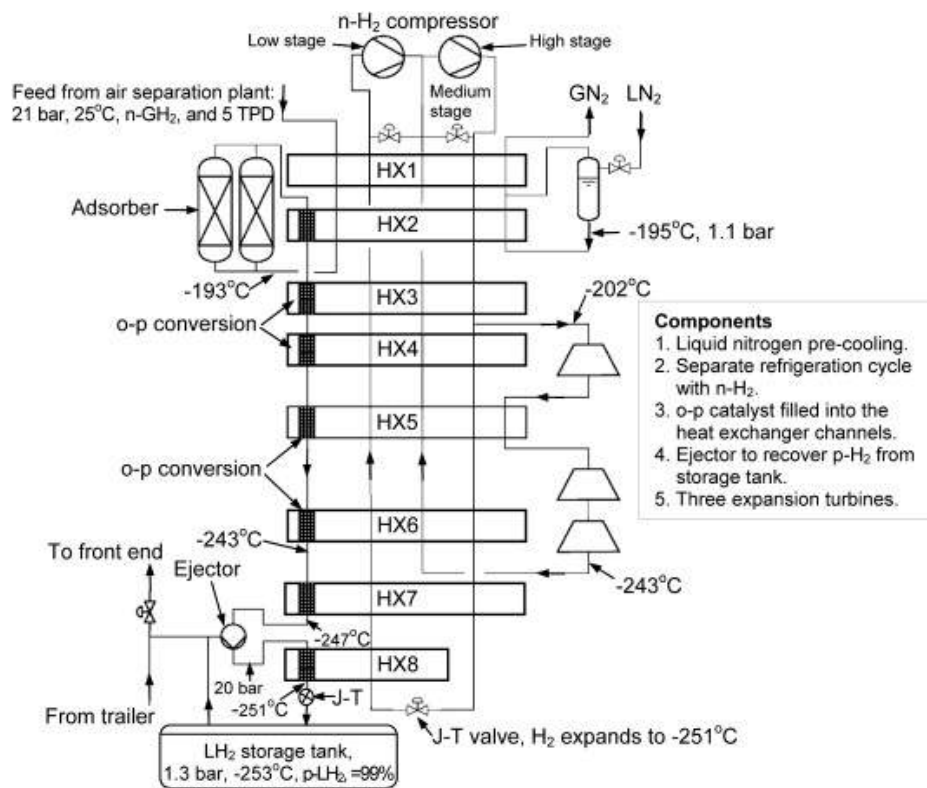
[그림 190] 수소액화의 엑서지분석

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

- 열교환기 상세한 설계는 기획중인 과제에의 큰 축인 공정 개발이 선행되어야 함
- 공정 개발 과정에서 열교환기의 제작성 고려 및 최적화가 필요하므로 유기적인 관계 형성이 필요함. 현재 사용 중인 해외 기술로 열교환기 기술개발 내용을 설명

○ LEUNA의 수소액화 사이클에 의하면 최소 8개의 열교환기가 필요함



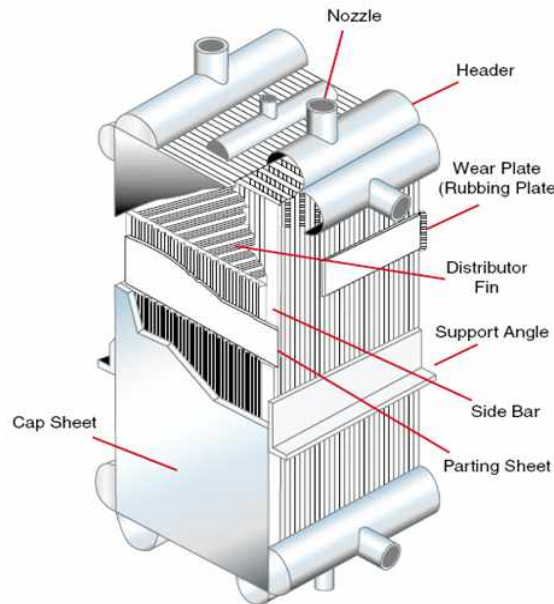
[그림 191] LEUNA 수소액화공정 (LINDE)

○ 해당공정에 사용되는 열교환기의 상세 내용은 다음과 같음

열교환기 명칭	Hotside	Coldside	Catalyst
HX1	H ₂ Feed, Refrigeration (H, M, L)	LN ₂	No
HX2	H ₂ Feed, Refrigeration (H, M, L)	LN ₂	Yes
HX3	H ₂ Feed Refrigeration (H)	Refrigeration(M, L)	Yes
HX4	H ₂ Feed Refrigeration (H)	Refrigeration(M, L)	Yes
HX5	H ₂ Feed Refrigeration (H)	1st Turbine outlet Refrigeration(M, L)	Yes
HX6	H ₂ Feed Refrigeration (H)	2nd Turbine outlet Refrigeration(M, L)	Yes
HX7	H ₂ Feed Refrigeration (H)	Refrigeration(L)	Yes
HX8	H ₂ Feed	J-T valve outlet Refrigeration(L)	Yes

□ 수소액화플랜트에 적용되는 열교환기는 통상적으로 PFHE가 사용되고 적용되는 재료는 주로 Aluminum이 사용됨

○ PFHE는 전용 진공 브레이징 로를 상용하여 제작하며 진공로를 사용하여 제작하며 구조는 다음과 같음



[그림 192] Plate-Fin 열교환기의 구조

□ PFHE의 주요 구성품은 Plate-Fin, Side Bar, Parting Sheet, Header & Nozzle임

○ Plate Fin은 다양한 형상의 적용이 가능하며 Plate Fin의 형상에 따라 고유의 특성을 가짐

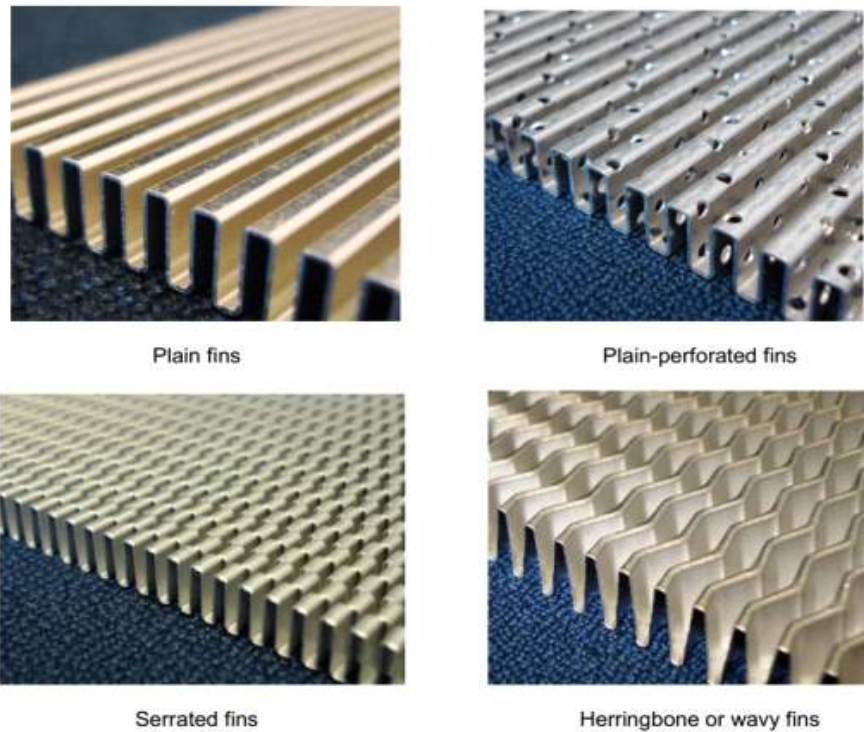
○ Plain Fin은 응축이 일어나는 영역에서 사용되며 다른 Fin에 비해서 낮은 열전달값과 압력강하를 보이지만 지속적인 응축수 배출이 용이한 구조임

○ Perforated fin은 주로 증발이 이어나는 영역에서 사용되며 유동이 균일하게 안정적으로 분포될 수 있음

○ Perforated Fin은 Plain fin에 다수의 구멍을 뚫어놓은 형태인데 이 구멍의 수에 따라서 열전달과 압력강하의 특성이 바뀜. Serrated fin은 주로 낮은 압력 영역에 위치하는 가스 유동에 대해서 높은 열전달 값을 가진다고 알려져 있으며, 열효율은 좋지만 형상의 복잡함에서 오는 압력강하와 제작비용 상승을 잘 고려해서 설계가 수행되어야 함

○ Wavy fin의 경우 Plain fin과 Serrated fin의 중간정도의 열성능 및 압력강하 값을 가지며

주로 단상에서 적용됨



[그림 193] Plate-Fin 열교환기의 구조

- Side Bar는 유체의 외부 누설을 막아주는 역할을 하며 높이는 Plate-fin과 동일하고 폭은 사용압력에 따라 결정됨
- Parting Sheet는 유체를 분리하는 역할과 함께 Plate-fin을 접합시키는 역할도 해야 하기 때문에 상업적인 공정에서는 주로 양쪽에 브레이징 삽입제가 Coating된 Clad Metal을 주로 사용함
- PFHE의 큰 특징은 일반 열교환기와 달리 Multi-Stream 적용이 가능하다는 점임
 - Shell & Tube 열교환기는 대부분 2개의 유체만의 열교환기 가능하지만 다양한 유체의 열교환을 구현할 수 있어 여러 대의 열교환기를 한 대로 제작하는 것이 가능
 - 상업적으로 최대 13 Stream PFHE가 사용되기도 함
- 상업적으로는 최대 사용 압력이 100bar 내외이며 최근에는 150 bar까지도 적용되고 있음

- PFHE는 브레이징 설비에 의해 최대 제작 사이즈가 결정되며, 일반적으로는 8m x 1.5m x 2.5m 정도의 제작 한계를 가지며 최근에는 10m 이상의 제품도 제작되고 있음
- 수소액화용 PFHE는 기존의 PFHE와 달리 반응기의 역할을 겸하고 있으므로, 일부 Stream에 촉매가 충전 되어야 하며, 이러한 촉매의 선정 및 설계는 열교환기 제작회사의 업무는 아니지만 정상적인 운전을 위해서 상호 협력이 필요
- Purification 유닛 후단의 열교환기는 입자상의 촉매가 충전 되어야 하며, 촉매가 Plate-Fin의 틈을 통과하여 자리 잡을 수 있도록 유의하여야 함
- 이러한 촉매의 충진을 위해서는 Plate-Fin의 pitch는 일반적인 PFHE에 비해 커야 하지만 Fin Pitch는 열교환기의 성능과 내구성을 결정하는 주요한 인자이므로 효율적인 Fin Pitch 선정이 필요함

(2) 기술개발 목표

- 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 고효율 수소액화 공정용 열교환기 기술 개발 (0.5~50 TPD)

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1	수소액화 플랜트용 열교환기 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5~50
2	실증 플랜트용 열교환기 시제품 용량	TPD	35	0.1	0.5
3	수소액화 플랜트용 열교환기 스케일업 시제품 용량	TPD	35	0.1	5
4	헬륨 누설량	mbarxliter/sec	상용화	1×10^{-3}	1×10^{-5}
5	재질에 대한 KGS 사전 인증	-	상용화	-	KGS 승인 획득

- (성능 지표 1) 수소액화플랜트용 열교환기 용량과 관련하여 공정 개발 및 상세 Spec.
 - 확정 전에는 열교환기에 대한 지표 설정이 어려움으로 기획단계에서는 플랜트 용량에 맞

는 설계로 한정하고 실제 과제 진행하면서 목표 설정

- (성능 지표 2) 실증 플랜트용 열교환기 시제품 용량과 관련하여 1번과 동일하게 공정 개발 및 상세 Spec.
 - 확정 전에는 열교환기에 대한 지표 설정이 어려움으로 기획단계에서는 계획된 시제품의 용량에 맞는 설계로 한정하고 실제 과제 진행하면서 목표 설정
- (성능 지표 3) 촉매 충전이 가능한 PFHE 최적설계와 관련하여 수소액화플랜트에서 요구하는 PFHE는 촉매 장입을 통한 반응기와 열교환기의 기능을 동시에 만족해야하므로 Lab Scale 성능시험을 통해 발생하는 문제점에 대한 사전 검증이 필요
 - 촉매 개발의 일정과 연계가 필요하며 가능하다면 Plate-Fin에 촉매를 Coating하거나 반응기를 열교환기와 분리하는 방안에 대해서도 검토가 필요할 것으로 판단됨
- (성능 지표 4) PFHE 누설량과 관련하여 기존의 ALPEMA Standard에는 He를 기준으로 하여 1×10^{-3} mbar $\times$ liter / sec를 만족하게 되어 있으나 수소의 분자량이 작으므로 일반 용접 배관에 대한 적용 기준인 1×10^{-5} mbar $\times$ liter / sec 이하를 만족하여야 할 것으로 판단
 - 실제 과제를 진행하면서 수소의 누설 조건이 확인되면 목표 변경이 필요
- (성능 지표 5) -253℃에 적합한 재질 선정 및 관련 법규 요구 만족과 관련하여 LNG 플랜트에서 사용되는 Aluminum이나 Stainless Steel의 경우 최저 사용온도가 -196℃ 도이고 이하의 온도에 대해서는 Impact Test 등 법령에서 규정하는 추가 검증이 필요

다. 국내외 기술개발 동향

- PFHE는 앞서 언급한 바와 같이 해외 선진사에서는 설계 기술을 가지고 있으나 국내에서는 아직까지 소형 열교환기를 제외하고 대부분의 경우 일본, 미국, 프랑스, 독일 등지에서 수입하고 있는 상황으로 열교환기 중에서도 설계 및 제작 난이도가 높은 열교환기 형태임

(1) 국내 기술개발 동향

- LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008. 6. 18 - 2018. 12. 31)

- 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트 기술 개발

- LNG (-162℃) 액화 공정 및 핵심기술 개발 과제으로써, 수소 (-253℃)를 액화 생산하는 ASU

기반 수소액화플랜트에 비해 온도가 높고 공정이 다르지만, 개발 기술을 보완하고, 연계하면 효율적인 기술 개발이 가능

- 열교환기의 경우 국내에서 최초로 PFHE (Plate-Fin Type Heat Exchanger)를 개발하였으며 100ton/day급 Test bed Train-2에 Design Pressure 76bar, Pneumatic Test Pressure 95 bar KGS 검사를 수행하고 설치되어 1차 LNG 시운전까지 완료
- Test bed Train-2에 적용된 PFHE는 총 7개의 Stream으로 구성되어 있고 수소액화플랜트에 사용되는 열교환기의 Stream이 5~6개가 최대인 점을 고려하면 Multi-Stream에 대한 대응은 가능할 것으로 판단됨

(2) 국외 기술개발 동향

□ Compact 열교환기에 대한 기술은 해외 주도로 개발되고 있음

□ 특히 Linde 등은 원천기술을 확보하면서, 글로벌 기술을 선도하고 있음

- Linde의 경우 PFHE를 이용한 LNG 플랜트, 산업가스제조플랜트를 직접 설계 및 제작하여, 가스판매 사업을 하고 있어, 전후방 사업을 통합
- PFHE의 주요 제작사와 특징은 다음과 같음

[표 108] PFHE의 주요 제작사 및 특징

기업명	주요 내용
	▶ 중소형 LNG Plant 및 엔지니어링 서비스 제공 - LNG Tank 및 생산, 운송, 판매 등에 대한 사업 진출 ▶ Cold box 10,000 Sets 이상 제작 경험 : 최대 압력 159BAR
	▶ PFHE의 소규모 시장에 집중 - Hamworhy와 파트너십 관계 : LNGC 재액화선 Cold box 공급
	▶ LNG 액화프로세스 라이선스 보유 - 비즈니스 모델, 프로세스에 대한 Naming - 20 LNG PLANT Project 수행 - 직접 가스 생산 및 제조, 판매 수행
	▶ PFHE 시장에서 주로 항공을 비롯한 고온용 시장에 집중 ▶ 화공 플랜트의 ASU 제작 경험 다수
	▶ 동아시아의 화공플랜트용 Cold Box 사업 집중 - 6,000 Sets 이상의 products 납품 (동아시아집중) - Ethylene Plant 및 Gas Processing Plant 사업

(3) 특허 분석

□ 분석대상 특허

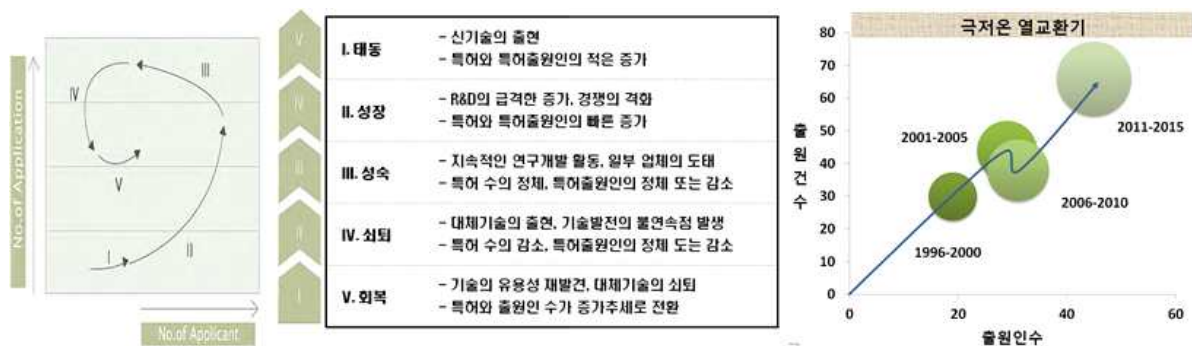
자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	~ 현재 (2018.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서
	중국			특허공개 및 등록 전체문서

□ 검색조건

- 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성함
- 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 특허 후보군 총 1,550건을 추출 후, 스크리닝을 거쳐 최종적으로 242건의 유효특허를 대상으로 분석을 수행

검색식	검색건수					
	한국	미국	일본	유럽	중국	합계
(열교환기* 기화기*) and (수소* 액화* 극저온*) and (F28*).IPC. ((heat* near3 exchanger*) heat-exchanger* vaporizer*) and (hydrogen* liquef* cryogenic**) and (F28*).IPC.	124	344	458	258	366	1,550
유효특허	16	51	75	34	66	242

□ 기술시장 성장 단계



[그림 194] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계

- 전체출원 중 최근 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 타나내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 확인함
- 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 구분하였음
- 포트폴리오로 나타난 극저온 열교환기의 기술위치는 1구간에서 2구간까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 3구간에서 출원인수는 증가하였으나 출원건수가 일시적으로 감소하는 추세를 나타내다가 4구간에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하는 경향을 보임. 기술시장의 성장단계는 성장기 단계로 판단됨

□ IP 부상도 분석

- 출원 증가율 (X) : 특허 출원 건수를 최근구간 5년과 이전구간 5년으로 나누어서 비교함으로써 각 기술의 최근의 기술투자 동향을 분석할 수 있음
- 최근구간 점유율 (Y) : 최근구간 5년의 특허 출원 건수를 전체구간의 특허 출원건수와 비교하여 최근의 특허출원의 점유율을 비교함으로써 기술투자의 집중도를 살펴볼 수 있음
- 특허시장 확보력 (Z) : 해당국의 내외국인 출원점유율 변화를 살펴봄으로써, 최근구간에 외국인 출원변화를 통해 시장 확보력과 연구개발과제의 시장매력도를 살펴 볼 수 있음

[표 109] IP 부상도 항목별 판단 기준표

출원증가율 <이전구간대비증가율>		출원 점유율 (해당기술/대분류 전체건)		특허 시장확보력 국가별 외국인 출원증가율 <이전구간대비증가율>		IP 부상도 종합결론 $T = (X+Y+Z) / 3$
(X)		(Y)		(Z)		
5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5
4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4
3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3
2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2
1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1

- 고효율 수소액화플랜트용 열교환기의 경우, 출원증가율 4점, 출원 점유율 3점, 특허 시장 확보력 5점으로 IP 부상도 판단결과는 높은 것으로 평가되었음

[표 110] IP 부상도 판단 결과

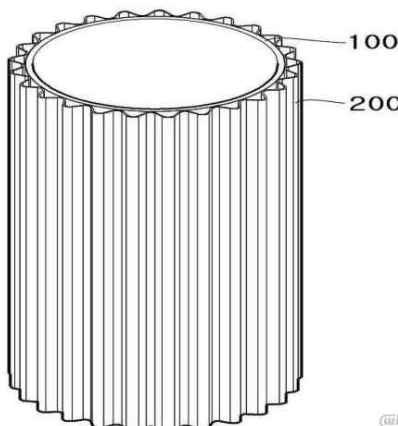
특허평가지표	평가점수				
평가기준 및 정의	1	2	3	4	5
고효율 수소액화플랜트용 열교환기	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음

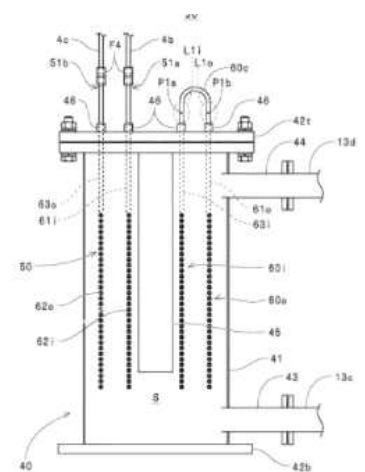
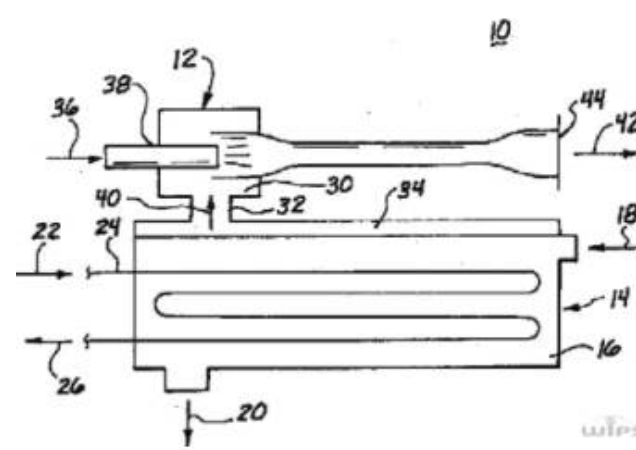
□ 소결

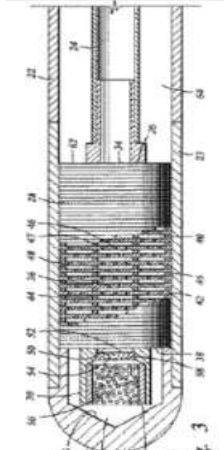
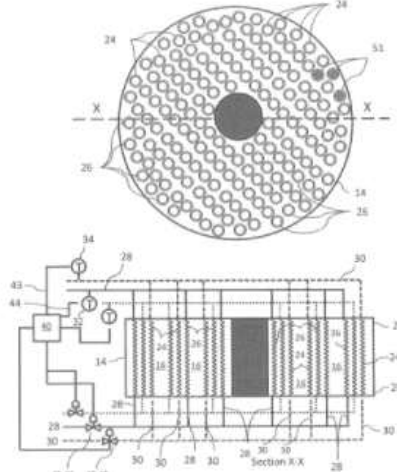
- 고효율 수소액화플랜트용 열교환기에 대한 특허 분석 결과 기술시장 성장단계는 성장기이며 IP 부상도는 높음으로 평가됨

□ 고효율 수소액화플랜트용 열교환기 주요 국내외 특허

[표 111] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허

개발사 (국가)	서지사항	그림
주식회사 아모그린텍 (KR)	Tubes for a reformer for hydrogen production or a heat exchanger (10-2008-0047644)	 제 1 금속관 및 상기 제 1 금속관의 외측을 둘러싸는 골과 마루가 연속적으로 형성된 금속 주름관을 포함하며, 상기 제 1 금속관과 상기 금속 주름관이 밀착되어 튜브의 하단부를 향한 유로를 형성하는 것을 특징으로 하는 수소 개질기 또는 열교환기용 튜브 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명의 튜브는 저렴한 비용으로 단시간 내에 제조되기 때문에 매우 경제적인 뿐만 아니라, 품질도 우수하다. 따라서, 본 발명에 의하면 이러한 튜브를 포함하는 고품질의 수소 개질기 및 열교환기를 매우 경제적인 가격으로 제공

개발사 (국가)	서지사항	그림
ORION MACH CO LTD (JP)	열교환기 및 수소 가스 냉각 장치 (JP 2016-161607)	 수소 가스의 통과가 가능한 관체가 나선형으로 감겨진 관체 권회부 62i, 62 o를 가지는 내측 전열 코일 60 i 및 외측 전열 코일 60 o와 열매체액의 통과 가능하게 통형으로 형성됨과 동시에 내측 전열 코일 60 i 및 외측 전열 코일 60 o가 수용된 용기체 40을 구비하고, 수소 가스와 열매체액이 용기체 40 내에서 서로 열교환 가능하게 구성된 열교환기로서, 관체로 구성된 연결부 60 c를 통해 내측 전열 코일 60 i 및 외측 전열 코일 60 o가 연결되어 수소 가스의 통과가 가능한 수소 가스 배관 50(수소 가스 유로)이 구성됨과 동시에, 수소 가스 배관 50의 수소 가스 도입부 51 a에서 수소 가스 배출부 51 b까지의 사이가 단면 용접에 의해 서로 연결된 복수의 관체하고 일체적으로 구성
BOEING CO (US)	유체 이젝터 부착 극저온 액체 열교환기 시스템 (JP 2000-053644) (US 09/262796)	 극저온 액체 열교환기 시스템(10)은 대기압 이하의 저장부(14)와 튜브와 이니셜 유체 이젝터(12)를 가진다. 대기압 이하의 저장부(14)는 진공 배기부를 가진다. 튜브는 저장부(14)를 통해 연장된다. 이니셜 유체 이젝터(12)는 저장부(14)의 진공 배기부에 기능적으로 접속된 흡인 챔버 입구를 가진다. 시스템(10)은 직렬 또는 병렬로 하나 또는 2개 이상의 배기부에 접속된 복수의 유체 이젝터(12)를 가질 수 있다. 이니셜 유체 이젝터(12)는 하나 또는 2개 이상의 가압 유체 흐름을 받아 유체 흐름은 스팀이라도 좋다

개발사 (국가)	서지사항	그림
Cryogen Incorporated (JP)	CRYOGENIC HEAT EXCHANGER (JP 2000-503378) (EP 1998-934171)	 극저온 프로브용 초소형 적층 열교환기 및 그 제조 방법. 열교환기는 시각에 의해 무산소동 시트(42) 중에 형성된 고압 및 저압 흐름 패턴(46,48)을 가지며, 이들 흐름 패턴은 난류를 촉진하도록 구부러진 통로이다. 흐름 패턴이 마련된 구리 시트(42)는 원통체(28)의 형태를 한 적층 조립체 상태로 접합되어 제1 단부에는 고압 입구 및 저압 출구가 설치되고 제2 단부에는 고압 출구 및 저압 입구가 마련된다. 고압 유로는 저압 유로의 옆에 들어서 위치하고 2개의 유로 중 흐름은 서로 역방향이며 그것에 의해 역류 방식 열교환이 달성된다. 유로 중 상당한 부분은 열교환기의 긴 방향 축선에 평행하거나 혹은 이것과 횡방향으로 위치하고 그 결과 얻어진 열의 흐름(열 이동)은 각각 본질적으로 반경 방향 또는 축방향이다.
LINDE AKTIENGESELLSCHAFT (DE)	Rebalancing a main heat exchanger in a process for liquefying a tube side stream (US 13/637992)	 A process for liquefying a tube side stream in a main heat exchanger is described. The process comprises the steps of: a) providing a first mass flow to the warm end of a first subset of individual tubes; b) providing a second mass flow to the warm end of a second subset of individual tubes; c) evaporating a refrigerant stream on the shell side; d) measuring an exit temperature of the first mass flow; e) measuring an exit temperature of the second mass flow; and, f) comparing the exit temperature of the first mass flow measured in step d) to the exit temperature of the second mass flow measured in step e), the process characterized in that at least one of the first and second mass flows is adjusted to equalize the exit temperature of the first mass flow with the exit temperature of the second mass flow.

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

[표 112] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
고효율 수소액화 공정용 열교환기 설계 기술	수소 액화용 PFHE 기본설계 경험 부재	Lab Scale Base 수소성능시험 혹은 헬륨성능시험 진행
	수소 액화용 PFHE 상세설계 경험 부재	열응력 해석 및 시편 Test 진행
	축매를 포함한 PFHE에 대한 경험 부재	Lab Scale Base 축매를 포함한 3 Stream이상의 열교환 특성 시험 진행
고효율 수소액화 공정용 열교환기 제작 기술	국내 설치를 위한 KGS 검사 경험 부재	-253도 Impact Test 가능 기관 수배 및 KGS 과제 참여 진행
	PFHE 수소 리크 경험 부재	He Leak Test에 대한 기준 정립 필요

(2) 세부기술별 상세내용

□ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 설계 기술

- 열전달 효율이 높은 PFHE(Plate Fin Heat Exchanger) 열교환기 재질, 형상, 구조설계
- 유동해석, 구조해석, 열응력 해석 등을 통해 초저온 유체환경에서 내구성 확보 설계
- Ortho-para 전환 축매의 충진을 고려한 PFHE 열교환기 구조 설계
- 실증플랜트 적용 및 상용화를 위한 스케일업 설계
- 고효율 수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 설계
- 시제품 제작 및 성능시험을 위한 국내규정(KGS) 검토 및 선행인증 (Impact Test 등)

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
수소액화 공정용 열교환기 해석 및 설계					
수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 설계					
시제품제작/성능시험을 위한 국내규정(KGS) 검토 및 선행인증					
예산(억원)	2	4	4	4	4

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 수소액화 플랜트용 열교환기 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5~50

□ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 제작 기술

- Lab Scale PFHE 제작을 통해 수소의 누설에 영향을 주는 요소 검증
- 수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 제작 및 성능시험 수행
- 헬륨을 이용한 누설 검증
- 0.5 TPD 실증플랜트 및 5 TPD급 수소액화 플랜트용 시제품 제작

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
0.5 TPD급 수소액화 플랜트용 열교환기 제작					
수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 구축					
수소액화 공정용 열교환기 성능시험					
PFHE Leak Test					
5 TPD급 수소액화 플랜트용 열교환기 시제품 제작					
예산(억원)	3	5	8	8	8

○ 성능지표

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1	실증 플랜트용 열교환기 시작품 용량	TPD	35	0.1	0.5
2	수소액화 플랜트용 열교환기 스케일업 시제품 용량	TPD	35	0.1	5
3	헬륨 누설량	mbarxliter/sec	상용화	1×10^{-3}	1×10^{-5}
4	재질에 대한 KGS 사전 인증	-	상용화	-	KGS 승인 획득

4. 세부 4 과제 : 수소액화용 Cold Box 개발

가. 기술개발 배경 및 필요성

(1) 현황 및 문제점

□ Cold Box는 수소액화기의 핵심 요소부품인 예냉기, 열교환기, 팽창기 등이 조합되어 공급된 수소의 냉각 및 액화가 일어나는 장치로 외부로부터의 열침입을 최소화하기 위하여 진공단열 구조로 되어 있음

□ Cold Box의 구성요소 및 부대설비로는 크게 예냉기, 열교환기, 터보팽창기, 흡착기, 각종 극저온 밸브 및 필터, 액화기의 제어와 모니터링을 위한 센서 (온도, 압력, 팽창기 회전속도 등) 및 계측기, 진공펌프 시스템으로 구성됨

□ 예냉기

○ 액화시스템의 효율을 증가시키기 위하여 액화시키기 위하여 공급되는 수소가스 (Feed) 및 수소냉각 사이클의 수소가스를 액체질소(77 K)나 LNG(110 K)와 열교환하여 온도를 낮춰서 액화기로 공급될 수 있도록 하는 장치

○ 수소의 액화량에 따라서 예냉에 필요한 액체질소나 LNG의 양과 열교환기의 크기가 결정

□ 열교환기



[그림 195] Aluminum Plate-Fin Heat Exchanger (Linde Engineering)

○ Feed 수소가스 및 수소냉각 사이클의 고압 측 수소가스를 팽창되어 냉각된 냉각 사이클의 저압 측 수소가스와 복열식 열교환하여 Feed 및 수소냉각 사이클의 수소가스를 팽창 전 냉각시키기 위한 열교환기로 주로 Aluminum plate-fin 열교환기가 사용됨

○ 수소가스의 Ortho-Para 변환을 위한 촉매가 열교환기의 Feed 가스 측에 설치되기도 함

□ 터보팽창기 (Turbo Expander)



[그림 196] Turbo-expander (Air Liquide)

○ 수소냉각 사이클의 고압 측 수소가스를 터빈을 돌려서 외부에 일을 하여 팽창시킴으로써 수소가스를 냉각시키는 장치, 유지보수를 위하여 Cold box에 카트리지 방식으로 장착됨

□ 극저온 흡착기 (Cryogenic Adsorber)

[표 113] 생산 액체수소의 순도

Component	Content
Para content	$\geq 98\%$
Purity	$\geq 99.999\%$
N₂	$\leq 4 \text{ ppm(v)}$
O₂+Ar	$\leq 1 \text{ ppm(v)}$
Carbon compounds (CO/CO₂/CH₄)	$\leq 1 \text{ ppm(v)}$
H₂O	$\leq 1 \text{ ppm(v)}$

○ Feed 수소가스와 수소냉각 사이클의 수소가스 라인에 설치되어 수소가스 내의 불순물을 흡착하여 제거하는 장치

○ 흡착물질의 승온 및 퍼징을 통하여 재생 가능하도록 흡착기가 구성되며 예냉기 후단에 설치됨

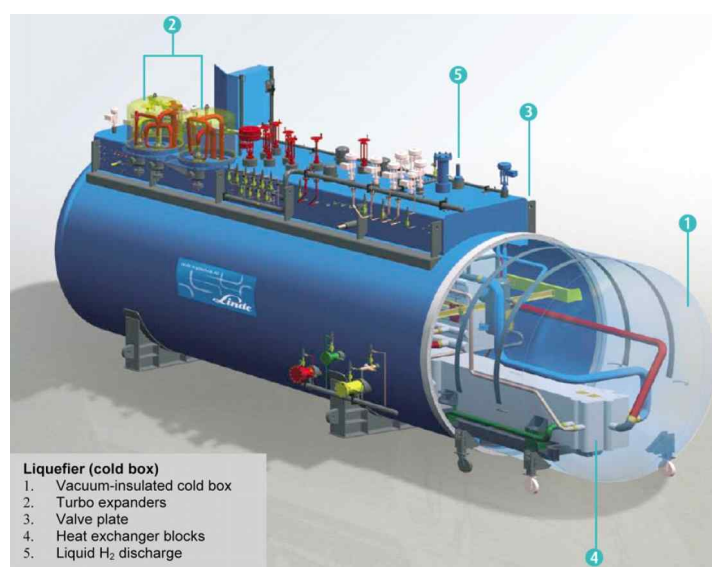
□ 진공펌프 시스템

- Cold box 내부는 단열을 위하여 10^{-5} mbar 이하의 진공도를 유지하여야 이를 위하여 Rotary vane pump와 Turbo molecular pump 혹은 Diffusion pump의 조합으로 진공펌프 시스템이 구성되어야 함



[그림 197] Vacuum pumping system (Air Liquide)

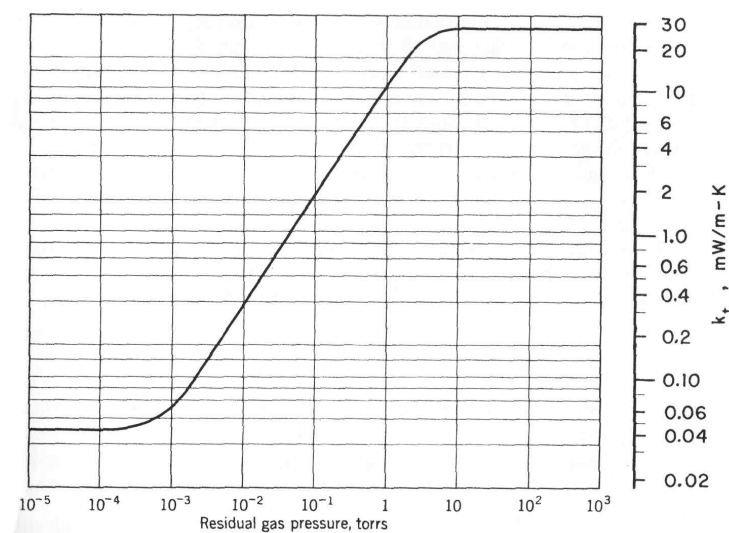
- Cold Box 내에서 각 구성요소들은 설계된 액화공정의 운전에 맞춰서 설치되며 외부 복사 열유입을 최소화하기 위하여 MLI (Multi-Layer Insulation)으로 감싸게 됨



[그림 198] Cold box (Linde-kryotechnik)

(2) 기술개발 필요성

- Cold box에서는 수소냉각 사이클에 따라서 고압 수소기체의 순차적인 팽창과정이 일어나며 이 때 발생하는 냉열을 이용하여 Feed 수소가스의 액화가 일어남
- 따라서 Cold box 내부의 열교환기를 비롯한 주요장치는 20 K부터 상온까지의 온도분포를 가지며 이에 따라서 Cold box 외부로부터 전도, 대류, 복사에 의해서 들어오는 열유입이 액화시스템 전체의 열부하로 작용하기 때문에 이를 최소화하는 것이 중요함
- Cold box는 Feed 수소가스와 생산된 액체수소 및 냉각 사이클을 위한 수소가스가 출입하며 액화공정의 운전 및 모니터링을 위한 각종 극저온 밸브, 센서류 등이 Cold box를 통과하여 설치됨
- 또한 Cold box 내부는 액화공정을 위한 주요장치들이 복잡하게 배관으로 연결되어 있음
- Cold box 외부로부터 대류에 의해서 들어오는 열유입을 줄여주기 위해서 Cold box 내부는 진공상태로 유지되어야 하며 특히 MLI (Multi-Layer Insulation)을 이용한 진공단열이 효과를 발휘하려면 Cold box 내외부의 복잡성에도 불구하고 최소 10^{-4} mbar 이하의 진공도가 유지되어야 함

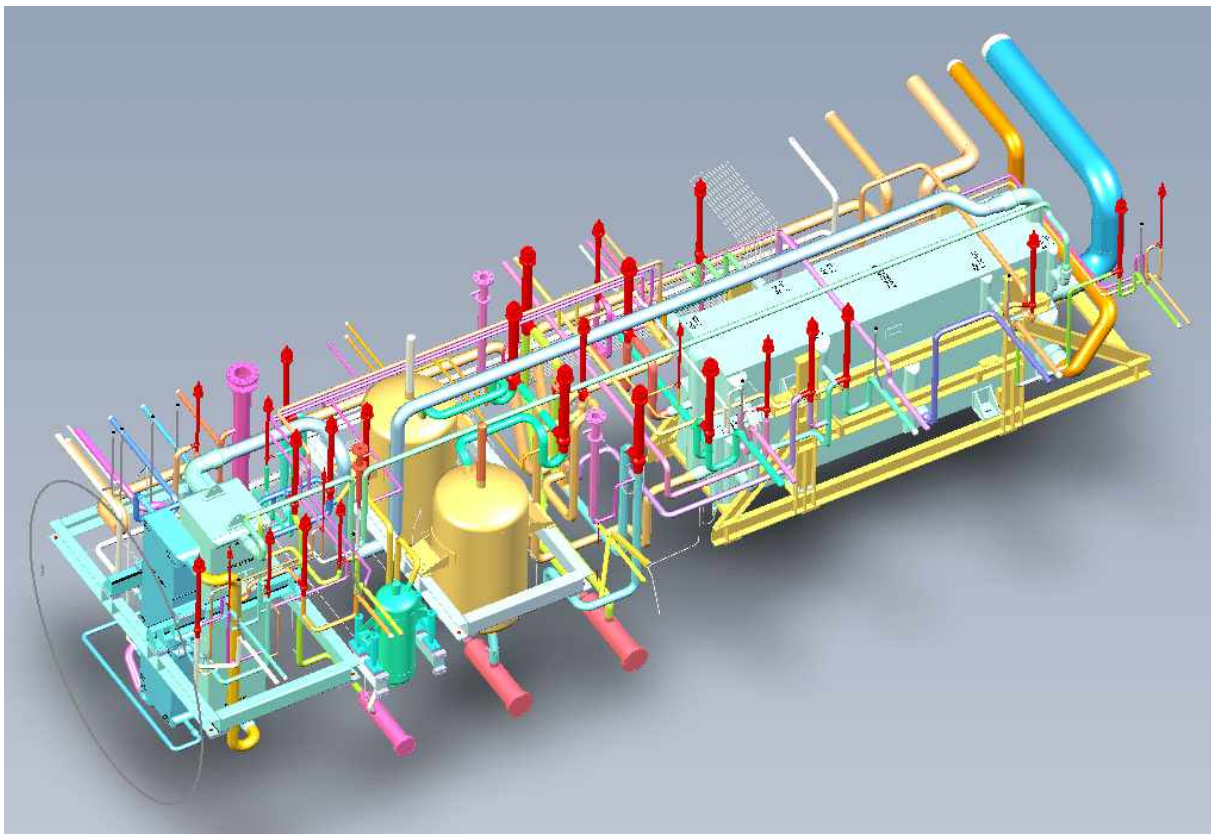


[그림 199] 진공도에 따른 평균 열전도 계수의 변화
(MLI density: 24 layers/cm, 경계온도: 300 K, 90.5 K)

- Cold box에는 열교환기, 터보팽창기, 극저온 밸브 등 주요장치 및 이들을 연결하는 배관들이 액화공정에 따라서 제한된 공간 안에 촘촘하게 배치되어야 하며 열전도에 의한 열유입을 최소화하고 온도 차이에 의한 열응력을 견딜 수 있는 cold box 구조를 갖추어야 함

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의



[그림 200] Cold box 내부구조

- 수소 액화시스템의 주요 구성요소인 예냉기, 열교환기, 팽창기, 극저온 흡착기, 극저온 밸브, 액화공정의 제어 및 모니터링을 위한 각종 센서들이 설치되어 수소의 액화가 일어나는 cold box에서 외부로부터 열유입을 최소화하는 단열기술
- 수소 액화공정에 사용되어 Cold box에 설치되는 주요 장치들을 주어진 공정에 따라 운전되도록 연결/배치하고 온도 차이에 의한 열응력을 고려하여 cold box를 설계하고 제작하는 기술

(2) 기술개발 목표

□ 5 TPD 급 수소액화 플랜트 Cold box 개발

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. Cold box 용량	TPD	54	0.01 ¹⁾	5
2. Cold box 운전온도	K	20	20 ¹⁾	20
3. Cold box 진공도	mbar	1×10^{-5}	1.3×10^{-5} ¹⁾	1×10^{-5}

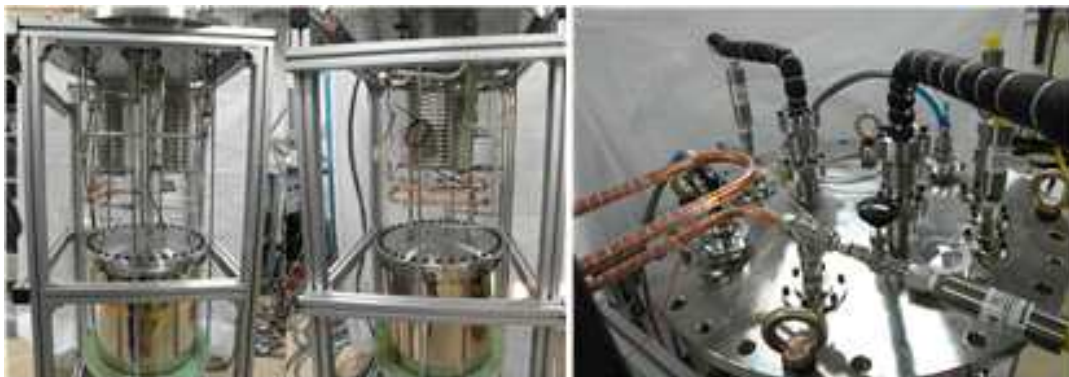
1) 실험실 규모

다. 국내외 기술개발 동향

(1) 국내 기술개발 동향

□ 국내에서 개발된 수소액화시스템의 cold box 용량은 0.5 - 5 liter/hr 정도로 실험실 규모에 머물러 있음

- 상용 극저온냉동기를 이용한 소형 수소액화시스템 (0.5 liter/hr) 및 5.5 liter 급 액체수소 저장용기 개발 (KIST, 1996-1998)
- 네온 냉각시스템(2차 냉각시스템)을 이용한 수소액화 시스템 (5 liter/hr) 구축 (KIMM, 2009-2011)



[그림 201] Pilot 수소액화시스템 및 콜드박스 (KIMM)

- 수소는 아니지만 관련된 연구로 LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008-2016)에서는 SMR (Single Mixed Refrigerant), C3MR (Propane precooled Mixed Refrigerant) 공정에 기반하여 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트 기술을 개발하고 압축기 및 cold box를 구성하는 열교환기 등 극저온 핵심 기자재 개발을 수행하였음
- (주)대성산업가스는 극저온 공기분리장치 (ASU) 개발을 통하여 2000년도에 국내 최초로 공기분리장치용 cold box를 국산화하였음
- 2014년에는 질소가스 기준 5,600 Nm³/hr. 용량의 공기분리장치를 건설하였고, 제작 중인 플랜트를 포함하여 총 12 기(국내 8 기, 국외 4 기)를 수주하였음



[그림 202] 극저온 공기분리장치 (대성산업가스(주))

- 한국기계연구원은 초전도 전력기기 (초전도 케이블, 초전도 한류기) 냉각시스템 개발을 통하여 액체질소 냉각용 cold box를 개발하였음
- 초전도 케이블 냉각시스템 개발 (2008-2011), 액체질소 순환냉각(70 K, 5 bar)을 통한 초전도 케이블 냉각(단상 154 kV, 100 MVA, 100 m)
- 초전도 한류기 냉각시스템 개발 (2011-2016), 액체질소 순환냉각(71 K, 5bar)을 통한 초전도 한류기 냉각(단상 154 kV, 2 kA)



[그림 203] 초전도 전력기기 냉각시스템 (KIMM)

(2) 국외 기술개발 동향

- ☐ 전 세계적으로 상업적으로 운전되고 있는 수소액화플랜트 cold box의 설계기술을 보유하고 있는 주요 제조사는 APCI (미국), Praxair (미국), Linde (독일), Air Liquide (프랑스) 등이 있음
- ☐ 수소액화 공정에는 주로 Precooled Claude 사이클과 헬륨 Brayton 사이클이 사용되고 있으며 액화용량 1 - 54 ton/day (TPD)의 수소액화플랜트가 건설 및 운전되었음
- ☐ 1960년대 초부터 1977년까지 미국에서는 아폴로 미션을 비롯한 미 항공우주국 (NASA)의 여러 미션 수행을 위해 수소 액화플랜트가 건설되었음
- ☐ 이후 수소 시장 형성으로 인해 북미 지역에는 5-34 TPD 규모 9기, 유럽에는 5-10 TPD 규모 4기 그리고 아시아 지역에는 상대적으로 작은 용량인 0.3-11.3 TPD 규모 11기의 수소 액화플랜트가 건설되었음⁶⁵⁾

[표 114] 전세계 수소액화플랜트 건설 및 운전현황

Country	Location	Operated by	Capacity (TPD)	Built year	Still in operation
America					
Canada	Sarnia	Air Products	30	1982	Yes
	Montreal	Air Liquide	10	1986	Yes
	Becancour	Air Liquide	12	1988	Yes
	Magog, Quebec	BOC	15	1989	Yes

65) S. Krasae-in, J. H. Stang and P. Neksa, "Development of large-scale hydrogen liquefaction processes from 1898 to 2009.", International J. of Hydrogen Energy, Vol.45, pp.4524-4533, 2010

	Montreal	BOC	14	1990	Yes
French Guyane	Kourou	Air Liquide	5	1990	Yes
USA	Painsville	Air Products	3	1957	No
	West Palm Beach	Air Products	3.2	1957	No
	West Palm Beach	Air Products	27	1959	No
	Mississippi	Air Products	32.7	1960	No
	Ontario	Praxair	20	1962	Yes
	Sacarmento	Union carbide, Linde Div.	54	1964	No
	New Orleans	Air Products	34	1977	Yes
	New Orleans	Air Products	34	1978	Yes
	Niagara Falls	Praxair	18	1981	Yes
	Sacramento	Air Products	6	1986	Yes
	Niagara Falls	Praxair	18	1989	Yes
	Pace	Air Products	30	1994	Yes
	Mcintosh	Praxair	24	1995	Yes
	East Chicago, IN	Praxair	30	1997	Yes
North America capacity sub total			300		
Europe					
France	Lille	Air Liquide	10	1987	Yes
Germany	Ingolstadt	Linde	4.4	1991	Yes
	Leuna	Linde	5	2008	Yes
Netherlands	Rosenburg	Air Products	5	1987	Yes
Europe capacity sub total			24.4		
Asia					
China	Beijing	CALT	0.6	1995	Yes
India	Mahendragiri	ISRO	0.3	1992	Yes
	India	Asiatic Oxygen	1.2	-	Yes
	Saggonda	Andhra Sugars	1.2	2004	Yes
Japan	Amagasaki	Iwatani	1.2	1978	No
	Tashiro	MHI	0.6	1984	No
	Akita Prefecture	Tashiro	0.7	1985	Yes
	Oita	Pacific Hydrogen	1.4	1986	Yes
	Tane-Ga-Shima	Japan Liquid Hydrogen	1.4	1986	Yes
	Minamitane	Japan Liquid Hydrogen	2.2	1987	Yes
	Kimitsu	Air Products	0.3	2003	Yes
	Osaka	Iwatani (Hydro Edge)	11.3	2006	Yes
	Tokyo	Iwatani (Linde)	10	2008	Yes
Asia capacity sub total			30.6		
Worldwide capacity total			355		

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

□ Cold box 단열설계 기술

- Cold box 내부의 수소 액화를 위한 주요 기자재는 수소가 액화되는 20 K까지의 극저온 환경에서 작동하기 때문에 상온으로부터의 전도, 대류, 복사에 의한 열유입을 최소화함으로써 액화시스템에 추가적으로 작용하는 열부하를 최소화할 필요가 있음
- 일반적으로 극저온 시스템에서 상온으로부터의 열유입을 최소화하기 위해서 진공단열, 열차폐체, MLI 등의 방법이 적용되고 있지만 국내에서 액체수소(20 K) 온도에서 운전되는 플랜트급 규모의 Cold box의 단열설계에 대한 경험은 부족한 실정임
- 5 TPD 급 수소액화 플랜트에 적용되는 cold box에서 외부로부터의 전도, 대류, 복사에 의한 열유입을 최소화 할 수 있도록 Cold box 단열구조의 설계 및 개발

□ Cold box 구조설계 및 제작 기술

- Cold box 내부는 예냉기, 열교환기, 팽창기, 극저온 흡착기, 극저온 밸브, 액화공정의 제어 및 모니터링을 위한 각종 센서들이 설계된 액화공정에 맞춰서 작동하도록 한정된 공간 안에 연결 및 배치되어야 함
- 또한 온도 차이에 의한 열응력에 견딜 수 있는 내부구조를 가져야 함
- 그 동안 ASU (Air Separation Unit), LNG 액화플랜트, 초전도 응용기기 냉각시스템 등의 개발을 통해서 국내의 cold box 설계 및 제작에 대한 기초기술은 개발되어 있지만 액화온도가 더 낮은 수소 액화시스템 (20 K)에 대한 cold box 설계 및 제작 경험은 액화용량 0.01 TPD 수준에 머물고 있는 실정임
- 기존의 대형 극저온 냉각 및 액화시스템의 cold box 설계 및 제작 기술을 바탕으로 수소 액화공정 및 조건을 반영하여 5 TPD 급 수소액화 플랜트용 cold box의 구조설계 및 제작 기술을 개발

[표 115] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
Cold box 단열설계 기술	소규모 이거나 액체수소보다 높은 온도에서 운전되는 cold box 단열설계 수행	기존 cold box 단열설계 기술을 기반으로 액체수소 온도의 대용량 cold box에 적용 가능한 단열설계 기술 개발
Cold box 구조설계 및 제작 기술	수소 액화용 대용량 플랜트 급 cold box의 구조설계 및 제작 경험부족	ASU, LNG 액화플랜트 등 개발되었던 대형 cold box 구조설계 및 제작 기술을 수소 액화플랜트에 적용 가능하도록 응용개발

(2) 세부기술별 상세내용

□ Cold box 단열설계 기술 (세부기술 1)

○ 연구내용

- 수소 액화플랜트 cold box 단열설계 자료조사 및 설계기술 분석
- Cold box 단열 개념설계
- Cold box 단열 기본설계
- Cold box 단열구조 상세설계 및 제작
- Cold box 단열구조 조립 및 성능시험

구분	세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
0.5 TPD급 수소액화기	Cold box 단열 개념설계					
	Cold box 단열 기본설계					
	Cold box 단열구조 상세설계 및 제작					
	Cold box 단열구조 조립 및 성능시험					
5 TPD급 수소액화 플랜트	상용급 cold box 단열 기본/상세설계					
	상용급 cold box 단열구조 제작 및 성능시험					
예산(억원)		2	3	5	5	5

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 Cold box 운전온도	K	20	20 ¹⁾	20
2 Cold box 진공도	mbar	1×10^{-5}	1.3×10^{-5} ¹⁾	1×10^{-5}

1) 실험실 규모

□ Cold box 구조설계 및 제작 기술 (세부기술 2)

○ 연구내용

- 대형 액화플랜트 cold box 구조설계 자료조사 및 분석
- Cold box 구조 개념설계
- Cold box 구조 기본설계
- Cold box 구조 상세설계 및 제작
- Cold box 성능시험

구분	세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
0.5 TPD급 수소액화기	Cold box 구조 개념설계					
	Cold box 구조 기본설계					
	Cold box 구조 상세설계 및 제작					
	소형 수소액화기(0.5 TPD)용 주요 기자재 조립					
	성능시험					
5 TPD급 수소액화 플랜트	상용급 cold box 구조 기본/상세설계					
	상용급 cold box 제작 및 성능시험					
예산(억원)		5	10	10	15	15

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 Cold box 용량	TPD	54	0.01 ¹⁾	0.5-5
2 Cold box 진공도	mbar	1×10^{-5}	1.3×10^{-5} ¹⁾	1×10^{-5}

1) 실험실 규모

5. 세부 5 과제 : 수소액화용 극저온 밸브 개발

가. 기술개발 배경 및 필요성

(1) 현황 및 문제점

- 극저온 밸브는 극저온 환경에서 가용될 수 있는 필수 부품 중 하나이고 인프라의 기술 조건을 충족하기 위한 고도의 신뢰성이 요구되는 요소 부품임



[그림 204] 극저온 밸브 구분

- 극저온 온도는 NBS⁶⁶⁾에 따른 정의에 의해 일반적으로 -150°C 이하의 온도영역을 지칭, 극저온기술은 산업 전반에 기초적인 기술로서 초고순도 가스정제, 급속냉각, 고진공, 항공 우주, 식품 공학, 통신, 유전공학, 의학 및 반도체 등의 첨단과학과 산업분야에 광범위하게 활용되고 있는 추세임
- 가스 정유 및 플랜트, 발전 시설에 필수적으로 사용되는 요소 중 하나인 밸브는 극저온의 특수한 분야에서도 필수 요소 부품으로서의 역할을 함
- 극저온 밸브는 극저온 플랜트 파이프라인에서 극저온 유체 흐름을 차단 및 제어하는 역할을 하는 동시에 과도한 압력 상승을 예방하는 필수 부품으로 사용됨
- 극저온 환경에서 사용 가능한 기술 조건을 보유하여야 하고 고도의 신뢰성 및 엄격한 품질조건을 갖추어야 하기 때문에 일반 밸브에 비해 20배 이상의 고부가 가치가 있는 부품임

66) NBS: National Bureau of Standards

- 극저온 제어 밸브는 크게 볼 밸브, 게이트 밸브, 버터플라이 밸브(butterfly valve), 니들 밸브, 체크 밸브로 분류되고 제어 방법에 따라 Control, Manual, Regulator 밸브로 구분되며 파이프라인 조건에 따라 2" ~ 24" 까지 다양한 규격으로 제작됨
- 극저온에서 사용될 수 있는 금속재료와 sealing 재료의 특성이 매우 중요한 요소임
 - 밸브 Body 부분에서는 SUS 계열, 특수 합금 등의 재료와 정밀 주물기술 등이 필요함
- 극저온 밸브는 극저온(-253℃) 영역에서 주로 다루어지기 때문에 극저온 영역의 특수한 사항을 고려해야 함
 - Sealing 및 packing 부분에서 기밀 성능을 낼 수 있는 고도의 기술이 필요함
 - 특히 극저온에서 수소 취성에 견딜 수 있는 재료의 선정과 최적의 설계 방안 도출이 필요함
 - 유체가 밸브 디스크를 통과하면서 발생하는 캐비테이션 손상을 방지 할 수 있는 디스크 설계 방안 강구
- 아직 상용화되지 않은 극저온 액체수소 밸브는 명확한 기준이 존재하지 않기 때문에 극저온 밸브와 같은 성능지표를 나타내며 액체수소의 특징을 고려한 기술은 정성적 요인으로 고려
- 극저온 밸브 기밀특성 평가의 경우 업체 자체적으로 제작하여 활용하고 있음. 이에 대한 신뢰성 확보를 위해서 seal 인증 및 인정 시스템 등을 확립하여 인증을 받을 수 있는 체계를 갖추는 것이 필요함

(2) 기술개발 필요성

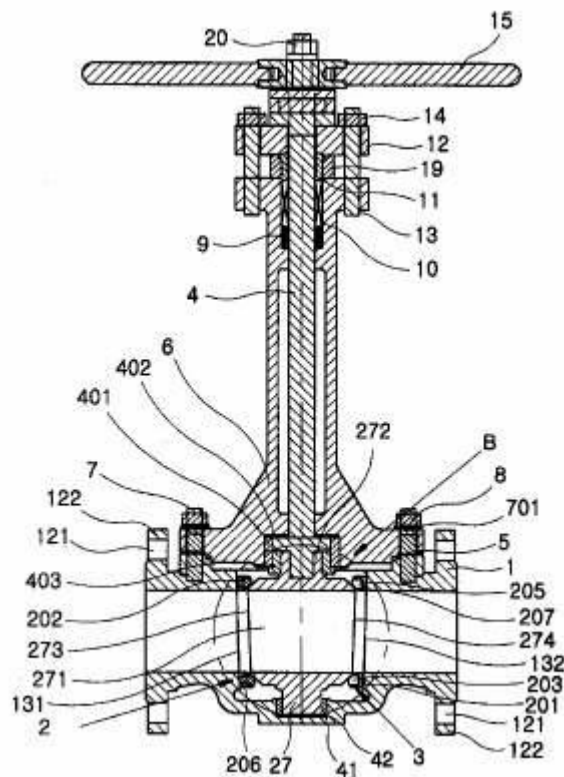
- 액체수소 밸브 기술개발
 - 기존 LNG 용 밸브보다 -253℃ 이하의 액체 수소 등에 활용되는 극저온 밸브는 더욱 혹독한 저온 환경에서 그 성능을 발휘해야하기 때문에 packing 및 seal 등의 특별한 설계 기술이 요구되며 또한 극저온에서 뛰어난 소재를 활용한 밸브 stem 설계 기술 개발이 필요함
 - 액체수소 밸브는 일부 2중 구조의 특별한 형상 설계를 한 국산화 개발 사례는 있으나 인증 및 신뢰성 부족으로 인하여 상용화 되지 않음

- 현재 초저온 밸브에 대한 기술 개발은 LNG용 밸브개발이 주류를 이루고 있고 많은 개발 사례들을 보이고 있음. 한국기계연구원에서도 2011년 극저온 메탈시트 버터플라이밸브 개발을 성공적으로 수행한 바 있으며 관련 기술개발 노하우를 바탕으로 액체수소 밸브 개발에 착수하려고 함

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

- 극저온 액체 수소 밸브는 임계온도가 -253°C 이하의 액화가스를 액체 상태로 운반, 저장하고 기화기 또는 별도 기화 설비를 통해 기체상태의 가스를 요구하는 압력, 온도, 유량으로 공급하는 필수 요소 부품임
- 액체수소 등에 활용되는 극저온 밸브는 LNG 등에 사용되고 있는 초저온 밸브보다 더욱 혹독한 사용 환경인 -253°C 이하의 저온에서 그 성능을 발휘해야하기 때문에 packing 및 seal 등의 특별한 설계 기술이 요구되며 또한 극저온에서 뛰어난 소재를 활용한 밸브 stem 설계 기술 개발이 필요함



[그림 205] LNG 극저온 밸브

(2) 기술개발 목표

- 극저온 환경에서 액체 수소 특성을 고려한 정성적 정량적 성능지표를 달성하고 수소 스테이션용 요소부품으로서 밸브의 성능을 발휘할 수 있는 밸브의 설계기술 개발

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. 작동온도 범위	K	15	77	15~20
2. packing 및 seal 개발	-	Nitrogen 온도에서 zero leakage	Nitrogen 온도에서 zero leakage	액화 수소 온도에서 zero leakage
3. 유량	TPD	5	5	5
4. 밸브 구조 및 유동 S/W	-	-	-	S/W 저작권 등록

- 극저온 액체수소 밸브의 정량적 사양설계 방안

- 극저온 액체수소 밸브의 설계기술은 정형화된 해석 기법 부재로 업체 고유의 해석 기법을 사용하고 있으며 이를 설계로 적용하는 바, 신뢰성 있는 해석 기법을 토대로 설계에 적용하여 설계기술을 마련하는 것을 목표로 함
 - 밸브 구조 해석에 사용되는 열 변형 모델링 기법은 Von Mises 변형 모델을 대체적으로 사용하고 있으나 해석 결과에 대한 검증은 부재
 - 유동 해석 시 해석에 필요한 절대적인 개발 내용 중 가장 중요한 부분은 최적화된 난류 모델링 기법 개발임. 하지만 지금까지 극저온 밸브를 대상으로 개발된 모델링은 전무함
 - 난류유동 해석 시 적용된 난류 모델링은 two equation 모델을 기반으로 한 변형 모델링 사용하고 있는 실정, 밸브 규격 및 구조에 따른 Turbulence Reynolds stress 모델링 기법 개발 등에 대한 기술 개발 필요
 - 밸브 seal 제작 및 설계 기술은 극저온 밸브를 대상으로 소수의 업체에서 개발을 시도하고 있음. 하지만 정형화된 검증 기법의 부재로 seal 인증 및 검증 관련 기술 개발이 필요함
 - Stem trim 같은 경우 극저온용 밸브용 trim을 적용 응용하여 개발내용은 쉽게 달성 가능하다고 판단됨
 - 토크 성능시험 개발은 디스크 개폐정도에 따라 디스크 반경부의 토크량을 파악하여 밸브 디스크 설계에 필요함
 - 온도, 압력 측정 기법 개발은 밸브 후단부 거리에 따른 유동 특성 분석 파악을 위한 부분임, 관련 성능 시험 절차서 및 시험 방법 기법 개발을 통해 성능 인증을 도모하고자 함

다. 국내외 기술개발 동향

(1) 국내 기술개발동향 및 특허 분석

□ 기술개발동향 분석 : NTIS DB (www.ntis.go.kr), 키워드 분석, 2002~2018년

[표 116] NTIS 유사과제 연구개발동향 분석결과 (2002~2018년)

키워드	건수	연구수행기관	비고
극저온&밸브	18	(주) 성일하이테크, (주) 에이스브 이 외 두진 외 12 기관	LNG 운반선용 밸브 포함
초저온&밸브	12	(주) 서광공업, (주)조광이이엘아이 외 10 기관	LNG 운반선용 밸브 포함
극저온&밸브&표준	1	(주) 서광공업, (주)조광이이엘아이	
수소&밸브	5	(주) 대정밸브 외 4곳	인증 기술 분야 포함

- 연구개발동향 분석 결과 1 : Top Entry 방식의 고압용 초저온 볼 밸브 개발 (2005~2008년)
 - 과제수행기관: 서흥금속(주)
 - 과제고유번호: 1415090974
 - 총 연구비: 949.00 백만원
 - 총연구기간: 2005-06-01 ~ 2008-12-31
 - 연구책임자: 김종호
- 연구개발동향 분석 결과 2 : LNG 운반선용 극저온 Ball Valve 및 그 시스템 개발 (2006~2009년)
 - 과제수행기관: (주)세일세레스
 - 과제고유번호: 1410046030
 - 총 연구비: 450.00 백만원
 - 총연구기간: 2006-12-01 ~ 2009-09-01
 - 연구책임자: 윤태협, 참여연구원: 강창원, 김명호 외 33명
- 연구개발동향 분석 결과 3 : 해양플랜트 Topside 프러세싱 시스템용 극저온/고압/대용량 제어밸브 개발 (2013~2015)
 - 과제수행기관: 엠티에이치콘트롤밸브
 - 과제고유번호: 1415137472
 - 총 연구비: 735.85 백만원

- 총연구기간: 2013-06-01 ~ 2015-04-30
- 연구책임자: 김경권 등

○ 연구개발동향 분석 결과 4 : 적층시트 및 삼중편심을 갖는 극저온용 버터플라이밸브 기술 개발 (2016~2018)

- 과제수행기관: 세진밸브공업(주)
- 과제고유번호: 1415149606
- 총 연구비: 226.95 백만원
- 총연구기간: 2016-07-01 ~ 2018-06-30
- 연구책임자: 이정진, 참여연구원: 곽효서, 김다정 외 5명

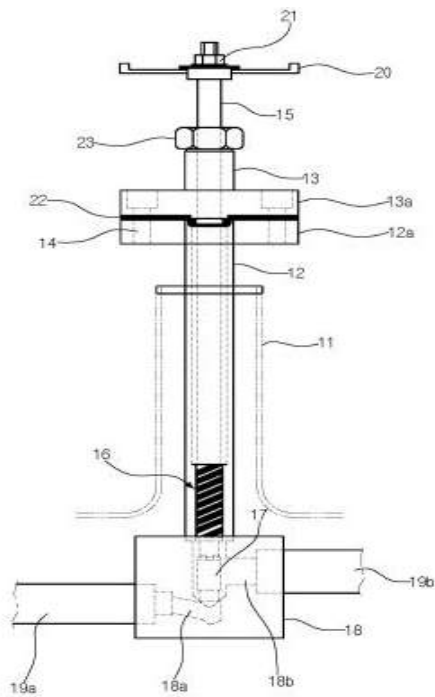
○ 연구개발동향 분석 결과 5 : 극저온 (-50℃)에너지 이송, 에너지 플랜트, LNG 선에 사용되는 Class600 급 초저온 (-196℃)-고압 (100bar) 고차압 (ΔP 90%) 버터플라이 밸브 개발 (2017~2019)

- 과제수행기관: (주)시퍼스파이프라인
- 과제고유번호: 1415152994
- 총 연구비: 380.00 백만원
- 총 연구기간: 2017-06-01 ~ 2019-12-31
- 연구책임자: 설창호, 참여연구원: 이철민, 이준규, 장재훈, 정상도

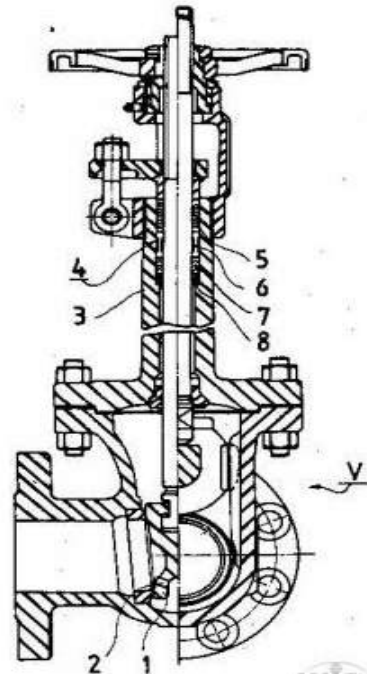
□ 특허분석 : 국내특허, 위스 DB(www.wipson.com), 서지+요약+전체청구항

○ 검색조건 : (극저온 + 초저온) & (밸브)

- 총 136건(중복 포함)의 특허가 검색
- 특허의 내용으로는 주로 ‘극저온 냉동기 밸브, 액체 로켓 추진 기관시험용 밸브, LNG 운반선의 밸브 제어 시스템’ 등으로 대부분이 시스템 내부 모듈로서의 역할에 대한 특허
- 극저온 밸브 단독 요소를 대상으로 한 특허는 ‘극저온 밸브(A Cryogenic Valve), 조광아이엘아이주식회사, 10-0978061’ 등 3건이 존재, Degassing outlet이 없고 토출밸브를 단열 자켓으로 감싸고 있는 구조
- 가스수소를 압축기를 통해 고압충진해주는 시스템으로 ‘고압 수소 가스 충전 시스템 및 그 고압 수소 가스 충전 방법, 10-2015-0004055, 광신기계공업(주)’ 에 관한 특허 1건이 존재, 가스수소를 가압하는 과정에서의 압력 불균형을 방지하여 안정적으로 가스수소를 충전하는 시스템



[그림 206] 국내 극저온 밸브 특허 대표도

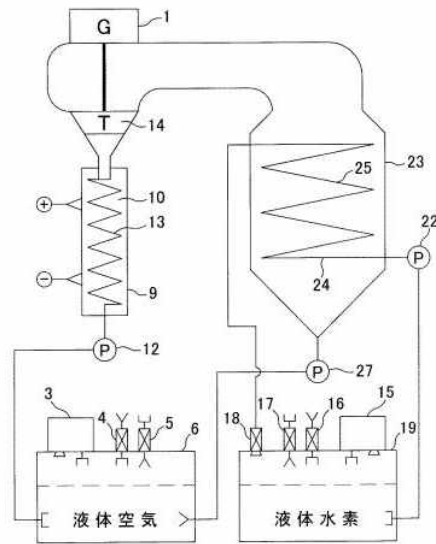


[그림 207] 국내 극저온 고압 펌프 특허 대표도

(2) 국외 특허 및 기술개발 동향 분석

□ 액체수소 밸브 및 시스템(액체 수소를 냉매로 이용한 액화 재생 발전 시스템)

- 냉열 에너지를 이용하는 랭킨 사이클 발전 시스템에 있어서 탱크 A에서 주입한 액체 공기를 작동 유체의 고압 펌프로 가열 팽창실에 설치된 전기 에너지의 통전으로 열에너지를 발생시킨 금속 축열체의 열 교환 유로로 압송하여 승온 팽창한 기화 공기는 발전용 터빈과 그 발전기를 고속 구동시키는 구조
- 냉매 유체의 고압 펌프로 냉각 응축실에 설치된 열교환기의 열 교환 튜브로 압송시키고 극저온의 냉열 에너지를 발생시킨 열교환기와 열 교환으로 발전용 터빈에서 배기한 저온의 기화 공기를 초저온의 액체 공기에 냉각 액화하여 펌프로 보냉 탱크 A의 액화층에 액체 공기를 돌려보내는 사이클
- 발전용 터빈에서 배기한 저온의 기화 공기와 열 교환으로 열 교환 튜브 내에서 승온한 초저온의 기화 수소를 팽창 밸브로 압송해 팽창 밸브의 팽창 감압 냉각 작용으로 보냉 탱크 B의 기화층으로 액화한 극저온의 액체 수소를 액화층으로 돌려보내는 사이클을 특징으로 하는 액체 공기와 액체 수소를 이용하는 발전 시스템



[그림 208] 극저온 액체수소 밸브 및 시스템

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

□ 극저온 수소 밸브 개발을 위한 요소기술로는 극저온 수소 밸브 설계 기술, 극저온 수소 밸브 seal 제작 및 설계 기술, 극저온 수소 밸브 성능 시험 및 인증 획득으로 구분하였으며 이에 대한 기술 개발 방향 및 상세 내용은 아래와 같음

[표 117] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
1. 극저온 수소 밸브 설계기술	최적화된 밸브 구조 해석 방법 부재	열 수축 관련 변형 및 밸브 구조 모델링 기법 개발
	최적화된 밸브 유동 해석 방법 부재	난류 모델링 등 유동 모델링 기법 개발
	극저온(-253℃) 물성치 D/B 부재	선정 재료 물성치 적용 구조/유동 해석, 밸브 설계
	표준화된 모델링 기법	유동 및 구조 s/w 저작권(라이선스) 등록
2. 극저온 수소 밸브 seal 제작 및 설계 기술	Packing 저온 재료	Packing 재료 선정 및 저온 시험
	Seat 구조	Seat 구조 설계
	Stem Trim 설계	극저온 수소 온도 작동 가능한 Stem Trim 설계
	성능 시험	Packing 성능 시험
3. 극저온 수소 밸브 성능 시험 및 인증 획득	인증 규격/방법	ANSI/ISO/EN 규격 인증 방법
	토크/고압/저온 감지	Torque, 온도 및 압력 측정 방법
	성능 시험	밸브 성능 시험 절차서
	성능 시험	밸브 성능 시험 결과
	인증 규격/방법	극저온 수소 개발 성능 인증

(2) 세부기술별 상세내용

□ 극저온 수소 밸브 설계기술 (세부기술 1)

○ 연구내용

- 밸브 구조 해석 기법 개발
- 밸브 유동 해석 기법 개발
- 선정 재료 물성치를 적용한 구조 및 유동 해석, 밸브 설계
- 극저온 밸브 제작
- 극저온 밸브 성능시험
- 개발 S/W 저작권 등록.
- 극저온 밸브 Scale-up 설계
- 극저온 밸브 제작 및 시험

세부연구내용		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
소형 수소액화기 (0.5 TPD)	밸브 구조 해석 기법 개발					
	밸브 유동 해석 기법 개발					
	선정 재료 물성치를 적용한 구조 및 유동 해석, 밸브 설계					
	극저온 밸브 제작					
	극저온 밸브 성능시험					
	개발 S/W 저작권 등록					
중형 수소액화기 (5 TPD)	극저온 밸브 Scale-up 설계					
	극저온 밸브 제작 및 시험					
예산(억원)		1	1	2	2	2

○ 성능지표

성능지표		달성 내용
1	밸브 구조 해석 기법 개발	밸브 구조 모델링 및 열 수축 관련 변형 모델 개발
2	밸브 유동 해석 기법 개발	밸브 타입에 따른 유동 모델링 기법 개발 최적 turbulence model 기법 개발(극저온 유체 난류 유동 turbulence model)
3	선정 재료 물성치를 적용한 구조 및 유동 해석, 밸브 설계	실험적 물성치를 적용한 밸브 해석, 결과를 반영한 밸브 최적 설계
4	극저온 밸브 제작	제작 공차를 고려한 조립과 제어를 위한 액츄에이터 등 설계하여 0.5TPD급 극저온 밸브 제작
5	극저온 밸브 성능시험	0.5TPD급 극저온 밸브 내압 등 성능평가 수행
6	유동 및 구조 s/w 저작권(라이선스) 등록	성능 시험 결과와 비교 검증을 통한 개발 s/w 라이선스 등록
7	극저온 밸브 Scale-up 설계	5TPD급 극저온 밸브 Scale-up 설계
8	극저온 밸브 제작 및 시험	Lay-out 및 공차 등을 고려한 5TPD급 Scale-up 극저온 밸브 제작 및 주요 사양 검증

□ 극저온 수소 밸브 seal 제작 및 설계 기술 (세부기술 2)

○ 연구내용

- Packing 저온 재료 설계
- Seat 구조 설계
- Stem Trim 설계
- Packing 성능 시험
- 극저온 밸브 제작
- 극저온 밸브 성능시험
- 극저온 밸브 Scale-up 설계
- 극저온 밸브 제작 및 시험

세부연구내용		1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
소형 수소액화기 (0.5 TPD)	Packing 저온 재료 설계					
	Seat 구조 설계					
	Stem Trim 설계					
	Packing 성능 시험					
	극저온 밸브 제작					
	극저온 밸브 성능시험					
중형 수소액화기 (5 TPD)	극저온 밸브 Scale-up 설계					
	극저온 밸브 제작 및 시험					
예산(억원)		1	1	2	2	2

○ 성능지표

성능지표		달성 내용
1	Packing 저온 재료 선정 및 실험	Packing 재료 선정 및 저온 시험(Graphite/PTFE based packing material)
2	Seat 구조 설계	구조 설계치 반영 재료 Body: ASTM A351 CF8M Disk: ASTM A351 CF8M, SUS 316, STS 316L Shaft, Bolt/Nut: SUS 316, STS 316L(STS 316L+UHMW)
3	Stem Trim 설계	극저온 수소 온도에서 작동 가능한 bush 및 packing trim 설계
4	Packing 성능 시험	leakage 성능(allowable leakage) 시험
5	극저온 밸브 제작	조립 공차 등을 고려하여 0.5TPD급 극저온 밸브 제작
6	극저온 밸브 성능시험	0.5TPD급 극저온 밸브 성능 유량계수 검증
7	극저온 밸브 Scale-up 설계	5TPD급 극저온 밸브 Scale-up 설계
8	극저온 밸브 제작 및 시험	Lay-out 및 공차 등을 고려한 5TPD급 Scale-up 극저온 밸브 제작 및 주요 사양 검증

□ 극저온 수소 밸브 성능 시험 및 인증 획득 (세부기술 3)

○ 연구내용

- 밸브 성능 인증 적합성 검토 및 신뢰성 검증
- 밸브 디스크 Torque, 밸브 후단부 거리에 따른 온도 및 압력 측정 기법 개발
- 밸브 성능 시험 절차서 개발
- 밸브 성능 시험 수행
- 극저온 수소 개발 성능 인증

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
밸브 성능 인증 적합성 검토 및 신뢰성 검증					
밸브 디스크 Torque, 밸브 후단부 거리에 따른 온도 및 압력 측정 기법 개발					
밸브 성능 시험 절차서 개발					
밸브 성능 시험					
극저온 수소 개발 성능 인증					
예산(억원)	1	1	2	2	2

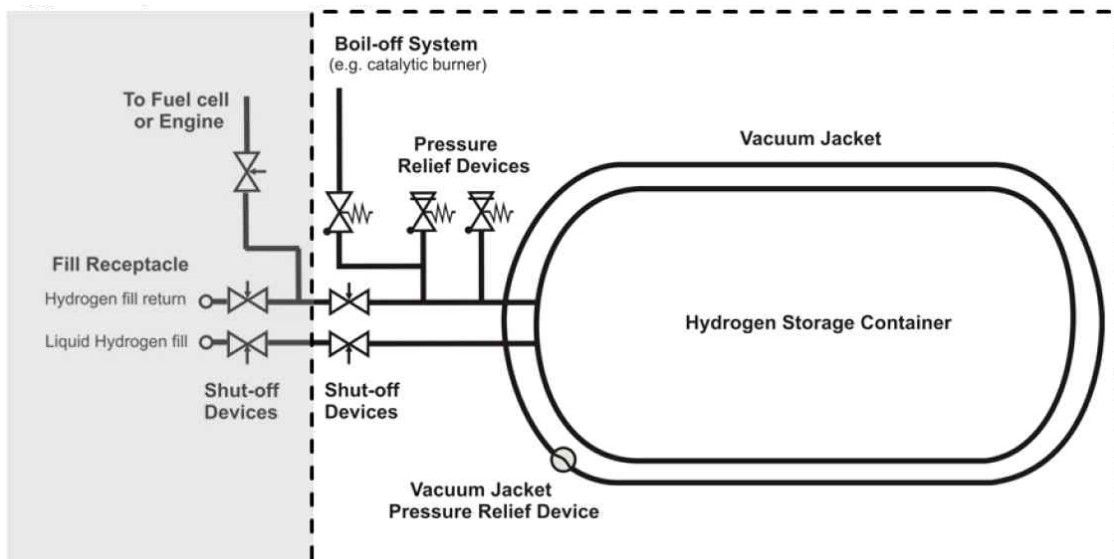
○ 성능지표

성능지표		달성 내용
1	ANSI/ISO/EN 규격 인증 방법	국제 규격 관련 평가 방법 및 인증 규격 선택
2	Torque, 온도 및 압력 측정 방법	밸브 디스크 diameter에 따른 Torque 측정(torque sensor) 기법 개발, 밸브 후단부 거리에 따른 온도(온도센서) 및 압력 측정(압력센서) 기법 개발
3	밸브 성능 시험 절차서	밸브 성능 시험 절차(sequence에 따른 시험 방법)
4	밸브 성능 시험	밸브의 기밀, 내압, Cv, Kv, cavitation 성능시험
5	극저온 수소 개발 성능 인증	극저온 수소 개발 성능 인증(Seal 인증, stem packing 인증, 기타 성능 시험 항목)

6. 세부 6 과제 : 액체수소 저장탱크 개발

가. 기술개발 배경 및 필요성

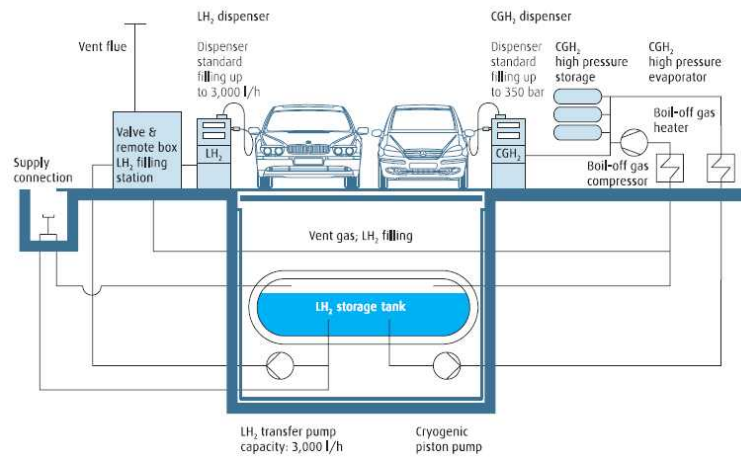
- 극저온 액체수소는 기체수소보다 저장 밀도가 높으나, 초저온 환경으로 인하여 증발가스 (BOG: Boil-Off Gas)의 발생 및 가압 방지하기 위하여 다층단열구조 등 난이도 높은 기술개발이 필요함
- 아프리카에서 유럽까지 액화수소의 운반비용은 1.80\$~2.10\$로 예상되며 탱크로리에서 증발되는 양은 하루 0.3%~0.6%로 알려져 있음⁶⁷⁾



[그림 209] 액체수소저장시스템 개념도

- Linde社의 경우 액체수소 충전소의 수용성 제고를 위하여 지하 매립형 액체수소충전 시스템을 아래와 같이 제안하고 있음
- 액체수소 저장탱크가 육상에 설치될 경우, 설치대지 비용이나 혐오 경관 유발 등의 문제가 있음
- 이를 극복하기 위해 매립형 방식을 제안했지만, 이 방법은 설치비용 과다 및 유지보수 어려움 등의 문제를 대신 유발함
- 따라서, 설치 공간을 최소화하는 고용적률 수소 저장 탱크 개발이 필수적임

67) 참고 : Encyclopedia of Chemical Technology 1991; Timmerhaus and Flynn 1989



[그림 210] GH₂ 와 LH₂ 동시 충전이 가능한 지하 저장형 액체수소충전소 개념도

□ 고용적률 탱크는 기술적인 측면에서 저장소뿐만 아니라 수송용으로도 필수적임

○ 액체수소 수송용 트레일러들도 낮은 용적률을 갖는 실린더를 채용, 수송 효율이 낮음

○ 수송 효율을 높이기 위해 고용적률 탱크 개발이 필요함



[그림 211] 린데의 수직형 액체수소 저장탱크(내용적 : 12,000리터)



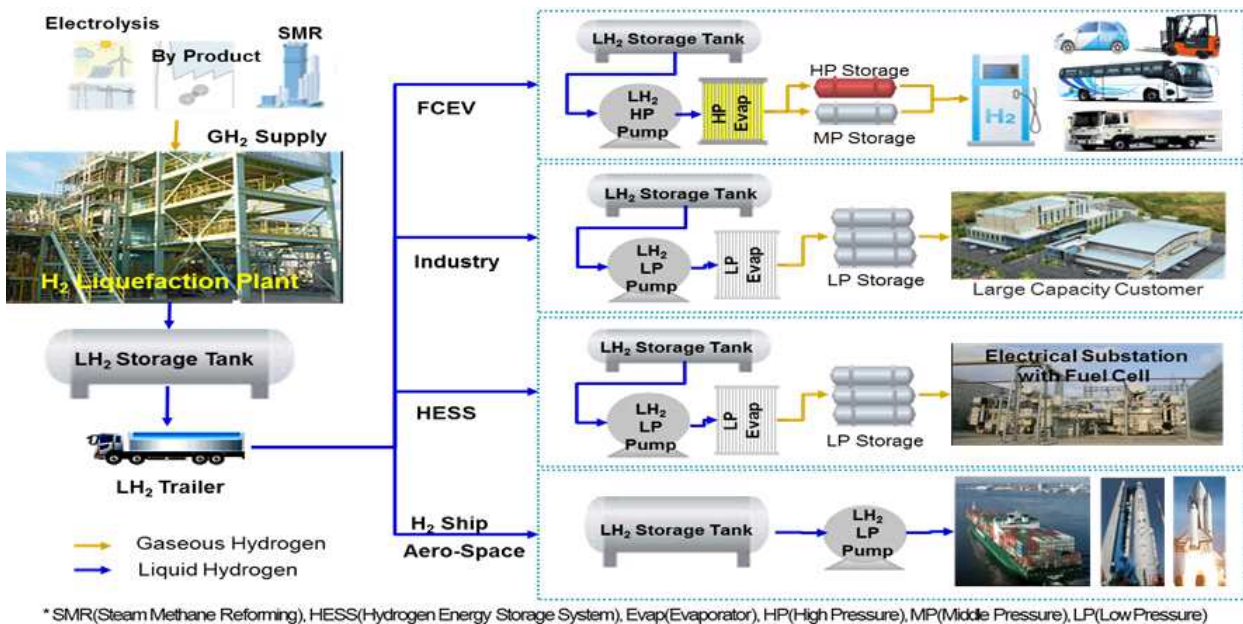
[그림 212] LH₂ 수송용 트레일러: 실린더 방식으로 수송 효율이 낮음

나. 기술개발 개요

(1) 기술개발 정의

□ 수소 사회 대비를 위해 수소 대용량 저장을 위한 기술개발이 필수적임

- 극저온 액체수소 저장방식은 기체수소 저장보다 더 높은 체적밀도를 제공하기 때문에 현재는 많은 양의 수소를 저장하는 가장 일반적인 방법임
- 액체수소 상태로 저장하기 위해서는 수소를 액화점인 20 K에 근접한 값으로 유지하여야 하므로, 이를 위해 단열 성능이 우수한 용기가 필요함. 또한, 열 침투 시 증발에 의한 압력 상승을 견디기 위해 내압 성능이 우수한 압력용기가 필요함
 - 압력용기의 단열 성능이 우수하더라도 증발 가스 (BOG; boil-off gas)의 발생은 필연적이며, 단위 체적당 표면적이 비교적 작은 탱크가 BOG 발생 측면에서 단점이 있음

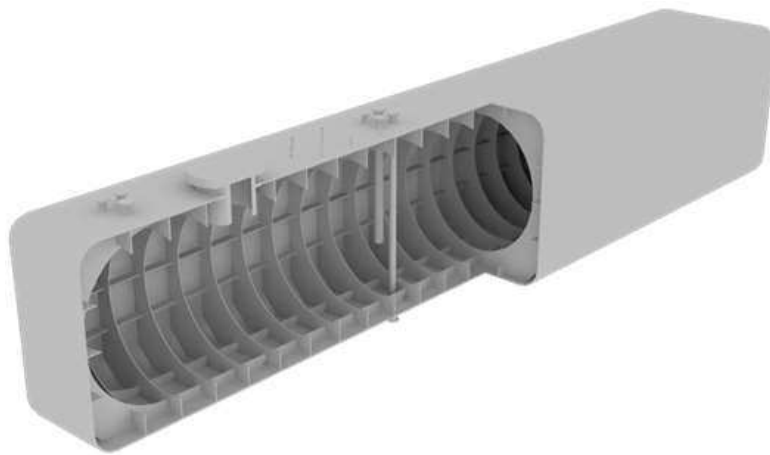


(2) 기술개발 목표

□ 액체수소 저장용 고용적률 압력탱크 개발 및 인증 확보

□ 액화수소 플랜트용 고용적률 압력탱크 (10기압, 35m³, 350 m³) 제작 및 시험(수압, 저온, 극한하중 구조건전성)

성능지표	단위	기술개발 목표
1. 용량	m ³	35, 350
2. 증발 속도(단열 성능)	%/day	1.0 이하
3. 설계압력	bar	10
4. 용적률(단열층 제외)	%	90
5. 기술인증 기준	-	KGS, ASME 또는 선급기관
6. 시제품 제작	m ³	35, 350



□ 일정 및 예산

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
액체수소 저장탱크 기본설계(위험도분석 포함)					
구조설계, 단열설계, 재료시험 및 설계인증					
35 m ³ 시험탱크 제작 및 시험					
350 m ³ 시제품 제작, 시험 및 기술인증					
예산(억원)	5	10	17	20	20

□ 연구목표 상세 내용

○ 액체수소플랜트 저장용 탱크 개발

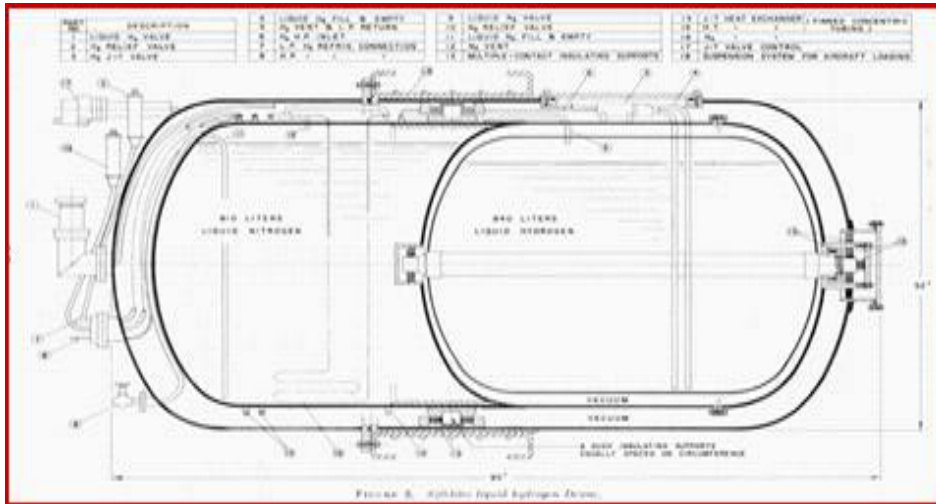
- 액체수소플랜트용(5TPD): 350 m³ (5일간 생산되는 25톤 저장)
- 액체수소플랜트용(0.5TPD): 35 m³ (2.5 톤 저장)

- 증발가스발생률 1.0 %/day 이하
 - 진공단열 또는 MLI (Multi-Layer Insulation) 다층단열재를 이용하는 고효율 기술개발
 - 탱크 크기에 따라 단열 방식 최적화
- 설계 압력 10기압급
 - 단기적인 증발가스 방출을 방지하기 위하여 높은 설계 압력 필수
 - 탱크 크기에 따라 약간씩 달라질 수 있으나, 보수적으로 10기압을 목표로 함
- 체적 효율 90%급
 - 기존 실린더(용적률 약 80%)의 한계를 극복하기 위하여 목표 용적률을 90%로 설정
 - 체적 효율 증가에 따라 상대적인 중량 증가는 감수
- 국제 인증 확보
 - 개발된 탱크가 상용화되기 위해서는 국제 수준의 기술 인증 확보가 필수
 - 대상 인증 기관: KGS, ASME, 선급기관
 - 인증 기관 요구시 추가적인 기술 검증 필요: 초저온, 압력, 진동, 슬로
- 시제품 제작으로 기술 검증
 - 기술 확보를 검증하는 수단으로 시제품 제작
 - 설계 압력 = 10 기압, 탱크 크기 = 35 m³로 설정
 - 단열 시스템 및 연결부 설계.
 - 상용급 플랜트용 350m³ 시제품 제작
- 액체수소 저장탱크 대형화 표준모델 개발
 - 1차 방벽 소재 개발 액체수소(-253 ℃) 초저온 환경에 대한 소재 물성 특성 분석, 소재 피로 특성 분석 및 소재 이음 용접 특성 분석 및 방법 개발
 - 1차 방벽과 단열시스템 지지를 위한 구조 설계 및 국제 기준 부합 구조안전성 검토
 - 표준모델 최소/최대 용량 가능성 검토 및 구현

다. 국내외 기술개발 동향

□ 액체수소 저장탱크 기술 수준

- 현재 진행 중인 대부분의 실증 프로젝트는 액체 수소 저장 장치를 적용하고 있음.
 - 액체수소는 극저온 펌프로 가압하고 기화기를 거쳐 증발시킨 후 고압의 기체수소 형태로 수요처에 공급됨
 - 액체수소 기반 충전소에 설치되는 극저온 저장탱크는 액체수소 트레일러의 운송 횟수를 고려하여 7-10 일 이상 충전스테이션의 수요를 충족시킬 수 있는 용량으로 설정함
- 액체수소 저장탱크 설계를 위해서는 공급량을 산정할 필요가 있으며, 개략적인 일일 충전량은 약 376 kg/day에 85%의 충전한계와 안전율을 감안함. 이때, 최소 저장용량은 약 1톤임
 - 저장용량 : 약 1톤
 - 일일 충전량 : 376 kg/day 이하 (약 80대/일)
 - 대당 충전량 (4 kg/대) × 시간당 충전대수 (5대/hr) × 근무시간 (8시간) × 디스펜서 2기

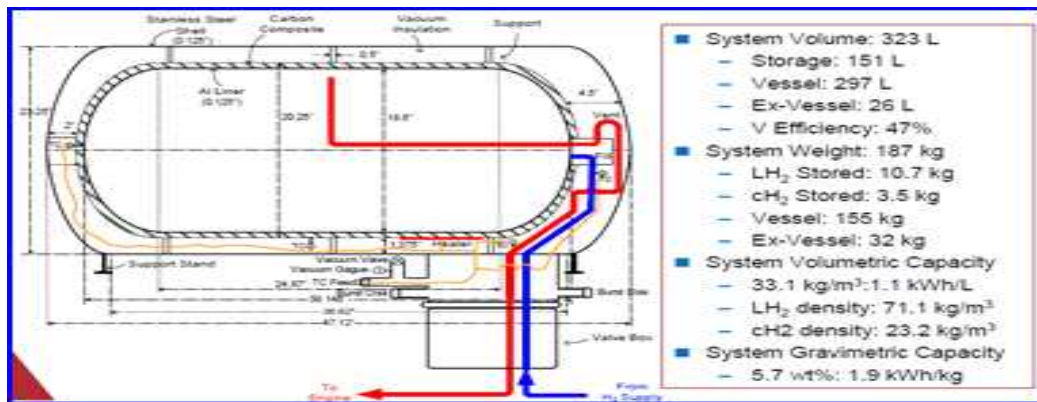


[그림 213] 횡형 액체수소저장탱크 설계도

- 현재 액체수소탱크 제작과 관련된 자료는 1957년 미국에서 개발된 LN₂ (810 리터)로 단열된 LH₂ 탱크 (840 리터-STs 304)가 공개⁶⁸⁾되고 있으며, 미국 DOE에서는 차량용으로 사용이 가능하면서도 가벼운 CFRP+STs 304 재질로 만들어진 소형저장탱크 관련 기술이 공개⁶⁹⁾되고 있음 (151 리터, 10.1 kg, 350 bar)

68) Journal of research of the national bureau of standards Vol. 58, No. 5, May 1957

69) JTechnical Assessment: Cryo-Compressed Hydrogen Storage for Vehicular Applications, 2006, US DOE



[그림 214] 자동차용 액체수소저장탱크 설계도 및 사양

- 일반적인 용기의 설계압력 기준 (5 bar 이하 또는 73 psig/in²) 에서 액체수소 상태로 저장하기 위해서는 수소의 액화 온도인 20 K에 근접한 값으로 유지하여야 하며, 이를 위해 단열 성능이 높은 압력용기가 필요함
- 압력용기의 단열 성능이 우수하더라도 증발가스(BOG; boil-off gas) 발생은 필연적이며, 단위 체적당 표면적이 비교적 작은 탱크가 BOG 발생 측면에서 단점이 있음

[표 118] 극저온 액체 수소 탱크의 증발률

Tank Volume (m ³)	Tank Volume (gal)	Evaporation Rate per Day
50	13,000	0.4%
100	26,000	0.2%
20,000	5 million	< 0.06%

- 액체수소 저장탱크의 설계 기준은 ASME SEC VIII Div. 1에 의해 구형 또는 원통형으로 제작되며, 대형 탱크는 일반적으로 단위 체적당 표면적을 최소화하여 증발 손실을 최소화하도록 구형으로 제작함
- 액체수소 탱크의 저장 용량은 5,700-95,000 L (1,500-25,000 gal 또는 400-6,700 kg)의 범위를 가짐
- 현재까지 대량의 액체수소를 저장하는 가장 경제적인 방법은 이중벽 구조의 Horten 구형 탱크임
- 탱크는 탄소강 소재 (SA516)의 외벽과 스테인리스 스틸 소재 (Type 304)의 내벽으로 구성되며, 최대 허용압력은 75 psi (5.2 bar) 임. 이중벽 구조 내부의 4 인치 환형 공간은 펄라이트(단열재)로 채워져 있음
- 액체수소 저장탱크 및 탱크로리는 극저온 유체를 저장하는 시스템으로 안정적인 저장을 위해서는 단열성능평가가 최우선적인 고려 사항임
- 단열성능평가를 위한 국제기준은 “CGA H-3-2013 Cryogenic hydrogen storage 2nd

edition “과 ” ISO 21014:2006 : Cryogenic Vessels – Cryogenic Insulation Performance “를 이용한 시험방법이 제시되어 있음

- 국내 극저온용 용기의 단열성능평가는 KGS CODE에 의해 침입열량이 $0.0005 \text{ kcal/h} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{L}$ (내용적이 1천리터 이상인 것은 $0.002 \text{ kcal/h} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{L}$)이하의 경우를 적합 (압력의 경우 약 10^{-3}torr)으로 하고 있음

□ 액체수소 저장탱크 기술 장벽

○ 비용 측면

- 기체 및 액체저장 탱크는 초기설비투자비용 대비 낮은 연료 수소 공급 및 충전스테이션의 이동거리 등으로 비용을 크게 증가함
- 저비용 저장 시스템을 위한 새로운 고강도, 저비용 재질 및 설계 기술이 요구되고 있음.
- 동일한 단위의 고처리 용량 탱크 제조 기술, 고압가스 저장, 극저온 수소 가스 저장 또는 캐리어의 사용을 통해 단위 체적당 더 높은 수소 용량을 제공함
- 최적의 고정형 저장 시스템 설계를 선택하려면 크기 및 압력의 함수로서 철강 및 복합 탱크의 비용이 필요함

○ 충전스테이션의 높은 부동산 가격 때문에 모든 공공 안전 요건을 유지하면서 수소 저장 공간을 최소화할 필요가 있음

- 외국의 선진기업들은 도심지에 설치될 수소충전스테이션의 가장 큰 문제가 설치 공간의 제한을 공통적으로 지적함. 즉, 설치 공간을 최소화하는 수소충전스테이션의 개념 개발이 필수적임
- 실제 수소충전스테이션의 상당부분을 차지하는 요소는 액체수소 저장을 위한 실린더형 압력용기임. 이는 선진기업들도 특별한 기술수준을 보유하고 있지 않은 현실임

○ 액체수소 저장탱크는 BOG 발생을 피할 수 없으며, 이는 BOG 배출이 반드시 필요하므로, 부수적인 운전비용 발생의 원인임

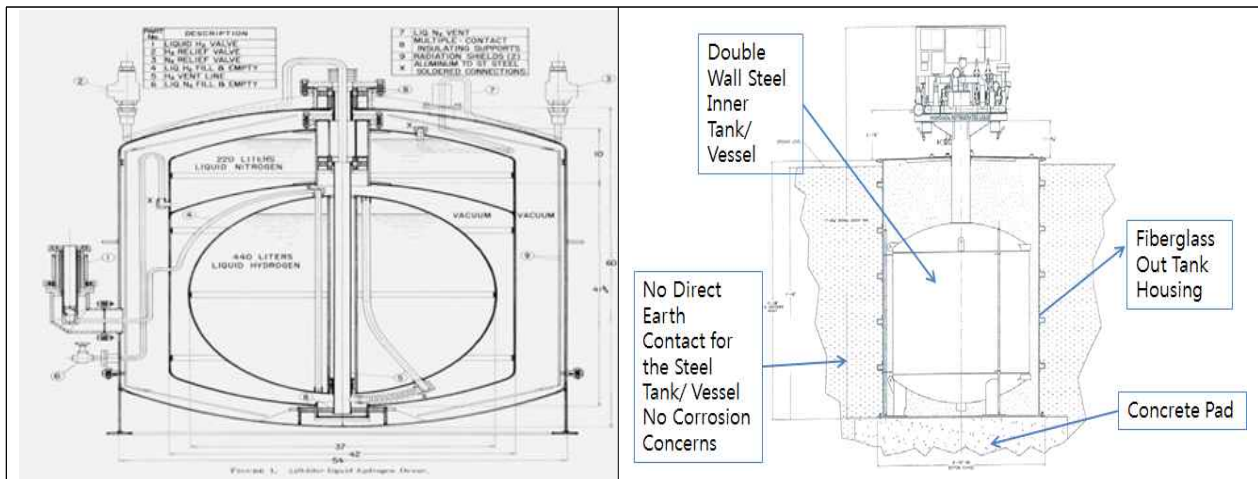
○ 수소충전스테이션에 관한 명확한 규제들의 부재로 기술개발에 앞서 관련 규정 및 특별규제의 검토 및 정립이 요구됨

○ 기체 및 액체 저장탱크를 만드는 데 이용되는 재료는 수소 취성 및 피로에 내성이 있어야 하며, 고압 순환 환경 및 극저온에서 구조적 완전성을 유지해야 함. 금속 및 비금속 재료의 신규 재료 사용이 고려되어야 함

○ 액체수소 저장탱크를 이용한 액체수소 충전소 보급을 활성화하기 위해서는 고속도로 충전소 및 도심지 설치 시 수용성 제고를 위한 저장 탱크의 지하화 방안 검토가 필요함

□ 일반적으로 진공 단열형 초저온 액체수소 저장탱크의 용량은 1,500 리터 (약 1,100 Nm³ 또는 100 kg)-75,000 리터 (약 60,000 Nm³ 또는 5 톤)범위이며, 지름은 1.4-3.8 m, 길이 또는 높이는 3-14 m임

○ 미국 Air Product社는 2004년 워싱턴 DC에 미국 DOE의 지원을 받아 SHELL社에서 운영하는 지하 매립형 액체저장 충전소를 시범 건설하였음



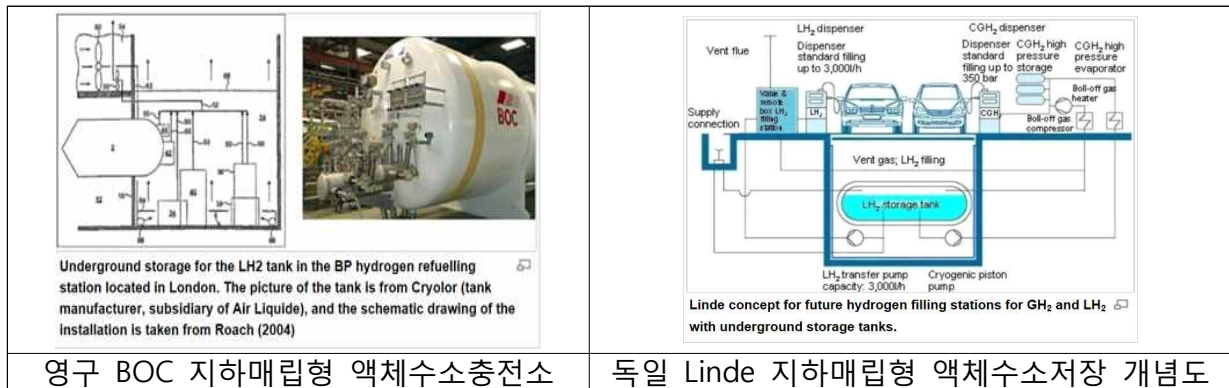
[그림 215] 지하 매몰형 액체수소저장탱크 설계도

○ 유럽에서 지하 매립형 액체수소 저장탱크는 HyFleet-CUTE 프로젝트에 의해 영국 런던에 설치되었으며, 탱크의 제작은 Air Liquide社에, 가스공급 및 운전은 BOC社가 담당함



[그림 216] 미국 SHELL사 지하 매몰형 액체수소충전소 저장설비

○ 또한, 독일 Linde社(Trill and Wolf, 2006)는 미래형 액체수소충전소 개념을 다음과 같이 제안하였고, 독일 뮌헨에 수소충전소를 건설 (2007년)하여 BMW 및 TOTAL社가 운영 중임



영구 BOC 지하매립형 액체수소충전소

독일 Linde 지하매립형 액체수소저장 개념도

[그림 217] 지하 매몰형 액체수소 저장탱크 (유럽)

□ 구형 또는 원통형 액체 수소 탱크

- 우주 프로그램을 위해 개발된 대형 탱크는 최첨단 액체 수소 탱크를 대표하며, NASA (National Aeronautics and Space Administration)는 30 년 이상 액체 수소를 사용 및 저장 해 왔음
- NASA는 Cape Canaveral에 외경이 20 m (66ft), 저장용량 약 3,800 m³ (1 백만 갤런) 인 구형 액체수소 탱크를 보유하고 있으며, 저장 기간은 수년(증발률 : < 0.03 %/day)에 달함
- 극저온 저장탱크 설계를 성공적으로 개발하기 위해서는 저온에서의 압력 격납 및 물질 보전, 열 엔지니어링 (신규 절연 재료의 설계 및 배치) 및 BOG 처리, 재료공학 (고강도 금속 및 복합 재료) 기술 필요함

□ 산업자원부 에너지기술개발사업의 일환으로 KIST 주관으로 1996년부터 1998년까지 “수소 액화 및 저장시스템 개발” 과제 수행으로 실험실급 수소액화시스템 기술개발함

- 5.5 Liter급 액체수소 저장용기, 액체이송장치 개발임

□ 산업자원부 에너지·자원기술개발사업의 일환으로 2001년부터 2005년까지 한국가스공사 주관으로 “천연가스로부터 대량 수소제조 및 수소저장 기술개발” 과제 수행함

- 고밀도 수소에너지 저장기술(수소액화 및 저장기술 기반기술)
- 수소 제조 및 수소저장 Engineering 기술개발

□ LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008. 6. 18 - 2016. 10. 7)

○ LNG 용 압축기, 열교환기, LNG 저장탱크 등 극저온 핵심 기자재 개발

□ 교육과학기술부 신기술융합형성장동력사업의 일환으로 KIST 주관 자기냉각 액화물질 융합연구단 운영 (2011년~2016년)

○ 본 사업단을 통해 수소투과 차단기술, 복합단열기술, 자기냉각 재액화기술을 융합한 10 liter 급 액화물질 저장용기 시제품을 개발함

(3) 특허 분석

□ 분석대상 특허

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Wipson	~ 현재 (2018.02)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본			특허공개 및 등록 전체문서
	미국			특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽			EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서
	중국			특허공개 및 등록 전체문서

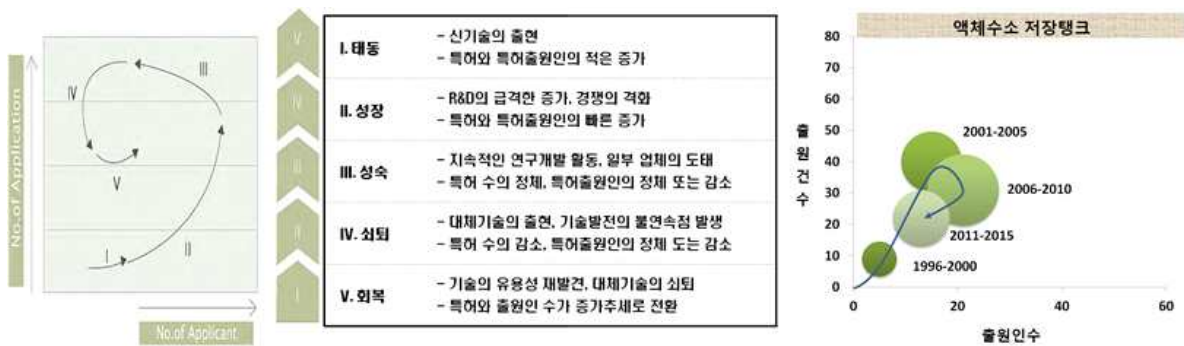
□ 검색조건

- 도출된 핵심키워드를 바탕으로 해당 기술을 포함할 수 있는 검색식을 완성함
- 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 특허 후보군 총 272건을 추출 후, 스크리닝을 거쳐 최종적으로 124건의 유효특허를 대상으로 분석을 수행

검색식	검색건수					
	한국	미국	일본	유럽	중국	합계
((액체* 액화*) near5 수소*) near5 (용기* 탱크* 컨테이너* 컨테이너* 스토리지* 봄베*) and (F17C*).IPC.	23	66	98	26	59	272
((liquid* liquef*) near5 hydrogen*) near5 (vessel* storage* tank* container* bombe) and (F17C*).IPC.						
유효특허	15	33	47	11	18	124

□ 기술시장 성장 단계

- 전체출원 중 최근 출원 동향을 4개의 구간으로 나누어 각각의 구간별 특허 출원인 수 및 출원 건수를 타나내고 있으며, 특허 출원 동향을 통한 기술의 위치를 확인함
 - 각 구간은 1구간 (1996~2000년), 2구간 (2001~2005년), 3구간 (2006~2010년), 4구간 (2011~2015년)으로 구분하였음
- 포트폴리오로 나타난 액체수소 저장탱크 기술의 기술위치는 1구간에서 3구간까지 출원건수 및 출원인수가 증가하다가 4구간에서 출원건수 및 출원인수가 감소하는 쇠퇴기 단계로 나타남



[그림 218] 포트폴리오로 본 기술 성장 단계

□ IP 부상도 분석

- 출원 증가율 (X) : 특허 출원 건수를 최근구간 5년과 이전구간 5년으로 나누어서 비교함으로써 각 기술의 최근의 기술투자 동향을 분석할 수 있음
- 최근구간 점유율 (Y) : 최근구간 5년의 특허 출원 건수를 전체구간의 특허 출원건수와 비교하여 최근의 특허출원의 점유율을 비교함으로써 기술투자의 집중도를 살펴볼 수 있음
- 특허시장 확보력 (Z) : 해당국의 내외국인 출원점유율 변화를 살펴봄으로써, 최근구간에 외국인 출원변화를 통해 시장 확보력과 연구개발과제의 시장매력도를 살펴 볼 수 있음

[표 119] IP 부상도 항목별 판단 기준표

출원증가율 <이전구간대비증가율>		출원 점유율 (해당기술/대분류 전체건)		특허 시장확보력 국가별 외국인 출원증가율 <이전구간대비증가율>		IP 부상도 종합결론 T= (X+Y+Z) / 3
(X)		(Y)		(Z)		
5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5	증가율 80% 이상	5
4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4	증가율 51%~79%	4
3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3	증가율 21%~50%	3
2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2	증가율 1%~20%	2
1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1	증가율 0% 이하	1

- 액체수소 저장탱크의 경우, 출원증가율 1점, 출원 점유율 3점, 특허 시장확보력 5점으로 IP 부상도 판단결과는 보통으로 평가되었음

[표 120] IP 부상도 판단 결과

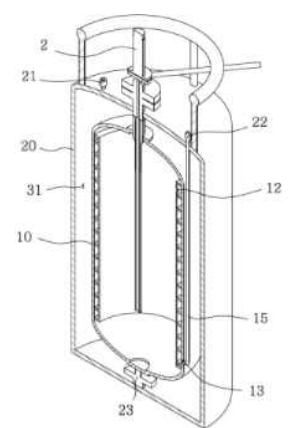
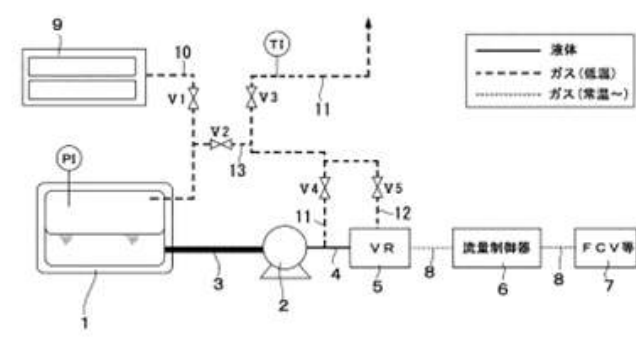
특허평가지표	평가점수				
평가기준 및 정의	1	2	3	4	5
액체수소 저장탱크	매우 낮음	낮음	보통	높음	매우 높음

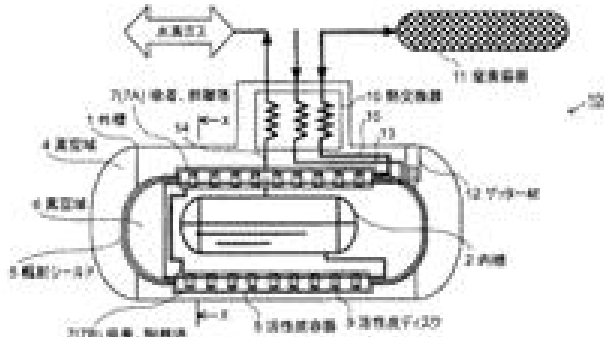
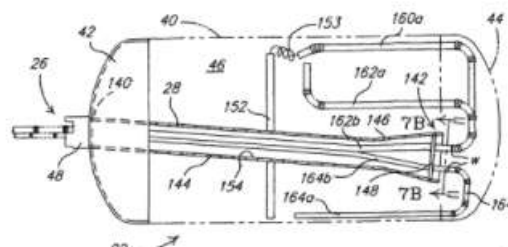
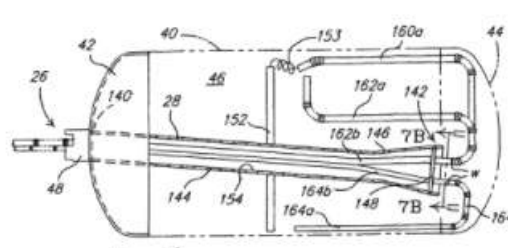
□ 소결

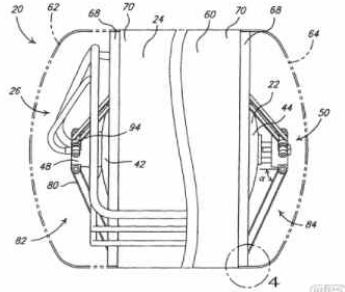
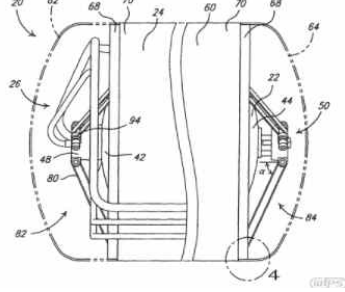
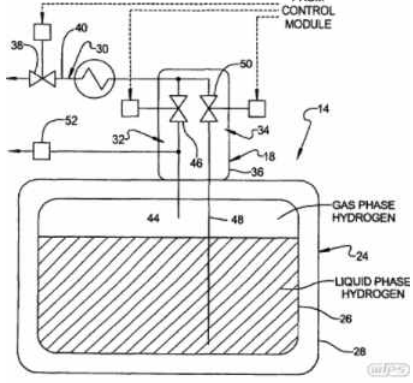
- 액체수소 저장탱크에 대한 특허 분석 결과 기술시장 성장단계는 쇠퇴기이며 IP 부상도는 보통으로 평가됨

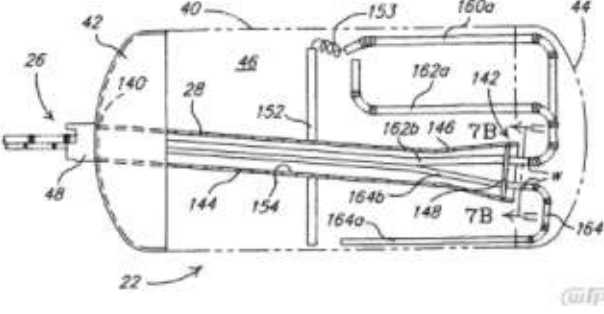
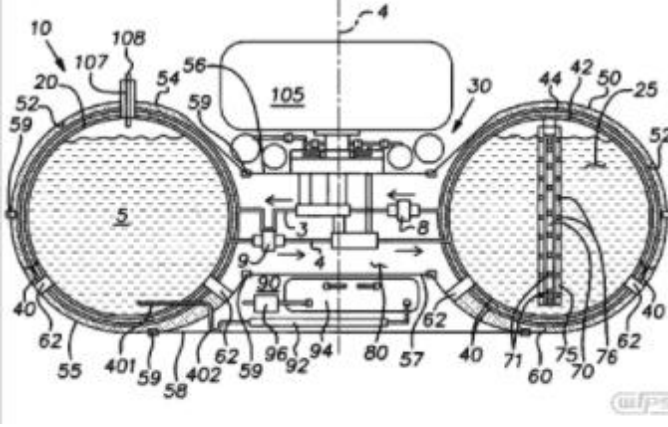
□ 액체수소 저장탱크 주요 국내외 특허

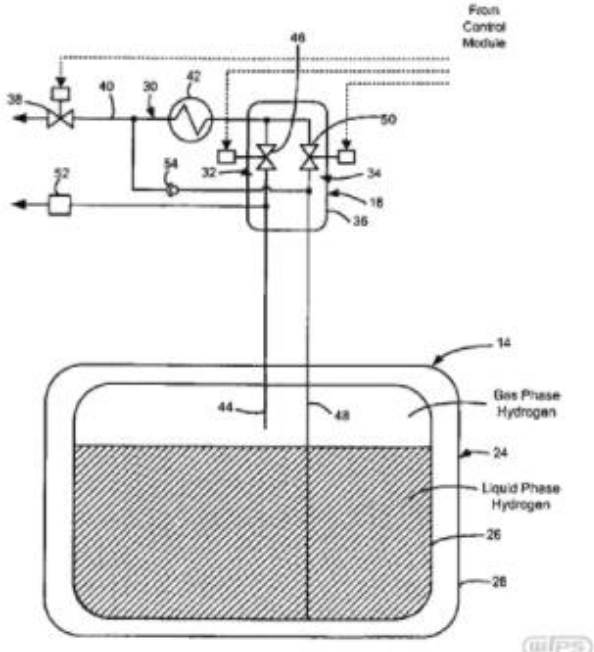
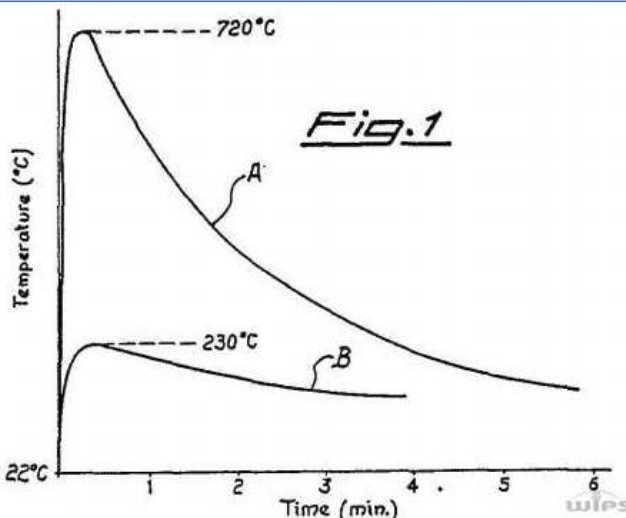
[표 121] 수소액화 공정기술 주요 국내외 특허

개발사 (국가)	서지사항	그림
하이리움산업(주) (KR)	Storage vessel for liquid hydrogen (10-2015-0114817)	 설정된 압력하에서 액화된 상태의 수소를 저장하기 위한 액화수소 저장용기에 있어서, 일측에 연결된 공급관을 통해 액화된 상태의 수소가 내부 수용공간에 저장되는 내부용기와, 내부에는 상기 내부용기의 외면이 이격된 상태로 수용되고, 일측에는 상기 내부용기와 이격된 공간을 진공상태가 되도록 하는 진공포트가 설치되는 외부용기와, 상기 내부용기로의 복사열이 전달되는 것을 차단하기 위해 상기 내부용기 및 외부용기 사이의 진공 영역에 설치되는 단열부재를 포함하여 구성되며, 상기 내부용기의 내측면에는 내부 수용공간에서 기화된 극저온 상태의 수소 기체가 이동할 수 있는 기체유로가 형성되는 것을 특징으로 하는 액화수소 저장용기에 관한 것이다.
IWATANI INTERNATL CORP (JP)	이동식 수소 스테이션에서의 액화 수소 컨테이너의 가압 방법 (JP 2010-003580)	 액화 수소 저장조 1에서 도출한 액화 수소를 액화 수소 압송 펌프 2, 기화기 5를 거치고, 수소 가스 수용 용기 7에 공급하는 수소 공급 방법으로서, 액체 수소 압송 펌프 2와 기화기 5를 연통 접속하는 액화 수소 압송로 4에서 런 나와 있는 벤트 가스 배출로 11에 기화기 5로부터의 바이패스로 12를 연통 접속함과 동시에, 상기 벤트 가스 배출로 11과 액화 수소 저장조 1에 가압용 가스를 공급하는 가압 가스 공급로 10을 연통 접속한다. 수소 공급의 시작 시에 기화기 5로부터의 저온 가스를 바이패스로 12, 벤트 가스 배출로 11을 통해 액화 수소 저장조 1으로 반송하여 액화 수소 저장조 1 내를 가압하도록 구성

개발사 (국가)	서지사항	그림
HIGH ENERGY ACCELERATOR RESEARCH ORGANIZATION/ TAIYO NIPPON SANJO HIGASHIKANTO CORP (JP)	액체 수소 저장 용기 및 이 액체 수소 저장 용기로부터의 액체 수소의 취출 방법 (JP 2006-229965)	 내 조와 외조 사이에 있어 동안조를 포위하고 내부가 진공으로 된 복사 실드를 상기 복사 실드에 접속되고 내부에 질소 가스를 충전 한 질소 가스 용기 및 상기 질소 가스 용기의 내부에 배설되고 내 조에 저장된 액체 수소를 외부로 취출할 때, 상기 액체 수소에 의해 냉각되어서 충전한 질소 가스의 일부를 흡착하고 상기 복사 실드를 통해 전달된 열에 의해 상기 흡착한 질소 가스를 탈리하는 질소 가 스 흡착 탈리 수단을 구비한 흡착 탈리 수단을 구비한 흡착 탈리탑 을 가짐
GM Global Technology Operations LLC (US)	Modular construction of a liquid hydrogen storage tank with a common-access tube and method of assembling same (US 11/235035)	 A storage tank having an inner vessel disposed within an outer vessel. A common-access tube or conduit is used to route the various fluid flow lines into the interior of the inner vessel. The common-access tube facilitates modular construction and assembly of the storage tank.
GM Global Technology Operations LLC (US)	Liquid hydrogen storage tank with partially-corrugate d piping and method of manufacturing same (US 11/235029)	 A cryogenic storage tank having an inner vessel disposed within an outer vessel. The fluid flow lines that extend from the interior of the inner vessel to the exterior of the outer vessel have both corrugated- and non-corrugated portions. The corrugated portions advantageously facilitate the bending of the fluid flow lines into a desired orientation while the non-corrugated portions provide rigidity and stiffness for the fluid flow lines.

개발사 (국가)	서지사항	그림
GM Global Technology Operations LLC (US)	Suspended liquid hydrogen storage tank (US 11/235058)	 An apparatus and method for suspending an inner tank within an outer tank to form a cryogenic storage tank. Opposing ends of the inner tank are suspended from the outer tank by suspension members. A preloading device facilitates the preloading of the suspension members to suspend the inner tank within the outer tank. The suspension members constrain the inner tank in a statically determinable manner so that a desired preloading and loading can be imparted upon the suspension members. The suspension members advantageously limit the parasitic heat leaks between the inner and outer tanks.
GM Global Technology Operations LLC (US)	Liquid hydrogen storage tank with radial stiffening (US 11/235030)	 A storage tank having an inner vessel suspended within the outer vessel. One or more stiffening members support portions of the outer vessel. The use of the stiffening members limits deformation of the outer vessel due to the suspension of the inner vessel therein.
GM Global Technology Operations LLC (US)	Liquid hydrogen tank with a release pressure above the critical pressure (US 11/198203)	 A liquid hydrogen storage tank is provided with a boil-off release pressure above the critical pressure. The super critical pressure hydrogen storage tank has less hydrogen losses than a conventional tank even when used in vehicular applications and can be operated so as to provide zero hydrogen loss with reduced mandatory driving distances.

개발사 (국가)	서지사항	그림
GM Global Technology Operations LLC (US)	Liquid hydrogen storage tank with common-access tube as port for pipes into the inner vessel (US 11/235031)	 A cryogenic storage tank having an insulated inner vessel disposed within an outer vessel. A common-access tube or conduit is used to route the various fluid flow lines into the interior of the inner vessel. The use of a common-access tube reduces the number of obstructions that the insulation must accommodate and facilitates the production of the storage tank.
Sierra Lobo, Inc. (US)	No-vent liquid hydrogen storage and delivery system (US 10/820654)	 A hydrogen storage and delivery system is provided having an orifice pulse tube refrigerator and a liquid hydrogen storage vessel. A cooling system, coupled to the orifice pulse tube refrigerator, cools the vessel and abates ambient heat transfer thereto in order to maintain the liquid hydrogen in the vessel at or below its saturation temperature. Hydrogen boil-off, and the necessity to provide continuous venting of vaporized hydrogen are minimized or avoided. In a preferred embodiment, the hydrogen storage vessel has a toroidal shape, and the pulse tube refrigerator is a two stage pulse tube refrigerator and extends within a central void space defined at the geometric center of the toroidal storage vessel. Also in a preferred embodiment, the cooling system includes first and second thermal jackets, each having a substantially toroidal shape and enclosing the storage vessel, wherein each of the thermal jackets is thermally coupled to one of the first or second stages of the pulse tube refrigerator in order to cool the vessel and to abate ambient heat leak thereto. The hydrogen storage and delivery system is particularly suitable for use in vehicles, such as passenger automobiles.

개발사 (국가)	서지사항	그림
GM Global Technology Operations LLC (US)	Closed pressure-keeping system for liquid hydrogen storage (US 11/105739)	 A pressure maintaining system for a hydrogen storage system includes a hydrogen supply feed that enables a hydrogen flow from the hydrogen storage system. A liquid phase hydrogen feed enables a liquid phase hydrogen flow to the hydrogen supply feed. A gas phase hydrogen feed enables a gas phase hydrogen flow to the hydrogen supply feed. A check valve enables fluid communication from the hydrogen supply feed to the liquid phase hydrogen feed when a pressure within the hydrogen supply feed is greater than a threshold pressure.
SAES GETTERS S.p.A. (IT)	Getter materials for the vacuum insulation of liquid hydrogen storage vessels or transport lines (EP 1990-830025)	 A getter material which efficiently sorbs gases at low pressure but, when a system failure causes high pressures of hydrogen and oxygen or air to be present, does not increase its temperature to that which would cause explosive ignition of the hydrogen-oxygen mixture, comprises an alloy having the general formula $Zr_{1-a}Ti_xV_{2-x}Fe_yNi_y$ in which $a = 0-0.3$; $x = 0.5-1.5$; $y = 0-x$.

라. 세부개발 내용

(1) 세부기술별 기술 수준 및 핵심기술

- 액화수소 저장탱크의 설계기술, 제조기술, 성능시험 및 국제인증 획득기술에 대한 한계점으로 내압, 기밀성, 극저온 구조건전성, 단열성능, 국제인증 등을 도출하고 이에 대한 기술개발 방향을 다음과 같이 정의함

[표 122] 세부기술별 한계점 및 기술개발 방향

세부기술 내용	한계점	기술개발방향
1. 고용적률 내압 구조 설계기술	BOG 발생으로 인한 저장용기 내 압력증가	설계 압력 10 bar의 고압용기 설계
	80% 미만의 낮은 용적률	90%의 용적률 달성
	액화물 입출하에 따른 구조건전성	큰 온도변화에 따른 열전달 및 열응력 해석
2. 극저온 단열기술	과도한 BOG 발생	Boil-off rate 1% per day 달성
	극저온으로 인한 외부 열 침입	고효율 극저온 단열기술 개발
	저장용기 크기에 따른 단열방식 제한	저장용기 크기에 따른 단열방식 최적화
3. 시제품 제작 및 공인인증 획득	시제품 제작	35, 350 m ³ 급 저장용기 제작
	국내 공인인증	KGS
	국외 공인인증	ASME, 국제선급

(2) 세부기술별 상세내용

□ 고용적률 내압 구조 설계기술 (세부기술 1)

○ 연구내용

- 수소 취성에 견디고, 경제성, 가공성을 가지는 최적의 금속 소재 선정
- 액체수소 저장액위에 따른 BOG 발생량 해석
- BOG 발생량에 따른 탱크내부의 압력거동 해석
- 90%의 용적률을 갖는 탱크구조 설계, 안전장치 설계
- 온도변화에 따른 열전달 및 열응력 해석

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
액체수소 저장액위에 따른 BOG 발생량					
BOG 발생량에 따른 탱크내부의 압력거동					
90%의 용적률을 갖는 탱크구조 설계					
온도변화에 따른 열전달 및 열응력 해석					
예산(억원)	3	5	5	-	-

○ 성능지표

성능지표		단위	성능수준		기술개발 목표
			세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1	설계 압력	bar	10	-	10
2	체적 효율	%	80	-	90
3	동적 응력에 의한 수명	yr	20	-	20
4	열응력에 의한 피로 수명	yr	20	-	20

□ 극저온 단열기술 (세부기술 2)

○ 연구내용

- BOG 발생 억제 기술
- 극저온으로 인한 외부 열침입 최소화 기술
- 저장용기 크기에 따른 단열 설계 : 다층 단열재(MLI, Multi layer insulation), 분만단열, 진

공단열, 증기냉각설드 기술등의 검토 및 최적 조합 설계

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
BOG 발생 억제 기술					
극저온으로 인한 외부 열침입 최소화 기술					
저장용기 크기에 따른 단열 설계					
예산(억원)	2	5	5	-	-

○ 성능지표

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1 Boil-off rate*	%/day	0.3 (300m ³) 1.0 (50m ³)	-	0.3 (350m ³) 1.0 (35m ³)

* Boil-off rate은 탱크 용량의 함수 (세계 최고 수준 : Air Liquide - 0.3%/day for 300 m³, 1%/day for 50m³)

□ 세부기술 3 : 시제품 제작 및 기술인증 획득

○ 연구내용

- 시제품 제작 : 35m³, 350m³
- 국내 공인인증
- 국제 공인인증

세부연구내용	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
시제품 제작					
국내 공인인증					
국제 공인인증					
예산(억원)	-	-	7	20	20

○ 성능지표

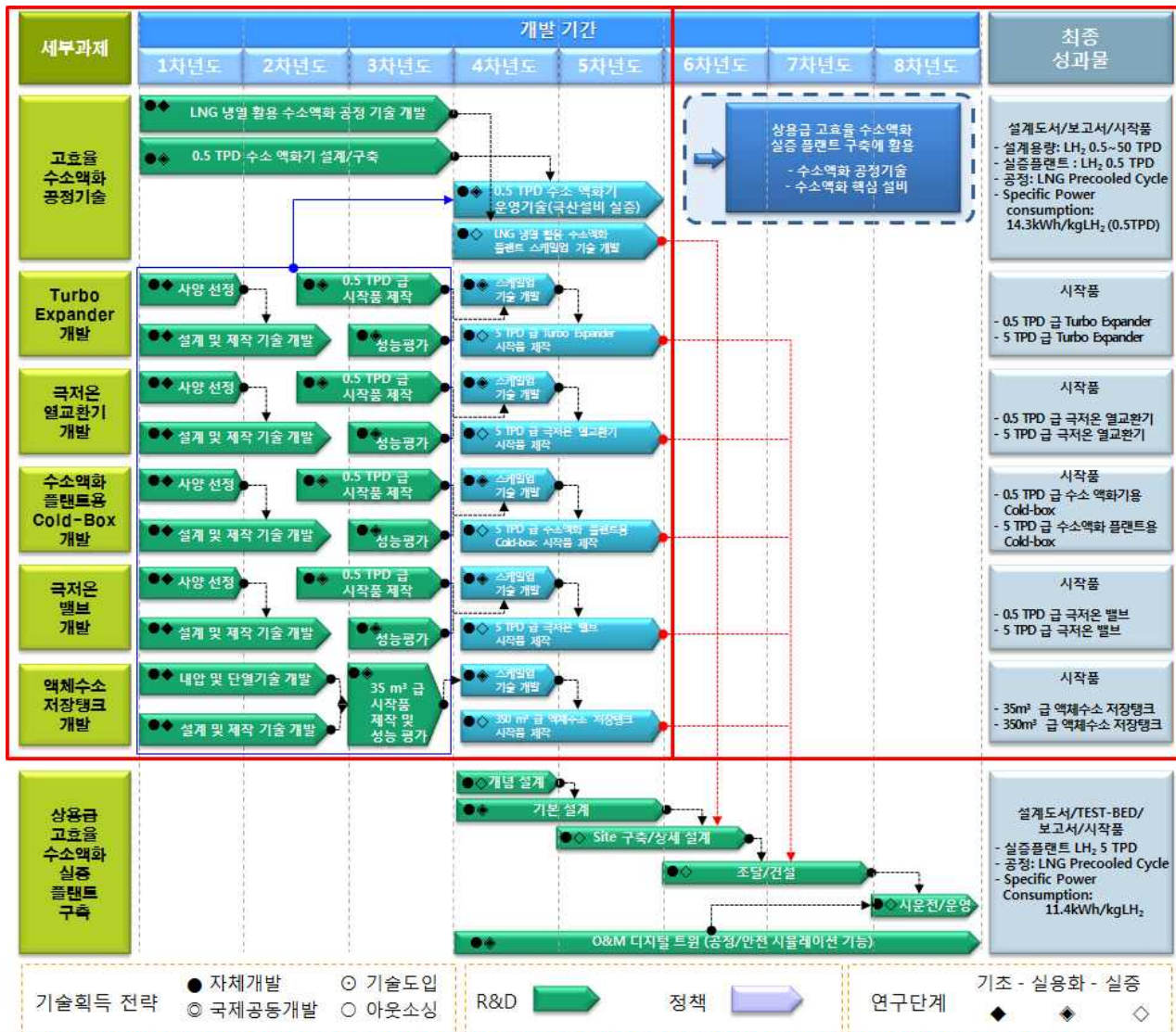
성능지표	달성 목표
1 KGS 인증	한국가스안전공사로부터 시제품 인증 획득
2 ASME 또는 국제선급 인증	국외 공인검사기관으로 시제품 인증 획득

제 3 절 기술개발 로드맵 및 소요 예산

1. 기술개발 로드맵

□ 본 사업은 세부과제를 기준으로 고효율 수소액화 공정 기술, 수소액화 핵심 설비 개발, 액체수소 저장탱크 개발로 분류 되며, 연구개발 기간은 5년이다. 다만 핵심기술 개발 이후 이의 활용 방안으로 상용급 실증 플랜트 건설을 포함하여 로드맵에는 총 8년으로 표기

○ 세부 과제의 상세 기술개발 내용 및 계획은 5장 2절 세부과제 기술개발 계획 참조



[그림 219] 기술 개발 로드맵

- 고효율 수소액화 공정 기술은 LNG 냉열 활용 수소액화 공정 기술, 0.5 TPD급 수소 액화기 설계/구축 (국제공동 연구), 0.5 TPD급 수소 액화기 운영기술, LNG 냉열 활용 수소액화 플랜트 스케일업 기술로 분류되며, 공정설계 기술 확보를 통하여 상용급 수소액화 실증 플랜트 기본설계 활용을 목표로 함
- 0.5 TPD급 소규모 수소액화기 (개질기 포함)에서 액체수소를 생산하여 공급함으로써, 기자재 개발 및 실증, 활용시스템 실증 운영 등에 활용하는 동시에 공정/운영 데이터 확보를 통하여 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용
- 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략
 - 수소액화플랜트 핵심 설비 기술은 주요 핵심 설비 단위 기준으로 Turbo Expander, 극저온 열교환기, 극저온밸브, 수소액화 플랜트용 Cold-box로 분류할 수 있음
 - 0.5 TPD 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1~3년)에 국산화 조기 추진
 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 TPD 급 수소액화기에서 적용하여 국산 설비를 실증 (4~5차년도)
 - 액체수소를 활용하여 실증이 필요한 기자재는 확보 예정인 0.5 TPD급 수소 액화기 운영을 통해 생산된 액체수소를 활용하여 성능평가를 수행한 후, 스케일업 기술 개발을 통하여 상용급(5TPD)급 개발 (4~5차년도)
- 액체수소 저장탱크 개발은 상용급(5TPD) 수소액화 실증 플랜트 구축 시 5일 저장 가능한 350 m³ 저장규모와 0.5 TPD급 수소액화기 활용시 5일 저장 가능한 35 m³ 저장규모를 가지는 저장탱크로 나누어 개발 진행
- 세부과제간 연계 전략
 - 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술 초기(1차년도)에 공정해석을 통하여 핵심설비의 기본 사양을 설정하여야 함. 따라서, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 하므로 각 세부과제를 연계, 조율할 총괄 연구단의 역할이 중요.
- 후속 상용화 실증 플랜트 연계 전략

- 본 사업의 후반부에 추가 추진 예정인 “상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축”은 개념/기본설계, 상세설계, 조달 및 건설, 시운전 및 운영, O&M 디지털 트윈 등의 세부 기술로 분류됨
- 목표성능은 플랜트 용량 기준 5 TPD, 액화공정 소비 전력량 기준 11.4 kg/kgLH₂ 이하이며, 기본설계는 핵심 분야인 ‘수소액화 플랜트 기술’의 고효율 수소액화 공정기술 성과 결과를 활용
- 5 TPD 상용화 플랜트 실증에는 본 사업에서 개발된 5 TPD급 핵심 기자재 및 저장탱크 활용
- 상용급 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축 시, Feed 수소 공급 방안이 포함되며, 소규모 수소액화기 운영 결과를 토대로 독자모델 설계 및 건설 추진 예정
- O&M 디지털 트윈 개발은 공정 및 안전 시뮬레이션 기능이 가능하도록 기술 개발 수행

2. 투자규모

- 총 485 억원/5 년 중 정부출연금 290 억원 (60%) 대비 민간부담금 195 억원 (40%) 으로 구성된 정부주도 사업 추진

[표 123] 총 투자계획

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	30.0	80.0	80.0	50.0	50.0	290
민간	15.0	40.0	40.0	50.0	50.0	195
합계	45	120	120	100	100	485

3. 소요 예산

가. 소요예산 추정 근거

- 동 사업의 연구개발비에 초점을 맞추어 예산투입의 적정성을 상향식 (Bottom-up)으로 검토
 - 과제별 예산내역을 토대로 연구개발 부문 예비타당성 조사 표준지침에서 제시한 유추 추정법을 적용
 - 유사사업 대비 과제 당 규모 비교
 - 정부/민간 매칭 비중의 적절성 검토
- 내역사업별 연구목표, 연구내용 및 방법, 기대효과, 키워드 등을 토대로 NTIS에서 유사사업 검색 실시

[표 124] 유사사업 검색 개요

검색범위	수행 종료 사업, 2003~2018년
과학기술표준분류	전체선택
부처	전체선택
적용분야	전체선택
6T	전체선택
검색항목	키워드, 사업명, 연구목표, 연구내용, 기대효과

- 사업 성격 및 지원기간이 유사한 사업으로는 LNG플랜트사업, 고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업이 있으며, 사업단 체제로 운영된 바 있음
 - LNG플랜트사업단은 고부가가치 플랜트 건설사업에 요구되는 핵심공정과 기본설계, 플랜트 기술의 실증을 통하여 국내 적용은 물론 해외플랜트 수출증대를 목적으로 발족
 - (사업 기간) 8년 (2008~2016년)
 - (지원 규모) 29개 과제 1,687억 원 (정부 1,083억 원, 민간 604억 원)
 - (지원 범위) 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
 - (중점 지원 분야) LNG 플랜트 핵심 기반기술 개발, 고효율 LPG 플랜트 공정기술 개발, 대용량 LNG 플랜트 설계 및 건설기술 개발, LNG-FPSO 공정 응용기술 개발, LNG-FPSO 플랜트 설계 및 건설기술 개발
 - 고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술개발 사업단은 자연에너지를 활용한 물 분해 수

소 제조기술 개발과 수소에너지시스템에 적용 가능한 고효율 저장·이용 시스템 개발을 목표로 발족

- (사업 기간) 10년 (2003~2013년)
- (지원 규모) 48개 과제 999.3억 원
- (지원 범위) 대학, 출연(연), 기업연구소 등에 전부 또는 일부 출연
- (중점 지원 분야) 수소에너지 제조, 수소에너지 저장, 수소에너지 이용

□ 상용급액체수소플랜트 핵심기술개발사업의 과제 당 연구비는 두 유사사업과 비교할 때, 기술개발과 함께 시제품 개발 및 pilot 규모 실증을 포함하고 있어 총예산 규모 및 과제별 예산 규모가 적절한 것으로 판단

[표 125] 유사사업과의 과제수 및 과제당 연구비 비교

사업명	과제 수	연구비 (억원)	과제 당 연구비 (억원)
LNG 플랜트 사업단	29	1,687	58
고효율 수소에너지 제조·저장·이용기술개발사업	48	999	21
상용급액체수소플랜트 핵심기술개발사업	1세부	210	pilot 규모 실증
	2세부	55	0.5/5TPD급 시제품제작
	3세부	50	0.5/5TPD급 시제품제작
	4세부	74	0.5/5TPD급 시제품제작
	5세부	24	0.5/5TPD급 시제품제작
	6세부	72	0.5/5TPD급 시제품제작

□ 세부과제별 예산은 플랜트의 국외 견적, 미국 DOE의 플랜트 디자인 data를 참조로 상용품의 가격을 추산, 이의 연구개발을 위한 비용을 포함하여 산정.

- 해외 기업으로부터의 수소액화플랜트 견적가격 - 시공비 제외
 - 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트 (기체 수소 공급설비 제외)
 - A사 : 370억원 (33,000,000 CHF)
 - B사 : 220억원 (17,000,000 Euro)
 - 파일럿 (0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 (기체 수소 공급설비 제외)
 - A사 : 67억원 (6,000,000 \$)

- B사 : 66억원 (5,100,000 Euro)
- 5 ton/day급 LNG 개질기 가격 추정 : 110억원, 플랜트용량고려 (0.6승), 시공비 30% 제외
 - 해외 기체수소 공급설비 (LNG 개질설비, 0.5 ton/day 급) : 35억원 - 0.5 ton/day 급, 시공비 포함
 - 국내 대용량 LNG 개질 설비 시공사례 : 1,000억원 - 108 ton/day 급, 시공비 포함
- 5 TPD급 핵심 기자재의 경우
 - 미국 DOE 자료⁷⁰⁾, 경제성 평가자료⁷¹⁾를 토대로 상용품 가격 추정, 연구개발 비용을 포함하여 산정
 - 저장탱크 (350 m³) : 25억원
 - 열교환기 (5 TPD) : 11억원
 - Turbo Expander : 10억원
 - 극저온 밸브, 배관 : 3.0억원
 - Cold Box : 10억원
 - 상용품 가격 및 기술개발 난이도를 고려하고, 연구개발 기본비용(인건비, 간접비등)을 고려하여 상용품 가격의 3배(저장탱크) ~ 8배(극저온 밸브 류) 산정
- 인건비의 경우, 국토교통부 연구단급 기술개발사업의 인건비 비중은 총 연구개발비의 30~40% 수준이나, 본 상용급액체수소플랜트 핵심기술개발사업의 과제의 경우 시제품 개발 및 pilot 규모 실증이 포함되어 있어, 연구장비 재료비의 비중이 크므로 총 인건비 비중을 10~20% 사이로 설정
- 다만, 시제품 제작 및 실증이 포함 안된 초기 연도의 경우 인건비 비중이 큼.
- 주요 비목 중 인건비는 2018년 학술연구용역인건비 단가를 기준으로 산정⁷²⁾
- 기타경비 및 간접비 산정 기준 : 직접비 (인건비 + 연구장비재료비) 의 10%로 산정

70) 출처 : FY 2008 Annual Progress Report, III.7 Innovative Hydrogen Liquefaction Cycle, DOE Hydrogen Program, 2008

71) 출처 : HDSAM (Hydrogen Delivery Scenario Analysis Model) Ver. 3.1, US DOE, 2017

72) 인건비 단가 : 월 3,169천원 (산정 기준 : 2018년 학술연구용역인건비 기준단가, 참여율 50%, 1개월 22일, 책임연구원 기준)
 월 2,430천원 (산정 기준 : 2018년 학술연구용역인건비 기준단가, 참여율 50%, 1개월 22일, 연구원 기준)
 월 1,625천원 (산정 기준 : 2018년 학술연구용역인건비 기준단가, 참여율 50%, 1개월 22일, 연구원보조원 기준)

(1) 세부 1 과제 : 고효율 수소액화 공정 기술

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	775.4	775.4	775.4	775.4	775.4	3,877.0
연구장비재료비	1,042.8	5,588.2	4,679.2	1,951.9	1,951.9	15,213.9
기타경비 및 간접비	181.8	636.4	545.5	272.7	272.7	1,909.1
합계	2,000.0	7,000.0	6,000.0	3,000.0	3,000.0	21,000.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	13.3	46.7	40.0	15.0	15.0	130
민간	6.7	23.3	20.0	15.0	15.0	80
합계	20	70	60	30	30	210

(2) 세부 2 과제 : 수소액화용 Turbo Expander 개발

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	193.8	193.8	193.8	193.8	193.8	969.2
연구장비재료비	351.6	1,169.8	715.2	897.1	897.1	4,030.8
기타경비 및 간접비	54.5	136.4	90.9	109.1	109.1	500.0
합계	600.0	1,500.0	1,000.0	1,200.0	1,200.0	5,500.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	4.0	10.0	6.7	6.0	6.0	32.7
민간	2.0	5.0	3.3	6.0	6.0	22.3
합계	6	15	10	12	12	55

(3) 세부 3 과제 : 수소액화용 극저온 열교환기 개발

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	193.8	193.8	193.8	193.8	193.8	969.2
연구장비재료비	260.7	624.3	897.1	897.1	897.1	3,576.2
기타경비 및 간접비	45.5	81.8	109.1	109.1	109.1	454.5
합계	500.0	900.0	1,200.0	1,200.0	1,200.0	5,000.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	3.3	6.0	8.0	6.0	6.0	29.3
민간	1.7	3.0	4.0	6.0	6.0	20.7
합계	5	9	12	12	12	50

(4) 세부 4 과제 : 수소액화용 Cold Box 개발

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	193.8	193.8	193.8	193.8	193.8	969.2
연구장비재료비	351.6	988.0	1,169.8	1,624.3	1,624.3	5,758.0
기타경비 및 간접비	54.5	118.2	136.4	181.8	181.8	672.7
합계	600.0	1,300.0	1,500.0	2,000.0	2,000.0	7,400.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	4.0	8.7	10.0	10.0	10.0	42.7
민간	2.0	4.3	5.0	10.0	10.0	31.3
합계	6	13	15	20	20	74

(5) 세부 5 과제 : 수소액화용 극저온 밸브 개발

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	125.7	125.7	125.7	125.7	125.7	628.4
연구장비재료비	147.0	147.0	419.8	419.8	419.8	1,553.4
기타경비 및 간접비	27.3	27.3	54.5	54.5	54.5	218.2
합계	300.0	300.0	600.0	600.0	600.0	2,400.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	2.0	2.0	4.0	3.0	3.0	14
민간	1.0	1.0	2.0	3.0	3.0	10
합계	3	3	6	6	6	24

(6) 세부 6 과제 : 액체수소 저장탱크 개발

(단위 : 백만원)

구분	차년도					소계
	1	2	3	4	5	
인건비 ¹⁾	193.8	193.8	193.8	193.8	193.8	969.2
연구장비재료비	260.7	715.2	1,351.6	1,624.3	1,624.3	5,576.2
기타경비 및 간접비	45.5	90.9	154.5	181.8	181.8	654.5
합계	500.0	1,000.0	1,700.0	2,000.0	2,000.0	7,200.0

1) 인건비 : 2018년 학술연구용역인건비 기준 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

구분	개발예산 (억원)					총계
	1	2	3	4	5	
정부(일반회계)	3.3	6.7	11.3	10.0	10.0	41.3
민간	1.7	3.3	5.7	10.0	10.0	30.7
합계	5	10	17	20	20	72

4. 소요 인력

□ 세부과제별 소요인력은 다음의 표와 같음

○ 연구비 산정(인건비)을 토대로 50% 참여율을 기준으로 Man-Year를 연구원 직급별로 예상
(책임급1, 연구원급2, 연구보조원급5의 비율)

[표 126] 수소액화 플랜트 기술 분야 소요 인력

세부과제	구분	차년도					합계 (명)
		1	2	3	4	5	
고효율 수소액화 공정 기술	책임연구원	4	4	4	4	4	20
	연구원	8	8	8	8	8	40
	연구보조원	20	20	20	20	20	100
소계		32	32	32	32	32	160
수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	책임연구원	1	1	1	1	1	5
	연구원	2	2	2	2	2	10
	연구보조원	5	5	5	5	5	25
소계		8	8	8	8	8	40
수소액화용 극저온 열교환기 개발	책임연구원	1	1	1	1	1	5
	연구원	2	2	2	2	2	10
	연구보조원	5	5	5	5	5	25
소계		8	8	8	8	8	40
수소액화용 Cold Box 개발	책임연구원	1	1	1	1	1	5
	연구원	2	2	2	2	2	10
	연구보조원	5	5	5	5	5	25
소계		8	8	8	8	8	40
수소액화용 극저온 밸브 개발	책임연구원	1	1	1	1	1	5
	연구원	1	1	1	1	1	5
	연구보조원	3	3	3	3	3	15
소계		5	5	5	5	5	25
액체수소 저장탱크 개발	책임연구원	1	1	1	1	1	5
	연구원	2	2	2	2	2	10
	연구보조원	5	5	5	5	5	25
소계		8	8	8	8	8	40
책임연구원		9	9	9	9	9	45
연구원		17	17	17	17	17	85
연구보조원		43	43	43	43	43	215
총계		69	69	69	69	69	345

* 소요인력 산정 기준 : 2018년 학술연구용역인건비 기준
 책임연구원 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)
 연구원 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)
 연구보조원 (참여율 50%, 1개월 22일 기준)

제 4 절 세부과제별 성과 목표 및 성과 지표

1. 사업의 성과 목표 및 세부과제별 성과 목표

□ 사업 성과 목표

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과 목표	고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 pilot급 핵심 기자재 개발
		설정 근거	본 사업의 전략목표인 액화수소 인프라 구축의 기본이 되는 핵심기술을 개발하고, 관련 제품의 국산화 기반을 마련, 이를 위해 과학적, 기술적 지표를 설정하고, 핵심 기술의 이전 활성화를 위한 경제적 지표를 설정
2단계	2022 ~ 2023	성과 목표	국산 개발 기자재를 활용한 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 운영, 상용급(5 ton/day) 설계기술 및 핵심 기자재 기술 확보
		설정 근거	2단계의 핵심목표는국산 개발 기자재를 활용한 pilot급 수소액화플랜트 국산화 구축 및 운영을 통한 상용급(5 ton/day) 설계기술 및 국산 기자재 확보임. 이를 위해 1단계와 같은 과학적, 기술적 지표를 설정하였으나, 국산화 기술 개발 및 실증에 단계에 적합하도록 성과 지표의 가중치 변경

□ 세부과제 성과 목표

○ 1 세부과제 : 고효율 수소액화 공정 기술 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과 목표	고효율 수소액화 공정 기술, pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축
		설정 근거	본 사업의 전략목표인 액화수소 인프라 구축의 기본이 되는 고효율 수소액화 공정기술을 개발하고 이를 실증. 1단계에서는 국산화된 핵심 기자재가 없으므로, 기존 유사 제품 또는 국외 기자재를 활용하여 pilot 규모(0.5 ton/day) 구축
2단계	2022 ~ 2023	성과 목표	국산 개발 기자재를 활용한 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 및 운영, 상용급(5 ton/day) 설계기술 확보
		설정 근거	2단계의 성과목표는 1단계에서 개발된 국산 기자재를 활용한 pilot급 (0.5 ton/day) 수소액화플랜트 국산화 구축 및 운영. 이를 통하여 1단계의 국산개발 기자재를 검증하고, 상용급(5 ton/day) 설계기술을 확보

○ 2 세부과제 : 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과목표	• 0.5 ton/day 수소액화 플랜트용 극저온 Turbo Expander 국산화 개발
		설정근거	• 수소액화플랜트의 국산화 기술은 공정기술과 더불어 핵심 기자재의 국산화 개발까지를 포함함. 1단계 3년에서는 공정기술개발에서 수행하는 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 Turbo Expander를 우선 개발
2단계	2022 ~ 2023	성과목표	• 5 ton/day 수소액화플랜트용 극저온 Turbo Expander 개발
		설정근거	• 1단계에서 개발된 0.5 ton/day 급 Turbo expander를 1세부과제에서 실제 구축된 플랜트에 적용, 운영함으로써 스케일업 기술을 개발. 향후 계획으로 추진 중인 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 Turbo expander 시제품 개발

○ 3 세부과제 : 수소액화용 극저온 열교환기 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과목표	• 0.5 ton/day 수소액화 플랜트용 극저온 열교환기 국산화 개발
		설정근거	• 수소액화플랜트의 국산화 기술은 공정기술과 더불어 핵심 기자재의 국산화 개발까지를 포함함. 1단계 3년에서는 공정기술개발에서 수행하는 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 극저온 열교환기를 우선 개발
2단계	2022 ~ 2023	성과목표	• 5 ton/day 수소액화플랜트용 극저온 극저온 열교환기 개발
		설정근거	• 1단계에서 개발된 0.5 ton/day 급 극저온 열교환기를 1세부과제에서 실제 구축된 플랜트에 적용, 운영함으로써 스케일업 기술을 개발. 향후 계획으로 추진 중인 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 극저온 열교환기 시제품 개발

○ 4 세부과제 : 수소액화용 Cold Box 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과목표	• 0.5 ton/day 수소액화 플랜트용 Cold Box 국산화 개발
		설정근거	• Cold Box는 제 1 세부과제에서 개발된 공정기술을 구현하는 장비의 집합으로, 핵심 기자재를 제외한 기타 일반 기자재를 조합하여, 구성. 1단계 3년에서는 공정기술개발에서 수행하는 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 Cold Box를 우선 개발
2단계	2022 ~ 2023	성과목표	• 5 ton/day 수소액화플랜트용 극저온 Cold Box 개발
		설정근거	• 1단계에서 개발된 0.5 ton/day 급 Cold Box를 1세부과제에서 실제 구축된 플랜트에 적용, 운영함으로써 스케일업 기술을 개발. 향후 계획으로 추진 중인 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 Cold Box 시제품 개발

○ 5 세부과제 : 수소액화용 극저온 밸브 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과 목표	0.5 ton/day 수소액화 플랜트용 극저온 밸브 국산화 개발
		설정 근거	수소액화플랜트의 국산화 기술은 공정기술과 더불어 핵심 기자재의 국산화 개발까지를 포함함. 1단계 3년에서는 공정기술개발에서 수행하는 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 극저온 밸브를 우선 개발
2단계	2022 ~ 2023	성과 목표	5 ton/day 수소액화 플랜트용 극저온 밸브 국산화 개발
		설정 근거	1단계에서 개발된 0.5 ton/day 급 극저온 밸브를 1세부과제에서 실제 구축된 플랜트에 적용, 운영함으로써 스케일업 기술을 개발. 향후 계획으로 추진 중인 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트에 적용할 극저온 밸브 시제품 개발

○ 6 세부과제 : 액체수소 저장탱크 개발

단계	기간	성과목표	
1단계	2019 ~ 2021	성과 목표	35m³ 중용량 액체수소 저장탱크 개발
		설정 근거	35m³ 액체수소 저장탱크는 약 2.5 ton의 액체수소를 저장할 수 있으며, 이는 1단계 pilot 규모(0.5 ton/day) 수소액화 플랜트에서 생산되는 액체수소의 5일 분 저장용량, 일반적으로 상용급 플랜트에서 5일 생산분 저장 탱크를 구비함. 또한 중용량 저장탱크 기술은 행우 수소스테이션의 저장탱크로 활용 가능
2단계	2022 ~ 2023	성과 목표	350m³ 대용량 액체수소 저장탱크 개발
		설정 근거	350m³ 액체수소 저장탱크는 약 25 ton의 액체수소를 저장할 수 있음. 제 1 세부과제 공정기술 개발의 2단계 성과 목표는 향후 계획으로 추진 중인 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트의 설계 기술을 개발하는 것으로 이를 토대로 상용급 (5 ton/day) 수소액화 플랜트 국산화 구축 과제를 계획하고 있음. 이에 활용할 5일 생산분 저장이 가능한 대용량 액체수소 저장탱크의 시제품 개발

2. 성과 지표 설정 기준

- “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발 사업”의 전체 성과지표는 ‘국가연구개발사업 표준성과지표’를 준용하여 유형별 성과지표 중 사업 성과 목표에 부합하는 질적 지표를 추출
 - 질적지표는 사업 전체의 성과 달성도를 측정하기 위하여 사용. 상세 내용은 4장 2절 참조
 - 과학적 성과 지표 (질적 지표) : 게재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)
 - 기술적 성과 지표 (질적 지표) : 특허 SMART
 - 기술적 성과 지표 (질적 지표) : 국산화율
 - 경제적 성과 지표 (질적 지표) : 우수기술이전
- 전체 사업의 경우 질적 지표를 기준으로 성과를 측정하되, 각 세부과제의 경우 최소한의 정량적 목표를 부과 - 논문, 특허, 시제품, 기술료
 - 본 사업과 유사한 성격의 국토교통부 플랜트기술개발사업의 성과(www.kaia.re.kr)를 토대로 정부 투자 연구비 대비 기본 정량적 목표 산출
 - 2017년 기준 총 정부투자 연구비 : 511억원
 - 2017년 기준 총 특허 출원 82건 : 1.6건/10억원
 - 2017년 기준 총 특허 등록 31건 : 0.6건/10억원
 - 총 SCI(E) 105건 : 2건/10억원
 - 상기한 정량적 성과를 참조하여 다음의 기준으로 각 세부과제의 연차별 최소 정량성과 목표 설정 (정부 투자 연구비 기준)
 - 특허출원 : 2.0건/10억원
 - 특허등록 : 1.0건/10억원 (기술개발 후 실증이 목표이므로 특허등록 목표 상향)
 - SCI(E) : 1건/10억원 (기술개발 후 실증이 목표이므로 논문 목표 하향)
 - 연구개발 1차년도에 특허등록 및 SCI(E) 논문 게재는 현실적으로 불가능하므로, 두 지표는 0으로 처리
 - 정부 투자 연구비가 적어 특허등록연구개발 1차년도에 특허등록 및 SCI(E) 논문 게재는 현실적으로 불가능하므로, 1차년도는 두 지표를 0으로 처리
 - 산식결과는 반올림 적용
 - 상대적으로 정부투자 연구비가 적은 Valve 개발의 경우 단계별 정부투자 연구비 기준으로 목표 배분
 - 시제품의 경우, 모든 세부과제에서 각 단계별로 1건 제작,
 - 1 세부과제 상기한 정량적 성과를 참조하여 다음의 기준으로 각 세부과제의 연차별 최소

정량성과 목표 설정 (정부 투자 연구비 기준)

- 기술료의 경우 2016년 국가연구개발사업 성과분석보고서(2018, 과학기술정보통신부)를 토대로 국토교통부 연구개발사업의 기술료 징수 실적을 토대로 목표 설정
- 본 사업은 국산화 기술개발 후 시제품 제작까지 수행하는 개발/실증 연구이므로 국토교통부 평균 대비 2배로 목표를 상향: 정부투자비 10억원당 0.2억원 설정
- 국토교통부 2016년 R&D 투자금액 : 5,451 억원 (www.kaia.re.kr)
- 국토교통부 140건, 징수액 57.7억원, 건당 징수액 : 0.41억원
- 총 투자연구비 대비 기술료 징수액 $57.7\text{억원} / 5,451\text{억원} = 0.1\text{억원} / 10\text{억원}$
- 기술료 징수의 경우 기술개발 완료 후 발생 가능하므로, 각 단계별로 목표 설정

3. 세부과제별 양적 성과지표

□ 양적 성과지표

세부과제	구분	1단계				2단계			총계
		1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	
1세부과제 고효율 수소액화 공정 기술 개발	총연구비(억원)	20.0	70.0	60.0	150.0	30.0	30.0	60.0	210.0
	정부출연금(억원)	13.3	46.7	40.0	100.0	15.0	15.0	30.0	130.0
	SCI(E)(건)	0	5	4	9	2	2	4	13
	특허출원(건)	3	9	8	20	3	3	6	26
	특허등록(건)	0	5	4	9	2	2	4	13
	기술료(억원)			2.0	2.0		0.6	0.6	2.6
	시제품(건)			1	1		1	1	2
2세부과제 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발	총연구비(억원)	6.0	15.0	10.0	31.0	12.0	12.0	24.0	55.0
	정부출연금(억원)	4.0	10.0	6.7	20.7	6.0	6.0	12.0	32.7
	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	특허출원(건)	1	2	1	4	1	1	2	6
	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	기술료(억원)			0.4	0.4		0.2	0.2	0.6
	시제품(건)			1	1		1	1	2

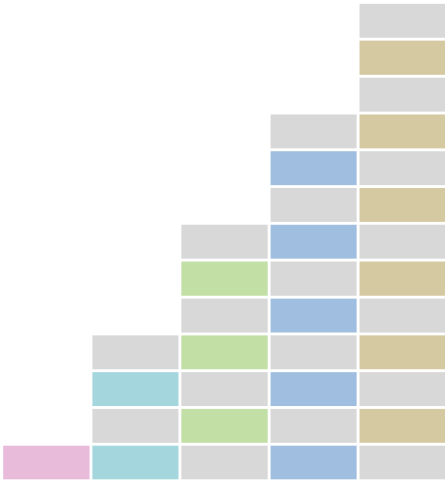
세부과제	구분	1단계				2단계			총계
		1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	
3세부과제 수소액화용 극저온 열교환기 개발	총연구비(억원)	5.0	9.0	12.0	26.0	12.0	12.0	24.0	50.0
	정부출연금(억원)	3.3	6.0	8.0	17.3	6.0	6.0	12.0	29.3
	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	특허출원(건)	1	1	2	4	1	1	2	6
	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	기술료(억원)			0.3	0.3		0.2	0.2	0.5
	시제품(건)			1	1		1	1	2
4세부과제 수소액화용 Cold Box 개발	총연구비(억원)	6.0	13.0	15.0	34.0	20.0	20.0	40.0	74.0
	정부출연금(억원)	4.0	8.7	10.0	22.7	10.0	10.0	20.0	42.7
	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	특허출원(건)	1	2	2	5	2	2	4	9
	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	4
	기술료(억원)			0.5	0.5		0.4	0.4	0.9
	시제품(건)			1	1		1	1	2

세부과제	구분	1단계				2단계			총계
		1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	
5세부과제 수소액화용 극저온 밸브 개발	총연구비(억원)	3.0	3.0	6.0	12.0	6.0	6.0	12.0	24.0
	정부출연금(억원)	2.0	2.0	4.0	8.0	3.0	3.0	6.0	14.0
	SCI(E)(건)	0	0	0	0	0	0	0	0.0
	특허출원(건)	0	1	1	2	1	1	2	4.0
	특허등록(건)	0	0	1	1	0	0	0	1.0
	기술료(억원)			0.2	0.2		0.1	0.1	0.3
	시제품(건)			1	1		1	1	2
6세부과제 액체수소 저장탱크 개발	총연구비(억원)	5.0	10.0	17.0	32.0	20.0	20.0	40.0	72.0
	정부출연금(억원)	3.3	6.7	11.3	21.3	10.0	10.0	20.0	41.3
	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	4.0
	특허출원(건)	1	1	2	4	2	2	4	8.0
	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	4.0
	기술료(억원)			0.4	0.4		0.4	0.4	0.8
	시제품(건)			1	1		1	1	2

□ 세부과제별 시제품 내용

세부과제	시제품	
	1단계3년	2단계2년
1세부과제 고효율 수소액화 공정 기술 개발	0.5 TPD수소액화 pilot System	개발기자재 적용 0.5 TPD수소액화 pilot System
2세부과제 수소액화용 극저온 turbo expander 개발	0.5 TPD급 Turbo Expander	5 TPD급 Turbo Expander
3세부과제 수소액화용 극저온 열교환기 개발	0.5 TPD급 극저온 열교환기	0.5 TPD급 극저온 열교환기
4세부과제 수소액화용 Cold Box 개발	0.5 TPD급 Cold Box	5 TPD급 Turbo Expander
5세부과제 수소액화용 극저온 밸브 개발	0.5 TPD급 극저온 밸브	5 TPD급 Turbo Expander
6세부과제 액체수소 저장탱크 개발	35m ³ 액체수소 저장탱크	350m ³ 액체수소 저장탱크

VI. RFP



제 1 절 총괄 RFP (연구단)

과제명	상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 수소액화 플랜트 공정기술 및 수소액화 핵심설비, 액체수소 저장탱크 기술개발을 통해 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반마련 ○ 상용급 (5 ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 설계기술 확보 - LNG 냉열 활용 고효율 공정설계 기술 개발 (효율 : 11.4 kWh/kgH₂, 5 ton/day) - LNG 냉열 활용 pilot (0.5 ton/day) 수소액화 플랜트 구축 운용 (효율 : 14.3 kWh/kgH₂, 운전시간 100hr * 5회) ○ 수소액화 핵심 기자재 개발 (0.5 ton/day급, 5 ton/day급) - 수소액화용 극저온 Turbo Expander - 수소액화용 극저온 열교환기 - 수소액화용 Cold Box - 수소액화용 극저온 밸브 ○ 액체수소 저장탱크 개발 - 35m³급 저장탱크 (Boil off ratio : 1%/day) - 350m³급 저장탱크 (Boil off ratio : 0.3%/day)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	○ 신기후 체제에 대응하기 위하여, IEA는 미래 에너지 시스템의 변화를 예상 (IEA, Energy Technology Perspectives, 2016) - 2050년 에너지 수요는 재생 가능 에너지 44 %, 화석 연료 45 %, 원자력 11% 수준으로 재생가능에너지의 비율이 화석연료 수준으로 증가 ○ 재생에너지의 간헐성 극복을 위한 에너지 저장 매체, 이산화탄소 무배출 연료로서의 수소의 필요성 및 활용성 증대 ○ Hydrogen Council에서 2DS (2 Degree Scenario) 시나리오를 만족하기 위한 수소 활용기술의 상용화 시점을 분석 - 수송부분에서는 이미 상용화가 시작된 수소연료전지자동차를 시작으로 2030년까지 시장이 성숙될 것으로 전망되며, 2030년 이후에는 대형 선박

	및 비행기에 적용 예측 - 발전부분에서는 현재의 연료전지 발전 기술이 계속적으로 상용화 되고, 수소가스터빈 발전 기술은 2025년부터는 상용화가 시작되어 2040년 이후에는 시장이 성숙될 것으로 예측 - 건물용 에너지 분야에서는 현재 이미 사용되고 있으며, 2030년 이후 본격적으로 활성화 될 것으로 예측 ○ 최근 정부에서 수소경제, 빅데이터, 인공지능을 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼 (인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정 ('18.8. 제5차 혁신성장 관계장관회의) ○ 이러한 수소의 활용을 위해서는 수소의 대용량 생산, 저장, 이송 방안 필수 - 다양한 형태의 수소 저장 및 이송방식이 있으나, 현재 기술로서 상용화 되어 있는 방식은 고압기체수소 및 액체수소 저장/운송 방식임 - 액체수소(liquid hydrogen)는 극저온 상태(대기압 기준 -253°C)로 냉각하여 액화된 수소이며 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체수소 대비 800배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음 * 고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4.5배의 저장밀도 - 액체수소는 대기압에서 대용량 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음 - 다만 고압기체 저장 방식에 비해 수소를 액화하는 공정이 추가되어 에너지 비용 증가에 따른 경제성 문제를 해결하기 위하여 고효율 수소액화 공정 필요 ○ 전 세계에서 운영되는 상용급 수소액화 플랜트는 2010년 기준 355 ton/day 수준 * 미국과 캐나다의 북미 지역 300 ton/day, 유럽 24.4 ton/day, 중국, 인도, 일본 약 30.6 ton/day - 국내의 경우 상용급 수소액화 플랜트는 전무함 - 상용 수소액화플랜트 기술은 Air Product & Chemicals (미국), Praxair (미국), Linde (독일), Air Liquide (프랑스) 등 4개 기업에서 기술을 독점 - 향후 막대한 건설 수요가 예상되는 수소액화플랜트 기술의 국산화 시급

□ 기술동향	○ 주요 4개 회사에서 적용하고 있는 수소액화 사이클은 주로 Precooled 수소 Claude 사이클과 Precooled 헬륨 Brayton 사이클로써 용량은 0.5-54 ton/day 수준 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 10~15 kWh/kgLH₂ 수준임 ○ Praxair (미국) - Praxair는 현재 미국에 6-35 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화 플랜트를 5기 이상 설치하였음 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 12.5-15 kWh/kgLH₂ 수준임 - 수소액화 사이클은 주로 Precooled Claude 사이클을 사용하지만, 좀 더 복잡한 공정으로 구성되어 있음 - 3개의 열교환기가 있는데, 첫 번째 열교환기는 질소가스와 외부 냉동기에 의해 냉각되고, 두 번째 열교환기는 액체질소와 수소 가스에 의해 냉각되고 있으며, 세 번째 열교환기는 팽창기와 J-T 밸브에 의해 팽창되는 수소 Claude 사이클에 의해 냉각됨 ○ Air Product & Chemicals (미국) - Air Product & Chemicals는 현재 미국에 30-35 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 4기 이상 설치하였음 - 5 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 미국과 네덜란드에 각각 1기씩 설치하였음 - Air Product & Chemicals사의 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임 ○ Air Liquide (프랑스) - Air Liquide는 10 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 프랑스와 캐나다에 각각 1기 설치 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 10 kWh/kgLH₂ 정도이고, 액체질소를 예냉용으로 사용하는 수소 냉매 Claude 사이클, He Turbo Brayton Cycle을 주로 사용 - Air Liquide 사에서도 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임 ○ Linde (독일) - Linde는 현재 가장 활발히 수소액화플랜트 건설을 진행하고 있는 업체로써, 대표적인 수소액화플랜트는 Ingolstadt와 Leuna에 위치하고 있음 - Ingolstadt에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 4.4

	ton/day로 Precooled Claude 사이클을 사용 - Leuna에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 5 ton/day로 Precooled Claude 사이클을 사용 - Linde에서는 LNG 냉열과 질소냉동기에 의한 액체질소의 냉열을 이용하는 수소액화플랜트를 계획 중 ○ The World Energy NETwork (WE-NET) project (일본) - 일본에서는 신에너지·산업기술융합개발기구 (NEDO) 중심으로 수소이용 국제 그린에너지 시스템 기술(WE-NET) 프로젝트인 대형 수소액화 플랜트 개발을 위해 미쓰비시 중공업, 일본 Air Liquide 및 일본산소 등 3개 회사가 분담하여 검토 - 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 세계 최대인 약 300 ton/day를 목표로 액체질소 Precooled 수소 Claude 사이클, 헬륨 Brayton 사이클, 혼합 냉매 사이클 및 네온 사이클 등 4개의 사이클에 대한 설계를 진행 - 4개의 사이클을 종합적으로 고려한 결과, 액체질소 Precooled Claude 사이클을 이용한 수소액화 공정이 가장 적합한 것으로 판단 ○ 수소액화 공정의 효율은 예냉과정에서 냉열을 무상으로 공급받을 수 있다면 700 bar 압축 공정과 비슷한 수준의 효율까지 기대할 수 있음. - 실제로 주로 LNG를 수입하는 일본과 우리나라의 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함. 특히 LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 활용할 수 있음 ○ 국내 수소액화 기술의 경우, 한국기계연구원은 헬륨냉각공정을 적용한 300Nm³/hr급 수소액화 공정 설계기술을 연구하였으며, 액화기 제품으로는 한국과학기술연구원 (KIST)과 하이리움산업에서 G-M (Gifford- McMahon) 극저온냉동기를 이용한 실험실 규모의 소형 수소액화시스템 (1.5~10kg/day) 개발이 유일함 ○ 극저온 기자재의 경우 LNG플랜트 사업단에서 LNG 플랜트 기자재 (-162℃)에 적용하는 기자재의 개발 경험을 가지고 있으나 그보다 더 온도가 낮은 액체수소 환경(-253℃)에서의 기자재 개발 경험은 없음

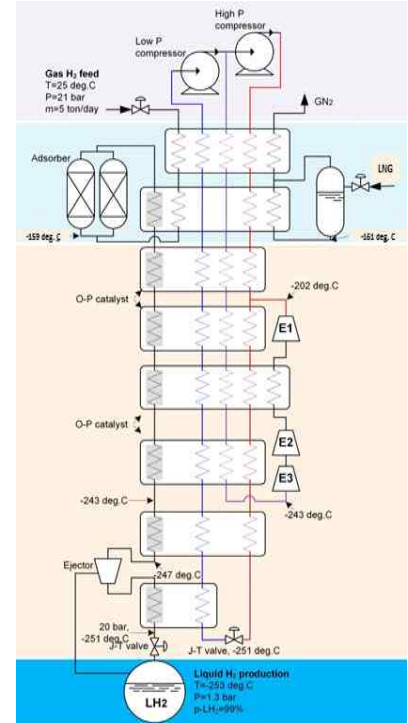
3. 연구개발 내용 및 범위

□ 세부과제별 연구내용

[과제의 정의]

공급측 기체수소는 압축기를 통과하여 고온 고압의 기체 상태가 되고, J-T (Joule-Thomson) Valve 팽창을 통하여 액화됨. 수소는 최대 역전온도 (Inversion Temperature)가 상온보다 낮아, 액화를 위해서는 역전온도 이하로의 냉각을 위한 냉각 과정이 필수적임. 냉각과정을 위해서 LN₂ 등을 이용한 예냉과, 냉매 (수소 또는 헬륨)를 압축 팽창시켜 추가 냉각시키는 과정이 필요. 공정 구성 방식에 따라 다양한 공정 Cycle이 존재하는데, 일반적으로 상용급 수소액화 플랜트의 경우 H₂ Claude Cycle과 Turbo Brayton Cycle이 주로 사용됨.

본 과제는 LNG Precooled 고효율 공정을 토대로 상용급 수소액화 플랜트의 설계기술을 확보하고, 설계의 검증을 위하여 소규모 Pilot Plant를 구축 운용하고자 하는 과제임. 설계/구축 뿐만 아니라 핵심 기자재와 생산된 액체수소의 저장탱크 국산화를 포함함. 플랜트의 특성상 공정설계와 기자재 설계는 상호 연관되어야 하며, 기자재 성능은 통합 플랜트에서 측정되어야 함. 따라서 모든 세부과제의 유기적인 협조 필요함.



[1세부과제] 고효율 수소액화 공정 기술 개발

[1단계 3년]

○ 상용급 LNG Precooled 수소액화 공정 설계 및 최적화 기술개발

- LNG 냉열활용 후 기화된 NG를 개질하여 기체 수소 공급
- 효율, 안전 등을 고려한 최적 공정 설계 및 핵심기자재 (2, 3, 4, 5 세부과제) 사양 제시
- 설계 범위 : 0.5 ~ 50 ton/day

- 목표 효율 : 11.4kWh/kgH₂ at 5ton/day capacity

○ 공정설계를 토대로 한 pilot급 수소액화플랜트 구축/운용

- 플랜트 용량 0.5 ton/day, 효율 14.3 kW/kgH₂ (냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율)
- 정상상태 연속 운전 시간 : 100hr (저장탱크 용량이 5일분임을 감안. 1회

	정상상태 운영) - 수소 개질기와 주요 기자재는 상용품 사용 [2단계 2년] ○ pilot급 수소액화플랜트 운영, 공정설계 검증 - 타 세부과제에서 개발된 pilot 급 기자재 활용 수소액화플랜트 국산화 실증 - 플랜트 용량 0.5 ton/day, 효율 14.3 kW/kgH₂ (냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율) - 운전 시간 : 500hr (저장탱크 용량이 5일분임을 감안, 100시간 * 5회의 정상상태 운영) ○ pilot급 수소액화플랜트 운영 data를 토대로 한 공정 스케일업 설계기술 개발 - 상용급(5ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 기본설계 Package 개발 [2세부과제] 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발 [1단계 3년] ○ 0.5 ton/day 급 Turbo Expander 개발 - 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조) - 공력설계, 극저온 설계, 베어링 설계 - 부품, 베어링 제작 및 조립, 작동성 시험 [2단계 2년] ○ 1단계 국산 제작품 성능시험 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험 ○ 5 ton/day 급 Turbo Expander 개발 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발 - 부품, 베어링 제작 및 조립, 작동성 시험 [3세부과제] 수소액화용 극저온 열교환기 개발 [1단계 3년] ○ 0.5 ton/day 급 극저온 열교환기 개발 - 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조) - 열교환기 및 열교환기 성능시험 설비 설계 (열교환기 Type : Plate Fin Heat Exchanger) - 열교환기 시작품 제작 (ortho-para 전환 촉매 충전) 및 성능시험설비 구축 - 열교환기 성능시험 (성능목표: 헬륨 누설량 10⁻⁵ mbar · liter/sec) [2단계 2년] ○ 1단계 국산 제작품 성능시험

	- 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험 ○ 5 ton/day 급 열교환기 개발 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발 - 상용급 열교환기 제작 (열교환기 Type : Plate Fin Heat Exchanger, 성능 목표: 헬륨 누설량 10^{-5} mbar · liter/sec) [4세부과제] 수소액화용 Cold Box 개발 [1단계 3년] ○ 0.5 ton/day 급 Cold Box 개발 - 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조) - Cold Box 단열설계, 구조 설계, 상세설계 - Cold Box 제작 및 성능시험 (성능목표 : 운전온도 20K, 진공도: 10^{-5}mbar) [2단계 2년] ○ 1단계 국산 제작품 성능시험 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험 ○ 5 ton/day 급 Cold Box 개발 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발 - 상용급 Codbox 제작 및 성능시험 (성능목표 : 운전온도 20K, 진공도: 10^{-5}mbar) [5세부과제] 수소액화용 극저온 밸브 개발 [1단계 3년] ○ 0.5 ton/day 급 극저온 밸브 개발 - 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조) - 극저온 밸브 재료 선정, 구조 설계, 유동 해석 - 극저온 밸브 seal 설계 - 극저온 밸브 제작 및 성능시험 [2단계 2년] ○ 1단계 국산 제작품 성능시험 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험 ○ 5 ton/day 급 극저온 밸브 개발 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발 - 극저온 밸브 제작 및 성능시험, 성능 인증 [6세부과제] 액체수소 저장탱크 개발 [1단계 3년]

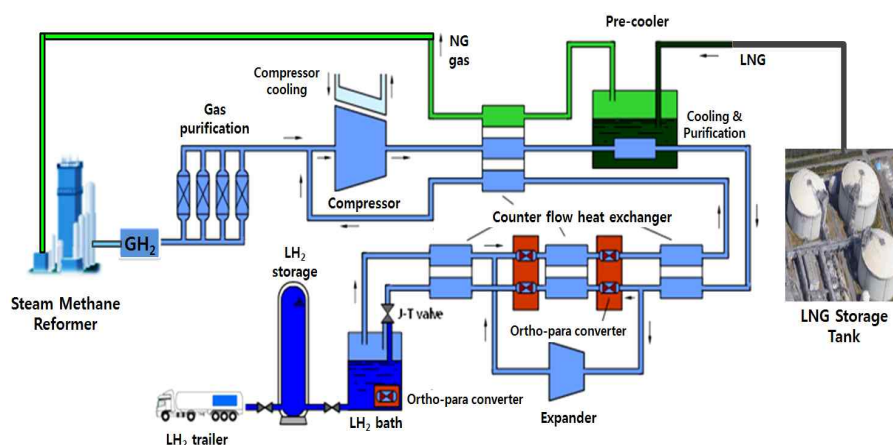
- 35m³ 중용량 저장탱크 개발
 - 고용적률 내압구조 설계 기술 개발 (내압 : 10bar)
 - 극저온 단열기술 개발 (Boil off rate : 1%/day)
 - 안전장치 설계
 - 시작품 제작 및 성능시험 (내압: 10bar, Boil off rate : 1%/day)
- [2단계 2년]
- 1단계 35m³ 중용량 저장탱크 성능평가 (내압: 10bar, Boil off rate : 1%/day)
 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 생산된 액체 수소 활용
- 350m³ 대용량 저장탱크 스케일 업 개발
 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발
 - 액체수소 저장탱크 국내외 인증 (KGS, ASME 또는 선급)

4. 연구개발 추진 방법

□ 추진전략

[수소액화 플랜트 고효율화 전략]

- LNG를 다량 수입 활용하는 우리나라와 일본과 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함. 특히 LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 추진
- 이러한 경제성은 수소액화플랜트의 규모가 커질수록 증가하며, 향후 대용량 수소생산의 필요성을 고려할 때 최선의 선택으로 평가됨
 - LNG 개질 시 냉열을 활용하는 고효율 수소액화 공정에 개념도는 다음과 같음



[그림] LNG 활용 고효율 수소액화 공정 개념도

[수소액화 플랜트 기술 확보 전략]

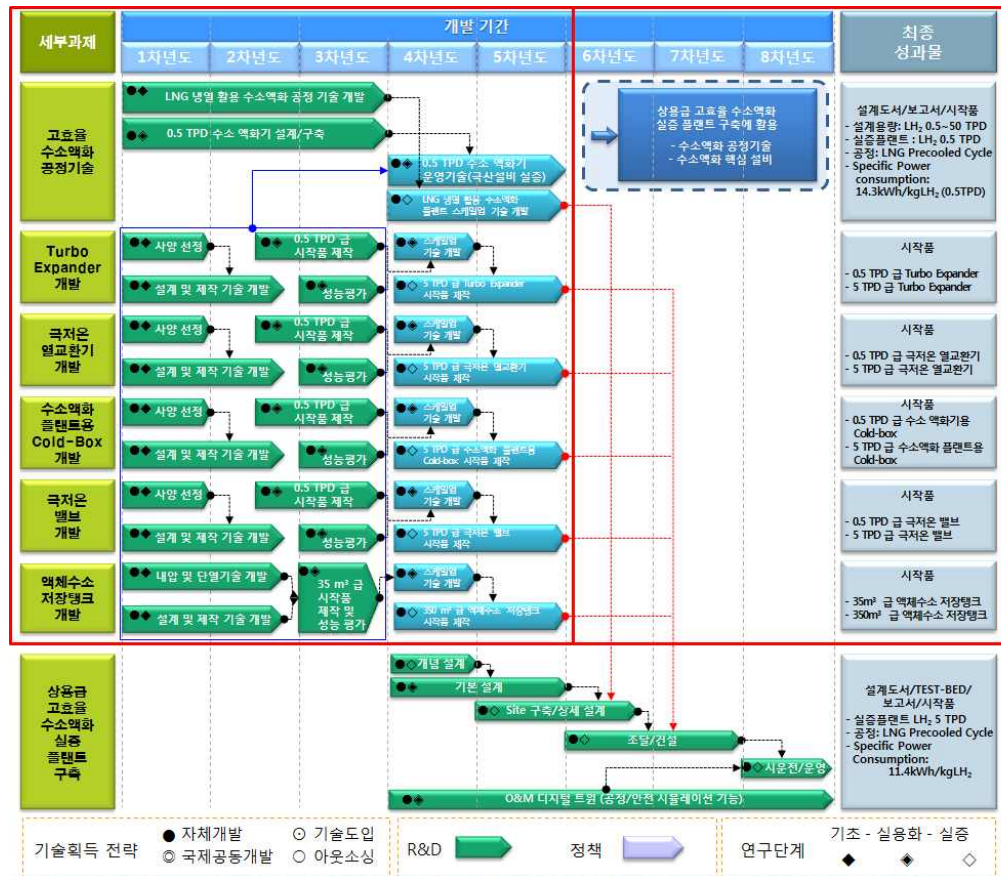
- 수소액화 공정설계 기술 확보 및 검증용 수소액화 Pilot 플랜트 조기 구축
 - 현재까지 국내에는 수소액화플랜트 개발경험이 전무하고, 세계적으로도 수소액화 플랜트 기술을 보유하고 있는 국가 (기업)는 5개국 정도에 불과함
 - 기술개발의 성공 가능성을 높이기 위하여 수소액화플랜트 설계, 구축 분야에서 신뢰성 있는 기술을 확보하기 위한 방법이 필요
 - Pilot급 소형 수소액화 플랜트의 조기 구축/운영을 통한 데이터의 확보, 설계의 스케일업 기술을 확보하는 전략 추진 필요
- 필요시 국제공동연구 또는 협력을 통한 기술 획득
 - 기존 수소액화 플랜트 상용화 기술을 보유하고 있는 기업 기술의 전면 도입
 - 장점 : 신뢰성 있는 기술의 확보로 수소액화 플랜트 조기 구축 가능
 - 단점 : 설계기술의 국외 기술 종속, 라이선스 비확보
 - 가능성 : 수소액화 상용화 기술을 가진 기업의 경우, 수소액화 플랜트 구축에 있어 핵심이 되는 Cold Box를 제외하고는 기술 협력 가능성 있음
 - 기존 수소액화 공정 설계 기술을 보유한 연구 기관과의 공동 연구
 - 장점 : 공정 개념 설계 기술의 조기 확보, 국내 자체 기술로 기본 설계 공정 라이선스 확보 가능, Pilot 플랜트 조기 구축을 위한 외국 기자재 업체 확보 가능
 - 단점 : 상용화 기술 수준 미확보, 실증 pilot 플랜트 구축 및 운용을 토대로 확보 추진
 - 가능성 : 수소액화 공정 설계 기술을 가진 국외 기관과의 협력체계 구축 결과, 수소 액화 플랜트 분야의 기술 협력 가능성 확인
 - 공정설계 분야의 기술 협력, 설계 검증을 위한 pilot plant 구축 지원 (벤더리스트 제공 등) 협력

[기술 개발 전략]

- 다음은 본 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발 사업의 기술개발 로드맵과 향후의 상용급 수소액화 실증 플랜트 연계 방안을 보여줌
 - 상용급 수소액화 플랜트 실증에는 확증된 설계기술, 기자재 기술이 필수적이며, 막대한 예산이 필요하므로, 상용급 개발목표인 5 ton/day의 1/10 scale (0.5 ton/day) 수준의 pilot plant 조기 구축을 단기 목표로 추진
 - 0.5 ton/day 규모의 수소액화 플랜트는 라이선서가 공급 가능한 최소의 규모임
 - 수소공급 및 액화 공정은 상용급 수소액화플랜트와 동일한 LNG 개질과

LNG 냉열을 활용한 공정을 사용

- 개질기의 경우 국내외에 많은 라이선서가 있어 쉽게 구매가 가능함.



[그림] 상용급 액체수소 핵심 기술개발사업 로드맵

- 고효율 수소액화 공정 기술에서 0.5 ton/day급 소규모 pilot 플랜트(개질기 포함)를 구축, 운영하여 공정설계를 검증하여 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용
 - 액체수소를 생산하여 공급함으로써, 기자재 개발 및 실증에 활용하는 동시에 공정/운영 데이터 확보, 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용
- 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략
 - 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진
 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 Pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도)

	- 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후 추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용 ○ 액체수소 저장탱크 개발은 0.5 ton/day급 수소액화기 활용 시 5일 저장 가능한 35 m³ 저장규모와 저장탱크와 상용급(5ton/day) 수소액화 실증 플랜트 구축 시 5일 저장이 가능한 350 m³ 저장규모로 나누어 단계별 개발 진행 ○ 본 과제 수행 연구단은 연구개발 1단계 (1차년도~3차년도)에 기술개발 로드맵 상에 연계되어 있는 “상용급 (5 ton/day) 고효율 수소액화 실증 플랜트 구축” 방안에 대한 예비타당성 조사 수준의 상세 기획을 진행하여, 이의 실행방안을 마련
□ 추진체계	[세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 과제의 구성상 전체 시스템 공정을 담당할 1 세부과제의 역할 중요. · 전체 세부과제의 기술개발 사양을 제시하고, 개발결과의 모니터링과 상위 수준에서의 인터페이스 (interface)를 관리하고, 개발된 기술을 활용하여 Pilot 플랜트를 구축하고, 운영하는 총괄과제 형식의 과제 - 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시하여야 함 - 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 개발 완료하고, 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축될 0.5 ton/day Pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 실증 [연구단 구성 및 공모방안] ○ 본 과제는 연구단 컨소시엄 공모로 진행 - 1 세부과제 주관기관이 전체 사업을 총괄할 연구단을 구성하여 전체 사업을 책임지고 진행 - 연구단 책임자는 세부과제와의 구체적인 연계전략을 제시하여야 함 - 2, 3, 4, 5 세부과제는 1세부과제 주관기관가 협의하여 연구계획 수립 - 6 세부과제는 별도 분리 공모를 통하여 사업자를 선정하며, 선정 이후 연구단에 편입

	[연구단 주관기관 (1세부 주관기관) 요건] ○ 일반요건 - 수소액화 공정 설계 전문 인력 및 액화 관련 유관 실적을 보유한 기관 - 1 세부과제의 성과물인 0.5 ton/day 급 Pilot 플랜트 설치 부지 (약 1,000 m²) 를 확보하고 있거나, 해당 세부과제 내의 공동기관에서 확보하고 있는 기관 * 국내 안전관련 법규를 검토하여 부지크기, 위치 등 설정 필요 - 부지의 경우 고압가스 안전관리법 등 관련법을 만족하여야 함 - 주관기관은 Pilot 플랜트 구축을 위한 인허가 및 민원을 자체적으로 해결하여야 함 ○ 안전관리 요건 : 가스안전 및 산업안전보건법에 따른 공정안전을 담당할 가스기능사 이상의 자격을 보유한 참여연구원 2인 이상 확보 - 0.5 ton/day 급 수소액화 Pilot 플랜트의 5일 운영 기준 LNG 저장량 (7,000 kg) 및 액체수소 저장량 (2,500kg) 고려하여 안전기준을 준수하여야 함 - 해당 설비의 구축 및 운영을 위하여, 국내의 기준인 고압가스안전관리법과 산업안전 보건법의 안전기준을 준수하여야 함 - 고압가스 안전관리법에 의하면 · 저장용량 100 ton 이상인 경우, SMS (Safety Management System) 인증을 받아야 하나, 본 Pilot 플랜트 규모 용량에서는 해당사항 없음 · 저장용량 100 ton 이하의 경우, 안전관리 총괄자 1명, 안전관리 부총괄자 1명, 안전관리 책임자 1 (가스 기능사 이상), 안전관리원 1명 (가스기능사 이상)을 선임하여야 함 - 산업안전보건법에 의하면 · 가연성 가스 5 ton 이상 취급 시설의 경우 PSM (Process Safety Management) 인증을 받아야 함 ○ 설비 요건 : 참고사항 - 본 과제에서는 LNG를 활용한 수소개질 방식으로 수소를 공급하고, 이때의 냉열을 활용함. 따라서 기존에 LNG 저장 및 활용 설비를 기 구축한 기관의 경우 효율적으로 과제 수행이 가능함. 기 구축된 LNG 저장 및 활용 설비가 없는 경우 연구비 내에서 이의 구축 하여야 하며, 이를 제안서에 상세히 제시 하여야 함
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	[1세부과제] 고효율 수소액화 공정 기술 개발 - 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 (1단계) - 0.5 ton/day pilot 수소액화 플랜트 운용결과 보고서 (2단계)

	- 상용급 (5 ton/day) 기본설계 Package (2단계) [2세부과제] 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (2단계) [3세부과제] 수소액화용 극저온 열교환기 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (2단계) [4세부과제] 수소액화용 Cold Box 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (2단계) [5세부과제] 수소액화용 극저온 밸브 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (2단계) [6세부과제] 액체수소 저장탱크 개발 - 35m³ 중용량 저장탱크 시제품 (1단계) - 350m³ 대용량 저장탱크 시제품 (2단계) - 국내외 인증 (KGS, ASME 또는 선급)																																																																											
□ 성과지표	[1단계] <table><tr><th rowspan="2">성과지표명</th><th rowspan="2">단위</th><th colspan="5">1단계 목표</th></tr><tr><th>2019</th><th>2020</th><th>2021</th><th>계</th><th>가중치</th></tr><tr><td>계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)</td><td>%</td><td>-</td><td>53</td><td>55</td><td>-</td><td>0.2</td></tr><tr><td>특허 SMART</td><td>-</td><td>-</td><td>3.8</td><td>4.0</td><td>-</td><td>0.3</td></tr><tr><td>우수기술이전</td><td>건</td><td>-</td><td>-</td><td>13</td><td>13</td><td>0.2</td></tr><tr><td>국산화율</td><td>%</td><td>-</td><td>-</td><td>25</td><td>-</td><td>0.3</td></tr><tr><td>SCI(E) 논문 수</td><td>%</td><td>-</td><td>9</td><td>8</td><td>17</td><td>-</td></tr><tr><td>특허 출원 수</td><td>%</td><td>7</td><td>16</td><td>16</td><td>39</td><td>-</td></tr><tr><td>특허 등록 수</td><td>%</td><td>-</td><td>9</td><td>9</td><td>18</td><td>-</td></tr><tr><td>기술료(억원)</td><td>%</td><td>-</td><td>-</td><td>3.8</td><td>3.8</td><td>-</td></tr><tr><td>시제품수</td><td>건</td><td>-</td><td>-</td><td>6</td><td>6</td><td>-</td></tr></table>	성과지표명	단위	1단계 목표					2019	2020	2021	계	가중치	계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	%	-	53	55	-	0.2	특허 SMART	-	-	3.8	4.0	-	0.3	우수기술이전	건	-	-	13	13	0.2	국산화율	%	-	-	25	-	0.3	SCI(E) 논문 수	%	-	9	8	17	-	특허 출원 수	%	7	16	16	39	-	특허 등록 수	%	-	9	9	18	-	기술료(억원)	%	-	-	3.8	3.8	-	시제품수	건	-	-	6	6	-
성과지표명	단위			1단계 목표																																																																								
		2019	2020	2021	계	가중치																																																																						
계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	%	-	53	55	-	0.2																																																																						
특허 SMART	-	-	3.8	4.0	-	0.3																																																																						
우수기술이전	건	-	-	13	13	0.2																																																																						
국산화율	%	-	-	25	-	0.3																																																																						
SCI(E) 논문 수	%	-	9	8	17	-																																																																						
특허 출원 수	%	7	16	16	39	-																																																																						
특허 등록 수	%	-	9	9	18	-																																																																						
기술료(억원)	%	-	-	3.8	3.8	-																																																																						
시제품수	건	-	-	6	6	-																																																																						

[2단계]

성과지표명	단위	2단계 목표			
		2022	2023	계	가중치
계재학술지의 우수성 (표준화된 영향력지수)	%	58	61	-	0.1
특허 SMART	-	4.2	4.4	-	0.2
우수기술이전	건	-	7	7	0.3
국산화율	%	-	50	-	0.4
SCI(E) 논문 수	%	6	6	12	-
특허 출원 수	%	10	10	20	-
특허 등록 수	%	6	6	12	-
기술료(억원)	%	-	2.0	2.0	-
시제품수	건	-	6	6	-

* 특허 스마트 지수의 경우 SMART 등급 C를 1점, AAA를 9점으로 산정하여 합산 평균

* 국산화율의 경우 전체 pilot 플랜트 내에 포함된 국산화제품의 가격비율로 산정 (단 산정시 압축기, 수소개질기 제외)

○ 본 사업의 각 세부과제는 다음의 1단계 판단 기준에 따라 2단계 사업의 진행여부가 결정될 수 있음

세부과제	판단 기준
제1세부과제 고효율 수소액화 공정기술	0.5 ton/day 구축, 액체수소 생산 여부 및 효율(14.3 KWh/kgLH ₂) 달성 여부
제2세부과제 수소액화용 극저온 Turbo Expander	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제3세부과제 수소액화용 극저온 열교환기	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제4세부과제 수소액화용 Cold Box	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제5세부과제 수소액화용 극저온 밸브	0.5 ton/day급 시제품 제작 여부 및 자체 성능시험 결과
제6세부과제 액체수소 저장탱크	35m ³ , 저장탱크 시제품 제작 여부 및 성능(증발율 1%/day) 달성 여부

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

- 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용
 - 5 ton/day 기본설계 Package 및 핵심 기자재 시제품
- 0.5 ton/day pilot 급 수소액화 플랜트에서 생산된 액체 수소의 활용 (국내 최초로 생산되는 대용량 액체수소)
 - 본 기술 개발 과제 내의 핵심 설비 성능평가에 활용
 - 현재 작성중인 “국가 수소경제 로드맵” 상 중장기 방향으로 예상되는 액체수소 기반 인프라 구축의 모든 기술 개발 과제에 활용
 - 향후 추진예정인 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박, 건물용 연료전지 등) 기술개발에 활용
 - 국내 수소충전소 보급계획에 “액체수소 기반 수소충전소” 보급 추진, 해당 수소충전소에 액체수소 공급
 - 국가 발사체 사업의 액체수소 엔진 연구에 활용
 - 국내 산학연 극저온 연구에 활용

[실용화 방안]

- 현 시점에서 상용급 수소액화 플랜트 시장은 거의 없으므로, 미래 액체 수소 수요 증가에 대비하여 철저한 국산화 기술 확보
- 실용화를 위하여 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설 추진
 - 실증을 통한 상용급 수소액화플랜트 및 핵심 기자재 설계/제작/건설기술 확보
 - 상용급 수소액화플랜트 및 기자재 Track Record 확보
 - 실용화 주체 : 기술개발결과를 기업에 이전, 미래 수소액화 플랜트 건설 시장 및 기자재 시장 진출
 - 플랜트 건설회사, 플랜트엔지니어링 회사, 가스공사 등 국내 가스 공급 회사, 수소 생산/유통기업
 - 플랜트 기자재 생산기업
- 본 연구개발결과의 국내 활용을 위하여 국가로드맵 반영 및 관심 기업, 지자체에 대용량 수소생산 및 액화플랜트 건설 추진
 - 가스공사 LNG 생산기지 (연관 지자체 연계), 민간기업 LNG 인수기지

	[기대효과] ○ 기술적 기대효과 - 세계 4개 회사만이 보유한 수소액화 플랜트 상용화 기술의 국산화 - LNG, 헬륨 플랜트, 초전도케이블 등 극저온 플랜트 기술 경쟁력 강화 - 극저온 환경 기자재 기술 경쟁력 강화 ○ 사회적 기대효과 - 대용량 수소 생산 및 저장, 운송 기술 확보로 수소경제 사회 기반 구축 - 수소활용 산업 (수소차, 수소버스, 수소트럭, 수소 선박, 연료전지 분산 발전 등)의 활성화를 통하여 지구온난화 물질 및 미세먼지 저감 ○ 경제적 기대효과 - 개발 기술의 상용급 실증이 완성되어 국내외 신규 액체수소 수요에 대응할 수 있는 경우를 가정, 2029년~ 2039년 누적 · 수소액화플랜트 건설 : 국내 신규 시장 수주액 11.3조원 · 연평균 생산유발효과 : 1.2조원 · 연평균 고용유발효과 : 4,900명
7. 연구개발기간 및 소요 예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9 개월) ○ 총 정부출연금 : 29,000 백만원 이내 - 1차년도 정부출연금 : 3,000 백만원 이내 ○ 세부과제별 예산배분 - 1세부과제 : 총 정부출연금 13,000 백만원 (1차년도 1,300 백만원) 이내 - 2세부과제 : 총 정부출연금 3,270 백만원 (1차년도 400 백만원) 이내 - 3세부과제 : 총 정부출연금 2,930 백만원 (1차년도 330 백만원) 이내 - 4세부과제 : 총 정부출연금 4,270 백만원 (1차년도 400 백만원) 이내 - 5세부과제 : 총 정부출연금 1,400 백만원 (1차년도 200 백만원) 이내 - 6세부과제 : 총 정부출연금 4,130 백만원 (1차년도 330 백만원) 이내 ※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

	※연구단은 선정 후 연구추진 과정 중, 타당한 근거가 있는 경우 총예산 범위에서 각 세부과제의 연구비를 조정할 수 있음. ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불 명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능 ○ 기술개발 로드맵 상의 본 과제의 후속으로 연계된 상용급 실증플랜트 구축계획이 미 확정되는 경우, 2단계 (4차년도, 5차년도)의 연구범위 및 예산은 조정될 수 있음.
8. 기 타	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 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 중복 되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 ※(예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성

	- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 ○ 제안서 작성 시 연구비가 공유되는 국제공동연구가 있다면, 구체적인 국제공동연구 방안을 제시하여야 함 ○ 연구신청자는 본 과제의 최종성과물인 0.5 TPD Pilot 수소액화 플랜트의 과제 종료후의 유지/운영방안 및 구체적 활용방안을 제시하여야 함 ○ 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 지도점검·관리 및 성과 평가 등의 근거자료 활용 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능 - 연구신청자는 1단계 3년 시점에서의 일부 세부과제의 목표 미달성 등의 불확실성을 고려한 전체 사업목표 달성방안을 제시하여야 함. ○ 연구신청자는 기술개발 로드맵상의 “상용급(5TPD) 고효율 수소액화 실증플랜트 구축” 방안에 대한 예비타당성 조사 수준의 상세 기획을 추진하여야 하며, 이의 실행방안을 명시하여야 함.

제 2 절 세부과제 RFP

☐ 1 세부과제

과제명	(1 세부과제) 고효율 수소액화 공정 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 상용급 수소액화 플랜트에 적용 가능한 고효율 수소액화 공정 기술 개발 (0.5-50 TPD) 및 Pilot급 수소액화 플랜트 구축/운영 ○ 상용급 LNG Precooled 수소액화 공정 설계 및 최적화 기술개발 - LNG 냉열 활용 고효율 공정설계 기술 개발 - 설계 범위 : 0.5 ~ 50 ton/day - 목표 효율 : 11.4kWh/kgH₂ at 5ton/day capacity ○ 공정설계를 토대로 한 pilot급 수소액화플랜트 구축/운영 - 플랜트 용량 : 0.5 ton/day - 목표 효율 : 14.3 kW/kgH₂ - 운전시간 : 500 hr (100hr * 5회)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	○ 최근 정부에서 수소경제, 빅데이터, 인공지능을 3대 전략투자 분야 확정, 수소경제를 위한 플랫폼(인프라, 기술, 생태계) 중장기 비전 설정 ('18.8, 제5차 혁신성장 관계장관회의) ○ 수소의 활용을 위해서는 수소의 대용량 생산, 저장, 이송 방안 필수 - 다양한 형태의 수소 저장 및 이송방식이 있으나, 현재 기술로서 상용화 되어 있는 방식은 고압기체수소 및 액체수소 저장/운송 방식임 - 액체수소(liquid hydrogen)는 극저온 상태(대기압 기준 -253℃)로 냉각하여 액화된 수소이며 기체수소의 부피를 약 1/800로 감소시킬 수 있어 동일 압력에서 기체수소 대비 800배의 체적에너지 밀도를 가지고 있음. * 고압 기체수소 (200 bar) 대비 액 4.5배의 저장밀도 - 액체수소는 대기압에서 대용량 저장이 가능하고, 이에 따라 저장용기의 안전성 부분에서 장점을 가지고 있으며, 낮은 온도로 기존 고압 기체수소에 비해 폭발 위험성이 낮음 - 고압기체 저장 방식에 비해 수소를 액화하는 공정이 추가되어 에너지 비용 증가에 따른 경제성 문제를 해결하기 위하여 고효율 공정 필요

□ 기술동향	○ 주요 4개 회사에서 적용하고 있는 수소액화사이클은 주로 Precooled 수소 Claude 사이클과 Precooled 헬륨 Turbo Brayton 사이클로써 용량은 0.5-54 ton/day 수준 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 10~15 kWh/kgLH₂ 수준임 ○ Praxair (미국) - Praxair는 현재 미국에 6-35 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화 플랜트를 5기 이상 설치하였음 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 12.5-15 kWh/kgLH₂ 수준임 - 수소액화 사이클은 주로 Precooled Claude 사이클을 사용하지만, 좀 더 복잡한 공정으로 구성되어 있음 - 3개의 열교환기가 있는데, 첫 번째 열교환기는 질소가스와 외부 냉동기에 의해 냉각되고, 두 번째 열교환기는 액체질소와 수소 가스에 의해 냉각되고 있으며, 세 번째 열교환기는 팽창기와 J-T 밸브에 의해 팽창되는 수소 Claude 사이클에 의해 냉각됨 ○ Air Product & Chemicals (미국) - Air Product & Chemicals는 현재 미국에 30-35 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 4기 이상 설치하였음 - 5 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 미국과 네덜란드에 각각 1기씩 설치하였음 - Air Product & Chemicals사의 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임 ○ Air Liquide (프랑스) - Air Liquide는 10 ton/day의 액체 수소 생산용량을 가지는 수소액화플랜트를 프랑스와 캐나다에 각각 1기 설치 - 수소액화 플랜트의 소요전력은 10 kWh/kgLH₂ 정도이고, 액체질소를 예냉용으로 사용하는 수소 냉매 Claude 사이클, He Turbo Brayton Cycle을 주로 사용 - Air Liquide 사에서도 자세한 기술적인 내용은 공개되어 있지 않은 상황임 ○ Linde (독일) - Linde는 현재 가장 활발히 수소액화플랜트 건설을 진행하고 있는 업체로써, 대표적인 수소액화플랜트는 Ingolstadt와 Leuna에 위치하고 있음

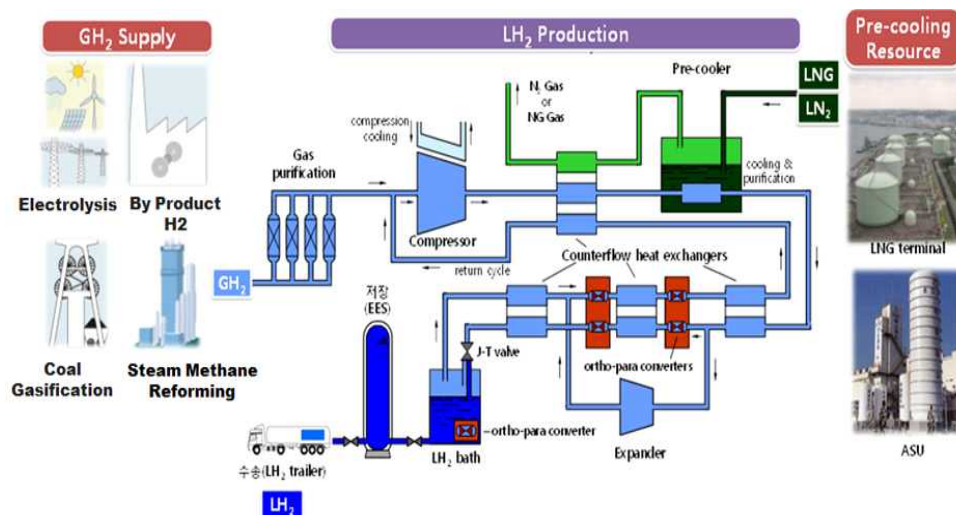
	- Ingolstadt에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 4.4 ton/day로 Precooled Claude 사이클을 사용 - Leuna에 위치하고 있는 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 약 5 ton/day로 Precooled Claude 사이클을 사용 - Linde에서는 LNG 냉열과 질소냉동기에 의한 액체질소의 냉열을 이용하는 수소액화플랜트를 계획 중 ○ The World Energy NETwork (WE-NET) project (일본) - 일본에서는 신에너지·산업기술총합개발기구 (NEDO) 중심으로 수소이용 국제 그린에너지 시스템 기술(WE-NET) 프로젝트인 대형 수소액화 플랜트 개발을 위해 미쓰비시 중공업, 일본 Air Liquide 및 일본산소 등 3개 회사가 분담하여 검토 - 수소액화플랜트의 액체수소 생산용량은 세계 최대인 약 300 ton/day를 목표로 액체질소 Precooled 수소 Claude 사이클, 헬륨 Brayton 사이클, 혼합냉매 사이클 및 네온 사이클 등 4개의 사이클에 대한 설계를 진행 - 4개의 사이클을 종합적으로 고려한 결과, 액체질소 Precooled Claude 사이클을 이용한 수소액화 공정이 가장 적합한 것으로 판단 ○ 수소액화 공정의 효율은 예냉과정에서 냉열을 무상으로 공급받을 수 있다면 700 bar 압축 공정과 비슷한 수준의 효율까지 기대할 수 있음. - 실제로 주로 LNG를 수입하는 일본과 우리나라의 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함 - 특히 LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 활용할 수 있음 ○ 국내 수소액화 기술의 경우, - 한국기계연구원은 헬륨냉각공정을 적용한 300Nm³/hr급 수소액화 공정 설계기술을 연구 - 액화기 제품으로는 한국과학기술연구원 (KIST)과 하이리움산업에서 G-M (Gifford- McMahon) 극저온냉동기를 이용한 실험실 규모의 소형 수소액화시스템 (1.5~10kg/day) 개발이 유일함

3. 연구개발 내용 및 범위

□ 연구내용

[기술개발 정의]

- LNG 증발열을 수소액화 공정의 예냉용으로 사용하여 수소액화 시스템이 내재하고 있는 낮은 효율의 단점을 보완하여, 수소액화 플랜트의 고효율화 달성이 가능한 공정기술



[고효율 수소액화 공정 기술 개념도]

[연구개발 목표]

- 상용급 LNG Precooled 고효율 공정 설계 기술개발 및 pilot급 수소액화 플랜트 구축/운용

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. 수소액화 공정 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5-50
2. 액화 공정	-	-	-	LNG precooled cycle*
3. Specific power consumption**	kWh/kgH ₂	11.4 (5TPD)	-	<11.4
		14.3 (0.5 TPD)	-	<14.3**
4. Pilot 수소액화 플랜트 용량	TPD	35	0.01	0.5

* LNG 냉열 활용 Cycle - 대표적으로 H₂ Claude Cycle 또는 He Turbo Brayton Cycle

** 목표 효율은 용량의 함수임 : target 효율(kWh/kg) = 13.382 * (Plant capacity, TPD, metric tons per day)^{-0.1} (미국 DOE), 본 목표는 냉열을 무상으로 활용하였을 경우의 목표 효율)

	[연구개발 내용] (1단계 - 3년) ○ 0.5 TPD급 수소액화 공정 기본설계 - 선행 연구자료 분석 및 극저온 열역학 물성 DB 검증 - 0.5 TPD급 액화공정 기본설계 및 주요기자재 사양선정 ○ 0.5 TPD급 수소액화 공정 상세설계 - 액화공정 상세설계 및 운전제어 설계 ○ 5 TPD급 수소액화 공정 기본설계 - 0.5 TPD급 수소액화기 성능시험 및 성능분석 - 0.5 TPD급 수소액화기 성능 DB 구축 - 수소액화공정 모델 검증 및 보완 - 5 TPD급 수소액화공정 기본설계 및 주요기자재 사양선정 ○ 0.5 TPD급 수소액화기 기본설계 - 수소액화기 부지조성 및 유틸리티 구축 - 수소액화기 기본설계 검토 및 주요기자재 구매사양서 작성 및 발주 ○ 0.5 TPD급 수소액화기 구축 - 수소액화기 상세설계 검토 - 주요기자재 검수 및 수소액화기 제작 및 구축 ○ 0.5 TPD급 수소액화기 운영 - 수소액화기 구축 및 시운전 (운전시간 100hr) - 수소액화기 시운전 DB 구축 - 수소액화기 운전 및 제어로직 정립 (2단계 2년) ○ 대형(50 TPD) 수소액화 공정 모델 개발 - 수소액화 공정 모델 대형화 - 대형 수소액화 공정 모델 최적화 ○ 대형(50 TPD) 수소액화 공정 기본설계 - 대형 수소액화 공정 기본설계 - 대형 수소액화 공정용 주요기자재 사양선정 ○ 주요기자재 개발품 적용 0.5 TPD급 수소액화기 구축 - 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 구축 - 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 성능시험 ○ 주요기자재 개발품 적용 0.5 TPD급 수소액화기 운영 - 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 운전 DB 구축 - 주요기자재 개발품 적용 수소액화기 운영기술 확보 - 운전시간 500hr (100hr * 5회)

4. 연구개발 추진 방법

□ 추진전략

[수소액화 플랜트 고효율화 전략]

- LNG를 다량 수입 활용하는 우리나라와 일본과 경우 LNG의 기화과정에서 발생하는 냉열을 수소액화공정에 활용하는 것이 가능함
 - LNG의 기화를 통하여 SMR에 메탄을 공급하여 기체수소를 생산하고, 이때 발생하는 냉열을 수소액화 공정에 활용하는 경제성 있는 수소공급 모델을 추진
 - 이러한 경제성은 수소액화플랜트의 규모가 커질수록 증가하며, 향후 대용량 수소생산의 필요성을 고려할 때 최선의 선택으로 평가됨

[수소액화 플랜트 기술확보 전략]

- 수소액화 공정설계 기술 확보 및 검증용 수소액화 Pilot 플랜트 조기 구축
 - 현재까지 국내에는 수소액화플랜트 개발경험이 전무하고, 세계적으로도 수소액화 플랜트 기술을 보유하고 있는 국가 (기업)는 5개국 정도에 불과함
 - 기술개발의 성공 가능성을 높이기 위하여 수소액화플랜트 설계, 구축 분야에서 신뢰성 있는 기술을 확보하기 위한 방법이 필요
 - Pilot급 소형 수소액화 플랜트의 조기 구축/운전을 통한 데이터의 확보, 설계의 스케일업 기술을 확보하는 전략 추진 필요
- 필요시 국제공동연구 또는 협력을 통한 기술 획득
 - 기존 수소액화 플랜트 상용화 기술을 보유하고 있는 기업 기술의 전면 도입
 - 장점 : 신뢰성 있는 기술의 확보로 수소액화 플랜트 조기 구축 가능
 - 단점 : 설계기술의 국외 기술 종속, 라이선스 비확보
 - 가능성 : 수소액화 상용화 기술을 가진 기업의 경우, 수소액화 플랜트 구축에 있어 핵심이 되는 Cold Box를 제외하고는 기술 협력 가능성 있음
 - 기존 수소액화 공정 설계 기술을 보유한 연구 기관과의 공동 연구
 - 장점 : 공정 개념 설계 기술의 조기 확보, 국내 자체 기술로 기본 설계 공정 라이선스 확보 가능, Pilot 플랜트 조기 구축을 위한 외국 기자재 업체 확보 가능
 - 단점 : 상용화 기술 수준 미확보, 실증 Pilot 플랜트 구축 및 운용을 토대로 확보 추진
 - 가능성 : 수소액화 공정 설계 기술을 가진 국외 기관과의 협력체계 구축 결과, 수소 액화 플랜트 분야의 기술 협력 가능성 확인
 - 공정설계 분야의 기술 협력, 설계 검증을 위한 Pilot 플랜트 구축 지원

	(벤더리스트 제공 등) 협력 [기술 개발 전략] ○ 상용급 수소액화 플랜트 실증에는 확증된 설계기술, 기자재 기술 필수 - 상용급 개발목표인 5 ton/day의 1/10 scale (0.5 ton/day) 수준의 pilot plant 조기 구축을 단기 목표로 추진 - 수소공급 및 액화 공정은 상용급 수소액화플랜트와 동일한 LNG 개질과 LNG 냉열을 활용한 공정을 사용 ○ 고효율 수소액화 공정 기술에서 0.5 ton/day급 소규모 pilot 플랜트(개질기 포함)를 구축, 운영하여 공정설계를 검증하여 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용 - 액체수소를 생산하여 공급함으로써, 기자재 개발 및 실증에 활용하는 동시에 공정/운영 데이터 확보, 상용급 수소액화 플랜트 설계기술을 확립하는 데 활용 [세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 1 세부과제에서 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재(2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시 - 1단계에서 구축될 0.5 ton/day급 pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 개발 완료된 핵심 기자재 시제품 실증 [1세부 주관기관 요건] ○ 일반요건 - 수소액화 공정 설계 전문 인력 및 액화 관련 유관 실적을 보유한 기관 - 1 세부과제의 성과물인 0.5 ton/day 급 Pilot 플랜트 설치 부지 (약 1,000 m²) 를 확보하고 있거나, 해당 세부과제 내의 공동기관에서 확보하고 있는 기관 * 국내 안전관련 법규를 검토하여 부지크기, 위치 등 설정 필요 - 부지의 경우 고압가스 안전관리법 등 관련법을 만족하여야 함 - 주관기관은 Pilot 플랜트 구축을 위한 인허가 및 민원을 자체적으로 해결하여야 함

	○ 안전관리 요건 : 가스안전 및 산업안전보건법에 따른 공정안전을 담당할 가스기능사 이상의 자격을 보유한 참여연구원 2인 이상 확보 - 0.5 ton/day 급 수소액화 Pilot 플랜트의 5일 운영 기준 LNG 저장량 (7,000 kg) 및 액체수소 저장량 (2,500kg) 고려하여 안전기준을 준수하여야 함 - 해당 설비의 구축 및 운영을 위하여, 국내의 기준인 고압가스안전관리법과 산업안전 보건법의 안전기준을 준수하여야 함 - 고압가스 안전관리법에 의하면 · 저장용량 100 ton 이상인 경우, SMS (Safety Management System) 인증을 받아야 하나, 본 Pilot 플랜트 규모 용량에서는 해당사항 없음 · 저장용량 100 ton 이하의 경우, 안전관리 총괄자 1명, 안전관리 부총괄자 1명, 안전관리 책임자 1 (가스 기능사 이상), 안전관리원 1명 (가스기능사 이상)을 선임하여야 함 - 산업안전보건법에 의하면 · 가연성 가스 5 ton 이상 취급 시설의 경우 PSM (Process Safety Management) 인증을 받아야 함 ○ 설비 요건 : 참고사항 - 본 과제에서는 LNG를 활용한 수소개질 방식으로 수소를 공급하고, 이때의 냉열을 활용함. 따라서 기존에 LNG 저장 및 활용 설비를 기 구축한 기관의 경우 효율적으로 과제 수행이 가능함. 기 구축된 LNG 저장 및 활용 설비가 없는 경우 연구비 내에서 이의 구축 하여야 하며, 이를 제안서에 상세히 제시 하여야 함																																																							
5. 최종성과물																																																								
☐ 주요 최종성과물	[1세부과제] 고효율 수소액화 공정 기술 개발 - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 (1단계) - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 운용결과 보고서 (2단계) - 상용급 (5 ton/day) 기본설계 Package (2단계)																																																							
☐ 성과 지표	<table><tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="3">2단계</th></tr><tr><th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr><tr><td>SCI(E)(건)</td><td>0</td><td>5</td><td>4</td><td>9</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td></tr><tr><td>특허출원(건)</td><td>3</td><td>9</td><td>8</td><td>20</td><td>3</td><td>3</td><td>6</td></tr><tr><td>특허등록(건)</td><td>0</td><td>5</td><td>4</td><td>9</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td></tr><tr><td>기술료(억원)</td><td>-</td><td>-</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>-</td><td>0.6</td><td>0.6</td></tr><tr><td>시제품(건)</td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	구분	1단계				2단계			1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	SCI(E)(건)	0	5	4	9	2	2	4	특허출원(건)	3	9	8	20	3	3	6	특허등록(건)	0	5	4	9	2	2	4	기술료(억원)	-	-	2.0	2.0	-	0.6	0.6	시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1
구분	1단계				2단계																																																			
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계																																																	
SCI(E)(건)	0	5	4	9	2	2	4																																																	
특허출원(건)	3	9	8	20	3	3	6																																																	
특허등록(건)	0	5	4	9	2	2	4																																																	
기술료(억원)	-	-	2.0	2.0	-	0.6	0.6																																																	
시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1																																																	

6. 활용방안 및 기대효과	
	[활용방안] ○ 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용 - 5 ton/day 기본설계 Package 및 핵심 기자재 시제품 ○ 0.5 ton/day pilot 급 수소액화 플랜트에서 생산된 액체 수소의 활용 (국내 최초로 생산되는 대용량 액체수소) - 본 기술 개발 과제 내의 핵심 설비 성능평가에 활용 - 현재 작성 중인 “국가 수소경제 로드맵” 상 중장기 방향으로 예상되는 액체수소 기반 인프라 구축의 모든 기술 개발 과제에 활용 · 향후 추진예정인 액체수소 활용 플랜트(수소 스테이션, 수소추진선박, 건물용 연료전지 등) 기술개발에 활용 · 국내 수소충전소 보급계획에 “액체수소 기반 수소충전소” 보급 추진, 해당 수소충전소에 액체수소 공급 · 국가 발사체 사업의 액체수소 엔진 연구에 활용 - 국내 산학연 극저온 연구에 활용 [실용화 방안] ○ 현 시점에서 상용급 수소액화 플랜트 시장은 거의 없으므로, 미래 액체 수소 수요 증가에 대비하여 철저한 국산화 기술 확보 ○ 실용화를 위하여 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설 추진 - 실증을 통한 상용급 수소액화플랜트 및 핵심 기자재 설계/제작/건설기술 확보 - 상용급 수소액화 플랜트 Track Record 확보 - 실용화 주체 : 기술개발결과를 기업에 이전, 미래 수소액화 플랜트 건설 시장 진출 · 플랜트 건설회사, 플랜트엔지니어링 회사, 가스공사 등 국내 가스 공급 회사, 수소 생산/유통기업 ○ 본 연구개발결과의 국내 활용을 위하여 국가로드맵 반영 및 관심 기업, 지자체에 대용량 수소생산 및 액화플랜트 건설 추진 - 가스공사 LNG 생산기지 (연관 지자체 연계), 민간기업 LNG 인수기지

7. 연구개발기간 및 소요 예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월) ○ 총 정부출연금 : 13,000 백만원 이내 - 1차년도(1단계) 정부출연금 : 1,330 백만원 이내 - 2차년도(1단계) 정부출연금 : 4,670 백만원 이내 - 3차년도(1단계) 정부출연금 : 4,000 백만원 이내 - 4차년도(2단계) 정부출연금 : 1,500 백만원 이내 - 5차년도(2단계) 정부출연금 : 1,500 백만원 이내 ※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정 될 수 있음 ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운 영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불 명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	
	○ 본 과제외의 보안등급은 “일반 과제”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 제시하여 야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복 되지 않도 록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되 는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목 표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

	○ 연구개발계획서에 세부 과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시 - 기획보고서에서 제시한 기술개발 TRM을 기반으로 전체 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시 ※(예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성 - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시 ○ 제안서 작성 시 연구비가 공유되는 국제공동연구가 있다면, 구체적인 국제공동연구 방안을 제시하여야 함 ○ 연구신청자는 본 과제의 최종성과물인 0.5 TPD Pilot 수소액화 플랜트의 과제 종료후의 유지/운영방안 및 구체적 활용방안을 제시하여야 함 ○ 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 지도점검·관리 및 성과 평가 등의 근거자료 활용 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능 ○ 연구신청자는 1단계 3년 연구기간 중 “상용급(5TPD) 고효율 수소액화 실증플랜트 구축” 방안에 대한 예비타당성 조사 수준의 상세 기획을 추진하여야 하며, 이의 실행방안을 명시하여야 함.

□ 2 세부과제

과제명	(2 세부과제) 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 상용급 수소액화 플랜트에 적용 가능한 극저온 Turbo Expander 개발 ○ 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발 - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 적용 Turbo Expander 시제품 개발 - 5 ton/day 급 수소액화 플랜트 적용 Turbo Expander 시제품 개발 - Turbo Expander용 고속베어링 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 세계적으로 자동차, 항공기, 선박, 제철 분야를 중심으로 수소에너지에 대한 수요가 증가되고 있으며, 수소 생산과 관련된 기술 개발이 미국, 독일, 프랑스, 일본 등을 중심으로 진행 - 액체 수소 수요에 대응하기 위하여 기자재 및 시스템 개발 기술을 보유해야 함 - Turbo Expander는 수소를 -200℃ 이하의 조건으로 만드는 핵심 기자재로써, 극저온(예, -200℃ 이하) 조건에서 초고속 (수 만~수십 만rpm)으로 작동되는 특징으로, 기술적 난이도가 매우 높음 - 특히 -200℃ 이하의 수소 물성이 반영된 Turbo Expander 공력 설계 기술, 극저온 상태에서 회전 안정성을 유지시킬 수 있는 베어링 기술, Turbo Expander 내부의 이차 유로 안정화 기술, 열 및 응력에 관한 설계 해석 기술 등의 개발을 위하여 연구가 수행되어야 함 ○ 국내에서는 수소액화 플랜트용 Turbo Expander를 생산업체가 전무 - 국내에서는 2000년대에 들어 수소액화용 Turbo Expander에 대한 설계기술을 개발 하였으나 시제품 제작 및 운전 기술은 아직까지 확보하지 못한 실정임 - 수소액화 플랜트에 활용하기 위해서는 전량 수입에 의존 - 국내에 수소액화 플랜트가 설치될 경우, Turbo Expander 유지 보수 시 해외 공급처의 기술력에만 의지해야 함 - 이는 막대한 경제적 부담이 장기적으로 발생할 수 있음 ○ 관련 산업 분야의 경쟁력 향상을 위한 기술 기반을 마련 - 극한 조건에서 작동되는 Turbo Expander 기술은 가스터빈, 터보차저, 발

	전용 터빈 등 국내의 산업 분야에서 활용 가능한 핵심 기자재 기술임 - Turbo Expander 기술 개발을 통한 관련 산업 분야의 기술 경쟁력 향상
□ 기술동향	○ Turbo Expander를 상업적으로 생산하고 있는 주요 제조사는 Linde (독일), Air Liquide (프랑스), GE Oil&Gas (미국), TNSC (일본), Cryostar (프랑스), PBS (체코) 등이 있음 - 상기 제조사는 수소, 헬륨, 네온 등의 유체를 이용하여 극저온 냉각에 사용되는 Turbo Expander를 오랜 기간 개발하였음 ○ Linde (독일) - 수소, 헬륨 등의 유체를 대상으로한 극저온용 Turbo Expander 개발 - 원심형 터빈, 동적(dynamic) 가스베어링 적용 - 한 개의 트레인 당 150~20,000 liters/hr의 수소액화 처리가 가능함 - 대용량 수소 액화 플랜트(독일 Leuna위치)인 경우, Turbo Expander 3대를 직렬로 연결 하였으며, 마지막 단 터빈의 출구 온도가 30K 임 - 수소액화 시스템에 대한 사항은 문헌에 공개되었으나, 수소액화용 Turbo Expander에 대한 상세 사양은 공개되지 않음 ○ Air Liquide (프랑스) - 헬륨 사이클을 기반으로 수소 전기차, 우주 시험 센터, 마이크로 전자장치 등을 위해 수소 액화 시스템인 HYLIAL을 개발 - Unit 당 600~1500 liters/hr의 액화수소 처리 - 정적 (Static) 가스베어링 적용 - 최대 300,000rpm 구동가능, MTBF 150,000 시간 - 수소액화용 Turbo Expander에 대한 상세 정보는 공개되지 않음 ○ Cryostar (프랑스) - 극저온용 Turbo Expander를 생산하는 전문 업체로 설계, 제작, 시험 등 전과정 수행 - 100kW에서 12,000kW급 용량과 입구 압력 최대 150bar, 입구 온도 최저 -196℃ 조건의 Turbo Expander 개발 - 마그네틱 베어링이나 오일 윤활 베어링 적용 - 다양한 조합의 Turbo Expander 시스템 개발 (Turbo Expander-Compressor, Turbo Expander-Generator, Turbo Expander-Oil brake 등) - 수소액화용 Turbo Expander로 명시된 제품은 소개되지 않으나, 대표적 수소액화 시스템 생산업체인 Linde group의 멤버임

	○ PBS (Prvni Brnenska Strojirna, 체코) - 헬륨을 이용한 소형 Turbo Expander 제작 판매 - 다이내믹 가스 베어링 적용 - 수냉식 eddy-current brake 시스템 적용 - 헬륨 유량 4~150g/s, 최대 회전수 350,000rpm, 입구 온도 10~100K - Linde, Air Liquide, ACMI 등에 소형 Turbo Expander를 납품한 실적이 있음 ○ 국내에서 수소 액화를 위한 Turbo Expander를 설계한 사례는 있으나, 국내 기술력으로 시제품 제작 및 성능 시험을 한 경험은 없음 - 한국기계연구원은 2009년~2011년 3년간 기관고유사업의 일환으로 “합성 가스 액화 시스템 설계 기술 개발” 과제를 수행하였음 - 해당 과제를 통하여 2단으로 구성된 Turbo Expander에 대해 설계 기술을 확보

3. 연구개발 내용 및 범위

□ 연구내용

[기술개발 정의]

- Turbo Expander는 수 만 ~ 수십 만 rpm의 속도로 회전하는 구심터빈 형태로 팽창비의 크기에 따라 1단(Single stage) 또는 다단(Multi stage)으로 구성됨
- Turbo Expander 개발은 사이클 해석 결과를 바탕으로 터빈 설계, 시제품 제작, 작동성 시험 및 성능시험의 순서로 이루어짐
 - Turbo Expander의 축계는 극저온 조건에서 초고속으로 회전하기 때문에 축방향과 반경방향으로 발생하는 추력을 지지할 수 있는 베어링 기술이 요구됨

[연구개발 목표]

- 상용급 수소액화 플랜트에 적용 가능한 극저온 Turbo Expander 및 Turbo Expander용 고속베어링 기술 개발

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. 유량	kg/s	-	-	0.6*
2. 작동 유체 온도	℃	-200 이하	-	-200 이하*
3. 회전축 진동	μm	-	-	10 이하

* 시스템 사양에 따라 결정

	[연구개발 내용] (1단계 - 3년) ○ Turbo Expander 개발 - Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (0.5TPD) - 레이아웃 및 부품 상세 설계 (0.5TPD) - Turbo Expander 부품 제작 (0.5TPD) - Turbo Expander 인테그레이션 및 작동성 시험 (0.5TPD) ○ Turbo Expander용 고속베어링 기술 개발 - 운전조건 및 베어링 사양 검토 - 축계 개념 설계 및 베어링 성능해석 (0.5TPD) - 축계 상세 설계, 베어링 제작, 회전 시험 (0.5TPD) (2단계 2년) ○ Turbo Expander 개발 - Turbo Expander 성능 시험 (0.5TPD) - 스케일업 Turbo Expander 공력, 극저온 설계 및 해석 (5TPD) - 레이아웃 및 부품 상세 설계 (5TPD) - 부품 제작 및 인테그레이션 (5TPD) - 스케일업 Turbo Expander 작동성 시험 (5TPD) ○ Turbo Expander용 고속베어링 기술 개발 - 구동 시험 및 설계 보완 (0.5TPD) - 스케일업 축계 및 베어링 설계 (5TPD) - 작동성 시험 및 설계 보완 (5TPD)
4. 연구개발 추진 방법	
☐ 추진전략	[기술 개발 전략] ○ 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략 - 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도) - 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후 추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용

	[세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시하여야함 - 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 개발 완료하고, 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축될 0.5 ton/day pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 실증 ○ 각 세부과제 제안자는 구체적인 연계전략을 제시하여야 함																																																							
5. 최종성과물																																																								
☐ 주요 최종성과물	[2세부과제] 수소액화용 극저온 Turbo Expander 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 Turbo Expander 시제품 (2단계)																																																							
☐ 성과 지표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="3">2단계</th></tr> <tr> <th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCI(E)(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허출원(건)</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허등록(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>기술료(억원)</td><td>-</td><td>-</td><td>0.4</td><td>0.4</td><td>-</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>시제품(건)</td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	구분	1단계				2단계			1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	특허출원(건)	1	2	1	4	1	1	2	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	기술료(억원)	-	-	0.4	0.4	-	0.2	0.2	시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1
구분	1단계				2단계																																																			
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계																																																	
SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
특허출원(건)	1	2	1	4	1	1	2																																																	
특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
기술료(억원)	-	-	0.4	0.4	-	0.2	0.2																																																	
시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1																																																	
6. 활용방안 및 기대효과																																																								
	[활용방안] ○ 0.5 ton/day 시제품 : 제 1 세부과제의 2단계 연구목표인 0.5 ton/day pilot 플랜트 운영기술 개발에 제공하여 국산화 실증 ○ 5 ton/day급 핵심 기자재 시제품 : 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용																																																							

7. 연구개발기간 및 소요 예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월) ○ 총 정부출연금 : 3,270 백만원 이내 - 1차년도(1단계) 정부출연금 : 400 백만원 이내 - 2차년도(1단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내 - 3차년도(1단계) 정부출연금 : 670 백만원 이내 - 4차년도(2단계) 정부출연금 : 600 백만원 이내 - 5차년도(2단계) 정부출연금 : 600 백만원 이내 ※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복 되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이

없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 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 지도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

□ 3 세부과제

과제명	(3 세부과제) 수소액화용 극저온 열교환기 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 고효율 수소액화 공정용 열교환기 개발 (0.5~50 TPD) ○ 수소액화용 극저온 열교환기 개발 - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 적용 열교환기 시제품 개발 - 5 ton/day 급 수소액화 플랜트 적용 열교환기 시제품 개발 - Ortho-para 전환 촉매의 충진을 고려한 열교환기 설계 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 수소액화플랜트의 주요 구성장비인 열교환기의 경우 PFHE (Plate Fin Heat Exchanger)가 적용되고 있는 것으로 알려져 있음 - PFHE의 경우 ALPEMA 회원사에서 거의 시장을 독점하고 있음 - 국내에서는 전용 브레이징 장비의 비용과 시장진입 장벽 (Engineering사가 공정과 열교환기를 함께 공급하거나 이미 해외 파트너사를 보유하고 있음) 등으로 인하여 국산화가 거의 이루어지지 않고 있음 ○ 수소액화플랜트용 열교환기의 경우 기존의 LNG플랜트용 열교환기에 비해 다음과 같은 기술적 난이도가 있음 - LNG 플랜트 등 극저온 영역에 사용되는 열교환기 재질은 Aluminum 및 Stainless Steel이 사용되고 있으며 LNG의 액화온도가 압력에 따라 -170~-150℃ 내외이므로 특별한 검증 없이 사용이 가능한 반면, 수소액화플랜트는 -253℃ 영역에서 운전됨으로 별도의 Impact Test 등이 필요 - 통상적인 PFHE는 누설에 대해서 He 기준으로 1×10^{-3} mbar liter/s (ALPEMA 기준) 관리되고 있으나 분자량인 작은 수소의 경우 보다 엄격한 누설량 관리가 필요할 것으로 예상됨 - 국내 규격의 경우 수소에 대한 관리기준이 전무한 상태라서 공인인증 등의 문제가 발생 - 수소액화 공정에서는 ortho 수소 (o-H₂)를 para 수소 (p-H₂)로 변환이 필요한데 촉매 충진을 위해서는 Plate-Fin의 피치를 증가시켜야하고 열교환기 정확한 설계를 위해서는 열교환기 자체의 설계기술과 촉매 기술을 융합할 필요가 있음

	○ PFHE의 큰 특징은 일반 열교환기와 달리 Multi-Stream 적용이 가능 - 수소액화용 PFHE는 기존의 PFHE와 달리 반응기의 역할을 겸하고 있으므로, 일부 Stream에 촉매가 충전 되어야 하며, 열교환기 개발 시 촉매의 선정 및 이에 따른 설계 변경이 필요
□ 기술동향	○ PFHE는 해외 선진사에서 설계 기술을 가지고 있으며, 국내에서는 아직 까지 소형 열교환기를 제외하고 대부분의 경우 일본, 미국, 프랑스, 독일 등지에서 수입하고 있는 상황으로 열교환기 중에서도 설계 및 제작 난이도가 높은 열교환기 형태임 ○ Linde (독일) - 원천기술을 확보하면서, 글로벌 기술을 선도하고 있음 - PFHE를 이용한 LNG 플랜트, 산업가스제조플랜트를 직접 설계 및 제작하여, 가스판매 사업을 하고 있어, 전후방 사업을 통합 - 비즈니스 모델, 프로세스에 대한 Naming - 20 LNG PLANT Project 수행 ○ Chart Industries (미국) - 중소형 LNG Plant 및 엔지니어링 서비스 제공 - LNG Tank 및 생산, 운송, 판매 등에 대한 사업 진출 - Cold box 10,000 Sets 이상 제작 경험 : 최대 압력 159 bar ○ Five Cryogenie (프랑스) - PFHE의 소규모 시장에 집중 (Hamworthy와 파트너십 관계) - LNGC 재액화선 Cold box 공급 ○ Sumitomo Precision Products (일본) - PFHE 시장에서 주로 항공을 비롯한 고온용 시장에 집중 - 화공 플랜트의 ASU 제작 경험 다수 ○ Kobelco (일본) - 동아시아의 화공플랜트용 Cold Box 사업 집중 - 6,000 Sets 이상의 products 납품 (동아시아 집중) - Ethylene Plant 및 Gas Processing Plant 사업 ○ 국내에서 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트용 열교환기 개발은 LNG 플랜트 사업단 과제를 통해 수행하였으나, 수소액

	화용 열교환기 개발은 전무한 상황임 - 열교환기의 경우 국내에서 최초로 PFHE를 개발하였으며 100 ton/day급 Test bed Train-2에 Design Pressure 76bar, Pneumatic Test Pressure 95 bar KGS 검사를 수행하고 설치되어 1차 LNG 시운전까지 완료 - Test bed Train-2에 적용된 PFHE는 총 7개의 Stream으로 구성되어 있고 수소액화플랜트에 사용되는 열교환기의 Stream이 5~6개가 최대인 점을 고려하면 Multi-Stream에 대한 대응은 가능할 것으로 예상됨 - 수소 (-253℃) 액화용 열교환기에 비해 작동 온도가 높고 공정이 상이하지만, 개발 기술을 보완하고, 연계하면 효율적인 기술 개발이 가능																																
3. 연구개발 내용 및 범위																																	
□ 연구내용	[기술개발 정의] ○ 수소 액화 온도 (-253℃)에서 Multi-Stream 열교환이 가능하고, 일부 Stream에 축매 충진을 통한 ortho 수소 (o-H₂)를 para 수소 (p-H₂)로 변환이 가능한 수소액화용 극저온 열교환기의 개발 [연구개발 목표] ○ 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 고효율 수소액화 공정용 열교환기 기술 개발 (0.5~50 TPD) <table><tr><th rowspan="2">성능지표</th><th rowspan="2">단위</th><th colspan="2">성능수준</th><th rowspan="2">기술개발 목표</th></tr><tr><th>세계최고 수준</th><th>연구개발 전 국내수준</th></tr><tr><td>1. 수소액화 플랜트용 열교환기 설계 용량</td><td>TPD</td><td>300</td><td>0.5</td><td>0.5~50</td></tr><tr><td>2. 실증 플랜트용 열교환기 시작품 용량</td><td>TPD</td><td>35</td><td>0.1</td><td>0.5</td></tr><tr><td>3. 수소액화 플랜트용 열교환기 스케일업 시제품 용량</td><td>TPD</td><td>35</td><td>0.1</td><td>5</td></tr><tr><td>4. 헬륨 누설량</td><td>mbar × liter/sec</td><td>상용화</td><td>1 × 10⁻³</td><td>1 × 10⁻⁵</td></tr><tr><td>5. 재질에 대한 KGS 사전 인증</td><td>-</td><td>상용화</td><td>-</td><td>KGS 승인 획득</td></tr></table> [연구개발 내용] (1단계 - 3년) ○ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 설계 기술 - 열전달 효율이 높은 PFHE(Plate Fin Heat Exchanger) 열교환기 재질, 형상, 구조설계 - 유동해석, 구조해석, 열응력 해석 등을 통해 초저온 유체환경에서 내구성 확보 설계	성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표	세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	1. 수소액화 플랜트용 열교환기 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5~50	2. 실증 플랜트용 열교환기 시작품 용량	TPD	35	0.1	0.5	3. 수소액화 플랜트용 열교환기 스케일업 시제품 용량	TPD	35	0.1	5	4. 헬륨 누설량	mbar × liter/sec	상용화	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻⁵	5. 재질에 대한 KGS 사전 인증	-	상용화	-	KGS 승인 획득
성능지표	단위			성능수준			기술개발 목표																										
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준																														
1. 수소액화 플랜트용 열교환기 설계 용량	TPD	300	0.5	0.5~50																													
2. 실증 플랜트용 열교환기 시작품 용량	TPD	35	0.1	0.5																													
3. 수소액화 플랜트용 열교환기 스케일업 시제품 용량	TPD	35	0.1	5																													
4. 헬륨 누설량	mbar × liter/sec	상용화	1 × 10 ⁻³	1 × 10 ⁻⁵																													
5. 재질에 대한 KGS 사전 인증	-	상용화	-	KGS 승인 획득																													

	- Ortho-para 전환 촉매의 충진을 고려한 PFHE 열교환기 구조 설계 - 시제품 제작 및 성능시험을 위한 국내규정(KGS) 검토 및 선행인증 (Impact Test 등) ○ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 제작 기술 - Lab Scale PFHE 제작을 통해 수소의 누설에 영향을 주는 요소 검증 - 헬륨을 이용한 누설 검증 - 0.5 TPD 실증플랜트 수소액화 플랜트용 시제품 제작 (2단계 2년) ○ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 설계 기술 - 실증플랜트 적용 및 상용화를 위한 스케일업 설계 - 고효율 수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 설계 ○ 고효율 수소액화 공정용 열교환기 제작 기술 - 수소액화 공정용 열교환기 성능시험설비 제작 및 성능시험 수행 - 5 TPD급 수소액화 플랜트용 시제품 제작
4. 연구개발 추진 방법	
☐ 추진전략	[기술 개발 전략] ○ 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략 - 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도) - 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후 추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용 [세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시하여야 함 - 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 개발 완료하고, 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축될 0.5 ton/day pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 실증

	○ 각 세부과제 제안자는 구체적인 연계전략을 제시하여야 함																																																							
5. 최종성과물																																																								
☐ 주요 최종성과물	[3세부과제] 수소액화용 극저온 열교환기 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 열교환기 시제품 (2단계)																																																							
☐ 성과 지표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="3">2단계</th></tr> <tr> <th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCI(E)(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허출원(건)</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허등록(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>기술료(억원)</td><td>-</td><td>-</td><td>0.3</td><td>0.3</td><td>-</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>시제품(건)</td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td><td>-</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	구분	1단계				2단계			1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	특허출원(건)	1	1	2	4	1	1	2	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	기술료(억원)	-	-	0.3	0.3	-	0.2	0.2	시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1
구분	1단계				2단계																																																			
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계																																																	
SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
특허출원(건)	1	1	2	4	1	1	2																																																	
특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
기술료(억원)	-	-	0.3	0.3	-	0.2	0.2																																																	
시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1																																																	
6. 활용방안 및 기대효과																																																								
	[활용방안] ○ 0.5 ton/day 시제품 : 제 1 세부과제의 2단계 연구목표인 0.5 ton/day pilot 플랜트 운영기술 개발에 제공하여 국산화 실증 ○ 5 ton/day급 핵심 기자재 시제품 : 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용																																																							
7. 연구개발기간 및 소요 예산																																																								
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월) ○ 총 정부출연금 : 2,930 백만원 이내 - 1차년도(1단계) 정부출연금 : 330 백만원 이내 - 2차년도(1단계) 정부출연금 : 600 백만원 이내 - 3차년도(1단계) 정부출연금 : 800 백만원 이내 - 4차년도(2단계) 정부출연금 : 600 백만원 이내 - 5차년도(2단계) 정부출연금 : 600 백만원 이내																																																							

	※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	
	○ 본 과제와 보안등급은 “일반 과제” 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 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 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 구체적인 방안을 제시해야 함 ※과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 지도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료 활용 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

□ 4 세부과제

과제명	(4 세부과제) 수소액화용 Cold Box 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 수소액화용 Cold Box 개발 ○ 수소액화 플랜트용 Cold box 개발 - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 적용 Cold Box 시제품 개발 - 5 ton/day 급 수소액화 플랜트 적용 Cold Box 시제품 개발 - Cold Box 구조 설계 및 단열 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ Cold Box에서는 수소냉각 사이클에 따라서 고압 수소기체의 순차적인 팽창과정이 일어나며 이 때 발생하는 냉열을 이용하여 Feed 수소가스의 액화가 일어남 - Cold Box 내부의 열교환기를 비롯한 주요장치는 20 K부터 상온까지의 온도분포를 가짐 - 이에 따라 Cold box 외부로부터 전도, 대류, 복사에 의해서 들어오는 열 유입이 액화시스템 전체의 열부하로 작용하기 때문에 이를 최소화하는 것이 중요함 ○ Cold Box 내부는 액화공정을 위한 주요장치들이 복잡하게 배관으로 연결되어 있음 - Cold box 외부로부터 대류에 의해서 들어오는 열유입을 줄여주기 위해서 Cold box 내부는 진공상태로 유지되어야 하며 특히 MLI (Multi-Layer Insulation)을 이용한 진공단열이 효과를 발휘하려면 Cold box 내외부의 복잡성에도 불구하고 최소 10^{-4} mbar 이하의 진공도가 유지되어야 함 - Cold Box에는 열교환기, 터보팽창기, 극저온 밸브 등 주요장치 및 이들을 연결하는 배관들이 액화공정에 따라서 제한된 공간 안에 촘촘하게 배치되어야 하며 열전도에 의한 열유입을 최소화하고 온도 차이에 의한 열용력을 전달 수 있는 Cold Box 구조를 갖추어야 함
□ 기술동향	○ 전 세계적으로 상업적으로 운전되고 있는 수소액화플랜트 cold box의 설계기술을 보유하고 있는 주요 제조사는 APCI (미국), Praxair (미국), Linde (독일), Air Liquide (프랑스) 등이 있음

- 수소액화 공정에는 주로 Precooled Claude 사이클과 헬륨 Brayton 사이클이 사용되고 있으며 액화용량 1 - 54 ton/day (TPD)의 수소액화 플랜트가 건설 및 운전되었음
- 1960년대 초부터 1977년까지 미국에서는 아폴로 미션을 비롯한 미 항공우주국(NASA)의 여러 미션 수행을 위해 수소 액화플랜트가 건설되었음
 - 이후 수소 시장 형성으로 인해 북미 지역에는 5-34 TPD 규모 9기, 유럽에는 5-10 TPD 규모 4기 그리고 아시아 지역에는 상대적으로 작은 용량인 0.3-11.3 TPD 규모 11기의 수소 액화플랜트가 건설되었음
- 국내에서 개발된 수소액화시스템의 cold box 용량은 0.5 - 5 liter/hr 정도로 실험실 규모에 머물러 있음
 - 한국과학기술연구원에서는 상용 극저온냉동기를 이용한 소형 수소액화시스템 (0.5 liter/hr) 및 5.5 liter 급 액체수소 저장용기 개발 수행
 - 한국기계연구원에서는 네온 냉각시스템(2차 냉각시스템)을 이용한 수소액화 시스템 (5 liter/hr) 구축 과제 수행
- 관련 연구로 LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008-2016)에서는 SMR (Single Mixed Refrigerant), C3MR (Propane precooled Mixed Refrigerant) 공정에 기반하여 육상 LNG 액화 플랜트 및 부유식 해양 LNG 액화 플랜트 기술을 개발하고 압축기 및 cold box를 구성하는 열교환기 등 극저온 핵심 기자재 개발을 수행
- (주)대성산업가스는 극저온 공기분리장치 (ASU) 개발을 통하여 2000년도에 국내 최초로 공기분리장치용 cold box를 국산화하였음
 - 2014년에는 질소가스 기준 5,600 Nm³/hr. 용량의 공기분리장치를 건설하였고, 제작 중인 플랜트를 포함하여 총 12 기(국내 8 기, 국외 4 기)를 수주하였음
- 한국기계연구원은 초전도 전력기기 (초전도 케이블, 초전도 한류기) 냉각시스템 개발을 통하여 액체질소 냉각용 cold box를 개발하였음
 - 초전도 케이블 냉각시스템 개발 (2008-2011), 액체질소 순환냉각(70 K, 5 bar)을 통한 초전도 케이블 냉각(단상 154 kV, 100 MVA, 100 m)
 - 초전도 한류기 냉각시스템 개발 (2011-2016), 액체질소 순환냉각(71 K, 5bar)을 통한 초전도 한류기 냉각 (단상 154 kV, 2 kA)

3. 연구개발 내용 및 범위

□ 연구내용

[기술개발 정의]

- 수소 액화시스템의 주요 구성요소인 예냉기, 열교환기, 팽창기, 극저온 흡착기, 극저온 밸브, 액화공정의 제어 및 모니터링을 위한 각종 센서들이 설치되어 수소의 액화가 일어나는 Cold Box에서 외부로부터 열유입을 최소화하는 단열기술
- 수소 액화공정에 사용되어 Cold Box에 설치되는 주요 장치들을 주어진 공정에 따라 운전되도록 연결/배치하고 온도 차이에 의한 열응력을 고려하여 Cold Box를 설계하고 제작하는 기술

[연구개발 목표]

- 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 고효율 수소액화용 Cold Box 개발 (0.5 ton/day 급, 5 ton/day 급)

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. Pilot 플랜트 Cold Box 용량	TPD	54	0.01*	0.5
2. Cold Box 운전온도	K	20	20*	20
3. Cold Box 진공도	mbar	1×10^{-5}	1.3×10^{-5} *	1×10^{-5}
4. 수소액화 실증 플랜트용 Cold Box 용량	TPD	54	-	5

* 실험실 규모

[연구개발 내용]

(1단계 - 3년)

- 0.5 ton/day 급 Cold Box 개발
 - 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조)
 - Cold Box 단열설계, 구조 설계, 상세설계
 - Cold Box 제작 및 성능시험 (성능목표 : 운전온도 20K, 진공도: 10^{-5} mbar)

(2단계 2년)

- 1단계 국산 제작품 성능시험
 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험

	○ 5 ton/day 급 Cold Box 개발 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발 - 상용급 Codbox 제작 및 성능시험 (성능목표 : 운전온도 20K, 진공도: 10^{-5}mbar)
4. 연구개발 추진 방법	
☐ 추진전략	[기술 개발 전략] ○ 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략 - 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도) - 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후 추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용 [세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시하여야함 - 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 개발 완료하고, 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축될 0.5 ton/day pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 실증 ○ 각 세부과제 제안자는 구체적인 연계전략을 제시하여야 함
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	[4세부과제] 수소액화용 Cold Box 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 Cold Box 시제품 (2단계)

□ 성과 지표

구분	1단계				2단계		
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계
SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2
특허출원(건)	1	2	2	5	2	2	4
특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2
기술료(억원)	-	-	0.5	0.5	-	0.4	0.4
시제품(건)	-	-	1	1	-	1	1

6. 활용방안 및 기대효과

[활용방안]

○ 0.5 ton/day 시제품 : 제 1 세부과제의 2단계 연구목표인 0.5 ton/day pilot 플랜트 운영기술 개발에 제공하여 국산화 실증

○ 5 ton/day급 핵심 기자재 시제품 : 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용

7. 연구개발기간 및 소요 예산

○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월)

- 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월)

○ 총 정부출연금 : 4,270 백만원 이내

- 1차년도(1단계) 정부출연금 : 400 백만원 이내

- 2차년도(1단계) 정부출연금 : 870 백만원 이내

- 3차년도(1단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내

- 4차년도(2단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내

- 5차년도(2단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내

※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복 되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※www.kaia.re.kr 열린정보, <http://rndgate.nits.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 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 지도점검·관리 및 성과 평가 등의 근거자료 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

□ 5 세부과제

과제명	(5 세부과제) 수소액화용 극저온 밸브 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 수소액화용 극저온 밸브 개발 ○ 수소액화 플랜트용 극저온 밸브 개발 - 0.5 ton/day급 pilot 수소액화 플랜트 적용 극저온 밸브 시제품 개발 - 5 ton/day 급 수소액화 플랜트 적용 극저온 밸브 시제품 개발 - 극저온 수소 밸브 설계기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 극저온 밸브는 극저온 환경에서 가용될 수 있는 필수 부품 중 하나이고 인프라의 기술 조건을 충족하기 위한 고도의 신뢰성이 요구되는 요소 부품임 - 극저온 온도는 NBS (National Bureau of Standards)에 따른 정의에 의해 일반적으로 -150℃ 이하의 온도영역을 지칭하며, 극저온기술은 산업 전반에 기초적인 기술로서 초고순도 가스정제, 급속냉각, 고진공, 항공우주, 식품 공학, 통신, 유전공학, 의학 및 반도체 등의 첨단과학과 산업분야에 광범위하게 활용되고 있는 추세임 - 극저온 밸브는 극저온 플랜트 파이프라인에서 극저온 유체 흐름을 차단 및 제어하는 역할을 하는 동시에 과도한 압력 상승을 예방하는 필수 부품으로 사용됨 - 극저온 환경에서 사용 가능한 기술 조건을 보유하여야 하고 고도의 신뢰성 및 엄격한 품질조건을 갖추어야 하기 때문에 일반 밸브에 비해 20 배 이상의 고부가 가치가 있는 부품임 - 극저온에서 사용될 수 있는 금속재료와 sealing 재료의 특성이 매우 중요한 요소이며, 밸브 Body 부분에서는 SUS 계열, 특수 합금 등의 재료와 정밀 주물기술 등이 필요함 ○ 극저온 밸브는 극저온(-253℃) 영역에서 주로 다루어지기 때문에 극저온 영역의 특수한 사항을 고려해야 함 - Sealing 및 Packing 부분에서 기밀 성능을 낼 수 있는 고도의 기술이 필요함 - 특히 극저온에서 수소 취성에 견딜 수 있는 재료의 선정과 최적의 설계 방안 도출이 필요함

	- 유체가 밸브 디스크를 통과하면서 발생하는 캐비테이션 손상을 방지 할 수 있는 디스크 설계 기법 개발 필요
□ 기술동향	○ 극저온 밸브를 상업적으로 생산하고 있는 주요 제조사는 에머슨 (미국), 스웨질락 (미국)을 포함하여 다수가 있음 - 상기 제조사는 수소, 헬륨, 네온 등의 작동유체를 사용하는 극저온 밸브에 대하여 오랜 기간 개발을 수행 ○ 국내의 경우, 극저온 밸브와 관련하여 (주)성일하이테크, (주)에이스브이, (주)서광공업, (주)조광이엘아이 등이 개발을 진행 - LNG 운반선용 밸브로 개발이 제한됨 - 수소용 밸브와 관련하여 (주)대정밸브 등에서 연구개발을 진행하였으나, 인증 기술분야에 국한 ○ 기존 LNG 용 밸브보다 -253°C 이하의 액체 수소 등에 활용되는 극저온 밸브는 더욱 혹독한 저온 환경에서 그 성능을 발휘해야하기 때문에 packing 및 seal 등의 특별한 설계 기술이 요구되며 또한 극저온에서 뛰어난 소재를 활용한 밸브 stem 설계 기술 개발이 필요함 - 현재 초저온 밸브에 대한 기술 개발은 LNG용 밸브개발이 주류를 이루고 있고 많은 개발 사례들을 보이고 있음. - 액체수소 밸브는 일부 2중 구조의 특별한 형상 설계를 한 국산화 개발 사례는 있으나 인증 및 신뢰성 부족으로 인하여 상용화 되지 않음 - 한국기계연구원에서는 2011년 극저온 메탈시트 버티플라이밸브 개발을 성공적으로 수행한 바 있으며 관련 기술개발 노하우를 바탕으로 액체수소 밸브 개발 준비 중
3. 연구개발 내용 및 범위	
□ 연구내용	[기술개발 정의] ○ 극저온 액체 수소 밸브는 임계온도가 -253°C 이하의 액화가스를 액체 상태로 운반, 저장하고 기화기 또는 별도 기화 설비를 통해 기체상태의 가스를 요구하는 압력, 온도, 유량으로 공급하는 필수 요소 부품임 - 액체수소 등에 활용되는 극저온 밸브는 LNG 등에 사용되고 있는 초저온 밸브보다 더욱 혹독한 사용 환경인 -253°C 이하의 저온에서 그 성능을 발휘해야하기 때문에 packing 및 seal 등의 특별한 설계 기술이 요구되며 또한 극저온에서 뛰어난 소재를 활용한 밸브 stem 설계 기술 개발이 필요함

[연구개발 목표]

- 상용급 수소액화 플랜트 적용이 가능한 수소액화용 극저온 밸브 개발 (0.5 ton/day 급, 5 ton/day 급)

성능지표	단위	성능수준		기술개발 목표
		세계최고 수준	연구개발 전 국내수준	
1. 작동온도 범위	K	15	77	15~20
2. Packing 및 Seal 개발	-	Nitrogen 온도에서 zero leakage	Nitrogen 온도에서 zero leakage	액화 수소 온도에서 zero leakage
3. 수소액화용 밸브 성능 인증 획득	-	-	-	ANSI/ISO/EN 규격 인증

[연구개발 내용]

(1단계 - 3년)

- 0.5 ton/day 급 극저온 밸브 개발
- 공정조건 확립 (1세부과제와의 협조)
 - 극저온 밸브 재료 선정, 구조 설계, 유동 해석
 - 극저온 밸브 seal 설계
 - 극저온 밸브 제작 및 성능시험

(2단계 2년)

- 1단계 국산 제작품 성능시험
- 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 성능시험
- 5 ton/day 급 극저온 밸브 개발
- 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발
 - 극저온 밸브 제작 및 성능시험, 성능 인증

4. 연구개발 추진 방법

□ 추진전략

[기술 개발 전략]

- 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략
- 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진
 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도)
 - 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후

	추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용 [세부과제간 연계 전략] ○ 본 사업은 공정설계 기술과 공정을 구현할 핵심설비를 동시에 개발하는 사업으로, 공정설계 기술개발과 핵심설비 개발은 유기적으로 연계 진행되어야 함 - 1 세부과제에서는 기술 개발 초기 공정의 개념설계를 확정하고, 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 세부 목표사양을 협의 하에 제시하여야 함 - 핵심 기자재 (2, 3, 4, 5) 세부과제의 경우 1단계 3년 내에 0.5 ton/day급 기자재의 시제품을 개발 완료하고, 1 세부과제에 제공하여, 1단계에서 구축될 0.5 ton/day pilot 플랜트를 활용하여 2단계 (2년)에서 실증 ○ 각 세부과제 제안자는 구체적인 연계전략을 제시하여야 함																																																							
5. 최종성과물																																																								
☐ 주요 최종성과물	[5세부과제] 수소액화용 극저온 밸브 개발 - 0.5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (1단계) - 5 ton/day 급 극저온 밸브 시제품 (2단계)																																																							
☐ 성과 지표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="3">2단계</th></tr> <tr> <th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCI(E)(건)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>특허출원(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허등록(건)</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr> <td>기술료(억원)</td><td></td><td></td><td>0.2</td><td>0.2</td><td></td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr> <td>시제품(건)</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	구분	1단계				2단계			1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	SCI(E)(건)	0	0	0	0	0	0	0	특허출원(건)	0	1	1	2	1	1	2	특허등록(건)	0	0	1	1	0	0	0	기술료(억원)			0.2	0.2		0.1	0.1	시제품(건)			1	1		1	1
구분	1단계				2단계																																																			
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계																																																	
SCI(E)(건)	0	0	0	0	0	0	0																																																	
특허출원(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
특허등록(건)	0	0	1	1	0	0	0																																																	
기술료(억원)			0.2	0.2		0.1	0.1																																																	
시제품(건)			1	1		1	1																																																	
6. 활용방안 및 기대효과																																																								
	[활용방안] ○ 0.5 ton/day 시제품 : 제 1 세부과제의 2단계 연구목표인 0.5 ton/day pilot 플랜트 운영기술 개발에 제공하여 국산화 실증 ○ 5 ton/day급 핵심 기자재 시제품 : 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용																																																							

7. 연구개발기간 및 소요 예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월) ○ 총 정부출연금 : 1,400 백만원 이내 - 1차년도(1단계) 정부출연금 : 200 백만원 이내 - 2차년도(1단계) 정부출연금 : 200 백만원 이내 - 3차년도(1단계) 정부출연금 : 400 백만원 이내 - 4차년도(2단계) 정부출연금 : 300 백만원 이내 - 5차년도(2단계) 정부출연금 : 300 백만원 이내 ※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	
	○ 본 과제외의 보안등급은 “일반 과제” 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 중복 되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발 결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

- 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 지도점검·관리 및 성과 평가 등의 근거자료 활용
 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

□ 6 세부과제

과제명	(6 세부과제) 액체수소 저장탱크 개발
1. 연구개발 목표	
	(목적) 수소 사회 대비 수소 대용량 저장을 위한 액체수소 저장탱크 개발 ○ 액체수소 저장탱크 개발 - 35m³급 저장탱크 (Boil off ratio : 1%/day) - 350m³급 저장탱크 (Boil off ratio : 0.3%/day) - 고용적률 내압 구조 설계 및 극저온 단열 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 극저온 액체수소는 기체수소보다 저장 밀도가 높으나, 초저온 환경으로 인하여 증발가스 (BOG: Boil-Off Gas)의 발생 및 가압 방지하기 위하여 다층단열구조 등 난이도 높은 기술개발이 필요함 - 아프리카에서 유럽까지 액화수소의 운반비용은 1.80\$~2.10\$로 예상되며 탱크로리에서 증발되는 양은 하루 0.3%~0.6%로 알려져 있음 ○ Linde (독일)의 경우 액체수소 충전소의 수용성 제고를 위하여 지하 매립형 액체수소충전시스템을 아래와 같이 제안하고 있음 - 액체수소 저장탱크가 육상에 설치될 경우, 설치대지 비용이나 혐오 경관 유발 등의 문제가 있어 매립형 방식을 제안했지만, 이 방법은 설치비용 과다 및 유지보수 어려움 등의 문제를 대신 유발함 - 따라서, 설치 공간을 최소화하는 고용적률 저장 탱크 개발이 필수적임 ○ 수소 사회 대비 액체수소의 대용량 저장을 위한 기술개발이 요구됨 - 액체수소 수송용 트레일러들도 낮은 용적률을 갖는 실린더를 채용, 수송 효율이 낮아 수송 효율을 높이기 위한 고용적률 탱크 개발이 필요 - 액체수소 상태로 저장하기 위해서는 수소를 액화점인 20 K에 근접한 값으로 유지하여야 하므로, 이를 위해 단열 성능이 우수한 용기가 필요함. 또한, 열 침투 시 증발에 의한 압력상승을 견디기 위해 내압 성능이 우수한 압력용기가 필요함 ○ 고용적률 탱크는 저장소뿐만 아니라 수송용으로도 필수적임 - 극저온 액체수소 저장방식은 기체수소 저장보다 더 높은 체적밀도를 제공하기 때문에 현재는 많은 양의 수소를 저장하는 가장 일반적인 방법

□ 기술동향	○ 현재 진행 중인 대부분의 실증 프로젝트는 액체 수소 저장 장치를 적용하고 있음 - 액체수소는 극저온 펌프로 가압하고 기화기를 거쳐 증발시킨 후 고압의 기체수소 형태로 수요처에 공급됨 - 액체수소 기반 충전소에 설치되는 극저온 저장탱크는 액체수소 트레일러의 운송 횟수를 고려하여 7-10 일 이상 충전스테이션의 수요를 충족시킬 수 있는 용량으로 설정함 - 액체수소 저장탱크 설계를 위해서는 공급량을 산정할 필요가 있으며, 개략적인 일일 충전량은 약 376 kg/day에 85%의 충전한계와 안전율을 감안함. 이때, 최소 저장용량은 약 1톤 임 ○ 현재 액체수소탱크 제작과 관련된 자료는 1957년 미국에서 개발된 LN₂ (810 리터)로 단열된 LH₂ 탱크 (840 리터-STC 304)가 공개되고 있으며, 미국 DOE에서는 차량용으로 사용이 가능하면서도 가벼운 CFRP+STC 304 재질로 만들어진 소형저장탱크 관련 기술이 공개되고 있음 (151 리터, 10.1 kg, 350 bar) ○ 일반적인 용기의 설계압력 기준 (5 bar 이하 또는 73 psig/in²) 에서 액체수소 상태로 저장하기 위해서는 수소의 액화 온도인 20 K에 근접한 값으로 유지하여야 하며, 이를 위해 단열 성능이 높은 압력용기가 필요 - 압력용기의 단열 성능이 우수하더라도 증발가스(BOG; boil-off gas) 발생은 필연적이며, 단위 체적당 표면적이 비교적 작은 탱크가 BOG 발생 측면에서 단점이 있음 ○ 액체수소 저장탱크의 설계 기준은 ASME SEC VIII Div. 1에 의해 구형 또는 원통형으로 제작되며, 대형 탱크는 일반적으로 단위 체적당 표면적을 최소화하여 증발 손실을 최소화하도록 구형으로 제작 - 액체수소 탱크의 저장 용량은 5,700-95,000 L (1,500-25,000 gal 또는 400-6,700 kg)의 범위를 가짐 - 현재까지 대량의 액체수소를 저장하는 가장 경제적인 방법은 이중벽 구조의 Horten 구형 탱크임 - 탱크는 탄소강 소재 (SA516)의 외벽과 스테인리스 스틸 소재 (Type 304)의 내벽으로 구성되며, 최대 허용압력은 75 psi (5.2 bar) 임. 이중벽 구조 내부의 4 인치 환형 공간은 펄라이트(단열재)로 채워져 있음 ○ 액체수소 저장탱크 및 탱크로리는 극저온 유체를 저장하는 시스템으로

	안정적인 저장을 위해서는 단열성능평가가 최우선적인 고려 사항임 - 단열성능평가를 위한 국제기준은 “CGA H-3-2013 Cryogenic hydrogen storage 2nd edition “과 ” ISO 21014:2006 : Cryogenic Vessels - Cryogenic Insulation Performance “를 이용한 시험방법이 제시되어 있음 - 국내 극저온용 용기의 단열성능평가는 KGS CODE에 의해 침입열량이 0.0005 kcal/h · °C · L (내용적이 1천리터 이상인 것은 0.002 kcal/h · °C · L) 이하의 경우를 적합 (압력의 경우 약 10⁻³torr)으로 하고 있음 ○ 우주 프로그램을 위해 개발된 대형 탱크는 최첨단 액체 수소 탱크를 대표하며, NASA (National Aeronautics and Space Administration)는 30 년 이상 액체 수소를 사용 및 저장 해 왔음 - NASA는 Cape Canaveral에 외경이 20 m (66ft), 저장용량 약 3,800 m³ (1 백만 갤런) 인 구형 액체수소 탱크를 보유하고 있으며, 저장 기간은 수년(증발률 : < 0.03 %/day)에 달함 - 극저온 저장탱크 설계를 성공적으로 개발하기 위해서는 저온에서의 압력 격납 및 물질 보전, 열 엔지니어링 (신규 절연 재료의 설계 및 배치) 및 BOG 처리, 재료공학 (고강도 금속 및 복합 재료) 기술 필요함 ○ 산업자원부 에너지기술개발사업의 일환으로 KIST 주관으로 1996년부터 1998년까지 “수소 액화 및 저장시스템 개발” 과제 수행으로 실험실급 수소액화시스템 기술 개발 - 5.5 Liter급 액체수소 저장용기, 액체이송장치 개발임 ○ 산업자원부 에너지·자원기술개발사업의 일환으로 2001년부터 2005년까지 한국가스공사 주관으로 “천연가스로부터 대량 수소제조 및 수소저장 기술개발” 과제 수행함 - 고밀도 수소에너지 저장기술(수소액화 및 저장기술 기반기술) - 수소 제조 및 수소저장 Engineering 기술개발 ○ LNG 플랜트 사업단 (한국가스공사, 2008. 6. 18 - 2016. 10. 7) - LNG 용 압축기, 열교환기, LNG 저장탱크 등 극저온 핵심 기자재 개발 ○ 교육과학기술부 신기술융합형성장동력사업의 일환으로 KIST 주관 자기냉각 액화물질 융합연구단 운영 (2011년~2016년) - 본 사업단을 통해 수소투과 차단기술, 복합단열기술, 자기냉각 재액화기술을 융합한 10 liter 급 액화물질 저장용기 시제품을 개발함

3. 연구개발 내용 및 범위

□ 연구내용

[기술개발 정의]

- 기체수소 저장보다 더 높은 체적밀도를 제공하기 때문에 현재는 많은 양의 수소를 저장하는 가장 일반적인 방법으로, 액체수소 상태로 저장하기 위해서는 수소를 액화점인 20 K에 근접한 값으로 유지하여야 함
 - 이를 위해 단열 성능 및 열 침투 시 증발에 의한 압력상승을 견디기 위해 내압 성능이 우수한 저장용기의 개발

[연구개발 목표]

- 수소 사회 대비 수소 대용량 저장을 위한 액체수소 저장탱크 개발 (35m³, 350m³ 액체수소 저장탱크 시제품 개발)

성능지표	단위	기술개발 목표
1. 액체수소 저장 용량	m ³	35, 350
2. 증발 속도(단열 성능)	%/day	1.0 이하(35m ³), 0.3 이하(350m ³)
3. 설계압력	bar	10
4. 용적률(단열층 제외)	%	90
5. 기술인증 기준	-	KGS, ASME 또는 선급기관

[연구개발 내용]

(1단계 - 3년)

- 35m³ 중용량 저장탱크 개발
 - 고용적률 내압구조 설계 기술 개발 (내압 : 10bar)
 - 극저온 단열기술 개발 (Boil off rate : 1%/day)
 - 안전장치 설계
 - 시제품 제작 및 성능시험 (내압: 10bar, Boil off rate : 1%/day)

(2단계 2년)

- 1단계 35m³ 중용량 저장탱크 성능평가 (내압: 10bar, Boil off rate : 1%/day)
 - 제 1 세부과제 pilot 수소액화플랜트 적용, 생산된 액체 수소 활용
- 350m³ 대용량 저장탱크 스케일 업 개발
 - 성능시험 결과를 토대로 한 스케일업 기술 개발
 - 액체수소 저장탱크 국내외 인증 (KGS, ASME 또는 선급)

4. 연구개발 추진 방법																																																								
☐ 추진전략	[기술 개발 전략] ○ 수소액화플랜트 핵심 설비 기술 실증 전략 - 0.5 ton/day 급 핵심설비는 연구개발 초기 단계 (1단계, 1~3차년도)에 국산화 조기 추진 - 개발 대상 수소액화 핵심설비는 국제공동연구를 통하여 조기 구축 예정인 0.5 ton/day 급 소규모 pilot 플랜트에 적용하여 국산 설비를 실증 (2단계, 4~5차년도) - 향후 상용급(5ton/day)에 적용할 기자재는 0.5 ton/day 기자재 개발 (1단계) 결과의 스케일업 기술 개발을 통하여 2단계에 시제품 제작하여 향후 추진할 상용급 실증플랜트 구축에 활용 ○ 액체수소 저장탱크 개발은 0.5 ton/day급 수소액화기 활용 시 5일 저장 가능한 35 m³ 저장규모와 저장탱크와 상용급(5ton/day) 수소액화 실증 플랜트 구축 시 5일 저장이 가능한 350 m³ 저장규모로 나누어 단계별 개발 진행																																																							
5. 최종성과물																																																								
☐ 주요 최종성과물	[6세부과제] 액체수소 저장탱크 개발 - 35m³ 중용량 저장탱크 시제품 (1단계) - 350m³ 대용량 저장탱크 시제품 (2단계) - 국내외 인증 (KGS, ASME 또는 선급)																																																							
☐ 성과 지표	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th><th colspan="4">1단계</th><th colspan="3">2단계</th></tr> <tr> <th>1차년도</th><th>2차년도</th><th>3차년도</th><th>계</th><th>4차년도</th><th>5차년도</th><th>계</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SCI(E)(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>특허출원(건)</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr> <td>특허등록(건)</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr> <td>기술료(억원)</td><td></td><td></td><td>0.4</td><td>0.4</td><td></td><td>0.4</td><td>0.4</td></tr> <tr> <td>시제품(건)</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td></td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	구분	1단계				2단계			1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계	SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2	특허출원(건)	1	1	2	4	2	2	4	특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2	기술료(억원)			0.4	0.4		0.4	0.4	시제품(건)			1	1		1	1
구분	1단계				2단계																																																			
	1차년도	2차년도	3차년도	계	4차년도	5차년도	계																																																	
SCI(E)(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
특허출원(건)	1	1	2	4	2	2	4																																																	
특허등록(건)	0	1	1	2	1	1	2																																																	
기술료(억원)			0.4	0.4		0.4	0.4																																																	
시제품(건)			1	1		1	1																																																	

6. 활용방안 및 기대효과	
	[활용방안] ○ 0.5 ton/day 시제품 : 제 1 세부과제의 2단계 연구목표인 0.5 ton/day pilot 플랜트 운영기술 개발에 제공하여 국산화 실증 ○ 5 ton/day급 핵심 기자재 시제품 : 상용급(5 ton/day) 수소액화 실증 플랜트 건설(추가 사업 추진 예정)에 활용
7. 연구개발기간 및 소요 예산	
	○ 총 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2023. 12. (4년 9개월) - 1차년도 연구개발기간 : 2019. 4. ~ 2019. 12. (9개월) ○ 총 정부출연금 : 4,130 백만원 이내 - 1차년도(1단계) 정부출연금 : 330 백만원 이내 - 2차년도(1단계) 정부출연금 : 670 백만원 이내 - 3차년도(1단계) 정부출연금 : 1,130 백만원 이내 - 4차년도(2단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내 - 5차년도(2단계) 정부출연금 : 1,000 백만원 이내 ※정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음 ※기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능 ※연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능
8. 기 타	
	○ 본 과제의 보안등급은 “일반 과제” 임 ○ 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함 ○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복 되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함 ※www.kaia.re.kr 열린정보, http://rndgate.nits.go.kr의 유사과제목록 참조 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발

	결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구 계획에 포함 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함 ※연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구 개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음 ○ 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 지도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료 활용 - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능